

第3回非静力学モデルに関するワークショップの報告

岩崎俊樹^{*1}・斉藤和雄^{*2}・里村雄彦^{*3}・
室井ちあし^{*4}・新野宏^{*5}

非静力学数値モデル研究連絡会(非静力 2000)は標記ワークショップを東京都の千代田区にある学術総合センターにおいて2001年9月18~19日の2日間にわたり開催した。これまでの2回は、非静力学数値モデルの共同利用・共同開発の枠組みを探るために、有志を中心に開催してきた。今回は、方向性はある程度定まったので、科学的な議論を深めることに主眼を置き、オープンなワークショップとした。

忙しい時期ではあったが77名の参加があり、物理過程と現象解析、力学フレーム、データ同化と予測の3つのセッションに分けて討論を行った。集中豪雨は非静力学数値モデルの重要なターゲットである。招待講演を始め、構造解析、形成メカニズム、4次元データ同化、数値予報の精度評価など様々な視点で講演が行われた。力学フレームに関しても、LES(Large Eddy Simulation)から全球モデルまで幅広く議論された。完全圧縮系の基本方程式を気象のための実用的な数値時間積分に用いる場合には、差分精度や保存性、ノイズの除去、球面座標の導入など多くの課題が残されている。物理過程のパラメータ化については、問題の大きさの割に報告は少なかった。非静力学モデルの場合も、その性能は物理過程のパラメタリゼーションによって大きく左右される。大気境界層や雲物理など非静力学モデルに相応しいパラメタリゼーションについて議論を深める必要を感じた。

各セッションの内容を以下に簡単に報告する。

招待講演:

小倉義光(日本気象協会)は、「雷雨と集中豪雨の予測」の演題で特別講演を行った。雷雨と集中豪雨は、どちらも深い湿潤対流で、条件付き不安定か対流不安定が発生の必要条件となり、また下層の気塊を自由対流高度まで持ち上げる上昇流があることが十分条件となるが、どれだけの静的不安定度でどれだけの力学的強制で深い湿潤対流が発生するかは、まだ定量化されていないこと、を指摘した。今後の問題として、地域的な発生の違いを見るためには、熱的強制と力学的強制の相対的重要性や相乗効果を定量化する必要がある。非静力学モデルによる調査が望まれること、関東の夏の発雷に関して、CAPE(Convective Available Potential Energy)は意外なほど雷雨発生指標になり得ないことが分かってきており、上層の擾乱に伴う一般場の上昇流と深い湿潤対流の関係を定量化する必要があること、などを述べた。

セッション1 物理過程と現象解析

野田 暁と新野 宏(東京大学海洋研究所)は、水平格子間隔150 mのARPS(Advanced Regional Prediction System, オクラホマ大学を中心に開発されたコミュニティモデル)を用いて、スーパーセル内部の力学構造を、浮力の寄与による気圧偏差と力学的な気圧偏差の項を夫々見積もることにより、調べた。これまで下降流は主に負の浮力によって受動的に生成されていると考えられてきたが、風の鉛直シアと上昇流との相互作用によって下層に発生した負の気圧偏差が下降流の駆動に寄与していることを主張した。三浦裕亮と木本昌秀(東京大学気候システム研究センター)は、梅雨期のNCEPの客観解析に水平格子間隔5 km

^{*1} 東北大学大学院理学研究科。

^{*2} 気象庁数値予報課、^{*3} 京都大学大学院理学研究科。

^{*4} 気象研究所、^{*5} 東京大学海洋研究所。

© 2002 日本気象学会

のRAMSを埋め込んで積雲アンサンブルを生成する数値実験を行い、中国大陸南部では陸面が加熱されて境界層が発達し積雲のトリガーとなること、西太平洋上では中層が中立な成層になることが積雲の発達に重要であること、などを示した。

セッションの後半では、気象研・数値予報課非静力学モデル(MRI/NPD-NHM)を用いた物理過程と現象解析に関する4件の講演が行われた。那須野智江(地球フロンティア研究システム)は、TOGA-COAREで観測されたスコールラインの再現実験を行い、氷微物理過程がスコールラインの形状や発達過程に大きな影響があることを示した。中村晃三(地球フロンティア研究システム/東京大学海洋研究所)は、FASTEX IOP16で観測された大西洋東部の発達した低気圧の雲に関するモデル比較実験プロジェクト参加の結果について、MRI/NPD-NHMは低気圧の発達や前線をよく再現しているが、雲微物理に関してはうまく再現できなかったことを報告した。長澤亮二ほか(東北大学)は、放射過程を変更したMRI/NPD-NHMを用いて1か月長期積分を実行し、やませ雲と移流霧の成因における雲や霧の放射の役割を強調した。加藤輝之(気象研究所)はMRI/NPD-NHMの初期値・境界値としてRSMの予報値を用い、5 km格子での18時間予報の準ルーチン運用(2回/日)を行った。その結果、多様な気象条件で走らせてみるとモデルの境界条件の計算法や山岳付近の差分誤差により計算できなくなる場合があるとわかり、プログラムの改良により解決できたことを報告した。

セッション2：力学フレーム

佐藤正樹(地球フロンティア研究システム/埼玉工業大学)は高解像度完全圧縮性非静力学モデルを地球シミュレータで動作することを念頭に、質量やエネルギーの保存則を満足する差分スキームについて報告した。肖鋒(地球フロンティア研究システム/東京工業大学)はセミラグランジュ-セミインプリシット法を用いた非静力学モデルについて、重力流や山岳波などの計算例を示しながら精度と効率について議論した。赤堀浩司ほか(名古屋大学)および石井克哉ほか(名古屋大学)は全球モデルの力学フレームについて報告した。球面調和関数を用いた従来のスペクトル法は解像度を増やすにつれて計算効率が急速に低下するため、超高解像度モデルには向かないとされている。赤堀浩司ほかは2重フーリエ級数の応用について、石井克哉

ほかは結合コンパクト差分の応用について各々報告した。球面の超高解像度離散化法についてはまだ最終的な解決には至らず今後とも様々な可能性を求めて議論を深める必要がある。

セッション2の後半では、引き続き力学フレームに関する4件の講演発表が行われた。余偉明(東北大学)は、次世代大気メソスケール数値モデルの力学フレームの提案を行った。100 mのオーダーの水平解像度でも安定に積分を行うために完全陰的解法を採用し、有限体積法(Finite Volume Method)を用いている。吉田恭(名古屋大学)は、海洋乱流の小スケール(1~100 m)領域の成層度に対応するLESを行い、シアースペクトルが海洋観測によるものと定性的に類似していることが示された。里村雄彦(京都大学)は、急斜面モデル比較実験を提案し、すでに参加しているいくつかのモデルの結果を示した。傾斜角が45度程度であっても地形準拠の α^* 系でも誤差が大きいことが明らかになった。飯塚悟(産業技術総合研究所)は、地表面粗度を変化させた2次元山岳モデル上の流れのLESを行い、流れの場に及ぼす影響について調べた。風洞実験データと比較すると、定性的には一致することを示した。

セッション3：データ同化と予測

非静力学モデルは、従来は特定の現象のメカニズムを解明する目的で主として研究用に用いられてきたが、最近では研究観測の観測モードを決定するためにリアルタイムの予想が行われたり(吉崎ほか, 2001)、気象庁の現業予報に用いられる計画も明らかになってきている。齊藤和雄(気象庁数値予報課)は、気象研究所と気象庁数値予報課が協力して1999年2月から開発してきている統一非静力学モデル(MRI/NPD-NHM)の現状と今後の開発課題について包括的なレビューを行った。また、不確定要素はあるものの、2003年度から現行のメソスケールモデル(MSM)に代わる防災用短時間局地予報モデルとして、MSMの仕様に準拠したNHMを利用する見通しについて紹介した。気象庁では2001年3月から水平分解能10 kmのMSMによる18時間予報を1日4回運用し始めたが、質の良い初期値を作成するため、4次元変分法同化システムを2002年度中に導入することを計画している。石川宣広(気象庁)は、20 km格子の低解像度モデルを利用したインクリメント法を用いた4次元変分法による3時間予報と最適内挿法・物理的初期値化を組み合わせ

た現業 MSM による3時間予報の結果を、2001年6月19～20日の西日本の大雨の事例について較べ、前者が非常に優れた予報を与えることを報告した。室井ちあし（気象研究所）は、外部のモデルのデータを内挿したときやデータ同化の結果の圧力場と風速場がバランスしていない場合に、積分初期にノイズが発生するのを抑えるために、ヨーロッパのメソモデル HIRLAM やカナダ気象局の全球モデル GEM で使われているデジタルフィルターを MRI/NPD-NHM に導入した結果について報告した。デジタルフィルターは予報開始直後の気圧振動の減少に有効であることが確認されたが、そのカットオフ周波数の設定に任意性があり、現象に応じてどのような値を選ぶかが今後の課題であることが指摘された。本研究連絡会の1つの目標に、国内の多くの研究者が参加して、国産の優れたモデルを開発することがあるが、豊田英司（気象庁）は、特定のモデルをベースに、多くの人が関わってモデルの改良や付加的なモデルを Fortran90 を用いて作成する場合に、標準的なプログラムコードの書き方（標準コーディング・ルール）を制定することが重要であることを指摘し、これまで気象庁数値予報課や気象研究所の有志で検討してきた標準コーディングルールの概要（詳しくは室井ほか、2002参照）を紹介した。

総合討論：

初めに、非静力学数値モデル研究連絡会の活動とこれまでの経緯について、岩崎俊樹（東北大学）より紹介があり、今後の同会の活動に関する意見を求めたが特段の意見はなかった。そこで、時間の許す範囲で、数値モデルの物理過程の改善への取り組みについて議論してもらうことにした。まず、予め準備をお願いしていた中西幹郎（防衛大学校）より、以下のようなコメントがあった。

大気中には様々な物理過程があるが、これらは個別にモデル化され、数値モデルに組み込まれている。物理過程のモデルは、提案された当時の知見や計算機資源の制約により様々な簡略化が行われている。ここで、注意すべきなのは、予報モデルが現象をある程度再現したからといって、すべての物理過程のモデルが正しいとは限らない点である。各物理過程は複雑な相互作用をするので、個々の物理過程のモデルが正しくなくとも、現象の再現に成功することがある。例えば、霧

の予報モデルでは、気温と水蒸気量の子報がともに外れても、霧の出現に関しては成功することがありうる。計算機資源が向上し、新たな知見が得られつつある今、物理過程のモデルを見直す時期に来ている。

このあと、GCSS (Global Cloud System Study) や ARM (Atmospheric Radiation Measurement Program : <http://www.arm.gov/docs/sites.html>) により観測にもとづくモデルの検証を計画中との指摘が岩崎俊樹（東北大学）よりあり、GCSS による北大西洋の低気圧に伴う雲の生成のモデルによる比較実験の紹介が中村晃三（東京大学海洋研究所/地球フロンティア研究システム）より行われた。

終わりに

本ワークショップを主催した「非静力2000」は2001年に気象学会の承認を得て「非静力学数値モデル研究連絡会」として活動することにした。非静力学数値モデルに関する情報交換や開発・利用環境の整備に一層努力したい。もちろん、課題は山積している。インフラ整備のための協力の必要性は誰しも感じている、時として、価値観や研究目的の相違がコミュニティー活動の障害となるように見える。しかし、本来、価値観や研究目的の多様性を包含することこそがコミュニティー活動の財産であり、数値モデルの性能向上にもつながるはずである。研究者が機関を越えて非静力学数値モデルの開発と利用に参加できる形を更に模索しなければならないと考えている。

最後に招待講演をお引き受けいただいた小倉先生、会場の設営などで御協力いただいた気象庁や大学院生の皆様、および議論を盛り上げていただいたすべての参加者に感謝します。

2002年度も引き続き第4回ワークショップを開催する予定です。2001年度の反省点を踏まえて一層有意義な会合にしたいと考えているので、皆様の御協力をお願いします。

参考文献

- 室井ちあし, 豊田英司, 吉村裕正, 保坂征宏, 杉 正人, 2002: 標準コーディングルール, 天気, 49, 91-95.
 吉崎正憲, 加藤輝之, 永戸久喜, 足立アホロ, 村上正隆, 林 修吾, WMO-01観測グループ, 2001: 「冬季日本海メソ対流系観測-2001(WMO-01)」の速報, 天気, 48, 893-903.