

GPS Radio Occultation Measurement of Atmosphere

Toshitaka Tsuda

Radio Science Center for Space and Atmosphere, Kyoto University, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

501 (ひまわり; 画像解析; SATAID; CD-ROM; GMS)

4. 気象衛星“ひまわり”の観測に基づく雲解析事例集

隈部良司*

1. はじめに

「ひまわり」1号は1977年7月アメリカのケープカナベラルから打ち上げられた(気象衛星室, 1981a; 1981b). 翌年4月の本運用開始以来20年以上にわたり1日も休むことなく地球の画像を送りつづけ, データが蓄積されてきた. この間, 当初の3時間毎のアナログデータの配信から, 1988年のデジタルデータ配信, 1989年の毎時観測の開始, 1995年の水蒸気画像の取得開始など, データの質, 量の高度化が行われてきた. 2002年度の打ち上げが予定されている次期衛星ではさらに大幅な機能向上がもたらされる.

このような衛星, 地上施設の高度化により, 衛星データに基づくプロダクトの質, 量の充実ももたらされてきた. ところが, 気象予報の現場などでの衛星画像の利用は, 大量のデータ転送が必要であるなどのためになかなか進まなかったように思われる. しかし, 近年のパソコンや通信環境の進歩はこれまでの状況を大きく変えつつある. 誰もが数十メガバイトの衛星データを扱える環境がすでに実現している. 気象衛星センターでは簡便に高品質の衛星画像解析が出来るパソコンソフトウェア (Satellite Animation and Interactive Diagnosis: SATAID) を開発し (Kumabe, 2000; 気

象衛星センター, 1999), これを支援することにした. SATAID は気象庁や海外の気象機関で利用されている他, 一般でも入手可能なソフトウェアである.

本文では, 「ひまわり」データの利用の観点から「ひまわり」1号以来の衛星データと上記利用ソフトについて概略を述べる.

2. 気象衛星“ひまわり”の歴史

第1表に簡単な「ひまわり」シリーズの年表を示す. 「ひまわり」の観測やデータ提供にはこのような変遷があるものの, 可視, 赤外センサーの基本的な性質は変わっていない. 1995年6月13日から, スプリット画像, 水蒸気画像が加わっている. 観測スケジュールは最初の試験運用期間を除き, 1989年1月まで3時間毎, 現在は毎時観測となり, 衛星によるデータ配信は運用当初からの fax イメージに加え1988年からはデジタルデータが加わった. 観測されたデータはマイクロフィルムの形で永久保存されているが, 1987年以降, (可視画像は1991年以降) のデータはデジタルデータとしても保管されている.

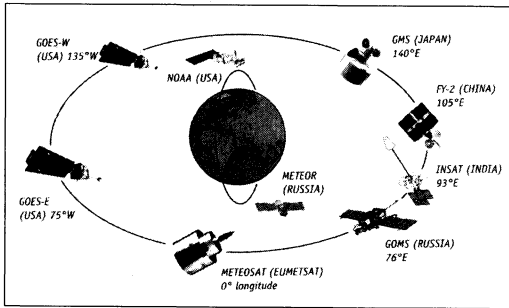
気象衛星「ひまわり」は世界気象機関 (WMO) の WWW (World Weather Watch 世界気象監視計画) の一環として全世界をカバーする気象衛星観測ネットワークの一衛星として打ち上げられたものである (第

* 気象衛星センター.

© 2001 日本気象学会

第1表 気象衛星「ひまわり」の簡単な年表.

衛星 (打ち上げ)	運用期間	観測	データ提供	保存媒体
ひまわり (1977年7月14日)	1978年11月4日～ 1981年12月21日 1984年1月21日～ 6月29日	可視画像・赤外画像 1日1回 1日2回 (1978年12月15日) 3時間毎 (1978年2月6日)	FAX 画像 HR-FAX・LR-FAX	マイクロフィルム
ひまわり2号 (1981年8月11日)	1981年12月21日～ 1984年1月21日 1984年6月29日～ 1984年9月27日			
ひまわり3号 (1984年8月3日)	1984年9月27日～ 1989年12月14日	毎時観測 (1989年1月5日)	デジタル配信開始 (1988年4月1日) HR-FAX 停止 (1989年1月5日)	デジタル生データ (赤外: 1987年2月28日～)
ひまわり4号 (1989年9月6日)	1989年12月14日～ 1995年6月13日			デジタル生データ (可視: 1991年3月21日～)
ひまわり5号 (1995年3月18日)	1995年6月13日～	スプリット画像, 水蒸気画像		



第1図 現在の全世界の気象衛星の配置 (欧州気象衛星機構による).

い時間間隔の撮影が行えるため短期間の雲分布の変化を知ることができることである。TIROS シリーズでの実験結果から静止気象衛星が上層の風の観測に有効であることが示され、すべての衛星運用国で「衛星風」が算出され利用されている。その他、それぞれの衛星の特徴を生かし、数値予報データなどとあわせて利用することにより、さまざまなプロダクトが開発され利用されている。「ひまわり」の場合、太陽光の地球表面での反射率を測る可視センサー、地球の長波放射を測る赤外センサー、主に光路の全水蒸気量の影響を受けるスプリット画像、対流圏中、上層の水蒸気量の観測が出来る水蒸気センサーの特徴から次のようなプロダクトが作成されている。

- 衛星風：可視・赤外・水蒸気風、台風詳細風 (IR, VIS, WV 画像)
- 長波放射量 (OLR) (IR 画像)
- 海面水温 (IR, スプリット画像)
- 雲解析情報図 (IR, VIS, WV, スプリット画像)
- 雲量情報 (IR, VIS, WV, スプリット画像)
- 全日射量 (VIS 画像)
- 雪氷域 (VIS 画像)
- 降水量 (IR, VIS, WV 画像)
- 火山灰の監視 (VIS, スプリット画像)

4. 衛星データの利用と SATAID の開発

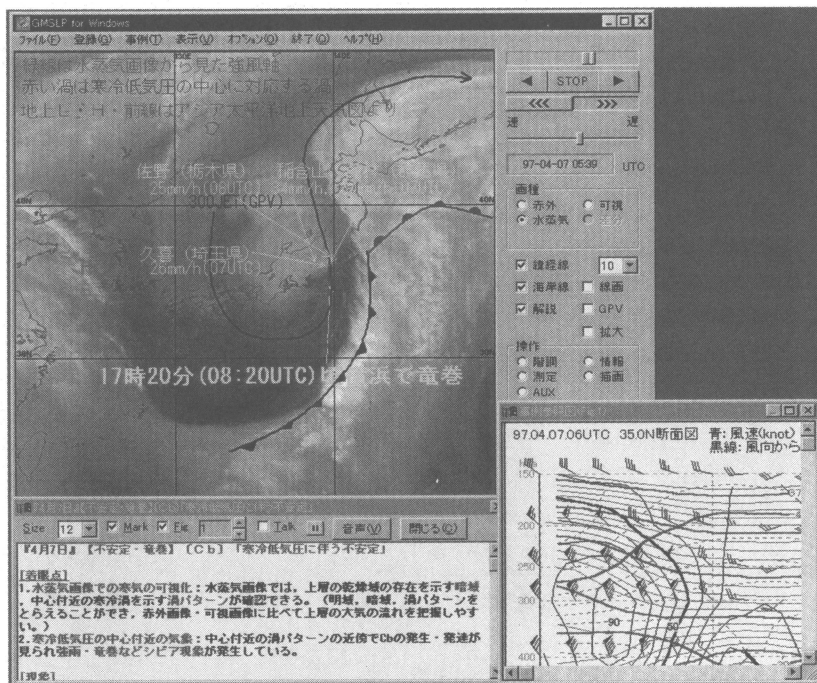
衛星画像から3章で述べたようなプロダクトが作成される。その多くのものは自動的に作成されるプロダクトであるが、やはり静止気象衛星データの醍醐味は

1 図). WWW 計画は1960年の TIROS-1号以来の気象衛星研究の成果とコンピュータと通信の発達を活用して、世界的な観測、予報、情報提供・利用の高度化を図る計画として、1960年代に提唱されたものである。気象衛星に関しては、極軌道衛星による大気鉛直プロファイルの取得と、静止気象衛星による風観測が主目的とされた。

この計画に基づき衛星を運用する各国 (現在日本, アメリカ, 欧州気象衛星機構, ロシア, 中国, インド) は毎年会合を持ち、衛星運用に関する調整と情報交換を行っている。データフォーマットなどの共通化が出来る限り図られており、観測データは WMO 加盟国の共通の財産として利用されている。

3. 衛星画像とプロダクト

極軌道衛星と比べた静止気象衛星の特徴は非常に短



第2図 SATAIDを使った雲解析事例集の一場面。

全球規模の雲や水蒸気の分布とその短時間の変化の観察である。気象衛星センターの熟練した解析者であれば、可視 (VIS)、赤外 (IR)、水蒸気 (WV) 画像を比較し、また、ループムービーを観察することにより、雲の種類や低気圧の中心位置、気圧を見積もることが出来る。特に海洋上の台風の中心位置、気圧の観測は航空機からのドロップゾンデ観測が中止されて以来、衛星画像の、人の眼による解析が重要な位置を占めている。気象衛星センターでは、衛星画像による台風観測をはじめとするルーチン観測を行い、気象庁内の気象官署のほか海外の気象機関への解析データの提供を行っている。

これまで人間による画像の解析は(自動作成プログラムもそうであるが)高品質の画像配信が出来なかったことから衛星センターで集中的に行われてきた。しかし、近年の通信・情報処理機器の発達により、国内外の多くの場所で高品質の衛星画像の利用環境が生まれつつある。しかしながら、衛星画像解析は、画像に写った雲の表面の“きめ”の見極めやパターン認識など、知識と経験に基づく技能の要求される作業である。衛星画像の有効利用を促進するためには、画像解析技術のトレーニングが必要とされる。これまでに、気

象衛星センターではいくつかの冊子を発行して雲解析技術の普及に努めてはきた(気象衛星センター1983, 1996, 2000)。しかし実際の解析では冊子では表現することのできない階調調節や動画表示などを活用することが必要である。このような困難を克服するため、衛星センターでは、1995年以来、パソコンで衛星画像を多くの角度から表示して簡単に画像解析の学習ができるシステムを開発し、衛星画像解析の研修などに利用してきた(佐々木 1997)。

このように、このシステムは当初雲解析技術の冊子に置き換わり、解析技術のトレーニングに給する物として開発され、利用されてきた。しかし同時に衛星センターの大型計算機やワークステーションで現業的雲解析に使用されてきた解析システムの機能を盛り込み、さらに利用者の要求も取り込むことにより、調査・研究、あるいは予報現場での利用にも耐える衛星画像解析ツールともなった(Kumabe 2000, 気象衛星センター 1999)。我々はこれをSATAIDと呼んでいる(第2図)。

SATAIDの主な機能を列挙すると次のようになる。

- (1) 衛星画像表示機能
衛星画像のループ/静止表示

画像の階調調節

カラー表示

拡大表示

(2) 解析機能

輝度温度測定（平面図，断面図，時系列図，各種統計値の表示）

雲などの移動速度測定

数値予報資料，レーダー，アメダス，地上高層観測データの画像への重ね表示（平面，断面，時系列表示等含む）

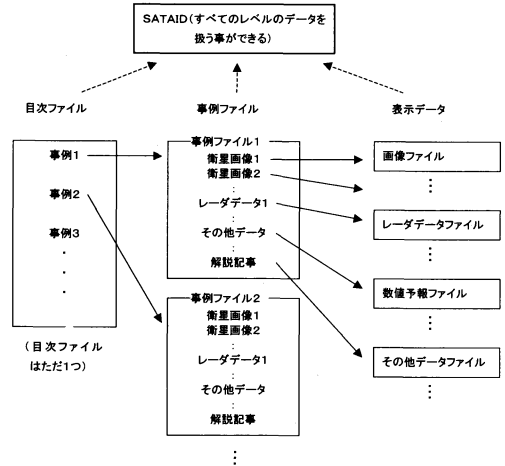
(3) 事例学習と編集機能

事例解説記事/参照補助図の表示

キーワードによる事例検索

画像へのメモの記入（お絵かきを含む）

独自の事例解説記事作成



第3図 SATAID のデータファイル。

SATAID は特定の地域の現象の事例解析を目的としており，小規模なパソコンでも利用できるようにデータ量を抑えるため特定地域のデータを独自のフォーマットで収めている。一方気象庁の他の部署でも観測データ等がCD-ROMで出版されておりこれらのデータをそのまま扱えるようにこれらのフォーマットとの互換性を持たせてある。SATAIDで扱うデータは第3図に示すように3つレベルに分かれている。衛星画像や数値予報モデルなどの表示データの上位に目次ファイルと事例ファイルを設けることにより，調査対象の事例の検索が容易になる。しかしこのことはそれぞれの個別のデータを扱えないという意味ではない。CD-ROMで出版されている他の気象データもドライブにセットするだけで利用出来る。

SATAID は気象庁内の衛星画像解析研修で用いられるほか，これを利用して，気象衛星センター観測月報や雲解析事例集など，これまで冊子で発行されてきた刊行物がCD-ROM化して出版されている。これらの出版物は気象業務支援センターで販売されており，気象庁外からも入手が可能である。特に雲解析事例集は各事例ごとの衛星画像等のデータのほか，気象衛星センターや気象庁予報課の職員による気象解析が盛り込まれ，また，SATAIDのプログラムソースが含まれるなど，気象庁における衛星画像解析およびツールのすべてのノウハウが詰め込まれたものであるといえる。データフォーマットも公開されているので，ひまわりの直接受信などで取得したデータを利用できるようにデータコンバートしたり，逆にプログラムを新た

なデータフォーマットに対応するよう改造することも可能である。

5. これからの気象衛星の利用

残念ながら「ひまわり」シリーズの後継衛星として1999年11月に打ち上げられた運輸多目的衛星：MTSATは失敗であったが，これに代わるMTSAT新1号および2号の手配がつき，それぞれ2002，2004年度に打ち上げられることになっている。これまでの「ひまわり」シリーズと衛星のデザインが大きく変更になるのに加えて，観測面では新たに3.7 μ mチャンネルが加わるほか，各チャンネルの観測のダイナミックレンジが8ビットから10ビットと4倍になり，解像度も向上する。配信データは数年間の移行期間を置いてすべてデジタル化される予定である。利用者にとってはよりオリジナルデータに近い画像が簡単に利用できるようになる。

同時に新センサーおよび多チャンネルデータの複合利用などの衛星データ利用の知識の普及が必要とされている。気象衛星センターではSATAIDを利用した雲解析技術に関する出版のほか，気象衛星に関する研修を行っていく。気象大学校における気象庁予報官への研修のほか，海外の利用者に対しても国際協力事業団(JICA)による気象学研修をはじめさまざまな機会に気象衛星と画像解析技術の紹介を行っており，そのほとんどの場面でSATAIDが利用されている。SATAIDは，その諸機能を利用した講義による技術の習得とともに，帰国後に利用できるツールとしても飲

迎されている。

MTSAT への対応については SATAID はすでに新センサー、データの10ビット化に対応を終えている。海外の気象機関には、衛星画像および数値予報資料などの他の気象データが有効に利用できるような MTSAT 配信データに対応した SATAID が提供される予定である。気象機関以外の利用者の場合も、SATAID が利用するデータフォーマットは公開されており、簡単な処理で画像表示が出来る。また、アメダス資料、地上観測実況などは気象庁から発行されている CD-ROM が(現在でも)そのまま利用できるようなになっている。SATAID を利用して、衛星画像をはじめとする気象データをより多くの利用者に活用していただけたら幸いである。

参考文献

- Kumabe, R., 2000: CAL development in Meteorological Satellite Center, *Geophysical Magazine*, 3, 109-121.
- 気象衛星室, 1981: 静止気象衛星事始め(1), *測候時報*, 48, 23-34.
- 気象衛星室, 1981: 静止気象衛星事始め(1), *測候時報*, 48, 39-62.
- 気象衛星センター, 1983: 気象衛星ひまわりによる雲画像の解析とその利用, 気象衛星センター, 271pp.
- 気象衛星センター, 1996: 気象衛星資料利用の手引き, 234pp.
- 気象衛星センター, 1999: 気象衛星センターにおける CAL 開発, *測候時報*, 66, 43-50.
- 気象衛星センター, 2000: 気象衛星画像の解析と利用, 161pp.
- 佐々木勝, 1997: 気象衛星観測月報 CD-ROM の表示プログラム, 気象衛星センター, 26pp.

Meteorological Satellite “HIMAWARI” (GMS) and Neph-analysis

Ryoji Kumabe

Meteorological Satellite Center, 3-235 Nakakiyoto Kiyose Tokyo

総合討論

司会(余田): 総合討論ということで、会場の皆さんを交えて議論を深めたい。近未来から21世紀への展望へと話を進めていきたいが、まず、笹野会員は、いま何を計画し、どんな衛星観測を行おうとしているのか。

笹野: 先ほど ILAS の10年間について話したが、現在 ILAS のデータ処理に関しては最終的なバージョンアップ作業を行っているところである。その次の観測計画としては ILAS2 がほとんど完成していて、打ち上げを待つばかりである。現時点での公式的な見解では、2001年11月打ち上げとなっているが、昨今の諸問題も

あり若干遅れるかもしれない。ILAS2は、基本的には ILAS の観測を継続することになっており、若干の機能の高度化・追加を行っている。また、これから5、6年後の打ち上げを目指した後継機としては SOFIS がある。ILAS, ILAS2 と原理的には同じ太陽遮蔽法だが、SOFIS では分光器がいわゆるフーリエ変換方式 (FTIR) に変わり、ILAS 等に比べてスペクトル分解能が非常に高くなっている。さらに、衛星がこれまでは極軌道だったので観測域が高緯度に限定されていたが、SOFIS は傾斜軌道の衛星に載せるのでグローバル