

提言

生物多様性の保全と持続可能な利用
～ 学術分野からの提言～



平成22年(2010年)2月25日

日本学術会議

統合生物学委員会

この提言は、日本学術会議統合生物学委員会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議統合生物学委員会

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
副委員長	斉藤 成也	(第二部会員)	国立遺伝学研究所集団遺伝研究部門教授
幹事	西田 治文	(連携会員)	中央大学理工学部教授
	長谷川壽一	(第一部会員)	東京大学大学院総合文化研究科教授
	今中 忠行	(第三部会員)	立命館大学生命科学部生物工学科教授
	北里 洋	(第三部会員)	(独)海洋研究開発機構海洋・極限環境生物圏 領域 領域長
	長谷川真理子	(連携会員)	総合研究大学院大学教授
	松本 忠夫	(連携会員)	放送大学教養学部教授
	美宅 成樹	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授

1 作成の背景

生物多様性⁽¹⁾の保全と持続可能な利用は、人為的気候変動に対する対策とともに、人類社会の持続可能性⁽²⁾に大きく影響する重要課題の一つである。生物多様性の危機は、地球規模でも日本国内においても、いっそう深刻化しつつあり、根本的かつ広範な対策の強化がもとめられている。

1992年の地球サミットで「気候変動枠組み条約」とともに採択された「生物多様性条約⁽¹⁾」では、生物多様性を「種の多様性」、「種内の多様性」、「生態系の多様性」を含む生命のあらゆる変異性と定義する。統合生物学は、生物多様性とその要素を直接の研究対象とする学術分野であり、遺伝子（種内）、種、生態系の多様性はもとより、ミクロからマクロスケール、またナノ秒から数十億年にいたる異なるスケールに展開する各生物学的階層の生命現象を探究する学術領域を広く含む。その代表的な分野は、自然史科学、生態科学、自然人類学、行動生物学、バイオインフォマティクスなどである。

それらの領域では、野外での観測、各種データの統合・解析、理論化、およびモデルによる予測などの手法を駆使し、生物としての人間（ヒト）を含む、歴史性をもち複雑で動的な生命および生物多様性に関する科学的理解を深めるための研究が行われている。また、統合生物学の応用分野の一つには、社会的な目標である「生物多様性の保全と持続可能な利用」を実現するための科学的な課題の解明を使命とする保全生物学／生態学がある。

本提言は、2010年10月に生物多様性条約の第十回締約国会議が日本において開催され、日本が議長国として顕著な役割を果たすことが期待されていることに鑑み、統合生物学を主とする学術の視点から、「生物多様性の保全と持続可能な利用」にむけた現状の評価と提案をまとめたものである。

2 現状評価と提言

生物多様性概況などによる生物多様性の現状の分析・評価、および各種指標でみる限り、生物多様性の喪失は地球規模でも国内でも減速しつつあるというよりはむしろ加速しつつあるといわなければならない。「生物多様性の減少速度を顕著に低下させる」という生物多様性条約「2010年目標」は、達成されたとはいえないだろう。その現状の打開に向けての統合生物学からの提言は次の通りである。

- (1) 科学的な現状の分析・評価・予測にもとづき、いっそう広範な主体の参加を得て、効果の高い対策を確実に進めることが必要である。また、農林

水産業、河川管理、国土利用、観光・レジャー、商取引などに関する種々の政策領域において、「生物多様性の保全および持続可能な利用」と矛盾する既存の政策を見直すこと、生物多様性と生態系サービスを評価軸とした流域および国土の統合的な管理を行うことなどが重要である。

- (2) 生物多様性に関する相互に影響し合う複雑で動的な関係のネットワーク全体を捉え、適応進化の視点をもって現状を把握するなど、対策と実践においては、科学的理論と知見を十分に活用すべきである。環境変化のスピードに比して世代時間の長い人類は、自らが改変した環境に生物として適応することは難しく、「文化的適応」が課題である。そのための学術分野間、学術と社会の間での対話をいっそう活発にする必要がある。
- (3) 日本においても生物多様性の喪失と生態系の不健全化が加速的に進行しているが、特に深刻な問題を抱えているのは、水田・ため池・河川域を含む汽水・淡水生態系、すなわち、元来の「氾濫原」を起源とする生態系である。農業や地域づくりにおいて、すでに「生物多様性を生かし・活かす」先駆的な革新的取り組みがみられるが、それらの普及に力を入れる必要がある。
- (4) 海の中でも生物多様性の減少と生態系の改変が進んでいる。特に、干潟、河口、砂浜、藻場、サンゴ礁、砂堆といった沿岸域の改変が海域の生物多様性に与えてきた影響はきわめて大きい。日本は、日本周辺のみならず世界の海洋の環境、資源および生物多様性の保全と持続可能な利用に対する責任があることを改めて認識したい。
- (5) 人為的気候変動（地球温暖化とそれに伴う変化）の緩和策としては、化石燃料由来の温室効果ガス排出の大幅削減はもとより、有機炭素の貯蔵庫としての自然性の高い森林・湿地・土壌・海洋の保全と再生を重視する必要がある。また、「適応策」の実施が生物多様性を損なうことのないよう、温暖化対策と生物多様性の保全は、相互に矛盾なく、双方にのぞましい効果をもたらされるよう計画・実行される必要がある。
- (6) 生物多様性の保全と持続可能な利用のため科学的な現状把握と将来予測に資するよう、広域的な生物・環境データの長期的収集、データの統合・解析、およびその結果を有用な情報として社会に発信するような一連の科学的な営為の強化がのぞまれる。それに寄与する人材養成および研究基盤としての標本などの研究資料の維持・活用のための仕組みづくりが課題である。

- (7) 生物多様性に対する監視網を地球規模に広げ、得られた情報を共同利用するための国際的ネットワークにおいて、日本の統合生物学分野が指導的な役割を果たすことが必要である。また、科学的な情報を国際レベル、地域レベルの政策に反映させることを促すための IPBES の設置と活用は、条約締約国にとっての重要な課題である。
- (8) 多様な主体が問題の重要性を理解し行動するうえで欠かせない生物多様性と生態系に関する十分な科学的素養の醸成のためには、自然史と生態系に関する学習を初等教育、幼年教育から重視する必要がある。自然系博物館は、広範な年齢層の自然環境学習の場として、また、生物多様性情報の収集・蓄積・情報発信の知的拠点施設として大きな意義をもつ。

目 次

1	はじめに	1
2	現状の評価と提言	3
(1)	戦略目標と科学の役割	3
(2)	適応進化と文化的適応	4
(3)	淡水・汽水生態系の危機	6
(4)	海の生物多様性と生態系の危機	7
(5)	気候変動対策と「生物多様性の保全と持続可能な利用」	7
(6)	生物多様性の広域的・長期的監視と科学的評価	9
(7)	国際的な観測ネットワークと持続可能な利用	10
(8)	生物多様性保全のためのモラルとリテラシーの醸成	11
	用語の説明	13
	引用・参考文献	16

1 はじめに

現代は、生命史および人類史において、きわめて特異的な時代であるといえる。圧倒的な優占種ともいえる人類の活動の影響により、自然の絶滅速度の 1000 倍もの速度で絶滅が進行する未曾有の大絶滅時代であり、生物進化は、地球規模で画一化した強い人為的淘汰圧の作用のもとにおかれている。年間およそ 4 万種もの種が絶滅しつつあると推定されており、かつては普通にみられた多くの生物が絶滅リスクを高める一方で、一部の侵略的な種が人為的環境に適応進化しながら急速に分布と影響範囲を拡大しつつある。これらが相俟って、生態系は地球規模でも地域においても急速に単純化・均一化しつつある。生態系がそのはたらきを通じて人間社会に提供するさまざまな資源、環境調節機能、文化的な恩恵など、「生態系サービス⁽³⁾」の供給ポテンシャルの質的、量的変化は、人間の社会とその将来にもさまざまな暗い影を投げかけている。また、砂漠化や、富栄養化した湖沼・沿岸における有害プランクトンの大発生にみられるように、生態系が突如として異なる相へ転移し、多くの生態系サービスが一挙に失われるような跳躍的な生態系変化の危険性も高まっている。

生物多様性⁽¹⁾の保全と持続可能な利用は、気候を安定化するという課題とともに、国際的な協力の下に解決すべき重要な課題として認識され、1992 年の地球サミットでは、気候変動枠組み条約とともに生物多様性条約⁽¹⁾が採択された。現在では世界のほとんどの国ともいえる 192 ヶ国がこの条約を締約している。

生物多様性条約では、生物の多様性を、「種の多様性」、「種内の多様性」、「生態系の多様性」を含む「生命に現れているあらゆる変異性」と定義している。

統合生物学は、生物多様性とその要素そのものを直接の研究対象とする学術分野である。遺伝子、種、生態系の多様性はもとより、ミクロからマクロレベル、またナノ秒から数十億年にいたる異なるスケールに展開する生物学的階層内および階層間にわたる生命現象を探究する学術領域を広く含み、代表的な分野としては、自然史科学、生態科学、自然人類学、行動生物学、バイオインフォマティクスなどがある。野外での観測や測定、各種データの統合・解析、理論化、およびモデルによる予測などの手法を駆使し、生物としての人間（ヒト）を含む、歴史性をもち複雑で動的な生命と生物多様性に関する科学的理解を深めることをめざして研究が行われている。人類は未だ地球上の全生物に関してゲノム情報や生態情報はもとより、その存在に関する情報をも把握できずにおり、分類学をはじめとする生物多様性インフォマティクスは、遺伝子やメタゲノミクス研究と並び立つメガサイエンスである。さらに、応用分野として、「生物多様性の保全と持続可能な利用」という社会的目標にかかわる科学的課題の解明を使命とする保全生物学／生態学を含んでいる。

2010 年は、国連の国際生物多様性年である。また 10 月には生物多様性条約の

第十回締約国会議（COP10）が日本において開催される。そこでは、生物多様性の保全と持続可能な利用のための既存の戦略目標の達成状況の評価を踏まえ、新たな戦略計画が策定されることになっている。日本は、議長国にふさわしく積極的な役割を果たすことが期待されている。

日本は、世界に34箇所見いだされている生物多様性ホットスポットの一つであり、その保全は世界的にも重要な課題である。現在、日本国内における生物多様性の危機もいっそう深まりつつあり、かつての普通種の多くが絶滅危惧種になっている。侵略的外来生物の分布と影響の拡大も著しい。

地球規模でも国内でも、従来からの対策だけでは、生物多様性の喪失を減速させ、問題を解決するには不十分であることが明白になりつつある。強固な科学的基礎をもつ根本的かつ広範な対策が必要になっている。

そのようなことに鑑み、統合生物学委員会では、当該分野の学術・科学の視点からの現状分析・評価をもとにして、以下の(1)-(8)の提言をまとめた。これらは、政府と社会に対する提言であるとともに、統合生物学分野をはじめとする学術分野に対する提案でもある。

2 現状の評価と提言

(1) 戦略目標と科学の役割

さまざまな生態系サービスの源泉であり、約 40 億年にもおよぶ生命史の所産として膨大な適応戦略情報の宝庫でもある生物多様性を維持することは、気候を安定化するとともに人類の持続可能性⁽²⁾を確保するための最重要課題である。しかし、ミレニアム生態系評価⁽⁴⁾、IUCN⁽⁵⁾レッドリスト、地球規模の生物多様性概況などによる分析評価や生きている地球指数 (Living Planet Index LPI⁽⁶⁾) などの指標でみる限り、地球規模における生物多様性の喪失は、歯止めがかかるところか加速の一途を辿っていると判断せざるを得ない。次にあげる指数等の状況からも、「生物多様性の減少速度を顕著に低下させる」という生物多様性条約の 2010 年目標からみた現状は、きわめて厳しいものであることが明白だろう。

- 生きている地球指数⁽⁶⁾で見る限り、1970 年から 2005 年にかけて脊椎動物の個体群サイズ (個体数) は地球全体で 30% 減少。淡水生態系に限ると 35% 減少 (WWF 2008)
- 世界の両生類の 1/3 が絶滅の危険にさらされている (IUCN 2009)
- 侵略的外来種がもたらす被害は、経済的な被害算定が容易なものに限っても、世界の GDP の 5% におよぶ (Ban Ki-moon 2009)

このような事態を打開するには、生物多様性を社会全体の関心事にすることに加え、科学的な基礎のしっかりした実効性の高い対策を確実に実施していくことが必要である。なによりも重要なことは、危機の現状を直視し、科学的にみて合理的な戦略目標や行動目標を掲げ、客観的な指数等によって目標への到達度をつねに監視することである。危機が急速に進行していることを考えると、不可逆的な変化や跳躍的な変化を防止することに主眼をおいた短期目標の設定とその確実な達成を何にもまして重視する必要があるだろう。

相互に複合しつつ作用することで生物多様性と生態系サービスを失わせつつある要因とその関わり合いの全体像を把握し、取り除きやすく、それを除去することの効果が高い要因から積極的に排除する対策を重視することがのぞましい。その際、要因ごとに、直接的操作による対策の難易度に大きな違いがあるだけでなく、有効な取り組みの空間的スケールが大きく異なることへの留意が必要である。たとえば、今後、生物多様性を損なう要因としての重要性を増すことが予測されている気候変動に対しては、地球規模で連携した取り組みによる緩和策が必須であるが、農薬や肥料による汚染は流域規模での総合的な対策が有効である。それに対して、侵略的な外来生物の影響排除は、より局所的な実践でも在来生物の絶滅リスク低減などの効果をもたらすことができる。

DPSIR モデル⁽¹³⁾ (Driver Pressure - State - Impact - Response Model) などにより問題と対策の動的な構造を把握し、戦略目標や行動目標に関連した監視・評価のための指標とその活用手法を開発するにあたって、統合生物学は、生物多様性の状態指標の開発・利用において大きな役割を果たすことが期待される。しかし、生物多様性の要素とさまざまな人為的な要因を含む諸要因間の複雑な関係全体を分析・評価して、有効な対策に関する科学的な結論を導くためには、従来の研究スタイルによる特定分野の研究者だけの小規模な観測、情報収集、分析・評価では不十分である。異分野の研究者の連携に加えて、研究者以外の多様な主体がかかわる観測・監視（生物多様性モニタリング）によって、広域かつ時間的に彫密なデータを得ることも必要である。

また、(5)にも詳しく記すが、代表的な調査地を選んで相互に関連させた多数の項目に関する長期的な継続的観測を実施し、膨大なデータをその性格に即した空間情報解析手法などのマクロ生態学的手法を駆使して統合・解析し、評価した結果を社会的に有用でわかりやすい情報として発信することも課題となる。そのような科学的な貢献のためには、異分野間の共同を可能にする基盤整備と人的ネットワーク形成のうえにたった観測・データ統合・分析・評価に資する大型研究計画が大きな意義を持つと考えられる。観測と研究の成果は、生物多様性、生態系、人間社会を含む生態・社会システムの動態のいっそう深い基本的な理解に役立つであろう。

そのような科学的、総合的な分析・評価にもとづき、生物多様性の保全と持続可能な利用の視点から、農林水産業や河川管理、観光・レジャー、商取引などに関する既存の政策を見直すこと、生物多様性と生態系サービスを主要な評価軸の一つとした、流域および国土の利用管理の統合的で新たな制度や計画を設計することが望まれる。それにあたっては、人文社会科学や理工学などの広範な学術分野が参加する統合的な知的営みが必要である。

一方で、開発における今後の生物多様性の損失を最小限にとどめるために、早急に戦略的アセスメントを制度化することが望まれる。生物多様性の保全にとっての重要な場所は、空間的に大きな不均一性を示すのが一般的で、特定の場所が特別に大きな価値をもつ。そのため、事業地が決まってからの「事業アセスメント」では、保全措置や救済措置をとることが本質的に不可能だからである。戦略的アセスメントにおける科学的評価手法の開発においても、統合生物学が果たすべき役割は大きいはずである。

(2) 適応進化と文化的適応

生物多様性の要素と影響要因は、相互に絡み合いながら影響し合う複雑で動的な「関係のネットワーク」を形成していることはすでに述べた。また、生物のもっとも本質的な性質である適応進化により、微生物や昆虫など世代

時間の短い生物では、時としてきわめて迅速な進化が起こる。有効な対策の立案・実施にとっては、これらのことを十分に踏まえることが重要である。すなわち、ネットワークの構造と機能を捉えるのにふさわしい時間・空間スケールにおける監視・情報収集・分析・評価、および、適応進化のダイナミズムを重視した現状把握と将来予測が重要である。

20世紀の半ば以降の人間活動は、炭素や窒素の循環など、主要な生元素循環に大きな改変をもたらした。炭素循環の改変は気候の不安定化を招き、窒素循環の改変は富栄養化をもたらしている。変化の大きさにおいては、後者が前者を凌駕する。ハーバーボッシュ法による空中窒素の工業的固定と、それによって生産された肥料の農地や林地への広範な投入などにより、生物が利用可能な窒素は、過去40年間に2倍以上に増加している。大気中の二酸化炭素の増加率に比べて格段に大きいこの変化は、同じく肥料由来の燐の増加とも相まって、富栄養化による植生の変化、すなわち、競争力の大きい種による被圧を介した種多様性の低下、および水域における藻類の繁茂や低酸素水域の発生・拡大など、跳躍的/不可逆的变化を含む、多岐にわたる陸域ならびに水域の生態系変化を引き起こしつつある。

陸上生態系における農地面積の増大は、大規模モノカルチャー（単一種栽培）の農地の作物とその競争者としての雑草の地球規模での圧倒的な優占をもたらした。きわめて単純な生態系であるモノカルチャーの農地や植林地が自然林や湿地にとって代わったことによる生息・生育場所の多様性の喪失がもたらす生物多様性への影響は甚大なものである。

漁業、沿岸開発、海洋の富栄養化は、生態系のバランスを攪乱し、海洋生態系が持つ物質循環の機能に影響を及ぼすだけでなく、食料供給源としての海洋生態系サービスを損ない、世界的な食糧問題にも多大な影響を及ぼす。

これらは、地球上におけるヒトの「圧倒的な優占」がもたらした急速な環境変化の例であるが、その空間的な規模は大きく、また、生物進化にとっての淘汰圧を大きく変化させつつある。適応進化に関する科学的な理論からは、このような急速な変化に生物的適応を果たし、持続もしくは蔓延するのは、害虫・雑草・病原生物・侵略性の高い外来生物など、世代時間が短く個体数の多い生物であり、すでに個体数を減じている絶滅危惧種やもともと長寿命の生物にとっては適応と存続が難しいことが推測される。

長寿命の哺乳動物であるヒトが、生物進化の時間尺からみてきわめて速いスピードで進行している現在の人為的な環境変化に対して、生物進化によって適応する可能性はきわめて小さい。すなわち、人類は自らの優占によって大きく変化させられた環境に生物的に適応して環境変動を乗り切る可能性はほとんどない。しかし、ヒトは、文化的な適応によって、未来を切り拓く力をもっている。

文化的適応とは、DNA情報以外の情報の蓄積と伝達にもとづいて、環境に適

合した生活を可能にすることである。すなわち、言語、宗教、思想、科学的理論など、非遺伝的情報（遺伝物質に刻まれた情報ではない人類特有の媒体による情報）にもとづく適応、すなわち、知識や知恵の蓄積と伝達による適応である。地域に蓄積された伝統的な知識や知恵の重要性はいうまでもないが、現前の未曾有の環境変動に適切に対処する文化的適応にとって、生物多様性と生態系サービスにかかわる科学的情報は、もっとも広域的に利用可能で本質的な情報であるといえるだろう。

統合生物学は、生物多様性、および生物多様性と人類との関係に関する情報を社会に提供する役割を担うことが期待されている。しかし、現状では、科学的な情報は著しく欠如しており、すでに蓄積している知識・知見も十分に活用されているとはいえない。今後、生物多様性と生態系サービスに関する研究ならびに社会との情報交換の機会を飛躍的に増加する必要があるだろう。同時に、文化的な適応に関連の深い科学内外の他分野との情報交換と連携を強めていくこと、すなわち学術の異分野間での対話、および「科学と社会の対話」を活発化していくことがもとめられている。

(3) 淡水・汽水生態系の危機

すでに述べたように、生きている地球指数で見ると、世界的にみてもっとも危機が進行している生態系タイプは淡水生態系である。日本においてもそれは例外ではない。

特に、問題が深刻なのは、水田・ため池をも含む淡水生態系、すなわち、「氾濫原」を起源とする生態系である。危機の深刻さを如実にあらわしているのが、汽水・淡水魚や水草では種のほぼ半数がレッドリストに掲載されているという事実である。湿地の開発、構造物による水系連結の分断、水質悪化、侵略的な外来種の影響が複合的に作用してこのような事態がもたらされている。古来、秋津洲大和の国・豊葦原の瑞穂の国と氾濫原の自然を賞されてきた日本にとって、生物多様性の惨状ともいえるこの事態は、将来の水利用、漁業、レクリエーションなど、多様な生態系サービスの利用可能性を不可逆的に失わせつつある。

現在、自然再生推進法にもとづいて自然再生が進められている場の大半が湿地・淡水生態系であることは、湿地における危機の深刻さを表しているとともに、この問題に対する社会的な関心の高さも示しているといえるだろう。保全と自然再生の実践を、科学的、順応的に進めることは、その成否にもかかわる重要な要件である。

他方、淡水生態系の保全・再生に寄与する「生物多様性を生かし・活かす農業」や地域づくりなどについては、日本国内においてもすでに先駆的な「革新的取り組み」がいくつかみられる。現在は、特殊例とみられがちなそれらの取り組みが、今後はむしろ「通常の在り方」として普及していくことが望

まれる。

(4) 海の生物多様性と生態系の危機

日本列島周辺の海域は、世界でもっとも生物多様性が高い海域の一つであり、海の生物多様性は日本のかけがえのない資源でもある。しかし、海の中でも生物多様性の減少と生態系の大きな改変が進んでいる。特に、干潟、河口、砂浜、藻場、サンゴ礁、砂堆といった沿岸域の改変が海域の生物多様性に与えた影響はきわめて大きい。海と陸の境界に位置する沿岸域の自然は特に開発圧にさらされやすく、また開発に対して脆弱である。さらに、人間の居住する陸域からの農地、家庭、工場、発電所などから排水によるさまざまな汚染に常にさらされている。日本列島の沿岸域の生物多様性を守るために、海の生物多様性の危機の評価と、陸域生態系の保全と連動した緊急の取り組みが必要である。

海洋の生態系は、基本的には海洋表層における植物プランクトンの一次生産に支えられている。海洋表層で生産された有機物がマリンスノーなどの形で深海に運搬され、深海生態系を支えているからである。地球温暖化による気候変動や海洋酸性化あるいは陸域の土地利用変化などの人的営為に伴い、植物プランクトンの生育を支える栄養塩の供給量とその空間的分布様式が変化しつつある。慢性的な赤潮や青潮の発生などが目に見える現象であるが、その海洋一次生産の変化が沿岸・表層域のみならず中・深層や深海底の生物生態系に影響を与えている。とりわけ、海洋酸性化は炭酸カルシウムを溶解させ、炭酸カルシウムをつくる生物を基点とした絶滅の連鎖が顕在化している。また、陸域から急峻な海底地形を通じて深海に人工有機物が継続的に運び込まれており、海洋生物の体に蓄積されている。

日本は周囲を海洋に囲まれた海洋国家であり、海洋からさまざまな資源を得てその恩恵に与っている。2007年には海洋基本法、2008年にはそれにもとづき海洋基本計画がそれぞれ策定されている。日本政府と国民は、日本周辺のみならず世界の海洋の環境、資源および生物多様性の保全と持続可能な利用に対する責任があることを改めて認識したい。

(5) 気候変動対策と「生物多様性の保全と持続可能な利用」

気候変動が生態系と人間社会に今後ますます深刻な影響をもたらすことが予測されており、国際的にも国内でもそれに対する対策が強化されようとしている。気候変動は、開発による生息・生育場所の消失や分断・孤立化、環境汚染、過剰利用、侵略的外来種の影響などとともに、種の絶滅リスクを高めて生物多様性を脅かす主要な要因の一つであるが、その進行により、今後、ますます重要な要因となっていくことが予想されている。

それに対して、気候の変化を緩和して気候を安定化するためには、生物多

様性の保全が必須である。緩和のためには、化石燃料由来の温室効果ガス排出の大幅削減はもとより、炭素の貯蔵庫としての森林・湿地・土壌・海洋の保全と再生が課題となる。植生と土壌は、大気の 2.7 倍もの炭素を有機化合物として貯留している。特に大きな炭素の貯蔵庫である熱帯雨林や泥炭湿地を適切に保全していくことは、「温暖化緩和策」としての効果が大きい(IPA⁽¹⁴⁾ 2009)。

化石燃料の代替としてバイオ燃料が政策化されてから、熱帯雨林や泥炭湿地をバイオ燃料生産のための穀物畑やパームヤシプランテーションなどへ転換する開発の圧力が急速に強まった。農地開発は、火入れ(火をつかったの植生除去や管理)や微生物による分解過程を通じて、植生と土壌に蓄積されていた炭素の放出をもたらす。さらに化学肥料と農薬に頼る農業では、土壌の有機炭素が無機化されて二酸化炭素の放出が続く(Tilman *et al.* 2001)。農地開発から 50 年間後までのそのような放出量、すなわち、土地転換による「炭素負債」の推算値からは、どのような場所を開発しどのような作物をつくるかで負債は大きく異なるものの、生産されたバイオ燃料による年間の温室効果ガス削減量に比べればはるかに大きな値(17-420 倍)であることが示されている。もっとも大きな炭素負債は、熱帯の泥炭湿地を開発してパーム油バイオジゼルを生産する場合にもたらされる。

気候変動対策としてのバイオ燃料の生産には、土壌や植生に貯留されている炭素の放出をもたらさない手法を用いることがきわめて重要である。負債がほとんどなく、直ちに、しかも持続的な削減効果を期待することができるのは、廃棄物バイオマスあるいは放棄農地における非栽培(野生)のイネ科の多年草バイオマスの利用である。後者は、植物バイオマスの利用であるが、化学肥料や農薬の投入が必要なく、あらゆる意味でもっとも負荷の少ないバイオ燃料の生産が可能となる。日本においては、古来、オギやススキなどのバイオマスの伝統的な利用が生物多様性の維持に寄与していたが、最近では利用が放棄されたことが生物多様性低下の要因となっている。このようなバイオマスを適切な手法で利用することは、気候変動対策と生物多様性の保全の両方に寄与するものであり、もっとも優先的に検討されるべき課題である。このように、気候変動対策と生物多様性の保全は、相互に矛盾なく、双方にのぞましい効果をもたらされるよう計画・実行される必要がある。

他方、温暖化の被害を軽減するための「適応策」の計画・実施にあたっては、生物多様性の保全への十分な配慮が欠かせない。気候変動の進行とともにいっそう激化すると考えられている災害に対して、特定の災害のみに目を向けてコンクリートによる防護壁をつくるといった「固い対策」に頼ることは、必ずしも賢明であるとはいえない。沿岸に自然の植生を取り戻して災害防止を図るのみならず同時に多様な生態系サービスを回復させるというような、統合的な適応策が、コストの面からも効果の面からも優れている(日本

学術会議・日本の展望地球環境問題作業分科会（2010）。

気候変動に対する生態系と社会の適応可能性は、その速度や他の要因、特に複合的に作用して生物多様性に影響する要因によって大きく左右され、現状では、十分に予測可能とはいえない。したがって、対策は、順応的にすすめること、すなわち現状の変化と科学的知見の蓄積に対してつねに計画を見直し、実践を柔軟に進めることが必要である。

(6) 生物多様性の広域的・長期的監視と科学的評価

「生物多様性の保全と持続可能な利用」を、科学的な現状把握と将来予測にもとづいて有効な取り組みとして実践するためには、広域的な生物・環境データを長期間にわたって収集し、それらの統合・解析を介して社会に有用な情報として提供することが欠かせない。

大規模長期生態系研究では、該当する地域の生物相や生態系の観測を行い、それらの変化の要因分析を行う。近年問題になっている地球環境と生物多様性の急速な変化や生物資源の急速な変動との関係をとらえるためには、過去からの継続監視データが重要な役割を果たしている。たとえば、さまざまな生物群における長期観測生物季節データを解析した結果、生物の出現や繁殖の時期が早まるという温暖化影響の兆候が明らかになり、気候変動の生物多様性への影響を認識する端緒となった。また、生物の生息域や分布域の変化、生物間相互作用の変質や崩壊といった、生態系の不可逆的な変化の兆しが認められているが、それらの認識は、定点における長期観測の継続によってはじめて可能となるものである。

しかし、現在では、観測の継続を困難にする状況が生じている。たとえば日本の沿岸域の生態系については、全国各地の国立大学臨海実験所などの研究機関が生物相、気温や水温、栄養塩類濃度などの長期観測データを収集してきた。森林生態系については、演習林やフィールド研究所などの大学附属研究施設がそれらの任を担ってきた。ところが財政状況の逼迫、大学や研究機関における人員削減、施設の老朽化などによって、観測体制の崩壊が急速に進んでいる。個々の大学の努力では、長期的な観測を維持することができなくなった現在、新たな観測体制の構築が急務となっている。

大規模な生態系監視サイトを確保し、生息環境や生物に関するデータを長期にわたって観測するネットワーク体制の構築が望まれる。また、これらのデータを恒久的に保持し、研究者のみならず社会一般が利用できるようにするためのアーカイブ化も必要である。それについては、各省庁による観測のデータも同様である。このような基本情報は、地域ごとの継続的な観察と集積が必要で、そのために必要な能力を持つ研究者が常駐する博物館などの基幹施設の整備とネットワーク化が不可欠である。

生物の多様性や生活史を含めた自然全般を観察し記載する自然史科学は、

生命科学の基礎になるべき分野であるが、日本では欧米諸国と比較して特にこの分野への社会的・経済的支援が不十分である。そのため、この分野の研究者は激減し、自然系博物館や研究者個人が保存してきた貴重な標本類が散逸するという不幸な事態が進行しつつある。生物の多様性や生活史に関する基本情報は、生物多様性・生態系の保全、生物の遺伝情報の活用、生物機能の解明と応用などにとっても欠かすことはできない。基礎的な自然史研究に対して欧米並みの社会的援助が行われることがのぞましい。

土壌や水系での物質循環や浄化など、多様な生態系サービスの提供において独自で重要な役割を果たしている細菌群集（細菌叢）については、未だその実態の科学的な解明が十分に行われていない。その構成や機能を生物多様性の視点から分析・評価して保全の課題を明らかにするためのメタゲノム解析や統合的な情報解析手法など、次世代型のバイオインフォマティクス統合的手法の確立が急がれる。

(7) 国際的な観測ネットワークと持続可能な利用

生物多様性にかかわる情報を地球規模で共同利用するための国際的ネットワークの構築と活発化も喫緊の課題である。UNESCO 傘下の国際組織である GBIF⁽⁷⁾ (Global Biodiversity Information Facility: 地球規模生物多様性情報機構) 計画、あるいは環境と生態系の情報を統合した継続監視網として現在進行しつつある GEO BON⁽⁸⁾ (Group on Earth Observations, Biodiversity Observation Network: 地球規模生物多様性観測ネットワーク) 計画などにおいては、日本の統合生物学分野が積極的な役割を果たしている。

科学・学術の研究成果、データ統合・分析の結果などは、DIVERSITAS⁽⁹⁾ (生物多様性科学国際協同プログラム)、CoML⁽¹⁰⁾ (Census of Marine Life, 海洋生物のセンサス) などの国際ネットワーク、さらには、現在、その設置について条約締約国で検討がなされている IPBES⁽¹¹⁾ (Intergovernmental Panel of Biodiversity and Ecosystem Services: 生物多様性版 IPCC) などの仕組みを介して、国際レベル、地域レベルでのさまざまな政策に適切に反映させることが必要である。2010年という生物多様性条約の節目にあたる年の締約国会議の議長国を務める日本が、これら国際的なネットワークの理念、運営、科学的成果の面で、文字通り「要」ともいえるような役割を果たすことが必要だろう。さらに、地球全体の生物多様性情報の共有化が進む中で、GBIFにもっとも多く海洋生物データを供給する OBIS⁽¹²⁾ (Ocean Biological Information System) のような全世界ネットワークへの貢献ももたらされらう。

農地の利用開発などを介して生物多様性に大きな影響を与える人口動態予測は、世界的にはきわめて複雑な様相を呈している。先進国を中心に日本のように合計特殊出生率⁽¹⁵⁾は、国ごとの経年的変動が大きいのみならず、国に

よってきわめて大きい違いがある。合計特殊出生率が継続的に2.1（現状が維持されるための限界値）を大きく下回っている国が少なからずある一方で、発展途上国の多くでは今後もかなりの人口増が予測される。また、先進国や生態系管理に失敗した荒廃地での農地放棄が急速に進む一方で、自然林や湿地を犠牲にした農地開発も活発である。将来予測はこれらのことを考慮して行う必要がある。

土地の荒廃をもたらすことなく発展途上国における人口あたりの生態系サービスに対するニーズの高まりに対応するためには、一次生産の場における生物多様性保全と持続可能な利用について、日本の里地・里山システムなど、世界に広く存在する伝統的な共生的システムに学びながら、生態科学や自然史科学の知見も活用した「新たなヒトと自然との共生システム」を開発することが必要だろう。それは、この問題にかかわる「SATOYAMA イニシアチブ⁽¹⁶⁾」を提唱している日本の科学、学術に科せられた課題であるともいえる。

(8) 生物多様性保全のためのモラルとリテラシーの醸成

生物多様性の危機をはじめとする環境危機の時代における幾多の困難な問題の解決に必要な要件は、科学的な情報収集・解析とそれにもとづく政策の立案だけではない。企業を含むすべての主体と個人が問題の重要性を理解したうえで行動すること、すなわち社会の「総参加」が必要である。それを支える環境モラルは、生物多様性と生態系に関する十分なリテラシー（科学的素養）のもとに醸成されるべきものであろう。伝統社会においても、自然と共生するためのさまざまなモラルやしきたりが存在していた。環境の限界が科学的にも明確になってきた現代における新たなモラルの確立のためには、統合生物学の基礎をなす自然史や生態系に関する学習を、初等教育・幼年教育から重視することが望まれる。また、地球という生物に満ちた惑星を理解し、守るためには、学校教育だけではなく、すべての国民が生涯を通じて自然環境に関する学習を継続し、地球環境と生物多様性を守る意識を持ち続けることが強く望まれる。

社会の構成員が、人間と自然のいずれに対しても、深い理解と柔軟なまなざしをもつことは、自然と共生する社会のもっとも重要な基盤となるだろう。かつて里山で行なわれていたような、伝統的な自然の管理体系を、さまざまな形で継承し、教育にも取り入れる意義も大きい。動植物や化石・鉱物を採集したり、名前を覚えたりといった野外での学習や、実物に触れる体験型の実習も必須である。

自然系博物館は、そのような学校教育や生涯教育に学習の機会を提供する知的拠点施設として位置づけることができ、今後、ますます重要な役割を果たすことが期待される。自然系博物館が研究者養成も含めた広い意味での人材養成、および自然史研究に十分な役割を發揮するためには、大学との連

携を前提とした全国的なネットワーク化が必要である（日本学術会議自然史・古生物学分科会対外報告 2008）。

あらゆる学校教育と社会教育の中に「生物多様性の保全と持続可能な利用」に関する教育に位置づけることは、短期的な利害にとらわれず、自然や文化にかかわる健全な価値観にもとづいて、持続可能な社会の構築に参加できる国民、国際人を育成するために、もっとも必要なことである。人間活動に由来する環境変化が、生物間相互作用のネットワークを介して絶滅の連鎖をもたらすなどの生態系の微妙でもろい面についての認識をもてるようにすること、個々の生物種は長い進化の歴史を辿ってきた歴史的存在であり、「種は一度失われれば二度とよみがえらない」ことを深く認識し、生物の絶滅を招くような人間の行為は人間の尊厳に抵触するという自覚を持つことができるようにすること、すなわち、“40億年にもおよぶ生物進化に対する畏敬の念”を抱けるようにすることは、もっとも基本的な事項であるといえるだろう。

野外体験、とりわけ、里地里山における体験や交流は、「生物多様性の保全と持続可能な利用」に関する教育のもっとも効果的な手法といえるだろう。すなわち、歴史、文化、風土という複合的な価値を備えている、里地里山や農漁村に滞在し、その自然の中に身を置き、そこに暮らすさまざまな生き物に五感を開き、自分が生態系の一員であることを再認識することは、人間性の涵養と回復にとっての有効性が高い。

四季の変化の兆しをいち早く察知してそれを祝い、手紙の冒頭を季節のあいさつで飾り、季節の移り変わりを歌に詠み、季節の折々にさまざまな祭りをとりおこなうという我が国の伝統文化は、今では風前の灯火ともなっているが、教育・学習を介して継承されるべきものであろう。花を愛で、虫を追い、鳥の声に耳をすまし、魚を探し、貝や石を拾う、そういった自然とふれあいの機会をすべての年齢層の人々が享受することができる機会をつくる必要があるだろう。里山のような、伝統的な自然の管理体系を、現代の社会的ニーズに応える新たな形で継承し、それを教育にも取り入れてゆくことの意義は大きい。

<用語の説明>

(1) 生物多様性と生物多様性条約：「生物多様性」という言葉は、1990年代になるまで、生態学を含む生物学においても、また一般社会でも、ほとんど用いられることはなかった。それが広まったのは、1992年のリオの地球サミットで生物多様性条約が採択されてからである。生物多様性条約は、「生物の多様性の保全と持続可能な利用」を主要な目標として、気候変動枠組み条約とともに採択され、地球規模での環境保全の拠りどころとなっている。生物多様性条約には、発展途上国の利益に配慮し、生物資源を利用することによって得られる利益をバイオテクノロジーに利用した国だけでなく、原産国にも公平に配分するという目標が加えられている。

生物多様性条約では「生物の多様性」を「生命に表れているあらゆる多様性」と定義し、それは、「種の多様性」、「種内の多様性」、「生態系の多様性」という三つの階層の多様性を含むとしている。

(2) 持続可能性：1987年に発表された国連のブルントランド委員会報告書（ブルントランド(Brundtland)を委員長とする「環境と開発に関する世界委員会」の報告書）において、「将来世代のニーズを満たす可能性を損なうことなく現世代のニーズにこたえる開発」として定義。同報告書では、1)ニーズを満たす可能性を損なう事態を想定し、技術や社会システムが現在および将来のニーズを産み出す可能性に制約を課していることを明瞭に認識し、2)将来の世代の「ニーズの充足」(満足)を現世代の満足と同様に重視しているところに特徴がある。持続可能性は、経済的なことから、社会的なことから、生態系に関することから関する調和原理ではなく、入れ子性、もしくは階層的な関係として捉えることが必要である。経済の持続可能性は社会の持続可能性に支えられ、社会の持続可能性は、生態系の持続可能性、すなわち、自然環境と人間の良好な関係があってはじめて確保することができる。生態系の持続可能性には厳然とした制約があり、それを無視しては社会の持続可能性も経済の持続可能性も確保しえないからである。

(3) 生態系サービス：生態系が人間提供するあらゆる便益をさす。資源供給サービス、調節サービス、文化的サービス、基盤的サービスの4つのカテゴリーに分類される。「自然の恵み」と表現することもできる。

(4) ミレニアム生態系評価：MA(Millennium Ecosystem Assessment)

(5) IUCN (International Union of Conservation of Nature)：国際自然保全連合

(6) LPI (Living Planet Index)： 生きている地球指数。脊椎動物 1,313 種（陸生生物種 695 種、海洋生物種 274 種、淡水生物種 344 種）、3,600 以上の個体群の個体数の増減にもとづいて計算された個体数変動の平均値。

(7) GBIF (Global Biodiversity Information Facility)： 地球規模生物多様性情報機構

(8) GEO BON (Group on Earth Observations, Biodiversity Observation Network)： 地球規模生物多様性観測ネットワーク

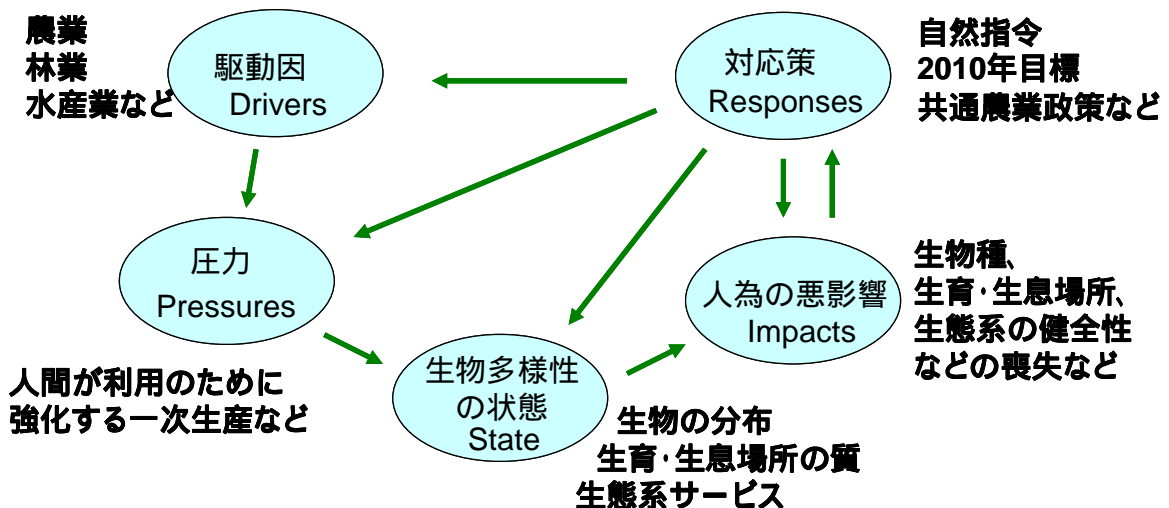
(9) DIVERSITAS : 生物多様性科学国際共同プログラム。生物多様性の起源、構成、機能、維持および保全に関する研究調査を進める政府間機関および非政府組織のパートナーとして 1991 年に創設。

(10) CoML (Census of Marine Life): 海洋生物のセンサス。海洋生物の多様性や分布に関し、過去・現在を知り将来予測をすることを目的にした国際ネットワーク。世界 80 カ国、約 2000 人の研究者などが参加。2000 年から開始。

(11) IPBES (Intergovernmental Panel of Biodiversity and Ecosystem Services): 生物多様性と生態系サービスに関する政府間パネル。生物多様性版 IPCC ともいわれている。

(12) OBIS (Ocean Biogeographic Information System): CoML のプロジェクトの一環として構築されている海洋生物の多様性や分布に関するデータベース。全海洋生物種数の半数を超える約 11 万種、2000 万件以上のデータが集積されている。

(13) DPSIR モデル (Driver-Pressure- State- Impact-Response Model): 環境などの問題と政策や対策との間の動的な関係を把握するためのモデル
人間社会における根本的原因ともいえる駆動因 (Driver)、問題の直接的原因となる圧力 (Pressure)、それによって生じる影響 (Impact)、影響をうけて変化する生物多様性などの状態 (State)、それに惹起される社会の側の対策や政策 (Response) の間には、図に示すような関係が想定される。



出典: Halting the loss of biodiversity by 2010: proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe, EEA Technical report No 11/2007

(14) IPA (International Panel of Academy) 「熱帯雨林と気候変動についての声明」: 熱帯雨林の伐採問題を気候変動対策に位置づけて解決を図るべきであるという主旨の声明。

「人の手が入っていない熱帯雨林は、毎年、人為起源全球炭素排出量のおよそ 15% (1.3 Gt) 相当量を隔離する天然の炭素回収貯留機能を提供する。こうした、コストのかからないサービスを保持することは、高価な炭素吸収貯留技術やバイオエネルギー技術の開発と同様、気候変動緩和戦略においてとりわけ高い優先度をもつ事項として取り扱われるべきである。」としている。

(15) 合計特殊出生率：人口の指標で、女性 1 人が生涯を通じて産む子どもの数を示す。この指標によって、人口の自然の増減を評価する。先進国型の生存曲線を前提とすれば、2.1 であれば増減のない定常状態となる。

(16) SATOYAMA イニシアチブ：人間の福利と生物多様性の両方を高める里山的な土地利用システムがもつ可能性を認識し、土地と自然資源を最適に利用・管理することを通じて、人間と自然環境の持続可能な関係を再構築しようとする試み。21 世紀環境立国戦略の中ではじめて用いられた。日本政府の提案により生物多様性条約第十回締約国会議の議題の一つとなる予定。

< 引用・参考文献 >

日本学術会議自然史・古生物学分科会（基礎生物学委員会・応用生物学委員会・地球惑星科学委員会合同）（2008）対外報告「文化の核となるべき真の自然系博物館の確立を目指して」

日本学術会議環境学委員会自然環境保全再生分科会（2007）対外報告「生物多様性国家戦略改訂に向けた学術分野からの提案」

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（2009）報告「地球温暖化問題解決のために 知見と施策の分析、我々のとるべき行動の選択肢」

日本学術会議日本の展望地球環境問題作業分科会（2010）提言「日本の展望 - 地球環境問題」

鷲谷いづみ ほか（2010）現代生物科学入門 地球環境と保全生物学 岩波書店

Ban Ki-moon (2009) A message to mark the International Day for Biological Diversity

Convention of Biodiversity (2006) Global Biodiversity Outlook 2
<http://www.cbd.int/gbo2/>

Fargione, J., Hill, D. J., Tilman, D., Polasky, S. and Hawthorne P. (2008) Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319: 1235-1238.

Fischer, J. et al., (2007) Mind the sustainability gap. *Trends in Ecology & Evolution* 22 (12): 621-624.

Groom M., Gray E. M. and Toensend P. A. (2009) Biofuels and biodiversity: principles for creating better policies for biofuel production. *Conservation Biology* 22: 602-609.

IAP (2009) IAP statement on tropical forests and climate change
http://www.interacademies.net/Object.File/Master/10/070/Statement_DES1748_IAP%20forests_11.09_P-2-1.pdf

IUCN (2009) The IUCN Red List of Threatened Species
<<http://www.iucnredlist.org/>>

IPCC (2007) The Fourth IPCC Assessment Report
<<http://www.ipcc.ch/ipccreports/index.htm>>

Millennium Ecosystem Assessment (2005a): Board Statement

<<http://www.millenniumassessment.org//proxy/document.429.aspx>>

Millennium Ecosystem Assessment (2005b): Synthesis report, Ecosystems & Human Well-being: Synthesis

<<http://www.millenniumassessment.org//proxy/document.356.aspx>>

Millennium Ecosystem Assessment (2005c): Synthesis report, Ecosystems & Human Well-being: Biodiversity Synthesis

<<http://www.millenniumassessment.org//proxy/document.354.aspx>>

Tilman, D., Hill, J. and Lehman, C. (2006) Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science* 314: 1598-1600.

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W., Simberloff, D. and Swackhamer, D. (2001) Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292:281-284.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. and Melillo, J. M. (1997) Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277:494-499

WWF (2008) Living Planet Report

<http://assets.panda.org/downloads/living_planet_report_2008.pdf>

<URL>

CoML 海洋生物のセンサス

<http://www.coml.org>

DIVERSITAS 生物多様性科学国際共同プログラム :

<http://www.diversitas-international.org/>

GBIF 地球規模生物多様性情報機構 : <http://www.gbif.org/>

GEO BON 地球規模生物多様性観測ネットワーク :

http://earthobservations.org/cop_bi_geobon.shtml

OBIS: Ocean Biological Information System

<http://www.iobis.org>

自然史学会連合 : <http://wwwsoc.nii.ac.jp/ujsnh/index.html>