

第1回 TOVS 国際研究会議報告*

(1983年8月29日～9月2日, インスブルック)

青木 忠生**

1. 第1回会議開催に至る経緯

衛星からの鉛直温度測定を目的として最初の実験用衛星 NIMBUS-3 が打ち上げられたのが1969年, 現業用衛星 ITOS は1972年に上がっている。これらの衛星に籠められた期待のうち最も大きなものは, 数値予報の初期値作成のためのデータ提供者として, 少なくとも主役に近い座を占めることではなかっただろうか。もちろんこのほかにも気候学をはじめとする様々な気象研究への利用が考えられるし, 事実, ここ10年くらいの間に衛星データは各方面に利用されてきた。しかし, 気象衛星打ち上げに要する膨大な費用と労力を考えると, そのデータ利用技術の開発については今だ不十分という感否めない。

このような状況に鑑みて JSC (合同科学委員会) は1980年3月, 次のような勧告を出している。

“本委員会は現在の衛星による鉛直分布算出(以下 vertical sounding という)の問題に払われている努力は全く不十分であり, 衛星打ち上げ等に払われるコストと労力に比較するといかにも釣り合っていないと考える。従って本委員会は WMO (世界気象機関) に対して, 技術をさらに改良するために, 衛星運用国だけでなく他のもっと多くの気象研究者もこのテーマに参画させるよう, 至急且つ精力的に努力するよう勧告するものである。”

これを受けて1980年8月, IAMAP (国際気象大気物理連合) は vertical sounding の問題に関する特別作業委員会を設けて, 第2回目の JSC の会議にそのステータスレポートを提出した。このレポートをもとに JSC が出した勧告は次のようなものである。

1) 数値実験の作業委員会は衛星による vertical

sounding が観測システムに与える効果の調査を開始すること。

2) 衛星による vertical sounding データをより効果的に現業へ利用する道を探ること。とくに, 衛星データが含む水平方向の情報に対してもっと注意を払うべきである。

3) とくに陸上での vertical sounding に含まれる問題点について研究する必要がある。

4) この意味で14日間にわたって行われた ALPEX (アルプス実験) は高密度のラジオゾンデ観測があったので衛星データの有用性を調査する絶好の機会である。

その後, 1981年6月, ヨーロッパの科学者はヨーロッパ TOVS Inversion グループを結成し, これを母体として, 1981年8月, ハンブルグで開かれた IAMAP の IRC (国際放射委員会) でヨーロッパ以外の科学者も含めた国際的な作業委員会が設立されることになった。

2. 会議の目的

前記のような第1回会議開催の経緯であるから, 今回の会議の目的も, “vertical sounding の現状のレビューを行い, 問題点を明らかにし, 将来の方向付けをすること” ということになった。具体的には, ヨーロッパの ALPEX 領域と, ニュージーランドとオーストラリアを含むタスマニア海域の2領域を設定し, そこでの2日分ぐらいの TOVS データを納めた共通データパッケージ(磁気テープ)を各参加者に配布し, 各自の解析方法に従って鉛直分布を算出したものを比較するという形を取ることになった。主要なるテーマとして次の5項目が設定された。

- A. 基本データの作成(測定データのキャプリレーション, スキャン角の補正, 観測地点の位置決め)
- B. 透過関数計算の高精度, 高速化
- C. 鉛直分布算出法の改良

* Report on the first international TOVS study Conference.

** Tadao Aoki, 気象衛星センター.

- D. 雲, 地表等, 水平方向に対する不均質性の効果の除去
- E. ソンデデータ, 数値予報値等補助的データの利用法

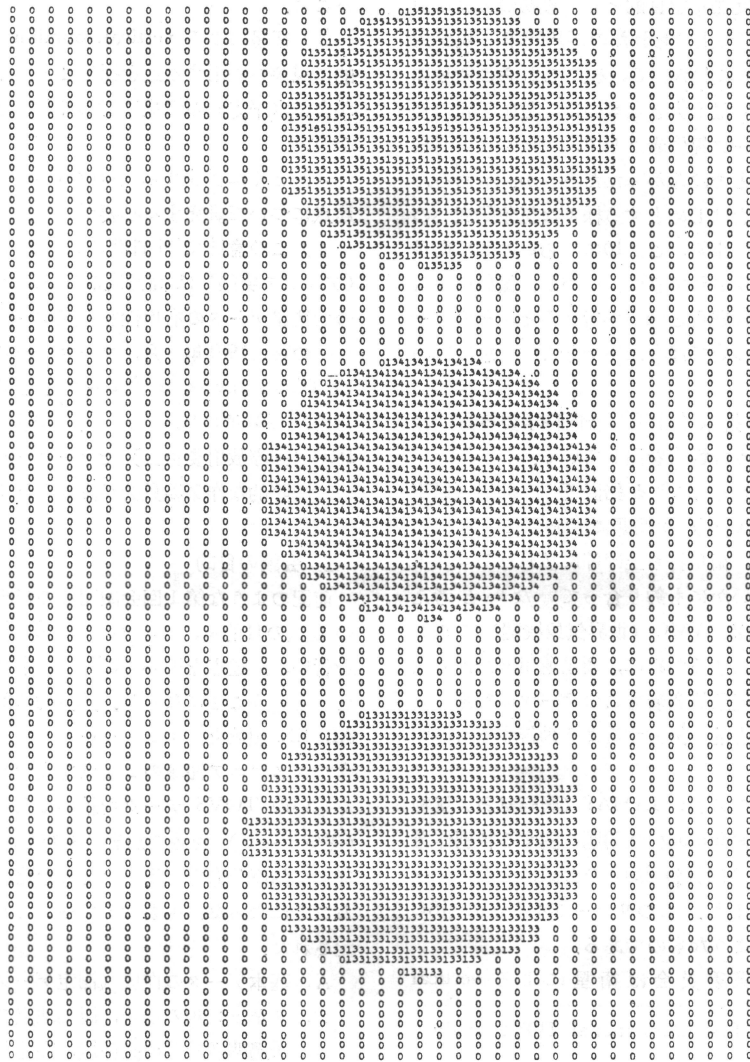
アメリカ (8), と WMO からの代表1名であった。
 8月29日の第1日目は各参加者が, 使っている処理方式, 研究経過といったものを15分くらいの持ち時間で簡単に発表して終わり, 第2日目からはいくつかの作業委員会に分かれ詳細な討議に入った。作業委員会は ALPEX グループ, タスマニアグループ, テクニカルグループの3つに分かれ, テクニカルグループはさらに第2章で述べた5つのテーマ毎に細分された。

3. 会議の構成と経過

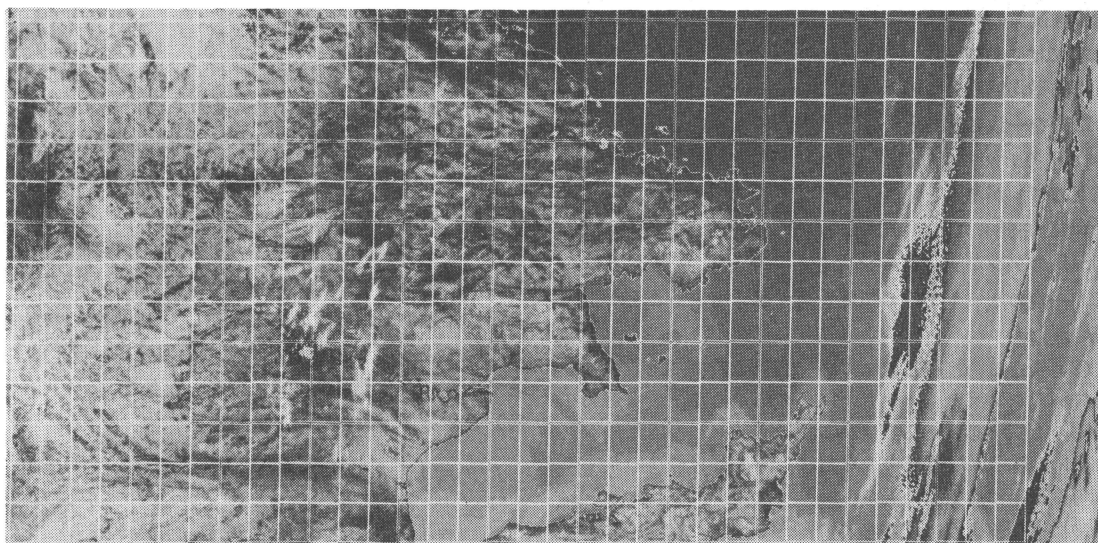
参加者は14カ国33名。そのうちわけは, オーストラリア (3), オーストリア (1), 中国 (1), フランス (6), イギリス (2), 西ドイツ (4), 東ドイツ (1), イタリア (1), 日本 (1), ニュージーランド (1), ポーランド (1), スウェーデン (1), カナダ (1),

4. 勧告とその背景

以下に勧告 (文字の小さい部分) とその背景について



第1図 AVHRR ピクセルと HIRS スポットの比較.



第2図 ラニオン (仏) における AVHRR 画像の利用法, 各格子に1つの HIRS スポットが入る。

述べる。

(A) 基本的データの作成に関すること

(1) 衛星運用国あるいは適当な機関は測器の応答関数, とくにその両すその形についてでき得るかぎりの精度で測定してほしい。

標準化された TOVS/AVHRR の情報が定期的にユーザーに配布されるべきである。そしてその他の情報についてもユーザーが問い合わせるべき contact point を設定すべきであり, この contact point は早急に決定されるべきである。

Rochard (仏, ラニオン) や Smith (米, ウィスコンシン) によると現在の応答関数のデータはとくに後に述べる physical method には不十分である。また, HIRS では256秒毎にキャリブレーションデータ (衛星内蔵の黒体と宇宙空間の測定データ) を取得するが, このデータが256秒の間に大きく変化する場合がある。このため, 256秒間のデータをその直前に取られたキャリブレーションデータで較正するか, その直前, 直後の両方のデータを内挿して使うかで, HIRS 第16チャンネルの場合などは2~3°C も差が生ずることがあるという。ただし, 幸いなことに第16チャンネル以外ではその差は小さいということである。

TOVS というのは TIROS Operational Vertical Sounder という名の通り鉛直分布を測定するための測器で HIRS (High Resolution Infrared Radiometer Sounder—赤外, 可視20チャンネル), SSU (Stratospheric

Sounding Unit—赤外3チャンネルで成層圏の温度測定に使う), MSU (Microwave Sounding Unit—マイクロ波4チャンネルで曇天域の温度測定に使う) の3つを総称して言う。普通 vertical sounding というこの TOVS のみで行ってきたが, 日本では, これに AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) を組み込む方式を開発してきた。第1図のように1つの HIRS スポットの中には350~500個くらいの AVHRR ピクセルが含まれるので, これから各 HIRS スポットの中の雲量等様々な情報が得られ, 晴天放射量等を精度よく決定できる (青木, 1980; Aoki, 1982a, b)。

フランスのラニオンでも, 最近 AVHRR を使う方法を開発している。それは第2図のように AVHRR をほぼ HIRS 1 スポット分が入るくらいのます目に区分し, その中の AVHRR 輝度のヒストグラムから, その領域が完全に晴れているかどうかの判定をするもので, 晴れている場合のみ海面温度の算出を行う。

すでに述べたように今回の会議では, ALPEX とタスマニア海域の共通データパッケージが各参加者に配布され, そのデータを使って各自が解析し相互比較したわけだが, このデータには TOVS のみで AVHRR データは含まれていなかった。しかし, 上記2国の発表で AVHRR の有用性が認識され, 今後共通データパッケージには AVHRR データも含めることが決定された。

TOVS と AVHRR を混合して使う場合, 両者の相

対位置関係のズレ (misalignment) を知る必要がある。日本ではこれを AVHRR 第4チャンネルの HIRS スポット内平均輝度とその HIRS スポットの第8チャンネルの輝度を一致させるという方法で決定している。また、HIRS 各チャンネルの視野も AVHRR 数画素分くらいの相互のズレがあるという測器製作会社のデータも Rochard から紹介された。これらのデータ、あるいは、MSU のアンテナパターンなども基本的なデータとして、一定のルートでその情報を流すべきであることが指摘された。

(2) 異なる角度補正法について相互の精度の比較検討を行い、シノプティックスケールの応用の際の最も適当なものを探さなければならない (メソスケールへの応用には physical method が適当と思われる、その場合にはいわゆる角度補正は必要ない)。

後に述べるように現在多くの国あるいは、機関では鉛直温度を求めるのにいわゆる regression method を使っている。とくにルーチン処理を行っているところはすべてそうである。この方法では温度や水蒸気量を $X(p_j)$ (p_j は気圧) とすると

$$X(p_j) = \sum_i C_{ji} R_i \quad (1)$$

として求める。ここで C_{ji} は regression 係数、 R_i はチャンネル i の晴天放射量である。

さて、 R_i は同じ温度分布でも角度によって異なるから、 C_{ji} も角度の関数である。このため NESDIS (National Environmental Satellite, Data and Information Service) では天頂距離 θ で観測された放射 $I_i(\theta)$ をすべて直下のもの $I_i(0)$ に換算し、 $I_i(0)$ から晴天放射を求めるという方法を行っている。 $I_i(0)$ は次のような経験式から求める。

$$I_i(0) = I_i(\theta) + \sum_j a_{ij} I_j(\theta) \quad (2)$$

$$I_i(\theta) = (n-1)R_i(\theta) + nI_{c,i}(\theta) \quad (3)$$

ここで n はその視野の中の雲量、 I_c は雲域からの放射である。(2)式の中の a_{ij} はあらかじめいろいろな種類の雲量や雲頂高度の雲について、理論的に $I(0)$ や $I(\theta)$ を計算して、回帰的に決めるものである。

(2)式はいろいろな意味で疑問が多い。とくに、雲があるとき $I(0)$ と $I(\theta)$ を果たして精度よく計算できるかということがある。今回の会議ではやはりこの点が問題になった。しかし、今のところ、日本以外では(2)式が使われている。

日本では次式のように係数の方に角度依存を持たせている。

$$X(p_j) = \sum_i C_{ji}(\theta) R_i(\theta) \quad (4)$$

$C_{ji}(\theta)$ の関数形は表面温度やオゾンと、鉛直温度や水蒸気量で異なるが、この場合、それらのパラメータは、 X や R の実測値から完全に回帰的に決定され、(2)の a_{ij} のような理論値から決定すべきパラメータを全く含んでいない。

さて、このような regression method に対して、大気の放射伝達式を直接参照して鉛直分布を求める方法がある。最近はその方法を総称して physical method と呼んでいるようである。大気の温度分布が $T(p)$ であるとし (p は気圧)、フィルター関数を ϕ_ν (ν は波数) とすると晴天放射は

$$\begin{aligned} R(\theta) &\equiv \int \phi_\nu R_\nu(\theta) d\nu \\ &= \int \phi_\nu \left[\epsilon_{s,\nu} B_\nu(T_s) \tau_\nu(p_s) \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{p_s} B_\nu(T) \frac{\partial \tau_\nu(p)}{\partial p} dp \right] d\nu \end{aligned} \quad (5)$$

と表される。ここで添字 s は地表を示し、 $\tau_\nu(\theta, p)$ は天頂角 θ 方向における衛星から気圧 p までの透過率である。 $B_\nu(T)$ は温度 T のプランク関数。 τ が与えられたとき $T(p)$ を解く方法としては様々なものが考えられている (嘉納, 1972; 青木・山本, 1973; Rodgers, 1976; 青木, 1982; 嘉納・宮内, 1983などを参照)。これらいわゆる physical method の場合には透過率は一般に任意の天頂角に対して与えることができるので、regression method より角度の効果は十分正しく考慮することができる。

(3) TOVS や AVHRR データの読み出しのためのソフトウェアパッケージを改良し、ユーザーが利用できるようにする必要がある。

(B) 透過関数の計算について

(4) 国際放射委員会 (IRC) の中のリモートセンシング作業委員会 (WGRS) を通して以下の研究を推進する必要がある。

- 現在行われている透過関数計算の各種手法を比較し、最も精度のよい方法を選択すること
- 現業的利用のための速いスピードの計算方法の相互比較
- 現在通常行われている理論的透過関数への補正パラメータにおいて、どういう物理的パラメータ (たとえば吸収線形、温度依存など) がいちばん効いているのかを明らかにすること。いわゆる微量気体やエアロゾルの透過関数におよぼす影響を明らかにすること。

○実際の大气において放射観測と大气温度や組成の同時観測を行うこと。

透過関数および放射伝達の計算は一般に非常に膨大なものになり、なんらかの工夫が必要とされ様々な方法が考えられてきた(山本・青木, 1976; McMillin *et al.*, 1976, 1979). この場合、問題となるのは計算速度と精度であり、とくに vertical sounding の場合には高精度のものが要求される。普通行われているのは放射伝達式の波数積分については省略し、

$$\tau_i = \int \phi_p \tau_p dv, \quad B_i = \int \phi_p B_p dv \quad (6)$$

のように、あらかじめ平均した τ や B を使うものである。最近、Shedin (仏) らは高度、波数毎に吸収係数の膨大なデータファイルを作るという方法でこの問題に新しい局面を開いた。

さて、ゾンデ観測によって得られた温度分布や水蒸気分布を使って τ_i や B_i を計算し、放射伝達式を計算しても、その放射量は衛星で観測された放射量とはなかなかうまく一致しない。そこで普通行われているのは、 $\tau \rightarrow \tau^\gamma$ と補正することと

$$R_i = \epsilon_{i,s} B_i(T_s) \tau_i^\gamma(p_s) - \int_0^{p_s} B_i(T) \frac{\partial \tau_i^\gamma}{\partial p} dp + \beta_i \quad (7)$$

のように補正項、 β_i を加えることである。

今のところなぜこのような補正が必要とされるのか明らかになっていない。すなわちこの2つの補正パラメータ γ と β の含んでいる物理的内容というのは、放射観測の側に責任があるのか、放射の理論計算に原因があるのかよく分かっていない。さらに後者だとしても、その原因はゾンデの観測誤差、あるいは吸収係数 ($f \times S$), ρ , (7) 式のような近似、等々と様々なものが考えられる。その中で最も主要な原因をつきとめる必要がある。そのためには実際の大气において、高精度のゾンデと放射の観測が必要とされる。

(C) 鉛直分布の算出方法に関して

(5) 現在現業的に行われて鉛直分布算出処理に(単純な regression method でなく)もっと放射伝達の物理過程を考慮した方法を開発すべきである。

(6) 算出された鉛直分布に対してその品質を表示するような、なんらかの標準的な方法が開発されてよい。そしてその品質表示のパラメータは、算出された鉛直分布といっしょに配信され、ユーザーの利用上の参考として使われるべきである。

(7) メソスケール現象への適用において、雲の状況、水蒸気量、地面温度等の異なった各種の条件下で統計的

方法 (regression method) と physical method を用いて、その違い等の研究をする必要がある。

(8) regression method についてはもっと改良が加えられてよいし、とくに小さいコンピュータによる低廉の TOVS 処理システムが開発されるべきである。

(D) TOVS 測器の視野の中における地表面の温度や射出率の不均質性や雲の存在による水平方向の不均質性の問題を TOVS 以外のデータを使って解決することが議論され、以下のような勧告がなされた。

(9) AVHRR データを使って雲の認識をより正確にし、晴天放射量を精度よく決定する方法についてもっと研究されるべきである。これらの研究はジェット推進研究所が開催する“海面水温相互比較の作業委員会”、IAMAP による“International Satellite Land Surface Climatology Project”および NASA がスポンサーの“ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project)”などと調整を取るべきであろう。

鉛直分布計算においては(3)式における、晴天放射量 R を使うわけだが、これは1つのスポットの観測値、 I 、だけからでは求まらない。そこで、 R と I_c については隣り合う2つのスポットで共通という仮定の下で R を求めるというのが NESDIS をはじめとする従来の方であった。しかし、 R が同じという仮定はまだしも、 I_c も同じという仮定は一般にはほとんど成り立っていないと思われる。 I_c が等しいということは、雲頂高度、雲厚、密度、等々、雲の性質が2つのスポット(2つの HIRS スポットの間隔は 40 km 以上)において全く同じということであるからである。

日本の方式では、HIRS 各スポットの中の AVHRR データを使って、雲量、最低および最高輝度、雲域および全域平均輝度を求め、これらの情報から各スポットの I_c の情報を作り、 I_c が各スポットでそれぞれ異なるという前提で、確率論的手法で R を決定する。

フランスのラニオンでも、HIRS スポットを含む短形の領域が完全に晴れているかどうかを判定するために AVHRR を使っている。

(E) (AVHRR 以外の) その他の補助的データとして

(10) 通常行われている定時のラジオゾンデの観測のほかに、時々衛星通過と同期させたゾンデ観測をキャリブレーションのために確立する必要がある。これらの観測データは衛星とゾンデの時間ズレの問題を解決することになる。これらのゾンデ観測においてはとくに、(i)

地表面気圧と温度, (ii) 鉛直温度, 水蒸気量(とくに700mb以下で), (iii) 圏界面高度と気温, (iv) 各高度の風(風速シア)を精度よく求めることが望まれる。もし可能ならロケットゾンデの同時打ち上げも必要である。

(11) (オゾン分光器等から得られた)全オゾン量は圏界面と良い相関があるのでこの情報を鉛直分布算出アルゴリズムに取り入れる研究をする必要がある。

(12) 放射観測のキャリブレーションの改良の可能性として, 衛星搭載の十分よく校正された高分解能の分光器による放射観測が望まれる。

(F) 今後の相互比較をやり易くするためと TOVS 処理システムを標準化するために:

(13) WMO は TOVS データの気象学的な価値を評価するためのセンターを設けるべきである。また, いくつかの予報センターに対して, TOVS データの予報への有用性の評価作業に参加するよう, 呼びかけるべきである。

5. 各国の動向

vertical sounding とは単に放射を鉛直温度に変換し直すだけのことから, とくに regression method などでは, そのシステムはずいぶん単純なもののように見えるが, 実際は非常に多彩, 多様な周辺ソフトを必要とする。

たとえば, regression method だからと言って, 透過関数等が不必要かと言えばそうではない。晴天放射決定に用いられる放射場の初期値, 雲頂高度の計算等に必要であり, 結局, physical method と同様, 透過関数, 放射伝達式のためのソフトが必要になる。その他, ゾンデ, 放射, 軌道データ等の入力, 品質管理, 初期値作成等々がある。

このような, 開発システムの膨大さのためだろうか, ほとんどの国がいわゆる“TOVS Export Package”という NESDIS/Madison で開発したソフトを使っており, 自国用に若干の手直しをしている程度であった。独自のシステム開発していたのは, フランスと日本くらいであり, このことは筆者には全く意外であった。

各国がこのように比較的“安易”な方法を採用しているにもかかわらず, TOVS 処理が現業化しているのはまだ非常に少なく, 米国を除いては, カナダ, オーストラリア, ニューゼaland, 日本だけであった。これら現業化している国のアルゴリズムはすべて regression method であった。また, 日本以外は, 前記の“TOVS

Export Packages”を使っている。筆者の受けた感じではイギリス気象局でも現業化は間近く, ここでも上記“Package”による regression method で, 現在2週間に1回 NESDIS で決定した回帰係数を貰って処理を試みているということである。

これに比較すると, ニューゼalandの場合, 現業化しているとは言っても, 使っている係数は NESDIS で決めた1981年8月のものであり, 計算機も DEC PDP 11/70 というから, あまり高精度のものは期待できないと思われるが, 実際いくつかの指定面までの層厚図をルーチン出力して, 気象解析に使っている。これには衛星を除いたらほかにデータがないという南半球の特殊事情があると思われる。このことはまた, それだけ南半球の国々の気象衛星にかける期待の大きさを示しているとも言える。

オーストラリアにおいても事情は同じで, オーストラリアでは, 東海岸のオーストラリア数量気象解析センターで1980年から現業化(regression method)しているだけでなく, 西海岸の西オーストラリア工科大学でも, NESDIS の Mentzel を呼んでその協力の下で physical method によるソフトを開発し, 1983年から処理を開始している。大学とは言っても, このデータは, 西部オーストラリアの重要な気象データとして使われることになるとと思われる。

オーストラリアに限らず欧米でも, 大学や研究所での vertical sounding の研究が盛んである。イギリス, オックスフォード大学の Prata は3種類の方法的比較, イタリア, ボローニャ大学の Rizzi は Madison の“Package”による physical method を試みていた。西ドイツ, 空海航行研究所の Lochener も Madison Package による physical method を試みていたが, まだまともな答が出ない段階である。ベルリン自由大学でも, “Package”を使う準備段階である。東独のドイツ気象サービスの Spänkuch は使う分光学的データによって透過関数がかなり違ってくることを示していた。ポーランド, 気象水文管理研究所の Baranski, スウェーデン, 気象水文研究所の Svensson などこれからようやく TOVS 処理システムの開発を開始する段階であった。

米国を除いて最も研究活動が盛んなのはフランスであろう。ブルターニュのラニオンにある宇宙気象センターにおいてデータを受信し, キャリブレーションや前章で述べた AVHRR データを使っての晴天域検出をした後, Palaiseau にある気象力学研究所の Chedin・Scott ら

によって鉛直分布が算出され (physical method による), さらにパリの気象研究センターの Durand らによってメソスケール解析に利用するという図式で, これら3つのグループが三位一体となり, いずれも米国とは一味違う方式を開発しながら活発な研究活動を行っている。

中国の中国科学院大気物理研究所 (北京) は1980年から1年半をかけて Madison の McIDAS (Suomi *et al.*, 1983 を参照) システムを導入し, Madison への研修生派遣などでようやくソフトウェアも出来上がりつつある。カナダの大気環境サービスでは “Madison package” の regression method が1982年6月から現業化, 温度, 厚層, 水蒸気量などを weather サービスに実験的に送っている。

米国ワシントンの NESDIS は毎日全球の vertical sounding を行い, 全世界の気象機関にその結果を放送している唯一の機関である。その地点数は1日全球で16,000地点 (cf. 日本では1日5,000地点くらい) に及ぶ。方式は regression method で McMillin によれば, このシステムはそうすぐには変えられないとのことである。

一方, ウィスコンシン大学にある NESDIS では Smith, Woolf, Haydon, Howell などのスタッフ, 大学側の Suomi, Mentzel らのグループとともに, 気象衛星研究開発のための一大陣容を形成し, 軌道衛星のみならず静止衛星の VAS (VISSR Atmospheric Sounder) による vertical sounding, 等のシステム開発を行っている。今回の会議の発表でも Smith が, “我々の先週のアルゴリズムは” ということわりを冗談めかして入れるほどそのシステムの変化は目まぐるしい。最近, 表面, 太陽光, 雲の効果をより正確に取り入れた physical method の “Export package” が完成したそうである。目下最大の課題は AVHRR を使った雲効果や地表効果を除去するシステムを開発することだそうで, この面での先駆者である日本としては少しくすぐったくなるような話である。

ジェット推進研究所の Chahine, と NASA ゴダート大気科学研究所の Susskind らのグループも非常に古くからの研究歴を持ち, 一貫して逐次代入法の physical method を開発してきている。

6. あとがき

軌道衛星のデータは観測したデータをただちに放送す

るいわゆる “たれ流し” 方式である。しかし, 受信できるのは自分の回りのデータだけである。全球のデータを受信できるのは米国の NESDIS だけである。各国の気象局はすべてこの NESDIS が算出して放送している全球の鉛直分布データを数値予報の初期値などに使っているわけである。

各国とも, 自国では全球のデータの算出はできないという事情も働いてか, TOVS データを扱う研究者 (ここではこれを “TOVS 人口” と呼ぶことにしよう) の数が少なく, すべて NESDIS に任せてしまっているような感じもある。このような独占的な状況が技術開発にとって好ましくないことは言をまたないだろう。vertical sounding の技術を向上させるためには “TOVS 人口” を世界的にもっと多くする必要がある。気象衛星にかかっている費用の膨大さを考えるとこのことは緊急の課題と言わなければならない。第1章で述べた JSC の勧告はこのような背景から出されたものであろう。

このような観点から今回の会議を振り返ってみると, ほとんどの国が NESDIS の “Export Package” に依存しているのにまず驚かされた。独自路線を歩んでいるのはフランス, 日本, Susskind・Chahine のグループぐらいであった。このうち, 日本とフランスは AVHRR を TOVS 処理の中に取り入れているのが1つの特徴で, とくに日本では AVHRR は補助データというより TOVS と同等に重要なデータとして取り扱われており, Smith も別れ際に筆者に言ったように, これは, TOVS 処理に新しい局面を開いたものと言えよう。

今回の会議で感じたもう1つの新しい潮流は多くの研究者が physical method による TOVS 処理システムの開発に向かって, 本気で邁進を始めたということである。この辺の扱え方は多分に筆者の主観に依るものだが, vertical sounding はその黎明期においては inverse problem とほとんど同義語のように語られ, 透過関数を既知として, 放射伝達式から温度を “inverse” する問題というふうに扱われていた。すなわち今でいう physical method である。それが, 現業衛星のデータをルーチン処理するようになって regression method に移り変わった。そして今また physical method に帰ろうとしている。

このように観測データの方は TOVS 計28チャンネルのほか高分解能画像の AVHRR データを加え, 透過関数計算においては温度依存まで考慮した line-by-line 法が主流になるなど vertical sounding はますます大量で

ータ, 精密計算の時代に入ろうとしている。このことと, 第1章で述べたような衛星データ利用技術の改善の緊急性を考えると“TOVS 人口”の少なさを痛感せざるを得ない。日本においてもそれが言えると思う。今後は大学や研究所でも“TOVS 人口”が増加し, 新しい技術がどんどん開発されることが望まれる。

文 献

青木忠生, 1980: 極軌道衛星 (TIROS-N) における HIRS/2 と AVHRR 画像の位置合わせについて, 気象衛星センター技術報告, 2, 15-26.
 ———, 1982: マイクロ波によるリモートセンシング, 気象研究ノート, 144, 57-71.
 Aoki, T., 1982a: An improved method to retrieve the clear column radiance from partially cloudy spots of radiometer on board satellite, *J. Met. Soc. Japan*, 60, 758-764.
 ———, 1982b: Theoretical background of the vertical sounding from TIROS-N satellite series, *Met. Satellite Center Tech. Note*, 5, 25-32.
 青木忠生, 山本義一, 1973: 気象衛星による放射測定とその利用, *天気*, 20, 29-39.
 嘉納宗靖, 1972: 放射測定およびそれによる気象要素の推定, 気象研究ノート, 111, 211-238.

———, 宮内正厚, 1983: 気象の遠隔測定 (II), 赤外放射を利用した気象要素の遠隔測定, 気象研究ノート, 148, 103-149.
 McMillin, L.M. and H.E. Fleming, 1976: Atmospheric transmittance of an absorbing gas; A computationally fast and accurate transmittance model for absorbing gases with constant mixing ratios in inhomogeneous atmospheres, *Appl. Opt.*, 15, 358-363.
 ———, H.E. Fleming and M.L. Hill, 1979: Atmospheric transmittance of an absorbing gas, 3, A computationally fast and accurate transmittance model for absorbing gases with variable mixing ratios, *Appl. Opt.*, 18, 1600-1606.
 Rodgers, C.D., 1976: Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 14, 609-624.
 Suomi, V.E., R. Fox, S.S. Limaye and W.L. Smith, 1983: McIDAS III; A modern interactive data access and analysis system, *J. Climate and Appl. Met.*, 22, 766-778.
 山本義一, 青木忠生, 1976: 最近の気象学と気象事業の展望; 9 大気放射学, 気象研究ノート, 128, 102-121.