

地球環境学

Global Environmental Studies

目次

〈論文〉

- 環境条約の下の関連指針の法的効力と国内援用 磯崎博司 (1)
- 福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染状況の解析(3) 大坪国順 (17)
- 中国における二酸化炭素排出量取引制度の進展 岡崎雄太 (33)
- フォレスト・キンダーガーティンと「自然飢饉社会」ードイツにおけるフォレスト・キンダーガーティンの実践的レビューと日本における「森のようちえん」への示唆 ポッゲンドルフ ロレンツ・柴田晋吾 (47)
- 「環境経営」と「企業収益」の因果関係の歴史的変遷のレビューとその関係性に内在するパラドックスの提示 武知昌史・鈴木政史 (67)
- 化学物質のリスク評価における数理生態学モデルの応用 田中嘉成 (79)
- 環境配慮行動と家事労働ーJGSS 2008による分析ー 平尾桂子 (89)
- 飲用水水源地水質の現状と保全の在り方ー中国北東部遼河上流蘇子河流域のケーススタディーー 康馨藝・黄光偉 (101)
- 「持続可能な開発目標」と地球環境課題の統合化 プテンカラム ジョン ジョセフ (121)
- 企業の環境志向活動によるブランド価値の構築 フランク ビョーン・スワナベルト シェーン J (137)
- 地球規模の気候変動に関する応用一般均衡分析: 多部門・多地域動学世界モデル 坂上紳・山浦紘一・鷺田豊明 (147)
- <研究ノート>
- 食料農業植物遺伝資源条約における遵守制度と紛争処理制度に関する一考察 鈴木詩衣菜 (171)

Global Environmental Studies

CONTENTS

Articles

- Legal Effects of Guidelines or Other Instruments Adopted under Environmental Treaties
and Their Domestic Application Hiroji Isozaki (1)
- Analysis of Time Variations of Radioactive Substances in the Water Reserved at the Bottom
of the Main Buildings of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (3)
..... Kuninori Otsubo (17)
- Progress of Carbon Dioxide Emission Trading System in China Yuta Okazaki (33)
- Forest Kindergartens and “Nature Famine Society”—Practical Review of
“Waldkindergärten” in Germany and Their Implications for “Mori no Yochien” in Japan
..... Lorenz Poggendorf, Shingo Shibata (47)
- The Causal Relationship between Environmental Management and Corporate Profits:
Reviewing Historical Events and Research Discussions and Addressing an Inherent
Paradox in the Linkage between Environmental Management and Corporate Profits
..... Masafumi Takechi, Masachika Suzuki (67)
- Application of Mathematical Ecological Models to the Risk Assessment of Chemicals
..... Yoshinari Tanaka (79)
- Gender Difference in Pro-Environmental Activities in Japan: Emergence of a New Domestic Work?
..... Keiko Hirao (89)
- Current Quality of Sources of Drinking Water in the Upper Stream of Liao River and the Policy for Improvement
..... Kang Xinyi, Huang Guangwei (101)
- Environmental Integration into Sustainable Development Goals John Joseph Puthenkalam (121)
- Building Brand Value through Environmentally Oriented Corporate Activities
..... Björn Frank, Shane J. Schvaneveldt (137)
- Computable General Equilibrium Analyses of Global Climate Agreements:
A Multi-sector and Multi-region Dynamic Model
..... Shin Sakaue, Koichi Yamaura, Toyoaki Washida (147)

Research Notes

- A Study on Compliance System and Dispute Settlement System of the International Treaty
on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture Shiina Suzuki (171)

Sophia University

環境条約の下の関連指針の法的効力と国内援用

磯崎 博司

概要

環境条約に定められている定性的な義務や基準を具体的にするために締約国会議によって指針などの文書が採択されてきている。条文による委任・言及の場合または用語の定義の場合は元になる条文の権限内において、個別の条約によって創設された固有のメカニズムを具体化する場合は内部法として、指針などの文書は法的効力を有するとともに、具体的であれば適用可能である。それらの文書は、裁判における適用に限られず、行政機関によって、また、一般的に、各種権利者、住民、NGO、研究者などによって、行政規則、その他の制度、自己の主張や立場について、正統性や説得性を高める根拠として援用・言及されている。

Legal Effects of Guidelines or Other Instruments Adopted under Environmental Treaties and Their Domestic Application

Hiroji Isozaki

Abstract

The qualitative criteria or obligations laid down in environmental treaties have been made clear and concrete by the instruments adopted by their COPs. When the instruments set forth detailed rules and procedures of the mechanisms established by the treaties, or provide definitions of technical terms, or are referred to by the specific provisions of the treaties, those instruments have legal effects within the extent of the source provisions. Such instruments with legal effects and clearness, in combination with the source provisions of the respective treaties, can be applied in the domestic court process. And in general, such instruments have been invoked or utilized by many stakeholders as a basis for legal grounds, or in order to strengthen persuasiveness or legitimacy, of their own considerations, actions or opinions.

環境条約の下の関連指針の法的効力と国内援用

1. はじめに

環境条約において定められている実体的な義務または基準には具体性のない場合がある。それには、結果としての義務の場合、定性的な基準の場合、および、将来予測に基づく場合が考えられる。このような具体的でない義務や基準は、生態系、社会、文化に関わる事柄について定められるようになってきている。

実体的な義務や基準であっても、具体的でないことを理由にして、義務自体の効力が弱いとされたり、国内実施が消極的になったりという事態も見られる。そのような事態に依って、条約の効果的な実施を促進するための具体化作業が、各条約の下で続けられてきている¹⁾。そのような具体化は、条文改正または議定書の採択という法的手法によって、または、締約国会議などによるその他の文書の採択という行政的手法によって行われている。

本稿は、そのうち、主に行政的手法による具体化に焦点を当てて検討する。

2. 行政的手法の展開

締約国会議などの行政的手法によって採択される文書には、附属書もしくは付表、または、原則、基準、指標、規則、手続き、手法、手引きもしくは指針などがある²⁾。なお、以下では、便宜上、原則、基準、指標、規則、手続き、手法、手引き、指針などを総称して、「指針などの文書」と記すこととする。なお、これらを「ソフトロー」と呼ぶこともできるが、その用語はかなり乱用されているため、また、以下では採択される文書の性格分類を行うため、上記の呼称を用いる。

それでは、指針などの文書が重要な役割を果たしている最近の国際制度を概観してみよう。

(1) 京都議定書およびパリ協定

京都議定書およびパリ協定においては、決定（特定の事項を具体的に定める文書を採択する決定）や指針のような行政的手法が多用されている。京都議定書自体も、気候変動枠組み条約の締約国会議（COP）の第1回で採択されたベルリンマンデートに基づいている。

(a) 京都議定書は、気候変動枠組み条約と同様に枠組み的な国際文書である。京都議定書の義務づけは特定の状態の達成であり、達成手段は特定されていない。そのため、その主要な規制内容は、COPまたは京都議定書の締約国会合（MOP）が定める附属書や付表、また、決定や指針などの文書によって具体化されてきている。

i) 委任を定めている条文

そのような具体化は特定の条文によって委任されており、それぞれ採択されるべき文書も指定されている。

まず、附属書A（対象温室効果ガス）および附属書B（国別削減数値）については第3条1項、決定については第12条3項（b）（クリーン開発メカニズム（CDM）の使用方法）が触れている。

次に、そのほかの事項の多くについては、次のように指針などの文書が指定されている。たとえば、政策および措置（第2条1項（b））、政策および措置のための追加措置（第2条3項）、政策および措置の実施方法・手段（第2条4項）、吸収源（農業土壌、土地利用変化、森林分野）の活動の取り扱いに関する方法、規則、指針（第3条4項）、開発途上国への経済的悪影響の最小化のための措置（第3条14項）、温室効果ガスの排出源からの排出および吸収源による除去の推計に関する国内制度のための指針（第5条1項）、除去量の推計方法・その調整（第5条2項）、共同実施による排出削減量の移転または獲得に関する指針（第6条2項）、議定書締約国から事務局への情報送付に関する指針（第7条4項）、議定書の実施の検討に関する指針（第8条4項）、CDMの透明性・効率性のための方法および手続き（第12条7項）、排出量取引（特にその検証、報告および責任）に関する原則、方法、規則および指針（第17条）、ならびに、不遵守手続きおよび制度（第18条）が挙げられている（下線筆者）。

ii) 定められた指針など

これらの条文による委任に応じて、吸収源については、国ごとの上限量、吸収源CDMの対象事業、再植林の定義と基準年、小規模吸収源CDMの簡易規則などが定められた。京都メカニズムについては、その補足的な位置づけ、超過売却の防止のための留保量、原子力事業の除外、参加資格要件、排出枠ユニットとの交換可能性、次期約束期間への繰り越し上限、排出量取引の登録簿の様式、共同実施に関する管理組織などが定められた。遵守については、未達成分の3割増しでの次期約束期間への付加、遵守委員会の構成、その票決方式、他国による審査請求などが定められた。報告義務については、その内容、不遵守の場合の遵守行動計画の作成と提出などが定められた。

そのほか、資金供与制度（条約・議定書ともに第11条）として、各種基金が設置され、業務規則と今後の運営方針が定められた。開発途上国の緩和行動については、MRV（測定・報告・検証の可能性）に加えてICA（国際協議・分析）という手法が定められた。適応については、カンクン適応枠組み、損失・被害に関するワルシャワ国際メカニズムが設立された。また、条文には明示されていないが、共同実施活動（Activities Implemented Jointly）やREDD+活動の枠組みと要件や手続きが定められた。

このように、京都議定書の実施に不可欠な制度、その要件・手続きなどは、以上の指針などの文書によって具体化された。それらは、委任に基づいており、または、固有のメカニズムに関する内部規則を定めており、元になる条文の実施との関わりにおいて法的効力を有する。

(b) パリ協定

パリ協定は、世界の平均気温の上昇を2度以内に抑えるという目標に加えて1.5度という努力目標も設定し、その目標に向けた温室効果ガスの排出削減行動をすべての国に義務づけている。各国は、科学性に基づいて自国の削減目標を設定し、提出し、5年ごとに更新し、また、共通かつ柔軟な方法で、その実施状況を報告し、評価を受けなければならない。なお、先進国には、排出削減の率先行動とともに、資金および技術面での開発途上国支援が求められている。

各国の目標達成に際しては、共同実施、削減量の国際移転、森林による吸収量の算入などが認められている。特に、REDD+（開発途上国における森林消失および森林劣化から生じる温室効果ガスの排出の削減、ならびに、森林生態系の保全、持続可能な森林管理および森林炭素蓄積

の増進)が重視されており、実績に基づく支払い方式が推奨されている。他方で、適応については、カンクン適応枠組みに基づく行動、国別計画の策定、また、ワルシャワ国際メカニズムの活用、先進国による資金提供とともに開発途上国による自主的な提供、関連技術の開発・移転の促進などが求められている。しかし、それらの事項の具体化はこれからであり、以下のように、採択すべき文書が関連する条文において指定されている。

締約国会議の決定(以下の事項を定める文書を採択する決定)によって具体化することを定めているのは、第4条8項(通報に必要な情報)、第4条9項(5年ごとに通報)、第5条2項(REDD+)、第8条2項(ワルシャワ国際制度の改善強化)、第11条5項(能力開発制度)である。また、方法、手続き、指針などによって具体化することを定めているのは、第4条11項(貢献)、第13条(その計算方法)、第14条(緩和行動)、第5条2項(REDD+)、第6条2項(緩和に関する計算方法)、第9条7項(途上国支援情報の提供)、第13条13項(行動および支援の透明性確保)である。(下線筆者)

(2) REDD+およびSIS(セーフガード情報システム)

森林の不適切な管理は化石燃料の使用削減努力を減殺してしまうことが懸念される一方で、その適切な管理は地球温暖化対策に貢献し得ることに関心が集まった。それを受けて、REDD+活動を、気候変動枠組み条約および京都議定書の下での温暖化対策として位置づけて資金支援メカニズムにすることが提唱された。しかし、REDD+は将来の予測を基礎にするため、その手法の精緻化、および、生物多様性や人権のためのセーフガードが必要とされた。

(a) REDD+の制度構築

気候変動枠組み条約にはREDD+活動に触れている条文はなく、その制度枠組みおよび具体的な要件や手続きなどは、以下のように、気候変動枠組み条約の締約国会議が採択してきた指針などの文書によって設定されている³⁾。したがって、それらの文書は、固有のメカニズムに関する内部規則であり、法的効力を有する。

REDD+活動の実体要件は、将来予測に基づいており、定性的な基準から構成されており、また、行為が特定されておらず、具体的ではない。そのため、REDD+の個別活動に正統性を付与する目的で、統合的な生態系の保全、持続可能性の確保、貧困対策、適応活動、能力構築などを要件とする手引き⁴⁾が定められ、また、REDD+国家戦略の策定、MRVの確保、実績性の確保を含む段階的な実施政策⁵⁾が定められた(カンクン合意)(下線筆者)。その後、ワルシャワREDD+枠組みが定められ(COP19)、それに基づく情報ウェブとしてリマREDD+情報ハブが開設されるなど(COP20)、パリ協定に向けて、REDD+の運用のための基本枠組みが定められた。

REDD+には、上記の懸念に応じてセーフガードを提示する手引きが定められている⁶⁾(下線筆者)。生物多様性条約においても、REDD+セーフガードと指標が採択された⁷⁾。

(b) SISの制度構築

しかしながら、そのセーフガードもREDD+活動と同様に結果を示す定性的な枠組みであるため、その遵守を補足し、その達成状況を外見可能にする手続きとして、SISが定められた。ただし、SISも結果を示す枠組み的な手続きであるために、その実効性を高めるための具体化作業が締約国会議において行われてきている⁸⁾。SISは、固有のメカニズムに関する内部規則であり、

法的効力を有する。

まず、SISにおいて必要とされる情報は、セーフガードが遵守されているか否かの結論というより、セーフガードの遵守に向けての取り組み方、そのための支援制度の運用状況、各段階での経緯やプロセス、守り続けるための手法、そして、遵守されているかどうかの結論を出すために用いられる評価基準や手法、その決定プロセスに関わる情報などであると定める手引きが採択された⁹⁾(下線筆者)。

SISは、気候変動枠組み条約によって義務づけられている報告手続き(第4条、第12条)との連携が定められたため¹⁰⁾、情報の要約を提供することは間接的に法的な義務となった。また、資金計画に関する別のCOP決定において、最新情報の要約の提供を支払いの前提要件とする作業計画が採択されたため¹¹⁾、情報を提供しないと支払いを受けられないこととなった(下線筆者)。

(c) パリ協定

なお、REDD+に関する条文は初めてパリ協定に置かれたが、その枠組みや要件は、SISを含めて、パリ協定以前からの上記の行政的手法によって構築されてきた枠組みや要件をそのまま受け継いでいる(第5条2項)。

(3) ワシントン条約

ワシントン条約においては、対象種などは附属書に定められている。また、定義が明確でない字句があるため、その解釈を示す指針などの文書が締約国会議の決議によって採択されてきている。たとえば、「容易に識別可能」については決議Conf. 9.6 (Rev. CoP16)によって、同様に、「絶滅のおそれ」はConf. 9.24 (Rev. CoP16)、「主として商業目的」はConf. 5.10 (Rev. CoP15)、「条約適用前」はConf. 13.6 (Rev. CoP16)、「通過または積み替え」はConf. 9.7 (Rev. CoP15)、「種の存続を脅かさない」はConf. 16.7によってそれぞれ定義された。

そのほか、条約の効果的な実施を促進するために、個別事項に関しても指針などの文書が定められてきている。たとえば、交雑個体の取り扱いについては決議Conf. 10.17 (Rev. CoP14)によって、同様に、ランチングはConf. 11.16 (Rev. CoP15)、手回り品または家財の規制はConf. 13.7 (Rev. CoP16)、海からの持ち込みの規制はConf. 14.6 (Rev. CoP16)、楽器類の非商業移動はConf. 16.8、侵略的外来種の取り扱いはConf. 13.10 (Rev. CoP14)、附属書移動の際の留保手続きはConf. 4.25 (Rev. CoP14)、附属書改正の際の生息国との事前協議手続きはConf. 8.21 (Rev. CoP16)、生きている動植物の輸送条件はConf. 10.21 (Rev. CoP16) および航空以外の輸送指針によって¹²⁾、それぞれ定められた。

また、割り当て制限の導入はConf. 9.21 (Rev. CoP13)によって、附属書IIの割り当て制限種(シロサイ、アフリカゾウなど)に付された注記の用語の定義はConf. 11.20によって、それぞれ定められた。

ところで、法的効果に直結することであるが、条文改正の発効条件が明確でなかったため、当該改正の採択時点での締約国の三分二であると定める決議が採択された¹³⁾。

以上のような用語の定義、内部の固有メカニズムまたは実施促進に関する指針などの文書には、関連する条文の権限の範囲内において法的効力が認められる。

(4) ラムサール条約

ラムサール条約においても、明確でない字句についてその解釈を示す指針などの文書が締約国会議の決議によって採択されてきている。たとえば、この条約の中心的な概念であるが、定義されていなかった「賢明な利用」および「生態学的特徴」については決議 IX.1 Annex A によって、同様に、「緊急な国家的利益」は VIII.20 によって定められた。そのほか、条約加入の際の条件とされている登録地指定の手続きについては IV.5 や XI.8 によって、同様に、登録指定地の選定基準は XI.8 Annex 2、登録地情報シートは XI.8, Annex 1、生態学的特徴の変化とその報告は VIII.8、IX.1、X.15、X.16 など、モントルーレコードは XII.6、湿地保全基金は IV.3、VI.6 など、湿地都市認定は XII.10 によって定められた。

また、条約の効果的な実施の促進に向けて、湿地の管理計画については VIII.14、統合的沿岸域管理は VIII.4、湿地の消失は XI.9、湿地の復元は VIII.16、環境影響評価は VII.16、X.17、IX.1 など、湿地の文化的価値は VIII.19、参加指針は VII.8、参加型管理は VIII.36、CEPA（対話・教育・参加・認識）は XII.9 によって定められた。

そのほか、ワシントン条約と同様に、改正の発効条件が明確でなかったため、当該改正の採択時点での締約国の三分の二であるとの決議が採択された¹⁴⁾。

以上のような用語の定義、内部の固有メカニズムまたは実施促進に関する指針などの文書には、関連する条文の権限の範囲内において法的効力が認められる。

(5) 96年議定書（ロンドン条約）

海洋における気候変動対策において海洋肥沃化のような新たな技術が使用されるようになっており、海洋環境の保全の観点から行政的手法を含む対策がとられている¹⁵⁾。海洋肥沃化活動に対しては強い懸念が寄せられており、特に、生物多様性条約からは、その抑制を求める COP 決定が連続して採択された。そのような懸念に応じて、96年議定書の下で、事業としては認めないが小規模な科学的調査に限って認めるという制度が構築された。

a) 行政的手法により

科学的調査については、議定書の第 14 条が触れているが、その定義はされていない。そのため、2008 年に決議 LC-LP.1 が採択され、法的正当性を有する科学的調査は単なる投棄ではなく配置であると見なされること、法的正当性を有する科学的調査とは評価枠組みの下において評価され受容可能と判断された調査提案であると定義されること、法的正当性を有する科学的調査以外には条約および議定書の目的に反すると認識されることが合意された。そこには、条文規定にはない「法的正当性を有する科学的調査」という新たな法概念が提唱された。

その決議に応じて 2010 年には、評価枠組みの詳細を定めた決議 LC-LP.2 が採択された。その評価枠組み全体が実施されてはじめて、法的正当性を有する科学的調査であるかどうか決定できるとされた。

b) 法的手法により

以上を前提として、条文や附属書が改正された。2013 年に、96年議定書に第 1 条 5 の 2、第 6 条の 2、附属書 4、および附属書 5 を追加改正するための決議 LP.4 が採択された。附属書 4 には禁止

対象の海洋地球工学活動として、現時点では、海洋肥沃化活動のみが掲載されている。また、そこには、法的正当性を有する科学的調査という用語が用いられている。附属書5には、附属書4の下で配置が検討される物のための評価枠組みが定められた。そのうち、海洋地球工学に関わる海洋科学調査という項目には、枠組み、手法、第三者評価、データや結果の公表など、科学的であるか否かの判断指標が詳細に定められている。

このように、法的正当性を有する科学的調査という、条文にはない新たな法概念が関連決議および附属書において用いられており、法的正当性を有するものだけが配置に該当するとされている。

c) 行政的手法により

2014年には、附属書4への活動追加を検討する際の手引きが採択された¹⁶⁾(下線筆者)。それは、追加提案には必要な情報を添えるよう求めるとともに、その項目を列挙している。また、禁止対象とすべき活動を附属書4に追加するとの提案がされた場合の詳細な手続きを段階的に定めている。これは、手引きという名称の文書であるが、内部の意思決定手続きであるため法的効力がある。

3. 行政的手法による文書の役割と効力

以上のように、行政的手法による文書の中には、具体化を担い、元になる条約の効果的な実施を促進する役割を果たしているものがある。具体化にあたってそれらの文書は、結果としての義務に対しては、義務達成のための選択肢の例示、標準的な行為や対応の提示、その奨励などを定めたり、実情についての報告・説明責任を定めたり、または、それらを含む包括的な指針を定めたりしている。定性的な基準に対しては、その性状を表す指標、評価項目、評価手法などを提示したり、または、それらを含む包括的な指針を定めたりしている。将来予測に基づく場合には、MRV手法および実績の重視を定めている。

実際、以上で概観したもののほか、多くの条約において行政的手法による文書を通じて具体化が図られてきている。なお、地域条約においても同様であるが、特に触れる場合を除いて以下では取り上げない。

さて、それらの文書は、個別事項の具体化を明示的に委任する条文に基づいている場合と、そうではない場合とがある。

(1) 委任による場合

条約の効果的な実施を促進する観点から、特定の条文が、必要とされる個別事項の具体化を委任することが多い。そのような委任には、当該条約内部に対する場合と外部に対する場合とがある。

(a) 当該条約の内部の文書への委任

当該条約の内部に対する場合には、以下のように、委任先の文書が指定されることもある。

i) 附属書・付表

附属書または付表は、京都議定書、ワシントン条約、96年議定書との関わりで紹介したように、条約の運用上不可欠な、対象となる物質、者、行為、区域、期間、手続きなどを特定することが多い。また、それは、条約と「不可分の一部を成す」と規定されることが普通であり、表1

に示すように、その規定を通じて条約本文と同様に法的効力がある。

以上で概観したもののほか、ボン条約、POPs3条約、海洋汚染関連条約、生物多様性条約、カルタヘナ議定書、モントリオール議定書、南極環境保護議定書、公海漁業協定、国際捕鯨取締条約、ITPGRなど多数の条約に附属書や付表が備わっている。

ii) 指針などの文書

締約国会議の決議または決定という形式で採択される指針などの文書による具体化は、前述のように(2(1)参照)、京都議定書およびパリ協定において多用されている。そのほか、世界遺産条約は登録基準(第11条5)、96年議定書は緊急時に関する基準と手続き(第18条1.6)、公海漁業協定はその附属書IIに定められている基準値の適用に関する指針、国際熱帯木材協定は「持続可能な森林管理」のための政策および技術指針(第2条)、また、たばこ条約は実施指針(第7条)について定めており、それらの文書が採択されている。なお、南極環境保護議定書は、保護区の指定および保護区の管理計画(附属書V第5条、南極条約第9条)について定めている。(下線筆者)

そのような指針などの文書は、作成形式上、法的効力はないとされる。ただし、表1に示すように、それらが条文による委任の場合は、委任元の条文の権限の範囲内において法的効力を有する。したがって、委任元の条文が努力・奨励義務を定めていれば、それを受けた指針などの文書の法的効力も努力・奨励の範囲に留まる。なお、個別の条約によって創設された固有のメカニズムを具体化するための指針などの文書は、内部法として法的効力を有する。

(b) 当該条約の外部の文書への委任または言及

外部の文書に対して委任または言及が為される場合も多い。国連海洋法条約の第207条、第208条、第210条～第212条は、海洋汚染の防止に関して、国際合意された規則・基準、勧告された方式・手続きが適用されると定めており、それらには、IMOやIAEAなどによって定められた文書が該当する。HNS条約は、規制基準をMARPOL条約、IMDGコード、BCコードなどに依存しており、SOLAS条約およびMARPOL条約は北極海コードを取り入れている。SPS協定も国際的な基準・指針・勧告に言及しており(第3条2項)、他の条約機関や制度またはその他の組織、特に、食品規格(CODEX)委員会、国際獣疫事務局および国際植物防疫条約事務局(第3条4項、附属書A)によって定められる文書を明示している。(下線筆者)

通常は、条約機関または政府間機関を対象にするが、非政府機関を対象にする場合もある。

表1：国際文書の法的効力

根拠	文書名	法的手法		行政的手法			
		改正	議定書	当該条約の下の文書 附属書 付表		指針など	他制度の文書
法的文書		○					
不可分の一部として				○			
委任・言及により					○		○
一般の権限により					○		○

○：法的効力

内部法

たとえば、世界遺産条約においては、国際記念物遺跡会議（ICOMOS）および国際自然保護連合（IUCN）に、登録評価手続きの一部を委任している（第13条7項、運用指針30-37, 71, 143-151）。

SPSや海洋法条約のように、委任・言及によって指定されている場合は任意性の強い勧告のような文書であっても、表1のように、その委任・言及をしている条約条文との関わりにおいて、また、当該条文の権限の範囲内において法的効力を有する。

特定の条約機関や国際組織が指定されずに単に「国際的な・・・」とされている場合は、具体化の作業は、当該分野に関わる国際基準・指針・勧告などの文書を採択する条約機関や国際組織などによって、並行的または相乗的に行われることとなる。

(2) 締約国会議の一般的権限による場合

委任を定める条文はないが、効果的な条約実施の促進のために必要な措置や文書を検討し採択するという、締約国会議の一般的な権限による場合もある。すでに述べたように（2 (2)-(5) 参照）、REDD+およびSIS、ワシントン条約、ラムサール条約、海洋肥沃化活動において、用語の定義やその他必要な事項を定める指針などの文書が多数採択されている。南極環境保護議定書においても、実施を促進するための、環境影響評価指針、訪問者指針、地熱地域での行動綱領、非在来種マニュアル、鉱物資源開発の禁止などに関する文書が採択されている。ちなみに、植物遺伝資源条約には特定用語の定義や解釈を定める権限に関する明文規定がないため、その定め方について法的検討が行われた¹⁷⁾。

なお地域条約であるが、ベルン条約においては定義条項が置かれていなかったため、「自然生息地」「必要な措置」「適切な措置」「保全」「附属書IIおよびIIIに特定されている移動性の種にとって重要な区域」など多くの基本的な用語に関する定義が決議によって定められた¹⁸⁾。

(a) 法的効力

それらの文書は、表1に示すように、用語の定義や条約実施の促進のような締約国会議の一般的な権限による場合は、当該事項について権利義務を定めている条文の権限の範囲内において法的効力を有する。したがって、元になる条文が努力・奨励義務を定めていれば、それを受けた指針などの文書の法的効力も努力・奨励の範囲に留まる。なお、個別の条約によって創設された固有のメカニズムを具体化するための指針などの文書は、内部法として法的効力を有する。

また、本項では国際慣習法として法的効力を有する場合については焦点を当てていないが、特に、環境と開発に関する一連の国連会議が採択したストックホルム宣言やリオ宣言の原則、アジェンダ21、また、国連環境計画が採択した環境関連の指針などの中には慣習法として位置づけられるものが含まれており、様々な場面で適用または援用されている。

(b) 生物多様性および持続可能性

定性的な基準であるとともに、多面的、重層的で複雑な関わりを有する概念である生物多様性および持続可能性については、以下のように、関連条約がそれぞれの締約国会議などによって並行的、相乗的に具体化を積み重ねてきている。

生物多様性条約の下には、生物多様性の評価基準を記している附属書Iもあるが、さらに具体化が必要とされている。そのため、第10条の効果的な適用に向けて、生物多様性の持続可能な

利用指針が定められた¹⁹⁾。そのほか、生態系アプローチ指針(決定VI/6)、CEPAツールキット、生物多様性環境影響評価指針(VIII/28)、先住民文化影響評価指針(VII/16 F)、先住民倫理行動綱領(X/42)、外来種指針原則(VI/23)、および愛知目標(X/2)なども採択されており、それぞれ詳細な手続きと行為が示された。

他方で、持続可能性については、関連する多くの条約において具体化するための指針などの文書が採択されてきている。ラムサール条約は、条文には定義のない「賢明な利用」(持続可能な利用と同義とされる)を決議IX.1Aによって定義した。温寒帯林の持続可能な管理については、そのための基準と指標(モントリオールプロセス)が定められた。ワシントン条約は、基本的な概念の定義とともに、割り当て制限を含む持続可能な利用に関する各種決議を採択してきている。また、公海漁業協定をはじめとして漁業関連条約においても、持続可能性に関する指針などの文書が定められている。

持続可能性を支えるその他の要素についても、上述のように、ラムサール条約において、統合的管理指針、参加指針およびCEPA指針が採択された。また、96年議定書では法的に正当な科学調査の判断基準が採択された。

このように、特に、生物多様性および持続可能性の具体化作業は、より広い多面的で相乗的なネットワークを通じて指針などの文書によって行われている。

(c) 締約国会議の権限の拡大

締約国会議は最高意思決定機関であるが、その権限が限定的に定められている場合もある。たとえば、ワシントン条約には、その効果的な実施のための規則または基準の設定に関する条文はない。締約国会議の一般的権限の観点では、第11条3項eは、条約の実効性を改善するための勧告権限を認めており、また、同3項cは附属書に掲げられている種の実状の検討を締約国会議に委ねているが、どちらも、規則・基準の設定には触れていない²⁰⁾。また、下部機関の設置に関する条文もない。しかし、締約国会議の決議によって、前述のように多くの基準や手続きが採択され、また、幾つかの下部機関が設置されてきている。

世界遺産条約の第11条5項は、世界遺産委員会に「顕著な普遍的価値」および「危険にさらされている」に関する基準を定めることを委任している。委員会は、これらの基準に加えて、自然の広がりに応じて区域を指定すること、法的な措置がとられていること、緩衝地帯が設置されていること、または、暫定リストを事前に提出することなどの申請条件や手続きを定めた包括的な運用指針を採択している。

なお、植物遺伝資源条約においては、議定書の採択という項目が管理理事会の権限に関する規定に含まれていないため、議定書の作成と採択ができるか否かについて法的検討が行われた²¹⁾。

ここで、地域条約であるが、ベルン条約にも同様の傾向が見られる。ベルン条約は、その効果的な実施を促進するための提案権を常設委員会に付与しているが(第14条1項)、決定権については定めていない。ベルン条約はヨーロッパ評議会という国際組織の下の条約のため、条文に定められていない制度や手続きなどは、常設委員会からの提案に基づいて閣僚委員会が承認するというプロセスを予定していたと考えられる。しかし、近年、ベルン条約はヨーロッパ評議会の加盟国以外の国および組織(アフリカ諸国やEU)に拡大した。そのため、常設委員会は独立的な役割を果たすようになってきており、自身に対して提案し、決定するというプロセスがとられてき

ている。それに基づいて、条文には定められていない制度の設定や個別締約国における個別事例に関する関与が行われてきている。

以上の場合、条文には明示されていないとしても、特定の事項に関して指針などの文書を作成し採択することが条約の実施促進のための一般的権限（行政的手法）に含まれることを、締約国全体が法的信念として表名したものと想定される。

ちなみに、同様の状況に置かれていたラムサール条約は、締約国会議の権限に関する第6条2項に、「(f) この条約が機能することを促進させるため、その他の勧告または決議を採択すること」を追加するという法的手法により解決した（レジャイナ改正、1987年）²²⁾。

(d) 改正手続きの回避と課題

上記の権限拡大と重なる部分もあるが、条約と不整合になる場合、すなわち、本来は条文改正という法的手法をとるべきであるが、締約国会議などの決議・決定という行政的手法がとられている場合について概観してみる。

ワシントン条約においては、条約違反として没収された生きている標本を輸出国へ返還する場合の輸送費用は、その輸出国の負担によると定められている（第8条4項）。しかし、輸出国はほとんどの場合に開発途上国であり、輸送費用を負担できないことが多い。そのため、先進国である輸入国に対して、国内求償措置に触れている第8条2項を活用して輸入業者または輸出業者に費用を負担させるよう求める決議が採択されており²³⁾、主な先進国はそのような国内法を定めている。日本の希少種保存法も、輸入業者の負担による返還措置を定めている。

国際捕鯨取締条約においても、商業捕鯨の禁止のような条約の根幹に関わる措置の導入が、国際捕鯨委員会による付表の改正によって行われてきている。気候変動条約・京都議定書においても、共同実施活動（Activities Implemented Jointly）やREDD+活動は、条文には明示されていないが、締約国会議が採択した指針などの文書によって枠組みや要件が設定されており、それに即して活用されている。

なお、モントリオール議定書は、条文に定められている対象物質ごとの各種規制数値は、発効要件が緩和された「調整」という行政的手法によって改正できるとされている（第2条9項）。

ただし、本来は法的手法をとるべきときに行政的手法をとることは、条文との整合性という点で根本的な課題を抱えている。実際、南極海に捕鯨禁止区域を設定するために付表7に (b) を追加する改正決議について、日本政府は、その決議が条文に反しているとの指摘を行い、決議の合法性をめぐる問題を提起した²⁴⁾。また、植物遺伝資源条約において、条文改正を回避してSMTA（定式契約書）を改正する提案が検討されているが、日本政府は、SMTAの改正には条文改正が必要になるとの意見書を提出した²⁵⁾。

4. 国内適用・援用

指針などの文書のうち法的効力のある文書が国内で適用または援用されるためには、十分に具体的であることを含めて、考慮すべき要件がある。

表2：法的効力と具体性

国際文書	法的効力	具体性
条約（慣習法）	○ ←	× → ○
指針などの文書	× → ○	× ← ○
	効力を付与	具体性を付与

(1) 法的効力、具体性、適用力

表2に示すように、条約には、法的効力はある(○)が、具体性はある場合(○)とない場合(×)がある。指針などの文書は、作成形式上は法的効力はない(×)が、具体性はある場合とない場合がある。

それを前提として、条約は、表2中欄のように、委任・言及、締約国会議の一般的権限または内部法(表1参照)の元になる条文の権限の範囲内において、それに応えている指針などの文書に対して法的効力を付与する(3(1)(a)ii)、3(2)(a)参照)。換言すれば、その指針などの文書は、元の条文を離れて独立に法的効力を有するわけではない²⁶⁾。他方で、指針などの文書のうち特定の条項を具体化している文書は、表2右欄のように、その事項について具体性のない条約条文に対して具体性を付与する。その具体性の付与により、当該条約条文の適用力が補足・補強される。

国際文書に法的効力があり、適用力があれば、国内においても適用可能とされる。国際文書の国内適用という場合は、裁判における適用を指すことが多い。

(a) 条約の司法適用

日本の裁判所は、環境条約が結果の義務や定性的義務を定めている場合は、具体的でないとして、その義務の適用を排してきた。その中で、北見道路裁判において、札幌地裁は、国内法令の解釈指針としての条約の機能(間接適用)を認め、条約趣旨に反する場合の国の裁量権の逸脱、および、条約趣旨に反する行為の違法性に触れた²⁷⁾。国内裁判における条約の適用については、人権分野または経済分野が先行しており、環境分野は遅れていたが、本判決は、環境分野での前進を記した。

(b) 指針などの文書の司法適用

作成形式上は法的効力を有しない指針などの文書であっても、委任・言及や内部法または慣習法である場合には法的効力を有し(表1参照)、国際裁判に適用することもできる²⁸⁾。実際、ICJ(国際司法裁判所)は、拘束力はないとしても国連総会決議は規範的価値を有する場合があること、国連総会決議は一定の条件において規則の存在または法的信念の表明の重要な根拠となり得ることを認めた²⁹⁾。

このようなICJの対応と比べてみると、日本においては、北見道路判決であっても条文の適用にとどまっており、原告が主張していた、具体性のない条文規定を具体化している指針などの文書の法的効力については触れてない。

この傾向は司法分野以外でも見られ、指針などの文書への対応は、一般的にも、作成形式の分類(法的効力の有無)の地点に止まってしまっているようである。その分類で法的効力は「無」であっても、前述のように、その先に、委任・言及の適否、実施促進の必要性の適否、内部法の適否、慣習法の適否という、法的効力の有無を判断する別の地点がある。その上で、元となる条文の権限に基づいて当該法的効力の範囲を確認するという地点もあり、そこまで行かなければ法的効力の判断は不十分である。さらにその先に、十分な具体性の適否の判断という、国内適用力に関わる地点が続いている。

(2) 行政的措置の義務

環境条約の多くは、締約国に対して、一定のまたは定性的な内容の法を制定する（立法）義務、その内容の施策を実施する（行政）義務、および、その内容に基づいて裁定する（司法）義務を定めている。したがって、司法、行政および立法は、国家機関として、条約を国内に適用する主体である前に、国際的にはその適用を受ける客体である³⁰⁾。なお、そのような定性的な内容の具体化は、締約国の裁量に委ねられている。ただし、それを具体化する指針などの文書が当該条文の下に採択された場合は、それが条約標準となり、または、元になる条文が定めている場合は裁量の幅が設定されたこととなる。

(a) 法的措置

立法義務については、世界遺産条約の第5条、ワシントン条約の第8条1項・2項、生物多様性条約の第15条7項、バーゼル条約の第4条4項・第9条5項、京都議定書の第5条1項などが定めている。国内法の制定が義務づけられても、立法機関は別権力であり、立法には時間がかかるし、法律の執行や取り締りには行政措置の整備が不可欠である。

(b) 行政的措置

そのため、計画や政策の策定・実施や監視などの行政措置が条文において義務づけられるようになっている。たとえば、ラムサール条約の第3条1項（計画）・第4条1項（監視）、世界遺産条約の第5条（(a) 計画・政策、(d) 行政措置・政策措置）、生物多様性条約の第6条（国家戦略・計画）、第8条（(b) 指針、(f) 計画・戦略）、第15・16・19条（行政措置）、OPRC条約の第6条2項（計画）、気候変動条約の第4条（計画）、京都議定書の第10条（計画）、バーゼル条約の第4条4項（行政措置）、砂漠化対処条約の第9条から第15条（行動計画）などがそうである。

以上の義務は、行政機関（国際法上、締約国を代表する国家機関）に対しては直接的に適用されている。通常は、国内法と上記の裁量権の下で、行政措置が整備されてきている。注目すべきは、根拠となる国内法が存在しない場合であり、上記の条約条文を直接受けて、生物多様性国家戦略（生物多様性基本法の制定以前）、また、世界遺産条約とラムサール条約の登録地の個別管理計画などが策定された。

(3) 国内援用

法的効力に加えて具体性のある国際文書については、以下のように、適用とともに援用という状況が展開されている。

(a) 適用と援用

司法での適用は、紛争当事者に対して第三者としての裁判官が判決の根拠として国際文書を用いることである。それに対して、援用は、利害当事者（行政機関、各種権利者、住民、NGO、研究者などを含む）が自己の、法規制または行政規則、その他主張・立場の正統性や説得性の根拠として国際文書を用いることである³¹⁾。

その状況は、国内社会における国内法の適用・援用の状況と同じである。国内法が遵守されている状況において、司法での適用はきわめて限定的であり、ほとんどは、個人および集団が国内法・行政規則の趣旨を自発的に援用することで成り立っている。そのことは、個別紛争において

も同じであり、紛争当事者間で各自の主張の正統性や説得性の根拠として国内法・行政規則が自発的に援用され、紛争のほとんどは司法に至る前に解決されている。

このような広い意味での適用・援用は、条約についても、指針などの文書についても、各国で様々なレベルで行われている。

(b) 指針などの文書の援用

上述のように、定性的な内容の具体化は締約国の裁量に委ねられている。ただし、特定の条文を具体化する指針などの文書が採択された場合は、当該条文の権限の範囲内で、その文書の内容が条約標準となり、または、当該条文の実施に関する国家裁量の幅が設定されたこととなる。したがって、法的効力とそれらの機能を発揮させるためには、指針などの文書はその元になる条文とセットで援用される必要がある。

さて、そのような援用の日本における事例として、生物多様性国家戦略の策定（第6条）については、その策定プロセスの公開・参加手続きに関する指針などの文書が各利害当事者によって援用され、行政機関によってそれに沿った手続きがとられた。また、世界遺産条約（第11条1項）およびラムサール条約（第2条2項）それぞれの登録地の選定基準について、および、知床をはじめとして個別登録地の管理計画やモニタリング手続きなど（ラムサール条約第3条、第4条1項）（世界遺産条約第5条）について、それぞれに対応する指針などの文書が各利害当事者によって援用され、行政機関によってそれらの項目の多くが取り入れられてきた。また、外来生物法の場合は、生物多様性条約（第8条（h））を具体化する外来種指針原則（決定VI/23）が行政機関によって援用され、最終的に外来種指針原則の項目の多くは、外来生物法とその基本方針に組み込まれた³²⁾。

そのほか、複数の条約が定めている場合であるが、環境影響評価制度については、その評価項目、評価基準または評価手法に関する文書が、保護区域の管理については、区域指定基準、評価手法または管理手法に関する文書とともにIUCNによるレッドデータブックや保護区分類基準などの文書が、各利害当事者によって援用されてきている。また、前述のように、生物多様性、持続可能性、公開・参加（リオ原則10およびバリ指針ほか）、統合的管理、適応型管理などに関して諸条約の下で採択された指針などの文書も、様々な制度や手続きに関して各利害当事者によって援用されてきている。いずれについても、それらの文書の内容は、国内の関連制度に部分的に取り入れられてきている。

なお、注目すべきは元になる条文と整合しない場合である。たとえば、希少種保存法の場合は、返還費用は輸出国負担（第8条4項（b）のとおり）ではなく輸入業者負担にすべきというワシントン条約の決議（上述3（2）（c）参照）が行政機関によって援用され、輸入者負担が定められた³³⁾。欧米諸国においても同様の対応がとられており、この場合はセットではなく、指針などの文書が単独で援用された。

5. おわりに

指針などの文書は、法的効力を有する条約と同じか、それ以上に実効的な場合もある。実際、それらは、行政・立法・司法の分野で、また、一般に、様々な場面で適用・援用されている³⁴⁾。なお、自然科学の分野においては有用な文書が効果的に援用されていない場合も見られるため、さ

らに積極的な援用が望まれる。

ただし、すべての指針などの文書に法的効力があるわけではないこと、その効力は元になる条文の権限範囲に限られることに留意すべきである³⁵⁾。それらのすべての文書に区別なく法的効力を主張することは、作成形式の分類という伝統的な地点に止まっているのと同じである(4(1)(b)参照)。その上に必要とされる分類判断と併せて、また、元になる条文とセットで援用すれば、指針などの文書は内在している機能を發揮できる。

注

- 1) 指針などの文書による具体化とその役割については、以下を参照。磯崎博司「持続可能な開発」『環境保全の法と理論』北海道大学出版会2014年29-32頁。
- 2) 指針や手引きには、原則、基準、規則、手続きが包括的に提示され、それらの組み合わせが示されるとともに、基準を表す指標や評価手法が含まれている。
- 3) 気候変動枠組み条約の条文に基づかないREDD+は、その条文に基づくCDM活動とは、形式面では対照的である。ただし、どちらも実体要件の具体化は、締約国会議が採択した指針などの文書(国際行政規則)に基づいている。また、どちらも、気候変動枠組み条約および京都議定書が創設した固有のメカニズムである。
- 4) Para. 1, Appendix I, Decision 1/CP.16; Methodological guidance for activities relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries (FCCC/SBSTA/2012/L.31).
- 5) Para. 73, Decision 1/CP.16.
- 6) Para. 2, Appendix I, Decision 1/CP.16.
- 7) Advice on the Application of Relevant REDD + Safeguards for Biodiversity, and on Possible Indicators and Potential Mechanisms to Assess Impacts of REDD + Measures on Biodiversity (UNEP/CBD/SBSTTA/16/8, 21 February 2012).
- 8) SISについては以下を参照。磯崎博司「条約の実施確保に向けて—国内措置の整備義務—」地球環境学10号2015年4-8頁。
- 9) Para. 71(d), Decision 1/CP.16; Para. 2(d), Decision 12/CP.17.
- 10) Paras. 4 and 5, Decision 12/CP.19.
- 11) Para. 4, Decision 9/CP.19.
- 12) CITES Guidelines for the non-air transport of live wild animals and plants (CoP16, Bangkok, 2013).
- 13) Conf. 4.27 Interpretation of Article XVII, Paragraph 3, of the Convention.
- 14) RES. 4.1 Interpretation of Article 10 bis Paragraph 6 of the Convention.
- 15) 磯崎博司「海洋地球工学活動の規制—ロンドン条約96年議定書による対応—」環境と公害45巻3号2016年2-8頁。
- 16) Annex 5: Guidance for consideration of marine geoengineering activities, LC 36/16 (2014).
- 17) SMTA改正提案の法的課題を検討するために設置された法律専門部会の第2回会合(2017年2月)の議題とされた。
- 18) Resolution No. 1 (1989) Provisions Relating to the Conservation of Habitats.
- 19) Addis Ababa Principles and Guidelines for the Sustainable use of Biodiversity, Annex II, Decision VII/12 Sustainable Use (Article 10).
- 20) ちなみに、第11条3項aおよび同5項は、締約国会議に対し規則制定権限を認めているが、前者は事務

- 局に関する規則および財政に関する規則であり、後者は締約国会議の個々の会合ごとの手続き規則であって、本稿で対象としている指針などの文書についてではない。
- 21) 注17)参照。
 - 22) Amendments to Articles 6 and 7 of the Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat (Regina Amendments), the 2nd Extraordinary Conference of the Contracting Parties, 28 May 1987.
 - 23) Conf. 4.18 Disposal and Return of Illegally Traded Appendix II Specimens; Conf. 7.6 Return of Live Animals of Appendix II or III Species.
 - 24) Chairman's Report of the Forty-Seventh Annual Meeting, pp.27-29; Chairman's Report of the Forty-Eighth Annual Meeting, pp.36-37. Government of Japan, Consideration on the Legality of the Southern Ocean Sanctuary (IWC/47/38); Resolution on Legal Matters Related to the Adoption of the Southern Ocean Sanctuary (IWC/47/45).
 - 25) SMTAの6.7条と6.8条は、ITPGRの13条2項(d)(ii)(支払い義務の条件)を受けている。また、ITPGRの12条4項は、SMTAに含めるべき規定の一つとして13条2項(d)(ii)を明示している。そのため、日本政府の意見書は、それらの削除はITPGRの条文改正を必要とすると述べた(Submission by Japan, Appendix 10, p.1, IT/OWG-EFMLS-5/16/Inf.3)。このSMTAの改正案は、2016年末の時点で検討の途中である(Appendix 1: Second Draft Revised Standard Material Transfer Agreement, IT/OWG-EFMLS-5/16/3, pp.3-29)。なお、その問題は、改正案の法的課題を検討するために設置された法律専門部会の第1回会合(2016年11月)においても審議され、条約改正せずにSMTAを改正することは管理理事会の権限に黙示的に含まれているとの判断が多数意見として示された(グローバルネット314号2017年24頁を参照)。
 - 26) ただし、同一内容の文書が異なる条約または国際機関によって繰り返し採択され、それらに法的信念が認められる場合など、慣習法として位置づけられるならば、単独でも法的効力が認められる場合がある。
 - 27) 平成23年(行ウ)第26号 公金支出金返還請求事件(2013年9月19日判決)。
 - 28) 指針などの文書の法的効力について、ソフトローの観点から論じている文献として、松井芳郎『国際環境法の基本原則』東信堂2010年41-43頁を参照。
 - 29) Para. 188, ICJ, *Case Concerning Military and Paramilitary Activities in and against Nicaragua*, 27 June, 1986; Para. 70, ICJ, *Legality of the Threat or Use of Nuclear Weapons*, 8 July, 1996.
 - 30) 斎藤民徒「『書きとめられない法』のプロセスとプラクティス—リフレクティブな国際法学のための基礎概念—」多元的世界における「他者」、関西大学マイノリティ研究センター最終報告書2013年65-67頁。
 - 31) 国際法の適用、援用または参照については、斎藤民徒「国際法の援用と参照—『国内適用』の再検討を通して—」社会科学論集(高知短期大学)92号2007年145-163頁を参照。
 - 32) 外来種指針原則に「我が国の事情を加味して適切な制度を構築するのが妥当な方針」であるとされた(中央環境審議会、2003年12月)。
 - 33) 希少種保存法第16条。
 - 34) そのような状況は、国際政治学においては、非法的規範の遵守(国際組織の非法的文書に国家がある種の規範性を認めて尊重すること)であり、多数国間条約制度を通じた政策の国際拡散(義務よりも任意の学習によって政策が各国に広がっていく過程)と位置づけられている。上河原献二「外来生物法制度はどのように成立したか?—指針、認識共同体、学習—」『環境情報科学 学術研究論文集』29(2015年)349頁。
 - 35) 同じことはソフトローについても指摘できる。締約国会議や国際組織が採択したすべての決議などがソフトローと位置づけられることもあるが、法的効力が認められるものは、本稿で示した分類に該当する決議などに限られる。

福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染状況の解析（3）

大坪 国順⁽¹⁾

概要

本稿は、福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染水について2016年11月までの状況を明らかにしようとするものである。東京電力からの原子炉建屋内のたまり水の貯蔵および処理の現状についての報告資料を整理した結果、前報の発表から約1年経過して、前報における考察を一部見直す必要が生じた。

この一年間で新たに判明したことは以下のようである。

- (1) 原子炉冷却に伴う放射性汚染水の処理は順調にすすんでいる。現在、一時貯蔵タンクに貯留されている汚染水の約78%は、トリチウムを除く全ての放射性物質が除去された状態にある。2018年内にはその比率は100%になる見込みである。
- (2) 前報発表時には、セシウム137とトリチウムの放射線強度はほぼ一定値に落ち着いてきている様子であったが、2016年4月上旬（第250週辺り）から両者とも再び低減し始めた。これらの観測結果は、両者の放射線強度の漸近値（均衡値） $R_{A\infty}$ の値を見直さなければならないことを意味する。再評価のためには、さらなるたまり水の放射線モニタリングデータの蓄積が必要となる。
- (3) 塩素イオン濃度について、一時は漸近値（約300ppm）に落ち着くように見えたが、2014年12月頃から徐々に増加し始め、前報発表時には960ppmにまで達した。しかし、2016年1月14日（第239週）に390ppmに急落し、それ以降低下し続け、2016年11月（第280週辺り）には約200ppmまで下がってきている。

(1) 地球環境学研究科 客員教授

Analysis of Time Variations of Radioactive Substances in the Water Reserved at the Bottom of the Main Buildings of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (3)

Kuninori Otsubo

Abstract

This paper shows the latest results of weekly variations of radio-active substances in the water reserved at the bottom of the main buildings of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. It has passed almost one year from the previous publishing of my paper on this issue. During the period, the weekly data of cesium-137, tritium, and chloride ion of the reserved water have been kept reported by Tokyo Electric Power Co. Ltd. The weekly variations of the three parameters have shown new tendencies, which request the author to retract some part of the previous analysis. New facts and trends obtained this year are as follows:

- (1) At present, from about 78% contaminated water reserved in the temporary reserving tanks, all radioactive substances except for tritium have been removed.
- (2) The strengths of radiation of cesium-137 and tritium began to decrease again on April 2016 and have kept decreasing until now, which requests the author to re-estimate their asymptotic values. To do that, the further monitoring of the reserved water is required.
- (3) The concentration of chloride ion began to decrease again on Jan. 2016 although it had gradually increased from 300 ppm to 960 ppm during the period from Dec. 2014 to Jan. 2016. It has been decreasing until now and the latest value is 200 ppm.

福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染状況の解析(3)

1. はじめに

2011年3月11日から既に6年近くが経とうとしている。本稿は、福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染水について2016年11月までの状況を明らかにしようとするものである。前稿の発表から約1年経過し、放射性汚染水に関して前報までの考察をさらに裏付ける観測データや考察内容に変更を迫られる観測データも公表され、これらについて整理して考察を加えた。

本稿での検討に使われたデータについては全て東京電力から公表されているものである。原子炉建屋内の地下に存在する水(たまり水と呼ばれる)の汚染状況については、東京電力からプレス・リリース資料として毎週公表されている。その資料には、毎週の冷却水量と処理水量(セシウム137と塩分)、地表一時貯蔵タンク内の汚染水の累積貯蔵量、併せて、たまり水のセシウム137の放射能(ここでは放射線強度と呼称)や塩素イオン濃度が公表されている¹⁾。たまり水のトリチウム放射性強度については、「福島第一原子力発電所周辺の放射性物質の分析結果 一水処理設備の放射能濃度測定結果一」として毎月インターネット上で更新されている²⁾。

これらのデータを整理し、2016年11月までのセシウム137とトリチウムの放射線強度や塩素イオン濃度の時間変化について、この一年間で新たに判明したことを中心に検討を加えることとする。

2. 直面している問題

(1) 原発事故が直接原因の地下水の汚染問題

原子炉建屋の海側(東側)においてタービン建屋と地下で連結しているトレンチは、試行錯誤の結果ようやく特殊なセメントで埋め立てられてタービン建屋との水の行き来が遮蔽された。トレンチ内に満杯状態にまで貯まっていた高濃度放射能汚染水は、ほぼ高温焼却炉建屋(HIT: 集中廃棄物処理建屋の一つ)に移送され既存のルートで放射性物質の処理がなされている。依然、複数の観測井で高放射性強度のトリチウム、ストロンチウム、全 β が検知されており、一部の観測井では放射線強度は告示強度を超えており、強度が必ずしも低減傾向にない観測井もある。東京電力としては海側遮水壁を構築して汚染地下水の港湾への流出を防ぐ対策を取っている。

(2) 原子炉冷却に伴う放射性汚染水の問題

現在でも400t/dayのペースで増え続ける汚染水は、多核種放射性物質除去設備(ALPSなど)の増設がなされ、「ホット試験」という位置づけではあるが、着実にトリチウム以外の多種の放射性物質が汚染水から除去されている。2016年6月現在、多核種除去設備による処理水(トリチウム以外の大半の放射性物質が除去された汚染水)は約75万t、ストロンチウム処理水(塩分とセシウムとストロンチウムが除去された汚染水)は約20万tとなっている³⁾。

除去された各種の放射性物質は消滅したわけではなく、濃縮固形化されたものに形態を変えただけで、その量は汚染水の処理量に比例して増加している。

(3) 処理水の漏洩問題

一時貯蔵タンクの構造もボルト締め式から溶接式のものへの移行が進んでおり、一時貯蔵タンクからの漏洩事故件数も減ってきている。また、原子炉建屋屋上に貯まった雨水が放射能汚染されそれが排水溝に流れ出すという問題への対策も進んでいる。

(4) 一時貯蔵タンクの増加問題

多核種放射性物質除去装置でも汚染水からトリチウムの除去はできないので、敷地内にはトリチウム汚染水が一時貯蔵タンクに保管され、その量は合計で95万トンに及び、今後も増え続ける。一時貯蔵タンクを設置する場所に余裕がなくなってきており、原子力規制委員会はこの問題が汚染水処理関係で唯一リスクが増大している問題と位置づけている⁴⁾。

(5) 凍結工法による陸側止水壁構築工事にかかる問題

地下水の原子炉建屋やタービン建屋への流入を防ぐため、凍結工法で陸側止水壁を作り原子炉建屋周辺を取り囲む工事が行われた。

2016年2月には陸側止水壁の東側（海側）から凍結の実施試験が始められた。凍結しきらない箇所が一箇所あり、水ガラス注入で止水せざるを得なかった。2016年11月の時点では西側（山側）でも凍結試験が実施されており、一部凍結していない箇所もあるが凍結はほぼ完結したという報告がなされている⁵⁾。

東側側は、「陸側遮水壁は凍結それ自体を目的としたものではなく、建屋への地下水の流入を抑制し、汚染水の発生を抑制するための対策である。」と説明しているが⁵⁾、そうであれば、凍結維持経費が数十年にわたり発生する凍結壁ではなく、メンテナンスフリーの固体止水壁を構築した方が良い気がする。

(6) 廃炉作業に携わる職員の放射線被曝問題

東京電力によれば、人員確保も職員の放射線被曝量も問題がないとされる。全面マスクが不要で使い捨て式防じんマスク着用のみで作業できるエリアが、合計で敷地面積の90%まで拡大し作業環境が改善している。

(7) 燃料デブリの取り出しにかかる問題

前々報⁶⁾、前報⁷⁾で取り上げた以下の課題については、ロボットを用いた格納容器の破損箇所の調査など解決に向けて努力が続けられているが、作業工程は遅れ気味である。

- 1) 格納容器の破損（ひび割れ）箇所の特定が困難
- 2) ひび割れの補修の困難さ
- 3) 燃料デブリを取り出す計画への異論
- 4) 原子炉の被害が未確定

(8) 使用済み核燃料の冷却プールからの取り出し

4号機の全ての使用済み核燃料がプールから無事に撤去された。1、2、および3号機の原子炉

建屋内の冷却プールにある使用済み核燃料の撤去についての取り組みも始まったが、作業工程は遅れ気味である。

本稿では、前報までと同様、問題(2)に関して、収集データを基にたまり水の汚染状況の時間変化特性について前々報、前報を踏まえてさらに検討を加えたものである。

3. 原子炉建屋周辺の地下水の概要

(1) 原子炉建屋西側(山側)の概要

東電の資料⁸⁾によれば、1、2、3、および4号機の立地する一面では、山側から約1.4kmの幅で約1,000t/dayの地下水が流れ込むとされる。原発事故前は、原子炉主建屋を囲むサブドレインによる揚水分を差し引いた約200t/dayの地下水が海に自然流出していたものと考えられる。

原発事故によりサブドレインが使えなくなったが、急ピッチで復旧工事が進められ、2015年9月までにはサブドレインは完全に復旧されて原子炉周辺の地下水位を調整するために常時稼働している。山側には多くの放射性汚染水の一次貯蔵タンクがあるので、汲み上げられた地下水は浄化され、水質が運用目標未満であることを東京電力及び第三者機関にて確認したうえで、海に排水されている。

さらに陸側止水壁(凍土壁)設置位置の山側に多くの地下水揚水用井戸を掘削し、山側からの地下水を100t/day程度の割合で揚水し、放射性濃度をチェックし目標濃度以下に浄化した上で、原子炉建屋を迂回させて海に排出している(地下水バイパス)。

(2) 原子炉建屋東側(海側)の概要

タービン建屋東側の地層には、原発事故時の放射性物質で汚染された地下水(自由地下水)や冷却に用いられた海水がいまでも相当量残存している。東側地域には数多くの自由地下水観測井が設置され、一部の観測井からは、高濃度の放射性物質が観測されている。セシウム137は地層を移動中に土壌粒子に吸着されるのでそれほど高い濃度は検出されないが、トリチウム、全β及びストロンチウムが無視できない濃度で検出される観測井が点在する。

さらに2103年12月からH25J⑦やFz-5と名付けられた観測井の下部透水層(被圧地下水層)から採取された地下水でトリチウムが検出され、2014年6月の観測では、トリチウム濃度はそれぞれの観測井で140Bq/L、4,700Bq/Lを示し⁹⁾、告示濃度60,000Bq/Lよりは低いものの、地下水汚染が下部透水層まで及んでいる可能性を示すものとして新たな問題となった。

東電は下部透水層で観測された上記のトリチウム濃度の原因を明言していないが、公開資料¹⁰⁾からは、地下水観測井の構造上の理由により、上層自由地下水位が下部浸透層被圧地下水位より高くなった際に上層の汚染地下水が下部浸透層に流れ出した、という見解がのぞき見える。

残念ながら、下部浸透層の地下水の水質モニタリングの結果は、2014年7月以降のデータは著者が調べた限りでは見当たらない。

(3) 原子炉内での放射性汚染水の発生

燃料デブリからは、今でもわずかながら各種放射性物質がたまり水中に放出されつづけていると考えられている。

現在は、原子炉は冷却水により低温安定状態に保たれているとされるので、あらたな各種放射性物質の生成はないことになる。現在は、一年前と同様、当初生成したもののうち、初期に溶け出さなかった残留分がゆっくりと冷却水中に放出されていると考えられている（長期FPソースタームと呼ばれる¹⁾）。

(4) 原子炉冷却システム正式稼働後の冷却水と処理水の推移

2011年6月以降、循環式冷却システムが正式稼働に入った。主建屋（原子炉建屋R/Bとタービン建屋T/B）内の汚染水が周辺の地層に漏れ出さないように、周辺地下水位はO.P. 4.0m前後に、主建屋内の滞留槽の水位はO.P. 3.0m前後に保持するようにポンプにより操作がなされてきた。

循環冷却システムのコンパクト化のパイロット事業として、2016年3月から1号機R/Bの水位をO.P. 3.2m（1号機R/BとT/Bとの間の連通箇所のレベル）以下まで常時低下させ、汚染水が1号機R/BとT/B間で流出入しない状況（R/Bのたまり水とT/Bのたまり水とが切り離された状況）とし、循環冷却システムの正常稼働に問題がないことが確認された。

図-1は、2016年11月までの冷却水量（t/day）とセシウム除去処理水量（t/day）の週変化を示したものである¹⁾。

冷却水量は、第30週以降週変動をほとんど見せず、3回の段階を経て現在は約310t/dayで落ち着いている。これまでの冷却量の全期間を通じての平均値は約376t/dayとなる。一方、セシウム除去処理水量の方は週変動が大きい。メンテナンスで装置停止があること、二つの除去装置を用いることなどが、処理量の週変動が大きい要因と考えられる。これまでのセシウム除去処理水量

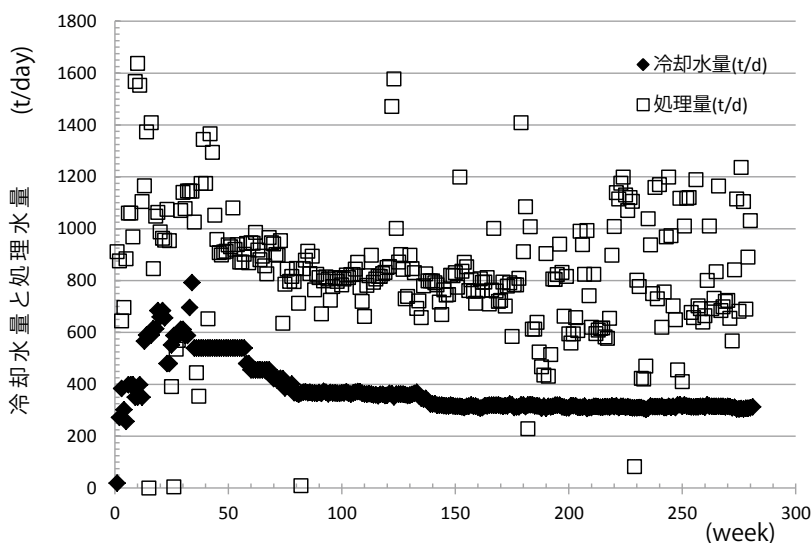


図-1 原子炉への冷却水供給量とセシウム137汚染水の処理量の週変化

の全期間を通じての平均値は約 843t/day となっている。両者の差の約 470t/day が大まかに見た地下水流入量と言えるが、実際には原子炉建屋以外の汚染水のセシウムも処理されているので、その分を差し引けば約 400t/day の地下水が原子炉建屋もしくはタービン建屋内に流入していると考えられる¹⁾。

中長期計画では、陸側止水壁効果、地下水パイパスの定常稼働、サブドレインの強化などで 2018 年内には地下水流入量を 100t/day に抑制することになっている。さらに、冷却水の注入量を 216t/day に抑制し、余裕のセシウム吸着装置能力を利用して、主建屋（原子炉建屋、タービン建屋）以外の建屋や初設備に滞留する放射性汚染水の浄化を推進するとしている¹²⁾。

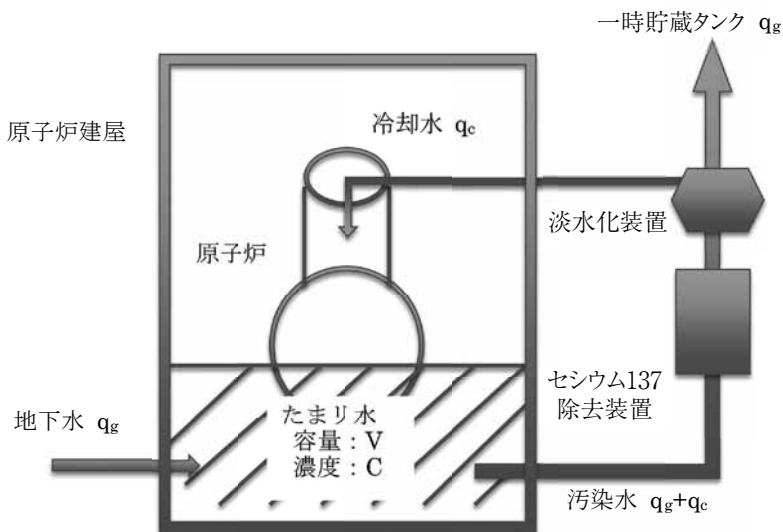
4. 原子炉建屋内の汚染水の濃度変化の解析

原発事故当初からこれまでの、冷却水の塩分濃度、セシウム 137 放射線強度、およびトリチウム放射線強度の時間変化を比較解析すれば、燃料デブリからどの程度の放射性物質が出ているのかなど、燃料デブリについてある程度の議論が可能と思われる。

(1) 循環式冷却システムの概要

原子炉は、現在は毎日 310t 程の水で冷却されている。約半分は、スプレー方式で圧力容器に降りかけられ、残りは既存の冷却システムに供給されている。冷却に使われた水は、一旦、各原子炉・タービン建屋地下室に貯水される。

原子炉・タービン建屋地下室の汚染水は、水位に留意しながら、約 710t/day（地下水流入分と冷却水分）のペースで、プロセス主建屋もしくは高温焼却炉建屋に移送される。この二つの建屋



図－2 循環式冷却システムの概要説明図

には状況に応じて主建屋以外の建屋からも汚染水が移送される。二つの建屋から合わせて約720～760t/dayのペースで汚染水がポンプアップされ、セシウム137とストロンチウムが除去された後、塩分が除去される。循環式冷却システムを維持するためには、流入した地下水の水量分約 $400 + \alpha$ t/dayの水を系外に出さなければならない。そのため、処理水の約310t/dayが冷却水として循環されるだけで、残りの400余t/dayは系外の貯蔵タンクに貯えられることになる。(図-2)

系外に貯えられる水は、セシウム137とストロンチウム以外の各種放射性物質により汚染されているので、ALPSなどによる多放射性核種除去装置でトリチウム以外は除去され、一時貯蔵タンクに保存されている。放射性汚染水の処理は進んでいるが、その一方で、汚染水から除去された放射性物質はフィルターなどにトラップされた訳であるので、高濃度の固形放射性廃棄物が蓄積し続け新たな放射性汚染物質処理の問題がある。

(2) 原子炉たまり水中の汚染物質の濃度変化

1) 放射線物質濃度の変化式

放射線物質もしくは汚染物質の濃度をCとすると、各種除去装置の除去率を100%と仮定すると、その時間変化は以下のように表される⁶⁾。

$$d(VC)/dt = q_g C_g + \gamma - (q_c + q_g)C - \lambda VC - \theta VC \quad (1)$$

で記述できる。ここで、V：原子炉建屋、タービン建屋、プロセス主建屋などに滞留している汚染水全体の容積、 C_g ：流入地下水の放射線物質濃度（もしくは汚染物質の濃度）、 q_g ：地下水流入量、 q_c ：循環冷却水量、 γ ：放射性物質の溶出量、 λ ：放射性物質の自然崩壊率、および、 θ ：放射性物質の沈降・吸着率である。式(1)は、塩素イオン濃度、セシウム137の質量濃度、およびトリチウムの物質濃度の時間変化を記述する基本式である。大まかな傾向を把握するために、V、 C_g 、 q_g 、 q_c 、 γ 、 λ 、及び θ の値を定数(const.)と扱うことにすれば、式(1)は解析解が得られる。

なお、放射線強度 R_A (単位：Bq/L) は、放射性物質の質量濃度Cを用いて $(\lambda N_A/M) C$ で表現できる。ここで、 N_A はアボガドロ数、Mは放射性物質のモル質量である。

2) 塩素イオンの濃度変化

塩素イオンの初期濃度を C_0 とすると、塩素イオン濃度の変化は以下となる⁶⁾。

$$C(t) = (q_g C_g) / (q_c + q_g) + (C_0 - (q_g C_g) / (q_c + q_g)) \exp(-(q_c + q_g)t/V) \quad (2)$$

塩素イオンについては、長期FPソースタームを想定する研究報告¹¹⁾もあるが、原子炉溶融時に塩化物が生成されるメカニズムが不明なので、ここでは塩化物が燃料デブリから溶出することはなく、たまり水の塩素イオン濃度を増加させる要因は外部から流入する地下水経由のみと仮定した。

3) セシウム 137 の質量濃度の変化

流入地下水にはセシウム 137 は含まれていないと仮定し、初期強度を C_0 とするとセシウム 137 の質量濃度の変化は以下となる⁶⁾。ここで、セシウム 137 の半減期は約 30 年なので、 $\lambda = 0.00044$ (1/week) となり $\lambda = 0$ と近似した。

$$C(t) = \gamma / (q_c + q_g + \theta V) + (C_0 - \gamma / (q_c + q_g + \theta V)) \exp(-(q_c + q_g + \theta V)t / V) \quad (3)$$

いま、原発事故当初に発生した放射性物質の量を S_0 とし、当初、水に溶け出した (短期 FP ソースタームの) 比率を ε とすると、

$$C_0 = \varepsilon S_0 / V \quad (4)$$

となり、

$$\gamma = \eta (1 - \varepsilon) S_0 \quad (5)$$

となる。ここで、 η : 長期 FP ソースタームからの放射性物質の溶出率である。

4) トリチウムの質量濃度の変化

流入地下水にはトリチウムは含まれていないと仮定し、初期強度を C_0 とするとトリチウムの質量濃度の変化は以下となる⁶⁾。

$$C(t) = \gamma / (q_g + \lambda V) + (C_0 - \gamma / (q_g + \lambda V)) \exp(-q_g t / V) \quad (6)$$

トリチウムの半減期は約 12 年なので、 $\lambda = 0.0011$ (1/week) である。式 (6) では $\lambda = 0$ と近似した。

(2) 原子炉たまり水中の汚染物質の濃度 (強度) 変化データ解析

滞留タンク中の塩素イオン濃度とセシウム 137 の放射線強度についてはプレス・リリース用資料として毎週公表されている。ここでは、インターネット上に 2011 年 6 月 15 日から毎週公表されている 285 週分のデータを整理した結果を示す¹⁾。汚染水のサンプリングと分析は、毎週ではなく、およそ 1 ヶ月間隔でなされている。トリチウムの放射線強度の時間変化については、2011 年 9 月から東京電力のインターネットサイトに約 1 ヶ月間隔で公表されるデータを用いる²⁾。図-3 は、塩素イオン濃度 (Cl^-)、およびセシウム 137 (Cs_{137}) とトリチウム (t) の放射線強度の週変化を半対数紙表示 (濃度値を対数で表示) で示したものである。塩素イオン濃度、およびセシウム 137 放射線強度は 2011 年 7 月 5 日から 2016 年 11 月 11 日まで、トリチウム放射線強度は 2011 年 9 月 20 日から 2016 年 10 月 20 日までとなっている。

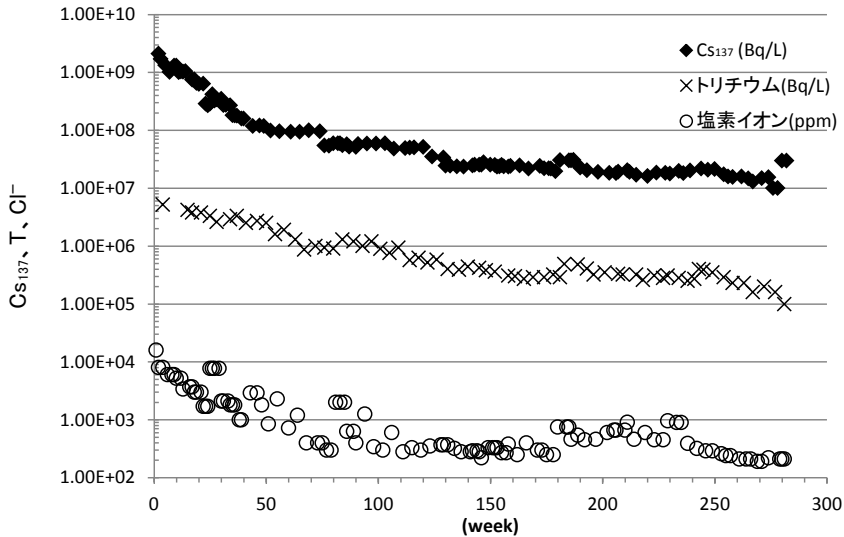


図-3 セシウム137、トリチウムおよび塩素イオンの週変化

1) 塩素イオン濃度

塩素イオン濃度は、2011年7月5日に16,000ppmあったものが、半対数紙表示で直線的に低減し、第80週（2013年1月1日）あたりから一定値（約300ppm）に漸近していく傾向があったが、第180週（2014年12月9日）あたりから徐々に上昇に転じて、第230週辺り（2015年11月～12月）には960ppmを記録した。しかし、第239週（2016年1月14日）には390ppmに急落し、それ以後は徐々に低下し続け、第280週辺り（2016年11月）の時点では約200ppmまで下がってきている。

第180週から第230週の塩素イオン濃度の上昇の原因は、その期間の塩素イオンを含んだ地下水の流入であったと推察される。第230週以降は塩素イオンを含まない地下水が流入しづづけていると考えられる。地下水の塩素イオンの起源は原発事故当初に原子炉を冷却するために注水された海水と考えられる。海水は地層に浸透し自由地下水層に到達して地下水の帯水層内の移動とともに原子炉主建屋内の水槽に流入したものと考えられる。今後も、事故当時に地下浸透した海水の影響は現れる可能性はある。

2) セシウム137の放射線強度

図-3から、セシウム137の放射線強度は、2011年7月5日には 2.1×10^9 Bq/Lあったものが半対数紙表示で直線的に低減し、第80週あたりから低減率が小さくなり、第125週辺りからは一定値（約 1.9×10^7 Bq/L）に漸近していく様態を示した。その後、第250週辺り（2016年4月上旬）から、再び、低減が始まり、第275週辺り（2016年9月下旬）には 1.0×10^7 Bq/Lまで下がった。

しかし、第280週（2016年10月下旬）には、 3.3×10^7 Bq/Lに跳ね上がった。この跳ね上がりについては、東電は、「第1号機タービン建屋の復水器内に滞留していた高濃度汚染水をプロセス建屋に移送したもので、2016年11月中は高い濃度が観測される」と、事前報告している¹³⁾。

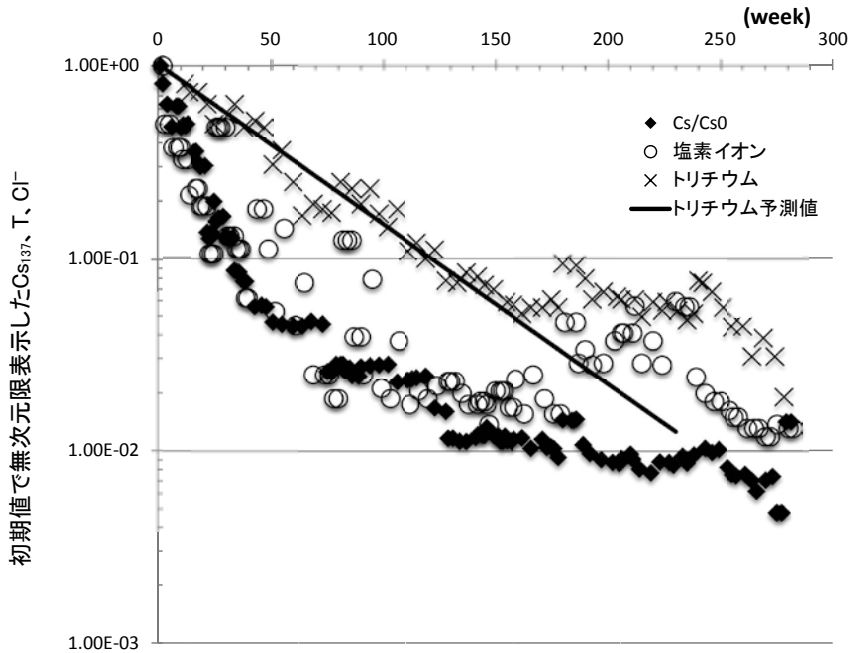


図-4 無次元表示の塩素イオン濃度およびセシウム137、トリチウムの放射線強度の週変化(初期値で無次元化)

3) トリチウムの放射線強度

図-3にはたまり水に含まれるトリチウムの放射線強度の変化も示されている。分析に用いられたたまり水は、図-2のシステム図において淡水化装置の入り口で採取されたものである。トリチウム放射線強度は、2011年9月20日には 4.2×10^6 Bq/Lあったものが半対数紙表示で直線的に低減し、第160週(2014年7月上旬)あたりから低減率が小さくなり、その後は約 3.0×10^5 Bq/Lに漸近している。その後、第250週辺り(2016年4月上旬)から、再び、低減傾向が現れ始め、第279週目(2016年10月中旬)採取サンプルでは 1.0×10^5 Bq/L迄下がった。第160週以降のトリチウムの放射性強度の変動パターンはセシウム137のそれによく対応している。

図-4は、塩素イオン濃度、および、セシウム137とトリチウムの放射線強度の週変化をそれぞれの初期濃度値で無次元化して示したものである。トリチウム放射線強度の場合、第150週までの減水率を用いて2011年7月5日の値を逆算しその値を初期値とした。図中の直線は、東京電力が予測したトリチウムの放射線強度の週変化⁷⁾を無次元表示したものである。この予測式は第160週あたりまではよく合致しているが、それ以降は実測値との乖離が大きくなる。東京電力の予測式は、式(6)においてトリチウムの増加要因を無視した場合に対応するが、実測値は無視できない事を示している。式(6)では燃料デブリからの長期的溶出(長期FPソースターム)のみを想定している。

4) 三者の週変化特性に関する考察

図-4において、塩素イオン濃度、セシウム137、およびトリチウム放射線強度の初期（原発事故後第80週辺りまで）の週変化特性については、前々報および前報（福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染状況の解析（1）、（2）^{6),7)}を参照されたい。ここでは、第220週（2015年12月）以降の動向について考察する。

i) 塩素イオン濃度の週変化

塩素イオン濃度は、前述のように第240週あたりから再度低減傾向にある。

図-5は、第230週目をスタート時点とし、その週の塩素イオン濃度を基準値としてその後の濃度を無次元化してその週変化を示したものである。実線は指数分布の近似式による週変化である。指数関数の係数は -0.05 となった。ちなみに塩素イオンが流入地下水から供給されないとする濃度予測式の低減係数は -0.06 である。実測値が予測式より低減率が低くなっているが、一つの原因としてプロセス主建屋やHIT（高温焼却炉）建屋には原子炉主建屋以外の施設に滞留している高濃度汚染水も適宜移送されてくるものが挙げられる。

今後の塩分濃度の週変化がどうなるかは予測が難しいが、 $1,000 \sim 100\text{ppm}$ の間で変動を繰り返しながら徐々に低下していくものと思われる。

ii) セシウム137とトリチウムの溶出率と放射線強度の週変化

前報では、セシウム137とトリチウムの第230週辺りの放射線強度の漸近値 $R_{A\infty}$ の結果を用いて、両者の放射性物質の溶出率 η について考察した⁷⁾。しかし、この1年間のたまり水の放射線モニタリング結果から $R_{A\infty}$ の値を見直さなければならない事態が生じている。

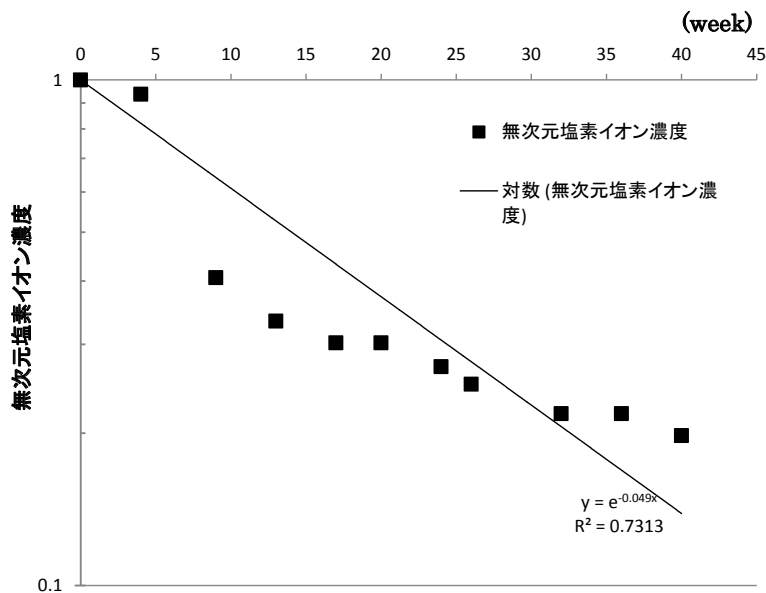


図-5 塩素イオンの週変化（第230週目の塩素イオン濃度で無次元化）

図-4から、セシウム137とトリチウムの放射線強度が第250週辺り(2016年4月上旬)から、再び低減し始めたのが見て取れる。残念ながら、著者は現時点では低減の原因について確定的なことが言えない。そんな中、第280週(2016年10月27日)にセシウム137濃度が跳ね上がった。これについては、東電側より事前に公表された、第1号機タービン建屋復水器内の高濃度滞留汚染水をプロセス建屋に移送したために生じるセシウム137の放射線強度の上昇予測値に合致している¹³⁾。2016年10月下旬以降のトリチウムの採取サンプルについても同様な跳ねあがりが見込まれる。

今後のセシウム137とトリチウムの放射性強度の週変化がどうなるかは予測が難しいが、前者は $4.0 \times 10^7 \sim 5.0 \times 10^6 \text{Bq/L}$ の間で、後者は $4.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^4 \text{Bq/L}$ の間で変動を繰り返しながら徐々に低下していくものと思われる。セシウム137とトリチウムの漸近値 R_{∞} の値を再評価するためには、さらなるたまり水の放射線モニタリングが必要となる。

5. 循環式冷却システムにかかる考察

(1) 循環式冷却システムの今後

東京電力は移送中の汚染水の漏洩リスクを軽減するため、淡水化装置(RO)を4号機タービン建屋二階に移動し、たまり水移送ループを約3kmから約0.8kmに縮小した。新ループの冷却システムは、2016年10月20日から運転を開始された。

セシウム除去装置の能力を最大限活用するため、主建屋以外の施設に滞留するHIT建屋、プロセス建屋をたまり水の循環系統から除外するため、1～4号機たまり水移送ポンプからセシウム除去装置へ直送する移送配管設置工事を実施している¹⁴⁾。この新移送システムが稼働し始めれば、HIT建屋、プロセス建屋には原子炉主建屋の汚染水ではなく、他の建屋や設備の汚染水が移送されてくることになり、これらの建屋内の水の放射性物質の濃度は原子炉建屋のたまり水の放射性物質の濃度を反映するものでは無くなる。新移送システム稼働後は、1～4号機たまり水を直接サンプリングしたデータであるかの見極めが必要となる。

東京電力は、2016年度内に原子炉建屋周辺の地下水を低下させて建屋内に流入する地下水量を100t/day程度に減少させ、さらに冷却用淡水注入量を216t/dayに減少させて冷却システムを定常稼働する計画である¹²⁾。これにより、一時貯蔵タンクに貯留する汚染水量は100t/day程度に減らすことができ、一時貯蔵タンクの増設ペースを緩和させることができる。しかし、その一方で、1～4号機建屋内のたまり水のトリチウム放射線強度の漸近値は4倍近く高くなると予想される。

(2) 汚染水浄化装置

前述したが、多核種放射性物質除去設備をもってしても汚染水からトリチウムは除去できない。トリチウム汚染水を貯蔵する一時貯蔵タンクは敷地内で増え続けている。

経済産業省資源エネルギー庁内に設置されている汚染水処理対策委員会のもとにトリチウム対策に関するタスクフォース(トリチウム水タスクフォース)が設置された。2013年12月25日に第1回が開催され、2016年5月27日までに計15回の会合が開かれ、2016年6月3日に「トリチウ

ム水タスクフォース報告書」が上申された。報告書には、トリチウム汚染水の地中注入、海洋投棄、水蒸気方式などについて、必要期間と必要経費の試算結果が示されている¹⁵⁾。

それを受けて、「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会」が設置され、2016年11月11日には第1回会合が開催された。この小委員会の目的は、トリチウム汚染水の処理方策について風評被害など社会的な観点等も含めて、総合的な検討を行うとされているが¹⁶⁾、トリチウム汚染水処理には海洋投棄がベストチョイスであるという雰囲気作りを醸成することがねらいと推察される。

(3) 燃料デブリの所在にかかる事柄

今回のセシウム137とトリチウムの放射線強度の週変化の解析結果から、前報で述べた「燃料デブリからのセシウム137とトリチウムの放射性物質の溶け出し率がほぼ同じで安定している」という点には見直しの必要性が生じたが、「原子炉内の燃料デブリの物理化学的状態は安定していると推察される。」という見解は矛盾しないと考える。

しかし、依然として、これをもって全ての燃料デブリが格納容器内に収まっているということの確たる論証にはならない。小型水中カメラやミュオン粒子を使った原子炉内透視法によって溶融した核燃料が压力容器を突抜けている事実が確認されたが、どのような状態でどこにどの程度あるのかは依然としてまだほとんど把握できない状態である。著者としては、「燃料デブリの所在によっては、現在の廃炉計画自体が無意味になることもあるので、早急に燃料デブリの所在の確認作業への注力を再度訴えたい。」という主張を繰り返さざるを得ない。

下部透水層の地下水質の調査実施とデータの公表は、その確認作業の有力な方法の一つと考える。下部透水層の地下水質についても、前報で報告した以外の新しい情報はほとんど見つけ出すことは出来なかった。

陸側止水壁（凍結壁）を設置するに当たって、止水壁に沿って内側・外側とも近傍に下部透水層を貫いた観測井を何十本も掘削しており、水位や被圧地下水位についてはデータが公表されているので、併せて下部透水層の地下水の水質調査も実施してわかりやすい形で公表すべきと考える。観測結果により下部透水層の地下水質は放射能汚染されていないという事実が明らかになれば、「燃料デブリが原子炉建屋底部のコンクリート層を突き破って地層に溶け出した」という一部の人の懸念を払拭する有力なデータとなる。

東京電力も廃炉プロジェクト事業に関しては全ての事実をオープンすると宣言している以上、この件についても、原因究明の経過を誰にもわかりやすい方法で速やかに公表すべきと考える。それが、燃料デブリの所在を含め溶融事故後の原子炉の安全性に関する無用な疑心暗鬼を生まない最善の方策と考える。

6. おわりに

福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染状況の解析を通じて、前報で述べた内容に加えて以下のことが明らかになった。

(1) 原子炉冷却に伴う放射性汚染水の処理は順調にすすんでいる。現在は、一時貯蔵タンクに貯

留される汚染水の約78%はトリチウムを除く全ての放射性物質が除去されている。2018年内にはその比率は100%になる見込みである。

- (2) 前報発表時には、セシウム137とトリチウムの放射線強度はほぼ一定値に落ち着いてきている様子であったが、2016年4月上旬（第250週週り）から再び低減し始めた。これらの観測結果は、両者の放射線強度の漸近値（均衡値） R_{∞} の値を見直さなければならないことを意味する。しかし再評価をするためには、さらなるたまり水の放射線モニタリングデータの蓄積が必要となる。
- (3) 塩素イオン濃度については、漸近値（約300ppm）に向かっていたのが2014年12月頃から徐々に増加し始め、2015年11月に960ppmにまで達した。しかし、2016年1月14日（第239週）には390ppmに急落し、それ以降低下し続け、2016年11月（第280週あたり）には約200ppmまで下がってきている。

参考文献

- 1) 東京電力：福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について（第1報—第285報）、東京電力プレス・リリース資料；<http://www.tepco.co.jp/cc/press/index-j.html>
- 2) 東京電力：福島第一原子力発電所周辺の放射性物質の分析結果—水処理設備の放射能濃度測定結果一、水処理施設の分析結果；<http://www.tepco.co.jp/decommission/planaction/monitoring/index-j.html>
- 3) 経済産業省：汚染水処理対策委員会（第18回）、参考資料3-1、p.14、2016年9月27日。（http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/osensuisyori/2016/pdf/0927_01c.pdf）
- 4) 経済産業省：汚染水処理対策委員会（第18回）、参考資料2-1、p.12、2016年9月27日。（http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/osensuisyori/2016/pdf/0927_01e.pdf）
- 5) 東京電力：陸側遮水壁の状況（第一段階フェーズ2）、廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議（第35回）、資料3-1-1、p.1-7、2016年10月27日。（http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images1/images2/d161027_06-j.pdf）
- 6) 大坪国順：福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染状況の解析、地球環境学、No.10 上智地球環境学会、p.123-134、2015。
- 7) 大坪国順：福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染状況の解析（2）、地球環境学、No.11 上智地球環境学会、p.129-142、2016。
- 8) 東京電力：福島第一原子力発電所周辺の地質・地下水および解析（PDF形式）、経済産業省汚染水処理対策委員会第5回（平成25年8月23日）配布資料、資料3、p.7、2013。
- 9) 東京電力：福島第一原子力発電所タービン建屋東側（海側）下部透水層の水質調査状況について訂正版；http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140624_07-j.pdf
- 10) 東京電力：下部透水層の水質調査結果、福島県主催「平成26年度第5回 福島県原子力発電所の廃炉に関する安全監視協議会」、参考資料3-2、p.1-7、2014年7月30日。（<http://www.tepco.co.jp/news/2014/images/140730d.pdf>）
- 11) 内田俊介：福島第一原子力発電所の汚染水の現状と汚染水中のトリチウム、日本原子力学会主催トリチウム研究会講演資料、p.60-69、2014年4月。
- 12) 東京電力：福島第一原子力発電所1～3号機原子炉注水量の低減について、廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議（第35回）、資料3-5、p.3、2016年10月27日。（http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images1/images2/d161027_10-j.pdf）

- 13) 東京電力：1号機復水器水抜き及びヒータドレン配管フラッシングについて、廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議（第35回）、資料3-1-3、p.1-4、2016年10月27日。（http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images1/images2/d161027_10-j.pdf）
- 14) 経済産業省：進捗状況一覧表、汚染水処理対策委員会（第18回）、参考資料2-2、p.2、2016年9月27日。（http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/osensuisyori/2016/pdf/0927_01f.pdf）
- 15) 経済産業省：トリチウム水タスクフォース報告書、汚染水処理対策委員会（第18回）、参考資料5、pp.66、2016年9月27日。（http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/osensuisyori/2016/pdf/0927_01k.pdf）
- 16) 経済産業省：多各種除去設備等処理水の取扱に関する小委員会（仮称）の設置について、汚染水処理対策委員会（第18回）、参考資料6、2016年9月27日。（http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/osensuisyori/2016/pdf/0927_01l.pdf）

中国における二酸化炭素排出量取引制度の進展

岡崎 雄太

概要

中国では、近年気候変動政策が大きく進展し、2013-14年から2省5市で二酸化炭素排出量取引制度のパイロット事業が開始され、約70社の日系企業を含めた3千社以上の企業（総排出量13億t以上）が排出削減を義務付けられ、市場では3.7億t、84億元¹に上る排出権の取引が行われている。また、2017年後半から年間CO₂排出量2.6万tを超える石油化学、化学、建材、鉄鋼、非鉄金属、製紙、電力及び航空の8業種の企業約7千～8千社（総排出量30～40億t）を対象に全国的な二酸化炭素排出量取引制度を実施すべく、準備が進められている。本稿では、パイロット事業の実施状況について、日系企業に対するインタビュー調査を含めて分析した上で、今後の全国制度の制度設計とその実施に向けた課題及び我が国の気候変動政策や企業経営に対する示唆を検討する。

Progress of Carbon Dioxide Emission Trading System in China

Yuta Okazaki

Abstract

In China, a set of climate change policy has been developed in the last few years. Emission trading pilot programs had been launched in 2013 and 2014 in two provinces and five cities where more than 3,000 companies (covering more than 1.3 billion t-CO₂), including about 70 Japanese companies, have been given emission cap and more than 370 million t-CO₂ credits have been traded for 8.4 billion RMB in the market. Now Chinese government is preparing to launch national emission trading system from the second half of year 2017 which will cover petrochemical, chemical, construction, steel, non-ferrous metal, paper, power and aviation industries (around 7 to 8 thousands companies) with more than 26,000 t-CO₂ annual emissions (covering 3 to 4 billion t-CO₂). In this article, the author reviews the situation of implementation of the pilot programs including those impact on Japanese companies, and discusses issues for implementation of the national system and suggestions for Japanese climate change policy and business strategy.

1 1元=約16.5円（2017年2月13日現在）

中国における二酸化炭素排出量取引制度の進展

1. 炭素価格付け（カーボンプライシング）政策の動向

低炭素エネルギーの利用や省エネルギー対策を促す手段として、規制的手法に加えて、経済的なインセンティブを活用した「炭素価格付け（カーボンプライシング）政策」の有効性が注目されている。「炭素価格付け政策」とは、温室効果ガス排出量取引制度又は炭素税によって、従来、企業の投資判断や消費者の購買活動において評価されることのなかった温室効果ガスの排出という外部不経済に対して価格付けを行うことにより、その社会的費用を内部化するものである。こうした政策のメリットは、画一的な排出規制と比較して、費用対効果の高い排出削減を実現できる点にある。

排出量取引制度は、政府が一定規模以上の排出事業者に対して温室効果ガス排出量の上限量を設定し、事業者に対して排出削減を促すとともに、これを遵守するための手段として事業者間で付与された排出枠の売買を認めるものである。2005年にEUが導入し、スイス、ニュージーランドなどがこれに続いている。わが国では東京都が2010年から導入しているが、全国的な制度については反対意見が強いことから検討が停滞している。また、炭素税は、政府が化石燃料やこれを用いて発電された電力に対して温室効果ガスの排出量に応じた課税を行うもので、1990年以降、フィンランド、スウェーデン、ノルウェー、デンマーク等の北欧諸国で導入が始まった。わが国では、2012年から地球温暖化対策税（税率：289円/t-CO₂）が導入されている。

世界銀行が2016年10月に発表したレポート（World Bank, 2016）によれば、各国・地域で導入された炭素価格付け政策は、過去10年間で3倍に増加した。これまでに40か国及び24都市・地域で導入され、対象となる温室効果ガス排出量は約70億t（世界全体の排出量の約13%）に上っている。先進国のみならず新興国・発展途上国にも導入が広がり、2013年から中国の7都市、2015年から韓国で排出量取引制度が、同年にはポルトガルで炭素税が導入された。また、2017年には、中国全土で排出量取引制度が導入されるとともに、カナダ・オンタリオ州で排出量取引制度が、同・ケベック州、チリ及び南アフリカで炭素税が導入されることにより、世界全体の排出量に占めるカバー率が13%から20数%に上昇する見通しである。このほか、ブラジル、メキシコ、タイ、トルコ、ウクライナ等で炭素価格付け政策の導入が検討されている。

2016年時点の世界全体の炭素価格の総価値は、前年同水準の500億ドル弱と推計され、2015年の政府の歳入は、2014年比60%増の260億ドルに達した。各制度における炭素価格は、CO₂ 1t当たり1ドル未満から131ドルまでばらつきがあるが、カバーされる排出量の75%が10ドル以下に留まっており、2015年のパリ協定で合意された地球温暖化の深刻な被害を回避するために産業革命以前からの気温上昇を2度以内に抑制する目標の達成に必要なとされる炭素価格80～120ドルと比較すると、なお不十分な水準である。他方、世界各国の1,200社以上の企業は、社内における投資判断の際に自主的に炭素価格を設定または今後2年以内に設定予定と回答していることが注目される（各社の炭素価格には0.3ドル～893ドルと幅があるが、このうち約80%が5ドル～50ドルに収まっている）（前掲書）。

以上のように、パリ協定で合意された今世紀後半末に温室効果ガスの排出をゼロまたはマイナ

スにするという目標の達成に向けて脱炭素経済への転換を促すための政策、そして、企業の対応が、世界的に動き出している。なかでも注目されるのが、世界最大のCO₂排出国、中国である。

2. 中国7都市におけるパイロット事業

(1) 背景

中国は、2009年のCOP15コペンハーゲン会合に先立ち、2020年までにGDP当たりCO₂排出量を2005年比で40～45%削減する目標を発表した。2011年に開始した第12次五か年(2011～2015年)計画では、気候変動対策を初めて大きな柱に掲げ、工場や自動車の省エネルギーの推進、再生可能エネルギーや原子力の推進等の様々な対策に取り組み、5年間でGDP当たりCO₂排出量を20%削減(17%の目標を超過達成)、非化石エネルギーの一次エネルギー消費量比を12%へ向上(11.4%の目標を超過達成)、森林蓄積量151.37億m³の2020年目標を前倒し達成するなどの成果を上げた(国務院新聞弁公室、2016)。

同計画では、対策の一つとして、市場メカニズムを活用して排出削減を図るため、二酸化炭素排出量取引市場を徐々に整備する方針が打ち出された。この方針に基づき、全国制度の検討に先立ち一部地域で試行を行うことを目的として、2013年から2014年にかけて、2省5市(北京市、天津市、上海市、重慶市、深セン市、湖北省及び広東省)でパイロット事業が開始された。また、全国制度の開始を翌年に控えた2016年末から福建省でも制度が開始されている。

(2) 各都市の状況

8都市における制度の概要は表1のとおりである。2015年の8都市の総人口は3億45万人と世界第4位のインドネシアを上回り、GDP規模は22兆6,239億元と世界第4位のドイツを上回り、対象となるCO₂排出量は13.03億tと世界第5位の我が国と並ぶ規模であり、一部地域のみが対象であるものの世界的に見ても影響が大きいことが分かる。

8都市の制度は、排出枠の配分対象が事業者単位であることや電力の間接排出が対象となることなど共通点も見られるものの、各地で異なる点が多い。対象業種は、各地でほぼ共通の電力・熱供給、鉄鋼、非鉄、石油化学、化学、製紙、セメント、ガラス部門等に加えて、北京、上海及び深センでは商業ビルが、上海ではさらに航空、水運、港湾、飛行場も対象に含まれている。各パイロット事業は、年を経るごとに累次の制度変更が行われており、2015年には湖北で窯業が、2016年には上海で水運が、広東で製紙及び航空がそれぞれ追加された。

また、対象規模についても、各地の産業構造や対象CO₂排出総量を踏まえて検討された結果、3千t(深セン)から15.6万t(湖北)までばらつきがある。北京では、2015年から対象規模を1万tから5千tに引き下げたことにより、対象企業がほぼ倍増した。

毎年排出枠は一定の割合で削減されており、一例として北京では、工業・サービス業は年2%ずつ、石炭発電は年0.2%ずつ削減を求められている。

排出枠の初期配分のほとんどは、無償で行われたが、上海、湖北、広東及び深センでは排出枠の一部についてオークションが行われた。広東では、排出枠の97%を無償で配分する条件と

して事前に排出枠の3%をオークションで購入することを義務づけたが、2年目からは事前購入の義務づけは廃止された。排出枠は、各都市で1年ごとに配分されているが、上海では2013年に2015年までの3年分の排出枠が配分された。

排出枠の配分方法は、過去の排出量・原単位に応じたグランドファザリング (GF) 方式と一定の効率水準を設定するベンチマーク (BM) 方式が併用されている。北京と天津では、電力及び熱供給は過去の原単位方式を採用し、その他の部門はGF方式を採用している。上海では、電力、送電、熱供給及び自動車ガラス製造はBM方式、工業、航空、港湾、水運及び水道は過去の原単位方式を、ビル及び製品が複雑であることやベースラインの拡大などによりBM方式や過去の原単位方式の使用が難しい工業について過去の排出量方式を採用している。湖北では、電力、熱供給及びセメントはBM方式、ガラス・その他の建材及び窯業は過去の原単位方式を、その他の工業は過去の排出量方式を採用している。深センでは、過去の原単位に応じて配分するが、2016年からは業種平均値からのかい離に応じて毎年の削減率を調整している。一方、広東では、当初からBM方式の適用に力を入れており、鉄鋼の一部や石油化学を除き、排出枠の92%がBM方式に基づき配分されている。重慶では、企業が希望する排出量を自己申告する制度が採用され、過剰に排出枠が配分される結果となったことが指摘されている (排出枠の取引実績も少ない)。新規排出源 (一例として北京では、前年比20%以上の排出増加があった場合に追加の排出枠の申請が可能である) に対する扱いは、BM方式によって配分する地域 (北京、深セン) や初年度の排出量に応じて排出枠を配分する地域 (湖北) に分かれている。

いずれの地域でも、余剰排出枠の将来へのバンキングは認められているが、将来の排出枠を先取りして使用するボロイングは禁止されている。また、排出削減義務達成のための外部クレジットとして、中国自主的排出削減取引プロジェクト (CCER) の認証クレジットを排出枠の5%~10%の範囲で活用することが認められている (北京、重慶、湖北及び広東では地域内のプロジェクトで発行されたクレジットが優先されるよう制限を設けている)。2016年7月末時点でCCERとして認証された254プロジェクトの総排出削減見込み量は5,283万t-CO₂であり、認証手続き中のプロジェクトも2千以上に上る。同年6月末までに、各地の市場で6,300万t以上の取引が行われている。

削減義務の遵守確保については、行政罰に関する一般法に基づく罰金の上限が10万元であることから企業に対するインセンティブとして不十分と指摘されており、北京及び深センでは個別の条例を制定し、排出枠の市場価格の3~5倍の罰金や翌年以降の排出枠配分の削減を規定している。その他の遵守確保策として、不遵守の公表、補助金や融資の支援策の採択の差別化等が実施されている。

義務履行状況については、上海、広東など2015年度の履行率が100%を実現している地域がある一方、北京では2016年6月、履行期限に不履行となった85事業者が公表され (政府機関も含まれていた)、対処を命じられている。初年度の不履行257事業者からは減少したが、依然として対象事業者への制度の浸透が十分でないことが伺われる。

MRV (測定・報告・検証) については、各地毎にガイドラインが策定され、国連CDMプロジェクトで経験を積んだ人材も有する第三者機関が排出量データの検証を行っている。なお、企業の負担軽減とデータの信頼性向上のため、検証費用は北京と深センを除く地域では政府が負担している。

排出枠の取引市場は、2016年12月に福建と四川（CCERのみ）の取引所が加わり全国9か所となった。現時点ではいずれも現物取引のみが認められている。2016年の大きな変化は、湖北で現物先渡し取引が開始されたことである。2016年末までの各地の累計取引量は約3.7億t、取引総額は約84億円で、このうち湖北の現物先渡ししが約2.5億t、約61億元と全体の約3分の2を占める。平均取引価格は22.5元/t-CO₂である。取引が1千万tを超えるのが湖北、広東、深セン、上海及び北京で、取引量の99%を占める。

取引の多くは義務履行を目的とした事業者によるもので投資目的の取引は少ないために、市場の流動性は依然として低く、取引の多くが義務履行期限前後の5～7月に集中していたが、2016年はその傾向に一定の改善が見られた。

これまでの最高取引価格は122.97元（深セン、2013年10月17日）、最低取引価格は4.21元（上海、2016年5月16日）である。図1が示すとおり、取引開始以降の3年間、取引価格は下落傾向が続いており、その要因として排出枠の供給過剰、投資家の参加の少なさ、全国制度への移行方法の不透明さなどが指摘されてきた。2016年後半から取引価格が持ち直しているが、排出枠の削減、投資家の参画、全国制度に向けた期待感などにより需要が増加していることに起因したものであるのか、今後の値動きが注目される。

2016年末までの排出枠と取引量の比率を計算すると（同年末に取引が開始された福建を除く）、湖北115%、深セン63.0%、北京22.8%、上海10.8%、広東7.3%、天津1.5%、重慶0.7%の順であり、先渡し契約が導入された湖北の突出が目立つが、その他の要因として、排出枠設定の厳しさ、対象事業者以外の投資家の参加の度合いなど、いかなる理由によるものか、今後、分析をしていく必要がある。

先渡し契約以外の取引の多様化については、排出枠を活用した様々な金融商品が開発されている。一例として、対象企業が金融機関から排出削減に資する設備投資に要する資金の融資を申し込むとともに配分された排出枠を金融機関に義務履行のための買戻し条件付きで売却することで、排出削減による排出枠の売却益と排出枠の運用による利息を得るという取引が実施されている。また、2016年3月に深センの電力会社がBP社に対して400万tの排出枠を売却するという初の海外企業との取引が行われ、単一の取引としても過去最大の取引量を記録した。2016年9月に広東で行われたオークションでは、初めて金融機関が応札した。今後、全国制度の導入に向けて取引所同士の競争も活発化していくことが予想されるなか、各取引所による多様な金融商品の開発と市場参加者の動向が注目される。

注目すべきは、本制度の本来の目的である二酸化炭素の排出削減効果である。北京市は、2013年の対象企業の排出総量が前年比4.5%前後減少したことから、市場手段による削減効果が見られたと公表している（北京市発展と改革委員会、2014）。また、広東省は、インタビュー調査において、2015年の対象企業の排出総量が前年比で4.5%減少し、業種別の排出原単位についてはセメントが4.9%、鉄鋼が8%、石油化学が7.2%、電力が2.4%改善したとしている。こうした改善が、生産量の減少によるものなのか、いかなる排出削減対策（燃料転換、省エネ、再生可能エネルギー導入など）によるものなのか詳細な統計データはないものの、排出量報告や第三者機関の検証などを通じて対象企業の80%が排出削減のための設備投資を行ったことを把握しているという。さらに、深セン市は、インタビュー調査において、対象企業の排出総量が2014年に対前

表1：排出量取引パイロット事業の概要

地域	人口 (万人, 2015年)	GDP(億元, 2015年)	対象事業者 (2016年)	対象規模 (2016年)	対象業種 (2016年)	CO ₂ 排出 枠 (億 t, 2016年)	累計取引量 (～2016年) (万 t)	累計取引額 (～2016年) (億元)	平均取引 価格(元/t)
北京	2,171	23,015	947	>5 千 t	電力、熱供給、 工業、ビル、 鉄道、バス	0.47	1,072	2.4	22.1
天津	1,547	16,538	109	>2 万 t	電力、熱供給、 石油ガス採 掘、鉄鋼、石 油化学、化学	1.60	237	0.4	16.3
上海	2,415	25,123	312	>2 万 t(工 業), >1 万 t(その他)	電力、送電、 熱供給、水道、 工業、ビル、 航空、港湾、 水運、飛行場	1.55	1,677	1.5	8.8
重慶	3,017	15,717	230	>2 万 t	工業	1.06	74	0.1	14.1
湖北	5,852	29,550	236	>15.6 万 t	電力、工業	2.53	29,159	69.0	23.7
広東	10,849	72,813	244	>2 万 t	電力、鉄鋼、 石油化学、セ メント、製紙、 航空	4.22	3,099	4.3	14.0
深セン	355	17,503	824	>3 千 t	電力、熱供給、 水道、工業、 ビル、港湾、 地下鉄、バス	0.3	1,891	6.1	32.4
福建	3,839	25,980	277		電力、鉄鋼、 化学、石油化 学、非鉄金属、 建材、製紙、 窯業、航空	1.3	67	0.2	31.6
合計	30,045	226,239	3,179	-		13.03	37,276	84.0	22.5

注：天津及び重慶の対象事業者数は2015年、北京、天津、深セン及び重慶のCO₂排出枠は2015年。

出典：中国国家统计局データ、北京和碳環境技術有限公司他, 2017、湖北碳排放権交易中心, 2017等を元に筆者作成

年比3.2%、2015年に対前年比6.6%減少し、排出原単位は2014年に対前年比9.96%、2015年に対前年比11.5%減少したとしている。

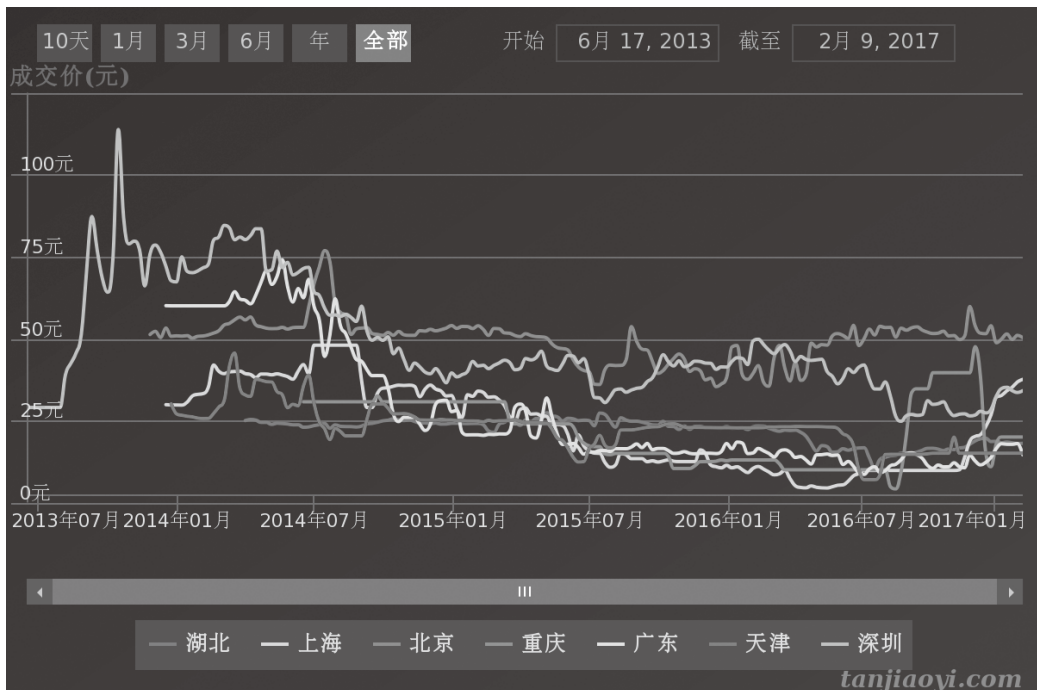
中国国内では、2011年以降、第12次及び第13次5か年計画に基づき、毎年、国家発展改革委員会から各省、各市、主要企業へと排出原単位削減目標が下達されている。また、一次エネルギー消費量に占める石炭、天然ガス及び非化石エネルギーの割合についてもそれぞれ目標が掲げられている。したがって、排出総量の削減や排出原単位の改善には、経済状況の変動を踏まえた生産量の変動、上述の政策目標へ対応するための取組に加えて、排出量取引制度による削減効果が複合的に影響しているものと考えられる。

(3) 日系企業の対応

7都市のパイロット事業は、各地に立地する外国資本金企業も対象としている。各都市の2016年(ただし、天津は2015年、重慶は2014年のリストが最新であるため、当該リストを参照した。)の対象企業リストを調査したところ、名称から日系企業と判断される企業が71社確認できた。その都市別、業種別の内訳は、表2、表3のとおりである。

都市別にみると、対象規模の排出量裾切り値が小さく対象企業数が多い北京(5千t、947社)と深セン(3千t、824社)、日系企業が多く進出する上海が多かった。また、業種については、電気電子機械等が43社と過半を占めたが、化学、窯業土石・建材、非鉄金属、鉄鋼、自動車・二輪車製造、食品製造、製菓などの製造業に加えて、ホテル、小売、外食といったサービス業も含

図1：2省5市の排出量取引価格の推移



出典：tanjiaoyi.com

めた様々な業種が対象となり、広く影響を受けていることが明らかになった。

なお、複数年度の企業リストを比較した結果、途中年度から対象となった企業（排出量が対象規模の裾切り値を上回ったこと又は制度変更により裾切り値が引き下げられたことによるものと考えられる）、逆に、対象外となった企業（排出量が対象規模の裾切り値を下回ったことによるものと考えられる）が確認された。

表2：都市別の排出量取引パイロット事業の対象日系企業

北京	11社
天津	2社
上海	13社
重慶	1社
深セン	43社
広東	1社
湖北	該当なし

出典：各都市の資料から筆者調べ

表3：業種別の排出量取引パイロット事業の対象日系企業

鉄鋼	2社
化学	9社
窯業土石・建材	5社
非鉄金属	3社
電気電子機械等	43社
自動車・二輪車製造	2社
食品製造	2社
製薬	1社
ホテル	2社
小売	1社
外食	1社

出典：各都市の資料から筆者調べ

以下は、上記対象日系企業のうち3社を訪問し、ヒアリング調査を行った結果の概要である。

① 化学メーカーA社

同社は、グループ企業のうち2都市で各1社（計2工場）が対象となっている。

このうちA1工場では、創業初年度で設備稼働率が60%程度と低かった2012年が基準年とされ、以降年2%の排出削減枠が設定された。基準年について、政府との交渉の余地はなかったという。2014年までは稼働率の低迷により排出枠クレジットの余剰が生じたが、稼働率が100%に達した2015年以降は、年約6万tの排出枠に対し、年1万t以上の排出超過が生じる見込みである。製造プロセスの改善による廃棄物発生量の削減や高効率モーターの導入等に努めているものの、今後、排出余剰枠を使い切った後は、新たな排出枠の購入が必要となる可能性があるという。

また、A2工場については、2005年に運転を開始し、2013年度から生産能力を倍増したことでCO₂排出量が数万t増加し、2015年には年約16万tに達しているが、生産能力増設分に対して立地する経済開発区に割り当てられた排出枠の中から自社への配分が認められたことで、2015年には2万t強の排出枠を他社に販売することができた。対策としては、エネルギー消費の大きな設備のメンテナンス、省エネ技術の導入、購買・物流のエネルギー管理等に取り組んでいるという。

政策の動向については、業界団体主催の政府による説明会に出席するなど情報収集に努めている。また、業界団体傘下の外資系企業が集う委員会でも情報交換を行っているが、他の政策同様に外資系企業の意見を反映させることは非常に難しいという。

② 電機メーカーB社

B社は、グループ企業約60社のうち2都市で各1社(計3工場)が対象となっており、2016年度からさらに1都市の1社(1工場)が対象となる予定である。

このうちの1つの工場では、排出枠の減少に対応すべく、初年度はLED照明の導入やモーターの更新により排出量を排出枠内に収めることができたが、2年目はさらに厳しくなった排出枠を超過したために他社からクレジットを購入したという。

CO₂排出量を1t削減すると、約1万円程度の電気料金の節約になり、さらにCO₂クレジット代も加えると、費用削減効果は少なくない。また、中国では、電力の排出係数が高いため、電力消費に伴う排出量については削減ポテンシャルが大きいと認識している。同一業界の外国籍企業で環境委員会を組織して意見交換を行っているが、日本企業はすでに省エネに取り組んでいるために、歴史的な排出量を基準にしてさらなる対策を求められることは不公平だという共通見解を持っているという。

③ 小売業C社

C社は、グループ企業が中国各地で商業店舗を展開しており、1都市において1社(本社及び店舗)が対象となっている。同社はこれまでも重点省エネルギー企業に指定され省エネルギーのノルマを課されており、コスト削減にもつながることから取り組みを進めてきた。新たなCO₂排出量取引制度の導入に伴い、フロア毎の営業時間に対応した照明の運用、冷蔵庫の運用改善、冷房温度の設定変更(中国国内の他の店舗よりも高い26度に設定)といった対策を導入した。他に効果の大きかった対策は、LED照明の導入や、食品売場のローストチキン調理器の交換だという。

日本国内でも課題となっているテナント対策については、照明用電力を同社が負担する以外は、空調用電力は定額を請求し、その他の電気代はテナントへの負担を求めているという。また、これまで各テナントが別々に行っていた営業時間外の商品の棚卸の曜日を統一することで電力消費の削減につなげているという。用途別の排出量については、政府から派遣された第三者検証機関が調査をした際に把握し、対策につなげた。さらに、政府主催の研修プログラムにも参加した。

こうした取組により、2015年の排出量約5,300tに対して余剰排出枠の蓄積が約11,000tに達したが、排出枠は売却せずに今後の制度動向を見据えるという。

上記のとおり、パイロット事業実施地域に進出する日系企業の工場や店舗では、CO₂排出削減の追加的な対策に迫られ、排出権の売買も行われている実態が明らかになった。また、いずれの社も、今後の政策動向が企業経営に及ぼす影響の大きさを注視している。

3. 全国制度の導入に向けて

パイロット事業が始まってからわずか1年余りの2014年12月、国家発展改革委員会から「二酸化炭素排出権取引管理暫定弁法」が公布された。そのなかでは、今後、国が対象となる温室効果ガスの種類、対象業種の範囲、対象事業者の排出量裾切り値などを決定し、これらを踏まえて各省政府が対象企業リストを作成することとされた。その際、各省は対象業種や対象事業者の排出

量裾切り値を独自に拡大することも認められている。また、排出枠の配分方法（当初は無償で配分し、段階的に有償配分の割合を増やすとともに、割当量の一部は政府が留保）、MRVの規則、遵守規則（CCERを一部充当可能）、処罰規則、排出量取引登録システムなどは国が定め、省政府が執行を担うこととされた（国家発展和改革委員会. 2014）。

中国政府が2015年6月30日に国連に提出した約束草案（INDC）では、2030年までにCO₂排出量を2005年比でGDP当たり60～65%削減し、2030年前後、更に前倒しで排出総量のピークを迎えることを目指すという新たな目標が提示され、そのための対策の柱の一つとして排出権取引市場の整備が位置付けられた（国家発展和改革委員会. 2015a）。そして、COP21に先立つ2015年9月の米中首脳会談において、全国制度を2017年から開始することが表明された（国家発展和改革委員会. 2015b）。

2016年1月に国家発展改革委員会が地方政府に発出した「全国二酸化炭素排出権取引市場立ち上げ重点業務を確実に実行することに関する通知」では、石油化学、化学、建材、鉄鋼、非鉄金属、製紙、電力及び航空の8業種において、2013～2015年のいずれかの年間エネルギー消費量が標準石炭換算1万t以上（CO₂換算で約2.6万t）の事業者を対象とすることを明らかにし、地方主管部局等に対して、2016年2月末までに対象となる事業者のリストを、同年6月末までに第三者機関による検証を経た排出量データの提出を求めた（国家発展和改革委員会. 2016a）。一部の地域で作業の遅れが生じたものの、排出枠の配分作業は2016年10月から開始され、2017年3月末までに各業種の排出枠の配分方法やベースラインを決定し、同年7月から排出枠の取引開始を予定していることが明らかにされている（易碳家. 2017）。

制度を実施するための法令として、暫定弁法を格上げした「二酸化炭素排出権取引管理条例」が2017年上半期に国務院から公布される予定である。その後、「企業二酸化炭素排出量報告管理弁法」、「二酸化炭素排出権取引市場取引管理弁法」及び「二酸化炭素排出量取引第三者審査機構管理弁法」が公布される予定である。「二酸化炭素排出権取引排出枠総量設定・配分方案」は、国務院に既に報告されたことが明らかにされている（中国貿易報. 2017）。また、2016年9月には、財政部が、パイロット事業における会計処理に関する暫定規定案のパブリックコメントを実施している（財政部. 2016）。

2016年10月に策定された「第13次5か年計画温室効果ガス排出抑制業務方案」では、2030年前後のピーク目標に先立って、先進開発地域では2020年以前、一部の重化学工業では2020年前後のピークを目指すこと、2020年にエネルギー消費総量を標準石炭換算50億t以下、石炭消費総量を42億t前後に抑制し、スモッグの深刻な地域では引き続き石炭消費削減を目指して大気汚染対策とのコベネフィットを推進することなどが目標として設定された。また、大型発電所のCO₂原単位を550g-CO₂/kW以下とすること、ゼロCO₂建築モデル事業の推進、都市旅客当たりCO₂排出量の12.5%削減、新車のCO₂規制値の検討などが盛り込まれた。さらに、低炭素対策と貧困対策を結合させ、排出量取引によって貧困地区に資金を呼び込むことも位置付けられた。

排出権取引について同方案では、2017年に全国取引市場を立ち上げ、2020年までに、制度が整備され、取引が活発で、監督管理が厳格で、公開・透明な全国市場をつくり、安定し、健全で、持続的な発展の実現を目指すこととされた（国務院. 2016）。

取引制度の規模については、対象企業は7千～8千社余りとされ、当面の対象排出量は30～40

億t、排出枠の現物取引総額は12～80億元と想定されている。なお、排出枠はベンチマーク方式を主として配分される予定である。パイロット事業で生じた市場取引が履行期限に集中する現象に対応し、年間を通じて取引を活発化させるため、8つの対象業種ごとに月単位で履行期限をずらすという斬新な方針も示されている。また、2020年以降、対象事業者の据切り値となる年間エネルギー消費量を標準石炭換算1万t (CO₂換算で約2.6万t) から5千t (同約1.3万t) に引き下げることで10万社を対象にすること、金融商品を先物取引まで拡大し取引市場規模が600～4,000億元に達する見込みであることを明らかにするとともに、将来的な排出権価格として300～500元という幅に言及している。さらに、標準石炭換算5千t以下の事業者や制度対象外業種の事業者に対しては炭素税を課税する方針を表明しており、国の排出量全体に価格付けを広げていく方針が示されている (南方日報, 2016)。

2016年8月には、国家発展改革委員会が「新エネ自動車排出枠管理弁法」のパブリックコメント案を公表し、自動車メーカーに対して一定割合の新エネ自動車の販売を義務付け、これに相当する二酸化炭素排出枠の取得を義務付ける制度を2017年から試行し、2018年から導入する方針が示された。上述の「二酸化炭素排出権取引管理条例」案に本制度の根拠規定が盛り込まれていることも明らかにされた (国家発展改革委員会, 2016b)。

注目すべきことに、蔣副司長は、2020年以降の他国の炭素市場とのリンクの可能性を検討するとして、日本と韓国とのリンクに言及している (南方日報, 2016)。また、北京市の「第13次五年計画期間における省エネ・気候変動対策計画」にも、東京やソウルなど国際市場との協力・リンクの展開を検討することが記載されている (北京市人民政府弁公庁, 2016)。2016年9月には、中国側の呼びかけにより日中韓カーボンプライシングセミナーが北京で開催され、三か国の政府、地方自治体、研究者、企業関係者などが各国・地域の経験を共有し、意見交換が行われた。筆者も参加したこの会議は、2017年には韓国で開催されることが決定されている。

4. 今後の課題と展望

今後の全国制度の設計・運用に向けた課題として、1) 地方政府に対して法的基盤を付与するとともに金融機関の取引への参加や不遵守企業に対する罰則の根拠となる法律の整備、2) 既存のエネルギーや気候変動に関する政策目標や規制との重複排除、3) 発展状況の異なる地域間の排出枠の初期配分、4) MRVに関する信頼性の確保と能力向上、5) 企業の参加意識の向上、6) 対象企業リストや排出量データ、排出枠の総量や配分結果等の情報公開による市場の透明性向上、等が指摘されている (銭国強他, 2014、Zhang, D. et al, 2014)。このうち1) については、上述の法令整備により対応が図られていくものと想定され、金融機関の取引の参加についても、現在参加が認められていない銀行や証券会社の参入や先物取引等の金融商品の販売について市場動向を見ながら検討が進められていくものと考えられる。2) については、電力会社に対して石炭の消費量、使用燃料の比率や排出原単位、企業に対して排出総量や排出原単位といった複数の規制がかかるなど複雑な仕組みとなっていることから、政策の整合的な実施と政府部門間の連携の強化が求められる。3) については、排出枠の配分に使用するベンチマーク基準については全国統一のものを使用することが明らかにされている一方、制度の運用に当たり何らかの差異化が許容され

るのか否かが注目される。4) については、パイロット事業の経験を踏まえて同事業の非実施地域においても人材能力建設のための研修プログラムが展開されているところだが、初期段階に生じやすいデータの誤記等を早期に改善しつつ、虚偽報告を防止するために抜き打ち検査などを通じて監督を強化していく必要がある。5) については、制度の周知徹底のための行政による指導や広報の必要性が指摘されているところであるが、企業に経済的インセンティブを与えるために一定水準の炭素価格が確保されるかどうかが重要になる。6) については、他国の制度においても政府による一律の情報開示が必ずしも行われていないものの、制度の信頼性確保に加えて、近年、投資家による炭素排出リスクへの注目度が高まっていることにもかんがみ、データ開示の必要性について検討を進めることが求められよう。

また、しくみやクレジット価格の異なる7つの制度をどのように全国制度に統合していくかも課題となる。国家発展改革委員会の責任者は、パイロット事業で配分された排出枠については実際の状況を踏まえ秩序立って全国市場システムに組み入れる予定であると述べているが（南方日報・2016）、先行して排出削減努力をした事業者が不利益を被ることを防止するとともに過剰に配分された排出枠により一部の事業者が不当な利益を得ることを抑止するため、余剰排出枠の繰り越しに一定の条件を課すなど、円滑な移行を担保することが不可欠である。

排出枠の配分に際してベンチマーク方式が主として採用されようとしていることは、日系企業を含めて従来から省エネ対策に取り組んできた企業にとっては朗報である。排出枠の配分後に実際の生産量や排出量に応じて事後調整を行う規定が盛り込まれる可能性があるが、削減効率と公平性を確保するため、客観的で透明性の高いプロセスが確保されることが求められる。

特に指摘しておくべきことは、どの程度の水準で排出上限キャップが設定されるかが、制度の排出削減効果、市場取引の活性化を左右する極めて重要なポイントであるということだ。排出枠の配分量を削減していくとともに有償配分割合を徐々に増加させていくという中長期的な方針を政府が具体的に示すことにより、企業が技術開発や設備投資の判断を行う上で確実な見通しを与えていくことができるだろう。

今後、中国で全国的な排出量取引制度が発足すれば、EU-ETSの約2倍の規模の世界最大の炭素市場が誕生することになる。CO₂排出削減対策は、エネルギーコスト削減に加え、炭素価格付けに対するコスト削減、収益向上の機会となる。中国企業が、自国の政策に対応してCO₂効率改善を図る中で、競争力を高めていく可能性がある。中国での炭素価格付け制度の進展は、中国に進出する日系企業約3万社に直接影響を及ぼすのみならず、中国を世界一の貿易相手国とする我が国の経済へ影響を及ぼしていくことになる。

翻って日本国内では、排出量取引制度に対する産業界からの反対が根強く、2010年末に開催された地球温暖化問題に関する閣僚委員会において、「我が国の産業界に対する負担やこれに伴う雇用への影響（中略）等を見極め、慎重に検討を行う」として、導入が先送りされた（地球温暖化問題に関する閣僚委員会・2010）。産業界の反対の理由は、すでにエネルギー効率の高いわが国で新たな規制を導入すれば、企業にとってコスト負担が大きくなるというものである。しかしながら、2010年に排出量取引制度を導入した東京都では、2014年までの第一計画期間中に各対象事業所に課された6%～8%の削減目標を大きく上回る平均25%、合計1,400万tのCO₂排出削減が実現し、2019年までの第二計画期間の目標も約7割の事業所が既に達成している。1995年の全国

の産業・業務部門のエネルギー消費量を100とした場合、2014年の全国平均87に対し、東京都の制度対象事業所の平均は78と、大幅な削減効果が実証されており、いわゆる「乾いた雑巾」論は現実に見合っていないことがわかる（東京都環境局、2016）。

過去に日本の自動車メーカーが世界一厳しい自動車排ガス規制を克服し、世界の市場を席捲したことは、環境規制がイノベーションを生む好事例として知られている。世界が脱温暖化に取り組む中で、日本の産業界が費用負担を拒否したままでは批判を免れないばかりか、今世紀後半の炭素排出ゼロ制約下の市場競争を見通して世界の企業が経営戦略を練る中で、機会を失う可能性を憂慮すべきではないだろうか。

中国から日本と韓国に対して、将来的な炭素統合市場の創設が提案されている。世界全体で効率的な排出削減を進めていくためには、市場統合は望ましい方向である。日本企業にとっても、排出削減を進めることを前提とすれば、目標達成の選択肢が増えることになる。中国が国連CDMの案件形成の最多国となり、そのノウハウを生かして国内向けのCCERプロジェクト形成や企業の排出量のMRVに取り組むに至った背景には、日本政府による人材育成支援や日本企業による協力があつた。今、その中国の後押しをしているのは、ODAに代わる戦略的協力プログラムを展開する欧州や米国の州政府、欧米企業である。

今後の統合市場のルールづくりと運用にあたっては、経験を有するものが主導権を握ることになるだろう。我が国は、国内の炭素価格付け政策強化に向けた検討を加速させ、企業による技術革新とその普及を促すとともに、東アジアでの市場統合の議論に政府、専門家、企業関係者らが積極的に関与していくべきである。

謝辞：本研究は科研費16K00680の助成を受けたものである。また、資料の収集・整理に当たりゼミ生の康家瑋さんの協力を得た。

参考文献

- 岡崎雄太「日本と中国における炭素価格付け政策の進展と展望」, 上智地球環境学会『地球環境学』(11), 143-151, 2015.
- 地球温暖化問題に関する閣僚委員会「地球温暖化対策の主要3施策について」, 2010.
- 東京都環境局「キャップ&トレード制度 第一計画期間の削減実績報告」, 2016.
- 李志東「中国における「パリ協定」後低炭素社会構築の取組みに関する研究」, 環境経済・政策学会, 2016.
- World Bank. State and Trends of Carbon Pricing 2016 (October), World Bank, Washington, DC., 2016.
- Zhang, D., V. J. Karplus, C. Cassisa and X. Zhang. Emissions Trading in China: Progress and Prospects, Energy Policy 75, 2014. pp.9-16. doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.022.
- 北京和碳環境技術有限公司・江蘇和碳環境技術有限公司・山西和碳環境技術有限公司「和碳視覚」総第43期(2017年第01期), 2017.
- 北京環境交易所・北京綠色金融協會「北京碳市場年度報告2016」, 2017.
- 北京市發展和改革委員會「北京市碳排放權交易試点取得明显实效」, 2014.
- 北京市發展和改革委員會・北京市統計局「关于公布2014年北京市重点排放单位及報告单位名单的通知」, 2014.
- 北京市發展和改革委員會「关于公布2015年北京市重点排放单位及報告单位名单的通知」, 2015.

北京市发展和改革委员会「关于公布碳市场扩容后 2015 年度新增重点排放单位名单的通知」, 2016.

北京市发展和改革委员会·北京市统计局「关于公布 2016 年北京市重点排放单位及报告单位名单的通知」, 2017.

北京市人民政府办公厅「北京市“十三五”时期节能降耗及应对气候变化规划」, 2016.

财政部「关于征求『碳排放权交易试点有关会计处理暂行规定(征求意见稿)』意见的函」, 2016.

重庆市发展和改革委员会「重庆市碳排放权交易配额管理单位名单」, 2016.

重庆市发展和改革委员会「关于下达 2015 年度审定碳排放量和碳排放配额(调整)的通知」, 2016.

福建省发展和改革委员会「关于印发《福建省 2016 年度碳排放配额分配实施方案》的通知」, 2016.

广东省发展和改革委员会「关于印发广东省碳排放权配额首次分配及工作方案(试行)的通知」, 2013.

广东省发展和改革委员会「关于印发广东省 2014 年度碳排放配额分配实施方案的通知」, 2014.

广东省发展和改革委员会「关于印发广东省 2015 年度碳排放配额分配实施方案的通知」, 2015.

广东省发展和改革委员会「关于印发广东省 2016 年度碳排放配额分配实施方案的通知」, 2016.

国家发展和改革委员会「碳排放权交易管理暂行办法」, 2014.

国家发展和改革委员会「强化应对气候变化行动—中国国家自主贡献」, 2015a.

国家发展和改革委员会「中美元首气候变化联合声明」, 2015b.

国家发展和改革委员会「关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知」, 2016a.

国家发展和改革委员会「国家发展改革委办公厅关于征求对『新能源汽车碳配额管理暂行办法』(征求意见稿)意见的函」, 2016b.

国务院「“十三五”控制温室气体排放工作方案」, 2016.

国务院新闻办公室「国新办举行中国应对气候变化政策与行动 2016 年度报告发布会」, 2016.

湖北省发展和改革委员会「关于印发湖北省碳排放权配额分配方案的通知」, 2014.

湖北省发展和改革委员会「关于印发湖北省 2015 年碳排放权配额分配方案的通知」, 2015.

湖北省发展和改革委员会「关于印发湖北省 2016 年碳排放权配额分配方案的通知」, 2017.

湖北碳排放权交易中心「2016 年湖北碳市场交易状况(12 月)」, 2017.

南方日报「全国碳市场配额分配 10 月起动, 7000 多家企业纳入 我国 2020 年以后或开征碳税」, 2016.

钱国强·陈志斌·余思杨「国际、国内碳市场的发展展望」, 王偉光·郑国光编著『气候变化绿皮书: 应对气候变化报告(2014)』, 社会科学文献出版社, 2014.

上海市发展和改革委员会「关于公布本市碳排放交易试点企业名单(第一批)的通知」, 2012.

上海市发展和改革委员会「关于印发《上海市碳排放交易纳入配额管理的单位名单(2016 版)》的通知」, 2016.

深圳市发展和改革委员会「关于提交 2013 年度碳排放报告的通知」, 2014.

深圳市发展和改革委员会「关于公布按时足额提交配额履约的碳交易管控单位名单的公告」, 2014.

深圳市发展和改革委员会「关于公布未按时足额提交配额履约的碳交易管控单位名单的公告」, 2014.

深圳市发展和改革委员会「关于公布按时足额履行 2015 年度碳排放履约义务的碳交易管控单位名单的公告」, 2016.

深圳市发展和改革委员会「关于公布未按时足额履行 2015 年度碳排放履约义务的碳交易管控单位名单的公告」, 2016.

深圳市发展和改革委员会「关于开展 2016 年度碳排放权交易工作的通知」, 2016.

天津市发展和改革委员会「关于发布天津市碳排放权交易试点纳入企业名单的通知」, 2014.

天津市发展和改革委员会「关于发布天津市碳排放权交易试点纳入企业 2014 年度履约名单的公告」, 2016.

天津市发展和改革委员会「关于发布天津市碳排放权交易试点纳入企业 2015 年度履约名单的公告」, 2016.

易碳家「2017 全国碳市场建设时间进度表」, 2017.

中国金融学会绿色金融专业委员会·北京环境交易所「中国碳金融市场研究」, 2016.

中国贸易报「解振华在 2016 绿碳发展峰会暨颁奖活动上的主旨演讲」, 2017.

中国碳排放交易网「湖北探路碳交易: 已成为全国最大碳市场, 试点经验辐射多省」, 2017.

Forest Kindergartens and “Nature Famine Society”

— Practical Review of “Waldkindergärten” in Germany and Their Implications for
“Mori no Yochien” in Japan

Lorenz Poggendorf*, Shingo Shibata**

Keywords: Forest Kindergartens, Outdoor-based Environmental Education, Decreasing contact with nature, Nature Famine Society, *Mori no Yochien*, Germany, Japan.

Abstract

“Waldkindergärten” or Forest Kindergartens are outdoor-based nursery schools with everyday activities in the woods and fields. Originated from Denmark, this new form of nursery school was officially introduced to Germany in 1991. Since then, it has spread considerably, with now more than 1,000 sites across the country. Forest Kindergartens are a valuable instrument for outdoor-based environmental education for infants/toddlers although some extra efforts are necessary for their formation and proper management. We believe such outdoor environmental education opportunities for infants/toddlers are essential for their personality development and building a nature harmonized, sustainable society.

In both countries Forest Kindergartens emerged as social phenomena with a transformation to an urbanized society and an increasing sense of decreasing contact with nature. In other words, It can be said that Forest Kindergartens became popular with an emergence of “Nature Famine Society”. There are various aspects to be learned from the German experiences of Forest Kindergartens for newly emerged “*Mori no Yochien*” in Japan. With the increase of number of such institutions, quality control will be more important including the maintenance of safety and curricula. Forest Kindergartens or *Mori no Yochien* will continue to play an important role for the current generation or the future society as long as “Nature Famine Society” prevails where outdoor-based plays or environmental education for kids and youngsters are not easily available or incorporated into daily education activities as were done half a century ago.

* Lecturer, Department of International Tourism Studies, Toyo University & Senior Fellow, Tokyo College of Environment (TCE)

** Professor, Graduate School of Global Environmental Studies, Sophia University

フォレスト・キンダーガーティンと「自然飢饉社会」 ——ドイツにおけるフォレスト・キンダーガーティンの実践的レビュー と日本における「森のようちえん」への示唆

ポッゲンドルフ ロレンツ、柴田 晋吾

概要

Waldkindergarten は森や野外で活動を行う形態の保育園である。この新しい形態の保育園はデンマークに生まれ、ドイツには1991年に正式に導入された。それ以降、急速に拡大し、現在ではドイツ全土で1000か所以上となっている。Waldkindergarten は幼児のための有益な野外教育手法であるが、適切に運営するためには追加的な努力が必要である。このような野外教育は幼児の人格形成や持続可能な社会づくりのために必須であると考えられる。

ドイツ及び日本、いずれの国においても、Forest Kindertagens は都市化社会への変容と自然との接触が減少しているという感覚の増加によって社会現象として生まれた。換言すれば、Forest Kindertagens は「自然飢饉社会」の出現によって盛んになったと言えるであろう。後発の日本の「森のようちえん」がドイツの経験に学ぶ点は数多い。施設の数が増えるにつれて、安全管理やカリキュラムなどの品質管理がより重要となっている。50年前に当たり前だった幼児時代の野外での遊びを日々の環境教育に簡単に取り入れることができない「自然飢饉社会」が続く限り、Forest Kindertagens や「森のようちえん」はこれからも重要な役割を果たすであろう。

1. Introduction

“Forest Kindergartens” or “Nature-Based Kindergarten” is an outdoor form of nursery school, in England also known as “Forest Nursery Schools”⁽¹⁾. It is a kindergarten where children spend the whole or most of their time outside buildings, in the woods and fields of a given place. They’re out in all weathers and all seasons, even on cold winter days. This direct contact to and experience of nature makes all the difference to common nursery schools, where children are playing inside for the most part of the time.

Originated from Denmark since the 1950s, this new form of nursery was introduced to Germany by the two nursery teachers Kerstin Jebsen and Petra Jäger in 1991. They had visited Forest Kindergartens in Denmark, and based on their positive impressions, decided to found an own outdoor kindergarten in Germany (Häfner 2002)⁽²⁾. Together with educators and psychologists, Jebsen and Jäger developed a professional concept and founded the “Waldkindergarten Flensburg e.V.” (a non-profit association). As the conditions of such Forest Kindergartens distinctly differ from a common school institution, it’s no surprise that they had to work hard on convincing local authorities and the social ministry of the federal state of Schleswig-Holstein. Eventually, in 1992, the “Flensburger Waldkindergarten” was the first publicly acknowledged nursery school of its kind in Germany. In the course of time, this alternative kindergarten style became quite popular. Meanwhile, there exist more than 1,000 Forest Kindergartens all over Germany⁽³⁾.

In this paper, first, we introduce and discuss the social background of Forest Kindergartens’ evolution in Germany, their definition and actual status referring to the experiences of the Forest Kindergarten “Waldgruppe in Quickelbü”. Based on this, we point out necessary practical considerations for their implementations and potential social benefits for the modern society, and finally their implications for Japan where what is called “Mori No Yochien” is booming up recently.

2. Implementation Status of Forest Kindergartens in Germany through observations of a typical case of “Waldgruppe in Quickelbü”

1) Definition and Status of “Forest Kindergarten”

In Forest Kindergartens, children play outdoors in fresh air. While common nursery school kids also play outside on the playground or in the schoolyard, their time outdoors is limited. Most activities take place in a classroom. By contrast, the forest kids experience wind and weather as well as seasonal changes every day and for several hours, usually three to four hours until lunch time. And in difference to a common playground with prefabricated play equipment, in a Forest Kindergarten, “mother nature” itself provides children and educators with all materials that are necessary for a fulfilling forenoon of playing and learning

-
- (1) In English, there is no universal term for an outdoor kindergarten. In this paper, “Forest Kindergarten” is used as it is the closest translation to the German term “Waldkindergarten” with the same meaning.
 - (2) There has been a first Forest Kindergarten ruled on a private basis since 1968 in Wiesbaden, Germany, but without public funding or support (only tolerated by local authorities after site inspection).
 - (3) See also the homepage of the association: <http://www.waldkindergarten.de/index.php>.

together.

Unlike to the common playground, in the Forest Kindertartens, children make use of all their senses with a higher level of awareness. They experience the fresh smell of the woods in the morning, the fragrance of herbs and flowers, the song of birds in spring. They also try several things; they are more creative.

In Germany, there exist various forms of Forest Kindertartens. The three most common ones can be summarized as follows:

- (a) Half-day: three to a maximum of four hours in the forest until 12:00, but lunch is taken at home after returning from the woods (pure Forest Kindertartens)
- (b) Extended half-day: as in (a) up to four hours in the forest, but cooked lunch in a common kindergarten building, and some indoor activities after lunch until 14:00 (for extra-pay extended afternoon care is available until 17:00)
- (c) Forest days: Just one or two days a week in the forest (“forest days” of common kindertartens)

Type (a) and (b) can be called a real “Forest Kindergarten”, while type (c) is a compromising concept, combining the common nursery style with the idea of nature-based education to some degree.

In the following, Forest Kindertartens called “Waldgruppe in Quickelbü” of a rural area near Hamburg in North Germany will be introduced as an example⁽⁴⁾. This kindergarten started as a common nursery with a modern kindergarten building complex and a playground. However, recently, it offers all three above-mentioned types of forest activities, with their focus being on form (b).

In their “Natural Educational Concept” this nursery makes a comment on how children experience the forest:

“The children develop and train their senses by experiencing the seasons, cold, heat, etc., by movements, climbing trees. They try various things, which are carved, explored, discovered and invented. Their social awareness is stimulated; children ask each other for help and support the other. In the forest, the children have natural boundary experiences that they can accept. They learn to recognize noises and to appoint animal sounds. The children coming back from the forest to the common nursery school are satisfied.” [Hechmann et.al 2011]⁽⁵⁾

2) Educational goals of Forest Kindertartens

Sometimes we hear the prejudice: “The kindergarten teachers try to make their job easy and let the children just playing around in the woods.” And always there are parents who are worrying whether their child is learning enough in the forest. Usually, however, such worries are unnecessary, and the teachers push for high stake. In their “Natural Educational Concept”, the Forest Kindergarten “Waldgruppe in Quickelbü”

(4) The daughter of Poggendorf has visited this Forest Kindertartens for three years (age 3 to 6). So as an involved father, he knows the forest nursery first-hand.

(5) “Waldgruppe in Quickelbü, Unser Naturpädagogisches Konzept” (2011), p. 2 (pdf-file).

explain in detail their profound educational goals. Since they can be regarded as exemplary of a qualified German Forest Kindergartens, they are reproduced here in summary. The goals are:

- a. Promotion of sensorial perception
- b. Play and creativity
- c. Social skills
- d. Physical activity
- e. Silence
- f. Nature education and cosmic education
- g. Pre-school education

Subsequently, we will discuss these goals briefly based on one of the author's own experience.



Figure 1 Playing in the mud. Source: Kinderhaus Quickelbü.

- a. Promotion of sensorial perception

In the forest, the children are always in contact with various natural materials, such as sand, loam, leaves, grass, or gravels. They even like “dirty” games, such as playing in the mud. Such basic tactile feeling of nature cannot be experienced in a classroom. In addition, our five physical senses are closely connected with our memories. Asking Poggendorf's daughter about her strongest memories⁽⁶⁾, she mentioned the fresh air in the forest, feeding the cows in the pasture next door, and entering a small stream on a hot summer day barefoot, which is all connected to sensorial experiences.

(6) Compare note 4. Informal talk (August 2016) with Poggendorf's currently 10-years old daughter about her Forest Kindergarten memories from a period five years ago.

b. Play and creativity

Compared to a regular kindergarten, in the outdoors, there are only limited man-made toys, such as a range of tools, like ropes, magnifying glasses for observation, scoops, and small knives and so on. By contrast, nature offers a wide range of natural toys, such as trees, stones, sticks, clay, leaves, flowers etc. – and it is interesting to see how these materials, used with fantasy and creativity, become all kinds of things. This stimulates the power of imagination and own thinking enormously, a skill not to be underestimated for the future.

c. Social skills

Because in the forest, they rely on such purposeless natural toys as mentioned above, children have to communicate with each other in order to define its meanings and roles. Only then they can play meaningful together. Thus here we find a situation that fosters communication and social development of and between the kids in a unique way. In addition, there is a need to help each other when dealing with a challenge, such as passing a river or preparing a place for taking a rest.



Figure 2 A self-made “nest” as a meeting place. Source: Kinderhaus Quickelbü.

d. Physical activity

In the woods, children can live out their “thirst for move and activity” to the fullest. There are so many natural incentives for sprinting, climbing, balancing, and jumping. The kids test and train themselves and their bodies. They learn to estimate and trust their physical abilities. As they walk almost all day, they get a feeling for distances and become robust and strong. In addition, they get related to

their environment and give their locations a name, such as “the funny hill”, the “magic tree” or “the hayfield of the moles”. This leads to a feeling of identity and homeland within the children.

As a result, they develop a good sense of physical balance and motoric skills above average, as well as a sense of place [Häfner 2002].

e. Silence

Our modern world seems to be getting loud and restless. Large TV screens are in nearly every home, and handy electronic devices such as smartphones are used at all times, even by children. This is in particular true in Japan. In a Forest Kindergarten, however, children are invited to pause. They enjoy the calm atmosphere of the forest, with soft noises like the rustling of leaves in the wind and birdsong. Just to observe passing clouds on the sky or buzzing bees on the flowers can be so calming and balancing for both body and mind. It seems that modern adults often lost the ability to enjoy silence. The Forest Kindergarten experience makes a difference here.



Figure 3 Climbing on an old (fallen) tree. Source: Kinderhaus Quickelbü.

f. Nature education and cosmic education

While Nature Education is becoming increasingly popular, Cosmic Education – originated from the Montessori pedagogy – goes one step further. “Cosmic Education’ differs from traditional education as it goes far beyond just the acquisition of knowledge and developmental growth, to encompass the development of the whole person. Montessori believed that children who are given a Cosmic Education

have a clearer understanding of the natural world and, thus, themselves.”⁽⁷⁾ It encompasses the entire world, our planet, day and night, the elements air, water, fire, soil, plants, animals and human beings and understands teaching the interrelationship of all living elements as irreplaceable. “Let’s go out and show real things to our children”.

“No description, no picture, no book can replace the real life of trees with all life that is happening around them in a forest. Trees are radiating something that speaks to the soul, something that no book and museum can convey ... these things have to be visited, they cannot be brought into a classroom” (Maria Montessori, corresponding citation⁽⁸⁾).

g. Pre-school education

The federal state of Schleswig-Holstein has set up educational guidelines for all nurseries, in which they demand for a sound and rich pre-school education. This also applies to Forest Kindergartens⁽⁹⁾.

In our example, the Forest Kindergarten “Waldgruppe in Quickelbü”, teachers deal with pre-school education mainly in form of *child-orientated learning projects*. For instance, in the “crops project” about basic diets, the teachers and children first collected grains of wheat along margins of grain fields in late summer. Then, they made their own flour with a hand mill, using it for making pancakes over an open camp fire. In the next step, on a daytrip outside the forest, they visited a historical windmill (for the flour extraction). Finally, the group visited a bakery, in order to learn how bread is actually made. Obviously, these are very illustrative, practical lessons, which may not be taught in the classroom.

3) Historical Background of Outdoor Education Activities and Forest Kindergartens

In the previous section, various characteristics and advantages of Forest Kindergartens have been described. Nonetheless, at first glance, the rapid spread of Forest Kindergartens in Germany may surprise. Why are they so popular? Is it just a fad or does it show a changing society? However, a look at the history of nature conservation and environmental education in Germany shows that the success of Forest Kindergartens is not accidental.

Starting from Great Britain, rapid industrialization took place in Germany from the 1850s. In the wake of these changes and its side effects, such as urbanization, pollution and destruction of the countryside, various counter movements evolved in Germany. Despite certain differences, their overarching goal was the protection of the homeland, the environment and public health. First, industrialization led to growing cities. Between 1871 and 1910, the proportion of city dwellers rose from 5% to 20% (Feder 2008). In other words, the change from an agrarian to an industrial society took place within just a few decades. However, what did this mean in everyday life?

(7) See <http://montessoritraining.blogspot.jp/2009/02/montessori-and-cosmic-education.html> (visited on 2016/3/16)

(8) Cosmic Education by Maria Montessori, lectures given in 21st International Course, London, 1935.

(9) Webpage of the federal Ministry of School and Professional Education: http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/K/kindertageseinrichtungen/downloads/download_elterneinformationen_bildungsauftrag.html (visited on 2016/9/2)

Many poor agricultural workers sought their luck in the city, where manpower was increasingly needed for industrial production. This in turn led to tight urban housing conditions. Most working-class families lived in dark, narrow flats with poor sanitation.

Noticeably, under such circumstances, diseases such as cholera, typhoid and tuberculosis spread. Against this background, citizens' movements for a healthier life style developed, called "Lebensreformbewegung" ("life reform movement") [Feder 2008].

Based on Jean-Jacques Rousseau's "Back-to-Nature" thoughts, such movements ranged from demands for more natural medical treatments, healthy diets and vegetarianism, up to the garden city movement (for a greener city) and vacation in health resorts in the countryside (climatic spas). Hence, movements called for both the improvement of urban living conditions itself and recovery in nature outside the cities. Especially calls to go outside, to stay in the sun and fresh air, eventually raised an increased awareness for the value of nature, its preservation, and the need for practical environmental education. This also led to the establishment of walking clubs and scout groups, where specific knowledge *about nature* and physical experience *of nature* go hand in hand.

For instance, one of the most famous walking club for students, "Der Wandervogel" (ワンダー・フォークル) originated in 1896 at Berlin-Steglitz⁽¹⁰⁾.

Outdoor activities and hands-on environmental education by such walking clubs can be regarded as a pioneer of Forest Kindergartens, and as a psychological reason why outdoor kindergartens are so popular in Germany today. Of course, compared to the decades before World War II, walking clubs and scout groups are not as widespread nowadays. However, we argue that they have deeply influenced *social* and *educational values*. Most Germans still believe that staying in nature – above all physical exercise in the fresh air and in the forest – is very desirable, in particular for children and teenagers⁽¹¹⁾ [Lehmann 2009].



Figure 4 "Der Wandervogel" booklet.
Source: Wandervogelarchiv Steglitz-Zehlendorf

(10) The legal association "Der Wandervogel" was founded five years later, in 1901. The booklet cover page in Figure 4 has been used with kind permission by the local authority (Kulturamt Steglitz-Zehlendorf, Berlin, Wandervogelarchiv).

(11) This can also be seen by the existence of "Forest Guest Houses for Young People" ("Jugendwaldheime") across Germany, where students and teenagers can attend so-called "forest weeks". In the morning they work under guidance of foresters in the woods, while in the afternoon, environmental education, sports, and

In general, such belief in outdoor education can be regarded as very positive. Sometimes, however, it may become too dogmatic or narrow-minded, in a sense that outdoor education is considered to be the only way to happiness. And this is of course not true, as there are many happy children in regular nurseries as well⁽¹²⁾.

Hence, this paper does not praise the Forest Kindergartens as the only reasonable or best pre-school education ever, but regards it as a valuable enrichment of existing nursery programmes and facilities.

3. Practical Considerations and Potential Social Benefits of Forest Kindergartens

1) Practical Considerations in implementing Forest Kindergartens in Germany

a. Regulatory obstacles

If you want to set up and rule Forest Kindergartens in Germany, you will face some challenges. First, you need to convince local authorities of your idea. Luckily, compared with the pioneering phase, the distrust of authorities towards this kindergarten style has dropped. Nevertheless, it is important to comply with legal standards and to seek contact with all involved authority representatives.

In the federal state of Schleswig-Holstein, Forest Kindergartens can be operated by municipal, church and private institutions, as in the case of legal nurseries [Kripke & Marcic 2012]. A further legal form are associations of independent welfare, such as the “Red Cross” or “Johanniter Unfallhilfe”. Kindergartens have to be opened at least four hours a day, at five days a week. Once accepted within the planning of demand, they will receive state funding⁽¹³⁾.

Usually, with the application for approval, the following documents must be submitted:

- *An educational and organizational concept* (kind of groups, number of children and their age, purpose of education etc.)
- *Evaluation of economic efficiency* (showing a secure financial basis for the management of the nursery)
- *Partnership agreement* and (if applicable) certificate of incorporation (private law cooperation) or the *club rules* and an extract from the *register of associations* (registered association)
- *Operating permission* of the selected *natural area* (on request to the responsible forestry authority,

outdoor games are on the schedule. Source: “Schutzgemeinschaft Deutscher Wald” (German association for forest protection): <http://www.sdw.de/waldpaedagogik/index.html> (in German only).

- (12) The tendency towards a rather dogmatic world-view seems to be quite common in Germany. The anti-nuclear power movement is a good example. It is noticeable that this movement became very popular again after the accident in the Fukushima Daiichi nuclear power plant, as a consequence of the great East Japan Earthquake in 2011. While it is reasonable to argue against nuclear power in an earth-quake prone country like Japan, there is not such a risk in Germany. Nevertheless, the anti-nuclear power movement is more successful in Germany than in Japan.
- (13) The financing of Forest Kindergartens consists usually of three sources: nursery fees (to be paid by the parents), promotion by the municipality, and partial funding by the responsible federal state.

after previous site inspection and careful selection)

- *An emergency and rescue plan*, indicating rescue points and a shelter for the group
- *Evidence about the qualification of the educational leader*, by presenting corresponding state certificates and previous professional experience
- *The child-care workers* of the Forest Kindergarten and their qualification
- Warrant of a completed *first aid training* of employees (and *lifeguard swimming badge* if the nursery is operating next to the seashore or inshore waters)
- *Police clearance certificate* for all employees

In individual cases, additional conditions can be made by the responsible supervisory authority (Kripke & Marcic 2012:8). The sheer length of this listing shows the complexity of legal matters involved when establishing Forest Kindergartens. For this reason, careful preparation of such documents is absolutely necessary. It's always advisable to make contacts early, especially with forestry authorities, as a well-selected, safe, easily accessible, and fascinating natural area forms the basis for operating Forest Kindergartens successfully.

b. Dealing with parents

Once regulatory obligations are met, the Forest Kindergarten will be approved by local authorities with an *operating permit (Betriebslaubnis)*. However, things are not done yet. Daily operation in the forest, involved activities, and its preparation need additional help by the parents, compared to running a regular nursery.

First, all parents should know and understand what kind of clothes, shoes, lunch boxes and drinks are required according to each season that their children will spend outdoors. And they should prepare these things accordingly. Nothing is worse than a poorly equipped child in the forest (for example, cheap raincoats that drench after ten minutes of heavy rain or chilled drinks and thin clothes on a cold winter day).

Second, it's necessary to clarify where to bring and pick up the children. In case of "Waldgruppe in Quickelbü", there was a shuttle bus, starting from the regular nursery to the Forest Kindergarten area, about two kilometres away, and bringing those children back that will have lunch in the regular nursery and stay there until 14:00. Children that return at 12:00 and have lunch at home had to be picked up by their mother or father at a nearby parking place on the edge of the forest.

c. Possible dangers in the forest

Sudden change of weather

In the event of a sudden storm, the group must be able to seek a shelter (often an appropriately configured old construction trailer). This is particularly true for severe thunderstorms. For emergency, educational staff should be equipped with mobile phones so that they can make phone calls from any location of the area.

Hunting

In Germany, by national and federal state law, any forest or grassland area outside municipalities

belongs to a hunting district⁽¹⁴⁾. Hunting is exercised by the landowner or a hunter commissioned by him. To avoid any danger or collisions, it is advisable that the head of the Forest Kindergarten seeks contact with the responsible hunter before the kindergarten operation starts. Apart from that, it is a good idea to invite the hunter and let him explain about wildlife in the forest. To the children, such lessons can become unforgettable memories, as hunters often bring stuffed animals, such as weasels, foxes, or falcons, and tell real stories about what happened to them in the deep woods.

Forestry work and timber transport

According to federal law, for safety, it is forbidden to enter forest areas where wood is actually logged, processed or transported. This is in particular true for Forest Kindergarten groups, because children may not be able to recognize dangers. Thus it is vital to keep in touch with the responsible forester in order to be informed about upcoming forestry work.

Danger of infection (illnesses)

In German forests, the risk of bacteria and virus infection is comparatively low. However, there are some dangers that should be taken seriously:

- *Canine madness (rabies)* is a serious virus infection and mortal disease that leads to a meningitis and finally to death due to respiratory paralysis and cardiac arrest. It can be transmitted by wild stray dogs, foxes and bats. Luckily, since 2008, Germany seems to be rabies-free⁽¹⁵⁾. Yet, it is advisable to remain cautious, especially in the case of bats; so we should never touch vibrant, flightless or dead bats!
- *Tetanus* is a heavy life-threatening bacterial infection. These bacteria live in the soil, rotten wood or in human and animals' feces. A vaccination of children and adults is a common measure, and it is particularly urgent if we stay in the forest. Parents should be explicitly noted about this risk in advance.
- *Ticks* are spider-like insects that rest on branches, shrubs and long grasses. Without that one notices it, they are stripped off in passing. Ticks can transmit two dangerous diseases:
 1. *The Lyme disease* (or Lyme borreliosis), which is triggered by bacteria. In case of an infection, treatment with antibiotics is effective in the early stages of the disease, while in the late stages effects remain often limited. It is therefore important that the parents scan their children's nude body for ticks carefully, each day after having been in the forest!⁽¹⁶⁾

(14) Federal Hunting Act of 1952, amended in 1976, lastly changed in 2015 (Bundesjagdgesetz) and corresponding regional hunting acts of the 16 German Federal States.

(15) In September 2008, Germany - as well as other Western and Central European states - has been officially declared rabies-free by the World Organization for Animal Health (<http://www.oie.int/>)

(16) Sometimes ticks can be very small. They also like to crawl in moist body cavities and bite firmly there, and then, they are difficult to find. My daughter once had a small tick in the navel and another time even in the labia of the vagina. Therefore, careful monitoring by the parents is essential.

2. *The tick-borne encephalitis (TBE)*, which is triggered by virus. It can be mortal in the worst case. In vulnerable areas, a vaccination is possible and recommended.

Danger by other animals

Theoretically, there might be a danger by *wild boars* in the forest, but we have never heard of such an incident because the boars are most active in the twilight.

Another recent concern is the *wolf*, because this predator is back in Germany

since over ten years, and now spreads increasingly across the country, especially in larger forest areas. While still unlikely, it is at least possible now that a wolf might appear in a rural kindergarten forest. However, the wolf is a shy animal, which usually doesn't attack human beings, and worries of some parents are scientifically baseless⁽¹⁷⁾.

A real but minor risk exists by wasps, hornets and wild bees. Admittedly, insect stiches of wasps and bees can be rather painful, but they are dangerous only in case of an allergy to the venom⁽¹⁸⁾.

Given the challenges and risks described above, one or the other might believe that sending a child into Forest Kindergartens is quite dangerous. However, with appropriate care and prudence by the educators, these risks can be minimized. As always, knowledge and prevention are the keys to security. This is also true for Forest Kindergarten management.

2) Potential Social Benefits of Forest Kindergartens in Germany

In the previous chapter “2). Educational Goals” we already mentioned various concrete benefits for children attending a Forest Kindergarten, in particular promotion of sensory perception, creativity, physical exercise, and social competence, among others.

Finally, we will we take a look at the broader potential social benefits of Forest Kindergartens.

The *first potential social benefit* refers to daily life circumstances. We recognize that in the recent three decades, a children's world has changed more than ever before. Roland Georges, a professor for preschool



Figure 5 German warning sign for ticks (Zecken)

ドイツのダニの警告サイン

Source: <http://www.mybordercollie.de>

(17) Such fears arise from the subconscious due to vicious wolfs appearing in German legends and fairy tales. So far, direct losses by wolf attacks have been reported only for livestock (mainly sheep and goat, rarely cow or horse). This has led to confrontation between ecologists and farmers. Nevertheless, the wolf is still strictly protected by the German Federal Nature Conservation Act (Bundesnaturschutzgesetz) of 2009.

(18) The Forest Kindergartens group “Waldgruppe in Quickelbü” once experienced an attack by wasps after a child accidentally kicked into their underground nest. But because it was already autumn, the children wore long clothes, which protected them. They got away with only a few stiches and a bit of tears.

education, discusses this situation with regard to the pedagogical potential of Forest Kindergartens. Today, for the vast majority of children in high-developed countries, whether in the United States, Germany, or Japan, it's true to say that:

- they reside in closed spaces for the most time (in school or at home)
- watch a lot of television (with partly questionable content)
- increasingly experience reality by media (instead of their own senses)
- use electronic devices, computers, smartphones
- play with perfect toys (that stimulate little creativity)
- play and learn in educational guided situations
- drive with their parents in a car instead of walking or cycling outside

This all promotes various behavioral problems, such as pent-up aggression, a lack of concentration, and hyperactivity (Georges 2010). And in school, an increasing number of children are maladjusted. As a result, burn-out of many teachers is a serious concern.

Given these circumstances, it is obvious that the Forest Kindergarten has to offer outstanding qualities that have become rare in modern life. The combination of *physical movement* in a changing terrain, *creativity* by inventing own games in the woods, and *cooperation* among children in challenging situations leads to better physical ability and body awareness, self-confidence, phantasy, and readiness to help others.

The *second social potential benefit* refers to public health. The fresh air and the rich visual green provided by trees has positive effects on both physical and mental conditions. Research on the health effects of various green spaces, including forests, has shown that trees *reduce* people's *stress*, *mitigate* urban *noise*, *enhance* *leisure activities* and support an *identity* of place (O'Brian 2005). Another study of Kaplan and Austin in the US State of Michigan proves that the existence of a forest on the urban fringe contributes much to the *emotional satisfaction* of local residents (Kaplan & Austin 2004).

In addition, recent medical research in Japan about the *direct health effect* of forest therapy has shown that staying in a forest for more than three subsequent days *raised* the *immune defence* of participants considerably [Li 2010].

What we have known for a long time, is now confirmed scientifically: staying in green spaces and in particular in the forest is healthy.

The *third social potential benefit* refers to environmental education. We only love what we know. As Maria Montessori said, we cannot learn about nature only from books. We have to experience it first-hand. Such an experience includes knowledge, thinking and feelings; definitely, it goes deeper than classroom studies. Surrounded by the vitality and beauty of nature, many of us are touched by heart.

One aspect of how human beings experience life – and nature as a part of it – is linked to what we call “atmosphere”. Usually, we are unaware about it, and it is hard to prove but real. For instance, everyone with an open mind can feel different atmospheres at diverse natural places. A rocky coastline with the blue sea has a different effect on our inner being than a deep green forest or a wide grassland area. Atmosphere is a key to our memory, and places with a special or enhancing atmosphere have the power to attract us [Böhme 1995].

It is still controversial, but we claim that nature is not just physical objects, but enlivened, and may even

have feelings (Weber 2008). Science is just beginning to discover this⁽¹⁹⁾. The academic dispute will continue. However, our children need nature, here and now, and the Forest Kindergarten is an excellent opportunity of experiencing it.

3) Implications for Emerging “Mori no Yochien (森のようちえん) ”in Japan

Recently, there has been a rapid increase of Forest Kindergartens, or “Mori no Yochien” in Japan as well. According to “Mori no Yochien (森のようちえん) ” national network which was formed in 2005, “Mori no Yochien (森のようちえん) ” is a generic term to include nurseries and infant/toddler educations which locate experiences of nature as their core activities. According to their website, there are some hundreds of member organizations joining the network all over Japan [*Mori no Yochien* National Network].

Moreover, although it says “Mori”, it includes all kinds of natural experience fields such as ocean, river, *Satoyama*, agricultural lands, city parks, etc., and “Yochien” includes nurseries, child cares, voluntary nurseries, nature schools, *Kosodate Hiroba*, etc. in addition to formal kindergartens, and it means educational activities conducted there for nature experiences targeting infants/toddlers of 0-7 years old [*Mori no Yochien* National Network].

According to the network, “Mori no Yochien” is categorized into 4 different forms: (1) Accredited Kindergartens/Accredited Nurseries, (2) Voluntary Nurseries/Joint Nurseries/Nursery Circles/*Kosodate Hiroba*, (3) Infant Education by unaccredited Nurseries/NPOs, (4) Nature schools, Nature Experience Activity Organization, Social Education Facilities, and styles or forms of their nature experience activities vary greatly. Those who are involved with “Moro no Yochien” also are quite diverse; they include kindergarten teachers, nursery teachers, daycare supervisors, voluntary nursery supervisors, nature experience supervisors, outdoor activity supervisors, parents who wish infant education in nature [*Mori no Yochien* National Network].

Since there are many organizations which started “Mori no Yochien” after observing Scandinavian countries’ and German examples, educational spirits and policies are similar to these predecessors. And, as defined by the network, not limited to forests, a variety of outdoor activities are included in their field activities, such as agricultural fields and Japanese cultural heritage of *Satoyama*. For example, Mori no Yochien “Marutanbou” located in a mountain village of Chizu Town, has nine forests as their field activities in the morning, and a traditional farm house for free time after 2:00 pm, and they include farming, cooking, and traditional cultural activities [*Marutanbou*]. Also, as is mentioned at the network’ website, “Mori no Yochien” includes non-regular casual activities of nature educations conducted by various organizations.

However, nurseries which incorporate outdoor plays themselves have not been particularly new in Japan. It is considered common that even normal nurseries (Yochien) incorporate outdoor plays to some

(19) Peter Wohlleben, a professional forester in Germany, has posted current bestsellers that deal with this topic. His writings are based on both science and personal observation. One book is about the hidden life of trees and has been just translated into English [Wohlleben 2016a]. The other is about the inner life of animals [Wohlleben 2016b].

extent. Figure 6 shows such an example. The differences of these with newly emerged *Mori no Yochien* are their significantly lesser focus on the natural environment compared with the latter. Example of Figure 6 provides various playing facilities to take advantage of a woodland space, but does not aim to conduct nature study in the forest. As long as outdoor educational curricula can be incorporated, such a case can be changed into *Mori no Yochien* rather easily. Accordingly, there are many potential *Mori no Yochien*. Recently, several prefectures including Nagano, Tottori and Aichi Prefecture, started subsidizing “Mori no Yochien” [Rinsei News.2016], and this trend itself is welcome. However, it should be kept in mind that the emergence of “Mori no Yochien” is a social phenomenon which has arisen in concert with a transformation to an urban, industrialized society and an increasing sense of decreasing contacts with nature. The losing contacts with nature and their effects on children have been actively argued in North America represented by a term of “Nature Deficit Disorder (NDD)” [Louv 2005], [柴田 2013]. If the loss of nature contacts truly brings out NDD is to be debated [柴田 2016], we believe contacts with nature during infants/toddlers period are indispensable for their sound development, and it is too late when they are grown up.



Figure 6: An example of normal Yochien observed in Tokyo. This is not Mori no Yochien, but it establishes playing facilities under forested land and uses the area as a playing ground, but apparently not aims to learn about forest environment. (Photo: Shibata)

Considering above points, we believe following aspects should be kept in mind in promoting “Mori no Yochien” in Japan.

- a. “Mori no Yochien” emerged from decreasing contacts with nature with an emergence of “Nature Famine Society⁽²⁰⁾”

“Mori no Yochien” in its broadest term includes all outdoor education activities for infants/toddlers, and ideally, this should be available and to be conducted in our daily life easily. When we look back on the situation of Japan of 50 years ago, we used to live in a more rural and agricultural society, and most people remember playing outdoors climbing trees, or catching fish and insects in their childhood. This cannot be possible now if you live in an urban environment surrounded by concrete, sky scrapers and internet instrument. We define such a society where outdoor-based plays or environmental education for kids and youngsters are not easily available or incorporated into daily education activities as were done half a century ago as “Nature Famine Society⁽²⁰⁾”. This could be really dangerous that more and

(20) Shibata described the term of “Nature Famine” as a Japanese term of “自然飢饉” referring and contrasting with the term of “Timber Famine” which dominated early 20th century foresters’ paradigm, and asserted that “Nature Famine” should be their new paradigm by taking over the concept in sustainable, ecosystem management era of 21st century [柴田 2006].

more children grow up in concrete buildings without contact with nature, and its consequences and effects are yet to be known, but can be a significant barrier in building a nature harmonized, sustainable society. We believe “Mori no Yochien” in its broad term as defined by the national network; namely daily environmental education activities for infants/toddlers, is indispensable for their personality formation and building a sustainable society.

b. “Mori no Yochien” should be available everywhere

However, if you live in a suburb of Tokyo, you can still find a place surrounded by *Satoyama* and observe nature. And, even in a small city park, you can still observe some limited natural plants and insects (many exotics or invaded species though). Considering contacts with nature during infants/toddlers time are essential for healthy development of humanity, ideally, “Mori no Yochien” including parents’ activities should be readily available for everyone at any place. We point out the importance of this type of “Anytime/Itsudemo Mori no Yochien” or “Mori no Oyako”. In addition to establishing institutions, we believe it is important to promote and support this type of daily household education (“Mori no Oyako”) as much as possible.

c. Building a nature harmonized town is a key

If you live in a house where you can walk to a secondary forest shortly and regularly observe changing natural world such as wild animals, insects, flowers and plants with four seasons, parents including fathers can easily find time to conduct “Mori no Oyako” and “Anytime/Itsudemo Mori no Yochien”. For this purpose, building a nature harmonized town is a key.

d. Work life balance for “Itsudemo Mori no Yochien” or “Mori no Oyako”

Parents with infants/toddlers are usually extremely busy, and particularly many fathers stay at the office from early morning to late at night. Promoting better work life balances by adoption more home workings, nursery leaves, etc. should certainly increase the opportunities of “Mori no Oyako”.

e. Timing should not be limited during infants/toddlers period

Timing of outdoor education should not be limited during infants/toddlers’ time.

It should be continued during primary schools, junior high schools, and so on with suitable curricula in accordance with their development levels.

Appropriate opportunities and curricula should be made available after this period. This can be said also for household education. “Mori no Oyako” should be continued after primary schools.

f. Social Benefits of “Mori no Yochien”

This is a debatable topic, and no easy concrete conclusion can be made without well prepared research. Here we just introduce one positive example of Shibata [柴田 2006]. He invited national forest monitors to a native forest observation event, and among them there was a primary school boy taken

by his mother, and his participation of the tour changed his attitude greatly. Before his participation, he was very reluctant to write anything, but to his parents' surprise, upon his return, he started to write voluntarily what he saw in the forest, and whenever he saw a similar forest scene afterwards in the TV, he always revived his memory and told that it was such an interesting experience. By now, the child should have grown up in his 20's, but the follow-up interview has yet to be conducted.

g. Importance of Quality Control and Risk Minimization

In German cases, strict quality control of the education and a series of strategies for minimizing risks are conducted, and they are equally important in Japan. In Japan, apart from Germany, it has a wetter and hotter climate, and generally has more biodiversity, more forest floor vegetation, and a few dangerous animals and plants. Accordingly, thorough check-ups of the outdoor education fields are important, and supervisors ideally should be a person with a good knowledge of nature and first-aids such as forest instructor. Major risks in wildlands in Japan include:

1. Sudden change of the weather, such as thunder storms, or natural disasters such as a strong earthquake or tsunami.
2. Dangerous animals (bears, wild boars, poisonous snakes, bees, centipede, ticks, etc.).
3. Unpleasant creatures (horseflies, mosquitos, leeches, etc.).
4. Poisonous plants (ivies, poisonous mushrooms, etc.).

In case of Chizu's case, they avoid to select a field of *Mamushi* (poisonous snake) habitat [*Marutanbou*], and this kind of risk minimization activities are important. It should be noted that there are more fatal bee attacks compared with fatal bear attacks in Japan⁽²¹⁾. Also, recent cases of fatal tick attacks should be appropriately warned by sign boards as it is recently done in Germany. In addition, good coordination is needed with hunting and forest management activities, and parents' close care with the infants' clothes and foot wears, etc. is very important.

In conclusion, there are many aspects to be learned and shared from the German experience of Forest Kindergardens for *Mori no Yochien*, since nurseries which incorporate substantial outdoor-oriented activities are comparatively new in Japan. With the increase of number of such institutions, however, quality control will be more important, including the maintenance of safety and curricula. In this sense, certification of such institutions is a one way to provide selection criteria for their customers.

Lastly, paradoxically, but an important observation is that booming of *Mori no Yochien* reflects the increasing losses of daily nature contacts in Japan as well. In other words, it can be said that Forest

(21) Annual death toll due to bee attacks (mostly due to anaphylaxis shocks) of recent five years are estimated to be around 20 [都市のスズメバチ], while total number of fatal bear attacks for the recent 27 years is 27 [WWF]. In addition, SFTS virus deaths carried by ticks are estimated to be 21 out of affected cases of 53 people so far [Jyohosokuho.com].

Kindergartens became popular with an emergence of “Nature Famine Society” where outdoor-based plays or environmental education for kids and youngsters are not easily available or incorporated into daily education activities as were done half a century ago.

If we should successfully recover or restore our inhabiting towns and cities into those with richer natural environment, infants/toddlers can grow-up with more regular contacts with nature so as the current senior generations did. Hence, eventually, we need to build a society which does not require a special institution like *Mori no Yochien*, but such an institution will play an important role until outdoor-based environmental education can be easily and routinely incorporated into daily education activities; particularly those conducted by parents. Forest Kindergartens or *Mori no Yochien* will continue to play an important role for the current generation or the future society as long as “Nature Famine Society” prevails.

References

- Böhme, G. (1995). *Atmosphäre. Essays zur neuen Ästhetik (Atmosphere. Essays for new Aesthetics)*. Frankfurt a.M., Suhrkamp Verlag (Japanese translation 2006: *雰囲気の美学 — 新しい現象学の挑戦 — 晃津書房, 東京*).
- Kripke, A. & Marcic, A. (2012): *Der Naturkindergarten. Ein Leitfaden für die Gründung und den Betrieb von Naturkindertagesstätten in Schleswig-Holstein. Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein (ISSN 0935-4379) [The Nature Kindergarten. A guide for the creation and operation of forest nursery schools in Schleswig-Holstein]*.
- Feder, D. (2008): *Vom Kloostergarten zum Bio-Boom - Ein historischer Überblick über die traditionelle Naturheilkunde und den ökologischen Landbau im deutschsprachigen Raum. WVT Wissenschaftlicher Verlag Trier [From the monastery garden to organic boom - A historical overview of the traditional naturopathy and organic farming in German speaking countries]*.
- Georges, R. (2000): *Der Waldkindergarten – ein aktuelles Konzept kompensatorischer Erziehung*. In: Zeitschrift „Unsere Jugend“ 6/2000 [The forest kindergarten - a current concept of compensatory education].
- Georges, R. (1999): *Vernachlässigt der Waldkindergarten die Schulfähigkeit? In kita aktuell (Ausgabe Baden-Württemberg) Mai 1999 [Does the forest kindergarten neglect the readiness for school?]*.
- Häfner, P. (2002): *Natur- und Waldkindergärten in Deutschland - eine Alternative zum Regelkindergarten in der vorschulischen Erziehung. Dissertation at Universität Heidelberg [Nature and Forest Kindergartens in Germany - an alternative to regular nurseries in the pre-school education]*.
- Hechmann, N., Petersen, G. & Zink, S. (2011): *“Waldgruppe in Quickelbü, Unser Naturpädagogisches Konzept“*. Unpublished source of the “Kinderhaus Quickelbü” nursery school [Forest group in Quickelbü, our nature-educational concept].
- Jyohosokuho.com (情報速報ドットコム) <http://saigaiyouhou.com/blog-entry-1893.html>
- Kaplan, R.; Austin, M.E. (2004): *Out in the country: sprawl and the quest for nature nearby*. In: *Landscape and Urban Planning*, 69 (2/3), 235-243.
- Lehmann, A. (2009): *Von Menschen und Bäumen. Die Deutschen und ihr Wald. Reinbek bei Hamburg 1999 [On human beings and trees. The Germans and their forest]*.
- Li Q. (2010): *Effect of forest bathing trips on human immune function*. In: *Environmental Health and Preventive Medicine*, Volume 15, Issue 1, pp 9-17.
- Louv, R. (2005): *Last Child in the Woods. Saving Our Children From Nature Deficit Disorder*. Algonquin Books

of Chapel Hill.

Mori no Yochien National Network (森の幼稚園全国ネットワーク) <http://morinoyouchien.org/about-morinoyouchien>

Mori no Yochien Marutanbou (特定非営利活動法人 智頭町森のようちえんまるたんぼう) <http://marutanbou.org/>

O'Brian, L. (2005): Trees and woodlands. Nature's health service. Farnham, Forest Research.1.

Outbreak of hornets in cities (都市のスズメバチ) <http://www2u.biglobe.ne.jp/~vespa/vespa0562.htm>

Rinsei News (林政ニュース): 2016. No. 539

Shibata, S. (柴田晋吾) (2006): Eco-Foresting エコ・フォレストイング. 日本林業調査会

Shibata, S. (柴田晋吾) (2014): 書評. Richard Louv.2005 Last Child in the Woods. Saving Our Children From Nature Deficit Disorder. 上智大学地球環境学会紀要 No.9

Shibata, S. (柴田晋吾) (2016): 持続可能なレクリエーションーアメリカ編(3)森林レクリエーション誌

Weber, A. (2008): Alles fühlt. Mensch, Natur und die Revolution der Lebenswissenschaften, Bvt Verlag. [Everything feels. Man, nature and the revolution in the life sciences].

Wohlleben, P. (2016a): The Hidden Life of Trees: What They Feel, How They Communicate: Discoveries from a Secret World. Greystone Books.

Wohlleben, P. (2016b): Das Seelenleben der Tiere: Liebe, Trauer, Mitgefühl - erstaunliche Einblicke in eine verborgene Welt. Ludwig Buchverlag (German Edition) [The inner life of animals: love, sadness, compassion - amazing insight into a hidden world].

WWF <http://www.wwf.or.jp/activities/2012/01/1039017.html>

「環境経営」と「企業収益」の因果関係の歴史の変遷のレビューと その関係性に内在するパラドックスの提示

武知 昌史、鈴木 政史

概要

「環境経営」と「企業収益」の因果関係は経営学において長年に渡り議論されてきた非常に重要なテーマである。もし積極的な環境経営が企業の収益につながるのであれば企業が環境経営に取り組むインセンティブとなるが、両者の因果関係は現段階では十分には実証されていない。そのため環境規制の遵守や慈善的・奉仕的な活動のみを目的として環境問題に取り組んでいる企業も少なくなく、企業の中でCSR (Corporate Social Responsibility) や環境問題に関わる部署はコストセンターとして認識される場合もいまだ多い。近年、企業のバリューチェーンがグローバル化するなかで、積極的な環境経営が企業の収益につながるためには企業が政治、経済、文化や言語の異なる多様なステークホルダーと負の外部性 (Externality) についての価値基準を共有することが求められている。本稿はまず「環境経営」と「企業収益」の因果関係をめぐる出来事及び研究の歴史的な変遷を簡潔に整理する。さらに企業の環境パフォーマンスが財務パフォーマンスに波及する過程で外部ステークホルダーが与える影響について考察すると共に、「環境経営」と「企業収益」の正の関係性が強まる時には産業構造を刷新する破壊的変化 (Discontinuity) を伴う環境イノベーションが停滞するというパラドックスが内在する点について論じる。

The Causal Relationship between Environmental Management and Corporate Profits: Reviewing Historical Events and Research Discussions and Addressing an Inherent Paradox in the Linkage between Environmental Management and Corporate Profits

Masafumi Takechi, Masachika Suzuki

Abstract

The causal relationship between environmental management and corporate profits is one of critical topics that have been discussed by scholars in business management for many years. If there is a strong evidence indicating that proactive environmental management leads to the increase of corporate profits, it becomes a rational for firms to establish progressive environmental strategy and invest into environmental management activities. The relationship between environmental management and corporate profits, however, has not been well established yet in the study of business management. As a result, many firms still recognize the business units coping with environmental management and Corporate Social Responsibility (CSR) issues, as the cost center, and therefore, their environmental and CSR operations do not go beyond the philanthropic activities.

The objectives of this article have twofold. The first objective is to illustrate the historical events and academic discussions on the link between environmental management and the return to the firms through their environmental activities and operations. The second objective is to examine the causal relationship from a perspective of external stakeholders' influence on the linkage between environmental performance and financial performance. As the value chains of the firms have been increasingly globalized in recent years, firms are increasingly required to disclose and share their value propositions with a wide variety of stakeholders in diverse political, economic, cultural and linguistic backgrounds in order to positively link environmental management with corporate profits. This article further indicates an inherent paradox that is, when a positive relationship between environmental management and corporate profits is established stronger, environmental innovations causing disruptive changes to incumbent industrial structures may possibly stagnate.

「環境経営」と「企業収益」の因果関係の歴史的変遷のレビューと その関係性に内在するパラドックスの提示

1 「環境経営」と「企業収益」の因果関係の歴史的変遷

1.1 1970年代から1980年代後半：製造業における環境汚染問題の深刻化と規制の導入

環境問題が企業の経営に影響を及ぼすという認識が出てきたのは先進国で環境問題が深刻になり始めた60年代後半である。日本においては50年代に発生した水俣病、60年代から深刻化した四日市ぜんそくのケースでそれぞれ有機水銀、亜硫酸ガス（二酸化硫黄）の排出源となった企業の責任が問われた。海外においては、2010年のBP社のメキシコ湾における石油流出事故が記憶に新しいが60年代から石油流出による海洋汚染はしばしば起きており、69年のサンタバーバラ沖における石油流出事故、89年のExxon社のアラスカ沖バルディーズにおけるタンカー座礁事故では大手石油会社の責任が問われた。また、84年のインド・ボパールにおいて多数の死傷者が発生した化学工場の爆発事故においては、米国のUnion Carbide社の管理責任が問われ大きな非難を浴び経営に大きな影響を与えた。Union Carbide社はその後の業績がふるわず、化学会社として世界最大のDow Chemical社の傘下に入った。

このように先進国では70年代から80年代にかけて、環境汚染による健康被害が日常生活の中で具体性をもった存在であった。70年代の日本では、環境汚染が深刻になるにつれ汚染は社会のコストとして広く認識され環境規制の導入が進み、企業は規制遵守への対応に追われた。この頃から多くの企業は企業内部に環境問題を取り扱う専門部局を設け始めた。しかしこれらの部局は、一般的に企業活動を行なう上で規制遵守に向けて避けられないコストセンターにすぎなかった。

一方、70年代には厳しい環境規制の導入や企業をめぐる外部環境の厳しい変化が新しい製品・サービスのイノベーションにつながるのではないかと考えさせられる事例が出てきた。1つ目の事例は厳しい排ガス規制の導入が自動車会社の技術革新を促進したケースである。70年代始めから日本を含めた先進国において急激な自動車社会の発展と共に特に都市部において光化学スモッグなどの大気汚染が深刻化していたが、米国はいち早く大気浄化法（Clean Air Act）を改訂（通称マスキー法）し、窒素酸化物を始めとする排ガス成分の厳しい規制を設けた。これに対して日本の自動車会社は米国の自動車会社に先駆けて排ガス規制に対応するエンジンなどの技術開発に成功し、日本のみならず米国の自動車の販売市場においても台頭し始めた。

2つ目の事例は中東における戦争を契機とした石油価格の上昇という予想していなかった外部環境の変化が、省エネ型の製品や石油を代替する技術革新につながったケースである。70年代の2回のオイルショックの経験を通して、企業は製品の製造過程で使用する電力やエネルギーの費用が莫大になるケースがあることを学んだ。この経験がエネルギー・電気関連企業の省エネ型の製品の開発や石油を代替するエネルギーの開発努力につながったという見方が一般的である。また、エネルギーや電力を大量に消費をする企業は、省エネ型の商品の導入が工場や事務所のエネルギー関連のランニングコストの削減につながるという認識をもつようになってきた。

このように厳しい環境規制や外部環境の変化が新しい製品・サービスのイノベーションを引き

起こすという考え方は経営学では「ポーター仮説」、経済学では「スティグラー型状況」と呼ばれる。ポーターは、「適切に設計された環境規制は技術革新を刺激し、国際市場における競争において企業が早い者勝ち（First mover advantage）の素地を提供する」と論ずる。ポーターが95年に発表した論文にはオランダの花栽培産業を始め、製紙業界から電子業界までポーター仮説を裏付けられる事例が列挙されている。ポーター仮説に関しては、仮説の検証に様々な研究者が関わっているが、現在も仮説の域を超えていないという見方が多い。

1.2 1990年代－2000年代前半：グローバルな環境問題への対応と金融業界の環境問題への関与

90年代の企業の環境問題の取り組みに影響を与えた一番大きな出来事は1992年の地球サミット（環境と開発に関する国連会議）である。この会議は合意されたりオ宣言の実施見向けた「アジェンダ21」を提起すると共に、「気候変動枠組条約」と「生物多様性条約」に署名するなど大きな成果を残した。この頃になると日本においては日常生活に影響を及ぼしていた大気汚染や水質汚染問題はピークアウトし、企業と環境問題の関係は地域性の強い課題からより地球レベルの課題にシフトしていった。また、80年代までは大気汚染や水質汚染など問題が具体的であったのに対して、90年になると企業は「地球温暖化問題」や「持続可能性」など一般化・抽象化された環境問題への対応が求められるようになっていった。

企業をめぐる環境問題がローカルなレベルからグローバルなレベルに展開すると共に、企業に環境問題への対応を迫るステークホルダーにも大きな変化がみられるようになる。従来、ローカルな環境問題に関わるステークホルダーとは企業活動に直接影響を受ける地域住民とその声を代弁するNGOs、及び、環境規制を管轄する政府が中心であった。一方、90年代になると金融業界が企業の環境問題に及ぼす影響が注目を浴びようになる。金融業界の中でも銀行、証券、保険、年金機関を含めた機関投資家など業務形態は様々であるが、それぞれの業務形態と環境問題との関わりが議論されるようになってきた。

そもそも金融と環境問題を含めた社会問題との関わりは90年代に始まったことでなく、米国や欧州においてアルコール製造、ギャンブル事業、武器製造、人種差別による雇用、動物実験などに関与している企業を投資対象から排除したい投資家を対象とした「社会的責任投資」は100年近い歴史がある。これらの投資の投資先の選定においては、投資家の倫理基準に合わない企業への投資を排除することを目的とした「Negative Screening」という手法が主であった。特に、米国やイギリスなど主に大型の公的年金を取り扱う金融機関にとっては、公的な資金を取り扱うという性格上、社会的な規範から大きく外れた企業は投資対象からはずしたいという背景があり、Negative Screeningは有効であった。

一方、90年代後半になると環境問題に積極的に取り組んでいる企業や環境型商品・サービスの開発に力を入れている企業に積極的に投資しようとする「Positive Screening」の動きも出てきた。Positive Screeningの場合、企業の環境問題への取り組みのランク付け・格付けを行い、パフォーマンスの優れている企業に積極的に投資を行なう。この場合、環境問題のパフォーマンスに優れている企業は財務的なパフォーマンスも優れているはずだと考える投資家や研究者も出てきた。日本でも大手の証券会社から個人投資家に向けて「エコファンド」が販売され、企業の環境

パフォーマンスと財務パフォーマンスの間の正の相関関係を模索する投資家が少しずつ増えてきた。研究者の間でも90年代後半以降、企業の環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの因果関係に関する様々な実証研究が行われてきたが、実証分析の結果は分析手法や分析対象とする産業や期間などによって大きく異なっており、現在においても環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの間に明確な因果関係が見いだせているとは言い難い。また因果関係が見いだせる場合でも、よい環境パフォーマンスがよい財務パフォーマンスを引き起こしているのか、逆によい財務パフォーマンスがよい環境パフォーマンスを引き起こしているのか因果関係がはっきりわからないという課題も残されている。

このように現段階においては積極的な環境経営が企業の収益につながるという実証結果は十分ではないが、金融業界が環境問題への関与をさらに深める契機となったしくみとして2点挙げたい。1つは京都議定書の約束事項の1つであった「京都メカニズム」である。京都メカニズムには(国際)排出量取引(Emissions Trading)、クリーン開発メカニズム(Clean Development Mechanism)、共同実施(Joint Implementation)の3つの制度から成り立っていた。この3つの制度共に海外から排出権を日本に移転させ京都議定書下で定められた1990年比で6%の温室効果ガスの削減にカウントするという仕組みであったが、日本では製造過程において温室効果ガスの排出が多い電力、鉄鋼、セメント、化学、製紙業界を中心に排出権を購入または創出させる動きが活発になった。排出権の取引においては製造業だけでなく商社や証券界社などの金融業界も加わり、排出権の取引が様々な業界においてビジネスのメインストリームの一部になる時期もあった。現在においてはパリ合意において国際的な排出権に関わるメカニズムがはっきりと定まっていないため、排出権を取引する動きは停滞している。

金融業界が環境問題への関与を深めるきっかけとなった2点目として大型のプロジェクトファイナンスにおける環境社会問題のガイドラインの策定である。そもそも公的な国際資金を導入した大型の融資については70年代から80年代のインドのナルマダダムの建設から環境影響評価を実施する動きが強まっていたが、私的な金融機関が関与するプロジェクトファイナンスにおける環境社会問題のガイドラインとして赤道原則(Equator Principles)が2003年に策定された。2000年以降、日本の大手銀行はプロジェクトファイナンスを通じた国際プロジェクトへの融資額を急増させているが赤道原則を採択し環境社会問題への配慮を融資において検討している。

1.3 2000年代後半—現在：環境問題から他の社会問題への広がりグローバルサプライチェーンへの対応

以上、1970年代から企業をめぐる環境問題と企業の対応を簡潔に整理してきたが、2000年以降、環境問題は大きな社会問題の一部として捉えられるようになってきた。90年代後半に多くの企業は環境問題を取り扱う専門部局を「環境部」から「CSR部」へ変更した。前述したハーバード大学のポーターはCreating Shared Values(CSVs)という用語を発表し、消費者や生産者にとって価値のある「社会的な価値」と収益獲得を中心とした「ビジネス的な価値」の両方を実現するビジネスモデルの追求を提案した。しかし現在においてもはたして「Doing well (financially) by doing good (in society)」という言葉で表現されるように環境型または社会型の経営の推進が企業収益につながるのかは明らかではない。Nestle社を始めとする食品会社、流通会社は前述

の CSVs というスローガンの下に持続可能な農業や食品を販売し、Microsoft 社は「Unlimited Potential」というスローガンで次世代の教育という社会問題を強力に推進するものの、企業全般において CSR に関連する業務ははまだコストセンターという認識を抜け出せていない。

環境問題への対応が企業の自主性に任され、尚且つ、企業運営上のコストと認識されるのであれば、財務余力のない企業が環境経営に取り組むインセンティブは相対的に少なくなる。実際に環境経営に関する企業別のスコアリングでは時価総額の高い企業が上位にランキングされる傾向があり、潤沢な余剰資金を持つ大企業を中心に環境経営に対する取り組みが進んでいる状況が窺える。しかしながら現実的には企業が直面する環境問題は多面的、複層的であり、その全ての面や層がスコアリングで捉えられているわけではない。企業はその事業規模が大きくなればなるほど、その事業活動が生み出す負の外部性 (Externality) も大きく広範である。また、物の取引はさらにグローバルな市場で行なわれるようになり、企業の間ではグローバルなサプライチェーンを通じた環境・社会問題への配慮を行なわないと経営に影響が出てくるという認識が広がりつつある。

企業活動がグローバル化するなかで、企業活動の成果となる収益は歴史、文化、経済、政治的背景の異なる様々な外部ステークホルダーからの影響を受けるようになっており、環境パフォーマンスも多様な外部ステークホルダーに認められなければ財務パフォーマンスにはつながらない。環境経営と企業収益の因果関係は企業側からの一方通行の行動では成立せず、直面する環境問題と必要な対応策について企業と外部ステークホルダーの間でコンセンサスが形成されてはじめて成立する。次節では、企業の環境パフォーマンスが財務パフォーマンスに波及する過程で外部ステークホルダーが与える影響について更に考察すると共に、環境経営と企業収益の関係性に内在するパラドックスについて論じる。

2 環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの関係性に内在するパラドックス

2.1 内在するパラドックスとは

企業の環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの因果関係に関する研究結果にはバラつきがあり、両者の因果関係について明確な合意が形成されるには至っていない。その背景として個々の研究において環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの定義や解釈が多様であるために回帰分析で用いられる説明変数と被説明変数も多岐にわたり、また対象とする国、産業セクター、期間、標本サイズなどが異なることが挙げられる。このため、環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの因果関係を肯定する研究論文の総数と否定する研究論文の総数を単純比較しても有効な結論を導き出すことはできない。しかしながら、個別の研究が積み上がってきたことで、過去の研究を統合して統計的に解析する手法であるメタアナリシスを用いて、個別の研究のクオリティ面でのバラつきや恣意性をシステムティックに排除したうえで定量的に環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの因果関係をマクロの見地から検証することが可能になっている。Endrikat et al. (2014) は環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの因果関係を検証している過去の研究をメタアナリシスを用いて分析し、両者の間に一定の因果関係が存在することを実証したが、その関係性については、環境パフォーマンスが財務パフォーマンスに影響を与える因果関係だけでなく双

方向の因果関係の存在も確認しており、両者の関係の複雑さ、曖昧さが改めて示唆されている。

環境パフォーマンスが財務パフォーマンスに正の影響を与えるということは、環境パフォーマンスがその企業のバリューチェーンにおいて金銭的価値を生み出し、その金銭的価値が収入増加あるいは費用減少という形で財務会計に反映されるか、もしくは無形資産として株価に反映されることを意味する。しかしながら、環境パフォーマンスには、使用エネルギー量削減のように費用減少という形で自己完結的に金銭的価値を生み出すものもあれば、使用原材料の環境負荷削減、外部評価機関により算出される環境経営スコアリング（もしくはランキング）の改善といった金銭的価値に直結しないものもあり、後者についてはその金銭的価値が生み出される過程において外部ステークホルダーが深く関与する。例えば、環境スコアリング改善が株価上昇の誘因となるには株式投資家が環境問題に関心を持ち、投資先を選定する際に環境スコアリングを検討項目に入れていなければ両者の因果関係は成立しない。しかしながら外部ステークホルダーの環境に対する意識や取り組みは国、産業セクターあるいは時代によって異なることは珍しいことではなく、このため、環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの因果関係に関する過去の研究結果にバラつきが出ていることも自然なことである。今後、企業と外部ステークホルダーの環境経営に対する取り組みや評価がグローバルに標準化されていくのであれば、環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの因果関係が普遍性を有するものとなり、企業に環境パフォーマンス向上のインセンティブを与えるが、一方で、環境経営の標準化は生産システムの最適化に終始し、結果として急進的な環境イノベーションを停滞させるとの議論もあり、環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの関係性にはパラドックスが内在している。

2.2 外部ステークホルダーによる負の外部性 (Externality) の評価

企業の環境パフォーマンスと財務パフォーマンスに関する研究は主としてナチュラル・リソース・ベース理論 (Hart, 1995) やイントゥルメンタル・ステークホルダー理論 (e.g. Donaldson et al., 1995, Jones, 1995) などの理論的枠組みを用いて、環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの普遍的な関係性を検証するものである (Endrikat et al., 2014)。しかしながら、実体経済においては、企業の財務パフォーマンスは様々な外部ステークホルダー（原材料や生産設備のサプライヤー、消費者、政策担当者、投資家等）の独立した行動に左右され、各々のステークホルダーの中で環境問題の優先順位は社会、産業、政治、経済などの影響を受け様々な軌道を描きながら変化する。このため、環境パフォーマンスと財務パフォーマンスについて時代や場所を超越した普遍的な関係性が存在しているわけではなく、国や産業により異なり、また歴史や偶然に支配されながら時間とともに変化する経路依存的 (Path dependent) な関係性が存在すると考えることができる。環境パフォーマンスが財務パフォーマンスに正の影響を与えるためには、積極的な環境経営が最終的に財務会計上で捕捉される金銭的価値を生み出す必要があるが、この環境経営が財務パフォーマンスに波及する過程において、企業が能動的に支配できる部分（以下、内部要因）とそうでない部分（以下、外部要因）があり、外部要因については外部ステークホルダーの経路依存的 (Path dependent) な行動に左右される。

財務パフォーマンスの指標として ROE (Return of Equity: 自己資本利益率) や ROA (Return on Assets: 総資本利益率) などの企業収益を用いる考え方や時価総額やトービンの q などの企業価値

を用いる考え方があり、企業収益に影響を与える外部ステークホルダーとしては原材料や生産設備のサプライヤー、消費者、政策担当者が挙げられ、一方、企業価値に影響を与える外部ステークホルダーはこれらに株式投資家加わる。例えば、環境負荷の高い原材料Aを使用して製品Xを生産していた企業が環境への配慮から原材料Aを使用するのをやめ、原材料Aよりも調達コストが高いが環境負荷が低い原材料Bに切り替える場合、この原材料の切り替えによる製品Xの生産過程における環境負荷の低減が企業収益の増加に結び付くためには、①原材料サプライヤーによる技術革新や生産体制整備による原材料Bの調達コスト低下、②消費者からの理解とブランド価値向上による追加的な原材料コストの販売価格への転嫁と売上げ量の増加、もしくは③政府からの補助金や税制面での優遇といった財務面でのプラス効果が当初の原材料コスト上昇幅を最終的に上回る必要がある。また、この原材料切り替えによる環境負荷の低減が最終的に企業価値の増加を促すためには、④株式投資家が①～③の事象について長期的に企業収益を成長させる要因と判断する必要がある。

上の①～④の事象は、企業が能動的に支配することのできない外部要因であり、それぞれ外部ステークホルダーの独立した意思決定の影響を受けるが、これらの外部ステークホルダーは負の外部性 (Externality) について類似した価値基準を持っているわけではない。逆に、企業と外部ステークホルダーが負の外部性 (Externality) について均質の価値基準を持つことにより環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの関係性はより強まると考えることができるが、現実的には、企業のバリューチェーンがグローバル化するなかで、外部ステークホルダーの地理的な分散が進み、政治、経済、文化や言語の異なる多様な外部ステークホルダーが企業と負の外部性 (Externality) についての価値基準を共有することは容易ではない。Ghisetti et al. (2014) がドイツの製造業を対象に行った環境イノベーションと収益性に関する研究では、製造過程のエネルギーや材料の使用量を減少させる環境イノベーションは収益率の上昇に寄与するのに対し、有害物質や大気・水質・土壌汚染などの負の外部性 (Externality) を減少させる環境イノベーションは少なくとも短期的には収益率の上昇に寄与しないことが確認されており、このことは負の外部性 (Externality) の削減が短期的には外部ステークホルダーから十分に評価されない傾向があることを示唆している。

2.3 環境経営の標準化と環境イノベーション

環境パフォーマンスと財務パフォーマンスが正の関係性を持つためには環境経営に関してグローバルに標準化されたフレームワークが整備され、企業と外部ステークホルダーとの間で負の外部性 (Externality) についての判断基準が均質化される必要があるが、一方、標準化されたフレームワークは企業の環境イノベーションに対するモチベーションを低下させるというパラドックスも存在する。ISO14001に代表されるグローバルに標準化された環境マネジメントシステム (以下、EMS) は企業の環境イノベーションを促進し、環境パフォーマンスを改善させると期待されていたが、実際にはEMSは形骸化し環境パフォーマンスの改善には結びついていないとの指摘がある (Frondele et al., 2008)。EMSは内部プロセスの最適化に焦点を当て、企業の環境問題に対する取り組み方法のばらつきを減らし、収斂させる役割を果たすが (Freimann et al., 1996; Könnölä et al., 2005)、イノベーションは既存のアプローチや技術を根本から覆す斬新な試みによ

り生まれるものであり、イノベーションを促進するためには組織間のばらつきを抑制するのではなく、むしろ組織間の多様性を増やさなければならない (Van de Ven, 1986; Könnölä et al., 2005)。

標準化された環境マネジメントシステムは企業の環境問題に対する取り組み手法を画一化させるだけでなく、企業とグローバルに点在する外部ステークホルダーが環境経営の目標や目的を共有するツールとしての役割も果たし、負の外部性 (Externality) について企業と外部ステークホルダーの判断基準の均質化を促すと考えられるが、一方で、標準化された環境マネジメントシステムに基づく環境問題に対する取り組み手法の画一化は企業の環境イノベーションを停滞させる側面がある。企業と外部ステークホルダーの価値基準が均質化することにより環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの関係性が強まるのであれば、両者の関係性が強まることは環境イノベーションの潜在的な停滞を示唆しているとの見方もできる。

Ulhoi et al. (2000) は EMS や EMS と親和性の高い環境効率やライフサイクル・アセスメントなどの量的なアプローチの意義を認めつつも、これらの量的アプローチは環境問題の現象面にのみ焦点をあてており、根本的な問題解決を図るものではなく、大量消費社会を前提とする既存の産業構造を維持しようとする、所謂、慣性の力 (Inertia) が働いていると評している。すなわち、環境経営における量的アプローチは消費者のライフスタイルや価値観を変えることや、革新的・破壊的なイノベーションを後押しするというよりも、既存の産業構造を維持することを前提とした生産システムの最適化に軸足を置いているとの指摘である。一般的に、環境パフォーマンスと財務パフォーマンスに関する研究は既存のバリューチェーンにおける継続・漸進型の変化 (Continuity) を前提として環境負荷量や環境効率などの量的な環境指標の変化に焦点が当てられており、バリューチェーン自体が根本的に刷新される破壊型の変化 (Discontinuity) は前提とされていない。

環境経営における継続・漸進型の変化 (Continuity) とは原材料構成の調整、生産工程の改善、もしくはエンド・オブ・パイプ型の汚染対応を意味しており、主として廃棄物処理、エネルギー効率、使用水量等に焦点が当てられる (Kuisma et al., 2001; Hertin et al., 2003; Könnölä et al., 2005)。一方、破壊型の変化 (Discontinuity) は、例えば自動車メーカーがガソリン自動車の製造からゼロ・エミッション自動車に軸足を移し、基幹技術が内燃機関 (エンジン) から電気モーターに転換されることにより自動車産業のバリューチェーンが再構築されるような事象を意味する。環境パフォーマンスという観点からは、企業が直面している環境問題の深度、すなわち既存の生産システムの最適化により対処できるのか、それとも破壊的・革新的なイノベーションが必要とされているのかによって、環境パフォーマンスの概念自体も変わり得るものであり、破壊型の変化が起こりつつある産業については、継続・漸進型の変化を前提とする量的な環境指標は必ずしも有効な環境パフォーマンス指標ではない。

継続・漸進型の変化 (Continuity) と破壊型の変化 (Discontinuity) について電力産業を例にとると、20世紀に電力システムのパラダイムとして確立された垂直統合された大手電力会社による大量生産と中央制御型の電力ネットワーク (Awerbuch, 2004) に立脚する産業構造が今後も継続するのであれば、電力会社の環境経営は継続・漸進型の変化 (Continuity) に軸足が置かれ、発電・送電設備におけるエネルギー効率の改善、電源構成における再生可能エネルギー発電の比率を引き上げによる温暖化ガス排出量の削減、あるいは原子力発電におけるリスク管理の厳格化など

現行の電力システムの最適化が環境パフォーマンスの構成要素となる。一方、再生可能エネルギー発電および蓄電設備の技術革新とコスト低下が進むことにより、中央制御型の電力ネットワークよりも再生可能エネルギー発電とスマートグリッドを活用する地域分散型の小規模電力ネットワークのほうがより持続可能な電力システムとなるのであれば、電力産業では破壊型の変化 (Discontinuity)、すなわち電力システムの再構築が求められ、電力会社が既存の大型発電施設と大型送電ネットワークを前提とする電力生産システムの最適化による継続・漸進型の変化 (Continuity) を進めたとしても、この経営努力は環境パフォーマンスの向上とは捉えられなくなるだろう。

2.4 おわりに

環境パフォーマンスが財務パフォーマンスに影響を与えるためには、環境経営が最終的に財務会計上で捕捉される金銭的価値を生み出す必要があるが、この金銭的価値が生み出される過程は外部ステークホルダーの独立した経路依存的 (Path dependent) な意思決定の影響を受ける。企業と外部ステークホルダーが負の外部性 (Externality) について均質の価値基準を持つことにより環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの関係性はより強まると考えることができるが、現実的には企業のバリューチェーンがグローバル化するなかで外部ステークホルダーの地理的な分散が進み、企業が外部ステークホルダーと負の外部性 (Externality) についての価値基準を共有することは容易ではない。企業と外部ステークホルダーの価値基準を均質化させるという点においてはグローバルに標準化されたEMSは一つの有効な手段であり、特に原材料構成の調整、生産工程の改善、もしくはエンド・オブ・パイプ型の汚染対応を中心とする継続・漸進型の変化 (Continuity) を促すが、一方で、EMSは現象面にのみ焦点をあてることにより、既存の産業構造を刷新するイノベーションにより根本的な問題解決を図る破壊的な変化 (Discontinuity) を停滞させる。環境パフォーマンスと財務パフォーマンスの関係性は企業が外部ステークホルダーと負の外部性 (Externality) についての価値基準を均質化させることにより強まるが、標準化された環境経営による価値基準の均質化は革新的な環境イノベーションを停滞させるというパラドックスを内包している。

参考文献

- Awerbuch, S. (2004). *Restructuring our electricity networks to promote decarbonisation*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 49, March 2004 (<http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/wp49.pdf>; URL accessed on September 22, 2016).
- Donaldson, T., Preston, L.E.. (1995). *The stakeholder theory of the corporation: Concepts, evidence, and implications*. The Academy of Management Review, Vol. 20, No. 1, January 1995, 65-91.
- Endrikat, J., Guenther, E., Hoppe, H. (2014). *Making sense of conflicting empirical findings: A meta-analytic review of the relationship between corporate environmental and financial performance*. European Management Journal (2014) 32, 735-751.
- Freimann, J., Schwaderlapp, R. (1996). *Implementation of the EU's EMAS Regulation in German companies*. Eco-Management and Auditing 3: 109-112.

- Fron dela, M., Horbach, J., Rennings, K. (2008). *What triggers environmental management and innovation? Empirical evidence for Germany*. *Ecological Economics* 66 (2008), 154-160.
- Ghisetti, C., Rennings, Klaus. (2014). *Environmental innovation and profitability: how does it pay to be green? An empirical analysis on the German innovation survey*. *Journal of Cleaner Production* 75 (2014) 106-117.
- Hart, S.L. (1995). *A natural resource-based view of the firm*. *Academy of Management Review* (1995), vol 20, No.4, 996-1014.
- Hart, S.L., Dowell, G. (2011). *A natural resource-based view of the firm: Fifteen years after*. *Journal of Management*, vol.37, No.5, September 2011, 1464-1479.
- Hertin, J., Berkhout, F., Tyteca, D., Wehrmeyer, W. (2003). *Are 'soft' policy instruments effective? Establishing the link between environmental management systems and the environmental performance of companies*. Berlin Conference on the Human Dimension of Global Environmental Change, 2003.
- Jones, T.M. (1995). *Instrumental stakeholder theory: A synthesis of ethics and economics*. *The Academy of Management Review*, Vol. 20, No. 2, April 1995, 404-437.
- Khanna, M., Anton, W.R.Q. (2002). *Corporate environmental management: regulatory and market-based pressures*. *Land Economics* 78 (4), 539-558.
- Kuisma, M., Lovio, R., Niskanen, S. (2001). *Hypotheses on the Impact of Environmental Management Systems in Industry*. Ministry of the Environment (Finland): Helsinki (in Finnish).
- Totti Könnölä, T., Unruh, G.C. (2005). *Really Changing the Course: the Limitations of Environmental Management Systems for Innovation*. *Business Strategy and the Environment*.
- Ulhøi, J., Welford, R. (2000). *Exploring corporate eco-modernism: challenging corporate rhetoric and scientific discourses*. *First International Conference on Systems Thinking in Management*, 613-618.
- Van de Ven, A. (1986). *Central problems in the management of innovation*. *Management Science* 32: 590-607.

化学物質のリスク評価における数理生態学モデルの応用

田中 嘉成⁽¹⁾

概要

化学物質の生態系への影響を評価する枠組みである生態リスク評価に対して、数理生態学モデルのアプローチを導入する近年の試みを概説した。数理生態学に基づきながらも限られた毒性情報から生態影響を推定するために開発された、個体群および生物群集レベルの解析手法を紹介し、生態リスクにおける生態学的な妥当性や現実性を改善するうえでの効用と、今後の課題を考察した。

Application of Mathematical Ecological Models to the Risk Assessment of Chemicals

Yoshinari Tanaka

Abstract

Recent attempts to introduce the approach with mathematical ecological models to the ecological risk assessment, which is a framework to assess the impact of chemical substances on ecosystems, were outlined. We introduced analytical methods of population- and community-level models, which have been developed based on mathematical ecology and estimate ecological impact from limited toxicity information. These models are expected to increase ecological validity and reality in ecological risk assessment. We examined the utility of the models in achieving these goals and discussed future issues for improving them.

(1) 上智大学大学院地球環境学研究科

化学物質のリスク評価における数理生態学モデルの応用

はじめに

現代における人類の福祉を維持していくためには、自然と調和した人間活動の営為が求められる。特に、合成化学物質は現代の物質文明の基礎を担っていると言っても過言ではなく、人の健康や自然生態系への影響を最小化する管理制度が求められている。国際的な動向を見ると、アメリカ合衆国のTSCA、欧州のREACH、日本の化審法などが整備され、化学物質の環境影響を適正に制御しながら製造・使用を許認可する管理制度が運用されている。

しかし、化学物質の生態系影響評価に関しては、生態系の「何」を守るべきか、また収集される毒性データに基づいてどのような解析手法が有効か明確に示されていない。つまり、保全すべき最終目標をどのように設定し、その目標を達成するためにどのような試験系と解析手法を組み合わせるか、多くの点で研究途上の段階にあるとすることができる。本稿では、従来の生態リスク¹評価法の限界を指摘し、その限界を克服する上で理論生態学的手法に期待される効用を、先行研究を総説する形で考察したい。

化学物質の生態系への影響を評価するうえでの問題点は、評価の現実性を担保するために生態系の構造と機能の複雑性をどの程度評価に反映させるかという点と、そのために収集可能な毒性データの質と量が限られるデータギャップをどのように克服するかという2点に集約される。

多くの種が種間相互作用によって結びついた自然生態系では、化学物質は個体群への影響を介して生物群集の構造（種構成）を変化させ、最終的には生態系機能にインパクトを与えると考えられる。生物生態系は、種の個体群が生態学的な相互作用（食うものと食われるものとの関係など）で結びついた生物群集で成り立っている。したがって、化学物質の生態リスク評価を生態学的な視点で高精度化する場合、化学物質の生態影響を特定の生物種の個体群のレベルで定量化する方向と、さらに生物群集のレベルに敷衍する方向が考えられる。

個体群レベル生態リスク評価

自然界では、野生生物はある範囲の空間スケールにおいて潜在的に繁殖可能な同種の個体の集団として生息している。この個体の集団のことを個体群と言う。化学物質の野生生物への影響は、生態系の構成要素である生物の個体群の存続を1つの究極的な保全目標として評価される。個体群の成員である個々の生物個体は、保全目標と考えないのが一般的である。この点は、集団の存続とは別途、個人の福利を考慮する人の健康影響評価とは概念が異なっている。生物の個体群の存続を評価基準とした化学物質のリスク評価では、特に個体群内の個体数が繁殖によって単位時間あたりに増加することのできる潜在的な増殖率、つまり個体群増加率（または内的自然増加率）を指標にするいくつかの方法が提案されてきた（Caswell 1996; van Leeuwen et al 1985; DeRoos

1 生態リスク：化学物質や富栄養化、外来種の侵入、温暖化など人為的かく乱要因の生態系へのリスクを評価する環境リスクの一分野。

et al 1992; Fernandez-Casalderrey 1993; Forbes et al 2001; Dequesne 2006)。化学物質の生態影響を種の個体群増加率に換算することの利点は、それが生態学的に妥当であるという以外に、化学物質の曝露に時間変動があることや、曝露時点における個体群の年齢構成の違いなどを勘案でき、生態リスク評価における複雑な要因を評価体系に組み込むことができることである (Caswell 1996; Stark and Banken 1999)。

Tanaka and Nakanishi (2000) は、個体群レベルの生態リスク評価手法における生態学的妥当性を改善するため、個体群の存続可能性ないし絶滅リスクとして評価する方法を考案した (c.f. Nakamaru et al 2003)。個体群の絶滅は、再移入などの過程を考慮しなければ回復不可能な不可逆な事象であり、種の絶滅リスクとも関連があるために、生態リスク評価の最も有効な指標の一つと考えられる (Suter 1993; Forbes and Calow 1999)。

個体群の絶滅リスクは、個体群増加率および環境収容力 (特定の環境における個体数の上限値) などの個体群パラメータと特定の関数関係があることが知られている (Lande 1993; Foley 1994)。Tanaka and Nakanishi (2000) は、特に化学物質の影響を受けやすい個体群増加率 (内的自然増加率) に着目し、化学物質による内的自然増加率の低減から、個体群の平均絶滅時間 (MET, mean extinction time) の減少として絶滅リスクを評価する方法を提案した。数理生態学では、生物個体群の年齢別生存率 S_t (年齢 t までの生存率) と年齢別産子数 M_t (年齢 t における個体あたり平均産子数) から、次のオイラー・ロトカ方程式を数値的に解くことによって定常的な個体群の内的自然増加率 r を推定できることが知られている (Caswell 1996)。

$$\sum_{t=0}^{t_{max}} e^{-rt} S_t M_t = 1 \quad (1)$$

ここで、 t_{max} は生物種の寿命である。よって、化学物質の生物への影響を、年齢別の生存率 (生存曲線) や年齢別産子数 (繁殖スケジュール) の減少として定量化することが必要となる。これを可能とする生態毒性試験は、生命史試験としてミジンコ類 (*Daphnia magna* など) や淡水魚などいくつかの生物種で試みられてきた (Daniels and Allan 1981; Gentile et al 1982; van Leeuwen et al 1985; 田中・中西 1998)。ただし、大部分の化学物質と試験生物では、詳細な生命表試験データは得られないため、短時間の試験で推定された死亡や遊泳阻害に対する急性毒性値 (半数致死濃度や半数影響濃度) から、内的自然増加率を統計的に推定する方法を提案した (Tanaka and Nakanishi 2001)。

生物の個体群の多くは、定常的な環境変動にさらされており、確率的に個体数の増減を繰り返している。そのような状況では、個体群は理論上無限に存続することはできず、絶滅までの平均待ち時間 (\bar{T} : 平均絶滅時間 MET) は概ね次式に従うと考えられている (Lande, 1993, 1998)。

$$\bar{T} \propto K^{2r/v-1} \quad (2)$$

ここで、 K は環境収容力、 v は個体群増加率の環境要因による分散値 (環境分散) である。個体群の内的自然増加率が化学物質の曝露濃度に対して近似的に2次関数的に反応する場合 (動植物プランクトンの毒性データはそのことを支持している; Tanaka and Nakanishi 2001)、化学物質曝露による平均絶滅時間の対数変換値の減少分は次式に従う (Tanaka and Nakanishi 2000)。

表1. 化学物質によるミジンコ (*Daphnia magna*) 個体群の絶滅リスク評価結果

化学物質	chemicals	MEEC	EEC	LC50	Δp	Δp^*	EHQ
LAS	LAS	3000	1500	5700	4.00×10^{-4}	5.60×10^{-3}	26.3
ピリダフェンチオン	pyridaphenthion	12	6	38	7.35×10^{-7}	3.75×10^{-6}	15.8
馬拉ソン	malathion	4.5	2.24	13	5.91×10^{-7}	3.03×10^{-6}	17.2
ダイアジノン	diazinon	2	1	7.8	2.58×10^{-7}	1.34×10^{-6}	12.8
ノニルフェノール	nonylphenol	7.1	3.5	75	7.59×10^{-8}	4.13×10^{-7}	4.67
フェノカルブ	fenocarb	12	6	320	2.09×10^{-8}	1.30×10^{-7}	1.88
フェントロチオン	fenitrothion	0.2	0.1	9.2	2.58×10^{-9}	1.99×10^{-8}	1.09
ベンチオカーブ	benthiocarb	7	3.5	750	2.04×10^{-9}	1.60×10^{-8}	0.467
メフェナセット	mefenaset	8	4	1840	6.46×10^{-10}	5.57×10^{-9}	0.217
フェンチオン	fenthion	0.05	0.03	5.5	4.41×10^{-10}	3.95×10^{-9}	0.455
モリネート	molinate	24	12	40000	3.86×10^{-11}	4.13×10^{-10}	0.03
シメトリン	simetryn	9	4.5	27000	1.18×10^{-11}	1.36×10^{-10}	0.017
プレチラクロール	pretyrachlor	6	3	26500	6.33×10^{-12}	7.58×10^{-11}	0.011
ブタクロール	butachlor	2	1	25000	8.38×10^{-13}	1.13×10^{-11}	0.004

注)

MEEC：化学物質の環境中濃度の最大値 (ppb)

EEC：化学物質の環境中濃度 (MEECの0.5倍と仮定)

LC50：急性毒性値 (ppb)

Δp ：絶滅確率

Δp^* ：絶滅確率の上限値

EHQ：生態リスク指数、(EEC/LC50) 100

$$\Delta \log \bar{T} = -\frac{2h^2 r_{max} \log K}{k^2 v} \quad (3)$$

ここで、 k は、内的自然増率が0になる曝露濃度に対する急性毒性値 (LC50) の回帰係数、 h は曝露濃度の急性毒性値に対する比率 (毒性単位)、 r_{max} は化学物質曝露のない状態の最大内的自然増加率である。この大まかな換算式によると、急性毒性値の10%の曝露濃度が継続するとき、個体群の平均絶滅時間は平均16パーセント減少し、生息地 (環境収容力に比例する) の1.2パーセントの消失に相当する絶滅リスクをもたらすと予測される。

化学物質の環境中濃度として、文献値の最大値の50パーセントを仮定した場合の、絶滅リスク評価の結果を表1に示す (絶滅確率の増分 Δp は平均絶滅時間の減少分の逆数である)。絶滅リスク (絶滅確率増加分) は、曝露濃度の広い範囲で、濃度変化に対してほぼ指数関数的に増加する (Δp の対数変換値が曝露濃度に対してほぼ線形に増加する)。このことは、曝露濃度に比例する従来の生態リスク評価指数 (EHQ) に比べ、個体群の絶滅リスクはよりリスクランキングの高い化学物質の生態リスクがEHQから推測されるより高いことを示唆している。

群集レベルの生態リスク評価

化学物質の生物群集レベル効果は、化学物質の生態影響を評価するうえで最終的な保護目標に最も近い一方で、科学的な知見を得ることが最も困難な分野と見做されている。

比較的近年に着目されている評価手法として、特定の化学物質に対する生態毒性データを多数の生物種で収集し、毒性値（無影響濃度 NOEC 等）の種間の分布に基づいて影響評価を行う種の感受性分布（SSD: Species Sensitivity Distribution）や、生態系モデルに生態毒性反応を組み込む生態モデリング手法などが開発されている（Posthuma et al 2002）。

しかし、スクリーニングレベルで一般的に要求されている3種（藻類・ミジンコ・魚）の基礎的生態毒性データの解釈を生態学的に高精度化する試みは殆ど行われていない。また、実際の化学物質管理のリスク評価の場面においても、有害性評価のために使用される生態毒性データは3栄養段階の基礎的データが主要であり、スクリーニングレベルで要求される試験生物種を大きく逸脱した広範な種から生態毒性データが収集、利用されることは稀である。このことは、化学物質の生態影響を、限られた種で取得された有害性情報から生態学的に妥当な方法で評価する手法は、リスク評価の枠組み全体を生態学的な視点で大幅に改善しうることを意味している。

著者は、上記の目的を達成する解析手法として水系3栄養段階生態リスク評価モデル A-TERAM（aquatic tri-trophic ecological risk assessment model）を開発し、簡易なソフトウェアを作成した。A-TERAMの主な特徴は、化学物質の生態影響を個体群レベルと種間相互作用を介する群集レベルの効果を評価することにより、評価の生態学的な意義を明確にすること、化学物質審査規制法や農薬取締法等で定められている標準的スクリーニングデータに対する生態学的な解釈を明確にするとともに、曝露評価、蓄積性評価、毒性評価などの異なった分野間のデータを数理モデルで統合化することによって、より妥当な評価法を提出することである。

以下に、A-TERAMの概要を解説し、主な解析結果を示す。

A-TERAMは、捕食・被食関係によって連結される3栄養段階、藻類－ミジンコ類（*Daphnia* 属）－魚（メダカ *Oryzias latipes*）の個体密度の動態を、日単位でシミュレーションする。生態リスクは、最上位種のメダカ個体群の年あたり増加率（4月初日から翌年の4月初日までを想定）として評価する。藻類とミジンコ、ミジンコと魚の間の食うものと食われるものとの関係は、生態学モデル最も一般的に使われる Holling II 型の捕食関数で近似し、下位種の減少が上位種に波及する間

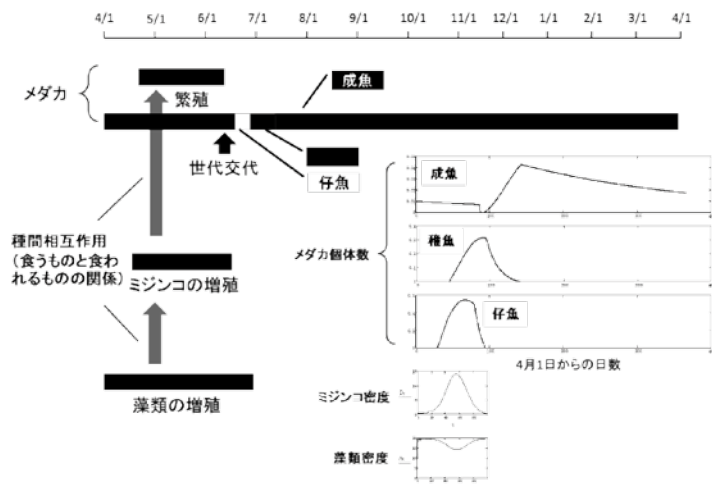


図1. 水系3栄養段階生態リスク評価モデル (A-TERAM) で想定されている生物群集の季節的消長を示す模式図。

接効果を把握できるようにした。

時間 t (4月1日からの経過日数) における、齢 a 日の魚の個体数を $F(t, a)$ (個体数密度 ind/m³)、時間 t における藻類及びミジンコのバイオマス密度をそれぞれ $A(t)$ (クロロフィル密度換算 ugChla/L)、 $D(t)$ (mg [乾燥重量] /L) と表記する。食うものと食われるものの関係で直鎖型に連結された3栄養段階の動態は次式で表現される。

$$A(t+1) = R_a e^{-\frac{\ln R_a A(t)}{K_a}} A(t) - G_{max} \frac{D(t)}{h_a + A(t)} A(t) \quad (4)$$

$$D(t+1) = \left\{ S_d + c G_{max} \frac{A(t)}{h_a + A(t)} 10^{-\left(\frac{t - T_{opt}}{T_w}\right)^2} \left(1 - \frac{D(t)}{K_d}\right) \right\} D(t) \quad (5)$$

$$F(t+1, 1) = \left\{ \omega + (1 - \omega) \frac{D(t)}{h_d + D(t)} \right\} \sum_{a=71}^{420} F(t, a) R(t, a) \quad (6)$$

$$F(t+1, a+1) = S_f(a) F(t, a) \quad (a \geq 1) \quad (7)$$

と記述される。式 (6) は、繁殖による魚個体群の加入を、式 (7) は齢別死亡率による魚個体群の動態を示す。 G_{max} はミジンコの最大摂食率、 h_a はミジンコによる藻類の摂食における半飽和定数、 R_a は藻類の個体群増加率、 K_a は藻類の環境収容力、 h_d は魚の半飽和定数、 $R(t, a)$ は時点 t における齢 a のメスの魚1匹あたり1日当たりの産卵数 (餌条件が十分な時の産卵数) である。 ω は魚の摂食ニッチ幅で、魚にとってのミジンコ以外の餌生物の相対的な資源利用可能性を意味する。 $S_f(a)$ は魚の日当たり生存率である。ミジンコの増殖能力は季節によって大きな変動を示すことから、季節関数 $10^{-\left(\frac{t - T_{opt}}{T_w}\right)^2}$ が繁殖による個体群増加率に乘じられている。ここで、 T_{opt} はミジンコ増殖の最適日、 T_w はミジンコ増殖期間の幅である。大型ミジンコ類が4月下旬をピークに6月下旬にはほとんど出現しなくなることから、 $T_{opt} = 30$ 、 $T_w = 60$ と設定した。小規模な淡水生態系を模して、春季に藻類の出現とそれに引き続くミジンコ類の増殖、4月末から5月にかけてのメダカの繁殖が再現されるようにモデルのパラメータを設定した。種間相互作用は藻類からミジンコ、ミジンコから魚へとボトムアップ式に作用する。餌生物としてのミジンコの欠乏による魚の個体群への影響は、春季における魚の繁殖の阻害によって生じると仮定している (式6)。魚に関しては体成長の遅延 (成長阻害) を介した慢性影響を評価するために、個体数以外に平均体サイズ (体長) の季節的動態をフォン・ベルタランフィ関数に基づいてモデル化した。時間 t における齢 a の魚の体長 $L(t, a)$ は、産卵数 $R(t, a)$ に3次関数的に寄与すると仮定した。

化学物質の生物蓄積性が、魚の慢性毒性に及ぼす影響を考慮するために、化学物質の魚類体内中の動態を1次の毒性動力学モデルで表した。化学物質の生態毒性は、メダカの急性毒性・成長 (繁殖) 阻害、ミジンコの急性遊泳阻害・繁殖阻害、藻類の増殖阻害の6種を考慮した。これらの生態毒性データは、OECDテストガイドラインで定められている生態毒性情報をほぼ網羅している。リスク評価手法としての一般性を持たせるため、魚類の急性致死、ミジンコの急性遊泳阻害、藻類増殖阻害の3種類のデータを最低限必要な毒性情報とし、その他の生態毒性は、必要な3種類のデータから外挿推定する方法 (メダカ急性毒性-メダカ成長 [繁殖] 阻害、ミジンコ急性遊泳阻害-ミジンコ繁殖阻害) を採用した (図2)。

化学物質の曝露に対する個体もしくは個体群レベルの反応を表す関数をハザード関数として、一般閾値モデル (Jager et al 2011) を採用し、毒性の反応を化学物質、生物反応ごとに反応閾値濃度 (常用対数スケール) z 、反応勾配 η の2つのパラメータで再現した。実際のリスク評価では、反応閾値を個々の化学物質の毒性データから推定し、反応勾配に関しては、「環境省生態影響試験結果」平成24年3月版の生態毒性データに対する統計解析によって経験分布を推定し、その最頻値を採用した (図3参照)。

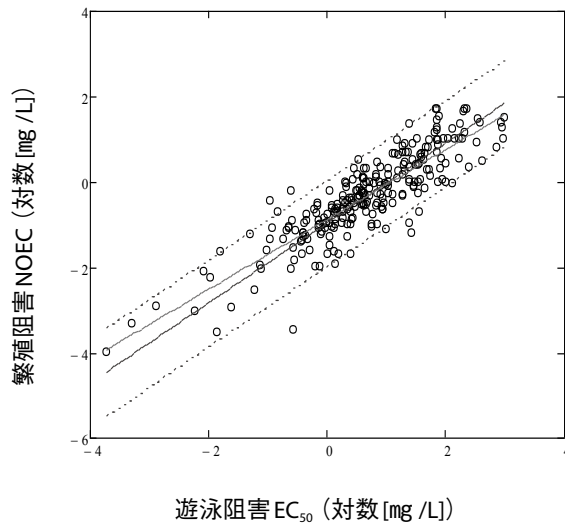


図2. ミジンコの遊泳阻害 EC_{50} (急性毒性値) に対するミジンコの繁殖阻害 $NOEC$ (無影響濃度) の回帰。白抜き丸は観測された毒性値、破線は95パーセント信頼区間を示す。

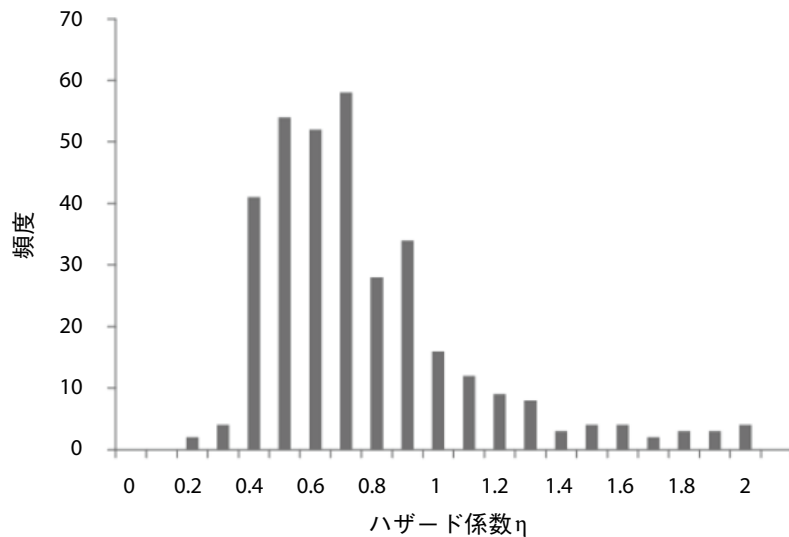


図3. ミジンコの遊泳阻害 (急性毒性) におけるハザード関数の反応勾配 η の経験分布。データは、「環境省生態影響試験結果」平成24年3月版の生態毒性試験に基づく。

6種類の生態毒性を表すハザード関数は、3栄養段階モデルにおける、魚の日あたり生存率 S_M 、魚の成長、魚の産卵数 R_{max} 、ミジンコの日あたり生存率 S_D 、ミジンコの繁殖 c 、藻類の増殖 R_a のパラメータに作用させ、これらの毒性影響が群集の動態に反映させるようにした。

A-TERAMにおける生態リスク評価の指標は、最上位種である魚の年あたり個体群増加率の低下率であり、生態リスク指数 (ERQ) と呼ぶ。個体群増加率はある年の個体数に対する次の年の個体数の比率 (ある年の個体数を N 、次の年の個体数を N' とすると、 N'/N) として定義する。魚の年あたり個体群増加率 λ は、モデル上では4月1日 (シミュレーション開始時) における成魚の個体数に対する1年後の4月1日における成魚の個体数の比率と定義され、次式によって与えられる。

$$\lambda = \frac{\sum_{k=\alpha}^{420} F(365,k)}{F(1,335)} \quad (8)$$

ここで、 $F(1,335)$ は初期個体数 (シミュレーションでは、全個体が前年の5月1日に生まれた成魚、つまり日齢335の個体から始まると仮定している)、 α は性成熟するのに必要な日数である。化学物質の曝露がない条件下における個体群増加率を λ_{max} 、曝露条件下における個体群増加率を λ と書くと、生態リスク指数は $ERQ = 1 - \frac{\lambda}{\lambda_{max}}$ と定義される。

A-TERAMに基づく生態影響評価と従来の予測無影響濃度等の手法との比較のため、3栄養段階の無影響濃度 (NOEC) の最小値に不確実係数を除して得られる従来の予測無影響濃度 (PNEC) と、A-TERAMが10%の個体群増加率減少を予測する濃度 com-EC10 とを比較した。図4には、環境省環境リスク初期評価対象物質 (255物質) および水産動植物農薬登録保留基準の付された農薬 (241物質) に関して、それぞれ、化学物質審査規制法や農薬取締法に基づく生態影響評価結果と、最上位種 (魚) の個体群増加率から算定したA-TERAMによる生態影響評価結果 (com-EC10: ERQが0.1となる曝露濃度) が両対数目盛で示してある。PNEC値や登録保留基準が同じでも、A-TERAMによる基準値 (com-EC10) の算定は最大で2桁程度の違いがあり、生態学的要因を管理原則に取り入れることにより、生態影響予測を高精度化し、生態リスク評価の生態学的妥当性を改善できることを示している (図4参照)。PNEC値もしくは農薬登録保留基準と、A-TERAMの算定結果の違いは、化学物質によって異なる栄養段階への毒性の分布に違いがあること、すなわち、従来の手法では、3栄養段階における慢性無影響濃度 (農薬登録保留基準では急性毒性値) の最小値のみから算定されるが、A-TERAMでは、どの栄養段階にどれくらいの反応率をもたらすか、1栄養段階のみではなく2栄養段階以上に無視できない毒性反応をもたらすかなどが考慮に入れられることに起因すると考えられる。さらに、非常に生物蓄積性の高い物質はA-TERAMでは生態影響が高く評価される。このことは、A-TERAMに基づく生態リスク評価結果が、限られた毒性情報と曝露推定しかないスクリーニング段階にある化学物質のリスクランキングにおいても、従来の手法とは異なる算定結果をもたらすことを示している。

実際の化学物質管理行政の支援ツールとしての普及を目的として、A-TERAMを通常のグラフィカルユーザーインターフェイス上 (Windows版のみ) で操作でき、限られた物性・生態毒性情報から生態影響評価が可能な汎用性を備えたアプリケーションソフトウェアとして開発し (A-TERAM ver.1)、その使用マニュアルと解説書と共に国立環境研究所ホームページ上で公開を

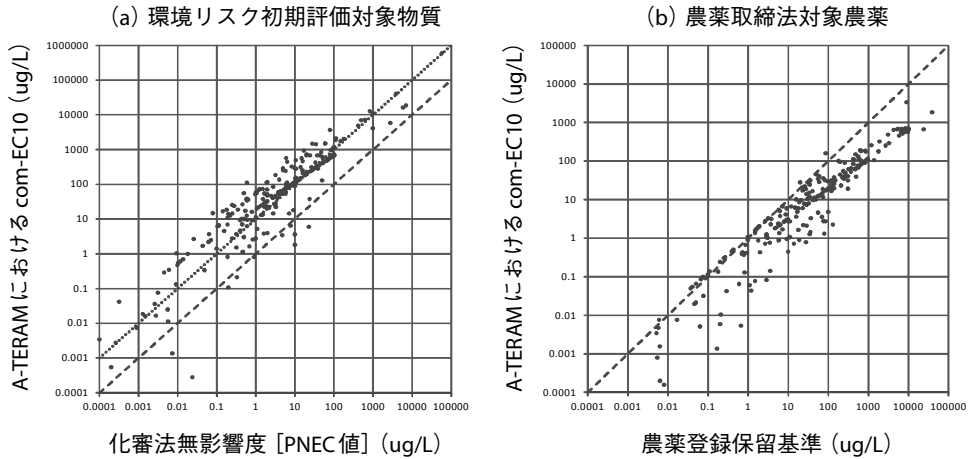


図4. 3栄養段階生態リスク評価モデルに基づく群集レベル効果10%濃度 (com-EC10) と、環境リスク初期評価対象物質および農薬取締法対象農薬のPNEC値および農薬登録保留基準の比較。

始めている (<http://www.nies.go.jp/ateram/index.html>)。

考察

化学物質による環境汚染の影響を生態系の観点から評価する手法に関して、著者による先行研究及び進行中の研究成果をもとに概観した。本稿で触れられなかった重要な研究分野には、メソコスムなどの人工生態系もしくは隔離生態系を利用した評価法、種の感受性分布を利用した評価法、多種系の食物網からなる生態系モデルによる評価法などがあげられる。特に、種の感受性分布SSDを活用する方法は、比較的広範囲な化学物質にも適用可能であり、化学物質の群集レベル効果の評価を高精度化することができることから、我が国の化学物質管理制度への適用が検討されている。ただし、種の感受性分布には、2つの欠点が指摘される。その1つは、生態系を構成する生物種はそれが属する栄養段階や機能群²によって生態系に果たす役割が大きく異なり、同じ大きさの影響を個体群や群集のレベルで受けたとしても、生態系への影響も同じとは考えられないことである。このことは、もう1つの欠点、すなわち、多くの化学物質で、種の感受性の分布が栄養段階や機能群、生物系統群によって大きく異なることを助長してしまう。

本稿で紹介した水系3栄養段階生態リスク評価モデルA-TERAMは、各栄養段階の生物を多種系に拡張し、感受性の分布を組み込むことが可能と考えられ、種の感受性情報を利用する改訂版の開発は今後の研究テーマとして取り組みたい。また、個体群の絶滅リスク評価とA-TERAMによる群集レベル影響評価との統合化も、今後の課題である。A-TERAMで評価対象となるプランクトン食魚の中には絶滅危惧種に指定される希少種も含まれ、絶滅リスク評価が一定の現実性を帯びる。この手法がさらに発展すれば、温暖化や生息地の破壊、外来種の侵入などの環境かく乱要因とのリスク比較が可能となり、環境政策を比較評価する生態学的な手法の確立が展望される。

2 機能群：同じ生態系機能を持つ生物種のグループのこと。

引用文献

- Caswell H. 1996. Demography meets ecotoxicology: Untangling the population level effects of toxic substances. In Newman MC, Jagoe CH, eds, *Ecotoxicology: A Hierarchical Treatment*. Lewis, Boca Raton, FL, USA, pp 255–292.
- Daniels RE, Allan JD. 1981. Life table evaluation of chronic exposure to a pesticide. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences* 38: 485-494.
- Duquesne, S. 2006. Effects of an organophosphate on *Daphnia magna* at suborganismal and organismal levels: Implications for population dynamics. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 65: 145-150.
- DeRoos, A. M., O. Diekmann and J. A. J. Metz 1992. Studying the dynamics of structured population models: A versatile technique and its application to *Daphnia*. *American Naturalist* 139: 123-147.
- Fernandez-Casalderrey, A., M. D. Ferrando and E. Andreu-Moliner 1993. Effects of endosulfan on survival, growth and reproduction of *Daphnia magna*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 106C: 437-441.
- Foley P. 1994. Predicting extinction times from environmental stochasticity and carrying capacity. *Conservation Biology* 8: 124-137.
- Forbes, V. E. and P. Calow 1999. Is the per capita rate of increase a good measure of population-level effects in ecotoxicology? *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 1544-1556.
- Forbes, V. E., Sibly, R. M. and P. Calow 2001. Toxicant impacts on density-limited populations: a critical review of theory, practice, and results. *Ecological Application* 11: 1249-1257.
- Gentile JH, Gentile SM, Hairston NG, Sullivan BK. 1982. The use of life-tables for evaluating the chronic toxicity of pollutants to *Mysidopsis bahia*. *Hydrobiologia* 93:179-187.
- Jager, T., C. Albert, T. G. Preuss and R. Ashauer (2011) General unified threshold model of survival – a toxicokinetic-toxicodynamic framework for ecotoxicology. *Environmental Science and Technology* 45: 2529-2540.
- Lande R. 1993. Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes. *American Naturalist* 142: 911-927.
- Lande R. 1998. Anthropogenic, ecological and genetic factors in extinction and conservation. *Researches on Population Ecology* 40: 259-269.
- Nakamaru, M., Iwasa, Y. and J. Nakanishi 2003. Extinction risk to bird populations caused by DDT exposure. *Chemosphere* 53: 377-387.
- Posthuma, L., Suter II, G. W. and T. P. Traas 2002. *Species Sensitivity Distribution in Ecotoxicology*. Lewis Publisher, Boca Raton, USA.
- Stark, J. D. and J. A. O. Banken 1999. Importance of population structure at the time of toxicant exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 42: 282-287.
- Suter II GW. 1993. *Ecological Risk Assessment*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
- Tanaka, Y. 2003. Ecological risk assessment of pollutant chemicals: extinction risk based on population-level effects. *Chemosphere* 53: 421-425.
- 田中嘉成・中西準子. 1998. 慢性毒性 of 生命表評価法と生態リスク分析. *水環境学会誌* 21: 589-595.
- Tanaka, Y. and Nakanishi, J. 2000. Mean extinction time of populations under toxicant stress and ecological risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19:2856-2862.
- Tanaka, Y. and Nakanishi, J. 2001. Model selection and parameterization of the concentration-response functions for population-level effects. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20: 1857-1865.
- Tanaka, Y. and Mano, H. 2012. Functional traits of herbivores and the food chain efficiency in a simple model ecosystem. *Ecological Modelling* 237-238: 88-100.
- van Leeuwen, C. J., W. J. Luttmer and P. S. Griffioen 1985. The use of cohorts and populations in chronic toxicity studies with *Daphnia magna*: A cadmium example. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 9: 26-39.

Gender Difference in Pro-Environmental Activities in Japan: Emergence of a New Domestic Work?

Keiko Hirao

Abstract

Past research on pro-environmental behaviors has generally reported a “gender gap,” whereby women are more likely to engage in such activities. This research aims to understand this gender gap in the social context of household division of labor. The data used for the analyses come from the 2008 Japanese General Social Survey, national representative data that survey 4,220 men and women from the ages of 20 to 89. Analyses revealed that more than half of the differences of gender in pro-environmental behaviors, such as saving on electricity and buying chemical-free or organic vegetables by the fact that these activities are carried out as a part of domestic work, of which women carry the lion’s share. For other pro-environmental behavior, such as bringing ones own shopping bags to stores and using public transportations (instead of driving), and using recycled products, participation in domestic work explained approximately 30% to 40% of the gender effect. After taking into account that domestic work is mainly carried out by women, the direct effect of gender still remained; women are more likely to take part in pro-environmental behaviors on a day-to-day basis. Implications for green consumerism and a gender gap in unpaid work are discussed.

環境配慮行動と家事労働

—— JGSS 2008 による分析 ——

平尾 桂子

概要

女性の方が男性にくらべて環境配慮行動の実施率が高いのはなぜか。本論は、この問いに対して、環境配慮行動として一般的に認知される行為の社会的文脈から接近することを目的とする。使用したデータは大阪商業大学 JGSS 研究センターが東京大学社会科学研究所の協力を受けて実施した「日本版 General Social Survey (JGSS)」の 2008 年データ (JGSS-2008) である。分析の結果、設問に組み込まれた 6 項目のうち「故障したものは修理して使う」以外はすべて女性の方に実行率が高い傾向が確認されると共に、「節電」や「エコバッグの持参」などの環境配慮行動に見られる性差の 30%～50% がこれらの行為が「家事」として行われていることで説明できることが明らかになった。

KEY WORDS: pro-environmental behavior, gender, unpaid work, Japan, JGSS

Gender Difference in Pro-Environmental Activities in Japan: Emergence of a New Domestic Work?

I. Introduction

The last forty years have witnessed a fundamental conversion of the ways in which environmental problems are conceptualized. In the past, environmental degradations were defined as problems with identifiable wrongdoers that pollute air or water, or emit noise. While many of the pollution problems still remain unsolved, this simplistic assailant-victim dichotomy is no longer valid as environmental problems are now conceptualized as anthropogenic, resulting from the influence of human beings on nature. The cause of environmental degradation, global warming, and climate change are now thought to be our modern *lifestyles* that pursue material comfort and convenience, creating demands for massive production of goods and services. With this conceptual reformation, a range of personalized environmental actions began to be called for (United Nations 1992). The recommended actions include water conservation, energy saving, waste management, and making choices for “green consumption.” Such home-centered personal behaviors became a key priority to meet governments’ environmental targets.

The increased attention to personal environmental action has prompted research to measure individual environmental knowledge, attitudes, and concerns, and to identify the determinants of pro-environmental behaviors. Social psychologists have long worked in this endeavor in the context of attitude-behavior relationship (Stern, Dietz and Guagnano 1995; Hirose 1995). Sociologists also have investigated situational and demographic characteristics that affect individual pro-environmental activities (Barr and Gilg 2007; Derksen and Gartrell 1993).

Indicative of the newly emerged societal norm, surveys on environmental attitude show an overwhelming majority of respondents, over 85 percent, agreeing to statements such as “the life style of mass consumerism should be changed,” “reuse and recycle of waste must be promoted,” “personal and daily activities greatly influence the environment.” (Ministry of Environment 2015; Cabinet Office 2001). On the other hand, there have been reports on discrepancies between attitude/intention and actual behaviors. For example, in response to the question about green consumerism, 30 to 40 percent of the respondents showed ambivalence toward the cost and labor involved, stating that “it will damage convenience and comfort of life.” Forty percent of the respondents also expressed uncertainty as to what actual actions to take (Ministry of Environment 2008). In sum, there still remains a social dilemma, the incongruity between what one thinks is required for the public good and what is desirable for the personal well-being.

Then, who are the ones taking the personalized pro-environmental actions in spite of the extra cost and labor incurred? Numerous studies have found gender, along with age and education, to be one of the key variables. In general, women are reported to show higher concerns about environmental issues than men do, especially when it comes to local risk concerns (Davidson and Freudenburg 1996). Women are also reported to take more active part in pro-environmental behaviors, although the underlying mechanisms of this “gender gap” have been subject to debate.

This research aims to unravel the underlying assumptions on the meaning of “personalized” environmental actions by investigating the gender gap in the social context of household division of labor. This paper attempts to make contributions to the existing literature in two ways. First by directly testing how much of the gender differences can be explained by “domestic work,” it tries to present the implications of unpaid work on the efforts to curb the environmental degradation. Second, by presenting the results of analyses using micro-level data collected in Japan, it will add new knowledge to the literature, which has been mainly based on data collected in the United States and other European countries.

This paper begins with a brief review of the literature in both English and in Japanese that discuss the effect of gender on environmental attitude and behavior. It will then describe the data and method used, followed by the results and conclusion.

II. Gender Differences in Pro-Environmental Activities

Systematic researches on the gender difference in environmental attitudes and behaviors date back to 1980s (Hines, Hungerford, & Tomera 1986) and began to flourish in the 1990s with extensive reviews of the literature (e.g. Davidson and Freudenburg 1996) and use of large-scale datasets (Blocker and Eckberg 1997). The findings are somewhat mixed, partly due to the differences in measurement and the models to be employed (Fransson and Garling 1999). Blocker and Eckberg (1997) used the 1993 General Social Survey and found only weak direct effects of gender on regard for the economy and on propensity to take part in personal pro-environment actions like recycling. A closer look at their results, however, reveals that, while there is no gender difference in environmental attitude and participation in personal or organized actions, women do show higher risk concerns about environmental degradation and are more likely to prefer “green” lifestyles, such as eating organic food or cutting back on driving for environmental reasons. Likewise, according to Zelezny, Chua and Aldrich (2000) who reviewed research, women were reported to show greater concerns for environment than men when measured by the New Environmental Paradigm (NEP) developed by Dunlap & Van Liere (1978) and elaborated by Dunlap, Van Liere, Mertig, & Jonnes (2000). They also report that, in nine out of 13 papers on environment-related papers published during the review period, women were reported to participate more actively in pro-environmental behavior than men do (Zelezny, Chua and Aldrich 2000; Hunter, Hatch, and Johnson 2004). Accordingly, they conclude that women appear more engaged in household-oriented (private) pro-environment behaviors (e.g., recycling), and men in community- and society-oriented (public) activities.

Their conclusion was replicated in more recent cross national settings that used comparable survey data. Hunter, Hatch, and Johnson (2004) showed that women tend to engage in more environmental behavior than men, and that gender differences in level of private environmental behaviors tend to be more consistent within nations at the upper end of the wealth distribution.

In Japan, research on gender and environment is limited due to the lack of publicly available micro-level data on environmental issues. The Ministry of Environment has conducted repeated cross-sectional surveys since 1998 on opinions toward policies, and on attitude/behaviors regarding environment. The results show

consistent gender differences. For example, in the 2008 survey conducted by the Ministry of Environment, women scored higher participation levels in 20 out of 30 behavioral indexes, men scored higher in seven, and no difference was found in three (Ministry of Environment 2008). The same hold true for the survey conducted in 2015 in which women scored higher participation level in 11 out of 14 behavioral indexes, men scored higher in three (Ministry of Environment 2015). Men are more likely to participate in public activities and one-shot events on environment, such as “local planning on environmental issues,” and “local gathering on energy conservation.” On the other hands, women were more likely to be involved in home-based day-to-day activities such as “recycling paper, milk boxes, plastic bottles and cans” “trying to buy products with ‘Eco Mark’” and “trying not to drain oil and food waste,” and so on. Although the above results remain on the aggregate level without controlling for other socio-economic variables, the general direction is clear: women are acting in more ecological-friendly ways (Ministry of Environment 2015).

Matsubaguchi (2000), based on a survey among local co-op members, reports women to be more involved in pro-environmental activities. She also reports that this difference is found within couples and that husbands who participate more in domestic work are more likely to take pro-environmental actions. She does not, however, elaborate on the connection between domestic work and the propensity to take part in the activities for environment.

One of the few micro-level datasets available for environmental research is the Japanese General Social Survey (JGSS-2002 JGSS-2008)², which will be described later in this paper. Ohashi (2008) analyzed JGSS-2002 to assess the determinants of “eco-consumerism.” He found that women are more likely to take part in pro-environmental activities and estimated the determinant factors separately on men and women. For both sexes, he reports that education and living in urban areas, as well as the frequencies of domestic work, are positively related to the involvement in pro-environmental behavior. Ohashi, however did not elaborate on the linkage between how frequencies of domestic work and pro-environmental behaviors.

Likewise, based on the factor analyses using the same dataset, Tateishi (2006) reports that pro-environmental activities can be categorized into “frugality” and “green consumerism” (buying organic vegetables and used-products). He asserts that they are contextually separate behaviors with different determinants, but are equally affected by the frequency of domestic work. That is, those who do more domestic work are more likely to purchase “green” products and are more concerned about household budgets. After controlling for the frequency of domestic work, women are more likely to be concerned about green consumerism, but no difference was found in the “frugality,” such as water and energy conservation. He also tests the effect of attitudinal factors on domestic work (“men should also cook and tend to personal matters”) and found that those who hold egalitarian gender attitudes are more likely to be concerned about green-consumerism and household budget. In sum, he asserts that green consumerism, frugality and

1 The Eco Mark, acknowledged by Japan Environment Association, certifies that the product was produced in accordance with ISO-1420 and ISO-1424 of the International Organization of Standardization.

2 The analyses on gender difference in pro-environmental activities using JGSS-2002 was published in Hirao 2009. This paper focuses on the analyses using JGSS-2008.

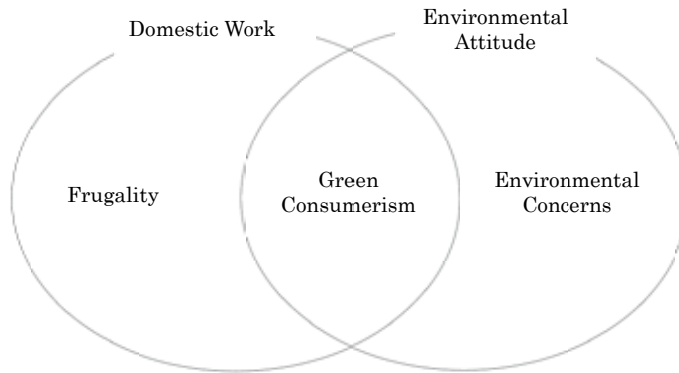


Figure 1 Diagram for Domestic Work and Environmental Attitude Source: Tateishi (2006) p. 9

environmental concerns (measured as dissatisfaction with government’s environmental policy) are loosely connected with each other, with domestic work affecting both frugality and green consumerism but are not necessarily correlated with environmental concerns. These connections are shown in the diagram in Figure 1, quoted from Tateishi (2006, p.13).

His perspective to understand pro-environmental activities in the context of domestic work is highly suggestive. Those who do not do the domestic work will never take part in housework-related pro-environmental activities, just like one will never consider sorting waste if he/she has never taken out the garbage. As evocative as Tateishi’s argument is, however, his main research question was not on the gender difference in pro-environmental behavior; he only points out that gender effect on frugality is partly mediated by the gender difference in carrying out the domestic work and thus does not give any further account on this issue.

Among the behavioral indexes used in environment-related surveys, which can be conceptualized as domestic work? How much of the gender difference in the pro-environmental activities can be explained by the gender gap in domestic work? These constitute the core questions of this research.

III. Data and Methods

The data used for the analyses come from the 2008 Japanese General Social Survey (JGSS-2008) that surveys men and women in Japan between the ages of 20 and 89. It is the eighth wave of national representative, repeated cross-sectional surveys that have been conducted since 2000 by the Institute of Regional Studies (from 2009 by the JGSS Research Center) at the Osaka University of Commerce in collaboration with the Institute of Social Science at the University of Tokyo. The samples were drawn using a stratified two-stage random sampling procedure, stratified by regional block and by population size. The surveys are administered via face-to-face interview for the core question items, along with two sets of modules of self-administered questionnaires.

The topics of the surveys vary by year, with a constant component that asks about socio-economic variables, such as income, employment status, and family structure. The JGSS-2008 contains questions on environmental attitude and behaviors, such as frequencies of day-to-day pro-environmental activities, experience and hours worked in voluntary work on environmental conservation, attitudes toward environmental policies, and green consumerism. The survey collected data from 4,220 men and women in the target age range with a response rate of 60.6%. The subsample for the analyses are restricted to the respondents who were assigned to answer the Self-Administered Questionnaire A, resulting in the final sample size of 2,060.

The dependent variables are the six question items included in the first set of self-administered questionnaire that ask frequencies of pro-environmental activities on a day-to-day basis, such as “using recycled products” and “electricity conservation.” (The wordings are listed in Table 1.) The questions were phrased as “How often do you conduct the following activities?” with four alternatives from “Frequently” to “Never.” The responses were coded reversely (Never=1, Rarely=2, Sometimes=3, Frequently=4) and added to construct a scale to measure the overall frequencies of pro-environmental activities ($\alpha = .643$). In the second set of analyses, these items are used individually to identify which activities are more likely to be carried out as part of domestic work.

In both sets of analyses, two models were employed. In the first model (Model I), the dependent variables are regressed on gender and a set of control variables described below. In the second model (Model II), frequency of domestic work is added to the equation to assess the change of the direct effect of gender. That is, the differences in the coefficients in the two models can be explained as the mediating effects of frequencies of domestic work.

The independent variables consist of gender and frequencies of domestic work. Gender was converted into a dummy variable with female coded as 1. The frequencies of domestic work were measured by using the five question items included in the survey: 1) cook evening meal, 2) do the laundry, 3) shop for groceries, 3) clean the house, and 4) take out the garbage. The responses of each items are coded as “everyday” = 7, “several days a week” = 3.5, “once a week” = 1, “once a month” = 0.25, “several times a year” = 0.1, “once a year” = 0.02, and “never” = 0 and added to construct a scale ($\alpha = 0.92$).

Control variables include years of education, age, income, living in urban area (as opposed to living in rural areas and in small cities with population less than 200,000), marital status (married = 1), and the presence of child(ren) under 18.

IV. Results

Table 1 shows the descriptive statistics of the variables used in the analyses broken down by sex. Men and women are equally likely to “repair and use broken items”, while strong gender difference was found in rest of the items. Women are more likely to “bring own shopping bag,” to “always turn off lights or appliances not in use,” to “buy chemical-free or organic vegetables,” and to “use recycled goods.”

Likewise, women show overwhelmingly higher frequencies of participating in domestic work. Men score

Table 1 Descriptive Statistics

	Men		Women		Total		F	
	Mean	s.d.	Mean	s.d.	Mean	s.d.		
Pro-environmental activity scale	16.3	3.4	18.0	3.2	17.2	3.4	124.8	***
Bring your own shopping bag	2.2	1.2	3.0	1.1	2.7	1.2	263.7	***
Always turn off lights or appliances not in use	3.3	0.7	3.5	0.7	3.4	0.7	60.1	***
Repair and use broken items	3.0	0.8	3.0	0.8	3.0	0.8	0.4	
Buy chemical-free or organic vegetables	2.6	0.9	2.9	0.9	2.8	0.9	60.0	***
Use recycled goods	2.8	0.9	3.0	0.9	2.9	0.9	28.6	***
Use public transportation	2.4	1.1	2.6	1.1	2.5	1.1	6.7	*
Frequency of domestic work	8.5	10.0	29.1	10.6	19.3	14.6	2,008.6	***
Years of schooling	13.4	3.4	12.7	2.9	13.0	3.2	26.4	***
Age	53.2	15.9	52.7	16.7	52.9	16.3	0.6	
Living in rural area	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	
Married	0.8	0.4	0.7	0.5	0.7	0.4	17.2	***
Family income (10,000 yen)	625.5	415.8	605.2	425.3	615.6	420.4	0.9	
Having child(ren) under 18	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	1.2	

*p < .05 **p < .01 ***p < .001

8.4 on the average, while women score 29.1. Incidentally, 45.2 percent of men, as opposed to 4.6 percent of women, “never” cook an evening meal; 49 percent of men, as opposed to 3.9 percent of women, “never” do the laundry. Similarly, 14.3 percent of men (2.9 percent for women) “never” go daily shopping, and 25.5 percent of men (9.4 percent for women) “never” take out the garbage.

Men are more educated than women, with 13.5 years of schooling on average, as opposed to 12.7 years for women. Men are slightly more likely to be married than women are. The average yearly household income for men is higher (¥6.3 million) than that for women (¥6.1 million). No significant gender difference was found in age, proportion of living in urban area, and the presence of child(ren) under 18.

After controlling for the factors above, how much of the gender difference in the participation of pro-environmental activities can be explained by the fact that women are more likely to take part in domestic work? Table 2 shows the results of the estimate using the overall pro-environmental activity scale as dependent variable. The left side panel of this table shows that being female, highly educated and having child(ren) are all positively related with frequencies of pro-environmental activities, while living in urban areas and income exert negative effects on the dependent variable.

Years of schooling, age, and being married are associated with higher frequency of pro-environmental activities, while living in urban area, family income, and having child(ren) did not exert significant effect. After controlling for these factors, being female is associated with higher frequency of pro-environmental

Table 2 Results from Regression Analyses of Pro-Environmental Activity Scale

	Model I			Model II		
	β	s.e.		β	s.e.	
Female	1.885	0.173	***	0.937	0.261	***
Years of schooling	0.128	0.031	***	0.130	0.031	***
Age	0.045	0.007	***	0.042	0.007	***
Living in urban area	0.291	0.173		0.247	0.172	
Married	0.629	0.236	**	0.578	0.234	*
Family income (ln)	-0.151	0.144		-0.099	0.143	
Having child(ren) under 18	0.1	0.231		0.003	0.230	
Frequency of domestic work				0.043	0.009	***
Adj R ²	0.105			0.119		

*p < .05 **p < .01 ***p < .001

Table 3 Results of Regression Analyses on Individual Pro-environmental Activities (regression estimators of being female)

	Bring your own shopping bag	Use public transportation	Always turn off electric appliances not in use	Repair and use broken items	Buy chemical-free or organic vegetables	Use recycled goods
Model I	0.81 ***	0.176 **	0.271 ***	-0.005	0.372 ***	0.261 ***
Model II	0.57 ***	0.119	0.113 *	-0.193	0.18 *	0.148 *
Proportion of Variance Explained by Model II	0.30	0.32	0.58	-	0.52	0.43

*p < .05 **p < .01 ***p < .001

Control Variables: years of education, age, living in urban area, marital status, family income (ln), having child(ren) under 18

activities (Model I). Adding the frequency of domestic work in Model II decreases the direct effect of gender from 1.88 to .937. That is, about a half of the gender difference in pro-environmental activities can be explained by the fact that women are more likely to take part in domestic work. In other words, approximately a half of the so-called environmentally conscious activities are carried out as part of domestic work. Another result of interest is the effect of marital status. After adding the frequency of domestic work in the model, the coefficient of this variable decreases from .629 to .578 with lower significance level, indicating that being married is associated with higher frequencies of pro-environmental activities, but this effect is partly mediated by the fact that married people are more likely to domestic work.

Let us turn our attention to the results of the analyses using the individual pro-environmental activity scales. Table 3 lists the coefficient of gender in both models and the proportion of variance explained by

the second model.

As for “repair and use broken items”, gender exerts no effect in either models. That is, men and women are equally likely to repair and use broken items, but this act is not related with domestic work.

The remaining five items show significant decrease in the direct effect of gender when frequency of domestic work is added to the model: from approximately 30 percent (in case of “bring shopping bags”) to 58 percent (for “turning off electric appliances not in use”). These decreases in the estimators are the portions of gender effect that is mediated by the fact that women are more likely to do the domestic work. In other words, 30 to approximately 60 percent of these pro-environmental activities are carried out *as part of* domestic work.

What about the remaining portions? How can we explain the direct effect that still remains after controlling for the frequencies of domestic work? In separate analyses, I tested the effects of employment status, work hours, respondents’ own income, and opinion toward government’s environmental policies, but none of these factors explained the direct effect of gender on pro-environmental behaviors.

V. Discussion and Conclusion

This research aims at explaining gender differences in pro-environmental behavior in the social context of domestic work by to assessing how much of these activities are carried out as a part of the domestic work. The behavioral indexes used in the analyses are the ones generally promoted by the officials to curb the environmental degradation, and they are the ones used as standard questions in various social surveys to assess individual involvement on environmental issues. “Think globally, act locally” is the catchword often used to exhort individuals to participate in a range of behaviors to ameliorate the negative impact of their lifestyles on the environment.

The results of analyses show that women are more likely to participate in such activities; women are more likely to be engaged in five out of six indexes used in the analyses and that they are fully or partly carried out as part of the domestic work. More than half of the effect of gender in saving electricity (turning off electric appliances not in use) and organic conscience in grocery shopping (buying chemical-free or organic vegetables) is explained by the gender differences in domestic work. For rest of the items, except for repairing broken items, approximately 30 to 50 percent of the direct effect was mediated by the gender difference in domestic work. Moreover, the direct effect of gender still remains even after taking into account that women take the lion’s share of domestic work.

How do we account for these results? The results of the survey administered by the Ministry of Environment, mentioned above, show that 93 percent of the respondents agree that bringing one’s own bag and green consumerism are “desirable for conservation of environment,” and 66 percent of respondents agree that such behaviors are “a part of the daily routine and I don’t take special note of it.” In response to these results, the Ministry of Environment asserts that “... the pro-environmental consciousness and green consumerism seem established and are accepted as the norm” (p.28). A closer look at the responses reveals that more women (22%) tend to “strongly agree” than men do (15%) with the statement that these activities

are “routines.” This difference in the proportion of men and women who have adopted the new “routines” indicates that the new norm is experienced differently for men and women. In other words, this new routine can be regarded as a new item added to the *list of things to be done at home*.

Domestic work, as defined by Delphy (1984), is unpaid work done for the family and other of intimate relatives. By defining it as an unpaid work, laundry done by a family member is distinguished from the works done by a laundry company. By limiting the recipient of the service to the family members, domestic work is distinguished from a voluntary activity.

The practice of domestic work is not universal to humankind. It has evolved, along with the development of market economy, as an invisible agent of reproduction of labor and care for the aged, the sick, and the disabled. It has changed its practice along with the changes in lifestyles, and changes in the goods and services provided through a market. For many households, “sewing clothes” and “canning of food” have disappeared from the list of things to do at home, because it is cheaper to buy mass produced clothes and canned food at stores. Chauffeuring of children to and from afterschool lessons began to emerge as the standard of childcare has risen. In spite of the increased availability of convenient home appliances, like vacuum cleaners and laundry machines, the time spent for domestic work did not change much, just because the demands for sanitary conditions and high quality of life have increased. Is the call for citizen’s responsibility for ecologically sustainable society creating a new dimension of the domestic work? The fact that a substantial portion of the gender difference in the participation in pro-environmental activities is mediated by the gendered nature of unpaid work make us wonder if this is the case.

The research in the field of environmental attitude and behaviors has been strikingly gender-blind and indifferent to the role of unpaid work. According to Schultz et al. (2001), women’s willingness “to do something for the environment” has been taken for granted and treated as external to the public and economic environmental management strategies. They argue that environmental policies are causing the “feminization of environmental responsibility” (p.13) by expecting women to put in more work, engagement, and extra strain to cope with everyday work.

A series of international documents on environment and gender stress that women suffer more from environmental change because they are more vulnerable to health impacts due to pregnancy and breastfeeding. They are also more seriously exposed to environmental hazards due to lack of resources to ameliorate the change (Johnsson-Latham 2007; United Nations Environmental Programme 2005; United Nations Population Fund 2009). Likewise, gender-specific division of labor within the household and labor market are all in connection with the invisible workload that women bear for the environment. The findings from the present research addresses a necessity for the environmental policies and for the theoretical studies on sustainability research to factor in the women’s unpaid labor and time.

References

Barr, S. 2007. “Factors influencing environmental attitudes and behaviors - A UK case study of household waste management.” *Environment and Behavior* 39: 435-473.

- Barr, S., and A. W. Gilg. 2007. "A conceptual framework for understanding and analyzing attitudes towards environmental behaviour." *Geografiska Annaler Series B-Human Geography* 89B: 361-379.
- Blocker, T. J., and D. L. Eckberg. 1997. "Gender and environmentalism: Results from the 1993 General Social Survey." *Social Science Quarterly* 78: 841-858.
- Cabinet Office, Japan. 2001. *Chikyu ondanka boshi to raifu sutairu ni kansuru seron chosa (Opinion survey on prevention of global warming and lifestyles)*. (<http://www8.cao.go.jp/survey/h13/h13-ondanka/index.html>).
- Davidson, D. J., and W. R. Freudenburg. 1996. "Gender and environmental risk concerns - A review and analysis of available research." *Environment and Behavior* 28: 302-339.
- Delphy, C. 1984. *Close to Home: A Materialist Analysis of Women's Oppression*. Amherst: The University of Massachusetts Press.
- Derksen, L., and J. Gartrell. 1993. "The Social-Context of Recycling." *American Sociological Review* 58: 434-442.
- Dietz, Thomas, Linda Kalof, and Paul C. Stern. 2002. "Gender, Values, and Environmentalism." *Social Science Quarterly* 83 (1).
- Dunlap, R., K Van Liere, A. Mertig, and R. E. Jones. 2000. "Measuring endorsement of the New Ecological Paradigm: A revised NEP scale." *Journal of Social Issues* 56: 425-442.
- Dunlap, R., and K Van Liere. 1978. "The New Environmental Paradigm." *Journal of Environmental Education* 9: 10-19.
- Fransson, N., and T. Garling. 1999. "Environmental concern: Conceptual definitions, measurement methods, and research findings." *Journal of Environmental Psychology* 19: 369-382.
- Hines, J. M., H. R. Hungerford, and A. N. Tomera. 1986. "Analysis and Synthesis of Research on Responsible Environmental Behavior: A Meta Analysis." *Journal of Environmental Education* 18: 1-8.
- Hirao, Keiko. 2010. "Kankyo to kaji no aida; dare ga gomi wo bunbetsu shiteiruka (Between environment and domestic work: who is sorting garbage)." *Global Environmental Studies* 5: 49-58.
- Hirose, Y. 1995. *Kankyo to shohi no shakai shinrigaku (Social psychology of environment and consumption)*. Nagoya, Nagoya University Press.
- Hunter, L. M., A. Hatch, and A. Johnson. 2004. "Cross-National Gender Variation in Environmental Behaviors." Paper presented at the annual meeting of the American Sociological Association. San Francisco.
- Johnsson-Latham, Gerd. 2007. *A study on gender equality as a prerequisite for sustainable development*. Stockholm: The Environment Advisory Council, Ministry of the Environment, Sweden.
- Matsubaguchi R. 2000. *Jizoku kano na shakaino tameno shohisha kyoiku (Consumer education for the sustainable society)*. Tokyo: Kindaibungeisha.
- Ministry of Environment, Japan. 2008. *Kankyo ni yasashii raifu stairu jittai chosa (Survey on eco-friendly lifestyles)*. (http://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/lifestyle/h1907_01.html).
- Ministry of Environment, Japan. 2015. *Kankyo ni yasashii raifu stairu jittai chosa (Survey on eco-friendly lifestyles)*. (http://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/lifestyle/h2804_01.html).
- Ohashi, M. 2008. "Shohisha no kankyo kodo (Environmental behaviors of Consumers)" In Tanioka, I. M. Nitta and N. Iwai eds. *Nihonjin no ishiki to kodo: nihonban sougouteki shakaichousa JGSS ni yoru bunseki (Japanese attitudes and behaviors: Analyses from Japanese General Social Survey)*. Tokyo: University of Tokyo Press. Pp. 345-354.
- Schultz, Irmgard et al. 2001. *Research on gender, the environment and sustainable development*. Frankfurt am Main: Institut für sozial-ökologische.
- Stern, P. C., T. Dietz, and G. A. Guagnano. 1995. "The new ecological paradigm in social-psychological context." *Environment and Behavior* 27: 723-743.

- Tateishi, Y. 2006. "Setsuyaku shiko to eko konyu shiko (Frugality and green consumerism)". In Abe S. et al. eds. *JGSS kara yomu nihonjin no kodo to ishiki (Japanese attitudes and behaviors read from the JGSS)*. Tokyo: University of Tokyo Press. Pp. 1-16.
- United Nations Environmental Programme. 2005. *Mainstreaming gender in environmental assessment and early warning*. New York: United Nations Environmental Programme.
- United Nations Population Fund. 2009. *The state of world population 2009: facing a changing world: Women, population and climate*. New York: United Nations Population Fund.
- United Nations. 1992. Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro.
- Zelezny, L. C., P. P. Chua, and C. Aldrich. 2000. "Elaborating on gender differences in environmentalism." *Journal of Social Issues* 56: 443-457.
- Hunter, Lori M., Alison Hatch, and Aaron Johnson. 2004. "Cross-national gender variation in environmental behaviors." *Social Science Quarterly* 85 (3): 677-94.

Acknowledgement

The Japanese General Social Surveys (JGSS) are designed and carried out by JGSS Research Center at Osaka University of Commerce (Joint Usage/Research Center for Japanese General Social Surveys accredited by Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology), in collaboration with the Institute of Social Science at the University of Tokyo.

飲用水水源地水質の現状と保全の在り方

——中国北東部遼河上流蘇子河流域のケーススタディー——

康 馨藝、黄 光偉

概要

本稿では中国における7大水系、三大汚濁河川の一つである遼河の上級支流で、世界文化遺産の清満族（中国少数民族）発祥の地の起源として住民によってよりどころとなる蘇子河をめぐる水質の実態や分布の特徴及び流域内の汚染源を明らかにする。そのほか、蘇子河流域の新賓県による河川改善対策を紹介する。これまでのところ、蘇子河に対する先行研究は少ない。しかしながら、世界文化遺産清王朝発祥地として、中国北東部の中心都市に重要な生活飲料水を提供している大伙房ダムの上流に位置する河川として、数十万人の健康に関わっており、重要な研究テーマの一つだと考える。蘇子河流域の新賓県を対象として、飲用水水源地水質の状況を独自のフィールドワークによって把握し、それに基づいて今後、蘇子河周辺の少数民族地域の持続可能な発展のためにどのような保護政策が必要か、また具体的にどのようにすればよいかを提案する。

Current Quality of Sources of Drinking Water in the Upper Stream of Liao River and the Policy for Improvement

Kang Xinyi¹, Huang Guangwei²

Abstract

This study is concerned with the Suzi River located in the northeast of China, which is a tributary of the Liao River; one of China's seven major rivers and one of the three most polluted rivers in China. The watershed of the Suzi River is the birthplace for a minority in China called Manchu. The river flows into the Dahuofang Reservoir, which is one of the drinking water resources for Shenyang and Fushun City; large cities in Liaoning province. Therefore, the health of the Suzi River is extremely importantly both locally and regionally.

In this study, monitoring data provided by the local government in the watershed of Suzi River for a period of nine years were analyzed, and independent surveys were conducted as well in order to find out what are the main pollutants and main their sources in the watershed. It is also attempted to study the dynamics of water quality of Suzi River in different hydrological periods, effects of minority policy and local culture on water quality, and to think about the appropriate approaches for improvement.

The main aim of this study is to provide the local with a clear picture of what is the current situation in the river, what should be protected and what should be corrected in order to achieve regional sustainability.

1 Ph.D, Student, Global Environment Studies, Sophia University

2 Professor, Global Environment Studies, Sophia University

飲用水水源地水質の現状と保全の在り方 ——中国北東部遼河上流蘇子河流域のケーススタディー——

はじめに

水は、人間のみならず、すべての生命や環境の維持に不可欠な天然資源である（清水裕之・檜山哲也・河村則行・王雷軒）。近年経済的に著しい発展を見せている中国では、水質問題が深刻化している。中国政府は1996年から水問題を環境保護の最も重要な課題のひとつとして捉え³、2013年、習近平主席はカザフスタン共和国のナザルバエフ大学（Nazarbayev University）で「私達は金山銀山もほしければ、よりグリーンな水と青い空もほしい」と唱えた。グリーンという理念が国家発展の先導的なスローガンとされた。都市部の経済発展、農村部の農薬や化学肥料農業の発達、水資源保護意識の希薄さによってきれいな河川が汚染されつつある。中国各地で多くの水質汚染の現状が報告され、地域別水質汚染の投書・陳情件数は遼寧省（8,031件）、浙江省（7,861件）、江蘇省（7,789件）（中国環境年鑑2004）となっており、本稿で取り上げた遼寧省における報告件数が最も多い。すでに汚染されている地域の改善も大切であるが、まだ飲用水が安全な地域に注目し、水源地の開発が行われる前に保護する必要がある、汚染源を抑えることも重要だと考える。一般に、汚染をした後に回復するための費用は高額となり、膨大な投資が必要となるが、汚染の未然防止を図ることで費用効果の面からも優れていると考えられるからである。

水源地における汚染を防止することは、中国全体での治水政策の要となる。そのゆえに、水源地における汚染源を抑えることが重要である。

「水源」という言葉を聞くと、誰でも清浄な印象を持つが、実際には汚染された水源地も多く、水源地への注目度は少ないのが現状である。中国南水北調プロジェクト⁴の水源地の支流である神定河の源流汚染の教訓、2005年松花江⁵汚染事件で、大規模な給水停止が生じたことなどからも分かるように、水源地が注目された時にはすでに汚染されていた事例が多い。水源地は一度汚染されると全流域に影響を与える。改善するのは容易なことではなく、それゆえ、水源地から汚染を未然防止することや汚染源を抑えることが重要だと考えられる。

本稿では、中国における七大水系、三大汚濁河川の一つである遼河の上級支流で、世界文化遺産の清満族（中国少数民族）発祥の地の起源として住民にとってよりどころとなる蘇子河をめぐる水質の実態や蘇子河流域の新賓県を対象として、飲用水水源地水質の状況を独自のフィールドワークから把握し、流域内に存在している課題を発見し、水源地保護の必要性、重要性を明らかにする。蘇子河の水質分布の特徴や流域内の汚染源を明らかにし、汚染源を抑えるため、新賓県政府において、蘇子河の水環境改善策が蘇子河へどのような影響があるかを分析し、それに基づいて、今後、蘇子河周辺の少数民族地域の持続可能な発展のためにどのような保護政策が必要か、また具体的にどのようにすればよいかを提案する。

3 UNEPの「Water Pollution Prevention and Control - China's Policies and Successful Experiences」による。

4 中国南部の水を北部に引く。北部地方の嚴重な水不足の問題を解決するためである。

5 中国北東部地区の中心部を流れる大河。黒龍江最大の支流である。

1. 蘇子河の概況

蘇子河は中国における七大水系、三大汚濁河川の一つである遼河の支流で、渾河⁶の上級支流である。蘇子河は上夾河鎮の荒地村で渾河と合流し、大伙房ダムに流れ込む。大伙房ダムは、撫順、瀋陽など遼寧省の東北地方に飲料水を、遼寧省中部地域に工業用水を提供している。大伙房ダムは治水や灌漑、水道供給、発電などの機能を持ち、総合的な大型ダムである。大伙房ダム輸水工事完成後、瀋陽、撫順、本溪、遼陽、鞍山、營口の遼寧中部六大都市への飲用水供水水源地になる(劉素君, 毛小琳, 2003)。蘇子河は大伙房ダムの上流で、47%以上の飲用水を供給するため、蘇子河の水質に着目し、水質を良好に保つことが遼寧省中部地域に対して極めて重要だと考える(王利佳, 白艶麗, 2001)。

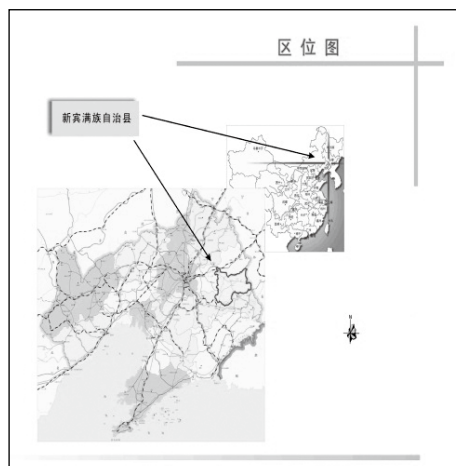


蘇子河流域地形図

2. 蘇子河流域の水質状況

2-1 調査地点と方法

蘇子河における調査は、主に水質の採水調査や民家と政府機関への訪問調査であった。観測地点は源流の東から西まで7つの採水地を設定した(地図1)。紅昇ダムから始め、南蜂蜜溝村、新



新賓県位置図

蘇子河は満州族⁷発展史の中で不可欠なものである。中国清王朝皇族の発祥地であるため、神聖な地域となり、昔から保護地として重要性を有する。

水源地を保護するために経済が発展しないなど水源地保護の矛盾が生じていた。特に水源地の保護するため、経済発展を犠牲にするだろうという批判も見受けられた。そのため、よりよい河川源流の保管理方法を考慮すべきである。

6 渾河は遼河の支流であり、瀋陽市と撫順市の「母川」と呼ばれる。

7 主要の分布は中国の遼寧省である。



地図1 蘇子河流域水質の調査地図

(出所) Google Map を利用して筆者が作成

賓鎮、ホトアラ(永陵鎮)、二道溝村、古楼郷(上夾河鎮)、大伙房ダムで水質測定を行った。

新賓県に供水している紅昇ダムでは5ヶ所を設定して採水を行った(出水口、入水口、中央、左側、右側)。

調査項目は溶存酸素(DO)、水温、飽和度、化学的酸素要求量(COD)、pH、硝酸塩、アンモニア等基本的な水質検査項目である。

溶存酸素(DO)、水温、飽和度、硝酸塩は水質測定器で測定した。化学的酸素要求量(COD)、pH、アンモニアはパックテストを利用して測定を行った。

2-2 水質状況

2007年度「撫順市国家環境保護モデル市を創建する企画報告書」によると蘇子河流域では4つの水質観測点が設置され、水質⁸指標値はⅢ、Ⅲ、Ⅲ、Ⅱであった。源流の汚染状態は深刻であることが分かった。2008年の観測数値は図1に示したように、渇水期には、関家や紅昇流域は国家Ⅰ類の15mg/Lを超えることがなかったが、新賓鎮流域のCODは急に上がり、他の地域と比べ、かなり高く、60mg/Lを超え、中国地表水環境質量標準(以下、「地表水環境質量標準」という)に定めるV類の40mg/Lをはるかに超えた。アンモニアも環境質量標準値V類の2.0mg/Lを超えて5.47mg/Lに達し、劣V類と判定された(「地表水環境質量標準」によると水質の指標のいずれかが標準値を超えた場合、劣V類と判定する)。永陵流域ではCODの数値が18.4mg/Lである。国家標準値Ⅲ類(20mg/L)に近くなった。古楼流域では水量が多いためCODの数値は国家Ⅰ類標準値(15

8 「中国地表水環境質量標準」(GB3838-2002)

mg/L) 以下にとどまり、5mg/Lとなった。渇水期には、蘇子河の水量は少なくなり、特に新賓鎮の流域では、流量は $2.31\text{m}^3/\text{s}$ しかなく、永陵鎮も $6.02\text{m}^3/\text{s}$ であった。水量は少なく、下水の放出量が多く、水質は富栄養化が進んでいることが推定できる。永陵鎮や新賓鎮流域の水質、特に新賓鎮河段の水質は下水と同じ水準で、その量は河川の本来持っている浄化能力をこえて排出された。深刻に汚染されていると判断できる。

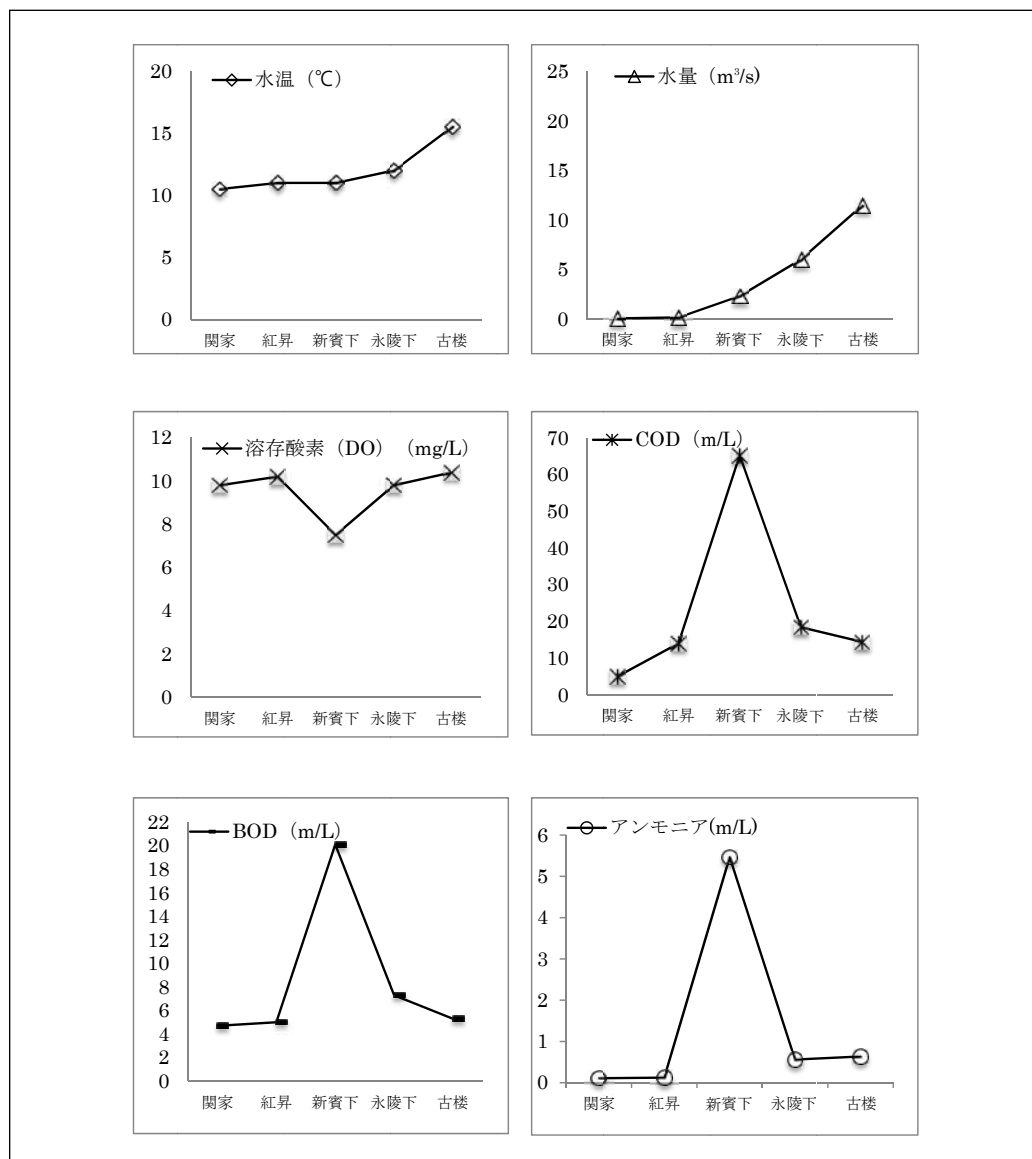


図1 2008年蘇子河渇水期流域内の水質(4月)

(出所)「蘇子河地表水報告書」より筆者が作成

豊水期には、河の流量は多くなり、特に古楼村流域の水量は20.49m³/sである。CODの指標はよくなってきたが、新賓流域では、アンモニアやCODの数値は引き続き高いであり、富栄養化となっていた(図2参照)。

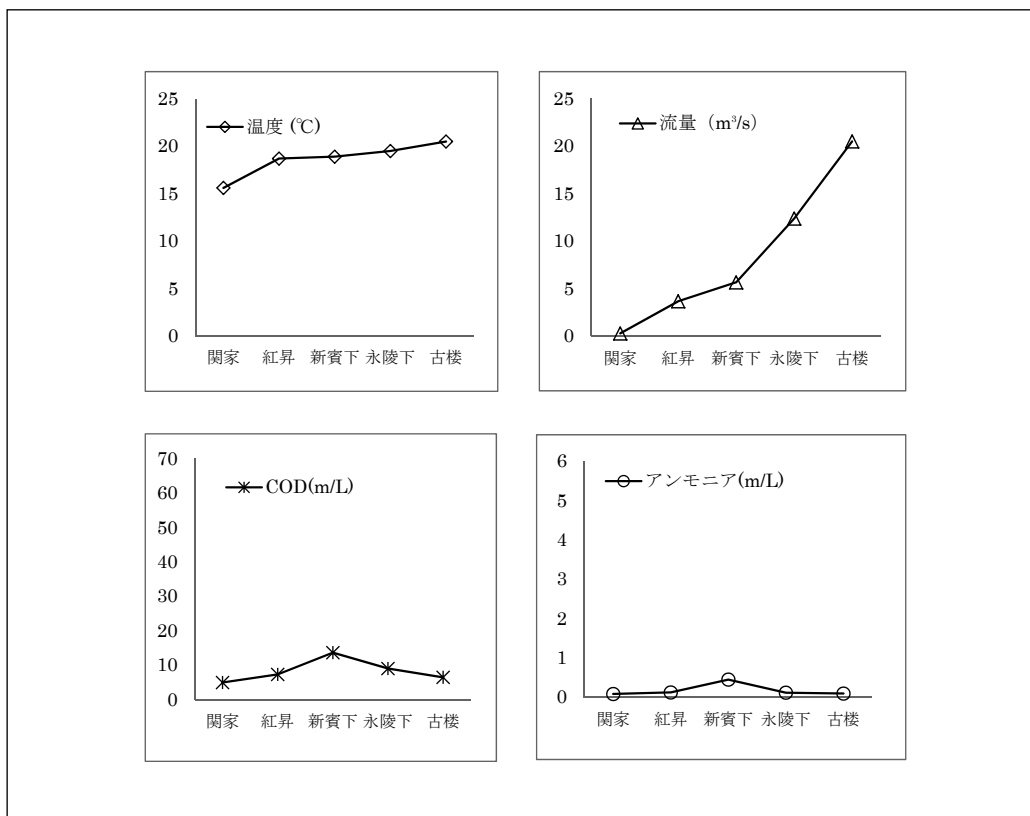


図2 2008年蘇子河豊水期流域水質(9月)

(出所)「蘇子河地表水報告書」より筆者が作成

「蘇子河水質観測結果統計報告書」(新賓鎮流域)によると、2003年から2007年までの5年間はCOD、BOD、アンモニアの変化は大きくなかった。渇水期のCOD、BODは2008年に最大値になり、2008年以降から減少してきた。アンモニアは2005年から減少したが、2006年、2007年に上昇し、2008年に最高値であった。そこから一気に減少し、2010年と2011年は横ばいになった。2009年から新賓県の改善政策の効果が現れてきたのである。その結果、河川の水質は年々、少しずつ改善されてきている。豊水期の水質値を見ると水質の変化は渇水期のように激しくなく、COD、BODは横ばいになり、アンモニアは2005年から減少傾向であった。

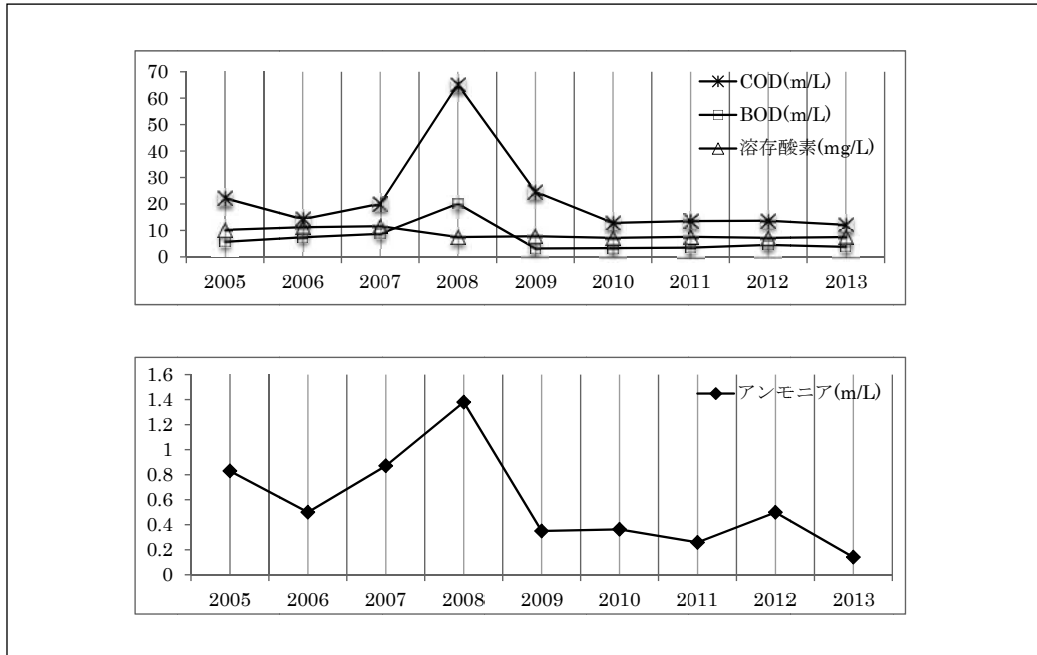


図3 湯水期蘇子河新賓鎮流域の水質観測

(出所) 新賓県環境局年鑑を参考に、筆者の調査により作成

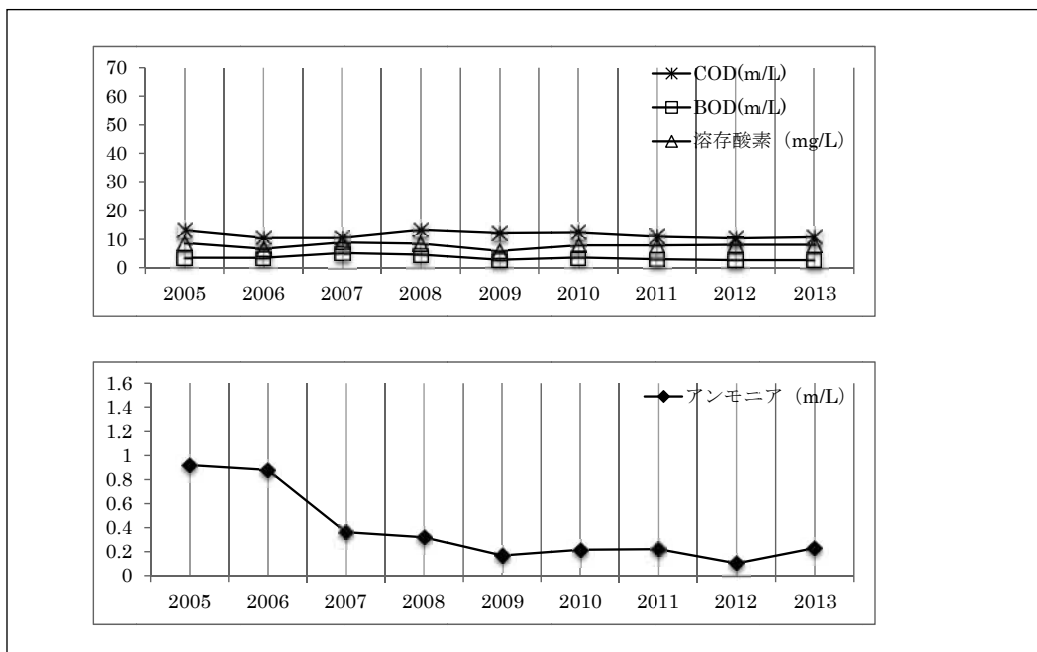


図4 豊水期蘇子河新賓鎮流域の水質観測

(出所) 新賓県環境局年鑑を参考に、筆者の調査により作成

図3、図4の表やヒアリング調査から分析した結果、2008年には、新賓鎮流域の河道が整備されはじめ、下水処理設備のポンプの普及率が低く、汚水処理場設備は老化し、処理能力が低下している一方で、生活排水の排出量は10年以来一番多くなっている⁹。その上、家畜を放牧している農家の数は増え、動物の糞尿も蘇子河に排出された。

環境局によると2008年には畜糞尿を無意識に排出することによって河道が悪臭を放ち、住民が河水に触れ、アレルギーを発症する事件が生じた。この事件に関する投書・陳情件数はかなり多かった。流域の住民のインタビューによると2008年には新賓鎮流域の河水状態が特に悪く、かつ新たな印刷所が稼働し、河水は黒くなり、漁業は一旦出来なくなったというような強い苦情が届けられた(古楼郷、二道溝村でのインタビューより)。

2008年度、蘇子河の水質は総体から見るとⅢになる。その深刻な状態を変えるため、2009年度に新賓県環境局は観測点を2008年以前の4地点から5地点に増やし、5つの河川断面で観測を行った。2009年には3つの汚水処理場を設置した。政策としては「農村水域環境総合整備モデル村項目」を2010年までに正式に開始した。表1に示したように、水質はⅢからⅡに改善した。その上、蘇子河の水源地、紅昇ダムの水質は国家一類標準になった。5年を経た現在では、水質は著しく変化してきた(図3と図4)。特に2010年には渇水期にも関わらずCODの数値が10.85m/Lになった。2010年以降に横ばいになり、国家優良水質標準値12m/L前後になってきた。このように新賓県の改善政策の効果が現れてきたのである。その結果、河川の水質は年々、少しずつ改善されてきている。筆者の調査によると、2013年各郷鎮流域の水質から見ると南蜂蜜溝村や古楼郷のCODは4m/Lになり、新賓鎮、永陵鎮、木奇鎮では8m/Lを超えなかった。全体は台形になっている(図5)。蘇子河源流の紅昇ダムの水質調査によると、水質は優良になっている。2007年紅昇ダムの水質状況と2013年の水質状況と比較すると、ほぼ変わりはない、飽和度から見ると少し富栄養化になる傾向があると推定し、まだ安全な状態であるが、ダム内でプランクトンの異常発生が起こることに注意しなければならない。CODは2007年の10.21m/Lから平均の7.5m/Lになり、供水地水質標準値を達成している(表2)。

表1 蘇子河の水質状況(2009年)

河流	水期	COD (m/L)	石油類 (m/L)	アンモニア (m/L)	リン (m/L)	汚染指数	
						2009	2010
蘇子河	渇水期	13.65	0.02	0.29	0.072	4.04	
	豊水期	6.97	0.005	0.21	0.072	2.81	
	年平均	9.28	0.01	0.23	0.077	3.28	3.06
標準(Ⅱ)		15	0.05	0.5	0.1		

(出所) 新賓県環境局へのヒアリング訪問により筆者が作成

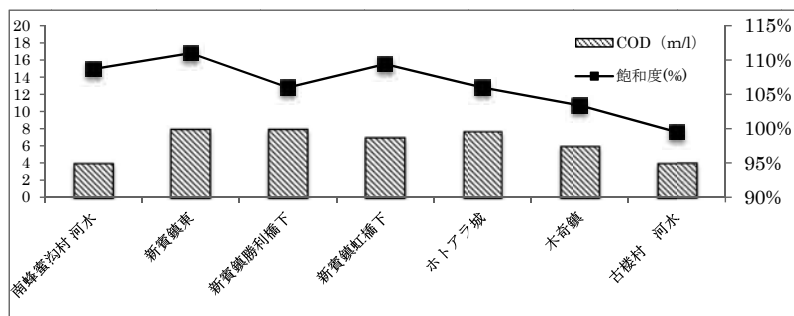


図5 2013年各郷鎮水質状況

(出所) 筆者のフィールドワークの水質測定より作成

表2 2007年と現在紅昇ダムの水質状況

2007年					
水温 (°C)	溶存酸素 (DO) (mg/L)	COD (m/L)	BOD (m/L)	アンモニア (m/L)	リン (m/L)
4	10.4	10.21	7	0.041	0.057

(出所) 「蘇子河地表水報告書－紅昇ダム」より筆者が作成

現在 (2013年)					
地点	水温 (°C)	溶存酸素 (DO) (mg/L)	飽和度 (%)	COD (m/L)	硝酸塩 (ppm)
紅昇ダム (出口)	23.6	11.13	137.2%	7.8	26ppm
ダム (入水口)	21.7	10.37	123.3%	7	27ppm
ダム (中央)	21.8	10.96	130.4%	8 ≤	26ppm
ダム (左側)	21.9	11.31	134.9%	7.5	26ppm
ダム (右側 船場)	22.7	11.52	139.5%	8 ≤	26ppm

(出所) 筆者のフィールドワークの水質測定より作成

表3 大炊房ダム水質状況 (2013年)

地点	水温 (°C)	溶存酸素 (DO) (mg/L)	飽和度 (%)	COD (m/L)	硝酸塩 (ppm)
大炊房ダム (出口)	21.2	6.87	78.30%	8 ≤	16ppm
大炊房ダム (中央)	21	7.11	80.80%	8 ≤	17ppm
大炊房ダム (営盤)	21.9	7.17	81.30%	8 ≤	17ppm
大炊房ダム (渾河と蘇子河)	21	7.23	82.20%	7	18ppm
大炊房ダム (小青島風景区)	21.6	7.23	83.10%	8 ≤	18ppm

(出所) 筆者のフィールドワークの水質測定より作成

大炊房ダム全体の水質を見ると（表3）、特に異常なところはなかった。供水地水質標準値に達している。

2-3 蘇子河流域内地下水の水質状況

蘇子河の地表水水質を測定後、蘇子河流域内の地下水の状況を把握するため、3地点を設定して地下水水質の測定を行った。

まず、蘇子河水源地紅昇ダムに近い村、南蜂蜜溝村を訪問した。村長の協力で南蜂蜜溝村の飲用水源の井戸で水質測定ができた（表4）。溶存酸素は9.32mg/Lで、飽和度はほぼ100%に近い。その理由を分析すると、飲用水源であるため、村長は村民による井戸に対する不正行為を防止するため、井戸には問題が発生しない限り、長年ふたがかけられ大気に接する回数が少なく、井戸の中に存在する有機物質が少なく、溶存酸素がほぼ消費されておらず、汚濁が進んでいないことが明らかになった。測定する前に硬度が高いと推定したが、測定した結果は予想と逆で50m/Lと標準値であった。亜硝酸の値は0.05より低く、重金属も含まれていない（表4）。中国全国の井戸の水質より優良だと判断できる。

表4 南蜂蜜溝村井戸水質（2013年）

地点	溶存酸素 (DO)	水温	飽和度	pH	硬度	亜硝酸	鉄	重金属
南蜂蜜溝村	9.32	17.7	102.90%	7	50	0.05 ≤	0.05 ≤	0

（出所）筆者のフィールドワークの水質測定より作成

南蜂蜜溝村以外に大炊房ダムに近い古楼村の農家の井戸に対しても水質測定を行った。表5に示したように、南蜂蜜溝村に比べると、硬度¹⁰は2倍であり、硝酸値は高い。古楼郷の測定は民家で実施したため、輸水ポンプの影響もあると推測される。ポンプの老化は水質の硝酸値に影響を与える。同じく二道溝村の民家でも井戸の調査を行った（表6）。調査結果は古楼郷の水質値とほぼ同じである。硬度は80であり、送水する時にポンプの影響があったと推測される。

表5 古楼郷民家井戸水水質（2013年）

地点	溶存酸素	水温	飽和度	pH	硬度	亜硝酸	鉄	硝酸
古楼郷	8.77	18.1	89.10%	7	100	0	0	29

（出所）筆者のフィールドワークの水質測定より作成

10 硬度とは、水に含まれるカルシウムやマグネシウムなどの量をこれに相当する炭酸カルシウム（CaCO₃）に換算して数値で表したものである。

表6 二道溝村民家井戸水水質 (2013年)

地点	溶存酸素	水温	飽和度	pH	硬度	亜硝酸	鉄
二道溝村	9.12	18.4	94.15%	7	80	0.05 ≧	0.05 ≧

(出所) 筆者のフィールドワークの水質測定より作成

三つの井戸の水質から見ると蘇子河流域内の地下水の水質が優良である。しかし、古楼郷民家へのインタビューによると古楼郷付近では鉱石の開発が進んでいる。数年前に製鉄時の排水が直接蘇子河に排出され、河水の中の生物がいなくなったことがあり、一時的に河水は悪臭を放っていた。古楼に住んでいる民家は死んでいる豚や犬をそのまま河水に投棄していた。この事例について環境局を訪ね、事実として確認した。確かに2008年にこうした事情が深刻であったが、2009年に「農村総合整備工作」を実施し、河道への不法投棄の罰則が厳しくなったため、2009年から、河水の水質が改善されてきた(図3、図4)。

3. 蘇子河の水質問題

河川の水質が良好であるかどうかはいろいろな因素に関わる。人口の増加、食糧の生産、排水の管理、工業の発展、化学肥料や農薬の使用、農地の利用方式、地方政府の対策などが挙げられる。今回の蘇子河流域の新賓県の現地調査では、河川が汚染された主な原因が生活污水だと推定できた。

蘇子河流域全体を見ると、新賓県全体の一年間の生活廃棄物の排出量は約4万トン、工業固体廃棄物の排出量は約2万トンである。

新賓県の統計局によると2008年に新賓県に環境汚染に関わる企業は78社で、主要的な企業は医薬、食品、製紙、製革、建材や機械加工などである。その中で工業廃水量はおよそ199.68万トンである。

当時の新賓鎮内では一つのごみ処理場がある以外に、集中的なごみ処理場や埋立所はないため、生活廃棄物は処理されず、そのまま蘇子河に排出される。不法投棄も多い。10年間の水質の比較を見ると2008年に新賓鎮の水質汚染が最も深刻であった(図3、図4)。特に渇水期は水量が少ないため、河川の自浄能力が低くなり、汚染も生じやすくなる。豊水期には2005年と2006年のアンモニア値が高かった。それは化学肥料や農薬流失率が高いからであると推定した。

2008年における流域内の生活污水は539万トンと、工業廃水の4倍となった。工業から排出される石油類、揮発性フェノール、鉛などの数値が0.005m/L、0.002m/L、0.001m/Lであり、国家水質レベルⅡの標準値の0.05m/L、0.001m/L、0.01m/Lは超えていない。

さらに、筆者は2008年の各地の人口と当年渇水期のCOD、BOD、アンモニアの相関係数を計算した。

計算した結果、2008年の人口と当年のCOD、BOD、アンモニアの相関係数が0.882、0.907、0.875となった。この数値を見ると、人口はCOD、BOD、アンモニアとの関係がかなり高いと判

断できる。新賓県流域内の下水整備のポンプの普及率は38.9%しかないため、生活污水がそのまま河川に排出率される割合が高いと推定できる。河流の水質データと新賓県の鎮や村の状況と以上の分析を合わせ、原因を推測すると、流域内の飲用水汚染の原因は生活廃棄物、生活排水や人畜排泄物などによる汚染だと考えられる。特に2008年に環境局への畜糞尿汚染の投書・陳情件数は68件になった。以上の分析から見ると、蘇子河流域では生活污水が蘇子河の主要な汚染源であると推定できる。

その他、村の住民や農業発展局へのインタビュー調査によると、人畜排泄物による汚染以外にも化学肥料や農薬による汚染を排除することができない。なぜなら、蘇子河流域の産業構造から見ると、主要な生産方式は第一次産業、いわゆる農業となっている。農家の肥料使用状況から分かるように、県平均の化学肥料の使用量は499.5kg/hm²と、全国平均使用量の368kg/hm²より131.5kg/hm²高い。その中で、窒素の流失率は60%以上となり、水質に影響を与えている。流域内で使用された農薬は年に約6.5万トンで、そのうち殺虫剤、殺菌剤、除草剤などの使用量は年に約900トンである。

中国全体の国情と同じように、使用された化学肥料や農薬は100%利用されたのではなく、一部分は流失し、蘇子河流域の新賓県では、化学肥料や農薬の40%は河川に流失しており、河川を汚染した可能性が高い。毎年、化学肥料や農薬の流失率が高いにも関わらず、筆者が実施した水質調査の値によると蘇子河流域の化学肥料や農薬の汚染値—硝酸塩の値が高くはないが、調査手段や機械の精確性の課題があるため、排除することができない。なぜ、化学肥料や農薬からの汚染性がまだ顕在化していないかの原因を推測すると、北東部地方の土壌の性質にかかわると考える。北東部土壌の密度が高いため、流失した化学肥料が土壌に長期にわたり滞留、蓄積する。まだ汚染が顕在化していないが、長期的に地下水に汚染が拡散していく恐れがあると判断している。

4. 新賓県の水源保護政策

「八山一水半分田、半分町や莊園」は遼寧省大部分の山岳地帯の特徴を現している。新賓県では林地が一番多く、農地率は十分の一しか占めていない。遼寧省は米で有名であるにも関わらず、新賓県では、水田の率はわずかであり、農作物としては畑で植えるトウモロコシが主要産品である。その理由は新賓県が地理的には蘇子河流域の水源地にあり、この地を保護するために米作から転換されたためである。水田では化学肥料や農薬の使用量は畑より多いと指摘されている。

蘇子河の水質状況を分析した際に示したように2008年に汚染が深刻化した。2008年に、蘇子河の汚染状況を改善するため、かつ新賓県の水源地としての地理位置があるからこそ保護政策を制定した。2009年から水質が徐々に改善できた。改善政策には、1、生態県建設—「生態県長期計画」、2、農地に合理的な化学肥料使用「農業発展局」、3、ローカル政策—「廃水量は一番出している印刷所や鉄鋸企業への取組」、4、山林保護—「両退一囲」、5、県民への環境教育—「環境や環境問題に対する興味・関心を高めることが含まれる。



写真1 大炊房ダム周辺の湿地

5. 提案

汚染対策を実施する理由は、発生した汚染を元に戻すためである。本来は河川が汚染される前に、清浄な状態を維持すべきである。汚染されてから、保護活動を行い始めるのではなく、清浄の維持に工夫すべきであると考え。未然防止を唱えたい。蘇子河の水質は2008年に悪くなった。新賓県の努力で、回復してきたが、まだ隠れた危険がある。汚染を最小限に起こさないよう新賓県政府の保護政策に基づいて、以下のような提案をする。

5-1 「退耕還湿」に基づいた補助政策やビジネスの展開

土地の利用方式は水源地の水質に大きな影響を与える。源流の土地の合理的な使用は水源地汚染の未然防止の重要な点だと考える。

「退耕還湿」は水源地保護の長期対策だと考えられる。「退耕還湿」は元々「退耕還林」¹¹より始まった政策で、水源地に適用される。源流地域の耕地を湿地に変える政策で、その主旨は生活汚水、化学肥料や農薬が雨水と共に源流に流れ込むことを防止するためである。経済損失が生じる部分は第三次産業の利益から補助する。蘇子河流域内の汚染源は生活汚水、畜糞尿や化学肥料などが多いため、湿地では生活汚水、畜糞尿、化学肥料などに起因する窒素やリンなどの栄養物質、有機物、病原性細菌などを自然の機能によって物理的、化学的、生物的に浄化するため、水源地周辺では湿地の整備をしなければならないと考える。湿地の観光開発を行うことは適当であるが、環境負荷を抑制するため、観光客の人数をコントロールする必要がある。適切な人口管理も考えなければならない。湿地の観光開発事業によって新賓県の就労問題も改善できると考える。「退耕還林」政策を参考とし、源流地域の農家にとっては農地が減少するため、補助政策を行う。具体的には、①食糧の補助、②生活費用の補助、③湿地に変える費用の補助、④就労の補

11 条件の悪い農地等に植林を実施するのが退耕還林政策である。1999年に試行が開始され、2003年から全面実施された。

助などの対策を作る。中国山東省の南四湖「退耕還湿」制度を参考にし、人工湿地造成プロジェクトを作り、汚染物質を浄化する湿地作物の種植えなどを農民に奨励し、農民に無償で湿地作物の種苗を提供する。そのうえで、「退耕還湿」の対象となる畑の面積、水域面積に応じて、補助金を計画的に提供する。新賓県内で湿地作物の種を生産する企業の起業を政府が支援し、販売、流通などを保証する。技術指導も政府から行い、人工湿地に転換する規模を拡大する。これにより、水質を改善し良好な状態を保つことができると考える。

さらに、新賓県特色の湿地産品のブランドを作り、農業の伝統的な生産方式を湿地産業に展開することが考えられる。

5-2 日本の名水百選の中の柿田川の例を参照に

前述に述べたように、蘇子河流域の水質状況が2008年に悪くなっていたが、改善政策によって、水質は良くなってきた。その良さを保つことが重要である。どのように保護していくかを考える上で、日本の名水百選を参照したい。

筆者は日本の名水百選の状況を確実に把握するため、3つの名水に見学に行った。東京都奥多摩の多摩川上流の御岳溪流、山梨県忍野村の忍野八海、静岡県三島市、清水町にある柿田川である。参考とするために静岡県清水町にある柿田川で2地点の水質の測定を行った。現在きれいで安定した柿田川の水は、BOD値が概ね1m/L以下で、水道水の種別では1級に相当するきれいな水であるが、実は1960年代から1970年代にはクレソン栽培の農薬と肥料の散布が行われており、水質は必ずしもよくなかった。1980年代から1990年代の間に柿田川は農業用水、上水、工業用水の取水が継続して行われていたため、水質のBOD及び大腸菌群は基準値を超えることもあった。80年代から、自然保護団体が設立され、環境保全活動が開始した。三島市は、下水設備の整備、ポンプ場施設の計画的な点検と検査、修繕などの実施により、故障を防止し、健全な公共下水道事業の経営に努めた。し尿や浄化槽汚泥の効率的な処理については、し尿及び浄化槽汚泥の搬入量を的確に予測し、処理量に対応した施設整備を行うとともに効率的な汚泥処理方法の検討を進めた。そして、生活排水の排水路の撤去にも取り込んでいた。そのうえ、80年代に柿田川の水質を向上させるべく市民活動が盛んに行われるようになり、水質の改善が進んできた(表10)。

表10 柿田川の水質

温度	pH	アンモニア	硝酸塩	COD	DO	飽和度
15	8.07	0.15	1.52	5	8.84	87.4%
15.7	8.11	0.13	1.4	6	9.1	91.9%

(出所) 筆者のフィールドワークの水質測定より作成

中国新賓県の南蜂蜜溝村井戸水の水質は柿田川の水質に近づいている。中国の河川においても日本の名水百選のように、地域のブランド意識を高めたいと考える。このためには市民保護意識を高めることである。特色ある名誉が得られるため、流域内各地で保護への情熱が刺激できる。蘇子河流域内の汚染源から見ると生活污水が最も多い一方で、県民の水質保護への合意を形成す

る努力が必要である。特に南蜂蜜溝村の村長へのインタビュー調査から、村民が保護への情熱を持っていることが分かった。名水百選の取組の南蜂蜜溝村への適用の実用性が明らかになった。蘇子河の自然保護活動を行うことができ、そのうえで、三島市の柿田川自然再生検討会を参考にし、蘇子河の環境の保全・水質の向上を目指して、定期的に蘇子河を巡って、討論会を開くことも重要だと考える。県民に蘇子河の現状および歴史的な変遷を知ってもらい、多くの人に蘇子河を保護することの重要性を伝える。しかし、中国の国情に基づいて進める必要がある。

5-1に提案した蘇子河源流や河道付近に自然湿地や人工湿地を拡大し、湿地には散策歩道を設置して蘇子河の親水性を拡大する。自然の魅力に自ら触れ、環境保全の熱意を高めることや流域内のブランドを作ることも重要だと考える。

5-3 流域内の県民のライフスタイルを変える

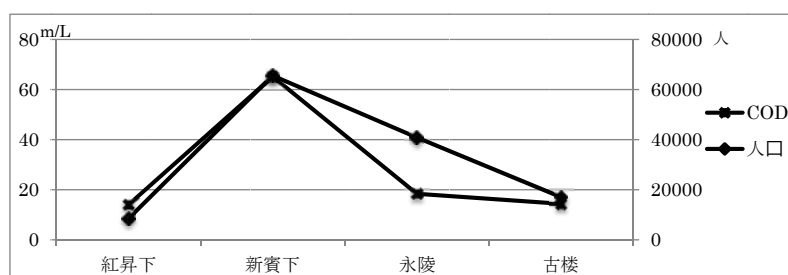


図6 2008年観測地4ヶ所の人口数とCODの関係図

2008年の蘇子河水質観測地4ヶ所の人口数と水質指標CODを一つの図にまとめた。図6から見るとわかるように、人口が集中している新賓鎮のCODの値が一番高かった。

新賓県の水源保護政策により、2009年から水質が徐々に改善されてきた。一方、新賓鎮の人口数推移図を見てみると、2010年までに、人口が減少傾向になっていたが、2011年から、増加に転じてきた。2014年にさらに減少し、2015年に再び増加してきた(図7)。

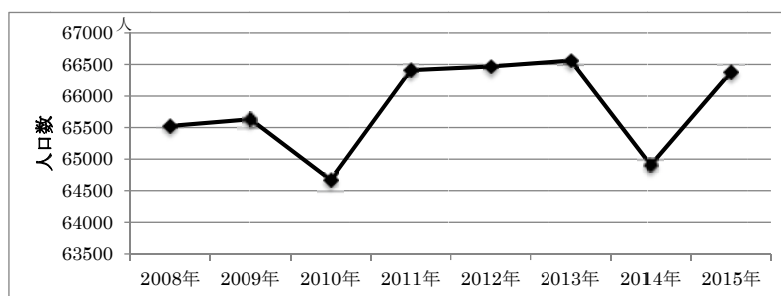


図7 新賓鎮の人口数推移

3.に述べたように、蘇子河流域の主要な汚染源は生活污水だと判断できる。このため、人口の管理が重要だと考える。人口集中に伴い、家庭生活汚水の排出量が増大し、生活廃棄物の排出量が増加すると予想される。新賓鎮の例から見ると、2008年の水質悪化改善以来、水質の変化が大きくなかった。人口が増加しても、ライフスタイルが変わるのであれば、汚染の発生率を抑える可能性があると考えられる。しかし、人口増加による汚染性を無視する訳にはいかない。

新賓県政府は水源地の人口数を抑えるため、毎年、紅昇郷の人口数をコントロールしている。図8に示したように、紅昇郷の人口数は2009年がピークになり、2010年から減少傾向になっている。

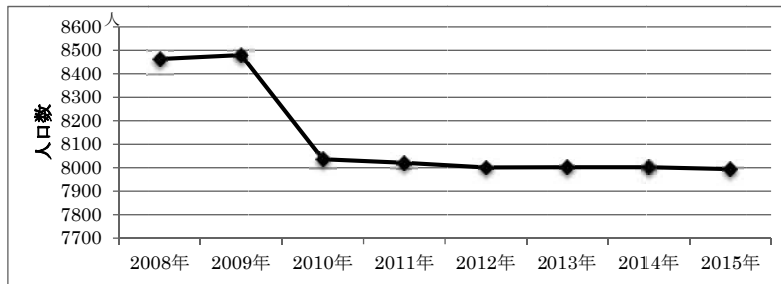


図8 紅昇郷の人口数推移

ライフスタイルを変えることにより、河川汚染の発生率を抑える可能性があるため、以下のよう
に提案する。

●**県民センターを設立する。**

このセンターでは定期的に水環境保護講座を開く。県民の環境知識を高めるため、交流が必要である。「個人講座」式で、個人が知っている水環境知識、水環境の汚染状況、水環境の良さを他人に伝える。蘇子河の姿を現して、他の河川の水質の比較値を図表で作成し、定期的に蘇子河の水質関係数値を表示し、蘇子河の歴史、現状、存在している生物などを陳列する。蘇子河の水環境に依存する貴重な生物や特有の自然環境を有していることを県民に伝え、県民たちに親水環境を作るのが重要だと考える。また、蘇子河の近年の汚染の原因を写真などで陳列し、蘇子河の保護の大切さを伝える。

●**満族文化発祥地ブランド意識を高め、生態産業を促進する。**

新賓県は満族の発祥地であり、この独特な優勢を通して、ブランドを作り、水源保全を担う地域の活性化を図り活力を維持していくことも重要だと考えられる。例えば、満族が昔から魚取りの文化を持ち、一年中に春、秋、冬三時期に分けて行事を行っている。大人気なのは冬の魚取りである。近年この行事が途絶えていた。筆者はこの行事は環境保護に深い関連があると考えられる。この行事を再開することにより環境保護の宣伝ができ、満族の文化を生かせると思う。なぜなら、まず、この行事の親水性が高いからである。魚取りのイベントを行う時に、河の重要性が伝えられる。新鮮な魚を取れるように、魚が生きている水環境、生態環境を良好にしなければならない。冬の魚取りの最も良い時期は12月中旬から1月下旬までである。この時期には蘇子河も

結氷しているため、人が多く来ても、人間活動によって、蘇子河にかかる負担は高くならないと考えられる。この行事を通して、蘇子河を保護する重要性や満族の伝統文化の独特性が宣伝できる。県民一人ひとりの自覚と協力によって成果があがると考える。

そのほか、地域文化を通して、河川保護意識を高めていく。要するに、昔話と水の関連性を見つけ、水を保全する重要性を宣伝するのだ。蘇子河流域内では、300年前からずっと飲み続けても、井戸水が干上がらないという伝説を持つ井戸がある。その名は「汗王井」である。「汗王井」は昔、ホトアラ城の中で唯一の飲料水を提供した源であり、清王朝の発祥を支えてきた。千軍万馬は全部この井戸の水を飲んで、生活を支えられ、清王朝が成立された。現在の井戸水は飲用水として飲まれないが、一旦汚染されると、井戸水とその歴史がなくなる恐れがあると考えられる。そのため、山を開墾し、耕地にする行為に対して、懲罰を課さなければならない。その代わりに次世代までこの伝承文化を消滅させないように、「汗王井」をブランドにし、生態産業を促進することが適切な発想だと考える。ただ利益を追求するのではなく、多くの人たちにこの文化を知ってもらい、保護する自発性を導くのである。

おわりに

本稿では瀋陽と撫順など中国北東部の中心都市に重要な生活飲料水を提供している大伏房ダム遼河の上級支流である蘇子河の水質状況を紹介した。水質調査を行った上で、蘇子河流域新賓県の水質状況を把握し、新賓県の改善政策を明らかにした。新賓県の下水処理設備のポンプの普及率が低い2008年に、生活污水がそのまま河川に排出し、COD、BOD、アンモニアなどの水質数値が高くなり、国家標準値の数倍に達した。2008年に一度汚染されていたが、流域内新賓県の政府部門の改善政策によって、各地の水質が徐々に改善された。「両退一困」政策、「農村環境综合整治事業」、生態県の建設、源流の農耕地管理、化学肥料や農薬の使用の抑制などの政策について、効果をもたらしつつある。それに加えて、人口の抑制、生活習慣の改変、住民のライフスタイルをサステナビリティにすることが重要である。今回の現地調査は有意義であったと考える。筆者は民家へ訪問し、ヒアリング調査を行い、少数民族の環境保護への情熱を感じた。農民の環境意識が高くないという固有のイメージから脱却することができた。新賓県の政府部門は蘇子河の保護に取り込んでいるが、中国全体の水質保護の例を見ると新賓県は良い例だと考えられる。

しかし、政府部門のヒアリング調査から分かったように各局の連携が少ないと感じた。課題としては、污水处理場が建設されたものの、運用状況が芳しくないと感じた。特に永陵や南雑木の污水处理場では撫順市や瀋陽市から視察が行われる時に開放するが、普段は閉鎖状態であることが明らかになった。農家や化学肥料販売者へのインタビュー調査によると、新賓県では定期的に農業指導講座が行われているが農家は参加するものの化学肥料を指導通りに使用するまでにはなっておらず、自ら土地や天候を判断し使用していた。化学肥料販売者については年に2回の化学基礎試験が実施される。しかし、化学肥料販売者はお金さえ支払うことができれば、無事に試験を通過できることが分かった。人の考え方が変わらないと水質を改善することは困難であり、課題としては環境教育、環境保護への注目が最も重要だと考える。

もう一つの課題は投資の資金問題である。科学技術に投資するならば、大量な資金が必要であ

る。整備の資金の使い方も問題になる。例えば、日本の農業集落排水設備を参考にすると、施設の建設資金がかなり高い。これを見ると中国中央政府のバックアップが必要だろうと考える。また、施設の建設後も地方への継続的な支援が必要だと考える。

顔世杰・梅亜東・張文杰氏によると「中国では飲用水水源地保護の立法には、主に『中華人民共和国水污染防治法』、『中華人民共和国水法』などがあるが、専門的な飲用水水源地保護の総合的な法律および行政法規がない」ため、水源地保護の権限や体系内部の矛盾が出ている（顔世杰・梅亜東・張文杰，2011）。これも中国飲用水水源地保護の課題の一つだと考えられる。

本稿の中国北東部遼河上流蘇子河の現地調査や他の地方の例から見ると、中国水環境の保護事業は任重くして道遠しである。今後の保護対策の展開を期待したい。

参考文献

- (1) 清水 裕之・檜山 哲也・河村 則行：『水の環境学一人と関わりから考える』，名古屋大学出版会，2011年
- (2) 王 雷軒：「中国水資源問題について ～問題点の整理と改善の方向性～」，『農林金融』，2011年11月号
- (3) 郑 媛：「水源保護区水源保護と土地利用の関係」，『中国西部科技（学術）』，第5期，2005年
- (4) UNEP：「Water Pollution Prevention and Control - China's Policies and Successful Experiences」
- (5) 中国青年ネットワーク http://news.youth.cn/gn/201309/t20130907_3839400.htm，2013年9月7日付
- (6) 「中国環境年鑑2004」，2004年
- (7) みずほ総合研究所：「中国の水不足問題 ～現状と見通し」，2005年
- (8) 横塚 仁士：「中国における水環境問題の動向 ～政策の概要と今後の展望～」，『大和総研調査季報』，2011年
- (9) 「南水北調プロジェクト中線ルート水源地“三忧”」，『人民日報（電子版）』，2013年10月15日付
- (10) 李 麗娟・梁 麗喬・劉 昌明・張 麗・姜 德娟・李 九一：「20年以来我国飲用水汚染事故分析および防治対策について」，『地理学報』，68巻，第9期，2007年
- (11) 白山 肇：「中国遼河上流部の汚濁原因解明に関する水質共同調査研究」，財団法人 環日本海環境協力センター
- (12) 第1回アジア・太平洋水サミット，「中国・遼河の浄化への人々の叫び」，『アジア・太平洋地域の水と衛生 特集(3)』，2007年
- (13) http://www.apec-vc.or.jp/j/themes/apecvc/banner/osakafu/report/liaoning_ers2.html，「遼寧省の環境問題（水処理関連に重点）の調査」，2007年
- (14) 新賓県水利局：「新賓県水利局年鑑」，2008年
- (15) 新賓県環境局：「新賓県水効能総合報告」，2007年
- (16) 刘 素君・毛 小琳：「大伙房ダム水源地保護対策研究」，『東北水利水電』，第1期，2003年
- (17) 李 国平・楊 開忠・方 森：「水源保護区持続可能な産業発展方向の研究」，『北京大学学报（哲学社会科学版）』，第4期，2001年
- (18) 王 利佳・白 艷麗：「大伙房ダム水質汚染と富栄養化問題」，『遼寧城郷環境化学』第6期，2001年
- (19) 「撫順市国家環境保護モデル市を創建する企画報告書」，2007年
- (20) 王 亜平・劉 建東・史 玉強・孫 晓怡・李 琳：「遼寧大伙房ダムの水質動態変化研究」，『環境保護と循環経済』，第6期，2008年
- (21) 何 麗娟：『大伙房ダム水源保護の現状および水污染防治対策』，遼寧省大伙房ダム管理，2012年

- (22) www.env.go.jp/council/09water/y092-13/mat05-1.pdf, 「相模ダム貯水池」, 環境省より
- (23) 新井 正:『水環境調査の基礎』, 古今書院, 1994年
- (24) 武田 育郎:『よくわかる水環境と水質』, オーム社, 2010年
- (25) 新賓県政府:「新賓県紀要」2009年版
- (26) 宗宮 功:『自然の浄化機構』, 技報堂出版, 1990年
- (27) 新賓県環境局:「新賓満州族自治州における水資源の水質調査研究」, 2009年
- (28) 王 輔強:「蘇子河流域総合治理」, 『科学創新導報』, 24期, 2012年
- (29) 知足 章宏:「アジアの開発途上国における水質汚染問題と下水事業への民間参入 (Private Participation) の現況・経験」, 立命館国際地域研究, 第23号, 2005年
- (30) 王 輔強:「蘇子河流域総合整備施策的な討論」, 『科学創新導報』, 2012年
- (31) 孫 振雨:『蘇子河流域水資源価値の分析』, 吉林大学, 2009年
- (32) 徐 開欽:「中国における水環境の現状を踏まえた分散型排水処理技術の取組みと提言」, 『国立環境研究所ニュース』, 2012年度31巻3号
- (33) China View http://news.xinhuanet.com/english/2006-07/05/content_4795065.htm, 2006年7月5日付
- (34) 「中国における農村環境汚染の種類、現状と結果」, 『陽泉科普』, 2008年2号
- (35) 李 海峰:「中国の都市化と農村部の実態から見た持続可能な発展のあり方 ～発展観と幸福観の転換に関する思考」, 東北アジア環境協力研究会, 2009年2月発表用PPTを参照
- (36) 趙 那:「農村環境保護の創新ルート」, 『“十二五”農村環境保護シリーズ報道』, 中国環境ネットワーク, 2011年
- (37) 中国人民共和国国務院:「国務院関于重点流域水汚染整備規划」附件一, 32号, 2012年
- (38) 中野 和典:「自然生態系の浄化機能の限界と応用 ～人工湿地を事例として～」, 環境バイオテクノロジー学会誌, 2010年度10巻2号
- (39) 北海道開発土木研究所農業土木研究室:「湿地の水質浄化機能について」, 北海道開発土木研究所月報, 第604号, 2003年
- (40) 李 天宏・知足 章宏・劉 哲:「中国山東省における水汚染新基準と生態補償制度—南水北調東線プロジェクトとの関連から—」, 『社会システム研究』, 第23号, 2011年
- (41) 国土交通省, 中部地方整備局, 沼津河川国道事務所:『柿田川自然再生計画』, 2012年
- (42) 国土交通省, 中部地方整備局, 沼津河川国道事務所:「柿田川の現状及び歴史的な変遷」, 『第一回柿田川自然再生検討会』, 2011年
- (43) 静岡県三島市:「環境基本計画—基本方針5」, 2012年
- (44) 島方 洸一:「環境問題と住民意識—柿田川自然環境保護問題を例に」, 『日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要』, (通号11), 地理p17～28, 1976年
- (45) 武 立強, 何 俊壯:「蘇子河における生態補償対策の研究」, 『中国農村水利水電』, 第9期, 2008年
- (46) 顔 世杰・梅 亞東・張 文杰:「我が国の飲用水水源地保護における主要な問題および研究展望」, 『江西水利科技』, 32巻, 第2期, 2011年

Environmental Integration into Sustainable Development Goals

John Joseph Puthenkalam

Abstract

At the beginning of the new millennium, world leaders gathered at the United Nations to shape a broad vision of development in its many dimensions. That vision, which was translated into eight Millennium Development Goals (MDGs) has remained the overarching development framework for the world for the past 15 years. Again in 2015, after analyzing and taking stock of the MDGs, world leaders committed to transforming our world with the 2030 Agenda for Sustainable Development. The 2030 Agenda for Sustainable Development is a plan of action for people, planet and prosperity. UN pledges that no one will be left behind. The 17 Sustainable Development Goals and 169 targets demonstrate the scale and ambition of this new universal Agenda. The 17 SDGs will stimulate action over the next fifteen years, 2015-2030, in areas of critical importance for humanity and the planet. This article aims to analyze how environmental integration is possible within the SDGs.

「持続可能な開発目標」と地球環境課題の統合化

プテンカラム ジョン ジョセフ

概要

より良い世界を築くために国際社会が一体となって2000年にミレニアム開発目標 (Millennium Development Goals: MDGs) は、開発分野における国際社会共通の目標として採択された。MDGs は、極度の貧困と飢餓の撲滅など、2015年までに達成すべき8つの目標を掲げ、達成期限となった2015年までに一定の成果をあげました。その内容は後継となる持続可能な開発のための2030アジェンダに引きつがれています。2030アジェンダは、貧困を撲滅し、持続可能な世界を実現するために、17のゴール・169のターゲットからなる「持続可能な開発目標」(Sustainable Development Goals: SDGs) を掲げています。発展途上国のみならず、先進国自身が取り組むユニバーサル (普遍的) なものであり、取組の過程で、地球上の誰一人として取り残さない (no one will be left behind) ことを誓っています。本論文では地球環境課題はどのように「持続可能な開発目標」の中心になっているかを検討いたします。

Environmental Integration into Sustainable Development Goals

At the beginning of the new millennium, world leaders gathered at the United Nations to shape a broad vision to fight poverty in its many dimensions. That vision, which was translated into eight Millennium Development Goals (MDGs)⁽¹⁾ has remained the overarching development framework for the world for the past 15 years. The global mobilization behind the Millennium Development Goals has produced the most successful anti-poverty movement in history. The landmark commitment entered into by world leaders in the year 2000—to “spare no effort to free our fellow men, women and children from the abject and dehumanizing conditions of extreme poverty”—was translated into an inspiring framework of eight goals and, then, into wide-ranging practical steps that have enabled people across the world to improve their lives and their future prospects. In 2012, world community gathered in Rio, Brazil. One of the principal outcomes of Rio+20 was the call to produce a set of universally applicable sustainable development goals (SDGs) that balance the environmental, social and economic dimensions of sustainable development. This article provides an insight into the environmental integration that has taken place within the context of SDGs.

Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development

The 2030 Agenda for Sustainable Development is a plan of action for people, planet and prosperity. It also seeks to strengthen universal peace in larger freedom. It recognizes that eradicating poverty in all its forms and dimensions, including extreme poverty, is the greatest global challenge and an indispensable requirement for sustainable development. All countries and all stakeholders, acting in collaborative partnership, will implement this plan. UN members are resolved to free the human race from the tyranny of poverty and want and to heal and secure our planet. States are determined to take the bold and transformative steps which are urgently needed to shift the world onto a sustainable and resilient path. As we embark on this collective journey, UN pledges that no one will be left behind. The 17 Sustainable Development Goals and 169 targets demonstrate the scale and ambition of this new universal Agenda. They seek to build on the Millennium Development Goals and complete what these did not achieve. They seek to realize the human rights of all and to achieve gender equality and the empowerment of all women and girls. They are integrated and indivisible and balance the three dimensions of sustainable development: the economic, social and environmental. The 17 Goals and 169 targets will stimulate action over the next fifteen years, 2015-2030, in areas of critical importance for humanity and the planet⁽²⁾. According to the UN document, the following interlinked variables are to be integrated into the SDGs.

- ✧ **People:** We are determined to end poverty and hunger, in all their forms and dimensions, and to ensure that all human beings can fulfil their potential in dignity and equality and in a healthy environment.
- ✧ **Planet:** We are determined to protect the planet from degradation, including through sustainable consumption and production, sustainably managing its natural resources and taking urgent action on climate change, so that it can support the needs of the present and future generations.

- ✧ **Prosperity:** We are determined to ensure that all human beings can enjoy prosperous and fulfilling lives and that economic, social and technological progress occurs in harmony with nature.
- ✧ **Peace:** We are determined to foster peaceful, just and inclusive societies which are free from fear and violence. There can be no sustainable development without peace and no peace without sustainable development.
- ✧ **Partnership:** We are determined to mobilize the means required to implement this Agenda through a revitalized Global Partnership for Sustainable Development, based on a spirit of strengthened global solidarity, focused in particular on the needs of the poorest and most vulnerable and with the participation of all countries, all stakeholders and all people.

The interlinkages and integrated nature of the Sustainable Development Goals are of crucial importance in ensuring that the purpose of the new Agenda is realized. If we realize our ambitions across the full extent of the Agenda, the lives of all will be profoundly improved and our world will be transformed for the better.

Let us list the 17 Sustainable Development Goals:

Goal 1: End poverty in all its forms everywhere

Goal 2: End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture

Goal 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages

Goal 4: Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all

Goal 5: Achieve gender equality and empower all women and girls

Goal 6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all

Goal 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all

Goal 8: Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all

Goal 9: Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation

Goal 10: Reduce inequality within and among countries

Goal 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable

Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns

Goal 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts

Goal 14: Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development

Goal 15: Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss

Goal 16: Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels

Goal 17: Strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development

Framework for Embedding Environment in the SDGs:

After considering the lessons from MDGs, the following framework is proposed for embedding environment in the SDGs:

1. A rationale and overarching vision for the SDGs, which is a narrative describing the basis for including environmental sustainability in the SDGs;
2. An integrated approach for embedding environment in goals and targets which proposes basic characteristics and types of goals and targets to be selected;
3. A set of six criteria for assessing or proposing goals and targets, and guidance on how to use them. The criteria are: (i) Strong linkage of environment with socio-economic developmental goals; (ii) Decoupling of socio-economic development from escalating resource use and environmental degradation; (iii) Coverage of critical issues of environmental sustainability such as important irreversible changes in the global environment; (iv) Take into account current global environmental goals and targets, (v) Scientifically credible and verifiable; and (vi) Progress must be “trackable”.
4. A list of best practices for selecting indicators that can effectively support targets. The framework and other ideas presented in this article are meant to stimulate a dialogue on environmental sustainability and the SDGs⁽³⁾.

Let us have an analysis of how environmental integration is possible within the SDGs. For brevity, I will be providing only the targets that are directly related to environment aspects within SDGs⁽⁴⁾.

Goal 1: Poverty Reduction and Environment

A sustainably managed environment is a prerequisite for socio-economic development and poverty reduction. The natural environment supplies ecosystem goods and services that provide income, support job creation, poverty alleviation, contribute to safety nets and reduce inequity. Climate change and exposure to ‘natural’ disasters threaten to derail efforts to eradicate poverty. A great bulk of the world’s poorest and most vulnerable citizens live in disaster prone countries and their number keeps increasing. Those groups are disproportionately affected by shocks and stresses. As temperatures rise, the likelihood and severity of climate-related disasters increase affecting lives and livelihoods, hampering the development efforts and reversing gains made in poverty reduction.

Goal 1 Target linked to the environment

Target 1.5: By 2030, build the resilience of the poor and those in vulnerable situations and reduce their exposure and vulnerability to climate-related extreme events and other economic, social and environmental shocks and disasters.

Goal 2: Food and Nutrition Security and Environment

Nature provides direct sources of food and a series of ecosystem services (e.g. pollination, soil formation, nutrient cycling, and water regulation) supporting agricultural activities and contributing to food security and nutrition. Increasing world population and changes in consumption patterns put pressure on the environment creating the need to produce food for an additional two billion people by 2030, while preserving

and enhancing the natural resource base upon which the well-being of present and future generations depends. This is important considering that unsustainable expansion of agriculture has created serious environmental problems such as soil erosion, water pollution through agrochemicals, and emission of greenhouse gases.

Climate change and ‘natural’ disasters such as droughts, landslides and floods greatly affect food security. Disaster risk management, climate change adaptation and mitigation are keys to increase harvests quality and quantity.

Goal 2 Targets linked to the environment

Target 2.4: By 2030, ensure sustainable food production systems and implement resilient agricultural practices that increase productivity and production, that help maintain ecosystems, that strengthen capacity for adaptation to climate change, extreme weather, drought, flooding and other disasters and that progressively improve land and soil quality

Target 2.5: By 2020, maintain the genetic diversity of seeds, cultivated plants and farmed and domesticated animals and their related wild species, including through soundly managed and diversified seed and plant banks at the national, regional and international levels, and promote access to and fair and equitable sharing of benefits arising from the utilization of genetic resources and associated traditional knowledge, as internationally agreed.

Goal 3: Health and Environment

A clean environment is essential for human health and well-being. On the other hand, air and water pollution as well as poor management of hazardous chemicals and waste contribute to undermine health. ‘Natural’ disasters and environmental shocks can have substantial impact on health, including deaths, injuries, diseases, disabilities, psychosocial problems and other indirect effects with damage to health facilities and disruption to the delivery of health services over extended periods of time.

Goal 3 Target linked to the environment

Target 3.9: By 2030, substantially reduce the number of deaths and illnesses from hazardous chemicals and air, water and soil pollution and contamination

Goal 4: Education and Environment

‘Natural’ disasters greatly affect the education sector by destroying key infrastructures, disrupting the education cycles and forcing children to drop out of school for extended period of time. At the same time education is a powerful tool to build societies’ resilience. Formal and informal education, including, public awareness and training are critical for promoting sustainable development and improving the capacity of the people and countries to address environmental and development issues and to create green and decent jobs and industries.

Goal 4 Target linked to the environment

Target 4.7: By 2030, ensure that all learners acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development, including, among others, through education for sustainable development and sustainable

lifestyles, human rights, gender equality, promotion of a culture of peace and non-violence, global citizenship and appreciation of cultural diversity and of culture's contribution to sustainable development.

Goal 5: Gender Equality and Environment

Understanding the links between gender inequality and environmental degradation, and taking responsive actions, can accelerate positive dynamics and promote sustainable development outcomes. Enhancing property rights and access to land and natural resources to women can contribute to reduce gender inequalities, improve their livelihood options and poverty status.

Goal 5 Target linked to the environment

Target 5.a: Undertake reforms to give women equal rights to economic resources, as well as access to ownership and control over land and other forms of property, financial services, inheritance and natural resources, in accordance with national laws.

Goal 6: Water, Sanitation and Environment

Sustainable management of water resources and access to safe water and sanitation are essential for unlocking economic growth and productivity, and provide significant leverage for existing investments in health and education. The natural environment e.g. forests, soils and wetlands contributes to management and regulation of water availability and water quality, strengthening the resilience of watersheds and complementing investments in physical infrastructure and institutional and regulatory arrangements for water access, use and disaster preparedness. Water shortages undercut food security and the incomes of rural farmers while improving water management makes national economies, the agriculture and food sectors more resilient to rainfall variability and able to fulfil the needs of growing population. Protecting and restoring water-related ecosystems and their biodiversity can ensure water purification and water quality standards. The following data enhances the importance of this goal.

- More than 80 per cent of wastewater resulting from human activities is discharged into rivers or sea without any pollution removal
- Hydropower is the most important and widely-used renewable source of energy and as of 2011, represented 16 per cent of total electricity production worldwide
- Floods and other water-related disasters account for 70 per cent of all deaths related to natural disasters
- Over 1.4 billion people currently live in river basins where the use of water exceeds minimum recharge levels.
- In 60% of European cities with more than 100 000 people, groundwater is being used at a faster rate than it can be replenished.
- Meat production requires 8-10 times more water than cereal production Part of the current pressure on water resources comes from increasing demands for animal feed.

Goal 6 Targets linked to the environment

Target 6.1: By 2030, achieve universal and equitable access to safe and affordable drinking water for all

Target 6.3: By 2030, improve water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release

of hazardous chemicals and materials, halving the proportion of untreated wastewater and substantially increasing recycling and safe reuse globally

Target 6.4: By 2030, substantially increase water-use efficiency across all sectors and ensure sustainable withdrawals and supply of freshwater to address water scarcity and substantially reduce the number of people suffering from water scarcity

Target 6.5: By 2030, implement integrated water resources management at all levels, including through transboundary cooperation as appropriate

Target 6.6: By 2020, protect and restore water-related ecosystems, including mountains, forests, wetlands, rivers, aquifers and lakes

Target 6.a: By 2030, expand international cooperation and capacity-building support to developing countries in water-and sanitation-related activities and programmes, including water harvesting, desalination, water efficiency, wastewater treatment, recycling and reuse technologies

Target 6.b: Support and strengthen the participation of local communities in improving water and sanitation management

Goal 7: Access to Energy and Environment

Lack of access to energy supplies and transformation systems is a constraint to human and economic development. The environment provides a series of renewable and non-renewable energy sources i.e. solar, wind, hydropower, geothermal, biofuels, natural gas, coal, petroleum, uranium. Increased use of fossil fuels without actions to mitigate greenhouse gases will have global climate change implications. Energy efficiency and increase use of renewables contribute to climate change mitigation and disaster risk reduction. Maintaining and protecting ecosystems allow using and further developing hydropower sources of electricity and bioenergy. The following data enhances the importance of this goal.

- 3 billion people rely on wood, coal, charcoal or animal waste for cooking and heating
- Energy is the dominant contributor to climate change, accounting for around 60 per cent of total global greenhouse gas emissions
- Since 1990, global emissions of CO₂ have increased by more than 46 per cent.
- Hydropower is the largest single renewable electricity source today, providing 16% of world electricity at competitive prices. It dominates the electricity mix in several countries, developed, emerging or developing.
- Bioenergy is the single largest renewable energy source today, providing 10% of world primary energy supply.

Goal 7 Targets linked to the environment

Target 7.1: By 2030, ensure universal access to affordable, reliable and modern energy services

Target 7.2: By 2030, increase substantially the share of renewable energy in the global energy mix

Target 7.3: By 2030, double the global rate of improvement in energy efficiency

Target 7.a: By 2030, enhance international cooperation to facilitate access to clean energy research and technology, including renewable energy, energy efficiency and advanced and cleaner fossil-fuel technology,

and promote investment in energy infrastructure and clean energy technology

Target 7.b: By 2030, expand infrastructure and upgrade technology for supplying modern and sustainable energy services for all in developing countries, in particular least developed countries, small island developing States, and land-locked developing countries, in accordance with their respective programmes of support

Goal 8: Economic Growth, Employment and Environment

Preserving the environment is key to support sustainable economic growth as the natural environment plays an important role in supporting economic activities. It contributes directly, by providing resources and raw materials such as water, timber and minerals that are required as inputs for the production of goods and services; and indirectly, through services provided by ecosystems including carbon sequestration, water purification, managing flood risks, and nutrient cycling. 'Natural' disasters directly affect economic activities leading to very high economic losses throwing many households into poverty. Maintaining ecosystems and mitigating climate change can therefore have a great positive impact on countries' economic and employment sectors

Goal 8 Targets linked to the environment

Target 8.4: Improve progressively, through 2030, global resource efficiency in consumption and production and endeavour to decouple economic growth from environmental degradation, in accordance with the 10-year framework of programmes on sustainable consumption and production, with developed countries taking the lead

Target 8.9: By 2030, devise and implement policies to promote sustainable tourism that creates jobs and promotes local culture and products

Goal 9: Industry, Innovation, Infrastructure and Environment

Constructing new greener infrastructures, retrofitting or reconfiguring existing infrastructure systems and exploiting the potential of smart technologies can greatly contribute to the reduction of environmental impacts and disaster risks as well as the construction of resilience and the increase of efficiency in the use of natural resources. In countries where data are available, the number of people employed in renewable energy sectors is presently around 2.3 million. Given the present gaps in information, this is no doubt a very conservative figure. Because of strong rising interest in energy alternatives, the possible total employment for renewables by 2030 is 20 million jobs.

Goal 9 Targets linked to the environment

Target 9.1: Develop quality, reliable, sustainable and resilient infrastructure, including regional and transborder infrastructure, to support economic development and human well-being, with a focus on affordable and equitable access for all

Target 9.2: Promote inclusive and sustainable industrialization and, by 2030, significantly raise industry's share of employment and gross domestic product, in line with national circumstances, and double its share in least developed countries

Target 9.4: By 2030, upgrade infrastructure and retrofit industries to make them sustainable, with increased resource-use efficiency and greater adoption of clean and environmentally sound technologies and industrial

processes, with all countries taking action in accordance with their respective capabilities

Target 9.a: Facilitate sustainable and resilient infrastructure development in developing countries through enhanced financial, technological and technical support to African countries, least developed countries, landlocked developing countries and small island developing States

Goal 10: Inequality reduction and Environment

By disproportionately affecting the poorest and most vulnerable groups, climate change and ‘natural’ disasters contribute to exacerbate existing inequalities within and across countries. On the other hand, environment can contribute to the reduction of inequity, including through sound management of natural resources and critical ecosystems, as well as supporting institutional arrangements regarding the use and access to natural resources. Lack of access to natural resources on the other hand is a major contributor to inequality.

Goal 10 Target linked to the environment

Target 10.3: Ensure equal opportunity and reduce inequalities of outcome, including by eliminating discriminatory laws, policies and practices and promoting appropriate legislation, policies and action in this regard

Goal 11: Sustainable cities/communities and Environment

There is a strong link between the quality of life in cities and how cities draw on and manage the natural resources available to them. To date, the trend towards urbanization has been accompanied by increased pressure on the environment and accelerated demand for basic services, infrastructure, jobs, land, and affordable housing, particularly for the nearly 1 billion urban poor who live in informal settlements.

Due to their high concentration of people, infrastructures, housing and economic activities, cities are particularly vulnerable to climate change and natural disasters impacts. Building urban resilience is crucial to avoid human, social and economic losses while improving the sustainability of urbanization processes is needed to protect the environment and mitigate disaster risk and climate change. Resource efficient cities combine greater productivity and innovation with lower costs and reduced environmental impacts, while providing increased opportunities for consumer choices and sustainable lifestyles. The world’s cities occupy just 3 per cent of the Earth’s land, but account for 60-80 per cent of energy consumption and 75 per cent of carbon emissions.

Goal 11 Targets linked to the environment

Target 11.2: By 2030, provide access to safe, affordable, accessible and sustainable transport systems for all, improving road safety, notably by expanding public transport, with special attention to the needs of those in vulnerable situations, women, children, persons with disabilities and older persons

Target 11.3: By 2030, enhance inclusive and sustainable urbanization and capacity for participatory, integrated and sustainable human settlement planning and management in all countries

Target 11.4: Strengthen efforts to protect and safeguard the world’s cultural and natural heritage

Target 11.5: By 2030, significantly reduce the number of deaths and the number of people affected and

substantially decrease the direct economic losses relative to global gross domestic product caused by disasters, including water-related disasters, with a focus on protecting the poor and people in vulnerable situations

Target 11.6: By 2030, reduce the adverse per capita environmental impact of cities, including by paying special attention to air quality and municipal and other waste management

Target 11.7: By 2030, provide universal access to safe, inclusive and accessible, green and public spaces, in particular for women and children, older persons and persons with disabilities

Target 11.a: Support positive economic, social and environmental links between urban, peri-urban and rural areas by strengthening national and regional development planning

Target 11.b: By 2020, substantially increase the number of cities and human settlements adopting and implementing integrated policies and plans towards inclusion, resource efficiency, mitigation and adaptation to climate change, resilience to disasters, and develop and implement, in line with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, holistic disaster risk management at all levels

Goal 12: Sustainable consumption/production and Environment

One of the greatest global challenges is to integrate environmental sustainability with economic growth and welfare by decoupling environmental degradation from economic growth and doing more with less. Resource decoupling and impact decoupling are needed to promote sustainable consumption and production patterns and to make the transition towards a greener and more socially inclusive global economy. To ensure sustainable consumption and production practices necessarily entails to respect the biophysical boundaries of the planet and to reduce current global consumption rates in order to fit with the biophysical capacity to produce ecosystem services and benefits. The following data enhances the importance of this goal.

- Each year, an estimated one third of all food produced – equivalent to 1.3 billion tonnes worth around \$1 trillion – ends up rotting in the bins of consumers and retailers, or spoiling due to poor transportation and harvesting practices
- If people worldwide switched to energy efficient lightbulbs the world would save US\$120 billion annually
- Should the global population reach 9.6 billion by 2050, the equivalent of almost three planets could be required to provide the natural resources needed to sustain current lifestyles

Water

- Less than 3 per cent of the world's water is fresh (drinkable), of which 2.5 per cent is frozen in the Antarctica, Arctic and glaciers. Humanity must therefore rely on 0.5 per cent for all of man's ecosystem and fresh water needs.
- Man is polluting water faster than nature can recycle and purify water in rivers and lakes.
- Excessive use of water contributes to the global water stress.

Energy

- Despite technological advances that have promoted energy efficiency gains, energy use in OECD countries will continue to grow another 35 per cent by 2020. Commercial and residential energy use is the second most rapidly growing area of global energy use after transport.

- In 2002 the motor vehicle stock in OECD countries was 550 million vehicles (75 per cent of which were personal cars). A 32 per cent increase in vehicle ownership is expected by 2020. At the same time, motor vehicle kilometres are projected to increase by 40 per cent and global air travel is projected to triple in the same period.
- Households consume 29 per cent of global energy and consequently contribute to 21 per cent of resultant CO₂ emissions.
- One-fifth of the world's final energy consumption in 2013 was from renewables.

Food

- While substantial environmental impacts from food occur in the production phase (agriculture, food processing), households influence these impacts through their dietary choices and habits. This consequently affects the environment through food-related energy consumption and waste generation.
- 3 billion tonnes of food is wasted every year while almost 1 billion people go undernourished and another 1 billion hungry.
- Overconsumption of food is detrimental to our health and the environment.
- 2 billion people globally are overweight or obese.
- Land degradation, declining soil fertility, unsustainable water use, overfishing and marine environment degradation are all lessening the ability of the natural resource base to supply food.
- The food sector accounts for around 30 per cent of the world's total energy consumption and accounts for around 22 per cent of total Greenhouse Gas emissions.

Goal 12 Targets linked to the environment

Target 12.1: Implement the 10-year framework of programmes on sustainable consumption and production, all countries taking action, with developed countries taking the lead, taking into account the development and capabilities of developing countries

Target 12.2: By 2030, achieve the sustainable management and efficient use of natural resources

Target 12.3: By 2030, halve per capita global food waste at the retail and consumer levels and reduce food losses along production and supply chains, including post-harvest losses

Target 12.4: By 2020, achieve the environmentally sound management of chemicals and all wastes throughout their life cycle, in accordance with agreed international frameworks, and significantly reduce their release to air, water and soil in order to minimize their adverse impacts on human health and the environment

Target 12.5: By 2030, substantially reduce waste generation through prevention, reduction, recycling and reuse

Target 12.6: Encourage companies, especially large and transnational companies, to adopt sustainable practices and to integrate sustainability information into their reporting cycle

Target 12.7: Promote public procurement practices that are sustainable, in accordance with national policies and priorities

Target 12.8: By 2030, ensure that people everywhere have the relevant information and awareness for sustainable development and lifestyles in harmony with nature

Target 12.a: Support developing countries to strengthen their scientific and technological capacity to move towards more sustainable patterns of consumption and production

Target 12.b: Develop and implement tools to monitor sustainable development impacts for sustainable tourism that creates jobs and promotes local culture and products

Target 12.c: Rationalize inefficient fossil-fuel subsidies that encourage wasteful consumption by removing market distortions, in accordance with national circumstances, including by restructuring taxation and phasing out those harmful subsidies, where they exist, to reflect their environmental impacts, taking fully into account the specific needs and conditions of developing countries and minimizing the possible adverse impacts on their development in a manner that protects the poor and the affected communities

Goal 13: Combat climate change and Environment

Climate change is increasing the frequency and intensity of extreme weather events such as heat waves, droughts, floods and tropical cyclones, aggravating water management problems, reducing agricultural production and food security, increasing health risks, damaging critical infrastructure and interrupting the provision of basic services such water and sanitation, education, energy and transport. The following data enhances the importance of this goal.

- From 1880 to 2012, average global temperature increased by 0.85°C
- Oceans have warmed, the amounts of snow and ice have diminished and sea level has risen. From 1901 to 2010, the global average sea level rose by 19 cm as oceans expanded. The Arctic's sea ice extent has shrunk in every successive decade since 1979
- Global emissions of carbon dioxide (CO₂) have increased by almost 50 per cent since 1990
- Emissions grew more quickly between 2000 and 2010 than in each of the three previous decades

Goal 13 Targets linked to the environment

Target 13.1: Strengthen resilience and adaptive capacity to climate-related hazards and natural disasters in all countries

Target 13.2: Integrate climate change measures into national policies, strategies and planning

Target 13.3: Improve education, awareness-raising and human and institutional capacity on climate change mitigation, adaptation, impact reduction and early warning

Target 13.a: Implement the commitment undertaken by developed-country parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change to a goal of mobilizing jointly \$100 billion annually by 2020 from all sources to address the needs of developing countries in the context of meaningful mitigation actions and transparency on implementation and fully operationalize the Green Climate Fund through its capitalization as soon as possible

Target 13.b: Promote mechanisms for raising capacity for effective climate change-related planning and management in least developed countries and small island developing States, including focusing on women, youth and local and marginalized communities

Goal 14: Oceans, seas, marine resources and Environment

The oceans cover more than 70 per cent of the surface of our planet and play a key role in supporting life on earth. They are the most diverse and important ecosystem, contributing to global and regional elemental cycling, and regulating the climate. The ocean provides natural resources including food, materials, substances, and energy. Marine Protected Areas contribute to poverty reduction by increasing fish catches and income, creating new jobs, improving health, and empowering women. Increasing levels of debris in the world's seas and oceans is having a major and growing economic impact. The following data enhances the importance of this goal.

- Oceans cover three quarters of the Earth's surface, contain 97 per cent of the Earth's water, and represent 99 per cent of the living space on the planet by volume
- Over three billion people depend on marine and coastal biodiversity for their livelihoods
- Globally, the market value of marine and coastal resources and industries is estimated at \$3 trillion per year or about 5 per cent of global GDP
- Oceans absorb about 30 per cent of carbon dioxide produced by humans, buffering the impacts of global warming
- Oceans serve as the world's largest source of protein, with more than 3 billion people depending on the oceans as their primary source of protein
- Marine fisheries directly or indirectly employ over 200 million people

Goal 14 Targets linked to the environment

Target 14.1: By 2025, prevent and significantly reduce marine pollution of all kinds, in particular from land-based activities, including marine debris and nutrient pollution

Target 14.2: By 2020, sustainably manage and protect marine and coastal ecosystems to avoid significant adverse impacts, including by strengthening their resilience, and take action for their restoration in order to achieve healthy and productive oceans

Target 14.3: Minimize and address the impacts of ocean acidification, including through enhanced scientific cooperation at all levels

Target 14.4: By 2020, effectively regulate harvesting and end overfishing, illegal, unreported and unregulated fishing and destructive fishing practices and implement science-based management plans, in order to restore fish stocks in the shortest time feasible, at least to levels that can produce maximum sustainable yield as determined by their biological characteristics

Target 14.5: By 2020, conserve at least 10 per cent of coastal and marine areas, consistent with national and international law and based on the best available scientific information

Target 14.6: By 2020, prohibit certain forms of fisheries subsidies which contribute to overcapacity and overfishing, eliminate subsidies that contribute to illegal, unreported and unregulated fishing and refrain from introducing new such subsidies, recognizing that appropriate and effective special and differential treatment for developing and least developed countries should be an integral part of the World Trade Organization fisheries subsidies negotiation

Target 14.7: By 2030, increase the economic benefits to Small Island developing States and least developed

countries from the sustainable use of marine resources, including through sustainable management of fisheries, aquaculture and tourism

Target 14.a: *Increase scientific knowledge, develop research capacity and transfer marine technology, taking into account the Intergovernmental Oceanographic Commission Criteria and Guidelines on the Transfer of Marine Technology, in order to improve ocean health and to enhance the contribution of marine biodiversity to the development of developing countries, in particular small island developing States and least developed countries*

Target 14.b: *Provide access for small-scale artisanal fishers to marine resources and markets*

Target 14.c: *Enhance the conservation and sustainable use of oceans and their resources by implementing international law as reflected in UNCLOS, which provides the legal framework for the conservation and sustainable use of oceans and their resources, as recalled in paragraph 158 of The Future We Want*

Goal 15: Terrestrial ecosystems and Environment

Terrestrial ecosystems provide a series of goods, raw materials for construction and energy, food and a series of ecosystem services including the capture of carbon, maintenance of soil quality, provision of habitat for biodiversity, maintenance of water quality, as well as regulation of water flow and erosion control, therefore contributing to reduce the risks of natural disasters such as floods and landslides, regulate climate and maintain the productivity of agricultural systems. Maintaining those ecosystems greatly support climate change mitigation and adaptation efforts. The following data enhances the importance of this goal.

- Around 1.6 billion people depend on forests for their livelihood.
- Forests are home to more than 80 per cent of all terrestrial species of animals, plants and insects
- 74 per cent of the poor are directly affected by land degradation globally
- Of the 8,300 animal breeds known, 8 per cent are extinct and 22 per cent are at risk of extinction
- Over 80 per cent of the human diet is provided by plants. Only three cereal crops – rice, maize and wheat – provide 60 per cent of energy intake
- As many as 80 per cent of people living in rural areas in developing countries rely on traditional plant-based medicines for basic healthcare

Goal 15 Targets linked to the environment

Target 15.1: *By 2020, ensure the conservation, restoration and sustainable use of terrestrial and inland freshwater ecosystems and their services, in particular forests, wetlands, mountains and drylands, in line with obligations under international agreements*

Target 15.2: *By 2020, promote the implementation of sustainable management of all types of forests, halt deforestation, restore degraded forests and substantially increase afforestation and reforestation globally*

Target 15.3: *By 2030, combat desertification, restore degraded land and soil, including land affected by desertification, drought and floods, and strive to achieve a land degradation-neutral world*

Target 15.4: *By 2030, ensure the conservation of mountain ecosystems, including their biodiversity, in order to enhance their capacity to provide benefits that are essential for sustainable development*

Target 15.5: *Take urgent and significant action to reduce the degradation of natural habitats, halt the loss of*

biodiversity and, by 2020, protect and prevent the extinction of threatened species

Target 15.6: Promote fair and equitable sharing of the benefits arising from the utilization of genetic resources and promote appropriate access to such resources, as internationally agreed

Target 15.7: Take urgent action to end poaching and trafficking of protected species of flora and fauna and address both demand and supply of illegal wildlife products

Target 15.8: By 2020, introduce measures to prevent the introduction and significantly reduce the impact of invasive alien species on land and water ecosystems and control or eradicate the priority species

Target 15.9: By 2020, integrate ecosystem and biodiversity values into national and local planning, development processes, poverty reduction strategies and accounts

Target 15.a: Mobilize and significantly increase financial resources from all sources to conserve and sustainably use biodiversity and ecosystems

Target 15.b: Mobilize significant resources from all sources and at all levels to finance sustainable forest management and provide adequate incentives to developing countries to advance such management, including for conservation and reforestation

Target 15.c: Enhance global support for efforts to combat poaching and trafficking of protected species, including by increasing the capacity of local communities to pursue sustainable livelihood opportunities

Goal 16: Peace, justice, strong institutions and Environment

Strengthened institutions, rule of law and enforcement contribute to support the implementation of multi-lateral environmental agreements and progress towards internationally agreed global environmental goals. A better understanding of the links between environment and human security is vital for effective conflict prevention, post-conflict reconstruction and promotion of peaceful and inclusive societies. In the past 60 years, 40 per cent of conflicts have been tied to natural resources and these are twice as likely to relapse into conflict within the first five years.

Goal 16 Targets linked to the environment

Target 16.3: Promote the rule of law at the national and international levels and ensure equal access to justice for all

Target 16.6: Develop effective, accountable and transparent institutions at all levels

Target 16.7: Ensure responsive, inclusive, participatory and representative decision-making at all levels

Target 16.8: Broaden and strengthen the participation of developing countries in the institutions of global governance

Target 16.10: Ensure public access to information and protect fundamental freedoms, in accordance with national legislation and international agreements

Target 16.b: Promote and enforce non-discriminatory laws and policies for sustainable development

Goal 17: Partnerships and Environment

Stronger partnerships will contribute to environmental protection and sustainable development by mobilizing resources, sharing knowledge, promoting the creation and transfer of environmentally sound

technologies, and building capacity. There is tremendous scope for making the existing financial system more sustainable by integrating the environment dimension. Growing cooperation among multilateral organizations, donors and private sector is needed to provide developing countries and beneficiaries with technologies that increase efficiency the use of natural resources, generate low waste, treat the generated pollution and mitigate climate change⁽⁵⁾.

Conclusion: We have been analyzing in the first part of this article the commitment the UN community has made through SDGs to make humanity a better livable place for all and in the second part, in particular, about how to integrate environment into SDGs. “We the Peoples” are the celebrated opening words of the UN Charter. It is “We the Peoples” who are embarking today on the road to 2030. Our journey will involve Governments as well as Parliaments, the UN system and other international institutions, local authorities, indigenous peoples, civil society, business and the private sector, the scientific and academic community – and all people. We have mapped the road to sustainable development; it will be for all of us to ensure that the journey is successful and its gains irreversible. Millions have already engaged with MDGS SDGs, and will own, this Agenda. It is an Agenda of the people, by the people, and for the people – and this, we believe, will ensure its success. The future of humanity and of our planet lies in our hands. It lies also in the hands of today’s younger generation who will pass the torch to future generations. Let us hope students of environment and development studies take up the challenge to design a better world and live up to the spirit of “Sophia-bringing the world together” with higher wisdom for which Sophia strives in the years to come!

Notes

1. Progress towards the eight Millennium Development Goals is measured through 21 targets and 60 official indicators. The complete list of goals, targets and indicators is available at <http://mdgs.un.org>.
2. Ibid.
3. Published by the United Nations Environment Programme (UNEP), Version 2, July 2013. <http://web.unep.org/post2015/sdg17.php>
4. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
5. Ibid.
All the data and analysis used in this article are based on UNMDGs reports from 2000-2015 and the UN published materials on Sustainable Development Goals.

Building Brand Value through Environmentally Oriented Corporate Activities

Björn Frank⁽¹⁾, Shane J. Schvaneveldt⁽²⁾

Abstract

Many firms engage in actions benefitting the environment in order to improve their brand image and broaden their customer base. The literature tends to refer to these environmentally oriented actions and to socially oriented actions as dimensions of CSR (corporate social responsibility). This research aims to explore the pathways through which consumer CSR perceptions influence consumer perceptions of products and brands. Based on multivariate analysis of consumer data in different countries, it finds that both social and environmental CSR actions lead to improved consumer perceptions of products and brands. Therefore, environmentally oriented corporate activities help firms compete more successfully.

企業の環境志向活動によるブランド価値の構築

フランク ビョーン⁽¹⁾、スワナベルト シェーン J⁽²⁾

概要

多くの企業は、ブランドイメージを改善し、顧客数を増やすために、環境へのベネフィットをもたらす行動に取り組んでいる。経営学の文献では、この環境志向活動および社会志向活動がCSR（社会的責任）の次元として分類される。本研究は、消費者が知覚するCSR活動が消費者の製品やブランドへの態度につながる影響メカニズムを解明することを目的とする。複数国から得た消費者データを踏まえた多変量解析の結果、社会志向及び環境志向のCSR活動の両方が製品及びブランドへの消費者態度の改善につながる。これらの結果により、企業の環境志向活動が企業の競争力を高めるといえる。

(1) Sophia University (Tokyo, Japan)

(2) Weber State University (Ogden, USA)

Building Brand Value through Environmentally Oriented Corporate Activities

1. Introduction

Over recent years, many firms have chosen to engage in CSR (corporate social responsibility) activities benefitting customers, employees, the local community, and the environment. Through these activities, firms have sought to improve their brand image and to foster trust in the quality of their products. Indeed, research has shown that some consumers seek to help society through consumption of products that might benefit disadvantaged social groups, even in cases where such consumption involves personal health risks (Frank & Schvaneveldt, 2014, 2016). Still, the evidence of the success of such CSR strategies is mixed. Past research indicates strong benefits of CSR activities on perceived product value (Koller et al., 2011; Luo & Bhattacharya, 2006), brand image (Martínez & Rodríguez del Bosque, 2013; Saeednia & Sohani, 2013; Torres et al., 2012), profits, and stock market value (Kang et al., 2016; Leonidou et al., 2013), whereas other research cannot support such claims (Jayachandran et al., 2013) or reveals low levels of CSR awareness among customers (Sen et al., 2006). Our study aims to make the following original contributions to the CSR literature. First, while past research tended to use social CSR and environmental CSR interchangeably (e.g., Kang et al., 2016), we wish to compare the influences of customer perceptions of both social CSR and environmental CSR on customer perceptions of product value and brand image. Our goal is to understand the relative effectiveness of activities in each domain for reaching different firm objectives. Second, most customers appear to lack a solid understanding of firms' CSR activities but still may associate firms with CSR activities without hard evidence (Sen et al., 2006). Against this backdrop, we seek to understand the importance of exposing customers to CSR information for building CSR brand image and increasing customer perceptions of product value and overall brand image. To test a series of research hypotheses, we use cross-national consumer data on perceptions of fast food restaurants.

2. Development of hypotheses

2.1 Conceptual framework

Our conceptual model in Figure 1 delineates the hypothesized processes through which we posit that corporate CSR activities impact customer satisfaction, which the marketing literature describes as a key driver of customer loyalty and long-term profits (Frank et al., 2012, 2015; Reichheld & Sasser, 1990). The established customer equity model proposed by Rust et al. (2000) describes such customer equity as the consequence of value equity, brand equity, and relationship equity.

Value equity comprises customer perceptions of the value that firms deliver through the provision of products and services, which we summarize as product value. It consists of multiple dimensions: utilitarian, hedonic, symbolic, and economic value. Utilitarian value refers to the product's ability to help customers reach objectives in their lives. Hedonic value refers to the pleasure that products generate. Symbolic value is

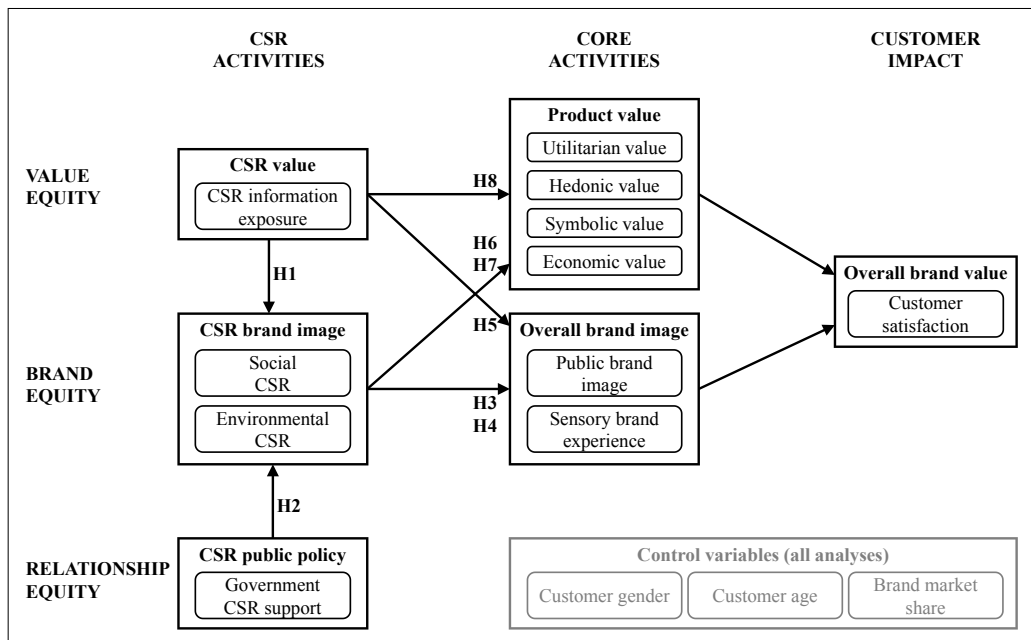


Figure 1. Conceptual framework.

the role that products play in customers' social relationships or daily habits. Finally, economic value refers to the perceived lowness of the price of the product, given its quality (Wimalachandra et al., 2014).

Brand equity refers to customer associations with the firm's brand. In particular, public brand image, which is the perceived public opinion of a brand and is also referred to as corporate reputation, has been shown to be a key driver of customer satisfaction and customer loyalty (Frank et al., 2012, 2015; Johnson et al., 2001). In addition, researchers have proposed brand experience as a multi-dimensional construct, which is key driver of customer satisfaction and customer loyalty (Brakus et al., 2009; Frank et al., 2014). As our study analyzes customer perceptions of fast food restaurants, we focus on sensory brand experience as a relevant dimension in this food industry.

While relationship equity is a key driver of profitability, it usually is described as a long-term consequence of building superior value equity and brand equity (Frank et al., 2012, 2015; Rust et al., 2000). Consequently, we focus on value equity and brand equity as the strategy levers that firms can use directly, rather than on relational equity as the indirect consequence of firm actions.

2.2 The formation of CSR brand image

We posit that CSR brand image derives from information on CSR activities that firms publicize (H1). In addition, we predict that the perception of government support for CSR may exert a positive influence on CSR brand image (H2) because firms can draw upon government policy and support actions to strengthen their CSR activities and because a government's active role in supporting corporate CSR activities may lead consumers to conclude that firms engage in CSR activities, even without any hard evidence.

2.3 Influence of CSR activities on overall brand image

Firms primarily engage in CSR activities in order to improve their brand image. Through actions benefiting both society and the environment, firms seek to be associated with integrity, high ethical standards, a lack of selfishness, and a willingness to reach out to stakeholders. Such benefits would be relevant dimensions of the public brand image, which is an evaluation of the goodness of a brand. Moreover, in the fast food context, an image of high ethical standards in treating employees and the environment can lead customers to expect high employee engagement and healthy food products, which would result in a strong sensory brand experience. Hence, we predict that social (H3) and environmental (H4) CSR brand image positively influences public brand image. Moreover, public awareness of corporate CSR activities is low and CSR brand image often does not reflect real customer knowledge, which might limit the influence of CSR brand image (Sen et al., 2006). Consequently, we posit that the consumer perception of having been exposed to solid information on a firm's CSR activities helps increase overall brand image (H5) beyond the level caused by CSR brand image (see H3, H4), while noting that this perception by consumers may frequently be somewhat unfounded (Sen et al., 2006).

2.4 Influence of CSR activities on product value

A limited number of context-specific studies have shown that consumers associate CSR activities with better product value (Koller et al., 2011; Luo & Bhattacharya, 2006). In line with this research, social CSR activities tend to be understood as investments into the ability to secure a good workforce (human resources) and to avoid conflicts with stakeholders that otherwise might distract a firm from its core activities. Customers might regard a good workforce as a driver of high quality products that help customers fulfill their goals (utilitarian value), induce pleasure (hedonic value), fulfill social and habitual

Table 1. Construct correlations and psychological properties.

Independent variables	Correlations									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Customer satisfaction										
2 Utilitarian value	.41									
3 Hedonic value	.37	.54								
4 Symbolic value	.32	.52	.55							
5 Economic value	.44	.27	.18	.25						
6 Public brand image	.56	.25	.42	.24	.28					
7 Sensory brand experience	.22	.32	.44	.39	.10	.27				
8 Social CSR image	.39	.26	.41	.23	.22	.50	.25			
9 Environmental CSR image	.21	.22	.34	.28	.17	.33	.32	.54		
10 Government CSR support	-.02	.11	.21	.15	.05	.09	.26	.18	.32	
11 CSR information exposure (formative)	-.03	.12	.31	.20	.04	.17	.35	.26	.32	.38
Psychological properties:										
Cronbach's α	.85	.89	.90	.88	.83	.92	.91	.87	.92	.91
Average variance extracted	.59	.67	.69	.61	.71	.79	.77	.70	.80	.78

Notes: All correlations with $|r| \geq .09$ are significant at $p < .05$.

Sample size (listwise): 757. Variables standardized.

roles in customers' lives (symbolic value), and represent good value for money (economic value). Moreover, environmental CSR activities tend to be understood as investments into securing high-quality natural resources that constitute the building blocks of most products and might translate into customer perceptions of utilitarian, hedonic, symbolic, and economic value. Hence, we posit that social (H6) and environmental (H7) CSR image influences perceived product value. In addition, actual information on CSR activities might complement partially unfounded, weakly held assumptions about CSR image in inducing customer perceptions of product value (H8).

3. Methodology

In order to test our hypotheses, we conducted a questionnaire survey about consumer attitudes regarding fast food restaurants in the countries of Japan, USA (both developed), and Sri Lanka (developing). We received 757 entirely completed questionnaires and a few more partially filled questionnaires. Table 1 shows the psychological properties and correlations of the constructs in our conceptual model. It indicates that our measures fulfill the standard requirements of convergent validity (Cronbach's $\alpha > .7$; average variance extracted $> .5$) and of discriminant validity (average variance extracted $>$ squared construct correlations).

4. Results

Regarding the formation of brand CSR image, our results in Table 2 support our hypotheses that CSR information exposure (H1) and government CSR support (H2) positively influence both social and environmental CSR image. Of particular interest, government CSR support exerts a large influence and appears to play a larger role than actual CSR information in shaping environmental CSR image. Potentially, consumers consider themselves less knowledgeable of environmental science than of social issues, and

Table 2. The formation of brand CSR image.

Independent variable	Dependent variable: Social CSR image b	Environmental CSR image b	Hypotheses
<i>Control variables:</i>			
Female (vs. male)	.03	-.04	
Age	-.06 †	.11 ***	
Brand market share	-.02	-.06	
<i>CSR value:</i>			
CSR information exposure	.19 ***	.19 ***	H1: +
<i>CSR public policy:</i>			
Government CSR support	.18 ***	.26 ***	H2: +
Sample size:	773	769	

Notes: † $p < .1$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

thus might be more inclined to trust the role of government in assuring high levels of environmental CSR activities in firms.

Table 3 portrays the influences of CSR activities on brand image. Public brand image is influenced strongly by social CSR image (H3), but not by environmental CSR image (H4) and CSR information exposure (H5). As public brand image reflects not the customer's personal opinion of a brand, but the customer's perception of society's opinion of a brand (Frank et al., 2015), personal exposure to CSR information might not be relevant, and customers appear to align society's interests with social issues, rather than environmental issues. By contrast, sensory brand experience as the customer's personal perception of brand characteristics is influenced by both social (H3) and environmental (H4) CSR image and by CSR information exposure (H5).

Table 4 displays the influences of CSR activities on perceived product value. Social (H6) and environmental (H7) CSR image influence all four dimensions of product value. While social CSR image exerts a stronger influence on utilitarian, hedonic, and economic value, environmental CSR image exerts a stronger influence on symbolic value. Thus, it appears that customers regard social CSR image as the more important driver of product quality, whereas environmental CSR image might appeal to customers' social role as part of the green movement. CSR information exposure (H8) positively influences utilitarian, hedonic, and symbolic value, but not economic value. Thus, customers appear willing to pay for a good CSR image, but not for the delivery of more CSR information. Rather, exposure to CSR information appears to result in a strong emotional response, for which customers do not appear willing to pay in a fast food context.

Table 5 provides information on the formation of customer satisfaction, which is influenced most strongly by public brand image and economic value, followed by utilitarian and symbolic value, whereas hedonic value and sensory brand image appear to be less influential in the context of fast food restaurants.

Table 3. The influences of CSR activities on brand image.

Independent variable	Dependent variable: Public brand image b	Sensory brand experience b	Hypotheses
<i>Control variables:</i>			
Female (vs. male)	.08 **	.01	
Age	.05 †	-.02	
Brand market share	-.21 ***	-.12 ***	
<i>Brand CSR image:</i>			
Social CSR image	.39 ***	.11 *	H3: +
Environmental CSR image	.04	.16 ***	H4: +
<i>CSR value:</i>			
CSR information exposure	.05	.21 ***	H5: +
Sample size:	775	758	

Notes: † $p < .1$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

5. Conclusion

Our empirical analyses support most of our hypotheses. With respect to the main objectives of our study, we detected that both social and environmental CSR image influence the formation of customer satisfaction via brand image and product value, but social CSR image has a far greater influence on public

Table 4. The influences of CSR activities on product value.

Dependent variable:	Utilitarian value	Hedonic value	Symbolic value	Economic value	
Independent variable	b	b	b	b	Hypotheses
<i>Control variables:</i>					
Female (vs. male)	.00	.03	.05	.05 †	
Age	-.05	-.11 ***	-.07 *	.04	
Brand market share	-.07	-.19 ***	-.08 †	-.13 **	
<i>Brand CSR image:</i>					
Social CSR image	.19 ***	.27 ***	.12 **	.14 ***	H6: +
Environmental CSR image	.11 *	.08 *	.17 ***	.11 **	H7: +
<i>CSR value:</i>					
CSR information exposure	.07 †	.14 ***	.09 *	-.03	H8: +
<i>Product value:</i>					
Utilitarian value				.18 ***	
Hedonic value				.05	
Symbolic value				.13 ***	
Sample size	770	770	773	757	

Notes: † $p < .1$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

Table 5. The formation of customer satisfaction.

Independent variable	Dependent variable: Customer satisfaction
	b
<i>Control variables:</i>	
Female (vs. male)	-.04
Age	-.01
Brand market share	-.01
<i>Product value:</i>	
Utilitarian value	.11 ***
Hedonic value	.06 †
Symbolic value	.11 ***
Economic value	.31 ***
<i>Brand image:</i>	
Public brand image	.31 ***
Sensory brand experience	.05 *
Sample size:	758

Notes: † $p < .1$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

brand image and economic value as the most important drivers of customer satisfaction. In addition, our results indicate that substantial exposure to CSR information not only leads to better CSR image, but also contributes to predominantly emotional processes (hedonic value, sensory brand experience) in the formation of customer satisfaction. However, these emotional processes do not appear to play a salient role in the overall evaluation of fast food restaurants.

In our future research, we will extend the analysis to additional countries and industries in order to derive generalizable insights and to understand the role of a country's economic development status in the effectiveness of CSR activities.

Acknowledgments

The authors thank Dinush Wimalachandra and all survey respondents for their contribution to the data collection. In addition, they thank JSPS Kakenhi (grant 15H05395, Japanese government funding) for financial support.

References

- Brakus, J.J., Schmitt, B.H., & Zarantonello, L. (2009). Brand experience: What is it? How is it measured? Does it affect loyalty? *Journal of Marketing*, 73(3), 52-68.
- Frank, B., Abulaiti, G., & Enkawa, T. (2012). What characterizes Chinese consumer behavior? A cross-industry analysis of the Chinese diaspora in Japan. *Marketing Letters*, 23(3), 683-700.
- Frank, B., Enkawa, T., & Schvaneveldt, S.J. (2015). The role of individualism vs. collectivism in the formation of repurchase intent: a cross-industry comparison of the effects of cultural and personal values. *Journal of Economic Psychology*, 51, 261-278.
- Frank, B., Herbas Torrico, B., Enkawa, T., & Schvaneveldt, S.J. (2014). Affect vs. cognition in the chain from perceived quality to customer loyalty: the roles of product beliefs and experience. *Journal of Retailing*, 90(4), 567-586.
- Frank, B., & Schvaneveldt, S.J. (2014). Self-preservation vs. collective resilience as consumer responses to national disasters: a study on radioactive product contamination. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 22(4), 197-208.
- Frank, B., & Schvaneveldt, S.J. (2016). Understanding consumer reactions to product contamination risks after national disasters: the roles of knowledge, experience, and information sources. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 28, 199-208.
- Jayachandran, S., Kalaiganam, K., & Eilert, M. (2013). Product and environmental social performance: varying effect on firm performance. *Strategic Management Journal*, 34(10), 1255-1264.
- Johnson, M.D., Gustafsson, A., Andreassen, T.W., Lervik, L., & Cha, J. (2001). The evolution and future of national customer satisfaction index models. *Journal of Economic Psychology*, 22(2), 217-245.
- Kang, C., Germann, F., & Grewal, R. (2016). Washing away your sins? Corporate social responsibility, corporate social irresponsibility, and firm performance. *Journal of Marketing*, 80(2), 59-79.
- Koller, M., Floh, A., & Zauner, A. (2011). Further insights into perceived value and customer loyalty: a "green" perspective. *Psychology & Marketing*, 28(12), 1154-1176.
- Leonidou, C.N., Katsikeas, C.S., & Morgan, N.A. (2013). "Greening" the marketing mix: Do firms do it and does

- it pay off? *Journal of the Academy of Marketing Science*, 41(2), 151-170.
- Luo, X., & Bhattacharya, C.B. (2006). Corporate social responsibility, customer satisfaction, and market value. *Journal of Marketing*, 70(4), 1-18.
- Martínez, P., & Rodríguez del Bosque, I. (2013). CSR and customer loyalty: the roles of trust, customer identification with the company, and customer satisfaction. *International Journal of Hospitality Management*, 35, 89-99.
- Reichheld, F.F., & Sasser, W.E. (1990). Zero defections: Quality comes to services. *Harvard Business Review*, 68(5), 105-111.
- Rust, R.T., Zeithaml, V.A., & Lemon, K.N. (2000). *Driving customer equity: How customer lifetime value is reshaping corporate strategy*. New York: Free Press.
- Saeednia, H.R., & Sohani, Z. (2013). An investigation on the effect of advertising corporate social responsibility on building corporate reputation and brand equity. *Management Science Letters*, 3(4), 1139-1144.
- Sen, S., Bhattacharya, C.B., & Korschun, D. (2006). The role of corporate social responsibility in strengthening multiple stakeholder relationships: a field experiment. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 34(2), 158-166.
- Torres, A., Bijmolt, T.H.A., Tribó, J.A., & Verhoef, P. (2012). Generating global equity through corporate social responsibility to key stakeholders. *International Journal of Research in Marketing*, 29(1), 13-24.
- Wimalachandra, D.C., Frank, B., & Enkawa, T. (2014). Leveraging customer orientation to build customer value in industrial relationships. *Journal of Japanese Operations Management and Strategy*, 4(2), 46-61.

地球規模の気候変動に関する応用一般均衡分析： 多部門・多地域動学世界モデル

坂上 紳，山浦 紘一，鷲田 豊明

概要

本論文は、相互作用や異質性を伴う多様な地域が存在する状況において、温室効果ガス排出削減の気候変動に対する影響、国際協定の経済的影響を分析している。ここでは、温暖化評価と適応評価のための応用一般均衡世界モデルである EMEDA の動学版を用いている。動学版 EMEDA は 8 地域より構成され、各地域経済は 8 部門から構成される。我々は、EMEDA を、資本蓄積、人口成長、技術進歩、CO₂ 排出と地球温暖化被害、世界気候モデルの 5 つの点について拡張し、動学化を行った。そして、コペンハーゲン合意に基づく CO₂ 排出削減の基本シナリオを定義した。これらの結果を用い、BaU シナリオと基本シナリオおよび気候変動の地域別影響について計測を行った。シミュレーション結果として、第一に、BaU シナリオでは 4°C となった気温上昇が基本シナリオでは 2.5 度以下に抑えられたこと、第二に、基本シナリオにおける経済損失は地域産業ごとに大きく変化すること、第三に、日本、アメリカ、EU の実質 GDP 損失は基本シナリオにおける CO₂ 排出削減で改善するが、それ以外の地域ではむしろ損失が増加すること、最後に、各地域において、基本シナリオではいくつかの部門で付加価値損失の低下がみられた。

Computable General Equilibrium Analyses of Global Climate Agreements: A Multi-sector and Multi-region Dynamic Model

Shin Sakaue, Koichi Yamaura, Toyoaki Washida

Abstract

This article examines economic impacts under global climate agreements for abating greenhouse gases (GHGs) with interactions and heterogeneity among various regions. It uses the dynamic version of Evaluation Model for Environmental Damage and Adaption (EMEDA) developed for simulating global economic impacts resulting from climate change. Dynamic version of EMEDA consists of eight regions with each region broken down into eight sectors. We expand EMEDA into a dynamic version in five points; 1) capital accumulation, 2) population growth, 3) technological progress, 4) CO₂ emissions and damages from global warming, and 5) a global warming model. Then, we define a base scenario on CO₂ emissions reduction according to Copenhagen Accord. By the dynamic version of EMEDA, we measure regional impacts of climate change under business as usual (BaU) and the base scenario. Simulated results show that: 1) temperature rises more than 4 degree C in BaU scenario whereas temperature rise is less than 2.5 degree C in the base scenario, 2) simulated economic damage derived from CO₂ emissions reduction rates attained by official announcements varies among regions and sectors, 3) the real GDP losses of Japan, the U.S. and EU are improved by CO₂ emissions reduction, but real GDP losses of other regions are deteriorated; and 4) there exist several sectors of which the real value-added losses decrease in each region.

Computable General Equilibrium Analyses of Global Climate Agreements: A Multi-sector and Multi-region Dynamic Model

Shin Sakaue*

Koichi Yamaura[†]

Toyoaki Washida[‡]

1. Introduction

The anthropogenic greenhouse gas (GHG) driven climate crisis has received global attention over the last several decades, with ‘global warming’ and ‘climate change’ becoming important keywords and catalysts for controversial debates across academia, various institutions and broad areas of society. Since the early nineties many scholars have developed integrated assessment models (IAMs) to analyze global warming. The United Nations International Panel on Climate Change (IPCC) for example has employed IAMs to determine future socio-economic scenarios and to evaluate policy measures (Mori et al., 2008). Nordhaus (1991) first attempted to estimate the cost of climate change for the U.S. and the rest of world. Since then, many other studies have emerged addressing the global economic costs of climate change (Frankhauser, 1995; Nordhaus and Boyer, 2000; Nordhaus and Yang, 1996; Tol, 1995, 1999, 2002).

With many studies providing assessments of the global and regional economic costs of climate change, some focus on economic consequences from multiple sectors in multiple regions. Washida (2010) and Washida et al. (2014) developed the Evaluation Model for Environmental Damage and Adaption (EMEDA) as a static CGE model to simulate economic damages resulting from global warming and adaptation costs. Compared with the other global economic models such as the Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND) by Tol (1995), there are several advantages to EMEDA. Firstly, it captures not only domestic economic impacts but also indirect economic impacts on world trade among nations affected by global warming. Secondly, it utilizes the Global Trade, Assistance, and Production version 7 (GTAP7) Data Base which has rich global economic data including that from developing countries. Lastly, damage functions may be inserted more easily into this model than other CGE models.

This study constructs a dynamic version of EMEDA to simulate the world economy as eight regions including Japan, China and the U.S., with each region broken down into eight sectors for the period 2004–2100. To calculate recursive competitive equilibrium year by year, we have utilized the GTAP7 Data Base and the General Algebraic Modeling System (GAMS). Additionally, we have added global warming and damage functions modified from DICE2010 and RICE2010

*Corresponding author: Postdoctoral Fellow, Graduate School of Global Environmental Studies, Sophia University. sakaue@genv.sophia.ac.jp

[†]Assistant Professor, Department of International Environmental and Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology.

[‡]Professor, Graduate School of Global Environmental Studies, Sophia University.

(Nordhaus, 2012). Under these settings, we define a base scenario on CO2 emissions reduction according to Copenhagen Accord for climate policy analysis. Then, we measure economic impacts of climate change under the base scenario and business as usual (BaU) scenario.

Simulated results by the dynamic EMEDA indicate that: 1) temperature rises more than 4 degree C in BaU scenario whereas temperature rise is less than 2.5 degree C in the base scenario, 2) simulated economic damage derived from CO2 emissions reduction rates attained by official announcements varies among regions and sectors, 3) the real GDP losses of Japan, the U.S. and EU are improved by CO2 emissions reduction, but real GDP losses of other regions are deteriorated; and 4) there exist several sectors of which the real value-added losses decrease in each region.

2. Methodology

We extend EMEDA from Washida (2010) to a dynamic CGE model with climate change in this section. Then, we define a base scenario according to Copenhagen Accord.

2.1. An overview of EMEDA

Figure 1, from Washida (2010, pp.6, Figure 4), depicts the flow of goods in a regional economy. S is savings, Z is domestic production, E is total export, E_s is export to each region, R is international transport service, D is domestic demand, M_r is total import, Q is Armington good, C is consumption, G is government expenditure, I is investment, V is value-added, and X is intermediate input. A regional economy is depicted by the outer dashed line.

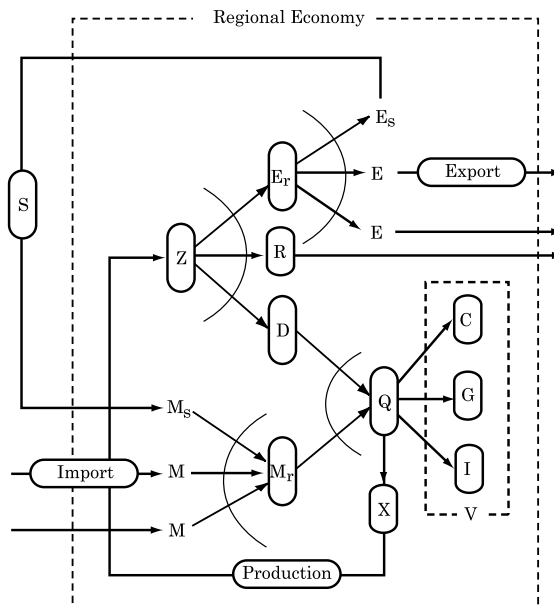


Figure 1: Flow of Goods in A Regional Economy from Washida (2010)

Domestic production mainly consists of domestic demand and total exports. On top of this, international transport services also have a share of domestic productions. These demands are obtained by non-linear Constant Elasticity of Transformation (CET) functions, which are depicted by the left-side-open curves in Figure 1. Total exports are also divided into exports to other regions by non-linear CET functions (Washida 2010).

Armington goods are obtained from domestic demand and total imports by Constant Elasticity of Substitution (CES) functions, which are depicted as right-side-open curves in Figure 1. Total imports also contain imports from each region using CES functions (Washida 2010). Finally, consumption, government expenditure, investment and intermediate input are used to measure Armington goods (Washida 2010).

Following Washida (2010), a value-added production function of EMEDA is as:

$$V_{jr} = \pi_{jr}^V \left\{ \alpha_{jr}^V K_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} + (1 - \alpha_{jr}^V) L_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} \right\}^{\frac{\beta_{jr}^V}{\beta_{jr}^V - 1}}. \quad (1)$$

Capital demand function is as:

$$K_{jr} = \left\{ \frac{\pi_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} \alpha_{jr}^V p_{jr}^V}{(1 + \tau_{jr}^F) (1 + \tau_{jr}^K) r_r} \right\}^{\beta_{jr}^V} V_{jr}. \quad (2)$$

Labor demand function is as:

$$L_{jr} = \left\{ \frac{\pi_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} \alpha_{jr}^V p_{jr}^V}{(1 + \tau_{jr}^F) (1 + \tau_{jr}^L) w_r} \right\}^{\beta_{jr}^V} V_{jr}, \quad (3)$$

where V_{jr} is value-added, K_{jr} is capital, L_{jr} is labor, p_{jr}^V is value-added price, τ_{jr}^K is capital tax, τ_{jr}^F is production tax, τ_{jr}^L is labor tax, r_r is capital service price, and w_r is nominal wage rate. A sector: $j = 1, \dots, 8$ and a region: $r = 1, \dots, 8$ (See Table 1, 2 and 3)^{1,2}. A π_{jr}^V is a

Table 1: Regions and Sectors for Dynamic EMEDA

Regions	Sectors
1 Japan	1 Agriculture
2 China	2 Forestry
3 USA	3 Fishing
4 EU25_WEurope	4 Extraction
5 FSU_EEurope	5 LightMnfc
6 OAsiaOceania	6 HeavyMnfc
7 OAmerica	7 TransComm
8 Africa	8 OthServices

¹In our model, the sixteen sectors and sixteen regions used in the Washida (2010) study are aggregated into eight sectors and eight regions for computational convenience.

²Sector codes in Table 3 are available on GTAP webpage. https://www.gtap.agecon.purdue.edu/data/bases/v7/v7_sectors.asp.

Table 2: Regions Considered in Dynamic EMEDA

Abb.	Name	Country codes (GTAP7)
1	Japan	JPN
2	China	CHN, HKG
3	USA	USA
4	EU25_ WEurope	AUT, BEL, CYP, CZE, DNK, EST, FIN, FRA, DEU, GRC, HUN, IRL, ITA, LVA, LTU, LUX, MLT, NLD, POL, PRT, SVK, SVN, ESP, SWE, GBR, XEF, NOR, CHE
5	FSU_ EEurope	RUS, ALB, BGR, BLR, HRV, ROU, UKR, XEE, XER, KAZ, KGZ, XSU, ARM, AZE, GEO
6	OAsiaOceania	IND, KOR, AUS, NZL, XOC, TWN, XEA, KHM, IDN, LAO, MMR, MYS, PHL, SGP, THA, VNM, XSE, BGD, PAK, LKA, XSA, IRN, TUR, XWS
7	OAmerica	CAN, MEX, XNA, ARG, BOL, BRA, CHL, COL, ECU, PRY, PER, URY, VEN, XSM, CRI, GTM, NIC, PAN, XCA, XCB
8	Africa	NGA, SEN, XWF, XCF, XAC, ETH, MDG, MWI, MUS, MOZ, TZA, UGA, ZMB, ZWE, XEC, BWA, ZAF, XSC, EGY, MAR, TUN, XNF

Table 3: Sectors Considered in Dynamic EMEDA

Abb.	Name	Sector codes (GTAP7)
1	Agriculture	PDR, WHT, GRO, PCR, V_F, OSD, C_B, PFB, OCR, CTL, OAP, RMK, WOL, CMT, OMT
2	Forestry	FRS
3	Fishing	FSH
4	Extraction	COA, OIL, GAS, OMN
5	LightMnfc	VOL, MIL, SGR, OFD, B_T, TEX, WAP, LEA, LUM, PPP, FMP, MVH, OTN, OMF
6	HeavyMnfc	P_C, CRP, NMM, LS, NFM, ELE, OME, ELY, GDT, WTR, CNS
7	TransComm	TRD, OTP, WTP, ATP, CMN
8	OthServices	OFI, ISR, OBS, ROS, OSG, DWE

scale parameter, α_{jr}^V is a partition parameter, and β_{jr}^V is an elasticity of substitution. EMEDA also contains final demand functions, income and savings functions, trade functions, and market equilibriums for export and import goods³.

2.2. Extension to dynamic EMEDA

In the literature, impacts of global warming are considered as time dimensional objects since accumulation of GHGs emissions leads to a rise in atmospheric temperature. Accordingly, we extend a EMEDA from Washida (2010) to a dynamic CGE model in which competitive equilibrium is recursively calculated year by year from 2004 to 2100 without any loss of the advantages of an EMEDA⁴. Therefore we have improved an EMEDA on five levels. First, we adopt capital accumulation by sector in each region. In each period a present capital stock is the sum of the previous capital stock minus depreciation of the previous capital stock plus a previous gross investment. We set the depreciation rate of each sector to four percent per annum following the GTAP7 database. Second, we introduce population growth into labor supply. Population growth rates are calculated by world projections from United Nations (UN) data. Third, we introduce the Hicks neutral technological progress into the value-added production function. The

³See Appendix in this paper, Washida (2010) and Washida et al. (2014) for details.

⁴Data in GTAP7 is available for 2004. Therefore, Washida (2010) set the year 2004 as the base year.

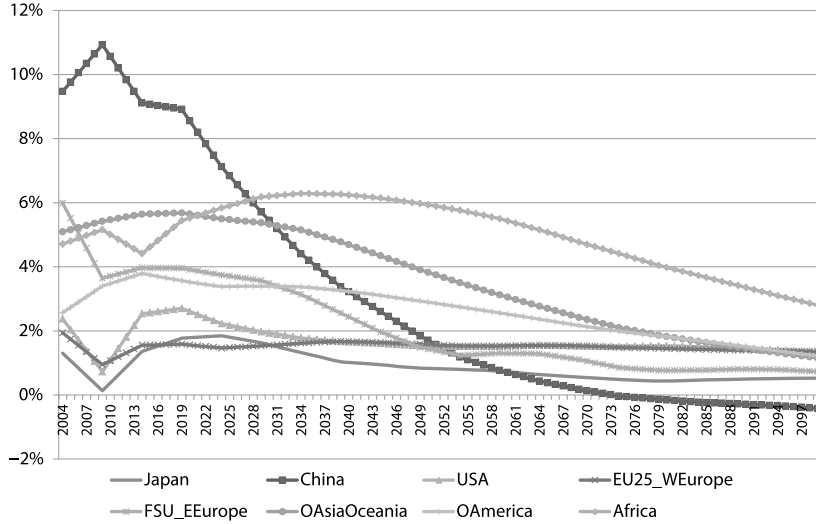


Figure 2: Changes in Real GDP Growth Rates by Region in SSP1

Table 4: CO2 Emission Coefficients of Dynamic EMEDA in 2004

	Japan	China	USA	EU25_	FSU_	Oasia	OAmerica	Africa
				WEurope	EEurope	Oceania		
Agriculture	0.070342	0.162142	0.124978	0.088221	0.139385	0.053058	0.092138	0.024317
Forestry	0.065633	0.109027	0.050185	0.053807	0.317288	0.031962	0.080667	0.033935
Fishing	0.423212	0.283442	0.264394	0.209174	0.144837	0.272827	0.102655	0.108659
Extraction	0.139023	0.488464	0.068438	0.077564	0.170186	0.062192	0.264992	0.102994
LightMnfc	0.019292	0.168772	0.058036	0.03145	0.172826	0.104082	0.041993	0.100977
HeavyMnfc	0.174954	1.869972	0.44905	0.233544	2.263606	0.926848	0.386714	1.560264
TransComm	0.058703	0.230866	0.171369	0.097818	0.460827	0.259246	0.307276	0.274136
OthServices	0.010252	0.048448	0.007816	0.005901	0.126179	0.018156	0.012494	0.027607
Households	0.0103362	0.0526218	0.0283849	0.0208521	0.130155	0.0463183	0.036024	0.0520026

growth rates of technological progress are calculated by fitting the estimated values of real GDP in a dynamic EMEDA to those of real GDP in the scenario of Shared Socio-economic Pathways (SSP) in which both potential damage of global warming and marginal cost of mitigation are determined by the low (SSP1), which is in turn estimated by the OECD ENV-linkage model (SSP Database, 2012). Figure 2 illustrates changes in real GDP growth rates by region in SSP1.

Fourth, we consider CO2 emissions and damages from global warming⁵. CO2 emissions in 2004 are calculated by input energy data in GTAP7 Data Base (Lee, 2008). This data includes CO2 emissions of 8 regions and 9 sectors, which consist of our 8 sectors and households. With this data, the CO2 emission coefficient for each industry, $\sigma_{jr,t}$, is defined as the ratio of CO2 emissions to the value-added of sector j in 2004. Similarly, the CO2 emission coefficient of households, $\sigma_{r,t}^H$, is defined as the ratio of CO2 emissions to total value-added in 2004. Table 4 shows CO2 emission coefficients in 2004. Due to technological progress in abatement, the CO2

⁵Effects of non-CO2 GHGs are given exogenously according to DICE2010.

emission coefficient has decreased each year. We assume a CO2 emission coefficient has decreased by about 2% annually according to RICE2010. Additionally, the absolute value of the rate of change in CO2 emission coefficient has also decreased per year according to RICE2010. Using these assumptions, CO2 emissions after 2004 are calculated by the CO2 emission coefficients and estimated in terms of real value-added.

Finally, we build a global warming model modified from DICE2010 and RICE2010 (Nordhaus, 2010, 2012). This is essentially a box model consisting of three components: the atmosphere, the ocean surface and the deep ocean. In this model we consider two types of damages from global warming. The first is damage arising from sea level rise (abbreviated as SLR) with the other being that caused by other events (non-SLR events) driven by warming global temperatures. SLR and non-SLR damages are given by

$$\frac{D_{r,t}(T_t, SLR_t)}{1 + D_{r,t}(T_t, SLR_t)} F_{jr,t}(K_{jr,t}, L_{jr,t}) \quad (4)$$

where $F_{jr,t}$ is a value-added production function without damages and $D_{r,t}$ is a SLR and non-SLR damage function modified from RICE2010. According to RICE2010, $D_{r,t}$ is given by

$$D_{r,t}(T_t, SLR_t) = \alpha_{1,r} T_t + \alpha_{2,r} T_t^2 + 2(\beta_{1,r} SLR_t + \beta_{2,r} SLR_t^2) \left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{jr,t-1}}{\sum_{j=1}^n V_{jr,2004}} \right)^{0.25} \quad (5)$$

where T_t is the rise in atmospheric temperature ($^{\circ}\text{C}$ compared to the year 1900) and SLR_t is the level of SLR caused by higher temperatures (in meters compared to the year 2000). By definition, these damage functions are different for each region. Table 5 shows the parameters of the damage functions. Moreover, in our model each region can reduce CO2 emissions at the expense of value-added production. This relationship is represented by abatement cost functions which are also modified from RICE2010. An abatement cost is expressed by

$$\frac{ACOST_{jr,t}(\mu_{jr,t})}{1 + D_{r,t}(T_t, SLR_t)} F_{jr,t}(K_{jr,t}, L_{jr,t}) \quad (6)$$

where $ACOST$ is an abatement cost function. This is given by

Table 5: Parameters of SLR and Non-SLR Damage Functions in 2004

Region	On non-SLR		On SLR	
	α_1	α_2	β_1	β_2
Japan	0	0.161723	0.00053	0.000053
China	0.077445	0.126287	0.011646	0.000001
USA	0	0.141413	0	0.000255
EU25_WEurope	0.000568	0.158733	0.004453	0
FSU_EEurope	0	0.121042	0.000043	0.000026
OAsiaOceania	0.220391	0.1624	0.002181	0.000351
OAmerica	0.043514	0.14078	0.001759	0.000051
Africa	0.340974	0.19832	0.003509	0

Table 6: Parameters of Abatement Cost Functions in 2004

	Japan	China	USA	EU25_WEurope	FSU_EEurope	OAsiaOceania	OAmerica	Africa
Agriculture	0.0511	0.0685	0.0624	0.0685	0.0731	0.0488	0.0720	0.0379
Forestry	0.0481	0.0515	0.0320	0.0469	0.1214	0.0385	0.0656	0.0427
Fishing	0.2744	0.1071	0.1191	0.1444	0.0746	0.1569	0.0779	0.0799
Extraction	0.0945	0.1725	0.0394	0.0618	0.0815	0.0533	0.1691	0.0771
LightMnfc	0.0188	0.0706	0.0352	0.0328	0.0822	0.0739	0.0438	0.0761
HeavyMnfc	0.1173	0.6128	0.1942	0.1597	0.6492	0.4783	0.2375	0.8017
TransComm	0.0437	0.0904	0.0813	0.0745	0.1603	0.1502	0.1929	0.1622
OthServices	0.0130	0.0322	0.0147	0.0168	0.0695	0.0317	0.0273	0.0396

$$ACOST_{jr,t}(\mu_{jr,t}) = c_{jr,t}(\sigma_{jr,t} + \sigma_{r,t}^H)\mu_{jr,t}^{2.8} \quad (7)$$

where $\mu_{jr,t}$ is the rate at which CO2 emissions decline, and $c_{jr,t}$ is the parameter of abatement cost functions. Table 6 exhibits parameters by sector for each region's abatement cost function in 2004. We assume that these parameters decrease as time passes⁶. Additionally, other parameters in our global warming model are calculated according to DICE2010.

Following Washida (2010), we use the GTAP7 Data Base for simulating the extended EMEDA, naming this extended version with global warming a *dynamic EMEDA*.

2.3. CO2 emission reduction scenario

In this subsection, we define a series of scenarios regarding various reduction rates for world CO2 emissions. In the base scenario, each region gradually increases the rate of CO2 emissions reductions according to Table 7. In Table 7, the 2020 CO2 emission reduction targets for the five major regions of Japan, China, the U.S., the European Union (EU) and Former Soviet

Table 7: CO2 Emissions Reduction in the Base Scenario

Region	2020	2050	2051–2100
Japan	–25% below '90	–80% below '90	–2% p.a.
China	–40% below '05 ^a	–50% below '90	–2% p.a.
USA	–4% below '90	–50% below '90	–2% p.a.
EU25_	–20% below '90	–50% below '90	–2% p.a.
WEurope			
FSU_	–20% below '90	–50% below '90	–2% p.a.
EEurope			
Oasia	–40% below '05	–50% below '90	–2% p.a.
Oceania			
OAmerica	–40% below '05	–50% below '90	–2% p.a.
Africa	–40% below '05	–50% below '90	–2% p.a.

^a Comparison by CO2 emissions intensity.

⁶This reflects technical progress in backstop technology since $c_{jr,t}$ represents backstop price.

Union (FSU) are derived from those officially announced at COP15 (den Elzen et al., 2010). For the other three regions of other Asia and Oceania (OAsiaOceania), other American countries (OAmerica) and Africa, we have adopted 40% below 2005 levels for simplification purposes. For long-term CO₂ emissions reduction targets for 2050, we have followed targets set out by the International Energy Agency (IEA) and the Group of Eight (G8), which predict reduction rates for CO₂ emissions in 2050 as 50% below 1990 levels (IEA, 2009; G8 Summit, 2007).

That said however, we have adopted an 80% target for Japan since this country officially pledged such reductions by the year 2050 (METI, 2010). Finally, we assume that each region reduces its CO₂ emissions after 2050 by 2% per annum.

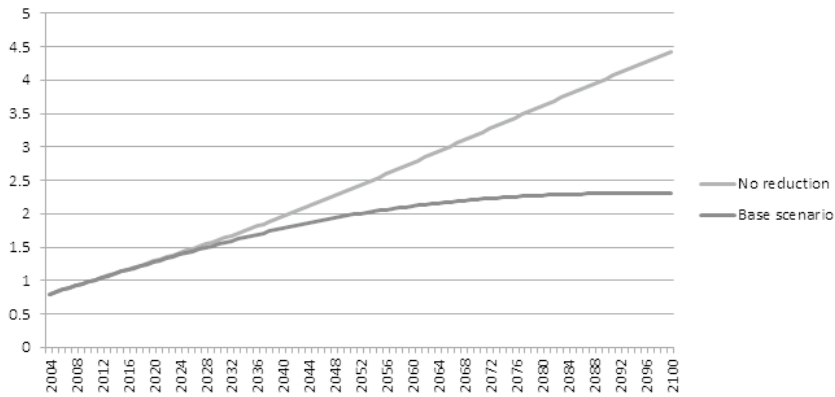


Figure 3: Changes in Temperature (°C above 1900) in the Base Scenario

Figure 3 represents changes in atmospheric temperature in both the base scenario and BaU scenario where no region reduces its CO₂ emissions. In the dynamic EMEDA, the temperature increase in 2100 is about 2.31°C above 1900 in the base scenario and about 4.43°C above 1900 in the case of BaU scenario. Therefore, attaining the base scenario is sufficiently effective for limiting global warming as per the current goal of 2 degrees relative to pre-industrial temperatures.

3. Results

Simulated EMEDA results are affected not only by direct impacts, but also by indirect effects. This is because CGE models incorporate interrelationships among regions. Therefore, we can consider these indirect effects when EMEDA focuses on damage impacts from global warming. This research simulates a dynamic EMEDA to emphasize effect of CO₂ emissions reduction for eight regions. From hereon, we will therefore discuss simulated dynamic EMEDA results by region for both real GDP and real value-added by sector. For this EMEDA simulation we use GAMS version 23.2⁷.

In this subsection, firstly, we focus on each region's real GDP for the two periods of 2050 and 2100. Secondly, we calculate rate of change in real value-added by sector for these periods.

⁷<http://www.gams.com/>

Finally, we measure effects of CO2 reduction on the world economy from 2004 to 2100 when CO2 emissions of each regions are reduced according to the base scenario or not.

3.1. GDP

Table 8 displays change in real GDP (in billions of US\$ 2004 equivalent) for all regions in the base scenario in the years 2050 and 2100⁸. The best scenarios for each player are those where there is the base scenario for Japan, the U.S. and EU, and BaU in CO2 emissions for other regions. Focusing on real GDP in 2050, seven of eight regions prefer BaU in CO2 emissions relative to the base scenario since high reduction rates require higher abatement costs than in the BaU scenario. Especially in regard to the rate of change in real GDP, China bears more abatement costs (i.e., higher CO2 emissions reduction rates) than the U.S. because of differences in economic growth rates, as can be seen in Figure 2.

Table 8: Real GDP (in Billions of US\$ 2004 Equivalent) of All Regions in 2050 and 2100

Region	2050			2100		
	BaU	Base scenario	% Change	BaU	Base scenario	% Change
Japan	7,771	7,713	-0.7%	9,623	10,068	4.6%
China	30,613	28,855	-5.7%	32,569	32,440	-0.4%
USA	26,865	26,773	-0.3%	53,367	56,424	5.7%
EU25_WEurope	23,307	23,324	0.1%	43,368	46,118	6.3%
FSU_EEurope	3,776	3,674	-2.7%	5,914	5,781	-2.2%
OAsiaOceania	42,964	38,315	-10.8%	115,106	106,806	-7.2%
OAmerica	12,862	12,564	-2.3%	32,522	33,230	2.2%
Africa	9,765	8,931	-8.5%	82,172	77,227	-6.0%

Focusing on real GDP in 2100, here it can be seen that the base scenario constitutes the best outcome for Japan, the U.S., EU and other America whereas for other regions it is BaU in CO2 emissions. This is due to differences in the effects of CO2 emission reductions. Comparing the cases of BaU and the base scenario, real GDP for Japan and the U.S. increases as CO2 emissions are reduced, while China's real GDP decreases. This is for the reason that abatement costs required to meet the base scenario are higher in China than in developed countries⁹ such as Japan and the U.S. This discrepancy in abatement costs between developed countries and other countries such as China can be explained by the result of dynamic EMEDA which shows that the rate of economic growth in developed countries is lower than in other countries, as shown in Figure 2.

Table 9 shows the real trade balance (in billions of US\$ 2004 equivalent) for the years 2050 and 2100. As CO2 emissions are reduced in relation to the base scenario, the real trade balance of Japan and the U.S. in 2100 increases despite a decrease in real GDP for both countries. The reason for this is that industry in Japan and the U.S. bears relatively lower abatement costs than

⁸Real GDP is defined by sum of real value-added.

⁹For details, real GDP of the U.S., Japan, EU and OAmerica increases as CO2 emissions are reduced.

Table 9: Real Trade Balance (in Billions of US\$ 2004 Equivalent) of All Regions in 2050 and 2100

Region	2050		2100	
	BaU	Base Scenario	BaU	Base Scenario
Japan	-222	-205	400	-185
China	1,037	467	-6,463	-6,067
USA	-2,863	-2,779	938	-2,457
EU25_WEurope	-1,511	-1,603	4,627	87
FSU_EEurope	45	53	-120	-110
OAsiaOceania	4,599	5,122	11,644	11,073
OAmerica	288	64	2,625	1,151
Africa	448	515	-1,645	5,118

China. As a result, this change in real trade balance may negatively affect China's economy. In addition to this, real trade balance in some developed countries decreases as CO2 emission decline, even though real GDP increases. The reason for this is that the increase in domestic demand in developed countries resulting from global warming mitigation exceeds the decrease in real trade balance, which is derived from decrements of real exports and increments of real imports in developed countries.

These results suggest that a reduction in CO2 emissions is more beneficial to developed countries than for other countries. This implies that international cooperation for climate change mitigation requires higher abatement costs in developed countries in order to ensure fairness between developed and other countries.

3.2. Value-added by sector

We determine in detail how each region may improve real value-added when reducing CO2 emissions. To obtain rates of change for real value-added by sector in the dynamic EMEDA the BaU scenario is compared with others.

Table 10 shows the rate of changes in real value-added for the base scenario in the year 2050. Firstly, for the majority of sectors with the exception of heavy manufacturing (HeavyMnfc) of the U.S. and EU, in each region the real-value added for the BaU scenario is higher than that for the base scenario. This shows that excessive CO2 emissions abatement leads to a deterioration of the overall economy. Secondly, in light manufacturing (LightMnfc) real value-added always decreases as a result of a reduction in CO2 emissions. It could therefore be argued that additional policies such as emissions trading may be required in order to improve the economies of all sectors.

Next, we compare the rate of change in the value-added for several sectors and regions in 2100. Table 11 displays the rate of change in the value-added for all scenarios in 2100. First of all, for agriculture, real value-added for both the U.S. and EU rapidly decreases in the base scenario, while both Japan and China see an increase since the diminution of their imports of agricultural goods exceeds that of their exports. Second, for the industry of heavy manufacturing,

real value-added for both China and the U.S. increases while Japan sees a decrease in the base scenario since Japanese domestic goods in the heavy manufacturing sector are substituted by an increase in imports from other countries, such as China. Third, for the services category such as transport and communication (TransComm) and other services (OthServices) real value-added for developed countries such as Japan, U.S. and EU experience an increase as the domestic demand for services expands. Finally, value-added for the extraction industry diminishes in most regions except Africa. This most probably reflects the large share represented by the extraction sector in the overall African economy, which will be, accelerated by rapid economic growth on SSP1, as shown in Figure 2. These results suggest that global warming mitigation may dramatically alter the global economic structure.

By comparison of Table 10 and 11, we find that a) for most of all sectors the rate of change in 2100 is higher than that in 2050 since damage from global warming is more severe in 2100 than in 2050 by temperature rise, as shown in Figure 3, b) the losses of the U.S. and EU's value-added of heavy manufacturing are improved in the base scenario in the years 2050 and 2100; and c) there exists a region whose losses of value-added are deteriorated in every sector.

Table 10: Rate of Change of Real Value-Added by Sector in the Base Scenario in 2050

	Agri.	Forestry	Fishing	Extraction	LightMnfc	HeavyMnfc	TransComm	OthServices
Japan	-2.5%	-3.4%	-6.6%	-0.9%	-2.6%	-0.2%	-0.9%	-0.9%
China	-3.2%	-4.9%	-4.9%	-17.6%	-5.3%	-6.5%	-5.7%	-4.6%
USA	-6.0%	-2.8%	-1.4%	17.7%	-1.2%	0.3%	-0.6%	-0.6%
EU25_WEurope	-2.2%	-2.1%	-0.7%	14.1%	-1.3%	1.1%	-0.3%	-0.1%
FSU_EEurope	-2.9%	-16.0%	-2.4%	-0.2%	-3.3%	-3.3%	-3.1%	-2.7%
OAsiaOceania	-11.1%	-9.8%	-16.0%	-3.6%	-10.9%	-11.6%	-12.2%	-12.0%
OAmerica	-6.5%	-3.0%	-2.6%	-13.5%	-2.4%	-2.7%	-1.8%	-0.6%
Africa	-6.2%	-7.6%	-9.7%	-7.3%	-8.3%	-12.2%	-9.4%	-8.8%

Table 11: Rate of Change of Real Value-Added by Sector in the Base Scenario in 2100

	Agri.	Forestry	Fishing	Extraction	LightMnfc	HeavyMnfc	TransComm	OthServices
Japan	7.0%	-2.7%	-6.4%	-47.3%	-5.8%	-1.3%	6.3%	7.8%
China	3.2%	-1.3%	-0.2%	-39.7%	-2.0%	0.9%	-1.3%	-2.2%
USA	-32.6%	-15.8%	-1.6%	-25.5%	0.1%	3.3%	5.7%	8.4%
EU25_WEurope	-11.4%	-8.8%	2.9%	-54.8%	-1.5%	0.3%	4.9%	12.0%
FSU_EEurope	1.8%	-9.2%	0.1%	-6.2%	0.1%	-2.1%	-2.4%	-2.1%
OAsiaOceania	-0.7%	0.5%	-5.1%	-12.7%	-6.2%	-7.5%	-8.0%	-7.4%
OAmerica	-9.6%	1.9%	3.1%	-27.0%	2.3%	2.9%	4.4%	6.3%
Africa	1.4%	-3.0%	-8.0%	5.2%	-7.4%	-9.6%	-10.4%	-12.7%

3.3. GDP and value-added losses

Finally, we measure effects of CO2 reduction on the world economy from 2004 to 2100 in the base scenario.

Figure 4 shows the ratio of NPV of real GDP loss of each region with respect to the benchmark when a discount rate of real GDP loss is 3 percent per annum. For China, Former Soviet Union, other Asia and Oceania, other American countries and Africa, CO2 reduction of these regions leads to an increase in their real GDP loss ratio. Especially, real GDP loss ratio of other Asia

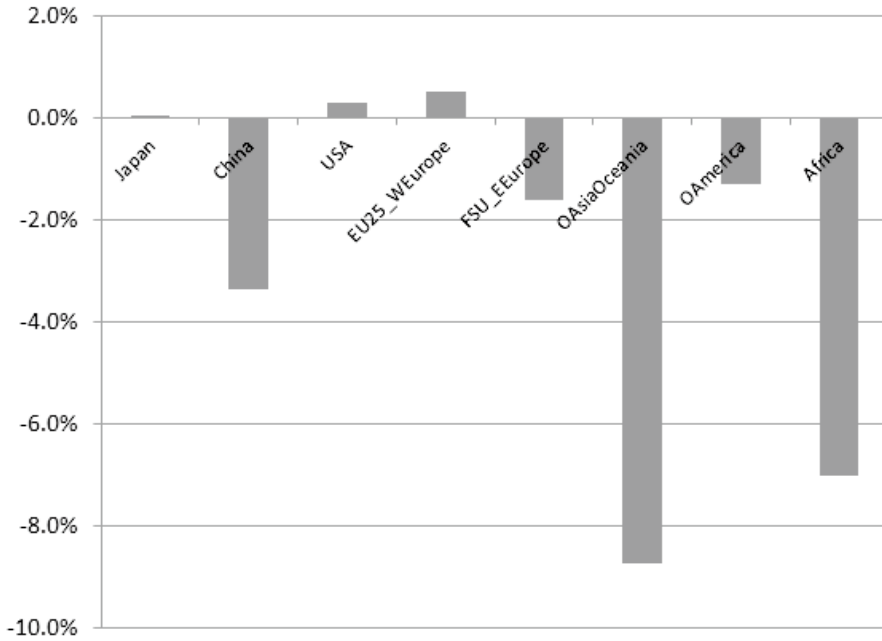


Figure 4: The Ratio of NPV of Real Value-added Loss of Each Region by Sector

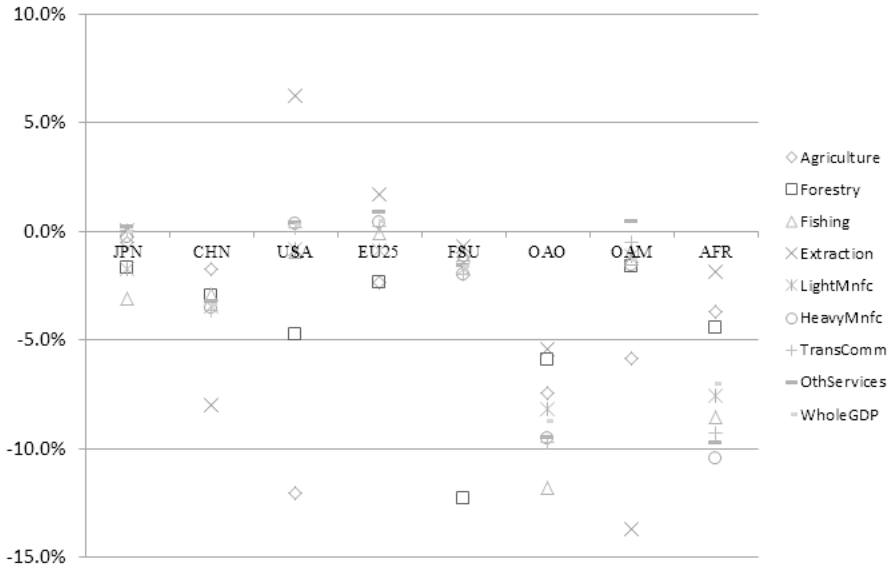


Figure 5: The Ratio of NPV of Real Value-added Loss of Each Region by Sector

and Oceania and Africa deteriorates rapidly. On the other hand, each of Japan, the U.S. and EU may improve its real GDP loss ratio by CO2 reduction. Moreover, we can find that all players improve real GDP loss ratio by participation in the CO2 abatement games.

Figure 5 presents NPV of real value-added loss of each region by sector. This shows that there

exist several sectors of which the real value-added losses decrease in each region. For details, we can find that the real value-added losses of extraction and heavy manufacturing of all players are improved by participation in the CO2 abatement games. For services, the real value-added of other services of Japan and the U.S. are also improved. Moreover, the real value-added losses of several sectors of Japan, China, the U.S., EU and other American countries are improved by CO2 reduction though those of all sectors of the other three regions are deteriorated.

4. Concluding Remarks

Simulated results from a dynamic EMEDA indicate that: 1) temperature rises more than 4 degree C in BaU scenario whereas temperature rise is less than 2.5 degree C in the base scenario, 2) simulated economic damage derived from CO2 emissions reduction rates attained by official announcements varies among regions and sectors, 3) the real GDP losses of Japan, the U.S. and EU are improved by CO2 emissions reduction, but real GDP losses of other regions are deteriorated; and 4) there exist several sectors of which the real value-added losses decrease in each region.

These results suggest that it will be difficult to attain adequate CO2 abatement without suitable environmental policies. It should therefore be noted that when considering abatement costs, a reduction in CO2 emissions is not necessarily beneficial to all countries involved. Especially in the case of developing countries, real GDP tends to decrease as CO2 emissions decline. This is principally because abatement costs are higher in these countries in the base scenario and because the economies in developing countries are set to grow rapidly as shown in Figure 2. It is therefore essential that this unfairness be corrected in order to secure the participation and cooperation of developing countries in the goal of reducing global CO2 emissions.

Appendix A. Equations in dynamic EMEDA

Washida (2010) investigated EMEDA simulation. Washida (2010), however, is written in Japanese. Therefore, we introduce all EMEDA equations in the Appendix. For details and calibration in EMEDA, see Washida (2010). All equations in EMEDA, where a good i , a sector j , and regions r and s , $r \neq s$. EN is a set of energy commodities, J is a set of sectors, R is a set of regions and $\mu_{jr,t}$ is a CO2 reduction rate.

A1. Equations on global warming

Value-added production function without damages (in millions of US\$ 2004 equivalent) is;

$$F_{jr,t}(K_{jr,t}, L_{jr,t}) = \pi_{jr,t}^V \left\{ \alpha_{jr}^V K_{jr,t}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} + (1 - \alpha_{jr}^V) L_{jr,t}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} \right\}^{\frac{\beta_{jr}^V}{\beta_{jr}^V - 1}}. \quad (\text{A-1})$$

Value-added production function with damages and abatement costs is;

$$V_{jr,t} = \frac{1 - ACOST(\mu_{jr,t})}{1 + D_{r,t}(T_t, SLR_t)} F_{jr,t}(K_{jr,t}, L_{jr,t}). \quad (\text{A-2})$$

Damage function is as;

$$D_{r,t}(T_t, SLR_t) = \alpha_{1,r}T_t + \alpha_{2,r}T_t^2 + 2(\beta_{1,r}SLR_t + \beta_{2,r}SLR_t^2) \left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{jr,t-1}}{\sum_{j=1}^n V_{jr,2004}} \right)^{0.25}. \quad (\text{A-3})$$

Abatement cost function is as;

$$ACOST_{jr,t}(\mu_{jr,t}) = c_{jr,t}(\sigma_{jr,t} + \sigma_{r,t}^H)\mu_{jr,t}^{2.8}. \quad (\text{A-4})$$

An equation for change in parameters for abatement cost functions is;

$$c_{jr,t+1} = 0.1c_{jr,2004} + (c_{jr,t} - 0.1c_{jr,2004})(1 - 0.005). \quad (\text{A-5})$$

CO2 emissions (KtC) equation is;

$$\tilde{q}_{jr,t} = (1 - \mu_{jr,t})(\sigma_{jr,t} + \sigma_{r,t}^H)F_{jr,t}(K_{jr,t}, L_{jr,t}), \quad \mu_{jr,2004} = 0. \quad (\text{A-6})$$

CO2 emission coefficient of each industry in 2004 is;

$$\sigma_{jr,2004} = \frac{\sum_{i \in EN} CO2_{ijr,2004}}{V_{jr,2004}} \frac{12}{44}. \quad (\text{A-7})$$

CO2 emission coefficient of households in 2004 is;

$$\sigma_{r,2004}^H = \frac{\sum_{i \in EN} CO2_{iHr,2004}}{\sum_{j=1}^n V_{jr,2004}} \frac{12}{44}, \quad H = \text{households}. \quad (\text{A-8})$$

An equation for reduction of CO2 emissions coefficient for each industry taking into account technological progress is as;

$$\sigma_{jr,t+1} = (1 - \delta_{r,t}^G)\sigma_{jr,t}. \quad (\text{A-9})$$

An equation for reduction of CO2 emissions coefficient for households taking into account technological progress is as;

$$\sigma_{r,t+1}^H = (1 - \delta_{r,t}^G)\sigma_{r,t}^H. \quad (\text{A-10})$$

An equation for change in reduction rate of CO2 emission coefficient is;

$$\delta_{r,t+1}^G = -0.0025 + (\delta_{r,t}^G + 0.0025)(1 - 0.1)^{0.1}. \quad (\text{A-11})$$

An equation for atmospheric concentration of CO2 (GtC) is;

$$M_t = (1 - (100 - 88)/10)M_{t-1} + 4.704M_{t-1}^U + \tilde{q}_{t-1}/1000000. \quad (\text{A-12})$$

An equation for concentration of CO2 in shallow oceans (GtC) is;

$$M_t^U = (100 - 88)/10M_{t-1} + 0.94796M_{t-1}^U + 0.00075M_{t-1}^L. \quad (\text{A-13})$$

An equation for concentration of CO2 in deep oceans (GtC) is;

$$M_t^L = 0.005M_{t-1}^U + 0.99925M_{t-1}^L. \quad (\text{A-14})$$

Exogenous forcing (W/m^2) equation is;

$$O_t = \max\{0.3, O_{t-1} + 0.01(0.3 - 0.83)\}. \quad (\text{A-15})$$

Radiative forcing (W/m^2) equation is;

$$F_t = 3.8\{\log(M_t/596.4)/\log 2\} + O_t. \quad (\text{A-16})$$

An equation for temperature of atmosphere ($^{\circ}\text{C}$ above 1900) is;

$$T_t = T_{t-1} + 0.0208\{F_t - (3.8/3.2)T_{t-1} - 0.031(T_{t-1} - T_{t-1}^L)\}. \quad (\text{A-17})$$

An equation for temperature of deep oceans ($^{\circ}\text{C}$ above 1900) is;

$$T_t^L = T_{t-1}^L + 0.005(T_{t-1} - T_{t-1}^L). \quad (\text{A-18})$$

Thermal expansion (meters above 2000) equation is;

$$TE_t = TE_{t-1} + 0.0077932261181183T_t. \quad (\text{A-19})$$

Glaciers and Small Ice Caps (meters above 2000) equation is;

$$GSIC_t = GSIC_{t-1} + 0.0017607798289604(0.26 - GSIC_{t-1})T_t. \quad (\text{A-20})$$

Greenland Ice Sheet (meters above 2000) equation is;

$$GIS_t = GIS_{t-1} + 0.0017607798289604(7.3 - GIS_{t-1})T_t. \quad (\text{A-21})$$

Antarctic Ice Sheet (meters above 2000) equation is;

$$AIS_t = 0.0000993664138598933(56.6 - AIS_{t-1})T_t \text{ if } T_t > 3, \text{ (AIS}_t = 0 \text{ otherwise)}. \quad (\text{A-22})$$

Sea Level Rise (meters above 2000) is;

$$SLR_t = TE_t + GSIC_t + GIS_t + AIS_t. \quad (\text{A-23})$$

A2. Equations on production

Components of production are capital and labor that capital includes land and natural resources for GTAP data. Capital, labor and value-added production are shown as constant elasticity substitution (CES) functions on equation (A-2). Government imposes tax with a firm investing capital and inputting labor. Therefore, intermediate inputs, $X_{ijr,t}$, and value-added, $V_{jr,t}$, are determined by fixed coefficient Leontief production function as;

$$Z_{jr,t} = \min\left(\frac{V_{jr,t}}{a_{0jr}}, \frac{X_{1jr,t}}{a_{1jr}}, \dots, \frac{X_{njr,t}}{a_{njr}}\right) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{A-24})$$

where $Z_{jr,t}$ is domestic production. Following the economic theory, it will not settle production when a firm maximizes her profits because of a linear homogeneous function. Thus, we suppose an input demand is decided by cost minimization for production, $Z_{jr,t}$. We also assume that there is no excess profit in production. Therefore, intermediate inputs and value-added are determined by equations (A-32) and (A-33). Input-output coefficients, $(L_{jr,t}/V_{jr,t}, K_{jr,t}/V_{jr,t})$, are determined by minimizing cost of value-added production. Therefore, cost of value-added production is as;

$$p_{jr,t}^V V_{jr,t} = (1 + \tau_{jr}^F) \{ (1 + \tau_{jr}^L) w_{r,t} L_{jr,t} + (1 + \tau_{jr}^K) r_{r,t} K_{jr,t} \} \quad (\text{A-25})$$

where $p_{jr,t}^V$ is price of value-added, τ_{jr}^F is production tax, τ_{jr}^L is labor tax, $w_{r,t}$ is nominal wage rate, τ_{jr}^K is capital tax, and $r_{r,t}$ is capital service price. Solving cost minimization problem on equation (A-25), we obtain two equations for calculating demand functions of capital (A-29) and labor (A-30) as;

$$\frac{K_{jr,t}}{V_{jr,t}} = \frac{(\alpha_{jr}^V)^{\beta_{jr}^V} \{ (1 + \tau_{jr}^K) r_{r,t} \}^{-\beta_{jr}^V}}{\pi_{jr}^V H_{jr,t}^{\frac{\beta_{jr}^V}{\beta_{jr}^V - 1}}}, \quad (\text{A-26})$$

$$\frac{L_{jr,t}}{V_{jr,t}} = \frac{(1 - \alpha_{jr}^V)^{\beta_{jr}^V} \{ (1 + \tau_{jr}^L) w_{r,t} \}^{-\beta_{jr}^V}}{\pi_{jr}^V H_{jr,t}^{\frac{\beta_{jr}^V}{\beta_{jr}^V - 1}}}, \quad (\text{A-27})$$

where $H_{jr,t} = (1 - \alpha_{jr}^V)^{\beta_{jr}^V} \{ (1 + \tau_{jr}^L) w_{r,t} \}^{1 - \beta_{jr}^V} + (\alpha_{jr}^V)^{\beta_{jr}^V} \{ (1 + \tau_{jr}^K) r_{r,t} \}^{1 - \beta_{jr}^V}$. Substituting equations (A-26) and (A-27) into equation (A-25), we obtain;

$$\frac{1}{H_{jr,t}^{\frac{\beta_{jr}^V}{\beta_{jr}^V - 1}}} = \left(\frac{\pi_{jr}^V p_{jr,t}^V}{1 + \tau_{jr}^F} \right)^{\beta_{jr}^V}. \quad (\text{A-28})$$

Substituting equation (A-28) into equations (A-26) and (A-27), we obtain capital and labor demand functions, respectively. Capital demand function is;

$$K_{jr,t} = \left\{ \frac{(\pi_{jr,t}^V)^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} \alpha_{jr}^V p_{jr,t}^V}{(1 + \tau_{jr}^F)(1 + \tau_{jr}^K) r_{r,t}} \right\}^{\beta_{jr}^V} V_{jr,t}. \quad (\text{A-29})$$

Labor demand function is;

$$L_{jr,t} = \left\{ \frac{(\pi_{jr,t}^V)^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} (1 - \alpha_{jr}^V) p_{jr,t}^V}{(1 + \tau_{jr}^F)(1 + \tau_{jr}^L) w_{r,t}} \right\}^{\beta_{jr}^V} V_{jr,t} \quad (\text{A-30})$$

where $g_{tfp,t}$ is a TFP growth rate and

$$\pi_{jr,t+1}^V = (1 + g_{tfp,t}) \pi_{jr,t}^V.$$

Unit price function is;

$$p_{jr,t}^Z = p_{jr,t}^V a_{0jr} + \sum_i p_{ir,t}^Q a_{ijr}. \quad (\text{A-31})$$

Input coefficients are;

$$X_{ijr,t} = a_{ijr} Z_{jr,t}, \quad (\text{A-32})$$

$$V_{jr,t} = a_{0jr} Z_{jr,t}. \quad (\text{A-33})$$

A3. Equations on final demand

Utility function of composite goods, u_r , which EMEDA equations do not include but demand functions directly hold, is as;

$$u_{r,t} = \left\{ \phi_r^C C_{r,t}^{\frac{\zeta_r-1}{\zeta_r}} + \phi_r^S S_{r,t}^{\frac{\zeta_r-1}{\zeta_r}} + \phi_r^G G_{r,t}^{\frac{\zeta_r-1}{\zeta_r}} \right\}^{\frac{\zeta_r}{\zeta_r-1}}, \quad (\text{A-34})$$

$$\phi_r^C + \phi_r^S + \phi_r^G = 1, \quad (\text{A-35})$$

$$Y_{r,t} = p_{r,t}^C C_{r,t} + p_{r,t}^S S_{r,t} + p_{r,t}^G G_{r,t}. \quad (\text{A-36})$$

Expenditure functions for consumption, savings (equivalent to investment) and government expenditure are;

$$C_{r,t} = \frac{(\phi_r^C)^{\zeta_r} Y_{r,t}}{(p_{r,t}^C)^{\zeta_r} \sum_{h=C,S,G} (\phi_r^h)^{\zeta_r} (p_{r,t}^h)^{1-\zeta_r}}, \quad (\text{A-37})$$

$$S_{r,t} = \frac{(\phi_r^S)^{\zeta_r} Y_{r,t}}{(p_{r,t}^S)^{\zeta_r} \sum_{h=C,S,G} (\phi_r^h)^{\zeta_r} (p_{r,t}^h)^{1-\zeta_r}}, \quad (\text{A-38})$$

$$G_{r,t} = \frac{(\phi_r^G)^{\zeta_r} Y_{r,t}}{(p_{r,t}^G)^{\zeta_r} \sum_{h=C,S,G} (\phi_r^h)^{\zeta_r} (p_{r,t}^h)^{1-\zeta_r}}. \quad (\text{A-39})$$

Utility function for individual consumption is;

$$C_{r,t} = \left(\sum_{i=1}^n \psi_{ir}^C C_{ir,t}^{\frac{\zeta_r^C-1}{\zeta_r^C}} \right)^{\frac{\zeta_r^C}{\zeta_r^C-1}}. \quad (\text{A-40})$$

Budget constraint on individual consumption is;

$$p_{r,t}^C C_{r,t} = \sum_{i=1}^n p_{ir,t}^Q C_{ir,t}. \quad (\text{A-41})$$

Individual consumption demand is;

$$C_{jr,t} = \frac{(\psi_{jr}^C)^{\zeta_r^C} p_{r,t}^C C_{r,t}}{(p_{jr,t}^Q)^{\zeta_r^C} \sum_{i=1}^n (\psi_{ir}^C)^{\zeta_r^C} (p_{ir,t}^Q)^{1-\zeta_r^C}}. \quad (\text{A-42})$$

Consumption price function for composite goods is;

$$p_{r,t}^C = \left\{ \sum_{i=1}^n (\psi_{ir}^C)^{\zeta_r^C} (p_{ir,t}^Q)^{1-\zeta_r^C} \right\}^{\frac{1}{1-\zeta_r^C}}. \quad (\text{A-43})$$

Price function for government expenditure is;

$$p_{r,t}^G = \sum_{i=1}^n p_{ir,t}^Q g_{ir} \quad \text{where} \quad \sum_{i=1}^n g_{ir} = 1. \quad (\text{A-44})$$

Price function for savings (s_i : component ratio of savings = component ratio of investment. Define savings as the numeraire. Then, we set $p_{r,t}^S = 1$ for holding Walras' law.) is;

$$p_{r,t}^S = \sum_{i=1}^n p_{ir,t}^Q s_{ir} \quad \text{where} \quad \sum_{i=1}^n s_{ir,t} = 1. \quad (\text{A-45})$$

A4. Equations on income and savings

Private revenue is;

$$Y_{r,t}^P = w_{r,t} \bar{L}_{r,t} + r_{r,t} \bar{K}_{r,t}. \quad (\text{A-46})$$

Private savings is;

$$S_{r,t}^P = Y_{r,t}^P - p_{r,t}^C C_{r,t}. \quad (\text{A-47})$$

Government revenue (we treat as export tax revenue, or do not include this in EMEDA) is;

$$Y_{r,t}^G = \sum_{j=1}^n [\tau_{jr}^F \{ (1 + \tau_{jr}^L) w_{r,t} L_{jr,t} + (1 + \tau_{jr}^K) r_{r,t} K_{jr,t} \} + \tau_{jr}^L w_{r,t} L_{jr} + \tau_{jr}^K r_{r,t} K_{jr,t}] + \sum_i T_{ir,t}^M. \quad (\text{A-48})$$

Government expenditure is;

$$G_{ir,t} = g_{ir} G_{r,t}, \quad g_{ir} = \frac{G_{ir,2004}}{\sum_{i=1}^n G_{ir,2004}}. \quad (\text{A-49})$$

Government savings is;

$$S_{r,t}^G = Y_{r,t}^G - p_{r,t}^G G_{r,t}. \quad (\text{A-50})$$

Gross revenue is;

$$Y_{r,t} = Y_{r,t}^P + Y_{r,t}^G + S_{r,t}^F. \quad (\text{A-51})$$

Savings and investment (S : gross savings, I : gross investment, S^F : trade balance, I_i : investment of good i) are;

$$I_{ir,t} = s_{ir} S_{r,t}, \quad s_{ir} = \frac{I_{ir,2004}}{\sum_{i=1}^n I_{ir,2004}}. \quad (\text{A-52})$$

Following equations, we hold (but not in EMEDA);

$$p_{r,t}^S S_{r,t} = S_{r,t}^P + S_{r,t}^G + S_{r,t}^F. \quad (\text{A-53})$$

A5. Equations on international trade

Trade balance in region r and period t , $S_{r,t}^F$ is;

$$\sum_i p_{ir,t}^{HE} E_{ir,t} + \sum_i p_{ir,t}^R R_{ir,t} + S_{r,t}^F = \sum_i \sum_s p_{isr,t}^{IW} M_{isr,t}. \quad (\text{A-54})$$

where $E_{ir,t}$ is export, and $M_{ir,t}$ is import. $M_{ir,t}$ excludes tariff since government revenue, $Y_{r,t}^G$, includes tariff. Equations on aggregated export ($D_{i,t}$: domestic demand of domestically produced goods, $p_{i,t}^D$: domestic demand price of domestically produced goods, R : international transportation service which consists of a sector of transportation service, T) are;

$$Z_{ir,t} = \theta_{ir} \left(\eta_{ir}^E E_{ir,t}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} + \eta_{ir}^D D_{ir,t}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} + \eta_{ir}^R R_{ir,t}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} \right)^{\frac{\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}+1}}, \quad (\text{A-55})$$

$$\eta_{ir}^E + \eta_{ir}^D + \eta_{ir}^R = 1 \quad (\eta_{ir}^R = 0, i \neq T),$$

$$E_{ir,t} = \left(\frac{\eta_{ir}^E \theta_{ir}^{\frac{1+\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}}} p_{ir,t}^Z}{p_{ir,t}^{HE}} \right)^{-\lambda_{ir}} Z_{ir,t}, \quad (\text{A-56})$$

$$D_{ir,t} = \left(\frac{\eta_{ir}^D \theta_{ir}^{\frac{1+\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}}} p_{ir,t}^Z}{p_{ir,t}^D} \right)^{-\lambda_{ir}} Z_{ir,t}, \quad (\text{A-57})$$

$$R_{ir,t} = \left(\frac{\eta_{ir}^R \theta_{ir}^{\frac{1+\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}}} p_{ir,t}^Z}{p_{ir,t}^R} \right)^{-\lambda_{ir}} Z_{ir,t} \quad i = T. \quad (\text{A-58})$$

Implicit budget constraint is;

$$p_{ir,t}^Z Z_{ir,t} = p_{ir,t}^{HE} E_{ir,t} + p_{ir,t}^D D_{ir,t} + p_{ir,t}^R R_{ir,t}, \quad p_{ir,t}^R = 0, i \neq T.$$

Export to each foreign region (Eirs is an export of a good i from a region r to a region s) are;

$$p_{ir,t}^{HE} E_{ir,t} = \sum_s p_{irs,t}^{IE} E_{irs,t},$$

$$E_{ir,t} = \theta_{ir}^E \left(\sum_{s=1}^R \eta_{irs}^{IE} E_{irs,t}^{\frac{\lambda_{ir}^E+1}{\lambda_{ir}^E}} \right)^{\frac{\lambda_{ir}^E}{\lambda_{ir}^E+1}} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (\text{A-59})$$

$$E_{irs,t} = \left\{ \frac{\eta_{irs}^{IE} (\theta_{ir}^E)^{\frac{\lambda_{ir}^E+1}{\lambda_{ir}^E}} p_{ir,t}^{HE}}{p_{irs,t}^{IW}} \right\}^{-\lambda_{ir}^E} E_{ir,t} \quad s = 1, 2, \dots, R. \quad (\text{A-60})$$

Equations on import ($Q_{ir,t}$: the Armington goods) are;

$$p_{ir,t}^Q Q_{ir,t} = p_{ir,t}^{HM} M_{ir,t} + p_{ir,t}^D D_{ir,t},$$

$$Q_{ir,t} = \sigma_{ir} \left\{ \delta_{ir} M_{ir,t}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} + (1 - \delta_{ir}) D_{i,t}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} \right\}^{\frac{\xi_{ir}}{\xi_{ir}-1}}, \quad (\text{A-61})$$

$$M_{ir,t} = \left(\frac{\delta_{ir} \sigma_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} p_{ir,t}^Q}{p_{ir,t}^{HM}} \right)^{\xi_{ir}} Q_{ir,t}, \quad (\text{A-62})$$

$$D_{ir,t} = \left\{ \frac{(1 - \delta_{ir}) \sigma_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} p_{ir,t}^Q}{p_{ir,t}^D} \right\}^{\xi_{ir}} Q_{ir,t}. \quad (\text{A-63})$$

Import from each foreign region ($M_{isr,t}$ is an import of a good i in a region r from a region s) are;

$$p_{ir}^{HM} M_{ir,t} = \sum_s (1 + \tau_r^{IM}) p_{isr,t}^{IW} M_{isr,t},$$

$$M_{ir,t} = \sigma_{ir}^M \left(\sum_{s=1}^R \delta_{isr}^M M_{isr,t}^{\frac{\xi_{ir}^M-1}{\xi_{ir}^M}} \right)^{\frac{\xi_{ir}^M}{\xi_{ir}^M-1}}, \quad (\text{A-64})$$

$$M_{isr,t} = \left\{ \frac{\delta_{isr}^M (\sigma_{ir}^M)^{\frac{\xi_{ir}^M-1}{\xi_{ir}^M}} p_{ir,t}^{HM}}{(1 + \tau_{isr}^{IM}) p_{isr,t}^{IW}} \right\}^{\xi_{ir}^M} M_{ir,t} \quad s = 1, 2, \dots, R. \quad (\text{A-65})$$

Equation on import tax is;

$$T_{ir,t}^M = \sum_s \tau_{isr}^{IM} p_{isr,t}^{IW} M_{isr,t}. \quad (\text{A-66})$$

Equation on export tax (for simplifying our model, EMEDA does not consider tax reveue on domestic balance) is;

$$T_{ir,t}^E = \sum_s \tau_{irs}^{IE} p_{irs,t}^{IW} E_{irs,t}. \quad (\text{A-67})$$

A6. Equations on market equilibrium for international and domestic markets

Supply-demand balance for export and import goods, which determines the individual international price of tradable goods, $p_{irs,t}^{IW}$, is;

$$(1 + \mu_{irs})(1 + \tau_{irs}^E) E_{irs,t} = M_{irs,t} \quad (\text{A-68})$$

where μ_{irs} is a percentage of cost paying for international transportation service sector. Supply-demand balance for international transportation services, which determines the price of international transportation service, $p_{T,t}^R$, is;

$$\sum_i \sum_r R_{ir,t} = \sum_i \sum_s \sum_r \mu_{irs} (1 + \tau_{irs}^E) E_{irs,t}. \quad (\text{A-69})$$

Supply-demand balance for domestic Armington goods, which determines the price of Armington goods, p_{ir}^Q , is;

$$Q_{ir,t} = C_{ir,t} + G_{ir,t} + I_{ir,t} + \sum_j X_{ijr,t}. \quad (\text{A-70})$$

Supply-demand balance for capital service, which determines the price of capital service, $r_{r,t}$, is;

$$\bar{K}_{r,t} = \sum_j K_{jr,t} \quad (\text{A-71})$$

where $\delta_{K,t}$ is a depreciation rate and

$$\bar{K}_{r,t+1} = (1 - \delta_{K,t})\bar{K}_{r,t} + \hat{q}_r \sum_{i=1}^n I_{ir,t}, \quad \hat{q}_r = \frac{\bar{K}_{r,2004}}{VKB_{r,2004}},$$

$$K_{jr,t+1} \geq (1 - \delta_{K,t})K_{jr,t}.$$

Supply-demand balance for labor, which determines wage rate, $w_{r,t}$, is;

$$\bar{L}_{r,t} = \sum_j L_{jr,t} \quad (\text{A-72})$$

where $g_{L,t}$ is a population growth rate and

$$\bar{L}_{r,t+1} = (1 + g_{L,t})\bar{L}_{r,t}.$$

Acknowledgements

This research was supported with funding from the Environment Research and Technology Development Fund (S-10-4) of the Ministry of the Environment, Japan, and by JSPS KAKENHI Grant Number 23510052. We would like to thank Johan Eyckmans, Masahiro Sugiyama and Zili Yang for helpful comments.

References

- [1] den Elzen M.G.J., A.F. Hof, M.A.M. Beltran, M. Roelfsema, B.J. van Ruijven, J. van Vliet, D.P. van Vuuren, N. Hohne, and S. Moltmann (2010), "Evaluation of the Copenhagen Accord: Chances and Risks for the 2 ° C Climate Goal" Netherlands Environmental Assessment Agency report 500114018.
- [2] Fankhauser, S. (1995), Valuing Climate Change: the Economics of the Greenhouse. Earthscan Publications Ltd, London.
- [3] Group of Eight Summit (2007), "Breakthrough on Climate Protection" *G8 Summit*, Heiligen-damm. Retrieved from http://www.g-8.de/nn_92160/Content/EN/Artikel/_g8-summit/2007-06-07-g8-klimaschutz_en.html. Last accessed on January 17, 2013.
- [4] International Energy Agency (2009), World Energy Outlook 2009. Organization for Economic Cooperation and Development and the International Energy Agency, Paris.
- [5] Lee, H.-L. (2008) "An Emissions Data Base for Integrated Assessment of Climate Change Policy Using GTAP" GTAP Resource #1143. Available at: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1143.

- [6] Mas-Colell, A., M.D. Whinston and J.R. Green. (1995), *Microeconomic Theory*. Oxford University Press, New York.
- [7] Ministry of Economy, Trade and Industry (2010), “The Strategic Energy Plan of Japan. - Meeting Global Challenges and Securing Energy Futures- (Revised in June 2010) [Summary]” Ministry of Economy, Trade and Industry, Tokyo, Japan.
- [8] Mori, S., Y. Wada, K. Imai, and M. Ohkura. (2008), “A Dynamic Multi-sectoral and Multi-regional Model towards a Middle-term Integrated Assessment: An Alternative of DEARS Model” International Input Output Meeting on Managing the Environment, IIOA.
- [9] Narayanan, G. Badri and Terrie L. Walmsley, Eds. (2008), *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University. Available at: http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v7/v7_doco.asp.
- [10] Nordhaus, W.D. (1991), “To Slow or Not to Slow: the Economics of the Greenhouse Effect” *Economic Journal* 101(407): 920–37.
- [11] Nordhaus, W.D. (2010), “Economic Aspects of Global Warming in a Post-Copenhagen Environment” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(26):11721–11726.
- [12] Nordhaus, W.D. (2012), “RICE-2010 and DICE-2010 Models” mimeo. Available at: <http://nordhaus.econ.yale.edu/RICEmodels.htm>. Last accessed on October 5, 2012.
- [13] Nordhaus, W.D., and J. Boyer. (2000), *Roll the DICE Again: Economic Modeling of Climate Change*. MIT Press, Cambridge, MA.
- [14] Nordhaus, W.D., and Z. Yang. (1996), “RICE: A Regional Dynamic General Equilibrium Model of Optimal Climate-Change Policy” *American Economic Review* 86(4):741–65.
- [15] O’Neill, B.C., and M. Oppenheimer. (2002), “Dangerous Climate Impacts and the Kyoto Protocol” *Science* 296(5575):1971–2.
- [16] Shared Socio-economic Pathway Database. *SSP Database*. Retrieved from <https://secure.iiasa.ac.at/web-apps/ene/SspDb/>. Last accessed on August 1, 2012.
- [17] Tol, R.S.J. (1995), “The Damage Costs of Climate Change toward More Comprehensive Calculations” *Environmental and Resource Economics* 5(4):353–74.
- [18] Tol, R.S.J. (1999), “The Marginal Costs of Greenhouse Gas Estimations” *Energy Journal* 20:61–81.
- [19] Tol, R.S.J. (2002), “Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates” *Environmental and Resource Economics* 21:47–73.
- [20] United Nations Statistics Division. *UNdata*. Retrieved from <http://data.un.org/Data.aspx?q=GDP&d=SNAAMA&fgrID%3a101%3bcurrID%3aUSD%3bpcFlag%3a1>. Last accessed on October 22, 2012.
- [21] United States Energy Information Administration. *EIA*. Retrieved from <http://www.eia.gov/countries/data.cfm>. Last accessed on August 1, 2012.
- [22] Washida, T. (2004), *General Equilibrium and Environmental Policy*. Keiso Shobo, Tokyo (in Japanese).
- [23] Washida, T. (2010), “An Advanced Methodology for Global Warming: An Evaluation Model for Environmental Damage and Adaption” (in Japanese) *Global Environmental Studies* 6, 81–98.

[24] Washida, T., K. Yamaura and S. Sakaue (2014), “Computable General Equilibrium Analyses of Global Economic Impacts and Adaptation for Climate Change: the Case of Tropical Cyclones” *International Journal of Global Warming* 6(4), 466–499.

食料農業植物遺伝資源条約における遵守制度と 紛争処理制度に関する一考察

鈴木 詩衣菜⁽¹⁾

1. はじめに

環境問題への対応として、単に環境保護を実施するだけではなく、いかにして環境と開発を調和させていくかが国家に求められている。近年、資源保全の観点から重要性を増しつつあるのが、遺伝資源の保全である。遺伝資源およびそこに含まれる情報について関心が高まる一方で、特に発展途上国において、自国内に自生する遺伝資源の無秩序な利用やその流出、喪失に関して強い懸念が表明されており、遺伝資源のアクセスとその利用から生ずる利益配分（いわゆる、Access and Benefit Sharing: ABS）の問題が顕在化している。

本稿では、特に食料農業植物遺伝資源について定めている「食料農業植物遺伝資源条約」(International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture: ITPGR)を取り上げる。ITPGRが植物遺伝資源の適正な利用と保全のために有効に機能するには、ITPGRの中で採用されている多国間制度 (Multilateral System: MLS) のもとの標準材料移転契約 (Standard Material Transfer Agreement: SMTA) を契約当事者が履行することが求められる。植物遺伝資源に関して、どのような条約遵守が求められ、条約不遵守の場合にはどのような手続きで対応しているのか、また関連して、契約不履行の場合は、どのように解決されているかを整理し、その役割について一考する。

2. 食料農業植物遺伝資源条約とは

作物育種にとって必要不可欠である植物遺伝資源は、国家の主権的権利のもとで取得、輸出されてきた。1983年に国際連合食料農業機関 (Food and Agriculture Organization: FAO) 総会で採択された「植物遺伝資源に関する国際的申し合わせ」(International Undertaking on Plant Genetic Resources: IUPGR) の第1条は、植物遺伝資源が人類の遺産 (a heritage of mankind) であり、経済的および/または社会的利益を有する植物遺伝資源が植物育種および科学的目的のために、制限なく入手可能 (available) とされるべきであることを確認している。一見すると、無制限に植物遺伝資源を取得できると考えられるが、実際には無制限に植物遺伝資源の取得を認めるものではない。同条についてはいくつかのFAO決議でその具体的な内容を確認することができる。1989年に採択されたIUPGRの解釈適用に関する4/89FAO決議は、遺伝資源が人類の共同遺産であり、保存される (to be preserved) とともに利用 (use) のために入手可能であるという認識を示した。同決議では、「制限なく入手可能」という用語について、国家が国際法および国内法を遵守するために、必要最低限の制約を課すことを認めた。また、自由な取得 (free access) は無償 (free of

(1) 上智大学大学院地球環境学研究所 特別研究員

charge) での取得 (IUPGR 第5条) を意味しないことを明示した。さらに1991年に採択された植物遺伝資源に対する国家の主権に関する3/91FAO決議では、IUPGR上でいうところの人類の遺産の概念は、植物遺伝資源を保有する国家の主権に服しており、植物遺伝資源は各国 (nations) の主権的権利のもとに置かれ、その取得や輸出に関して規制および管理されることを確認している。FAOの研究機関である国際農業センターは、採択内容に基づき同センターが保有する植物遺伝資源を企業や研究者などに対し提供した。

1992年には、遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分を目的のひとつに掲げている「生物の多様性に関する条約」(Convention on Biological Diversity: CBD) が採択された。同条約の第15条は、各国(締約国に限らず)が自国内の天然資源に対する主権的権利を有することが再確認した。また同条では、遺伝資源の取得機会の提供が所有国の国内法に従うことが確認されている。食糧安全保障の重要性が高まる中、CBDのもとで遺伝資源の取得については主権的権利のもとで規制されるが、特に、食料農業のための植物遺伝資源 (Plant Genetic Resources for Food and Agriculture: PGRFA) の利用と保全に関してはCBDとは別に国際的な枠組みの必要性が指摘されてきた。

そこで、2001年11月に食料および農業の植物遺伝資源の持続可能な利用に関するITPGRがFAOの第31回総会で採択され、2004年に発効した。締約国の管理・監督のもとFAOで合意された35種の作物および81種の飼料用作物について、それらPGRFAへのアクセス促進や利益配分について定めている国際規則である。PGRFAの保全および持続可能な利用、取得した利益の公正で衡平な配分を目的に掲げ、資源の調査や目録の作成、持続可能な利用の促進をはじめとする締約国による措置を規定している。

同条約の特色として、目的を達成するための中核的な仕組みであるMLSが挙げられる。PGRFAの提供は、附属書Iに掲載されているものであって、締約国の管理・監督のもとで公共領域 (public domain) に存在する遺伝資源などによって構築されたMLSを通じてSMTAに基づいて行われる。ITPGRは、締約国間の定型の契約書の役割を果たすSMTAを用いて集団的にABSを実現する点で、事前の情報に基づく締約国の同意 (Prior Informed Consent: PIC) (国による許可) および相互に合意する条件 (Mutually Agreed Terms: MAT) (契約) を通じた当事者間の交渉によってABSを実現しているCBDとは異なる。

ITPGRにおける利益 (benefit) とはCBDと同様に広範な意味を持ち、本条約の利益配分には、金銭的なものだけでなく情報交換、技術移転、キャパシティービルディングといった非金銭的なものも含まれる。MLSから入手した遺伝資源を利用して商業的利益を得た者は、FAOの設置する信託基金にその金銭的利益の一部を支払うことが義務化されている。もっとも、商業化された成果物がさらなる研究・育種のために他者が無制限に利用できる場合、義務的支払いは免除され、任意支払いが奨励される。

3. 食料農業植物遺伝資源に関する遵守制度

遵守 (Compliance) については、ITPGR第21条が定めている。同条では、「理事会は、その第1回会合において、この条約の規定を遵守することを促進し、および不遵守の事案に対処するため

の協力についての効果的な手続きならびにそのための実用的な制度を検討しおよび承認する。これらの手続きおよび制度には、監視ならびに特に開発途上国及び移行経済国に対する助言または支援（必要とされる場合には、法律上の助言又は支援を含む。）の提供を含める」と定めている。

同条に沿ったかたちで2011年3月に「遵守促進および不遵守問題への対応のための手続きおよび運用制度に関する決議2/2011」が採択された。条約の遵守の促進や不遵守問題への対応は最大14名で構成される遵守委員会によって実施される。不遵守手続きは、根拠条文に照らしながら問題となっている内容について記した付託書（submission）を締約国が事務局に提出することから開始され、その後事務局から遵守委員会に送付される。同委員会は、不遵守が問題となっている締約国に対して助言（advice）し、当該締約国に対し、行動計画（action plan）およびその実施状況に関する報告書（progress report）を作成し、遵守委員会に提出することを要請することができる。遵守委員会は、モニタリングについて、各締約国によって作成される国別の活動報告書（national report）をまとめ、5年毎に締約国会議に提出する。また同委員会は、これらの活動報告書に対し提言や締約国からの質問などに関して対応する役割を担う。締約国会議は遵守委員会の提言に基づき、不遵守の懸念のある締約国の支援にあたる。

以上の点から、ITPGRの遵守制度は国家に対し求められており、その内容は支援と助言を中心としている。ITPGRでは、多くの環境条約が条約義務の遵守確保を促進するという基本的な原則に基づいているのと同様に報告制度を通して遵守手続きがとられている。しかし、報告書提出義務の不遵守や報告内容と事実との乖離などに対する制裁措置は存在せず、義務違反に対する制裁に必ずしも積極的ではないといえる。

SMTAの履行は、契約当事者間にのみ求められる。PGFRAの受領に関しては、受領者の権利と義務について定めている第6条にみることができる。受領者は、契約材料を食料および農業のための研究、育種および研修の目的にのみ利用または保存すること（第6条1項）、受領時の契約材料の形態をもって、当該契約材料またはその遺伝的部分もしくは構成要素の円滑な取得を制限する知的財産権もしくはその他の権利を主張しないこと（第6条2項）、受領者は提供された契約材料を保存する場合、当該材料と第5条b項（PGFRAとともに提供される秘匿情報を除く全ての入手可能な記述的情報）に定める関連情報を、SMTAを用いてMLSに提供しなければならないこと（第6条3項）、受領者がSMTAに基づいて提供された契約材料を他の者または機関に配布する場合、SMTAの条件で新たな材料移転契約を締結した上で配布し、管理理事会に対し、提供者自身が締結した契約に関して定期的な報告義務を定めた第5条e項に従って管理理事会に通知されなければならないこと（第6条4項）を遵守すれば受領者はその後の受領者の行為に関し、それ以上の責任を負わないことが定められている。

4. 食料農業植物遺伝資源に関する紛争処理制度

紛争解決（Dispute Settlement）については、ITPGR第22条が定めている。締約国は、締約国間で条約の解釈または適用に関して紛争が生じた場合に、まず交渉により紛争の解決に努め（第22条1項）、交渉により解決できなかった場合は、第三者による斡旋または仲介を共同して要請することができる（第22条2項）。いずれの手段でも紛争の解決に至らなかった場合は、附属書Ⅱ

第1部で定められている仲裁もしくは国際司法裁判所へ付託し、解決が図られる(第22条3項)。しかしながら、第3項に従って同一の紛争解決手段を受け入れていない場合、もしくは紛争当事国が別段の合意をしない限り、附属書Ⅱ第2部で定められている調停に付される。

PGRFAの受領については、紛争の解決/処理について定めたSMTA第8条のもとで解決が図られることになる。SMTAにおける紛争解決手続きには、第三者受益者が置かれている。第三者受益者は、SMTAの運用状況をモニタリングし、不履行の問題があれば紛争解決手段について付託するなどのイニシアティブをとることができる(第8条2項)。また、第三者受益者は、提供者および受領者に対し、契約上の義務に関わる必要な情報などを請求する権利を有し、付託されたプロセスに参加できることが定められている(第8条3項)。ここでいうところの第三者受益者とは、FAOを指し、管理理事会によって指定された。SMTAから生じる紛争については、提供者または受領者に属する国の国内法ではなくUNIDROIT原則が準拠法となる(第7条)。SMTAに関する紛争は、大きく3つの方法によって解決することが求められる。紛争当事者は、第一に、交渉により平和的に紛争を解決するように誠実(good faith)に努めなければならない(第8条4項a)。第二に、紛争が交渉によって解決されない場合は、当事者が相互に合意する中立の第三者による仲介(mediation)を選択し解決を図ることができる(第8条4項b)。第三に、交渉または仲介によっても解決しない場合は、当事者が合意した国際機関の仲裁規則に沿って当該紛争を仲裁に付すことができるが、合意に至らない場合は、国際商業会議所の仲裁規則に基づき、解決される(第8条4項c)。同項は、仲裁判断が法的拘束力を伴うことについて明示的に確認している。たとえ仲裁の結論が法的拘束力を持つとしてもそれに従わない場合も考えられる。それについてはITPGR第12条5項が外国仲裁判断の承認および執行に関する請求も含めてSMTAから生じる紛争についての救済のための法整備を締約国に義務付けている。

5. おわりに

環境条約上で義務の遵守を確保するために、遵守制度と紛争処理制度は必要不可欠な制度である。前者は、将来発生しうる問題を予防する効果をもち、後者はすでに生じている問題について対応する制度である。その関係については、遵守制度の実態が報告義務などから成る政治的プロセスであり、ひとつのレジームとして確立し、司法的プロセスである紛争処理手続きとは全く異なる制度であるという立場もあれば、遵守制度が紛争解決手続きの枠内に位置づけられるという立場も存在する。

ITPGRにおいては、遵守手続きを実施する遵守委員会は、FAO地域から最大2名、締約国から1名が選出され、委員は、7つのFAO地域から各2名が指名され管理理事会によって選出される。遵守委員会がその役割として、助言することに留まることや実際の実施のための支援は最終的には締約国会議の決定によって支援されることに鑑みると、ITPGRのもとでは、なんらかの問題が生じた場合、遵守委員会の機能によって、非司法的(政治的性格)に事実上の紛争を回避し解決に至るのであって、裁判などによる伝統的な紛争解決手続きに沿った紛争解決は、実際に実施される可能性は低いといえる。そのため紛争処理制度の存在意義は、不遵守に対する制裁ではなく助力する方法を用いて、不遵守国の一刻も早い遵守状態への回復が期待できるのではないだろうか。

SMTAは、仲裁裁判所判決が法的拘束力を有することを再確認している。そのことは、黙示的に交渉や仲介までの段階で解決するよう促していると考えられる。また、契約紛争は当事者間での解決に委ねられるという通常の場合に比べ、第三者受益者による率先した紛争解決が認められることで、SMTAの場合は専門的観点から、また国際的観点からFAOがMLSの価値を代弁する役割を果たすことが想定されている。すなわち、PGRFAの提供者および受領者の間での解決が滞るような場合においても、第三者受益者が紛争解決のプロセスに関わることで、契約の履行が確保され、不履行の際の解決が促進される効果を有すると評価できる。

2017年2月には、遵守委員会の会合において、条約のさらなる遵守促進のために、遵守委員会が今後どのような役割を担うべきか議論される予定である。またSMTAを改正する動きが出ており、法律専門家グループによる議論が行われている。これらの点については、別の機会に検討することとしたい。

■主要参考文献■

FAO (2017), "Future Work of the Compliance Committee", IT/GB7/CC-2/17/4.

FAO (2016), "Enhancing the Functioning of the Multilateral System: Elaboration of the Revised SMTA", IT/OWG-EFMLS-5/16/4.

FAO (2016), "Report of Fifth Meeting of the Ad Hoc Open-Ended Working Group to Enhance the Functioning of the Multilateral System", IT/OWG-EFMLS-5/16/Report.

FAO (2016), "Second Draft Revised Standard Material Transfer Agreement Co-Chairs' Proposal", IT/OWG-EFMLS-5/16/3.

FAO (2016), "Report from the Friends of the Co-Chairs Group on Access Mechanisms and Payment Rates", IT/OWG-EFMLS-5/16/Inf.5.

FAO (2015), "Commentary on Structural Elements for the Development of a Subscription Model/System", IT/OWG-EFMLS-4/15/4.

FAO (2011), "Procedures and operational mechanisms to promote compliance and address issues of non-compliance," Resolution 2/2011.

FAO (1991), "Annex3 to the International Undertaking on Plant Genetic Resources", Resolution 3/91.

FAO (1989), "Agreed Interpretation of the International Undertaking", Resolution 4/89.

磯崎博司「条約の実施確保に向けて一国内措置の整備義務―」『地球環境学』第10号（上智地球環境学会、2014年）、9-10頁。

磯崎博司「名古屋議定書の概略と論点」『生物遺伝資源へのアクセスと利益配分：生物多様性条約の課題』（信山社、2011年）、59, 264-278頁。

白杵知史「地球環境保護条約における紛争解決手続の発展」杉原高嶺編『紛争解決の国際法』（三省堂、1997年）、167-192頁。

上智地球環境学会

1. 設立主旨

持続可能な地球社会システムを形成するために、社会科学、人文科学そして自然科学の成果を総合した地球環境学の創成と発展の必要性が今日誰の目にも明らかになってきています。上智地球環境学会は、これに貢献するために研究者の知的コミュニケーションと人的ネットワークの形成およびそれを基礎にした、研究と人材育成のダイナミックな展開を目的として発足しました。自由でオープンな議論、自立的な研究の相互依存、琢磨によって新しい文明創造的な場を広く提供していきます。

2. 学会の活動

- (1) 定例研究会の開催
- (2) 研究紀要『地球環境学』の発行
- (3) ディスカッションペーパーの発行
- (4) その他

3. 構成メンバー

- (1) 地球環境学研究科 専任教員
- (2) 地球環境学研究科 大学院生

地球環境学

No. 12

2017年3月27日発行

発 行

上智地球環境学会

〒102-8554

東京都千代田区紀尾井町7-1

Tel. 03-3238-4366 Fax. 03-3238-4439

上智大学大学院 地球環境学研究科

URL: <http://www.genv.sophia.ac.jp>

印 刷 所

株式会社 白峰社

ISSN 1880-7143