

日本の展望—学術からの提言 2010

提言

日本の展望—生命科学からの提言



平成22年（2010年）4月5日

日本学術会議

日本の展望委員会

生命科学作業分科会

この提言は、日本学術会議 日本の展望委員会 生命科学作業分科会の審議結果を第二部
拡大役員会の協力をえて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 生命科学作業分科会

委員長	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
副委員長	北島 政樹	(第二部会員)	国際医療福祉大学学長
幹事	山本 正幸	(第二部会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
幹事	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
	唐木 英明	(第二部会員)	東京大学名誉教授
	桐野 高明	(第二部会員)	国立国際医療センター総長
	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
	榊 佳之	(第二部会員)	豊橋技術科学大学学長
	柴崎 正勝	(第二部会員)	東京大学大学院薬学系研究科教授
	谷口 維紹	(第二部会員)	東京大学大学院医学系研究科教授
	谷口 直之	(第二部会員)	大阪大学産業科学研究所教授
	中村 祐輔	(第二部会員)	東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センター長・ゲノ ムシーケンス解析分野教授
	橋田 充	(第二部会員)	京都大学大学院薬学研究科教授
	廣川 信隆	(第二部会員)	東京大学大学院医学系研究科教授
	真木 太一	(第二部会員)	筑波大学北アフリカ研究センター客員教授、九州大学名 誉教授
	南 裕子	(第二部会員)	近大姫路大学学長
	山内 皓平	(第二部会員)	愛媛大学社会連携推進機構教授、南予水産研究センター 長
	山本 雅	(第二部会員)	東京大学医科学研究所教授
	渡邊 誠	(第二部会員)	東北大学国際高等研究教育機構教授

日本学術会議 第二部拡大役員会

部長	浅島 誠	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
副部長	北島 政樹	国際医療福祉大学学長
幹事	山本 正幸	東京大学大学院理学系研究科教授

幹事	鷺谷いづみ	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
統合生物学委員会委員長		
基礎生物学委員会委員長	黒岩 常祥	立教大学大学院理学研究科特任教授
基礎生物学委員会副委員長	小原 雄治	情報・システム研究機構理事 国立遺伝学研究所所長
統合生物学委員会副委員長	斎藤 成也	情報・システム研究機構国立遺伝学研究所 集団遺伝研究部門教授
農学委員会委員長	真木 太一	筑波大学北アフリカ研究センター客員教授、九州大学名誉教授
農学委員会副委員長	西澤 直子	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
食料科学委員会委員長	山内 皓平	愛媛大学社会連携推進機構教授、南予水産研究センター長
食料科学委員会副委員長	磯貝 彰	奈良先端科学技術大学院大学学長
基礎医学委員会委員長	谷口 直之	大阪大学産業科学研究所教授
基礎医学委員会副委員長	鍋島 陽一	京都大学大学院医学研究科教授
臨床医学委員会委員長	桐野 高明	国立国際医療センター総長
臨床医学委員会副委員長	福井 次矢	聖路加国際病院院長
健康・生活科学委員会委員長	南 裕子	近大姫路大学学長
健康・生活科学委員会副委員長	岸 玲子	北海道大学大学院医学系研究科教授
歯学委員会委員長	渡邊 誠	東北大学国際高等研究教育機構教授
歯学委員会副委員長	米田 俊之	大阪大学大学院歯学研究科教授
薬学委員会委員長	橋田 充	京都大学大学院薬学研究科教授
薬学委員会副委員長	柴崎 正勝	東京大学大学院薬学系研究科教授

※ 名簿の役職等は平成22年3月現在

要 旨

1 作成の背景

20世紀の後半は、しばしば生命科学の時代と形容される。生命の本質と、疾病を含む様々な生命現象についての我々の理解は、この半世紀で飛躍的に深化し拡大した。人類は遺伝子を操作する技術を手に入れ、細胞・生体を用いて有用物質を量産することが可能になり、さらには細胞を望みの組織へと分化させる手段をも獲得しつつある。このような生命科学の発展が医療や食料生産にもたらした恩恵は計り知れない。しかし我々はまだ、生命を理解し尽くしたとはとうてい言えない地点にいる。個々の生体化学反応の詳細、それらを統合して生命システムとして成り立たせている仕組み、さらには脳や神経の働きにより我々が知覚し、記憶し、行動するメカニズムなどはまだまだ未知の大海である。21世紀においてこれらの問題に果敢に挑戦し、人類の知をより深化させるために、どのような学術研究体制を構築していかなければならないかは、極めて大きな問題である。

また、生命科学を含めた科学技術の発展により、一方では豊かな生活を享受しつつ、他方では地球規模で人類の生存基盤の崩壊が進行するという事態に我々は直面している。これからの時代においては、科学技術で生じた負荷を新技術で克服するというテクノロジー優先の考えではなく、生物としての人類が地球環境の中で生き延びていくには本質的にどのように生活すべきであるかという叡智を与えてくれる生命科学の展開が不可欠である。

上記二つの問題意識に基づいて、日本学術会議「日本の展望」生命科学作業分科会は本提言をとりまとめることとした。

2 生命科学の主要な課題に対する提言

(1) これからの生命科学

日本の生命科学研究は、これまで生命現象の解明において優れた成果を上げてきた。しかしそれは、専ら「ヒト」を生物として理解することを目標としたものであり、生命科学の成果を「人間」の福祉につなげることが明確な目標として認識されることは少なかった。

これからの生命科学においては、「生命現象の包括的・統合的な理解」と「人類の福祉への貢献」とを両立させることが重要である。そのためには、(2)で述べるような、未来を見据えた基盤技術・機器開発と、特にボトムアップ型の研究に対する継続的な支援の充実を図るとともに、先端的な研究の成果を医療・創薬や農業・食料科学などへ適切に橋渡しする研究を支援する体制を、法制度等も含めた社会的なインフラストラクチャーとして整備することが望まれる。また、人間の生命や健康・生活の安全と、それに影響を与える諸要因との関係を解明し、調整するための目的指向的な科学分野、レギュラトリーサイエンスの発展も重要である。

こうした目標を達成するためには、生命現象の理解を目指す生命科学領域に加えて、

「人間」を深く理解し、その健康と福祉に貢献することを目的とした、新たな生命科学の研究領域を開発し、両者を調和させながら発展を図ることが有効である。

(2) 基盤技術の開発とボトムアップ型研究への支援

生命現象の包括的・統合的な理解を大きく発展させるために、① 大容量データを取得、解析、保持し、関連する資源を保存、頒布する技術、② 細胞や個体の操作、情報計測、システム模倣技術、③ 再生医学、ドラッグデリバリー、ナノテクノロジーなどを活用した医療・創薬技術、④ DNA マーカーや組換え DNA を利用した技術など、基盤となる技術の開発が重要である。

また、我が国の今日の科学政策においては、トップダウン型研究に比してボトムアップ型に対する支援は手薄であると言わざるを得ず、両者の調和に関して適切な考慮が行われなければならない。生態系の研究など、長期に渡る地道な観測が必要な研究分野においては、研究基盤そのものが崩壊に瀕しているものも少なくない。生命科学研究の基盤として不可欠なバイオリソースやデータベースなどの整備も遅れており、生命科学の幅広い分野の基礎研究に対する支援の拡大は急務である。

(3) 社会のニーズへの対応

地球に暮らす多様な生命全体の持続的な存続と、人々の幸福にとって、生命科学は様々な形で重要な関わりを持っている。

生命科学は、遺伝子から生態系まで、多様な生物学的階層において、生物多様性の様々な要素を研究対象として、複雑で動的な生命システムに関する知見を蓄積してきた。人類を含む生命全体にとって危険な方向に向かう地球環境の変化をおしとどめるために、生命科学は、さらに基礎的理解の深化を図るとともに、科学的な監視と評価に基づく対策の立案に積極的な役割を果していくことが求められている。

また、子どもが健全に成長できる環境の整備や、働く人々の心身の健康の維持増進、高齢者の介護予防対策の充実など、人生のすべての段階を通して人々の健康や安全を守るとともに、食料の安定供給と食の安全の確保、環境調和型の農林水産業の推進など、人々の食と、それを支える農林水産業の存立と発展にとっても、生命科学の知見は不可欠であり、社会の期待に応える研究の推進が必要である。

なお特に医療に関しては、現在直面している危機的な状況を克服するために、何より国民の不信感を払拭し、専門医療職と患者の信頼関係を堅持することが欠かせない。そのためには、専門医制度の抜本的な整備を図り、医療の質とその透明性の確実な保障を医師自らが行うとともに、医療は公共財であり、医療を疲弊させる過度の要求は、結局は国民の損失につながるという理解の普及が重要である。

(4) グローバル化への対応

先端的な創薬科学研究は、グローバルな社会を基盤として発展しており、医薬品承認

審査基準の合理化・標準化への適切な対応はもとより、若手研究者の海外派遣や留学生の積極的な受入れなど、教育面も含めた国際化が重要である。

また、開発途上国における様々な格差や、保健医療職の偏在・流出などが大きな問題となっており、国際的な保健医療協力や医薬品の適正な供給に積極的に取り組む必要がある。さらに、近隣諸国との国境をこえた環境汚染や食の安全問題への対応や、感染症対策のための国際的なネットワークの構築など、グローバルなレベルで健康と安全に関わる問題は数多く、こうした問題を総合的に捉える科学領域を発展させるとともに、国境を越えて活躍できる人材を育成することが急務である。

アジア・アフリカ地域の国々に対しては、生態系・生物多様性と調和した、持続可能な土地と資源の利用を実現するための科学的・技術的支援を行い、食料問題等の解決に貢献すべきである。またその際は、地域の文化を尊重し、固有の知識を活かしながら、人々の生活の質や福祉を充実させて行くという視点が重要である。

(5) 生命科学における人材育成

大学や研究所では、短期雇用のポストが増加して常勤職が減少した結果、若い研究者の意欲が著しく低下している。能力ある若手研究者の雇用環境の改善は喫緊の課題であるとともに、大学院生への経済支援や、大学院修了者の雇用拡大のための対策も重要である。研究に従事する人材の不足は、とりわけ医学・歯学・薬学など、専門職業資格に直結した分野で深刻であり、経済的なサポートを含めた支援策が必要とされる。

また、健康科学や予防医学、安全性に関する評価やリスクマネジメント、基礎となる疫学・生物統計、政策的なマネジメントや国際保健など、多様なニーズに対応する人材養成のために、文理統合型の教育を行う公衆衛生大学院の整備が望まれる。

小・中・高等学校の教育や大学の教養教育に関しては、遺伝子に始まり、様々な生命現象の仕組みや、生態系とその保全などを論理的に系統立てて教え、そこから医療や環境、食料等の問題に展開するような、新しい教育体系の構築に取り組むべきである。

(6) 生命科学と生命倫理

生命倫理に対する今日の生命科学の基本的視点として以下が重要である。①人を対象とした治療や研究の透明性と説明責任。②脳の計測・加療や脳死問題の開かれた十分な検討。③次世代に影響を与えるような生殖細胞等の操作の禁止。④温血動物を実験材料とすることの可能な限りの回避。⑤地球環境と生物多様性の歴史の中に人類を位置づけた生命倫理観。⑥適切なインフォームドコンセント等、研究や医療における倫理面での法令遵守と体制整備。

なお、高度医療の恩恵は大きいですが、各種の先端的な医療技術の適用に関しては、倫理上の諸問題への配慮が不可欠である。高額な費用を伴うことによる保険財政への影響の懸念もあるが、高度医療の費用が医療費全体に占める比率は大きなものではなく、総合的な観点から適切な判断を行い推進すべきである。

また、代理懐胎を始めとする生殖補助医療は、未成熟な「実験的医療技術」であり、新たに誕生する命と、さらにその後の世代への影響の全体像は把握されていない。生まれてくる子の健康で幸せな人生を送る権利を最優先に、子と親の長期的な追跡・観察体制を確立し、透明性を確保した上での実施と、安全面・倫理面での厳格な検証・評価を行いながら、社会的合意を形成していく必要がある

目 次

1	はじめに	1
2	生命科学における 10-20 年程度の中期的な学術的展望と課題	2
(1)	「生命現象の包括的・統合的な理解」と「人類の福祉への貢献」を両立させる生命科学の展開	2
①	分子生物学の新しい発展段階	2
②	幅広い基礎研究の重要性	2
③	人に対する応用研究を支える適切な体制の整備	3
④	レギュラトリーサイエンスの発展	3
(2)	未来を見据えた基盤技術開発の必要性	4
①	今後の生命科学を支える研究基盤	4
②	各種の基盤技術の開発	5
(3)	基礎的・長期的な研究活動を支える基盤的研究体制の整備と資金の必要性	6
(4)	大学と研究機関等の補完的研究推進：トップダウン型研究とボトムアップ型研究のバランスの良い資源投資	7
(5)	研究を継続的に支援する体制の充実	8
3	社会のニーズへの対応	10
(1)	生物多様性の危機と生命科学の役割	10
①	人間活動がもたらした大絶滅時代	10
②	生態系の急激な変化に対する危惧	10
③	生物多様性の保全に対する生命科学の役割	11
(2)	健康で安全な生活に寄与する生命科学の推進	11
①	生涯を通じての健康増進	11
②	子どもの安全が確保される生活環境の整備	12
③	働く人々の労働条件の整備対策、非正規雇用労働者の雇用条件の改善	12
④	高齢者の介護予防対策の整備やサポートネットワークの構築	12
⑤	健康と生活に関わる教育の重要性	13
(3)	医療のあり方と専門医療職の役割	13
①	医療が直面する危機	13
②	医療に携わる専門職能集団の責任	14
③	地域における医療機関の適切な役割分担	14
④	持続可能で質の高い医療の提供体制の構築	14
(4)	食と農をめぐる課題	15
①	自給率向上のための農山漁村の持続的社会形成	15

②	環境調和型農林水産業の推進	15
③	食品の安全の確保	15
④	農林水産業における今後の先端的・先導的な研究開発課題	15
⑤	遺伝子組換え技術による食料生産の推進	16
(5)	技術革新が進む社会における人間性の涵養	16
4	グローバル化への対応	17
(1)	医療・保健の国際化	17
(2)	協動的で持続可能な国際社会構築への寄与	18
(3)	農林水産業の分野での途上国への協力	19
5	これからの人材育成	20
(1)	国としての基礎生命科学、特に医学・歯学・薬学領域の研究者の養成制度の確立	20
(2)	高度専門職業人教育の充実	21
(3)	小・中・高等学校における生物学・生命科学教育の充実	23
6	生命科学と生命倫理	24
(1)	生命倫理に対する基本的視点	24
(2)	高度医療はどこまで行うべきか	25
(3)	生殖補助医療のあり方	26
7	生命科学からの提言—まとめ	28
(1)	これからの生命科学	28
(2)	研究推進体制を整備する必要性	28
(3)	グローバル化の中での生命科学のあり方	28
(4)	社会のニーズへの対応	29
(5)	生命科学における人材育成	29
(6)	生命科学と生命倫理	30
	<用語の説明>	31
	<参考資料>生命科学作業分科会審議経過	34

1 はじめに

遺伝子の本体としての DNA 二重らせんの発見に端を発し、生命を分子のレベルから理解する生命科学は 20 世紀の後半に爆発的に進歩した。その成果は、疾病の予防・治療や、食料の増産から、犯罪捜査や親子鑑定など社会生活の諸々の局面まで、広く多様な場面で人間の生活に恩恵をもたらしている。しかし、このような生命科学の成果も大元を質せば、科学者が生命の本質の疑問に対して、粘り強く一つ一つ解き明かしてきた謎解きの積み重ねの上に築かれたものである。科学が歩んできたこのような歴史背景を十分理解した上で、その流れを受け継ぎ、さらに発展させられるよう、我が国の学術研究体制の整備に資することが、日本学術会議の生命科学を担当する第二部に課せられた第一の責務である。21 世紀の生命科学においても、研究で得られた成果を基盤にさらに新たな技術が開発され、また技術開発を契機とした研究の進展によって新たな知識が人類にもたらされるという科学の基本メカニズムを着実に推進することが、まず基本的に重要であると考えられる。

一方、科学技術の発達に裏打ちされて、人類の経済活動、社会活動はその範囲を大きく広げ、かつては各国各地域において限局的な問題であったことが、今や時間、空間の距離を超えて互いに因果関係を及ぼしうる状況が出現している。旅行者の往来によるインフルエンザの急速な拡大、フロンガスなどによるオゾン層の破壊、森林や湿地の開発による野生生物の生息域の縮小や侵略的な外来種の影響の拡大など、グローバル化してきた問題は枚挙に暇がない。また CO₂ の大気中濃度の上昇による地球温暖化が強く懸念されており、人類の活動により絶滅へと追い込まれていく生物種がいくつも存在するなど、人類が自らその生息圏・生存基盤を破壊していることも周知の事実である。人類の将来の生存に関わる諸問題に対して 21 世紀の生命科学は、科学的で有効な指針を与えていかなければならない。

この「日本の展望-生命科学からの提言」においては、生命をより深く理解するための生命科学の展開と、人類の生存を支え、人類の福祉に貢献する生命科学の構築の二つを将来展望の中心に据えて、我が国の生命科学が現在抱える諸問題を検討し、どのような解決策を講じるべきかを考察した。この提言が時機を失することなく実行に移され、我が国の生命科学が人々の健康で文化的な生活に貢献できることを強く願うものである。

2 生命科学における 10-20 年程度の中期的な学術的展望と課題

(1) 「生命現象の包括的・統合的な理解」と「人類の福祉への貢献」を両立させる生命科学の展開

生命科学の成果は、単に生命現象の解明のみにとどまらず、広く人類の福祉に貢献すべきものである。現在、情報技術を媒介とした分子生物学における新しい研究手法の発展によって、その可能性が飛躍的に拡大することが期待されており、さらなる発展のための取組みを強力に推進していく必要がある。同時に、研究成果の過度に性急な実用化を慎み、社会との対話を重ねながら、理性的な歩みを重ねていく姿勢も重要である。それを支えるのは、生命現象に対する幅広くかつ深い理解の裏付けであり、ここに多様な地道な基礎研究の一つの重要な使命がある。

なお、特に人を対象とした応用研究に関しては、適切な研究の実施を支援する体制の格段の整備を図るとともに、安全性の予測と判断に関する科学を発展させていくことも重要である。

① 分子生物学の新しい発展段階

今日の生命現象の研究を俯瞰すると、細分化と専門化が進行する一方、学問の壁を乗り越えて多くの方法や体系を融合する新しい方向が芽生えている。近年、ゲノミクス、プロテオミクス、メタボロミクス、グライコミクス、フェノミクス、ニューロコネクトミクス (p. 30 に用語解説) といった網羅的研究手法の発展によって、生命システムの根幹に関する膨大な情報が提供されるようになった。これらの手法 (オミックス) により産出される大規模データやクローン資源を基盤とし、大量データ収集システムとその処理を担うバイオインフォマティクスや数理モデルを援用して、生命活動の動的な特性をシステムの動態として理解しようとする「システムバイオロジー」が提唱されるようになった。これら新しい学際的アプローチを駆使しての研究の発展は、細菌、原生生物、菌類、植物、動物からヒトにいたるまでのあらゆる生物群に関する生体内システムから生命の進化のプロセスにいたる多様な生命現象を担う鍵となる分子群やそれらの相互作用について新たな深い理解をもたらしつつある。

これらの研究のさらなる発展のためには、個別学術領域における従来の還元的アプローチのみならず、システム全体を視野に入れ、物質科学、生命科学、システム情報科学、脳科学、人間科学などの知見と手法を必要に応じて統合するような総合的アプローチが不可欠であり、それにむけた条件整備を強力に推進する必要がある。

② 幅広い基礎研究の重要性

生命科学の成果の応用については、医療から食料の確保、環境の維持など、様々な社会的課題への科学的貢献が積極的になされるべきである。人類が直面する様々な課題の解決に、生命科学の成果は重要な寄与をする可能性を有しているからである。

しかし一方で、我々は常に知的に謙虚な姿勢を保持することが重要である。人類の福祉は、究極として人類の持続的存続を前提としている。人類の持続的存続を保証するのは、安定した地球環境と生物生産であり、それを生物多様性が支えている。しかし、基礎情報となる地球全体の生物相は未だ未解明であり、生態系の現状と動態予測もままならない現状にある。地球生命系の総合的理解のために、人類は未だ基礎情報の継続的収集とその統合的な理解の深化を必要としており、近代的インフォマティクスによって強化された自然史科学、分類学、生態学にみられるような網羅的・統合的生物学の視点も不可欠である。

要素還元的な研究手法が生命の原理を解明する上で極めて大きな力を発揮することはいままでのない。しかしそこでは、要素間の関係性や時間の不可逆性など、生命にとって重要なことがらが往々にして捨象されてしまうことを忘れてはならない。

科学的な対象は、様々な角度から探求されることで、より深く立体的な知を我々にもたらしてくれる。政策的に重点分野が設定されることはもちろん社会的には必要なことであるが、学術研究の現場においては、生命現象の多元的でいっそう深い理解のために個々の研究者が知的関心に基づいて進める多様で地道な基礎研究を尊重することが重要な意義を持つ。

③ 人に対する応用研究を支える適切な体制の整備

なお、これまで日本の生命科学の研究は、その成果を社会に還元することについては必ずしも積極的ではなかった。このことは、人間を対象とした医学、歯学や薬学等の分野において特に顕著であった。この状況をもたらした一因は、研究者の間で応用的・臨床的な研究の意義に対する認知がそれほど高いとはいえず、また、科学的な実証性や被験者に対する安全・倫理面に関する責任が、専ら個々の研究者に負わされてきたことなどにある。近年、新薬の治験の実施体制等に関して政府においても取組みの充実に向けてきたが、依然として欧米諸国との格差は大きいものがある。

今後、我が国における応用研究の健全な振興を図るには、応用研究に対する研究者個人のモチベーションの醸成や、研究業績を正当に受け止める研究者コミュニティの文化の形成、大学や研究所・病院等において応用研究を支援する専門人材の育成・配置や物理的な環境の整備、社会に広く信頼される安全で透明でかつ効率的な研究プロセスや補償体制の整備、それらを支える法制度、患者やその家族、そして広く一般の人々の理解等々の多様な要素が、確固たる社会的なインフラストラクチャーとして構築される必要がある。そしてこれを実現するためには、省庁の枠組みを超えた国レベルでの取組みが不可欠であると考えられる。

④ レギュラトリーサイエンスの発展

人々の生命と健康の維持・向上のためには、科学技術を人間生活に調和させ、安全に利用するための調整等が必要である。医薬品や、食品、環境、感染症等に対するリ

スク管理は行政的なコントロールのもとになされるが、規制や調整にあたっては科学的な根拠が不可欠である。諸要因と人間の生命や健康等との間の関係を的確に把握して安全を確保するための科学領域であるレギュラトリーサイエンスは、既存の基礎科学、応用科学とはやや異なる社会的な機能をもっている。すなわち、政策との深い関わりの下での予測と判断に重点を置く目的指向的な科学であり、また、③で述べた応用研究の適切な実施においても重要な役割を果すものであることから、今後ますますそのニーズが高まるものと思われる。

(2) 未来を見据えた基盤技術開発の必要性

① 今後の生命科学を支える研究基盤

近年の生命科学の躍進は、研究機器の開発等の技術的な発達に大きく依存している。1990年に開始されたヒトゲノム計画は、2003年にヒトゲノムの完全解読を達成するに至ったが、同計画の成就には、この間のDNAシーケンサーの改良等によるゲノム解読の効率化が大きく寄与した。

今後の生命科学の進歩にとって、研究開発を支える基盤技術の発達が重要であることは当然であるが、(1)①で述べた分子生物学の新しい発展段階において特に重要となるのが、多くの研究者が膨大な情報を共有し、縦横に活用することを可能にするような新しい研究基盤の構築であり、それを支える技術の開発である。以下にそのための具体的な取組みを掲げる。

ア バイオリソースの体系的整備

近年、実験動植物や細胞材料、DNA等の遺伝子材料、微生物材料等のバイオリソースの収集・保存・提供に関する体制整備が進められてきているが、特に、体系的な変異体の創出や、多様な種内変異の収集などについて、長期的な視点に立って体系的リソースを構築していくことが重要である。

イ データベースの保全と統合利用

急速に進展したゲノムプロジェクトなどにより大量の情報が生み出されるようになり、生命科学に関わるあらゆる情報（遺伝子やタンパク質をはじめとする生体構成分子の配列や機能情報、疾患に関わる多型情報や発現データ、画像データ、文献情報など）が多種多様なデータベースに蓄積されてきた。しかしそれらを横断的に効率よく利用するための環境整備は不十分であり、また研究期間が終了したデータベースはメンテナンスが行われず事実上消滅してしまうといった問題もあることから、データベースの保全や統合利用の仕組みを整備する必要がある。

ウ バイオインフォマティクスを支える基盤的な情報技術の開発

前項イで述べた大量の情報の蓄積を背景に、現在、新しい研究領域として、数理科学の理論や手法を応用して、複雑で動的な対象を分析するための理論や手法の開発が急速に進みつつある（バイオインフォマティクス）。これは、生命科学が、物理学や化学、工学などとの連携を超えて、数学や情報学などの数理科学とも連携することを意味する。

このことにより、今後の生命科学が扱う課題や領域は一層拡大し、ゲノムから個体、そして地球生態系に至るあらゆる生物学的階層で、生物自体、および生物と環境との関係についての分析とデータ統合が進み、基礎から応用にわたる広領域の総合的・統合的科学として発展することが期待される。こうした発展を支えるためには、以下のような基盤技術の開発を積極的に推進する必要がある。

- ・ 巨大容量 DNA シークエンス技術や分子タンパク高次構造決定技術など、各要素の大容量データを生産する技術
- ・ 大容量要素データを生物学的に意味のあるシステムデータに結びつける総合データ生産システムとその情報処理技術
- ・ システムデータ生産技術で開発されたオミックス基盤となるゲノム資源を保存・頒布する技術
- ・ 膨大なデータを処理するコンピュータシステムや、それを用いた解析ソフトの開発

② 各種の基盤技術の開発

研究開発を支える基盤技術が生命科学の躍進を支えてきたが、研究活動を支える機器の多くが外国から輸入されたものであるなど、現状では、日本は国際的には技術の開発者というよりはユーザーとして位置付けられる。今後は、それぞれの領域を支える以下のような基盤技術の開発に、積極的に取り組むことが重要である。

ア 基礎的な生命科学を支える基盤技術

- ・ 細胞や個体に対する制御、操作、作製技術
- ・ 生体構成物質情報計測技術、遺伝情報測定技術
- ・ 生物システム模倣技術
- ・ 非侵襲生体計測技術

イ 医学・歯学・薬学の領域での基盤技術（p. 31 に用語解説）

- ・ 遺伝子治療/再生医学/iPS・ES 細胞
- ・ 精密合成化学/グリーンケミストリー
- ・ ケミカルバイオロジー/創薬化学
- ・ ドラッグデリバリーシステム (DDS) /ナノテクノロジー/マイクロエレクトロメカニカルシステム (MEMS)、メゾスケール制御技術

- ・ バイオイメージング/脳機能イメージング/人体機能・薬物作用計測技術
- ・ 医薬品開発の効率化/in silico 動態予測/早期探索的臨床試験
- ・ 人体・自然環境における医薬品のトレーサビリティ

また、より一般的な支援技術として、病理検査技術や動物実験代替システムなどの技術開発も重要である。

ウ 農学の領域での基盤技術

- ・ DNA マーカー育種やゲノム育種等の新たな遺伝子組換え作物作製技術、
- ・ 生態系実験施設（開放系、閉鎖系）

(3) 基礎的・長期的な研究活動を支える基盤的研究体制の整備と資金の必要性

三次にわたる科学技術基本計画の下で、競争的研究資金は、総額としては増加傾向にあったが、一方で、財政改革を大義名分とした、大学や研究所に対する経常的な経費の削減が進行しており、重点的資金配分を受けにくい基礎的な研究が成り立ちにくくなりつつある。

生命科学に限らず、科学の新たな展開につながる研究成果や、やがて社会に革新をもたらすような基盤的な発展は、必ずしも先端的な大型研究やハイテクノロジーによる研究のみから生まれてくるとは限らない。むしろ真に新しい発見は、研究者の好奇心に根ざした粘り強い取り組みから生み出された場合がほとんどである。このことは自然科学が内包する基本的な性格と断言できるものであり、そこを無視して科学の果実のみをむさぼることはできない。短期間で結果を出すことの難しい生態系研究、自然史研究、疫学研究、文理の知を統合する複合的研究などを含め、科研費の細目に掲げられている広範で多様な基礎科学分野の健全な内在的発展を図る必要があるのはこの理由による。基盤的体制の整備と研究費の配分においては決して一部の分野のみが偏重されることがないような配慮が必要である。

一つの事例を挙げると、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。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捉えるためには、長期観測データとその分析・評価が不可欠である。様々な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の兆候が明らかになってきた。また、長期定点観測の継続によって、都市気温の著しい上昇、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、跳躍的な生態系変化の発見が可能となっている。

しかし、日本の沿岸域の生態系について長期観測データを収集してきた各地の国立大学臨海実験所や、森林生態系・農耕地生態系について観測してきた演習林、農場、フィールド研究所などの大学附属研究施設では、人員削減や施設の老朽化が進行し、観測体制が急速に崩壊し始めている。

このため、全国の観測サイトをネットワーク化するとともに、データのアーカイブ化

を図るなど、個々の大学の努力をつなげる抜本的支援体制の確立が急務であるが、こうした研究活動は、主として如何に短期的に具体的な成果を挙げるかという観点に基づいて、個々の研究者を競わせる競争的資金では十分に支えることができないのは明白である。

ここで例に挙げた大規模長期生態系研究の他にも、フィールドを用いた作物の栽培や、疾病に関する疫学的なデータの収集と蓄積等々、時間と人手のかかる研究活動は多数存在するが、現在、こうした研究活動の多くが危機に瀕しており、適切な支援が必要であることについて、広く認識が共有されることが切望される。

(4) 大学と研究機関等の補完的研究推進：トップダウン型研究とボトムアップ型研究のバランスの良い資源投資

大学・大学共同利用機関での経常的な研究に代表されるボトムアップ型の研究は、科学者個人の知的好奇心から発した多様な研究によって新たな研究分野の開拓に寄与する一方で、それを通じて、多様な関心をもつ大学院生や研究者を育てる使命を持つ。またそこから生まれてくる独創的で優れた学術的研究業績は、学生が研究者への道を選ぶ動機付けとなるだろう。一方、政策的な開発研究や社会から強く推進が要請される研究など、トップダウン型の研究は、国公立の、また研究開発独立行政法人などの研究所・センターが主体となって担うべきものと考えられる。これらボトムアップ型の研究とトップダウン型の研究は、互いに補完的な役割を持つものであり、いずれも独自の価値をもち、研究への資源投資においては、両者のバランスが肝要である。

科学を根本で支えるのは個々人の何物にも拘束されない自発的知的好奇心に基づいた研究であり、多様な知的好奇心から発した多様な形態の研究の集積が今日の科学を築き上げてきた。このようなボトムアップ型研究は、主として、研究推進の中で次世代の研究者を教育・養成することを設置目的としている大学の学部・大学院・附置研究所において、教育と一体として進められており、この状況は将来も大きく変わることはないだろう。芸術と似て、研究には感性が大切である。個々人の才能と知的好奇心から発した研究が新たな研究分野を開拓し、新たな知を生む。大学は、多様性を尊重し、画一化されない価値観のもとに異なる領域にも関心を持ち、独創的研究を推進できる研究者の養成につながる教育を行うべきである。そのためには、研究生活の初期段階において、自らの力で「知的冒険」に挑戦する機会を保障することが重要である。

しかし近年、多くの若手研究者は、過剰な流動性にさらされ、一刻も早く安定したポストを手に入れるために、採択されやすく成果が確実に見込める研究課題で業績を重ねることに汲々とせざるを得ない環境に置かれ、意欲をもって独自の課題に挑戦することが難しくなっている。我が国が科学技術立国として発展するためには、多様な新規研究領域の創成に寄与しうる研究者集団の存在が不可欠である。そのような意味で 10 年後 20 年後を見据えた、大局的で懐の深い教育・研究政策と資源投資が必要である。

ボトムアップ型の研究およびその実践に向けた教育から、短期間に目に見えた効果効

用を引き出すことは必ずしも容易ではない。長年の後に、我が国の研究レベルや教育レベルを見て、またその結果としての豊かな社会を見て、初めてその成果を立証できる。現在の政策立案者や行政が自らの目でボトムアップ型研究に投資した成果を見ることを期待できない。2008年のノーベル化学賞を受賞した下村脩博士は「オワンクラゲがなぜ光るのか」に純粋な興味を感じて研究を始め、緑色蛍光蛋白質（GFP）を発見した。結果的にそのGFPが医学・生命科学研究に応用されて新しい研究の道を開いている。どのような成果をいつまでに得るかを研究費申請の際に過剰に要求することは、ボトムアップ型の研究の成功とは無縁であることの良い見本であるといえよう。道のないところに道をつくっていくのがボトムアップ型の研究の本質である。知識を重厚に蓄え発展させる研究・教育の場である大学が、成果優先主義となっている昨今の研究費配分の仕組みの中で混迷している現状は憂慮に耐えない。研究資源配分の仕組みを再検討し、施策に生かすことを提案したい。

一方、国民生活を守りまた豊かにする上で、国家レベルの開発研究や社会から強く推進が要請される研究など、トップダウン型研究の果たす役割は国民に説明しやすく、理解されやすい。しかし、トップダウン型研究とボトムアップ的研究は対立的にのみ捉えるべきものではない。トップダウン型の研究はボトムアップ的な研究から生まれてきた知の蓄積や創造とリンクしたものでなければ発展し得ないことは自明である。また、トップダウン型の研究を遂行する中で、自発的な知的好奇心に基づいて独創的な研究の芽を生み出すことも可能である。大学の中にあってはボトムアップ型の研究が主流を占めるにしてもトップダウン型の研究とのバランスが必要であり、逆に研究所にあってもボトムアップ型の研究姿勢を持ったトップダウン型研究の推進が必要であり、両者のバランスが重要である。

平成18年に策定された第3期科学技術基本計画では、基礎研究と応用開発研究のバランスのとれた推進のための理念と政策目標が謳われているが、ボトムアップ型研究とトップダウン型研究の調和がこの理念の実現に必須である。

現在の研究費配分では、短期的効果を狙ったトップダウン型応用研究を重視しすぎて、長期的な視点から社会に大きな利益をもたらすボトムアップ型の基礎研究や応用研究が疎かにされているのではないかという危惧の念を、多くの研究者が感じるころではないかと思われる。基礎研究と応用研究、ボトムアップ型研究とトップダウン研究に投資する研究費の配分を中長期的展望にたって検討し、真に科学の発展をもたらすための方策を打ち出すべき時にある。

(5) 研究を継続的に支援する体制の充実

将来の生命科学の発展を支えるためには、大型研究設備や研究支援体制の整備が極めて重要である。(2)でも述べたように、研究の基盤となるバイオリソースやデータベースを恒久的にサポートする組織的、財政的な支援体制の整備が急務である。生命科学の

全ての分野において、研究の活性化と維持のための支援業務に対する設備費・人件費を国が責任を持って助成し、合理的に配分していくシステムの構築が望まれる。この問題は生命科学全体に共通であるが、以下にいくつかの具体例を述べる。

バイオリソースにおいては、今後の生命科学の発展のための体系的な変異体の創出や、多様な種内変異の収集など、新たな体系的リソースの構築が必要である。しかし、新たなリソース構築の経費は基礎研究と応用研究の狭間にあって確保が極めて困難な状況である。ゲノム研究の新たな発展段階を受け、新たなリソース構築が適切に支援されることが必須である。

急速に進展したゲノムプロジェクトなどにより大量の情報が産み出されるようになったこと、しかしそれらを横断的に効率よく利用するための環境整備は不十分であることは(2)でも述べた通りである。これはまさにデータおよびデータベースの乱立・宝の持ち腐れであり、早急に対策が講じられることが待ち望まれている。

創薬研究の領域では、未だ大学にも公的研究機関にも欠けている、化合物ライブラリーの整備が挙げられる。創薬研究の最上流に位置する探索研究において、疾患に関連した標的タンパク質などの活性を制御するヒット化合物の発見は、多数の化合物のスクリーニングによりもたらされるものであり、製薬企業においては不可欠のリソースとなっている。化合物ライブラリーの整備は、創薬研究を加速させる上で重要である。また、医薬品を含めた化学物質の安全性評価研究の加速とその促進のための毒性データベース構築の必要性も極めて高い。

一方で、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・経済的支援が弱い。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事態も現実に進行しつつある。生物の多様性や生活史に関する基本情報は、生物多様性の維持と生態系の保全、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ず、基礎的自然史研究に対して先進諸外国と同レベルの施設整備と資金援助が行われる必要がある。野生のバイオリソースの保全には、現存の動・植物園や博物館の有効利用も考えられる。

3 社会のニーズへの対応

(1) 生物多様性の危機と生命科学の役割

地球の生命史、あるいは人類史における現代は、自然環境の急激な人為的な変化で特徴づけられる。気候変動と生物多様性の危機は、とりわけ顕著で憂慮すべき地球規模の環境変化である。これらに対しては、国連の「気候変動枠組み条約」と「生物多様性条約」による国際的連携の下に対策が進められようとしている。しかし、2010年現在、いずれも解決からはほど遠く（IPCC 2007, MA 2005）、人類を含む生命にとって危険な方向への地球環境の変化をおしとどめるために必要な、科学的で的確な現状把握、将来予測、効果的・効率的な対策の立案において、生命科学を含む学術の果たす役割への社会的な期待は、ますます高まっている。

① 人間活動がもたらした大絶滅時代

現在の地球にみられるあらゆる生物の祖先は、40億年ほど前に出現した自己複製能をもつ単一の原始的な単細胞生物（the Last Universal Common Ancestor: LUCA）であると推測されている。その子孫は、多くは途中で系統を途絶えさせたものの、地球史上の大きなイベントを含む環境変動に対して適応進化し、また様々な偶然の作用もうけて多様化し、今日、私たちが目前にする膨大な生物多様性の形成に寄与した。

現在は、最近の6億年における6度目の大絶滅時代の真っ直中にあり、1年間におよそ4万種が絶滅しつつあると推測されている。地球上に生息する全種に対する評価がなされている両生類ではおよそ1/3の種、霊長類では半数以上の種が絶滅の危機に瀕している。人間活動による生息・生育場所の消失、汚染や環境改変、侵略的外来種の影響がその主因であることがこれまでの大絶滅時代とは異なる点である。

絶滅は生命史を通じて環境に試されゲノムに刻まれてきた「生命の知恵」ともいえるべき膨大な適応戦略情報の喪失を意味する。絶滅を免れても、個体数や遺伝的変異が減少することでそのような情報の多くを失うとともに適応進化のポテンシャルを失いつつある種も少なくない。

② 生態系の急激な変化に対する危惧

生態系が人間社会に提供する様々な便益である「生態系サービス」を産み出す生態系機能の主な担い手は普通種（希少ではない種）であるため、普通種であった種が減少し、絶滅危惧種となること自体が、生態系サービスの供給可能性における変化を意味する。一方で、少数の侵略的外来種が世界中に分布を拡大し、在来種の絶滅リスクを高める一方で、蔓延して生態系を単純化する。自然林や湿地など自然の生態系のモノカルチャーの農地や植林地への開発などと相俟って、生態系の単純化と変質が急速に進みつつあるのも現代である。

水草などの大型植物を一次生産者とする透明度の高い湖沼から植物プランクトンを一次生産者とする濁った湖沼への変化や草原の砂漠化などの例にみられるように、生態系の変化は時として急激な跳躍的变化となり、人々が享受してきた生態系サービスを一気に失わせ、貧困問題をいっそう深刻化するなどの社会的・経済的問題を引き起こしている。

③ 生物多様性の保全に対する生命科学の役割

生物多様性条約では、生物多様性は、「種の多様性」、「種内の多様性」、「生態系の多様性」を含むものとして定義されている。生物多様性を保全し、持続可能な利用をすることは、広範な生態系サービスを安定的に確保することを通じて、持続可能性のための重要な要件となる。生命科学は、遺伝子から生態系まで、多様な生物学的階層において、生物多様性の様々要素を研究対象とし、複雑で動的な生命システムに関する知見を蓄積してきた。また、生命科学は生物資源の利用や生物生産に関する人間活動と密接に関係する応用分野や生物としてのヒトの行動特性を研究する分野を含む。諸学のなかでも生命科学は、生物多様性に関する深く広い基礎的理解、生物多様性と生態系サービスの現状の監視、評価、持続可能な利用のための科学的な計画・管理などにおいて、とりわけ大きな貢献を社会から求められている。

(2) 健康で安全な生活に寄与する生命科学の推進

激変する社会環境の中で、生涯にわたって、人々が健康と安全で質の高い生活を維持できること、特に、たとえ健康障害や生活障害があったとしても、全ての人が生き甲斐を持って安全で質の高い生活を営むことができる社会の実現にむけての総合的な生命科学研究の強化が必要である。

① 生涯を通じての健康増進

2000年に「健康日本21」がスタートし、2002年には「健康増進法」が制定され、健康づくりが全国的に地域、職域、学校において推進されてきている。疾病の早期治療のみならず、食習慣、運動習慣、喫煙、飲酒といった生活習慣の改善につとめ、生活習慣病にならないようにすることは、生涯を通じて健康で豊かな生活の質を維持するために重要である。

しかし、このような生活習慣病対策だけでは、健康の維持増進に及ぼす効果に限界がある。乳幼児期・青少年・勤労者・高齢者全ての年齢層の人々の生活と環境に視点をおいたヘルスプロモーション活動として、健やかな学校生活のための環境整備、労働者の健康な生活のためのワークライフバランスの改善、病気や障害を起こしやすい高齢者に対する生活機能の維持や安全の確保などが必要となる。

② 子どもの安全が確保される生活環境の整備

持続可能な社会は、子どもを抜きにはあり得ない。子どもの問題を中核に据えた経済政策・健康福祉政策・親の就労支援政策こそが重要課題である。そのための学術の役割として、細分化されている子ども関連の学術分野の成果の集積と統合、子どもと環境に関する横断的な調査研究の推進、子どもの育成に関わる社会の諸機関の連携が求められる。これにより、子供を生み育てやすい環境の整備、胎児期からの子供と青少年の発育・発達に応じた望ましい成育環境の整備、子どもの虐待や青少年のいじめなどへの対策、保育所のサービスの充実や、我が国で従来から最も賃金が低く貧困問題が集中する母子世帯への対策などの健康的公共政策の推進と体制の整備に貢献すべきである。

③ 働く人々の労働条件の整備対策、非正規雇用労働者の雇用条件の改善

世界的な経済情勢の変化から、労働環境をめぐる状況は極めて厳しい。年間3万人を越える我が国の自殺者のうち壮年期男性の比率が高いことから、労働者の健康への大きな影響が危惧される。労働環境の課題は、労働者個人の問題にとどまらず、日本の将来のありかたを深く見据えて考えるべき極めて重要な課題である。世界的な動向にも注意しつつ、働く現場をめぐる課題についての情報収集をはかる必要がある。

我が国の労働者とその家族について、過去の雇用労働環境の激変における問題点を検討し、現在の労働の実態と健康・安全・生活上の課題を明らかにすること、働く人の労働安全衛生・労働条件を確保し、メンタルヘルスへの社会的対策も含めた国や地方公共団体、NPO等の関係諸機関、および学術研究の役割を明確にすることが必要である。

④ 高齢者の介護予防対策の整備やサポートネットワークの構築

我が国の高齢者介護は、介護は家族だけで担うのではなく、社会で担うという趣旨でスタートした介護保険制度に基づいている。特に虚弱な高齢者の生活機能の低下を抑えるために介護予防対策がとられているが、これは単に介護を要する高齢者の増加による介護報酬抑制のためだけではなく、高齢者の生活の機能の維持や向上と言う観点からも、効果のある方策であるかどうか検証をしていく必要がある。また、要介護の主病因の一つで今後さらに増加すると思われる認知症に関しても、関連する研究体制の一層の充実を図る必要がある。

また、近年高齢者の抑うつや自殺などの問題が注目されている。また、高齢者への虐待は、貧困や孤独な介護で、社会的な支援が少ない閉鎖的な環境の中で発生しやすい。このような環境を打開するために、高齢者の心身の健康を保つための社会的なサポートネットワークの構築や、そのための研究が重要である。例えば、高齢者が自由に訪れ必要な時に宿泊できる、地域に根付いた小規模で多機能なサービス拠点を整備し、そこを子供や母親も集える場とすることで、自然な世代間交流が図られるという

事例が実践の場で示されてきている。高齢者の問題はまさに地域全体の問題であり、制度化されたフォーマルなサポートを利用しながら、それぞれの地域の特性をいかしたインフォーマルなサポートを作り上げていくことが重要な課題である。

⑤ 健康と生活に関わる教育の重要性

人間が健康に生きて行く上で必要な基盤を培うために、学校教育の充実を図る必要がある。特に「生と死」、「生活力の育成」、「健康の向上（運動、スポーツを含む）」、「食」、「インターネットへの正しい対応」などに焦点を当てた教育の充実が重要である。

「生と死」については、かつてに較べて人の死を地域社会の中で目にすることが少なくなり、考える機会も少なくなったと言われている。死について洞察する機会が少ないことは、一方で生についても考える機会をなくしていることにつながる。学校教育の中で人の生と死について考える機会を持ち、発達段階に応じてそれぞれの死生観を培うことができるようにする必要がある。

「生活力の育成」については、特に家庭の教育力の低下が著しいために、生涯にわたって健康な暮らしを維持するために必要な基本的な知識も技術も不十分なまま成人に達するケースが少なくない。小学校・中学校・高等学校の各段階で、子供達が生活の基本を身に付けることができる教育が必要である。

また、大学における教養教育においても、例えば「統合的に人を理解するための講座」を開設するなど、人々の健康と生活への関心を高める努力が必要である。そこには学生が興味を持ち、社会生活に直結する生活安全や労働安全に関する教育なども加味し、実社会での生きる力を基本にした内容の教育が望まれる。

(3) 医療のあり方と専門医療職の役割

医療制度は現在多くの問題を抱えており、今後社会保障制度全体を見据えた医療また医療費負担のあり方の議論が避けられない。長期的に持続可能で質の高い医療提供体制を維持するために、学術が果たすべき役割は大きい。

① 医療が直面する危機

医療における「信頼」の確立という根本原則が近年揺らいでいる。この危機的現状をしっかりと認識し、医療に対する不信感を払拭し、信頼に支えられた健全な医師と患者の関係を堅持するための対策を講じることは極めて重要であり、早急に取り組むべき緊急課題の一つである。そのためには、現在各学会が独自に運営している専門医制度を統一的に認証する仕組みを構築し、専門医の量的コントロール機能を持たせるとともに、教育機能の充実を図り、医師自らが医療の質とその透明性の確実な保障を行うことが強く求められる。一方で、医療は公共財であるという認識に立って、医療に対する過度の要求は医療システムを疲弊させ、結局国民の損失に

つながり兼ねない事態を引き起こすことへの理解を拓げることも必要である。

② 医療に携わる専門職集団の責任

医師のみならず、歯科医師、薬剤師、看護師、あるいは関連する分野の研究者が専門職集団として、医療の信頼の確立に責任を負う体制と組織が求められる。そのために職能を整理すると共に、場合によっては業務の一部を他職種へ委譲するなどの方策の検討も必要である。例えば、医師や看護師らと薬剤師のチーム医療の体制を整備することによって、薬物治療の安全性担保、患者に対する薬物療法の最適化が可能となる。また、キュアとケアを統合した高度な実践的知識と技術を持つ高度実践看護師（Advanced Practice Nurse : p. 32 に用語解説）や助産師に医師の医療行為を委譲できれば、医師の偏在や不足によって生じた国民の不安をある程度解消することが可能になる。同様の視点は病院医療のみではなく在宅医療におけるチーム医療のあり方を考える場合にも重要である。

③ 地域における医療機関の適切な役割分担

人々が健康と生活を向上させて地域社会の中で生きがいを持って生活できるように、基幹医療機関と地域医療機関が明確な役割分担をしつつ、協力して地域の医療を支えることのできる方策が必要である。そのためには、地域医療における協力体制の構築の中で、病院などの基幹医療機関と診療所、薬局などの地域医療機関の役割、またそれぞれに勤める医療職従事者の関係を見直すことも必要であろう。健康や生活に関して、身近に相談できる専門家を地域に配置するとともに、医療機関の中にあっては、各職種が協力してチーム医療を実施できる体制の整備も必要となる。

④ 持続可能で質の高い医療の提供体制の構築

医学技術の指数関数的進歩は、医療の高度化、多様化、複雑化に拍車をかける結果を招き、従来の体制では国民の要望に応えきれない現状を生み出してきた。その結果、医療の諸課題は、医療の専門家集団のみで解決できるものではなくなってきており、国家は勿論のこと、社会を形成する国民ひとりひとりが積極的に参加することがなければ克服することのできない課題となっている。限られた人的、経済的資源の中で、国民全体が最先端医療の恩恵を受けるシステムを構築することは極めて困難な作業であり、先進諸国でこれまで試されて来た様々な方法論とその結果を検証し、日本の独自性を加味した積極的な対策を講じるべき時期に来ている。危機に瀕している医療制度を今後どのようにするのか、社会保障全体を見据えた医療費負担のあり方の議論が避けられない。長期的に持続可能で質の高い医療提供体制を維持するための制度設計が求められる。

(4) 食と農をめぐる課題

20世紀の急速な人口増加を支えたのは、耕地面積の拡大、灌漑の導入、農作物の品種改良、化学肥料や農薬の使用等による生産力向上であるが、こうした方法は、農地やその周辺に与える負荷が大きく、塩害や砂漠化、地下水・海洋汚染をもたらした。また海洋でも、汚染に加えて人間活動による漁獲圧が生物資源の減少を引き起こした。

世界人口が今後40年間で90億人を超えると予測されるのに対して、食料生産はここ10年間伸びておらず、地球温暖化、砂漠化、大気・水質汚染等で食料問題は今後深刻になると推測される。増加する人口を支えながら将来にわたって持続的な食糧生産を行うためには、環境と生産性の両面への配慮が必要であり、加えて、グローバルな食品の安全性の確保も不可欠である。食と農に関わる分野の学術に課せられた使命は大きい。

① 自給率向上のための農山漁村の持続的社会形成

我が国の食料問題の第一の課題は安定供給であり、そのためには自給率の回復と、安定的輸入の確保の両方が必要である。

自給率の向上については、水田を初めとする国内の農業資源の回復と利活用、およびその前提としての農業・農村の振興戦略が重要である。食料自給率の回復は、農山漁村の持続的社会形成があつて始めて実現する。そのためには、地域と農山漁村の衰退や農業者の高齢化問題を解決し、都市と農村の関係を改善した総合的な持続的社会形成が不可欠である。また、遺伝資源の把握・保全と農林水産技術の確立、ゲノム情報の解読に基づく遺伝子組換え作物の開発等も重要である。

② 環境調和型農林水産業の推進

農業は自然環境を改変する最大の要因であるが、これに加えて20世紀の農業を支えた化学肥料と農薬が地下水・海洋汚染を起こす例も見られる。環境調和型の農業を推進するため、減農薬・化学肥料栽培技術の導入や低残留性農薬の散布等、一層の軽減対策が必要である。また、海洋では汚染問題と漁獲圧が生物資源の減少を招くため、天然資源だけに依存しない養殖技術開発が必要である。

③ 食品の安全の確保

食品の国際的な貿易の拡大に伴い、牛海綿状脳症(BSE)に見られるような食品のリスクは増大し、その安全確保は国際機関と各国政府に共通する課題である。3(1)でも述べたレギュラトリーサイエンスは、科学的なリスク評価とともに、消費者とのリスクコミュニケーションも対象とした文理統合型の科学であり、その導入と活性化が求められる。

④ 農林水産業における今後の先端的・先導的な研究開発課題

農林水産業における今後の先端的・先導的な研究開発課題として、以下のようなも

のが重要であると考える。

- 1) 環境と調和した持続的食糧生産：複雑な耕地生態系における合理的資源投入のための物質・エネルギーの動態解明と生態系の管理、環境負荷を低減した生産システム・土地利用方式の解明・開発、植物工場・人工気象環境調節施設、精密圃場管理技術、土壌の多面的機能の利活用と地力の増進技術、生態系内の植物・昆虫・微生物の相互作用評価と農林業への応用、セルロースからの効率的燃料変換技術等
- 2) 地球温暖化対策：地球温暖化による気候変動の農業気象環境学的評価、防風施設等による気象改良技術や作期移動等の対策の基盤整備等

⑤ 遺伝子組換え技術による食料生産の推進

食料生産増のためには、収量増加に加え、生産量減少をもたらす病害虫、雑草等の防除も重要となる。食料の質に関して食品機能研究が重要となる。現在のように遺伝子組換え技術が飛躍的に発展する中では、これらの課題を解決するために、こうした技術を利用することが重要となる。しかし、我が国は対応が遅れ、国際競争力が弱いため、遺伝子機能開発の基礎植物学から遺伝子組換え作物の栽培までの推進と、適切なリスクコミュニケーションが必要である。

我が国は、食料自給率が先進国中最下位のエネルギー換算 40%であり、世界最大の食料輸入国である。世界有数の生命科学先進国日本が、生命科学を食料生産増大に結びつけ、食料自給率を回復させて世界の食料不足の解決法を示す必要がある。

(5) 技術革新が進む社会における人間性の涵養

技術革新が進むこれからの社会においては、人と人とが触れ合い、人間性を育成する環境の重要性が見直されるべきである。情報技術の進歩とそれに伴うバーチャルな世界の拡大によって、人間同士の直接的な触れ合いが失われることの影響を危惧する声も少なからず耳にする。特に精神発達途上の小児は様々な影響を受けやすいことが知られている。IT 機器とその生活における急速な浸透が、人間のこころの健康、特に子どものこころの発達に与える影響について、継続的研究に基づく科学的な検証が必要である。

スポーツや遊びは、メディアやネットを介した仮想的空間における関係とは異なり、自己を開放し、他人との暖かみのある人間的関係を構築する貴重な経験の場を与えてくれる。また、生物や化石・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し、伝統文化を通じて豊かな人間性の涵養を図ることも重要である。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持つことが重要である。今後の社会のあり方を考える上で、他人と暖かみのある人間関係を構築できる人間の育成や、環境と人間生活の調和、さらには人々と社会のケア力向上と言った観点は極めて重要である。

4 グローバル化への対応

(1) 医療・保健の国際化

グローバル化の時代にあつて、疾患（感染症）は容易に国境を越え、患者も治療を受けに他国に行く（メディカル・ツーリズム）傾向がある。診療情報や予防接種制度、外国語による診療など、国際標準を強く意識した医療を推進し、国際医療・国際保健活動へ積極的に参加する必要がある。健康と長寿は人類共通の願望であり、それを担う医薬品は人類共通の財産である。先端的な創薬科学研究の推進が、グローバル社会を基盤として発展することについても疑う余地は無く、国際的視点からは、医薬品の開発と供給に関する薬事行政・規制の調和が進められている。

こうしたグローバル化の進展に対応するためには、教育の現場の国際化が避けられない。若手の医療従事者や研究者が外国での体験を受けられるようにするとともに、外国からの留学生を受け入れ、国際的な教育・研究機関との連携を図ることが必要である。

一方、グローバルな健康格差、即ち、医薬品の入手機会の偏在、開発途上国における良質な医療の提供システムの欠如などの多くの問題があり、こうした問題には、人類全体として克服すべき共通の課題であるとの認識の下に、保険医療分野での国際的な協力や、医薬品の適正な供給に積極的に取り組む必要がある。グローバルな医療・保健、そして労働や雇用など健康と生活問題の改善を目指すために、我が国も積極的に国際的議論を先導し、また国際動向に対応した国内体制の充実を図らなければならない。また、災害に対する予防や災害後の中・長期的対策においては、国境を越えて提供されるヘルスサービス・生活支援への対応が、世界のどこにおいても一定の基準を満たして行われるべきである。

このため、医療・保健の個々の技術的課題はもちろん、感染症対応のための国際的ネットワーク構築、世界の子どもの長期疫学調査計画、災害時の緊急医療看護活動、環境・雇用労働、感染症・食品などに関する国際標準に応じたリスク評価をはじめ、医療、保健、そして健康と安全に関わる問題を総合的に捉え対応できるような科学を発展させる必要がある、グローバルな視野とコミュニケーション能力を備えた研究者の育成が急務である。

また、食料の国際貿易が急速に進展し、世界中で食材や食品の流通の広域化や複雑化が進んでいる中で、食の安全や衛生に関わる問題も急速にグローバル化している。食品の規格や製造基準や衛生規範はもとより、畜産現場での人獣共通感染症への対応、遺伝子組換え作物の導入、国際的な水産資源の維持管理、さらには近隣諸国との国境を越えた環境汚染問題等に関しても、科学に基づいたルール作りが求められており、それを支えるレギュラトリーサイエンスが世界で急速に発達しつつある。我が国においては、このような研究のカテゴリーに対する認知が十分ではなく、科学界の積極的な関与と関係省庁における体制整備が必要である。

(2) 協調的で持続可能な国際社会構築への寄与

2007年時点ですでに約67億人の世界人口は、2030年に83億人、2050年に92億人になると予測されている。その増加のほとんどが開発途上国で占められている。人口増加と生活水準の向上に伴って、生活や産業に必要な土地、森林や海洋の自然資源、石油などの一次エネルギーの利用が急速に増大している。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、地域の人々の貧困が一層深刻化するという悪循環に陥る危険が大きい。

このため、世界的な人口増加の抑制、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が急務の課題である。人口増加速度は識字率と強い反比例の関係が認められており、教育水準の向上は人口抑制の重要な要件となる。したがって、開発途上国では初等教育への支援が有効な対策となりうる。

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の保全・再生に貢献することが予想される。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の力をほとんど持っていない。我が国は、アジア・アフリカ地域を中心に、自然資源の適正な利用につながる包括的な自然史分野の研究支援、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、多様性ホットスポットの抽出、保護区設定への助言などに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求められる。

また、(1)で述べたこととも関連するが、鳥インフルエンザ、豚インフルエンザ、エボラ出血熱のような各種感染症の現状把握と予防法の開発は、人々の活動がグローバル化した今日、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などにあたっては、今後、世界各国の研究者と連携を深めつつ、医学、獣医学、生命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。ワクチンの開発、提供体制の整備も重要である。

国際的な協力を進めるに当たっては、地域の伝統文化や地域ならではの知識を活かしながら、人々の生活の質や福祉を充実させて行くことも重要となる。それぞれの地域・国には、地理的、歴史的、文化的背景の上に立って現代の生活があり、それは人々の感性や言語、コミュニケーションの多様性に媒介されながら、地域に特有の食生活から、家庭、コミュニティにおける保健・医療や労働のあり方にも反映されている。日本の役割としては、このような多様な文化に対する相互の尊重の上に立って、特に発展途上国との研究や教育のネットワークづくり、そしてそれらを活用した連携と技術協力を推進していくことが重要である。

体育・スポーツは、民族や政治的状況・経済等の違いを超えて、人々を交流・融和さ

せる機能を持ち、人間性の回復に有効である。近年、国連もそのことに着目し、関連組織との連携を深めている。国連での体育・スポーツに関する様々な学術的事業に積極的に参画し、我が国で蓄積された体育・スポーツにかかわる指導法や技術、生活習慣病対策としての運動処方などスポーツ科学の知識を、交流の中でより積極的に提供していくことは、双方の人々がより質の高い生活を送る上で重要な貢献になる。同時に、我が国の伝統的なスポーツを軸に独自のスポーツ文化を育成することは、グローバル化時代における文化的多様性の維持という観点からも重要である。

(3) 農林水産業の分野での途上国への協力

我が国はこれまで、アジア・アフリカ地域を中心とする国々に対して農林水畜産業の分野における様々な技術協力を行ってきた。今後も引き続き、食料生産および自然資源の利用と生態系・生物多様性との調和を中心的課題としながら、持続的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、それらの国々の農林水産業の健全な発展に貢献することが必要である。東アジアおよび東南アジアからの食料輸入は増大しており、この地域における安全で持続的な食料生産は我が国の食料安全保障の観点からも重要である。

また我が国は歴史的に膨大な量の木材をアジア諸国から輸入してきたが、現地での過度の伐採が森林を破壊し、多くの森林伐採地は回復が極めて困難な荒地になっている。一方、アフリカの乾燥地では、人口増加と気候変動も関与して、多くは換金作物栽培、過放牧によって砂漠化が進行し、水不足、塩類集積を起こしている。今後の対策として、各地域にいくつか認められる有望事例を探索し、生態系と調和する最適の方法により、国・民間レベルで早急に対応していく必要がある。またその際、耐干性・耐塩性作物の作出・導入技術や乾燥農業技術、植林回復技術、人工衛星によるモニタリング、人工降雨・増雨技術等、各種の先端的な技術が問題の改善に寄与することが期待される。

5 これからの人材育成

(1) 国としての基礎生命科学、特に医学・歯学・薬学領域の研究者の養成制度の確立

日本の将来を担う研究・教育者は基本的には大学院博士課程の研究経験を経て育成される。しかし現状では大学院を終了し学位を得ても、正規の職に就けない研究者が急増している。これは国立の大学や研究機関の法人化に伴う人員削減、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。こうした窮状は研究者コミュニティに大きな問題として降りかかっていると同時に、ポスドクの現状を身近に観ている学部学生や修士課程の大学院生に影響を及ぼし、彼らに大学院あるいは博士課程へ進むことをためらわせ、研究者としての道を選ばなくさせている。

人員削減がすすむ大学や研究所等の現場においては、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て常勤の研究職や研究技術支援要員の数が減少し、雇用環境の不安定性が増大した結果、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。このような研究環境の悪化は、研究者の自由な発想にもとづく独創的な研究の発展を阻害し、中長期的には我が国の研究分野における競争力の著しい低下をもたらすおそれがある。少なくとも、すぐれた研究業績をあげ、将来が嘱望される若手研究者に対して、非常勤から常勤へと雇用環境を改善するための支援が喫緊の課題となっている。

今の状況が続けば、我が国の科学立国としての将来は暗澹たるものになる。この問題を打破するためには、大学院生への経済支援、大学・研究機関への基盤研究経費の増大、大学・研究機関による能力ある人材の確保の柔軟化、国の機関等による大学院修了者の雇用拡大などの政策が大きな課題となる。ポスドクのキャリアパスを明確にして、若手研究者がインセンティブを持てるようにすることが緊急課題である。民間企業などに税制優遇措置を適用し、一定数の博士研究者の採用を義務付けるような国家政策も考えられよう。

人材不足は基礎医学・歯学、また臨床医学の研究者においてより深刻である。臨床研修医制度の導入、医師不足などの社会的な背景もあいまって、リサーチマインドを持った医師の養成システムが置き去りにされている。各大学はMD(医学士 medical doctor)基礎研究者の養成プランの充実に努力はしているが限界があり、国家レベルでの育成システムの設置が必要である。その際重要なことは経済的なサポートをきちんとすることであり、一定の国家予算による援助が必要である。米国におけるMD/PhDプログラム(P. 32に用語解説)のほとんどはNIH(アメリカ国立衛生研究所)/NIGMS(国立一般医科学研究所)によるプログラム、あるいは各医科大学で独自に持っているプログラムに基づいて授業料や生活費が支給されている。

新しい分野でも若手研究者の雇用問題は深刻である。バイオインフォマティクスにおける人材育成プログラムが始まって久しいが、若い研究者にとって安定した職はまだ確

立していない。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叫ばれ、欧米では数多くのシステム生物学研究所が作られてきているが、日本ではそのような研究所や長期的な人材の確保ができていない。日本の若い研究者・学生にはバイオインフォマティクスのキャリアパスが見えていないのである。中長期的な視点に立った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必要がある。専門性の高いアノテーターやバイオキュレーターなど、バイオインフォマティクスにおける新しい職域の確立が必要である。より長期的には、若い世代から異分野交流が普通となる環境の提供が必須である。

薬学領域では、創薬科学者と医薬品開発およびその適正使用を担う臨床薬学・医療薬学の研究者の育成が強く望まれており、大学院における医歯薬工連携などを基盤とした新しい教育システムの構築にも期待が集まっている。医療系薬学における教育改革の視点としては、患者あるいは疾病を始点とする統合的なサイエンスを基盤とする教育の構築とともに、欧米において見られる、行政や製薬企業等で幅広く活躍する高度な医学教育を受けた研究者と同様の役割を、将来的に我が国において担えるような薬学研究者の育成が挙げられる。

いずれの分野に関しても、優れた人材を大学院博士課程で育てるためには、生活費の支援制度や宿舍の充実が必須である。これらの面で先進諸外国と同レベルにならなければ、大学院の国際化や優秀な留学生の確保はおぼつかないことを強調しておきたい。

(2) 高度専門職業人教育の充実

専門職教育と大学院での教育（研究者教育）とをバランスよく運営できる体制の構築が急務である。医師、歯科医師、薬剤師、看護職（保健師、助産師、看護師）、獣医師などを養成する大学院では、研究大学院的役割と高度の専門職を養成する専門職大学院的な機能の整理を進めて、研究者と並んで高度専門職業人を育てる教育が重要である。

医療の領域で高度専門職業人がより実践力をつけるためには基礎教育の見直しも必要である。生活習慣病や精神障害をはじめとして毎日の生活の積み重ねが複雑に影響して形作る疾病の増加が見込まれ、医学的な介入によって単純に治癒・改善に向かう病気はむしろ少なくなっている。医療分野はますます複雑な健康現象を取り扱うようになっており、多面的に健康現象を捉え、異なる視点でのアプローチができる専門職を求めている。質を保証できる教育の年限、内容などを十分に吟味し、提案する必要がある。

環境・健康・QOL（生活の質）をあつかう人材は少ない。特に人々が様々なリスクにさらされている現代における健康増進のための健康科学および予防医学の発展が重要であり、また、安全な食や水などの環境影響評価（リスク評価）手法や、リスクマネジメント、リスクコミュニケーション、そのための基礎となる疫学、生物統計、環境保健、食品安全、行動科学、政策マネジメント、国際保健部門などを有する総合的で文理統合型の、健康と安全の広範囲な課題を担う公衆衛生大学院の充実が望まれる。特に食品安全分野では、食品貿易に関する複雑な問題を十分に把握し、国際感覚を持って海外でも

リーダーシップを発揮できる研究者の育成が急務である。世界各国で活躍できる国際性を備えた高度専門職業人を育成するためにも教育体制の整備が望まれる。

また、生活科学、健康スポーツ科学や、保健医療福祉の分野を融合・統合する「生活の向上」や「ケア力向上」に関する研究とそれを担う看護・介護、栄養・スポーツなど高度専門家および実務家の養成が必要である。「ケア力向上」などに対応する分野では、学際的で複合的な研究、それが可能な研究者の育成が必要であり、そのために教育機関の拡充が求められる。さらに、他の領域で学士を修めた者が医療専門職を目指す大学院に入学し、資格を取得することが可能な仕組みも必要である。他領域の学位を持つ学生によって、学問の発展が活性化され、学際性という点で貴重な効果をもたらすことが考えられる。

薬学領域では、新しい薬学教育制度のもと、6年制学部を基礎を置く大学院において、病院・薬局で働く高度な職能を持つ薬剤師に加え、医薬品の研究・開発・情報提供等に従事する研究者や技術者、医薬品承認審査、公衆衛生などの行政従事者、薬学教育に携わる教員など、多様な人材が養成されることになる。こうした中で、医学部・医系大学院において臨床に従事しながら研究ができる医師 (physician-scientists) が育成されているのと同様、薬剤師の養成においても、職能教育にとどまらず、臨床に従事しながら研究ができる、あるいは臨床の経験を生かして他の研究職域で活躍する薬剤師 (pharmacist-scientists) を輩出できるよう、実務に密接した研究能力を習得させる教育を行う必要がある。

農学関係では、農業技術専門家を養成するシステムの整備が望まれる。特に東南アジアやアフリカで活躍する国際性を備えた人材の育成と、発展途上国の若者に対する動植物の育種、繁殖、栄養飼育、栽培管理学を含めた農学全般の教育が一層重要となる。同様に、水産学・海洋学関係でも、気候・海洋・生物多様性に関する知識を持ち、環境を保全しながら生物資源を利用する人材を育てるための教育がアジア・アフリカ諸国でとりわけ重要である。また、農学教育では作物・家畜などに直接触れたり、成長を体験したりすることで豊かな人間性を養うことができる。このような農学教育の特徴を様々な分野での人材養成に役立てることも重要である。

上記に加えて、現存する他の専門職、特に小・中学校教諭（特に家庭科、保健体育担当）、臨床心理士、養護教諭、獣医師、医療管理士、栄養士・管理栄養士、介護福祉士、保育士、遺伝カウンセラーなどがより実践力をつけるために、基礎教育の見直しを行い、質を保証できる教育の年限、内容などを十分に吟味した各種資格士養成カリキュラムを提案する必要がある。専門性の維持向上のために、卒後研修、継続研修など専門職の生涯学習の制度もあわせて検討し、基礎教育との連携によって有効に活用できるようにする。対人間を前提とする専門職育成カリキュラムのあり方については、ゆとりを持ってヒューマニズムを実現できるような配慮が必要である。

また社会のニーズに合わせて、新たな領域を創出することも必要であり、小学校以下の子どもに対する遊びや運動指導のできるプレイリーダーや運動指導者、体力科学アド

バイザーなど、子どもの可能性を十分に伸ばす基盤をつくる新分野の指導者の養成にも取り組む必要がある。

(3) 小・中・高等学校における生物学・生命科学教育の充実

我が国の生物学に関する教科書、教員のレベルは、欧米と比較した場合はもとより、世界的に見ても必ずしも十分なレベルにないのではないかと懸念する声がある。小・中・高等学校を通じた教育においても発達段階に応じて、DNA、遺伝子、そしてゲノム情報を基盤として、生命の進化に従って、地球生命圏（陸域、海域）での生物の誕生、生体の基本構造、遺伝、増殖、発生などの生命現象、さらには系統・多様性、生態系とその保全などを体系立てて教え、そうした基本知識に基づいて医療、環境、食料などの各問題へ展開させる方向性をもって、生物学・生命科学の教科書と教育システムの抜本的な見直しを図ることが肝要である。特に中学や高校で生物学を教える教員については、全教員が理科系の分野を専攻して専門的知識を習得していることが望まれる。教育の原点は、教員が生命現象を正しく理解し、臨場感を持って教えることであり、これによって、生徒は生命科学に興味を持つようになると考えられるからである。また、大学でも、一般教養教育において、これまで陥りがちであった知識をただ個別的に集積する枚挙的の学問としてではなく、DNA、遺伝子、ゲノム情報を基盤にした体系性をもった論理的学問として、生命科学を全員に教えるべきである。また、生物多様性や生態系に関する基礎知識を修得させる教育も必要であり、その場合、実物に即した教育や、野外での現場教育が効果的であると考えられる。

現状の小・中・高等学校における生物学教育の質的低下は危機的状況にある。今後は中・高等学校における理科教員は修士号を持つことを原則とし、さらには博士の学位を得た研究者も多くなっていることから、教育の質を高める意味で、博士号を得た教員の積極的な採用推進も、新たな国家政策として必要と考えられる。小・中・高等学校において多くの生徒・学生が生命科学について興味をもち、正しい知識を身につける中から次世代の研究者の卵が生まれ、才能を伸ばして行くであろうことを考えると、この段階での教育の重要性はいくら強調してもしすぎることはない。

6 生命科学と生命倫理

(1) 生命倫理に対する基本的視点

「生命とは何か」、「人間の尊厳とは何か」、そしてその哲学はどのように考えるべきなのか。これらの問題は単に生命科学だけに関わる問題ではなく、日本学術会議でいえば人文・社会科学を扱う第一部、理工学を扱う第三部をも巻き込んだ全体に関わってくる大きく極めて重要な問題である。また生命科学を扱う第二部においては、学術としての生命科学のありかたを議論するのが活動の大部分であり、生命倫理について多様な観点から議論を積み重ねるといことはほとんどなされてこなかったことをまずお断りしておきたい。その上で、生命科学に立脚する限定された立場からではあるが、この問題を取り上げてみたい。

生命倫理は古くて新しいテーマである。そして近年の医学、薬学、歯学をはじめとする、人を対象とする分野においては常に問い続けられてきた問題である。またこの問題については、国や歴史の時々において考え方が異なってきたことも私達は理解していかなければならない。

私達は人間であるので、生き物ヒトを中心として生命を考えているが、今の時代は他の生き物の命についても考えなければならぬ時にきている。地球上の生き物については、ヒトを含めた各生物種には各々の歴史があり、それらは互いに独立ではなく複雑に絡み合って成立している。現代は、この各々の生物種の歴史性を重んじようという考えが基本に生まれてきていると思われる。それゆえ、科学、特に生命科学が高度に発展した現在において、全てにおいて人間が優先するのではなく、「生命」や「生息圏」にはある限度と制限をもって対峙していくべきであるという姿勢が生まれており、それは科学に携わるものとしても受容すべき考え方である。したがって、本来極めて幅広く難しい問題であるが、生命科学の立場からは以下の点を基本的視点として「生命倫理」の問題について考えていくことを提案したい。

- ① 人を対象とした治療や研究においては、全て透明性と説明責任の中でその行為を行う。
- ② 特に人の尊厳に関わる脳についてどこまで人為的な計測や加療が許されるかは、脳死の問題と並行して十分に審議して行う。
- ③ 次世代への影響が考えられる生殖細胞等の操作においては、一世代限りの治療に限って行うことができ、次世代に影響を与えるような遺伝子操作等は行うべきでない。
- ④ ヒトを含めた温血動物を、単に実験の材料としてむやみに用いることは避け、もし、代替法があればその開発・使用を十分に考慮した上で行う。
- ⑤ 生命倫理は宗教・信条、価値観や時代等によって解釈やあり方や行為において異なってくるが、地球環境と生物多様性の歴史の中に人類を基本に位置づける生命倫理観をもって行うことが必要である。

- ⑥ 研究者や医療従事者は人の尊厳について法令遵守（コンプライアンス）の下に活動すべきであり、被験者や患者の権利と尊厳を保障する研究倫理や臨床倫理審査の体制を整えることが必要である。患者の選択を可能にするインフォームドコンセント等、知りうる情報を患者にきちんと話して了解のもとに治療行為を行う。

(2) 高度医療はどこまで行うべきか

医療技術の進歩によって、今まで難病で苦しんでいた人に希望を与え、多くの感染症などを防止することができるようになり、その恩恵は極めて大きい。人類の福祉と幸福に医学等の果たしてきた役割は貴重なものである。

その一方で、最近の高度医療やゲノム科学、情報科学、脳科学、医工学などの進歩により、人の本来求めている治療や医療行為を超えるような事柄も惹起しており、何らかの歯止めが必要となっているように思われる。それは丁度、物理学が新しいエネルギーとして核分裂・核融合を発見したと同時に、原爆や水素爆弾を産み出して、人類に恐怖をもたらしたことに擬せられよう。また、化学の発達にはナイロンやビニールや種々の薬品を作り出して人類の生活を便利にしてくれたが、同時に様々な公害の元凶となり、サリドマイドなどの色々な薬害をもたらした。

そのような歴史的な流れの中で、生命科学が今大きく問われていると言えよう。長寿社会は喜ぶべきことではあるが、例えば植物人間の状態で10年、20年となった場合、人間の尊厳とは何か、介護にあたる家族や医療従事者の負担をどう考えるのか、その状態が果たして真の高度医療の成果と言えるのか等、様々な問題を提起しうる。また、臓器移植により患者の悪い部分を他人の臓器や動物の臓器で置き換える場合、あるいは遺伝子治療を行う場合など、どこまでなら人間の尊厳を侵さずに許容されるのか等、きちんとした法令のないままに、治験の済んだものから適用が進められようとしているのが現状である。将来可能となろう最先端の高度医療についても、ヒトの尊厳と関わる脳の改変操作や生殖系列に影響の及ぶ遺伝子改変などを禁止する法令が必要となると考えられる。現場での判断を個々の科学者や医療従事者の良心に任せるのではなく、高度先端医療に対して、しっかりとコンプライアンス（ルール遵守）が確保されるような確固としたガイドラインを作って対応することが必要な時代になっている。

別の観点として、高度医療が今後さらに進歩した場合の経費の負担について危惧する声もある。新たな高度医療技術が、これまでの診療より安全かつ効果的である場合は、医療保険制度を速やかに適用することが患者にも医療提供者にも望ましい。さらにその医療技術が、旧来の治療方法に比べ医療費を著しく削減するなら、保険料と税を負担する家計と雇用主、保険者などにとっても歓迎されることは言うまでもない。しかし著しく高額な費用を要する場合は、保険財政への影響を懸念する声も起きて当然であろう。ただし、短期的な費用増ゆえに高度医療を抑制することは、経済的な観点からみて必ずしも常に正しい選択とはいえないだろう。高度医療に費やされる費用は、医療費全体の中で見ればさほど大きな部分を占めているわけではない。また、我が国の経済は現状で

は需要不足が問題となっており、人々の潜在的ニーズを充たす高度医療の保険適用が、需要を拡大しマクロ経済の成長にも寄与するとともに、他の技術開発型産業への波及効果をもたらすことも期待される。高度医療の経費についてはこうした総合的な観点から適切な判断を行った上で、推進を図るべきものと考えられる。

(3) 生殖補助医療のあり方

生殖補助医療とは、医療を受ける当事者とは別に、その医療技術が新たな生命を産み出すものであり、疾患の治療を目的とする従来の医療とは、全く性質を異にするものである。医学の進歩によって生殖をコントロールすることが可能となったが、まだその技術には多くの問題が内包されており、それらの技術をどのように利用すべきか、あるいは利用すべきでないかを考え、判断することが喫緊の課題である。

現在の我が国では結婚年齢の高齢化により、何らかの生殖補助医療を受けた出産が全出産の約1割を占める。また、代理懐胎が一部の医師により進められ、さらに海外において施術される例も増えている。代理懐胎の医学的安全性、確実性、生まれた子への長期にわたる影響などについては不明な点が多い。また、妊娠・出産という身体的・精神的負担やリスクを第三者に負わせるという倫理的問題がある。この問題に対して、日本学術会議は生殖補助医療をめぐる諸問題に関して、法務大臣と厚生労働大臣より審議の依頼があったことを受けて、2008年4月に対外報告「代理懐胎を中心とする生殖補助医療の課題—社会的合意に向けて—」を公表した。この報告において、代理懐胎は法律による規制が必要で原則禁止とし、営利目的で行われる代理懐胎は処罰の対象とすべきこと、先天的に子宮のない女性や治療にて子宮を失った女性には厳重な管理下にて代理懐胎の試行的実施を考慮されてよいが、その際には公的運営機関の管理を受けるべきだとし、また、夫以外の精子による人工授精にて出生した子の出自を知る権利について今後検討すべき課題であることを指摘した。

代理懐胎をはじめとする生殖補助医療はどれも、ほとんど検証が為されていない、未成熟な「実験的医療技術」であることは強く認識されるべきである。この技術が、新たに誕生する命にどのような影響を与え、その影響が後の世代にどのように継承されていくのか、その全体像は、現状ではほとんど把握されていない。親とは別人格の存在として生まれてくる子には、その後数十年の人生がある。子をもつという幸福追求権よりも、生まれてくる子の福祉と健康で幸せな人生を送る権利を最優先して、長期的に子と親の長期的追跡・観察体制を確立し、透明性を確保した上で実施に移して、それら技術の安全性・倫理性の検証・評価を行うことが不可欠である。その評価に基づいて、次世代に納得してもらえようような議論・検討を生命科学の内外で重ね、また、社会的合意を形成していくことが、現世代である我々の使命であろう。新たな命を生み出すという、極めて重い課題を前にして、子への影響を明らかにできないうちに、また、子に幸せな人生を保証できるかどうか分からない状態で、技術だけを拡大することは、次世代に負の遺産をもたらすばかりか、生物としてのヒトの将来に、予想できない影を落とすことにも

なりかねない。生命に関する技術や問題を考える際には、「未来に対する責任」という視点を忘れてはならない。

生殖補助医療の問題を包括的に理解するためには、用いられる医療技術を科学的に理解し、技術を適用することでもたらされる正と負の側面を精査して、社会倫理、医療倫理、そして法律や社会ルールの視点から広く検討し、総合的な判断をすることが必要である。ヨーロッパ諸国ではすでに 10 年以上も前に立法化がなされている。我国でも早急に国会での検討が開始され、十分な議論の後に、必要な立法に向けた準備が開始されることが望まれる。

7 生命科学からの提言－まとめ

(1) これからの生命科学

これからの生命科学には、「生命現象の包括的・統合的な理解」と「人類の福祉への貢献」とを両立させる展開が望まれる。そのためには、未来を見据えた基盤技術・機器開発の展開と、基盤研究を支える研究支援体制の充実が必要であり、また得られた先端的研究成果を、医療、創薬や農業・食料科学などに技術移転・橋渡しするための研究のプラットフォームの構築と、社会的、法的制度の整備が望まれる。また、諸要素と人間の生命や健康、生活の安全との調整を図るレギュラトリーサイエンスの発展が望まれる。生命現象の理解を目指す生命科学領域に加えて、「人間」を理解しその健康と福祉に貢献することを目的とした新たな生命科学の研究領域を設定することが有効であろう。

(2) 研究推進体制を整備する必要性

複雑で動的な対象を分析するために、数理科学、情報科学、ゲノム科学を取り入れた手法や理論の開発が必要とされている。また、次のような技術開発が期待される。① 大容量データを取得、解析、保持し、関連する資源を保存、頒布する技術。② 細胞や個体の操作、情報計測、システム模倣技術。③ 再生医学、ドラッグデリバリー、ナノテクノロジーなどを活用した医療、創薬技術。④ DNA マーカー、組換え DNA を利用した技術。一方、橋渡し研究のためのプラットフォームづくりも急務である。

我が国の今日の科学政策を概観すると、トップダウン型研究に比してボトムアップ型に対する支援は手薄であると言わざるを得ない。新しい価値や技術を生み出す土壌となるボトムアップ型研究は科学の発展に不可欠なものである。両者の調和のとれたバランスに配慮する必要がある。

また、地球環境を正しく把握するための生態系研究や、国民の健康に関わる疫学など、長期にわたる研究を支える体制が整備されていないことは問題である。幅広い分野の基礎研究に対する支援の拡大が必要である。生命科学研究の基盤として不可欠なバイオリソースやデータベースなどを、継続して支援する体制の構築が望まれる。

(3) グローバル化の中での生命科学のあり方

先端的な創薬科学研究は、グローバル社会を基盤として発展している。そのため、若手の医療従事者や研究者の国際的な活動が重要である。医薬品の品質、有効性および安全性の評価において世界各地の医薬品承認審査基準の合理化・標準化が進められており、これに準拠していく必要がある。

開発途上国における様々な格差や、保健医療の不足に対して、国際的な視野に基づく保健医療への協力や医薬品の適正な供給に積極的に取り組む必要がある。

近隣諸国との間の国境をこえた環境汚染や食の安全などの問題への対処は急務の課題である。グローバルな視野とコミュニケーション能力を備えた研究者の育成が急がれる。

アジア・アフリカ地域の国々に対しては、食料生産および自然資源の利用と生態系・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貢献することが必要である。その際、地域の伝統文化や地域ならではの知識を活かしながら、人々の生活の質や福祉を充実させて行くことも重要となる。

(4) 社会のニーズへの対応

人類の生存環境を守るために、生命科学には、生物多様性と生態系の基礎的理解、現状の監視、評価、持続可能な利用のための科学的な計画・管理などへの貢献が期待されている。この期待に応えられる研究体制の樹立が急務である。また日常生活に密着した領域でも、子育て環境の確保、子どもの健康・生活学習、予防医学、労働安全衛生・メンタルヘルス、高齢者介護の問題などに応えられる十分な研究、実践体制の樹立が必要である。

食料自給率の向上には、農業資源の回復と利活用、地域資源の活用と振興、農山漁村の持続的社会的形成が不可欠である。都市と農村の関係を改善する総合的施策が必要である。また遺伝資源の把握・保全と農林水産における生産技術の確立、ゲノム情報に基づく遺伝子組換え作物の開発が必要である。

専門医療職と患者の信頼関係を堅持するための対策を講じることは極めて重要である。そのために医療を担う各職種が協力するチーム医療体制を整備し、役割分担の整理が望まれる。一方、医療に対する過度の要求が医療システムを疲弊させ、結局は国民の損失につながることを理解も必要である。

(5) 生命科学における人材育成

博士号取得者の雇用環境の不安定性が増大したことなどから、研究後継者育成問題は憂慮すべき状況にある。特に医歯薬学領域において後継者不足は深刻である。能力ある若手研究者の雇用環境を改善する支援が喫緊の課題である。大学・研究機関による人材の確保の柔軟化や、国の機関等による大学院修了者の雇用拡大なども有効であろう。また健康・生活科学領域や農業関係では、高度あるいは特化した教育を受けた専門家の育成が必要となっている。

様々なリスクの多い現代では、健康増進のための幅広い健康科学を専門とする人材が必要であり、専門職大学院の設置が望ましい。また薬剤師や、農業技術分野でも高度の専門性を備えた人材育成が望まれている。

小・中・高等学校においては、遺伝子に始まり、様々な生命現象、さらに生態系とその保全などを論理的に体系立てて教え、そうした基本知識に基づいて医療、環境、食料などの問題へと展開させるような教育体系の確立が肝要である。また生物多様性や生態系の基礎知識を与え、実物を通して生命に対する興味を深化させることも重要と考えられる。

(6) 生命科学と生命倫理

生命科学の急激な発展に伴い、科学あるいは医療は生命をどこまで人為的に操作してよいのかということが強く問われる時代となった。

生命倫理に対する今日の生命科学の基本的視点として、以下の項目を指摘しておきたい。①人を対象とした治療や研究における透明性と説明責任。②脳の計測・加療、脳死問題の十分な審議。③次世代に影響を与えるような生殖細胞等の操作の禁止。④温血動物を実験材料とすることの可能な限りの回避。⑤基本に地球環境と生物多様性の歴史の中に人類を位置づけた生命倫理観。⑥研究者や医療従事者の人の尊厳についての法令遵守、被験者や患者の権利と尊厳を保障する研究倫理、患者の選択を可能にするインフォームドコンセント。

高度医療が患者に与える恩恵は極めて大きいものであるが、その反面、いくつかの弊害も惹起しうる。一つは治療に関わる倫理問題で、上述した項目についての配慮が不可欠である。また別の観点として、高額医療費負担の問題がある。ただし、高度医療の費用は、医療費全体の中でさほど大きな部分ではなく、短期的な費用増ゆえに高度医療を抑制することは必ずしも正しい選択ではない。高度医療の経費については総合的な観点から適切な判断を行った上で、推進を図るべきものと考えられる。

生殖補助医療はどれもまだ「実験的医療技術」であり、誕生する命にどのような影響を与え、その影響が後の世代にどのように継承されていくのか、全体像は把握されていない。生まれてくる子の福祉と健康で幸せな人生を送る権利を最優先して、子と親の長期的追跡・観察体制を確立し、透明性を確保した上で実施に移して、それら技術の安全性の検証・評価を行うことが不可欠である。その評価に基づいて、社会的合意を形成していくことが望まれる。

<用語の説明>

(p. 5-6)

1) ゲノミクス

遺伝子の総体（ゲノム）ならびにゲノムからの転写産物を網羅的に解析する解析手法ならびに研究。「生物の設計図」であるゲノム DNA 配列の解読、ゲノムから転写されタンパク質をコードする転写産物（メッセンジャーRNA）の網羅的同定と定量、ゲノム配列の個人差と疾患との関連の解析などを含む。

2) プロテオミクス

タンパク質の総体（プロテオーム）を網羅的に解析する解析手法ならびに研究。質量分析装置等を用いた生体試料（血液、細胞・組織抽出物など）中のタンパク質の網羅的な同定と定量を基盤技術とし、疾患等に伴うタンパク質の質的・量的変化の検出を通じ、疾患の検出に役立つ指標（マーカー）、疾患のメカニズム等の解析に用いられる。

3) メタボロミクス

代謝産物の総体（メタボローム）を網羅的に解析する解析手法ならびに研究。質量分析装置等を用いた生体試料（血液、細胞・組織抽出物など）中の代謝産物の網羅的な同定と定量を基盤技術とし、疾患等に伴う代謝産物の質的・量的変化の検出を通じ、疾患の検出に役立つ指標（マーカー）、疾患のメカニズム等の解析に用いられる。

4) フェノミクス

ある生物の全遺伝子の網羅的な変異（欠損）と、その結果として現れる表現型の総合的な解析を通じ、各遺伝子の機能や遺伝子産物間の相互作用などを明らかにする解析手法ならびに研究。機能ゲノミクスの発展型。

5) グライコミクス

糖タンパク質・糖脂質などの複合糖質に結合した糖鎖の総体（グライコーム）を網羅的に解析する解析手法ならびに研究。質量分析装置等を用いた生体試料（血液、細胞・組織抽出物など）中の糖鎖の網羅的な同定と定量、糖鎖の前駆体の定量、糖鎖の合成と分解に関わるタンパク質遺伝子の網羅的な発現定量などを基盤技術とし、疾患等に伴う糖鎖の質的・量的変化の検出を通じ、疾患の検出に役立つ指標（マーカー）、疾患のメカニズム等の解析に用いられる。

6) ニューロコネクトミクス

高度な画像解析技術や高精度の組織化学的解析などを駆使し、脳における神経線維の配線と接続を高スループットで網羅的に解析する解析手法ならびに研究。このような解析を通じ、高次の脳機能に迫る事を目標とする。

(p. 5-6)

1) グリーンケミストリー

持続可能な社会の構築を目指し環境にやさしい化学技術の総称。

2) ケミカルバイオロジー

分子生物学的手法有機化学的な手法を用い、生体内分子の機能や反応を分子のレベルから研究する学問領域。

3) ドラッグデリバリーシステム (DDS)

薬物の体内動態を精密に制御し、標的作用部位に選択的に到達させることによって薬物治療の最適化を目指す薬物投与技術。

4) マイクロエレクトロメカニカルシステム (MEMS)

機械要素部品、センサー、アクチュエータ、電子回路などを一つの基盤、有機材料などの上に集積化したデバイスで、医療分野への応用が期待されている。

5) メゾスケール制御技術

ナノ空間 (1-5nm) とバルク空間 (100nm以上) の中間に位置するメゾ空間 (5-100nm) における主要な物質間相互作用のメカニズムを解明し、物質を制御するための技術で、医療分野への応用が期待されている。

6) バイオイメージング

細胞・組織または個体レベルでタンパク質などの分布・局在を捉え、その動態を画像として解析する技術で、診断、疾病の解明や創薬を目指すライフサイエンス研究領域で急速に利用が進んでいる。

7) 脳機能イメージング

生きている脳内の各部の生理学的な活性 (機能) を種々の方法で測定し、それを画像化する技術で、脳で行われる様々な精神活動の研究や脳の疾病の診断に用いられる。

8) in silico 動態予測

情報科学的手法を用いて、生体内における薬物 (物質) の移行動態を化学構造などから予測する技術。

9) 早期探索的臨床試験

医薬品の開発において最適な開発化合物の選定や開発の継続/中止の意思決定を出来るだけ早期に行うために、ごく低用量の開発候補化合物をヒトに単回投与して動態を解

析する試験。

(p. 14)

高度実践看護師 (Advanced Practice Nurse)

個人、家族および集団に対して、ケアとキュアの融合による卓越した看護実践を提供し、対象の健康増進、治療・療養過程の管理に責任をもつ、看護学の大学院教育を受けた看護師をいう。アメリカでは、CNS (Clinical Nurse Specialist)、NP (Nurse Practitioner)、認定麻酔看護師、認定助産師の総称をいう。看護ケアと医学的キュアを融合して提供することで効果的な健康の維持回復をねらう。

(p. 20)

MD/PhD プログラム

大学の教育課程のうち、専門職としての医師を養成する目的の課程の途中で医学分野の研究者を養成する目的の課程を組み入れたもの。たとえば、医学部入学後4年間は通常の課程、次の3～4年間は研究者になるための博士課程、最後の2年間は臨床実習などを行う。卒業時には、医学士 (MD) と医学博士 (PhD) の資格が得られる。早期に医学研究に暴露することで、若くて優秀な医学生を研究者としてのキャリアパスに誘導する目的で導入された。

<参考資料>生命科学作業分科会審議経過

平成20年

- 4月8日 日本学術会議幹事会（第56回）
附置委員会として日本の展望委員会設置、当該委員会に生命科学作業分科会設置
- 5月22日 日本学術会議幹事会（第57回）
生命科学作業分科会委員決定
- 10月2日 生命科学作業分科会（第1回）
委員長、副委員長、幹事の選出、審議の進め方について
- 11月6日 生命科学作業分科会（第2回）
副委員長、幹事の選出、各分野別委員会への意見提出依頼について

平成21年

- 2月27日 生命科学作業分科会（第3回）
各分野別委員会からの意見について
- 5月26日 第二部拡大役員会（第21期・第1回）
日本の展望の今後の進め方について
- 7月21日 生命科学作業分科会（第4回）・第二部拡大役員会（第21期・第2回）
「日本の展望 生命科学作業分科会報告」の取りまとめについて
- 12月14日 生命科学作業分科会（第5回）・第二部拡大役員会（第21期・第3回）
「日本の展望－生命科学からの提言」について

平成22年

- 1月18日 「日本の展望－生命科学からの提言」に関する第二部拡大役員会（第21期・第1回）
「日本の展望－生命科学からの提言」取りまとめについて
- 2月26日 日本の展望委員会（第10回）
生命科学作業分科会提言「日本の展望－生命科学からの提言」を承認