

日本の展望—学術からの提言 2010

提言

地球環境問題



平成22年（2010年）4月5日

日本学術会議

日本の展望委員会

地球環境問題分科会

この提言は、日本学術会議 日本の展望委員会 地球環境問題分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議 日本の展望委員会 地球環境問題分科会

委員長	河野 長	(連携会員)	東京工業大学グローバルエッジ研究院特任教授
副委員長	鷺谷いづみ	(第二部会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
幹事	中島 映至	(第三部会員)	東京大学気候システム研究センター長
幹事	高村ゆかり	(連携会員)	龍谷大学法学部教授
	淡路 剛久	(第一部会員)	早稲田大学大学院法務研究科教授
	山本 眞鳥	(第一部会員)	法政大学経済学部教授
	岡田 清孝	(第二部会員)	自然科学研究機構基礎生物学研究所所長
	前田 正史	(第三部会員)	東京大学理事・副学長
	村上 周三	(第三部会員)	建築研究所理事長
	安成 哲三	(第三部会員)	名古屋大学地球水循環研究センター教授
	山地 憲治	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	植田 和弘	(連携会員)	京都大学大学院経済学研究科教授
	佐藤 薫	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	佐藤 文彦	(連携会員)	京都大学大学院生命科学研究科教授
	松井 孝典	(連携会員)	千葉工業大学惑星探査研究センター所長

※ 名簿の役職等は平成22年3月現在

要 旨

1 作成の背景

人類は、今、その生存と生活の基盤を損なう恐れのある地球規模での環境の全般的な危機的状况に直面している。この提言は、地球温暖化を始めとする、こうした地球規模での環境の危機に対して、その問題の解決に向けて学術がいかなる貢献をなしうるのか、そのための課題は何かを提示するものである。

2 現状及び問題点

地球規模での環境のこれまでにない全般的な危機的状况に対して、日本の学術の貢献が不可欠である。中でも、中期的にその解決に学術の貢献が特に求められている問題として、(1) 地球温暖化、(2) オゾン層破壊、(3) 化学物質による環境汚染、(4) 生物多様性・生態系の危機を指摘する。

地球温暖化では、不確実性の低減のための気候モデルの改良と先端計算技術基盤の整備、進行する温暖化を多面的に測定・監視する総合観測システムの構築と並んで、温暖化の影響研究、政策研究の一層の強化が必要である。気候システムに対する危険な人為的干渉を及ぼさない安定化レベルと長期的安定化目標の検討、目標達成のための技術の開発と普及、社会・経済システムの変革を通じた低炭素社会の実現に学術の貢献が求められている。

オゾン層破壊については、オゾン破壊メカニズム・オゾン層破壊による影響の解明と監視、問題の解決に向けて諸科学が連携して貢献したと評されるオゾン層保護の国際的規制の社会科学的検討などが求められる。

化学物質による環境汚染は、環境媒体や国際的な取引・物流を通じた化学物質汚染の広域化と、とりわけ途上国での人と環境への影響が懸念される。化学物質の環境における蓄積の実態・曝露量の評価、無害化への技術開発に加え、化学物質のリスクへの慎重かつ予防的な対応として、化学物質、廃棄物の発生がより少なく、リスクがより少ない製品とサービスを基礎とする社会システムの転換、廃棄物・化学物質のリスク管理のための社会的な原則の確立と包括的枠組みの構築が必要である。また、越境汚染に対する国際取り組みも重要である。

生物多様性・生態系のグローバルな危機に対して、その危機の科学的評価、その評価のための指標と枠組みの構築が急がれる。生態系の回復力の及ぶ範囲に十分に配慮した予防的なアプローチによる慎重な対処、生物多様性や生態系の内在的な価値を尊重する管理が重点課題である。

これらの地球環境問題は、相互に密接に関係して存在しており、自然科学と人文・社会科学の統合が問題解明と解決の前提となる。さらに、経済開発とエネルギー消費量の増加の関係を抜本的に見直し、持続可能な開発を可能にする社会・経済システムの転換なしには、解決し得ない。地球環境問題を解決し持続可能な開発を実現していくためには、経済のメカニズムを市場（価格）機構だけに限定せず、環境や資源の価値を正当に評価し、その持続可能な利用・管理を実現する社会・経済システムの構築こそが地球環境問題解決の

最重要課題である。特に、持続可能な開発を世界的に実現しうる国際的ガバナンスの構築が課題である。

こうした社会・経済システムの転換の重要課題として、人口問題に関しては、貧困の解消、衛生面の改善を通じた乳幼児の死亡率の低下といった開発途上国における基本的な生活環境の改善による出生率の低減などが課題となる。食料・農林水産業については、地球環境の危機的状況が及ぼす農林水産業への影響とともに、農林水産業が地球環境に与える影響も考える必要がある。双方のもたらす影響の解明と予測とともに、こうした影響のリスクへの適応策を提供することが課題である。日本の食料自給の程度や今後の見通し、海外からの安定供給のための方策、自給率を上げるための農業技術の開発、遺伝子組換え作物についての社会許容の問題などへの検討と迅速な取り組みが必要である。資源・エネルギーは、水資源について、特にモンスーンアジア地域の水循環変化とそれに関連した水資源・水災害変化とその予測、また鉱物資源については、金属生産の技術開発と環境対策の推進、循環型社会の構築とリサイクル技術の推進、資源確保を支援する研究体制と人材育成の推進が課題である。エネルギーについては、再生可能エネルギーや原子力など非化石エネルギー技術の開発、徹底的な省エネルギー、独立分散型エネルギーの開発・普及などが課題である。

3 提言等の内容

(1) 地球環境問題への統合的アプローチ

学術研究は、地球環境問題の発生メカニズム、状況の監視と科学的評価、今後の予測を明らかにし、その解決のための政策、方策を提示することで、地球環境問題解決に貢献することができる。しかし、現実の学術研究は、専門分野ごとの細分化が一層進行しており、地球環境問題解決のために求められている社会の要請に十分に応える状況となっていない。

問題を解明する基礎的な科学研究、問題の解決方策を提供する技術研究、問題の解決を現に社会で実現する政策研究のより一層の連携が必要である。そして、そうした連携を通じた総合的、統合的な政策形成と実施への貢献が、地球環境問題解決において学術研究に求められている課題である。

(2) 市民の参加と協働、その制度的保障と学術研究

人々のライフサイクルや社会・経済システムの変革には、行政だけでなく、市民社会のさまざまな主体の参加と協働が求められる。市民の参加と協働を促進するため、行動の選択に必要な情報を獲得し、理解するのに必要なリテラシーを市民が身につけることを可能とする教育・学習システム、情報提供システムの制度的インフラストラクチャの構築、財やサービスの環境負荷の定量的評価、透明性の高い情報の創出は、学術研究が貢献しうる役割の一つである。こうした市民の参加と協働による政策の形成と実施を現実のものとする手法の開発や、市民の参加と協働の基盤となる法・社会制度の形成と運

用を可能にする学術研究にも重点が置かれるべきである。

(3) 日本の学術からの国際的な発信—特にアジアにおける貢献

地球環境問題に関する観測、予測、解決策などあらゆる場面においても、国際的な協力が必須であり、ますます日本のリーダーシップが期待される。特にアジアは、地球環境問題が最も鮮明に現れ、また深刻になっているケースが多く、そのことを強く意識した地球環境研究の国際枠組みを日本のリーダーシップで進めていくことが非常に重要である。

変化する地球環境を的確にとらえ、そのメカニズムを知るための継続的な環境観測の展開と高度化に重点が置かれるべきである。

(4) 課題遂行のための研究・教育基盤の課題

上記の地球環境問題解決に向けた学術の課題の遂行を支える、より基盤的な研究体制・資金の継続的保証と、教育スタッフの充実が不可欠である。初等・中等教育における地球環境問題に関する教育の一層の充実が、緊急かつ最重要の課題である。

目 次

1	はじめに.....	1
2	地球規模の環境問題と学術の課題.....	3
(1)	地球温暖化.....	3
(2)	オゾン層破壊.....	4
(3)	化学物質による環境汚染.....	5
(4)	生物多様性・生態系の危機.....	6
①	グローバルスケールでの危機の科学的評価.....	6
②	科学的な評価のための指標と枠組み.....	7
③	過去 50 年における生態系サービスの急激な低下.....	8
④	今後 50 年間の変化の予測と必要な対策.....	9
⑤	グローバルな対策における日本の役割.....	10
3	地球環境問題と社会・経済システムの課題.....	11
(1)	持続可能な開発を可能にする社会・経済システムの変換.....	11
①	市場機構の限界.....	11
②	持続可能な新しい経済メカニズムの構築.....	12
(2)	人口問題.....	12
(3)	地球環境変化と食料の問題.....	13
①	農業・林業.....	14
②	水産業・畜産業.....	14
(4)	資源・エネルギー.....	15
4	地球環境問題の解決に向けた地球環境研究の統合的推進.....	17
(1)	地球環境問題への統合的アプローチ.....	17
①	基礎的な科学研究、技術研究、政策研究の統合的アプローチ.....	17
②	総合的・統合的な政策形成・実施に貢献する学術研究.....	17
(2)	市民の参加と協働、その制度的保障と学術研究.....	18
(3)	日本の学術からの国際的な発信—特にアジアにおける貢献.....	19
(4)	継続的な環境観測とその高度化.....	20
(5)	上記の課題遂行のための研究・教育基盤の課題.....	20
	<参考文献>.....	22
	<参考資料> 地球環境問題分科会審議経過.....	24

1 はじめに

環境とは、自然とそこに生きている動植物が共同して構成するものであるから、人間も自分が生活している環境に対して何らかの影響を与えるのは当然である。しかし、人類が地球上に出現してからの数百万年のほぼすべての期間にわたって、人間活動の自然環境に対する影響は極めて小さく、環境とは人間にとって外から与えられるものと考えてよかった。この状態に変化が生じたのは、文明の進歩に伴って人間活動の規模が拡大したためである。農業生産が開始されて、ある地域で暮らすことのできる人口は、それ以前の狩猟や採集に頼っていた時代に比べ激増した。人類は、農地の開墾や灌漑設備の建設など自然環境の改変に手をつけ始めた。決定的な変化の原因となったのは、18世紀からの産業革命以来、人類がそれまでに比べてけた違いのエネルギーを用いるようになったことである。その結果生産が大規模に拡大し、また作られた製品を地球規模で運び消費することが可能になった。様々なエネルギー源が利用されてきたが、その大部分は石炭、石油など数千万年から数億年という地球の長い歴史の間に蓄積された化石燃料であった。

産業革命以後現在に至るまでの人間の活動の拡大には、科学の進歩や技術の革新が大きく寄与をしたと言える。生産の拡大がより多くの人口を支えることを可能とただけでなく、豊富な物質の供給が生活水準の向上を実現し、同時に医学の進歩によって人類の死亡率は大幅に低下した。他方で、こうして拡大を続ける人間活動は、今や地球規模で深刻な影響を及ぼすほど環境に対して大きな負荷を与えるようになった。これが地球環境問題の基本的な原因である。

初期の環境問題では、ある問題の影響のおよぶ範囲は発生源から距離的にあまり遠くない領域に限られていた。しかし、近年の様々な環境問題は、国境はおろか大陸さえ超えて全地球に影響が及ぶようなものが珍しくない。このような「地球環境問題」の最も典型的な例は地球温暖化問題である。現代文明は、化石燃料を大量に燃焼することによって必要なエネルギーを得ているが、そのことによって大気中の二酸化炭素濃度が大幅に増加し、化石燃料に依存した従来型の経済・社会システムを継続すれば、今後地球全体で顕著な温度上昇が起これ、世界全体に悪影響が生じるおそれがあると予測されている。問題に伴う不確実性ゆえに、温暖化に対する人為的な影響の重大性を疑問視する意見もまだなお存在していることは事実である。しかし、これまでの温暖化に関する科学研究から得られた知見に基づき、その問題の重大性、緊急性に鑑み、世界の政策決定者は、地球温暖化問題を人類の将来にとって深刻な問題と考え、2009年のG8ラクイラ・サミットでは、主要先進国首脳により、2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を少なくとも半減し、そのために、先進国全体の排出量を2050年までに80%以上削減するという長期目標が支持された。そして、これらを受けて、2050年頃を目指した長期目標が、国連気候変動枠組条約など新興経済国も参加する国際的フォーラムで話し合われている。

人類の生存と生活の基盤を損なうおそれのあるこうした環境の地球規模での危機に対して、学術は何をなしうるのか。こうした危機の現状を把握し、科学的に評価し、それがもたらす今後の影響を明らかにしうるのはまさに学術研究である。そして、個別の問題に対

する対策技術の開発に加えて、こうした危機を生み出している社会・経済システムを、持続可能な社会・経済システムへと転換していくために、自然科学と人文・社会科学を含む諸科学が相互に連携し、問題解決のための総合的対処法を提示することが求められており、これこそ現在学術に期待されている最も重要な社会的使命の一つである。この提言は、そうした観点から、温暖化を始めとして、地球規模で起こっている様々な環境問題の解決に向けて学術がどのような貢献をすることができるか、学術が取り組むべき重点課題は何かを提示することを目的としている。

地球環境問題に関する観測、予測、影響の軽減、原因の特定とその除去・緩和などいずれをとっても、地球規模の広がりをもつものであり、国際的な協力がすべての場面で必須である。日本の周辺に注目すると、アジアは世界的に見ても人口が多く、多様な環境問題が集中的に発生している地域でもある。この地域での様々な問題解決を図るためには各国との密接な協力が欠かせないが、日本においてはこれまでに環境問題に関してさまざまな知識や技術が蓄積されてきており、これらの有効な利用を推進するためには、日本の科学者が国際的な局面でリーダーシップを発揮することが必要である。

2 地球規模の環境問題と学術の課題

人類が現在直面しているのは、その生存と生活の基盤を損なうおそれのある地球規模での環境のこれまでにない全般的な危機的状況である[1]。地球規模での環境の危機的状況が人の生命や健康に及ぼすおそれのある深刻な影響も看過し得ない。こうした地球規模での環境の危機に対して、学術研究はその現状を把握し、科学的に評価し、それがもたらす今後の影響を明らかにすることが期待される。そして、対策技術の開発をはじめ、問題を解決するための方策を提示することが求められている。こうした課題に対して、日本の学術の貢献が必要とされる環境問題は少なくないが、中期的にその解決に学術の貢献が特に求められている問題として、(1) 地球温暖化等、人為起源の気候変動、(2) オゾン層破壊、(3) 化学物質による環境汚染、(4) 生物多様性・生態系の危機を指摘する。

(1) 地球温暖化

地球温暖化現象において人間活動の影響が主要因であることは、IPCC によるまとめ[2]で国際的にかなりの合意が形成されつつあるが、いまだにモデル、観測事実を含め、不確定な要素も大きい。不確実性の低減のためには、気候モデルの改良と先端計算技術基盤の整備が必要である。同時に、進行する温暖化を多面的に測定・監視する総合観測システムの構築が必要である。これらを推進するために、各国政府・国際機関と学術界の連携による国際的・総合的研究プロジェクトを形成すべきである。

こうした観測、予測など科学的研究の推進とともに、温暖化の影響研究、政策研究の重要性が一層増している。気候の変化が、熱波、洪水、火災、干ばつなどに起因する死亡、疾病、傷害の増加といった直接的影響をはじめ、数百万人、とりわけ適応能力の低い人々の健康状態に悪影響を及ぼすおそれがあると予測されている[3]。そうした観点からも、とりわけ、気候変動に伴う極端現象や環境悪化による被害者の救済をはじめ、人権保護の観点からの研究が国際的に求められている[4]。同じ観点から、不可避的に生じる悪影響への適応策、中でも、人の健康、飲料水へのアクセスなど人の生存と生活の基盤を確保するための適応策に関する研究に重点が置かれる必要がある。進行しつつある気候影響に対応して社会の安全性を確保し、持続可能な社会を構築するためには、適応策の計画と実行が緊急の課題である。そのため、脆弱な生態系・地域・社会システムの同定を急ぎ、開発途上国に対しては、自助努力を前提とした適応技術の移転、適応策立案、気候リスクと適応策に関する社会的認識の向上プログラムなどによって、社会の気候変動対応能力の向上を図る必要がある。同時に、日本を始め、先進国でも適応策の体系的政策化が必要である。

適切で説得力のある対策の策定のためには、影響被害及び適応と緩和のための対策費用の評価を引き続き行い、目標とすべき気候安定化レベルを検討する必要がある。IPCC シナリオのうち、最良推定で産業革命以降 4°Cを超えるような気温上昇で安定化するシナリオは、温暖化の被害の大きさや不可逆な温暖化影響の可能性の増大から見て、対策検討の目標としては不適切と考えられる。

G8 サミット等でも議論されている 2050 年までに世界の温室効果ガス排出を半減するという目標の実現には、国際社会の全面的な協力と多くの困難の解決が必要であるが、この目標の実現に向けた政策は、環境負荷の低減の観点からも望ましく、低環境負荷型の持続的社會と經濟システムを作り出すための大きな駆動力になり得る。また、氣候安定化のためには、温室効果ガスの排出量を長期的にはさらに減らしていかなければならないことも認識する必要がある。

氣候変動枠組条約[5]にある氣候システムに対する危険な人為的干渉を及ぼすこととしない安定化レベルの検討、影響への適応及び影響回避のための緩和費用とのバランスが取れた長期的安定化目標の早期検討と共有化が必要である。短中期的には、主要排出国すべてが参加する京都議定書第一約束期間後の国際枠組みの確立、衡平性に配慮しながら現実に機能する、国別数値目標、セクター別アプローチ、および炭素税、排出権取引などのインセンティブを生むような經濟的施策等の設計を行う必要がある。長期で大規模な地球温暖化への対策は、様々な影響と波及効果を伴うので、人類が解決すべきミレニアム開発目標など高次の世界目標の中に位置づけて、特定の国や地域、特定の世代に偏った負担を強いることなく、持続可能な福祉の向上に最大に寄与する仕組みを作り出す必要がある。そのなかで、革新的技術の開発と普及、及び社會システムやライフスタイルの変革を通して低炭素社會を実現しなければならない。

この場合、起こると予測される事態の深刻さに鑑み、また予測範囲の上限に迫るような不測の事態による被害の増大を未然に防ぐためにも、經濟と環境のバランスを考慮しつつ、予防的措置を含めて被害軽減のための対策をいまずぐ取るべきである。世界規模で温暖化を克服する政策を確立し、人々の行動を変えるためには、より確かな予測と知識の体系化が必要である。また、正確な科学的知識の普及を推進しなければならない。そのためには、あらゆる世代にわたる教育の増進が必要である。

(2) オゾン層破壊

フロンなどの化学物質の放出が原因で地球を取り巻くオゾン層が破壊される現象は、環境破壊が地球規模で起こった典型的な例である。オゾン層の破壊により、オゾン層が本来吸収してきた有害紫外線が地表に到達し、人の目、皮膚などへの疾患を引き起こすことが知られ、ここ 20 年ほどの間に皮膚ガンは明らかな増加を見せている[6]。

オゾンホールは、科学的には大氣物理学と化学との連携による学際的研究の成果としてそのメカニズムがほぼ明らかになった。1987 年にウィーン条約に基づきオゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書が採択され[7]、1996 年（開発途上国は 2010 年）にはオゾン破壊をもたらす原因物質である特定フロンの生産および消費が全廃されることになった。米国の化学メーカーによるオゾン層破壊をもたらさない代替物質の開発という技術開発を背景にした、こうした効果的な規制により、大氣中のオゾン層破壊物質の増加は止まり、ここ数年ではやや減少傾向がみられる。しかしながら、フロンの大氣中での寿命は 50～100 年といわれており、オゾンホールが 1980 年のレベルに回復するのは 2060～70 年と考えられている。實際現在でもまだオゾンホールの縮小傾向は

みられていない。大気には内在的な年々変動があること、二酸化炭素等温室効果ガスがオゾン層の存在する成層圏では寒冷化をもたらす赤道でのオゾン生成量や極域でのオゾン破壊量に大きく影響することが、オゾン層回復のシグナルをとらえにくくしていることもある。

オゾン破壊メカニズムそのものや、一酸化二窒素等フロン以外のオゾン層破壊物質についての議論も続いており、今後も研究動向に注意していく必要がある。また、オゾン層の保護は、生命圏への紫外線遮蔽だけでなく、対流圏の水・物質循環への維持の視点からも重要であり、今後も未解明な物理・化学過程を通じた新たな問題が生じる可能性を秘めている。それゆえ、オゾンホールを長期的監視を含め、オゾン破壊メカニズムとオゾン層破壊による影響を解明する学術研究の推進が求められる。このようにオゾンホールに関する取り組みはいまだ様々な問題点を残しているが、一方でオゾン層保護の国際的規制は、地球規模の環境問題の対処に適切な効果を発揮したケースであると評価されており、諸科学が連携して問題解決に貢献した地球環境問題への取り組みにおけるひとつの成功体験として、今後地球温暖化などさらに大きな問題に取り組む際にある種の指針を提供するものである。特に、科学的な認識に基づいて国際的な合意を形成し、必要な対策を実行するという、今後も重要になるプロセスのひとつの典型を示したものと言えよう。

(3) 化学物質による環境汚染

ある種の化学物質の環境中への拡散によるリスクに対する国内外の関心は、近年ますます高まっている。化学物質による汚染のリスクは、未だ明らかでないことも少なくなく、その中には、次世代にも及ぶ長期的な影響が懸念される化学物質もある。これまで大規模な工業化、急速な経済開発に伴って、環境にとって好ましくない有害物質や廃棄物が環境中に排出され、問題を生じさせることがあった。過去に、日本でも、石炭燃焼による粉塵や亜硫酸ガスの大気中への放出、化学工業などで有機水銀やヒ素といった毒性の強い物質の排出などによる深刻な環境破壊、「公害」が引き起こされた。

日本では、これらの問題は過去の苦しい体験を経て相当に緩和されてきたように思われる。しかし、近年中国など新興工業国における経済の開発に伴って、アジア各地でもこうした化学物質による汚染が広まり、さらに世界規模に広がりつつある。工業活動から排出される有害物質による汚染に加えて、近年では、屋内外での化石燃料やバイオ燃料の燃焼から生じる粒子状物質及び汚染物質が大気中に吹き上げられ、エアロゾルとして広い範囲を覆う ABC (Atmospheric Brown Clouds) と呼ばれる現象が確認され、これらの汚染物質による健康影響とともに、降水パターンの変化、ヒマラヤ地域の氷河の後退促進、地表オゾンの増加などが発生し、水資源や作物の収穫量にも深刻な悪影響を生じさせることが懸念されている。同時に、これらの汚染物質は、放射エネルギー収支変化や雲変化を通して気候に影響する大きな要素であることも明らかになっている [8, 9]。汚染物質は国境などにさえぎられることなく、季節風や海流などによって広範囲にばらまかれており、東アジアでは、黄砂にこれらの汚染物質が吸着して飛来していることが

懸念されている。大気中に放出された汚染物質の大陸間移動に関する科学的証拠が蓄積しつつあり、こうした汚染物質による汚染の広域化が懸念される[10]。

さらに、国際的な取引・物流による化学物質の地球規模での移動に加えて、急速な都市化とそこから生じる廃棄物の不適正な管理に起因し、十分な管理・規制能力に乏しい開発途上国での水環境、生態系の化学物質汚染の広がりが見られ[11]、開発途上国における人の健康や環境への被害が懸念される。原子力事故や海洋への放射性物質の投棄などによる放射性物質の適正ではない管理が人の健康や環境に与える影響もまた大きな脅威である。

これらの問題に効果的に対処するには、汚染物質発生源のモニタリング、汚染物質の移動経路や気候影響の解明、汚染物質の発生を抑えるための技術移転などに、国際的な協力が不可欠である。そして、有害化学物質の環境における蓄積の実態・曝露量の評価、その除去方法の開発、無害化への技術開発もまた学術に期待される役割である。さらに、その評価にしばしば不確実さを伴う化学物質の汚染リスクから地球環境を保護するためには、その対処において、慎重かつ予防的な（precautionary）対応がとられることが必要である。こうした予防的対応として、環境中に放出される化学物質、廃棄物の発生がより少なく、そのリスクがより少ない製品とサービスを基礎とする社会システムへの転換が必要であり、そのための学術研究の貢献が期待される。

地球規模での化学物質汚染は、しばしば、一国における廃棄物や化学物質の適正でない管理と密接に関わっており、また、一国の国内政策が、他国の国内政策に影響を与えうる。それゆえ、廃棄物管理を含めた、化学物質のリスク管理のための社会的な原則の確立と包括的枠組みの構築が課題となっている。国際的に見ても、有害廃棄物、とりわけその越境移動を規制するバーゼル条約、有害化学物質の越境移動を規制するロッテルダム条約、残留性有機汚染物質（POPs）に関するストックホルム条約の3条約で統合的な取り組みが推進されている。国内レベル、国際レベルにおいて、こうした原則と枠組みをいかに構築するかが中期的な学術研究の課題である。

(4) 生物多様性・生態系の危機

① グローバルスケールでの危機の科学的評価

生物多様性／生態系の危機とは、私たちの生命維持の基盤となる財やサービスの源となり、地域固有の文化が依って立つところでもある自然環境（その構成要素に主な関心をおく場合には生物多様性、機能に主な関心をおく場合には生態系と表現）の不可逆的な変化や跳躍的な変化をも含む全般的な劣化を意味する。その多様かつ複雑に絡まり合った問題群の解決には、科学的な現状の認識・評価・将来予測がとくに重要である。人々が幸福に暮らし、持続的な開発が可能かどうかは、ひとえに、生態系を持続可能な形で利用できるかどうかにかかっている。食料や汚染されていない水などの生態系サービスに対する需要がますます大きくなる一方で、多くの生態系がそれらの需要を満たす能力を失いつつある。したがって、適切に生態系を利用・管理するた

めの条件を科学的・客観的に明らかにすることは急務である。

生物多様性／生態系の現状について広く情報を集めて科学的、客観的、総合的な分析・評価を試みた例としては、国連がイニシアチブをとり、95ヶ国の1300名以上の専門家の参加の下に実施された「ミレニアム生態系評価 (MA)」(2001-2005)、生物多様性条約事務局が戦略目標の達成状況の評価のために実施している「地球規模生物多様性概況評価 (GB0)」(2010年にGB03公表予定)、および「生態系と生物多様性の経済学 (TEEB)」(2010年に最終報告を公表予定)をあげることができる。これらは、地球規模での生態系、生物多様性に関する総合的な評価および経済的な評価として代表的なものであり、科学的文献、報告書などを広くカバーして統合的な知見を提供している。ここでは、これらに依拠しながら、生物多様性／生態系の危機の科学的な分析・評価の現状を概観する。

なお、これらの取り組みを受け継ぎ、生物多様性条約のみならず、ラムサール条約、ワシントン条約、世界遺産条約、ボン条約などにもとづく効果的な実践に資する科学的な知見を提供するため、気候変動枠組み条約におけるIPCCに類する国際的な機関として、(IPBES: Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) の設立の検討が生物多様性条約第9回締約国会議で決議されている。

② 科学的な評価のための指標と枠組み

ミレニアム生態系評価は、地球規模の生態系の包括的なアセスメントであり、1980年代の後半から急速に蓄積した膨大な既知の情報を整理・統合し、現在その速度を増しつつある生態系の変化が、「生態系サービス ecosystem service」を介して人間の生活と幸福 (well-being) にもたらしている影響を具体的に明らかにした。過去50年間の変化を踏まえ、さらにシナリオ分析により、政策が今後50年間の生態系サービスとその変化が人間の生活・幸福に及ぼす影響を予測・評価した。すなわち、生態系と社会の行方に関して、学術的にさまざまな確度で把握されている「重要な事実」と最新の「理解」をグローバルな視点から整理し独自のシナリオ分析を加えることで、今後の分析・評価やモニタリングの枠組みを用意した。

評価のための指標、もしくはキーとなる概念として用いられた「生態系サービス」は、1990年代にアメリカ合衆国の生態学者 Daily (1997) らが提案したものだが、現在では、生態系や生物多様性の変化が社会にもたらす影響の評価に欠かせないものとなっている。日本においては、森林や農地に関して「多面的な機能」という用語が使われるが、それは「生態系サービス」を提供する機能の一部を意味する。生態系サービスは、生態系がその機能を通じて人間社会に提供するサービスを幅広く指す用語であり、財および狭義のサービスのすべての便益をふくむ概念である。

生態系と人間社会の間には、ダイナミックな相互関係が成り立っている。生態系から人間社会への作用のうち、便益となる作用は生態系サービスだが、逆に人間社会から生態系への作用は、駆動因 (driver ドライバー) として認識することができる。駆動因とは、生態系あるいは社会の何らかの側面に変化をもたらすあらゆる因子をさす。

そのうち、直接的駆動因は生態系プロセスに明確な影響を及ぼす因子であり、その作用の特定が容易であり、精度はともかく、測定できる。それに対して、間接的な駆動因は不明確な形で作用し、しばしば直接的な駆動因の1つまたはいくつかを変化させることで効果をもたらす。したがって、その影響は、直接的駆動因への効果によって把握しなければならない。それらは相乗的に作用することもある。例えば、植被状態の変化が侵略的外来種の侵入可能性を増すことを介して生態系の変化を加速するなどである。

2007年3月にG8+5ヶ国の環境大臣会合がポツダムで開催された際、「気候変動の経済学に関するスターン・レビュー」に相当する生態系と生物多様性の損失に関する経済学に関するプロジェクト、いわば「生物多様性版スターン・レビュー」ともいべきレビューの必要性が表明された。それを受けて、ドイツ銀行のグローバル・マーケット部門のディレクター、パヴァン・スクデフが研究代表者となって開始された研究プロジェクトがTEEBであり、経済学と生態学の両方を統合して生態系サービスの評価を試みている。「環境なしに経済は存在し得ないが、経済なくしても環境は存在する」との格言に表現されている人間の活動・存在の自然への依存性、すなわち、「我々の経済活動、生活の質、社会的調和のいずれもが自然資源とそれらを提供する生態系を基盤としてはじめて成り立つ」ということを十分に認識した上での経済的評価と、GDPよりも有効な新たな経済指標の開発がめざされている。第一段階の報告が2008年に出版されており、最終報告は2010年に発表が予定されている。

GB0は、生物多様性条約における2010年目標（2002年の締約国会議において採択された「生物多様性の損失速度を2010年までに顕著に減少させる」という目標）の達成状況を評価するために実施されている評価であり、2007年に公表されたGB02では、階層性をもつ指標群を用いて生物多様性にかかわる概況が評価されている。生物多様性とその喪失をもたらす主要な駆動因の状況と影響の傾向を分析することを通じて、2010年目標および国連のミレニアム開発目標の達成状況について評価しているが、生物多様性条約の第10回締約国会議（COP10）が名古屋で開催される2010年にGB03の公表が予定されている。

③ 過去50年における生態系サービスの急激な低下

これらの分析・評価のプロジェクトが明らかにした、生態系／生物多様性の現状は、危機という言葉で表さなければならない深刻な様相を呈している。両生類の種の1/3、哺乳類の種の1/4、霊長類によっては半数の種が絶滅を危惧される現状（IUCN 2008）に象徴される地球全体で生物多様性の劇的な喪失は、生態系サービスの急激な低下と相伴って進行している。いくつかの具体的な数字をあげると次のようになる。

現在の人為由来の絶滅のスピード（単位時間当たりの絶滅率）は、地球の生命史における典型的な絶滅率の1000倍にもなっており、近い将来さらにその10倍に達すると予想されている。

1900年以降、地球は面積にして50%以上のウエットランド（広義の湿地）を失った。20世紀前半の喪失は主に温帯地域で生じたが、20世紀後半以降は熱帯・亜熱帯地域において湿地の土地利用転換圧力が強まっている。ウエットランドは炭素の貯留や健全な水循環などを含む多様な生態系サービスを提供する生態系であり、その喪失はそれらの生態系サービスの喪失を意味する。

熱帯雨林よりも生物多様性に富み、とりわけ豊かな漁業資源やレクリエーションの機会の提供など、多くの生態系サービスをもたらすサンゴ礁は、その30%が、汚染、病害、白化現象などの深刻な劣化要因によって衰退している。

過去50年間に起こったことはそれにとどまらない、漁業は乱獲の果て衰退しつつあり、農地の40%が浸食、固結化、塩類集積、栄養欠乏、汚染、都市化などで劣化し、その傾向が強まりつつあるのが現状である。窒素、リン、イオウ、炭素などの元素循環の改変も著しく、酸性雨、藻類の大発生、魚類の斃死などに加えて、気候変化（温暖化など）が生態系とそのサービスを短期間のうちに急激に変化させることが危惧される。河川管理や土地利用などの生態系管理の失敗は、洪水、干ばつ、不作、病気などのリスクを増大させている。そのような生態系の劣化は、遠隔地の生態系サービスを楽しむ都市の住人よりも、生態系サービスにより強く依存して生活している地方の人々により直接的な影響を与える。また、当地以外の遠隔地の生態系サービスを利用する経済力をもたない貧困層により深刻な影響が及んでいる。

④ 今後50年間の変化の予測と必要な対策

何ら有効な対策を取らない場合には、2050年までに例えば次のような深刻な事態が進行すると予測されている。それらは不可逆的な変化であり、起こってからでは修復不能である。

主に農地への転換およびインフラストラクチャの拡大、気候変動の影響により2000年に存在していた自然地域の11%が消失する。

早ければ2030年までに、サンゴ礁の60%が、漁業、汚染、病気、侵略的外来種の影響、気候変動による白化によって喪失する。

適切な政策と管理を通じた生態系プロセスへの適切な干渉は、生態系の劣化の進行をくい止め、必要な生態系サービスが提供される「望ましい状態」に生態系を回復させ、人間の幸福（well-being）の増進をもたらす行為である。いつ、どのような干渉を生態系に与えるべきかを知ることがその成功にとって必須となる。それら生態系管理に欠かすことのできない情報を得るには、生態系と社会システムの両方についての十分な理解が前提となる。適切な理解と情報なしには生態系に関して適切な意思決定をすることが難しい。

生態系管理の難しさの一因は、生態系サービスの需要が増すにつれてサービス間のトレードオフがますます顕在化することにある。

現在の強いトレンドとなっている生態系の変化は、人間だけでなく、さまざまな生物にも影響を与える。生態系の機能は、生物間の相互作用のネットワークに依存する。

生物間相互作用が網の目のように入り組む生態系は、複雑でダイナミックなシステムであり、予測における不確実性はきわめて高い。そのため、一部の生態系サービスに目を向けた功利的観点からの管理は常に最適とは限らず、種や生態系の内在的価値を重視することが、長期的にみれば功利的にも適切な管理を保障する。市場が成立しているサービスは、市場の強い作用によって強化され、それとトレードオフの関係にあるサービスのうち、市場の成立していないサービスが犠牲になりがちである。

生態系は、外力に対して非線形な反応を起こすことが知られており、砂漠化、浅い水域の急激な水質悪化など、カタストロフィック・シフトと呼ばれる跳躍的な変化によって多くの生態系サービスが一挙に失われることがある。そのような生態系の不健全化を防ぐには、生態系の回復力の及ぶ範囲に十分に配慮した予防的なアプローチによる慎重な対処が必要となる。生物多様性や生態系の内在的な価値を尊重する管理は、長期的にみれば、功利的な観点からみて社会にとってのぞましいバランスのとれた管理となる。

市場の効果が大きく作用すると、そのサービスを生み出す生態系の基盤そのものが崩壊することもある。1例をあげれば、経済的な利益のあるエコツーリズムは、文化的サービスを守る強いインセンティブを地域社会に与えるが、その過剰利用や管理の失敗が、自然や文化資源そのものを壊してしまう可能性もある。

⑤ グローバルな対策における日本の役割

生物多様性保全に向けた取り組みは強化されつつあるものの、生物多様性の喪失傾向は改善されていないだけでなく、主要な駆動因である生息・生育場所の分断・孤立化、侵略的外来種の影響、過剰利用、汚染、気候変動の影響などはいずれも強まっており、現状では2010年目標の達成はきわめて厳しいものといわなければならない。食料とバイオ燃料の需要の急速な増大に対応するための農地開発と農薬や化学肥料を多用したモノカルチャーが生物多様性を脅かす主要な要因の一つとして認識される一方で、日本における里山にみられるような生物多様性を増進する持続可能な生物資源・土地利用が注目を集め、新たな環境保全型農業の実践やそれを促す政策が世界各地で急速に進展しつつある。

名古屋でのCOP10では、現在実施中のGB03の評価にもとづき、次の目標が議論される。日本は、議長国として、重い責任を果たすことを期待されるが、日本の学术界の、このようなグローバルな科学的評価への寄与はこれまで必ずしも十分であったとはいえない。世界の目が日本に向けられるCOP10に向けて、この状況を改善することは急務である。日本学術会議は、COP10における科学的な議論において日本がリーダーシップを発揮できるように、科学的な生物多様性総合評価についての審議の強化、生物多様性に関する科学的な目標設定をテーマとした国際会議の開催などに積極的に取り組む必要がある。

3 地球環境問題と社会・経済システムの課題

自然の状態の変化は自然史的過程としても生じるものであるが、人間活動の拡大に伴って、ますます人為的要因による変化が大きな比重を持つようになった。環境汚染、自然破壊、アメニティ破壊などは、環境という人間社会にとって共通の社会的基盤（社会的共通資本、social common capital）を壊すこととなり、人間社会の共同的な生活条件を悪化させることになる。2で言及したように、地球環境問題は、人間が形成する社会・経済システムのあり方が、密接にかつしばしば横断的にその原因となっている。以下に掲げる問題は、地球環境問題の解決にとって喫緊の対処と変革が求められている特に重要性の高い課題である。

(1) 持続可能な開発を可能にする社会・経済システムの変換

現在の社会・経済システムでは、経済成長に伴ってエネルギー消費量が増加することを避けるのは困難な仕組みとなっている。その結果、先進国におけるエネルギー消費量が膨大なものとなり、現下の深刻な地球温暖化を招くに至った。今後、中国、インドなどの巨大人口を抱える国々が同じモデルで経済成長を遂げるとすれば、地球温暖化が一層深刻になることについては議論の余地がない。これを避けるためには、経済成長とエネルギー消費量の増加の関係を抜本的に変える仕組みが必要である。これは経済運営におけるパラダイムシフトと呼ぶべきものである。これを達成するためには、新たな価値観に基づいて自然科学、人文・社会科学の叡智を結集し、エネルギー消費量を増加させない経済成長を実現する社会・経済システムを構築しなければならない。

① 市場機構の限界

そうした観点から現代の人間活動をその経済的側面からみると、その大きな特徴は市場機構によって中心的に担われていることである。市場機構は資源の効率的配分を実現するメカニズムとしてその有効性が評価されているが、公平性のような効率性以外の価値は実現することができない。加えて、市場が効率的資源配分を達成するためには、価格というシグナルが調整において有効に機能することが前提となる。ところが、環境は“価格のつかない価値物”と表現されることでも分かるように、少なくとも現状ではその価値が市場においては正当に評価されておらず、価値物であるにもかかわらず、市場ではあたかも無価値物であるかのように扱われてしまう。いわゆる市場の失敗と呼ばれている現象である。

人間社会の経済活動が市場機構によって中心的に運営され、各経済主体が利潤や効用の最大化をめざして活動することになると、そこで活用される技術が有する自然改造能力の高まりとも相まって、その経済社会は経済成長に成功したとしても環境破壊的な結果を招きがちであった。先進国の経済開発プロセスはまさにそうであったし、急速な経済開発の途上にある新興国におけるプロセスも類似の環境破壊を引き起こし、全体としては環境破壊的な経済成長がすすみ地球的規模での環境問題を出現させてい

る。

② 持続可能な新しい経済メカニズムの構築

環境問題を解決し持続可能な開発（sustainable development）を実現していくためには、経済のメカニズムを市場（価格）機構だけに限定せず、経済そのものをその本来の意味である経世済民と捉え、その目的を実現するための政治や社会の役割を正當に位置付ける必要がある。もともと経済の目的は、自然や人間の持っている潜在力を活かすシステムをつくることによって貧困を克服し、人々の暮らしにおける苦難を軽減することであった。ところが、経済成長至上主義という言葉からも分かるように、経済成長が国家の計画や政策目的として GDP という単一の指標の伸び率が絶対視され自己目的化することにより、経済成長に伴う人間や自然の破壊が生じている。

自然と人間の間を媒介し環境の状態に大きな影響を与える自然資源の配分システムは市場機構だけではない。多くの開発途上国では共同体が重要な役割を果たしているし、先進国も含め、資源や環境の共同的な利用・管理を社会的にすすめる組織や制度が維持され、また新たな構築が試みられている。そこでのメカニズムは、持続可能性などさまざまな社会的基準に基づいて、環境や資源を社会的に管理するものである。

環境や資源の保全や管理に政府が果たすべき役割も大きい、政府は公共信託財産としての環境を管理する責任があり、また持続可能な開発という考え方が提起しているように、地球環境問題は、世代間衡平に関わる問題である。地球環境保全とは、未来の世代の利益を考慮することでもある。政府が環境破壊の主体にならないのはもちろん、ここに政府が果たす役割がある。

このように、環境や資源の価値を正當に評価し、その持続可能な利用・管理を実現する社会・経済システムの構築こそが地球環境問題解決の最重要課題であり、それを可能にするには、自然系諸科学に加え、それらと人文・社会系科学の連携・統合を踏まえた新しい科学の発展が望まれる。主権国家の併存した国際社会においては、地球環境問題をこうした観点から適切に扱うガバナンスそのものが十分ではないことをふまえ、持続可能な開発を世界的に実現しうるガバナンスの構築に関する研究もまた重視される必要がある。

(2) 人口問題

地球環境問題、地球の持続性を言うならば、究極は人口問題になろう。人口増により人類の活動がその生活の場である地球というシステムに直接的な影響を与えるレベルに達した。その典型的な例は二酸化炭素などの温室ガスの増加による地球温暖化の問題である。世界的な人口増加に歯止めをかけることで、資源エネルギーの消費を抑え、技術革新によって地球全体の総量としての環境負荷の低減を達成せねばならない。2000年9月に行われたミレニアムサミットにおいて、平和と安全、開発と貧困、環境、人権とグッド・ガバナンス（良い統治）、アフリカの特別なニーズなどを課題として掲げ、21世紀の国連の役割に関する明確な方向性として、8項目のミレニアム開発目標

(Millennium Development Goals) について、2015年までの改善目標が合意された。

1. 極度の貧困と飢餓の撲滅
2. 普遍的初等教育の達成
3. ジェンダーの平等の推進と女性の地位向上
4. 乳幼児死亡率の削減
5. 妊産婦の健康の改善
6. HIV/エイズ、マラリア、その他の疾病の蔓延防止
7. 環境の持続可能性の確保
8. 開発のためのグローバル・パートナーシップの推進

これらの項目のうち、1～6は、いずれもその改善によって出生率が低下すると考えられている指標であり、これらの目標の達成は、開発途上国の状況を改善するだけでなく、全地球レベルでの重要事項であると考えられる。しかし、日本を含め先進国の市民の中には、開発途上国の経済的な状況が改善されると、却って一人あたりのエネルギー消費量が拡大し、結果として地球全体での温室効果ガスの排出量が増え、気候変動によって地球的危機の到来が早まると考えている人々も多い。現時点での西欧型の文明は、膨大なエネルギー使用を前提としたモデルであって、この文明を他の形態に変えることは必須であるように思える。

人口問題は、基本的に経済問題であり、また、教育問題でもある。開発途上国における教育活動によって衛生面の改善による乳幼児の死亡率の低下など基本的な生活環境を改善することで出生率の低下につながるなど、教育による効果を重要視すべきである。グローバリゼーションの限界がしばしば議論されるが、少なくとも人口問題に限れば、開発途上国においても教育、特に高等教育を重視する市民が増えた点ではプラスである。インドの農村においても、子どもがインド工科大学への進学を実現することを切望し、そのために教育費を貯蓄する農民が増えている。

結論としては、人口問題は、環境問題の解決と密接に関係している上に、人類全体の目標とは何か、といった哲学的な課題とも関連するため、特に、学界がその議論をリードすべきであると考えられる。

(3) 地球環境変化と食料の問題

地球環境問題に関連して、特に我が国の食料自給の程度や今後の見通し、海外からの安定供給のための方策、自給率を上げるための農業技術の開発、遺伝子組換え作物についての社会許容の問題などへの検討と迅速な取り組みが必要である[12]。これらの問題点については、政府機関による継続的研究調査が必要であり、得られた情報を大学など研究機関と共有するだけでなく、すみやかに社会に公開し、国民の理解を得ることを原則とする必要がある。

① 農業・林業

農業分野における具体的な課題は、食料不足、エネルギー・水資源の枯渇、耕作地の減少、温暖化に伴う異常気象(乾燥ならびに豪雨に伴う洪水)等への対応である[13]。地球環境の変動、特に、温暖化・気象変動の生態系・社会に対する影響は不確実性があり、より精度の高い影響の予測が必要であるが、IPCCの第4次評価報告書(第2作業部会)に取り上げられているように、開放系大気二酸化炭素増加(FACE)実験は、今後の気候変動の農業・林業分野のみならず生態系への影響評価・適応研究において重要である[14]。一方、変動予測・影響評価とともに、それぞれのリスクに対する適応策・緩和策を提供することが大きな課題である。現在、環境ストレス耐性や多収性等植物の生産性の向上や大規模植林による二酸化炭素固定増大、バイオマス資源からのエネルギー生産(バイオ燃料等)による二酸化炭素の排出抑制等が検討されている[15, 16]。特に、人類が使用可能な淡水資源の約2/3を利用する農業においては水資源の利用のあり方が重要であり、遺伝子組換え技術等最先端技術を用いた耐乾燥性等の植物育種とともに、土壌-植物-大気系の水制御技術の飛躍的発展、さらには、水問題解決にむけて水利用先進国である我が国の貢献が必要である[17]。一方、これらの適応策間の競合関係の解決も重要な課題である。例えば、二酸化炭素排出削減のためにバイオ燃料生産の急増が食料と競合することが問題となっている[18]。また、食料・バイオ燃料生産のいずれの場合も、生産のための耕地の拡大が熱帯林の減少をもたらすことや、不適切な灌漑や耕作等による土壌の劣化や水資源の枯渇ならびに汚染等の地球環境への影響の問題がある。

特に、現在、バイオ燃料生産が試みられている東南アジア、南米アマゾン地域は、世界で最も生物多様性の豊かな地域である。人間活動による土地利用の改変は、豊かな生物多様性に依拠した遺伝子資源の豊かさを損なうとともに、土地利用の改変に伴う土壌有機物の分解等による温暖化ガス排出の増加、大気中のエアロゾル増加、地域的な気候変化、水循環変化など複合した問題を含んでおり[18]、領域・分野横断型の研究の推進が必要である。残念ながら、この問題に対する我が国の取り組みは、現時点では活発ではなく、学術会議としてもより積極的な提言と取り組みが必要である[13]。

林業に関しては、熱帯林の保全とともに、国内の林業の活性化が不可欠である。国内における木材価格の低下とそれに付随する林業所得の継続的低下、ならびに、小規模経営による林業生産活動の停滞から、日本の林業は壊滅的状态にある[19]。海外からの木材輸入を減らし、海外での森林破壊を食い止めるためにも、我が国の林業を再生する必要があり、低炭素社会の実現のための新たな取り組み等による山村の活性化が不可欠である。

② 水産業・畜産業

水産業では、世界の漁業資源の大半は生物的生産量の最大限まで漁獲しており、これ以上漁獲量を増やしていけば危険レベルに達するとされている。漁業資源の減少は

世界的規模で進んでおり、とくに公海の漁業資源の減少が深刻である。また、食物連鎖の上位に位置する大型魚類の漁獲が進むと漁獲対象が次々と下位にある中型魚類、小型魚類へと移行し、海洋生態系の破壊と海洋資源の枯渇が進むという解析結果が発表されており、緊急の対策が必要である[20]。すでに、日本学術会議では、「地球環境・人間生活にかかわる水産業及び漁村の多面的な機能の内容及び評価について[21]」において、資源管理型漁業、環境保全型増養殖業の推進、自然環境を保全する役割（物質の循環系を補完する機能、環境を保全する機能、生態系を保全する機能）を答申しており、これらのより迅速かつ適切な実行が不可欠である。

畜産業では、21世紀、生活水準の向上に伴い、世界規模での動物性蛋白質資源に対する需要の飛躍的増大が予想される。すでに、畜産は管理型生産が確立しているが、過度の放牧による牧草地の荒廃、飼料作物の需要の増大と家畜糞尿による環境汚染は重要な課題である。また、反すう動物におけるメタンの発生は地球温暖化との関係において検討すべき課題である。食料・飼料自給率を向上させ環境を保全するため、食品残さの飼料化、耕作放棄地、裏作、山間地などを有効活用して飼料生産を増加させ、家畜糞尿の堆肥化やバイオマスとしての利用技術の開発を積極的に進め、持続可能な循環型農業を推進する必要がある[22]。

以上の複雑な課題に対し、日本学術会議を含め、科学的政策提言がなされていることは上記のとおりである。一方、農林水産業分野に限っても、課題解決には社会的要因が大きく、科学技術だけで根本的な解決を導くことは困難である。現状を放置しておくことは、環境問題をより深刻化させることであり、迅速かつ積極的な取り組みが必要である。

(4) 資源・エネルギー

前項でも指摘されたように、人口増大や気候変化に伴う降水パターンの変化などから、水資源の確保は21世紀の世界にとって最も重要な問題の一つである。温室効果ガス増加の影響として、特にモンスーンアジア地域では、水循環変化とそれに関連した水資源・水災害変化とその予測が重要である。IPCC第4次評価報告書においても、アジアモンスーン地域での水循環・洪水、早魃などの極端な水災害の変化予測には大きな不確定性があり、特に地域的な変化の予測のニーズは高い。この問題の解明と対策に関して日本は、気候モデルによる予測研究において、世界をリードできる体制づくりの構築と研究推進でアジアおよび世界で大きな貢献をしつつある。このような貢献を基盤に、アジアの水資源問題の解決に向けて、さらに大きな力を注ぐ必要がある。

近年の資源価格の大変動は社会経済に大きな混乱をまねき、鉱物資源の安定的確保が産業と社会にとって不可欠であることが改めて認識された。最近の経済混乱により若干需要が停滞すると考えられるが、今後も中国を始めとした新興国の経済開発によって資源消費が増加し続けることが予想される。不安定な価格が続くなかで世界と我が国の資源確保が求められることになる。そのためには、過敏な市況に左右されない中長期的な資源戦略と先端研究を継続するためのビジョンが不可欠となる。この問題を考えるにあ

たつて、鉱物資源の安定供給に必要な体制を構築すること、金属生産の技術開発と環境対策を推進すること、循環型社会を構築しリサイクル技術を推進すること、資源確保を支援する研究体制と人材育成を推進することが重要である。

地球温暖化問題や在来型石油資源の枯渇など、環境と資源の両面における地球規模の有限性の下で持続可能なエネルギー供給が求められている。各種再生可能エネルギーや原子力など非化石エネルギー技術の開発によって低炭素化を進めるとともに、世界全体として化石資源利用の効率化・高度化を図りエネルギー供給力の持続性を高める必要がある。また、個々のエネルギー用途から都市構造やライフスタイルまで広範な社会システム全般を対象として徹底的な省エネルギーを追及しなければならない。

人口の増加と開発途上国で消費されるエネルギーを現実的に減少させることは非常に困難であることから、二酸化炭素を唯一の指標とするのではなく、残り少ない従来型資源の有効利用と環境問題を関連づけた視点が必要とされてくる。資源量は豊富であるが環境負荷が大きい石炭は、環境対策技術に優れた先進国で利用し、環境対策が比較的容易な天然ガスを技術と設備に乏しい国や地域で利用するなど、各国の利害を超えた地球全体での対策が求められる。

また、重厚なインフラを整える必要のない独立分散型のエネルギー（太陽光発電、風力発電などの発電および蓄電池などの貯蔵技術）は、二酸化炭素削減対策だけでなく、地域における雇用創出などの効果も期待され、また、開発途上国において必要最低限のエネルギーを供給する技術として貢献できる可能性を持っている点にも注目すべきである。このようなエネルギーが供給されれば、最低限の通信環境、夜間の子女教育の可能性など、文化的な支援も可能となる。

4 地球環境問題の解決に向けた地球環境研究の統合的推進

(1) 地球環境問題への統合的アプローチ

学術研究は、地球環境問題の発生メカニズム、問題の科学的評価、今後の予測を明らかにし、その解決のための政策、実施の方策を提示することで、地球環境問題解決に貢献することができる。しかし、現実の学術研究は、専門分野ごとの細分化が一層進行しており、地球環境問題解決のために学術研究に求められている社会の要請に十分に応える状況となっていない。問題を解明する基礎的な科学研究、問題の解決方策を提供する技術研究、問題の解決を現に社会で実現する政策研究のより一層の連携と、そうした連携を通じた総合的、統合的な政策形成と実施への貢献が、地球環境問題解決において学術研究に求められている課題である。

① 基礎的な科学研究、技術研究、政策研究の統合的アプローチ

2、3で見たように、地球環境問題は、地球温暖化、人口問題、生物多様性・生態系の破壊・減少、オゾン層破壊、地球規模の環境汚染、食料問題、資源・エネルギー問題など、しばしば相互に連関性を有する多様な問題群として現れている。これらの問題を解決するには、個別の問題について原因の究明と対策の策定を進めつつ、相互連携を深めることによって包括的な解決方策を提供することが必要である。すなわち、①問題を解明する基礎的な科学研究、②問題の解決に必要な技術研究、③科学・技術政策を含む、問題の解決を現に社会で実現する政策研究、という3つの軸の個別の展開とともに、3つの軸が相互に連携した諸科学の分野横断的な統合的アプローチが不可欠である。このことは、2006年7月に科学技術・学術審議会において策定し、2008年に近年の状況の展開に応じて見直しが行われた「地球環境科学技術に関する研究開発の推進方策について」[23]においても、「地球温暖化問題の解決に向けて低炭素社会のビジョン作りとその実現の方策が探求されている事に典型的に現れているように、地球環境問題の解決には、社会システムの根本的転換が必要である。こうした社会システムの根本的転換には、問題を解明する科学・技術、社会システムの転換を可能とする科学・技術の開発・応用に加えて、これらの科学・技術を促進し、社会システムの転換を可能とする政策に焦点を置いた研究を促進・強化することもまた必要である。」としている。

地球環境問題は、現代の経済と社会の根本的なあり方の転換なしには解決しえないことに照らせば、国際的・国内的な経済・社会システムの転換を可能とする実効的な政策の成否こそが、問題の解決に決定的に重要である。経済・社会システムの転換を促進する科学研究の推進、技術の開発普及という観点からも、国際的・国内的な経済・社会システムの転換を可能とする政策研究はより一層重要となる。

② 総合的・統合的な政策形成・実施に貢献する学術研究

地球環境は、自然的にも社会的にも一つの大きな系として存在し、個別の問題がそ

れぞれ相互に関連しあっており、それゆえ、個別の問題に対する政策投与が、他の問題に対して多かれ少なかれ影響を与えることが少なくない。III (3) 食料・農林水産業の項目でも指摘される二酸化炭素排出削減のためにバイオ燃料生産の急増が食料生産に影響を与えている例はこうした問題相互の関連を示す好例である。問題への対処を相互に調整し、齟齬を生じさせないことが効果的であり、効率的でもある。しかし、全面的、統合的な方策が求められているにもかかわらず、現実には、それぞれの脅威に対処する方策は、対処すべき問題ごとに形成され、しばしば十分な調整がなされていない。したがって、問題解決へのアプローチとしては、問題群相互の関連を総合的に評価し、可能であれば統合的に、そうでない場合にも他の問題への影響を評価するという問題横断的なアプローチが必要とされる。土木学会による沿岸域の社会基盤施設を中心とする地球温暖化の影響伝播図は、地球温暖化の影響が自然と社会的基盤にどのように関連して影響を及ぼしていくのかを解明し、その相互関連を総合的に把握し、適応策を検討した一例である[24]。このようなアプローチが可能となるためには、問題相互間の自然科学的な因果関係が相当程度まで解明されることが必要であるが、地球環境政策が緊急かつ重大な政策課題であることを考えると、問題相互間の関連性の自然科学的解明と総合的・統合的な政策形成・実施を可能とする政策研究とは、同時並行的に進める必要がある。

国際的、国内的な経済・社会システムの見直しと転換の必要性という観点からは、いずれの地球環境問題にも共通してこうした総合的・統合的な政策形成と実施に関する研究が求められる課題の一つとして、国内レベル、国際レベルにおける開発援助政策や貿易・投資政策への環境上の配慮の統合をあげることができる。地球温暖化問題一つを例にとっても、2050年に世界の温室効果ガス排出を半減するといった目標の実現には、それを実現する一とりわけ開発途上国での大幅な削減を可能とする一ための多大な資金と投資の動員が必要となると試算されている[25]。そうした観点からは、政府開発援助を含め、開発途上国の持続可能な開発を実現するための資金をいかに確保し、地球環境問題解決に効果的に利用しうるか、地球環境問題を解決するための「国際財政」を構築、促進する政策の形成、実現のための学術研究の推進に重点が置かれるべきである。他にも、知的所有権と関連する問題を含め、開発途上国への技術の移転を促進する政策、また、国際的な貿易・投資体制が、環境への考慮を十分取り込み、問題の解決を阻害せず、むしろその解決を促進、支援するものとなるような統合的な政策の形成・実施のための学術研究の推進が必要である。

(2) 市民の参加と協働、その制度的保障と学術研究

従来からの社会経済システムや人々のライフスタイルの現状を前提とする限り、地球規模の課題の解決はきわめて困難なものであることが明らかになってきた。地球環境問題を解決し、持続可能な社会を築くためには、社会経済システムの変革から人々のライフスタイルの変更まで大きな社会変革がもとめられている。それは、国内、国際レベルを問わず、行政の政策や活動だけで実現するものではない。ビジネス・産業、児童・青

年、農業者、先住民、NGO、科学者集団、女性、労働者・労働組合といった市民社会のさまざまな主体の参加と協働が求められる。

中でも、社会経済システム変革の鍵を握っているのは市民である。消費者として市民が新たな価値観にもとづいて行う消費行動は、企業を変え、社会全体に大きな影響を及ぼす。欧州では、1990年以降、「持続可能な消費」「消費者市民社会 Consumer Citizenship」という概念が重視されるようになり、それにもとづくさまざまな実践がはじまっている。日本においても、そのような消費者行動がはじまっており、環境保全のブランドを付した農作物が通常の農作物の価格よりも高い価格であっても購入するといった消費行動が見られる。

市民がそのライフスタイルを変え、地球環境問題の解決につながる行動を選択するには、行動の選択に必要な情報を提供する社会制度的な仕組みをつくとともに、市民がそのような情報を獲得し、理解するのに必要なリテラシーを市民が身につけることを可能とする教育・学習システムが必要である。さらに、企業から市民に提供される財とサービスがそのサプライチェーン全体、ライフサイクル全体を通して与える環境負荷が評価され、環境負荷に関する情報が、市民にとって容易に理解できる形で提供される透明性の高い情報提供のシステムの構築も求められる。企業が自主的に行う地球環境問題解決に寄与する企業の社会的責任（CSR）に基づく行動を促進しつつ、他方で、上記の教育・学習システムや財やサービスの環境負荷に関する情報提供システムの制度的インフラストラクチャを整備する公的機関の役割が決定的に重要である。

市民の生活が企業から提供された財とサービスに依存している現実をふまえると、地球環境に負荷を与えない財やサービスが企業により提供されることがなければ、市民はそのような行動を選択できない。環境に負荷を与えない財やサービスの創出と市場化、普及を促進するには、こうした財やサービスを提供する企業が競争上不利益を受けず、社会が許容できない環境負荷を与える財やサービスを市場から退場させる、規格や基準など市場の規則の設定や補助金付与などの政策の投入が不可欠である。そして、地球環境問題の解決に市民の参加が有している重要性に照らして、情報の開示、政策形成への市民の参加が、恩恵的ではなく、権利として制度的に保障され、これらの権利が不当に拒否される場合には司法的手続を通じて実現しうることを制度的に保障することが必要である。

市民の参加と協働を促進するためのこうした教育・学習システム、情報提供システムの制度的インフラストラクチャの構築、財やサービスの環境負荷の定量的評価、透明性の高い情報の創出は、学術研究が貢献しうる役割の一つである。例えば、リスクコミュニケーション手法の開発といったこうした市民の参加と協働による政策の形成と実施を現実のものとする手法の開発や、市民の参加と協働の基盤となる法制度、社会制度の形成と運用を可能にする学術研究にも重点が置かれるべきである。

(3) 日本の学術からの国際的な発信—特にアジアにおける貢献

地球環境研究は、さまざまなプログラムによって国際的に進められている。先進諸国

への共同研究の働きかけや、申し出への真摯な対応は今後も継続していく必要がある。開発途上国への共同研究への働きかけ等、今後ますます日本のリーダーシップが期待される。特にアジアにおいては、日本の積極的な貢献と指導的役割が必要である。アジアは、世界人口の60%強が居住し、しかも、中国・インド・東南アジアなど、世界でも最も急激な経済成長を続けているため、環境への負荷も非常に大きく、温室効果ガスの放出、大気・水汚染、生態系の破壊など、地域のみならず、地球規模での環境問題が最も鮮明に現れ、また深刻になっているケースが多く、しかも多くの場合、国境を越えた問題となっている。一方、日本以外では近代的科学を進めた歴史がまだ浅く、また真に問題意識を共有した国際的な共同研究の経験も少ない。日本は、1980年代から、地球環境研究の国際プログラムである世界気候研究計画(WCRP)や地球圏生物圏国際共同研究計画(IGBP)および生物多様性研究計画(DIVERSITAS)などで、アジアの研究者コミュニティをまとめ、リードしてきた経験もあり、このような状況の地域で指導的役割を果たせるのは日本以外にはなく、そのことを強く意識した地球環境研究の国際枠組みを日本のリーダーシップで進めていくことは非常に重要である。また、環境対策技術でも、日本は世界的にも大気・水汚染の分野などで世界をリードしており、これらの先進技術のアジアでの普及こそは、地球環境の改善にとって喫緊の課題である。

(4) 継続的な環境観測とその高度化

変化する地球環境を的確にとらえ、そのメカニズムを知るためには、新たな高精度、高解像度の衛星や、地上大型測器による環境観測の展開が必要となる。これには、我々を取り巻く環境そのものを観測するだけでなく、環境に影響を及ぼす領域の観測も強化する必要がある。たとえば、地球気候の長期メモリーは、これまで主に海洋や雪氷圏が考えられていたが、最近の研究では、対流圏に比べて穏やかで時間スケールの長い成層圏・中間圏が、波動を介在して対流圏に影響する可能性も指摘されている。

一方、環境監視の視点で、過去を含めて長期的にモニターするためには、地上観測や、高層気象観測などを欠測なく今後も継続させる必要がある。観測には必ず系統誤差があり、その補正值は、わずかな気候変化を上回ることがしばしば起こる。したがって、環境監視のための観測手法の変更は、精度や観測地点の代表性など、さまざまな視点から十分に検討したうえで慎重に進める必要がある。また、観測は一度中断すると、トレンド解析などにおいて、取り返しのつかない欠損となる可能性がある。今後、新しい観測技術も取り入れつつ、従来型観測の継続必要性も慎重に見極め、地球環境の観測・監視体制を強化する必要がある。

(5) 上記の課題遂行のための研究・教育基盤の課題

科学研究費や競争的資金、学術振興会の特別研究員等の資金は相対的に増えてきているもののその額はまだ限られており、大学全体の予算削減の枠組みのなかで、定員削減の枠がはめられ、教員の人員削減など先端研究を支える基盤の低下が起こっている。地球環境問題に関連した研究には、上述の継続的観測研究や未知のプロセスを解明する学

際的な研究など、より継続的で基礎的な研究の体制が必要であり、競争的資金だけに頼らない、より基盤的な研究体制・基金が継続して保証されることが必要である。大学院教育の充実、若手研究者の育成という観点では、教育スタッフの充実が必要である。若手研究者の意欲を高めるためにも、全体の人員数に関して、より柔軟な対応がとれる仕組みが必要であろう。

また、地球環境問題が、文字通りグローバルなスケールでの政治・経済・文化などを含め、人類社会の在り方そのものに関わる重大かつ緊急の課題となっているにも関わらず、その問題を、基礎を含め、系統的に教育する体制が、特に初等・中等教育ではほとんど築かれていない。例えば、本来こうした問題を教えるべき地学、地理などの科目が、現在の中学・高校教育では、問題を系統的に教育するという要請に応えておらず、生物学でも生態学分野の内容の改善が必要である。初等・中等教育における地球環境問題の教育体制の一層の充実は、緊急かつ最重要の課題である。

<参考文献>

- [1] UNEP, Global Environmental Outlook (GEO) 4: Environment for Development, UNEP, 2007 及び OECD, OECD Environmental Outlook to 2030, OECD, 2008.
- [2] IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Synthesis Report, Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf
- [3] IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Geneva, Switzerland: IPCC, 2007 及び McMichael, A. J. et al., Climate change and human health: risks and responses, World Health Organization, 2003.
- [4] Report of the Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights on the relationship between climate change and human rights, A/HRC/10/61, 15 January 2009.
<http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/G09/103/44/PDF/G0910344.pdf?OpenElement>
- [5] The United Nations Framework Convention on Climate Change (気候変動に関する国際連合枠組条約)
http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1349.php
<http://www.env.go.jp/earth/cop3/kaigi/jouyaku.html>
- [6] UNEP, Environmental Effects of Ozone Depletion and Its Interactions with Climate Change: 2006 Assessment, UNEP, 2006 とりわけ Chapter 2.
- [7] Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer (オゾン層の保護のためのウィーン条約) / Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer (オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書)
<http://www.mofa.go.jp/MOFAJ/gaiko/kankyo/jyoyaku/ozone.html>
- [8] Global Aerosol System 2000-2007 (NASA Earth Observatory).
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=8857>
- [9] Ramanathan, V., et al., "Atmospheric brown clouds: Impacts on South Asian climate and hydrological cycle", Proc. Nat. Acad. Sci., 102, 5326-5333, 2005.
- [10] United Nations Economic Commission for Europe, Hemispheric Transport of Air Pollution 2007, Air Pollution Studies No. 16, Interim report prepared by the Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollution acting within the framework of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, 2007.
- [11] Suzuki, S. and Takada, H., Chemical Pollution in Indochina: Contamination Status, Ecosystem Impact and Remediation Technology, Tokai University Press, 2009.
- [12] 農林水産省『平成20年度食料・農業・農村白書』(269頁)、2008年。
http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h20/zenbun.html
第3回BT戦略推進官民会議配布資料
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/bt2/haihu3/index.html>

[13] 日本学術会議地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会、報告『地球温暖化問題の解決のために—知見と施策の分析、我々の取るべき行動の選択肢』、2009年3月10日。

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h72-1.pdf>

[14] 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次評価報告書第2作業部会報告書技術要約環境省確定訳

http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/wg2_ts.pdf

[15] 『科学技術・研究開発の国際比較 (2009年度版) 概要版』、(独) 科学技術振興機構、CRDS-FY2009-IC-01、

[16] プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発「研究評価(技術戦略マップ)」、(財) 地球環境産業技術研究機構、<http://www.rite.or.jp/>

[17] 日本学術会議農学基礎委員会水問題分科会、提言『変貌する農業と水問題—水と共生する社会の再構築に向けて』、2008年8月28日。

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t62-2.pdf>

[18] 遠藤真弘「食料と競合しないバイオ燃料」『国立国会図書館 ISSUE BRIEF』NUMBER 627(2008.12.25.)。

<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/issue/0627.pdf>

[19] 林野庁『平成20年度 森林・林業白書』(172頁)、2008年。

http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_rinya/h20/index.html

[20] (独) 水産総合研究センター、国際漁業資源の持続的利用と適切な保存・管理のために、<http://kokushi.job.affrc.go.jp/>

[21] 日本学術会議、答申『地球環境・人間生活にかかわる水産業及び漁村の多面的な機能の内容及び評価について』平成16年8月3日。

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-19-1-6.pdf>

[22] 日本学術会議生産農学委員会畜産学分科会、対外報告『わが国食料生産における資源循環型畜産技術の開発と地域活性化』、2007年11月22日。

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t46-2-1.pdf>

[23] 10頁。「推進方策」は、2006年に、総合科学技術会議の推進戦略に示された課題に関して、文部科学省として今後推進すべき具体的な研究開発課題及び研究開発の推進にあたっての重要事項について、科学技術・学術審議会が検討・取りまとめを行ったもので、2008年に見直しが行われ改訂が行われた。

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/suishin/08090512/001.pdf

[24] 土木学会海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会編『地球温暖化の沿岸影響：海面上昇・気候変動の実態・影響・対応戦略』、土木学会、1994年。

[25] Investment and financial flows to address climate change: an update, UNFCCC Technical Paper, FCCC/TP/2008/7, 26 November 2008.

<参考資料> 地球環境問題分科会審議経過

平成 20 年

- 6月26日 日本学術会議幹事会（第58回）
 - 日本の展望委員会 地球環境問題分科会設置承認
- 7月24日 日本学術会議幹事会（第60回）
 - 分科会委員決定
- 9月26日 地球環境問題分科会（第1回）
 - 委員長など選出、分科会の検討事項、今後の進め方について審議
- 10月27日 地球環境問題分科会（第2回）
 - 分科会の検討事項について審議
- 12月26日 地球環境問題分科会（第3回）
 - 分科会の検討事項について審議

平成 21 年

- 3月10日 地球環境問題分科会（第4回）
 - 起草分科会に提出する報告案骨子について審議
- 4月6日 総会
 - 検討状況を報告
- 4月16日 地球環境問題分科会（第5回）
 - 報告書作成について審議
- 5月25日 地球環境問題分科会（第6回）
 - 報告書（草案）の作成について審議
- 7月24日 地球環境問題分科会（第7回）
 - 報告書のとりまとめ方、提言案について審議
- 10月5日 総会
 - 検討状況を報告
- 11月16日 地球環境問題分科会（第8回）※メール審議（～12月11日）
 - 提言最終案の確認

平成 22 年

- 2月3日 地球環境問題分科会（第9回）
 - 査読後の提言最終案の確認
- 2月12日 日本の展望委員会へ最終提言を提出
- 2月26日 日本の展望委員会（第10回）
 - 地球環境問題分科会提言「地球環境問題」を承認