

アメリカ合衆国ウィスコンシン大学及び海洋大気庁を訪問して

Visiting the University of Wisconsin and the National Oceanic and Atmospheric Administration

三田 昭吉*
Akiyoshi Mita

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、衛星データを用いた気象要素の鉛直分布算出及びその利用の調査を目的に、平成2年1月21日から2月4日までアメリカ合衆国に出張する機会を得た。訪問先は、1月27日まで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)、1月28日から30日がカンザスシチーの国家シビアストーム予報センター(NSSFC: National Severe Storms Forecast Center)、1月31日以降がワシントンD.C.の国家環境衛星資料情報局(NESDIS: National Environmental Satellite, Data, and Information Service)である。

調査は主として以下の項目である。

- ① CIMSS及びNESDISでは、極軌道気象衛星NOAAや静止気象衛星GOESのデータを用いた気象要素の鉛直分布算出とその利用に関して、専門家と意見交換を行う。
- ② NSSFCの現業機関では、気象業務に衛星データがどのように利用されているかを調査する。

今回、アメリカの気象衛星関連の中心的機関の幾つかを訪問し、気象衛星データ処理の開発利用に携わっている専門家と意見交換を行うことができた。特に、気象要素の鉛直分布算出の詳細やその将来計画等新たに得られた情報も多く、日本における今後の気象衛星データ処理とその有効利用を考えてゆくうえで、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長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. 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(SSEC: Space Science and Engineering Center)のある15階建の建物の一画にある。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20名程であった。ここでは、Thomas Achtor氏が筆者の訪問の調整役を行ってくれた。

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台設置されていて、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。McIDASはウィスコンシン大学で開発されたシステムで、ここでの気象衛星データ利用の開発研究の主たる道具となっており、CIMSSでは4台のワークステーションが設置されていて、職員が研究開発作業に従事していた。なお、McIDASについては、以前このSSECに滞在した浜田による詳細な報告(1981a, b)があるので、参照されたい。

滞在中、NOAA衛星のTOVS (TIROS Operational Vertical Sounder)データやGOES衛星のVAS (VISSR Atmospheric Sounder)データを用いた気象要素の鉛直分布算出処理、及び水蒸気画像を用いた風ベクトルの算出等に関して、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GMS及びNOAA衛星データ処理について紹介した。

* 気象衛星センターシステム管理課



図1 SSECの概観。建物の屋上に見えるのはGOES受信用のアンテナ。この建物の2階にCIMSSがある。

1) TOVS データ処理

CIMSS で開発された TOVS データ処理のソフトウェアは海外にも配布され、国際的に標準的なものの一つとなっている。鉛直分布算出方式はいわゆる物理的方法に基づき、初期値としては通常、数値予報の予想値を用い、地上観測のデータも使用する点に特色がある。今年の4月に現行のバージョン3からバージョン4にグレードアップするとのことである。スタッフの Thomas Achtor 氏と Anthony Schreiner 氏が最新の NOAA 衛星データを用いて、McIDAS の端末上で TOVS 処理の実演してくれた。肝心の精度に関しては十分な説明が聞けなかったが、まだ問題を残しているとの印象を受けた。なお日本の気象衛星センターで行っている AVHRR データを併用する処理方式について彼らは関心を持っており、質問を受けた。

また、この処理ソフトウェアを、大型計算機上からパソコン上に移植したいいわゆる PC/TOVS についても、開発担当者から説明を聞いた。これは安価な設備を用いて、NOAA 衛星データから気温・湿度の鉛直分布を算出出来ることを目指したもので、実現すれば特に開発途上国の気象業務に大いに役立つであろうと期

待される。現在、電話回線またはフロッピーディスクで NOAA 衛星のデータを入手すれば処理が可能な段階までこぎつけたとのことである。

2) VAS データ処理

静止気象衛星 GOES の VAS データを用いた鉛直分布算出に関しては、この分野で積極的に研究開発を行っている Christopher Hayden 氏が説明をしてくれた。現在、GOES のサウンダーは30分毎に北米大陸をほぼ1/3ずつスキャンし、1時間半毎にアメリカ全土のデータを取得する運用を行っている。スピン衛星であるため、同一の場所を複数回スキャンする方式を用いて S/N 比を上げているが、それでもまだデータの品質が十分ではないとのことであった。また、数値予報への利用の点では、温度よりも水蒸気分布の方が相対的に見て有効であると述べていた。

また、イメージャーデータとサウンダーデータを併用して算出した画像形式のプロダクトである可降水量と持ち上げ指数 (Lifted Index: 大気的不安定度の目安) についても、McIDAS の端末上で実例を示してくれた。この両者はメソスケールの気象現象の実況監視及び予報への利用が期待されているものである。

3) HIS サウンダー

現行のNOAA衛星やGOESに搭載されているサウンダーはフィルター分光方式によるため観測される放射のスペクトル分解能が十分でなく、その結果算出される温度・水蒸気等の鉛直分解能が悪く、精度上の主要な限界となっている。この点を改善するため、William Smith氏らは数年前からマイケルソンの干渉による分光方式に基づく新しいタイプのサウンダーHIS (High resolution Interferometer Sounder)を開発し、航空機に搭載して実験を行っている。これに関しては、Smith氏自身が直接説明してくれた。実験結果によれば温度の精度がRMS誤差にして現行の2～3°Cから1°C程度にまで改善される。また、この航空機搭載サウンダーの実物を見せてくれた。Smith氏らはこの新しいタイプのサウンダーをGOES-Lから搭載するよう、NOAAに提案しているとのことであった。

サウンダーに関しては、日本でもその搭載可能性が運輸多目的衛星において検討されてきたが、このような動向に十分注意を払う必要がある。

4) 水蒸気風

GOESの水蒸気チャンネル画像を用いた衛星風の算出について、Robert Merrill氏がMcIDAS端末上で説明及び実演を行ってくれた。雲移動による風ベクトル算出と同様3枚の連続した画像を使用するが、時間間隔は1時間が良いこと、また全自動処理では品質が悪く、人間が追跡点を指定したり品質管理を行う等の必要があるとのことであった。また、よく水蒸気風は大気中層の風を表現していると言われていたが、レーウィンゾンデとの比較では、最適高度は300～400mbで、むしろ上層に近いこともあらたな知見であった。

5) その他

SSECでは日本のGMSデータにも関心を持っており、オーストラリアで受信したGMSのS-VISSRデータを通信衛星を介して取り込む試験をしているとのことであった。GMSの将来計画についても質問を受けた。

3. 国家シビアストーム予報センター

国家シビアストーム予報センター(NSSFC)は国家気象局(NWS:National Weather Service)に所属しており、ミズーリ州カンザスシチーの連邦政府ビルの17階の一画にある。所長はFrederick Ostby氏、職員は約70名で、そのうちの40名程が24時間体制の現業

勤務を行っている。なお、筆者が訪れた時は所長のOstby氏は不在で、副所長のEdward Ferguson氏が応対してくれた。

NSSFCはシビアストーム、航空気象及び技術開発の3つの単位から構成されており、シビアストームと航空気象の予報については米国国土に責任を持っている。ここで予報の対象となるシビアストームとは、龍巻(tornado)、雹(hail)それに激しい雷雨(thunderstorm)を指すとのことであった。ここでは、主に衛星データが気象業務にどのように利用されているかを調査した。その結果は以下のとおりである。

1) 衛星データ処理システム

シビアストームの予報には、衛星データがレーダーや地上及び高層観測データと並んで重要な役割を果たしている。建物の屋上にGOES衛星用の受信アンテナがあり、リアルタイムで画像を取り込んでいる。これらのデータはCSIS (Centralized Storm Information System)やVDUC (VAS Data Utilization Center)と呼ばれる対話型のデータ解析・表示システムに取り込まれて予報業務に利用されている。なお、ここでのCSISやVDUCはウィスコンシン大学のSSECで開発されたMcIDASシステムを移植したものである。VDUCは昨年導入されたばかりの新しいシステムで、8年前に導入されたCSISと近い将来置き換わるとのことであった。

2) 衛星データの利用

衛星データとしては、日本でもGMSでおなじみの可視および赤外画像と並んで、水蒸気チャンネルの画像がよく利用されていた。水蒸気画像は大気の中・上層の水蒸気分布やトラフの位置、ジェットの流れ等の情報を含んでおり、シビアストームや航空気象の予報にとって非常に有効であるとのことであった。

また、GOES衛星のデータから算出された可降水量と持ち上げ指数(Lifted Index)が画像形式のプロダクトとしてワシントンのNESDISから毎時送られてきており、これも特に夏季においてシビアストーム予報に使われているとのことであった。

3) その他

衛星データではないが、アメリカにはLightning Networkと称する、雷雲からの放電を観測するシステムがあり、NSSFCでは米国国土からのデータをリアルタイムで取り込んで予報に利用している。日本にはないシステムで、興味深かった。

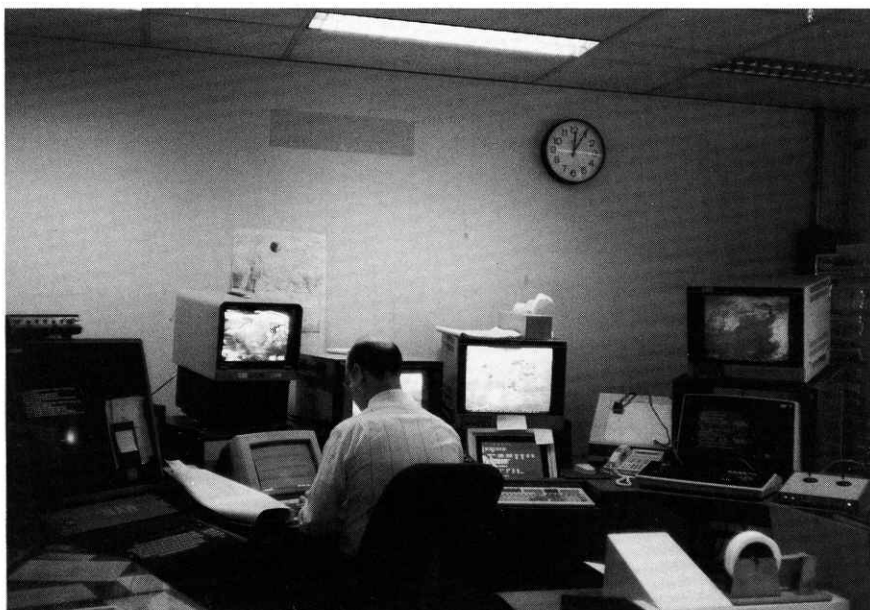


図2 NSSFCCの現業室。予報官が衛星画像等を用いて作業を行っているところ。

4. 国家環境衛星資料情報局

国家環境衛星資料情報局(NESDIS)は、ワシントン郊外のメリーランド州スツランドの連邦政府ビル第4(FB-4: Federal Building-4)に本部、衛星運用管理施設、衛星データ処理施設等があり、同じく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)に衛星データ解析の現業部門や研究開発部門がある。今回の訪問では、国際関連担当の Jesse Rodriguez 氏が施設見学や専門家との打ち合わせの調整役を行ってくれた。日程が2日間と限られた中で十分な調査はできなかったが、特に NESDIS でのルーチンの TOVS データ処理の現状と将来計画について、担当者に直接会って有益な情報を得ることができた。その主な内容を以下に述べる。

1) TOVS データ処理

1988年9月から NESDIS では従来の統計的方法に変わって、いわゆる物理的方法を採用している。1993年12月打ち上げ予定の NOAA-K 以降はマイクロ波のサウンダー AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) が中心となるが、それに対処するため、System '92と呼ばれるデータ処理システムを設計

中である。現行のシステムから System '92への移行をスムーズに行う橋渡しのシステムとして、System '90が来年から動き出す。

2) DMSP 衛星データの利用

AMSU データ処理のソフトウェア開発のため、現在国防省の気象衛星 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) に搭載されているマイクロ波のセンサー SSM/T のデータを用いて開発を行っている。

3) 次期 GOES 衛星データ処理

1991年打ち上げ予定の次期 GOES 衛星のサウンダーデータを処理するためのシステムも開発中である。プロダクトの種類は現行の VAS によるものとほとんど変わらないが、チャンネル数の増加や三軸安定衛星であることによる S/N 比の向上により、品質の向上が期待できる。

なお、GOES-I のイメージャーについては、画像の位置ずれ精度の問題で打ち上げが当初予定の1990年より遅れているとの情報を事前に得ていたが、NESDIS の担当者もやはりこの点を心配していた。

4) その他

NESDIS の現業での衛星データ処理を見学した。デ

イスプレイ画面上での雲移動からの風ベクトル算出等、気象衛星センターと同様の処理を行っていた。また、夏季にはハリケーン予報の支援のため、水蒸気画像を用いて中・上層の風を算出し、マイアミにある国家ハリケーンセンター (NHC: National Hurricane Center) に送っているとのことであった。また、NESDISと場所が隣合わせの国家気象センター (NMC: National Meteorological Center) の予報現業も見学することができた。

なお、NESDISには一昨年気象衛星センターから大島が訪れており、現業でのルーチンプロダクトに関して詳しい報告 (1989) がある。

5. 入手文献一覧

各機関を訪問して入手した主な文献の一覧を付録に示す。

6. 感想など

サウンダーデータ処理のうち、TOVS データ処理に関してはウィスコンシン大学で研究開発、NESDISでルーチン処理にそれぞれ直接携わっている専門家に会ってその実情に触れることができ、処理方式は異なるが同様の処理に携わっている者として非常に有益であった。NOAA-K以降のマイクロ波サウンダーデータ処理に関しては、今後日本でも新たな処理システムを検討してゆかなければならないが、アメリカの担当者との情報交換しながら開発を進めてゆく必要があろう。

次に、静止衛星のサウンダーデータ処理に関しては、現在のGOES衛星のVASは、スピン衛星であることから来る制約もあり、まだ実験段階で気象業務に十分には生かされていないとの印象を受けた。本格的なサウンダーは1991年打ち上げ予定のGOES-Iからであり、日本としてもGMSの将来計画を考えるうえでその成り行きに十分注意を払う必要がある。

また全体を通じて、McIDASの有効性が強く印象に残った。衛星データをはじめ、レーダーや地上・高層観測データ、数値予報の解析値・予想値等がほぼリアルタイムで画面に表示され、対話型処理によりデータのさまざまな加工・解析が可能である。McIDASの開発元であるウィスコンシン大学で研究開発の強力な道具になっているだけでなく、NSSFCでのCSISやVDUC、NESDISでのVDUCとしてルーチンの気象業務においても重要な役割を演じている。気象庁にも対話型処理システムの導入が図られているが、さらに

充実を図る必要を痛感した。

参考文献

- 浜田忠昭、1981a: ウィスコンシン大学に滞在して・研修報告 (その1) -、気象衛星センター技術報告、第3号、101-125。
 浜田忠昭、1981b: ウィスコンシン大学に滞在して・研修報告 (その2) -、気象衛星センター技術報告、第4号、171-198。
 大島 隆、1989: アメリカ合衆国海洋大気庁を訪問して。気象衛星センター技術報告、第18号、35-44。

付録 入手文献一覧

- American Meteorological Society, 1989: Program: GOES I-M Operational Satellite Conference.
 Anderson, R.K., J.J.Gurka and S.J.Steinmetz, 1982: Application of VAS multispectral imagery to aviation forecasting. Preprint Volume of 9th Conference on Weather Forecasting & Analysis, 227-234.
 Anthony, R.W. et al, 1982: The Centralized Storm Information System at the NOAA Kansas City complex. Preprint Volume of 9th Conference on Weather Forecasting & Analysis, 40-43.
 Beckman, S.K., 1987: Operational use of water vapor imagery. NOAA Technical Memorandum NWS CR-87.
 Chedin, A and P. Menzel, 1989: A report on the Fifth International TOVS Study Conference.
 Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, 1988: Introduction to the PC/TOVS and case study tutorial. A report from the Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin-Madison.
 Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies et al, 1988: High-resolution interferometer modification of the GOES L/M sounder: feasibility study. A report from the Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin-Madison.
 Dey, C. et al: A comparison of model performance using statistical and physical NESDIS TOVS

- retrievals. (unpublished)
- Ellrod, G., 1986: Uses of satellite imagery in turbulence detection. AIAA 24th Aerospace Sciences Meeting.
- Ellrod, G., E. Maturi and LT J. Steger, 1989: Detection of fog at night using dual channel GOES-VAS imagery. 12th Conference on Weather Analysis and Forecasting, 515-520.
- Hayden, C.M., 1988: GOES-VAS simultaneous temperature-moisture retrieval algorithm. *J. Appl. Meteorology*, 27 705-733.
- Hayden, C.M. and A.J. Schreiner, 1989: Moisture retrievals from the GOES VAS. Preprint Volume of the Fourth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 112-117.
- Hayden, C.M. and T.R. Stewart, 1989: An update on cloud and water vapor tracers for providing wind estimates. 6th Symposium on Meteor. Observation and Instrumentation, 70-75.
- Lewis Jan: Real time lightning data and its application in forecasting convective activity. (unpublished)
- Merrill, R.T., 1989: Advances in the automated production of wind estimates from geostationary satellite imagery. Preprint Volume of the Fourth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 246-249.
- Office of Research and Applications Staff, 1989: NESDIS office of Research and Applications Research Programs.
- Reale, A.L. et al, 1986: Higher resolution operational satellite retrievals. Preprint Volume, Second Conference on Satellite Meteorology/Remote Sensing and Applications, 16-19.
- Reale, A.L., M.D. Goldberg and J.M. Daniels: Operational TOVS sounding using a physical retrieval approach. (unpublished)
- Smith, W.L., H.M. Woolf and H.E. Revercomb: A linear simultaneous solution for temperature and absorbing constituent profiles from radiance spectra. (unpublished).
- Smith, W.L., H.M. Woolf, C.M. Hayden, and A. J. Schreiner: The simultaneous retrieval export package. (unpublished).
- Suomi, E.W., 1982: The videocassette GOES archive system-21 billion bits on a videocassette. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-20, 119-121.