

1 地球環境計測の研究開発

1 *Research and Development of Global Environment Measurement*

熊谷 博

KUMAGAI Hiroshi

要旨

通信総合研究所では、地球環境計測の研究開発として、地球規模の測定を行う衛星搭載センサ技術の開発と地上及び航空機上で高精度な観測を行う計測技術開発を進めている。これらの研究は、電磁波の有効利用技術として従来から実施されてきたものであるが、近年、この分野の研究は、より公共性の高い課題の実施により社会への寄与を高めるために、対象を地球環境計測に絞り、効率的実施をねらってきた。これらの研究は、情報通信技術の一環として進めるとともに、外部の科学研究コミュニティと連携して進める必要がある。平成13年度から、独立行政法人として研究を実施するに当たって、本分野における中期目標と中期計画を示し、これらの研究活動を進める上での考え方を整理する。併せて各研究プロジェクトの概要の紹介を行う。

In the study of global environment measurements, two categories of research and development projects are going on: one is for satellite-borne sensor development for global scaled objectives, the other is for advanced measurement technology development applied to ground-based and aircraft-borne systems. This field of research activities have been conducted so far for the expanded utilization of electromagnetic wave technologies. Recently, the activities have been focused on the global environment measurements and more effective implementation has been pursued in order to meet public interests and to exhibit visible contribution to the society. It is suggested in CRL to carry out these activities as a part of info-communications research activities and with close collaboration with science communities outside CRL. From fiscal year of 2001, CRL's organization was changed to an Independent Administrative Institution (IAI). Research management policy necessary in implementation of projects in IAI will be discussed with referring to medium-term research objectives and plans in this field. Outline of each individual ongoing research project in this field is described.

【キーワード】

地球環境計測, 中期目標, 中期計画, 衛星搭載センサ

Global environment measurements, Medium-term research objectives, Medium-term research plans, Satellite-borne sensor

1 はじめに

電磁波を使ったりリモートセンシングに関する研究は、従来から電磁波の有効利用技術の研究の一環として郵政省通信総合研究所で実施されてきた。この中で、我々は、近年社会的にも大きな関心を集めている地球環境計測技術を中心

として研究を進めてきた。平成13年4月に、組織が独立行政法人通信総合研究所へ移行し、その下で本分野の研究開発を継続、発展させるためには、従来に増して成果の社会への還元を図ること、さらに外部の研究者及び学会等との連携を強めることが求められている。

地球環境問題は、言うまでもなく21世紀にお

いて人類が直面する最大の問題である。これに対処する計測技術は、地球環境の把握や監視になくてはならないものであり、地球環境問題に関する研究全体の中で大きな比重を占めている。特に問題の性格から、地球規模での測定が必要な現象が多く、これに対しては宇宙から人工衛星による観測が重要なツールである。このほかに、ある現象が特徴的に現れる地域における観測などで地上観測も重要である。これに加え、防災における貢献も、本技術の重要な応用分野である。地球環境問題に関する研究は、平成13年度から活動が始まった総合科学技術会議による重点研究分野に選定されており、環境監視やモデル研究をはじめとして研究開発の強化が図られている。

環境問題への対処方針としては、観測による現象の把握、メカニズムの研究、モデルによる将来予測が一連の流れである。この中で、当所の主要な役割は、計測技術の開発である。これは、従来よりも高精度な測定や、従来観測ができなかった対象を観測することを目標とする。計測技術の開発とは、ハードウェアの開発にとどまるのではなく、アルゴリズムやデータ処理までのシステム技術を指す。さらに、当所の役割として、開発した計測技術が科学的に有効なデータが生み出すことの実証まで責任を持つ。

地球環境研究は、国際的な枠組みにより戦略的に進められており、科学の成果が世界の政治、経済を左右すると考えられる分野である。当所の研究もこのような世界的な連携の中で、役割分担を果たし、成果が社会的に活用されるように研究を進める必要がある。

本論文は、地球環境計測に関する特集号の序論として、この分野の研究プロジェクトの進め方に関する基本的考えを述べるとともに、研究プロジェクトの概要を紹介する。

2 地球環境計測の目標と研究の進め方

2.1 中期目標及び中期計画

独立行政法人における研究の進め方としては、まず中期目標が所管大臣から与えられ、それを実現するための中期計画を研究所側で作成し、

それに基づいて研究を進めることとされている。中期目標／中期計画の期間としては5年間を設定しており、研究活動の年ごとの進捗や、中期計画期間終了時における成果については厳格な評価が行われる。

今回の計画期間(平成13年度から17年度)における中期目標及び中期計画を表1に示す。中期目標については、我々の活動の大まかな指針を与えるものであり、リモートセンシング技術の研究として、広範囲、かつ高精度の観測技術開発を行い、革新的な計測技術を目指すこと、また地上においても新しい計測技術の研究を行うこととしている。このような目標は我々の研究目標として妥当なものである。一方、中期計画としては、中期目標を実現するために、衛星搭載センサの研究開発と、地上におけるリモートセンサ開発の2項目に分けて計画を示している。これらの目標及び計画は、研究の基本的な指針を示すものであり、具体的に実現する方策について以下に述べる。

2.2 地球環境計測の研究の視点

(1) 情報通信技術と一体的な推進

我々が取り組んでいるリモートセンシング技術による地球環境計測の研究開発は、基本的には情報通信技術の一つの応用分野と考えられる。また、計測技術に必要な技術も情報通信の一環として発展してきた。したがって、本分野の研究と情報通信技術開発は、一体として進めることに大きなメリットがある。また、リモートセンシング技術は自然現象を対象とするニーズ主導の研究であるため、必要となる技術開発要求を逆に情報通信技術開発にフィードバックすることができる。通信総合研究所では、このような情報通信とリモートセンシングという異なる研究分野の一体的推進が可能な環境が備わっている。

併せて、本分野の研究開発及び観測によって画像を含む大量のデータが取得される。このようなデータは、情報通信におけるネットワーク及びデータベース研究に使われる大容量のコンテンツとなるものである。これらのデータの流通、処理に関する研究は、高速ネットワーク及び大容量データベース技術の実利用分野として

表1 中期目標及び中期計画(平成13年度－17年度)

中期目標**電磁波計測・応用技術の研究開発**

電磁波を用いて地球環境や宇宙環境変動の影響を計測する技術や得られたデータを全世界で利用する技術及び時空標準を確立するための技術を開発する。

リモートセンシング技術の研究開発

電波・光の高度有効利用を目的として、広範囲かつ高精度(10%程度の精度)で測定する革新的な計測技術を確立するとともに、地上における新たなリモートセンシング技術を開発する。

中期計画**電磁波計測・応用技術の研究開発**

(ア)リモートセンシング技術の研究開発-当所が高い技術蓄積を有するレーダー、ライダーなどの先端的なリモートセンシング技術をもとに、大気成分、雲・降水、風、地表・海面等を広範囲かつ高精度で測定する革新的な計測技術を開発するとともにその応用技術の研究開発を実施する。

A 革新的衛星搭載センサの開発と実証を行い、地球規模の変動現象の予測に対応するためのグローバル計測技術等の研究開発を総合的に実施する。

B 地上あるいは航空機からの先端的なリモートセンシングによる高精度観測技術及び災害監視・予測技術等の研究開発を総合的に実施する。

重要な機会を提供する。同時に、地球環境計測の研究においても、データ利用技術の観点から、計測データのネットワークによる流通及び処理システムまでを研究に含め、環境データネットワークのプロトタイプ構築を進めている。

(2) 社会・国民生活への直接的結びつき

地球環境計測及び監視技術や災害監視技術は、社会、国民生活へ直接的に貢献する重要な分野である。このような取組として、衛星搭載センサによる地球観測技術としては、地球温暖化や水循環の研究等に貢献するテーマを実施する。また、地上における観測技術としては、気候変動等の研究と防災面へ寄与する新計測技術の開発とその実用化を目指した研究を行う。

(3) 公共性の高い研究

本分野の研究の特徴として、公共性が高いことが上げられる。これは逆に短期的な経済的利益に結びつきにくく、民間企業では実施できない研究である。したがって、本分野の研究は国の財源により、公的研究機関が実施することがふさわしい。特に、宇宙からの地球観測技術は、民間機関では実施できないものであり、国の宇宙機関の活動として最もふさわしいものである。このため、米欧の代表的な国の宇宙機関の活動の中で、地球観測は大きな比重を占めている。

2.3 目標達成の方策**(1) 研究課題の不断のチューンアップ**

研究課題及び目標は、世界における関連する研究分野の活動状況に応じて常時見直し、世界的に先端的な研究成果を追求する必要がある。宇宙からの地球観測は、予算的にも大型のプロジェクトとなり、実現までには時間的にも長期を要する。また、宇宙開発機関との関係や、国の予算事情により、プロジェクト進捗が左右されることが多い。世界的にも各国の宇宙機関は競合あるいは協力的立場で活動しており、世界の状況も複雑に変化する。これらの国内外の状況を十分把握し、柔軟にプロジェクト推進を図る必要がある。

(2) プロジェクト指向の強化

研究の進め方として、明確な目標をもったプロジェクト志向の研究とする。そのため、大学等で実施されている研究と比べ、予算的にもある程度まとまった額を投入し、ハードウェアを中心とするシステムを開発することを目標とする。研究の範囲は、開発したシステムによる科学的データ取得と科学的有効性の実証までと考える。ただし、テーマ設定には環境科学研究者や学会コミュニティ等の外部の意見を取り入れ科学的にも意義の高いものにする必要がある。

このようなプロジェクト研究の成果として評価すべきポイントは、新技術の有効性と実現性が評価され衛星プロジェクトが実現することや、新観測技術から新しい科学的知見が得られるとともにユーザにおける実用化が進むこと等であろう。しかしながら、プロジェクト研究においても、当初予想しなかった研究成果や研究方向の変化もあり得るため、これらを拾い上げる努力も必要である。さらにこのような研究体制の下で、将来の芽となる研究をどのように発掘し、伸ばしていくかも重要なポイントとなる。これらを考慮しながら、柔軟にプロジェクトを進めていく。

(3) 研究資源の確保

研究プロジェクトの目標達成において、研究予算及び研究要員の確保はとりわけ重要である。当分野の研究推進体制として、当所が主として技術開発的役割を担い、データ利用や科学研究を実施する外部研究者と一体となって推進する体制を作ることが必要である。このような体制の下で、研究成果の活用や技術移転を実現し、これをアピールしながら、研究体制及び予算の確保を目指す。また外部の競争的資金を獲得することや、外部研究者を含む研究グループ内で研究委託等を活用し、効率的な研究推進を目指すことも必要である。

(4) 外部との連携

通信総合研究所は一般に観測結果の最終ユーザではない。このため、研究開発成果は他機関あるいは外部研究者に利用されることが必要である。また、機器設計段階から観測運用に至るまで、ユーザと連携して研究開発を進める必要がある。併せて、観測データあるいは成果は、学会等の研究コミュニティに開放し、有効活用を図る必要がある。さらに、研究活動は国内に閉じるものではなく、積極的な国際連携が必要である。本分野の先端的計測技術開発における国内の活動は世界的に見ると必ずしも活発ではなく、当所としては国外に連携先を見いだす必要に迫られる面もある。さらに、地上観測における観測サイトとしては、地球規模で見て特徴的な地域を国外サイトとして国際連携により確保することが必要である。

(5) 成果の活用と広報

研究成果の社会への還元については、目に見える形でアピールすることが強く求められるようになっており、そのような社会的な影響力の大きさが研究成果の重要な要素となる。さらに、研究の初期あるいは立ち上げ時において、社会的に認知を得ることも極めて重要である。このためには広報活動やワークショップ開催等も心掛ける必要がある。

3 研究開発課題

実際の研究推進に当たっては、宇宙からの観測手法と地上及び航空機からの観測手法の両面から研究プロジェクトを実施している。これらの位置付けを図1に示す。両方の手法においても、データシステム及びネットワークによるデータ処理、配布システムの構築が必要である。これらのネットワークを通じて、外部のデータ利用機関、環境研究者と連携し、観測データの利用及び社会への貢献を果たす。以下では、本中期計画期間における研究課題の概要を紹介する。それぞれの詳細な内容については、本特集の中でそれぞれの関係する論文を参照されたい。

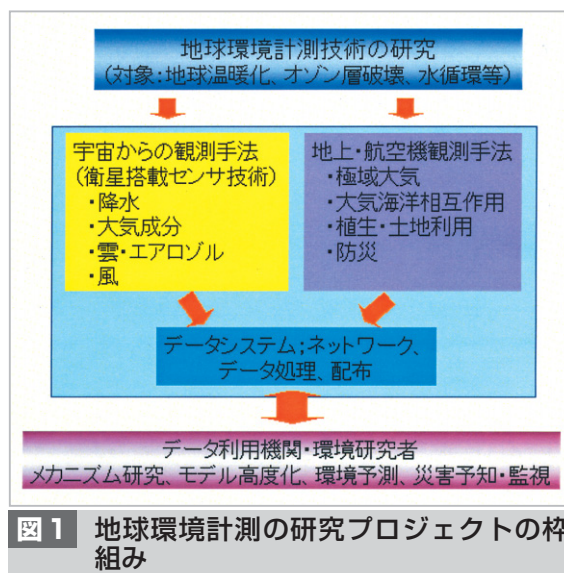


図1 地球環境計測の研究プロジェクトの枠組み

3.1 宇宙からの地球環境変動計測技術の研究開発

(1) 目的と観測対象

地球温暖化、オゾン層破壊等の地球規模の環境変動現象の把握とその機構解明のための高精

度計測技術の開発を行う。観測対象は、地球規模の現象である大気成分、水・エネルギー循環、雲・放射収支、大気ダイナミクス、植生分布等及びその変動現象である。これらの地球規模の現象の観測としては、衛星からの観測技術の開発が必要である。

(2) 研究内容の特徴

従来にない新しい原理に基づく衛星搭載用のセンサ技術の開発を行い、アルゴリズム開発とセンサの校正・検証等の研究を行う。これらの技術の特徴としては、地球規模の現象を地球全域にわたりほぼ均一に測定できるという特徴がある。また、地球環境現象の測定で、衛星搭載センサによる観測が唯一の可能な手段となるものが多い。また、当所で実施する研究開発は主に衛星搭載センサに関する新技術開発であり、その宇宙における実証までを研究の主眼とする。また、研究の範囲としては、センサに関係するアルゴリズム開発やセンサの校正、検証までを守備範囲とする。このような研究開発について、当所は高い実績を持つ国内ではほぼ唯一の機関である。また、当所は従来から、衛星搭載センサの前段階となる航空機搭載センサ開発とその実験運用を手がけている。今後開発する衛星搭載センサに対しても、航空機等による実験を経て衛星搭載化の計画を進めることも考えられている。

(3) 研究開発テーマ

本中期計画期間における研究テーマを紹介する。表2には、各研究プロジェクトで研究開発を進めているセンサの概要を示す。

表2 宇宙からの地球環境変動計測技術の研究開発として開発を進めている衛星搭載センサ

センサ名	センサの種類、特徴	観測対象 (主に対応する課題)	搭載衛星計画
SMILES	サブミリ波リム放射分光計 (600 GHz 帯)	成層圏オゾン、微量ガス (オゾン層破壊、地球温暖化)	国際宇宙ステーション日本実験モジュール (ISS/JEM きぼう) 2005 年打上げ予定
降水レーダ	マイクロ波レーダ (35 GHz)	降水 (水エネルギー循環)	GPM (日米共同) 2008 年打上げ想定
雲レーダ	ミリ波レーダ (94 GHz)	雲、弱雨 (地球温暖化)	EarthCARE (日欧共同) 2008 又は 2010 年打上げ想定
ドップラークライダー	コヒーレントドップラークライダー (波長 2 μm)	対流圏風ベクトル、エアロゾル (気候変動、気候モデル化)	国際宇宙ステーション日本実験モジュール (ISS/JEM きぼう) 搭載を想定

① 宇宙ステーション搭載用超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES) の開発

サブミリ波の 640GHz 帯の周波数を用いる分光放射計であり、宇宙から地球のリム方向を観測し、成層圏微量ガスの高度分布を超伝導技術を用いて高感度で測定する。測定対象は、成層圏におけるオゾンやオゾン層破壊を引き起こすと考えられる微量ガス分布である。これらのガスは、オゾン層破壊とともに地球温暖化も引き起こす原因となることが知られており、その高感度測定は極めて重要である。本計画では、宇宙における超伝導の実用化と、このための宇宙用機械式 4K 冷凍機の開発を世界に先駆けて行う。SMILES は国際宇宙ステーション日本実験モジュール (ISS/JEM : きぼう) に、2006 年頃の搭載を目指し、宇宙開発事業団 (NASDA) と共同で開発を進めている。

② 衛星搭載 35GHz 帯降水レーダの研究開発

熱帯降雨観測衛星計画 (TRMM) を引き継ぎ、地球全域の降雨分布の測定を行う全球降水観測衛星計画 (GPM) が日米共同で進められている。本システムでは、1 機の親衛星と 8 機の子衛星からなるシステムが計画されており、親衛星には、TRMM 搭載レーダよりも高精度な二周波降水レーダが搭載される。本プロジェクトも NASDA と共同で進めており、通信総合研究所では、二周波のうち、新規開発要素が大きい 35GHz 帯衛星搭載降水レーダの研究開発を行う。

③ 衛星搭載ミリ波雲レーダの研究開発

現在の地球温暖化予測における最大の誤差要因であるエアロゾル・雲による放射収支への影響を評価するために、地球規模の雲の三次元分布を測定する衛星搭載ミリ波雲レーダを開発し、同時にライダー等を搭載した地球観測衛星の実現を目指した研究を行う。本プロジェクトは、NASDA 及び欧州宇宙機構 (ESA) と共同で進める。

④ 衛星搭載ドップラークライダーの研究開発

地球規模で大気中の風速を測定するための衛星搭載コヒーレントドップラークライダーを実現するための技術開発を行う。全球で風速を 2m/s の精度で測定し、エアロゾル、雲の観測もできるシステムを目指す。当面の目標と

して国際宇宙ステーション日本実験モジュール (ISS/JEM : きぼう) への搭載による宇宙実証を目指す。

3.2 高度計測技術・利用技術の実用化に関する研究

(1) 目的と観測対象

地上や航空機から大気、海洋や地表の変動の観測あるいは災害監視に資するリモートセンシング技術の開発を行い、特徴的な地域における観測運用を行う。これにより、計測技術の有効性の実証と観測結果による科学的、社会的貢献を行う。併せて、データ処理技術、ネットワークを用いた制御・実時間監視技術及び高速データ転送と配布等のシステム構築に関する研究を行う。

(2) 研究内容と特徴

この領域の研究は、3.1 で述べた衛星観測技術に比べて、実用化という視点により重点をおいた研究開発を行う。このため、技術面では技術移転や特許による実用化に配慮する。また学術面の貢献に対しては、大学等の研究者へデータを公開し、共同研究等により質の高い成果を追求する。防災面での貢献が可能な計測技術については、行政及び報道機関等へのデータ提供を通じて国民・社会へ貢献することを重視する。また、特徴的な地域での観測実証を行うためには、国際共同研究による活動が不可欠である。

(3) 研究開発テーマ

現在実施中の研究テーマの概要を紹介する。併せて、各研究テーマの目標と研究の流れを図2に示す。

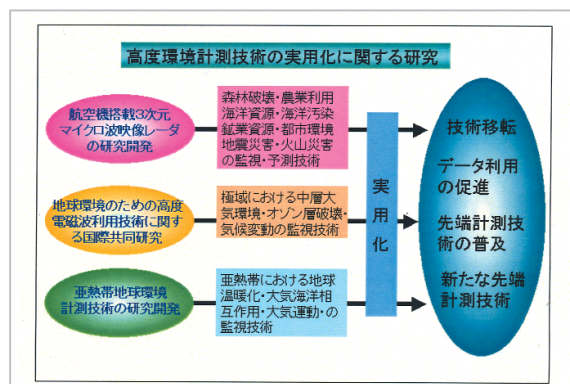


図2 高度計測技術・利用技術の実用化に関する研究における研究対象と研究の流れ

① 航空機搭載3次元マイクロ波映像レーダ技術開発

高度な機能を有する航空機搭載映像レーダの開発と、多周波、インターフェロメトリやポラリメトリ機能を生かしたデータ処理技術及びそのデータ利用技術の開発を行う。また、火山噴火に代表される災害監視及び防災対策等の面での有効性を実証し、データ利用技術の確立を図る。本研究開発及び実験はNASDAと共同で実施している。

② 極域大気観測のための国際共同研究

地球環境の変動が顕著に現れると考えられる極域大気を総合的に観測するために、電磁波を使った計測技術を開発し、開発された計測装置を用いて、アラスカにおける中層大気（高度10—100km）の計測技術の実証と観測を行い、太陽・地球系を視野に入れた地球環境・大気科学的理解の前進に寄与する。

③ 亜熱帯における大気・海洋相互作用観測技術の研究

亜熱帯域での大気海洋相互作用の理解に貢献できる高精度・高分解能リモートセンシング技術の研究を行い、センサ開発及び観測実証を行うとともに観測データの配布・流通を行うデータシステムの構築を行う。開発するセンサとしては、遠距離海洋レーダ、成層圏高度までの大気風速測定用ウインドプロファイラー及びマルチパラメータ降雨レーダである。

4 まとめと今後の課題

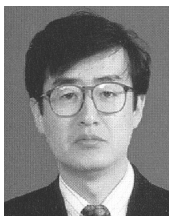
地球環境計測の研究分野全体のプロジェクトについて、研究の進め方を中心に説明を行った。個々のプロジェクトの内容や成果については、本特集のそれぞれ該当する論文を参照していただきたい。現在、衛星搭載センサ開発として、フェイズの違いはあるが、四つのセンサの研究を進めている。これは、当所のような比較的小さな研究組織としては非常に意欲的な取組である。衛星搭載センサの研究開発は、衛星やロケットなど外的要因により左右され、衛星搭載が計画どおり実現することはむしろまれである。我々としては、衛星搭載としての基礎技術を確

立し、国際協力などを通じて世界的に評価を得て、衛星実現の機会を増やすように努力する。また、国内ではこのような研究開発を行うことができる機関は実質的に当所のみであり、我が国としての技術の確立に引き続き貢献したい。

地上観測プロジェクトについても新しいセンサ開発を行い、新しいリモートセンシング技術の確立を目標としている。同時に機器開発にとどまらず、新しいセンサにより、これまで得られなかった観測的事実と、それによる新しいサイエンスが可能であることを実証したい。このような努力は現在実を結びつつある。引き続き多くの外部機関の方と協力しつつより良い成果

を追及していきたい。

地球環境計測の特集号を刊行するに当たり、通信総合研究所で実施している関係プロジェクト全体の紹介を行った。本特集が、関連分野の研究者あるいは当所との共同研究等を実施されている関係者各位にとって、研究内容の理解に少しでも役に立つことを期待している。併せて、研究分野の異なる方々にも、本分野の研究の意義と研究活動について関心を持っていただく契機となれば幸いである。日頃からお世話になる関係機関及び関係研究者各位にお礼申し上げるとともに、引き続きご支援ご協力をお願いする次第である。



くまがい しょう
熊谷 博

電磁波計測部門研究主管 工学博士
大気リモートセンシング