

## 狭領域および可変解像度モデルに関する 国際ワークショップの報告\*

栗原和夫\*<sup>1</sup>・瀬古 弘\*<sup>2</sup>・加藤輝之\*<sup>3</sup>・郷田治稔\*<sup>4</sup>

### 1. はじめに

狭領域モデルおよび可変解像度モデル(モデルの全領域の内、必要な領域の格子点を多くとることにより、その領域の分解能を他の領域に比べて上げた数値予報モデル)に関する国際ワークショップが、1995年10月23日から27日にわたって、中国・北京の国家気象局気象センターで開催された。このワークショップは、WMOのPWPR(Programme on Weather Prediction Research)と中国気象局との共催によるものである。

ワークショップの初日に6つの集中講義があった後、2日目からは最近の狭領域および可変解像度モデルに関する数値計算法の発表と、メソスケール現象を中心としたシミュレーションの発表などが行われた。

オープニングの挨拶にもあったが、近年のワークステーションなどの計算機技術の発達を考えると、数値予報が、発展途上国も含め多くの国に手が届くようになってきている。しかし、まだ全ての国において十分な計算機資源が手に入る訳ではない。限られた計算機資源で数値予報を行う可能性を考えると、最小限必要な地域だけを切り出して予報することのできる狭領域モデルか、必要な部分だけ分解能をあげて精度向上を目指す可変解像度モデルを選ぶことになる。このような状況下で、数値予報の一層の普及と効果的な利用を促すために、これらのモデルの持つ問題点を明らかにし、今後の開発方向と利用方法を明らかにしていこう

という理由から、今回のワークショップのテーマが選ばれている。

このために、ワークショップには、数値予報を従来行っている先進国からだけでなく、今後、研究開発を始めようとしている、あるいは数値予報プロダクトの利用を進めていこうとしている発展途上国からも多くの参加があった。参加者の出身国は、米国、英国、フランス、ドイツ、日本を始め、東南アジア、中央アジア、アフリカ、中南米の各国など様々であり、数値予報に関連する研究者の裾野の広がりを目の当たりにした。

このワークショップのプログラムは以下のようである。

#### オープニング

#### 集中講義

#### セッション1: 現業数値予報

- 1 A 現業用数値予報モデル
- 1 B データ同化と初期値化

#### セッション2: 数値予報技術

- 2 A パラメタリゼーション
- 2 B スペクトル法
- 2 C 力学・数値手法
- 2 D 可変解像度手法

#### セッション3: 応用

- 3 A 局地気候研究
- 3 B 事例研究
- 3 C 降雨
- 3 D 熱帯の解析と予報

#### ポスター・セッション

講演数は、6題の集中講義と、一般講演が50題、ポスターが10題あまりであった。参加国は26か国、約100名の参加があり、日本からは4名が参加した。

\* Report on the International Workshop on Limited-area and Variable Resolution Models.

<sup>1</sup> Kazuo Kurihara, 気象研究所応用気象研究部.

<sup>2</sup> Hiromu Seko, 気象研究所予報研究部.

<sup>3</sup> Teruyuki Kato, 気象研究所予報研究部.

<sup>4</sup> Harunori Gohda, 気象庁数値予報課.

## 2. 集中講義

集中講義は、現在のメソスケールモデルの一般的な問題点を指摘した中国気象局の Dr. D. Chen から始まった。これは静力学近似の限界、物理過程、データ同化など、現在の問題点といわれるものを網羅し、今回のワークショップの内容を概観した講義であった。

続いてカナダの Dr. A. Staniforth が、狭領域モデルにおいて不可避な側面境界の問題について述べ、米国 NMC (National Meteorological Center) の Dr. F. Mesinger がセミラグランジアンなど、数値モデルに使われる最近の計算技法と NMC の狭領域モデル (これは地形を階段状にとるエータ座標を鉛直座標とする独特のモデルである) の改善の紹介を行った。フランスの Dr. P. Bougeault は降水過程、境界層過程などの物理過程の種々のスキームの特性を、重要性についてランクをつけながら、詳しく示した。

最近多くの関心を集めているデータ同化については米国 NCAR (National Center for Atmospheric Research) の Dr. R. Errico がデータ同化と初期値化の基本的な原理と、アジョイント法の基礎について、教育的な解説を行った。現業数値予報に関しては、実際の利用方法まで含めて Dr. D. Majewski がドイツの現業局地予報システムを紹介した。オーストラリアの Dr. J. McGregor は、狭領域モデルを大循環モデルに埋め込み、局地的な気候を調べる研究についてのレビューを行った。

ここで行われた講義は、現在の到達点を示すものではなく、現在の問題点を浮き彫りにし、問題提起をするという立場から行われたものが多かった。数値予報プロダクトを利用する立場の参加者からどのように見えたか分からないが、問題を共有する側からすると、興味深く聞くことができた。

## 3. 一般講演

現在の狭領域モデル、可変解像度モデルの問題は、メソスケール現象の予報技術の問題に直結する。集中講義にも一般講演にもその傾向が強く現れていた。これから数値予報を取り入れようとする国でも、まず大規模場の予報からというのではなく、予報すべき目標としてはっきりとメソスケール現象をあげていたのも、メソスケール現象が生活に密接に関係し、時に大きな災害を及ぼし、その予測がいかに重要であるか、を印象づけた。

現業用モデルに関しては、中国、日本、米国 NMC、

英国、ドイツ、カナダなどの発表があった。その他、フランスが中心になり、オーストリア、ハンガリーなど11か国により開発が進められている ARPEGE/ALADIN (Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle/Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement Inter-National) というモデル (このモデルは静力学モデルと非静力学モデルの2つのバージョンがあるが、今回は静力学モデルについて述べられた) の紹介や、北欧諸国などが開発している静力学モデル・HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) によるシミュレーションの結果についての報告があった。中国の狭領域モデル、台風モデルについては講演だけではなく、その予報結果が部屋にはりだされ、いつでも見られるようになっていた。

これらのモデルの水平分解能はほとんどは 15~100 km であるが、デンマークが HIRLAM の分解能を 4 km にあげて運用中というのが、際だって高分解能であった。ただし、山も低く、主な予報対象が海上の強風 (ヨットなどのため) に絞られているので、静力学モデルで運用しているということである。

MM3 (Mesoscale Model 3), MM4 というモデルについても全体の発表の中で何度も耳にした。米国ペンシルバニア州立大学と NCAR の開発したこのモデルは共同研究という形であれば使用が自由であり、多くの国で用いられている。

セッション 2 B で、郷田は、1996年3月から運用を予定している気象庁の 20 km メッシュの狭領域モデル (RSM: Regional Spectral Model) についての講演を行い、関心を集めた。このセッションはスペクトル法のセッションだが、気象庁のモデルが狭領域スペクトルモデルであるためにこのセッションに振り分けられたのであろう。日本の他、ARPEGE/ALADIN もスペクトルモデルであり、その他の国で研究用のモデルも開発されている。気象庁で巽保夫博士が開発し、世界に先駆けて1988年に正式ルーチン化した狭領域スペクトルモデルも、次第に世界に浸透しつつある。

今回のワークショップにおいて、筆者の大きな関心事の一つは、どの程度の精度を持った非静力学モデルが各国で開発されているかということであった。非静力学モデルについては、カナダ、米国海軍などの他、いくつかの研究用のモデルに関する発表があった。カナダは、「非静力学モデルは、高分解能の局地モデル」という「常識」に反する非静力学全球モデルの発表を行なった。しかし、かつてルーチンとして非静力学モ

デルを使っていた英国気象局や、ARPEGE/ALADINの非静力学バージョンについての発表がなかったのは残念である。長期間の予報のスコアを静力学ルーチンモデルと比較するなどして、非静力学モデルが静力学モデルに置き換わり得る能力を持つことを示すには、まだまだ一歩が必要なのではないかという印象を持った。

先に述べたように、静力学モデル(HIRLAM)の分解能を4 kmまであげて運用している例はあるが、いつまでも静力学モデルでよいということにはならない。現在20 kmメッシュ程度の現業モデルでも、次の世代には1桁の分解能を持つモデルに置き換わる可能性が大きいからである。一体どこから非静力学モデルが必要になるのか、その問いに、加藤は、静力学と非静力学の比較を、方程式の解析とそれを裏付けるシミュレーションテストの発表の中で一つの考え方を示した。もちろんどこまで誤差を許すかということになるのだが、どうも10 kmメッシュあたりが一つの境界になっているような印象を受ける。この発表について、休憩時間中にいくつかの質問を受けたことも、この問題に対する関心の深さを感じさせた。またDr. Bougeaultが、非静力学と静力学の比較がこれだけしっかりと示されたことはないと言ってくれたことには、大いに勇気づけられた。

今回のワークショップでは、「可変解像度」がもう一つの主題であり、そのために領域モデルの側面境界の問題についての発表も多かった。その一つの対応策として、メソスケール現象を対象としながら側面境界を持たない「全球可変解像度モデル」についてもカナダなどから発表があった。ただし、可変解像度モデルには、解像度の不均一に起因する誤差があり、境界に誤差の発生要因を持つ狭領域モデルとの比較は容易ではなく、あまりつまこんだ議論は聞かれなかった。

現業用モデルの物理過程のパラメタリゼーションでは、降水過程のパラメタリゼーションの中に雲物理過程の効果を取り入れることと、境界層過程の高精度化、特に土壌水分量の予報の必要性が強調されていた。加藤の講演がセッション2Aのパラメタリゼーションの項目の中で行われたのも、モデルに、雲物理過程に含まれる水成分によるドラッグの効果を導入するために有効なボックス・ラグランジュ法の開発について同時に示したからであろう。これらの細かな物理過程が問題にされはじめているのは、一つにはモデルの高精度化ということがあるが、もう一つには、あるポイント

の地上気温をそのまま予想するなど、これまでの数値予報とは違った利用方法がされるようになったからという理由もあると思われる。あるポイントの各時間の地上気温の予想などには、境界層過程の改善が不可欠であり、ポイントの降雨の時間変化予報には、雲物理過程によって形成される降雨パターンの微細構造の予報が必要になるからである。

このような細かいパラメタリゼーションの重要性については、集中講義でDr. Bougeaultが口火を切った後、Dr. Majewski, Dr. Mesinger, 英国のDr. Clarkなど多くの研究者の支持を集めた。それと同時に、水平拡散の計算も注意しないと誤った水蒸気輸送がおこる事が報告された。特に英国のDr. Clarkは、霧の予測についての講演で、強い傾斜を持つ地形のある所では水平拡散を計算しないことが霧の予測のためには重要であると述べていた。

データ同化については、格子間隔が40 kmのモデルを使った結果ではあるが、アジョイント法を使って、3時間毎の降水、温度、風の観測データを用いることにより、予報された降水域、降水量とも大幅に改善された事例などが報告された。しかし、ワークショップの力点をシミュレーションモデルに置いたためか、データ同化のセッション1Bの講演数は、キャンセルもありわずかに2題と寂しいものであった。

シミュレーションについては、セッション3とポスターセッションを中心に発表があった。「モデル」を意識したために、現象そのものに加え、分解能などのモデルの要素がシミュレーション結果にどのようなインパクトを与えるか、あるいは、モデルにより現象がどの程度の精度でシミュレートされているか、という側面から調べた結果が多かった。対象となるメソスケール現象としては、各国における強雨現象(特に対流性の)を取り上げたものが多く見られた。メソスケールの強雨は、大きな災害をもたらす、最新のモデルを用いても予報が困難であるためであろう。その他、航空機の運行に影響を及ぼす晴天乱気流が、80 km・10層のモデルの鉛直シアと水平方向の変形からよく予報できるという報告、赤道上(ケニヤ)のカタバ風の前報場が、地表面の粗度により大きく変わるという報告などがあった。興味深かったのは、多数の死者を出して大災害となった、1993年5月のblack stormとよばれる中国蘭州の砂嵐についてのシミュレーションの紹介であった。写真で見せられた、日本では見られない現象の不思議さがまず印象に残った。使われていたのは

40 km の分解能の通常の静力学モデルである。日射の強まりと共に、スコールフロントに沿って下層の風が強まり、強い収束や渦度が形成される様子がよく再現されていた。

今回は、局地気候モデルについてもいくつかの講演があった。ドイツの Dr. Jacob は狭領域モデルを全球モデルに埋め込み、バルト海領域での 1 年間の長期時間積分した結果と、インドモンスーン期間の結果をビデオにして見せた。この説明は休憩時間まで続き、多くの聴衆の興味を集めていた。その他、Dr. McGregor もオーストラリアの熱的低気圧についてのビデオを用いるなど、ビデオが有効に使われていた。

#### 4. おわりに

今回のワークショップでは、メソスケール研究における新しい時代が開かれつつあることを感じる事ができた。

メソスケール現象には、災害を引き起こすような激しい現象が多く含まれ、その解明と予報の改善が待たれている。しかし、これまでは、観測データの不足や、十分な領域、分解能、物理過程を持った数値モデルがなかったために、研究は必ずしも十分に進展しているとは言えなかったように思われる。

今回のワークショップは、メソスケール現象がようやくシミュレートできる、分解能が10～数10 km の現業モデルが主要な話題になっていた。このスケールは、どのような力学過程、物理過程を使うべきかがよくわからない未知の領域とも言われてきた。しかし、計算機の発達により、現業モデルの開発に携わる研究者は否応なくその領域に足を踏み入れつつあり、モデルの改善も始められている。また、予報結果を利用する人の目も、メソスケール現象に向けられつつあり、メソスケール現象の分野には大きな関心が集まっている。

数値モデルによるシミュレーションは、気象現象解明のための力強い武器である。講演で示されたようなメソスケールモデルの改善の努力が今後も続けられ、また、同時にモデルに関する研究とこれまで築き上げられてきたメソスケール現象についての基礎的な研究とが相互に刺激しあい、協力してゆくことができるなら、モデルと基礎研究とも大いに発展して行くことができると期待している。

なお、このワークショップの参加にあたっては、科学技術庁振興調整費、重点基礎研究から旅費の援助を受けました。関係各位のご助力に深く感謝致します。