

生理学研究連絡委員会報告

# 生理学の動向と展望

## 「生命への統合」

平成9年6月20日

日本学術会議  
生理学研究連絡委員会

この報告は、第16期日本学術会議生理学研究連絡委員会の審議結果をとりまとめて発表するものである。

- 委員長 本郷利憲（東京都神経科学総合研究所所長）
- 幹事 岡田泰伸（岡崎国立共同研究機構生理学研究所教授）  
貴邑富久子（横浜市立大学医学部教授）  
佐藤昭夫（東京都老人総合研究所副所長）
- 委員 伊藤正男（日本学術会議第16期会長・  
理化学研究所国際フロンティアシステム長）  
入来正躬（山梨医科大学副学長）  
金子章道（慶應義塾大学医学部教授）  
玄番央恵（関西医科大学教授）  
菅 弘之（岡山大学医学部教授）  
福田康一郎（千葉大学医学部教授）  
本間生夫（昭和大学医学部教授）  
永坂鉄夫（金沢大学医学部教授）

# 生理学の動向と展望

## 要約

生理学 Physiology は生体の機能を研究する学問であり、遺伝子・分子レベルから、細胞、組織、器官、個体までの機能を統合的・有機的に研究し、そのメカニズムを明らかにする役割を担っている。更には、複数の個体が相互に関係しつつ社会生活を営む上で生じる生態学的、心理学的現象までを含めた機能の解明も生理学に与えられるべき課題である。わけても、これまで未知であった多くの生体内分子が分子生物学の発展により次々と同定されている現在、それらの分子群の生体機能における役割と意義を明らかにし、生命へと統合することは生理学の最重要課題となっている。

本報告書は、大きな飛躍と展開を見せている生命科学全研究分野の中心にあって「生命への統合」の役割を担っている生理学の位置づけを行うとともに、生理学研究と生理学教育の現状及び問題点を探究して生理学の将来の発展への指針を探ろうとするものである。

**生理学とその課題：** 生理学は生体の機能とそのメカニズムを解明する学問である。「生体」とは、人体を含めて全ての生物体を意味し、「機能」とは個体レベルにおける生体機能のみならず、その個々の構成体（分子、細胞、組織、器官）の機能や、複数の個体が社会生活を営む上での（生態学的、心理学的現象を含めた）機能をも意味する。生理学が扱う対象は生きた材料であり、生きている条件下でリアルタイムに観察することが特徴である。生体機能は、多くの分子群や細胞群の働きと、その相互作用によって、更にはそれらが作り上げる器官や個体レベルの働きによって逆に統御されながら、全体としてホメオスタシスを保つ形で実現されている。従って、これを研究する生理学は、生体機能を分子、細胞、器官、個体の各レベルでのメカニズムを解明するとともに、それらをシステムとして統合的に取り扱う「統合生物学」Integrative Biology としても位置づけられる。このような意味で、生理学は生体が働く仕組み（ハ

ードウェア)とその論理・法則(ソフトウェア)及び意義を明らかにする学問である。ノーベル賞の領域名が“医学・生理学”と呼ばれるように、生理学は本来、医学を含め全ての生命科学の基礎を与える重要な学問である。

**生理学研究の現状と展望：** 日本の生理学研究は、個々の分野において世界的な業績を上げ、国際的に認められて世界の指導的地位に立ちつつある。一方、分子生物学的手法などを用いた研究の進歩が著しく、それらは生命科学研究全般に大きな革新をもたらした。生理学研究においても、それらの方法を用いて得られる成果を統合することによって、「機能」の解析をより実体的かつダイナミックに行いうるという新しい状況が生み出されている。それゆえ今後の生理学研究は、分子生物学の発展の成果を細胞レベル、組織レベル、器官レベルのみならず個体レベルでのシステム機能として組み上げ、生命へと統合して行く必要がある。更に、臨床医学における遺伝子治療、生体分子操作、人工臓器、臓器移植、脳死判定など、科学の発展によって生じた医学、生命科学上の問題、人口増加に伴う環境上の問題、長寿化社会に伴う問題など、現在及び未来における諸問題の解決に科学的基盤を与える上でも、生理学研究が果たすべき役割は極めて大である。人類が自然と生命の摂理を深く洞察し、それらに矛盾しない生活を築くという、人間と自然の調和が求められる 21 世紀においては、「生体の仕組みと論理・法則」を明らかにし、生命の摂理に迫る学問である生理学の重要性は益々増大することになるであろう。

このような意味で、今後、生理学研究を発展させるために、重点的に取り組むべき研究を提唱し、各々の研究分野について分子生物学やシステム理論の発展の成果を積極的に取り入れた新しい研究手法を駆使して、しかも戦略性の高い「統合生物学」的研究を展開して行くことが強く求められる。

**生理学教育の現状と展望：** 生理学は、全ての生命科学の基礎を与えるばかりではなく、人類の生活への指針をも与える重要な学問である。しかしながらわが国では現在、生理学研究の重要性と生理学の社会的役割の重要性に見合う程には若い優秀な人材の参入が得られていない。この問題の解決の第一歩として、医系大学及び理系大学における生理学教育の内容を、現在めざましく展開されている分子生物学的研究の成果を基礎に、それらを「生体機能」にまでダイナミックに組み上げ、若者の知的好奇心を刺激するような統合生物学的内容に変えていくことが必要であろう。医系・理系大学のみならず、文系大学においても、初等・中等・高等学校においても、生命科学としての生理学教育と人間科学としての生理学教育が取り入れられる必要がある。教育の裾野を広げることが生理学研究に参入する人材を確保していくためにも重要と思われる。

生体の機能を研究し、生体の仕組みと論理・法則を明らかにし、それらを生命へと統合する学問である生理学は、生命科学全研究分野の基礎を与えると共に、自然と生命の摂理に沿った人類の生活の実現への指針をも与えるものである。従って、生理学の研究・教育両面からの健全な発展を促すことは、自然科学にとどまらず人類史的にも極めて重要であり、そのための努力と施策が強く求められる。

[目次]

1. はじめに.....	2
2. 生理学とその課題.....	3
3. 生理学研究の現状と展望.....	6
3.1. 生理学研究の現状.....	7
3.1.1. 研究者 — 研究者数、研究機関、学会.....	7
3.1.2. 研究業績.....	9
1) 研究発表項目と数	
2) 原著論文発表数と代表的業績	
3.1.3. 研究体制の現状と問題点.....	10
3.1.4. その他の状況.....	11
1) 研究費	
2) 研究情報の発信	
3) 国際協力	
3.2. 生理学研究の展望—生命への統合.....	13
3.2.1. 生理学研究の視点.....	13
1) 新しい手法を用いた研究の推進	
2) 統合生物学としての視点の重要性	
3) 戦略性を踏まえた研究の重要性	
3.2.2. 重点的に取り組むべき研究.....	16
1) 分子・細胞生理学	
2) 神経・脳生理学	
3) 筋生理学	
4) 血液・呼吸・循環及び体液調節の生理学	
5) 内分泌・生殖生理学	
6) 環境・適応・協同生理学	
7) 運動・体力生理学	
8) 発生・成長・老化の生理学	
9) 栄養生理学	
10) 病態生理学・臨床生理学	
11) 心理生理学	
12) 東洋医学の科学的メカニズムの解明	
3.2.3. 研究体制の改善の指針.....	21
1) 研究キャリアの複線化と人材の回転	
2) 大学以外の生理学研究セクターの新設・拡充	
3) 研究費の充実	
4) 研究情報の発信の活性化	
5) 国際協力の推進	
6) 関連分野との学会協力	
7) 女性研究者の積極的登用	
4. 生理学教育の現状と展望.....	25
4.1. 生理学教育の現状と問題点.....	25
1) 初等～高等学校	
2) 大学	
3) 大学院	
4) ホストドクター制度	
5) その他	
4.2. 生理学教育の改善の指針.....	28
1) 生理学研究に参入する人材の確保	
2) 生理学教育に参入する人材の確保	
3) 生理学教育内容の充実	
4) 生理学教育の裾野の拡大	
5. おわりに.....	30
付表.....	31

## 1. はじめに

生理学 Physiology とは、生体の機能とそのメカニズムを明らかにし、その意義を解明する学問であり、本来医学を含めて全ての生命科学（ライフサイエンス）の基礎を与える重要な学問である。生理学者である Sherrington が提唱した「シナプス」の概念も、Hodgkin や Huxley が提唱した「チャンネル」や「ポンプ」の概念も、その当時実体は不明であったが、電子顕微鏡、パッチクランプ法、遺伝子クローニング法などの技術の発展により、それが仮想の概念でなく実体を伴うものであることが明らかになった。このように、生理学は生命現象に関する「概念を形成」し、他の生命科学に指針を与える役割をもつ。一方、生命現象の根底にある分子の実体を解明する分子生物学が著しく発展した現在、多くの分子群や細胞群の働きと意義を探求し、それらを個体の生命へと統合するために生理学のあり方を改めて明確にすべき時期に来ている。人類が自然と生命の摂理を深く洞察し、それらに矛盾しない生活を築くべき 21 世紀において、生命の摂理へと迫る学問である生理学の重要性は極めて大きい。

本報告書は、生命科学における生理学の位置づけと、生理学研究と生理学教育の現状及び問題点を考究し、生理学の将来の発展への方策を探ろうとするものである。

## 2. 生理学とその課題

生理学は、生体の観察より始まり、分析によって生体機能の要素過程・分子機構を特定し、それらを統合することによって、相互に関係する多数の要素過程や分子群、細胞群がまとまった形で一つの個体としての生体機能を発現するメカニズムを明らかにし、その意義を解明する学問である。

生理学が扱う対象は生きた材料であり、生きている条件下でリアルタイムに観察することが特徴である。組織学は「固定した」材料を、生化学や分子生物学は「すりつぶして抽出した」材料を標本にするが、生理学では、チャンネル蛋白質や細胞内分子は「統合された」状態にあり、それによって機能が営まれている、その現場をみることになる。生体機能は、多くの分子群や細胞群の働きとその相互作用によって、更にはこれらが作り上げる器官や個体レベルの統御された働きによって、全体としてホメオスタシスを保つ形で実現されている(図1)。従って、これを研究する生理学は、生体機能の細胞レベル・分子レベル

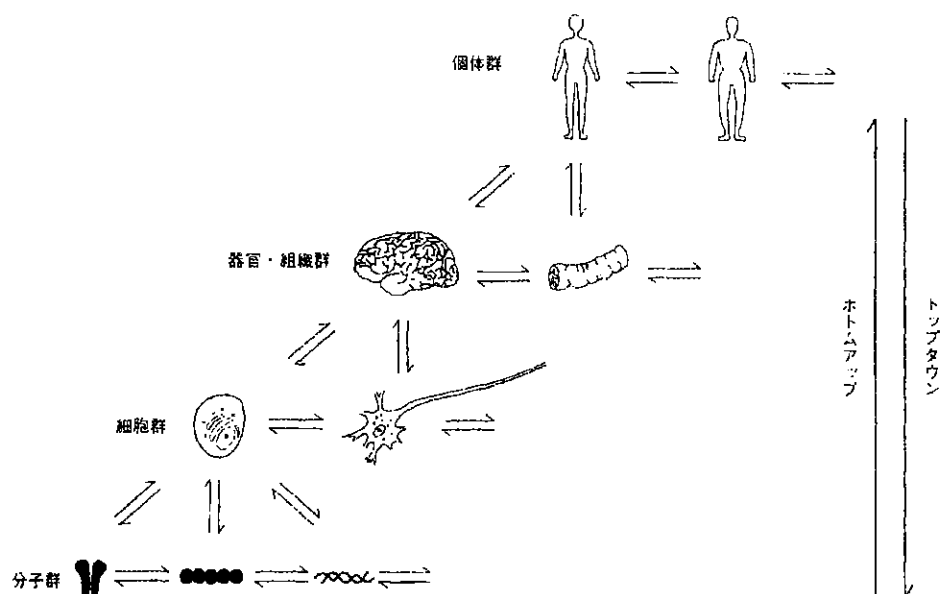


図1. 生理学研究が扱うレベルとその統合的構成

個々の分子、細胞、組織、器官、個体は、ある一定の固有法則のもとに機能すると共に、それらに間に水平的相互作用を結ぶ。更には、異なるレベル間においても垂直的相互関係を結ぶ。個々の構成因子の固有法則やそれらに間の水平的相互関係が総和として(それらからは予測を超えるような)異質の上位機能をボトムアップ的に作り出すと共に、その上位機能が逆にトップダウン的に下位構成因子の機能や振る舞いに制御をかける関係を結ぶ。統合とは、このような複雑系システムとしての生体認識のもとに、下位機能を上位機能へと組み上げていく態度を指し、生理学研究には欠かすことのできない姿勢である。



でのメカニズムを解明するとともに、それらをシステムとして統合的に取り扱う「統合生物学」Integrative Biology として位置づけられる。

生理学は、医学、生物学のなかで最も歴史の古い学問の一つとして、発展を遂げてきた。ノーベル賞の領域名が医学・生理学と呼ばれるように、生理学は本来すべての生命科学の基礎を与える学問であり（図2）、とくに生体の機能とそのメカニズム、すなわち「生体の仕組み（ハードウェア）と論理・法則（ソフトウェア）」を明らかにすることを目的とする学問である。

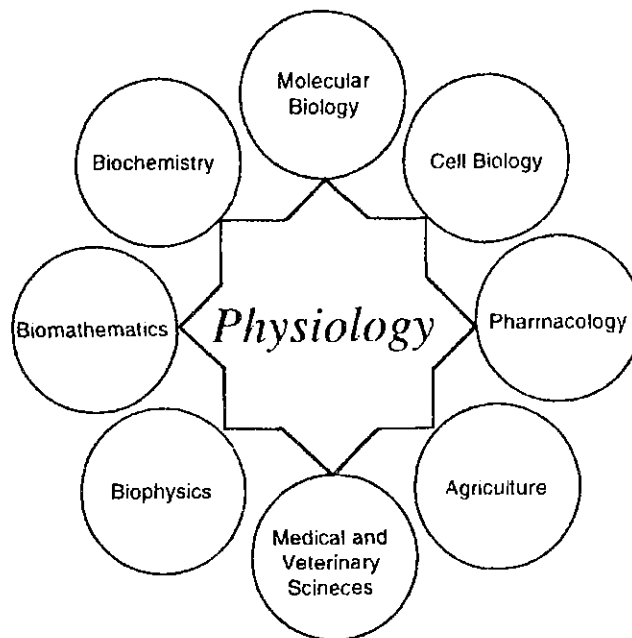


図2. 生命科学研究分野における生理学の位置づけ  
米国生理学会がロゴマークとして用いている図である。

生体機能の本質は、体内の変化にも、体外の物理的環境の変化にも、他の個体との関係においても、適切に反応して適応することにある。分子・細胞レベルの反応から記憶・学習を含む個体レベルの行動まで、統合機能としての適応のメカニズムと意味を解明することが生理学の重要な課題である。

生理学が扱う機能とは、個体レベルにおける生体機能のみならず、その個々の構成体（分子・細胞・組織・器官）の機能や、複数の個体が相互に関係しつつ社会生活を営む上での（生態学的・心理学的現象を含めた）機能を意味する。生理学が扱う分野は分子・細胞生理学から心理生理学まで多岐にわたる（表1）。

表 1. 生理学の主要な分野とその説明

---

分子・細胞生理学：生体の分子・細胞レベルでの機能とそのメカニズムの研究。
組織・器官生理学研究：生体の組織・器官レベルでの機能とそのメカニズムの研究。
システム工学的生理学：生体をシステムとしてモデル的に捉え、システム工学的手法を用いて行う研究。
神経生理学：神経系の機能とそのメカニズムの研究。感覚生理学、運動生理学、自律神経生理学、高次脳機能生理学を含む。
筋肉生理学：筋肉の機能とそのメカニズムの研究。
血液・呼吸・循環及び体液調節の生理学：血液やその他の体液の調節及びその循環のメカニズムの研究。
消化・吸収生理学：消化系の機能とメカニズムの研究。
内分泌・生殖生理学：内分泌系、生殖系の機能とメカニズムの研究。
栄養・代謝・体温生理学：栄養・代謝・体温の視点からの生体機能の研究。
運動・体力生理学：運動時の生体機能の研究。
環境・適応・協働生理学：生体と環境との関連及び適応の研究。
発生・成長・老化：生体の発生から老化までの生理機能の変化の研究。
人体生理学：ヒトの体に焦点をあてた生理学の研究。
病態生理学・臨床生理学：病態時の生体機能と疾病の発生メカニズムの研究。
心理生理学：高次神経機能と神経心理学に関する研究。

---

人体の生命現象を対象とした人体生理学は、医学や医療の基礎科学としてとくに重要な研究領域であり、臨床医学に直結している。疾病との関わりを重視する臨床生理学や病態生理学は基礎医学と臨床医学の重要な接点である。更に、生理学は、広く薬理学、薬学、獣医学、栄養学、農学、工学、心理学などの応用科学に対して、生命科学の重要な基礎を与える学問として位置づけられる。現代社会は、長寿化を達成したとはいえ、少子化問題が浮上しており、また他方では、人口問題、環境問題なども抱えている。生理学は生命科学の基礎を与える学問として、地球的・社会的諸問題の解明の基盤を与える役割を持っている。

### 3. 生理学研究の現状と展望

現在の日本の生理学研究は、第二次大戦中及びその後の一時期に生じた立ち遅れを克服し、神経生理学研究をはじめとして多くの分野において世界的な業績を上げており、世界の指導的地位に立ちつつある。

一方、最近の分子・細胞生物学研究分野の進歩は目覚ましく、それらは生命科学研究全般に大きな革新をもたらした。この結果もたらされた分子レベルの生物学的情報を統合することによって、機能とそのメカニズムの解析をより実体的かつダイナミックに行い得る可能性がでてきた。これは、生理学研究にとって新しい局面である。それゆえ今後の生理学研究は、このような発展の成果を組織レベル・器官レベルのみならず、個体レベルへと統合する学問、すなわち「統合生物学」として展開して行かねばならない。

また、臨床医学の最近の進歩によって、遺伝子治療や人工臓器の生体システムへの影響、臓器移植に伴う脳死判定や免疫拒絶などの生命科学上の基本的問題が生み出され、これらは大きな社会問題として取り上げられるようになった。これらの科学的解決には生理学的裏付けが益々必要となってきた。また、長寿化やストレス社会化に伴う疾病動態の変化や、人口問題、環境問題などの地球的諸問題の解決への基礎を与えるものとしても生理学の大きな役割が期待されている。

生理学研究では、ステレオタイプの研究方法を用いることができないため、研究者自らが実験動物の手術を行ったり、研究用の機器を工夫して手作りをしなくてはならない。それは動物によって、また研究課題によって様々であるから、試行錯誤を繰り返す必要があり、時間と労力がかかり、研究業績をまとめるのにも時間がかかるという特質を持つ。しかし、このような研究方法や研究姿勢で生み出されるがゆえに、生理学研究は、その後の全生命科学研究の基礎や方向付けを与えるような、決して派手ではないが、価値と意義の大きいものとなることが広く認識され始めている。

人類が自然と生命の摂理を深く洞察し、それらに矛盾しない生活を築くという、人間と自然の調和が求められる 21 世紀においては、「生体の仕組みと論理・法則」を明らかにし、生命の摂理に迫る学問である生理学の重要性は益々

増大することになるであろう。今後の生理学は、医学・人間科学・生物学・応用科学を含めた生命科学の重要な基礎を与える学問として、社会に貢献できるよう発展することが求められている。

### 3.1. 生理学研究の現状

我が国における生理学研究は、パッチクランプ法などの新しい生理学的実験技術や、分子生物学的手法やコンピューター解析法などを積極的に導入することにより多岐にわたる業績を上げてきた。しかし、研究者数の増加度においても研究費配分においても未だ不十分な状態にあり、このままではその将来が危ぶまれる。

#### 3.1.1. 研究者 — 研究者数、研究機関、学会

生理学研究連絡委員会に関連する学会としては、日本生理学会を含めて18学会がある。これらの学会会員数の推移を調べると（図3に調査可能であった16学会の会員数推移を示す）、大半の学会の会員数は緩やかに増加している。日本生理学会の会員数は1995年において約3,700名であり、過去20年間に約1.7倍に増加したが、過去10年間でみると約1.1倍と伸び悩んでいる。これに対し、基礎領域の日本神経科学学会、臨床領域の日本臨床生理学会では会員数が大幅に増加している。とくに脳・神経系の生理学に関連する日本神経科学学会では、過去10年で3.6倍と、急速に増加している。これは、脳・神経系を広い分野から捉える神経科学という学問領域に、近年関心が集まってきたことによる。同学会の専門会員の中で占める割合（生理学35%、解剖学17%、生化学13%、薬理学11%）は生理学者が最大である。

これらの学会の会員は、国公立大学に所属する者が最も多く、次いで私立大学、私立病院となっている（図4）。生理学研究に従事する者は大学関係者が多く、研究所に所属する者や、病院や企業に属する者は比較的少ない。

生理学研究連絡委員会所属学会以外の基礎医学系の分野についてみると、日本解剖学会は会員数約2,700名で10年間で1.2倍、日本生化学会は約13,500名

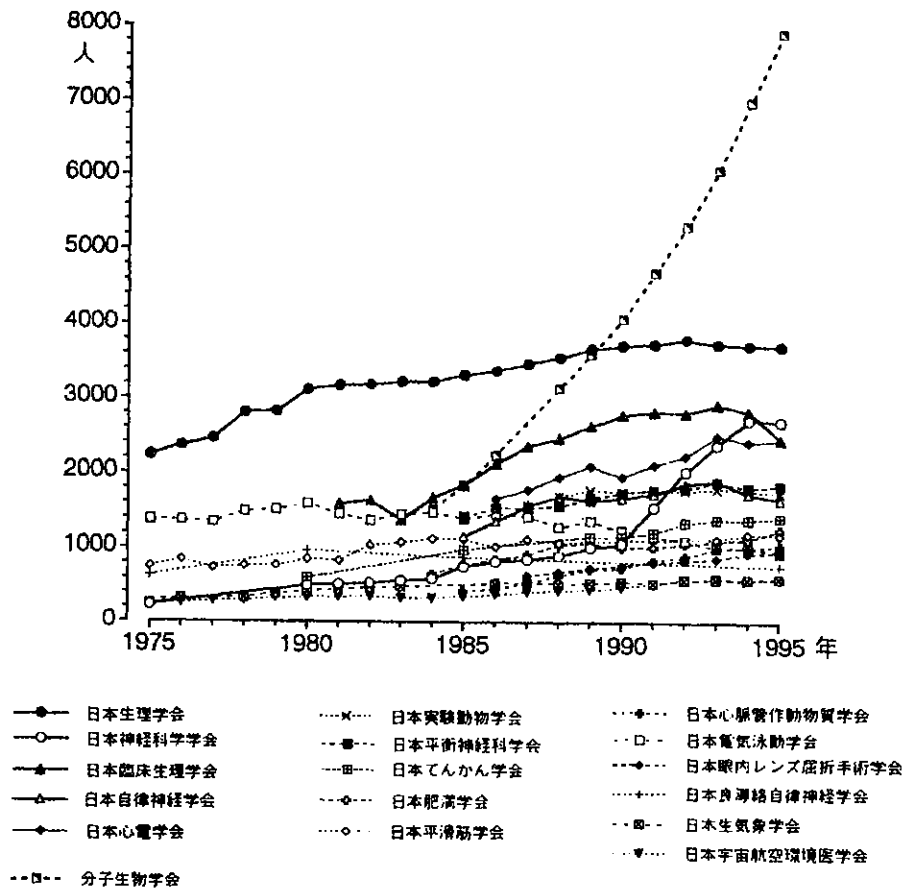


図3. 生理学研究連絡委員会関連学会及び分子生物学会の会員数の推移

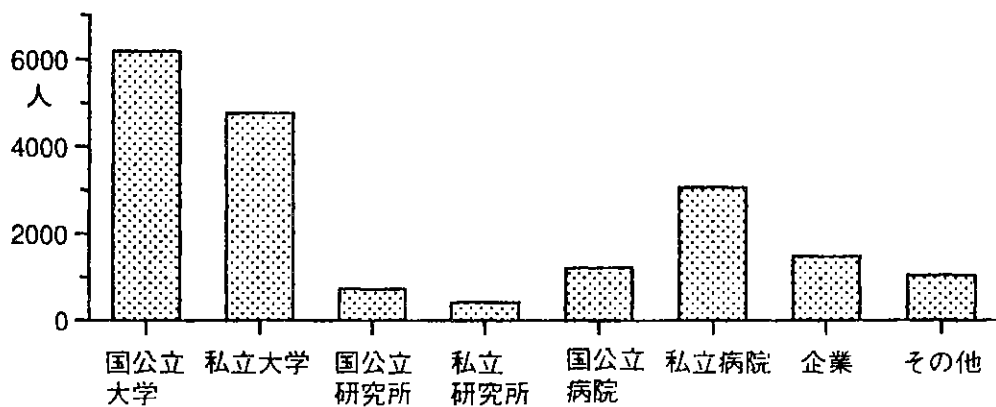


図4. 生理学研究連絡委員会関連学会会員の所属別分類

で1.3倍、日本薬理学会は約6,000名で1.5倍に増加している。日本分子生物学会は約7,900名で4.3倍に急増し、会員総数も増加の割合も生理学会に比べて

高い(図3)。これは近年、化学的な分析方法がめざましく進歩し、超微量の化学物質の検出が可能となり、更に分子生物学的研究方法が開発され、多くの基礎医学を志す研究者が分子レベルの研究に向かってきたことを反映していると考えられる。

生理学研究者の中で女性研究者の占める割合を日本生理学会の場合で見ると、女性研究者数は、1995年で約380名で、これは全会員数の約10%に相当する。これを米国生理学会の場合と比較すると、1992年の統計で全会員数約7,300名中、女性会員は約870名と全体の約12%に当たり、女性会員数の比率は日米間でほぼ同じである。しかし、自立した研究者数の目安として講師以上の職にある研究者数を比較してみると、日本生理学会の男性会員の場合は全男性会員の約40%、米国生理学会の女性会員の場合も同じく全女性会員の約40%に達しているのに対して、日本生理学会の女性研究者の場合は約23%にとどまっている。その原因にはいくつか考えられるが、まず重要なものに、日本全体が米国に比し男性優位社会にあることが上げられる。科学研究や大学などの社会でも、出産・育児に伴う職場からの離脱が女性に不利に働いている現状が伺える。

### 3.1.2. 研究業績

生理学の基礎分野の主要学会である日本生理学会を例にとって学会発表、論文数などの現状について述べる。

#### 1) 研究発表項目と数

日本生理学会の一般演題総数は、口演発表のみだった1975年度は399であったが、ポスター発表も加わった1985年度には740と急増した。しかし、その後は漸増で、1995年には781であった。項目別の演題数は、1985年度に比べ1995年度には、分子・細胞生理や心臓・循環の項目の演題数が増加し、筋や感覚の項目の演題数が減少している。また1985年度と1995年度の項目名を比較すると、神経系の場合、末梢神経・脊髄、脳幹・間脳、終脳といった部位別分類から、ニューロン・シナプス、高次中枢機能といった機能別分類に変化してきている。1995年度には、更に、発生・成長・老化、病態生理といった新

しい項目も加わっている。

最近の傾向として顕著な点は、分子生物学的手法を用いた研究が盛んに行われるようになってきたことで、生理学会におけるその数は10年間で10倍以上に増加している。

## 2) 原著論文発表数と代表的業績

日本生理学雑誌の生理学論文表題集に掲載された英文論文数の10年間の変化をみると、英文論文数は1985年に1,237であったのが、近年増加傾向にあり1994年には1,628に達しており、確実に業績が伸びてきていることが伺える。

生理学とその関連分野においてどのような研究が進んでいるかを知る手がかりとして、国際的な生理学総説誌に掲載された業績と、文化勲章、学士院賞等を受賞した業績をそれぞれ〔付表1〕と〔付表2〕に上げ、最後尾に添付する。

### 3.1.3. 研究体制の現状と問題点

生理学分野の研究部門は、生理学論文表題集（日本生理学雑誌1995年度版）に掲載されている研究室数からみると、大学に193、大学以外の国公立研究所などに17ある。大部分の大学の研究部門は、少数のパーマネントポストの研究者から構成される「講座制」をとっている。この体制は、欧米で切り拓かれた新しい研究方向に沿ってすでに確立した方法を用いつつ研究を進めるには効率の良い組織体制であったが、複数の最新の技術を用いて新しい研究方向を切り拓いていくには柔軟性が欠けているように思われる。国立研究所としては1977年に設立された岡崎国立共同研究機構・生理学研究所1つがあるのみであり、そこで、「分子、細胞から脳、そして個体へ」と生理学全般にわたる研究が行われるよう努力されているが、その専任部門はわずか10しかない。公立研究所としては、東京都及びいくつかの県に所属する医学系研究所の中に、生理学研究を行う研究部門があるが、その数は少ない。全体として生理学研究の教室は、生理学研究の必要性と重要性から考えて非常に不足した状態であり、生理学研究に携わる人材も不足している。生理学研究においては、研究者や研究補助者の育成に時間と労力がかかるので人材確保のための対応策が早急に必

要である。

### 3.1.4. その他の状況

#### 1) 研究費

1995年度文部省科学研究費補助金の総合研究A、B、一般研究A、B、C、奨励研究A、試験研究A、Bの交付総額(新規)は約350億円である。このうち生理学分野への交付総額(新規)はその約1.5%である。解剖学分野へは約0.9%、薬理学分野へも約0.9%である。これに対して、生化学分野へは約2.5%、分子生物学へは約2.1%の配分となっており、生理学、薬理学、解剖学分野への配分を大きく上回っている(図5)。

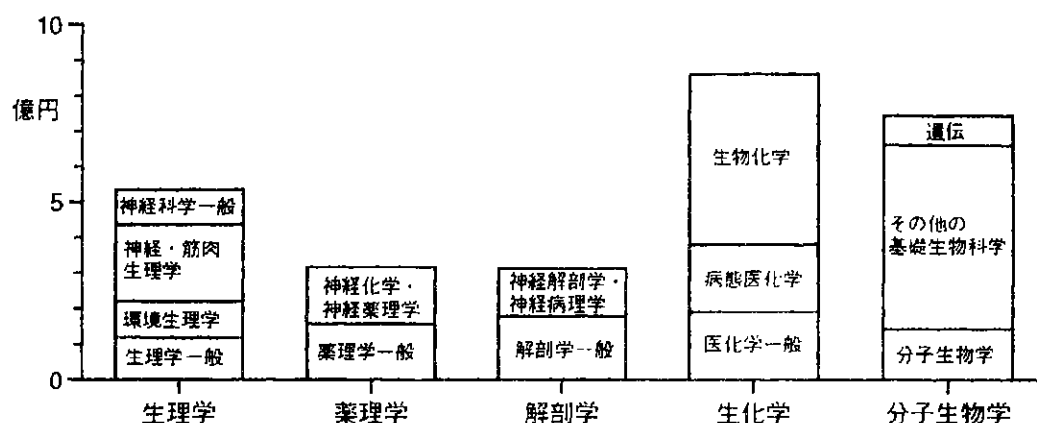


図5. 文部省科学研究費配分の比較(1995年度新規分)

#### 2) 研究情報の発信

生理学研究情報の発信としては、日本生理学会からは学術論文の発表の場として「The Japanese Journal of Physiology」(JJP、欧文誌、隔月刊)が、会員相互の情報交換の場として「日本生理学雑誌」(邦文誌、月刊)が発行されている。

1927年に創刊され47巻を数えるに至っているJJPは、開かれた国際誌として、国内外から会員・非会員の区別なく投稿がある。海外からの投稿も現在では約2割を占めている。購読者数も国内約1,100、海外約300、と生理学関係学



術誌として国内外で重要な位置を占める。通常年6冊の他に、生理学会大会の発表論文抄録集が Supplement として発刊される。毎号、目次は Current Contents に掲載され、掲載論文抄録はインターネットホームページに公開発信されている。

1936年に創刊された日本生理学雑誌は、当初は会員の和文原著論文の掲載が主な目的であったが、原著論文を欧文で発表することが一般化した現在、会員相互の情報交換の場を提供することを目的として刊行されている。その内容は、学会の開催通知、演題申込書式の提供、各種会合通知、公募案内、研究会の報告、実験法講座、総説、原著、短報などである。その他、前年の研究業績集を論文表題集として発行している。生理学研究成果は、上記の学術誌のほか各種の専門学術誌にも多数発表されている。

### 3) 国際協力

日本学術会議は国際生理科学連合 (International Union of Physiological Sciences: IUPS) に加盟し (分担金: 約 130 万円)、生理学研究連絡委員会が実際の対応を行い、国際協力を積極的に進めている。IUPS は 4 年に 1 度、国際生理科学学術大会を開催しており、この機会に世界の生理学者が一同に会し、各分野における最新の研究成果について討論や情報交換を行っている。IUPS には世界の約 50 ヶ国が加盟しており、その運営は 15 名の理事よりなる理事会によって行われている。我が国からは常に理事が選出され、会長、副会長を務めるなど、世界の生理学の発展に寄与している。1990 年にはアジア・オセアニア生理科学連合 (Federation of Asian and Oceanian Physiological Societies: FAOPS) が設立され、そこでも日本の生理学者がアジアのリーダーとしての役割を果たしている。FAOPS の主催による学会もすでに 3 回、アジア・オセアニア諸国の多くの生理学者が参加して行われ、FAOPS はこの地域の生理学の発展に貢献している。また、1998 年に第 3 回学術集会を開催する国際病態生理学会 (International Society for Pathophysiology) においても日本の生理学者が会長を務め、貢献している。この他、日本生理学会は英国生理学会との共催による日英合同生理学大会をこれまで 2 回 (1991 年英国、1995 年岡崎・名古屋) 開催し、学術交流へ成果を

上げた。

国際会議において日本が果たしている役割は大きい、若い研究者の育成という点ではまだまだ問題が多い。我が国から欧米諸国へ留学する若い研究者の数は膨大であるが、欧米から日本に研究目的で来訪して長期滞在する生理学研究者は極めて少ない。これは日本のポストドクター制度の人数枠が少ないことにも起因するが、言語的、文化的、地理的問題も大きな障害となっている。アジア諸国から我が国へ留学する学生の数は年々増えているが、まだその多くは自費留学生である。

### 3.2. 生理学研究の展望—生命への統合

分子生物学の発展により、これまで未知であった多数の機能分子が次々と同定されている現在、それらを生命へと統合する事が現代の生理学に求められている課題である。微視的・分子論的研究が進歩すればするほど、これらを統合し生体を有機的に捉える研究がますます重要となる。生理学は遺伝子・分子レベルから、細胞、組織、器官、個体までの機能をそれぞれ研究すると共に、それらを統合的・有機的に取り扱う役割を担っている。更には、複数の個体が相互に関係をもち社会生活を営む上で生じる生態学的・心理学的現象までを含めた機能の解明も生理学に与えられるべき課題と考えられる。すべての生体機能を生命へと統合することにより「生体の仕組みと論理・法則」を解明し、生命の摂理へと迫る学問として生理学の重要性は益々大きなものとなるであろう。

#### 3.2.1. 生理学研究の視点

##### 1) 新しい手法を用いた研究の推進

分子生物学は、これまで他に例のなかった新しい実験手法を提供してきた。例えばミュータント動物、トランスジェニック動物、遺伝子ノックアウト動物、切片上のジーンターゲットングなどは、遺伝子の異常と対応する細胞機能の変化や、動物行動の変化を対応させることを可能とするもので、従来、生理学の重要な研究方法の一つとされてきた「損傷法」の新しい技術として評価することが出来る。分子生物学の発展の成果を更に積極的に取り入れるなどにより、

生理学研究の新しい手法を開発することは、生理学の新たな展開につながるものと期待できる。

同時に、核磁気共鳴法（NMR）や X 線回折法などの分子的計測法の進歩によって、種々の機能蛋白の構造と機能との相関についての情報が多く得られはじめている。イオンチャネルのゲーティングが単一蛋白レベルで可視化される日も近い。とくに筋肉の研究においては、収縮蛋白の力の計測を単一蛋白レベルでリアルタイムに行うことが可能となり、収縮メカニズムの分子レベルでの解明へと迫りつつある。

近年、光学的測定法や画像解析法の進歩によって、開口放出などの生きた細胞の活動動態もリアルタイムで計測することが可能となった。Ca<sup>2+</sup>をはじめとする各種イオンやサイクリック AMP の細胞内濃度の三次元的計測が可能となり、更には各種酵素活性やその他の分子活性の計測も可能となりつつあり、細胞機能の分子論的解明は大いに進展するであろう。また、脳磁図法（MEG）や機能的磁気共鳴画像法（functional MRI）などのような、（とくにヒトの脳機能の観察に適した）非侵襲的計測法も確立されており、これらを用いての器官レベル・個体レベル機能の生理学的研究の更なる展開が期待される。それらと分子生物学的研究法を組み合わせる統合的な研究にも大きな期待が寄せられる。

## 2) 統合生物学としての視点の重要性

分子生物学的研究の進歩により、部分ないし要素の知識は著しく増大した。しかし、例えば神経系のように多数の要素を含む複雑な系において、それらの要素から如何にしてまとまった高次の機能が作り出されるのかはほとんど解明されていない。ここで、「遺伝子から個体へ」あるいは「分子からヒトへ」の視点に立って、分子生物学研究の成果をより上位の細胞レベル、器官レベル、個体レベルの生体機能へと統合することによって生体機能とメカニズムを解明する、という「統合生物学」としての生理学の流れを作っていくことが重要となる。多くの機能分子の同定を見た現在、それらの機能と法則性を明らかにすると共に、それらを細胞レベル、器官レベル、個体レベルの生体機能へと統合する観点が要求される。「統合生物学」としての生理学の発展の重要性は米国

や英国においては既に強調され、それに伴った施策が実行されはじめている。項目別演題数や代表的な業績からわかるように、日本の生理学研究も細分化された分野ごとには業績が上がっている。それらを統合し、生体の全体像の把握を目指す基盤は確立してきており、今後意識的にこれを遂行していく必要がある。個々の細胞機能や器官機能のメカニズムと動作原理を明らかにし、ホメオスタシス、機能適応、行動、脳の高次機能などを、発達・成長・加齢を含めて、統合的に解明すること、そしてそのための（理論モデルを用いたコンピュータ解析などの）新しい方法論を開発することが、生理学の重要課題と考える。

### 3) 戦略性を踏まえた研究の重要性

現代社会には、遺伝子治療、人工臓器、臓器移植、脳死判定などの諸問題や高齢者医療や介護の問題など、科学の発展や社会の変化に伴う様々な問題が生じている。これらの多くの問題を根本的に解決するためには、その問題を直接取り扱う学問領域だけでなく、もっと大きな枠組みの、医療・工業などの発展の明確な目的を持つ戦略研究として推進する必要がある。戦略研究とは、工学、農学、医歯薬学系の基礎研究として行われてきたものと、企業や臨床において目的基礎研究として行われてきたものを含み、基礎研究と応用研究の両方の要素を両立させるカテゴリーである。以下にいくつか例をあげる。

**脳の戦略研究** 脳の生理学的研究には、脳神経系の病気を根絶し、脳の老化を防ぐといった医療上の大きな戦略性、ニューロコンピュータのような新たな原理をもつ情報機械を作り出すという工学上の戦略性や、特異な心理状態への適切な対処をはかるという人文社会科学の分野での戦略性などがある。

**循環系の戦略研究** 心臓の興奮性・調律性の研究からQT延長症候群の原因遺伝子が明らかにされ、心筋 $K^+$ 、 $Na^+$ チャンネルが同定されている。不整脈やそれによる突然死のメカニズムを解明する研究には、それらの予防と治療への基本的原理を与えるという医療上の戦略性と、人工心臓やペースメーカーの改良への指針を与えるという医療工学上の戦略性がある。輸血、輸液のためのより効果的な人工血液の開発、脳梗塞、心筋梗塞などの予防・治療のための血液線維素溶解剤の開発、脳卒中の予防、心肥大、心不全の予防・治療にとってより

効果的な高血圧治療法の開発などもまた戦略研究として取り上げる必要がある。

**感覚系の戦略研究** 生体の感覚受容器は、感度の高さ、弁別機能の鋭さ、安定性など、人工的なセンサーよりはるかに優れている。この感覚受容器の機構を取り入れた機器の開発が上げられる。老化などにより低下する視力、聴力などの身体機能の補充、代償に関する研究を進め、効率の良い機能補充器具を開発することは、多くの人々に福音をもたらし、国の経済的利益増大につながる。

**細胞の戦略研究** 細胞容積調節機構は細胞死（アポトーシスやネクローシス）の機序にも深く関係しており、その機序についての生理学的研究には、虚血下における脳神経・心筋細胞死への対策への手がかりを与えるという医療上の戦略性がある。また、その研究は全ての細胞に内在する容積センサーの実体解明につながり、その原理を応用して新しい技術開発が可能になるという工学上の戦略性もある。

**環境の戦略研究** 砂漠や高所、地中、深海、宇宙などこれまでの生活環境とは大きく異なる環境で、ヒトがどのような影響を受け、どのように適応できるかといった近未来に向けての戦略研究が求められている。この研究は、人工気象室や人工農場、模擬都市などの大がかりな環境試験設備の開発や設計、付属機器の開発が必要なことから、工業界の発展に大きく貢献できる。

### 3.2.2. 重点的に取り組むべき研究

日本の生理学研究の現状と特徴を踏まえ、今後、世界的・地球的規模で重要となるであろうと推測される研究分野について、11項目に大別して解説する。

#### 1) 分子・細胞生理学

分子生物学的実験技術の進歩によって、機能蛋白質の（一次）構造に関する知見が著しく深まった。今後は、これらの機能蛋白質がいかにして機能するかのメカニズムが解明されなければならない。レセプター、チャネル、トランスポーターなどの細胞膜蛋白、細胞骨格蛋白やシグナル分子などの細胞内機能蛋白の働きを、それぞれ単一分子レベルでのみならず、他の機能分子との相互関係においても、統合的に解明していく必要がある。

細胞膜輸送、細胞内輸送、細胞容積調節、刺激応答などのすべての細胞がもっている一般的機能を、神経興奮、筋肉収縮、ホルモン分泌など各種分化細胞の特殊的機能との関連の中で捉えて研究する必要がある。また、それらの機能がいかにして実現されているかを、分子レベルや細胞間相互作用において解明して行かねばならない。とくにアポトーシス、老化、細胞分化など、時系列因子の入った研究の発展が期待される。

## 2) 神経・脳生理学

神経系は直接及び内分泌系を介して生体全体の働きを統御する司令塔の役割を担っており、統合生物学において重要な位置を占める。神経生理学の研究には、先ず神経系の構成要素である神経細胞とグリア細胞の機能の研究があり、細胞内、細胞間の信号の伝達・調節機構を分子レベルまで解明することが目標となる。この研究は、近年の分子生物学その他の研究・計測技術の進歩によって一段と進展することが期待される。細胞レベルの研究の上に、神経細胞が接続して形成する神経回路の機能の研究、神経回路の集合が生み出す感覚、運動、自律機能、記憶・学習、意識、情動、行動などの統合機能の研究、更に言語、思考、意欲などの脳の高次機能の研究がある。これらの脳機能の研究も、遺伝子解析、遺伝子ターゲティング、機能状態での神経活動解析、また機能的磁気共鳴画像法や脳磁図法などの非侵襲的脳画像技術の発達によって、一段と進展することが期待される。一方、神経系が分化発達し、成熟期を経て老化する過程や、神経系が障害を受けた後の機能代償のメカニズムの解明も、神経生理学の重要な課題である。これらの研究による神経系の各要素過程についての分子的理解と各種脳機能の解明は、神経難病を始めとする神経疾患、精神疾患、脳老化などの医学的問題の解決に大きく貢献することが期待される。また最近、臨床の場で問題にされている持続的疼痛も、痛覚機序の一層の解明によって制御可能になると思われる。

## 3) 筋生理学

筋肉はその収縮蛋白の働きによって、体肢（骨格筋）や、心臓（心筋）、消

化管・血管・膀胱など内臓（平滑筋）の運動を起こさせる。筋生理学における重要な未解決の問題は、収縮を調節している  $\text{Ca}^{2+}$  の放出と収縮の分子機構である。種々の筋ではそれぞれ特有の  $\text{Ca}^{2+}$  放出機構を備えているが、 $\text{Ca}^{2+}$  放出チャネル開口の分子機構の詳細は明らかでない。このチャネルの遺伝子欠損動物や、遺伝子欠損動物にチャネルを発現させるなどの分子生物学的手法を応用することにより、開口の分子機構の解明が可能となる。この成果により  $\text{Ca}^{2+}$  放出チャネル異常による病態の解明が期待される。また、点変異をおこした収縮蛋白を蛍光色素でラベルし、蛋白分子の挙動を可視化することにより、収縮の分子機構が明らかになると共に、収縮異常によりおこる病態が分子レベルで理解される。これらの成果は、細胞運動の統一的理解と非筋細胞における情報伝達機序の解明に寄与することが期待される。

#### 4) 血液・呼吸・循環及び体液調節の生理学

心臓、血管、血液・体液生理学は、近年、臓器、組織、細胞、細胞内構造（イオンチャネル、収縮蛋白等）、遺伝子レベルでの分析的研究を強力に押し進め、多くの成果を上げてきた。しかし、血液、呼吸、循環及び体液は機能的に相互の関連が強く、また自律神経や内分泌によって、神経性・液性に強力な調節を受けている。そのため、分析的研究を単に総合するこれまでの方法の限界が明白であり、それらを統合するシステム生理学の発展による戦略的アプローチが今後の緊急の課題となっている。その成果は、人に心臓を始めとする人工臓器の開発を支援するためにも、高齢者の痴呆の原因ともなる脳循環調節機能不全などの機序の解明にとっても必要である。

呼吸に関しては睡眠時の呼吸機能不全の本態の解明が求められており、そのためには呼吸リズムの発生機構を明らかにする研究が必要である。他方、近年、中枢神経系とくに脳機能・脳細胞の機能障害及び脳細胞死とその回復についての研究が飛躍的に進歩しており、これらの新しい成果をもとに、生理学的に脳死をどのように捉えるかを検討する必要がある。

## 5) 内分泌・生殖生理学

末梢内分泌腺は脳よりの液性・神経性調節を受け、また内分泌腺より分泌されるホルモンは脳に影響を与えている。いずれの場合も末梢内分泌腺の機能はかなり明らかにされてきており、また臨床への応用も緒についてきているが、脳の調節機構とホルモンの脳への影響についての詳細はまだこれからの課題である。例えば、ストレスにより分泌される副腎皮質ホルモンによる海馬の障害、老化ホルモンともされるエストロジェンの視床下部・海馬への作用などは高齢化が促進する今後、重要な課題となろう。また脳の性分化と性差の研究、食料問題に対処するための畜産用動物の研究、実験用動物の繁殖の研究なども、内分泌・生殖生理学の重要な課題であると同時に戦略性が大きい。更に、地球環境の劣化に伴う精子・卵子の異常、クローン動物の問題など、生命の誕生にかかわる様々な問題にも（倫理的配慮を踏まえつつ）生殖生理学は目を向けていかなければならない。生殖生理学は地球的な人口問題との関連においても重要である。

## 6) 環境・適応・協同生理学

人類の身体的・精神的健康は外的環境にうまく適応することによって維持される。例えば地球の公転に伴う温度変化に対しては体温調節機構によって、自転による明暗サイクルに対しては体内時計機構によって適応を行っている。このような生体メカニズムが解明されつつあり、今後の臨床応用が期待される。

また、地球の温暖化、オゾン層の破壊と紫外線の増加、ダイオキシン発生、酸性雨や水質汚染など、人間の営みのために地球環境が近年急速に劣悪化しており、地球上のすべての生体に与えている影響が大きく変化している。地球環境の様々な変化がヒトの生理機能にどのような影響を及ぼすか、長期的に観察しその仕組みを明らかにすることは、現在すでに起こっている環境ストレスの問題解決のためだけでなく、未来の人類存亡に関わる非常に重要な生理学のテーマである。更に、環境生理学は、地球環境のみに止まらず、宇宙空間における生体の生存に関する問題をも対象とし、生命の起源にまでその研究領域を広げている。



## 7) 運動・体力生理学

生活環境の改善、医学の進歩などの結果、長寿社会化が進んでいるが、一方で、科学技術の進歩、生活習慣の変化、職種の変化などにより、人々は運動不足傾向にある。その結果、健康上新たな問題が生じている。老若問わず健康を維持する上で、適度な運動をし、体力を保持することは必須である。健康上の問題の他にも、運動する目的、年齢は多種多様である。それによって、運動の種類や程度も異なり、激しいトレーニングからゆるやかな散歩までである。目的、年齢にあった運動を適切に効率よく行うために運動時の生体機能を解明することは生理学の課題である。

## 8) 発生・成長・老化の生理学

近年、発生・成長・分化の過程の生理的仕組みについての分子生物学的研究が発展しつつある。長寿社会の実現した今日、発生に加えて「正常な老化」とは何かを示すことが緊急の課題となっている。老化は、正常な老化と病的な老化に分けて考えられるが、生理学では正常な老化の本質を遺伝子、分子、細胞、組織、器官、個体のレベルから総合的に解明する必要がある。そして、高齢者の労働能力や精神能力を正しく捉え、高齢になると個体差が著しく大きくなる事実を踏まえて、高齢者の社会的役割を提言する役割を担っている。更に、加齢による生理機能低下を予防するために生体に必要な因子は何か（例えば、適度な頭脳的・身体的運動あるいは刺激）を調べ、その機序を解明することも重要である。

## 9) 栄養生理学

生体は様々な機能を営むために不可欠なエネルギーを栄養から摂取している。栄養は生体の機能を左右する重要な因子であり、とくに食生活が豊かな現代においては、妊娠中や成長期だけでなく成人や老年者も、健康な生活を送るためには代謝機能を把握した上で栄養バランスを考える必要がある。また、小児の頃からの長期的な栄養バランスが成長過程だけでなく、老化過程にも影響を与えることがわかってきており、今後更に栄養生理学的研究の発展が望まれる。

## 10) 病態生理学・臨床生理学

これまでの病態生理学、臨床生理学分野の研究の多くは、臨床医学研究者が主体となって行われてきた。しかし、病態の解明には、先端技術を駆使して行う細胞、分子、遺伝子レベルの研究と、生体の統合的視点に立つ研究の両者が必要であり、患者の診断と治療に相当の時間が必要な臨床医にすべてを委ねるのは至当ではなく、生理学研究者が積極的に参加し、共同研究を推進することが極めて重要である。このためには、生理学研究者が病態解明への明確な目的意識を持つことが必要である。興味ある研究領域としては、脳神経細胞死の機序、動脈硬化病変と血管の機能、活性酸素の問題などがある。また種々の病態のモデル動物の開発なども重要な課題と考えられる。

## 11) 心理生理学

進歩、発展を伴って急激に変わっていく現代社会の中で、不安、恐怖、自信喪失などの情動障害が増加している。情動障害は身体機能を低下させたり、知的障害を悪化させたりすることが臨床的に知られており、各種情動状態の高次知的機能及び身体機能に対する影響のメカニズムを研究することは、生理学の重要な課題である。

## 12) 東洋医学の科学的メカニズムの解明

東洋医学は、中国と日本を中心に進められてきた医学であり、多くの疾患に治療効果をもつことが臨床的に知られている。しかしその科学的機序の解明は遅れている。東洋医学の中でもとくに鍼灸の治療効果の機序は、神経系を介することが少しずつ明らかになってきている。我が国の文化的財産ともいえる東洋医学について、日本が中心となって今後更にそのメカニズムを詳細に検討することは日本の生理学の重要な課題である。

### 3.2.3. 研究体制の改善の指針

生体を生きた状態で研究する生理学研究の特徴は、それぞれの研究目的に即して、研究者自身が最適の標本を作成・維持し、実験の実時間の判断により最

善の観測をしなければならないことである。また、試行錯誤を繰り返して独自の実験技術や機器の開発を必要とする。ステレオタイプの研究方法を用いることは出来ない。このことは研究者の養成にも関係し、若手の育成に当たっては熟練者が実験の現場で1対1で教育することが肝要であり、養成に極めて多くの時間を必要とする。

生理学研究を発展させていくためには、上記の生理学研究の特徴を踏まえて、研究者の育成、増員を計ると共に、研究費を充実させ、外国人を含めた優秀な人材を受け入れ易くする、などの体制を作ることが重要である。また、生理学分野の研究人口は大学に偏っており、国公立研究所などの大学以外の研究セクターを創設、拡充していく必要もある。以下にそのための具体案を列記する。

### 1) 研究キャリアの複線化と人材の回転

少数のパーマネントポストの研究者から構成される「講座制」は、欧米で切り拓かれた研究方向に沿ってすでに確立した方法を用いつつ研究を進め、先進国に追いつこうとしていくには効率の良い組織体制であった。しかし、複数の、最新の技術を用いて新しい研究方向を切り拓いていかなければならない現在、この研究組織にはあまりにも柔軟性が欠けている。必要なときに一定期間、異なった研究技術と研究背景をもった人材を、リクルートしながら組織化する新しい体制が必要である。ポストドクター制度を大幅に導入し、外国人研究者受入をもっと容易に行えるよう改善すべき時期にある。しかし、人材のよどみない回転を保障するには、空間的流動性のみならず、時間的流動性もまた確保される必要がある。そのためには、パーマネントポストを含めて正式研究ポストの数を拡充することもまた不可欠である。ポストドクター制度の飛躍的拡充のみでは、その効果は一時的にしか望めず、将来的には多くの人材を切り捨てることになり、ポストドクターへの希望者も先細りとなる危惧がある。

### 2) 大学以外の生理学研究セクターの新設・拡充

1977年に設立された岡崎国立共同研究機構・生理学研究所は、総合研究大学院大学に属する教育機関であるとともに、「分子、細胞から脳、そして個体へ」

と生理学全般にわたる研究を行う研究機関である。生理学が扱う分野が多岐にわたる現在でも、専任部門がわずか 10 に過ぎない実状はあまりにも貧弱である。生理学研究所の拡充が早急に行われるよう強く望まれる。更には、21 世紀の生理学を「統合生物学」として発展させるために、新たに「統合生物学研究所」の設立が望ましい。

### 3) 研究費の充実

生理学分野の卓抜した統合生物学的研究や戦略研究課題に、重点的、長期的な研究費の配分が望まれる。脳研究分野を中心にして、大型の研究費配分が行われ始めるなど、我が国の生命科学（ライフサイエンス）の支援に一定の前進が認められるが、まだまだ不十分であり、戦略性の高い生理学研究や統合生物学的研究にも十分な研究費配分が求められる。一方、生体の仕組みと論理・法則を統合的に明らかにし、新しい概念を創出していくような生理学研究は、短期的視野の研究スタイルでは成し遂げられないものであり、このように息の長い研究に基盤研究的研究費の安定的配分を続け続けることも大変重要である。また、生命科学全分野のバランスのとれた成長も望まれるところである。

### 4) 研究情報の発信の活性化

日本生理学会は、The Japanese Journal of Physiology (JJP) の専門分野への生物物理学の追加、入澤記念 JJP 優秀論文賞の新設、インターネットホームページでの JJP 論文抄録の公開発信、優れた依頼総説論文の掲載など、JJP の充実化の努力を続けている。「生体の仕組みと論理・法則」を明らかにし、「生命への統合」を目指す生理学研究の雑誌として、より一層の努力が必要である。また、今後更に JJP の購読者数を増やすべく、世界へ向けて存在をアピールする必要がある。何よりも我が国から、そしてアジアや世界の国々から、世界的水準にある生理学研究の論文が多く投稿されるような、魅力ある雑誌にしていくことが必要であり、そのための経済的支援の拡充が望まれる。

## 5) 国際協力の推進

国際的共同研究の推進の他に、生理学研究連絡委員会及び生理学関連学会として対処すべき国際協力はおよそ次の3点であろう。

- ・外国人研究者の受入（とくに欧米諸国から）
- ・国際会議・シンポジウムの開催
- ・発展途上国の生理学教育・研究の援助

生理学関連学会に十分な活力、経済力が不足しているため、これらを積極的に推し進める余裕のないのが現状である。奨学金制度などの日本の受け入れ体制の一層の改善が望まれる。また、日本生理学会内に最近設置された「国際交流委員会」において、現在可能で、かつ最も必要とされる国際協力は何かをまず明らかにし、実行に移して行く必要がある。このためにも、十分な資金確保が必要である。

## 6) 関連分野との学会協力

生理学研究連絡委員会に参加している学会同上的みならず、動物学会、獣医学会、歯学会、薬理学会、薬学会、分子生物学会、生物物理学会、農学会、心理学会など広く関連学会との協力を推し進める必要がある。

## 7) 女性研究者の積極的登用

日本の女性研究者は、米国の女性研究者に比べ、研究職を得にくい状態にある。優秀な資質を有し、高い教育水準にある女性研究者が、能力を十分に発揮する場を与えられずに、研究から離脱することは大きな社会的損失である。米国では20年以上も前から女性を積極的に採用しようという政策がとられてきており、日本でもその必要がある。同時に、出産・育児に伴う職場からの離脱が不利にならないような社会制度の改善、周囲の理解が強く求められる。これは、人材難に陥りつつある生理学関連学界が優秀な人材を確保するうえでも必要なことと考えられる。数年前に日本生理学会内に「生理学女性研究者の会」が発足して活動を続けているが、このような女性研究者自身による活動も支援して行く必要がある。

#### 4. 生理学教育の現状と展望

生体の仕組みと論理・法則を明らかにする生理学は、全ての生命科学の基礎を与えるばかりではなく、人類の生活への指針を与えるものでもあり、医系・理系大学のみならず、文系大学、高等・中等・初等学校においても生理学の成果を更に取り入れた教育が行われるべきである。また、全医療行為は人体の仕組みと論理・法則の深い理解に裏打ちされていなければならない以上、医系大学における生理学教育の重要性は言うまでもないが、医系以外の理系大学においても「分子からヒト」への統合的視点による生理学教育の行われることが望ましい。しかし、このような初等学校から医系大学までの多層な生理学教育は、人材不足のため、実現にはほど遠い状態にある。

##### 4.1. 生理学教育の現状と問題点

###### 1) 初等～高等学校

生物学教育が「生体の仕組みと論理・法則」を解明するという生理学の基本姿勢に基づいて行われることは、21世紀を担う人間を育成する初等・中等・高等教育において極めて重要である。神経性食欲不振症の例を上げるまでもなく、社会的矛盾が人体をも蝕む現代社会においては、社会的要因によって人体生理機能がどの様に影響されるかを理解することが極めて重要である。

しかし現在、それを可能とする人材を含めての条件は充分と言えない。人体機能に関する教育は、小学校では5、6年生で、呼吸、心臓、消化、骨と筋肉、生殖などの大まかな仕組みについての学習がある。中学校では、理科の第2分野上で取り上げられ、小学校よりも数段詳しく学習する。例えば、呼吸に関しては肺胞でのガス交換や横隔膜の働き、循環では全身の血液循環の道筋や血液と細胞との物質交換など、生理学的見地から教科内容が用意されている。しかし、中学校理科での人体機能に関する教育は、教科書のページ数から判断すると理科全体の10%以下で、内容をこなすには十分とはいえない。高校では、神経系や内分泌系の仕組み、遺伝子の働きなどかなり高度な内容が取り入れられているが、内容のわりに教科書の記述が簡潔に過ぎ、優れた教師の説明なしには理解が困難となっている。また、「生物」は選択科目の場合が多く、しかも

大学受験でも選択の場合が多いため、生理学教育にまではあまり真剣に取り組まれていないことが多い。したがって、一般の人々が健康や人体機能に関して必ずしも正しい知識を備えているとはいいがたい。

## 2) 大学

大学における生理学の教育は、主に医学部・歯学部・獣医学部・看護学部で行われており、その他、理学部・薬学部・工学部などでも多少行われている。医学部・歯学部においては、60～80時間の講義、40～50時間の実習時間をあてている大学が多く、臨床医学の基礎となる人体生理学全般について詳しい教育がなされている。しかし、学問領域の拡大に伴い、現在の定員では対応しきれない状況が生まれている。その他の学部でも、細胞生理学、生物学、動物生理学、植物生理学など生命科学の一分野としての教育が一部行われている。しかし、その内容は各大学で相当なばらつきがあり、必ずしも十分なものでない場合が多い。

生体の機能とメカニズムを教える生理学教育は、臨床医学を含めて全ての生命科学（ライフサイエンス）の基礎を与えるものである。従って、医系大学のみならず全ての理系大学において生理学教育を取り入れ、とくに「分子から個体へ」という統合的姿勢で、生理学教育を行う必要がある。医系大学では更に、臨床により直結した病態生理学教育を、他の理系大学においては、人体生理学教育を加える必要がある。また文系大学においても、人間科学としての生理学教育を加えることが望ましい。

## 3) 大学院

医学部・歯学部・獣医学部の博士課程、理学部、工学部などの修士・博士課程では、選択科目として学部より更に専門的な生理学講義が20～40時間行われている。生理学を専攻した学生に対しては、研究室において教官が研究指導しており、生理学研究者を育てるために必要な専門教育が行われている。しかし近年、生理学を専攻する学生は年々減少し、憂慮されている。大学院において生理学に参入する人材を確保することは、生理学研究そのものの推進のみなら

ず、初等・中等・高等学校教育及び文系・理系大学の生理学教育者を育成・供給する上でも重要な課題である。

#### 4) ポストドクター制度

我が国の国内研究者に対するポストドクター制度としては、日本学術振興会（The Japan Society of the Promotion of Science: JSPS）の「特別研究員」制度が中心をなす。この制度でのポストドクターは、研究奨励金が比較的高額な点でも、科学研究費補助金が得られる点でも、その条件は比較的恵まれている。しかしその枠は、人文、社会、自然科学全分野に対して年間約 1,070 名にすぎない。これに、最近、JSPS「未来開拓学術研究推進事業」や科学技術振興事業団「戦略的基礎研究推進予算」のポストドクターが加えられた。その他に、文部省「中核的研究拠点形成プログラム（COE）」によるポストドクターも最近加わったが、まだまだ少数である。

外国人研究者に対するポストドクター制度としては、文部省管轄の大学・研究所への 1 年間のみの受け入れを行う JSPS の「外国人特別研究員」制度と、科学技術庁（STA）管轄の研究機関への 6 ヶ月から 2 年間の「STA フェロシップ」制度の 2 つが政府資金によるものである。これらの経済的支援条件は、JSPS の「特別研究員」にほぼ準ずるが、いずれも定員は 400～700 名と極めて少ない。しかも、JSPS の「外国人特別研究員」の 1991～1993 年の 3 年間の受け入れは欧米中心であり、最近中国や韓国からは増えつつあるものの、東南アジアからは皆無に近い状態であった。外国人研究者の日本での研究生活を 3 ヶ月から 1 年間支援する民間の財団は約 10 ある。いずれも定員数も支援額も多くはないが、貴重な役割を果たしてくれている。

#### 5) その他

近年増加している医療技術や看護教育のための短期大学や専門学校では、必修科目としての生理学教育が、講義、実習あわせて約 70～150 時間行われている。更に理学療法士など医療技術者の資格修得のための講習会が毎年開催され、生理学の講義が行われている。医療技術の多様化に伴い、医療は医師中心の時



代からコメディカルの出身者を交えた専門家集団による時代へとようになってきており、今後ますますコメディカルの専門家に対する人体生理学の教育が必要となるが、現在のところ人体生理学を教える生理学教育者が不足している。

#### 4.2. 生理学教育の改善の指針

現在の生理学者は、10年、20年後に活躍する真の意味の生理学者を育成するとともに、初等・中等・高等学校及び文系・理系大学教育における生理学教育者を育成する義務がある。生理学教育をとおして、受動的な教育から能動的な教育に変換し、人間が本来有する未知への探求心と創造性を刺激し、学生が自ら学び、自ら追求するような教育制度の実現に寄与することが期待される。

しかし、すでに述べたごとく、生理学研究の重要性と生理学が求められている社会的役割の重要性に見合う程には、若い優秀な人材の参入が得られていないのが実状である。この現状は憂慮されるべき事態である。その傾向の長期化は、生理学研究ひいては臨床医学・生命科学研究一般の将来に深刻な問題を投げかけるだろう。医系及び理系大学における生理学教育において、古典的研究成果や概念を教えるのみでは若者の知的好奇心を刺激するには不十分であり、現在急速に進展している分子・細胞生物学的研究の成果を基礎に、それらを「生体機能」にまでダイナミックに組み上げるような教育内容に変えていくことが必要であろう。

更に、長期的に生理学研究に参入する人材を確保していくためには、生理学の本来の性格に立ち返って、教育の裾野を広げることも必要である。生理学は、生命科学としての性格のみならず、医学としての性格、人間科学としての性格もあわせ持ち、これらは互いに切り離すことができない。したがって、このような生理学の性格を踏まえて、広く生理学教育が行われることが望ましい。これによって生理学のあるべき姿に長期的展望を与え、21世紀における生理学の役割の遂行を可能とすることが重要であり、そのための方策を早急に打ち出す必要がある。

生理学教育を改善する方策として考えられる具体案を列記する。

### 1) 生理学研究に参入する人材の確保

医系学部における基礎医学研究者養成コース（MD-PhD コース）の導入を図る。この制度により、生理学研究を志望する優秀な学生の、医学部在学中の博士号の取得を可能にする。また、学費の援助を行う。コメディカル教育者養成や生理学研究者、教育者養成のために新しい医学修士コースを導入する必要がある。生理学博士コースを充実することも必要である。

### 2) 生理学教育に参入する人材の確保

生理学の重要性及びそのカバーする領域の拡大に対応するためには、生理学研究者及び教育者の数を増やし、教育者層を厚くする必要がある。定年退職した生理学者の再雇用、女性生理学者の登用、外国人生理学者の雇用を促進する必要がある。

### 3) 生理学教育内容の充実

医学部教育においては生命科学としての生理学教育に加えて、臨床の場で役立つ生理学教育を、理系大学教育においては人体生理学的教育を行う必要がある。学生自身の自主性を生かしたセミナー方式や、マルチメディアを活用した視聴覚教育方式の大幅な導入も必要である。いずれの場合にも、分子生物学の成果を踏まえ、しかも統合機能の重要性を理解させるような魅力ある生理学教育への改革が必要である。

### 4) 生理学教育の裾野の拡大

人間の身体の働きに対する興味を早くから育むことが重要である。初等、中等及び高等教育における生物学や保健体育の教科書の編纂に生理学者が関与することにより、生理学的視点の重要性をより深く理解させうる内容を盛り込むことが肝要である。高齢化社会を迎え、一人一人の健康管理が重要になっている現在、人体機能に関する教育を初等中等教育の中で充実し、一般の人々の人体機能に対する関心と理解を高めることも「生理学」の役割として重要である。

人々が若年期から健康管理に留意するようになれば、高齢期に憂慮される身体機能の低下の減少が期待される。このように生理学は、他の生命科学に比べてより直接に、多くの人々に学問の成果を伝えることのできる重要な学問である。

## 5. おわりに

生理学は、生体の多くの分子群、細胞群及び組織・器官群、更には個体の働きとそのメカニズムを解明し、それらを生命へと統合する学問であり、医学・生命科学の重要な基礎分野を構成する。その飛躍的展開によって、生体の仕組みと論理・法則及び意義が明らかにされ、生命の摂理に関する知識体系が豊富化され、自然と生命の摂理に沿う未来の人類生活の実現に対する重要な指針が与えられる。生理学が、そのような役割を果たして行くためには、生理学研究と教育の現状及び問題点を把握して、将来の発展への方策を探ることが不可欠と考えて本報告書を作成した。本報告書を指標として、日本の生理学のみならず生命科学全体の発展が強力に促され、その恩恵が国や社会に還元されることを期待する。

[付表 1] 国際的な生理学総説誌に掲載された日本人研究者の業績

I. Physiological Reviews (1945~1996)

年	著者	題名
1965	Katsuki Y Kuru M	Comparative neurophysiology of hearing Nervous control of micturition
1967	Kinosita H, Murakami A	Control of ciliary motion
1971	Kuno M Ono S Wright A, Kanegasaki S	Quantum aspects of central and ganglionic synaptic transmission in vertebrates Genetic implication of karyological instability of malignant somatic cells Molecular aspects of lipopolysaccharides
1973	Sato A, Schmidt RF	Somatosympathetic reflexes: afferent fibers, central pathways, discharge characteristics
1974	Allen GI, Tsukahara N Narahashi T	Cerebrocerebellar communication systems Chemicals as tools in the study of excitable membranes
1975	Asanuma H  Toida N, Kuriyama H, Tashira N, Ito Y	Recent developments in the study of the columnar arrangement of neurons within the motor cortex Obliquely striated muscle
1977	Endo M	Calcium release from the sarcoplasmic reticulum
1978	Tada M, Yamamoto T, Tonomura Y Irisawa H	Molecular mechanism of active calcium transport by sarcoplasmic reticulum Comparative physiology of the cardiac pace maker mechanism
1985	Kodama T	Thermodynamic analysis of muscle ATPase mechanisms
1986	Ozawa S, Sand O	Electrophysiology of excitable endocrine cells
1987	Nakanishi S	Substance P precursor and kinnogen: their structures, gene organizations and regulation
1989	Daugherty D, Yamada T	Posttranslational processing of gastrin
1990	Suga H	Ventricular energetics
1991	Kamino K	Optical approaches to ontogeny of electrical activity and related functional organization during early heart development
1992	Sakai HM	White-noise analysis in neurobiology
1993	Irisawa H, Brown HF, et al. Otsuka M, Yoshioka K	Cardiac pacemaking in the sinoatrial node Neurotransmitter functions of mammalian tachykinins

II. Annual Review of Physiology (1945~1996)

年	著者	題名
1957	Tasaki I	Hearing
1960	Spyropoulos CS, Tasaki I	Nerve excitation and synaptic transmission
1969	Sagawa K	Overall circulatory regulation
1976	Ebashi S	Excitation-contraction coupling
1981	Imura H, Nakai Y Page E, Shibata Y	"Endorphins" in pituitary and other tissues Permeable junctions between cardiac cells
1982	Tada M, Katz AM Ikemoto N Kung C, Saimi Y	Phosphorylation of the sarcoplasmic reticulum and sarcolemma Structure and function of the calcium pump protein of sarcoplasmic reticulum The physiological basis of taxis in Paramecium
1984	Donahoe PK, Kamagata S, et al.	Mechanism of action of Mullerian inhibiting substance
1987	Jacobson K, Ishihara A, Inman R	Lateral diffusion of proteins in membranes
1988	Polosa C, Yoshimura M, Nishi S	Electrophysiological properties of sympathetic preganglionic neurons
1989	Stolz A, Takikawa H, et al. van Breemen C, Saida K Tamura M, Hazeki O, Nioka S, et al.	The role of cytoplasmic proteins in hepatic bile acid transport Cellular mechanisms regulating $[Ca^{2+}]_i$ smooth muscles In vivo study of tissue oxygen metabolism using optical and nuclear magnetic resonance spectroscopies
1990	Tani M	Mechanisms of $Ca^{2+}$ overload in reperfused ischemic myocardium

1991	Ebashi S Matsuda H Preston RR, Saimi Y, et al.	Excitation-contraction coupling and the mechanism of muscle contraction Magnesium gating of the inwardly rectifying K <sup>+</sup> channel Calmodulin mutants and Ca <sup>2+</sup> -dependent channels in Paramecium
1992	Kusuoka H, Marban E	Cellular mechanisms of myocardial stunning
1993	Komuro I, Yazaki Y	Control of cardiac gene expression by mechanical stress
1994	Petersen OH, Petersen CC, Kasai H Breyer MD, Ando Y Paul M, Urata H, et al. Makino H, Manganiello VC, Kono T	Calcium and hormone action Hormonal signaling of salt and water transport in the collecting duct Transgenic rats: new experimental models for the study of candidate genes in hypertension research Roles of ATP in insulin actions
1995	Inagami T, Naruse M, Hoover R	Endothelium as an endocrine organ
1996	Gluck SL, Iyori M, et al. Mikawa T, Fischman DA	Physiology and biochemistry of the kidney vacuolar H <sup>+</sup> -ATPase The polyclonal origin of myocyte lineages

### III. Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology (1966~1997)

年	著者	題名
1972	Koizumi K, Brooks CM	The integration of autonomic system reactions. a discussion of autonomic reflexes, their control and their association with somatic reactions
1974	Numa S	Regulation of fatty-acid synthesis in higher animals
1975	Katunuma N	Regulation of intracellular enzyme levels by limited proteolysis
1977	Sato K	The physiology, pharmacology, and biochemistry of the eccrine sweat gland
1984	Yamamoto N	Interaction of viruses with tumor promoters
1985	Cash DJ, Aoshima II, et al.	Acetylcholine-receptor-mediated ion fluxes in Electrophorus electricus and Torpedo californica membrane vesicles
1987	Saheki T, Kobayashi K, Inoue I Katunuma N, Kominami E	Hereditary disorders of the urea cycle in man. biochemical and molecular approaches Abnormal expression of lysosomal cytosolic proteinases in muscle wasting diseases
1989	Ozawa E	Transferrin as a muscle trophic factor
1992	Wakabayashi S, Sardet C, et al.	Structure function of the growth factor-activatable Na <sup>+</sup> /H <sup>+</sup> exchanger
1997	Sato A, Sato Y, Schmidt RF	The impact of somatosensory input on autonomic functions

### IV. Annual Review of Neuroscience (1978~1996)

年	著者	題名
1978	Bentley D, Konishi M	Neural control of behavior
1979	Kaneko A	Physiology of the retina
1981	Tsukahara N	Synaptic plasticity in the mammalian central nervous system
1982	Ito M	Cerebellar control of the vestibulo-ocular reflex--around the flocculus hypothesis
1985	Konishi M	Birdsong: from behavior to neuron
1989	Ito M	Long-term depression
1991	Nakanishi S Mikoshihara K, Okano H, Tamura T, Ikenaka K	Mammalian tachykinin receptors Structure and function of myelin protein genes
1993	Miyashita Y	Inferior temporal cortex: where visual perception meets memory
1994	Tanaka C, Nishizuka Y	The protein kinase C family for neuronal signaling
1996	Tanaka K Keshishian H, Chiba A, et al.	Inferotemporal cortex and object vision The drosophila neuromuscular junction: a model system for studying synaptic development and function

著者が4人以上の場合は、著者名を一部省略した。

[付表 2] 文化勲章、学士院賞等を受賞した業績

I. 文化勲章 (1945 年から 1996 年までのデータ、生理学に関連する受賞者)

年	受賞者	分野
1963	久野 寧	生理学
1970	沖中重雄	内科学
1973	勝木保次	生理学
1974	石坂公成	免疫学
1975	江橋節郎	薬理学

年	受賞者	分野
1984	利根川進	分子生物学
1986	名取禮二	筋生理学
1987	岡田善雄	細胞遺伝学
1988	西塚泰美	生化学
1996	伊藤正男	神経生理学

II. 学士院賞及び学士院恩賜賞 (1945 年から 1997 年までのデータ、生理学に関連する受賞者)

年	受賞者	内容
1949	久留 勝	脊髄後角内に於ける痛温度覚伝導に関する細胞群の決定に関する研究
1951	小川鼎三、平沢 興	錐体外路系に関する研究
1953	桑田義備	染色体構造の研究
1954	橋本春雄、田島弥太郎 本川弘一	家蚕における性決定に関する研究とその応用 脳電図の研究
1956	井関尚栄	微生物の免疫遺伝学的研究
1957	福田宗一	昆虫とくに家蚕の内分分泌生理に関する研究
1958	牧野佐二郎 木原卓三郎	動物染色体の研究 脈管外通路系に関する研究
1959	藤田秋治、木村 廉、藤原元典、松川泰三 岡田正弘	ビタミン B <sub>1</sub> に関する研究 硬組織の生理及び薬理の研究
1961	沖中重雄	自律神経に関する研究
1963	勝木保次	聴覚機構の研究
1964	西川義正	ホルモン処理による家畜繁殖の生理学的研究
1965	山岡憲二	血色素並びに胆汁色素の研究
1967	三井進午	植物の養分吸収同化に関する生理化学的研究
1969	井関尚栄	酵素による血液型の転換に関する実験的研究
1972	江橋節郎 岡本耕造	筋の収縮及び弛緩の機構に関する研究 糖尿病と高血圧症の基礎的研究
1974	石坂公成	免疫グロブリン E の発見とレアギン型アレルギーの機序に関する研究
1975	富田恒男	網膜における情報処理機構の研究
1977	内藺耕二	シナプスの機能と形態に関する研究
1979	伊東俊夫	肝臓の脂肪摂取細胞に関する研究
1980	岡田善雄	細胞融合現象の解析と細胞工学的応用
1981	長野泰一 岡 小天 名取禮二	インターフェロンの研究 生物レオロジーの理論的研究 スキンド・ファイバー法による筋収縮機構の研究
1983	小林英司 大塚正徳	視床下部-脳下垂体系の比較内分泌学的研究 ペプチド性神経伝達物質、とくに P 物質の研究
1984	新見嘉兵衛	視床に関する研究
1985	沼 正作 山村雄一	神経情報伝達の分子機構に関する研究 細胞性免疫とその制御
1986	伊藤正男 西塚泰美	小脳の神経機構と運動学習の機序 ホルモン作用における情報の受容伝達機構に関する研究

1988	大村 裕	中枢神経系及び内在性化学物質による摂食調節の研究
1989	松尾寿之	生体内情報伝達に係わる超微量ペプチドの研究—とくに心房性ナトリウム利尿ホルモンの構造と機能に関する研究
1990	濱 清	神経系の機能形態学、とくに超高压電子顕微鏡による定量的三次元構造解析
1991	宇井理生	細胞情報伝達における GTP 結合蛋白質の役割に関する研究
1994	眞崎知生 中嶋暉躬、川合述史	エンドセリンの同定とその生理活性 ハチ毒、クモ毒の化学的、生理学的研究、とくにジョロウグモ毒 (JSTX) の神経科学的研究
1995	甘利俊一	神経情報処理の基礎理論の研究
1996	本庶佑 稲上正、村上和雄	抗体クラススイッチ制御に関する研究 レニン・アンギオテンシン系に関する生化学ならびに分子生物学的研究
1997	中西重忠	神経伝達の分子メカニズムに関する研究

### III. 日本国際賞

年	受賞者	内容
1996	伊藤正男	小脳の機能原理と神経機構の解明