

## 第2回非静力学数値モデルに関する国際ワークショップの報告

岩崎俊樹<sup>\*1</sup>・伊藤耕介<sup>\*2</sup>・三浦裕亮<sup>\*3</sup>・大塚成徳<sup>\*4</sup>  
 馬場雄也<sup>\*5</sup>・橋本明弘<sup>\*6</sup>・斉藤和雄<sup>\*7</sup>・原旅人<sup>\*8</sup>  
 野田 暁<sup>\*9</sup>・沢田雅洋<sup>\*10</sup>

## 1. はじめに

2012年11月28日～30日に第2回非静力学数値モデルに関する国際ワークショップ (Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Modeling, 主催: 日本気象学会非静力学数値モデル研究連絡会) が東北大学片平キャンパス内にあるさくらホールで開催された (第1図)。

非静力学数値モデル研究連絡会は、これまで研究会を13回ほど開催してきた。2010年には最初の国際会議を京都で開催した (里村ほか 2011)。京都会議の後、次は仙台でということ準備を進めてきたが、2011年3月11日に東日本大震災が発生し、東北大学では多くの施設が使用不能となったため、計画を一旦白紙に戻した。余震はなかなか収まらず、福島第一原子力発電所事故に関する風評も気がかりで、結局、仙台での開催を最終的に決断したのは2012年の3月にずれ込ん

だ。準備が遅れたことと、上に述べた事情で海外への勧誘は控えめであったことから、参加者は70名ほどで、京都会議に比べるとやや少なかった。ただ、海外から2回目の参加者もかなりあり、趣旨が浸透し、議論は前回より一層深まったと考える。

当会議の目的は非静力学数値モデルの開発と高度利用を推進することである。扱われる課題は、全球モデルからLESに至る力学フレームや物理過程のパラメタリゼーション、データ同化、および非静力学モデルを利用した気象・気候の解明などである。非静力学数値モデルが現実化され、多くの研究者が非静力学数値モデルを利用した研究を実施するようになった。当該分野の進展は急速であり、国際ワークショップなどを通じて世界の研究動向を確認し情報交換を進めることは意義があると考えている。

なお、本ワークショップの講演要旨がホームページ ([http://wind.gp.tohoku.ac.jp/nhm2012/program\\_0919.pdf](http://wind.gp.tohoku.ac.jp/nhm2012/program_0919.pdf)) に公開してあるので、個々の詳しい発表内容はそちらを参照していただきたい。

## 2. セッション概要

## 2.1 台風

28日は台風・グローバルモデル・ダウンスケーリングに関する17件の発表があり、午前の台風セッションでは、5件の発表が行われた。

Nolan (マイアミ大) は、データ同化のテストベッドに必要な高解像度台風シミュレーションについて紹介した。水平格子点間隔は1 kmであり、非断熱加熱や鉛直風速の分布がより精細に表現されるようになったほか、中心気圧と最大風速との関係や構造の日変化が現実的に再現されているという特徴がある。こ

\*1 Toshiaki IWASAKI, 東北大学大学院理学研究科。

\*2 Kosuke ITO, 海洋研究開発機構地球環境領域。

\*3 Hiroaki MIURA, 東京大学大学院理学系研究科。

\*4 Shigenori OTSUKA, 京都大学大学院理学研究科 (現 理化学研究所計算科学研究機構)。

\*5 Yuya BABA, 海洋研究開発機構地球シミュレーションセンター。

\*6 Akihiro HASHIMOTO, 気象研究所予報研究部。

\*7 Kazuo SAITO, 気象研究所予報研究部。

\*8 Tabito HARA, 気象庁予報部数値予報課。

\*9 Akira T. NODA, 海洋研究開発機構地球環境変動領域。

\*10 (連絡責任著者) Masahiro SAWADA, 東京大学大気海洋研究所。sawada@aori.u-tokyo.ac.jp



第1図 参加者の集合写真。

の計算結果は、さらなる検証が済み次第、インターネット上で6分毎のデータセットとして公開されるとのことである。

伊藤耕介 (JAMSTEC) は、台風状況下の海面交換係数の不確定性がデータ同化において考慮されていないことを踏まえ、初期値と海面交換係数の同時最適化を行った。理想化実験及び気象庁現業非静力学メソ同化システムを用いた実験によって、同時最適化が台風強度の再現性向上と進路予報改善に貢献することを示した。

横田 祥 (気象庁) は、ITCZ breakdownに伴って複数の台風が形成される過程を、非静力学モデルを用いた理想化実験により調べた。エネルギー収支解析の結果、初期には複数の渦が水平シア不安定により形成されるが、やがて浮力生成が主要な役割を果たすようになった。また、東西波数空間での運動エネルギー収支解析から、Vortical Hot Tower 仮説から期待されるような積雲スケールの運動エネルギーによる台風の発生・発達への寄与は小さいということが分かった。

武田一孝 (東大) は対流圏中層に置かれたウォームバブルを起源とする台風の生成メカニズムについて述べた。台風の理想化実験を行う場合には、風速10 m/s以上の強さを持った初期渦から始めるのが一般的だが、対流圏中層に高温位偏差がある場合には、初期渦がない状態から実験を開始しても、台風が形成されることを示した。

相木秀則 (JAMSTEC) は、台風-波浪-海洋結合モデルの結果について紹介した。大気海洋間の各種フラックスは海上風速と大気の安定度に依存した関数と

してパラメタライズされるが、現実の海面状態は波浪による粗度や波齡 (風速と波浪の位相速度の比) にも依存する。また、3次元海洋モデルと結合することによって、混合層内の乱流や吹走距離などの履歴を反映した、より現実的な水温低下が再現される。これらの物理過程を1つのシステムとして理解するためには、大気-海洋-波浪結合モデルを用いた研究が今後も重要なものになると考えられる。 (伊藤耕介)

## 2.2 グローバルモデル

計算速度の飛躍的な向上に伴い、全球非静力学モデルの開発・利用研究は諸外国においても活発になりつつある。このセッションでは、NICAMを利用した最近の研究報告と、NCARとCSUがそれぞれ開発を進めている全球非静力学モデルの紹介などがあつた。

NICAMに関しては、三浦裕亮 (東大) がCINDY2011観測期間中のMJOイベントの再現性が雲微物理パラメーターに大きく左右されることを示し、宮川知己 (東大) は京コンピュータ上で進めている複数MJOケースのシミュレーション結果と予測可能性評価についての初期結果を発表した。また、佐藤正樹 (東大) からは最近のNICAM関連プロジェクト全般の紹介と気候変動に伴う雲水・雲氷の変化傾向に関する発表があつた。

Skamarock (NCAR) は全球非静力学モデルMPASの開発状況を紹介した。力学コアに関する基本的なテストが問題無く終了していること、局所的に格子を細かくした場合にも解の歪みがほとんど生じないこと、物理過程を含めた実験でわずかながら数値ノイズが見られたが弱い数値拡散を加えることで安定化できることが示された。NCARの新しいスーパーコンピュータを使い、近いうちに7 km格子を用いた全球“雲解像”計算を行う予定とのことである。

Jung (コロラド州立大) はArakawa (UCLA) と共同で開発を進めているquasi 3D MMFが、現実的な渦を再現できる段階まで到達したことを発表した。最初にそのアイデアを聞いた時には実現はかなり難し

そうだと感じたが、Jung と Arakawa が一つ一つ困難を乗り越えてモデルを作り上げて行く過程からは学ぶことが多い。Konor (コロラド州立大) は、CSU の全球非静力学モデルの方程式系 (音波関連の圧縮性のみ取り除く近似を行う) を紹介し、2次元モデル・全球非静力学モデル UZIM のテスト結果を発表した。

Xu (NASA) は Cheng と共に開発している3次元乱流クローザーモデル IPHOC (intermediately prognostic higher-order turbulence closure) を SPCAM (CAM の物理過程を埋め込んだ2次元雲解像モデルで代用する) に組み込むことで下層雲の再現が大幅に改善することを発表した。また、当日早朝に終わった計算結果として、CAM+IPHOC が、カリフォルニア沖・ペルー沖・北太平洋・オーストラリア西岸などの下層雲をかなりよく再現することを示した。発表時間を大幅に超過し、会場からは若干退屈な様子も感じられたが、200 km 格子の気候モデルが衛星と比較できるほど下層雲を再現し得るという結果は、個人的には本ワークショップで一番の衝撃であった。

(三浦裕亮)

### 2.3 ダウンスケーリング

このセッションではダウンスケーリングというテーマで、様々な地域・現象を対象にした試みが5件報告された。

Wang (ハワイ大) は、ハワイ諸島の気候変動を調べるため、WRF にハワイの詳細な地形・土地利用・土壌データを導入し、3 km 解像度で10年分の実験を行った結果を示した。ハワイ諸島は貿易風の影響下にあり、風上側で降水量が多く、風下側で少ないが、実験ではそれが良く再現されていた。さらに、温暖化影響下でその傾向が強化されることなどを報告した。

大塚成徳 (京大) は、インドネシア・ジャカルタの洪水事例を対象に、JMANHM で再現された降水系の面積に関する統計解析結果を報告した。対流性の強雨域に対応する閾値を用いると、降水系面積の頻度分布は対数正規分布を示すこと、モデル解像度を変えても強雨域の面積頻度分布はあまり変わらないことを示した。

渡邊俊一 (東大) は、冬季日本海上で発達するメソβ渦の形成過程を明らかにするために、JMANHM による数値実験を行った結果を示した。初期にシアラインに沿って発生した渦列が併合して一つの渦になり、明瞭な目をもつ軸対称構造が得られることが報告

された。会場では、北米五大湖の寒気吹き出しとの類似性について議論が交わされた。

東 邦昭 (京大) は琵琶湖西岸で吹く局地風「比良おろし」について数値実験結果を報告した。比良おろしは毎回異なる場所に、狭い範囲で強風が観測されるが、理想実験と現実の再現計算より、特定の風向・風速の条件下で、山の downstream に環境風の淀み域が発生し、温位の鉛直勾配が緩むことで、上空の強風が山の麓に達することを見いだした。

Chen (東北大) は、JMANHM とビル群を解像する CFD モデルを組み合わせ、仙台空港のライダーで観測された境界層の水平対流ロールの超高解像度計算を行った結果を報告した。ライダー観測の同化を行うことにより、現実的な走向、波長でロールが再現されること、ロールの出現は地表面状態に大きく依存することなどを示した。

これらの発表に見られるように、メソスケールやさらにスケールの小さい気象現象の研究、温暖化影響評価など、今後ともさまざまな分野で非静力学モデルを用いたダウンスケーリングの活躍が期待される。

(大塚成徳)

### 2.4 雲物理過程 I

Morrison (NCAR) は VORTEX2 の観測データセットを用いて、1 および 2 モーメント雲微物理スキームの水平解像度依存性を調べた。降水の傾向は水平解像度に依存し、雲微物理スキームの違いによる感度よりも解像度の依存性が卓越することがある。水平解像度によって対流活動の動力学・熱力学効果に変化し、これによって雲微物理スキームが影響を受けることを示した。

馬場雄也 (JAMSTEC) は短期および長期の幾つかの理想実験を行い、1 および 2 モーメント雲微物理を比較することで 2 モーメント雲微物理の有効性を示した。スコールライン実験では 2 モーメントの雨水分裂過程だけでなく、氷生成過程が降水変化に影響を及ぼすことを示し、放射対流平衡実験および TOGA-COARE 実験では氷生成過程の 2 モーメント化が雲の光学特性に大きな影響を及ぼすことを示した。

森安聡嗣 (気象庁) は現業予報に使用している雲微物理スキームの改良のために相互比較実験モデルである KiD を用いて、1 および 2 モーメントスキームを比較し、感度解析を実施した。氷の水物質に関するモーメント数の違いで雲水量が大きく変化し、この雲

水量が気温に大きな影響を持つことを示した。

端野典平（東大）はジョイント・シミュレータを用いてNICAMのモデル出力を衛星シグナルに変換し、モデル結果と衛星データ（merged CloudSat-CALIPSO）の比較を行うことでモデルの検証結果を示した。雲の種類別に衛星データを整理することで、雲の種類別の詳細な再現性検証を実現した。

沢田雅洋（東大）はドップラーライダーから得られたデータを用いてLETKFを利用した側面境界最適化スキームを提案し、東北領域のダウンスケーリング予報に適用することで予報精度を向上させ、その有効性を示した。最適化スキームを適用しない場合と適用した場合を比較し、予報におけるエラー成長が劇的に抑えられることが示された。（馬場雄也）

## 2.5 雲物理過程 II

Tao (NASA/GSFC) (欠席のため井口による代読) は、GCE, WRF, fvGCM-GCEの各モデル間で物理過程を共有化することで各モデルの開発を効率化するNASA/GSFCの取り組みを紹介するとともに、いくつかの事例についてモデルと観測の比較結果を示した。

井口享道 (ESSIC/UMCP, NASA/GSFC) は、五大湖の湖面効果による降雪雲と総観規模強制による降雪雲の再現実験を、ピン法雲物理の組み込まれた非静力学モデル (WRF-SBM) を用いて行った。前者は比較的密度の高い雲粒付雪片や霰粒子、後者は密度の低い雪片で特徴付けられることを示した。

中村晃三 (JAMSTEC) は、暖かい雨過程に関して、2モーメントピン法雲物理が組み込まれたCReSSモデルを用いた海洋上の浅い積雲の再現実験を行った。その結果をもとに行っているバルク法雲物理モデルの開発において、バルク変数 (混合比・数濃度) を説明変数とする回帰分析によって雲-雨変換率を決定する手法の特性と課題について議論した。

橋本明弘 (気象研) は、氷相過程も含んだ多次元ピン法雲物理モデルによる断熱上昇パーセル実験の結果を用いて、4-ICEバルク法雲物理パラメタリゼーションの開発・改良に取り組み、従来の3-ICEパラメタリゼーションに比べて、多次元ピン法モデルにより近い結果が得られることを示した。（橋本明弘）

## 2.6 データ同化

午後の最初のセッションでは、主にデータ同化に関

する5件の講演があった。

斉藤和雄 (気象研) は、2011年8月26日に東京、神奈川などに大雨をもたらした局地豪雨の雲解像アンサンブル実験について講演した。科学技術戦略推進費研究「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」で行われている首都圏稠密観測「TOMACS」で観測された事例であり、本州中部域をターゲットとしたメソ特異ベクトルの摂動を加えた解像度2 kmのJMANHMで、海風の侵入とそれに伴う地上収束によるメソ対流系の発生と強雨が良く表現された。

瀬古 弘 (気象研) らは、2008年9月の大阪での局地豪雨や2011年7月のヤマセ、2012年5月の関東の竜巻の事例などを対象とする、局所アンサンブル変換カルマンフィルタLETKFのネストシステム (Seko *et al.* 2013) を用いたデータ同化実験について講演した。関東の竜巻の事例では、水平解像度1.875 kmのLETKFで表現の良かったメンバーの予報を水平解像度350 mのJMANHMでダウンスケールし、竜巻が発生した3か所にほぼ対応して、大きな ( $0.1 \text{ s}^{-1}$ ) 渦度が得られた。下層の水蒸気量と渦の寿命の関係を論じた。

川畑拓矢 (気象研) らは、2010年7月5日に東京都板橋区などに100 mm/hrを超える大雨をもたらした局地豪雨を対象とするドップラーライダーデータの同化実験について講演した。水平解像度2 kmの非静力学4次元変分法NHM-4 DVAR (Kawabata *et al.* 2011) を用いて、ライダー動径風を高頻度 (1分おき) に同化することにより、対流系に吹き込む下層風の向きや水蒸気量が変化し、より実況に近い降水系を再現することが出来た。

Duc (JAMSTEC) らは、平成23年7月新潟・福島豪雨のLETKFを用いたデータ同化実験について講演した。気象庁メソモデルと同じ領域をカバーする水平解像度10 km 50メンバーのNHM-LETKFによる3時間サイクルの連続同化を行い、7月28日12 UTCの解析値を用いて水平解像度2 kmの30時間延長予報を行った。同時刻の気象庁JNoVA解析からの予報に比べ、強雨の予報で良い結果が得られた。

幾田泰醇 (気象庁) は、熱帯降雨観測衛星に搭載されている降雨レーダTRMM-PRのデータを用いるシングルカラムLETKFの開発について講演した。アンサンブル予報を行わず、解析対象とする格子点の周囲の予報をサンプリングすることによりアンサンブル予報誤差を得て、LETKFのアルゴリズムを用い、

PR データを同化するというアイデアを提案した。解析インクリメントはIAUと呼ばれる一種のナッジングによって、JNoVA のアウトーループの雲物理量に反映される。(斉藤和雄)

### 2.7 高解像度モデル・物理過程の評価・検証

2 日目午後の後半セッションでは、高解像度モデルやモデルの評価に関する 6 件の講演に加え、2011年3月の東日本大震災についての特別講演が行われた。

Ricard (仏国立気象研究センター) は、フランスで開発されている AROME と Meso-NH の 2 つの高解像度モデルについて、対流セルが卓越する事例における運動エネルギーのスペクトルの振る舞い、解像度依存性などについて議論して、2 つのモデルで内在している拡散性が異なることを示した。

Davies (英国気象局) は、英国領域を対象として英国気象局で運用されている UKV (水平格子間隔 1.5 km) の予報例を示しながら、高解像度モデルにおける対流の予測可能性や誤差について議論し、格子間隔に近いスケールではモデルの予報性能は低いこと、小さなスケールの過大な上昇流 (grid point storm) が高解像度モデルでは頻繁に見られること、サブグリッドスケールのブルームの混合や対流調節のパラメタリゼーションが高解像度モデルでも必要なことを言及した。

Tripodi (ウィスコンシン大学) は、モデルが高解像度になって計算誤差が小さくなくても、小さなスケールの流れは依然カオス的であり、そのカオス的な振る舞いを制御するためには、力学と熱力学の間のエネルギーの収支、運動エネルギー、渦度、エンストロフィーに対する拘束条件を満たすようにモデルを構築することが必要であることを述べるとともに、多くの高解像度モデルではこれらの拘束条件を満たしていないことを指摘し、そのことと熱帯擾乱の予報に近年改善が見られないこととの関連を示唆した。

Wu (アイオワ州立大学) は、氏が開発した対流による運動量輸送スキームを紹介して、雲解像モデルの結果との比較、2 次元・3 次元モデルを用いたスキームの評価結果について示し、雲スケールの気圧傾度の表現が重要であることを述べた。

原 旅人 (気象庁) は、2012年8月に気象庁で現業運用を開始した水平格子間隔 2 km の局地モデル (LFM) について紹介し、最新の観測を 3 次元変分法とモデルによる予報を用いたサイクルで速やかに同化

して高頻度に予報を更新するという基本的なデザイン、高解像度モデルの利点、LFM の予報例を示すとともに、物理過程の解像度依存性について概説し、高解像度モデルで顕在化するグレイゾーン問題 (2.8 参照) について言及した。

大竹秀明 (産業技術総合研究所) は、太陽光発電における発電計画策定への支援を念頭に、気象庁メソモデル (MSM) で計算している地表面下向き短波放射量を観測と比較することで検証し、晴天時には MSM の短波放射量は高い精度を持つものの、曇天時、特に高層雲などに空が覆われている際に精度が低いことを示し、雲の表現にモデルの課題があることを示した。

最後に、特別講演として、松澤 暢 (東北大学 地震・噴火予知研究観測センター) が、東日本大震災における地震のメカニズムの概要、地震予知に向けての教訓などについて解説した。

本セッションでの話題は多岐にわたったが、高解像度モデルの利用とさまざまな観点からの評価が今まで以上に行われていると感じさせると同時に、高解像度になれば自動的に精度が向上してすべての問題が解決するわけではなく、高解像度モデルには低解像度とは違った新たな問題が顕在化すること、そして高解像度モデルの開発や利用にあたってはそれを正しく認識して取り組む必要性を強く感じた。(原 旅人)

### 2.8 LES と境界層過程

Siebesma (TUD) はグレイゾーンプロジェクトの現状を紹介した。ここでのグレイゾーンとは空間スケールが数十 m から 10 km 程度の比較的広い領域を指している。このような範囲の空間解像度でメソスケールモデルを用いる場合、各格子点で計算される積雲過程や乱流過程において、解像される運動とされない運動が混在することになるため、それらの物理過程の取り扱いには特に注意を要する。このプロジェクトは全球モデルから LES モデルまで様々なモデル開発グループの参加の下、グレイゾーンとなる解像度で用いられるパラメタリゼーションの改良を目的として進められている。その検証事例の 1 つとして、北海沖の寒気吹き出しに伴って発達する境界層セル状対流の計算結果を紹介し、その再現性を論じた。

野田 暁 (JAMSTEC) は大陸西海岸域で発達する層積雲の LES を行い、層積雲の領域平均積算雲水量と雲頂を跨ぐ安定度パラメータとの間にみられる線形的な関係の形成機構を論じた。

伊藤純至（東大）はLESモデルとRANSモデルの中間的な空間スケール（Terra incognitaと呼ばれる）の解像度で用いられる乱流輸送過程のモデル化を試みた。その一環として、エネルギー消散や乱流輸送の特徴的な長さスケールとフィルターサイズの関係性を論じた。

南雲信宏（気象研）はJMANHMで用いられている境界層スキーム（MYNN レベル3）をTerra incognitaの空間解像度で用いた場合の影響とその改良の可能性を調査した。特に、水平解像度の違いが境界層の成層構造やサブグリッドスケールとグリッドスケールの乱流輸送の寄与の割合に与える影響を調べた。

近年のメソスケールモデルの高解像度化を反映して、Terra incognitaを含むグレイゾーンに格子長をもつメソスケールモデルの高度化は特に注目されている。LESの分野からは境界層雲研究に関する国際プロジェクトを牽引されてこられたSiebesma博士を招待し、その最前線を紹介して頂いた。国内においてもこのような基礎研究の事例が増加し、裾野が広がりつつあることは大変心強い。このような貴重な議論の場を継続的に維持することが重要である。（野田 暁）

### 3. おわりに

会議の最終日の昼から午後にかけて、30名程度の希望者を対象として、石巻の津波被災地への訪問研修を行った。現地ボランティアガイドに当時の被災の状況を丁寧に説明していただいた。現地を見ることが防災について考えを深めるきっかけとなれば、主催者としてうれしいことである。

個人的な感想であるが、2003年に初めて本ワークショップに参加して以来、モデル開発・利用を通していかに現象を理解するか、ということを学ばせてもらった。その中には、自分が疑問に思っていたことがいくつもあり、研究を進めるうえで大いに役立った。また、今回は海外から著名研究者が参加しており、直接議論できたのは研究の励みになった。本ワークショップがモデル開発者と利用者の間につながりをもたらすことの意義は大きいと感じる。この10年間は受け取るばかりであったが、次の10年間は微力ながらもモデル開発・利用の推進に貢献したい。

懇親会および被災地研修旅行は若干の黒字となりました。この黒字は当会議事務局から、石巻のNPO（石巻観光ボランティア協会）に寄付させていただき

ました。事後となりましたが、ご了解をお願い致します。東北大学の現地スタッフとして運営に協力していただいた島田照久氏、吉田龍平氏、陳 桂興氏、およびアルバイトの学生諸氏に感謝いたします。最後になりましたが、今回の国際ワークショップに参加していただいた皆様に感謝いたします。なお、第3回の国際ワークショップは、2年後、神戸で開催することになりました。多くの皆様の参加をお待ちします。

### 略語一覧

AROME : Application of Research to Operations at Mesoscale  
 CALIPSO : Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations  
 CAM : Community Atmospheric Model  
 CFD : Computational Fluid Dynamics  
 CINDY : Cooperative Indian Ocean experiment on Intraseasonal Variability  
 CNRM-GAME : National Center for Meteorological Research  
 CRess : Cloud Resolving Storm Simulator  
 CSU : Colorado State University  
 ESSIC/UMCP : Earth System Science Interdisciplinary Center, University of Maryland, College Park  
 4DVAR : Four Dimensional Variational Method  
 fvGCM : Finite Volume General Circulation Model  
 GCE : Goddard Cumulus Ensemble Model  
 GSFC : Goddard Space Flight Center  
 IAU : Incremental Analysis Updates  
 JAMSTEC : Japan Agency for the Marine-Earth Science and Technology  
 JMANHM : Japan Meteorological Agency NonHydrostatic Model  
 JNoVA : JMA Nonhydrostatic Variational Assimilation system  
 KiD : Kinematic Driver  
 LES : Large-Eddy Simulation  
 LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter  
 LFM : Local Forecast Model  
 MJO : Madden Julian Oscillation  
 MMF : Multi-scale Modeling Framework  
 MPAS : Model for Prediction Across Scales  
 MSM : Meso-Scale Model  
 MYNN : Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino  
 NASA : National Aeronautics and Space Administration  
 NCAR : National Center for Atmospheric Research  
 NICAM : Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric

Model  
RANS : Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation  
SBM : Spectral Bin Microphysics  
SPCAM : Super Parameterized CAM  
TOGA-COARE : Tropical Ocean Global Atmosphere  
Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment  
TOMACS : Tokyo Metropolitan Area Convection  
Study  
TRMM-PR : Tropical Rainfall Measuring Mission -  
Precipitation Radar  
TUD : Technology University Delft  
UZIM : Unified Z-grid Icosahedral Model  
VORTEX2 : Second Verification of the Origins of Rotation  
in Tornadoes Experiment  
WRF : Weather Research and Forecasting

## 参 考 文 献

Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko and K. Saito, 2011 :  
A cloud-resolving 4D-Var assimilation experiment  
for a local heavy rainfall event in the Tokyo metro-  
politan area. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1911-1931.  
里村雄彦, 竹見哲也, 野田 暁, 三好建正, 富田浩之, 齊  
藤和雄, 日下博幸, 重 尚一, 2011 : 第1回非静力学数  
値モデルに関する国際ワークショップの報告. *天気*,  
**58**, 249-256.  
Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito and T. Miyoshi, 2013 :  
Development of a two-way nested LETKF system for  
cloud resolving model. S.K. Park and L. Xu, eds.,  
*Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and  
Hydrologic Applications, Vol. II*, Springer (in press).