

ネットワークによる地球環境衛星データベースの構築と高度利用に関する総合的研究

東京理科大学基礎工学部 高木 幹雄

Construction of earth observation satellite database and its advanced utilization

Mikio Takagi (Science University of Tokyo)

Abstract: Earth observation from satellites offers huge information on global environment. And it is expected that long term, various and complex phenomena of global land, atmosphere and ocean can be analyzed utilizing satellite information. A project has started connecting five institutions (University of Tokyo, Tohoku University, National Institute for Environmental Studies, Chiba University, and Science University of Tokyo), which are very active in data utilization of environmental satellites NOAA and GMS, via high speed networks to construct AVHRR of NOAA satellite and VISSR of GMS databases and to create scientific data sets for land, ocean and atmosphere. Vegetation index, sea surface temperature, cloud distribution maps and so on are generated by high speed and huge volume data processing for studies on long term variations of land, ocean and atmosphere in Asia.

1. はじめに

NOAA 衛星搭載の AVHRR センサーのデータは、一局で受信できる範囲が広いうえに空間分解能が 1km と充分に高く、しかも多波長の観測を行っているため、世界中で受信されて様々な分野の研究に利用されている。又、GMS 衛星に搭載されている VISSR センサーは毎時の観測をおこなっており、そのデータは気象学分野のみならず、多くの分野で多様な利用価値を持つ。日本の代表的な NOAA 衛星データ受信局である東京大学生産技術研究所、東北大学理学部、千葉大学環境リモートセンシング研究センター、環境庁国立環境研究所、タイ・バンコクのアジア工科大学では、1980 年代初頭から始まる膨大な NOAA-AVHRR データを所有している。又、東京大学生産技術研究所では 1995 年以来 VISSR データの受信を開始し、これまでのデータを保有している。しかし、現在のこれらのデータは各機関で個々に保有され、処理されているため、これらのデータを合わせた広域、長期間の総合的な解析や研究を進めることができなかった。

本研究では、上述の 5 機関を高速ネットワークで結ぶことにより、利活用に難のあった NOAA, GMS データをサイバー・スペース上に集積して、AVHRR・VISSR データベースを構築し、これらのデータを基に陸域、海域、大気域の科学的なデータセットを作成することを目的とする。このデータセットは、十年以上の期間にわたる東アジアから東南アジアにかけての広大な範囲をカバーする。AVHRR データベースを用いて、最新の物理量推定アルゴリズムを用いた高速大量データ処理を行い、毎日の植生指標分布・海面水温分布を 1km の空間分解能で作成する。又、VISSR データにより、各時毎の雲分布を作成する。これらのデータベースを用いて、アジア域の陸域・大気・海洋の長期広域変動を研究する。

2. 研究の概要

2.1 ネットワークシステムならびに画像データベースの構築（東京大学）

(1) 地球環境データベースシステム

大規模画像データの記憶装置としてテープアーカイブを用いたデータベースシステムを構築し、「10 日間アジア NOAA / AVHRR モザイク合成画像」を投入した。テープアーカイブは階層ファイルシステム化されており、ユーザはテープアーカイブを意識することなくデータへのアクセスができる。又、データベースシステムは HTTP サーバと接続されており、ネットワークを通じたアクセスが可能である。

(2) 地球環境データベースの視覚的検索ユーザインタフェース

地球環境データベースから必要なデータを視覚的に検索するためのユーザインタフェースを構築した。

マルチフォーカスズーミング、アニメーション等のユーザインタフェース技術を用いることで、データの全体的な分布を把握しつつ、条件を絞って必要なデータを検索することが可能となった。本システムでは、「10日間アジアNOAA/AVHRRモザイク合成画像」を検索することができる。現在、このインタフェースの有効性を示すため、地球環境研究者を対象としてユーザスタディを行っている。

2.2 基盤データセットの作成（東京大学，岩手大学，国立環境研究所）

(1) NOAA/AVHRRアジアモザイクの作成（岩手大学，国立環境研究所）

東京大学，千葉大学，国立環境研が有するアジア地域の計5受信局（東京，バンコク，ウランバートル，沖縄県黒島）で受信した1998年，1999年のNOAA/AVHRRデータを基に，東南アジアおよび東アジアをカバーする10日単位のAVHRRモザイク画像を作成した。上記の5受信局データはまず，第1章に示されたシステムにより東京大学生産技術研究所のデータアーカイブシステムに転送，蓄積し，さらに，岩手大学に転送，岩手大学が開発したAVHRRデータ処理システムによりモザイク画像を作成した。本モザイク画像は，年間の全データを精密幾何補正，大気補正，雲除去処理した後，陸域に対しては正規化植生指数(NDVI)を，海域に対しては海面温度(SST)を計算し，さらに10日単位でデータを合成（モザイク）した。これらのNDVI，SSTデータはAVHRRの原データとともに，AVHRR基盤データセットとして生産技術研究所のデータアーカイブシステムに蓄積され，WWWにより公開される。

(2) AVHRRデータを利用した基盤データ作成手法の開発

・ AVHRRデータを利用した広域土地被覆分類手法の開発（東京大学）

月単位の時系列のモザイク画像を用いて，植生の季節変動から植生等の土地被覆分類を行う手法の開発を行った。時系列データとしては，正規化植生指数（NDVI），植生・土壌・水指数（VSW），AVHRRの可視・近赤外バンド濃度などの多変数変数を，時系列データ解析手法としては，フーリエ変換，自己回帰モデル（ARモデル）を選び，組み合わせによりその分類精度を比較した。検証データとして自然環境保全基礎調査データ（1/50,000のデジタルデータ，環境庁）を用いて比較したところ，VSW指数2変数を用いたフーリエ変換による分類が最も高い精度を得た。

・ AVHRRデータと高解像度データの併用によるスケールアップ手法の開発（東京大学）

AVHRRと，その一部の地域を同時に観測した高解像度センサLANDSAT/TMを重ね合わせ，TMにより分類された高精度土地被覆情報を利用して，AVHRRデータから画素内の各土地被覆カテゴリーの占有面積比率を推定するスケールアップ手法を開発した。本手法を利用して，シベリア湿地域のAVHRRデータから各画素における湿地の占有率を求め，湿地からのメタン発生量を推定した。

・ AVHRRデータによる純一次生産量（NPP）の推定（国立環境研究所）

1998年のNOAA/AVHRRデータから作成した10日毎NDVIデータを用いて，東アジア（東経78から170度，北緯66～南緯9度）における植生純一次生産量を推定した。推定モデルは，J. LiuらによるBEPSモデル（Boreal Ecosystem Productivity Simulator）を改良したものであり，NDVIデータに加えて，気象データ，土壌データを入力変数としている。

2.3 地表面被覆データセットの作成（千葉大学）

これまで，広域の土地被覆を時系列衛星データを用いて作成するために，NOAA/AVHRRセンサのデータを用いた分類アルゴリズムが数多く提案されてきた。それらは基本的には可視と近赤外チャンネル（チャンネル1および2）のデータから求められる植生指標（Vegetation Indices）の時系列変動をクラスター分析等の統計処理を行うことで分類するアルゴリズムが主体となっている。種々の植生指標は，クロロフィルを含む植物体が可視光の赤の領域で反射率が低く，近赤外領域で反射率が大きいという性質を利用し，それぞれのチャンネル出力を正規化して計算されるものである。植生指標を用いて広域の土地被覆分類を行うアルゴリズム自体は，すでに出尽くした観があるが，分類精度という点ではいまだ十分ではない。その要因として以下のことが挙げられる。

1) 植生指標にはそれぞれ適用範囲があり、すべての植生に対してリニアな感度をもつ植生指標はない。すなわち、疎な植生には感度があるが、密な植生では飽和してしまうものもあれば、逆に疎な植生に対してはほとんど感度のない指標もある。したがって同一の植生指標を用いてすべての植生の季節変動を的確に捉えることは困難である。そこで、最適な植生指標を選択的に用いる手法が考えられるが、そのためには事前に大まかな植被の粗密を知る必要があり、植生指標のみの利用では、これは困難である。2) 時系列データセットの幾何精度(地図投影した際の位置精度)が十分でない。時系列解析では異なる時期の同一地点のデータを利用することになるが、この幾何精度が不十分であると、異なった地点の観測データを使用してしまうことがあり、この地点での解析自体が意味をなさなくなってしまう。幾何精度を向上させるためには、地理上の位置が既知である地上基準点をもちいた地図投影処理が必要となるが、この処理は非常に負荷のかかるものである。これまでの既存の時系列データセットでは地上基準点を用いた地図投影処理を行っておらず、幾何精度に問題があった。

以上2点の問題を克服するために、本研究では熱赤外チャンネルのデータを利用した分類アルゴリズムの開発と、同データを利用した高精度幾何補正アルゴリズムの開発を行う。1)の問題に対しては、熱赤外チャンネルのデータから昼間と夜間の地表面温度の差、すなわち日較差からその地点の植被の粗密を抽出することによって問題解決が可能と考えられる。しかしながら、夜間の地表面温度時系列データは存在しないため、これを新たに作成する必要がある。同時に、2)の問題に関して、地上基準点を衛星画像から抽出するアルゴリズムも夜間の熱赤外データに対しては新たに考案する必要がある。可視および近赤外チャンネルのみを用いた地上基準点自動抽出のアルゴリズムはすでに開発していたが、昼間と夜間の両方の地上基準点を用いることで幾何精度をさらに向上させることが可能である。これまでに、夜間熱赤外画像データに対する地上基準点自動抽出アルゴリズムの開発を行い、夜間熱赤外時系列データセットの自動作成システムを構築した。

2.4 海面温度データセットの作成(東北大学)

2.4.1 はじめに

適切な海洋観測パラメータを密に空間に配置する(画像化)ことにより、海洋の構造を知ることができる。1km格子で画像化されたNOAA衛星搭載AVHRRセンサー海面水温画像により、世界中の海洋で様々な海洋構造が可視化された(例えば、Legekis,1979)。海面水温フロントが明瞭に構造を反映する日本周辺海域において、AVHRR画像は特に有効であった(例えば、黒潮、日本海、三陸沖)。さらに、画像時系列により、この構造の動力学的な側面も把握できることがわかった。このような新しい研究の展開は、AVHRRがもつ高い分解能(空間、輝度)によっている。

しかし、この利点をフルに活かした海面水温画像を長期間にわたって作成することは容易ではない。様々なアルゴリズム技術開発に加えて、衛星データ保管と大量処理を実現する計算機環境が不可欠である。高解像度SSTは海洋学研究と海洋変動数値予測(例えばOOPC: <http://WWW.BoM.GOV.AU/bmrc/mrlr/nrs/oopc/oopc.htm>)に大きく貢献することは自明であるが、それを実現することは難しかった。

本研究では、長年の開発の結果、日々の高解像度SST画像の、10年以上の時系列作成を実現した。

2.4.2 AVHRRデータと処理手法

1988年から現在まで、東北大学で受信されているNOAA-HRPTデータを活用した。幾何補正と輝度温度変換を行い、MCSST法によりSSTを推定する。もっとも困難な課題は、雲域判別の自動処理であったが、日本周辺海域に調整した独自の手法を開発している。これらの技術を総合して大量処理を行い、高解像度SST Ver.10を1994年に作成し、Highersと名付けた。

今回開発したシステムは、このHighers作成システムをベースに、東北大学大型計算機センターのSX-4と高速並列計算機Examplerを用いている。アルゴリズムにも種々の工夫を施した；雲域除去、サングリッタ域、高空間分解能化(0.01度格子)など。この高解像度海面水温データセットは、A(Advanced)-Highersと呼ばれる。

2.4.3 応用研究

Highers, A-Highersとも、それを利用した多くの海洋と大気の研究例がある。台風によるSST低下、日本海固有水形成機構に関する研究、黒潮の蛇行現象の推移などがある。他に、三陸沖暖水塊短期気変動予測、亜熱帯前線・黒潮周辺の3-7ヶ月周期変動などの研究が進行中である。このデータセットから切り出した日本海域A-Highersが、NearGOOS活動の一環として公開されている。

2.4.4 今後の課題

様々な技術的な課題が克服されていく課程で、海面水温の日変化が、海洋構造の把握にとって大きなノイズになることが明らかになってきた。一方で、その日変化は大気の混合層を駆動し、天気を変化させる。衛星観測海面水温に関し、日変化を正しく扱うことは、今後の必須の課題である。

2.5 GMSデータセット、海面温度、雲データセットの作成（東京理科大学）

GMSのVISSRデータを用いて、北緯70度 - 南緯70度、東経70度 - 西経150度の範囲の幾何補正済み毎時データを空間分解能（可視0.01度格子、赤外0.04度格子）で作成し、海面温度（SST）分布図と雲パラメータ分類図等を作成する。そのために、まず、GMSの可視画像用に0.01度の分解能、GMSの赤外画像に対しては、0.04度の分解能で、高速に幾何的歪補正（地図化）を行うアルゴリズムを検討した。

地図化においては、衛星の軌道パラメータから観測された各画素の経度緯度を計算しておき、地球座標系に変換する各点の対応する画素データを取ってくる変換を行うが、地図座標系の各点ごとに計算を行うのでは、膨大な時間を要する。そこで、ブロックに区切った4隅の対応点のみを計算し、内部は共1次補間による方法を開発した。又、地上基準点（GCP；Ground Control Point）を用いた精密補正を行うために必要なGCPデータベースを作成した。GMS撮像範囲内に1422点であり、それぞれ番号、名前、緯度、経度、標高等をパラメータとして持っており、公開されている。

地上基準点（GCP）を用いた精密幾何補正を行うための残留誤差取得法を検討し、系統的幾何補正を行った64×64画素のGCP画像と地図画像より作成した32×32画素のテンプレート画像とを残差逐次検定法（SSDA法）によりテンプレートマッチングを行い残留誤差を取得する手法、誤差評価基準について研究を行った。地上基準点(GCP)における残留誤差を取得し、アフィン変換をおこない、精密な補正を実現する手法を検討した。

利用面では、GMSデータを用いて、海面温度データセット作成アルゴリズムの開発、雲の認識アルゴリズムを開発し、雲分布図の作成、TRMMとGMSのデータを用いた降雨の推定の研究を行い、データベース化を行っている。

3. ネットワークの活用について

本研究は、高速ネットワークの利用を前提として立案されたものであってフルに活用されている。基本的な衛星データの転送においても、バンコクのアジア工科大学で受信されたNOAAデータは、即時に国立情報学研究所の専用線を介して東京大学生産技術研究所と東京理科大学に転送される。又、東京大学生産技術研究所で受信される毎時のGMSデータは、学術情報ネットワークにより東京理科大学に転送されている。各々、毎回100MBのデータが転送されている。各研究機関の間のデータの転送においても、ネットワークが活用されている。

作成されたデータベースは、各機関のホームページで公開され、多数の利用者がネットワークを介してアクセスし、利用している。

4. まとめ及び今後の予定

研究の基本的な部分については、完成して来ており、開発されたアルゴリズムに基づいて毎日取得されるデータの定時処理と過去に遡ったデータの処理を行う予定である。又、各研究機関で作成されたデータセットを用いた共同研究も推進する。

5. 研究実施体制

東京理科大学

研究開発題目：GMS-VISSR データを用いた広域雲パラメータと SST 分布の作成

研究開発項目：雲，SST 推定手法

東京大学

研究開発題目：高速ネットワークを用いた AVHRR・VISSR 画像のデータ転送，データベースシステムの構築，アジア域における AVHRR 基盤データセットの作成

研究開発項目：ネットワーク設計，植生指標の開発，幾何補正手法の開発

岩手大学

研究開発題目：アジア域における AVHRR 基盤データセットの作成

研究開発項目：大気補正手法の開発

千葉大学

研究開発題目：AVHRR データによるアジア域における地表面被覆分布図の作成

研究開発項目：土地被覆分類手法，地上調査手法

東北大学

研究開発題目：アジア域に接する縁辺海及び西部北太平洋における高空間分解能海面水温分布の作成

研究開発項目：水温推定手法

国立環境研究所

研究開発題目：アジア域における AVHRR 基盤データセットの作成

研究開発項目：モザイク手法の開発