

次世代数値予報モデル国際ワークショップ参加報告*

齊藤 和雄**

1. はじめに

次世代数値予報モデル国際ワークショップ (International Workshop on Next Generation NWP Model) は、韓国ソウル市にある延世大学 Sangnam Hall で2001年5月14日(月)と15日(火)の2日間にわたり開催された。このワークショップは、領域数値モデルの発展を目的として、韓国延世大学大気モデリング研究所 (LAMOR) が主催し、韓国科学技術省と延世大学の後援により開催されたものである。豪雨を引き起こす対流系システムをシミュレーションするための現在の能力を理解し、水平分解能0.1~30 kmでの次世代領域モデルの物理過程について議論することを主なテーマにしている。今回、LAMOR 所長の T. Lee 教授より筆者に会議参加への招待があり、これに応じて参加した。

2. ワークショップの概要

ワークショップは第1表のプログラムに示すような6つのセッションで構成された。筆者以外の他の国外招待者は C. NAPPO (ARL/NOAA), G. Grell (FSL/NOAA), J. Dudhia (NCAR), J. Kim (LBNL), S. Yum (エール大学), W. Tao (GSFC), Y. Kim (NRL) の7名(いずれも米国)で、会議全体では70名の参加があった。ワークショップの概要とプログラムについては、延世大学大気モデリング研究所のホームページ <http://lamor.yonsei.ac.kr/> から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)。

セッション1: 次世代数値予報モデル

筆者 (K. Saito) は、気象研究所と気象庁数値予報課が共同開発した非静力学メソモデル MRI/NPD-NHM の概要と地球シミュレータ計画、並列版モデルを用いた雲解像シミュレーションの例、開発中の全球非静力学モデル、気象庁の新 NAPS と今後のモデル開発プラン等について講演した。講演に対して、非静力学の力学フレームで全球を対象にすることにどのような意味があるか、等の質問があった。

W. Lee (KMA) は、KMA での現業数値予報システムについて紹介した。KMA での現業数値予報システムは大きく分けて GDAPS と呼ぶ全球データ解析予報システムと RDAPS と呼ぶ領域データ解析予報システムから成り立っている(第2表)。GDAPS は日本の気象庁が開発した全球スペクトルモデルが基になっており、6時間間隔の3次元最適内挿法による4次元同化を行い1日2回の84時間予報と1回の10日予報を行っている他、低分解能 (T106, 21層) モデルによる33メンバーのアンサンブル10日予報を行っている。RDAPS は NCAR が開発した非静力学メソモデル MM5 が核になっており、GDAPS から初期値境界値を受けた30 km 格子のモデルによる48時間予報とそれに多重ネスティングした10 km 格子モデルと5 km 格子モデルによる1日予報を行っている(鉛直層数は33層、領域を第1図に示す)。W. Lee の講演では、全球モデルの改良に関しては、対流パラメタリゼーションに現在の Kuo スキームから Emmanuel のスキームに変更することにより、500 hPa 高度予報の精度が向上するとのことである。

J. Dudhia (NCAR) は、次世代の研究現業共用領域モデルとして開発中の WRF の開発現状と将来計画について講演を行った。WRF は、これまで複数の機関で様々なメソモデルが開発されてきた経緯を踏まえて、研究と現業予報の双方に資するためのコミュニティモ

* Report on the International Workshop on Next Generation NWP Model.

** Kazuo SAITO, 気象庁数値予報課.

© 2001 日本気象学会

第1表 次世代数値予報モデル国際ワークショップのセッション.

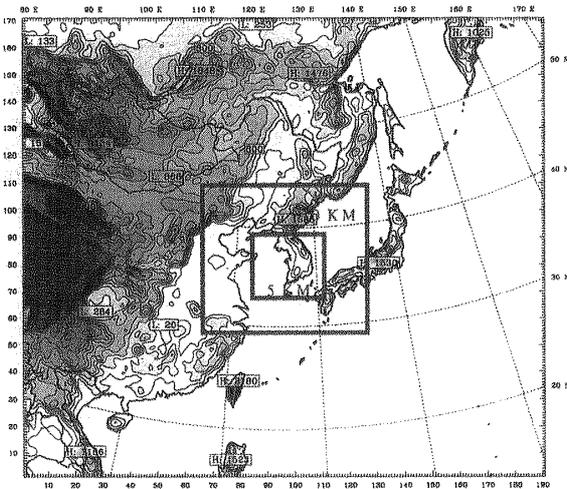
セッション (座長)	第一講演者名 (所属、国名 (韓国は省略))	内容
14日(月) 0930-0940 オープニング	T. Lee (LAMOR)	会議趣旨説明、招待講演者紹介
0940-1040 次世代数値予報モデル	K. Saito (JMA, Japan) W. Lee (KMA) J. Dudhia (NACAR, USA) S. Hong (LAMOR)	MRI/NPD-NHM の概要と計画 韓国数値予報業務の概要 WRF の紹介 WRF を用いた大雨予報の評価
1340-1510 積雲パラメタリゼーション (CP)	G. Grell (FSL, USA) D. Lee (SNU) Y. Park (LAMOR)	アンサンブルクロージャ 大雨事例での CP の評価 大雨事例での CP の役割
1540-1710 雲物理	W. Tao (GSFC, USA) S. Yum (Yale Univ., USA) S. Hong (LAMOR)	GCEM の雲物理と 4 Ice スキーム 凝結核の航空機観測 WRF の降水過程
1730-	LAMOR 主催のレセプション	韓国料理
15日(火) 0900-1030 乱流と陸面過程	Y. Noh (LAMOR) Ji. Kim (LBNL) Jo. Kim (Yonsei Univ.)	LES を用いた PBL 過程の改良 陸面過程のモデリング アジアでの陸面エネルギーの測定
1100-1230 重力波ドラッグ	C. Nappo (ARL, USA) Y. Kim (NRL, USA) H. Chun (Yonsei Univ.)	メソモデルでの碎波パラメタライズ 重力波ドラッグのレビュー 対流起源の重力波ドラッグ
1400-1700 総合討論	J. Dudhia and S. Hong	
16日(水) 0900-1230	招待講演者を対象とする韓国気象庁見学	予報現業室、電子計算機室見学他

第2表 韓国の現業数値予報システム.

予報領域	GDAPS		RDAPS		
	全球		東アジア	朝鮮半島周辺	韓国
分解能	110 km	55 km	30 km	10 km	5 km
格子数	T106	T213	191*171	178*160	141*141
層数 (モデルトップ)	21(10 hPa)	30 (10 hPa)	33 (50 hPa)	←	←
予報時間、回数	10日×33 アンサンブル	84時間×2回 10日×1回	48時間×2回	24時間×2回	24時間×2回
初期値		6時間間隔 OI	12時間ナジ ング	30 km モデル から内挿	10 km モデル から内挿
降水過程	同右	大規模凝結	エクスプリ シット	同左	同左
積雲対流パラメタリ ゼーション	同右	Kuo スキーム	Kain-Fritch	同左	なし

デルを共同開発しようというポリシーで米国で開発されている非静力学モデルで、NCAR, NCEP, FSL, AFWA, OU が共同開発に参加している。NCAR で開発しているモデルの基礎は概ね完成し、物理過程を含む最初のバージョンが2000年11月に公開されており、ソースコードとドキュメントがインターネット上 (<http://wrf-model.org>) で公開されている。設計思想の特徴としては、ドライバ、メディア、モデルの3つ

の「層」にモデルコードを分割していること、共有型と分散主記憶型の異なる計算機種について1つのコードで対応できるようにしていることがある。コードの特徴として、格子配列をベクトル化も含めた分散主記憶型計算機での計算効率を考慮して、通常の (I, J, K) から (I, K, J) にとっている (I, J, K はそれぞれ東西、南北、鉛直のインデックス)。力学コアの面では、ベースとなった MM5 の気圧座標系+水平 B グリッド



第1図 RDAPSの計算領域と地形. 全体が30 kmモデルの領域で, 内側の2つの矩形はそれぞれ10 kmモデルと5 kmモデルの計算領域. KMAのW. Lee数値予報課長の好意により講演スライドから転載.

に比して, 地形に沿った鉛直座標系+水平Cグリッドというオーソドックスなものになっている. 運動量を予報変数とするフラックス形式という面では, MRI/NPD-NHMとかなり共通するフレームになってきている. 音波の扱いは鉛直方向のみを陰解法するHE-VI法を用いているが, 移流を含むロングタイムステップの時間積分には4次精度のRunge-Kutta法を用いている. 一方, NCEPでは音波を水平鉛直方向ともに陰解法してセミラグランジアン法と組み合わせるバージョンの開発も行われている. データ同化を含む将来計画として, 2002年末までの3D-VAR開発と2004年の現業運用, 2005~2008年の4D-VAR開発などが挙げられた.

S. Hong and Y. Noh (LAMOR) は韓国で生じた1997年7月24日と1988年8月8日の2例の大雨のケースについて, MM5とWRFを用いて行った予報実験の結果について紹介した. 水平分解能は45 kmあるいは30 kmで, Kain-Fritschのパラメタリゼーションを用いてのもので, 両モデルとも非常によく似た予報結果を示しているが, どちらの例でもWRFはMM5よりも多くの雨量を予報しており, その理由については今後の調査が必要とのことであった. ケースによってはWRFではモデルの上端付近に凝結が生じる等の問題もまだ残っているようだが, 全体としてはWRFが既に大雨の実例について予報実験が行えるレベルまで完成度を高めつつあるという印象を受けた. なお, 主講

演者のS. Hongは, NCEPに7年間滞在してNCEP領域スペクトルモデルやWRFの物理過程の開発に携わっており, 昨年LAMORに移籍している.

セッション2: 積雲パラメタリゼーション

このセッションでは積雲パラメタリゼーションに関して3件の講演があり, 筆者が座長を務めた.

G. Grell (FSL) は対流パラメタリゼーションの新しい考え方としてクロージャ仮定のアンサンブルを提案した. 任意性の余地のあるクロージャ仮定の異なるパラメータの組み合わせのアンサンブル計算により雲底の質量フラックスを求めようとする提案である.

D. Leeほか(ソウル大学)は, 韓国周辺の豪雨の4つの事例について, MM5の異なる対流パラメタリゼーション(Anthes-Kuo, Betts-Miller, Grell, Kain-Fritsch)で予報実験を行った結果について報告した. 水平分解能は30 km, 18 km, 10 kmの3種である. 各パラメタリゼーションに境界層等の異なる物理過程の組み合わせも実験している. 30 km, 18 kmの分解能ではAnthes-Kuoが, 18 km, 10 kmではKain-Fritschのスキームが成績が良い傾向が見られたが, 10 kmでは4例中2例は良い対流パラメタリゼーションスキームはなかった.

Y. Park and T. Lee (延世大学)は, 朝鮮半島の豪雨の3例について, MM5の異なる対流パラメタリゼーション(Anthes-Kuo, Grell, Kain-Fritsch)でシミュレーションを行った場合の降雨特性について報告した. シミュレーションは水平分解能54 km, 18 km, パラメタリゼーションなしの6 kmのモデルを2ウェイネスティングして行っている. Grell, Anthes-Kuoのスキームに比べ, Kain-Fritschのスキームは結果がケースや鉛直分解能に依存する傾向が見られた.

セッション3: 雲微物理パラメタリゼーション

W. Tao (GSFC)はGSFCの雲アンサンブルモデル(GCEM)について紹介した. このモデルの雲微物理過程は, MRI/NPD-NHMなどと同様の氷相を含むバルク法の雲物理過程であるが, 氷物質として, 氷晶, 雪, あられ, (3 Iceスキーム)に加えて, ひょうの混合比と数濃度も計算するオプション(4 Iceスキーム)を持っている. またバルク法とは別に粒径分布を43のスペクトルに分けるBin法も使えるようになっている. 講演では, TOGA-COAREで観測された海上スコールライン(GCSSのCase 1)の3次元数値実験の比較実験

結果が示され、3 Ice スキームと 4 Ice スキームでは、スコールラインの特徴などシミュレーション結果に両スキームで大きな差はないものの、降水量が 4 Ice スキームでは 30% ほど少なかったこと、層状性の雨が 3 Ice スキームでは最初の 5 時間は 4 Ice スキームより多く、5 時間以降は逆の傾向となるなどが報告された。

このほか、S. Yum (エール大学) and J. Hudson (DRI) は航空機による凝結核の観測についての各種プロジェクトの結果についてのレビューを行った。また S. Hong らは、WRF に組み込まれている雲の微物理過程についての紹介を行い、韓国の大雨の例について WRF と MM5 でシミュレーションした結果について示した。セッション 1 での対流パラメタリゼーションを用いた場合と同様、WRF は MM5 よりも多くの雨量を予報する傾向がある。

セッション 4：乱流と陸面過程のパラメタリゼーション

Y. Noh (延世大学) らは、K 理論に基づく境界層のパラメタリゼーションの改良モデルを提案し、LES をベンチマークに用いた検証を示した。J. Kim (LBNL) は植生、特に根の密度変化を考慮した陸面過程を 36 km 分解能の領域モデルに組み込んで、北米の月別降水量が減少することを示した。また J. Kim らは、アジアでの地表面のエネルギー分配についての観測とモデリングについて講演した。

セッション 5：重力波ドラッグパラメタリゼーション

C. Nappo (ARL) はメソスケールモデルでのサブグリッド地形に起因する境界層内の碎波に伴う重力波ドラッグパラメタリゼーションの必要性について述べ、10 km 格子モデルでの境界層内の移流拡散の違いについて示した。Y. Kim (NRL) は、気候モデルにおける重力波ドラッグパラメタリゼーションをレビューした。H. Chun (延世大学) and J. Baik (KIST) は対流起源の重力波ドラッグパラメタリゼーションについて 2 層モデルに基づく定式化を示し、延世大学の気候モデル (4 × 5 度, 15 層) に導入することで南半球の西風ジェットの過大評価を改善できることを報告した。

総合討論：

総合討論では、J. Dudhia と S. Hong が司会となつて、物理過程のパラメタリゼーションに関する意見交換が行われた。一般講演では出なかった議論として、

陸面過程における積雪深、境界層過程でのサブグリッドスケールの風速に基づくフラックス、対流パラメタリゼーションの高分解能モデルでの扱いや運動量輸送の問題、雲微物理過程での凝結核数の評価や化学過程、重力波ドラッグの 3 次元性の問題や鉛直・水平解像度との関係、などについての意見交換が行われた。また今後の協力関係として、LAMOR での WRF モデルの開発への参加、理想実験やケーススタディに基づく比較実験、などの話題が話されたが、具体的な取り組みの詳細についての議論にまでは至らなかった。

3. 感想

今回のワークショップは、LAMOR の主催によるもので、会議は大変良くアレンジされていた。国外招待者の J. Dudhia, G. Grell 両博士はメソスケール MM5 の中心開発者、また W. Tao 博士は GSFC の雲解像モデル GCEM の開発者である。J. Dudhia, W. Tao の両博士とは米国内のワークショップでも話を交わしたことがあり、以前から多少の面識はあったが、今回の会議ではコーヒブレークや大学構内の宿泊施設での朝食時などでもモデルについてのインフォーマルな意見交換をすることが出来た。WRF は設計思想の決定から比較的短期間で基本的な開発を終え、公開リリースにこぎつけている。しかしながらデータ同化を含む現業運用という面では 2002 年末までの 3D-VAR 開発と 2004 年の現業化、2005~2008 年の 4D-VAR 開発と、気象庁とほぼ同じ線に並んでいるという印象を持った。国外招待者以外は韓国の研究者による講演であったが、MM5 の利用を中心に KMA と直接に近い協力関係で研究を進めている。韓国は、KMA で MM5 による非静力学モデルの現業運用を既に行っていること、現時点では計算機事情が米国よりも良いこと、米国でメソモデルを用いた研究を行った研究者が多数帰国している (LAMOR の場合、5 人の教授・助教授のうち 4 人が米国の大学で学位を取得している。S. Hong 助教授のみがソウル大学だが、前述したように NCEP に 7 年間勤務している) ことなどもあり、NCAR を中心とする米国のモデル開発グループにとって非常に魅力的な協力の場になっているという印象を受けた。なお KMA 数値予報課長の W. Lee 博士から直接聞いた話では、KMA 数値予報課としては、今後は全球モデルの開発により力を入れるつもりであるとのことであった。

ワークショップ翌日の 5 月 17 日には、延世大学 T.

Lee 教授のアレンジにより、KMA の見学ツアーが国外招待講演者を対象に行われた。電子計算機室と予報現業室の見学、KMA 長官 M. Ahn 氏との歓談を行った。KMA は庁舎を1998年にソウル市郊外の新大方洞 (Shindaebang-dong) に移し、スーパーコンピュータ (SX-5/16A: 128Gflops) を1999年に導入して数値予報業務を行っている。2000年にはスーパーコンピュータ (SX-5/12A: 96Gflops) を増強しており、気象研究所のスーパーコンピュータシステム (SR8000/36 nodes: 288Gflops) と同等に近い計算機能力を整備して第2表に示したような数値解析予報システムを現業運用している。予報現業作業室には壁一杯に広がる超巨大画面のマルチディスプレイが2台設置されており、数値予報プロダクトや衛星画像を見ながら、釜山などの管区気象台の予報官とディスプレイ画面を通じてリアルタイムのテレビ会議が行えるようになっている。KMA の Ahn 長官との歓談では、2008年に気象衛星の機能を持つ多目的静止衛星を韓国独自に打ち上げる予定であることを伺った。また積極的に国家ファンドをとって、アジア各国の技術者研修も受け入れているとのことで、韓国は国家的規模で気象の分野に力を入れつつあるという強い印象を受けた。

今回のワークショップでのテーマの1つである豪雨の事例についての対流パラメタリゼーションや雲の微物理については、MM5やWRFはさまざまなバリエーションを持っている。今回延世大学やソウル大学で行っていた豪雨の事例についてのMM5によるパラメタリゼーションの比較についての調査は、筆者には大学よりもKMA数値予報課で行うべき調査のように感じられたため、当初奇異な印象を受け、会場で質問した。しかしこのことはKMA数値予報課と韓国国内の大学とがある程度連携して数値予報の開発に取り組んでいることを示している。最終日にLAMORのS. Hong 助教授の研究室を訪問したところ、教授の要請でKMA数値予報課がモデル実験をした図なども見せて頂いた。大学とKMAが同じシステムを用いているため、大学で開発した成果をKMAではスムーズにテストできるようになっているのである。日本でも気象庁が昨年モデルフォーラムを行い、コミュニティモデルの構築や数値予報モデルの部外提供等を始めたところであるが、今後は数値モデルだけでなく、境界値・観測値等のデータについても様々な研究機関で利用しやすくしていく必要があると思われる。

最後に、今回のワークショップに招待下さった T.

Lee 教授をはじめとして、会議参加にご助力下さった関係者の方々にお礼申し上げる次第である。

略語一覧

- AFWA: Air Force Weather Agency (米国空軍気象局)
- ARL: Air Resources Laboratory/NOAA (米国大気海洋庁空域資源研究所)
- DRI: Desert Research Institute (砂漠研究所)
- FSL: Forecast System Laboratory/NOAA (米国大気海洋庁予報システム研究所)
- GCEM: Goddard Cloud Ensemble Model (ゴダード雲アンサンブルモデル)
- GCSS: GEWEX Cloud System Study (GEWEX 雲システム研究)
- GDAPS: Global Data Assimilation and Prediction System (韓国気象庁の全球解析予報システム)
- GSFC: Goddard Space Flight Center/NASA (ゴダード宇宙飛行センター)
- KMA: Korean Meteorological Administration (韓国気象庁)
- KIST: Kwangju Institute of Science and Technology (クワンジュ科学技術研究所)
- LAMOR: Laboratory for Atmospheric Modeling Research (延世大学大気モデリング研究所)
- LBNL: Lawrence Berkeley National Laboratory (ローレンスバークレー国立研究所)
- LES: Large Eddy Simulation (ラージエディシミュレーション)
- MM5: The 5th Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (NCAR 第5世代メスケールモデル)
- NAPS: Numerical Analysis and Prediction System (気象庁数値解析予報システム)
- 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)
- NRL: Naval Research Laboratory (米国海軍研究所)
- OU: Oklahoma University (オクラホマ大学)
- RDAPS: Regional Data Assimilation and Predic-

tion System (韓国気象庁の領域解析予報システム)
 SNU : Seoul National University(ソウル大学)
 TOGA-COARE : TOGA Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment (大気海洋相互研究計画)
 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)
 3D-VAR : 3-Dimensional Variational Calculus (3次元変分法)
 4D-VAR : 4-Dimensional Variational Calculus (4次元変分法)

====支部だより====

関西支部2001年度第2回例会のお知らせ

日本気象学会関西支部は2001年度第2回例会(四国地区)を次の通り開催します。多数のご参加をお願いします。

日時 : 2001年11月22日(木) 13時~17時
 会場 : 香川大学研究交流棟会議室(教育学部キャンパス内)(高松市幸町1-1)

- 1 「中国・四国地方で見られた積乱雲に伴う突風前線について—1997年8月5日の事例解析—」
 * 渡邊匡央(香川大学大学院教育学研究科), 西村敬一(岡山理科大学総合情報学部)
- 2 「四国における台風による降雨と地形の関係について」
 * 森 征洋(香川大学教育学部), 吉井雅英(古高松中学校)
- 3 「文系大学生を対象とした気象入門教育における一つの実践—GIFアニメキャラクターによる会話形式プレゼンテーション—」
 藤井 健(京都産業大学一般教育研究センター)
- 4 「フェーンによる香川県の昇温について」
 * 浅野準一, 岡本正和, 松村 哲, 松村三佐男(高松地方気象台)
- 5 「四国における短時間強雨の特性(その2)」
 * 松村 哲(高松地方気象台), 清水栄一(清水測候所)
- 6 「光ガラスファイバーによる風の可視化実験」
 西川 敦・岡崎由紀代*(愛媛大学農学部)

特別講演 (15:30~16:45)

題目 : 「楽しい“圧力”と“雲”の実験」
 講演者 : 山下 晃(大阪教育大学)

交通

JR 高徳線「昭和町」下車 徒歩5分
 JR 予讃線「高松駅」タクシー約10分(約700円) 徒歩20分

香川大学教育学部 Web ページ参照
 (<http://www.ed.kagawa-u.ac.jp/>)

懇親会のご案内

例会終了後17時から19時30分まで懇親会を香川大学会館(教育学部キャンパス内)で計画しています。会費は一般:3,500円, 学生:1,000円の予定です。参加を希望される方は, 11月16日(金)までにご連絡ください。

香川大学教育学部森研究室
 E-mail : mori@ed.kagawa-u.ac.jp
 TEL : 087-832-1467 (留守電機能あり)
 FAX : 087-832-1615

