

# 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と十分に高く、しかも多波長の観測を行っているので、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バを用いたデータベースシステムを構築し、AVHRR原画像、VISSR原画像とともに、10日単位のNOAA/AVHRRアジアモザイク画像を投入した。テープアーカイバ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バ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。また、地球環境情報ポータルを構築するべくその一歩として気象関連のURLについてリンク解析により実験システムを構築した。

## (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ム、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。

## (3) TERRA/MODISデータ受信システムの構築

平成13年5月より東京大学生産技術研究所（駒場キャンパス）とアジア工科大学院（タイ・バンコク）において、新しい地球観測衛星TERRAに搭載された多波長・高解像度センサMODISのデータ受信・アーカイブを開始した。MODISは可視・近赤外、熱赤外波長域に36チャンネル（AVHRRは5チャンネル）を有し、可視・近赤外域では250mの空間分解能を有するチャンネルを有する。AVHRRとMODISの併用により、アジア地域の観測体制が大幅に向上した。

## 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）

東京大学、千葉大学、国立環境研究所が設置している計4カ所の受信局（東京、バンコク、ウランバートル、沖縄県黒島）で取得したNOAA/AVHRRデータを基に、1998年及び1999年についての10日単位の精密幾何補正及び雲域除去の処理を適用されたモザイク画像を作成した。

1枚のモザイク画像の被覆範囲は東経50～170度及び南緯20～北緯80度にもおよぶ広大なものとなる。上記4受信局のデータはまず、2.1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。合成されたモザイク画像は、さらに6S codeによる大気効果補正を適用されて、陸域に対しては正規化植生指数(NDVI)画像を、海域に対しては海面温度(SST)画像を作成された。

これらのNDVI画像I、SST画像は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により公開されているまた、研究者が画像の参照及び判断を便利に行えるように、モザイク画像の疑似カラー表示画像、NDVI画像及びSST画像をA3版にカラー出力したものを集めた資料集も作成した。

アジア地域に関して、2年間にもわたる10日間毎の多時期モザイク画像データセットが整備されたことは、アジア地域の環境観察にとって深い意義を持つものといえよう。

### (2) AVHRRデータを利用した基盤データ作成手法の開発

#### ・AVHRRデータと高解像度データの併用によるスケーリング手法の開発（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等）を重ね合わせ、高解像度センサにより分類された局所的な高精度土地被覆情報を、AVHRR画像を介して広域に外挿して、広域の土地被覆状態を画素分解するスケーリング手法を開発した。本手法を利用して、東南アジア地域におけるAVHRR画像から水田を抽出する手法を開発し、さらに、抽出された水田分布から、水田からのメタン発生量を推定した。

#### ・AVHRRデータによる東シベリア森林火災跡地の植生回復過程の評価（東京大学）

東京大学生産技術研究所にアーカイブされたシベリア地域のAVHRR画像から、シベリア地域における大規模森林火災跡地の約15年の植生回復状況を評価した。AVHRRから算出された日単位の植生指数の長期変動解析から、火災跡地は他の植生地域に比較して、火災による施肥効果により、火災後十数年にわたって高い植生指数を示すことを示した。

#### ・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。推定結果を地上測定結果と比較したところ、NDVIの小さいところでは良い一致が見られるが、大きい場合には過少推定になった。これは、NDVIからLAIを推定するアルゴリズムがLAI ≒ 12で飽和してしまうことが主要因である。

### 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、Legekiş,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、これまで東北大学と他機関が所有する AVHRR データを用いて、日本周辺から東アジアにかけての海域について、長期間（10年以上）・高空間分解能（0.01度）の衛星海面水温データベースを作成した（Sakaida et al., 2000）。

## 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、雲域範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 Exemplar 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。南シナ海・台湾海峡に関し、多くの成果を得た（Hu et al., 2000; 2001a,b,c; Hu and Kawamura, 2001）。他に、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 新しい展開

平成 13 年度前期は、これまでの研究成果を踏まえ、新しい研究可能性に挑んだ。国際的な海洋関連研究プロジェクトである GODAE（Global Ocean data Assimilation Experiment 全球海洋観測データ同化実験）において、雲に影響されない高解像度海面水温の必要性が叫ばれていた。GODAE では、全球海洋短期変動の予報実験を長期間（3 年間）行って、その有効性を実証しようとしている。2000 年 3 月、このグループにより世界中の研究者に新規開発要請が出され、本研究の分担者である川村は、その要請を受けて新規開発に参加することになった。

このような新しい海面水温プロダクトを作成するに当たって、本研究で鋭意開発を行ってきた高解像度 AVHRR 海面水温プロダクト、A-Highers は、その要請にまさしく適合するものであり、さらに開発済みの高速作成システムは新規開発に大きく貢献する。このような開発状況を基礎に、新規海面水温（新世代海面水温、と呼ぶ）の開発研究に着手した。まず、新世代海面水温作成に不可欠である海面水温日変動を正當に扱うための研究（Kawai and Kawamura, 2001）を進め、さらに雲をできる限り取り除き解像度を上げるために複数の衛星海面水温を融合する手法を確立した（Guan and Kawamura, 2001）。これらの研究は、次の開発フェイズに引き継がれるが、世界に先駆けて新世代海面水温の開発に成功した背景には、本研究で培われたノウハウと技術の蓄積があったことは間違いない。

## 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撮像範囲内で、それぞれの番号、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、雲マスク作成アルゴリズム、雲認識アルゴリズムを開発し、海面温度図、雲分布図の作成の研究を行い、データベース化を行い、ネットワークを介してユーザに開放している。

### 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

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。

本研究課題では、主としてNOAA/AVHRRデータを用いたが、近年では、さらに高解像度から多バンドのTerra/MODISデータが利用できるようになった。今後は、両センサ間をシームレスにつなぐことにより、1970年代から2000年代にかけての地球環境変化を継続的に観測・解析することが必要である。

### 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

## 6. 参考文献

- Y. Yasuoka, W. Takeuchi and M. Tamura (2001): Estimation of Methane Emission from Wetland with Sub-pixel Level Land Cover Characterization of Remotely Sensed Data, Proc. of the CERES International Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere and Validation of Satellite Data, pp121-126.
- 竹内渉、田村正行、越智士郎、安岡善文 NOAA/AVHRR と SPOT/HRV のスケーリングによる西シベリア湿原からのメタン発生量の推定, 日本写真測量学会 2001 年春講演会.
- Guan Lei, H. Kawamura (2001): Study on the SST availabilities of satellite infrared and microwave measurements, Submitted to Journal of Oceanography in July 2001.
- Hu, J., H. Kawamura, H. Hong and Y. Qi (2000) A review on the currents in the South China Sea --- Seasonal circulation, South China Sea Warm Current and Kuroshio intrusion, J. Oceanogr., 56, 607-624.
- Hu, J. and H. Kawamura, H. Hong, F. Kobashi and D. Wang (2001a): 3~6 Months Variation of Sea Surface Height in the South China Sea and Its Adjacent Ocean, J. Oceanogr., 57, 69-78.
- Hu, J., H. Kawamura, H. Hong, M. Suetsugu and M. Lin (2001b): Hydrographic and Satellite Observations of Summertime Upwelling in the Taiwan Strait: A Preliminary Description, Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, in press.
- Hu, Jianyu, Kawamura, H., Hong, H.S., et al. (2001c). A review on the upwelling in the Taiwan Strait studied by hydrographic observation and numerical modeling, Submitted to Bulletin of Marine Science in August 2001.
- Hu, Jianyu, and Kawamura, H. (2001). Study on the influence of the northern South China Sea circulation on the Taiwan Strait upwelling in summer, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Submitted in revised form in July 2001.
- Kawai, Y. and H. Kawamura (2001): Evaluation of the diurnal warming of sea surface temperature using satellite-derived meteorological data, Submitted to J. Oceanography in September 2001.
- Sakaida, F., J. Kudoh, and H. Kawamura (2000): A-HIGHERS - The system to produce the high spatial resolution sea surface temperature maps of the western North Pacific using AVHRR/NOAA, J. Oceanogr., 56, 707-716.