

安岡 善文

国立環境研究所

1. はじめに

リオデジャネイロでの地球サミット（UNCED）は「アジェンダ21」を採択して閉幕した。このサミットでは、他に、「環境と開発に関するリオ宣言」、「気候変動に関する国際連合枠組み条約」、「生物多様性に関する条約」など様々な条約の採択が行われている。今や地球の温暖化、オゾン層の破壊、熱帯林の減少といった地球規模での環境破壊が、将来の人類の生存を揺るがしかねない問題であることは言を待たない。

これらの環境問題に対処するためには、まず、問題の現状を正確に把握し、更にその将来を予測し、そして、得られた知見に基づき、的確な対応策を構ることが必要である。このためには、対象に関するデータを収集するための計測手法、データを処理、解析するためのデータ処理手法、また、予測、評価のためのモデリング、シミュレーション手法など様々な情報処理の手法及びシステムを確立することが不可欠である。

地球的規模で進行しつつあるこれらの現象は、その空間スケールが大きばかりでなく、時間的スケールも長いため、地上での観測データのみでは現象を的確に捉えることは極めて難しく、人工衛星からのリモートセンシング技術などを活用した新たな環境情報システムの構築が急がれる。今日まで様々な情報処理の手法、システムが開発され、環境問題への応用が試みられてきたが、今後、環境問題の広域化、多様化に伴い、環境に関する情報をどのように収集し、処理、解析していくか、その手法とシステム、そして当然のことながらその科学的、学問的基盤を確立していくことが急務と考えられる。

本稿では、地球環境問題の現状を概括するとともに、問題に対処していくために必要とされる情報システムについて紹介する。特に、地球環境の観測に不可欠な情報システムの一つであるリモートセンシング技術について紹介する。

2. 地球環境問題

地球環境問題とは「影響が国境を越え、あるいは地球全体に及ぶ環境問題」と定義されている。では具体的にはどのような問題が対象とされるのであろうか。今日問題とされて

いる人間活動に起因する地球環境問題は大きく分けて次のように類型化されている。

①主として先進国の経済活動に起因する地球環境問題

- ・ オゾン層の破壊
- ・ CO₂ 濃度の上昇による地球の温暖化
- ・ 酸性雨

②主として開発途上国において発生している地球環境問題

- ・ 熱帯林の減少
- ・ 砂漠化の進行
- ・ 開発途上国における公害問題

③ 先進国及び開発途上国のいずれの活動にも起因する地球環境問題

- ・ 野生生物種の絶滅
- ・ 海洋汚染等
- ・ 有害廃棄物の越境移動

これらの人為起源の環境問題に加え、太陽活動や火山活動などの自然現象に起因する環境問題も地球規模となることが多く、広い意味での地球環境問題と考えられる。いずれにせよ、地球環境問題の多くは、従来の環境問題と比較し、その現象が広域的、長期的かつ多様であることに特徴がある。

3. 環境情報システム

環境を保全し、さらにより良い環境を作り出していくためには、地球レベルにせよ地域レベルにせよ、まず望ましい環境の姿を明確にし、これを現在の環境、またはこのまま行き着くであろう将来の環境と比較して、その差を縮めるように対策を実施していかなければならない(図1)。このためには環境の現況を計測し、さらには将来を予測し、具体的な数値として表現することが必要である(環境評価)。環境情報システムの目的は、計測データや文献、知見などのデータを効率的に収集、蓄積、検索、処理できるようにし、行政、専門家などの人々が容易に環境の評価、計画、対策立案をできるようにすることにある。このために環境情報システムの構築では、

- ・ 利用者の目的に合致したデータの収集
- ・ 大量データからの必要な情報の抽出
- ・ 利用者の情報への容易なアクセス

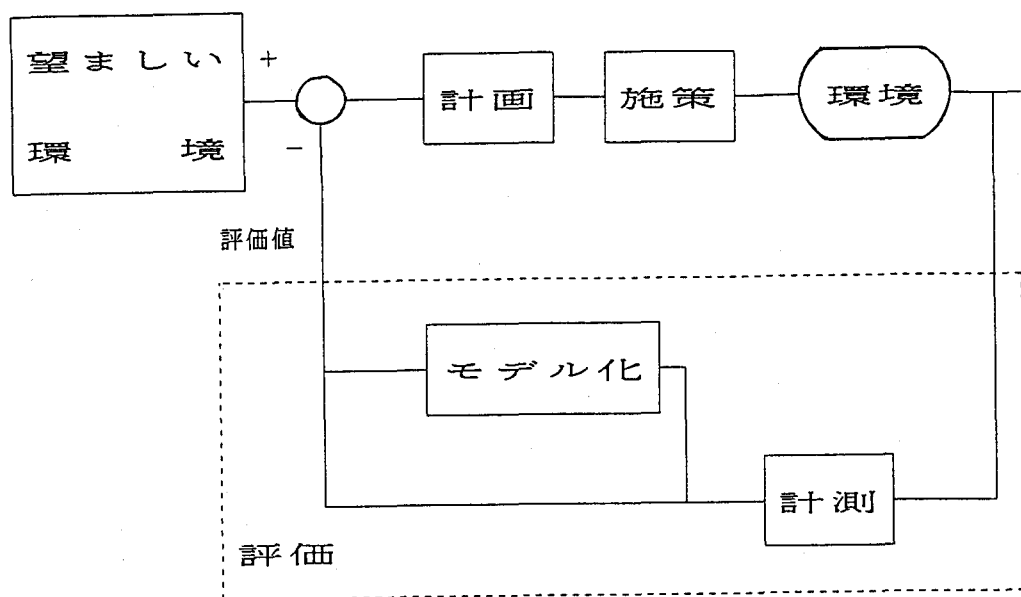


図1 環境評価の流れ

などが重要な機能として要求される。

地球環境情報システムでは、さらに

- ・広域情報の収集機能
- ・柔軟なデータベース機能
- ・広域データネットワーク機能
- ・高次のモデリング、シミュレーション機能

などが必要とされる（図2）。なかでも広域情報の収集機能は地球環境情報システム構築の最も重要な機能となっている。これは、地球環境問題の多くが大気域、陸域、水域のすべての領域にまたがっており、このために、問題解決に必要とされる環境項目が極めて多岐にわたること、また、現象が広域的、長期的であることから、その計測も広域的、長期的であることが要求されること、などによる。また、地球環境問題では、各国の人口、経済指標など社会、経済情報の利用が不可欠とされることなども理由の一つとして挙げられよう。

表1には、一例として地球環境問題に対処していく上で必要とされる自然環境に関する

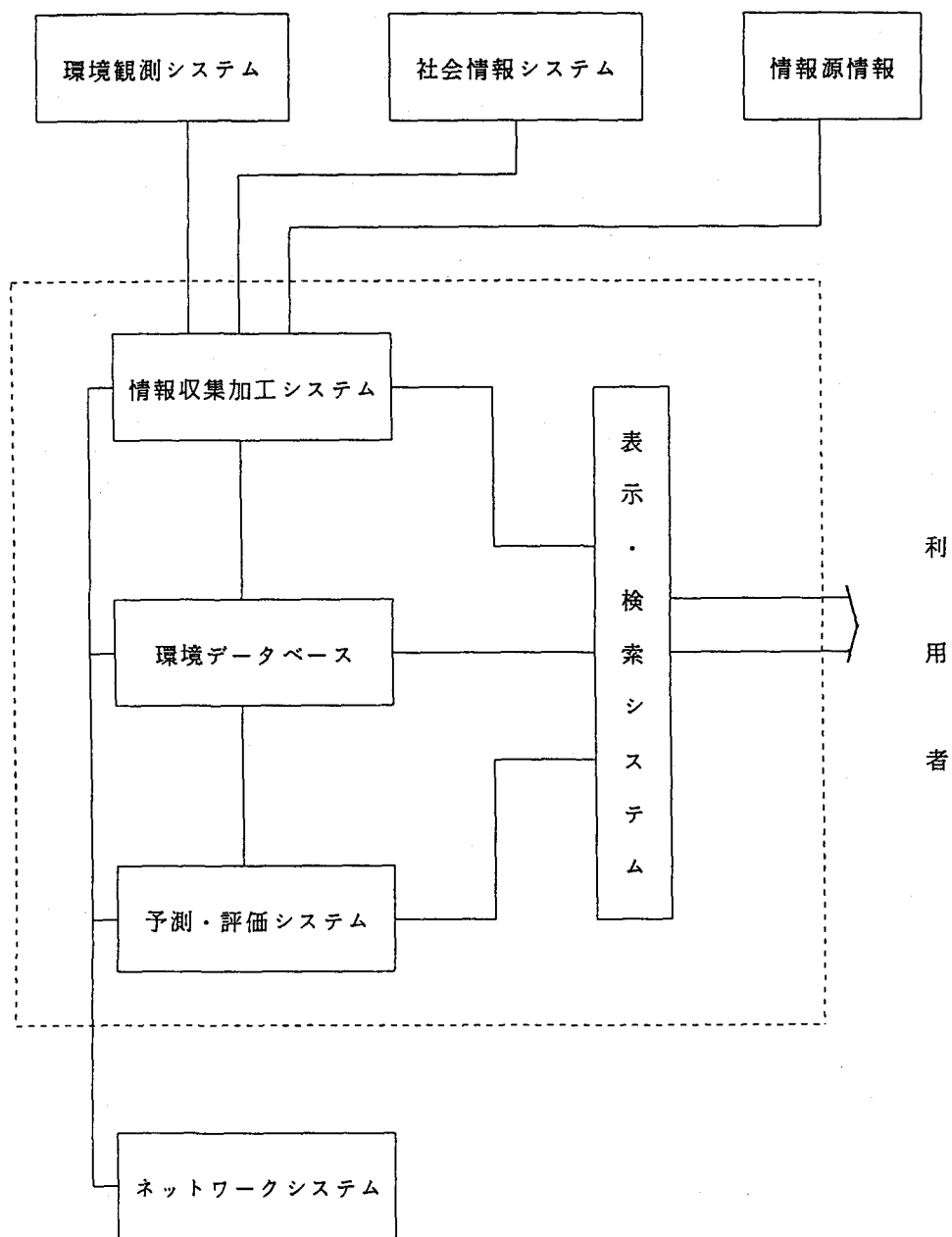


図2 環境情報システムの概念図

表1 地球環境評価において必要とされる情報項目例

大気域	陸域	水域
・ オゾン等の濃度 ・ 地球全体のCO₂濃度 ・ 黄砂等の砂漠で発生するダスト量 ・ エアロゾル ・ 気温、湿度 ・ 水蒸気量 ・ 日射量 ・ 逆転層高度 ・ 風速 ・ 雲量と雲の厚さ	・ バイオマス ・ バイオマス焼失量 ・ 土地被覆 ・ 地形、地質 ・ 植生及び植生活性度 ・ 土地利用形態 ・ 土壤水分 ・ 野生生物の生息域 ・ 蒸発散量、地表面温度 ・ 放射収支 ・ 日射量、降水量	・ 容存CO₂ ・ プランクトン ・ クロロフィル ・ 濁度、浮遊物質量(SS)などの水質 ・ 水温、日射量 ・ 海面高度、波浪 ・ 風速、風向 ・ 水生生物 ・ アオコ、赤潮等の発生 ・ 蒸発散量

情報項目例を示した。表1に示されるように、対象とされる項目のうち多くは空間分布に関するものであり、その収集には従来からの地上調査による方法のみでは不十分で、人工衛星を利用したリモートセンシングなど新たな技法の活用が不可欠と考えられる。本稿では、地球環境情報システムに要求される機能のうち、特に、広域情報の収集、蓄積（リモートセンシングによる地球環境監視）について手法、システムの概要を紹介する。

4. リモートセンシング

リモートセンシングは、人工衛星や航空機を利用して上空から、広い対象地域の地表面や水面、大気の状態を対象に触れることなく計測する技術である。通常は、カメラや走査装置（スキャナ）などのリモートセンサと呼ばれる装置を用いて、地表面から反射または放射された電磁波エネルギーを上空から面的（二次元的）に測定する。このためにリモートセンシングは、地表面の

- ・空間分布特性

に関する情報を短時間に収集することができるという特徴を有する。また時間を隔てて同じ地域を観測することにより、対象の

- ・時間変化特性

を把握することができるという利点も有する。

さらに、リモートセンシングでは、地球表面から反射または放射された電磁波の波長に対する特性、すなわち

- ・分光特性

を計測することにより、対象が何であるか、どのような状態にあるかを非接触で推定するという特徴を有する。

図3には一例として、米国人工衛星NOAAからのAVHRR画像より作成されたアジア地域のモザイク（合成）画像及び植生指数図を示した⁽¹⁾。植生指数図は、1989年12月～1990年2月に得られた11枚のAVHRR画像から対象地域の1km分解能モザイク画像（合成画像）を作成し、さらにモザイク画像から植生指数を計算することにより作成した。植生指数は、地表面が植生で被覆されている程度を指数化したものである。図3では、どの地域が植生で被覆されているかが示されており、経時的に観測することにより、森林減少の変動を定量化することが可能である。

1km分解能のAVHRRモザイク画像は、現在、北米大陸とアジア地域（図3）においてのみしか作成されていない。なお、オリジナルのAVHRR画像から間引いて作成した16km分解能モザイク画像及び植生指数図は全球レベルで毎週作成され、UNEP/GRID（後述）等を通じて提供されている。

5. 地球環境監視におけるリモートセンシング

国連環境計画（United Nations Environmental Program: UNEP）のもとで進められている地球環境監視システム（Global Environmental Monitoring System: GEMS）においては、環境監視は“ある目的のために、環境領域の1つまたは複数の物理的、化学的または生物学的指標を、一定の場所と時間に繰り返し観測、測定する課程”、と定義されている⁽²⁾。GEMSは世界的なネットワークを通じて地球規模での環境汚染を監視することを目的としており、この中で、リモートセンシングも1つの有効な手段として提案されている。

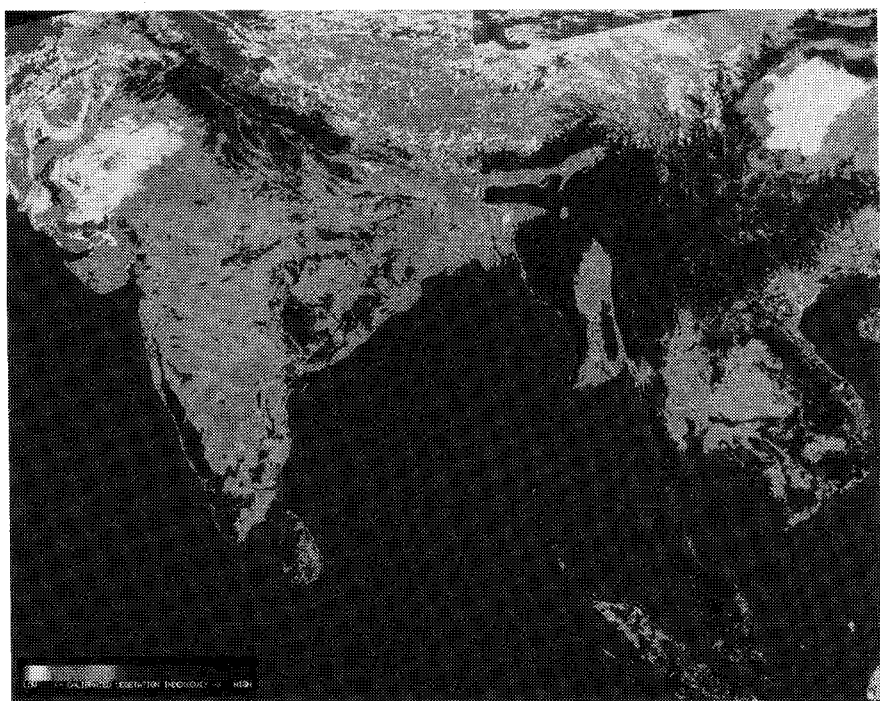
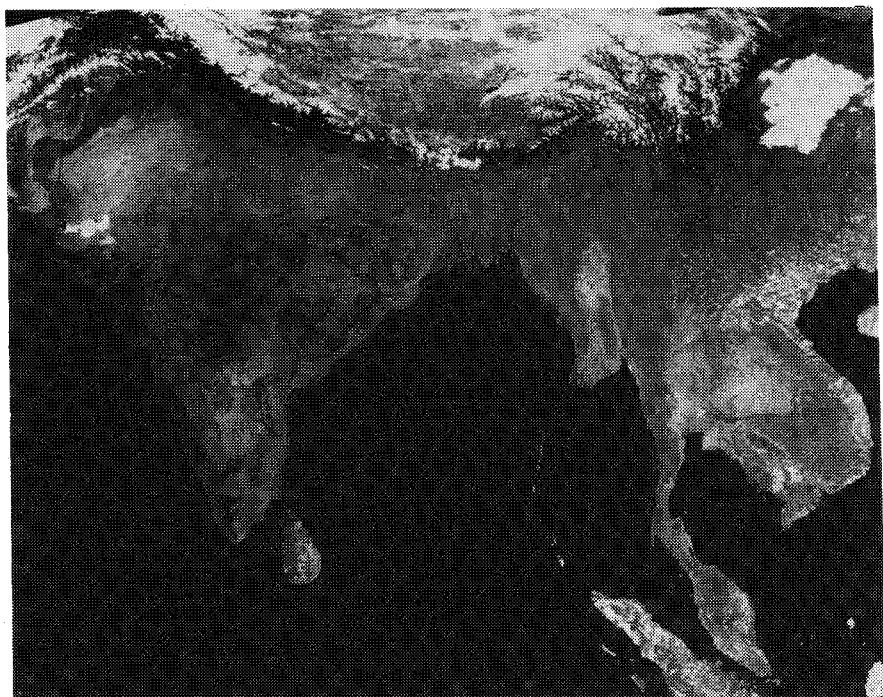


図3 NOAA AVHRR データによるアジア地域のモザイク画像
および植生指数(NDVI)分布⁽¹⁾

リモートセンシングの特色である

- 1)対象を広域的に、かつ同時に計測することができる、
- 2)測定対象と非接触であるため、対象の場を乱さず安定した大局的な計測が可能である、
- 3)人工衛星・航空機を利用することにより、周期的な計測が可能である、
- 4)同一のセンサを用いることにより、すべての対象地域を、同じ分解能、精度で測定することができる、

といった利点は、リモートセンシングが、“一定の場所と時間に繰り返し観測する”必要のある環境監視に適した手法であることを示している。また、地球的規模での環境汚染を問題とする場合にも、4)の特色、すなわち1つの計測装置が世界中すべての地域を平等に監視できる、という点が極めて有効となる。

表2には地球環境監視におけるリモートセンシング利用の可能性を示した。

6. 地球環境情報システム

(1)地球観測システム

広域環境情報の収集には人工衛星の利用が不可欠であり、地球環境の現状及びその変化を調べることを目的として、多数の地球観測衛星が活用され、また計画されている。図4には、現在及び近い将来利用可能な利用分野別の地球観測システム(センサ)の概要をまとめた⁽³⁾。これらのセンサーは、現在運用中の NOAA, LANDSAT, SPOT, MOS, ERS, J-ERS 等に搭載されているもの、及び近い将来打ち上げ予定の TRMM, ADEOS, EOS等に搭載予定のものである。センサについての詳細は資料⁽³⁾、⁽⁴⁾を参照されたい。

(2)地球観測プログラム

地球環境に関する情報を収集、蓄積していくためには、人工衛星等を利用した広域観測手法に加えて、地上レベルでの観測も含めた総合的な地球観測システムを構築することが必要である。現在この目的のために、大気域、海域、陸域において様々なプログラムが実施または計画されている。代表的なものとして、

- ・ IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme)
- ・ WCRP (World Climate Research Programme)
- ・ GCOS (Global Climate Observing System)
- ・ UNEP/GEMS

表2 地球環境監視におけるリモートセンシング利用の可能性

地球環境問題	具体的計測項目	センサー例	フィールド
オゾン層の破壊	オゾン濃度分布	SBUV/ TOMS	全球的
CO ₂ 等による地球の温暖化	CO ₂ 濃度分布	LIMS、 SAMS	全球的
	植生分布、森林面積 地表面温度	MSS TM HRV OPS MESSR AVHRR SAR	
酸性雨	森林被害面積、 湖沼等の水質	MSS TM HRV OPS MESSR	ヨーロッパ 北米
熱帯林の減少	植生分布、森林面積 森林伐採面積	MSS TM HRV OPS MESSR AVHRR SAR	アジア、 アフリカ、 南米
砂漠化	荒地面積、植生分布 土壌流出量 地表面温度	MSS TM HRV OPS MESSR AVHRR SAR	アジア、 アフリカ、 南米
開発途上国の公害問題	大気汚染、水質 汚濁などの計測	MSS TM HRV OPS MESSR SAR	アジア、 アフリカ
野生生物種の減少			"
海洋汚染	廃油、赤潮 水温	MSS TM HRV OPS MESSR AVHRR SAR	全球的

SBUV: Solar Backscatter Ultra-Violet (NIMBUS-7)
 TOMS: Total Ozone Mapping Spectrometer (")
 LIMS: Limb Infrared Monitor of Stratosphere (")
 SAMS: Stratosphere and Mesosphere Sounder (")
 MSS, TM: Multispectral Scanner, Thematic Mapper (LANDSAT)
 HRV: High Resolution Visible (SPOT)
 OPS: Optical Sensor (J-ERS1)
 AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA)
 MESSR: Multispectral Electronic Scanning Radiometer (MOS-1)
 SAR: Synthetic Aperture Radar (E, J-ERS1)

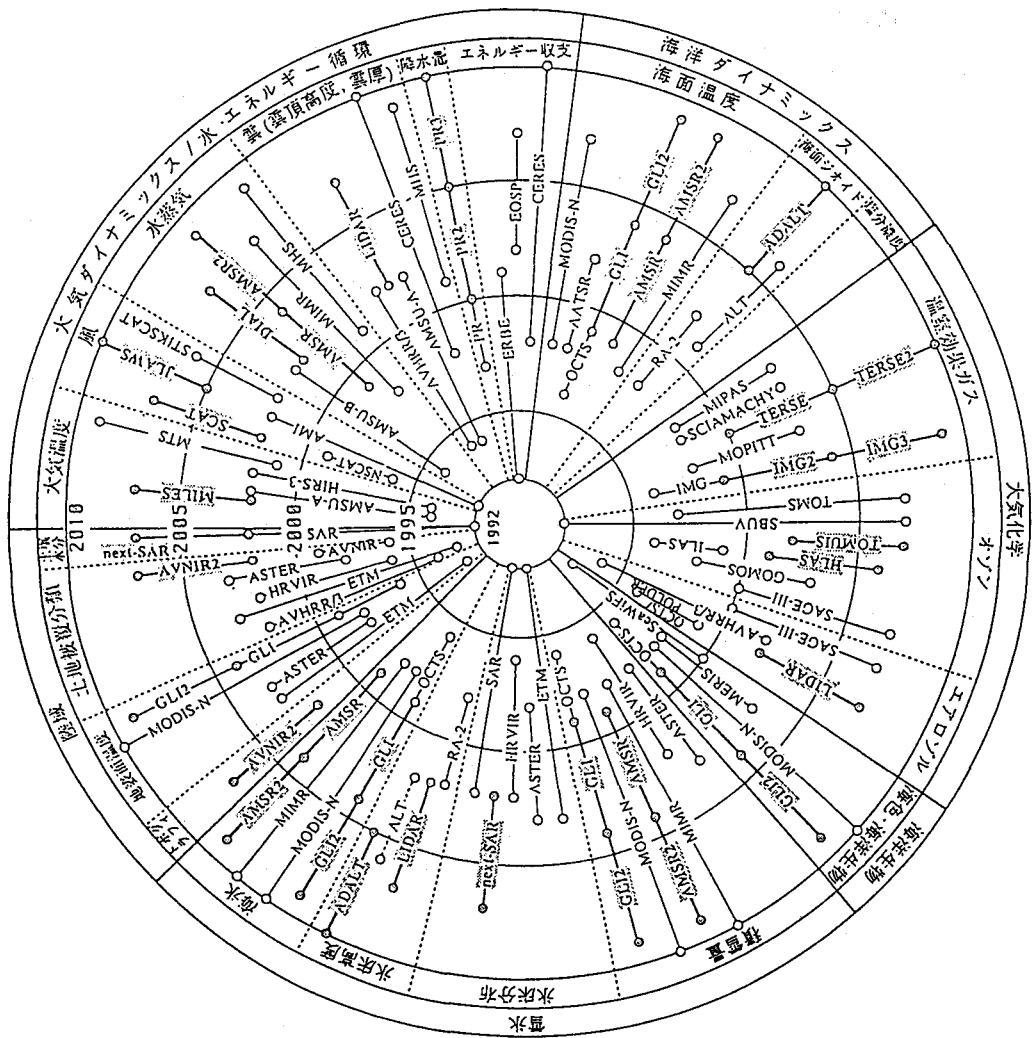


図4 地球観測システム（センサ）の概要⁽³⁾

などが挙げられる⁽⁴⁾。

しかしながら、その多くが近年スタートしたものであり、必ずしも十分な情報の蓄積がなされているとはいえない。UNEP/GEMSは1972年のストックホルム会議を機会にスタートした最も歴史の長いプログラムであり、現在、気候変動、汚染物質の長距離輸送、健康影響、海洋汚染、陸域再生資源、の5つの分野を中心に監視、データ収集が行われている。

(3)地球環境データベース

リモートセンシングは地球環境に関する大量の情報を我々に提供する。しかしながら、これらの情報を有効に活用するためには情報を蓄積、検索するためのデータベースシステムの利用が不可欠である。地球環境データベースとしては、現在、UNEP/GRID、米国NASAにおけるEOS-DIS、CEOS（地球観測衛星委員会）におけるCEOS-PIDなどが実施、計画されている。ここでは、その一例として、UNEP/GRIDを紹介する。

地球資源情報データベース（GRID: Global Resource Information Database）⁽⁵⁾は、前述のUNEP/GEMSが収集・加工したデータや人工衛星によるリモートセンシングデータなど環境に関する多種・多様なデータを統合し、世界中の研究者や政策決定者へ提供することを目的としたデータベースシステムである。

GRIDの主要な機能として以下のようなものが挙げられる。

- ・ GEMSを中心として行われる環境モニタリング活動により作成された地球規模及び地域規模の環境データを結び付け、全球的なデータを作成する。さらに、これらのデータを統一的な地理座標で管理し、有機的に結合することにより統合化する。
- ・ 各国や国際機関の意志決定者及び科学者が容易に理解・利用できるように、環境データを総合化された情報に変換し提供する。
- ・ 国際的な地理情報システム（GIS: Geographical Information System）サービスへのアクセスを提供する。現在GRIDで保有・管理している全球スケールでのデータベースの多くのデータは16kmの空間分解能で統一された地理情報システムの基で運用されている。

表3にはGRIDで保有している主要なデータの一覧を示した。また図5にはその一例として世界の標高データを示した。GRIDではリモートセンシングによるデータ、例えば植生図等も利用されており、今後地球観測衛星の打ち上げ増加に伴い、その量も増えることが予想される。なお、日本にはGRIDノードの一つとしてGRID/TSUKUBAが国立環境研究所に設置されており、ここを通じてGRIDのデータを入手することができる。

表 3

GRIDの主要な地球環境データ

データ名称 Data Set	作成機関 Organization	精度 (緯度経度) Resolution (lat./long.)
Political Boundaries(国境界)	世界境界データベースII, (WDB II)米国	1:100(million)
Natural Boundaries(自然境界)	世界境界データベースII, (WDB II)米国	1:100(million)
Elevation (標高データ)	NGDC, 米国	1/12度(deg.)
Elevation (標高データ)	U.S. Navy, 米国	1/6度(deg.)
Soils (土壌図)	FAO/UNESCO世界土壌図	1/30度(deg.)
Soil Degradation (土壌劣化図)	ドブラー土壌図	1度(deg.)
Major Ecosystem Complexes(植生図)	ORNL, 米国	1/2度(deg.)
Holdridge Life Zones (植生図)	IIASA, オーストリア	1/2度(deg.)
Vegetation Type (植生タイプ)	GISS, 米国	1度(deg.)
Natural Wetlands (湿地)	GISS, 米国	1度(deg.)
Global Vegetation Index (植生指数)	NOAA, 米国 (GVI)	16km
Cultivation Index (耕作強度)	GISS, 米国	1度(deg.)
Precipitaion Anomalies (降雨異常)	CAC, NOAA/WMO	1度(deg.)
Temperature Anomalies (気温異常)	CAC, NOAA/WMO	1度(deg.)
Temperature (気温)	IIASA, オーストリア	1/2度(deg.)
Precipitaion (降雨量)	IIASA, オーストリア	1/2度(deg.)
Cloudiness (雲量)	IIASA, オーストリア	1/2度(deg.)
Surface Crustal Temperature (地表温度)	NASA/JPL, 米国	1度(deg.)
Seasonal Integrated Albedo (アルベド)	GISS, 米国	1度(deg.)
Methane Emission (メタン発生図)	NCAR, 米国	1度(deg.)

略語/Acronyms

CAC	Climate Analysis Center	気候解析センター
FAO	U.N. Food and Agriculture Organization	国連食料農業機関
GISS	Goddard Institute for Space Science	ゴダード宇宙科学研究所
IIASA	Intl. Institute for Applied Systems Analysis	国際応用システム分析研究所
JPL	Jet Propulsion Laboratory	ジェット推進研究所
NCAR	National Center for Atmospheric Research	国立大気研究所
NGDC	National Geophysical Data Center	地球物理学情報センター
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	米国海洋大気庁
ORNL	Oak Ridge National Laboratory	オークリッジ国立研究所
UNESCO	U.N. Educational Scientific and Cultural Organ.	国連教育科学文化機構
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機構

7. まとめ

地球環境情報システムについてその現状を概説した。環境問題の広域化、多様化、長期化に伴い、人工衛星を活用したリモートセンシング技術及び新たな情報処理技法、システムへの期待はますます強まるものと予想され、人工衛星、センサ、情報システム個別の要素技術の開発に加えて、総合的な監視システムの構築が望まれる。

参考文献

- (1)安岡他(1992): NOAA AVHRR画像データを用いた東南アジア地域の植生指数図及び植生分布図作成手法に関する研究.平成3年度地球環境研究総合推進費報告書、環境庁。
- (2)不破、安部、大槻(1973): 環境モニタリング、スコープリポート2.環境情報センタ。
- (3)科学技術庁リモートセンシング推進会議資料(1992)
- (4)Committee on Earth Observation Satellite (1992): CEOS Dossier of Satellite Missions and Environmental Programmes.
- (5)UNEP(1991): GRID:Questions and Answers about the GRID Programme.

WORLD ELEVATION

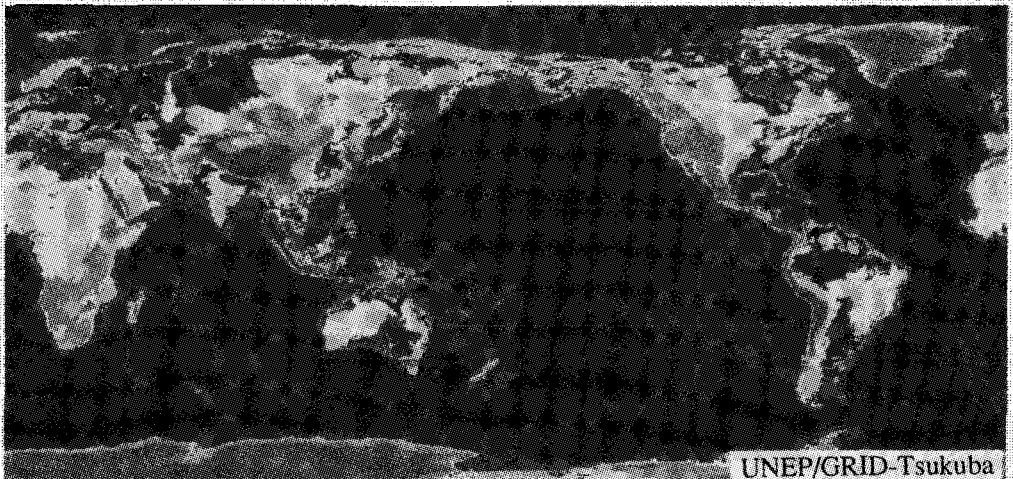


図5 世界の標高データ (UNEP/GRID, U. S. Navy)