

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

農林水産省森林総合研究所 沢田 治雄

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

Abstract:

The impacts of global climate changes are becoming worse for human activities, especially in agriculture and forestry. The objective of this project is to detect and inform disasters in Asia-Pacific region as soon as possible by using satellite data and high-capacity network systems. The following four study themes are executed: such as the study on, real-time archiving, forest fire, agricultural disaster and heavy rain.

The main satellite data used for this project are NOAA-AVHRR and GMS for forest fire and agricultural disaster, DMSP-OLS for forest fire and TRMM for heavy rain. The NOAA-AVHRR data are received in Japan and Thailand and these data are transferred in real time to the computer center of Agriculture, Forestry and Fisheries (AFF) research. The DMSP-OLS data and TRMM data are also transferred to the center from USA through the network in near-real time. These data are processed and archived in the SIDaB system, which is managed by the computer center.

はじめに

本研究の大目的は、火災、集中豪雨等の農林災害事象を衛星データからリアルタイムで抽出し、その対策に資するシステムを開発することである。各種のデータを地球観測衛星機関から APAN(Asia Pacific Advanced Network)等の高速回線を通して集積し、農林水産高速演算サーバでリアルタイムアーカイブを行うとともに、高速演算処理した災害プロダクト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に自動高速配信する一連の実利用処理技術を開発している。

1. 衛星データリアルタイムアーカイブシステム

JSTで導入したソフトウェア Tera Scan をベースに、農林水産省研究計算センターの計算機処理システムを利用することによって、リアルタイムアーカイブシステムを起動させている。同センターでは、さらに各種の衛星データを加え、農林衛星情報データベース SIDaB として、リアルタイムアーカイブの公開を行っている。現在は利用面からの評価を得ているところである。

(1) NOAA/AVHRR データ

塩釜、横浜、石垣にある水産庁の NOAA データ受信局のデータをリアルタイムで収集するとともに、東南アジアの NOAA データとして、タイの AIT (Asian Institute of Technology) で受信したデータを購入した。また、平成 12 年には、AIT からの NOAA データのリアルタイム受信実験を行い、地理補正の自動処理を施して、アジア・太平洋地域の NOAA データのリアルタイム処理を実現させている。

現在、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リアルタイムで作成し、アーカイブし SIDaB で利用可能にしている。

(2) DMSP/OLS データ

DMSP / OLS データによる夜の光の観測データは 3 機の衛星 (F12, F13, F14) で捕らえられている。これらのデータを高速に座標変換して重ね合わせ、アジア・太平洋地域の夜の光の合成画像をリアルタイムで作成する一連の処理を実現した。このデータのアーカイブも一部 SIDaB に登録している。

NOAA を通した米国空軍との交渉の結果、これまで 72 時間は米国空軍から出ることの無かったデータが 3 時間制限に軽減され、準リアルタイムで受け取れるようになった。そのため、この OLS 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。平成 12 年はこれらの実績のもとに、NOAA を通した共同研究体制が

実現し、DMSPデータが無償でJSTプロジェクトに配信されるに至っている。

(3) TRMMデータのリアルタイム受信

TRMMのPRおよびTMIデータは1999年10月より当プロジェクト管理のサーバでリアルタイム受信が始まり、2000年4月からSIDaBシステムでの受信に移行した。リアルタイムデータは受信と同時にアーカイブも行い、未処理のデータのみならず、強い降雨を持つ地域を切り出して可視化したデータも同時にアーカイブしている。TSDIS Orbit Viewerを組み込んだ可視化システムを使用して可視化した降雨データはweb上で公開しており(<http://www.betleh.cc.affrc.go.jp/shinmura/TRMM/>)、日本付近で強い降雨が検出された場合は注意を促す表示がされると同時に画像が置かれる。また日ごとに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、閲覧可能である。

2. 植生の季節変動情報

NOAA/AVHRRなどの高頻度観測衛星からのデータによって広域で植生変動をとらえる試みが行われている。特に、大規模森林火災や乾燥害などの農業・林業災害は植生の乾燥の程度に影響されるため、植生の状態を迅速かつ的確に把握する手法の開発は防災面で大きな意味を持っている。これまで、三角関数を用いて、NDVIの季節変化を抽出する試みがなされているが、解像度が低かったり、データの取得間隔がヶ月であったりと防災データとしては使いにくい。そこで、空間分解能を保持したまま、10日間隔の時間分解能を実現させるためには、ノイズに強い信号回復法(Local Maximum Fitting: LMF)を開発した。その手法を、高頻度観測衛星データ時系列処理プログラムに実装した。

LMF処理は、時系列フィルタリングと関数によるフィッティング手法を組み合わせたアルゴリズムで、対象画像の時系列データから、雲やヘイズなどの影響を除去し、季節変化パターンを抽出するものである。フィッティングに用いる関数を、式(1)に示す。

$$f = c_0 + c_1 t + \sum_{k=1}^K \left\{ c_{2k} \sin\left(\frac{2\pi k t}{M}\right) + c_{2k+1} \cos\left(\frac{2\pi k t}{M}\right) \right\} \quad (1)$$

NDVIの値だけで雲やヘイズの影響を取り除く手法についてシミュレーション的手法を用いて検討した。その結果、フィッティングのみを用いた場合、1年および半年に相当する周期を持つ関数の係数は7割以上保存されるが、周期がそれ以上短くなると振幅が減衰する。最小二乗近似を用いて時系列データを関数でフィッティングする際に用いる関数の個数(種類)が多ければ、原データとの残差は減少するが、フィッティングした結果は不安定となる。赤池らによると、AIC(赤池情報量基準)が最小となるようなモデルが最適であるとされているので、LMF処理に取り入れた。AICは対数尤度とパラメータ数の差となっている。これが最小になるように、式(1)中の関数の組み合わせを選択する。さらに、処理の高精度化を実現するため、フィッティングを繰り返すアルゴリズムを採用した。最初に、原データをそのままフィッティングする。その結果(計算値)と、原データとの差をとり、しきい値よりも大きなものを取り除く。データレンジの15~20%をしきい値とすれば、1年および半年に相当する周期を持つ関数の係数は95%以上保存されることが明らかになった。

これによって、実際の植生の季節変動が10日間ごとに正確に捕らえられることになった。各種の災害アプリケーション成果画像はこれらの画像上で表現されることになる。

3. 森林災害アプリケーション

森林火災早期発見システムと森林火災警戒システム(危険度評価)の開発を行っている。

(1) 森林火災早期発見

火災プロダクト検出システムではそれぞれ以下の地点を左上と右下に持つ矩形の範囲から受信データを切り出してホットスポットを検出しており、東アジアと東南アジア地域を広くカバーしている。1)東経110°、北緯50°、東経156°、北緯25°、2)東経95°、北緯40°、東経131°、北緯15°、3)東経90°、北緯22°、東経130°、

南緯10°。東南アジア地域では特に森林火災が問題となっているインドネシアとタイを含んでいる。

ホットスポットはNOAA/AVHRRの夜間のデータを用いて、準リアルタイムで検出されており、その情報はweb上に画像データとして提供されている。また必要に応じて特定地域のホットスポット情報（位置の緯度経度）を自動的に電子メールによって配信できる体制が整っている。これによってタイ国に対しては、来年初めの乾季において多数の発生が予想される火災に対して、位置情報を必要機関に電子メールで早朝に配信できる。

DMSPデータの処理では、災害監視に重要なリアルタイム性が確保されたが、森林火災の地点の発見にはさらに雲の影響の自動認識など、アルゴリズムの改善が必要となっており、画像処理ルーチンを検討中である。さらに、NOAAのHot SpotとDMSP及びGISデータを併用して、火災の発見をするとともに（図1）、TM等の高分解能衛星データによって精度の評価をフィードバックするシステムを開発中である。

Detecting fire in Sumatra (July 13 2000)



図1 NOAA、DMSP及びGISによる火災検知

(2) 森林火災危険度評価

NOAA・NDVI画像によって、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、地域的な火災の発生危険度や延焼危険度を評価する研究を進めている。

開発したLMFアルゴリズムは、自動処理も可能である。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、現在の植生の状況についての的確に把握することができる。

植生指数と地表面温度の比は、植生の乾燥度を表す良い指標となることが報告されている。その値について、LMF処理によって算出された95年～99年の5年間の平均変動パターンと、激しいエルニーニョ現象が起こって乾燥がすすんだ97年～98年の値を比較すると、乾燥が激しいほど値が下がることがわかる。したがって、NDVIや表面温度の変化が予測できれば、その値を基に算出された火災危険度をマッピングすることが可能であり、そのデータを対象地域へ配信する予定である。

4. 農地災害アプリケーション

農地災害では、特に、乾燥害と洪水被害とを取り上げている。

(1) 乾燥害

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システムの構築のため、以下の試験および研究を中国農業大学等の協力を得て実施している。

a) NDVIによる干ばつ監視

作物体の緑葉の量との関係が高い差分植生指数(NDVI)を、NOAA/AVHRRデータを利用して作成し、平年値との比較画像を作成する。雲域は地上の農作物のデータが得られないため、数日の画像を重ねてNDVIの最大値を取ることで雲域除去を行い、最大限のデータ圧縮を行い、NDVI画像と平年値との差画像を定期的に中国農業大学に送付して、システムの最適化と利用価値の検討を行っている。

b) 直接的な乾燥度を表す指標利用の検討

NDVIは緑葉の量を観測しており干ばつ等により生育が停滞することによるを考えられる。このため、もっと

直接的に植物乾燥度や土壌水分をリモートセンシングより求めることが求められる。葉水分含有指数(LWCI)、植生・土壌・水(VSW)指数および合成開口レーダ(SAR)データ利用の検討を行っている。

(2) 洪水

農業災害で、干ばつと同等に大きなものは洪水であり、洪水は農作物に被害を与えるだけでなく、生産基盤の農地に被害を与え以後の農作物栽培が困難に場合が多い。このため、洪水被災農地の面積および被害程度を早急に把握し、災害普及計画に反映させることは、非常に重要なことである。

SIDaBに準リアルタイムで蓄積しているNOAA/AVHRRデータを利用して、この画像について水域と陸域に分け、時系列に水域部分の変化を重ね合わせ、異常拡大地域を抽出する。水域の拡大が、通常の水田耕作によるものか、洪水であるかの判定を次の方法で行う。過去の経常年のNOAA/AVHRRについて同様なデータ解析を行って、比較し洪水か否かの判定をする。この洪水可能性の地域をDMSP/OLS夜間光のデータの変化を調査し、夜間光の減少が認められた場合、洪水の可能性が大とする。

5. 豪雨災害

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っている。これによってTRMMによってリアルタイムで抽出が可能になった集中降雨地域画像における雨量の精度向上を図っている。また、集中豪雨と災害発生との関連分析をタンクモデルを使って分析しており、植生や土壌等の地域特性を考慮した評価が必要であることを明らかにした。

(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。

降水粒子の粒径は落下速度に関係づけられているので落下速度から降水粒子の粒径を推定する方法を現在調べている。

(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、現在までにどの範囲でどの程度の降水があったか等連続した降水統計が重要な指標である。TRMM衛星は降雨レーダーにより、またDMSP衛星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の回帰周期と、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。一方、GMSは可視赤外放射のみの観測であるが、西太平洋域を1時間間隔で観測を行っているので、この地域におけるTRMMやDMSP衛星による低観測頻度の補完を行うことができる。

可視赤外による領域降水量の推定手法として、降水雲の種類により平均降水強度を設定し、降水雲の広がりとの積をその領域の降水量とする方法をもちいる。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を開発している。

各雲の降水強度係数を用いて地上観測降水強度(横軸)とGMS推定降水強度(縦軸)を比較した結果を示す。両者の間にばらつきが大きく精度は悪いが、GMSによってもある程度降水量の推定が可能であることが分かった。

6. ネットワーク

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図2のような高速ネットワークを用いている。DMSP/OLSデータは米国NOAA/NGDCより米国内のUCAR(University Corporation for Atmospheric Research)、Abilene、そしてAPAN(Asia-Pacific Advanced Network)ノー

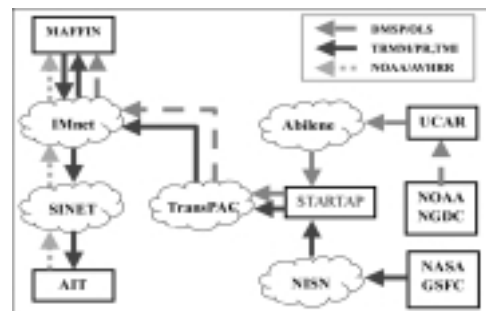


図2 高速ネットワーク

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 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. まとめと今後の予定

衛星データのリアルタイムアーカイブシステムとしては、システム設計が完成し、運用できている。さらに、災害情報として運用すべきシステムとして改善をはかる。

植生の状況を示す時系列データの処理手法が開発されたが、さらに、NOAA のリアルタイムデータや SPOT・VG の 10 日間合成データの自動処理によって、森林火災危険度評価などへの適用をはかる。

森林火災では、NOAA のホットスポットと DMSP の夜間のデータによる早期発見システムが開発できた。さらに、昼間のデータによる森林火災のモニタリングを可能にするために、アルゴリズムの改善を図る。また、消火活動での実用化のために、森林火災危険度評価を含めた、現場サイトでの情報システムを開発する。

農業の乾燥害ではこの時系列処理済みデータを用いた指数化データによって乾燥害予測を適切に行えるように手法の改善を図る。また、洪水被害の把握に関しては、全天候性観測能を持つ RADARSAT などの導入によって精度を高める改善を行う。

降雨災害では、TRMM の精度評価が可能になり、GMS による降雨量観測の可能性が確認できた。さらに精度を向上させるとともに、GMS による降雨量推定の方法の利用と改良を行い、TRMM 等の降水観測の補完を行う。

8. 研究実施体制

代表 森林総合研究所海外森林環境変動研究チーム長 沢田治雄

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

森林総合研究所	齋藤英樹、平田泰雅、石橋 聡、鷹尾 元
科学技術振興事業団研究員	澤田義人、宋 献方、新村太郎
科学技術振興事業団技術員	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

気象研究所気象衛星観測システム研究部 高山陽三、高谷美正、赤枝健治

研究協力者

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
衛星データによる農業災害監視システムの開発	農業環境技術研究所 齋藤元也
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 水島 明、江口 尚、佐藤 勉、 田村和也、児玉正文、大久保勝也、古野寛子