

第1章

我が国の科学技術を取り巻く環境の変化

2008年のノーベル物理学賞を南部陽一郎・シカゴ大学名誉教授、小林誠・高エネルギー加速器研究機構特別栄誉教授、益川敏英・京都大学名誉教授が、ノーベル化学賞を下村脩・ボストン大学名誉教授ほか2名が受賞した。我が国からの4名の研究者によるノーベル賞の同時受賞は初の快挙であり、同一の賞を複数の日本人が受賞したのも初めてのことであった。この快挙は、これまでの官民による^{たゆ}弛まぬ科学技術振興の成果である我が国の研究開発力の高さを世界に示すものであり、我が国の研究者はもとより、広く国民に大きな喜びと誇りを与えることとなった。

しかしながら、現在、世界的な経済危機が生じており、また、国内においては少子高齢化の急速な進行により、国力の源泉である労働力人口の減少が急速に進んでいる。さらに、地球温暖化問題に代表される地球環境問題が、経済社会の持続的な発展の制約要因として顕在化してきている。

このような中、我が国は、従来の競争相手であった先進国だけでなく、極めて安い労働コストや優秀な研究人材等を武器に世界市場に参入してきた中国、インド等の新興国との競争にもさらされるとなっている。これを乗り越えていく^い上では、4名の研究者のノーベル賞同時受賞に象徴されるような、我が国の高い研究開発力を活かした革新的な科学技術による新たな価値の創出と経済社会の変革、すなわち、イノベーションの創出によって国際競争力の維持・強化を図っていく以外に道はない。

しかし、世界では前述の経済危機が起きているだけでなく、イノベーションの在り方そのものまで大きく変わろうとしており、我が国はイノベーションを巡る新たな潮流に直面している。例えば、我が国の企業はいわゆる「自前型」、「垂直統合型」の研究開発システムの下、多くのイノベーションを成し遂げてきたところであるが、グローバルな競争の激化等によってイノベーションのオープン化が進み、基礎研究を担う大学等や研究開発法人¹の重要性が増している。また、新興国への生産工程等の移行は、エレクトロニクス産業など我が国の強みであったものづくりの競争力を大きく揺るがしている。加えて、知識融合によるイノベーションやシミュレーションの研究開発への活用など、新たなイノベーションの態様が出現するとともに、世界的な研究開発投資の大規模化等を受けて政府の関与が重要になってきている。さらに、イノベーションのオープン化、グローバル化に伴い、研究人材の国際流動の増大とその獲得競争の激化も起きている。

このため、第1章においては、まず、世界の大転換期において、我が国の科学技術を取り巻く環境にどのような変化が生じているのかを分析する。

1 研究開発力強化法第2条第8項の「研究開発法人」を指す。

コラム1 我が国からの4名のノーベル賞同時受賞

2008年のノーベル物理学賞を南部陽一郎・シカゴ大学名誉教授（米国籍）、小林誠・高エネルギー加速器研究機構特別名誉教授、益川敏英・京都大学名誉教授が、ノーベル化学賞を下村脩・ボストン大学名誉教授ほか2名が受賞した。物理学賞、化学賞ともに日本人の受賞は6年振りであり、その研究内容を簡単に紹介する。

南部名誉教授は、昭和35年（1960年）という早期に素粒子物理学分野に「自発的対称性の破れ」という概念を持ち込み、質量の起源を合理的に説明するとともに、自然界に働く4つの力（電磁力、強い力、弱い力、重力）のうち、重力を除く3つの力を統一的に説明する「標準理論」の形成に貢献した。また、重力も含めて説明可能な理論の構築のかぎと見られている超弦理論（第1節3参照）も、その基礎は同氏らが提唱したものである。



南部 陽一郎
シカゴ大学名誉教授
写真提供：シカゴ大学



小林 誠
高エネルギー加速器研究機構特別名誉教授
写真提供：日本学術振興会



益川 敏英
京都大学名誉教授
写真提供：京都産業大学

小林特別名誉教授、益川名誉教授は、昭和47年（1972年）に投稿した論文で、物質を構成する「粒子」と逆の特性を持つ「反粒子」の間の対称性の破れを説明し、南部名誉教授と同様に「標準理論」の形成に貢献した。この対称性の破れが粒子と反粒子の数に差を生じさせ、物質からなる現在の世界が生まれたものと考えられている。また、電子の反粒子である陽電子は、がんの診断等で利用されている陽電子放射断層撮影装置PET¹に用いられている。

下村名誉教授は昭和37年（1962年）にオワンクラゲというクラゲから緑色蛍光タンパク質GFP²を初めて単離することに成功し、紫外線を当てると明るい緑色に輝くことを発見した。GFPは特別な酵素なしに蛍光を発し、毒性もないという優れた特性を有しており、共同受賞者となった米国人研究者らの功績もあって、今日では生きた細胞におけるタンパク質の位置や挙動を観察するための蛍光標識として、広く応用されている。この標識を用いれば、神経細胞の発達・破壊やがん細胞の増殖等の過程も容易に追跡することができるため、新たなアルツハイマー病治療薬や抗がん剤の開発等につながるのではないかと期待されている。同氏のクラゲに関する研究成果が、当時は予想もしていなかった医療分野における大きなイノベーションを生み出す日も夢ではない。



下村 脩
ボストン大学名誉教授
写真提供：長崎大学



オワンクラゲ
写真提供：理化学研究所



GFPを用いた実験教室
写真提供：日本科学未来館

1 Positron Emission Tomography
2 Green Fluorescent Protein

第1節 イノベーションの新たな潮流

我が国は従来、欧米先進国へのキャッチアップ（追上げ）という明確な目標の下、技術導入をベースとした製品や生産工程の改良を中心に、漸進的なイノベーションにより経済成長を遂げてきた。特に、設備の高度化等の生産工程の改良によるイノベーションはプロセス・イノベーションと呼ばれ、高度成長を支えた卓越したものづくりの実現に大きく寄与してきた。

しかしながら、近年、このような日本型のイノベーションモデルを支えてきた終身雇用による企業内の人材育成システム等の前提条件が大きく揺らぎつつあるとともに、プロセス・イノベーションの分野における韓国、台湾、中国などアジア諸国の激しい追上げに直面している。後述するような科学とイノベーションの接近の流れも踏まえれば、我が国は、昨年4名の研究者によるノーベル賞受賞に象徴されるような高い研究開発力を活用した画期的な製品やサービスの創出、いわゆるプロダクト・イノベーションに比重を移さざるを得ない状況にある。

さらに、現在、国際的大競争の嵐の中で、世界的にイノベーションの在り方が激変しつつあり、我が国の企業等も新たな研究開発システムの構築等の対応を余儀なくされている。

以下、我が国が直面している新たなイノベーションの潮流を概観する。

コラム2 「イノベーション」の定義

「イノベーション」という言葉を最初に定義したのは、オーストリアの経済学者シュンペータ（1883～1950年）である。彼は、その著書「経済発展の理論」（1912年）で、経済発展は、人口増加や気候変動等の外的な要因よりもイノベーションのような内的な要因が主要な役割を果たすと述べ、いわゆる起業家（アントレプレナー）が、既存の価値を破壊して新しい価値を創造していくこと（創造的破壊）が経済成長の源泉であることを主張した。そして、イノベーションの例として、①創造的活動による新製品開発、②新生産方式の導入、③新市場の開拓、④新たな資源（の供給源）の獲得、⑤組織の改革などを挙げている。

かつて我が国においては、経済社会を根幹から変えるようなイノベーションは革新的な科学技術から生じることが多いという認識から、イノベーションを「技術革新」と訳す傾向があった。しかし、イノベーションは、分野融合による既存技術の組合せや経営の革新等からも起こり得ることから、新たな価値の創出による経済社会の変革の側面に焦点が当たるようになった。

このような背景から、昨年6月に成立した研究開発力強化法において、我が国の法律として初めて「イノベーションの創出」を「新商品の開発又は生産、新役務の開発又は提供、商品の新たな生産又は販売の方式の導入、役務の新たな提供の方式の導入、新たな経営管理方法の導入等を通じて新たな価値を生み出し、経済社会の大きな変化を創出することをいう」と定義されたところである。

1 イノベーションのオープン化、グローバル化

(1) イノベーションのオープン化

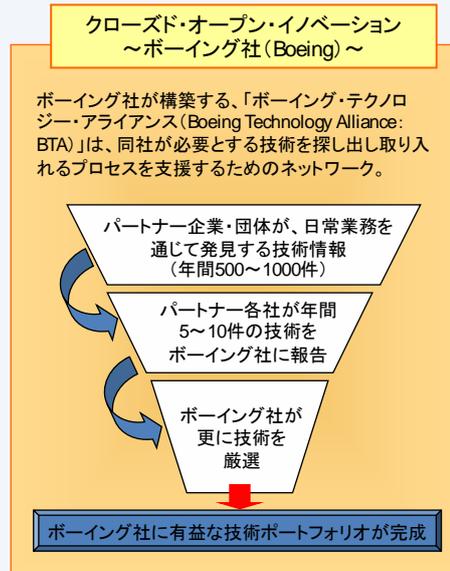
従来、我が国の企業は、製品の製造のみならず研究開発においても、すべて自社又は系列企業等の固定的なグループ内等で行う、いわゆる「自前型」、「垂直統合型」の研究開発システムの下、多くのイノベーションを成し遂げてきた。

しかしながら、現在、グローバルな競争の激化、研究開発投資の大規模化等の環境変化から、1つの企業やグループが基礎研究から製品開発に至る研究開発をすべて一貫して行うことは困難となっており、研究開発の選択と集中を行わざるを得ない状況となっている。

その結果、製品やサービスの中核となる技術は自社内で開発しつつ、周辺技術の開発や基礎研究は外部機関と連携して行う傾向が強まっている。特に、米国では、ある業界において指導的地位を占める企業が、多くの主体をグローバルに巻き込み、オープンな形で研究開発を進めるといった戦略が浸透している。例えば、パーソナルコンピュータの中核部品である中央演算処理装置（C

PU)¹を製造するインテル²が、台湾をはじめとする各国の企業と協力しつつ、パーソナルコンピュータの開発を主導してきたことは有名である。また、アイ・ビー・エム (IBM)³では、多額の研究開発投資を必要とする先端半導体技術等に関し、Albany NanoTech (通称)⁴で競合他社を含めた世界の企業、研究機関が参加するオープンな研究環境を構築している。さらに、ボーイング⁵では、同社が必要とする技術を探し、取り入れるため、「ボーイング・テクノロジー・アライアンス」というパートナー企業や団体のネットワークを組織している(第1-1-1図)。

第1-1-1図 ボーイング・テクノロジー・アライアンス



資料：新エネルギー・産業技術総合開発機構ワシントン事務所

このように、企業は外部の研究機関との連携を強めており、基礎研究の主要な担い手である大学や政府の研究所等の公的研究機関の役割が重要になっている。また、単なるアウトソーシング(外部委託)型のイノベーションのオープン化のみならず、ナノエレクトロニクス等の分野における世界的な拠点として有名なベルギーの大学間マイクロエレクトロニクス・センター (IMEC)⁶のように、基礎研究段階など外部機関との情報共有や協働が可能な研究開発段階において、多数の大学や企業等が協働し、研究開発の相乗効果を上げている例も見られるようになっている(第1-1-2図)。加えて、バイオやIT等の分野においては、ベンチャー企業が公的研究機関による基礎研究と大企業による製品開発の間の橋渡しとなる研究開発を行い、大企業の研究開発リスクを大幅に緩和する機能を果たすようになっている。

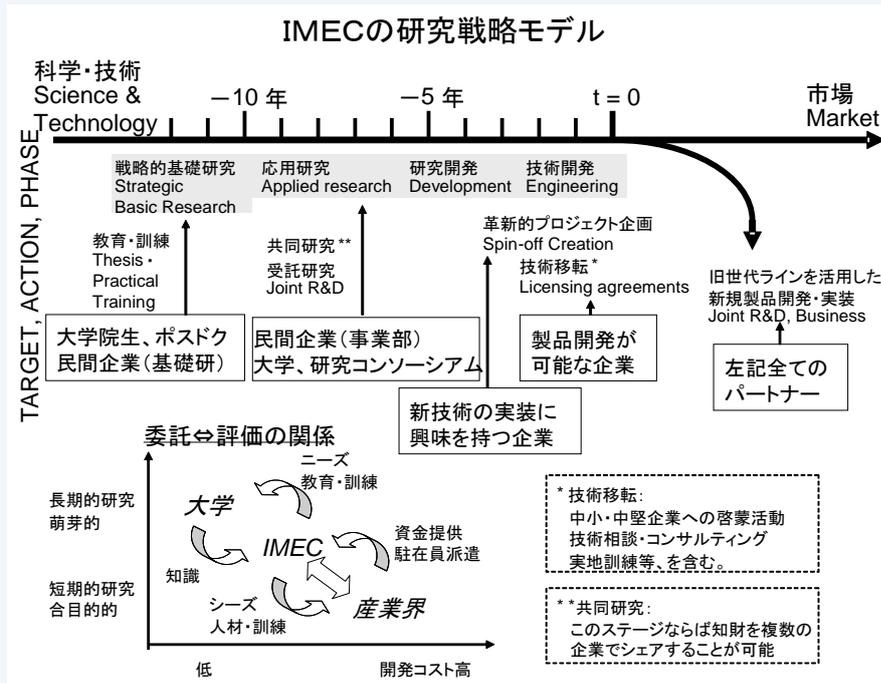
1 Central Processing Unit
 2 Intel Corporation
 3 International Business Machines Corporation (IBM)
 4 アルバニー大学をベースとし、ニューヨーク州がハイテク産業の支援に向けて設立した5つのCenter of Excellenceのうちの1つ
 5 The Boeing Company
 6 Interuniversity Micro Electronics Center

第1-1-2図 IMEC

優れたオープン・イノベーションのマネジメント事例として有名なIMECは、ルーベン大学を退職したスタッフにより、1984年に国や企業から独立した非営利組織としてベルギーのルーベンに創設されたナノエレクトロニクスとナノテクノロジー分野における世界的な拠点である。

その主な研究活動は、大学における基礎研究と産業界の技術開発の橋渡しを行うものである。ベルギーという立地から、グローバルに共同研究相手先を求め、世界中の企業等がIMECとの共同研究を行っている。

具体的な研究プログラムとしては、非競争領域であり、他社との情報共有や協働が可能な研究開発段階であるR1、競争領域であり、そのようなことが困難なR2という2つの段階が設けられ、前者の段階においては、世界から集まった企業や大学の研究者が研究成果や情報を共有することにより、研究開発の相乗効果を上げている。また、後者の段階では、特定企業とIMECだけが情報を共有するなど、オープン（開放的）な形での研究開発とクローズド（閉鎖的）な形での研究開発の巧みな使い分けが行われている。



資料：科学技術振興機構研究開発戦略センター「我が国の研究開発拠点構築に資する主要各国のナノテクインフラ投資戦略調査」

我が国においても、企業は大学や他企業といった社外に支出する研究開発費を増大しつつある（第1-1-3図）。また、8割以上の企業が外部機関との研究協力を行っており、その協力先も国内の大学を筆頭に海外の機関まで多岐にわたっている（第1-1-4図）。さらに、今後、大学等の外部機関との共同研究を特に活用したいとの意向を示す企業は、現在、特に活用しているとする企業よりも多く、共同研究に対する前向きな姿勢がうかがえる（第1-1-5図）。

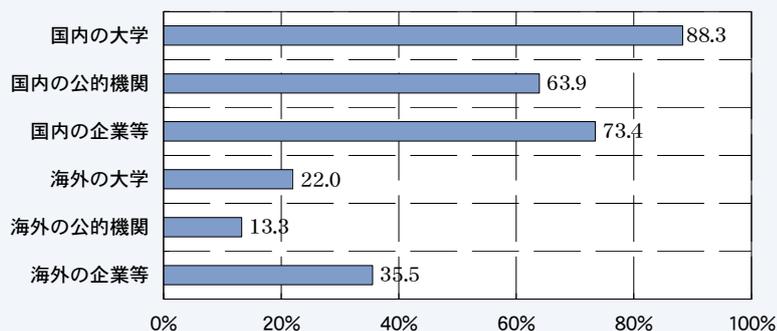
このような状況の中、大学等においても、共同研究等による企業からの外部資金の受入額が増加しつつある（第1-1-6図）。

第1-1-3図 企業における社外支出研究費割合（国内+海外）



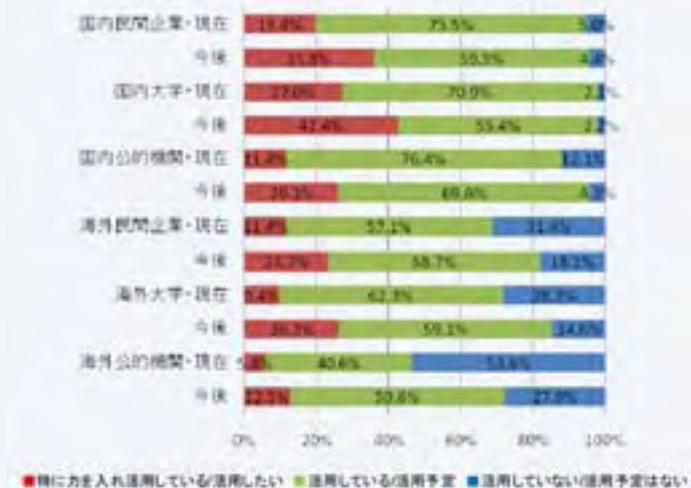
資料：総務省「科学技術研究調査報告」

第1-1-4図 国内外の大学、公的機関、企業等との研究協力を実施している企業の割合



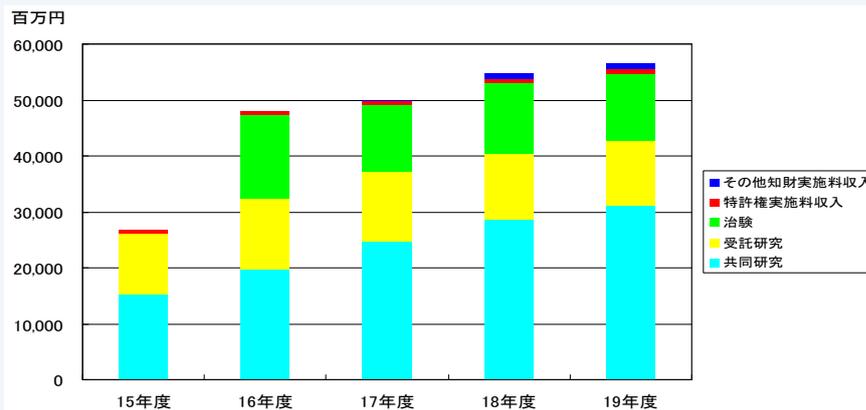
資料：文部科学省「民間企業の研究活動に関する調査（平成19年度）」

第1-1-5図 共同研究の活用予定



資料：経済産業省作成

第1-1-6図 国公立大学等の民間企業からの研究資金等の受入額の推移



注) 1. その他知的財産実施料収入については、平成15、16年度は調査を行っていない。

2. 治験については、平成15年度は調査を行っていない。

資料：文部科学省「産学官連携等実施状況調査」

このようなイノベーションのオープン化の動きに我が国の官民の研究機関が適切に対応していくことが必要である。特に、官民一体となった研究開発を行う際には、IMECで見られるように、営利活動から遠く、外部機関との情報共有や協働が障害とならない基礎研究等の非競争領域においては、研究開発投資の効率を高めるため、多数の機関による相乗効果が発現されるオープン（開放的）な形での研究開発を行うことが重要となりつつある。一方、営利活動に近く、そのような情報共有や協働が困難となる応用研究等の競争領域においては、クローズド（閉鎖的）な形での研究開発を進めることが必要であり、これらの戦略的な使い分けなどの巧みなマネジメントが重要となってきている。

前述のように、これまで我が国の企業は、いわゆる「自前型」、「垂直統合型」の研究開発システムの下、多くのイノベーションを成し遂げてきたが、近年は、コラム3に見られるようにイノベーションのオープン化の時代における大学などとの連携の必要性を強く意識するようになってきている。このため、我が国における基礎研究の実施の中核である大学等や研究開発法人のような公的研究機関の重要性が飛躍的に増しており、公的研究機関の側においてもこのようなイノベーションのオープン化への対応を行っていく必要がある。

コラム3 産業競争力懇談会「基礎研究についての産業界の期待と責務」

我が国の産業競争力の強化に深い関心を持つ産業界の代表により構成された産業競争力懇談会（COCN）は、平成21年3月6日に、「基礎研究についての産業界の期待と責務」を公表した。

この報告書においては、「グローバルな競争が激化し、研究開発期間の短縮化、先端研究と製品開発の同期化が進行する今日、民間企業が基礎から開発までの広範な研究開発をすべて自前で行うことは極めて難しい」として、イノベーションのオープン化の潮流を強調している。また、将来の応用における重要課題を構想し、根源にまでさかのぼって、真に革新的な解決法を探索するような研究である「革新研究」の重要性を指摘するとともに、産学官の異なる専門性を有した第一線の研究者が、課題を共有するための「場」の形成を訴えるなど、イノベーションのオープン化の時代における企業の問題意識を端的に表している。さらに、報告書では「基礎研究推進に向けたCOCNからの提言」として、以下のような提言を行っている。

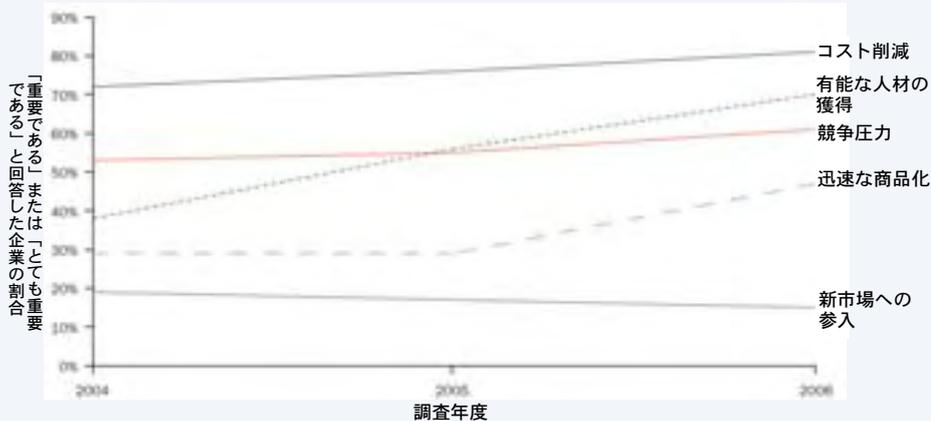
- (1) 研究開発投資総額に係る第3期科学技術基本計画の当初目標の堅持、基礎から実用化までの切れ目のない資金支援を担保する効率的なファンディングシステム的设计等が必要である。
- (2) 革新研究を基礎研究の核と位置付け、その強化を図るべきである。また、その推進に当たっては、産学官が連携し、オープンな議論を行う「場」の設定が必要である。
- (3) 「先端融合領域イノベーション創出拠点」を革新研究実行の場の1つとして位置付け、効果的運用に向けた議論を深化させることが必要である。

- (4) 学術成果の意味を正しく理解し、それを現実のニーズに結び付ける、構想力を持った「目利き」人材の育成を進めることが重要である。
- (5) 先端研究を成果指標に過度に依存して評価することの弊害が懸念される。産学が意識を共有し、研究と教育のバランスの取れた大学経営が成されることが重要である。産学が連携した柔軟な形での人材育成、人材交流や、寄付金講座の活性化等を一層進めることが重要である。

(2) イノベーションのグローバル化

イノベーションのオープン化と並行して、事業のみならず、研究開発活動を含めてグローバルに展開する動きも進展している。全米アカデミーズが2006年に発表した報告書「Here or There?」によると、調査に参加した200以上の多国籍企業のうち90%近くが研究開発機能を海外展開しており、約20%は自社の技術者の半数以上を海外に配置しているとしている。また、海外展開の利点として、従来の人件費をはじめとするコスト削減に加え、最近では海外の優秀な人材の存在が重視されつつある（第1-1-7図）。

第1-1-7図 企業が海外展開（オフショアリング）を行う理由



資料：Duke University/Archstone Consulting Offshoring Research Network 2004 and 2005 Surveys; Duke University/Booz Allen Hamilton Offshoring Research Network 2006 Survey

また、米国では、このような企業の研究開発のグローバル化に対応して、大学の側においても、海外企業をグローバルに取り込んで、研究開発のリソース（資源）として活用する動きが活発化している。例えば、マサチューセッツ工科大学（MIT）¹では、海外企業も含めた産学連携を推進するため、産業リエゾン・プログラムを設置している。同プログラムでは、学部付きのリエゾン（外部連携部門）がメンバー企業のニーズに適した学部や研究チーム等を選択して援助を行っており、我が国の企業も多数参加している（第1-1-8表）。

¹ Massachusetts Institute of Technology

第1-1-8表 産業・リエゾンプログラムのメンバー企業の例

日本企業	三菱電機	ALSTOM SA(仏)
アルプス電気	三菱マテリアル	BT Group(英)
大日本印刷	ムラタ	Compania Vale Do Rio Doce(ブラジル)
ダイキン工業	NEC	Endesa, S.A.(スペイン)
デンソー	ニコン	Fiat SpA(イタリア)
荏原製作所	NTT	Industrial Bank of Taiwan(台湾)
富士エレクトロニクス	日産自動車	Kuwait Petroleum Corp.(クウェート)
富士重工	三洋電機	Phillips Electronics(オランダ)
富士通	シャープ	Saab AB(スウェーデン)
日立製作所	帝人	Shell(オランダ)
ホンダ	東京エレクトロン	Taga Steel(インド)
HOYA	トヨタ自動車	Telecom New Zealand(ニュージーランド)
コマツ	その他の海外企業	Veolia Environment(仏)
三菱化学	Agria(ベルギー)	Volkswagen(独)

資料：マサチューセッツ工科大学ホームページを基に新エネルギー・産業技術総合開発機構ワシントン事務所作成

我が国の企業においても、海外に対する社外支出研究費を増加させつつあり、平成14年から19年の5年間でその額をほぼ倍増させている（第1-1-9図）。さらに、我が国の諸外国との特許等の技術の提供又は受入れを示す技術貿易の額も年々増加する傾向にある。

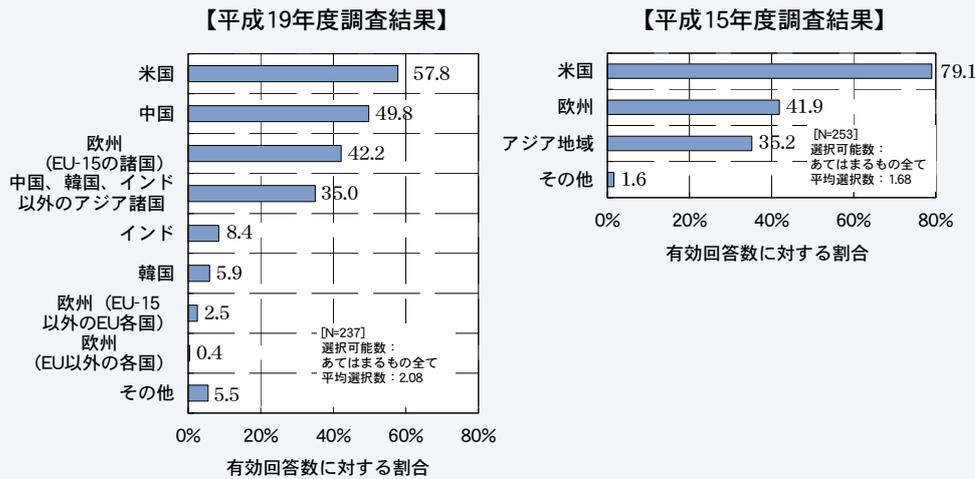
第1-1-9図 海外への外部支出研究費の増大



資料：総務省「科学技術研究調査報告」

また、研究拠点の海外進出という面からみても、資本金500億円以上の企業においては、約半数が海外の研究開発拠点を設置していると回答しており、特に中国における研究開発拠点の増加が顕著である（第1-1-10図）。

第1-1-10図 海外研究開発拠点の設置地域



このようなイノベーションのグローバル化の中で、海外企業のみならず、我が国の企業においても、研究開発拠点の設置等を通じて研究活動をグローバルに展開しており、従来のように自国で研究活動を行うとは限らなくなっている。

このため、我が国の官民の研究機関においては、その研究開発力を強化することにより、世界のイノベーション拠点としての地位を獲得・維持していくことが求められている。

2 モジュール化の進展による新興国への生産工程等の移行

我が国の企業は、生産工程の改良を中心としたプロセス・イノベーションに卓越してきた。これに加え、自動車産業の製造工程に代表されるような、多数の工程や部品をきめ細かく調整して組み合わせる「すりあわせ」による優位が指摘されることが多い。

しかしながら、現在、パーソナルコンピュータや携帯電話といったエレクトロニクス製品を中心に、標準化された汎用部品の組合せで製造を行うことにより、組立て自体に高度なすりあわせを必要としなくなる「モジュール化」と呼ばれる現象が進展している。過去の事例では、1980年代にIBMが自社のパーソナルコンピュータを汎用部品の組合せで構成可能としたことにより、組立工程には技術的な格差がほとんどつけられないようになった。また、部品の供給を外部の企業に大幅に依存するようになった結果、パーソナルコンピュータの技術的な中核は、基本ソフトやCPU等の各構成部品に移動することとなった。

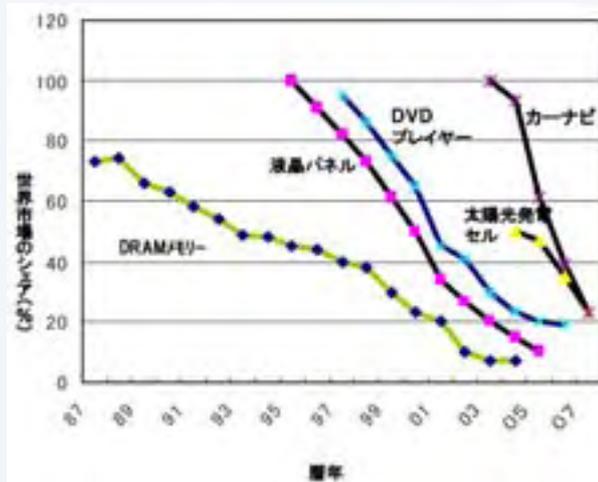
このようなモジュール化が、デジタル家電をはじめとするエレクトロニクス産業全体に広がりつつある。このため、組立工程が人件費等の製造コストが安い国へ移転されるとともに、製品の技術的な中核やイノベーションの舞台が標準化された汎用部品やそれらを構成する素材等に移ってきている。その結果、エレクトロニクス製品については、設計企画と最終製品の製造の分離等の国際的な事業の水平分業が進展し、このような変化に十分対応できていない我が国の企業はシェア（市場占有率）を顕著に低下させている。

また、最終製品のみならず、その構成部品についてもモジュール化及びそれに伴う事業の水平分業が生じつつあり、例えば半導体については、シリコンウェハー等の素材と製造装置さえあれば、中国等の新興国においても比較的容易に生産が可能となっている。

モジュール化に伴うシェアの低下は、関連特許の約9割を我が国の企業が有しているDVDブ

レイヤーのほか、液晶パネル、太陽光発電セル、カーナビゲーションなど、日本発のプロダクト・イノベーションの成果である製品についても起こっている（第1-1-11図）。

第1-1-11図 モジュール化した製品に関する我が国の企業のシェアの推移



資料：小川紘一・東京大学教授「新・日本型イノベーションとしての標準化・事業戦略（11）」

ものづくり産業全般を見ても、我が国の企業は、自動車や複写機など、製造工程に高度なすりあわせが必要な一部の製品を除き、最終製品のシェアを失いつつある。

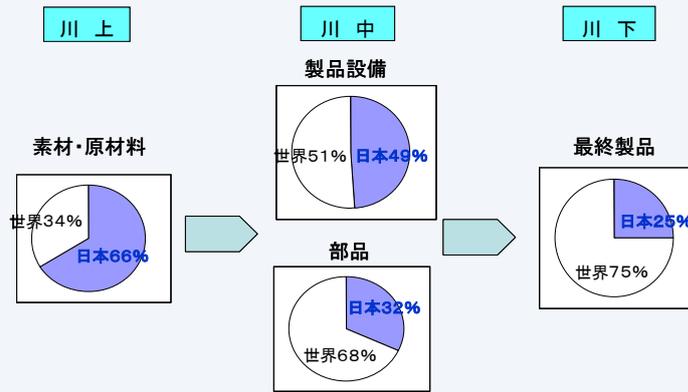
一方、事業の水平分業への対応を得意とする中国、台湾等の企業は、欧米企業のイノベーションの成果をうまく活用し、エレクトロニクス製品等のシェアを大きく伸ばしつつあるとともに、高い利益率を上げるようになっている。加えて、欧米の一部の企業は、自社が有する優れた製品の設計、企画能力と中国、台湾等の企業が有する最終製品の製造能力を巧みなグローバル連携を通じて組み合わせることなどにより、シェアを大幅に拡大している。

ただし、高い技術水準やすりあわせを要する部品、素材、製造装置等（以下「素材等」という。）については、我が国の企業は非常に高いシェアを有している。例えば、半導体の素材であるシリコンウェハーや液晶パネルを構成するガラス基盤など、我が国の企業が圧倒的な世界シェアを有しているものも少なくない。かつて我が国が国際競争力を有していた情報家電産業について見れば、最終製品のシェアは25%にとどまっている反面、川上の素材等においては、6割以上のシェアを有している（第1-1-12図）。

この結果、我が国では、シェアの低下に悩む最終製品と競争優位を維持する素材等という競争力の二極化が進んでいる。

第1-1-12図 情報家電産業の川上・川下の国際シェア

2005年 推計



資料：文部科学省、厚生労働省、経済産業省「2006年版ものづくり白書」

このため、今後、このようなモジュール化の進展の中で、製品のビジネスモデルの^{かなめ}要を握る中核的な素材等の技術を見極めて研究開発を行うとともに、それを核に他機関を巻き込みつつ、製品全体の研究開発や事業展開をグローバル市場において主導していけるよう、技術経営力の強化に取り組む必要がある。

3 科学とイノベーションの接近、シミュレーションや数学の活用などによる研究開発の在り方の変化

近年、世界的にサイエンス・リンケージ¹が高まっているなど、従来技術の^{ざんしん}斬新的改良の限界が来つつあること等から科学の成果を製品開発に応用する必要が高まっており、その結果として、科学の成果と製品開発との関係が密接になってきている（第1-1-13図）。

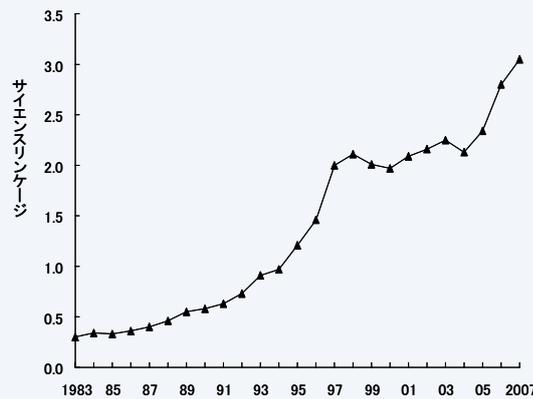
例えば、コラム3で紹介した「基礎研究についての産業界の期待と責務」においても、「半導体集積回路の微細化は2020年前後には10ナノメートルのレベルに達し、実質的な限界に到達する可能性が高い」と記述し、我が国が直面する5つのリスクの1つとしてIT基盤技術の限界到達を指摘するとともに、「IT基盤技術を新たな高みに持ち上げるブレイクスルーが是非とも必要」としている。

さらに、現在、医薬品産業やソフトウェア産業に代表されるような、ほかの産業に比べ科学的な発見や成果と製品開発が緊密につながっている「サイエンス型産業」と呼ばれる一群の産業がその存在感を増している。しかしながら、サイエンス型産業において、我が国は強い国際競争力を保持しているとはいえ、例えば、我が国は、米国に対して医薬品やソフトウェアが輸入超過状態であるなど、1980年代という早期から産業の振興に強力に取り組んだ米国に大きく後れを取っているのが現状である。

前述のように、我が国のものづくりの強みは、卓越したプロセス・イノベーションに大きく依拠してきたが、今後、サイエンス型産業を含め、ものづくりの国際競争力を有していくためには、基礎的な科学にさかのぼって課題を達成する取組を強化するとともに、大学等や研究開発法人の基礎研究により得られる幅広い成果の積極的な活用が必要不可欠である。

1 特許1件当たりの科学論文の引用回数によって表される。

第1-1-13図 米国特許におけるサイエンス・リンケージの上昇



資料：科学技術政策研究所「科学技術指標－第5版に基づく2008年改訂版－」（調査資料 No.155）

加えて、近年、従来は行うことができなかった複雑な自然現象の解明等がIT技術や数学の進歩により可能となってきている。例えば、取り扱うデータが膨大で正確な予測が困難であった気候変動等の現象について、スーパーコンピュータによる計算科学技術の発達により、高度な予測が可能となりつつある。米国競争力評議会も、「計算モデルは、開発費用・エンジニアリング費用・デザイン周期を軽減・短縮するとともに、無駄・騒音・原材料の低減にもなる」とし、航空、自動車、バイオテクノロジー、エネルギー技術の研究開発へのスーパーコンピュータによるシミュレーションの活用が今後のイノベーションのかぎであると報告している¹。

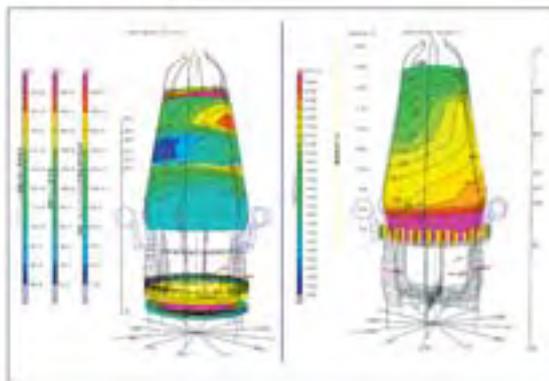
また、ITやシミュレーションのほかにも、ものづくりやサービスの様々な局面に数学が応用されるようになってきている。例えば、製鉄所の高炉内部の状況を数学モデルにより定量的に把握することで、品質や生産性の向上につなげているような例も見られる（第1-1-14図）。

第1-1-14図 製鉄所の高炉内部の数学モデル

高炉では、鉄鉱石とコークスを高温で反応させ、鉄鉱石中に含まれる酸素を除去して鉄を取り出しているが、その生産効率を高めるためには、炉内の状況を的確に把握して、鉄鉱石から酸素を除去する過程を最適化する必要がある。

高炉の内部を実際に見ることはできないことから、新日本製鐵株式会社では炉内に設置した温度センサと圧力センサにより炉内の温度、圧力、ガスの分布状況を数値化して把握している。1秒単位の計測により得られた大量の情報を、数学モデルを用いて解析することで炉内の状況を3次元的に視覚化することが可能となっており、高炉の安定操業に寄与している。

写真1 3D-VENUSの画面



資料：新日本製鐵株式会社

1 “U.S. Manufacturing-Global Leadership Through Modeling and Simulation”（2009年3月）

また、金融部門における数学の適用は、金融機関の事業展開に大きな影響を与えたのみならず、金融工学という1つの学問領域を打ち立てるまでに至るなど、高度な数学の実社会への応用も大きなイノベーションを生み出しつつある。高度な数学の役割は、純粋に学術的な基礎科学の分野においても増しており、例えば、物理学において素粒子に働く電磁気力、強い力、弱い力、重力の4つの力を統一する理論の有力な候補として大きな焦点となっている超弦理論の研究には、極めて高度な数学が用いられている。

こうした状況の中、今後、我が国としても、スーパーコンピュータ等の計算科学技術や応用数学といった新たなツールを適切に活用しつつ、研究開発を進める必要がある。

4 知識融合、組合せなどによるイノベーションの増加

20世紀における偉大な発見や発明に際して、知識の融合が果たした役割は大きい。近年、これまでも増して、知識の融合や組合せによってイノベーションが起きる傾向が強まっている。

その中で、ものづくりとサービスの融合や、科学技術と優れたアイデア・コンセプトの組合せによるイノベーションが注目されている。具体的には、パーソナルコンピュータ等について、デル¹のようにものづくりと高度な流通販売業が融合した形態の業種が出現している。また、アップル²のiPodは、製品とITサービスを組み合わせ、従来のものづくりではとらえきれない製品である。

さらに、現在、イノベーションの契機が顧客であるケースが増加している。背景としては、顧客ニーズの多様化が挙げられ、最終製品のみならず、中間財についても複雑なニーズに的確に対応していかなければ、シェアの獲得が困難になっており、研究開発の各段階において、需要側の情報にどのように対応していくかが重要となっている。

こうした状況の中、我が国としても、ものづくり・サービス、文系・理系の境を超えた知識融合、組合せによるイノベーションの創出を図っていくことが重要である。具体的には、後述のサービス科学・工学を含む融合研究の振興をはじめ、技術とアイデア・コンセプトやマーケティングを含むビジネスモデルとの統合を可能とする技術経営力の向上が不可欠である。

5 研究開発投資の大規模化及び政府の関与の高まり

グローバルな競争の激化等を背景に、国境を越えた業界再編が進み、グローバルな巨大企業が誕生するとともに、製品のライフサイクルの短期化や研究開発投資の大規模化が起こっている(第1-1-15図)。研究開発投資額が上位の企業について、我が国と海外とを比較すると、自動車等の分野においては匹敵するものの、グローバルな巨大企業が生まれた製薬分野においては、研究開発投資額・売上高ともに大きな格差がある。また、情報・電気・電子分野において顕著に見られるように、多角的に事業展開を行う傾向がある我が国の企業に比べて、海外の企業は専門的な事業展開を行う傾向がある。このため、特定の製品・技術分野について比較した場合には、海外の企業の方が我が国の企業よりも研究開発投資額が大きくなる可能性が高い(第1-1-16図)。

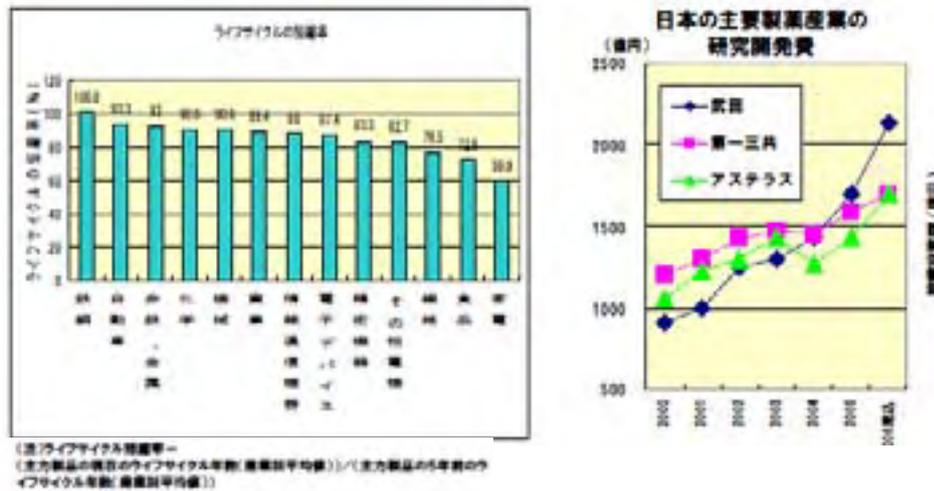
このような中、近年、諸外国において、自国が競争優位性を持つ分野の科学技術振興を官民が一体となって行う動きが見られる。例えば、製薬分野においては、米国の企業は圧倒的な規模及び産業競争力を誇っているが、米国政府は製薬を含めたバイオ分野に巨大な研究開発投資を行っ

1 Dell Inc.

2 Apple Inc.

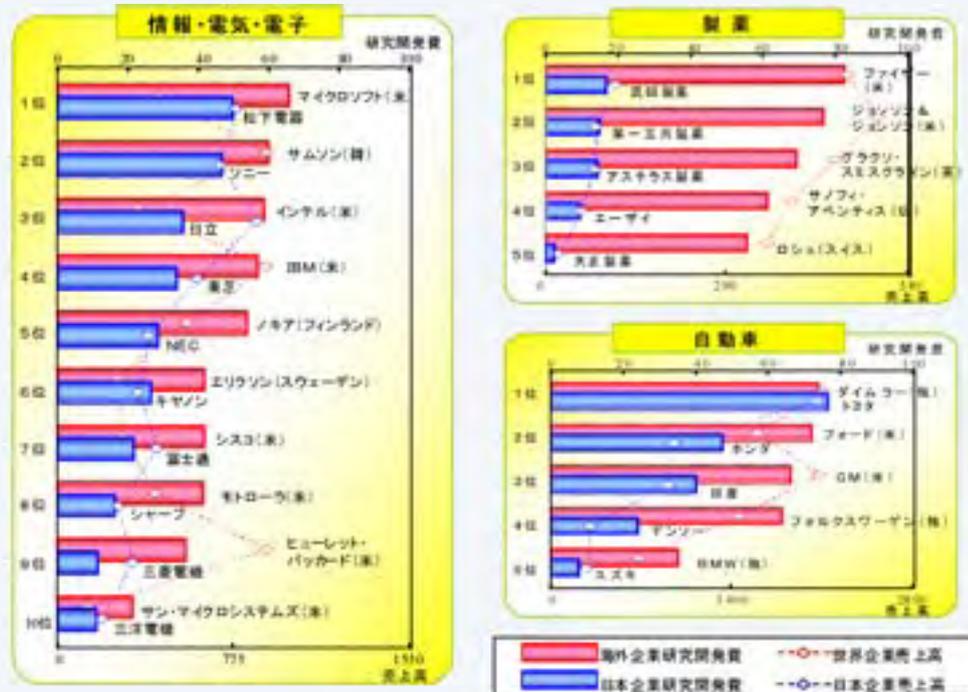
ている。具体的には、1998年から2003年までのわずか5年間で、バイオ分野の政府研究開発投資において中核的な役割を担う国立衛生研究所（N I H）¹について、予算を131億ドルから約2倍の264億ドルへと急激に増額させている。2008年度のN I H予算は、補正予算を合わせて約390億ドルであり、我が国の科学技術関係経費全体にほぼ匹敵する額となっている。

第1-1-15図 製品のライフサイクルの短期化と研究開発費の高騰



資料：(左) 文部科学省、厚生労働省、経済産業省「2007年版ものづくり白書」
 (右) 医薬産業政策研究所「製薬産業の将来像～2015年に向けた産業の使命と課題～」

第1-1-16図 研究開発投資上位企業の業種ごとの内外企業比較



注) 金額の単位は億ドルである。
 資料：“S & P Global 1200 (2006)” を基に経済産業省作成

1 National Institutes of Health

また、台湾における半導体の製造受託は、世界シェアの半分以上を占める巨大産業となっているが、その要因の1つとして、工業技術研究院（ITRI）¹等の政府の研究所の存在が挙げられる。ITRIは自らの研究開発成果を積極的に企業へ移転し、企業の研究開発機能を代行する側面を有しているほか、多くのスピンオフ（派生）企業も生み出している。半導体の製造受託企業として世界最大の規模を誇る台湾積体回路製造（TSMC）も、ITRIから分離し設立された企業である。また、このほかハイテク産業を対象とした税制上の優遇措置等により、競争優位が創出されている。

今後の国際的大競争の激化を踏まえれば、国境を越えた企業再編によるグローバルな巨大企業の誕生、それら企業の研究開発投資の巨額化、自国が競争優位を持つ分野における官民一体となった科学技術振興の動きが更に加速して広がっていく可能性がある。2008年11月に発表された米国国家情報会議（NIC）²の報告書「Global Trends 2025 : A Transformed World」では、国家に重要な役割を担わせる経済マネジメントシステムを「国家資本主義」（State Capitalism）と呼び、「中国、インド、ロシアは西欧的な自由主義のモデルには従わず、国家資本主義のモデルを採用するだろう。（中略）韓国、台湾、シンガポールのようなほかの新興国もこのような国家資本主義を採用した」としている。加えて、世界的な経済危機の発生により、市場経済を重視し、経済活動への介入に消極的な傾向があった米国や英国においても、金融機関への資金投入や2009年の補正予算を定める米国再生・再投資法による巨額の研究開発投資等に見られるように、経済活動等に対する政府の関与を強めている。

このため、我が国としても、競争優位を持つ分野等における科学技術振興に官民が連携して取り組むための枠組みを早急に構築していく必要がある。

コラム4 Global Trends 2025 : A Transformed World（概要）

NICは、2008年11月に2025年の世界情勢をマクロ的に分析した「Global Trends 2025 : A Transformed World」を公表した。その概要は以下のとおりとなっている。

- ・2025年までに国際システムは、先進国と途上国との国力の差が拮抗していくような「グローバル多極化システム」に変容する。
- ・米国は依然として唯一の有力なアクターとして生き残るであろうが、米国の相対的な強みである軍事部門ですら下降し、米国の影響力は制約される。
- ・2040～2050年までにBRICs全体としてG7と同等のGDP（国内総生産）シェアになる。中国はこれからの20年間でほかのどの国よりも影響力を示す。
- ・インドも比較的急速な経済成長を続け、ニューデリーを1つの極とする多極化世界の構築を模索していく。
- ・中国、インド、ロシアは西欧的な自由主義のモデルには従わず国家資本主義のモデルを採用していくだろう。韓国、台湾、シンガポールのようなほかの新興国もこのような国家資本主義を採用した。
- ・欧州と日本は人口1人当たりの富では中国やインドを遥かに引き離し続けるが、労働人口の減少により、しっかりとした経済成長を維持するためには相当の困難が伴う。
- ・資源問題が国際関係の中での重要性を増す。今後10年あるいはそれ以上にわたり、需要が供給を容易に超えるので、結果的には、世界のエネルギー供給は石油から天然ガス、石炭、その他の代替エネルギーへの転換の真っ只中へ入っていくだろう。
- ・世界銀行の試算では、食糧に対する需要は2030年までに50%増加する。
- ・気候変動は資源の希少性を更に悪化させ、開発途上国の多くの地域が水不足や農業生産の減少に直面する。
- ・新技術は、化石燃料の代替、食糧と水の制約を克服するための解決策となる。しかし、規模の観点からいって現在のすべての技術は伝統的なエネルギー構造と置き換わるには不十分である。



¹ Industrial Technology Research Institute

² National Intelligence Council

第2節 研究人材の国際流動の増大と獲得競争の激化

1 研究人材の国際流動の増大と獲得競争の激化

イノベーションのオープン化、グローバル化の進展と並行して、研究者も国境を越えて移動し、自国以外で容易に研究活動を行うようになった。また、将来、研究を担うと考えられる留学生も増加しており、国際的な移動が活発となっている（第1-1-17図）。その最大の供給元はアジア諸国であるが、地理的に近い我が国よりも米国が多数の留学生を受け入れている状況にある。（第1-1-18図）。

このような状況の中で、新興国を含めた多くの国々においては、科学技術によるイノベーションの創出を図るため、優秀な人材を自国に惹き付けるための受入れ政策や環境整備を積極的に推進している。こうした動きはこれまで諸外国から優秀な人材を惹き付けてきた米国も例外ではなく、研究者や技能者の不足への懸念から、その受入れ拡大に向けた検討を進めている。また、米国や欧州等へ人材を供給してきた中国やインド等の新興国では、自国におけるイノベーションの創出のため、海外からの自国の人材の呼び戻しを含めて、諸外国から優秀な人材を獲得する動きが活発になっている。さらに、シンガポールのように、従来から生活環境の整備も含めて海外の優秀な人材の確保に積極的に取り組んできた国も存在する。

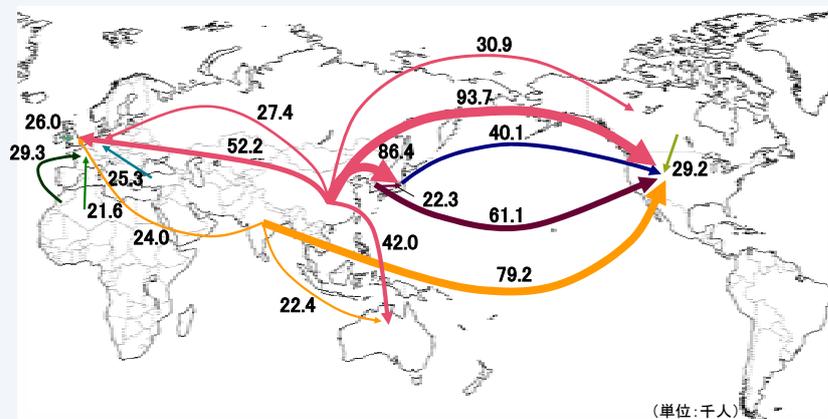
以上のように、近年、人材の国際流動が高まっている中で、イノベーションの創出に向け、優れた研究者や留学生を自国に惹き付けようとする人材獲得競争が激化している。

第1-1-17図 高等教育における国外留学生数の長期的増加



資料：OECD “Education at a Glance” を基に文部科学省作成

第1-1-18図 留学生の地域間移動の状況（2006年）



注：2万人以上のみ表示した。

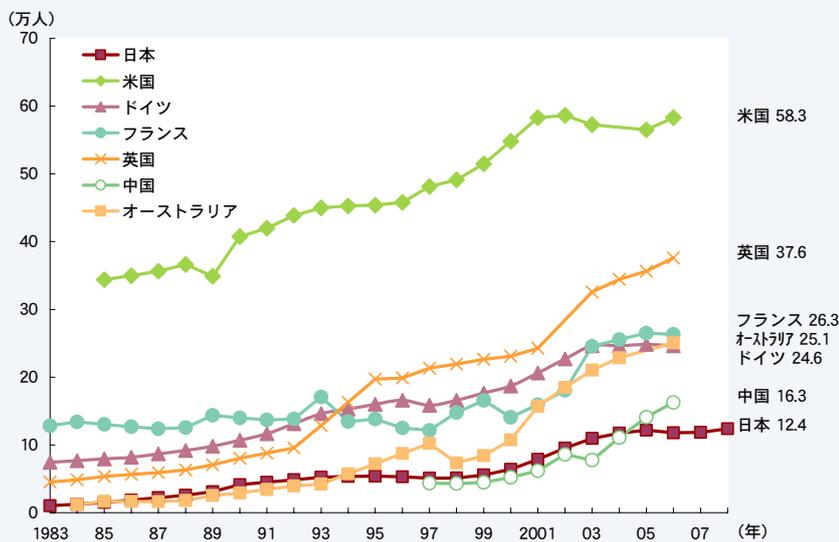
資料：OECD “Online Education Database” を基に文部科学省作成

2 我が国における研究者等の受入れの状況

我が国の研究開発力の維持・強化を図る上では、内外から優秀な人材を研究者として確保することが極めて重要であり、少子高齢化が進む中で、特に、海外から優秀な研究者を獲得する必要性が一層高まっている。また、外国人研究者の受入れは、多様な価値観や文化的背景を持つ研究者との切磋琢磨を通じて研究の活性化を促すとともに、従来の所属機関等と受入れ機関の間における組織的な交流等へ進展することも期待される。

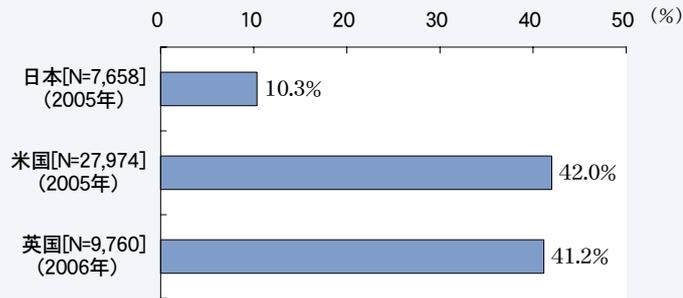
留学生の受入れは将来の研究者の育成という観点から重要であるが、我が国の受入れ状況は、平成15年に「留学生受入れ10万人計画」の目標を達成したものの、ほかの主要先進国と比べると低調である（第1-1-19図）。また、主要先進国の科学工学系博士号取得者に占める外国人の割合について見ると、米国や英国は約4割であるのに対し、我が国は約1割にとどまっている（第1-1-20図）。

第1-1-19図 主要先進国における留学生の受入れ者数の推移



資料：米国：IIE “OPEN DOORS”（1994～2006年）、ユネスコ文化統計年鑑
 英国：HESA “STUDENTS in Higher Education Institutions”（1997～2001、2003～2006年）、ユネスコ文化統計年鑑（1983～1996年）
 ドイツ：連邦調査庁（1997～2006年）、ユネスコ文化統計年鑑（1983～1996年）
 フランス：フランス教育省（1998～2006年）、ユネスコ文化統計年鑑（1983～1995年）
 オーストラリア：DEST（2004年）、AEI（1998～2000、2003、2005～2006年）、ユネスコ文化統計年鑑（1984～1997年）
 中国：中国教育部
 日本：文部省留学生課（1983～2003年）、日本学生支援機構（2004～2008年）

第1-1-20図 主要先進国の科学工学系博士号取得者に占める外国人の割合



注：軸項目中の「N」は科学・工学系の博士号取得者の総数を示す。
資料：NSF “Science and Engineering Indicators 2008” Appendix Table 2-49を基に文部科学省作成

我が国における大学等の外国人研究者の受入れ状況についても、受入れ研究者総数は増加傾向にあるものの、内訳としては、30日以内の短期受入れによるところが大きく、より本格的な研究活動や人材交流が期待される長期受入れの実績は増えていないことが分かる（第1-1-21図）¹。

このように、我が国では、留学生の受入れや長期の外国人研究者の受入れが低調である。このため、大学等や研究開発法人においては、特色ある魅力的な研究を進めることなどにより、多様な価値観やキャリアを持つ留学生や研究者を海外から積極的に受け入れていくことが重要である。

第1-1-21図 期間別受入れ研究者数の推移



資料：文部科学省「国際研究交流の概況」

3 我が国研究者の国際流動等の現状

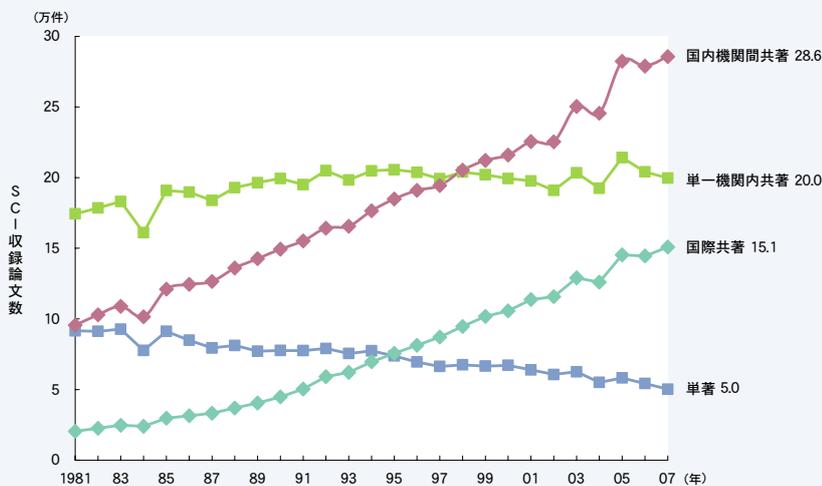
情報化の進展や研究者の国際流動の増大に伴い、論文執筆や特許出願等も国際的に展開されるようになった。科学論文の共著の形態についても、単一機関内における共著が横ばい傾向である

¹ 調査対象は国・公・私立大学、試験研究機関等である。当該調査での「派遣」とは、当該機関で雇用している研究者で、研究活動を目的として海外に渡航した者、「受入れ」とは、当該機関で雇用している（非常勤も含む）外国人教員・研究員等、及び共同研究・学会・講演会・シンポジウム等で招へい・来日した研究者と定義している。また、ここでの研究者とは、教授、助教授、助手、講師（非常勤を含む）など各機関で雇用している教員、並びに各機関と一定の雇用契約で結ばれている研究員を指す。

のに対し、国内機関間共著や国際共著は着実にその数を増やしている（第1-1-22図）。特に最近の研究では、トップレベルの研究拠点間で国際共著が行われる事例も報告されており、国境を越えた著名な研究者同士のネットワークが醸成されつつある。

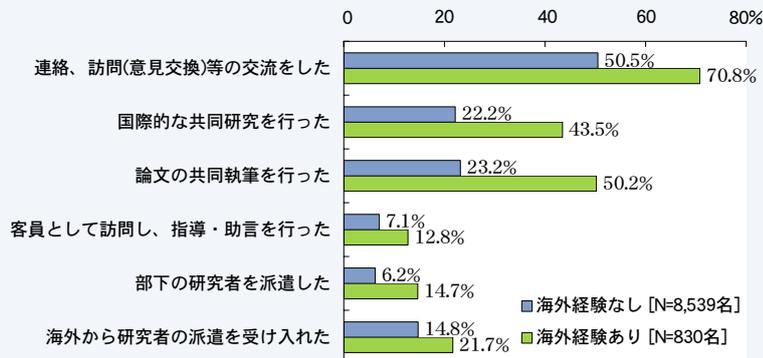
こうした状況の下、我が国の研究者が国内外において様々な研究の場を経験するよう、研究者の流動性の向上を図ることは、創造性豊かで広い視野を有し、国際的な研究者のネットワークの中でも活躍できる研究者を養成する上で重要な課題となっている。例えば、海外での研究経験がある研究者の方が、ない研究者よりも、国際共同研究や国際共著論文の執筆等を行った割合が高く、論文の生産性も高くなっている。このことから、研究者の海外における研究経験は、研究者の国際的なプレゼンス（存在感）及び研究水準の向上の点においても重要であると考えられる（第1-1-23図、第1-1-24図）¹。

第1-1-22図 自然科学分野における論文共著形態の変化



注：SCI：Science Citation Index（科学技術文献データベース）
資料：科学技術政策研究所「科学技術指標-第5版に基づく2008年改訂版-」（調査資料 No.155）

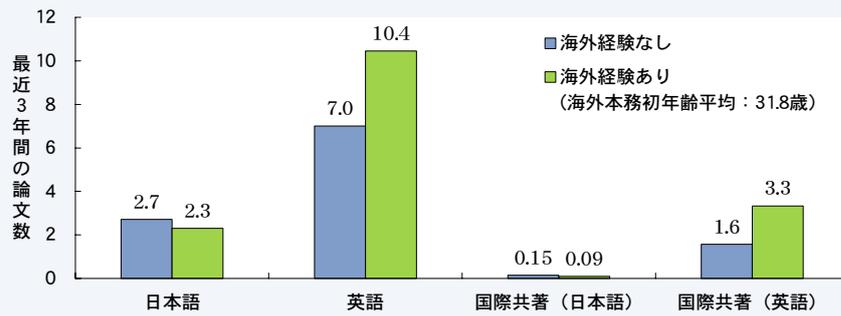
第1-1-23図 海外経験の有無と最近3年間における海外との関係（複数回答）



注：Nは有効回答数
資料：科学技術政策研究所「科学技術人材に関する調査」（調査資料 No.123）

¹ 調査対象機関は、国内の自然科学系の博士課程を有する国公立大学等及び大学共同利用機関（計248機関）、国内の自然科学系の研究を行う独立行政法人、国立試験研究所、公設試験場、財団法人及び社団法人（計601機関）である。これらの調査対象機関に所属する研究者に対し調査を行った。配布数は15,250、回収数9,369、回収率61.4%である。

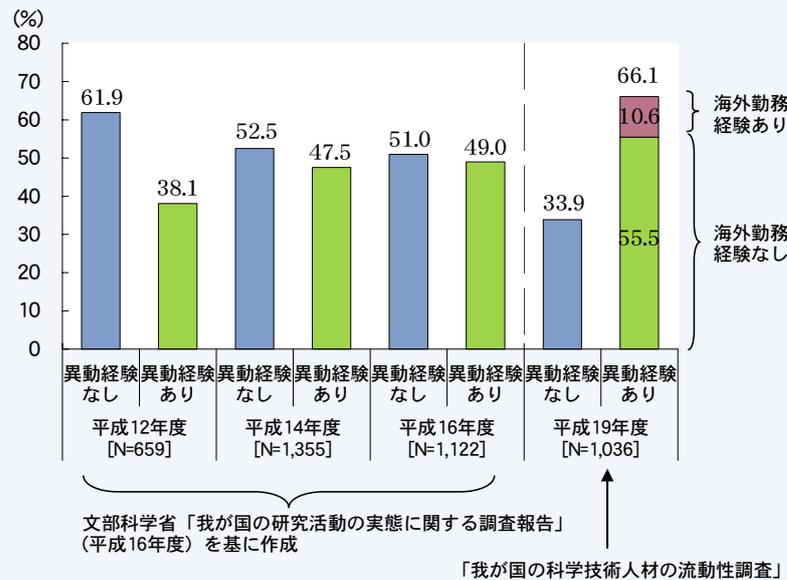
第1-1-24図 海外経験の有無と最近3年間における論文の生産性



資料：科学技術政策研究所「科学技術人材に関する調査」(調査資料 No.123)

我が国の研究者の国内外の流動性を見ると、これまでに異動した経験がある者の割合は66.1%と過去の調査結果に比べて増加しているものの、そのうち海外勤務経験のある者の割合は10.6%にとどまっている(第1-1-25図)¹。また、すべての回答者のうち、近い将来海外で研究を行う予定のある者は2.0%と非常に少なくなっており、我が国の研究者の内向き志向が鮮明に表れている(第1-1-26図)。

第1-1-25図 これまでの経歴における異動経験及び海外勤務経験の有無

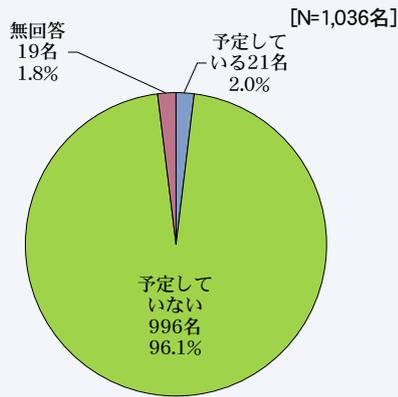


注：年度は調査時期

資料：科学技術政策研究所・文部科学省「我が国の科学技術人材の流動性調査」(調査資料 No.163)

¹ 平成17年度中にJSTPlus(科学技術振興機構が提供する、JST Online Information Systemsに含まれる科学技術全分野に関する文献情報データベースファイルの総称)に登録された論文の第一著者及び第二著者を研究者とみなし、うち2,000名を民間企業50%、大学等30%、公的研究機関等15%、その他機関5%の割合となるよう層化無作為抽出を行った。有効回答者数は1,036名、回収率51.8%である。

第1-1-26図 近い将来、海外で研究を行う予定の有無

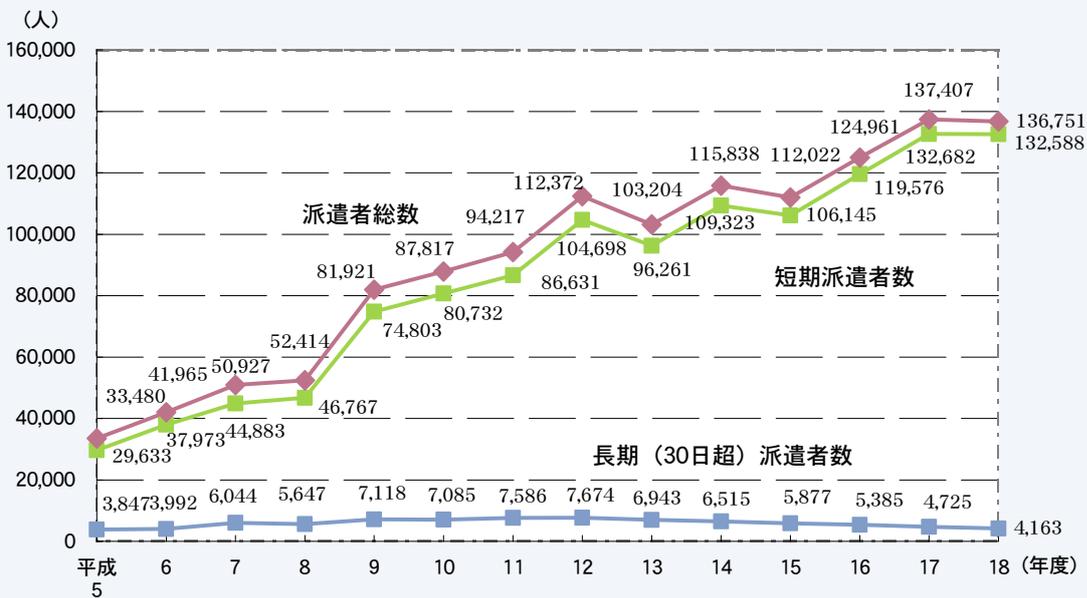


注：Nは全回答者数

資料：科学技術政策研究所・文部科学省「我が国の科学技術人材の流動性調査」（調査資料 No.163）

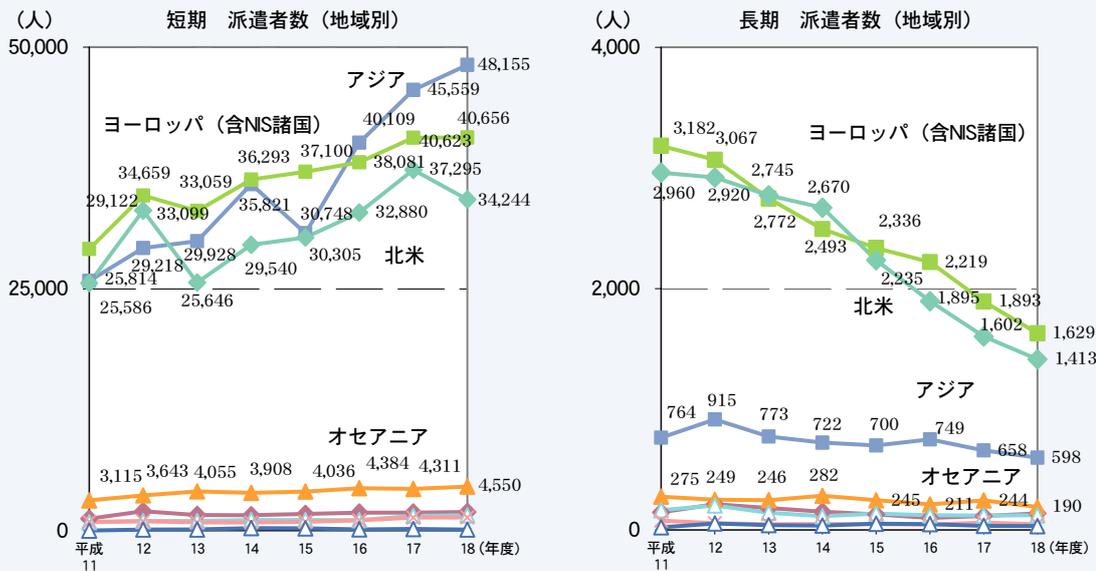
また、我が国の研究者の海外への派遣状況について見ると、派遣研究者総数は増加傾向にあるものの、その大半は30日以下の短期派遣者となっている。より本格的な研究活動や人材交流が期待される長期派遣者はごく一部にとどまっているだけでなく、近年は減少傾向にある（第1-1-27図）。また、地域別に見ると、アジアへの短期派遣者の増加や欧州、米国への長期派遣者の減少が顕著である（第1-1-28図）。

第1-1-27図 期間別派遣研究者数（短期・長期）の推移



資料：文部科学省「国際研究交流の概況」

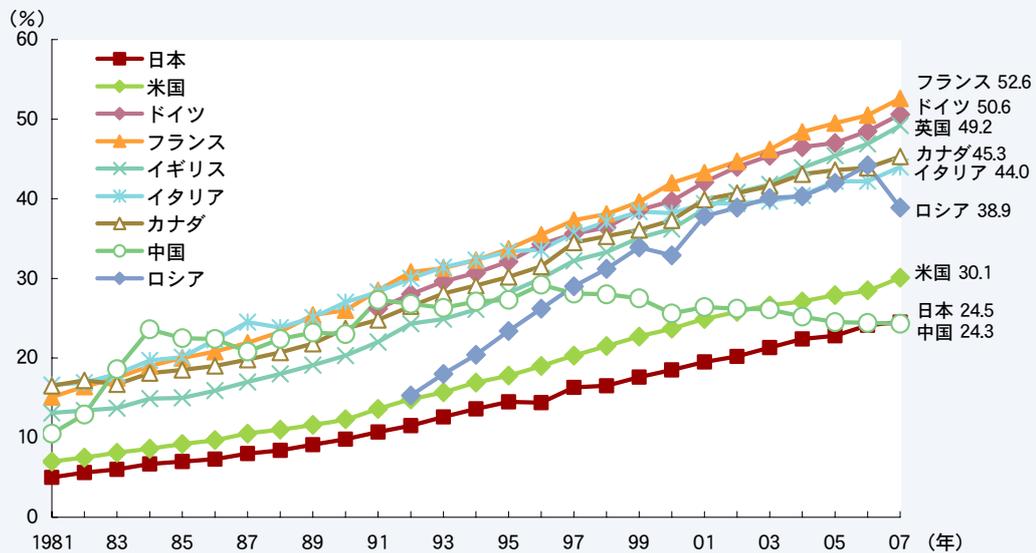
第1-1-28図 派遣研究者数の地域別の推移



資料：文部科学省「国際研究交流の概況」

さらに、我が国における国際共著論文の割合は、依然としてほかの主要国等を下回っている。(第1-1-29図)。

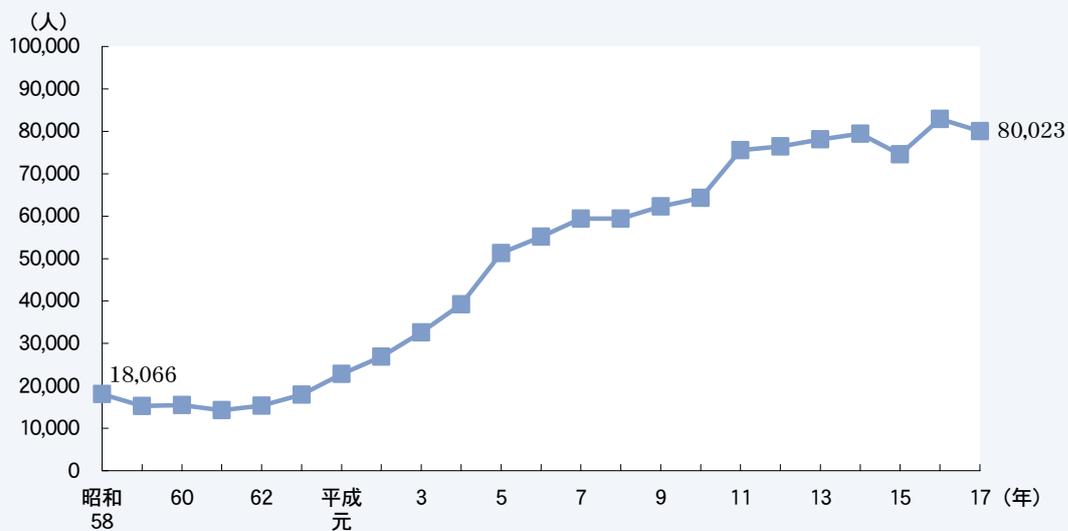
第1-1-29図 我が国及び諸外国における国際共著割合の推移



資料：科学技術政策研究所「科学技術指標- 第5版に基づく2008年改訂版 -」(調査資料 No.155)

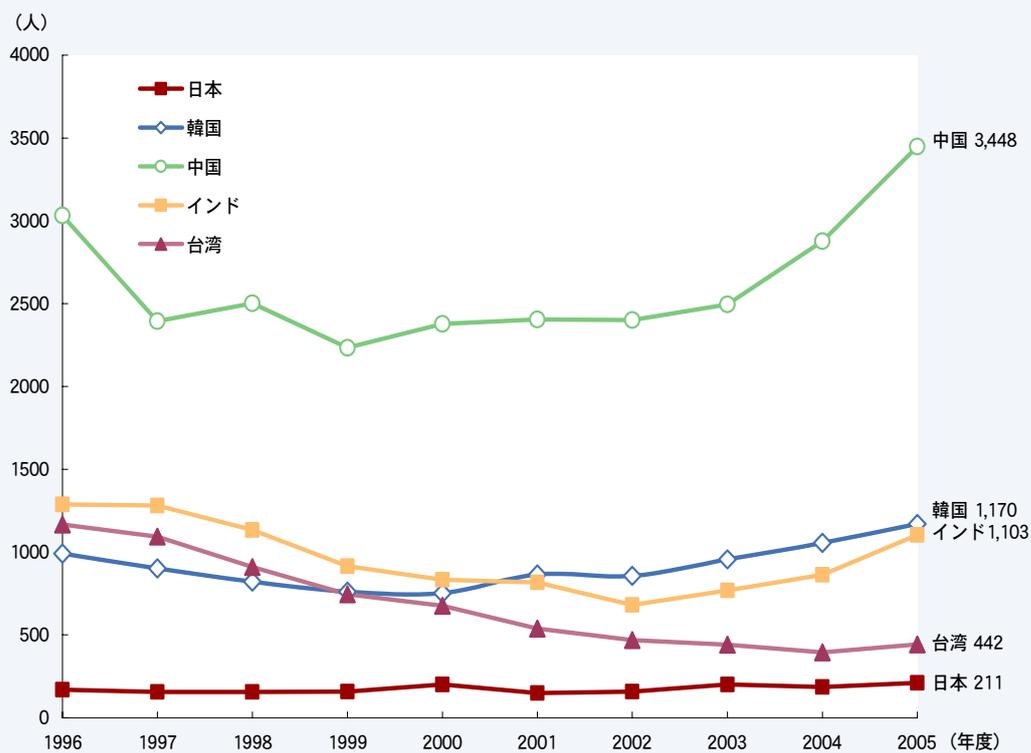
また、内向き志向は、研究者のみならず学生にも見られている。日本人学生の海外留学の状況を見ると、平成11年ころまでは増加傾向にあったものの、近年は伸び悩んでいる(第1-1-30図)。加えて、前述したとおり、米国では科学工学系の博士号取得者の約4割が外国人であるが、その内訳をアジア諸国について見ると、我が国が200人規模で横ばい傾向にあるのに対し、韓国、インド等は我が国の5倍以上、中国は15倍以上へと、その規模を拡大している(第1-1-31図)。

第1-1-30図 日本人学生の海外への留学の推移



資料：文部科学省作成

第1-1-31図 米国の科学及び工学系の博士号を取得した外国人数（アジア諸国）



資料：NSF “Doctorates awarded 1996-2005” を基に文部科学省作成

このように、我が国の研究者の海外への異動や派遣は低調であり、国際的な流動性の高まりの中で、我が国の研究者が国際的な研究者のネットワークから取り残されつつあることが懸念される。

第3節 今後の科学技術の目指すべき姿

今後の科学技術政策の在り方を考えるに当たっては、まず、科学技術が担うべき役割を整理する必要がある。

まず、我が国も含めた世界の経済社会の持続的な発展にとって深刻な制約条件となりつつある環境やエネルギーといった地球規模の問題の解決は、人類の存続の前提でもある重要な使命であり、科学技術によるブレークスルー（飛躍的な前進）が不可欠となっている。このため、我が国が有する優れた環境・エネルギー技術を活かし、国際社会において主導的な役割を果たすとともに、同技術の更なる高度化に向けた取組を促進し、我が国の国際競争力の強化を図っていくことが重要である。

次に、豊かな国民生活を実現する上での前提条件として、強い国際競争力を有し、雇用と富を創出する中核となる産業を維持・創出していかなければならない。ものづくりはそうした産業の主要な柱といえるが、近年は製品のモジュール化の進展等の大きな変化に直面しており、ものづくりの新たな姿に対応した科学技術の振興が求められている。また、GDPの約7割を占め、今後の成長セクターとして期待されているサービス産業の高度化に向けた科学技術の振興が重要である。これにより、現在の自動車産業やエレクトロニクス産業に匹敵するような大きな経済波及効果や雇用吸収力を有する次世代の産業を創出していくことが期待される。

さらに、物質的な豊かさの追求だけでなく、安全・安心な社会の実現や生活の質の向上といった多様な国民ニーズへの対応も必要となっており、これらへの貢献も科学技術に求められている。

上記のような課題を達成していくためには、イノベーションの源泉となる基礎科学力の強化や世界に開かれた魅力的な研究環境の整備等の施策を講じることにより、新たな研究開発システムを構築していかなければならない。