



Science & Technology Trends

科学技術動向

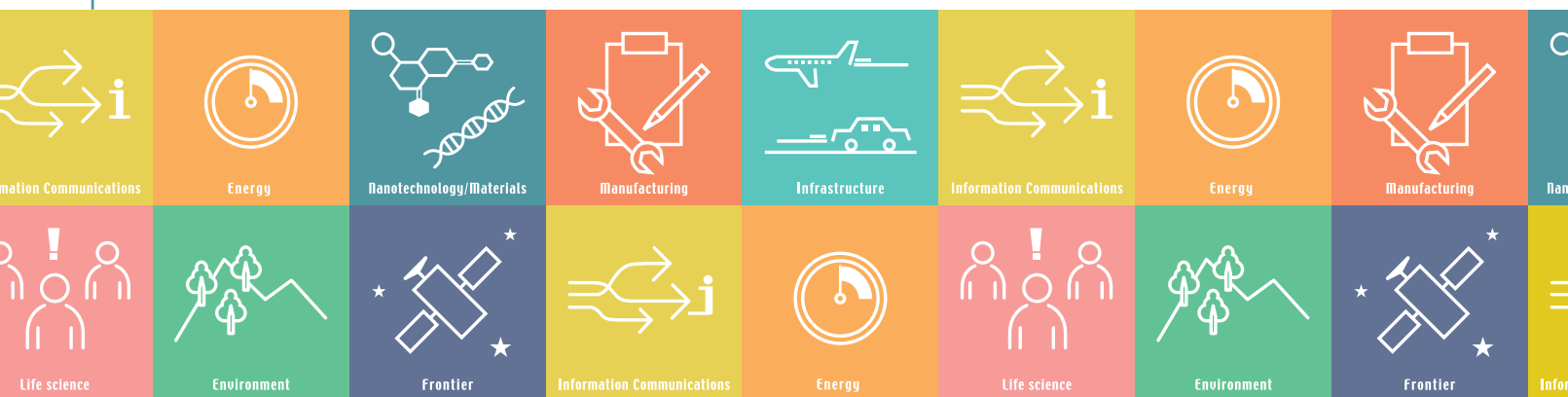
1.2
2012
No.127

レポート

- p2,10** 生態系サービスを持続させる市場メカニズムの拡大
—日常消費活動の中で生態系保全を推進する認証制度—
- p3,22** 水災害に対する防災技術の転換の必要性
- p4,36** シンポジウム「IEEE に見る国際競争激化とグローバル化
—研究人材の国際流動性は研究開発に影響を与えるのか—」開催報告

トピックス

- p5** 日本人の肉類摂取量と結腸がん発生リスクとの関連
- p7** CPUの廃熱を利用した空調効率の大幅な向上
- p9** 家庭用太陽光発電・風力発電による発電量あたりの雇用創出効果
- p6** 微小がんを短時間で可視化できる蛍光試薬の開発
- p8** 災害時の音声通信や安否確認手段の確保



2012
No.127

1・2

Science&Technology Trends

科学技術動向

「科学技術動向」1・2月号をお届けします。

科学技術動向研究センターは、約2000名の産学官から成る科学技術専門家のネットワークを持ち、科学技術政策において重要な情報あるいは意見の収集を行い、また科学技術予測に関する活動も続けております。

「科学技術動向」は、科学技術動向研究センターの情報発信手段の一つとして、2001年4月以来、発行されており、科学技術全般に関して広く興味を示し、また科学技術政策にも関心をお持ちの方々に読んでいただけるものを目指しております。「トピックス」では最近の科学技術および政策から注目される話題をとりあげ、また、「レポート」では各国の動向や今後の方向性などを加えてさらに詳しく論じています。これらは、科学技術動向研究センターの多くの分野のスタッフが学際的な討議を重ねた上で執筆しています。「レポート」については、季刊の英語版の形で海外への情報発信も行っています。

5年間の第4期科学技術基本計画の開始を受け、基本計画の方針に沿って、科学技術動向研究センターも分野別推進の考え方をやめ、社会の課題達成へ向けた科学技術のあり方を検討できるよう体制を見直しております。

今後とも、科学技術動向研究センターの活動に有効なご意見を読者の皆様からお寄せいただけることを期待しております。

文部科学省科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター センター長
奥和田 久美

このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします。

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記のURLにアクセスいただき「科学技術動向一覧」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

【連絡先】〒100-0013

東京都千代田区霞が関3-2-2 中央合同庁舎第7号館東館16F

【電話】03-3581-0605 【FAX】03-3503-3996

【URL】<http://www.nistep.go.jp>

【E-mail】stfc@nistep.go.jp

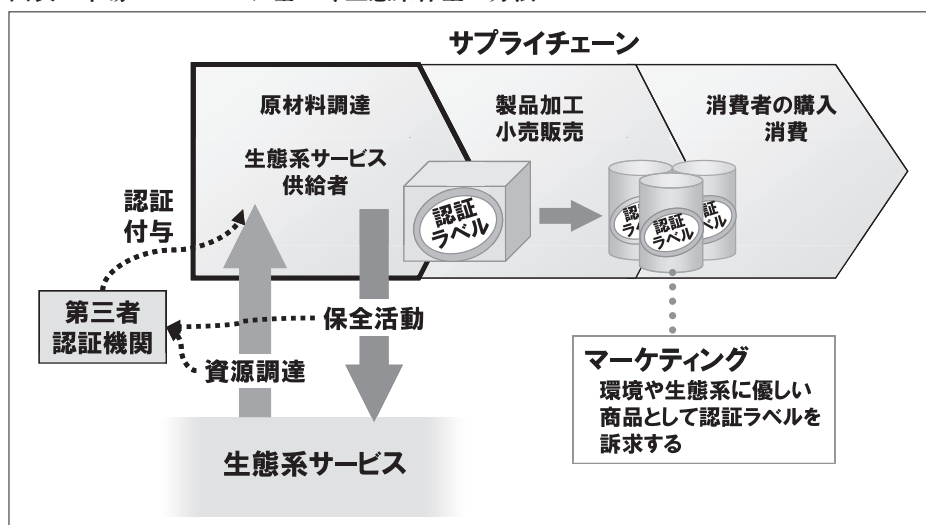
生態系サービスを持続させる市場メカニズムの拡大 — 日常消費活動の中で生態系保全を推進する認証制度 —

人類は豊かで快適な生活を営むために生態系の恩恵を「生態系サービス」として享受しており、その生態系を支えるものが生物多様性である。日常生活の中の公共サービスから企業活動まで様々な事柄が生態系サービスで成り立っている。しかしながら、2010年12月に環境省が公表した「環境にやさしい企業行動調査」によると、日本では、生物多様性保全を重要視している企業の割合は低い。その要因は、企業活動と生態系サービスの関係性を推し量るツールや指標が一般化していないことにあると考えられる。

この関係性を俯瞰するために、サプライチェーンや事業のライフサイクルを軸に開発されたフレームワークとそれに沿った取組みが、一部の先行企業で実施されている。また、産業毎に生態系サービスに対する依存性と影響度を分析したフレームワークが策定され、事業関係者は予め企業活動と生態系サービスのマクロな関係性を認識することができるようになっている。さらに市場メカニズムを活用してサプライチェーン上で生態系保全を推進させるための手段として、生物多様性保全や生態系保全に配慮した認証制度があり、それに基づく認証ラベル付商品が販売されるようになっている。現時点で普及している主な認証制度は、林業、漁業、農業などの1次産業に限られている。今後、工業製品でも、環境負荷評価手法として確立しているライフサイクル・アセスメント（LCA）手法を適応できれば、認証制度を導入できる可能性がある。また、サービス産業では、生態系保全に配慮した認証パッケージサービスとして提供することも考えられる。

世界中で流通する保全のための認証ラベルは、安心社会につながるトレーザビリティにもなる。多くの付加価値産業において、生態系保全のための認証制度や認証ラベル付商品の流通を推進することは、次代の市場メカニズムを先取りしている。新たな認証制度化には、業界団体や学協会等が牽引役となり、専門家による分析や検討プロジェクトの推進が有効である。市場メカニズムによる効果は、生態系保全活動が世界的に拡大するだけでなく、社会全体が保全活動に参加する意識の醸成にも有効である。

図表 市場メカニズムに基づく生態系保全の方法



科学技術動向研究センターにて作成

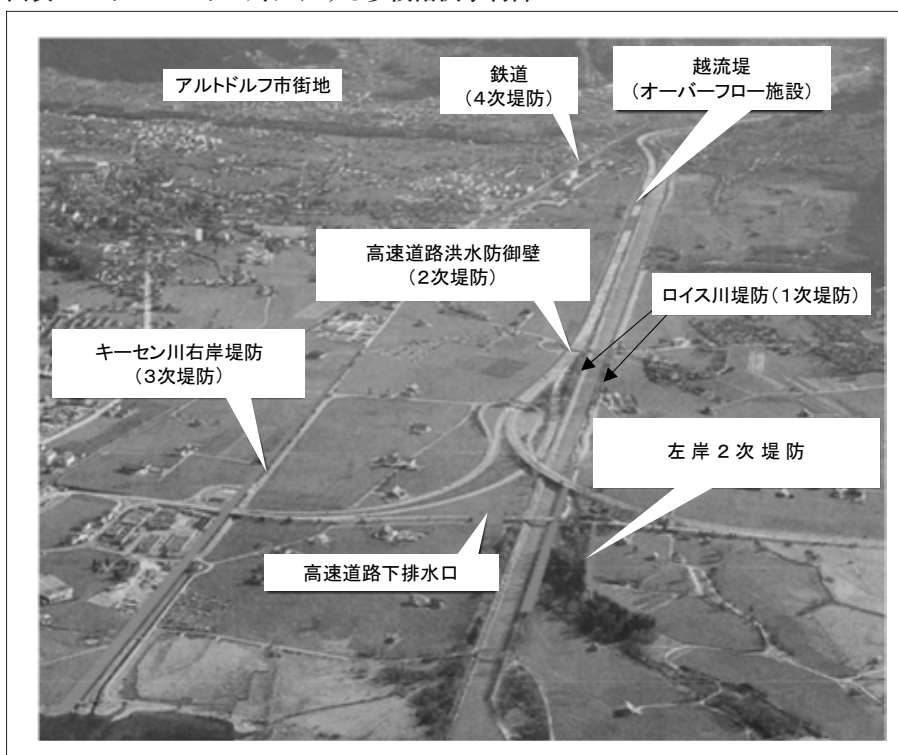
水災害に対する防災技術の転換の必要性

我が国は、地震や火山活動が活発で地形変動が激しく、また、台風や前線、低気圧による激しい降雨や高潮が発生するなど、水災害が発生しやすい条件を有している。

近代以降、産業の発展と急激な人口の増大を支えるために、過去の災害の観測データ等に基づいて想定した洪水や高潮などの水災害の脅威をダムや堤防、突堤、護岸などの施設の力で抑え込む防災対策が採られてきた。その結果、中小規模の洪水などに対する災害は著しく減少したが、その一方で、本来的に水災害を受けやすい大河川や海岸沿いの氾濫原などの危険な領域に人口や資産が集中した。そのために、施設の設計で想定している規模を上回る異常現象が発生した場合には途方もない災害が生じるリスクが生まれている。また、水・物質の自然の循環システムを変化させて、河川や海岸の動植物の生息場や景観などの環境劣化が進行するとともに、災害対策が他の領域の災害発生を助長するなどの負の連鎖もみられるようになってきている。

地球温暖化に伴う気候変動によって、さらに大雨の頻度の増大や、熱帯低気圧が強まることによる異常気象の発生が危惧されるようになってきている。このような中で、地域の安全を防災施設で守る従来型の災害防止だけでは水災害への対応力・コスト・環境面から限界にきている。日常の暮らしの豊かさや自然環境の保全・再生と異常時における防災への対応を一体のものとして捉え、地形や水・物質循環などの自然のシステムを生かして、地域社会そして流域全体で巨大な水災害に対処する防災の考え方に転換を図る必要がある。

図表 スイス・ロイス川における多段階洪水制御



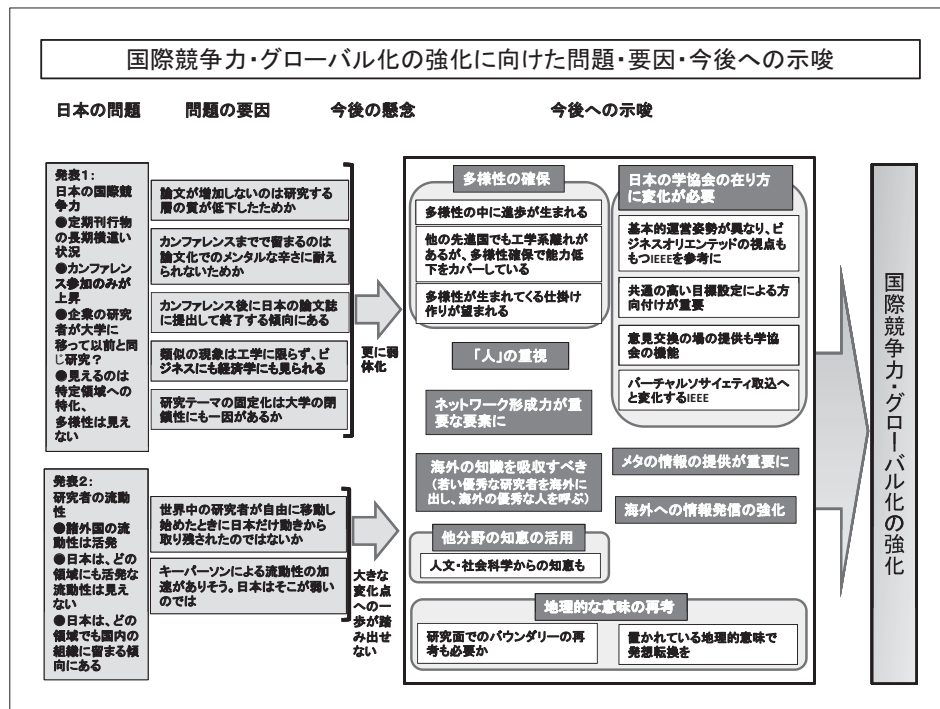
参考文献²⁶⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

シンポジウム「IEEE に見る国際競争激化とグローバル化 —研究人材の国際流動性は研究開発に影響を与えるのか—」開催報告

科学技術政策研究所 科学技術動向研究センターでは、2011年9月15日に首記のシンポジウムを開催した。世界と日本の工学系の研究開発の状況および、研究者の国際流動性のデータが紹介され、それらに対し、参加者全員によるディスカッションが行われた。同センターでは、これまでに、今後の日本の国際競争力を考えるうえで世界と日本の工学系の研究開発の状況を明確化するために、世界最大の学協会である IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc. : 電気電子技術者協会) を対象に各種の分析を行い、得られたデータに基づいて議論を進めてきた。今回はその2回目のシンポジウムである。

文献数の分析結果によると、日本は非常に特異な推移をしており、定期刊行物は長期横ばい状況で、領域別にも世界の研究の方向性とは乖離が進んでいる。カンファレンス参加は急増しているが英語論文化にまで到らない傾向もあり、研究する層の質が低下しているのではないかという懸念が議論された。また、現在の文献生産は大学が主役であるが、研究領域が固定化され、多様性拡大はわずかとという傾向にあることから、日本の工学系の研究開発の弱体化が進むのではないかとの懸念が出された。一方、国際流動性に関しては、日本ではいずれの領域も研究者の国際的移動が少なく、研究者が国内の、しかも同組織内に留まる傾向がある。企業などの海外研究者の受け入れも少なく、これらに対するの要因や懸念も議論された。総じて、今後の検討が必要な課題として「多様性の確保」「人の重視」「日本の学協会の在り方の変化の必要性」「ネットワーク形成力」「メタの情報の提供」「海外への情報発信力強化」「他分野の知恵の活用」「日本の地理的な意味の再考」などが提起された。

図表 各種意見からみた問題の要因・懸念・今後への示唆



シンポジウムの議論を基に科学技術動向研究センターにて作成

2011年11月、国立がん研究センターの研究班は日本人の肉類の摂取量と大腸がんの発生率の関連を初めて明らかにした。約8万人を対象に、大腸がん（結腸がんおよび直腸がん）と肉類摂取量の関係を調査・分析した結果、牛肉・豚肉の摂取量が多いグループでは女性の結腸がん、肉類全体の摂取量が多いグループでは男性の結腸がんのリスクが高いことが明らかになった。欧米に比べ肉類の摂取が少ない日本人でも結腸がんのリスクとの関連性が判明した。現在、日本人の肉類摂取量は1日当たり平均約83グラムであるが、十代後半では130グラムであり、特に若年層は注視が必要である。

トピックス / 日本人の肉類摂取量と結腸がん発生リスクとの関連

日本では第二次世界大戦後、一貫して大腸がんの罹患率が増加しており、西洋化した食生活、特に肉や脂肪の摂取量が増えたことと関係があると言われてきた。国際的にも牛・豚等の獣肉やハム・ソーセージ等の加工肉の過剰摂取は大腸がんのリスクを高めるとされており、牛・豚肉の1週間当りの摂取量としては500グラム未満が推奨されている¹⁾。しかし日本人の肉類の摂取量の絶対値は現在でも欧米人の1/2~1/3であり、日本人に対する肉類の摂取量と大腸がん発生リスクの関係は明確でなかった。

国立がんセンターの津金昌一郎氏を主任とする「多目的コホート研究に基づくがん予防など健康の維持・増進に役立つエビデンスの構築に関する研究」班は、日本人のコホート研究により肉類の摂取量と大腸がんの発生率の関連を初めて検出し、2011年11月に発表した^{2~3)}。

同研究班は1995年から1999年にかけて、岩手県・秋田県・長野県・沖縄県・茨城県・新潟県・高知県・長崎県・大阪府の9府県の10保健所管内に在住する45歳から74歳のがんや循環器疾患の既往歴のない約8万人について食事等のライフスタイルのアンケート調査を行い、その後2006年まで追跡調査を行った。

この追跡期間中に1,145例の大腸がん（結腸がん788人、直腸がん357人）が確認された。肉類の総量と種類（牛・豚肉、ハム・ソーセージ、鶏肉）に対し、1日当たりの摂取量の少ない順に男女を各5グループに分け、摂取量の一番少ないグループの発生率を1としたときの各グループの大腸がんの発生率を求め、結腸がんと直腸がんの相対危険度を比較した（図表）。

その結果、男性の肉類全体の摂取量が多いグ

ループ（1日当たり約100グラム以上）で結腸がんのリスクが有意に高く、相対リスクは最少摂取群に対して1.44倍であった。また、女性の、牛・豚肉の摂取量が多いグループ（1日当たり約80グラム以上）でも結腸がんのリスクが高く、相対リスクは最少摂取群に対して1.48倍であった。一方、肉類摂取量と直腸がんの関係は男女とも認められなかった。また、ハム・ソーセージは、この集団ではリスクが検出されるほどの摂取量には達していなかった。

調査対象の年齢や、居住地域などが限定されていること、また摂取量が参考値であるという制約はあるものの、今回の報告により、日本人についても肉類の過剰摂取が結腸がんのリスクになる可能性があることが判明した。現在、日本人の1日当たりの肉類全体の摂取量は平均約83グラムであるが、十代後半では約130グラムであり⁴⁾、若年層の肉類の過剰摂取のリスクについては特に注視が必要である。

図表 肉類摂取量と結腸がん／直腸がん発生のリスク

種類	男性		女性	
	摂取量* 中央値 (グラム/日)	相対リスク	摂取量* 中央値 (グラム/日)	相対リスク
肉類 (総量)	20	1(基準)	18	1(基準)
	39	1.25	36	1.14
	56	1.27	52	0.82
	77	1.12	70	1.26
	117	1.44	107	1.35
牛・豚肉	15	1(基準)	14	1(基準)
	31	1.14	29	1.19
	46	1.08	43	0.7
	63	1.19	60	1.3
	102	1.27	93	1.48

* アンケート結果と対象者の一部の食事記録調査の結果から算出した摂取量の近似値（参考値）。

参考文献²⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

- 参 考
- 1) World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research Food, Nutrition, Physical activity, and the Prevention of Cancer : A Global Perspective. Washington, DC : American Institute for Cancer Research ; 2007
 - 2) Red meat intake may increase the risk of colon cancer in Japanese, a population with relatively low red meat consumption, Asia Pac J Clin Nutr. 2011 ; 20 (4) : 603-12 (国立がん研究センター)
 - 3) 赤肉・加工肉摂取量と大腸がん罹患リスクについて (国立がん研究センター 研究成果) : <http://epi.ncc.go.jp/jphc/outcome/2869.html>
 - 4) 厚生労働省 平成21年国民健康・栄養調査結果, 2010年12月

がんの手術では、再発リスクをできるだけ小さくするため、最初にできた部位とともに周辺に広がった小さながんも可能な限り取り除くことが重要である。内視鏡下などで必要最小限の部位を切除する手術が普及してきたこともあり、がん病巣と正常組織を短時間で正確に識別する検査技術の開発が進められている。東京大学大学院医学系研究科の浦野泰照教授と米国立衛生研究所の小林久隆主任研究員のグループは、卵巣がんを含む多くのがん種の細胞表面酵素に着目し、がんに特異的に反応する蛍光試薬を開発した。この蛍光試薬を動物疾患モデルの病変部位にスプレーすることにより、短時間かつ鋭敏に微小がんを可視化できた。この技術は卵巣がん以外にも適用できる可能性があり、微小がんの場所や取り残しの有無を手術中に簡便に確認できる蛍光発色検査方法の開発が期待される。

トピックス2 微小がんを短時間で可視化できる蛍光試薬の開発

がんの手術では、再発リスクをできるだけ小さくするため、最初にできた部位とともに周辺に広がった小さながんも可能な限り取り除くことが重要である。内視鏡下などで必要最小限の部位を切除する手術が普及してきたこともあり、手術局所においてがん病巣と正常組織を短時間で正確に識別する検査技術の開発が進められている。しかし現在臨床試験中の方法には、特定のがんに対象が限定される、検査に数時間かかるなどの問題が指摘されている¹⁾。

東京大学大学院医学系研究科の浦野泰照教授と米国立衛生研究所の小林久隆主任研究員のグループは、卵巣がんを含め多くのがん種の細胞表面に高発現しているγ-グルタミルトランスぺプチダーゼ (GGT) という酵素に着目し、がん特異的に反応する蛍光試薬を開発した。さらにマウス疾患モデルを用いて、がん病変部位にスプレーするだけで短時間かつ鋭敏に微小がんを可視化できることを明らかにし、2011年11月号の「サイエンス・トランスレーショナル・メディシン」誌に発表した²⁾。

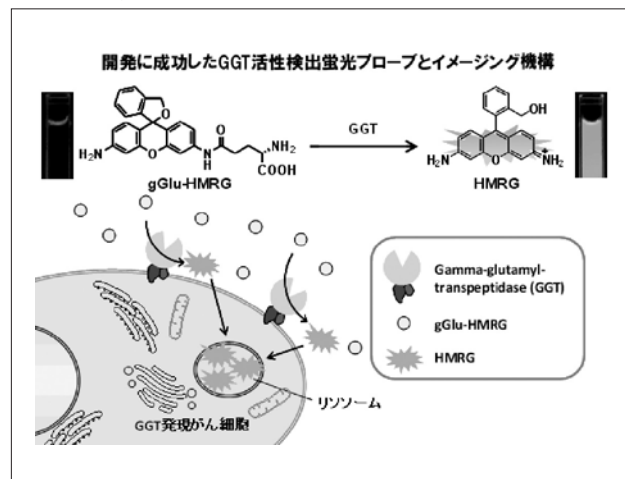
gGlu-HMRG と名づけられた化合物は、それ自身は蛍光物質ではないが、GGTによって部分的に切断を受けると HMRG に変わり緑色蛍光を発する。HMRG は脂溶性が高く細胞に入りやすいので、がん細胞が蛍光標識されて可視化できる (図表)。

同研究グループは、6種類のヒト卵巣がん細胞株をそれぞれ免疫不全マウスの腹腔に注入し、腹膜に直径1mm程度の微小がんを作らせ、内視鏡スプレーカテテルを通して腹膜表面に gGlu-HMRG (50 μmol/L, 300 μL) を噴霧した。その結果、

4種類のがん細胞株について噴霧後10分以内で微小がん由来の蛍光が検出され、その蛍光は1時間以上持続した。さらにこの担癌マウスモデルにおいて、蛍光観察下で腹腔鏡手術をすることにより、微小がんを可視化しながら切除できることを示した。

今回の研究成果により、gGlu-HMRG を用いて、微小がんの場所や取り残しの有無を外科手術中に簡便に確認できる蛍光発色検査方法の開発が期待される。GGT は、肝細胞がんや脳腫瘍の一種など複数のがん種で高発現が報告されており、本技術は卵巣がん以外にも適用できる可能性がある。今後は、実際にはがん患者の微小がんも特異的に検出できるのか、またヒトで安全に使えるのかどうか、などについて検証していく必要があると考えられる。

図表 がん細胞が gGlu-HMRG によって蛍光標識されるしくみ



出典：科学技術振興機構プレスリリース
平成23年11月24日

参考

- 1) Bouvet, M. and Hoffman R. M., Glowing Tumors Make for Better Detection and Resection. *Sci. Transl. Med.* 3, 110fs10 (2011)
- 2) Urano, Y. et al., Rapid Cancer Detection by Topically Spraying a γ-Glutamyltranspeptidase-Activated Fluorescent Probe. *Sci. Transl. Med.* 3, 110ra119 (2011)

クラウドサービスの進展に伴うデータセンターの消費電力の大幅な増加に対し、IT 機器冷却のための空調効率の改善が求められている。2011年10月、(株)富士通研究所の研究グループは、CPU から発生する廃熱を利用した、空調効率の大幅な向上技術を発表した。新素材の吸着剤と、CPU の負荷に合わせた廃熱水の流量制御技術により、低温でかつ温度が一定しない IT 機器での廃熱利用が可能になった。今回開発の技術によって、データセンターの消費電力の最大約 20% が削減可能となる。今後、工場・オフィスビル・太陽熱発電システムなどでの未利用の低温廃熱の活用も期待されている。

トピックス 3 CPU の廃熱を利用した空調効率の大幅な向上

クラウドサービスの進展に伴い、今後、データセンターのような大型コンピューターシステムにおける消費電力の大幅な増加が見込まれている。例えば、データセンターで消費される電力の約 40% は、IT 機器冷却のための空調に用いられており、空調効率の改善による省エネルギー対策が求められている。

2011年10月、(株)富士通研究所の研究グループは、CPU（中央演算処理装置）から発生する廃熱を利用し、サーバーームの冷却に使用する冷却水を製造する技術を開発したと発表した^{1,2)}。廃熱を利用して冷却水を生成する装置としては吸着式ヒートポンプが知られているが、廃熱による水温が 65℃ よりも低く、かつ、CPU 処理の負荷が変動するために、温度が一定でない CPU 廃熱は利用されていなかった。今回は、新素材の吸着剤および廃熱水の流量制御技術を開発することで、廃熱水温が 55℃ 以下での冷却水の製造に成功した。この技術により、未利用の CPU 廃熱から製造した冷却水を空調装置に用いることで、データセンターの消費電力が最大で約 20% 削減可能になる。

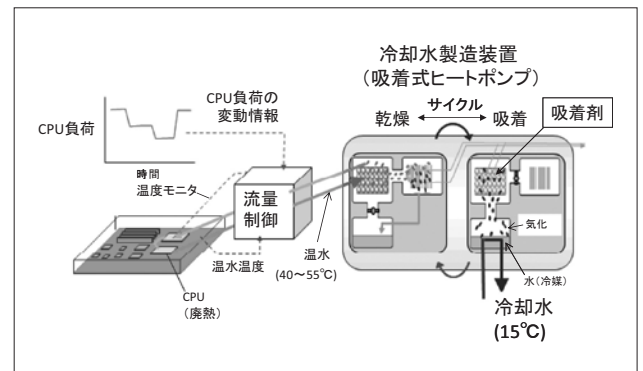
吸着式ヒートポンプは、減圧容器内の吸着材が周囲の水蒸気を吸着すると、蒸気圧が一定になるように冷媒の水が蒸発する際に発生する気化熱を利用した冷却装置である。室温での吸着剤への水の吸着と、高温での乾燥のサイクルを繰り返すことで、連続的に冷却水が製造される。原理的に水の吸着と脱着の反応のみであり、フロンは不要である。循環水ポンプ以外の電力も必要とせず、低消費電力で動作できるという特徴もある。今回発表の技術では、水を吸着して吸着力が低下した吸着剤の乾燥再生に CPU の廃熱を利用している。

研究グループでは、独自の吸着剤の新素材開発

も行い、酸化剤を用いて親水化した活性炭を用いることで、室温における水の吸着性能と 55℃ での乾燥性能の双方を向上することに成功した。また、CPU の温度は負荷により変動するため、連続的な冷却水の製造には、廃熱水の温度を吸着剤が乾燥できる温度範囲に維持する必要がある。今回は、CPU の負荷に合わせて、廃熱水の流量をコントロールすることで、温度を所定の範囲に保つことを可能とした。CPU の廃熱を利用して得た温水 (40~55℃) と常温の水 (25℃) との温度差を利用し熱交換によって吸着式ヒートポンプを動作させ、冷却水 (15℃) を製造できる (図表参照)。これらの技術の適用により、冷水製造装置へ入力された廃熱量を 100% としたとき、最大で 60% の熱量に相当する冷水出力が得られる。

研究グループでは、2014 年頃のデータセンターへの適用を目指して、さらに、大規模化・スペース効率の向上・信頼性の向上などを進めている。この技術は、工場・オフィスビル・太陽熱発電システムなどデータセンター以外でも、未利用の低温廃熱活用への展開が期待されている。

図表 CPU の廃熱を利用した冷却技術



参考文献³⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

- 参考 1) N. Aso, T. Manabe, H. Yoshida : "Development of an adsorption heat-pump system that recovers waste heat", Proceedings of the 2011 International Conference on Power and Energy Engineering, (2011) p20.
 2) 安曾徳康・眞鍋敏夫・吉田宏章・近藤正雄 : 「IT 機器廃熱を利用した冷却技術」, FUJITSU 62, 5, 617 (2011)
 3) プレスリリース : <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2011/11/7-1.html>

東日本大震災後には電話が混み合っただけで機能しなかったという教訓から、総務省の検討会は、データ通信網を使ったパケット通信での音声サービスの提供を提言していた。これを受け、携帯電話・PHSの国内事業者6社は、サービスの相互接続や運用方法などの共通ガイドラインを策定し、名称を「災害用音声お届けサービス」に統一することを決めた。2012年春より、(株)NTTドコモ、KDDI(株)、沖縄セルラー電話(株)などがサービスを開始する予定で、一部の事業者は日本電気(株)が開発した「音声配信ソリューション」を用いる。パケット通信であれば、通信事業者のデータ通信網だけでなく、インターネット網も使えるので、災害に強い構造となる。また、クラウドを用いた音声メッセージサービスや安否確認サービスも企業向けに開始される予定である。このように、災害時の通信確保の手段が整備されつつある。

トピックス4 災害時の音声通信や安否確認手段の確保

東日本大震災後には電話が混み合っただけで機能しなかったという教訓¹⁾から、総務省の検討会は、データ通信網を利用した音声サービスの開始に向けた連携を日本国内の関係事業者に提言していた²⁾。

これを受けて、(株)NTTドコモ、KDDI(株)、沖縄セルラー電話(株)、ソフトバンクモバイル(株)、(株)ウィルコム、イー・アクセス(株)の携帯電話・PHSの国内事業者は、パケット通信を利用して災害時に音声をお届けするサービスに関する相互接続や運用方法などの共通ガイドラインを策定し、サービス名称を「災害用音声お届けサービス」に統一することを決めた³⁾。ユーザー・インターフェースの共通化は未定だが、操作感や使い勝手の共通化が考慮される見込みである。(社)電気通信事業者協会を仲介として、事業者間での相互接続を実現するために連携する。

2012年春より、(株)NTTドコモは独自の「災害用音声お届けサービス」を開始し、一方、KDDI(株)と沖縄セルラー電話(株)も日本電気(株)が開発した「音声配信ソリューション」⁴⁾を用いてサービスを開始する予定である。送信者は、スマートフォンや携帯端末で音声データをデジタルデータに変換し、パケット通信によってデジタル音声を通信事業者の音声蓄積サーバーに送信する(図表参照)。受信者には音声受信を通知するメールが直ちに送られ、音声蓄積サーバーに接続すると、音声ファイルを受信して音声メッセージとして再生できる。この時、送信者側にも受信者がメッセージを受け取ったことが通知される。

日本電気(株)が開発した「音声配信ソリューション」は、独自の分散データベース技術によって、災害時にやり取りされる膨大な数の音声データの処理を可能とした⁴⁾。これを通信事業者の既存のネットワーク設備に適用することによって、「災害用音声

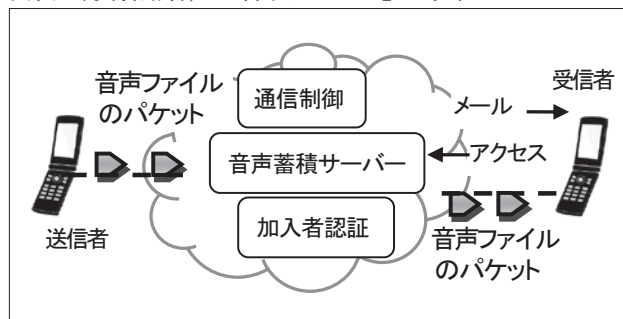
お届けサービス」の迅速な開始が可能となる。また、同社は、クラウドサービスの一部として、個別企業に対しても、災害時における従業員間の連絡用音声メッセージサービスの提供を予定している。

パケット通信を用いた音声通話は、音声品質が保証されないため、インターネットなどの回線速度が速い場合を除いて利用されていなかった。しかし、同時通話でなければ音声蓄積サーバーを利用して音声品質を上げることができる。また、パケット通信では、通信事業者のデータ通信網だけでなくインターネット網も使えるので、災害に強い構造となる。このサービスが使われれば、電話網への集中が抑制されるので、電話も繋がりやすくなるも期待される。

これとは別に、サイボウズ(株)は、クラウドを用いた企業向け安否確認サービスを開始する⁵⁾。従業員の携帯電話やパソコンに一斉メールを送って安否情報を集計し、さらには状況に応じた対策の指示を伝えることもできる。同社は複数のサーバーを国外に置き、リスク分散を図る。

このように、日本国内では、災害時の音声通信や安否確認の手段が整備されつつある。

図表 「災害用音声お届けサービス」の仕組み



参考文献⁴⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

参考

- 1) 科学技術動向誌 2011年6月号「災害時にもロバストで有効な情報伝達手段」
- 2) 総務省報道資料 (2011年8月2日) : http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban02_01000027.html
- 3) (株)NTTドコモ・プレスリリース (2011年11月28日) : http://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2011/11/28_00.html
- 4) 日本電気(株)プレスリリース (2011年11月11日) : <http://www.nec.co.jp/press/ja/1111/1101.html>
- 5) サイボウズ(株)プレスリリース (2011年12月8日) : <http://group.cybozu.jp/news/11120801.html>

横浜国立大学の研究者は、拡張産業連関表を用いて家庭用太陽光発電と風力発電による経済波及と雇用創出の効果を比較した。産業連関表に再生可能エネルギーに関連する部門を追加し、部門別の生産額と雇用を製造、建設、運用・保守の3段階に分けて推計している。家庭用太陽光発電と風力発電を比較すると、発電量あたりでは、運用・保守により創出される国内の雇用はほぼ等しいが、他の産業部門への波及効果が異なる。風力発電については、部品や設備の製造段階の海外比率が80%を占めるため、国内における経済・雇用への波及効果は限定される結果となる。

トピックス5 家庭用太陽光発電・風力発電による発電量あたりの雇用創出効果

再生可能エネルギー技術の導入は、地球温暖化抑制やエネルギーセキュリティの確保とともに、新しい産業と雇用の創出も期待されている。横浜国立大学の研究者は、家庭用太陽光発電と風力発電を含む拡張産業連関表を用いて、約400部門の産業連関から導入効果を詳細に分析し、経済波及効果と雇用創出効果の特徴と相違点を明らかにした¹⁾。

研究者は、産業連関表に再生可能エネルギーに関連する部門を新たに追加し、部門別の生産額と雇用を製造、建設、運用・保守の3段階に分けて、国内における家庭用太陽光発電と風力発電による発電量あたりの部門別生産額（百万円・年/GWh）と部門別雇用（人・年/GWh）を推計し、比較した。

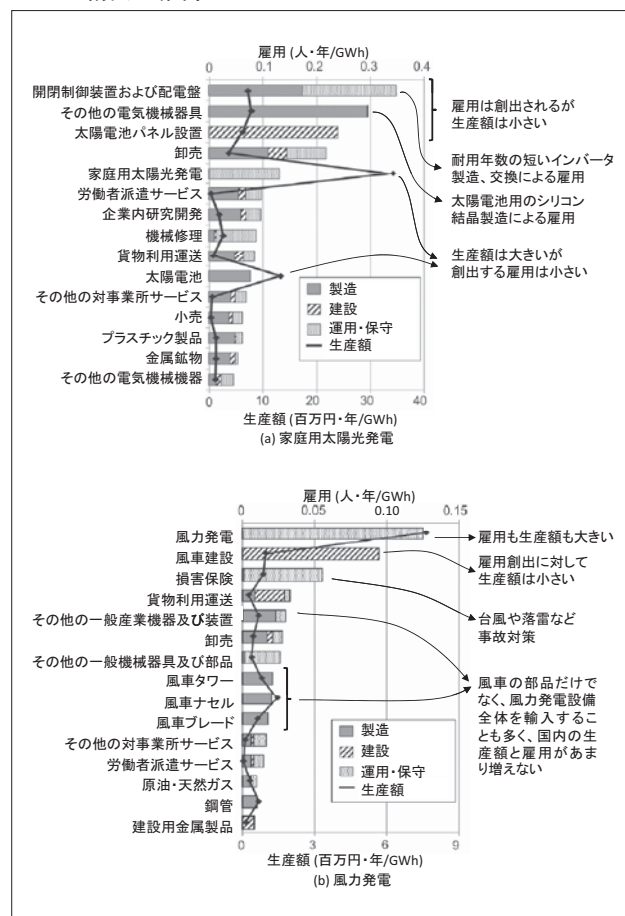
家庭用太陽光発電の場合、運用・保守と太陽電池製造において生産額は大きいですが、雇用係数（＝従業員数／生産額）が小さいため、これらについての雇用創出効果はさほど大きくない。むしろ、太陽電池よりも耐用年数の短いインバータを含む開閉制御装置および配電盤において、製造と運用・保守の雇用が生まれる。また、太陽電池を構成するシリコン結晶の製造などを含む電気機械器具の製造段階の雇用、パネル設置など建設段階の雇用も期待できる。このように、家庭用太陽光発電では、運用・保守と太陽電池製造以外の雇用創出効果もあることが特徴的である。

一方、風力発電の場合には、風力発電の運用・保守において生産額と雇用が他部門よりも大きい。風車建設時の雇用創出も期待できるが、生産額は大きくならない。また、台風や落雷などの事故に対する損害保険の保守・運用の生産額と雇用が、家庭用太陽光発電と比較して大きいという特徴がある。

発電量あたりでは、家庭用太陽光発電と風力発

電の運用・保守により創出される雇用はほぼ等しい。大きく異なる点は、他の産業部門への波及効果である。風力発電については、ブレードなどの部品を含め、風力発電設備全体で輸入が多く、製造段階の海外比率が80%を占める。したがって、風力発電では国内における経済・雇用への波及効果は限定される結果となる。

図表 家庭用太陽光発電と風力発電による生産額と雇用創出の推計



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

参考

- 1) 松本 直也, 本藤 祐樹, 拡張産業連関表を利用した再生可能エネルギー導入の雇用効果分析, 日本エネルギー学会誌, Vol. 90, No. 3, pp. 258-267 (2011)

生態系サービスを持続させる市場メカニズムの拡大

— 日常消費活動の中で生態系保全を推進する認証制度 —

藤本 博也
客員研究官

浦島 邦子
グリーンイノベーションユニット

1 はじめに

1992年6月にリオ・デジャネイロ（ブラジル）で開催された「環境と開発に関する国際連合会議」（いわゆる地球サミット）において、「気候変動枠組条約」（UNFCCC；United Nations Framework Convention on Climate Change）と「生物多様性条約」（CBD；Convention on Biological Diversity）の2大条約が採択された¹⁾。人類の活動と地球の関わり方に関する本格的な議論はこの時期から本格化したと言える。

「気候変動枠組条約」では大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極の目標としている。この条約の下、1997年に京都で開催された第3回締約国会議（COP3）では、先進国に拘束力のある温室効果ガス排出削減目標を規定した「京都議定書」（Kyoto Protocol）が合意された²⁾。これ以降、地球温暖化問題に対する世界の関心は高まり、省エネやエコという取組みの重要性は広く社会に認知されていった。企業では業績報告の一環として環境会計が取り入れられ、エコポイントや補助金等の施策とセットになった省エネ商品が成長市場になるなど、地球温暖化問題は人々の生活や暮ら

しに大きく影響する概念として一般化している。

一方、「生物多様性条約」は、生物の多様性を「生態系」「種」「遺伝子」の3つのレベルで捉え、生物多様性の保全、その構成要素の持続可能な利用、遺伝資源の利用から生ずる利益の公正な配分を目的としている³⁾。この条約の下、我が国では1995年に「生物多様性国家戦略」が策定され、以降の二度の改定議論を踏まえ、保全や持続的利用に関する推進策が展開されてきた⁴⁾。2008年5月には「生物多様性基本法」が国会で成立し、この基本法に基づく具体的戦略として「生物多様性国家戦略2010」が2010年に閣議決定された（約720の具体的施策と35の数値目標）。

このように両者は同時期にスタートし、類似した議決機関や議論の仕組みを構築してきたが、現在の状況が大きく異なる点は、地球温暖化と生物多様性に対する社会の認識レベルである。環境省が2010年12月に公表した「環境にやさしい企業行動調査」⁵⁾によると、地球温暖化防止対策に対する企業経営の位置付けとして「方針を定め、取組を行っている」と

回答した企業の割合が59.4%であるのに対し、生物多様性保全に対する位置づけとして「企業活動と大いに関連があり、重要視している」と回答した企業の割合は僅か17.2%と非常に低い。

これに対し、国際自然保護連合（IUCN）、シェル・インターナショナル・リミテッドら5つの機関が2008年に発行した「生物多様性ビジネスの構築」⁶⁾では、「政府とNGOだけでは生物多様性の課題をすべて解決することはできない。ビジネスセクターの保全取組みへの参加は差し迫った要件である。」と提言している。人間活動が環境に与える負荷を示す指標であるエコロジカル・フットプリントが、地球の生物学的容量を現時点で40%も超えていると推察されている⁷⁾。市場メカニズムなども活用した、地球規模のスピード感ある推進策が求められているのである。

本稿では、生態系サービスの概念を説明し、生物多様性保全や生態系保全を推進するために取り組まれている有効な手法や仕組みについて、例を挙げて紹介する。

2 生態系サービスと生態系保全の概況

2-1

生態系サービスの定義

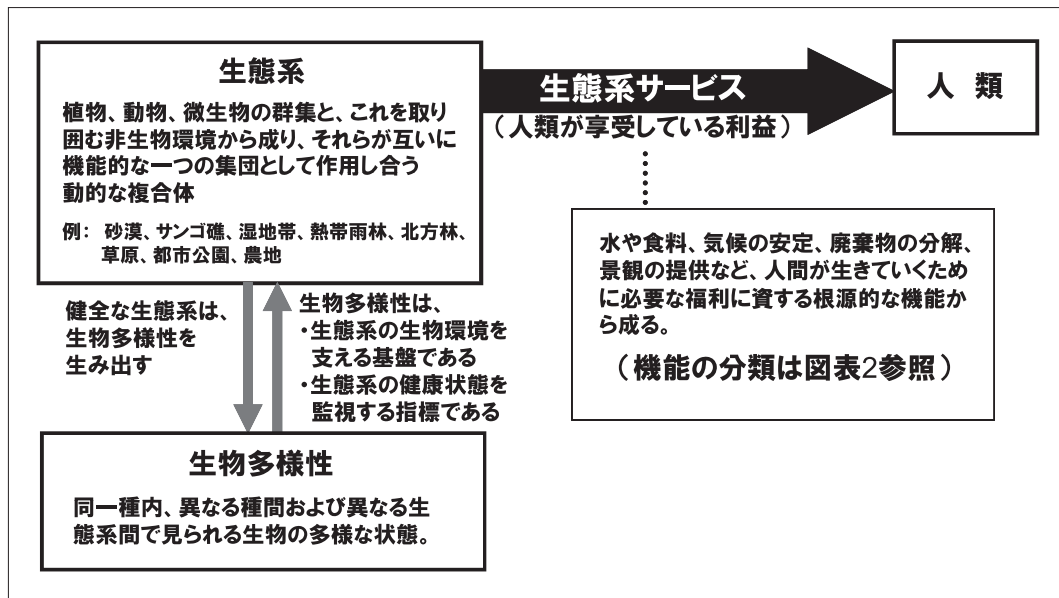
国連の呼びかけで2001年に発足した、世界規模の生態系アセスメントであるミレニアム生態系評価(Millennium Ecosystem Assessment, MA)⁸⁾は、2005年、それまで曖昧であった人類と生態系/生物多様性の関係性を、「人類は豊

かで快適な生活を営むために生態系の様々な恩恵を「生態系サービス」として享受している」と概念化した(図表1)。この生態系サービスの機能は4分類で定義され、人々の生活や利益との関係性について取りまとめられている(図表2)。この関係性が示すように、人々の日常生活はもちろん、公共サービスの必要な要素から民間企業の営利活動に至るまで、極めて多くの事例が生態系サービスによって成り

立っている。

生態系の構成要素である生物環境を支えているのが、生物多様性という生物の多様な状態である。また生物多様性は健全な生態系から生み出される自然の産物でもある(図表1)。生態系と生物多様性は相互依存の関係にあり、生物多様性保全と生態系保全は、どちらも生態系サービスの持続的利用に寄与する。本稿では、主題とした生態系サービスとそれを生み出

図表1 ミレニアム生態系評価における生態系サービスの概念 (2005年)



参考文献⁷⁻⁹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 生態系サービスの機能

<p>供給サービス</p> <p>人間に直接の利益をもたらす財の供給。明確な金銭的価値があることが多い。森林から得られる木材、薬用植物、海や河川、湖沼の魚類など。</p>
<p>調整サービス</p> <p>炭素貯蔵や局地的な降雨の制御による気候の調整、空気や水のろ過による汚染物質の除去、地滑りや沿岸域の暴風といった自然災害からの保護など。</p>
<p>文化的サービス</p> <p>観光客をひきつける景観や海岸線の美しさや、神聖な森など特定の生態系に与えられた精神的な価値など。</p>
<p>基盤サービス</p> <p>人間に直接利益をもたらすわけではないが、生態系の機能に必要不可欠であり、他のサービスすべてを間接的に支えるもの。土壌の形成や、植物の成長プロセスなど。</p>

参考文献⁷⁻⁹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

す生態系の機能保全に主眼を置いて論じるが、生物多様性保全という言葉のほうが社会に浸透しつつあるため（1章参照）、引用文献に関する記述を含め、必要に応じて、生物多様性保全という言葉も使う。

2-2

生態系サービスの価値

近年、生態系サービスの価値を定量的に算出する試みも進展してきた。2010年10月に名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議（10th Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity：COP10）において、「生態系と生物多様性の経済（The Economics of Ecosystems and Biodiversity：TEEB）」の統合報告書が公開された¹⁰⁾。生態系と生物多様性の価値や影響について経済学的アプローチに基づいて分析され、過去に温暖化問題が社

会に及ぼす影響を経済的損失の視点から論じたスターンレビューと同種の報告書と見なされている。この報告書の中では、生態系サービスの定量的価値に関する以下のような事例が紹介されている。

- ・森林保全による温室効果ガス排出の防止効果額：3.7兆米ドル
- ・減少している漁業資源の損失額：毎年500億米ドル
- ・ミツバチによる受粉果実と蜜産物の産出額：毎年2億米ドル（スイスのみ）
- ・自然依存型産業の市場規模：自然食品や自然飲料は毎年50億米ドルの増加
エコツーリズムは毎年20%増加（推定）

例えば、世界的にミツバチの姿が激減したため果物農家では受粉ができず、損害を被った、というニュースは、まだ記憶に新しい。

このように、人々の生活と生態系サービスがどれだけ関わっているのか、生態系サービスはどれ程の価値に相当するのかが定量的に論じられるようになってきた。特

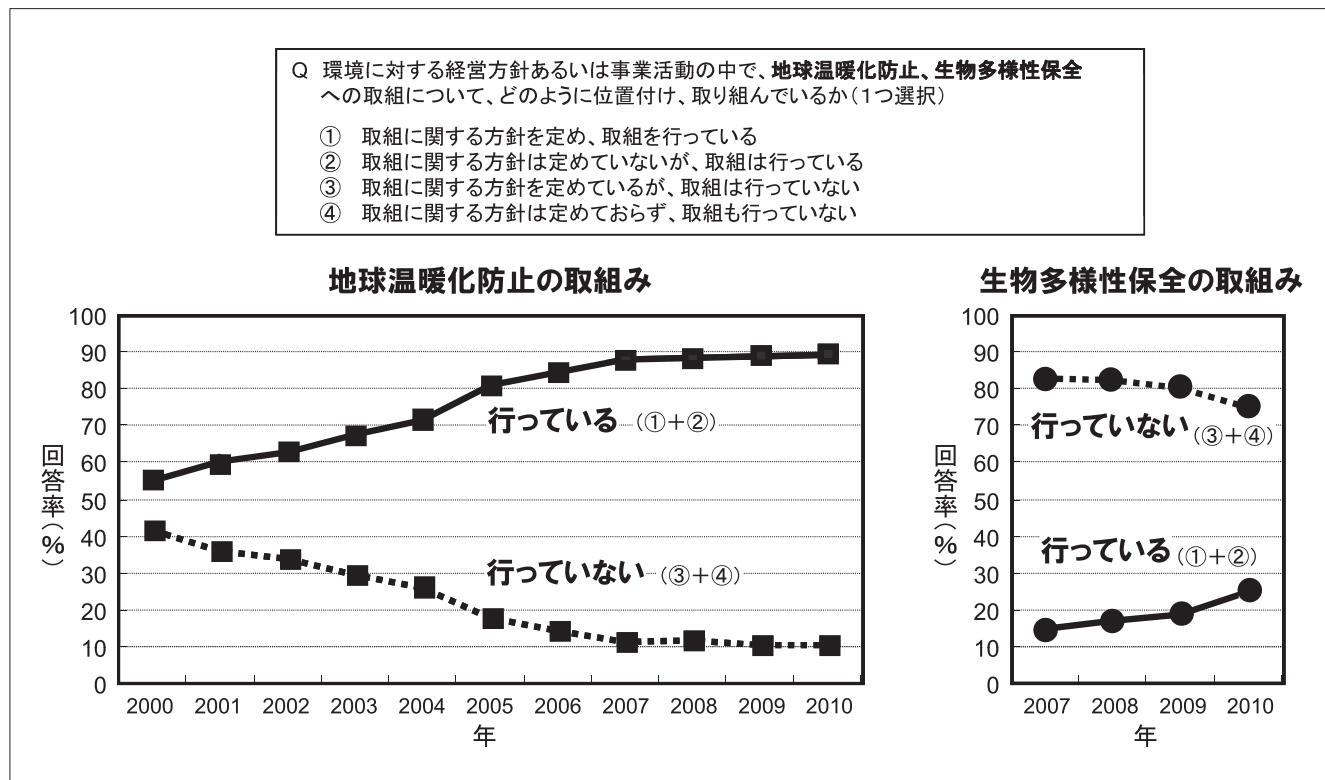
に、産業や事業活動における生態系サービスとの関わりが広範であることが論拠となって、「生物多様性とビジネス」が生物多様性保全や生態系保全における重要なアジェンダとして論議されている。

2-3

企業の問題意識と取組みの概況

環境省が1991年から継続して実施しているアンケート「環境にやさしい企業行動調査」（最新版は2010年12月公表¹⁰⁾）から、地球温暖化防止と生物多様性保全に対する企業の意識や取組みに関する結果を図表3に抽出した。企業が経営方針や事業活動の中で、地球温暖化防止と生物多様性保全をどのように位置づけているのかという点について、回答結果を時系列で示している。地球温暖化防止においては、「取組みを行っている（①と②の合計）」との回答が

図表3 地球温暖化防止と生物多様性保全に対する企業の取組み実態（環境省のアンケート結果）



参考文献¹¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

年々上昇し、2010年には89%に達している。一方、生物多様性保全については、「取組みを行っていない(③と④の合計)」との回答が2010年でも75%であり、地球温暖化防止に対する取り組みとは大きな隔たりがある。

この理由を、企業活動と生物多様性保全の関連性に関する回答結果(図表4)で見ると、「企業活動との関連性が低い(③)」との回答が66%である。すなわち、企業には生物多様性保全に取り組

む必然性が乏しいため、と解釈することができる。

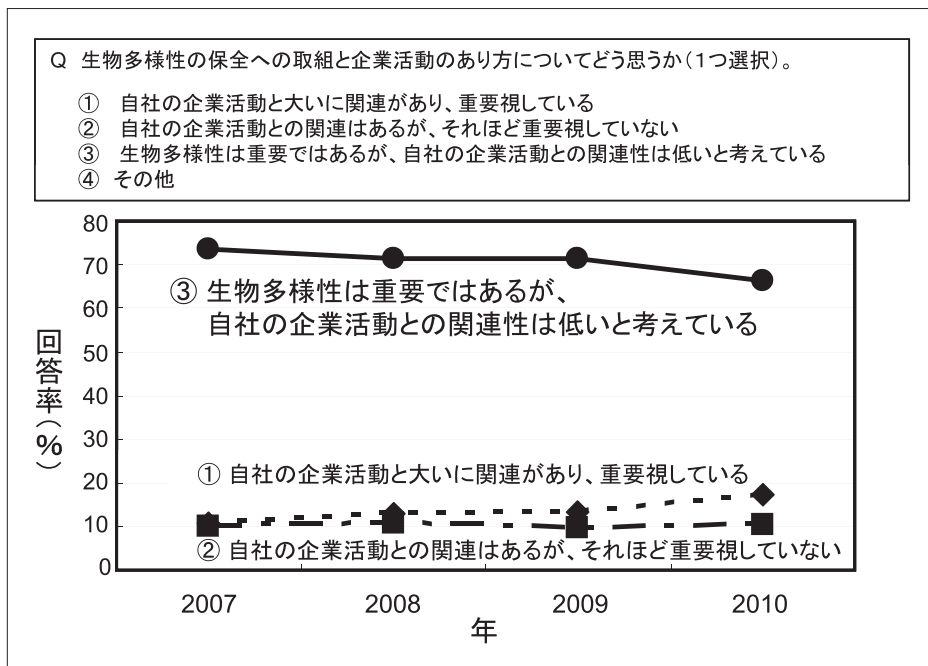
2-4

把握が難しい企業活動と生態系サービスの関係性

図表3および4のように、生物多様性保全を重要視する企業とそうでない企業に二分される理由は、各企業が企業活動の責任範囲

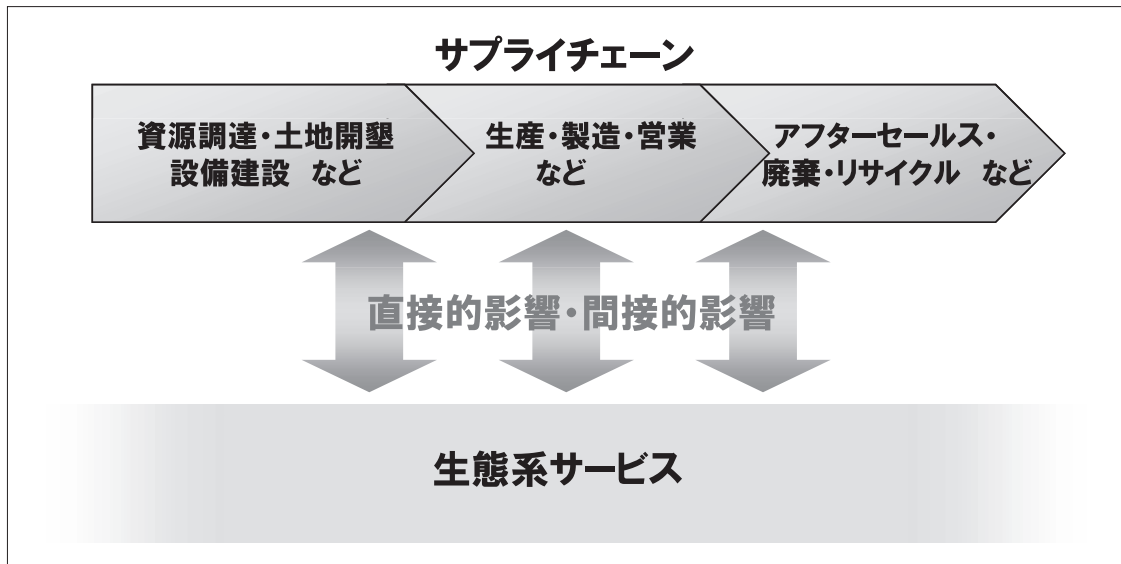
をどこまでと捉えているかという認識度合いの違いにあると考えられる。例えば図表5のサプライチェーンにおいて、「生産・製造・営業」の中流工程にある企業の場合、上流工程の資源調達や下流工程の廃棄処理などは、ほかの企業や全く異なる産業が実施している場合が多い。このような企業では、上下流工程に対応する生態系サービスは、それらに直接携わっているほかの企業やほかの産業の責任範囲であると考え、サブ

図表4 生物多様性保全に対する企業の考え方 (環境省のアンケート結果)



参考文献¹¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表5 企業活動のサプライチェーンと生態系サービスの関係



科学技術動向研究センターにて作成

ライチェーン全域にわたる責任は認識しないであろう。そのため、自らの企業活動では、生物多様性保全に取り組む必要性や生態系サービスとの関わりを認識する必要性を感じにくい。

一方、企業は具体的に何を対象に生物多様性保全活動をすべきかという点についても、広く理解されているとは言い難い。温暖化対策の場合には、「温室効果ガス削減

＝CO₂削減＝省エネ」という構図が比較的容易に理解でき、実際に省エネ活動を行えば経費削減につながるという実利が得られる。しかし生態系保全の対象は、図表1、2で示したように極めて多岐に渡っている割には、直接的な利益が感じられない場合が多い。

以上を考えると、企業活動において生態系保全や生物多様性保全の活動が進まない主な要因は、そ

もそも企業活動と生態系サービスの関係性が認識しにくいという点にあると考えられる。したがって、その関係性を俯瞰するツールや指標の一般化が重要な課題であると言えるだろう。

次章以降は、この課題を解決すべく試みられている手法や仕組みの例を紹介する。

3 企業による生態系保全活動の模索

3-1

最近の活動事例

企業活動が自然界へ与える影響の評価については、以下の手法が確立している。

- ・環境影響評価手法：LCA
- ・建築物の環境性能評価：LEED、CASBEE、等
- ・生息環境評価：HEP、JHEP、等

操業に伴う土地開墾や施設の建設など特定の事業プロセスにおける生態系サービスへの影響評価は、上記手法によって可能である。しかし、企業活動全体を網羅する包括的な評価アプローチが世界的に見ても存在しない状態であった。

2008年3月、持続可能な開発のための世界経済人会議(WBCSD)、メリディアン・インスティテュート、世界資源研究所(WRI)らによって「THE CORPORATE ECOSYSTEM SERVICES REVIEW」が発表され、その中で、企業活動と生態系サービスの関連性を依存度と影響度の両面から評価するアプローチ法として、「企業のための生態系サービス評価(ESR: ECOSYSTEM SERVICES REVIEW)」が提案された¹²⁾。それ以降、企業における今日の取組

みの多くは、このESRのフレームワークを踏まえた模索として行われるようになった。以下に、企業の事業行程から見た評価フレームワークの例を示す。

3-1-1 サプライチェーンを軸に影響評価指標まで策定したフレームワーク例

富士通(株)では、製品や事業のサプライチェーンに土地利用も合わせて、企業活動が生態系サービスに与える影響を俯瞰するフレームワークを構築している(図表6)。生態系サービスに影響を与える要素を特定し、その影響レベルを、既存の環境影響評価手法(LCA)や生息域環境評価(HEP)を活用して算出し、富士通グループ全体の統合指標を策定している。富士通グループはICT事業が中心であることから、生物多様性保全に必要なデータの収集、分析、評価、管理、モニタリングへのICT技術の活用が検討されている。

3-1-2 事業のライフサイクルと生態系サービスとの関係を分析したフレームワーク例

世界90カ国でホテルを展開す

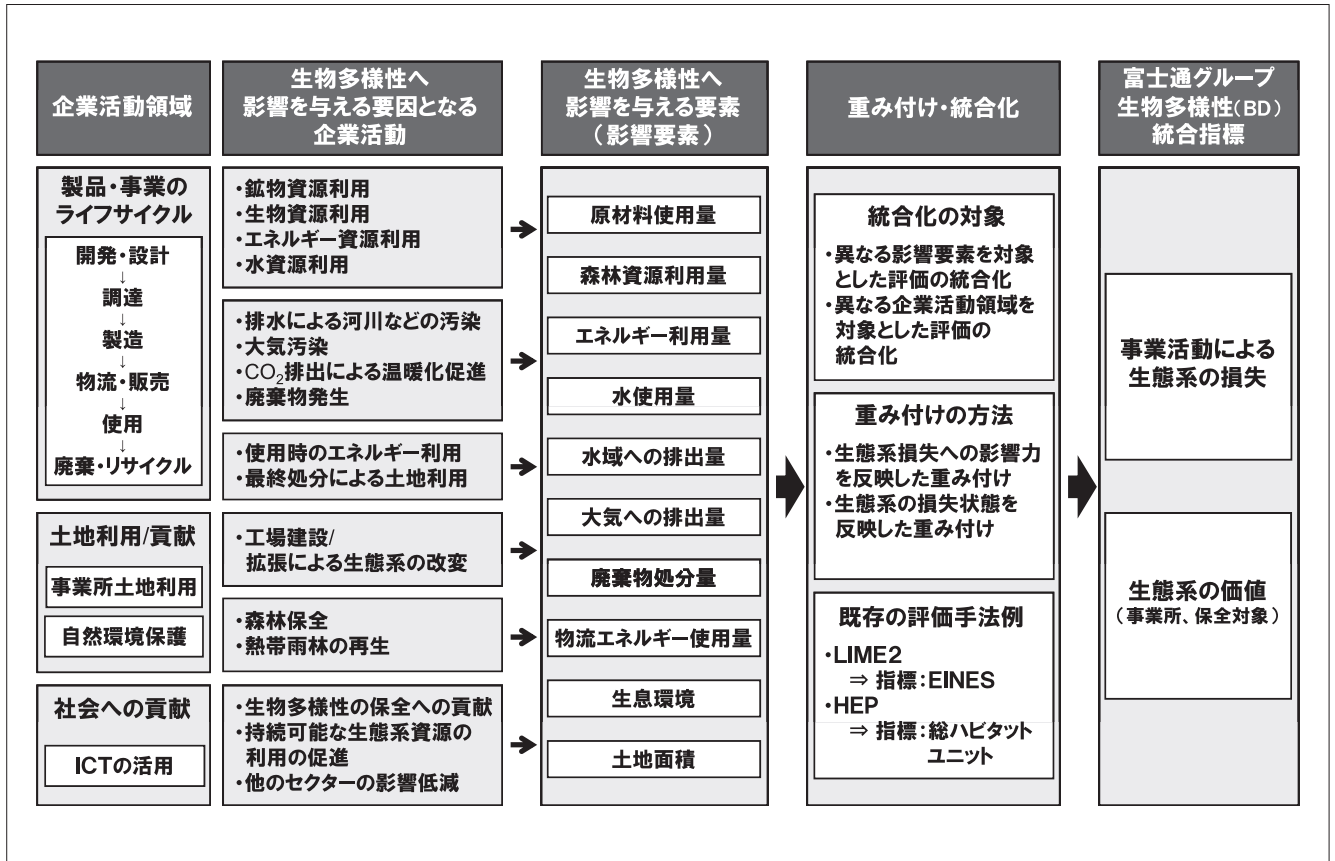
るアコーグループ(Accor Group(仏))では、生物資源の持続可能な利用のためのガイドラインを、ホテル事業のライフサイクルの視点から策定している(図表7)。ホテルの土地利用やホテル内の庭園など建設段階までの検討項目、周辺観光や食事の原材料に関する営業段階での配慮、さらにホテルの閉鎖段階までを含め、長期的な視点から保全活動を捉えている。これに先立って、アコーではホテル環境憲章(Hotel Environment Charter)を1998年に導入し、水、エネルギー、オゾン層、生物多様性など8つのテーマに基づく65項目に関する取組みを実施してきた。この憲章に基づく取組みは、2007年時点で、アコー系列の84%にあたる3,900のホテルで実施されている。

3-2

企業の保全活動を後押しするガイドライン

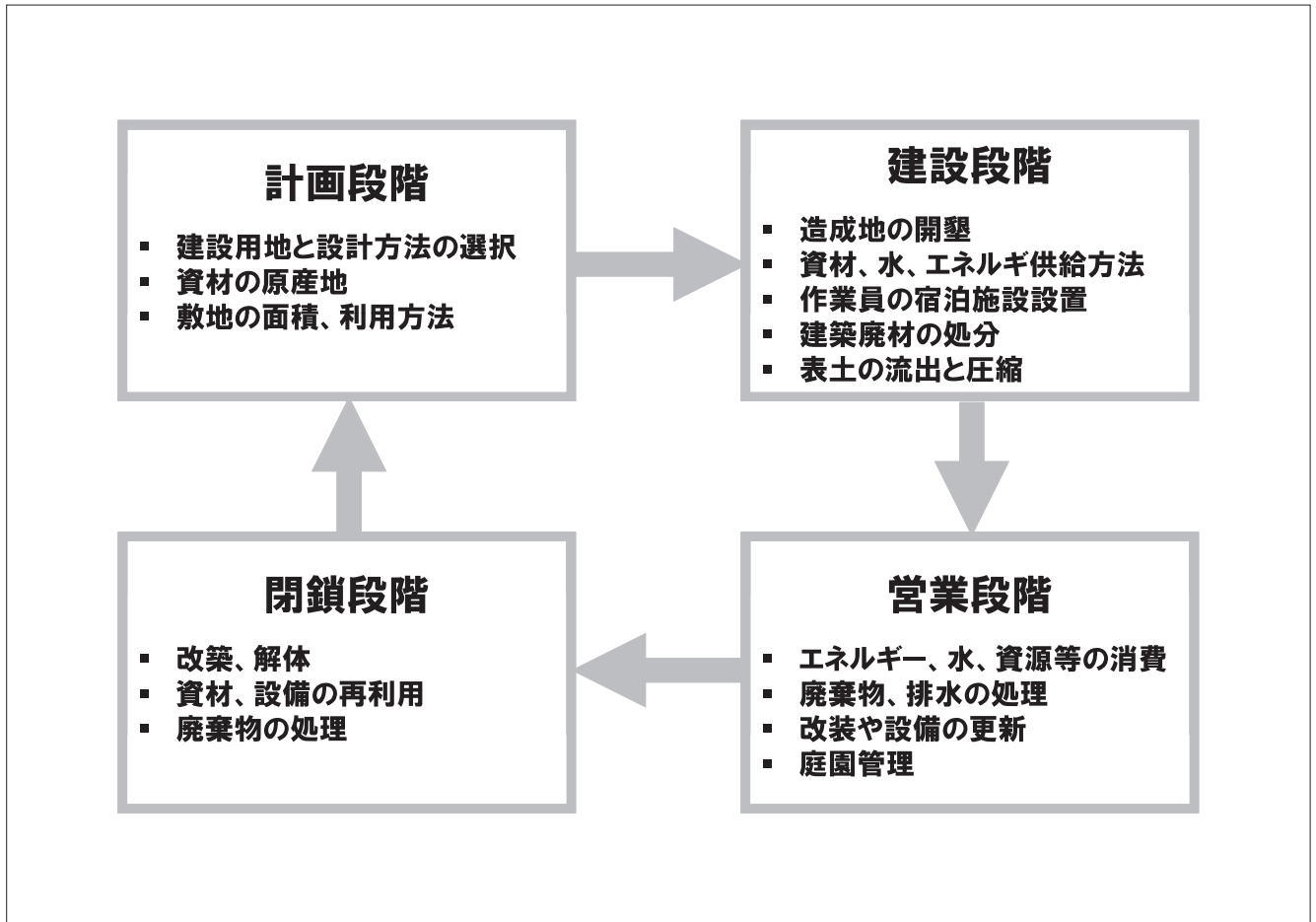
WBCSDは、前述したESR(2008年3月提案)を進めるために、さらに企業活動と生態系サービスとの関係性を評価するための手法CEV(Corporate Ecosystem

図表6 富士通グループのフレームワーク例



参考文献¹³⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表7 ホテル事業のフレームワーク例



参考文献¹⁴⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

Valuation) を、2011年4月に報告書の形で公開した¹⁵⁾。この報告書にはCEV手法とその実施手順などが詳細に記述されている。着目すべきは、産業セクターと生態系サービスをマトリックスにしたフレームワークを用いて、5つの産業セクター毎に生態系サービスに対する依存性と影響度の相関を分析した結果が例示されている点である(図表8)。この5つの産業セクターには多くの企業や事業が該当するので、これから取組みを開始する事業関係者は、これを参考に予め企業活動と生態系サービスのマクロな関係性を認識することができる。ただし、より詳細な検討には、3-1で示したような先行事例を参考にすることも必要となる。

図表8の相関を見ると、5つ全ての産業セクターが、生態系サービスになんらか依存し、かつ影響を与えていることが分かる。これ

は、自事業だけではなくサプライチェーンの上下流全てを繋げて産業セクターとして俯瞰してみると、多くの企業で企業活動と生態系サービスの間に、このような何らかの関係が生じることを意味している(2-2参照)。

生態系サービスへの依存度が特に高い産業セクターは、有機農業やエコリズムなどのグリーン産業である。一方、生態系サービスへの影響度が特に高い産業セクターは、漁業、農業、林業などの第1次産業、および銀行や保険など金融サービス産業である。

3-3

グローバルなサプライチェーンで生態系保全活動を推進する企業

食品や洗剤など広範な生活消費

財を世界中で販売するユニリーバ社(英蘭)は、「製品のバリュー・チェーンすべてで環境負荷を減らしながらビジネスを2倍にする」というビジョンを掲げ、主要な商品と関係する生態系保全を推進するために、生物多様性保全の認証制度を積極的に展開している¹⁶⁾。ユニリーバ社が扱う商品の多くは生態系サービスに依存しており、特に農業に関連する原材料調達が多いことが同社の特徴である。従来から調達先のパーム農園による熱帯雨林破壊などの問題に直面していたユニリーバ社は、1990年代半ばに、独自の「持続的な農業のためのガイドライン」を策定した(現名称「ユニリーバ持続可能な農業コード」)。2002年から、5種類の穀物を対象にガイドラインの実用を開始し、業界全体への認証制度波及につとめてきた。以下はユニリーバ社が認証制度設立に関わった代表的な原材料である

図表8 産業セクターと生態系サービスの相関の分析(WBCSD-CEVによる)

生態系サービス (基盤サービスを除く) (例示)		生物多様性 依存産業 (漁業、農業、林業)		フットプリントの 大きい産業 (採掘、油/ガス、建設)		製造 & 生産 (化学、ICT、消費財)		グリーン産業 (有機農業、 エコツーリズム)		金融サービス (銀行、保険、 他金融業)	
		依存度	影響度	依存度	影響度	依存度	影響度	依存度	影響度	依存度	影響度
供給 サービス	食糧	●	●	○	●	●	●	●	○	●	●
	繊維	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●
	淡水	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●
	遺伝子資源、 医薬品	●	●	○	○	●	●	●	○	●	●
調整 サービス	気候調節、 大気の質の調節	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●
	水の調節、 水の浄化	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●
	花粉媒介	●	●	-	○	○	○	●	●	●	●
	自然災害からの 防護	●	●	●	○	●	○	●	○	●	●
文化的 サービス	レクリエーションと ツーリズム	○	●	-	●	-	○	●	●	●	●
	美的文化	○	●	-	●	-	○	●	●	○	●
	精神文化	○	●	-	●	-	○	●	●	○	●

●: ある程度～強い相関あり ○: 弱い相関あり -: 相関なし

参考文献¹⁵⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

(認証制度の詳細は4章参照)。

(1) パーム油

ユニリーバ社は、「持続可能なパーム油のための円卓会議(RSPO)¹⁷(2004年設立)」の設立メンバーの一社であり、業界全体が持続可能なパーム油へ移行することを牽引してきた。2009年時点では同社のグリーンパーム認証の生産者からの購入比率は

15%である。今後は2015年までに100%を持続可能な農法の生産者から調達するという目標を設定している。

(2) 紅茶

2009年時点で、ユニリーバ社が「レインフォレスト・アライアンス認証(RA)¹⁸」の茶園から購入した紅茶は15%である。今後は2015年までにティーバッグ用

紅茶の100%を持続可能な農法の茶園から調達するという目標を設定している。

(3) 水産物

ユニリーバ社は、世界自然保護基金(WWF)と連携し、「海洋管理協議会(MSC)¹⁹」を1996年に設立し、水産物の認証を開始した。

4 生態系保全をサプライチェーン上で推進させる認証制度

4-1

生態系保全に配慮した認証商品の流通

3-3の例で説明したように、市場メカニズムを活用してグローバルなサプライチェーン上で生態系保全を推進させるための手段としては認証商品の流通が有効である(図表9)。生物多様性保全や生態

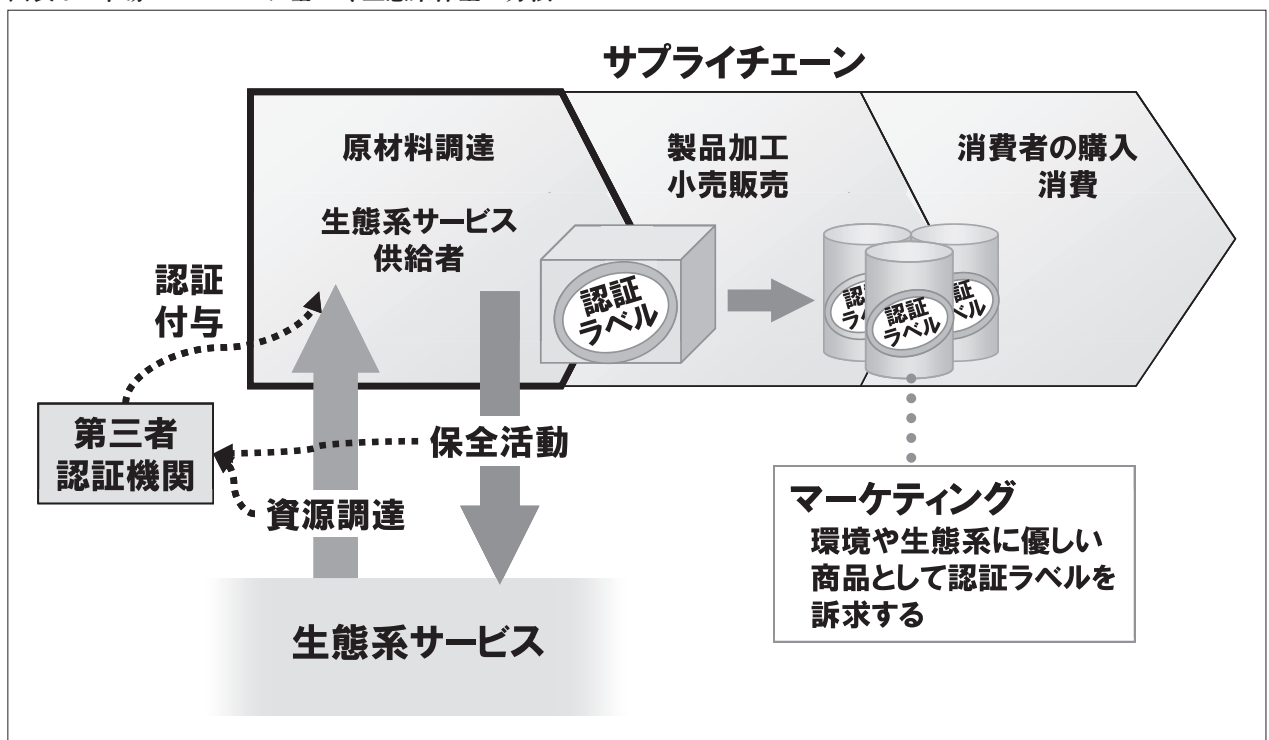
系保全に配慮した認証制度に基づく認証ラベル付商品を、企業のマーケティングやCSR(企業の社会的責任)の一環として活用する。図表9は、図表5のうち、特に上流行程で生態系サービスと関わりが強いケースに相当する。現時点の認証制度は、このように上流行程での資源調達時に実施する生態系保全のひとつの方法であると言することができる。

認証制度の基本的概念は以下で

ある。

- ①生態系保全に配慮したとされる商品に対して、第三者の認証機関が定めた基準に合致しているかどうかを、審査機関が評価・認証し、合格した商品に認証ラベルが付与される。
- ②消費者は、認証ラベルが環境や生態系に優しい商品の証であると理解し、選択的に対象商品を購入する。
- ③認証ラベル付商品の販売量が拡

図表9 市場メカニズムに基づく生態系保全の方法



科学技術動向研究センターにて作成

大することで、生態系サービスの機能に対応する生態系保全が推進される。

また、認証商品は最上流行程から下流行程へのトレーサビリティとしても機能するため、最近では、認証商品が安全・安心に応える商品と見なされ、付加価値も向上している。

現時点で認証制度の普及が拡大している主な産業は、林業、漁業、農業の第1次産業である。図表10に代表例のラベルと認証機関を示す。

(1) 林業

FSC²⁰⁾は、森林破壊問題を解決するとともに、木材の経済的、社会的な価値を高めることを目的に、国際NGOや木材関連企業らによって1993年に設立された協議会である。FSCの認証商品の国際流通量は極めて多く、知名度も高い。その後設立された他の多くの認証機関や制度のモデルにもなっている。SGEC²¹⁾は、日本国内の森林形態に配慮した認証を行っている機関である。

(2) 漁業

MSCは、1996年にユニリーバ社がWWFと連携して設立した水産物の認証機関であり(3-3参照)、FSCをモデルにしたと言われている。MSC認証ラベル付商品は世界で五千品目以上もある。MELジャパン²²⁾は(社)大日本水産会が推進する、日本の水産資源と海洋の生態系保全に配慮した漁業関連商品を認証する機関である。

(3) 農業

RAは、農業に関する生態系保全だけでなく、農業労働者と地域共同体の権利や社会的境遇を守るために1987年に設立された認証機関である。したがって、認証対象が商品以外も含んでいるが、これまでに70カ国以上の国々で64万ヘクタールの森林と、69万ヘクタールの小規模家族経営農園、組合、プランテーションを認証した。

以上のように、林業、漁業、農業の各産業には、国際的にも認知度が高く、他のモデルとなり得る認証制度が普及している。これらは、未だ実施されていない地域や国、経済圏で流通することが期待

される。しかし、国際的に統一された認証基準では各国の事情や慣習に必ずしも合致しない場合もある。デファクトスタンダードとなっている国際的認証基準を踏襲し、かつ各国の実情にも応えるには、認証制度のグローバル化が必要である。一方で、消費者の混乱を招くことのないよう、市場メカニズムを活用して大量に認証ラベル付商品を流通させるという大義のための、認証ラベルのむやみな乱立は避けなければならない。

4-2

今後整備されるべき 認証制度

4-2-1 工業製品への適用

大量に商品が流通しているにも関わらず、認証制度があまり進展していない代表的な領域として、工業製品が挙げられる。

工業製品は、原材料の採掘・調達(上流行程)→製造→販売→廃棄(下流行程)という製品ライフ

図表10 認証ラベルと認証機関の例

産業	認証ラベル	認証機関名称	認証拠点
林業	FSC	Forest Stewardship Council (森林管理協議会) 20)	世界
	SGEC	Sustainable Green Ecosystem Council (緑の循環認証会議) 21)	日本
	SFI	The Sustainable Forestry Initiative 24)	米国
	CSA-SFM	The Canadian Standards Association - Sustainable Forest Management 25)	カナダ
	PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes 26)	欧州
漁業	MSC	Marine Stewardship Council (海洋管理協議会) 19)	世界
	ASC	Aquaculture Stewardship Council (水産養殖管理協議会) 23)	世界
	MELジャパン	Marine Eco-Label Japan (マリン・エコラベル・ジャパン) 22)	日本
農業	RA	Rainforest Alliance 18)	世界
	Good Inside	Good Inside (コーヒーを対象とする認証機関) 27)	世界
	4C	Common Code for the Coffee Community Association (コーヒーを対象とする認証機関) 28)	世界
	RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil (持続可能なパーム油のための円卓会議) 17)	世界
	RTRS (準備段階)	Round Table on Responsible Soy Association (責任ある大豆に関する円卓会議) 29)	世界

参考文献¹⁷⁻²⁹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

サイクルのあらゆる段階において、様々な環境負荷を発生させている。これらの環境負荷を定量的かつ客観的に算出するために開発された環境影響評価手法がLCA（ライフサイクルアセスメント）であり、ISO14040～14043として国際標準化されている汎用ツールである。この手法によって、エネルギー、資源・原材料の利用効率や、ライフサイクル中に排出される物質の大気、水、土壌への影響などが算出でき、加えて、第三者機関による製品の環境負荷認証を取得することが可能である。

LCA手法による環境影響評価の中で、特に、大気、水、土壌は生態系サービスにおける調整サービスや物質供給サービスとして位置付けられる項目である（図表2参照）。したがって、LCA手法を活用して工業製品の環境影響レベルを低減させることが、結果的には生態系保全に繋がっている。既に幾つかの企業では試みられているが、企業活動と生態系サービスの関係性を評価するCEV手法（図表8参照）のひとつの手段としてLCA手法を取り入れる方法が実施されている。しかし、まだ一般的ではなく、簡単ではない。そこで、このような手法がより一般的に使いやすく改善されれば、工業製品についても生物多様性保全や生態系保全に配慮した認証を付与することが可能となるだろう。また、工業製品と関連付ける生態系保全の代表的指標を何に定めるかという難しさもある。今後一層進展するであろうCO₂等の環境フットプリントの概念と混同

しないよう、分かりやすい生態系保全指標として制度化することが求められる。

CEV手法にLCA手法を適応した俯瞰的な評価体系を構築するためには、アカデミアや研究機関からLCA、生態系保全、生物多様性保全に関する評価の専門家を集め、手法開発を行うことが早急に必要である。もちろん、LCA手法、CEV手法共に、インベントリー（評価項目）の詳細な中身や計算ロジックに精通した専門家の育成も不可欠である。工業製品の当事者である業界団体等が牽引役となり、専門家を育成しつつ、検討プロジェクトを推進する必要がある。

4-2-2 サービス産業への適用

様々な商品の販売を扱うサービス産業において、生物多様性保全や生態系保全に配慮した認証パッケージサービスを提供することが考えられる。例えば飲食サービス業では、既に流通している農産物や海産物などの認証商品を一定程度以上利用したメニューを提供する事業主に対して、「生態系保全認証サービス店舗」といった認証を付与し、店舗用認証ラベルによってそれらが識別できるようにする。個人消費者には、認証商品を店舗から購入するという既存の流通チャネルに加えて、サービス事業者による付加価値サービスを購入するという新たなチャネルが加わる。一層の認証商品普及が期待できるだけでなく、産業毎に異なる様々な認証ラベル付商品の意

義などを全て理解して覚えていなくても、認証パッケージサービスひとつを覚えてもらえば良いことから、より多様で広範な消費者層への拡大が期待できる。分かりやすい例が、3-1-2のホテルサービスである。認証パッケージサービスは、安全安心につながる新たなお墨付きとなる可能性もあり、6次の産業として経済活性化にも貢献し得る、今後の進展が期待できる領域である。

パッケージサービスのような広範な利害関係者が関わる認証制度の立上げに際しては、過去の経験が豊富な国際NGOを参考とし、業界団体や学協会などがリーダーシップを取る形で検討を進めることが望ましい。例えば、ホテルなど代表的なサービス業態を参考にしつつ、認証サービスパッケージを幾つか開発してみるなど、具体的な検討プロジェクトを提案することが、業界団体や学協会のリーダーに求められる役割である。

また、4-2-1の工業製品への適用も含め、特にパッケージサービスの側面において、産業連関分析や事業分析、環境マネジメントなどを専門とする経済分野の専門家が、市場メカニズムにおける広範な生態系サービスによる生態系保全効果や外部費用（市場メカニズムでは解決できない社会的コスト）を明らかにすることも有効である。

社会的認知と普及のために、生態系サービスの重要性や社会参画を促すメディアの役割も重要であろう。

5 おわりに

本稿では、生態系サービスという概念を説明し、これを持続させるために有効な手段のひとつであ

る認証制度について例を挙げて紹介した。日常の消費活動において、供給側である企業が生物多様性保

全や生態系保全に配慮した認証商品を提供し、需要側である消費者がその認証商品を選択的に購入す

るという市場メカニズムは、保全活動が世界的に急速に拡大する効果だけではなく、社会全体が保全活動に積極的に参加するという意識の醸成に極めて有効である。特に食料をはじめ、日常的に必要な多くの物資を海外からの供給に依存している我が国は、同時に多くの生態系サービスも輸入しているという状況にある。したがって、地球レベルでの生態系保全に対して責務があるという国際的視点が求められる。

科学技術政策研究所が実施した、「将来社会を支える科学技術の予測調査—第9回デルファイ調査」の結果によると、“環境アセスメント制度における、生物多様

性の価値を含む総合的なランドスケープ（景観）評価”は2025年までに、“農村の自然資源の復元・保全と都市の環境負荷をトレードオフするミティゲーション・バンキング（生物多様性オフセットバンキング）などの市場経済手法”も2026年には社会に適用されていると予測されている³⁰⁾。地球環境や生態系保全に貢献することは、そう遠くない将来、人類のあらゆる活動の制約条件のひとつになるであろう。

世界中で流通する商品にとって、生態系保全のための認証ラベルはより安心な社会につながるトレーザビリティの要件でもある。認証制度を積極的に取り入れた地

域や経済圏がより先進的なグローバル市場モデルとなって繁栄することが健全な将来社会の姿である。我が国が強みを持つ工業製品を含め、付加価値の大きなサービス産業分野において、生態系保全のための認証制度や認証ラベル付商品の流通を推進することは、次代の環境配慮型の市場メカニズムを先取りしている。今後は政府関係機関、これまであまり関連性が議論されていない企業なども、生物多様性や生態系との関わりを考慮し、このような活動に前向きに取り組むことによる効果の拡大が期待される。

参考文献

- 1) 国連地球サミット、UN Conference on Environment and Development 1992 : <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>
- 2) 気候変動枠組条約（UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change） : <http://www.cbd.int/>
- 3) 生物多様性条約（CBD : Convention on Biological Diversity） : <http://www.cbd.int/>
- 4) 環境省 生物多様性ホームページ : <http://www.biodic.go.jp/biodiversity/wakaru/index.html>
- 5) 環境省 報道発表資料 「「環境にやさしい企業行動調査」の結果について（お知らせ）」2010年12月7日 : <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13220>
- 6) 「Building Biodiversity Business」（日本語版 : 「生物多様性ビジネスの構築」）2008年3月
国際自然保護連合（IUCN）、シェル・インターナショナル・リミテッド社、その他連名 : <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2008-002.pdf> http://gdm.earthmind.net/files/bbb_JP_final.pdf（日本語版）
- 7) 「地球規模生物多様性概況第3版」（GBO-3 : Global Biodiversity Outlook 3）、生物多様性条約（CBD）、2010年5月 : <http://gbo3.cbd.int/>
- 8) ミレニアム生態系評価（Millennium Ecosystem Assessment, MA）2005年3月 : <http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>
- 9) 「生態系へのまなざし」 鷲谷いづみ、西田睦、武内和彦 共著（東京大学出版会（2005年8月））
- 10) 「TEEB : The Economics of Ecosystems and Biodiversity」2010年10月（生態系と生物多様性の経済学） : <http://www.teebweb.org/TEEBSynthesisReport/tabid/29410/Default.aspx>
- 11) 環境省ホームページ、「環境にやさしい企業行動調査」年度別調査結果リスト : <http://www.env.go.jp/policy/j-hiroba/kigyoo/index.html>
- 12) 「The Corporate Ecosystem Services Review : Guidelines for Identifying Business Risks & Opportunities Arising from Ecosystem Change」、持続可能な開発のための世界経済人会議（WBCSD）2008年3月（日本語版 : 企業のための生態系サービス評価） : <http://www.wbcsd.org/pages/edocument/edocumentdetails.aspx?id=28&nosearchcontextkey=true>
- 13) 富士通株式会社ホームページ 生物多様性保全への取組み : <http://jp.fujitsu.com/about/csr/eco/management/biodiversity/>
- 14) 「生物多様性 : ホテルでの取組み」国際自然保護連合（IUCN）、アコーグループ、その他連名 : http://cmsdata.iucn.org/downloads/biodiversity_my_hotel_in_action_jp.pdf

- 15) 「Guide to Corporate Ecosystem Valuation」、WBCSD（持続可能な発展のための世界経済人会議）2011年4月：
<http://www.wbcsd.org/work-program/ecosystems/cev.aspx>
- 16) ユニリーバ社 ホームページ、Sustainable agricultural sourcing：
<http://www.unilever.com/sustainability/environment/agriculture/index.aspx#>
 日本語参照：ユニリーバ サステナビリティ・レポート 2009 要約版：
http://www.unilever.co.jp/Images/Unilever2009_6m_tcm56-220924.PDF
- 17) 持続可能なパーム油のための円卓会議（RSPO） ホームページ：<http://www.rspo.org/>
 解説：<http://www.wwf.or.jp/activities/resource/cat1305/rsportrs/>
- 18) レインフォレスト・アライアンス認証（RA） ホームページ：<http://www.rainforest-alliance.org/ja>
- 19) 海洋管理協議会（MSC） ホームページ：<http://www.msc.org/jp>
 解説：<http://www.wwf.or.jp/activities/nature/cat1136/cat1143/>
- 20) 森林管理協議会（FSC） ホームページ：<http://www.fsc.org/>（FSC ジャパン：<http://www.forsta.or.jp/fsc/>）
 解説：<http://www.wwf.or.jp/activities/nature/cat1219/fsc/>
- 21) 緑の循環認証会議（SGEC） ホームページ：<http://www.sgec-eco.org/>
- 22) マリン・エコラベル・ジャパン（MEL ジャパン） ホームページ：<http://www.melj.jp/>
- 23) 水産養殖管理協議会（ASC） ホームページ：<http://www.ascworldwide.org/>
 解説：<http://www.wwf.or.jp/activities/2011/02/967107.html>
- 24) The Sustainable Forestry Initiative（SFI） ホームページ：<http://www.sfiprogram.org/>
- 25) The Canadian Standards Association-Sustainable Forest Management（CSA-SFM） ホームページ：
<http://www.csasfmforests.ca/>
- 26) Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes（PEFC） ホームページ：<http://www.pefc.org/>
- 27) Good Inside ホームページ：http://www.goodinside.jp/index_JP.html
- 28) Common Code for the Coffee Community Association（4C） ホームページ：<http://www.4c-coffeeassociation.org/>
- 29) Round Table on Responsible Soy Association（RTRS） ホームページ：<http://www.responsiblesoy.org/>
- 30) 科学技術政策研究所ホームページ、第9回デルファイ調査：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep140j/pdf/rep140j11_No8.pdf

執筆者プロフィール



藤本 博也

科学技術動向研究センター 客員研究官
<http://www.nissan.co.jp>

工学博士（機械工学）。自動車会社にて、エンジン研究を経て研究企画・戦略や社会動向研究に従事。環境・エネルギーや都市・交通の視点から、将来ありたい社会を実現するための科学技術と政策に興味を持ち、調査研究を行っている。



浦島 邦子

グリーンイノベーションユニット
 科学技術動向研究センター
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。

水災害に対する 防災技術の転換の必要性

井上 素行
客員研究官

鴨川 慎
安全・システムユニット

1 はじめに

我が国は、地震や火山活動が活発で、急峻な地形に脆弱な地質が分布している。さらに、台風や前線、低気圧によって激しい降雨や高波・高潮が発生するなど、地域ごとに様々な水災害が発生しやすい条件を有している。高度成長期には、産業の発展と人口の急激な増大を支えるために膨大な社会インフラが整備され、水災害の脅威を構造物の力で抑え込む防災対策を行ってきた。その結果、中小規模の洪水などに対する水災害は減少したが、その一方で、河川の氾濫原や海沿いの低地、急斜面や崖下など本来危険である場所に市街化が進展する結果となった。このような危険領域における高密度の土地利用は新たな水災害リスクを増大させている。

2011年9月には大型で強い台風第12号が四国に上陸し、四国から北海道にかけて長時間にわたる降雨をもたらした。近畿地方で

は総降水量が1,800 mmを超えるなど、各地で観測記録を更新する記録的な大雨が降った¹⁾。これにより、土砂崩れや堤防越流による住宅、鉄道などの被害が発生し死者・行方不明者は94名に達した²⁾。

海外ではタイ国でチャオプラヤ川が長期間にわたる大雨によって氾濫し、600名を超える死者・行方不明者が発生するとともに、多数の工業団地が被災してサプライチェーン寸断の影響が世界中に波及する大きな経済的な被害が発生した³⁾。日本の経済的ダメージは、大震災にも匹敵するとも懸念されている。

自然は私たちの日常の暮らしに豊かな恵みを与えてくれているが、社会の自然とのかかわり方によっては時には大きな脅威となって襲いかかってくる。今後はさらに、地球温暖化に伴う気候変動によって異常気象の発生が危惧されるようになっている。このような

中で、巨大な水災害の脅威に対して、地域の安全を堤防などの線を守る従来型の防災の考え方だけでは限界にきており、水災害に強い地域社会づくりのための新たな防災・減災技術が求められるようになっている。第4期科学技術基本計画においても持続可能な自然共生社会や循環型社会の実現、豊かな国民生活の実現を目指して、社会インフラのグリーン化の施策として「気候変動や大規模自然災害に対応した、都市や地域の形成、自然環境や生物多様性の保全、森林等における自然循環の維持、自然災害の軽減、持続可能な循環型食料生産の実現等に向けた取り組み」が求められている。

本稿では、洪水・高潮などの水災害の脅威に対して、近年の防災技術の動向を紹介し、日本の水災害の防災について考え方の転換の必要性を述べる。

2 水災害に対して脆弱な日本の国土

2-1

地域社会と水防災の 関係の変遷

(1) 洪水氾濫を発生させない防災 事業の進展と氾濫源への人口・資産の集中

日本では明治以降、政府による日本国としての統制が整い、河川を直線化して洪水を流しやすい構造にするなど西欧技術による治水対策が積極的に取り入れられるようになった。しかし、第二次世界大戦が終了した1945年、敗戦直後の日本の国土は山林が過伐によって荒廃し、また堤防の保守も不十分で水災害に対して非常に脆弱であった。カスリーン台風（1947年）などによる千人以上の死者を出す甚大な被害が頻発し、水災害に強い河川を作ることは当時の国民の悲願であった。その後、川の安全度を高めるための河川堤防の強化とともに山地の緑化や砂防工事が積極的に進められた。

一方、戦後以降、急激な人口の増大と経済成長を支えるために本来危険領域である氾濫原などの低平地が急速に都市化されていった。水災害の脅威を抑え込むために砂防堰堤・ダム・堤防・護岸・斜面補強などの防災構造物の強化による対策が計画的に、あるいは被災に伴う災害復旧工事として実施され、防災施設の整備が土地の高度利用を支える役割も果たした。その結果、中小規模の洪水などによる水災害の死者数は大幅に減少した。皮肉なことに、構造物によって力で抑え込む防災は、本来の危険領域にさらなる人口増加や資産集積とともに住民の防災意識の低下をもたらした。現在で

は、国土の10%を占める氾濫原に日本の人口の約50%、資産の約75%が集積されている。このため、施設の設計で想定している規模を超える異常事態が発生した場合はその地域に途方もない被害をもたらす危険を内在している。

生活環境や社会的変化に伴って増大しているリスクにも目を向ける必要がある。近年では治水施設の整備に伴って洪水による浸水面積は低下する傾向にあるものの、水害の被害合計額および浸水面積あたりの被害額は年々増加している。また、地下水くみ上げによる地盤沈下で拡大した海拔ゼロメートル地帯の密集市街地や地下空間への浸水などの新たな都市型の被害も発生している⁴⁾。

かつては、それぞれの地域の自然環境や社会の特徴と長年にわたる災害経験に基づいて、流水が堤防を越える大洪水時でも、人命を守るために、氾濫場所を誘導する野越しや二線堤、氾濫流による被害を軽減するための河畔林などの土地利用による伝統的な減災技術、自衛の水防組織が機能していた。しかし、現在は、防災施設の整備と土地利用の高度化により、それぞれ異なる組織での管理体制と、横断的な検討が行われない状態が進行している。この結果、実効性のある土地利用の規制制度も存在せず、むしろ、従来は人が住まなかった危険な斜面や溪流出口付近、海岸の傍まで家屋が建てられるようになり、新たなリスクの増大が生じている。

我が国の河川の治水施設の整備状況は、当面の目標である中小河川における5~10年に1度程度発生する洪水（5~10年確率洪水）および大河川における30~40年確率の洪水に対して、現在でも

60%程度にとどまっている⁵⁾。

(2) 環境への負の影響

大規模な防災対策の進展に伴い、環境に対して大きな負の影響を与える様々な状況も見られるようになってきている。

山間地では砂防堰堤やダムなどによる魚の遡上阻害が生じている。また、洪水中に含まれている流砂を遮断するとともに河川流量を平滑化させたことによって、自然河川のダイナミズムが失われ、下流河床の粗粒化・固定化による動植物の生息環境の劣化、堤防や橋脚の洗掘とこれに伴う河川敷での砂利資源の採取規制、貯水池の富栄養化や洪水後の河川の濁水長期化による水質の悪化現象などの負の影響が生じるようになってきている⁶⁾。

また平野部では、洪水時の水の流下能力を上げるために河川が直線化され、河床が掘り下げられた結果、川沿いの低湿地が減少し、洪水時の氾濫の制御・水質維持・地下水の涵養・動植物の生存環境・レクリエーション場としての自然豊かな水辺環境が失われている。また、稠密な都市域では鉛直壁のコンクリート護岸が設置され、また、蓋渠で河川が覆われるなど、水辺の景観が悪化している。

河口や海岸部では、治山・治水事業の進展などに伴って海岸への砂の供給が減少し、また突堤等の大型の海岸構造物の築造などによって沿岸方向の流砂の連続性が阻害された結果、干潟や砂礫浜の侵食が拡大している。これにより、高波を減衰させる防災機能が低下するとともに、海水の浄化作用や仔稚魚の成育環境も劣化させている⁶⁾。海岸線の侵食に対する人工構造物による対症療法的な対策工

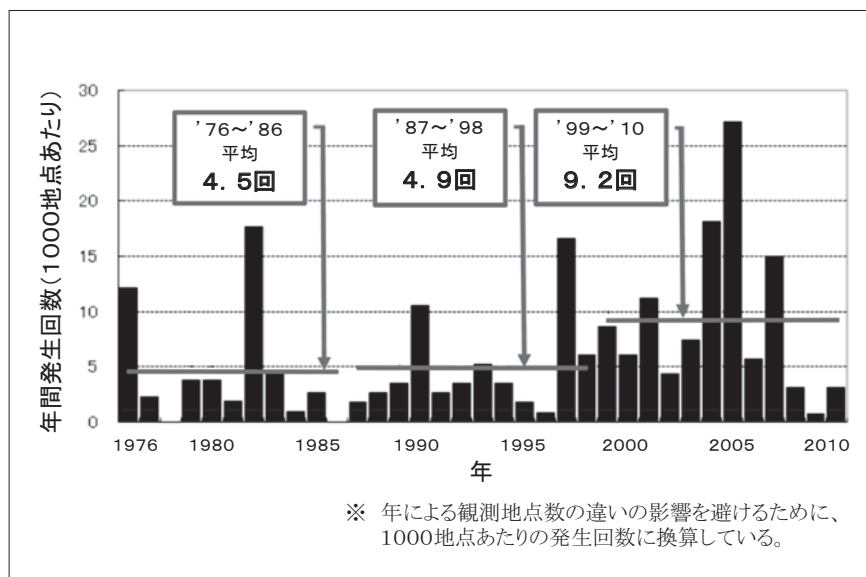
法は、近隣領域の海岸侵食を促進する懸念を有している。海岸線では、日本の海岸約 35,000 kmのうち約 9,500 km に海岸保全施設が整備されており、高潮や高波などから人命や財産を守る役割を果たしたものの人工海岸の増加に伴って自然景観は大きく損なわれている。このような膨大な人工構造物による対策は、将来にわたる維持・更新のコスト負担を海岸線を保全する自治体に与えている。

2-2

近年の異常気象の発生

近年、非常に激しい降雨や長時間にわたって降り続ける異常な降雨の発生が確認されるようになっている。気象庁の集計によると、1時間降水量 50 mm 以上の非常

図表1 日降水量 400mm 以上の年間発生回数



参考文献⁸⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

に激しい降雨の年間発生回数はこの30年間で約 1.5 倍に増加している⁷⁾。また、日降水量 400 mm 以上の大雨については約 2 倍に増加している⁸⁾。

次章で述べるように、将来は地

球温暖化に伴う気候変動によって熱帯低気圧が強まり、海水面の上昇により押し寄せる波高の増大をもたらし、水災害が拡大すると懸念されている⁵⁾。

3 自然と共生する社会の防災技術の動向

3-1

防災・減災の考え方の転換

従来の水災害対策は、過去の被害状況等を基に概ね既往最大クラスを計画規模として設定し、その計画規模までは防災施設によって氾濫しないように防御することを目標として計画が立案された。しかし、少子高齢化に伴う社会保障費等の増加、国や地方自治体の多額な長期負債及びこれまでの社会资本ストックの維持管理費等の増大により建設投資額は減少しつつある⁹⁾。一方で、地球温暖化に伴う気候変動によって従来以上に大雨の多発や台風の強大化が懸念されるようになっている。

近年は、極めてまれにしか発生

しない異常現象に対して防災施設の方で氾濫をふせぐこれまでの考え方は、対応力・コスト・環境面から限界にきていると認識されるようになってきている。そこで、地域住民の生活支援や活力の維持、地域や流域の環境の改善、人と自然の共生による生物多様性の維持・向上が求められる時代の流れに合わせて、国土形成計画の制定や都市緑地法の改正などにみられるように、水災害に強いしなやかな国土形成を、地域の暮らしや環境の保全・再生とトータルで図ろうとする方向へ転換されつつある(図表2)。今後は、氾濫が生じた場合でも被害を最小限に抑える減災の考え方を導入することと、地域・流域全体の土地利用や環境の保全・再生と一体的に取り組むことが求められるようになっていく。

3-2

考え方の転換に対応する調査と研究動向

3-2-1 異常災害事象や被害に関する調査および予測

(1) 異常災害事象の調査

1) 異常降雨

気候変動に関する政府間パネル第4次報告書(IPCC AR4)に示された中位のシナリオ(A1Bシナリオ)に基づいて、100年後の日本の年最大日降水量の変化を試算すると、2009年の1.1~1.5倍になる。この降水量の変化によって、現時点で200年に1度程度発生する恐れのある洪水は90~145年に1度程度に、100年に1度程

図表2 地域・流域で総合的に取り組む防災や環境の保全・再生に関する法律・計画とその実施状況

法律・計画	内容
国土形成計画（全国計画・2008年）	「災害に強いしなやかな国土の形成」を目指し、地球温暖化によるリスクの増大に対して、今後の本格的な人口減少により生じる国土の余裕空間を好機としてとらえた災害に強い国土構造に再構築。地縁型コミュニティ、個人、NPO、企業、教育機関や行政等の多様な主体が協働して、地域住民の生活支援や活力を維持していく地域づくりに取り組む。
都市緑地法（2008年改正） 緑地の保全及び緑化の推進に関する基本計画	市町村における「緑の基本計画」において、「都市の緑がもつ環境保全機能」「レクリエーション機能」「延焼遮断帯、緊急避難、洪水の調整や遊水機能などの防御機能」や「景観構成機能」を踏まえた緑地の保全や緑化の推進計画を例示。
生物多様性基本法（2008年）	「生物多様性国家戦略2010」では、2050年までの中長期目標として、人と自然の共生を国土レベルや地域レベルで広く実現させて、生物多様性の状態を現状以上に豊かにする。
第3次環境基本計画（2006年）	「環境保全上健全な水循環の確保に向けた取り組み」が重点分野政策プログラムとして位置付けられ、流域全体を視野に入れる必要性が示されている。「水質」、「水量」、「水生生物」及び「水辺地」の4つの項目で目標が定められている。
水防法（2005年改正）	大河川とともに主要な中小河川についても、市町村は洪水氾濫による浸水想定区域の指定を行うとともに、洪水予報等の伝達方法や避難場所などをハザードマップ等によって住民へ周知することが義務付けられている。
特定都市河川浸水被害対策法（2003年）	著しい市街化による都市型水害に対して、従来の河川や下水道整備に加え、透水性道路舗装、宅地内の雨水浸透ますや開発区域の雨水調節地の設置などによって流域の保水・遊水機能を向上させる流域全体での治水対策について定められている。
自然再生推進法（2002年）	過去に実施された事業や人間活動等により喪失した河川、湿原、干潟、藻場、里山、里地や森林などの自然環境を取り戻すことを目的とする。本推進法に基づいて、釧路湿原での蛇行河川の再生など、全国22地域（2011年3月現在）で取り組みが進められている。

科学技術動向研究センターにて作成

度の洪水は25～90年に1度程度に増加すると予測される⁵⁾。

2) 海面上昇

最大風速45m/sを超えるような非常に強い熱帯低気圧の出現頻度が、今後増大すると予測されている¹⁰⁾。海面上昇が将来59cm上昇した場合、東京、大阪、名古屋のゼロメートル地帯の面積と対象人口は約5割増加すると見込まれている¹¹⁾。台風の激化に伴う気圧低下による海面水位の上昇や風による吹き寄せの増大も加わると、高潮による災害や海岸侵食のリスクはさらに高まる⁵⁾。

3) 地域的な水災害

例えば信濃川水系千曲川流域では、遺跡の発掘調査資料と氾濫流の数値解析に基づいて、縄文時代以降の河道と堤防の変遷を考古学、地質学、河川工学などの様々な分野の研究者が協働で調査した。その結果、氾濫の痕跡などから氾濫の範囲や河川流量の規模、河川沿いの自然堤防などの微高地を巧みに利用して河川の恩恵を受けつつ洪水の脅威を避けて生きた

先人の暮らしの消長がわかってきた¹²⁾。

4) 地震と洪水の複合災害

例えば江東デルタ地帯は軟弱地盤であり、かつ海拔ゼロメートル地帯となっている。地震時に地盤が液状化して堤防が損傷した後に洪水や高潮が発生すると、密集市街地の広範囲に氾濫水が流入して、高齢者などの弱者に甚大な被害が発生する可能性がある。堤体の液状化現象の詳細なメカニズムの解明と照査手法などの開発が必要と考えられている¹³⁾。

(2) 氾濫の被害想定

1) 首都圏で想定される河川氾濫災害のシミュレーション

仮に利根川が1947年のカスリーン台風と同じような場所で決壊した場合、氾濫流は48時間後には東京都まで達し、江戸川区や葛飾区などでは14日以上浸水が継続と予測される。予想される被害は、死者約2,600人、浸水家屋約86万世帯で、広域のライフラインにも深刻な被害が発生すると予測される。仮に東京都や埼玉県を流れる

荒川が東京都北区志茂地先で決壊した場合、東京都の荒川区・板橋区・台東区・中央区などで約110km²が浸水し、死者は約2,000人に上る。氾濫水が地下鉄に浸水した場合、堤防決壊から72時間後には、地下鉄路線網全22路線130駅のうち、17路線97駅が浸水すると予測される¹⁴⁾。

2) 高潮災害

前述のIPCC AR4の中位シナリオ条件に基づく伊勢湾における高潮・高波のシミュレーションでは、100年後には台風の巨大化によりこれまでの最悪条件と考えられていた伊勢湾台風（1959年）時の名古屋港地点の潮位偏差3.5mを大きく上回る、最大で6.9mに達する高潮により、中部国際空港が浸水すると予測される¹⁵⁾。

3-2-2 氾濫原の減災

1) 氾濫原における減災対策とその評価

従来のように防災・減災の主眼を治水施設の安全度に置くのではなく、氾濫地の地先の安全度に着目して人的被害・物的被害の両面

から評価して減災対策をとるようになりつつある。例えば流域のダムや堤防の対策だけでなく、氾濫原での対策を組み込んで、減災効果を定量的に評価するモデルの開発が行われている。実際の対策実施には長期間を要するため、このモデルでは事業の実施順序についても考慮している¹⁶⁾。

2) 洪水時の保水・遊水機能

例えば、水田地帯で排水のために設置されている農業用排水ポンプの規模は、一般的に10年確率規模の洪水を想定して決められている。一方、排水先の河川の施設計画は100~200年確率の洪水を対象としており、農業用排水ポンプの能力を超える水田への洪水時の流入量は、田面等に貯留されて流域の保水・遊水機能を発揮する。このような観点から、様々な土地利用条件や洪水規模に対する水田がもつ治水機能の有効性について検討されている¹⁷⁾。

3) 水災害リスクマネジメントのガイドライン

世界工学団体連盟(WFEO)では、洪水、高潮などによる水災害による被害が世界で急増していることをふまえて、これまでに蓄積した考え方や経験知を体系的に取りまとめている。災害リスクの軽減にあたっては自然環境や景観への影響が少なく維持管理が容易な方法を用いるなど、安価で持続可

能なものとなるように工夫が必要としている。このうち、防災施設による対応については平常時にも多目的に活用できるように付加価値を向上させることや自然が元来有している遊水機能や洪水調節機能を積極的に活用するなど、また氾濫原の管理については流域スケールで管理し、危険度に応じた土地利用等の規制、氾濫流の勢いの抑制や誘導、拠点防御などが必要であり、野越しや輪中堤など日本の伝統的な対策技術の今日的意味に注目している¹⁸⁾。

3-2-3 研究成果を生かした国内の対策例

1) 河川での湿地再生による遊水機能の確保¹⁹⁾

佐賀県では、治水対策と環境再生の一体的な取り組みとして、自然再生推進法に則った「松浦川アザメの瀬自然再生事業」を実施した。この事業は、「かつての松浦川流域にあった氾濫原的湿地の再生」と「人と生物のふれあいの再生」を目指して2002年に着手した。

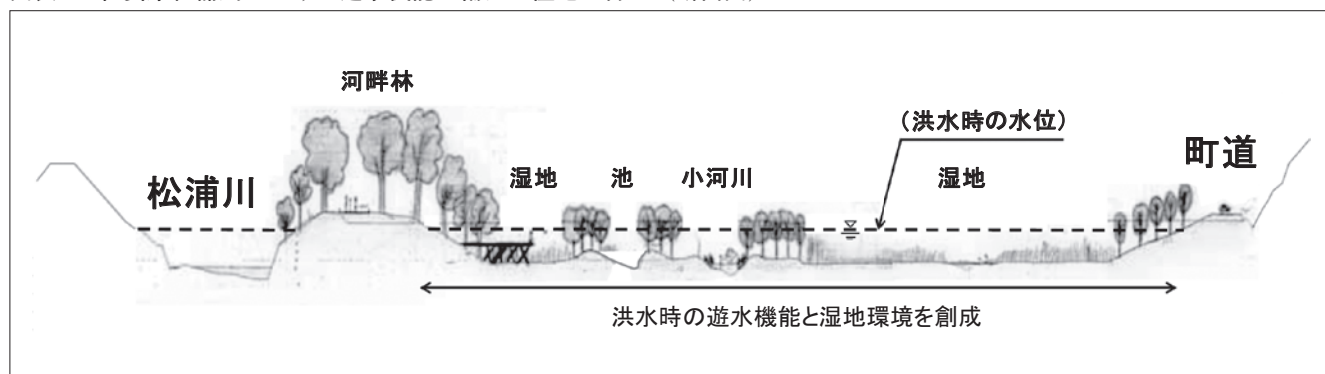
住民・NPO・学識者・国土交通省・相知町による「アザメの瀬検討会」が組織され、事業計画が策定された。学識者からは氾濫流の挙動、湿地の生態系、景観などに関する研究成果が提供された。国が治水対策のために取得していた約6haのアザメの瀬地区を、松浦川の平水位程度まで掘り下げ、湿地を再生した。河川沿いに

は河畔林を形成し、現地の表土を用いて湿地の植生を復元させるとともに、昆虫・魚類などの生息・産卵場や洪水中の避難場所などの環境を整備した。洪水時にはこの場所に氾濫させて、河川流量を調節する遊水地としての機能を持たせるようにした。地盤が低いことから、湿地環境が維持され、繰り返し起こってきた氾濫のリズムを再生させるようにしている。

(2) 築磯再生による魚場の造成など海岸環境の再生・保全と防災機能の確保

津軽海峡に面した青森県下北半島の木野部海岸は、昭和30年代までは自然が豊かで地先の磯浜には様々な生物が棲み、沿岸の漁業も盛んであった。その後、漁港や様々な海岸防護の構造物の整備が行われたが、磯浜は失われ漁獲が減少して行った。地域の人々は昭和30年代の写真を掘り起こし、何とかしてかつての命あふれる豊かな海を取り戻したいと考え、住民・NPO・海岸関係の専門家・青森県や大畑町の行政が参加する懇話会が開催され真剣な議論が重ねられた。地域の人々の経験知を活かし、また、専門家は海浜の生物環境や海岸侵食などの研究成果を提示して、一つひとつ合意しながら防災機能を併せ持つ磯浜の再生事業計画がまとめられた。この計画に基づき、海岸線を防護していた傾斜護岸のブロックを解体・

図表3 佐賀県松浦川における遊水機能を備えた湿地の再生(断面図)



参考文献¹⁹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

撤去して沖合の基礎マウンドに転用し、その上に大きな置石を不規則に配置した築磯が2003年に完成した(図表4)²⁰⁾。

環境再生を考慮したこのような既設護岸の再構築は、当時の海岸事業としては異例であったが、関係者の熱意と協力によって実現した。結果として消波や沿岸流の流速を抑える効果によって海岸には砂浜が広がるとともに、豊穡な時代の磯浜の景観が復元し、岩海苔やアワビが取れるようになった。2004年1月および2006年10月に異常低気圧による高波が発生し、離岸堤や漁港の突堤コンクリートなどの構造物に大きな被害が生じたが、この築磯は消波機能を発揮した。

築磯は時間とともにその状態が変化する柔らかい海岸土木技術である。地形の変化、波浪の減衰、生物の生息状況などの効果を確かめるために、地域の人たちによって自主的に継続的なモニタリングが行われている。

また、大分県の中津干潟では、防災護岸の設置に際して、地域住民からの干潟保護の要望に応えるために、生態系や海岸防災に関する知見を有する学識経験者が協力して、従来の水際ではなくて集落近傍の陸地内にセットバックさせている。生態系豊かな自然干潟や背後にある小砂丘、湿地帯や海岸

林を保全し、これらによる自然の波の減衰機能を維持するとともに、集落近傍に小さな堤防を設置することによって集落を防護している²¹⁾。

(3) 既存のインフラ施設を利用した流域にまたがる環境および防災対策

1) 森林の保全とダム改造を組み合わせた流砂系改善

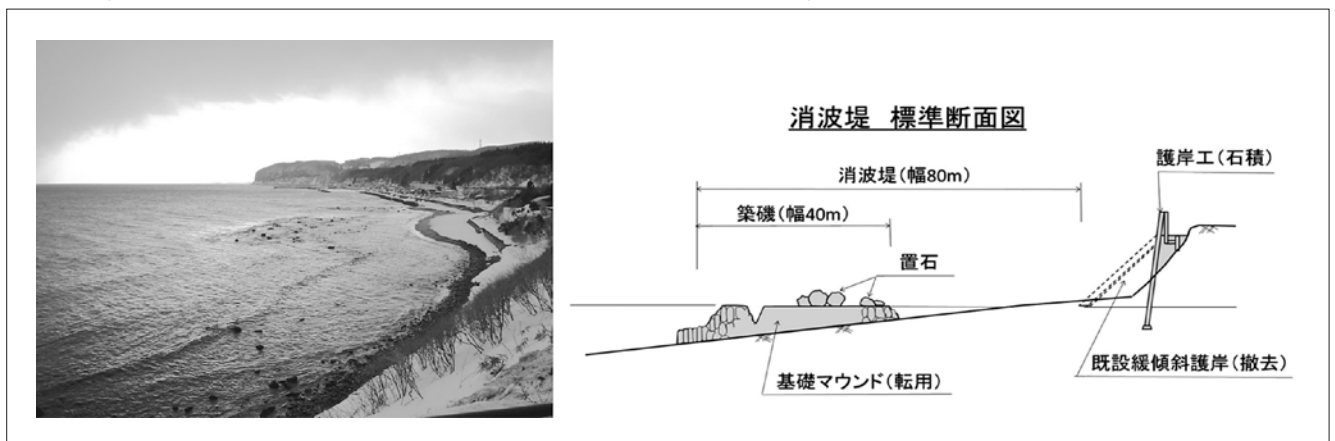
宮崎県の二級河川の耳川では、2005年の台風によって流域の斜面がいたるところで崩壊して大量の土砂がダムに流入した。これによってダム上流域の河床が上昇して地域に浸水被害が発生するとともに、発電所にも大きな被害が発生した。これに対し、河川管理者・地域の代表者・市町村の自治体・ダム事業者・学識経験者が協力して、森林保全による土砂流出の抑制とダムの大幅な改造を行って、将来にわたって持続的に土砂をダムから流下させるシステム作りを2009年に開始した。学識経験者は森林保全や河川工学、海岸工学、生態系の保全と再生に関する様々な研究成果を提供するとともに、各種検討会においてリーダー的な役割を担った。ダム上流域の水害防止と水力発電の持続、下流河川の河床環境の再生および海岸侵食の防止を同時に実現させる計画である²²⁾。

2) ダム再編事業などによる既存ダムの総合的活用

静岡県得天竜川では佐久間ダムに大量の土砂が堆積し、この影響で遠州灘では激しい海岸侵食が進行している。ダム再編事業では、利水専用の佐久間ダムの堆積土砂を排砂する恒久的な堆砂対策を行うとともにダムに治水のための容量を確保して、下流域の治水安全の向上と将来にわたる発電機能の維持、海岸侵食の抑制を統合的に行う試みが2009年から進められている。洪水調節容量の確保の方法、土砂移動の連続性の確保の方法、排砂に伴うダム下流河道、海域の自然環境変化等に関する検討が専門家によって行われている²³⁾。

また、既存ダムの性能向上を図りさらに有効に活用するための研究が行われている。ダム流域における洪水の流出特性に着目し、洪水が到達する前に貯水池水を事前に放流することによって、より大きな治水容量を確保し、ダムの洪水調節能力を向上させようとしている。このような研究が進むことにより、従来夏期に空虚にしていたダムの洪水調節容量を平常時には水力エネルギーや水道用水等の利用拡大、環境放流などにも有効に活用できるようになる²⁴⁾。

図表4 木野部海岸における防災機能を備えた築磯の再生
(写真中央、海岸のやや沖合に岩が点在している箇所が築磯である)



参考文献²⁰⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

3) 海岸部における流砂の連続性の回復

静岡県の天竜川の河口に近い福田漁港では、港湾機能の維持と海岸侵食を抑制するために、パイプラインによる恒久的なサンドバイパスシステムを構築し、海岸沿いの流砂の連続性を回復する計画が2007年から実行されている²⁵⁾。

3-3

海外の動向

3-3-1 洪水氾濫の多段階制御の事例²⁶⁾

欧米では、構造物による防災対策は、環境へのダメージやコスト面から限界があると考えられるようになってきている。そのため、減災のための様々な管理システムの制

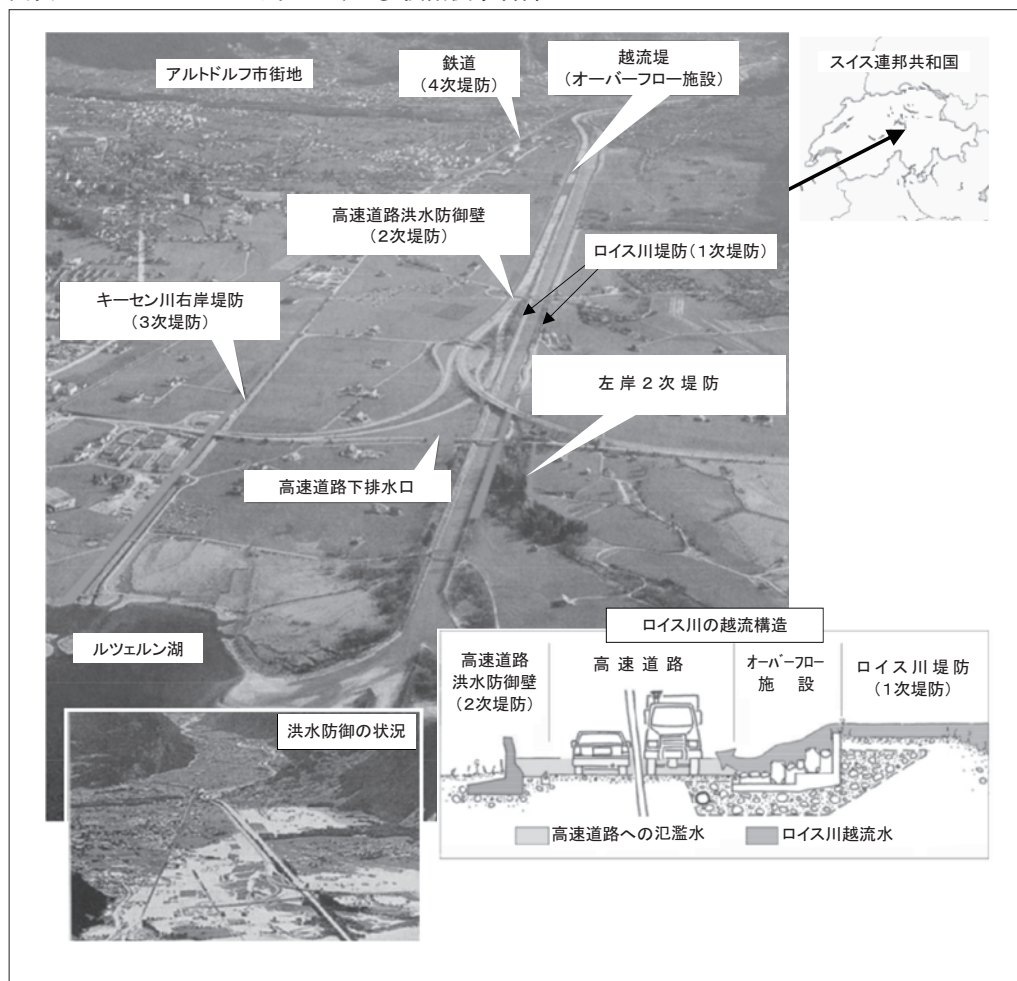
度化において、地域の土地利用や建築規制などの対策と構造物対策とのベストミックスの議論が行われている。氾濫原での土地利用がすでに高度化している我が国では、実行にあたって困難な課題もあるが将来社会の自然と共生する減災を検討する上で参考にすべきと考える。例えばライン川水系ロイス川（スイスのルツェルン湖に注ぐ河川）では、ロイス川とルツェルン湖の合流付近にあるスイス・ウーリ州の州都アルトドルフ市の水害防御のために、土地利用に応じた治水安全度が設定され、河川堤防や道路等を利用した多段階の洪水対策が行われている。ロイス川の堤防は第1次防御として50年確率洪水規模までの出水を流下させる。50年確率を上回る出水があった場合は、ロイス川と平行する高速道路を通行規

制した後に越流させる。高速道路の洪水防護壁の高さは250年確率規模まで対応し、これが第2次防御となっている。仮に250年確率規模を超える氾濫水がある場合には高速道路と隣接するキーセン川との間の農地で貯留する。キーセン川の河川堤防はロイス川の第3次堤防として位置づけられている。これを上回る1000年確率の氾濫水に対しては、その外側に位置する鉄道の連続盛土によりアルトドルフ市の人口密集地を防御することとしている。

3-3-2 タイの総合治水対策とチャオプラヤ川水害

タイの首都バンコクは、流域面積16万3000km²を持つチャオプラヤ川の下流域に位置する。近年、バンコクは人口増加や経済成長に伴い浸水の激しい低地が市街

図表5 スイス・ロイス川における多段階洪水制御



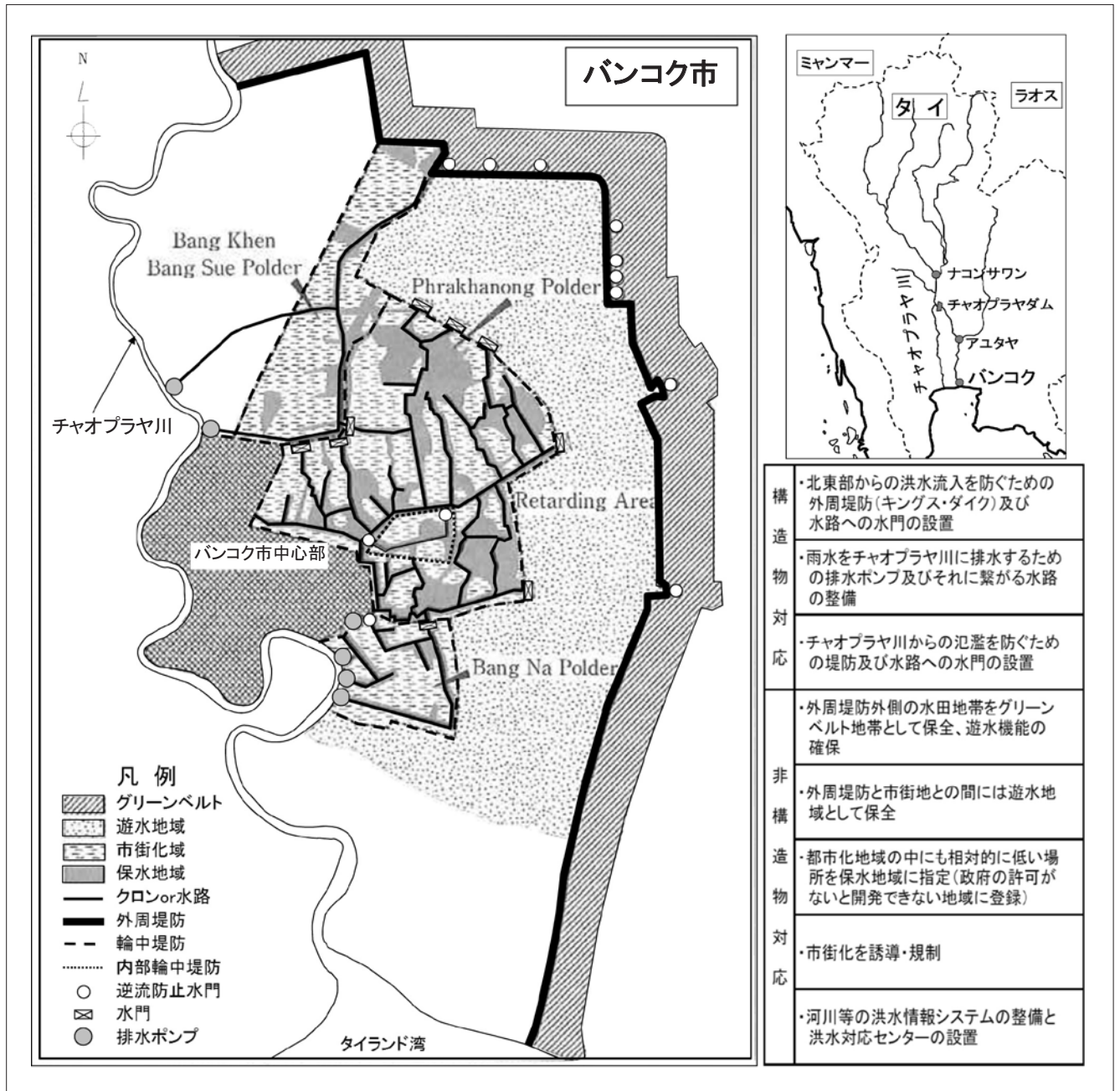
参考文献²⁶⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

化され、また、地下水の過剰な汲み上げによる急激な地盤沈下が進行して、チャオプラヤ川の氾濫による水害が多発して深刻な問題となっている。1983年には首都防衛のための「バンコク首都圏東郊外流域治水計画」をバンコク首都圏庁が策定していた(図表6)²⁷⁾。この計画では東北方向からの氾濫流からバンコク中心部を防御し、その水を東へ逃がすためにバンコク市の北から東方面を囲む外周堤防(キングス・ダイク(王様堤防))を設置し、この外側をグリーンベ

ルトとする。また、外周堤防の内側に第二の堤防を設け、その間を遊水地域として保全する土地利用規制が盛り込まれていた。さらに、バンコク市内の内水排除のため排水ポンプや水門などを整備するとともに、既成市街地においては、浸水の恐れのある低地を保水地として登録し、この地区での開発は政府の許可が必要とされていた。しかし、2006年に発生した軍事クーデター以降の政情の混乱や急激な都市化に伴う土地利用への圧力もあり、計画通りには実施

されていないといわれている²⁷⁾。
2011年秋、この地域で例年以上の大きな氾濫被害が発生した。2011年5~10月にかけてチャオプラヤ川流域では過去21年間の平均の143%の降雨が発生した。9月上旬頃にチャオプラヤ川の流量は流下能力を超え、ナコンサワンからアユタヤの間で越水が始まり、その後、9月中旬から下旬にかけてチャオプラヤダムからアユタヤ間の左岸堤防が8か所破堤した。この決壊により約50億m³以上(総氾濫量の1/4)が左岸氾

図表6 タイ・バンコク首都圏東郊外地域の治水対策



参考文献²⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

濫原に流入したと見られている。氾濫水は、決壊から約2週間後の10月初旬にはアユタヤ周辺の工業団地へ到達し、さらに下流域に流れ、7つの工業団地や首都バンコクなどを浸水させた。804社の企業（そのうち、約449社は日系企業）に被害が発生し³⁾、タイ全土で約188万世帯の約505万人に影響が及んだと推定されている。死者・行方不明者は2011年11月現在で609人、農地被害面積は約1.7万km²（関東平野とほぼ同じ面積）に達している²⁸⁾。今後、防災インフラの能力や運用上の問題、氾濫原管理のための土地利用規制の制度と運用、防災情報、警戒避難の仕組み、およびこれらを支える体制面について、詳細な調査が行われると考えられる。

氾濫原の急激な都市化によって人口が集中し、その結果として被害が増大する事例はアジアの各国に共通しており、河川の洪水氾濫以外に、2007年にバングラデシュで死者・行方不明者が約4000人を超えたサイクロン「シドル」²⁹⁾や、2008年にミャンマーで死者・行方不明者が7万人を超えた「ナルギス」による高潮の災害も発生している³⁰⁾。災害調査に基づく教訓を将来の災害の防止に役立てる必要がある。

3-3-3 氾濫原管理の制度化と実施

(1) フランスの制度

フランスにおける洪水防御の基本的な考え方は、「地先防御」である。河川を直線化し、連続的な堤防で防御することは、下流地点の洪水水位や流量を上昇・増加させ、水害リスクを高めてしまうことから、得策ではないと考えられている。自然の遊水地をできるだけ保全することで洪水流量の増大を防ぎ、重要な背後地を抱える区域については、地域的な堤防で守る考え方が制度化されている。氾

濫原における洪水被害軽減対策および超過洪水対策として、洪水予報や洪水危険区域の明確化など、有効な情報提供を充実させ、洪水危険区域（遊水区域）内ではすべての建設が禁止されている³¹⁾。

(2) 英国の制度

英国では水位上昇が急激で大きな被害が生じる高潮への防御が重視されている。ロンドン市内下流部に設置された1000年確率高潮に対するテムズバリア（防護壁）などを除いては、洪水防御目的で築堤を行うことは近年では一般的ではなく、むしろ、河道沿いなどの氾濫原のむやみな開発を規制する非構造物対策が進んでいる。1991年から、水環境の保全とその利用者および関連機関の全体の利益を目的とした、水系単位の「流域管理計画」の策定が進められている。英国の治水事業は、環境を考慮した都市計画が前提となっており、治水事業そのものが環境保全事業の一部と位置付けられている。この計画における洪水防御の内容は、氾濫原の開発規制、洪水に対する流域の安全度調査、洪水予警報、洪水防御施設の維持管理などである。事業の規模については土地利用評価が重視され、その評価をもとに洪水防御戦略やガイドダンス等が整備されている³¹⁾。

(3) ドイツの制度

ドイツでは土地利用対策は氾濫原管理の基本であると考えられている。氾濫原の指定とともにそのエリア内での土地利用や建築行為を規制しており、例えばオイルタンクや送配電施設の浸水に対する安全確保のための建築工法の選択なども求めている。老朽化した堤防の点検・改修とともに、土地利用形態の変更によって越流を許容する区域の設定や遊水機能を持つ湿地環境の再生などが一体的に、流域全体にわたって進められている³¹⁾。

エルベ川の例でみると、2002年の洪水被害で浸水被害があった領域の約2倍の面積の遊水区域が指定されており、主要な都市を防護するための治水が計画されている³¹⁾。

(4) オランダの制度

国土の27%が海面下で、そこに人口の60%が居住しているオランダでは、高潮が甚大な被害につながるために、大規模な築堤などによる防護対策が行われている。洪水防御事業については、LNC政策によって景観・自然・文化の視点を取り入れて実施している。氾濫原管理のための特別な制度はないが、アムステルダムなどの都市部は高潮の直撃を受けにくい丘陵や砂丘、自然堤防などの微高地に立地している。高潮被害が著しい沿岸やデルタ地域は相対的に人口が少なく大都市は存在しない。河川洪水については上流域の防護レベルを低く設定しており、上流の農業地域などで氾濫しているが下流の大都市には被害が及んでいない³¹⁾。

(5) 米国の制度

1993年にミズーリ州ミズーリ川で起きた3万7000世帯が被災する大洪水をきっかけに、米国連邦政府は河川管理の方針を大きく転換した。ダムや堤防では、強大な川の力を制御できないと判断し、バイアウト方式を導入して、危険領域の土地・家屋を買収して洪水時の緩衝地帯とすることとした。また、100年確率洪水や500年確率洪水によって浸水する洪水危険区域に住宅を建てる場合には、耐水を考慮した建築規制を適用するとともに、洪水保険（危険度に応じた保険料率）への加入を義務付けるなど、危険地域の居住を制限して洪水被害のリスクを減少させている³¹⁾。

4 日本の新たな時代の防災技術の構築

4-1

水災害に係る日本の 防災対策の問題点

日本では、水災害の防止と地域計画が別仕立てで進められたために、本来的に自然の脅威を受けやすい大河川の氾濫原や海岸沿いの低平地などに人口や資産が集中し、また二次災害につながるような地下施設や工場施設なども多く設置されている。かつての我が国では、長年の災害経験を踏まえ、地域が水災害に見舞われることを前提として、被害の軽減を図るための土地利用の差別化や、重要度が高い地域を防御するために他の領域に氾濫を誘導するための野越しや遊水地、集落や民家を氾濫から守るための輪中堤や水屋などの伝統的な技術と地域の自衛水防組織が存在し機能していた（図表7）。しかし、明治以降、防災が行政の中で専門特化されて地域を線で守る防災施設の整備が進展し、また地域計画において土地が高度に利用されていく過程で、地域住民が自ら災害に備える覚悟が薄らぎ、知恵と合意に基づくこのような防災・減災のリスクマネジメント

トの考え方やシステムは消え失せあるいは弱体化して現在に至っている。このため、土地利用を治水の本質として扱った研究はほとんどなく²⁷⁾、防災施設の劣化損傷や設計で想定している規模を上回る異常現象による外力が生じた場合には、大規模な災害が生じる新たなリスクが生まれている。

また、大規模なインフラ施設の設置に伴う自然改変が水・物質の自然の循環システムを変化させたことなどによって、河川や海岸の動植物の生息場や景観などの環境劣化が進行している。さらに、災害対策が他の領域の災害発生を助長するなどの負の連鎖もみられるようになってきている。2-2で述べたように、今後は地球温暖化に伴う異常気象の発生、生態系の生息環境の悪化が危惧されるようになって

域によって地形・地質や気象などの自然条件が大きく異なっており、また土地利用などの地域条件も様々である。当然、対象となる自然災害の種類・規模・起こりやすさも地域によって当然異なっている。

近年、氾濫や土石流の影響範囲などの様々な災害の危険情報を共有するためにハザードマップが整備されつつある。しかしながら、危険情報の前提となる外力規模の対象範囲が不明確である。自然現象が複雑で、かつ大規模災害発生の時間スケールが非常に長いことから、地域ごとの地質や長期にわたる降雨などの定量的なデータが十分整理・蓄積されていない³²⁾。また、地震や火山活動による土砂流出や施設の損傷と、台風や前線・低気圧などによる豪雨や高潮などとの複合的な災害については、これまで検討対象になっていない。災害要因の不確定性への対処には、様々な課題がある。今後はまずそれぞれの地域における長年月にわたる災害の歴史や自然と共生する土地利用、生活文化、環境の変化などを伝承や古文書などの資料によって把握する研究が必要である。また、気象学・地形地質学・土木分野などの科学的知

4-2

解決すべき課題点

4-2-1 地域の防災および環境面での問題点の明確化

我が国は国土が南北に長く、地

図表7 水災害に対する伝統的な防災技術の例

名称	構造・機能
霞堤	開口部を有する不連続な堤防。洪水時には本流の洪水が溢れて下流への流出量を減少させるが、本流の水位が低下するにつれて速やかに氾濫水が排出される。
野越し	通常の堤防よりも部分的に高さを低くした堤防であり、洗堰ともいう。一定水位以上の本流の洪水を越流させ、本流の水位を低下させる。
防備林	洪水氾濫に対して氾濫流のエネルギーを弱めるとともに、流水に含まれる土砂や流木を補足して拡散を防止する帯状の樹林帯。山間部の土石流対策の溪流防備林、河川に沿って氾濫対策の水害防備林（河畔林）、海岸線に沿って設置される防潮林がある。
二線堤	本堤背後の堤内地（民地側）に築造された堤防であり、本堤が決壊した場合に洪水氾濫の拡大を防止する。控え堤や二番堤ともいう。
輪中堤	氾濫原地域において集落の周囲を囲んで築造された堤防であり、氾濫流から輪中内の人家や人命を防御する施設。
水屋・水塚	水害常襲地域において、内水および外水の洪水氾濫に備えて住居を高い盛土の上に建設した家の形。水塚には長期間避難生活ができるよう井戸、食糧、寝具などが備蓄され、水害時の移動手段として舟も用意されている。

科学技術動向研究センターにて作成

見と過去からの知見とを結合させて、地域における災害のメカニズムおよび防災・環境面での問題点を明らかにすることが必要である。

4-2-2 地域の暮らしや土地利用と一体化した防災技術の構築

(1) 自然とともに生きる防災技術への考え方の転換

計画洪水をダムと堤防で河道の中におさめて海まで流下させる、護岸などで海岸線の防護を図ることが、これまでの河川・海岸管理者などの防災行政部局が対応できる施設防護の範囲での災害防止の主な対策であった。しかし、これだけでは今後の防災に限界があることは前述したとおりである。今後、我が国の地域社会が持続的に自然と共生し、暮らしと一体的に災害の防止・減災に取り組むために、防災に対する考え方の大きな転換が必要である。すなわち、構造物の力によって災害のエネルギーを抑え込んで災害防止を図るという考え方を改め、頻繁におこる外力には施設によって無災害に、そしてきわめてまれに起きる外力に対しては人命を守るが、そのためには一時的な機能の停止や物的な被害はある程度許容するという、地域や流域の面的な広がりの中で被害の種類と大きさを制御する柔軟な考え方に移行する必要がある。このような考え方は、むしろ、近代以前に水災害から地域社会を守るための究極的な危機管理技術として我が国で取り入れられていた考え方と類似する。例えば、かつては巨大な洪水時には、洪水が堤防を越流し、あるいは破堤して無秩序に被害が広域に及んでいたが、予め越堤させる場所を定めておいてその周辺域に氾濫させて被害を局所化させていた。今後は、このような場所を明確に設け、日常は湿地や田畑として地域の自然再生や食糧生産、レクリ

エーション、観光などの場とし、異常時には壊滅的な災害の防止に活用する。合わせて、被災時の補償や税制面での優遇措置などを具体化する。土地利用の条件や退避の条件などにおいて、氾濫があるという前提での仕組みづくりを行うというように変更していく。

すでに様々な土地利用や施設整備が行われている状況で、このようなデザインを新たに描き実現することは決して容易なことではない。しかし、これからの少子高齢化を考えれば、低炭素型人口減少社会の構築に向けて、長期的な視点で防災のあり方を変更していく必要がある。より具体的には、異常な災害事象に対してその規模に応じた土地利用の見直しを含めた災害の多段階制御技術の導入が必要である。また、そのためには、異常気象時の森林や田畑の治水機能の評価、氾濫に伴う人的・物的被害や間接的な波及被害の連鎖や環境への影響の評価、そして、ハードおよびソフト面を組み合わせたシステム全体が確実につながり破壊的な現象に対して靱性が高い防災・減災の対策技術、地域における合意形成の方法論の構築が必要である。

研究領域としては特に、地域の風土や歴史に根差した生活環境・エネルギー・食糧などの資源・経済および文化を、防災と融合させる地域計画を総合的に考えることのできる研究領域の充実が必要である。例えば、都市システムにおける災害連鎖の遮断、リダンダンシー向上の必要性について、環境と融合した防災の観点からの余裕空間を考える方法論と流域レベルの広域の視点を取り入れた研究が必要である。

また、地域の防災の文化として、事前に避難を的確に行うための様々な気象データ・上流域の流量データを活用した災害予測と避難のシステム、教育訓練を定着さ

せる必要がある。これらについても防災・環境・社会科学の多分野の協働による専門家のサポートが必要である。

(2) 既存インフラ施設の有効活用のための研究課題

今後の増大する社会保障の費用を考えると、既存のインフラ施設の有効活用が日本の大きな課題である。これまでの機能を維持するだけではなく、長年にわたる施設の運用経験を生かし、長期的な視点に立って、これからの自然と共生する社会、あるいは災害に強い地域づくりのための総合的な活用方法の再構築を行っていく必要がある。

ダムは、貯水を様々な用水や水力エネルギーに利用する機能とともに、異常降雨時の出水や土砂流出を一時的にかん止して下流域の災害を防止する機能を有している。しかしながら、貯水池に大量の土砂が堆積して、ダムを持続的に活用できなくなる。流域や設備の規模・形式によっては流砂を遮断し、下流域の水質や流況を変化させて河川や海岸の地形や動植物などの環境に影響を与える。ダムをより有効に持続的に活用するために、ダムからの排砂と下流河川の流況改善が必要であり、地域の特性を踏まえて流域の安全確保、資源の持続的な利用、豊かな自然環境の維持・回復を総合的に考慮し、山地から河川、海域にわたる専門分野を超えた課題解決のために総合的な研究が必要である⁶⁾。

堤防については、洪水から周辺地域を守るために不可欠なものであるが、様々な時代に建設や改修が行われており、また旧河道の上に設置されている。したがって、構造や材料が不均一で、強度も不明な堤防が多い。まず、施設の脆弱性を正確に評価することが必要である。的確にメンテナンスするための点検・診断技術、大洪水時

の越流等による決壊に対して靱性が高い材料・構造とする補修・補強技術、河川および周辺環境の再生と融合した補修・補強技術の研究開発が必要である。

砂浜海岸では河川からの土砂供給の減少や海岸構造物によって沿岸方向の漂砂の移動が遮断されることなどによる海岸侵食に対して、離岸堤や消波ブロックが多数設置されている。しかし、侵食防止用の施設整備のみでは根本的な対策にはなり得ないことが多く、河川からの土砂の適切な供給と

もに、サンドバイパス等による養浜技術や漁港の集約化など、環境再生と融合した総合的な対策技術を提案する必要がある。

4-2-3 モデルプロジェクトによる課題解決型研究の推進

水災害の防止や環境再生の取り組みは、個別の自然条件や社会条件が複雑に関連しあっており、国や自治体による制度面や固有技術の検討とともに、地域が中心となって取り組む実践研究の積み重

ねが必要である。地域および流域の視点で防災および環境上の問題を明らかにし、検討の道筋、隘路について一つひとつ議論して解決していく過程で、科学的な知見が蓄積され、課題解決のための新たな技術と制度上の課題の解決策が生み出されると考えられる。しかし、すべての地域に対して研究を行うことは不可能である。地域と多様な分野の学識経験者が一体となって我が国の英知を集めてモデル地点に取り組むというプロジェクト研究が必要である。

5 おわりに

黄河の上策という言葉がある。大量の土砂を伴う流れが扇状地で乱流を繰り返し流域の人々を苦しめてきた。このような黄河の振る舞いに対して各時期の王朝政権は、黄河を分流してその勢いを安定させる、あるいは堤防を高くして流速を上げて土砂を流すなど様々な対策を実施してきた。上策は、河流がどちらに振れるのか、自然の趨勢を読み、その地域の住民を移住させ、予め人為的に決壊を行って河流をそちらに向かわせ、あわせて平原の発達と地味の更新を図るというものであった³³⁾。このような考えは、自然と共生する地域社会の防災を考える上で示唆に富む。

我が国は大規模な地震・火山活動・台風・低気圧・冬期の降雪などの自然環境の変化により、多様で四季折々の変化に富んだ豊かな自然の恵みを受けた暮らしを楽しむことができる。しかし、異常時には自然は豹変し荒れくるうがごとく人間に襲いかかってくる。こ

のような国土に住んでいる日本人には、日常の暮らしの中に災害に対する覚悟と備えを組み込む文化が本来はあったはずである。明治以降、近代技術を導入して100年が経過して、新たな問題点が現れているが、今一度、原点に立ち返って、地域ごとの自然の特徴を正しく理解し、総合的かつ長期的な視点に立って、人と科学の力で自然と共に生きる新たな道を切り開く必要がある。

さらに世界に目を向ければ、世界の自然災害による被災者数の半分以上は洪水によるものである。また、世界の水災害の被災者数の約9割はアジアである。これまでの防災の取り組みを検証し、自然と共生する社会の新たな時代の防災技術を確立することで、世界経済の成長センターであるアジア諸国のインフラ整備において、悲惨な災害が繰り返されている国々へ国際貢献を行うことが可能になる。これはアジアの先進国として

の日本の役目である。

謝辞

京都大学防災研究所小尻利治教授（故人）、日本大学吉川勝秀教授（故人）、東京大学磯部雅彦教授、財団法人リバーフロント整備センター竹村公太郎理事長、一般財団法人みなど総合研究所細川恭史専務、国土総合技術政策研究所藤田光一河川研究部長、財団法人国土技術研究センター桑島偉倫研究主幹、湧川勝己研究主幹、独立行政法人土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター深見和彦上席研究員、宮本守専門研究員、農村工学研究所増本隆夫水文水資源研究室長、世界工学団体連盟災害リスクマネジメントタスクグループ事務局伊藤一正氏、特定非営利活動法人サステイナブルコミュニティ総合研究所角本孝夫理事長には貴重なご意見と資料の提供をいただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁、台風第12号による大雨、2011年9月7日：
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/new/jyun_sokuji20110830-0906.pdf
- 2) 消防庁、台風第12号による被害状況及び消防機関の活動状況等について（第17報）、2011年12月15日：
<http://www.fdma.go.jp/bn/data/%E5%8F%B0%E9%A2%A8%E7%AC%AC12%E5%8F%B7%E3%81%AB%E3%82%88%E3%82%8B%E8%A2%AB%E5%AE%B3%E7%8A%B6%E6%B3%81%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6%EF%BC%88%E7%AC%AC17%E5%A0%B1%EF%BC%89.pdf>
- 3) 日本貿易振興機構ホームページ、日タイ洪水復興セミナー タイ大洪水 ー早期復興に向けた現状と課題ー、2011年12月27日：http://www.jetro.go.jp/world/asia/th/flood/pdf/material_20111227.pdf
- 4) 国土交通省ホームページ、首都圏・近畿圏の大河川流域が抱える主な課題：
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/koukikakuteibou/dai2kai/dai2kai_siryou3.pdf
- 5) 社会資本整備審議会、水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）、2008年6月：http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf
- 6) 井上素行、山地から河川、海域にわたる流砂系問題に対する実証的研究の推進、科学技術動向2009年5月号 p19-32：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt098j/0905_03_featurearticles/0905fa02/200905_fa02.html
- 7) 白石栄一、局地的な降雨観測・予測技術の動向、科学技術動向2009年2月号 p34-45：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt095j/0902_03_featurearticles/0902fa03/200902_fa03.html
- 8) 気象庁、気候変動監視レポート2010、2011年6月：
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/2010/pdf/ccmr2010_chap1.pdf
- 9) 国土交通省編、平成21年度国土交通白書、2010年7月
- 10) 気象庁、異常気象レポート2005、2005年10月：
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/2005/pdf/2005_all.pdf
- 11) 国土交通省、地球温暖化に伴う気候変動について、第7回大規模水害対策に関する専門調査会、2007年11月：
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/7/shiryou_2.pdf
- 12) 赤羽貞幸、上林好之、富所五郎、福岡捷二、沖積平野における縄文以来の河道と堤防の形成過程に関する研究、堤防と河道形成過程研究会、2008年6月
- 13) 河川堤防耐震対策緊急検討委員会、東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について報告書、2011年9月
- 14) 中央防災会議 大規模水害対策に関する専門調査会、首都圏水没 ～被害軽減のために取るべき対策とは～、2010年4月：http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/100402/100402_shiryo_2.pdf
- 15) 科学技術動向研究センター、気候変動を前提とする高潮ハザードの予測、科学技術動向2011年11・12月号 p4：
<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt126j/menu.pdf>
- 16) 堀智晴、古川整治、藤田暁、稲津謙治、池淵周一、氾濫源における安全度評価と減災対策を組み込んだ総合的治水対策システムの最適設計 ー基礎概念と方法論ー、土木学会論文集B Vol.64No.1、2008年1月
- 17) 増本隆夫、広域水田地帯の洪水防止機能の評価と将来の流域水管理への利活用（I）、『水利科学』別刷 No.315、2010年10月
- 18) World Federation of Engineering Organizations, Draft GUIDELINE FOR WATER-RELATED DISASTER RISK MANAGEMENT (FUNDAMENTALS, FLOODS, TSUNAMIS), November 2009
- 19) 国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所ホームページ、松浦川アザメの瀬自然再生：
http://www.qsr.mlit.go.jp/takeo/torikumi/azame/images/azame_h16_2.pdf
- 20) 国土交通省ホームページ、新たな海辺の文化を創造するために：
http://www.mlit.go.jp/kowan/umibe_bunka/satohama/18/main2-3.pdf
- 21) 大分県、平成20年度環境省委託業務 里海創生支援事業（中津干潟）委託業務報告書、2009年3月
- 22) 宮崎県ホームページ、耳川流域における総合土砂管理について：
http://www.pref.miyazaki.lg.jp/contents/org/doboku/kasen/dosha_shaishu/page00135.html
- 23) 国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所ホームページ：天竜川ダム再編事業、
http://www.cbr.mlit.go.jp/hamamatsu/gaiyo_dam/tenryu.html
- 24) 下坂将史、呉修一、山田正、吉川秀夫、既設ダム貯水池の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案、土木学

会論文集 B Vol.65 No.2,106-122、2009年6月

- 25) 静岡県ホームページ、サンドバイパス事業：
<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-430/040427html/sandobaipas.html>
- 26) スイス政府ホームページ、Urner Reusstal：Autobahn als Hochwasserschutz：
http://www.ur.ch/dateimanager/bwg_urnerreusstal.pdf
- 27) 吉川勝秀、都市化が急激に進む低平地緩流河川流域における治水に関する都市計画的考察、社団法人日本都市計画学会都市計画論文集 No.42-2、2007年10月
- 28) 東京大学ホームページ、2011年タイ国水害調査結果（第4報）：
http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Mulabo/news/2011/111130_4th_report.pdf
- 29) 内閣府、2008年度版防災白書、2008年7月
- 30) 内閣府ホームページ、防災情報のページ 海外災害レポート：http://www.bousai.go.jp/kouhou/h20/07/repo_02.html
- 31) 財団法人国土技術研究センター、増補改訂 欧米諸国における治水事業実施システム、2001年2月
- 32) 臼田裕一郎、防災・減災のための情報通信システムの相互運用、科学技術動向2008年2月号 p19-31：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt083j/0802_03_featurearticles/0802fa02/200802_fa02.html
- 33) 木下鉄矢、黄河治水史序説、Humanity & Nature Newsletter No.4、大学共同利用機関法人 人間文化研究機構 総合地球環境学研究所、2006年10月1日：
http://www.chikyu.ac.jp/archive/newsletter/pdf/newsletter_4.pdf

執筆者プロフィール



井上 素行

科学技術動向研究センター 客員研究官
 立命館大学 総合理工学研究機構 チェアプロフェッサー
<http://www.ritsumei.jp/>

工学博士。山岳地におけるダムへの流入土砂の予測と山地から河川、海域にわたる流砂系全体の視点に立った対策技術、水力エネルギーの有効活用について調査研究を行っている。趣味は、山歩き、菜園づくり、海水浴など。



鴨川 慎

科学技術動向研究センター 上席研究官
<http://www.nistep.go.jp/>

河川や湖沼などの防災、水資源や水環境の保全再生等に関する業務に長く携わる。2010年4月より現職にて、社会基盤に関する科学技術動向等の調査研究に従事。

シンポジウム「IEEE に見る国際競争激化とグローバル化 —研究人材の国際流動性は研究開発に影響を与えるのか—」開催報告

野村 稔
客員研究官

1 シンポジウムの全体概要

科学技術政策研究所 科学技術動向研究センターでは、今後の日本の国際競争力を考えるうえで、世界と日本の工学系の研究開発の状況を明確化するために世界最大の学協会である IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc.: 電気電子技術者協会) を対象に各種の分析を行ない、得られたデータに基づいて議論を進めてきた¹⁾。2010年3月に第1回目のシンポジウムを開催し、日本の研究開発の領域特異性や国内の人的移動の影響などについての議論を行なった。今回は第2回目としてさらに、IEEE に関して至近の変化と研究者の国際流動性の分析結果²⁾を加えて、それらの関係性や将来への影響を深く議論した。

今回のシンポジウムは、前半後半の2部構成をとり、前半で(1)「IEEE のカンファレンスと定期刊行物の分析から推測される世界と日本の研究開発の状況」と、(2)「3つの研究領域の研究者の国際流動性の比較」の発表が科学技術動向研究センターから行われた。

後半では、前半の発表内容を基にして、参加者全員によるディスカッションが行われた。ディスカッションは、議論の活発化を図るために、中心的にコメントを頂くという趣旨で、4名のコメント役を設けて進行した。コメント役は、工学系研究と大学運営の視点から原島文雄氏 (IEEE ライフフェロー、首都大学東京学長)、組織運営と組織の能力の視点から榊原清則氏 (法政大学大

学院イノベーションマネジメント研究科教授)、産業の国際競争力との関係性の視点から中馬宏之氏 (一橋大学イノベーションセンター教授)、そしてアジアの科学技術イノベーションの今後の発展性の視点から角南 篤氏 (政策研究大学院大学准教授) の各位にお引き受け頂いた。なお、本シンポジウムへの参加者は45名であった。

以下では、2章で前半に行われた発表で提示された分析結果の概要を、3章で後半に行われたディスカッションで出された各種意見の中から多数派の意見を抽出して、今後の検討すべき視点をまとめる。特に話題となったデータと提起された各種意見は、本稿の付録として掲載する。

2 日本の工学系の研究開発の多様性と流動性の現状 (前半の発表内容から)

2-1

世界の研究動向と日本(発表1)

最初に、世界の研究動向とその

中で日本の置かれている位置についての発表が参考資料¹⁾に基づいて行われた。前記したように、科学技術政策研究所では、継続的に IEEE の出版物を対象とした文献調査を行ってきており、参考資

料¹⁾はその第3報にあたる。この調査は、分析対象として IEEE の定期刊行物の分析に、新たにカンファレンス・プロシーディング (国際会議の予稿集) を加え、30年間で約150万件以上の工学系の

文献データを作成し、分析したものである。

主な内容は次のとおりである。

- 近年は明らかに情報通信分野を中心に世界全体で研究が活発化している。依然として米国は新しい研究領域を開拓し、世界の研究をリードしている。しかし、カンファレンスだけを見れば、特に中国で急増しており、2008年に中国のプロシーディング文献数が米国を抜いて現在世界1位になっている。(付録図表3)
- このような世界の動向の中で、日本は非常に特異な推移を示している。プロシーディング文献数は順調に伸び、米中に次ぐ第3位を保つ一方で、定期刊行物文献数では過去20年間横ばいで次第に順位を下げている。(付録図表2、3)
領域別の文献数についても、電気系が多く情報系が少ないなど、世界の研究の方向性とは乖離が進む傾向にある。
- 世界の電気電子・情報通信関連研究は、北米・欧州・東アジア(中国、台湾、韓国、日本+シンガポール)に3極化している。定期刊行物の文献数で、日本は、かつての圧倒的な世界2位から、現在は東アジアの中の1国の位置付けに変化している。
- 日本では大学が文献生産における主役となり、大学で量的な発展がみられるが、研究領域別にみると、長期にわたって固定的であり、独特な集中がみられ、世界からの乖離が進んでいる。また、カンファレンスの文献数のみが急増し、カンファレンスの発表でとどまり、定期刊行物での論文の伸びにつながらないという傾向がある。(付録図表3~5)

- 日本の文献生産の主要企業でみると、事業再編とR&Dの戦略的な国際展開がうかがえる。例えば、日本が相対的に弱い情報通信分野の研究を海外に求める企業も出てきている。裏返すと、日本国内で新たな研究領域や研究開発の主要な担い手が現れていないという懸念がある。

2-2

研究者の国際流動性(発表2)

続いて、研究者の国際流動性の分析結果についての発表が参考資料²⁾に基づいて行われた。参考資料²⁾では、研究者の国際流動性を、研究者の学位(学士・修士・博士)の取得国・組織と最新の論文発表時の所属組織との関係から分析している。分析対象領域としては、応用が拡大する次世代産業としての「ロボティクス」、画像認識など研究成果を基にしたベンチャー企業の設立が多い「コンピュータビジョン」、エレクトロニクス産業を支える研究領域としての「電子デバイス」の3領域が選択されている。これら研究領域における科学的インパクトの大きい代表的な論文誌から、各領域約2,300名、合計7,000名に及ぶ論文の著者履歴データを作成して具体的な国際流動性が示されている。

各研究領域における世界と日本の流動性については、主に次のような調査結果となっている。

- ロボティクス領域
世界のほとんどの大学は研究者を受け入れるとともに海外に輩出している。ほかの2領域では受入組織と供給組織は分かれているが、この領域は、受入組織と供給組織がほぼ一致している。日本でみると、東京大学に

所属する研究者数が世界で最も多いが、国際的な移動はほとんどみられない。

- コンピュータビジョン領域
中国の組織が世界に多くの研究者を供給している。清華大学、中国科学院が典型例である。また、大学および企業が国外の研究者を受け入れている。大学では特に米国・英国・シンガポール・香港の大学の受け入れが目立つ。企業では特にMicrosoft社が国外で教育を受けた研究者を数多く受け入れている。
- 電子デバイス領域
大学以外にも、国際研究機関や企業が多く研究者を受け入れている。研究機関の典型例としては、IMEC(ベルギー)、MINATEC(フランス)などがある。また、企業の典型例としては、NXP社・STMicroelectronics社(欧州)、TSMC社(台湾)、IBM社(米)、Samsung社(韓)などがある。
日本では企業にも大学にも研究者が多いが、ほとんど流動していない。日本の企業には多くの研究者が所属しているが、国外で教育を受けた研究者を受け入れている。日本の大学は、国際流動性も国内の流動性も低い。(付録図表6~8)
- 全体としての日本の特徴
いずれの領域を見ても日本は各国に比べて研究者の国際的な移動が少ない。ロボティクスと電子デバイス領域は、日本の国際競争力が高い領域であり、米国に次いで研究者数が多いが、流動量は他国と比較すると少ない。日本の大学は、世界の主要大学と比較すると、国内の組織間流動性も他国に比べて低い傾向にある。特にロボティクス領域で自校出身者が多い。(付録図表6~8)

3 ディスカッション (後半の内容から)

以下では、ディスカッションで提起された各種意見の中から、多数派の意見を中心に採り上げて示す。

国際競争力に関する発表1において、カンファレンスの文献数は上昇しているが、定期刊行物は長期横ばい状況であること、企業の研究者が大学に移って以前と同じ研究をしているように見えること、また、大学の研究は特定領域へ特化しており多様性は見えないこと、などが問題視された。それらの要因としては、カンファレンスへの参加が定期刊行物の論文にまで到らないのは、研究する層の質が低下したか、または論文化過程でのメンタルな辛さに耐えられない、あるいはカンファレンス後に日本の論文に提出して終了としている傾向がある、などの懸念が出された。また、問題視されたような現象は、工学系に限らず、経済学でも見られると指摘された。多様性が見えない研究活動に関しては、研究テーマが固定化されている実態があり、その一因は大学の閉鎖性にもあるとの意見が出された。今後への懸念として、横ばいより低下し、研究活動の弱体化が進むだろうとの悲観的な推測もあった。

流動性に関する発表2においては、諸外国の流動性は活発化しているのに対し、日本はどの領域にも活発な流動は見えないこと、どの領域でも研究者が日本の組織に留まる傾向にあることなどが問題視された。その要因として、世界中の研究者が自由に移動し始めた

とき日本だけその動きから取り残されたことが挙げられた。キーパーソンによるほかの研究者の流動性加速という傾向が世界にはあるが、日本ではこのようなことが起きていないと指摘された。

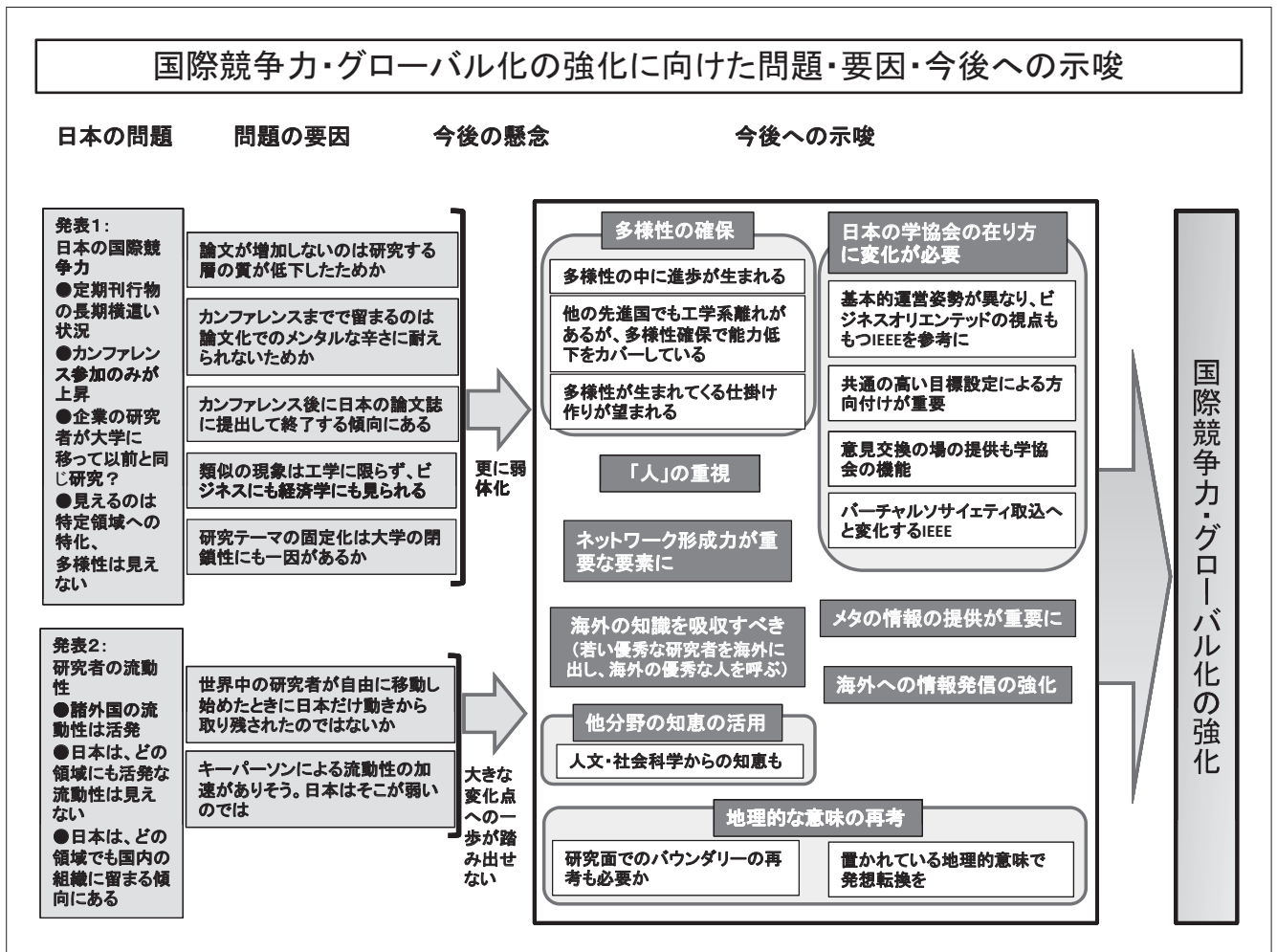
両発表を総合的に見て、今後の検討への示唆として、以下の諸点が挙げられた。

- 多様性を確保する仕掛けが必要
多様性のない社会に進歩はない。ほかの先進国でも工学系離れがあるが多様性で能力低下をカバーしている実態がある。したがって、多様性を確保する仕掛け作りが望まれる。
- 日本の学協会の在り方に変化が必要
IEEEの学協会を参考にして、運営姿勢、ビジネスオリエンテッドな視点、意見交換の場としての性格、高い目標設定による方向付け、などの特徴のうち、良いところを採り入れ、日本の学協会の在り方も変化が必要である。
- メタの情報の提供が重要に
「自分たちの活動している様子を第三者的に眺められるようなワンランク上の抽象度の視点」、「研究成果の意義・意味をより多くの人に分かりやすい抽象度まで上げること」などをメタ情報と言う。その発信・提供が、複雑に変化していく時代の動きを敏感に感知し、変化への対応をスピーディに進めるために重要である。特に、学協会の変化にはそうしたメタ情報の発信・

提供が必要である。

- 「人」の重視
日本では、一人一人の人をどうするかという発想が不足している。個人を軸にした発展を目指すことが重要である。
 - ネットワーク形成力が重要な要素に
ネットワーク性を向上・強化すれば、流動性の低い今の日本の状態をカバーできる可能性もある。その場合、ネットワークをいかに構築するかという形成力が今後一層重要になる。
 - 海外の知識を吸収すべき
海外の知識をもっと吸収するために、若い優秀な研究者を海外に出すべきであり、また海外の優秀な人を日本に呼ぶべきである。
 - 他分野の知恵の活用
科学者やエンジニアの領域だけでは解決できないような大きな変化に遭遇しつつある（または今後遭遇する）。これには、人文・社会学者の知恵も結集して対処して打開していくべきである。
 - そのほか、海外への情報発信の強化や日本の地理的な意味の再考が必要であろうとする意見も出された。
- 以上のディスカッションで得られた各種意見に関して、問題の要因・懸念・今後への示唆あるいは重要視すべき視点をとりまとめた内容を図表1に示す。

図表1 各種意見からみた問題の要因・懸念・今後への示唆



シンポジウムの議論を基に科学技術動向研究センターにて作成

4 おわりに

「IEEE に見る国際競争激化とグローバル化」をテーマにしたシンポジウムが開催された。具体的データの発表内容を基にしたディスカッションを通して、現状の問題点やその背景などが明らかにされ、今後の改善へ向けての検討の視点が示された(図表1)。ただし、これらは限られた情報ソース、および限られた参加者の意見の抽出

という限界がある。今後、これらの視点の吟味や不足している視点の充当など、さらに検討の深掘が必要であり、さらに具体案の議論が必要であろう。本資料が、今後の検討の一助になれば幸いである。

謝辞

シンポジウムの開催に際し、コメンテータをお引き受け頂いた、

首都大学東京原島文雄学長、法政大学大学院イノベーションマネジメント研究科榊原清則教授、一橋大学イノベーションセンター中馬宏之教授、政策研究大学院大学角南篤准教授をはじめ、貴重な意見やコメントをいただいた多くの出席者の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

付録：ディスカッションの内容

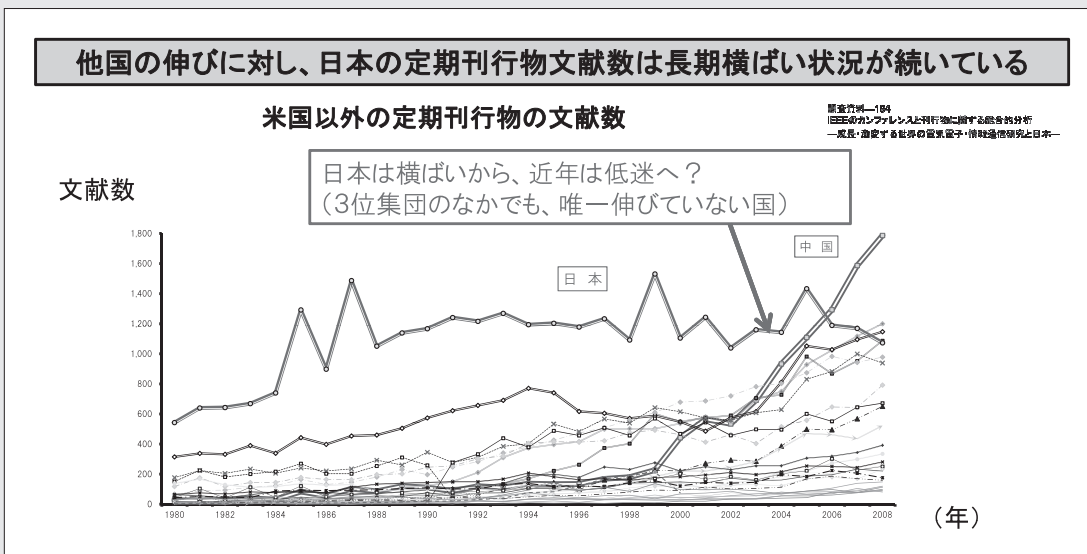
以下に、当日のディスカッションの内容を示す。問題の要因、今後起こりうる懸念、今後への示唆などに関する意見に分け、類似する意見をまとめて示す形式をとっている。尚、個々の意見については、極力、発言された表現を活かし、一方、まとめでは趣旨に沿った集約的表現としている。

A) 発表1「世界の研究動向と日本」を基にしたディスカッション

(1) 問題点の指摘

下記の図表2～図表5などが主な議論の対象となった。

図表2 定期刊行物文献数の長期横這い状況



発表1の資料³⁾から

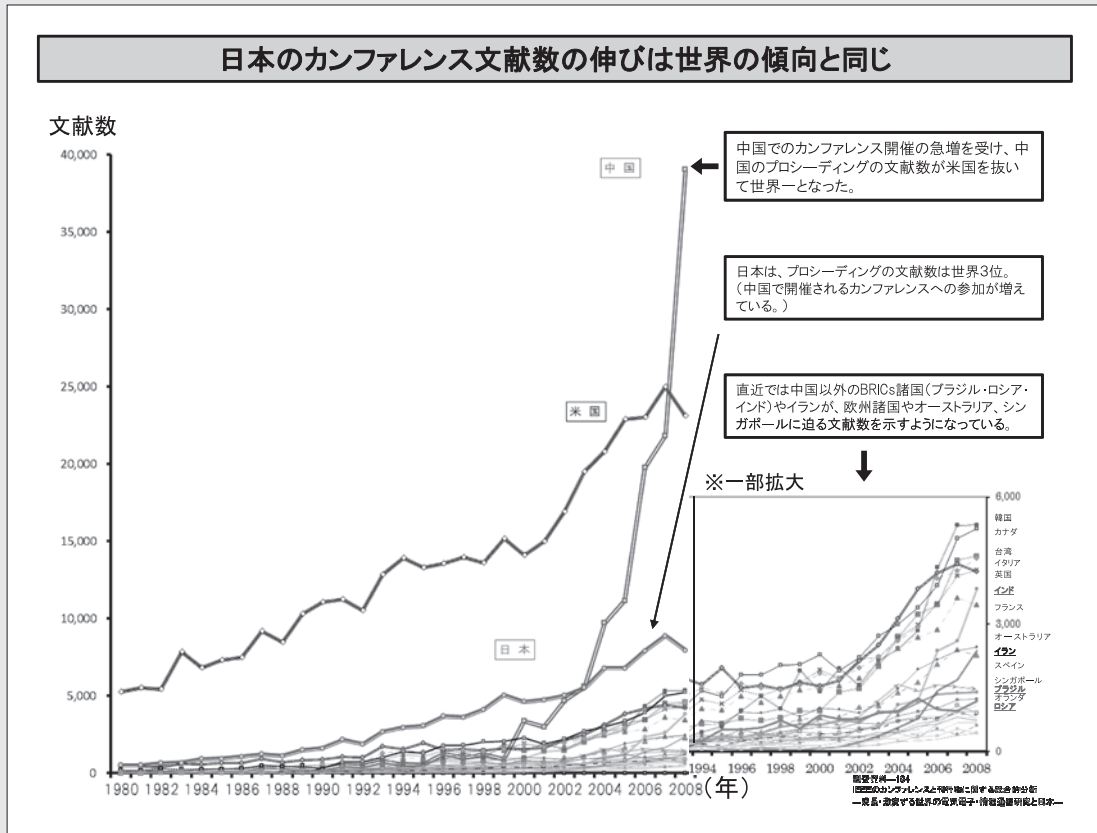
(2) ディスカッションの論点

ディスカッションは以下の論点を中心に行われた。

- ①日本の工学系の研究開発は、長期の横ばい状態・研究領域の偏りなどが見られるが、今のままの状態を継続するとどうなるだろうか？
- ②工学系以外にも、長期の横ばい状態・領域の偏りなどが見られる分野・領域があるだろうか？あるいは研究開発以外にも、同様な傾向があるだろうか？
- ③日本の工学研究者（特に大学の研究者）の研究パターンは、今のままでよいだろうか？
- ④今後、具体的に改善できることがあるとすれば、どういうことだろうか？

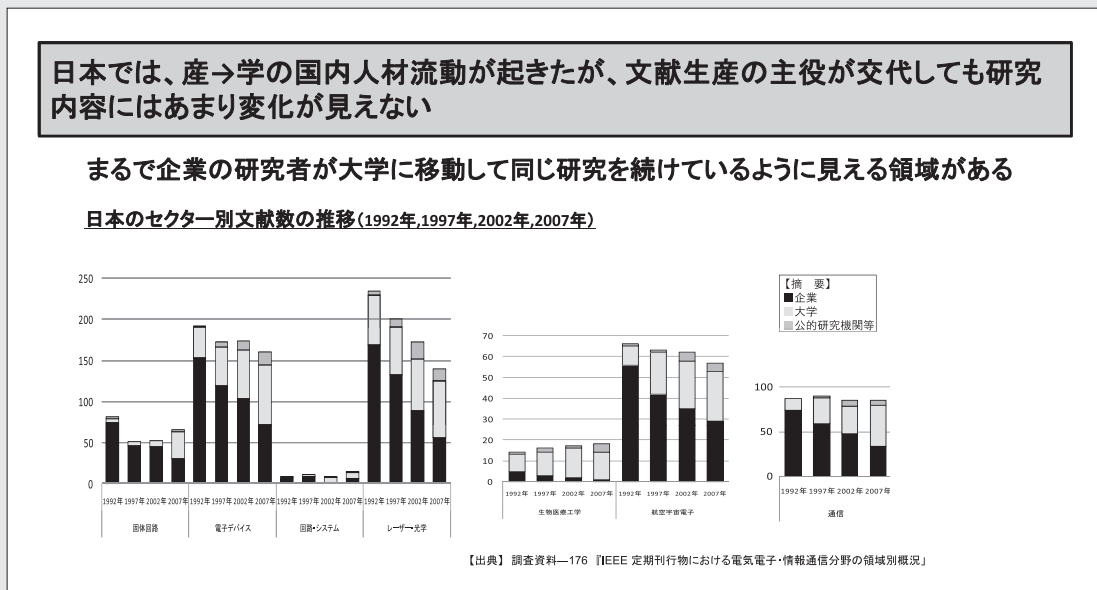
論点①～④を基に提起された意見を以下にまとめて示す。(記述は各論点对応ではない)

図表3 カンファレンスの文献数の上昇傾向



発表1の資料³⁾から

図表4 文献生産の主役交代と研究内容の変化

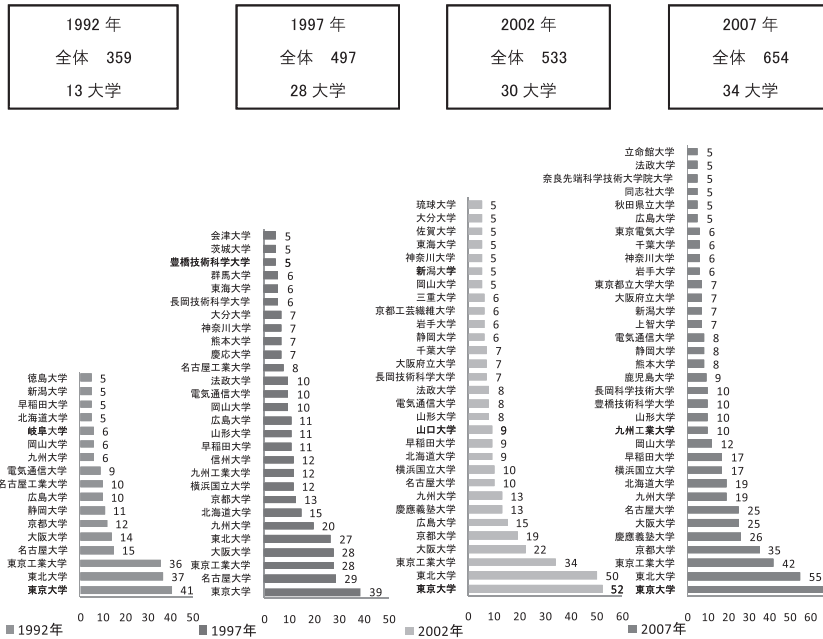


発表1の資料³⁾から

図表5 論文を出す大学数の増加と特定領域への特化傾向

量的には発展する一方で、多様性がみられない大学の研究

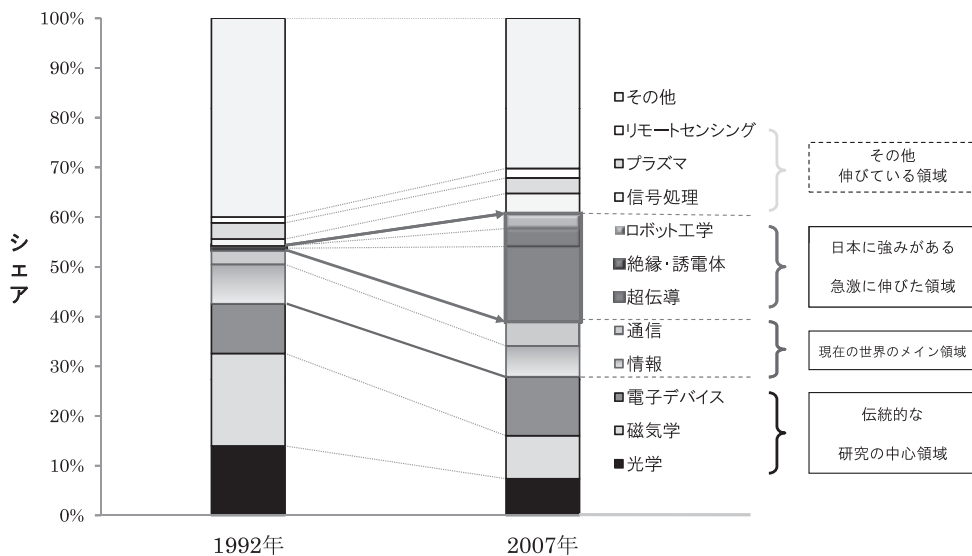
論文を出す大学の数は増加



1992年、1997年、2002年、2007年における論文数が5以上の大学について抜き出して記載。

大学における研究領域別の文献構成

- 全体的には超伝導など特定領域へ特化する傾向が見られ、研究領域が多様化していく様子がみられない。



【出典】科学技術動向 2010年10月号『日本の電気電子・情報通信分野における研究活動の変化』 <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt115j/report2.pdf>

発表1の資料³⁾から

(3) 問題の要因に関する多数派の意見

- ・カンファレンス数増の理由は電子化、イースタンブロック解消、中国で安価に
 - ▶カンファレンス数が多いのは、インターネットと電子化の過程でカンファレンスを開くことが非常に容易になった要因がある。航空運賃が下がったこともその動きを後押しした。特にイースタンブロック (Eastern Bloc: 東側諸国のこと) が無くなったことで、移動がより自由になった。そして、IEEE が収益性の高いカンファレンスを重要視するようになった。特に中国開催が多いのは、会費は同じでも収益性が大きいためもあるだろう。
- ・日本の論文が増加しないのは研究する層の質が低下したためか
 - ▶日本の電気電子情報領域は、長く衰退傾向にある。衰退の原因の最初の出だしは工学系離れであり、その人たちが既に 40 歳を過ぎている。40 歳代後半から 60 歳にかけてのこの分野のリーダーはまだ優秀と思われるが、実際に研究する層の質が低下している懸念がある。論文を書かないのではなくて、書けないのではないか。
- ・カンファレンスまでに留まるのは論文化でのメンタルな辛さに耐えられないためか
 - ▶カンファレンスから定期刊行物の論文化までの辛さに耐えられない研究者が増加しているのではないか。カンファレンスから論文にする時には査読の辛さがあり、膨大なやり取りをすることになる。しかも昔と違って、ネット化により非常に高速にやり取りをする。このようなメンタルな辛さに耐えられない研究者がいるのではないかという気がする。本質的には研究能力の低下ではないかと思う。
- ・カンファレンス後に日本の論文誌に提出して終了する傾向がある
 - ▶カンファレンスに多く出しても定期刊行物の英語論文が増えないのは、この分野の研究者は、国際カンファレンスに出した後に日本の論文誌に出して終わっているというパターンが多いという指摘も聞く。
- ・類似の現象は工学研究に限らず、ビジネスにも経済学にも見られる
 - ▶半導体でも ASIC と言われるカスタマイズされた製品から ASSP とか FPGA だとか、デュアルパスのものにシフトしてきて、それが様々な形で社会を変えていく。そういう変化になかなか気付かない。ビジネスでも領域の中での次の一步を踏み出す勇気がなかなか出ない。類似の現象は、工学的な研究開発だけではなくて、あらゆる所に見られる。
 - ▶ある組織上の限界に我々が直面していて、その限界を打ち破らない限り、まるでフラクタル構造のように、学問だけではなくてビジネスにも同じような現象が現れる。それは経済学の中でも同じように見られる。
 - ▶工学とか研究開発などだけでなくもっと深い要因があるのでは？日本の国民特性によるのかもしれない。
- ・研究テーマの固定化は大学の閉鎖性にも一因があるか
 - ▶日本の研究テーマが変化しにくい要因について、一つには大学の閉鎖性もある。例えば、一つの大学に長期間、同じ教授が居ることで 20 年変わらないテーマがある。また、企業から大学に来られることがあり、これはポジティブに捉えると良いことなのだが、企業で研究部長などをやられた方が大学に来ると、そこで教える研究テーマは一時代前の話になるため、大学のレベルを下げてしまう場合がありうる。
- ・多様性 (ダイバーシティ) が欠如している組織は退化する
 - ▶最大の原因はもうダイバーシティに欠けたこと、多様性に欠けたこと。ダイバーシティがないと退化する。多様性を理解して尊敬してないような集団というのは必ず退化する。

(4) 問題の背景に対する別の見方

- ・横ばいの背後には他分野開拓の努力もありそう

▶横ばいというが悪いことなのだろうか？分野の型にはまるのを嫌う先生の行動形態を見ると、優秀な先生ほど既存分野に出す論文が減っていき、他分野を開拓して必要な論文を学生と一緒に書いてもいる。また、仕事のかなりの部分は論文にならないことをしているように見える。したがって、旧来の分野での論文シェアが落ちていくことが本当に悪いことなのかどうかはわからない。

(5) 今後起こりうる懸念に関する意見

▶このままの状態が続くと、横ばい傾向などではなく、さらに弱体化すると懸念される。

(6) 今後への示唆に関する意見

・多様性の中に進歩が生まれる

▶多様性のない社会に進歩があるわけではない。ガラパゴス状態の中には進化はあっても進歩はない。

・ほかの先進国でも工学系離れがあるが多様性確保で能力低下をカバーしている

▶ほかの先進国でも工学系離れは進んでいる。例えば米国の大学での優秀な人を見ても、米国生まれの人に滅多に会わない。しかし、総合的にはあれだけ強い。これはまさに多様性の効果である。

▶海外のほかの先進国の場合は、能力が落ちても、流動性においてカバーし、それによって多様性を得て、そこに合った新しい能力と付加価値を加えたのだろう。

・多様性が生まれてくる仕掛け作りが望まれる

▶多様性がおのずと生まれてくるような、そういう仕掛け作りが大切である。大学のプレゼンスを見えるようにし、ガバナンスにもどう刺激を与えていくのか、どういう流れに世界は動いているのかを知り、どう動くとお金も付くのか人も集まってくるのかというような仕掛けである。そのような成功例を少し見せていくことが必要である。

・海外の知識を吸収すべき（若い優秀な研究者を海外に出し、海外の優秀な人を国内に呼ぶ）

▶韓国は、30年ぐらい前に、すべての理工系の大学の先生を1年間米国か日本か欧州に留学させるよう仕向けた。その結果、海外の研究テーマを国内に持ち帰った結果として、あれだけ急速に進歩した。こうしたように、ほとんどを1年間海外に出すといった強制処置で改善していくしかないだろう。若い優秀な研究者はできる限り海外へ出し、帰って来なくとも海外で活躍してくれれば良いとすべきだろう。また、日本国内の若い人の教育のためには、海外の優秀な人を呼んでくる必要がある。こうしたところから始めた方が良いのではないか。それだけ日本は国際化から取り残されている。

▶何も無理に日本人学生を工学部に行かせなくとも良い。本当に必要な優秀な人は海外から呼んで入れるべきではないかと思う。ほとんどの先進国はそれをしたわけだが、日本だけはそうしなかったから、その分落ち込んでしまったと考えられる。

・前向きに発想を転換して打開すべき

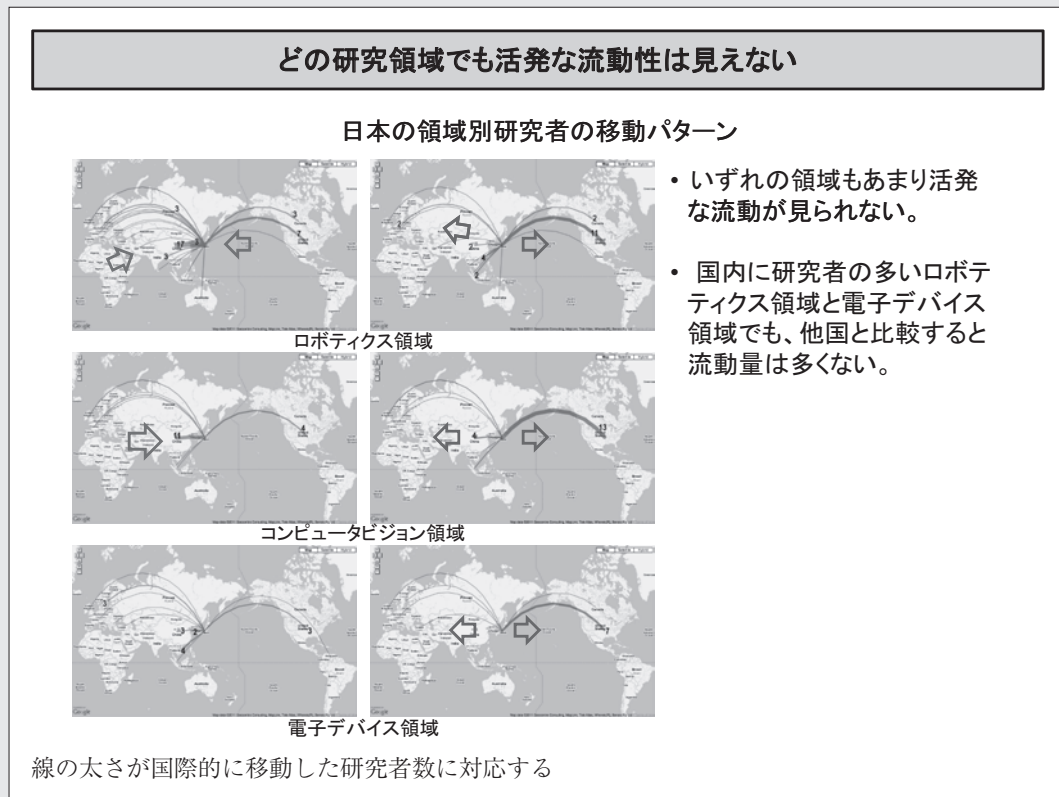
▶かつて、家庭電気製品では、ほとんど全てが米国で発明され、日本の会社が取って代った。今は、韓国・台湾・中国などが日本に対して同じことを起こしている。憂えていないで、このような時に、次の産業やイノベーションを我々は起こせるはずである。

B) 発表2「研究者の国際流動性」を基にしたディスカッション

(1) 問題点の指摘

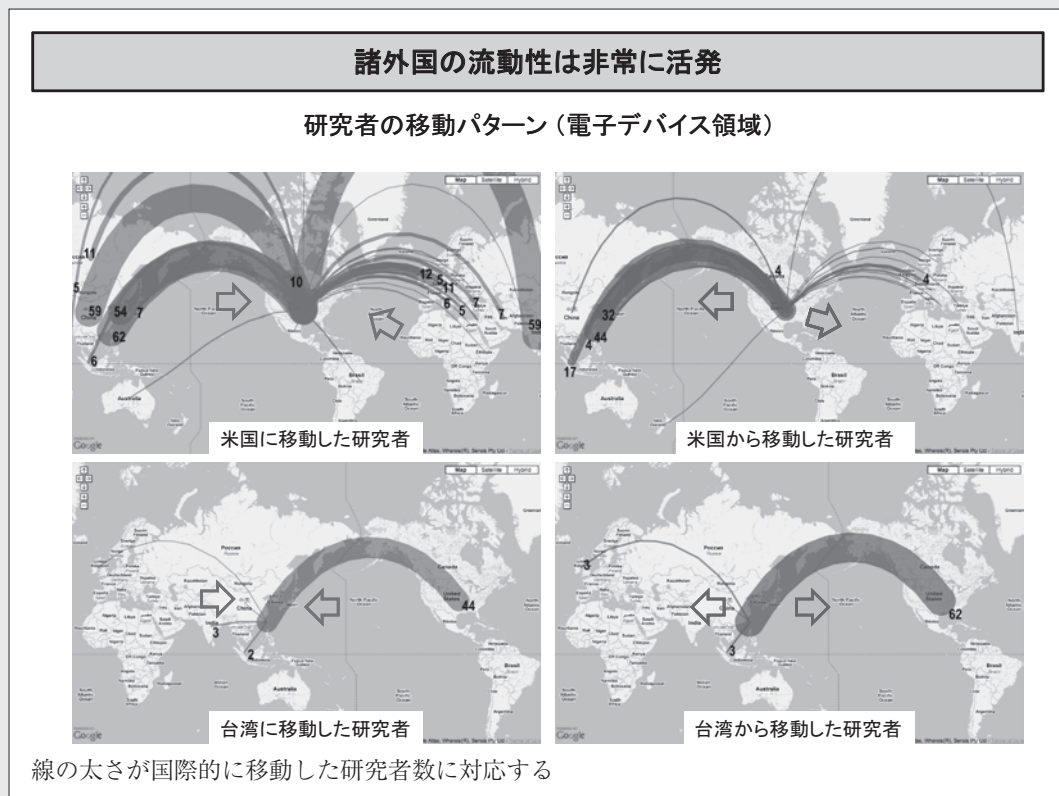
発表2の分析結果で提起されたうち、下記の図表6～図表8が主な議論の対象となった。

図表6 日本の研究者の移動パターン



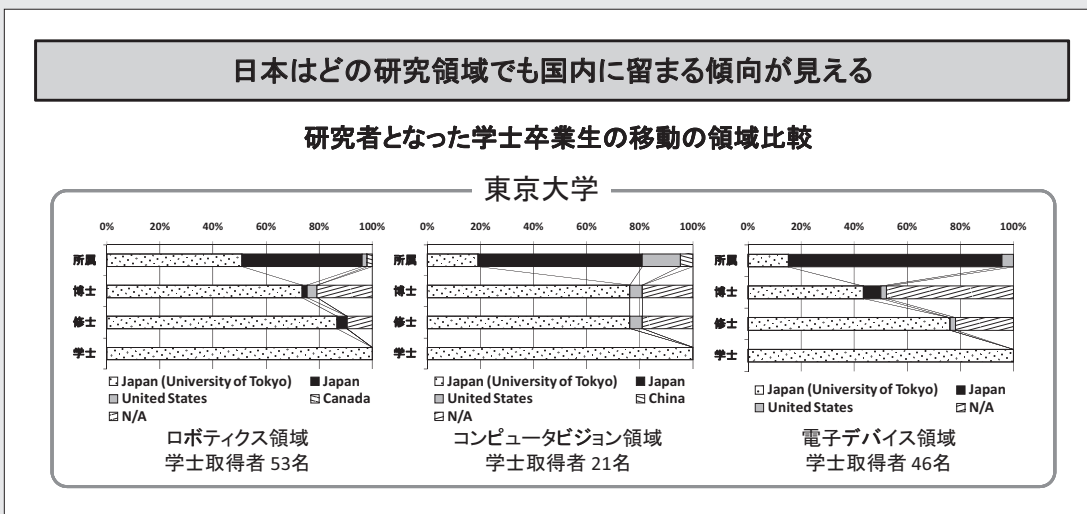
発表2の資料⁴⁾から

図表7 諸外国の研究者の移動パターン（電子デバイス領域の例）



発表2の資料⁴⁾から

図表8 日本の研究者の進路



発表2の資料⁴⁾から

(2) ディスカッションの論点

ディスカッションは以下の論点を中心に行われた。

- ①日本全体の研究開発にとって、研究人材の国際流動性は、なんらかの影響を与えてきたと考えてよいか？
- ②各組織の研究開発にとって、研究者の国際流動性の影響は、どのように現れてくるだろうか？それによって、組織はようになっていだろうか？
- ③東アジアは、世界の工学の三極のうちの一極を占めるようになった。今後のアジアの発展に対して、日本のグローバル人材育成戦略は、どうあるべきだろうか？
- ④グローバル化の進む日本の産業界にとって、研究人材の大学・大学院在学中の国際的な経験は、どの程度必要だろうか？

論点①に関係する議論が活発であり、論点②～④に関する意見の提起はほとんど無かった。

(3) 流動性と多様性に相関があるとする意見

- ・世界中の研究者が自由に移動し始めたとき、日本だけその動きから取り残されたのではないが
 - ▶イースタンブロックが崩壊した1990年以降、世界中の研究者が自由に移動し始めたとき、日本だけがその動きから取り残されたと言える。日本以外では、研究のやり方からテーマの設定に至るまで、非常に多様性のある社会の中でディスカッションが行われてきた。
 - ▶現代の文明は、異なる価値観を理解し合い、尊敬してその中から次の価値観を見出すという方向に向かっている。したがって、多様性は進歩の必要条件である。現在の日本にも、かなりそれが必要である。
- ・キーパーソンによる流動性加速の側面がありそうで日本はそこが弱いのでは
 - ▶例えば電子デバイス領域では、2008年-2009年の台湾と韓国に大きな流れがあったが、もう少ししばらく、ダイナミックに移り変わっていく様子を見る必要があるだろう。例えばシンガポールの場合、ある研究者が米国の大学から移ってきて、しかも大勢の人を連れてきた。同じようなことが韓国にも台湾にもあり、そこが太いパイプになって、国際間で研究情報のキャッチボールをするようなことが、歴史的な段階として起こり、その結果として今日の図がある、という背景を知るべきである。どういう風にしてあのような循環が起こっているかということをより詳しく見るべきである。

- ▶今、ベトナムのサイゴンに注目している。シリコンバレーで経験を積んだキーパーソンが戻ったので、これから変わり始めるだろう。日本で欠けているのは、ボリュームではなくて、そういう人、スター的な人が、なぜそのようなことができないのかであり、そこに何かあるのかもしれない。
- ▶ある程度のボリューム感は日本にはまだある。しかし、この人がというのが見えず、ボリュームが大きいという感じがある。ボリュームが小さいのにキーパーソンがいるから大きい存在という国とか組織とかがあることに比べ、日本はメタボな感じがする。

(4) 流動性と多様性の相関を疑問視する意見

・流動性は頻度から測れるのか

- ▶国際流動性が高いということがどういう意味を持つのかということは、流動性の起こり方とか、頻度を見ているだけでは議論できないのでは？
- ▶中国にしても香港にしても、元々のその社会制度が国際流動性をベースにして出来ている。研究開発とは別の議論が必要。

・流動性が高いから即多様性が高い、とは言えない

- ▶流動性が高くても多様性が高いと明確には言えないのでは？組織間の移動を経験している人や、流動性の高い人は、流動しなかった人よりも業績が低いという論文もある。むしろ、その移動のパターンがある種のワンパターンであり、研究が活発な活動期間ではなくて、シニアになられてから、企業から大学に移動するというような定型化したパターンが多いからではないかと思う。
- ▶流動性の高い国において、低流動性の状態から、流動性の高い状態に変化したことによって、具体的に何の変化があって競争力に何か影響を与えたのか、あるいは元々ある非常に流動性の高い条件のもとで、何か別のソースになるような状況が起きているのか、その辺を丁寧に見て行くことが必要であろう。
- ▶短期間の国際流動性という一つのスナップショットの現象だけでは議論にならない、何かを実行し、生み出していくそこにコミュニティが出来てきて、それが10年、20年と続いてくると、何か一つのダイナミズムになっていくということもある。

(5) 今後起こりうる懸念

・日本は大きな変化への一歩が踏み出せないのでは

- ▶半導体デバイスでは、ある集積度を超えると革新的変化が起き、イノベーションの力がある時期に非線形的に大きく拡大する。そういう「潜在的な状態の変化」が起こっていく様子が見えないことで、日本は次のステージになかなか行けないのではないか？

(6) 今後への示唆

・ネットワーク形成力が重要な要素に

- ▶エレクトロニクスや通信機器の製品というのは、ネットワーク外部性が強い。したがって、研究開発もネットワーク外部性が重要である。このような動きの輪が広がっていき、あるところでクリティカルマスを超えると一気に便益が増すという状態が実現されているのではないか。これは地域の問題ではなく、どのようにそのネットワークを形成するかのプロセスが重要で、これに日本が取り残されているのではないかと感じる。研究開発のネットワーク性をどう構築するのかという議論が必要である。
- ▶流動性以外にそのネットワーク性を向上させる方法があるならば、それを強化すれば、今の状態をカバーできるのではないか？
- ▶ある種のネットワーク外部性が発生して、その世界の中のネットワークを形成して、結果として、全体の動きがその効果に引き寄せられてくるというようなことが実際に起こっている。ネッ

トワーク性の向上には、メタな情報交換がかなり大きく効いている。(後述の注2参照)

注1：発言者はこの議論での研究開発の「ネットワーク外部性」について、研究開発の結果として生まれる製品のネットワーク化だけでなく、研究開発組織のネットワーク化を行えば寡占的な競争力が生まれること、すなわち、デファクトスタンダードが形成されうる、ということ意識している。

・人文・社会科学からの知恵も

▶もう暫くすると、日本の多くの産業においても、サイエンティストやエンジニアの話だけではなくて、人文・社会学者の知恵も結集していかなければいけないような「潜在的な状態の変化」に遭遇するのではないか。そういう段階までに、産業の競争力が落ちてくるというのが、これまで我々が直面してきた歴史なのではないか？

・研究面でのバウンダリーの再考も必要か

▶日本というバウンダリーをこの島の中だけで考えてよいだろうか？例えば2001年にMicrosoft社が北京に研究所を作り、日本の研究者がそこに移っている。そこでは、日本と同じ研究環境ができていて、中国に存在するからといって日本人が日本で研究するのとなんら変わらない。中国の一部がより日本に近くなってきていて、そこでは自由に研究ができて、日本の学生もそこで色々な研究をし、ディスカッションをしている。

C) さらに深掘すべき視点に関するディスカッション

(1) ディスカッションの論点

- ①人材の流動性以上に、日本の研究開発に大きな影響を与えている要素があるとしたら、何が考えられるか？
- ②グローバル人材育成に関して、各セクター・各組織には、どのような具体的な戦略が考えられるか？
- ③なにかしらの数字目標が必要か？必要だとすれば、どこにどのような数字目標を設定すべきか？

論点①②に関係する議論が中心的であり、論点③に関する意見の提起はほとんど無かった。

(2) 提示された視点

・基本的運営姿勢が国内学協会と異なり、ビジネスオリエンテッドの視点ももつ IEEE

▶日本の学協会の役割というのは、トランザクションとカンファレンスのみであろう。一方、IEEEは職能組合の要素を兼ねていて、電気・電子のエンジニアが、職を探したり移動したりもする。その部分が、日本の学協会ですべて欠けているのではないか。

▶IEEEはNPOであり、自分で自分の生存を考えている。つまり、WHO is your customer? ということに常に考えている。そのため、一般の人が読んで分かるような物を出版しようということが基本にある。このようにカスタマーオリエンテッドでやっていくこと、ある程度はビジネスオリエンテッドの視点でやっていくことが、日本の学協会でも必要であり、そうでないとやっていけないのでは？

▶特定の企業から寄付をもらってはいけないとしている。特定のスタンダードとか何かに対して利益を提供することが禁じられているのである。日本の学協会は、企業別学協会のようなあり、特定企業から財政的なサポートを受けている例もある。日本でも学協会運営スタイルを世界の常識に合わせていくべきでは。

・意見交換の場の提供も学協会の機能

▶IEEEのコンピューターソサエティは、そこだけで20万人も会員が属している学協会であり、各国に支部があって、みんながそこに集まっていろいろ意見交換するという場を提供している。

・共通の高い目標設定による方向付けが重要

- ▶ 米国では世界のトップを目指そうという極めて単純な目標があって、学協会が、そういう教育や目的のためにそのプロフェッショナルソサイエティとして動いている。
- ▶ 昔の応用物理学会の例であるが、色々な分野の研究者が集まり、米国に勝つこと、特に米国最大のベル研に勝つことをゴールにしていた。共通の目的で、日本全国の全体的な技術の流れが出来て、米国を抜こうという共通意識によって結果的には米国を一時的に抜くことができた。どこを目指すかという目標が低いとそれなりのことしかできない。学協会が世界のトップを目指すという目標をもつことが大切であり、それがあればプロフェッショナルソサイエティとしてうまく働くのではないか。
- ・ バーチャルソサイエティ取込へと変化する IEEE
 - ▶ IEEE ではネットワーク上にバーチャルソサイエティができてきている。今後は、2 ディメンショナルな組織構造になっていく動きがある。
- ・ メタの情報の提供が重要に
 - ▶ IEEE では、例えば標準化の活動にまでかなりコミットしていくなど、色々な形で学協会が果たす役割がある。そういう活動を通じて、自分たちが行っている部分をよりメタで見えるようにすることが必要と思われる。そういうメタの情報が不足すると、同じところに固執してしまうというようなことが起きがちである。メタの情報を如何に提供するかを議論すべき。
 - ▶ スペクトラムなどの雑誌や American Physical Society のウイークリーレビューなどは、何らかの形で素人にもこういう動きがあると伝えている。このように研究者外にもメタ情報で伝えてくれるものが必要ではないか。そういうものがないと社会科学の研究の中で科学技術を議論できない。日本の中でそのようなものを探そうとするとなかなかみつからない。
 - ▶ メタ情報の形で起きていることを伝えないと、変化のスピードは速くならない。

注2：発言者は「メタの情報」を、「自分たちの活動している様子を第三者的に眺められるようなワンランク上の抽象度の視点」、「研究成果の意義・意味をより多くの人に分かりやすい抽象度まで上げること」という意味で用いている。

- ・ 「人」の重視
 - ▶ 日本が一番の問題点は、一人一人の「人」をどうするかという発想に欠けることである。海外の注目点は、基本的には「人」である。M&A の場合でも、利益だけではなくて、「人」を一緒に移動できるからこそ効果がある。日本は、あまりそうした発想がない。もう一つ、特に日本の大学や大学院の非常に不得意な点がチームワーク作りである。実際に研究開発を行うのは「人」である。
 - ▶ 今、ベトナムのサイゴンに注目している。シリコンバレーで経験を積んだキーパーソンが戻りつつあることから、これから変わり始めるだろう。日本で欠けているのは、そういうスター的な「人」の移動である。問題は、なぜそのようなことができないのかであり、そこが何か要因があるのかもしれない。
 - ▶ 人材のある程度のボリューム感は日本にはまだある。しかし、「この人が」というのが見えにくい。
- ・ 海外への情報発信の強化
 - ▶ もっと海外に多くを発信する、あるいはきちんと受信するという努力が必要である。極端に言って、今は内向きであり、ともすると、過去に鎖国したからまた鎖国を、というような議論が出るのがおそらく一番まずい。
- ・ 日本の置かれている地理的意味を基にした発想転換を
 - ▶ 個人的には日本は辺境地域だと思っている。辺境だからこそ強いところもあって、利点が出せるのにその為の努力を払ってないというようなことが、一番問題ではないか。

参考文献

- 1) 調査資料 194 IEEE のカンファレンスと刊行物に関する総合的分析—成長・激変する世界の電気電子・情報通信研究と日本— (2011年6月 科学技術政策研究所)
- 2) 調査資料 199 研究者国際流動性の論文著者情報に基づく定量分析—ロボティクス、コンピュータビジョン及び電子デバイス領域を対象として— (2011年8月 科学技術政策研究所)
- 3) IEEE 刊行物にみる電気電子・情報通信分野の世界の研究動向と日本 (2011年9月15日 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター 白川展之)
- 4) 研究者国際流動性の論文著者情報に基づく定量分析 —ロボティクス、コンピュータビジョン及び電子デバイス領域を対象として (2011年9月15日 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター 古川貴雄)

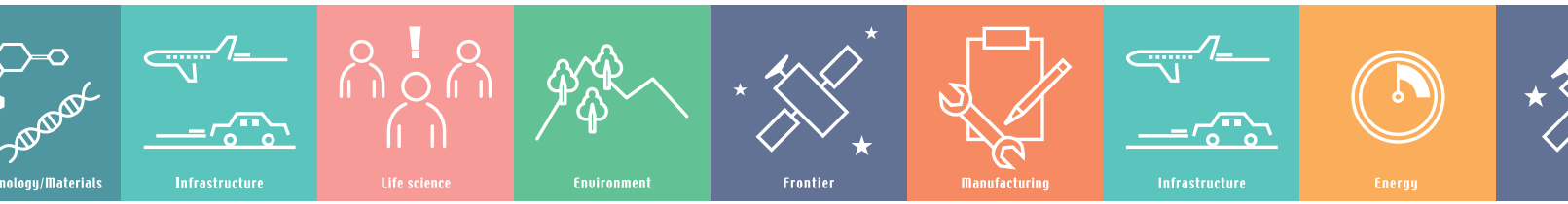
執筆者プロフィール



野村 稔

客員研究官
科学技術動向研究センター
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

企業にてコンピュータ設計用CADの研究開発、ハイ・パフォーマンス・コンピューティング領域、ユビキタス領域のビジネス開発に従事後、現職。スーパーコンピュータ、LSI設計技術等の科学技術動向に興味を持つ。現在、科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」に関する研究に従事し、研究開発もたらす社会的・経済的効果の定量化・可視化に取り組んでいる。



Science & Technology Trends

科学技術動向 1・2/2012

科学技術動向 No.127 2012.1-2



文部科学省 科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター

2012年1・2月号 第12巻第1・2号/隔月発行 通巻127号 ISSN 1349-3663

