

特別論説

情報処理最前線



地球環境観測のための情報処理システム†

瀬戸 洋 一†

1. ま え が き

1968年、アポロ8号宇宙船の飛行士は、月の地平線から昇りくる「アースライズ（地球の出）」を見て、地球は果てしなく広がる暗黒の宇宙に奇跡のように浮かぶ水色のちっぼけな惑星であることを認識し、また、1970年代になり英国の科学者ラブロックは、生命体が快適に存在しうる地球環境は、化学現象だけでなく生命体自身も積極的に関与してできあがったとする「ガイア仮説」を発表し注目を集めた。これらは、「地球はかけがえない存在」であるという新たな地球観を人類にもたせるきっかけになった。

かけがえない地球環境は長い年月、人間活動と調和してきたが、産業革命以降の工業化と人口の急増によりバランスがくずれ、現在、温室効果ガスの増加による気象変化、フロンによるオゾン層変動、焼畑などの伐採による森林減少など環境の悪化が顕在化しはじめている^{1),2)}。そして、地球規模での環境変化が人類の生存に関わる重大な問題として関心を集め、地球環境の解明が緊急課題となり、1992年、ブラジルで地球サミットが開催された。

地球環境に生じている現象を客観的に把握するためには、長期的でグローバルな観測データが必要であるが、現在十分な状況でない。地球環境の解明と変化の予測には、地球全域にわたる観測が不可欠であり、地球規模の観測には、衛星によるリモートセンシングが広域性、周期性の観点から重要な役割を期待されている³⁾。

衛星により得られる観測データは、ペタバイトオーダーと多量であり、環境研究に利用するには、

長期間にわたり効率よく管理する必要がある。このため、ネットワーク、データベース、科学データ可視化処理などの技術、および、これらをインテグレートしたシステムの開発が必要となり、米国で EOSDIS (EOS Data and Information System) というデータ提供システムが構築中である⁴⁾。日本でも同様のシステムが計画中である⁵⁾。

本稿では、地球環境問題の概要と環境観測における情報処理システムの最新動向を述べる。

2. 地球環境問題と観測計画

2.1 地球環境問題とは何か

地球的規模でおこり、人類の未来に深刻となる問題を地球環境問題といい、UNEP (国連環境計画) により表-1 に示す9つの項目に分類されている。これら地球環境問題は、図-1 に示すように先進国と途上国の双方における人間活動により発生する^{2),6)}。

地球環境問題は二つの原因が考えられる。一つは、環境への配慮が十分でないまま人間の活動が大きくなりすぎたことにある。図-2 に示すように1800年代に起こった産業革命以降、エネルギー消費が急増している。特にここ数十年は著しい。人間活動が大きくなるほど、活動に必要な多くの物質を環境より摂取し、他方では排出物を環境に棄てている。二つめの原因は人間活動の変化にある。環境の力では分解しにくい人工の化学物質がたくさん使われ環境に棄てられる。これが環境に留まって悪影響を及ぼす。

これらの問題に対して、表-1 に示すような対策が国際的に取り組まれているが、本質的な対策は経済活動や国民の生活の改革も必要であり、必ずしも各国の足並みは揃っていない。たとえば、地球温暖化を解明するには、熱帯林や海域の二酸化炭素の吸収率、あるいは、自然現象としての温

† Data and Information System for Earth Environment Observing by Yoichi SETO (Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.)

†† (株)日立製作所システム開発研究所

表-1 地球環境問題の概要
[文献 2), 6) を参考に作表]

	概 要	国際的取組	問 題 点
オゾン層破壊	大気中のフロンガスにより、成層圏のオゾン層が破壊され地表面に到達する紫外線の量が増加。皮膚がんなど生態系へ悪影響	87年モントリオール議定書などでオゾン層破壊化学物質の削減、全廃を取り決めた	フロンガスのオゾン層への影響に関する科学的知見の不足
地球温暖化	大気中の炭酸ガスやメタンガスなどの増加による温暖効果により気温が上昇。海面の上昇や降雨パターンの変化により農業、生態系へ影響	88年トロント会議、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）活動開始	炭素循環機構に関する科学的知見の不足
酸性雨	硫黄及び窒素酸化物などの大気中へ排出により、広域にわたる降雨の酸性化、湖沼生態系、森林、建造物などへ被害	87年長距離越境大気汚染条約に関するヘルシンキ条約発行	酸性雨被害、越境移動についての意見対立あり
熱帯林減少	焼畑耕作、放牧、用材伐採などにより熱帯林が過度に減少、熱帯林の機能が損なわれる	85年熱帯林行動計画を策定	貧困や人口増加などの問題と絡み対策が遅れる
砂漠化	過放牧や薪炭林の過剰採取により半乾燥地の土地生産性が著しく低下し、再生産が不可能	77年砂漠化防止のための国際協力に関する国連決議、砂漠化防止行動計画	同上
途上国公害	発展途上国における工業化や人口増大と都市集中によって、環境汚染が進行	87年 ODA における環境配慮の基本的方針	途上国における公害に対する優先度が低い
野生生物種減少	野生生物の生息環境の悪化、乱獲により野生生物種が絶滅に瀕する	73年絶滅のおそれある野生動植物の種の国際取引に関するワシントン条約採択	途上国側の対策が経済的制約から不十分
海洋汚染	タンカの廃油や海底油田の開発、事故、化学物質の海洋への廃棄により、海洋汚染が進み海洋生物、大気循環へ影響	78年船舶からの汚染防止のためのマルポール条約採択	基礎的データが不足
有害廃棄物の越境移動	発生国の処理費用値上り、規制強化、十分な処理設備のない途上国が受け入れ、管理不十分な有害物質が環境に露出	89年有害廃棄物の越境移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約採択	有害廃棄物処理技術の途上国への移転が不十分

暖化・寒冷化周期と人間活動による影響などが客観的に分離されておらず、部分的な観測データがひとり歩きしている。これは、長期的でグローバルな観測データが得られず、科学的検討が不十分なことが原因の一つとなっている。科学的知見を得るのに十分なデータが観測できれば、環境を制御しつつ持続的な人間活動の進展が可能となる。

このため、現在、地球環境に関する基礎データの収集と解析が緊急の課題となっている。

2.2 地球を診断する計画

地球環境データの収集には、衛星によるリモートセンシングの有効性が認められている。たとえば、図-3は NIMBUS 衛星 TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) センサデータを可視化したオゾン

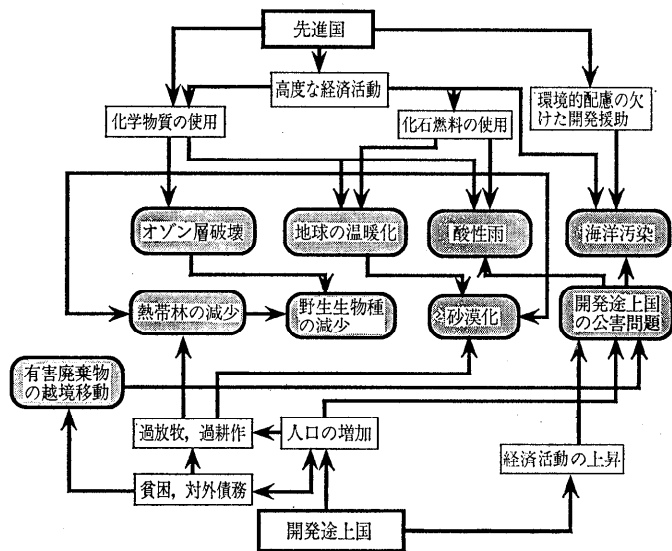


図-1 地球環境問題の相互関係
[文献 2) を参考に作図]

データのグローバルマップである。地球全体にわたり約 1 度メッシュのデータを日々得ることができ、オ

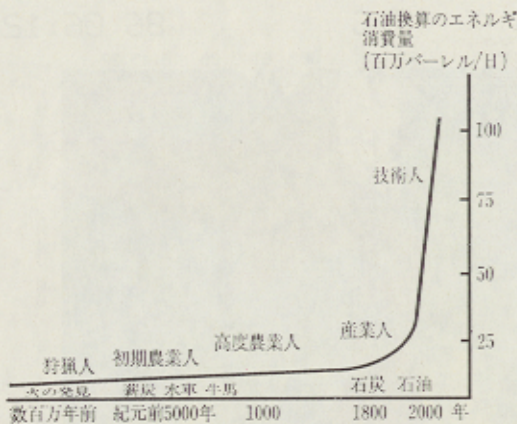


図-2 エネルギー消費の変化
[文献 2) を参考に作図]

ゾン層の変化の解析に有効である。また、図-4は NOAA 衛星 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) センサデータを可視化した日本周辺の海面温度マップである。海面温度は気象現象と密接な関係にあり、南米太平洋域のエルニーニョなどの海流変化を観察することで、異常気象の予測ができる。つまり、不可視データを3次元および時系列表示することにより、環境変化を容易に分析できることを科学者は認識し始めている。

以上のように地球環境の研究には衛星観測データが有効であることが研究者に認識され、衛星

による総合的な地球診断 EOS (Earth Observing System) 計画が構想されるに至った^{4),7)}。本計画は、米国を中心に日本、欧州、カナダの宇宙機関が参加し、1980年代から2010年代まで約20年間続く予定である。

計画は三つのプロジェクトよりなる。

(1) 科学研究

学際的な研究体制の確立および具体的な研究を遂行するためのテーマの設定を行う。

(2) 観測システム

地球全球を数日に1回の頻度で観測するための衛星による観測体制を強化する。複数のセンサを搭載した複数の衛星による観測システムを構築する。たとえば、米国は1998年に5つのセンサを搭載した EOS-AM1 極軌道プラットフォームを打ち上げる。そのうちの 하나가日本が協力し開発している ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) センサである⁸⁾。また、日本の宇宙開発事業団は、地球観測プラットフォーム技術衛星 ADEOS を1996年に打ち上げ予定である。オゾンや二酸化炭素濃度などを観測するため、米国、仏の宇宙開発機関の協力により8つのセンサを搭載する⁹⁾。

(3) 地上情報処理システム

研究者が利用しやすいように衛星が収集した

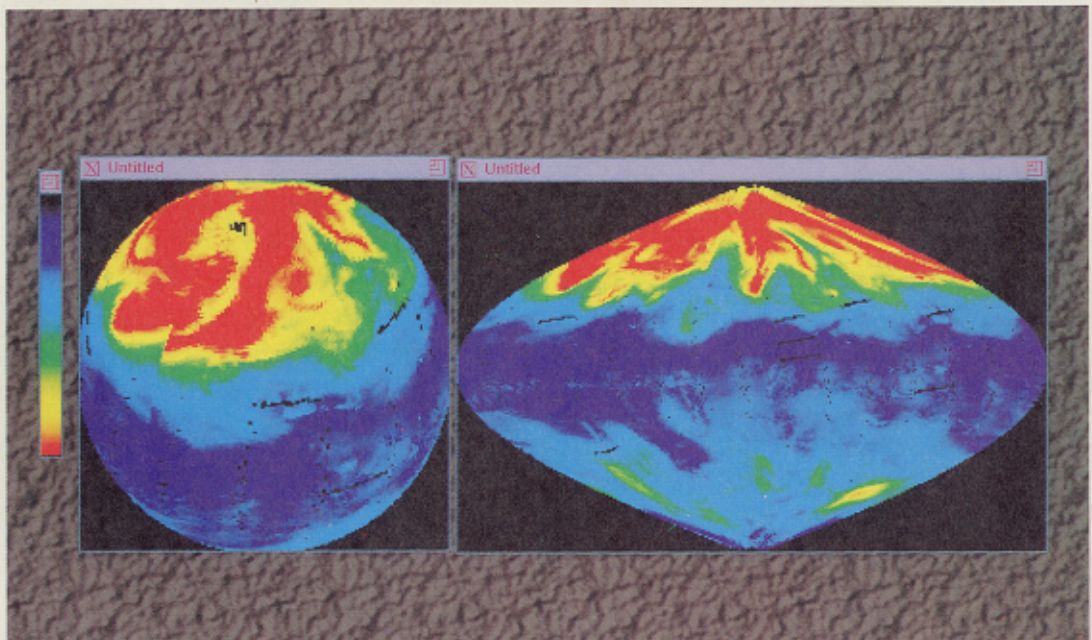
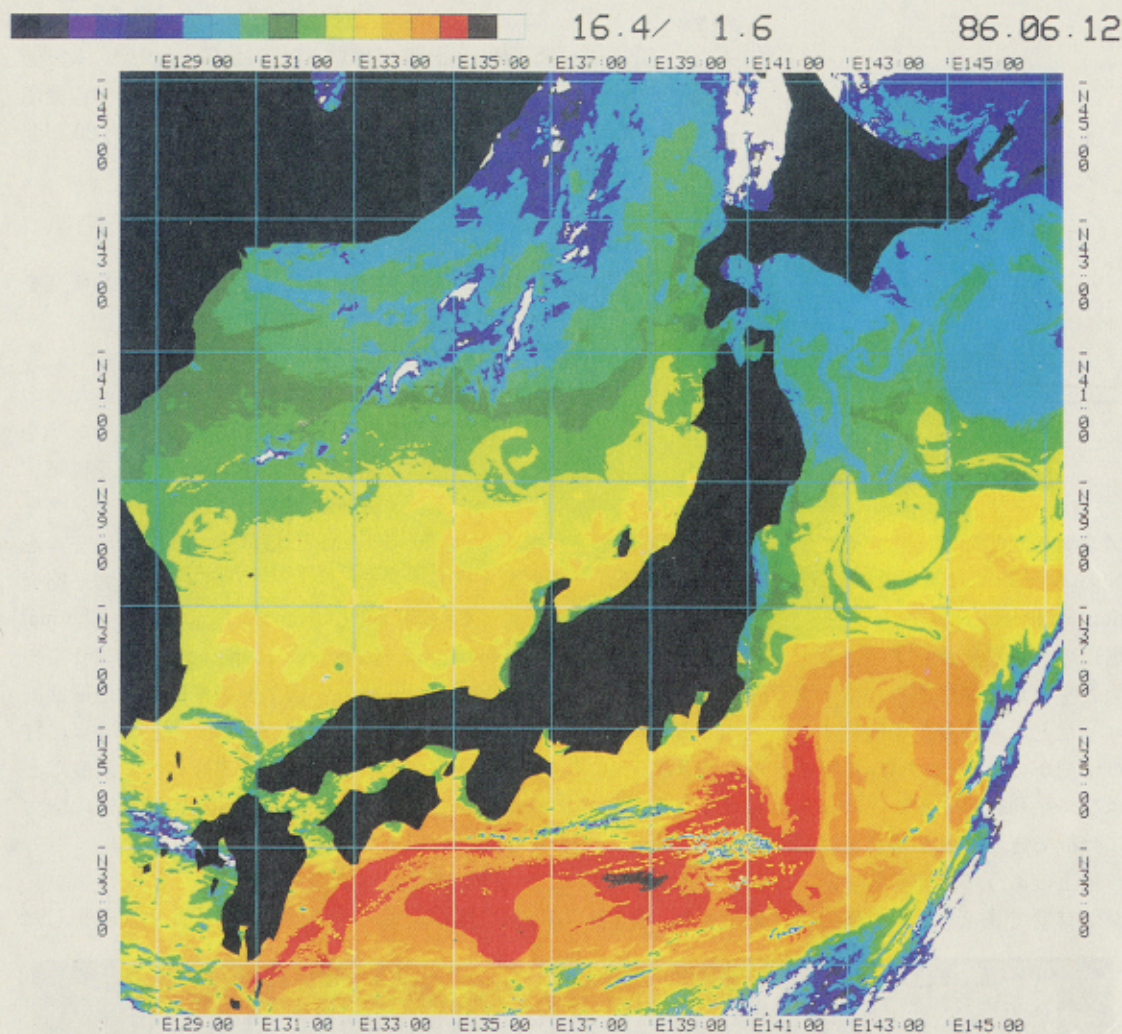


図-3 NIMBUS 衛星 TOMS センサデータを可視化したオゾン濃度マップ
[NASA NSSDC より入手したデータで作成]



19860611 NOAA - 9 NIPPON CHANNEL-4 M PC JAFIC

図-4 NOAA 衛星 AVHRR センサデータを可視化した日本周辺の海面温度分布
 [(社)漁業情報サービスセンターより提供]

データを画像化し蓄積するなど、情報を提供するシステムが必要である。米国では EOSDIS とよばれるシステムを構築している⁹⁾。日本でも EOSDIS に関連する ASTER センサ地上情報システムおよび ADEOS 衛星向け地上情報システムの構築を計画中である⁹⁾。

3. 地球環境観測情報システムの概要

3.1 要求される機能

地球環境観測を目的とする地上情報システムは、地球全域および長期にわたる観測が必要なため、従来の資源探査向けシステムといくつかの点で異なっている。

図-5 の EOSDIS の例に示されるように、一

はデータ量の急増にある。観測体制が整う 2005 年にはデータ蓄積量は 5 テラバイト、処理負荷は 5 ギガ FLOPS を越える。一日に観測し処理されるデータは米国国会図書館の蔵書を越えるという話もある。またシステムを構築するうえで、以上のような量的な問題だけでなく、研究者が利用しやすいように研究対象に合わせて解析データを生成する質的变化を考慮する必要がある。つまり、表-2 に示すような要求事項の検討が必要である。

(1) 大規模化

従来のランドサット衛星地上システムの処理プロダクト(システムで作成される解析データ)は、衛星センサに起因するひずみの補正などに限られ数は少なく、また、ユーザがシステムへ直接

表-2 システムへの要求事項

項目	内 容
大規模化	<ul style="list-style-type: none"> ・処理: ギガフロップスの高速計算機 入出力ボトルネック回避する大容量中間ファイル ・蓄積: 大容量 (ペタバイト) 階層化 (オンライン, オフライン管理) データ圧縮, 情報検索支援 ・伝送: 高速ネットワーク (広帯域 ISDN, LAN, WAN, HIPPI)
分散化	<ul style="list-style-type: none"> ・オープンアーキテクチャ (OSI) 準拠 ・大規模統合ネットワークの構築とトランスペアレンスの確保

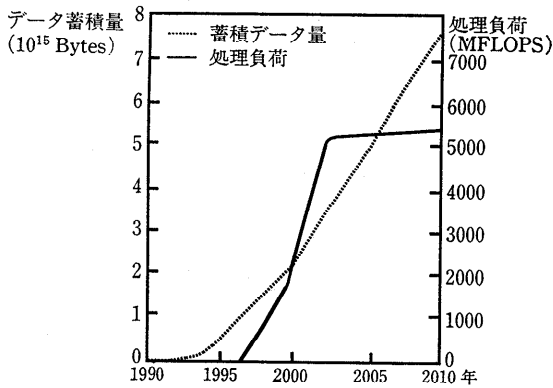


図-5 EOSDIS における処理負荷と蓄積データ量の予想
[文献 4) を参考に作図]

アクセスすることはないためスタンドアロン型の小規模地上システムといえる。今後の地球環境観測地上情報システムでは、研究者にすぐ役立つように、環境に関する種々の物理量を算出するため、従来と比べて数倍以上の多品種プロダクトを生成する。これらプロダクトの処理および管理を行うため、システムは大規模な構成となる。しかも研究者がネットワークを介しプロダクトを検索する要求もあり、オープンなシステムとなる。

(2) 分散化

システムの構築にあたって、高速性が要求されるプロダクト処理系、多量データの効率よい管理と配布を行う保存配布系、外部ユーザからのアクセスを容易にする情報管理系とおおのこのミッションに適したコンピュータ環境を考慮する必要がある。また、各サブシステムを1カ所に集めて構築する必要はなく、処理系は衛星データ受信局に近く、ユーザからアクセスが多い情報管理系は通信コストに利点のある地域に分散させるなど機能分散を考慮する必要もある。

上記のほかに、アルゴリズム開発やデータ解析は、コンピュータの非専門家が行うことが多く、データベース検索支援やビジュアル・プログラミングなどのエンドユーザ向けのコンピューティング支援環境の整備も必要である。

3.2 システムの基本構成例

地球環境観測を目的とする地上情報システムは、衛星や搭載機器の運用管理、観測データの高速度処理と高次解析および大量データ管理の機能をもつ。

図-6 に示すように機能ごとに分散されたサブシステム構成が考えられる。

(1) 衛星・センサ運用管理サブシステム

衛星およびセンサ機器に関する運用状態の監視、指令を行う機能をもつ。

(2) 処理・解析サブシステム

衛星センサシステムに起因するひずみの補正や地球物理量を算出する機能をもつ。データは二酸化炭素濃度など不可視の場合が多く、科学データ可視化技術が必要となる。また、ギガ FLOPS オーダの処理能力をもつコンピュータが必要となる。データ処理は入出力頻度が多く入出力ボトルネックの発生が予想される。このため、CPU パワーだけでなく数 10 メガ bps 以上のアクセス能力をもつ大容量記録装置と数 100 メガ bps の高速回線が必要となる。

(3) 情報保存・配布サブシステム

データベースのマスタディレクトリを保存し、データ取得要求に迅速に対応する情報管理、最終的にはペタバイトにおよぶ大量のデータを管理するデータ保存、そしてユーザに効率よくデータを配布する機能をもつ。自動倉庫による記録媒体の保管や所望のデータを柔軟に検索できるブラウジング技術が必要である。データ保存は、アクセス頻度、オンラインあるいはオフラインアクセスなどを考慮して、コスト効果に見合う記憶媒体にて構成する階層化管理が必要である⁹⁾。

(4) ネットワーク

三つのネットワークより構成される。地上と衛星とのリンク、サブシステム間のリンク、そして地上情報システムとユーザや諸外国の地上情報システムとのリンクより構成される。データは取得されてから数時間から数十時間内にデータベース

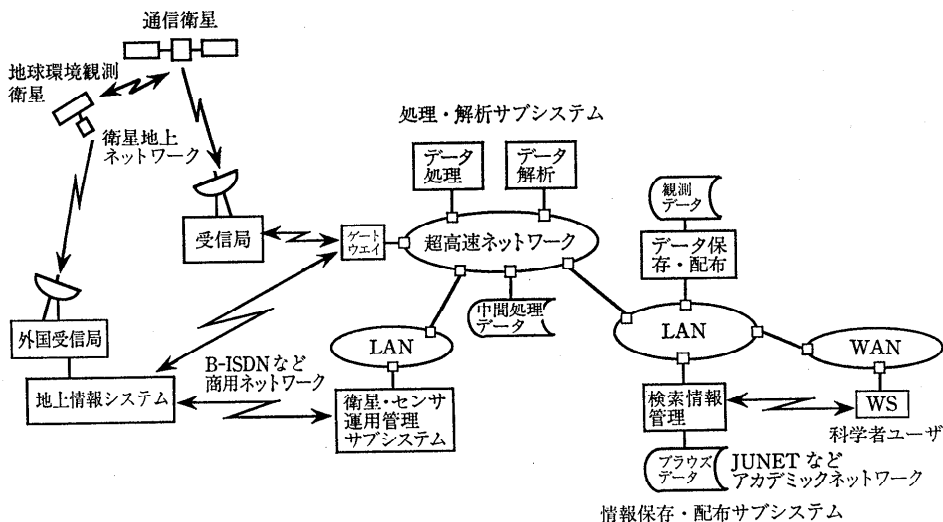


図-6 地球環境観測地上情報システムの構成例

に格納され、世界中の研究者よりアクセス可能となる。

つまり、諸外国とは商用の広帯域 ISDN、サブシステム内は FDDI や HIPPI などの高速ネットワーク、そして、ユーザ間は ISDN や JUNET などの商用あるいは学術ネットワークによる構成が必要である。つまり、多様な接続要求を満たす複合ネットワークとして構築する。

3.3 その他の環境情報システム

上記のほかにも環境データ管理を目的とするシステムがある。たとえば、衛星観測データのディレクトリ管理を行う地球観測衛星委員会 (CEOS) の CEOSPID (CEOS Prototyping International Directory) や、国際学術連合会議 (ICSU) が構築した地球科学データを管理する国際資料センタ (WDC) である。両者とも分散型のデータベースシステムである。詳細は文献 3), 6) を参照していただきたい。

4. あとがき

地球環境問題の概略と観測データを研究者に提供する情報処理システムの動向について述べた。

多量のデータを処理し管理する情報処理システムの構築は、地球固有の周期で生じる環境変化と人間活動により生じる環境変化との差異を客観的に評価するために必要である。また、環境問題は、富める国と貧しい国との南北問題とも関わり、その対策は必ずしも足並みが揃っていない。

利害を越えて、現在を生きる人類が未来の人類

に残せる遺産は、地球環境についての客観的で長期的な観測データと考える。

参考文献

- 1) 大来佐武郎監修：講座地球環境 (全5巻), 中央法規出版 (株) (1990).
- 2) 環境庁長官官房総務課：地球環境キーワード辞典, 中央法規出版 (株) (1990).
- 3) リモートセンシングの過去現在未来, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 11, No. 1 (1991).
- 4) EOS Data and Information System, NASA (1992).
- 5) ADEOS 地球観測プラットフォーム技術衛星パンフレット, 宇宙開発事業団 (1992).
- 6) 地球環境問題への取組み特別小特集, 信学会誌, Vol. 75, No. 1 (1992).
- 7) Special Issue on the Earth Observing System (EOS), IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, Vol. GE-27, No. 2 (1989).
- 8) 瀬戸洋一：地球観測における衛星画像データベース技術, 計測と制御, Vol. 31, No. 12, pp. 1250-1256 (1992).

(平成5年2月9日受付)



瀬戸 洋一 (正会員)

昭和30年1月1日生。昭和54年慶應義塾大学大学院修士課程を修了。同年(株)日立製作所に入社。以来システム開発研究所において生産管理システム, 衛星画像処理システム, 画像データベースシステム, 地球環境システム, 地図システム, リアルタイム意思決定支援システムの研究開発に従事し、現在に至る。工学博士, 技術士 (情報処理部門), 第1部主任研究員, IEEE, 電子情報通信学会など各会員。