

アジア太平洋地域を中心とした豪雨予報モデルの 高度化に関する専門家会議報告*

斉藤 和雄^{*1}・藤田 司^{*2}・中村 一^{*3}・岩崎 俊樹^{*4}
加藤 輝之^{*5}・佐藤 正樹^{*6}・小泉 耕^{*7}

1. はじめに

「アジア太平洋地域を中心とした豪雨予報モデルの高度化に関する専門家会議」(International Workshop on NWP Models for Heavy Precipitation in Asia and Pacific Areas) は、2003年2月4日(火)から6日(木)にかけて気象庁講堂で開催された。この専門家会議は、豪雨の予測精度を向上させるための数値予報モデルおよびモデルの初期値作成手法の高度化を目的として、豪雨予測モデル開発もしくは豪雨研究に係わるアジア太平洋地域主要国と欧米の専門家を招聘し、意見交換・技術交流を行うために気象庁により企画された。

この会議が気象庁で開催された背景として、アジアでは数年前から不定期でメソ数値予報についての国際会議を行っていることがある。2000年11月には韓国ソウルの韓国気象庁で「メソスケール数値モデルに関するワークショップ」が行われており、日本からは気象庁数値予報課から石田純一氏が出席している。2000年の韓国でのワークショップは、韓国気象庁と韓国気象学会の共催により開催され、同様のワークショップを以後アジア各国の持ち回りにより開催することが提案

された。その後形式は異なるものの、2001年5月には韓国ソウルの延世大学で同趣旨の「次世代数値モデル国際ワークショップ」が開催されており(斉藤, 2001)、今回のワークショップは事実上、上記2つのワークショップに引き続くアジアでのメソ数値予報モデルについての国際会議となった。なお、今回の国際専門家会議に先立ち、その前衛的なワークショップとして、2002年11月に気象庁で「メソ気象現象の予測と観測に関するミニフォーラム」(斉藤・中澤, 2003)が行われている。今回の専門家会議は、シップ・アンド・オーシャン財団の平成14年度海外交流基金による国際交流事業の一環として、気象庁とシップ・アンド・オーシャン財団の共催で行われた。

会議は第1表のプログラムに示すようなセッションで構成され、3日目はアジア THORPEX 計画会議とのジョイントセッションとなった。ワークショップ参加者は112名、うち国外からの参加は22名(招待者8名を含む)で、内訳は、米国7、韓国6、中国3、英国、ドイツ、ロシア、カナダ、インド、香港、各1だった。また国内からは、地球フロンティア研究システム、東北大学、東京大学など、気象庁外から26名の参加があった。これまで気象庁で開催された国際会議としては最大級のものであり、米国国立大気研究センターの J. Dudhia 博士やカナダ気象局の J. Côté 博士、ドイツ気象局 J. Steppeler 博士など、数値予報や豪雨予測モデルに関する世界的権威がこのワークショップ参加のため初来日した(第1図)。会議の概要とプログラム、講演要旨については、講演論文集(JMA, 2003)としてまとめられている他、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^{†1}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。

(斉藤和雄)

* Report on the International Workshop on NWP Models for Heavy Precipitation in Asia and Pacific Areas.

^{*1} Kazuo SAITO, 気象庁数値予報課(現所属, 気象研究所).

^{*2} Tsukasa FUJITA, 気象庁数値予報課.

^{*3} Hajime NAKAMURA, 故人(前気象庁数値予報課).

^{*4} Toshiki IWASAKI, 東北大学大学院理学研究科.

^{*5} Teruyuki KATO, 気象研究所.

^{*6} Masaki SATOH, 埼玉工業大学/地球フロンティア研究システム.

^{*7} Ko KOIZUMI, 気象庁数値予報課.

2. 各セッションの報告

オープニングセッション

オープニングセッション

では山本孝二気象庁長官(当時)から会議開催の辞が述べられた後、中村(気象庁)が、豪雨予報実現のための数値予報の要件についての講演を行った(第2図)。現在の豪雨の数値予報は、観測システム、データ同化、数値モデルとユーザーアプリケーションの4つの要素から構成されている。メソモデルの近年のトレンドは静力学モデルから非静力学モデルへの移行であり、気象庁でも2004年に現行のメソ数値予報モデル(MSM)を非静力学モデル(NHM)におきかえる計画である。データ同化は変分法の導入により大きく変貌している。変分法ではモデル予報変数以外の観測データを同化出来る利点があり、様々なタイプの観測に対応出来る期待が持たれている。気象庁ではメソ4次元変分法を2002年3月に導入した。従来データに加え、ウインドプロファイラ、ACARSなどのデータの利用を進めてきており、ドップラーレーダーの利用などについても開発中である。非静力学モデル用の変分法同化システムも開発中で2007年の導入を目指している。全球モデルはメソモデルへの境界条件提供のため

に重要で、20 km 解像度の全球モデル開発に取り組んでいる。これら数値予報システムの開発に加え、現象理解のための基礎研究も重要であり、その知識は数値

第1表 アジア太平洋地域を中心とした豪雨予報モデルの高度化に関する専門家会議のプログラム。

セッション(座長)	講演者(所属)	内容
2月4日(火) 0940-1000 オープニング	K. Yamamoto (JMA) H. Nakamura (JMA)	会議開催の辞 豪雨予報実現のための数値予報の要件
1000-1215 数値予報システムとモデル (J. Cote, K. Saito)	J. Steppeler (DWD) J. Côté (RPN/MSD) A. Lorenc (UKMO) S. Lee (KMA) K. Saito (JMA)	非静力学モデル LM を用いた降水予報と予報向上のための開発 カナダ全球マルチスケールモデル GEM: 開発と応用 イギリス気象局数値予報システムの開発 韓国気象庁での現業数値予報システムと豪雨予報のための計画 気象庁数値予報システムと非静力学モデル(NHM)
1330-1510 数値モデル (J. Steppeler, H. Juang)	H. Juang (NCEP) J. Dudhia (MMM/NCAR) W. Tao (GSFC/NASA) S. Hong (Yonsei Univ.)	NCEP 領域スペクトルモデルと豪雨との関連 WRF の開発 雲解像モデルにおける降水過程の微物理と解像度への感度 エントレインメント過程を陽に扱う新しい鉛直拡散
1530-1735 基礎研究 (T. Iwasaki, T. Fujita)	T. Iwasaki (Tohoku Univ.) M. Yamasaki (FRSGC) Y. Kim (METRI/KMA) D. Chang (METRI/KMA) T. Fujita (JMA)	非静力学多重ネステッド領域気候モデルを用いた雲研究プラットフォーム メソ対流解像モデルとその熱帯低気圧と梅雨前線における対流システムへの適用 台風 Rusa の鉛直構造とその豪雨へのインパクトの解析 韓国での降水短時間アンサンブル予報の予備的テスト NHM の移流のための高次有限差分スキーム
2月5日(水) 0940-1220 豪雨研究とデータ同化 (S. Hong, T. Kato)	J. Dudhia (MMM/NCAR) S. Hong (Yonsei Univ.) T. Kato (MRI/JMA) E. Lim (KMA) H. Yeung (HKO) H. Seko (MRI/JMA)	米国における WRF を用いた豪雨研究 雲と降水のバルクパラメタリゼーションのための水微物理への修正アプローチ 梅雨前線帯上の豪雨の数値再現のための下層水蒸気場の重要性 朝鮮半島の豪雨の予測可能性を向上させるための3DVAR によるレーダーデータ同化 豪雨予測のためのモデル初期値と予報場に対するレーダーデータのインパクト 群馬豪雨におけるデータ同化実験
1320-1500 変分法 (A. Lorenc, K. Koizumi)	A. Lorenc (UKMO) K. Koizumi (JMA) Y. Honda (JMA) T. Miyoshi (JMA)	非線形性と不確定性に影響される数値予報のための4DVAR 4次元変分法による気象庁メソモデルの降水予測の向上 3DVAR による熱力学場のリトリーバル 気象庁非静力学モデルに基づく変分データ同化システム
1520-1750 全球モデルと地球シミュレータ (D. Chen, M. Satoh)	D. Chen (CMA) H. Juang (NCEP) M. Satoh (FRSGC) T. Enomoto (FRSGC) K. Katayama (JMA) J. Ishida (JMA)	CMA における GRAPES 開発プロジェクトの概要 NCEP 次世代全球モデル 地球フロンティアでの正 20 面体非静力学モデルの開発 地球シミュレータでの 10km 格子 AGCM を用いた全球～領域現象のシミュレーション 地球シミュレータでの 20km 格子全球数値予報モデルの開発 地球シミュレータでの NHM の開発
2月6日(木) 0940-1015 総合討論 (J. Dudhia, W. Tao, K. Saito)		
1025-1230 THORPEX (H. Nakamura)	H. Nakamura (JMA) P. Whung (NOAA/OAR) M. Shapiro (NCAR) M. Yoshizaki (MRI/JMA) Y. Kurihara (FRSGC) S. V. Singh (NCMRWF) Y. Takayabu (CCSR)	趣旨説明 WMO 会合における THORPEX THORPEX 科学計画 梅雨期東シナ海と九州および冬季日本海のメソ対流系の野外観測のレビュー 熱帯低気圧の構造変化について アジアモンスーンのレビュー マッデンジュリアン振動の理解の進展

モデル改良のアイデアに生かされる。中村は、これらに加えて、THORPEX とのジョイントセッションについて触れ、会議への期待を述べた。(斉藤和雄)

2.1 数値予報システムとモデル

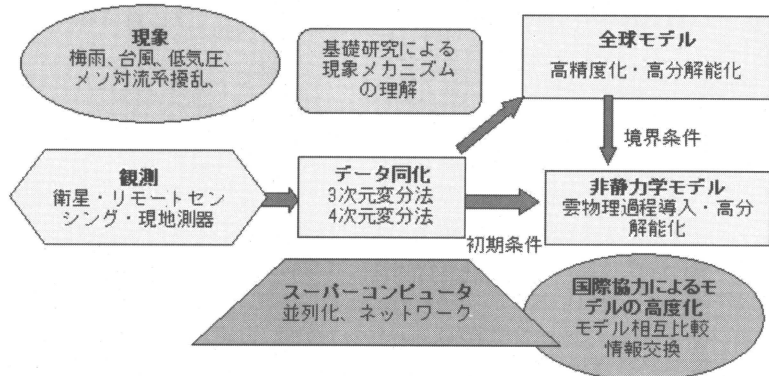
このセッションでは今回のワークショップに講演者を出した予報センター（ドイツ、カナダ、英国、韓国、日本）から、それぞれの数値予報システムと豪雨予測に関係する予報モデルの紹介が行われた。

J. Steppeler (DWD) は、ドイツ気象局の非静力学モデル LM を用いた降水予報と予報向上のための開発について紹介した。ドイツ気象局はヨーロッパにおける非静力学モデル開発のリードセンターを標榜して 1996 年から隔年で非静力学モデリング短期数値予報国際ワークショップを開催している（斉藤ほか，2000；室井ほか，2002）。LM は 1999 年からドイツ領域を対象として、水平分解能 7 km で現業運用されており、2004 年には領域を全ヨーロッパを対象とするように拡大する計画である。2002

年 8 月のドレスデン周辺の豪雨では、水平分解能 55 km の全球モデルでは不十分だったドイツ周辺の地形効果が表現されたが、黒い森山地周辺では降水量の極大が強すぎて山頂付近に集中しすぎる一方、風下側で少ないという地形性降水が出過ぎるという傾向も見られた（著者注；この傾向は気象庁の現業メソモデル MSM にも見られるもので、雨や雪などの降水物質が予報変数になっていないために、降水物質の風下側への輸送がモデルで表現されていないことによると思われる）。ドイツ気象局では LM に雨や雪などの降水物質を予報変数として組み込むテストを行っており、それにより、この問題点が改善出来るということである。この他、ドイツ気象局で開発中の LM における 2 タイムレベルスキームやステップ座標を用いるバージョンなどの紹介があった。



第 1 図 会議参加者による集合写真。



第 2 図 豪雨数値予報を発展するための要件（中村の講演ファイルをもとに作成）。

J. Côté (MSC) は、カナダ気象局の全球領域統一モデル GEM についての紹介を行った。GEM は経緯度座標 C グリッド座標を用いるセミインプリシット 2 タイムレベルセミラグランジアン全球モデルで、非静力学オプションを備えている。全球モデルは 0.9 度の水平分解能で 1 日 2 回の予報（12 UTC；10 日予報，00 UTC；6 日予報）を行っている。地表面過程を強制復元法による地面温度予報から生物圏モデルに変更するとともに、ノンローカル効果を取り入れた境界層スキームの導入を計画している。また対流パラメタリゼーションとして現在の Kuo スキームから Kain-Fritsch スキームの導入を計画している。カナダ気象局では全球モデルの解像度を 35 km に上げる計画を持っており、これにより南米やアジアの対流雲や台風の実現などが格段に向上する例を示した。GEM は可

変格子モデルで、全球を覆ったまま特定領域の分解能を上げることが出来る。カナダ気象局では、カナダ域を24 km 28層で覆う領域予報を行っており、近く15 km 43層への解像度強化、現在の Fritsch-Chappell スキームから Kain-Fritsch スキームの変更などを予定している。GEM には側面境界条件を持つ領域モデルバージョンもあり、現在10 km 解像度でカナダの一部を覆うテスト運用を行っているが、2.5 km 43層への強化を計画しておりそのための試験も始まっている。

A. Lorenc (UKMO) は、イギリス気象局の数値予報システムの開発について紹介した。イギリス気象局のモデルはセミインプリシット・セミラグランジアン of the global domain model (UM) で、2002年9月から基礎方程式に非静力学過程を導入している。また通常の数値予報モデルで用いられている shallow assumption (大気の厚みが地球半径に比べて十分に小さいという仮定) では無視される項も取り入れて地球渦度の水平成分によるコリオリ力項も計算に取り入れられるようになっていた。新しい UM では、気候シミュレーションのためにも開発された境界層・放射・雲氷・対流などの物理過程を用いており、北半球の予報誤差が減少し台風進路予報などの精度が向上している。全球モデルとメソモデルの同化手法は1999年から3次元変分法を用いており、衛星放射計データの直接同化を取り入れている。加えて、メソモデルの初期値化には雲と降水のナッジングを取り入れているほか、4次元変分法も開発中である。5 km 格子による短時間予報向上のための UM システム開発の研究計画が進行中だが、対流を部分的に解像するこの分解能では、対流スケール現象の扱いに基礎調査がかなり必要であることを述べた。

S. Lee ほか (KMA) は、韓国気象庁での現業数値予報システムと豪雨予報のための計画について紹介した。全球同化予報システム (GDAPS) は55 km (T213) 30層で、気象庁全球スペクトルモデル (GSM) をベースにしているが、ノンローカル境界層スキームを導入している。領域モデル (RDAPS) は MM5 を用いた 171×191 (30 km, 3 日予報), 160×178 (10 km, 1 日予報), 141×141 (5 km, 1 日予報) の3重ネストシステムである。同化手法は全球・領域とも3次元最適内挿法を用いている。韓国気象庁の数値予報システムと RDAPS の計算領域などは斉藤 (2001) にも報告している。対流パラメタリゼーションは30 km モデルと10 km では雲物理過程と Kain-Fritsch スキームを併

用して用いているが、5 km モデルでは雲物理過程のみを用いている。これらのほかに台風進路予報には0.3度分解能の適応格子を用いたパロトロピックモデルを用いている。全球・領域解析3次元変分法を開発中で、前者は気象庁と、後者は NCAR と協力関係を結んでいる。

斉藤 (気象庁) は、気象庁の数値予報システムの現状と計画、および開発中の気象庁非静力学モデルについて講演した。気象庁では2001年9月に全球3次元変分法、2002年3月にメソ4次元変分法を導入するなど変分法を用いたデータ同化手法の高度化に力を入れている。全球3次元変分法の導入では、短期予報と台風進路予報の改善が明瞭であり、メソ4次元変分法の導入では、降水予測精度が大きく改善している。2003年6月からは領域解析にも4次元変分法を導入している。全球モデルについては2003年5月から、ATOVS データの直接同化と積雲対流スキームの改良を行っている。非静力学モデルでは、2004年の現業化を目指して気象庁非静力学モデルの開発を数値予報課と気象研究所で連携して行っている。このモデルは、気象庁で独自開発した完全圧縮系非静力学モデルで、有限差分に伴う移流計算の誤差を減らす補正スキームや、音波のみならず重力波をタイムスプリットするとともに、リープフロッグ時間積分の後半で移流項の低次成分を小さな時間刻みで扱って計算安定性を向上させるなど、いくつかのオリジナルな工夫がこらされている。講演では気象庁非静力学モデルによる予報例とその精度についても紹介が行われた。(斉藤和雄)

2.2 数値モデル (Numerical Models)

このセッションでは、最近の非静力学大気モデルの開発の進展について紹介された。H.-M. H. Juang (NOAA/NCEP) からは NCEP の領域スペクトルモデル (以下 NCEP-RSM) の紹介があった。NCEP-RSM の特徴は側面境界だけでなく基本場にも全球モデルの結果を用い、短波成分はメソスケールの現象の解像に用いられる点である。陽的雲スキームを実装しているので、非静力版により高解像度計算が可能である。NCEP では現業天気予報や領域アンサンブル予報に用いられている。

J. Dudhia (NCAR) からは WRF の紹介があった。WRF は NCAR や NCEP など研究部門と現業部門の複数機関が共同で開発している数値予報システムで、MM5 など過去のモデルの経験を基に、移植性やモ

ジュール化を考えて新たに設計され、かつ最新の数値モデル技術が投入して開発されている。現在、リアルタイム予報が実験的に行われている。

W.-K. Tao (NASA) はゴダード宇宙飛行センターの積雲アンサンブルモデル (GCE) を紹介した。GCE は雲微物理や解像度のメソ対流系などに対する影響の研究に用いられており、暖かい雨と氷相の過程や、放射伝達などとの相互作用を陽的に扱っているという特徴がある。GCE により理想的な条件下でのハリケーン発生シミュレーションなど、メソスケール現象の研究に成果を上げている。

S.-Y. Hong (韓国延世大学) からは、ノンローカル境界層鉛直拡散を用いた鉛直拡散パッケージの開発報告があった。このスキームは WRF に実装されて、現実によく合う惑星境界層 (PBL) の形成に成功している。このスキームで、強風時の混合層内の非常に強い混合や、PBL が早期に発達してしまう既存の境界層スキームの問題が解消され、また全球降水分布などに改善が見られた。

(藤田 司)

2.3 基礎過程 (Basic Studies)

岩崎 (東北大学) は、雲のパラメタリゼーションの改善を目指して開発している、多重ネストした非静力学モデルを用いた雲システム研究のプラットフォームについて話した。ヤマセ雲の実験結果では、数値モデルの解像度によって、雲放射-雲形成フィードバックの表現が大きく異なることを示した。

山岬 (地球フロンティア) は、独自の雲物理モデルを用いて、格子サイズが 1 km 以下の雲解像モデルと 5 km 以上のメソスケールモデルのパラメタリゼーションの問題を、台風及び梅雨を例にとって論じた。特に、メソスケール対流は特徴的なモードであることを念頭に入れて、モデル開発を進める必要があることを指摘した。

Y. Kim (KMA) は、2002年8月31日に韓国を襲った台風 Rusa について報告した。韓国東部の Kangnung では、日雨量 870 mm を記録し、この台風では 250 名以上の人命が失われたそうである。メソスケールのデータ同化システム (KLAPS) で解析された上昇流を詳細に調べた結果、地形効果が降水の持続に重要な働きをしていることが分かった。

D. Chang (METRI) は、異なったデータ同化システムから得られた予報結果に基づくアンサンブル短期予報実験について話した。メンバーの数は 5 と少なく、

系統的な分散を初期値に与えている訳ではないが、降水予報にはよい効果が見られた。現在、特異値分析法に基づく系統的な初期値作成についても、検討中である。

藤田 (気象庁) は、気象庁の非静力学モデル (NHM) における移流項の扱いで、差分の表現と精度を変化させた場合の特性を調べた。線形山岳波と現実大気のシミュレーションから、系統的な差違、計算コストや安定性を論じた上で、NHM では 3 次風上差分よりも 4 次中央差分が適切であろうことを示した。(岩崎俊樹)

2.4 豪雨予測とデータ同化

2 日目午前中に行われた豪雨予測とデータ同化についてのセッションでは 6 件の研究発表が行われ、そのうち 4 件はレーダーデータをはじめとする水物質関係の因子をデータ同化することによって豪雨予測の改善を試みた研究であった。このことは、降水による気象災害が多い東アジア地区における水蒸気場の初期値解析の重要性を裏付けている。

最初に、J. Dudhia (NCAR) が米国大陸を対象に WRF モデルを高解像度 (10 km) で実行した降水予想の精度評価を行ったところ、現業予報モデル (Eta モデル) と比べてより細かなスケールの特徴を捉えていたことを示した。あわせて、モデルの分解能および降水スキームに対する依存性についても言及した。S. Y. Hong (韓国延世大学) は雲水を中心に雲物理のバルク法によるパラメタリゼーションを改善することにより、雲水の沈降の効果単独の影響は小さいが、雲物理過程と結合することにより大きな影響を降水に与えることを示した。加藤輝之 (気象研究所) は豪雨を予想できなかったケースを追求することにより、4 次元変分法では可降水量を用いるだけでは正確に水蒸気の鉛直プロファイルを再現できないこと、下層に水蒸気が集中していることが梅雨前線帯で豪雨を引き起こすのには必要であることを示した。E. Lim (KMA) はレーダーデータを 3 次元変分法により同化することにより、朝鮮半島の豪雨の予測可能性が向上したことを述べた。H. Y. Yeung (香港天文台) は台風による豪雨のケースについてレーダーデータを同化した実験を行い、最初の数時間については降水は過大評価になり、それに続く時間は過小評価になったことを示した。瀬古弘 (気象研究所) は GPS 可降水量およびドップラーレーダーの動径風を 4 次元変分法により同化することにより関東地方で発生した熱雷の再現を試みた。動径

風を同化することにより下層収束が作られ、それにより降水をうまく予想することができた。(加藤輝之)

2.5 変分同化手法

前セッションの「データ同化」では主としてデータの使い方を中心とした講演が行われたのに対し、このセッションでは手法に主眼を置いた4つの講演が行われた。

まず A. Lorenc (UKMO) が、これからのデータ同化においては誤差の動的なふるまいをとらえることが重要であるとして、拡張カルマンフィルタを用いた「確率分布予測モデル」を4次元変分法の繰り返し計算の中で用いる手法を提案した。まだアイディアの段階のようだが、誤差の動的推定の分野で一派を成しつつある「アンサンブルカルマンフィルタ」とは全く異なるアプローチであり興味深い(余談だが、Lorenc は「ローレンツ」と発音するというのを本人からうかがった)。続いて小泉(気象庁)は気象庁の現業メソモデルに用いられている4次元変分法データ同化システムについて紹介し、このシステムの特長である解析雨量データ同化のために独自に設計した観測コスト関数について述べた。本田(気象庁)の講演は高頻度で与えられるドップラーレーダーの風データを用いて、3次元変分法によって気温の場を求める方法について、3次元変分法とリトリバルを用いる従来手法との得失が論じられた。最後に三好(気象庁)は気象庁で現業化を予定している非静力学モデルのためのデータ同化システム(JNoVA)の構想について語り、その基本部分となる制御変数の設計について説明した。

変分法という「手法」をテーマにしたセッションであったため、参加者に広くアピールする内容ではなかった嫌いもあるが、この分野の専門家にとっては興味深いものであったようで、セッション後の休憩時間に講演者とディスカッションする姿がいくつも見られた。(小泉 耕)

2.6 全球モデルと地球シミュレータ

本セッションでは、全球モデルに関する最近の取り組みと、地球シミュレータを利用した報告があった。D. Chen (CMA) は、GRAPES とよぶ中国の次世代数値予報モデルの開発状況について講演を行った。このモデルは、全球と領域モデルからなり、ともにセミラグランジアン、セミインプリシット法による非静力学方程式系の統一的な力学コアをもつ緯度経度座標系の

モデルである。H. M. Juang (NCEP) は NCEP での次世代全球大気モデルの開発構想について紹介した。スペクトルモデルにフラックス型セミラグランジュ法を組み込んだ力学コアを考えているという。佐藤(地球フロンティア)は、開発中の領域・全球非静力学モデル(NICAM)の紹介をした。全球モデルは、正20面体格子と質量・エネルギーを保存する非静力学スキームを用いており、力学コアのみが完成している。地球シミュレータ上での計算性能をスペクトルモデル(AFES)と比較したところ、特に高分解能(T1279相当)で正20面体モデルの方が計算効率が優れていることを示した。榎本(地球フロンティア)は、高解像度スペクトルモデル(AFES)の計算結果を示した。T1279、96層のモデルにより、アジア域の降水系のシミュレーション結果を示した。片山(気象庁)は気象庁全球スペクトルモデルの地球シミュレータ上での計算結果を示した。T682とセミラグランジュ法を用いたTL1023について計算性能を示した。同様に、石田(気象庁)は、領域非静力学モデル(MRI/NPD-NHM)の地球シミュレータ上での計算結果を示した。719×575×40の格子数で水平格子間隔5kmの実験を行ったところ、25%程度の実効効率を得た。(佐藤正樹)

2.7 総合討論

このセッションでは、J. Dudhia (NCAR), W. Tao (NASA), 齊藤(気象庁)が司会となって、力学過程(Model dynamics)、物理過程(Model physics)、データ同化(Assimilation)、将来の連携(Future work and collaboration)の4つのテーマについて全体討論を行った。

力学過程では、計算機能力の向上に伴い、非静力学モデルが全球モデルを含む全てのモデルで一般的になりつつあることが認識された。高分解能ではスペクトルモデルに対する格子モデルの相対的な経済性が増すことが考えられ、全球モデルの分解能は両者が対等な効率となる分解能に近づきつつある。保存性の問題は気候モデルでは重要となるだろうということも指摘された。

物理過程に関しては、計算機能力の増大に伴い、雲解像モデルに開発された物理過程が数値予報モデルにも用いることが出来つつあることが認識された。雹や霰を予報する3-ice、4-iceスキームや数濃度まで予報する2モーメントスキームの効果については、観測データを用いた研究がさらに必要である。一方で、殆

どの数値予報モデルにとって、積雲対流パラメタリゼーションは引き続き重要な課題である。10-20 km 領域にはあまり適当な対流スキームはないが、対流系システムのメソスケール組織化は解像し個々の対流のアンサンブルはパラメタライズするハイブリッド手法が現時点では可能な手法であろうことなどが指摘された。

データ同化については、3次元変分法がメソ数値予報では多く使われている一方、日本と英国では4次元変分法の開発も進んでいること、衛星やGPSによる可降水量、ドップラー動径風、降水量の同化などが実用化されつつあること、などが認識された。将来の連携については、THORPEXに関連する研究についての地球シミュレータの応用の可能性、モデル相互比較の重要性などが議論された。モデルの検証と比較のための観測データの収集の必要性などについても指摘された。

(斉藤和雄)

3. THORPEX 合同セッション

本セッションは、アジア THORPEX 計画会議と合同で行われた。THORPEX (観測システム研究・予測可能性実験計画) は、世界気象機関 (WMO) の大気科学委員会 (CAS) の世界天気研究計画 (WWRP) のもとで実施が予定されている国際研究計画で、社会的に影響の大きな気象現象 (high impact weather) の予測精度を向上させ社会により有用な情報の提供を可能とする、21世紀の新しい天気予報の実現を目指すものである。研究期間は2002年から10年間を予定している。

予測の対象となる気象現象の時間スケールは、短期 (1-3日)、中期 (4-10日)、長期 (2週間) である。副研究計画として、数値予報の初期値に重要な地域に対して実施する機動観測の手法を研究すること、数値予報モデルによるインパクト実験を行って観測システムを評価し、費用対効果の高い観測網を構築することや、数値予報の精度を向上させるために予測可能性の研究を進めアンサンブル予報の改良を行うことなどが挙げられている。

既に欧米では THORPEX に関して地域内の計画の策定が始まっている。アジアにも THORPEX 地域委員会を設けることを目的として開催されたのが、今回のアジア THORPEX 計画会議であり、中国、韓国、インド、ロシア、米国および日本から約20名の参加があった。

本合同セッションは、アジア域における high

impact weather である気象現象とそれに関連する大規模現象についてレビューを行い、THORPEX として取りあげるべき気象現象、課題、研究方法などについて議論した。

最初に P. Whung (NOAA) は、WMO の中での THORPEX の位置づけを説明し来年度の執行理事会で計画が承認されるであろうと報告した。M. Shapiro (NCAR) は、THORPEX の国際科学委員会の共同委員長であり、THORPEX 科学研究計画を紹介した。昨年の洪水、寒波、乾燥、熱波など世界各地で災害を引き起こした現象はロスビー波のエネルギー伝播のタイミングで起こっていることを示し、THORPEX が全球規模であることを強調した。

この後、アジアでターゲットとなる気象現象である、集中豪雨、梅雨前線、台風、モンスーン、熱帯での MJO (Madden-Julian 振動) についてレビューがあった。吉崎 (気象研究所) は、梅雨前線上のメソ対流系、冬季寒気吹き出しに伴う日本海筋状雲の観測と数値実験結果を報告した。栗原 (地球フロンティア) は、台風の発達・移動の節目に見られる台風の構造の変化に着目した。S. V. Singh (NCMRWF) は、主にインドを中心にアジアモンスーンのレビューをおこなった。高薮 (東大気候システム研究センター) は、Madden-Julian 振動についてレビューと最近の研究結果を報告した。

(中村 一)

4. おわりに

冒頭に述べたように、今回の専門家会議は、シップ・アンド・オーシャン財団の平成14年度海外交流基金による国際交流事業の一環として行われた。シップ・アンド・オーシャン財団に謝意を表するものである。気象庁の三好建正・村井臣哉・高瀬邦夫・熊谷幸浩・大橋康昭・森田重章・米満由光・濱田 修ほかの各位からは、会議の準備・運営、プロシーディングの作成・発送にいたるまで、多大なるご助力・ご協力を頂いた。ここに深く感謝する次第である。

最後になってしまったが、本報告の著者の1人である中村 一前数値予報課長は、現職のまま突然の病に倒れ、2003年10月18日に急逝されている (吉崎, 2003)。THORPEX に関しては、国際中核運営委員会のメンバーとして第1回会議から参加し、アジア諸国の参加活動を取りまとめる Asian THORPEX 議長も務めるなど活躍し、観測システムも包含した数値予報データ同化システムの将来像について夢を馳せられていた。

故人からは早期に原稿を頂いていたにもかかわらず、投稿が遅れ、このような形での報告となってしまった。このことをお詫びするとともに、改めて謹んで故人のご冥福をお祈りするものである。(斉藤和雄)

略 語 一 覧

AFES: AGCM for the Earth Simulator 地球シミュレータセンター全球モデル
 ATOVS: Advanced TIROS Operational Vertical Sounder 米国大気海洋庁の気象衛星搭載改良型サウンダ
 CAS: Commission for Atmospheric Sciences WMO 大気科学委員会
 CMA: China Meteorological Administration 中国気象局
 DWD: Deutscher Wetterdienst ドイツ気象局
 GCE: Goddard Cumulus Ensemble model ゴッダード宇宙飛行センター積雲モデル
 GDAPS: Global Data Assimilation and Prediction System 韓国気象庁全球予報システム
 GRAPES: Global/Regional Assimilation and Prediction Enhanced System 中国気象局が開発中の次世代全球モデル
 GSFC: Goddard Space Flight Center ゴッダード宇宙飛行センター
 JNoVA: JMA Nonhydrostatic model based Variational data Assimilation system 気象庁非静力学変分法データ同化システム
 KLAPS: Korea Local Analysis and Prediction System 韓国気象庁局地解析予報システム
 KMA: Korean Meteorological Administration 韓国気象庁
 LM: Lokal-Modell ドイツ気象局の局地モデル
 METRI: Meteorological Research Institute 韓国気象研究所
 MMM: Mesoscale and Microscale Meteorology Division 米国大気研究センターのメソスケール研究部
 MM5: The 5th generation Penn State/NCAR Mesoscale Model NCAR 第5世代メソスケールモデル
 MSC: Meteorological Service of Canada カナダ気象局
 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 Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター
 NCMRWF: National Center for Medium Range Weather Forecast インド中期天気研究センター
 NICAM: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model 地球フロンティア研究システムの正20面体全球非静力学モデル
 NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration 米国大気海洋庁
 OAR: Office of Weather and Air Quality 米国大気海洋庁の大気汚染センター
 PBL: Planetary Boundary Layer 惑星境界層
 RDAPS: Regional Data Assimilation and Prediction System 韓国気象庁領域予報システム
 RPN: Recherche en Prevision Numerique カナダ気象局数値予報研究所
 THORPEX: The Observing system Research and Predictability Experiment 観測システム研究予測可能性実験
 UKMO: United Kingdom Meteorological Office 英国気象局
 UM: Unified Model 英国気象局全球領域統一モデル
 WRF: Weather Research and Forecasting model 米国で開発中の研究予報コミュニティモデル
 WWRP: World Weather Research Program 世界天気研究計画

参 考 文 献

Japan Meteorological Agency, 2003: Proceedings of International Workshop on NWP Models for Heavy Precipitation in Asia and Pacific Areas, 202 pp.
 室井ちあし, 里村雄彦, 余 偉明, 佐藤正樹, 富田浩文, 那須野智恵, 石田純一, 2002: 第4回非静力学モデリング短期数値予報国際ワークショップ参加報告, 天気, 49, 221-225.
 斉藤和雄, 2001: 次世代数値予報モデル国際ワークショップ参加報告, 天気, 48, 771-776.
 斉藤和雄, 加藤輝之, 永戸久喜, 清野直子, 村田昭彦, 2000: 第3回非静力学モデリング短期数値予報国際ワークショップ参加報告, 天気, 47, 203-210.
 斉藤和雄, 中澤哲夫, 2003: 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, 天気, 50, 539-542.
 吉崎正憲, 2003: 中村 一會員の逝去を悼む, 天気, 50, 943-944.