

次世代 NOAA 衛星に搭載されるマイクロ波探査計のデータ利用
— アメリカ合衆国海洋大気庁及びウィスコンシン大学を訪問して —

Utilization of Advanced Microwave Sounding Unit on Board Next Generation of NOAA Satellites - Visiting the National Oceanic and Atmospheric Administration and the University of Wisconsin -

竹内 義明*
Yoshiaki Takeuchi

Abstract

This report outlines the current status and future plans of NOAA/NESDIS on the utilization of microwave data from the DMSP satellites and the current and the next generation of NOAA satellites. The topics related to sounding processing are described in detail. Some remarks as to the developments at the MSC in the near future are also included.

1. はじめに

科学技術庁の宇宙開発利用国際協力に伴う専門家派遣として、次世代 NOAA 衛星に搭載されるマイクロ波探査計のデータ利用に係る調査および情報交換を目的に、平成 6 年 10 月 9 日から 10 月 30 日までアメリカ合衆国に出張した。訪問先は 10 月 15 日までがワシントン D. C. の国家環境衛星資料情報局 (NESDIS: National Environmental Satellite, Data, and Information Service)、10 月 16 日以降がマジソンのウィスコンシン大学気象衛星共同研究所 (CIMSS: Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies) である。

調査は主として以下の項目である。

① NESDIS では、極軌道気象衛星 NOAA 等のデータを用いた気象要素、特に気温や水蒸気の鉛直分布

の算出とその利用に関して、専門家と意見交換を行う。

② CIMSS では、マイクロ波測器のデータ利用に関して、専門家と意見交換を行う。

訪問時期が GOES-8 の試験期間中であり、また次世代 NOAA 衛星の打ち上げを 1 年後に控えていることもあり、最新の情報を多く得られたので、非常に有益であった。以下、訪問した各機関毎に記述する。なお、本稿は科学技術庁研究開発局宛に提出した出張報告書をもとに、加筆修正を加えたものである。

2. 米国海洋大気庁国家環境衛星資料情報局

国家環境衛星資料情報局 (NESDIS) の組織図を Fig.1 に示す。今回訪問したのは研究応用部の衛星研究課と衛星応用課である。始めに訪れたサウンディン

* 気象衛星センター システム管理課
(1995 年 1 月 10 日受領, 1995 年 1 月 23 日受理)

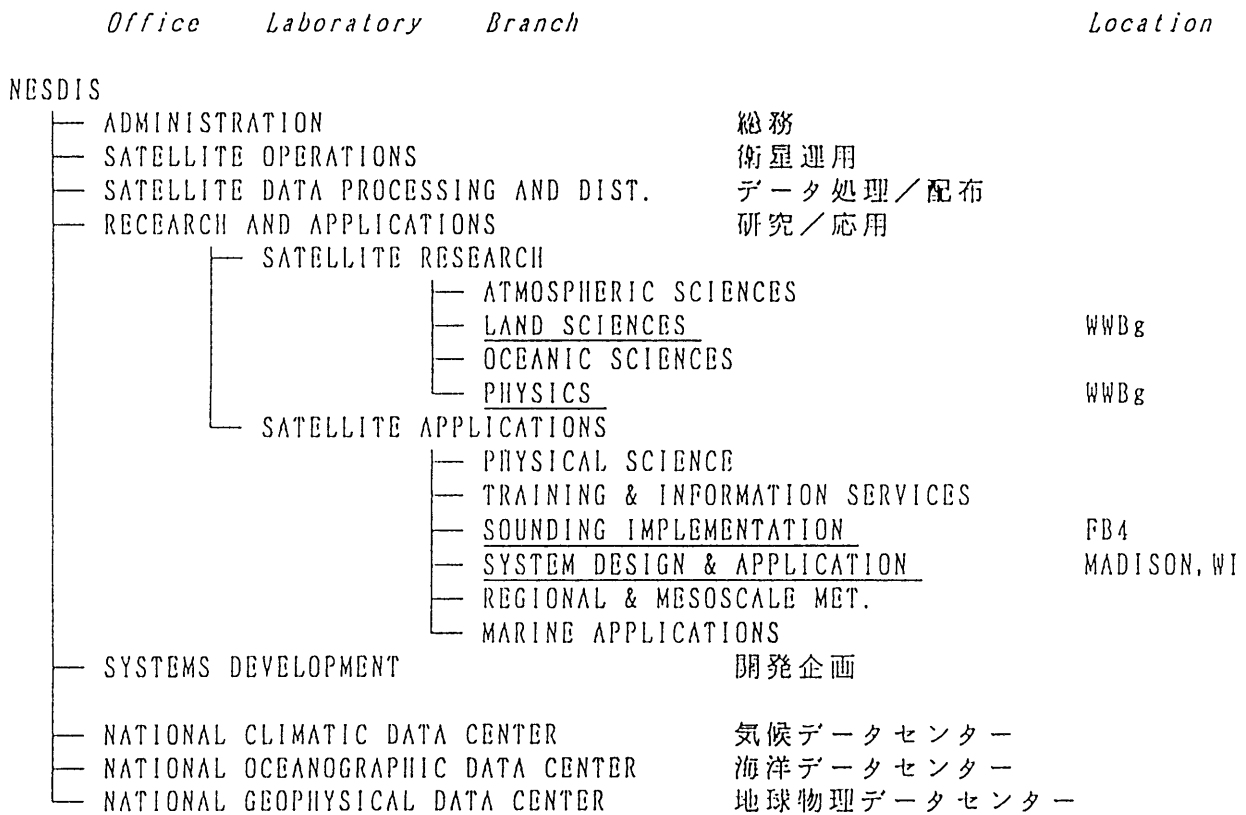


Fig.1 Organization of NOAA/NESDIS. Sections the author visited are underlined.

グ導入室はワシントン郊外のメリーランド州スーツランドの連邦政府第4ビル (FB-4: Federal Building) にあり、関連企業や NESDIS 内の別部門で開発されたサウンディングデータ処理システムの精度評価等を行い、現業に導入する仕事をしている部署である。現在、TOVS データ処理、DMSP 衛星データ処理、GOES-VAS データ処理、ATOVS データ処理の各プロジェクトが組まれている。興味深かったのは各プロジェクトを1人で担当していたことと、その担当者が関連企業からの契約職員であったことである。今回の訪問中施設見学や専門家との打合せの調整を行ってくれた Lawrence Enomoto 氏によると、NESDIS の中で契約職員が占める割合はかなり多く、SAR (Search and Resque) の現業職員は全て契約職員だそうである。

2. 1 現行の大気鉛直分布算出システムの精度向上に関する調査

1988年に NESDIS は鉛直分布の算出方法を回帰法から物理法に変更したが、その直後に行われた

ECMWF のインパクト試験の結果、顕著な改善が認められず、そのうえ負のインパクトを避けるために ECMWF が導入した品質管理によって雲天域における算出の実に75%以上が除かれてしまった。この結果を受け、NESDIS は2つの対応策を提起した。短期的には現行システムを大きく変えることなく、初期値設定法を改良すること、長期的には放射分類アルゴリズムと放射調整アルゴリズムを採用することおよび雲の検出と算出法を改良することである。

これに基づき、NESDIS では雲天域における初期推定値決定用のデータセットを新規作成すること、海面水温の代わりに地表気温の予報値を初期推定値として使用すること等の改良を1990年3月から1992年4月にかけて行った。その結果雲天域における700~1000hpa の気温の精度が向上した。また、1993年10月には初期推定値設定に使用するチャンネルに HIRS の水蒸気チャンネルを加える改良もなされた。これらの詳細については NOAA の技術報告 (Reale et al., 1994) を参照されたい。

鉛直分布のプロダクトの主な利用目的は数値予報の初期値としての利用であるが、NMC では NESDIS のプロダクトではなく、TOVS の晴天放射を直接気温場の同化に組み込んでいる。この点について担当者に質問したところ、数値予報を使用するとプロダクトの独立性が失われる、特に数値予報の精度が悪いところでは予報値を使わないほうが良い結果が得られるとの理由で、NESDIS の算出アルゴリズムには数値予報を使用していないそうである。今回 NMC のサウンダーデータ同化システムについて調査する時間がなかったので逆の立場から意見は聞けなかったが、どちらが良い悪いの二元論ではなく、数値予報モデルの予報値の精度と衛星観測データの精度をケースバイケースで与えるようなシステムが必要であると感じた。

サウンディング導入室では環境データ画像化/評価(EDGE:Environmental Data Graphics and Evaluation)システムを用いて現業衛星サウンダープロダクトの精度評価、開発業務を極めて効率的に行っている。このシステムは画像表示サブシステム、鉛直分布表示サブシステム、鉛直分布精度統計サブシステムから構成されており、トルースデータであるラジオゾンデと衛星データとのマッチングおよび精度評価を領域、時間帯について任意の条件で行なうことが可能である。バージョンの異なるソフトウェアの検証実験にも使用可能で、プロダクトの精度向上に極めて強力なツールとなっている。気象衛星センターでも表示、統計計算は可能であるが、処理手順が煩雑なので、是非このようなシステムを実現したいと感じた。

2. 2 改訂版 TOVS システム

NESDIS は現行の TOVS システムから次世代 NOAA 衛星用鉛直分布算出処理システム (ATOVS システム) に円滑に移行するために、改訂版 TOVS システム (RTOVS システム) を導入する計画である。RTOVS システムの最大の特長は高分解能の全球 AVHRR データ (4 km 分解能) を雲域検出および晴天放射計算に利用することである。これに伴い、現在晴天域、雲天域に依らず同一の係数を用い、雲除去の前

に行われていた走査角補正は雲除去の後に行うように変更される。また、初期値設定法のライブラリ法から放射分類法への変更、40層の大気層の気温と水蒸気を同時に計算する最小分散法の導入等かなり大幅な変更が予定されている。現在 RTOVCS システムは評価段階にあり、試験期間を経て1995年6月には現業化される予定である。現業化後も初期推定値設定法の改良、逐次算出法の導入等が計画されている。

気象衛星センターでは1983年以来直接受信 AVHRR データ (1 km 分解能) を TOVS 処理に使用してきており、1993年11月の物理法、逐次最小分散法、数値予報初期推定値の導入、1994年6月の AVHRR 全チャンネルを使用した晴天判別法導入等により RTOVS システムを先取りするシステムが既に現業化されている。しかしながら、雲域検出アルゴリズム等については学ぶべき点が多くあり、RTOVS システムのアルゴリズムを詳細に検討して衛星センターのシステムに反映させる必要がある。

2. 3 現行の DMSP 衛星搭載マイクロ波測器データ処理に関する調査

NOAA と国防省 (DOD) は1982年に DMS P 衛星と NOAA 衛星のデータを NESDIS、空軍全球気象センター (AFGWC) および海軍数値海洋センター (FNOC) で分散処理することに合意した。この中で NESDIS は大気の鉛直分布算出を担当することとなった。DNSP 衛星には SSM/I と呼ばれるマイクロ波イメージャの他に、気温の鉛直分布を算出する SSM/T1 (7チャンネル)、水蒸気の鉛直分布を算出する SSM/T2 (5チャンネル) と呼ばれるマイクロ波サウンダーが搭載されている。NESDIS は、SSM/T データを処理するために、エアロジェット電子システム社から回帰法による算出ソフトウェアを入手して、重回帰法の採用、週1回の算出係数更新、標高および地表射出率補正、雲水量フィルタの採用、走査角補正等多くの改良を施した。1989年からは TOVS 用に使用していた物理法を SSM/T1 用に改造することとし、1994年8月には現業化されている。DMSP 衛星データ

およびプロダクトは通信衛星で結ばれた分散処理ネットワークで交換され、また GTS を通して全世界に配付されている。

NESDIS や ECMWF における評価の結果によれば、DMSP 衛星による鉛直プロダクトの精度は TOVS プロダクトの精度とほぼ同じ程度で、TOVS プロダクトのバックアップとして使用できる。また曇天域では TOVS プロダクトよりもやや良い精度が得られている。これは、TOVS のマイクロ波サウンダーが 4 チャンネルしか持たないことを考えれば当然の結果と言える。

なお、SSM/I の輝度温度画像および降水強度、海上風、海水密接度、雪氷等のプロダクトについては FNOC の担当になっているが、SSM/I データは鉛直分布の算出用にも使用されている。将来的には SSM/I、SSM/T1、SSM/T2 は SSM/IS と呼ばれる 1 つの測器に統合される。

DMSP に搭載されているマイクロ波サウンダーは次世代 NOAA 衛星に搭載されるマイクロ波探査計 (AMSU) と類似の測器なので、気象衛星センターで次世代 NOAA 衛星処理システムを開発する際に AMSU の模擬データとして使用することができる。当面、宇宙開発事業団が購入する DMSP 衛星のデータを用いてマイクロ波測器データ処理システムの開発を進める予定である。

2. 4 次世代 NOAA 衛星用鉛直分布算出処理システム (ATOVS システム) に関する調査

ATOVS システムは次世代 NOAA 衛星に搭載される ATOVS (HIRS/3、AMSU/A、AMSU/B の総称) データおよび AVHRR/3 のデータを処理するシステムである。ATOVS システムのプロダクトを Table 1 に示す。マイクロ波サウンダーの搭載により、雲天域を含めた全天候型の鉛直分布プロダクト、雲水量、降水強度等の雲関係プロダクト、海水、積雪等の地表パラメータプロダクトの作成が可能になる。また、 $1.6\mu\text{m}$ 帯の AVHRR3a チャンネルの使用により、雲と雪氷を容易に識別できるようになる。また、AMSU/A は成

層圏の気温を測定する多くのチャンネルを持っており、成層圏の気温プロダクトの精度向上、全オゾン量プロダクトの精度向上が期待できる。

ATOVS システムは現在試験期間中であり、詳細設計書と仕様書の最新版の草案を入手して概要を調査した。基本的には現在の TOVS 処理システムから新システムに円滑に移行することに最も注意が払われている。プロダクトを作成するアルゴリズム自体は全球処理を行うため計算機資源の制約もあり、研究用に使用されるものと比べるとかなり簡便な方法を採用している。衛星センターの場合は使用するデータが日本付近に限られているため、日本付近に適したより精巧なアルゴリズムを開発できると考えられる。

なお、晴天域の鉛直分布プロダクトについても、赤外サウンダー HIRS/2 がより性能のよい HIRS/3 に変わるため、観測精度が上がるそうである。また、HIRS/2 ではこれまで 40 ライン中 3 ラインをキャリブレーション用に使用していたが、HIRS/3 では 40 ライン中 2 ラインのみをキャリブレーション用に使用するため、データのギャップが減る。次世代 NOAA 衛星では測器構成の変更により、データフォーマットも大幅に変わる。現在次世代 NOAA 衛星のデータフォーマットは配布されておらず、プロダクト開発を急ぎたい衛星センターとして新フォーマットの入手は今回の調査で欠かせない事項であったが、新フォーマット案がまだオーソライズされていないということもあり、後日提供できる限りの資料を送付してもらうこととした。

2. 5 NOAA 衛星の将来計画

NOAA-K の打ち上げは早くて 1996 年 4 月だが、状況によっては遅れることもあり得る。例えば NOAA12 号が不具合を起こしたとしても NOAA-K の打ち上げを早めるのではなく、NOAA10 号に切り戻して運用することもあるそうである。この点は計画通り打ち上げる DMSP 衛星と事情が違うとのことであった。

測器構成については水蒸気分布観測用の AMSU/B は NOAA-K、L、M のみに搭載され、NOAA-N、N'

Table 1 ATOVS Products of NOAA/NESDIS. Products with AVHRR/3 are not included. (after Wark et al., 1993).

A. 気温および水蒸気	
1. 気温鉛直分布	5. 層別可降水量
2. 水蒸気混合比の鉛直分布	6. 圏界面気温、気圧
3. 層平均気温	7. 気温または水蒸気の特異点
4. 全可降水量	
B. 雲	
1. 雲頂温度	4. 雲組成 (水/氷)
2. 雲頂気圧	5. 雲水量
3. 雲量	6. 降水強度
C. 全オゾン量	
D. 晴天放射あるいは輝度温度	
輝度温度には瞬時視野内の雨の影響 (マイクロ波チャンネル)、雲の影響 (赤外チャンネル) が含まれている	
E. 地表特性	
1. 温度	4. 積雪面積および積雪深
2. マイクロ波射出率	5. 土壌水分パラメタ
3. 海水密接度および型	

には MHS (Microwave Humidity Sounder) が搭載される。MHS は AMSU/B とほぼ同じチャンネル仕様を持つが、周波数割当ての関係で 183 ± 7 GHz のチャンネルが片側の $183 + 7$ GHz のみになる。また、将来的には MTS (Mesospheric Temperature Sounder) と呼ばれる 1 hPa 以上の高度の気温を測定する測器や HIS (High-resolution Interferometer Sounder) と呼ばれる高分解能干渉サウンダーの搭載も検討されている。

ただし、新聞等でもすでに報道されているとおり、2004 年以降は NOAA 衛星と DMSP 衛星を統合した全く新しい衛星に切り替わる予定である。現在 NOAA、DOD、NASA が共同して NPOESS (National Polar Orbiting Environmental Satellite System) という組織を発足させ、新衛星の検討を行っている。今後の動向に注意する必要がある。

2. 6 計算機システム

NESDIS の計算機システムについて簡単に紹介す

る。(Fig.2)。

中央環境気象衛星計算機システム (CEMSCS: Central Environmental Satellite Computer System) は 1993 年 3 月から稼働している衛星プロダクト作成システムであり、GOES および NOAA 衛星データのプロダクト処理を行っている。メインフレームは、45MIPS のベクトルプロセッサ 2 つを持つ IBMES9000-640 (システム 7) と 17MIPS のプロセッサを持つ IBM3090-17T (システム 6) からなり、大容量記憶装置 StorageTek4400 と IBM3495 robotic mass storage と光ファイバーで結合されている。記憶容量は 7 テラバイトであり、約 90 日間の全データを格納できる。気象衛星センターで更新予定のメインフレーム (画像処理用のみ、30MIPS \times 3) と比較するとほぼ同程度の能力と考えられる。本システムの導入に伴い、SBUV データ、SSM/T データ、海面水温データ処理等を NMC のメインフレームから移植したそうである。

CEMSCS は分散処理を遂行するために海軍の船舶

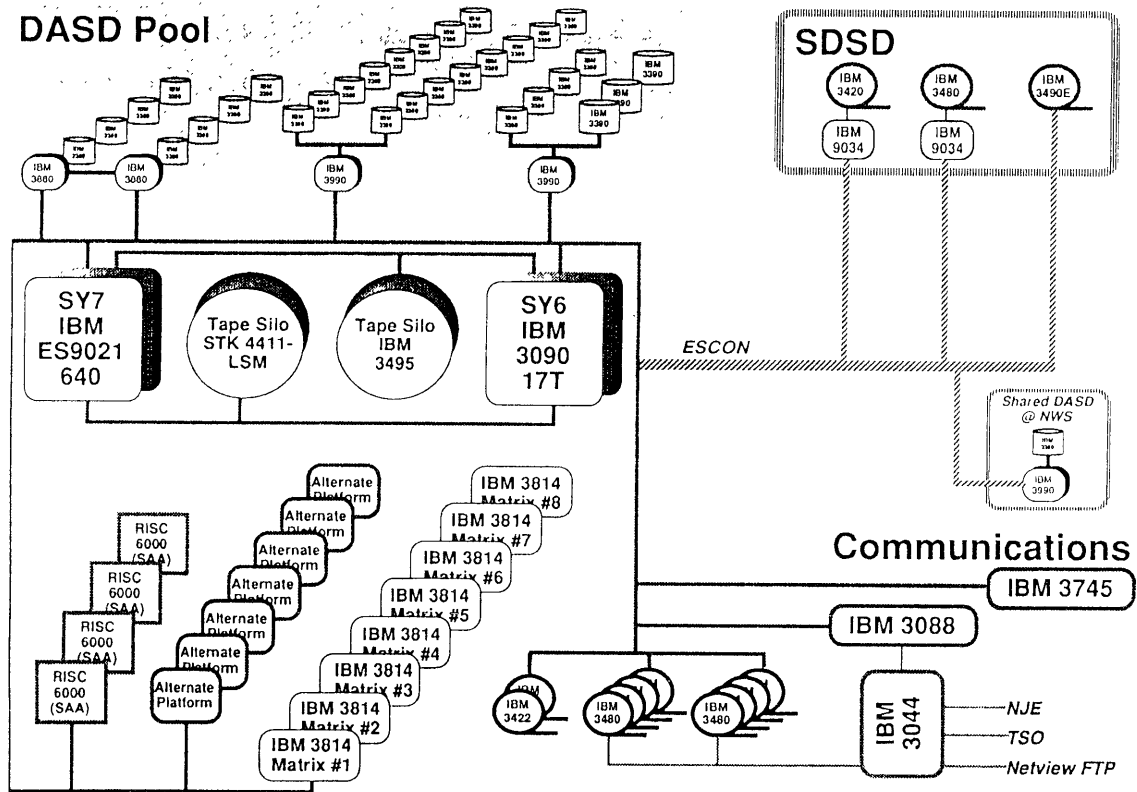


Fig.2 Configuration of CEMSCS (provided by NESDIS).

数値海洋センターと空軍の空軍全球気象センターと1.33Mbpsの回線で結ばれている。また、データ公開の立場からインターネットで外部と接続されている。

プロダクト、オゾンプロダクト等について調査した。調査の詳細は専門的に過ぎるので省略することとし、印象に残った事項を紹介する。

衛星動的保存 (SAA:Satellite Active Archive) システムはインターネット経由で衛星データを即時に検索、簡易表示、注文、取得するシステムであり、データはネットワークあるいは様々な媒体で配布される。現在は AVHRR データのみを利用可能であるが順次 TOVS データ、SSM/I、SSM/T1、T2 データも利用出来るようになる予定である。実演を Bolton 氏に見せて貰ったが、ユーザフレンドリーな環境で容易にデータを検索できることに驚いた。Fig.3に画像検索画面と検索画像表示の例を示す。

2. 7 TOVS による成層圏二酸化硫黄分布検出
トピックスとして興味深かったのは、TOVS データによる火山噴火起因の二酸化硫黄の検出に関する研究である。測器自体は大気の水蒸気の鉛直分布を観測する目的で設計されているものだが、たまたま TOVS で測定している水蒸気の吸収帯の中に二酸化硫黄の強い吸収線が含まれているため、火山噴火によって大量の二酸化硫黄が成層圏に注入されると20Kもの輝度温度の低下として検出が可能である。残念ながら、日本付近のデータしか得られない気象衛星センターではモニタリング面での利用は制約されるが研究的には非常に興味深い話題であった。

10月13日と14日はワシントン郊外のメリーランド州キャンパスプリングスの世界気象ビル (WWB:World Weather Building) の衛星データ研究開発部門を訪ねた。ここでは、AMSU/A のキャリブレーションおよび走査角補正、晴天放射計算アルゴリズム、SSM/I 関連

3. ウィスコンシン大学気象衛星共同研究所

気象衛星共同研究所 (CIMSS) は、ウィスコンシン

大学マジソンキャンパスの宇宙科学工学センター (SSFC:Space Science and Engineering Center) のある 15 階建の建物の一角にある。この研究所はウィスコンシン大学、NOAA 及び NASA の共同研究所であり、所長は Dr. William Smith、スタッフは大学院生も含めて 50 名弱であった。ここでは、Thomas Achtor 氏が筆者の訪問の調整を行ってくれた。

建物の屋上には GOES 衛星データの受信アンテナが 2 台、また地上には通信衛星から NOAA 及び METEOSAT 衛星データを受信するためのアンテナが 1 台設置されて、SSEC の McIDAS (Man-computer Interactive Data Access System) にリアルタイムでデータが取り込まれていた。

滞在中、NOAA 衛星の TOVS データや GOES 衛星の VAS データを用いた気象要素の鉛直分布算出処理に関して、担当者に直接話を聞くことができた。以下にその主な内容を述べる。なお、セミナーで話をする機会を与えられ、気象衛星センターにおける NOAA 衛星データ処理について紹介した。CIMSS では赤外干渉計を用いた将来型のサウンダー開発やフィールド実験に人材と資源の多くを投入していたが、今回の筆者の目的からは外れるのであえて調査は行わなかった。

3. 1 マンマシンインタラクティブデータ処理システム (McIDAS システム) に関する調査

CIMSS では McIDAS と呼ばれるマンマシンインタラクティブデータ解析システムが気象解析用の強力な手段として使用されている。McIDAS には SSEC のほぼ半分の人員が投入され、リアルタイム気象解析以外にも、HIS の航空機観測データの解析やパイオニア、ボイジャー等の惑星の雲解析等に使用されている。リアルタイム気象解析では GOES、METEOSAT、GMS、NOAA 等の気象衛星データ、地上観測、高層観測、海上観測、ブイ等の実測データ、NMC の数値予報モデルによる解析、予報値等の画像処理／表示を行うほか、雲移動風、雲頂高度、鉛直分布、降水強度等の算出も可能である。

McIDAS はメインフレームと専用装置を組合せた

システム上で動作する McIDAS-MVS だけでなく、汎用のワークステーション上で動作する McIDAS-X、パーソナルコンピュータ上で動作する McIDAS-OS/2 等のシステムも世界中で広く使われている。TOVS 処理システムも McIDAS 端末上で動作し、さまざまなオプションを用いて鉛直分布の算出処理ができるようになっている。

3. 2 ITPP プログラムの算出アルゴリズムに関する調査

ITPP は NOAA 衛星搭載サウンダーのデータ利用を気象現業および研究面で促進するために CIMSS を中心とした国際的なグループが作成したプログラムパッケージである。現在第 4 版から第 5 版へのバージョンアップ作業が進められており、1995 年にリリースされる予定である。第 5 版では雲の検出および雲量計算にイメージャーである AVHRR を使用している点、TIGR と呼ばれる初期値設定および基礎関数計算用のデータベースのサブセットの使用、ラインバイラインによる高精度前進モデルの使用、全オゾン量プロダクトの新規追加等の改良がなされている。衛星センターでも高い空間分解能をもつ AVHRR の雲の検出に使用しているため、この点について担当者と議論を行った。CIMSS では全球処理を念頭においてソフトウェア開発を行っているため、比較的粗い空間分解能のデータの処理しかできないが、空間コヒーレント法を導入するなど新しい研究結果を意欲的に取り込んでいる。さらに全球処理の場合、雪氷に覆われる極域や水蒸気の多い赤道域等鉛直分布の算出が困難な様々な条件を考慮したアルゴリズムとなっているため、気象衛星センターの処理システムの今後の改良に役立つ示唆が得られた。なお、ITPP はメインフレームや UNIX 上で動作し、そのライセンス料は研究教育用が \$ 3,000、現業処理用が \$ 10,000 である。また、ATOVS 対応のプログラムパッケージについては ITPP5 のリリース後に開発されることになる。

3. 3 GOES8-VAS を用いた鉛直分布算出システ

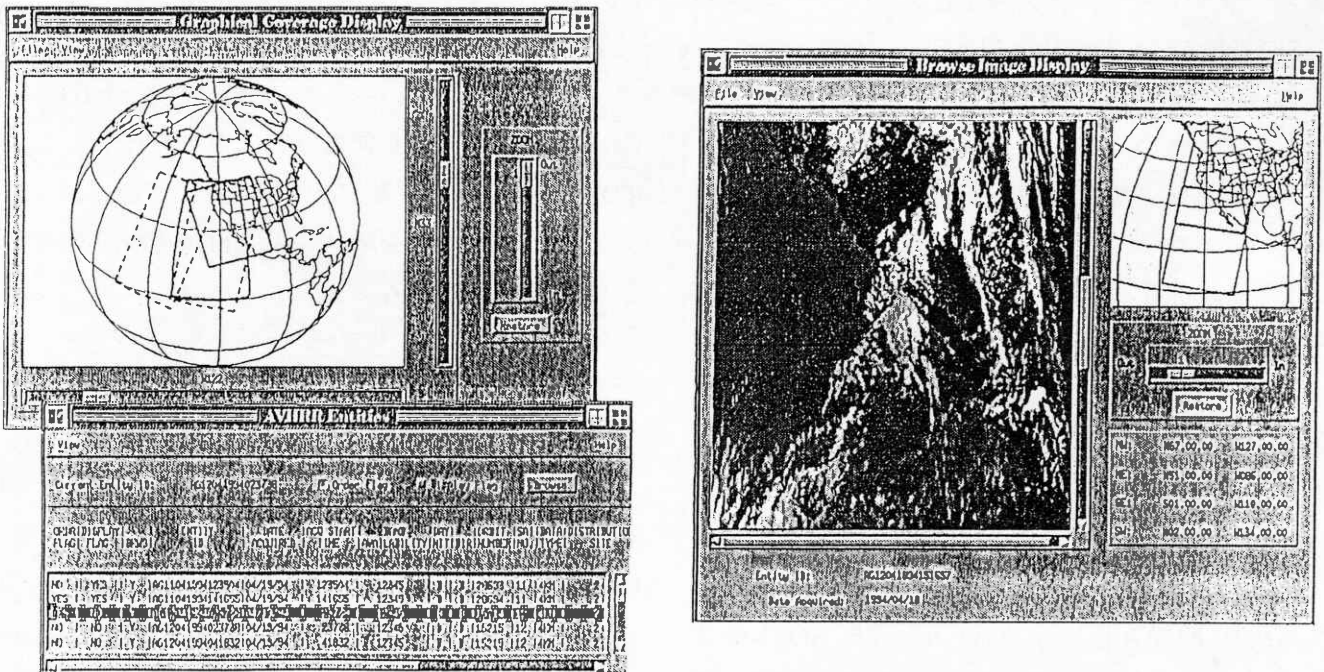


Fig.3 An example for AVHRR image search with the SAA. Left figure shows search results superimposed over original search area. Right figure shows browse image display along with geographic location of image. (Dwyer et al., 1994)

ムの調査

米国の静止気象衛星 GOES8には NOAA 衛星の HIRS と類似した赤外サウンダー (VAS) が搭載されている。広大な陸地をもつ米国では、陸面における鉛直分布算出の必要性が高い。陸地の場合、地面温度の変化が大きい上、海面に比べて太陽光の反射率が大きいため雲の識別が困難である。そのため、現在開発中の GOES8-VAS 用の鉛直分布算出システムでは、地表温度の日変化モデルを組み込む等地表の取り扱いにかなりの注意が払われている。これは NOAA 衛星にも共通する課題であり、今後の開発の参考にした。

3. 4 衛星データの数値モデルへの同化実験システムの調査

CIMSS では衛星データの数値予報モデルへの直接同化という面からも開発研究が進められている。現在 NMC のスタッフと協力して GOES8 の VAS データを水蒸気場の同化に組み込む実験を VIS-5D と呼ばれるシステムを用いて行っている。全球モデルは16層

150km分解能で3日先までの6時間毎の予報を行う。また領域モデルは48層60km分解能で3日先までの2時間毎の予報を行う。予報に使用する初期値データは毎日00UTCのデータをNMCから自動的に取り込むようになっている。ワークステーション上で衛星データを4DVARの手法で同化したのち、予報モデルを走らせる。米国域について得られた結果を3次的に表示し、同化システムの評価を行う。VIS-5Dの表示能力は強力で、雲、地形、高度場、風、気温、水蒸気等を任意の地点のデータ表示、さらには、ある時刻にトレーサーを設定し、そのトレーサーの移動を追跡することも可能である。また、衛星画像との重ね合わせも可能で、雲の有無などが容易に比較できる。担当者の話によると2、3ヶ月後には雲と水蒸気の初期化が現業化されるとのことであった。

VIS-5Dシステムを動かすために必要なハード構成自体はワークステーションレベルのコンパクトなものであり、ソフトウェアは無料で配布されている。VIS-5Dはウィスコンシン大学の教育用に使用されている

そうであり、このようなすばらしい教材を使える学生を実にうらやましく思った。なお、VIS-5D システムは数値計算を済ませた後に画像表示を行うが、数値計算をしながら動画表示を行う VIS-AD と呼ばれるシステムも映画ジュラシックパークに使用されたことで有名なシリコングラフィックスワークステーション上で開発されていた。もっとも VIS-AD 上では数値予報のような複雑な計算はできないそうである。

3. 5 マイクロ波を用いた降水量算出アルゴリズムの調査

マイクロ波センサーは周波数帯によって瞬時視野の大きさが異なるので処理する際に工夫を要する。たまたま CIMSS を訪れていたパドゥー大学のペティ氏は SSM/I の異なる周波数、異なる偏波で得られるデータをうまく組み合わせて台風周辺の降水量を算出していた。AMSU は 1 つの偏波データしか観測できないので同じ方法をそのまま適用することはできないが、参考になる研究であった。

3. 6 マイクロ波領域の放射計算モデルに関する調査

CIMSS では降水や雲を含めたマイクロ波放射場を気候値を用いてシュミレーションしていた。放射計算用の雲の初期値としては数カ月後にルーチン化される NMC の予報モデルで計算される雲水量、雪、霰等の予報値が使えるとのことであった。また、マイクロ波どのような種類の雲が観測できるかは背景の地表のマイクロ波射出率、つまり場所によって異なり、特に陸地では難しいそうである。私が特に関心があった雲水の有無の識別、散乱の効果の組み込みについても貴重な示唆が得られた。

- その他、マイクロ波を用いた台風中心および強度推定アルゴリズム、AVHRR データを用いたダスト検出アルゴリズム等について調査を行った。

4. 気象衛星センター業務に関連するコメント

今後気象衛星センターで行うべきこととして、以下のものが考えられる。

- HIRS キャリブレーションデータの変更、AMSU、AVHRR3a チャンネルの付加に伴う HRPT データフォーマットの変更に対応する。
- 衛星センターではマイクロ波データの処理の経験はほとんどない。今回、ATOVS システムについて多くの情報を入手できたので、これを基に新システムを開発し、雲天域も含めた全天候での鉛直分布算出、雲水量、降水強度、海水分布、積雪分布等のプロダクトを作成する。開発に際しては直接受信の特長である即時性と 1 km 分解能 AVHRR データの利用を活かしたものにすることが必要がある。また、全球処理を行う NESDIS に比べデータの絶対量が少ないので、1 つの地点により多くの計算機資源を割り付けてより高度なアルゴリズムを使用することができる。
- 衛星搭載受動型マイクロ波測器については、DMSP 搭載のもののみが現在ルーチン的に使用可能な測器であり、これをもとに次世代 NOAA 衛星用のプロダクト開発が行われている。日本においてもこれらのデータは研究用に利用可能であり、今後の開発に役立つ必要がある。
- AMSU、特に AMSU/B は MSU に比べ分解能が格段によいので、台風監視、海水監視等にイメージ的な使い方ができる。マイクロ波画像を毎時観測の GMS-5 画像の雲解析、台風解析になんらかの形で組み込むことにより、飛躍的な精度向上が期待される。解析課を中心とした有効性、利用形態等の事前調査が必要であろう。なお、NASDA が 1999 年に打ち上げる予定の ADEOS II には AMSU/B よりさらに分解能が高いマイクロ波測器 AMSR が搭載される予定である。
- 台風等の熱帯域はほとんど衛星センターの受信範囲外である。これをカバーするためには時間の遅れはあるものの、北太平洋熱帯域の AMSU デー

タをGTSあるいはインターネット経由で入手する必要がある。

5. 入手資料一覧

今回の訪問で入手した資料の一覧を付録に示す。

6. 訪問の感想

- ・CIMSSでは外部との交流が盛んで、2週間の滞在中にも、講演会やセミナーなどが何度か行われた。マイクロ波センサーに関する降水量算出アルゴリズムに関するセミナーは特に今回の研究目的に合致したものであり、大変参考になった。
- ・インフラ面では、研究者だけでなく、全ての職員の机上にLANで接続されたワークステーションあるいはパーソナルコンピュータがあり、業務上の連絡、開発業務に使用されていたのが印象に残った。また、衛星データはほとんど書換え可能なCDROMで交換されていた。
- ・日程については事前に研究調査事項を先方に提示し、十分調整したこともあってかなりタイトなスケジュールではあったが当初の目的をほぼ達成できた。しかし、それでもなお米国側の役割分担がかなり細分化されているために全ての担当者と細目にわたるまで議論することはできなかった。帰国後の連絡等によりフォローアップすることが必要である。

今回の出張に際してNESDISのEnomoto氏をはじめとする関係官および科学技術庁、気象庁、気象衛星センターの関係官の方々には大変お世話になりました。また、NESDISのDrahus、CIMSSのAchterの各氏をはじめとして多くの研究者の方々にGOES8試験運用期間中の多忙な時間を割いて貴重な情報を提供していただきましたことに感謝します。

付録 入手文献一覧

TOVS データ処理関連

Achter, T., 1984: Vertical Temperature and Moisture Profiles from Satellite Radiance Measurements, Educational Modules for the Atmospheric Sciences, SSEC, 86pp.

Barnes, J. and M.Smallwood, 1982: TIROS-N Series Direct Readout Services Users Guide, NOAA/NESS.

Casey, L. et al., 1994: NOAA Satellite Derived Products from TOVS Radiances for Use as A Database for Climate and Global Change Studies the Eight Conference on Atmospheric Radiation, 16-18.

Crone, L. et al., 1989: A General Method of Using Prior Information in a Simultaneous Equation System, NOAA-TR-NESDIS 47, 20pp.

Goldberg, M., 1990: TIROS-N Operational Vertical Sounder (TOVS) Physical Retrieval Science Description, ST Systems Corporation.

Neuendorffer, A. C., 1994: Ozone Monitoring with TIROS - N Operational Vertical Sounders (TOVS).

Reale, A., 1994: TOVS Operational Sounding Upgrades: 1990-1992, NOAA-TR-NESIS 76, 67 pp.

Wark, D., 1988: Adjustment of Microwave Spectral Radiances of the Earth to a Fixed Angle of Propagation, NOAA-TR-NESDIS 43, 40pp.

Wark, D., 1993: Adjustment of TIROS Operational Vertical Sounder Data to A Vertical View, NOAA-TR-NESDIS 64, 36pp.

Zhou, S. et al.: An Improved Cloud Retrieval Algorithm Using HIRS2/MSU Radiance Measurements.

DMSP データ処理システム関連

Fleming, H. et al., 1991: The Forward Problem and Corrections for the SSM/T Satellite Microwave Temperature Sounder, IEEE Transactions

- on Geoscience and Remote Sensing, 29, 571-583.
- Maiden, M. et al., 1989: Shared Processing NOAA/NESDIS DMSP SSM/T Sounding Retrieval System, S M Systems and Research Cooperation.
- Donahue, D. et al., 1994: DMSP Physical Retrieval Design Review, S M Systems and Research Cooperation.
- NOAA-KLM 関連
- Cox, K., 1988: Overview and Capabilities of the NOAA-K, L & M Sounding Products Generation System, S M Systems and Research Cooperation.
- Cox, K. and K. Jarva, 1988: NOAA-K, L & M Soundings System '90 Critical Design Presentation, S M Systems and Research Cooperation.
- Cox, K., 1993: RTOVS System & Science Review/ Critical Design Review of ATOVS Enhancements, S M Systems and Research Corporation, The KLM Group, 1994: AMSU Surface Products Critical Design Review, S M Systems and Research Corporation.
- Wark, D. et al., 1993: Report to the Sounding Product Oversight Panel: Specifications for the Processing of Data from the NOAA-K Sounder.
- Wark, D.: Microwave Measurements and the Influences of Clouds.
- McIDAS/TOVS、ITPP 関連
- CIMSS, 1994: Quick Reference for Running ITPP5.
- Jun, L. et al., 1994: Simultaneous Non-linear Retrieval of Atmospheric Temperature and Absorbing Constituent Profiles From Satellite Infrared Sounder Radiances, Adv. in Atmos. Sci., 11, 128-138.
- Nieman, S., 1994: Spatial Coherence as A Pre-Processing Step of ITPP5.
- Nieman, S., 1994: Collocation Output File Description.
- SSEC, 1989: McIDAS TOVS Processing User's Manual.
- GOES-VAS 関連
- Hayden, C. and A. Schreiner, 1994: Surface Heating Adjustments Used in Deriving Products from the GOES-8.
- Hayden, C. and H. Fleming, 1994: Radiance Bias Tuning Applied to GOES Temperature Moisture Sounding.
- Heyden, C., 1994: GOES-I Cloud-clearing.
- パスファインダー関連
- Ohring, G. and J. C. Dodge, 1992: The NOAA/NASA Pathfinder Program, IRS '92, 405-408. The Goddard Distributed Active Archive Center, 1994: NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land Data Set User's Manual. NASA/GDAAC.
- データ配布関連
- Dwyer, A. and R. Bolton, 1994, NOAA's Satellite Active Archive goes online, Earth System Monitor, 4, 11-16.
- マイクロ波放射計データ利用関連
(一般)
- Chang, A. and A. Milman, 1982: Retrieval of Ocean Surface and Atmospheric Parameters from Multichannel Microwave Radiometric Measurements, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-20, 217-224.
- Eyre, J., 1990: The Information Content of Data from Satellite Sounding Systems: A Simulation Study, Q. J. R. Meteorol. Soc., 116, 401-434.
- Ferraro, R. et al., 1994: Microwave Measurements Produce Global Climatic, Hydrologic Data, Eos, Transactions, American Geophysical

- Union, 75, 337-338.
- Kummerow, C. and J. Weinman, 1988: Radiative Properties of Deformed Hydrometeors for Commonly Used Passive Microwave Frequencies, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26, 629-638.
- Wilheit, T. and A. Chang, 1980: An Algorithm for Retrieval of Ocean Surface and Atmospheric Parameters from the Observations of the Scanning Multichannel Microwave Radiometer, *Radio Science*, 15, 525-544.
- Westwater, E., 1988: Observations of Atmospheric Emission and Attenuation at 20.6, 31.65, and 90 GHz by A Ground-Based Radiometer, NOAA-TM-ERL WPL-156, 16pp.
(水蒸気量、雲水量等)
- Alishouse, J. et al., 1990: Determination of Oceanic Total Precipitable Water From the SSM/I, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, 811-816.
- Chang, A. and T. Wilheit, 1979: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor, Liquid Water, and Wind Speed at the Ocean Surface by Passive Microwave Techniques from the Nimbus 5 Satellite, *Radio Sciences*, 14, 793-802.
- Diak, G. R., 1994: Column Cloud Liquid Water Amounts for Non-Precipitating Clouds Versus An "Effective Cloud Fraction" Derived from Microwave Data: A Simulation Study, 26pp.
- Muller, B. et al., 1993: Simulations of the Effects of Water Vapor, Cloud Liquid Water and Ice on AMSU Moisture Channel Brightness Temperatures, Submitted to *J. of Appl. Met.*
- Olson, W. : Physical Retrieval of Precipitation Water Contents Using Multisensor Microwave Data and Model Constraints.
- Ruf, C. and C. Swift, 1988: Atmospheric Profiling Water Vapor Density with a 20.5-23.5 GHz Autocorrelation Radiometer, *J. of Atmos. and Oceanic Tech.*, 5, 539-546.
- Weng, F. and N. Grody, 1994: Retrieval of Liquid and Ice Water Content in Atmosphere Using Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) Data, Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26, 850-859.
(降水量)
- Ferraro, R., 1994: Effects of Surface Conditions on Rain Identification Using the DMSP-SSM/I, *Remote Sensing Reviews*, 11, 1-15.
- Huffman, G. et al., 1993: Examples of Global Rain Estimates from Combined Low-Orbit Microwave and Geosynchronous IR Data, Preprint of the Fourth Symposium on Global Change Studies, 318-323.
- Olson, W. and M. Steiner: Simulation of SSM/I Observations of Tropical Precipitation Based Upon Darwin Radar Data.
- Petty, G., 1994: Physical Retrievals of Over-Ocean Rain Rate from Multichannel Microwave Imagery. PartII: Algorithm Implementation, *Meteorol. Atmos. Phys.*
- Petty, G., 1994: Physical Retrievals of Over-Ocean Rain Rate from Multichannel Microwave Imagery. PartI: Theoretical Characteristics of Normalized Polarization and Scattering Indices, *Meteorol. Atmos. Phys.*
- Petty, G. and K. Katsaros: Morning-Evening Differences in Global and Regional Oceanic Precipitation as Observed by the SSM/I.
- Vicente, G., 1994: Hourly Retrieval of Precipitation Rate from the Combination of Passive Microwave and Infrared Satellite Radiometric Measurements, Ph. D Thesis, Univ. of Wisconsin-Madison.

- Weinman, J. et al., 1988: An Algorithm to Derive Precipitation Profiles from A Downward Viewing Radar and a Multifrequency Passive Radiometer, Proceedings of IGARSS '88 Symposium, 229-234.
- Weinman, J. et al. : Microwave Rain Measurement Techniques from Space.
- Wilheit, T. et al., 1991: Retrieval of Monthly Rainfall Indices From Microwave Radiometric Measurements Using Probability Distribution Functions, J. of Atmos. and Oceanic Tech., 8, 118-136.
(地表状態、海上風速)
- Grody, N., 1988: Surface Identification Using Satellite Microwave Radiometers.
- Grody, N., 1991: Classification of Snow Cover and Precipitation Using the Special Sensor Microwave Imager, J. G. R., 96D4, 7423-7435.
- Grody, N. et al. : Identification of Snowcover and Precipitation Using the Special Sensor Microwave Imager (SSM/I).
- Wilheit, T., 1979: A Model for the Microwave Emissivity of the Ocean's Surface as a Function of Wind Speed, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-17, 244-249.
(台風)
- Merrill, R., 1994: Final Report Typhoon Monitoring Using Passive Microwave Observations, A Rep. from the CIMSS, 61pp.
- Merrill, R., 1994: Simulations of Physical Retrieval of Tropical Cyclone Thermal Structure Using 55 GHz Band Passive Microwave Observations from Polar-Orbiting Satellites, Submitted to J. of Appl. Met.
- Velden, C. et al., 1991: Western North Pacific Tropical Cyclone Intensity Estimation from NOAA Polar - Orbiting Satellite Microwave Data, Mon. Weather Rev., 119, 159-168.
- その他
- Ackerman, S. and H. Chung, 1992: Radiative Effects of Airborne Dust on Regional Energy Budgets at the Top of the Atmosphere, J. of Appl. Met., 31, 223-233.
- Ackerman, S. and K. Strabala, 1994: Satellite Remote Sensing of H₂ SO₄ Aerosol Using the 8-to 12- μ m Window Region: Application to Mount Pinatubo.
- CIMSS, 1992: Report to the Board of Directors Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies.
- Strabala, K. et al., 1994: Cloud Properties Inferred from 8-12 μ m Data, J. of Appl. Met., 33, 212-229.