

記録

文書番号	SCJ第20期-200717-20541600-003
委員会等名	日本学術会議 化学委員会生体関連化学分科会
標 題	生体関連化学の現状と将来
作成日	平成20年(2008年)7月17日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

この報告は、日本学術会議 化学委員会 生体関連化学分科会が中心となり関連分野の研究者に対するアンケートに基づき生体関連化学分科会における審議の結果を、同分科会としてとりまとめ記録として公表するものである。

日本学術会議化学委員会生体関連化学分科会

委員長	青山 安宏 (連携会員)	京都大学大学院工学研究科教授
副委員長	成田 吉徳 (連携会員)	九州大学先端物質化学研究所教授
幹事	三原 久和 (連携会員)	東京工業大学大学院生命理工学研究科教授
幹事	渡辺 芳人 (連携会員)	名古屋大学大学院理学研究科教授
委員	栗原 和枝 (第三部会員)	東北大学多元物質科学研究所教授
委員	新海 征治 (第三部会員)	崇城大学工学部教授
委員	相澤 益男 (連携会員)	内閣府総合科学技術会議議員
委員	岩田 博夫 (連携会員)	京都大学再生医科学研究所教授
委員	岡畑 恵雄 (連携会員)	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター教授
委員	川合 知二 (連携会員)	大阪大学産業科学研究所教授、所長
委員	西村紳一郎 (連携会員)	北海道大学大学院先端生命科学研究院教授
委員	松永 是 (連携会員)	東京農工大学教授、工学府長、工学部長

内 容

資料 1. 生体関連化学の現状と将来

資料 2. アンケート結果の取り纏め

【資料 1】

生体関連化学の現状と将来

この報告は、日本学術会議 化学委員会 生体関連化学分科会が中心となり関連分野の研究者に対するアンケート（資料 2）に基づき生体関連化学分科会における審議の結果を、同分科会としてまとめたものである。

1. 生体関連化学の現状・展望・将来像

- ・ 生命現象の解明は現在の化学の主要課題である。
- ・ 細胞内で作用している複雑な分子レベルでのネットワーク解明には化学的手法が必須である。
- ・ 生命の基本単位である細胞のような複雑系／夾雑系に適用できる有機・無機・物理化学の発展と確立が求められる。
- ・ 応用分野（医薬、農薬、検出試薬-プローブ、触媒など）の成果が社会への寄与として重要。
- ・ 生命現象解明のために幅広い分野に渡る知識が求められることから、それに対応しうる教育体制の確立と人材育成が急務である。

19世紀、化学黎明期における尿素合成に見られるように、その出発点において化学は生命の理解を大きな目標としていた。その後、化学は物理、無機、分析、有機、理論等の分野に細分化することによりこの学問分野に固有の課題の解明を精緻に進めて来た。この間も天然産有機化合物や医薬、またタンパク質、糖、核酸など、生命活動と関連した物質に関する研究は着実に進められてきたが、生命活動やそのネットワークなどとの関連での本格的な生命化学研究は十分ではなかった。

近年、生命科学分野においては遺伝子がすべての生体の構造・機能を決定しているゲノミクスの考え方が生まれ、その後、これのみでは生命現象の理解は困難であることが分かり、ポストゲノム研究、即ちタンパクが発現された後の各種生体分子間の相互作用や反応が研究対象として大きく注目されるようになった。また、生体分子相互の反応や認識以外に、生物には光合成や窒素還元などに代表される優れた反応の範があることから、人工の触媒反応創出へ向けて大きな注目を集めてきている。その結果、必然的に対象とする物質も生体超分子としてのタンパクから小～大規模の有機分子に至るまで広範囲にわたり、その相互作用や反応研究が本分野の展開に大きな比重を占める。それぞれの働きや相互作用から、詳細な反応機構解明に至るまでの広範囲のサイエンスを解明するには、自在な分子設計・合成が可能であり分子間の相互作用の化学的方法がその研究の中核となる。

このように、生命科学と化学の融合が必然的に進み、生命科学と化学の双方の協調による研究が展開されつつある。本分野が理系の広範囲の学問分野を包括するものとして認識されつつある。このように、当初、生命の理解を目標としていた化学が2世紀弱の期間にその核心部分を成熟させた結果、本格的に生命科学に取り組み

る環境に至った。その結果生まれた生体関連化学分野は生命科学の化学的解明を推進する中核分野と位置づけられる。

本分野は、これまで「学際領域」との理解であったが、これは従来の学問（化学）分野の分類に基づいた発想によるものである。この様な発想を排し、生体関連化学分野が独立した化学分野として取り組むように、その教育体制を含めて議論を進める必要がある。

また、基礎研究により生まれた成果が実用的な応用（医薬、農薬、検出試薬-プローブ、触媒など）に直結する。基礎研究の社会貢献の立場からも実用面への視点を持って研究開発を進めることが必要である。

以上、生体関連化学分野が包括する領域は次のような細目に整理できる（領域とキーワード）。

- (i) 生命現象の物理化学：分子間力、分子認識、高感度バイオ分析、平衡論・反応論、イメージング手法
- (ii) 生命現象の化学的アプローチ：生物有機・無機、結晶構造、超分子化学、鋳型合成、コンビケム、人為的進化、糖質、人工膜・人工細胞
- (iii) 機能生体分子の化学：核酸、タンパク、治療・診断薬
- (iv) 生体 (in vivo) 機能化学：細胞（生体）内有機化学、デリバリー（遺伝子、タンパク、治療・診断薬）、バイオセンシング、バイオイメージング、薬理化学
- (v) バイオインスパイアード化学：酵素類似反応、分子触媒、エネルギー変換、分子識別、貯蔵、選別、超構造構築、情報伝達
- (vi) 生体材料・バイオテクノロジー：人工血液、細胞培養基板、人工臓器、医用工学

2. ケミカルバイオロジーのイメージと方向性・可能性

- ・ ケミカルバイオロジーは分野として提案されてまだ日が浅く確立した定義は存在しない。
- ・ 現在は、多くのケミカルライブラリーから標的薬をスクリーニングする手法が主流である。しかし、その目指すところは化学的手法を用いた包括的な生命現象の理解にあり、生体関連化学と一致している。

近年広く認知されるようになった“ケミカルバイオロジー”は細胞などの複雑なネットワークを持つ生命現象の場における反応や物質の振る舞いを化学的方法により研究する領域との「狭義」の理解が中心であるが、その目指すところは化学的手法を用いた生命の包括的理解であり生体関連化学と一致している。さまざまなプローブ開発によるネットワーク解明や制御などの学理面の成果は、医薬や診断薬開発に直結する応用への発展が大きい。

また、バイオテクノロジーといわれる研究領域もあるが、この領域では、細胞や生体内での現象を化学的に分子レベルで解明することをめざしている。生体関連化学は、どちらかという化学分野から生体分野へのアプローチであるが、どちらも将来的にはめざす方向は同じである。

3. 材料分野や医療分野への展開について

- ・ 基礎研究が直ちに応用（医薬やプローブ）に結びつくことから、確固たる基礎研究に基づく応用展開を図ることが重要である。
- ・ これには化学的手法が必須であり、その展開には生体関連化学が主要な領域となる。
- ・ 材料や医薬として生命分子の改変には有機から無機材料による「ナノバイオ」の重要性が高まっている。

本分野の中核的課題である分子間相互作用による情報伝達や精密な反応制御などの理解が進捗することにより、その学理面での成果は、医薬や検出試剤から実用的な分子触媒の創出に大きな期待が寄せられる。このような応用面においても、最適な分子（あるいはその集合体）を作るには、これまで化学分野で蓄積があり、厳密に構造が規定された分子を作る技術、様々の分子操作法から、多様な化学的測定法が適用できるため、化学分野が継続して中心的役割を果たす事となろう。また、基礎研究のみならず応用展開が本分野の発展の鍵となる。

生体材料や医薬品の開発は、ポストゲノム時代のバイオテクノロジーにおける主要な興味であるが、材料や医薬品としての機能を向上させるためには、有機化学・無機化学などによる生命分子の改変もきわめて効果的な手法であると考えられる。最近、こうした展開を支える基盤として、ナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合である「ナノバイオ」の重要性が高まってきている。

4. 研究・教育体制の確立

- ・ 従来の学問分野の寄せ集めではなく、生命と環境に関する知識体系を構築する新たな学問分野としての「生体関連化学」に必要な内容を構築する必要がある。
- ・ 基礎から医薬や医工学など応用に到る幅広い領域を包括できるよう、従来の理、工、薬の各学部や研究所に分かれていた化学の教育・研究体制の再編が必須。
- ・ 本来の共同研究は真に相互の知識と技術を必要とするグループ間の交流により成り立つため、それを支援する柔軟性に富んだ研究支援事業が必要。
- ・ 応用面については、実用に向けての技術を集中したバイオテクノロジーの中核研究所をつり、各大学とネットワークを形成して国際的競争に打ち勝つ体制づくりが急務。

生体関連化学が学際的であるとの捉え方は旧来の学問分野に立脚した発想に基づくものであり、このような立場で捉えている限り、本当の生体関連化学として新たな分野を築くには到らない。幅広い領域に渡るサイエンスである生体関連化学は間違いなく次代の中心的学問の一つとなることを考えると、その学問領域と必要とする知識・技術について検討を加え、研究展開と人材育成の両面からその推進に必要な概念の構築に向けて新たな発想で取り組むことが必要である。そのためには、一人の教員では守備範囲に制約があることから複数教員による研究指導体制構築や教員間の相互理解を深めることも重要である。さらに、実用的な展開を進める上からは、国内外の企業との連携を通して共同研究や教育体制の確立も重要である。

応用展開に向けての適切な教育研究体制を大学に作る必要がある。その点からは、現在、各大学の理、工、薬、研究所（センター）等に分散した化学の研究教育体制は必然性が薄く、その見直しは必須であり、生体関連化学の構築はその起動力となるであろう。

応用面については、基礎研究以上に幅広い知識と技術を必要とすることから、各大学での個別の対応には限界がある。それを打破するためには、諸外国に見られるバイオテクノロジーに特化した研究所 [例えば、Center for Integration of Medicine and Innovative Technology (Cimit、医工連携、米)、In vivo Cancer Molecular Imaging Center (NIH、米)、Clinical Research Collaboration (英) など] のように、応

用利用を展開する全国的ネットワークの整備が必要である。

5. 初等中等理科教育

- ・ 生物（生命）と化学が不可分の関係にあることから、従来の個別の分野に基づく理科教育と併せて、生命現象について俯瞰的に見る教育を入れることにより、生徒の関心と呼ぶと同時に創造的な発想の芽を育てることになる。
- ・ 大学の社会貢献として、小学校から高校の生徒に対する新たな切り口での授業が望まれる。
- ・ 初等中等理科教育に論理的な化学教育を。

初等、中等理科教育においては、物理、化学、生物など従来の学問の枠組みに従って教育されている。それはそれで良くできており、正しいが、自然はそういった従来の枠組みで分割されて作用しているのではなく、それらが複合して機能している。その様な視点からは、これら旧来の学問領域に基づき個別に学習する内容は独立しているのではないことを、生物-化学の両領域にまたがる課題として身近にある生体関連化学の代表例（例えば、光合成や生体ホルモン、など）を取り挙げて教育することは、生徒の興味を惹起するだけでなく、広い視野を保ち将来の科学技術創造立国を支える新時代の科学者・技術者を目指す青少年の育成につながると思われる。また、大学の社会貢献策の一つとして、その研究成果をわかりやすい形で初等・中等理科教育に還元すべく、高大連携・中大連携等を積極的に実践する必要がある。

6. 企業との連携

- ・ 本分野では基礎研究の成果が直ちに製品に結びつく特性を持っていることから、産学連携は必須である。
- ・ 開発に企業の立場の視点は必要であるが、社会のニーズに研究者が振り回されるのではなく、研究者自身が流れを作る必要がある。
- ・ 適切な開発が可能となるよう、今一步、産学が相互に踏み込んでその立場と方向について情報交換する必要がある。

産と学の基本的なスタンスの違いや相互の情報の不足などにより、応用展開が可能と思われる基礎研究結果が必ずしも産学連携に結びつく開発へとつながってい

るとは言えない。インターンシップや企業からの学会発表、さらには産学それぞれ技術交流などを通じて相互の交流を深めることが必要である。

7. 人材育成

- ・ 広い範囲を俯瞰できる博士およびポスドクの養成が必要である。
- ・ 博士終了後のキャリアパスとして、アカデミック以外に企業や行政などへのキャリアパスも見えるように工夫が必要。

大学においては教員・研究者養成に偏りがちであった博士課程教育やポスドク養成においては、企業等での開発や科学行政、さらにはジャーナリスト・サイエンスライターなど科学に関する多様な職の可能性を念頭に置き、力量を発揮できるような広い視野を備えるような教育面での配慮が求められる。これには、企業との連携教育や知的な好奇心を生むシステムなど従来の教育に欠けていた体制の充実が求められる。

8. 政府・行政への提言

- ・ 生体関連化学は挑戦的な課題が多い。目的にとらわれることなく自由な発想による挑戦的な研究に対する研究費支援の増額を求めたい。
- ・ 国際的な大学院間競争が激化する中で、将来のわが国の国力の源泉を産む高等教育への投資の大幅な増額が必要である。
- ・ 生体関連化学分野は化学と生体を結ぶため、生物（細胞、組織）を用いた評価が欠かせない。個別の組織において進めるよりも共同利用のバイオテクノロジー分野の研究施設の設置が効率的である。

生体関連化学は細胞内や個体内での生命活動の本質を解明やその学理の応用が中心である。この分野におけるブレークスルーには、従来の学問枠を越えた挑戦的課題に取り組む必要がある。このような研究は既存の価値に基づく目的を設定した研究からは生まれないことから、自由な発想に基づく高リスク研究を支援する研究費の設置が望まれる。

我が国の教育投資は先進国中において低い。日本の高等教育は国力の充実と発展に大きく寄与していることをかんがみ、その基盤の充実にも十分配慮した予算措置が必要である。

9. 社会、メディアへの提言

- ・ メディアは化学の危険性の面を強調しすぎるきらいがある。化学の社会への寄与についても正当な評価を伝えるべきであり、併せて若者に興味を持たせる報道を求めたい。
- ・ 「化学物質」の用語は誤った知識を与えるので使用すべきでない。すべからく物質とすべきであり、正しい用語使用が望まれる。
- ・ 国際的に熾烈な大学間競争にある中で大学振興が国の発展に大きく関連していることへの理解を求めたい。
- ・ 従来は生物学の領域が化学により解明され、その方法で応用発展し、将来の人類福祉に大きく貢献することに理解を深められたい。

報道機関の特性としてセンセーショナルでニュースバリューの高い事項に目が向きがちであり、物質の危険性に対する負の側面の報道が目立つ。我が国が科学技術立国を目指す以上、市民の科学リテラシー向上は理系高等教育や科学研究への投資増大について社会の理解を得る上からは大きな効果を持つ。その点からは、化学の社会への貢献や青少年の化学に対する関心を高める報道が必要であろう。

国際的に熾烈な競争にある大学の振興が将来の我が国の存立に大きな意味を持つ。このような観点からの社会への発信を求めたい。

また、生体関連分野においては、ノーベル化学賞において生体関連化学領域から受賞者がでるなど、化学が生命の解明に大きく寄与していることを市民社会に伝え理解が深まるような報道を求めたい。

10. 科学者・学会・大学への提言

- ・ 社会に向けて成果の発信を増やすべきである。
- ・ 新しい学問の発展に対応できる大学の教育体制（第二専攻など）を設ける工夫が必要。

まず、公的資金を使っている教育・研究を進めている者は納税者に対する説明責任を果たさねばならない。また、科学者倫理の徹底も継続的に必要である。現在は、まだ個人に大きく委ねられているが、そのための広報体制の整備も重要である。

社会から求められている広い視野を持つ研究者・技術者を育成するには大学の教

育体制も従来以上に改善が必要であり、カリキュラムを含めて第二専攻などの制度を入れるなど適切な改正が必要である。また、わが国の多くの大学では依然として従来の学問領域を固守する慣性力も強く、それが生体関連化学分野のダイナミックな展開に対して足かせとなっている事も否めない。旧来の区分では広範囲の学問領域に渡る知識や方法論を必要とすることから、本分野の推進に求められる共通基盤の確立と人材育成が大きな課題である。

大学の組織面において、化学は理、工、研究所（センター）など旧来の区分けによる部局で行なわれている。今後数十年の展開を俯瞰した統合による戦略的再構築を考える時期に来ている。

【資料2】

アンケート結果の取り纏め

2007年秋に日本学術会議生体関連化学分科会委員および日本化学会生体機能関連化学部会役員および同バイオテクノロジー部会役員へのアンケートを行い、15名から回答を提出いただいた。以下8つの項目に対して自由に記述してもらった様式でアンケートを行い、回答者名を伏し、①②③...の番号を振って本資料に掲載した。送られた回答が必ずしも各アンケート項目に合っていない場合は適宜、内容を抽出して適切と思われる項目に振り分けた。

アンケート項目

1. この分野（生体関連化学）の現状・展望・将来像について
2. 「ケミカルバイオロジー」のイメージと方向性・可能性について
3. 材料分野や医療分野への展開（バイオナノテクノロジー、ナノ医療、分子イメージングなど）について
4. この分野が学制的かつ包括的であることに鑑みた（柔軟な）研究・教育体制の確立について（部局連携、拠点ネットワーク、国際共同、新規研究所設立など）
5. 「生き物と化学」に関連する初等、中等理科教育の再編などについて（化学-生物-薬-病気-環境-エネルギーなどに関する健全な自然観の醸成を目指して）
6. 企業との連携（新に有効な共同体制の確立）について
7. 人材育成体制の構築について
8. 政府・行政への提言
9. 社会・マスコミへの提言
10. 科学者・学会・大学への提言
11. その他

1. この分野（生体関連化学）の現状・展望・将来像について

①当分野は、この数年間でかなり、生命に真姿に化学でアプローチする研究が増えていることは事実かと存じます。しかし、依然として、旧来の学問プラットフォームに則り、それを変えないで何ができるかを求めるために、多くの足かせが存在して、真に求められている生命研究に対する世界的な流れに後れをとっている部分が大きいようにも思います。

今後は、まず、生命化学とは何かを問い直し、真に必要なものごとを抽出して、新しい学問を作る姿勢が無くては、いけないように思います。そのためには、従来化学の垣根の中からのぞける範囲で（分かる範囲で）のみ生命をみて中途半端なアプローチをしていては、いずれ、世界から後れをとるように思います。

②基礎研究は重要であることは言うまでもないが、今後はより実用的な成果を挙げていく必要があるものと考えます。例えば、生体触媒もプロセス生産に使用できるものを目指す必要がある。様々な生体反応のモデル系についても、基礎的な反応の理解だけでなく、それを利用した生産を目指す。そのためには有機合成とのコラボレーションも進めた方がよい。

一方生命科学領域については、より実際のバイオに近い領域での研究展開（例えばケミカルバイオロジー）が必要であり、今後はバイオロジーとしても評価が高いような研究が望まれる。

③有機化学や無機化学など基礎研究を基盤とした研究が中心であったこの分野は、最近、取り扱う対象が実際の生体に密接に関わる物質や集合体に広がってきている。おそらく今後はさらにその傾向は強くなり、医科学や生体材料との関連が強まっていくと思われる。

④生体関連化学は分子生物学、有機化学、物理学、生化学を総合した学問として非常に重要であり、将来的にも社会生活を支えることに必要な学問であると考えられる。しかし、ターゲット、方法論、基礎となる学問が多様であるため、共造の価値観を持ちにくいという、若い学問が共通にもつ弱点をもつことは否めない。将来的にはこれらの特徴と弱点をふまえて、しっかりとした学問領域への成熟を促す取り組みが必要と考えられる。

⑤生体関連化学は、生命分子を対象とした化学の主要分野であるというのが現状ではある。

しかしながら、その最前線では既に化学の枠を超えて、化学と生物の融合領域や、ナノとバイオの融合領域をカバーしており、今後さらに発展して化学の一分画が終了し、現在、生命現象の理解を深めるための研究が精力的に推進されているが。分子レベルで本質的な理解を深め、生体機能をコントロールし、医薬・薬学への応用、さらには生体機能を活用した機能材料創成のために、生体機能関連化学分野は非常に重要で、今後ますますその重要性が増していくものと確信する。

⑦-

⑧遺伝子の分子実体 (DNA) の解明によって革新された遺伝子研究は、精密計測をはじめとする多くの化学技術に支えられて、ヒトの遺伝子配列全てを読了するまで発展した。ヒトゲノムプロジェクトや細胞生物学の進展から明らかになりつつあるのは、生体分子間の相互作用／ネットワークの重要性である。おそらくこれからの生体機能関連化学では、複数分子間の相互作用に基づくより広範囲のネットワーク、ひいてはシステムの理解が重要になってくるであろう。

そのために必要となるのは、多種多様な分子がネットワークとしてシステムを維持している生命の基本単位である細胞のような複雑系／夾雑系に適用できる有機・無機・物理化学の発展と確立ではないかと予想される。そこからは、化学一般に共通する克服すべき多くの課題も浮かび上がる。水環境での化学、夾雑系での orthogonality の確立、生体機能に関する分子パラメータの定義や整理、機能分子・化合物ライブラリーの整備等々。これらを地道に解いていく基礎化学の進展が、過去 50 年の「生命現象を理解する生体機能関連化学」から「理解に基づき制御する生命化学」への止揚を促すと期待される。そこからは、様々なレベルでの社会的な要請に、分子／材料レベルで貢献する新しい生命化学の姿が見えてくる。例えば、再生医療や遺伝子治療などヒトの健康安心を保証するのに必要不可欠な医用バイオ材料の合理的な分子設計、分子レベルで個人差を識別できる未来医療・診断の基盤となるナノバイオ化学技術、地球環境保全や食料／エネルギー問題に寄与するシステム生命化学としてのバイオテクノロジー。それらを強力に推進するためには、化学とバイオテクノロジーや医工学との境界が見分けられないくらいの学際化の進行が絶対的に必要であり、その中で生命化学は力量と重要性を増すことになるであろう。

⑨生体関連化学分野は、生命現象が分子レベルで解明されるためには、化学サイドからのアプローチが必須であり、将来的には益々盛んになり、分野としては広がっていく。そ

の成果は、脳機能の解明、薬や農薬の開発、など計り知れない。

⑩生体関連化学は学際領域の学問分野の典型的代表例であり、従来からの区分けによる有機、無機、物理、分析等の化学分野とは根本的に分野の展開方法や考え方が大きく異なるのが特徴である。即ち、生化学をはじめとして化学、生物物理から生理学、医学に到る広範な分野の知識と方法論を使い、生命体における様々の現象の解明から、その応用展開に到るまで学際的研究のサイエンスであることを特徴とする。

フリードリヒ・ヴェーラーの尿素合成の研究に見られるように当初、化学は生命現象との関係を強く意識していた。その当初の意志とは裏腹に、化学は科学的な基礎的概念から方法論に到るまで、当時は他の学問領域と同様に十分な学問基盤を持たなかったため、20世紀末までの1世紀半をかけて、化学領域の各分野内にある課題解決の必要性から、それぞれの領域の深化を目指して発展をしてきた。それにより現在みられる有機、無機、物理、分析、理論等の化学内での細分化が進んだ。1世紀半に渡る、個別専門分野への集中的な取り組みにより、それらが概ね解決されるに到り、一部では、旧来の発想に基づく将来の化学の存在意義に関する議論が交わされている。しかし、これは化学を19世紀型の分野別領域による成果を単純敷衍したことから導かれた浅薄な議論と言える。化学領域を特徴づけその学問基盤となってきた、分析、理論から物質合成に到る広範な化学各分野の成熟を利用し、今こそ本来の生命現象の解明へと回帰すべき時に至ったと、理解すべきであろう。即ち、「生体関連化学」分野に取り組むべき絶好の好機が到達していると云える。

生命は地球誕生直後より、35億年以上のわたり地球上で存在し続けた。これは人類が今後も地球上の環境を維持しつつ発展するための多くの知恵を提供する。その研究から、医療、物質合成、エネルギーなど多方面への展開が可能となる。

⑪化学分野におけるバイオ研究分野は、学際的色彩が非常に強く、また学際的な研究成果を強く要求されている領域である。また、世界中で、次世代の科学技術の根幹を構築する成果が多く排出されることが期待され、世界中でグローバルな研究開発競争が生じている。今後、日本が継続的にも当該領域のリーダーとなれるようにすることは、次世代の科学技術振興における最重要課題の一つである。このためには、散在している当該領域に関係した学術組織を統合または、連携強化し、国家的予算の支援のもと、戦略的な研究領域構築、若手を含めた人材育成を早急に開始する必要がある。

⑫我々の学生の頃は、当分野は萌芽期で、非常に若々しい学問、何か未知の世界に挑戦し

ているという気分があった。現在、生物の研究が非常に速い速度で展開している時に、生体関連化学というイメージは非常に広いが、どういう分野をいうのか、領域がはっきりしなくなっている気もする。

しかし、DNA の配列解明やタンパク質の構造解析は、生物の機能を分子論的に理解する第一歩が始まったに過ぎず、将来、化学的な手法がさらに望まれると思います。そのためには、低分子から生体システムまで、またグロブ分子のようなツール作りから、複雑系を理解するといった概念まで、生物・生体機能を分子的に解明するには何が必要かを見定めて、先端を切り開く必要があると思います。

また、ホスト・ゲストの化学などバイオミメティックなアプローチは当分野以外ではほとんど研究されていないので、その点を留意し、生物の研究が盛んな時代だからこそ、何らかの特色ある研究が出ることを望みます。

⑬これからはバイオと化学は融合して行く方向にある。「生体関連」の分野は融合プロセスをつなぐ重要なポジションにあると考えている。

⑭生体関連化学の創生期には、フラビンや NAD(P)H などをモデルとした有機分子や、ミセルなどの膜関連が主要な研究対象になっていたと記憶している。

その後、ヘムを中心とする金属酵素モデル、核醣、生体に学ぶ超分子などへと対象が広がり、現在は、金属酵素に関してはモデル系が主流とはいえ、実際の蛋白や核酸を扱った研究が急増している。同時に、解明から利用へと視点が移り始めている。

今後とも、酵素等の構造と機能解明という領域は重要性を維持すると思われるが、解明・理解の次に来るキーワードは活用・応用ではないか。検査試薬、医薬品、触媒、情報に加えて、材料としての蛋白・核酸の利用技術は今後 10 年のスパンで主要課題になると考える。一方で、エネルギー問題と関連して、光合成、水素発生、窒素分子の還元など「機能を中心とする新たな反応系」の開発もますます重要になるであろう。

⑮生命現象がいよいよ化学の世界になった。その意味でこの分野の重要性は今後も常に増すであろう。応用面がひとつのポイントであるが、化学の立場としては基礎研究も極めて重要であり、時流に乗ったファッション的な研究ばかりを志向するのは間違いである。この分野がカバーすべき領域としては [1] 生命現象の物理化学 (分子間力、分子認識、高感度バイオ分析、平衡論・反応論、イメージング手法 (モダリティー) など)、[2] 生命現象への化学的アプローチ (生物有機・無機、結晶構造、超分子化学、鋳型合成、コンビケム、人為的進化、人工膜・人工細胞など)、[3] 機能生体分子の化学 (核酸、タン

パク、糖質、レセプター、薬物、タンパク質工学、遺伝子工学、ケミカルバイオロジーなど)、[4] インビボ機能化学 (細胞 (生体) 内有機化学、デリバリー (遺伝子、タンパク、ドラッグ)、バイオセンシング、バイオイメージング、薬理化学、医療工学など) の4領域として分類できるのではないか。

2. 「ケミカルバイオロジー」のイメージと方向性・可能性について

- ① ケミカルバイオロジーは、拡大するポストゲノム研究成果に対して、化学がアプローチできる一つ的手段として考え出された分野かと存じます。ただ、未だその具体像が明確でなく、多くのケミカルライブラリから迅速に対象生体分子に対する標的薬を探索する手法などの方法が主流となっていますが、これは、分子標的薬探索の強力な手段となることは事実と思いますが、分子標的薬は、効かないことも多く、これを有効に評価するための細胞や生体の状態（機能）を迅速に評価できるための、分子論的アプローチが必要になってくるように思います。
- ② 化合物を出発点として、その標的タンパク質を同定することにより、未解明生命現象の解明に迫るのがケミカルバイオロジーの主なイメージである。しかしながら分子レベルでの研究に留まらず、化学が主体となる新たな生命科学の進展を図って、細胞レベル、生体レベルでの化合物の役割の解明にも展開することが必要であると考えます。
- ③-
- ④ケミカルバイオロジーは名前こそ違うが、個人的には、ほぼ生体関連化学とほぼ同一の分野と考えている。したがって1で述べた方向性と可能性を持っていると考えられる
- ⑤「ケミカルバイオロジー」は Schreiber らの着想の当初から、生命を化学のメスで切り拓くという、今日では生命科学の基盤のひとつとなっている学問分野である。この分野が今後進むべき方向性の一つとして、これまでの化学の知識を利用して生命反応を解明する、というスタンスから一歩踏み込んで、化学的手法により生命分子を修飾し、こうした人工分子-生命分子ハイブリッドを利用して生命反応に新たな機能を導入するといった展開が考えられる。このような手法を利用することで、医療・材料などの方面への産業的発展も期待されよう。
- ⑥化学の力を利用した生命現象の解明、生命現象のコントロール・活用が、ケミカルバイオロジーの本来目的であり、現在活発に研究されている生命活動の分子イメージングのますますの進展、低分子化合物による生命機能制御、そして生体機能を活用した機能材料創成に対する基礎的データ蓄積など人類・社会への大いなる貢献の可能性を有していると考えます。

⑦、⑧-

⑨ケミカルバイオロジーのイメージは研究者が属する分野によって異なる。我々化学をベースにするものは、「化学(分子)の力で生命現象を解明する」という概念を持っている。生物学分野の人々は、「生物学を解明するために化学の力を借りる」と考えられているようである。いずれにしてもこれからの生命現象の解明には化学と生物学の融合が益々進むだろう。

⑩生物機能の発現に到るには、根元的な遺伝情報を保持する DNA から転写により生成する mRNA の働きにより合成されたタンパク質がネットワークを構成し、その複雑な相互作用により起こるとの理解が生命活動の中心定理とされている。生命活動の理解や疾病の治療には、この複雑なネットワーク中の因果関係の解明が必須である。これを外部からのプローブとしての低分子を導入し、その応答を見ることにより生体分子間の因果関係を明らかにする研究領域として「ケミカルバイオロジー (化学生物学)」が生まれた。従って、その定義は DNA, RNA, タンパク質等の生体高分子と特異的に相互作用する (主として) 低分子化合物を用いて生体機能の解明を行う研究を指している。プロテオミクスの一部はケミカルバイオロジーとも重なっており、人においては 30~50 万個ものタンパクが存在すると云われているタンパク質の構造と機能を明らかにし、それによりタンパク質のネットワークを解明するものである。またバイオインフォマティクスとともにその成果は創薬や診断薬の開発につながるものが期待され、薬学分野・製薬産業からも大きな関心を集めている。

一方、本分野が意識されてまだ日が浅いため結論を導くには早計かも知れないが、ケミカルバイオロジーには学問分野としての課題もある。ケミカルバイオロジー研究の基盤は生命科学の成果に依存している。また、化学的手法以外の方法論も含めた展開を行うプロテオミクスや代謝ネットワークによって生じた代謝産物をも含めて考えるメタボローム、生物個体の表現形の総体であるフェノームなどの生物全体を対象とする巨大な研究領域が存在する。そのような生命科学領域の環境中において、ケミカルバイオロジーが単なる生命科学の道具提供に終わったり、生命化学の研究分の中の一領域との位置付けに収束することなく、如何にして化学としてのアイデンティティーを保つか、およびその学問分野としての意義を主張しうるかは今後の主要課題であろう。

⑪ 1 に関連。

⑫ 「ケミカルバイオロジー」は英語的にいえば生物ではという感じがします。ただ、最近「バイオフィジックス」を物理と考える人は少なくなり、むしろ生物という感覚が研究者にあります。ですから、語順ではなく、実質的な寄与、学問としての強さなのかもしれません。ケミカルバイオロジーが化学として確立し、生物が化学の分野として分子論的に解明されるような時代を是非めざすべきではないでしょうか。

⑬ 言語的にはバイオロジーが後にあるので、主体の印象。しかし、現在、「ケミカルバイオロジー」と取り扱われているのは、我々の理解からすると「化学」そのものの印象。既にターミノロジーとしては確立し、IUPAO や国際会議などでも使用されているので、今更「バイオロジカルケミストリー」などと主張しても仕方がない。ここは、「ケミカルバイオロジー」の中味、新味は”化学中心”です」とアピールする方が得策ではないか？

⑭ 上記のように、生体関連化学はいわゆる「天然物有機化学」とは一線を画して発展してきた。生理活性天然物の化学は紛れもないケミカルバイオロジーの一分野と考えるが、これまで「生体関連化学」としてくくってきた分野は、まさにケミカルバイオロジーそのものとする。様々な分野で、「我こそはケミカルバイオロジー」と主張しているようであるが、実に情けない現象である。

そもそもケミカルバイオロジーという言葉は、誰かが勝手に考えたものであり、言い出した人たちは別として、流行言葉に飛びついて自分の研究を飾る風潮は、軽薄そのものとする。

ただし、ケミカルバイオロジーは、分野としては上述したように、日本化学会の生体関連化学やバイオテクノロジー研究会などの研究分野がすっぽりと収まるものであり、学会が政策としてこの分野に力を注ぐことは間違った政策とは思われない。従って、今後の可能性は、生体関連化学の将来像と重なる。

⑮ 生体から物質なり反応なり現象なりを単離・精製し、純物質・単一反応・隔離現象としての諸性質を化学の方法で追及するのが生化学や生物化学の立場である。これに対し、物質なり反応なり現象なりの“化学ユニット”をネットワーク化された生命活動の場（細胞内）におき、その振る舞い（応答、増幅、輸送など）をシステムとして研究するのが化学生物学（ケミカルバイオロジー）の基本的な立場であろうと思う。したがって、多くの化合物群が対象となり（変異と選択・網羅的・コンビナトリアル）、規律（秩序形成

や反応、認識)は生命の合目的性に従い、デザイン(修飾)法は化学が培ってきた方法がそのまま使えるため、無限の可能性が秘められている。

3. 材料分野や医療分野への展開（バイオナノテクノロジー、ナノ医療、分子イメージングなど）について

①ナノテクノロジーとかナノ医療というのが何であるか、がはっきりしませんが、従来の小分子ではなく、ナノサイズの子や構造体になって始めて発現する機能を利用するというのであれば、新しい切り口が出始めていることは確かだと思います。今後向かうべき方法は、まず、何よりも、*in vivo*での分子論的アプローチと、細胞内では、更に詳細な分子ネットワーク解明のための全く新しい方法論だと思います。これらが明らかになって始めて、有効なナノ医療が実現すると思います。これらを化学が創製していこうとするなら、まず、少なくとも、分子生物学、薬理学、医学で、何がどこまで分かっている、何が問題かを正確に理解することが必須で、それがなければ、ごまかしの技術以外、何者も産みださないように思います。

一方、この分野での化学のウエートは極めて大きいことは間違いのないことと存じます。

分子イメージングは、現在、欧米では最も重要な戦略の一つです。それは、分子標的薬を *in vivo* に持って行くと効かないことが多く、個体レベルでの有効な評価法がなければ、ゲノム創薬が成り立たないからです。例えば、MedLine で分子プローブというキーワードで検索すると、ほぼ全て、*in vivo* イメージング用プローブが出てきます。しかるに、日本では10年以上前の細胞内プローブがもてはやされており、今後は、*in vivo* イメージングの重点化が必須かと存じます。もちろん、細胞内の研究が必要ないというのではなく、細胞内の研究では、分子ネットワークを評価できる方法にシフトすべきであると思います。

②生物活性化合物やゲノム情報を利用して、生命現象や疾病の原因を分子レベルで解明するという生命化学研究は、医薬開発などに直結する産業の重要領域でもある。様々なアイデアに基づいて、積極的に取り組むべきである。これらに対して、生体関連化学の分野から、実用性の高いアウトプットを出す必要がある。

③今後、現象論的でサイエンティフィックな根拠に欠ける応用研究が次第に増える傾向にあると予想される。ベンチャーや材料を指向した研究も歓迎すべき点もあるが、基礎研究としてのスタンスを失わない発展のためにもこの部会の果たす役割は重要であると思われる。

- ④材料分野や医療分野への展開は生体関連化学の一分野として、今後特に発展が期待できる分野である。世界的にも非常に競争が激しい分野であり、我が国の施策としてこの領域の発展を重点的に推進する必要がある。
- ⑤生命分子を利用した材料や医薬品の開発は、ポストゲノム時代のバイオテクノロジーにおける主要な興味であるが、材料や医薬品としての機能を向上させるためには、有機化学・無機化学などによる生命分子の改変もきわめて効果的な手法であると考えられる。最近、こうした展開を支える基盤として、ナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合である「ナノバイオ」の重要性がクローズアップされてきているが、ナノバイオの発展により新たな材料や新たな医療産業の勃興が予想される。
- ⑥先にも述べた生体機能を活用した材料開発や医療分野への応用は、今後社会からの要望もますます増大することが予想され、非常に重要な分野となること疑いがない。特に疾患の治癒や診断をケミカルバイオロジーとナノテクノロジーを融合することにより、効率良く実現しようとするナノ医療そして分子イメージングは特に重要で、人類への貢献のためにも政策的に強力に研究推進する必要があると考える。
- ⑦、⑧-
- ⑨生命現象の解明のためには、分子レベルの理学的な伸展の他にも、装置や手法の開発、などの工学的な展開も必要である。
- ⑩ 実際の課題解決に対する要請に呼応して、バイオテクノロジー研究はその成果の生命科学、医療等の実用化に貢献するため、今後一層展開が予測される。そこで生み出された成果は化学分野のものと認識されるかどうかは予測が難しい。
- ⑪ 1 に関連
- ⑫ 現在の多くの研究が研究費を必要としているため、それぞれの分野での技術分野への寄与を考えることは重要だと思います。ただ、それぞれの研究者がすべまでする必要はなく、連続性の中で基礎研究の力を保ちながら、までの幅があれば良いのではと思います。

⑬-

⑭ 上述のように、「理解・解明」を標接していた時代が第一世代である。これからも、新たな酵素や核酸の性質が明らかにされるであろうから、常に、「理解・解明」は研究に対する重要なモチベーションであり続ける。一方で、数十年前から「理解・解明」に励んできた対象は、理解を基礎にした展開、すなわち材料や医療への展開へと進むことは必然である。当然、生体関連化学は、こうした研究を内包しながら発展して欲しい。

⑮ 医療分野についていえば、診断薬や検査法の進歩は著しい。新型の疾病が現れてもたちどころに抗体や検査法が確立される。これはまさに 2. で述べた生化学・生物化学的な立場（生体から特異物質や特異反応、特異現象をとりだし、その有無を化学的に調べる）である。これに対し、生体（特に不具合を起こした病変部）におかれた特定の“化学ユニット（ドラッグ、プローブ）”を如何に振舞わせるかがナノ医療や分子イメージングの立場であり、これはケミカルバイオロジーの立場と完全に一致する。すなわち、ナノ医療や分子イメージングはケミカルバイオロジーの重要な応用分野のひとつである。

4. この分野が学際的かつ包括的であることに鑑みた（柔軟な）研究・教育体制の確立について（部局連携、拠点ネットワーク、国際共同、新規研究所設立など）

①本分野が学際的であるというのは、旧来の分野に立脚するからで、学際分野などと言う立場で捉えている限り、本当のバイオテクノロジーは生まれないように思います。連携だとか、融合というのは、旧来の分野を守った上で、形の上で一緒になった体裁をとるという姿勢が見え隠れするからです。バイオテクノロジーというのは、それ自体が一つの独立した学問であって、学際領域などではないということを考える必要があるように思います。

現在の学問分野は、それが生まれたときの社会状況に立脚して生まれたものであり、特に我が国においては、明治期に急速に産業を拡大するための必要から枠組みが作られたのですから、社会の構造が変われば、学問の枠組みが変わるのがむしろ当然かと存じます。

教育体制を云々する前に、新しい分野を産みだすのに何が必要かを整理し、教える側や研究する側が、まず勉強して変わらねばならないように思います。そのような学問を創製する枠組み作りが急務であるように思います。

日本の場合は、バイオ研究科は、すでに多くの大学で似たようなものが作られ、いずれも失敗しています。形ではなく、旧来の学科の中で、研究者が、自らの研究をシフトさせていくしかないようです。れでは何の提言にもならず、問題ですが、提言があるとなれば、そのような価値を評価するシステムの構築だろうと思います。

一方で、教育システムのない研究所は、特化したものを作り、そこから産業界に価値を認めさせる研究成果を発信して、産の価値観を変えるのが良いように思います。

そのために、どこかに、基礎ではなく、バイオテクノロジーの中核研究所をつくって、各大学とネットワークを形成して行くのがよいと思います。

欧米では、NIH の Roadmap for Medical Research や、FDA の Critical Path Initiative という戦略大綱が出て、それに則って、例えば、Cimit のような大学を越えた医工連携のネットワークの構築や、In vivo Cancer Molecular Imaging Center として7つのセンターを設立、Small Animal Imaging Resource Program として、ガン研究リソースの共有、Development of Clinical Imaging Drugs & Enhances (DCIDE)として、研究レベルから知見レベルまでの造影剤、プローブの開発競争プログラム、Network for Translational Research : Optical Imaging (NTROI) として、工学イメージングに関する評価法の最適化を図っています。UK でも臨床研究推進を狙って、UK Clinical Research Collaboration や National Biomanufacturing

Centre などのネットワークや組織ができています。EU でも、EMIL（ガン分子イメージング研究者ネットワーク）や、DIM1（分子イメージングに関する研究者・医療機関のネットワーク）が構築されています。大学を越えたネットワーク形成と情報の共有化のシステムを確立し、工学、医学の研究者が参画して、価値や情報をいち早く共有できる様にする。その中核施設を数ヶ所作るなどの必要があると思います。

②生命科学の分野では、基礎から応用までが近く、また最先端研究を展開するには基礎研究は必須である。そこで医工連携はもはや当たり前になっているので、薬学系、理学系も含めた展開が望まれる（しかし化学を中核にしてこれを実施するのはなかなか容易ではなさそうである）。なんとか化学系を中心にして、拠点ネットワーク、国際共同、新規研究所設立を目指したいが、そのためには天然物化学や有機合成とのマージも必要となってくるものと思われる。

③若手研究者の共同研究機関への短期訪問などによる、実質的な連携を行う必要がある。またそれを支援する体制作りが必要。

④生体関連化学は 1 でも述べたが、統一的な教育体制はほとんどできていない。教育体制は部局連携や拠点形成などでは対応できず、根本的な改革をしない限り成功がのぞめないだろう。

⑤ 学際領域の研究・教育には、一人の教員の指導に帰する従来の研究室体制はそぐわないことから、第一ステップとしては複数教員による研究指導およびそれらの教員の相互理解が必要である。さらに、国内外の企業との連携を通じた共同研究や教育が行える体制を確立すべきである。とりわけ、拠点となるべき各大学においては、研究・教育の情報の集積点となるようなネットワークを構築し、基礎から応用までを一貫したカリキュラムのもとで学び、必要な情報（知識）が必要なときに入手できるよう、産官学の交流を深める必要がある。

⑥ナノ医療・ナノバイオロジーに代表されるように、本分野は化学、生物学、遺伝学、分子生物学化学工学、医学、薬学など、まさに境界領域の学問であり、領域横断・異分野研究者の有機的な連携によって初めて実現できると考える。そのためには様々な分野の研究者が意見を交わし、データ検討が実現できる医工薬理連携や、バーチャル連携組織の形成など、国内外の研究者が気軽に参加できる、フレキシブルな組織の形成が必要

であると考える。

⑦、⑧-

⑨日本もポストドクを雇って新しい研究分野に進出していくという、欧米スタイルの研究法式になれてきたように思うので、これまでのような‘たこつば型’（学科学部の縦割り社会型）から、ネットワーク型の横断的な研究体制が必要になってくると思う。その整備を一積極的に始める時期に来ていると思う。

⑩研究体制については、様々の支援事業があるものの、事業毎に課題に応じて小グループで対応できる支援制度が十分とは云えない。特に最近の傾向として、研究所間など大きな組織全体を包括した連携体制が優先される傾向にある。本来の共同研究は真に相互の知識と技術を必要とするグループ間の交流により成り立つため、それを支援する柔軟性に富んだ研究支援事業を進めることを求めたい。

⑪コンピューター教育が、大学の全学部共通の基盤知識として、導入されているように、持続的社会を構築していく上で、生命と環境に関する知識体系を構築する教育システムを全大学に設置していくことが重要である。そのためにも化学関連の生命分野は大きな位置を占める。

⑫研究は多様なので、アプローチを決めすぎるのではなく、その都度、研究者の実情に応じて、上記のような研究体制が組まれると良いと思う。
もちろん、化学からのアプローチを強化する意味で、拠点ネットワークや新規研究所はできれば望ましい。

⑬-

⑭様々なところから「ケミカルバイオロジー」研究会・学会などの提案が出ているが、これまでの研究の積み重ねを無視した「権力争い」のように映る。よほど暇な研究者が多いのであろう。最初のこの言葉を言い出した研究者の定義など重要ではない。この言葉が醸し出す研究分野の雰囲気は、生体関連化学: **chemical biology** ということではないか。

⑮化学や生物の分野では科学（サイエンス）と技術・工学（テクノロジー・エンジニアリ

ング) は紙の表裏の関係にある。生体関連化学においては特にその色彩が強い。わが国の大学では「化学」は理学部(研究科)と工学部(研究科)および研究所と種々の部局に分断して存在する。もちろん、それなりの歴史的な経緯と意義があっただろうが、このような分断は今日では殆ど意味がないばかりか非効率であろう。生体関連化学を起爆剤として思い切った部局合体を敢行し、化学関係は「化学部」なる部局に統一する(理学部化学、工学部化学、化学関連研究所の合体)のがよいと思う。その時期が到来している。

5. 「生き物と化学」に関連する初等・中等理科教育の再編などについて（化学-生物-薬-病気-環境-エネルギーなどに関する健全な自然観の醸成を目指して）

- ①初等、中等教育においては、基礎から積み上げていく方法がとられます。これが必要でないとは思いません。しかし、科学は、帰納法によるものの考え方であって、基礎から積み上げる演繹法ではないのですから、この考えで科学を理解すると、ブレイクスルーを作るような研究者は生まれにくく、産みだされた概念を改良する人ばかりが産みだされる様に思います。それが、これまでの日本の発展に寄与した所は大きいと思いますが、今後の日本は、それだけではだめなように思います。明治期に、科学を思想ではなく、技術として輸入したつけが来ているように思います。
- ②限られた時間の中で教育を行うために、現在の教科書はそれなりによくできている。昨今の教育プログラムの再編においては結果として思い通りに機能せず、いたずらに混乱を招く例が多いので、再編は思いつきに頼るのではなく、慎重に検討を重ねるべきである。
- ③啓発的授業の充実が必要であることは明らかであるが、物理や生物と比べると、化学のそういった活動は地味である。たとえば物理は数式なしでは何も語れない学問であるが、それにも拘わらず相対論や宇宙の起源などまったく数式を使わずに子供にうまく伝えている。化学の教育はどうもこのあたりに工夫が足りない。アメリカ化学会のように子供に対する教育を企画する部局を化学会に作るべきでは（すでにあるなら強化すべきでは）。
- ④この分野の重要性と将来性を考え、学生に興味をもたれる科目として、内容について早急に再編が必要である。
- ⑤ 初等・中等教育においてカリキュラム等の整備により、「生き物と化学」についての健全な興味を惹起し、これを永続的に保たせることが昨今の理科離れに歯止めをかけ、将来の科学技術創造立国を支える新時代の科学者・技術者の養成につながると思われる。一方で、こうした変革をただ座して期待するだけでは、大学としての重要な機能の一つである、社会貢献機能を十分に果たしているとはいえない。大学においても、その研究成果をわかりやすい形で初等・中等理科教育に還元すべく、高大連携・中大連携等を積極的に実践する必要があるだろう。

⑥ 資源に恵まれず、知的産業創成が不可欠である日本において、本分野のみならず科学全般の推進のためには化学、生物学、物理そして数学などに親しみを感じ、興味を抱く中学・高校生の増加にとって非常に重要であると考え。そのためには理系教育の抜本的な変革も視野に入れた、教育システムの改革を期待し、要望したい。

⑦、⑧-

⑨ 理科教育における、化学、物理、生物の枠組みはまだそのまま保った方が良いと思う。しかし、DNA や遺伝子の分野は「生物」ではなくて「化学」に移すべきである。タンパク質や糖は昔から「化学」にあるのだから。

⑩ 化学と生物との接点となる分野は生命が物質の複雑な相互作用により成り立つことを学ぶ上から貴重である。化学としてそれらを教育する場合、この分野に登場する大部分の分子やタンパク質は複雑な構造式を持ち、その相互作用も初中等教育の範疇を越えているため、理科教育に馴染まない部分が少なからずある。また、薬品と疾病の関係も大変複雑で理科教育には不向きである。そこで、理解が困難な複雑な分子や理解が難しい作用を持ち込まず、今後文明社会を持続していく上で重要な課題を厳選して説明することを考えてはどうであろうか。その一例として、光合成反応は現象として理解しやすく、細かな機構に立ち入らねば化学の果たすべき方向に生徒の興味を引きつけて適切に解説できるであろう。これにより人類の抱えるエネルギー問題と食糧問題へ理解が深まるであろう。

⑪ 上記項目 4. (生命と環境 の知識体系構築) のための初等・中等理科教育が必要。

⑫-

⑬初等教育の時点から、「化学は化学」、「生物は生物」と縦割りにするのではなく、相乗り形式にするような形が、理解が容易なのではないか？

⑭Newton Press から出ている「細胞の分子生物学」や、東京化学同人発行の「分子細胞生物学」(いずれも訳本)を見ると、実に多くの化学構造や反応式が出てくる。私自身も、生物無機化学の授業では、「エネルギーや光合成関係」の講義の参考資料にしているほど

である。日本化学会に参加している化学者の殆どは、こうした事実を知らないであろうと推測される。化学者の理解がこの程度である現状を考えると、初等・中等理科の再編という言葉が何となくむなしく響いてくる。将来の理科教員である大学生と、その教育に当たる化学系大学教員の再教育、あるいは現実の宣伝が必要ではないだろうか。もちろん、子供たちと直接関わる小・中・高の理科教員に対する啓発活動を日本化学会が中心となって進めることが重要と考える。

- ⑮初等・中等教育において基礎的な事柄を教えることはもちろん重要であるが、それとともに包括的な、つまり全体をみる訓練も是非とも必要である。有力な方法のひとつは身近かな（したがって興味をもちやすい）ところから始めて徐々にその基を辿るやり方である。

昆虫フェロモン（結構面白い）について、フェロモン物質をゴキブリ何十 kg から数 mg 単離したところ簡単なテルペンであって、不斉中心があった。両エナンチオマーを合成して調べたところ一方は括性だったが、他方は全く効果がなかった。というようなことから有機合成や特に不斉合成の大切さを教えると良い。この点、生体関連化学はテーマの宝庫である。環境やエネルギー、病気など、誰にも関心のある事柄から始め、その基にある生物の仕組みや薬の話、更にその根底にある化学の意義を理解させるやりかたは近年の理科離れ対策としても非常に有効であろうと思う。

6. 企業との連携（真に有効な共同体制の確立）について

① バイオテクノロジーは、本来、研究段階にあるものが一足飛びに商品になるという側面を持っています。従って、産学連携は必須の分野だと思えます。我が国に關すかぎり、これがうまく機能しているとは思えません。それは、産、官と学の双方に問題があるように思えます。まず、学は、本当に必要なものではなく、旧来の学問の便法としてバイオを標榜しているか、そうでなくても、本当に生命の理解が進まないために、見当違いの技術開発をする例が多く、せつかくの世界トップレベルの研究能力がバイオに關するかぎり活かされているようには思えません。そのため、産は国内よりは、むしろ、バイオに關するかぎり、外国の学と連携する傾向になるようです。産については、旧来の学問の壁の中で育った人間が作っているのであれば当然ですが、いつも、世界の方を向いて、前例を求め、独自のものを産みだす気概に欠けているようにみえます。また、産の挑戦意欲の欠如は、官の制度的締め付けによる影響が非常に大きい用にもみえます。医療関係では、特にそのことは顕著です。

② トップダウンの予算措置も必要ではあるが、医薬品開発を目指した産学連携一つとっても、医学部系あるいは生物系に予算のバランスがずいぶんと偏っており、国民生活に新しい医薬品の開発という結実をもたらすことは難しいのではないかと思われる。予算編成では分野間の力学によって、現時点での発力のある分野が多額の予算を獲得しがちで、科学技術の成果を福祉という形で国民生活に還元するためには、現在のシステムを変えていく必要があると思うが、なかなか難しいと思われる。

現場レベルでのボトムアップ型の連携を促進するようなシステムも必要であろう。国や大学が知材権を主張するのはよく理解できるが、企業との連携を阻害することのないようにしなければならない。

共同研究を学生に行わせることも多いが、この場合問題になるのは修士論文、博士論文の発表会である。現在、これらは公開の発表会となっていることがほとんどであるので、特許出願にからむ部分は（共同研究であるかないかに関わらず）発表することができない。大学が特許出願を奨励する以上は、研究に携わる学生が不利にならないように、修士論文、博士論文の発表会は原則非公開とする必要があるのではないか。

③ インターンシップは功罪ともにあるが、これをうまく発展させるべき。研究ばかり目がいくが、末端商品がどのように作られどのようにわれわれのもとに届くのかを含めて教育に取り入れるのが良いのではないか。これにより、環境への配慮や、物質科学の大切

さを実感させられるのではないか。化学によるもの作りにどれほど身近で大切かを若い世代につたえ、彼らのモチベーションを高めることが最も大切と考える。

④生体機能関連化学シンポジウムに企業からの発表も多くして頂き、自然な形で企業を取り込んでいくことが必要であろう。また企業における研究者の地位の向上も学会としてサポートし、企業側がリーダーシップを発揮できるような、システムも導入する必要があると考えられる。

⑤企業との連携は多面的に行う必要がある。これまで一般的であった、企業からの研究費の提供と、大学からの研究成果の供与を基本とする連携体制は、新たな科学や技術を生み出すためには十分な体制とはいえず、人的交流をもとにした共同研究体制が必要である。また、連携には様々な様式があり、1対1の連携の他に、数社の企業といくつかの大学でコンソーシアムを形成することも、連携の効率化と社会に与える影響の大きさから効果的であろう。さらに、社内教育を社外で、大学内教育を連携企業内で行う等の教育連携も、長期間にわたって効果の高い連携を維持するためには必須である。

⑥ ナノ医療の医薬分野への実用化、分子イメージングを活用した診断分野への応用をはじめ、本分野は研究成果の社会への貢献が比較的近い分野であると考え。その点から大学・研究所シーズと企業サイドのニーズのマッチング、さらに産学のイコールパートナーとしての効率良い連携システムの構築に向けたデータベース構築などが必要となる。さらに研究費の流動化なども今後重要となることが予想され、税制上での優遇措置など社会システムの整備も求められる。

⑦、⑧、⑨、⑩

⑪上記1. (学際領域の真の構築に関して、学術団体の連携強化と支援体制)

上記4. (生命と環境の知識体系構築) のための産学連携が必要。

⑫お互いに、もう一步踏み込んで付き合うことが大事だと思います。企業の博士課程修了者の採用が進むことが、ひとつの理解を深める方策だと思います。

⑬これは重要だと思います。しかし、生体関連の部会の力だけでは困難。日本化学会、薬学会、化学連合などの力を借りることが不可避。

⑭私自身は、「産学協同」、特に「シーズとニーズ」という言葉には非常な違和感を覚える。

このキャッチフレーズは、「大学の研究者が企業のニーズを見聞きし、自分の専門性を生かして新たな研究展開を図る」と同時に、「企業は、大学の研究から、自分たちの製品に結びつく芽を見つける」という風に理解するが、前者は、研究者としての恥（シエーム）そのものではないか。自分で新たな研究のアイデアが出てこない人たちは、有能な若手にポジションと研究場所を譲って欲しいものである。

前置きはこの程度にして、我々の研究成果に興味を持つ企業が、共同研究を進めることに異議を唱えるつもりはないが、その場合には、**人と金を企業側が提供する事が前提**となるべきである。研究室の学生が、企業の従業員と同じ目線で研究を進めることなどあってはならないことと考える。もっとも、この論点は、理学部的な研究者には通じて、工学部的な研究者の大部分には受け入れられないかも知れない。

⑮大学と企業は置かれた立場が異なるので、無理に共同研究などを進める必要はないと思う。しかし、わが国は欧米（特に米国）と比べて（バイオ）ベンチャーがうまく育たないのは問題であろう。日本人（特に大学人）のメンタリティーの問題もあろうが、単純な理由のひとつは大学では企業の現状、つまり業界で何がホットなのか、どのようなことが研究され、次のターゲットは何で、それは人類の生活にとってどのようなインパクトがあり……についての知識が皆無に近いからであろう。これも教育（カリキュラム）の問題である。このような授業も大いに取り入れるべきであろうが、せっかく特別授業をやらせてもらっても研究に忙しい学生は聴講せず、というような問題もある。研究・教育制度の根本的な改革も必要だろう。

7. 人材育成体制の構築について

- ① まず隗より始めよ、ということだと思います。

- ② グローバル社会となり、国際的な大競争を生き延びて行くには、充実した高度教育システムによって育成された博士人材が研究開発の中心になる必要がある。また政府・行政においても少なくとも科学技術関連の政策には国際感覚に優れた博士人材の関与を増やしていく必要があるだろう。
近年の博士課程学生やポストドクターへの支援の強化により、これらの改善が図られたが、ポストドクの就職問題という新たな課題が出てきたが、これはポストドクや博士号取得者の主なキャリアパスをアカデミックと考えたことが誤りである。企業において国際的に活躍できる博士人材の育成が博士課程に科せられた役割となる。博士後期課程学生に対する経済的支援が乏しい中で、博士人材を十分に育成するためには、現在の硬直化した大学院教育を改革し、博士前期課程、後期課程を通じた年限の短縮や、企業との連携の促進に取り組むべきであろう。

- ③ ポストドクをいくらたくさん作ってもあまり解決にはならないと思われる。将来の展望が見えない状況ではいまの若い世代は化学分野に進もうと思わない。企業との連携、協力しかないように思われる。

- ④ 生体機能関連化学部会を中心として夏の学校などを行っているが、年齢に偏りがあり、世代間のバランスにも気を配り優秀な人材が育成できるようなシステムの構築が必要であろう。

- ⑤ 若年層の価値観の多様化と社会のニーズの多様化を背景に、生体関連化学はその周辺の融合領域にも大きな広がりを見せており、これまでの分野縦割りの教育では、社会が求める人材を育成することが困難になっている。したがって、この分野が融合分野であることを念頭に置いた教育体制の構築が必要である。ただし、融合分野に特化した教育を施すことで目的とする人材が育成できる訳ではなく、基礎となる学問を習得した上で、融合領域における応用を身につけることができるよう配慮が必要である。教育の体制として、指導者側の専門が多岐にわたり、それぞれが共通のバックグラウンドを有することはもちろんのこと、指導者同士が緻密な連絡を図り、最大限の教育効果を挙げるよう、FD等を充実させるべきである。また、大学内での教育でカバーできない分野については

上記の企業との連携を括用して、学生のうちから実社会での科学の活用のされ方等について知識を身につけることで、多様なニーズを理解し、それに対応できる能力を身につけることができると考えられる。

⑥異分野融合が必須である本分野においては、特に優秀なポスドクの活用が必要不可欠である。そのための人材バンクなどのシステム構築が早急に求められる。また、中・高校生の時代から、化学生物学、物理そして数学などに親しみを感じ、興味を抱ける、知的好奇心をはぐくみ育てるような教育システムの構築が必要であると考えられる。

⑦、⑧、⑨、⑩-

⑪上記 1. (学際領域の真の構築に関して、学術団体の連携強化と支援体制)

上記 4. (生命と環境の知識体系構築) のための人材育成が必要。

⑫平凡ですが、教員・学習を尊重する気分、あるいはそれを具体的に表現する社会的なサポートが必要だと思います。

⑬岩村班の分科会と連携。

⑭-

⑮化学をベースとした生命分野へのアプローチはまさに時機到来である。研究については個々の研究指導者の資質の問題であろうが、教育体制は一般に非常にお粗末である。個々の教員が自分の「範囲」の授業を行い、それを集めたものがカリキュラムであり、授業の内容も 30 年前と実質的には大差なかろう(もちろん 30 年間の進歩については当然語られるだろうが)。全体として何をどの範囲で、どのように教えるのかについての議論が殆どなされない。生体関連化学は上にも述べたように広範囲にわたり、今後の化学の大きなベクトルであろうから、何よりも、カリキュラムの充実が大切であると思う。

8. 政府・行政への提言

- ①いたずらに、欧米を見て輸入する、明治から続く体制を打破することと思います。次いで、研究成果は、膨大な形にならなかった研究の山の中からはしか生まれれないということを考え、真に研究の重要性を理解した予算措置をすることと思います。その成果の評価を含め、それを正当に評価できる人の養成を第1課題とすべきと思います。
- ②我が国の科学・技術ならびに産業の競争力強化のために、科学技術分野予算は他の政策経費に比べて高い伸びを実現してきた。これにより論文発表数では米国に次ぐ世界第2位であるなど、日本の地位は、質・量ともに向上している。その成果を日本経済や国民生活の持続的発展に結びつけるためには、より一層の予算措置が必要となってくる。現時点においても科学・技術、ならびに教育関係にける支出は米国に比べると相当に低い。
- ③材料やバイオなど応用研究に対して重さが置かれすぎている。基礎研究の充実が国家の科学技術の基盤であるが、あまりにも最近では応用研究と比べ軽視されている。大学で企業化できるものを開発することはもちろん大切であるが、このままでは大学で行うべき人材育成も貧弱なものとなりかねない。新聞に載ったかどうかなどを重視しすぎである。健全な学問の発展にマイナスになることもあるのではない
- ④我が国は科学立国を自負しているが、高等教育への配慮は以前にも増して不十分となっている。このまま放置すれば米国、ヨーロッパはもとより、中国、韓国、インドなどとの競争に負けてしまうと考えられる。
- ⑤若年層への科学に関する興味を惹起するような取り組みと、各大学が行うこうした取り組みのまとめと支援体制を従来以上に整えていただきたい。
- ⑥科学研究費が増加し、社会に対する説明責任がより重要になっている昨今の状況では、出口に近い応用研究の重要性が増していることは当然であるが、近視眼的ではなく、将来的にも高いレベルでの研究推進のためには、応用研究とその基礎となるベーシックな研究とのバランスよう研究推進が必要不可欠である。そのために、政府・行政も応用研究のみならず基礎研究に対するバランスのとれた研究費の配分を求めたい。また資源に恵まれず、知的産業創成が不可欠である日本において、本分野のみならず科学全般の推

進のためには化学、生物学、物理そして数学などに親しみを感じ、興味を抱く中学・高校生が増加にとって非常に重要であると考え。そのためには理系教育の抜本的な変革も視野に入れた、教育システムの改革を期待し、要望したい。

⑦競争原理を利用した予算配分が極めて正当であり重要であることは明らかである。しかしながら、不必要な競争的資金も多く存在している。運営費交付金を減らし、意味のない競争的資金（とくに、教育関係）が乱立している。減らされた運営費交付金の穴を埋めるために、取りたくもない教育競争的資金を取りに行っている現状がある。そのため、大学教員の業務負担は指数関数的に増えており、実質的な教育研究に当てる労働時間の確保が困難にさえなりつつある。運営費交付金を減らし続ける方針には反対である。そろそろ下げ止めるべき時期に来ている。

また、強い集団にはより巨額の資金を投資し、地方の弱者集団は切り捨てるかのような差別的な教育研究費の配分システムも見逃しがたい。毛細血管に血が通っていないために、壊死寸前の地方大学も存在する。そのような状況を作っておいて「さあ、競争だ。」というやり方は賛成できない。強者には手厚く援助する一方、弱者の羽根はもぎ取った上で「さあ飛んでみろ。競争だ。」というのは、公正な競争ではない。地方大学の卒業生も立派に日本の化学工業を支えている。

⑧、⑨-

⑩【初等中等理科教育に論理的な化学教育を】現在の初等中等教育における化学の取り扱い、明確な物質の概念に裏付けされた教育というよりは個別の事項に細分化された内容の寄せ集めを十分な脈絡も無く詰め込みをおこなっているに等しい。このため多くの生徒にとっては脈絡の乏しい雑多な事項を暗記する学科目として捉えられている。これは化学の教育指導要領立案者が、生活との関連を意識したあまり、親近感のもてる身近な物質に重点を置きすぎたことに責がある。身の回りにある化学産業製品や食品に含まれる天然有機化合物は化学領域において高度な応用課題であり、その学習は化学の基礎知識を持たない学習者に突然、応用問題を課していることになる。当然、その成り立ちや背景に十分理解には到らないため、教育においては化学が本来もつ統一された、論理的で美的な要素を伝えられていない。いわば「意高くして思い至らず」である。これは化学者が声を大にして改善を求めるべき事項である。

⑪上記 1. (学際領域の真の構築に関して、学術団体の連携強化と支援体制)

上記 4. (生命と環境 の知識体系構築) のための政府対応が必要。

⑫、⑬、⑭-

⑮やはり、今の大学の組織はあまり有効に機能していないと思う。古めかしいかもしれないが、理系は数学、物理、化学、生物、地学でよいと思う。数学・物理系研究科、化学系研究科、生物・医学・薬学系研究科、地学系研究科として今の部局を再編する。「化学」については現在の理学化学、工学化学、化学関連研究所を統合して化学研究科とする。工学研究科で残ったものは物理系研究科。理学の生物系は生物・医学・薬学系研究科へ。地学・天文学などは地学系研究科として独立。要するに理学研究科と工学研究科を廃止する。これにより抜本的な効率化とスリム化を計る。このような組織再編の検討を是非始めていただきたい。

9. 社会・マスコミへの提言

①社会、マスコミは、本来、風になびく草のようなもので、なびく方向が悪いと言うことはなびかせる方が悪いのだと言うことで、特に提言はありません。

②、③-

④社会における権威の崩壊は全体的にはよい面もある。しかし大学における研究教育についての社会やマスコミからの軽視はひどく、よいところはよい、悪いものは改善してゆくという姿勢について、継続的に支援してほしい。

⑤とりわけマスコミの発信する情報には科学の危険性に焦点を当てたものが多いように見受けられる。科学技術の習得・応用および社会への定着には時間と金がかかることを認識し、科学技術の必要性和それが社会に与えるメリットについても大きく取り上げることで、科学全般に対する社会の認識を好転させることができれば、日本の科学の発展に資するところが大きいと思われる。

⑥化学。生物学、物理そして数学などに親しみを感じ、興味を抱く中学・高校生の増加が本分野のみならず、知的産業創成が不可欠である日本にとって非常に需要であると考えられる。また一般社会人の方々の理解と承認も必要不可欠である。その点からマスコミが、一般の方々に対する研究成果の周知を促進し、内容理解を深められる。そして科学全般への風味をかきたてる報道により積極的に取り組んで頂くことが望まれる。

⑦、⑧、⑨-

⑩【「化学物質」の用語撤廃を】社会では化学産業により工業生産された物質を「化学物質」と呼んでおり、これが何の疑問も持たれずに、環境や生命を脅かす負のイメージを持つ物質との文脈で使われている。物質は物質であり、化学も生物も物理も存在しない。メディアはこの用語を頻用することから[化学=文明社会の悪]の印象を社会に不必要に与えている。各メディアはメディア内で外部への発信に関わる担当者の科学リテラシー向上に努めるとともに、化学者の助言のもとで適切な表現に改めることを求めたい。

⑪上記1. (学際領域の真の構築に関して、学術団体の連携強化と支援体制)

上記 4. (生命と環境 の知識体系構築) のための 当該化学の社会への貢献説明、体制作り が必要。

⑫学生の就職活動時期がどんどん早くなっていることに、危機を感じます。せめて MI の間は就職活動をしないような強い申し合わせへの要望は出せないのでしょうか。
(最近経団連から、試験は 4 月まで自粛という通達が出たようですが)

⑬、⑭-

⑮「生命現象はいよいよ化学の世界になりました」というようなキャッチフレーズは効果的かもしれない。社会・マスコミは化学を生命の敵とみているので、最近のノーベル化学賞のバイオ関係の受賞や、我々が目指すところを提言するのはよいことだろう。

10. 科学者・学会・大学への提言

①、②、③-

④科学者はさらに一層、国民の税金で研究がサポートされていることを自覚し、納税者に対しての説明責任があることを理解しなければいけない。決して個人、組織、学会の名誉や地位を確保することを目的としてはいけない

⑤科学者倫理の徹底と研究・教育に対する独自性を今以上に評価する必要がある。また、個人に対する評価体制も、一般社会の合意が得られるような形で整備することが重要であろう。大学はもはや象牙の塔ではないとの認識を再確認すべきであろう。

⑥科学研究費が増大された現状では、大学・研究所の研究者も象牙の塔に引きこもることなく、研究成果の社会貢献への展開、そして研究成果の社会説明が非常に重要である。その点からサイエンスカフェやマスコミなども活用し、折に触れ一般市民への研究成果の紹介、社会への啓蒙活動などにも積極的に取り組んでいく必要があると考える

⑦、⑧、⑨-

⑩【学際領域の研究発展に向けて、大学教育における第二専攻の推進を】 新たな分野が大きく発展する契機は、異なった分野が理解できて創造的な課題に果敢に挑戦できる人材にある。学際領域は新たな課題の宝庫である。しかし、現在の大学・大学院教育においては、専攻の分野内の教育に留まり、将来の展開の契機となる科学の異分野については本人が意図して受講しない限り、外部から強く推奨される機会はない。そこで、化学以外の生物や物理の教育を第二専攻として一定程度、受講することを卒業・修了の要件としては如何であろうか。今後、どのような分野が進展するか、それを進めるにはどのような知識と技術が必要となるかなど将来の方向との関連を明確にして進めることにより、若手研究者が異分野へ挑戦する際の障壁が大幅に下げられると考える。

⑪大学の目標が不明確。真に研究と教育が連携した大学の体制とはなにか。社会に「大学が貢献している内容」をより高く、正確に理解してもらうための「明確な大学の役割の決定・広報・社会認知のための方策」が必要。海外に比べて、日本の大学の社会的地位がさらに低くなっていく。若手人口の減少に伴い、大学間の競争のみ激化し、各大学が

そのエゴに埋没しては、大学の社会における地位と価値の低下にますます拍車がかかる。「社会における大学の役割と重要性とは？」を明確にしていく必要がある。

⑫、⑬、⑭-

⑮化学者への提言として、1つは「実力」をつけようとの提言。「化学」は材料から生命まで中心的な役割を担っている、などと我々はよく言うが、実際には脇役扱いしかされていない。それは、張本人の我々が脇役に甘んじているからである。我々が主役になれるだけの実力、つまり材料屋さんや生命さんが捻るだけの実力が要求されている。もう1つはスリム化への抵抗感をなくそうとの提言。合体や合同が多くの場合うまくゆかないのは、それにより数の上で弱体化する、つまり簡単にいえばポストが減る、ことへの抵抗である。これがある限り、抜本的な再編は不可能だろう。

11. その他

- ⑤この分野の研究者の養成だけでなく、ファンの獲得の工夫が必要になろう。一般の人から乖離した分野にならないように、いつも「世間よし」を考えてサポーターを増やすアイデアを出す必要があるだろう。