

第10回 RSM に関する国際ワークショップ開催・参加報告*

佐藤 友徳^{*1}・石崎 紀子^{*2}・石崎 安洋^{*3}
 稲津 将^{*4}・岡田 直資^{*5}・仲江川 敏之^{*6}
 高藪 出^{*7}・芳村 圭^{*8}・金光 正郎^{*9}

1. はじめに

2010年8月9日から13日にかけて、第10回 RSM に関する国際ワークショップが札幌市の北海道大学で開催された(第1図)。この国際ワークショップは米国カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所の金光正郎博士の主催で、地域気候モデルの普及・啓発を目的として世界各地を開催地としてきており、10回目となる今大会は、文部科学省グローバル COE プログラム「統合フィールド環境科学の教育拠点形成」と環境省環境研究総合推進費(S-5-3)との共催により北海道大学で行われた。

ワークショップは前半3日間の研究発表と後半2日間のトレーニングコースで構成されており、研究発表として9カ国の参加者から31件の講演があった。トレーニングコースでは、スクリプス海洋研究所を中心に開催されている RSM (Regional Spectral Model) のインストールと実行方法の実習が企画さ



第1図 参加者の集合写真。会場となった北海道大学大学院環境科学院の玄関にて。

れ、芳村 圭博士(東京大学)および Liqiang Sun 博士(Columbia University)の2名の講師が、およそ30名の参加者に対して講義と指導を行った。本稿ではこれらワークショップでの研究発表とトレーニングコースの概要について報告する。なお個々の発表の詳細な内容については、ワークショップのホームページ <http://ecpc.ucsd.edu/projects/RSM/RSM2010/> において確認することができるので、興味のある読者は参照されたい。

2. 研究発表

2.1 モデル開発

はじめに S.-Y. Hong (Yonsei University) が WRF に搭載されている境界層モデル YSUPBL の開発の経緯について、当時の状況を振り返りつつ説明した。また、これとの関連で、彼の学生である H. Shin (Yonsei University) が、モデル最下層の高度に関す

* A report of the 10th International RSM Workshop.

^{*1} Tomonori SATO, 北海道大学大学院地球環境科学研究院。

^{*2} Noriko ISHIZAKI, 気象庁気象研究所。

^{*3} Yasuhiro ISHIZAKI, 気象庁気象研究所。

^{*4} Masaru INATSU, 北海道大学大学院理学研究院。

^{*5} Naosuke OKADA, 北海道大学大学院地球環境科学研究院。

^{*6} Toshiyuki NAKAEGAWA, 気象庁気象研究所。

^{*7} Izuru TAKAYABU, 気象庁気象研究所。

^{*8} Kei YOSHIMURA, 東京大学大気海洋研究所。

^{*9} Masao KANAMITSU, カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所。

る感度実験を行った結果を報告し、境界層が安定・不安定のいずれの条件においても正常な結果が得られるという理由から、最下層高度として10 m が望ましいという結論であった。M.-S. Koo (Yonsei University) は、東アジアの陸上の降水日変化に着目し、位相誤差の原因を複数の感度実験により調べた。その結果、境界層過程によって振幅に、また積雲対流によって位相に、それぞれ誤差が生じていることを示した。E.-J. Kim (Yonsei University) は、下向き短波放射の日変化を取り除くという興味深い実験を行い、チベット高原の地上気温や東アジアの夏季降水量に大きな変化が生じることを示した。また、H.-M. H. Juang (NOAA/NCEP) は、モデルの新スキーム開発の紹介をした。芳村は、水の安定同位体の輸送過程を組み込んだ GSM と RSM および20世紀再解析を用いた水同位体比の長期シミュレーションについて、稲津 (北海道大学) は GCM と領域大気モデルの双方向ネストモデル INCL についての紹介を行った。

2.2 完全境界実験

佐藤 (北海道大学) は、モンゴル域の降水の年々変動の再現性に対する土壌水分の影響を調べた結果を報告した。A. Batbold (北海道大学) はやはりモンゴルの気候の再現実験を MM5 と WRF の2つのモデルで行い、APHRODITE を使った月降水量分布の検証を行った。山田 (北海道大学) は、北アメリカの降水の日変化の再現に RSM による高解像度実験が有効である事を、特にグレートプレーンズ周辺の夜間から明け方にかけての降雨に着目して示した。Y.-B. Yhang (Yonsei University) は、30年間の冬季の完全境界実験の結果から降水のトレンドを調べ、日本南岸に降水量の増加トレンドを示した。恐らく冬型の弱化に伴う南岸低気圧の増加が原因と考えられるが、そのようなメカニズムについての考察は無かった。

2.3 地球温暖化予測

B. Park (Yonsei University) は CORDEX Asia 域で50 km メッシュのシミュレーションをおこなった。CORDEX 域南端の赤道付近の再現性が悪い事が指摘され、S.-Y. Hong は「CORDEX 領域が広すぎてダウンスケールの精度保証が困難である」という点を指摘した。これに関しては R. W. Arritt (Iowa State University) が、CORDEX Africa 領域でも同様の問題があると指摘していた。領域が広いことによって、境界から出入りする擾乱が実際とは異なる振る舞いをする事や、RCM の領域内で擾乱が独自に

発生あるいは発達する可能性が高くなるためであろう。

2.4 海面水温の効果

高玉 (北海道大学) は、湾岸流で詳細な SST 分布が風速分布に影響を与えるメカニズムについて調べた。主要なメカニズムとして Downward momentum adjustment mechanism と Pressure adjustment mechanism の2つが考えられており、彼らの解析では後者でおよそ70%が説明できることが示されていた。D. Putrasahan (University of California San Diego) は RSM と ROMS を結合した領域大気・海洋カップルモデル (SCOAR) の結果を紹介した。彼女の説明では、南東太平洋において、運動量混合が下層収束域を作っているというものであった。金光は、同じ領域大気・海洋カップルモデルを使ったカリフォルニア州周辺のダウンスケール実験 (CCaRD10) の結果の紹介をしていた。名前の示すとおりカリフォルニア域の領域モデルだが、沿岸域の高解像度 SST の重要性が示されていた。このモデルは大気・海洋とも10 km メッシュの格子を用いている。高藪 (気象研究所) が、「通常の AOGCM では海洋モデルの方が大気モデルに比べて水平解像度が高い」という点をコメントしたのに対して、CCaRD10では大気・海洋間のフラックスのやりとりの際に問題が生じることを避けるために同一の解像度を採用している、とのことであった。S. Ham (Yonsei University) は、他の発表とは異なる視点から、SST の影響について調べている。彼女は TRIP モデルで河川の水を海に流し、気候に与えるインパクトを考察した。表層塩分が変わることによって広い範囲で SST が変わることが示された。このように、RCM においても SST の重要性が認識されてきている、ということを一連の発表から感じることができる。

2.5 モデル解像度の問題

E.-C. Chang (Yonsei University) は、非静力学効果のモデル解像度による違いを調べた。RSM と WRF で27 km, 9 km, 3 km 実験の比較を行っていた。9 km では非静力学の効果は見えず、より小さくなると非静力学平衡の効果が出てくる (山岳波の伝播や強い鉛直流などが表現されるようになる) という結果であった。K.-S. Lim (Yonsei University) は50 km-RSM, 12 km-WRF, 3 km-WRF の3段階のダウンスケールによって、韓国の気候の将来予測を行った。その中で山岳波の表現など細かな地形表現の重要

性を主張していた。

2.6 季節予報, 予測可能性

ケニアの J. N. Mutemi (University of Nairobi) は、アフリカの年2回の雨期の再現性を報告した。側面境界に用いた GCM もネストした RSM も10~12月にあるべき2回目の雨期が表現されていなかった。ベネズエラの A. G. Munoz (Centre de Modelado Cientifico) は南アメリカのアンデス山脈に沿った7カ国が共同で行う季節予報プロジェクトの紹介をした。ターゲットは干ばつ、マラリア予測とのことで、異なる SST を用いたマルチ GCM 実験×マルチ RCM 実験×マルチ水文モデルのアプローチをとっている。R. W. Arritt は北アメリカの季節予報プロジェクト MRED を紹介した。まず冬季に注目して実験を開始しており、120アンサンブルメンバーでの実験である。MM5は GCM の循環場をそのまま用いたダウンスケーリングを行っており、そのスキルは GCM の能力に強く依存するとの主張であった。H.-M. H. Juang も MRED に関連した研究の紹介を行っていた。やはり親モデルの影響の話で、五大湖の SST に有る大きなバイアスが RCM の結果に影響を及ぼしているというものであった。仲江川 (気象研究所) は、河川流量の潜在的季節予測可能性を、観測の SST を与えた AGCM によるアンサンブル長期積分実験から推定した結果を示した。流域面積が世界で上位20位以内の大河川では、「降水量と蒸発量の差」よりも河川流量の方が潜在的予測可能性が高く、それは流域による空間平均操作により予測できない変動が小さくなったことが原因であることが示された。

上で述べた通り、本ワークショップではマルチモデルによるダウンスケールや、アンサンブル実験を用いた研究発表が多いことが印象的であった。

2.7 短期予報

A. Kesarkar (NARL) は RSM と WRF を用いたメソスケールモデルによる予報システム構築の話をした。M. K. Das (SMRC) は様々な対流スキームで WRF-ARW を用いた実験をして、イベントに対する降水量の再現性を報告した。P.-L. Lin (National Central University) は、台湾に甚大な被害をもたらした2008年8月の台風について、高解像度の再現実験を行い、山岳域での降水の強化についてさらなる改善が必要であると報告した。また、S.-C. Chen (US Forest Service) はカリフォルニアの森林火災の際の消火活動と連携させる予報モデルの紹介を行った。

「消防士は勇ましく消火活動をしているよりも火勢を眺めているだけのことが多いんだよ」と語っていたのが印象に残る。サンタアナでの火災の際の地上風予報の様子を示し、1 km メッシュのモデルが延焼に係わる風の詳細な変動予測に必要である点を強調されていた。

インドとバングラデシュの研究者から降水の短期予報に関する発表がそれぞれ有り、2.6節で紹介したように、南アメリカ諸国では季節予報のプロジェクトが行われているなど、開発途上国の興味は地球温暖化予測よりも短期予報~季節予報にあるという印象を受けた。

2.8 モデル結果の評価・検証手法

石崎紀子 (気象研究所) は、モデルの再現結果の検証法として、モデルの空間解像度に依らない手法を提案した。アメダスからモデルの解像度に合わせた観測データを作成し、その際の内挿誤差を各格子の代表性誤差とみなして重みづけをした領域平均値によって、異なる解像度のモデルの結果を比較した。これにより、解像度が細かいモデルのバイアス値は、全格子点を平均した場合と比べて大きく異なることが示唆された。発表では、観測の内挿には地点間の距離だけが使用されており、地点代表性の非等方性を考慮した手法の開発が今後求められる。L. De Haan (University of California San Diego) は Threshold skill という方法を提案して、MME の結果が単一モデルの結果よりも良くなることを示した。

2.9 影響評価研究とダウンスケーリング研究の関係

高藪は、日本におけるダウンスケーリング研究の歴史のレビューを行い、また環境省環境研究総合推進費 S-5-3の研究の枠組みを紹介し、「如何にして影響評価研究者に使っていただくダウンスケールデータを用意するか」といった研究の紹介をした。L. Sun は、ブラジルのプロジェクトの紹介をし、その中で RCM のポテンシャルとその予報スキルをどのようにうまく対策につなげていくかについての考察を行った。

3. トレーニングコース

日程後半の8月12日、13日に RSM のトレーニングコースが行われた。トレーニングコースは、日本や米国、中国、韓国、インド、パキスタン、バングラデシュ、ベネズエラ、ケニアなどさまざまな国からの参加者がみられた。12日の午前中は、芳村 圭博士によ



第2図 RSM の使い方の講義風景。

り RSM の使い方についての講義が行われた (第2図)。講義初日の授業では、RSM の初心者それぞれに対して、経験者 (研究者およびその学生も含む) がアシスタントとして付き RSM の実行方法を学んだ。講義の雰囲気は非常にアットホームであり、初心者には学びやすい環境であったといえる。計算が無事成功したときには、何人かの初心者から歓声が上がっていた。同日午後には、芳村 圭博士と Liqiang Sun 博士の講義ののちに、カリフォルニア周辺を対象領域として予め計算されていた20世紀後半と21世紀後半の計算結果を用いて解析の練習を行った。20世紀後半の計算には、境界条件を再解析データ、および CCSM、GFDL の2つの GCM という3つの異なる条件で計算を行っている。将来予測の結果にもこの2つの GCM を境界条件として用いている。その後、20世紀後半の再解析データをダウンスケールした結果と、GCM をダウンスケールした結果を比較した。次に、将来予測として得られた結果が統計的に有意かどうかを調べた。最後に、2つの異なる GCM をダウンスケールした結果に統計的に有意な違いがあるのかどうかを調べた。内容は、モデルの概論、インストール、各種計算設定の方法、計算結果の解析と充実しており、教育的に非常に質の高いものであった。

13日の午前中は、芳村 圭博士により RSM の計算領域の変更方向についての実習が行われ、各々の興味のある地域での計算が自由に行われた。また、物理過程や力学過程などのオプションに関する説明が行われた。最後に、2日間の実習のまとめとして、受講者を2つのグループに分け、2日間で行われた実験結果や解析結果について各グループの代表者が発表を行っ

た。

4. おわりに

本ワークショップのようにモデル開発、モデルを利用した研究、モデルの利用方法の実習という組み合わせは、初心者からベテランまでの幅広い参加者層のそれぞれが楽しめる内容になっていた。また、大規模な計算機設備や密な気象観測網を持たない開発途上国では、人工衛星や地理情報システムとともに、メソスケールモデルの利用への期待が大きいと聞いている。本ワークショップのような活動は、気候変動に対する地域単位の適応性の向上という意味で、非常に大きな役割を果たしていると感じた。

2010年の夏は、日本各地で記録的な猛暑となった。札幌も、ワークショップの開催期間中は、ジメジメした悪天候の日が多く、さわやかな札幌の夏を期待した参加者は残念な思いをしたことであろう。1週間の日程で行われたワークショップとトレーニングコースの間に、半日間の札幌観光のバスツアーを企画した。あいにくの空模様であったが、大倉山のジャンプ台から果敢にジャンプする若い学生を間近で見た際には、海外の参加者からは大きな歓声があがった。2日目の夜にはジンギスカンパーティーも企画され、印象に残る札幌滞在であったに違いない。

謝辞

本ワークショップの開催にあたり、文部科学省グローバル COE プログラム「統合フィールド環境科学の教育拠点形成」から事務手続きや会場の設営、ワークショップの運営に関するサポートを頂きました。また、本会合の運営・参加・報告の一部に当たっては、環境省環境研究総合推進費 (S-5-3) の支援を受けました。お礼を申し上げます。

略語一覧

AGCM : Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
 AOGCM : Atmosphere-Ocean General Circulation Model 大気海洋結合大循環モデル
 APHRODITE : Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the water resources 水資源評価のための高解像度降水観測データ
 CCRD10 : Coupled California Reanalysis Downscaling at 10 km 10 km メッシュにダウンスケールしたカリ

- フォルニア域の結合再解析
- CCSM : Community Climate System Model 米国大気研究センターを中心に開発された気候システムモデル
- CORDEX : A COordinated Regional climate Downscaling Experiment 統合地域ダウンスケーリング計画
- GCM : General Circulation Model 大循環モデル
- GFDL : Geophysical Fluid Dynamics Laboratory 地球流体力学研究所
- GSM : Global Spectral Model 全球スペクトルモデル (GCM の 1 つ)
- INCL : Interactively Nested Climate Model GCM とメソスケールモデルの双方向ネストモデル
- MM5 : The Penn State University/National Center for Atmospheric Research mesoscale model メソスケールモデルの 1 つ
- MME : Multi-Model Ensemble 複数モデルのアンサンブル平均
- MRED : Multi-RCM Ensemble Downscaling of global seasonal forecasts 全球季節予報のための複数領域気候モデルのアンサンブルダウンスケーリング計画
- NARL : National Atmospheric Research Laboratory インド国立大気科学研究所
- NCEP : National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター
- NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気局
- ROMS : The Regional Ocean Model System 領域海洋モデル (海洋モデルの 1 つ)
- RCM : Regional Climate Model 地域気候モデル/領域気候モデル
- RSM : Regional Spectral Model 領域スペクトルモデル (地域気候モデルの 1 つ)
- SCOAR : Scripps Coupled Ocean-Atmosphere Regional Model スクリプス海洋研究所海洋大気結合領域モデル
- SMRC : SAARC (South Asian Association for Regional Cooperation) Meteorological Research Centre
- TRIP : Total Runoff Integrating Pathways グローバルな河川流路網情報
- WRF : Weather Research and Forecasting Model メソスケールモデルの 1 つ
- YSUPBL : Yonsei University Planetary Boundary Layer scheme Yonsei University の惑星境界層スキーム
-