

第1章 未来を切り拓^{ひら}き課題解決に貢献する科学・技術

情報通信技術の発展・普及や輸送技術の低コスト化、新興国等の経済成長等により、国際社会のグローバル化が急速に進み、国際競争が激化している中、一つの国で生じた問題が地球規模の問題に発展するおそれが出てきているなど、国際協調・国際協力が必要不可欠な問題が顕在化してきている。顕在化してきている地球規模の問題としては、地球温暖化、気候変動、自然災害、環境汚染、感染症の発生などが挙げられる（第1-1-1表）。

第 1 1 1 表 代表的な地球規模の問題

- | | |
|---------------------------|------------------|
| ○気候変動（地球温暖化、降水量変化、局的豪雨など） | ○水質汚染（河川・海洋・地下水） |
| ○海面上昇・陸地消滅 | ○水供給の逼迫 |
| ○都市部におけるヒートアイランド現象 | ○砂漠化の進行 |
| ○酸性雨 | ○森林の減少・劣化 |
| ○オゾン層の破壊 | ○土壌汚染・劣化 |
| ○災害の多発（洪水、土砂災害、津波など） | ○耕地面積の減少 |
| ○大気汚染 | ○食料供給の逼迫 |
| ○有害物質の越境移動 | ○生物多様性の減少 |
| | ○外来種による生態影響 |
| | ○新感染症の発生 |

資料：科学技術振興機構研究開発戦略センター資料を基に文部科学省作成

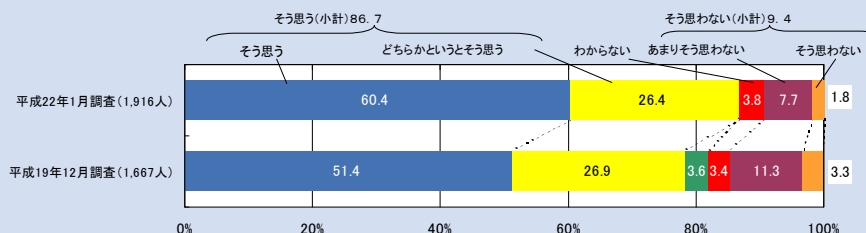
さらに、我が国においては、少子化・高齢化の進展、大規模な地震、津波、風水害等の自然災害、重大事故、食品安全を揺るがす問題などにより、国民生活の質と安全への懸念が生じている。このため、国民の暮らしを守り、安全・安心な社会の実現に向けた取組に対する社会・国民の要請等が一層高まってきている。平成22年1月に内閣府が実施した「科学技術と社会に関する世論調査」¹によると、「国際的な競争力を高めるためには、科学技術を発展させる必要がある」及び「資源・エネルギー問題、環境問題などの新たな問題は更なる科学技術の発展によって解決される」という質問に対してそう思うとの回答がそれぞれ86.7%（前回調査比8.4%増）、75.1%（前回調査比13.0%増）となっており、科学・技術に対する国民からの期待は非常に大きい（第1-1-2図）。

このような社会からの要請や国民からの期待にこたえるために、我が国の国力の源泉であり成長を支えるプラットフォームとして位置付けられている科学・技術を振興し、我が国や人類の未来を切り拓^{ひら}いていくことが必要である。

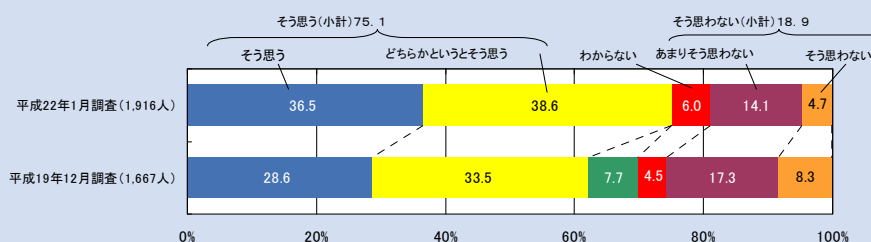
¹ 平成22年1月に成人男女3,000人を対象に面接方式で実施した世論調査で、1,916人が回答（有効回収率63.9%）した。詳細は、内閣府のウェブサイト（<http://www8.cao.go.jp/survey/h21/h21-kagaku/index.html>）に掲載されている。

第1-1-2 図 科学技術の発展に対する国民の期待 (科学技術と社会に関する世論調査)

問 科学技術に関する意見「国際的な競争力を高めるためには、科学技術を発展させる必要がある」



問 科学技術に関する意見「資源・エネルギー問題、環境問題、水、食糧問題、感染症問題などの社会の新たな問題は、さらなる科学技術の発展によって解決される」



資料：内閣府 科学技術と社会に関する世論調査 [平成22年1月調査 (平成22年3月公表)]

このためには、人類の英知を生み知の源泉となる基礎研究を推進し、新たな知的資産を創出するとともに、重厚な知の蓄積の形成につなげることが重要である。同時に、地球温暖化や環境汚染などの地球規模の課題や疾病、食料、経済発展などの諸問題の解決に貢献する研究開発を推進し、イノベーションを創出していくことが重要である。

現在我が国が直面している厳しい課題に正面から向き合い、世界に先駆けて課題を解決していく「モデル国」となることは、我が国の研究開発力や企業の体質の強化に直結するものであり、その課題解決の先には潜在的な需要が期待される。したがって、我が国としては、これらの「危機」を「好機」ととらえ、産業活動と生活様式を低炭素型に切り替えるための「グリーン・イノベーション」や、人が一生を通じて健康に暮らせる社会を実現する「ライフ・イノベーション」などを推進し、世界有数の水準にある科学・技術力と人の力で課題を解決していく「課題解決型国家」を目指すことが重要である。

これらを踏まえ、第1章では、低炭素型社会の実現に貢献する科学・技術、安心で質の高い国民生活に必要な科学・技術、基礎科学力の強化に向けた取組について、我が国の状況を示し、今後の展望について概観する。

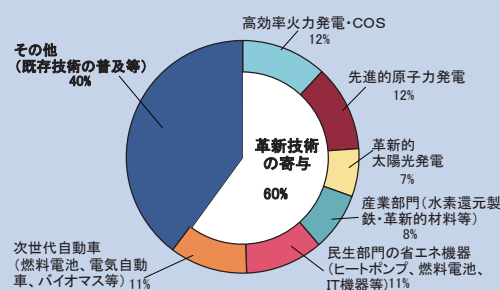
第1節 低炭素型社会の実現に貢献する科学・技術

革新技术の研究開発は地球温暖化問題に対応し、低炭素型社会を実現するために必要不可欠な要素の一つとなっている。例えば、経済産業省では2050年に世界のエネルギー起源の二酸化炭素(CO₂)の排出量を半減するために重点的に取り組むべき21の革新的な技術を選定し、それらの導入によるCO₂削減量への寄与度は約6割という試算をしている(第1-1-3図)。

地球温暖化問題への対応は地球規模での対策を必要とする課題であり、世界各国において、

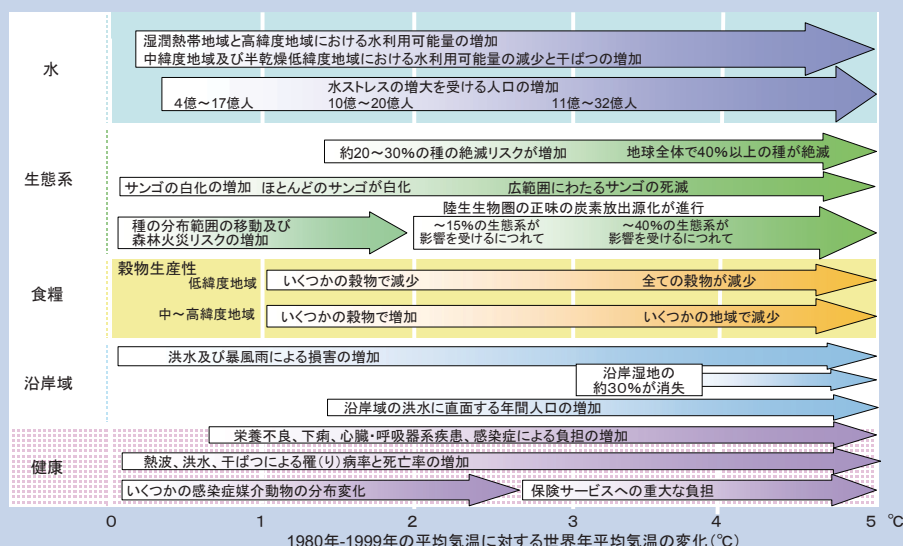
CO₂をはじめとする温室効果ガス¹の排出量の削減目標を設定するなど、地球温暖化の解決を目指して様々な取組が進められている。この中、我が国は、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際的枠組みの構築と意欲的な目標の合意を前提として温室効果ガス排出量を平成2年（1990年）比で平成32年（2020年）までに25%削減するとの中期目標を掲げている。また、我が国の温室効果ガス排出量を平成2年（1990年）比で平成62年（2050年）までに80%削減するとの長期目標を掲げるとともに、同年までに世界全体の温室効果ガス排出量を少なくとも半減するとの目標をすべての国と共有するよう努めることとしている。さらに、地球温暖化問題に対応するとともに経済成長につなげるため、科学・技術の振興を含むあらゆる政策を総動員し、我が国のトップレベルの環境技術を普及・促進し、世界ナンバーワンの「環境・エネルギー大国」を目指すという方針を示している。

第 1 1 3 図 世界のCO₂削減へのエネルギー革新技術別の寄与度（試算）



注：本図は、2050年に世界全体のCO₂を半減させるとした場合における、CO₂削減への寄与度を示している。
資料：経済産業省Cool Earth エネルギー革新技術計画を基に文部科学省作成

第 1 1 4 図 予測される世界平均気温上昇に伴う影響の例



注：影響は、適応の程度、気温変化の速度、社会経済の経路によって異なる。
資料：「気候変動2007・IPCC第4次報告書～政策決定者向け要約～IPCC編」を基に文部科学省作成

¹ 温室効果をもたらす気体。京都議定書では、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、一部フロン等が温室効果ガスとして排出削減の対象とされている。

また、各国の専門家等から構成される気候変動に関する政府間パネル（IPCC¹）が2007年にまとめた第4次評価報告書によると、温室効果ガスの排出量を抑制するために最大限努力したとしても、今世紀末に世界の平均気温は上昇し²、今後数十年間は地球温暖化は避けられないため、温室効果ガス排出を抑制する緩和策だけでなく、特に至近の影響への適応策が不可欠であると指摘している（第1-1-4図）。このようなことから地球温暖化に対応するためには、温室効果ガス排出を抑制し地球温暖化を緩和するための技術（緩和技術）と、気候変動及びそれに伴う社会等への影響の予測、発生した影響に適応するための技術（適応技術）の研究開発を併せて実施することが求められている。さらに、これらの研究成果をイノベーションにつなげるためには、社会におけるそれらの普及、実利用を促進するとともに、その障害となる隘路の解消のための取組を進める必要がある。

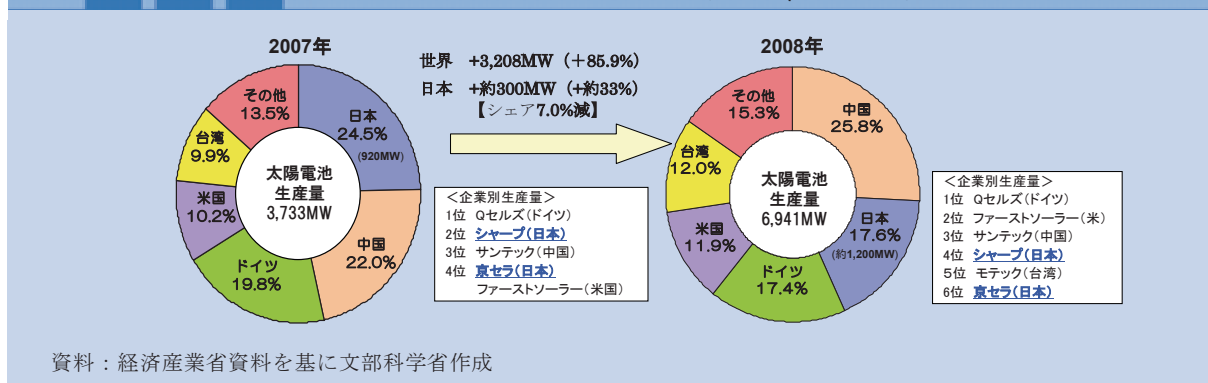
本節では、低炭素型社会の実現に貢献する科学・技術について我が国及び世界の状況を示し、今後の展望について概観する。

1 地球温暖化問題の解決を目指す研究開発の状況

（1）地球温暖化対策技術を巡る動き

世界各国で温暖化問題への対応を進め、低炭素型の社会を実現しようとする動きは活発化しており、国連環境計画（UNEP³）によると、今後、世界の環境関連ビジネス市場の規模は、2005年に約1.0兆ユーロ（約150兆円）であったのが、2020年には2倍を超える約2.2兆ユーロ（約300兆円）に拡大していくことが予測されている⁴。我が国は、公害問題や二度にわたる石油危機を契機として省エネルギーに注力し、世界最高の環境技術を獲得するに至っているが、環境技術の市場における国際競争においてはその強みを必ずしも活かすことができなくなっている。例えば、太陽電池産業では、中国、ドイツ、米国などの企業が生産量を大きく伸ばしてきている状況にあり、世界全体の生産量が大幅に成長している中、我が国の企業も生産量を伸ばし、シェアは世界で上位にあるが、我が国の企業のシェアは低くなっている（第1-1-5図）。この他にも、現在、主要な蓄電技術であるリチウム電池産業も基本的に同様であり、我が国の企業のいくつかは生産量のシェアで上位にある状況であるが、中国や韓国の企業の台頭により、我が国の企業のシェアは低下してきている。

第 1 1 5 図 太陽電池の各国別の生産量（2007,2008年）



1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2 1980～1999年を基準とした2090年代の気温（最良の推定値）は、1.8℃（B1シナリオ）～4.0℃（A1F1シナリオ）とされており、IPCCで使われた6つのシナリオのすべてにおいて上昇すると予測されている。

3 United Nations Environment Programme

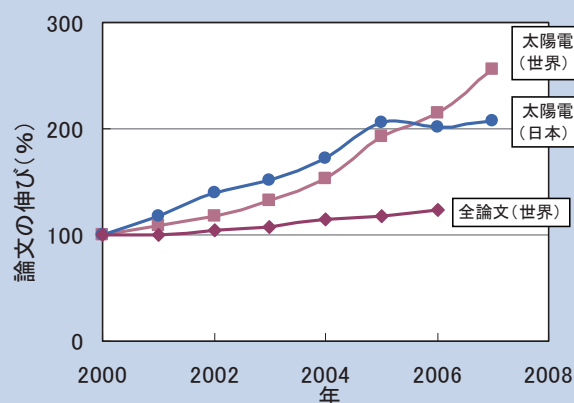
4 ここでは、2005年と2020年の値について、それぞれ2005年と2008年の購買力平価により日本円に換算

また、研究開発面においては、世界各国で地球温暖化対策技術に関する取組が活発化している。例えば、第1-1-6図に見られるように、太陽電池や燃料電池発電システム¹に関連する論文数は、近年、世界及び我が国とも伸びており、世界的にこれらの技術の研究開発が活発化していることが分かる。また、次世代技術として期待されている色素増感系及び有機系の太陽電池に関する論文が大きく伸びており、これらの研究開発が活発化していることが分かる。一方、我が国の論文数は、太陽電池、燃料電池発電システムともに、世界全体に比べ論文数の伸びは小さいものの、次世代技術を中心に伸びている。また、論文数のシェアは、太陽電池では米国に次いで2位、燃料電池発電システムでは米国及び中国に次いで3位となっており、一定の存在感を示している。

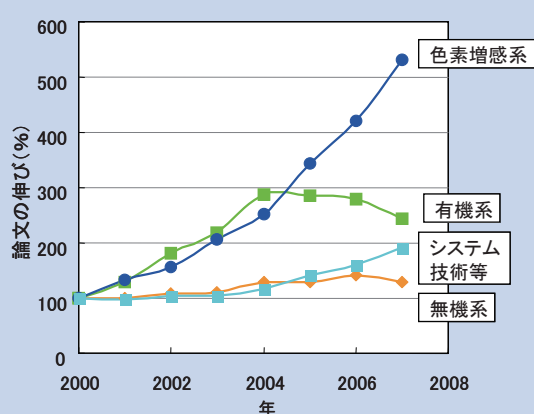
第 1 1 6 図 太陽電池及び燃料電池発電システム関連の論文の世界及び日本の論文の伸び

1) 太陽電池 (2000年の論文数を100とした場合)

① 世界と日本の太陽電池の論文数の伸び

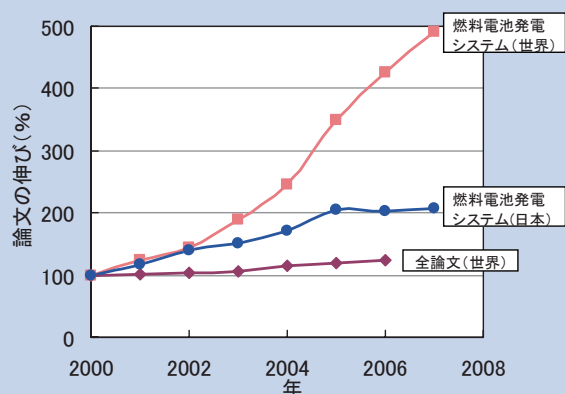


② 太陽電池の領域別の世界の論文数の伸び

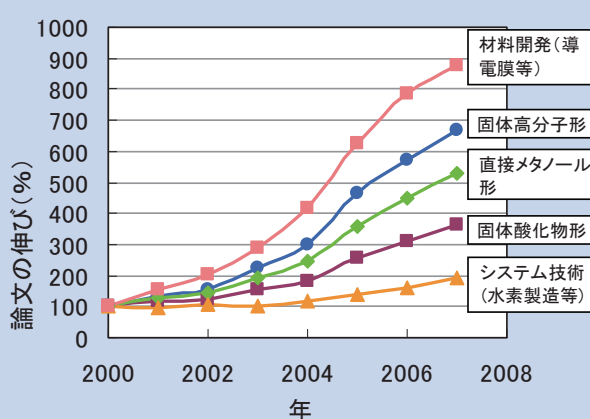


2) 燃料電池発電システム (2000年の論文数を100とした場合)

① 世界と日本の燃料電池発電システムの論文数の伸び



② 燃料電池発電システムの技術領域別の世界の論文数の伸び



注：1. エルゼビア社SCOPUSカスタムデータに基づき東京大学イノベーション政策研究センターにおいて集計。

2. 3年移動平均による。例えば、2006年の値は、2005年、2006年、2007年の平均値である。

資料：東京大学イノベーション政策研究センター資料を基に文部科学省作成

¹ 「水素」と「酸素」を化学反応させて、直接「電気」を発生する装置のことであり、いわゆる「燃料電池」と同義。

科学技術振興機構の研究開発戦略センターが行った分析によると、我が国における地球温暖化対策技術分野の大学・国立研究機関の研究水準、企業の研究水準、企業の開発力・生産力的水準に関して、現在、多くの技術で国際的にも高い水準にあるとの結果が示されている（第1-1-7表）。

第 1 1 7 表 地球温暖化対策技術に関する科学・技術水準

		エネルギー消費側からの 温暖化抑制技術			エネルギー供給側からの 温暖化抑制技術			二酸化炭素回収・ 貯蔵技術	森林・土壌における炭素吸収技術 (造林・伐採技術、森林モニタ リング等)	農業における温暖化抑制技術 (肥料抑制、省エネ技術等)	予測・評価技術 (気候変動予測モデル、スーパコン シミュレーション、データドリット等)
		(鉄鋼、セメントなどにおける 工業プロセス等)	(自動車、ハイブリッド、電気、 軽量化等)、蓄電池、燃料電池等)	(家庭用太陽光発電、ヒートポン プ、高効率照明、断熱住宅等)	(石油・石炭火力、水力、 原子力等)	従来型エネルギー (石油・石炭火力、水力、 原子力等)	新エネルギー・再生 エネルギー・バイオ マスエネルギー (太陽光、風力、バ イオエタノール等)				
日本	研究水準	○	○	◎	—	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	技術開発水準	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎
	産業技術力	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	△	○
米国	研究水準	○	◎	◎	—	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	技術開発水準	△	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎
	産業技術力	×	○	◎	○	○	◎	◎	△	◎	◎
欧州	研究水準	○	◎	◎	—	◎	◎	◎	◎	◎	○
	技術開発水準	◎	○	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	◎
	産業技術力	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	○

赤字の◎が、我が国が
非常に進んでいる分野

注：複数の有識者により、個別の技術分野ごとに、以下の3つのフェーズについて、4段階の絶対評価を行ったもの。
「研究水準」：大学・国立研究機関における研究レベル、「技術開発水準」：企業における研究開発レベル、
「産業技術力」：企業における開発力・生産力
4段階の絶対評価の表記は以下のとおり。
「◎」非常に進んでいる、「○」進んでいる、「△」遅れている、「×」非常に遅れている
資料：科学技術振興機構研究開発戦略センター「環境技術 科学技術・研究開発の国際比較2009」（平成21年5月）
を基に文部科学省作成

これらのことから、地球温暖化対策技術は、我が国が産業のみならず大学等の研究開発力においても国際的に一定の強みを持っている技術分野であり、この分野の強みを活かしてイノベーションを創出していくことを通じて、将来の成長につなげることが可能であると考えられる。一方で、世界の環境関連ビジネスの成長が見込まれる中、諸外国における地球温暖化対策技術に関する産業活動及び研究開発活動が活発化しており、今後、国際的な研究開発競争が一層激化していくと予測される。

（2）地球温暖化対策技術の我が国における研究開発の取組

地球温暖化対策技術分野で世界を先導していくためには、国や地方公共団体、研究機関や民間企業などあらゆる関係者が協力して、地球温暖化対策技術の研究開発を一層推進していくことが求められている。

この分野は、これまでも文部科学省、経済産業省、農林水産省等の各府省が、基礎研究、実

用化研究、技術の実証等、多数の研究開発を実施している。

以下に、地球温暖化対策技術の研究開発についての取組の事例を示す。

① 温室効果ガス排出量の緩和技術

a) 次世代太陽電池の研究開発

太陽電池は、再生可能エネルギー¹の中でも、発電所からオフィスビルや家庭まで幅広い利用が期待される有望技術の一つである。一方で、既存のシリコンの太陽電池には、発電効率の向上やコストの低減などの課題があり、大幅な普及拡大に向けて次世代太陽電池などの革新技術の実現が期待されている。

科学技術振興機構は、平成21年度から、戦略的創造研究推進事業「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」（研究総括：山口真史・豊田工業大学教授）等において、ブレークスルーにつながると予想される太陽電池の高効率化・長寿命化に向けて、最先端のナノテクノロジーも駆使しつつ、色素増感系太陽電池、有機系太陽電池、量子効果を利用した太陽電池などの実用化に貢献するチーム型の課題解決型基礎研究及び若手研究者等による個人型研究を開始した。

物質・材料研究機構では、企業等との連携の下で色素増感系太陽電池をはじめとする革新的環境技術の研究開発を加速するため、平成21年度に「環境技術研究開発センター」の整備を開始した。

経済産業省においては、平成20年度に東京大学先端科学技術センター及び産業技術総合研究所を革新型太陽電池国際拠点に選定し、国内の大学、民間企業等や、欧米等のトップレベルの研究機関と連携し、高効率・低コストの革新型太陽電池の研究開発を実施している。



新原理の太陽電池(色素増感系太陽電池)の試作品
写真提供：物質・材料研究機構

b) バイオマスエネルギー技術

バイオマス²エネルギー技術は、離島等の地域で得られる木質バイオマス等を原料としたエネルギーの地産地消などの実現につながる可能性を有しており、再生可能エネルギーのうち有望な技術の一つである。

坂井正康・長崎総合科学大学教授を中心とした研究チームは、農林水産省の委託研究において、農業・生物系特定産業技術研究機構（当時）と連携し、小型可搬式・低コスト・高効率を目指した、植物系バイオマスの新しい熱・電エネルギー供給システム「農林バイオマス3号機」を平成16年に開発し、出力50kW級のガスエンジン発電の実証プラントによる実証試験を重ねるとともに、私立大学学術フロンティア推進事業において、植物系バイオマスのガス化反応の特性評価に関する基礎研究を進め、その成果を実証試験に反映させた。平成21年度からは、



50kW級の農林バイオマス3号機の実証試験プラント(長崎県諫早市)
写真提供：長崎総合科学大学

1 自然環境の中で繰り返し起こる現象から取り出すエネルギーの総称であり、太陽光、バイオマス、風力、地熱、太陽熱などを利用したエネルギーのこと

2 動植物に由来する有機物である資源〔原油、石油ガス、可燃性天然ガス及び石炭（以下「化石資源」という。）を除く。〕をいう〔バイオマス活用推進基本法（平成21年6月12日法律第52号）より〕

新たに、農林水産省の補助事業において250kW級の発電能力を持ちメタノール燃料を製造可能な実用機の整備と技術の実証が始まっている。

北海道十勝地域では、石油代替燃料としてのバイオエタノール¹の実用化に向けて、財団法人十勝圏振興機構等が、経済産業省や農林水産省等の支援を受けて、地域の主要な農産物であるてん菜等を活用したバイオエタノールの製造等に関する試験研究を進めている。平成21年度には、農林水産省の支援の下、同地域の民間企業等が連携して、年間1.5万キロリットルのバイオエタノールを生産可能な製造施設を用いて、原料調達から製造・販売までの一貫した大規模な実証実験を実施している。

平成20年度から、内閣府、総務省、農林水産省、経済産業省、環境省、国土交通省が連携して推進しているバイオマスの利活用に関する社会還元加速プロジェクトの一環で、バイオ燃料の原料の調達や生産・製造技術の開発、バイオ燃料の自動車などへの利用に関する実証研究などを進めるとともに、バイオ燃料に関する規制・基準の見直し等に関する検討を進めている。

生物を利用したエネルギー生成技術に関し、科学技術振興機構では、戦略的創造研究推進事業において、平成20年度から渡邊信・筑波大学教授を研究代表者として、同教授が開発した光合成により大気中の二酸化炭素から軽質油とほぼ同じオイル成分を産生する緑藻²を研究対象に、そのオイル生産効率の向上を目指して藻の品種改良や高効率の抽出・精製方法、大規模培養システムなどに関する研究開発を実施している。

c) 蓄電技術の研究開発

蓄電池を中心とする蓄電技術は、現在、実用化されている携帯電話用の小型蓄電池やハイブリッド車用の蓄電池、さらに、今後、実用化が期待されている電気自動車や再生可能エネルギー導入に伴う地域や家庭の電力調整などに欠かせない技術の一つであり、今後の市場拡大が見込まれる有望技術として期待されている。一方で、現行の蓄電池では重量当たりのエネルギー密度が小さいことやコストなどの課題もあり、将来に向けて、材料やシステムを含む革新的な蓄電技術の開発が求められている。

新エネルギー・産業技術総合開発機構は、平成19年度より、戸田工業、パナソニック、東京理科大学、東北大学、産業技術総合研究所等の機関の参画を得て、将来のハイブリッド車や電気自動車などに用いる高性能・低コスト二次電池をねらいとする「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」を実施しており、平成27年に目指している電気自動車の普及初期段階を目途に求められる性能・コスト（エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2kW/kg、コスト3万円/kWh）を目標とする新しいリチウムイオン電池などの研究開発を推進している。

科学技術振興機構は、戦略的創造研究推進事業において、平成20年度から内本喜晴・京都大学教授を研究代表者として、マグネシウム、カルシウム、アルミニウムを用いてポストリチウムイオン電池を指向した長寿命かつエネルギー密度の高い新しい電池の創出を目指す研究を実施している。

三重県では、平成20年度から都市エリア産学官連携促進事業により、三重大学、三重県工業研究所、財団法人三重県産業支援センター、地元企業等が連携して、電解質に固体の高分子を

¹ バイオマスエネルギーの一つであり、自動車用燃料などへ活用が期待されている。

² 微細藻類は陸上植物と同様に光合成を行い、オイルを産生する種を数多く含んでおり、そのオイル生産効率は油脂植物と比べて非常に高いことが知られている。渡邊信・筑波大学教授は、高質の石油系オイルである炭化水素を産生する緑藻類ボトリオコッカスについて炭化水素の産生量と増殖に優れた高アルカリ性培養株を開発する成果を上げている。

用いて、安全性が高く、薄くて、折り曲げられるなどの新しい特性を持つポリマーリチウム二次電池¹の研究開発を進めている。これまでに、世界で初めて、室温以下で作動する固体の高分子（ポリマー）を使用した二次電池を試作するなどの成果を上げており、今後薄型ディスプレイや電子ペーパー用の蓄電池など幅広い応用が期待されている。

d) 燃料電池発電システムの研究開発

燃料電池発電システムは、従来の内燃機関よりも高効率で、二酸化炭素や大気を汚染する窒素酸化物等を発生しないなどの利点を有しており、自動車や家庭やオフィスなどへの活用が期待される有望なエネルギー技術の一つである。燃料電池発電システムについては、現在、我が国で平成21年度に家庭用の熱・電供給システムに用いる定置式のシステムの商用化が始まったところであるが、燃料電池発電システムの低コスト・省資源化、高耐久化、水素のコンパクトな製造・貯蔵・輸送、供給インフラなどの課題もあり、新しい材料を含む革新的な燃料電池発電システムの開発が求められている。

新エネルギー・産業技術総合開発機構では、文部科学省の「次世代型燃料電池プロジェクト」で得られた知見を活用して、渡辺政廣・山梨大学教授を研究代表者とした産学連携体制により、平成20年度から、高性能・高信頼性・低コストを同時に実現可能な燃料電池発電システムの基礎的技術の確立を目指して新材料研究を実施しており、これまでに、都市ガス、バイオマス等から高効率、低コストに水素を作る新改質触媒や高耐久性の電極触媒の開発、新しい電解質膜の開発指針などの成果を上げてきている。本研究では、最終的に、平成26年度末において、水素自動車の社会導入時に求められる性能（64%のエネルギー効率、5,000時間作動・6万回の起動停止の耐久性）を有する燃料電池セルの実現に向けて、省資源かつ低コスト（電極触媒の白金使用量を1/10）で、低温下及び高温低加湿下において作動可能な新しい膜・電極接合体²の開発を目指している。

科学・技術を活用して「日々の暮らし」から出る二酸化炭素を削減

我が国の二酸化炭素排出量の削減に向けて、政府部内において様々な試算が行われてきているが、その中で家庭やオフィスといった民生部門や交通部門といった、国民一人一人の「日々の暮らし」にかかわる部分での二酸化炭素排出量の削減が注目されている。

例えば、家庭やオフィスなどの民生部門においては、①太陽光発電や太陽熱温水器などによる再生可能エネルギーの活用や家庭用燃料電池発電システムの設置、②LEDなどの高効率照明、超高効率のエアコンやテレビなどの省エネ機器の導入、④熱を無駄にしないための断熱性の高い住宅（二重サッシ、高断熱壁材など）やヒートポンプ給湯の導入、⑤情報ネットワークによる使用量の見える化や家庭・オフィス内のエネルギーを効率的に使うための機器制御システムの導入などが考えられる。

また、運輸部門では、①電気自動車や、プラグインハイブリッド車などの導入、②電気バスなどの公共交通機関の整備などが考えられる。

このような革新技術を含む様々な科学・技術を活用することで、居住空間の快適性・生活の質を低下させずに、「日々の暮らし」における二酸化炭素排出量を大幅に削減できる可能性がある。また、様々な技術を活用することが、人々のライフスタイルを自発的に低炭素型に転換させる大きなきっかけになっていくことが期待される。

¹ リチウムイオン電池の一種。現在、一般的なリチウムイオン二次電池では電解質として液体が用いられており、液漏れ対策などの課題がある。電解質に固体の高分子（ポリマー）を用いたリチウム電池には、液漏れのおそれがないという利点がある。

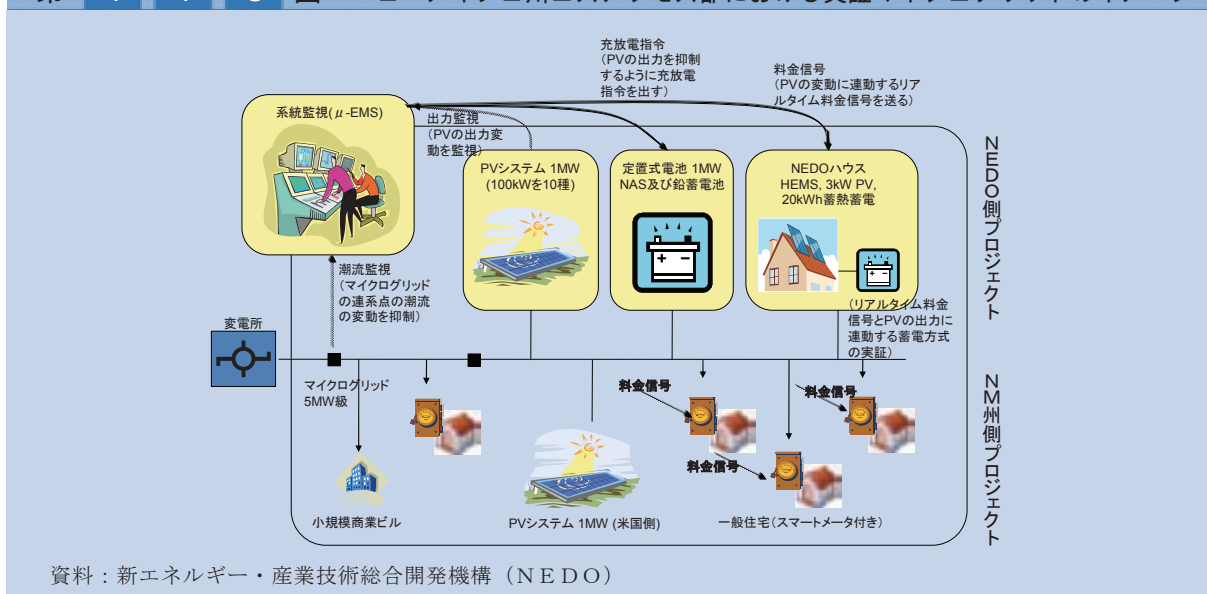
² 正電気（水素イオン）が通る電解質膜の両面に、水素極（カタリ ー極）と酸素極（カタリ ー極）の各触媒層を接合した電池の発電心臓部である。外部から膜・電極接合体に水素と空気を供給すると、電圧が得られ、積層すればそれだけ高電圧を得ることができる。

e) スマートグリッド技術

太陽光発電などの再生可能エネルギーが大量導入された場合には、地域的な電圧変動問題や周波数が不安定となるといったリスクがあることなどから、情報通信技術を活用して効率的に需給バランスをとり、電力の安定供給を実現するための電力送配電網「スマートグリッド」に注目が集まっている。

これに関し、新エネルギー・産業技術総合開発機構は、平成21年度から、規制等により日本で実施が困難な技術の実証、技術の米国の電力網における実証、スマートグリッドの標準化活動への関与を目的として、米国ニューメキシコ州との共同実証研究を開始した。本プロジェクトでは、東芝、日立製作所、京セラなどの企業が参画し、電力の実系統、住宅、ビルに太陽電池と蓄電池等を導入した場合の実証や送電系統への影響の分析等を実施している（第1-1-8図）。

第 1 1 8 図 ニューメキシコ州ロスアラモス郡における実証マイクログリッドのイメージ

f) 二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術¹

火力発電所等で発生する二酸化炭素を分離、回収し、地中や海中に貯留するCCS技術は、大気中の二酸化炭素を大幅削減する技術として期待されており、2020年にCCSを実用化するため、世界的に大規模実証事業を行い、その技術を確立することとされている。

経済産業省では2020年のCCS実用化に向け、火力発電所等の大規模発生源から分離回収したCO₂を地中（地下1000m程度）へ貯留し、一連の要素技術を用いたトータルシステムとしての実証研究や、コスト低減に向けたCO₂回収技術の開発、安全性評価の高度化に関する研究開発を実施している。

② 地球温暖化への適応技術と影響予測・観測技術

a) 農業生産活動における地球温暖化への適応技術の研究開発

農業生産活動が気候変動により影響を受けることから、地球温暖化によって生じる気候等の変化に対応できる農業技術の研究開発が重要である。農業・食品産業技術総合研究機構におい

¹ Carbon Dioxide Capture and Storage

では、地球温暖化に適応し農産物・畜産物の安定生産に貢献するため、地球温暖化が農産物の収量・品質や家畜・飼料の生産に与える影響予測や、現在、発生しているミカンの「日焼け果」のような高温障害等に対応するための新しい品種の育成や栽培管理技術の研究開発、畜産の気温上昇への適応技術の研究開発などに取り組んでいる。これまでに、米粒内部に亀裂を生じる現象であるコメの胴割れの発生をより少なくするためのイネの植え付け時期や田んぼの水の管理方法などの栽培方法を提案するなどの成果を上げてきている。

b) 温暖化による影響の予測・評価

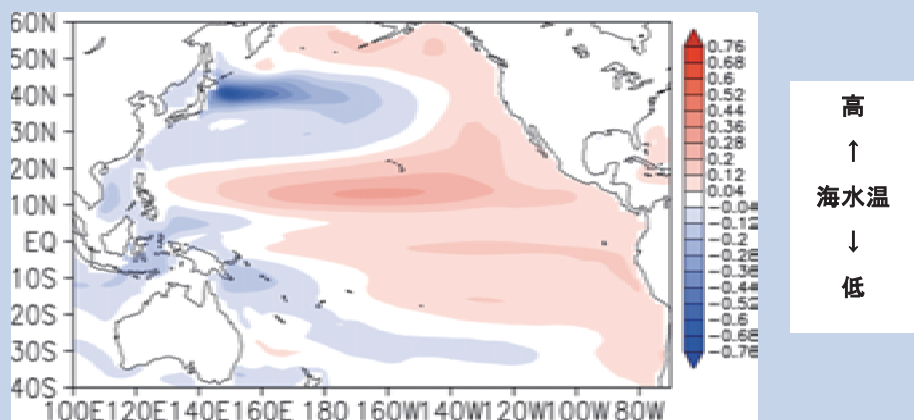
気候変動をできる限り精緻に予測することは、温暖化対策を講じる上で必要である。

住明正・東京大学教授を研究代表者とする研究チームは文部科学省の「人・自然・地球共生プロジェクト」において、世界有数のスーパーコンピュータである地球シミュレータを活用して気候変動予測のためのモデル開発やそれを用いた予測実験等の研究開発を行った。ここで得られた世界の平均気温の上昇の要因分析や21世紀末までの長期気候変化の予測の成果は、IPCCのまとめた第4次評価報告書の作成に貢献した。この成果を基盤として、現在、IPCCの次の評価報告書へ貢献し、気候変動対応の政策へ科学的根拠を与えることを目指す「21世紀気候変動予測革新プログラム」の木本昌秀・東京大学教授を代表者とする研究チームでは、従来の気候モデルに陸海空の炭素循環や海洋生物・植物の生態系などのモデルを組み込んだ統合モデルなどの開発やより高精度の気候変動予測実験等を行っている（第1-1-9図）。また、将来的にはより高度かつ複雑な気候変動予測を短時間に行うためにスーパーコンピュータの更なる高性能化が期待されている。

環境省では、三村信男・茨城大学教授をプロジェクトリーダーとする「温暖化影響総合予測プロジェクト」において、我が国の水資源、森林、農業、沿岸域、健康といった主要な分野における温暖化影響について、定量的な将来予測を行った。現在、この成果を発展させて、地域レベルでの詳細な温暖化影響の予測等に関する研究を進めている。

第 1 1 9 図 21 世紀気候変動予測革新プログラムの成果事例

太平洋で海水温の分布が10～20年置きに入れ替わる「太平洋十年規模振動」の再現シミュレーションの典型的パターン（図は、1970年末～2000年頃の状態であり、現在は高低が逆転している。）これにより、予測モデルの妥当性が確認され、平成22年度以降、2030年頃までの予測実験を行う予定である。



資料提供：海洋研究開発機構、東京大学気候システム研究センター

c) 全球規模の地球環境観測技術

気象現象の解明、高精度な予測、対策の検証等を行うに当たっては、気候変動に伴う地球環境の変化の動向を正確に把握することが不可欠であり、温室効果ガス、水循環、森林分布等に関する全球規模での観測・解析が必要となる。

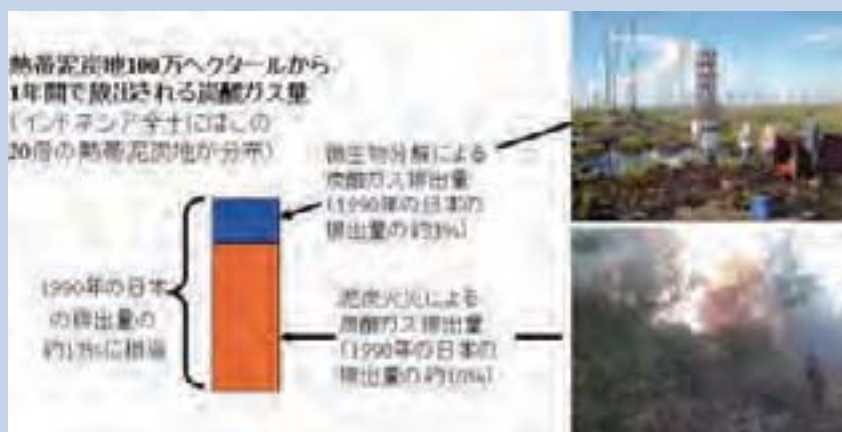
宇宙航空研究開発機構、環境省及び国立環境研究所が共同で開発し、平成21年1月に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)は、主要な温室効果ガスである二酸化炭素及びメタンの濃度分布を地球表面のほぼ全域にわたり観測しており、観測データの一般提供が開始されている。今後、観測データの蓄積及び解析手法の改良を進め、解析データの一層の精度向上を図ることにより、IPCCにおける議論に資する科学的データとして活用されることが期待される。

③ 諸外国の温暖化問題解決に資する国際共同研究

a) インドネシアにおける泥炭管理

インドネシアの熱帯泥炭には多量の炭素が蓄積されており、森林喪失と泥炭地荒廃を含めるとインドネシアの温室効果ガスの排出量は中国、米国に次いで世界第3位の排出量になるというインドネシア政府の報告も出されている。また、日本学術振興会からの支援で行われた北海道大学を中心とする研究グループとインドネシア科学院との研究交流活動においても、インドネシア全土の泥炭地の5%(100万ヘクタール)から1年で1990年(平成2年)の我が国の二酸化炭素排出量の約13%に当たる炭酸ガスが排出されているとの結果が得られており、インドネシアにおいて泥炭管理は地球温暖化問題に係る大きな課題となっている(第1-1-10図)。

第 1 1 10 図 熱帯泥炭地 100 万ヘクタールから 1 年間で放出される炭酸ガス量の測定結果



資料：北海道大学サステイナビリティ学教育研究センター

さらに、この研究交流活動で培われたネットワークと知見^いを活かし、大崎満・北海道大学教授を研究代表者とする研究チームは、平成20年度(2008年度)から、科学技術振興機構と国際協力機構の共同事業である地球規模課題対応国際科学技術協力事業で、インドネシアの熱帯泥炭地を対象に、日本の陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)のデータ等を利用して泥炭火災を検知・予測するためのシステムの開発や、二酸化炭素の収支計測、泥炭地周辺における造林や水位コントロールなどにより泥炭地から放出されている炭素を抑制・管理するための最

適なシステムの構築を目指す研究開発を、インドネシアの5つの機関と共同で実施している。

b) 気候変動現象に伴うアフリカ南部の異常気象の予測

アフリカ南部においては、ダイポールモード現象¹など複数の気候変動現象が複雑に影響して、干ばつや洪水などの被害が多発しており、地球温暖化の進展に伴い、異常気象等が増加する可能性もでてきている。そのため、当該地域周辺の複雑な気候変動を高精度に予測する技術の確立が課題となっている。

山形俊男・東京大学教授は、平成11年に海洋科学技術センター（当時）の「地球フロンティア研究システム」の研究で、世界各地に異常気象を引き起こす要因となるインド洋ダイポールモード現象を発見した。その後、「人・自然・地球共生プロジェクト」などにおいて、地球シミュレータを活用して高精度の季節予測モデルを用いた研究を実施し、2005年（平成17年）に世界で唯一、2006年にオーストラリアで発生した大干ばつの予測に成功するなどの成果を上げてきている。

この知見を活かし、地球規模課題対応国際科学技術協力事業において、平成21年度（2009年度）から、同教授を日本側の研究代表者として、アフリカ南部を対象に、気候変動現象を要因とした環境問題に対応するための季節予測システムの能力強化を目指している。具体的には、地球シミュレータ等を活用して、アフリカ南部の気候変動現象のメカニズムの解明、改良した高精度の大気海洋結合モデルを用いた約1年先までの広域季節予測、局所的な異常気象の予測とその活用等を行うこととしている。

2 欧米における研究開発の動向

欧米においても、政府として地球温暖化対策技術に関する研究開発を更に強化しようとする動きが進んでいる。また、近年、世界的に、複数の分野の研究者が参画する研究開発を進める動きが活発化してきている。

米国では、オバマ政権が、軍事・防衛以外のエネルギー研究の拡大など、米国のエネルギー研究の戦略の抜本的な見直しを行った。その中で、米国エネルギー省（DOE²）のスティーン・チュー長官の主導で、DOEを中心に、地球温暖化対策技術に関し、

- ① 46の研究拠点を結ぶネットワークを構築して、様々な課題解決型の基礎研究を推進するエネルギーフロンティア研究センター（EFRC³）の設置
- ② エネルギー高等研究計画局（ARPA-E⁴）による、死の谷からダーウィンの海⁵を超える段階までのハイリスク研究への助成の開始
- ③ 自然科学やエネルギー政策、経済などの多様な分野の研究者が参画して、基礎研究から商業化に必要な工業開発まで一貫して行う横断的な研究開発拠点であるエネルギーイノベーション・ハブの設置

1 インド洋熱帯域の大気海洋相互作用現象のこと。この現象が発生するとインドネシアやオーストラリアは干ばつに、アフリカ東部などでは洪水に見舞われる。地中海周辺や日本付近は猛暑になることが多い。正の現象と負の現象があり、正のダイポール現象では、アフリカ大陸側の気温が平年より高く、インドネシア側が平年より低くなる。負のダイポール現象では、逆にアフリカ大陸側が平年より低く、インドネシア側が平年より高くなる。

2 Department of Energy

3 Energy Frontier Research Center

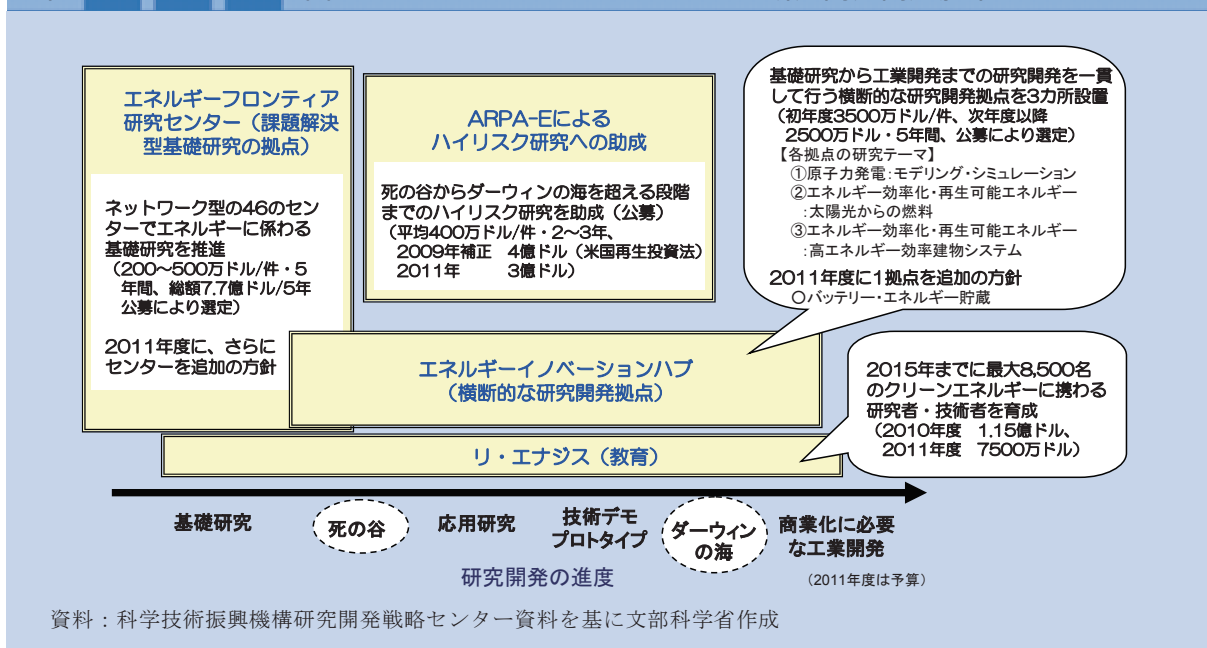
4 The Advanced Projects Research Agency-Energy

5 イノベーションの創出に至るまでには、基礎研究から実用化段階の開発との間の支援の不足等により陥るいわゆる「死の谷」と、産業としての成功に向け、競合相手と過酷な競争を行う「ダーウィンの海」と呼ばれる段階がある。

- ④ 国立科学財団（NSF¹⁾、教育省、労働省等との連携の下で実施する、2015年までに約8,500人のクリーンエネルギーに携わる研究者・技術者を育成することを目的とするリ・エナジス（RE-ENERGYSE）の開始

などの多面的な取組が進められており、2011年大統領予算で更に取組が強化される方向が示されている（第1-1-11図）。

第 1 1 11 図 DOEにおける主なエネルギー研究開発関連施策



欧州連合（EU²⁾においても、欧州研究圏の構築を目指し、主に加盟各国をまたいだ共同研究への支援を行う第7次フレームワークプログラム（FP7³⁾）にも示されているように、地球温暖化問題に対応するための研究開発の取組を重視する方向で政策が展開されている。また、産業界の主導の下で、企業や大学の有識者や利害関係者が参加し、分野ごとの将来ビジョンやロードマップの検討等を行う欧州テクノロジー・プラットフォーム（ETP⁴⁾）としては、地球温暖化対策技術に関するものとして太陽光発電、バイオ燃料技術、スマートグリッド技術、燃料電池発電システムなど8つの研究分野の取組が推進されている。また、欧州各国においても、地球温暖化対策技術の研究開発を重視する方針を出し、研究開発を推進している。例えば、ドイツでは、2009年10月に、ヘルムホルツ協会傘下の8機関が連携して研究開発を行う「ヘルムホルツ・地域気候変動ネットワーク（REKLIM⁵⁾」を立ち上げ、複数分野の研究者が参画して、大気・海洋・地表の相互作用とそれに伴う気候変動の変化の解明、それらによるドイツへの影響の予測に関する研究や、適応と緩和の両面からの最適な対策の選択に資するための検討を2009年からの5年間で3,220万ユーロ（約50億円）規模で行うこととしている。また、英国においても、低炭素自動車の研究開発について、英国の能力を強化しサプライチェーンを開発することに重点を置いた産業主導型共同プロジェクトを支援する「低炭素自動車イノベー

1 National Science Foundation

2 European Union

3 the Seventh Framework Programme for Research and Technological Development

4 European Technology Platform

5 Regionale Klimaänderungen

ション・プラットフォーム・コンペティション」など、産学官の複数の機関の連携による研究開発プロジェクトに対して新たな投資が2009年に行われた。

図1-1-2

エネルギーフロンティア研究センター

米国のエネルギーフロンティア研究センター（EFRC）は、エネルギー分野の10の重点研究領域を対象とした課題解決型の基礎研究に取り組むプログラムであり、公募により選定された大学、国立研究所などに46のセンターを設置し、2009年から開始された。各センターでは他の研究機関と連携して、ナノテクノロジーなどの先端技術を活用して、1つ以上の重点研究領域に当たる研究開発を行っており、全体で約700名のシニア研究者、約1,100名のポスドク等の若手研究者や技術支援者が参加している。また、本プログラムに参画している110を超える研究機関のすべてが参画する全国的なネットワークを構築している。

このプログラムを始める前段階において、DOE科学局は、延べ1,500名以上の大学、産業界、研究所等の有識者の参画を得て2001年から2008年までの約8か年にわたる検討を行い、2050年を見据えて克服すべき課題、重点研究領域などをまとめている。

10の重点研究領域	
①水素の製造、貯蔵及び利用	⑦将来のエネルギーシステムのための地球科学 （二酸化炭素及び放射性廃棄物の地層処分）
②太陽エネルギーの利用	⑧蓄電技術
③超伝導技術	⑨極限環境下で用いる材料（高温、高圧、高磁場など）
④固体素子照明	⑩エネルギー用触媒
⑤先端原子カシステム	
⑥運輸燃料の無公害・高効率燃焼	

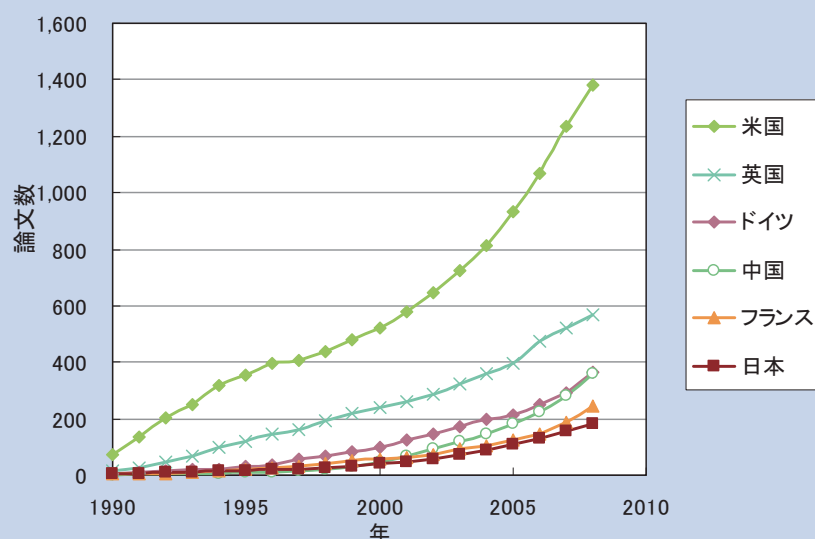
3 低炭素型社会の実現に向けた知の統合

地球温暖化問題をはじめとする地球規模課題は、例えば、エネルギー問題ひとつとっても、資源、国際政治、経済、技術など、人間活動のあらゆる分野と関連するなど、個々の要素技術で対応できる範囲を超える非常に複雑で、規模の大きなものとなっている。また、その問題解決のためには多岐にわたる知識が求められるようになり、一人の人間で問題の全体像を把握することができない状況となっている。そのため、地球温暖化対策技術の研究開発の推進に当たっては、専門化・細分化された単一の研究領域のみではなく、関連する分野の研究者・技術者等の知を統合して研究開発に取り組むことの重要性が高まってきている。

一方で、一般的に我が国では、このような異分野融合型の研究開発が不十分であると言われている。例えば、地球温暖化問題への対応をはじめとする環境に関連する融合領域のキーワードの一つである「サステナビリティ（持続可能性）」、「サステナブル（持続可能な）」という用語を用いている国別の論文数の推移において、近年、世界各国で論文数が大幅に伸びている一方で、我が国の論文数は増加傾向にあるものの、諸外国と比べると論文数やその伸びは低い状況にあることは、その一端を示していると考えられる（第1-1-12図）。

地球温暖化対策技術の研究開発を促進するためには、一人でも多くの優れた研究者、特に基礎科学者が、低炭素型社会の実現や地球温暖化問題に関心を持ち、その解決に向けて積極的に参加することが期待される。そして、そのような研究者が集まって、低炭素型社会の実現を目指すという目標を共有し、関連性の高い研究分野はもちろんのこと、自然科学と人文・社会科学のような全くの異分野も含む多様な研究者が参画する総合的な取組を推進するとともに、複数の分野にわたる研究者間、研究機関間の円滑な連携やネットワーク化を促進することが重要である。

第 1 1 12 図 各国の「サステナビリティ」に関する論文数の推移



注：1. エルゼビア社SCOPUSカスタムデータに基づき東京大学イノベーション政策研究センターにおいて集計。

2. 3年移動平均による。例えば、2006年の値は、2005年、2006年、2007年の平均値である。

資料：東京大学イノベーション政策研究センター資料を基に文部科学省作成

さらに、地球温暖化問題に対応するとともに経済成長につなげるためには、研究開発成果の実利用・普及を強力に推進することが不可欠であり、制度（税制、補助制度など）の導入・改正、規制又は規制緩和の実施などが必要である。このため、自然科学と社会学、経済学、心理学など人文・社会科学の異分野融合型の取組の重要性が増してきている。我が国でも、例えば、

- ① 地球温暖化問題をはじめとする諸課題について、サステナビリティ（持続可能性）という観点から課題解決を目指すサステナビリティ学の研究を行う「サステナビリティ学連携研究機構」は、科学技術振興調整費の支援を受けて、東京大学をはじめとする国内5大学を中心に平成17年に設置され、研究活動はもちろんのこと、社会に対するコミュニケーション活動、研究教育人材の育成、国際学術論文誌の発行、国際連携など、幅広い活動を実施している。
- ② 平成13年度に設立された総合地球環境学研究所においては、これまで進めてきた、水循環、大気、気候、海洋、地下環境、島嶼、生態システムなど多岐にわたる研究課題の成果を束ねて、人文・社会科学や自然科学の枠を超えた地球環境学として統合する方向性を示す試みを始めており、さらに、国内外の大学・研究機関等との共同研究を推進している（第1-1-13図）。
- ③ 環境省において、平成21年度から、「環境経済の政策研究」として、環境保全の取組の経済への影響や、経済動向が環境に与える影響等に関する調査研究を実施している。

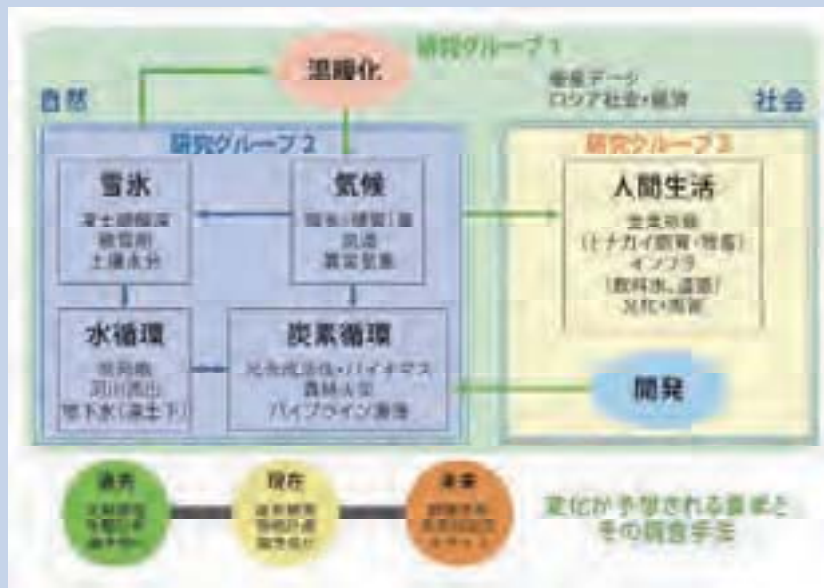
などの自然科学と人文・社会科学の融合領域の研究の試みが始まってきている。また、文部科学省においては、社会シナリオ研究と緩和技術及び適応技術の研究開発等を連携させた総合的な取組を推進するため、自然科学と人文・社会科学の研究者等の参画する科学技術振興機構低炭素社会戦略センターを立ち上げ、平成22年度から低炭素型社会実現のための定量性のある社会シナリオの研究を本格始動したところである。

低炭素型社会の実現に向けては、自然科学での分野間の融合と同時に、このような人文・社会科学の観点までも含めた総合的な取組を一層充実させていくことが必要不可欠である。

第 1 1 13 図 総合地球環境学研究所における取組事例

「温暖化するシベリアの自然と人-水環境をはじめとする陸域生態系変化への社会の適応」

本研究は、衛星や地上での調査や観測、先住民の歴史や文化などの研究を行うことにより、シベリアにおける温暖化や開発が、水環境や生態系(温室効果ガス収支を含む)の変化を通じて都市と農村の先住民を含む人々に与える影響を明らかにすることを目指している。



資料：総合地球環境学研究所

第2節 安全で質の高い国民生活に貢献する科学・技術

我が国は、少子化・高齢化のような解決すべき課題や、自然災害・感染症・水問題などのような国民生活を脅かし対策を必要とする課題など、国民生活に影響を与える様々な課題に直面している。

国民が健康で質の高い生活を享受できるようにするために、医療・介護・健康関連の科学・技術を基にした産業を我が国のけん引産業と位置付け、革新的な医薬品や医療・介護技術の創出に資する研究開発とイノベーションを推進し、我が国の更なる成長を促すことが必要である。また、国民生活の脅威となっている要因を科学・技術によって除去することが重要であり、自然災害の防災・減災、犯罪・テロ対策、食料・水の安定供給などに資する科学・技術を推進し、国民が安全・安心に暮らすことのできる社会の構築を目指すことが重要である。

このような分野の研究開発は、安全で質の高い国民生活の基盤実現に向けて重要な役割を有するものの、産業化に結びつけるためには多大な時間と労力を要するものや、短期的な成果が得にくいものが多く、国が積極的に推進していく必要がある。これまで、内閣府、文部科学省、厚生労働省等の各府省が、「最先端研究開発支援プログラム（内閣府）」、「世界トップレベル研究拠点プログラム（文部科学省）」、最先端の医療・医薬品・医療機器の開発・実用化を促進する「先端医療開発特区（内閣府・文部科学省・厚生労働省・経済産業省）」等の制度によって、数多くの研究開発を実施している。

本節では、国民の健康に資する科学・技術、社会の安全・安心に資する科学・技術における研究開発の状況について概観する。

1 国民の健康に資する科学・技術

国民の健康を今後も堅持するためには、イノベーションの種となる基礎研究の発展を基盤に

した応用研究や開発研究の進展が重要である。加えて、我が国の優れた研究開発の成果を多くの革新的な医薬品・医療機器などの創出に結び付けるためには、橋渡し研究（トランスレーショナル・リサーチ）や、臨床研究及び治験の強力な実施体制の整備、医薬品・医療機器の審査・承認の迅速化等を推進していく必要がある。

これまでも、生命機能や疾患の原因・病態の解明等の基礎研究から新しい医薬品・医療機器や医療・介護技術の研究開発までの挑戦的な研究開発が、ライフサイエンス以外の多くの分野も含めて幅広く推進されており、以下に国民の健康に資する研究開発の事例を示す。

（１）生体の理解を深め、将来の治療法開発につながる研究

① 生体の病原体認識のメカニズムの解明

生体は、生来有している非特異的に反応する一過性の生体防御反応である自然免疫と、特異的に抗体を産生するなどにより強力かつ長期間効果が持続する獲得免疫によって、病原体等の外敵から防御している。しかし、これまで自然免疫と獲得免疫の関係性や詳細なメカニズムは十分には解明されていなかった。

審良静男・大阪大学教授らは、病原体が生体内へ侵入する際の自然免疫において、細胞膜上のToll様受容体（TLR¹）が病原体に存在する固有な構造を認識して活性化し、免疫反応を引き起こしたり、獲得免疫を誘導したりすることを明らかにした。現在、自然免疫から獲得免疫の活性化に至る詳細なメカニズムの解明を進めている。また、免疫学、イメージング（画像化）技術及びバイオインフォマティクスとの融合研究を通して、動物生体内における免疫反応を可視化し、あるいは予測することによって、免疫の全ぼうを明らかにすることを目指している。国内では理化学研究所免疫・アレルギー科学総合研究センターと京都大学再生医科学研究所、海外では米国の国立衛生研究所（NIH²）、ハーバード大学、ニューヨーク大学、カリフォルニア工科大学、スタンフォード大学、カリフォルニア大学サンフランシスコ校、システムバイオロジー研究所と連携して研究を実施している。

研究成果により、将来的に、感染症・自己免疫疾患等の原因・病態解明及び治療法の開発、抗アレルギー薬、がんワクチンなどの医薬品の開発が期待される。

② 遺伝子改変霊長類を用いた疾患研究や医薬品・医療技術開発

ヒトの疾患の原因遺伝子等を導入・改変したマウス等のモデル動物を作製し、疾患の原因・病態解明や医薬品の開発、治療法の確立に利用することは現代の医学研究においては一般的である。しかし、同じほ乳類でも齧歯類であるマウスと霊長類であるヒトでは様々な違いがあり、マウスで得られた結果が必ずしもヒトに直接に適用できない場合が多い。そのため、霊長類の遺伝子改変動物の開発が望まれていたが、その技術は確立していなかった。

岡野栄之・慶應義塾大学教授らは、霊長類であるコモンマーモセットを遺伝子改変する技術開発に成功し、平成21年に発表した（第1-1-14図）。改変された遺伝子は、次世代まで受け継がれることが確認されている。この霊長類の遺伝子改変に関する研究は、昭和40年代半ばから霊長類の中でも小型で繁殖能力の高いコモンマーモセット³に注目し、財団法人実験動物中央研究所との連携で行われた。同研究所では、平成3年にコモンマーモセットを高品質の規格化

1 Toll-like receptor

2 National Institutes of Health

3 コモンマーモセットは、霊長目オマキザル科マーモセット属に属する。

した実験動物として確立し、平成14年以降はES細胞の樹立や体外受精法などの生殖工学の技術の開発を行ってきた。今後、この技術を用いて、パーキンソン病等の難病の遺伝子改変動物を作製し、治療法開発研究等に活用されることが期待される。

実験動物の作製などの研究を支える基盤技術開発は、技術の確立までには長い年月を必要とするが、最先端の研究を進展させるためには非常に重要である。

第 1 1 14 図 遺伝子改変コモンマーモセット



注：研究内容は、Nature誌に発表され、同誌の表紙を飾った。Sasaki, E. et al. Generation of transgenic non-human primates with germline transmission, Nature, 459(7246):523-527, 2009.

資料：慶應義塾大学医学部

(2) 心疾患、がん、認知症などの治療に資する革新的医療技術に関する研究

① iPS細胞等を用いた再生医療の実現の研究開発

iPS細胞（人工多能性幹細胞）は、山中伸弥・京都大学教授らにより作製法が見出された。iPS細胞を分化・誘導¹させることにより様々な細胞を自在に作ることができるため、病気の原因・病態解明のための研究や、創薬における副作用や有効性の評価等において、従来のヒトを対象とした実験の代わりに患者から作ったiPS細胞由来の組織・臓器の細胞を用いた安全性・有効性の検証が可能となった。これによって、革新的な医薬品や医療技術の開発が安全かつ効率的に進むと期待される。さらには、ヒトiPS細胞由来の様々な細胞を移植して、患部組織の失われた機能等を再生して治療する再生医療の実現が期待されている。

現在、iPS細胞・ES細胞等の幹細胞を分化・誘導し、心筋・血液系細胞・膵臓β細胞・角膜・神経前駆細胞等を作製し、心筋梗塞や脊髄損傷等のモデル動物に移植するという実験レベルでの研究成果が蓄積されつつあり、加えて臨床応用に向けたiPS細胞等の安全性の確保や細胞機能の評価技術の開発等が我が国の様々な大学や研究機関で実施されている。京都大学は、平成22年4月1日付で、世界初の「iPS細胞研究所」を設立し、世界的な中核拠点としてiPS細胞の臨床応用を目指した研究を実施している。また、文部科学省及び科学技術振興機構が支援するiPS細胞等に係る研究開発に参画する研究者・研究機関で構成された「文部科学省iPS細胞等研究ネットワーク」が平成20年4月に発足し、我が国全体でのiPS細胞等幹細胞・再生医療研究を強力に推進するために、研究成果や知的財産に関する情報を一元化して共有することができるバーチャルな研究推進体制の整備が進められている。

¹ 細胞が変化し、生物としての形を整えることを分化といい、この際に細胞が遺伝子によりつくられた物質で変化させられることを誘導という。

② 革新的な組織工学（ティッシュ・エンジニアリング）を応用した再生医療

細胞は生体内では、一つひとつの細胞として単独に存在しているのではなく、細胞同士が構造的かつ機能的に密に結合した組織を構成し、かつ各組織・臓器は各々特異的な三次元構造を有している。

岡野光夫・東京女子医科大学教授らは、生体内での構造を模倣した細胞シートを構築するために、温度によって表面の性質が親水性あるいは疎水性に変化する培養皿（温度応答性培養皿）を開発した。これにより細胞を培養して単層化した細胞シートを作製し、生体の組織や臓器の損傷部分に移植することにより、失われた機能の再生を可能にする方法を開発した（第1-1-15図）。既に、患者自身から採取した角膜の上皮幹細胞や口腔粘膜から採取した細胞を培養して角膜上皮細胞シートを作製し、角膜に移植するという世界に先駆けた臨床研究が実施されている。心筋に関しても臨床研究が開始されている。また、皮膚・^{ぼうこう}膀胱・食道・血管・肺・肝臓等の組織の再構築に関する基盤技術の開発に成功している。これらの研究は、国立成育医療センター、長崎大学、大阪大学、東北大学や、大日本印刷、セルシード、オリンパス、日立製作所等と連携して実施されている。

第 1 1 15 図 細胞シート



注：右は、心筋の細胞シート
資料：東京女子医科大学

③ 新しいがん薬物治療～ペプチドワクチン療法の開発

珠玖洋・三重大学教授らは、平成21年度より、札幌医科大学、慶應義塾大学、タカラバイオなどと連携して、がんワクチンと遺伝子改変したT細胞による免疫効果増強技術を組み合わせた複合的ながんワクチンの研究開発を推進している。

中村祐輔・東京大学教授らは、がんに対するペプチドワクチン療法の開発及び臨床適応のために、久留米大学、札幌医科大学、国立がんセンター東病院、東京大学と連携して研究開発を実施している。ペプチドワクチン療法とは、ペプチドワクチン¹を注射することにより、免疫力を高めてがん細胞を攻撃し、がんの増大を抑えたり、がんを小さくしたりする治療法である。現在、肺がん、食道がん、C型肝炎、肝がんなどに対する臨床研究が行われている。

福岡県久留米地域では、がんペプチドワクチンを核とする世界レベルの高度先端医療開発拠点の形成を目的として、平成21年度より知的クラスター創成事業（グローバル拠点育成型）に

¹ 9～10個のアミノ酸からなる小さなタンパク質であり、患者に注射することにより免疫力を高めてがんの増大を抑える目的で開発されたもの

取り組んでおり、久留米大学を中心として、九州大学、九州産業大学、福岡県生物食品研究所、福岡県工業技術センター及び県内企業等の29機関が連携して研究開発を実施している。

④ 認知機能障害の原因解明の研究

パーキンソン病は、脳内の神経伝達物質（ドーパミン）の不足により手足の震えなどの症状を呈する高齢者に多い難病であり、高齢化社会の進展に伴い患者数が増加している。パーキンソン病では、従来、顕著な認知機能障害は認められないと考えられていたが、病気の進行に伴い認知症が出てくる例などあり、認知症との関連が注目されるようになっている。

放射線医学総合研究所と千葉大学の研究グループは、ポジトロン断層撮影法（PET¹）を用いて脳の画像を調べ、パーキンソン病患者では健康な人と比較して脳内のコリン神経系²の働きが認知症を認めない病気の初期においても既に低下しており、認知機能障害が重度になるにつれてその傾向が顕著となることを明らかにした。この成果は、今後、パーキンソン病の原因解明や治療法の開発に貢献することが期待される。

（3）新しい医療機器や人へのサービス支援につながる研究開発

① 悪性腫瘍を自動的に追尾して治療する放射線治療装置の研究開発

画像診断機器の進歩に伴い、悪性腫瘍の位置を正確に把握する技術が格段に向上したため、悪性腫瘍に集中的に放射線を照射し、周囲の正常組織へのダメージを最小にすることが可能になり、悪性腫瘍の放射線治療の有効性は高まってきている。ところが、人体は脳などを除き、呼吸や心拍などにより、悪性腫瘍の位置は常に数センチ程度変動しているため、悪性腫瘍にピンポイントに放射線を照射するためには、画像診断と放射線治療を精度よくリアルタイムに行う技術が必要である。

白土博樹・北海道大学教授は、三次元の位置計算をリアルタイムに連続して行い、放射線照射を予定していた位置の座標と計算した座標が一致した瞬間にのみ、照射を行う追跡放射線治療を可能にしてきた。現在、これを基にして、体内の悪性腫瘍を自動的に追尾して放射線照射できる治療装置の研究開発を実施している。また、体内の悪性腫瘍が見えるPETを放射線治療装置に搭載した治療装置の開発を目指し、日立製作所や三菱重工業と連携して研究開発を実施している。

放射線医学総合研究所では、重粒子線がん治療の優れた線量分布を活用した、腫瘍の輪郭に沿って塗りつぶすように照射する技術と、呼吸による動きに合わせて照射する技術とを組み合わせた照射法の研究開発を実施している。

② 生活を支えるサービスロボット

高齢化社会の進展に伴い、高齢者の介護を高齢者がしなければならないという「老老介護」を行う世帯が増えており、特に介護者に対しては精神面のみでなく身体面においても大きな負担が強いられていることが社会問題化している。これらの背景を踏まえ、近年、介護者及び被介護者に対して自由な行動を支援することを目的としたロボット（サービスロボット）の研究開発が進められている。

¹ Positron emission tomography

² アセチルコリンと呼ばれる神経伝達物質が関与する神経系をコリン神経系といい、これが障害されることで認知機能障害がおけるといふ仮説がある。

山海嘉之・筑波大学教授らは、人間の身体機能の拡張や増幅を目的とした全身装着型ロボットスーツ「HAL」を開発した。人間が思う通りの動作をさせるようにロボットスーツを高度化して、リハビリや高齢者の生活支援への応用に向けた研究開発を実施し、平成30年までに産業化を目指している。平成16年に大学発ベンチャーのCYBERDYNEを設立し、研究成果を生かした人間の活動支援に関する機器の研究開発を行っている。

経済産業省は、介護・福祉、家事、安全・安心等の生活の中で役立つロボットの実用化を推進するために、平成21年度から「生活支援ロボット実用化プロジェクト」を開始した(第1-1-16図)。生活支援ロボットの安全技術を開発し、安全に関するデータを収集・分析しながら5年間で生活支援ロボットの実用化における対人安全の確立及び国際標準の獲得を目指している。

第 1 1 16 図 高齢者等の自立を支援サポートする移乗・移動支援ロボット(ロボティックベッド)



注：平らなベッド状態、背を上げた状態、車いすの状態など適宜、形を変えることができる
資料：パナソニック ロボット事業推進センター

(4) 人文・社会科学を含めた異分野連携による健康科学への取組

① 学際的な高齢社会研究に取り組む研究教育拠点

超高齢化社会の広範で複雑な課題を解決するためには、医学、看護学、生物学、工学、法学、経済学、社会学、心理学、倫理学、教育学などを包括する新しい学問体系を築くことが必要である。

東京大学は、我が国発の高齢社会課題に学際的に取り組む研究・教育拠点となる「高齢社会総合研究機構」を平成21年4月に新設した。個人の老化と社会の高齢化の理解を深める基礎研究、高齢者の生活を支援する技術開発研究を基盤とし、地域・社会から抽出した課題解決型の研究プロジェクトを、地域や企業との連携により実施している(第1-1-17図)。また、高齢者や高齢社会の諸課題を解決するために生まれた学際的学問であるジェロントロジー¹を学ぶことは、将来どの分野に進む上でも非常に有用であるとの考えから、学部横断型の履修科目として位置付けたジェロントロジー教育プログラムを全国で初めて開始した。

② 産学連携による政策提言「シルバーニューディール」

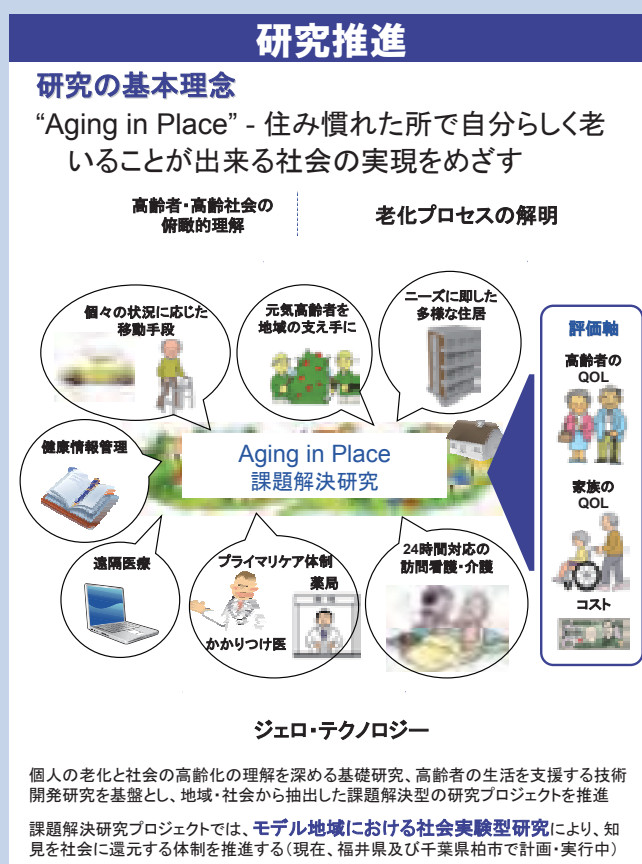
平成22年2月に、東京大学政策ビジョン研究センターと産業競争力懇談会(COCN)²は、

¹ ジェロントロジー(Gerontology)は、医学、看護学、理学、工学、法学、経済学、社会学、心理学、倫理学、教育学などの幅広い領域を包含する(東京大学高齢社会総合研究機構)。

² 産業競争力懇談会(COCN: Council on Competitiveness-Nippon)は、我が国の産業競争力の強化に深い関心を持つ産業界の有志により平成18年に発足した。

高齢者の能力を十分に活用し、高齢者を含むすべての人々が安心して暮らせる社会を実現するための産学連携による政策提言「シルバーニューディールでアクティブ・エイジング社会を目指す」を発表した。この中で、シルバーニューディールとは、「国内にとどまらない高齢化社会の潜在的な需要と我が国が持つ新技術、アイデア、新ビジネスモデル、地域資源等の供給サイドの力とを結びつけることで、新たな産業・雇用の創造と社会の高齢化に伴う課題解決とを同時に実現すること」と説明している。シルバーニューディールを進めるために、文理融合による全体的な構想を支援する高齢化社会づくりグラントの創設や、産学官民の協力体制による地域を限定した都市・生活モデルの実証実験、高齢者を標準とした社会の創生に向けた国家的枠組みの創設などが提言された。

第 1 1 17 図 高齢社会総合研究機構



資料：東京大学高齢社会総合研究機構

③ 地域との連携で取り組む健康増進

信州大学は、松本市熟年体育大学を包括的予防医学の教育研究フィールドとして、自治体や企業と協力して地域住民の健康づくりのためのプロジェクトを実施し、平成16年に特定非営利活動法人「熟年体育大学リサーチセンター（能勢博・理事長、信州大学教授）」を設立した。これは、信州大学・松本市・民間企業・市民が協力して開始された産学官民からなる共同プロジェクトであり、地域に対する活動以外に、全国の自治体、団体、病院、民間企業などに対して、運動を中核に科学的根拠に基づく健康増進事業（EBH：Evidence Based Health-promotion）のノウハウを提供するなどの活動を実施し、平成20年度までに11自治体、

11医療機関、17企業が参画した。プロジェクトにおいて開発されたインターバル速歩は、ゆっくり歩きと早歩きを交互に繰り返すものである。腰につけた機材で運動の記録が自動的に取得され、データをセンターに転送することにより、消費カロリーや筋力及び持久力などの結果がインターネットを通じて個人に戻され、その際に運動や栄養、メンタルの指導も行われる。

筑波大学は、平成8年に茨城県大洋村（現、鉾田市）と共同して、筋力トレーニングなどを取り入れた高齢者向けの健康増進プロジェクトを開始し、高齢者の健康増進に効果があるシステムを開発した。平成14年には、科学的根拠に基づいた地域の健康づくりシステムの普及のために、大学発ベンチャー企業のつくばウエルネスリサーチ（久野譜也・代表取締役社長、筑波大学准教授）を設立し、現在までに全国の30以上の自治体や企業に、情報技術を利用した個人別の健康支援プログラムのシステムを提供してきた。専用の高性能歩数計を身につけることで利用者の日々の活動状況を自動的に記録し、定期的の実施される体力テストの結果と組み合わせることで、生活習慣病や寝たきり防止を目的とした、個人に適した健康づくりを支援している。

長崎県は、高齢化が際立つ離島・へき地などを抱えており、これらの地域住民の予防・在宅医療システム構築を目指して長崎大学を中心に都市エリア産学官連携促進事業に取り組んでいる。離島・へき地の医療機関、介護施設等や長崎大学病院の協力により、非侵襲センシング技術を活用した血糖値計、肺音検査システム、排尿管理システムなど、健康チェック機器の製品化に取り組むとともに、携帯電話等を介してこれらの機器と医療ネットワークを繋ぐ予防・在宅医療システムの開発を目指している。

徳島大学では、徳島県の糖尿病死亡率が極めて高いことを踏まえ、これを克服するための取組として、平成19年に糖尿病対策センターを設置し、県民を対象とした疫学調査を進めるとともに、平成21年度に糖尿病臨床・研究開発センターを設置し、予防・治療に関する研究開発を進めている。これと併せて、徳島県では、今後、アジア諸国で増加することが予想される糖尿病治療の拠点を目指し、徳島大学病院と連携して、糖尿病の治療と観光を兼ねた「メディカルツーリズム」を開始した。

以上のように、大学と地域が連携して、人々の健康増進を支援する取組が始まっている。これらの活動は、地域の医療費の削減にもつながることから、今後更に増えることが期待される。

2 社会の安全・安心に資する科学・技術

国民が安心して安全に生活できる社会の構築に向けて、生活に甚大な影響を及ぼすと考えられる事柄について、その発生を予防し、たとえ発生を防げなかったとしても、被害を最小限にするような対策を事前に整えておくことが必要である。

以下に、国民生活の安全・安心を脅かすと考えられる主な事柄に対する科学・技術を利用した取組の事例を示す。

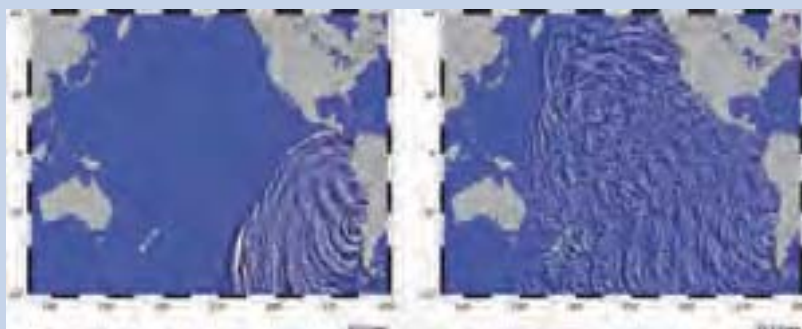
（1）自然災害の防災・減災に関する科学・技術

我が国は、地形、気象などの自然条件から、地震、津波、台風、洪水などによる災害が発生しやすい。自然災害で亡くなる人は年々減少傾向を示しているが、一たび、大規模な自然災害が発生すると多数の犠牲者を生じる。自然災害を完全に防止することは困難であることから、日々の観測・監視により、災害の発生を正確かつ迅速に予測することであらかじめ対策を講じ、被害を最小限にするという減災のための科学・技術が重要である。

気象に関しては、首都圏を試験地とした次世代豪雨強風監視システム（Xバンド気象レーダネットワーク）がある。都市防災システムの開発に役立てることを目的として、防災科学技術研究所が中心となって、中央大学、防衛大学校、財団法人日本気象協会、財団法人電力中央研究所、気象研究所などの研究用レーダをネットワークで結び、数時間先までの雨量を予測するモデルの開発を進めている。気象研究所では、観測データの同化技術、数値予報モデル、台風の進路・強度予測、都市気候、気象統計などに関する研究を行っている。

地震及び津波の早期検知と予測精度の向上を目指した技術開発については、気象研究所と海洋研究開発機構などが進めている。東南海地震を対象としたリアルタイム観測システムの構築及び地震発生予測モデルの高度化等については、海洋研究開発機構が中心となり、平成18年度から、東南海地震の想定震源域にあたる海域において20の観測点を設けることを目指し、高精度の地震計及び水圧計（津波計）を置き、すべての観測点を海底ケーブルで結んでネットワーク化する取組を進めている。平成22年度からは新たに南海地震の想定震源域への海底ネットワークの構築を開始する。気象庁は、関係機関の協力の下に収集されたデータ等を用いて、地震及び津波の監視を行っている。

第 1 1 18 図 2010年チリで発生した地震による津波の波動伝播の解析（イメージ図）



資料：海洋研究開発機構

（2）食料安定確保のための科学・技術～養殖技術～

我が国のマグロの消費量は、世界の消費量の2割程度を占めているが、我が国で消費されるマグロの半分近くは輸入である。しかし、生物資源の保護の観点からマグロの漁獲量は制限され続ける状況にあり、養殖技術への期待が高くなっている。

近畿大学水産研究所は昭和45年からクロマグロの沿岸の生けすを用いた完全養殖の研究を開始し、平成14年に成功した。完全養殖は、人工ふ化した魚を親魚まで育てて採卵し、それをまた人工ふ化させるという、天然資源に頼ることなく、次々に次世代を生み出す養殖技術である。平成15年にはベンチャー企業アーマリン近大が設立され、近畿大学水産研究所の技術を用いて養殖した魚（クロマグロ、マダイ、シマアジなど10種類以上）を販売している。現在は、養殖科学の国際教育研究拠点として、自然環境に負荷をかけない養殖技術、養殖魚の肉質向上の研究、養殖ビジネスモデルの開発などが実施されている。

秋山信彦・東海大教授らは、ベンチャー企業WHAと共同し、地下海水¹を利用したマグロの

¹ 海から浸透した塩水の地下水である。静岡県清水地区では地下20～40メートル掘ると出る。年間を通じて水温が一定で、かつ無酸素のためバクテリアが皆無であるので、魚類の飼育に適している。

陸上養殖の研究を実施している。平成18年度から環境を考慮したクロマグロの飼育システムを開発し、1年半で稚魚を約12キロまで成長させた。さらに、水槽の水流の速さを調整することで、マグロ肉における脂質含有量をコントロールできるようになってきた。

今後、魚の生態の解明に基づいた養殖技術の向上により、地域においてブランド化されたマグロやその他の魚介類が食卓に供給されることが期待される。

（3）テロなどの危険を察知する科学・技術

国際的にテロは大きな脅威であり、我が国においても十分な備えが必要である。平成21年版防衛白書によると、世界の地域における平成20年のテロの発生件数は中東が5,748件と最多であり、次いでアジア・オセアニアの4,110件である。欧州の719件、北米・中南米の352件（コロンビアが9割）と比較すると、多く発生していることが分かる。

テロに用いられる物質として、化学剤・生物毒素・微生物・放射性物質・核物質・爆薬などがある。なかでも、核物質や爆薬を用いたテロは、人的被害までの時間が短く、発生から瞬時であるため、事前検知技術の開発が重要である。

文部科学省の「安全・安心科学技術プロジェクト」の平成19年度採択課題である「ウォークスルー型爆発物探知システム（日立製作所）」では、大量輸送機関、集客施設、イベント会場などに配置し、爆発物を用いたテロや犯罪を防止することを目的に、従来は20秒程度かかっていた検査を3秒以下にして、ゲートなどを通過している間に高速で検査できるような爆発物探知システムの開発を行っている。同様に、液体爆発物、有害生物、核物質などの検知技術についての開発研究も進められている。また、核兵器のない世界の実現に向け、核によるテロを未然に防ぐため、国際原子力機関（IAEA¹）や米国などとの協調の下、関係省庁と連絡を取りつつ、日本原子力研究開発機構などを中心に核物質検知技術の開発研究が進められている。

（4）海外と連携して進める新興・再興感染症への対策

新興感染症とは、近年に新しく認識された公衆衛生上問題となる感染症であり、再興感染症とは、かつて存在し、一時期は減少していたが近年再び増加した、あるいは将来的に問題となる可能性を示す感染症である。新興感染症の例として、重症急性呼吸器症候群（SARS）、ヒト免疫不全ウイルス（HIV）感染症、高病原性鳥インフルエンザなどがあり、再興感染症の例にはマラリア、結核、狂犬病などがある。また、新興感染症として、2009年（平成21年）にメキシコで発生が確認された豚由来の新型インフルエンザA（H1N1）が瞬く内に世界中に広がり大流行になった。新興・再興感染症は、発生の予測が不可能であり、常に、発生後の迅速な対応が求められるものである。そのため、これらに関する幅広い研究を継続して実施していくことが重要である。

国立感染症研究所では、感染症の発生の情報（患者の情報、病原体情報、疫学情報など）の収集及び分析を行い、国民にそれらの情報を提供している。また、海外の感染症に関連する機関との情報交換や感染症の集団発生の疫学調査の実施と疫学専門家の養成などを行っている。

文部科学省では、「新興・再興感染症研究拠点形成プログラム」において、アジア・アフリカの8か国12か所に設置した海外研究拠点での我が国の大学等との共同研究を通じて、新興・再興感染症に対する基礎的知見を集積するとともに、人材育成を推進している。

¹ International Atomic Energy Agency

（５）世界の水の問題を解決するための科学・技術

水は、人類を含めた地球上のすべての生物が、持続的に生命及び社会を維持するために必要不可欠な資源である。しかし、地球全体に存在する水の約97.5%が海水等で、淡水は約2.5%しかない。さらに淡水の内の地下水や河川、湖沼などの水として存在する量は約0.8%であり、残りは氷河である。このように決して多くない貴重な水の恵みを地球上の生物が持続的に享受するためには、水資源の計画的な利用を考える必要がある。世界的には、衛生的に安全な水の確保、気候変動による水利用への影響が重要な課題として認識されている。

科学技術振興機構は、戦略的創造研究推進事業において、気候変動等により深刻化する水問題を緩和し、持続的な水利用を実現する革新的技術を創出する目的である研究領域「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」（研究総括：大垣眞一郎・国立環境研究所理事長）を平成21年度に発足させ、水処理の統合的管理システム、都市圏水利用システム、農業地域の水管理・資源循環などの研究を開始した。

平成21年9月に「最先端研究開発支援プログラム（内閣府）」において採択された、栗原優・東レ顧問の研究課題「Mega-ton Water System」では、水の膜処理技術を用いて世界最大の処理能力を有する省エネルギー海水淡水化水処理システム・下水処理システムを確立することを目的としており、世界的な水不足問題の解決につながることを期待される。

我が国が強みを持つ水処理技術を強化及び活用して、省水型・環境調和型の水循環システムを構築し、これを国内外に普及させることにより産業競争力の強化を目指すという、新エネルギー・産業技術総合開発機構の「省水型・環境調和型水循環プロジェクト」が平成21年度から開始されている。平成21年度では、タイ、ベトナム、中国、中東を対象にして、水処理システムを導入することにより今まで飲用水源として利用されていなかった河川などの利用可能性や、水道システムの実施可能性の調査研究が企業を中心に実施されている。

第3節 基礎科学力の強化

1 基礎研究の重要性

我が国における基礎研究の成果は、1999年（平成11年）からの10年間に、米国に次ぐ8人の自然科学分野のノーベル賞学者を輩出するという形で国際的にも高い存在感を示してきた。また、サイエンス誌10大ニュースにおいて、2008年（平成20年）及び2009年（平成21年）における「科学進歩ベスト10」の第1位に、それぞれ山中伸弥・京都大学教授らによる「iPS細胞研究に基づく細胞の再プログラミング化」及び諏訪元・東京大学教授らを含む国際研究チームによる「約440万年前の猿人（初期人類）の化石の発見」がそれぞれ選ばれている。

宇宙や物質の成り立ち、生命現象等についての人類の理解は、人類自身の知的好奇心や探究心に根ざした研究を足場としてきた。地道で真摯な真理探求と試行錯誤から生まれた新たな原理・現象の発見は、長い年月をかけて知識として整理・体系化され、古典力学から量子力学、分子生物学といった人類の共通の資産として蓄積されてきた。また、それ



約440万年前のラムダス猿人（アルディピテクス・ラムダス）の化石の発見は、1992年（平成4年）に諏訪教授自身が発見した一片の臼歯に始まった（写真はラムダス猿人の頭骨を復元したもの）

写真提供：諏訪元・東京大学教授

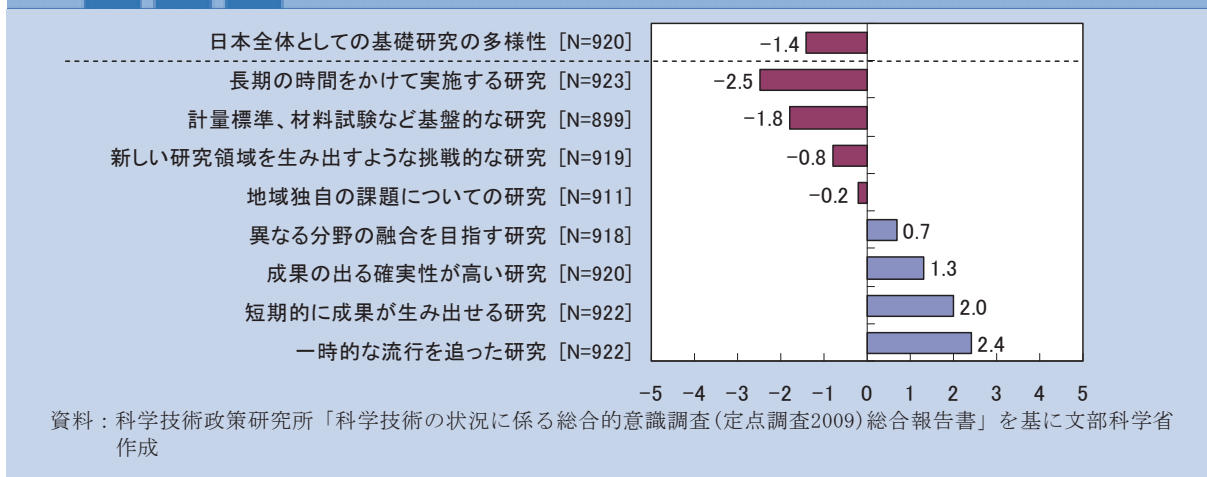
らの研究は人々の自然観や人間観などの思想にも大きな影響を与え、個々の人間の行動や社会の在り方を大きく変えてきた。これらの資産が豊富にあることは国民や人類の豊かさに通ずる。

基礎研究は人類の英知を生み知の源泉となり、さらに、イノベーションの源泉となる知識を創出する。多様性を増し、急速に変化し続ける現代社会において、基礎研究の振興は人類活動の基盤となるすべての科学・技術の源として重要な役割を担うものであり、その重要性は今後とも一層高まっていく。

我が国は、基礎研究、とりわけ研究者の自由な発想に基づく研究を進めるに当たって、これまでも基盤的経費や科学研究費補助金等による研究を推進してきた。また、第3期科学技術基本計画（平成18年3月閣議決定）においても、研究者の自由な発想に基づく研究については、萌芽段階からの多様な研究や時流に流されない普遍的な知の探求を長期的視点の下で推進することが示されている。

この点に関連して、「科学技術の状況に係る総合的意識調査（定点調査2009）総合報告書（平成22年3月）」（以下「定点調査2009¹」という）によると、2001年（平成13年）ごろと比べて「日本全体としての基礎研究の多様性」が減少しているとの認識が示されている。また、「長期の時間をかけて実施する研究」「計量標準、材料試験など基盤的な研究」及び「新しい研究領域を生み出すような挑戦的な研究」が少なくなっているとの回答が多い（第1-1-19図）。加えて同調査では、基盤的経費による研究資金の減少が、世界トップレベルの成果を生む可能性の高い若年者の独創的かつ創造的研究を阻害する可能性があるとの意見も挙げられている²。

第 1 1 19 図 基礎研究の多様性の状況 [2001 年（平成 13 年）ごろとの比較]³



¹ 定点調査 2009 は、平成 18 年度から毎年、日本の代表的な研究者・有識者を対象とし、同一の回答者に、同一のアンケート調査を実施することで、日本の科学・技術の状況を問う意識調査である。当該調査は、科学技術システム定点調査と分野別定点調査の 2 つから構成されている。前者の調査対象者は約 420 名で、大学などの機関長、審議会の委員など科学・技術政策立案に携わった経験のある方を対象としている。後者の調査対象者は重点推進 4 分野及び推進 4 分野の各分野で学協会などから推薦された約 120 名（8 分野合計約 960 名）である。

² 定点調査 2009（うち科学技術システム定点調査）の問 3「研究資金についての全般的な意見」に寄せられた意見

³ 当該調査項目については、平成 18 年度から毎年実施しているものではなく、平成 21 年度調査における追加調査として実施したものである。また、本図では、科学技術システム定点調査と分野別定点調査の両方の集計結果を合計している。うち、科学技術システム定点調査については併せて実感の有無についても質問し、「実感有り」とした回答者の回答を集計対象としている。質問への回答は、6 段階から最も相応しいと思われるものを選択する（6 段階評価）方法による。6 段階評価を 10 ポイント満点で指数化し、0 を中間点とした -5 から 5 でのスケールで結果を示した。

基礎研究は、得られた知見を実用的な技術の開発に応用することを必ずしも直接目的とする訳ではないが、その成果は、場合によっては20年以上の研究開発期間を経て実用化、製品化され、経済社会のイノベーションを生む源泉にもなっている（第1-1-20表）。例えば、2009年には「光ファイバー¹の実用化に繋がる研究」に対して、元香港中文大学長のチャールズ・カオ博士がノーベル物理学賞を受賞した。カオ博士らは1966年に、ガラスファイバーの光の減衰の原因を不純物による吸収や散乱であるとし、不純物を取り除くことにより光の損失が低減されること等を理論的に証明した。その後米国企業が、カオ博士らの発表を基に1キロメートルの光ファイバーを開発することに成功し、予測が現実のものとなった。1988年には、米国と欧州との間に約6,000キロに及ぶ最初の海底光ケーブル²が敷設される等、実用化は急速に進んだ。現在、光ファイバーは情報通信において広く使用されている。

第 1 1 20 表 ノーベル賞の成果が実用化につながった事例

実用化	ノーベル賞
MR I（磁気共鳴診断装置）	ブロッホほか（1952年物理学賞）
半導体（トランジスタ）	ラウターバー、マンズフィールド（2003年生理学・医学賞）
インシュリン	ショックリー、バーディーンほか（1956年物理学賞）
半導体（トンネル効果）	サンガー（1958年化学賞）
C T（断層撮影装置）	江崎玲於奈ほか（1973年物理学賞）
モノクローナル抗体	コルマック、ゴトフリーほか（1979年生理学・医学賞）
導電性ポリマー（携帯電話のバックアップ用電池）	イェルネ、ケーラーほか（1984年生理学・医学賞）
不斉合成（メントールの製造）	白川英樹ほか（2000年化学賞）
タンパク質分析装置	野依良治ほか（2001年化学賞）
GMRヘッド（HDDの再生ヘッド）	田中耕一ほか（2002年化学賞）
ノックアウト動物	フェール、グリュンベルク（2007年物理学賞）
GFP蛍光マーカー	カペッキ、エバンスほか（2007年生理学・医学賞）
CCD（電荷結合素子）	下村脩ほか（2008年化学賞）
光ファイバー	ボイル、スミス（2009年物理学賞）
	カオ（2009年物理学賞）

資料：文部科学省作成

2 基礎科学力の強化に向けて

（1）論文成果に見る我が国の基礎科学力

各国の基礎科学力を把握するための指標の一つとして、論文数や論文の被引用回数（他の論文に引用される回数）、研究者数当たりの論文数に見る論文生産性等がしばしば用いられる。

最近では審良静男・大阪大学教授が、自然免疫の機能の解明に関する研究により、2004-2005年（平成16-17年）及び2005-2006年（平成17-18年）において、被引用回数の高い論文を世界で最も多く発表している研究者として選ばれている³ほか、神原陽一・東京工業大学特別研究員らが発表した鉄系新高温超伝導体に関する研究論文は、2008年（平成20年）における世界での最多被引用⁴となっている。

また、科学技術政策研究所では、国により、研究費や研究者数の統計の取り方に違いがあること等を踏まえ、我が国、米国、英国及びドイツの高等教育部門における研究者数や論文数の

1 光を用いて情報を伝達する際に、光の伝送路として用いる細いガラスファイバー

2 光ファイバーに保護被覆を施しケーブルにしたもの

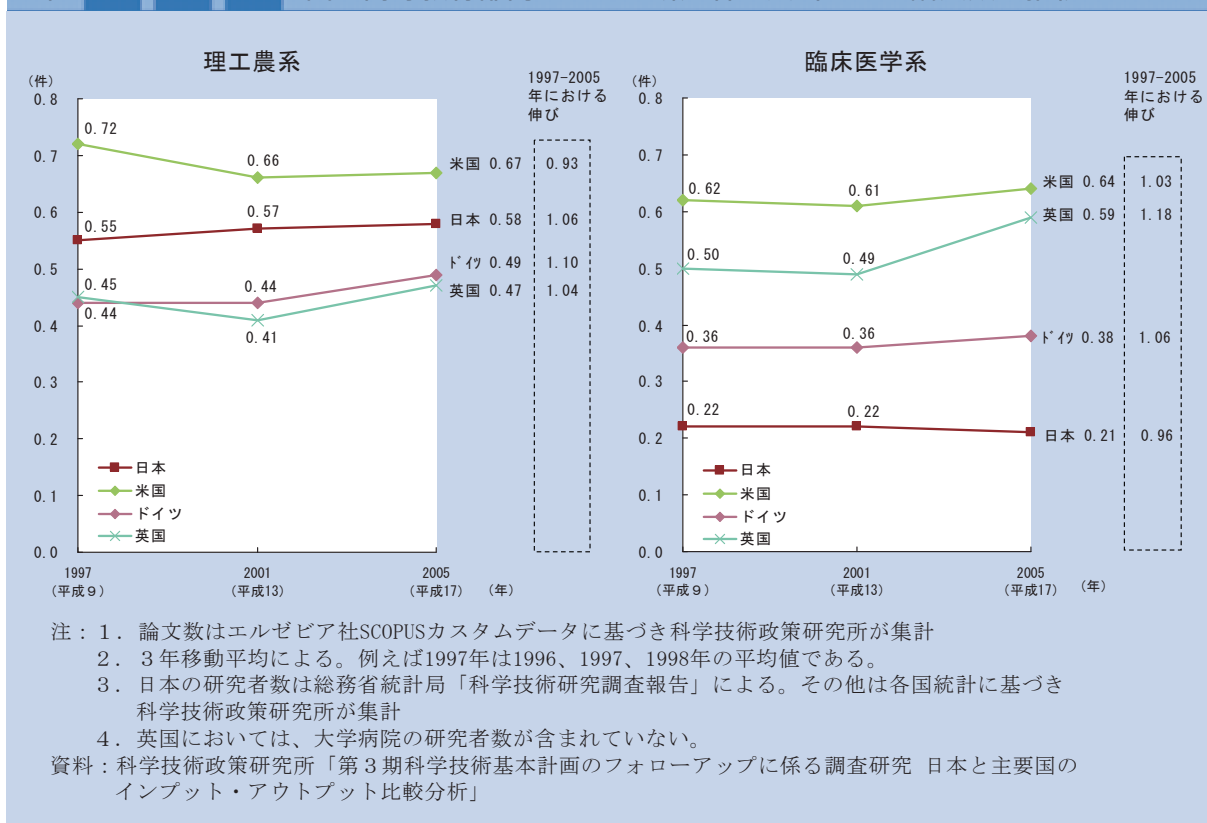
3 トムソン・ロイターの発表による。過去2年間に出版された論文のうち、直近2か月間に引用された分野別の論文のトップ0.1パーセントを基準として選考される。

4 トムソン・ロイターの発表による。2008年（平成20年）に出版された論文のうち、同年において最も多く引用された論文である。

国際比較性を向上し、我が国の基礎研究の中核を担う高等教育部門¹について、研究者数あたりの論文生産性に関する分析を行った²。

その結果、我が国の高等教育部門、なかでも理工農系における研究者1人当たりの論文数は1997年（平成9年）から2005年（平成17年）にかけて増加し、2005年（平成17年）においても英国やドイツを上回る0.58となっており、健闘していることが明らかとなっている³。一方、臨床医学系における研究者1人当たりの論文数は米国、英国及びドイツと比べて唯一低下傾向にあり、2005年（平成17年）において0.21となっている（第1-1-21図）。

第 1 1 21 図 高等教育部門における研究者1人当たりの論文数の推移



（2）我が国の基礎科学力の強化に向けて

主要国では、予算の数値目標を設けるなど、基礎研究の強化に向けた取組を実施している。米国オバマ政権においては、科学が国家の繁栄、米国民の安全・安心、健康等のために重要であるとの考えの下、2009年9月に発表した「米国イノベーション戦略」において、持続的な成長と質の高い雇用の創出に向けた重要3項目のうちの一つとして基礎研究等を位置付けている。また、同戦略等において、ハイリスク・ハイリターン研究や若手研究者支援等のため、研究関係機関〔NSF、DOE科学局、国立標準技術研究所（NIST⁴）〕の予算を97億ドル

1 当該調査では、日本の科学技術研究調査における大学の学部（大学院の研究科を含む）の研究本務者に対応するデータを、米国、英国、ドイツについても教育統計等を用いて整備することで、高等教育部門の研究者数を求めている。
 2 先行研究では、我が国の高等教育部門における研究者当たりの論文生産性は、米国、英国及びドイツと比べて低いことが指摘されている。なお、大学等においては論文の作成を通じて多くの人材が輩出されるという教育的な側面があるため、論文数のみが大学等における活動の指標でないことに留意する必要がある。
 3 同報告書によれば、我が国の理工農系における1997年（平成9年）から2005年（平成17年）までの論文数の伸びは1.19倍となっており、米国、英国及びドイツのいずれよりも高くなっている。他方、臨床医学系における論文数の伸びは同期間で0.99倍と微減となっている。
 4 National Institute of Standards and Technology

(2006年) から195億ドル (2017年) へ倍増する計画が示されているほか、試験研究費の税額控除の恒久化、科学・技術・工学・数学 (S T E M¹) 教育の支援等を掲げる等、基礎研究強化に向けた総合的な取組を実施している。

EUでは、加盟国間の共同研究等への支援を行う第7次フレームワークプログラム (F P 7) において、F P 6²と比較して期間中の研究予算を年平均で65%増額する目標を掲げている³。そのうち、欧州研究会議 (E R C⁴) を通じた個人研究者への助成については、2013年までの総額で74.6億ユーロが投じられることとなっており、欧州の基礎科学力強化に大きく貢献するものと期待されている。具体的には、若手研究者に対する支援と基礎研究を含めた先端研究やハイリスク研究への支援を重点的に行うものであり、非常に高い競争率となっている。

他方、文部科学省においては、有識者から成る「基礎科学力強化委員会」において我が国の基礎科学力強化に向けた集中的な議論を進め、平成21年8月には「基礎科学力強化に向けた提言」を取りまとめた。同提言では、基礎科学の意義や特徴等の基礎科学力強化のための基本的な考え方をまとめるとともに、それらを踏まえ、人材育成、公的資金の抜本的拡充、研究推進システムの3点から基礎科学強化の進め方について言及している。今後、我が国の大学や研究機関の教育・研究力を世界トップレベルまで引き上げ、「科学技術の力で世界をリードする」ことを目指し、基礎研究への投資や研究基盤の整備、人材育成等の取組等を科学・技術システムとして一体的に進めていくことが不可欠となる。我が国の科学・技術システムの現状と課題については第2章で示す。

¹ Science, Technology, Engineering and Math

² the Sixth Framework Programme for Research and Technological Development

³ FP6、FP7の実施期間はそれぞれ2003-2006年、2007-2013年である。

⁴ European Resuscitation Council

コラム3

先端研究支援のための研究資金制度の在り方

最先端研究開発支援プログラムの中心研究者として選ばれた細野秀雄・東京工業大学教授に、研究成果を出すまでの道のりや苦労、先端研究支援のための研究資金制度の在り方について話を聞いた。

○研究成果を出すまでの道のりや苦労

私は、昭和57年に東京都立大学の学部・大学院（博士）を出て、名古屋工業大学で助手・助教授などを経て平成11年に現在の職に就きました。科学研究費補助金（100-2000万円）や民間の財団（100-300万円）の支援を受けて、セラミックスの光・電子機能の発現について研究してきました。その成果が科学技術振興事業団（現科学技術振興機構）の担当職員や学会の先生方の目にとまり、平成10年（当時、東京工業大学助教授）に同事業団のERATO（創造科学技術推進事業）という大きな基礎研究プロジェクト



写真提供：細野秀雄・

東京工業大学教授

に提案をしてみないかと誘われ、自分の研究で温めていたアイデアを思い切って書いてみました。電気が通らない白い粉であるセラミックスを半導体に変えるという提案でした。びっくりしたことに高い競争率であったにもかかわらず採択されました。そして平成11年から「細野透明電子活性プロジェクト」を開始しました。私はいわゆる有名研究室の出身ではありませんし、当時は粗削りのアイデアとそれの基になった論文（これはトップの論文誌に掲載）が幾つかあっただけです。よくこの段階でERATOの総括責任者に選んでくれたものだと思います。相当に勇気ある決断だったと想像します。ERATOは研究者個人の名前が冠となる年間3-4億円という競争的資金では最大規模のプロジェクトで、総括責任者が研究構想はもとより、研究員の人選、進め方など研究面の全責任を負う性格を持ち、「人に賭ける」ということが特徴です。私は選ばれたとき、「人生1回、失敗を考えずにやりたいことをやるしかない」と開き直って、覚悟を決めて始めたのを憶えています。

参集した若い研究者たちと集中した結果、セメントを電気がながれる透明金属に変身させることができました。石灰とアルミナという絶縁体の代表からできた物質に電気を流すことができたのです。ありふれた元素を使って、希少な元素でしかできなかった機能を発現することが工夫次第でできるのではないかという考えが生まれました。これが資源の少ない日本の固有の方針である「元素戦略」という政策につながりました。

また、ガラスを半導体に変えようという試みにも挑戦し、今の液晶ディスプレイやTVを駆動させているトランジスタよりも20倍の性能のトランジスタができるようになり、平成22年くらいから次世代の液晶TVなどに応用されようとしています。一説によると3兆円市場だそうです。

そして、一番世間を騒がしているのが鉄の超伝導物質の発見です。鉄は超伝導にはならないというのが研究者の常識でしたが、私たちは鉄の化合物で超伝導を示す物質を発見し、しかもかなりその温度が高かったのです。この発見に世界の研究者が一斉に反応し、2008年（平成20年）に発表された論文の中で私たちの論文は世界No.1の被引用回数となりました¹。世界各国で政府支援の研究プロジェクトが立ち上がっています。20年前の高温超伝導の騒ぎと違うのは、競争は欧米だけでなく、中国、インドが強力なライバルになっていることです。私たちは「発見者」という名誉は確保したのですが、実用を目指してもっと温度の高い物質を求めて勝ち抜く必要があります。革新的超伝導は低炭素社会を実現するかぎの一つです。何とか日本の英知を結集して頑張ろうと思っています。

○先端研究支援のための研究資金制度の在り方について

これまでの流れを振り返ると以下の重要性を痛感します。

- （1）研究の支援はその時期に応じた性格の異なったものが必要。芽を出す時期には、自由な発想で行える科学研究費や民間の財団の支援が有効。大きなお金はいらない。
- （2）新しい大きく伸びそうな芽が出たら、組織的な体制で集中的に取り組むことが必要。科学技術振興機構の戦略的創造研究は適している。科学研究費補助金を何回受けても、前出のトランジスタのディスプレイ応用の研究が今のように急進展することはなかったでしょう。
- （3）産業化での展望がある程度見えてきたら、企業と連携した応用を目指した組織的研究が必要。新エネルギー・産業技術総合開発機構の公募型研究費が適している。

研究資金制度（ファンド）の種類はこのように性格が異なるものがないと、新しい成果が社会還元につながりません。これは3種類あるから無駄ということではなく、逆にどうしても必要だということです。

¹ 第1部第1章第3節2（1）で述べた、神原陽一博士らの研究論文の世界における最多引用と同一の事実を指す。