

第6回非静力学モデルに関するワークショップの報告*

野田 暁^{*1}・竹見 哲也^{*2}・若月 泰孝^{*3}・日下 博幸^{*4}
 富田 浩文^{*5}・本田 有機^{*6}・永戸 久喜^{*7}・岩崎 俊樹^{*8}

1. はじめに

非静力学数値モデル研究連絡会(非静力2000)は2004年11月25日～26日の2日間にわたり宮城県松島町で標記のワークショップを開催した。非静力2000では研究機関から現業数値予報機関にわたり、非静力学モデルの研究開発の推進と情報の共有を広めるために2001年から毎年、ワークショップを開催しており、今回は米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)の荒川昭夫名誉教授、米国大気科学研究所(NCAR)の笠原彰博士に招待講演をお願いした。2日間で55名の参加、32件の発表があった。都心から離れた開催地ということもあり多くの参加者が会場の宿泊施設を共にすることで昼夜を問わず議論を交わすことが出来た。

これまでのワークショップ開催を通じて、諸物理過程、特に乱流過程や積雲対流パラメタリゼーションに関して多くの議論がなされているが、その後の改善例や検証実験例の報告が少ない様に感じた。多くの場合、数値モデルを用いた解析は、再現された事例に限られるため、個々の数値モデルが導入している諸物理過程のパラメタリゼーションスキームの特長や欠点は見えにくいのではないだろうか。本ワークショップを機会として、個々の取り組みに留まらず同一の事例についてモデル比較実験を行うなどにより、どの部分が再現でき、どの部分に問題が残っているのか、より明確にしていく取り組みも意義深いと思われる。(野田 暁)

2. セッション概要

セッション1：物理過程と現象解析1

野田(東北大学)ほかと氏家(東北大学)ほかは低解像度モデルで用いられる下層雲のパラメタリゼーションの開発とヤマセ雲への応用実験を行った。部分凝結や非局所的乱流混合スキームの導入により過剰な雲-放射フィードバック効果による雲生成、下層大気の冷却を抑えることを示した。鈴木(東京大学気候システムセンター)と中島はビン法雲モデルを用いてエアロゾルから水雲生成に至る2次元数値実験を行い、ドリズルの生成前には凝結成長過程により有効半径と光学的厚さは正相関、生成後は衝突併合過程により負相関となることを示し、その理論的な説明を与えた。橋本(地球科学技術総合推進機構:AESTO)ほかは領域温暖化予測実験を行い、山陰地方に発達した降水帯の構造を解析した。機械的に起こる乱流混合が原因で融解層内で凝結が増大することを報告した。太田(仙台管区気象台)ほかは陸面過程モデルを用いて、寒候期の積雪分布の時間変動を検証し、観測による積雪量は観測値とよく一致している一方、消散過程の再検討の必要性を報告した。(野田 暁)

セッション2：物理過程と現象解析2

本セッションでは、乱流・対流・台風の物理過程を解析した研究の発表があった。まず飯塚(産業技術総

* Sixth Workshop on Non-Hydrostatic Modeling.

^{*1} Akira T. NODA, 東北大学大学院理学研究科.

^{*2} Tetsuya TAKEMI, 東京工業大学大学院総合理工学研究科.

^{*3} Yasutaka WAKATSUKI, 地球科学技術総合推進機構(AESTO).

© 2005 日本気象学会

^{*4} Hiroyuki KUSAKA, 電力中央研究所.

^{*5} Hirofumi TOMITA, 地球環境フロンティア研究センター.

^{*6} Yuuki HONDA, 気象庁数値予報課.

^{*7} Hisaki EITO, 気象研究所予報研究部.

^{*8} Toshiaki IWASAKI, 東北大学大学院理学研究科.

合研究所)と近藤は、樹木を想定した下端境界を持つ孤立峰上の流れをラージ・エディ・シミュレーション(LES)により解析し、乱流によるCO₂の輸送過程を調べた結果を報告した。今後さらなる高解像度化によりメソ気象の計算でもLESが現実的になると考えられ、貴重な話題提供であった。

次の2件は冬季の寒気吹き出し時の筋状雲を対象としたものである。川瀬(筑波大学)と木村は四国沖で見られる海上の筋状雲の発生メカニズムを調べ、渡邊(福島大学)は東北地方陸上での筋状雲の事例を数値実験した結果を示した。海上と陸上の両者の違いを明らかにすることにより、冬季筋状雲の力学について包括的な描像が提示されると期待される。

以下3件は積雲や台風に係わるものであり、那須野(地球環境フロンティア研究センター:FRCGC)は、南米熱帯域での対流雲の日変化について格子分解能依存性を調べ、日変化・深い対流雲・下層冷氣プールそれぞれの再現性を考慮して格子間隔を選択すべきだとした。竹見(東京工業大学)は、雲解像モデルに砂塵粒子の放出・輸送モデルを組み込み、メソ対流系による砂塵の輸送の力学過程について調べた。沢田(東北大学)ほかは雲微物理パラメタリゼーションの違いによる台風の発達過程への影響を理想化した計算設定のもとで感度解析し、台風の発達の度合いは雲微物理モデルにより顕著に異なることを示した。(竹見哲也)

セッション3：物理過程と現象解析3

このセッションでは、まず荒川先生(UCLA)による招待講演が行われ、Multi-scale Modeling Framework(MMF)の紹介があった。MMFは、低解像度気候モデルであっても積雲対流のパラメタリゼーションの不確定性を排除するための計算手法である。気候モデルの各格子点値を環境場として雲解像モデルによるシミュレーションを行い、その結果に基づいて凝結量などの格子点値を求めるものである。米国では大きなプロジェクトとして研究が開始されている。この他にも、将来の非静力学気候モデルのための貴重な提言がなされた。続いて、東アジアの梅雨期をターゲットにした気象庁非静力学モデル(JMANHM)による領域予報実験が5件紹介された。中村(FRCGC/東京大学海洋研究所)と、加藤(気象研究所)と荒波はそれぞれGAME-HUBEXと2004年福井豪雨の再現実験を行った。紹介された事例の再現性は良いとは言えず、共にその原因を境界に用いる解析の品質に帰着させ

た。加えて加藤は海洋上での観測強化を訴えた。若月(AESTO)ほかは、梅雨期の日本周辺域の領域気候予報実験(共生プロジェクト課題4)に関係して、地球シミュレーター用にチューニングされたJMANHMを用いて長期積分を行い、その問題点を指摘した。またこの実験結果から、吉崎(気象研究所)ほかと安永(AESTO)ほかは、温暖化時には、梅雨前線が夏季に至るまで長く停滞することで、九州を中心に豪雨頻度が増加する予測結果を示した。(若月泰孝)

セッション4：計算手法と基礎実験1

3つの一般講演と笠原彰博士による招待講演がおこなわれた。余(東北大学)は、建物解像LESを用いて、大手町の街区を対象とした風のシミュレーションを行い、その結果を紹介した。田中(電力中央研究所)ほかは、数値風洞ともいえる気流モデルM-Windの概要を紹介した。このモデルは、非静力・圧縮性流体の式を基本にしているが、複雑な地形をスモージングせずにモデルに反映させるため曲線座標系へ変換している点、乱流エネルギーと散逸率を最下層まで計算している点がユニークであった。日下(電力中央研究所)は、都市の単層キャンピーモデルを米国で開発中の非静力学モデルWRFに導入した場合、都市のヒートアイランドが明瞭に再現されることを示した。笠原(NCAR)は通常無視されている、地球回転の水平成分による非静力学項の効果について解説した。その効果としてあまり知られていなかった準慣性振動モードが現れ、そのモードの鉛直分布が複雑となる場合もあり、予報モデルの中でそのモードがノイズのように現れる可能性があることを示した。この非静力学項は鉛直加速度と共に特に中小規模擾乱の予報に考慮されるべきなので、笠原はこの非静力学項の効果を更に研究するよう強調し、活発な質疑応答があった。(日下博幸)

セッション5：計算手法と基礎実験2

本セッションでは、全球非静力学モデルの講演が3件あった。いずれも現在FRCGCで開発している全球雲解像モデルNICAMに絡むものである。伊賀(FRCGC)ほかは、鉛直解像度が粗い場合、水平方向に単純に高解像度化すると重力波に伴い温帯低気圧の寒冷前線の多重化が見られるが、この現象は前線の傾きが急峻になることに伴う計算モードであると結論付けた。水平高解像度化を行う際には下層での十分な鉛直解像度が必要であることを示唆する。佐藤

(FRCGC/埼玉工業大学)ほかは、これまで彼らの研究グループで行ってきた熱帯の放射対流平衡実験をまとめた。主に環境場(可降水量, CAPE等)について水平解像度依存性, 雲物理スキーム依存性などを調べ, 全球雲解像実験への道筋を与えた。このような放射対流平衡実験の延長として, 富田(FRCGC)ほかは, 全球雲解像モデルによる水惑星実験の結果を報告した。前述の熱帯条件の放射対流平衡実験と比較して, 大規模収束場により赤道での可降水量が大幅に上昇することを示し, より現実に近いことを示した。また, 積雲をパラメーター化する大循環モデルと比較してITCZが顕著に狭くなることを示し, 解像度による依存性を今後の課題とした。(富田浩文)

セッション6: データ同化と予測1

本セッションでは, JMANHMの現業運用開始に関わる報告と変分法データ同化システムの開発報告が行われた。

気象庁では, 防災業務と航空予報業務の支援のためにメソ数値予報システムを運用している。2004年9月よりJMANHMの現業化を行った。石田(気象庁数値予報課)ほかは, これまでの改良とあわせて新システムの仕様について説明を行った。田中(気象庁数値予報課)ほかは, この現業化に向けて行われた性能評価の結果を紹介し, 従来の静力学モデルよりも統計的に優位であることを示した。特に雲物理過程の効果により降水過剰が改善され, 山岳付近の降水表現も改良されていることを指摘した。

次期NAPSでは解析システムもJMANHM用変分法解析システム(JNoVA)を用いることが計画されている。本田(気象庁数値予報課)ほかは, メソ〜総観スケールの現象を対象にしたJNoVAについて, 制御変数と湿潤過程を含む接線形・随伴モデルの開発報告を行った。西嶋(気象庁数値予報課)ほかは, JNoVAの3次元変分法解析システムによる毎時解析・予報サイクルを構築し, 関東での北東気流の事例実験の結果を紹介した。(本田有機)

セッション7: データ同化と予測2

本セッションでは, 前のセッションに引き続きJMANHMに関連して物理過程に着目した2件の講演とデータ同化システムについての講演1件が行われた。永戸(気象研究所)らは, JMANHMによるメソ降水系の再現実験結果にマイクロ波放射伝達モデルを

適用して得られた輝度温度を衛星搭載マイクロ波放射計データと比較した結果を発表し, モデルの雲物理量予測検証に対する衛星観測データの利用可能性を示した。長澤(気象庁数値予報課)と北川はJMANHMに実装されている現行の放射スキームの問題点を指摘し, 気象庁現業全球モデルで使用されている放射スキームの導入によりその改善を図った結果について報告した。両スキーム間の最も大きな違いは雲の放射特性の扱いで, 新スキームへの変更によって地上や上層の気温予測が改善された結果が示された。川畑(気象研究所)ほかは, JMANHMに基づいた高解像度の4次元変分法解析システムの開発状況について, 水物質の移流を含むシステムを開発したことを報告した。またこのシステムを1999年の練馬豪雨の事例に適用し, GPS可降水量とドップラーレーダー動径風を同化して良いインパクトが得られた結果も報告された。

(永戸久喜)

総合討論:

総合討論では, 非静力学数値モデル研究連絡会のこれまでの活動について簡単にレビューした後, 今後の活動について議論した。気象のための非静力学数値モデル研究の重要性はいまさら言うまでもない。メソモデルはもちろん, 全球からLESまで大きな広がりを見せている。しかしながら, 日本での研究活動を概観すると, LESに関する基礎的な研究への取り組みが欧米に比べて遅れていることが指摘された。汎用のメソモデルの妥当性はLESによって検証されなければならない。LES開発分野では研究連絡会はまだ十分な機能を果たしているとは言えず, 今後の課題とされた。また, 予報を含めた応用分野の拡大にも一層の努力が必要である。本研究会の特色として, 気象庁と情報交換に重点が置かれており, 研究成果を社会に還元するためにも, 今後とも積極的な情報交換を図るべきであろう。異分野との交流を深め, 新しい応用分野を開拓しつつ, あらたな研究課題を発掘していくことが望まれる。(岩崎俊樹)

3. 終わりに

総合討論においても議論された様に, 情報の共有は非静力モデルの開発者とユーザーの相互の利益はもちろんのこと今後の活動の展開を行う上でも大きな一歩となりうる。東北大学では, 過去のワークショップ内容のアーカイブと共に2004年6月より, ツールブック

スを公開している (<http://wind.geophys.tohoku.ac.jp/nonhydro/toolbox/>). まだ不十分な点もあるかと思うが是非御活用頂きたい。また、多様性のある気象擾乱についての理解を深め、その数値モデリングを行うためには多くの検証実験を積み重ねることが不可欠である。解析ツールだけでなく再現性の良い事例について追試験を行うための環境場のデータセットなどの共有の推進も行なっていきたいと考えているので御協

力頂ければ幸いである。

最後に、遠路の中、御越し頂き招待講演を御快諾下さった荒川昭夫、笠原 彰両先生、会議運営に協力して頂いた東北大学流体地球物理学講座の方々、活発な議論をして頂いた参加者の方々に心より感謝します。本ワークショップは日本気象学会、非静力2000による主催、気象庁による後援で行われました。(野田 暁)