

第2節 地球規模課題への科学技術の貢献

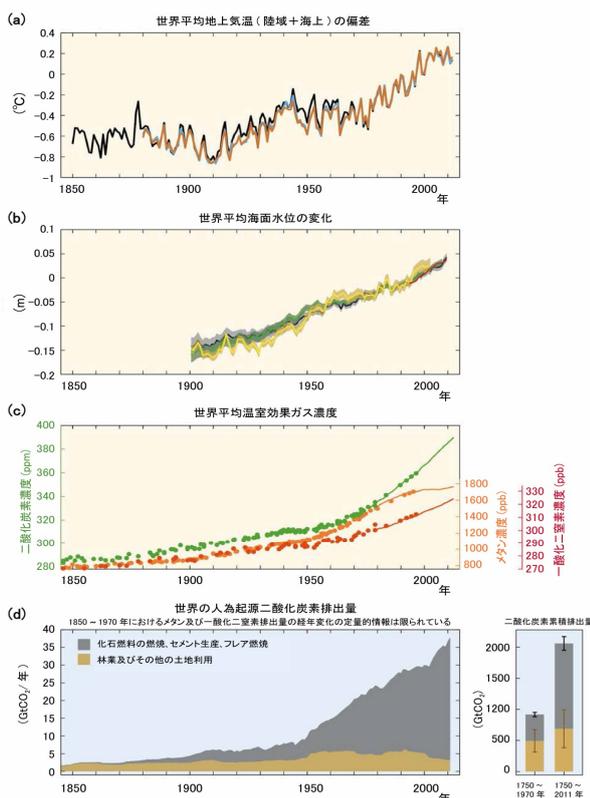
19世紀末から20世紀に掛けて、科学技術は急速に進歩した。化学工業、電気工業、重工業等が登場し、また、鉄道・自動車・航空機などを使った物流の発達により大量のモノを遠い所にも短時間で輸送することが可能となり、人類はより豊かで快適な生活を追い求め、モノの大量生産・大量消費時代へと突き進んできた。それは、モノの大量廃棄とエネルギーの大量消費を伴い、限られた資源が枯渇するおそれ、地球温暖化や生態系の破壊等の問題をもたらし、地球環境の危機が指摘される状況となっている。

本章第1節では、国民生活に変化をもたらした科学技術について紹介したが、科学技術は、各人の日々の生活に密着して変化をもたらすだけでなく、気候変動や資源エネルギー問題といった地球規模課題に取り組む際の切札となり得ることから、科学技術の地球規模課題への貢献に対し、強い期待が寄せられている。本節では、我が国の科学技術が、国内外で果たしている社会的貢献について紹介する。

1 地球温暖化対策への貢献

○地球温暖化の状況

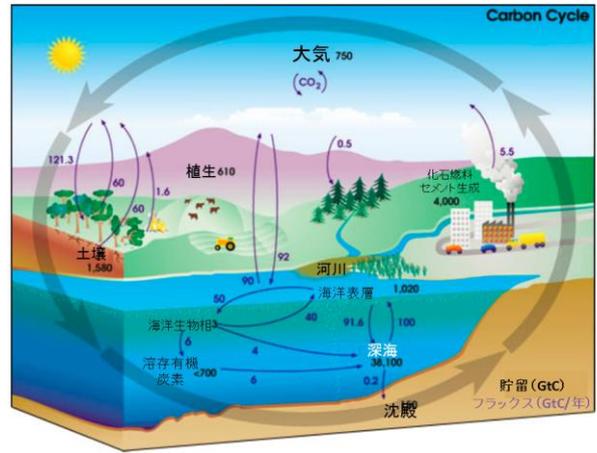
地球規模で直面している課題の中でも喫緊の課題の一つが、地球温暖化に伴う気候変動である。2007年（平成19年）にノーベル平和賞を受賞した、国際連合の気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）¹は、2014年（平成26年）に最新の第5次評価報告書統合報告書を公表した。この中で、「気候システムに対する人為的影響は明らかであり、近年の人為起源の温室効果ガス排出量は史上最高となっている。近年の気候変動は、人間及び自然システムに対し広範囲にわたる影響を及ぼしてきた」とし、詳細な知見を示した上で、「温室効果ガスの継続的な排出は、更なる温暖化と気候システムの全ての要素に長期にわたる変化をもたらし、それにより、人々や生態系にとって深刻で広範囲にわたる不可逆的な影響を生じる可能性が高まる」と、警鐘を鳴らしている。



資料：IPCC第5次評価報告書政策決定者向け要約
 翻訳：文部科学省、経済産業省、気象庁、環境省

¹ 人為起源による気候変動、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的・技術的・社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的とし、1988年に世界気象機関（WMO）と国際連合環境計画（UNEP）により設立された組織

大気中には二酸化炭素、メタン、水蒸気等の温室効果ガスが存在し、これらの濃度が上昇し温室効果が強まると地球温暖化が生じる。代表的な温室効果ガスである二酸化炭素やメタンを構成する炭素は、大気・植物・土壌・海洋の間を、形を変えながら地球規模で循環しており、その現象は「炭素循環」と呼ばれる。18世紀の産業革命以前は炭素循環のバランスが取れていたが、産業革命以降、大気中の二酸化炭素濃度は、人間活動による化石燃料の利用及び森林減少などの土地利用変化により、約40%増加した。第5次評価報告書では、今後の温暖化対策に関する幾つかの仮定（シナリオ）を設定しており、21世紀末の世界平均気温は、いずれのシナリオにおいても現在よりも上昇し、現行を上回る温暖化対策を何ら取らないというシナリオの場合、約4℃上昇すると予測されている。



炭素循環の概略図

資料：環境省「IPCC第5次評価報告書の概要」

シナリオ名称	温暖化対策	平均(°C)	「可能性が高い」予測幅(°C)
RCP8.5	対策なし	+3.7	+2.6~+4.8
RCP6.0	少	+2.2	+1.4~+3.1
RCP4.5	中	+1.8	+1.1~+2.6
RCP2.6	最大	+1.0	+0.3~+1.7

1986~2005年を基準とした21世紀末の世界平均地上気温の予測

資料：環境省「IPCC第5次評価報告書の概要」

我が国でも、高温障害による品質低下などの農作物の被害、自然生態系の変化、渇水・洪水リスクの増大等、地球温暖化により生じている可能性のある事象が現れており、将来についても、更なる地球温暖化の進行により、コメの品質低下、洪水リスクの更なる増大、感染症媒介生物の分布域の拡大等が懸念されている。

地球温暖化への対策には、温暖化の原因である二酸化炭素などの温室効果ガスの排出を抑制する「緩和（排出削減）」と、温暖化の影響に対して人間社会や自然の在り方を調整する「適応」の二つがある。このうち「緩和」に貢献する主な科学技術として、太陽光、風・水力、バイオマス及び地熱等の再生可能エネルギー等による発電・熱利用や、水素・燃料電池などの次世代エネルギーシステムの開発・利用等がある。「適応」の例としては、大雨の増加に備えた水災害対策（避難態勢の整備、排水機能の確保等）や、高温に強い農作物の品種の育成等がある。

○地球観測による貢献

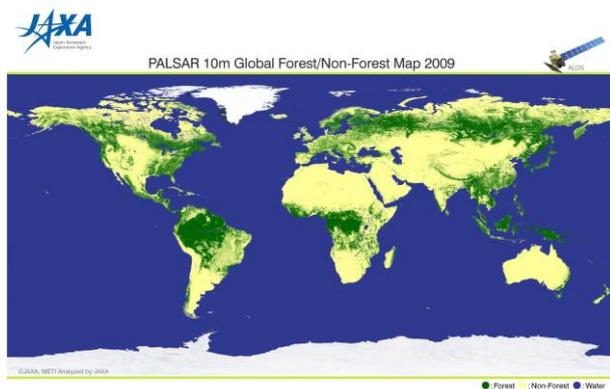
地球温暖化への解決策を見出し、適切に対応するためには、まず的確に現状を把握することが重要である。地球温暖化の状況等を把握するため、世界中の国や機関により、人工衛星による宇宙からの観測や地上・海洋における現場観測等による様々な地球観測が行われている。各国が、衛星からの観測や、地上・海洋での現場観測等から得られた地球観測データや、それらのデータを活用した気候変動予測結果等を共有するための国際システムが、「全球地球観測システム（GEOS S : Global Earth Observation System of Systems）」¹である。これを推進する国際的枠組み

¹ 全球的な地球観測の重要性の高まりを受けて始まった取組。小泉純一郎総理（当時）が平成15年のG8エビアンサミットにおいて、観測システム構築に向けた枠組文書策定を目的とした第2回地球観測サミットを、翌年東京で開催することを提唱した。その後、平成17年の第3回地球観測サミットにおいて「GEOS S 10年実施計画」が採択されるとともに、GEOS Sを推進する国際的な枠組みとしてGEOS Sの設立が承認された。

である地球観測に関する政府間会合（GEO：Group on Earth Observations）には、184の国及び機関等が参加しており（2015年（平成27年）2月時点）、我が国はGEOの執行委員国の一つとして、主導的な役割を果たしている。GEOSSは、各国の観測データを結び付け、更に統合解析を行うことで、各国における政策決定等の基礎となる、より有益な科学的知見を創出し提供している。また、GEOSSは、各国や各機関が、GEOSSが持つ観測データ及び科学的知見に容易にアクセスし入手することを可能としているシステムである。GEOSSは、「災害」「健康」「エネルギー」「気候」「水」「気象」「生態系」「農業」「生物多様性」の9つを社会利益分野として明確化し、それぞれの達成目標を設定しており、我が国は、災害、気候、水の分野で、陸域観測技術衛星「だいち（ALOS）」とその後継機である「だいち2号（ALOS-2）」、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき（GOSAT）」、海洋地球船「みらい」等により貢献している。

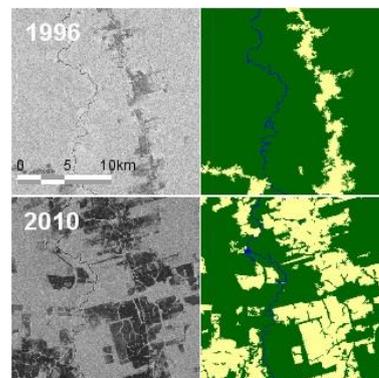
〈だいち（ALOS）〉

「だいち」は、宇宙航空研究開発機構のプロジェクトとして、2006年（平成18年）1月に打ち上げられた世界最大級の地球観測衛星（2011年（平成23年）5月運用停止）である。観測機器としては、標高など地表の地形データを読み取る「パンクロマチック立体視センサ（PRISM）」、土地の表面の状態や利用状況を知るための「高性能可視近赤外放射計2型（AVNIR-2）」、昼夜・天候によらず陸地の観測が可能な「フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ（PALSAR）」の3つの地球観測センサを搭載し、詳しく陸地の状態を観測する機能を持っていた。



2009年版全球森林マップ。緑色は森林を示す。
提供：宇宙航空研究開発機構

森林は、二酸化炭素を吸収して光合成を行い、炭素を蓄積するため、森林の減少によっても大気中の二酸化炭素濃度が増加し、地球温暖化に影響を与えている。宇宙航空研究開発機構は、「だいち」が2009年（平成21年）に撮影したデータを用いて、2010年（平成22年）に全球の森林・非森林を分類したマップを10mの分解能で作成し公開した。「だいち」による森林・非森林マップは、86,000枚という膨大な数の画像で構成されているが、つなぎ目は見えず非常に高性能なものである。一定の間隔で撮ったデータを比較すると、森林面積の変化が分かる。例えば、アマゾン・パラ州の1996年（平成8年）と2010年（平成22年）のデータを比較すると、森林面積が減少していることが見て取れる。各国の政策担当者や研究者が利用だけでなく、森林・非森林地域の変化を一般の方も一目瞭然と見て取れることは、我々一人ひとりが、地球温暖化に関心を持ち、行動を起こしていくことにつながるという意味で非常に有用なものであろう。

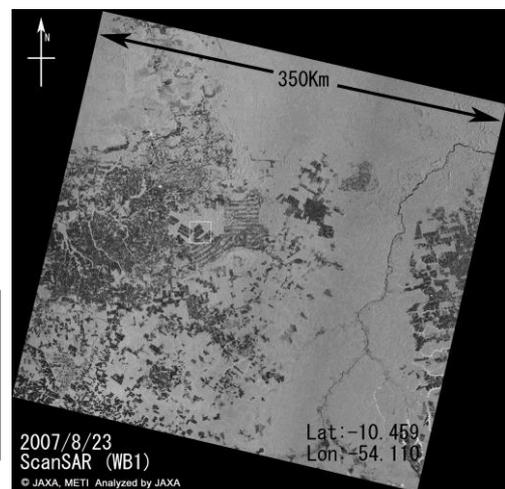


アマゾン・パラ州の1996年と2010年の比較。
左側は衛星画像。右側は森林と非森林の分類。
1996年のデータは「地球資源衛星1号」が撮影したもの。
提供：宇宙航空研究開発機構

このほか、「だいち」のデータが具体的に地球温暖化対策に役立った例を紹介する。宇宙航空研究開発機構は、2007年（平成19年）、ブラジルの森林違法伐採の監視機関であるブラジル環境・再生可能天然資源院（IBAMA）との共同研究を開始する協定を締結した。宇宙航空研究開発機構は、「だいち」が観測したブラジルのアマゾン域のデータをIBAMAに提供した。IBAMAでは、国際協力機構の技術協力により、過去のデータと比較して森林伐採領域を特定する技術を開発し、連邦警察と連携して違法伐採団の検挙につなげるシステムを構築した。ブラジルにおける森林伐採面積は、2006年（平成18年）には約14,000km²であったが、2008年（平成20年）には約13,000km²、2009年（平成21年）には約7,000km²に激減している。これには、特に、「だいち」の全天候型センサPALSARによって、年の半分を超える雨季や夜間にも森林画像が撮影できたことによる、違法伐採の監視・抑止能力の向上が貢献している。



**PALSAR
IBAMAによる
検挙ニュース**
IBAMAが雨季初の
取り締まりを行った
との記事。
2011年2月14日



IBAMAに提供する画像の一例
(黒く見えるところが伐採領域)
提供：宇宙航空研究開発機構

2014年から、陸域観測技術衛星としては、「だいち2号」が運用されており、「だいち」に引き続き、森林の変化の監視のみならず、我が国やアジアで地震や水害などの大規模災害が発生した際、宇宙から観測した被災地情報を迅速に提供することにより、災害対応に役立っている。東日本大震災では、被災から4日後に東北地方沿岸が快晴となり、「だいち」は約10分という短時間で被災地の沿岸部を観測し、津波の被害を明らかにした。また、震災発生直後は、東京電力株式会社福島第一原子力発電所近辺の上空はヘリコプター等の飛行が禁止されていたため、原子力発電所近辺の様子は衛星でなければ見ることができなかった。国や自治体の防災担当者に、「だいち」が撮影した被災前と後の写真を併せて提供し、被災した地域を把握するとともに、津波の海水が残っている地域やがれき等を示した画像を提供し、被災者の捜索活動等に役立てることができた。また、国土情報の把握により国土の保全・管理に役立てられているとともに、冬期オホーツク海における海水の常時監視により船の安全のための情報を提供するなど、様々な方面で社会的に貢献している。

<いぶき (GOSAT)>

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」は、温室効果をもたらす二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測する世界初の衛星であり、2009年（平成21年）1月に打ち上げられた。「いぶき」は、

宇宙航空研究開発機構、国立環境研究所及び環境省による共同プロジェクトで、宇宙航空研究開発機構は観測センサ及び衛星の開発・打上げ・運用を、国立環境研究所は主にデータの hochi 処理と提供を、環境省はデータの利用促進をそれぞれ担当している。

世界の温室効果ガス排出量の大幅な削減を実現するためには、温室効果ガスが排出されている原因や、その吸収や排出がどのようなメカニズムで行われているのかについて、科学的に得られた情報を基に対策を立てることが必要である。温室効果ガスの濃度分布は地上の観測地点や航空機からも観測されているが、その数は少なく地域的にも偏りがある。一方、「いぶき」は、3日に1回の頻度で、地球表面のほぼ全域にわたって等間隔で温室効果ガスの濃度分布を測定することができ、二酸化炭素及びメタンの収支量をより高い精度で推定できるようになった。これらのデータは、各国の政府機関や研究者等が利用することが可能で、将来のより効果的な地球温暖化対策のための政策立案に資することが期待されている。

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」が、2009年（平成21年）6月から2012年（平成24年）12月までの3年半に大都市等とその周辺で取得したデータを解析した結果、世界の大都市等の二酸化炭素濃度がその周辺よりも高い傾向が見られた。さらに、その濃度差と化石燃料消費量データから算出した濃度差との間に正の相関があることから、「いぶき」が捉えたデータは、大都市での化石燃料の消費と二酸化炭素濃度上昇の相関を示す根拠の一つとして注目されている。また、「いぶき」による温室効果ガスの観測データは、10か国以上で利用され、独自に二酸化炭素吸収排出量の算定が行われたり、メタンの大規模排出源評価に使われたりするなど、気候変動予測のために世界中で活用されている。

2 資源エネルギー問題への貢献

○エネルギー需給の現状

我が国の一次エネルギー¹自給率は6%（平成25年）であり、エネルギー資源のほとんどを輸入に頼っている。こうした中、国際エネルギー機関（International Energy Agency）によれば、世界のエネルギー需要は、2035年（平成47年）には2011年（平成23年）と比較して、約33%増加する²と見込まれており、エネルギー需給の逼迫^{ひっぱく}は世界的な課題となっている。

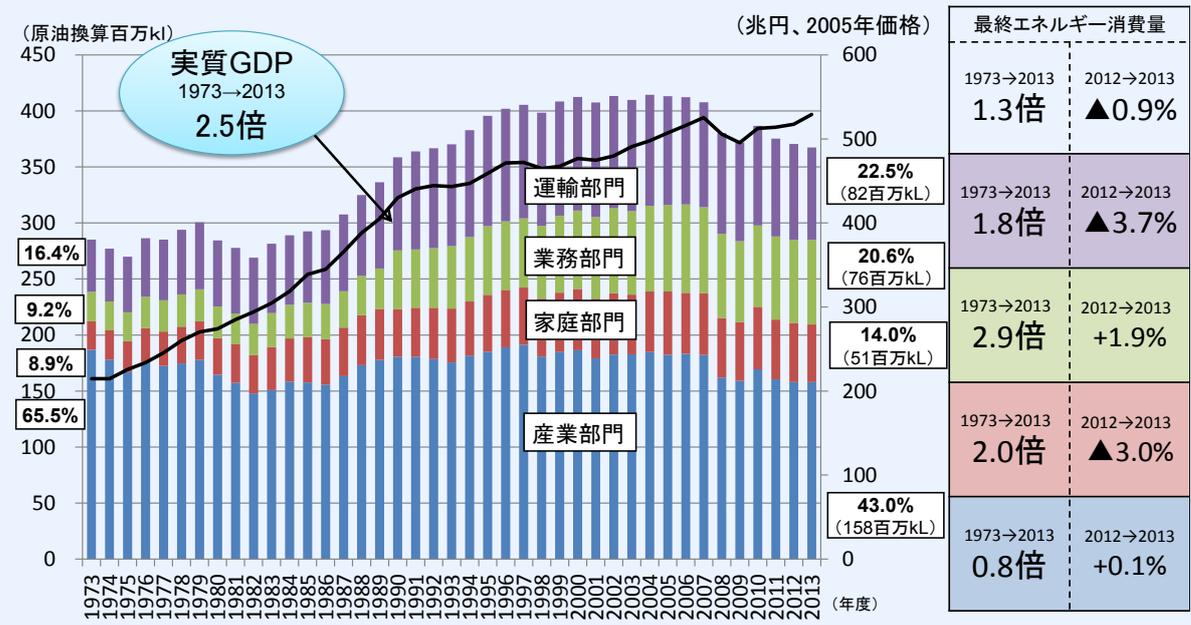
我が国の最終エネルギー消費³について見ると、1970年代の2度にわたる石油危機を機に、産業部門での省エネルギー化が進み、省エネルギー型製品の開発も盛んに行われ、1973年度（昭和48年度）から2013年度（平成25年度）までで、全体では1.3倍の増加にとどめた。一方、運輸部門のエネルギー消費量は、1973年度（昭和48年度）には全体の16.4%であったが、2013年度（平成25年度）には22.5%を占め、1.8倍の増加となっている（第1-1-4図）。

1 原油、石炭、天然ガス等の各種エネルギーが供給され、電気や石油製品等に形を変える発電・転換部門で生じるロスまでを含めた我が国が必要とする全てのエネルギーのこと

2 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2013」

3 最終的に消費者に使用されるエネルギー量。我が国の一次エネルギー国内供給を100とすれば、最終エネルギー消費は69程度（平成24年度の総合エネルギー統計（資源エネルギー庁）による。）

■ 第1-1-4図 / 最終エネルギー消費と実質GDPの推移



(注) 部門別最終エネルギー消費のうち、業務部門及び産業部門の一部（非製造業、食品製造業、他業種・中小製造業）については、産業連関表（2005年実績が最新）及び国民経済計算等から推計した推計値を用いており、統計の技術的な要因から、業務部門における震災以降の短期的な消費の減少は十分に反映されていない。
資料：総合エネルギー統計、国民経済計算年報、EDMCエネルギー・経済統計要覧より、経済産業省作成

また、業務部門及び家庭部門のエネルギー消費量は、1973年度（昭和48年度）から2013年度（平成25年度）にかけて、それぞれ2.9倍及び2.0倍の増加となっている。これらの各部門のうち運輸部門の二酸化炭素排出量は、我が国全体の排出量¹の約20%に相当する。二酸化炭素排出量を削減し、地球温暖化対策（緩和）に資すると同時に、原油の99.7%を輸入に頼っている²我が国のエネルギー源の多様化に貢献する上でも、ガソリン、軽油などの化石燃料に依存している運輸部門³での代替エネルギーの開発は重要である。

○次世代自動車と蓄電池の研究開発

運輸部門の二酸化炭素排出削減対応として、ハイブリッド車や電気自動車などの次世代自動車がある。ハイブリッド車は、ガソリンエンジンとモーターを併用して走行する自動車で、電気自動車は充電した電気をエネルギー源に、モーターのみで走行する。

ハイブリッド車や電気自動車は、バッテリーとモーターを搭載しているが、ここで言うバッテリーは、既存のガソリンエンジン車に搭載されているバッテリー（鉛蓄電池）とは異なる。既存のガソリンエンジン車搭載の鉛蓄電池は、自動車の電気系統のエネルギー源であり、容量も小さく自動車そのものを動かす力はない。これに対し、電気自動車等におけるバッテリーは、車の根幹を成す装置である。

蓄電池とは、使い切りではなく充放電を繰り返し行うことが可能な電池のことである。約150年前に発明された鉛蓄電池は、自動車産業の発展と共に改良・普及が進み、長らく蓄電池の主流

1 2013年度の国内における二酸化炭素総排出量は約13億トン（CO₂換算）（環境省「2013年度（平成25年度）温室効果ガス排出量」）
2 国際エネルギー機関「Energy Balance of OECD Countries 2014」
3 資源エネルギー庁「平成25年度エネルギー白書」

となってきた。近年では、鉛蓄電池以外の蓄電池が加わり、実用化され市場に流通している主な蓄電池として、①鉛蓄電池、②ニッケル水素電池、③リチウムイオン電池、④NaS（ナトリウム硫黄）電池が挙げられる。これらは、それぞれのコストや容量といった特徴によって、自動車用、民生用（携帯端末、ノートPC等）、定置用等の様々な用途に使い分けられている。以下に①～④の蓄電池について、主な特徴と用途を述べる¹。

- ① 鉛蓄電池：150年の歴史と実績。コストが安い。自動車用（起動用）、フォークリフト病院等の非常用電源用
- ② ニッケル水素電池：長寿命。急速充放電が可能。民生用。ハイブリッド自動車用（動力用）
- ③ リチウムイオン電池：長寿命。急速充放電が可能。小型で高容量化が可能。パソコン等民生用、プラグインハイブリッド自動車及び電気自動車用（動力用）
- ④ NaS電池：コストが安い。長寿命。大容量蓄電が可能。風力発電、大規模太陽光発電等との併用等



主な蓄電池の種類について

提供：鉛蓄電池：(左) 株式会社GSユアサ、(右) 日立化成株式会社
 ニッケル水素電池：(左) パナソニック株式会社、(右) トヨタ自動車株式会社
 リチウムイオン電池：(左) 日産自動車株式会社、(右) 株式会社東芝
 NaS電池：(左・右) 日本ガイシ株式会社

これらの蓄電池のうち、ハイブリッド車や電気自動車搭載用の蓄電池として普及しているものは、②ニッケル水素電池と③リチウムイオン電池である。蓄電池により、電気を蓄え、かつ、運搬できるようになったことにより、社会に大きな変革をもたらされたと言える。

こうした蓄電システムの開発・普及において国が果たした役割の一つとして、新エネルギー・産業技術総合開発機構を中心とした国家プロジェクトによる研究開発の支援がある。

新エネルギー・産業技術総合開発機構が実施した「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」では、平成27年度に現状（プログラム開始当時）の蓄電池性能²のおおむね1.5倍以上、コスト1/7を可能とする蓄電池の開発とともに、電池構成材料や周辺機器の開発等を行った。委託先の全企業は、それぞれ特徴のある正極活物質を用いて目標値を達成する蓄電池を開発し、実用化に向け、研究開発を継続している。

ハイブリッド車や電気自動車は、平成26年度末現在で、国内の自動車保有台数のうち約5%を

¹ 資源エネルギー庁「蓄電池システム産業のあり方について」（平成22年5月）
² 容量3kWh程度の電池パックを想定した場合、電池システム重量エネルギー密度：70Wh/kg、電池システムコスト：20万円/kWh

占めている。今後は、電気自動車の本格的な普及に向けて、全国的に充電施設を整備し、安心して走れる環境を作ることが求められており、経済産業省において「次世代自動車充電インフラ整備促進事業」を進めている。

○蓄電池の更なる貢献

蓄電池の研究開発は、電気自動車等の次世代自動車の動力源としてのみならず、太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの不安定な出力の平準化や余剰電力の貯蔵のためのシステムとして、さらにはスマートコミュニティ¹の核となる機器として、低炭素社会を実現するためにはなくてはならないものであり、リチウムイオン電池をはるかに凌ぐ革新的な蓄電池の開発が望まれているところである。

現在、文部科学省は、基礎研究から実用化に必要な戦略までを見据えた事業「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」を実施している。この事業では、リチウムイオン電池には容量の理論的限界、資源的制約が存在していることを踏まえ、走行距離やコストがガソリン車並みの電気自動車を実現する新しいタイプの蓄電池（エネルギー容量10倍、コスト1/10）を2030年代に市場投入することを目指している。経済産業省との連携により、実用化に着実につなげる研究開発を実施している。

■ 第1-1-5表／蓄電池の研究開発に関連する主要プロジェクト

主体	期間（年度）	プロジェクト名
経済産業省／ 新エネルギー・産業技術 総合開発機構	平成4～13	分散型電池電力貯蔵技術開発
	14～18	燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発
	18～22	系統連系円滑化蓄電システム技術開発
	19～23	次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発（L i E A D）
	21～27	革新型蓄電池先端科学基礎研究事業（R I S I N G）
	22～24	蓄電複合システム化技術開発
	23～27	新エネルギー系統対策蓄電システム技術開発事業
	24～28	リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業
	24～26	蓄電池材料評価技術開発
	25～29	先進・革新蓄電池材料評価技術開発
文部科学省／ 科学技術振興機構	25～27	再生可能エネルギー余剰電力対策技術高度化事業
	24～34	元素戦略プロジェクト触媒・電池材料領域
内閣府	21～25	最先端研究開発支援プログラム（F I R S T）「高性能蓄電デバイス創製に向けた革新的基盤研究」

¹ 太陽光や風力など再生可能エネルギーを使って発電した電気を、大型の蓄電池や電気自動車に蓄え、必要に応じて家庭やビル等に供給する、環境に配慮した都市のこと。災害による停電時にも電力を供給することができる。

コラム 1-6

リチウムイオン電池の研究開発

リチウムイオン電池がパソコンや携帯など電子機器用として大量生産されるようになったことにより、これまで電気がないところでは使えなかった電子機器がどこにいても使用できるようになった。どんな場所からも迅速で正確な情報のやりとりができるようになり、IT化社会の実現に大きく貢献した。また、電気も書籍も普及していない発展途上国の地域においても、乾電池や発電機などで充電した携帯電話等を利用し、読み聞かせによる識字率の向上や感染症予防や洪水警告等の情報発信が可能となるなど、社会的課題にも貢献している。

現在のリチウムイオン電池の正極材については、①遷移金属酸化物（コバルト系、マンガン系、ニッケル系酸化物、その他）及び②オリビン系（リン酸鉄等の遷移金属）の2系統が実用化されているが、このうち、①の遷移金属酸化物（コバルト系、ニッケル系）については、グッドイナフ・オックスフォード大学無機化学研究所教授（当時）と我が国の水島公一・東京大学理学部物理学教室助手（現東芝リサーチ・コンサルティング株式会社エグゼクティブフェロー）らが開発し、1980年（昭和55年）に論文発表を行ったものである。負極材については、1981年（昭和56年）に吉野彰・旭ダウ株式会社総合研究所主任（現旭化成株式会社フェロー吉野研究室長）らが電気を通すプラスチック、ポリアセチレンを負極に採用することを発見したが、負極材料としては不安定であることが問題であった。1985年（昭和60年）、吉野氏らが炭素材料を使ったリチウムイオン電池を開発し、現在に至るまで炭素を主体とするリチウムイオン電池が主流となっている。

このように研究開発段階から日本人研究者が重要な発見をしてきたリチウムイオン電池は、我が国のメーカーが世界で初めて製品化し、1990年代から2000年代前半にかけて、高い技術力と市場シェアで世界を席巻した。しかし、新興国メーカーの技術的なキャッチアップ速度の向上、コスト差による価格競争、海外製アプリケーションの市場での高評価とあいまって、2010年代初頭に、韓国にリチウムイオン電池の世界市場シェア第1位の座を明け渡すこととなった。今後、ハイブリッド車や電気自動車、再生可能エネルギーシステム、スマートハウス向け等、新しい大型蓄電池市場において我が国の優位性を発揮していくためには、革新的な蓄電池そのものの技術力と併せて、アプリケーションの高付加価値化、インフラ・サービス・制度等も含めた市場形成が鍵となるであろう。

○燃料電池車の登場

平成26年12月15日、トヨタ自動車株式会社は、燃料電池車の市販を開始した。燃料電池車は、車体に搭載された燃料電池の中で、充填した水素と空気中から取り込んだ酸素とを化学反応（酸化）させて発電し、その電気を使ってモーターを動かし走行する。中学校の理科で学習する「水の電気分解」¹の逆過程により発電するのである。走行中は化学反応で作られ出された水しか排出しないという点が、燃料電池車が「究極のエコカー」と呼ばれる由縁である。



燃料電池車

提供：トヨタ自動車株式会社

ガソリンを全く必要としない点では先述の電気自動車と同じであるが、電気自動車は一般家庭でも充電できるという利点がある一方で、貯められるエネルギー量が水素と比べ少なく走行距離が短い、充電に時間がかかるという課題がある。それに比べ燃料電池車は、燃料を高圧水素にすれば1回の充填で500kmを超える距離を走行でき、充填時間も約3分と短い²。さらには、燃料電池車は、水素を使って発電した電気を外部に供給することもでき、その供給能力は電気自動車の5倍以上³である。災害時の非常用電源として、また、電力需給の逼迫時のピークカット用電源

1 電圧をかけることにより水が分解し、陰極からは水素が、陽極から酸素が発生する、水の酸化還元反応のこと

2 経済産業省水素・燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（平成26年6月23日）

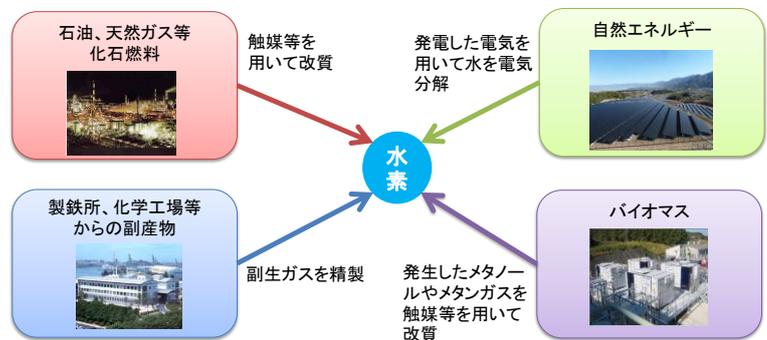
3 経済産業省水素・燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（平成26年6月23日）

として期待されている。

しかしながら、燃料電池車にも普及には大きなハードルがある。燃料電池車の普及と水素ステーションの整備はニワトリとタマゴの関係にあり、燃料電池車の普及には水素ステーションの普及が欠かせない。しかし、一般的なガソリンスタンドの建設費が1億円を下回ると言われるところ、水素ステーションの建設費は約4～5億円と高額¹であり、約35,000か所²あるガソリンスタンド並みに普及するには燃料電池車が社会に普及していくことが必須条件である。このため、トヨタ自動車では、燃料電池車の市販後1か月足らずで、2020年（平成32年）まで燃料電池車の関連特許（単独で保有している約5,680件）の使用を無償化すると発表した。他社による燃料電池車の開発を後押しし、燃料電池車の普及と水素ステーションの設置を促すためである。政府は、平成26年4月に定めたエネルギー基本計画³において、水素社会の実現に向けた取組を加速するとしており、経済産業省は、水素ステーションの設置に関する規制緩和を進めてきているとともに、平成25年度から、建設費の補助を実施している。

また、燃料となる水素の製造・供給方法についての課題もある。水素は、現在、石油精製や半導体製造、金属工業向けなどに使われているが、これらの工業用水素は、主に、メタンや石炭等の化石資源に、化石燃料から得た熱を加えて水素を作る「水蒸気改質法」という方法で作られており、生産過程で二酸化炭素が発生する。水の電気分解によって水素を製造する方法も中小規模で実用化されているが、水を水素と酸素に分解するためには、大きなエネルギー（電力）が必要であり、その電力を化石燃料由来のものに依存してしまうと、二酸化炭素が発生してしまうこととなる。

このため、経済産業省は、様々な水素の製造・供給方法に係るコストや環境への影響等を考慮しつつ、水素需給の将来見通しに関する検討を行っている。例えば、製鉄所や化学工場等から副産物として発生するガスの中には、大量の水素が含まれている。国内で発生しているこれらの副生ガスは、主に工場等で燃料として自家消費さ



水素の様々な製造方法

資料：経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」

れているが、これを水素供給向けに振り替えたり、余剰して捨てられているものを捕捉・精製して純度を上げたりすることで水素を活用することが可能である。新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託調査⁴によれば、水素の利用が燃料電池車や家庭用燃料電池にとどまるのであれば、2030年（平成42年）の我が国における水素需要は年間約30億N^m⁵（既に工場等で自家消費されている需要を除く）と見込まれる一方、副生ガスや製油所の水素製造余力⁶等から精製・製造が可能な水素量は年間約120～180億N^mと見込まれ、十分に需要を賄えると推計されている。

1 経済産業省水素・燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（平成26年6月23日）

2 資源エネルギー庁「給油所数の推移（平成25年度末）」

3 平成26年4月11日閣議決定

4 NEDO委託調査「水素需給の現状と将来見通しに関する検討」（委託先：みずほ情報総研株式会社）

5 N^mとは、圧力、温度及び湿度に左右されない気体の実量を表す単位

6 製油所で石油精製のために使われる水素は、製油所内の水素製造装置で製造されている。

○「水素社会」の実現を目指して

燃料電池車の開発や副生ガスに含まれる水素の利用にとどまらず、二酸化炭素を排出せずに製造した水素だけを使って発電する、本格的な「水素社会」の実現を目指した研究開発も進められている。水素発電は、資源に乏しい我が国にとって、二酸化炭素を排出しないクリーンな発電システムを実現することができる技術として期待されている。具体的には、海外の広大な敷地で再生可能エネルギーを使って得た電力から水の電気分解により水素を製造したり、海外の未利用の化石燃料等から、製造時に発生する二酸化炭素を回収する技術¹を使って、環境負荷を低減しながら水素を製造する。そしてこれらの水素を液化し、運搬船で国内に輸送し、水素ガスタービン発電所で利用して発電することも検討されている。水素は、極低温で液化したり、有機化合物と結合させたりすることにより、大量に長距離輸送し長時間貯蔵することが可能で、電気のままでは越えられない場所と時間の制約を越えることができる。国内企業において、水素ガスタービン発電技術²の開発や、水素を液化し大量に輸送・貯蔵するための技術の研究開発が進められている。内閣府が実施している「戦略的イノベーション創造プログラム」のエネルギーキャリア研究開発計画でも、こうした取組を推進する研究を支援している。また、経済産業省が平成26年6月に策定した「水素・燃料電池戦略ロードマップ」では、2040年（平成52年）頃に、安価で安定的な、トータルで二酸化炭素フリーな水素供給システムを確立することを目指している。

3 感染症対策への貢献

人類と感染症の戦いの歴史は古い。天然痘は感染力が非常に強く、死に至る病として紀元前から恐れられていた。ペストは、中世ヨーロッパで大流行し、3人に1人が死亡したと言われる。皮膚が黒くなって死ぬため、「黒死病」として恐れられてきた。1918年（大正7年）には、スペイン型インフルエンザ（スペインかぜ）が新型インフルエンザとして世界各地で猛威をふるい、世界人口18億人のうち6億人が罹患³して、死亡者は2,000～4,000万人に上ったと推定されている。

一方で、18世紀以降、ワクチンの開発や抗生物質の発見により、感染症の予防や治療方法は飛躍的に向上した。18世紀に開発された天然痘ワクチンの計画的な接種を行った³結果、1980年（昭和55年）、世界保健機関（WHO）は天然痘の撲滅を宣言した。これに代表されるように、科学技術の発達によりワクチンや抗生物質を手にした人類にとって、もはや感染症は脅威ではなくなったかのように思われた。しかし、その後も、新興感染症⁴と呼ばれる、HIV（ヒト免疫不全ウイルス）感染症/AIDS（後天性免疫不全症候群）、エボラ出血熱、SARS（重症急性呼吸器症候群）、高病原性鳥インフルエンザや、再興感染症⁵と呼ばれる、結核、マラリア、デング出血熱、狂犬病、薬剤耐性菌などの感染症は、多くの人々の死亡の原因で在り続けている。

特に、近年、自動車や飛行機などの交通手段の発達により、大量の人や、感染症の由来となる動物（自然宿主⁶）がペット用等として、短時間で広範囲に移動するようになったため、病原体の広がりも格段に早くなっている。また、これまで人間が踏み込まなかった未開地域の環境が、開

1 二酸化炭素回収・貯留技術（CCS：Carbon Dioxide Capture and Storage）

2 「水素」又は「水素+他の燃料」をガスタービンにて燃焼させ回転力を得て、発電機を駆動させて発電する技術

3 WHOで立てられた「世界天然痘根絶計画」により、患者を見つけ出しその患者周辺に天然痘ワクチン接種（種痘）を行うという作戦が行われた。

4 WHOでは、「最近20年間に増加してきたか、近い将来に増加するであろう感染症、若しくは新たに認識される感染症」と定義している。

5 WHOでは、「かつて大きな脅威であった感染症で、一旦はほとんど制圧されたかに見えたが、再び大問題を提起しつつある感染症」と定義している。

6 自然界において病原体と共存している動物のことで、病原体は自然宿主の体内では自然宿主の生存を危うくするような活動は行わない。新興感染症の多くは、動物を自然宿主とする動物由来感染症であると言われている。

発によって大きく変化し、人間が未知の病原体に接する機会が増えていることが、感染症の脅威を高めている。新興感染症には、有効な予防・治療・診断方法が確立されていないものが多く、これらに関する研究開発が期待されている。ここでは、2002年（平成14年）から2003年（平成15年）にかけて多くの国と地域で流行したSARSを例に、科学技術がその対策にどのように貢献してきたかを紹介する。

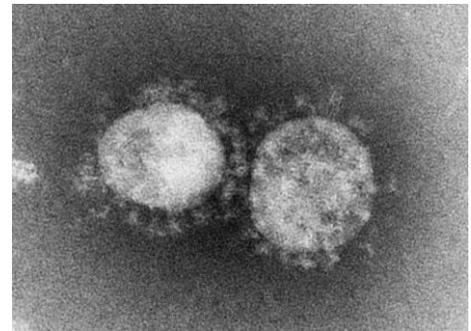
○SARS

2002年（平成14年）11月16日、中国南部の広東省で重症のウイルス性肺炎の患者が初めて確認され、2003年（平成15年）2月から世界的に感染が拡大した。同年7月5日にWHOによって終息宣言が出されるまでに、29の国と地域で、8,096人の感染者と、774人の死亡が報告された¹。

2003年（平成15年）3月、WHOはこの原因不明の重症呼吸器疾患を、Severe Acute Respiratory Syndrome（SARS）と命名し、病原体の同定と検査方法の確立を目的として、9か国11研究施設（後に13施設）で構成されるWHO-SARS研究ネットワークを創設した。WHO事務総長（当時）のグロ・ハーレム・ブルントラント博士は、「SARSは、今や世界的脅威である。世界はこの疾病の原因究明と患者の治療に協力し、感染の拡大を防ぐ必要がある」と語った。我が国からは国立感染症研究所がこのネットワークに参加し、西太平洋地域検査機関に指定された。ネットワークに参加する研究所間で、研究成果に関する密接な情報共有を図りながら懸命な努力がなされた結果、約1か月という短期間で、新型コロナウイルスがSARSの病原体であることが突き止められた。

我が国では、平成15年5月12日、総合科学技術会議が、SARSの診断及び検査手法等に関する調査研究を、科学技術振興調整費による緊急研究開発等の課題として指定し、診断方法やワクチンの研究開発などが行われた。SARSは、初期症状からはインフルエンザとの区別が難しく、また、ワクチンや治療法も確立されていないので、正確な診断による早期発見と患者の隔離が流行を防ぐための重要な手段であった。当時は、患者の鼻や喉から採った拭い液に含まれるウイルスの遺伝子を増幅して検出する、RT-PCR法が実用化されてはいたが、検査結果を得るまでに半日以上を要する上に、結果が陰性でも実際には感染している場合もあるという検出感度の問題があった。田代真人・国立感染症研究所ウイルス第三部長（現同所名誉所員）らは、森田公一・長崎大学熱帯医学研究所ウイルス学分野教授（現同所所長・ウイルス学分野教授）及び栄研化学株式会社と協力し、1時間以内にSARSコロナウイルスを効率よく検出でき、信頼性の高い、迅速簡易診断キットを開発した。この診断キットは、全国の空港に配置されている検疫所や各自治体の衛生研究所等に配付され、SARSの水際での侵入防止と、万一我が国に侵入した場合の感染拡大防止に役立てら

SARSコロナウイルスの電子顕微鏡像とSARSの特徴



提供：国立感染症研究所

SARSは、それまで未知であったSARSコロナウイルスを病原体とする新しい感染症である。感染から発症までは、通常2～10日。症状は、38度以上の発熱、咳・息切れなどの呼吸器症状で、呼吸困難となる。致死率は10%に近い。本ウイルスは、患者が咳やくしゃみをした際のしぶきを吸い込んだり、たんや体液に触れることで感染するが、エタノール等の一般的な消毒で死滅する。

1 WHO「Global Alert and Response: Severe acute respiratory syndrome(SARS)」(2003年12月31日時点)

れた。さらに、東南アジア諸国にも提供されて、感染流行の制圧に貢献した。平成15年12月18日には厚生労働省から製造承認を得て保険適用され、一般に使用されるようになった。

WHOによる終息宣言後も、世界で14名のSARS患者が報告¹されており、再度の大規模なSARS流行の可能性は否定できない。理化学研究所は、平成16年9月、文部科学省の「タンパク3000プロジェクト」(平成14～19年度)の一環として、SARSコロナウイルスの増殖を阻害する可能性のある化合物を発見したことを発表した。理化学研究所では、本ウイルスが持つウイルスの増殖に必須なタンパク質の立体構造と、約百万種類の化合物構造データベースを基に、コンピュータ上でタンパク質と化合物の結合のシミュレーションを行い、抗ウイルス剤の候補となる百種類以上の化合物を選択した。その後東京医科歯科大学と国立感染症研究所は、SARSコロナウイルスを感染させたサル細胞を用いて、理化学研究所で選択された化合物のウイルス増殖阻害活性を評価し、一つの化合物に顕著なウイルス増殖阻害活性を認めた。現在、この化合物を使ったSARS治療薬の実用化が進められている。

この研究は、コンピュータを駆使して、新しい薬剤の候補となる化合物の探索に短期間で成功したもので、SARSコロナウイルスのみならず、迅速な対応が迫られる新興感染症の新薬開発の加速と低廉化に貢献することが期待される。

幸いにも、我が国ではSARS患者は発生しなかったが、SARSの流行は、未知のウイルスによる世界的な感染爆発への緊急危機対応における、病原体の特定と、診断・治療・予防方法の開発のための研究開発の重要性を浮き彫りにした。



世界遺産の保存・修復への貢献

我が国は、世界のフロントランナーの一員として、科学技術を通じて、国際社会への貢献を続けてきている。その中の一つに、世界の文化遺産の保存・修復への貢献があり、ここでは、ペルー共和国にある世界遺産であるマチュピチュ遺跡及びナスカの地上絵について、科研費を活用して貢献している事例を紹介する。

西浦忠輝・国士舘大学イラク古代文化研究所教授らは、ペルー共和国文化省等の協力のもと、マチュピチュ遺跡を教育や観光資源として活用しつつ、適切に保存していくための調査研究を行っている。具体的には、遺跡の中でも中心的な建造物である「太陽の神殿」について、三次元計測やステレオ写真測量²等により、石材の損傷や石積壁の変形などの劣化状態を正確に把握し、さらに種々の現地調査や実験を行って、最善の材料、技法による保存修復マニュアルを策定した。今後、本研究成果を生かした具体的な保存修復事業を行うべく、ペルー政府、ユネスコ等との学術的検討や協議が進められることとなる。

坂井正人山形大学人文学部教授・阿子島功名名誉教授らは、2004年から、米国の商用衛星によって撮影された高解像度画像の解析と現地踏査によって、約20×15kmにもおよぶナスカ台地全域の地上絵の分布図を作成した。その過程で新たに動物などの絵を20以上、図形を100以上発見し、現在、現地で三次元計測により詳細な記録を行っている。また我が国の陸域観測技術衛星「だいち」を利用して台地の洪水跡を解析した。これらの成果は、ナスカの地上絵を洪水や人為的損傷から保護すること、特にその存在を知らずに開発が行われることを規制するために活用できる。山形大学は2012年に現地に研究所を開設し、2015年にペルー文化省と研究と保護に向けた協定を結ぶに至った。

以上のように、海外の文化遺産の保全・調査に我が国の科学技術が貢献している。文化遺産は人類共通の貴重な財産であることから、我が国に蓄積された知識・技術、経験等を生かして、海外の文化遺産の保護へ協力することは、世界における多様な文化の発展に貢献するとともに、我が国の国際的地位の向上にも資するものである。

1 WHO「Global Alert and Response: Severe acute respiratory syndrome(SARS)」(2004年5月18日現在)

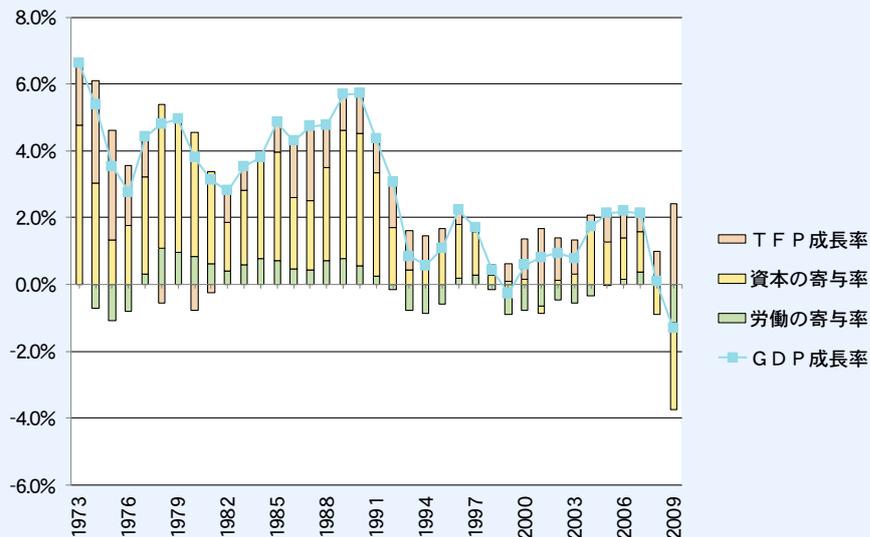
2 複数の写真を撮影することにより、撮影対象物を立体的に記録する技術

第3節 経済成長への科学技術の貢献

科学技術は、優れた研究開発の成果が製品やサービスとして実用化されることによって、社会経済に影響を与える。しかし、研究開発の成果が実用化されてユーザーに届くまでには、様々な要因が相互に絡み合い、一般的に長い期間を要するものである。また、科学技術は、国レベルの経済に対して、短期的な需要拡大効果のみならず、生産性の向上など長期的な経済成長への影響をもたらすものである¹。さらに、科学技術は、国民の安全・安心、文化的な価値など様々な社会的な効果も生み出すものである。ここでは、雇用や産業構造の変化など様々な経済効果のうち、経済成長、特に一国の経済成長への影響について取り上げる。

一国の科学技術活動と経済成長の関係については、経済成長率を投入した生産要素の寄与率で分解する成長会計という考え方をを使って考えることができる。経済成長率は、一般的に、労働投入による寄与、資本投入（設備投資）による寄与及びそれらを除いた残差である全要素生産性（TFP：Total Factor Productivity）に分解できる（第1-1-6図）。

■ 第1-1-6図／日本の経済成長の要因分解



注：資本については稼働率、労働については総実労働時間を考慮している。

労働分配率は0.6と仮定

各データの変化率は3か年の移動平均を用いて導出した。

資料：科学技術・学術政策研究所「科学技術イノベーション政策のマクロ経済政策体系への導入に関する調査研究」調査資料No. 226（科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」政策課題対応型調査研究）（平成25年（2013年）10月）を基に文部科学省及び政策研究大学院大学科学技術イノベーション政策研究センターが作成

我が国では、少子高齢化の進展により、1990年代半ば以降、生産年齢人口の減少とともに労働投入が減少し、また、それまで経済成長を支えてきた設備投資が漸減するにつれ、経済成長におけるTFPの重要性が高まっている。TFPは、1970年代から90年代後半にかけて緩やかに低下し、1990年代後半以降はやや上昇傾向にある。

¹ 青木昌彦、ケネス・アロー（1972年ノーベル経済学賞受賞）、エドワード・プレスコット（2004年ノーベル経済学賞受賞）など多くの経済学者が、経済成長におけるTFP（全要素生産性）やこれを支える知識資本の重要性を指摘している。

T F Pは研究開発だけでなく、創意工夫、経営能力の向上など様々な要因による生産性の向上を含む指標である。研究開発のT F P成長率に対する効果については、様々な要因が複雑に関与しているため、研究開発費とT F P成長率といったマクロな指標だけでは、他の要因の影響を除いて直接的な関係性を特定するのは難しい。

最近では、大規模な統計調査の個票データを使用して、変数間の関係を詳細に調べる手法が用いられている。例えば、内閣府経済社会総合研究所は、日本の平成7年（1995年）～平成17年（2005年）までの企業データを利用して知識スピルオーバー¹による企業パフォーマンスへの影響を分析し、知識スピルオーバーの存在は企業のパフォーマンスに寄与し、その貢献度は無視できないことを示している²。また、公的R & D資金受入れによる企業のR & D活動への影響を分析し、公的R & D資金の投入が企業のR & D投資を平均的にクラウド・アウト³しないこと、社会的に影響が大きいと考えられる環境や情報通信技術などの特定分野への企業のR & D活動を促進することを示している⁴。また、科学技術・学術政策研究所は、研究開発のT F Pや経済成長への影響に関する分析を行い、政府研究開発投資は民間企業の研究開発に影響を与え、民間研究開発との相乗的な効果によりT F P成長率に効果をもたらすと結果を得ている⁵。

また、科学技術・学術政策研究所（科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」政策課題対応型調査研究）は、昭和62年（1987年）～平成19年（2007年）の「工業統計調査」（経済産業省）と「科学技術研究調査」（総務省）の個票データ等を用いて、民間企業及び大学・公的研究機関の研究開発が、製造業企業の工場の生産性に与える効果について定量的な分析を行っている。本研究では、大学等の公的研究機関の研究開発（公的R & D）が民間企業の工場の生産性を高める効果（R & Dスピルオーバー効果）にも注目している。第1-1-7図は、この20年間を5年ごとの期間に区分し、T F P上昇率を、自社R & Dの寄与、企業間R & Dスピルオーバーの寄与、公的R & Dスピルオーバーの寄与及びその他要因の寄与の4者に要因分解した結果を示したものである。本分析の結果は、この20年間を通じて、政府の研究開発投資は景気に左右されずに一貫して企業のT F P上昇率にプラスの影響を与え、これが経済成長率の上昇に貢献していることを示している。また、景気低迷期においては、政府研究開発投資が経済成長の下支えをしていたことがうかがわれ、政府研究開発投資が経済成長に有効であることを示す結果といえる。

1 知識が様々な経路を通じて別の経済主体の生産性に影響する効果

2 内閣府経済社会総合研究所「知識スピルオーバーが企業の生産性に与える影響分析」ESRI Discussion Paper Series No.221 2009年9月

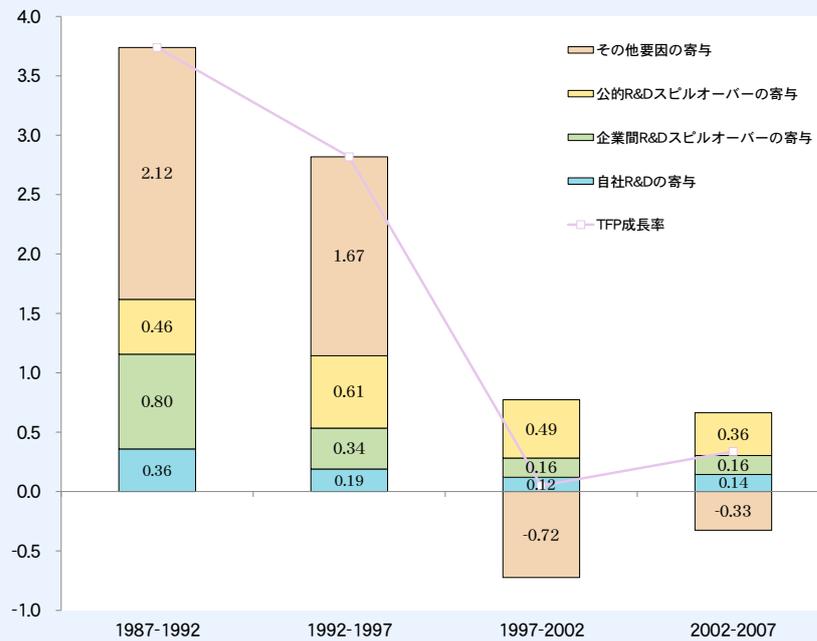
3 公的なR & D資金が企業のR & D投資を減退させる効果

4 内閣府経済社会総合研究所「公的R&D資金受入れが企業のR&D活動に与える影響：日本企業の個票データを利用した実証分析」ESRI Discussion Paper No.222 2009年9月

5 科学技術・学術政策研究所「イノベーションの経済分析」（第3期科学技術基本計画フォローアップに係る調査研究）NISTEP REPORT No.119 2009年3月

科学技術研究調査と企業活動基本調査による個票データを用いて、「研究開発集約度」、「研究者数の対従業員比」、「公的機関から投入された研究開発集約度」などが、T F P成長率に与える影響を分析し、企業の「研究開発集約度」や「研究者数の対従業員比」は、T F P成長率に正の寄与をすると結果を得ている。また、「公的機関から投入された研究開発集約度」については、当該研究開発費が極めて少額であることなどから、T F P成長率への直接の影響を見いだすことはできなかったが、交差項を用いた分析で、「公的機関から投入された研究開発集約度」が「応用研究」と相乗効果を発揮している可能性を抽出することができた。また、イノベーションに際して「大学・高等教育機関」からの情報を重視している企業ほど、T F P成長率は高いとの結果が得られたことで、大学等の公的研究機関と接点を有することが、T F P上昇に効果を発揮していることが示唆されている。

■ 第1-1-7図 / 製造業企業のTFP上昇率の要因分解 (年率、%ポイント)



注) 本研究から、
 ①工場の生産性は自社のR&Dのみならず、技術的・地理的に近接する他社のR&Dから影響を受けている
 ②大学及び公的研究機関のR&Dも技術的に関連する産業分野の工場の生産性に影響を与えている
 ③大学・公的研究機関のR&Dの工場の生産性への影響は企業自身がR&Dを積極的にやっている場合はより大きくなる
 ④企業間の取引関係と資本関係には当該企業間のR&Dスピルオーバー効果を強める効果がある
 こと等が示されている。

資料：科学技術・学術政策研究所「工場立地と民間・公的R&Dスピルオーバー効果：技術的・地理的・関係の近接性を通じたスピルオーバーの生産性効果の分析」NISTEP DISCUSSION PAPER No. 93 (科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」政策課題対応型調査研究) (平成25年(2013年)5月)

統計調査の個票データを用いて、研究開発、イノベーション及び経済成長の関係性を詳細に分析する研究も行われている。研究開発については、OECDの「フラスカティ・マニュアル」に準拠して総務省統計局が「科学技術研究調査」を実施してきたが、最近ではこれに加えて、イノベーションについて、OECDの「オスロ・マニュアル」に準拠して科学技術・学術政策研究所が「全国イノベーション調査」を実施しており¹、これらを用いた研究が行われている。

例えば、科学技術・学術政策研究所は、平成21年(2009年)に実施した「第2回全国イノベーション調査」の結果を用いて、新規開業企業と成熟企業について、公的資金助成等の政府の施策、研究開発、イノベーション及び生産性の関係に関する分析を行っている。この分析からは、第1-1-8図に示すように、

- ①イノベーション活動に関する公的資金助成(税控除、補助金、借入保証等)を受けている企業は、受けていない企業と比較して、民間企業の従業員一人当たりの研究開発費が高い
- ②研究開発を行っている企業ほど、イノベーションの実現割合が高い
- ③大学との連携を実施している企業ほど、イノベーションの実現割合が高い(特に、新規開業

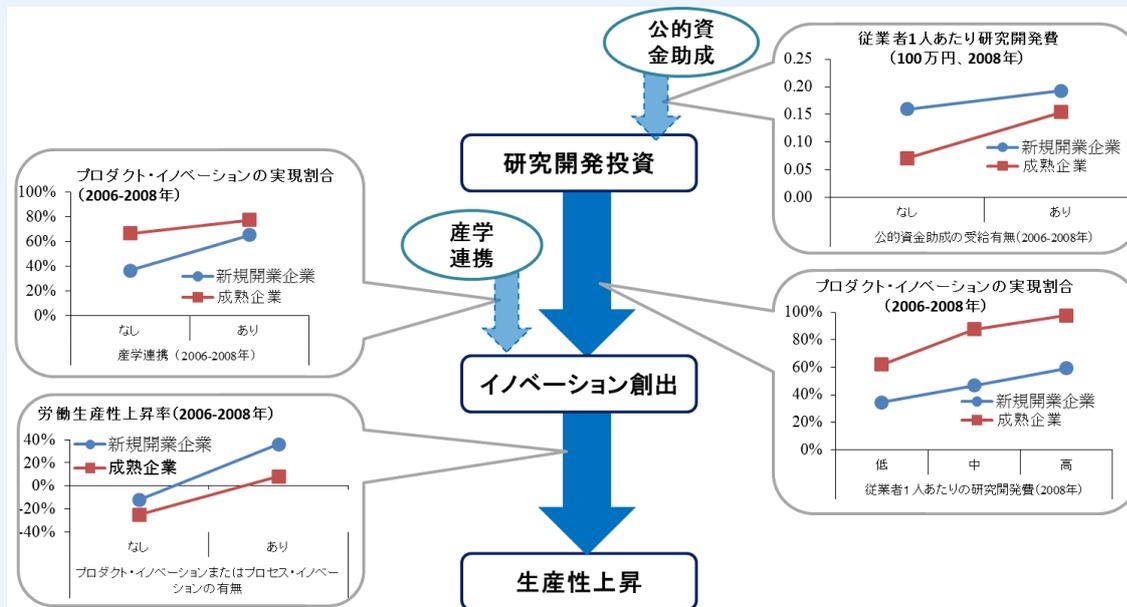
¹ 全国イノベーション調査では、イノベーション活動を「革新的な製品・サービス又は業務の改善を目的としたプロセスの開発に必要とされる設計、研究開発、市場調査などの取組」とし、プロダクト・イノベーションは「当該企業自身にとって新しい又は大幅に改善した製品・サービスを市場に導入すること」、プロセス・イノベーションは「当該企業自身にとって新しい又は大幅に改善した生産工程や配送方法等を導入すること」と定義している。

企業に対する効果大きい)

④イノベーションを実現している企業ほど、労働生産性の上昇率が高い

等の結果が得られており、政府の公的資金助成が民間企業の研究開発に影響を与え、イノベーションを通じて経済成長に貢献する道筋が示されている。

■第1-1-8図／公的資金助成や産学連携が生産性向上に与える効果に関する分析例



注：「新規開業企業」は開業から2年未満の企業、「成熟企業」は開業から2年以上の企業
 出典：科学技術・学術政策研究所「日本の新規開業企業における研究開発・イノベーション・パフォーマンス：成熟企業との比較分析」NISTEP DISCUSSION PAPER No.104（平成25年（2013年）12月）

また、OECDは、研究開発がイノベーション及び生産性に与える効果に関する国際比較分析を行っている¹。本分析では、イノベーション活動に関する公的資金助成には企業のイノベーションへの投資（研究開発、ICT投資、従業員への教育訓練）等を促す効果があるとともに、プロダクト・イノベーションは労働生産性と強い関連性があるとの結果を得ている。

これらの分析により、公的資金助成がイノベーションを創出し、これが労働生産性を高めることから、政府のイノベーションに対する支援の重要性が示されていると考えられる。

第4節 科学技術に関連する主要な出来事

科学技術の発展は、日常生活に利便性、豊かさをもたらした。身近なところでは、昔は駅で切符を購入していたが、切符が交通系ICカードに変わり、乗車するたびに切符を購入する必要がなくなった。また、交通系ICカードは、電車に乗るだけでなく、買い物をすることも可能である。

昔、外で電話をかける時は、公衆電話を探したり、人との待ち合わせでも苦労があったが、現在は、携帯電話やスマートフォンをかけたたり、受けたりできる。さらに、重いパソコンを持ち歩

¹ OECD (2009) "Innovation in Firms: A Microeconomic Perspective pp118-pp120"

かなくても、スマートフォン等でインターネットにアクセスすることも可能となった。

平成27年3月21日に内閣府が公表した「社会意識に関する世論調査」によると、現在の我が国の状況について、良い方向に向かっていると思われるのは、どのような分野か聞いたところ、「科学技術」が30.1%と最も高く、社会の中で、科学技術は肯定的に捉えられている。例えば、医療分野の科学技術については、平成19年11月に我が国において世界初のヒトiPS細胞が作製されたことをきっかけに再生医療が急速に進展し、平成26年9月、今まで根治が不可能であった、網膜にある網膜色素上皮という細胞が老化して痛んでいく病気である加齢黄斑変性の患者に対し、iPS細胞から作った網膜色素上皮を移植する手術が世界で初めて行われるなど、科学技術の進歩が患者に大きな希望を与えている。

また、科学技術は時に感動を与える。平成4年9月に、日本人が初めてスペースシャトルに搭乗して宇宙実験を行った映像や、平成22年6月、小惑星探査機「はやぶさ」が、幾多のトラブルを乗り越え、約60億kmの旅を終え7年ぶりに地球に帰還したことに感動した人は少なくないだろう。

平成23年3月に東日本大震災において東京電力福島第一原子力発電所事故が発生し、大きな被害を及ぼすという事態も起こっている。事故発生から約4年たった今でも、残された課題は多い。

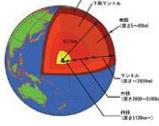
事故を受けた避難指示区域からの避難者数は、平成27年1月時点で約7万9,000人となっており、多くの住民がいまだ帰還できていない。また、国直轄地域における除染対象11市町村のうち、除染計画に基づく面的除染が終了したのは平成27年1月時点で4市町村にとどまっている。東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置については、完了するまでには長い期間を要することが想定されているが、関係府省及び関係機関が廃炉に関する研究開発などに連携・協力し取り組んでいるところである。

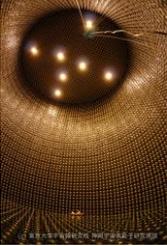
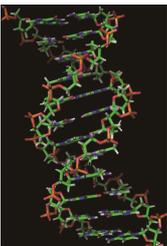
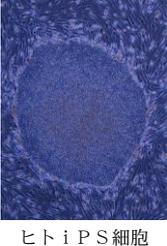
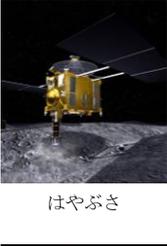
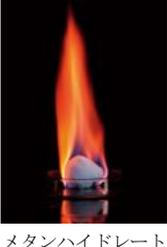
地震発生直後と比べれば、復旧・復興に関する取組は進展しつつあるものの、今後も引き続き、様々な面で取組を進めていかなければならない。

平成25年1月17日に科学技術・学術審議会において取りまとめられた「東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（建議）」で述べられているように、今回の大震災では、行政や専門家が、社会に対して、科学技術の限界や不確実性を踏まえた適時的確な情報を発信せず、リスクに関する社会との対話を進めてこなかったことなどの課題が浮き彫りになった。また、社会には、いまだ震災の影響による、原子力発電に対する不安や、行政や専門家に対する不信が残っていることもしっかりと受け止めなければならない。現在、これらの反省も踏まえ、政府は、科学技術イノベーションを強力に推進することで、原子力災害からの復興も含め、被災地の復興、再生を実現するべく取り組んでいると同時に、科学情報の共有や科学技術と社会を巡る対話の機会の強化等を通じて、科学技術に対する国民の理解・信頼・支持を得られるように取り組んでいるところである。

また、生命科学分野の例に見られるように、科学技術の進化とともに、倫理的、法的、社会的課題の側面からの対応は不可欠なものとなっているが、今後、サイバー空間の発展や様々な革新的技術の普及等により、科学と社会、人間の生活との関係について、より一層調整が図られなければならないことが予想される。このため、科学技術の進化がもたらし得る様々な課題に対して、国民、政策担当者、研究者等のあらゆるステークホルダーが参画・協働して、社会制度等に関する議論を進め、必要な対策を講じていくことが肝要である。

近年（1965年以降）の科学技術の発展の軌跡

年	科学技術に関する 発明・発見	科学技術を取り巻く社会の出来事		自然災害、科学技術 に関する法律・施策	
		世界	国内		
1965	 <p>プレートテクトニクス理論 (写真は、地球内部の構造)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙背景放射の観測 (米) 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力による商業発電開始 高加工性鋼板(I F 鋼)の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 公害対策基本法成立 	
1966					
1967	<ul style="list-style-type: none"> プレートテクトニクス理論の確立 (英: マッケンジーほか) 光触媒 (本多藤島効果) の発見 (日) 	<ul style="list-style-type: none"> 初の心臓移植手術を実施 (南ア: バーナード) 	<ul style="list-style-type: none"> アポロ11号月面着陸 (米) 核拡散防止条約発効 	<ul style="list-style-type: none"> 日本万国博覧会 (大阪) 人工衛星「おおすみ」打上げ 炭素繊維の商業生産開始 	<ul style="list-style-type: none"> 環境庁発足
1969					
1970	<ul style="list-style-type: none"> 1 KビットDRAMの発明(米) 	<ul style="list-style-type: none"> 初のパソコン発売 (米) 遺伝子組換えガイドラインを議論したアシロマ会議 (米) 最後の天然痘報告 (ソマリア) 	<ul style="list-style-type: none"> 4ビットマイクロプロセッサの発明 (米) 遺伝子組換え技術の確立 (米: コーエン、ボイヤー) スタチンの発見 (日: 遠藤章ほか) フロンによるオゾン層の破壊の可能性の指摘 (米) 	<ul style="list-style-type: none"> サンシャイン計画開始 	
1971					
1973	 <p>4ビットマイクロプロセッサ</p>	<ul style="list-style-type: none"> 初の体外受精児の誕生 (英) スリーマイル島原子力発電所事故 (米) スペースシャトルの初飛行 (米) 	<ul style="list-style-type: none"> 静止気象衛星「ひまわり」打上げ 超LSI (集積回路) の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 研究交流促進法成立 	
1974					
1975	 <p>スタチンの発見 (写真は、高コレステロール血症の治療薬)</p>	<ul style="list-style-type: none"> エイズウイルスの発見 (仏: モンタニエ、米: ギャロ) フラレンの発見 (英: クロトールほか) 光ファイバーによる情報送信の成功 (米) オゾンホール発見 (米) 高温超伝導現象の発見 (スイス: ミュラー、独: ベドノツル) 	<ul style="list-style-type: none"> ウォークマン発売 CDプレーヤー発売 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星放送開始 	
1976					
1977	 <p>フラレン (写真は、モデル図)</p>	<ul style="list-style-type: none"> チェルノブイリ原子力発電所事故 (ソ連) スペースシャトル・チャレンジャー号事故 (米) 宇宙ステーション「ミール」の運用開始 (ソ連) オゾン層を破壊する物質に係るモントリオール議定書 IPCC設立 商用インターネット開始 (米) 	<ul style="list-style-type: none"> 国際科学技術博覧会 (つくば) 	<ul style="list-style-type: none"> 携帯電話サービス開始 	
1978					
1979	 <p>カーボンナノチューブ (写真は、モデル図)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ヒトゲノム計画開始 (米) 	<ul style="list-style-type: none"> 雲仙普賢岳噴火 		
1981					
1982	<ul style="list-style-type: none"> p型GaNの青色LEDの実現 (日: 赤崎勇、天野浩) WWWの発明 (英) カーボンナノチューブの発見 (日: 飯島澄男) 				
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					

1992			<ul style="list-style-type: none"> 地球環境サミット（ブラジル） 	<ul style="list-style-type: none"> 日本人初のシャトルによる宇宙飛行（毛利衛） 商用インターネットサービス開始 H-IIロケット打上げ 	<ul style="list-style-type: none"> 環境基本法成立
1993		<ul style="list-style-type: none"> 人クローン胚の作成（米） 			
1994		<ul style="list-style-type: none"> トップ・クォークを確認（米：フェルミ国立加速器研究所） 			
1995		<ul style="list-style-type: none"> 数学の難問であったフェルマーの最終定理の証明（英） ナノ顕微鏡の開発（日） 	<ul style="list-style-type: none"> Windows95の世界的なヒット 	<ul style="list-style-type: none"> 高速増殖炉「もんじゅ」ナトリウム漏れ事故 	<ul style="list-style-type: none"> 科学技術基本法成立 阪神・淡路大震災
1996	H-IIロケット	<ul style="list-style-type: none"> クローン羊「ドリー」が誕生（英） 	<ul style="list-style-type: none"> BSE問題発生（英） 包括的核実験禁止条約採択 	<ul style="list-style-type: none"> 青色半導体レーザの開発 	
1997			<ul style="list-style-type: none"> 温室効果ガスの削減目標を定めた京都議定書の採択（日） 	<ul style="list-style-type: none"> ハイブリッド自動車発売 	<ul style="list-style-type: none"> 「臓器の移植に関する法律」成立
1998		<ul style="list-style-type: none"> ニュートリノに質量を確認（日：スーパーカミオカンデ） 	<ul style="list-style-type: none"> 国際宇宙ステーションの組立開始（日、米、欧、加、露） Google設立（米） 		
1999	ニュートリノの質量確認（写真は、スーパーカミオカンデ）		<ul style="list-style-type: none"> 世界科学会議、ブダペスト宣言（ハンガリー） 	<ul style="list-style-type: none"> すばる望遠鏡試験観測開始（ハワイ） 国内初の脳死者からの臓器移植 東海村でJCO臨海事故発生 	
2001			<ul style="list-style-type: none"> 京都議定書から米国離脱（米） iPod発売（米） 	<ul style="list-style-type: none"> 国内初のBSE確認 	<ul style="list-style-type: none"> 中央省庁再編
2002		<ul style="list-style-type: none"> イネゲノムの解読に成功（スイス、米） 	<ul style="list-style-type: none"> 持続可能な開発に係るヨハネスブルグサミット（南ア） 	<ul style="list-style-type: none"> ETCの一般利用開始 IC乗車カードの利用開始 	<ul style="list-style-type: none"> 総合科学技術会議設置 国の研究機関の独立行政法人化開始 知的財産基本法成立
2003	ヒトゲノムの解読（写真は、モデル図）	<ul style="list-style-type: none"> ヒトゲノムの解読完了（日、米、欧） 	<ul style="list-style-type: none"> SARS世界的流行 	<ul style="list-style-type: none"> 鳥インフルエンザ流行 地上デジタル放送開始 	
2004			<ul style="list-style-type: none"> Facebook設立（米） イノベーション促進に係るパルミサーノレポート発表（米） 京都議定書発効 ITER建設地仏カダラッシュに決定 シェールガス革命（米） 		<ul style="list-style-type: none"> 国立大学法人化 スマトラ沖大地震/インド洋津波
2005				<ul style="list-style-type: none"> 日本国際博覧会（愛知） インターネット普及率70%突破 	
2006頃					
2007	ヒトiPS細胞	<ul style="list-style-type: none"> ヒトiPS細胞の作製を報告（日：山中伸弥） 		<ul style="list-style-type: none"> 緊急地震速報の一般運用開始 	<ul style="list-style-type: none"> 海洋基本法成立
2008					<ul style="list-style-type: none"> 宇宙基本法成立
2009		<ul style="list-style-type: none"> 南極大陸全体での温暖化を確認（米：ワシントン大学） 北極海の海水の急速な減少を確認（米） 		<ul style="list-style-type: none"> 新型インフルエンザ流行 	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発力強化法成立
2010				<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオン電池を搭載した電気自動車発売 はやぶさ帰還 福島第一原発事故 電子書籍端末発売 	<ul style="list-style-type: none"> 東日本大震災 再生可能エネルギーの固定価格買取制度開始
2011					
2012	はやぶさ	<ul style="list-style-type: none"> ヒッグス粒子の発見（EU：欧州合同原子核研究所） 海域で世界初となる減圧法によるメタンハイドレートによるガス生産実験の実施（日） 		<ul style="list-style-type: none"> 日本人初の国際宇宙ステーション船長（若田光一） 	<ul style="list-style-type: none"> 2020年夏季オリンピック・パラリンピックの開催地東京に決定
2013					
2014			<ul style="list-style-type: none"> 初のiPS細胞による網膜移植の臨床実施（日） エボラ熱世界的流行 	<ul style="list-style-type: none"> スマートフォン普及率50%突破 STAP細胞の研究不正問題 燃料電池自動車の市販 	<ul style="list-style-type: none"> サイバーセキュリティ基本法成立 御嶽山噴火 国立研究開発法人発足
2015	メタンハイドレート				

年	日本人のノーベル賞（自然科学分野）受賞者
1949	・湯川秀樹 ノーベル物理学賞受賞（中間子の存在の予想）
1965	・朝永振一郎 ノーベル物理学賞受賞（量子電気力学分野での基礎的研究）
1973	・江崎玲於奈 ノーベル物理学賞受賞（半導体におけるトンネル効果の実験的発見）
1981	・福井謙一 ノーベル化学賞受賞（フロンティア軌道理論の発表）
1987	・利根川進 ノーベル生理学・医学賞受賞（多様な抗体を生成する遺伝的原理の解明）
2000	・白川英樹 ノーベル化学賞受賞（導電性高分子の発見と発展）
2001	・野依良治 ノーベル化学賞受賞（キラル触媒による不斉反応の研究）
2002	・小柴昌俊 ノーベル物理学賞受賞（宇宙ニュートリノの検出に対するパイオニア的貢献）
	・田中耕一 ノーベル化学賞受賞（生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発）
2008	・小林誠、益川敏英 ノーベル物理学賞受賞（小林・益川理論の発表）
	・下村脩 ノーベル化学賞受賞（緑色蛍光タンパク質（GFP）の発見と開発）
	・南部陽一郎 ^註 ノーベル物理学賞受賞（自発的対称性の破れの発見）
2010	・鈴木章、根岸英一 ノーベル化学賞受賞（有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリング）
2012	・山中伸弥 ノーベル生理学・医学賞受賞（成熟細胞が初期化され多能性を持つことの発見）
2014	・赤崎勇、天野浩、中村修二 ^註 ノーベル物理学賞受賞（青色LEDの発明）

注：平成27年5月時点において、米国の国籍を有している。

コラム
1-8

科学技術に携わっている先輩から後輩へのエール

現在、科学技術に携わる仕事をし、我が国の科学技術の推進に活躍している先輩たちが、昔、科学技術に興味を持ったきっかけや、印象に残っている科学技術の出来事は何なのか、そして、彼らが後に続く学生に何を伝えたいのか、以下に紹介します。

- ・ 東京大学大学院総合文化研究科 助教 館知宏さん

私は、今、計算折紙（コンピューショナル・オリガミ）の研究をしています。具体的には、平成19年に自由な三次元形状を折紙で構築するための展開図設計ソフト「オリガマイザ」を世界で初めて開発しました。これは、独自のアルゴリズムを用いて、入力した三次元形状を一枚の紙で折るための展開図を自動的に作成するソフトウェアです（図1）。また、「動く折紙」を用いた構造物の研究もしています。折り紙の折り線部分を2つの平面パネルをつなぐヒンジ（接ぎ目）に置き換えることで、厚みや固さのある材料で動く構造物の設計が可能となります（図2）。折紙の研究は、形を考える基礎的な学問で、他の分野ではなかなか扱われない領域です。今後、折紙の理論を応用して、建築、家具等の分野で実用化されるものをつくりたいと思っています。実際、簡単に折りたたためて広げられる折紙の特徴を活かして、医療器具の人工血管を作成している研究者もいます。

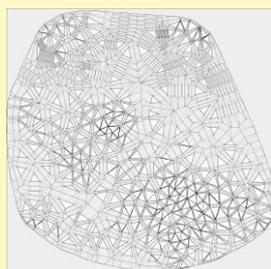


図1 オリガマイザを用いて設計した例



図2 「動く折紙」の例

私の研究分野である、計算折紙は、数学、計算科学、デザイン、構造力学など様々な分野の融合分野です。私の大学時代の専攻は建築学ですが、建築学は、構造力学、環境制御、計画学、認知科学、歴史、意匠、材料科学、法律など色々な分野から成り立っており、ある一つの課題に対して、幾つかの学問領域をうまく結び付けて解を見つけてきた学問であり、計算折紙と近いものがあると感じています。

私が印象的だと思っている科学技術の出来事に関しては、コンピュータグラフィックスの技術が急速に進んだことが挙げられます。私の研究分野の計算折紙はコンピュータグラフィックスとも密接に関わる領域です。ゲームも映画も実写と見紛うような、例えば透明感のある皮膚の表面の映像が可能になりました。また、バーチャルリアリティに関しても興味を持ち続けています。視覚だけではなく、力覚や触覚なども再現ができるようになり、現実にとんとん近くなってきていると感じています。特に、バーチャルリアリティの仕組み、具体的には、どのように人に映像や音を提示すると、実際の体験と等価になるのかといったところは哲学的な興味を惹かれる部分です。

さて、私の子供時代を振り返ってみますと、小学生の頃は、科学のことを子供向けに分かりやすく書いてある雑誌をよく読んでおり、その付録で付いてくる電子工作をしていた記憶があります。ロボットアームなどを作っていました。また、この時から、折紙は好きでよく折っており、対角線部分を持って左右に引っ張ると一気に広がり、また畳むのも容易な「ミウラ折り」¹もこの時に知りました。

高校時代は、物理の先生が、飛行機が飛ぶ仕組み、暖房の仕組みなど、身の回りのものの背後に色々な仕組みがあることを解説してくれたのが印象に残っています。暖房の話に関しては、大学時代に学んだ温熱環境の分野にも結び付くものでした。また、受験勉強ではなく、学問とは何かということをお教えくださる先生が何人もいらっしゃいまして、知識を横断的に結び付けていく姿勢を身に付けることができました。この時身に付けた姿勢は、今でも役立っています。

学生の皆さんには、私の高校の校訓でもありますが、自ら調べ自ら考える力がある人物になっていただきたいです。また、設計課題をした時に感じたのが、一つの課題に対して、色々な視点から見てみるのが重要であるということです。そのような柔軟な姿勢を養って欲しいと思います。

- GEヘルスケア・ジャパン株式会社 岩間美奈さん

現在は、医療機器のMRIの送受信のアンテナの研究をしています。自分の作成したアンテナがMRIの一部に組み込まれ、そのMRIが患者の診断に役立っているというように、自分の携わった技術がどこでどのように使われているのか分かるので、モチベーションが高まります。

私が理科に興味を持つようになったのは、父親がビデオの設計をしており、よく仕事の話をしてくれたことがきっかけです。昔から、科学館に行って、炎色反応など実験を見るのも好きでした。また、幼い時に遠隔操作で手術をしている映像をテレビで見て、先進国でなくても進んだ医療が受けられることに感銘を受けました。これらの体験もあり、理系に進むことにしました。

最近、人体表面で発生する微弱な電界で通信する人体通信に関する記事を読みました。何かに体が接触するだけで通信ができ、色々なものに 응용できそうで、今後の展開が気になります。

学生の皆さんには、選択肢をたくさん持ってほしいと思っています。様々なことを学ぶと未来が広がります。その中から、自分の興味のあるものを選択してください。そして、自分の興味を持ったものに真剣にまっすぐ取り組んでほしいです。その興味を持ったという気持ちを大切にしていると、各々興味を持ったものがいつかつながって新しいアイデアになっていくものです。

- 大成建設株式会社 中根友理さん

現在は、微生物を用いて土壌中の有害物質を分解したり、汚染土壌を洗濯機の斜め式ドラムのような設備で洗浄して汚染を除去するなどの、土壌浄化業務に従事しています。建設会社は、建物を建てるイメージが強いと思いますが、土壌浄化などの環境を修復する技術もたくさん有しており、こういった環境系の仕事も増えてきています。環境の仕事に関わる前は、地下鉄工事の現場監督をしていました。地下鉄開通後、自分がつくった床や壁を見るととても感慨深いものがあります。

当社では、平成23年からフィールド・パットというIT機器を活用して現場管理を始めています。IT機器を活用する前は、紙の設計図を現場に持って行き、変更が生じる度に事務所に戻って書き替えていました。しかし、こういったIT機器を活用すると変更が生じたときにすぐ訂正ができるだけでなく、その最新情報を関係者と共有できます。時間や場所に左右されずに現場の状況に関係者間で共有できることで業務の効率化が進み、科学技術が現場に役立っていることを実感します。

¹ ミウラ折りは昭和45年に東京大学宇宙航空研究所（現・宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所）の三浦公亮博士（現・東京大学名誉教授）が構造物の壊れるメカニズムについて研究していた過程で生み出された折り畳み方である。身近なところでは携帯用の地図に応用されている。

小学校3年生の時に阪神・淡路大震災を経験し、その時の悲惨な状況は今でも強く印象に残っています。
がれき瓦礫の山を建設重機がすぐに処理し整備したおかげで新たな道ができ、給水車が市街地に入ってくることができました。大変ありがたかったです。この経験から、私もこのような人の役に立つ仕事、特に災害復旧の際にお世話になった土木分野に興味を持つようになりました。さらに、中学生の頃に明石海峡大橋が開通し、車で家族と渡ったときには、橋の大きさに圧倒されました。このようなスケールの大きな構造物を人間がつかれることに感動したことも、建設業界を選択した理由の一つです。また、幼少の頃、時計がカチカチ動くことが不思議で、時計の中はどのような構造になっているのだろうかと何個か分解したこともありましたが、理系に進んだのは、このようなことをするのが好きだったからだと思います。

学生の皆さんには、迷わず自分のやりたいことを選択してほしいです。特に理系に興味がある女性には、自信を持って理系を選んでほしいと思います。