

## 地域気候モデル (RegCM) のアジア領域への適用

### トレーニングコース参加報告\*

石田 祐宣\*\*・李 淳煥\*\*\*

#### 1. はじめに

1998年11月23日から12月2日にかけて、中国・北京で行われた標記プログラムに幸運にも参加する機会を得たので、ここでプログラムの内容と参加した感想を述べる。

当初発展途上国の若手研究者のために用意されたものであったが、募集締め切り間近で日本からも参加できることになった。日本から応募したのは筆者二人のみで、両者とも参加できることになった。筆者について簡単に触れると、石田はこのコースに参加するまで数値モデルの経験は皆無で、主に観測や室内の実験で地表面からの乱流フラックスについて研究している。

一方、李は主にメソスケールモデルと衛星を用いて大気陸面相互作用、特に非均質地表面と大気の関係について研究している。研究手法は異なるが、両者とも陸面過程に興味がある点では一致している。

プログラム主催者は、アジア太平洋地球変動研究ネットワーク (APN: Asian Pacific Network)、地球変動に関する分析・研究・トレーニングのためのシステム (START: Global Change System for Analysis, Research and Training)、中国科学院 (CAS: Chinese Academy of Science) である。プログラムは講義に5日、実習に5日割り当てられた。講義には気候モデルの有名な研究者8人が講師として招待され、半日ずつ RegCM (Regional Climate Model: 地域気候モデル) の背景や各スキームについての講義を受け

持った。また実習は、中国科学院大気物理研究所 START 東アジア地域研究センターの計算機端末で行われた。

このプログラムの目的は、GCM (General Circulation Model: 大循環モデル) サブグリッドスケールの気候を詳しく予報するという RegCM の性質を理解した上で、参加者が興味を持っている対象領域に対して実際に RegCM を動かしてみることにある。モデルをいろいろな領域で動かすことが目的の一つでもあるので、参加者は東アジアに限らず、幅広い地域から集まった。正規の参加者数は24名で、中国 (6)、韓国 (3)、日本 (2)、モンゴル (2)、ロシア (1)、インド (3)、マレーシア (2)、台湾 (中国) (1)、タイ (2)、ケニア (1)、フィジー (1) と10か国にわたった。( )内は各国参加者数。その他に中国から17名、講義だけ参加する聴講生が加わった。 (石田祐宣)

#### 2. 講義

講義は5日間にわたって行われた。配布されていた講義日程は、第1表のようなものであったが、11月26日午前の講義が講師の都合でキャンセルになり (後日講義レジュメは配布された)、後半の日程は詰められた。ここからは表中の番号順に、講義へのコメントを簡単に述べる。

1. では、主に RegCM の特徴・有用性について説明された。先にも書いたが、RegCM は GCM サブグリッドスケールの気候を予報するためのモデルである。つまり GCM では再現されない小規模気候を再現するため、GCM で計算された側方境界条件により、対象となる地域に対して細かいグリッドで計算しようというものである。全球を細かく計算するよりも計算機資源を節約できる長所を持つ一方で、側方境界を GCM で押さえられているために、小さいスケールで起こる現象の大きいスケールへのフィードバックが再

\* Report on the Advanced Training Course on the Application of Regional Climate Model for Asia.

\*\* Sachinobu Ishida, 弘前大学理工学部地球環境学科, ishida@cc.hirosaki-u.ac.jp

\*\*\* Soon-Hwan Lee, 筑波大学地球科学研究科, (現在: 日本原子力研究所計算科学推進センター), shlee@sakura.tokai.jaeri.go.jp

第1表 トレーニングコース—講義当初の予定—  
(1998年11月).

	講義名	講師
23日 午後	1 Introduction of RegCM	Dr. Filippo Giorgi, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Italy.
24日 午前	2 Introduction of GCM and it's performance in Asia	Prof. Jeong-Woo Kim, Yonsei University, Korea.
24日 午後	3 Land surface process	Dr. Zong-Liang Yang, University of Arizona, USA.
25日 午前	4 Radiation parameterization in Climate Models	Dr. Qiang Fu, Dalhousie University, Canada.
25日 午後	5 Cumulus convection parameterization	Prof. Xiao-Ping Zhou, Institute of Atmospheric Physics, CAS, China.
26日 午前	6 Lateral boundary and nesting techniques	Dr. Richard Jones, UK Meteorological Office, UK.
26日 午後	7 Regional climate models comparison	Dr. Hesselbjerg Jens Christensen, Danish Meteorological Institute, Denmark.
27日 午前	8 Application of RCM for Asia	Prof. Congbin Fu, START Regional Centre for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, CAS, China.
27日 午後	Summary Discussion	Convenor: Prof. Congbin Fu.

注1: 講義6はキャンセルされた。

注2: 講義8のRCMはRegCM (Regional Climate Model) と同じ意味。

現できない短所を併せ持つことが強調された。側方境界条件を解像度の低いGCMの出力から与えるnestingの重要性も述べられた。

2. では、GCM (AGCM, OGCM) の歴史から入り、 $\sigma$ 座標系のプリミティブ方程式をグリッド平均とサブグリッドの項に分ける、というおなじみの説明の後、グリッド間隔が大きいと、粘性による摩擦熱の消失が正確に表現できない、といったGCMの欠点が紹介された。その他に、降水量過大評価やアジア領域でのモンスーンの影響など、GCMでうまく表現できない例などが挙げられた。

3. では、「陸面過程とは何か」という基本的なことから講義が始まり、本トレーニングで用いたRegCMでは陸面過程モデル (LSM: Land Surface Model) にBATSが用いられたが、講義ではBATSの他にバケツモデル、SiBについても触れた。100以上のLSMが存在するものの、それらは陸面過程そのものを解明するためにつくられるものが多いと、GCM, RegCMになかなか組み込めないという現状が指摘された。また、地上気象データの領域平均化の問題があることや、海上での気象データが少ないことから人工衛星データの積極的利用が求められること、複雑地表面でのパラメータ平均化の手法には、“Aggregation Rules” (例えば Arain *et al.*, 1997) が適していることなども示され

た。現在は植生地における積雪モデルが注目されていることも筆者らの認識と合致した。

4. では、放射伝達の基礎から話が始まり、本来は広範囲にわたる光学的スペクトルデータを必要とする計算を、デルタ関数を使って簡略化する、delta-two stream techniques (Meadow & Weaver, 1980) による近似の説明が行われた。氷晶雲における非球体粒子の扱い方、また小規模の雲での放射過程では入射角度の情報が重要であるということがわかった。

5. は積雲対流の話で、まず静力学近似が成り立たない場合の方程式系が紹介された。ついで、積雲対流は水平スケールが小さく、時間変化が大きいと、平均化方法を誤ると対流が消失してしまうという問題や、台風のようなドラスティックな現象をどう扱うかといった問題が示された。積雲対流パラメタライゼーションのスキームの例としてはKuo (1974), Anthes (1977), Arakawa and Schubert (1974) 等の他に、メソスケールモデルに適用できるGrell (1993) も説明された。現在、計算機能力が上がりつつあり、深い対流と雲物理との関連をいかに表現するかが重要になってきていることも触れられた。

6. は、RegCMの技術面で重要なnestingについての内容であるはずであったが、講師の急用でキャンセルされた。

7. はnestingの問題に関する話である。現在GCMを局地的な気候変動に利用するにはモデルの分解能が粗いという問題を、先に述べたnestingを利用して解決する。しかし、GCMとRegCMは異なる分解能を持つため、2つのモデルの境界で波のモードの反射などが起こりやすい問題が浮上する。発表者はone-way nestingを中心として話し、側面境界として再解析データを利用することを話した。全球の観測データセットが利用できれば、地域スケールでもかなり観測値に近い結果が求められるようだ。また、異なるRegCMを使った検証結果が示された。モデルによって結果がかなりばらつく印象があった。

8. はアジア領域へのRegCM適用の話である。例えば、日本が作成したモデルは、日本の領域ではパフォーマンスが良いものの、他地域でうまく再現できない部分が存在するといったことから、各領域にあったチューニングが必要であることが示された。アジア領域への適用の目的として、夏季のアジアモンスーンの再現、CO<sub>2</sub>排出量の多いアジア領域の温暖化予測などが挙げられた。その後それらのシミュレー

ション結果が示された。特に興味深かったのが、CO<sub>2</sub>を2倍に増やした場合、気温が2040年までに4~11度高くなること、アジアモンスーンが強化され降水量が10~30%多くなることであった。もう一つ興味深かったのは、モンゴルの草原を砂漠へ、自然林を農地へ変えた場合の実験結果では、地表面での熱・水収支が変わることで、降水量が変わってしまうだけでなく、降水領域も変わってしまうことが示されたことである。

最後に総合討論の時間が与えられた。物理過程だけではなく、化学や生物(植生)過程をもっと現実的に組み込むべきだという意見から、必要とされる計算機のスペックは最低どの程度かといった質問まで、バラエティに富んでいた。(石田祐宣・李 淳煥)

### 3. 実習

実習は4日間に短縮して行われた。実習では、端末の数が少ないので2グループに分かれ、午前と午後で交互に端末を使い、端末を使っていないグループは次のステップの説明を受ける形となった。

ステップは、

1. 領域や地形と土地利用解像度の選択
2. 用いる初期値の選択(種類と時間)及びグリッドの粗いデータを計算対象のグリッドへ内挿する前処理
3. 各スキームを選択しモデルを動かす
4. 結果の図化(GrADSソフトウェアの利用)

となっていた。パラメータの選択など端末での操作は全てNetscape Navigatorが用いられ、UNIX初心者への配慮がなされた。

参加者が同時にシミュレートするため、非常に短い時間だけしか計算する事はできなかった。石田は日本の領域で、冬季の日本海側における降水(雪)について、李は韓国と日本を含む領域で、台風の進路と強度の変化についてシミュレートした。石田の場合は、再現させる時間も短く気圧配置も典型的な冬型が続くパターンであったため、北陸地方での降水が正しく再現できた。一方、李は敢えて難しい台風を題材にし4日間分の再現計算をしたが、台風の経路は合ったものの移動速度が実際より遅く、早い時期に消滅した。これはモデルの拡散係数が大きかったためと考えられた。

(石田祐宣・李 淳煥)

### 4. 生活面

プログラム開始前日に北京入りする予定であったが、北京では珍しく雪が降り空港が混乱したため、筆者らの到着が1日遅れた。それにも関わらず、中国科学院のスタッフが空港まで迎えに来てくれ大変助かった。講義は、北京大学など学術機関の多い北京西北部海淀区に位置する参加者の宿舎(中国科学院ゲストハウス)内で行われ、実習を行う大気物理研究所へはまとまってバスで移動したため、生活面で困ることは無かった。また、キャンセルされた講義の時間など空いた時間には、頤和園や万里の長城(八達嶺)、天安門広場にも案内され、非常に寒かったが観光も楽しむことができた。どこに行っても中国の広さ、大きさを実感できてすばらしかった。日本人は漢字を使うので、字を見ると大体の意味が分かり便利なのだが、他の国の参加者から見ると字が読めるのに会話ができないのが不思議なようだ。

食事はほとんどが宿舎と大気物理研究所の食堂であったが、現地のスタッフが「これは中国料理ではない」と何度か言っていたところを見ると、中国料理の他にコックさんの工夫でいろいろとアレンジされたメニューであったようだ。油分は多かったがおいしくいただいた。

暖房はスチーム式で、宿舎では夜間も運転されていたので、室内にいる限り快適な生活を送ることができた。空気が乾燥していたので、洗濯物は寝る前に室内に干せば起きる頃には乾いたので便利だった。

街は、観光名所に面する表通りは比較的整然としていたが、一步裏道に入ると雑然としており、活気溢れる市場などが数多くあり、散歩していて飽きることはなかった。

裏方であるスタッフの努力のお陰で、大きなトラブルもなく集中してコースに臨むことができた。また、近隣であるアジア地域をはじめ多くの国の人と知り合いになれたことも貴重な体験となった。(石田祐宣)

### 5. おわりに

参加前、講義の内容はととも4~5日で修得できるものではないと恐れていたが、講師が全般的な話に終始せず、特定のポイントに対しても講義をしてくれたので話を聴きやすかった。逆に普段モデルを扱っている人に対しては、講義の内容が基本的な紹介に留まったような気がしたので、もう少し深い内容でも良いように思える。実習では、インターフェイスが簡易化さ

れたが、かえってモデルの構造を把握しづらく思えた。

(石田祐宣)

筆者が主に使っている RAMS (Regional Atmospheric Modelling System) と異なるメソスケールモデルの NCAR の MM5 を使ってみたかったのが今回セミナーに参加した主な理由である。中国の大気物理研究所の RegCM は、元となる MM5 をこの研究所独自にいろいろ改良してあった。例えば放射は NCAR の CCM3 の放射コードを利用したり、地表面過程を変えたりして、中国に合うようにしたのが印象深い。一般的によく利用するメソスケールモデル (RAMS, MM5, ARPS) も、いろいろ目的によって改良するのが妥当だと改めて認識した。そして今回のセミナーは主に計算経験のない初心者を対象にしているので、一般的な紹介に留まったような気がする。滞在の時間が長いので個人的に自由な討論もできたが、講義の内容が少しもの足りなく思えた。

(李 淳煥)

今回のセミナーでは利用したプログラムのソースコードが公開されないまま終わったのが残念だった。NCAR の MM5 のソースコードのように、中国の大気物理研究所の改良版も公開して多くの人が利用できると良いと思う。スタッフによると整備中ということで、公開までは少々待たなければならないようだ。早期の公開を強く望む。

初めてのセミナーということで欠点もあったが、今回の北京を皮切りに 1, 2 年に一度開催されるようなので沢山の人が参加し、気候モデルの理解、ひいては気象と気候変動の予測に役に立ったら良いと思う。

(石田祐宣・李 淳煥)

## 謝 辞

トレーニングコース参加に際し、APN, START, 中国科学院より交通費・滞在費を補助していただきました。また、このコースの参加を安成哲三教授 (筑波大学)、近藤純正名誉教授 (東北大学)、木村富士男教授 (筑波大学) に薦めていただきました。ここに記して感謝いたします。

## 参 考 文 献

- Anthes, R. A., 1977: A cumulus parameterization-scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 270-286.
- Arain, A. M., W. J. Shuttleworth, Z. Liang Yang, J. Michaud and J. Dolman, 1997: Mapping surface-cover parameters using aggregation rules and remotely sensed cover classes, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **123**, 2325-2348.
- Arakawa, A. and W. H. Schubert, 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment. I, *J. Atmos. Sci.*, **31**, 674-701.
- Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumption used by cumulus parameterizations, *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 764-787.
- Kuo, H. L., 1974: Further studies of the parameterization of the effect of cumulus convection on large scale flow, *J. Atmos. Sci.*, **22**, 40-63.
- Meadow, W. E. and W. R. Weaver, 1980: Twostream approximation to radiative transfer in planetary atmospheres: A unified description of existing methods and new improvement, *J. Atmos. Sci.*, **37**, 630-643.