

## 第15回非静力学モデルに関するワークショップの報告\*

川島正行\*<sup>1</sup>・津口裕茂\*<sup>2</sup>・山田芳則\*<sup>3</sup>・榎本剛\*<sup>4</sup>  
 清水慎吾\*<sup>5</sup>・小野耕介\*<sup>6</sup>・中野満寿男\*<sup>7</sup>  
 山田広幸\*<sup>8</sup>・伊藤純至\*<sup>9</sup>

## 1. はじめに

2013年9月26~27日に第15回非静力学モデルに関するワークショップ(主催:日本気象学会非静力学数値モデル研究連絡会)が北海道大学低温科学研究所にて開催された。

本ワークショップは、高精度非静力学モデルを利用した気象および気候研究の推進・力学フレームの開発・物理過程パラメタリゼーションの開発に関する情報交換をする場として、最初は有志グループが、2001年の第3回からは気象学会の組織としての非静力学数値モデル研究連絡会が主催して毎年開催されている。

参加者数は過去のワークショップと同様70名程度であったが、発表件数は46件と国際ワークショップとなった2010年、2012年を除くと過去最多となった。発表件数が増えたため、やや窮屈な日程であったが、活発な議論が行われた。

今回のワークショップでは、特にデータ同化とアン

サンプル予報に関する発表が11件と多く、非静力学数値モデルが現実化され、予報の高精度化が急速に進められていることを実感した。本報告では、各セッションの内容について座長をされた方に執筆をお願いした。なお、本ワークショップの講演要旨はホームページ(<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/cloud/nhmws15/program.htm>)に公開してあるので、個々の詳しい発表内容についてはそちらを参照していただきたい。(川島正行)

## 2. セッション概要

## 2.1 雲と降水 I

このセッションでは、非静力学モデルを用いた現象の解析や理想実験に関して、6題の発表があった。

川島(北大低温科学研究所)は、寒冷前線に伴って発生する幅の広い降雨帯(Wide Cold-Frontal Rainband: WCFR)の形成メカニズムを、WRFによる再現実験と自作のモデルによる理想実験から調べた結果について発表した。種々の数値実験から、WCFRの形成やそれに伴う特徴的な前線の構造は、前線に伴う鉛直シア流の傾いた融解冷却に対する応答の結果であることを明快に示した。

河田(九大)ほかは、下層水平風の鉛直シア変化に対するスコールラインの応答(いわゆる、RKW理論; Rottuno *et al.* 1988)について、WRFによる2次元理想実験から調べた結果について発表した。鉛直シアの大きさを段階的に変化させて理想実験を行い、それぞれの実験で再現されたスコールラインの構造と“cold pool”強度、凝結量、降水量などを比較した。その結果、スコールラインがupshear側に少しだけ傾いた構造の場合に最も効率的に降水がもたらされる

\* Report on the 15th Workshop on Nonhydrostatic Modeling.

\*<sup>1</sup> (連絡責任著者) Masayuki KAWASHIMA, 北海道大学低温科学研究所,

kawasima@lowtem.hokudai.ac.jp

\*<sup>2</sup> Hiroshige TSUGUTI, 気象研究所予報研究部.

\*<sup>3</sup> Yoshinori YAMADA, 気象研究所予報研究部.

\*<sup>4</sup> Takeshi ENOMOTO, 京都大学防災研究所.

\*<sup>5</sup> Shingo SHIMIZU, 防災科学技術研究所.

\*<sup>6</sup> Kousuke ONO, 気象庁予報部数値予報課.

\*<sup>7</sup> Masuo NAKANO, 海洋研究開発機構.

\*<sup>8</sup> Hiroyuki YAMADA, 琉球大学/海洋研究開発機構.

\*<sup>9</sup> Junshi ITO, 東京大学大気海洋研究所/気象研究所.

© 2014 日本気象学会

ことを示した。

津口・加藤（気象研究所）は、2010年10月20日に奄美大島で発生した豪雨についての事例解析の結果を発表した。観測データ・客観解析データの解析とJMANHMによる再現・感度実験の結果から、奄美大島付近に流入していた大量の水蒸気は、停滞前線の北側にあった元々は乾燥していた空気塊が暖かい海面上を吹走する間に湿った空気塊へと変質することで形成されていたことを示した。また、降水系の発生・維持にとって奄美大島の地形は直接には影響せず、降水系直下の“cold pool”が重要な役割を果たしていたことを示した。

加藤（気象研究所）は、2012年5月6日につくばで発生した竜巻の発生要因の一つである日本南岸の太平洋上で下層水蒸気の蓄積過程と黒潮の影響について調べた結果を発表した。JMANHMによる再現実験結果を用いた下層水蒸気の収支解析から、水蒸気の蓄積には下層の水平収束が大きく寄与していたことを示した。また、黒潮の影響を調べた感度実験の結果から、黒潮が局在することによって下層の水平収束が強化されていたことを示した。

本田・川野（九大）は、WRFによる理想実験から竜巻発生過程について調べた結果について発表した。竜巻の発生過程を調べる理想実験では水平一様場が用いられることが多いが、本研究では計算領域内にout-flow境界を模した温位摂動を加えることで水平非一様場での竜巻発生メカニズムについて調べていることが特徴であった。鉛直渦度の収支解析から、下層メソサイクロンが地表の渦度極大と離れた場所にあるにもかかわらず鉛直渦度が強化されるという、従来の竜巻発生過程とは異なるメカニズムが示唆された。

瀬古（気象研究所）ほかは、つくばで竜巻が発生した2012年5月6日の関東地方を対象としたLETKFネストシステムを用いた予報実験の結果について発表した。LETKFネストシステムのアンサンブルメンバー数は11個であり、それぞれについて水平格子間隔350mのダウンスケール実験を行った。強い渦度が再現されたメンバーと再現されなかったメンバーの環境場を定量的に比較することで、強い渦度の形成には強い鉛直シアと下層の湿った気塊の存在が重要であることを示した。

非静力学モデルは、現象（特にスケールの小さい顕著な現象）のメカニズムを理解する上で強力なツールであり、その手法も現実場を用いた再現・感度実験、

シンプルな設定による理想実験、アンサンブル実験など多岐にわたる。もっとも重要なことは現象のメカニズムを明らかにすることであり、そのためには一つの手法に固執することなく、これらの手法を使い分けたり、組み合わせたりすることが必要だとあらためて感じた。（津口裕茂）

## 2.2 雲と降水II

本セッションでは7件の講演が行われた。

櫻井（防災科学技術研究所）ほかは、Kaバンドレーダーで捉えた段階的に成長する積乱雲の発達機構解明を目指して、雲解像モデルCReSSを用いてこの積乱雲の再現実験を行い、その結果について報告した。GPS天頂遅延量を同化することで初期値を改善し、降雨の発生を再現出来たが、降雨開始のタイミングが観測結果よりも早かった。この問題は、同化による水蒸気混合比の増加量を減らすことと、雲水から雨水への変換スキームを変えることによって改善されることを報告した。

本吉（防災科学技術研究所）ほかは、地上降雪粒子観測データを用いて気象庁非静力学モデルの降雪過程の検証について紹介した。CCDカメラによる連続撮影やPARSIVELによって観測された降雪粒子観測結果から5分間隔で卓越する降水粒子を判別し、モデルの1時間ごとの出力値と比較した。総観規模の現象はモデルでよく再現されていたものの、あられの割合が観測と比べて少ない傾向のあることがわかった。バルク雲微物理過程の改良の必要性とともに、モデルの降水カテゴリと観測により判別される降水形態との対応についての検討の必要性が示唆された。

山田（気象研究所）は、気象庁非静力学モデルのバルク微物理過程の中で、雲水や雪、あられについて新しいモデルを導入し、そのモデルを用いた予備の実験結果について報告した。雲水の粒径分布関数として逆指数分布を導入し、粒径の大きな雲水が雪に変換されると考えて、現行のauto conversionを排除した。さらに、雲水や雪の併合過程は厳密式を用いた。雲水や雪があられに変換されるモデルではビン法的な考え方を導入し、変換が粒子の密度の変化に依存するモデルとした。新しい微物理モデルを用いて寒気吹き出し時の降雪雲の実験（水平解像度1km）を行った結果では、日本海上での降雪量の増加と風上斜面上での降雪の不自然な集中が軽減されることがわかった。

橋本（気象研究所）ほかは、気象庁非静力学モデル

バルク微物理モデルの改良を目的として、山岳性降雪雲について航空機観測で得られたデータと3-ice及び4-iceを用いた実験結果とを比較した。いずれの実験でも、固相の粒子については混合比と数濃度とを予報変数にしている。水平格子間隔1 kmの解像度でモデル実験を行い、モデルが表現する雲の微物理特性の統計的特徴を調べた。その結果、3-iceでは氷水量が過大評価されたり雲氷の数濃度が過小評価されたりしている点を4-iceにすることで改善されることが確認できた。

吉岡（東北大大気海洋変動観測研究センター）ほかは、雲解像モデル（CReSS）を用いて、雲のオーバーラップが存在する場合に、重なり合うことで雲の分布や形成に生じる影響や放射過程の寄与を水平解像度2 kmのモデル実験によって調べた結果を報告した。モデルによる雲のオーバーラップが良好であった領域について、5 km上空の水雲の領域は放射過程によって形成されたものであることが示唆された。オーバーラップしている雲の領域では、放射過程も雲の形成に重要であることがわかった。

中村（海洋研究開発機構）ほかは、運動学的ドライバーを用いたビンモデルの比較実験結果を報告した。運動学的ドライバーとは、運動学場は外的に与えて、雲微物理過程だけをさまざまなサブルーチンで置き換えるモデルである。運動学的ドライバーを用いた目的は、雲解像モデルCReSSにビン法の微物理モデルを組み込んで大西の貿易風帯に出現する積雲の再現実験を行うと、観測や他のモデルとは異なり、雲内平均雲粒数濃度が高度とともに大きく減少してしまう結果となる原因を調べるためである。凝結核の活性化や衝突併合過程について詳しく調べたが、原因を特定するためには今後もさらに検討を進める必要がある。

野田（海洋研究開発機構）ほかは、気候変動によって温暖化した場合に暖かい雨がどのように変化するかを、温暖化想定大気を仮定して全球雲解像モデル（NICAM）を用いて調べた。水平解像度を14 kmとし、積雲パラメタリゼーションは用いずに、1モーメントのバルク微物理モデルを用いている。温暖化想定実験では、二酸化炭素濃度を全球一様に2倍にし、SSTはCMIP3モデルアンサンブルによって得られた月平均温度上昇値を観測値に加えた値を用いた。降水の変化と大気場や対流活動との関係が報告された。

（山田芳則）

### 2.3 モデル開発

このセッションでは、学生3名による斬新な手法に関する発表から始まった。

武村・里村（京大）と西川・佐藤（東大大気海洋研究所）は、それぞれ異なる方法で複雑な地形への対応を試みた。武村・里村は、一般座標系を用い、ベクトルの微分における基底の変化も考慮し、急峻な勾配での水平微分の誤差を回避する方法を採用した。

西川・佐藤は、大気と地形が混在するセルを大気と見なして時間刻み幅の条件を緩和するとともに、その側面で厚みのない壁を置いて地形の効果を取り込むthin-wall近似と呼ばれる手法を採用している。どちらも山岳波実験を行い、モデルの動作確認をしている。

太田・里村（京大）は、格子が不要な粒子法の一つであるMPS（moving particle semi-implicit）法を気象に適用したが、そのままでは静力学平衡の維持ができないことに気づき、離散表現を改善することにより静力学平衡を維持することに成功した。

後半は、非静力学モデルの改良に関する講演が4件あった。

榎本（京大防災研究所）・Juang（NCEP）は、大気大循環モデルへの適用を念頭に、静力学気圧を鉛直座標に用いたいくつかの完全圧縮系の定式化について、NCEP MSM（Mesoscale Spectral Model）を用いた擬2次元実験を用いた実験により、静力学場の定義に領域平均した気温を用いると安定した積分が可能であることを示した。

松村（北大低温科学研究所）は、南極底層水形成過程や海氷生成過程のシミュレーションを例に最先端の非静力学海洋モデルについて紹介した。圧力を計算するために必要なポアソンソルバに、多重格子法、共役勾配法、疎行列に対する近似前処理を組合せ、並列計算機に最適化し、高いスケラビリティを実現した。

草開（気象庁）は、非静力学モデルに適用するための陸面モデルにおいて積雪過程を改善した。積雪粒径を予報変数とし、可視と近赤外とを独立にしたアルベド診断スキームを導入し、観測と比較して検証した。

原（気象庁）ほかは、解像度を2 kmに向上した局地モデル（Local Forecast Model, LFM）の運用や次世代非静力学モデルasucaの開発を通じて明らかになった課題について講演した。asucaは移流の高精度化により降水分布も改善していることから、積雲対流は高周波に敏感であることが示唆されると述べた。

また、積雲対流パラメタゼーションを用いないと対流の発生が遅れたり、降水が長引く現象に対して、確率的摂動、エントレインメントを想定した水平拡散、雲物理の高度化の試みを行っていることを紹介した。

学生3名の研究は、高解像度化や第一原理計算といった進展が期待される分野に関するものであり、切磋琢磨しながら完成度が高まっていくことを楽しみにしたい。長年静力学大気しか知らなかった私（榎本）にとって、武村君、西川君と同じ山岳波実験や暖気塊、冷氣塊実験は単純だが楽しい実験だった。海洋非静力学モデルについては、非静力学が必要となる背景と最先端の計算手法について松村氏の講演で知ることができ、大変勉強になった。草開氏が導入した改良の一部であるアルベドに関しては、以前大気大循環モデルに導入したことがあり、手探りで勉強した当時をなつかしく思い出すとともに、観測と比較する重要性を再確認した。原氏の講演は、積雲対流を解像し始める数 km 格子のモデルにおいて、パラメタゼーションはどうあるべきかという重要な問題を議論し方向性を示すもので、基調講演とも言える、このセッションを締めくくるのにふさわしいものであった。（榎本 剛）

## 2.4 データ同化とアンサンブル予報 I

このセッションでは様々なデータ同化手法について5件の発表があった。いずれの発表も、雲解像数値モデルを用いた高解像度（1 - 3 km）の実験設定となっており、豪雨の予測精度向上を目指したものである。

清水（防災科学技術研究所）の発表では、高時間分解能セクタースキャンによる積乱雲内の温位場の推定手法の開発が紹介され、数値実験結果を用いた精度検証が行われた。Gal-Chen (1978) の方法と Roux (1988) の方法が比較され、Gal-Chen の方法では三次元風速場の時間分解能が2分以上、Roux の方法では3分以上の場合、平均平方根誤差が大きくなると報告した。また Roux の蒸発冷却量推定手法に大きな誤差要因があることを報告し、蒸発冷却量を無視することで精度の悪化を抑制すると報告した。今後は、熱力学リトリバルの結果を3DVAR や Hybrid 法（3DVAR とアンサンブル予報の背景誤差分散行列のハイブリッド法）へ適用させる予定であると報告した。

牛山（土木研究所）ほかは2011年台風第12号と第15号について、WRF-LETKF を用いたアンサンブル降雨予報結果を示した。側面境界摂動の与え方を様々変

えた場合の、アンサンブル予報のスプレッド、アンサンブル平均値、ブライアスコアの変化を報告した。最も良いブライアスコアが示された実験は、8月中旬の気象庁 MSM の出力値（風速、気圧、気温）の誤差の標準偏差を気象庁全球アンサンブル予測値の平均的なスプレッドで規格化し、さらにそれを5倍程度 inflation した側面境界摂動を与えた実験だと報告した。質疑応答では、台風第12号と第15号では亜熱帯高気圧の位置や強さが異なるため、側面境界条件に関する予報感度が異なるのではないかな等の活発な議論がなされた。

川畑（気象研究所）ほかは、これまで気象研が開発してきた NHM-4DVAR と気象庁数値予報課が現業予報で運用している JNoVA との違いを示した。JNoVA に既に導入されている様々な物理過程スキームを NHM-4DVAR に組み込み、両者の長所を兼ね備えた新しい NHM-4DVAR を構築したことを報告した。また並列演算についても高度化が進められ、京コンピュータでのデータ同化も実施可能となった。重力波除去のための digital filter に関するペナルティ項も新規にコストファンクションに付加され、その性能を報告した。今後は衛星データも同化が可能となり、ラピッドスキャンなどの高時間分解能衛星観測のデータ同化のインパクトも調べる予定であることが報告された。

幾田（気象庁）ほかは、次世代非静力学モデル asuca とその同化システム asuca-Var の現業化に向けた開発についての取り組みを報告した。asuca-Var では、3D-Var、4D-Var だけでなく、アンサンブル予測と 3D-Var を組み合わせた Hybrid 法も開発が進められている。4D-Var のコード開発において、オリジナルの非線形コード（NL）、その接線線形モデル（Tangent Linear : TL）と随伴モデル（Adjoint model : AD）を同一サブルーチンに共存させ、コードの一貫性の維持が強制されるようになった。asuca-Var では、新しい制御変数として地中温度と土壌の堆積含水率を導入し、また海陸分布の違いによる背景誤差相関を変更する等の方法を実装した。Hybird 法を用いた1点同化実験における解析インクリメントが3D-Var のインクリメントと異なる分布であることを示し、流れの場に依存した分布となることを実証した。今後は予測精度の違いも調査する予定であると報告した。

国井（気象研究所）は NHM-LETKF を用いた平

成24年7月九州北部豪雨のアンサンブルデータ同化実験結果を報告した。1 way のネスティングによって、格子解像度15 km, 5 km, 1 km と段階的にダウンスケールさせ、格子解像度1 km の予測結果を検証した。格子解像度15 km では50メンバーを用いた LETKF によってデータ同化が行われ、アンサンブル平均とアンサンブル摂動が出力される。格子解像度5 km では、格子解像度15 km のアンサンブル平均を初期値・境界値とした同化を行わない決定論の実験と、親モデルのアンサンブル摂動を初期摂動および境界摂動として利用し、LETKF によるデータ同化を行う確率論の実験をそれぞれ行った。それぞれの結果を1 way ネスティングによって、さらに格子解像度1 km にダウンスケールし、検証データを作成した。格子解像度15 km と5 km で LETKF による同化を行った予報では、5 km で同化を行わなかった実験に比べて、3時間積算雨量が50 mm 以上も増加した地点もあったことから、局所的大雨事例への LETKF による高解像度データ同化の適用可能性が大きいことを示した。(清水慎吾)

## 2.5 データ同化とアンサンブル予報 II

2日目最初のセッションは、前日に引き続きデータ同化とアンサンブル予報についてであり、全てアンサンブル手法に基づく研究についての講演であった。

福井(東北大) ほかは地上気温の中期予報を目的に、9メンバーの気象庁1ヵ月ハインドキャストデータを基に気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を用いて水平格子間隔25 km → 5 km としたダウンスケール(DS)予報実験を行った。摂動を与えない単独予報において、DSは全球予報と比較すると局地循環が解像され、これに起因する誤差により精度が悪化することを示した。一方、アンサンブル平均予報は単独予報のスコアを改善し、特にDSは全球予報に比べアンサンブルスプレッドが増加するため、全球予報より良好なスプレッド-スキルの関係が得られた。また、アンサンブル平均予報結果を経験的直交関数によってモード展開し、高次モードから太平洋高気圧、やませ及び梅雨に関連するモードを抽出した。このモード展開の解析から、低次モードほど予測可能な期間が短いこと、全球予報に比べDSはスプレッド-スキルの関係が改善し、より良い確率予報を実現し得ることを報告した。

小野(気象庁)はメソアンサンブル予報精度のアン

サンブルサイズ依存性を、気象庁で開発中のメソアンサンブル予報システムを用いて調査した。アンサンブルサイズを11から21に増やすことでスプレッド-スキルの関係は改善する一方、21以上増やしても改善が見られないことを示した。降水確率検証において、ブライアスキルスコアはアンサンブルサイズを11から21に増やした場合のみ改善がみられたが、相対作用曲線及びコストロス解析では強い降水ほどアンサンブルサイズの増加とともにスコアが改善すること、また低コストロス比のユーザーに対して、アンサンブルサイズを31, 41と増やすとスコアが改善することを示した。また、このことには低確率値での捕捉率の増加が寄与していることを報告した。

黒田(海洋研究開発機構) ほかはJMA-NHMに基づくインクリメント法(アンサンブル予報及び解析を低解像度で行う一方、第一推定値の予報は高解像度で行う手法)による局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)によるデータ同化及び予報実験の結果を報告した。講演では、第一推定値とアンサンブル延長予報の水平格子間隔を10 km と5 km とし2通りの実験を、梅雨前線による降水事例に適用した結果を示した。水平格子間隔5 km の実験のほうが10 km より実況の降水分布に近くなることを報告した一方、10 km の実験においても、共分散膨張係数を大きくすることで、より降水分布が実況に近づき、低解像度予報でもまだ改善の余地があることを報告した。

折口(気象研究所) ほかは、JMA-NHMに基づくインクリメント法によるLETKFのシステムに、変分法によるアンサンブルデータ同化(EnVAR)手法を組み込み、統合的なメソデータ同化システムを開発したことを報告した。この統合的なシステムでは、データ同化の一連の流れにおいて、解析を除く処理(アンサンブル予報や観測データの処理など)を両手法で統一的に扱うことができる。またEnVARでは、アンサンブル予報によって最尤推定値から得る解析値の計算に接線形・随伴モデルを必要とせず、またflow dependent な背景誤差共分散を得ることができるというメリットがある。講演では開発したEnVARによる1点観測同化実験を報告し、flow dependent な解析インクリメントが台風周辺で得られることを示した。今後はLETKFに実装されている観測局所化を利用した背景誤差共分散の局所化を実装する予定とのことである。

大塚・三好(理化学研究所)は、マルチモデルアン

サンプルにおける各モデルへのメンバー数配分の最適化を目指し、離散ベイズフィルタを開発した。メンバー数配分は、各メンバーの延長予報と観測値との距離の逆数を尤度として、各モデルの事後確率から得る。またこの手法では、単一モデルへの収束を防ぐためのメンバー数配分の均一化強度と、動作を安定化するための時間平滑化の強さがチューニングパラメータとなる。講演では、Lorenz の40変数モデルを用い、逐次アンサンブル平方根フィルタによってデータ同化及び延長予報を行った結果を報告した。実験では真のモデルに近いモデルが選択され、予報誤差も小さくなった。また、メンバー数配分の均一化強度や動作安定のための時間平滑化強度に対する感度実験も行い、極端な値を選ばない限り、モデルが適切に選択されることを示した。今後は非静力学モデルによる物理アンサンブルに適用を試みる予定とのことである。

沢田(東大気海洋研究所)ほかは非静力学正20面体大気モデル NICAM になじんだ初期値を作成し延長予報精度を向上させるために、NICAM に基づく LETKF システムを構築し、そのパフォーマンスを確認するために行った完全モデル実験の結果を示した。観測値を等間隔に与えた実験では、1ヵ月安定して動作することを確認し、現実的な観測分布を与えた場合では観測の少ない南半球で相対的に誤差が大きくなるなど、観測分布を反映した結果が得られた。今後は実観測データに基づく実験及び高解像度化に取り組む予定とのことである。(小野耕介)

## 2.6 台風・低気圧 I

このセッションでは4件発表が行われた。うち2件は HPCI 戦略プログラムでスーパーコンピュータ京を用いて行われた研究であり、高い計算機能力を必要とする非静力学モデル研究に京が存分に活用されていることがうかがわれた。また、昼食前であるにもかかわらず、活発な議論が行われた。

相木(海洋研究開発機構)・Greatbatch(GEOMAR/キール大)は、慣性重力波によるエネルギーフラックスの位相独立表現と擬運動量フラックスの位相独立表現を導いた。従来の表現方法では十分短い時間間隔で計算結果を出力し、エネルギーフラックスを計算し、時間平均することでサンプリングエラーによる位相依存性を回避する必要があったが、新しい表現方法では3時間間隔と比較的時間方向に粗い出力からでも位相依存性を十分回避でき、実用的であることを示した。

伊藤(海洋研究開発機構)ほかは、気象庁メソモデル MSM を海洋混合層と結合した OMSM を開発し、気象庁全球モデル GSM や MSM に比べて OMSM の方が強度予報を改善することを示し、海洋モデルより計算負荷の小さい海洋混合層モデルとの結合でも強度予報に十分有効であることを示した。一方で進路予報は GSM に比べて若干悪くなる傾向が見られ、その原因として台風ポーガスの入れ方や初期値での台風位置に改善の余地があることを挙げた。

中野(海洋研究開発機構)ほかは、14 km 格子の全球非静力学モデル NICAM を用いて2004年8月1日から初期値を1日ずつずらした31本の30日積分を行い、8、9月に発生した11個の台風について予測可能性を議論した。NICAM は8月のフィリピン東方における活発な対流活動とその北進、9月の対流活動の不活発をよく再現した上で、観測された発生時刻よりもやや早めに台風を発生させる傾向があるものの、10日程度前から十分発生を予測しうることを示した。

武田・新野(東大気海洋研究所)は、気象庁非静力学モデル JMA-NHM を用い、初期に温位擾乱を与えて発生させた積雲対流群から台風を発生させる理想化実験を、安定度を変化させることで多数行い、台風の発生・発達に対する成層安定度の影響を議論した。温位の鉛直勾配が大きくなるほど発達に時間がかかるようになり、ある閾値を超えると対流そのものが消滅し台風が発生しなくなることを示した。

(中野満寿男)

## 2.7 台風・低気圧 II

このセッションでは台風および中緯度の低気圧に関する5件の研究発表が行われた。

齊藤(気象研究所)は日本の南海上にある台風の北側で非地衡風成分が顕著になることに着目し、地衡風の加速の影響について議論した。台風がジェット気流に近づくと、台風の北東象限では地衡風の減速によって北東向きの非地衡風が現れる。一方、ジェット気流域では地衡風の東向きの加速により北向きの非地衡風成分が現れる。この2つの要因で等高度線を横切る南～南西風の卓越を説明したが、他の要因(地形や降水系の影響)も含めた定量的な評価は今後の課題であると述べた。

辻野・坪木(名大地球水循環研究センター)は2012年台風第15号について、多重の壁雲が長時間共存した要因を、非静力学モデル CReSS を用いて調べた。そ

の結果、外側の壁雲が境界層内のインフローを十分に捕捉できず、内側の壁雲に向かうインフローが持続したことが、内側の壁雲の持続をもたらしたと考察した。

山田（琉球大）は、2013年6月に実施された熱帯西部太平洋における特別観測（PALAU）の期間に発生した3つの台風について、その前兆となる西進擾乱が1週間程度前から現業モデルで予報されていたことを述べ、非静力学モデル NICAM で再現された西進擾乱の発達の特徴について述べた。

栃本（東大大気海洋研究所）・川野（九大）は梅雨前線帯の東西方向で傾圧性と環境場の特徴が異なることに着目し、西域と東域における低気圧の発達機構の違いを、非静力学モデル WRF を用いて調べた。理想化実験により、西域では非断熱加熱が支配的で、東域では傾圧性も卓越するという違いを示した。

渡邊（東大大気海洋研究所）ほかは2013年1月に発生した南岸低気圧の事例について、非静力学モデル JMA-NHM を用いた数値実験を行い、低気圧の急速な発達には、(1) 継続的な潜熱加熱による下層過度の増大、(2) 接近する上層トラフの前面における上昇流による下層過度の引き伸ばし、(3) 低気圧が傾圧帯に移動することによる傾圧的な発達の効果が加わることが効いていたことを明らかにした。（山田広幸）

## 2.8 境界層・都市気象・局地モデル

本セッションでは非静力学モデルの放射・接地境界層・乱流過程の検証や局地気象の解析まで多岐にわたる6件の発表があった。

大竹（産業技術総合研究所）ほかは、太陽光発電量の変動予測への応用のため、気象モデルによる日射量予測の精度の検証を行った。気象庁局地モデル（LFM）と関東域の気象官署の日射量データを比較すると、秋・冬期に LFM は日射量を過大に評価する傾向があった。発電量計画時に重要な東京電力管内全体の日射量のメソモデルでの予報誤差は、地点ごとの予報誤差より7割小さくなる。

清野（気象研究所）ほかは、都市が夏季降水に与える影響を気象庁メソモデルを用いて調べた。東京都区部とその周辺を、現業の設定に近い平板モデルとした実験と、人工排熱を考慮した都市キャノピースキームを利用した実験の間で降水量を比較した。個々の事例や領域を限定した場合のばらつきは大きいものの、広領域・長期間平均では都市キャノピースキームの利用

時に降水量の系統的な増加がみられた。

南雲（気象研究所）ほかは、気象庁メソモデルの水平解像度を5 km から250 m まで細かくする理想実験で、日中、弱シア、乾燥時の境界層過程の解像度依存性を調べた。境界層の乱流クロージャとして Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN) レベル3モデルを用いた場合、解像度に関わらず鉛直乱流輸送はすべてサブグリッドが担い、格子上で対流は顕在化しなかった。一方、MYNN レベル2.5モデルを用いた場合は解像度が向上すると対流が生じた。

伊藤（東大大気海洋研究所）ほかは、LES と従来の気象モデルの中間の「Terra Incognita」とよばれる解像度に適用可能な境界層モデルについて発表した。対流混合層の LES 結果を粗視化したレファレンスに従って、乱流運動エネルギーに依存して乱流長さの調節を行うモデル化を提案した。実際に数値モデルに組み込んだテストでは、レファレンスに整合する強度の対流が生じた。

馬場・高橋（海洋研究開発機構）は、建物を解像する LES の妥当性を、粗度ブロックを置いた風洞実験結果との比較により検証した。次に、LES によって建物の影響を受けた積乱雲の発達をみた。スコールラインにおけるコールドプールと同様の役割を建物が果たし、降水系を停滞させ、都市域での強い降水につながる可能性を示した。

高根（産業技術総合研究所）ほかは、2011年6月に熊谷市で高温をもたらしたフェーンを WRF で再現した。フェーンのマニズムを前・後方両者の流跡線解析によって調べたところ、別々の起源をもち断熱昇温した空気塊と凝結により昇温した空気塊の両者の流入が原因である、ハイブリッド型のフェーンであった。

（伊藤純至）

## 3. おわりに

気象学会の全国大会同様、本ワークショップの発表件数も順調に増えている。十分な発表質疑時間を確保するために、今後はポスターセッションを設けるか、日程を延ばすなどの対策が必要かもしれない。初日の朝から2日目の夕方まで窮屈な日程となったが、今回は最後に総合討論の時間を確保し、現業と研究との連携、観測（特に航空機観測）との連携を今後いかに行っていくべきかといった点について討論した。モデルの高解像度化が進んだ現在では、身近な小規模な観測もモデルの検証には十分役立てることができると考

えられる。これらの点に関し、グライダーを用いた大気観測、安価な船舶レーダーを用いた降水系の観測について、藤吉（北大低温科学研究所）に臨時の話題提供をしてもらった。また、今回は国際ワークショップとして神戸で行う予定になっていることも紹介された。（川島正行）

#### 略語一覧

asuca : Asuca is a System based on a Unified Concept for Atmosphere 気象庁で開発中の次世代数値モデル  
 CMIP3 : 3rd phase of the Coupled Model Intercomparison Project 第3期結合モデル相互比較計画  
 CRESS : Cloud Resolving Storm Simulator 名古屋大学で開発されている非静力学雲解像モデル  
 EnVAR : Ensemble Variational Assimilation アンサンブルデータ同化法  
 GSM : Global Spectral Model 気象庁で使用され、結果が配信されている全球予報モデル  
 JMA-NHM : Japan Meteorological Agency NonHydrostatic Model 気象庁非静力学モデル  
 JNoVA : JMA Nonhydrostatic Variational Assimilation system JMA-NHM用の変分法データ同化システム  
 LES : Large-Eddy Simulation  
 LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ  
 MSM : Meso-Scale Model 気象庁で使用され、結果が

配信されているメソスケール予報モデル

NCEP : National Centers for Environmental Prediction  
 米国環境予測センター

NCEP MSM : NCEP Mesoscale Spectral Model  
 NCEPで開発されている非静力学モデル

NICAM : Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model 東京大学と海洋研究開発機構で開発されている  
 全球雲システム解像正二十面体格子モデル

WRF : Weather Research and Forecasting model 米国の複数の機関が共同開発した研究及び数値予報のためのオープンソース数値予報システム

3D-Var : 3-Dimensional Variational Assimilation 3次元変分法

4D-Var : 4-Dimensional Variational Assimilation 4次元変分法

#### 参考文献

- Gal-Chen, T., 1978: A method for the initialization of the anelastic equations: Implications for matching models with observations. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 587-606.
- Rotunno, R., J. B. Klemp and M. L. Weisman, 1988: A theory for strong, long-lived squall lines. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 463-485.
- Roux, F., 1988: The West African squall line observed on 23 June 1981 during COPT 81: Kinematics and thermodynamics of the convective region. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 406-426.