

# リアルタイム地球観測衛星データ高速通信・高速演算配信によるアジア太平洋防災ネットワークの開発

独立行政法人森林総合研究所 ○沢田 治雄

Asia-Pacific Network for Disaster Mitigation using Earth Observation Satellite (ANDES)

Forestry and Forest Products Research Institute

Haruo Sawada

Abstract:

The objectives of this research are to develop near real-time information systems that contribute to prevent and mitigate disasters in the field of agriculture and forestry by using earth observation satellites. The main research themes are follows:

- (1) Remote sensing data archive/transfer system: Satellite data, such as NOAA, GMS, DMSP and TRMM, are accumulated through the high-speed network among the related institutions including the receiving stations of earth observation satellite data. The real-time archive system for satellite remote sensing database (SIDaB) has been opened to public in MAFF.
- (2) Application for forest fire: The fire location maps showing both the hotspots of NOAA-AVHRR and new lights of DMSP-OLS are automatically created every night. The forest fire risk maps are also developed based on the dryness of vegetated area. A new efficient method was developed to reveal these seasonal changes of vegetation conditions from time series satellite data.
- (3) Application for agricultural disaster: The NDVI and thermal data are used for detecting the drought condition from the ten-days-composite images of NOAA by referring to the ordinal condition of NDVI and surface temperature. The LWCI (Leaf water content index) is found useful to monitor broad agricultural area by SPOT-Vegetation data.
- (4) Application for heavy rain: The three dimensional rainfall data are acquired from the TRMM real-time data. The heavy rain areas in the world are automatically archived on the web. The particle size of precipitation is estimated from the fall velocity, which indicates the reliability of TRMM data. Practically, the GMS image can be used to estimate the amount of precipitation every one hour.

## はじめに

アジア太平洋地域では、森林開発や砂漠化の環境変化とともに、森林火災や旱魃、洪水など、多大な被害がしばしば報告されており、年々事態は深刻になっている。そのような自然環境に起因する災害を軽減するため、災害の発見と警戒情報の早期入手が必要とされている。しかし、そのためには、高頻度の観測と観測データの高度な処理が必要とされている。一方、今日のネットワークの発達には衛星データ受信システムと処理システムとが同じ場所にある必要性を軽減し、複数の場所で観測されたデータを一元的に処理して、処理結果を配信することを可能にしている。

本研究の目的は、APAN (アジア太平洋高度ネットワーク)等の高速回線を通して衛星データを集積して、火災、乾燥害、集中豪雨等の農林災害事象をリアルタイムで抽出し、その対策に資する情報を関係各国に迅速に提供するシステムを開発することである。各種の衛星データを集積して、高速演算サーバーで処理する(アーカイブする)とともに、得られた災害情報を日本から東南アジアをはじめとする各国エンドユーザーに自動高速配信する一連の実利用処理技術を開発した。

## 1. 衛星データリアルタイムデータベースシステム

農林水産省研究計算センター(MAFFIN)の計算機処理システムとJGN、APAN、IMnetを利用してリアルタ

イム衛星情報データベース (SIDaB) を運用し、衛星データのリアルタイムアーカイブを行っている。ユーザーはWWWブラウザを用いて、様々な衛星画像データの中から、希望するデータを検索する事が可能である。このシステムでは、計算機処理能力も利用できるため、従来のデータ検索に加え、期間や領域、フォーマットなどを指定して、新たにデータを独自処理で作成 (オーダー) する事も可能であり、目的とするデータや画像を無料でダウンロード入手できる。本プロジェクトでは、このSIDaBの設計に関与するとともに、このデータ前処理を利用して、プロジェクト関連では次のようなデータが継続的に処理されている。

(1) 気象衛星NOAAのAVHRRデータ： 塩釜、横浜、石垣にある受信局のデータやタイのアジア工科大学 (AIT) の受信データを利用している。これらのNOAAデータを一元的に取り扱い、地理補正などを施して、アジア東部地域のNOAAデータのリアルタイム処理を実現させている。毎日のモザイク、週合成、10日間合成、1ヶ月合成画像なども自動作成している。

(2) 米国軍事気象衛星DMSPのOLSデータ： DMSP衛星で捕らえられている夜の光の観測データを高速に座標変換して重ね合わせ、アジア・太平洋地域の合成画像を準リアルタイムで作成している。NOAAを通じた米国空軍との交渉の結果、当初72時間は米国空軍からでることの無かったデータが3時間制限に軽減され、このOLSデータを用いた森林火災早期発見システムの開発が実現できることとなった。準リアルタイムでのデータの合成アーカイブは米軍以外では世界唯一である。

## 2. 植生の季節変動情報

植生管理において、NOAA/AVHRRやSPOT・Vegetationなどの高頻度観測衛星データによって広域で植生変動をとらえることは極めて有効であると考えられている。特に、大規模森林火災や早魃などの農業・林業災害は植生の乾燥程度に影響されるため、その状態を迅速かつ的確に把握する手法の開発は重要である。しかし、雲や広域の観測に起因する観測条件の不均一性などが障害となって、地上の植生情報を高頻度に得ることは困難である。そこで、1ヶ月合成や、数ヶ月の画像合成によって「クリア」な画像が作られているが、植生情報としては植物季節を反映できない欠点がある。少なくとも10日ごとに「クリア」な情報が必要である。そのために、Fourier展開類似の方法を用いて、植生指数の季節変化を三角関数で近似して表すこともなども行われているが、この方法はどの関数を使うかについて恣意性があり、様々な土地被覆を含む広域データの処理には適していない。そこで、空間分解能を保持したまま、任意の時間分解能を実現させながら、雲やヘイズの影響を取り除くために、画素ごとの時系列変動モデルを用いた衛星データ処理手法LMF (Local Maximum Fitting: 局所最大値フィッティング) を開発した。この手法を衛星データから作られる植生指数画像に適用することで植生の季節変化が、また地表温度画像に適用することで地表面のポテンシャル温度が連続的に得られるようになった。

## 3. 森林火災

森林火災早期発見システムと森林火災警戒 (危険度評価) システムを開発した。

(1) 森林火災早期発見： 気象衛星NOAAの夜間データを用いて、熱バンドデータへの閾値処理によって、準リアルタイムでホットスポットを検出するようにした。その際に、NOAAデータに現れるノイズの除去法を開発し、リアルタイム処理での実用化を可能にした。軍事気象衛星DMSPデータの処理では、固定的な光源データを整備するとともに、森林火災発見のために雲の影響の自動認識などを組み込んだ。これはDMSP衛星の可視・近赤外データ (OLS) を用いて月の照り返し等のノイズを除去し、さらに都市部の光を取り除いて残った光の画素を森林火災として抽出する手法である。また、NOAA衛星のホットスポット情報とDMSP衛星の光情報を重ね合わせた画像を生成し、webで提供している。関係者にはホットスポット情報 (位置の緯度・経度) を電子メールで自動配信しており、現場サイトではこの情報を展開して利用するようになっている。

(2) 森林火災危険度評価： 森林火災の発見と併せて、火災地点の乾燥度情報 (延焼危険度) を得ることが消火活動におけるプライオリティの設定に有効であると考えられる。そこで、NOAA・NDVI画像等によって、森林の季節変動状況を捕らえ、植生の水分状態や乾燥度などとの関連分析から、火災の延焼危険度を評価する手法を開

発した。開発した季節変動モデル自動生成手法（LMFアルゴリズム）は、予測にも使える。したがって、常に最新の季節変化パターンを算出し、それらの平年値と比較することで、現在の植生の生育状況についての的確に把握することができる。特にタイでは、NOAA/AVHRRでのホットスポット発生地点や、森林火災管理センターでの警戒活動による火災地点でのNDVI季節変化プロファイルは、よく似た形のものであり、特定の土地被覆（季節林）であることが裏付けられた。これをもとに、各画素で季節変化プロファイルの類似度を定義すれば、火災発生は指数関数で表されることが明らかになった。この類似度から、火災危険地域図が作成できた。これはタイだけに限らず、他の地域にも応用が可能である。

（3）森林火災現場での利用法： タイにおける実利用のために、ASEAN森林火災管理研究センターと王室林野局の協力を得て消火現場での利用システムを開発した。現場ではネットワーク環境が十分ではないのが一般的であり、電話回線によるしか手段がない。そこで、まずこのシステムでは、現地の植生情報などを集積しておくとともに、森林火災危険度情報を10日ごとにANDESサイトから入手して更新しておく。そして、毎日の火災発生地点情報をメールで受け取り、蓄積している画像上に展開する。これらの情報をもとに、火災規模に応じて消火用ヘリコプターなどを出動させることになる。ソフトウェアはフリーのもので、小規模のPCで稼働できる。

#### 4. 農地災害

農地災害では、特に乾燥害（旱魃）を取り上げた。世界的に見ると農業生産を規制する主要因の1つが水であり、乾燥害である干ばつが大きな農業災害である。さらに、地球規模での異常気象の多発が観測されており、農業災害の監視・警告システムの構築が急務となっている。この乾燥害を中心とした農業災害監視・警告システムの構築のため、以下の試験および研究を実施した。

（1）衛星データによる農業災害監視システム： NOAAデータにより、東アジア地域の10日毎最大値NDVI画像を作成し、まず1997年から1999年までの平均値画像を作成した。次に、2000年の10日毎最大値NDVI画像を準リアルタイムで作成し、この画像を3年間の平均画像との差画像を作成した。春先から夏において、この差画像で負の値での絶対値が大きいところが、干ばつために作物や牧草の生育が悪いと理解された。

（2）葉水分指数による植生モニタリング： NDVIは植生のバイオマスとの相関が高いが、熱帯植生の季節変動モニタリングを行う場合は、可視バンドを用いたNDVIは霧や焼き畑などの煙によるヘイズによって大きな影響を受けることが多い。しかし、この度、Hund, Jr.E.Raymond（1987）らの提案式をもとに改良発展した葉水分指数LWCIは、中間赤外と近赤外を利用しているためヘイズの影響を受けにくい。また、熱帯では気温、日射量以上に水分条件が開花・結実などの植物季節の主要因となっていることが知られているので、この指数によって、熱帯植生の季節変動モニタリングが可能である。更に、LWCIはランドサットTM衛星のみならず、中間赤外バンドを有するSPOT\_Vegetationデータでも利用可能である。そこで、このSPOTデータを使用して、日本の水田、畑、草地、森林、及び、タイの常緑林、季節落葉樹林、農地における、一年間のLWCIとNDVIの変化パターンを解析し、このLWCIが旱魃の把握に有効であることを明らかにした。

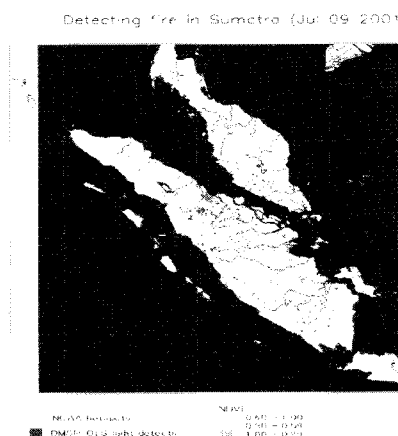


図1 NOAAとDMSPによる火災の発見

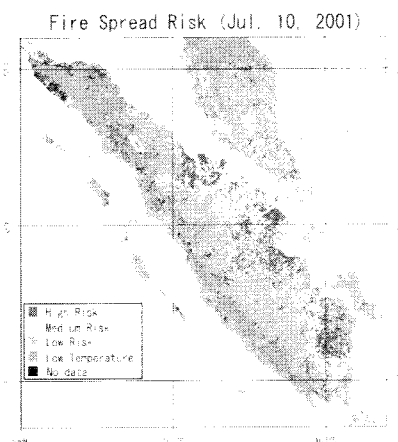


図2 NOAAによる延焼危険度

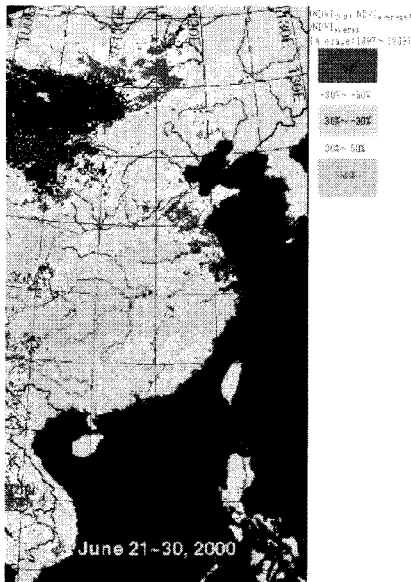


図3 NOAAによる旱魃危険度

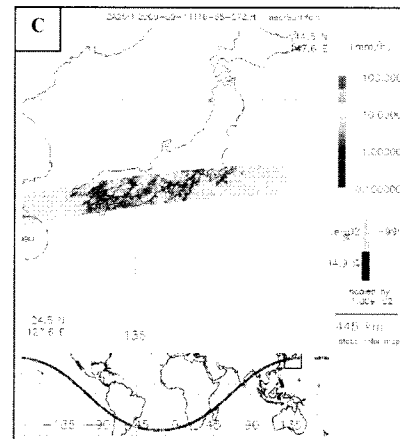


図4 TRMMによる豪雨の把握

## 5. 豪雨災害

東アジア及び東南アジア地域へのリアルタイム高解像度の降雨情報配信のために、TRMM衛星のリアルタイムPR及びTMIデータを用いた降雨データ自動可視化システムを開発した。NASAのソフトウェア(TSDIS Orbit Viewer)を組み込んだ可視化システムを使用してリアルタイムの高解像度(直下で4km)降雨画像データをweb上に転送している。また、このシステムによって日本近海や東南アジアに発生した台風や豪雨が検知された場合、警報が出されている。また、アーカイブした可視化データは日付を入力することによって容易に検索、閲覧可能にした。さらに、TRMMデータによる降雨量の推定精度向上を図るため、地上レーダシステムとTRMMデータとの比較研究を行うとともに、TRMMの観測時間間隔を補うために、ひまわり衛星の雲画像から降雨量を推定する手法を開発した。

(1) レーダーによる降雨観測の精度向上: 降水粒子の粒径の違いは、レーダー観測で通常行われている反射強度・降水強度関係を用いた降水強度の推定に誤差を生じさせる。そこで、測定誤差を軽減するためには、雨の粒径の見積もりが必要となる。球形から変形した雨滴のレーダー後方散乱特性を見積もるために、電磁波の入射・散乱・透過波の長球形表面での連続性を条件として解くTマトリックス法を用いて雨滴粒子の後方散乱の計算を行った。

(2) 降水量統計の改善: 洪水や干ばつの対策には、現在の降水状況だけではなく、連続した降水統計が重要な指標である。熱帯降雨観測衛星TRMMは降雨レーダーにより、また軍事気象衛星DMS Pはマイクロ波放射計により降水の状況の監視が可能であるが、12時間ないし数日以上での回帰周期であり、防災目的に利用するには観測周期が長すぎる欠点がある。そこで、1時間間隔で観測を行っているGMS(ひまわり)を利用してこの地域におけるTRMMやDMS P衛星による低観測頻度の補完を行う手法を開発した。それは降水を伴う雲として乱層雲、積乱雲、層積雲として分類し、それぞれの雲の平均降水強度を割り付ける手法である。

## 6. ネットワークの活用

地球観測衛星リアルタイムデータの受信、送信、災害プロダクツの配信には高速ネットワークを用いている。DMS P/OLSデータは米国NOAA/NGDCより米国内のUCAR(University Corporation for Atmospheric

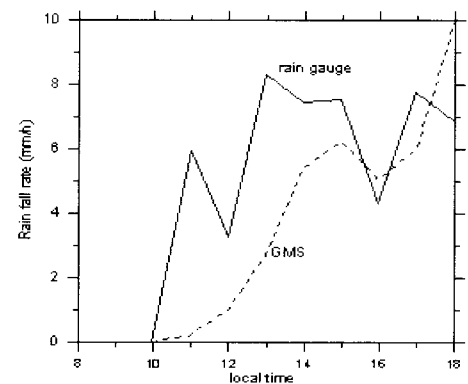


図5 ひまわりによる推定と降雨量との関係

Research)、Abilene、そしてAPAN (Asia-Pacific Advanced Network) ノードの日米回線TransPACを経由して日本国内のIMnet、さらに農林水産省独自のネットワークMAFFINを経由して計算センター内部のデータサーバーに送られる。2000年3月以前には、Abileneとの接続がなかったために、米国内ではUCARを経由後はNCAR (National Center of Atmospheric Research) にftp転送された後、vBNSを経由してSTARTAPに送られた。また、TRMM/PRおよびTMIデータはNASA/GSFCよりNISN (NASA Integrated Services Network)、STARTAPを経て上記と同様のAPANの日米回線を経て計算センターへ送られる。計算センターからタイ国AIT (Asian Institute of Technology) へは上記のTRMMリアルタイムデータを送信し、またAIT受信のNOAA/AVHRRデータを受信している。これらのデータはMAFFIN、IMnet、SINETを経由して転送されている。MAFFINは、以上の国際間データ転送のみならず、国内のNOAA/AVHRRデータ受信基地 (塩釜、横浜、石垣島受信基地) から計算センター内部のデータサーバーへのリアルタイムデータ転送や、地球観測衛星データ解析システム開発の際の研究機関間の大容量データ転送にも使用されている。

## 7. まとめ

衛星データのリアルタイムアーカイブシステムは、実運用され、内外から多くのアクセスがある。また、植生状況を示す時系列データの処理手法が開発され、NOAAやSPOT・VGの10日間合成データの処理によって、植生地帯の季節変化モデルが生成できるようになった。この技術を長期のデータに適用することで地球温暖化の傾向とその影響を明らかにすることに利用できるなど、幅広い利用が期待できる。森林火災では、早期発見と延焼危険度の情報を配信することができるようになった。さらに、現場での実利用面での評価を加え、アジア東部における森林火災軽減に資することが求められている。農業環境分野においても旱魃を植生状況と水分状況から評価できるようになり、さらに実用的な効果が期待できる。

これらのシステムは、ほとんど自動化処理されており、今後も農林水産省のネットワークと高速演算サーバーを利用して、アジア太平洋地域の農林災害情報システムとして継続的に実運用されるようになっている (<http://www.affrc.go.jp/ANDES/>)。

## 8. 研究実施体制

研究代表 独立行政法人森林総合研究所 海外研究領域長 沢田治雄

共同研究者

(1) 研究開発題目：アジア太平洋防災・森林災害ネットワークの開発

独立行政法人森林総合研究所： 沢田治雄、齋藤英樹、平田泰雅、石橋 聡、鷹尾 元

科学技術振興事業団： 新村太郎、澤田義人、宋 献方、永谷 泉

(2) 研究開発題目：TRMMデータ評価と気象機関での利用

国土交通省気象庁気象研究所： 高山陽三、高谷美正、赤枝健治

研究協力者

(1) 衛星データによる農業災害監視システムの開発

独立行政法人農業環境技術研究所： 斎藤元也

(2) 大容量データ共用と高速配信技術の開発

農林水産技術会議農林水産研究計算センター： 江口尚、佐藤勉、児玉正文、名越誠、大久保勝也、

古野寛子、水島明 (現・農業機構)、田村和也 (現・森林総研)

(3) TRMMデータ可視化技術の利用法開発

宇宙開発事業団： 祖父江真一、上條 真二

海外研究協力国： 米国、中国、フィリピン、タイ、マレーシア、シンガポール、インドネシア

ネットワーク協力： APAN (Asia Pacific Advanced Network Consortium)