

衛星データサーバの構築とその研究・教育への利用

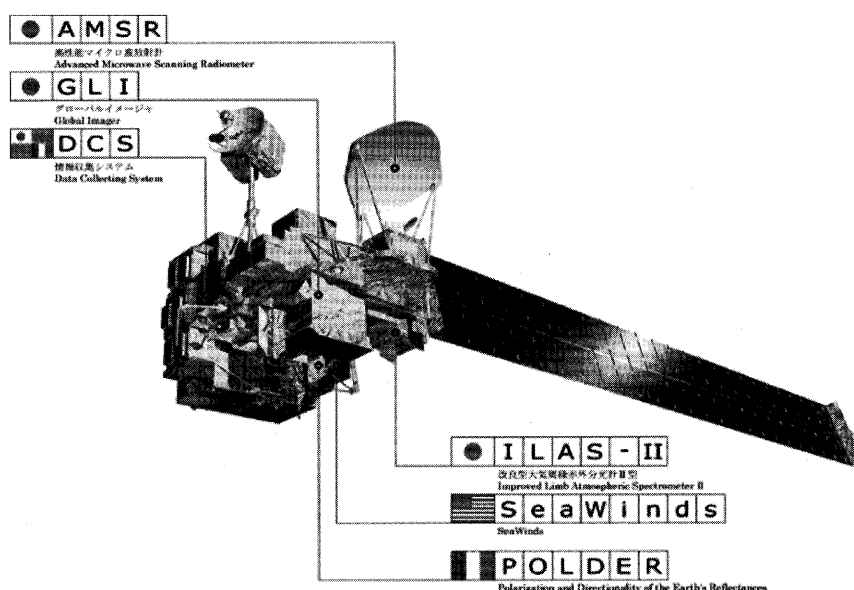
藤原 昇
Noboru Fujiwara

2002年に宇宙航空研究開発機構（JAXA）が打ち上げたADEOS-II 地球観測衛星のGLI センサーによって得られた2003年の全球データ及び米国 LANDSAT 衛星のMSS, TM 及びETMの各センサーによって得られた過去約30年に渡るデータの一部を情報学部のデータベースサーバシステムとして構築した。データの全容量は約700GB である。本稿では本システム及びデータの概要と研究・教育への利用について述べる。尚本データは宇宙航空研究開発機構（JAXA）によって研究用として提供されたものであり、コピーは禁じられている。

1 地球観測衛星 ADEOS-II 及び GLI センサーについて

1972年米国で、地球環境変動の観測を目的として地球観測衛星LANDSATが打ち上げられた。以来33年間、連続的に人工衛星による地球観測が続けられている。その間、ヨーロッパ、日本、中国なども地球観測衛星を打ち上げ大気、陸域、海域でのオゾン層の変化、エアロゾル（大気中の微塵）の変化、植生量や砂漠の変化、海面温度や雪氷の変化等を観測している。2003年、日本で打ち上げに成功した ADEOS-II は、国際協力による6つの観測機（センサー）を搭載した多目的観測衛星である。その中の

図1 ADEOS-II 地球観測衛星



* 奈良産業大学情報学部客員教授（奈良文化女子短期大学教授）

一つであるGLI (Global Imager) センサーは特に植生や雪氷、海流等の観測を目的にしたセンサーである。地上分解能は1 kmであるが、紫外線から遠赤外線に至る36波長 (36チャンネル) の反射率を観測している。また同じ地点を観測する周期が4日と早い。ちなみにLANDSATは地上分解能30m、観測波長7チャンネル、同じ地点を観測する周期は14日である。本データベースの大部分はADEOS-II/GLIの観測データなので、この衛星及びセンサーについて若干触れる。図1に衛星 (JAXA提供) の概略を示す。太陽電池を含め全長24m、重さ1.4トンである。6つのセンサーの名前とその開発製造の国名が記されている。極軌道衛星で約100分で南北を軸に地球を一周し、赤道方向に少しずつ軌道をずらして地球全体を観測する。4日で元の位置に戻る。残念ながらADEOS-IIは故障のため約1年で観測を中止した。

すでに述べたようにGLIセンサーは36の観測波長をもつ。表1にその主な観測中心波長及び主な観測目的を示す。チャンネル1から29までは主に陸域調査のため、チャンネル34から36は地表面輝度温度の観測データである。太字が本データベースに収められたデータである。太陽光 (紫外線、可視光線、近赤外線) の地球による反射及び地球からの放射 (遠赤外線) を観測している。地上空間分解能は1 km、一部のチャンネルについては250mである。

表1 ADEOS-IIの主な観測波長

Ch. No.	中心波長 [nm]	目 的
1	380	for ocean pigment
5	460	for ocean pigment and Vegetation
8	545	for vegetation
13	678	for vegetation
15	710	for vegetation
17	763	for Oxygen absorption
19	865	for vegetation
24	1050	for water, ice & snow
26	1240	for vegetation
27	1380	for water vapor
28	1640	for vegetation, soil, moisture & ice
29	2210	for cloud, soil
30	3715	for cloud
31	6700	for water vapor
34	8600	for temperature, ice & snow
35	10800	for temperature, ice & snow
36	12000	for temperature, ice & snow

2 データサーバシステムの概要

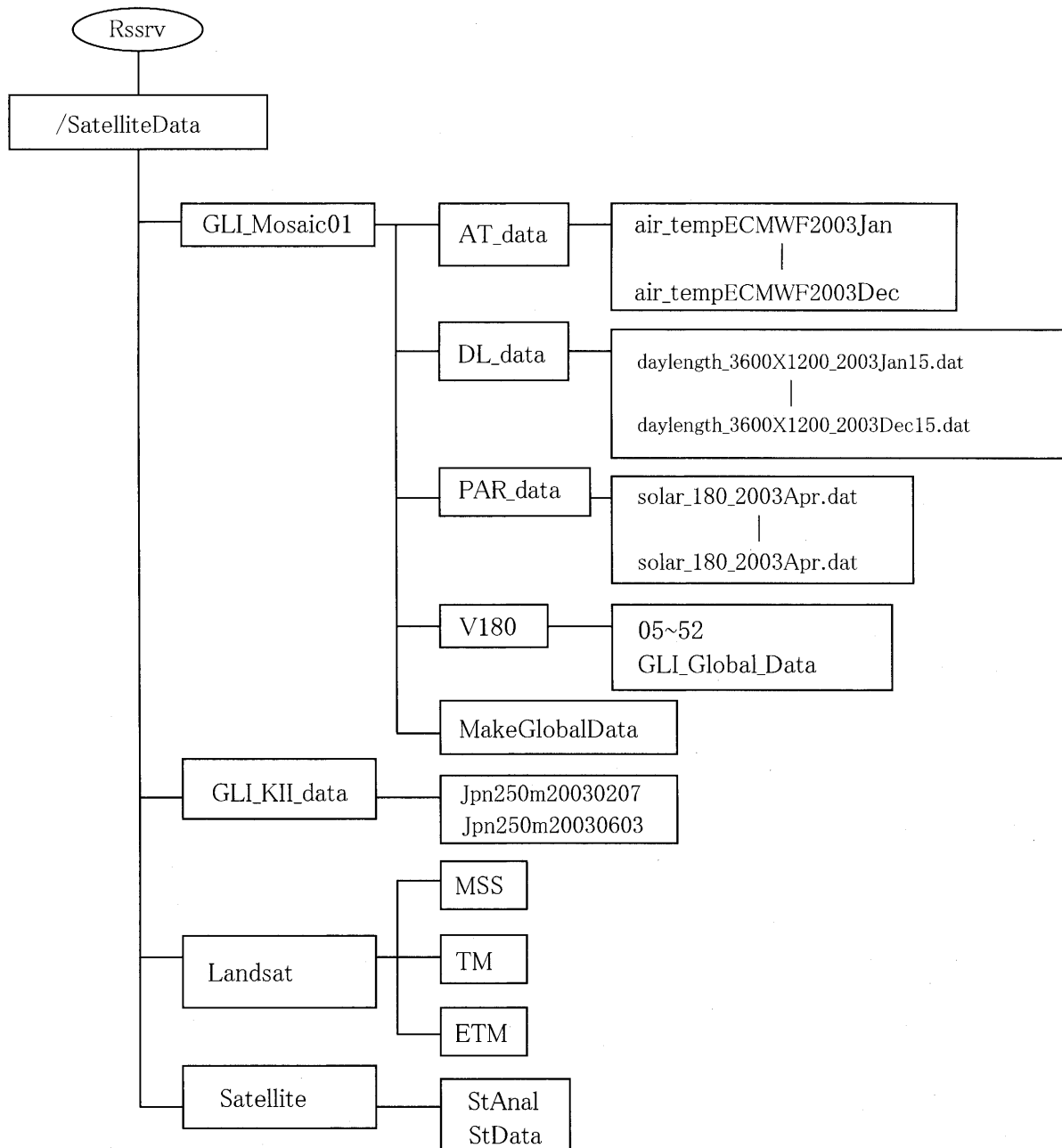
衛星観測データサーバは自作機で以下の通りである。ホスト名は以下”rssrv”と呼ぶ。

ホスト名 : rssrv.io.nara-su.ac.jp	メモリ : 1 GB
IPアドレス : 172.16.49.2	H D : Disk1 (40GB)
C P U : Intel Pentium 4 1.60 GHz	Disk2 (300GB) , Disk3 (300GB)
O S : Linux (Fedora Core 3)	その他 : FD, CD-ROM

表2 ハードディスクのファイルシステム

Filesystem	Mounted on	サイズ (MB)	内容
Disk1: /dev/hda1	/boot	99	OS
Disk1: /dev/hda2	/	19689	OS
Disk1: /dev/hda5	/dos	16042	OS バックアップ
Disk2-3: /dev/mapper /VolGroup00-LogVol00	/SatelliteData	563309	衛星データ

図2 rssrv ディレクトリー構造



ハードディスク容量は合計640 GBで、そのファイルシステムは表2の通りである。ユーザ認証方法はNIS方式である。奈良産業大学情報学部ネットワークではUNIX系サーバのユーザ認証に、NISを用いている。本サーバはNISクライアントとなっている。

図2にサーバssrv (remote sensing serva) のディレクトリー構造を示す。GLI_Mosaic01及びGLI_KII_dataがADEOS-II/GLIによる観測データである。前者は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が約半月 (4シーン) のデータを使い雲を除いて作成したモザイクデータである。2003年4月から同10月までのデータが収録されている。後者がADEOS-II/GLIによる紀伊半島の2月7日及び6月3日のデータである。観測した日時そのままのデータでモザイクデータではない。前者が地上空間分解能1 kmなのに対してこれは250m分解能で6チャンネルの波長を観測している。

ディレクトリー Landsatは米国が打ち上げた地球観測衛星により観測されたデータで、MSSセンサー、TMセンサー及びETMセンサーによる関西周辺のデータが収納されている。MSSを除き地上分解能は30 m、観測波長は輝度温度データを入れて7チャンネルである。ディレクトリー Satelliteには我々の開発した衛星データ解析ソフト (StAnal) ¹⁾ 及び解析に使用するデータ例としてGLI観測データその他の解析に必要なデータ (StData) が収められている。

上述のディレクトリー GLI_Mosaic01には2003年各月平均の世界の気温データ (AT_data)、同様の昼の長さのデータ (DL_data)、有効日射量データ (PAR_data)、地域毎及び全球のGLIモザイクデータ (v180) 及び地域データから全球データを作成するソフト (MakeGlobalData) が収められている。以下主にGLIデータについて話を進める。

3 GLIモザイクデータの概要

図2のディレクトリー “v180” の下に収められている地域データ05から52のディレクトリーは全球を図3のように区分けした番号である。日本は15に含まれる。北緯60度以上、南緯60度以上は含まれていない。いずれも4回の観測データを合わせ雲を除いて作成されたものである。各区分のpixel数及びline数は3,600×3,600である。雲を除ききれなかった部分のデータはゼロとなっている。ディレクトリー “GLI_Global_Data” には上記データをつないで一つのファイルにしたものが収められている。元のデータの6 pixels×6 linesを1ピクセル (平均ではなく間引き) として作成した全球データでpixel数及びline数は7,200×2,400である。“MakeGlobalData” は全球データ作成のためのソフトである。

図3 データの区分け番号

西経180度, 北緯60度	東経180度, 南緯60度																
<table border="1"> <tr> <td>05、06、07、</td> <td>_____、15、16</td> <td rowspan="2">北半球</td> </tr> <tr> <td>17、18、19、</td> <td>_____、27、28</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <table border="1"> <tr> <td>29、30、31、</td> <td>_____、39、40</td> <td rowspan="2">南半球</td> </tr> <tr> <td>41、42、43、</td> <td>_____、51、52</td> </tr> </table> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>西経180度, 南緯60度</td> <td>東経180度, 北緯60度</td> <td></td> </tr> </table>		05、06、07、	_____、15、16	北半球	17、18、19、	_____、27、28	<table border="1"> <tr> <td>29、30、31、</td> <td>_____、39、40</td> <td rowspan="2">南半球</td> </tr> <tr> <td>41、42、43、</td> <td>_____、51、52</td> </tr> </table>		29、30、31、	_____、39、40	南半球	41、42、43、	_____、51、52		西経180度, 南緯60度	東経180度, 北緯60度	
05、06、07、	_____、15、16	北半球															
17、18、19、	_____、27、28																
<table border="1"> <tr> <td>29、30、31、</td> <td>_____、39、40</td> <td rowspan="2">南半球</td> </tr> <tr> <td>41、42、43、</td> <td>_____、51、52</td> </tr> </table>		29、30、31、	_____、39、40	南半球	41、42、43、	_____、51、52											
29、30、31、	_____、39、40	南半球															
41、42、43、	_____、51、52																
西経180度, 南緯60度	東経180度, 北緯60度																

“05”などのそれぞれのディレクトリーに収められているモザイクデータの観測年月日を表2に示す。20030306は2003年3月6日の意味でこの日付の後の4回分の観測データを元にしたモザイクデータである。これらのディレクトリーは上記“05”などのそれぞれのディレクトリーの下にある。実際の観測データは表3の各ディレクトリーに収められており、表1の太字で示された波長に関するデータ等である。

表3 データの観測年月日

20030306	20030407	20030423	20030509	20030525	20030610	20030626
20030712	20030728	20030813	20030829	20030914	20030930	20031016

る。データの書式は2バイト整数のバイナリーデータで、1シーンのデータ量は約720MBである。ディレクトリー“v180”全体では約500GMである。データを読むために必要な情報は例えば“GLI_Mosaic_Data”の“20030306”であればヘッダーファイル“GLI_Mosaic_20030306.txt”にテキストファイル形式で記されている¹⁾。その内容は文献1のp25を参照されたい。

“AT_data”、“DL_data”、“PAR_data”は2003年の全世界の気象データ、つまりそれぞれ気温、昼の長さ、日射量のメッシュデータで衛星観測データを利用し植生一次生産量を解析する場合などに使う。いずれも4バイト実数のバイナリーデータである。“AT_data”は3,600 pixels×1,200 lines、昼の長さは緯度だけで決まるので1,200個、“PAR_data”は観測メッシュが粗く92pixels×192linesである。

Landsat dataは、1972より1983年まではMSSセンサーで観測し空間分解能が90mである。以後TMセンサーに代わり、ついでETMセンサーに代わった。TMセンサー以降空間分解能が30mである。地球上の位置は(pass, row)で記述され、passが経度方向、rowが緯度方向の位置である。日本の関西地域(神戸から奈良)は(110,36)、その東(三重)が(109,36)である。観測波長は450nm、525nm、630nm、775nm、1,550nm、2,090nmで輝度温度データを含めて7チャンネルである。1シーン(7チャンネル)のデータ容量は約300MBである。

4 利用法

ここでは衛星データのマウント、衛星データ解析ソフトの利用について述べる。

(1) 衛星データのマウント

第2章で述べた通り、rsvrのユーザ認証は、奈良産業大学情報学部ネットワークのNISマスターサーバ(ada.io.nara-su.ac.jp 以下adaと記述)により行っている。よって、rsvrを利用するユーザは、同時にサーバadaに登録されていなくてはならない。衛星データ利用は、NFSを使用してローカルにマウントすることを前提としている。従って、クライアントは、NFSマウントのサポートが必要である。執筆時点で、Fedora Core 2、Fedora Core 3、Mac OS X、Solaris 7からの接続を確認している。NFSマウント時の衛星データは、読み込みのみ可能としている。ファイルの修正・追加をする場合は、書き込み権限を持つ者がscpを使用して、そのファイルを転送すればよい。

衛星データのローカルへのNFSマウント方法

(以下の説明は、奈良産業大学情報学部ネットワーク内でのUnix端末を例とする。)

次のコマンドにて、マウントが可能。実行には、管理者権限が必要。

```
# md /SatelliteData
# mount -F nfs rssrv:/SatelliteData /SatelliteData
```

※ 2 回目以降は不要

これで、クライアント上では/SatelliteDataとして利用できる。
マウント解除は、次のコマンドを実行する。

```
# umount /SatelliteData
```

クライアントのファイルシステムマウントテーブルに、あらかじめ記述しておけば、毎起動時に自動的にマウントされる。

例えば、Fedora Coreでは、/etc/fstabに次の1行を追加すればよい。

```
rssrv:/SatelliteData/SatelliteData nfs auto,ro,hard,intr 0 0
```

衛星データを扱う授業が行われる教室では、パソコンのLinux OSに上記設定を行っており、管理者権限のない学生ユーザでも、衛星データを利用できるようにしてある。衛星データのマウントを、自宅等の奈良産業大学学内総合ネットワークの外部から行う場合は、VPNによる接続が必要となり、さらに、各コマンド中のrssrvのサーバ名を、IPアドレスである172.16.49.2で置き換えなくてはならない。

(2) 衛星データ解析ソフトについて

衛星データの解析ソフトについては市販のものも多くあるが解析できる内容が固定されており研究用には向いていない。やはり自分の解析したいことが自由にできるのでなければならない。そのためには解析ソフトを自分で作るのが最善の方法である。とは言え最初から作るのは大変な仕事になる。ここでは基本になるソフトをC言語で提供し、まずはそれで出来ることから解析を始め、必要に応じてプログラムを修正、追加しコンパイル・リンクして解析する方法を採用する。このためのソフトが図2のディレクトリー“Satellite”の下にある“StAnal”に収録されている。利用には、X Windowシステムが必須となる。以下、Unixプラットフォームを例に話しを進める。

- ①クライアントでX端末を開く。
- ②“StAnal”をディレクトリーごと自分のクライアントにコピーする。

```
$ scp -r ユーザ名@rssrv:/SatelliteData/Satellite/StAnal /保存先のパス名/
```

- ③初めてrssrvに対してscpを実行した時、下記のメッセージが表示される。yesを入力する。

```
The authenticity of host 'rssrv (172.16.49.2)' can't be established.
RSA key fingerprint is ef:41:9c:7c:23:0c:dd:52:76:f4:43:49:1e:4b:e9:52.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no) ? yes
Warning: Permanently added 'rssrv,172.16.49.2' (RSA) to the list of known hosts.
```

続いて、パスワードを聞かれるので、自分のパスワードを入力する。

ユーザ名@rssrv's password:自分のパスワード

これにより指定したディレクトリーの下に“StAnal”ディレクトリーが作られ、その中に解析ソフトを取めた複数のソフトのディレクトリーがコピーされる。

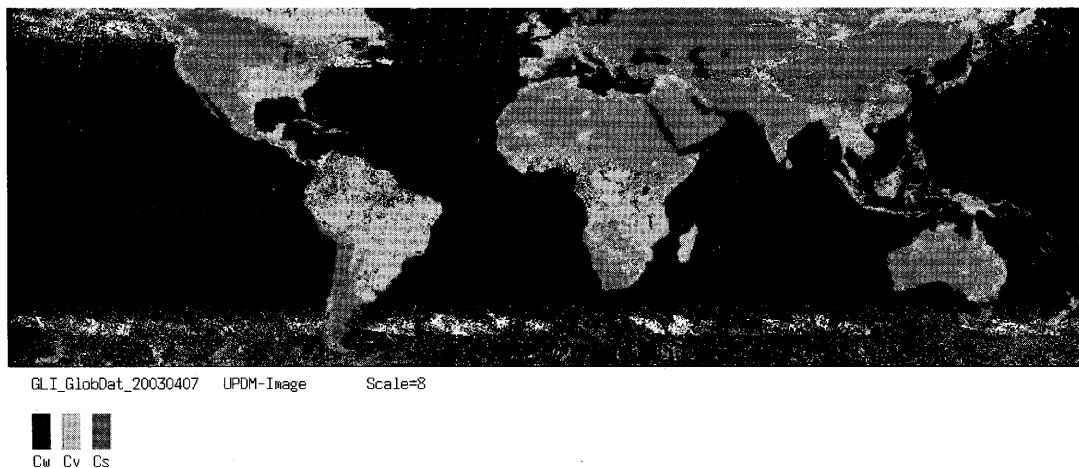
このソフトの使い方については参考文献1)を参照されたい。学内の教職員または学生がプログラムでアクセスするディレクトリーは、例えばGLI全球データの場合以下のディレクトリーアドレスでファイルをオープン出来る。

/SatelliteData/ GLI_Mosaic01/v180/GLI_Global_Data/20030407/12a_lc_ch5

5 教育への利用例

本データサーバに収納されている衛星データは情報学部4回生の情報学演習IIIで1) 関西及び全球土地被覆分類解析、2) 琵琶湖や伊勢湾等の水汚染の解析、3) 日本及び全球の植生一次生産量の解析等に利用され、また解析結果については情報学概論、情報システム論等の講義に活用されている。平成16年度卒業生が解析した2003年4月の全球土地被覆画像を例として図4に示す。白黒イメージなので分かりにくいですが、原図はカラーイメージで、植生域、陸域、陸の水域、雪氷域がどのような割合になっているのかを示す図である。尚面積比率を出す場合は緯度の関数としての面積補正を行う。衛星観測データの解析は我々の開発した「普遍パターン展開法」による^{1)~7)}。

図4 土地被覆分類図(2003年4月)

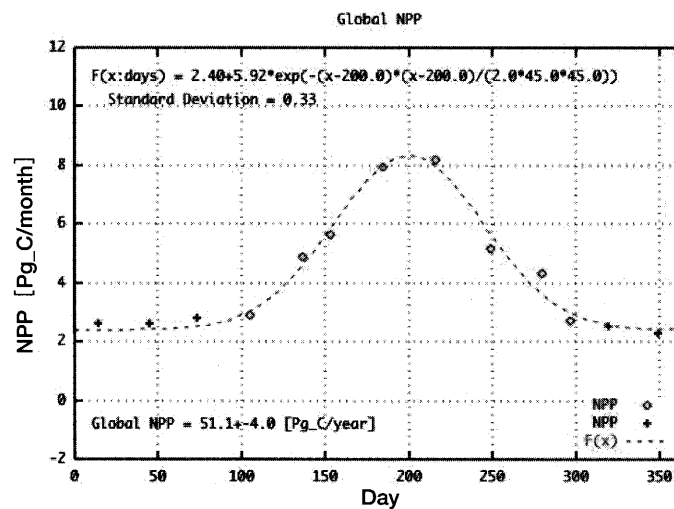


6 研究への利用例

衛星観測データの研究への利用例としては、第5章で述べた課題の他、北極、南極の雪氷量の解析、自然災害の解析、精密地図の作成等があり広い分野で利用されている。ここでは「全球植生一次生産量の推定」を例としてあげる。いわゆる「植生による二酸化炭素の吸収量(光合成量)の見積もり」である。

衛星で観測される物理量は地球表面の反射率である。この反射率に大気による吸収、反射を補正すると地上被覆物による反射率が得られる。植生の反射率及び日射量と光合成量との関係は地上で詳細に調べる。一枚の葉、一本の灌木、森、草原などでの測定がその基礎となる。森については紀伊半島東吉野の人工杉林、マレーシアの熱帯雨林での測定、草原についてはモンゴル草原などで測定が積み重ねられた。それらの結果を基に光合成量と反射スペクトル、日射量、気温などとの関係式を導出する。ADEOS-II/GLIによる観測結果、世界の日射量及び気温データを基に導出された関係式を適用し、植生一次生産量を見積もることができる。幾つかのポイントでその推定結果と実測値とが比較し検証した^{8)~11)}。

図5 2003年の全球NPPの時系列変化



このような手順で得られた全球植生一次生産量の結果を図5に示す。○印は実際のその時期の観測データより得られたものである。+印は4月、または10月の観測データを使い、気温及びPARについては実際のその月の気象データを使用して推定したものである。1年間に渡って積分した全球NPPは炭素換算で次の通りである。Pgは 10^{15} g (10億トン)である。

$$\text{全球NPP} = 51 \pm 12 \quad [\text{Pg}_\text{C}/\text{year}]$$

推定値の誤差は検証データに対する推定値の分散である。推定値の誤差はおよそ $\pm 20\%$ と推定される。従来の推定値、55から63 [Pg_C/year]より小さめの値である。

7 おわりに

本データサーバに収められた衛星観測データは宇宙航空研究開発機構 (JAXA) より平成16年度委託研究推進のために提供されたものである。JAXAへ深く感謝致します。とりわけモザイクデータを作成したJAXAのスタッフには厚くお礼申し上げます。また本データサーバ構築に当たり多岐にわたって多大な支援を頂き、また本稿2章、4章の執筆に当たっては細部にわたる助言をいただいた情報学部計算機管理室の北島健雄氏及び片岡英己氏に厚くお礼申し上げます。また委託研究の事務処理に当たっては本学総務課とりわけ仲西康晃氏に深く感謝致します。

References

- 1) 普遍パターン展開法による衛星データ解析のためのソフトウェア
- for Macintosh and Windows -
藤原 昇、張 立福、村松加奈子、古海 忍、醍醐元正
2005年7月25日 奈良産業大学情報学部研究開発報告書
- 2) Fujiwara, N., Muramatsu, K., Awa, S., Hazumi, A. and Ochiai, F. (1996)
"Pattern expand method for satellite data analysis"
(in Japanese) Journal of Remote Sensing Society of Japan, 17 (3) , 17-37
- 3) Muramatsu, K., Furumi, S., Fujiwara, N., Hayashi, A., Daigo, M. and Ochiai, F. (2000)
"Pattern decomposition method in the albedo space for Landsat/TM and MSS data analysis"
International Journal of Remote Sensing, 21 (1) , 99 -119.
- 4) Daigo, M., Ono, A., Fujiwara, N., and Urabe, R. (2004) .
"Pattern decomposition method for hyper-multi-spectral data analysis"
International Journal of Remote Sensing, 25 (6) ,1153-1166.
- 5) Zhang, L., F., Furumi, S., Muramatsu, K., Fujiwara, N., Daigo, M., and Zhang, L.,
"Sensor-independent analysis method for hyper-multi spectra based on the pattern decomposition method"
submitted to International Journal of Remote Sensing
Working Paper No.17, Department of Economics, Doshisha University, Kyoto,Japan
- 6) Zhang, L., F., Furumi, S., Muramatsu, K., Fujiwara, N., Daigo, M., and Zhang, L.,
"A New Vegetation Index Based on the Universal Pattern Decomposition method"
submitted to International Journal of Remote Sensing
Working Paper No.18, Department of Economics, Doshisha University, Kyoto,Japan
- 7) L. Zhang , N. Fujiwara, S. Furumi, K. Muramatsu, M. Daigo, and L.Zhang
"Assessment of the universal pattern decomposition method using MODIS and ETM+ data"
submitted to International Journal of Remote Sensing
Working Paper No.22, Department of Economics, Doshisha University, Kyoto,Japan
- 8) Shinobu Furumi, Yan Xiang and Noboru Fujiwara
"Establishment of an Algorithm to Estimate Canopy Photosynthesis by Pattern Decomposition using Multi-Spectral Data"
submitted to J. of Remote Sensing Society of Japan
- 9) Yan XIONG (2005)
"A Study of Algorithm for Estimation of Global Terrestrial Net Primary Production using Satellite Data"
Doctor Thesis,
The Division of Integrated Sciences, Nara Women's University 2005
- 10) Awaya, Y., Kodani, E., Tanaka, K., Liu, J., Zhuang, DE. and Meng, Y. (2004)
"Estimation of the global net primary productivity using NOAA images and meteorological data : changes 1988 and 1993"
International Journal of Remote Sensing, 25, (9) , 1597-1613
- 11) Y. Xiong, K. Muramatsu, M. Hirata, K. Oishi, I. Kaihotsu, T. Takamura, S. Furumi and N. Fujiwara
"Application method for time integral of photosynthesis for NPP estimation using remote sensing data: Case study in Mongolia"
accepted in Journal of Remote Sensing Society of Japan