

科学技術動向

科学技術動向研究

PCグリッド・コンピューティング
—普及・向上するPCの有効活用による
豊富な計算資源の社会的供給—

P.1

P.13

都市における
ヒートアイランド現象の緩和対策

P.2

P.21

利用ニーズ主導の統合された
地球観測システムの構築

P.3

P.35

トピックス

ライフサイエンス分野

P.5

1 ヒト胚性幹細胞研究に対する NIH の研究拠点 Grant

情報通信分野

P.6

2 「形式的手法」を利用した組み込みソフトウェアの品質向上

環境分野

P.7

3 崩落した南極棚氷の下に生態系を発見

ナノテク・材料分野

P.8

4 超音波により溶液が流動性を消失する新現象

エネルギー分野

P.9

5 欧州太陽光発電会議で過去最多の参加者

6 エネルギー研究開発拠点化推進組織が福井県に設置された

製造技術分野

P.11

7 医薬品開発に用いられはじめた X線分析装置

フロンティア分野

P.12

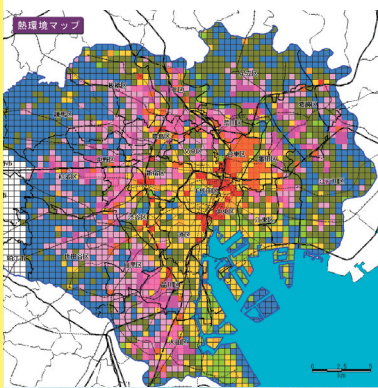
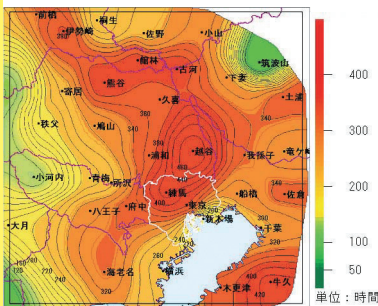
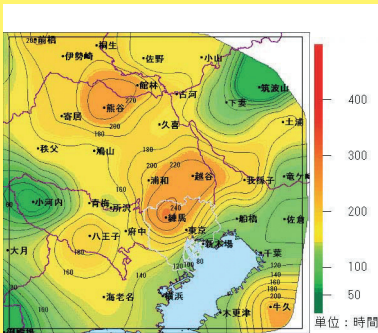
8 「すざく」 打上げ成功で X線天文観測の国際協力体制が整った

連載 日本の科学技術の現状と今後の予測

科学技術振興による経済・社会・
国民生活への寄与の定性的評価・分析
国公立大学及び公的研究機関の
代表的成果調査

P.4

P.46



PC グリッド・コンピューティング —普及・向上する PC の有効活用による 豊富な計算資源の社会的供給—

大部分のパソコン（PC）は、処理能力の 80～90%はまったく使用されていないと言われている。これは PC の電源が入れられていないということではなく、PC の頭脳に相当する CPU の能力を使い切っていないということである。そこでネットワークで結ばれた多数の PC の余剰パワーを集め、仮想的に高性能コンピュータとして利用するのが PC グリッド・コンピューティングである。近年の PC の急速な普及や、CPU 処理速度の劇的な向上、ブロードバンドによる通信環境の整備によって、PC グリッド・コンピューティングが発展する環境が整いつつある。このような動向を背景に、豊富な計算資源を社会的に供給するための PC グリッド・コンピューティングについて検討する。

グリッド・コンピューティングとは「ネットワーク上に分散した多様な情報処理資源を 1 つの仮想コンピュータとして利用する環境」であり、ユーザにネットワークを介して情報処理資源を必要なとき必要なだけ提供することを目指す。その効果には、分散した情報処理資源の一括利用、遊休資源の有効活用、負荷分散によるピーク負荷の平準化、個別装置障害時でも全体の運用維持による信頼性向上などがあげられる。

グリッド・コンピューティングは幾つかの種類に分類できるが、既存 PC を活用して豊富な計算資源の供給を実現する PC グリッド・コンピューティングは、構築の容易さや運用の経済性といった特徴を有している。実際の構築形態は、インターネットに接続された個人所有の PC を中心とするオープンタイプ、企業などの組織が保有する PC 群を活用するクローズドタイプ、ゆるい枠組みの中にある複数の組織が持つ PC を活用するセミオープンタイプの 3 タイプに分類される。

セミオープンタイプの PC グリッド・コンピューティングについて、地域活性化を目指す自治体などは、地域の計算資源を共通にプールしておき必要な時に必要なだけ利用できるインフラとしての価値に着目すべきである。しかし現状は未だ、具体的な構築法や効果的な活用法が十分には確立されていない。そこでまず、PC グリッド・コンピューティングの持つ潜在的可能性を探るために、様々な観点からフィージビリティスタディを積み上げることが必要である。たとえば構築に関しては、各都道府県の小～高等学校にある多数の PC をグリッド化し、地域へ高い計算資源を供給することが考えられる。活用策としては、計算機シミュレーションとアニメーションを利用した地域用のバーチャル教材開発や、豊富な計算資源を利用したフル CG アニメ作成による地域のコンテンツビジネス振興などが考えられる。

社会のデジタル化が進むと、情報家電やオンライン型ゲームマシンなど、高性能 CPU を搭載し、かつネットワークに接続された機器が社会のいたる所に存在するようになる。将来的にはこれらの CPU パワーの活用も視野に入れるべきであろう。

都市における ヒートアイランド現象の緩和対策

ヒートアイランドとは、都市部の気温が周辺郊外よりも高温化する現象で、言わば都市とその周辺との気温の格差を示すものである。この現象を緩和するために、2002年9月に設置された、環境省、国土交通省、経済産業省、内閣官房で構成されるヒートアイランド対策関係府省連絡会議は、2004年3月に「ヒートアイランド対策大綱」を策定した。この大綱の中では、人工排熱の低減、地表面被覆の改善、都市形態の改善、ライフスタイルの改善を4本柱としてヒートアイランド対策が体系化されている。

ヒートアイランド現象は、理学や工学の研究分野から次第に政策に結び付いてきた経緯がある。また、気象学、地理学、建築学、土木工学など様々な分野に亘る研究課題となっており、数多くの研究分野が関与しており、それぞれの分野において現象の解明、対策技術の開発や施策への展開など多岐に亘って進められている。また、近年、局地的な温暖化現象であるヒートアイランドと地球温暖化は、資源・エネルギー消費形態などの原因と共に共通の対策が少なくないことが認識され始めている。

ヒートアイランド対策は都市計画的観点から、ある地域全体で一斉に対策を実行する必要がある。政府は、2005年4月に「地球温暖化対策・ヒートアイランド対策モデル地域」として10都市・13地域を決定した。また、東京都では、2005年4月に「熱環境マップ」を作成し、地域特性に沿ったヒートアイランド対策に取り組んでおり、このマップに基づいて「ヒートアイランド対策推進エリア」として区部4ヶ所を設定している。この推進エリアは、国のモデル地域にも採択されている。さらに、モデル地域の一つである、東京都品川区の大崎駅周辺地域は、目黒川を活用した「風の道」の確保など環境負荷軽減に向けて事業化が進められている。

ヒートアイランド現象を緩和していくためには、都市をデザインしていく時点から、ヒートアイランド対策をマスタープランとして都市計画の策定に反映させいく必要がある。そのためには、地域の自然特性、熱特性を把握し、特性に応じた効果的な対策を選択することが重要である。また、ヒートアイランド現象緩和効果の予測を行い有効な対策を策定するためには、風の道、緑地の冷気、屋上緑化、保水性舗装、遮熱性舗装等、様々な効果の評価を行うシミュレーション技術の開発が不可欠である。その一方で、都市開発がヒートアイランド現象を拡大、悪化させないように、ヒートアイランドアセスメントを実施する体制整備が重要である。さらに、ヒートアイランド現象緩和対策において、何を優先的に取り組むのか、各対策に対するプライオリティー評価が必要である。

利用ニーズ主導の統合された 地球観測システムの構築

—エビアン G8 サミットに始まり

グレンイーグルズサミットでも言及された「GEOSS」の推進—

2005年7月にイギリスで主要国首脳会議（グレンイーグルズサミット）が開催され、「グレンイーグルズ行動計画」が合意されたが、この行動計画の中でG8各国が2003年のエビアンG8サミットをきっかけとして進展してきた全球地球観測システム（GEOSS）の構築を推進することが謳われている。

行動計画に現われた「GEOSS」とは、「複数システムからなる全球地球観測システム」のことである。地球観測の先端を行く米国や欧州でも、これまでは「地球観測」というと、地球観測衛星による宇宙からの観測のみが連想され、衛星観測と地表面での現場観測が必ずしも一体的に取り扱われないという傾向があった。地球温暖化や大規模災害などの問題に直面して、地球観測の戦略を技術シーズ主導から利用ニーズ主導へと転換すべき時代に入った。このような観点から、「GEOSS」では、国際的に共通な利用ニーズとして、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つの公共的利益分野が設定され、それぞれのニーズを満たす観測及び解析などの継続と新技術による発展を組み合わせ、地球温暖化などの社会的な問題を解決する上でさまざまなレベルの意思決定を支援することを目指している。

我が国の地球観測推進戦略については、2004年12月に総合科学技術会議が「地球観測の推進戦略」をとりまとめ、利用ニーズ主導の統合された地球観測システムの構築を基本戦略と定めた。これまで我が国には、気象観測を除くと、衛星観測と現場観測を統合して定常的に観測運用を行う組織がなかったが、本戦略によって、利用ニーズ主導の統合的な地球観測への取組みの推進が期待される。

米国は、2005年4月に「統合地球観測システム」の実施計画を含む戦略計画を発表し、宇宙機関・気象機関・地理機関などが省庁間にまたがる作業部会を設けてそれぞれの役割分担や将来計画をまとめている。欧州は「環境と安全のための地球モニタリング」計画を策定し、今後10年以内に衛星観測及び現場観測のデータを利用して環境と安全に関する意思決定を支援し、利用者中心のサービスを提供しようとしている。

グレンイーグルズサミットでは、我が国は高度成長時代に大気汚染、河川汚染等の公害問題を経験し、それらを改善してきたことを示し、科学技術を活用して各国が協力して環境保護と経済発展を両立させる取組みを行おうと訴えた。日本は自国のためだけでなく、国際貢献を図っていくためにも、強い意志をもってGEOSS 10年実施計画に基づくGEOSSの構築を推進していく必要がある。

本稿では、地球観測システムにまつわる世界の動きを概観し、我が国がGEOSSを推進するために、①定常的な衛星観測を実施する中心的な機関を設けること、②ODA活用により開発途上国における現場観測を拡大すること、③利用ニーズ主導で新しい衛星観測技術の開発を行うこと、の3点を提案する。

日本の科学技術の現状と今後の予測

—科学技術振興による経済・社会・ 国民生活への寄与の定性的評価・分析

—国公立大学及び公的研究機関の代表的成果調査—

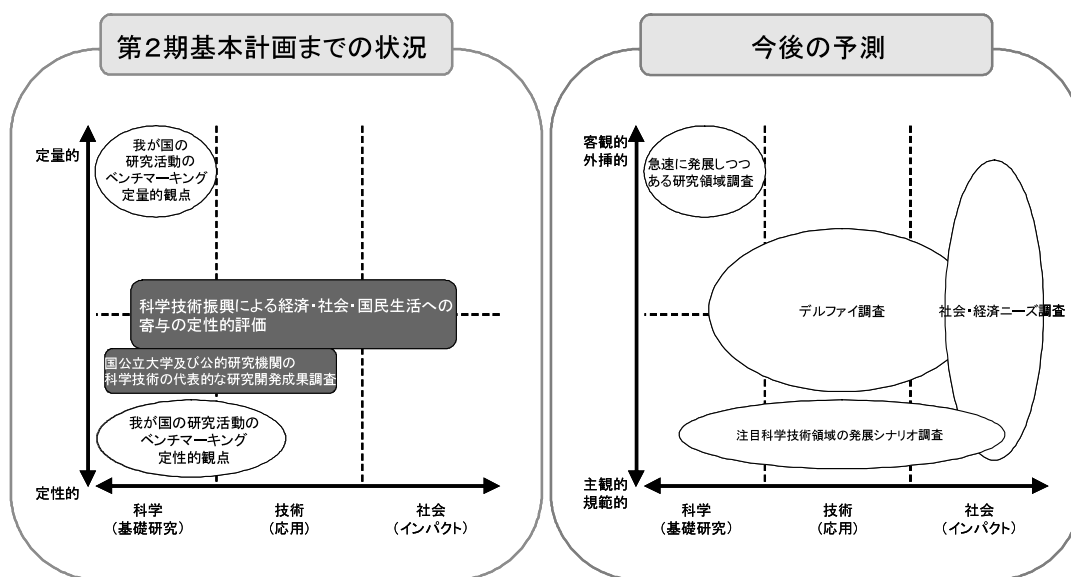
科学技術動向研究センターは、第3期科学技術基本計画策定のための資料作成として、下図の各調査を担当しました。

そのうち、今月は「科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析」と「国公立大学及び公的研究機関の代表的成果調査」の概要を紹介します。

▶参考：NISTEP REPORT No.89、No.93

<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep089j/idx089j.html>

<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep093j/idx093j.html>



第3期科学技術基本計画策定のための資料として科学技術動向研究センターが担当した調査

ヒト胚性幹細胞（ヒト ES 細胞）は、体内の全ての細胞に分化できる能力を持つため、基礎研究や治療などを目的とした臨床研究の非常に重要なツールであると考えられている。しかし、世界的にも未だ研究の初期段階にあり、分かっていないことが多い。そのため、幹細胞に関する基礎生物学的な知識やヒト ES 細胞の扱い方に関するトレーニングの実施によって、研究者を増やすことが必要と考えられる。

米国の国立衛生研究所（NIH）の研究機関の一つである国立一般医科学研究所（NIGMS）は、3年間で900万ドル規模の「ヒト ES 細胞研究のための探索的な研究拠点グラント」を設置し、8月に支援先3研究機関を決定した。各研究機関では、中核的な施設を設置して研究者のトレーニングと支援を行うほか、ヒト ES 細胞の性質や機能に関する根本的な知識を深めるためのパイロット的な研究を実施する。

トピックス 1 ヒト胚性幹細胞研究に対する NIH の研究拠点グラント

ヒト胚性幹細胞（ヒト ES 細胞）は、体内の全ての細胞等に分化できる能力を持つため、基礎研究や治療などを目的とした臨床研究において、非常に重要なツールである。しかし、ヒト ES 細胞を自由自在に変化させる方法はまだ確立していない。そのため、幹細胞についての基礎生物学的な知識の増加や、ヒト ES 細胞を扱うことができる研究者をトレーニング等によりもっと増やすことが必要であると考えられる。

これらの必要性に対応するために、NIH の研究機関のひとつである国立一般医科学研究所（NIGMS）は、「ヒト胚性幹細胞研究のための探索的な研究拠点グラント（Exploratory Center Grant for Human Embryonic Stem Cell Research）」の募集を行い、3研究機関にグラント支援を行うことを決定した。本グラントは、ヒト ES 細胞を用いたパイロット研究を実施する多様な研究者から構成されるチームに与えられる。2003年9月にも同様な趣旨の募集が実施され、ワシントン州立大学、ミシガン州立大学医学部等の3研究機関にグラントが支給されたが、目的の達成には至っていないということで、再度2004年10月に募集され、2005年8月にグラントが支給される研究機関が発表された。グラントは、全体で3年間に900万ドル支給される予定である（初年度各機関に約100万ドル支給）。各研究拠点では、ヒト ES 細胞研究

の中核的な施設をつくり、研究リソースの維持や研究者のトレーニングなどに必要なインフラストラクチャーを整備する。また、ヒト ES 細胞の性質や機能の根本的な知識を深めるために、NIH のヒト ES 細胞研究のガイドラインの下で、パイロット的な研究プロジェクトが実施される。

採択された研究機関と研究内容は以下の通りである。マウントサイナイ医科大学では、初年度はヒト ES 細胞の増殖、分化、遺伝子変化を研究する。特に幹細胞を遺伝子改変する手法の開発に焦点を置く。アルバート・アインシュタイン医科大学では、特定のタンパク質がどのように幹細胞の増殖や分化を制御するのかを研究する。Burnham 研究所では、幹細胞に自己再生を可能にさせる分子シグナルの研究や、リアルタイムに細胞を研究するための新規のイメージング技術の開発などを行う。

米国政府は、ヒト ES 細胞研究に公的研究費を使用させない等の制限をしていることで知られているが、NIH は ES 細胞研究予算として年間5億ドル以上、その内ヒト ES 細胞研究には年間2,000万ドル以上支出し、その額は年々増加していると見られる。今回採択された Burnham 研究所は、州レベルでヒト ES 細胞研究を支援しているカリフォルニア州に在る。

これらの事は、ヒト ES 細胞研究に対する米国の方針転換の兆しかもしれないと考えられる。

参 考

NIH プレスリリース : <http://www.nih.gov/news/pr/aug2005/nigms-09.htm>

NIH の Stem Cell Research 関連情報サイト : <http://stemcells.nih.gov/>

家電や自動車などの身の回りにある様々な機器には、製品や装置の機能仕様を実現する「組み込みソフトウェア」が搭載されている。この組み込みソフトウェアの不具合（バグ）は、出荷済製品の回収などの大きな社会問題を引き起こすため、その品質向上が急務の課題である。北陸先端科学技術大学院大学と日本電気(株)は共同で、組み込みソフトウェアのバグを減らす技術の研究開発を行なった。従来のノウハウに頼るテスト手法ではなく、数学や論理学を活用した「形式的手法」を採用し、効率的な検証を達成した。企業のソフトウェア設計者が「形式的手法」を容易に使える環境を構築し、実業務への適用を目指す。この結果は、2005年6月に行われたe-Societyプロジェクトの中間成果報告会で報告された。

トピックス 2 「形式的手法」を利用した組み込みソフトウェアの品質向上

「組み込みソフトウェア」とは製品や装置の機能仕様を実現する部品としてのソフトウェアであり、それを組み込んだシステムを「組み込みシステム」という。近年、洗濯機、テレビ、デジタルカメラ、コピー機、携帯電話、自動車など、身の回りの殆どの機器に組み込みシステムが搭載されていると言っても過言ではない。組み込みシステムの中核を担う組み込みソフトウェアの品質問題は、携帯電話の回収や自動車のリコールなどの大きな社会問題を引き起こすため、その品質向上は急務の課題と考えられている。

2005年6月に発行された「2005年版組み込みソフトウェア産業実態調査報告書」¹⁾には次の様な実態が述べられている。製品出荷後の不具合（バグ）の原因では、ソフトウェアに起因する比率が4割を超えると推定されている。ソフトウェア開発は、分析、設計、製造（プログラミング）などの工程を経て行なわれるが、発見されたバグの半数以上は、発見工程以前の工程で作られており、手戻り（バグが後工程で検出されて、工程をさかのぼり再設計を要すること）が発生している。この手戻りに伴う開発期間や開発費用の増加は多大である。また、開発プロジェクトの完了時点での当初計画に対する達成度でも、約1/3が品質未達の状態が開発期間の延長を余儀なくしている。

北陸先端科学技術大学院大学と日本電気(株)は共同で、組み込みソフトウェアのバグを大きく減らす技術を開発した。今回の研究開発は、バグの多くが、分析・設計等の工程で作られることに注目し、設計の品質を確保することで手戻りの大幅削減を

目指している。ここでは、品質確保の方法として、熟練者のノウハウに頼る従来のテスト手法（いろいろなデータを入力して結果を確認する方法のため検出漏れが生じる）ではなく、科学的な品質確保の手段としてモデル検査を中心とした「形式的手法」を採用し、効率的な検証を達成した。「形式的手法」とは、数学や論理学を活用してシステムの正しさを確認する技術であり、厳密にその性質を確認・検証できる。

具体的には、ソフトウェアの分析・設計時でのモデル表記法の世界標準であるUML（Unified Modeling Language）で設計書を記述し、この設計書作成に加えて、ソフトウェアの正しい振る舞いや、絶対に起こってはならない事などの検証事項を定義する。この両記述を入力して、論理的矛盾の有無を検証する。検出された問題箇所は、設計書上に表示して分析・解析を可能とする。「形式的手法」は、入力に特殊な記述を要求するため、従来はLSI設計等の限定領域での利用に留まっていたが、今回の研究では、組み込みソフトウェア技術者が使いやすい検証環境の提供を目指している。また従来、「形式的手法」は多大な計算機パワーを必要とする問題があったが、昨今のコンピュータ性能の向上により、この問題も解消されつつある。

本研究開発は、現在は試行的な段階であるが、今後、企業が持つソフトウェア開発手法やツール開発・適用に関する経験やノウハウも生かして、実業務への適用を進める。この結果は、2005年6月に行われたe-Societyプロジェクトの中間成果報告会で報告された²⁾。

参考

1) 2005年版 組み込みソフトウェア産業実態調査報告書（経済産業省 商務情報政策局 2005.6）

2) 高信頼性組み込みソフトウェア構築技術（e-Society 文部科学省リーディングプロジェクト 2005.6）

地球温暖化の影響により、南極にあるラルセン棚氷（氷床の縁部が海上に張り出して浮いている氷原）の大規模な崩落が2002年に発生した。この棚氷が消滅した海域の海底沈殿物を米国の調査隊が調査したところ、海面から約850mの深さの海底に、冷湧水域に見られる泥火山、雪のように堆積した微生物及びハマグリの大群生を発見した。冷湧水域とは硫黄分の豊富な水や天然ガスが吹き出ている海域で、バクテリアによる有機物の生産により貝類などの生息が可能となる。従来、日光の届かない冷湧水域の生態系は、メキシコ湾、日本海などでのみ存在が確認できていたが、南極での冷湧水域の発見は初めてである。この発見によって、氷に覆われた地域に生態系を伴う冷湧水域が多数存在する可能性や、氷山の下に他の生物が生息している可能性が出てきた。将来、地球温暖化がさらに進んだ場合、この海域の生態系への多様な影響が懸念されることから、今後、このような影響に対する幅広い調査が必要である。

トピックス 3 崩落した南極棚氷の下に生態系を発見

2005年3月に、米国のハミルトン・カレッジのユージン・ドーマック教授（地球科学）を中心とする調査隊により、南極の海底に微生物とハマグリの大群生が偶然発見された。2002年に起きた南極のラルセン棚氷（氷床の縁部が海上に張り出して浮いている氷原）の大規模な崩落の原因調査の際、崩落したラルセン棚氷の下にあたる海底に、60～90cmの膝ほどの高さで直径数mの小さな泥火山が点在し、泥火山の周りには広範にわたって雪のように堆積された微生物が存在していた。

ラルセン棚氷は、南米に近いウェッデル海北西部の南極半島にあり、この崩落で米国ニューヨーク郊外のロングアイランドに匹敵する3,250km²もの面積の棚氷が海中に崩れ落ちた。ドーマック教授らの調査隊は、棚氷が崩落した海域の海底沈殿物を調査していた。ビデオカメラで海面から約850mの深さの海底を撮影したところ、海底が白いマット様物質で覆われ、周りに二枚貝の塊で覆われた泥火山を発見した。これは他の深海で見られるバクテリアマットに似ており、そこからガスの泡が放出していた。

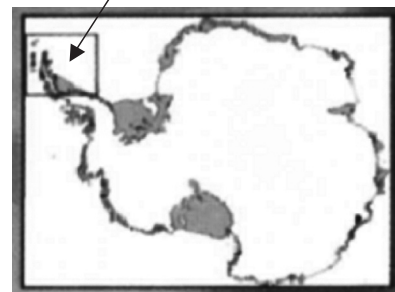
この海域は硫黄分の豊富な水や天然ガスが泥火山などから吹き出ている冷湧水域であり、バクテリアはこれらの硫黄分やガスによって繁殖し有機物合を排出し、ハマグリなどの貝類の生息を可能とする環境を作り出しているのではないかと考えられている。従来、日光の届かない冷湧水域の生態系（光合成や高温の噴出物からではなく、海底から湧き出す冷水中の物質からエネルギーを得る生態系）は、カリフォルニア州モンレー近海、メキシコ湾、日本海などで見つかっているが、南極で冷湧水域が発見されたのは初めてである。この発見によって、まだ氷に覆われているさらに広い地域にも、生態系を伴う冷湧水域が多数存在す

る可能性や、氷山の下に他の生物が生息している可能性が出てきた。

このような冷湧水域の正確な調査を行なうには、リモコンで操作できる水中探査機等によって、海域の撮影やサンプル採取を行う必要がある。

将来、地球温暖化がさらに進んだ場合、この海域の水が大きく溶けることによって、生態系変動が拡大する恐れも指摘されている。氷が解けることによって氷の中に含まれていた微粒子が生態系の上に沈積したり、海草の死骸が新しい炭素源を供給したりすることで、冷湧水域の微生物層や貝類など、この地域特有の生態系が次第に変化することが予想される。さらに、より広い海域全体の生態系にも多様な影響を及ぼす事が懸念され、今後、このような影響に対する幅広い調査が必要である。

南極大陸ラルセン棚氷



EOS Vol.86 (29) 19 JULY 2005 より

棚氷：氷床の縁部が海上に張り出して浮いている氷原。氷厚200～600m、時に1,000mに達し、表面はほぼ平坦か、あるいは緩やかに起伏している。後背部は陸につながり、先端部では卓状氷山を分離して急崖をなしている。南極大陸のロス棚氷、フィルヒナー棚氷などが知られている。

化合物が液体に分散した溶液（ゾル）から流動性を失った状態（ゲル）に転移することをゾルーゲル転移という。このたび、特殊な構造をもつパラジウム化合物を有機溶媒に分散させたゾルが、超音波を3秒程度照射することによりゲルに転移し、さらにゲルに熱を加えるとゾルに戻る、という特異な現象が大阪大学の直田健教授らにより発見された。従来のゾルーゲル転移は温度の高低による単純な可逆反応や、光照射による不可逆反応がほとんどで、今回発見された現象は従来のものとは全く異なる。また、超音波の照射による転移は副反応の発生が少ないと考えられ、今後、ゲル化による不透明化と加熱による復帰を利用した光量調整シャッターや弾性変化を応用した瞬時起動ショックアブソーバーなどへの応用開発が期待される。この研究は(独)科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（通称：さきがけ）で実施された。

トピックス 4 超音波により溶液が流動性を消失する新現象

化合物が液体に分散した溶液（ゾル）から分子集合により流動性を失った状態（ゲル）への転移が外部からの刺激によって起る現象は、従来「熱」や「光」による外部刺激によるものが知られている。ゾル-ゲル転移は流動性や光透過性の変化をとともなうため、その応用に関心が持たれている。しかし、従来知られているゾル-ゲル転移は、温度の高低による単純な可逆的变化や、光照射によりゲルが形成される不可逆変換であった。また、ゲル化の速度においても、例えば、マレイン酸化合物への水銀灯による30秒間の光照射によるゲル化が比較的変換速度が速いとされる報告例であった。

大阪大学直田健教授らは、従来のゾル-ゲル転移と異なる新しい現象として、音波による高速の転移現象を見出した。直田健教授らは、特殊な構造を有するパラジウム錯体^①を有機溶媒に分散したゾルに、超音波を3秒間という短時間照射することによってゲル化が起こり、その状態が安定であることと、ゲル化後に熱を加えることで元の安定なゾルに戻るという現象を確認した。この現象とそのメカニズム（図表参照）は、2005年7月6日発行のJ.AM.CHEM.SOC誌に発表された。

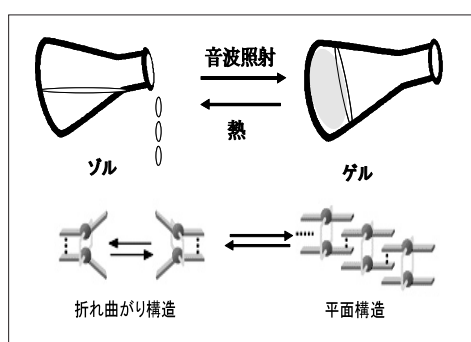
このパラジウム錯体は有機溶媒中のゾル状態では、図表の左側に示されているように、単分子が平面間の弱い結合作用と開裂の運動のみが行われる状態で安定している。そこへ音波が照射されると、溶媒の併進運動による単分子同士の強い押し込み効果が発生し、構造の平面化が促進される。図表の右側のゲル状態での平面構造では、分子の末端が周囲に残存している単分子と容易に会合し、連鎖的に平面構造が拡大していく。音波の刺激条

件により、ゾル-ゲル転移を自在に制御できる可能性も見出されている。

音波によるゾル-ゲル転移は、光による転移と異なり、電子移動を伴う副反応発生が少ないと考えられている。この新現象の応用開発としては、ゲル化による光吸収量の増大（不透明化）と加熱による復帰を利用した光量調整シャッター、弾性の変化を応用した瞬時起動ショックアブソーバーなどが提案されている。

本研究は(独)科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（通称：さきがけ）で実施されたものである。

超音波照射によるゲル化及び加熱によるゾル化のメカニズム



①パラジウム錯体：金属原子を中心として、その周囲に配位結合（結合に寄与する電子が一方からのみ供給される結合）を持つ構造の化合物

第20回欧州太陽光発電会議が、2005年6月にスペインのバルセロナ国際会議場で開催された。昨今の太陽光発電に対する関心の大きさを反映し、太陽光発電関連の国際会議としては最多となる2,151名の参加者が計74カ国から集まった。本会議では、2004年の世界の太陽電池世界生産量（総発電出力）が対前年比61%の伸びで急激に成長したことが報告された。特に、再生可能エネルギー導入者がメリットを得やすい制度を導入したドイツの伸びが大きく、今回の発表件数も最多であった。スペイン、ギリシャ、米国カリフォルニア州、中国などが新たな太陽電池モジュール消費市場として注目されており、各国の経済成長や雇用拡大に寄与し始めた段階だと言える。現在、世界市場の約9割を占める結晶シリコン系太陽電池では、高純度多結晶シリコン原料の供給に不安がある。このため、結晶シリコン太陽電池の光電変換高効率化技術、集光式太陽光発電技術、結晶シリコン系を用いない薄膜太陽電池技術などの技術開発が進んでいる。

トピックス 5 欧州太陽光発電会議で過去最多の参加者

20回目の欧州太陽光発電会議（20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition）が、2005年6月にスペインのバルセロナで開催された。本会議は太陽光発電に関する欧州会議で、1年毎に開催される。今回は74カ国から2,151名の参加者があった。太陽光発電関連の国際会議としては、これまでで最多であり、太陽光発電に対する関心の高まりを反映している。

各国の太陽光発電ロードマップ、産業界の招待講演やワークショップが企画され、1,048件の論文発表があった。国別、技術分野別の発表件数動向をそれぞれ図表(a)、(b)に示す。国別発表件数ではドイツ、スペイン（開催国）が上位を占め、技術分野別では、これまでの欧州光発電会議と同様の傾向であるが、実用化が進む結晶シリコン系、モジュール、システム、国家プログラム関係の発表が多かった。

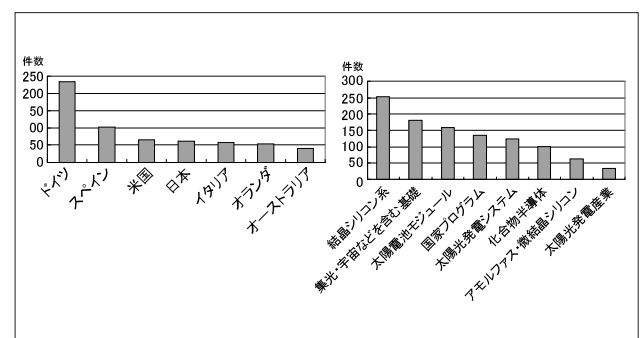
本会議で議論された内容をもとに、太陽光発電の動向を市場と技術開発の2点から下記にまとめる。

- ①太陽光発電市場（総発電出力）：2004年の太陽電池生産量は、対前年比61%の伸びで急激に成長した。特に、ドイツは伸びが大きく、2004年の世界の太陽光発電設置実績366MWのうち39%のシェアを占めている。太陽電池を含む再生可能エネルギー導入者がメリットを得やすい促進制度が普及を後押ししているためである¹⁾。日本、米国の太陽光発電設置実績シェアは各々30%、9%であった。世界市場全体が拡大するにつれて、太陽光発電は各国の経済成長や雇用拡大にも寄与し始めた。スペイン、ギリシャ、米国カリフォルニア州、中国などが新たな太陽電池モジュール消費市場として注目されている。
- ②技術開発：現在、結晶シリコン系の太陽電池モジュールが全生産量の9割を占めている。しか

し結晶シリコンは、今後、高純度多結晶シリコン原料の供給量に不安がある。このため、下記の技術開発が進んでいる。

- (i) 結晶シリコンを用いるモジュールでは、光電変換効率20%以上の高効率化、原料使用量10g/W以下への低減（現状12～14g/W）、歩留まり向上、薄型化などの技術開発が進められている。
- (ii) 集光式太陽光発電技術も急激に進展している。商用化に加え、集光式における新たな高効率化技術が提案され、この技術分野での標準化も進みつつある。
- (iii) 結晶シリコンを用いない薄膜太陽電池の技術開発も進められている。例えば、Wuerth Solar社は、CIS（銅・インジウム・セレン）太陽電池モジュールを年産15MW（2007年）を目指して生産すると発表した。また、カネカ社等は、アモルファスシリコン太陽電池を商用化し、パイロット生産する予定である。（豊田工業大学山口真史教授のネットワーク投稿を基にセンターで作成）

(a)第20回欧州太陽光発電会議での国別発表件数上位7カ国と(b)技術分野別発表件数



参考文献

- 1) 科学技術動向 8月号

福井県では、2004年から原子力と産業が共生する全国的なモデルケースとするための具体的な計画を策定することを目的として、「エネルギー研究拠点化計画策定委員会」を設置し、議論を進めてきた。このほど2005年7月にその計画を推進するために、県内の(財)若狭湾エネルギー研究センターにコーディネート役として「エネルギー研究開発拠点化推進組織」を設置した。この組織において、県内の原子力発電所、新型転換炉「ふげん」や高速増殖炉「もんじゅ」を利用して、地元産業の創出・育成、研究開発機能の強化や人材の育成・交流などの実施を計画している。具体的には、高経年化対策の強化などの安全・安心に関すること、陽子線がん治療を中心とした研究治療施設の整備、高速増殖炉や原子炉廃止措置の実用化などの研究開発機能の強化、県内外の大学や研究機関との連携推進、県内企業の技術者の技能向上に向けた技術研修の実施、海外研修生の受け入れ促進などの人材育成と交流、原子力発電所の資源を活用した新産業の創出、などが挙げられる。原子炉を単に電力の「生産工場」としての活用のみならず、地域と原子力の自立的な連携を目指して活用する動きとして、今回の取り組みはわが国では初であり、今後の活動が注目される。

トピックス 6 エネルギー研究開発拠点化推進組織が福井県に設置された

福井県では、原子力と産業が共生する全国的なモデルケースとするための具体的な計画を策定することを目的として、2004年春に「エネルギー研究拠点化計画策定委員会」を設置し、議論を進めてきた。この委員会は地元産業界や事業者、大学・研究機関、国、県など産学官のメンバーで構成された。このほど2005年7月にその計画を推進するため、県内の(財)若狭湾エネルギー研究センターに「エネルギー研究開発拠点化推進組織」を設置した。具体的施策として、県内の原子力発電所、新型転換炉「ふげん」や高速増殖炉「もんじゅ」を利活用して、地元産業の創出・育成、研究開発機能の強化や人材の育成・交流などの実施を計画している。この推進組織は外部からも幅広く人材を取り込み、「産学官連携」「技術支援・相談」「人材育成・交流」の3チーム、所長・所長代理ほか総員13名で構成され、計画推進に向けた総合的なコーディネート役を担う。具体的には、①安全・安心の確保（a. 高経年化対策の強化と研究体制などの推進、b. 地域の安全医療システムの整備、c. 陽子線がん治療を中心とした研究治療施設の整備）、②研究開発機能の強化（a. 高速増殖炉の研究開発、b. 原子炉廃止措置の実用化に向けた研究開発、c. 若狭湾エネルギー研究センターの新たな役割、d. 県内外の大学や研究機関との連携促進）、③人材の育成・交流（a. 県内企業の技術者の技能向上に向けた技術研修の実施、b. 原子力・エネルギー教育の充実、c. 国際原子力情報研修センター、d. 海外研修生の受け入れ促進、e. 国際会議の誘致）、④産業の創出・育成（a. 産学官連携による技術移転体制の構築、b. 原子力発電所の資源を活用した新産業の創出、c. 企業誘致の推進）などの活

動が予定されている。

福井県には、1970年以来、わが国の原子力発電所5タイプのうち、沸騰水型・加圧水型の各軽水炉、高速増殖原型炉「もんじゅ」、新型転換炉「ふげん」の4タイプの原子力発電施設が15基立地している。発電された電気は主に関西方面に送られ、関西圏で使用される電気の約6割を占める。2003年度の発電実績は約879億kWhで、これは全国の約37%にあたり、全国一の原子力発電所の立地県である。「もんじゅ」は、1982年に高速増殖炉の性能を技術的に確認するための原型炉として建設が決定され、現在の原子力長期計画では「我が国における高速増殖炉サイクル技術の研究開発の場の中核」として位置づけられている。しかし、1995年のナトリウム漏洩事故以来運転が中止されていたが、このほど改造工事が開始されることになった。そこで、この推進組織の実質的な計画のひとつとして、「もんじゅ」を中核とした「高速増殖炉（FBR）研究開発センター（仮称）」を設置して、アジアにおける中心的存在を目指す。また、「ふげん」を利用して原子炉の廃止措置事業の創出を目指し、地元企業も参加できる基盤を作ることを目指すことも活動の一つとなる。

今回の推進組織は、海外では、原子炉を用いた産学連携事業の事例はあるが、わが国では今回の取り組みは初である。原子炉を単に電力の「生産工場」としての活用のみならず、地域と原子力の自立的な連携を目指して多方面に活用する動きとして、今後の活動が注目される。

参考文献：原子力eye、2005 Vol.51, No.5

X線分析装置は、測定物質にX線を照射することによって測定物質にどのような物質がどの程度含まれているかを測定することができる装置で、無機物や有機物の構造解析の研究開発や有害物質の検出などに用いられている。近年、X線分析装置は高性能化だけでなく、測定の自動化、高速化などにおいて格段の改良が図られてきており、X線分析の適用範囲が拡大している。

たとえば、これまでX線分析が一般的ではなかった医薬品開発においても、開発期間短縮策のひとつとして、高精度のX線回折装置による分析技術が注目され始めた。特に低コストでの製造技術が求められるジェネリック医薬品の製造をきっかけに導入されるケースが多く、このため、米国やインドなどのジェネリック医薬品製造の先進国で導入が盛んである。今後、さらなる適用範囲の拡大に伴い、装置メーカー間の国内外シェアも大きく変わっていく可能性がある。

トピックス 7 医薬品開発に用いられはじめたX線分析装置

近年、X線分析装置は高性能化だけでなく、測定の自動化、高速化などにおいて格段の改良が図られ、従来はトレードオフになっていた高性能化と分析時間短縮の両立が可能になっており、適用範囲が拡大している。例えば、X線分析装置は、従来、医薬品の研究開発では一般的ではなかったが、以下のような状況がきっかけとなって、この分野でも新しい分析ツールとして注目されはじめた。

新薬の研究には臨床試験等を含む研究開発費と長い年月が必要であるが、一方、患者への経費負担を軽減するために、実績のある医薬品を安価で製造販売できる「ジェネリック医薬品」^①が注目されている。同一成分・同一効果の医薬品を製造するためには、医薬品の構造を完全に把握することが必要不可欠であるが、特にジェネリック医薬品の場合は製造技術として新薬以上にコスト低減と開発期間短縮が求められる。このような課題に先進的な考えをもつ諸外国では、分析によって製品がオリジナルと同じであると証明できれば、高額な費用がかかる臨床試験を免除することを認める方向も検討されている。

新薬の研究開発では、極めて高い分解能での測定が可能なシンクروتロン（大型放射光施設）で構造解析を行なうことが望ましいとされているが、一方で大型施設は、申請から測定まで半年程度を要する、実質的な測定時間が十分とれない、費用が高額になるなどの点から、ジェネリック医薬品の開発製造のような場合には必ずしも向いていない。そこで研究室での予備実験などにおいて、シンクروتロンに比較的近いレベルの構造解析デー

タを得ることができる高分解能のX線分析装置が注目され、米国、インドなどのジェネリック医薬品製造の先進国で導入が盛んになっている¹⁾。従来は、実験室用装置のX線光源は多色放射で強度が低かったためシンクروتロン放射光の能力とは大きな開きが生じていたが、X線光学部品および検出技術の進化により、最近の高精度のX線分析装置ではこの問題が大幅に改善されている。

X線を利用した分析技術は、無機物や有機物の構造解析の研究に用いられるほか、有害物質検出などの環境分野や天文観測の分野でも広く活用されている。測定物質にX線をあてることで派生するX線はその物質の元素あるいは構造によって波長が決まっており、波長や強さを測定すれば、測定物質にどのような物質がどの程度含まれているかを測定することができる。例えば、最近になって被害が顕著化している建材に含有される石綿（アスベスト）にも、X線回折による定性および定量分析を用いることが改めて周知徹底されている²⁾。2005年8月31日～9月2日に開催された2005分析展では、国内外の関連企業から種々のX線分析装置が紹介された。今後、さらなる適用範囲拡大にともない、装置メーカー間の国内外シェアも大きく変わっていく可能性がある。

①ジェネリック医薬品：特許期間の切れた医薬品を、他のメーカーでも同一成分・同一効果の薬として新薬の8割以下の価格で製造販売できるものを言う。

- 参 考
- 1) 高分解能粉末X線回折によるジェネリック医薬品開発の最適化：<http://www.panalytical.jp/contents/tech/archive/XRD/alpha050728.htm>
 - 2) 建材中の石綿含有率の分析方法について（基安化発第0622001号）：<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/sekimen/hourei/050622-1.html>

宇宙航空研究開発機構は、2005年7月10日、X線天文観測衛星「ASTRO-E II (すざく)」の打上げに成功した。X線天文観測衛星とは、宇宙で起こる高エネルギー現象によって発せられたX線を、地球周回軌道上で観測するための衛星である。「すざく」は分光能力とエネルギー帯域の2点において欧米の衛星の能力を上回る設計となっていた。このうち分光能力に関しては、軌道上試験の段階で冷却系に不具合が発生したため、非常に高い分光能力を利用した観測ができなくなったが、他の観測装置は予定通りの性能で稼働することが確認され、早くも8月中旬に地球から約20万光年離れた超新星の残骸の観測に成功し、エネルギー帯域の広さでは世界最高性能が実証された。1999年に打ち上げられた米国航空宇宙局の「チャンドラ」、欧州宇宙機関の「XMM-ニュートン」とともに、日米欧の国際協力体制のもとでのX線天文観測の進展が期待されている。

トピックス 8 「すざく」打上げ成功でX線天文観測の国際協力体制が整った

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は2005年7月10日、内之浦宇宙空間観測所からM-V (ミューファイブ) ロケット6号機によるX線天文観測衛星「ASTRO-E II」の打上げに成功した。同衛星は、軌道投入後「すざく」と命名された。機能確認終了後、国際的な観測運用に供されることになる。

X線天文観測衛星とは、宇宙で起こる高エネルギー現象によって発せられたX線を、地球周回軌道上で観測するための衛星である。X線は紫外線よりさらに波長が短く高エネルギーでの透過力が強いが、地球の大気でほとんど吸収されるため、地上では天体からのX線を観測できないので、宇宙での観測が必須である。

「すざく」には、5台のX線望遠鏡で集めたX線を検出する1台の微小熱量計 (マイクロカロリメータ: 日米共同製作) や4台のX線 CCD カメラ並びに1台の硬X線検出器など3種類の観測装置が搭載されている。これらの観測機器の開発に当たっては、JAXA 宇宙科学研究本部を中心にして国内外の20以上の大学や研究機関が参加した。

1999年に米国航空宇宙局 (NASA) が「チャンドラ」を打ち上げ、また欧州宇宙機関 (ESA) が同年「XMM-ニュートン」を打ち上げた。2000年に打上げ予定であった我が国の「ASTRO-E」と合わせて国際的な三大X線天文観測衛星が構築され、相互に補い合って国際的なX線天文観測体制が完成するはずであった。しかし、2000年の「ASTRO-E」は打上げに失敗し、それまで「はくちょう」から「あすか」まで4機の衛星で継続されていた我が国独自のX線天文観測が中断してしまった。今回、打上げ再挑戦に成功したことで、5年遅れでようやく観測の空白期間を脱することができた。

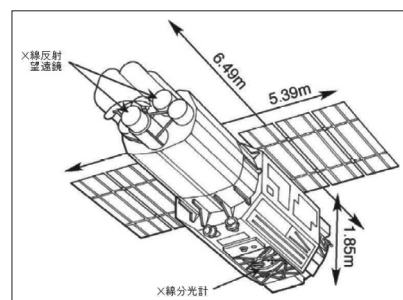
X線天文衛星の性能は、①解像度、②分光能力、③エネルギー帯域、④集光面積の4つの指標で比

較することができる。「チャンドラ」は解像度が最も高く、「XMM-ニュートン」は集光面積が最も大きい。今回打ち上げられた「すざく」は分光能力とエネルギー帯域で米欧の衛星を上回る性能を有するよう設計されており、「すざく」の高い分光能力により、銀河団全体を満たす高温ガスの運動などを測定できると期待されていた。ところが、軌道上試験の段階で、マイクロカロリメータの冷却系が、絶対温度で60ミリケルビンという極低温を実現したにもかかわらず、冷却用のヘリウムが気化して漏洩したために使用不能になり、非常に高い分光能力を用いた観測を行うことはできなくなった。

しかしながら、残る2種類の観測装置は軟X線からガンマ線までの幅広いエネルギー帯域を観測する上で予定通りの性能が確認された。8月中旬には地球から約20万光年離れた小マゼラン星雲の超新星の残骸の観測に成功し、エネルギー帯域の広さで世界最高性能が実証された。

このようにX線天文観測は、宇宙科学の最先端にある日米欧の3極がそれぞれ特徴のある衛星を打ち上げ、観測運用も国際的にオープンにして相互に利用することで、X線でしか探ることができない宇宙の謎を究めようとするところに意義があり、国際協力体制による今後の成果が期待される。

ASTRO-E II (すざく)



by JAXA

PC グリッド・コンピューティング

—普及・向上する PC の有効活用による
豊富な計算資源の社会的供給—

刀川 眞
客員研究官

1 はじめに

パソコン (PC) 普及率の増加や、CPU 処理速度の劇的な向上が続いているが、大部分の PC は、処理能力の 80～90%はまったく使用されてないと言われている¹⁾。これは PC の電源が入られてないということではなく、PC の頭脳に相当する CPU の能力を使い切っていないということである。たとえば 3次元グラフィックスのように膨大な演算処理が必要な場合には CPU 稼働率は上昇するが、文書処理やインターネット接続などの場合、キーボードの入力速度や通信速度に比べて CPU 処理速度の方がはるかに速いため、大部分

の時間が待ち状態になっている。そこでこのような CPU 遊休時間を仮想的に集約し、資源として活用することが考えられている。すなわちネットワークで結ばれた多数の PC 群を仮想的に 1つの高性能コンピュータとみなし、その高性能コンピュータに大きな処理を依頼するのである。受け取った側はそれを極めて多数の微小処理単位に分割し、グリッドのようにネットワーク化されている PC 群に振り分ける。CPU が高速化されつつあるとはいえ PC の処理速度はスーパーコンピュータに較べればはるかに遅いが、微小単位を

同時並行に処理するため、全体では極めて高い性能が実現される。これが PC グリッド・コンピューティングであり、すでに数年前から一部で実現されている。PC の普及や処理速度の向上は、遊休 CPU 能力が増大することでもあり、ブロードバンドによる通信環境の整備と相まって、PC グリッド・コンピューティングの構築を促進するものとなっている。このような動向を背景に、豊富な計算資源を社会的に供給するための PC グリッド・コンピューティングについて検討する。

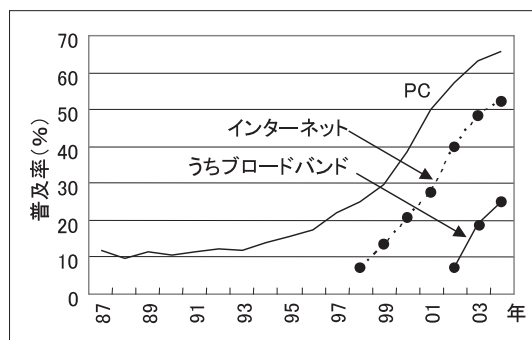
2 背景：PCとネットワークの進展

2 - 1

PC の普及増加

低価格化やサポート体制の充実などにより、職場、家庭、教育の場を問わず、PC が急速に普及しつつある (図表 1)。前述したように CPU は遊休時間が多い上、そもそも PC 自体が起動されていない時間もあるため、PC の増加は社会全体でのトータルな CPU 余剰能力が増加することになる。

図表 1 我が国の PC およびインターネットの世帯普及率推移



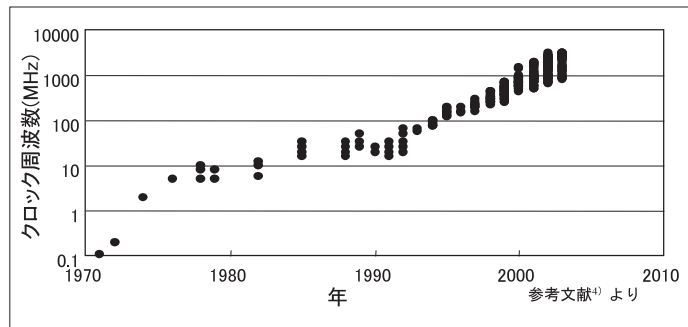
参考文献^{2,3)}を基に科学技術動向研究センターで作成

2 - 2

CPUの性能向上

図表2に示すように、CPUの動作周波数（クロックタイム）は急速に増大しており、これもCPU余剰能力増加につながる。クロックタイムの高速化は限界に近づきつつあるといわれているが、1つのCPUの中に2つの演算回路（コア）が組み込まれるデュアルコアCPUや、CPU内部処理単位の拡大（32ビット→64ビット）などにより、今後もCPUの性能向上は続くものと考えられる。

図表2 CPUクロック周波数の推移（インテル社）



参考文献⁴⁾より

2 - 3

ブロードバンドの普及

我が国ではここ数年、ブロー

ドバンドも急速に普及しつつある（図表1）。このためPCでも、3次元グラフィックスにおけるモデリングデータ^①のような、ある程度規模の大きなデータもネットワークで授受できるようになってきている。しかもブロードバンドは常時接続が多いため頻繁な通信が容易となり、遠隔監視などにより、

動作しているPC群の状態をきめ細かく把握できる。

■用語説明■

①モデリングデータ

モデル（物体）の各頂点の座標や境界線・面を表現する方程式のパラメータなど、形状を定めるデータ。

3 PCグリッド・コンピューティングについて

3 - 1

グリッド・コンピューティングとは^{5,6)}

グリッドの概念は電力送電網に由来し、「ネットワーク上に分散した多様な情報処理資源（コンピュータ、記憶装置、表示装置、実験観測装置など）を1つの仮想コンピュータとして利用する環境」である。グリッド・コンピューティングは、ネットワークを介して情報処理資源を必要なとき必要なだけ提供することを目指すもので、期待される効果として、つぎのようなものがある。

- 分散した情報処理資源を一括して利用可能になる
- 遊休資源を有効に活用できる
- 負荷分散のため、個別にピーク負荷に耐えられる設備を持たなくてもよい

- 個別装置がダウンしても全体としては運用維持ができ、信頼性が向上する

グリッド・コンピューティングは構築形態によって主に以下のよう分類できる。

- ①コンピューティング・グリッド：スーパーコンピュータなど、ネットワーク上に分散配置された高性能コンピュータを複数統合し、あたかも1つの巨大コンピュータのように見せるもの。
- ②PCグリッド・コンピューティング：多数のPCのCPU遊休パワーを統合して大規模な処理を実現するもので、考え方はコンピューティング・グリッドに近い。
- ③データグリッド・コンピューティング：遠隔地からネットワークを介して、グリッド状に展開されたディスク装置やファイル

システムをアクセス可能にし、あたかも1つの大型外部記憶装置のように見せるもの。

- ④センサー・グリッド：ネットワークに接続された極めて多数の分散設置のセンサ群からデータを収集、利用するもので、たとえば地球環境モニタリングでの活用などが考えられる。

3 - 2

PCグリッド・コンピューティングの特徴と制約

このような各種のグリッド・コンピューティングのうち、PCグリッドはコンピュータとしては極めて安価、かつ大量のPCによって構成されるもので、次のような特徴を有している。

(1)構築の容易さと運用の経済性

LANやインターネットなど、ネットワークに接続されている多

数の PC があれば、高性能コンピュータに相当する計算能力を極めて安く構築できる。職場や家庭に PC が普及しつつある現在、新たな初期投資をせずに高性能コンピュータ機能が実現できる意義は大きい。

そもそもこれらの PC 群は、本来、PC グリッドとは別の用途のために導入されているものであるため、CPU の遊休時に PC グリッドとして稼働させても、運用費用に大きな影響は与えるものではない(注1)。

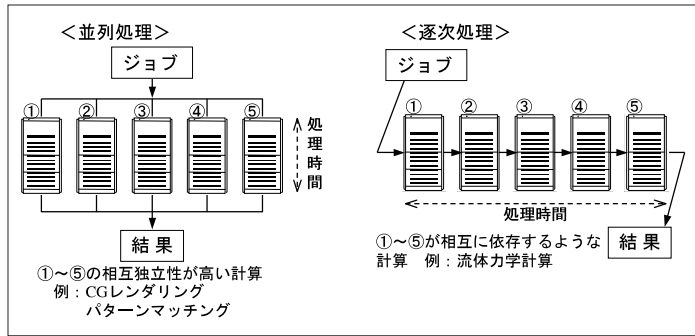
(2)システム全体性能の
“自動的な” 向上

CPU をはじめとする PC の性能は絶えず向上しており、PC グリッドを構成する個々の PC も、本来の用途の必要性に応じて逐次、更新されている。そのため PC グリッドをシステムで見た場合、個々の PC 性能にはばらつきがあるものの、全体としては自動的に性能が向上していくことになる。

(3)処理単位の相互独立性

PC と外部とを結ぶ物理的ネットワークは、通常は LAN や ADSL、光回線などであり、データ転送速度は CPU 処理速度に較べるとはるかに遅い。そのため

図表 3 並列処理と逐次処理



参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターで作成

PC グリッドでは、極力、通信回数を減らせるよう、各 PC に振り分けられた処理が相互独立に実行でき PC 間の通信が頻繁には発生しない、比較的単純に並列処理できるアプリケーション分野が中心となる。

たとえば数値データとして与えられた物体や図形情報から計算によって画像を作る CG (Computer Graphics) レンダリングや、バイオインフォマティクスにおけるゲノム情報の比較、検索などがあげられる。これに対し、たとえば流体力学計算などは、処理単位が相互に依存するため逐次処理をしなければならず、高速化するには個々の処理速度を高めるスーパーコンピュータに頼らざるを得ない。つまり PC グリッドはスーパーコンピュータに置き換わるものではなく、両者は状況

(注1) PC グリッドのためにのみ PC を稼働させれば、当然、光熱費などの運用コストは発生するが、このコストはその処理を行う以上、他の手段を用いても発生するものである。

に応じて使い分けられるものである。(図表 3)。

(4)マシン所有・運用者の非専門性

スーパーコンピュータなどでは、マシンの所有・運用者の多くはコンピュータの専門家であるのに対し、PC の場合、ほとんどは非専門家である。そのため PC グリッドの構築・運用では、所有・運用者に対して高度な専門知識の保有を前提にできない。

4 仕組みと技術

4 - 1

構成の例

PC グリッド・コンピューティングの構成は、センターサーバと、専用ソフトがインストールされた PC 群から成り、それぞれが図表 4 に示すように処理を分担している。インターネットによって PC 群が結ばれる場合のプラットフォームとしては、米国カリフォルニ

ア大学バークレー校が開発したオープン・ソースである BOINC⁸⁾ (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing) の利用が広まりつつある。

4 - 2

動作の例

PC グリッド・コンピューティングの動作例を以下に示す(図表 5)。

- ① Web サーバなどから PC に専用ソフトをダウンロードする。
- ② ダウンロードした専用ソフトは、PC グリッドとして処理すべきアプリケーションプログラムやデータをセンターサーバに要求する。
- ③ センターサーバから、並列処理するプログラムや適当な大きさに分割したデータを PC に送信する。
- ④ 送信されたプログラムやデー

タは、最も優先度の低いタスク^(注2)としてCPU空き時間に処理される。

- ⑤専用ソフトは処理終了後、結果をセンターサーバに返送し、新たなデータを要求する(全体が終了するまで③～⑤が繰り返される)。
- ⑥センターサーバが各PCの処理結果を結合し、全体としての処理結果にする。

(注2) ほとんどのPCは同時に複数の処理を並行して行なうが、実際はCPUの処理時間を非常に短く分割し、複数のタスクに順番に割り当てている。その際、各タスクに優先度を設けるが、PCグリッドの優先度を最低にすることにより、他タスクへ影響を与えることなくCPU空き時間を利用できる。

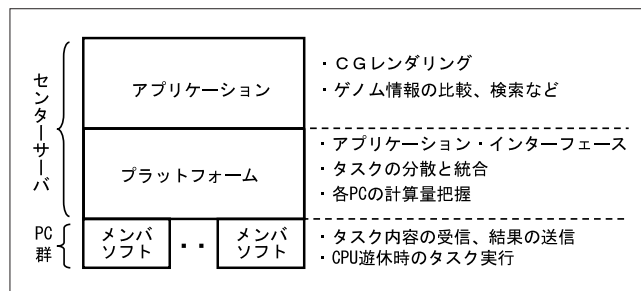
グリッド固有の問題としてよりも情報化社会における共通の課題として、ソフトウェアのセキュリティ・ホールを頻繁にチェックし修正プログラムを適用したり、ファイアウォールによるプロテクションなどで対処すべきことである。

一方、利用者側にとっては悪意を持つ者がPC提供者となり、データの窃盗や不正な処理結果の意図的な転送などのリスクが想定される。これに対してはPCハードディスク内に格納するデータはすべて暗号化することや、他と較べて特異な結果については再演算するなど対処する。

(2)演算結果の信頼性確保

スーパーコンピュータなどの専用コンピュータは、電源や温度などの環境条件が比較的良好に管理されるのに対し、一般にPCの利用環境は厳しく、コンピュータ自体の安定性も高いとはいえない。このため個別PCの処理結果は信頼性が低いことを前提とし、PC提供者の状態に応じて冗長性を持たせる必要がある。たとえば同一処理を複数台のPCに依頼し、結果が一致したデータのみを有効とし、そうでないデータは再度、処理を行うなどの工夫が求められる。

図表4 PCグリッド・コンピューティングの構成例



参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターで作成

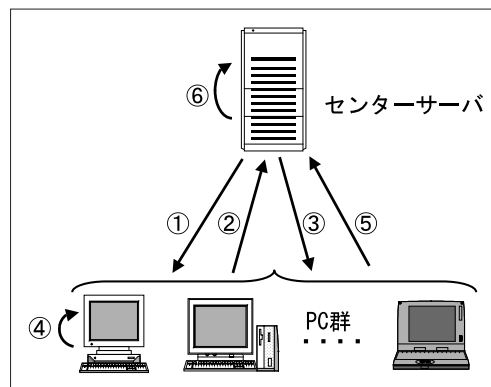
4 - 3

実現上の技術的ポイント

(1)セキュリティの確保

PCグリッド・コンピューティングにおけるセキュリティは、PC提供者側とグリッド上で高速演算処理を行う利用者側の両面を考えねばならない。まずPC提供者側リスクとして、ウィルスの侵入や個人情報の漏洩などが想定されるが、接続先(図表5のセンターサーバ)が信頼でき、かつネットワーク上のデータをすべて暗号化していればリスクは大幅に軽減される。むしろコンピュータの常時接続による不正アクセス機会の増加が懸念されるが、これはPC

図表5 PCグリッド・コンピューティングの動作例



参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターで作成

5 構築形態の分類

5 - 1

オープンタイプ

現在、最も一般的に行われている PC グリッド・コンピューティングがオープンタイプである。インターネット接続を前提とし、多くは組織などによる束縛を受けずに、個人が所有する PC の遊休 CPU 能力の提供を受けて構築するもので、極めて広範囲から膨大な数の PC が参加する場合がある。基本的に参加への強制はできないため、いかに効果的な参加インセンティブを与えるかが鍵になる。たとえば参加 PC ごとにモノや金銭を渡すのは、送付コストがネックとなり現実的でないため、ネットワークで送れる電子マネーや何らかのポイント、あるいは抽選などにより、送付コストを減らす工夫が取られている。

一方で、このような経済的対価に代わり、社会的な福祉への寄与、真理の探求、人類の進歩への貢献などによって、参加者のボランティア意識に訴えるものもある。その場合、参加者は PC 余剰能力を自主的、かつ無報酬かそれに近い形で提供するため、ボランテ

ィア・コンピューティングと呼ばれることがある。このタイプで最も著名なものとして、カリフォルニア大学バークレー校が運営する SETI@home⁹⁾ がある。これは電波望遠鏡で集められたデータを基に、地球外知的生命体の探査を行なうプロジェクトで、世界中から 500 万台以上の PC がボランティアで結集している。その結果、現時点で最高性能のスーパーコンピュータである IBM 社のブルーゲン L (約 140¹⁰⁾ TFlops^②) に迫る 100TFlops の計算能力を発揮できると言われている¹¹⁾。この他にも図表 6 に実施例を示すようなガンの治療薬探索など、社会性の高いテーマを中心に多数のプロジェクトが実施されている。

5 - 2

クローズドタイプ

企業などの組織が保有する PC 群を活用して PC グリッド・コンピューティングを構築するのがク

ローズドタイプで、保有している資源の有効活用を図りつつ低コストで高い計算力が実現できる。このタイプの特徴として、組織として意思決定すれば参加に対するインセンティブを考慮する必要がない、比較的容易に各 PC の状態把握や管理ができる、参加者が明らかなのでセキュリティ上のリスクを抑えられる、などが挙げられる。同一建物内にある PC 群によって構築する場合には、LAN で結ばれている PC 群を簡易にグリッド化するソフトウェア・パッケージも商品化されている¹³⁾。

5 - 3

セミオープンタイプ

ゆるい枠組みの中に多数の PC を持つ組織が複数ある場合に、組織を越えてネットワークを組むことにより、その枠組み全体として高性能な計算パワーを実現することが考えられる。これがセミオープンタイプで、たとえば公的機関

■用語説明■

② Flops (Floating point number Operations Per Second)

コンピュータの性能をあらわす単位の 1 つで、1 秒間に行える浮動小数点数演算 (実数計算) の回数を示す。

図表 6 オープンタイプの PC グリッド・コンピューティングの実施例

プロジェクト	研究基盤	目標
SETI@home	カリフォルニア大学バークレー校	地球外知的生命体の発見
Folding@home	スタンフォード大学	たんぱく質の折りたたみメカニズム解明
ClimatePrediction.net	オックスフォード大学	気候変動モデルのテスト
LHC@home	CERN (欧州合同原子核研究機構)	加速器内の粒子運動モデル化
Cancer Research Project	NCI (米国国立癌研究所) オックスフォード大学	抗がん剤候補の探索
Lifemapper	カンサス大学	生物種の世界分布地図作成
cell computing	(株) NIT データ 東亜合成(株)	ヒトゲノム染色体間の法則性解明

参考文献¹³⁾ を基に科学技術動向研究センターで作成

(自治体、学校など)や地元企業などが連携して地域に計算資源を提供することにより、スーパーコンピュータを使いたくても費用負担能力が乏しいような地元中小企業に低廉に計算資源を提供できるようになる。もちろん大手企業であっても、高価なスーパーコンピュータは必ずしも手軽に利用できるものではなく、この恩恵を蒙ることができる。あるいは地方の大学や研究機関でも、同様な恩恵を得ることができる。現在、地域情報化としてさまざまな取り組みが行われているが、地域にあるPC

を利用するPCグリッド・コンピューティングはそれを発展させるものでもあり、いわば「地域の、地域による、地域のための計算資源の供給」といえよう。

このタイプの実証例として、岐阜県で2005年2月に岐阜工業高等専門学校が中心となり、県下の大学や高校、教育委員会、地元研究機関などから1,000台以上のPCが参加した地域グリッド・コンピューティングの実証実験がある。実験では、岐阜県内市町村80箇所を対象とした巡回セールスマン問題を並列遺伝的アルゴリズムで

解く例題を扱った。参加機関からは、豊富な計算資源を手軽に得られるようになれば、膨大な演算を伴うシミュレーションなど従来は不可能であった研究にも着手できるようになるといった、さまざまな期待が寄せられている。しかしその一方で、組織の個別目的で導入したPCを組織を超えて使うことが制度的に認められるかという点や、各組織間のセキュリティポリシーの差異をいかに吸収するかなど、検討すべき社会的課題が大きいことも明らかにされている¹⁴⁾。

6 今後の取組み

現状のPCグリッド・コンピューティングはオープンタイプがほとんどで、クローズドタイプやセミオープンタイプは始まったばかりである。このうちオープンタイプとクローズドタイプは、個人や組織の判断で実施できるため、行政レベルで関与すべきことはほとんどないと思われる。これに対しセミオープンタイプを地域で構築することは、新たに公共の計算資源インフラを持つと同様な効果が期待できると考えられる。これはあたかも水道や電気が公共サービスとして提供され、これらが必要とする者は個々に浄水場や発電機を用意しなくても、応分の負担さえすれば潤沢に利用できるようになってきている状態に類似している。計算資源の利用者は水道や電気ほど一般的ではないものの、地域が持つ資源を共通にプールし、必要な時に必要なだけ利用できるようにすることは、地域で活動する者に対してさまざまな効用をもたらす。そのため今後、地域活性化を目指す自治体などは、公共インフラの1つとしてPCグリッド・コンピューティングの持つ可能性

に着目する必要があるだろう。しかし現状では、セミオープンタイプについての具体的な構築法や効果的な活用法が十分に確立されているとは言い難い。そこで、まずPCグリッド・コンピューティングの持つ潜在的可能性を探るために、様々な観点からフィージビリティスタディを積み上げることが必要であり、たとえば次のような取り組みが考えられる。

セミオープンタイプ構築に関する一提案

●学校の保有するPCの活用

最近では初等中等教育でもPCを扱うようになっており、地域の学校には多数のPCがある。たとえば小学校～高等学校には全国で約150万台のPCがあり¹⁵⁾、平均すると1都道府県あたり約3万台になる。これらでPCグリッドを構築した場合の計算能力をコンピュータ性能指標の1つであるFlops値で推定すると、2000年以降に作られた一般的なPCは1GFlopsの性能があるといわれるが¹¹⁾、そ

れ以前のPCもあるため平均性能を1/10に見込むと理想的状態では100MFlops/台×3万台=3TFlopsになる。これはスーパーコンピュータの下限目安である500GFlopsを優に超えており、スーパーコンピュータに十分、匹敵するCPUパワーが得られることになる。

しかしこのような効果が期待できる一方で、現状、学校にあるPCのほとんどは児童・生徒の学習用であるため、責任者はPCを本来の目的以外に使用することの是非や、学校外となる地域のPCグリッド・コンピューティングにどの程度参加してよいか判断しかねると考えられる。そこで各学校を所管する機関が、PCグリッド推進に向けた方針を提示してはどうか。もちろんその前提として、光熱費など運用コストの増加に対処することや、学校のPCがネットワークに常時接続されること、それに対するセキュリティ確保の仕組みが整備されることなどは言うまでもない。

構築された PCグリッドの活用提案

(1)地域における

バーチャル教材の開発

学校などの教育機関が中心になって構築されたPCグリッドは、地域におけるバーチャル教材の開発に使うことが考えられる。たとえば危険を伴う実験や、力学における運動や材料の内部変化など通常は目視できないことを可視化することが可能になる。また、実際には不可能な地域社会に関する社会実験などを計算機によってシミュレーションし、アニメーションによって表現するなど

の方法で有効な教材を開発できると考えられる。

(2)地域のコンテンツビジネス振興策

これからの我が国の進むべき方向として知的財産立国が示されており、政府の知的財産戦略本部の「コンテンツビジネス振興政策」¹⁶⁾や、経団連の「知的財産推進計画2005」¹⁷⁾などでも、その具体的推進が図られている。コンテンツの中で、今後、重要性を増す知的財産の1つとして高度・高品質なデジタルコンテンツがあり、その充実には人材開発の強化や流通の促進などと共に、開発環境の整備があげられている。世界的に評価の高い我が国のアニメ作品であるが、フルCGアニメの増

加やテレビのハイビジョン化が進むと、その処理にはコンピュータパワーがますます必要となる。しかし我が国の映画産業の産業基盤は磐石とはいえ、特にアニメ業界は資金力が乏しいため高性能コンピュータを十分に使うことができない。そのため低廉で豊富なコンピュータパワーの供給が求められるが、PCグリッド・コンピューティングはそれに応え得る可能性を秘めている。しかも産業の極端な一極集中を避けバランスのとれた地域活性化を進めるには、これに対する開発環境の整備は地域分散にすべきであり、地域のPCグリッド・コンピューティングはこれらに極めて適していると考えられる。

7 おわりに

社会のデジタル化がさらに進むと、たとえばHDD(Hard Disk Drive)型ビデオレコーダや家庭内の情報流通を一元的に制御するホームサーバなどの情報家電、オンライン型ゲームマシンなど、高性能CPUを搭載し、かつネットワークに接続された機器が社会のいたる所に存在するようになる。これらはいずれも潜在的にCPUパワーの供給源となるもので、PCグリッド・コンピューティングの構成要素が、今後、PC以外にも拡大していくと考えられる。このような社会環境の変化もPCグリッド・コンピューティングを促進する方向に作用するものとして、将来的にはこれらの活用も視野に入れるべきであろう。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、以下の方々に貴重な資料のご提供、ご示唆、ご意見をいただいた。深く感謝申し上げます。岐阜工業高等専門学校 建築学科 柴田良一助教

授、東亜合成株式会社 新事業企画開発部 吉田徹彦主席研究員、株式会社NTT データ ビジネスインキュベーション本部 セルコンピューティングビジネス推進室 鎌水 訟氏副室長。

参考文献

- 1) Michael Miller (2001): Discovering P2P, SYBEX Inc. 『P2P コンピューティング入門』(株)大和総研 情報技術研究所監修、トップスタジオ訳、翔泳社、2002年10月)
- 2) インターネット協会 (監修): 「インターネット白書2004」、インプレス、2004年7月
- 3) 内閣府経済社会総合研究所: 「消費動向調査」、平成17年普及率(3月調査): <http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/menu.html#shohi-z> (2005年7月26日現在)
- 4) 山田 肇: 「技術経営」、NTT出版、2005
- 5) 亘理 誠夫 (2002): 「グリッド技術の動向」、科学技術動向 No.18、

文部科学省科学技術政策研究所、2002年9月

- 6) 独立行政法人 産業技術総合研究所 グリッド研究センター (編): 「グリッド」、丸善、2004
- 7) 鎌水 訟氏 (2003): 「PCグリッドの現在と展望」、情報処理、Vol.44, No.6、情報処理学会
- 8) je2bwm: 「BOINCの概要」: <http://boinc.oocp.org/intro.php> (2005年7月14日現在)
- 9) 2001 SETI@home: <http://setiathome2.ssl.berkeley.edu/> (2005年7月26日現在)
- 10) TOP500 SUPERCOMPUTER SITES: <http://www.top500.org/lists/plists.php?Y=2005&M=06> (2005年8月12日現在)
- 11) 「@homeで科学に貢献」、日経サイエンス 2005年8月号、日経サイエンス社
- 12) “Grassroots Supercomputing”, Science 6MAY 2005 Vol.308, AAAS, U.S.A.
- 13) 大日本商事株式会社: 「AD-POWERs概要」:

- http://www.ad-powers.jp/index_ie.html (2005年7月19日現在)
- 14) 柴田良一、小池啓高：「地域の計算リソースを活用したグリッドシステムの開発 —岐阜グリッドプロジェクトの実証実験報告—」、先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS 2005 論文集 情報処理学会シンポジウムシリーズ、Vol.2005, No.5, 2005年5月18日
- 15) 文部科学省：「学校のコンピュータ整備及びインターネット接続について」：
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/04120301.htm (2005年7月27日現在)
- 16) 知的財産戦略本部：「コンテンツビジネス振興政策（案）—ソフトパワー時代の国家戦略—」：
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/tyousakai/contents/dai5/5siryou5-1.pdf> (2005年7月27日現在)
- 17) 経済団体連合会：「『知的財産推進計画 2005』の策定に向けて」：
<http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2005/013/honbun.html> (2005年7月27日現在)
-

執筆者



客員研究官

刀川 眞

(株)NTT データ

技術開発本部 システム科学研究所

<http://www.nttdata.co.jp/rd/riss/index.html>



情報システムをコンピュータや通信などに限らずに広い観点から捉え、社会との相関について研究。たとえば個人に着目した健康増進活動支援システムなど。

都市における ヒートアイランド現象の緩和対策

山本 桂香
環境・エネルギーユニット

1 はじめに

2004年3月に策定された「ヒートアイランド対策大綱」の中では、ヒートアイランド現象を緩和する対策の一つの柱として、ライフスタイルの改善を図ることが謳われている。その具体的施策として、夏季の軽装推進が挙げられている。例えば環境省では、京都議定書発効を受け、今年（2005年）の6月から職場の冷房を28℃に保つために、冷房使用期間中、ノーネクタイ、ノー上着という軽装を「クールビズ」と称して奨励している。また、恒例になった「打ち水」大作戦が、今年も8月10日に全国で一斉に行われるなど、ヒートアイランド現象を緩和しようとする対策が進められている。このようなライフスタイルの問題とは別の視点として、都市計画そのものに対する議論が必要である。

我が国のヒートアイランドへの取組みを歴史的に見ると、1980年代頃に気象分野や地理分野といった理学分野でヒートアイランドに係わる研究成果が出始めた。1990年代に入るとこの現象は、建築、土木等の工学分野で都市の暑さ対策やエネルギーの問題として捉えられるようになり、都市計

画的視点から様々な検討が始められた¹⁾。これに対して、政策的対応は遅れ気味であったが、ここ数年は急激な進捗が見られる。環境省が2001年8月に「ヒートアイランド現象とは、都市の熱大気汚染現象」という見解を公表したことにより、ヒートアイランド対策は政策的課題として急浮上した。2002年3月には、『規制改革推進3か年計画（改定）』の中で「関係省庁からなる総合対策会議を設置するなど、総合的な推進体制を構築すると共に、ヒートアイランド現象の解消対策に係る大綱の策定について検討し結論を出す」等が閣議決定された。これを受けて、2002年9月にヒートアイランド対策関係府省連絡会議（環境省、国土交通省、経済産業省、内閣官房がメンバー、以下「連絡会議」という）が設置され、2004年3月に「ヒートアイランド対策大綱」が策定された。

また、2002年に策定された『地球温暖化対策推進大綱』の「6%削減約束の達成に向けた地球温暖化対策の推進」の中でも「ヒートアイランド対策を総合的に行うための取組みについて、普及

啓発を図る」という項目が明示されている。

一方、2002年7月に閣議決定された「都市再生基本方針」の中では、都市再生施策の重点分野の具体的施策例として、ヒートアイランド対策が掲げられている。このように、今やヒートアイランド対策は都市再生といった観点からも政策の表舞台に出てきた。

このようにヒートアイランド現象は、理学や工学の研究分野から次第に政策に結び付いてきた経緯がある。省庁を横断する連絡会議が設置されたように、ヒートアイランド対策は、1つの省庁では解決がつかない問題である。また、気象学、地理学、建築学、土木工学など様々な分野に亘る研究課題となっており、数多くの研究分野が関与している。それぞれの分野において現象の解明、対策技術の開発や施策への展開など多岐に亘って進められている。従って、これらの研究分野の幅広い知見を集結し、総合的な政策に係わる研究を行うことが急務である。

本稿は、特に都市計画的観点から、ヒートアイランド現象の今後の緩和策を探っていく。

2 ヒートアイランド現象

都市化とは、人口の集中、地表の人工物化、生活空間の地上・地下への拡大と言える。この都市化によって、放射収支、熱収支、水収支が改変され、都市特有の気候が出現することになる²⁾。

ヒートアイランドは、都市部の気温が周辺郊外よりも高温化する現象で、言わば都市とその周辺との気温の格差を示すものである。1830年代にロンドンなどヨーロッパで観測され、その後シカゴやニューヨークといった北米でも顕著となり、今やアジアの諸都市でも問題になりつつあるなど、ヒートアイランドそのものは、都市がある限り出現すると言っても過言ではない。現象そのものを解消することは困難であるが、問題はいかに緩和していくかである。ヒートアイランド現象は、気温上昇の要因となる地表面の被覆と人工排熱、地形や気象条件等の都市特有の構造等が相互に影響し、その発生メカニズムが複雑で未解明な部分が多い。従って、省エネルギー技術の採用や緑化による緑の確保等³⁾の個別の対策を実施してい

る段階にあるというのが現状である。

このような状況を踏まえ、今後、ヒートアイランド対策が効果的に実施できるよう、先ずは科学的裏付けとなる現象の解明や対策の効果といった定量的評価手法等の開発が急務である。

2 - 1

ヒートアイランド現象の現状と原因

(1) ヒートアイランド現象の現状

① 平均気温の長期的な上昇傾向

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）^①による第3次報告書では、地球の平均気温は20世紀の100年間に約0.6℃上昇したことが指摘されている。一方、日本の大都市として代表的な6都市

（札幌、仙台、東京、名古屋、京都、福岡）においては、平均気温が2～3℃上昇しており、地球の温暖化の傾向に比べて、日本の大都市のヒートアイランド現象の進行傾向は顕著である。

② 昼間における高温化と熱帯夜の状況

高温化の傾向として、大都市部を中心として、気温が30℃を超える状況の長時間化と範囲の拡大（表紙カラー図一段目、二段目、図表1参照）、熱帯夜の出現日数の増加が見られる。

(2) ヒートアイランド現象の原因

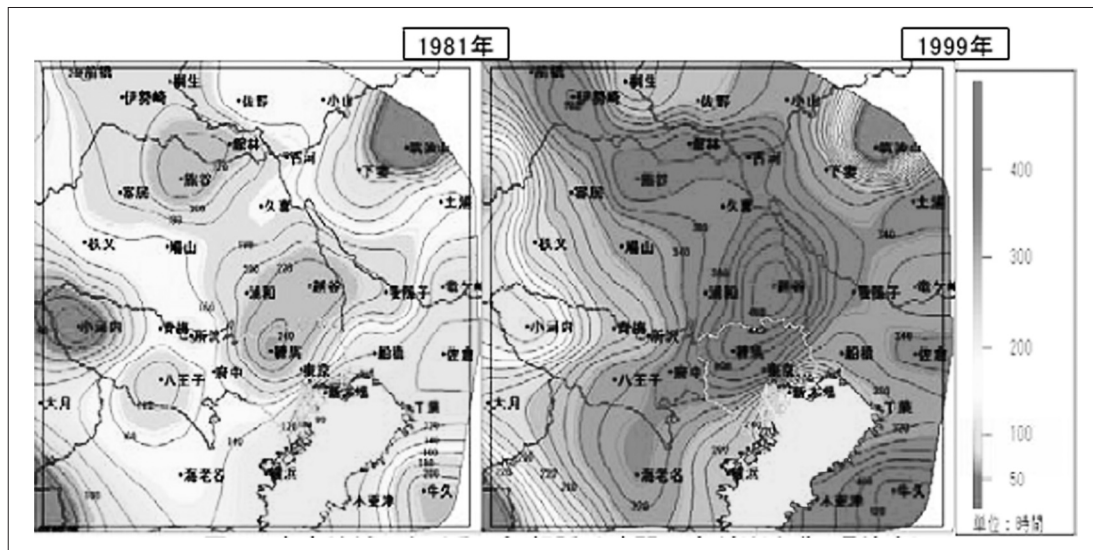
都市の気温を上昇させる要因として、以下の4項目が考えられている⁵⁾（図表2参照）。

用語説明

① IPCC（気候変動に関する政府間パネル）

世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）が共同で、気候変化に関する最新の科学的知見をまとめ、地球温暖化防止施策に科学的な基礎を与えることを目的として設立された国連の機関。

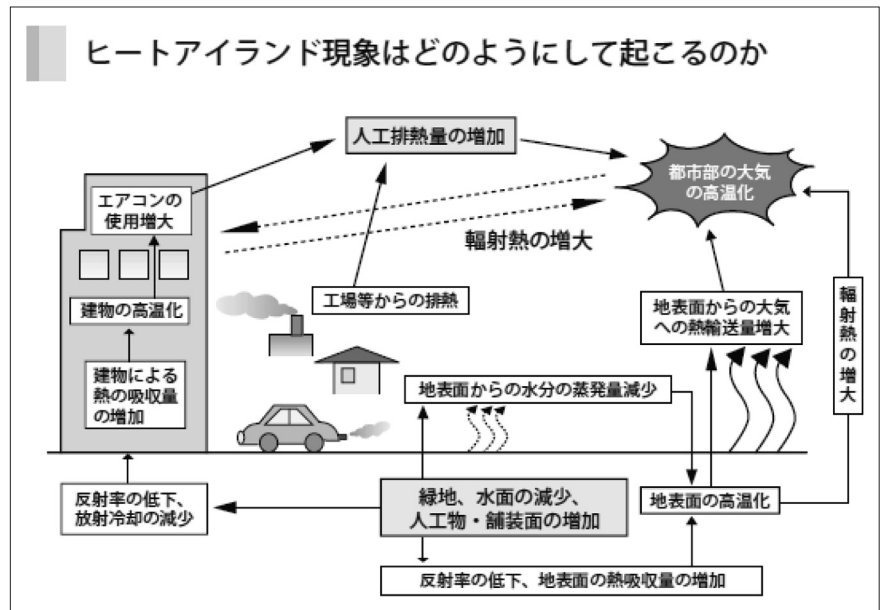
図表1 東京地域の30℃を超えた延べ時間数の分布⁴⁾（表紙カラー図参照）



1981年と1999年の7月から9月の各地点のアメダスデータから30℃を超えた延べ時間数を集計し、分布を等時間線で示したものである。

- ①人工排熱の増大
 - 都市域でのエネルギー消費に伴う排熱
- ②地表面被覆の変化
 - 緑地の減少に伴う地表の蒸発散能力の低下
 - コンクリート、アスファルト等の建材の蓄熱作用
- ③都市の構造
 - 建築物の密集等による熱のよどみ
 - 市街地の外延的拡大
- ④その他
 - 都市大気中の細かい塵や大気汚染物質による温室効果、等

図表2 ヒートアイランド現象の原因⁶⁾



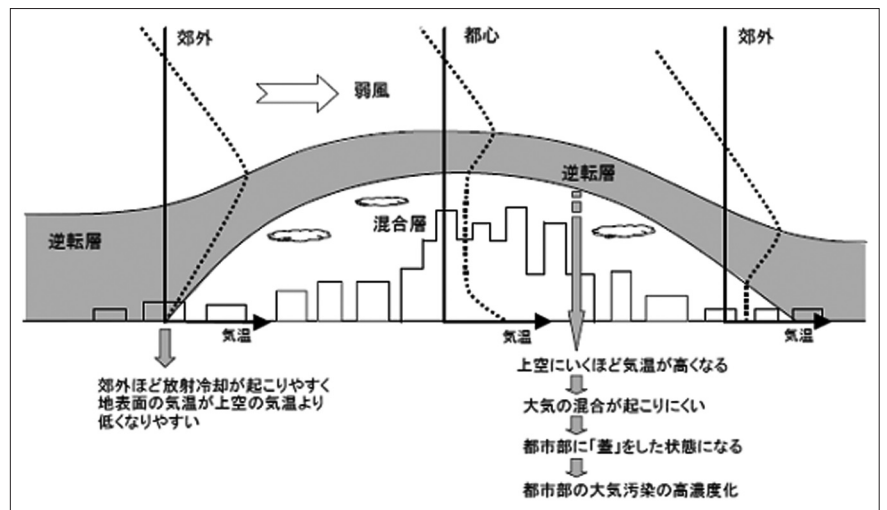
2 - 2

ヒートアイランド現象の影響

図表3 冬季において逆転層が形成されたときの都市の内外における大気の模式図⁴⁾

(1)夏季における影響

昼間の高温化や熱帯夜の出現日数の増加に伴い不快さが増大している。高温化により冷房需要が増加し、それに伴い、エネルギー消費量が増加している。さらに、光化学オキシダント生成の助長や局地的集中豪雨との関連性も指摘されている。



(2)冬季における影響

冬季の弱風晴天時の夜間には、放射冷却²⁾によって逆転層³⁾が形成される。都市域の高温化により発生する上昇気流が、その逆転層に遮られて生じる混合層(ダスト・ドーム)⁴⁾を形成し、大気汚染を助長することが指摘されている(図表3参照)。

用語説明

②放射冷却

大気や地表面が赤外線放射の放出によって冷却する現象。

③逆転層

通常、気温は高度と共に低温になるが、逆に、高度と共に上昇している気層の状態。

④ダスト・ドーム

大気汚染物質が地表付近にドーム状に閉じこめられ停滞する現象。

(3)その他

地表面の改変に伴う蒸発量の減少により都市の乾燥化も指摘されている。

3 ヒートアイランド対策

3-1

ヒートアイランド施策の現状

2000年以降、地方自治体におけるヒートアイランド対策の体系化の動きが顕著となった。制度の事例としては、緑化を義務づけ普及推進を図る制度、緑化にかかる費用を軽減し普及推進を図る制度、屋上緑化で建築容積率を割増する制度など、全体的に緑化を中心とした施策が多い。

国レベルでは、2002年3月の「規制改革推進3か年計画(改定)」の中で、ヒートアイランド対策が閣議決定し、2002年9月に前述の関係省庁からなる連絡会議が設置され、2004年3月に「ヒートアイランド対策大綱」が定められた。

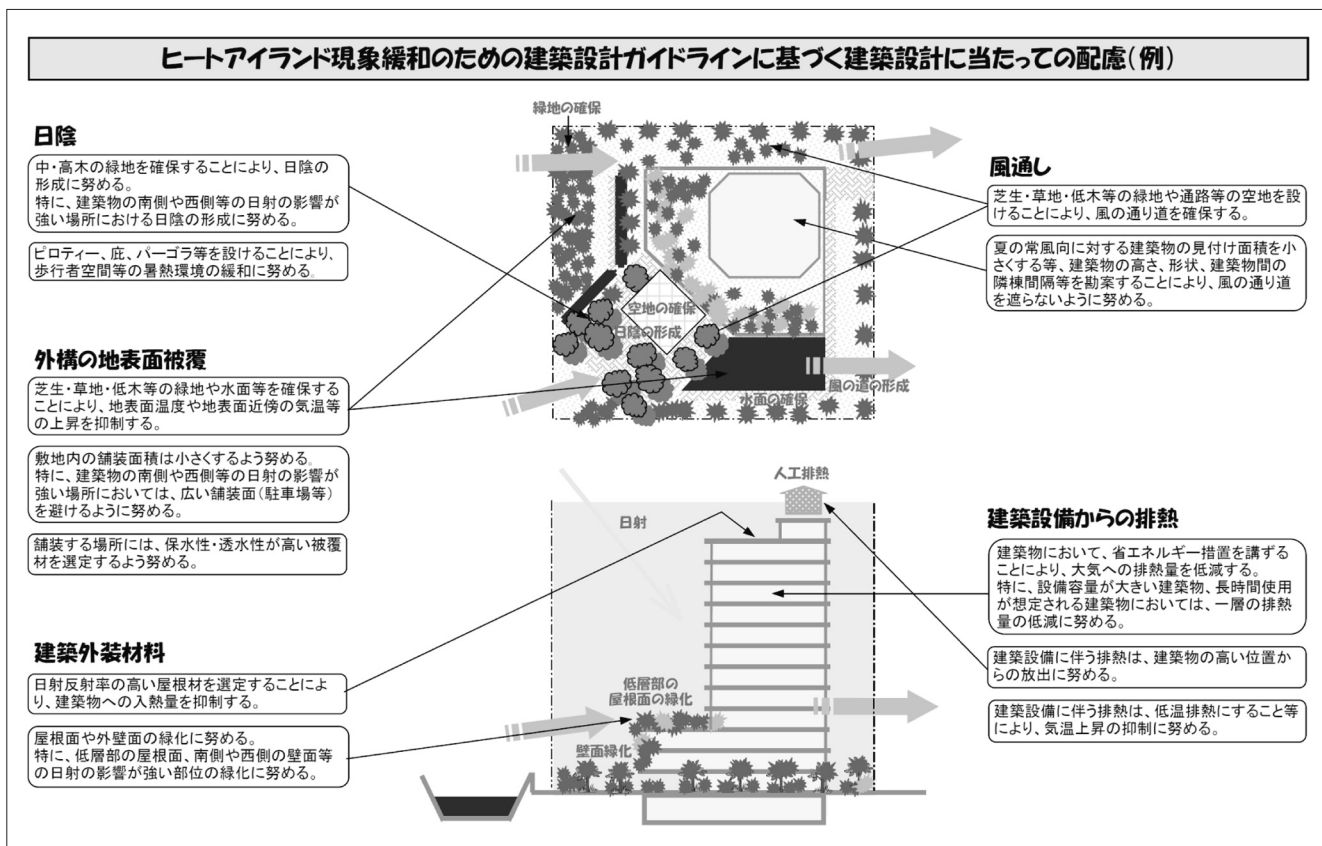
2004年7月に国土交通省は、上記「ヒートアイランド対策大綱」に基づき、建築物の建築主等がヒートアイランド現象緩和のための自主的な取組を行うための設計ガイドラインとして、「ヒートアイランド現象緩和のための建築設計ガイドライン」を策定した(図表4参照)。さらに、2005年7月には、この設計ガイドラインを受けて、建築物におけるヒートアイランド現象緩和方策の効果を具体的に評価するツールとして、ヒートアイランド現象緩和のための建築物総合環境性能評価システム(CASBEE-HI)が完成した。このCASBEE-HIは、建築敷地内の歩行者空間等の温熱環境を良好な状態に保つと共に、敷地外への気温上昇等に係る熱的影響を低減することを、ヒートアイランド現象緩

和のための環境性能として一体的に評価し、その評価結果を5段階のランキングで表示するものである。

一方、2004年12月に内閣総理大臣を本部長とする内閣官房都市再生本部において、都市再生プロジェクト(第八次決定)「都市再生事業を通じた地球温暖化対策・ヒートアイランド対策の展開」が決定された。2005年4月にはこの決定を踏まえ、「地球温暖化対策・ヒートアイランド対策モデル地域」が選定された(後述)。

さらに、2005年2月に京都議定書が発効されたことを受けて、2005年4月に策定された『京都議定書目標達成計画』の中の「目標達成のための対策と施策」においても、「緑化等ヒートアイランド対策による熱環境改善を通じた省CO₂化」という項目が明示されている。

図表4 建築物の設計に当たって配慮すべき事項⁷⁾



3 - 2

主なヒートアイランド対策

「ヒートアイランド対策大綱」の中で取り上げられている対策は、①（都市活動に伴う）人工排熱の低減、②（都市の人工的な）地表面被覆の改善、③（建物配置など）都市形態の改善、④ライフスタイルの改善を4本柱として体系化されている。特に、社会・経済活動に密接に関連する緩和策として加えられたライフスタイルの改善として、夏季の軽装推進、自動車のアイドリングストップの推進等が挙げられている。

都市における夏季の暑熱現象は、都市が立地する自然条件など地域性が強く、対策は主として地方自治体が担うものとされている。対策は対象規模や時間スケー

ル（効果が現れるまでの期間）など様々なものがあり、その主体も、国、都道府県、市町村、事業主、個人など様々である⁸⁾。また、対策手法には、都市全体に亘る長期的なものと比較的短期に実施可能なもの、対策効果としては、地表面被覆の改善は熱帯夜（蓄熱）の抑制、排熱削減は昼間の最高気温の抑制などが考えられる。政府が枠組を作った対策を基に、地域性を鑑みて各地域にあった対策のあり方が必要となってくる。図表6はこれらの対策メニューを整理したものである。

顕著な効果が認められる対策としては、建物緑化（屋上・壁面）、保水性建材の適用、壁面の淡色化、高反射率の屋根材、建物排熱の地域レベルでの集中管理、公園緑地等の保全・整備、大規模な公園緑地の配置や業務施設の（卓越風な

などを考慮した）再配置など、が挙げられる。

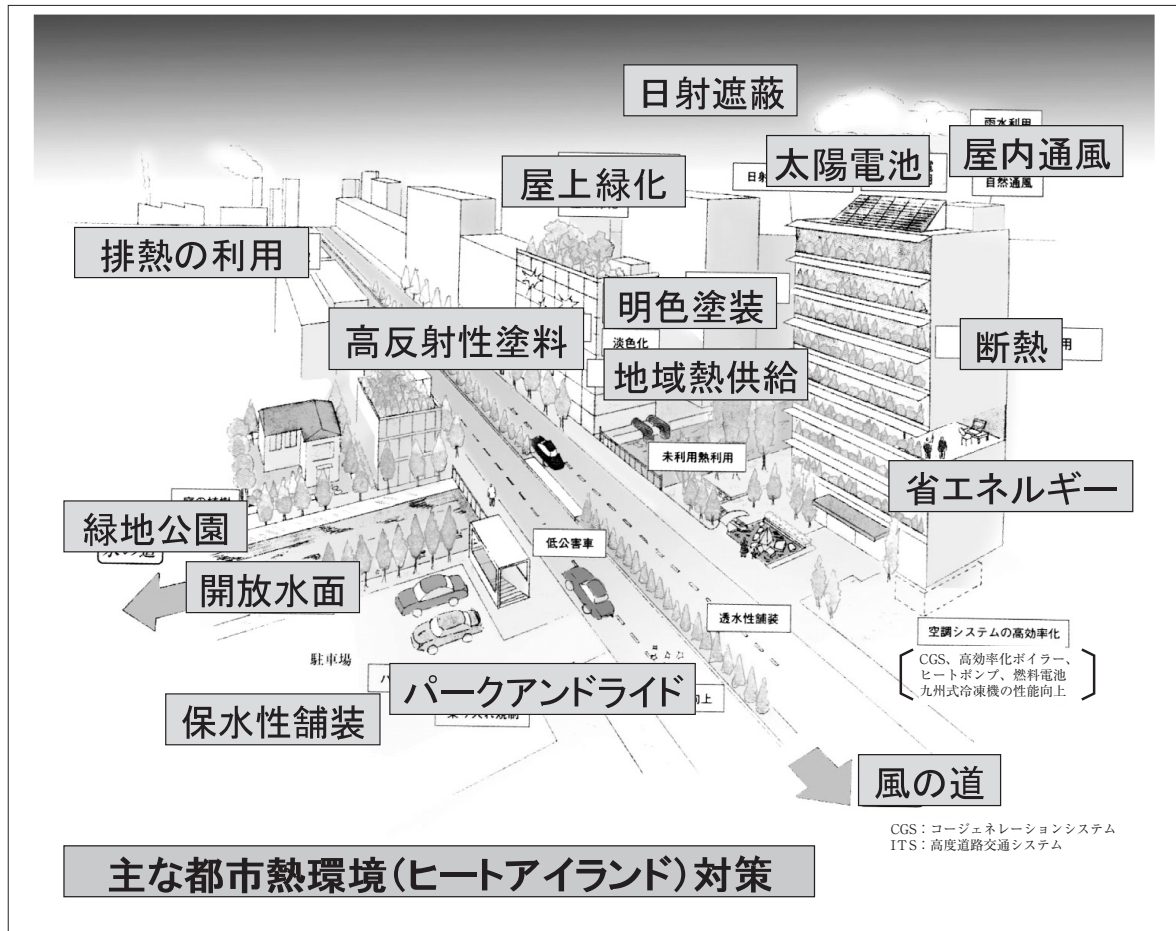
また、これらの対策は、(1)人工排熱の低減、(2)人工被覆物の改善、(3)都市形態の改善、と対象の規模が次第に拡大していき、期間も長くなっていく。対策効果も大きくなる一方で、主体も個人レベルから行政主体へと大掛かりになっていき、当然のことながらコストも増大することになる。このように、都市のヒートアイランド現象緩和対策は、都市計画的な手法での対応が必要となってくる。

3 - 3

「風の道」活用の可能性

注目されている対策技術の代表的なものとして、「風の道」をデザインするという考え方を以下に示す。

図表5 ヒートアイランド対策



参考文献⁶⁾を基に独立行政法人 国立環境研究所 一ノ瀬俊明氏作成

図表6 ヒートアイランド対策メニューの分類例⁴⁾

対策メニュー	対象規模	期間	効果の特性		主体
			熱帯夜	昼間の高温化	
(1)人工排熱の低減(削減と代替)					
①エネルギー消費機器の高効率化					
OA機器、民生用家電機器の効率向上	個別	短期	B	B	個人、事業所、自治体
②冷暖房・空調システムの高効率化					
高効率な冷凍機、熱源機器の導入	建物	短期	B	B	個人、事業所、自治体
③空調システムの適正な運転等					
室外機の適正配置	建物	短期	B	B	個人、事業所、自治体
冷却塔の使用	建物	中短期	—	A	個人、事業所、自治体
夜間システム運転の自粛	建物	短期	A	—	個人、事業所、自治体
④建物の断熱、遮熱機能の向上					
高断熱建材の適用(内断熱)	建物	中短期	C	C	個人、事業所、自治体
高断熱・遮熱建材の使用(外断熱)	建物	中短期	A	D	個人、事業所、自治体
⑤建物緑化、保水性建材の適用					
建物緑化、保水性建材の適用(外断熱)	建物	中短期	A	A	個人、事業所、自治体
⑥壁面、屋根の反射率改善					
壁面の淡色化、高反射率の屋根材	建物	短期	A	A	個人、事業所、自治体
⑦交通対策の導入					
交通需要マネジメントや低公害車の導入	都市	中長期	B	C	個人、事業所、自治体
自転車など代替手段の活用	区	中短期	B	C	個人、事業所、自治体
⑧地域冷暖房の導入					
建物排熱の地域レベルでの集中管理	街区	中期	A	A	事業所、自治体
⑨未利用エネルギーの利用					
海水、河川水、地下水の利用	区	中長期	B	B	事業所、自治体
都市施設排熱の利用					
工場、地下鉄、ビル、発電所、変電所等の排熱利用	街区	中期	B	B	事業所、自治体
廃棄物からのエネルギー回収					
廃棄物発電・熱供給	区	中期	B	B	自治体
⑩自然エネルギーの利用					
太陽光発電	建物～都市	短～長期	B	B	個人、事業所、自治体
太陽熱利用	建物～都市	短～長期	B	B	個人、事業所、自治体
(2)人工被覆物の改善(顕熱輸送の削減と潜熱輸送の拡大)					
①舗装材の反射率・保水性の改善					
舗装材の色選択や透水性舗装の採用	都市	短期	B	B	自治体
②緑の確保					
公園緑地等の保全・整備	区～都市	中長期	A	A	事業所、自治体
街路空間の緑化	区～都市	中期	B	B	自治体
住宅の緑化	個別	短期	B	B	個人、事業所、自治体
③建物緑化、保水性建材の適用(顕熱の削減)					
建物緑化、保水性建材の適用	建物	中短期	A	A	個人、事業所、自治体
④開水面の確保					
小河川の開渠化や公園における水面の設置	区～都市	中長期	B	A	自治体
(3)都市形態の改善(移流の改善および総合)					
①建物配置等の改善					
ビルや道路の配置改善、風の道・水の道の積極的利用	街区～都市	中長期	B	B	自治体
②土地利用の改善					
大規模な公園緑地の配置、業務施設の再配置など	都市	長期	A	A	自治体
③エコエネルギー都市の実現					
エネルギーのカスケード利用・産民のエネルギー利用の有機結合	区～都市	中長期	B	B	自治体
④循環型都市の形成					
エネルギーや資源の有効利用、リサイクルを考慮した環境共生都市	区～都市	長期	B	B	自治体

《効果の特性》A：効果大 B：効果中 C：効果小 D：逆効果

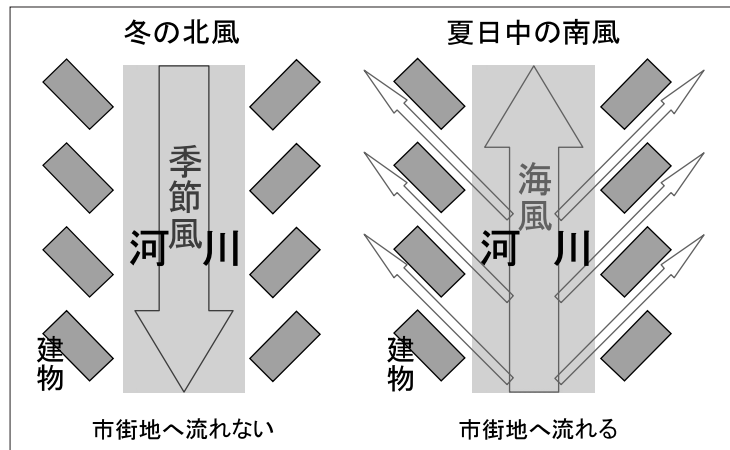
図表7 河川沿いの「風の道」のイメージ

(1)河川を活用した「風の道」の確保

「風の道」の源となる風は、主に海陸風系、山谷風系などの局地循環風によるものである。「風の道」は次のような機能を持っている。①日中、海風のような気温の低い空気を積極的に都市内部に導き、都市気温の上昇を緩和する。②夜間、都市部に隣接した斜面や谷間から吹き降りる冷気流を都市内部に導き蓄熱した都市部の空気を冷却する。③海風や冷気流は一般には汚れの少ない空気であり、ヒートアイランド対策と同時に大気汚染対策にもなる⁹⁾。

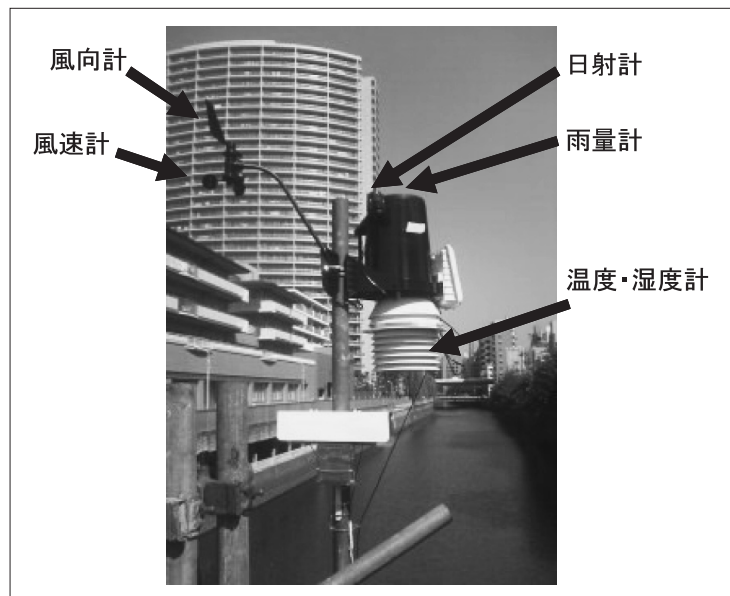
特に河川は、このような海風の進入経路として有益と考えられている。河川が「風の道」となるという知見を都市のデザインに活かす方法としては、河川周辺の建物配列を変化させた際の河川影響（棟間における水蒸気圧と相対湿度の変化）の広がり方の違いを風洞実験で調べた事例がある⁸⁾。

建物が河川と平行な場合には、河川上に沿って流れる空気は建物で遮断されて市街地内に広がる事ができないのに対し、建物が河川と直交している場合には、河川上の空気が効果的に市街地内に進入する。さらに、建物方位を45度としV字型に配列した場合には、河川に平行な風の向きによって、まったく正反対の作用をもたらすことになる（図表7参照）。風向に対して末広がりの場合には効果的に広がり、反対の風向ではほとんど市街地へ進入しない。このような建物配列は、夏季日中の南よりの冷たい海風を積極的に市街地内に導き、逆に、冬季の北よりの季節風の進入を極力抑えるという、季節別の使い分けを可能とする実験結果がある。後述する東京都品川区では、この考え方の事業化が実際に進められている。



参考文献⁸⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表8 目黒川の気象観測装置 (2005年7月28日14時24分筆者撮影)



写真奥が東京湾につながる。風向計が東京湾側を示している

東京、名古屋、大阪のような海に面した大都市では、夏季の日中に海陸の温度差によって海から陸に向かう海風が吹くことが多い。今後、日本の多くの都市の計画では、海に面した大都市を中心として、海風が市街地に流入する経路を塞がないように、河川に沿う風の流れ（風の道）を有効利用することが、都市のヒートアイランド緩和対策として重要となってくるであろう。

(2)東京臨海部における「風の道」の探索

前述したように、大都市が海に面している日本では、都市上空の海風が都市を通り抜けること

で真夏の温度上昇の緩和につながると考えられている。これまで風の流れや効果を数値で予測する手法はなく、都市計画で風は配慮されなかった。そのため国土交通省は、国土技術政策総合研究所が中心となって、2005年7月下旬から2週間かけて、ヒートアイランド現象を緩和する働きのある「風の道」の大規模な実測調査を実施した。この調査は、2004年度から3ヶ年計画で取組まれている国土交通省総合技術開発プロジェクトの「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」（座長・尾島俊雄 早稲田大学理工学部教授）の一環である。東京駅周辺や汐留・新橋地区（港区）、品川地区、目黒川・

大崎地区（品川区）の4エリアの計約200地点で、風向や風速、温度、湿度等を測定し、高度による風向や温度の変化も調べた（図表8参照）。これらのデータをスーパーコンピュータでの計算予測と比較しながら、高層ビルや街路、公園、川などが風の流れや気温にどのような影響を与えているか現

在分析中である。この中で特に、「東京ウォール」^⑤の存在が指摘されている汐留地区の超高層ビル群による熱的影響範囲の検証は、ポイントの一つとなっている。調査結果は、今後の緑化や都市整備などのヒートアイランド対策に活用されていく予定である。

■用語説明■

⑤東京ウォール

東京湾沿岸に壁のように林立する高層ビル群が海風を妨げ、ヒートアイランド現象を加速させると言われている。

4 都市計画という観点からのヒートアイランド対策

ヒートアイランド対策に関しては、これまでも様々な知見の集積や技術開発がなされ、屋上緑化や壁面緑化をはじめ、保水性舗装や遮断性舗装といった環境舗装など多くのソリューションが開発されている。しかし、個別に屋上緑化や壁面緑化を行い、また、ある区間だけ環境舗装し、さらに、「打ち水」で一時的に気温が下がったとしても、散発的な取り組みでは抜本的なヒートアイランド対策にはならない。十分な効果を得るためには、ある地域全体で一斉にヒートアイランド対策を実行する必要がある。しかし、再開発、都市再生に関しては、社会的にも制度的にも合意形成過程が複雑である。以下に取り上げるモデル地域を指定したプロジェクトでの取り組みは、その意味で注目すべきものである。

4 - 1

地球温暖化対策・ヒートアイランド対策モデル地域

政府は、2005年4月に、ヒートアイランドの改善につながる環境・エネルギー対策を盛り込んだまちづくりを集中的に実施するモデル地域として、以下の10都市・13地域を指定した。

この「地球温暖化対策・ヒート

アイランド対策モデル地域」（以下「モデル地域」という）は以下の趣旨で選定された。

- ①都市再生を進めていく中で、環境・エネルギー対策を組み込み、全国のモデルとなる先導的な取り組みを実施する地域として、都市再生緊急整備地域その他都市活動の集積している地域等を選定する。
- ②まちづくり施策と併せて、地球温暖化・ヒートアイランドの改善に資する環境・エネルギー対策等を、時間と場所を限り一体的・集中的に投入することで最大の効果を図ることを目的として、経済活力と良好な環境を併せ持つ都市の再生を目指し、京都議定書の目標達成にも貢献する。
- ③「モデル地域」で実施される先導的な取り組みについては、今後、各府省、関係地方公共団体、民間の施策を重点的に投入することでその集中度を一層高め、着実な推進が図られるよう努める。

選定の考え方としては、都市活動の集積している地域等で、まちづくり施策と地球温暖化対策・ヒートアイランド対策が併せて実施される地域のうち、①国、地方公共団体、民間の共同化・連携等により、一体的・集中的な取組がある地域、②未利用ストックや資源

の活用、高度な技術・ノウハウ等の活用など創意工夫を活かした先導的な取組のある地域、③取組の結果、効果的な環境負荷軽減が見込まれる地域、のいずれにも該当するものとしている。

以下、選定されたモデル地域の中で、東京都の取組みと、中でも大崎・目黒周辺地域の具体的な取組みを事例として取り上げる（図表9参照）。

4 - 2

東京都におけるヒートアイランド対策の推進

東京都では、2005年4月に、23区内におけるヒートアイランド現象の発生要因とされる人工排熱や地表面被覆の状況等が、大気と与える影響（熱負荷）を示した「熱環境マップ」（表紙カラー図三段目参照）を作成し、各地域特性に沿ったヒートアイランド対策に取り組んでいる。この熱環境マップは、区部における人工排熱や地表面被覆等の状況について、熱環境上の特徴から5つに類型化し、500mメッシュでプロットしたものである。特に、相対的に大気への熱負荷の大きい、類型Ⅰ（業務集積地域）及び類型Ⅱ（住宅密集地域）については、熱負荷の大きさに応じて色分けしている。このマップに基づいて、「ヒートアイランド対策推進エリア」（以下「推進エ

リア」という)として区部4ヶ所を設定している(図表10,11参照)。

具体的なエリア設定の考え方としては、①熱環境マップに基づき、大気へ与える影響(熱負荷)の大きい地域(業務集積地域及び住宅

密集地域)、②環境に配慮した民間開発を誘導できる都市再生緊急整備地域、③将来広範囲に開発が見込まれ、予めヒートアイランド対策を取込みながら、都市開発を計画的に誘導すべき地域、を設定

したとしている。この推進エリアでは、都市再生の一環として、民間再開発等における対策の誘導と共に、保水性舗装、壁面緑化、校庭芝生化等を重点的に実施していくこととしている。

図表9 地球温暖化対策・ヒートアイランド対策モデル地域¹⁰⁾

都道府県	モデル地域	主な取組の概要
北海道	札幌市都心地域	札幌駅前通の地下道整備や工場跡地再開発に併せ、雪冷熱エネルギー、バイオマスエネルギー、天然ガスコージェネを活用したエネルギーネットワークを構築。
	室蘭市臨海地域	土地区画整理事業区域を含む臨海地区に風力発電施設を設置。新規造成団地において新築住宅等に太陽光発電を集中的に導入。
東京都	都心地域	下水等未利用エネルギーを活用した都市廃熱供給処理システム導入、屋上等緑化、保水性舗装と散水等官民を挙げた地球温暖化、ヒートアイランド対策を実施。
	新宿地域	再開発事業等への環境配慮を内在化(建物の断熱性能の向上、屋上等緑化等)。新宿御苑を核とした地域の熱環境改善構想を作成。
	大崎・目黒周辺地域	目黒川を軸とした風の道の確保、保水性舗装やまとまった緑の確保等を盛り込んだ環境配慮ガイドラインの策定と地域を挙げた取組を実施。
	品川駅周辺地域	都市・居住環境整備重点地域である品川駅周辺の今後の開発に際し、風の道を含む新たな環境共生モデルを検討。大規模集合住宅等の建設に併せた建築物の省エネルギー対策、屋上等緑化を推進。
神奈川県	横浜市中心部・金沢地域	立体公園制度を活用した大規模な緑化や保水性舗装・散水のほか、自然エネルギー・廃棄物発電・バイオマスからエコエネルギーを製造し、電力のみでなく熱利用も視野に地域の事業所、住宅等に供給するネットワークを構築。
愛知県	名古屋駅周辺・伏見・栄地域	都市再生緊急整備地域における都市再生事業に併せ、地域冷暖房の導入や未利用エネルギーの活用を検討など地球温暖化・ヒートアイランド対策を集中的に実施。
大阪府	大阪駅周辺・中之島・御堂筋周辺地域	都市再生緊急整備地域における都市再生事業に併せ、未利用エネルギー(河川水)を利用した地域冷暖房、鉄道の整備に併せた公園・緑の整備など、水都・大阪の特性を活かした地球温暖化・ヒートアイランド対策を集中的に実施。
	守口市大日地域	都市再生緊急整備地域における大規模工場跡地の開発事業に併せ、太陽光発電施設の設置や透水性舗装、道路散水などを集中的に実施。
	茨木市・箕面市・彩都地域	大規模なまちびらきに併せ、カーシェアリング事業、太陽光発電等の新エネルギーの導入、緑化等を実施。
高知県	須崎市中央地域	津波避難路の整備・土地区画整理事業に併せて太陽光発電・風力発電を設置。廃棄物処分場跡地、公共施設等にも太陽光発電を集中的に導入。住宅や公共建築物等への高知県産材の活用と植林も推進。
福岡県	北九州市小倉・黒崎・洞海湾臨海地域	企業遊休地等の再開発や既存工場との連携により、環境共生住宅・地域冷暖房・風の道の整備、隣接工場のエネルギーの活用等、既存産業インフラの活用及び総合的なまちづくりと一体化した地球温暖化対策を集中的に実施。

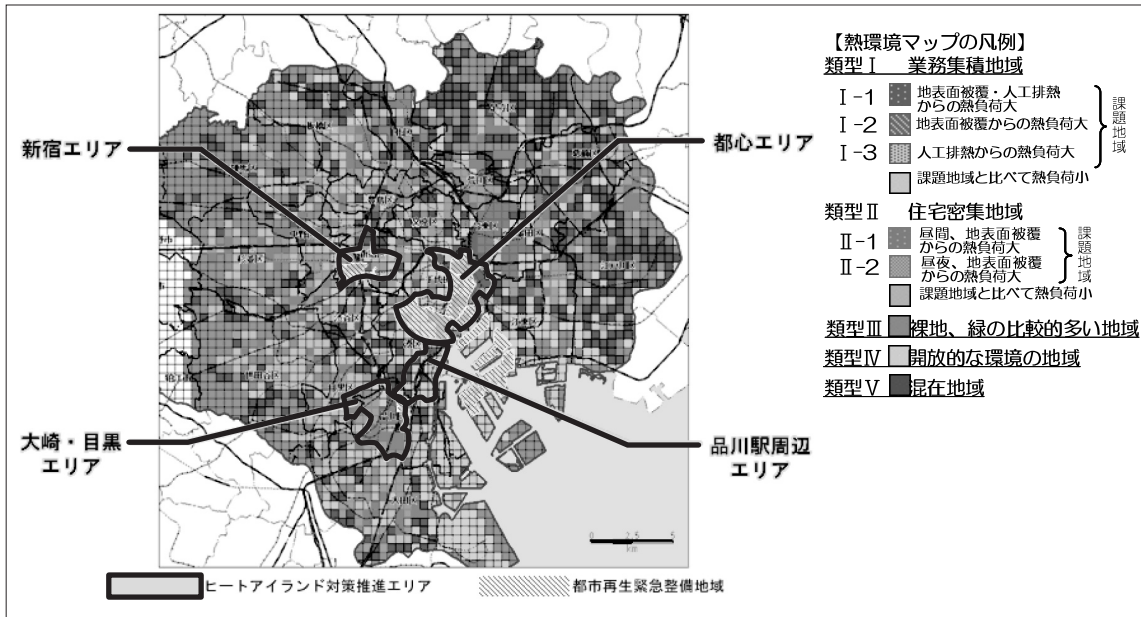
モデル地域の選定数は10都市、13地域

図表10 東京都における各推進エリアの概要

エリア	特徴	地域
都心エリア (業務集積地域対策) 約1600ヘクタール	業務ビル・アスファルト等の人工被覆面からの熱負荷、建物排熱が大きく、昼夜ともに気温が高いエリア	都市再生緊急整備地域(東京駅・有楽町駅周辺、秋葉原・神田、環状二号線新橋周辺・赤坂・六本木、東京臨海の一部)及び飯田橋・神保町地区、日本橋東地区等
新宿エリア (業務集積地域対策) 約600ヘクタール	業務ビル、住宅及びアスファルト等の人工被覆面からの熱負荷が大きく、昼夜ともに気温が高いエリア	都市再生緊急整備地域(新宿駅周辺、環状四号線新宿富久沿道)及び北新宿・百人町地区、高田馬場地区、富久町周辺等
大崎・目黒エリア (住宅密集地域対策) 約1100ヘクタール	密集住宅地において、地表面からの熱負荷が大きく、夜間においても気温が低下しにくい(熱帯夜の多い)エリア	都市再生緊急整備地域(大崎駅周辺)及び防災都市づくり推進計画における重点整備地域(林試の森周辺・荏原)周辺、大井町地区等
品川駅周辺エリア (開発計画での対策誘導) 約600ヘクタール	将来広範囲に開発が見込まれ、予めヒートアイランド対策を取込みながら、都市開発を計画的に誘導すべきエリア	国土交通省が「都市再生総合整備事業」における「都市・居住整備重点地域」に指定した地域

参考文献¹¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 11 熱環境マップとヒートアイランド対策推進エリア¹²⁾ (表紙カラー図参照)



また、東京都では2005年7月に、民間事業者や都民が、地域の熱環境に応じたヒートアイランド対策に取り組めるよう、①熱環境マップ、②地域特性別対策メニュー、③建物用途別対策メニューを取りまとめた「ヒートアイランド対策ガイドライン」を作成した。

さらに、東京都が設定した推進エリアが、国のモデル地域にも採択されたことを受けて、東京都としては、国の施策とも連携しながら対策を推進していくため、2005年7月に、国、東京都、関係区及び民間事業者といった広範な関係組織との協働を図るべく、「ヒートアイランド対策推進エリア協議会」を立ち上げている。

4 - 3

大崎駅周辺地域における目黒川を活用した環境負荷軽減への取り組み

東京都品川区に位置している大崎駅周辺地域(60ha)は、2002年7月に都市再生特別措置法に基づく、都市再生緊急整備地域に指定されている。現在、地元の開発予定事業者や権利者といった民間が中心となって60ha全体でまちづくりを進めている。2005年

4月に指定された国のモデル地域は、この大崎駅周辺地域を含む約1,100haの指定となっている(図表9、10、11参照)。

2003年2月に、大崎駅周辺地域で開発を予定している地元企業・再開発組織などの関係者及び品川区などを構成員として、これまでのまちづくりの成果を踏まえつつ将来市街地像を共有し、都市再生特別措置法を活用し一体的なまちづくりを戦略的に進めることを目的として、「大崎駅周辺地域都市再生緊急整備地域まちづくり連絡会(以下「まちづくり連絡会」という)」が発足した。2004年11月には、まちづくり連絡会によって「大崎駅周辺地域都市再生ビジョン(以下「都市再生ビジョン」という)」が取りまとめられている。その中で、「目黒川を環境資源として活用する」(図表12参照)ことが戦略の一つとして掲げられている。

大崎駅周辺地域では、地球温暖化対策やヒートアイランド対策が都市再生の重要なテーマであることが認識されており、この地域の特徴的な立地特性を構成する目黒川を積極的に環境資源として活用することを重要視し、具体的に以下の点が挙げられている。

- ①目黒川を軸として、風の道確保やヒートアイランド現象緩和等に十分配慮した街づくりを進める。
- ②目黒川に面したにぎわい施設の配置などを積極的に推進し、水に親しめる街並みを形成する。また、親水護岸や広場、水に親しめる橋などの整備により、川と触れ合う空間をつくる。
- ③地域全体で共通認識をもって環境配慮に取り組むため、指針となる「環境配慮ガイドライン」を策定する。
- ④開発にあたっては、「環境配慮ガイドライン」を手引きとして活用し、ヒートアイランド現象などの環境負荷を低減することに努め、地域のポテンシャルアップを図る。

2005年7月には、上記を受けて、環境対策の共通の取組みであるヒートアイランド対策の実現に向け、地区内の各開発事業者が共通の認識を持って環境配慮に効果的に取り組めるよう、「大崎駅周辺地域における環境配慮ガイドライン」を自主ルールとして作成した。また、環境配慮の具体的方策についての手引きとして「環境配慮マニュアル」が取りまとめられた。

図表 12 目黒川を軸とした水と緑と風のネットワーク¹³⁾



品川区では、前述の「風の道」の考え方の事業化が実際に進められている。大崎駅周辺地域のまちづくり際に、目黒川に沿って川

上に向かって45度の角度で逆ハの字形にビルを建設する方針を決めた。この計画は、既存の区道が、川に沿ってほぼ同じ角度で残って

いたことに着目し、活用されている（図表 12 参照）。

5 海外における対策事例

(1) ドイツ・フライブルクにおける「風の道」

フライブルグ市は、ライン地溝帯の東端に位置し、このライン地溝帯が形成する平野部では一般に風が弱く、盛夏時の熱ストレス（暑熱による健康影響）や冬季の大気汚染が問題となっている。この地域には、昼には市街地の後背地（東方）に位置する谷を上る風系が、夜はこの谷から市街地へと吹き出す風系が卓越している。この夜間の卓越風系は、山地（森林や牧草地）で放射冷却により発生して細かな沢筋を下る冷気流であり、この風系を適切に市街地へ導き入れ

ることが、熱ストレスや大気汚染への対策として有効と考えられている。そのため、街路のパターンは、夜間の冷気流や日中の冷涼な北風を導き入れると共に、春季や秋季に顕著な南西寄りの強風を防ぐ構造となっている⁸⁾。

一方、近年欧州諸都市での気温の上昇が報告されているものの、2003年の欧州における夏の熱波は極めて例外的であると認識されており、日本に比べて夏季のヒートアイランド化に特化した問題の認識はそれほど強くはない¹⁴⁾。

上記のドイツの内陸都市における「風の道」は、むしろ弱風条件下や冬季の接地逆転層⁶⁾形成時に

おける大気汚染対策としての位置付けが高い。

(2) 米国におけるヒートアイランド政策

米国環境保護庁（EPA：Environment Protection Agency）は、1995年7月にシカゴ市が熱波に見舞われ、熱中症などにより700人を超える死者が発生するなどの事実を踏まえ、1997年にヒートアイランド緩和イニシアティブ

■用語説明■

⑥ 接地逆転層

夜間、放射冷却があると地表面の温度は下がり、それに接する下層の空気が冷やされ、気温は高度と共に上昇する。

ブ（HIRI：Heat Island Reduction Initiative）を制定した¹⁵⁾。その一環として、1998年に都市ヒートアイランドパイロットプロジェクト（UHIPP：Urban Heat Island Pilot Project）を立ち上げ、ヒートアイランドの実態把握及び啓蒙活動、ヒートアイランド緩和策の効果の定量化のために¹⁶⁾、パイロット都市として、ルイジアナ州バトンルーージュ、イリノイ州シカゴ、テキサス州ヒューストン、カリフォルニア州サクラメント、ユタ州ソルトレークシティの5都市が選定されている。

(3)韓国における清溪川

（チョンゲチョン）復元事業

ソウル市の中心部では、極めて大規模な河川復元事業が進められており、世界的に注目されている¹⁷⁾。漢江に合流する延長11kmの清溪川（チョンゲチョン）は、1950年代に覆蓋道路化（暗渠化）され幹線道路となっていた。ところが、構造物の老朽化と環境問題から、ソウル市政府は2003年7月に、高架道路を5.8kmに亘って撤去し、道路の下にあった川をオープン化し、従前の自然河川の姿に戻す復元工事が着工された。この工事は、2005年内には完成予定である。都市におけるこのような大規模な清流の復活は世界にも類がなく、この事業の環境改善効果

として、交通量の減少による大気浄化や河川周辺の夏季における気温上昇の抑制効果のデータは、世

界的に見ても貴重である（表紙カラー図下段、図表13、14参照）。

図表13 東大門（ドンデムン）区域 復元前（2003年6月）¹⁸⁾



図表14 東大門（ドンデムン）近くのビルの屋上西側から臨んだ清溪川（2005年8月）（表紙カラー図参照）



独立行政法人 国立環境研究所 片岡久美氏撮影

6 ヒートアイランド現象の緩和対策への提言

近年、ヒートアイランド対策は、地球温暖化対策と共通の対策が必要であるということが認識されつつある。何故なら、地球温暖化と局地的な温暖化であるヒートアイランドとは、資源・エネルギーの大量消費などの原因が共通し、①建物の省エネ・省資源化、②省エネ型の交通システム、③緑地の回復、④都市の通風効果の改善など

の対策も共通する事項が少なくないからである。

東京都は既に、ヒートアイランド現象を地球温暖化と共に“2つの温暖化”として捉え、エネルギー消費の抑制といった省エネルギー対策が、CO₂排出の抑制による地球温暖化対策と、排熱抑制というヒートアイランド対策との両方に効果を有するとして、省エネ

ギー対策を特に重点的に進め、省エネルギー型都市の構築を目指して取組んでいる。

ヒートアイランド現象そのものは、冒頭述べた通り都市がある限り出現する。特に日本は第二次世界大戦後、東京をはじめ多くの大都市において無秩序に都市開発が進んできたきらいがある。都市気候への影響を軽視した結果、大量

生産・大量消費型の都市生活システムが定着してしまった。その結果、昼間の高温化によって熱中症が増加し、熱帯夜の増加により涼しい夏の夜は失われ、その不快さは人間の許容範囲を超え深刻化している。このように形成されてきた都市に対し、今後の都市開発計画において、ヒートアイランド現象を緩和するための対策を講じていく必要があることは、最早異論の無い状況にある。

(1)都市計画という観点からの展開

ヒートアイランド現象の緩和には、環境技術による個別の対策のみならず、道路、河川、公園・緑地などのインフラ整備の面においても具体的な計画の策定が必要となっている。例えば、「風の道」のような局地循環風を考慮し、都市内に空気を移流させる対策は、土地利用計画や市街地形成などにおいて計画的・総合的に取り入れていくことが必要である。前述したソウル市の清溪川の復元は、そういった観点で世界的にインパクトを持った事例と言える。即ち、ヒートアイランド現象を緩和していくためには、都市をデザインしていく時点から、ヒートアイランド対策をマスタープランとして都市計画の策定に反映させていく必要がある。

一方、既に取組まれている都市再生事業に緩和対策をどのように展開していくかについても、自治体を中心となって、地域住民、地元企業等産業界へのアプローチを含め、対策の明確化が急務である。国の方針・施策を各自治体の政策に反映するために、情報の共有化をはじめ、地域全体で共通認識を持った取組みを推進していく必要がある。日本の多くの都市で、高度成長期前後に建設された建築物が、今後大量に更新期を迎え、都市再生の動きがある中で、この期を逃さずにヒートアイ

ランド対策を展開していくことが重要である。

(2)ヒートアイランド現象の

メカニズムの解明と緩和対策

①現象解明のためのモニタリングの強化

都市のヒートアイランド現象は、土地利用や人工排熱など様々な要因の結果である。都市計画の中で効果的なヒートアイランド対策を進めていくためには、地域の自然特性のみならず、地域の熱特性を把握し、地域固有の特性に応じた効果的な対策を選択することが重要である。

全国の人口過密な大都市やその周辺部の地域特性の実態を正確に捉えるためには、現在整備されている気象庁のアメダス (AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System) 測定点による観測密度では不十分と考えられ、より高密度の気象観測モニタリングが不可欠である。アメダスは、全国約1,300ヶ所(約17km四方に1ヶ所)で降水量を観測しており、そのうちの約850ヶ所(約21km四方)で降水量に加え、風向・風速、気温、日照時間を観測している。しかし、これを都道府県単位で見た場合観測地点は少なく、東京都(島しょ部を除く)では全域で10地点、区部では5地点に過ぎない。そこで、東京都では2002年度より都区内120地点に独自の観測システムを構築し、高精度・高密度の気象データ(気温・湿度等)を用いた詳細なヒートアイランドの実態解明に着手している。少なくともその他の政令都市においても、高密度気象観測モニタリングシステムの構築に着手すべきである。

この夏(2005年)東京臨海部で行われた実測調査が一時的なものに終わらず、冬季や次年度などにも継続され、また、東京以外の都市でも実施されることを期待する。

②緩和対策の評価のための

シミュレーション技術の開発

シミュレーションは、都市スケールでのヒートアイランド現象を予測する手法として不可欠である。そこで、総合的かつ計画的にヒートアイランド対策を講ずるために、対策を導入した場合の効果をシミュレートする技術の開発が必要である。

ヒートアイランド現象緩和効果の予測を行い、有効な対策を策定するためには、現在取組まれている、都市空間の熱環境を評価するシミュレーション技術の開発を進めるだけでなく、各研究分野で取組まれているシミュレーション結果の統合化が必要である。その結果、風の道、緑地の冷氣、屋上緑化、保水性舗装、遮熱性舗装等の様々なヒートアイランド対策の効果を評価することが可能となる。

③総合的なヒートアイランド

アセスメント手法の開発

都市再生事業等による都市開発がヒートアイランド現象を拡大、悪化させないように、ヒートアイランドアセスメントを実施する体制整備が重要である。その前提として、ヒートアイランドアセスメント手法の開発が必要である。

現在のヒートアイランド対策は、個別の要素技術の導入効果の定量化に関してのみ取組まれているが、都市全体に対する総合評価手法の開発が必要である。例えば、建築物は、都市の最も主要な構成要素であり、個々の建築物についてヒートアイランド現象緩和のために適切な対策を立てることは、都市全体のヒートアイランド現象緩和には重要である。しかし、現在は、個別の建築物の整備に関して建物単体の評価で終わっており、時間差で順次完成していく建築物に対して、今後は、ビル群や街区、地域単位での評価を行って

いく必要がある。このように総合的な評価を行える基準の開発が必要である。

(3)研究から政策展開へ

緩和対策の中で、何を優先的に取組むのかを明確にしていかなければならない。これまでは実行可能な対策から進めていくというのが常套手段であったが、長期的、大規模な対策も等閑視せず、取組んでいかなければならない状況にある。短期的、小規模な対策や研究は既にある程度着手されているが、効果があまり現れないということは、期待通りの効果は得られていないということが考えられる。各対策に対するプライオリティー評価が必要である。

長期的対策として、「風の道」といった局地循環風を考慮し都市内に空気を移流させるといった対策技術は、既に世界的に見て研究調査段階から実際の行政施策へと移行する段階にある。その意味でも、大崎駅周辺地域の日黒川が「風の道」となるという知見や、河川周辺の建物配列による風の影響のように、研究で実証されたことを、実際のまちづくりに活かすということは、画期的であり評価すべきことである。

特に、今回指定された全国の各モデル地域は、率先して様々な緩和対策を実践し、ヒートアイランド対策に関する知見を蓄積し、急激な都市化が進むアジアの諸都市を含め、他の地域に活かしていくことが重要である。

謝辞

本稿をまとめるに当たり、独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センターの一ノ瀬俊明主任研究員、同研究所PM2.5・DEP研究プロジェクトの若松伸司プロジェクトリーダー、東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻の花木啓祐教授、九州大学大学院

工学研究院地球資源システム工学部門の藤井光助教授、東京都環境局都市地球環境部の岡田朋和係長、同局自然環境部の西田裕子主事、品川区まちづくり事業部の神田実主査のご意見を参考にさせていただきました。また、財団法人国土技術研究センターの高橋宏幸主任研究員には、国土交通省総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」検討会の資料を、独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センターの片岡久美氏には写真を提供して頂きました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本学術会議 (2003) : 「ヒートアイランド現象の解明に当たって建築・都市環境学からの提言」 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-18-t996-38.pdf>
- 2) 山下脩二 (2003) : 「ヒートアイランド」, 吉野正敏・福岡義隆編『環境気候学』東京大学出版会
- 3) 根本正博・小林博和 (2002) : 「ヒートアイランド対策技術の研究動向—エネルギー利用の視点からの分析—」科学技術動向 No.17
- 4) 環境省 (2001) : 「平成12年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について報告書(増補版)」 <http://www.env.go.jp/air/report/h14-01/index.html>
- 5) 坂真哉 (2004) : 「ヒートアイランド対策に寄与する都市空間形成技術の開発」国土技術政策総合研究所 <http://www.nilim.go.jp/japanese/report/lecture/kouenkai2004/image/saka1.pdf>
- 6) 環境省 (2000) : 「ヒートアイランド対策推進のために」(パンフレット) http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/panf01.pdf
- 7) 国土交通省 : http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/07/070719_2/05.pdf
- 8) 一ノ瀬俊明 (2003) : 「都市計画と風の道」, 吉野正敏・福岡義隆編

- 『環境気候学』東京大学出版会
- 9) 日本学術会議 (2005) : 「生活の質を大切にする大都市政策へのパラダイム転換について」(声明) <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-s1025.pdf>
- 10) 内閣官房都市再生本部 : <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tosisaisei/siryou/0411tiiki.pdf>
- 11) 東京都 : <http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2005/04/20f4b100.htm>
- 12) 東京都 : <http://www.2kankyo.metro.tokyo.jp/heat/maperia.html>
- 13) 東京都品川区 : http://www.2city.shinagawa.tokyo.jp/jigyoo/05/bijyon_s.pdf
- 14) 岩村和夫 (2003) : 「海外での取組み—(b)ドイツの事例」IBEC, No.138
- 15) 米国環境保護庁 : <http://www.epa.gov/heatisland/index.html>
- 16) 浦野明・森川泰成 (2003) : 「海外での取組み—(a)アメリカの事例」IBEC, No.138
- 17) ソウル市 : <http://japanese.seoul.go.kr/chungaehome/seoul/main.htm>
- 18) ソウル市 : http://japanese.seoul.go.kr/chungaehome/seoul/sub_html/4sub_03.htm

執筆者



環境・エネルギーユニット
山本 桂香
科学技術動向研究センター
<http://www.nistep.go.jp>

行政機関や企業の地球環境問題に関する取組みに従事。気候変動に伴う影響検出の研究も実施。現在気候変動に伴う科学技術政策に関心がある。品川区環境活動推進会議委員。その縁から環境問題を通じたサイエンスコミュニケーションにも興味を持つ。

利用ニーズ主導の統合された 地球観測システムの構築

—エビアン G8 サミットに始まり
グレンイーグルズサミットでも言及された「GEOSS」の推進—

辻野 照久
総括ユニット

1 はじめに

我が国の重要課題に関する最近のデルファイ調査結果¹⁾では、全858課題の中で重要度が高いとされた上位20課題中、地球温暖化、気候変動、災害対策など、「地球観測」という科学技術領域が関与する課題が14も含まれ、研究者の関心が非常に高いことが示された。それにもかかわらず、我が国ではこれまで地球観測が必ずしも社会的課題を解決する利用ニーズ主導の形で推進されておらず、また宇宙からの観測（リモートセンシング）と地表面での現場観測が必ずしも一体的に取り扱われないという傾向があった。この傾向は地球観測の先端を行く米国や欧州でも少なからず見られる。

しかし、我が国でも2004年12月に総合科学技術会議においてとりまとめられた「地球観測の推進戦略」²⁾では、基本戦略を「利用ニーズ主導の統合された地球観測システムの構築」と定め、さらに2005年2月の第3回地球観測サミットにおいて「複数システムからなる全球地球観測システム」(Global Earth Observation System of Systems = GEOSS)³⁾ 10

年実施計画が承認されたことで、国際的な地球観測への新たな取組みが開始された。すなわち、これまでの技術シーズ主導であった個別のシステム開発は、利用ニーズ主導の統合された地球観測システム構築へと戦略的に転換されることになる。さらに、2005年7月のグレンイーグルズ（英国）における先進国首脳会議では、合意された行動計画³⁾の中で、G8各国がこのGEOSS10年実施計画を推進することが謳われた。

GEOSSにおける「地球観測システム」とは、現場観測と衛星観測を統合したシステムである。その構成要素である「複数システム」には、気候、大気、海洋、災害、生態系、沿岸などに関する現場観測システムと、各種の観測機器を搭載した地球観測衛星による衛星観測システムが含まれる。衛星観測は広い範囲のデータを連続的に取得することができるが、現場観測データと比較して校正を行うことでさらに精度が向上する。1つの観測対象に対して現場観測と衛星観測の両方を行って、データを統合化することが技術的な課題で

ある。

従来、気象観測を除くと、衛星観測と現場観測を融合させて定常的に観測運用を行う組織がなく、国際的な地球観測への取組みを推進する上で弱点となっていた。そこで、国際的な協調の下で地球観測を行う試みとして、統合地球観測戦略パートナーシップ (IGOS-P)⁴⁾ が1998年から開始された。IGOS-Pでは、我が国は米国や欧州との協同作業を行い、気候変動や水循環など一部のテーマでリーダーシップを発揮してきた。IGOS-Pの成果はGEOSS10年実施計画のインプットとなるものであり、今後とも継続的にデータ取得を行いつつ、新しい観測技術も取り込んで、利用ニーズ主導の地球観測システムを構築することが望まれる。本稿では、これまでの現場観測と衛星観測の概要を紹介し、米欧の統合化の状況や新しい観測技術の開発動向なども踏まえて、①定常的に衛星観測を行う機関の設置、②ODA活用による現場観測の拡大、③利用ニーズ主導の新しい衛星観測技術の開発、の3点を提案する。

2 複数システムからなる全球地球観測システム (GEOSS) ●●●●●●●●●●

2 - 1

地球の危機への警告から GEOSS に至る経緯

1972年、ローマクラブは「成長の限界」と題した研究報告書を発表し、地球規模で急激に進展する人口増大に伴う資源枯渇や食糧不足などの危機を予測して世界に警告を発した。その後石油ショックに端を発する省エネ技術の発達やバブル経済の崩壊などで右肩上がりの経済成長が抑制され、地球の限界に対する危機感がいくぶん沈静化していたが、近年中国やインドなどの経済的台頭が現実化し、資源問題や大気汚染などの問題が顕在化するとともに、温室効果ガスの排出による地球温暖化への影響などがいっそう明らかに解明されてきたことで、全地球規模での社会問題として再び脚光を浴びるようになった。21世紀に入ってから地球観測関連の国際的な進展の経緯を図表1に示す。

この間に、1998年から統合地球観測戦略パートナーシップ (IGOS - P) が実施され、海洋・大気化学・炭素循環、水循環など8つのテーマについて、国際的な協力のもとでさまざまな種類の観測データをデータベースへ統合する試みが行われ、定常観測を行う装置などが整備されてきた。

2 - 2

GEOSS 10年実施計画

第3回地球観測サミットにおいて承認されたGEOSS 10年実施計画は、「地球観測に関する政府

間作業部会」(Ad hoc GEO) が推進してきた成果である。Ad hoc GEO は2005年の第3回地球観測サミットにおいて、10年実施計画の実施のために設置された「地球観測に関する政府間会合」(GEO) に引き継がれている。10年実施計画の中では、地球観測システムによる9項目の達成目標と、それらを達成する上で共通する5つの手法が示された。

(1)地球観測システムによる 9つの達成目標

GEOSSの達成目標は9つの「公共的利益分野」として整理された。これまでに開発された観測技術や蓄積された観測データは、今後複数の分野に利用されていくと思われる。9つの分野とは、①災害による人命及び財産の損失の軽減 [災害]、②健康や福祉に影響を与える環境要因の理解 [健康]、③エネルギー資源管理の改善 [エネルギー]、④気候変動の予測・影響軽減など [気候]、⑤水循環の理解と水資源管理の向上 [水]、⑥気象予報の向上 [気象]、⑦陸域・

沿岸・海洋の生態系の管理及び保護 [生態系]、⑧持続可能な農業の支援 [農業]、⑨生物多様性の保全 [生物多様性]、である ([]内は短縮表現)。

米国では、過去の観測データが各社会利益分野に対してどの程度の重要性を持っているかについて分析されている⁵⁾。図表2はその一部を抜粋したものである。観測データはこれまでのIGOS - Pで行われた海洋・大気化学・陸域・陸域災害・雪氷などの8テーマにほぼ対応付けができるため、図表2はIGOS - PとGEOSSの関連度を示すものであるということもできる。

(2)具体的な手法

GEOSSでは、上記の社会利益分野における目標を達成するため、共通的な手法として、①既存の観測システムの充実・連携と新たな観測手段の導入、②適切な情報提供、③相互運用性の確立、④研究開発の促進、⑤開発途上国の能力開発、の5項目が示された。

図表1 21世紀以降の地球観測関連の国際的な進展の経緯

開催年月	会議の名称	開催場所	主な内容、文書など
2002年10月	持続可能な開発に関する世界首脳会議	ヨハネスブルグ (南アフリカ共和国)	先進国と開発途上国の格差や地球環境の危機などに対して国際的な行動を起こす。
2003年6月	先進国首脳会議	エビアン (フランス)	「持続可能な開発のための科学技術G8行動計画」 ⁴⁾ に合意。
2003年7月	第1回地球観測サミット	ワシントン D.C. (米国)	国際協力で地球観測に取り組む枠組みの構築を目指す。
2004年4月	第2回地球観測サミット	東京 (日本)	GEOSS 10年実施計画の枠組み文書を採択。
2005年2月	第3回地球観測サミット	ブリュッセル (ベルギー)	GEOSS 10年実施計画を承認。
2005年7月	先進国首脳会議	グレンイーグルズ (イギリス)	気候変動とアフリカ問題が主要テーマ。行動計画においてGEOSS推進が謳われる。

図表 2 GEOSS の公共的利益分野と観測データの関連

GEOSS の公共的利益分野 観測データ	災害	健康	エネルギー	気候	水	気象	生態系	農業	海洋*
土地利用	中	高	中	中	中	中	高	高	低
生態系パラメータ	低	中	低	高	中	低	高	高	高
火災	高	高	低	低	低	低	高	高	低
雪氷	中	中	中	高	高	中	中	中	中
気温/海面温度	高	高	高	高	中	高	高	高	高
水質	高	高	低	低	中	低	高	高	高
海洋循環	低	低	低	高	低	中	高	低	高
海色 (葉緑素)	低	高	低	低	低	低	高	低	高
大気成分	高	高	高	高	高	低	低	低	中
風速・風向	高	高	低	高	低	高	中	中	高
雲の量	中	低	低	高	低	高	低	中	中
宇宙天気	高	中	高	低	低	低	低	低	低
地震・火山	高	低	低	中	低	低	低	低	低

高 重要性が高い 中 ある程度重要性がある 低 重要性は低い

※ GEOSS では [海洋] という分野はなく、その代わり [生物多様性] が入っている。

米国資料⁵⁾ より抜粋

3 現場観測システムの動向

現場観測システムとは、陸域の気象や海中の温度・圧力などを計測し、全世界のデータを統合化するシステムを指す。ここでは国連機関を中心に実施されている気候、海洋、陸域に関する観測システムの概要について述べる。

3 - 1

気候観測システム

世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) は、1992 年に地上・海洋・宇宙の各種の定常的観測と科学的観測とを一段と強化する目的で、全球気候観測システム (GCOS)⁶⁾ を設置した。気候変動枠組条約加盟国は、単に京都議定書を遵守するだけでなく、その成果の科学的評価と、気候変動予測の一層の高度化に努力する義務を負っている。太陽活動、火山噴火、エルニーニョなどの自然

環境の変化の中から、地球温暖化に関係する変化を検出するためには、長期にわたる高精度な観測が必要である。また、各データを突き合わせて研究するためには、世界各国での各年代の測定データの精度が相互に校正され、保証されている必要がある。このように、世界的規模で長期間継続する「組織的な気候変動観測」が、今後の地球環境変動の研究では強く必要とされている。

我が国では、気象衛星や海洋観測船による観測により気象予報を行っている気象庁 (JMA) が GCOS に連携している。

3 - 2

海洋観測システム

国連教育科学文化機関 (UNESCO) に属する政府間海洋学委員会 (IOC) をはじめ、世界気象機関、

国連環境計画などの機関は、既存の海洋観測システムの利用・改善を通じて、海洋に関する科学的なデータおよび成果物を長期にわたり収集し、これらを広く社会に提供して持続可能な発展に資することを目的として、全球海洋観測システム (GOOS)⁷⁾ を推進するスポンサーとなっている。我が国における GOOS 対応の活動としては、日本学術会議海洋科学研究連絡委員会に GOOS 小委員会が付置されている。GOOS の個別テーマの研究には、東京大学海洋研究所、北海道大学地球惑星科学研究科など多くの海洋研究機関が参加している。

西太平洋海域の調査は、1983 年以来、海上保安庁海洋情報部が観測データを蓄積し、同庁内に設置された日本海洋データセンター (JODC) において一般にもデータを提供している。

海洋に関する新しい現場観測装置の例として、全世界中層フロート観測網に用いられるアルゴフロートという海中ロボットがある。この装置は通常水深1,000mの海中を漂流し、10日に1回程度水深2,000mまで降下して、そこから海面に浮上するまでの圧力、水温、塩分の値を観測し、海面に浮上後に、観測データを衛星へ送信する。これまでに全世界で3,000本以上のアルゴフロートが種々の船舶により投入されてきた。このうち1,000本程度が通信途絶などとなったため、運用本数3,000本を目標に追加投入が計画されている。各国のフロートにより得られた海洋データはフランスの全球データセンターに伝送される。我が国では海洋研究開発機構(JAMSTEC)がアルゴフロートの投入、データの収集、解析を行っている。

GOOSの1つのパイロットプロジェクトとして、「全球海洋データ同化実験」が行われ、海面や海中の水温の測定によりエルニーニョの発生予測が実現されている⁸⁾。全世界の海洋を航行する船舶は、古くから航海の途中で海水の温度を測定しており、海洋研究者はその記録を分析して過去150年にわたる海中温度データを再構成する作業(データ同化)を行った。今後は、現場観測でなければ得られない海中水温や塩分などのデータに加えて、衛星観測による表面水温や降水などの観測をさらに充実させることによって、エルニーニョ予測の向上などが期待されている。

3 - 3
陸域観測システム
国連食糧農業機関(FAO)、国

際科学会議(ICSU)、国連教育科学文化機関、国連環境計画及び世界気象機関は全球陸上観測システム(GTOS)⁹⁾のスポンサーとなっている。GTOSは食糧、水、生物などの陸域の生態系の資源に関するデータを収集し、利用者に配信するシステムである。GTOSの主要な関心事は、①人口増大に対する十分な食糧生産の可否、②水資源の需給関係、③危険物質による人間や生態系への脅威、④生物多様性、⑤気候変動による陸域生態系への影響、などである。GTOSは、これらの問題に対して観測領域の拡大や持続的なデータ収集、分析システムや予測システムの実現などを目指している。現在行われている観測としては、陸地生態系、純一次生産力、陸上炭素、森林、土地被覆、沿岸周辺の地表・淡水生態系などがある。

4 衛星観測システムの動向

4 - 1

米国の地球観測衛星技術の動向

(1) NASAの地球観測衛星開発及び運用の経緯

米国航空宇宙局(NASA)は、宇宙開発の初期から、衛星を用いた地球観測技術の開発を行ってきた。1960年に初の気象衛星TIROSを打ち上げ、1972年には陸域観測衛星LANDSAT 1号を打ち上げた。その後、1983年にランドサットの監督官庁が海洋大気庁(NOAA)に代わり、NOAAはランドサットの運用および後継機開発をイオサット(EOSAT)社に移管したことで、定常観測は民間が行うことになった。しかし、イオサット社は急速にシェアを拡大したフランスの商業地球観測

衛星SPOTとの競争に勝てず、期待したほどの画像販売実績は得られなかった。このため、1992年にNASAと国防総省(DoD)がランドサットの運用管理を行うようになった。その一方でNASAの地球観測予算が大幅に削減されたため、TerraやAquaなど中型衛星を中心とする観測体制に再編成されている¹⁰⁾。NASAはこの他に、海洋観測やオゾン観測を行う衛星なども打ち上げている。

近年、NASAは有人月探査や火星探査に重点を置くという政策変更に伴い、地球観測など他の分野の予算が減少しているが、そのような状況の中でも新しい地球観測衛星を開発しようとしている。NASAが現在開発に注力している地球観測衛星は、炭素循環の研究を行うための軌道上二酸化炭素観測機(OCO)¹¹⁾である。

(2) NOAAの気象衛星

米国海洋大気庁(NOAA)は、静止気象衛星(GOES)と極軌道気象衛星(NOAA衛星)を運用している。2005年5月20日にNASAが打ち上げたNOAA-18衛星は、定常運用段階でNOAAに引き渡された。この衛星には可視・赤外放射計(AVHRR)など6種類の観測センサが搭載されている。なお、米国空軍(USAF)も軍事気象衛星(DMSP)を運用しており、マイクロ波放射計(SSM)の各種仕様が搭載され、継続的に利用されている。DMSPで最終となるDMSP-F20衛星は、2011年打ち上げの予定であり、その後はNOAAの極軌道衛星と統合される予定である。

(3)民間の商業地球観測衛星

米国の商業地球観測衛星として、OrbView、QuickBird、IKONOS などがある。ロッキードマーチン社の子会社であるスペース・イメージング社は、小型衛星イコノスにより高度約700kmから解像度1mの画像を取得し、そのデータを販売している。顧客の注文により指定の場所の画像を撮影することもできる。従来高精度といわれていたフランスのSPOTなどに比べてはるかに詳細な画像が得られる。

4 - 2

欧州の地球観測衛星技術の動向

欧州宇宙機関 (ESA) は1991年に打ち上げられた欧州リモートセンシング衛星 (ERS - 1) の後継機として ERS - 2 を1995年に打ち上げ、さらに観測機器を改良して2002年に環境監視衛星 Envisat を打ち上げた。この間に継続性のある観測データが取得されたことで、欧州の衛星観測技術は成熟したといえる状況に至っている。

気象観測では、欧州気象衛星機構 (EUMETSAT) が静止気象衛星 Meteosat を20年間で7機打ち上げた後、次世代型の静止気象衛星 (MSG) の運用が2002年から始まった。現在、極軌道気象衛星 MetOp の開発を行っており、2006年の打上げを予定している。

フランスの商業地球観測衛星 SPOT は通常の写真画像では前記イコノスに比べて解像度が低く優位性を失っているが、植生分布の観測による農業などへの応用や立体地図作成などの応用においては、SPOT が有する高度な観測機能により引き続き国際競争力を有している。

図表3 我が国で開発中の地球観測衛星搭載機器

衛星名	観測機器名		開発機関	観測帯域
ALOS	フェイズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダ	PALSAR	JAROS / JAXA	マイクロ波
	パナクロマティック 立体視センサ	プリズム PRISM	JAXA	可視・近赤外
	高性能可視近赤外放射計・2	アブニール AVNIR・2		可視・近赤外
GOSAT	温室効果ガス観測センサ		環境省/ NIES / JAXA	近赤外～遠赤外
	雲・エアロゾル観測センサ			可視～短波長赤外
GPM	二周波降水レーダ	DPR	NICT / JAXA	マイクロ波

4 - 3

我が国の地球観測衛星技術の動向

我が国の衛星観測は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) を中心に、経済産業省所管の財団法人資源探査用観測システム研究開発機構 (JAROS)、環境省及び国立環境研究所 (NIES)、総務省所管の情報通信研究機構 (NICT) などが、利用ニーズに適合する観測センサを開発することで、世界最先端の衛星観測を行いうる技術を蓄積してきた。

JAXA は、以前の宇宙開発事業団 (NASDA) が実施していた地球観測衛星の開発や解析プログラムの開発、データ利用促進等の業務を引き続き行っており、2005年度はH-II Aロケットにより陸域観測技術衛星 (ALOS) を打ち上げる予定である。またGEOSSの中心となる地球温暖化の取組みとして、環境省及び国立環境研究所と共同で、温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) ¹²⁾ の開発を行っている。資源探査用観測システム研究開発機構は、ALOS搭載のフェイズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR) の開発を終え、打上げを待っているところである。情報通信研究機構は熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の降雨レーダ (PR) を開発した実績を踏まえて、現在は全球降水観測計

画 (GPM) ¹³⁾ 主衛星搭載の二周波降水レーダ (DPR) や航空機レーダによる災害監視など最先端の情報通信技術を用いた開発研究を行っている。これらの機関が開発している観測機器の一覧を図表3に示す。

4 - 4

アジア・アフリカ諸国における衛星観測の進展

アジアでは中国・インド・韓国が自国の経済発展手段や近隣諸国への貢献手段として地球観測衛星の開発及び運用を重視している。中国は気象衛星 (静止軌道及び極軌道)、資源探査衛星、海洋観測衛星、宇宙環境観測衛星などを運用し、欧州の Envisat 衛星を利用した「龍計画」も進めている ¹⁴⁾。インドも静止気象衛星、陸域観測衛星、海洋観測衛星、立体地図作成衛星 ¹⁵⁾ などを開発・運用し、商業的に画像を販売するレベルにまで達している。韓国では既にカメラを搭載したアリラン1号衛星 (KOMPSAT - 1) を運用しているが、2005年中にアリラン2号 (KOMPSAT - 2) を打ち上げ、解像度1m以下の性能の実現を目指している。韓国の動きで注目されるのは、この衛星により官民一体で商業活動を行おうとしている点である。アリラン2号は韓国政府が打ち上げるが、その受信局を韓国のベンチャー企業である

サトレック イニシアティブ Satrec Initiative 社¹⁶⁾ が国内外のユーザーに販売するという。この他、イスラエルや台湾も独自の地球観測衛星を複数保有している。

アフリカ諸国の地球観測衛星としては、南アフリカ共和国が1999年にSunsat^{サンサット}衛星を打ち上げたことに始まり、2001年にはモロッコがベルリン工科大学と共同でMAROC-TUBSAT^{マロック・テブサット}衛星を打ち上げた。さらに、2002年にアルジェリアがAlsat-1^{アルサット}衛星を、2003年にナイジェリアがNigeriasat-1^{ナイジェリア}衛星をそれぞれ打ち上げ、運用しているが、これらの国では地球観測衛星の技術開発を推進しているのではなく、最初から災害監視など利用ニーズ主導の政策が推進され

ており、そのために国際協力により多数の地球観測衛星を同時に運用するグループに参加して、自国の社会利益を実現しようとしている。

4 - 5

地球観測衛星委員会 (CEOS)

IGOS-Pの主要なパートナーとして、地球観測衛星を開発し運用する宇宙機関を主体とする「地球観測衛星委員会 (CEOS)」がある¹⁷⁾。CEOSは1982年に行われたパリ先進国経済サミットのリモートセンシング専門部会の勧告を受けて1984年に設立された。こ

れまでに地球観測データフォーマット標準、カタログ相互運用など、地球観測データの取得・加工から利用に至る協力の基礎となる実績を残している。CEOSの参加機関(準メンバーを含む)は図表4に示すように宇宙機関、気象観測機関、リモートセンシング機関、支援機関、プログラムなどからなる。主たる参加機関は17カ国21機関と欧州の3機関である。また、準メンバーは21機関で、これらには主に地球観測に関する政策を立案する政府の支援機関、国連機関及びプログラムが含まれる。各プログラムに対してはCEOSメンバー・非メンバーを問わず、関係する機関が観測に参加できる。

我が国に関していえば、気象庁や(財)リモート・センシング技術センター (RESTEC)などは、今のところCEOSのメンバーになっていない。しかし、今後は、主に技術シーズを開発する文部科学省 (MEXT) / JAXAとは別の立場で、利用ニーズを主導するこれらの機関がCEOSに参加することが望ましいと考えられる。

図表4 CEOS参加機関 (準メンバーを含む)

宇宙機関	NASA, MEXT / JAXA など 16機関
気象機関	NOAA (米)、ロシア、欧州 3機関
リモセン機関	カナダ、中国、タイ 3機関
政府の支援機関	EC など 8機関
国連の支援機関	UNESCO など 8機関
プログラム	GCOS など 7プログラム

5 米欧における統合的な地球観測システム構築の動向

5 - 1

米国の統合地球観測システム (IEOS)

米国では2005年4月に、NASA、NOAA、DoD、エネルギー省 (DoE)などの省庁をメンバーとする省庁間地球観測作業部会 (国家科学技術評議会・環境/天然資源委員会所属)が作成した報告書「Strategic Plan for the U.S. Integrated Earth Observation System」が発表された。米国のGEOSS 10年実施計画は、この報告書に基づいて進められるが、2007年度予算では当面の短期的目標としてIEOSで自然災

害予報に注力するという方針を打ち出している¹⁸⁾。

米国はGEOSSに関する国際的な調整の場では共通の社会利益分野を用いているが、国内向けの計画では「生物多様性」の代わりに「海洋」を含めている (図表2参照)。海洋資源の1つの側面として生物多様性の確保という課題があげられるが、生物多様性の観点から見れば海洋の生物多様性はその一部分に過ぎない。陸域の生物多様性の重要性に鑑みると、米国がこのように社会利益分野の設定時点で歪みを作っていることは、今後の国際協力において何らかのマイナス影響を与えるおそれがある。

NASAのゴダード宇宙飛行センター (GSFC)は最も先端的な地球観測関係のシステムを研究しており、世界の多くの地球観測データ資源をGCMDというサーバに集約している¹⁹⁾。これを見ると、各種の観測データがどこに所在しているかを調べることができる。このサーバは、地球観測衛星委員会の国際ディレクトリネットワーク (CEOS/IDN)のアメリカにおける接続ポイントという位置づけでもある。

米国の環境保護庁 (EPA)は、45種類のリアルタイム観測データ、37種類のデータベース、50種類のモデル、34種類の意思決定

支援ツール、33種類のプログラムを大気・水・陸域・生態系などの観測対象別に分類し、それぞれの位置付けを示す表をグラフィカルなユーザー・インタフェースとして提供している²⁰⁾。傘下の各組織が観測している大気や土壌などのデータをリアルタイムで入手できる。たとえば、紫外線に関する情報が欲しいときに、希望する場所の郵便番号 (Zip コード) または都市名を入力すると、現在の紫外線指数が表示され、外出時の注意事項などが示される。

このように米国では利用者に向けた地球観測システムの普及への努力が窺われるが、これでもまだ GEOSS が目指す「統合された観測システム」という概念を満たすレベルには到達していないと思われる。

5 - 2

欧州の環境と安全のための地球モニタリング (GMES)

欧州委員会 (EC) は 2004 年 2 月、GMES に関する行動計画を採択した。この計画は、衛星観測及び現場観測のデータを利用して環境と安全に関する意思決定を支援し、利用者中心のサービスを提供することを目的としている。例えば、森林火災や洪水のような災害対策や、環境保護に関連する様々な問題に対処するために役立てようとしている。この GMES に関する行動計画では、管理機構、資金調達などの観点も含めて、2008 年までに確立すべき機能を規定している。項目によって実現時期の目標は異なるが、その内容は①

GMES の組織的な枠組み、②利用者との対話を行う仕組み、③優先度の高いサービスの実施、④データや情報に関する戦略、⑤データや情報へのアクセス、交換、共有を改善するための能力やインターフェースの開発、⑥宇宙能力の要素開発、⑦既存の現場観測の能力の評価と補完的な適用や新しい展開の実施計画、⑧サービスの質や進歩を下支えするのに十分なレベルの調査及び実証活動 (資金提供を含む)、⑨ GMES 国際パートナーシップ政策、⑩出資メカニズムの承認を通じて GMES サービスの持続性確保、などとなっている。しかし、欧州でも、現時点では多くの異なる情報源から得られるデータが完全に統合されていない状況である。

6 我が国が注目すべき新しい地球観測手法の研究事例やアイデア ●●●●●

6 - 1

レーザ干渉計搭載衛星による広域水循環観測

我が国はこれまで水循環の研究で世界のリーダーシップを発揮してきた。この分野では、2003 年度から科学技術振興調整費により「水循環インフォマティクスの確立」の研究が行われている。この中で地上観測データの統合化や衛星観測データと融合したデータベースの構築などが行われている。このような実績も踏まえて、我が国は水循環を重点的に取り組むべき課題の一つとしている。しかし、地上での観測や従来の衛星による観測だけでは水循環の一部分しか挙動が把握できないと考えられる。広域的な水循環の挙動を把握する上で、今後有効な方法の一

つと考えられるのは、二つの衛星の間でレーザ干渉計を用いて重力異常を測定する方式である。米国とドイツはこの目的で重力観測衛星 GRACE を打ち上げ、データ解析を行っており、この方法が水循環研究に有効であることを示している²¹⁾。我が国でも 2004 年 11 月に、東京大学地震研究所、京都大学理学部、情報通信研究機構などが中心となって、「地球の『流れ』を見る衛星重力ミッション」という研究集会を行った。この集会に参加した研究者は GRACE よりも高精度のレーザ干渉計を開発することなどを提案している。しかし、残念ながら、GEOSS 10 年実施計画にはまだこの動向が取り込まれていない。水循環研究を推進する上で、衛星重力ミッションの利用についてもっと検討されてよいものと考えられる。

6 - 2

電磁波観測による地震探知

社会利益分野の中で我が国の安全・安心のための政策として最も重要度が高いと考えられるのは、地震対策である。これまで地下や海底に多数の地震計を設置して、いち早く地震発生を検知するシステムの構築を行っている。従来、地震計などによる現場観測が主体であった地震探知の分野においても、最近は全く異なる方法での観測技術が研究され始めている。

例えば、フランスの電磁波観測衛星 (DEMETER) は 2005 年 6 月に打ち上げられ、電磁波異常と地震発生の関係について研究するためのデータを収集している²²⁾。米国では民間会社が打ち上げた Quakesat 衛星により地震によると思われる電磁波を検出している。

我が国では2003年より宇宙航空研究開発機構において、1981年に宇宙科学研究所（ISAS）が打ち上げた太陽観測衛星「ひのとり」〔軌道傾斜角30度：高度600km〕が取得したプラズマパラメータと地震発生との相関解析を行った。このような解析をより多く行うよう、研究を促進すべきであると考ええる。

6 - 3

準天頂軌道の気象観測

気象予報の精度向上も GEOSS の達成目標の1つである。我が国は国土交通省が気象観測機能を含む運輸多目的衛星「ひまわり6号」（MTSAT-1R）を運用しており、東経140度の赤道上を中心に環太平洋の広い範囲を30分毎に観測して、気象予報の精度向上に役立っている。

仮に、準天頂衛星（QZSS）²³⁾の軌道に「ひまわり6号」と同等の気象観測センサを搭載した衛星

を3機以上配置すれば、静止軌道衛星ではカバーできない北極および南極地域を含めた観測が定期的に行えるようになる。我が国は現在、極軌道気象衛星を保有しておらず、米国のNOAA衛星の観測データに依存している。準天頂気象衛星はNOAA衛星に比べて解像度が低いため、ただちにその代替になるわけではないが、北半球の気象に対して大きな影響力を持つといわれる北極域の観測を常時行えることで、部分的にNOAA衛星や静止気象衛星を補完する重要な役割を担えるという可能性がある。

6 - 4

太陽活動と地球システムの関連に関する研究

太陽の活動は直接的に地球の生命圏に影響を与えることがわかっている。例えば、2005年4月に東京で行われた宇宙天気に関する国際ワークショップにおいて、太陽

フレアにより太陽表面磁場がらせん状に引き延ばされた“フラックスロープ”が地球磁気圏に襲来したときに磁気嵐が発生するという最新の研究成果が発表され、このらせん状の惑星間空間磁場構造が地球の北極側を向いている場合に比べて、南極側を向いている場合の方が地球の放射線や電磁プラズマ環境に及ぼす影響が大きいという注目すべき報告が行われた。地球観測を行う上で、太陽活動や太陽風の磁場変化など宇宙環境の変動を観測し、地球気象との長期的な関連を解明することが重要になってきている²⁴⁾。総合科学技術会議の「地球観測の推進戦略」においても、15の推進戦略の中で「地球科学」が取り上げられており、太陽活動だけでなく、ジオスペース（宙空）、超高層大気、海底・湖沼堆積物、超深度掘削などの観測を通じて、地球システムと人間圏の拡大との係わりをより深く研究する意義が示されている。

7 データ処理環境の整備

地球観測システムは日々増大する膨大なデータが蓄積されていくため、その処理を適切に行うことは重要な課題である。膨大な地球観測データを処理し、意味のある情報を取り出すため、さまざまな解析手法が開発されており、このようなデータ処理において、先端的な大型計算機システムの果たす役割は大きい。我が国の代表的な大型計算機システムである海洋研究開発機構（JAMSTEC）の地球シミュレータは、Linpack リンパック サイネットの地球シミュレータは、Linpack リンパック サイネットベンチマークでは既に米国製スーパーコンピュータ等に首位の座を譲っているが、大規模数値シミュレーションの実効速度では現在も

引き続き世界一のレベルを維持している。

衛星データの加工・解析においては、これまでに地球シミュレータ開発・運用で培った技術を応用し、多様なニーズに対応したデータ処理環境を整備することが必要である。特にネットワークを最大限に利用することで、利便性が大幅に向上する。これまで建屋内での利用に限定されていた地球シミュレータも、2005年からはスーパーSINETを経由した遠隔利用が可能になった。

データ処理環境の利用を中心に考えれば、地球シミュレータ以上の性能を有する大型計算機シス

テムを開発し利用に供することが我が国の科学技術成果の拡大につながるであろう。地球シミュレータは24時間運転で計算を行っているが、現状では幅広い計算需要を満たすことができず、選定された課題についての利用者だけしか利用できない状況である。多数の利用者がアクセスしやすいデータ処理環境を整備するには、例えば地球観測データの解析を行う部門を有する財団法人リモート・センシング技術センターをさらに発展させ、複数の大型計算機システムを運用して幅広い研究者の利用に供するという実施形態が考えられる。

8 おわりに —我が国の統合的な地球観測体制のあり方への提案—

2003年に米国の戦略国際問題研究所 (CSIS) より発表された「日米宇宙政策 21 世紀における協力の枠組み」²⁵⁾ の中では、地球観測における将来の日米関係について、3通りの進展シナリオが提示された。

A: 「米国優位シナリオ」現時点で、米国は日本の能力を全くあてにしておらず、一方日本は米国に依存する関係にあり、このような不均衡が継続する。

B: 「自立シナリオ」日本が完全な自主能力を開発し、米国への依存度が低くなるが、協力を行うことによる価値が生まれない。

C: 「パートナーシップシナリオ」日本が力強い能力を身につけつつ、同時に米国との連携を深め、資源・予算などを分担し、画像をリアルタイムで共有するなどの枠組みが作られる。

戦略国際問題研究所は、日米間には宇宙協力における阻害要因を克服し、協力を促進する価値は充分あるが、協力によって利益を得るためには、関連機関に対し応分の能力と誘因を与える枠組みを作るなどの措置が必要であると結論付けている。

筆者は、このような米国の見方に対して、これまで述べたような GEOSS を推進することで我が国が日米パートナーシップの方向に進む可能性が高くなると考えている。同時に、米国だけでなく、欧州やアジア、特に中国の動向にも同様に注目し、これらの国々とのパートナーシップも模索することが必要であると考えている。

以下に、我が国が GEOSS を推進する上で、留意すべき点を提案したい。

(1) 提案 1: 定常的に衛星観測を行う機関の設置

現場観測と衛星観測の融合化を図る上で、最大の問題は衛星観測を定常的に行う体制が確立できるかどうかである。この課題に対し、現在の我が国の体制には構造的な問題がある。JAXA は研究開発機構という性質を持つため、新しいタイプの衛星の研究開発に限定され、定常的に用いられる同一性能の衛星を提供することができない。衛星の仕様を公開して国際競争入札を行うと、価格の安い外国製の地球観測衛星を購入することになる可能性もある。当初から米欧との力量差が歴然としていた商業通信衛星に比べて、仕様がより複雑で高度なロボット技術を必要とする地球観測衛星は、我が国のお家芸となる可能性が十分にあると考える。ただし、そのためには定常的な運用の観点から地球観測衛星を調達し、運用を実施する機関が必要であり、一つのアイデアとしては(財)リモート・センシング技術センターを母体として国が直轄する「日本リモートセンシングセンター」を設立し、JAXA と並ぶ CEOS のメンバーにするという方法が考えられる。我が国で統合された地球観測を推進するため、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会に地球観測推進部会が設置されたが、統合的な観測実施の主体を持たないままでは、いくら統合化を唱えても計画は一向に進展しないで 10 年がすぐに過ぎてしまう結果に終わると危惧される。このような状況に留まっている要因としては、わが国の予算制度の硬直化によって、変化の激しい分野において資金面での政策誘導が困難であることが挙げら

れる。関係省庁の枠を越えて、利用ニーズに即した地球観測システム構築を主導する力のある機関を設置することが望まれる。現状は、JAXA や気象庁など高度な技術力を有し、規模の大きな組織が存在するが、どちらも立場上 GEOSS 全体を見渡すことが困難な組織でもある。

(2) 提案 2: ODA を活用した現場観測の拡大方策

既に国際的には先進国首脳会議に南アフリカ共和国などの開発途上国の代表が招かれるなど、国際協力で地球観測を行い、地球温暖化の対策も国際的に実行する地ならしが行われつつある。我が国は ODA の中で一定割合、例えば 10% を「GEOSS 対応」として明確化するなどの方策によって、地球観測に対する国際的な貢献を定量的に示すことができるであろう。経済開発のための資金援助と地球環境保護のための援助を同時に提示された場合、ODA を受ける側は経済開発を欲する傾向にあるが、我が国はむしろ IGOS - P の成果を受け継ぐ意欲と能力のある開発途上国に GEOSS 分の ODA が配分されるように工夫すべきであろう。このような GEOSS への貢献を明確にした ODA による資金提供を通じて、開発途上国において経済成長と環境保護を両立させるマインドが育まれることを期待する。またこのような方策によって観測の空白を埋めることができれば、地球規模での地球観測システムの精度向上につながるというメリットもある。

(3) 提案 3: 利用ニーズ主導の新しい衛星観測技術の開発

我が国は既に温室効果ガス観測

衛星 GOSAT の開発に取り組むなど、地球温暖化の要因となる温室効果ガスの分布や発生源の観測などで貢献しうる世界第一線の活動を行っている。GEOSS に向けて、減災、気象、水循環などの社会利益分野の側からこれまでの IGOS - P の成果が評価されているところである。今後さらに、重要な関連があるにも拘わらずデータが欠けている観測対象や、これまで関連付けされていなかった既存データの活用など、統合的な観測システムとして整備を進めるべきであろう。新しい観測手法として開発すべきものとしては、衛星観測が中心になると考えられるが、社会利益分野にとって有益なデータを取得するための手段の開発に必要な資金を拠出する必要がある。筆者は、独自の技術を持つことによって初めて、米国のみならず欧州・アジアなどとも対等なパートナーシップを構築することができると考える。ただし、新しい観測技術を開発する機関は、技術シーズ優先ではなく、常に利用ニーズを重視して技術開発に取り組むべきである。

謝 辞

本稿を執筆するに当たり、宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部地球観測利用推進センター(EORC)、同宇宙科学研究本部、国立環境研究所、海洋研究開発機構、(財)リモート・センシング技術センター、東京大学、北海道大学、京都大学、九州大学などの関係者より資料提供や討議をいただいたことに対し、深く感謝します。

参考文献等

- 1) NISTEP REPORT No.97、科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査デルファイ調査報告書、2005年5月、科学技術政策研究所
- 2) 地球観測の推進戦略 総合科学技

術会議、平成16年12月27日：
<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep097j/idx097j.html>

- 3) グレンイーグルズ行動計画—気候変動、クリーン・エネルギー、持続可能な開発(仮訳)、外務省ホームページ、平成17年：
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/gleneagles05/s_03.html
- 4) 持続可能な開発のための科学技術 G8 行動計画(仮訳)、外務省ホームページ、平成15年：
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/seaisland04/oecd_z.html
- 5) Strategic Plan for the U.S. Integrated Earth Observation System、国家科学技術評議会(NSTC)、2005年4月
- 6) GCOS のホームページ：
<http://www.wmo.ch/web/gcos/gcoshome.html>
- 7) GOOS のホームページ：
<http://ioc.unesco.org/goos/>
- 8) 「エルニーニョの予測可能性を148年間の海面水温データにより検証」、科学技術動向2004年7月号
- 9) GTOS のホームページ：
<http://www.fao.org/GTOS/>
- 10) 小林博和・浦島邦子、「地球監視・観測衛星の動向」、科学技術動向2003年11月号
- 11) NASA の OCO プロジェクトのホームページ：<http://oco.jpl.nasa.gov/>
- 12) NIES の GOSAT プロジェクトのホームページ：<http://gosat.nies.go.jp>
- 13) JAXA の 全 球 降 水 観 測 計 画(GPM) に関するホームページ：
<http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gpm/>
- 14) 辻野照久、「急速に発展する中国の宇宙開発」、科学技術動向2004年7月号
- 15) 「インドが立体地図作成衛星の打上げに成功」、科学技術動向2005年7月号
- 16) 韓国 Satrec Initiative 社のホーム

ページ：<http://www.satreci.com/eng/index.htm>

- 17) 地球観測衛星委員会(CEOS) ホームページ：<http://www.ceos.org/>
- 18) 「FY 2007 Administration Research and Development Budget Priorities」、大統領府、科学技術政策局、2005年7月8日
- 19) 米国の地球観測活動に関する NASA / GSFC の GCMD ホームページ：http://gcmd.nasa.gov/records/GEOSS_Tools.html
- 20) 米環境保護省の GEOSS ツール(グラフィカル・インタフェース)
http://www.epa.gov/geoss/eos/epa_eos.html
- 21) 「重力観測衛星 GRACE による水の広域移動観測」、科学技術動向2004年10月号
- 22) 「フランスが電磁場観測衛星を打上げ」、科学技術動向2003年8月号
- 23) 辻野照久、「ユビキタス測位における準天頂衛星の有効性」、科学技術動向2005年1月号
- 24) 辻野照久「宇宙環境観測・変動監視の研究動向」 科学技術動向2004年10月号
- 25) U.S.-Japan Space Policy—A Framework for 21st Century Cooperation Kurt M. Champell 他 2003年7月、ISCS

執 筆 者



総括ユニット 特別研究員

辻野 照久

科学技術動向研究センター
<http://www.nistep.go.jp/nistep/prof/tsujino.html>



専門は電気工学。旧国鉄で新幹線の運転管理等に従事した後、旧宇宙開発事業団において情報システム、世界の宇宙開発動向調査、知的財産権管理など宇宙技術全般と社会との接点に関わる業務に従事。現在はフロンティア分野を担当。

■ 略語のフルスペル ■

ALOS : Advanced Land Observing Satellite 「陸域観測技術衛星」(日)
AVHRR : Advanced Very high Resolution Radiometer 「改良型高分解能放射計」(米)
AVNIR : Advanced Visible and Near Infrared Radiometer 「高性能可視近赤外放射計」(日)
CEOS : Committee on Earth Observation Satellites 「地球観測衛星委員会」
CSIS : Center for Strategic and International Studies 「戦略国際問題研究所」(米)
DMSP : Defense Meteorological Satellite Program 「防衛気象衛星計画」(米)
DoD : Department of Defense 「国防総省」(米)
DoE : Department of Energy 「エネルギー省」(米)
DPR : Dual Precipitation Radar 「二周波降水レーダ」(日)
EC : European Commission 「欧州委員会」
EPA : Environmental Protection Agency 「環境保護庁」(米)
EORC : Earth Observation Research and application Center 「地球観測利用推進センター」(日)
ERS : European Remote Sensing Satellite 「欧州リモートセンシング衛星」
ESA : European Space Agency 「欧州宇宙機関」
EUMETSAT : European Meteorological Satellite Organization 「欧州気象衛星機構」
FAO : Food and Agriculture Organization 「国連食糧農業機関」
GCOS : Global Climate Observing System 「全球気候観測システム」
GEO : Group of Earth Observation 「政府間の地球観測作業部会」
GEOSS : Global Earth Observation System of Systems 「複数システムからなる全球地球観測システム」
GMES : Global Monitoring for Environment and Security 「環境と安全のための地球モニタリング」(欧)
GOES : Geostationary Observation Environment Satellite 「静止気象衛星」(米)
GOOS : Global Ocean Observing System 「全球海洋観測システム」
GPM : Global precipitation Measurement 「全球降水観測計画」
GOSAT : Greenhouse gases Observing SATellite 「温室効果ガス観測技術衛星」(日)
GSFC : Goddard Space Flight Center 「ゴダード宇宙飛行センター」(米)
GTOS : Global Terrestrial Observing System 「全球陸上観測システム」
ICSU : International Council of Scientific Unions 「国際科学会議」
IEOS : Integrated Earth Observing System 「統合地球観測システム」(米)
IGOS : Integrated Global Observing Strategy 「統合地球観測戦略」
IOC : Intergovernmental Oceanographic Commission 「政府間海洋学委員会」
JAMSTEC : Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology 「海洋研究開発機構」
JAROS : Japan Resources Observation System Organization 「資源探査用観測システム研究開発機構」
JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency 「宇宙航空研究開発機構」
JMA : Japan Meteorological Agency 「気象庁」
MSG : Meteosat Second Generation 「第二世代メテオサット」(欧)
MTSAT : Multi-functional Transport Satellite 「運輸多目的衛星」
NASA : National Aeronautics and Space Administration 「米国航空宇宙局」
NASDA : National Space Development Agency of Japan 「(旧) 宇宙開発事業団」
NICT : National Institute of Information and Communication Technology 「情報通信研究機構」
NIES : National Institute for Environmental Studies 「国立環境研究所」
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 「米国海洋大気庁、または同庁が運用する極軌道気象衛星」
OCO : Orbiting Carbon Observatory 「軌道上二酸化炭素観測機」(米)
ODA : Official Development Aid 「政府開発援助」
PALSAR : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar 「フェイズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダ」(日)
PR : Precipitation Radar 「降雨レーダ」(日)
PRISM : Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping 「パנקロマティック立体視センサ」(日)
RESTEC : Remote Sensing Technology Center of Japan 「(財)リモート・センシング技術センター」
SPOT : Satellite Probatoire d'Observation de la Terre 「スポット」(仏)
SSM : Special Sensor Microwave 「マイクロ波放射計」(米)
TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission 「熱帯降雨観測衛星」(米、日)
UNEP : United Nations Environment Program 「国連環境計画」
UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 「国連教育科学文化機関」
USAF : United States Air Force 「米国空軍」
WMO : World Meteorological Organization 「世界気象機関」

日本の科学技術の現状と今後の予測

科学技術振興による経済・社会・ 国民生活への寄与の定性的評価・分析 国公立大学及び公的研究機関の 代表的成果調査

▶参考：NISTEP REPORT No.89、No.93
<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep089j/idx089j.html>
<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep093j/idx093j.html>

1 科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析・・・

1-1

本調査の目的

本調査の目的は、科学技術振興に向けた種々の取り組みが、経済・社会・国民生活にもたらしたインパクトを計測するとともに、各インパクト実現の過程において有効であった公的研究開発・支援の寄与を分析することによって、今後の科学技術振興における公的研究開発・支援のあり方を検討する際に役立つ資料を提供することである。

科学技術振興には、長期間にわたる研究開発投資や市場開拓への条件整備など多様な施策が関連している。本調査では個別の技術に着目して、その技術がもたらしたインパクトの内容を把握し、さらには、そのインパクトを実現する

(注1) アンケート結果：NISTEP REPORT No.80「科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析」平成15年度調査報告書

までの過程において、公的研究開発・支援が果たした役割を検証することを旨とした。

1-2

事例の抽出

本調査では、まず、第2期科学技術基本計画で定められた重点及び準重点の8分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、エネルギー、製造技術、社会基盤、フロンティア）に関連する310技術を過去の技術予測調査の結果などを基に抽出し、アンケート調査を通じて、技術のもたらすインパクトの俯瞰的な分析を試みた^(注1)。次に、アンケート結果を踏まえてインパクトの大きな技術を選定し、それらを起点とした事例分析を実施した。8分野のそれぞれについて、過去10年程度の間の実現し、インパクトを既にもたらしめている技術を各2事例、今後10年程度の間の実現し、今後インパクトをもたらしとされる技術を各2事例抽出し、計32技術を事例分析の対象とした(図表1)。

1-3

事例分析例

事例分析に際しては、関係者へのインタビューにより、技術のもたらした（もしくは、今後もたらすと考えられる）インパクト及びインパクトの実現過程を包括的に把握し、各過程における公的研究開発・支援の位置づけを明らかにするという手法をとった。以下に、32事例のうちのひとつである「光触媒材料」の事例分析の概要を例示する。

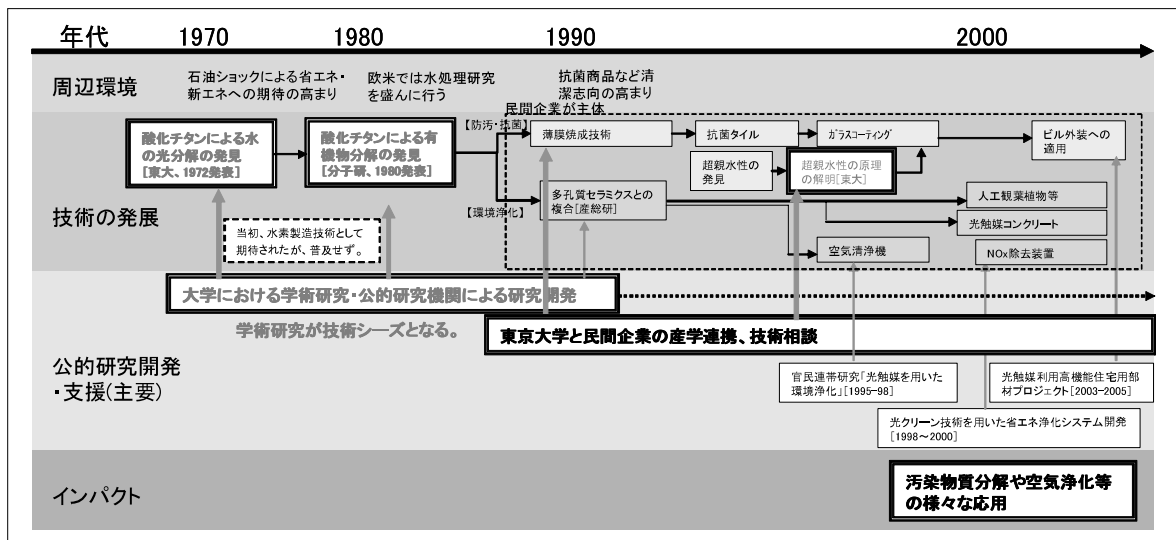
●事例：光触媒材料

光触媒技術は、当初は水素製造技術として期待されて研究が行われたが、その研究成果は普及には至らなかった。その後、有機物分解性の発見、薄膜化技術の進展により、セルフクリーニングタイルや空気浄化等に応用されるようになり、経済・社会・国民生活への大きなインパクトを実現した。初期の技術発展の過程では大学や公的研究機関における学術研究が中心であり、1960年代末に水の光分

図表1 事例分析の対象技術

分野	実現技術	未実現技術
ライフサイエンス	肺がんの早期発見に有効なヘリカルCT技術	幹細胞による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる技術
	個人の遺伝子多型等を検出する塩基配列決定技術とその応用（診断やテラメイド医療）	遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術
情報通信	高演算速度の並列コンピュータ	垂直磁気記録技術（ハードディスクドライブ用）
	ITS（カーナビゲーション、VICS、ETC、交通管理など）	ユビキタス・ネットワーク
環境	オゾン層を破壊せず地球温暖化への影響を考慮したフロン・ハロン代替品製造・利用技術	廃棄物処理用ガス化溶融炉及び灰溶融炉技術
	内分泌かく乱物質の人体、生体への影響解明技術	二酸化炭素の分離・回収・隔離技術
ナノテクノロジー・材料	リチウム電池の高密度化・高寿命化技術	カーボンナノチューブ・デバイス技術
	光触媒材料	高温超伝導材料
エネルギー	住宅用太陽光発電システム	水素吸蔵合金
	天然ガス等からの液体燃料製造・利用技術（GTL、DME）	燃料電池自動車
製造	廃自動車及び廃家電の適正処理技術	マイクロリアクタによる革新的化学品製造技術
	レーザを利用した加工技術	多目的看護や身障者への機能補助を行うロボット（福祉ロボット）
社会基盤	局地的な気象予測技術	地震検知全国ネットワークによる地震動到達前防災システム
	地震動による構造物等の挙動シミュレーション技術	難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理システム
フロンティア	人工衛星によるリモートセンシング技術（データの解析・利用技術）	海底からの石油の経済的採取技術
	高性能放射光発生技術	準天頂衛星システム

図表2 光触媒材料技術のインパクトと公的研究開発・支援の位置づけ



解、1980年に有機物分解性の発見がなされ、これらが技術シーズとなった。大学による基礎研究は、単に技術シーズとなっただけではなく、1992年の民間企業による酸化チタン薄膜開発への技術指導や超親水性の産学連携による原理解明等の形で、技術の発展過程に対して継続的な寄与があっ

た。この間、技術の発展により基礎研究がさらなる発展を見せるといふ連鎖モデルが実現した。一方、公的研究機関は、民間企業が開発したNO_x除去システムの試験、光触媒ハイブリッド材料の開発の面での貢献が見られた。NO_x除去装置は技術的には進展したが、まだ普及には至っていない。

一方、光触媒ハイブリッド材料は人工観葉植物等として製品化された。光触媒技術のインパクトと公的研究開発・支援の位置付けを図表2にまとめる。

この技術による経済的インパクトについては、すでに約400億円の市場が実現したと推計されている（図表3参照）。社会的イン

パクトとしては、道路やビルの清掃コストの削減、農業のハウス栽培における廃液の浄化問題の解決への寄与が挙げられる。さらに今後、道路周辺におけるNO_x除去等への期待がかけられている。また、国民生活へのインパクトについては、住宅の外装・内装の清掃にかかる手間の削減、都市や道路における美観の向上という点で貢献している。最近では、光触媒の性能試験の標準化をめぐり、国際的に競争がはじまっている。我が国でも主に経済産業省が関与する形で、標準化への取り組みを推進している。

1 - 4

技術のもたらすインパクトの具体的内容

図表1に示した32技術の事例分析を通じて、経済・社会・国民生活への多種多様なインパクトの具体的な内容を把握した。これらをまとめると、図表4～6のようになる。経済的インパクトとしては、「市場（雇用）創出・拡大」、「コ

スト削減」、「経済リスク低減」、「国際競争力強化」の4種類が主な具体的内容であった（図表4）。社会的インパクトとしては、「環境問題への貢献」、「エネルギー・資源問題への貢献」、「高齢化等への対応」、「社会インフラ・防災性向上」の4種類が主な具体的内容であった（図表5）。また、国民生活へのインパクトとしては、「国民の生命・生活確保」、「国民の健康維持・回復」、「国民の利便性・快適性の向上」、「国民意識・ライ

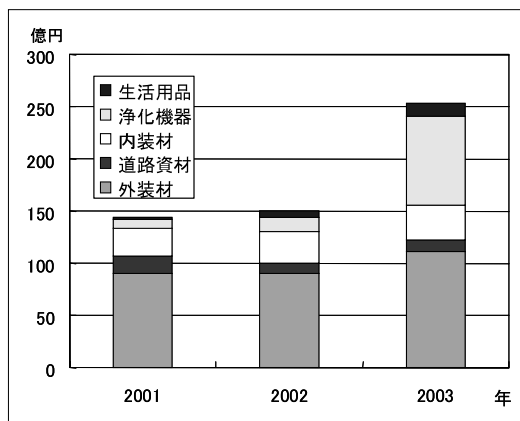
フスタイルの変革」の4種類が主な具体的内容であった（図表6）。

1 - 5

インパクト実現に対する公的研究開発・支援の寄与

32事例に対するインパクト実現過程の詳細な分析の結果、科学技術の進展とインパクト実現に対する公的研究開発・支援の寄与を、図表7に示したような①～④に分類することが可能であった。技術

図表3 光触媒応用製品の市場規模推移



出所：光触媒製品フォーラム資料（2003年からの浄化機器の金額急増は、集計方式の変更によるもの（従前はフィルタ部分のみ、事後は機器全体の金額として計算している）

図表4 経済的インパクトの具体事例

インパクト種類		具体的内容例
市場（雇用）創出・拡大	レーザ加工	約3,000億円（現在）のレーザ加工機市場創出（2010年には約6,000億円）
	住宅用太陽電池	約1,500億円（世界一）の太陽光発電システム市場創出（2010年には約4000億円）
	ITS技術	関連市場8,814億円（20115年には約7兆円）
	光触媒	関連市場約400億円
	水素急蔵材料	約3兆円の水素供給ビジネス市場創出の期待
	カーボンナノチューブ	ディスプレイ市場約1800億円、集積回路約1,200億円の市場創出の期待（2010年）
コスト削減	並列スパコン	自動車や医薬品等で製品開発・試作コスト削減
	局地的気象予測	天候依存型産業（流通、建設等）の業務効率化
	高音超伝導材料	約3,700億円相当の送電ロス削減の期待
	ITS技術	交通渋滞解消による社会的コスト削減等（1兆円規模の期待）
経済リスク低減	内分泌かく乱解明	有害化学物質のスクリーニングによる化学物質被害の再発防止の期待
	地震動シミュレーション	災害による被害の防止・軽減
	難分解性物質処理	適切な排水処理による農産物の価格維持の期待
国際競争力強化	レーザ加工技術	機械加工・微細加工等によるものづくり競争力向上（自動車、電子産業等）
	フロン・ハロン代替	他国企業に先駆けた規制への対応による国際競争力向上（空調機器産業）

(注) 市場（雇用）創出・拡大、コスト削減の数値は、日本における値である。

本調査より得られた政策的インプリケーション

本調査を通じて、科学技術は経済、社会、国民生活へ幅広いインパクトを与えていること、そして、インパクト実現においては公的研究開発・支援がさまざまな形態で寄与していることが確認された。以下に、技術がインパクト実現に

のインパクト実現までの過程においては、研究開発への投資のような直接的な寄与（①、②）のみでなく、調達や研究基盤整備といった間接的な寄与（③、④）も公的部門の役割としては重要であることが明らかになった。

技術がインパクトを実現する過程には、リニアモデル、連鎖モデルなど多様な道筋があるが、技術

の特徴に応じて公的研究開発・支援が様々な形で寄与することで、技術のインパクトは実現されている。ここで重要なことは、①～④が単発的に実施されるのではなく、「出口」（経済、社会、国民生活へのインパクト）までの「道筋」を想定した上で、公的研究開発・支援を効率よく実施する必要があるという点である。

図表 5 社会的インパクトの具体事例

インパクト種類		具体的内容例
環境問題への貢献	フロン・ハロン代替	オゾン層破壊防止（国際的取り決めの履行）
	リサイクル	自動車・家電等の廃棄物の一層の削減（年間約 76 万 t）
	燃料電池自動車	現在の 0.5% 程度の CO ₂ 排出削減の期待（年間約 6,000 t-CO ₂ ：2020 年）
	CO ₂ 分離回収隔離	現在の 0.8% 程度の CO ₂ 排出削減の期待（年間約 1,000 t-CO ₂ ：2015 年）
	溶融炉	最終処分廃棄物量の削減の期待
エネルギー・資源問題への貢献	住宅用太陽電池	約 22 万戸に普及（世界一）、国産エネルギー増加の期待（発電シェア、現在 0.1%→2030 年 10%へ）
	ガス化燃料	エネルギー源の多様化による石油依存度縮小の期待
高齢化等への対応	再生医療	疾病等に対する完治可能性向上の期待
	看護・補助ロボット	介護者、被介護者双方の負担減少の期待
社会インフラ・防災性向上	地震動シミュレーション	道路や橋梁、ビルや住宅などの地震に対する安全性向上
	衛星リモートセンシング	地震や火山等、災害・被害情報の伝達による対応・対策の有効性向上
	地震波到達前防災	都市の地震に対する安全性向上（火災防止、都市機能の早期復旧）の期待
その他	並列スパコン	米国の科学技術政策への影響（地球シミュレータによる世界最高の計算速度達成が米国の政策に影響）
	放射光	世界最高性能の施設（SPring-8）による国際的地位向上、考古学調査等へも応用
	遺伝子操作作物	世界的な食糧危機における食料生産力向上に対する国際貢献への期待（中国、アフリカ等の乾燥地域や塩害地域における食料生産）

図表 6 国民生活へのインパクトの具体事例

インパクト種類		具体的内容例
国民の生命・生活確保	ヘリカル CT 技術	肺がんの早期発見による治療効果向上
	準天頂衛星	子どもや高齢者等の位置検出による被害・事故・犯罪等の被害削減の期待
国民の健康維持・回復	塩基配列決定技術	難治性疾患の治療や副作用のない治療の期待
	マイクロリアクタ	多項目・高速の臨床検査・診断による検査負担軽減、患者による自己・日常検査の簡便化の期待
国民の利便性・快適性の向上	光触媒	防汚機能を有するタイル、防曇機能を有する車両ミラーによる美観・快適性向上
	リチウムイオン電池	携帯電話やモバイル PC 等、電子機器の小型・軽量化といった利便性の向上
	ITS 技術	交通渋滞改善および自動車運転や運転環境の快適性向上およびガソリンスタンド、駐車場、ドライブスルー等における支払の簡便化の期待
国民意識・ライフスタイルの変革	太陽電池システム	省エネルギーに対する意識の向上
	リサイクル	リサイクルに対する意識の向上

到るシステムを効率よく機能させる上での留意点をまとめて示す。

● 公的部門の役割の重要性

技術の性格に応じて公的研究開発・支援の関与の仕方は異なる。最終的なインパクト実現までの過程で、公的部門は多様な役割を果たしている。科学技術振興による経済・社会・国民生活へのインパクトをより一層拡大させるには、今後さらなる公的研究開発・支援の充実を要する。

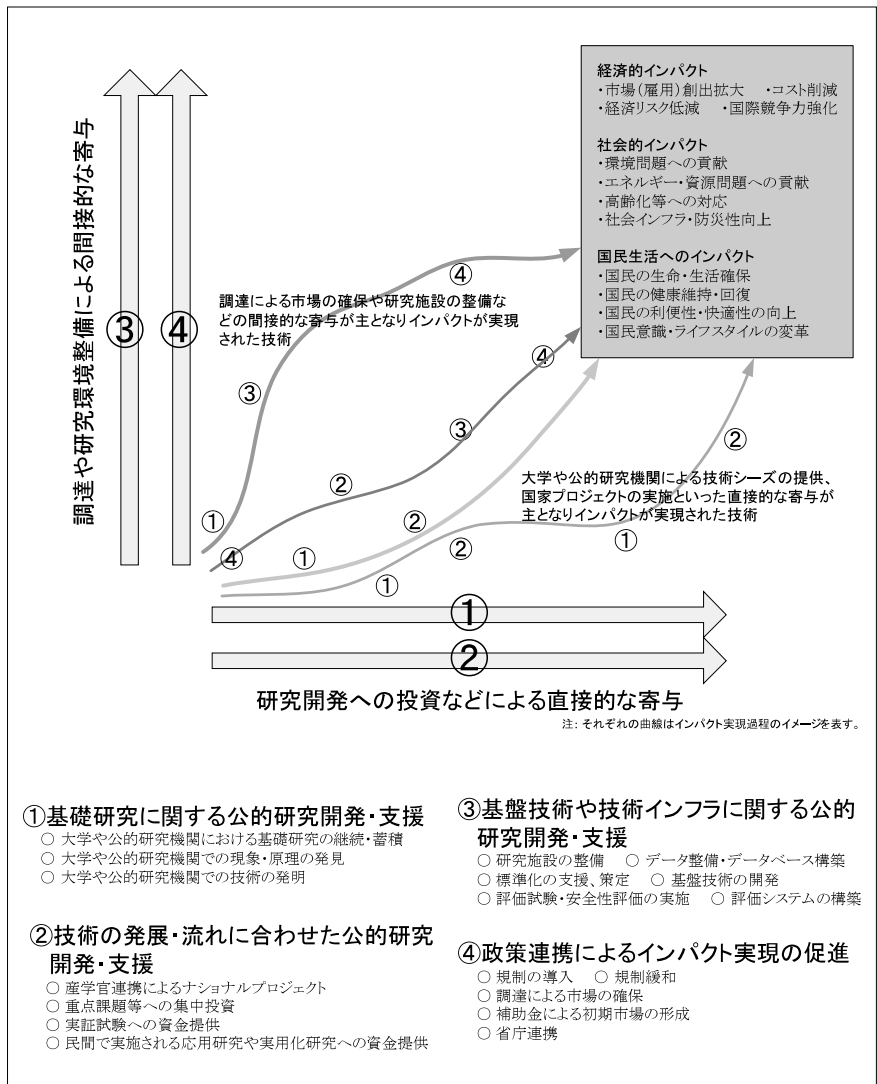
● 基礎研究の重要性

技術がインパクトを実現する過程には多様な道筋があるが、その基盤として厚みのある基礎研究が不可欠である。具体的には基礎研究の多様性の確保及び継続的な実施が求められる。基礎研究は、発明・発見を通じた技術シーズの提供、原理の解明による民間における技術開発の進展、基礎研究を通じた人材の厚みの形成などを通じて、インパクトの実現に寄与する。

● 「出口」までの「道筋」の考慮

「出口」（経済、社会、国民生活へのインパクト）までの「道筋」を想定し、研究開発と並行してインパクト実現に必要な環境を整備することが重要である。インパクトを実現する上で律速要因が何であるかのシステム分析を随時行っていくことも必要である。また、技術の進展及び社会環境等の変化がともに激しいことを踏まえて、柔軟性のある公的研究開発・支援

図表7 公的研究開発・支援の位置付け



が求められる。

● 調達や研究基盤整備などの重要性

技術のインパクト実現までの過程においては、研究開発への直接的な寄与のみでなく、調達や研究基盤整備といった間接的な寄与も公的部門の役割として重要である。特に、調達に関しては技術を政府が積極的に導入することで一

定量の市場を確保し、民間における継続的な技術開発を可能とするという点で、技術のインパクト実現において大きな寄与がある。今後は、産業に軸足のある研究開発の推進の手段として、特に「調達」を明確に位置づける必要があるだろう。

2 国公立大学及び公的研究機関の代表的成果調査

2 - 1

本調査の目的

第1期及び第2期の科学技術基本計画実施中の政府研究開発投資は増額されてきた。第3期にも政府科学技術投資の維持あるいは拡大を検討する場合には、その前提として、これまでの研究投資成果を国民の目に見える形で積極的に情報発信することが求められる。本調査は、第1期及び第2期の科学技術基本計画実施中に政府研究開発予算の主な投資先であった国公立大学及び公的研究機関における代表的成果（あるいは大きな進展）をアンケートの形で収集し、それらの成果が多様な意義をもつことを勘案しつつ取りまとめ、基本計画の達成効果を示す一資料となることを目的とした。

2 - 2

調査方法

(1)調査の基本方針

本アンケート調査における成果

の収集方法の方針は以下の4点である。

①成果を所属機関別に問う

本調査では、機関としてのミッション型の成果も研究者個人に由来する研究開発成果もすべて当該機関に所属するうえで成されたものと仮定し、機関別に各機関の代表者から回答を得る形をとった。

②成果の意義を問う

本調査では、代表的な成果名を問うのみならず、それらの成果の結果もたらされた意義についても回答を求めた。研究開発成果は多様な意義をもたらすものと仮定し、また、ひとつの成果に対して複数の意義が生じうるとした。さらに、各意義には、基本計画実施中に実現したものと今後に期待されるものがあるとした。

③科学技術基本計画の期間中における成果を問う

本調査では、第1期及び第2期の科学技術基本計画期間中（1996以降）に達成された成果

及び同期間中の大きな進展に注目した。

④回答は任意である

本調査では、回答の有無、回答件数、詳細データ付属等はすべて任意であるとした。

(2)調査の具体的方法

本調査では郵送によりアンケート調査票を送付し、郵送あるいはメールにより回答を回収した。調査対象は、国公立大学（含む大学共同利用機関）及び公的研究機関のうち、科学技術の研究開発を行っているものとみなされる機関である。私立大学等については、主たる研究開発費用が公的投資とは限らないため、本調査の対象外とした。また、アンケートの発送先は、各機関の機関長（学長、理事長等）であるが、大学等に関しては回答者として研究（学術）担当理事（相当）を指名した。

回答の有無及び回答件数は任意であり、自己申告により機関ごとに代表的成果（あるいは大きな進展）を回答することとした。また、それぞれの成果について、自己評

図表8 本調査における成果（進展）の意義の分類

成果（進展）の意義	内容例
新原理・新発見・大発明	新原理・新定理の提案、科学的発見、未達成技術の実現、等によって、高い外部評価（受賞・表彰等）を受けたもの
新研究領域の開拓	新たな研究領域の発掘・開拓・発展
研究開発インフラの整備	新施設・新設備の運用・活用実績、新サービス運用・活用実績（データベース等）、新センター・新プロジェクトの発足・推進、等
環境・社会への貢献	地球環境改善への貢献、安全・安心な社会への貢献等において、明らかな効果が認められたもの（例：エネルギー問題解決、社会資本の改善、等）
国民生活・地域への貢献	国民生活の質向上や地域生活の問題解決等において、明らかな効果が認められたもの（例：医療・福祉の向上、生活利便性向上、地域課題の解決等）
国際社会への貢献	めざましい効果を挙げた国際的な活動あるいは国際貢献、等
市場創出・新事業・起業	研究成果の実用化あるいは製品化による新市場創出、公共サービスや産業界への技術移転あるいは事業化、研究成果を基にした起業および成功、等
その他の経済効果	研究成果がコスト削減、製品・サービス改善、産業競争力向上に貢献等
その他	上記に分類されない成果（例：標準ソフトウェア、規格・基準の整備、等）

図表9 本調査で収集された多様な意義をもつ成果（進展）の48事例

最大の意義	成果名	研究機関名
新原理・新発見・大発明	ニュートリノ天文学の開拓から始まった素粒子物理学の飛躍的発展	東京大学
	比較認知科学研究：「進化の隣人」チンパンジーと習得する知識や技術とその世代間伝播など霊長類を対象とした比較研究による人間の心の進化的基盤の解明	京都大学
	すばる望遠鏡の建設と宇宙の解明	自然科学研究機構国立天文台
	イネゲノム解析：イネゲノム塩基配列完全解読を達成	㈱農業生物資源研究所
	知識メディア技術：知識の連携統合と再利用のための再編集・再流通メディア技術	北海道大学
	がんの本態解明と予防、診断、治療法の開発	国立がんセンター研究所
	Bファクトリーによる素粒子物理学研究の推進	高エネルギー加速器研究機構
	ヒトES細胞の樹立と分配体制の確立	京都大学
	技術試験衛星「おりひめ／ひこぼし」の開発及び運用：自動ランデブ・ドッキングシステムの開発・軌道上実証	㈱宇宙航空研究開発機構
	大脳の記憶メカニズムの解明：記憶を科学する	東京大学
	高効率化・長寿命有機EL材料および素子の開発	山形大学
	高速原子間力顕微鏡の開発：溶液中の生体分子のリアルタイム撮影	金沢大学
	テラビット情報ナノエレクトロニクスの研究・開発	広島大学
生殖細胞を用いた魚類の新たな発生工学技法	東京海洋大学	
新研究領域の開拓	加速器科学研究の発展による113番新元素等の発見	㈱理化学研究所 他
	生物学と情報科学の融合：生物界に学ぶ新たな情報技術の創出	大阪大学
	三次元高速バイオマイクロマニピュレーションシステムの開発プロジェクト	名古屋大学
	国際宇宙ステーションを中心とした宇宙環境利用の推進	㈱宇宙航空研究開発機構
	放射線災害に対する先進的総合医療開発	広島大学
	光を用いた生体計測・診断技術の研究	電気通信大学 他
研究開発インフラの整備	地球シミュレータ：世界最高の演算性能を達成	㈱海洋研究開発機構 他
	シリコンシーベルトプロジェクト：システムLSI設計開発拠点の構築	九州大学 他
	燃料電池の劣化要因解析と加速寿命評価法の確率	山梨大学
	世界最高分解能NMRマグネットの開発	㈱物質・材料研究機構
	文化遺産オンライン構築への技術協力	情報・システム研究機構、国立情報学研究所
環境・社会への貢献	生ゴミから生分解性プラスチックの生産	九州工業大学
	防風効果を兼ねたマイクロ風力発電システムの開発	埼玉大学
	人工衛星センサによるオゾン層モニタリング：南北両半球のオゾン破壊メカニズムを解明	㈱国立環境研究所 他
	温暖化防止世界統合モデル：気候変動国際政策へのインパクト	㈱国立環境研究所 他
	雲解像非静力学モデルの開発：豪雨・豪雪の定量的予測	気象研究所
	DNA型鑑定システム：機器分析による新しい鑑定システムの構築	科学警察研究所
	氷床コアによる気候・環境変動の解明	情報・システム研究機構、極地研究所
	我が国初の高温ガス炉である高温工学試験研究炉：原子力エネルギー利用の多様化への途を拓く技術の確立	日本原子力研究所
	昼夜・天候を問わない地表面観測：高分解能の航空機搭載映像レーダを開発	㈱情報通信研究機構
	共生微生物を利用した普賢岳火砕流跡地の緑化とその効果の科学的判定	山口大学
深海観測・探査による沈没タンカーの調査および落下ロケット部品の発見	㈱海洋研究開発機構	
地域への貢献・国民生活への貢献	重粒子線がん治療装置によるがん治療	㈱放射線医学総合研究所
	成人T細胞白血病原因ウイルスの母子間感染経路の解明と感染予防による地域内発がんの克服	長崎大学
	GPSを用いた知床峠の除雪支援システムの開発	北見工業大学
	ダイヤモンド状炭素膜応用技術開発：地域密着型産学連携による低摩擦・高耐摩擦性部材の開発	東京工業大学
国際社会への貢献	対地雷検知装置の開発とアフガニスタンにおける適用	東北大学
	難治性寄生虫病に関する免疫・分子診断法への開発：疫学への応用および流行国研究者への技術移転	旭川医科大学
市場創出・新事業・起業	触媒的不斉合成法の発案と確立：実用的な触媒的不斉水素化反応の発見・開発および工業化	名古屋大学 他
	大口径・高密度プラズマ処理装置の開発：低ダメージ・省エネルギー型半導体処理装置の実用化	東北大学
	Ti-Ni系形状記憶合金の開発と産業の創出	筑波大学
	機能性トリアジンチオール：ナノ薄膜利用技術	岩手大学
	MEMS技術の産業化：民間への技術移と地域産業振興	東北大学
	急速充放電できるリチウムイオン二次電池の基盤技術開発	山形大学

価による成果の意義・分野分類等を依頼した。特に、成果（あるいは進展）の意義については図表8のような多様な範囲を設定し、選択式とした。

2 - 3

調査結果と公表

結果的に、108 機関から 848 件の代表的成果が収集された。それらを図表8の意義の分類で見渡す

と、国公立大学及び公的研究機関における代表的成果（あるいは大きな進展）は、非常に多様な意義をもつことが判明した。これら全件を「成果集」の形で公開するとともに、その一部を事例として抽出して（図表9）、より内容の分かりやすい「要約版」の形にまとめて公開し、合わせてパンフレットの形でも広く配布した。図表10は48事例のうちの2例である。

2 - 4

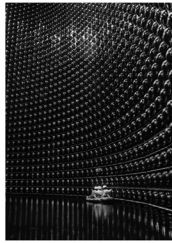
本調査より得られた政策的インプリケーション

本調査により、非常に多様な意義をもつ国公立大学及び公的研究機関の成果が数多く抽出された。また同時に、個々の成果の多面的な複数の意義も検出された。このような多様な成果が社会のイノベーションになっていくまでには、個々の意義が最大限に生きるような支援が必要であると考えられる。

図表10 多様な意義をもつ成果（進展）の例

新たな基礎科学は宇宙からの贈り物

ニュートリノ天体物理学の開拓から始まった素粒子物理の飛躍的発展
(東京大学)



スーパーカミオカンデ
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/doc/sk/index.html>

1987年にカミオカンデにおけるニュートリノ発見により拓かれたニュートリノ天体物理学は、その後、世界の数多くのニュートリノ観測実験につながり、素粒子物理と天体物理の境界に位置する新しい基礎科学の研究領域として急速に発展している。小さなニュートリノ質量の存在は、宇宙創生時における物質生成の謎を解く鍵とされており、宇宙のダークマターやダークエネルギーの謎とともに、その解明への注目が高まっている。

1995年から稼動したスーパーカミオカンデによる観測により、それまでの素粒子の標準理論では質量が無いとされていたニュートリノが非常に小さな質量を持つことが見出された。そして、他の素粒子に比べて桁違いに質量が小さいという大きな謎についてもシーソー機構と呼ばれる理論を提案して原理を説明した。この発見によって従来の標準理論は破綻し、新たな枠組みを構築するために新しい加速器による実験も始まろうとしている。大強度陽子加速器計画(J-PARC)における更に精密なニュートリノの性質の測定、標準理論のエネルギースケールを超える高エネルギー反応を探る加速器 LHC やリニアコライダー(ILC)の実験などによって、新たな世界的大発見が期待されている。

ニュートリノ天体物理学は、日本の研究者が中心となって切り開いた新しい学問分野であり、今後も引き続き、J-PARC、LHC、リニアコライダーなどによって、基礎科学分野での大きな国際貢献が期待できる。

本研究に関するデータ

主な推進者：東京大学名誉教授 小柴昌俊、東京大学大学院理学系研究科教授 柳田勉

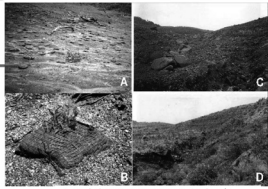
推進した国際共同実験：Kamiokande Collaboration, T2K Collaboration 等

推進した国際共同研究：Worldwide Study of the Physics and Detectors for Future Linear Colliders

成果に対して授与された表彰：ノーベル物理学賞 (2002)

緑の普賢岳が戻ってきた

共生微生物を利用した普賢岳火砕流跡地の緑化とその効果の科学的判定
(山口大学)



A:火砕流跡地に投下した緑化バッグ
B:緑化バッグの拡大図
C:緑化バッグ投下直後の火砕流跡地
D:3年経過後の景色
(山口大学提供)

山口大学では、長崎県雲仙普賢岳の火砕流跡地の緑化とその効果の科学的判定を進め、地域社会の安全確保や迅速な環境修復に成功している。火砕流跡地の広範囲に、バイオニア植物の種子と共生微生物(アーバスキュラー菌根菌)を混入した緑化資材をヘリコプターから投下し、テフラで覆われた急斜面の緑化を促進した結果、土石流が防止でき、環境が修復された。火砕流跡地でのアーバスキュラー菌根菌の追跡調査のために、接種菌系統に特異的な DNA 配列をマーカーとして検出・同定する技術を開発し、加えて、野外での宿主植物を巡る接種菌と土着菌の競合関係を解析し、現場での接種菌の動態を明らかにした。アーバスキュラー菌根菌に関して、このような動態解析の例は過去に無く、この研究は今後の発展が期待される。

また、この技術は、沖縄県内の赤土流出防止と緑化、中華人民共和国の内モンゴルや西部荒廃山地の荒廃土壌地域の緑化にも導入されており、今後、さらに国内外での成果が期待できる。

本研究に関するデータ

主な推進者：山口大学農学部教授 丸本卓哉

共同推進組織：長崎県(雲仙普賢岳の火砕流荒廃斜面の緑化)

推進した主な公的投資：

- ・ 科学研究費補助金試験研究(B)「森林土壌の浸食防止・樹林形成資材の開発」(平成5~7年度)
- ・ 生物系特定産業技術研究機構基礎研究推進事業「共生微生物等を利用した荒廃土壌の新修復技術の開発」(平成11~15年度)

成果に対して授与された表彰等：山口県科学技術振興奨励賞(1998)

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

9

2005
No.54

Science & Technology Foresight Center

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレス
または電話番号までお願いいたします。

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき
「報告書一覧科学技術動向・月報」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター

【連絡先】 〒 100 - 0005 東京都千代田区丸の内 2 - 5 - 1
【電話】 03 - 3581 - 0605 【FAX】 03 - 3503 - 3996
【URL】 <http://www.nistep.go.jp>
【E-mail】 stfc@nistep.go.jp



文部科学省 科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター

科学技術動向2005年9月