

地球環境学

Global Environmental Studies

目次

〈論文〉

- ケララ文学におけるエコロジーと環境の考察
 ニティン ワルギース・ジョンジョセフ プテンカラム (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(7)
 大坪国順 (13)
- ASEANにおけるエネルギー効率改善に向けた
 グリーンファイナンス政策のレビュー
 シティ ヌール バイティ ビンティ ムスタファ・鈴木政史 (31)
- 国際植物遺伝資源条約のMLSの改善
 常設法律専門家部会の第4回会合
 磯崎博司 (51)
- プリンタの環境属性に対する消費者の選好
 —ベスト・ワースト・スケーリングによる評価—
 加藤修一・中野牧子・柘植隆宏 (67)
- 「共有地の悲劇」の計量書誌学的分析
 —環境言説から人口問題はいかにして消えていったか—
 平尾桂子 (83)
- 生物の社会性進化と統合的社会選択
 田中嘉成 (105)
- 気候変動緩和としての食行動変容を促すための
 環境ラベルとグリーン購入法制度のあり方
 井上直己 (127)

Global Environmental Studies

CONTENTS

Articles

Experiencing Environment:

- Ecological Conscience and Discourse in Malayalam Literature
..... Nithin Varghese, Dr John Joseph Puthenkalam (1)
- Analysis of time variations of radioactive substances in the ponding water at the bottoms of
the main buildings of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (7)
..... Kuninori Otsubo (13)
- A Review of ASEAN Green Financing Policy Instruments for Energy Efficiency Improvement
..... Siti Noor Baiti Binti Mustafa, Masachika Suzuki (31)
- Enhancement of the Functioning of the Multilateral System under ITPGR
The Fourth Meeting of the Standing Group of Legal Experts
..... Hiroji Isozaki (51)
- Consumer preferences towards environmental attributes of a printer
–An application of the best-worst scaling–
..... Shuichi Kato, Makiko Nakano, Takahiro Tsuge (67)
- Bibliometric Analysis of Tragedy of the Commons:
How Overpopulation Disappeared from the Environmental Discourse
..... Keiko Hirao (83)
- Integrative Social Selection for the Evolution of Sociality in Wildlife
..... Yoshinari Tanaka (105)
- How can environmental labelling and Green Procurement system in Japan work for
diet-shift towards climate change mitigation?
..... Naomi Inoue (127)

Experiencing Environment: Ecological Conscience and Discourse in Malayalam Literature

Nithin Varghese*, Dr John Joseph Puthenkalam**

Abstract

We do hope the following article based on the analysis of poems, novels and literature of Kerala would give the readers a new heightened awareness of the impact of literature on global environment studies.

From an early age, nature has been a concern for literature and art. However, in literature, self-reflective emphasis on nature is a recent trend. It may be linked to the development of an ecological consciousness due to the drastic ecological problems caused by insane human actions. This paper “Experiencing Environment: Ecological Conscience and Discourse in Malayalam Literature” focuses on ecology, environment and Malayalam literature. It is clear that work or art originated from nature in all languages. The same is true of Malayalam literature, too. As the folk songs demonstrate, Kerala had an ecological view from ancient times. Humans lived here in close and peaceful communion with nature until the advent of technological advancement and consumerist culture, which led to the alienation from nature. The ongoing ecological crisis around the world and the increasing public awareness of this and its catastrophic impact spurred nature conservation campaigns. The paper seeks to highlight the irreverence of modern man towards nature and his insensitivity to the environment, and also focuses on the concerns of poets, short story writers, novelists of Kerala about the environment and how they raise awareness of these issues among the common man. The paper also addresses the two opposing views—deep ecology and shallow ecology. Also, it would like to draw your attention to the contemporary environmental situation.

Keywords: Ecocriticism, literary environmentalism, deep ecology, shallow ecology, ecowriting in Malayalam literature

* Assistant Professor, Department of English, St Berchmans College, Changanacherry, Kerala, India.,
Email: nidhinvettu23@gmail.com

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

ケララ文学におけるエコロジーと環境の考察

ニティン ワルギース・ジョンジョセフ プテンカラム

要旨

上智大学地球環境研究所の環境ブランディングプロジェクトを通してインド、ケララ州の大学との共同研究を行った。

このプロジェクトの一環として、ケララSBカレッジのニティン ワルギース先生が上智大学で講義を行った。その講義内容を以下にまとめた。

本論文はケララの文学、詩、小説に秘められている環境問題とその高まりによる環境意識を主題にしている。古代から自然をテーマにした文学や芸術はどの国でもみられるが、環境をテーマにした文学や芸術は最近の傾向である。これは人的活動による開発と環境の対立から生まれてきたと考える。本論文ではケララの文学、詩などに表れている環境の叫び声を描きながらあらたな環境保全の方向性を見出そうとしている。技術の発展により、人間は自然との調和的な営みからはなれ、商業文化の台頭により自然から疎外された。結果として、地球環境問題に関心が高まっている。自然への敬意をなくした人間は地球環境問題のさなかにある。この現状をケララの詩人、小説家は、その詩や小説など文学作品を通して、この地球環境の危機をケララの一般市民に呼びかけるようになった。本論文を通して、地球環境学を学ぶ一人一人は自国の文学、詩、小説などに出会い、あらためて自然の叫び声に耳を傾けることができれば幸いです。

Experiencing Environment:

Ecological Conscience and Discourse in Malayalam Literature

Sophia University Branding Project on Environment under the auspice of Research Institute of Global Environment Studies have enabled collaborative research with Universities in Kerala, India.

Kerala experienced one of the worst floodings in its history in 2018 and wanted to learn from the experiences of Japan on how to cope with flood related disaster management, especially gender sensitive camp-relief operations. This has enabled our faculty members as well as students of Global Environment Studies to undertake couple of visits to Kerala and had organized symposiums and field visits to sites to learn about the actual situation. During our visit to Kerala colleges, Sophia students had beneficial interaction with the college students of Kerala. In 2019, a group of students from colleges of Kerala visited Japan under the Sakura Science Program of Japan Society for Promotion of Science. The leader of the program was Nithin Varghese, Assistant Professor, Department of English, St Berchmans College, Changanacherry and while in Sophia campus, he gave a lecture to Global Environment Studies students on ecological discourse in literature. Though GES program is interdisciplinary, there was a lack of perspective from literature. Though we are aware of the impact of 1962 publication of *Silent Spring* of Rachel Carson and others on environmental studies, we have not dealt deeply into the impact of literature contribution in our studies. We do hope the following article based on the analysis of poems, novels and literature of Kerala would give the readers a new heightened awareness of the impact of literature on global environment studies.

Ecocriticism, a simple definition would be, is the “study of the relationship between literature and the physical environment”¹. Glotfelty puts forward “as a critical stance, it has one foot in literature and the other on land; as a theoretical discourse, it negotiates between the human and the nonhuman”². Kerridge opines “ecocriticism is a literary and cultural criticism from an environmentalist viewpoint. Texts are evaluated in terms of their environmentally harmful or helpful effects”³. Beliefs and ideologies, he adds, are “assessed for their environmental implications”⁴.

The term ‘ecocriticism’ was first used in the 1978 essay “Literature and Ecology: An Experiment in Ecocriticism” by William Rueckert. In “Literature and Ecology: An Experiment in Ecocriticism”, he defines ecocriticism as “the application of ecology and ecological concepts to the study of literature, because ecology (as a science, as a discipline, as the basis for human vision) has the greatest relevance to the present and future of the world”⁵. An ecocritic is, as Howarth in “Some Principles of Ecocriticism” describes, “a person who judges the merits and faults of writings that depict the effect of culture upon nature, with a view toward

-
- 1 Glotfelty xviii
 - 2 Glotfelty xix
 - 3 Kerridge 530
 - 4 Kerridge 530
 - 5 Rueckert 107

celebrating nature, berating its despoilers, and reversing their harm through political action”⁶. This critical approach began in the USA in the late 1980’s and in the UK in the early 1990’s.

Nature has been the concern of literature and art from an early age. But the self-reflexive focus on nature in literature is comparatively a recent phenomenon. It can be linked to the development of ecological consciousness due to the drastic ecological problems caused by the insane human actions. The unprecedented ecological crisis all around the world and the growing awareness among the public of this and its disastrous effect prompted movements to protect nature. Ecocritical theories also have emerged due to the increase of ecological consciousness in the last quarter of the 20th century. “For the ecocritic nature really exists, out there beyond ourselves, ... actually present as an entity which affects us, and which we can affect perhaps, fatally, if we mistreat it”⁷.

In Kerala ecological or environmental aesthetics has begun to receive critical attention recently. In fact, writing that considers the impact nature and place have on culture is one of the most seasoned ideas in writing. Environmentalism emerged as a minor movement in Kerala in the 1990s. Ecocritics attempt to explain the significance/importance of place to self. Most of them focus on a single aspect i.e., geography. In “A Literature of Place” as Lopez suggests a “specific and particular setting for human experience and endeavor is, indeed, central to the work of many nature writers...it is also critical to the development of a sense of morality and human identity”⁸. Antony in her article “Truncated Portrait of Nature: Unveiling the Era of Ecological Awakening in Malayalam Literature” states, “Malayalam literature shared a strong relationship with nature from the very beginnings. Nature was alive in different art forms... Nature was an inevitable background in most poems. The Western Ghats and Bharathapuzha inspired the creative facets of many writers. In the Malayalam literary scenario nature was not just a factor or backdrop. In fact, nature was synonymous with human beings”⁹.

Edasseri Govindan Nair (1906–1974), an important poet from Kerala, has written extensively—19 books, over 300 poems in ten anthologies, six plays and a collection of essays. His “Kuttippuram Palam” (The Kuttippuram Bridge) was published in 1954, even before the publication of Rachel Carson’s environmental science book *Silent Spring* (1962), can be considered as the first poem in Malayalam having an environmental significance. Of the 44 rivers in Kerala, the Nila is remarkable for its continuing influence on literature, art and other cultural expressions in Malayalam. “Rivers have always been the cultural founts of all lands that have great cultures. We know well about the Great River Cultures that grew on the banks of the Nile, the Thames, the Volga, the Euphrates, the Tigris, the Sindhu and the Ganges. In the same manner, the river Nila, aka “Bharathappuzha,” is identified by Keralites as a maha nadi that has nurtured and developed the unique culture of Kerala”¹⁰.

In the poem “Kuttippuram Palam” he wrote about the flow of the river under a newly built bridge. “I

6 Howarth 69

7 Barry 243

8 Lopez 10

9 Antony 79

10 Leelakrishnan 9

stand proudly on the bridge built with Rs.23 lakh, staring at the shrunk Perar (Bharathapuzha) below” [translation my own]. Standing on the newly constructed bridge, the speaker of the poem observes the plight of the great river underneath the bridge and asks: “Mother Perar, will you also turn into a sewage ditch?” [translation my own]. Edasseri wrote the poem years ago, but it appears that the prediction has come true.

The literary works of prominent writers like Mahakavi G Sankara Kuruppu (1901–1978), Mahakavi P Kunhiraman Nair (1905–1978), Edasseri Govindan Nair (1906–1974), Vyloppilli Sreedhara Menon (1911–1985), Changampuzha Krishna Pillai (1911–1948), N V Krishna Warriar (1916–1989), Narayanan Nambuthiri Kakkad (1927–1987) etc, seem to play a key role in the making of environmental awareness among the people of Kerala. The nomenclature Marakkavikal (tree poets) itself indicates the dominance of environmental aesthetics in Malayalam literature. ONV’s “Bhoomikkoru Charamageetham” (A Requiem to Mother Earth), one of the most artistically and critically appreciated poems among the tree poems, brings to light the effects of human interference on the ecosystem. It is an elegiac composition for “the Earth who is not yet dead”.

Mother Earth
still alive,
in the imminence of your death,
may your soul rest in peace!
This song I inscribe in my heart today
is a requiem to you (and to me)!

When tomorrow you lie benumbed
in the shadow of the enveloping
dark poison-flower of death,
none will be left here,
me either,
to mourn, to wet your dead lips
with our tears!
Therefore, I inscribe this to you:¹¹

N V Krishna Warriar adopted a technique called environmental realism in his works. K Ayyapa Panicker (1930–2006), ONV Kurup (1931–2016), Kadamannitta Ramakrishnan (1935–2008), D Vinayachandran (1946–2013), V Madhusoodanan Nair (born 1949), Suguthakumari (born 1934), P Valsala (born 1938), Madhavikutty (1934–2009) and so on write poems in which nature is used as an important background. They foreground nature as a major part of their subject matter. The work of these authors can be read through the lens of ecocriticism. They encourage others to think seriously about the aesthetic and ethical dilemmas posed by the environmental crisis and how language and literature transmit values with profound ecological implication.

Neelamperoor Madhusoodanan Nair (born 1936), Ezhachery Ramachandran (born 1944), K G Sankara

11 Kurup 9

Pillai (born 1948), A Ayyappan (1949–2010), Desamangalam Ramakrishnan, Kureepuzha Sreekumar (born 1955), Kunjappa Pattanoor, P.K. Gopi (born 1959), etc are other poets inspired by the environment.

The Silent Valley agitation was the most inspiring event for poets about ecology. This social movement “Save Silent Valley” heralded the “beginning of public awareness on environment and even triggered an intellectual debate in Kerala”¹². The contribution of the writers to the Silent Valley movement were not confined to creative writings but the writers, paying little mind to their ideological and political differences, formed an eco-social organization, Prakrithi Samrakshana Samithi (Association for the Protection of Nature) under the leadership of N V Krishna Warriar. The enthusiasm exhibited by the writers in opposing the destruction of nature is evident from the publication, by the Samithi, of *Vanaparvam* (1983), an anthology of thirty-four poems on environmental themes. This was the harbinger of ecological writing in Malayalam. The involvement of poet activist Suguthakumari in the Silent Valley Movement is significant. Her poem “Marathinu Stuthi” (Hymn to the Tree) became a symbol of protest from the intellectual community and is the opening song/prayer of most of the Silent Valley campaign meetings (Kumar). As Gupta notes “this song became the anthem and battle cry of the Save Silent Valley Movement”¹³. In the poem, “Marathinu Stuthi” Suguthakumari presents the ecological significance of a tree and its benevolence to man. It alludes to the role of the tree in preventing soil erosion and in regulating and maintaining the distribution of rain and water.

“Where are the Woods, Children?”, one of Ayyappa Panicker’s best-known poems, expresses the disillusionment of modern Keralites with the decline of tradition and cultural and social values. It is a passionate lament for Kerala’s past glory.

Where are the woods, children?

Where are the hills?

Where are the roots of the woodland lawn?

Where is the cool of the forest rills?

Where is the garden grove, the home of the winds?¹⁴

The prose writers’ depiction of environmental settings is a true depiction of the relationship between man and nature. Writers like Thakazhi Sivasankara Pillai (1912–1999), T Padmanabhan (born 1931), M T Vasudevan Nair (born 1933), Sethu (A Sethumadhavan, born 1942), V P Sivakumar (1947–1993), N Prabhakaran (born 1952), and others have made nature as an essential component in their works. Setting is character in their works. It reflects the inner struggles of the characters. They believe that man comes from some unknown land, where he proved to be a nuisance. Man came on earth and exploited the earth without any thought or guilt that the flowers, the trees, the animals, and birds have equal right to dwell upon this planet. They wonder whether man is the earth’s child.

“Bhoomiyude Avakashikal” (The Inheritors of the Earth) by Vaikom Muhammad Basheer (1908–1994), the Bepore Sultan, a recipient of the Sahitya Akademi (1970), the Padma Shri (1982), and the Vallathol

12 Philip, Shaju. “A Silent Revolution”.

13 Gupta 23

14 Panicker 211

Award (1993), is a clear account of Basheer's love of nature and sympathy and kindness for all creatures, including those who are vicious. He says:

Birds and butterflies are the first to enter innumerable birds and flies! Birds chirp from the branches of trees and plants. Butterflies of various colours brighten the courtyard.

They had inherited this universe, centuries and centuries before mankind... But, the crows! They do steal food from the kitchen! They have built nests on two coconut palms! Laid eggs too! Cries of crows are unbearable. Crows lift the chicks. Kites also come to pick chicks... Mongooses are in plenty hiding in bamboo woods for gulping down the poultry. Jackals dwell in the woods adjacent to the bamboo to catch the fowls¹⁵.

Satchidanandan is of the opinion that "the story, 'Bhoomiyude Avakasikal' is a testament of [Basheer's] his ecological vision"¹⁶. The story ends with the statement:

I have to sum up: "Bats are not the souls of anybody's predecessors. From birth itself, they fly around. Let the coconuts—tender or ripe—be claimed by them. We can take the remaining ones. Let the bats claim the tender fruits of coconut trees. They are also the inheritors of this earth!"¹⁷

The havoc caused by the flood is also depicted by the Kerala writers. A good example would be "Vellappokkathil" by Thakazhi Sivasankara Pillai (1912–1999), popularly known as Kerala Maupassant, a recipient of the Jnanpith (1984). He describes the "deluge of '99", in popular parlance, the flood swept Kerala away, literally, in the year 1924, from the point of view of an abandoned pet dog.

The novelists like Thakazhi Sivasankara Pillai, N P Muhammad (1928–2003), O V Vijayan (1930–2005), M T Vasudevan Nair, Narayan (born 1940), M Mukundan (born 1942), Sarah Joseph (born 1946), K J Baby (born 1954), P Surendran (born 1961), and others use nature as a locale in their works. Writers like G Sankarakurup, Vailopally, Thakazhi, O V Vijayan, M. Mukundan, Kamala Das, Ambikasuthan Mangad and so on get more attention as their works, throughout their literary career, exhibit a deep concern for environmental topics and ecological aesthetics or in other words, 'environmentalism' and 'literary ecology'.

Sarah Joseph's *Gift in Green* is an unconventional novel about the relationship between a people and the land they inhabit. Aathi is a serene island of water bodies and mangroves. It is an idyllic village, a green bangle that nourishes and protects a world of life forms both human and animal. It is not merely a place in the novel but a strongest character. "An island dotted with water bodies, marshland and slush. Surrounded by backwaters, it lay secluded from the rest of the world"¹⁸. "...Aathi, an enchanting world in itself, its waters cool and serene. Sitting in that rare world of impregnable silence, immune to the noise of men and machines"¹⁹. Aathi is not a place, but a state of things. It is a metaphor for man's ecological concerns. As the author puts it, there is an Aathi within every human being. It is a part of our self. "The Aathi of *Gift in Green* could be anywhere in the world. There is an Aathi, I believe, within every human being: the primeval water

15 Basheer 8

16 Satchidanandan, K. "Vaikom Mohammed Basheer and Indian Literature"

17 Basheer 12

18 Joseph 43

19 Joseph 25

bed of our residual compassion and our rootedness as sentient beings”, says Joseph in a personal interview with the translator. Franz opines that “the novel, *Gift in Green*. . . presents the panic and pain resulting from the disruption of the relationship between man and environment and also provides the hope of redemption by reclaiming a holistic and integral approach and effort”²⁰.

The novel *Enmakaje* by Ambikasuthan was a milestone in the fight for justice for the Endosulfan victims. J Devika’s English translation of this novel titled *Swarga*, effectively highlights the Endosulfan curse in North Kerala. As Sangeetha says, “Enmakaje, a small village in Kasargod, becomes a metaphor for the movement against endosulfan. These people are fighting against the Government and the business magnates, trying to protect their land as well as their life against this deadly chemical. Enmakaje has been known as the land of hills, the land of truth, the land of languages, the land of nature’s beauty and the land of water. Now all these have been lost with the arrival of endosulfan. Now Enmakaje is the land of Man-made Environmental Miseries”²¹.

The ecocritical movement which had sprouted in poetry, spread to other genres like short stories and novels, and by 1990 ecowriting had established itself as a significant genre in Malayalam literature. The first writing on environmental aesthetics in Malayalam was *Paristhiti Soundaryasasthram: Oru Mukhavura* written by T P Sukumaran in 1992. Sukumaran’s *Paristhiti Soundaryasasthram* studies Rousseau’s idea of ‘return to nature’ within the cultural context of Kerala. His conception of nature is highly anthropocentric, which places man at the centre of the world—as the finest of all creations.

Though ecocriticism began in the 1970s in the West, it developed and established globally as a critical approach in the 1990s. In 1996 Cherryl Glotfelty’s *The Ecocriticism Reader: Landmarks in Literary Ecology* was published in English with the announcement that ecocriticism adopts an earth-centred approach to learn literature. Even before the publication of Glotfelty’s *The Ecocriticism Reader*, the writers from Kerala have already taken into consideration the issues that ecocriticism address in their writing and established ecowriting here.

P P K Pothuval’s *Paristhithivicharam Malayalakavithayil* (1990) studies Malayalam poetry from an ecological perspective. Ecocritics re-read major literary works from an ecocritical perspective with particular attention to the representation of the natural world.

P Sachidanandan, aka Anand, one of the noted living intellectuals in India, whose works are noted for their philosophical flavor, historical context and humanism. He links nature, society, culture and history in his works. Anand’s *Jaiva Manushyan* (1991) is a study on human beings as a part of nature and society. Nature here assumes the role of the setting which nurtures human behavior.

G. Madhusudhanan’s *Harithaniroopanam Malayalathil* (2002) is the first reference text in Malayalam on Ecocriticism. It is a collection of essays that look at the ecological elements in Malayalam literature. The introduction traces the origin and growth of eco-criticism over the past 25 years. The first of the four sections of the volume, dedicated to environmental aesthetics, comprises contributions by prominent writers, poets

20 Franz 67

21 Sangeetha 50

and critics like Anand, Vishnunarayanan Namboodiri, M N Vijayan, M Achuthan, Thomas Mathew and K Ayyappa Panicker. In the second section, critics study the environmental concerns/apprehensions of poets such as G Sankara Kurup, Vyloppilli, P Kunhiraman Nair, N V Krishna Warriar, Edasseri, Kakkad, ONV, Sugathakumari, V Madhusudanan Nair and A Aiyappan. The third section studies the works of Takazhi, M. T. Vasudevan Nair, Sara Joseph, N. P. Mohammed, N. Prabhakaran and C. V. Sreeraman. Feminist and Adivasi literature are additionally come up for scrutiny. The essays in the last section of the book focus on folk arts²².

Some of the leading ecocritics in Malayalam consist of M N Vijayan (1930–2007), P Satchidanandan (born 1936), G Madhusudhanan, Vishnu Narayanan Namboodiri (born 1939), Sethu (born 1942), P P K Pothuval (born 1946), K Satchidanandan (born 1946), K.C. Narayanan, D Benjamin, Asha Menon (K Sreekumar, born 1947), V C Harris (1958–2017), T P Sukumaran, E V Ramakrishnan, P Surendran (born 1961) and so on.

The role of artists and environmentalists in the present-day society of Kerala is unfathomable. Kerala has witnessed many significant pro-environment movements such as ‘Silent Valley’, ‘Plachimada’, ‘Anti-endosulfan’, and ‘Aathirapally’ struggles to name a few. Such protests against the exploiters are not confined to the farmers whose farmland is being expropriated from them. Artists, activists and scientists stand in solidarity with them.

In order to create an eco-friendly world, a safe and ethical relationship between human beings and the natural environment is required. “A deep ecological ethics is urgently needed today, and especially in science, since most of what scientists do is not life-furthering and life-preserving but life-destroying”²³. Arne Naess, in his 1973 article “The Shallow and the Deep, Long-Range Ecology Movements”, coined the term ‘deep ecology’. Deep ecology is a concept that denotes a new understanding of reality, and it is important to find a solution to the problems that threaten the biosphere and human life. Deep Ecological consciousness is spiritual, its basis is the knowledge of the interconnectedness of all phenomena and problems. It does not separate the human being from the natural world. In the web of life, people are just a thread. Every life on earth has an intrinsic value. Deep ecology is based on eco-centric values, not human-centric values.

Deep ecology can be contrasted with shallow ecology, a more narrow world view. It is an anthropocentric worldview, a belief that man is the primary and most important species on earth. The shallow ecology movement “is concerned with fighting against pollution and resource depletion. Its central objective is the health and affluence of people in the developed countries”²⁴. It is a utilitarian philosophy, since the importance of things is defined by their usage value, by the degree to which they support human life. In environmental ethics, shallow ecological perception is considered to be the main cause of environmental problems.

The atrocious crimes toward nature are conceived as a lack of ecological consciousness. Devall and

22 Bhaskar. “Ecology in Malayalam Literature”

23 Capra 142

24 Naess 95

Sessions explained the ecological consciousness in their 1985 book *Deep Ecology* as: “The deep ecology movement involves working on ourselves, what poet philosopher Gary Snyder calls “the real work”, the work of really looking at ourselves, of becoming more real. This is the work we call cultivating ecological consciousness”²⁵. They add that “this process involves becoming more aware of the actuality of rocks, wolves, trees and rivers—the cultivation of the insight that everything is connected. Cultivating ecological consciousness is a process of learning to appreciate silence and solitude and rediscovering how to listen. It is learning how to be more receptive, trusting, holistic in perception, and is grounded in a vision of non-exploitive science and technology”²⁶.

The ecological crimes/eco-terrorist acts such as rock blasting, sand mining, unauthorized building construction, illegal paddy land conversion, smuggling trees and so on are the results of ecological thoughtlessness and the array of non-human living forms is increasingly declining. To grasp the pulse of nature, an anthropocentric view must be discarded. People that are closely linked to nature can only sense the rhythm of nature. Hence, in order to understand nature, a profound ecological outlook is necessary. This deep spiritual consciousness aims to establish an ecological utopia or an ecotopia where human and non-human living beings exist in peace in their environment.

The real topic of nature writing is not nature but the evolving structure of communities from which nature has been removed, often as a consequence of modern economic development. It is writing concerned, further, with “the biological and spiritual fate of those communities”²⁷. It also accepts that “the fate of humanity and nature are inseparable”²⁸. In various literary forms it addresses the problem of spiritual collapse and is in search of a modern human identity that lies beyond nationalism and material wealth.

In this article based on the analysis of poems, novels and literature of Kerala, we were discussing the impact of literature on global environment studies. Let us hope our GES students and other environmental enthusiasts find a new perspective in their search for understanding the rhythm of life with nature.

References

- Antony, Liz Mary. “Truncated Portrait of Nature: Unveiling the Era of Ecological Awakening in Malayalam Literature”. *Aquinas Journal of Multidisciplinary Research*, vol. iii, no.1, 2017, pp.78–83.
- Barry, Peter. *Beginning Theory: An Introduction to Literary and Cultural Theory*. Viva Books, 2010.
- Basheer, Vaikom Muhammed. “The Inheritors of the Earth”. Trans. Vyrassery Vamanan Nampoothiri. *Malayalam Literary Survey*, vol. 34, no. 1–2, 2014, pp. 7–12.
- Bhaskar, B R P. “Ecology in Malayalam Literature”. Review of Harithaniroopanam Malayalathil by G. Madhusudhanan. *The Hindu*, 04 Nov. 2003, www.thehindu.com/todays-paper/tp-features/tp-bookreview/ecology-in-malayam-literature/article28467002.ece. Accessed 10 Sept 2020.
- Capra, Fritjof. “Deep Ecology”. *Understanding India: Reflections on Indian Polity, Secularism and Sustainable*

25 Devall and Sessions 7

26 Devall and Sessions 8

27 Lopez 10

28 Lopez 10

- Environment*, edited by B. Keralavarma, Trinity Press, 2012.
- Devall, Bill, and George Sessions. *Deep Ecology: Living as if Nature Mattered*. Peregrine Smith Book, 1985.
- Franz, Milon. "Writing for the Earth: An Eco critical Reading of *Gift in Green* by Sarah Joseph". *International Journal of English Language, Literature and Humanities*, vol. IV, no. 2, Feb. 2016, pp.67–71.
- Glotfelty, Cheryll. "Literary Studies in an Age of Environmental Crisis". *The Ecocriticism Reader: Landmarks in Literary Ecology*, edited by Cheryll Glotfelty and Harold Fromm, University of Georgia Press, 1996, pp. xv–xxxvii.
- Gupta, Subhadra Sen. *Caring for Nature: Listen to Nature's Song: The Save Silent Valley Campaign*. The Energy and Resources Institute Press, 2017.
- Howarth, William. "Some Principles of Ecocriticism". *The Ecocriticism Reader: Landmarks in Literary Ecology*, edited by Cheryll Glotfelty and Harold Fromm, University of Georgia Press, 1996, pp.69–91.
- Joseph, Sarah. *Gift in Green*. Harper Collins, 2011.
- Kerridge, Richard. "Environmentalism and Ecocriticism". *Literary Theory and Criticism: An Oxford Guide*, edited by Patricia Waugh, OUP, 2006, pp.530–543.
- Kumar, C Ratheesh. "Bio-reserve nonpareil". *The Hindu*, 25 April 2004, www.thehindu.com/todays-paper/tp-features/tp-sundaymagazine/bio-reserve-nonpareil/article28526529.ece. Accessed 12 Sept 2020.
- Kurup, ONV. "A Requiem to Mother Earth". Trans. S Velayudhan. *In the Shade of the Sahyadri*, edited by P P Raveendran, G S Jayasree, and C N Sreekantan Nair, OUP, 2013, pp.8–12.
- Leelakrishnan, Alamkod. *Nilayude Theerangaliloode*. DC Books, 2011.
- Lopez, Barry. "A Literature of Place". *A Sense of Place: Regional American Literature*, vol. 1, no. 10, 1996, pp.10–12.
- Naess, Arne. "The Shallow and the Deep, Long-Range Ecology Movements: A Summary". *Inquiry*, vol. 16, no. 1, 1972, pp.95–100.
- Panicker, Ayyappa. "Where are the Woods, Children?". *Spring Rhythms: Poetic Selections*, edited by C A Varughese. DC Books, 2010, pp.211–216.
- Philip, Shaju. "A Silent Revolution". *The Indian Express Limited*, 15 Nov. 2009, archive.indianexpress.com/news/a-silent-revolution/541546/. Accessed 12 Sept 2020.
- Rueckert, William. "Literature and Ecology: An Experiment in Ecocriticism". *The Ecocriticism Reader: Landmarks in Literary Ecology*, edited by Cheryll Glotfelty and Harold Fromm, University of Georgia Press, 1996, pp.105–123.
- Sangeetha, G. "Enmakaje: A Literary Voice of Environmental Crisis". *Malayalam Literary Survey*, vol. 34, no. 1–2, 2014, pp.49–52.
- Satchidanandan, K. "Vaikom Mohammed Basheer and Indian Literature". Gujarat Global News Network, Ahmedabad, 5 Oct. 2013, Umashankar Joshi Memorial Lecture.

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(7)

大坪 国順

概要

福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染について経済産業省や東京電力からの公開報告資料を整理した結果、この一年間のおもな動き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進んでいる。一時貯蔵タンクの貯蔵総量は約122.5万 m^3 で、約98%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。2020年10月下旬に残存トリチウムの処理方法として希釈して海洋投棄するという政府見解が示された。
- (2) この一年間における汚染水発生量の総量は140 m^3/day である。2020年内に汚染水発生量を150 m^3/day 以下にするという目標は達成された。
- (3) 2018年秋から40 m^3/day のペースで建屋内のたまり水量を減らしている。それにより2020年当初に原子力建屋(R/B)以外の建屋内のたまり水は全て除去された。
- (4) 2020年度内にR/B毎に独立した循環冷却システムが構築される予定であったが、その見込みについては報告がない。
- (5) 循環冷却システムの水収支を解析した結果、この一年間において、冷却水量は約212 m^3/day でほぼ一定、セシウム除去水量は約451 m^3/day 、一時貯蔵増加量は約185 m^3/day 、および、直接戻し水量の平均値は約54 m^3/day となった。ただし三者とも変動は激しい。
- (6) たまり水中のセシウム137とトリチウムの放射線強度は、2018年12月以降はゆっくりとした下降傾向が続いている。
- (7) 塩素イオン濃度については、この一年間は300 ppmから600 ppmの間で変動している。
- (8) 2019年5月に凍土壁内側への地下水の流入量が約300 m^3/day もあることが報告されたが、現在まで減少の兆候が見えない。この流入水の供給経路や改善策については新たな経過報告はなされていない。

Analysis of time variations of radioactive substances in the ponding water at the bottoms of the main buildings of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (7)

Kuninori Otsubo

Abstract

This paper shows the latest states of waste water management system for the ponding water contaminated by radio-active substances in the main buildings of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

1. Up to now, about 1,225,000 m³ of the contaminated water has been restored in the tanks and all radioactive substances except for tritium were removed from 98% of the restored water. On October 2020, the Japanese Government has declared that the restored water contaminated by tritium would be drained into the ocean after deluting the tritium concentration sufficiently low.
2. The amount of generation of the radioactive contaminated water is about 140 m³/day currently. It means that the official target of below to 150 m³/day has been achieved.
3. The volume of the ponding water has been decreased with the pace of 40 m³/day. In accordance of that, the ponding water in the buildings except for reactor buildings has been removed completely by the end of 2019.
4. The establishment of the independent cooling system for each reactor has been suspended.
5. The strengths of radiation of cesium137 and tritium has been decreased very slowly as of December, 2018.
6. The concentration of chloride ion has been fluctuating between 300 ppm and 600 ppm with the interval of several months.
7. About 300 m³/day groundwater has been flowed in through the frozen wall for more than one and a half years. However, no report about the causes of and countermeasures against for the inflow has been shown us as of May, 2019.

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(7)

1. はじめに

2011年3月11日から既に9年半が過ぎた。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2020年10月までの状況を明らかにしようとするものである。

同じテーマでの研究報告は本稿で7稿目となる。これまで検討してきたところによれば、原子炉内の燃料デブリの物理化学的状態は安定しており、当初生成した放射性物質のうち、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推察される。しかし、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は得られていないことも事実である。

本稿では、この一年間の報道資料データについて整理して考察を加えた。さらに陸側遮水壁(凍土壁)の内側の水収支についても考察を加えた。検討に使われたデータは、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—水処理設備の放射能濃度測定結果—」として毎月インターネット上で更新されている²⁾。

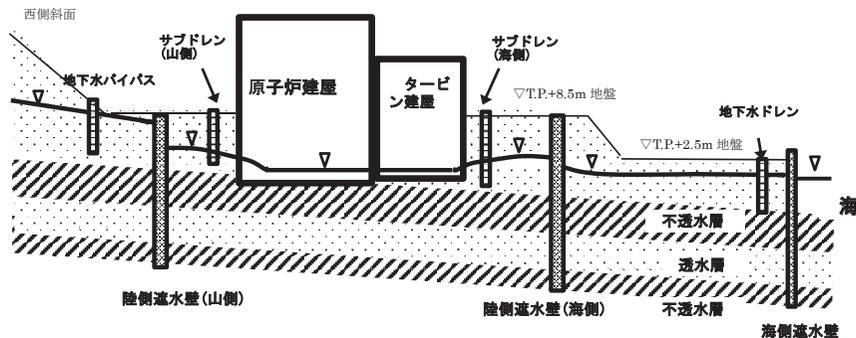


図-1 福島第一原発の建屋周辺の断面と地下水制御施設の模式図

2. 原子炉建屋周辺の地下水の概要

(1) 建屋周辺の断面の概略と地下水制御施設の概要

図-1は福島第一原発の建屋(1~4号機)周辺の断面(東西方向)と地下水制御施設の概要を模式的に示したものである。原子力建屋(以下、R/B呼ぶ)とタービン建屋(以下、T/Bと呼ぶ)は不透水層の上に建造されている。不透水層の下の透水層は被圧地下水層となっている。地下水制

御施設のさらに詳しい説明は前報³⁾を参照されたい。

(2) T.P. +8.5m地盤における地下水の挙動

東京電力の資料⁴⁾によれば、4つの原子炉主建屋が立地するT.P. +8.5m地盤では、西側斜面から約1.4kmの幅で約1,000 m³/dayの地下水が流れ込むとされる。原発事故前は、4つの主建屋を囲むサブドレンにより約800 m³/dayが揚水されて海に排出され、残りの地下水が海側に自然流下していたとされる。

現在は、凍土壁の西の山側に掘削された10数本の揚水井戸から、約300～350 m³/day程度の地下水が揚水され、放射性濃度が目標濃度以下にされた上で海に排出されている⁵⁾(地下水バイパス)。

2015年9月以降、山側と海側のサブドレンがR/BとT/B周辺の地下水位を調整するために常時稼働している。サブドレンで汲み上げられた地下水も、放射性濃度が目標濃度以下にあることが確認された上で海に排水される。

前報³⁾では、凍土壁内側(T.P. +8.5m地盤)の水収支の変遷(凍結開始前、凍結完了時、及び、2019年4月)について述べた。それによれば、2019年4月においては、凍結開始前に比して、サブドレンの揚水量は約420 m³/dayから270 m³/dayへと65%以下となり、凍土壁内側への地下水流入量は約810 m³/dayから290 m³/dayへと36%となり、それに応じて、主建屋への地下水流入量は約180 m³/dayから70 m³/dayへと38%に減少した。また凍土壁から海側への地下水流出量は310 m³/dayから40 m³/dayへと約13%に減少した。2019年5月以降、この水収支がどうなっているかは公表されていない。この間、サブドレンの揚水量には大きな減少傾向が見られないので⁶⁾、凍土壁内側への地下水等の流入量も大きく減少していないものと推察される。この点については6.において詳しく考察する。

(3) T.P. +2.5 m地盤層における地下水の挙動

T/B東側のT.P. +2.5m地盤層(原子炉建屋の海側地盤)に設置された観測井から採水された自由地下水層の地下水からは、セシウム137(Cs₁₃₇)についてはそれほど高い濃度は検出されないが、トリチウム(T)、全β、及び、ストロンチウム(Sr)については、この一年間も、幾つかの観測井から無視できない濃度で検出される。下部透水層(互層部と呼称される)の水質結果については、2019年5月に開催された第22回汚染水対策委員会(経済産業省)⁷⁾で2014年7月以来5年ぶりに公表された。結果は、護岸エリアでの放射線強度の測定値はNDとされた。しかし、2019年5月以降、互層部での地下水の水質データについては公表されていない。

前報³⁾では、凍土壁の東外側(T.P. +2.5m地盤)の水収支の変遷(凍結開始前、凍結完了時、及び、2019年4月)についても述べた。それによれば、2019年4月前半においては、凍土壁の効果により、凍土壁から海側への地下水流出量が310 m³/dayから30 m³/dayへと約10%に減少し、その結果、ウェルポイントや地下水ドレンからの汲み上げ量は80 m³/dayから10 m³/dayへと約12.5%に減少した。それ以降の水収支がどうなっているかはやはり公表されていない。この間、ウェルポイント汲み上げ量や地下水ドレン汲み上げ量には目立った増減傾向が見られないので⁶⁾、凍土壁から海側への地下水の流出量にも目立った変化はないものと推察される。

3. 放射物質汚染にかかる諸水量の概要

(1) 原子炉内での放射性汚染水の発生

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、燃料デブリから新たな各種放射性物質の生成はないことになる。現在は、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⁸⁾）。

(2) 循環式冷却システムの概要

2011年6月以降、循環式冷却システムが正式稼働している。R/BとT/B内の汚染水が周辺の地層に漏れ出さないよう、周辺地下水の水位はR/BとT/B内の滞留水（たまり水と呼ばれる）の水位より約1mほど高くなるようにサブドレンの汲み上げ量が調整されている。2017年末までは、周辺地下水位がT.P.+2.5m以下にならないように、主建屋内のたまり水の水位はT.P.+1.5m前後に保持されてきた。2018年に入ってから、R/BとT/B内のたまり水の水位は徐々に下げられてきた。2020年始めには水位はT.P.-1.8mまで低下し、R/B内のみなたまり水が存在する状況になっている⁹⁾。

図-2は循環式冷却システムの概要説明図である。冷却・汚染処理プロセスにおける汚染水の流れについては前報³⁾を参照されたい。

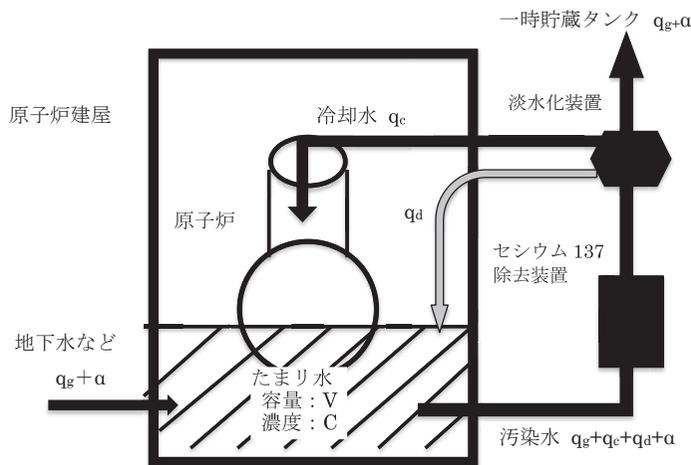


図-2 循環式冷却システムの概要説明図

2020年10月現在、ALPS等により処理された水の量は約122.5万 m^3 、ストロンチウム処理水（塩分、および Cs_{137} とSrのみが除去された汚染水）の量は約2.5万 m^3 となっている¹⁰⁾。

(3) 原子炉冷却水量と放射線汚染処理水量の時間的推移

図-3に2015年10月から2020年10月までの日冷却水量、日汚染水処理水量（セシウム除去）の

時間的推移（1日換算値）¹⁾を示す。処理水量は35日移動平均である。冷却水量は、2018年4月中旬（滞留水浄化設備の稼働開始時）以降、約212 m³/dayではほぼ一定である。一方、セシウム除去水量は時間的変動が大きい。その原因については前報³⁾を参照されたい。2018年4月中旬以降のセシウム除去水量の平均値は約451m³/dayである。

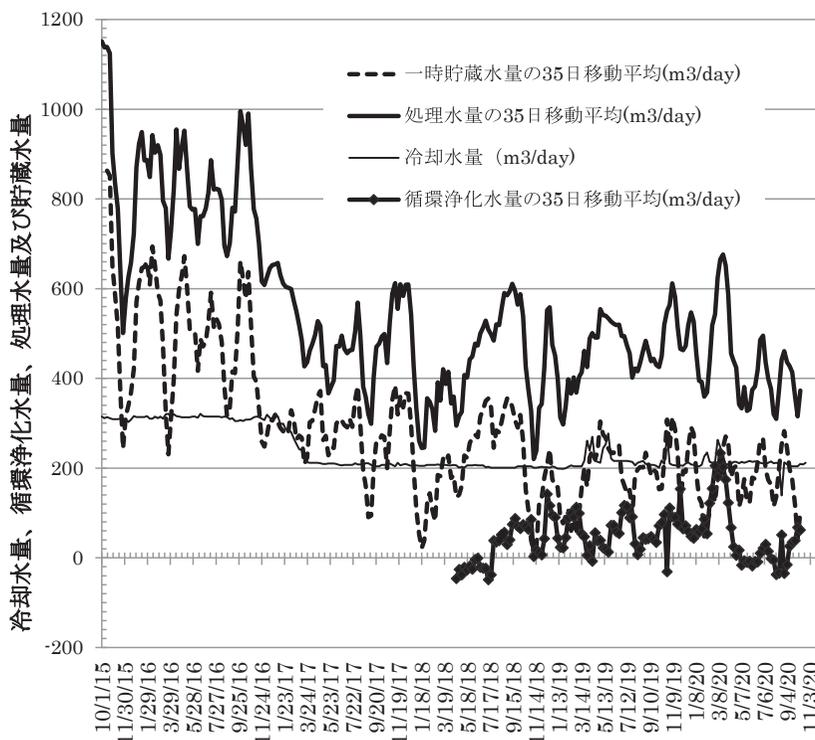


図-3 日冷却水量、日処理水量、日一時貯蔵量および日循環浄化水量の時間的推移（いずれも1日換算値）

(4) 一時貯蔵水量と循環浄化水量の時間的推移

図-3には、日一時貯蔵水量と日循環浄化水量（滞留水浄化設備によるT/Bへの戻し水量）の時間的推移（1日換算値の35日移動平均）も示されている。日循環浄化水量は、水収支から「日セシウム除去水量 - (日冷却水量 + 日一時貯蔵水量)」で推算される。2019年10月以降1年間の日一時貯蔵水量は約185 m³/dayなので、日循環浄化水量の平均値は約54 m³/dayとなる。

(5) 主建屋とプロセス建屋および高温焼却炉建屋内のたまり水量の推移

図-4は、主建屋内、PMB内、および、HTI内のそれぞれのたまり水量とびそれらの合計量の時間的推移を示したものである¹⁾。

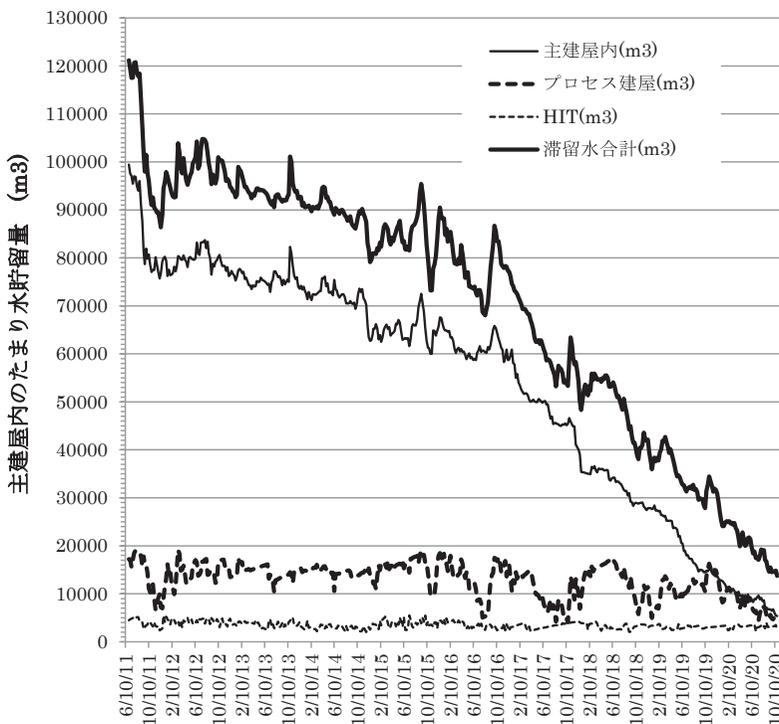


図-4 主建屋内等のたまり水の貯留量の週変化

HTIのたまり水量は、ほぼ一定で推移している。PMBの方は2019年末までは変動はあるものの特段の増減傾向はなかったが、2020年に入って若干減少に転じている。主建屋内のたまり水量には明らかな減少傾向が認められる。それを反映してたまり水総量もほぼ同様な傾向を示している。2019年10月以降1年間のたまり水総量の1日換算低減量は約40m³/dayである。

たまり水総量に関する水収支から、汚染水発生量は「セシウム除去水量 - (冷却水量 + たまり水低減量 + 日循環浄化水量)」で求められるので、2019年10月以降1年間の1日換算汚染水発生量の平均値は、約145 m³/dayと推計される。

(6) 放射線汚染水の発生量

東電資料によれば、2019年10月から2020年9月までの1年間の汚染水発生量の総量は140 m³/dayであり¹¹⁾、3-(5)での推計値とほぼ一致する。その内、建屋流入量は110 m³/dayと前年とほとんど変化ない。東京電力は、2020年度中に汚染水発生量を150 m³/dayまで低減させることを目標としており、目標は達成されたとしてよい。

4. 原子炉建屋内の汚染水の濃度変化の解析

(1) 原子炉たまり水中の汚染物質の濃度（強度）の推移

PMBとHTI内のたまり水の Cs_{137} の放射線強度とCl濃度については毎週公表されている（プレス・リリース用資料）。ここでは、2011年6月15日から公表されている488週分のデータを整理した結果を示す¹⁾。たまり水のサンプリングと分析は、およそ1ヶ月間隔でなされてきたが、2019年度に入って数ヶ月間隔になっている。T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Web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-5は、 Cs_{137} およびTの放射線強度とCl濃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。 Cs_{137} 放射線強度、およびCl濃度は2011年7月5日から2020年10月22日まで、T放射線強度は2011年9月20日から2020年8月8日までとなっている。なお、300週以降のHTIの Cs_{137} 濃度については、データの更新頻度が高い東電のWeb上での資料²⁾に記載されている値を用いた。

図-5に示される Cs_{137} 、Tの放射線強度は、PMBとHTI内のたまり水の放射線強度とたまり水総量から求めた平均値である。2015年12月まではPMBとHTIには1～4号機の原子炉主建屋内のたまり水だけが移送されていたので、この平均値は原子炉主建屋内のたまり水の平均的な放射線強度と考えてよい。しかし、2015年12月以降は原子炉主建屋以外からも汚染水が移送されて来ているので、厳密には原子炉主建屋内のたまり水の Cs_{137} の平均的な放射線強度ではない。Cl濃度について同様なことが言える。

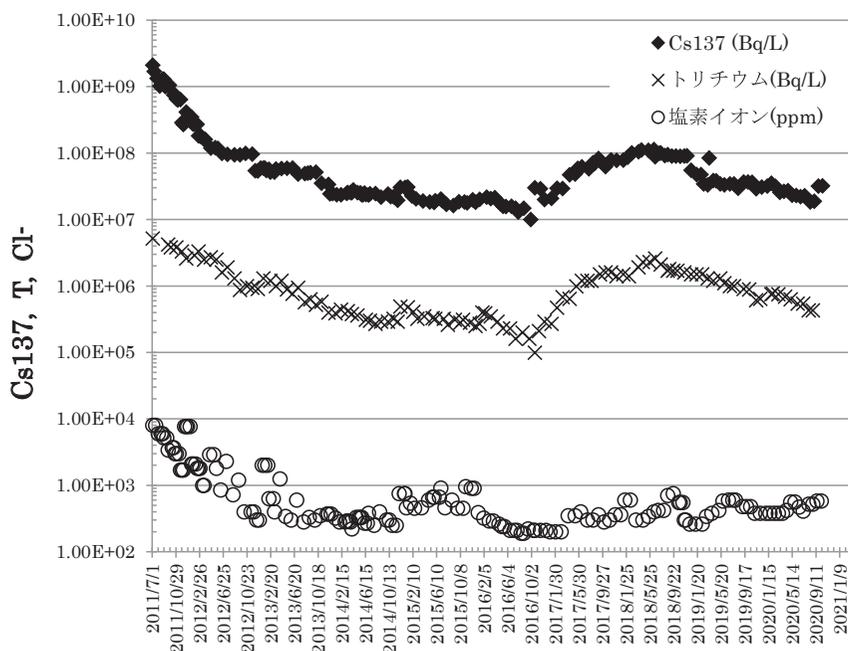


図-5 Cs_{137} 放射線強度、T放射線強度およびCl濃度の週変化

1) セシウム137とトリチウムの放射線強度

2019年10月までのCs₁₃₇とTの放射線強度の時間的推移と原因については、前報³⁾を参照されたい。2019年10月以降の1年間では、Cs₁₃₇とTはともに低減傾向が続いている。R/B以外の建屋からの高濃度汚染水の移送は終了したので、今後はCs₁₃₇とTの放射線強度は、各々の溶出率と希釈効果のある水の量に応じた平衡濃度に低減していくものと思われる。

2) 塩素イオン濃度

2019年10月までのCl⁻の濃度の時間的推移と原因については、前報³⁾を参照されたい。2019年10月以降は約300 ppmから約600 ppmの間で変動している。

(2) たまり水の汚染物質濃度変化の無次元表示

図-6は、Cs₁₃₇およびTの放射線強度とCl⁻濃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。図中の直線は、長期FPソースタームがないと予測したTの放射線強度の週変化の無次元表示であり、実測値との乖離が大きい。

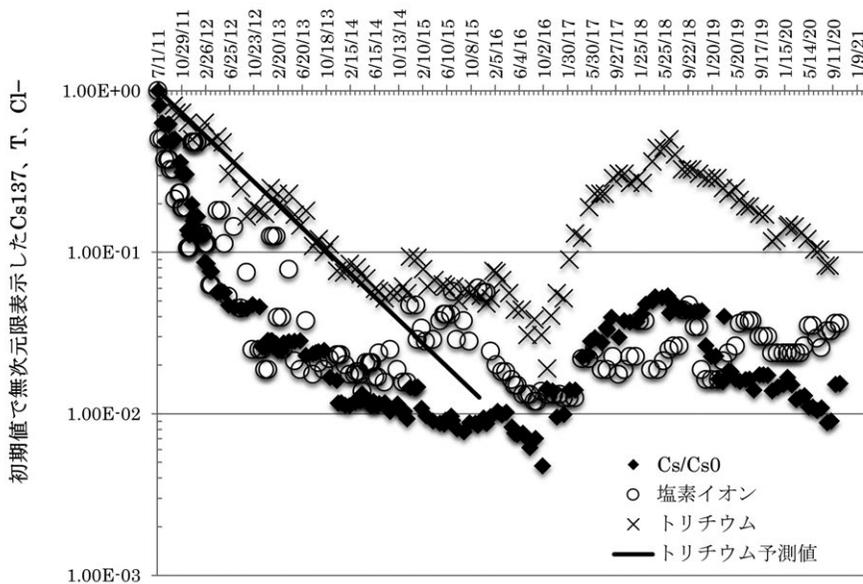


図-6 無次元表示のCl⁻濃度、およびCs₁₃₇とTの放射線強度の週変化

以下では、図-6に示されたCs₁₃₇、およびTの放射線強度とCl⁻濃度の挙動をもとに2021年以降の動向を推測する。

1) セシウム137とトリチウムの放射線強度の週変化

2014年7月中旬以降のTの放射性強度の上下動のパターンは、Cs₁₃₇のそれによく対応している。

2011年7月から2015年末までのCs₁₃₇、およびTの放射線強度の挙動についての解釈については、既報^{12),13)}を参照されたい。

2018年4月中旬から滞留水浄化設備が稼働している。前報³⁾で、この設備の稼働によりCs₁₃₇の放射線強度は漸近値 $(q_b C_b + \gamma_{Cs}) / (q_c + q_g + q_r + q_b + q_d)$ に近づくとした。ここで、C_b：主建屋以外から移送される汚染水の放射性物質の濃度、q_b：主建屋以外から移送される汚染水の量、 γ_{Cs} ：Cs₁₃₇の溶出率、q_c：冷却水量、q_g：地下水流入量、q_r：屋根破損部からの降水流入量、および、滞留水浄化設備による直接戻し水量q_d、である。

2020年度内に主建屋以外に残存する汚染水は全て処理されるのでq_b = 0となる。また、屋根破損部の修復が終了するためq_r = 0となる。よって、2021年以降のCs₁₃₇の漸近値は $\gamma_{Cs} / (q_c + q_g + q_d)$ になると考えられる。

同様に、2021年以降のTの放射線強度は γ_T / q_g に漸近していくと考えられる。ここで γ_T はTの溶出率である。Tは汚染水から除去処理ができないので、q_cとq_dによる希釈効果はない。

2) 塩素イオン濃度の週変化

同様に考えると、たまり水のClの平衡濃度は $q_g C_{Clg} / (q_c + q_g + q_d)$ と推測される。ここで、C_{Clg}：流入地下水のCl濃度である。Cl濃度の実測値は変動してはいるが特段の増減傾向が見られないので、既に平衡濃度への漸近フェーズに入っているとも考えられる。

5. 汚染水対策にかかる考察

(1) 循環式冷却システム

1) R/B毎に独立した循環冷却システムの構築

2021年度に開始予定の燃料デブリの取り出し作業に伴う不測の事態に対処するためには、3つのR/B毎に独立した循環冷却システムが必須となり、2020年度内に完成させる計画であった。計画に基づき、冷却水循環系統において、1～4号機内のたまり水を、PMBやHTIを経由せず、直接SARRYなどのセシウム除去装置へ移送する配管設置工事を2018年5月に完了している¹⁴⁾。併せて2020年内に1～3号機R/B以外の建屋の床面露出が計画され¹⁵⁾、完了した¹⁶⁾。しかしながら、2020年9月の事務局会議に提出された循環冷却と滞留水処理ラインの説明では、汚染水は依然としてPMBとHTIを経由してセシウム除去装置に輸送されている¹⁷⁾。大幅な方針変更もとれるが、その点については何の説明もなされていない。そもそも汚染水処理対策委員会が2019年5月14日以降一度も開催されていないことにも疑問が残る。

2) 滞留水浄化設備の設置

東京電力は、2016年10月に、一時貯蔵される処理水の日量を抑制するために、地下水流入量と冷却水量を減少させるべく冷却水循環システムの稼働条件を変更した¹⁸⁾。それにより、主建屋内のたまり水のCs₁₃₇とTの放射線強度は増大し続け、当初の漸近値より数倍高い値に近づくと一つの要因となった。

このたまり水の放射線強度の増大を抑制するために、SARRYなどによるセシウム除去水の余

剰分を主建屋に直接戻し注水するライン（滞留水浄化設備）を設置し、2018年4月中旬から稼働させている。

中期目標によれば、2020年度中には $q_b \rightarrow 0$ が実現されるので、その段階になれば、 Cs_{137} 放射線強度については q_d による希釈効果は期待できる。

しかし、Tの放射線強度に関しては、戻し水からはTが除去できていないので、戻し水にはTの放射線強度の希釈効果はない。よって、Tの放射線強度の漸近値は γ_T/q_g となる。この値を下げるためには、 q_g を増やさないのであればT汚染のない水を外部から導入しないかぎり実現できない。

前報³⁾ではCl濃度についても、戻し水は淡水化处理がされていないので希釈効果はないとしたが、2020年内にたまり水はR/B内のみ滞留することになったので、今後、戻し水は全て淡水化处理がなされたものとなる。よってCl濃度の平衡濃度は $q_g C_{Clg} / (q_c + q_g + q_d)$ となると考えられる。

2021年度以降に独立循環冷却システムに移行したとしても、三者の時間的推移はここで示した考え方が適用できる。

3) 燃料デブリ冷却状況の確認試験

2019年5月に2号機において原子炉注水を一時的に停止する試験が実施された。さらに、2019年10月15日に1号機において同様な原子炉注水停止試験が実施された。1号機と2号機の試験結果を踏まえ、3号機の原子炉注水停止試験が2020年2月3日に実施された。注水停止時間は約48時間で、注水停止による温度上昇は最大で約1.2℃程度と想定内の結果という評価がなされている¹⁹⁾。2020年度以降は、停止期間を3～9倍に増やして試験を実施することになっている²⁰⁾。

(2) たまり水処理に係る新たな問題の発生

建屋内たまり水の処理が進む中、以下の様な問題が新たに生じた。2019年10月以降、詳細調査等が継続的に実施され対策が検討されているが、具体的には決まっていない。

1) R/B内の滞留プールに超高濃度放射能水の存在

2019年3月に2,3号機R/B内のトラス室の深層隅部に非常に高い放射能濃度水の存在が確認された。

2) R/B内の滞留プールに比較的高濃度の α 核種の存在

2019年3月に2,3号機R/B内のトラス室のたまり水から比較的高濃度の α 核種が検出された。

3) PMBおよびHTIの最下階における高線量率

2018年12月に、PMBおよびHTIの最下階で、それぞれ2,600 mSv/h、828 mSv/hという高い線量率が検知された。高線量の主原因はゼオライト土嚢の可能性が高いと判断された。

(3) トリチウム汚染水の処理方法

周知のようにALPS等をもってしても汚染水からTは除去できない。T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、これ以上一時貯蔵タンクを敷地内に増やすことは限界に達しつつある。

2020年10月下旬にトリチウム汚染水処理に対する政府見解が公表された。希釈して海洋放出するというもので、当初から想定されていたと推測する。地元の住民感情、世論の動向を配慮してギリギリまで公表を控えたという印象である。今スタートしないと希釈・海洋放出システムの構築までに2年程かかる。敷地内のタンクの設置できる場所が2年で満杯という事情がある。

(4) 燃料デブリの所在にかかる事柄

4. で検討した内容を総合的に判断すれば、原子炉内の燃料デブリの物理化学的状態は安定しており、現在も、当初生成した放射性物質のうち、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る。

しかし、依然とし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は得られていない。これに関する著者の主張についてはここでは繰り返さない。前報³⁾を参照していただきたい。

6. 凍土壁

(1) 凍土壁内側への流入水

凍土壁内側での水収支では内側への流入量(F)は290 m³/dayであり、外側への流出量(C)は40 m³/dayと推算されている。この水収支計算では、自由地下水層と被圧地下水層の間で水の出入り(D)がないとしている。出入りが無い理由は両層の間には難透水性の泥質層が挟まっているためとされる²¹⁾。

西(山)側凍土壁ではK排水路など複数の地下構造物(ダクトなど)が凍土壁を横断している。K排水路は凍土壁の北西隅部で凍土壁を貫通して直ちに90度屈曲して凍土壁に沿って南に向かっており、その経路のどこかに亀裂がある模様である。土中温度分布を見る限り、山側凍土壁、南側凍土壁、および、北側凍土壁は完全に凍結していると考えられる²²⁾。一方、東(海)側凍土壁でも複数の地下構造物が横断しており、それらの構造物の下は未凍結である。(厳密にはその部分の温度データがない)。東電側は、それらの箇所が未凍結である可能性を認めているが、凍土壁の内と外の水位差が小さいので地下水の移動は非常に少ないという見解²³⁾。

注水井・観測井(山側)水位は降雨の影響を受けつつも2018年8月以降2年間で約T.P.+4mから約T.P.+3.5mに低下している。サブドレンの水位はT.P.+1mほどである²⁴⁾。

サブドレンの汲み上げ量は、2018年度平均で350 m³/day、2019年度平均で490 m³/day、2020年度上半期平均で526 m³/dayとなり、凍結完了後少なくとも減少傾向にはない²⁴⁾。よってFの値もこの間300 m³/dayを下ることはないと考えられる。しかし、水収支に関するデータは2019年5月24日以降27回も開催された廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議では一切でてこない。汚染水処理対策委員会は、2019年5月24日以降は一度も開催されていない。

この2年間余、400 m³/dayを越すペースで地下水の揚水が続いているのに、内側近傍の観測井の水位が高いままであるのは、どこからか地下水として供給されているとしか考えられない。

供給経路として考えられるのは、

- ① 凍土壁を通じて地下水が滲みだしている
 - ② 泥質層を貫いて下層の被圧地下水層から自由地下水層に地下水が滲みだしている
 - ③ 凍土壁内部にある地下構造物から何らかの理由で水が滲みだしている、
 - ④ 注入井から水がリチャージされている
- の4つしかない。

その内、④については、リチャージしたという報告が全くないので棄却される。①については、凍土壁近傍の温度分布を見る限り、夏場の一部を除いて凍土壁は全面凍結しているので、年間を通じて数百 m^3/day の水が凍土壁から滲みだすというのは考えにくい。そうでなければ、凍土壁近傍の温度分布をモニターする意味が問われる。残る可能性は、②と③ということになる。

東京電力は、②による滲み出し量はあっても非常に少ないとしている。水収支を計算する上でもこの滲み出し量はゼロと仮定している²¹⁾。そして、供給経路として③の立場をとり、山側凍土壁を横断する地下構造物で最大 $100\text{ m}^3/\text{day}$ 、K排水路を通じ最大 $100\text{ m}^3/\text{day}$ の水供給分が山側陸凍土壁内側への地下水等供給量(F)の一部となっている、とした²⁵⁾。しかし、数値算定の根拠は示されていない。その上で、凍土壁内の地下水管理に支障はないと思われるため引き続きモニタリングを行うという方針案を提出し、汚染水処理対策委員会です承された²⁶⁾。

もし③が原因とする流入量が最大で $200\text{ m}^3/\text{day}$ であるとしたら、Fの残りの約 $100\text{ m}^3/\text{day}$ はどこからくるのであろうか。 $100\text{ m}^3/\text{day}$ という量は無視できる程少ない量ではない。これの解明を放棄して引き続きモニタリングを行うということでもいいのであろうか。

著者は、次のような疑問を持っている。

- ・自由地下水層と互層に挟まれている泥質層は、本当に広い範囲で均質で亀裂とかないのか？
- ・東日本大震災の際などにこの泥質層に亀裂が入ったりしてないか？
- ・凍土壁構築工事に伴い泥質層に攪乱はなかったか？
- ・泥質層の亀裂や攪乱により、互層から自由地下水層への地下水の流入はなかったか？

これらの疑問について、凍土壁近傍の自由地下水の水位と互層の被圧地下水頭の公表データ²²⁾を読み解いて、答えを探ってみることとした。以下は、2018年3月から2020年9月の期間の凍土壁近傍の地下水位・地下水頭の挙動の概要を整理したものである。

(2) 自由地下水層(中粒砂岩層)の地下水位

1) 東(海)側凍土壁近傍の地下水位

北側半分の凍土壁内側の二つの井戸では、降雨による変動は大きいが特段の増減傾向はなく、T.P.+3.0m前後で推移している。南側半分の凍土壁内側の二つの井戸では、降雨による変動は大きく、水位は約T.P.+2.0mからT.P.+0.5mに低減している。凍土壁外側の五つの井戸では、降雨による変動も特段の増減傾向もなく、T.P.+2.0m前後で推移している。

2) 西(山)側凍土壁近傍の地下水位

凍土壁内側の井戸では降雨による変動は大きい特段の増減傾向はない。最も北側の井戸はT.P.+6.5m前後で、中央部の二つの井戸はT.P.+4.0m前後で、南側の井戸はT.P.+3.5m前後で推移

している。凍土壁外側の井戸では降雨による変動も特段の増減傾向もなく、井戸により、T.P. + 約8.0mから約10.0m前後で推移している。

3) 南側凍土壁近傍の地下水位

凍土壁内側の井戸では降雨による変動は大きいが特段の増減傾向はない。山側に近い井戸はT.P. +2.5m前後で推移し、中央部の井戸はT.P. +2.0m前後からT.P. +0.5m前後へと低減している。凍土壁外側の井戸では、降雨による変動は小さく増減傾向もなくT.P. +5.5m前後で推移している。

4) 北側凍土壁近傍の地下水位

凍土壁内側の井戸では、降雨による変動はあるが特段の増減傾向はない。山側の井戸ではT.P. +4.5m前後で推移し、中央部と海側の井戸ではT.P. +3.0m前後で推移している。凍土壁外側の井戸では、降雨による変動も小さく特段の増減傾向もない。山側の井戸はT.P. +10.0m前後で、中央部の井戸ではT.P. +8.0m前後で、海側の井戸ではT.P. +5.0m前後で推移している。

(3) 被圧地下水層（互層、細粒／粗粒砂岩層）の地下水頭

1) 東（海）側凍土壁近傍の地下水頭

i) 互層の地下水頭

凍土壁内側の井戸では、時折ピークが立つが特段の増減傾向はなく、井戸によりT.P. +2.0mから+2.5m前後で推移している。凍土壁外側の井戸では、内側井戸と呼応してピークは立つが程度は小さい。三つの井戸とも特段の増減傾向もなく、T.P. +2.0m前後で推移している。

ii) 細粒／粗粒砂岩層の地下水頭

凍土壁内側の井戸では、互層の地下水頭とほとんど同じ挙動と水頭値を示す。凍土壁外側の井戸は内側の井戸と同じ挙動、水頭値で推移している。

2) 西（山）側凍土壁近傍の地下水頭

i) 互層の地下水頭

凍土壁内側の井戸では、時折大雨に呼応してピークが立つが特段の増減傾向はないと言える。北側と中央部の井戸はT.P. +3.5m前後で推移している。南側半分の井戸では、中央部よりの井戸はT.P. +2.5m前後で南側の井戸はT.P. +2.0m前後で推移している。凍土壁の外側の井戸では、地下水頭の増加傾向が落ち着いた状況である。中央部の二つの井戸の地下水頭はT.P. +17.0m～+18.0m前後で、北側と南側ではT.P. +12.0m前後で、南端の井戸はT.P. +8.0m前後で、落ち着いた状態にある。

ii) 細粒／粗粒砂岩層の地下水頭

データが示されていない。

3) 北側と南側の凍土壁近傍の地下水頭

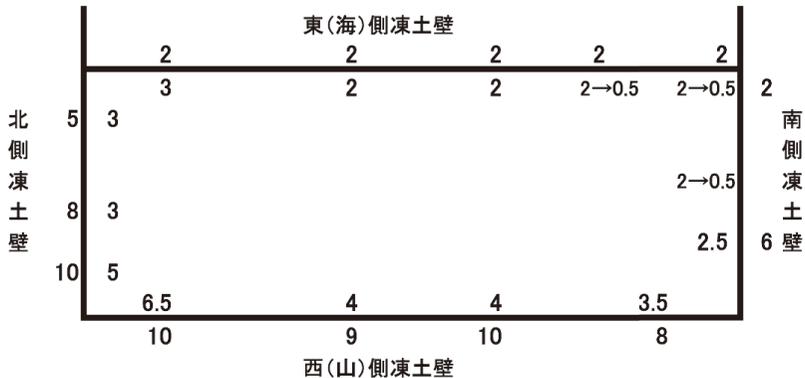
互層、および、細粒／粗粒砂岩層とも公表データがない

(4) 流入水の供給経路についての考察

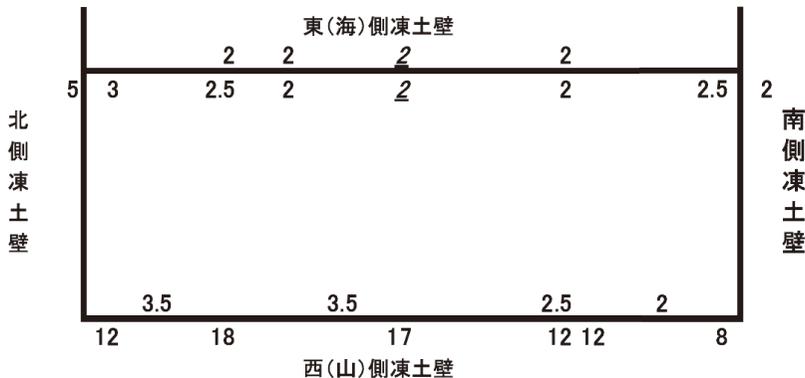
以上をもとに凍土壁近傍の自由地下水層（中粒砂岩層）の水位と被圧地下水層の水頭の状況を図にしたものが図-7である。自由地下水の水位は凍土壁内側域では北西隅部が最も高く、南東隅部が最も低くなっている。両隅の水位差は6mにも達する。凍土壁内側の被圧地下水（互層）の水頭も、北西隅部が最も高く、南東隅部が最も低くなっているが、両隅の水位差は1m程である。

ここで注目すべきは、山側では軒並み自由地下水の水位が被圧地下水層の水頭より3mから1.5m程高いことである。海側では自由地下水の水位と被圧地下水層の水頭にはほとんど差がない。このことから、凍土壁の内側近傍においては、地下水が互層から中粒砂岩層へ流入してくることはないと考えられる。よって、少なくとも凍土壁近傍では供給経路として②の可能性はないことになる。もし互層に挟まれる泥質層に亀裂等が発生している場合、地下水の流下方向は中粒砂岩層から互層になると考えられる。

中粒砂岩層の地下水位(T.P. 単位:m)



互層の地下水頭(T.P. 単位:m)



* 太い実線は凍土壁を意味する。数字の位置は観測井の位置を表す
 ** イタリックの値は細粒・粗粒砂岩層の地下水頭

図-7 凍土壁近傍の自由地下水の水位と被圧地下水の水頭
 (2018年3月から2020年9月の期間)

山側凍土壁の内側近傍において、自由地下水位が高い原因として、東京電力の見解である「K排水路や地下構造物からの排水等の流入」というのは大いに考えられる。しかし、前述のように東京電力はその量を多く見積もっても200 m³/dayとしている。何故300m³/dayと提示しないのか。供給経路として①、②、④の可能性がないとしている主張と整合性が取れない。

この点を明確にするためには、一時的にK排水路や地下構造物の水の流れを山側凍土壁前面でせき止め、凍土壁の内側水収支を計測してFの値を再度評価すべきと考える。原子炉建屋の屋根修理や敷地内のフェーシングにより水収支を推算する上での不確定要素は小さくなり水収支の精度は上がるはずである。「汚染水発生量の目標値150 m³/dayを達成できているので、凍土壁内の地下水管理に支障はないとして引き続きモニタリングを行う」という方針には疑問を持たざるを得ない。水収支を解明する努力を見せないとか何か公表できない不都合な事実があるのではないかと疑念を醸成することになる。

(5) 凍土壁の存続期間

最後に凍土壁の存続期間に関しても触れたい。凍土壁は2019年2月21日に維持管理運転に移行したが、凍土壁の存続期間については何も計画が公表されていない。東京電力は、2014年3月31日の原子力規制委員会第19回特定原子力施設監視・評価検討会において、以下のように説明している²⁷⁾。

- ・事業期間は、建屋内止水処理が完了する約7年後までとし、その間において凍結プラント（凍結管も含む）のメンテナンスや交換が容易にできるシステムとする。
- ・事業期間が過ぎた後においても必要に応じてメンテナンスやリプレイス等の対応で機能維持ができることとする。
- ・建屋内止水処理の完了後は、速やかに凍土を解凍する。

しかし、最新の福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ²⁸⁾には、建屋内止水処理については記述が見当たらない。この建屋内止水処理とはどのような内容であろうか。中長期ロードマップには「原子炉建屋内のたまり水の量を2020年末比で半分にして原子炉建屋から他の建屋にたまり水が流出しない状況を構築する」とあるだけである。建屋内止水処理計画が取りやめになったのか否かは明らかにすべきである。この計画と凍土壁の存続期間は関係が深い。

7. おわりに

福島第一原発建屋内のたまり水の放射性汚染について経済産業省や東京電力からの公開報告資料を整理した結果、この一年間のおもな動き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進んでいる。一時貯蔵タンクの貯蔵総量は約122.5万m³で、約98%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。2020年10月下旬に残存トリチウムの処理方法として希釈して海洋投棄するという政府見解が示された。
- (2) この一年間における汚染水発生量の総量は140 m³/dayである。2020年内に汚染水発生量を150 m³/day以下にするという目標は達成された。

- (3) 2018年秋から40 m³/dayのペースで建屋内のたまり水量を減らしている。それにより2020年当初に原子力建屋 (R/B) 以外の建屋内のたまり水は全て除去された。
- (4) 2020年度内にR/B毎に独立した循環冷却システムが構築される予定であったが、その見込みについては報告がない。
- (5) 循環冷却システムの水収支を解析した結果、この一年間において、冷却水量は約212 m³/dayではほぼ一定、セシウム除去水量は約451 m³/day、一時貯蔵増加量は約185 m³/day、および、直接戻し水量の平均値は約54 m³/dayとなった。ただし三者とも変動は激しい。
- (6) たまり水中のセシウム137とトリチウムの放射線強度は、2018年12月以降はゆっくりとした下降傾向が続いている。
- (7) 塩素イオン濃度については、この一年間は300 ppmから600 ppmの間で変動している。
- (8) 2019年5月に凍土壁内側への地下水の流入量が約300 m³/dayもあることが報告されたが、現在まで減少の兆候が見えない。この流入水の供給経路や改善策については新たな経過報告はなされていない。

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474報）、東京電力プレス・リリース資料。
(<http://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/watermanagement/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 一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。（毎月更新）(<http://www.tepco.co.jp/decommission/data/analysis/index-j.html>)
- 3) 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 (6)、地球環境学、No.14 上智地球環境学会、p.133-150 2020.
- 4) 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.
- 5) 東京電力ホールディングス(株)：地下水バイパス稼働に伴う地下水の状況について、参考資料、p.1-2、2014年9月18日.
- 6) 経済産業省：建屋周辺の地下水位、汚染水発生状況、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料3-1-8、p.3、2020年9月24日.
- 7) 経済産業省：福島第一原子力発電所の汚染水処理対策の状況、第22回汚染水処理対策委員会、資料1、p.9、2019年5月14日.
- 8) 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.
- 9) 経済産業省：建屋滞留水処理等の進捗状況について、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料3-1-5、p.5、2020年9月24日.
- 10) 経済産業省：建屋滞留水処理等の進捗状況について、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料1-2、p.1-2、2020年9月24日.
- 11) 経済産業省：建屋滞留水処理等の進捗状況について、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料3-1-8、p.4、2020年9月24日.
- 12) 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.

- 13) 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.
- 14) 経済産業省：汚染対策の進捗状況一覧表、第22回汚染水処理対策委員会、参考資料1-2 進捗状況一覧表、p.2、2019年5月14日。
- 15) 経済産業省：福島第一原子力発電所の汚染水処理対策の状況に係る参考資料集、第22回汚染水処理対策委員会、参考資料2、p.12-13、2019年5月14日。
- 16) 経済産業省：建屋滞留水処理等の進捗状況について、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料3-1-5、p.9、2020年9月24日。
- 17) 経済産業省：廃止措置等に向けた進捗状況、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料2-4、p.5、2020年9月24日。
- 18) 経済産業省：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、第35回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料3-5、p.3、2016年10月27日。
- 19) 東京電力：3号機デブリ冷却状況の確認試験の結果(速報)について、2020年2月20日
(<https://www2.nsr.go.jp/data/000303267.pdf>)
- 20) 東京電力：原子炉注水停止試験の実施について、原子力規制委員会第82回特定原子力施設監視・評価検討会、資料3、P25、2020年7月20日。
- 21) 経済産業省：福島第一原子力発電所の汚染水処理対策の状況、第22回汚染水処理対策委員会、資料1、p.10、2019年5月14日。
- 22) 経済産業省：【参考】地中温度分布および地下水位・水頭の状況について、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料3-1-8、p.5-18、2020年9月24日
- 23) 経済産業省：第23回陸側遮水壁タスクフォース、議事概要、p.3、2018年11月8日。
- 24) 経済産業省：【参考】地中温度分布および地下水位・水頭の状況について、第82回廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議、資料3-1-8、p.2-3、2020年9月24日
- 25) 経済産業省：汚染水処理対策に関わる対応状況、第23回陸側遮水壁タスクフォース会合、資料1-2、p.28、2018年11月8日
- 26) 経済産業省：今後の汚染水処理対策における主な課題一覧表、第22回汚染水処理対策委員会、参考資料3、P1、2019年5月14日
- 27) 東京電力：凍土方式遮水壁の概要について(参考資料)、原子力規制委員会第19回特定原子力施設監視・評価検討会、資料5-2、平成26年3月31日、P3.
- 28) 経済産業省：福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ
(<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning.html>)

A Review of ASEAN Green Financing Policy Instruments for Energy Efficiency Improvement

Siti Noor Baiti Binti Mustafa, Masachika Suzuki

Abstract

This article aims to review green financing policy instruments for the promotion of energy efficiency investments among countries in the ASEAN region. The first part of this article explores the definition of green finance and its current trends from the viewpoint of global and ASEAN regional perspectives. The review continues with an examination of the ASEAN regional energy outlook including the growing challenges of the region's future energy demand, and how the deployment of energy efficiency technology and robust investments in the region can be the main pillar of sustainable economic growth towards achieving the ASEAN regional target for energy intensity reduction of 20 percent by 2020 and 30 percent by 2025 compared to 2005 levels. The third part of this article focuses on each of the ASEAN Member Countries' respective national energy efficiency policies and targets. Existing energy efficiency-related financial policy instruments are identified and reviewed through a comparison of similarities, differences, uniqueness, and potential innovative green financing mechanisms that are highlighted and explored. Lastly, this article is concluded with lessons learned and suggested policy recommendations.

ASEANにおけるエネルギー効率改善に向けたグリーンファイナンス政策のレビュー

シティ ノール バイティ ビンティ ム スタファ ・ 鈴木 政史

要旨

本論文は、ASEAN地域の国におけるエネルギー効率改善に向けたグリーンファイナンス政策のレビューを行う。まず、グリーンファイナンスの定義について議論すると共に、グローバル及びASEANの観点からグリーンファイナンスの現在の傾向を探る。その後、ASEANのこれからのエネルギーの需要を満たすのに検討しなくてはならない課題を提示する。また、2005年のレベルに対して2020年には20パーセント、2025年には30パーセントのエネルギー効率を改善しなくてはならないというASEAN地域の目標達成に向けて、エネルギー効率に関わる技術の導入と技術への健全な投資が持続可能な経済成長の柱になるか検討する。本論文の3つ目の部分ではエネルギー効率に関わるASEAN加盟国それぞれの政策や目標に焦点を当てる。現在ASEANで実施されているエネルギー効率の改善を目指したファイナンス関連の政策に関する共通点や相違点を明らかにすると共に、革新的なグリーンファイナンスのメカニズムについて特筆する。本論文の最後では、本研究を通して明らかになった点を要約し政策提言を行う。

A Review of ASEAN Green Financing Policy Instruments for Energy Efficiency Improvement

1. Introduction

As conventional fossil fuel-based energy sources are vastly becoming depleted in the long term together with a myriad of environmental impacts that are becoming more prominent each day, the global community is taking aggressive steps to address concerns of energy security, climate change, and environmental concerns. As a major developing region, the Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) is rapidly becoming one of the most prominent players in the global energy portfolio. In addition to strong economic growth and rapid industrialization, the ASEAN region now accounts for the increased energy demand of up to 5 percent of the total global demand (Liu, 2020).

Energy efficiency is seen as an alternative in smoothing out the demand shock due to the region's rapid rate of industrialization and urbanization. In the same way, energy efficiency has also been described as one of the most cost-effective strategies to tackle the problem of maintaining global energy stability by rising market energy production and use. However, energy efficiency, particularly in the industrial sector, is often equated with high capital investments that might prove to be a major barrier towards implementation.

For this reason, green financing is one of the most critical things as a catalyst to maximize the deployment of energy efficiency. A major shift in energy efficiency investment patterns is needed to ignite green financing in the ASEAN region and a growing focus on creating this shift is becoming a significant agenda in government policies. Many policy instruments have already been established in developed countries and more are being crafted to support the implementation of green financing. The ASEAN region is no exception.

Thus, this article aims to review green financing policy instruments for the promotion of energy efficiency investments among countries in the ASEAN region. The first part of this article explores the definition of green finance and its current trends from the viewpoint of global and ASEAN regional perspectives. The review continues with an examination of the ASEAN regional energy outlook including the growing challenges of the region's future energy demand, and how the deployment of energy efficiency technology and robust investments in the region can be the main pillar of sustainable economic growth towards achieving the ASEAN regional target for energy intensity reduction of 20 percent by 2020 and 30 percent by 2025 compared to 2005 levels. The third part of this article focuses on each of the ASEAN Member Countries' respective national energy efficiency policies and targets. Existing energy efficiency-related financial policy instruments are identified and reviewed through a comparison of similarities, differences, uniqueness, and potential innovative green financing mechanisms that are highlighted and explored. Lastly, this article is concluded with lessons learned and suggested policy recommendations.

2. Green Finance

Financing is one of the most crucial factors to consider in promoting the implementation of investments that are geared towards achieving environmental-friendly targets such as increased energy efficiency, renewable energy generation, and pollution reduction, among others. This particular branch of financing that is specifically dedicated to sustainable development is commonly known as Green Finance. Green finance is becoming a concept that is much discussed in both the financial industry and environmental scene because it merges environmental sustainability with economic sustainability.

2.1 What is Green Finance?

While the term ‘green finance’ is used increasingly globally, there does not exist any universally agreed definition by far (Chui & Baral, 2017). However, there exist several definitions of green finance that is context-specific in the existing literature. Green Finance is defined as “*the financing of investments that provide environmental benefits in the broader context of environmentally sustainable development*” (Chui & Baral, 2017). Another reference to green finance is the entire flow of financial investments into sustainable development projects and initiatives, environmental products, and policies to promote sustainable economic development (Sachs et al, 2019). OECD coined the term green finance as finance for “*achieving economic growth while reducing pollution and greenhouse gas (GHG) emissions, minimizing waste and improving efficiency in the use of natural resources*” (Inderst, Stewart, & Kaminker, 2012)

Similarly, green finance is defined as new financial instruments and policies that provide environmental benefits through the financing of any types of sustainable projects (Hoshen et al., 2017; Sachs et al., 2019) that also encompasses a wider scope beyond climate and low carbon projects (Azhgaliyeva & Liddle, 2020; Höhne et al., 2012). These definitions are in parallel with the view that green finance can be used to fund numerous projects with environmental, social, economic benefits, and also other benefits within the scope of the Sustainable Development Goals (SDGs). In short, green finance is considered to not be limited to only climate change funds but also a wider range of environmental objectives, such as industrial pollution control and water, sanitation, and biodiversity protection.

Moreover, Leventis et al. (2017) argued that green finance, beyond just purely capital costs, has an even wider lens that is inclusive of operational costs such as project preparation and costs of land acquisition, which are not only significant but can potentially impose major financial challenges. In the same way, green financing also takes into account the environmental factors and impacts during the lending and investment decision-making process, in addition to the old post monitoring and the risk management process (Hoshen et al., 2017) which is contrary to traditional financial activities that emphasize on conventional investment financial gains and returns.

Due to high capital requirements and investments that are involved in energy-related projects, green financing is much discussed within the renewable energy and energy efficiency literature (Liu et al., 2020;

Saboori & Sulaiman, 2013; Shi, 2015). Despite this, Hyung & Baral (2019) contrastingly refers to some divergences of green finance concerning energy-related projects that are deemed controversial such as clean coal, nuclear, and large-scale hydropower that has sparked some disagreements among various stakeholders.

Green finance consists of many financial and policy instruments, implemented by both the public and private financial sectors. Among these instruments are loans, grants, tax measures, and capital allowance, subsidies, and budgetary measures, green banks, retirement funds (Hoshen et al., 2017; Sachs et al., 2019; Shi, 2015). A key feature of these green financial tools is that investment and lending decisions are made based on the decision-making process that involves environmental screening and risk assessment to meet environmental sustainability standards (Jayathilake, 2019; Lindenberg, 2014). This differentiation from the conventional investment decision-making process indirectly creates the added value of products and services provided by private financial institutions whilst diversifying their investment portfolios that potentially increases long term sustainable profitability.

2.2 Global and ASEAN Regional Green Financing Trends

A significant increase in available green financing options is crucial to unlocking energy efficiency potentials. To this end, both public and private financing plays a central role. At the global level, national governments and multilateral world development banks have announced significant increases in available funding to be deployed for climate change mitigations (Retallack et al., 2018). However, other underlying issues hinder optimum disbursements of these said funds.

While the private sector is a key global investor in energy efficiency, the public sector plays an important role by initiating and catalyzing additional private funded investments and paves the way in moving towards improving energy efficiency, especially in public-owned buildings and infrastructure (OECD, 2016). In the same way, public finance has played a dominant role in green finance in the ASEAN region. Although the amount of public green financing is likely to increase between 2016 and 2030, the average percentage of public spending is expected to decline. A recent ADB report estimates that 10 to 50 percent of public finances are needed to meet ASEAN investment potential (Guild, 2020). Due to the prominence of private financial institutions and banks in many ASEAN countries' financial structures (Durrani, Rosmin, & Volz, 2020), the majority of private ASEAN green finance transactions are in the form of commercial loans that represent approximately 70 percent of all green finance transactions (Chui & Baral, 2017).

A common perceived barrier when it comes to the implementation of energy efficiency investments is the availability and access to financing, especially from the private sector (Hedger et al., 2014; Liu et al., 2020). Due to the nature of energy efficiency projects that are equated with high initial capital investments (Apeaning & Thollander, 2013; Fowlie, Greenstone, & Wolfram, 2015; Harris, Anderson, & Shafron, 2000; Hasan, Hossain, Tuhin, Sakib, & Thollander, 2019; Kamal, Al-Ghamdi, & Koc, 2019) the lack of funding and financial support is often seen as a barrier within its implementation (Groot, Verhoef, Nijkamp, &

Universiteit, 1999; Lane, Boork, & Thollander, 2019; Lynne, Franklin Casey, Hodges, & Rahmani, 1995; Zuoza & Pilinkiene, 2018). In short, energy efficiency-related funding that enables a significant impact in reducing energy consumption, most often than not, exceeds the public sector's budget allocation capacity. Thus, a substantial increase in participation from existing private financing and capital use is necessary.

Henceforth, there is a need to reassess the focus and direction of green investments. Retallack et al (2018) pointed out that global investments in renewables and energy efficiency have seen a decline where the growth rate has slowed down since 2015. This is further supported by the finding that in 2018, primary energy intensity has only improved by just 1.2 percent which shows the slowest rate since 2010 (IEA, 2019) thus signifies a slower improvement compared to 1.7 percent in 2017, that marked the third year in a row of steady declination. Despite this, investments in fossil fuel still dominate portfolios of energy investments (Zhang, Li, & Ji, 2020; Azhgaliyeva, Kapsalyamova, & Low, 2019) and global energy efficiency has seen a decline of 3 percent in 2017 (Sachs et al., 2019). The majority of developing countries are still very much coal-based energy sources oriented which unfortunately can put an impediment on other nation's efforts in reducing fossil fuel energy sources.

Another issue is that financial institutions, in general, show less interest in financing energy efficiency projects due to reasons mainly being the existence of unfamiliar investment risks. Existing insufficient knowledge and high levels of uncertainties among financial institutions on the risks is still prevalent. Durrani et al (2020) investigated the role of central banks and other monetary authorities in promoting sustainable finance in the Asia-Pacific region. Results from this study show that most monetary authorities believe that they should play a key role in promoting green finance by encouraging green loans and by including pro-environmental and climate change targets in their policies. However, monetary authorities in only 5 countries out of 18 were found to promote green financing, consisting of less than half of the total respondents. This points to a conclusion that there exists a contradiction between financial institutions' perceptions towards green finance and actual investment behaviour practices.

Viklund (2004) in a study among perceptions towards Swedish energy policy demonstrates that intention towards support is due to high levels of information on energy policy but applied actions depend on perceived risks. Interestingly, this, too, suggests that having supporting intentions does not necessarily translate into actual actions and this is somehow affected by the uncertainty of risks involved. Unattractive financing terms can also be the cause of reduced demands for energy efficiency investments. Energy efficiency financing offered at high rates or with short tenures may impede cost-effective projects. Interestingly, this is in contrast to an OECD (2016) report that suggests the lack of demand from the industry as a significant challenge faced by green investment banks in their efforts to scale up investments in energy efficiency.

Green bonds are one of the fastest-growing green financing instruments in the world. It continues to grow from USD 3.4 billion in 2012 to USD 235 billion in 2019 (Azhgaliyeva, Kapoor, & Liu, 2020) where China

remains the major issuer of green bonds for several years. Although Southeast Asia is the third-largest market in the world, only 1.5 percent of global green bonds are listed in Southeast Asia since 2017 (Azhgaliyeva et al., 2019). Although green bonds proceeds can be used to finance mitigation and adaptation of projects with clear environmental benefits, they have been used mostly to finance renewable energy and energy efficiency projects. Azhgaliyeva et al. (2020) reviewed green bonds issuance and policy trends in ASEAN countries and revealed that funding of green buildings was especially prominent. Countries such as Singapore and Malaysia offer green bond grants to subsidize the cost of external reviews for labelling of bonds as being 'green'.

Guild (2020) has identified political and institutional barriers through an analysis of green financing potentials in promoting renewable energy in Indonesia. Three major obstacles identified are the '*lack of capacity and experience of Indonesian financial intermediaries with green finance and 'institutional design which makes it hard for private capital to compete against the dominance of state-owned companies in energy markets', and (iii) 'political influence by the extractive industries lobby'*' (Guild, 2020, pg.14). However, some of these constraints have already been reduced through regulations implemented by the Indonesian Government.

3. ASEAN Energy Outlook

ASEAN consists of ten member countries that are increasingly important in the future global energy landscape. The population growth in this region is set to rise by more than 10 percent to 690 million by 2020, thus putting ASEAN as a region that has collectively become the third fastest-growing region in the world. Its accelerated growth has resulted in increased energy demand with a projected growth of 2.3 times over long-term projections to 2040 (ASEAN & UNDP, 2017).

3.1 Growing Challenges of Future Energy Demand

Besides the rising population, rapid economic growth has also fuelled an increase in the region's energy demand. ASEAN energy consumption is continuously growing due to significant economic and population growth, increasing levels of access and demand from rapid industrialization, and lastly, urbanization (Shi, 2015) with a projected energy demand of more than double between 2010 and 2035, reaching a total of more than 16,169 terawatt-hour (TWh) (Liu et al., 2020). Despite this, the energy demand is seen as not being proportionally shared between the ASEAN countries with Indonesia, Malaysia, and Thailand, accounting for around 70 percent of the total energy demand (ACE, 2019). From the 625 million people living in Southeast Asia, about 125 million lack of access to stable electricity, with 40 percent of the ASEAN population primarily reliant on traditional use of biomass (Liu et al., 2020) and almost half of the region's population are still dependant on traditional biomass energy sources for daily needs.

ASEAN is expected to be the fourth-largest economy in the world by 2030 (IEA, 2019). While six out of ten of the region's countries are net energy exporters today, most may not be able to maintain self-sufficiency over the next decade, as energy consumption continues to rapidly overtake domestic energy

output. According to the 5th Southeast Asia (ASEAN) Energy Outlook, the total final energy consumption in the region is expected to increase from 427 million tonnes of oil equivalent (Mtoe) in 2015 to 1,046 Mtoe from the Business As Usual (BAU) scenario in 2040 (ACE, 2018) and is driven by the demands mostly from the industry, transport, and residential sectors besides other sectors such commercial and agriculture.

In addition, this increased energy demand is heavily reliant on fossil fuel, mainly coal and natural gas, to meet the demand in the electricity sector, with oil representing the main source of fuel for the transport sector (IEA, 2019). In comparison, there is not much increase in the capacity of renewable energy even though ASEAN has considerable potential for its implementation. Despite the reduction in costs, solar photovoltaics and wind-powered energy uptake remain small in this region as well (IEA, 2019).

3.2 Energy Efficiency For Sustainability

Achieving green growth is one of the region's top priorities for the future to achieve energy security, accessibility, affordability, and sustainability. Hence, energy efficiency improvement has been identified as one of the main priorities towards achieving this vision. This is apparent from several studies that have discussed energy efficiency as a way to increase productivity and achieve more with less energy consumption (Ihara et al, 2015; Koesler et al, 2016; Retallack et al., 2018; Sorrell, 2015). The 5th ASEAN Energy Outlook also highlights that energy efficiency policies that are in place or under consideration today, will lead to savings by 10 percent of the total final energy consumption by 2040, as compared to BAU (ACE, 2018). Therefore, energy efficiency, widely known as 'low-hanging fruit' and recently touted as the 'fifth fuel' (Chua & Oh, 2011; Shi, 2015) is vital to underpin this region's economic growth.

Nonetheless, meeting ASEAN regional energy demand and policy priorities through the deployment of energy efficiency will require increased levels of investments. Even so, current investment trends show levels that are falling short of the targeted needs of at least 50 percent lower than what would be required to achieve ASEAN's "Stated Policy Scenario" for energy security as projected by IEA (2019). Hence, the need for broader participation from the private sector in mobilizing investments as well as more targeted public funds utilization.

4. ASEAN Green Financing Policy Instruments

4.1 National Energy Efficiency Policy and Targets

On the matter of energy efficiency policies, ASEAN countries have set targets to collectively reduce regional energy intensity by 20 percent by 2020 and 30 percent by 2025 compared to 2005 levels (Liu et al., 2020; Shi, 2015). This region has some of the most rapidly growing industrial cities and effective management of finite energy resources is crucial to be able to meet infinite energy demands to be able to sustain dynamic regional and economic growth. Currently, ASEAN is on track to meet its collective energy intensity reduction targets, and on a steady trajectory to achieve a more sustainable and secure future. By 2016, ASEAN had already accomplished a 21.9 percent energy intensity reduction, exceeding its target set for 2020 (Liu et al., 2020).

One common element is that governments across different ASEAN countries have been intensifying efforts for the facilitation of more investments in power supply and its related infrastructure, whilst simultaneously focusing also on energy efficiency (Anbumozhi, et al, 2019; Anbumozhi, Wolff, & Yao, 2020; Azhgaliyeva et al., 2019; Azhgaliyeva & Liddle, 2020; Liu et al., 2020; Shi, 2015). Most countries have enacted a series of laws, acts, or regulations, set up targets for energy efficiency and intensity, and have also assigned functions or created specific agencies mandated to develop strategies and mechanisms to promote the ASEAN region’s trajectory achieving the region’s shared vision of reduction in energy intensity by 2025. Table 1 below summarizes ASEAN countries’ energy efficiency-related policy frameworks together with indicators and targets.

Country	Indicator	Targets	Action Plan/Reference Documents
Brunei	Energy intensity	25% reduction by 2030 and a 45% reduction by 2035 from 2010 level	Energy White Paper 2014
Cambodia	Final energy consumption	20% reduction relative to BAU by 2035	National Energy Efficiency Policy (2018–2035)
Indonesia	Energy intensity	1% reduction yearly until 2025	General Plan for National Energy (Government Regulation No. 22/2017)
	Final energy consumption	Industry- 17% reduction Transportation- 20% reduction Household-15% reduction Commercial Buildings- 15% reduction By 2025 relative to BAU	
Lao PDR	Final energy consumption	10% reduction by 2030 relative to BAU	National Energy Efficiency Policy 2016
Malaysia	Final electricity consumption	8% reduction within a decade from 2016 to 2025 relative to BAU	National Energy Efficiency Action Plan
Myanmar	Total primary energy supply	20% by 2030 relative to BAU	Energy Efficiency and Conservation Law 2019
Philippines	Final energy consumption	Reduction to 1% yearly until 2040	National Energy Efficiency and Conservation Program (NEECP); and Energy Efficiency Roadmap for Philippines (2017–2020)
	Energy intensity	40% reduction by 2040 compared to the 2005 level.	
Singapore	Energy intensity	Reduction of 35% by 2030 compared to 2005 level	Singapore Sustainable Blueprint 2009
Thailand	Energy intensity	Reduction of 30% by 2036 compared to 2010 level	Thailand Energy Efficiency Plan 2015
Vietnam	Final energy consumption	8% reduction from BAU by 2020	National Target Program for EE and Conservation
	Energy intensity	10% reduction in energy-intensive industries by 2020 from BAU	

Table 1: Energy Efficiency indicator, targets and action plans in ASEAN countries
(Source: APEC, 2017; Department of Energy Policy and Planning Ministry of Energy and Mines Lao PDR, 2020; KeTTHA, 2013; Li et al., 2020; Liu et al., 2020; Ministry of Energy Thailand, 2011; Research Institute Network, 2016; Shi, 2015)

Even though there is an ASEAN regional collective target for energy intensity reduction, all ten ASEAN countries have established national-level energy efficiency targets that are more specific respectively, as shown in Table 1. There are significant differences in the indicators and year of reference used. The majority of ASEAN countries have adopted either ‘energy intensity’ or “final energy consumption” as their energy efficiency indicator. Myanmar is a unique country, by using ‘total primary energy supply’ as its indicator. However, three countries that have both indicators as targets in their respective national plans are Indonesia, the Philippines, and Vietnam. Interestingly, the use of indicators other than ‘energy intensity’, means that the element of Gross Domestic Production (GDP) is not factored into consideration. There is also diversification in the timeline used as a reference. Four ASEAN countries use Business as Usual (BAU), two uses 2010 and another two uses 2005 as sole reference. Philippines adopts both 2005 and the previous year as a reference, while Indonesia adopts BAU and previous years as a reference.

Overall, specific national-level targets reflect a high level of commitment by each country in increasing energy efficiency and it also allows countries to focus on targets that are unique and tailored to each respective countries’ best interests. Nevertheless, the differences that are apparent in these targets may create difficulty for target and achievement comparison between countries and thus might hinder regional cooperation in achieving the collective ASEAN target. There is also a risk of negative spillover effects that might result due to uncoordinated policy action, or worse, failure to achieve the desired outcome for regional green growth development.

4.2 Policy Instruments for Energy Efficiency Financial Support

Energy efficiency financial policy instruments can be clustered into two main types that are traditional and emerging new instruments. Traditional instruments refer to conventional financial instruments such as loans, grants, guarantees, and leases that are commonly used to fund energy efficiency initiatives as well as many other sustainable goods and services (Leventis et al., 2017; Liu et al., 2020). On the other hand, emerging or specialized financing instruments are specifically designed to support energy efficiency investments and other clean energy installations and to overcome market barriers.

In general, there is a myriad of existing green finance policy instruments for energy efficiency investments and implementation promotion. Countries such as Malaysia, Singapore, Thailand, and Indonesia are among the ASEAN countries that are quite advanced by having several policy instruments already established and already in place. Apart from the most widely implemented schemes such as tax incentives, low-risk loans, subsidies, risk guarantees, and grants, there are also new and innovative policy instruments that have been identified. An overview of these policy instruments is as in Table 2 below and is then further examined and discussed in this section.

Policy Instruments	MYS	SGP	THA	PHL	VNM	IDN	LAO	CMD	BRN	MYR
Tax Incentives	✓	✓	✓			✓	✓			
Loans and Subsidies	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Risk Guarantees	✓		✓							
Grants	✓	✓				✓	✓			✓
Other Instruments	✓		✓			✓				

Table 2: Overview of Green Finance Policy Instruments for Energy Efficiency in ASEAN countries
(Sources: ACE, 2019; Centre, 2019; Liebman et al., 2019; Liu et al., 2020; Shi, 2015)

(i) Tax Incentives

Country	Name	Type	Description
Malaysia	Green Investment Tax Allowance	Investment allowance	On purchase of energy-saving equipment and environmentally friendly buildings and other assets
	Green Investment Tax Exemption	Income tax	
Singapore	Energy Efficiency Investment Allowance (IA) Scheme	Investment allowance	Additional 30% investment allowance for EE investments against taxable income, on top of normal capital allowances
	The One-Year accelerated Depreciation Allowance Scheme	Capital allowance	Capital expenditure on energy-efficient equipment to be written off within 1 year
Thailand	ESCO Venture Capital	Corporate or income tax benefits	For ESCOs and commercial buildings
Indonesia	Green Building Code	Import tax and local tax exemption	Green commercial building construction in some Indonesian cities are eligible for tax benefits
Lao PDR	No specific name but provided under Investment Law (2004)	Corporate tax	7 years exemption from corporate tax
		Import duties and tax	Import duties and tax exemption on raw materials and capital equipment
		Export duty	Export duty exemption
		Income tax	10% personal income tax exemption for expatriate employees

Table 3: Tax Incentives and Capital Allowance Policy Instruments In ASEAN Countries
(Source: ACE, 2018; APERC, 2017; APERC, 2018; Shi, 2015)

Various tax incentives in the form of exemptions, holidays, and credits are used as policy instruments to promote more investments in energy efficiency in countries as shown in Table 3 above. Malaysia, Singapore, and Lao PDR have more general coverage of tax incentive recipients for the provision of tax incentives for investments and the purchase of energy-efficient equipment and assets. In contrast to this, Thailand and Indonesia focus on specifically targeted recipients, namely ESCOs and the commercial building sector. Interestingly, Lao PDR also provides tax income exemptions for expatriate employees engaging in energy efficiency-related investments and is the only ASEAN country that has such provision at the moment (APERC, 2017).

Tax measures that are used as financial policy instruments are often encapsulated in the way capital is managed. The ESCO Venture Capital in Thailand helps to address the incessant issues of the lack of capital among SMEs by providing up to 50 percent of the total equity and in some cases, gives financial support for equipment leasing as well. Another is the Singaporean Accelerated Depreciation Allowance Scheme that enables the same financial assistance to small developers that wish to invest in energy-efficient projects. It allows capital expenditure on energy efficiency or energy-saving equipment that is qualified and certified to be written off on 1 year as opposed to 3 years, as per normal regulation (Shi, 2015).

(ii) Loans, Subsidies, and Guarantees

Country	Name	Type	Description
Malaysia	Malaysian Electricity Supply Industries Trust Account (MESITA)	Trust fund	Support projects in the areas of rural electrification, R&D, and energy efficiency, among others.
	Energy Performance Contracting Fund (EPC Fund)	Public Funds	The EPC Fund provides financing for up to 85% of project costs, with a target tenure of three to five years at a 7% financing rate per annum
	Green Technology Financing Scheme (GTFS)	Public Funds	Risk guarantee scheme with an annual rebate of 2% on interest or profit rates on loans charged by financial institutions, and a government guarantee of 60% on loans provided by financial institutions.
Singapore	Energy Efficiency Fund (E2F)	Public Funds	Up to 50% co-funding for industrial companies to assess new facilities and identify potential energy improvements and 30% subsidy for replacement of existing equipment for energy-efficient ones
	Building Retrofit Energy Efficiency Financing (BREEF) Scheme	Private Funds	3rd party financier to finance costs of energy efficiency projects for industrial and manufacturing facilities
Thailand	Energy Conservation and Promotion (ENCON) Fund	Public funds	Working capital for the promotion of the energy efficiency implementation for both public and private sectors
Philippines	The Philippine Industrial Energy Efficiency Project (PIEEP)	Public and Private funds (co-finance)	Focus on enhancing technical capacities amongst financing institutions. The co-financing sources include the Land Bank of the Philippines and the Bank of the Philippines Islands, with both offering USD 10 million each in the form of a standby loan project window on energy efficiency projects.
Vietnam	Energy Efficiency for Industrial Enterprises	International Funds (World Bank)	Investment lending for industrial enterprises to invest in the adoption of EE technologies and practices
Indonesia	PT Sarana Multi Infrastruktur (PT SMI)	Public Funds	Provides subordinated loan facility, equity Investment scheme, financial lease, and ownership of asset through cooperation on a rental business based on Sharia (Islamic) principles
	Viability Gap Fund (VGF)	Public Funds	A government (including Local Governments) support in the form of a contribution of some of the cost project that already economically viable but has not had financial feasibility.

Table 4: Loan Policy Instruments In ASEAN Countries
(Source: Shi, 2015; APERC, 2017; ACE, 2018; AGEP, 2018)

ASEAN governments' provision of low-interest loans, subsidies, and risk guarantees are the most prominent and wide-spread implemented green financing policy instruments. An example is the Malaysian Electricity Supply Industries Trust Account (MESITA) which is a trust fund established by the Malaysian Government. The fund obtains its contributions from power generating companies, who voluntarily contribute 0.65 percent to 1 percent of their total annual audited turnover from electricity sales to the Peninsular Grid or the transmission network. A special committee for overseeing this trust fund consists of representatives of the Malaysian Government, Tenaga Nasional Berhad (the sole electricity company in Peninsular Malaysia), and six electricity generation companies (independent power producers) (KeTTTHA, 2013). Similarly, Singapore's Building Retrofit Energy Efficiency Financing (BREEF) Scheme sources its funding from private companies for the financing of energy-efficient investments with shared energy savings among project owners and financiers (APEREC, 2017).

Risk mitigation is often used for energy efficiency projects that have very low project risks but still require additional support to make the industry players feel comfortable enough to engage in energy efficiency investments. The Malaysian Government provides loan guarantees, a type of risk mitigation, for energy efficiency investments with varying fee schemes under the Green Technology Financing Scheme (GTFS). This scheme offers a standard loan loss reserve to banks that offer energy efficiency financing through soft loans, in exchange for the respective bank's provision of loans to certified green projects below a maximum rate and longer tenures than the minimum term (MGTC, 2014). This policy instrument covers four sectors such as energy, waste, and water, building and transport sectors that are inclusive of energy efficiency improvements. Another is a credit guarantee scheme called the EPC Fund to provide a credit guarantee fund of about USD 3 million. This fund will finance credit guarantees from Credit Guarantee Corporations for up to 80 percent on the unsecured portion up to the maturity date of the term loan facility (Ahmad Ludin et al., 2013; Amran et al, 2018).

Thailand, on the other hand, has established a unique green financing mechanism that serves as an 'umbrella' for all green financing policy instruments in the country with an initial total allocation of USD 90 million since 2016 (ACE, 2018). The ENCON Fund in Thailand also provides risk mitigation in the form of soft loans for working capital, for the promotion of the energy efficiency implementation in both public and private sectors. This fund, too, is the source of funds for three major policy instruments namely tax incentives, soft loans, and the Energy Efficiency Revolving Fund (APEREC, 2017).

(iii) Grants

Country	Name	Type	Description
Malaysia	Energy Audit Conditional Grant (EACG)	Public fund	Grants for energy auditing and implement energy-saving measures of projects that focus on commercial and industrial buildings with large consumption electricity consumption patterns
Singapore	Singapore Certified Energy Manager Programme (SCEM)	Public fund	Training grants to develop local expertise and capacity in professional energy management in the industrial sector covering up to 35% of the total training costs for the Professional Level SCEM Programme
	SME Energy Efficiency Initiative	Public Funds	Provides funding for energy audits, monitoring, implementation of energy efficiency projects for SME assistance
Lao PDR	Demand Side Management and Energy Efficiency Project	International Funds	Funding provided by the World Bank and Global Environment Facility (GEF) for auditing of Government buildings for the identification and implementation of low-cost EE measures

Table 5: Grant Policy Instruments in ASEAN Countries
(Source: Shi, 2015; APERC, 2017; ACE, 2018; AGEP, 2018)

An important element in efforts to increase energy efficiency is the systematic monitoring and management of energy usage. Hence, some countries have placed importance on energy audits and capacity building of energy managers. In Malaysia, public funds are used in the form of grants, another financing policy instrument, for companies in energy-intensive sectors to perform energy audits. The Energy Audit Conditional Grant (EACG) stipulates that recipients must implement energy efficiency measures with total investment costs that are equal or more than the amount of grant received (Fernando & Hor, 2017; MGTC, 2019).

Similarly, Singapore and also Lao PDR has similar schemes with the former focusing on small-medium enterprises (SME) and the latter focusing on Government-owned buildings (Chai & Baudelaire, 2015; Department of Energy Policy and Planning Ministry of Energy and Mines Lao PDR, 2020). Also, to support human resource skill development and capacity building, Singapore provides grants for training local expertise as professional energy managers under the Singapore Certified Energy Manager Programme (SCEM). The utilization of financial policy instruments for energy management human resources development is as important as providing funds for investments of technology and equipment.

(iv) Other Innovative Green Financing Policy Instruments

Country	Name	Type	Description
Malaysia	Green Sukuk	Private Funds	To develop green markets and encourage green infrastructure investments. Sukuk can be issued to finance environmental projects including energy efficiency.
Thailand	Energy Efficiency Revolving Fund (EERF)	Public Funds	Loans with low-interest rates and longer repayment periods that aims to stimulate energy efficiency investments in large-scale, energy-intensive industries while building capacities of local banks for the evaluation of financing of EE projects.
Indonesia	Bond Pooled Financing	Public and Private Funds	A fund that pools energy efficiency projects into one 'basket' where potential investors can invest in other investors' projects.
	Utility On-Bill Financing		A fund that provides equity to third parties to finance energy efficiency investment by consumers.

Table 6: Other Innovative Green Finance Policy Instruments in ASEAN Countries
(Source: Shi, 2015; APERC, 2017; ACE, 2018; AGEF, 2018)

Islamic financial institutions are beginning to leverage on the large pool of untapped potential investments in energy efficiency. This is in line with the concept of a two-pronged approach where the banking industry not only pursues profits but also play a major part in achieving environmental sustainability and advocate greater social responsibility. The Sukuk market, which has a high growth segment in Islamic finance (Azhgaliyeva et al., 2020; Ling et al., 2017), is rapidly gaining a place as an innovative green financing policy instrument in Malaysia. 2012 marked the launch of the world's first green Sukuk in France and to date, in Malaysia there are five issuances of green Sukuk with total issuances amounting to MYR 2.4 billion (Azhgaliyeva et al., 2020; Leins, Seele, & Vogel, 2015).

Another innovative green finance policy instrument is Thailand's Energy Efficiency Revolving Funds (EERF) that was launched in 2003. Loans with low-interest rates and longer repayment periods that aims to stimulate energy efficiency investments in large-scale, energy-intensive industries while building capacities of local banks for the evaluation of financing of EE projects. This green financing scheme has resulted in its success to stimulate and familiarize local banks and financial institution involvement in energy efficiency investment projects (APERC, 2017; Saboori & Sulaiman, 2013; Wang et al., 2013). At the end of the phased out EERF in 2011, a total of 294 projects resulted in a total investment of USD 521.5 million, where USD 8,727.0 million was sourced from debt financing from local banks while the rest was from the EERF (Wang et al., 2013).

Indonesia has two unique green financing mechanisms that attains its funds from both public and private sources. The Bond Pooled Financing scheme operates in a way that allows potential investors to invest in a portfolio of joint ventures with other investors, due to the nature of various energy efficiency

projects being pooled into one financing mechanism (ACE, 2019; APEC Energy Working Group, 2017; Guild, 2020). Under this scheme, a group of debtors can collectively combine their investment financing needs and issue a single bond. Another innovative scheme is utility on-bill financing (ACE, 2019). This scheme allows consumers from mainly residential and commercial sectors to implement energy efficiency improvements and pay the cost of the investment through staggered payments via a surcharge imposed on the monthly electricity bill. Meanwhile, the additional costs of the investment are covered through savings obtained as a result. Third parties, such as banks, finance the debt, with the equity being provided from public funds. Another unique trait of these two policy instruments in Indonesia is that the sources of funds come from multiple sources such as public budgets, multilateral banks, assets management, mutual funds, or high net-worth individual investors.

5. Conclusion

Despite ASEAN's shared priorities, there are significant differences regarding each nation's energy context including resource endowments, consumption patterns, technical capacities, and regional challenges. Many ASEAN countries have implemented various measures to promote energy efficiencies. However, the development of energy efficiency policy frameworks in ASEAN countries offers opportunities for regional cooperation in terms of sectoral goals, action plans, policy measures, activities, and achievements.

According to a report on green finance opportunities in ASEAN by UNEP in 2017, although comprehensive data are a bit lacking, many indicators show that ASEAN lags quite behind other parts of the world in the adoption of green finance instruments (Chui & Baral, 2017). A major reason could be due to what Liu (2020) argues that most ASEAN countries have yet to systematically implement the right policies to support green investments and that current policies and subsidies favour fossil fuels over energy efficiency. Among them could be the factor of low energy prices and fossil fuel-based energy subsidies, which is not reflective of real-time economic costs (AGEP, 2018).

Even with the many existing green financing policy instruments and mechanisms among ASEAN countries, some countries in this region are still facing several common barriers to green financing. For Brunei and Cambodia, limited regulatory frameworks with regards to green financing policy instruments are the main barrier. In the case of Brunei, an oil-rich country, another factor could be that fossil fuel-based energy is relatively abundant and cheap, thus rendering energy efficiency investments as less attractive (Ali, 2013; Retallack et al., 2018). Energy efficiency projects in Cambodia mostly rely on international financing schemes and sources such as the Green Climate Fund (GCF) and grants from foreign countries such as Australia, Finland, and Denmark (Liu et al., 2020; Shi, 2015). However, some international financial institutes such as the World Bank (WB) and Asian Development Bank (ADB) have been moderately active in the energy sector in Cambodia. Nonetheless, the lack of financial mechanisms, awareness, training, regulation, and incentives in Cambodia limits the development of EE and RE sectors.

One possible solution is to stimulate non-bank financial institutions, including pension funds and insurance companies, to invest in green projects (Anbumozhi et al., 2019, 2020). Insurance providers and pension funds have long-term financial resources which are ideal for investing in energy efficiency investments. Institutional investors are ideally placed to drive corporate capital allocation towards more sustainable uses due to their scale and function as a gateway to the capital markets for savers' climate issues.

One imperative factor that can be considered when it comes to filling the green financing gap is through increasing the role of central banking in driving more green investments rather than the existing public funds driven scenario. This is due to the fact that central banks are in the most strategic position to support and drive more environmentally-friendly business and finance models and help regulate the management of fiscal risks through their regulatory frameworks. To push for this shift, financial governance policies need to be able to address both environmental and financial risks. This is important to spark more interest from financial institutions with strong prospects to provide financing for ventures that both economically viable and energy-efficient.

Alternatively, community-based funds and village funds are increasingly becoming a common method of supporting green projects, particularly those of small and medium-size, and are progressively gaining momentum as a non-conventional source of green financing. This form of financing also has tremendous potential to fill the gap in funding for energy efficiency programmes. A good example would be the Hometown Investment Trust (HIT) Fund and the Hokkaido Green Fund in Japan, where the aim is to act as a bridge in connecting potential investors who are individuals of a community to invest in green projects within their localities (Sachs et al., 2019). This fund allows community members to invest small amounts in renewable energy projects that are advertised by internet marketing companies, supporting these projects until they are mature enough to be able to gain financing from commercial banks.

Last but not least, new financial technologies or better known as 'FinTech' such as blockchain, the Internet of Things (IoT), and Big Data, could also be considered to be promoted as a green finance policy instrument.

In conclusion, the diversified development of energy efficiency policies and targets among ASEAN countries presents golden opportunities for more regional cooperation. Collectively, the region is on the right track towards achieving its energy intensity reduction target of 30 percent by 2025 with the focus on energy efficiency as one of the main drivers. However, there is also a need to implement innovative financial policy instruments to complement the existing traditional ones in supporting policies.

Reference

ACE. (2018). *AGEP-Executive Summary on EE Financing in ASEAN, 2018.pdf*. Retrieved from www.agep.aseanenergy.org

- ACE. (2019). *Mapping of Energy Efficiency Financing in ASEAN*. Jakarta.
- Ahmad Ludin, N., Hamid, N., Mohd Bakri, M., Mat Teridi, M., Sapeai, S., Ibrahim, M., ... Siwar, C. (2013). *Current Financing Models and Issues in the Malaysian Green Technology Projects 2.0 Finance Models for Greentech*. 259–266.
- Ali, A. (2013). *Brunei Darussalam Country Report on Energy*. (June), 83–97. Retrieved from http://www.eria.org/RPR_FY2012_No.19_chapter_3.pdf
- Amran, A., Nejati, M., Ooi, S. K., & Darus, F. (2018). *Exploring Issues and Challenges of Green Financing in Malaysia: Perspectives of Financial Institutions*. 255–266. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3212-7_15
- Anbumozhi, V., Locastro, M., David, D., Luftiana, D., & Rakmah, T. F. (2019). *Unlocking the Potentials of Private Financing for Low-carbon Energy Transition : Ideas and Solutions from ASEAN Markets*. (313).
- Anbumozhi, V., Wolff, P., & Yao, X. (2020). *Policies and Financing Strategies for Low-Carbon Energy Transition: Overcoming Barriers to Private Financial Institutions*. (324), 1–46.
- Apeaning, R. W., & Thollander, P. (2013). Barriers to and driving forces for industrial energy efficiency improvements in African industries—A case study of Ghana’s largest industrial area. *Journal of Cleaner Production*, 53, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.003>
- APEC Energy Working Group. (2017). *Energy Efficiency Finance in Indonesia*. (August). Retrieved from http://publications.apec.org/file-download.php?filename=217_EWG_APEC_Format_Incubator_EEFMapping_Indonesia_Report.pdf&id=1892
- APEREC. (2017). *Compendium of Energy Efficiency Policies of APEC Economies Thailand*. (October), 13. Retrieved from http://aperc.ieej.or.jp/file/2014/1/27/CEEP2012_Thailand.pdf%5Cnhttp://www.ieej.or.jp/aperc/CEEP/Thailand.pdf
- ASEAN, & UNDP. (2017). *Financing the Sustainable Development Goals in ASEAN*.
- Asia Pacific Energy Research Centre (APEREC). (2018). *APEC Peer Review on Energy Efficiency in Malaysia. Final Report for APEC Energy Working Group (EWG)*, (November). <https://doi.org/10.2514/6.1992-462>
- Azhgaliyeva, D., Kapoor, A., & Liu, Y. (2020). Green bonds for financing renewable energy and energy efficiency in South-East Asia: a review of policies. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 10(2), 113–140. <https://doi.org/10.1080/20430795.2019.1704160>
- Azhgaliyeva, D., Kapsalyamova, Z., & Low, L. (2019). Implications of Fiscal and Financial Policies on Unlocking Green Finance and Green Investment. In *Handbook of Green Finance*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8710-3_32-1
- Azhgaliyeva, D., & Liddle, B. (2020). Introduction to the special issue: Scaling Up Green Finance in Asia. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 10(2), 83–91. <https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1736491>
- Centre, O. C. (2019). *HIGH-LEVEL ROUNDTABLE ON GREEN FINANCE OPPORTUNITIES IN ASEAN*. (October).
- Chai, K. H., & Baudelaire, C. (2015). Understanding the energy efficiency gap in Singapore: A Motivation, Opportunity, and Ability perspective. *Journal of Cleaner Production*, 100, 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.064>
- Chua, S. C., & Oh, T. H. (2011). Green progress and prospect in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2850–2861. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.008>
- Chui, F., & Baral, P. (2017). Green Finance Opportunities in ASEAN. *UN Environment*, (November). <https://doi.org/10.1109/ICC.2005.1494589>
- Department of Energy Policy and Planning Ministry of Energy and Mines Lao PDR. (2020). *Lao PDR Energy Outlook 2020*. *Eria*, (19). Retrieved from eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/Lao-Energy-Outlook-2020/Lao-PDR-Energy-Outlook-2020.pdf
- Durrani, A., Rosmin, M., & Volz, U. (2020). The role of central banks in scaling up sustainable finance—what do monetary authorities in the Asia–Pacific region think? *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 10(2), 92–112. <https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1715095>

- Fernando, Y., & Hor, W. L. (2017). Impacts of energy management practices on energy efficiency and carbon emissions reduction: A survey of Malaysian manufacturing firms. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.023>
- Fowlie, M., Greenstone, M., & Wolfram, C. (2015). Are the nonmonetary costs of energy efficiency investments large? understanding low take-up of a free energy efficiency program. *American Economic Review*, 105(5), 201–204. <https://doi.org/10.1257/aer.p20151011>
- Groot, H. L. F. De, Verhoef, E. T., Nijkamp, P., & Universiteit, V. (1999). Energy Savings By Firms: Decision-Making, Barriers and Policies. *Organization*, (953215).
- Guild, J. (2020). The political and institutional constraints on green finance in Indonesia. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 10(2), 157–170. <https://doi.org/10.1080/20430795.2019.1706312>
- Harris, J., Anderson, J., & Shafron, W. (2000). Investment in energy efficiency: A survey of Australian firms. *Energy Policy*, 28(12), 867–876. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00075-6)
- Hasan, A. S. M. M., Hossain, R., Tuhin, R. A., Sakib, T. H., & Thollander, P. (2019). Empirical investigation of barriers and driving forces for efficient energy management practices in non-energy-intensive manufacturing industries of Bangladesh. *Sustainability (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/su11092671>
- Hedger, M., Caravani, A., Greenhill, R., Nakhooda, S., Norman, M., Barnard, S., ... Watson, C. (2014). *Climate finance: is it making a difference?: a review of the effectiveness of multilateral climate funds*. 44(December).
- Höhne, N., Taylor, C., Elias, R., Den Elzen, M., Riahi, K., Chen, C., ... Xiusheng, Z. (2012). National GHG emissions reduction pledges and 2°C: Comparison of studies. *Climate Policy*, 12(3), 356–377. <https://doi.org/10.1080/14693062.2011.637818>
- Hoshen, M., Hasan, M., Hossain, S., Abdullah, M., Mamun, A., & Mannan, A. (2017). Green Financing: An Emerging Form of Sustainable Development in Bangladesh. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, 19(12), 24–30.
- Hyung, K., & Baral, P. (2019). Handbook of Green Finance. *Handbook of Green Finance*, (May). <https://doi.org/10.1007/978-981-10-8710-3>
- IEA. (2019). *Energy Efficiency 2019*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>
- Ihara, T., Gustavsen, A., & Jelle, B. P. (2015). Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Applied Energy*, 158, 422–432. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.074>
- Inderst, G., Stewart, F., & Kaminker, C. (2012). Defining and Measuring Green Investments: Implications for Institutional Investors' Asset Allocations. *OECD Publishing*, (24). <https://doi.org/10.1787/5k9312twonn44-en>
- Jayathilake, S. (2019). *Impact of Green Financing for the Corporate Governance in the Banking Industry*.
- Kamal, A., Al-Ghamdi, S. G., & Koc, M. (2019). Revaluing the costs and benefits of energy efficiency: A systematic review. *Energy Research and Social Science*, 54(March), 68–84. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.03.012>
- KeTTHA. (2013). National Energy Efficiency Action Plan. In *National Energy Efficiency*.
- Koesler, S., Swales, K., & Turner, K. (2016). International spillover and rebound effects from increased energy efficiency in Germany. *Energy Economics*, 54, 444–452. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.011>
- Lane, A. L., Boork, M., & Thollander, P. (2019). Barriers, driving forces and non-energy benefits for battery storage in photovoltaic (PV) systems in modern agriculture. *Energies*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/en12183568>
- Leins, S., Seele, P., & Vogel, F. (2015). Greenwashing in Islamic Finance? : An Analysis of Islamic Private Banks' Non-Financial Reports and a Proposal for an Islamic Finance Reporting Initiative Standard. *Journal of Religion and Business Ethics*, 3(2), 1–24. <https://doi.org/10.5167/uzh-130531>
- Leventis, G., Kramer, C., & Schwartz, L. (2017). *Energy Efficiency Financing for Low-and Moderate-Income Households: Current State of the Market, Issues, and Opportunities*.

- Li, B., Nian, V., Shi, X., Li, H., & Boey, A. (2020). Perspectives of energy transitions in East and Southeast Asia. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1002/wene.364>
- Liebman, A., Reynolds, A., Robertson, D., Nolan, S., Argyriou, M., & Sargent, B. (2019). Handbook of Green Finance. In *Handbook of Green Finance*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-8710-3>
- Lindenberg, N. (2014). Definition of Green Finance. *German Development Institute*, 3. Retrieved from https://www.die-gdi.de/uploads/media/Lindenberg_Definition_green_finance.pdf
- Ling, R., Bin, L., Nurhidayah, S., Roslen, M., Aizah, S., Lee, I., ... Theam, S. (2017). *Governance and Sustainability of Global Business Economics Feasibility of Green Bonds Issuance in Malaysia towards Financing a Sustainable Future-a Conceptual Review of Literatures*. (September 2015), 14–15. Retrieved from www.econ.upm.edu.my
- Liu, Y., Development, A., & Group, B. (2020). *Energy Efficiency in ASEAN: Trends and Financing Schemes*. (June). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27979.00804>
- Lyne, G. D., Franklin Casey, C., Hodges, A., & Rahmani, M. (1995). Conservation technology adoption decisions and the theory of planned behavior. *Journal of Economic Psychology*, 16(4), 581–598. [https://doi.org/10.1016/0167-4870\(95\)00031-6](https://doi.org/10.1016/0167-4870(95)00031-6)
- MGTC. (2019). *11TH MALAYSIA PLAN (RMK-11) ENERGY AUDIT CONDITIONAL GRANT FOR INDUSTRIAL SECTOR*.
- Ministry of Energy. (2011). *Thailand 20-Year Energy Efficiency Development Plan (2011–2030)*. 83. Retrieved from http://www.eppo.go.th/images/POLICY/ENG/EEDP_Eng.pdf
- OECD. (2016). *Green Investment Banks: Scaling up Private Investment in Low-carbon, Climate-resilient Infrastructure, Green Finance and Investment*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1787/9789264245129-en>
- Research Institute Network, E. (2016). *Energy efficiency policy update*. (March). Retrieved from http://www.eria.org/about_eria/ERIN_Policy_Recommendation_for_EE.pdf
- Retallack, S., Johnson, A., Brunert, J., Rasoulinezhad, E., Retallack, S., Johnson, A., & Brunert, J. (2018). *Energy Efficiency Finance Programs: Best Practices to Leverage Private Green Finance*.
- Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: A cointegration approach. *Energy*, 55, 813–822. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.038>
- Sachs, J. D., Woo, W. T., Yoshino, N., & Taghizadeh-Hesary, F. (2019). Importance of Green Finance for Achieving Sustainable Development Goals and Energy Security. *Handbook of Green Finance*, 3–12. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0227-5_13
- Shi, X. (2015). Energy Efficiencies in ASEAN Region. *Handbook of Clean Energy Systems*, (C1m), 1–19. <https://doi.org/10.1002/9781118991978.hces056>
- Sorrell, S. (2015). Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.002>
- Wang, X., Stern, R., Limaye, D., Mostert, W., Zhang, Y., Wang, X., ... Zhang, Y. (2013). Case Study: Thailand Energy Conservation (ENCON) Fund. *Unlocking Commercial Financing for Clean Energy in East Asia*, 219–226. https://doi.org/10.1596/9781464800207_ch15
- Zhang, D., Li, J., & Ji, Q. (2020). Does better access to credit help reduce energy intensity in China? Evidence from manufacturing firms. *Energy Policy*, 145(July), 111710. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111710>
- Zuoza, A., & Pilinkiene, V. (2018). Barriers of industrial energy efficiency. *The 15th International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI 2018)*, (May 2018). Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Andrius_Zuoza/publication/330359518_Barriers_of_industrial_energy_efficiency/links/5c3c5042299bf12be3c65ebc/Barriers-of-industrial-energy-efficiency.pdf

国際植物遺伝資源条約のMLSの改善 常設法律専門家部会の第4回会合

磯崎 博司

概要

ITPGR (国際植物遺伝資源条約) における近年の最重要課題はMLS (多国間制度) の改善であり、そのための作業部会が2013年から交渉を続けてきていた。その主要論点は、SMTA (定型素材移転契約) の改正により利益配分を義務化することおよび条約附属書 I の改正により対象遺伝資源を拡大することであった。その改正案には法的問題があるとの指摘が寄せられたため、SGLE (Standing Group of Legal Experts : 常設法律専門家部会) が2016年に設置され、2017年のGB 7 (第7回管理理事会) までに3回招集された。

MLS改善案はGB 7で採択される予定だったが、付属書改正に開発途上国が反対したため決定を延期して、GB 8 (2019年) に向けて会期間交渉が続けられていた。その間に、SGLEに対して8項目が諮問され、第4回会合 (SGLE 4) が開かれた。本稿は、諮問項目の概略とともにSGLE 4における審議状況とその法的見解を概観する。

Enhancement of the Functioning of the Multilateral System under ITPGR

The Fourth Meeting of the Standing Group of Legal Experts

Hiroji Isozaki

Abstract

One of the most important tasks of the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture is to enhance the functioning of the Multilateral System. For that purpose, the Working Group was established in 2016, aiming to submit a final report to the Governing Body Session 7 (2017). Its task was to prepare amendments to the Appendix I and to the Standard Material Transfer Agreement. Since some legal questions were raised regarding the draft proposals prepared by the Working Group, the Standing Group of Legal Experts (SGLE) was established in 2016, and was convened for three times to provide legal opinions to the Working Group.

However, as the Working Group could not finish its negotiations, the Governing Body Session 7 postponed the decision until its Session 8 (2019) and directed the Working Group to continue inter-sessional works. During the inter-sessional negotiation, SGLE also held the fourth meeting to provide legal opinions.

国際植物遺伝資源条約のMLSの改善 常設法律専門家部会の第4回会合

はじめに

ITPGR (国際植物遺伝資源条約) における近年の最重要課題はMLS (多国間制度) の改善であり、2013年から「取得と利益配分に関するMLS (多国間制度) の機能改善に関する特別作業部会」(以下、WGという) が交渉を続けてきていた。その主要論点は、SMTA (定型素材移転契約) の改正により利益配分を義務化することおよび条約附属書 I の改正により対象遺伝資源を拡大することであった¹⁾。両改正は2017年のGB 7 (第7回管理理事会：締約国会議に相当) で採択される予定だったが、附属書改正に開発途上国が反対したため決定を延期して、GB 8 (2019年) に向けて会期間交渉が続けられていた。

(1) MLS作業部会による検討

開発途上国は、2000年代半ばから、利益配分の支払いが行われていない状況を批判して、制度改革を求めていた。そのため、2013年のGB 5において、利益配分の拡充に向けて、WGが設置された²⁾。そこにおいて、開発途上国は、SMTAの改正 (活用されていない6.11条を強化した包括利用登録制度 (SS: Subscription System)³⁾ の導入、すべての利用に対する利益配分の支払いの義務化などを主張してきている⁴⁾。他方で、先進国・種苗業界は、MLSの対象PGRFA (食料農業用植

-
- 1) これらの改正交渉に関しては、磯崎博司「食料農業植物遺伝資源条約における制度改革と法的課題」柳原正治編『変転する国際社会と国際法の機能—内田久司先生追悼』信山社 (2018年) pp.183-208を参照。
 - 2) *Prt IV: Terms of Reference for the Ad Hoc Open-ended Working Group to Enhance the Functioning of the Multilateral System of Access and Benefit-sharing*, Resolution 2/2013, IT/GB-5/13/Report. WGは、2014年以降9回招集され (WG 1: 2014年5月、WG 2: 2014年12月、WG 3: 2015年6月、WG 4: 2015年10月、WG 5: 2016年7月、WG 6: 2017年3月、WG 7: 2017年10月、WG 8: 2018年10月、WG 9: 2019年6月)、また、交渉が難航した場合は会期を中断しての再開会合や会期間の非公式会合も開かれてきた。
 - 3) SS: Subscription Systemという用語について、SGLE 1は、諮問項目3に関連して、商業利用による利益配分の年間前払いが取得料金の支払いと混同され誤解を招く恐れがあるため、Subscription Systemという名称は適切ではないことを示唆した (IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3, p.5, foot note 3)。ただし、精算を伴う前払いは禁じられていないと判断した。Subscription Systemには「会員制度」や「会費制度」という意味があるため、その名称では12.3b条違反となるおそれがあるからである。あくまでも、利益配分は、生じた利益に基づくものであり、同条が禁止している「取得料金」の徴収になってはいけないという趣旨であり、誤解を招くSSという名称に懸念を示したのである。なお、日本語では、Subscription SystemまたはSSでは分かりにくいために「会員制度」や「会費制度」と翻訳されることが多いが、それでは英語の場合以上に誤解と条文違反に直結してしまうため、利用に基づかない「年会費」的な意味を持たないような訳語にする必要がある。本稿では、SSの内容面から、包括利用登録制度と称している。
 - 4) その主張の中には、本稿で指摘するように、SMTAの改正ではなくITPGRの改正によって行うべき事柄も多く含まれている。

物遺伝資源)を増やすために附属書 I の拡大改正を求めている。

ところが、それらの改正の内容や手法をめぐって法的疑義が指摘されたため⁵⁾、WG 5 (2016年7月)において、SMTA改正案に関する法的疑問について審議する SGLE (Standing Group of Legal Experts: 常設法律専門家部会)の設置が合意された⁶⁾。SGLEに対しては、これまでに4回に分けて合計21項目について諮問が行われた。そのうち、第3回会合まで(諮問項目1~13)は拙稿⁷⁾に記されているため、本稿では、第4回会合(SGLE 4)を取りあげる。

SGLE 4は、WGから後述のような8項目(14~21)が諮問されたのを受けて、2019年5月27~29日にローマのFAO(食糧農業機関)本部において招集・開催された。その当初の予定は、同時期に開かれたWG非公式協議会合との合同会合も含めて27~28の2日間であった。しかし、同協議会合の審議の遅れやSGLEにおける慎重な検討などのため、答申は予定より1日遅れて29日にWGに対して報告された。

(2) SGLE 4への諮問内容、検討の経緯、法的見解

SGLE 4への当初の諮問は5項目(14~18)であったが、会合直前に3項目(19~21)の追加が伝えられ、合計8項目について検討が行われた。以下では、諮問項目ごとに、その内容、検討の経緯、および法的見解について記すこととする。なお、その諮問および答申の正確な内容はSGLE 4報告書によって把握できるため⁸⁾、以下では諮問内容および法的見解については簡略化して記す。

項目 14

① 諮問内容の概略

ISF提案⁹⁾の「売上高」と「商業化」の定義をどう評価するか。「製品」を「PGRFA」に、また、「受領者、その関連会社、契約者、被許諾者、借入人の商業化による収入」を「第三者へのPGRFAの許諾および商業化から受領者および関連会社が受け取った収入」に置き換えることに、法的助言を求める。

② 検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

ISF案は現行SMTAの定義のすべての要素を含むか。同案は現行SMTA(6.7条・6.8条および附

5) IT/OWG-EFMLS-5/16/Inf.3

6) 世界6地域からの推薦に基づいて条約事務局によって任命された法律専門家7名(筆者を含む)から構成された。2016年11月14~15日に第1回会合、2017年2月14~15日に第2回会合、2017年10月17日に第3回会合(オンライン)、2019年に第4回会合が開催された。

7) 磯崎、前掲注1)、187~198頁、206~207頁。

8) SGLE 4: IT/OWG-EFMLS-9/19/Inf.4. なお、第3回会合までは、以下を参照。SGLE 1: IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3; SGLE 2: IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3 Add.1; SGLE 3: IT/OWG-EFMLS-8/18/Inf.5

9) ISF (2019), International Seed Federation: *Proposed definition of 'Sales' and 'To commercialize'* - 19 March 2019; ISF (2017), IT/OWG-EFMLS-8/18/Inf.6 *Submissions from Contracting Parties and Stakeholders on Matters to be discussed at the Eighth Meeting of the Working Group*, p.16.

属書2の関連規定、6.11条および附属書3の関連規定)の下の支払い義務のすべての要素を含むか。「被許諾者の売り上げ」から「受領者による許諾料の受け取り」への変更についてどう評価するか。「産品」を「売り上げ」または「商品化」の定義に含めることに法的必要性があるか。「素材」を「売り上げ」または「商品化」の定義に含めることに法的必要性があるか。そこではなく、利益配分規定(特に、6.7条・6.8条の代替案)に「素材」を含める必要はあるか。「PGRFAの利用の許諾」という用語は明確か、さらに明確化・詳細説明が必要か。諮問項目13に対するSGLE3の見解における定義案と比べて、この案をどう評価するか。

上記の最後の細目のように、この諮問項目は諮問項目13と深く関連している。そのため、諮問項目13に対する法的見解¹⁰⁾を想起し、それに基づいた検討が行われ(下記見解1・6)、ISF提案の不足分を明記した(見解2・3・5・6・7)。特に、現行の支払い方式には、個別にPGRFAの追跡が必要であるため、12.3b条違反の恐れが生じているという法的懸念(諮問項目3に対する見解3¹¹⁾および諮問項目13に対する見解2)を再確認した(下記見解1の後半)。なお、下記見解3に記載されている「契約者(被許諾者以外)」、「contractors (other than licensees)」とは、SGLE4の場では、リース契約者を意味しているとの認識で一致していた。また、本項目には次の項目15が関連することを確認して、両者を併せて検討が進められたため、そのことも指摘した(見解4)。

③法的見解の概略

1. 諮問項目13に対するSGLEの答申で示したように、「売上高」は受領者とその関連会社によるPGRFAの販売から得られる総収入と許諾による収入の両方を含む。受領者は、契約者、被許諾者および賃借人による売上高に対する監視と報告の義務を負わず、彼らから受け取った収入に対する料率のみが適用される。
2. ISFによる定義は、受領者の全収入を捕捉していない。
3. 受領者との契約者(被許諾者以外)および賃借人が受け取った収入は捕捉できない。受領者から被許諾者が受け取った収入の一部のみ、すなわち、被許諾者により生み出された収入の一定の割合である「許諾料」という形で捕捉される。
4. 売上高の定義は、「関連会社」の意味の共通理解と、許諾および許諾付与の概念の明確性とに左右される。
5. 上記3以外の収入を捕捉する方法は、許諾収入に加えて、SMTA下の素材の利用を承諾するその他の契約から生じる収入を含ませることである。
6. 「第三者へのPGRFAの許諾」という用語は解釈の問題を引き起こす可能性があるため、「許諾料」という形の収入を用いるよう提言する。
7. 「商業化」の定義提案における一般流通商品に関する適用除外については、「一般流通商品の販売も同様に含まれない」と読めるように「販売」という語句を加えて明確化すべきである。

10) IT/OWG-EFMLS-8/18/Inf.5, p.4; 磯崎、前掲注1)、207頁後半。

11) IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3, p.5; 磯崎、前掲注1)、197頁11~13行。

項目 15

① 諮問内容の概略

SMTA 改正案では、売上高の定義において「契約者」「被許諾者」「賃借人」が削除され、「受領者」と「関連会社」だけが残るかもしれない。一般に受け入れられている「関連会社」の定義は何か。かかる定義がない場合には、SMTA において「関連会社」はどのような意味を持つか。

② 検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

契約法、競争法、商法などにおける「関連会社」という用語の典型的な用法はどうなっているか。そのことは SMTA にどのように当てはめられるか。「関連会社」の定義に用いられる基準（所有、管理、最小割り当てなど）は何か。そのことは SMTA にどのように関わるか。SMTA と類似の契約における「関連会社」の通常用例を示せるか。

上記の細目を検討した上で、関係国内法令における共通概念は大枠でしか示されていないこと¹²⁾、国際的な定義は存在しないことが確認された。共通の基準を探るために、それ以上の明確化や詳細化の必要がないことを確認し、次のような見解をまとめた。その見解 3 は、諮問項目 14 の見解 4 に対応している。

③ 法的見解の概略

1. 「関連会社」に関する合意された国際的な定義はないが、契約、会社、税に関する法律の中では一般的に使用されており、また、UNIDROIT（国際商事契約原則）も触れているものの、定義はしていない。
2. 「関連会社」の定義として通常使用される基準は、所有を含む様々な手段で達成される支配という概念を含むが、法域ごとに異なっている。
3. 「関連会社」という用語は、SMTA に定められている権利行使と義務履行（例えば別の SMTA に署名する必要はないこと）が認められた受領事業者の範囲の特定に関して使われる。

項目 16

① 諮問内容の概略

包括利用登録契約に基づいて包括利用登録者が MLS から PGRFA を正当に受領することを確保するために、SMTA 改正案においてどのような権利と保証が規定できるか。包括利用登録者が提供者から MLS の PGRFA を包括利用登録契約の条件どおりには受領できない場合、どのような救済措置が可能か。

② 検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

SMTA 改正案の下の MLS の対象範囲の PGRFA を容易に取得する権利を、包括利用登録者は有

12) 一般的な定義としては、affiliate（関係会社；関連会社）とは、株式の所有またはその他の方法によって、他の会社を直接もしくは間接に支配する会社、または他の会社に直接もしくは間接に支配される会社、または、他の会社と共通の支配下におかれた会社のこととされている。

しているか。その場合、それに対応する容易な取得を提供する義務は誰が負い、また、その権利は誰に対して行使できるのか。SMTA改正案にはそのような行使可能な権利がない場合は、ほかにどのような権利や保証を規定できるか。MLSから包括利用登録契約の対象PGRFAを当該登録者が受け取れないときに、どのような救済を規定できるか。

上記の細目を検討した上で、諮問項目の背景として、SMTA（契約）とITPGR（国際法・条約）とが混同されているのではないかと懸念が示され、それを念頭に下記のような見解をまとめた。まず、SMTAは事例ごとの個別契約であり、将来の素材移転に関するものではないことを指摘し（見解1）、契約（SMTA）と条約（ITPGR）の法的位置づけと役割の区別、また、それぞれの下の権利義務の区別を明示した（見解2）。また、債務不履行に対する通常に対応措置（契約破棄や損害賠償など）が現行SMTAには記されていないため、それらの措置と発動条件を明記すべきことを提起した（見解3）。

③法的見解の概略

1. SMTAは、それにより移転された素材に関する権利義務を定めており、MLSからの将来の素材の取得に関するいかなる権利や保証も与えない。
2. 将来の取得の拒否に関して包括利用登録者が利用できる救済措置は、締約国の法的管轄下における法人・自然人としての地位に由来する措置のみであり、SMTAの当事者であることに由来するものではない。登録者は、締約国である自国政府に対して、ITPGRの下の義務の違反に対する遵守手続きを開始するよう要請することができる。
3. その他の救済措置としては、包括利用登録契約からの脱退または低減された登録費の支払のような登録者の権利を含む、救済選択肢をSMTAに規定することが挙げられる。それには、当該選択肢を使うための条件と手続きを設定する必要がある。

項目 17

①諮問内容の概略

SMTA改正案には、包括利用登録者が当該登録契約の条件の「重大な違反」をした場合には、GBが当該契約を終了させる権利を有するという規定（附属書3、4.5条）が含まれている。この「重大な違反」はどのように構成されるのか。GBが、包括利用登録契約を終了させる権利は有していないが、当該契約の条件の下でMLSの対象のPGRFAを取得するという登録者の権利を終了させる権利を有する場合は、どう考えるのか。国際法上、政治的機関が、私人間の契約の「重大な違反」の成立に基づいて、当該契約に定められている権利を終了させる決定を行う権利を与えられている例はあるか。

②検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

「重大な違反」という用語の契約法または商法における通常の用法はどうなっているか。そのことはSMTA改正案にどのように当てはめられるか。一方当事者による義務の違反または不履行が重大な違反を構成するか否かを決めるために、どのような基準が一般的に用いられているか。それらの基準はSMTA改正案にどのように当てはめられるか。附属書3の4.5条で予見されているものと類似の事態における「重大な違反」の通常用いられている説明例を示せるか。重大な違反

の概念が国際公法において適用されている用例を示せるか。「GB」を「第三者利益者」に置き換えると、評価は変わるか。

上記の細目のうち、まず、国際法上の先例について検討した。下記③の見解2では先例は見つからないと記してあるが、実は、この件に関しては検討を繰り返した。先例の参考としては、UNIDROIT 7.3.1条、条約法条約60条、インテルサット協定16条、インマルサット協定30条、深海底機構規則（概要調査・探査規則、附属書Ⅳ、21条）が示された。

そのうち、後4者は、同一用語の先例、および、条約機関が、その制度の下の契約当事者（私人）に対して当該契約に基づく資格の停止または当該契約の終了という権限を行使する先例として、筆者が指摘したものである。併せて、筆者は、次のような背景分析を示した。

条約法条約は国家間の事柄を定めており、60条の規定は主権国家として両当事者は同等の地位であることを前提にしている。これに対して、SMTA改正案（包括利用登録契約）の場合は、一方当事者は、国際条約によって設立された法制度の管理管轄組織の機関（理事会などの執行機関）であるが、他方当事者（登録者：Subscriber）は、国際法上の資格を有さない私人（企業・研究機関）である。前者の場合、当該機関（理事会など）は、契約当事者としての（両当事者に平等な）権利義務（ア）に加えて、法制度の適切な運用のための権利義務（イ）を有している。（ア）の場合は、通常、契約違反の際に他方当事者が有する請求権などと同様である。（イ）の場合、当該機関は、他方当事者である私人による契約違反に対して、その契約の基である法制度を管理するために必要な処分（終了など）を決定することができる。なお、同様の管理のための権限は、現行SMTAにおいても第三者受益者であるFAOに対して付与されている（8条）。

以上を受けた議論の過程で、まず、「重大な違反」という用語の観点では、同一の用語が確かに条約法条約60条で用いられているものの、その基準（3項）が明確でないとして検討対象から外された。次に、同一の用語ではないが「重大な不履行」という類似の用語が用いられているUNIDROIT 7.3.1条は先例として重要であることが合意された。その次に、後3者について、それらの条約機関がその制度の下の契約当事者（私人）に対して終了などの権限を行使する事例を検討した。

筆者は、それらは、「重大な違反」という用語は使っていないが、UNIDROITと同様の基準に基づき、契約または資格の停止のための手続きについて定めていることを示した。また、その点で、それらは法人格のある国際組織またはその機関によって私人との契約が行われており、SMTA改正案との関わりでは最適な先例であると指摘し、その方向で議論が進んだ。その上で、筆者は、それらでは、共通して、上記の実質的な権限とそれのための必要な手続きは、それぞれの契約文書ではなく、上位文書である条約それ自体に定められていること、現行のITPGRにはGBの終了権限は明記されていないこと、したがって、終了権限の設定は、SMTAの改正によってではなくITPGRの改正によって実現しなければならないことを指摘した。下位文書（しかも契約）によって上位文書（しかも条約）を変えることはできないためである。

しかし、筆者の後半の指摘を聞いて、開発途上国委員から厳格性（条約改正の必要）を嫌う意見が出された。併せて、根拠規定が条約それ自体に定められている事例を国際法上の先例として明示することにも難色が示された。最終的に、多くの開発途上国委員の意見に従い、下記のように、UNIDROITの基準が参考として有用であること（見解1）、国際法上の先例の存否については明言せず、また、論点であるSMTA改正案の包括利用登録契約（条約機関と私人との間の契約）につい

てではなく、本諮問項目の最後の質問で用いられている「私人間の契約」（現行SMTAと同様）の例は「見つからない」と記すこと（見解2）、終了させる権限についてはGBの一般権限とその契約当事者権限により説明すること（見解4）、第三者受益者の権限についても触れること（見解3）、契約の両当事者にとって平等な権利義務となるよう図るべきと追記すること（見解5）で合意した。

なお、WG非公式協議会合において、見解5との関わりで、提供者との均衡について質問があり、個々の提供者との関係ではなく、MLSという制度として問題になる時にだけGBが発動する権利と登録者の権利との均衡についてである旨の回答があった。

③法の見解の概略

1. SMTAの下で適用可能な法源とされるUNIDROIT 7.3.1条の「重大な不履行」は、それと同一概念である「重大な違反」に関わる。UNIDROIT 7.3.1条に定める「重大な不履行」の判断基準は次のとおりである¹³⁾。
 - (a) その不履行が、当該契約のもとで債権者が当然に期待することができたものを実質的に奪うことになるか否か。ただし、債務者が、そのような結果を予見せず、かつ、合理的に予見することができなかつたときはこの限りではない。
 - (b) その債務の厳格な履行が、当該契約のもとで、不可欠な要素であったか否か。
 - (c) その不履行が、意図的または無謀なものであったか否か。
 - (d) その不履行が、債権者に、債務者の将来の履行はあてにできないと信ずる根拠を与えているか否か。
 - (e) 契約が解除されたときに、債務者が、準備や履行のための行為を行ったことにより過剰な損失を被ることになるか否か。
2. 国際法上、政治的機関が、私人間の契約の「重大な違反」を認定し、契約に定める権利の終了に至る決定を行う権利を与えられている例は見つからない。
3. SMTA 8条に基づいて、第三者受益者は紛争解決手続きを開始する権利を有しており、その結果がSMTAの終了を含む場合もある。
4. GBは、登録者の包括利用登録契約を終了させる法的権利を有している。そのことは、条約に基づいてMLSを管理し、利益配分支払のレベルおよび方法を含むSMTAの条件を定める明確な権限をGBが有しているからであり、それは包括利用登録制度を管理する権限を含む。GBに代理する第三者受益者に、包括利用登録契約の条件の不履行の場合に当該契約を終了する権利を与えることもできる。ただし、登録希望者には、その登録にあたって、包括利用登録契約の終了の条件を含む包括利用登録制度の条件が提示されるべきであり、また、その条件の受諾が確認されるべきである。GBおよび第三者受益者には、条約に基づくGBの権限、および、登録者による包括利用登録制度の条件の受諾の組み合わせにより、包括利用登録契約を終了する権限の十分な法的根拠が与えられている。
5. 契約においては、通常、権利と義務は均衡するので、重大な不履行のために包括利用登録契約

13) UNIDROIT 7.3.1条は以下より引用した。『UNIDROIT 国際商事契約原則 2010』

<https://www.unidroit.org/english/principles/contracts/principles2010/translations/blackletter2010-japanese.pdf>
(最終訪問日：2020年11月25日)。

を終了する権利がGBに与えられるならば、同等の権利が登録者にも与えられることを検討すべきである。

項目 18

① 諮問内容の概略

「生息域外保管施設に入れられているもの」のような字句を追加することにより、附属書I作物リストの拡大を生息域外のPGRFAに限定することは、MLSに関する規定(12.3h条を含む10~13条)と両立するか。このような改正により、現在の食用作物リストに含まれるものの除外と同じになるか。そうであれば、どのような結果になるか。附属書I改正に関して、11.1条の「食糧安全保障および相互依存関係の基準に従って作成される」という規定をどう考えるか。

② 検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

MLSの範囲と対象を決める基準は何か。それらの基準のどれが附属書の拡大に関わるか。その範囲拡大を生息域外のPGRFAに限定することは、これらの基準に合致するか。特に、そう限定することは12.3h条と両立するか。附属書Iに含まれる作物リストをすべてのPGRFA(ただし、現行の食用作物リストの備考欄に含まれている除外記述を用いて、生息域外のPGRFAに限る)に拡大する修正の影響は何か。11.1条は、附属書Iの作物リストは「食糧安全保障および相互依存関係に基づいて作成」されたと定めているが、この規定の法的意味は何か。その意味は、附属書Iのリストの拡大に関する現行論議にどのように関係するか。

上記の細目を検討し、まず、生息域外に限定することについて、参考資料として「MLSおよびSMTAに関する特別技術諮問委員会」の報告書¹⁴⁾を検証し、生息域内が含まれるべきこと(見解1)、また、附属書Iに掲載された作物を生息域外に限定することは12.3h条に反し、ITPGRの改正を要すること(見解2第1文)を確認した。次に、生息域外に限定して附属書Iを拡大・改正することは12.3h条と矛盾するものの、GBの裁量の範囲内であること、ただし、ITPGRの改正を要することが確認された(見解2第2・3文)。関連して、諮問項目8の見解1(附属書IをすべてのPGRFAに拡大する場合は11.1条に示されている掲載基準である「食糧安全保障および相互依存関係性」との整合性が問題となる)¹⁵⁾、および、諮問項目12の見解1(11.1条との整合性のためには法的には24条の改正が望ましい)¹⁶⁾を想起して、附属書の改正方法とそれに必要な条文改正について検討するとともに(見解2)、11.1条の役割を再確認した(見解3)。見解3では繰り返していないが、附属書Iの拡大・改正の方法によっては11.1条ほかの条文改正が必要になることは、諮問項目8の見解1に述べられていた。

なお、WG非公式協議会合では、下記の見解1に関して、12.3h条のGBによる手続基準は何かとの質問があり、GBがこれから決めることであるとの回答があった。また、3条と12.3h条はど

14) Opinion 5: In-situ Material and the Multilateral System: standards for access, FAO, *Opinions and advice of the Ad Hoc Technical Advisory Committee on the Multilateral System and the Standard Material Transfer Agreement*, 2015 (ISBN 978-92-5-108760-2), p.22.

15) IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3 Add.1, p.4; 磯崎、前掲注1)、198頁第1段落。

16) IT/OWG-EFMLS-8/18/Inf.5, p.3; 磯崎、前掲注1)、206~207頁。

う関係するかとの質問には、条約とGBの権限によるが、12.3h条の適用されないリストを作成することもできると回答された。12.3h条は主権的権利の存在を記しているだけだからである。見解2について、採捕行為だからなのかとの質問にはそうではないと回答された。

③法的見解の概略

1. 「MLSおよびSMTAに関する特別技術諮問委員会」の見解5によれば、公共領域にあって管理監督の基準に合致するPGRFAは、生息域外でも生息域内でもMLSの対象である。12.3hは、締約国が、生息域内で発見されたPGRFAの収集を含む取得方法を、国内法を通じて規制する権限を有することを意味している。
2. 附属書Iに掲載されている作物を生息域外保管施設の素材に限定することは、12.3h条と不整合であり、条約改正が必要である。他方で、附属書Iの拡大または新たなリストの作成によって、限定的に新たな作物を追加することは、原則として12.3h条と不整合であるもののGBの裁量権の行使とみなすことができる。いずれにせよ、このような既存のリストへの追加または新たなリストの作成は、条約改正に該当し、条約23条と24条の下の改正手続きを必要とする。
3. 「食糧安全保障および相互依存関係」という基準は、附属書Iのリストが作成されたときの基礎であったが、それにとどまらず、リストの解釈、また特に、リストの将来の改正の際の検討において法的重要性を有する。それは、将来の改正の判断基準およびリストへの将来の追加が実現されるための根拠を提示している。それらの基準を満たしているかどうかの決定はGBに委ねられている。

項目 19

①諮問内容の概略

拡大MLSと新(改正)SMTAに移行する最善の方法に関して、移行期間中(GBが新SMTAを採択したときと、新SMTAのみが使用されるときとの間)に起こり得る様々な問題や想定結果に関して法的助言を求める。

現行(旧)SMTAにより受領したPGRFAを、GBによる新SMTAの採択後に移転するときには、どちらの版のSMTAを使用しなければならないか。新SMTAは、特定の成立条件付で、GBが暫定的に採択することはできるか。すなわち、GBは、一定期間内に特定の要件が満たされた後に発効する条件で、新SMTAを採択することができるか。

②検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

この項目の検討には、どの原則(たとえば、制度の単純性と明確性、履行の約束など)が関わるか。新(改正)SMTAはいつ発効するか。同時に二つの版のSMTAが使われることは法的に可能か。後続の受領者はどちらの版のSMTAの使用を義務づけられるか。どのようにして、後続の受領者は、任意で、素材を新SMTAの下で受け取ることができるか。特定の条件が成立したときに旧(現)SMTAまたはその一部の規定が新SMTAに置き換わるようにするためには、新SMTAにおける当該条件の策定にはどんな要件が記されるべきか。

さて、本件は、新SMTAの発効とその後の無効に対して、停止条件(権利義務の効力を将来において発生させるための条件)および解除条件(権利義務の効力を将来において消滅させるため

の条件)を組み合わせて設定することについてである。SGLE 4でもその前提の下に議論と検討が進められた。発効に停止条件を付けることは珍しくないため、新SMTAの発効に停止条件を付けること自体に異論はなかった。また、そのような決定権限がGBに付与されていることにも、異論はなかった(見解2第1文)。

他方で、改正議定書が特定期間内に発効しないときは効力を失うという解除条件付きで新SMTAを暫定発効させること(その期間内に議定書が発効しないときは新SMTAは、正式発効しない=暫定効力を失う)については、法的および現実的観点からは支持できないという意見が多かった。特に、暫定発効してからその効力停止までの期間に行われた取引に関わる権利義務の関係が複雑になること、第三者への影響が避けられないことなどから、契約(新SMTA)に基づく権利義務の安定性が確保できなくなるという懸念が強く出された。そのため、否定的な字句の支持も少なくなかったが、最終的には、少し弱めて「推奨できない」との記述に留めた(見解2第2文)。

その上で、あえて暫定適用が採用されて無効条件が成立した場合は、暫定発効日に遡って無効にするのではなく、暫定期間に発生したすべての権利義務についてそれらの一定期間の存続保証などをもれなく詳細かつ具体的に、新SMTAの中に明記すべきであるとの結論に至った。それらに該当する主要な権利義務の洗い出しとそれぞれについてどのような存続保証が適切であるかの検討も行われた。しかし、今会期の中では網羅的な検討は困難であるため、また、暫定期間の長さによっても保証度合いは変わるため、どのような権利義務が想定されるかについては提示しないこととされた。ただし、非推奨の念押しとして、法的安定性の確保に関する上述の結論部分を記すこととされた(見解2第3・4文)。このように困難なことを求める追記によって、上記のような暫定適用は「適切ではない」ということを表そうとしたのである。

再移転の際に新旧どちらのSMTAを使うべきかについては、法的・契約的安定性の観点からの一般原則を再確認するとともに(見解3)、同様の観点から、将来のSMTA改正に関する手続きを明記しておく必要がある(見解4)と判断した。

ところで、本項目の背景事情としては、これまでに締結された個々のSMTAはその下の活動が行われる限り継続することがある。開発途上国委員の中からは、契約の有効期間は契約法上一般的に制限されているのではないかと、一般的に新契約が締結されたら旧契約は終了するため、SMTAでも同じになるのではないかなど意見も出されたが、いずれもそうはならないことが確認された。また、今後の対策として、たとえば、新SMTAにおいて有効期間を定めることは可能であるが、それは新SMTAについてであって旧SMTAには適用されないこと、また、たとえ、ITPGRで定めるとしてもやはり遡及させることはできないことが確認された。その論議の過程では、すでに諮問項目8において、附属書または条約の改正の効果について検討したこと、その不遡及および異なる版の条約の併存が確認されていたこと(諮問項目8見解2)を¹⁷⁾、筆者を含め何人かの委員が指摘した。

その他の関連で、一方で、先発利用者にとっては旧SMTAは有利であるが、他方で、後発利用者にとっては新SMTAの暫定発効は不利であること、その場合、後発利用者に当たる多くの開発途上国の種苗業者にとっては、新SMTAはかえって不利になると思われるため、先発者と後発者

17) IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3 Add.1, p.4.

との間の平等確保という観点の重要性を、筆者は指摘した。

なお、WG非公式協議会合において、旧SMTAが継続すると二重で複雑ではないかとの質問が出され、その通りとの回答があった。

③法的見解の概略

1. 明確さ、簡潔さ、法的安定性が必要である。
2. GBは、新(改正)SMTAを採択することができ、成就したときに同SMTAが発効する一定の条件を定めることができる。他方、一定の条件が成就したら無効化する条件で、新SMTAを採択し、暫定的に使用することは、法的には可能であるが、法的安定性がないので、法的および現実的観点からは推奨できない。WGが暫定適用を望むのであれば、新SMTAが無効になったときに、すでに新SMTAに基づき発生している権利義務に関する法的安定性を提供する必要がある(一定の期間、権利が存続する等)。それらは全てSMTAに明記する必要がある。
3. 旧SMTAに基づいて受領していない素材の移転には、新SMTAを使用すべきである。旧SMTAに基づいて受領した素材の移転には、基本的に旧SMTAを使用すべきである。ただし、両当事者が合意する場合(包括利用登録制度を活用したい場合)には、新SMTAを使用できることとすべきである。
4. 新SMTAには、その将来の改正方法に関する規定を入れることが望ましい。

項目20

①諮問内容の概略

SMTA改正案には、強制力に関して、6.1条、6.2条違反の場合の救済措置が含まれている。6.2条違反の法的帰結はどうか、その法的救済は可能か。

②検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

SMTAの準拠法を考慮すると、受領者によるSMTAの下の義務の不履行の法的帰結は何か。どのような法的救済が使えるか。損害をどのように算定するか。MLSから受け取ったPGRFAの利用に基づいて受領者が特許を取得した場合は、あるとすれば、どの種類の損害が想定されるか。このような違反の際に損害賠償請求を成立させる根拠として、何が求められるか。6.1条・6.2条に定められている義務の違反には、どのような特別な考慮および結果が想定されるか。SMTA改正案の6.2条に定められている義務の違反には、どの種類の結果および救済が想定されるか。その結果および救済は、知的財産法の一般原則に即して適用するためには、どのように定義されるか。SMTA改正案の6.1bis条と6.2bis条の再修正について、8条と準拠法を考慮するとどのような字句を提言できるか。

上記の細目を検討した上で、MLSの下の提供者は提供後の受領者の債務不履行やSMTAの下の自身の権利保障に消極的であり、そのような事態に備えて第三者受益者(FAO)が置かれていること¹⁸⁾が再確認された(見解1)。それに基づいて、MLSそれ自体に悪影響を与えるような

18) 提供者が提供後の動向把握に消極的であり、その代わりに第三者受益者が行動することは、諮問項目9に対する答申の見解8の検討段階でもSGLEにおいて共有されていた。IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3 Add.1, pp.6-7. 磯崎、前掲注1)、198頁第3段落。

債務不履行に対する適切な維持管理の観点から必要とされる措置が検討された。複数の委員が、SMTAをめぐる紛争解決は仲裁のみに委ねられており(8.4条)、通常、仲裁の目的に含まれている損害賠償は、受領者による契約違反行為に対する有効な制裁(制度にとっては救済)措置になることを指摘した(見解2)。なお、SMTA改正案と同様に、その論議の過程でも、そのような契約違反については通常は国内裁判で解決されていることが指摘されたため、国内裁判所を活用するためには8.4条の修正が必要なが再確認された(見解3)。本題であるSMTAによって法的救済を定めることについては、金銭罰のような制裁的措置とその強制執行のためには、GBが当該権限を有していることがITPGRに明文で規定されていなければならない、GBの一般的権限から導くことはできないこと、また、国内裁判基準や国内での管轄裁判所の特定を契約(SMTA)で定めることはできないことが確認された。それを受けて、下位文書(しかも契約)によって、本来上位文書(条約または国内法)が特定すべき事柄を決めることはできないことを再確認した(見解4)。

WG非公式協議会合において、下記の見解1の対応では不十分であるものの、SMTAに書くことも難しいとのコメントが出された。また、6.2条違反となる知財権の出願・登録に関する質問に対して、そのような出願はITPGR違反でもあり、また、各国の知財関連法の下での取消訴訟によって解決されてきている例もあるとの回答が行われた。

③法的見解の概略

1. 提供者が行動しないとき、第三者受益者(FAO)はIPR(知的財産権)の取得またはその保有と効力について異議を申し立てることができる。
2. 別の救済方法は、SMTAに損害賠償規定を置くことである。損害賠償額の妥当性は、仲裁審査の対象となる。
3. 法的救済措置は、すべてSMTA 8条の下に入る。当然、6.2条違反を含む契約違反も対象とする。なお、国内裁判所を含めるには8.4条の修正が必要である。
4. 契約によって、裁判または仲裁の使用する証拠の基準、および、管轄裁判所のレベルを特定することはできない。

項目 21

①諮問内容の概略

SMTA改正案の利益配分規定において、BSF(利益配分基金)の資金をその発生元である締約国事業に排他的または優先的に使用を認めることが提案されている。これは法的問題ではなく、GBが決定すべき政治的問題だと思われるが、一般的な法的見解を求める。

②検討の経緯

この項目については、次の細目を手がかりとして検討が進められた。

MLS内のPGRFAの利用から生じる金銭的利益配分についてITPGRは一般的にどう対応しているか。BSFからの分配は、現在、どの法的根拠に基づいてどのように規制されているか。BSFからの分配のためにITPGRまたはGBによって定められた基準は何か。MLSの下で取得されたPGRFAの提供国へのBSFからの還流を支持するような規定や基準はITPGRに置かれているか。MLSの下でのPGRFAから生じた収入の優先分配という概念は、ITPGRに適合するか。その概念に

反するかまたは適合しない規定がITPGRにあるか。優先分配概念の提案がITPGR規定に適合する場合は、SMTA改正案およびそのほかにおいて、どこでどのように規制するのか。

上記の細目を検討した上で、前の諮問項目20と同様に、上記提案には法的根拠がないことを明記するとともに（見解1）、下位文書（しかも契約）によって上位文書（しかも条約）を変えることはできないことも明記した（見解2）。

③ 法的見解の概略

1. そのような特別枠についてITPGRには法的根拠がなく、優先使用の問題はGBが決定すべき事柄（19条、13.3条）である。
2. 私人間の契約にそのような条項を含めることは、法的に適當でない。

(3) その後のWG交渉

① GB 8におけるWG交渉の結果

冒頭で触れたように、GB 7においてMLSの機能改善に関する決定が延期され、会期間交渉の継続が決まった後、WGは、2018年の後半以降集中的に作業を進め、準備会合や非公式会合を含めて交渉を続けてきていた。SGLE 4からの答申を受けた後、2019年6月にWG 9が開かれたが、その会期中に交渉を終えられなかった。10月下旬に再開会合が開かれたものの、11月11日からのGB 8までには合意できなかった。そのため、GB 8において特別交渉会合が設置されたが、新SMTAの支払い料率およびDSI（塩基配列情報）の取扱いをめぐる調整作業は難航した。最終日に示された議長の統合案には、DSIの定義（WHOと同じ）が盛り込まれたが、その取得と利益配分との結びつけが明記されなかったため開発途上国が合意しなかった。他方で、取得は制限しつつ、一般的にDSI利用に課金することを意味するような文案に近づいたため、先進国が合意しなかった。

そのため、最終的に交渉決裂となり、GB 8報告書には次のような結論が記された¹⁹⁾。

WGの報告書²⁰⁾を検討したが、この会期においてはMLSの機能改善措置に合意できなかった。MLS改善のための今後の作業に向けて次に何をするかを精査し評価する必要がある。次の2年間にはMLS改善のための公式の会期間検討会合は開かれないが、GBは、締約国間の非公式協議および、特に、異なる分野や利害当事者の間での国内協議を推奨する。今後の作業に向けて、CBD（生物多様性条約）における関連論争の結果を考慮する必要があるため、GB 9においてMLS改善のための作業をどのように前に進めるか検討するよう求める締約国もある。また、前に進むための最善の方法の検討を示唆する締約国もある。条約改正に関するスイス提案²¹⁾に関し、スイス政府は、その提案を再確認しGB 9においても議題とするよう求めた。

② WG交渉の法的考察

MLSとSMTAの改善に関するこれまでのWGの論議と交渉は、全体として、法的には網渡り的な対応が目立つ。実際、条約に反するかまたは条約には定められていない事柄について、本来は

19) IT/GB-8/19/Report, p.7~8, paras. 30~35.

20) IT/GB-8/19/8.2 Rev.1

21) IT/GB-8/19/8.3

必要とされる条約改正という法的な手続きを回避して、行政的な手続き²²⁾(附属書もしくはその注意書きの改正)または契約の変更手続き(包括利用登録制度の導入もしくはSMTAの改正)によって、条約制度の変更の実現を図るという手法がとられている。

そのような事柄を含む提案や手法に関する諮問項目としては、1、3、8、12、17、18、20および21を挙げることができる。そのうち、諮問項目1と17に対するSGLE答申は、法手続きを回避する改正手法を条件付きで認めた。

具体的には、諮問項目1に対しては、すべての利用に利益配分支払いを義務づける必要についてGBは「評価する」という規定(13.2.d(ii)条)について、類似内容の11.4条にはGBは「評価し、…決定する」と明記されているにも拘わらず、それは「意図せざる欠落」であり、また「交渉時の共通認識」から、13.2.d(ii)条の「評価する」には「決定する」権限が黙示的に含まれているという新しい解釈が提示され²³⁾、SMTAの改正だけで足りるとされた。また、諮問項目17に対しては、「私人間の契約」(現行SMTA)についての先例は見つからないとして、条約機関と私人との契約(包括利用登録契約と同様)を含む既存条約の方式(私人契約者による不履行に対する契約終了措置を条約が定める)を参照せず、ITPGRに明文規定がなくても、GBが有している一般的な管理権限(条約制度やMLSを管理し、SMTAやその条件を定めること)と契約当事者としての権限およびGBの代理である第三者受益者に与えられる権限の中にそのような契約終了措置は含まれていると考えられるので、SMTA改正案に記すだけで足りるとされた。

他方で、その他の諮問項目については、SGLE答申は抑制的であり、項目3に対しては、包括利用登録契約が年会費払いのときには12.3b条に反するため、同条の改正が必要になることを指摘し、会費制と紛らわしい名称は適切でないとして注記した。項目8、12、18に対しては、附属書の一部拡大または変更であっても、11.1条または24条などの改正が必要になることを指摘した。特に、項目20(国内裁判所との関わりについて)と項目21に対しては、本来条約が定めるべき内容をSMTA(契約)で定めることはできないと明言した。

もちろんGBやその他の下部機関は主権国家によって構成されるため、新たな法律合意も可能ではある。ITPGRにおいても、必要であれば、本来の法手続きを回避して条約制度の改善を進めることができる。さらに、背景事情として、他の条約と同様にITPGRも微妙な均衡の上に成り立っており、条約改正の扉が一つでも開かれれば、他の条項に対する改正要求が続出することが懸念されている。その懸念は諮問項目8の後半に示されており、それに対するSGLE答申は、23.1条の下での改正提案権を制約することはできないと述べていた(見解3)²⁴⁾。パンドラの箱を開けないためにも、ITPGRにおいては、できる限り条約改正を回避してSMTAの改正で済むような手法を探ることが至上命題とされていたのであり、WGとSGLEも、その下に置かれていた。

しかしながら、そうであっても、回避手法の正当性のために国際法上必要とされる理由付けと手続きは、WGにおいて主導的な国家および関係者の間で認識共有されるだけでは適切ではな

22) 本来の法手続きを回避して行政的手続きがとられている状況については、以下を参照。磯崎博司「環境条約の下の関連指針の法的効力と国内援用」上智大学『地球環境学』12号(2017年)1~16頁

(<http://digital-archives.sophia.ac.jp/repository/view/repository/20170721001>)(最終訪問日:2020年11月25日)。

23) 磯崎、前掲注1)、194~196頁。

24) IT/OWG-EFMLS-6/17/Inf.3 Add.1, p.4.

い。実際、事情変更、事後の合意、意図せざる欠落、採択時の共通認識、機能不全を防ぐ解釈の必要、黙示的に含まれている権限、法的確信に基づく新たな合意など、様々な理由付けが主張されていた。特に、諮問項目1と17については、すべての締約国が、これらの例外的な措置の積み重ねで網渡り的な交渉が進められていたことを認識し、正確にその法的意味を理解した上で交渉に参加していたかどうか疑問が残る。

ただし、重要なことは、現実には直前で決裂し、そのような前提での審議や決定そのものが行われなかったため、諮問項目1および17に対するSGLEによる新たな解釈に対する、事後的合意または新たな権限の創設への法的確信に基づく合意は成立しなかったということである²⁵⁾。しかし、今後も様々な条約体制において類似の回避手法が必要とされる機会は少なくないと思われるため、それに備えて、ITPGRにおける今回の事例を教訓として役立てる必要がある。

おわりに

ITPGRにおいてMLS改善交渉が全面決裂となった背景には、近年、開発途上国が様々な国際交渉の場面において、DSIの利用に利益配分を義務づけるよう主張してきていることがある。

CBDにおいては、その取扱いは、条約対象である遺伝資源の定義にはDSIのような情報は含まれていないとする先進国と、情報利用に利益配分を義務づけようとする開発途上国との間で最大の対立議題となっている。CBDにおける交渉との関連もあって、ITPGR GB 8の場で開発途上国は、DSIの取扱いについて強い主張を続けたのである。WG 9報告に対するGB 8の結論に(上記(3)①後半)「CBDにおける関連論争の結果を考慮する必要がある」と記されていることから、開発途上国はCBDのCOP 15(第15回締約国会議:2021年5月、中国・昆明)において、ITPGRへの足がかりとなるような結果を得るべく、DSI利用課金の主張を強めるものと思われる。また、遺伝資源という点では、BBNJ(公海・深海底における生物多様性)に関する新協定の交渉会議も同様の状況にある。

いずれにせよ、2021年には、CBD COPとITPGR GB 9が開かれ、それぞれの場でDSIに関する論議が繰り返されることは確かである。また、間際に短時間で集中的な交渉が行われることも多いため、本稿で取り上げたように、現行条約の基本規定の正確な把握、制度変更の場合の条約改正手続きの確認、そして、同手続きを回避する手法の場合はその必要性・正当性に対する慎重な判断に基づいた対応ができるように、広い視野から分析・検討を進めておく必要がある。

最近、開発途上国が主張するDSI課金の対象は、利用者が取得した遺伝資源のDSIに限られず、公共領域にあるかまたは公開されているものも含めてDSIそれ自体の利用に広げられてきている。元の遺伝資源の取得とは切り離され、CBDの範囲内にとどまらず、無体物である情報について、その利用と利益配分を管理するという手法が主張されているのである。その意味で、CBD以外の、医薬、育種、科学、学術、知財権、貿易、データベース、また、情報管理などの分野に関わるにも拘わらず、それらの分野の固有の事情や既存制度とのすり合わせなしに、CBDの観点からの取得規制と利用課金が求められている。このような広い範囲を対象にする主張に対しては、関連分野の既存規則との相互調整を図りつつ実施可能な制度枠組みを探ることが必要であろう。

25) 磯崎、前掲注1)、196頁16~24行。

プリンタの環境属性に対する消費者の選好 —ベスト・ワースト・スケーリングによる評価—

加藤 修一^{*}・中野 牧子^{**}・柘植 隆宏^{***}

要旨

モノクロレーザプリンタの環境属性に対する消費者の選好を調査した。国内の消費者を対象としたインターネット調査を実施し、「価格」、「印刷速度」、「印刷品質」、「消費電力」、「両面印刷機能」、「環境ラベルの付与」、「バイオマスプラスチックの使用」の7つの属性の相対的な重要性をベスト・ワースト・スケーリング (BWS) により評価した。全サンプルによる集計、及び、性別、年齢、世帯年収別の集計を行った結果、消費者が最も重要と評価しているのは「価格」と「印刷品質」であり、次いで「消費電力」と「印刷速度」が同程度に重要と考えられていることが明らかとなった。「環境ラベルの付与」や「バイオマスプラスチックの使用」は相対的に重要度が低いと考えられていることが明らかとなった。ここから、消費者は、環境属性よりも機能属性をより重要視する傾向があることが明らかとなった。また、環境ラベル付き商品に価格プレミアムを支払うかどうかによって回答者を3つのグループに分けた分析も行ったが、価格プレミアムを支払う意志があるグループでも、環境属性よりも機能属性を重視する傾向があることが明らかとなった。さらに、年齢別の集計、価格プレミアムの支払意志別の集計、及び個人ごとのBWスコアを被説明変数とした回帰分析の結果からは、年齢が高いほど、また、価格プレミアムの支払意志が強いほど、「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」をより高く評価する傾向があることが明らかとなった。

キーワード：消費者選好、環境意識、ベスト・ワースト・スケーリング、環境属性、プリンタ

* ブラザー工業株式会社

** 名古屋大学大学院 環境学研究科

*** 上智大学大学院 地球環境学研究科

Consumer preferences towards environmental attributes of a printer

–An application of the best-worst scaling–

Shuichi Kato, Makiko Nakano^{**}, Takahiro Tsuge^{***}

Abstract

The purpose of this paper is to examine consumer preferences for environmental attributes of a black and white laser printer using the best-worst scaling (BWS). We conducted an online survey on Japanese consumers to collect data. Using the data, we evaluated the relative importance of the following seven attributes: “price”, “print speed”, “image quality”, “energy consumption”, “duplex printing”, “environmental labeling”, and “use of biomass plastic”. Analyses of the entire sample, as well as by gender, age, and household income, revealed that consumers rated “price” and “image quality” as the most important factors, followed by “energy consumption” and “print speed”, which were the same level of importance. “Environmental labeling” and the “use of biomass plastic” were less important. We identified a tendency among consumers to consider performance attributes to be more important, and environmental attributes to be less important. Then respondents were divided into three groups depending on whether they are going to pay price premium for products with environmental labels and analyzed separately. The results showed that even the group accepting price premium considers performance attributes as more important while environmental attributes less important. In addition, the regression analyses using BW scores per individual as a dependent variable revealed that age and willingness to pay the price premium are positively associated with the evaluation of “use of biomass plastics” and “environmental labeling”.

Key words : Consumer preference, Environmental awareness, Best-worst scaling, Environmental attribute, Printer

* Brother Industries, LTD.

** Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

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

プリンタの環境属性に対する消費者の選好 —ベスト・ワースト・スケーリングによる評価—

1. はじめに

2000年5月に制定された「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」(以下、グリーン購入法)では、国、地方公共団体、事業者、国民に対し、環境への負荷の少ない物品への需要転換を求めている。国民に対しては「できる限り環境物品等を選択するよう努めるものとする」とされているに留まり具体的な義務は定められていないものの、個人消費者が省エネルギー(以下、省エネ)対応などの環境配慮型の家電製品をより一層選択していくことは、将来の家庭部門の二酸化炭素(以下、CO₂)排出量の削減につながる可能性があり、低炭素社会の実現に貢献すると考えられる。

家電製品は多様な属性から構成されている。今日、製造業者は家電製品の機能・性能に関する属性(以下、機能属性)の改善に加え、環境問題に関する属性(以下、環境属性)をも考慮しながら製品開発を推進するよう努力している(プラザー工業, 2020; キヤノン, 2020; パナソニック, 2020)¹。しかしながら、製品開発の過程では製品属性の中でどの属性を優先して開発を進めるかといったトレードオフに直面することがある。その際に、消費者の購入に結び付くような製品開発を実行するには、消費者選好を把握することによって、環境属性も含めてどの属性がどれほど重視されているかを明確にする必要がある。

製品における環境属性の評価には、環境経済学分野を中心に、多数の先行研究が存在する。例えば、日本で実施されたリサイクル型の浄水器の製品属性の評価では、リサイクルの価値は統計的に有意であり、リサイクルは無視できない価値を有しているものの、他の機能属性と比較すると低い価値であることが明らかされている(栗山, 石井, 1999)。また、スイスで実施された洗濯機の製品属性の評価では、EU エナジーラベルにおけるランク A に対する支払意思額はランク C に対する支払意思額よりも高く、その差は洗濯機の型式におけるデラックスとシンプルに対する支払意思額の差と同程度であることが示されている(Sammer and Wüstenhagen, 2006)。中国農村部で実施された冷蔵庫の製品属性の評価では、冷却容量の大きな冷蔵庫が望まれる一方で、消費電力の低い冷蔵庫が好まれる傾向があることが示されている(Li et al., 2011)。このように様々な家電製品について、その環境属性に対する消費者選好を調べた研究が存在するが、著者らの知る限り、これまでにプリンタの環境属性の評価に関する研究は実施されていない。

プリンタの環境技術は、ISO14024で定められた第三者認証を要するタイプ I ラベル(日本ではエコマークが該当)の取得を目指して推進されている。プリンタは日本ではグリーン購入法の特定調達品目に定められている。また、ドイツでも公共機関の調達において、タイプ I ラベルのブルーエンジェル認定製品が優先されるなど(岩永他, 2007)、市場シェア獲得の手段として、タイプ I ラベルの取得が大きな役割を担っている。

プリンタの具体的な環境技術の中で、消費者が製品カタログから読み取れるものとしては、省

1 製品属性の中には、本研究における両面印刷機能のように、機能属性と環境属性を兼ねるものもある。

エネルギー、両面印刷機能、バイオマスプラスチックの利用などが挙げられる。さらに、環境技術を消費者に伝える手段として、前述のタイプⅠラベルに加え、第三者認証を伴わないタイプⅡラベル、製品のライフサイクルにおける環境負荷を定量化したタイプⅢラベル、消費電力の表示に特化した省エネラベルなどがある。

省エネの技術開発に関しては、電子写真技術（レーザープリンタ）、インクジェット技術ともに活発に実施されており、特にレーザープリンタで活発である。レーザープリンタはトナーを加熱して記録用紙に定着させる定着工程の消費電力が高く、プリンタ全体の消費電力の約7割を定着工程が占めている（立松，2005）。また、レーザープリンタにおいて、1枚目の印刷までの排紙時間（FPOT：First Print Out Time）を短縮させるには、定着器を急速に加熱する必要があり、強力な熱源が必要となる（立松，2005）。そのため、FPOTの短縮と消費電力の削減のトレードオフの克服を目指し、定着器の熱容量を低減する技術開発が進められている（立松，2005；竹内，2013）。個人利用者における1回の印刷枚数は事業者と比べると多くはないため、FPOTが個人利用者におけるレーザープリンタの印刷速度の評価に与える影響は大きいと考えられる。

両面印刷機能に関しては、古くからプリンタに備えられた環境技術であり、記録用紙の両面に画像情報を印刷することで、紙の消費量を抑えることができる。近年はプリンタの販売市場が、先進国のみならず新興国、途上国など多岐に及ぶ上、消費者のニーズも細分化されており、多品種の用紙に対応することが求められている。

バイオマスプラスチックに関しては、筐体およびトナーで開発が進められている（高木，2009；有他，2011）。日本バイオマスプラスチック協会のバイオマスプラ（BP）マーク製品取得リストには、506の製品中23のプリンタ関連の製品が記載されており（日本バイオプラスチック協会，2020）、プリンタの環境技術がバイオマスプラスチックへ高い関心を示していることがうかがえる。

本研究では、家電製品の中でもモノクロレーザープリンタに焦点をあて、環境属性がどれほど重視されているかをベスト・ワースト・スケールリング（以下、BWS）を用いて明らかにする。BWSはFinn and Louviereにより開発された手法であり（Finn and Louviere, 1992）、回答者の負担が比較的少ない点や、比較的簡便な分析方法が存在する点、後述の通り従来のリッカートスケール形式の質問と比較してより明確な結果が得られる点などの利点が存在することから、食品の属性に関する重要度の調査（Casini et al., 2009; Cohen, 2009）や、レストランのサービス評価（Chrzan and Golovashkina, 2006）、顧客満足度の評価（Garver, 2009）など幅広い分野で用いられている。近年は環境経済学の分野においても利用されている（Tsuge et al., 2014; 柘植他，2016）。

2. 研究方法

2.1 ベスト・ワースト・スケールリング（BWS）

プリンタは印刷速度、印刷品質、消費電力等の複数の属性から構成される。これらの属性それぞれの重要度を5段階（例えば、「とても重要である」、「重要である」、「どちらともいえない」、「重要ではない」、「全く重要ではない」）で回答者に評価してもらうリッカートスケール形式の質問を実施すると、極端な場合においては全ての属性が「とても重要である」と回答されることもあり得る。この場合、分析者は属性の優劣をつけることが困難である。また、ある回答者は印刷速

度を「とても重要である」と回答し、別の回答者は「重要である」と回答したとする。しかしながら、回答者によって「とても」の受け取り方が異なる可能性があるため、必ずしも前者が後者よりも印刷速度を重視しているかどうかは明らかではなく、回答者間の比較が難しい。

一方、BWSでは、例えば、印刷速度、印刷品質、消費電力の中から最も重要であるものと、最も重要でないものを回答者にひとつずつ選択してもらう。従って、これらの属性の間の優先順位を明らかにすることができる。このように、リッカートスケール形式の質問に比べ、BWSでは各属性の重要性について、より明確な結果を得ることができる (Casini et al., 2009; Cohen, 2009)。また、最も重要であるものと、最も重要でないものを選択するという回答方法はすべての回答者に共通のものであるため、各回答者の回答を比較することも可能となる。BWSについて、より詳しくは Louviere et al. (2015) を参照されたい。

2.2 属性の選定と設問の設計

BWSを実施するにあたり選定した7つの製品属性を表1に示す。本研究では家庭用モノクロレーザープリンタを想定し、「価格」、「印刷速度」、「印刷品質」、「消費電力」、「両面印刷機能」、「環境ラベルの付与」、そして「バイオマスプラスチックの使用」を取り上げる。ここで、「環境ラベルの付与」は環境取組を包括的に表す属性として用いた。回答者へは環境表示ガイドライン (環境省, 2013) を参考に、タイプI、タイプII、タイプIIIの環境ラベルについて説明を行った。

表2に示される釣合い型不完備ブロック計画 (Balanced incomplete block design : BIBD) に従い3つの属性を組み合わせた選択セットを回答者へ提示した。表3は選択セットの一例である。回答者は提示された3つの属性の中から、最も重要であると考えられる属性と最も重要でないと考えられる属性をそれぞれ1つずつ選択する。このようなBWSの設問を回答者1人当たり7問提示した。

表1 BWSで用いるモノクロレーザープリンタの属性

No.	属性
1	価格
2	印刷速度
3	印刷品質
4	消費電力
5	両面印刷機能
6	環境ラベルの付与
7	バイオマスプラスチックの使用

表2 選択セットの作成に用いたBIBD

選択セット	属性
1	2 4 6
2	1 4 5
3	3 4 7
4	1 2 3
5	2 5 7
6	1 6 7
7	3 5 6

出典：Crouch and Louviere (2007), p.5.

表3 選択セットの例

最も重要	属性	最も重要でない
<input type="checkbox"/>	印刷速度	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	消費電力	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	環境ラベルの付与	<input type="checkbox"/>

2.3 分析方法

BWSの分析方法には様々なものがあるが、計数法 (counting analysis) と呼ばれる方法と計量経済学的方法に大別される (栢植他, 2016)。計数法は容易に実施できるという利点があり、さらにそのスコアは計量経済学的方法のひとつである maximum difference model (Finn and Louviere, 1992) で推定した係数と強い線形の関係があることが示されている (Marley and Louviere, 2005; Tsuge et al., 2014)。本研究においても、全サンプルを用いたケースで maximum difference model を推定し、その係数が後述のB-W平均スコアと強い相関を持つことを確認している (詳細は付録を参照のこと)。従って以下では計数法を用いて分析を行う。

計数法で用いられる主要なスコアの算出方法は式 (1) ~ (4) の通りである。 $\sum B_i$ は、全回答者の回答の中で、属性 i が「最も重要である」と選択された回数である。同様に、 $\sum W_i$ は「最も重要でない」と選択された回数である。前者から後者を引くことで、各属性のB-Wスコア (B-W score) を算出する (式 (1))。B-W score _{i} をアンケートの回答者数 N 、およびすべての選択セットを通しての各属性の出現回数 r (本研究では3) で割ることで、B-W平均スコア (average B-W score) を得る (式 (2))。また、最も重要度の高い属性の値を1と基準化し、各属性の相対的な重要度を求めるB-W相対スコア (relative importance _{i}) は式 (4) で表される。ただし、 $\text{sqrt}(B/W)_i$ は式 (3) から算出される。また、 $\max \text{sqrt}(B/W)_i$ は $\text{sqrt}(B/W)_i$ の最大値を表す。なお、式 (1) ~ (4) はCohen (2009) の記述に基づいている。

$$B - W \text{ score}_i = \sum B_i - \sum W_i \quad (1)$$

$$\text{average } B - W \text{ score}_i = \frac{B - W \text{ score}_i}{Nr} \quad (2)$$

$$\text{sqrt}(B/W)_i = \sqrt{\frac{\sum B_i}{\sum W_i}} \quad (3)$$

$$\text{relative importance}_i = \frac{\text{sqrt}(B/W)_i}{\max \text{sqrt}(B/W)_i} \quad (4)$$

3. アンケート調査

調査会社の登録モニタを対象としたインターネット調査を実施した。アンケート実施期間は2014年の2月から3月で、対象は国内の20歳から69歳までの男女である。その結果、633人からの回答を得た。なお、回答者の90.8% (575/633) は、自宅用のプリンタを購入した経験があった。

回答者の個人属性の集計結果を表4に示す。環境ラベルの付与された製品に対する価格プレミアムの支払意志 (以下、価格プレミアムの支払意志) とは、アンケート中の「環境ラベルの付いた製品に対して、環境ラベルの付いていない製品よりも、高い金額を支払っても良いと思いますか」という設問に対する回答によって、回答者をグループ分け (「払っても良いと思う (グループA)」、「場合によっては良いと思う (グループB)」、「払いたくない (グループC)」) したものである。グループAは633人中26人であり、全体の4.1%と最も少なかった。グループBは421人であり、全体の66.5%と最多であった。グループCは186人であり、全体の29.4%を占めた。

表4 回答者の個人属性のクロス集計

		性別		年齢						世帯年収（100万円）						
		男性	女性	20代	30代	40代	50代	60代	-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-	無回答
年齢	20代	46	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30代	68	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40代	63	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50代	58	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60代	77	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
世帯年収	-3	57	77	43	23	16	18	34	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-5	83	93	30	47	27	21	51	-	-	-	-	-	-	-	-
	5-7	62	69	13	35	28	18	37	-	-	-	-	-	-	-	-
	7-9	51	39	10	18	21	26	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	9-11	24	26	5	11	13	15	6	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-13	12	10	3	2	5	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	13-	16	11	4	4	4	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-
無回答	2	1	0	1	2	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
価格プレミアムの支払意志	A	18	8	3	2	4	8	9	4	4	6	5	5	0	2	0
	B	193	228	68	93	77	68	115	86	113	97	57	33	15	17	3
	C	96	90	37	46	35	37	31	44	59	28	28	12	7	8	0

4. 結果と考察

全サンプル及び男女別のB-W平均スコアとB-W相対スコアを表5に示す。まず全サンプルの結果を見ると、最も重視される属性は「価格」であり、次に重視される属性は「印刷品質」であった。それに対し、「両面印刷機能」、「バイオマスプラスチックの使用」および「環境ラベルの付与」の重要度は低く評価された。特に「環境ラベルの付与」は7つの属性の中で最も低く評価された。これは、消費者が製品選択において環境ラベルを重視していないことを示す日本環境協会・エコマーク事務局(2015)のアンケート調査結果とも整合的である²。また、「消費電力」と「印刷速度」の評価はほぼ同程度である。先述したように、レーザプリンタの「消費電力」と「印刷速度」には技術開発上トレードオフの関係があるため、消費者が「消費電力」もしくは「印刷速度」のどちらかをより高く評価している場合、プリンタの製造業者は一方を重視した製品開発をすることができる。しかしながら、本研究の結果からは双方を両立させる必要性が示唆されるため、FPOTの

2 日本におけるタイプI環境ラベルであるエコマークに関して、日本環境協会・エコマーク事務局が、無作為に抽出した5,274人の一般消費者に対して実施したアンケート調査によれば、エコマークが付与された商品の購入経験者の購入時の判断材料としては、「エコマーク商品であることを知らずに購入した」が30.9%、「エコマークの表示よりも価格で判断した」が23.1%、「エコマークの表示よりも性能や品質で判断した」が20.6%という結果となり(日本環境協会・エコマーク事務局、2015)、個人消費者はエコマークの有無以外の要因で購入を決めていることが読み取れる。その一方で、事業者についてはグリーン購入法に適合しているマークやロゴなどが有効に機能していると思うかとの問いに、企業の調達担当者151人のうち65.6%が「有効に機能している」と回答し、環境に配慮した物品を選択する際の目安として、グリーン購入法適合マークの有効性が事業者には支持されているものと考えられるとしている(環境省、2007)。

短縮と定着工程の省エネ化のトレードオフの克服を目指した技術開発は、市場のニーズに合致した技術開発課題であると考えられる。

表5 全サンプル及び男女別のB-W平均スコアとB-W相対スコア

属性	全サンプル		男性		女性	
	B-W平均スコア	B-W相対スコア	B-W平均スコア	B-W相対スコア	B-W平均スコア	B-W相対スコア
価格	0.682	1.000	0.698	1.000	0.668	1.000
印刷品質	0.516	0.858	0.512	0.856	0.519	0.862
消費電力	0.073	0.371	0.039	0.338	0.105	0.406
印刷速度	0.061	0.343	0.087	0.348	0.037	0.338
両面印刷機能	-0.309	0.177	-0.271	0.186	-0.345	0.168
バイオマス プラスチックの使用	-0.457	0.121	-0.481	0.118	-0.435	0.125
環境ラベルの付与	-0.567	0.098	-0.584	0.085	-0.550	0.110

次に、男女別のB-W平均スコアとB-W相対スコアを見ると、男女間で各属性の評価に大きな差はないことがわかる。いずれも「価格」を最も高く評価し、次に「印刷品質」を高く評価した。対して、「バイオマスプラスチックの使用」および「環境ラベルの付与」は重要度が低く評価され、特に「環境ラベルの付与」は最も低く評価された。

表6に、年齢別のB-W平均スコアとB-W相対スコアを示す。ここでは年齢を10歳毎に区切り、20代から60代の5グループに分けて集計を行った。その結果、「価格」は年齢が上がるに伴い重要度が低く評価される傾向が見られた。「印刷品質」は年齢に関わらずほぼ一定の重要度で評価された。「バイオマスプラスチックの使用」および「環境ラベルの付与」は、年齢が上がるに伴い重要度が高く評価される傾向が見られたことから、年齢が上昇するに伴い環境配慮型の製品への評価が向上することが読み取れる。

表6 年齢別のB-W平均スコアとB-W相対スコア

属性	20代		30代		40代	
	B-W平均スコア	B-W相対スコア	B-W平均スコア	B-W相対スコア	B-W平均スコア	B-W相対スコア
価格	0.722	1.000	0.735	1.000	0.695	1.000
印刷品質	0.503	0.816	0.506	0.784	0.500	0.810
消費電力	0.056	0.325	0.092	0.348	0.175	0.447
印刷速度	0.052	0.307	0.087	0.317	0.032	0.318
両面印刷機能	-0.052	0.258	-0.293	0.160	-0.365	0.150
バイオマス プラスチックの使用	-0.574	0.087	-0.544	0.092	-0.477	0.103
環境ラベルの付与	-0.707	0.053	-0.584	0.076	-0.560	0.099

属性	50代		60代	
	<i>B-W</i> 平均スコア	<i>B-W</i> 相対スコア	<i>B-W</i> 平均スコア	<i>B-W</i> 相対スコア
価格	0.661	1.000	0.613	1.000
印刷品質	0.587	0.904	0.495	0.949
消費電力	-0.032	0.299	0.073	0.427
印刷速度	0.183	0.407	-0.028	0.360
両面印刷機能	-0.413	0.137	-0.385	0.190
バイオマスプラスチックの使用	-0.448	0.129	-0.288	0.198
環境ラベルの付与	-0.537	0.099	-0.480	0.151

表7に、世帯年収別の*B-W*平均スコアと*B-W*相対スコアを示す。ここでは世帯年収を300万円以下、300-500万円、500-700万円、700-900万円、900-1,100万円、1,100-1,300万円、1,300万円以上の7グループに分けて集計を行った。なお、全回答者の世帯年収の平均は566万円であった。世帯年収別の集計の結果、「価格」は世帯年収が上がるに伴い重要度が低く評価される傾向が見られた。「バイオマスプラスチックの使用」は世帯年収1,100万円以上1,300万円以下において「両面印刷」よりも*B-W*平均スコアおよび*B-W*相対スコアがともに高い結果となった。一方で世帯年収が上昇しても「環境ラベルの付与」への評価は向上しないことが示された。

表7 世帯年収別の*B-W*平均スコアと*B-W*相対スコア

属性	300万円以下		300-500万円		500-700万円		700-900万円	
	<i>B-W</i> 平均スコア	<i>B-W</i> 相対スコア						
価格	0.759	1.000	0.699	1.000	0.690	1.000	0.659	0.877
印刷品質	0.515	0.738	0.483	0.698	0.504	0.823	0.552	1.000
消費電力	0.117	0.348	0.080	0.331	0.066	0.363	0.052	0.338
印刷速度	0.092	0.305	-0.002	0.282	0.041	0.326	0.081	0.334
両面印刷機能	-0.361	0.130	-0.288	0.167	-0.295	0.181	-0.289	0.173
バイオマス プラスチックの使用	-0.512	0.078	-0.434	0.117	-0.448	0.124	-0.493	0.104
環境ラベルの付与	-0.609	0.067	-0.538	0.098	-0.557	0.098	-0.563	0.093

属性	900-1,100 万円		1,100-1,300 万円		1,300 万円以上	
	B-W 平均スコア	B-W 相対スコア	B-W 平均スコア	B-W 相対スコア	B-W 平均スコア	B-W 相対スコア
価格	0.613	0.781	0.530	1.000	0.494	0.820
印刷品質	0.600	1.000	0.470	0.824	0.556	1.000
消費電力	0.013	0.342	0.121	0.433	-0.062	0.325
印刷速度	0.153	0.403	0.061	0.382	0.160	0.449
両面印刷機能	-0.327	0.171	-0.394	0.163	-0.198	0.263
バイオマスプラスチックの使用	-0.500	0.113	-0.197	0.250	-0.358	0.179
環境ラベルの付与	-0.553	0.108	-0.591	0.108	-0.593	0.102

表8に、価格プレミアムの支払意志別のB-W平均スコアとB-W相対スコアを示す。グループB、グループCでは「価格」が最も高く評価されたのに対して、グループAが最も重視する属性は「印刷品質」であった。また、「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」はより価格プレミアムを支払う意志のあるグループほど、重要度が高くなる傾向がある。ただし、価格プレミアムの支払意志を有する消費者であっても、プリンタの環境属性の重要度を、機能属性よりも低く評価していることが読み取れる。さらに、環境属性の中では「バイオマスプラスチックの使用」や「環境ラベルの付与」といった、消費者に直接的なメリットが実感しにくい属性の重要度が低く、対して「消費電力」といった消費者に直接的なメリットがある属性の重要度が高い。

表8 価格プレミアムの支払意志別のB-W平均スコアとB-W相対スコア

属性	グループA		グループB		グループC	
	B-W 平均スコア	B-W 相対スコア	B-W 平均スコア	B-W 相対スコア	B-W 平均スコア	B-W 相対スコア
価格	0.346	0.714	0.665	1.000	0.769	1.000
印刷品質	0.487	1.000	0.520	0.901	0.511	0.679
消費電力	-0.013	0.408	0.084	0.390	0.061	0.296
印刷速度	0.000	0.417	0.000	0.328	0.208	0.332
両面印刷機能	-0.333	0.257	-0.324	0.184	-0.272	0.136
バイオマスプラスチックの使用	-0.167	0.310	-0.426	0.136	-0.568	0.062
環境ラベルの付与	-0.321	0.231	-0.519	0.114	-0.708	0.042

ここまでの結果より、環境属性の中でも「バイオマスプラスチックの使用」及び「環境ラベルの付与」は相対的に重要度が低く評価される傾向があることが明らかとなった。そこで、どのような個人が「バイオマスプラスチックの使用」及び「環境ラベルの付与」をより高く評価しているかを明らかにするため、「バイオマスプラスチックの使用」及び「環境ラベルの付与」に関する各回答者のB-Wスコアを被説明変数、回答者の性別、年齢、世帯年収、価格プレミアムの支払意志を説明変数とする回帰分析を行った。

回答者の性別については、男性のときに1、女性のときに0をとる男性ダミーを変数として用いた。年齢については、20代から60代のそれぞれについて、25歳から65歳を変数として用いた。世帯年収については、300万円未満については300万円、1300万円以上については1300万円とし、それら以外については、たとえば300万円以上500万円未満の場合には400万円とするといったように、区間の中点を変数として用いた。価格プレミアムの支払意志については、「環境ラベルの付いた製品に対して、環境ラベルの付いていない製品よりも、高い金額を支払っても良いと思いますか」という設問に対し、「払っても良いと思う（グループA）」と回答した場合に1、それ以外のときに0をとるグループAダミーと、同じく「場合によっては良いと思う（グループB）」と回答した場合に1、それ以外のときに0をとるグループBダミーを変数として用いた。

「バイオマスプラスチックの使用」のB-Wスコアを被説明変数としたモデルをモデル1、「環境ラベルの付与」のB-Wスコアを被説明変数としたモデルをモデル2と表記する。世帯年収が無回答であった3人を除く630人のデータを用いて、最小二乗法により推定を行った結果は表9の通りである。

モデル1、モデル2の双方で、年齢、グループAダミー、グループBダミーが1%水準で有意になった。年齢の係数は正であることから、年齢が高いほど「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」のB-Wスコアが高いことが明らかとなった。また、グループAダミーとグループBダミーの係数はいずれも正であることから、グループAとグループBの回答者は、グループCの回答者よりも「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」のB-Wスコアが高いことが明らかとなった。さらに、グループAダミーの係数の方が、グループBダミーの係数よりも大きいことから、グループBの回答者よりも、グループAの回答者の方が「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」のB-Wスコアが高いことが明らかとなった。

以上の通り、年齢が高いほど、また、価格プレミアムの支払意志が強いほど、「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」をより高く評価することが明らかとなった。これらの結果は、年齢別、及び価格プレミアムの支払意志別のB-W平均スコアならびにB-W相対スコアの結果と整合的なものである。

表9 回帰分析の結果

変数	モデル1		モデル2	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差
定数項	-2.5456	0.1987 ***	-2.5635	0.1979 ***
男性ダミー	-0.1837	0.0987	-0.1240	0.0982
年齢	0.0189	0.0034 ***	0.0126	0.0034 ***
世帯年収	0.0002	0.0002	-0.0001	0.0002
グループAダミー	1.0625	0.2592 ***	1.0926	0.2582 ***
グループBダミー	0.3666	0.1087 ***	0.5275	0.1083 ***
自由度修正済み決定係数	0.0862		0.0704	
回答者数	630		630	

注：*** 1%水準で有意。

5. おわりに

本研究では、環境配慮型の家電製品に対する消費者の選好を調べるために、家庭用モノクロレーザプリンタを事例として、「価格」、「印刷速度」、「印刷品質」、「消費電力」、「両面印刷機能」、「環境ラベルの付与」、「バイオマスプラスチックの使用」の7つの属性に対する評価を、BWSを用いて明らかにした。

その結果、家庭用モノクロレーザプリンタの属性では、「価格」と「印刷品質」の重要度が高く、次に「消費電力」と「印刷速度」の重要度が高いことが明らかとなった。一方、「両面印刷機能」、「バイオマスプラスチックの使用」および「環境ラベルの付与」の重要度は相対的に低いことが明らかとなった。特に「環境ラベルの付与」は、ほとんどのグループで最も重要度が低く、購買行動の際に重視されていないと推測される。

性別、年齢、世帯年収、価格プレミアムの支払意志の各グループ別の集計からは、男女間で各属性に対する評価に大きな差はないこと、「価格」に対する評価は年齢が上がるに伴い低くなるのに対して、「バイオマスプラスチックの使用」および「環境ラベルの付与」に対する評価は年齢が上がるに伴い高くなる傾向があること、世帯年収が上昇しても「環境ラベルの付与」に対する評価は向上しないこと、「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」は、より価格プレミアムを支払う意志のあるグループほど重要度が高くなる傾向があるものの、環境属性に対する評価は相対的に低いことなどが明らかとなった。

「バイオマスプラスチックの使用」及び「環境ラベルの付与」に関する各回答者のB-Wスコアを被説明変数、回答者の性別、年齢、世帯年収、価格プレミアムの支払意志を説明変数とする回帰分析の結果からは、年齢別、及び価格プレミアムの支払意志別のB-W平均スコアならびにB-W相対スコアの結果と同様に、年齢が高いほど、また、価格プレミアムの支払意志が強いほど、「バイオマスプラスチックの使用」と「環境ラベルの付与」をより高く評価する傾向があることが明らかとなった。

以上の通り、本研究では、環境属性を含む家庭用モノクロレーザプリンタの属性に対する消費者の評価を明らかにすることができたが、課題も残されている。

第一に、本研究では「環境ラベルの付与」を環境問題への取組を包括的に表す属性として用いているものの、環境ラベルの種類を特定して示すことは行っていないため、環境取組の内容が回答者にとって分かりにくいものであった可能性がある。今後は、環境ラベルを種類別に分析し、ラベル毎の消費者選好を明らかにする研究が必要である。

第二に、環境配慮型の家電製品は、非環境配慮型の製品と比較して価格が高くなる場合が多い。例えば、生物資源から製造されるバイオマスプラスチックは、石油由来のプラスチックよりもコストが高い(農林水産省, 2006)。したがって、消費者は家電製品の購入時に環境配慮と価格の安さのトレードオフにさらされることになる。こうした状況において、消費者がどれだけ追加的に支払ってでも環境配慮型の家電製品を購入する意思があるかを把握するためには、環境属性と価格のトレードオフを考慮して回答してもらう選択型実験による分析が有効である。選択型実験を用いて家庭用モノクロレーザプリンタの属性に対する消費者の選好を把握するとともに、環境属性を含む各属性に対する支払意思額の推計を行うことが今後の重要な課題である。

謝 辞

本論文は、日本機械学会2015年度年次大会で発表した内容に加筆・修正を加えたものです。大会では有益なコメントを頂きました。ここに謝意を表します。

文 献

- Casini, L., Corsi, A. M. and Goodman, S., Consumer preferences of wine in Italy applying best-worst scaling, *International Journal of Wine Business Research*, Vol. 21, No. 1 (2009), pp.64–78.
- Chrzan, K. and Golovashkina, N., An empirical test of six stated importance measures, *International Journal of Market Research*, Vol. 48, No.6 (2006), pp.717–740.
- Cohen, E., Applying best-worst scaling to wine marketing, *International Journal of Wine Business Research*, Vol. 21, No. 1 (2009), pp.8–23.
- Crouch, G. I. and Louviere, J.J., A further analysis of factor importance using best-worst scaling, *International convention site selection* (2007), p.5.
- Finn, A. and Louviere, J. J., Determining the appropriate response to evidence of public concern: The case of food safety, *Journal of Public Policy and Marketing*, Vol. 11, No. 1 (1992), pp.12–25.
- Garver, M. S., Maximum difference scaling application for customer satisfaction researchers, *International Journal of Market Research*, Vol. 51, No.4 (2009), pp.481–500.
- Li, B., Wang, L. and Li, B., Demand attributes and market segmentation: An evaluation of refrigerator purchase behavior in rural China, *International Journal of China Marketing*, Vol.1, No.2 (2011), pp.13–33.
- Louviere, J. J., Flynn, T. N. and Marley, A. A. J., *Best-Worst Scaling: Theory, Methods and Applications*. Cambridge : Cambridge University Press (2015).
- Marley, A. A. J. and Louviere, J. J., Some probabilistic models of best, worst, and best-worst choices., *Journal of Mathematical Psychology*, Vol.49, No.6 (2005), pp.464–480.
- Sammer, K. and Wüstenhagen, R., The influence of eco-labelling on consumer behavior: Results of a discrete choice analysis for washing machines, *Business Strategy and the Environment*, Vol.15, No.3 (2006), pp.185–199.
- Tsuge, T., Nakamura, S. and Usio, N., Assessing the difficulty of implementing wildlife-friendly farming practices by using the best-worst scaling approach, In Usio N. and Miyashita T. (ed.) *Social-Ecological Restoration in Paddy-Dominated Landscapes*, *Ecological Research Monographs* (2014), pp.223–236. Springer Japan.
- 有好智, 前澤宜宏, 松本香鶴, 芝井康博, MX-M623 MX-M753 搭載 非穀物系バイオマストナー, *日本画像学会誌*, Vol.50, No.1 (2011), pp.57–61.
- ブラザー工業株式会社 <<https://global.brother/ja/eco/product>>, (参照日 2020年12月17日).
- キヤノン株式会社 <<https://global.canon/ja/environment/index.html?gnavi>>, (参照日 2020年12月17日).
- 岩永竜一, 藤澤京子, 松本明子, 欧州製品環境規制とエコラベルの動向, *日本画像学会誌*, Vol.46, No.3 (2007), pp.199–206.
- 環境省, *環境表示ガイドライン* (2013).
- 環境省, *環境ラベルに関するアンケート調査結果 概要* (2007).
- 栗山浩一, 石井寛, リサイクル商品の環境価値と市場競争力ーコンジョイント分析による評価ー, *環境科学学会誌*, Vol.12, No.1 (1999), pp.17–26.
- 公益財団法人日本環境協会・エコマーク事務局, *エコマーク認知度調査報告書* (2015)
- 日本バイオプラスチック協会, *バイオマスプラマーク取得リスト* <<http://www.jpaweb.net/bplist/>>, (参照日 2020年12月28日).

農林水産省, バイオマス・ニッポン総合戦略(2006).

パナソニック株式会社 (http://www.panasonic.com/jp/corporate/sustainability/eco/gp_gf.html), (参照日2020年12月17日).

高木誠一, 脱枯渴資源原料プラスチック使用技術, 日本画像学会誌, Vol.48, No.2 (2009), pp.99-107.

竹内昭彦, 省エネ定着技術, 日本画像学会誌, Vol.52, No.4 (2013), pp.288-295.

立松英樹, 環境に優しい省エネ定着技術, 日本画像学会誌, Vol.44, No.4 (2005), pp.235-241.

柘植隆宏, 庄子康, 愛甲哲也, 栗山浩一, ベスト・ワースト・スケーリングによる知床国立公園の魅力の定量評価, 甲南経済学論集, Vol.56, No.3・4 (2016), pp.59-78.

付 録

Finn and Louviere (1992) により導入されたmaximum difference modelの考え方は次の通りである。式 (A1) において、 β_i は選択肢 i の重要度を表し、 $Difference_{ij}$ は選択肢 i と選択肢 j の重要度の差を表す。 ε_{ij} は誤差項を表す。

$$Difference_{ij} = \beta_i - \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (A1)$$

回答者が選択肢 i を「最も重要である」とし、選択肢 j を「最も重要でない」と選択する確率は、選択肢 i と選択肢 j の重要度の差が、他のどの選択肢のペアよりも大きくなる確率である。 ε_{ij} に独立で同一な第 I 種極値分布を仮定すると、この確率は式 (A2) で表される。ただし、 J は 1 問あたりの選択肢の数を表す。

$$P_{ij} = \frac{\exp(\beta_i - \beta_j)}{\sum_{k=1}^J \sum_{l=1}^J \exp(\beta_k - \beta_l) - J} \quad (A2)$$

条件付きロジットモデルによる推定結果を表 A1 に示す。各係数は、「環境ラベルの付与」と比較した場合の相対的な重要度を表している。つまり、「環境ラベルの付与」を表す変数は推定から除外され、その係数は 0 と設定されている。また、図 A1 は計数法による $B-W$ 平均スコアと maximum difference model の推定値の相関を示す。両者には強い相関が見られる。

表 A1 Maximum difference model の推定結果

変数	係数	標準誤差
価格	2.324	0.058***
印刷品質	1.950	0.054***
消費電力	1.136	0.047***
印刷速度	1.115	0.048***
両面印刷機能	0.505	0.046***
バイオマスプラスチックの使用	0.217	0.046***
環境ラベルの付与	0	-
対数尤度	-5982.703	
回答者数	633	

注：*** 1%水準で有意.

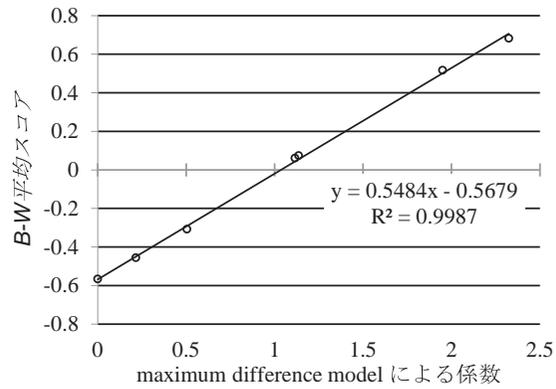


図. A1 計数法と maximum difference model の比較

「共有地の悲劇」の計量書誌学的分析

—環境言説から人口問題はいかにして消えていったか—

平尾 桂子

【要旨】

「共有地の悲劇」は、環境問題を考えるモデルとして広く受け入れられている。だが、原典の論文のテーマが〈人口問題〉だったことは驚くほど忘れられている。過剰人口問題を論じた論文の主旨から切り離された「たとえ話」としての「共有地の悲劇」は、出版後どのように学術界で参照され、拡散していったのか。1968年『サイエンス』誌に掲載された「共有地の悲劇」を引用した論文の計量書誌学的分析を通じて、環境言説のフレームの変容過程を検証する。分析の対象は1968年のハーディン論文を引用した文献で、1969年から2019年までの約50年間に出版された学術論文 (article) 6,948件の書誌データである。分析の結果、書誌結合による文献のクラスターや頻出語の種類は1980年代から2000年代にかけて多様化したが、2010年以降はその逆に集約していった。一方、文献数とその分野は2010年以降爆発的に拡大しており、文献の量的拡大・拡散と引用される文脈の単一化が同時に進行したことが明らかになった。さらに議論のフレームから人口問題が消えていく過程が実証された。「共有地の悲劇」というモデルが学術的言説空間の中での普及、拡散した過程は、環境問題のフレームの変容を反映していると考えられる。

Bibliometric Analysis of Tragedy of the Commons:

How Overpopulation Disappeared from the Environmental Discourse

Keiko Hirao

【Abstract】

“Tragedy of Commons” is frequently cited as a model to explain how resources with open access are destined to deplete due to rational individual’s actions. The original neo-Malthusian message of the metaphor, however, has been largely forgotten. This paper explores how the frame of “environmental problems” has changed over the years by using bibliometric analysis of the articles that cited Hardin’s original article published in 1968. The data used in the study are the 6,948 bibliographic records that cited Hardin’s article published from 1969 to 2019 identified in the Web of Science. The results are the following. 1) The number of citations increased exponentially after the year 2010; 2) the context cited references diverged until the early 2000s, then converged after 2010; 3) population problems were discussed in the corpus at least until the 1990s. The proliferation and popularization of the metaphor reflect the changes in the paradigm of global population policies and environmental discourse.

「共有地の悲劇」の計量書誌学的分析 —環境言説から人口問題はいかにして消えていったか—

1. はじめに

「共有地の悲劇」とは、誰でも自由に利用できる共有資源は個人が合理的かつ利己的に行動するという前提のもとでは乱獲により枯渇する運命にあるという命題で、環境問題を考えるモデルとして広く知られている。そしてこの命題がギャレット・ハーディンという生物学者が1968年に学術誌『サイエンス』に発表した“The Tragedy of the Commons”という一本の論文に由来することも周知のとおりである。この論文は現代の環境思想に重要な影響を与えた論文として広く知られており、環境研究の文献の中で繰り返し取り上げられてきた。

だが、原典であるこの論文のテーマが〈過剰人口問題〉だったことについては、驚くほど忘れられている。

この論文でハーディンが主張したのは、地球上に生きる人間の個体数は環境収容力（という言葉は使っていないが）を超えつつあり、環境破壊を防ぐためには家族計画や避妊の奨励といった間接的な誘導策ではなく、より強制的に人口増加を制御すべきだということである。人類の滅亡を防ぐためには個人の出産の「自由」や「権利」を認めるべきではない（Hardin 1968a, p.1248）。これがこの論文の本来の主旨である。

「出産の自由はとうてい許容できない」（Freedom to breed is intolerable）（Hardin 1968a p.1246）という言葉に端的に示された主張を読者にわかりやすく説明するために用いられた「たとえ話」が「共有地の悲劇」なのである。オリジナル論文6,466ワード中、最も多く引用される牧夫と牛と共有地のアナロジーはたったの328ワード。

論文が発表された1968年から現在までの半世紀、ハーディンが主張した強制的出産抑止政策を採用した国家は中国一カ国のみである。その中国の「一人っ子政策」も環境保護を目的としたものではない。その意味で、ハーディンの政策提言は世界から黙殺されたに等しい。

その一方で、「共有地の悲劇」という簡潔かつ平易な「たとえ話」は、その分かりやすさゆえに多くの人に知られ、広範な学問領域で多くの議論を呼び起こした。この論文を引用した文献の数は、本論文の執筆時現在、確認できるもので少なくとも12,240件と膨大な数にのぼり、しかも検索するたびに日々増えている。

ハーディンが「共有地の悲劇」を発表した1968年は、ポール・エーリッヒ（Paul R. Ehrlich）が世界的ベストセラーとなった『人口爆発』（1968）を出版した年でもある。自然資源の枯渇によるエネルギー不足や食料価格の高騰による飢餓は人口を抑制しなければ回避できないという警告を発したエーリッヒは、メディアを通じて一躍時代の寵児になり、Zero Population Growthをはじめとする人口抑制運動を主導し、アメリカと国連を中心に展開された人口抑制政策を推進する世論を牽引した。「共有地の悲劇」の著者ハーディンは、エーリッヒと同じく環境問題を人口問題の関数としてとらえる「環境マルサス主義」の重要な論客の一人だったのである（De Steiguer 1997）。しかも、エーリッヒですら表だって主張しえなかった「出産の自由は認めるべきではない」という強硬なマルサス主義的提言をしたのがハーディンなのである（Robertson 2012）。

このように過剰人口を問題視した論文から切り離された、「たとえ話」としての「共有地の悲劇」は、論文の出版後どのように学術界で引用されていったのか。また、強制的に人口を抑制すべきだとするハーディンの主張は、論文が引用される過程でどのように脱色されていったのか。

本論では、計量書誌学 (bibliometric) の手法を用いて 1968 年『サイエンス』誌に掲載された “Tragedy of the Commons” (以降「ハーディン論文」と記載する) の引用傾向の時系列推移と文献間のネットワーク分析を通じて環境問題の「問題としてのフレームの変容」を検討する。

ハーディン論文の被引用傾向の記述統計については平尾 (2011) ですでに紹介しているが、執筆当時は 1975 年以前のバックファイルが未入手だったため文献間のネットワーク分析をすることができなかった。本論では、1968 年のハーディン論文の出版以降におけるすべての文献データを用いてハーディン論文を引用した論文相互間の書誌結合 (bibliographic coupling) 分析とテキスト分析の手法を用いた再分析の結果を報告する。

2. 研究の背景：環境マルサス主義の時代

天然資源の有限性と人間社会の持続可能性、つまり今でいうサステナビリティの問題について、最初に警鐘をならしたのはトマス・マルサスだ。「人口は幾何級数的に増加するが、食料は算術級数的にしか増加しない」という、あまりにも有名な命題で知られる『人口論』は、1798 年の初版以来マルサス自身によって何度も増補改訂され、近代的人口学の礎を築くとともに社会科学の古典として歴史に刻まれている。

マルサスの『人口論』が出版されたのは 1798 年。その頃の世界人口は 10 億人と推定されているが、1927 年にはその倍の 20 億人に達し、「共有地の悲劇」が出版された 1968 年にはその倍の 40 億人に達しつつあった。つまり 10 億人から 20 億人への倍加年数は約 130 年、20 億人から 40 億人への倍加年数は 41 年と、人類史上未曾有の人口増加率を記録していた。しかもその大部分は当時独立ラッシュが相次いだ発展途上国におけるものだった。アメリカを中心とする西側先進諸国は、第二次世界大戦後の冷戦を背景に、社会主義勢力の拡大と発展途上国での「人口爆発」に多大な危機感を募らせていた。

上述したようにハーディンがこの論文を発表した 1968 年は、ポール・エーリッヒが『人口爆発』を出版しているが、同時に、ローマクラブが最初の会合を開いた年でもある。その 4 年後の 1972 年、ローマクラブとして研究委託を受けたメドウズらが、『成長の限界』を出版し、資源の有限性の中で環境汚染や人口増加傾向がこのまま継続すれば 100 年以内に地球上の成長は限界に達すると警告を発している (Meadows, 1972)。エーリッヒの『人口爆弾』やローマクラブの『成長の限界』の出版を契機に、資源の有限性と過剰人口は国際社会が取り組むべき政策課題として注目され、環境問題に関する活発な議論が繰り広げられていく。

このように 1970 年代の前半、環境問題は人口問題との関連で定義されていた。そうした中ハーディンは発展途上国への食料援助に反対する論陣を張り、貧困、人工妊娠中絶、環境などについて論考を発表し、コントラバーシカルな論客として知られるようになる (Lutts 1984)。

当時、発展途上国への食料援助には「トリアージュ」が必要だという議論があった (Sabin 2013)。トリアージュとは、患者の重症度に基づいて治療の優先度をつけ医療資源配分の最適化

を図ることを意味する。人口抑制に取り組まない国は「救済不可能」であり、資源の無駄を省くために食料援助すべきではないという主張である。

ハーディンも「救命ボートの倫理」(Hardin 1974) で南北間の経済格差を救命ボートに乗っている50人(先進国)と海に投げ出された人100人(発展途上国)にたとえて次のような議論を展開する。救命ボートに乗っている人(先進国)よりも、海に投げ出された人々(発展途上国)の方が数も多く出生率も高い。本来ならば個体数が増えすぎた場合に起動して一定の環境収容量に落ち着かせる自然淘汰のメカニズムが効いていないからだ。それこそが彼らの貧困の原因である。飢餓地帯への食料援助は人口増加を招き、結果的に貧困を拡大するだけである。したがって食料援助はすべきではない。ハーディンはそのように主張した。

また彼は、人工妊娠中絶について、何人も他人に妊娠・出産を強要することはできないから人工妊娠中絶は合法化されるべきだと主張し(Hardin 1968b)、中絶が合法化されているメキシコに中絶を望む女性を送る地下組織にも深く関わっていた。

このように、「タブーストーカー」を自認し(Hardin 1973)、火中の栗を拾うようなハーディンの論調は非人道的だと批判される一方で、「よくぞ言ってくれた」という絶大な支持も呼び、彼の功績をたたえ後世に伝えるための「ギャレット・ハーディンソサイエティー」が設立されている¹。

このように、何かと物議をかもし論客として知られるハーディンの論文の中で最も人口に膾炙したのが本研究の注目する「共有地の悲劇」なのである。

「共有地の悲劇」は出版直後から注目を集め、多くの論者によって“再考”されてきた。出版の翌年にはCrowe (1969) が「共有地の悲劇再考」(Tragedy of Commons Revisited) と題して、ハーディンが提唱した「技術的解決のない問題群」について論考を寄せたのを初め、「再考」するレビュー論文が繰り返し発表されている(例: Corker 2011, Feeny 1990, Frischmann, 2019)。

「共有地の悲劇」が膨大な数の論文に引用されてきたのは先述した通りだが、その一連の動向をレビューしたDeese (2008) によると、「共有地の悲劇」はまず国際関係論の分野で、主権を持ちかつ相互依存的な関係にある国家の行動を説明するモデルとして適用された。その後法律学の領域では公共財と資源管理と所有権の関わりで議論され、1990年代後半以降にはインターネットの普及に伴う情報革命の中、ウィキペディアなどの「新しいコモンズ」に関する論考の出発点となった(Deese 2008)。

一方、人類学では在地社会による管理機構との関連でいわゆる人類学的コモンズ論を喚起する契機となった(菅 2008)。コモンズ研究の系譜に着目すれば、1970年代から80年代にかけて様々な分野の研究者が様々な地域を対象に個別に行っていた研究の土壌の上に、Ostrom (1990) がそれを統合した。彼女は新制度学派的理論的枠組みを使い、コモンズに関する経験的ケーススタディーを比較検討することによってコモンズ管理を成功させる条件を導き出し、2009年のノーベル経済学賞を受賞している。Ostromの研究に触発される形で「共有地の悲劇」はさらに繰り返し参照されてきた(Frischmann 2019)。

興味深いことに、多くのレビューアーはハーディンが過剰人口を問題にしたことに触れはする

1 <https://www.garretthardinsociety.org/index.html>

ものの、それが環境言説あるいはコモンズ研究の発展過程でどのように消えていったかという点には無頓着である。たとえば、ハーディンのモデルに依拠しつつコモンズ問題の現代的課題、すなわち少子高齢化によってコモンズの過少利用を問題にした林と金澤 (2014) は、ハーディンが「地球上の人口が地球全体の収容力を超えることへの警鐘を鳴らすために、地球全体を1つのコモンズとみなした」(林・金澤 2014 p.241) と冒頭でハーディン論文を紹介するのだが、ハーディンが問題にした過剰人口に言及することなく「パラダイムとしての社会的ジレンマ」の議論を展開する。

確かに日本では少子化が重要な政策課題となっているが、世界的なレベルではまだ人口は増え続けている。ハーディンを初めとする環境マルサス主義者が提起した過剰人口問題は解決したのだろうか。気候変動にせよ海洋プラスチックごみ問題にせよ、人類起源であるならば、環境問題の枠組みの中でなぜ人口が問題にされなくなったのだろうか。環境問題と人口問題はいかにして切り離されていったのだろうか。

本研究では、「共有地の悲劇」の引用文献を計量書誌学の手法を用いて分析することにより、この問題に接近する。

以下、分析手法とデータについて述べる。

3. 分析手法と使用データ

学問的営為は先人の研究成果という巨大な岩山の上に小石を積むように発展する。論文で使われる引用文献は、研究者がどのような知識の上に新たな知見を見いだしたかという知的土壌を示している。したがって、ある論文がどのような文献を引用し、さらに他の研究者によってどう引用されたかといった引用・被引用の変遷をたどることで、ある論文が提起した課題がその後どのように発展したかという学術的系譜を観測できる。

本研究で用いる計量書誌学 (bibliometrics) とは、こうした書物や論文などを構成する書誌情報を定量的に分析する手法である。文献の生産、流通、利用に関する様々な事象を計量的にあつかうことで学問そのものの生成過程や発展経緯を構造的かつ定量的に把握する手法として20世紀の中頃に確立された (Archambault and Gagné 2004; Andrés 2009)。

たとえば、学術ジャーナルの影響度を計測する指標としてよく知られる「インパクトファクター」も被引用数という計量書誌学上のデータを応用したものである。誰にも引用されないジャーナルより多くの被引用数を持つジャーナルは高い影響力を持つ。個々の論文も同じように、多くの論文に引用される論文はそうでない論文より学術界への貢献度が高い。被引用数などの単純な記述統計だけでなく、引用／被引用という論文間の関係や引用文献の共通性などを用いて文献同士の「関係性」をネットワークとして分析し、そこから学術的知見の系譜を検証することもできる。

こうした文献間のつながりを血縁関係にたとえれば、論文の引用／被引用は親と子の関係にあたり、論文間の類似性は兄弟姉妹に相当すると考えることができる。一族の中でも成功した者もいれば没落したものもいるように、学術論文も多くの研究者に影響をおよぼしたのものもあれば、まったく忘れ去られたものもある。また、いったん人々から忘れ去られた論文が再発見されるこ

ともある。こうした文献の栄枯盛衰や文献間の関係を分析することで、学术界における知的営為の「遺伝子系列」を知ることができるのが計量書誌学である。

本研究が対象とするのは「ハーディン論文」を引用した文献、すなわち「ハーディン論文」という「遺伝子」をもつ文献群である。ハーディンの子孫であるこれらの論文は、ハーディンから受け継いだ知的遺伝子をどのように育てていったのか。また、この論文の主旨であった〈人口問題〉はこの遺伝子系列においてどのように淘汰されていったのか。

こうした課題について、本論では主に書誌結合 (bibliographic coupling) とテキスト分析を用いて検証する。

書誌結合とは文献中の引用文献の重複によって文献間の関連性や類似性を計測する手法である (Kessler 1963)。例えば、図1のように文献Aと文献Bがあり、文献Aは文献C、D、E、Fを、文献BはE、F、G、Hを引用しているとする。文献EとFは文献AにBに共通して引用されている。この場合、文献Aと文献Bには文献EとFという引用文献の共有による関係性があるとみなし、共有する論文の割合が高ければ高いほど文献間の関連性・類似性は高いと考える。図1でいえば、文献Aと文献Bの類似度 (リンク) は2であると定義される。こうした文献間の類似性の延長線上に関連性・類似性の高い文献をクラスターとして把握できる²。

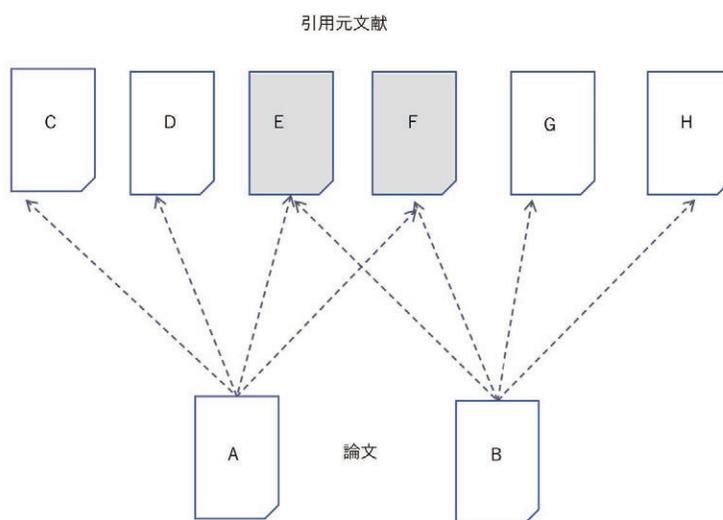


図1 書誌結合による文献間の関係

テキスト分析は自然言語データを単語や文節で区切り、それらの出現の頻度や共出現の相関、出現傾向、時系列推移などを解析し情報を取り出す手法である。書誌情報としてはタイトル、要

2 分析対象の論文はすべてハーディン論文を通して結合しているため、書誌結合分析では引用元文献からハーディン論文を除外している。

旨などに加え論文本体も分析対象とすることができるが、本研究で収集したデータには1981年以前のものには要旨が収録されていないため、時系列比較の整合性を保つためタイトル語句のみを分析対象とした。

本研究で使用するデータは、クラリベイト・アナリティクスより提供されている学術データベース Web of Science (以下 WS) を用いて収集した。分析対象とするのは1968年のハーディン論文を引用した文献で、1969年から2019年までに出版された8,633件のうち、学術論文 (article) 6,948件である³。なお、それぞれの文献 (ハーディン論文を引用した論文) が他の論文に引用されている場合を「被引用」、その回数を「被引用回数」と記載する。

本論では、まず記述統計として、ハーディン論文を引用した文献数と学術分野の年次推移および、被引用回数の分布を紹介した後、引用ネットワーク分析の結果を述べていく。

4. 分析結果

4.1 記述統計

4.1.1 年次推移

一般的に、論文は発表された直後に最も多く読まれ、年月の経過とともに読まれなくなる。こうした文献の陳腐化、あるいは論文が提供した情報の寿命を測る指標として被引用半減期 (Cited Half-Life) という概念がしばしば用いられる。被引用半減期は分野によって異なり、医学・薬学などコミュニケーションが早い分野では短く、材料科学で3年前後、遺伝子学で8.2年、数学や経済学では比較的長く、10年以上とされる (棚橋 2019)。そのような中、ハーディン論文は出版後半世紀を経てもなお引用され続け、しかも被引用数は増加傾向にある。

図2はハーディン論文を引用した文献数の推移を示したものである。全体として三つの段階が読み取れる。まず、1970年代から1980年代後半までの毎年30本前後の論文が発表された時期で、その後徐々に増加し2000年頃から年100本を超えるようになる。2010年以降は崖を駆け上るように爆発的に急増し、2019年には一年間で実に536本もの論文がハーディンを引用している。

3 分析対象外としたものは書評 (review) 824件、論評 (editorial) 373件、その他92件である。

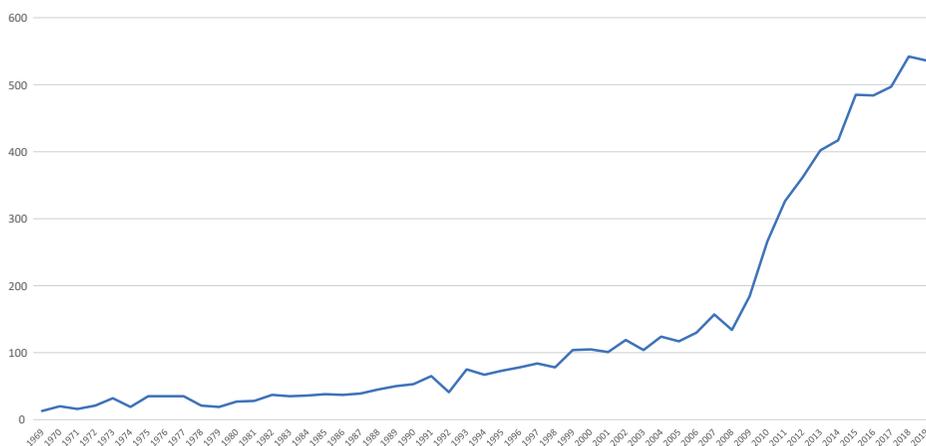


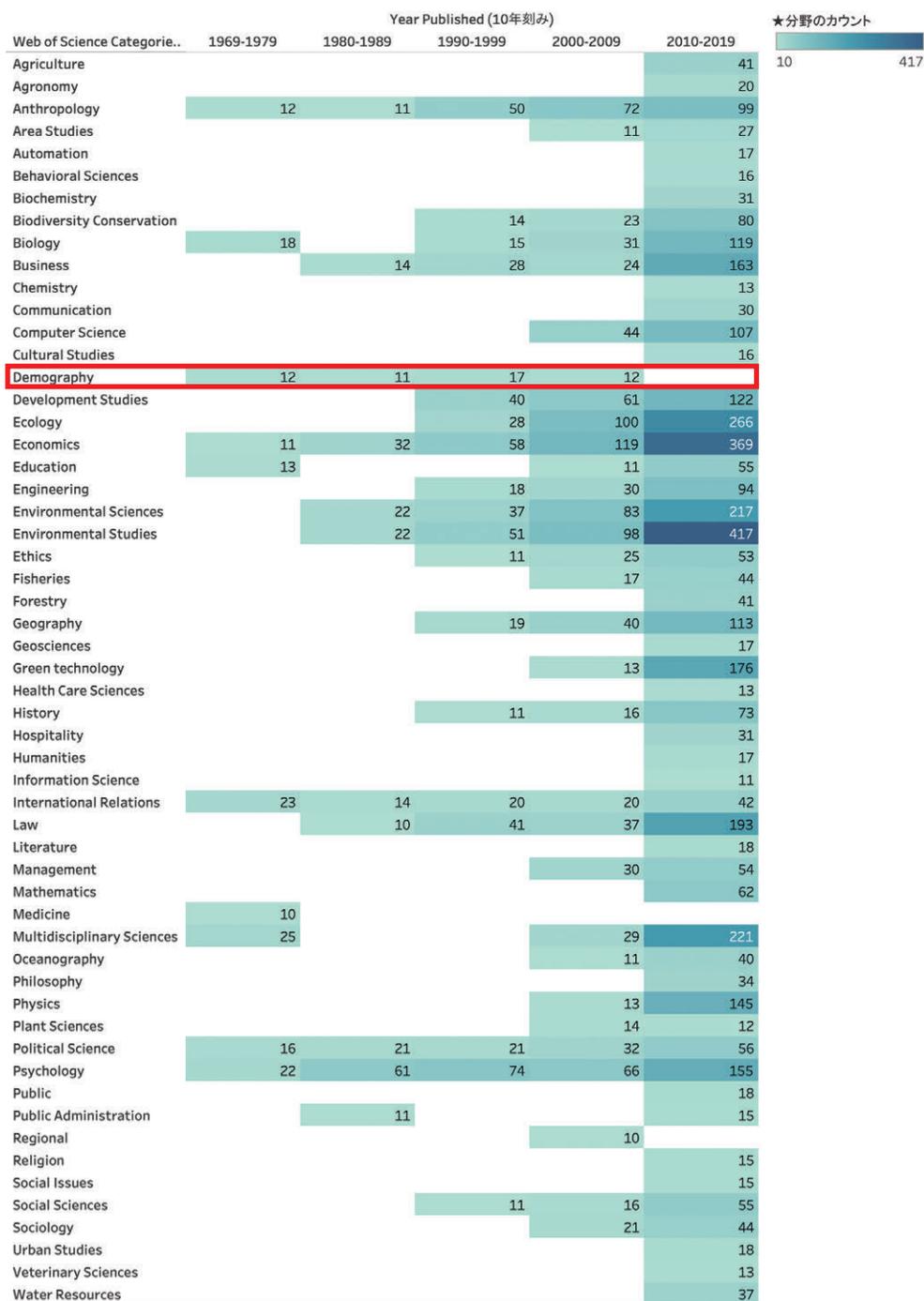
図2 ハーディン論文を引用した文献数の推移 (Articleのみ集計)

4.1.2 学術分野

ハーディン論文を引用した文献の学術領域は実に多彩で、農業 (Agriculture) から動物学 (Zoology) まで非常に広範な学術分野をカバーしている。図3はそれぞれ文献数が10件以上ある分野の年次推移を示したものである。

一見して分かるのは、学術領域が拡大し、特に2010年以降はその傾向が顕著なことである。出版後最初の11年間 (1969年～1979年、以後「1970年代」とする) では、文化人類学、生物学、人口学などわずか10分野だったのが、2010年から2019年の10年間では文学や倫理学をはじめとする55分野にまで拡大している。特に文献数が増加したものは環境学 (environmental studies) で417件と最も多く、次いで生態学 (ecology)、経済学 (economics)、環境科学 (environmental science)、学際分野 (multidisciplinary Science) で200件以上と、学際的な分野が多くなっているのが目立っている。また、グリーン技術 (green technology) や水資源 (water resources) など、課題解決型の新領域が学術分野の裾野を広げている。

一方、人口問題を扱う Demography (人口学) は1970年代には12件、1980年代には11件とほぼ10件台の論文が発表されていたが、2010年代に入ると10件を下回りグラフには記されなくなる (赤の囲み部分)。



★分野 (簡易版) のカウント (色) は Year Published (10年刻み) または Web of Science Categories (簡易版) によって分類されています。ビューは ★分野 (簡易版) のカウント でフィルターされます。これは 10 以上の値を含みます。

図 3 学術分野の推移

4.1.3 引用回数の分布

表1は、ハーディン論文を引用した文献が他の論文に引用された被引用回数の分布を示している。本研究で分析対象となった6,948件の文献のうち約11パーセントにあたる796件は出版後一度も引用されていない。その一方で全体の5.1パーセントにあたる353件は出版後100回以上も引用されている。

表1 被引用回数の分布

被引用回数	度数	パーセント
0	796	11.5%
1-9	3,131	45.1%
10-49	2,202	31.7%
50-99	466	6.7%
100 以上	353	5.1%
合計	6,948	100%

表2は、被引用回数の上位10の論文を被引用回数の多い順にリストしたものである。政治学系のもものが三編、経営学系が2編ある他、経済学、社会学、政治学、生化学、環境学における主要なジャーナルに掲載された論文が並ぶ。

2009年のノーベル経済学賞を受賞し、「共有地の悲劇」の批判的考察からコモンズ論の発展に大きな影響を与えたE. Ostromによるものが2編含まれているのが目をひく。他にも被引用回数が3,053回と突出して高い被引用回数を誇るOdum (1969) は生態学の古典として知られる一篇である。ただし、引用ネットワークの文脈では、ネットワーク内部で引用されるものを⁴内部引用、ネットワークの外で引用される場合を⁴外部引用と区別され(van Eck and Waltman 2014)、Odum (1969) の被引用数には双方が含まれる。後述するように、内部引用数はそれほど多くはなく、書誌結合によるネットワークでは他の論文との類似性は必ずしも高くない。

表2 被引用回数上位10件

被引用回数	出版年	著者	タイトル	掲載誌
3,053	1969	Odum, EP	Strategy of Ecosystem Development	SCIENCE
2,103	1996	Hall, PA; Taylor, RCR	Political science and the three new institutionalisms	POLITICAL STUDIES
1,832	1998	Woolcock, M	Social capital and economic development: Toward a theoretical synthesis and policy framework	THEORY AND SOCIETY
1,792	1991	WOOD, DJ	Corporate Social Performance Revisited	ACADEMY OF MANAGEMENT REVIEW
1,144	2007	Ostrom, E	A diagnostic approach for going beyond panaceas	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA
951	2010	Ostrom, E	Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems	AMERICAN ECONOMIC REVIEW
927	1993	Stern, PC; Dietz, T; Kalof, L	Value Orientations, Gender, and Environmental Concern	ENVIRONMENT AND BEHAVIOR
905	1986	Axelrod, R	An Evolutionary Approach to Norms	AMERICAN POLITICAL SCIENCE REVIEW
862	1971	Whittaker, RH; Feeny, PP	Allelochemicals - Chemical Interactions Between Species	SCIENCE
802	2000	King, AA; Lenox, MJ	Industry self-regulation without sanctions: The chemical industry's Responsible Care Program	ACADEMY OF MANAGEMENT JOURNAL

4.2 引用ネットワーク分析

4.2.1 書誌統合分析

図4はハーデン論文を引用した文献間の関係を、書誌結合によるネットワークとして可視化したものである⁴。円の大きさは各論文の被引用件数を表し、書誌結合から抽出されたクラスターを色で識別している。

4 被引用件数は10件以上のもののうち、結合度の強いもの上位500本の書誌結合を視覚化している。ネットワーク図の作成にはレイデン大学のCentre for Science and Technology Studies (CWTS)にて開発されたVOSViewerを使用した。(https://www.vosviewer.com/)

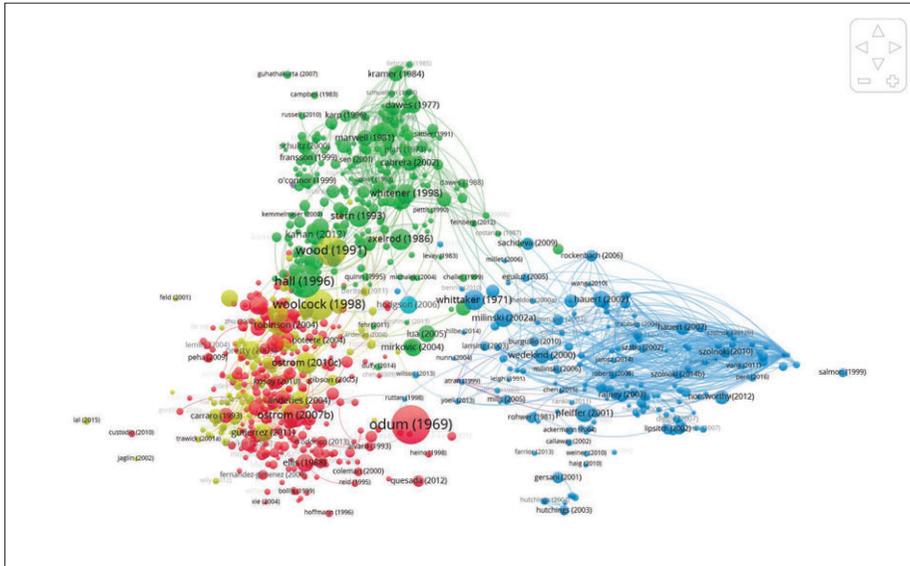


図4 書誌結合による文献ネットワーク (1968-2019) (被引用件数>50)

大きく分けて4つのクラスターが検出された。最も大きい第1のクラスター(赤)は生態学、生態経済学に関連するもので312件の文献から形成される。この中にはくだんのOdum (1969)も含まれており、被引用数の多さからひととき大きいノード(ネットワークの点)として描かれているが、書誌結合の強さはさほど高くない。すなわち、Odum (1969)が依拠した論文には他の文献の引用文献との共通性はさほどなく、ネットワークの中では必ずしも中心的な位置にあるわけではない。第2のクラスター(緑)は社会学、政治学、心理学などの社会科学系、第3のクラスター(青)は自然科学系、第4のクラスター(黄)は社会関係資本にまつわる経営学的考察、Ostromによる論文も数多くここに含まれているが、第1クラスターの生態学、生態経済学の論文群の中にもOstromによる論文が散見され、コモンズ論の深化に貴重な貢献をしたことが示される⁵。

図5は書誌結合による文献間のネットワークの変遷を10年毎に示したものである。それぞれの年代に発表された文献のうち被引用件数が10件以上のものに限定して図示している。図5を一見して分かるのは、1980年代から2000年代にかけてクラスターが多様化していることと、その逆に2010年代に入ると急速にクラスターが収斂していることである。

書誌結合により検出されたクラスターの数は順に、1969年から1970年の10年間(1970年代と記載する)は8個、1980年代は8個、1990年代は9個、2000年代は13個であるのに対し、2010年以降の10年間では5個と急減する。しかも、2010年以降では図で確認できるのは3個に限られる。その一方で、被引用数が10件を超える文献は1970年代では69件、1980年代で168件、1990年代は457件、2000年代では989件、2010年代では1,600件以上(図では被引用回数上位1000件のみ表示)と、時を経るにつれて急激に増えている。前節の記述統計でも確認したように、ハーディン論文

5 Ostromと表記されているものでも初期のものも夫のVincentとの共著が多い。

を引用した文献は2010年代以降に爆発的に増加し、その学術分野も拡散した。そのような量的拡大の一方で、書誌結合で確認される文献の引用の文脈は2010年以降は逆に単一化した傾向にあると言える。

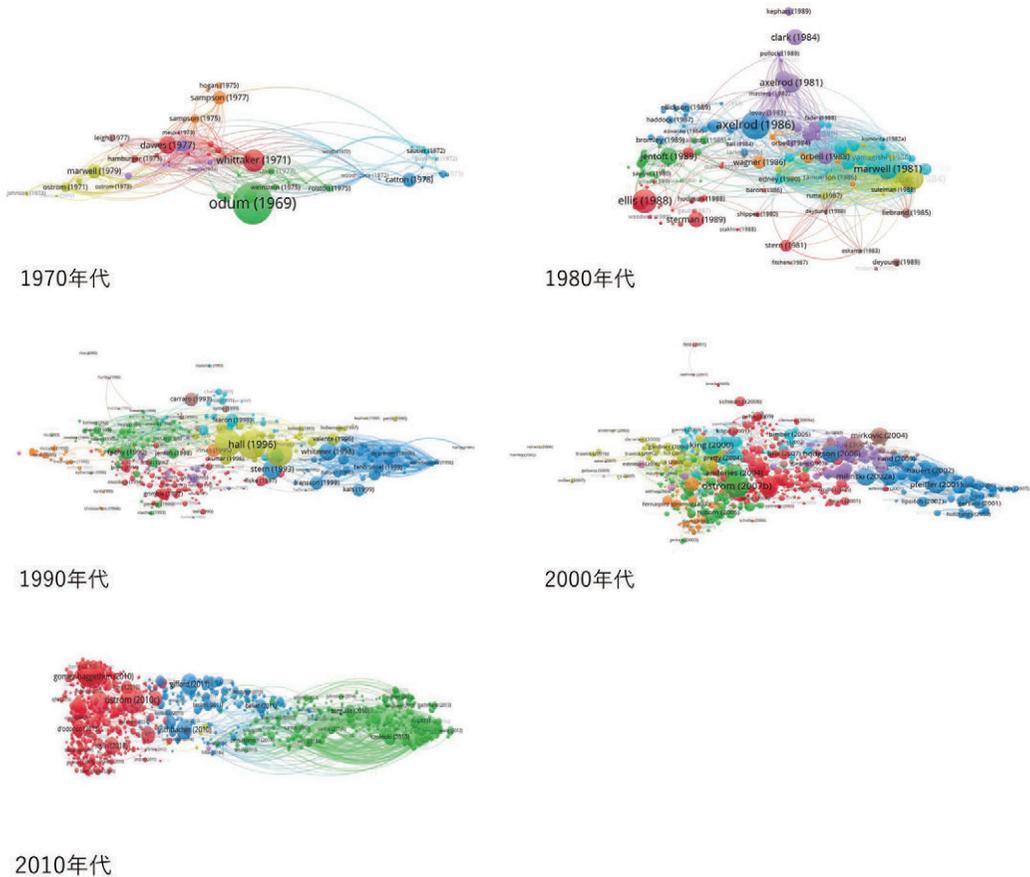


図5 書誌結合によるネットワーク（10年刻み）（被引用件数>10）

4.2.2 テキスト分析

引用関係や書誌結合を用いて文献間の関係性を把握する方法とは異なるものとして、文献の言語情報そのものを用いるのがテキスト分析である。本研究ではタイトルに用いられる頻出単語を抽出し、文献間の使用単語の共通性を用いて関係性を計測した。

図6から図10は、ハーディン論文を引用した論文のタイトルに使用された単語の共通性をネットワークとして10年おきにマッピングしたものである⁶。

まず図6の1970年代では、左から「法学」(law)、「世界人口／コントロール」(world population /

6 本研究で使用したデータでは論文の要旨 (abstract) は1981年代以降にしか収集されていないので時系列比較が可能なタイトルのみを対象にテキスト分析を行った。

control)、「危機」(crisis)、「フリーライダー問題」(free rider problem)などのクラスターが抽出された。中央に配置されている語句を見ると、「世界人口」の問題を(いかに)「コントロール」(control)するかといった問題群が「危機」とともに語られている。

1980年代(図7)では、ウエイトが高い語彙として左から、「悲劇」(tragedy)、「管理」(control)、「将来」(future)が抽出され、その周囲に「成長」(growth)、「コミュニティー」(community)、「自然資源」(natural resource)、「危機」(crisis)、といった言葉が配置される。世界人口が中心的語彙として表示された1970年代から地域社会での自然資源の管理の問題、いわゆるコモンズ論に議論の中心が移ったことが示唆される。その一方で、「人口」(population)もワードマップに表示されている。

1990年代(図8)になるとタイトル語句のクラスターは多極化する。比較的ウエイトが高い語群として「悲劇」(tragedy)／コモンズ(common)」と「生態学(ecology)／持続可能な開発(sustainable development)／保全(conservation)」の二つの語群が検出される。前者の周辺には少し離れて「将来(future)／サステナビリティ(sustainability)」があり 後者の周辺には「解決(solution)／科学(science)／プロセス(process)／経済(economy)」が見られる。他には「プロセス(process)／漁業管理(fishery management)／制度(institution)」といった語群が並ぶ。1987年のブルントラント委員会による報告書の中心的概念となった「持続可能な開発」が広く認知されるようになったことを受けた議論や生態系保全、そのための制度設計といった文脈で「共有地の悲劇」のモデルが使われていったことが示される。

その一方でさほどウエイトは高くないものの右端に「人口」(population)が「機会」(opportunity)や「価値」(value)といった語彙とともに検出され、人口に関する文脈でもハーディン論文が引用されていることが分かる。

2000年代に入るとタイトルの語彙はさらに拡散する(図9)。ウエイトが高い語群として「コモン」(common)「悲劇」(tragedy)「協力」(cooperation)が検出され、それらの周辺に「財産(property)／共同管理(co management)」、「市場(market)／枠組み(framework)／社会資本(social capital)／自然資源(natural resource)」、「ネットワーク(network)／参加(participation)」[「エージェント(agent)／ジレンマ(dilemma)／囚人(prisoner)／ジレンマゲーム(dilemma game)」]「競争」(competition)「比較」(comparison)「規制(regulation)／法律(law)」[「効率(efficiency)／インパクト(impact)／慣習(practice)／漁業管理(fishery management)」]「認知」(perception)といった語群が散在する。議論の方向としてはコモンズをめぐる協力関係を中心に広範な議論が展開したことが示唆される。

2000年代まで多様化を続けたタイトルの語彙は、2010年代に入ると今度は逆に収斂し始める(図10)。「コモン」(common)と「協力」(cooperation)がウエイトの高い語彙としてそれぞれのクラスターの中心となる。前者の周辺には順に「水(water)／条件(condition)／土地(land)／信頼(trust)／多様性(diversity)／経験(experience)／規定要因(determinants)／自然資源管理(natural resource management)／研究(research)／危機(crisis)」が並び、後者の周辺には「エージェント(agent)／空間的(special)／公共財ゲーム(public goods game)／ネットワーク(network)／戦略(strategy)」などの語彙が配置される。水や土地にまつわる自然資源の管理の現場で、ステイクホルダーの協力をいかに引き出すか、人と人との信頼関係を築く条件は何かというテーマが読み取れるが、2000年代までと比べて語彙は格段に単一化している。

本論で注目する人口(population)には図中に赤丸で印をつけた。1990年代までワードマップに登

場しているが、時を経るごとにネットワークの中心から周辺へと移動し、2000年以降はマップからも消えていく。人口問題が「共有地の悲劇」をめぐる学術的議論から消えていく様を確認できる。

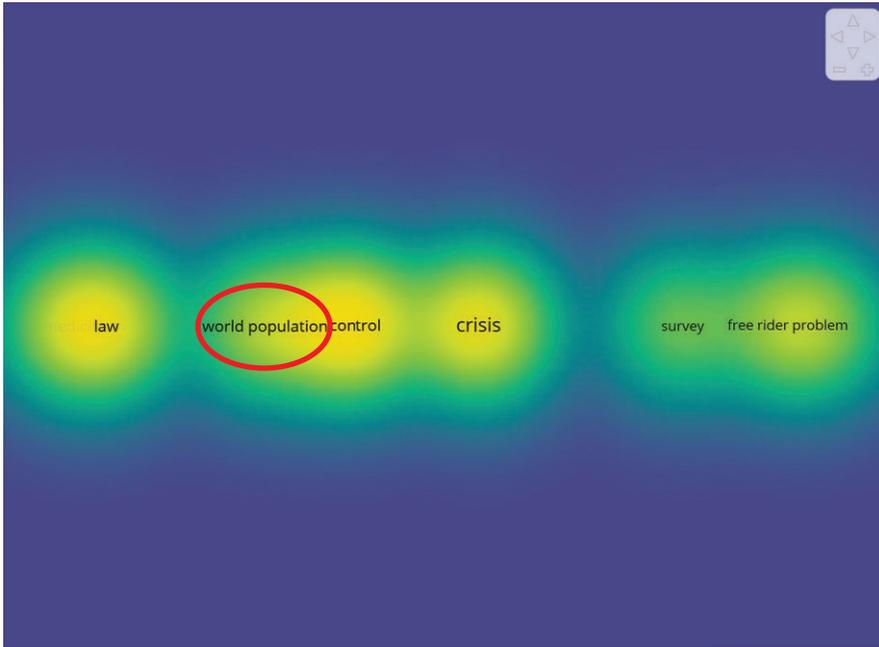


図6 タイトルテキストマップ (1970年代)

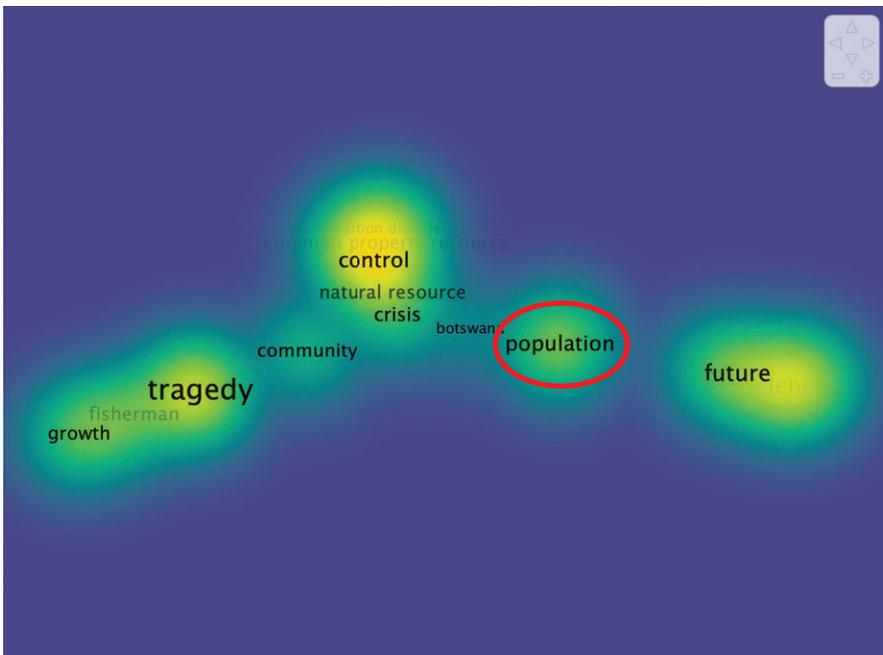


図7 タイトルテキストマップ (1980年代)

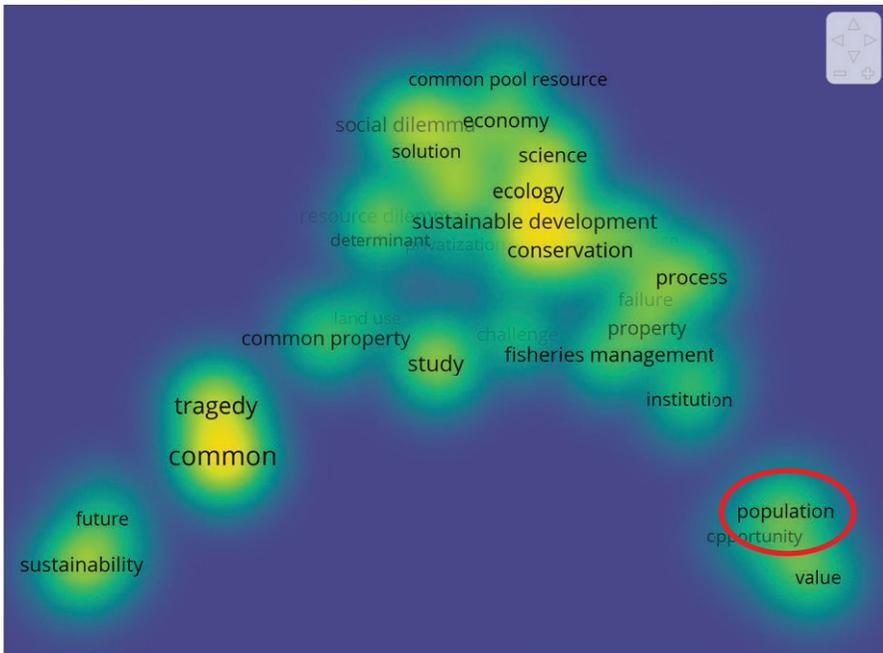


図8 タイトルテキストマップ (1990年代)

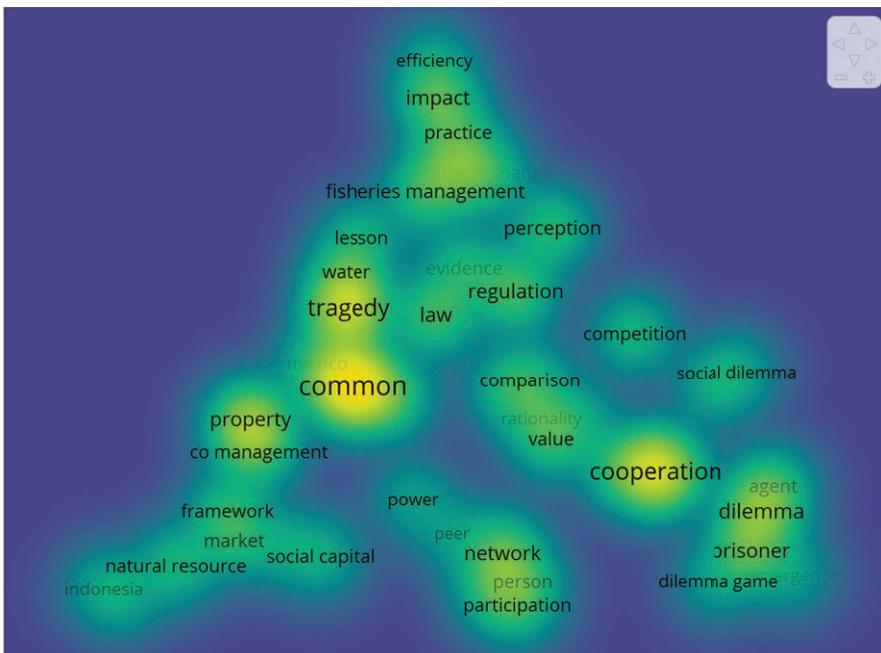


図9 タイトルテキストマップ (2000年代)

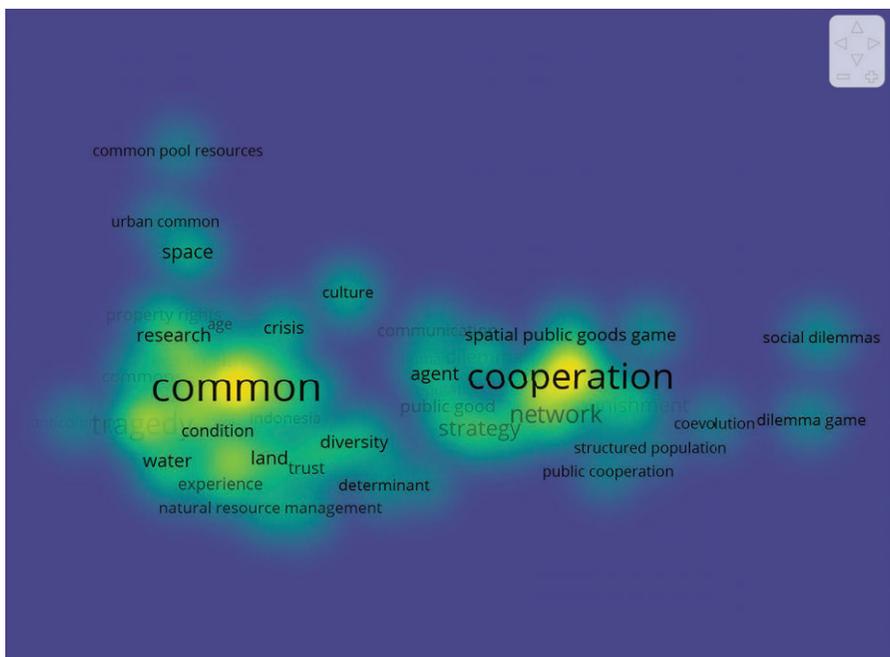


図 10 タイトルテキストマップ (2010年代)

結論

以上、ハーディン論文を引用した文献の計量書誌学的分析から以下の3点が導き出される。

第一に、ハーディン論文の引用した論文は量的拡大と分野の拡散傾向とともに環境研究・新領域への集中が見られることである。一般的には発表される論文の大半は時がたつにつれ引用されなくなるのに対して、ハーディン論文は出版後半世紀をたってもなお引用され続け、しかも被引用数は特に2010年以降ますます増加傾向にある。そして、この被引用数の量的拡大は主に環境学、環境科学で起きていた。

もちろん環境に関する論文は分野を超えて出版されている。経済学の領域と分類されたジャーナルに環境問題に関する経済学的考察の論文が掲載されることはあるだろう。だがその逆に環境関係のジャーナルで環境に無関係の論文が掲載されることはない。つまり、分野として「環境学」、「環境科学」で引用文献数が増加したということは、「環境」という問題群、あるいはより厳密に「環境関連分野のジャーナル」がハーディン論文のホストとして成長していったと考えることができる。

第二に、ハーディン論文にまつわる議論は2000年代半ばまでは多様化したが、2010年以降には逆に単一化した。この傾向は書誌結合分析とテキスト分析の双方で見られた。

1980年代から2000年代にかけての約30年間は「共有地の悲劇」をめぐる議論の文脈が多様化し、多くの学術的系譜生み出した。先の遺伝子系列にたとえていえば、ハーディン論文という遺伝子はこの30年間で、生物進化におけるカンブリア期のように新しい亜種を次々と生み出していったと言える。そのきっかけが何だったかという問題については個々の論文の内容に立ち入る定性的分析

が必要だが、書誌結合の内容を精査した範囲ではエレノア・オストロムの功績は特筆に値する⁷。

その一方で、2010年以降は文献のネットワーク構造には単一化が見られる。上述したようにハーディン論文を引用する文献と学術領域の量的拡大・拡散とは裏腹に引用される文脈が定型化したことが示唆される。「共有地の悲劇」という論文が古典としての地位を確立したとも、あるいはモデルとしての「共有地の悲劇」がオリジナルの主旨から独立して一種のアイコンや「枕詞」として流通するようになったと解釈することもできる。

本研究で得られた第三の知見として指摘したいのは、ハーディンがもともと問題にした人口問題について、少なくとも1990年代までは議論されていた形跡があることだ。テキスト分析で「人口」(population)という語句はタイトル用語として1990年代までは検出される。つまり、この時期までは「人口」という文脈でハーディン論文を引用する論文が発表されていた。

事実、人口を問題にした個々の論文にあたると、環境負荷を「人口」に加えて「豊かさ」と「技術」の積算であるとしたI=PATモデルの出発点となったEhrlich and Holden (1969)をはじめ、環境と子どもの経済外部性を問題にしたLee and Miller (1990)、人口問題と成長の限界を論じたDemeny (1986)など重要な論文が散見する。しかし、これら人口関係の論文はハーディン論文を引用した文献群の内部ではそれほど多く引用されていない。

図11はタイトルに「人口」(population)を含む論文の内部引用関係を図示したものである⁸。この図からも分かるようにそれぞれ単発的には発表されているが、ハーディン論文を引用した文献の内部では引用されずに終わっている。

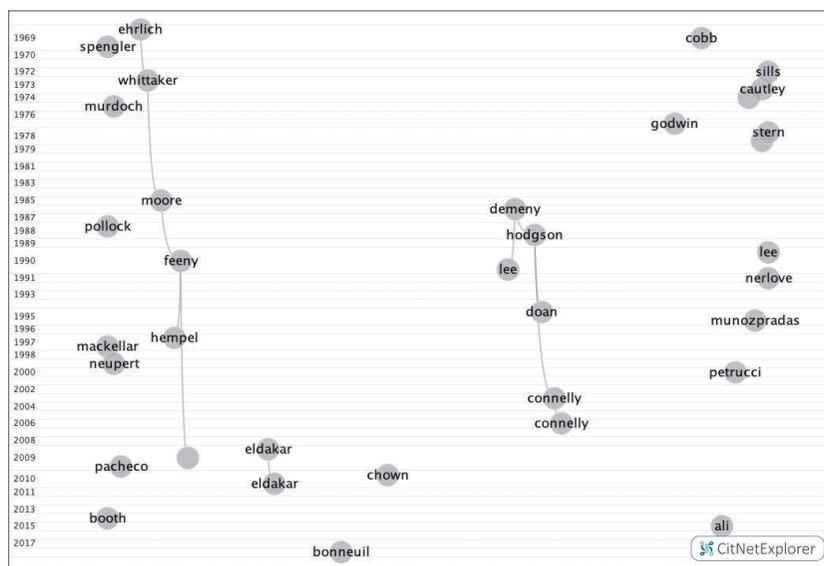


図11 タイトルに人口 (population) を含む論文の引用ネットワーク

7 それと同時にエレノアの夫であるビンセント・オストロムの功績も決して無視できない。コモンズの制度設計に関する初期の考察はビンセント・オストロムとの共著が多数ある。この点については別途考察したい。

8 作図にはCitNetを使用した。

こうした動向は国連を舞台とした「人口問題のパラダイムシフト」と連動していると思われる。『人口爆弾』や『成長の限界』に呼応する形で1974年にルーマニアのブカレストで「世界人口会議」が開かれ人口のゼロ成長を目指すことが求められたが、1985年にカイロで開催された「世界人口会議」ではマルサス主義的な主張が後退し女性の権利が強調された。リプロダクティブ・ヘルス／ライツ（性と生殖に関する健康／権利）の促進と女性の地位や能力の向上が前面に打ち出され、女性の身体をめぐるポリティックスの中で、ジェンダー、開発、人口問題をめぐるパラダイムが大きく変わり、1990年代半ばには国連の場で人口抑制を語ることは時代錯誤と見なされるようになる（Frey 2011; Eager 2004）。

1980年から1990年にかけてのサイモン／エーリッヒ論争も「人口問題」の“周辺化”に一役買っているだろう。人口増加により資源の枯渇を案じたエーリッヒに対し、サイモンは資源の希少化は価格の高騰を通じて技術革新を引き起こし、代替資源の開拓が進むと主張した。彼らは銅、クロム、タンゲステン、ニッケル、錫、ニッケル5種類の金属価格をめぐって1980年から1990年にかけて「世紀の賭け」を行った。結果は金属価格の下落を予想したサイモンの勝ちだった。悲観論を説く新マルサス主義の「正当派」と楽観論を主張する「修正派」の論争とも位置づけられるされるこの論争は、マスメディアと大衆をも巻き込み多くの話題をさらったことは環境問題史で特筆に値する（Tierney 1990; Sabin 2013）。

さらに、発展途上国も経済成長によって多産多死から多産少死、少産少死へと移行する人口転換がはじまり、全体的な人口増加率が低減し始めたことも人口問題への関心の低下に一役買ったと考えられる。1960年代後半に2.05%を記録した人口増加率はその後減少に転じ、2015年から20年の5年間で1.09%まで落ち着き、静止人口への見通しが立ってきた。国連の推計では、世界人口は早ければ2050年頃に90億人程度で、遅くとも2100年頃に110億人程度をピークに減少に転じるという予測もでている（UNDESA 2020）。

このように、環境問題を人口問題の関数として考えることが政治的にも倫理的にも難しくなり、技術革新と市場メカニズムで問題は解決できると考えた楽観論者が当面の正当性を獲得し、開発と経済発展により静止人口への目処がたったことと。これが環境問題と人口問題のデカップリングの背景にある。

もっとも、世界人口が増え続けていることには変わりはない。現在、世界人口は『人口爆弾』の出版時の40億の倍の80億に迫ろうとしている。温室効果ガスによる地球温暖化にしろ、気候変動にしろ、海洋プラスチックごみの問題にしろ、すべて人間が引き起こした問題だ。環境問題が人類起源（anthropogenic）である限り、人口規模は問題構造の根源にあることに変わりはない（Becker 2013）。だが、たとえば気候変動に関する最も権威ある報告書であるIPCCの報告書にも人口増加や家族計画に関する記述は見られない。

人間の個体数の増加傾向は環境収容量を超えつつあり、それを抑制するには家族計画や避妊の奨励といった誘導策だけでなく、より明示的かつ強制的に人間の繁殖を制御すべきだという「環境マルサス主義者」の主張はきわめて分かりやすい。だが、次の瞬間に問われたのは「誰の命が問われるべきか」「誰の再生産の権利が規制されるべきか」という厄介な問いだったのだ。

気候変動や生物多様性などの環境関連問題群のレバレッジ・ポイントの一つが「人口」であることは間違いない。本論では、環境問題から人口問題が「いかに」消えていったかというプロセ

スをデータに基づいて提示できた。その背景、すなわち「何故」消えていったのかという問いについては、上述の国際的人口政策の変化と関連して今後の課題としたい。

引用文献

- Andrés, Ana. 2009. *Measuring Academic Research: How to Undertake a Bibliometric Study*. Oxford: Chandos Publishing.
- Archambault, Éric, and Étienne Vignola Gagné. 2004. *The Use of Bibliometrics in the Social Sciences and Humanities*. Social Sciences and Humanities Research Council of Canada (SSHRC).
- Becker, Stan. 2013. "Has the *World* Really Survived the Population Bomb? (Commentary on "How the World Survived the Population Bomb: Lessons From 50 Years of Extraordinary Demographic History"). *Demography* 50 (6): 2173–2181.
- Boserup, Ester. 1981. *Population and Technology*. Oxford Oxfordshire: Blackwell Publishers.
- Corker, Nicholas. 2011. "Historical paper: 'The tragedy of the commons'." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* 164 (2): 105–117.
- Crowe, B.L. 1969. "Tragedy of Commons Revisited." *Science* 166 (3909): 1103–1107.
<https://doi.org/10.1126/science.166.3909.1103>.
- Demeny, P. 1986. "Population and the Invisible Hand." *Demography* 23 (4): 473–487.
- De Steiguer, Joseph Edward. 1997. *The Age of Environmentalism*. McGraw-Hill.
- Deese, R. S. 2008. "A metaphor at midlife: 'The Tragedy of the Commons' turns 40," *Endeavour*, 32 (4): 152–155.
- Eager, Paige Whaley. 2004. *Global Population Politic: From Population Control to Reproductive Rights*. Burlington, Vt.: Ashgate.
- Ehrlich, P. R. 1968. *Population Bomb*. Sierra Club/Ballantine Books.
- Ehrlich, P. R., and J. P. Holdren. 1969. "Population and Panaceas a Technological Perspective." *Bioscience* 19 (12): 1065–1071.
<https://doi.org/10.2307/1294858>.
- Feeny, David, Fikret Berkes, Bonnie J. McCay, and James M. Acheson. 1990. "The Tragedy of the Commons: Twenty-Two Years Later." *Human Ecology* 18 (1): 1–19.
- Frey, Marc. 2011. "Neo-Malthusianism and Development: Shifting Interpretations of a Contested Paradigm." *Journal of Global History* 6 (1): 75–97.
- Frischmann, Brett M., Alain Marciano, and Giovanni Battista Ramello. 2019. "Retrospectives: Tragedy of the Commons after 50 Years." *Journal of Economic Perspectives* 33 (4): 211–228.
<https://doi.org/10.1257/jep.33.4.211>.
- Hardin, G. 1968a. "Tragedy of Commons." *Science* 162 (3859): 1243–1248.
- . 1968b. "Abortion or compulsory pregnancy." *Journal of Marriage and Family*, 30: 246–251.
- . 1973. *Stalking the Wild Taboo*. W.Kafmann
- . 1974. "Living on a lifeboat." *Bioscience* 24 (10): 561–568.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11661143>.
- . 1998. "Extensions of 'The Tragedy of the Commons'." *Science* 280 (5364): 682–683.
- 林雅秀, 金澤悠介. 2014. 「コモンズ問題の現代的変容—社会的ジレンマ問題をこえて—」『理論と方法』29 (2): 241–259.
- 平尾桂子. 2011. 「拡散する“共有地の悲劇”」『地球環境学』7:67–81.
- Kessler, M. M. 1963. "Bibliographic Coupling Between Scientific Papers." *American Documentation* 14 (1): 10–25.
<https://doi.org/10.1002/asi.5090140103>.
- Lee, Ronald, and Tim Miller. 1990. "Population Policy and Externalities to Childbearing." *The Annals of the American*

- Academy of Political and Social Science* 510: 17–32.
<http://www.jstor.org/stable/1046791>.
- Lutts, Ralph H. 1984. “Garrett Hardin: Dilemmas and taboos.” *The Environmentalist* 4 (4): 287–293.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0251108884924513>.
- Meadows, Donella H., Dennis L Meadows, Jorgan Randers, and William W Behrens. 1972. *The Limits to Growth : A Report for the Club of Rome’s Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- National Research Council. 2002. *The Drama of the Commons*. Edited by Elinor Ostrom, Thomas Dietz, Nives Dolšak, Paul C. Stern, Susan Stonich, and Elke U. Weber. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://www.nap.edu/catalog/10287/the-drama-of-the-commons>.
- Odum, E. P. 1969. “Strategy of Ecosystem Development.” *Science* 164 (3877): 262–270.
- Ostrom, Elinor. 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Paddock, William, and Paul Paddock. 1967. *Famine, 1975! America’s Decision: Who Will Survive?* Boston: Little, Brown.
- Robertson, T. 2012. *The Malthusian Moment: Global Population Growth and the Birth of American Environmentalism*. Rutgers Univesity Press.
- Sabin, Paul. 2013. *The Bet: Paul Ehrlich, Julian Simon, and our gamble over Earth's future*. Yale University Press.
- 菅豊, 2008, 「コモンズの喜劇：人類学がコモンズ論に果たした役割」井上真編『コモンズ論の挑戦：新たな資源管理を求めて』新曜社, 2–19.
- 棚橋佳子, 2020, 「情報の寿命を表す指標：被引用半減期」『情報の科学と技術』70 (1): 30–33.
- Tierney, John. 1990. “Betting on the Planet.” *The New York Times*, December 2, 1990, sec. Magazine.
<https://www.nytimes.com/1990/12/02/magazine/betting-on-the-planet.html>.
- UNDESA 2020. *World Population Prospect 2019*
<https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>

生物の社会性進化と統合的社会選択

田中 嘉成*

要旨

地球環境問題や貧困・紛争、感染症の蔓延など、人間が抱える様々な大域的で深刻な問題を解決するうえで基盤となるのは、人間特有の心理的能力、他者の苦痛に共感し、問題の解決のために同志と協力し合う能力ではないだろうか。このような、協力行動もしくは利他性の進化は人類集団に固有の現象でなく、哺乳動物のいくつかの系統、社会性昆虫などの無脊椎動物にも独立で派生したと考えられ、進化生物学や社会生物学の主要なテーマとして研究されてきた。本稿では、同種に属する他個体の特定形質に応じて、他個体の適応度(子世代に遺伝子を残す度合い)に与える社会選択モデルと、群れ生活する生物がグループを単位として淘汰にさらされるグループ選択モデルを統合した「統合的社会選択モデル」を考案し、進化理論として一般的な量的遺伝理論による定式化と数値シミュレーションを試みた。このモデルでは、集団の利益のために自己を犠牲にする特性を向社会性とよび、集団内における社会選択で他個体から選好される(有利な扱いを受ける)形質とみなした。解析結果は、社会選択のみでも、グループ選択のみでも向社会性の進化は予測されず、2つのレベルの選択が相互作用をもつことにより種全体の向社会性の進化がもたらされることが示唆された。さらに、集団内で統合化された協力行動が進化した場合、集団内の向社会性は集団の適応度(集団全体の存続可能性などの利益)に対して非線形な寄与をすると考えられるが、その場合、高い向社会性が達成された場合の安定性は、不安定な代替平衡点によって促進され、社会進化のレジリエンスをもたらしことが示唆された。

* 上智大学大学院地球環境学研究所

Integrative Social Selection for the Evolution of Sociality in Wildlife

Yoshinari Tanaka

Abstract

We can sympathize with others as a human nature, which might give a basis for solving various global and serious problems that human beings have, such as global environmental problems, poverty-conflict issues, and the spread of infectious diseases. The human innate ability to cooperate with each other would contribute to address these problems. The evolution of cooperative behavior or altruism is not a phenomenon peculiar to human species but is thought to have been independently derived from several strains of mammals and invertebrates such as social insects. And it has been studied as a major theme in socio-biology and evolutionary biology in general. In this article, the social selection model that gives to the fitness of other individuals (the degree of leaving genes in the offspring) according to the specific traits of other individuals belonging to the same species is integrated into the group model in which organisms living in a herd are exposed to selection acting at the group level. I devised an "integrative social selection model" that integrated the two types of selection models, and tried to formulate and numerically simulate it by the quantitative genetic theory, which forms a general theory of evolution. In this model, the trait of sacrificing oneself for the benefit of the group is called "prosociality", and is regarded as a trait that is preferred (received favorable treatment) by other individuals with social selection within the group. The results of analysis suggest that the evolution of prosociality is not predicted by social selection alone nor group selection alone, and that the interaction between the two levels of selection leads to the evolution of prosociality in the whole species. Furthermore, if integrated cooperative behavior within a group evolves, prosociality within the group is thought to make a non-linear contribution to the fitness of the group (benefit such as viability of the group). In that case, it was suggested that stability when high prosociality was achieved was promoted by an unstable alternative equilibrium point, leading to resilience in biotic social evolution.

生物の社会性進化と統合的社会選択

人を含む多くの社会性の生物は、集団での協調行動や集団の他個体を助ける利他的な性質を進化させている。地球温暖化や生物多様性の消失、感染症の蔓延、貧困や不平等の拡大など様々な地球規模の課題を抱えている今日、これらを解決する鍵となるのは、人類がその本性として進化的に獲得してきた他者への利他的性向、共感能力、またそれらに裏打ちされた社会への帰属意識ではないだろうか。

とくに現生人類ホモ・サピエンス (*Homo sapiens*) は、高い協力行動と、それを支える高度な言語能力を進化させ、ネアンデルタール人 (*Homo neanderthalensis*) やホモ・エレクトス (*Homo erectus*) などの他の原人に競争で優位に立ち、最後の氷河期である後期更新世を生き延びたと考えられている。我々を特徴づける協力行動や利他性、コミュニケーション能力は、人類で卓越しているとはいえ、類似の特性が異なった程度と様相を呈しながら多様な生物種に見出されることは、古い博物学の時代から知られていた。特に、アリやシロアリ類、ハチ類に代表される社会性昆虫と呼ばれるグループの昆虫では、自己の繁殖を放棄して同じ巣の女王の繁殖を助ける利他行動や、ワーカー (働きバチや働きアリ) 間のコミュニケーション系を進化させた。これら社会性昆虫における不妊ワーカーの進化の問題は、適者生存の概念に要約される自然選択説を提唱したチャールズ・ダーウィンを深く悩ませ、「学説の難点」として、その主著「種の起源」において、1章をしたためるに至らせた。すなわち、後代 (子孫) に遺伝因子をより多く残す性質が、個体間の自然選択の過程を通じてより高い頻度を占めることになり、この過程が多世代にわたって蓄積することにより、種を規定する特性が進化する、というのが自然選択説の骨子であるのだが、社会性昆虫にみられる絶対的な利他性 (真社会性 *eusociality*: 自己の繁殖を犠牲にして他個体の繁殖を援助する特性のこと) の進化は、この概念に一見矛盾するものと捉えられたのである。

ネオ・ダーウィニズムの理論的枠組みの中から、この理論上の難点が解消されるには、Hamilton (1964) が血縁選択理論を提唱し、包括適応度の概念を定式化するまで待たなくてはならなかった。Hamilton は、利他行動を支配する遺伝子 (利他的遺伝子 *selfish gene*) が、同祖遺伝子を介して血縁個体間で共有される確率に着目し、利他者の遺伝子適応度 (次世代に遺伝子を拡散する能力を示す指標) が利他行動によって減少しても、血縁者の個体適応度の利得が大きければ利他的遺伝子は集団内での頻度を高め、自己犠牲的な利他行動が進化し得ることを示した。

その後、血縁選択理論は理論的支柱として社会生物学の創出に貢献し、人間性の進化への適用が試みられるや、所謂「社会生物学論争」を引き起こした。社会生物学のアプローチは、進化心理学や言語学、人類進化学にも大きな影響を与え続けている。社会生物学論争と軌を一にして、社会生物学の内部においても、血縁選択理論とグループ選択理論 (群淘汰、集団選択、マルチレベル選択などとも呼ばれる) の間でその一般性と理論的妥当性をめぐって論争が生じた。グループ選択理論は、ある生物種が多数の副次的な集団 (グループ) に分かれて生息していることを想定し、グループ内の他個体と協同してグループの存続に寄与する特性が、グループレベルの淘汰によって進化する可能性がある」と主張している。また、血縁集団をグループとみなすこと

により、グループ選択は血縁選択を一般化した理論であるという主張もある (Queller 1992)。ここでその詳細を記載する紙面の余裕はないが、現在もその解消には至っていない。一方、West-Eberhard (1979) は、社会性の生物で個体が他個体に対して選択圧を作用しうることを多くの例から示し、その選択圧を「社会選択」と称して新たなアプローチから生物の社会進化を考究した。さらに、Tanaka (1991, 1996) は、社会選択を量的遺伝学 (集団遺伝学の一分子科であるが、解析の対象を個体間で連続的な分布を示す量的形質とする点で、遺伝子頻度を解析対象とする一般的な集団遺伝学と異なる) の数理モデルによって解析し、儀式化した威嚇行動、服従行動、音声コミュニケーションなどの生物のコミュニケーション系の進化の問題に適用した。

本稿では、社会選択モデルとグループ選択モデルを統合した観点から、利他性の新たな進化モデルを提案する。そのモデルのもっとも特徴的な点は、グループの存続や繁栄により大きく寄与する個体が、集団内の他個体によって選考されると想定する点である。すなわち、利他性が社会選択のターゲットとなる。本稿は、一連の過程に基づく理論を「統合的社会選択モデル」と呼び、その理論上の妥当性を、量的遺伝モデルによる解析と数値シミュレーションによって検証する。

統合的社会選択モデルでは、グループ選択モデルと同様に、多数の小集団に分割した生物の空間分布を仮定する。多くの社会性生物は数十個体の群れを形成し、採餌や繁殖、天敵からの防衛などにおいて統合化された群れ生活を営むのが一般的である。後期更新世アナログと呼ばれる「野生の」現生人類の調査から、人類進化の過程でも数十個体からなる群れ生活を通じて人間性が獲得された可能性が高い。これらの状況は、グループ選択モデルの前提条件を満たしている。このような集団構造を生態学や進化的生物学ではメタ集団構造と言ひ、多くの事例が知られている。

さらに、統合的社会選択モデルでは、グループ内において、各個体が他個体の特性に応じて他個体の適応度 (次世代に子孫ないし遺伝子を残す度合いを示す尺度) に影響を与える、つまり他個体に選択をもたらすという状況を想定する。このような選択は、個体間の社会的相互作用によって生じるという点で、自然選択とは異なり、同種の他個体によってもたらされ、他個体の選好性による特性 (選好性) によって影響されることから、雌雄間の選好性によってもたらされる性選択もしくは配偶者選択を一般化した選択モデルということが出来る (Lyon and Montgomerie 2012)。

統合的社会選択に対する数理モデルによる解析を明確にするため、2つの形質を考える。すなわち、向社会性 (prosocial trait) と社会的選好性 (social preference) の2形質システムの共進化を解析する。向社会性は、端的に言う、自己を犠牲にして集団の便益に寄与する特性のことである。従来の生物社会進化モデルでは、「利他行動」もしくは「利他性」と呼ばれてきた心理的、行動的特性に相当する。より正確に定義すると、向社会性は自己の適応度を低下させる代わりに、集団に属する全個体の適応度を等しく増加させる。ここで、グループのメンバーの適応度に等しく寄与するという点が重要である。このことは、向社会性に作用する選択圧が、グループを単位として働くグループ選択による帰結であることに対応している。一方、集団内では、向社会性は他個体から選好される傾向があり、その選好の程度は他の特性、つまり社会的選好性によって左右される。社会的選好性は、利他行動に対するポリシング行動 (警察行動: 社会性昆虫で観測されている)、利他的な個体に対する協利行動などの個体間の相互作用により、向社会性の高い他個体の相対適応度を集団内で増加させる。社会的選好性は、他個体の適応度を増加させる場合が

あるという点で、利他行動の1種と解釈できるかもしれない。しかし、社会的選好性は、向社会性の低い個体に対する懲罰的行動を含みうる点、他個体の向社会性という形質に応じて、他個体に対する適応度の寄与を変化させる、つまり選り好みをするという点で、グループ内の他個体に等しく便益を与える利他性、ここでは向社会性と異なっている。向社会性は、利他行動やグループの存続や反映に貢献する行動によって、グループ内の全個体の適応度に等しく寄与する、つまりグループ全体に貢献する。メタ集団構造をもつ生物では、各グループ内の社会選択とグループ選択との相互作用によって、自己の適応度を犠牲にしてグループの適応度に寄与する利他性の進化が促進されると予想される。

従来の血縁選択モデルやグループ選択モデルにおける利他性は、ここで提案するモデルでは向社会性に相当する。向社会性は、グループもしくはクラスのメンバーの適応度を等しく増大させる点では利他性と同じだが、集団内において他個体から適応度上の便益を受ける、つまり他個体から選好される点が、従来の利他性と異なっている。

提出された枠組みは、グループ内の社会選択とグループ選択との相互作用に基づいている。社会的選好性が高い個体から構成されるグループでは、グループ内の個体が強い社会選択を受けることになり、向社会性の進化的変化が促進される。もし、グループ選択が作用する時間スケールが個体選択による形質進化の時間スケールより長ければ、グループ内の向社会性の進化的変化によってグループの適応度は高まり、グループ選択は促進されると考えられる。すなわち、グループ選択は、グループ内の社会選択の結果に対して作用し、社会的選好性のメタ集団全体における進化をもたらす。なぜなら、グループ内の向社会性はグループ内の選好性によって促進され、この傾向の高いグループはそうでないグループに比べて存続率が高くなるからである。

グループ選択によって社会的選好性に正の選択圧（より大きな値を持つ個体が有利となることによって生じる淘汰圧）が発生すれば、それは集団内の社会選択をさらに促進し、向社会性の進化を維持し加速することができると考えられる。さらに、グループの適応度が、個体間の協力行動によって、向社会性の平均値に対して非線形に反応する場合は、グループ内の向社会性の進化は、グループ選択による社会的選好性の進化を加速させることになる。このことは、向社会性に作用するグループ内の社会選択による進化的変化と、社会的選好性に作用するグループ選択による形質変化の間に正のフィードバックをもたらすと考えられる。

進化動態モデル

社会選択と集団選択の統合化された作用による、向社会性 (prosocial trait, PST) と社会的選好性 (social preference, SP) の2形質の進化を解析する。向社会性は、個体としての自己の適応度を犠牲にして、集団の利益をもたらすあらゆる形質を含み、その形質値を z で表す。社会的選好性は、個体間の相互作用を通じ、向社会性の高い個体を集団内で有利にするあらゆる心理的・行動的特性を含み、その形質値を y で表す。

あらゆる選択のエピソードを考慮したうえでの個体の全適応度は、次の構造を持つ。

$$w = w_0 + w_G + w_I \quad (1)$$

ここで、 w_0 は、適応度の全平均、 w_G と w_I は、それぞれグループ適応度と個体適応度で、集団選択と集団内の個体選択による適応度の変化分である。さらに、グループ適応度と個体選択は次の特定の構造を持つと仮定する。

$$w_G = i_g f_g(\mathbf{z}) \quad (2)$$

$$w_I = i_s f_s(z, \mathbf{y}') - \frac{1}{2} c_z z^2 - \frac{1}{2} c_y y^2 \quad (3)$$

ここで、 $f_g(\mathbf{z})$ はグループ適応度がグループの形質（向社会性のグループ平均値、グループメンバーが保有する向社会形質値に依存するという意味で、社会的相互作用を持ったパートナー全員の形質値をベクトル表示してある）にどのような関数関係があるかを表す。同様に、 $f_s(z, \mathbf{y}')$ は社会選択による個体適応度が形質値とどのような関数関係があるかを表す。 i_g および i_s は、グループ選択と個体選択の強さを示す指数である。

2つの形質とも、集団内では、その形質を保持する個体に適応度上のコスト（生存や繁殖の減衰）をもたらすと考えられる。向社会性は、自己の適応度を他個体に比べて高くする活動を犠牲にして、グループの利益に寄与する特性なので、定義上、グループ内では適応度コストがある。ただし、向社会性は社会選択によって他個体からの適応度上の利得がもたらされ、その利得がコストを上回るとき、グループ内での進化的増加が期待される。社会的選好性は、向社会性の高い個体に適応度上の利得を与え、逆に向社会性の低い個体には適応度上の損失を罰として与える特性であり、グループ内での利得は得られないが、社会行動の実行する際のエネルギーコストがかかると考えられる。 $\frac{1}{2} c_z z^2$ と $\frac{1}{2} c_y y^2$ はこれらの適応度コストが形質値とどう関係するかを示す。ここでは、2次関数的に増加すると仮定した。 c_z と c_y はコスト係数（正值）である。

個体の適応度が与えられたとき、ダーウィン過程による形質の世代あたり進化的変化は、Price の共分散公式によって、一般的に次式で表される (Queller 1992; Frank 1997)。

$$\Delta \bar{z} = \text{Cov}(g_z, w) \quad (4a)$$

$$= \text{Cov}(\bar{g}_z, w_G) + E[\text{Cov}(g_z, w_I)] \quad (4b)$$

ここで、 \bar{z} は向社会性のメタ集団平均、 g_z は向社会性の育種価（相加的遺伝子型値）、 \bar{g}_z はその集団平均である（ Cov は共分散、 E は期待値を示す）。

社会的選好性に関しても同様に、

$$\Delta \bar{y} = \text{Cov}(g_y, w) \quad (5a)$$

$$= \text{Cov}(\bar{g}_y, w_G) + E[\text{Cov}(g_y, w_I)] \quad (5b)$$

と定義できる。

すなわち、進化的変化は、どちらの形質についても、グループ内の個体選択による進化 $E[\text{Cov}(g_z, w_I)]$ および $E[\text{Cov}(g_y, w_I)]$ と、グループ選択による進化 $\text{Cov}(\bar{g}_z, w_G)$ および $\text{Cov}(\bar{g}_y, w_G)$ に分割することができる (Tanaka 1991, 1996; Agrawal et al. 2001)。

グループ内の進化的変化

各グループ内の個体選択による進化的変化は、前項にあるように、向社会性については $\Delta_I \bar{z} = \text{Cov}(g_z, w_I)$ 、社会的選好性については $\Delta_I \bar{y} = \text{Cov}(g_y, w_I)$ から計算できる。ここで、個体適応度における社会選択の適応度関数を $f_s(z, \mathbf{y}') = z\bar{\mathbf{y}}'$ と仮定する。この仮定は、社会選択を受ける個体の適応度は、その個体の向社会性が高いほど増加するが、その増加は、グループメンバー（当該個体と社会的相互作用を持つグループ内の他個体）の平均的な社会的選好性の程度によって左右されることを最も単純に表している。適応度コストも加味した個体適応度は、Taylor展開の1次項まで採用して、次式で近似される。

$$w_I = \bar{w}_I + \beta_z(z - \bar{z}) + \beta_y(y - \bar{y}) + R_I$$

ここで、 \bar{w}_I は形質が集団平均値のときの個体適応度、 β_z と β_y は選択勾配と呼ばれる指数で、形質に作用する選択力の強さを示す。両形質の選択勾配は次式で与えられる。

$$\beta_z = \left(\frac{\partial w_I}{\partial z} \right)_{\bar{z}} = -c_z \bar{z} + i_s \bar{\mathbf{y}}' \quad (6a)$$

$$\beta_y = \left(\frac{\partial w_I}{\partial y} \right)_{\bar{y}} = -c_y \bar{y} \quad (6b)$$

これを、上の共分散式に代入すると、グループ内の向社会性の世代あたり進化的変化は

$$\Delta_I \bar{z} = G_z \beta_z + G_{zy} \beta_y \quad (7a)$$

同様に社会的選好性については、

$$\Delta_I \bar{y} = G_{zy} \beta_z + G_y \beta_y \quad (7b)$$

と導かれ、量的遺伝モデルの基本式に従う (Lande 1979; Lande and Arnold 1983)。

グループ選択を除外した場合、すなわちグループ内の個体選択のみによる進化においては、進化的平衡状態は両形質が0 ($\bar{z} = \bar{y} = 0$) の自明 (trivial) な場合しかなく、どちらの形質も進化し得ないことがわかる。これは、どちらの形質にも適応度コストがあり、向社会性の進化は社会的選好性に依存することによってもたらされる。社会的選好性が0より大きな初期条件にあり、向社会性の進化が一時的にもたらされたとしても、社会的選好性に対しては負の選択が作用し続け、これをキャンセルする駆動力がないために、両形質が消滅するまで退化し続けることになる。同様の進化動態は、性選択モデルでも指摘されている (Pomiankowski 1987)。

局所安定性

個体選択のみによっては、0より大きく安定な平衡状態は達成できない。しかし、進化動態の安定性が低く、平衡点の周りにおける不安定性が大きい場合、進化軌道は安定平衡点に収束せず、発散してしまう。ここでは、その条件を求めておく。

動態モデルのヤコブ行列Jは

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \Delta \bar{z}}{\partial \bar{z}} & \frac{\partial \Delta \bar{z}}{\partial \bar{y}} \\ \frac{\partial \Delta \bar{y}}{\partial \bar{z}} & \frac{\partial \Delta \bar{y}}{\partial \bar{y}} \end{pmatrix} \quad (8)$$

である。ここで、 $\Delta \bar{z}$ と $\Delta \bar{y}$ は個体選択によるグループ内の進化的変化を表す。よって、

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} -G_z c_z & G_z i_s - G_{zy} c_y \\ -G_{zy} c_z & G_{zy} i_s - G_y c_y \end{pmatrix} \quad (9)$$

である。固有方程式は

$|\mathbf{J} - \lambda \mathbf{I}| = 0$ より、

$$\begin{aligned} (-G_z c_z - \lambda)(G_{zy} i_s - G_y c_y - \lambda) - (G_z i_s - G_{zy} c_y)(-G_{zy} c_z) &= 0 \\ \lambda^2 + (G_z c_z + G_y c_y - G_{zy} i_s)\lambda + c_z c_y (G_z G_y - G_{zy}^2) &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

である。ここで、 $a = 1$, $b = G_z c_z + G_y c_y - G_{zy} i_s$, $c = c_z c_y (G_z G_y - G_{zy}^2)$ と置くと、解の公式より、

$$\lambda = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (11)$$

である。遺伝相関 ($G_{zy}/\sqrt{G_z G_y}$) が1もしくは-1でなければ、 $c > 0$ である。さらに、 $ac > 0$ なので、明らかに $|b| > \sqrt{b^2 - 4ac}$ である。したがって、固有値が正となり、局所不安定になるのは、 $b < 0$ の場合である。

よって、

$$G_{zy} i_s > G_z c_z + G_y c_y \quad (12)$$

が不安定条件であり、このとき、形質の進化は発散し、社会的ランナウェイを引き起こす可能性を示唆する (Agrawal et al. 2001)。すなわち、2つの形質間の遺伝的な相関が高く、社会選択の強さが強い場合、形質の動態は安定平衡点である0点に引き寄せられることなく、予測不能な状態に達する。固有値の虚数部分が大きいことから、2形質の動態は渦を巻きながら無限遠に発散する。実際の生物系では、形質の遺伝分散の枯渇、形質が増大した時の適応度コストの仮定を超えた増加などによって、進化の暴走過程は終了すると考えられる。性選択では、インドクジャクの尾羽など、過度な進化を遂げた装飾的形質の進化の説明に適用されている (Fisher 1930; Lande 1981)。しかし、社会性や協力性などの特性でそのような暴走過程による説明と合致した現象は知られていない。

グループ選択

副次集団すなわちグループの適応度 (w_G) は、個体に作用する選択が soft selection か hard selection によって影響を受ける。本研究では、社会的嗜好性をもたらす向社会形質に基づく適応度差は、集団内の相対適応度のみに影響し、集団の適応度には影響しないと仮定する (soft selection)。また形質に作用する適応度コストについても同様である。向社会性は自己を犠牲に

して集団全体を利する行動を想定しているので、選択がグループのレベルでも作用する。ただしその適応度コストは個体レベルでのみ発生する。

グループ選択が作用するメカニズムとして、同じ集団に属する個体の繁殖成功率が一様に高くなること、また、その結果、グループサイズが他の集団より大きくなり、環境変動下での絶滅確率が低くなることなどを想定している。この他、毎世代もしくは数世代に1度、集団の大きさに応じてある比率の個体が分散し、多くの集団から集まったプロパギュール・プール（仮想的繁殖プール）を作成して、空いた空間にそれらが再植民することによっても生じる。いずれにしても、集団内で世代ごとに生じる進化的変化の時間スケールが長い期間、グループとしてのアイデンティティーが存続し、グループ選択が作用する時間スケールはグループ内の個体選択が作用する時間スケールより長いだろう。その場合、グループ選択は、集団内の進化的変化が蓄積した結果生じた集団間の変異性に対して作用すると考えられる。

ただし、本研究のモデルの時間単位は生物の平均世代時間なので、グループ選択による形質変化も世代時間当たりの変化に換算して統一的に表している。

個体選択とグループ選択の相互作用

両形質へのグループ選択の強さは、グループ適応度に対するグループ形質値（形質のグループ平均値）の傾き（グループ選択勾配）によって表される。グループ内における個体間の相互作用によって、グループ内の向社会性は進化的に増大する傾向にある。向社会性に対する社会選択は社会的嗜好性によって支配される。つまり、社会的嗜好性が平均的に高いグループは、強い社会選択を向社会性にもたらし、向社会性の世代あたり進化的変化が他のグループより大きいと考えられる。グループの適応度はグループ内の平均的な向社会性の大きさに左右されるので、グループが形成された時点で向社会性の高い個体が多かったグループが有利なだけでなく、グループが形成された後で、グループ単位の選択が作用するまでに向社会性の進化的変化をより大きく遂げたグループも有利であるはずである。つまり、グループ選択はグループ内の社会選択によって強化され、グループ単位では、向社会性と社会的嗜好性のどちらにも選択が作用すると考えられる。特に、社会選択の強さを支配する社会的嗜好性に対するグループ選択は、メタ集団全体における向社会性の進化動態に重要な影響を与える。

このようなグループ選択と個体選択の相互作用が重要であるかどうかは、集団内における社会選択のターゲットである向社会性が集団の適応度に寄与するという基本的な仮定に依存する以外に、グループ選択が作用する時間スケールとグループ内の個体選択が作用する時間スケールの相対的な長さにも左右されると考えられる。グループが形成されてから解散するまでの期間が、個体選択による進化的変化の単位である平均世代時間より長い場合、グループ選択が個体選択の結果に対して作用する機会は高くなるだろう。反対に、グループが存続する期間が個体の平均世代時間より短い場合は、個体選択の結果がグループ選択に影響することは殆どないと考えられる。本研究では、単純化のため、グループの存続は1世代の長さであるとし、個体選択のエピソードの後にグループ選択のエピソードが生じると仮定した。実際の社会性の動物は、グループの存続期間が世代時間より長いかもしれない。その場合にも、実際のグループ選択の作用を世代ごとに

分割し、時間スケールを平均世代時間に統一することにより本研究の結果を適用することができるだろう。

集団内の進化的変化は、集団内の進化的応答後の2つの形質の平均値を、 \bar{z}^* および \bar{y}^* と書くと、前節の進化動態モデルより

$$\begin{pmatrix} \bar{z}^* \\ \bar{y}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{z} \\ \bar{y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} G_z & G_{zy} \\ G_{zy} & G_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_z \\ \beta_y \end{pmatrix} \quad (13)$$

であり、

$$\bar{z}^* = \bar{z} + G_z(-c_z\bar{z} + i_s\bar{y}) - G_{zy}c_y\bar{y} \quad (14a)$$

$$\bar{y}^* = \bar{y} + G_{zy}(-c_z\bar{z} + i_s\bar{y}) - G_y c_y \bar{y} \quad (14b)$$

と書ける。グループ選択は、個体選択のエピソード後の形質に対して作用すると仮定する。

グループ選択の強さ

グループの適応度は、集団内である時間ステップ内(1世代時間など)で生じた進化的変化を経た後での向社会性の集団平均値 \bar{z}^* のみに直接の影響を受ける。しかし、集団内の向社会性の変化は社会的選好性の作用で駆動されるので、間接的に社会的選好性が集団の存続に寄与し、適応的となり得る。

向社会性に対する集団選択勾配 B_z は、次式で表される。

$$B_z = \left(\frac{\partial w_G}{\partial \bar{z}} \right)_{\bar{z}} = \left(\frac{dw_G}{dz^*} \frac{\partial z^*}{\partial \bar{z}} \right)_{\bar{z}} \quad (15a)$$

集団の適応度は集団内の選択および遺伝的応答後の形質値 \bar{z}^* によって直接決まる。 \bar{z} は向社会性のメタ集団平均値である。

$\frac{dw_G}{dz^*}$ は集団の平均向社会形質と集団適応度の関係を示す係数である。 $\frac{\partial z^*}{\partial \bar{z}}$ は集団内の進化による形質の変化率を示す。

社会的選好性に対するグループ選択勾配 B_y についても同様に、

$$B_y = \left(\frac{\partial w_G}{\partial \bar{y}} \right)_{\bar{z}} = \left(\frac{dw_G}{dz^*} \frac{\partial z^*}{\partial \bar{y}} \right)_{\bar{z}} \quad (15b)$$

と与えられる。式(12)におけるすべての微係数は向社会性の集団平均値だけの関数となり、メタ集団平均値で評価される。

進化動態の定式化

各グループの平均育種価(相加的遺伝子型値)と平均形質値はほとんど等しいとおけるので、グループ選択による向社会性と社会的選好性のメタ集団平均値の変化 $(\Delta_G \bar{z}, \Delta_G \bar{y})$ は、Priceの共分散公式より次式で与えられる。

$$\Delta_G \bar{z} = COV(\bar{z}, w_G) \quad (16a)$$

$$\Delta_G \bar{y} = \text{COV}(\bar{y}, w_G) \quad (16b)$$

グループの適応度は、2形質のグループ平均値の関数として表され、個体適応度と同様に、次式で近似される。

$$w_G \cong \bar{w}_G + B_z(\bar{z} - \bar{z}) + B_y(\bar{y} - \bar{y}) + R_G \quad (17)$$

\bar{w}_G は形質がメタ集団平均値のときのグループ適応度である。よって、これを共分散式に代入すると、向社会性については、

$$\begin{aligned} \Delta_G \bar{z} &= \text{Cov}(\bar{z}, \bar{w}_G) + B_z \text{Cov}[\bar{z}, (\bar{z} - \bar{z})] + B_y \text{Cov}[\bar{z}, (\bar{y} - \bar{y})] + \text{Cov}(\bar{z}, R_G) \\ &\cong B_z D_z + B_y D_{zy} \end{aligned}$$

社会的選好性に関しても同様の式が得られ、これらをまとめると

$$\begin{pmatrix} \Delta_G \bar{z} \\ \Delta_G \bar{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_z & D_{zy} \\ D_{zy} & D_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_z \\ B_y \end{pmatrix} \quad (18)$$

という形が得られる。ここで、 D_z は向社会形質のグループ間分散、 D_y は社会的選好性のグループ間分散、 D_{zy} は2形質間のグループ間共分散である。

また、集団内の社会選択と自然選択によるメタ集団平均値の変化は、各集団の進化的変化を集団間で平均を取ったものに等しいので、集団内個体選択のみによるメタ集団平均の進化的変化を $\Delta_I \bar{z}$ 、 $\Delta_I \bar{y}$ と書くと、

$$\begin{pmatrix} \Delta_I \bar{z} \\ \Delta_I \bar{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_z & G_{zy} \\ G_{zy} & G_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{\beta}_z \\ \bar{\beta}_y \end{pmatrix} \quad (19)$$

と表される。 $\bar{\beta}_z$ と $\bar{\beta}_y$ は、向社会性と社会的選好性に対する（各集団内の）選択勾配のメタ集団平均であり、書き下すと次式となる。

$$\bar{\beta}_z = -c_z \bar{z} + i_s \bar{y} \quad (20a)$$

$$\bar{\beta}_y = -c_y \bar{y} \quad (20b)$$

メタ集団における形質平均値の世代あたり進化的変化 ($\Delta \bar{z}$ と $\Delta \bar{y}$) は、個体選択による進化的変化とグループ選択による進化的変化の和、 $\Delta \bar{z} = \Delta_I \bar{z} + \Delta_G \bar{z}$ および $\Delta \bar{y} = \Delta_I \bar{y} + \Delta_G \bar{y}$ より、次式で表される。

$$\begin{pmatrix} \Delta \bar{z} \\ \Delta \bar{y} \end{pmatrix} = \mathbf{G} \begin{pmatrix} \bar{\beta}_z \\ \bar{\beta}_y \end{pmatrix} + \mathbf{D} \begin{pmatrix} B_z \\ B_y \end{pmatrix} \quad (21)$$

ここで、 $\mathbf{G} = \begin{pmatrix} G_z & G_{zy} \\ G_{zy} & G_y \end{pmatrix}$ 、 $\mathbf{D} = \begin{pmatrix} D_z & D_{zy} \\ D_{zy} & D_y \end{pmatrix}$ である。

集団間分散・共分散は集団内の選択によって増加し、集団間の選択によって減少する傾向がある。これらの作用が小さく、遺伝浮動による集団間分化が主な駆動因だとすると、集団間分散・共分散行列は遺伝分散・共分散行列のスカラー倍で近似される。そのファクターを ϕ とおく ($\mathbf{D} = \phi \mathbf{G}$)。浮動と移住 (移住率: m) による平衡によると、 $\phi = \frac{1}{2mN}$ (N は集団の有効な大きさ)、このとき、Wright の分化指数 (F_{ST}) は $F_{ST} = \frac{1}{1+4mN}$ なので、 $\phi = \frac{2F_{ST}}{1-F_{ST}}$ の関係がある (Wright 1951;

Nei 1973)。また、メタ集団平均値の進化動態は次式で近似される。

$$\begin{pmatrix} \Delta \bar{z} \\ \Delta \bar{y} \end{pmatrix} \cong \mathbf{G} \begin{pmatrix} \bar{\beta}_z \\ \bar{\beta}_y \end{pmatrix} + \Phi \begin{pmatrix} B_z \\ B_y \end{pmatrix} \quad (22)$$

この場合、 $\gamma_z = \bar{\beta}_z + \Phi B_z$, $\gamma_y = \bar{\beta}_y + \Phi B_y$ と置くと、

$$\begin{pmatrix} \Delta \bar{z} \\ \Delta \bar{y} \end{pmatrix} = \mathbf{G} \begin{pmatrix} \gamma_z \\ \gamma_y \end{pmatrix}$$

である。

メタ集団における平均形質の進化動態は

$$\Delta \bar{z} = G_z \bar{\beta}_z + G_{zy} \bar{\beta}_y + D_z B_z + D_{zy} B_y \quad (23a)$$

$$\Delta \bar{y} = G_y \bar{\beta}_y + G_{zy} \bar{\beta}_z + D_y B_y + D_{zy} B_z \quad (23b)$$

もしくは、

$$\Delta \bar{z} \cong G_z (\bar{\beta}_z + \Phi B_z) + G_{zy} (\bar{\beta}_y + \Phi B_y) \quad (24a)$$

$$\Delta \bar{y} \cong G_y (\bar{\beta}_y + \Phi B_y) + G_{zy} (\bar{\beta}_z + \Phi B_z) \quad (24b)$$

である。

特定のグループ適応度関数

グループの適応度として、向社会性のグループ平均に対して線形な関係にある場合（線形グループ適応度）と非線形な関係にある場合（非線形グループ適応度）を仮定する。非線形グループ適応度の場合、グループ内では個体間の協力行動によってグループの適応度を高めることが想定されるので、向社会性のグループ平均値の増加に対してグループの適応度は非線形に増大すると仮定する。

すなわち、線形グループ適応度は

$$w_G(\bar{z}) = \alpha + i_g \bar{z} \quad (25a)$$

非線形グループ適応度は

$$w_G(\bar{z}) = \alpha + i_g f_g(\bar{z}) \quad (25b)$$

と仮定する。ここで、 $f_g(\bar{z}) = \frac{\bar{z}^p}{\bar{z}^p + \theta h^p}$ である。

パラメータ p は相互作用の強さを示し、非線形性の大きさを表す。 $f_g(\bar{z})$ は向社会性が 0 のとき 0、無限大で 1 となるので、グループの適応度は最大値が $\alpha + i_g$ であると仮定している。モデルにおける p は、グループ適応度の非線形性の強さを示す重要なパラメータである。が 1 の時、グループ適応度は向社会性のグループ平均値の増加に対して、ほぼ線形に増加する。の値が 1 より大きくなるにしたがって、グループ適応度の平均向社会性に対する反応はより強く非線形となり、はじめはほとんど増大しないが、平均向社会性がある範囲を超えて増大すると急に増加する

ようになる。

グループ適応度が線形の場合、グループ選択勾配は次式で与えられる。

$$B_z = i_g(1 - G_z c_z) \quad (26a)$$

$$B_y = i_g(i_s G_z - c_y G_{zy}) \quad (26b)$$

グループ適応度が非線形の場合、グループ選択勾配は次式で与えられる。

$$B_z = i_g \frac{p}{z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (1 - G_z c_z) \quad (27a)$$

$$B_y = i_g \frac{p}{z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (i_s G_z - c_y G_{zy}) \quad (27b)$$

ここで、 $i_s G_z - c_y G_{zy}$ の項は、 $\frac{\partial z^*}{\partial y}$ であり、SPが高い集団内に存在することによって、集団内の向社会性が増加することによってもたらされる集団適応度の寄与を表す。 \bar{z} はメタ集団平均値を示す。

グループ適応度が線形な場合の進化的平衡

個体選択とグループ選択の両レベルの選択の作用により、2つの形質は0より大きな進化的平衡値を取りうる。進化的平衡値は、社会性選択およびグループ選択による適応度上の利得と適応度コストとのバランスでもたらされる。

平衡点は1つのみ存在する。向社会性および社会的選好性に対するグループ内の個体選択勾配とグループ選択勾配から、1世代当たりのメタ集団の形質変化は、

$$\Delta \bar{z} = G_z \{-c_z \bar{z} + i_s \bar{y} + \phi i_g (1 - G_z c_z)\} + G_{zy} \{-c_y \bar{y} + \phi i_g (G_z i_s - G_{zy} c_y)\} \quad (28a)$$

$$\Delta \bar{y} = G_{zy} \{-c_z \bar{z} + i_s \bar{y} + \phi i_g (1 - G_z c_z)\} + G_y \{-c_y \bar{y} + \phi i_g (G_z i_s - G_{zy} c_y)\} \quad (28b)$$

と近似される。

平衡では、 $\Delta \bar{z} = 0$ かつ $\Delta \bar{y} = 0$ である。 $\frac{G_z}{G_{zy}} = \frac{G_{zy}}{G_y}$ でなければ、次の条件が必要である。

$$\gamma_z = -c_z \bar{z} + i_s \bar{y} + \phi i_g (1 - G_z c_z) = 0 \quad (29a)$$

$$\gamma_y = -c_y \bar{y} + \phi i_g (G_z i_s - G_{zy} c_y) = 0 \quad (29b)$$

したがって、メタ集団における平衡形質値 (\bar{Z} および \bar{Y} と表記する)は次式となる。

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \frac{i_s}{c_z} \bar{Y} + \phi i_g \left(\frac{1}{c_z} - G_z \right) = \phi i_g \left(\frac{G_z i_s^2}{c_z c_y} - \frac{i_s G_{zy}}{c_z} + \frac{1}{c_z} - G_z \right) = \phi i_g \left\{ \frac{i_s}{c_z} \left(\frac{i_s G_z}{c_y} - G_{zy} \right) + \frac{1}{c_z} - G_z \right\} \\ &= \phi i_g \left\{ \frac{i_s}{c_z} \left(\frac{i_s G_z}{c_y} - G_{zy} \right) + \frac{1}{c_z} - G_z \right\} = \phi i_g \frac{1}{c_z} \left[\frac{i_s}{c_y} (i_s G_z - c_y G_{zy}) + 1 - c_z G_z \right] \\ \bar{Y} &= \phi i_g \left(\frac{G_z i_s}{c_y} - G_{zy} \right) \end{aligned} \quad (30)$$

以上をまとめると、向社会性のメタ集団平衡値は

$$\bar{Z} = \frac{\phi i_g H}{c_z} \quad (31)$$

と書くことができる。ここで、 $H = \frac{i_s}{c_y}(i_s G_z - c_y G_{zy}) + 1 - c_z G_z$ である。

したがって、グループの適応度が形質値に対して線形関数として定義できる場合、特性のモデルパラメータに対して進化平衡値は1つの値が決まり、その平衡値は、社会選択係数とグループ間の分化指数に対して単調に増加する。これらは、きわめて直感的にも妥当な結果のように思われる。

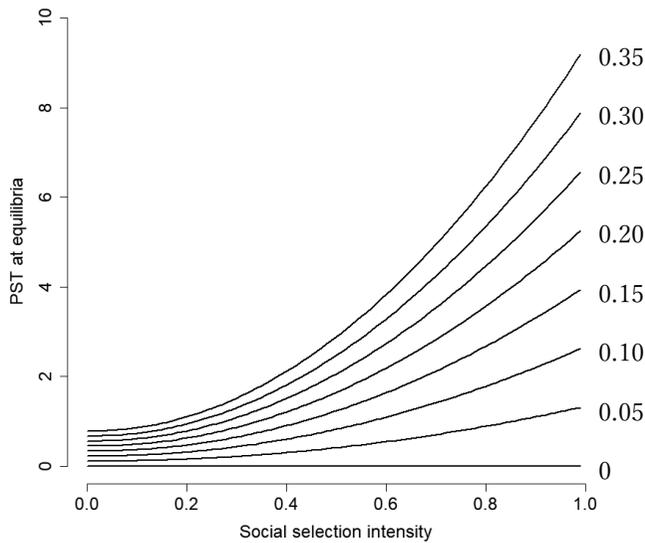


図1. 向社会性 (PST) のメタ集団平衡値と社会選択強度およびグループ選択強度との関係。図中の数字はグループ選択強度 i_g を示す。

グループの適応度が非線形の場合の進化的平衡と局所安定性

グループの適応度が、平均向社会性の増加に対して非線形に増大するとき、両形質の1世代当たりのメタ集団平均値の変化は、2つの形質に対する集団内選択勾配と集団選択勾配の計算式から、

$$\Delta \bar{z} = G_z \left\{ -c_z \bar{z} + i_s \bar{y} + \phi i_g \frac{p}{z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (1 - G_z c_z) \right\} + G_{zy} \left\{ -c_y \bar{y} + \phi i_g \frac{p}{z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (G_z i_s - G_{zy} c_y) \right\} \quad (32a)$$

$$\Delta \bar{y} = G_{zy} \left\{ -c_z \bar{z} + i_s \bar{y} + \phi i_g \frac{p}{z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (1 - G_z c_z) \right\} + G_y \left\{ -c_y \bar{y} + \phi i_g \frac{p}{z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (G_z i_s - G_{zy} c_y) \right\} \quad (32b)$$

と、近似される。平衡状態では、次式が満たされることが必要である。

$$y_z = -c_z \bar{z} + i_s \bar{y} + \phi i_g \frac{p}{z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (1 - G_z c_z) = 0 \quad \text{かつ} \quad (33a)$$

$$\gamma_y = -c_y \bar{y} + \phi i_g \frac{p}{\bar{z}} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (G_z i_s - G_{zy} c_y) = 0 \quad (33b)$$

上の2式を整理すると、 $\gamma_z = \gamma_y = 0$ より、

$$c_z \bar{z} = \left\{ \frac{i_s}{c_y} (G_z i_s - G_{zy} c_y) + (1 - G_z c_z) \right\} \phi i_g \frac{p}{\bar{z}} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) \quad (34a)$$

である。 $M = \left\{ \frac{i_s}{c_y} (G_z i_s - G_{zy} c_y) + (1 - G_z c_z) \right\} \phi i_g$ と置いてさらに整理すると、

$$\bar{z} = \sqrt{M \frac{p}{c_z} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z}))} \quad (34b)$$

と書ける(ただし $\bar{z} \neq 0$)。 (31a) 式は、パラメータの領域によっては、向社会性の平衡点が3つ存在し得る。その中の1つは自明な解 ($\bar{z}=0$) である。

向社会性のメタ集団における進化的平衡値が、グループ選択強度に応じてどう変化するかを、数値計算によって評価し、 $p=2$ および $p=3$ のそれぞれについて図示した(図2参照)。

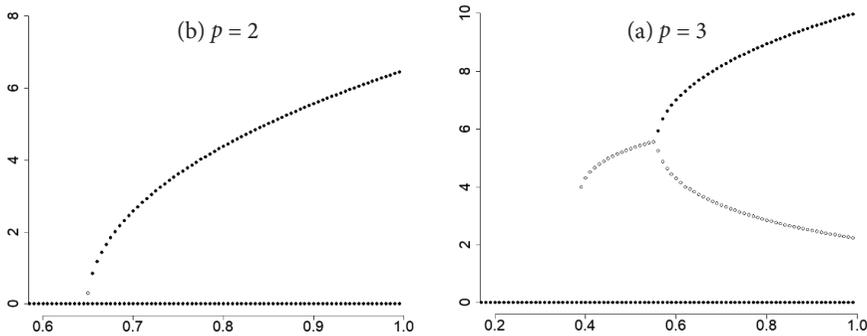


図2. 向社会性のメタ集団平衡値のグループ選択強度に対する関係

図中で、黒丸は安定平衡点を示し、白抜きの点は不安定平衡点を意味する。平衡点の不安定性は、補足2で示したヤコビ行列式を使った局所安定性解析から評価した。

グループ適応度の非線形性が比較的小さな $p=2$ の場合(図2a)、グループ選択強度に対して、安定な内部平衡点が1つ現れ、その値は、グループ選択強度に従って単調に増加していく。ただしその増加は漸減する傾向にある。グループ適応度の非線形性が高い $p=3$ の場合(図2b)、グループ選択強度がある程度強くなるまでは不安定な内部平衡点しかない。グループ選択強度が、本研究で設定したパラメータ値のセットでは、0.6に近づくと安定平衡点が高い値に現れ、それと自明な安定点(形質値0)が不安定平衡点を挟み込むようになる。これは、生態系のレジームシフトモデルにおける双安定性と類似の大域的なシステムの動向である。不安定平衡点は進化軌道においては鞍点となるので、高い安定平衡点へ到達した状態から他方の自明な安定点への移行を阻み、系の安定性を高めると考えられる。ただし、集団選択強度がある限度を超えて低下すると、

中間の不安定点を超過して、0点に急速に移行する進化的レジームシフトが進行することを示唆する。

進化的動態

グループ内の社会選択とグループ選択による形質の進化軌道をシミュレーションした結果を、イソクライン解析とともに2例示す(図3および4)。いずれも、 $p=3$ の場合で、 $i_s=0.2$ 、 $i_g=0.8$ と仮定してある。このパラメータ値では、双安定な平衡点が現れ、中間に不安定平衡点を持つ。横軸を向社会性、縦軸に社会的選好性のメタ集団平均値が示してある。黒丸は安定(平衡)点、白抜きは不安定平衡点である。矢印は、各始点における進化的変化のベクトルを示す。実曲線は、起点(⊕)を初期条件とする進化軌道を描く。

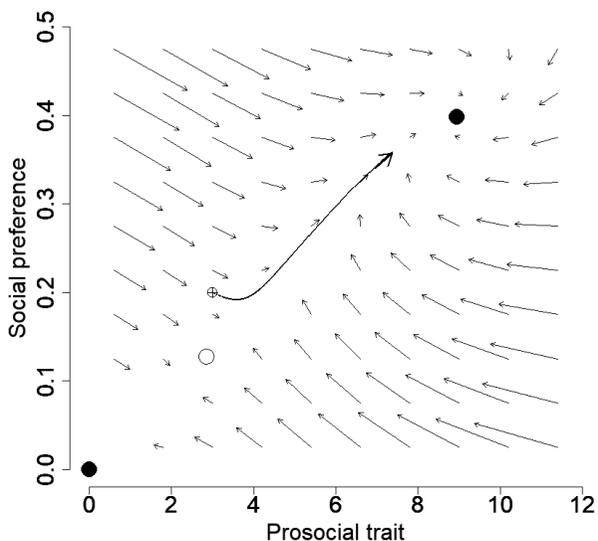


図3. 向社会性と社会的選好性の進化軌道とイソクライン。黒丸は安定(平衡)点、白抜きは不安定平衡点、矢印は各始点における進化的変化のベクトルを示す。実曲線は、起点(⊕)を初期条件とする進化軌道。

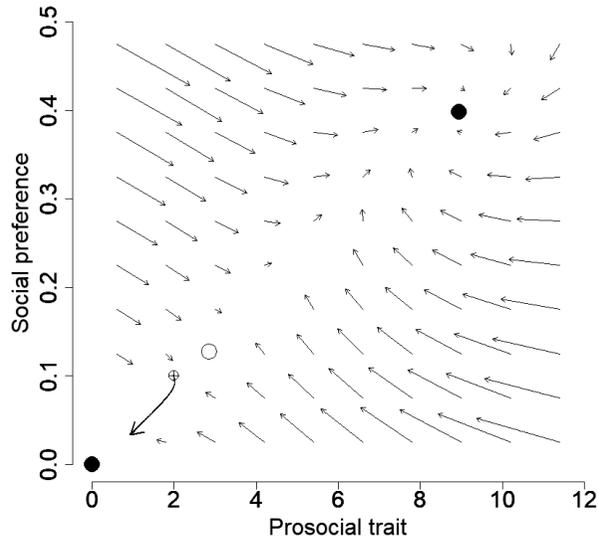


図4. 向社会性と社会的選好性の進化軌道とイソクライン. 黒丸は安定(平衡)点, 白抜きは不安定平衡点, 矢印は各始点における進化的変化のベクトルを示す. 実曲線は、起点(⊕)を初期条件とする進化軌道.

以上の解析結果とシミュレーションの結果をまとめると、統合的社会選択モデルによる向社会性の進化に関して。以下の特徴が留意点としてまとめられる。

- (1) グループの適応度が向社会性に対して線形であるか非線形であるかにかかわらず、グループ選択勾配が0のとき、向社会性のメタ集団平衡は0にしかなりえない。つまり、向社会性の進化にはグループ選択が必要である。
- (2) 社会選択強度が0のとき、向社会性の進化はグループ選択のみによってもたらされ、その進化的平衡は適応度コストとの均衡で決まる。その平衡値は、社会選択が作用する場合に比べてはるかに小さい(図1)。したがって、グループ選択のみでは向社会性の進化は困難である。
- (3) 向社会性の進化的平衡値は、社会選択強度が増すと指数関数的に増大し、その増加率はグループ選択強度に大きく依存する。すなわち、集団内の社会選択とグループ選択には強い相互作用が作用すると考えられる(図2)。
- (4) グループ適応度が線形の場合、両形質の0点は、休止点でなく、内部の平衡点まで進化する。したがって進化の初期条件として、グループ適応度の線形性が求められる。
- (5) グループ適応度が非線形性である場合(p が2以上)、内部休止点(平衡点)は高い値で安定である。非線形性が高いと、中間的な値に不安定な内部休止点が現れる。この時、高い平衡点は高い安定性が獲得されると考えられる。グループ適応度の非線形性が高いと原点(両形質の0点)は安定な休止点となるので、進化の初期条件を説明できない。
- (6) 社会進化の道筋として、次の仮説が可能である。社会進化の初期には、社会選択による向社会性が、線形な集団適応度のもとで進化する。次に、向社会性がある程度進化した時、向社

会性の高いグループメンバーの間で高度な協力的行動が進化し、向社会性の非線形なグループ適応度への寄与となって現れる。この結果、双安定な向社会形質状態が適応的トポグラフィに形成され、協力的な生物社会への進化的転換がもたらされる。

考察

社会性のある動物が持つ、自己を犠牲にしてまで帰属する社会や仲間の繁栄に貢献したいという性向は、行動生態学や社会生物学では利他性と呼ばれ、その進化過程は、利他行動の行為者と受益者との血縁度を介する行為者への遺伝的便益によって説明するのが定説である (Hamilton 1964)。これに代わる理論としては、互惠性 (互惠的利他行動) が主要な概念である (Trivers 1971)。互惠性は、社会的相互作用を持つパートナーが当該個体に利他行動を示すとき利他行動によって報い、そうでない場合は利他性を示さないという行動戦略である。しかし、互惠的利他行動は、協力的な行動規範が社会に維持されるために必要な数理的な条件を明らかにするうえで有効であっても、進化理論としてはいくつかの不満足な点があると言わなければならない。その最も大きな点は、互惠性は対戦者が取りうる戦略が均衡状態を保つ点で安定ではあっても、そこまでに至る進化的軌道の描像を与えることができないことである。さらに、互惠的利他行動を実際の生物が示すためには、対戦相手を個体識別でき、記憶できることなど、いくつかの生物学的な条件が必要であり、それらの形質の進化過程が説明されていない。

一方、血縁選択理論は、新たに生じた利他性遺伝子の適応度を、その遺伝子が血縁個体の個体適応度に寄与することを介する次世代への遺伝子伝播能力全体を包括適応度として定義することにより、利他性進化の初期条件に関する説得力のある説明をおこなってきた (Dawkins 1976)。しかし、すくなくとも2つの点で血縁選択理論は批判されている。理論的にはグループ選択に帰着できるにもかかわらず、血縁個体への利他性という限られた状況しか想定していない点である。実際の群れ生活を行う社会性の生物では、血縁集団を核としてグループを形成するケースが多いものの、社会性昆虫を含め、非血縁個体がグループに混入しグループメンバーを形成するのが一般的である。血縁選択は、利他性という特定の行動形質による個体の遺伝子適応度上のリターンを評価し、利他性の進化という一見矛盾した特性の進化過程を個体レベルの適応進化規準に基づく統一的理解に導いた。しかし、利他性を含め、生物の社会進化においては、個体間の相互作用が形質間の相互作用と同調して作用するが、血縁選択はそのような個体間および形質間の適応度寄与上の相互作用は考慮されていない。一般的なグループ選択モデルは、血縁による遺伝子の類似性 (より正確には、祖先の共有による特定遺伝子の個体間共有確率) がグループ間の遺伝的分化 (グループ内の遺伝的同一化と同義) としてより一般的に扱っているが、個体間や形質間の相互作用が利他性進化に与える影響はよくわかっていない。

個体間および形質間の相互作用が、通常自然選択では予測できない急速な進化をもたらすことが理論上も実証研究からも示されている分野は、性選択による性的二型の進化研究であろう。理論上の先鞭は、Darwin (1871) に始まり、Fisher (1930) によって遺伝学的に洗練されたのち、Lande (1981) によって数理遺伝理論としてまとめられた。性選択理論では、雄の装飾的な形質と、その形質に基づいて配偶者を選択する雌の選好性という2形質の共進化が解析されてきた。

比較的近年、配偶行動における個体間選択を一般化して、同種個体間の社会的相互作用を通じて生じる選択力を社会選択として、野外生物の社会的コミュニケーション形質に適用する研究例が増えている。

本研究は、社会選択とグループ選択の統合化し、それらの相互作用に着目して利他性や社会性の進化モデルを構築した。最も特徴的な点は、これまでのモデルにおける利他性（当モデルでは向社会性と呼んでいる）が、グループ内で他個体に選好され、社会選択のターゲットとなるとしている点である。一方、向社会性は、グループに属する個体の適応度に均等に寄与する（つまりグループに貢献する）形質と規定している。向社会性と社会的選好性は互いに適応度に影響しあう相互選択とも解釈できるかもしれないが、向社会性は特定の社会的選好するのではない、つまり、向社会的な個体は、自己に向けられた選好性に対する報酬として特定の個体に高い利他性を示すのではないので、厳密な意味での相互選択には当たらない。

このような個体間相互作用は、理論上は複雑でも、具体的な過程はきわめて単純である。すなわち、集団の利益になる特性を備えた個体が、同じ集団に属する他個体から好かれ、適応度上の便益を受けるということである。ただし、ある個体の向社会性の程度を他個体（すなわち群れ社会）がある程度正確に評価できなくてはならない。実際にはグループに貢献はしないが、自己が向社会的であると他個体に思われる欺瞞的行動特性や、それを正しく評価できない不正確な社会的選好性は、一時的に欺瞞者の集団内適応度を増加させても、グループ選択によって淘汰されるだろう。

本研究は、これらの必要条件が満たされれば、統合的社会選択のシステムが、社会性進化のもっとも有効な進化過程となりえたことを示唆している。さらに、向社会性の平均的なレベルがすべてのグループ（集団）である程度高くなった種においては、社会的知性やコミュニケーション能力など、協利行動を促進する形質の適応も随伴すると考えられる。オオカミやブチハイエナなどの社会性肉食類、マカクや人などの社会性霊長類では、これらの協利行動の達成が、グループ適応度の向社会性に対する非線形な関係をもたらししていると考えられる。本研究の解析結果は、このような状況では、双安定な平衡状態が現れ、内部に不安定な休止点を持つことにより、より安定な社会進化の状態を維持するだろう。つまり、何らかの理由により向社会性が集団から退化したとしても、均衡状態に戻る高い進化的レジリエンスを持つものと考えられる（図3参照）

メイナード・スミスとサトマーリ（1997原書1995）は、生物進化にはいくつかの不連続な転換は起きており、その最後は、社会性と人間における言語の起源であると論じている。生物界における社会性の短期間に生じた不可逆で階層的な進化は、統合的社会選択による急速な向社会性の進化過程で説明されるかもしれない。また、言語能力は文化的学習によって獲得されるとともに遺伝的基礎が必要であることは明らかだが、その生得的言語能力の進化は、協利行動や社会性の進化を前提条件として必要としたと考えられる。言語能力はグループ内の社会関係の構築と維持に機能しただけでなく、狩猟や採集その他の生存不可欠な活動における情報伝達を通してグループの存続に貢献したであろう。したがって、言語能力の長けた個体はそうでない個体に比べ、向社会性の高い個体として他個体から尊重され、群れ内でより有利な立場に立ったと推察される。

これら言語能力をはじめとして、宗教的精神、芸術的審美性など、人に特有の知的能力は、従

来の進化生物学では、Darwin 以来の伝統として、性選択（雌雄間の配偶者選択）によって説明されてきた（Darwin 1871）。しかし、求愛とは直接関係のない分野における人間のより普遍的な本性は、個体変異の蓋然性と進化の不完全性によって理想形に達することはないにしろ、同胞に対する共感と協力性の獲得と関連しており、人間の本性の基幹部分として他の分野に先行したと考えられる（Wilson 1978, 2012）。このことは、われわれホモ・サピエンスを含む稀有な種が、厳しい進化条件を満たしたとき、性選択とは独立のプロセスとして、グループに分割した空間構造における統合的社会選択を経て形成された可能性を示唆している。

引用文献

- Agrawal, A. F., E. D. Brodie III, and M. J. Wade 2001. On indirect genetic effects in structured populations. *Am. Nat.* 158: 308–323.
- Dawkins, R. 1976. *The selfish gene*. Oxford University Press.
- Darwin, C. 1871. *The descent of man and selection in relation to sex*. Appleton, New York.
- Fisher, R. A. 1930. *The genetical theory of natural selection*. Dover, New York.
- Frank, S. A. 1997. The Price equation, Fisher's fundamental theorem, kin selection, and causal analysis. *Evolution* 51: 1712–1729.
- Hamilton, W. D. 1964. The genetical evolution of social behavior. *Journal of Theoretical Biology* 7: 1–16.
- Lande, R. 1979. Quantitative genetic analysis of multivariate evolution, applied to brain:body size allometry. *Evolution* 33: 402–416.
- Lande, R. 1981. Models of speciation by sexual selection on polygenic traits. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 78: 3721–3725.
- Lande, R. and S. J. Arnold 1983. The measurement of selection on correlated characters. *Evolution* 37: 1210–1226.
- Lyon, B. E. and R. Montgomerie 2012. Sexual selection is a form of social selection. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 367: 2266–2273.
- Maynard Smith, J. and E. Szathmari 1995. *The major transitions in evolution*. W. H. Freeman.
- （和訳：「進化する階層」J. メーナード・スミス, E. サトマリー著, シュプリンガー・フェアラーク東京, 1997）
- Nei, M. 1973. Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 70: 3321–3323.
- Pomiankowski, A. 1987. The costs of choice in sexual selection. *J. Theor. Biol.* 128: 195–218.
- Queller, D. C. 1992. Quantitative genetics, inclusive fitness and group selection. *American Naturalist* 139: 540–558.
- Tanaka, Y. 1991. The evolution of social communication systems in a subdivided population. *Journal of Theoretical Biology* 149: 145–163.
- Tanaka, Y. 1996. Social selection and the evolution of animal signals. *Evolution* 50: 512–523.
- Trivers, R. L. 1971. The evolution of reciprocal altruism. *Quart. Rev. Biol.* 46: 35–57.
- West-Eberhard, M. J. 1979. Sexual selection, social competition, and evolution. *Proceedings of the American Philosophical Society* 123: 222–234.
- Wilson, E. O. 1978. *On human nature*. Harvard University Press
- （和訳「人間の本性について」E. O. ウィルソン著, 思索社）
- Wilson, E. O. 2012. *The social conquest of earth*. W. W. Norton & Company.
- （和訳「人類はどこから来て、どこへ行くのか」E. O. ウィルソン著, 化学同人）
- Wright, S. 1951. Genetical structure of populations. *Ann. Eugen.* 15: 323–354.

補足1

$f_g(\bar{z})$ について、1回微分と2回微分はそれぞれ

$$\frac{df_g(\bar{z})}{d\bar{z}} = \frac{p}{\bar{z}} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) \quad (\text{A1})$$

$$\frac{d^2f_g(\bar{z})}{d\bar{z}^2} = \frac{p}{\bar{z}^2} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (p - 1 - 2pf_g(\bar{z})) \quad (\text{A2})$$

である ($\bar{z} \neq 0$)。社会的選好性の集団平均値が0のとき、1階および2階微分係数は次の値を取る。

$$p=1 \text{ の場合: } f'(0) = \frac{1}{\theta h}, \quad f''(0) = -\frac{2}{(\theta h)^2}$$

$$p=2 \text{ の場合: } f'(0) = 0, \quad f''(0) = \frac{2}{(\theta h)^2}$$

$$p>2 \text{ の場合: } f'(0) = 0, \quad f''(0) = 0$$

である。

補足2

グループの適応度が線形の場合、メタ集団における形質動態の局所安定性は、グループ内の個体選択による進化動態の局所安定性と変わらない。このことは、形質動態の安定性が個体選択の安定性によって支配されることを意味する。一方、グループ適応度が非線形の場合は、グループの適応度を規定するモデルパラメータに影響される。その場合の、ヤコブ行列の要素は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \Delta \bar{z}}{\partial \bar{z}} = -c_z G_z + i_g \frac{p}{\bar{z}^2} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (p - 1 - 2pf_g(\bar{z})) (1 - G_z c_z) D_z + i_g \frac{p}{\bar{z}^2} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (p - 1 - 2pf_g(\bar{z})) (i_s G_z - c_y G_{zy}) D_{zy} \quad (\text{A3})$$

$$\frac{\partial \Delta \bar{z}}{\partial \bar{y}} = i_s G_z - c_y G_{zy} \quad (\text{A4})$$

$$\frac{\partial \Delta \bar{y}}{\partial \bar{z}} = -c_z G_{zy} + i_g \frac{p}{\bar{z}^2} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (p - 1 - 2pf_g(\bar{z})) (1 - G_z c_z) D_{zy} + i_g \frac{p}{\bar{z}^2} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (p - 1 - 2pf_g(\bar{z})) (i_s G_z - c_y G_{zy}) D_y \quad (\text{A5})$$

$$\frac{\partial \Delta \bar{y}}{\partial \bar{y}} = i_s G_{zy} - c_y G_y \quad (\text{A6})$$

(A3) (A5) を整理すると、2要素はさらに次式のように簡素化される。

$$\frac{\partial \Delta \bar{z}}{\partial \bar{z}} = -c_z G_z + i_g \frac{p}{\bar{z}^2} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (p - 1 - 2pf_g(\bar{z})) \{ (1 - G_z c_z) D_z + (i_s G_z - c_y G_{zy}) D_{zy} \} \quad (\text{A7})$$

$$\frac{\partial \Delta \bar{y}}{\partial \bar{z}} = -c_z G_{zy} + i_g \frac{p}{\bar{z}^2} f_g(\bar{z}) (1 - f_g(\bar{z})) (p - 1 - 2pf_g(\bar{z})) \{ (1 - G_z c_z) D_{zy} + (i_s G_z - c_y G_{zy}) D_y \} \quad (\text{A8})$$

気候変動緩和としての食行動変容を促すための 環境ラベルとグリーン購入法制度のあり方

井上 直己

要旨

世界の食料システムによる温室効果ガス排出量は大きく、気候変動の緩和策として、肉類の消費の削減や有機農産物など持続可能な方法で生産された食品の積極的な選択といった、食のエシカル消費の重要性が国際的に指摘されている。食の消費パターンを転換するためには、環境配慮した食の市場を創出することが必要であるが、そのために日本政府が今現在、現実的に採り得る対策としては、環境ラベルなどの情報的手法と、政府調達環境配慮を目指すグリーン購入法制度が挙げられる。本稿では、日本で唯一の第三者審査による環境ラベル (ISO14024のタイプ I) であるエコマークによる飲食店への認定に係る基準と、グリーン購入法制度において「食堂」を選定する際の判断基準において、環境配慮食材の使用に関してどのように扱われているか、そして両者が需要と市場の創出によって、食料サプライチェーンの上流である生産側の環境配慮を促す仕組みになっているか否かを、文献調査によって明らかにし、食料システム変革に向けた需要側からシステム変革を促すアプローチの在り方を考察する。

How can environmental labelling and Green Procurement system in Japan work for diet-shift towards climate change mitigation?

Naomi Inoue

Abstract

Impact of global food supply chain on climate change is significant and the importance of diet shift to one that is sustainable including less meat, organic food and plant-based food as a way of climate change mitigation is recognized worldwide. Japanese government, however, has not focused well on such an aspect and it has just been stipulated in an annual report on the environment in 2020. Although policies to facilitate such diet shift among people have not been developed yet in Japan, there exist two policy instruments that can possibly contribute to sustainable food consumption and expand market of sustainable food choice, i.e. environmental labelling and green procurement by public entities. This paper investigates how Eco Mark, which is one of the representative environmental labels in Japan, and green procurement system are designed to promote sustainable food consumption with a focus on criteria for labelling and procurement by means of literature review. The paper also tries to propose desirable policy development to achieve the goal of making food supply chain sustainable.

気候変動緩和としての食行動変容を促すための 環境ラベルとグリーン購入法制度のあり方

1. はじめに

欧米メディアを中心に「気候危機」という表現がされている気候変動問題は、世界の社会経済システムを根幹から揺るがす重大なリスク要因として捉えられ、国際社会における最優先検討課題の一つとなっている。そしてパリ協定が掲げる、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて1.5℃に抑える努力を追求するという目標を達成するため、EUや日本など数多くの国が2050年までに二酸化炭素(CO₂)排出量を実質ゼロにする目標を掲げており、そのための再生可能エネルギーや水素技術といったエネルギー分野の技術革新と国際競争に多くの目が向けられている。

しかし、エネルギー分野と同様に気候変動に寄与し、抜本的対策とシステム変革が必要なのは「食」の分野であるという指摘が多くなされている。Paul Hawken (2018) は、温室効果ガス(GHG)の排出削減のみならず、農地拡大による土地利用変化(森林破壊を含む)の防止、健全な土壌環境の回復を始めとしたCO₂吸収源対策も含め、大気中のGHG濃度を減少に転じていく(“Drawdown”)ために考えられる100個の対策の効果を検証し、効果の大きさに応じて順位付けしたところ、上位20個のうち8個が、食事に関するものとされた。このように、個人の食事の選択は食料サプライチェーン全体に影響を及ぼす可能性を有しているため、食事の様式を改善することにより、健康維持向上と地球環境保全の両立を図っていく必要性が国連などにより訴えられている。(UNEP, 2020)

消費者が消費パターンを変化することによって社会問題や環境問題などの改善に寄与していく倫理的消費(エシカル消費)が日本でも注目され始めているが、日本において気候変動対策としてのエシカル消費が論じられる際に、食品の消費パターンや食事内容の改善について中心的に扱われることはまだ少ない。それは政策においても同じである。2016年に日本政府が策定した地球温暖化対策計画ではそれらの点は記されていない。2020年に閣議決定した環境白書において同白書として初めて食事の選択による気候変動緩和について記されたものの、目指すべき食事スタイルについては具体的に記されていない。食料サプライチェーン全体の排出削減を進めるためには、需要側から変化を起こし、環境配慮した食に関する市場を拡大していくことは有効であるが、政策体系における位置づけは弱いといえる。

本稿では、食の消費パターンを転換して、環境配慮した食の市場を創出するために政府がとるべき政策の在り方について論じる。具体的には、市民によるエシカル消費の推進を支える環境ラベルのうち代表的なエコマークと、政府調達を環境配慮したものとするグリーン購入法について、それぞれ食に関する現在のアプローチとその限界及び課題を文献調査により明らかにし、今後進めるべき方向性について論じる。

2. 問題の所在

2-1 食を通じた気候変動影響と食事の選択

食がもたらす気候変動影響は甚大である。世界の食料サプライチェーンから排出される GHG は、人為起源 GHG 排出量のうち 21～37% を占めると言われている (IPCC, 2019)。また、農業は施肥による窒素とリンの排出や家畜糞尿の排出によって、水域の富栄養化の原因にもなるが、その投入量が世界的に急増した結果、人類の長期的繁栄のためにとどまる必要のある限界 (プラネタリーバウンダリー) を大きく超え、地球生態システムの不可逆かつ連鎖的な破壊的変容をもたらす転換点 (Tipping Point) を超えるリスクが高いことが示されている。また、牧草地を含む農地拡大などによる森林破壊を主とする土地利用変化もバウンダリーを超えており、転換点を超えるリスクが示されている。これらのプラネタリーバウンダリーを超えることがもたらす破壊的変容は気候変動と相互に影響を与え合い、相乗的に深刻化することが指摘されている。(Rockstroem, et al., 2015)

Hawken (2018) は上述の通り、100 個の気候変動緩和策の効果を検証し、効果の大きさに応じて順位付けをした結果、その上位 20 位は表 1 に示される通りであるが、このうち、8 個が食に関する対策であり、エネルギーに関するものが 5 個であることと比較すると、食を通じた削減ポテンシャルの大きさが、再生可能エネルギーの導入などのエネルギー対策に比肩するものだとみてとれる。このうち第 4 位は植物性中心の食事であり、消費者による食事の選択において環境を考慮することによって世界全体では巨大な削減ポテンシャルがあるということを示している。これら食に関する対策は、農業生産、食品加工、小売りと消費と、食料サプライチェーンの各段階に関するものであるが、その対策のいずれも、消費パターンを変えることを通じて需要側から生産システムを変えていく可能性を有している。

表1：Paul Hawkenがまとめた気候変動緩和策メニューの効果の順位付け：上位20位

効果の大きさの順位	分野	対策メニュー（削減ポテンシャル）
1	材料	冷媒回収破壊（89 Gt-CO ₂ ）
2	エネルギー	風力発電（84.6 Gt-CO ₂ ）
3	食	食品ロスの削減（70 Gt-CO ₂ ）
4	食	植物性中心の食事（66 Gt-CO ₂ ）
5	土地利用	熱帯雨林（62 Gt-CO ₂ ）
6	婦人と女子	女子の教育（59 Gt-CO ₂ ）
7	婦人と女子	家族計画（59 Gt-CO ₂ ）
8	エネルギー	メガソーラー（37 Gt-CO ₂ ）
9	食	森林放牧地（31 Gt-CO ₂ ）
10	エネルギー	屋上太陽光（25 Gt-CO ₂ ）
11	食	再生農業（23 Gt-CO ₂ ）
12	土地利用	温帯林（23 Gt-CO ₂ ）
13	土地利用	泥炭地（22 Gt-CO ₂ ）
14	食	熱帯主食樹（20 Gt-CO ₂ ）
15	土地利用	植林（18 Gt-CO ₂ ）
16	食	保全農業（17 Gt-CO ₂ ）
17	食	木間作（17 Gt-CO ₂ ）
18	エネルギー	地熱（18 Gt-CO ₂ ）
19	食	管理型放牧（16 Gt-CO ₂ ）
20	エネルギー	原子力（16 Gt-CO ₂ ）

（出典）Hawken, 2018

食料供給システムの変革と、その変革を促すための食生活改善を含めた需要側の対策の重要性は多方面で指摘されている。特に畜産品の消費削減の必要性は多くの文献で述べられている。国連食糧農業機関（FAO）は、畜産部門は人為起源GHG排出の18%に寄与し、15%を占める交通部門を超えたとした他、地球上の全農用地のうち70%が畜産のために用いられ、これが地球の全陸地面積の30%に相当している旨を指摘し、世界で肉食が増加していく傾向に警鐘をならした（FAO, 2006）。IPCC1.5℃特別報告書（2018）は、畜産業のサプライチェーンは、世界のGHG排出量の14.5%を占め、畜産業は世界の食品由来のGHG排出のうち最大だとしつつ、食料システムからの排出は、食肉や畜産製品への需要に対処することによって減少させることができるとしている。IPCC土地関係特別報告書（2019）においては、食生活の変化による総緩和ポテンシャルは、2050年までに7-80億tCO₂eq/年になると推定している。Hawken（2018）は、世界人口の50%が食事を健康的な2,500カロリー/日に制限し、肉の消費を全体的に削減すれば267億tCO₂eqが、回避される森林伐採分も含めると660億tCO₂eqが削減されると試算している。WRI（2019）は、肉の消費を減らし健康で持続可能な食事に転換することにより、2050年までに25億tCO₂eq/年が削減されると試算し、食生活の改善の重要性を指摘している。地球環境戦略研究機関（IGES）の小出ら（2020）は、日本人の食事に由来するGHG排出量を調査し、排出量の大きな割合を占める肉や乳製品を減らし、低炭素でありながら栄養価が高い植物性を中心とした食事に転換することの有

効性を示した。

また、土壌を保全する農法によって土壌中の炭素貯留を増やす環境再生型農業や、堆肥等を活用した有機農業によるGHG排出削減効果についても近年注目されており、そのようにして得られた農産物を選択して消費することも緩和策として注目される。Hawken (2018) は、農薬と化学肥料に大きく依存する慣行農法による気候変動影響を指摘し、不耕起栽培や多様な被覆作物(カバークロープ)、輪作等の環境再生型農業の世界的な普及による削減量を230億tCO₂eqと試算した他、森林農法(アグロフォレストリー)、林間放牧、耕作放棄地の再生など、農法の改善による排出削減の有効性を指摘。また政府レベルの動向も見逃せない。2015年、パリ協定が採択されたCOP21においてフランス政府が立ち上げた“4 per 1000”イニシアチブは、土壌保全を重視した農法の普及による炭素貯留の拡大を目指したもので、日本政府も参加している。消費者が有機農産物を含むこれらの農法による農産物を選択して消費することは、消費を通じた気候変動対策といえる。

さらに、食の地産地消は、長距離輸送によるエネルギー起源CO₂の排出を削減することができることから、気候変動対策としての効果を持つ。このため日本政府においても、食料の総輸送量と距離を掛け合わせたフード・マイレージの考え方に基づいて、地産地消の重要性の普及啓発に取り組むほか、第五次環境基本計画(閣議決定, 2018)において気候変動対策と地域経済活性化などを両立させる将来像として「地域循環共生圏」の考え方を提起し、食料を含む多様な資源の地産地消を目指し、その支援策を打ち出している。そして、消費者が地元産の農産物を選択する消費行動は、そうした将来像を実現するために不可欠なライフスタイル変革だといえる。

2-2 食のエシカル消費を進める政策

このように、食事の選択による気候変動緩和の効果は注目され、食行動変容は重要性を増しているが、現時点で日本政府による政策や方向付けは十分とは言えない。木村(2019)は食システムのGHG排出削減に向けた需要側対策の柱として食行動変容を挙げ、過剰摂取の抑制、動物由来食の消費削減、そして植物由来食へのシフトの重要性を指摘しつつ、地球温暖化対策として食行動変容を促す日本政府の施策はほぼ皆無だとしている。実際、日本政府の地球温暖化対策計画(閣議決定, 2016)においては、食品ロスの削減は定められているものの、食行動変容については記載がない。一方、同計画には消費者が気候変動緩和に資する消費を考究する「倫理的消費」(エシカル消費)を進めることが位置づけられているため、食の選択はここに含まれることになろう。とはいえ、同計画で省エネルギー機器や国産木材等の消費の促進が特記されていることと比較すると、食行動変容についての方向付けが明らかでないことが際立っている。一方、同計画の2年後に策定された第五次環境基本計画においては、エシカル消費について同計画として初めて記載された他、生物多様性に配慮した取組として有機農業を推進するとされ、関連した認証の普及の推進、地産地消、伝統的和食の発信など、食のエシカル消費の必要性が打ち出されているが、その位置づけとして生態系調和や生物多様性への配慮が記されており、気候変動対策としての位置づけは明確ではない。

このように食行動変容が気候変動対策として明確に打ち出されていないこと背景には、第一に、日本国内でこれまで健康増進や疾病予防を目的とした食行動変容の施策や関連した研究は多く蓄積されているものの、「低炭素型の食や菜食へのシフトを促すための研究はまだ少」ない(木村, 2019)という事情がある。第二に、そのもたらす削減効果が主に海外にもたらされるものだということがいえる。食料自給率が38%(カロリーベース、2019年度)であり多くの食料を輸入に頼っている日本において、食料サプライチェーンを通じたGHG排出量(カーボンフットプリント)の多くは日本国外で発生するものであり、食行動変容によりもたらされる排出削減効果は日本国内の排出削減にカウントされるものではない。このため、日本の排出削減目標の達成に直接的に貢献するものとはいいがたい食行動変容は、脱石炭や再生可能エネルギー促進策と比べて、重視されにくいと筆者は考える。この他、食は文化、経済、健康など様々な要素が複雑に絡み、関係省庁が幅広く、方向性を打ち出すために調整が容易ではないという点、また国民の嗜好に直接関わり得るため打ち出し方によっては大きな反発を招きかねず、慎重に進める必要があるという点が挙げられる。

一方、気候変動対策としての食のエシカル消費に関する日本政府の姿勢には積極的な変化がみられる。環境・循環型社会・生物多様性白書(2020年閣議決定)においては、上述のIGESの研究結果が引用され、同白書として初めて、食事、特に肉類や乳製品のカーボンフットプリントの大きさについて記載がなされた他、地産地消や有機農産物を始めとする、環境に配慮した食の選択を一人一人がすることの有効性が指摘された。ここでは肉類や乳製品の消費を減らす食生活変容の必要性については触れられていない点に留意が必要であるが、政府全体の統一的理解を示す閣議決定において、気候変動対策としての食の重要性が初めて明記されたことは、大きな前進だといえる。これを契機に政府が食行動変容の対策を気候変動対策として重点的に取り組むことが期待される。

それでは、日本において現実的に採り得る食行動変容を促す政策とはどのようなものであろうか。木村(2019)は気候変動緩和に限らず諸外国で実施されている事例等を挙げ、表2のとおり、5類型に分類している。このうち、規制的手法や経済的手法といった食の選択に係る強力な施策は、健康増進や疾病予防という観点から実施されている例はあるが、気候変動の文脈で導入された例は筆者の知る限りは存在しない。これに関連して、英国環境・食料・農村地域省(DEFRA)は、エシカル消費全般について法規制をもって促していくことは困難であり、政府として情報提供をした上で最終的な判断は消費者に委ねることとしており、「小さな活動の積み重ねで社会を変えていくことが現在の欧州、そしてイギリスの方針」だとし、強力な政策による消費者の行動変容に慎重姿勢を示している(消費者庁, 2016)。WRI(2019)は肉の消費削減を誘導するための政策について、表示などによる消費環境の形成と、政府による環境物品等の調達を推進するグリーン購入を挙げつつ、そうした対策の結果として、代替品の質と価格が肉のそれと比肩するようになる場合には、肉への課税も受容されるかも知れないと指摘している。こうしたこともあり、政府が採り得る需要側の現実的対策は、現時点では、ラベル等の情報的手法と、政府調達を通じた需要創出と市場拡大の二つが挙げられることになる。

表2：食行動変容のための施策と具体例

施策分類	具体例
規制的手法	・高カロリー飲料規制（デンマーク、フランス等） ・子供向けのテレビ広告規制（スウェーデン）
経済的手法	・糖分/脂肪分への課税（デンマーク等） ・畜産物への課税・炭素税
自主的手法	・有機農業認証ラベル（Rousseau&Vranken 2013） ・食品ロス削減自主協定（英国 2005-）
情報的手法	・菜食ガイドライン（米国農業省・保健福祉省 2015） ・キャンペーン（“Meatless Monday”, “Thursday Veggie Day”）
ナッジ的手法	・メニュー提示・配列等の操作（Bacon et al. 2018） ・食器サイズ等の操作（Wansink 2007） ・デフォルト化（学校の食堂等）

（出典：木村宰（2019）の気候変動・省エネルギー行動会議における発表資料より引用）

以下、3. において日本の代表的な環境ラベルであるエコマークに焦点を当てて、食行動変容のためにどのような役割を果たしているかを概観し、その効果と限界について考察する。続いて4. において、日本の環境配慮した政府調達を推進するグリーン購入法制度についても同様に、その果たす役割と効果、限界を議論し、環境ラベルとグリーン購入の相互連携の有効性について論じる。

3. 環境ラベルによる食の環境配慮の促進：エコマーク

エシカル消費を進めるためには、環境配慮等の認証ラベルの制度が整うことが不可欠である。なぜなら、消費者が製品やサービスを選択するに当たって、対象物がライフサイクルを通じて環境影響や社会影響を回避又は低減するための配慮がなされているどうかを見分ける際に、各消費者が個別に情報を探索して判断するのは現実的ではなく、公正な基準に基づいた信頼性の高い表示の整備によってそうした見極めが可能となるからである。近年、多様化・複雑化している環境問題に対応するため、製品やサービスの分野毎に、それぞれのライフサイクルにおける環境影響に対応する多種多様な環境ラベルが登場しているが、これは各分野に特化して、より精緻な基準を設けて表示内容を整備し、環境配慮を達成しようとするものであり、有効だといえる。他方で、類似の認証ラベルが複数存在することで、消費者において混乱が生ずると指摘されている（消費者庁、2017）。エコマークはこれらのラベルの中で、比較的歴史が長く（日本において1989年に設立）、一般に広く認知¹されており、消費者が環境配慮をした消費選択をする際の代表的な判断材料と言える。

エコマークは、ISO14020シリーズ（環境ラベル規格）が分類するタイプIのラベルとしては日本で唯一のものである。タイプIのラベルとは、運営機関が設定する商品類型と認定基準を基

1 公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局が2015年に実施した「エコマーク認知度調査報告書」によれば、調査対象者の90%以上がエコマークを認知している。

に、包括的な環境優位性を示すか否かを、第三者機関が審査し、合格の場合に申請事業者にマーク使用を認めるものである（日本環境協会，2018；宮川ら，2009）。商品類型毎に、資源採取、製造、流通、使用消費、リサイクル、廃棄という商品の各ライフステージにおいて、「省資源と資源循環」、「地球温暖化の防止」、「有害物質の制限とコントロール」、「生物多様性の保全」の、4つの環境評価項目について、「他の同様の商品と比較して相対的に少ないレベル、またはその商品を利用することにより、他の原因から生じる環境への負荷を低減できるレベルの基準となるよう、商品類型の目的を達成するために優先度の高い項目を絞り込んで、定量的な認定基準案を策定」することとされている（日本環境協会，2018）。エコマークは供給者と消費者の双方において高い知名度を有しており、政府や自治体を中心に進められているグリーン購入の対象選別においても、その目安として活用されていることから、一定の影響力のある環境ラベルだといえる（宮川ら，2009）。

一方、エコマークが食の環境配慮を進めるために果たして有効に機能しているかという点と、大きな疑問が残る。このことは、エコマークが対象とする商品類型に飲食料品を含めるべきかという点と、飲食店を対象とする飲食店エコマークが食の環境配慮を進めるために有効に機能しているかという点から、以下のとおり説明する。

3-1 エコマークの対象類型に「飲食料品」を設けることの適格性

エコマークが対象とする商品類型の中には、飲食料品そのものが入っていない。エコマーク事務局のウェブサイトにおいては、商品類型が、「日用品・家庭用品／ファッション・小物」、「OA機器・サプライ／文具・事務用品」、「家電／家具・インテリア」、「土木建築資材・設備」、「業務用資材・DIY／容器包装／その他」、「サービス」といった5つの分野に分類され、その中で細かい商品類型が示されている。この中では容器包装や飲食店は含まれているものの、飲食料品そのものは商品類型には含まれていない。「エコマーク商品類型・認定基準の制改定等に関する諸ガイドラインおよび規程」（日本環境協会，2020）によれば、商品類型は、以下の4つの方針に照らして総合的に評価し、選定するとされている。すなわち、1)社会に大きな影響を与えることができること、2)環境への負荷を大幅に低減できること、3)より多くの事業者の行動を持続可能な社会の形成に向けて転換・誘導できること、4)より多くの消費者の行動を持続可能な社会の形成に向けて転換・誘導できることである。上述の通り、食のライフサイクルにおける環境影響は甚大であり、食の選択の転換・誘導が重視されている他、全ての消費者が毎日必要とする食に関するラベルは、多くの消費者の行動に関わるものであるため、飲食料品自体はこれらの方針に合致しているといえよう。

実際、エコマーク事務局は、2006年の報告書「エコマーク商品類型の体系的整備」において、商品類型への追加を検討すべき分野をまとめたポテンシャルリストにおいて、飲食料品を挙げて、対象追加の可能性に触れている²。同報告書においては、飲食料品は、日常の消費生活におい

2 同報告書では「食料品」と記載している。

て中心的な商品であること、農業や漁業は自然環境とつながっていること、健康面・安全面にもつながることなどから、消費者の関心は高く、取り組む意義は高いとしつつも、主に二つの問題点を指摘している。一つは、消費者の関心は、「環境よりも安全、健康、安心に向けられて」おり、これに応えようとすると、環境負荷項目の評価では足りないという点である。そして、もしも食料品を対象に加えるならば、評価項目を見直し、消費者の関心事である「安全、健康、安心」も評価に含めるよう拡大することの検討が必要になるが、その場合には環境保全の目的から乖離する可能性があり、抜本的見直しも避けられない点を指摘している。二つ目には、飲食物品を評価するならば、その生産手段である農業や漁業といった生産段階における評価が必要であるが、「それらの生産活動が及ぼす環境影響を評価する制度や方法については、エコマークによる取り組みというよりは、社会全体として取り組むことが必要である」としている。そして農業や漁業などの生産段階に評価対象を拡大するのであれば、同分野を管轄する農林水産省の理解と協力が必要となるとしている。なお、2020年12月現在、商品類型には飲食物品は含まれていない。

他方で、日本環境協会が2018年に取りまとめた第4期エコマーク中期活動計画においては、消費者の関心が食の安全に向けられているという一つ目の問題点を考えるに当たり、一定の示唆がされている。同活動計画はテーマを「消費者に身近で活用されるエコマーク」とし、活動方針として「持続可能な社会の実現に向けた行動変容を加速させる」ことを示している。また、五つの柱のうちの一つは「社会を誘導する商品類型化」としており、その中で、「温暖化対策の取組の指針となる製品・サービスの商品類型の拡大」や「新商品類型の開拓」を推進するとするほか、「ライフスタイルの変革を先導できる商品類型化の検討・推進を行う」としている。ここで言う社会の誘導は、消費者自身の利害に直接かわり既に関心が高い食品安全のみならず、食に関わる環境問題への関心を高めるという誘導効果も概念的には含まれるべきものと筆者は考える。そして、日常の消費生活における中心的存在である飲食物品は、「ライフスタイルの変革を先導」するためにも避けては通れない類型であると筆者は考える。

しかし、エコマークの対象に飲食物品を加えることに関する現実的な問題として、飲食物品の環境配慮に関連する既存のラベルとの整合性や併存可能性が挙げられる。農林物資の規格化及び品質表示の適正化に関する法律は、農薬や化学肥料に頼らず栽培された農産物等、農業による環境負荷を低減した持続可能な生産方式の基準「有機JAS」を規定し、これに適合した生産がされている事業者には「有機JASマーク」のラベル使用を認めている。この他にも、国際的な認証ラベルとして、国際フェアトレード認証、RSPO（持続可能なパーム油のための円卓会議）認証、レインフォレスト・アライアンス認証、持続可能な漁業で獲られた水産物に付されるMSC認証、責任ある養殖により生産された水産物に付されるASC認証など、飲食物品に係る認証ラベルは近年数多く存在する。エコマークの対象に飲食物品を加える場合には、これらのラベルとの整合性が問題となる。認証ラベルが氾濫することにより消費者が混乱するリスクが海外では報告されているところ（消費者庁、2017）、飲食物品について屋上屋を重ねる形でエコマーク認証の対象とするのは、混乱を招きかねず得策ではないと言えよう。

3-2 飲食店を対象とするエコマークの認定基準と発展可能性

そうした現状において、様々な飲食料品を調達・調理して提供する飲食店については、飲食料品に関する負荷低減のために大きな役割を果たしており、その飲食店に対するエコマーク認証の意義と潜在力は大きいと筆者は考える。日本環境協会も、消費者が日常的に利用する機会の多い飲食店は、消費者の飲食料品の消費を通じた環境配慮を誘導していくポテンシャルを持ち、また健康志向や安全志向から関心が高まっている地産地消や有機農産物等の食材が、環境保全にもつながっていることを、飲食店の情報発信により消費者が知る良い機会となるとしている。

その認証基準においては、評価カテゴリーとして6項目が掲げられている(表3参照)が、そのうち、「食品ロス削減とリサイクル」や「店舗の省エネと節水」など店舗の場における環境影響を対象にした項目が多数を占め、「必須項目」となっている一方で、食材の調達というサプライチェーンの上流に関するものは、「環境に配慮した食材と仕入れ」のみであり、必須項目にもなっていない(選択項目として加算される)。このため、食材の調達に関して環境配慮を欠いていたとしても認証取得がされることになっている。「環境に配慮した食材と仕入れ」に含まれる具体的評価基準としては、地元産の食材の使用、有機農産物等の使用、食品リサイクルによる肥料や飼料(エコフィード)で育成した食材の使用、それらの食材の年間購入量の割合が一定以上、といったものが挙げられている(日本環境協会, 2017)。

このように「環境に配慮した食材と仕入れ」の項目が必須ではないという点については、エコマーク制度の趣旨が、ライフサイクル全体における環境配慮を盛り込むことであることにかんがみると、その制度設計の有効性と合目的性には疑問がある。必須項目となっている項目にライフサイクルの上流に関する項目が含まれていないのみならず、ライフサイクルの下流については食品ロス削減とリサイクルのみであり、それ以外は店舗におけるエネルギー使用や水使用といった、ライフサイクルでの考慮とは言えない。類似の商品類型である「小売店舗」の認定基準(Version2.1)においては、「環境に配慮した商品販売」が必須項目となっており、それと比べると「環境に配慮した食材と仕入れ」を必須要件としていない「飲食店」の認定基準は、ライフサイクルの影響の考慮が十分とは言えないのではないか。

表3：評価カテゴリーとポイント数

No.	評価カテゴリー	必須項目	選択項目 (最大ポイント)	備考
1	環境に配慮した食材と仕入れ	—	11 p	選択項目で得られる最大ポイントには、それぞれ「その他」の3pを含む。
2	食品ロス削減とリサイクル	1 p	12 p	
3	店舗の省エネと節水	1 p	12 p	
4	店舗備品・設備の環境配慮	—	10 p	
5	環境を意識した店舗運営	1 p	9 p	
6	環境コミュニケーション	1 p	9 p	
合計		4 p	63 p	
認定要件		25 p 以上 (必須 4p+選択 21p 以上)		

(出典：日本環境協会, 2017, 「飲食店 Version1.1」認定基準書)

環境配慮した食材の仕入れを必須要件としない理由としては、二点が考えられる。一点目は、飲食店の業態や地域性は多様性であるところ、飲食店すべてに対応した全国一律の基準設定は容易ではないということである。例えば地産地消を目的とした地元食材の活用については、農作物の生産地の近隣ならば比較的容易であるが、都市の中心部では著しく困難となるものであり、その実現可能性には地域性が大きく影響を与える。また、セントラルキッチンによる食品配送を基盤として成り立つファミリーレストランやフランチャイズチェーンなどは、一括した大規模調達により、環境配慮した食材の仕入れも低価格で行うことも可能となりえるが、一方で小規模な個人レストランなどは調達規模が小さくなり、価格も高くなりやすい。そのため、環境配慮した食材の仕入れを一律要件とすることは認証取得の可能性を著しく狭めることにもなり得る。

また二点目としては、レストランが環境配慮食材を仕入れるという取組が日本では十分に広まっていないという実態が挙げられる。例えば有機農産物に関していえば、耕地面積に対する有機農業取組面積の割合は、日本は0.2%であり、イタリアの15.8%、スペインの9.6%、ドイツの9.1%、フランスの7.3%といった割合と比べて著しく低い。それと呼応して有機食品の国別一人当たりの年間消費額は、スイスの39,936円、フランスの17,408円、ドイツの16,896円に比べて、日本は1,408円であり、世界平均である1,638円と比べてもやはり低水準であることがわかる(農林水産省, 2020)。そのような状況において有機農産物を含む環境配慮食材の調達を必須とした場合には、食材の仕入れの選択肢を狭め、仕入れ費用の上昇を招くこともあり、飲食店には厳しすぎ、認証取得が広がらないといえよう。

このように環境配慮食材の仕入れを必須要件としない制度設計の趣旨を理解する上で、日本環境協会が策定した解説が参考になる。同解説によれば、「環境配慮の取り組みは、それぞれの店舗あるいは業態で強みと弱みがあり、事業者毎に多種多様である」ため、各事業者の強みを活かせるよう配慮した結果、すべての評価カテゴリーを必須とするのではなく、全体の取組をポイントとして積み上げ、一定のポイントが積みあがれば合格とする形式とした。これにより、業界全

体が「少しずつ計画的に取り組みを進めれば取得できるレベルを目指した」としている（日本環境協会, 2017）。すなわち、「環境に配慮した食材と仕入れ」の実施可能性は事業者毎に異なるため、これを必須条件とすることによって、そうした食材の仕入れが難しい事業者をその一事をもって排除することは望ましくないという考え方である。そして食材の仕入れという「上流」の対策以外に取り組む事業者の認証取得を促したうえで、将来的にはそうした「上流」の対策にも取り組むよう、レベルアップを促していくという奨励型のアプローチをとることにしたものと理解できる。

ただし、現在の認証基準においては、地産地消や有機農産物などの食材は、「提供する料理に1食材以上使用していれば適合となる」としており、その基準が認証取得自体を躊躇させるほどの過度な要求なのか、認証マークが飲食店に求める取組の最低基準としてどれ程厳しいのかという点については評価が分かれるところなのではないか。日本の有機食品市場は拡大の傾向を示し、国民の関心は高まりつつある（農林水産省, 2020）ことから、市場の動向と飲食店の実態を把握し、その実態に即した認証基準の不断の改善が重要となる。当該認定基準は有効期限が2024年とされているところ、その時点での実態反映と基準の改善が期待される。

また、環境配慮食材の調達に関する表示の在り方には改善の余地があると考えられる。エコマークの取得によって、飲食店は自ら環境配慮をしていることを標榜し、消費者に対してアピールすることを可能とするのであるが、提供される飲食料品自体の生産過程の環境配慮に取り組んでいるとは限らないとなると、消費者側の期待と合致しないことにもなり得る。これに関しては、認証マークの掲示に際して基本ロゴと併せて、認証の際に満たした基準項目に関するピクトグラムを掲載することとしており、このようにして表示がもたらす誤解を回避している（図1参照）。制度運用としては、基準を満たしたピクトグラムのみを載せることとされているが、満たしていないピクトグラム自体が表示されない場合は、その基準が満たされていない点が消費者にとっては明らかではない。このため、全体のピクトグラム一群を表しつつ、基準を満たしたピクトグラムのみ強調表示することで、適合していない基準がある場合にはその点も明らかにするべきではないか。そのような表示方法によって、基準適合性の全体像を消費者側が正確に把握できるようになり、消費者側の認証マークへの高い信頼性が確保されるのではないか。



図1：飲食店エコマークの掲示方法の例
（出典）日本環境協会エコマーク事務局

3-3 諸外国の飲食店を対象とする環境ラベルの認定基準

飲食店の環境認証において調達食材の環境配慮を考慮すべきか否かを検討するに当たっては、海外のタイプ I の環境ラベルが参考になる。飲食店が対象となっている環境ラベルは、台湾のグリーンマーク (Green Mark)、米国のグリーンシール (Green Seal)、北欧諸国のノルディックスワン (Nordic Swan Ecolabel)、フィリピンのグリーンチョイス (Green Choice) が挙げられる (日本環境協会, 2017)。

台湾のグリーンマークの飲食店への認証基準においては、環境配慮した食材の購入を必須としている。同基準においては、ゴールドレベル、シルバーレベル、ブロンズレベルの3段階に分けて、ゴールドについて最も厳しい基準に据えている。認証基準は必須基準と選択基準に分けられており、3段階のいずれも必須基準を満たすことが求められる。その必須基準の中には、「主要な食材の購入予算のうち地元食材に係るものは少なくとも30%とする」(At least 30% of the budget on main food ingredients shall be spent on local food ingredients.) という規定が挙げられている。また、必須基準に加えて選択基準を一定程度満たした場合はシルバー、全て満たした場合はゴールドの認証が付与され、その選択基準には、「主要な食材の購入予算のうち地元食材に係るものは少なくとも50%とする」、「主要食材のうち少なくとも1種類は、台湾有機農産物ラベル又はカーボンフットプリントラベルの付されたものとする」、「少なくとも1種類の菜食セットメニューを提供する」ことが挙げられている。(Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan), 2010) 環境認証の基準として、菜食 (ベジタリアン、ヴィーガン等) の提供が挙げられていることは、菜食の選択肢や環境配慮行動として肉類や乳製品の消費を減らすという選択肢の理解が浸透していない日本とは一線を画している。

米国のグリーンシールは、気候変動対策、水質保全、廃棄物最少化、そして健康保全を主要な目的としており、台湾のグリーンマークと同様に、飲食店の認証取得に関しては、環境配慮した食材の購入を要件としている。具体的には、必須要件として、購入する全飲食料品の少なくとも15%は持続可能な調達をされたもの (sustainably-sourced) か、地元でとれた食材とすることが定められている。また、海産物については、購入の80%を絶滅危惧が指摘されるもの以外とすることや、MSC認証を取得したものとすることが定められている。コーヒーや茶についても購入の50%を持続可能な調達をされたものか社会的に望ましいもの (sustainably-sourced or socially-preferable) とすることとされている。(Green Seal, Inc., 2014)

北欧諸国のノルディックスワンにおいても、飲食店の認証基準に一定程度の有機農産物を使用した飲食料品の提供、菜食料理の提供が必須条件となっているほか、絶滅危惧が指摘される食材の不使用、遺伝子組み換え食品の不使用といった忌避の基準も必須条件として設けられている。他方で、地元でとれた食材の使用については、必須条件とはしておらず、加算条件としている点は、地元食材の使用を必須条件に含めている上述の台湾と米国の例と異なっており、条件の重みづけの違いを見て取ることができる。(Nordic Ecolabelling, 2020)

フィリピンのグリーンチョイスにおいては、食材調達に係る環境配慮は必須基準とはなっていない。同認証制度は、付与対象分野にFood Service Establishmentという項目を設けて、飲食店を対象にしている。同項目の認証基準は、食品安全、栄養、環境保全、資源効率性の4つの分野毎に必須基準と選択基準を列挙している。その中では環境配慮食材の仕入れが選択基準として設けられており、飲食店がその配慮方針を定めることを定めているが、その調達対象の中には「食品」が記されている（“The food service establishment has a Purchasing policy that favors environmentally acceptable products for building materials, capital goods, food, and consumables.”）。しかし、その基準となる数値も含め具体的な基準は記されておらず、第三者機関によって認証された製品を購入し、使用することを示しているのみである。（Philippine Center for Environmental Protection and Sustainable Development, INC）このため、環境に配慮した食材の調達を積極的に進めることを同認証制度が目的としているか、そして食材のグリーン購入が促進されるかという点については疑問が残るものといえよう。なお、同ラベルの基準には法令順守をしていることを条件とする項目が多く含まれていることから、法令順守を前提としつつより高いレベルの環境配慮を表示によって実現しようとするエコマークなどとは状況が異なるといえよう。（Philippine Center for Environmental Protection and Sustainable Development, INC (PCEPSDI)）

以上、諸外国の飲食店を対象としたタイプIの環境ラベルがどのような基準を設けているかを概観したが、フィリピンのグリーンチョイスを除いて、いずれも食料サプライチェーンの上流に関する基準が必須条件として含まれ、環境配慮した食材の調達がラベル認証のために不可欠となっている。その条件としては、地元産食材の使用、有機農産物の使用、持続可能な方法により生産/捕獲された食材の使用、絶滅危惧種等の環境影響をもたらす食材の忌避、菜食メニューの提供など、認定の際に考慮される項目は幅広い。こうした事例と日本のエコマークとを一律に比較することは適当ではないが、エコマークの今後の発展可能性を考える上で重要な手がかりとなる。

また、こうした制度を取り入れている国・地域においては、食の環境配慮に関する国民の意識が比較的高いことが、それらのラベルの導入を可能とし、実効性を高めることにつながっていると考えられる。このため日本でも、気候危機やSDGs達成を目指す観点から、食料サプライチェーンの上流で環境配慮をしていくことの重要性を共有するための普及啓発を進めることが、飲食店エコマークの拡充の前提条件となる。そして同時に飲食店エコマークの拡充を進めていくことで、飲食店利用者に対する普及啓発にもつながるのであり、飲食店と消費者の双方向からの相乗効果が期待できるのではないかと。ただし、その大前提として、政府が食の環境配慮の方向性を計画に位置付けるなど方針を明らかにすることが不可欠である。

4. グリーン購入法における食の環境配慮

エシカル消費は消費者の購入商品の選択に環境配慮を加味することによって、環境物品等の需要を拡大させ、市場形成・拡大や開発促進に寄与していくという意義があるが、国を始めとした公的機関は、国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）に基づく政

府調達の制度によって、大規模な購買主体として重要な役割を果たしている。以下、同法によって環境配慮した食の選択が促進される仕組みとなっているかについて概観し、その限界を明らかにしつつ、期待される役割について考察をする。

4-1. グリーン購入法に基づく食堂調達に係る環境配慮食材使用の位置づけ

グリーン購入法の目的は、「国、独立行政法人等、地方公共団体及び地方独立行政法人による環境物品等の調達の推進、環境物品等に関する情報の提供その他の環境物品等への需要の転換を促進する」(同法第1条) ことであり、第6条において国が定める基本方針においては、国等が重点的に調達を推進すべき「特定調達品目」と、その判断基準、そして当該基準を満たす「特定調達物品等」の調達の推進に関する基本的事項を定めることとされている。各公的機関は毎年度、基本方針に基づいて調達方針を定め、これに基づいて調達がなされる。特定調達品目の中で食料品は災害備蓄用品を除いては含まれていないが、役務として「食堂」が挙げられており、庁舎にて営業する食堂は同法に基づいて調達される。

グリーン購入法はエコマークと連携をして実施されている。エコマークは国等の公共機関が、同法に基づく調達をする際の判断基準としても活用され、公的機関によるグリーン購入を側面的に支援する役割も有している。同法の基本方針では、調達に当たって第三者機関による環境ラベルを十分に活用することを求めており、エコマークを例示している。環境省は、エコマークの認証基準は、基本的に同法の調達基準と同等又はそれ以上であるとし(環境省ウェブサイト「グリーン購入.net、Q&A」)、エコマーク事務局(2020)は、エコマークは同法に基づく調達の判断の目安として活用されているとしている。そのようにすることで対象物品・サービスを選定する行政コストを軽減することに資するといえる。ただし、エコマークの認証がされている物品又は役務のみが調達の対象となるわけではない点に注意が必要である。つまり、基本方針に示される判断基準を満たしたものが調達の対象となるのであり、エコマークが付された物品・サービス以外のものが調達されることは排除されない。また、エコマーク認定商品は、原則として同法の判断基準に適合しているが、一部は例外的に同法の判断基準に適合していないとされ、「食堂」はその例外に該当する。(エコマーク事務局, 2020)

それでは、同法に基づく「食堂」の調達に関する判断基準と飲食店エコマークの認定基準とはどのような違いがあるのであろうか。同基本方針においては役務としての「食堂」の調達の際に、事業者を選定する判断基準が規定されている。その中では、生ごみの再生利用、食器のリユース、使い捨て容器の不使用、食品廃棄物の発生量の把握など、サプライチェーンの下流に関する取組のほか、食堂設備の省エネなど、食堂の場での環境負荷軽減が掲げられている。一方、環境に配慮した食材の使用、つまりサプライチェーンの上流における環境負荷軽減を旨とした取組は、判断基準に含まれていない。

他方で、同基本方針においては、現時点で判断基準として全国一律の適用が適当ではない事項であっても、環境負荷低減上重要な事項については「配慮事項」として掲げ、調達に当たって配

慮していくこととされている。そして、食堂に関する配慮事項としては、「食堂で使用する食材は、地域の農林水産物の利用の促進に資するものであること」、及び「食堂で使用する加工食品・化成品の原料に植物油脂が使用される場合にあっては、持続可能な原料が使用されていること」が掲げられており、環境配慮した食材使用について規定されている。このように、同基本方針によれば、環境配慮した食材の使用、つまり上流対策については、調達対象選定の必須要件ではないが、選定に際して配慮される可能性はあることになる。

グリーン購入法における「食堂」に関する判断基準と配慮事項について、飲食店エコマークの認定基準の各項目のいずれに該当するか、その対応関係を表4の通り整理した。同表が示す通り、双方の基準の間には、サプライチェーンの下流の環境配慮に重きを置き、上流の環境配慮に係る規定ぶりが弱いという共通項がみられると言える。なお、上述のとおり、飲食店エコマークは例外的に同法の「食堂」判断基準に適合していないとされているが、それは、同法において判断基準とされている食器のリユースや使い捨て容器の不使用（表4の②及び③）は、飲食店エコマークでは選択項目となっており、エコマーク取得店であっても判断基準を満たしているとは限らないことによるものである。

表4：「食堂」に関するグリーン購入法判断基準等と飲食店エコマーク認定基準の対応表

グリーン購入法の「食堂」の判断基準 / 配慮事項	飲食店エコマークの認定基準					
	環境に配慮した食材と仕入れ(選択)	食品ロス削減とリサイクル(必須)	店舗の省エネと節水(必須)	店舗備品・設備の環境配慮(選択)	環境を意識した店舗運営(必須)	環境コミュニケーション(必須)
【判断基準】						
① 生ゴミを減容及び減量する等再生利用に係る適正な処理が行われるものであること。		○				
② 繰り返し利用できる食器が使われていること。				○		
③ 食堂内における飲食物の提供に当たっては、ワンウェイのプラスチック製の容器等を使用しないこと(略)				○		
④ 食品廃棄物の発生量の把握並びに発生抑制及び再生利用等のための計画の策定、目標の設定が行われていること。		○			○	
⑤ 食品廃棄物等の発生抑制の目標値が設定されている業種に該当する場合は、食品廃棄物等の単位当たり発生量がこの目標値以下であること。		○				
⑥ 食品循環資源の再生利用等の実施率が、(略)基準実施率を達成していること又は目標年に目標値を達成する計画を策定すること。		○			○	
⑦ 提供する飲食物の量を調整可能とすること又は消費者に求められた場合に持ち帰り用容器を提供すること等により、食べ残し等の食品ロスの削減が図られていること。		○				
⑧ 食堂内の掲示を利用する等、飲食物の食べ残しが減るよう食堂の利用者に対する呼びかけ、啓発等が行われていること。		○				○
⑨ 食堂の運用に伴うエネルギー使用量(電力、ガス等)、水使用量を把握し、省エネルギー・節水のための措置を講じていること。			○			

グリーン購入法の「食堂」の判断基準 / 配慮事項	飲食店エコマークの認定基準					
	環境に配慮した食材と仕入れ(選択)	食品ロス削減とリサイクル(必須)	店舗の省エネと節水(必須)	店舗備品・設備の環境配慮(選択)	環境を意識した店舗運営(必須)	環境コミュニケーション(必須)
【配慮事項】						
① 生ゴミ処理機等による処理後の生成物は肥料化、飼料化又はエネルギー化等により再生利用されるものであること。		○				
② 生分解性の生ゴミ処理袋又は水切りネットを用いる場合は、生ゴミと一緒にコンポスト処理されること。		○				
③ 食堂で使用する食材は、地域の農林水産物の利用の促進に資するものであること。	○					
④ 食堂で使用する加工食品・化成品の原料に植物油脂が使用される場合にあっては、持続可能な原料が使用されていること。	○					
⑤ 修繕することにより再使用可能な食器、又は再生材料が使用された食器が使われていること。				○		
⑥ 再使用のために容器包装の返却・回収が行われていること。				○		
⑦ 食材等の輸送に伴う環境負荷の低減が図られていること。	○					

(出典) グリーン購入法の基本方針と飲食店エコマーク認定基準書を基に筆者が作成

「食堂」の判断基準及び配慮事項が、下流対策に重きを置き、上流対策の規定ぶりが弱いという点はこの趣旨にどれ程合致しているのだろうか。同法第2条に示される環境物品等の定義中、食堂が該当するところの「役務」に関する定義としては、「環境への負荷の低減に資する製品を用いて提供される等環境への負荷の低減に資する役務」とされており、同法は廃棄物の処理などの下流のみならず、環境負荷低減に資する製品の使用という上流の対策を明記している点が特筆される。つまり、同法は役務についても上流対策を眼目としていることが示唆され、これにかんがみると、食堂の調達に係る判断基準及び配慮事項の規定ぶりにいささかの疑問が残る。

「食堂」の配慮事項として掲げられる上流対策としては、「地域の農林水産物の利用」(つまり地産地消)と持続可能な植物油脂の使用についての2点のみであり、有機農産物などの食材の使用については何ら規定されていない。さらに、同基本方針においては「地域の農林水産物の利用」に係る注意書きとして、「地域資源を活用した農林漁業者等による新事業の創出等及び地域の農

林水産物の利用促進に関する法律」第25条の趣旨を踏まえ、「地域において供給が不足している農林水産物がある場合に他の地域で生産された当該農林水産物を消費すること」も含むこととしている。つまり、他地域での農産物を使用することも「地域の農林水産物の利用」と称されることを許容しているため、この点からも「地産地消」の実現可能性が限定的となり得る点に留意が必要である。

これら判断基準や配慮事項について、現実の運用の場面でどれ程の考慮がされているかを明らかにすることは困難である。国等の各機関は、毎年度、基本方針に即して、環境物品等の調達の推進を図るための方針を作成・公表することになっているが、主要な省庁の調達方針では、「基本方針に規定された判断の基準は、あくまでも調達の推進に当たっての一つの目安を示すものであり、できる限り環境への負荷の少ない物品等の調達に努めることとする」、又は「基本方針に規定された配慮事項についても、調達の推進に当たってできる限り配慮するよう努めることとする」と記されるのみであり、公表文書からは実際の運用における配慮の内容を明らかにすることは難しい。例えば、環境省が執務室を持つ合同庁舎5号館の食堂の公募要領（厚生労働省、2020）においては、グリーン購入法や判断基準・配慮事項のことは選定条件として明示されておらず、少なくとも公募公告の段階で同要領に明記する形で配慮を促すことはされていない。

それでは、環境配慮した食材の使用という「上流」における環境配慮を食堂運営者に求めることは、現実的に可能なのであろうか。食堂は業態や地理的条件等が様々であり、それに伴い、環境配慮した食材の使用が難しい場面は少なくないため、全国一律の判断基準として掲げるのは、現実的ではないという見方もできよう。地産地消による食材調達についていえば、生産地に近接する公的機関であるならば地元産食材の調達は容易であるが、都心部に位置する機関においては容易ではない。また、有機農産物の使用に関しては、そもそも流通量が限られており、価格も比較的高いことから、業態に関わらない一律の判断基準としては厳しすぎる。実際これらの事項を判断基準とした場合には、食堂という役務の調達が不能という公的機関も発生しかねない。

他方で、環境配慮した食材の使用は、現時点では確かに一律の適用は困難ではあるが、「配慮事項」としては十分適格性を有するのではないか。基本方針に配慮事項として掲げられている地産地消と持続可能な植物油脂の調達については、地域や提供食材によっては著しく困難である場合も考えられるものの、条件によっては調達可能な場合もあり、そうした飲食店の参入を促す効果が期待できる。この点は、持続可能な植物油脂の調達について特筆される。「グリーン購入の調達者の手引き」（環境省、2020）においては、持続可能な植物油脂は、ボルネオ島を中心として熱帯雨林破壊などの問題を回避し、持続可能な生産と利用を促進することを目的としたRSPO認証を取得したものが該当するとしている。ただ、RSPO認証を得た植物油脂には、持続可能性への配慮に要したコストが上乘せされ、価格は通常よりも高くなるなどの課題があり、現状ではRSPO認証をすべての食堂の調達の前提にすることは困難であり、そのために一律の判断基準とされていないと考えられる。それでも配慮事項として明記されていることはその調達を促進する一定の効果が得られる素地となるものであろう。これと同様に、環境配慮した食材である有機

農産物、MSC 認証、ASC 認証、国際フェアトレード認証などについても、配慮事項として掲げることにより、安定した需要の創出、そしてサプライヤーによる供給インセンティブの付与にもつなげていく素地になり得る。以上より、配慮事項の中に、地元食材と持続可能な植物油脂の使用に加えて、より幅広い環境配慮食材の使用について盛り込みながら、その配慮の意義を食堂運営者や食堂利用者に周知していくことが、現実的かつ効果的な対応策であると考えられる。

4-2. 東京オリンピック・パラリンピックの調達方針における食の環境配慮

公共調達が生食料サプライチェーンの上流の環境配慮を進めるための仕組みを考察する上で、東京 2020 オリンピック・パラリンピック 競技大会の調達コード（以下「オリンピック調達コード」という。）は参考になる。同大会の「持続可能性に配慮した調達コード基本原則」においては、1) どのように供給されているのかを重視する (2) どこから採り、何を使って作られているのかを重視する (3) サプライチェーンへの働きかけを重視する (4) 資源の有効活用を重視する、という 4 点が掲げられているが、これらからは全体の調達方針としてサプライチェーンの上流の持続可能性確保を眼目としていることがわかる。

オリンピック調達コード中、持続可能性に配慮した農産物の調達基準においては、農産物のサプライヤーの条件として、「周辺環境や生態系と調和のとれた農業生産活動を確保するため、農産物の生産に当たり、日本の関係法令等に照らして適切な措置が講じられていること」が挙げられ、その適合性の判断基準として、ASIAGAP、GLOBAL G.A.P、農水省の GAP ガイドライン準拠が掲げられている。一方、有機農産物については、この条件とは別に、「生産者における持続可能性の向上に資する取組を一層促進する観点から、環境面の配慮が特に優れたものとして、有機農業により生産された農産物が推奨される」としている。このように条件付けに濃淡はあるものの、総じて、環境配慮食材の使用が調達先の選定において考慮されている点は、グリーン購入法の体系より前進しており、特筆に値する。確かに、限定された地域と限定された期間において調達をすることを前提とし、また国際社会の要請も考慮したオリンピック調達コードと、全国一律で年間を通じた調達に関して定めるグリーン購入法とを、同列に比較することは適当ではないが、気候危機への対応等の SDGs 達成に向けた動きが加速する中、環境配慮に関して目指すべき方向性を一致していく要請が今後強まるのではないかと。少なくとも、グリーン購入法基本方針などにおいて、環境配慮食材の使用を配慮事項に含めるなど、上流対策を促すような記載を盛り込むことは、オリンピック開催を契機とした価値ある前進となるのではないかと。

4-3. グリーン購入と環境ラベルの相乗効果

公的機関によるグリーン購入は需要を創出することにより、波及効果を市場にもたらすことが目指されている。グリーン購入法が国等の公的機関による調達の環境配慮を促すことによって目指するのは、「環境配慮物品などの市場の形成、開発の促進に寄与し、それが更なる環境物品等の購入を促進するという、継続的改善を伴った波及効果を市場にもたらす」(同法基本方針) ことである。東京 2020 オリンピック・パラリンピック 競技大会調達コードでも、「本調達コードと同様

の取組が拡大し、デリバリーパートナーやサプライヤーを含め広く社会に持続可能性を重視する姿勢が定着するよう働きかけていく」としており、社会への波及を目指したものである。後述するように、そうした公的機関による需要創出がもたらす生産者へのインセンティブ効果は小さくない。

さらに、こうした公的機関による需要創出とエコマークを始めとした環境ラベルが連携することによって、需要側と供給側の相互作用により双方が拡大し、環境配慮に係る市場が拡大していくことが期待される。具体的には、グリーン購入法の「食堂」の判断基準と、飲食店エコマークの認定基準について、いずれもオリンピック調達コードを参照し、認定基準に上流対策を射程に含める対応をすることによって、相乗効果が得られるのではないかと考えられる。飲食店エコマークの取得は2021年1月1日現在10件にとどまり、低水準にあるが、同マーク取得が国等の機関による食堂調達の選定において有利となり得るならば、同マーク取得のインセンティブにもなる。また、同マークの取得数が増え、それに伴い環境配慮食材の市場が拡大すること、そしてそれが生産者のインセンティブになり、供給が増えて、マーク取得の拡大にもつながり得る。このようにグリーン購入法とエコマークの「食」に関する連携は、相乗効果をもたらす潜在力があるのではないかと考えられる。

これについては千葉県いすみ市の例が特筆に値する。同市では2017年から、市内の13の小中学校で出される給食の白米を、すべて地元産の有機栽培米でまかなっている。同市では2013年から市内の農家に有機米の栽培を働きかけ、「いすみっこ」と命名してブランド化するなどして、作付面積が徐々に増えた結果、給食における42トンもの白米の需要を、市内の有機米で賄うことが可能となった。有機米の栽培はコストがかさむことから経営上は容易ではないケースが多いが、小中学校の給食という安定した販路が確保されたことによって販売見通しがつき、生産しやすい環境が整った。加えて、有機米を地元ブランドとしてラベルを作り、知名度を上げることにより、学校給食での需要のみならず、それ以外の需要家への販売も拡大する機会も得られ、生産のインセンティブが更に増すことになったといえる。同様の例は千葉県木更津市、愛知県今治市でもみられる。(山田, 2019) これらはブランド化とラベル付与等による生産奨励策と公共需要創出策がうまく噛み合い、安定的な需要の創出が生産者による作付けと供給拡大のインセンティブとなり、市場創出に寄与した好例といえるのではないかと考えられる。

5. おわりに

本稿では、気候変動への寄与度の大きい食料サプライチェーンについて、需要側からシステム変革を促すアプローチの在り方を模索するため、エシカル消費を進めるための環境ラベルであるエコマークの整備や政府調達のグリーン化が果たす役割と課題を明らかにし、今後の可能性について考察したものである。

日本で唯一の第三者審査による環境ラベル (ISO14024のタイプI) であるエコマークについて、

食品を対象品目に広げることは他ラベルとの併存可能性などの観点から現状では難しいものの、既に実施されている飲食店を対象としたエコマークについては、消費者の食事スタイル変革のための有効な手段となり得る。しかし飲食店エコマークの認証基準は食品ロス対策やリサイクル、節電節水などが必須条件とされ、食料サプライチェーンの上流への波及効果が期待できる仕入れ食材の環境配慮は選択条件にとどまり、必須ではない点は、ライフサイクル全体の環境配慮を進めるというエコマークの趣旨に合致しているとは言い難いのではないかと考える。現在の食料供給システムは気候変動、森林破壊、水質汚染や土壌汚染といった各方面で持続可能性を脅かしており、その供給サイドの変革が国際的に大きな課題となっている現状にかんがみれば、エコマークも食材の仕入れの環境配慮を促す制度設計とするべきではないかと考える。

また、グリーン購入法体系が対象とする品目で食料システムに関係するのは「食堂」であるが、この調達基準についても、エコマークと同様、食料サプライチェーンの上流に影響のある環境配慮食材の使用は必須条件となっておらず、配慮事項にとどまるのであり、重きを置かれていない。さらに、その配慮事項としては、地産地消と持続可能な植物油の二点が挙げられているのみであり、有機農産物、持続可能な生産による水産物、森林保全に資する生産による農産物など多種多様な環境価値を体現した環境ラベル製品は一切含まれていない。こうした環境ラベルが市場に出回り始めている現状と国際社会の要請にかんがみれば、「食堂」の調達の判断基準や配慮事項において、環境配慮食材の使用に関する比重を高める必要があると考える。

環境ラベルと政府調達のグリーン化の整備は、双方向の影響をもたらすものであり、相乗効果も期待され、実際、多くの政府調達品目については判断基準とエコマーク認定基準が対応している。そうすることにより、政府側は調達品目の選別が容易になる一方、供給側は政府による購入への期待からエコマーク取得のインセンティブにもなり得る。そのため、エコマークの体系とグリーン購入の体系の双方において、環境配慮食材の使用に関する比重を高めることによって、環境配慮食材の市場拡大の一助となることが期待される。

以上、食料サプライチェーンのグリーン化のため、エコマークやグリーン購入制度が果たす役割と展望について論じたが、そのような政策を実行する前提として、政府が以下の三点を行うことが不可欠である。すなわち、1)現状の食料サプライチェーンによる気候変動への影響が甚大であることの認識、2)食料サプライチェーンのグリーン化と国民の食生活の見直し(食行動変容)が必要であることの認識、そして3)どのような食事スタイルが環境負荷が大きく、どのような食事スタイルが持続可能性の観点から望ましいのかを明らかにして、政府全体としての方向性を示していくことである。その際、食事スタイルは全ての国民の日常生活に関わることであるため、専門家のみならず、国民を巻き込んだ議論が不可欠であり、健康や文化育成、地域経済活性化といった食事の選択がもたらす多様な影響も考慮しながら、国民・社会全体が未来を見据えて本当に必要な食事を考えていくボトムアップのアプローチが求められる。環境ラベルやグリーン購入による対応はそのような素地の形成と併行的に行っていく必要があるのではないかと考える。

なお本稿では、環境配慮食材の例として主に有機農産物や持続可能な生産方式による農産物や飲食料品を挙げたところであるが、2-1で述べたように肉類や乳製品の大量消費がもたらす気候危機を含む地球環境問題への影響は甚大であり、そうした点も考慮し、植物性中心の食事という選択肢を日常生活に増やしていく取組は急務である。ただし、現実的には日本ではそのような食生活変容の必要性が認識されることは稀であり、上述の通り日本政府の行政計画などでも位置付けられていない。この点については、そのような食生活がもたらす健康向上や地産地消による地域活性化の波及効果、植物性中心であった伝統的な食事の見直しによる食文化保全など、付随する便益を調査・整理し、気候変動緩和の観点から考えられる食生活の絵姿（ビジョン）について国民的議論を進めていくことが必要不可欠である。その上で、グリーン購入法に基づく調達や飲食店エコマークの認定に際して、菜食（ベジタリアン、ヴィーガン等）を含む植物性中心の食事を一部のメニューとして取り入れていることを考慮要素に含めることも、検討していく価値があると考ええる。

参考文献

- Environmental Protection Administration, R. O. C. (. (2010). Green mark, greenliving information platform.
Retrieved from <https://greenliving.epa.gov.tw/newPublic/Eng/GreenMark/First>
- Green Seal, I. (2014). GS-55 green seal standard for restaurants and food services, EDITION 1.0 march 12, 2014.
Retrieved from <https://www.greenseal.org/green-seal-standards/gs-55>
- Hawken, P. (2018). Drawdown: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming Penguin.
- IPCC. (2018). Special report: Global warming of 1.5 °c. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC. (2019). Special report on climate change and land, chapter 5: Food security.
Retrieved from <https://www.ipcc.ch/srcll/chapter/chapter-5/>
- Nordic Ecolabelling. (2020). Nordic ecolabelling for hotels, restaurants and conference facilities, Version 4.7, 23 October 2013 - 31 December 2022.
Retrieved from <http://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=055>
- Philippine Center for Environmental Protection and Sustainable Development, INC (PCEPSDI). Green choice philippines nelp-gcp 2019034 food service establishment.
Retrieved from <https://pcepsdi.org.ph/programme/green-choice-philippines/gcp-criteria/>
- Rockstroem, J., & Klum, M. (2015). Big world, small planet: Abundance within planetary boundaries. Yale University Press.
- UNEP. (2020). Eating better - for us and the planet. Retrieved from <https://www.unep.org/news-and-stories/story/eating-better-us-and-planet>
- World Resources Institute (WRI). (2019). World resource report: Creating a sustainable food future. A menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. Retrieved from <https://research.wri.org/wrr-food>
- ジョナサン フォーリー：「シリーズ90億人の食：5つの提言から考える世界の食の未来」, 『ナショナルジオグラフィック日本版』, 2014年 (<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/20140421/393970/>)
- 中田 哲也：「フード・マイレージ」について, 農林水産省食料・農業・農村政策審議会企画部会地球環境小委員会等合同会議資料, 2020年 (<https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/goudou/06/pdf/data2.pdf>)
- 公益財団法人日本環境協会：「エコマーク事業実施要領」, 2018年 (<https://www.ecomark.jp/pdf/yoryo.pdf>)
- 公益財団法人日本環境協会：「エコマーク商品類型・認定基準の制改定等に関する諸ガイドラインおよび規程」,

2020年 (https://www.ecomark.jp/pdf/r_guide.pdf)
公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局：「『飲食店』認定基準におけるエコマークの表示方法」
(https://www.ecomark.jp/restaurant/505V1_document_03.pdf)
公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局：「エコマーク認知度調査報告書」, 2015年
(<https://www.ecomark.jp/pdf/report2015.pdf>)
公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局：「No.505 飲食店 V1 解説」, 2017年
(https://www.ecomark.jp/service/pdf/505V1_b.pdf)
公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局：「エコマーク『飲食店』認定基準案, エコマーク『飲食店』認定基準案説明会資料 (2017年7月19日 (東京)・25日 (大阪))」, 2017年
(https://www.ecomark.jp/restaurant/505V1_document_01.pdf)
公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局：「エコマーク商品類型 No.505, 飲食店 Version1.1 認定基準書」,
2017年 (https://www.ecomark.jp/service/pdf/505V1_a.pdf)
公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局：「第4期エコマーク中期活動計画 (2018年4月～2023年3月)」,
2018年 (<https://www.ecomark.jp/pdf/chuuki4.pdf>)
公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局：「2020年度版エコマークとグリーン購入法特定調達品目」, 2020
年 (https://www.ecomark.jp/pdf/green_eco_2020.pdf)
公益財団法人東京オリンピック・パラリンピック協議大会組織委員会：「東京2020オリンピック・パラリンピッ
ク競技大会 持続可能性に配慮した調達コード (第3版)」
(<https://tokyo2020.org/ja/games/sustainability/sus-code>)
厚生労働省：「公募公告 (中央合同庁舎第5号館内大食堂の運営)」, 2020年
(<https://www.mhlw.go.jp/sinsei/chotatu/chotatu/kikaku/2020/01/kk0124-01.html>)
宮川 昌治・山村 尊房：「タイプI 環境ラベル「エコマーク」の現状と展望」, 『日本LCA学会誌』, 5 (2), 203-211.
doi:10.3370/lca.5.203, 2009年
山本 良一：「エシカル消費の序論」, 『廃棄物資源循環学会誌』, 28(4), 251-260, 2017年
山本 良一・中原秀樹：「未来を拓くエシカル購入 (第1版 ed.)」, モリモト印刷株式会社, 2012年
山田 正彦：「売り渡される食の安全 (7版 ed.)」, 角川新書, 2019年
木村 幸 (電力中央研究所 社会経済研究所)：「気候変動対策としての食行動変容の必要性と課題」, 気候変動・
省エネルギー行動会議発表資料, 2019年
(<https://seeb.jp/paper/2019/presentations.php>)
株式会社デルフィス：「自発的消費行動とエシカル実態調査～2014年8月調査報告～」, 2014年
河口 真理子：「持続可能なサプライチェーンとエシカル消費：持続可能な社会づくりに向けて生産も消費も
変わる (特集 家計からみる日本の課題)」, 『大和総研調査季報』, (26), 80-97, 2017年
消費者庁：「海外における倫理的消費の動向等に関する調査報告書」, 2016年
([https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_education/consumer_education/ethical_study_group/
pdf/160331_1.pdf](https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_education/consumer_education/ethical_study_group/pdf/160331_1.pdf))
消費者庁：「『倫理的消費』調査研究会 取りまとめ～あなたの消費が世界の未来を変える～」, 2017年
小出 瑠・小嶋 公史・渡部 厚志：「1.5℃ライフスタイル：脱炭素型の暮らしを実現する選択肢 (日本語要約版)」,
公益財団法人地球環境戦略機関 (IGES), 2020年
([https://www.iges.or.jp/jp/publication_documents/pub/technicalreport/jp/10464/1_5_report_A4_FINAL_
REPORT_j_web.pdf](https://www.iges.or.jp/jp/publication_documents/pub/technicalreport/jp/10464/1_5_report_A4_FINAL_REPORT_j_web.pdf))
環境省：「グリーン購入法Q&A」, (<https://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/q&a.html>)
環境省：「森林保全の制度, 森林に関連した認証制度等」
(<http://www.env.go.jp/nature/shinrin/fpp/certification/index3.html>)

環境省：「グリーン購入の調達者の手引き」，2020年

(https://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/tebiki/r2_tyoutatusya.pdf)

細川 幸一：「『倫理的消費（エシカル消費）』概念に関する考察」，『樹下道 家政学専攻研究』，(9)，17-25，
2017年

農林水産省生産局農業環境対策課：「有機農業をめぐる事情」，2020年

(<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/youki/attach/pdf/meguji-full.pdf>)

農林水産省食料産業局食品製造課基準認証室規格第1班：「有機食品の検査認証制度」

(https://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/youki.html)

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. 16

2021年3月26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. 03-3238-4176

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