

日本の展望—学術からの提言 2010

報告

統合生物学分野の展望



平成22年（2010年）4月5日

日本学術会議

統合生物学委員会

この報告は、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	鷲谷いづみ	(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	齊藤 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

※ 名簿の役職等は平成22年3月現在

要 旨

1 作成の背景

統合生物学は、ゲノム・個体から地球生態系にいたる多様な生物学的階層における生命現象を対象とする基礎から応用にわたる学術領域であり、代表的な分野として、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を含む。実験のみならず、野外での観察・採集・測定・調査で得られたデータの解析や理論構築など、多様なアプローチを統合的に用い、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様々な生物システムに関する科学的理解を深めることを目指す。本報告は、「日本の展望」にむけた統合生物学分野からの提言をまとめたものであり、その概要は次の通りである。

2 現状および問題点と提言

- 1) 地球規模および地域における生物と環境の変動の現状を正確に認識し、将来予測をするためには、環境データや生物群集データを長期にわたって収集し、データの統合・解析によって社会的に有用な情報を創出することが重要である。統合生物学は、このような課題に寄与する基幹的な科学領域の一つであるが、研究者の圧倒的な不足と後継者養成が可能な機関・組織の不足・急減、という深刻な問題を抱えている。一方、急速に蓄積するゲノム情報の統合・分析への寄与が期待されるバイオインフォマティクスなどの統合生物学の新興分野では、養成された若手研究者を受け容れるポストの不足がその発展を阻害している。
- 2) 生物の多様性、生活史、それを取り巻く物理的環境に関する基本情報を収集する自然史科学への社会的・経済的支援が極めて脆弱である。そのため、当該分野の研究にとって基盤的な意義を持つ標本などの研究資料の維持が困難になっており、自然系博物館や研究者個人が貴重な標本類をやむなく手放さざるを得ないという由々しき事態も進行している。標本などの研究資料は、生物多様性の保全のみならず、生物の遺伝情報の活用、生物機能の解明と応用などの学術的、応用的課題にとっての基盤でもある。社会にとって重要な資産として、適切に維持できるよう支援が必要である。
- 3) 現在人類がかかえている様々な問題の解決にあたっては、全地球規模、進化学的な時間尺度（スケール）で人間活動の理解をすすめる必要がある。人類は、狩猟採集生活から文明を構築し、さらに近代産業化社会の段階を経て、現在、人類進化史上かつてないフェーズに突入している。今日では、人口爆発と環境悪化が深刻化し、生物種としてのヒトは存亡の危機に瀕していると言っても過言でない。この先、人類が地球上の生物の一構成員として持続的に存続するためには、人間至上原理から脱却し、人類進化史を十分に踏まえた上で、統合生物学の視点から人間活動を包括的に理解することが不可欠である。人間が生物界の一員のヒトであることを正しく認識することは、全ての国民が身

につけるべき科学的素養（リテラシー）でもある。

- 4) 人類社会の持続可能性のためには、今後20-50年の間に、地球環境、エネルギー、食料、人口、健康、医療などの問題を解決することが必要であり、統合生物学を含む生命科学の果たす役割は大きい。しかし、最近のバイオ燃料生産が引き起こした森林や湿地から農地への大規模な転換や、トウモロコシやダイズなどの食糧価格の高騰にみられるように、科学・技術の応用には社会的な影響に対する十分な考慮が必要である。
- 5) 環境危機の時代の様々な問題の解決に必要なことは、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。問題の解決には、企業など全ての主体と個人が問題の重要性を理解したうえで意志決定し行動すること、すなわち社会の構成員の「総参加」が必要である。それを支える環境倫理（モラル）は、生物多様性と生態系に関する十分なりテラシーのもとに醸成されるものであり、統合生物学は、新たなモラルの確立においても大きな役割を果たすことが期待される。そのため、統合生物学の基礎をなす自然史、生態系に関する学習は、初等教育から重視される必要がある。
- 6) 統合生物学分野において科学・技術の地球規模化（グローバル化）への対応がもっとも必要になっているのは、バイオインフォマティクス分野である。異質で多様な生物データを、統一的にデータベース化していくというアプローチにおいては、国際標準の先取りや国際協調の世界的枠組み構築に関する日本の戦略立案が必要となっている。個々人のヒトゲノム情報については、データセンターの設立や情報安全性（セキュリティ）を保った状況でのデータのやりとりの仕組み等を早急に整備することが必要である。
- 7) 人口増加が著しく自然荒廃が急速に進行しつつあるアジア・アフリカ地域においては、自然と人間の共生のあり方をさぐりつつ自然保護区の設定、自然再生、環境保全型農業などの導入などを促進することが重要である。しかし、現状では開発途上国の多くは、生物多様性に関する情報収集の力をほとんどもっていない。我が国が、生物多様性の記録作成（インベントリー）、観測（モニタリング）、科学的総合評価、多様性危機地帯（ホットスポット）の抽出、保護区設定への助言などで積極的に貢献すべきであり、これらを「科学技術外交」の重要なテーマとして位置づけることが有効である。
- 8) 広範な自然史科学の分野において得られた自然情報を、地球規模で共同利用できるようにする情報連絡網（ネットワーク）の構築が求められている。UNESCO 傘下の国際組織である GBIF 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 計画などにおいては、日本の統合生物学分野が先陣を切って活躍することがのぞまれる。

- 9) 統合生物学分野に限らず、一般に大学や研究所の雇用現場においては、常勤の研究職や研究技術支援要員のポスト数が減少し、ポスドクなどの2～3年の短期雇用の研究・技術職ポストが増加したことにより、若手研究者の雇用の不安定性が著しく増大している。それによって、自由な発想に基づく独創的な研究の発展が妨げられ、研究への動機づけを低下させるおそれがある。それは、今後の学術・科学の発展にとってもっとも憂慮すべき懸念事項でもある。不安定な雇用条件のもとにある若手研究者が、長期的展望のもとに安心して研究に専念できるよう、常勤職のポストを増やすことが喫緊の課題である。
- 10) 自然と共生する持続可能な社会を実現するための人材養成も、現代社会における重要な課題となっている。「自然共生社会」の構築のためには、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が必要である。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、様々な形で継承し、また教育にも取り入れてゆく意義も大きい。生物を採集したり、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。
- 11) 自然系博物館は、地域の自然史情報の収集・蓄積の場であるだけでなく、学校における自然史教育の支援、自然史学習、自然環境学習や自然とのふれあい活動の実践者(コーディネータ)・指導者(リーダー)や支援者養成の拠点として、今後、ますます重要な役割を果たすことが期待される。さらに、地域の自然と文化にかかわる広範なテーマによる生涯社会教育など、多岐にわたる機能が期待されている。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有効であると思われる。

目 次

1	はじめに	1
2	現状および問題点と統合生物学からの提言	3
(1)	10-20年の中長期的展望	3
①	分野別生物学から統合生物学へ	3
②	激動する地球環境と社会的ニーズ	3
③	環境変動とかかわる長期観測の必要性和現状	4
④	フィールド研究機関の現状と将来	5
⑤	科学的理解が醸成する環境倫理	6
⑥	新しい統合領域への期待	6
(2)	グローバル化への対応	7
①	アジア・アフリカの環境保全への寄与	8
②	国際的な枠組みと日本の統合生物学の寄与	9
(3)	社会的ニーズへの対応	10
①	人類が抱える難問への貢献	10
②	自然環境の回復に関するニーズへの対応	10
③	自然系博物館の問題	11
(4)	これからの人材育成	12
①	若手研究者の養成	12
②	自然共生社会にむけた人材養成	13
	〈用語の説明〉	15
	〈引用・参考文献〉	17

1 はじめに

当委員会が関心をよせる学術領域は、統合生物学 Integrative Biology である。統合生物学が関与する学術の対象範囲は、ゲノム・個体から地球生態系にいたる多様な生物学的階層におよび、代表的な研究分野として、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り、基礎から応用にわたるマクロ生物学領域を広く含む。実験のみならず、野外での観察・採集・測定・調査で得られたデータ解析や理論構築など、多様な研究手法を統合的に用い、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様々な生物システムに関する科学的理解を深めることに寄与する分野である。

自然史科学は、過去から未来にわたる多様で複雑な自然界の事象を、自然科学の様々な手法を駆使して解き明かしていく総合的な学問である。研究対象となるのは、地表面から下の固体としての地球、その上に広がる海洋を含む水圏、および大気、そしてそこに棲む生き物である。それらの要素が織りなす多様で複雑な事象は、生態系に見られるように、動的平衡を維持しながらも常に変動している。その自然事象の動態を、時間軸と空間軸に沿って観察・研究することで、過去の実態を明らかにし、現在を客観的に位置づけ、未来を予測することが可能となる。また、自然を理解したいという人間本来の知的欲求に根ざすことから、自然科学の諸分野いずれにも関係しているだけでなく、他の科学・技術分野、あるいは人文科学への入口とも位置づけられる。自然史科学は、必然的に野外作業（フィールドワーク）を伴い、自然現象を野外で五感を通して体験できる分野である。人々が自然史科学に親しめば、人類が自然の中で生きており、他の諸生物との共存が不可欠なのだという重要な概念を認識できよう。自然史科学教育は、理科離れなどをもたらして現代社会の問題となっている、「若者の好奇心不足」を改善することも可能である。

生態科学は、生物と環境との相互作用をおもな課題とし、また生物多様性の成り立ち探究に深く関わる学問である。生態科学で研究対象とする生物レベルは、個体、個体群、生物群集であり、さらに、生物群集と無機的環境（温度、水、大気、光など）を包含する概念である生態系をも含む。個体から群集レベルまでの研究では、無機的環境とのかかわり以外に、他の諸生物との競争、捕食、寄生、共生、協同など、様々な相互作用を重視する。生態系レベルでは、食物網、エネルギーの流れ、元素の循環、群集遷移などが大きな研究課題となっている。生態科学の分科として、個体の生理的機能と環境との関係を研究する生理生態学、個体群の動態を研究する個体群生態学、群集の構造と機能を研究する群集生態学、動物の行動を研究する行動生態学などがある。さらに、分子生態学は分子生物学の手法をとりいれて生態学的な課題を研究するものであり、進化生態学は生物進化における生態学的側面を研究するもので、両者ともに最近大きく発展している。生態科学は農学、林学、水産学などの応用生物科学の基礎学問としても重要であり、最近では、生物多様性と生態系の保全・管理を目指す保全生態学が進展している。

自然人類学は、文化人類学とともに、広義の人類学研究分野に含まれるが、主として人間の生物学的特性を研究の対象とする。その中心は、他の生物との連続性を認識しつつ、

ヒトという生物の独自性およびその中での多様性が、進化の過程でどのようにして出現したのかを解明する人類進化学である。骨や歯あるいは生体の形態研究や遺伝子研究のほかに、生理、生態、成長などの研究分野があり、また霊長類学、考古学、年代学、民族学などの関連分野がある。

行動生物学は、ヒトを含め、自ら動くことのできる生物である動物の行動の科学的理解を目指す学問の総称である。行動を生成する神経メカニズムや、行動の変異の生成にかかわる遺伝子などを明らかにしようとするミクロな研究分野から、物理的環境、生物的環境を含めた「外界」に対する応答として、個体がどのように行動するのかといった、個体の行動の機能の研究、それらの行動戦略の進化の研究など、マクロな研究分野までを包含する。分析の焦点がいずれにあるにせよ、「個体」レベルで見られる行動の表現型の理解をめざしている点では共通している。

行動は、動物が様々な環境要因に対して時々刻々反応する手段であり、動物の適応の重要な側面である。行動を生み出す神経基盤を研究する神経行動学、認知神経科学、行動の遺伝を研究する行動遺伝学、内分泌と行動の関係を探る行動生理学、行動と生態の関係を探る行動生態学などに細分化され、ヒトの行動と心理を扱う心理学の一部も、広く行動生物学に含まれる。動物が行動をとる周囲とどのように相互作用するかを理解は、生物学の基礎の一つとして重要であるばかりでなく、獣医学、保全生物学や、人間の科学的理解にも重要な貢献をしている。激変する地球環境のなかで生物としてのヒトが、他種と共生しながら持続的に生き延びていく戦略を立案する上でも、またストレスの多い現代社会のなかで生活する個人が、たくましく生き抜く術を提示する上でも、行動生物学が貢献できる役割は大きい。

バイオインフォマティクスは、生物学、医歯薬学、農学などに関連した、データの取得、蓄積、体系化、データベース化、解析および可視化を含めた展開のためのコンピュータツールおよびアプローチの研究、開発、応用を行う学問分野として定義できる。最近、地球環境、エネルギー、食料、人口など現代的な諸問題を、生物の情報抜きに議論することができなくなっており、バイオインフォマティクスの対象および方法も大きく拡大されつつある。膨大な生物情報のデータベースを構築し、そこから有用な知識を発見し、生体高分子の構造・機能や生物システムの予測などを行うことが、今後の新しいバイオインフォマティクスの方向性であろう。一方、これまでのバイオインフォマティクスにおいて主たる研究対象であったゲノム情報を中心とした生物の大量の情報が得られるようになっており、そこから生物学的な意味を抽出したり、社会に向けて発信したりする重要性もまた、高まっている。

2 現状および問題点と統合生物学からの提言

科学・技術の継続的発展は、社会と経済の発展の基盤をなす。一方で、持続可能な地球環境、地域環境を次世代に継承していくことは、人類社会の持続可能性の前提条件でもある。経済・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に依存する。そのためには、自然の様々な事象をその成立史を含めて的確に認識し、そのような科学的理解にもとづいて地球や自然環境、それに依存する人間社会の将来を予測することが重要である。そのような知的な作業の中核を担う統合生物学は、日本の将来像を展望するにあたって、欠くべからざる研究領域である。本報告書には、この分野に蓄積されている知見にもとづき、1) 社会と学術領域の10-20年の中長期的展望、2) グローバル化への対応、3) 社会的ニーズへの対応、4) これからの人材養成について、現状認識と提言を記した。

(1) 10-20年の中長期的展望

① 分野別生物学から統合生物学へ

現代の諸科学の例にもれず、生物科学も先端化と細分化が急速に進み、一般人のみならず専門家にとっても全体像の把握が難しく、諸分野の連関が見通しにくい状況にある。かたや生物科学が解決すべき問題はますます複雑化し、個別の研究分野だけではカバーしきれず、領域横断的、複合的な研究が不可欠になってきている。この傾向はこの先も続き、中・長期的な展望として、高度の専門性と同時に、関連分野に関する深い知識を基礎としながらも、全体を概括的に評価できる総合性を兼ね備えた統合生物学は、生物学のみならず、学術領域の中でその重要性をますます増すことになるだろう。

次項で詳しく述べるように、人類は、統合的な視点から科学的な知見を活用することなしに解決を図ることのできない問題を多く抱えており、統合生物学の社会的な役割もますます大きくなるものと予想される。

② 激動する地球環境と社会的ニーズ

人口の増加、居住圏と経済活動の拡大を介して、現在の人間活動は、総体として地球の生物圏全体に極めて大きな影響を及ぼしている。開発は、経済および社会生活発展の基盤として古くから人類文明を支えてきた。しかし、産業革命以後の急速な技術革新とそれに基づく開発と産業構造の劇的な変化は、地域においても地球規模でも自然環境の全般的な悪化をもたらし、生物多様性の衰退を招いている。今後遠くない将来に、とりわけ深刻な影響をもたらすと予想されるのが、生物多様性のいっそうの喪失とそれがもたらす生態系サービスへの負の効果である。

生態系サービスは、生物資源の供給、水資源の安定供給、水環境の維持、大気構成の維持、大気の浄化、土壌の形成など、生態系がその機能を通じて人間社会に提供するあらゆる便益をさす用語である。最近では、人間社会と生態系・生物多様性との関

係を分析・評価するための指標として重要な役割を果たしている（MA 2005）。「ミレニアム生態系評価」は、ここ50年ほどの人間活動は、食料生産にかかわる一部のサービスの強化とひきかえに多くの生態系サービスの劣化を招きつつあることを明らかにした。

化石燃料の大量消費に伴う地球大気への二酸化炭素やメタンの過剰な放出による気候変動は、生物多様性の喪失のみならず、地球規模で生態系の不健全化をもたらしつつある（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）。一方で、産業活動で生み出された新規の化学物質の中には、環境への放出と蓄積を介して、野生生物はもとより、人間にも時として深刻な健康被害を与えるものがある。広く世界に目を向ければ、これらが相まって、飲料水や農業用水を確保することにも困難を来している地域も少なくない。温暖化対策のために化石燃料の代替エネルギーとして注目されているバイオ燃料の生産も、農地開発や生産技術が多大な環境負荷をもたらす場合があることが認識されている。

開発途上国での人口増加は依然として続いている。「エコロジカルフットプリント」などの指標で示される人口一人あたりの資源要求性の増大ともあいまって、このままではそれほど遠くない将来に、生物多様性の急激な減少、各種の自然資源の枯渇、地球環境の全般的な不健全化によって、人類の持続可能性が損なわれる局面を迎えるおそれがある（MA 2005）。すなわち、「日本の展望」を語るには、生物多様性と生態系サービスに関する視点が欠かせない。

生物生産を支える生物多様性は、40億年にわたる地球と生命の複雑で動的な（ダイナミックな）相互作用の帰結として形成・維持されてきた。しかし、私たちは、未だに、その成立過程や維持の機構について十分に理解しているとはいえない。地球上に何種の生物が存在するかさえ把握されていない。科学立国を標榜する我が国においても、微生物や菌類、植物、動物などを含む陸域および海域の生物多様性の全容とそれらにとっての環境を十分に把握していない。このことは、生物多様性の持続可能な利用のための生物資源の探索が効率的に行えないことを意味しており、経済的視点からみても不利な現状にある。

③ 環境変動とかかわる長期観測の必要性和現状

地球環境、地域環境の大きな変動は、害虫の発生による農産物の被害の増大やマラリア危険地域の拡大など、数多くの厄介な「問題」をもたらしつつある。これらの「問題」を事前に予測することで有効な適応策を実行に移すことが求められているが（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）、そのためには害虫、病原生物およびその媒介生物（ベクター）について、統合生物学の多様な視点から十分に理解することが必要である。また、対策にあたっては、海面上昇に対する防災適応策としての護岸強化がすでに衰退の著しい沿岸域や水辺の生物多様性をいっそう危機的な状況に陥れる可能性など、副次的な影響についても十分に予見し、適応策の実施後にも効果の検証のみならず、予期せぬ結果が生じることも想定し

て監視を続けることが重要である。

地震、火山活動、津波などの自然災害も、時として社会に大きな被害を与える。持続可能な社会を築くためには、劣化した地球全域と地域の環境変動性を深く理解し、より高度なシミュレーションモデルによる動態予測にもとづいて、生物生産・資源利用・防災などの計画をたてることが求められる。劣化した地球と地域の環境の回復・再生を有効にすすめるにも、自然環境や生物相の定期観測とそれにもとづくデータの統合・分析・評価が必要である。このようなことから、広範な自然現象を、詳細かつ継続的に観測し、現状と変化に関する統合的なデータベースを構築することの重要性は、これまでもまして高まっている。そのための観測・監視ネットワークを国際的にも国内においても拡充することが必要である。日本においては長期観測のための観測施設と、その業務に関わる専門的な人員が減少し、社会的な要請（ニーズ）の高まりとは裏腹に、観測体制が急速に衰退しつつある。

例えば、従来、日本の沿岸域の生態系については、全国各地の国立大学における臨海実験所が生物相調査、気温や水温、栄養塩類濃度などの長期観測データの収集を担ってきた。また森林生態系については、演習林や野外（フィールド）研究所などの大学付属研究施設が、それらの任務を行ってきた。その結果として、環境変動解析の基礎的資料となりうる長期観測（モニタリング）データの収集が可能となっていたのである。しかし、多くの大学では、財政状況の逼迫とともに、人員削減や施設の老朽化が進行し、長期データの観測体制が不十分なものとなってきている。この現状を打破するためには、個々の大学の努力もさることながら、全国的なネットワークを持つこれらの施設の基盤整備と支援体制の充実が必要である。

社会的な要請（ニーズ）に逆行するような観測体制の衰退は、環境立国を標榜する日本の国際貢献という面から由々しき問題である。新たに大規模な野外観測地点（サイト）を確保し、環境データや生物群集データを長期にわたって収集する体制を構築することが重要である（日本学術会議環境学委員会自然環境保全再生分科会 2008）。

統合生物学は、このような課題に寄与する基幹的な科学分野であるが、研究者の圧倒的な不足と後継者養成の可能な機関や組織の不足・急減という深刻な問題を抱えている。

④ フィールド研究機関の現状と将来

現在、公的資金で設置されている日本のフィールド研究機関の中には、その存続が危うくなっているものが多い。長期観測などを通して自然の変化を継続的なデータによって把握できる貴重な研究機関でありながら、近年の財政的な合理化や大学・研究機関の中央集中化などによって、予算削減等の対象になっているのである。私たちはこれらフィールド研究機関を一時的な理由で統廃合することには、極めて慎重であるべきと考える。むしろ、フィールド研究機関の機能をいっそう充実し、これらの研究機関が研究だけでなく、社会教育や初等・中等教育などにも貢献できるようにするための資源配分がのぞまれる。

⑤ 科学的理解が醸成する環境倫理

インターネットなどによる電子情報利用の進歩が人類の経済的發展に大きく貢献しつつあることはいうまでもない。しかし、情報爆発とも形容される現状のもとで急速に先行して増加する電子情報を、実際の多様な自然現象と照合して精査することや、細分化、高度化した情報を総合し人類共通の知的資産として活用することが遅れている。上述したように、環境の時代においては、複雑系である多様な自然を、現場でつぶさに観測し、モデル化によって予測につなげるなど、単なる対症療法的な対応ではない統合的なアプローチが求められる。

また、急速に進みつつある地球環境の劣化をくい止めるためには、統合生物学の知見に基づく包括的な理解と対策が欠かせない。社会に適切な対策を求めるためには、人文社会科学分野の知見や視点が必要である。すなわち、「人間と自然との共生」という社会的目標を実現するには、科学・学術の様々な分野の協働が欠かせない。統合生物学は、主に自然科学に礎をおきながらも、人間に対する幅広い視点をもっており、そのような協働における要の役割を果たすことができる。

環境危機の時代の様々な問題の解決に必要なのは、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。問題の解決には、企業など全ての主体と個人が問題の重要性を理解して行動をすること、すなわち社会の構成員の「総参加」が必要であり、そのための環境モラルの確立が求められている。大規模開発や大規模生産システムなど、画一的な土地利用、自然資源利用が卓越しつつある現代において、我が国の里山・里地システムなど、土地と自然資源のきめ細かい配慮をささえる伝統的な知恵や倫理（モラル）を再度見直すことの意義は大きい。環境危機の時代にふさわしい環境倫理（モラル）は、生物多様性と生態系に関する十分な科学的素養（リテラシー）のもとに醸成されるものである。したがって、統合生物学は、新たな倫理（モラル）の確立においても大きな役割を果たすことが期待される。

きめ細かく土地や生命に心を配る共生の気風は、社会の中で立場や出自の異なる人々、弱者への思いやりにもつながり、相互の敬愛といたわりの心にささえられた人類社会を築くうえでも意義が大きい。学校教育がそのような倫理（モラル）醸成の場として機能するためには、自然史や生態系に関する教育を教育課程にしっかりと位置づけること、また、そのような教育にたずさわる能力と技能を持った人材を確保することが欠かせない。

⑥ 新しい統合領域への期待

生物学研究におけるバイオインフォマティクスの重要性は急速に増大し、米国NIHの方針（ロードマップ）によれば、将来、生物学は情報マネジメントの科学となると考えられる。そして、バイオインフォマティクスは、生命現象解明のための生命科学（ライフサイエンス）における中心的・基盤的分野となり、データ解析・シミュレーション駆動型のプレディクティブ・サイエンスへと脱皮することになるだろう。そこ

で扱われる重要な問題としては、大きな規模（スケール）では、地球生命系を視野に置いた生物種の関係や生態系の動力学などに対する生命システムのシミュレーション、小さな規模（スケール）では、それら全てのシミュレーションの基盤となる遺伝子・タンパク質をもれなく容易に分類・アノテーションする技術の確立がある。社会的には、地球環境、エネルギー、食料、健康、医療などの諸問題が重要となる。

これらの問題を解決するためには、実験的な生物学とプレディクティブ・サイエンスとしてのバイオインフォマティクスがさらに深く組み合わされていくことになるだろう。例えば、ヒトの腸内細菌や皮膚の細菌などは、環境との調和、病原性の変化、流行の兆しなどと関係していて健康維持に重要な役割を果たしているが、そのメタゲノムの実験的解析から意味のある情報を抽出するにはプレディクティブ・サイエンスとしてのバイオインフォマティクスが必須となる。さらに医療情報としての画像診断の技術もますます発展し、高解像度で情報量の大きなデータが沢山得られる。ゲノム情報、画像診断情報、臨床所見などの膨大な情報を迅速かつ統合的に解析することにより、より精度の高い予知医学を実践するために、基盤としてのバイオインフォマティクスあるいは情報科学の技術の発展は必須である。

地球全体を対象とする新しいスタイルのバイオインフォマティクスも考えられる。具体的には人工衛星が撮影している膨大な地表や海面の画像情報と生物学、特に生態学の知識体系を結合し、生物量（バイオマス）や生物種数といった概括的な指標にはじまって、ある区域における各生物種の個体数増減の短期、中期、長期における推定を行うなどの研究が考えられる。また、地球が誕生して以降の地球表面の生態系の進化を、地球物理学や地質学の分野と共同して、真の意味での地球表面のシミュレーターを創るべきである。

(2) グローバル化への対応

グローバル化とは、通常、社会的・経済的な文脈において、「人・もの・資本」が国境を越えて移動すること、すなわち、貿易・資本・文化の自由化として語られることが一般的であるが、科学との関わりにおいても、全地球規模での環境問題の理解や、科学情報の流通のボーダーレス化などが頻繁に語られる。グローバル化という概念の普及とともに、人間活動をとらえる視点が、空間的にも時間的にも拡大、巨視化する趨勢にあると言えるだろう。

統合生物学は、生物学的、生態学的、進化学的視点から人類活動を俯瞰し、これまでも、コンラート・ローレンツやエドワード・ウィルソン、ジャレッド・ダイヤモンドなどの先達が、社会的にも影響力（インパクト）の大きい文明論を描いてみせてきた。今後 10-20 年後の「日本の展望」を設計して行くにあたって、次にあげるような「統合生物学の視点」は欠くべからざるものである。

- 1) 生物としてのヒトは生物進化史上、唯一、最大限に脳の高次機能を進化させ、高度な知性と理性を駆使して、自らと自らをとりまく自然・社会環境に関する理解を深

め、知の体系を積み上げ、環境を改変しながら文明を築いてきた。しかし、人類文明は、まさに今日、自らの手でその存続の危機を招いている。

- 2) 環境破壊、温暖化、民族対立、経済恐慌、現代病と精神荒廃といったグローバルな課題を解決するためには、迂遠なようであっても、「人間（ヒト）はどのような振る舞いをする生物か、ヒトの行動特性はどこからきてどこに向かおうとしているのか」という人間（ヒト）理解の生物学的原点に立ち戻ることが有効である。
- 3) 人間を根源的に理解するためには、伝統的な人文社会学研究だけにとどまらず、生物学的理解が不可欠である。行動生物学は、人間（ヒト）が他の生物種と同じ分子、生理メカニズムで作動する一介の生物に過ぎないことを示すと同時に、ヒトがなぜ、どのようにして他種にない特殊な行動様式を進化させたのかを究明し、その答えを社会に提供する。
- 4) 生物学的人間観は、客観的かつ謙虚なものであるので、これから人間社会の制度設計の基礎を提供するものであり、グローバル化が進む現代社会における科学的素養（リテラシー）として万人に共有されるべきものである。

バイオインフォマティクスは基盤的科学技術の一つになると考えられ、国際標準の波が押し寄せてくることは間違いない。異質で多様な生物データを、統一的にデータベース化していくという道筋（ストーリー）は、次世代シーケンサーだけを考へても破綻すると考えられる。国際標準の先取り化や国際協調の世界的枠組み構築について、日本の戦略立案が必要となるだろう。個人個人のヒトゲノム情報についても、大量に出てくる状況に対応した、データセンターの設立、安全性（セキュリティ）を保った状況でのデータのやりとりなどの仕組みを早急に打ち立てる必要がある。

医療現場から出てくる情報の中には、特許性を含むものも多く見受けられるが、世界がグローバル化し情報を共有しあっていく中で、日本の特許戦略が必要である。また、論文出版に関しても日本の戦略が問われている。生物学の論文は、現在急速に電子出版に移行しているが、それらのかなりの部分はいまだにインターネット上で自由に見ることはできない。生物学では米国語を論文発表などで使う圧力が極めて高まっており、英米語を母国語とする研究者がそれ以外の研究者に対して持つ優位性がますます高まっている状況にある。以上のように、バイオインフォマティクス分野でも、地球規模（グローバル）化・情報化における戦略立案が急務となっている。

① アジア・アフリカの環境保全への寄与

世界人口の増加においては、中国とインドをふくむアジア、そしてアフリカの開発途上国での増加が大きな比重を占めている。これらの国々では、人口増加と生活水準の向上に伴い、生活や産業に必要な土地、森林や海洋の自然資源、石油などの一次エ

エネルギーの利用が急速に増大しつつある。生態系、生物多様性への十分な配慮や総合的な計画や共有資源利用に関する適切なルールがないままに、野放図な土地改変と自然資源の利用が行われると、生態系の健全性が大きく損なわれ、生態系サービスの低下などを通じて地域の人々の貧困化がますます深刻化することはMA（2005）でも明らかにされている。今後は、地球温暖化の進行ともあいまって、貧困問題を抱えた発展途上国における人々の生活基盤が大きく脅かされることが懸念される。

そのような現状から、これらの地域において、個々人の自由な意志決定にもとづく人口増加の抑制、新たな自然保護区の設定、生態系の健全性を取り戻すための環境修復や自然再生などは、急務の課題となっている。人口増加速度は識字率と強い反比例の関係があるので、それらの国での初等教育への支援は特に重要性が高い。

人口増加が著しく自然荒廃が急速に進行するアジア・アフリカ地域において、自然と人間の共生のあり方をさぐりつつ自然保護区の設定や自然再生を促進することは、極めて重要である。アジアの自然は日本の自然とつながりが深いため、アジア諸国でのそうした活動は、日本の生物多様性や生態系を保全、再生することにも大きく貢献することが期待される。現在、開発途上国の多くは、自国内の生物多様性に関する情報収集が大きく遅れている。そこで我が国は、アジア・アフリカ地域を中心に、分類学・生態学に基礎を置く生物多様性のインベントリー、モニタリング、科学的総合評価、多様性危機地帯（ホットスポット）の抽出、保護区設定への助言などについて、積極的に貢献すべきであり、これらを「科学技術外交」の重要なテーマとして位置づけることが重要である。

これまで我が国は、ODAなどの仕組みを利用して、アジア・アフリカ地域の国々に対して農林水畜産業の分野における様々な技術支援や経済的支援を行ってきた。今後は、食料生産と生態系・生物多様性との調和を中心的課題としながら、持続可能な土地と資源利用を実現するための科学的、技術的支援を行うことで、それらの国々の食料問題解決にも貢献することが必要である。一方で、アジア地域を中心に猛威をふるっている鳥インフルエンザをはじめとした各種感染症の現状把握と予防法の開発は、喫緊の課題である。感染症の拡大は、人間生活と、各種野生動物をふくむ生態系の両方にとって大きな脅威となっている。日本は関連の医学分野で先端的な研究を進めているが、広範囲にわたる感染経路の究明にあたっては、今後、アジア諸国の研究者と連携を深めつつ、医学、獣医学、自然史科学諸分野の研究者が緊密な協力体制を構築して研究を推進していく必要がある。

② 国際的な枠組みと日本の統合生物学の寄与

生物界は、地史、気候、地形などに応じて、固有の歴史を持って存在している。生物多様性の保全には、地域規模、地球規模を問わず広範かつ緻密な自然情報収集とデータ統合・解析にもとづく科学的な情報とその共有が前提になる。そのためには、分類学、生態科学、自然人類学などの統合生物学に加えて、地質学、地形学、陸水学、気象学など、広範な自然史科学の分野が総合的な自然情報収集を継続的に行い、得ら

れた情報を地球規模で共同利用できるようにするネットワークの構築が必要である。現在、生物多様性情報については UNESCO 傘下の国際組織として GBIF 計画があり、さらに環境情報と生態系情報も統合した継続監視網として GEO BON 計画が進行中である（巻末の用語の説明参照）。我が国は、特にアジア地域を含めて、この計画において主導的な役割を果たす必要がある。そのための国内組織網の整備が緊急の課題となっている。国内ネットワークの確立にあたって、国立科学博物館などが中核的な役割を果たすことが望まれる。

(3) 社会的ニーズへの対応

① 人類が抱える難問への貢献

20-50 年の時間尺度（スパン）で問題となってくるのは、地球環境、エネルギー、食料、人口、健康、医療の各問題であり、これらに統合生物学の果たす役割は大きい。しかし、最近のバイオエタノール生産が引き起こしたトウモロコシや大豆などの食料価格の高騰に象徴されるように、科学の応用には社会的な影響に対する十分な配慮が必要である。健康、医療の側面から見ると、個人が各々のヒトゲノム情報を持つのが当たり前前の時代に突入するにあたり、社会的要請（ニーズ）としては予知医学と、それに基づく的確な予防医学の確立が望まれる。環境や他の微生物が人体に与える影響という観点からも、医学情報が他の環境情報、微生物学情報と統合的に解析される必要がある。

しかし、基礎的な生物学研究のすぐれた成果（シーズ）が、医療、創薬、食料、環境などの分野で自然に結実することは我が国においては非常に少ない。これに対して、予測科学としてのバイオインフォマティクスの役割は大きいと考えられる。地球生態系全体の時間的空間的变化を予測できる巨大なコンピュータシステム（本来の意味での地球シミュレーター）を開発・構築し、かつて数十年前にローマクラブが示したような短期的・中期的な地球環境系の変化を、様々なシナリオのもとで予測することが必要となってきている（MA 2005）。このようなことも含め、バイオインフォマティクスは生命科学におけるパブリックアセスメントに役立つ分野である。

② 自然環境の回復に関するニーズへの対応

今日までの公共事業として展開されてきた各種の建設事業（たとえば、道路、鉄道、ダム、河岸、湖岸、海岸の工事など）において、自然生態系の成り立ちに対する十分な配慮がなかったことが日本における生物多様性の急速な劣化、生態系の不健全化の主要な原因である。

環境省が2007年に取りまとめた「第3次生物多様性国家戦略」においては、過去100年間で破壊してきた国土の生態系を100年かけて回復させることを謳っている。そのような基本計画（グランドデザイン）を単なる夢物語としてではなく、実現可能な将来計画として着実に実践するためには、地球環境、地域環境、森・川・海など、広域と地域の両面から生態系の連関などについて研究を飛躍的に強化する必要がある。分類

学や生態科学の知識が不十分なままでは、生態系修復事業の唯一のアプローチともいえる「生態系の順応的管理」が、単なる試行錯誤に堕してしまうからである。

自然生態系が失われることは、それらが持つ生態系機能が消失することであり、多くの“生態系サービス(水資源の維持、大気構成の維持と浄化、土壌の形成など)”の持続可能な利用を難しくする。それは、人間自身の存続基盤を脆弱化させる可能性がある。もはや、これまでの近代科学の「技術万能」パラダイムからの転換が不可避であり、統合生物学などの果たす役割は極めて大きいものと思われる。

一方、科学の世界全体に目を向けると、生物の多様性や生活史を記載するという分類学・生物学に根ざした自然史研究は、全ての分野の生物科学の基礎になるべき分野であるが、日本は欧米と比較して特にこの分野への社会的・経済的支援が極めて脆弱である。短期的な視点からの実利を求める傾向は、昨今の「改革」においていっそう強まっており、自然史系博物館や研究者個人が保存してきた貴重な標本類を自らがやむなく手放さざるを得ないという事態にまで至っている。生物の多様性や生活史に関する基本情報は、生物多様性・生態系の保全のみならず、生物の遺伝情報の活用、生物機能の解明と応用などの学術的課題にとっても欠かすことができない。統合生物学の健全な発展のためにも、生物多様性・生態系の保全を適切に進めていくためにも、基礎的な自然史研究に対する社会的・経済的支援を拡大することが必要である。そのためには、広く国民の理解をえることが欠かせないが、生物多様性に今まで以上に注目があつまる機会として生物多様性条約第10回締約国会議(CBD COP10)が開催される2010年(国際生物多様性年)は、重要な節目の年になると思われる。世界に誇る豊かな自然と生物相を持ちながら、その破壊が急速に進みつつある我が国において、統合生物学的思考に基づく新しい環境施策を世界に先駆けて推進することは、世界におけるリーダーシップを発揮するための科学的な外交戦略としても重要であり、ゲノム情報解読と並ぶ最重要課題として積極的に推進すべきである。

生物多様性条約第10回締約国会議を、統合生物学が中核となる持続可能性のための新しい教育、研究、情報共有の仕組みをいっそう発展させるための絶好の機会とらえ、その成功に尽力することの意義は大きい。

③ 自然系博物館の問題

自然史科学の研究と教育の場として重要な役割を担うはずの自然系博物館が、近年単なる遊興施設のように社会からとらえられ、入館者数のみはその存立を左右する現状は、深く憂慮しなければならない(日本学術会議自然史・古生物学分科会 2007)。これは、日本における科学的素養(リテラシー)、そして環境リテラシーが未だ未成熟であるため、「真に社会的に好ましい要請(ニーズ)」が十分に理解されていないことを意味する。その解決のためには、自然史教育・統合生物学教育の充実が課題となる。学校教育のみならず、自然史系博物館を中心に行われる社会教育のなかにおいても、それが充実することによって、知的楽しみの充足を通じて広く人々の生活の質の向上にもつながるだろう。生物多様性の市民参加モニタリングプログラムを統合生物学分

野の研究者や自然史系博物館が提供することは、広域的で高密度の生物分布データの取得という科学的な課題へ寄与するのみならず、楽しみながら科学的素養（リテラシー）、そして環境リテラシーの向上や参加者の生活の質の向上にも資する取り組みとなる。

(4) これからの人材養成

現在、我が国においては、統合生物学分野の研究者の数は極めてすくない。大学やその他の研究機関における研究基盤も不十分である。自然史科学の研究者数はむしろ急減しており、その養成機関としての大学・博物館などの研究環境や教育体制は、主要先進国と比較すると惨憺たる状況にあることがわかる。そのような現状で、急速に高まる国際・国内の要請（ニーズ）に応えながら、学術領域としての発展を維持していくことは極めて困難である。

① 若手研究者の養成

統合生物学分野に限らず、一般に大学や研究所の雇用現場においては、常勤の研究職や研究技術支援要員のポスト数が減少し、ポスドクなどの2～3年の短期雇用の研究・技術職ポストが増加したことによって、雇用環境の不安定性が増大している。そのために、若い研究者の研究の自由度や研究への動機づけが著しく低下していることは、日本における今後の学術・科学の発展にとってもっとも憂慮すべき懸念事項である。このような研究環境の悪化は、将来、我が国の研究水準の著しい低下をもたらすことが危惧され、早急に抜本的な人材養成のための施策を打つ必要がある。具体的には、若手基礎研究者に対する経済支援策（大学院教育の実質的な無償化）、重点的な研究費配分（若手研究者の自由な発想による研究に対する研究支援）、キャリアパスの形成（常勤研究職および高度専門職の拡大）、家庭と研究を両立できるような女性研究者に対する支援が喫緊に求められている。

バイオインフォマティクスや自然環境保全関連の分野など、新しく発展した分野では、養成された若手研究者の受け入れ体制がまだ確立していない。その分野の学術的・社会的な重要性が認識にもとづく人材育成プログラムによって養成されながら、若手研究者に安定した職が与えられないということは、社会システムの誤設計ともいふべき由々しき事態である。

バイオインフォマティクス分野の研究者養成に関しては、実験科学者とバイオインフォマティストが共存する研究室の重要性が認識されており、欧米では数多くのシステム生物学研究所が作られている。しかし、日本ではそのよう体制整備が遅れ、長期的な人材確保の見通しがたっていない。このことは、統合生物学の他の分野にも共通する。中長期的な視点に立った基本計画（グランドデザイン）とそれを支える人材育成プランが明確に示されることが必要であるとともに、領域ごとに新しい職域の確立がのぞまれる。一方で、基礎科学の研究者、応用科学の研究者のみならず、社会と専門領域をつなぐ「社会指向研究者」の養成も今後ますます必要となるだろう。

自然史科学の研究者の養成に関しては、当該分野を扱う研究室が極めて少なくなっている中で、大学が十分な役割を果たせていない現状がある。大学のカリキュラムの中に「自然共生社会」を担う国民としての素養（リテラシー）を身につけるためのプログラムを位置づけ、大学の中に当該分野の研究者の教育・研究の場を確保することが重要である。同時に、自然系博物館の研究環境の改善により、大学との連携のもとに研究者養成が行えるようにすることがのぞまれる。

② 自然共生社会にむけた人材養成

自然と共生する持続可能な社会を実現するための人材養成も現代社会における重要な課題となっている。「自然共生社会」の構築のためには、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が必要である。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、様々な形で継承し、教育にも取り入れてゆく意義も大きい。生物を採集したり、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。

人間活動に由来する環境の変化が、様々な生物種間関係のネットワークを介して、ある種を絶滅させてしまうというような、生態系の微妙でもろい一側面を、学習することも自然環境学習としては重要である。分類学や生態学に根ざした自然史科学の視点が、学校教育の中に取り入れられる必要がある。個々の生物種は長い進化の歴史を辿ってきた歴史的な存在であり、「種は一度失われれば二度とよみがえらない」ということを深く認識し、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も重要であろう。“40億年にもわたる生物進化とそれがもたらした生物多様性に対する畏敬の念”をもつことは、人間性を涵養する最も必要な素養といえるだろう。

自然の中に身を置き、生物たちの生活に五感を開き、自分が生態系の一員であることを再認識することは、人間性の回復にとりわけ重要な意味がある。四季の変化のきざ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、季節の折々に様々な祭りをとり行うという我が国の伝統は、学習等の機会の提供を通して広く継承されるべきである。花を愛で、虫を追い、鳥の声に耳をすまし、石や貝を拾い、魚を釣る、そういった自然とふれあいの機会を全ての年齢層の人々が享受することができるような場の確保に加えて、そのような自然史学習やレクリエーション活動の指導者、実践者の養成も重要な課題である。

これらの目的を達成するには、現在の初等教育以降の学校教育において、自然史にかかわる科目を充実させ、その指導にふさわしい教員を充当することが必要である。そのような教員を養成するためには、教員養成課程科目を見直し、理科学科目のなかに自然史や生物多様性に関する履修内容を盛り込むことなどが必要である。一方、自然史学習の拠点として、自然環境学習や自然とのふれあい活動の指導者、実践者養成の場として、重要な役割を果たすことが期待される自然系博物館に対する社会的・経済的支援の強化が必要である。

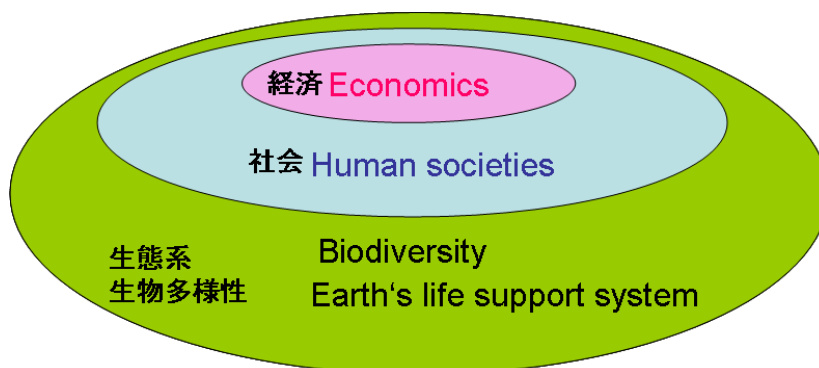
なお、自然系博物館は、地域における自然環境教育の拠点としてだけでなく、地域の自然史情報の収集・蓄積の場、学校における自然史教育の支援、地域の自然と文化にかかわる広範なテーマによる生涯社会教育の場としても、重要な役割を果たすことが期待される。自然系博物館が研究者養成も含めた広い意味での人材養成、および自然史研究に十分な役割を發揮するためには、大学との連携を前提としたネットワーク化が有効であると思われる。すなわち、国内を9から13程度の地理的ブロックに分け、各ブロックに少なくとも1つは自然史科学の調査研究、教育の核となる基幹的な研究機関を置き、国際水準からみて十分に高度な研究と研究者養成をネットワーク全体で遂行するという方策である。

これら人材養成の要ともなる大学における生物学の教育・研究体制における課題は、統合生物学を発展させるような分野別バランスに配慮した体制作り、すなわち具体的には教員配置とカリキュラムの整備である。現状では、マクロ系生物学（進化学、生態学、行動生物学など）の専任教員が不在で、非常勤講師に依存した生命科学系の学科が少なくない。カリキュラムについても、マクロ系生物学の開講科目数の比率が非常に低いのが、我が国の大学における生物教育の実情であり、これは他の先進国の大学ではみられない我が国特有の状況である。研究費についても、国立大学の運営費交付金の削減に加えて、近年の「選択と集中」型の研究費配分によって、比較的小規模な予算で持続的な調査研究を行うフィールド系研究に対する研究費が、頭打ちもしくは減少の傾向にある。統合生物学の発展を促すような研究費の枠組み作りが必要である。

<用語の説明>

○ 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)社会的要請(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、図のように入れ子性、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。



Proposed by Fischer *et al.* (2007)

○ 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。

○ 生態系サービス

生態系が人間に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。

○ GBIF

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

○ GEO BON

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

○ MA

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

<引用・参考文献>

糸魚川淳二、「新しい自然史博物館」、東京大学出版会（1999）

科学技術の智プロジェクト生命科学専門部会報告書（2008）

日本学術会議動物科学研究連絡委員会・植物科学研究連絡委員会、報告「自然史系・生物系博物館における教育・研究の高度化について」、日本学術会議（2003）

日本学術会議動物科学研究連絡委員会・植物科学研究連絡委員会、報告「自然史系博物館における標本の収集・継承体制の高度化」、日本学術会議（2005）

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）、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 地球温暖化問題解決のために—知見と施策の分析、我々の取るべき行動の選択肢—

URL

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

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

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>>