

日本の展望—学術からの提言 2010

報告

物理学分野の展望



平成22年（2010年）4月5日

日本学術会議

物理学委員会

この報告は日本学術会議物理学委員会の審議結果をとりまとめたものである。

日本学術会議 物理学委員会

委員長	永宮 正治	(第三部会員)	J-PARC センターセンター長
副委員長	伊藤 早苗	(第三部会員)	九州大学応用力学研究所教授
幹事	家 泰弘	(第三部会員)	東京大学物性研究所教授・所長
幹事	杉山 直	(連携会員)	名古屋大学大学院理学研究科教授
	海部 宣男	(第三部会員)	放送大学教授
	榊 裕之	(第三部会員)	豊田工業大学副学長
	佐藤 勝彦	(第三部会員)	明星大学理工学部物理学科客員教授
	三田 一郎	(第三部会員)	神奈川大学工学部教授
	相原 博昭	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	秋光 純	(連携会員)	青山学院大学理工学部教授
	池内 了	(連携会員)	総合研究大学院大学先導科学研究科教授
	伊藤 厚子	(連携会員)	独立行政法人理化学研究所研究嘱託
	伊藤 公孝	(連携会員)	自然科学研究機構核融合科学研究所教授
	井上 一	(連携会員)	文部科学省宇宙開発委員
	潮田 資勝	(連携会員)	物質材料研究機構理事長
	岡 眞	(連携会員)	東京工業大学理工学研究科教授・理学系長
	岡村 定矩	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	小磯 晴代	(連携会員)	高エネルギー加速器研究機構教授
	五神 真	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	酒井 英行	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	佐藤 文隆	(連携会員)	甲南大学特別客員教授
	鈴木 厚人	(連携会員)	高エネルギー加速器研究機構機構長
	鈴木洋一郎	(連携会員)	東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設長
	田島 節子	(連携会員)	大阪大学理学研究科教授
	土井 正男	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	十倉 好紀	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	二宮 正夫	(連携会員)	岡山光量子科学研究所所長
	福山 秀敏	(連携会員)	東京理科大学理学研究科教授
	前川 禎通	(連携会員)	東北大学金属材料研究所教授
	観山 正見	(連携会員)	自然科学研究機構国立天文台台長
	覧具 博義	(連携会員)	東京農工大学名誉教授

※ 名簿の役職等は平成22年3月現在

要 旨

1 作成の背景

物理学は、自然界に生起する諸現象を合理的に理解すべく、その根底にある普遍的原理を究め、神秘を解き明かそうとする学問である。物理学が扱う自然界は、最も小さな素粒子から最も大きな宇宙にまで至る縦の階層性を持つ一方、物質が織りなす多様な世界という横の広がりも有している。素粒子物理学や天文学・宇宙物理学が階層構造の両究極の究明を目指すのに対して、原子核物理学、原子分子物理学、物性物理学、プラズマ物理学、生物物理学などはマイクロからマクロに至るさまざまなスケールでの物質の存在形態とその性質を解明することを目指す。さらにはその理解をもとに物質のふるまいを制御することも視野に入れている。このように自然界の根源的理解を目指す物理学の営みは人類の知の拡大を通じて社会に貢献し、またその中から産業応用に発展する事例も少なくない。

物理学委員会では、このような特性を有する物理学、さらには基礎科学全体の研究振興のためにどのような施策が必要であるかに関して審議を行った。「日本の展望」検討の一環として、物理学分野の発展と現状を俯瞰し、長期展望のもとに採るべき施策について取りまとめたのが本報告である。

2 現状及び問題点

我が国の物理学研究は戦前から高いレベルにあったが、大戦による荒廃は先進諸国からの遅れをもたらした。戦後の復興から経済大国としての地位を築いた時期と呼応して大学等における研究インフラが徐々に充実し、科学研究費予算も伸びた。大学院拡充によって研究者人口も増え、我が国は基礎科学においてもトップグループで鎚を削る立場に至った。その現れとして、超新星ニュートリノの観測、分子性導体や高温超伝導体の研究など、日本の研究者が世界をリードする場面も多くなった。今日、物理学諸分野の主要国際会議は日本からの貢献なしには成立しない。物理学はその評価が世界的・普遍的な基準で決まるものであり、日本の物理学が世界的にリーダーシップを発揮していることは、日本の国際的指導力の証であり源である。科学技術基本法の制定と科学技術予算の大幅拡充はそのような流れを加速するものである。しかしながら一方で、初等中等教育における理科離れ、次代を担う若手研究者の育成問題、大学制度改革に伴う研究現場の疲弊など、我が国の基礎科学の将来を揺るがす問題も顕在化している。

3 提案等の内容

(1) 礎学術研究の高揚

基礎学術研究によって新たな知を獲得し、人類の知の領域の拡大への貢献を通して我が国の国際的存在感を増進するとともに、それらの知を社会に普及させることを通じて多くの国民が高い科学リテラシーを共有する成熟した社会を築き、「文化としての科学」を醸成する。

(2) 研究基盤および科学研究費の充実

国公立大学の法人化や国立研究所等の研究開発独立行政法人化などの最近の施策によって新たに生じた問題点を是正し、科学技術基本計画にもとづく科学技術関連予算の増強を真に生かすための環境作りを行なう。基盤的経費と競争的資金のバランスのとれた「デュアルサポート」を基本とした上で、科学研究費をはじめとする基礎学術研究へのファンディングの充実による研究振興を図る。

(3) 大型計画の計画的推進

巨大施設を用いた研究など物理学分野における大型計画について、大学や大学共同利用機関におけるボトムアップ型研究と独立行政法人等における国策的大型研究との調和を図る。大型計画の検討においては、日本学術会議が幅広い学術コミュニティを代表して積極的な役割を果たす。

(4) 研究成果の国際的発信

研究成果を発信する第一義的プラットフォームである学術専門誌の強化を図る。我が国の学術成果が評価の高い海外の学術誌に掲載されることと同時に、我が国の学術のポテンシャルを活用し、我が国の研究者が主体的に運営する学術誌を盛り立てる。そこに、海外からの最新成果を呼び込み先端学術を議論する場を自ら提供することが、真の国際貢献である。

(5) 科学／物理学の教育と人材育成

他の科学諸分野との連携により、次代を担う若者の科学リテラシーの向上を図る。研究活動の場は我が国および世界の将来を担う高度の人材を育成する場でもある。物理学を学び、研究活動を経験した人材が社会の多様な場面で活躍できるよう、高等教育の改善充実を図ると共に、キャリアパスの設計と社会の環境作りを進める。

(6) 研究現場における多様性の涵養

研究現場における多様な発想を涵養するために、男女共同参画、および、国際的人材登用を積極的に推進する。

目 次

1	はじめに — 自然科学の基礎としての物理学.....	1
2	物理学の発展と将来展望.....	3
	(1) 素粒子・原子核物理学分野.....	3
	(2) 天文学・宇宙物理学分野.....	5
	(3) 物性物理学・一般物理学分野.....	8
	(4) 新たな学問領域の創成.....	11
3	科学と社会、物理学と社会.....	13
	(1) 社会基盤としての科学、物理学.....	13
	(2) 科学リテラシー、文化としての科学、物理学.....	13
	(3) グローバリゼーションのなかの国際的リーダーシップ.....	14
4	科学、物理学の教育と人材育成.....	15
	(1) 教育と人材育成.....	15
	(2) 現状と問題点.....	15
	(3) 提案.....	17
5	基礎科学／物理学の研究振興のための施策提案.....	20
	(1) 研究基盤の充実.....	20
	(2) 科学研究費の充実.....	21
	(3) 大型計画の進め方.....	22
	(4) 研究成果の国際的発信.....	23
	(5) 男女共同参画の推進.....	24
	<参考文献>.....	25

1 はじめに — 自然科学の基礎としての物理学

物理学は、自然界に生起する諸現象を合理的に理解すべく、その根底にある普遍的原理を究め、神秘を解き明かそうとする学問である。物理学の源流は、「この宇宙はどのようにして生まれたのか」、「物質はどのように構成されているのか」、「その変化はどのような法則に従うのか」など、人類が抱く最も根源的な問いに答えようとする知的欲求に発している。中世まではアリストテレスの思弁的自然哲学が支配的であったが、ガリレオらによる実験的手法の導入は科学研究の方法に変革をもたらし、ニュートンによる力学の体系化が近代科学の基礎を築いた。18世紀から19世紀にかけて発達した熱力学や電磁気学を加えた古典物理学体系は19世紀の終わり頃には成熟の域に達し、この世界を動かしている根本原理が解明されたかのように思われた。しかしながら20世紀に入って「アインシュタインの奇跡の年」が象徴的に示すように、古典物理学の枠組みを超える現代物理学、すなわち量子力学、統計力学、相対論が創始されることとなった。現代物理学がもたらした新たな自然像はわれわれの世界観を根本的に変革するものであった。

物理学は、人類の知的欲求を駆動力とするその発展の過程において、人類の能力を拡大するさまざまな道具を生み出してきた。その中にはたとえば原子力のように使い方を誤れば人類に災禍をもたらしうるものも含まれているが、物理学が生み出した成果が総体として文明の発展と福祉の向上に大きく貢献したことは万人が認めるところであろう。物理学研究のプロセスは、実験や観測によるデータ収集と解析、理論モデルの構築、実験・理論の比較による検証と検証結果のフィードバックという形で進行する。このような物理学研究のあり方は科学研究における方法論の規範を提示するものであり、この意味においても物理学は現代科学を牽引する役割を果たしてきた。

物理学と人類社会との関係に改めて目を向けると、現代社会の基盤をなすエネルギーと情報に関わる科学・技術はそのほぼすべてが物理学研究から生み出されたものであることに気づく。その最たる例はコンピューターなどの電子機器の中核をなす半導体デバイスや磁気記録デバイスであり、それらの動作原理は量子力学に基づく物性物理学の成果に依拠するものである。物理学の基礎研究から生まれた新しい技術シーズが一般社会に還元されるタイムスケールは、場合にもよるが、典型的には十年～数十年というところであろう。例として、トランジスタが発明されてからパソコンや携帯電話が世の中に溢れるほどに普及するまでに約50年、初めてのレーザー発振が実現してからCDプレーヤーやバーコードスキャナーなど日常的場面にレーザーが使われている今日までも約50年である。さらには、日常からかけ離れた物理と思われる相対性理論が100年を経て、カーナビ等に使われるGPSの基礎となっていることにも注目すべきである。これらのことを思えば、今日の基礎研究から日々生み出されている成果の中に、いずれ思いがけないところで実用に供されて社会を変えることになるものが多数あることは間違いない。

基礎研究と先端技術との関係においては、基礎物理学が技術シーズを生むという側面と同時に、最先端の基礎研究が先端技術開発の牽引車となることや、先端技術が新たな分野を拓くという側面もあることを強調しておきたい。その一例として、走査トンネル顕微鏡

の開発によるナノサイエンスの展開や、スーパーカミオカンデにおける大口径光電子増倍管を挙げることができる。先進諸外国においては軍事研究が先端技術開発の牽引車の役を果たしているケースも見られるが、我が国では先鋭的な科学研究のニーズが先端技術開発を加速する構図となっている。自然の現象を精密に測ることは自然科学の基盤であるが、物理学は測定単位の標準を与え、それを精密化する努力を不断に行なっていることも強調しておきたい。

物理学が扱う自然界は、最も小さな素粒子から最も大きな宇宙にまで至る縦の階層性を持つ一方、物質が織りなす多様な世界という横の広がりも有している。素粒子物理学や天文学・宇宙物理学が階層構造の両究極の究明を目指すのに対して、原子核物理学、原子分子物理学、物性物理学、プラズマ物理学、生物物理学などはマイクロからマクロに至るさまざまなスケールでの物質の存在形態とその性質を解明することを目指す。さらにはその理解をもとに物質のふるまいを制御することも視野に入れている。物理学の諸分野はそれぞれの研究対象を持ちそれぞれが独自の метод論をもって展開しているが、そこに共通するのは「物理学的精神」すなわち「物事を根源的かつ論理的に理解したい」という志向である。また、物理学の異分野間で概念やモデルの数学的構造が通底することはしばしばあり、それらが互いに刺激しあうことによって物理が質的發展を遂げた例は数多い。物性における超伝導などの相転移と素粒子に質量をもたらすヒッグス機構とに共通する南部陽一郎の「自発的対称性の破れ」の概念はその代表例である。

分野間相互啓発や連携は物理学の内部にとどまるものではなく他の学問分野との間にも起こっている。実際、現代物理学は、数学・化学・工学・地球惑星科学・生命科学・情報科学など隣接諸分野との絶えざる相互啓発によって発展してきた。近年、物理学の研究対象は拡大し、自然科学の他の分野とのボーダーレス化が進んでいる。伝統的な領域を拡大した新たなフロンティアも含めた物理学の研究活動は、自然界の神秘を解き明かしたいという人類の根源的希求を反映するものである。

物理学は、日本の社会のあり方にも光を当てる。国際社会の中で日本がリーダーシップをさらに発揮するには、固有の文化の魅力とともに普遍的基準での評価を高める努力が必須である。物理学はその評価が世界的・普遍的な基準で決まるものであり、日本の物理学が世界的にリーダーシップを発揮していることは、日本の国際的指導力の証であり源である。ノーベル賞学者の話に目を輝かせ、知力の限界にチャレンジする物理学に大きな魅力を感じる若者は多い。物理学は他の諸科学とともに、生活水準や科学力、科学常識レベルの高い国づくりを支えてきた。「科学技術立国」・「知識集約型社会」を目指す我が国では、科学や物理学に関する一般市民、特に次世代を担う若者の知識レベル（科学リテラシー）を高めることは極めて重要な前提条件である。そこに果たす物理学の役割の重さを考えれば、初等・中等教育から高等教育、さらには生涯教育での物理学教育の重要性を強調しておかねばならない。また、研究者によって得られた知の財産をより幅広くより深く国民および世界に伝える努力の強化が研究者に求められていることも忘れてはならない。

2 物理学の発展と将来展望

本章では、日本学術会議よりの意思の表出、および物理学分野における近年の研究動向等をまとめた資料などに基づき、物理学の諸分野における研究の展開と将来展望を述べる。第1節の素粒子・原子核物理学分野については1-4、第2節の天文学・宇宙物理学分野については1-3 および5、第3節の物性物理学・一般物理学分野は1-3 および6の各参考資料に基づき論じる。また第4節では1-3に加えて、日本学術会議からの声明[7]および報告[8-10]に基づき新たな学問領域の創成について論じている。

(1) 素粒子・原子核物理学分野

素粒子・原子核物理学は、研究者の自然に対するあくなき好奇心と想像力を原動力として、物質を構成する究極の要素は何か、その究極の要素を支配する物理法則は何か、そして、その物理法則と時間空間の構造はどう関係するのかを解明する科学であり、基礎物理学さらに基礎科学を代表する重要な研究分野のひとつである。その研究によって得られる自然の根本原理は、人類共通の知的財産であり、宇宙・物質や生命のあり方に関する深い洞察を与え、科学および技術全般の礎となる。

20世紀後半に大きく進展した素粒子・原子核物理学は、粒子加速器を使って新しい粒子や現象を発見し、その結果、原子は電子と原子核からなり、原子核は核子（陽子と中性子）から、そして核子は素粒子（クォーク）からなっていることを明らかにした。実験研究と同時に、理論研究も著しく進展し、現代物理学の2つの柱である量子力学と相対性理論を融合させた場の量子論が完成し、これを土台として、核力理論と原子核構造理論が作られ、さらに素粒子の様々な相互作用を統一的にゲージ原理から導き出す理論「素粒子の標準理論」が完成した。

これらの研究において、我が国の研究者が果たした役割は極めて大きい。湯川、朝永を端緒に南部、小林、益川に続く、伝統と実績に支えられた理論研究の成果、高エネルギー加速器研究機構（KEK）のBファクトリー加速器実験による小林益川理論の検証、小柴のカミオカンデとその後継機などによる我が国の一連のニュートリノ研究の成果は、当分野への我が国の大きな貢献を示す典型例である。さらに最近、我が国に大強度陽子加速器施設（J-PARC）や理化学研究所のRIビームファクトリー（RIBF）等の大型先端加速器が建設され、新しい研究拠点として、世界の期待が急速に高まっている。我が国の素粒子原子核研究者は、今や理論、実験ともに世界のトップレベルにあり、世界のコミュニティを牽引して行く立場にある。

素粒子の標準理論の基礎であるゲージ原理は素粒子間相互作用を第一原理から導き出すという成功を収めた一方、素粒子の質量がすべてゼロであることを要求し実験事実と矛盾する。この困難を解決するために導入された仮説が、南部の対称性の自発的破れの理論に基づくヒッグス機構である。ヒッグス機構は、素粒子の質量の起源を説明すると同時にヒッグス粒子という未発見の素粒子の存在を予言する。ヒッグス粒子を発見し質量の起源を解明することは素粒子物理が直面する最重要課題の第一である。現在、我が

国の多くの素粒子実験研究者が、欧州原子核研究所（CERN）に建設された世界最高エネルギーの大型ハドロン衝突型加速器（LHC）での実験に参加し、ヒッグス粒子の発見を目指している。

さらに、素粒子物理研究者は、標準理論を超えるより基本的な物理法則に基づく究極理論を求めて、その候補となる超弦理論、超重力理論、余剰次元理論などの研究を精力的に展開している。究極理論を特定する手がかりとなるとされる、標準理論では説明できない新粒子や新現象の探索は、素粒子実験研究者に課された最重要課題の第2であり、様々な加速器を駆使した研究が行われている。LHCにおける超対称性粒子の探査は、エネルギーフロンティアと呼ばれる現在の加速器技術で到達可能な最高エネルギー状態での、新粒子、新現象直接探査の代表例である。さらに、詳細な実験研究によって究極理論の全容を解明するために、加速器技術の粋を集めた国際線形衝突型加速器（ILC）の建設計画が国際協力によって進められている。

エネルギーフロンティアでの研究と並行して、大強度フロンティアと呼ばれる研究現場においても、究極理論の探査が行われている。標準理論の枠内にはない新粒子や新しい対称性は、量子効果として素粒子反応に寄与し、標準理論の予想からのズレを発生させる。そこには、最高エネルギー加速器によっても直接作り出せないような重い粒子も、きわめて小さい効果として現れる。この効果を測定するために、特定の素粒子を大量に生成するファクトリーと呼ばれる大強度加速器により超精密測定を展開し、より基本的な物理法則を探索する場が、大強度フロンティアである。小林益川理論の検証に成功したKEKのBファクトリーの数十倍以上の性能向上を目指すスーパーKEKB計画では、世界最先端の大強度フロンティアにおけるさらなる研究成果が期待できる。また、強度を増強したJ-PARC加速器の第2期計画におけるニュートリノ振動の精密測定やK中間子の稀崩壊現象の研究も標準理論の予想しない新現象探査にきわめて有効である。このように、素粒子物理学は、エネルギーフロンティアと大強度フロンティアという2つの前線の開拓により、新しいパラダイムの創出を目指している。

原子核物理学は、広範な研究対象を有し、かつ実験手法も多岐にわたる。原子核を構成する陽子や中性子、中間子などのハドロンを結びつけている強い相互作用は、南部によるカイラル対称性の破れや、カラーの閉じ込めと呼ばれる様な高度な概念により決まる複雑な性質を示している。その原理を解明し、量子力学に支配される多体系としての原子核物質の性質を明らかにすることが原子核物理の目標である。そのための実験には、加速器で作られ出された電子、陽子、軽イオン、重イオンに加え、2次生成粒子としての光子、ミュオン、中間子、ハイペロン、中性子、反陽子、不安定核などのビームが使われる。それぞれのエネルギー領域で特徴的な現象が現れるため、使われる加速器のエネルギーや強度も幅広い。現在、国内の原子核研究フロンティアとして東海村のJ-PARCと理化学研究所のRIBFが稼働している。いずれも世界最先端設備であり、国際的研究拠点となっている。

J-PARCの最大の特徴は、大強度陽子ビームから生成される大強度2次ビームである。そこではK中間子を使ってストレンジネスという量子数を原子核に導入することによる

原子核構造や高密度核物質の研究を初め、核内での中間子の質量変化の測定によるハドロンの質量生成機構の研究、分光測定による特異なハドロンの探索など、多くの手法を駆使した原子核およびハドロンの強い相互作用の画期的研究を展開することができる。さらに、重イオン加速が実現すると、高密度条件下での新しい核物質相の研究展開が期待される。

一方、RIBF ではウランまでの重イオンを大強度で加速し、陽子・中性子の過剰な不安定核を大量に生成し、核子多体系物理の研究を推進することができる。原子核の存在限界、陽子の数と中性子の数が極端に異なる原子核での構造の変化、励起エネルギー・密度変化に伴う核内核子の凝集、中性子ハロー・スキンと呼ばれる中性子過剰な原子核の特異な性質などが研究対象となる。これらの原子核構造研究によって、核物質についての理解が深まると同時に、超新星爆発に起因すると言われていた宇宙の元素生成のメカニズムに関する重要な情報を得ることができる。J-PARC や RIBF の持つこれらの潜在能力を最大限に引き出すためには、加速器だけでなく様々な研究手法を実現するための実験装置の整備と拡充が必須である。

これらの加速器を使った研究分野に加えて、非加速器実験や天文観測など、加速器では到達できないエネルギー領域での物理を探索する新しい分野、観測的素粒子原子核フロンティアの開拓も近年急速に進んでいる。代表的な研究として、非加速器（大気、太陽、超新星、原子炉）ニュートリノ研究、陽子崩壊探索実験、ダークマター（暗黒物質）の直接探査、ニュートリノ欠損二重ベータ崩壊探索、ダークエネルギー（暗黒エネルギー）の研究などがあげられる。また、宇宙線の研究も、たとえば、重力波観測実験が強重力場中での一般相対論の検証に結び付くように、素粒子原子核の研究に密接に関連している。これらの研究は、加速器を使った研究と独立ではなく、密接に関わっている。たとえば、陽子崩壊探索のための検出器は、大強度フロンティアにおけるニュートリノ振動精密測定に必要となる超大型ニュートリノ検出器と兼ねることができるよう検討が進んでいる。また、宇宙起源のダークマターの探索は、LHC での超対称性粒子探索と表裏一体の課題である。

素粒子原子核物理の発展を語る時、その研究手段として発生し、その後のめざましい発展によって、基礎科学から応用科学分野までを支える先端技術となった加速器の重要性を強調しすぎることはない。先端加速器開発の現場は、テクノロジーフロンティアとして、我が国の科学のレベルのいっそうの向上を図る場である。また、素粒子原子核物理の今後の研究においては、加速器のみならず加速器を使わない実験装置も大規模なものになると予想される。大規模プロジェクトは必然的に国際的プロジェクトとなり、世界のコミュニティの中で、我が国の独自性を保ちながらいかにプロジェクトを成功させるかは、当該分野に課せられた大きな課題のひとつである。

(2) 天文学・宇宙物理学分野

天文学・宇宙物理学は、宇宙の構造・進化を明らかにし、自然世界における人類の位置づけを問う学問分野である。その研究対象は、太陽と太陽系の諸天体、恒星と銀河系、

銀河と銀河団、そして宇宙そのものまでを含む。用いられる観測手段は、全スペクトルにわたる電磁波（電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線）に加えて、宇宙線、ニュートリノ、及び重力波が含まれる。物理学の他分野と同じく観測（実験）と理論が密接に連携しているが、さまざまな望遠鏡に加えて近年はコンピューターが重要な研究手段の1つとなっている。観測対象および観測手段が極めて多様なことに加え、天体現象には多くの物理要因が絡み合うために天文学・宇宙物理学は必然的に学際的研究分野である。素粒子・原子核、物性物理学はもとより地球物理学、生物学、また工学などの連携分野の進歩が天文学・宇宙物理学の進展に不可欠であると同時に、天文学・宇宙物理学の進歩が、これらの分野の発展に大きく寄与している。

宇宙には果てがあるのだろうか、また始まりがあるのだろうか。これは有史以来の人類の根源的な問いかけである。この疑問に科学的に答える現代宇宙論は、時空の物理学である相対性理論の成立によって始まったと言ってよい。現在の標準的モデルであるビッグバン宇宙理論は、相対性理論と原子核物理学をもとに作り上げられたものであり、また現在宇宙初期のパラダイムとなっているインフレーション理論は、南部陽一郎による「真空の自発的対称性の破れ」を用いた統一理論に基づいて提唱されたものである。これらの理論的研究に加え、20世紀末から爆発的に進んだ電磁波の検出技術と、地球大気に吸収されて地表には届かない波長の電磁波を観測する天文衛星によって、相対性理論の成立からおおよそ100年たった今日、我々は宇宙の創生から豊かな構造を持つ現在の宇宙に至る137億年の宇宙史の大枠を描き出すことができた。しかし、この宇宙進化像の骨組みは、ダークエネルギーが73%、ダークマターが23%、通常物質4%という宇宙の組成が基礎となっており、宇宙の全エネルギー・物質の96%を占める前二者の正体は未知という謎に満ちた状況にある。また宇宙で最初の天体（第1世代天体）がいかにか形成され、それらが今日の多様な銀河へと進化したかはまだ詳細が明らかになっていない。

ダークマターとダークエネルギーの正体解明は今後の天文学・宇宙物理学分野の最重要課題の1つである。ダークマターの直接検出実験は世界的な競争の渦中にある。神岡ニュートリノ実験に代表される非加速器地下素粒子実験の伝統を持つ日本では、キセノンを検出器として用いるXMASS実験計画など複数の実験が進んでおり、世界をリードする位置にある。ダークエネルギーの直接検出は現時点ではほぼ不可能と考えられているが、精密天文観測からその正体を知る鍵となる性質を決める試みが世界中で計画されている。日本ではすばる望遠鏡を用いて、銀河の3次元分布地図を過去の宇宙にまで拡大することで、ダークエネルギーの値が時間変化するか否かを解明しようとする大規模銀河探査が計画されている。これは、多くの実績を上げたすばる望遠鏡の主焦点カメラ「シュプリームカム」の視野を10倍に拡張した次世代カメラ「ハイパーシュプリームカム」と、その広視野を覆い尽くす多天体分光装置を開発して1億個に上る銀河を観測するものである。ダークエネルギーの正体解明の手がかりを求めることに加えて、宇宙における構造形成と銀河の進化に関する莫大なデータベースが形成され、宇宙進化の解明が大きく進むと期待されている。この計画で到達できるよりさらに遠方、すなわち、より宇

宙初期における第1世代天体の研究には、現在稼働を始めようとしているALMA(Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array)望遠鏡、日本が主要メンバーの一員として国際共同で立案されつつある口径30 mの地上望遠鏡TMT(Thirty Meter Telescope)、また日本が主導する国際連携で計画中の次世代赤外線天文衛星SPICA(Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)などによる観測が不可欠である。これらの観測結果を理論的研究および詳細な計算機シミュレーションと併せて、第1世代天体の形成過程とその進化を余すところなく解明できると期待される。

宇宙にはブラックホールが普遍的に存在する。大質量星の爆発後に形成される小質量ブラックホールの形成過程はある程度理解されているが、銀河中心核に存在する太陽質量の100万倍から1億倍以上にも達する超大質量ブラックホールや、宇宙初期にできた可能性のある原始ブラックホールの形成過程は謎に包まれている。ブラックホールは、地上では実現不可能な強重力場極限における一般相対論の検証を可能にする天体であり、基礎物理学の理解の根本に関わる研究対象である。また、銀河中心核の超大質量ブラックホールは、銀河の進化ひいては宇宙全体の進化に重要な影響を与えていることが明らかになっている。ブラックホールの研究は従来、降着円盤からのX線を観測することにより進められてきた。X線観測衛星「はくちょう」以来、X線天文学の伝統を持つ日本では、ブラックホールに関する先駆的研究が進められてきた。米欧と協力して日本が計画している高感度・広帯域のX線観測衛星(ASTRO-H)によってさらに世界を大きくリードする成果が期待される。今後はX線のデータを、電波観測衛星(ASTRO-G)と世界の電波天文台のネットワークによる超長基線干渉計(VLBI)観測や、ALMAなどによるミリ波・サブミリ波領域をはじめとする多波長データと併せて、ブラックホール近傍の現象解明が進むと期待される。ガンマ線バースト(GRB)現象は長らく謎であったが、最近では、大質量星の重力崩壊によるブラックホールの形成に伴うものと考えられている。しかし超新星爆発も含めた重力崩壊の統一像の解明はその途上にあり、バースト発生、特に強いジェットの発生機構は謎のままである。一方では、赤方偏移 z が8を超える、つまり約131億光年以上彼方のGRBが最近発見されるなど、GRBは初期宇宙を探るプローブとしてその重要性を認識されるに至っている。

天文・宇宙物理学分野の研究課題として注目を浴びているものの1つに宇宙における生命の存在がある。1995年に太陽系外の恒星の周りを回る惑星が初めて発見されたが、それから10余年の間に350例を超える太陽系外惑星が見つかっている。日本は惑星系形成の理論研究において、1970年代の先駆的な京都モデルの提唱などにより世界をリードしてきた。また近年、観測研究においてもすばる望遠鏡の赤外線コロナグラフCIAO(Coronagraphic Imager with Adaptive Optics)などによって惑星誕生の現場を観測することに成功するなど、世界に先駆けた研究が行なわれている。星と惑星を作る材料である星間分子雲の研究では、国立天文台野辺山の電波望遠鏡が大きな実績を上げている。現在立案中のSPICAは高い空間分解能を活かして、星の誕生の場を、銀河系外においても明らかにすることが期待されている。TMTも太陽系外惑星を直接に撮像、分光する可能性を持っており、特に生命の発生に不可欠な「水」の存在を探ることができる。太陽

系外惑星の詳細な観測研究は、我々の太陽系そのものを見直す大きな機会となるであろう。「宇宙で人類は孤独な存在か」、この太古からの問いが、地球惑星物理学、生物学との連携により、天文・宇宙物理学分野の現実の研究課題となりつつある。

宇宙研究のフロンティアは 宇宙を見る新たな「目」を獲得することによって大きく拓けてきた。日本は超新星からのニュートリノや太陽からのニュートリノの直接観測により、ニュートリノ天文学を創始した。宇宙を見る新たな「目」のもうひとつは重力波観測である。中性子連星系の合体や超新星爆発に伴う重力波が観測可能となれば、未だ解明されていない星の最終段階、特にブラックホールができるまさにその過程の物理的解明が進む。さらに将来感度の飛躍的向上が実現されれば、宇宙初期のインフレーション期に放出された重力波の観測により、宇宙の開闢時の直接観測も期待できる。現在国立天文台で稼働しているレーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 は一時世界最高の感度を誇っていたが、米国の LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) などが稼働を始めたことにより現在では優位性が失われている。東京大学宇宙線研究所が、国立天文台、高エネルギー加速器研究機構および多くの大学の協力のもとに、熱雑音を低減する低温鏡技術を世界で初めて用いる高感度重力波観測装置 LCGT (Large scale Cryogenic Gravitational wave Telescope) を提案しており、早期に実現すれば重力波を最初に直接検出する可能性が高い。重力波の到来方向を知るためには地上で複数の装置による同時観測が必要であることから、LCGT は将来の重力波天文学の世界的観測体制の重要な一局とも位置づけられる。

天文学・宇宙物理学分科会ではこの分野のコミュニティを代表して我が国の天文学・宇宙物理学分野の 10~20 年を見通す展望と長期計画のとりまとめを進めてきた。その中で(1) 重力波観測計画 LCGT、(2) 衛星搭載次世代赤外線望遠鏡計画 SPICA、(3) 次期大型光学赤外線望遠鏡計画 TMT は特に国家レベルで早急に実現すべき計画であると結論している。 [5]

(3) 物性物理学・一般物理学分野

物性・一般物理学分野は原子や分子からなる物質系を扱う学問である。物性物理学は固体や液体（凝縮相と総称される）の物質が示す性質（物性）を解明することを目指す学問であり、凝縮系物理学とも呼ばれる。「一般物理学」というのは、物理学のうち素粒子原子核分野、天文宇宙分野、狭義の物性分野、に属さない諸分野を総称する便宜上の名称であり、原子分子物理学、量子光学、プラズマ物理学、流体物理学、ソフトマター物理学、生物物理学などの多岐にわたる分野を含む。

物性物理学が研究対象とする物質は 100 種類あまりの元素のさまざまな組合せによって構成されるわけであるが、その可能性は実質上無限である。固体や液体は膨大な数の原子や分子の集合体である。多くの固体では原子や分子が規則的に配列してその物質固有の結晶構造を形成する（アモルファス物質のように不規則な構造をとる場合もある）。凝縮系物質の諸物性を決める主要因はその原子配列構造と其中的電子の状態であるが、それらは温度、圧力、磁場、電場などの物理環境によって変化する。また電磁波や

粒子ビームの照射によって物質中に励起が起こる。このように、物性物理学が研究対象とする物質およびその物性は多岐にわたり、「多様性」・「複雑性」はこの分野の本質的性格である。しかし物性物理学はもちろん博物学ではなく、多様性の中から普遍性を抽出して統一的理解に至るところに物理学としての本懐がある。多様な物質の多彩な物性を解明しそれらを俯瞰することによって「物質観」を構築することを目指すものである。

凝縮系物質の性質はそれを構成する膨大な数の基本粒子の相互作用によって決まっている。ここで言う基本粒子とは、構造的・力学的性質を問題にするときは原子であり、電子物性を問題にするときは電子に着目することになる。膨大な数の粒子からなる系の取り扱い是一般に複雑な多体問題であるが、相互作用がゼロないしごく弱い場合には独立な粒子の集団として一体問題に帰着することができる。相互作用がそれほど強くない場合には、相互作用の効果を繰り込んだ準粒子(素励起)の集団という描像が成立する。実際、そのような定式化は多くの場合に成功を収めてきた。しかしながら相互作用が真に重要な役割を果たすような系(強相関係)のふるまいは本質的に難しい問題であり、物性物理学の最前線の挑戦課題となっている。膨大な数の粒子からなる系は、しばしばその構成要素の性質からは予想不可能な質的に新しいふるまい、すなわち「創発性」を示す。凝縮系物質が示すさまざまな相転移は創発現象の最も顕著なものである。

科学の発展とその工学への応用の歴史を鑑みると、その時代を創った新しい技術の背景には常に基盤となる新鮮な物理概念が存在した。半導体、レーザー、計算機、超伝導、然りである。特に、物性物理学の研究活動は電子工学や材料工学などの応用科学分野とシームレスにつながるものであり、基礎研究と応用研究は個々の研究者の意識の中でもシームレスに混在している。また、基礎研究と技術開発も相互に刺激し合い相互に滋養を与えながら発展を遂げてきた。例えば、物性物理学の研究から電子機器や光学機器が開発され、それらが高度の実験を可能とすることによって基礎研究が進展する、という正の循環がこの分野の発展を駆動してきた。象徴的なのは、半導体界面電子系や導電性高分子や巨大磁気抵抗材料など現代文明の根幹をなすエレクトロニクスと密接に関連する物質系が、ノーベル物理学賞の対象となる基礎物理学研究の舞台ともなったことである。また、持続可能な社会形成を可能ならしめるエネルギー・環境技術に将来必ず必要となる「飛躍」にも、物質開発と機能原理の両面で物性物理学の果たすべき役割は大きい。

物性物理学はその発展の過程で研究対象を拡げてきた。比較的単純な典型物質からより複雑な化合物へ、固体結晶から液体やアモルファスなどの不規則系や高分子や生体関連物質などのソフトマターへ、バルク結晶から表面・界面さらには人工ナノ構造へ、といった拡張は近年の物質科学の大きな潮流である。研究対象となる物質系の拡がりとは並行して物理環境や測定手段の拡張も大いに進んだ。超低温/超高温、超高压、超高真空、超強磁場、超強電場といった極端条件の開発や、レーザー、放射光、中性子、ミュオンなどの先鋭的ビームプローブの開発は物性物理学研究の幅と奥行きを大いに拡張した。これらを駆使して、基底状態から励起状態の研究へ、平衡状態から非平衡状態の研究へ、といった流れも近年の特徴である。

物性物理学研究の著しい特徴は精密な実験が可能にあることにある。高品質の試料を作製し、それをよく制御された物理環境に置き、高度の測定手法によって精密な実験データを取得する。実験データの解析結果と理論モデルからの予想との比較をもとに次のステップに進む、という科学の規範的手順によって研究を進めることができる。物性物理学における理論はこのように、実験による検証を頻繁に受けつつ精緻化を進めることができるという特徴を持つ。物性理論から生まれた概念には物理学の他の分野とも通底するものが少なくない。相転移における自発的対称性の破れと南部ゴールドストーンモードの出現、近藤効果におけるくりこみと漸近的自由性、などはその好例である。物性物理学が扱う系は一般に複雑な多体系であることから、そこで展開する現象を理論的に扱うにはモデルや近似が用いられる。物理的エッセンスを的確に抽出していて、しかも数学的な扱いが可能なモデルや近似を編み出すことが理論の勘所である。一方、コンピュータの性能の飛躍的向上を踏まえて、大規模計算によって問題にアプローチする計算物性の手法も近年ますます重要度を増している。

高分子、ゲル、液晶、コロイド、生体関連物質など、それ自体が多くの内部自由度を持つ構成要素からなる複雑物質のふるまいを扱う物理学は、近年「ソフトマター物理」として脚光を浴びている。これらの系が示す特性（単位構造が原子サイズよりはるかに大きい。構造が複雑であり階層性を持つ。平衡状態への緩和時間が極端に長い、など）は従来からの物理の方法論では取扱いが難しいとされているものであるが、それだけにこれらの分野の研究は物理学の新しい展開をもたらさうものとして期待される。また、対象となる物質が、液晶、ゴム、食品、化粧品といった我々の身の周りにあるものや身につけるもの、さらには生体物質などであることから、生命や生活に密着した応用に直結する可能性を秘めている。

プラズマは、物質の存在形態として、宇宙・天体、大気放電現象、燃焼気体など自然界のさまざまなところに遍在するとともに、核融合プラズマ、プラズマ加工、プラズマディスプレイなどテクノロジーの重要テーマともなっている。プラズマを物理学の対象として興味深いものにしてしているのは、その非平衡複雑系としての性質である。電子やイオンは電磁場を変化させ、変化した場が他の電子やイオンの運動に影響を与え、ミクロから大規模なスケールまで各階層において多数の粒子と電磁場とが複雑に絡み合った集団的運動を行なう。選択された場と運動のパターンが発達し、乱流状態になって細かな運動にちぎれていく一方で、プラズマ全体に及ぶような大域的な電磁場にエネルギーが集中する。巨視的な構造が微細な乱流運動によって拡散し構造が消失することと、乱流のなかから構造が生成されることが表裏一体の現象であることが明らかにされている。宇宙スケールでは、超長大スケールで電子や粒子の加速が起きる。それらの事象は光や超高エネルギーの宇宙線粒子となって地球圏に届き、宇宙のかなたで何が起きているのかの情報をもたらす。すなわちプラズマ物理の理解が宇宙の姿を理解する手だてをもたらしている。

人は光によってこの世の中を見る。可視光のみならず、電波からX線にまで至る電磁波は自然界を探索する最も有効な手段を与えてきた。光と物質の相互作用から物質内の

さまざまな励起に関する情報が得られる。加速器からの放射光は物質を調べる強力なプローブである。我が国は世界に先駆けてシンクロトロン軌道放射を光物性に適用してきた歴史を持ち、それが今日の KEK-PF、SPring-8 の実績に繋がっている。

光科学の分野には、このような光と物質の相互作用の研究（光物性）と並んで、光そのもののふるまいを調べ、制御する研究（量子エレクトロニクス）もある。そこから生まれてきたレーザーは現代社会のさまざまなところで使われている。近年のレーザー技術の進歩は著しく、レーザー光のパルス光列の位相の完全制御、サブフェムト秒の超短パルス発生、「水の窓」と呼ばれる波長 2~4nm の軟 X 線領域のレーザーなど、先進的な光が生み出されている。また近年、レーザーと磁気トラップを組み合わせることで極低温原子気体系を作り出す技術が洗練され、ボーズ凝縮をはじめ数々の目覚ましい現象が生み出されているほか、次世代の時間標準として有力視されている光格子時計の研究が進行している。

(4) 新たな学問領域の創成

普遍性を求める物理学はその研究対象を常に拡張し、物理学のスコープを広げるとともに、隣接分野や異分野との融合・連携を生みだしてきた。ここでは、その例をいくつか挙げる。

異分野融合によって既に確立した学問領域として、計算物理学がある。コンピュータはその揺籃期から物理学の研究にインパクトを与えてきた。例えば「カオス」という概念が生まれるきっかけになったのは数値実験による発見であった。計算科学計算能力の指数関数的な発達は、物理学における計算の役割を質的に変化させた。理論を補完するものとしての計算に留まらず、大規模計算によって質的に新しい知見を得るという方法論が物理学のあらゆる分野で重要性を増している。宇宙の大規模構造シミュレーションや格子ゲージ理論はその例である。複雑多体系を扱う物性分野では、物質の電子構造を第一原理計算によって解き、その物性を予測するという計算科学の営みが、理論・実験と並ぶ方法論として確立している。計算科学の最前線はスーパーコンピュータ開発の最前線と密接にリンクしており、最先端研究の要求が最高性能コンピュータの開発を促しているという側面がある。大規模シミュレーションは、気象や海洋や生態系などの自然系、燃焼や流体などの工学系、さらには交通システムや経済などの社会現象の研究など、隣接分野においても研究手段として欠かせないものになっている。

工学諸分野とシームレスに繋がることは先に述べたが、基礎学術と先端科学・技術の一体的発展の典型としてナノサイエンス・ナノテクノロジー分野がある。ナノ構造を作製・観察する技術（ナノテクノロジー）と、ナノ構造で展開される新しい現象の物理学的解明（ナノサイエンス）とは車の両輪をなす。すなわち、原子レベルの結晶成長技術、超微細加工技術、電子顕微鏡や走査プローブ顕微鏡など原子スケールの観察技術などのハイテク技術の発展は、マイクロレベルで展開する物理・化学現象の深い理解があつて初めて可能となったものである。基礎学術と先端科学・技術との融合連携的発展については、声明「新分野の創成に資する光科学研究の強化とその方策について」[7]や報告「科

学・技術発展のための長期研究の推進 — 知覚情報取得技術による限界突破」[9]においても強調されているところである。

学際・融合的分野の別の例としてプラズマ研究を挙げることができる。文明の淵源は、石器時代すなわち人類が「固体」を使いこなす時代から始まり、「液体」を使いこなす水力・灌漑や溶融技術による生存圏の拡張、蒸気機関など「気体」を使いこなす産業革命を経て、「プラズマ」「光」「情報」を使う現代・未来の文明へと連なっている。プラズマは、物質加工や光関連技術に既に広く利用されるばかりでなく、制御核融合や宇宙推進を目指した研究が行なわれている。また、プラズマ状態の理解は、地球の高層気圏環境の解明と人類文明の維持（サステナビリティ）にも深く関わっている。

生命現象の解明は知のフロンティアの大きなテーマであり、物理学もその探求に貢献している。現代分子生物学はDNAの構造解明によって黎明を迎え、タンパク質の生体高分子の構造解析や高次構造の生成機構の解明に物理学的手法が使われている。生命体を観察と機能の把握から捉えようとした生命科学の大きな幹と相補的に、構成要素（原子・分子）から出発して構造と機能を理解しようとするアプローチが生物物理学である。双方向からのアプローチが円環をなして繋がってはじめて、生命が理解されることになる。

DNAや蛋白質などの生体関連物質を凝縮系と捉え、物理学・化学・生物学の連携のもと物性的視点に立って探求する「生物物質科学」とも言うべき研究の動きが生まれている。これは基礎科学において「概念」探求を基礎とする（物性）物理学がその研究対象を大きく広げてゆく動きと捉えることができると同時に医学工学的な分野との融合によるナノサイエンス・ナノテクノロジーの研究として発展することが期待される。

複雑系を扱う物理学の手法は異分野にも適用されている。でたらめで突発的に見えるような自然現象を研究対象にしてきた物理学は、多体系の非線型力学の物理学として発展する一方で、人間を構成要素とする複雑多体系である社会システムのダイナミクスを研究する社会学や経済学の分野に新たな視点を提供している。

3 科学と社会、物理学と社会

(1) 社会基盤としての科学、物理学

産業革命から現代に至る過程で、社会基盤としての科学および物理学の役割は増大の一途をたどってきた。現代社会は物理学の成果なしには存立し得ない。既に述べたように、社会基盤であるエネルギー源や情報処理・通信を担う電子機器は物質科学・物性物理学の成果に依拠している。基礎的な学術研究の成果が、実社会にインパクトを与える実用的な意義を見出すまでのタイムスケールは様々である。最近の巨大磁気抵抗素子のように現象の発見から数年という短期間で実用機器に組み込まれた稀な事例もあるが、一般にはトランジスタや超伝導の場合のように数十年をかけて徐々に応用に展開されることが多い。なかには、GPS の実用化に相対性理論が適用され、通信のセキュリティを守る暗号技術に素数が使われる、など当初の研究からは予想もできなかったような応用が 100 年の時間スケールで生まれる事例もある。

現代社会が直面するさまざまな課題を解決し、人類の未来のあり方についてビジョンを提示するために、科学や物理学が果たすべき役割は大きい。天然資源に乏しく、「知的資源」「創造的人材」を主な資源とすべき我が国の将来には、物理学をはじめとする科学の諸分野の融合的発展は必須の要件である。日本学術会議からの報告『科学者コミュニティが描く未来の社会』[11]では、(1)学術研究が新たな価値を生み出す源泉であり、イノベーションに不可欠であること、(2)社会に変化をもたらすには、単に特定分野における学術研究のみでは困難であること、(3)学術研究の成果が学術分野に閉ざされてはならないことが提示されている。また、提言「知の統合—社会のための科学に向けて—」[12]においても異分野に細分化される知識の統合が提唱されている。そのような知の統合において「物理学精神」が果たす役割は大きい。

(2) 科学リテラシー、文化としての科学、物理学

前述のように現代社会に生きる市民は科学、物理学の成果を享受しているわけであるが、その基盤となっている科学、物理学に関する一般市民の知識レベル（科学リテラシー）は必ずしも十全とはいえない。むしろハイテク化が進むほどに、科学リテラシーが低下する傾向さえ見える。このことは例えば、提言『知の統合—社会のための科学に向けて』[12]においても「理工系の知は、人工環境の形成に深く関わり、社会の諸々の活動に多大な影響を与えているが、現状の細分化された知では、多岐に渡る影響の理解や洞察に限界が見られる」と指摘されるところである。未来社会の選択において市民が科学・技術に対する基本的理解を深める必要は大きい。その要求に応えるべく、市民が共有すべき科学・技術の基礎知識や考え方を普及させてゆく努力の中で物理学が果たすべき役割は大きい。例えば、報告『21 世紀を豊かに生きるための「科学技術の智」』[13]などにおいて述べられているように、最も小さな素粒子から最も大きな宇宙に至る自然界のありかたや、物質が持つさまざまな存在形態とその性質の解明とその応用技術への展開などを伝える試みを通じて、「文化としての科学」を醸成する努力が求められる[14, 15]。

この世界の根源を究明するという物理学の営みは、知的探究心を持つ市民特に青少年を魅了するものである。人間の肉体的・精神的能力の最先端の競演がオリンピックをはじめ市民を魅了するように、知の最先端を目指す競演もまた市民特に青少年の知的憧れの対象となる。

(3) グローバリゼーションのなかの国際的リーダーシップ

日本が政治・経済の面で世界の注目を浴びるようになって久しい。グローバリゼーションが加速する現在、我が国が国際社会でリーダーシップを発揮することは重要な課題となっている。国際的に尊敬を受ける国になるためには、学術諸分野においてリーダーシップが発揮できる実力を備え、「知の力」を示す必要がある。その観点から、我が国の科学や物理学における研究が果たすべき役割は大きい。科学の中でも物理学は世界的・普遍的な基準でその進展の評価が定まることを思えば、日本の物理学が国際社会の中でリーダーシップを発揮することは今後の重要な課題であり責務であろう。国際的物理学コミュニティにおける日本の存在感を高めるためにも、International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP、国際純粋・応用物理学連合) 活動(我が国は創立13カ国のメンバーであって積極的に活動している)やThe International Astronomical Union (IAU、国際天文学連合) 活動にさらに積極的に取り組む必要がある。

高エネルギー物理学や宇宙・天文学分野など超巨大施設を用いる物理学諸分野の研究活動は必然的に国際共同の体制を採る。そのような国際共同研究において、企画段階からリーダーシップを発揮することが重要である。国際共同研究は、国内の研究プロジェクトの海外での展開(すばる望遠鏡など)や、海外における国際的研究プロジェクト(CERNなど)への積極的参加などさまざまな形で実施されている。また、重要な国際研究プロジェクトを我が国に誘致する活動が、ITER Broader Approach(国際熱核融合実験炉計画に関する幅広いアプローチ計画)などを嚆矢として実績を積んでいる。学問分野の特性に応じて、我が国にふさわしい国際貢献の形を実現していくことが重要である。

4 科学、物理学の教育と人材育成

(1) 教育と人材育成

学術研究は高等教育と分かちがたく結びついており、研究活動の場は将来を担う人材育成の場でもある。研究と高等教育の間の「知の循環」を実現してゆくことは学術の長期的発展に必須である。わが国は科学・技術人材の育成に優れた実績を上げてきた。特に、物理学は、世界をリードする研究実績を上げるとともに、数学と並んで科学・技術の共通基盤として、高等教育ならびに初等中等教育に大きな貢献をしてきた。しかし、国際環境や産業構造の変化により新たな課題が浮上している。

① 国際競争の中の人材育成

政治や経済のグローバル化によって国際競争は市場だけではなく、科学研究や技術開発においても、また人材獲得・人材育成の面でも、激しくなっている。加えて少子高齢化が進行しているわが国では、人材の確保に特段の努力が求められている。「知識集約型社会」を目指すわが国では、21世紀における物理学とその関連科学・技術領域の発展を担う多数の優れた人材を確保することがとりわけ重要である。

② 新たなグローバルな問題に対応できる高度知的人材の育成

さらに、グローバルな環境問題への対策や化石燃料に変わる代替エネルギーの開発、エネルギー利用の効率化など、世界規模の新しい重要課題が多数浮上している。これらに対応するための高度な科学的素養を持ち、広い視野とともに柔軟性と応用力を備えた科学者、技術者、行政企画者などの高度知的人材への需要は今後ますます強まると考えられる。大学・大学院教育は、確かな基礎的素養と高度の専門的研究能力に加えて、広い視野を持ち、多様な課題に柔軟に適応できる人材を育成するために、変革が求められている。

③ 初等中等教育の充実と科学リテラシーの向上

科学・技術は利便性と危険性を兼ね備えている。知識集約型民主社会の中で、科学・技術の方向性について最終的な判断が求められるのは一般市民である。このため、市民の間の科学リテラシーの確保と向上は、科学・技術領域にとどまらず学術の全領域にとって重要な課題となっている。また、その基盤となる初等中等教育の充実と、そのための教員の確保と育成が重要な課題である。

(2) 現状と問題点

① 大学院教育：育成されている高度知的人材の質と量の確保の問題

1990年代半ばからの大学院拡充策の影響は物理学分野でも顕著に表れている。文部省／文部科学省学校基本調査によれば、理学分野の物理学専攻の大学院博士課程修了者数は1973年以降1990年前後まで200名台で推移してきたが、1994年から急増し2000年には379名とほぼ倍増した。以降は漸減傾向にあり2006年には304名だった。入学

定員の急速な増大、それに伴う厳密な充足率管理が大学院入学者の平均的資質の低下を招いたのではないかと懸念されている。大学院の学生定員制度の柔軟化が強く求められる。

海外からの留学生導入で定員充足を図る努力もされているが、欧米や太平洋地域の英語圏の諸国とのグローバルな人材獲得競争が激しくなる中で、日本の大学の国際化は不十分で、吸引力が不足していることは問題である。

② 高度知的人材の雇用問題やポストドクターの増大と高齢化の問題

大幅な大学院定員増により博士号取得者人材プールへの流入は大きく増大したが[16]、大学等での常勤職ポストは1990年頃からはほとんど増大していない。その上、導入が広がっている常勤職から任期付きへのポストの置き換えは、優秀な若手人材を惹きつける安定的な雇用機会の減少をもたらしている。これは人材育成の観点からの見直しを要する重要な問題である。

その一方で、わが国の産業界における博士人材の雇用は比較的限定的であったが、大学院定員増以後も増大する傾向は見られていない。イノベーションがもたらす新しい技術や産業機会に対応してこれを推進するための高度知的人材の需要増が期待されるところであるが、従来からの高度な専門性を重視した大学院教育で育成された人材は、急速に変化するこのような新しい課題に柔軟に対応する適応性や視野の広さに不足するという不安が産業界にある。

上のような状況の下で、理学、工学などの分野の違い、さらにはその中の専門領域等によって程度に差異はあるものの、博士号を取得した上で、いわゆるポストドクトラルフェロー（ポストドク）と呼ばれる任期付き研究職の短期雇用を繰り返して常勤職が得られないまま30歳代後半から40歳代を迎える博士人材が増大している。このようなポストドクの存在は社会的に見て有為な人材の浪費であり、喫緊の対応に向けてキャリア支援体制の整備のための公的支援が望まれる。

③ 理工系学部進学者の減少、若者の理科離れ

文部科学省の『学校基本調査（平成20年度）』によると、理学・工学両分野あわせでの博士課程1年次学生は5,037人で、これは同年度のこの両分野の学部1年次学生11.5万人の4.4%に相当する。理工系の高度知的人材の増強には、この比率を上げることに加えて、理工系分野を目指す若者の増大をはかることが重要と考えられる。ところが、同じ調査によると、2008年度入学の大学入試で、工学部への志願者数（延べ人数）は24.5万人で、1992年度に比較すると37%に減少している。2008年度の大学入学志願者総数（延べ人数）は363万人で1992年度の65%であるから、工学部志願者数は少子化傾向をはるかに超えて大幅に減少していることがわかる。理工系志願者の大きな部分を占める工学部志願者の減少は、科学技術立国を目指すわが国の将来にとって大きな不安材料である。

理工系離れの傾向は高校時代にすでに生じている。高校における物理履修者の比率

は1970年代には80～90%台であったが、1982年の指導要領改訂以降は30%台に激減し[17]、現在では20%以下と言われている。物理履修率の低下に片鱗が現れている理科教育の偏りが、理科離れを促進し、生徒達の科学的素養の偏りをもたらし、ひいては次世代の理科教育を担う初等中等教員の科学的教養の偏りをもたらすという悪循環が起こっているという指摘もある。これはわが国における理工系人材確保の先行きに強い危惧を抱かせるだけでなく、市民全体の科学リテラシー涵養の観点からも極めて憂慮される状況であり、早急な対策が強く求められる。

(3) 提案

人材育成の長期展望については、理工系全体の視点から、理工系大学院博士後期課程のあり方について、提言『新しい理工系大学院博士後期課程の構築に向けて—科学・技術を担うべき若い世代のために—』[18]が公表されている。物理学の観点から以下に付言する。

① 物理学分野での人材育成に関わる長期展望の構想

人材育成についての期待は学術分野ごとに多様性がある。物理学のコミュニティは、人材育成に関わる長期展望について、他の科学・技術分野や産業界、行政を含めて広く社会的な合意を形成する場を持つことが望まれる。構想される長期展望は、十分な多様性と柔軟性を包含して、その具体的な実行については、個々の大学・大学院の自主的な選択のための十分な許容度を持つことが必要である。

② 教育およびキャリアパスに関する情報の収集と情報提供

上述の長期展望の構想には、学生数や雇用状況についての具体的な情報が必須である。文部科学省による学校基本調査などの公的な統計データの活用しやすい形での提供や、それぞれの学術分野での情報の収集や分析も学術のコミュニティの活動の一環として推進することが望まれる。

このようなデータとその分析結果は、個々の大学・研究機関や学部学生・院生さらに一般社会に対して容易にアクセスできる形で提供されることが望まれる。専門領域やキャリアパスの選択において、学生が、公開情報をもとに、自分で判断できる環境と風土を形成することこそが自立性を持つ人材の育成にとって重要であると考えられる。

③ 大学院教育の質の確保と国際水準の人材育成体制の実現

各々の大学は育成を目指す人材像を明確に示して、その大学の方針に適合した博士号取得者の育成を構想すべきである。その上で、博士の学位にふさわしい質の確保が求められる。すなわち、高いレベルの基礎力の養成と自立的に研究を企画し遂行する能力の育成に加えて、関連する科学・技術領域に向けての広い視野の獲得への支援が望まれる。その実現には、大学院修士（博士前期）課程と博士（博士後期）課程の全体を通じた教育プログラムの体系化が望まれる。多様なキャリアを想定したカリキ

ユラムと博士学位の質を確保するチェック機能によって、国際的な競争力を持つ大学院教育体制の構築が期待できる。

これらの改善改革の実現のためには欧米に比べて著しく低いレベルにある教育への国家投資[19]の拡大が強く求められる。とりわけ、博士課程の大学院生への投資の拡充や女性研究者に対する支援は人材育成における国際競争の観点からも重要である。

④ 博士課程修了者のキャリアパスの確保・拡大

博士課程修了者やポスドクのキャリアパスの確保・拡大は高度知的人材育成策の展開において極めて重要である。大学院やポスドク雇用機関はキャリア形成や雇用環境に関する情報を提供して、個々人の自助努力を支援することが求められる。特にポスドクについては、研究者としてのキャリアパスの中での位置づけを明確にすると同時に、研究者の自主性を尊重した統一性のある処遇制度を確立することが雇用者・雇用機関の側に望まれる。さらに、この問題の根本的な改善に向けて学術コミュニティは高度知的人材への社会的処遇の向上を図るべきである。

⑤ 理工系学部教育

物理学は数学と並んで、情報科学や社会科学を含む数物的能力を備えた人材の育成にとって重要であり、物理学は理工系分野全般での基礎的な素養の教育機能を果たすことが強く期待されている。物理学コミュニティとして、広範なキャリアを目指す多分野の学生に対する物理教育にどう関わっていくかは検討すべき課題と考えられる。

⑥ 物理教育の改革

量子力学に典型的に見られるように、物理学による科学的な自然理解は人間のナイーブな直感的自然理解と大きく隔たるところがあるため、数理的な訓練を経ないでは物理概念の理解は容易ではない。大学入試に強く影響を受けている高等学校での物理教育も、大学における入門物理教育も、これまでしばしば知識詰め込みに偏り、多数の学生・生徒を概念理解から遠ざけ、物理嫌いに追いやってきたことが指摘されている。

近年、認知心理学や脳神経科学の分野で知識獲得や概念形成のメカニズムについての理解が進展し、これを踏まえてより合理的な教育手法を開発する研究が、教育学の分野でも物理学などの個別教育領域においても、盛んになりつつある。米国などでは「物理教育の研究」が物理の研究領域として認知され、その成果に基づく物理教育改革が大学や高校教育の現場で成果を上げはじめている。科学研究に基づいた物理教育が理科離れ・物理離れに歯止めをかけることが期待される。

⑦ 初等中等教育への支援と連携

初等教育まで含む広い視野では、教師の科学的教養を高める事が急務である。日本学術会議からは要望『これからの教師の科学的教養と教員養成の在り方について』[20]

が発出されており、その中で述べられている提言はいずれも重要である。

物理学コミュニティが、この要望における提言の実現に様々な側面から支援できる余地は大きいと考えられる。特に教科内容・専門知識の研修にとどまらず、学習内容を学生・生徒に効果的に学ばせる教育方法の研鑽などは、高校と大学の教員の連携が有効と考えられる。また、物理への関心がとりわけ強い生徒たちに対するレベルの高い物理授業の実施や物理オリンピック・科学オリンピックへの参加の支援とともに、より広い範囲の生徒達への質の高い理科教育の提供を支援して理数好きの生徒達のスペクトルを拡大することは、物理教育の活性化に大いに寄与するものと期待される。

5 基礎科学／物理学の研究振興のための施策提案

(1) 研究基盤の充実

近年、「科学技術立国」の具体的施策として科学技術基本計画にもとづき科学技術関連予算が大幅に増強されてきた。一方、我が国の基礎学術研究を担う大学等が置かれている状況は、国公立大学の法人化や国立研究所等の研究開発独立行政法人化などの最近の施策により大きく変わってきている。「競争原理」「選択と集中」などの標語のもとに、予算の伸びは主として競争的資金に当てられ、その一方で基盤的経費に対する予算は削減傾向にある。国立大学法人等の基盤的活動資金である運営費交付金の一律削減が続く中で、各法人は組織改変や制度改革による運営の効率化が求められている。各法人は運営責任の対価として裁量権を得たが、新制度のもとで、自律的な運営体制の構築に向けた模索を続ける中で、本来の目的である、自由な発想による研究教育活動そのものが萎縮に向かう状況も出始めている。また改革を促進する為に法人を単位とする競争が強調されるあまり、法人の枠を超えた全国的な連携を進めることが困難となる事態も生じている。これらは、我が国全体の研究教育体制の強化を阻害する要因となっている[21、22]。

闊達な学術研究活動を進めるためには、大学や研究所といった組織と、各学問分野のコミュニティが担う学術的なネットワークとが連携を取ることが肝要である。学会活動や、我が国独特のシステムである大学共同利用機関や大学附置全国共同利用研究所等を活用することによってネットワークの強化を図ることが急務である。また、研究活動の原資が基盤的経費から競争的資金へとその重心を移す中で、「選択と集中」の施策に内在する資金配分の不均衡が生じ、研究教育活動に必須の基盤的設備の整備や更新の遅れが顕在化しつつある。また、学術情報の恒久的な蓄積・保存・利用体制の構築は最も基本的な基盤であるが、近年の急速なデジタル化の中で、その確保は極めて不十分な状況にある。そのような状況が続けば我が国の研究教育活動の環境が損なわれ、真に独創的な研究を生み出すために不可欠な地道で長期にわたる研究を育む土壌の貧弱化、ひいては学術を涵養する水脈の枯渇を招くことになりかねない。以上のような近年の状況を踏まえ、我が国の科学や物理学における研究のさらなる振興のために以下の提案を行う。

① 大学附置全国共同利用研究所・施設の振興，大学共同利用機関の充実

全国共同利用研究を推進するためには、長期的で安定した恒常的研究資金が最も重要である。各大学法人の予算枠とは別途の、適切な評価に基づいた予算の配分などの措置がなされる必要がある。通常予算では組み入れられない研究や個別大学法人の枠を超えた要求などもある。全国的な観点からわが国の基礎研究を推進するために、全国共同利用研究に特化した新たな競争的資金を設け、必要な経費の一部として支援することの検討が必要である。また、各大学の情報通信技術の支援と大学の研究者が利用可能な超高速スーパーコンピューターセンターの設置など、情報基盤センターのあり方の検討が必要である[22]。

個々の大学では整備できない大規模な施設・設備や大量の学術情報・データ等を、

全国の大学等の研究者の共同利用、共同研究に供し、個々の大学の枠を越え、国内外の研究者との共同研究を進めるために、さらなる充実が必要である。特に大規模共同研究推進の観点から、研究活動の源泉は人であるにも拘らず人件費削減が続いている。この現状を是正することが望まれる。また、広く大学の研究者との連携を進め、大学の研究基盤の強化に寄与する観点からの財政的措置が必要である。

② 学術情報の恒久的な蓄積・保存・利用体制の強化

学術の世界においてデジタル情報の保存技術・制度の研究を推進することが重要である。また、学術機関におけるデジタル情報の蓄積・保存・利用のための組織の確立、およびそれに対する環境整備と支援が必要である。さらに、民間はもとより国家全体におけるデジタル情報の蓄積・保存・利用体制の確立が望まれる[24]。

③ 物理学分野の特性と現状を踏まえた振興策

ア デュアル・サポート（基盤的経費と競争的資金）の充実

競争原理によって研究教育活動を活性化する施策と、研究教育人材の質と量を確保する基盤整備の施策との間に適正なバランスのとれたファンディングを行う。

イ 共同研究および連携研究を促進する新しい支援制度の構築

学術研究基盤に対する既存および将来の投資を有効に活用するために、法人の枠組みを超えた共同研究・連携研究を促進する新しい企画を奨励し、それを実施する仕組みを構築する。

ウ 中・大規模研究施設の整備計画策定の仕組みの構築

学術研究の基盤強化に資する中・大規模研究施設の計画的整備およびそれらの有効活用の仕組みを検討する体制を強化し、施策として具体化する仕組みとその受け皿を整備する。

これらは、日本学術会議がこれまでに表明した要望[22, 24]、及び提言[6]に掲げられているもので、より詳しくはそれらを参照されたい。また、提言「我が国の未来を創る礎研究の支援充実を目指して」[25]もこれらの要望や提言と理念を一にした提言を示している。そこでは併せて、創造性を育てる教育体制の整備の充実と、若手研究者が夢を持って研究できる環境の整備に関し、物理学分野のみならず、より一般的見地からの提言もなされている。

(2) 科学研究費の充実

科学研究費（科研費）は公的な競争的研究資金のなかでも、基礎学術研究にとって特に重要なファンディング・システムである。実際、研究の萌芽段階において比較的少額の科研費によるサポートに受けたことを契機として研究が大きく発展し、やがて1つの新しい研究分野・研究潮流へと展開していった例は枚挙にいとまがない。このような科研費の重要性に鑑み、以下のような「新規採択率 33%を目指す科学研究費予算の拡充」を提案する。

科研費応募の母集団が「強い研究意欲を持つ研究者たち」であることを思えば、新規課題の採択率が20%台の前半という現状は甚だ不十分と言わざるを得ない。科研費の支援を受けることのできる研究者が半数に満たない現状は、我が国の人的資源を有効に活用していないことを意味し、これが長期化すれば研究意欲の阻喪を招くであろう。たとえば単純なモデルに基づき、平均的な研究期間を3年とすると、新規採択率33%であれば「研究意欲を持つ研究者」の母集団の60%が科研費のサポートを受けることになる。さらに、科学研究費の予算拡充に併せ、より広い若手・中堅研究者層を対象とする基盤研究等の研究種目の一層の充実が望まれる。

(3) 大型計画の進め方

素粒子・原子核分野や宇宙・天文学分野など物理学の多くの分野では大型施設を用いた研究の重要性が高い。スモールサイエンスのスタイルを基本とする物性物理学・一般物理学分野においても、中大型研究設備の重要性は増している。基礎科学の大型研究計画を実現するには多額の予算を必要とすることから、その計画策定・推進のあり方について国民の合意が必要である。日本学術会議の対外報告「基礎科学の大型計画のあり方と推進について」[26]では、以下のような内容の提言を行い、ボトムアップ型の基礎研究と国策型大型計画との調和を求めている。

① 基礎科学の大型計画に関わる長期的マスタープラン・推進体制の確立

基礎科学の研究分野に対し、全体を俯瞰する視点から各分野の将来の動向を調査し、科学の視点と長期的展望に立脚した長期的マスタープランを作成し着実に推進する組織体制を構築する必要がある。この長期的マスタープランに基づき、透明性の高い審査・評価、それを踏まえた政策的判断を経て、予算配分を行うことが望ましい。

② ボトムアップ型と国策型大型研究の関わり、協力と将来のあり方

大学や大学共同利用機関におけるボトムアップ型研究と研究開発独立行政法人等における国策型大型研究に対する研究者の関わり方や、協力の仕方、および将来のあり方については、(1)と同様な枠組みのなかで検討を進めるべきである。国策的科学・技術の大型プロジェクトでも、共同利用的色彩や基礎科学研究と関連の深い性格を持つものは、基礎科学の大型計画と同様な場で審査・評価を行なう必要がある。ボトムアップ型大型研究が依拠してきた共同利用に関しても、新しい状況を踏まえてそのあり方と新たな方向性を検討するべきである。日本学術会議は、幅広い学術コミュニティを代表し、そのために積極的な役割を果たす。なお、この枠組み作りの間も、世界をリードし継続的に人材を育成するため、各分野で現在検討が進んでいる基礎科学の大型計画を、適切な審査を経て着実に進めることが重要である。

天文学・宇宙物理学分野においては、宇宙基本法が施行されたことにより、従来の研究の枠組みが大きく変わろうとしている。宇宙空間から行う観測研究はこの分野で重要な位置を占めるが、その実施にはとりわけ多大の研究費を要し、しかも人工衛星

の打ち上げなど国の政策としての宇宙開発とも深く関連している。宇宙空間からの観測研究は、現在、大学共同利用機関である宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部のもとで実施されている。宇宙基本法の施行に伴って宇宙航空研究開発機構の組織体制が議論されているが、天文学・宇宙物理学の基礎研究に関しては今後とも自由な発想の尊重、公開の原則、ボトムアップの計画策定体制を維持することが望まれる[27]。

③ 中・大規模研究施設の整備・活用計画策定のあり方

上記の理念は、中・大規模研究施設の整備および活用計画策定の仕組みの構築[6、25]にも共通するものである。競争的資金の予算規模を超えるような中・大規模研究施設の整備、特に、全国規模で計画的に措置すべき共同研究機能や整備すべき中・大型研究施設については、それらを体系的に検討し実現していく仕組みが欠落した状況が続いている。これについては研究者コミュニティにおいて、専門的知識に基づき長期的視野に立った研究設備整備計画の検討や、全国規模研究施設の有効活用のための仕組みの検討を行うことが有効であろう。日本学術会議は研究コミュニティの専門的立場からの意見を集約し、学術の俯瞰的立場からの検討結果を示す役割を果たす所存である。行政機関はそれを受けて各分野の研究コミュニティと連携しつつ適正な配備計画を策定し、それを計画的に実現していくべきであると考え。そのような計画策定・実行の制度を構築することは差し迫った課題であり、システムを構築する上で各行政機関は大学や学術研究機関とも協力して、研究経験を有する人材すなわち専門的知識および高度の判断能力を持つスペシャリストをより積極的に登用していくことが望まれる。

(4) 研究成果の国際的発信

学術研究は人類の知の領域を広げる営みである。その成果は人類の資産として蓄積され、人類全体の将来を拓く源となる。研究者には、先端的な研究を推進することと併せて、その成果を積極的に発信して行くことが求められる。

最新の研究成果を世界に向けて発信する第一義的なプラットフォームは学術誌である。我が国の物理系分野では、J. Phys. Soc.、Jpn. Prog. Theo. Phys.、Jpn. J. Appl. Phys.、Pub. Astron. Soc. Jpn.などの英文専門誌の発行を通じて、国際的な成果発信に貢献している。しかしながら近年、学術論文誌をめぐる世界の情勢は大きな変動期にある。欧米の有力学会や大手出版社などによる寡占化の動きと電子ジャーナル化による出版形態の変革とが2大要素である。グローバリゼーションの中で自前の学術誌を維持することの意義に疑問を呈する意見も見られる。我が国の学術成果の一定割合が海外の学術誌に掲載されることは望ましいことである。しかしながら、学術論文という形の研究成果の評価を全面的に外国に依存することは研究先進国として採るべき態度ではない。国内外からの成果発信のプラットフォームとなるしっかりしたフランチャイズを有してこそ、その国の学術研究活動が国際的な尊敬を集める。我が国の物理学コミュニティはそれを担うだけの実力を十二分に有しているが、出版事業としての基盤が脆弱であ

るため、上述の変動の波に揉まれている状況である。世界的レベルにある日本の学術論文誌の出版事業への支援が急務である。

(5) 男女共同参画の推進

国がその持てる能力を発揮し、知識集約型社会を実現して行くためには、男女共同参画は不可欠であり、学術研究における女性研究者の活躍は必須要件である。特に物理学分野の研究者人口に占める女性研究者の割合は諸外国に比べてまだまだ不十分である。学術研究における多様な発想を担保する意味合いからも女性研究者の活躍が求められる。

物理学分野では、日本物理学会や応用物理学会内の「男女共同参画推進委員会」が積極的な活動を行ってきた。この委員会は研究者に適した育児支援制度や科学研究費の申請枠拡大に関する提言を行い、政府をはじめ 100 ほどの関係機関に送付した。その後、これをもとに理工系 68 学会の組織である男女共同参画学協会連絡会からの提言として、政府に提出した[28、29]。その成果として、出産・育児からの復帰支援である学振の RPD 特別研究員制度、科学振興調整費の「女性研究者支援モデル育成プログラム」、文科省の「女子中高生理系進路選択支援事業」など、女性研究者育成・支援のための一連の施策が講じられてきているところであるが、さらなる施策の充実が望まれる。

<参考文献>

- [1] 学術の動向、「物理学の今日から明日へ」、2007年7月号、日本学術協力財団
- [2] 学術月報、「我が国における学術研究の動向について I（数物系科学、化学、工学系）」、2007年7月号、日本学術振興会
- [3] 日本学術会議、物理学研究連絡委員会、物理学研究連絡委員会報告『日本の物理学—明日への展望』、2004年3月25日
- [4] 日本学術会議、物理学委員会、素粒子物理学・原子核物理学分科会、記録『基礎物理学の展望—素粒子原子核研究の立場から』、2008年9月9日
- [5] 「天文学・宇宙物理学の展望と長期計画」 天文学・宇宙物理学分科会において取りまとめ中。
- [6] 日本学術会議、物理学委員会 物性物理学・一般物理学分科会、提言『物性物理学・一般物理学分野における学術研究の質と量の向上のために』、2008年8月28日
- [7] 日本学術会議、声明『新分野の創成に資する光科学研究の強化とその方策について』2005年8月31日
- [8] 日本学術会議、総合工学委員会 未来社会と応用物理分科会、報告『応用物理の将来ビジョン』、2008年7月24日
- [9] 日本学術会議、基礎生物学委員会・物理学委員会・化学委員会・総合工学委員会・材料工学委員会合同科学・技術の発展のための知覚情報取得技術の強化に関する検討分科会、報告『科学・技術発展のための長期研究の推進—知覚情報取得技術による限界突破—』、2008年9月4日
- [10] 日本学術会議、基礎生物学委員会・臨床医学委員会・物理学委員会・総合工学委員会・機械工学委員会・電気電子工学委員会合同 重力加速度依存現象の科学・生命科学検討分科会、報告『宇宙環境利用の新たな時代を目指して—物質科学および生命科学における宇宙環境利用の視点から—』、2008年9月4日
- [11] 日本学術会議、イノベーション推進検討委員会、報告『科学者コミュニティが描く未来の社会』、2007年1月25日
- [12] 日本学術会議、科学者コミュニティと知の統合委員会、提言『知の統合—社会のための科学に向けて—』、平成19年3月22日
- [13] 日本学術会議、報告：『21世紀を豊かに生きるための「科学技術の智」』2008年9月18日、科学と社会委員会 科学力増進分科会)
- [14] 平成18・19年度科学技術振興調整費「重要政策課題への機動的対応の推進」調査研究プロジェクト、『日本人が身に付けるべき科学技術の基礎的素養に関する調査研究』（通称、「科学技術の智」プロジェクト）報告、2008年6月
<http://www.science-for-all.jp/>
- [15] 米国科学振興協会 (AAAS) “Science for all Americans” (1989) 和訳版
<http://www.project2061.org/publications/sfaa/sfaajapanese.htm> (2005)
- [16] 国立教育政策研究所調査研究報告書、『理系高学歴者のキャリア形成に関する実証的

研究報告書』2007年8月

- [17] 鶴岡森昭ほか、「大学・高校理科教育の危機—高校における理科離れの実状」、高等教育ジャーナル（北海道大学）第1号、p.105、2006年
- [18] 日本学術会議、環境学委員会 数理科学委員会 物理学委員会 地球惑星科学委員会 情報学委員会 化学委員会 総合工学委員会 機械工学委員会 電気電子工学委員会 土木工学・建築学委員会 材料工学委員会合同 若手・人材育成問題検討分科会、提言：『新しい理工系大学院博士後期課程の構築に向けて—科学・技術を担うべき若い世代のために—』、2008年8月28日
- [19] OECD、『図表でみる教育 OECD インディケータ(2009年版)』(Education at a Glance) 、2009年9月
- [20] 日本学術会議、要望『これからの教師の科学的教養と教員養成の在り方について』、2007年6月22日
- [21] 総合科学技術会議、『大学・大学院の研究システム改革—研究に関する国際競争力を高めるために—』、2007年11月28日
- [22] 日本学術会議、要望：『国立大学の大学法人化に伴う大学附置全国共同利用研究所・施設の課題』、2005年9月15日
- [23] 日本学術会議、研究評価の在り方検討委員会、対外報告『我が国における研究評価の現状とその在り方について』、2008年2月26日
- [24] 日本学術会議、要望：『電子媒体学術情報の恒久的な蓄積・保存・利用体制の整備・確立』、2005年9月15日
- [25] 日本学術会議、科学者委員会 学術体制分科会、提言：『我が国の未来を創る基礎研究の支援充実を目指して』(2008年8月1日、)
- [26] 日本学術会議、基礎科学の大型計画のあり方と推進方策検討分科会、対外報告『基礎科学の大型計画のあり方と推進について』、2007年4月10日
- [27] 日本学術会議、要望『宇宙科学推進に関する要望』(2009年4月7日、日本学術会議)
- [28] 男女共同参画学協会連絡会、『研究助成への申請枠拡大に関する提言』、2004年11月9日、<http://annex.jsap.or.jp/renrakukai/>
- [29] 男女共同参画学協会連絡会、『科学技術研究者に適した育児支援制度の整備に関する提言』、2004年10月7日、<http://annex.jsap.or.jp/renrakukai/>