

WWWを利用した Terra MODIS データ前処理システムの構築

Development of Terra MODIS data pre-processing system on WWW

竹内 渉[†] 根本利弘[†] P.J.Baruah[†] 越智士郎[†] 安岡善文[†]

[†] 東京大学生産技術研究所

〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 Ce-509

E-mail:wataru@iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract

Terra MODIS is one of the few space-borne sensors currently capable of acquiring radiometric data over the range of view angles. Institute of Industrial Science (IIS), University of Tokyo, has been receiving Terra MODIS data at the Komaba Campus station and at Asian Institute of Technology (AIT), Bangkok on direct broadcasting system since May 2001. The coverage includes whole East and South Asia and is expected to monitor environmental changes regularly such as deforestation, forest fires, floods and typhoon. Over eight hundred scenes have been archived in the storage system and they occupy 2 TB of disk space so far. In this study, MODIS data processing system on WWW is developed including following functions: spectral subset (250m, 500m and 1000m resolutions), radiometric correction to radiance, spatial subset of geo-referenced data as a rectangular area with latitude-longitude grid system in HDF format and generation of a quick look file in JPEG format. Users will be notified via e-mail just after all the processes have finished. Using this system enables us to process MODIS data on WWW with a few input parameters and download the processed data by FTP access. An easy to use interface is expected to promote the use of MODIS data. This system has been available via the Internet on the following URL since September 1 2002, "http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp".

Keywords: Terra MODIS, Asia, Environmental monitoring, WWW

1 はじめに

地球観測衛星 Terra は、米航空宇宙局 (NASA) が進めている「地球観測システム計画 (EOS)」の旗艦衛星で、高度 705km の軌道を周回しながら地球の健康状態を診断している [Justice, 1998] . Terra に搭載されている 5 つのセンサのうち、MODIS は約 2,330km の走査幅を持ち、ほぼ毎日全球を観測できる . これまでは同様のセンサとして米国海洋気象庁 (NOAA) の AVHRR が広く利用されてきたが、空間分解能は 1.1km であり、チャンネル数も 5 つに限られていた . それに対し、MODIS は NOAA がもつ 5 チャンネルすべてを含んだ計 36 のチャンネルで地球表面を観測し、空間分解能も 250m , 500m , 1000m に向上している [GSFC, 1999] . MODIS は NOAA の遺産を引き継ぐ形での運用が期待されるセンサである .

東京大学生産技術研究所 (東大生研) では NOAA/AVHRR データの受信を 1983 年より東京において開始し、アジア工科大学院 (AIT) においても、東大生研、AIT、GISTDA が 1997 年より共同でシステム運用を稼働させており、すべてのデータを喜連川研究室のストレージシステムにおいて保存している¹ . 2 つの受信局のデータを合わせるとほぼ東アジア全域をカバーし、砂漠化、森林火災、洪水、台風などの環境モニタリングを定期的に行うことができる . これまで約 20 年間、ネットワークの限界からオンラインでのデータ配信は実現されておらず、8mm テープなどのメディアによる配布にとどまっていた . しかし、近年のインターネットの普及を考慮し、これらデータのオンライン配信システムを構築し、2002 年 2 月 1 日より定常運用を開始した [Takeuchi, 2002] . このシステムは順調に利用されており、運用から約 10 ヶ月の間に約 30,000 件のアクセスを数え、約 3,000 枚のデータがこれまで処理されてきた² .

一方、AVHRR の受信と並行して、東大生研では 2001 年 5 月より MODIS データの受信を開始し、同時にバンコクのアジア工科大学院で受信している MODIS データもストレージシステムに保存している . クイックルックサービスはそれぞれの受信局で提供されているものの、生データを自由にダウンロードすることはネットワークの負荷上実現していない . MODIS データは AVHRR と異なり、Terra に搭載されたハードディスク上にデータを格納し、NASA/GSFC にて全球のデータをダウンリンクしている . このデータは全球を 288 枚のシーンに切り離してほぼ 1 日遅れで公開されており、世界中に張り巡らされたデータ配信サーバー (EOSDIS) へアクセスすれば、誰でもデータを無料にてダウンロー

¹喜連川研究室データベースホームページ <http://www.komagome.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/SATIIS/>

²WebPaNDA アクセス統計 <http://webpanda.iis.u-tokyo.ac.jp/analog/>

ドすることができる³。ここから全球のデータをダウンロードできるが、処理されたデータはレベル 1b と呼ばれ、幾何補正、放射量補正などはなされていない。各画素毎に緯度経度情報、輝度値・反射率への変換パラメタ、軌道情報、太陽天頂角・方位角、センサ天頂角・方位角などの情報が入っているが、HDF-EOS と呼ばれる特殊なフォーマットで提供されており、ダウンロード後のデータ利用に際しては、比較的煩雑な処理が必要である。EOSDIS 以外にも、直接受信データのオンライン配信を行っている機関は世界各国に存在するが、その分布は欧米に限られており、いずれのシステムにおいてもレベル 1b データの FTP 配信にとどまっている^{4 5 6}。これらの現状を考えると、東京およびバンコクで東大生研が受信している MODIS データを配信するシステムを構築することは、アジアの環境モニタリングにおけるリモートセンシングデータの利用促進に大きく寄与すると考える。

以上を考慮し、本研究ではウェブ上で MODIS データを前処理し、ユーザーに配信するシステムを構築する。前処理の内容としては、デジタルカウントの輝度値への放射量補正、幾何補正、解析対象範囲の切り出し、クイックルック画像の作成の 4 点を実装する。

2 データ処理システムの構築

2.1 システムの概要

データ処理は主に 3 つのシステム、1) データの保存システム、2) データの前処理システム、3) ユーザーインターフェースシステムで成り立っている。全体的な処理の流れは次のようになる。まず、インターネット上で任意のユーザーがサーバーのホームページ⁷にアクセスし、グラフィカルユーザーインターフェースを通して目的のファイルと地図化領域を指定する (Figure 1-A)。次に、データ処理サーバーがデータ保存システムのデータベースにアクセスし、FTP を通じてデータをダウンロードし所定の前処理を行ったのち、処理したデータをユーザーが外部からアクセスできる領域に保存する (Figure 1-B)。最後に、処理完了とデータのダウンロードの仕方を電子メールにてユーザーに送信する (Figure 1-C)。

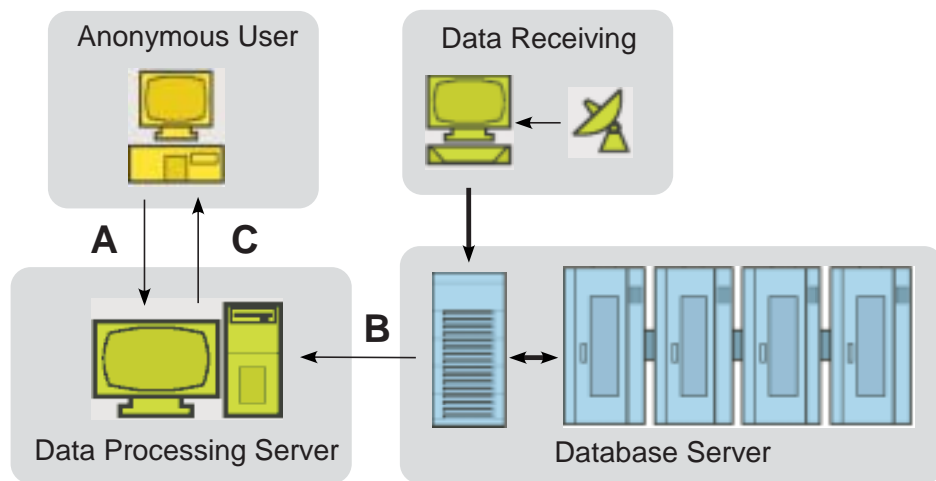


Figure 1. System configuration of WebMODIS

³例えば NASA/GSFC のホームページ <http://daac.gsfc.nasa.gov/>

⁴Dundee University (UK) <http://www.sat.dundee.ac.uk>

⁵Miami University (USA) <http://www.rsmas.miami.edu/groups/rrsl/modis/>

⁶GeoScience Australia (Australia) <http://acs.auslig.gov.au/>

⁷WebMODIS ホームページ <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/>

2.2 前処理ソフトウェア

本システムにおいては「HDFLook」を前処理ソフトウェアの一部として利用している。HDFLookはNCSA HDF(ver.4.x)とHDF-EOS(2.x)フォーマットデータを閲覧するためのソフトウェアパッケージであり、フランス Lille 大学と米国 NASA/GSFC によって共同開発および無料提供がなされている。主な機能は以下に挙げられる。

- MODIS の Swath データ (level-1, and 2) および地図化された大気、陸域、海域プロダクト (level-3 and 4) の閲覧
- Swath データの地図化および投影法の変換
- チャンネル指定による切り出し、空間的位置指定による切り出し、モザイク作成
- データの物理量への変換、HDF-EOS から binary や jpeg へのフォーマット変換
- オンライン大気データベース (AERONET) との連携による大気補正パラメタの利用

HDF-EOS データの最大の特徴は、10km 間隔のラインごとに緯度経度情報が入っていることである。MODIS データは通常の HDF に対応している ENVI, ERDAS, Terra Scan といった商用ソフトウェアでも読み込むことができるが、緯度経度情報を読み込むことはできない。また、輝度値への変換パラメタや Swath の情報を読み込むことはできず、HDF ファイルの内部に格納されているある数万行のメタファイルから特定する必要がある。HDF-EOS を処理するためのソフトウェアは NASA を始めとする研究機関によって公開されているが^{8,9}、データ処理に不馴れなユーザーがそれらを使いこなすことは現状としては難しい。それらのうち本研究においては MODIS 処理に適したソフトウェアとして HDFLook を採用した。HDFLook は前処理で最も困難とされる幾何補正についても高精度の処理を実現するフリーウェアである。SGI に加えて、フリーで提供されている UNIX 互換 OS である Linux についても動作を確認している。ソフトウェアと OS が共に無料で利用できることを考えると、これまでに比べて非常に安価にデータ処理システムを構築することが可能となった。

3 ユーザーインターフェースの検討

コンピュータネットワークが著しい勢いで発展し、大学、小中高の教育機関、研究機関、自宅でも高速インターネットが利用できるようになった。このネットワーク資源を最大限活用するためにインターネットを利用し、ウェブ上に全ての処理を実装した。ユーザーインターフェースは以下の方針で設計されている。

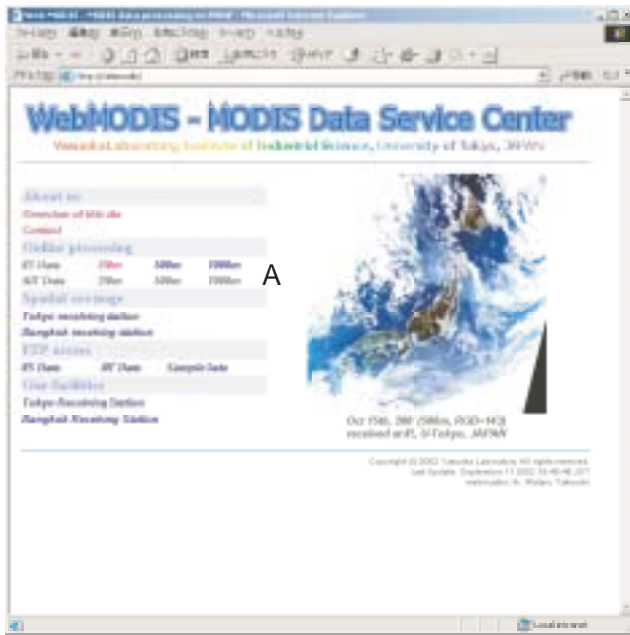
- トップページでは、ユーザーは空間分解能を指定する。MODIS は 3 つの空間分解能を有している: 250m (2 channels), 500m (5 channels) and 1000m (29 channels) (Figure 2-(a)-A).
- リモートセンシングに精通していないユーザーでも利用できるように、必要とされる入力パラメタは最小限にとどめた。必要となるのは 3 つのパラメタのみである: 1) 目的のファイル名, 2) 地図化する範囲, 3) 電子メールアドレス。
- はじめに、空白部分に目的のファイル名を入力する (Figure 2-(b)-A)。データの検索もオンラインで行うことができ、クイックルック、データ観測範囲、取得年月日をマウスのクリックのみによって行うことができる。データベースは、年月日によって構造化されている (Figure 3)。
- 次に、地図化する範囲を南北の緯度および東西の経度で入力する (Figure 2-(b)-C)。アジア各国の主要な地図座標はあらかじめ用意されており、プルダウンメニューからマウスで指定することもできる (Figure 2-(b)-B)。
- 最後に、電子メールアドレスを空白に入力する (Figure 2-(b)-C)。データ処理完了の旨とデータのダウンロードの仕方を電子メールにより伝える。

パラメタが正しく入力されると、確認の画面があらわれる。サーバーによってジョブが受けつけられると同時に、サーバーはデータ処理を始める。パラメタの入力に要する時間は 1 分程度である。通常の CGI による処理と異なり、PHP¹⁰に

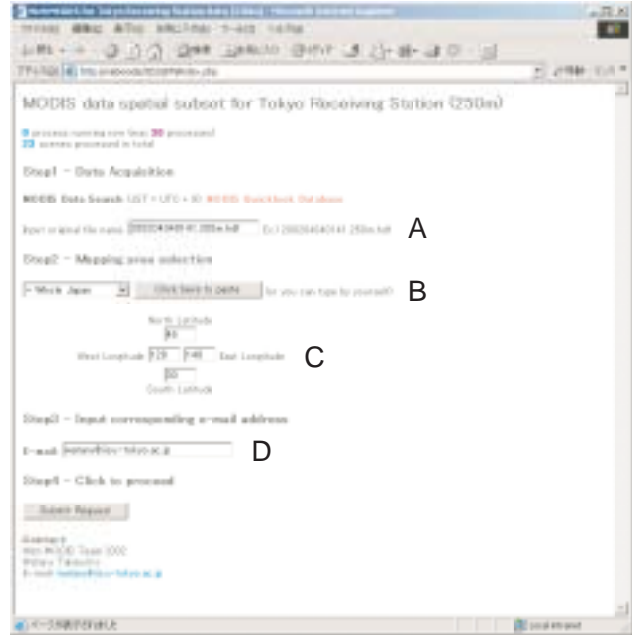
⁸HDF-EOS GSFC/NASA ホームページ <http://hdfeos.gsfc.nasa.gov/>

⁹HDF-EOS University of Illinois ホームページ <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>

¹⁰日本 PHP ユーザー会 ホームページ <http://www.php.gr.jp/>



(a) Gateway page



(b) 250m top page

Figure 2. Graphical user interface of WebMODIS

よるスクリプティング処理をバックグラウンドで行うので、ユーザー側に待ち時間はほとんど発生しない。処理にかかる時間はリクエストの込み具合にもよるが、パラメタ入力完了から電子メールによる完了通知がとどくまで約 20 分を要する。処理後のデータ一覧を解像度毎に示す (Table 1)。

メタ情報にはファイルの取得された日付、ユーザーが切り出した範囲、画像のデータ容量、チャンネルの数および名前、各データの物理単位および取得ファイル一覧が記述されている。なお、1km のデータについては、センサおよび太陽の天頂角・方位角も用意した。クイックルックは可視近赤外画像のトゥルーカラー表示で、海岸線、国境線、主要な河川、緯度経度線を重ねて表示している。ユーザーは幾何補正の精度を目視によって確認することができる (Figure 4)。なお、サーバーのディスク容量の制約から、電子メールによる通知後 72 時間経つとデータはサーバー上から削除される。

4 幾何補正精度の検証

つぎに、本システムの処理の要である幾何補正の精度について検証を行う。東大生研の MODIS データは Wisconsin 大学によって開発された IMAPP ソフトウェアによってレベル 1b への変換が行われている [IMAPP, 2002]。システムインストールの煩雑さを避けるために IMAPP を用いている。IMAPP については NASA が開発した同様の機能を持つソフトと比較して、緯度経度の Swath 情報に時おり異常値が見られる [Hashimoto, 2002]。しかし、それら異常値をとりぞいて各画素の位置情報を線形補間により内挿して幾何補正を行ったところ、NASA が提供するデータと同程度の幾何補正精度を確保することができた。時系列で処理したデータを海岸線の情報と重ね合わせた例を示す (Figure 5)。

3 つの時系列データは空間分解能 250 m の可視近赤外画像より作成した NDVI 画像である。ほぼ直下で撮影されている大島付近 (北緯 36 度, 東経 136 度) を切り抜いて表示した。どのデータも北西方向に 2 ピクセル程度ずれていることが確認できる。これは軌道情報に起因する Swath データの誤差であり、NASA で処理されているデータでも同様のずれが確認されている。これらアラインメントに起因する誤差の補正は MODIS のサイエンスチームによって行われており、精度は向上されていくものと考えられる [Wolfe, 2002]。このように絶対的な緯度経度情報は保証できないものの、画像間でのずれは直下で撮影されたシーンに関しては 250m 分解能でも 1 ピクセル以内であることが目視による判読からわ

Table 1. Available file list processed on WebMODIS in terms of spatial resolution. FNAME expresses the data acquisition date in the form of YYYYMMDDHHMM (Year, Month, Day, Hour and Minute in UTC). Reflectance values are in radiance, thermal values in brightness temperature (celcius degree) and zenith/azimuth angles in radian. HDF data are in 32-bit floating values.

空間分解能 250m (QKM)	
FNAME_QKM_RefSB.hdf	可視近赤外画像 (チャンネル 1,2)
FNAME_QKM_QuickLook.jpg	可視近赤外画像クイックルック
FNAME_QKM.met	メタ情報 (ASCII)
空間分解能 500m (HKM)	
FNAME_QKM_AggrHKM_RefSB.hdf	可視近赤外画像 (チャンネル 1,2)
FNAME_HKM_RefSB.hdf	可視近赤外画像 (チャンネル 3-7)
FNAME_HKM_QuickLook.jpg	可視近赤外画像クイックルック
FNAME_HKM.met	メタ情報 (ASCII)
空間分解能 1000m (1KM)	
FNAME_QKM_Aggr1KM_RefSB.hdf	可視近赤外画像 (チャンネル 1,2)
FNAME_HKM_Aggr1KM_RefSB.hdf	可視近赤外画像 (チャンネル 3-7)
FNAME_1KM_RefSB.hdf	可視近赤外画像 (チャンネル 8-19,26)
FNAME_1KM_Emissive.hdf	熱赤外画像 (チャンネル 20-25,27-36)
FNAME_SensorAzimuth.hdf	センサ方位角
FNAME_SensorZenith.hdf	センサ天頂角
FNAME_SolarAzimuth.hdf	太陽方位角
FNAME_SolarZenith.hdf	太陽天頂角
FNAME_1KM_QuickLook.jpg	可視近赤外画像クイックルック
FNAME_1KM.met	メタ情報 (ASCII)

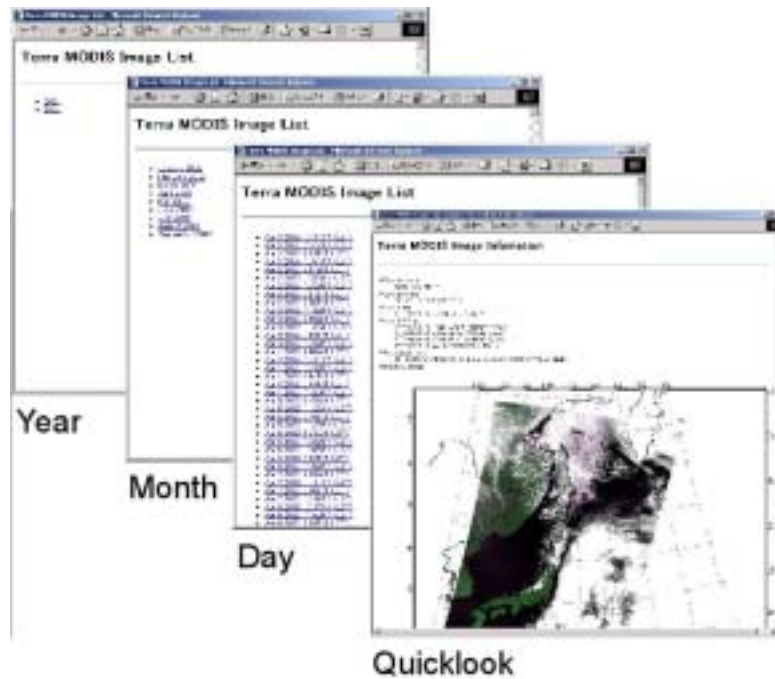


Figure 3. Hierarchical MODIS data search

かる．一方で，本システムの幾何補正は標高データを用いた正射投影を行っていないので，山岳地帯など起伏の激しい地点においては2,3ピクセル程度のずれが生じることに留意されたい [Oyoshi, 2002] ．

5 データ配信

本システムは2002年9月1日から定常運用を開始しており，”<http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp>”において誰でも無償で利用できるようになっている．システムを構成するソフトウェアおよびハードウェアは次のようになっている (Table 2) ．

Table 2. System configuration of the server

Data processing, Web, FTP, Mail server	Dell PowerEdge 6400 (Pentium4 700MHz × 2, 4GB of memory)
Software	OS: Redhat Linux Ver. 7.2 httpd: Apache Ver. 1.3.2 ftpd: Wu-FTP Ver. 2.6.1 smtp: sendmail Ver. 8.11.6

6 まとめ

本研究では，東京大学生産技術研究所で受信しているMODISデータをオンラインで前処理するシステムを構築した．ユーザーの観点から期待できることおよび注意点をまとめると次のようになる．

- MODISデータの放射量・幾何補正を行い，自由にエリア・チャンネルを切り出すことができる

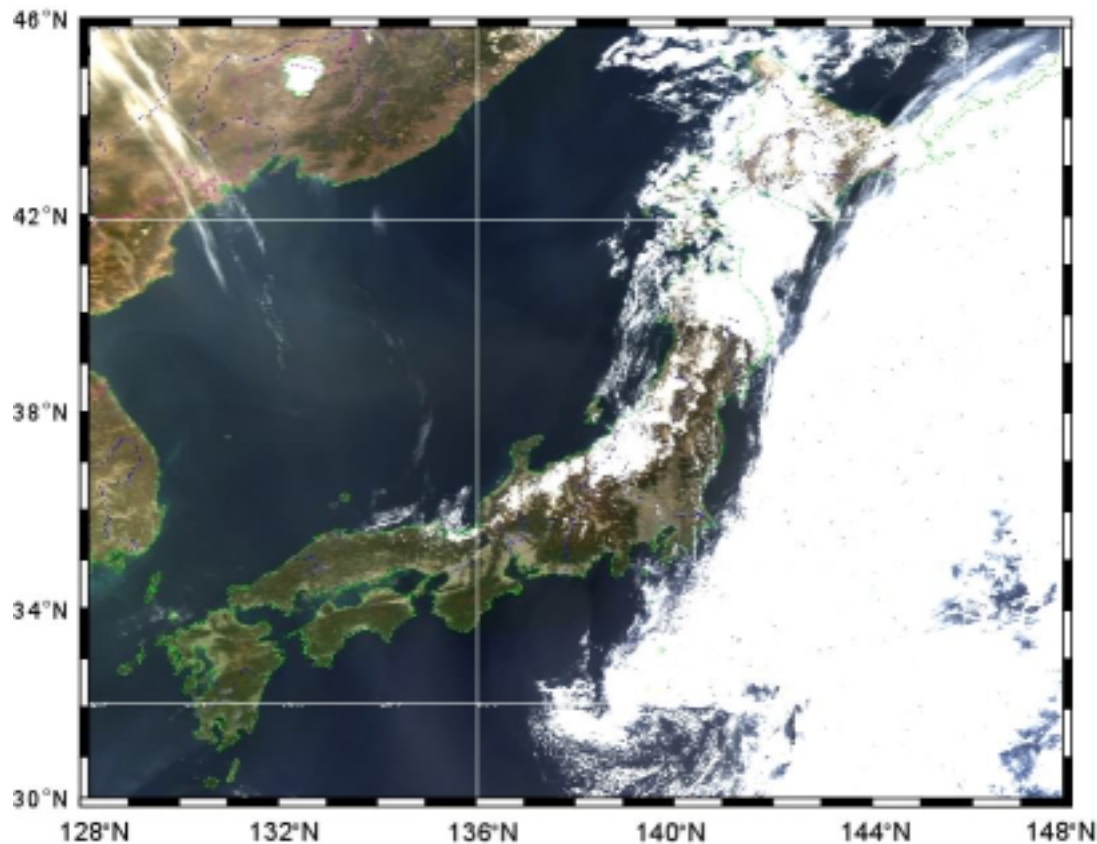


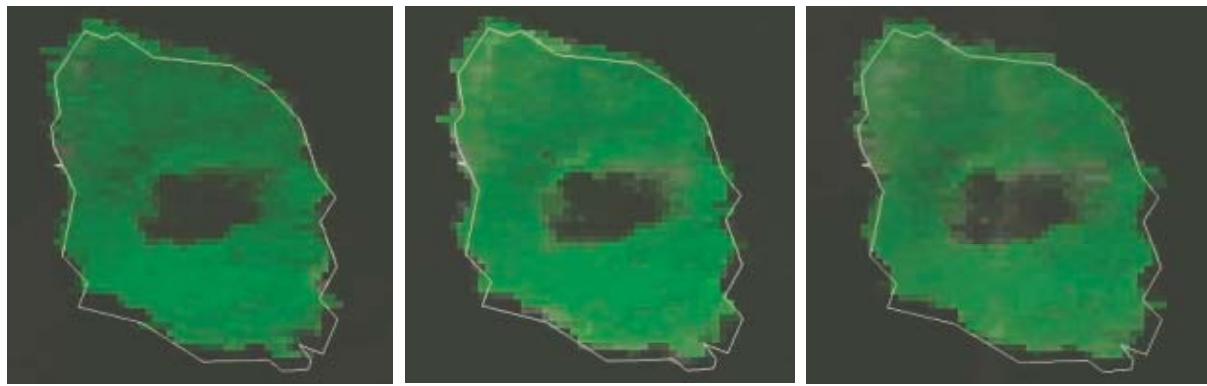
Figure 4. Terra MODIS true color composite image (R:G:B=1:4:3) acquired on 4 April 2002 received at Komaba campus, IIS, U-Tokyo.

- ウェブ上での入力はすべてマウスクリックで行うことができ、1分程度で終了する
- 処理したデータをFTP経由で無料ダウンロードすることができる
- 幾何補正後の緯度経度情報は250mで2画素程度北西方向にずれている
- 画像間のずれは直下では250mで1画素以内だが、起伏のある地点では2,3画素ずれている

本システムは稼働から3ヶ月を過ぎた現在、400シーン程度の処理が行われており、東大生研で受信したMODISデータへの期待は大きいと考えている。また、2003年はじめにはAqua/MODISの受信も整う予定であり、受信開始次第直ちに本システムにおいてデータを利用することができるようになる。東大生研の定常受信データはオンライン公開し、できる限り多くのユーザーに使っていただくという方針であり、現在は、6Sによる大気補正、BRDF補正、放射率の補正といった処理システムの構築に取り組んでいる。こういった基礎的な処理を精密に施した後、NDVI、地表面温度、海水面温度、LAIといった高次プロダクトを用意できるよう研究を進めていく予定である。

謝辞

本研究は、科学技術振興事業団「環境・災害監視のためのアジア衛星観測ネットワークの構築」プロジェクトの一環として実施したものである。関係各位に感謝の意を表する。



(a) Nov. 11 2001

(b) Mar. 10 2002

(c) Mar. 12 2002

Figure 5. Accuracy assessment of geometric correction for times series of MODIS NDVI with 250m spatial resolution. Geographical location of this island (Ohshima) is around 36 degree in north and 136 degree in east. Solid line shows the coastal boundary.

参考文献

- [Justice, 1998] C.O.Justice et.al, "The Moderate Resplution Imaging spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research," *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sens.*, pp.1228-1249, Nov.4, Vol.36, 1998.
- [GSFC, 1999] MODIS technical spesification, GSFC/NASA, USA, "<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html>".
- [Hashimoto, 2002] 橋本俊昭, "MODIS の幾何補正精度について," *日本写真測量学会誌*, pp.23-27, No.3, Vol.41, 2002.
- [HDFLook, 2002] HDFLook homepage, University of Lille, France, "<http://loasys.univ-lille1.fr/Hdflook/>".
- [IMAPP, 2002] IMAPP homepage, University of Wisconsin, USA, "<http://cimss.ssec.wisc.edu/>".
- [Oyoshi, 2002] K.Oyoshi, W.Takeuchi and Y.Yasuoka, "Short-term change detection with precise geometric correction and sub-pixel land-cover characterization of MODIS," *Proceedings of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing*, pp.23-27, 2002.
- [Takeuchi, 2002] 竹内渉, 根本利弘, 越智士郎, 安岡善文, "WWW を利用した AVHRR データ処理システムの構築," *日本写真測量学会誌*, pp.23-27, No.3, Vol.41, 2002.
- [Wolfe, 2002] R.E.Wolfe, M.Nishihama, A.J.Fleig, J.A.Kuyper, D.P.Roy, J.C.Storey and F.S.Patt, "Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science," *Remote Sensing of Environment*, pp.31-49, Vol.83, 2002.