

アメリカ気象学会第10回数値予報会議参加報告*

限 健 一**

1. はじめに

上記会議が7月18日から22日にかけて、アメリカ・オレゴン州のポートランドで開催された。数値予報という限られた分野の会議であるが、講演発表数が203、ポスター発表数が72で、それだけで日本気象学会大会の規模に匹敵する。同じ会場で同時に開催された第6回メソスケール過程会議と合わせると、総発表数は500を越える規模の学会であった。アメリカ気象学会の会議でありながら、外国人の参加も多く、80名に達したということである。次回の会議は大西洋を渡り、イギリスのレディングで1996年に開催される予定である。

数値予報学会のプログラムは以下の通りである。

18日(月) 午前

- セッション 1 A データの品質管理
- セッション 1 B 雲と降水の予報
- セッション 2 A 鉛直座標
- セッション 2 B モデルのペリフィケーション

午後

- セッション 3 A 数値計算 1
- セッション 3 B 積雲対流
- セッション 4 A 数値計算 2
- セッション 4 B 積雲対流・条件付対称不安定・微物理過程

ポスターセッション 1

19日(火) 午前

特別講演 NMC における予報解析開発計画

- セッション 5 A 客観解析
- セッション 5 B 系統誤差と予報精度
- セッション 6 A 全球モデル
- セッション 6 B 衛星データのインパクト

午後

合同セッション 1 大気境界層 1

- セッション 7 A 中長期予報
- セッション 7 B 熱帯低気圧の予報
- ポスターセッション 2

20日(水) 午前

特別講演 ECMWF における予報解析開発計画

- セッション 8 A 再解析
- セッション 8 B 物理的初期値化
- セッション 9 A 力学的長期予報
- セッション 9 B 雲と水蒸気の初期値化

午後

- セッション 10 A 長期予報
- セッション 10 B 領域モデル 1
- 合同セッション 2 大気境界層 2
- ポスターセッション 3

夕食会

21日(木) 午前

- セッション 11 A 領域モデル 2
- セッション 11 B 土壌の水分・温度のパラメタリゼーション
- セッション 12 A 領域モデル 3
- セッション 12 B アジョイントモデルと初期値依存性

午後

- セッション 13 A 中緯度の低気圧予測
- セッション 13 B データ同化とフィルター
- セッション 14 A 物理過程のインパクト
- セッション 14 B アジョイント系と変分法解析
- ポスターセッション 4

22日(金) 午前

- セッション 15 領域データ同化 1
- セッション 16 A 領域データ同化 2
- セッション 16 B 対流のシミュレーション 1

午後

- セッション 17 A メソスケール現象のシミュレーション
- セッション 17 B 対流のシミュレーション 2

* Report on AMS Tenth conference on Numerical Weather Prediction.

** Ken-ichi Kuma, 気象庁数値予報課.

2. 講演報告

講演数が多く、パラレルセッションが基本となっていたため、この報告で、すべてを網羅することはできないが、筆者の興味を引いた講演を中心に紹介したい。なお、所属先について、NMC と民間会社所属員の共同研究等の場合については、NMC 等の研究主体とみられる機関名で代表させている。

セッション 1A では NMC の Morone らにより、再解析のためのデータ品質管理の報告があった。ラジゾンデの hydrostatic error の統計が示されているが、台湾日本韓国の地域統計では、11% が error となっており、USA の 1%・西ヨーロッパの 2% 等、にくらべ品質が大きく劣っているのが注目される。

セッション 1B は数値予報結果のアプリケーションに関する講演が多かった。イギリス気象局の Clark は地上観測の相対湿度をデータ同化に取り込むことで、霧の予測に改善が見られたことを報告した。そのほか、視程、雲底高度等の航空気象要素を数値予報モデルがどの程度予測できるか、予報モデル出力から雨・凍雨・氷霰・雪の判別を診断するアルゴリズムについての報告などがあった。

セッション 2A では、UCLA の荒川教授のグループとイギリス気象局の Cullen らが温度と水平風が鉛直に同じレベルにある Lorenz grid よりも、異なるレベルにある Charney-Phillips grid の方がノイズの少ない時間積分を保証することを示した。Cullen らは C-P grid でエネルギー保存させる方法や、C-P grid 上で大気境界層の計算を行う方法についても言及している。一方、プラハから派遣されている Bubnova を中心とするフランス気象局のグループは、ALADIN という名前の領域スペクトルモデルの非静力版において、静力の気圧を鉛直座標に用いて、計算を簡略化した。静力と非静力の違いは音波と重力波に対してセミインプリシットで積分する部分だけであり、比較がきわめて容易であることも特徴である。カナダの数値予報研究所の Ritchie と Tanguai は成層圏の場を密度変化を考慮して、気圧の $-1/2$ 乗でスケールリングすることで計算精度を向上させる可能性について、ノーマルモードの解析解と差分を比較することで議論した。数値予報課でも 1hPa 付近をモデルの最上層にする計画があるので、興味深い発表であった。

3A は Semi-Lagrangian に関する発表が中心であった。3B の積雲対流のセッションでは、NMC の Hong が Simplified Arakawa Schubert scheme を

NMC の Eta モデル (ステップ状の山を含む η 座標系のモデル) に導入した。分解能の高いモデルでは、湿潤対流調節との併用が必要になってくるというコメントが興味深かった。Kain と Fritsch は、メソモデルにおいては、積雲対流のパラメタリゼーションに対して、新しい概念を持ち込むことが必要であることを主張した。

4A ではオイラー法で計算時間を節約するために、水平フィルターをかけて長い時間ステップを確保するという NMC の Iredell と Purser の発表が注目される。BMRC の Leslie と NMC の Purser は 3次元内挿を 1次元内挿に分解する方法を用いた Semi-Lagrangian 法の応用例を発表した。この方法の特徴は保存性を保つ手法が簡単になることや、前方軌跡法が可能になることがあげられる。3次元領域モデルにおいて、この前方軌跡法で質量保存させて時間積分することに成功した。

4B では NMC の Pan と Wu による Mass flux scheme の開発及び中期予報モデルへの導入の発表が興味深かった。このスキームは基本的には Arakawa-Schubert の積雲タイプを 1種類にしたものと捉えることができる。従来の Kuo スキームに比べ、アメリカでの降水予報の equitable threat score で比較すると、あらゆる降水レンジで改善され、海水温と降水の対応関係も現実的で、台風の進路予報でも上回っていることが示された。Cheng と Arakawa は Downdraft の効果を取り入れた Arakawa Schubert scheme を高速化し、さらに積雲による大規模場の調整を一気に行わず、1時間に $1/5$ づつ調整していく方法を開発し、そのインパクトを調査した。積雲が長時間維持されるため、放射への影響が大きいことが報告された。

火曜日の午前 8 時から行われた Kalnay による特別講演では、NMC が National Centers for Environmental Prediction に改組されることがまず報告され、さらに今後の開発計画が紹介された。NMC は正規の職員以外にも、民間委託研究員や、大学からの派遣研究者 (UCAR 派遣制度) などを抱えており、モデル開発はきわめて活発にすすめられている。例えば、Semi-Lagrange model については格子版とスペクトル版、狭領域モデルでは Eta モデルとスペクトルモデル、と競合開発させられる余裕が、我々から見るとうらやましく感じられる。Adjoint 等の今後核になっていく技術についても、ECMWF に比べて負けておらず、まさに古豪復活の感があった。ちなみに、この講演で refer

されている論文の数は今回の数値予報会議だけでも28に上った。マンパワーと同時に、領域モデルを7種類、全球モデルを3種類、そのほか大気海洋結合モデルや再解析を定期的に流せるだけの計算機資源の豊富さも指摘しておきたい。

5Bではイギリス気象局のMiltonがUK全球モデルの系統誤差を解析し、物理過程による時間変化をECMWFと比較し、対流圏下部の重力波摩擦と大気境界層の摩擦が過小評価されているのを指摘した。NMCのWobusとKalnayはNMC・JMA・ECMWF・UKMOの4モデルのアンサンブルから予報精度の予測をすることの有効性を議論した。緯度で30度毎、経度で60度毎の領域に分けて毎日評価しており、その結果はanonymous ftpの形でinternetで公開されている。

6AではCôtéらカナダ数値予報研究所のグループが、場所によって分解能が変化する全球モデルの開発状況を報告した。モデルのメンテナンスの負荷を小さくするため、一つのモデルで水平メッシュのパラメータを切り替えることで、惑星規模現象から250mメッシュの現象まで取り扱うのが大きな特徴である。可変水平分解能を生かすため、非静力とSemi-Lagrangianと音波・重力波に対するSemi-implicitが、モデルの3本柱である。数値計算に強いカナダの伝統は未だ衰えずという印象であった。続いて、NASAからNMCに移ってきたMoorthiがSemi-Lagrangian, Semi-implicitの全球モデルの開発状況を報告した。このモデルに限ったことではないが、山の付近で共鳴によるノイズが見られ、Semi-implicitのパラメータのtuningである程度押さえている。しかし、タイムステップを長くすると、高い山の付近の成層圏(50hPa)の温度分布にノイズが見られた。このノイズが力学過程によるものなのか、物理過程が関係しているものなのか、はっきりさせるようにコメントがあった。GFDLのWymanとMiyakodaは鉛直座標にMesingerらのEtaを用いた場合と、従来のsigmaを用いた場合で、GFDLのGCMのperformanceを比較した。比較のため、鉛直座標の数や配置は同じにしてある。この結果、両者には対流圏ではあまり大きな差がないことがわかったが、赤道成層圏と極夜ジェットに大きな差が生じており、その解釈に苦労しているようであった。

6Bではマイクロ波放射計による可降水量や、降水量から換算された潜熱の効果を、データ同化に取り込

んで予報へのインパクトを調べる研究が発表されていた。NMCのWuとDerberは3次元変分法であるSSI解析を用いているため、水蒸気の鉛直分布を仮定することなく、可降水量データを取り込むことができている。

7AではNMCのTothとKalnayがBreeding methodによるアンサンブル予報を報告した。予報モデルに自然に生じる成長モードを初期値に加えることで、アンサンブルの効果を高めようと言うものである。現在、同じvalid timeに対し5組10個の初期値から予報を行っており、初期時刻の異なる予報を含めると、2週間予報に対して38のアンサンブルが可能になっており、中期予報担当の予報官にもきわめて好評のことである。イギリス気象局のRichardsonとHarrisonはECMWFモデルとイギリス気象局Unified model(UM)を用いて、同じ初期条件のアンサンブル予報実験を行い、10日先でも2つのモデルのアンサンブル分布が重ならないことがあることを示し、アンサンブル予報で異なるモデルを用いる意義を論じた。NMCのKalnayとTothはBreeding methodを客観解析に利用する方法を提唱した。客観解析の第一推定値として用いられる予報値には、早く成長する誤差成分が含まれている。この成分の方向をBreeding runから抽出し、観測値を用いて予報誤差の中に誤差成長成分が含まれないように、第一推定値を調整する。4次元変分法やKalman filterと同等の操作を簡単な計算ですませられるというのが彼らの主張である。

7Bの熱帯低気圧のセッションで、気象庁のKumaと韓国気象庁のChoは経済的なArakawa-Schubertの積雲スキームを採用することで、台風進路予報に向上が見られることを示した。

8AではNMCのKistlerらは、NMCとNCARの共同Projectである1958年以降の期間の再解析について紹介した。1月分の解析を1日で行うというペースで35年分を2-3年で終わらせる計画である。

8BではLinらがnudgingにより毎時観測の降水データをEtaモデルに同化した実験結果を紹介した。nudgingしている間は観測される降水を維持できるが、予報ではあまり大きなインパクトが得られなかった。気象庁でのレーダーアメダス降水量のデータ同化のインパクトの方がやや大きいように見られたが、水蒸気場を降水データからmodifyするかどうかの違いが原因かも知れない。オクラホマ大学のCarrとZhaoはEtaモデルで雲水・雲氷を初期値化する研究を発表

した。降水量と空軍の気象センターで解析される雲量を従来の観測に加えて、雲の初期条件を作成する。観測された雲量を再現できるばかりでなく、降水予報の精度向上にもつながっている。

9Aでは気象庁(現在米国留学中)のTsuyukiによる力学的一か月予報精度に対する鉛直解像度の影響に関する発表が、もっとも聴衆の興味を引きつけていた。

9Bでは雲のパラメタリゼーションの話題が中心で、気象庁のMannojiはFSUの全球モデルに雲予報スキームを組み入れた結果を発表した。イギリス気象局のWrightとHandは、15kmメッシュモデルのデータ同化における予報官と計算機のマンマシーンシステムによる雲解析と、完全自動雲解析を比較し、自動解析の方が雲量や雲底の予報に対して良い結果を与えることを示した。

10AではCAC(気候解析センター)のLivezeyらが、NMCモデルを用いて大気海洋結合モデルによる季節予報の可能性を探る発表を行った。解析されたSSTを与えた長期間のsimulationの結果から、モデル大気の場合が実況と高い相関を持つのはmajor ENSO eventの期間であることがわかる。さらに3回のmajor ENSO eventに関して、結合モデル及びSST偏差固定大気モデルの実験を行った。12月を初期値に冬季の予報を行った場合、どちらもsimulationに比べて高いアノマリー相関が得られた。一方、10月までしかのぼって予報実験を行うと、結合モデルの結果はSST偏差固定大気モデルに比べて相関が低い。結合モデルのENSOのシグナルが弱くなることが問題点として指摘された。SternとMiyakodaはSSTを境界条件として与えても、大気の場合に種々の初期条件による再現性が低い場合があることを指摘し、再現性の空間分布を示した。KanamitsuとJuangはNMCの領域スペクトルモデルを紹介し、モンスーン時のインド付近の降水の空間構造を長期積分結果から示し、観測との類似性を指摘した。

10Bでは、コロラド州立大学のグループによるRAMS(Regional Atmospheric Modeling System)の報告があった。RAMSはnon-hydrostaticも可能なメソ予報モデルで、現業的にもRISC workstationを用いて運用がすでに行われている。workstation上のモデルの開発は海軍研究所のSashegyiらからも報告されている。Science Applications International Corporationのグループは局所的に大きさを定めることができる3角形のプリズム格子を用いて、nonhy-

drostaticモデルを構築し、海陸境界付近の分解能をあげて、海陸風をうまく表現することができた。

11AではNMCのMesingerらがEtaモデルをEta座標系とsigma座標系で比較し、equitable threat scoreで降水の予報を評価したところ、ほとんどの降水強度レンジでEta座標系が優っていたことを示したのが、印象に残った。

12Aでは前述のRAMSを用いた現業ベースのシステムに関する講演が興味深かった。ENSCOという会社所属のManobiancoとTaylorはNASAのKennedy宇宙センターのために局地予報システムを開発した。45kmメッシュと11kmメッシュをネストさせ、11kmメッシュはフロリダ半島をカバーしている。NOAA予報研究所のSnookらは、LAPS(Local Analysis and Prediction System)への応用について発表した。LAPSの目的は10kmメッシュで、ドップラーレーダーなどのreal timeの観測データをすべてデータ同化することである。600km四方の領域のデータ同化をRISC workstationで実用的に計算することが可能である。最終製品は立体画像で動画表示することになっている。

12Bではオクラホマ大学のCAPS(Center for Analysis and Prediction of Storms)のParkらが、数値モデルで表現される対流システムの初期値・物理過程などに対するsensitivityを、adjoint法を用いずに自動的に解の勾配を求めるプログラム(ADIFOR)で調べた。NCARのKuoらは、長寿命のメソスケールの上層渦の予報がうまく行かなかった例について、Adjoint法で初期条件に対するsensitivityを調査し、その結果から初期条件をわずかに変化させるだけで、うまく予報することに成功した。ECMWFのKlinkerらは5日予報の予報精度が悪かった例について、2日後の解析値を用いてadjoint法で初期条件を修正すると、きわめて微小な初期条件の変更でも飛躍的に予報精度が向上することを示した。Kuoの研究とこの研究は、未来の値を使って初期条件を変えているため、このまま実用化されることはないが、初期条件の重要性を強く訴えた発表で印象深かった。NCARのSunらは雲モデルとそのAdjointを用いて、1台もしくは複数のDopplerレーダーの観測から力学・雲物理学変数を求める方法を開発した。オクラホマ大学のShapiroはマイクロバーストの例について1台のドップラーレーダーからのretrievalを試みた結果を発表した。

13Aではメソスケールの大気波浪結合モデルのイ

ンパクトを海洋上の低気圧について調査した海軍研究所のDoyleの研究が興味深い。低気圧の発達に Charnock 方式に比べて 5 hPa 程度浅まり、南西象限での降水量も34%増加した。低気圧の通過後、風が収まった後も波が高く、熱交換が盛んに行われたためである。

13 B では NCAR/NMC と FSU (Florida State University) の Navon との共同研究で、物理過程をいれた NMC のモデルを用い、4 次元変分法による客観解析結果が紹介された。60回の iteration(時間積分)が必要なため、実用化にはまだ遠そうである。カナダ気象研究所の Fillion らは NNMI (Nonlinear Normal Mode Initialization) に代わる方法として、デジタルフィルターによる初期値化を紹介した。モデルの時間積分が必要な欠点はあるものの、NNMI と同じ働きをすることが確かめられた。ノーマルモードを求めなくてもいいことから、狭領域モデルの初期値化に向いており、また非静力モデルでは音波を初期値化で除くこともできる。時間積分の必要性も adjoint 解析では新たな負荷にならないため、将来有望な初期値化であろう。

14 B では ECMWF の Andersson らによる 3 次元変分法解析の講演が興味深かった (Klinker が代読)。衛星観測の TOVS データや地上付近の温度・風観測などをモデルの放射や大気境界層スキームとその adjoint を用いて解析に直接取り込むことができる。印象的だったのは、成層圏の解析にノイズが少なく、少ない観測でも局所的なパターンが生まれにくい点であった。

15では、NOAA 予報システム研究室と NMC のグループによる 3 時間予報解析サイクルの開発が興味深い。プロファイラーや航空機観測などの非定時観測データを生かすことが、最大の目的である。このシステムのもう一つの特徴は鉛直座標として温位座標を採用していることである。ただし、地面付近は sigma 座標になるような hybrid 方式を採用している。3 時間予報の風の検証で、従来のモデルと比較して良い結果が得られている。

16 A では NMC の Zupanski が NMC/Eta モデルを用い、観測データを直接取り込む 4 次元変分法解析について発表した。予報スコアは特に風については改善が見られ、iteration が10回程度で済んでいることから、実用化も見えてきたように思えた。さらに Zupanski (妻) は解析された降水量を adjoint 法によるデータ同化に加えて予報実験を行い、降水予報に正のイン

パクトを得た。なお、積雲対流スキームは Adjoint に耐えるため、スムーズされた Betts-Miller のスキームを利用しているとのことである。

17 A では気象庁の Nagata が気象庁の JSM を用いた関東平野の沿岸前線の予報結果を議論した。アメリカ気象学会の会議だから仕方ないのかも知れないが、アメリカでの天気図ばかり見せられた目に、関東平野の天気図は新鮮に映った。

3. ポスターセッション

NMC の Juang らは彼らが開発した領域スペクトルモデルを半年以上走らせて、NMC の業務モデルと比較した。降水予報について検証した結果、Eta モデルなどに比べても遜色のない成績を示した。

North Carolina State 大学の Semazzi らは、全球非静力 Semi-Lagrangian 大気モデルの開発状況について発表した。大学でこのようなモデルの開発が進められていることに注目したい。

カナダ数値予報研究所の Ritchie と Tanguay は Semi-Lagrangian に関係した山岳共鳴を取り除くため、Semi-implicit の方法を工夫した。Ritchie の話では、Semi-Lagrangian は風と共に移動する擾乱の予測には威力を発揮するが、山岳波のように流れに逆らって停滞する擾乱に対しては、問題があるということであった。

UCLA の Lin と Arakawa は、積雲を explicit に取り扱うモデルの結果を解析して、Arakawa-Schubert scheme の再考を行った。mass flux の鉛直プロファイルはほぼ指数関数的であるが、地上 1.5 km までの層では entrainment は積雲の高さにかかわらず一定であった。また entrainment rate が0の積雲が見られたこと、ice への phase change による潜熱解放の効果が積雲の湿潤エネルギーの鉛直プロファイルに反映されていることが印象的であった。

4. 夕食会講演

気軽な講演であろうと想像していたが、学会の中でも、もっとも印象的な講演であった。講演者はオクラホマ大学気象学部の CAPS (前述) 所長の Kelvin Droegemeier で、メソスケール数値予報の将来像を、スライドと超並列 computer による simulation の動画をを用いて見事にまとめていた。技術的にいかなる問題があるかを列挙し、それをいかにして克服していくか、きわめて建設的な議論を組み立てていた。

まず最大の鍵は初期条件をいかに求めるかであるが、adjoint法を用いてドップラーレーダーから力学雲物理変数を再現する技術の開発がCAPSでも進んでいる。計算時間については、超並列計算機の利用をねらっている。現在のところ並列化による計算速度アップはうまくいっているが、CPUの計算そのものが遅いというのが、問題である。

彼の話は研究開発にとどまらず、予報官に提供する画像プロダクトにまで、詳細な議論が進められた。現在の降水短時間予報は、レーダーエコーの時間外挿に基づいているが、モデルからこれに勝てる情報を引き出す画像プロダクトの開発が重要であることを指摘した。

日本の気象庁もメソ量的予報の確立を目指しているのだが、観測をいかに整備し、そのデータをどう数値モデルに取り込むか、数値予報結果をどのような形で予報官に提供していくか、といった将来へのポリシーと研究開発計画が不足していることを、この講演は認識させてくれたように思える。

5. 全体の印象

数値予報という、日本の気象学会であれば、せいぜい10件程度の発表で終わってしまう分野に、何10という発表が押し寄せる、この事実がまず圧倒される。もちろん、内容的には玉石混淆のきらいもないわけではないが、数値予報の専門家にとって興味深い情報の宝庫であることはまちがいない。日本では狭い数値予報課の世界だけで議論され、しかも専門的分野については議論する相手もおらず、MWRやJASに掲載されたやや古くなった情報と一方的な対話をしているのが、現状である。

筆者が発表した経済的なArakawa-Schubertスキームに対しても、荒川教授の弟子で今は台湾気象局で数値予報モデルを開発中のMing-Dean Chengが、コメントしてくれた。彼は精巧なdowndraftをArakawa-Schubertに組み込んだことで名前は知っていたが、彼自身、筆者と似たスキームを開発中で、現業センターに組み込むんだったらこれしかないね、という結論に達した。ちなみに台湾の数値予報センターは、30名ほどのマンパワーとスーパーコンピュータを持ち、全球モデルも業務化されている。WMOに加盟していないことから、観測データの取得が最大の課題であるようだ。

冒頭で外国人数が80名に上ったと報告したが、その

多くはアメリカに留学または研究目的で滞在する外国人である。相変わらず、中国系の研究者層は厚いように見えるが、韓国系の留学生の活躍が以前より目立つようになってきている。さらに、東欧系が数値計算の分野で、才能を生かして活躍しており、これはアメリカだけでなく、フランスの数値予報課でも同じ状況にあるようだ。

NMCの最近の発展ぶりは、外国人研究者だけが原因ではない。大学との共同研究がきわめて活発であることが日本と大きく異なる。大学の大气科学連合(UCAR)の研究員派遣制度があつて、大学から研究者が派遣されているし、NOAAの研究費が大学へも割り当てられている等、日本と異なる制度も背景にある。特定技術を持った研究者をリクルートすることができる点も、日本と異なる。

講演内容を振り返ってみると、Semi-Lagrangianスキームの開発とadjoint法によるsensitivity studyや解析への応用、といった分野が活発に研究されている印象を持った。残念ながら日本でのこれらの研究開発の現状はきわめて遅れていると指摘せざるを得ない。

6. 日本における数値予報研究への提言

(1) 日本の気象庁で何を開発すべきか

今回の会議での研究から気象業務に直接影響しそうな技術を掲げてみよう。以下の議論は、純技術的な見地からのものであることをあらかじめご了承ください。

第1に1台のドップラーレーダーから、3次元物理変数を再現することが次第に実現しようになってきたことである。ドップラーレーダーの導入は気象庁内でも、論議には上っているが、予報業務への大きなインパクトがあまり期待されていないため、航空気象業務に導入される以外には消極的な姿勢である。しかし、1台のドップラーレーダーからのretrievalの実現性が見えてきたことから、メソスケール予報のための3次元初期条件が得られる可能性がでてきた。逆に気象審議会の18号答申で要請されているメソ予報を確立させるためには、プロファイラーやドップラーレーダーによる連続観測と、そのデータを生かすadjoint methodを用いた初期値作成、そして数kmメッシュのメソモデルの運用が唯一の手法であろう。現在の計算機の能力でこれが不可能なのは確かであるが、計算機の進歩は明らかに見込めるので、今から研究ベースで技術開発をしておいて、将来の現業に備えておかね

ば、メソ予報の確立は大きく遅れてしまうであろう。

第2に、ワークステーションによる非静力モデルの現業的運用が始まっているという点に注目したい。数値予報も中央集権でなく、地方中枢レベルでモデルを運用できたら、という意見を耳にすることが少なくないが、その夢も現実性を帯びてきたようである。数値予報課に1996年に導入される計算機でも、日本全国を10 km メッシュで計算するモデルの運用は困難である。しかし、地方中枢スケールの領域を10 km 以下のメッシュで予報解析するシステムが、アメリカではワークステーション上で実現されているのである。日本でも基本モデルは数値予報課で開発し、運用は各センターにまかせる、といった業務形態が考えられよう。豪雪予報センター、やませ監視センター、集中豪雨予報センター、首都圏短時間予報センターと地域によって、モデルのスペックや運用形態を変えることも可能になってくる。ドップラーレーダーから風情報を取り出せるのは、半径100 km 程度の範囲であるので、この意味からも目的を絞ったシステムの構築が適当であろう。

さしあたって、成田と関西新空港にドップラーレーダーが導入されるので、飛行場付近の予報監視システムが有望であろう。飛行場周辺は、ACARS(航空機の自動観測通報システム)データが豊富にあるので、現在の解析技術でも情報価値の高い監視システムが構築できるはずである。

(2) 気象学会全体で数値予報研究を盛んにするためには

数値予報研究がアメリカで盛んな理由として、UCAR の NMC への派遣研究員制度や NMC の潤沢なマンパワーと計算機などを指摘した。NMC の数値予報データやモデルが大学関係に利用しやすい形で提供されていることも、大学での数値予報研究には大きな支援になっている。リアルタイムのデータは internet の anonymous ftp で公開されているし、様々な過去データは CDROM で提供され、そのデータが研究や教育に大きく貢献している。また、数値予報モデルを

利用した予報実験が、大学でも積極的に進められている。日本でデータ・モデル公開に踏み切っても、大学のマンパワーや研究風土の違いなどから、ただちに数値予報研究が活発になるとは限らないが、少なくとも数値予報を研究するためのインフラとして、データ・モデル公開を位置づけて良いのではないか。大学の数値予報研究を活発化できるように、気象庁と大学との間の垣根を低くすることは、日本全体の数値予報研究のパワーを増強する鍵となろう。

一方、isentropic 座標モデルの開発、Semi-Lagrangian モデルの開発、adjoint 解析、ドップラーレーダーの retrieval 等、将来気象業務に役立つ可能性を秘めていながらも、実現にやや長いタイムスケールがかかったり、技術的見通しが完全に立っていないリスクの高い研究開発については、気象研究所と数値予報課との共同研究の形で、研究所を中心にした開発体制が望ましいであろう。気象研究所が数値予報研究の1センターになることは、日本全体の数値予報に関するマンパワーを国際レベルに引き上げるために絶対必要である。

ポートランドの会議では、NMC と ECMWF の担当者から特別講演があり、数値予報開発の現状と将来計画について興味深い情報提供と討論があった。日本でも気象学会の大会で気象庁の数値予報課から定例的に、数値予報の現状と将来計画について講演するという機会を設けることも、提案しておきたい。

7. 謝 辞

今回の旅行には気象学会の国際学術研究集会参加援助を受けましたので、ここに感謝したいと思います。また一緒に参加した数値予報課の永田・萬納寺・吉川・郷田・松下・長期予報課の小林の各氏からの情報もこの報告に含めました。なお、ポートランド滞中に際しては、気象研究所・気象庁で長らく英会話講師を務められたハリス夫妻に、ホームステイを含めてお世話になりました。