メソ気象現象の予測と観測に関するミニフォーラム報告*

齊藤和雄**・中澤哲夫***

1. はじめに

メソ気象現象の予測と観測に関するミニフォーラム (Mini-forum on Prediction and Observation for Mesoscale Meteorological Phenomena) は、2002年11月1日(金)に気象庁講堂で開催された。このフォーラムは、10月29日(火)～31日(木)に東京品川のココヨホールで開催された「東アジアにおけるメソ対流系と豪雨・豪雪に関する国際会議」(吉崎ほか、2003)に関して来日した著名な国外メソ気象研究者を気象庁に招いて、メソ現象の予測と観測についての各国の研究活動を紹介してもらう機会として気象庁により企画された。

フォーラムは第1表のプログラムに示すような2つのセッションで構成された。前半は、数値予報モデルや雲解像モデルによるメソ現象の予測についてのセッションであり、後半はメソ現象の観測に関してTHORPEXに関するセッションである。講演は12名(うち国外8名)13件で、全体では約100名(国外参加者25名)の参加があった。会議は、当初講演者のほかには気象庁内から若干名の参加を想定して気象庁研修室を予定していたが、直前になって多くの参加者が見込まれたため、急遽、講堂での開催に変更した。結果的には、気象庁外から56名の参加があり、国際会議並みの参加者数になった。会議では活発な質疑が行われ、講演者と気象庁内外の方の情報交換の良い機会になったと考える。フォーラムの概要とプログラム、講演要旨については、気象庁の数値予報研究開発プラットフォームのホームページ <http://pfi.kishou.go.jp/>

open/fm0211n.htm からでも閲覧することが出来る。以下に各セッションの概略を記す(敬称略)。

2. フォーラムの内容

セッション1：メソ気象現象の数値予測

このセッションでは、数値モデルに関する6件の講演があり、齊藤が座長を務めた。前述の国際会議に参加出来なかった気象庁職員に講演を聴く機会を与えるだけでも有意義と考え、各講演者には講演内容については同一でも構わないとして依頼したが、結果的に各講演者とも内容を適宜変更したため重複は殆ど生じなかった。NCARのJ. Nieveel氏の場合、品川での国際会議での登録が締め切りに間に合わなかったため、このフォーラムで講演機会が得られたことに大変喜んで頂けた。

H. Juang (米国 NCEP/NOAA) は、北米夏季モンスーンの領域気候シミュレーションについて講演した。領域気候モデルのための北米モンスーン実験 (North America Monsoon Experiment; NAME) が行われた1990年の夏を対象に、NCEPの領域スペクトルモデルを用いてシミュレーションを行った。北米大陸全体をカバーする水平分解能40 kmのモデルで行った5月から10月の半年の連続シミュレーションでは、各月の1日から行った1か月シミュレーションと比較して8月以降降水が減り土壌水分の乾燥が見られた。連続シミュレーションでのこのバイアスは陸面過程の問題と指摘した。一方1か月シミュレーションにおいてもアリゾナ・ニューメキシコ域でのモンスーン降水が見られず、20 km 高分解能モデルのシミュレーションと比較することにより、湿りを供給する下層ジェットを表現するための分解能が重要だったことを指摘した。高分解能モデルにおいても降水量が不足する一因として、モデルの σ 座標に沿った数値拡散の問題があり、水平数値拡散をモデル面ではなく水平面でかける

* Report on the Mini-forum on Prediction and Observation for Mesoscale Meteorological Phenomena.

** Kazuo SAITO, 気象庁予報部数値予報課.

*** Tetsuo NAKAZAWA, 気象研究所台風研究部.

© 2003 日本気象学会

第1表 メソ気象現象の予測と観測に関するミニフォーラムのプログラム。

	講演者 (所属)	内容
0930-1100 セッション1： メソ気象現象の 数値予測	H. Juang (NCEP/NOAA) J. Nievel (MMM/NCAR) H. Goda (NPD/JMA) S. Park (EWU/KOREA) K. Katayama (NPD/JMA) H. Juang (NCEP/NOAA)	北米夏季モンスーンの領域気候シミュレーション WRFによるスコールライン予報の解像度感度実験 気象庁メソ数値予報とそのパフォーマンス 4次元変分法のメソ現象への適用 超高解像度気象庁全球モデルの試験ラン NCEP 次世代全球モデルについての計画
1110-1240 セッション2： THORPEX	H. Nakamura (NPD/JMA) M. Shapiro (MMM/NCAR) Y. Ni (CAMS/CMA) C. Cho (METRI/KMA) B. Jou and P. Lin (NTU/TAIWAN) T. Nakazawa (MRI) D. Lee (SNU/KOREA)	アジアの THORPEX THORPEX の概要 中国でのメソモデルと野外実験 韓国の強化観測期間 (KEOP) GIMEX の遂行と観測結果 非静力学モデルのための梅雨観測 北太平洋亜熱帯高気圧の変動の理解

ことにより結果が改善することを報告した。

J. Nievel (米国 MMM/NCAR) は、WRF によるスコールライン予報の解像度感度実験について講演した。WRF は現業予報と基礎研究の双方に資することを目標に、米国の研究機関や予報センターで共同開発されている新しいメソモデルである。メソ対流系システムのシミュレーションにおける格子間隔の影響の調査として、北米中央部のスコールラインについて、数値実験を行った。格子間隔 4 km の実験ではガストフロントやスコールライン後面のレーダー反射強度などの多くの特徴が良く再現されたが、格子間隔 10 km では反射強度はシャープさに欠け、理想実験でも移動が正しく表現されない。10 km 以下の格子間隔で積雲対流パラメタリゼーションを含めることは結果の現実的表現力を損なうことがあるが、湿潤対流の強制力が弱い場合にはトリガーとして必要な場合がある。鉛直分解能を上げることのメリットはそれほど大きくない。WRF の計算手法は小スケール現象のフィルタリングを少なくしており、Eta モデルの非静力学バージョンより低分解能でもより現実的な結果を得ることができると。

郷田 (気象庁数値予報課) は気象庁のメソ数値予報とそのパフォーマンスについて紹介した。2001年3月から日本域を対象に水平分解能10 km のメソ数値予報モデル (MSM) が運用されており、同化システムとしては4次元変分法同化システム (メソ4D-VAR) が2002年3月から運用されている。メソ4D-VAR では従来の観測データに加え、レーダーアメダス解析雨量が同化されており、降水の予測精度が向上した。雲物理

過程を含む非静力学モデル (NHM) も開発されており、2002年7月10日の岐阜県の大雨のケースについて、MSM よりも良い予報結果が得られた。

S. Park (韓国 EWU) は、4次元変分法のメソスケール・ストームスケールへの適用についてのレビューを行った。4次元変分法は力学的に整合性のある方法でコスト関数を最小化することにより大気状態の最適な解析を見つけるもので、予報モデル、観測演算子、コスト関数、アジョイントモデル、前処理と最小化などの要素からなる。4次元変分法をメソスケール・ストームスケールへ適用する場合の大きな問題として、複雑な微物理過程が強い非線形性や不連続性を持つことがある。非線形性が強い場合にはコスト関数に複数の極小値が生じたりして最小化が困難になることがある。このような場合、2次オーダーのアジョイントモデルを用いることが候補となるがメソスケール・ストームスケールへの適用については検証がまだ殆ど行われていない。不連続性に対処するためには微分不可能な点での高階の傾度を求める、スムージング関数を適用する、などのいくつかの手法が試みられている。その他、4次元変分法をより効率的に行うためのインクリメント法や'inverse 3DVAR' (複数解析時刻の3次元変分法の解析場を接線形逆積分モデルで重ね合わせて同化ウィンドウの初期場を求める手法)、inverse 3DVAR と4次元変分法のハイブリッド法などについてもレビューした。

片山 (気象庁数値予報課) は、気象庁全球モデルを水平分解能20 km 前後で超高解像度で動かすテストについて紹介した。全球スペクトルモデルの波格子変換

のタイムステップ当たりの計算量は分解能の3乗に比例して増大するとされているが、現行の現業モデルT213の3倍の分解能のT639全球モデルでの計算コストは32.5倍であった。タイムステップの違いを考慮するとこれは分解能の2乗に比例する場合の27倍に比べ20%ほどの増加にとどまっている。2001年9月7日の台風15号が接近した場合の地形性降雨の表現は、同程度の分解能を持つ領域モデル(RSM)と比較してT682全球モデルが格段に良かった。

H. Juang (米国 NCEP) は、天気予報と気候研究の双方に資することを目標とする NCEP での次世代統一モデルとしての全球非静力学モデルのデザインについて講演した。3方向全てのコリオリ力のセットを考慮し、通常行われる shallow assumption (地球半径は大気の厚みにくらべ十分に大きいとする仮定に基づく基礎方程式系の近似) も排した方程式系である。時間積分にはセミインプリシットセミラグランジアン法を用い、空間差分はリニア格子スペクトル法を採用する。鉛直座標には気圧と温位のハイブリッド座標を用いる。これらの定式化について述べ、MPI 並列を行う場合のノード間ロードバランスについても議論した。

セッション2：THORPEX

後半は、「観測システム研究・予測可能性実験 (The Observing system Research and Predictability Experiment: THORPEX)」についてのセッションで、中澤が座長を務めた。THORPEX は、世界気象機関 (WMO) の世界天気研究計画 (WWRP) の国際実験計画の一つであり、社会的・経済的に大きな影響を及ぼす気象現象に対して、新しい衛星や観測システムの利用、最適観測法の開発、予測可能性の研究を行って、短期 (3日まで)、中期 (3~7日)、長期 (2週間まで) の予測精度を向上しようとする計画である。

このような国際共同実験は、1979年に、First GARP (Global Atmospheric Research Program) として実施されたことがあるが、その2回目のものであっていいであろう。今回が前回のものと大きく違うところは、観測とモデルとの関係が大きく変わってきているところである。いままでであれば、観測からモデルへの一方向のみの流れであったものが、四次元同化や最適観測法などの新しい技術が開発されたため、予測精度を上げるために観測すべき場所や物理量をモデルが事前に指示することが可能となり、双方向性が生まれてきている点である。

THORPEX 国際運営委員会 (International Core Steering Committee: ICSC) の日本委員である中村 (気象庁数値予報課長) がまず THORPEX とそのアジア版であるアジア THORPEX について紹介した。中村は、2001年10月に開催されたオスロでの第1回 ICSC 会合の内容を紹介し、アジアからの参加メンバーは、台風や豪雨などの予測改善に関心があるので、その点でアジア THORPEX 観測システム試験 (THORPEX Observation System Test: TOST) とでも言うべきものの実施に向けて関係メンバーの協力を今後強めていくことを確認した旨を報告した。

続いて、M. Shapiro (米国 NCAR) が THORPEX の科学計画の概要を説明した。彼は、THORPEX の国際科学運営委員会 (International Science Steering Committee: ISSC) の共同議長を英国レディング大学の A. Thorpe 教授とともに務めている。まず、ヨーロッパの大雪や洪水の写真を見せ、急発達するじょう乱の予報がまだ不十分であること、ECMWF のアンサンブル予報結果で見ると、大西洋で急発達する低気圧のためにヨーロッパで大雪になった時の場合、72時間予報では、実際の解析と異なるメンバーが多く見られたのに対して、48時間予報では、よく解析と一致するメンバーが存在していることを示していた。最適観測法を用いれば、72時間前のようなケースについても、予報を改善させることが可能になると考えられる。Shapiro は、また、中緯度でのロスビー波の活動度が活発な領域の位相が、群速度をもつかのようにヨーロッパから日本や太平洋まで東進している事例を紹介した。おもしろいと思ったのは、「Interactive Forecasting System」という言葉だった。これまでの一方向だった予報システムが、観測との双方向になった、ということだ。THORPEX のキーワードの一つであろう。

続いて Y. Ni (中国 CAMS) が、中国での THORPEX に向けた活動を紹介した。中国では、モデル研究の強化もさることながら、ドップラーレーダーの展開など、観測面での強化を図っていることが報告された。

C. Cho (韓国 METRI) は、いま METRI が実施している韓国強化観測計画 (KEOP) について報告を行った。エアロゾンデやオゾンデなどの測器を用いて、済州島周辺で台風や梅雨の観測を実施し、そのデータをモデルに取り込んで、モデルへのインパクトを調べている。済州島には、いわゆる「スーパーサイト」と呼ばれる観測拠点があり、そこで、あらゆる種類の観

測の実施をめざしている点が印象的であった。

B. Jou (台湾 NTU) は、エアロゾンデによるメソ観測について、境界層や海陸風の変動解析などの結果を報告した。台湾は、アジアでもっとも早い時期から自前でエアロゾンデを運用しているが、今後は、ジェットエンジンを搭載した無人機を自主開発し、台風の眼の観測を行う予定だそうだ。

中澤 (気象研究所) は、「非静力学モデルのための梅雨観測」と題して報告を行った。2003年から4年間、毎年6月に実施を予定している九州西方海上での梅雨特別観測では、梅雨前線に伴う降雨システムの詳細構造を明らかにすると同時に、観測データをモデルに取り込んで、モデルのパフォーマンスを調べ、非静力学モデルの改良に役立てることを目的にしている。とりわけ、下層の水蒸気フラックスの測定に重点があると述べた。

D. Lee (韓国 SNU) は、「北西太平洋の亜熱帯高気圧の変動の理解」と題して発表を行った。東アジアでの洪水や渇水に、亜熱帯高気帯が重要な役割を果たしていることが知られてきているが、たとえば、1998年には、よく発達した亜熱帯高気圧が西偏し、中国での6月の長梅雨や、韓国南部での8月の豪雨などをもたらした。北西太平洋では、現業モデルの解析データ間に大きな差異が存在しているので、より多くの観測データが必要である、と述べた。

謝 辞

今回のフォーラム開催に関して、講演者の方々、気象研究所の吉崎正憲・加藤輝之、気象庁数値予報課の藤田 司・村井臣哉・熊谷幸浩・大橋康昭・三好建正・西垣語人・森田重章・高瀬邦夫(現 佐賀地方気象台)ほかの各位に、さまざまなご助力・ご協力頂きました。深く感謝します。

参 考 文 献

吉崎正憲, 藤吉康志, 村上正隆, 耿 驃, 中村晃三, 加藤内蔵進, 斉藤和雄, 中井専人, 川島正行, 中村健治, 新野 宏, 上田 博, 小林文明, 加藤輝之, 2003: 「東アジアにおけるメソ対流系と豪雨・豪雪に関する国際会議」の報告, 天気, 50, 189-196.

略語一覧

CAMS: Chinese Academy of Meteorological Sciences (中国気象科学研究院)
 CMA: China Meteorological Administration (中国気象局)
 EWU: Ehuwa Woman's University (梨花女子大学)
 KMA: Korean Meteorological Administration (韓国気象庁)
 METRI: Meteorological Research Institute (KMA の気象研究所)
 MMM: Mesoscale/Microscale Meteorology Division (NCAR のメソスケールマイクロスケール気象学研究部)
 MRI: Meteorological Research Institute (気象庁気象研究所)
 NASA: National Aeronautics and Space Administration (米国航空宇宙局)
 NCAR: National Center for Atmospheric Research (米国大気研究センター)
 NCEP: National Center for Environmental Prediction (米国国家環境予測センター)
 NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (米国大気海洋庁)
 NPD/JMA: Numerical Prediction Division, Japan Meteorological Agency (気象庁数値予報課)
 NTU: National Taiwan University (台湾大学)
 SNU: Seoul National University (ソウル国立大学)
 WRF: Weather Research and Forecasting model (米国で開発中の研究予報コミュニティメソモデル)
 4D-VAR: 4-Dimensional Variational Calculus (4次元変分法)