

研究解説

# TERRA/MODIS 受信システムの運用

Direct Broadcasting and Data Processing System for TERRA/MODIS

安岡善文\*・越智士郎\*・トラン・フン\*・根本利弘\*\*・喜連川 優\*\*

Yoshifumi YASUOKA, Shiro OCHI, Hung TRAN, Toshihiro NEMOTO and Masaru KITSUREGAWA

## 1. はじめに

生産技術研究所（地球環境システム工学研究グループ）は2001年3月、TERRA/MODIS受信システムを駒場キャンパスとアジア工科大学院（タイ・バンコク）の2ヶ所に設置し、5月より本格的運用を開始した。TERRA衛星（正式名：EOS AM-1）は米国NASAが1999年12月に打ち上げた地球観測衛星で、表1に示す5種類のセンサを搭載している。このうち、MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）には250 m, 500 mまたは1 kmの空間分解能をもつ合計36チャンネルから構成されるセンサが搭載され、約2300 kmの観測幅で地球観測を行っている。2001年（あるいは2002年に延期の可能性が高い）に打ち上げが予定されているAQUA（EOS PM-1）衛星にも搭載される予定のMODISデータと併用すれば、空間分解能約250 mで全球画像をほぼ毎日更新することが可能になり、地球環境観測の上で有効なデータの提供が期待できる。表2はMODISセンサの観測波長帯域である。250 m解像度には可視域の2バンド、500 m解像度には可視から近赤外の5バンド、1 km解像度には405 nm～14.3 μmに

29バンドが割り当てられている。MODISデータは米国のオープン/フリーデータポリシーに基づき無料で提供されている。また、地上受信局を設置することにより観測データを直接受信（Direct Broadcasting）することもできる。図1に今回設置した東京、バンコク両受信局がカバーする

表2 MODIS センサ特性

用途	解像度	Ch.	波長域 (nm)	用途	解像度	Ch.	波長域 (μm)			
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	250m	1	620-670	Surface/Cloud Temperature	250m	20	3.660-3.840			
		2	841-876			21*	3.929-3.989			
		3	459-479			22*	3.929-3.989			
Land/Cloud/Aerosols Properties	500m	4	545-565	Atmospheric Temperature	500m	23	4.020-4.080			
		5	1230-1250			24	4.433-4.498			
		6	1628-1652			25	4.482-4.549			
		7	2105-2155			26	1.360-1.390			
		8	405-420			27	6.535-6.895			
Ocean Color/Phytoplankton/Bio-geochemistry	1000m	9	438-448	Cirrus Clouds Water Vapor	1000m	28	7.175-7.475			
		10	483-493			29	8.400-8.700			
		11	528-536	Cloud Properties		30	9.580-9.880			
		12	546-556			31	10.780-11.280			
		13	662-672	Surface/Cloud Temperature		32	11.770-12.270			
		14	673-683			33	13.185-13.485			
		Atmospheric Water Vapor	1000m	15		743-753	Cloud Top Altitude	1000m	34	13.485-13.785
				16		862-877			35	13.785-14.085
				17		890-920			36	14.085-14.385
				18		931-941				
19	915-965									

\*Ch 21, 22は分光放射輝度の違いで、それぞれ 335K, 300K

表1 MODIS センサ特性

センサ名称	構成
ASTER	観測幅 60km VNIR (地上分解能 15m, 4チャンネル) SWIR (30m, 6チャンネル) TIR (90m, 5チャンネル)
CERES	0.3-5.0 μm (短波) 8-12 μm (長波) および 0.3-12 μm の長短波の3チャンネルを観測 地上分解能 20km
MISR	観測幅 360km, 地上分解能 275m-1.1km 9個のCCDカメラが異なる観測角度で4つの波長域 (Blue, Green, Red, Near-Infrared) を観測
MOPITT	観測幅 600km, 地上分解能 22km ガス相関スペクトルスコピーによる放射計
MODIS	観測幅 2330km 250m : 2チャンネル, 500m : 5チャンネル 1000m : 29チャンネル

\*東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

\*\*東京大学生産技術研究所 概念情報工学研究センター

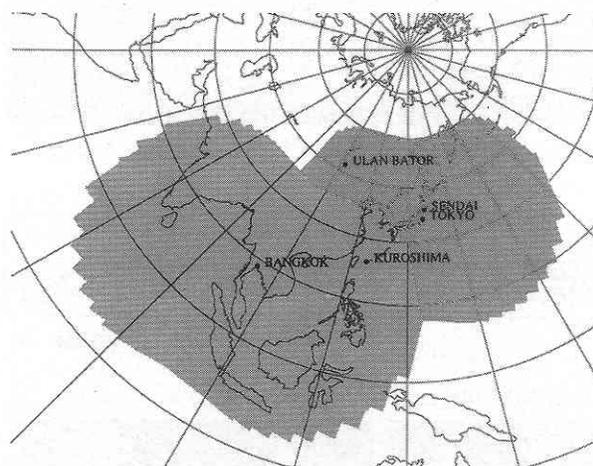


図1 東京およびバンコク受信領域

観測領域を示す。この2カ所の受信局により、東アジア地域の衛星情報をリアルタイムで取得・処理することが可能となる。今後、生産技術研究所は、バンコク受信局が置かれているアジア工科大学と共同で、東アジア地域の環境・災害モニタリングシステムを地域スケールで構築する計画である。本稿では、今回設置されたMODIS受信システムの概要を紹介する。

## 2. 受信部

MODIS受信システムはアンテナ部、処理部、アーカイブシステムより構成される。今回導入したアンテナ部は以下の仕様で設計されている。

- 1) G/T (受信性能指数)は、LNA (低雑音増幅器)出力で、リモートセンシング用Xバンドの中央周波数8.25 MHz、仰角10度、周囲温度20°Cにおいて、30 dB/K以上である。
- 2) 信号のRHCP・LHCP (左右両旋円偏波) がリモート

で選択でき、いずれの偏波でも要求されるG/Tとなる。

3) 観測不可能範囲が生じない架台は、X/Y方式で、リフレクターを制御できる。これは、現在稼動中のNOAA受信装置に採用されているアジマス-エレベーション方式に比べると、アンテナを高精度に制御可能であり、Xバンド受信システムに対応するものである。

5) 既存あるいは計画されている非商業リモートセンシングデータを受信できるよう、4種類の変調方式(BPSK, QPSK, SQPSK, ASQPSK)に対して、プログラム可能である。このことにより、将来MODIS以外の衛星データを受信する場合でも、ハードウェアに対する変更を軽減することができる。

6) ダウンコンバートされたXバンドと中間周波を分離し、また任意のXバンドを周波数が選択できる同調機能を備えている。このことにより、将来受信周波数が変更された場合にも対応可能である。

図2に、駒場キャンパスに設置した受信システムの構成を示す。アンテナ、アンテナ制御用PC、データ受信用のLinuxシステム、モーターコントローラ、GPSから構成されている。衛星軌道は、NASAが発信する軌道情報をオンラインで自動受信し、GPSによる時刻補正を行い、ソフトウェアにより自動トラッキングを行っている。AIT受信システムも同等の構成である。写真1は、駒場キャンパスC棟屋上に設置されたアンテナの外観である。

## 3. 処理部

受信システムには受信されたデータがLevel-0データとして蓄積される。Level-0データには、大気補正や幾何学的補正、さらに画像処理ソフトが扱うことができる画像フォーマット変換が施されておらず、そのまま一般的な画像処理ソフトウェアにより利用することができないため、フォーマット変換とシステム補正処理が必要となる。現時点(2001年8月)では、NASAが提供するソフトを利用する方法と、米国ウィスコンシン大のグループが提供するソフト(IMAPP)を利用する方法がある。前者は主に海洋研究を行うグループと密接に連携し、NASAが推奨する画像フォーマット(EOS-HDF: Hierarchical Data Format)を介して海洋研究へのアプリケーションに応用されている。海域では、地形による凹凸や被覆による反射特性の混在が少ないために、高精度の大気補正を実現することで、海面情報を高精度に推定することが可能となる一方、複雑で時間のかかる処理行程が必要となる。後者は主に陸域研究を行う研究グループへのデータ提供を想定し、比較的簡便な大気補正アルゴリズムを採用し、処理を高速化するとともに、一般的な画像処理ソフトウェアでも利用可能な標準HDFフォーマットを出力する。陸域で利用する場合、複雑な地表面の状態(土壌水分やミクセル)が画素値に影響を及ぼ

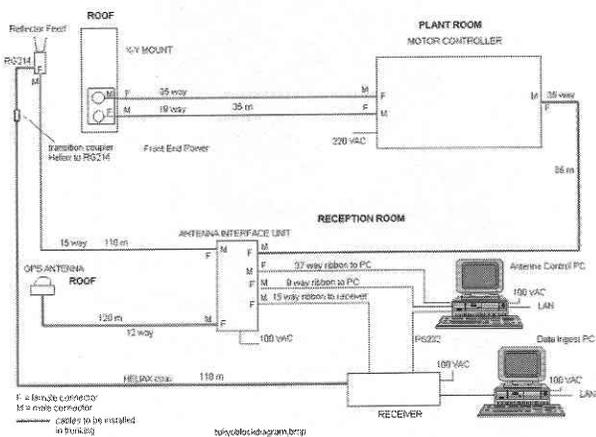


図2 受信システム構成図



写真1 アンテナ外観(駒場)

すため、高精度の大気補正が地表面情報抽出の精度向上に必ずしも貢献していないと考えられるためである。幾何補正は衛星の軌道情報からシステム補正が行われるが、IMAPPを利用した場合、5～10ピクセルの誤差を含んでいるため、多時期の画像を重ね合わせたりモザイクを行う場合には、地上基準点(GCP)を用いた幾何補正が必要である。さらに、250 m解像度の画像では、Bow-tie効果と呼ばれる画像の不連続が生じ、画像のレジストレーションが不可能になることも指摘されている。Bow-tie効果とは、図3に示すように、250 m解像度(直下)で観測幅2300 kmをスキャンした場合、画像の中心線から離れるにしたがい1ピクセルが捕らえる地上領域が広がるため、ライン間で重複する画素が発生し、図4に示すように、画像一部が重複したり欠損する現象である。Bow-tie効果を取り除く努力はNASAの研究チームが取り組んでいるが、現在のところ解決されていない。したがって、250 m解像度の画像では中心線(Nadir)付近の画像のみが利用可能である。今回導入したシステムには「IMAPP」を導入したが、将来はNASAから提供されるソフトウェアにも対応する予定である。図5～8に本システムで受信した画像を示す。図5、6はそれぞれ東京、バンコク受信局の最初に受信したシーンで、図7は250 m解像度でみた東京付近の画像である。図8はバングラデシュ・ダッカ北東地域で、洪水被害を判読することができる。

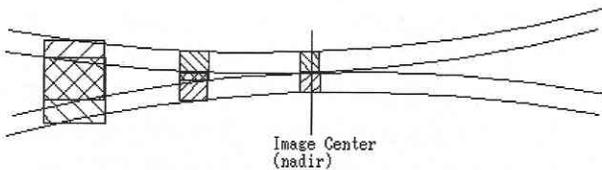


図3 Bow-tie効果の概念図



図4 Bow-tie効果を含んだ画像(250 m解像度)

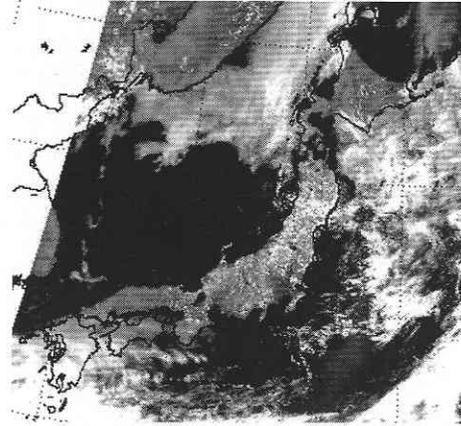


図5 生研で最初に受信したMODIS画像  
(2001年5月28日午前10時43分)

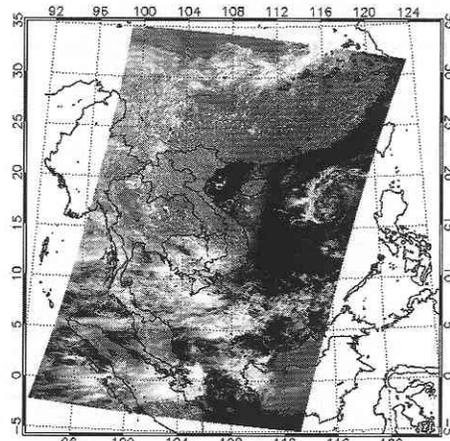


図6 バンコクで受信したMODIS画像  
(2001年6月1日)



図7 250 m解像度でみた東京周辺  
(2001年6月4日)

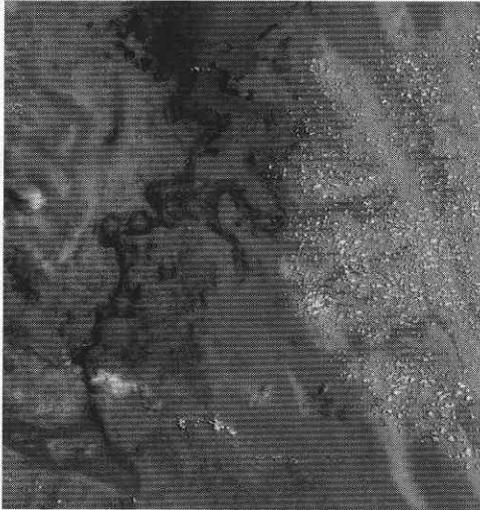


図8 250 m 解像度でみたバングラデシュ  
洪水氾濫 (2001年7月)

#### 4. アーカイブシステム

現在駒場キャンパスでは MODIS データを1日4回 (午前11時頃, 午後2時頃, 午後4時頃, 午後11時頃) 受信している。捕捉できる衛星の高度により観測できるライン数が異なるが, 東京上空を通る軌道の場合で約10,000ライン (250 m 解像度の場合), 九州上空を通る軌道の場合で約4500ラインとなっている。全画像容量としては, それぞれ Level-0 で, 1.2 G バイト, 800 M バイトとなり, 一日の総量で約4 G バイトの Level0 データを受信している。さらに, Level-1 B データは一日に合計約6 G バイト生成される。現在のところ, Level-0 と Level-1 B をあわせた約10 G バイト/日のデータは, 喜連川研の D3 テープアーカイブシステムに自動的にアーカイブされデータベース化されている。AIT 受信局でもほぼ同容量のデータが受信さ

れており, 現在オンラインでのデータ転送実験を実施中である。バンコクからのオンラインでのデータ転送が実現すれば, 東南アジアを含めた広域アジアの準リアルタイム大規模災害モニタリングシステムとしての利用も可能となる。

#### 5. 課題

可視バンドにより全球の土地被覆状態をほぼ一日1回更新できる250 m の空間分解能と, 1 Km で29バンドにもおよぶスペクトル分解能をもつ MODIS 画像は, 地球規模の環境・災害をモニタリングする上で, 極めて有用なデータを提供できる可能性を持っている。同時に莫大な量のデータに対して, その処理, 運用, サービスに対して, 既存の分析手法やデータサービス体制は確立されていない。今後取り組むべき課題は次のとおりである。

- 1) 地上基準点を利用した高精度の幾何補正の自動化アルゴリズムの開発。
- 2) 36バンドにもおよぶ多バンドデータから必要な情報を抽出するための解析手法の開発。
- 3) 異なる解像度, 観測波長帯の画像を融合して利用するフュージョン技術の開発。
- 4) ユーザからの多様で複雑な要求を膨大なデータから検索, 抽出, 配信するためのインターネットデータサービスの構築。
- 5) AIT 受信局からのリアルタイムデータ受信を含め, インターネットデータサーバとしての情報基盤の拡充。等である。

なお, 駒場キャンパスで受信し, 利用可能なデータは <http://yasulab.iis.u-tokyo.ac.jp/~tranhung/images.html> からクイックルック画像が閲覧できる。

(2001年10月11日受理)