

日本の展望—学術からの提言 2010

報告

## 基礎生物学分野の展望



平成22年（2010年）4月5日

日本学術会議

基礎生物学委員会



この報告は、日本学術会議基礎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。

### 日本学術会議基礎生物学委員会

委員長	黒岩 常祥	(第二部会員)	立教大学大学院理学研究科・極限生命情報研究センター センター長、特任教授
副委員長	小原 雄治	(第二部会員)	情報・システム研究機構理事 国立遺伝学研究所所長
幹 事	室伏きみ子	(第二部会員)	お茶の水女子大学理学部教授
	浅島 誠	(第二部会員)	産業技術総合研究所フェロー兼器官発生工学研究ラボ長
	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
	榊 佳之	(第二部会員)	豊橋技術科学大学長
	野本 明男	(第二部会員)	東京大学大学院医学系研究科特任教授
	柳田 敏雄	(第二部会員)	大阪大学大学院生命機能研究科教授
	山本 正幸	(第二部会員)	東京大学大学院理学系研究科教授

報告書および参考資料の作成にあたり、以下の方々に御協力いただきました。

五條堀 孝	(連携会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立遺伝学研究所副所長・教授
白山 義久	(連携会員)	京都大学フィールド科学教育研究センター長・教授
塚谷 裕一	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
長濱 嘉孝	(連携会員)	自然科学研究機構・基礎生物学研究所特任教授
永山 國昭	(連携会員)	大学共同利用機関法人自然科学研究機構岡崎統合バイオサイエンスセンター教授
福田 裕穂	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻教授
馬渡 駿介	(連携会員)	北海道大学理学院教授

※ 名簿の役職等は平成 22 年 3 月現在

# 要 旨

## 1 作成の背景

基礎生物学は、生命科学系の根幹をなす基盤科学として、生命とは何かという大命題のもと、生命の誕生と進化、遺伝、発生・分化、系統・進化、さらに生命間の総合作用など、地球圏に棲息する生命の基本原理について、急速に展開するゲノム情報を基盤に様々な最先端の技術を駆使しながら解明を行っている。こうした基礎生命科学の成果が、新しい応用科学を生み、さらに医療、食料問題、環境問題など、地球規模で抱える大きな問題解決に大きく貢献しようとしている。基礎生物学研究の目的は、人類をはじめ多くの生物が、この地球で生息を続けるための基盤となる必須な情報を、真理の探求活動を通して提供することである。

ここでは、基礎生物学全般における多方面にわたる種々の問題・課題の摘出、研究の必要性、今後の解決法・推進の方向などについての提言を取りまとめた。

## 2 現状および問題点

基礎生物学分野の知見から分子生物学が生まれ、微生物からヒトに至る生物の設計図ともいべきゲノムの解読が進み、これらの情報を基盤に、様々な生命現象を従来に増して遺伝子をはじめ物質レベルのふるまいとして説明ができるようになった。しかし細菌のような最も単純とされる原核生物さえも、未だに「生きている」とはどういうことか、根本的な問題は解明されていない。しかし世界レベルで見れば、この分野でも解析技術の発展に伴って急速に新たな研究が展開されている。一方我が国では、研究費配分、政策、教育、博士課程を終えた研究者の就職難など、次世代を担うべき若い研究者の置かれている環境は極めて不遇な状況にある。これらを早急に改善しなければ我が国の生命科学、ひいては科学立国としての持続的な発展を維持することは困難である。(また、こうした状況の中でも、医療、環境、そして食料問題が深刻化を増している。例えば、食料に関して言えば、地球上の人口は現在 67 億人であり、2050 年には 90 億人を超えるとされている。過去 100 年間の急速な地球人口の増加を支えてきたのは農地の拡大、化学肥料、除草剤、農薬、そして品種の改良(育種、遺伝子の組み換え)等である、しかし現在の環境変動とともに従来の対応策の多くは限界に達している。将来の可能性の一つとして、ゲノム情報を基盤にした遺伝子組み換え技術があり、これらの有効な利用が望まれる。

基礎生物学は、生命とは何か、生命の基本原理の解明を基盤におき、そこから得られた知見を発展させる事により、地球が抱えている様々な問題の解決につながる糸口の解明、発見、新たな技術の創成を目指している。

## 3 報告の内容

### (1) 10~20 年程度の基礎生物学の分野別の中期的な学術の展望と課題

近代の生物科学は、1953 年のワトソンとクリックによる DNA の二重らせん構造の発見を契機として、遺伝子探索の分子生物学の時代へと突入し、細胞の増殖、分化、さらに

は免疫機構などその基本的しくみが分子のレベルで語られるようになってきた。特に生命構築の基盤となる生物の設計図とも言うべきゲノム解読も著しく進んだ。1995年のペンターによる、自律的生物としてははじめてのインフルエンザ菌のゲノムの解読から始まり、酵母、線虫、ショウジョウバエなどを経て、2004年にはヒトゲノムの解読が終了した。その後も多様な生物のゲノム解読は日毎に進み、解読装置の進歩もあって、現在ではヒトゲノムはわずか2ヶ月で再解読が可能となっている。新規ゲノムの解読はまだ課題は多いが、今日では、様々な生物の設計図の種内多様性がDNAの配列として短期間で提示されるようになり、生物の複雑な形質や個性の解明が目指されている。

今後は生命科学のあらゆる分野で、ゲノム情報を基盤にした研究が進み、遺伝情報に基づいて機能する生体分子の構造生物学研究、さらにそれを発展させた原子生物学的研究により、分子から個体に至る生命の連続性に関する理解が、さらに深まるであろう。

一方この地球には、人類の急激な社会的発展を起因とした、気候変動による環境問題、生物多様性の喪失、さらには人口増加による食料問題、医療問題など、解決すべき数々の大きな課題が山積している。我が国では、教育・研究に投資される国家予算のGDP比はOECD加盟国の中では最低レベルであり、こうした問題に対処するためには、人的・財政的基盤の確立が必須である。また科学の将来を切り拓くような研究は、必ずしも先端的、大型研究分野からのみ生まれてくる訳ではなく、多様な基礎科学分野の活性化にも重点を置くことが不可欠である。

こうしたことから、多様な基礎科学の推進やそれを担う人材育成のための教育を推進する上で、大学・研究機関等への継続的な支援が極めて重要である。

このような問題を含め、分科会から多岐に渡る今後の課題が提示された。これらを基礎生物学委員会としてとりまとめ、10～20年程度の中期的な学術の展望と課題、グローバル化への対応、社会的なニーズへの対応、そしてこれからの人材育成に関する行政、教育（中等、研究者養成など）、研究（分野、研究費、施設など）、社会的貢献など幾つかの項目を踏まえ、基礎生物学の展望について報告する。

## (2) グローバル化への対応

国際化について、基礎科学研究の成果は、もとより全人類に還元されるべき、国境のないインターナショナルなものと考えられてきた。その崇高な理念は今日も変わりはない。

しかし、生命科学における研究成果が時に知財として大きな利益を生み出すようになり、国家がその権利の確保を主導するようになった今日においては、分子生物学はじめ基礎生物学分野についても、単に研究における無国籍主義の原則論を唱えるだけでは、現実を動かすことはできなくなっている。現実論として、必要な範囲において知財についての権利確保は進めながら、基礎科学に過度の国家主義・秘密主義が持ち込まれないような配慮が必要と思われる。

特に、今後も物的あるいは人的資源をもつアジア、アフリカなどを中心とする発展途上国と、研究および教育で交流を深めていくことは必然の流れと思われるが、その際、

互恵の精神に則った協力体制を築くことが肝要である。

さらに、基礎生物学の研究成果を積極的に一般市民に発信し、説明するとともに、応用研究への転換を図り、人類の生存への道を探るために一段と努力する必要がある。

また、生物多様性条約の COP10 が 2010 年（国際生物多様性年）に開催される。このような会議を通して、我が国の自然史・生態科学のみならず、基礎生物学が国際社会と連携を深めながらリーダーシップを発揮する機会とする必要がある。

### (3) 社会的なニーズへの対応

生物科学は近年その先端的科学として、DNA とゲノム科学を基盤に発展してきた。生物科学研究の長年の蓄積によって得られた、知的情報資源やバイオリソースを社会に還元するために、生物資源の収集、維持、管理、配布およびデータベースの管理などの施設の充実が急務となっている。例えば、展示のみならず研究をも積極的に行っている臨海実験所の充実とともに、自然史博物館、植物園等の整備などが挙げられる。

さらに重要なこととして、分野によってはこれまで得られた基礎的な研究成果を実用的な応用研究へと展開させることが可能となってきている点である。現在地球が抱えている多様な問題のなかの一つとして、多くの国が直面しているものに、急速な環境変動、人口増による食料問題がある。2050 年、地球人口は 90 億人を突破すると言われているが、数十億人分と予想される食糧不足、それから派生する抗争など、社会不安も懸念されている。我が国の植物科学の基礎研究は、国の調査では世界をリードする分野の一つである。

しかしながら、遺伝子組換え植物に対する一般市民の正しい理解が不十分であること、研究に対する圃場整備等が十分に成されていないことなどから、実験室から野外での実験へと展開できない状況に置かれている。作物輸出国は組換え植物を積極的に推進・生産し、それを我が国が大量に輸入しているのが現状である。農業行政で食糧自給率の改善を図るとともに、早急に遺伝子組換え植物の実験の為の圃場実験設備の充実を行い、温暖化、砂漠化などの環境変動に耐性の穀物を作り、人口増に備える必要がある。

また、細胞の無限増殖により引き起こされるがんや、インフルエンザなどに代表される感染症なども、その生物学的メカニズムは、基礎生物学研究の範疇にあり、関連諸分野と研究政策で密接に連携をもって、社会的ニーズへ対応することが肝要である。

### (4) これからの人材育成

#### ① 生命科学に関する小・中学校から高校教育

現在の日本の教科書のレベルは、残念ながら欧米に比してどころか、世界的に見ても極めて低いと言わざるを得ない。この状況を打破し、生命の設計図の基礎となる DNA とゲノムを基盤として、生命の進化にしたがって、地球生命圏（海洋、陸上）の生物の遺伝、増殖、発生、系統・進化、多様性、生態、生命系の保全などを系統的に教え、その延長線上にある医療、環境、食糧、多様性保全などの展開へ向けた、教科書と教育システム（実習を含む）を充実させる必要がある。物理化学が様々な現象を数式や

元素記号に基づいて説明するように、生命科学はDNAの配列を基盤にして多様な生物現象を説明できる時代になっている。併せて、上記を教える教員の質のレベルの向上が強く望まれる。教育の原点は教員が十分に内容を理解し興味をもって教えることであるため、教員に対する教育システムの構築も重要である。

## ② 大学における教育

これから一般社会で、あらゆる面で生命に関する話題が発生しよう。ゲノム情報が究極的な個人情報として利用されつつある現在、正確で公正な判断をすることができるよう大学では生命科学を全員に教えるべきであるDNAとゲノム情報を基盤にするなら、微生物(細菌)から高等動植物に至るまで、進化・系統、遺伝、増殖、発生、多様性などを系統的に易しく教えることができるはずである。このような教育体系においては、学問分野の多様性も必要である。したがって学生には、異分野の教育をも受けられる選択の自由が与える事が望ましい。横断的な学問経験を持つ人材から、新たな発想が生まれ、新しい応用的な研究が展開する可能性があるからである。

## ③ 大学院における教育

専門教育の充実を十分に図るべきである。その基本となるDNAの扱い、特に遺伝子組換え技術、急速に発達した顕微鏡を中心としたバイオイメージング技術、コンピュータによる情報科学などを十分に教えるべきであり、その教員の補充や教育プログラムの充実を図る必要がある。日本の将来を担う研究・教育者は基本的には大学院博士(後期)課程の研究経験を経て育成される。しかし我が国では、他分野と同様に生命科学分野でも、現状では大学院を修了し学位を得ても正規の職につけない研究者が急増している。これは大学や研究機関の独立法人化でそれに伴う人員削減、正規職員から契約職員への転換など、研究・教育者の雇用が大幅に狭められたことが大きな原因である。このような状況が続けば、我が国の生命科学の将来は暗澹たるものになる。これを打破するためには、全大学への基盤経費の支援、大学研究機関自身の雇用・評価制度の改革による、能力ある人材の確保、国の機関による大学研究機関への雇用支援などの政策が急がれる。

## ④ 専門官の設置

これまで先進国といわれた欧米諸国において、研究者、研究費、研究業績が低迷するなか、この10年でこれら全ての国々を追い越したのが中国である。中国の中枢にいる政治家や科学的指導者に理系出身者が多くなったと聞く。中国のみならずインドをはじめアジア諸国そして世界的に見てもこれまで発展途上国とされてきた国々が、教育の質を高め、最新のバイオテクノロジーを使い、食料生産、バイオエネルギー生産など国家戦略として取り組み成功を収めつつある。このような状況の下、我が国の科学技術行政はすでに世界の中でも後手々となり、遅れをとっていることを認識すべきである。国際的な科学技術行政の全体動向を把握し、科学の進展が理解できる専門官

を行政の中枢に置くべきである

本提言は、基礎生物学委員会および各分科会から、(1) 10～20 年程度の基礎生物学の分野別の中期的な学術と課題、(2) グローバル化への対応、(3) 社会的なニーズへの対応、(4) これからの人材育成の中課題項目にしたがって、基礎生物学関係で今後推進すべき緊急・重要課題について収集し・検討した結果を、文部科学省、農林水産省、環境省、厚生省、その他の関係行政機関、産官学の研究機関、公立試験研究機関、一般社会に対する報告として、取りまとめたものである。

## 目 次

1	はじめに	1
2	提言の内容	3
(1)	10～20年程度の基礎生物学分野別の中期的な学術の展望と課題	3
①	分子生物学、生物物理学、細胞生物学領域の展望と課題	3
②	動物科学、発生生物、植物科学、生物科学領域の展望と課題	5
③	遺伝学、遺伝資源、ゲノム領域の展望と課題	7
④	進化系統そして海洋生物学領域の展望と課題	8
⑤	基礎生物学の共通の課題	10
(2)	グローバル化への対応	12
①	留学生の受け入れと海外研修・留学	12
②	研究における国際連携	12
③	地球レベルの生物多様性の保全	13
④	進化学の国際的中核研究機関の設立構想	14
⑤	アジア諸国との連携	14
⑥	アジア・アフリカ地域における社会貢献	14
(3)	社会のニーズに対応	15
①	教育、生命科学の意義、社会への啓蒙	15
②	社会のニーズに応える人材の育成と適切で公平な雇用	17
③	食糧の確保と食の安全	18
④	技術革新が進む社会における人間性の涵養	19
(4)	これからの人材育成	19
①	教育	19
②	機器管理・事務部門のサポート体制	23
③	ポストクの雇用と企業	23
④	政府組織	24
⑤	メディア報道など	25
⑥	生命倫理	25
3	おわりに	26
	<用語の説明>	27
	<参考文献>	27
	<参考資料>	27

## 1 はじめに

近代の生物科学は、1953年のワトソンとクリックによるDNAの二重らせん構造の発見を契機として、遺伝子探索の分子生物学の時代へと進んだ。そして細胞の増殖、分化、さらには免疫機構などが機能するその基本的なしくみが分子レベルで明らかとなってきた。特に近年は生命構築の基盤となる生物の設計図とも言うべきゲノムの解読が驚異的に進み、生命科学の一部の分野ではすでにポストゲノム解析の時代へと進んでいる。1995年のベンターによる、自律的生物としてははじめてのインフルエンザ菌のゲノムの解読から始まり、酵母、線虫、ショウジョウバエなどを経て、2004年にはヒトゲノムの解読が終了した。こうして2010年には、ゲノムの解読は、解読装置の急速な進歩とともに大きく進み、これまでに原核生物で完全解読されたものが1062種、真核生物で完全解読されたものが23種、現在進行中のものが724種となっている。今後も多様な生物のゲノム解読は進み、生命科学のどの分野においてもゲノム情報を基盤にした生命現象の理解へと急激に進むことが予想される。特に構造生物学的研究の発展により、分子から細胞、個体に至る生物の連続性やそれに基づく生命の基本原理がナノメートル以下のレベルの分子・原子のふるまいとして理解されよう。しかし依然として「物質から生命へ」や「生命から精神へ」についての理解は不十分であり、次世代の「生物科学」はより「生命科学」の色彩が強いものとなる。そのためには基礎研究の推進、既存の研究施設を含む施設整備の充実、そして科学教育は一層重要である。

またこの地球上における人類の急激な開発や社会的発展により、気候変動による環境問題や人口増加による食料問題、医療問題などの深刻化が懸念されている。これまで、こうした諸問題の解決に際して、DNA配列の解読法、遺伝子の増幅技術、遺伝子組換え技術、体細胞クローン技術など基礎生物学的な研究から生まれた成果を進展させ、応用的に利用した事例は枚挙にいとまがなく、今後も基礎生物学研究の重要性は一層高まろう。

基礎研究の発展は必ずしも大型研究分野からのみ生まれてくる訳ではなく、大学や研究機関等において、自由な発想で地道に続けられて来た多様な基礎的科学分野から多くが生まれていることを忘れてはならない。したがって広く多様な研究・教育を推進するために、研究費の配分にあたっては少数の精鋭のみに集中する大型の研究費だけでなく、基礎となる研究も継続的に支援されなければならない。このような問題を含め、分科会から多岐に渡る内容が提示された。基礎生物学委員会としてこれらの意見をとりまとめ、行政、教育（中等、研究者養成など）、研究（分野、研究費、施設など）、社会的貢献などを踏まえ、提案したい。

第21期には基礎生物学委員会には、13の常設の分野別分科会がある。① 動物科学分科会、② 植物科学分科会、③ 細胞生物学分科会、④ 遺伝学分科会、⑤ 分子生物学分科会、⑥ 生物科学分科会、⑦ 遺伝資源学分科会、⑧ 海洋生物学分科会、⑨ 発生生物学分科会、⑩ 進化・系統学分科会、⑪ 総合微生物学分科会、⑫ 生物物理学分科会、⑬ ゲノム科学分科会であり、第20期より継続して活動している。第20期から第21期の移行に際して、生物教育分科会が廃止された。しかし生物学の教育の問題は依然と

して山積しており、形を変えて復活させる必要があるとの意見もある。国際分科会としては IUBS 分科会があり、活発に活動している。

## 2 提言の内容

### (1) 10～20年程度の基礎生物学分野別の中期的な学術の展望と課題

基礎生物学分野は範囲が広いので、展望と課題に関しては、現状を踏まえながら、ア) 分子生物学、生物物理学、細胞生物学領域、イ) 発生生物学、動物科学、植物科学、生物科学領域、ウ) 遺伝学、遺伝資源学、ゲノム科学領域、そしてエ) 進化系統から生態系、海洋生物学を含めた領域の4つに大別し、まとめて提案する。また課題の最後には、課題解決のための要望を併せて提案し、さらに共通性の高い提案に関しては本項の最後にまとめる。

#### ① 分子生物学、生物物理学、細胞生物学領域の展望と課題

1950年以降、生命現象を遺伝子の構造と機能から解く分子生物学は、20世紀の後半に目覚ましい発展を遂げてきた。解析技法としての尖鋭さから、分子生物学的研究手法は細胞生物学、生物物理学をはじめとして、高次の構造を持つ真核生物の複雑な生命現象を対象とする生物科学一般の分野に浸透した。分子生物学は、分子構造の解析から生体の反応を理解しようとする構造生物学のような分野に対しても、組み換えタンパク質の大量調製など、研究解析の基盤面において不可欠の技術を提供している。さらには医薬や食料の生産にも、理論と技術開発の両面で大きな貢献をしている。こうした新しい解析技術の開発と相俟って創造される新しい研究概念の展開が、今日の分子生物学の知識体系を作り上げてきた。遺伝子の基本的な働きの解明から、組換えDNA技術の開発を経て、多様な生物種の全ゲノム配列の決定までと、分子生物学はこの半世紀を猛スピードで駆け抜けてきたようにも思われる。今後もGFPをはじめ蛍光マーカーによるタンパク質の可視化や次世代シーケンサーに象徴されるような解析技術を基盤に、生物物理学、細胞生物学との連携により新たな基本原理の解明が期待される。

細胞生物学は生命科学の発展の中で、形態学、生化学、分子生物学、分子遺伝学、生物物理学などを学際的に統合した学問領域であり、歴史的にも大きな役割を果たしてきた。細胞生物学の領域では、生物の体を形作る最も基本的な単位となっている細胞を対象として、蛍光顕微鏡、電子顕微鏡など様々な可視化技術を使って細胞、細胞小器官の構造と機能、それらの増殖、分化、運動、代謝、細胞間相互作用、細胞内外の情報伝達の仕組み等の研究が進められ、多くの成果が挙げられてきた。今後も微細構造とその活動を、生きたまま分子レベルで観察できる蛍光顕微鏡のバイオイメージング技術等の開発に加えて、生物物理学の分野と連携を深めながら低温電子顕微鏡技術はじめ次世代の電子顕微鏡技術、NMR、X線解析技術を使って解析し、形態・構造生物学的視点から細胞の基本的な原理が解明されよう。また今後は基礎研究の延長線上に、細胞の機能の破綻によって引き起こされる各種疾患のメカニズム解明、再生医療の推進のためのES細胞・iPS細胞研究、ヒトの存在そのものが対象となる脳科学研究、細胞の機能を利用した物質生産、新たな機能を持つ農作物や家畜の生産など、人類の健康・福祉、豊かな生活の増進などに貢献する応用研究へと展開するであろう。

さらに社会に大きな負担をもたらす新興感染症、老化に伴う各種疾患、がん、生活習慣病、精神疾患などの病気の解明や予防・治療の研究にも、分子生物学的、生物物理学的、そして細胞生物学的アプローチが大きな貢献をもたらすことが期待される。

細胞（増殖、分化、遺伝など）から個体における高次な脳の機能まで、生体を構成する細胞の基本的構造と機能について、これまで分子生物学、生物物理学、細胞生物学が得意としてきた遺伝子産物である RNA やタンパク質の働きの解析に加え、さらにこれらを総合してゲノム情報／プロテオーム／メタボローム等オミクスの集積として理解を深めることが必要である。さらに遺伝子に直接規定されるのではないエピジェネティクスや、糖や脂質などの生体機能分子の解析を積極的に進める必要もあろう。このためには得られた大量の情報から生命科学として意味のある情報を引き出すバイオインフォマティクスや、それらを統合して生命像を理解しようとするシステム生物学分野の発展も欠かせない。今後、当該分野においては、生体分子の時間的・空間的な機能ネットワークを分子レベルで統合する総合的な生命観の創成が目標となり、それを実現する為の共通の課題は、オミクス解析を基盤に、徹底して生命現象を分子・原子のふるまいとして究明することである。

一方、生物科学の基礎となる細胞、生物を「観察」する力の強化も大きな課題である。全ての科学は、自然の「観察」が、その基盤にあるといっても過言ではない。DNA の二重らせん構造の発見は生命科学の基盤をなすものであるが、この発見者の 1 人であるワトソンは、鳥の行動を観察することから研究の場へと踏み込み、マクロの観察から得た感性をミクロの構造を想定する力へと生かした好例である。しかし生命科学は、近年の分子生物学の発展により、生命現象を分子や生化学の方法を用いて説明する方向へと大きく流れを変え、実体の観察が疎かにされた結果、観察力が著しく低下することとなった。生命の基本単位である細胞を観察する力、組織の形態を観察する力も、弱体化がはなはだしい。すでに、分子生物学の先にあるものとして、構造生物学や原子生物学が展開を見せているが、その基礎となるのは、「形」を観察する感性とそれを適切に評価できる観察力である。分子の形を見る感性は、いきなり身に付くものではなく、十分な時間と教育を経て形成されるものであり、教育の場における「観察力」の涵養が極めて重要である。

すでに、分子生物学、生物物理学、細胞生物学関連の日本学術会議分科会や関連学会では、原子、分子レベルでの形態の重要性をテーマとしたシンポジウムを催して、形態構造研究の重要性を説くことを行ってきた。しかし我が国の大学・研究所などを見たときに、全ての生物科学の基盤となる形態構造に関わる組織的な研究・教育の施設や機関が十分に整備されていない。今後生物を支える細胞構造の研究について、最もミクロな NMR, X 線を基盤にした原子、分子レベルでの解析から、電子顕微鏡レベルで観察される微細構造、さらには蛍光顕微鏡をはじめ光学顕微鏡観察、そしてマクロな生体観察など、生物の構築の階層に従った総合的な解析技術開発が必須であり、これらに集中的に取り組む研究機関の創設が強く求められる。

## ② 動物科学、発生生物、植物科学、生物科学領域の展望と課題

地球上の生物は、生命が誕生して以来、およそ40億年の歴史を経て様々な環境に適応して進化し、その結果、未知のものも含めると数千万種とも数億とも推定される多様な生物が存在すると考えられている。これらの数え切れない生命は、ひとつひとつに個性があり、それぞれが網の目のように様々な関係でつながっている。この生物多様性のユニットが種である。現在、学名がついた約150万以上の生物種が生存するとされており、動物だけで100万種を超えると考えられる。動物科学は、このような多様な動物種が様々な環境に適応しながらつくりだされてきたプロセス、またそれぞれの動物が示す様々な生命現象の仕組みについて、より広い視点から自然科学的に理解する学問である。動物学は対象とする分類群によって哺乳類学、昆虫学、魚類学などと分けられることもあるが、さらに最近は研究分野が細分化され、発生学、生理学、生態学、動物行動学、形態学などの視点で研究分野が形成されている。動物学では一見系統的に離れているように見える生物の研究成果がヒトの生物学に関わる共通原理を提示することもあり、多用な生物を研究対象として基礎研究を継続させることが肝要である。また近年では、生物多様性の解析や保全についての生物学的研究も著しく加速し、動物を取り巻く生態系が維持されてこそ、人類も持続可能であることの重要性が再認識されつつある。

発生生物学は、このように多様に進化した生物、主に動物における個体発生過程の共通現象の基本的メカニズムを解明しようとする学問であり、その成果は応用研究へと展開している。例えば、アフリカツメガエルでは卵に顕微操作を施し、組織の細胞核を移植してクローン生物を作成することに成功している。我が国の研究でも、器官形成に必須なオーガナイザータンパク質分子や、多細胞化に重要な細胞胞接着に関わるタンパク質分子の働きが解明され、また多分化能をもった iPS 細胞が創出されるなど、世界をリードしてきた。そしてこれら基礎研究の成果は医学、農学、薬学ひいては工学関係への波及効果を示し、現在の再生医学へと展開している。今後も基礎発生生物学的研究はゲノム情報を基盤に新たな知見を生むことが期待される。

地球上に生息している無数の生物に対して、光合成により食料（糖）と酸素を供給して、その生命活動を支えてきたのが藻類と植物である。しかしながら20世紀に入って世界の人口が爆発的に増加し、その結果として、森林を伐採し、大規模な開発や都市化が進み、化石燃料の消費は増え、大気中の二酸化炭素濃度は上昇を続けている。さらには、天然資源の大量消費をもたらし、その影響は酸性雨や地球温暖化となって現れ、地球環境を著しく変貌させている。熱帯雨林や珊瑚礁が急速に減少し、砂漠は増大し、そこにすむ多種多様な生物は棲み場を奪われて、多くの種が絶滅の危機に瀕している。このように人類は、地球規模の様々な問題に直面している。世界的な人口増加、新興国の急激な経済発展による食料需要の急増、地球温暖化による異常気象や砂漠化などによる食糧供給の不安定化などが現実の問題となっている。これらは多量の食料資源を輸入に頼っている我が国の安定的な食糧供給、また安全保障にも大きな影響を与えるばかりでなく、人類全体の持続的な発展を妨げることさえ懸念される。

こうした環境面の諸問題に対して、その全ての局面で鍵となる植物の活動に関するサイエンスが植物科学であり、世界的に最も高い水準にある我が国の植物科学の基礎研究成果を最大限に活用し、積極的に且つ緊急性を持ってこれらの問題に取り組む必要がある。

環境問題が深刻化を増すにしたがって、生物多様性研究の重要性とそのための施設の確保ならびに充実化がますます高まっている。多様な生物と向き合う学問であることから、実験室で管理・維持されたモデル生物だけでなく、自然に存在する様々な生物を研究対象とすることが大切である。そのためには、様々な生物種の研究と保存を可能にする、臨海・臨湖実験所や植物実験圃場などの施設について、長期的スパンに立った整備・拡充が是非とも必要とされる。加えて、様々な生物の野生株、変異株（人為的形質転換体を含む）や、形質転換用ベクターなどを積極的に蒐集し、それらを管理・維持して利用希望者の便に供することができるバイオリソース施設は、今後ますます重要になる。このようなバイオリソースの確立と活用は、生物多様性の研究のみならず、貴重な生物資源の保存の上でも欠かせない課題である。

基礎発生生物学的研究を基盤に発展した幹細胞の研究は、多くの応用研究への道を拓いた。そしてこれに対する期待の高まりから、広義の意味での発生生物学分野に対する総研究費は増加している。しかし、研究予算の配分状況を概観すると、応用研究に著しく偏っており、基礎研究のための研究費獲得の競争率はむしろ増大している。基礎研究と応用研究はいわば車の両輪であり、互いに正しくフィードバックし合ってはじめて健全で効率的な発展を遂げるものである。したがって、今後両者のバランスを考慮した国の投資が非常に大切である。

基礎植物科学研究において、我が国はシロイヌナズナやイネゲノム解析研究に代表されるように、植物の遺伝子機能解析面での優れた研究実績がある（サイエンスマップ2006参照）。ところが、これらの基盤研究の実績を、環境や食糧問題解決へと発展させるための研究は、教育、科学研究振興、研究施設などの基盤整備の不備や、一般社会における応用的な植物研究に対する正しい理解が不十分であることなどから、欧米に比べて遅れをとっている。これを挽回し、世界の第一線に復帰するためには、現在の我が国の社会基盤を、根本的に大きく改善する必要がある。これまで研究の中心とされてきた小型のモデル植物であるシロイヌナズナならば、各研究者個人の努力でも、ある程度の実験設備が備えられる。しかし現在世界的に進められている、食糧や環境問題解決を視野に入れたポストモデル植物時代の植物科学においては、遺伝子組換えにより増産や成分改変が可能になったユーカリや杉など大型の木本、寒冷環境に暮らす高山植物、高温耐性の熱帯の作物なども重要な研究対象植物となる。

こうした多様な環境適応形質の理解のためにも、また地域に応じたオーダーメイドの植物機能開発のためにも、さらには多様な地球環境における植物の機能の理解のためにも、国家プロジェクトとして、地球上のあらゆる環境をシミュレートできる、各地の気象を活かした環境効果解析施設としての閉鎖式遺伝子組換え試験施設を設立できれば、その有用性は計り知れないものとなろう。このような設備の拡充および円

滑に運営するための施設群の新設と整備が、緊急の重要課題である。

### ③ 遺伝学、遺伝資源、ゲノム領域の展望と課題

遺伝学、遺伝資源、ゲノム科学領域は、古典的な遺伝学を基盤に、遺伝子の機能を明らかにする研究分野として基礎生物学の発展に貢献してきた。近年では、新型の塩基配列決定装置の技術革新によって、ゲノム科学の成果を取り入れた逆遺伝学なども精力的に展開されている。ゲノム解読の結果、生物（種）を規定する塩基配列の情報が膨大に蓄積されつつあり、このような研究の進展により、遺伝情報に基づく生命現象の動的なメカニズムの解明によって理解が進みつつある。例えば、遺伝子の突然変異のメカニズムが分かるとともに、突然変異を人工的に作成する試みが盛んになり、ゲノム情報を基盤にした新しい分野（例えば、環境エピジェネティクス）が台頭し、細胞核のクロマチン構造の解明やその環境との因果関係などが明らかになる。そして表現型と遺伝子型の関係について理解が深まり、どちらの方向からも自由に研究が進むようになる。また、遺伝学の成果からがん遺伝子・がん抑制遺伝子の全体像や機能的メカニズムが解明されて、その成果が基礎医学研究の現場にも波及すると考えられる。さらに一般社会にもゲノム解読が普及し、1,000 ドルシークエンスなど、パーソナルゲノムが医療に浸透して個別化医療が発展するとともに、オーダーメイド医療として各人に対して最適な治療方法が提供され、健康予防に活用されるであろう。

ゲノム科学の急速な発展により、生物多様性の諸課題がゲノム情報から理解されるようになり、環境との相互作用の重要性から、生態学と遺伝学の融合も始まると考えられる。そして環境への生物の対応や適応の機構解明や、その遺伝資源に関する研究が重要視されてくる。さらに合成生物学が一段と進み、単細胞などの簡単な生物その一部の器官を人工的に合成する試みが真剣に検討される。最後に、これまで以上に個人のゲノム情報などの扱いが重要な問題となることが予想され、倫理的な規定や法的な整備が急務として要求される。

遺伝資源（バイオリソース、データベース、リサーチツールなど）の整備が今後の我が国の学術発展のカギの一つである。遺伝資源とは、研究開発のための材料として用いられる生物系統、集団、個体、組織、細胞、DNA、さらにはそれらから産み出される情報である。遺伝資源は研究から生まれ、研究に使われるものであることから、遺伝資源利用として、多様なバイオリソースが散逸することなく維持される仕組みが整備され、我が国の研究費で行われた研究のバイオリソースやデータなどは適切な時点で基盤整備機関に寄託されるルール作りが必要である。これらは研究コミュニティに共有され、学術基礎研究から産業応用まで活用されることが必要である。さらに我が国のバイオリソースは国際的にも活用され、科学技術の世界的発展に大きな貢献をするとともに、資源ナショナリズムの高まりの中で、我が国独自の科学の発展に寄与することも重要である。

ゲノム科学は 1990 年以降急速に発展し、様々な生物の遺伝設計図であるゲノムの全体像を明らかにすることに成功し、ヒトゲノム解読に象徴されるように基礎生物学

から医学、薬学、農学など幅広い生命科学の進展に大きな変革をもたらした。今後は特に医療や、農業を含むバイオ産業分野を通して社会との関連が拡大すると予想される。今後5-10年のゲノム科学は急速に進歩しつつある次世代型シーケンサー技術を中心に展開すると予想される。そこでは先ず極めて多様な生物のゲノムの情報が大量に産出される。その結果、ヒトの個人のゲノム情報の急速な集積によってゲノムによる疾病の予防や薬の副作用の回避など個別化医療が進展する一方で、植物や微生物を中心に自然界から有用遺伝子資源が大量に発見され、遺伝子組み換え技術による育種やバイオ燃料生産など、農業や産業へのゲノム情報の活発な利用が予想される。一方、オーミクス解析技術やイメージング技術の進歩により、発生や細胞分化の分子基盤の解明が進み、またメタゲノム解析の進展による共生現象の理解、難培養性生物の理解、比較ゲノム解析による生物進化の解明など多様な生命現象への理解が大きく進展すると予想される。また、ゲノム情報を活用して新しい生物機能を創出する合成生物学の進展も予想される。

遺伝学、遺伝資源、ゲノム科学分野では、バイオリソースやデータベースなどの知的基盤の持続的な整備拡充が急務となる。シーケンサー以外の発展に必要な先進的な機器開発をどう行っていくかが課題となる。バイオリソースは、その種類は動物、植物、微生物、遺伝子など多様であり、また基礎学術、産業応用、医療応用、環境研究など研究開発の分野ごとに必要なリソース（種類、性質）は異なる。また、研究の場との連携が必須であることから、適切な切り分け・分担化が図られ、また生き物を扱う遺伝資源の維持管理には何よりも継続性が必要である。そのためにはバイオリソースを含む研究基盤整備の継続的、かつ十分な支援の仕組みが必須である。これによってバイオリソースは研究から生まれ、そして研究に還元される。この好循環を継続発展するために、研究基盤整備のための予算確保とともに、バイオリソースと研究の好循環の意義について研究者コミュニティの理解、維持するための対応策、技術開発が課題である。また情報のグローバル化の一方で、資源ナショナリズムの高まりの中で適切な戦略対応が必要である。特に、バイオリソースの寄託と利用が進むように知財システムの整備が必須である。バイオリソースの収集・保存、品質管理、高付加価値化等、基盤整備に携わる人材育成・確保が必須であり、このためには適切な評価体制に基づくキャリアパスの整備が必要である。さらにパーソナルゲノムの取り扱い方における倫理性や個人情報保護をどうするか、特に集団内多様性における個人間の遺伝的な差異の重要性の正当な認識を社会的にどう受容されるようにするかは、倫理面も含め重要な課題となる。

#### ④ 進化系統そして海洋生物学領域の展望と課題

21世紀に入ると、次世代シーケンサーに代表されるように、ゲノム解析技術の向上によって広範な生物のゲノム解読が容易になり、進化系統の対象となる生物種が増大し、その解析解像度が著しく向上すると考えられる。そして海洋生物学領域では、これまでのモデル生物では、解決出来なかった重要な現象をもつ多様な非モデル生物

でもゲノム情報の獲得が可能となろう。すでにゲノムの配列の解読は、真生細菌、古細菌の各ドメインに含まれる多くの細菌で明らかになっており、今後もアメーバ、カビ、動物、そして植物界を含む真核生物ドメインにおいても次々に解読されよう。ゲノム生物学を基盤に生物の進化系統の関係が整理され、その成果と自然突然変異や人為的突然変異体から責任遺伝子を特定する分子遺伝学とが融合する事によって進化ゲノム学が発展する。さらに複合形質（擬態、食草転換など）、適応形質、ゲノム情報などを用いて、これらの進化的形質が解明される。種形成機構および絶滅の機構の分子細胞的基盤の解明も一層進むであろう。また地球上の生物多様性を増加する原動力になるメカニズムがゲノム進化的に大々的に解明されれば、その生命の誕生にまで遡る根源的理解も進み、地球上の生物多様性の増減、すなわち分類群の栄枯盛衰の生物学的メカニズムが明らかになる。

海洋は生物の生まれた場所と考えられており、極めて生物の多様性が高い。特に動物の門のレベルなどで考えると、生命現象のスペクトラムが最もひろい。したがって、「生命現象の包括的・総合的な理解」のためには、海洋生物を研究対象とした海洋生物学はこれまで新たな知見をもたらしたし、今後も発展するだろう。例えば、1960年代に下村脩によってオワンクラゲから発見・分離精製された緑色蛍光タンパク質（GFP）は、今や細胞生物学・発生生物学・神経細胞生物学をはじめとして、広範な基礎生物学的研究になくはならないものとなっている。またイカのもつ巨大軸索は、神経が脱分極により情報を電気的に伝達するメカニズムを解明する基礎を提供した。今後とも海洋生物が保有する生命現象の広大な分布範囲を活用することによって、「生命現象の包括的・総合的な理解」はより一層の進展を期待することができる。また、地球環境の急速な変化は、海洋生態系に巨大なインパクトを与えている。温暖化に伴うものにとどまらず、海洋酸性化の影響も将来極めて深刻になることが懸念され、海洋の生物多様性保全に向けて海洋生物学の果たす役割と責任は大きい。

ゲノムの配列の解読は、多様な生物系の理解にすすみ、真正細菌、古細菌からアメーバ類、カビ類、動物界、そして植物界を含む真核生物ドメインにおける様々な生物種で次々に解読されている。これによって生物の誕生から現在までの進化の過程が分子系統解析によって詳細に解読されよう。こうした成果は基礎科学面のみならず応用研究にも積極的に生かされよう。自然界における多様な適応的突然変異の中には遺伝子資源として、農産物の改良や環境修復などに対して有用なものが多く、これらの利用が積極的に進む。しかしながら、現在のレベルでは、これらの膨大なデータを管理し必要に応じて提供できる施設や情報学の堪能な人材が不足している。今後こら施設の創設や充実化、人材育成のために組織だった計画が重要な課題となる。

海洋生物学推進の主たる担い手は沿岸域を中心とした臨海実験所・水産実験所であり、研究と教育の両面で我が国の海洋生物学を支えてきた。現在、国際長期生態学研究計画（ILTER）に我が国から複数の臨海実験所が参加している。これらの実験所が従来から推進してきた長期プロジェクトは、地球環境の変動が海洋生態系に与える影響や今後の推移の推定にも貢献している。今後も地球観測システム事業（GEOSS）へ

の貢献も期待できる。また沖合の研究においては、海洋調査船が、深海の研究においては、潜水調査船が基盤的に活動している。今後も海洋生物学の研究拠点としての役割を果たすためには、これらの実験所群や調査船、データベースの構築の活動を支える基盤的資金の継続的な支援体制が大きな課題である。

海洋生物の多様性は、陸上のそれをしのぐものがある。その「生命現象の包括的・総合的な理解」のためには、多様な海洋生物の塩基配列の解読は必須である。すでに海洋微生物のメタゲノム解析が始まっているが、今後海洋ゲノミクスとして真核生物も対象としたものに発展させることが大きな課題である。さらに今後の海洋生物学は物理学・化学・地学等の研究をも包含した、総合科学としての海洋生物学という位置づけが必要になる。海洋科学は、宇宙科学に匹敵する領域となるにちががなく、海洋基本法への適切な対応も必要である。生態・分類・ゲノミクスから始まり、基礎生物科学、水産、深海、地質鉱物、地球物理、気象まで、多様な海洋科学の課題を総合的に対象とするような研究システムが必要である。既存の「海洋開発研究機構」は、技術開発に主眼があり、一定の成果を挙げているが、基礎科学としての総合的海洋科学の技術開発も必要である。

以上述べたように、生命は高熱で無酸素の極限環境で誕生し、地球温度の低下に伴い一般的な通常温度・大気などの環境に適応してきた。さらに海洋から陸地へと生活範囲を広げるにつれて、高温の温泉、深海、極地、砂漠、地中奥深く、そして空気の希薄な高山などの極限環境へ適応進化したと考えられる。最近では次世代シーケンサーの発達を基盤にしたゲノム科学の急速な発展により、現在こうした生命の適応進化の機構を、分子レベルで比較的容易に解析できる時代になってきた。この基礎的研究を進めることにより、生命の環境への適応機構の基本原則、生物多様性の解明などが展開し、これを基盤にして気候変動に対応した生物の作出など、応用研究への発展が期待される。

## ⑤ 基礎生物学の共通の課題

共通課題で人材の育成などは別に項目があるので、そこで述べる。

### ア 教育・研究費

生命科学だけの問題ではないと思われるが、基礎生物学に共通性の高い課題についてまとめる。研究課題の遂行を支える研究基盤の整備と人材の育成をきちんと図る必要がある。我が国は、初等・中等教育および高等教育・研究に投資される国家予算の GDP 比は OECD 加盟国の中では最低レベルにあり、劣悪な状況にある。将来にわたって世界的貢献を果たすためには、日本の国力に見合った財政出動がどうしても必要とされ、少なくとも GDP 比で現在の 2 倍の研究・教育予算が計上されるべきである。これによって、現在日本が抱えている研究・教育面での諸問題のかなりの部分は大幅に改善されるはずである。

分野の多様性の維持と基盤研究費の配分は、重要な共通課題である。現状は、決

して効率的とは思えない研究費の過度の集中が起こっている。科学の将来を切り開く研究は、多くの場合、必ずしも先端的研究や大型研究分野から生まれては居ない。大学における昨今の学部・学科の統合や縮小化は新たな研究の芽を潰す結果ともなり兼ねず、大学では多様な基礎研究分野を維持して、広く教育を行うことが重要であると考えられる。広い学識と、多様な視点を持つ若者を育てることで、新しい研究の芽が育ち、そこから生まれる研究成果がイノベーションに繋がることも期待され、若者たちの雇用機会を広げることに繋がるであろう。さらに、各種研究費の配分にあたっては、多様で独創的な研究をサポートするための基盤的研究費の確保が必要である。しかしながら、国立大学では運営交付金が年ごとに1%ずつ削減されるなど、科学研究を支える基盤的経費を削減し、競争的資金に振り替えていく政策が採られている。また競争的資金にあっても、少数の研究者に多額の研究費が集中するような施策がなされるいっぽう、比較的少額の研究費を数多く分配して広く基礎研究を支援するとされる科学研究費補助金は採択率が低下している。優れた目利きの科学者であっても、将来どのような研究から新たな学問の突破口が開けてくるかを予測することは不可能であり、将来の科学を育む最も賢明な策は、基礎的な研究を進めるのに足りる研究資金をできるかぎり幅広い分野の研究に投下することである。このためには、ボトムアップタイプ型の研究支援の強化、大学・研究機関の運営交付金など研究費の増額とともに、省庁を越えた重複申請の調査なども必要である。

## イ バイオリソース

ゲノムやマイクロアレイ、プロテオミクス、メタボミクスなどポストゲノム情報は、既に解読が進んだ原核生物や真核生物のモデル生物から、今後行われる第3の生命環境とされる深海、高温環境などに極限環境に棲息する生物からも得られ、その量は膨大なものとなる。今後これらの情報の管理や、生物系統株などの収集・維持管理など、国際化を考慮しながら、我が国の基礎研究を長期的展望に立って支援していくには、教育・研究者からの求めに応じてモデル生物や標準株をきちんと供給できるリソースの確立が是非とも必要である。現在はこうしたリソースは年限を切った競争的資金によってかろうじて維持されている状況であり、基盤的経費を保証された安定したシステムへの移行が強く望まれる。研究者が利用したいときに、いつでも生物実験材料を提供してくれるバイオリソースセンターの充実が大きな課題である。

## ウ 生命倫理と情報公開、学術誌

ゲノム科学分野では、ヒトの個人のゲノム情報に基づく疾病の予防や薬の副作用の回避などの個別化医療や、ゲノム情報を活用した動植物、微生物のゲノム育種など、ゲノム科学の成果が実社会とのつながりを深めている。その進展には、個人情報扱い方、生物の安全性評価などについての社会の合意形成が必要である。今後

は社会とのコミュニケーションを通して情報セキュリティー管理技術や生命倫理指針の整備、環境評価システムの確立などを進める必要がある。また研究成果に関しては、学術雑誌が大きな役目を果たしているが、インパクトファクターの普及とともに、学会誌が商業化を強め、欧米の各社が我が国でも雑誌の発行を占有する傾向にある。そのため、研究者にとって必要不可欠である学術雑誌の購読や論文の発表にも多大な資金が必要となり、掛かる支出が研究費に大きく食い込みつつある。我が国における学術誌の刊行のあり方について、将来を見据えたシステムの構築が必要である。

## (2) グローバル化への対応

グローバル化への対応の課題は基礎生物学関連のみならず多くの分野に共通である。

### ① 留学生の受け入れと海外研修・留学

基礎生物学の研究と教育におけるグローバル化を推進するためには、研究者・教育者の人材交流と、国際連携による研究・教育の推進が必須である。教育面における方策としては、次の2点が考えられる。

#### ア 海外からの留学生や研究者の積極的受け入れ

学部段階からの留学生を受け入れるためには、大学における英語による教育の実施が必須であり、そのためには、教員たちの研修なども必要である。大学院段階の留学生の受け入れに限れば、実施は比較的容易であり、日本人学生に英語による討論や発表の機会を日常的に与えることも出来るので双方にとって有益である。

#### イ 我が国の大学院生の海外研修や海外留学の促進

海外留学体験は、多様な文化と交わることで、研究者として、教育者として、また人間として、視野を広げることに役立つものであるが、残念なことに、現在、海外留学を希望する学生が激減している。海外留学を大学院の単位として認め、留学費用の支援枠を広げて共同博士課程を有効利用することなどにより、積極的に送り出しに取り組んで、国際化を図ることが望まれる。

### ② 研究における国際連携

研究面におけるグローバル化は急速に進んでおり、積極的な人材交流と教育を通じて、研究者同士、また研究機関同士の国際的な連携が推進されている。我が国における研究面でのグローバル化をさらに推進するための方策としては、次の3点が考えられる。

#### ア 世界的な研究機関との連携による人材交流

これまで以上に海外からの優秀な研究者の受け入れと、我が国の優秀な研究者の

派遣によって、研究・教育の活性化と高度化を図る。そのために、海外からの訪問者の滞在環境の整備が必要である。また、留学関係の手続きや諸問題の解決をサポートする公的部門の創設も必要である。

## イ 国際共同研究の推進

我が国の基礎生物学分野の研究からも、数多くの世界のトップを走る成果が生まれている。それら先進的な研究成果を挙げている機関が先導役となって、海外の複数の研究機関とともに、新しい視点に基づいた共同研究を推進する。その成果は、国際シンポジウムや講演会などを開催して、積極的に社会に発信し世界に向けた広い研究者ネットワークを構築する。

## ウ アジア等からの留学生や若手研究者の育成

特にアジア、アフリカ等発展途上国からの留学生や若手研究者を、将来その国を背負って立つ研究指導者、教育者、科学行政担当者として育てることを目的として、国内での教育はもとより、留学生等が帰国した後も、教育と交流を継続できる仕組みを作る。

学術研究には、元来国境はないものの、共同研究の国際化や人材の国際交流が強まれば強まるほど、国際協力の為のルール策定など、その交流制度の整備が要求される。そして欧米だけでなく中国やインドなどアジアを含む国際的な人材交流の活発化を、特に若手研究者を中心に考える必要がある。また、知的財産権のこともあって難しい問題ではあるが、研究資料としての生物材料のやりとりなども活発に行える国際機関の創立などの可能性も含めて検討する必要がある。現在、海外留学が躊躇される要因の一つとして、帰国後に研究職ポストに就くことが極めて難しいという現実がある。そこで、海外での日本学術振興会の研究員としての研究期間が終わっても、帰国して確実に研究ポストに就けるようなキャリアパスの確立を可能にするような環境整備が重要である。

## ③ 地球レベルの生物多様性の保全

生物多様性条約締約国会議 COP10 から COP11 に向けた主導的活動について、生物多様性の保全に向けた生物多様性条約締約国会議が2010年10月に名古屋で開催される。すでに、日本生態学会の呼びかけで、2009年5月に、生態系・生物多様性領域での研究をより組織的に推進するために、この分野に関わる我が国の主要な研究機関・研究プロジェクト・学会の関係者をネットワーク化するJBON（生物多様性日本国内ネットワーク）が設立されている。日本はCOP10からCOP11までの2年間の国際的活動を主導的に動かす責任を持つことになる。生物多様性の滅失と種の絶滅に歯止めをかけ、さらに、生薬など人類に有益な生物種の発見、進化を考慮した感染予防や医学の進展、環境保全に必須な世界全体を網羅する生物情報データベースの確立、そして、生物多様性保全回復のための国際的枠組み作りなど、このような機会を契機として産官学協

同での事業展開を推進することが必要である。しかしながら、昨年末行われたCOP15(気候変動枠組条約第15回締結国会議)では、地球温暖化を食い止めるための枠組みが決まらなかった。今後も生物多様性の視点から注目する必要がある。

#### ④ 進化学の国際的中核研究機関の設立構想

生命科学は細分化されていく傾向にあるが、一方進化学の分野では、生物を総合的視点から包括的に理解し、さらに研究を展開するために、他の自然科学や人文科学(科学哲学など)と融合することも必要となっている。世界各地の先端的大学等においては「統合生物学部」が設立され、進化学研究が推進されている。我が国が今後継続的に世界を先導する先端的成果をあげ続けていくためには、研究推進、人材育成に加え、進化学の国際的中核研究機関を設立し、重点的に研究を推進し、分野を超えた国際共同研究を促進することが切に望まれる。またゲノム上の進化にとどまらない生物の進化が理解できる研究者を育てるために、フィールドにおける進化現象の観察・把握と、好適な試料の選択の機会がえられる、進化生物研究施設の構築が望まれる。この施設は陸上生命系と海洋生命系それぞれに必要である。例えば前者は小笠原諸島が、後者は海水湖が自然のままに維持されているパラオ諸島が、それぞれ適地と考えられる。それぞれは地理的隔離が成立し、豊富な固有種の存在や種分化段階にある生物集団の存在が明らかになっており、すでに実績や基礎資料が揃っている。

#### ⑤ アジア諸国との連携

アジア諸国の発展にしたがって、基礎生物学研究の分野においても優れた研究成果を挙げる研究者が急激に増加している。したがって、これらの地域における人材の交流をより盛んにすることが重要となっている。その一環として、これまで国内向けに開催してきた国内学会を英語化する等により、学会の門戸を広く開放し、アジア地域(もしくはアジア・オセアニア地域)の拠点形成に貢献することが重要である。その際、国外からの、特に若手研究者の参加を奨励するために、渡航のためのフェロシップ等の経済的援助を充実させることが必要である。また関連して、我が国の学会全体の国際化を促進することが必要であり、そのようなスキルを持った専任の人材確保が求められる。さらに、本分野の国際化のためには、学会のみならず、大学等の研究機関における事務部門において、英語による対応が可能な人材の雇用が急務である。大学共同利用研究所や臨海実験所で行われるトレーニングコースなども英語化することが必要である。

#### ⑥ アジア・アフリカ地域における社会貢献

アジア・アフリカ地域において、海洋生物の多様性は陸上生物同様非常に高い。しかしその多様性は未解明の部分が多い。海洋生物に関する基礎生物学の振興は、アジア・アフリカ地域における多大な社会貢献の要素をもつ。特に、漁業資源の持続的利用、サンゴ礁など観光資源としての海洋生物多様性の保全などにおいて、基礎的な海

洋生物学の貢献できる要素が大きい。特にサンゴ礁は最も生物多様性の高い海洋生態系のひとつであるが、温暖化はサンゴが白化する引き金となるので、今後の地球温暖化の深刻な影響が最も懸念される生態系でもある。基礎生物学の知見に基づいて、この生態系に関する有効な保全策を立案することは、アジア・アフリカ沿岸地域の社会システムを維持してゆくために必須である。また、マラリア等の熱帯性感染症に関する基礎研究に関しても、我が国は世界的に最先端の研究を推進しており、その研究成果を臨床に結びつけることにより、これらの問題を抱える多くの国に対して社会貢献を果たすことが可能である。

基礎生物学関連分野では、進化学の他にも、多くの分野でアジア・アフリカなどに顔を向けている。生物物理学関係では、アジア生物物理学連合を通じ、アジア諸国(日、韓、中、台、香港、印、豪)が、学問的結束を高めている。これら諸国の全生物物理学学会員数は、ほぼ欧米全体の学会員数に匹敵する。中でも日本はアジア地区全体の40%の学会員ボリュームを持っており、その学問的レベルの高さからもアジアのリード役として学术交流の活発化を図っている。

### (3) 社会のニーズに対応

#### ① 教育、生命科学の意義、社会への啓蒙

##### ア 実験科学教育の推進

昨今子供の理科離れが指摘され、科学技術立国を標榜する我が国の、将来の科学技術を支える人材育成に、大きな問題が投げかけられている。一方で、教える工夫をすれば科学に子供たちの関心を引きつけることができるのも事実である。ぜひ初等教育から、実習、実体験を含める形で科学教育を充実させ、また大学レベルでは全ての学生に基本的な生命科学の知識を与えて、社会全体が、基礎科学の重要性に対して正しい認識をもつようにしていくことが重要である。そのような中から専門家として科学に携わる優秀な人材が育つであろうし、また人々は科学に即し、その恩恵をうけて健全な生活を送れるようになる。

##### イ 市民シンポジウム

人間の生活が科学と切り離せない現在、科学への関心と信頼を醸成し、自然科学研究への理解を育むことを目指して、生命科学の根幹をなす細胞生物学の成果を社会に広く発信する努力が必要である。我が国の経済が低迷している現状で、科学技術に少なからぬ予算が配分されていることに対して、社会一般の理解を深めてもらうことも肝要である。日本学術会議では、第19期から引き続いて、社会における科学リテラシーの向上と、科学を文化として根付かせるための活動を続けてきた。日本細胞生物学会と協力した講演会の開催も、長年にわたって続けられており、また、子どもたちや、学生、一般市民に向けて細胞の不思議と細胞研究の面白さを伝えるために、日本学術会議・科学力増進分科会(旧・科学力増進特別委員会)と科学技術振興機構、文部科学省の共催で、数年にわたって「セルフエスタ」を開催し

てきた。「セルフエスタ」には、これまでに 4,000 人を超える参加者があり、好評を得ている。今後も、これらを継続することによって、人々に細胞研究の面白さと、細胞生物学研究が医療技術や物質生産技術の基礎を為していることなどを伝え、生命科学研究への社会の支援を得る活動を進めたい。また、日本学術会議 20 期からは、基礎医学委員会形態・細胞生物医科学分科会と基礎生物学委員会細胞生物学分科会が合同で、毎年、シンポジウムを開催し、「細胞の形や観察」を基盤した我が国における独創的な基礎研究成果を、学生、一般市民に対する講演会の場で発表し、大変好評を得ている。今後もこうした積極的な取組みを他の分科会とも連携を持ちながら続け、基礎研究から得られる多くの実績が、社会に大きな負担をもたらす疾患の原因解明や予防・治療にも、また食糧問題や環境問題の解決を目指した改変生物の作製にも、役立つことを伝える必要がある。

## ウ 社会と科学コミュニケーション

iPS 細胞技術等の確立以降、発生生物学、幹細胞生物学に対する社会的関心が非常に高まっている。教育・研究者は社会ニーズに対応すべく、広く市民に向けて正しい情報の発信を行うことが必要である。そのためには、先に述べたサイエンスカフェ、シンポジウムの他、市民公開講座、広報誌の発行等のアウトリーチ活動を行い、市民やメディアとともにサイエンスを楽しみ、その重要性を認識してもらう試みが重要となる。このような場合、研究者のみに依存するのではなく、科学コミュニケーターなどの活用が必要である。

細胞生物学、発生生物学に限らず基礎生物学のリテラシーを備えた人材は、製品開発、知財、広報、行政、法曹界、理科教育等、様々な分野において活躍することが可能である。これからの社会においては特にその人材ニーズが高まることが予想されるが、現状においては需要と供給がマッチングしているとは言いがたい。学会等が中心となって、人材の活用のためのプラットフォームを構築することが望まれる。

ゲノム科学分野ではヒトの個人のゲノム情報に基づく疾病の予防や薬の副作用の回避などの個別化医療や、ゲノム情報を活用した動植物、微生物のゲノム育種などゲノム科学の成果が実社会とのつながりを深めると予想されるが、その進展の前提として、個人情報扱い方、生物の安全性評価などについての社会の合意形成が必要である。社会とのコミュニケーションを通して情報セキュリティ管理技術や倫理指針の整備、環境評価システムの確立などを進めることが一層求められる。

## エ 生物学と社会（市民）を繋ぐサロンのシステムを構築

ここでは、国立の自然史博物館の設立を提唱する。パリには、フランスの文部省や環境省などの共同監督下にある国立自然史博物館があり、その役割を十分に果たしている。現在この博物館は、人間による環境開発の影響を研究・教育することに力を注いでいると聞く（例えば、そのために収集した昆虫標本は 1 億 5000 万点に

のぼる)。この国立パリ自然史博物館と肩を並べるものとして、アメリカの国立自然史博物館、イギリスのロンドン自然史博物館などがあり、それぞれが自然史に関する資料を収集し、保管、展示、普及、調査研究し、その成果を社会（市民）に還元するパイプ役として大きな役割を果たしてきた。自然史博物館の主な役割のひとつは、生物学という、一般に直接の利潤を生み出さない学問への理解と社会的認知の裾野を広げること、つまり生物学のサポーターをたくさんつくることである。そこから、未来の後継者も育ってくるであろう。このような社会のサポートがなければ、地球規模から足元に至る環境問題の解決などほど遠いことは、いまさら言うまでもない。自然史博物館では、視覚にうったえる実物の迫力を生かした効果的な展示や普及活動が不可欠である。著名な進化学者 S. J. グールドを生物学に誘ったのは、5歳のとき父親に連れられて足を運んだニューヨークのアメリカ自然史博物館で見たティラノサウルス・レックスの標本だった、という逸話が残っている。社会教育を担う博物館が、今日のように多様な社会的ニーズにこたえるには生物学の専門研究をベースにもっている専門職職員（学芸員）が必要である。加えて、諸外国で以前から設置されている展示、普及活動の専門家（エデュケーター）や標本の登録・管理の専門家（コレクションマネージャー）も必要である。適切に処置されて管理されている標本は、「生きて」いる。しかし残念ながら、日本では標本を大切に扱ってこなかった。諸外国の博物館で、幕末や明治初頭に日本で採集された標本類が今でも利用可能な形で保管されていることと対照的である。この轍を踏まないためには今後の我々の努力が肝要である。

### オ ダーウィン生誕 200 年（生物年）を契機とする生物学、進化学の啓蒙活動

生物科学学会連合（24 学会）は、すでに 2009 年を「生物年」として位置づけて、進化学会を中心に一般市民を対象として公開シンポ「ダーウィンを越えて—21 世紀の進化学」を 8 月に開催し、生命の誕生、進化を通じて生命の生きる姿を学生、一般市民に分かり易く説明し、大変な好評を得た。これを契機として今後も生き物を進化や多様性の視点を通じて紹介し、生物の現象の原理の面白さ、基礎科学としての生物学の啓蒙活動を積極的に展開する必要がある。

## ② 社会のニーズに応える人材の育成と適切で公平な雇用

分子生物学を中心とする生物科学の領域では、次のようなことが対応すべき重要な課題である。

1) 大学の法人化などのアカデミックシステムの再編の結果、恒常的なポジションに着けない博士研究員（ポスドク）の数が急増した。これは個々人にとっての不遇であると同時に、社会としても博士号を取得した多くの人材の能力を活かし切れていないという大変不都合な状況である。将来に夢を持てなくなった優秀な若手研究者の研究離れも進行している。彼らに適切な職を用意して現在の状況を打開する具体策がぜひ

とも採られなくてはならない。また当面の策としてポストクの生活基盤を強化する労働条件の改善が望まれる。

2) 科学の中でも生命科学は女性研究者が比較的多い領域である。彼女たちが能力を最大限発揮できるよう、女性に対する公平で、積極的な採用、研究環境・労働条件の整備が必要とされており、引き続き男女共同参画の取組みを強化していく必要がある。

### ③ 食糧の確保と食の安全

食糧確保の方策として、作物の生産性向上、不良土壌で生育可能な作物の作出が極めて重要である。世界的には、これを可能にする遺伝子改変作物、すなわちGM作物の実用化が進み、2008年の統計では、その作付面積は世界全体で1億2500万ヘクタールに達している。遺伝子組換え技術は、従来法に比べより確実、強力、かつ計画的に有用な形質を導入できる方法である。遺伝子組換え技術は、政策目標達成のための突破口となる可能性を秘めており、GM作物の商業的な栽培・流通は人類の福祉に不可欠である。その現在の主な推進国は米国、アルゼンチン、ブラジルなどであるが、GM作物の商業栽培に消極的なEUにおいてすらも、その基礎となる遺伝子研究には大型予算が投入されているほか、屋外栽培試験も多数実施されており、実用化に向けた準備は着実に進められている。中国では、60種もの作物の全ゲノム解析プロジェクトが進んでおり、また2008年より35億ドルを投入した遺伝子組み換えプロジェクトを推進させ、有用なGM作物の作出を目指している。一方、我が国は、シロイヌナズナやイネゲノム解析研究に代表されるように、基礎科学としての優れた研究実績がある。GM植物についても研究室レベルでの優れた研究があり、これらを圃場に移し、さらには製品化していくための、設備とシステムの整備、さらには一般社会への啓蒙活動が極めて重要である。この作物の改良は、日本にとどまらず世界の食糧問題を解決できる意味で、国際的に広く貢献できる科学技術であり、積極的な利用が必要である。

海産資源を比較的多く消費する我が国において、海洋生態系の持続的な利用によって、重要なタンパク源である漁業資源を確保することは、極めて重要である。海洋生物学は、持続可能な漁業を進めるために必要な基礎的情報を提供することができる。海洋生物学の知見は、水産増殖を目指した各種事業と生態系の保全との調和にも資することができる。具体的には養殖業と生態系の富栄養化との調和などがあげられる。また、海洋生態系の食物網に関する知見は、内分泌かく乱物質の生物濃縮を理解するうえで必須のものである。その一例としては、マグロが蓄積する高濃度の水銀の問題があげられる。海洋生態系に対する地球環境の悪化の影響を正しく理解し、適切な方策を提言することにも、海洋生物学の研究成果は貢献できる。特に海洋酸性化など、海洋生態系の壊滅的な変動を未然に防ぎ、食糧の確保に資することは、世界第7位の排他的経済水域を有する我が国の重要な課題である。海洋生態系の危機の一つとして、陸上起源のごみの問題が近年特に重要視されつつある。その生態系への影響は、今後様々な側面から顕在化することになると予測され、積極的な対応策を考える必要がある。

る。この他にも、人間活動に伴う陸上の生態系の改変の影響は、海洋生態系にも及んでおり、陸域生態系と海域生態系を包括的に管理することが、食糧の確保と食の安全に関して重要な視点である。海洋生態系の管理を適切に実施するためには、現在の各省庁が縦割りではばばらに細分化された側面について政策を立案している現状を改善し、海洋を包括的に理解し管理するための独立の省庁（海洋省）を設置することが望まれる。

#### ④ 技術革新が進む社会における人間性の涵養

様々な基礎科学研究の成果を基盤とした科学技術の発展により、社会が便利で豊かになってきている一方で、人間活動の多様化やグローバル化、活発化に伴って新たな社会的課題が顕在化するなど、技術革新と社会の関わりが流動的で複雑化してきている。また、持続的な成長を維持する科学技術創造立国を実現していくための人材養成についても、世界の潮流を意識して、社会のニーズに見合った方策を展開していくことが必要である。基礎生物学分野が技術革新を通して社会に貢献できるのは、医療、食糧、環境など人間社会の最も根幹を成す生活基盤となる分野であり、これらの研究成果が日常社会と密接に関連していることを一般に理解してもらうよう努めることも大きな課題である。その為には研究者と社会をつなぎ、また、科学技術に対する意識と理解の涵養、科学リテラシーの向上を図り、科学技術と社会との間の双方向のコミュニケーションを可能とするような、いわば対話型科学技術社会を構築していく必要がある。また、研究に関わる者が専門分野のみならず、意欲や感動を育み、豊かな人間性や社会性を涵養するような人材養成課程を経て輩出される仕組みが必要である。

### (4) これからの人材育成

#### ① 教育

##### ア 初等・中等・高等教育における人材育成

##### (ア) 教科書など

これまで初等・中等教育における我が国の教科書内容の貧弱さ、子どもたちの科学への興味の低さ、学力の低下への懸念が声高く叫ばれてきた。その解決に向けて、科学教育関係者を中心に、教育内容の高度化を目指した改革が開始されている。生命の進化、遺伝、多様性、DNA、環境保全などの内容も、新しい教科書に盛り込まれるようになり、新たな教育改革のうねりが生まれつつある。理科教育への予算も増額され、各学校に対して、理科実験のための設備を整備するための予算配分もなされており、スーパーサイエンスハイスクール (SSH)、サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト (SPP) をはじめとする種々の施策は、子どもたちの科学への興味を喚起し、理系大学志向の子どもたちを増やし、科学技術を将来の仕事に選ばうとする子どもたちを増加させる結果に繋がりがつつある。2009年に我が国で開催された国際生物学オリンピックでの若い学生達の活躍も、多くの

子供たちの生命科学に関わる将来への夢を育むものとなっている。また日本学術会議・科学力増進分科会（旧・科学力増進特別委員会）が中心となって、150名余の科学者、技術者、教育者、メディア関係者、行政関係者等を集めて進めてきた「科学の智プロジェクト」の成果も、初等・中等教育の基盤整備のために利用されつつあり、昨今の科学教育は、数年前とは比較にならないほどの進展を見せており、今後の人材育成には重要である。

#### (イ) 教員育成など

教員たちの資質向上のための研修の場も準備されつつあるが、数年間に一度の研修では、全く不十分である。ヨーロッパで見られるように、教員たちが放課後や休日を使って、自由に大学に学びなおしに戻れるような仕組みを作ることが、特別な予算措置も要らず、すぐに実行できる試みであり、有効な施策となることが考えられる。第一に、学生達の理科離れ、一般市民からバイオテクノロジーに対し十分な理解を得られなかったこと、産業への転換の不備によるキャリアパスの問題などを背景に、生命科学を担う新たな人材の確保が年々困難となってきた。これに対し、多数の優秀な若手研究者の確保・人材育成のため、生物学教育に関して、まず初等・中等教育から、指導要領の抜本的改革と整備が必要である。加えて、生命科学の教育・研究者を目指す大学生および大学院生への教育推進とキャリアパスの整備が求められる。

#### (ウ) 中等教育の改善

先ず日本の中学・高等学校における生命科学の教科書の進化・系統学に関する記載内容が極めて低く、欧米諸国と比べてその理解が遅れている。その結果、進化や系統の理解については、一般市民の正しい理解と啓蒙が他の先進国に比べて低いレベルに留まっている現状がある。次期学習指導要領では、進化・系統学の内容は一部改善がなされたが、現場の高校理科教師が授業できる力が備わっておらず、不十分な面が多い。中等教育の改善に向けて、現代生命科学の編纂や、生物学教育辞典の改訂などのアクションが必要である。また細胞構造や Whittaker の5界説(1969)で見られるように、高校生物の教科書は、ゲノム科学時代の現在においても、旧世代の記載生物学の考え方に基づいており、余りにも国際的なレベルから見ると理解が低い。その改善に向けては、進化の原動力として自然突然変異の他に、細胞内共生というイベントがあったことを高校生物の教育内容として取りあげるなど、生命誕生、真核生物の誕生、多細胞生物の誕生など系統的に一貫した流れとしてDNAを基盤に記載する必要がある。このことによって、生物世界の見方と全体の構成が分子と細胞のレベルで理解ができるようになる。

#### (エ) 海洋生物学

小中高校における生物学の内容において、海洋生物に関わる記載が極めて貧弱

である。海洋基本法においても、海洋教育の重要性は指摘されており、今後海洋生物学に関連する内容を、積極的に生物学の教育に取り入れていくことが必要である。海洋生物学の教育において、水族館が果たし得る役割は極めて大きい。海洋生物学はフィールドの科学という側面が強いものであり、実際に多様な生物を見ることが、最も基礎的な教育として有効である。また現在の海洋生態系の危機的状況について、将来最も影響を受ける世代である小・中・高校の生徒に正確な情報を教育しておくことは、社会的な取組みが必要な地球規模の環境問題に取り組むうえで必要である。例えば、海洋環境に関わる重要な課題として海洋酸性化や海洋ごみの問題などに関して、初等・中等教育の教科書でも取り上げるべきである。

## イ 大学・大学院教育の充実

### (ア) 大学・大学院教育など

我が国の大学院には、欧米で見られるような体系的なカリキュラムがほとんど存在していなかった。そのこともあって、狭い専門領域だけに興味が留まり、変化する局面に広い視野を持って対応できる人材を養成しているとは言いがたい状況が生まれていた。大学教育に関しては質の保証の必要性が言われて久しく、日本学術会議でも議論が始まっているが、大学院教育に関しては、未だ大きな動きとはなっていない。また、若手研究者が独立して研究を進めることが難しい環境にあったことも、若者が狭い専門領域を脱することが出来ない状況を作る原因の一つであったと考えられる。これからの人材育成においては、大学院教育の充実はもとより、初等・中等教育から高等教育への連続的な教育改革が必要であり、教員たちのための教育環境の整備も必要である。また、異分野の学生が、学部・大学の枠を越えて、学び研究するような環境を作ることも必要である。さらに、奨学金の制度も整備して、ある程度の生活が保障されるような配慮がなされるべきである。さらに、本人たちが学位取得後の多様なキャリアパスを描けるように、内外の研究機関、企業、教育機関などでの実習等の体験も、準備することを配慮すべきであろう。

さらに、生命科学の研究者として教育された人材は、基礎医学、農学、生命工学などの分野でも活躍することが期待されるので、広い学問的基盤を持つことが、一層必要である。また今後、優秀な人材が、基礎研究や応用研究に従事するだけでなく、研究を支援するための研究開発マネジメントを行う人材、あるいは科学行政などに携わる人材といった、高度専門職業人としても活躍することが期待され、そのためのカリキュラムの整備も必要である。特に今後はゲノム情報を中心に生命、生物に関する大量かつ多様なデータが生産される時代となり、それを活用するバイオインフォマティクスなどデータ処理や有意な情報抽出システムが必要不可欠となっている。そのため、バオイリソースの充実とともに、生命関連情報のデータベースの整備、さらに生命情報科学を身に付けた人材の養成のた

めのカリキュラムの整備や学科の増設が必要である。

#### (イ) 高度専門職業人教育の充実

環境の保全が重要な社会的ニーズとなっている現在、環境アセスなど事業に携わる生態学や多様性保全に関する専門的知識をもつ人材の養成が重要である。特にこれらの職業人が必要とする専門的知識は、生物の分類・同定能力である。しかしこれらの能力について、指導することができる生態分類学の専門家が、大学において激減している。解決のための早急な施策が望まれる。

#### (ウ) 外国人学生・研究者・教員の受け入れ

この体制の充実については、国際化拠点整備事業（グローバル 30）によって、国内大学と諸外国との交流は一部加速化されるだろうが、外国人学生・研究者・教員の日本における滞在を促進し、国際的教育研究をさらに加速させるために、各研究機関に国際交流センターを設け、外国語における事務システムを確立するなど利便性の向上が必要である。

#### (エ) 基礎研究と社会など

教育や研究においてよりグローバル化が激しく進み、対応する環境整備や教育体制の遅れが表面化してきている。基礎生物学関係では、英語教育が必須であり、その教育・教員育成体制の見直しを図る必要がある。国際的に大学院教育の単位相互互換制度の整備などにより大学院教育の国際化を図る必要がある。生命科学の将来性とその存在意義が日常社会と密接に関わっているという認識を社会的にも共有する必要がある。特に、ゲノム科学が進展した現段階において、個人間の遺伝的差異の生物学的な重要性、意義が社会的にも十分に認識される為の努力をする必要がある。そのことが、差別や区別ではなく逆に個性の尊重や他人の尊重につながる基盤的思考方を社会的に浸透させる役割も果たす。例えば、基礎研究と社会が必要とする応用研究とのギャップが広がる恐れをなくするため、研究者からの社会への発信や広報活動を盛んにする。急速に発展する生命科学分野の最新の知見や知識が、社会的に正しく迅速に伝わるような専用メディアを検討する必要がある。そして遺伝学の教育は、その原点である集団内の多様性を認めるところから出発する必要がある。つまり、人類集団には元来個人間に遺伝的な差異が多様性として存在し、その多様性が人類の生存と将来にとって必須であることから、遺伝的に異なる他人を認め合い尊重し合うという原点を教える必要がある。このように社会学や法学など、生命科学の包括的理解に重要な他分野の学問と連携を取り、研究社会と一般社会を結びつけていく活動も重要である。

#### ウ 英語、理科系基礎科学一般教育など

基礎的な数学、統計学、物理学、化学の教育の充実

細胞生物学や発生生物学のような学術分野では、巨大な設備を必要とするビッグ・サイエンスと比べ、「人」に対する依存度が高い。よって、独創性に富み、その能力を国際的に展開できる次世代の研究者を育成することが非常に大切である。そのためには、初等中等教育から学部・大学院に至る過程における教育の充実が一層必要となっている。また、専門的な知識の習得とは別に、コミュニケーション手段としての国語教育、英語教育が必須であり、特に、科学的・論理的な文章作成力、会話能力をつけさせることが重要である。また、広い科学の素養を身につけさせるべき学部教育においては、基礎的な数学、統計学、物理学、化学等をきちんと習得させることが、生命科学を志す若者にとってもますます重要となってきた。また、我が国ではいわゆる「卒業研究」として学部生が研究室に所属し、研究の基礎を教わりつつ修士課程に進学することが一般的であるが、基本的には欧米諸国のように、学部と大学院では異なる大学に進学することにより、若いうちに視野を広げさせることも、将来の研究の発展に重要である。研究室を主宰する教官は学生を研究室の労働力として働かせることがあってはならない。このためには、大学院生の定員により大学の運営費交付金が算定される現在のやり方は改善すべきである。また、大学院に進学する学生に対しては、研究のトレーニングを行う在学期間中、基本的に学費と生活費を奨学金に相当する形で支援する制度を設ける事が望まれる。

## ② 機器管理・事務部門のサポート体制

これは自然科学系の研究分野に共通する問題でもあるが、基礎生物学関連の研究を推進する為には、研究に使用する動植物の育成管理や、電子顕微鏡をはじめ多くの光学機器、シーケンサーや大型質量分析装置など、従来に比べてはるかに多くの研究機器の使用が必要となってきた。幸い多くの材料、装置が共通機器として研究施設のセンターに設置され、維持管理がなされることが多い。しかし、これらの機器、装置のメンテナンスを行い、常にベストな状態で使用出来るように維持管理する支援員が激減しており、高額な機器もその力を十分に発揮できない状況である。このためには、技術系の支援員を増やすべきである。また、同様に担当事務部門のサポート体制を充実させることも重要である。

## ③ ポスドクの雇用と企業

ポスドクの雇用問題は、基礎生物学分野のみの問題ではないが、特に当該分野において重要なので記載する。我が国において、世界を牽引する生命科学の先端科学を推進するためには、基礎研究の振興と、それを支える若手研究者の育成が必要であり、これまでもいくつかの政策がなされてきた。しかし現状では、大学院重点化、「ポスドク1万人計画」等の施策が行われる一方、現状では、人材雇用を伴う基礎研究の研究費配分に大きな課題があることや、また、数年単位で雇用期間の終結が繰り返さ

れる、いわゆるポストク問題が若手研究者の育成に影を落としている。新しい研究や技術開発の芽を育て、基礎研究を推進するための研究環境を作ることは、それほど大きな予算を必要とするわけではなく、先見性のある施策を講じることで実現可能である。日本の将来を担う研究者、教育者は、基本的には大学院博士後期課程における研究経験を経て育成されるが、現状では大学院を修了し、学位を得ても、正規の職に就けない人々が急増している。この問題は、彼ら自身の問題であると同時に、彼らの状況を見ている学部学生に大きな影響を与えている。現在、多くの学生が、大学院特に博士（後期）課程への進学をためらい、別の道を選んでいる。近い将来我が国が科学技術立国として世界に向けて活動することは困難な状況が起ころう。この状況を打破するためには、大学等への基盤的経費の適切な配分が必要であり、大学・研究機関においても、独立法人化による予算削減により、国公立大学の教員の削減が置き、十分な教育が出来ない状況である。雇用・評価制度を見直しをする必要があるが、高度な教育をするためには大学等での教員数の増加が必須である。さらに学位取得者の受け皿として人材を採用する企業も少なく、需要と供給に大きなミスマッチが生じている。この構造的欠陥を改善しなければ、健全な生命科学の発展はありえない。学生のうちから多様なキャリアパスのビジョンが描けるように、研究機関はキャリアパス支援室のような部門の整備を行い、学会等も企業との仲介役を果たすような取組みを推進すべきである。また、企業自身の意識改革も急務である。そして、科学の芽を育て、ポストクを含む若手研究者が、希望を持って研究・教育の場で活躍する「姿」を作り出すことが、日本の明るい展望のために、先ず必要な方策であろう。

#### ④ 政府組織

##### ア 科学補佐官

政策決定の場に基礎科学を十分理解した識者の意見が反映できるような制度の充実が必要である。米国では科学技術担当補佐官あるいは大統領科学技術諮問委員会のような、行政の中枢に科学政策を直接進言できる立場の科学者が存在する。我が国でも日本学術会議が、科学の向上発達を図り、行政、産業および国民生活に科学を反映浸透させることを目的として内閣府の特別の機関のひとつとして設置されているが、さらに内閣に対してよりダイレクトに科学政策を提言できる、相応の権限をもった科学者の役職を置くことが望まれる。基礎科学の推進のためには、研究に対する寄付については税の対象から控除する寄付税制の改正も有効であると思われる。

##### イ 理学系高度専門事務職員の要請

生命科学研究の高度化専門化に伴い、研究費遂行事務、研究計画立案において、科学技術の諸分野における専門的知識を持った高度専門事務職員の関与が重要になっているので、そのような枠の職員採用を促進する。日本学術会議はこれまで以上に内閣に対してよりダイレクトに科学政策を提言できる、相応の権限を持つべき

である。

## ⑤ メディア報道など

### ア 記者など

研究を促進・推進する体制の構築が望まれると同時に、こうして得られる生物に関する知識（不思議さと、それに対する尽きない興味）を論文に基づいて正しく評価でき、社会に解りやすく報道できるような人材の育成にも努める必要がある

### イ サイエンス・コミュニケーターの育成

遺伝子組換え（GMO）など生命科学の専門的な科学的知見を、専門的知見をもった人材が正しく理解し、一般社会に向け分かり易く説明できる、サイエンスコミュニケーターの育成も肝要である。将来は各研究機関、各種メディア機関ごとにサイエンスコミュニケーターが雇用され、常時情報を発信できる体制が作られることが望まれる。特に生命科学分野では、自然誌博物館や植物園などにおいては生物の面白さを直接体験できることから、このような人材の育成は必要である。

## ⑥ 生命倫理

最近の生命科学研究の進展により、生命科学と社会との接点において新たに生じた人の尊厳や倫理、個人の遺伝情報の保護等の問題が多様化・複雑化しつつあり、今後、これらの問題に対して、自然科学、人文科学の両方の観点から十分な検討を加え、適切な対応をしていく必要がある。そこで国内外の研究開発動向、生命倫理問題に対する社会的合意形成の手法等について研究調査をおこない、新たな倫理指針や社会システムの整備などを検討する。

### 3 おわりに

日本学術会議には 30 の委員会があり、そのうち基礎生物学委員会と統合生物学委員会が生物学系である。これまで両委員会は生命科学全般をカバーするために、種々の活動・行事を一緒に行ってきた。今後とも合同で協力しあいながら生物学に関わる活動を推進していく必要がある。

本報告は「日本の展望」に付随して表出されるものであるが、政府、行政機関、試験研究機関、そして国民により本提案が有効に利用されることを祈念している。

### <用語の説明>

1. IUBS (国際生物学連合) 分科会 : International Union of Biological Societies.
2. IUMS (国際微生物学連合) 分科会 : International Union of Microbiological Societies.

### <参考文献>

1. 環境年表 国立天文台編 (丸善, 2009, 2010 年)
2. 新名惇彦著「植物力 人類を救うバイオテクノロジー」新潮選書 (新潮社 2006 年).
3. リチャード・フォーティ 著 「LIFE, An unauthorized biography」(生命 40 億年全史) 渡部政隆 訳 (草思社、2003 年).
4. ジェームス・D・ワトソン、アンドリュー・ベリー著「The secret of life」(DNA) 青木薫 訳 (講談社、2003 年) .
5. J. クレイグ・ベンター著「J. CRAIG VENTER」(ヒトゲノムを解読した男—クレイグ・ベンター自伝) 野中香方子 訳 (化学同、2008 年) .
6. 渡邊格他 執筆 -21 世紀- 生命科学・バイオテクノロジー (東京教育情報センター、2005 年) .

### <参考資料>

1. 真核生物ゲノム関係 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genomes/leuks.cgi>
2. 原核生物ゲノム関係 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genomes/lproks.cgi>
3. オルガネラゲノム関係  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genomes/GenomesHome.cgi?taxid=2759&hop=htmlproks.cgi>
4. 農水省関係ゲノム情報 <http://salad.affrc.go.jp/salad/>
5. 遺伝研関係ゲノム情報 <http://www.ddbj.nig.ac.jp/index-j.html>