

## 第17回非静力学モデルに関するワークショップ開催報告\*

山田 広 幸<sup>\*1</sup>・伊藤 耕 介<sup>\*2</sup>・金田 幸 恵<sup>\*3</sup>・林 修 吾<sup>\*4</sup>  
 西澤 誠 也<sup>\*5</sup>・宮川 知 己<sup>\*6</sup>・前島 康 光<sup>\*7</sup>・川畑 拓 矢<sup>\*8</sup>  
 加藤 亮 平<sup>\*9</sup>・野田 暁<sup>\*10</sup>・岩崎 俊 樹<sup>\*11</sup>

## 1. はじめに

第17回目の非静力学モデルに関するワークショップが、2015年12月1-2日に沖縄県那覇市の那覇第一地方合同庁舎で行われた。このワークショップは、高精度の非静力学モデルの開発者と利用者の幅広い情報交換の場として2000年から始まり、国内の各地で開催されてきた。今回は初めて沖縄が開催地になり、日本気象学会非静力学数値モデル研究連絡会と琉球大学が主催者となって、気象庁と日本気象学会沖縄支部による後援のもとで行われた。2日間の日程において33件の口頭発表があり、講演者のほかに琉球大学の学生や那覇合同庁舎に入っている沖縄気象台の職員が参加した(第1図)。このワークショップではこれまでと同様に、力学フレーム、物理過程とそのパラメータ化、データ同化、現象の解析、局地気候モデルなど、LES

から全球、基礎から応用に至るまで、非静力学モデルについて幅広く議論することを目標とし、近年行われているメソアンサンプル予報に関する研究も対象に含めて情報交換を行うことを目指した。

沖縄を含む熱帯・亜熱帯気候では、成層が不安定で大規模場の力学的な強制力が弱い環境において対流システムが発現する。その予測にはまだ課題が残り、非静力学モデルによる高解像度のシミュレーションが不可欠と考えられる。日本周辺だけでなく熱帯を含む広い地域での数値予報の再現性向上を目指して行く上で、このワークショップが沖縄で開催されたことは大変意義深い。開催期間中は、南岸低気圧の影響で雨が降り風向が急変する生憎の天気だったが、会場内は12月だというのに冷房が必要になるほどの熱気が充満し、それに勝るとも劣らない活発な議論が交わされた。以下では、8つのセッションの講演と質疑の内容について、各セッションの座長に述べてもらう。なお、本ワークショップの講演要旨はホームページ([http://w3.u-ryukyu.ac.jp/met\\_rq/notice/201512\\_NHM-WS\\_program.html](http://w3.u-ryukyu.ac.jp/met_rq/notice/201512_NHM-WS_program.html))に掲載されているので、詳細に興味がある方はそちらを参照していただきたい。(山田広幸・伊藤耕介)

## 2. セッション概要

## 2.1 台風・低気圧

本セッションでは、台風や低気圧の再現実験・理想化実験に関する6題の発表があった。

まず、スーパーコンピュータ京を用いた2題の発表があった。大泉 伝 (JAMSTEC) は、2013年台風第26号によって伊豆大島にもたらされた豪雨事例について大規模計算を行った。水平解像度を250 m ま

\* Report on the 17<sup>th</sup> Workshop on Non-hydrostatic numerical modeling.

<sup>\*1</sup> Hiroyuki YAMADA, 琉球大学理学部.

<sup>\*2</sup> (連絡責任著者) Kosuke ITO, 琉球大学理学部, itokosk@sci.u-ryukyu.ac.jp

<sup>\*3</sup> Sachie KANADA, 名古屋大学宇宙地球環境研究所.

<sup>\*4</sup> Syugo HAYASHI, 気象研究所.

<sup>\*5</sup> Seiya NISHIZAWA, 理化学研究所.

<sup>\*6</sup> Tomoki MIYAKAWA, 東京大学大気海洋研究所.

<sup>\*7</sup> Yasumitsu MAEJIMA, 理化学研究所.

<sup>\*8</sup> Takuya KAWABATA, 気象研究所.

<sup>\*9</sup> Ryohei KATO, 防災科学技術研究所.

<sup>\*10</sup> Akira T. NODA, 海洋研究開発機構.

<sup>\*11</sup> Toshiaki IWASAKI, 東北大学大学院理学研究科.



第1図 ワークショップの参加者.

で細かくしたほか、二種類の乱流クロージャモデル (Deardorff, Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino level 3; MYNN) で感度実験を実施し、伊豆大島北部の豪雨の再現には、より高解像度が必要であること、また Deardorff の方がよいとした。一方、午後のセッションでは、加藤輝之 (気象研) より他事例で同様の感度実験を実施したところ、水平解像度を250 m としても MYNN の方が良好な再現性をみせたとの報告もあった。両事例とも、水平解像度やスキームを替えたことで構造や物理過程にどのような差異が生じて、結果の違いに繋がったのかプロセス解明が待たれる。また、伊藤純至 (気象研) ほかは、水平解像度100 m で台風全域を網羅する LES を実施した。結果から、台風境界層内で parallel instability が成因と考えられるロール構造を見出した。ただし、この構造は観測では見つかっていない。

その他、金田幸恵 (名大)・和田章義及び山田広幸 (琉大) ほかは、非静力学モデルと全球20 km モデルの台風を比較して、強度変化や進路を再現するには内部コア構造が重要であることを示した。加藤雅也 (名大) ほかは、CReSS を用いて放射過程が台風の発達に与える影響を調査し、放射過程の有無で台風上層の熱的構造が変化することにより上層雲の広がりや差異が生じることを示した。柳瀬 亘 (東大) は、各緯度経度の大気環境場を模した理想化実験により、熱帯低気圧と温帯低気圧の中間的な性質を持つハイブリッド低気圧の再現を試みた。発表後、実験内と現実の擾乱の対応関係が議論の一つとなった。

近年、計算機性能の向上により、超高解像度実験や多くの感度実験が可能となった。これら大規模もしくは精緻化した実験結果に即した検証の枠組みが必要かもしれない。台風や低気圧といったシステムを理解するためには、直接観測との組み合わせで内部構造をと

らえることも有効であろう。また、得られた結果を用いたプロセス解明もますます重要になるだろう。

(金田幸恵)

## 2.2 集中豪雨・突風・大雪

このセッションでは、非静力学モデルを用いて集中豪雨・突風・大雪といった

メソスケール現象の解析を行った結果について4題の発表があった。

加藤輝之 (気象研) は、2014年8月20日に広島で大雨をもたらした線状降水帯の再現性と発生要因について、非静力学モデル JMA-NHM を用いた調査結果を報告した。水平解像度を2 km まで細かくすると総降水量はよく再現されたが個々の積乱雲の表現はまだ十分ではなく、さらに水平解像度を250 m まで細かくすることで積乱雲の表現が大きく改善されることを示した。また初期値依存性についても議論し、大雨の再現には主要因となった下層水蒸気流入だけでなく、周辺の下層風場が重要であったことを指摘した。

林 修吾 (気象研) は、2014年6月24日に調布・三鷹で激しい降雹・落雷をもたらした事例について、観測データによる積乱雲の発生・発達状況について解析し、非静力学モデル JMA-NHM を用いた積乱雲の再現性について報告した。この事例では、モデル水平解像度の高解像度化による積乱雲の再現性の向上は明瞭ではなかった。降雹の再現では、モデル内の霰のパラメータ (氷密度や雪片パラメータなど) を雹に相当するものに変更することで、地表への到達する量が大幅に増加することを示した。

佐々木ありな (京大) は、山形県庄内平野における強風の解析のために、NTT ドコモ提供の稠密な地上観測データを用いた強風発生の解析を行い、さらに非静力学モデル WRF を用いて強風発生事例での再現性を確認した結果を報告した。観測データ間には、強風発生時には平野部で高い相関が得られ、山中では相関が小さくなることを明らかにした。WRF による2012年12月6日の強風事例の再現実験では前線の通過は再現されたが、最大瞬間風速そのものはモデル内で再現されていないことを示した。

岩崎俊樹 (東北大) は、寒気質量水平フラックスを

導入し日本付近の気候学的な寒気流出経路を明らかにした上で、突風や大雪発生時の非静力学モデル JMA-NHM の再現結果から寒気質量フラックスを計算し、その影響を評価した結果を報告した。成田空港で航空機着陸事故が発生した2009年3月23日の寒冷前線通過時の事例では、二つの寒気流とその合流がよく再現された。2014年2月14～15日の関東の大雪事例では、関東地方に形成された寒気ドームが大雪の原因となったことが示された。(林 修吾)

### 2.3 モデル開発

セッション3ではモデル開発に関する3件の発表が行われた。発表件数は本ワークショップのセッションの中でもっとも少なかったが、非静力学気象シミュレーションにおける誤差や不確実性の軽減のためには、更なるモデルの開発が不可欠であることは疑いようがない。今後、モデル開発の機運をより盛り上げていくことは重要であろう。

草開 浩(気象庁)は、陸面モデル(eSiB)を改良することで、地表面フラックスの精度向上や大気変動の予測精度向上が見られることを報告した。これまでeSiBを用いた大気予測実験では、予報時間の経過とともに下層風速の増大や比湿の減少という誤差の増大が見られていた。そこで、粗度を求める元データや関係式の見直し、土壌内水分の拡散モデルの変更、植生根長の変更などの改良を行うことで、運動量フラックスや潜熱フラックスが改善され、下層風速の増大や下層比湿の減少が軽減されることを示した。質疑では、都市効果など複数の要素の総合的な結果である大気現象の再現性と単一要素のモデルの改良の関係をどのように考えるべきかという、モデル開発における重要な問題に対する議論が行われた。

武村一史(京大)ほかは、重合格子法を採用した大気モデルに雲微物理過程を導入することが可能であることを報告した。重合格子法は、複数の格子を用いる手法であり、自由大気領域と山岳近傍領域で異なる格子を用いることで、急峻・複雑地形があっても誤差を抑えた計算が可能である(Takemura *et al.* 2016)。雨滴の落下項を適切に座標変換することで重合格子法を問題無く適用することが出来ることを示し、湿潤大気山岳波の実験において山岳風下の雲をよく再現できることを示した。質疑では、重合格子法への期待が示され、力学過程と物理過程で異なる格子を用いることの可能性等が議論された。

西澤誠也(理研)ほかは、多次元の際にはFCTスキーム(Zalesak 1979)がモノトーン性を保証しないことを示し、移流方向を考慮することで数値的振動を抑えることが出来ることを示した。FCTスキームは、トレーサーの非負保証のために用いられる移流スキームの一つである。トレーサー移流実験により、従来の方法と比較し $\Delta t$ が大きくても誤差が抑えられることを示した。質疑では、非負保証移流スキームが昔から長く議論の対象であることに触れ、FCT以外を含めたスキームについて議論が行われた。

(西澤誠也)

### 2.4 全球雲解像モデル

本セッションでは全球非静力学モデルを用いた研究成果に関する4件の発表があった。

和田章義(気象研)ほかは、気象庁現業モデルと同等の仕様のモデル(20 km GSM)と3つの次世代高解像度モデル(DFSベースのGSM, MSSG, NICAM, いずれも7 km)とを用いて2013年9-10月の台風の予測実験を行い、モデルごとの特徴を比較した。4つのモデルのいずれにおいても台風の進路には南西寄りのバイアスがあった。強度に関しては、20 km GSMでは予測開始後24時間以降は十分に維持することが出来なかった一方で、解像度に優るDFSベースのGSM, MSSG, NICAMにおいては48時間以上経過しても現実に近い中心気圧を維持していた。また、EOF解析を用いた背景場の再現性の違いの診断に関しての試みが紹介された。

宮川知己(東大)ほかは、観測およびNICAMの3つの異なる解像度(14 km, 7 km, 3.5 km) NICAMで再現されたMJOについて、CFWT(Kikuchi 2014)を適用することにより、MJOの対流活発域に内包される赤道波のスペクトルを比較した。NICAM(14 km, 3.5 km)はMJOの東進を良く再現していながらも内包するケルビン波は観測と比べて過小であったことから、MJOの東進においては高周波の成分よりも大規模の変遷の方が効いている可能性が高いことを指摘した。また、7 km解像度のNICAMでMJOの東進が不明瞭であった原因について、赤道付近に現れる渦擾乱と関連づけて議論した。

中野満寿男(JAMSTEC)ほかは、NICAMによる現在・将来気候実験データ(Kodama *et al.* 2015)を用いて北半球季節内振動(BSISO)と台風発生頻度の関係について解析した結果を紹介した。現在気候

実験においては、BSISOの活動度や位相別の台風発生頻度は観測と概ね良く対応していた。将来気候におけるBSISO位相別の台風発生頻度は現在気候と比べて目立った変化は見られない一方で、BSISOが活発であると診断される日の割合が10%程度低下していた。BSISO不活発日に発生する台風は日数の増加の影響で微増となり、年間の台風発生総数は減少していた。

寺崎康児(理研)ほかは、NICAMに局所アンサンブル変換カルマンフィルタを適用したNICAM-LETKFを用いて、改良型マイクロ波探査計(AMSU-A)及び衛星全球降水マップ(GSMaP)の同化を行った結果を紹介した。AMSU-Aの同化においては、3週間程度のスピニング期間を経たあとは解析精度が向上することが確認された。GSMaPの同化においては、従来取り扱ひの難しかった降水量をLien *et al.* (2016)の手法でガウス変換することにより適切に同化し、特に従来型観測の乏しい南半球において解析精度が向上することを示した。これらの解析精度改善に伴う予測精度の向上は、初期値依存性の大きい1週間以内の予測において特に顕著であった。

(宮川知己)

## 2.5 データ同化 I

2日目最初のセッションでは、データ同化に関する4件の講演があった。前島康光(理研)は気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)に4次元LETKFを実装した4次元NHM-LETKFを用い、同化ウィンドウを1分、3分、5分、15分に変化させて、局地的豪雨のOSSEを行った結果を紹介した。ウィンドウが3分と5分で地上降水の再現性に大きな違いがみられた一方、3分ウィンドウでは、1分に比べ約半分に計算時間を抑制できた。これは高頻度データ同化サイクルをリアルタイムで実行した際に、フェールセーフのワークフローとして役立つ可能性を示唆した。伊藤耕介(琉大)は4つのデータ同化システムである、4D-Var-Bnmc, LETKF, 4D-Var-BenkfL, 4D-Var-BenkfNの特徴を調べ、顕著現象の決定論的予測精度という観点から比較を行った結果について報告した。4D-Var-Bnmcは他の手法に比べて台風の進路・強度予報の精度はあまり良くなかった。また、LETKFは台風の進路予報に関しては精度がhybrid法と同等程度に良かったものの、非常に強い台風の強度やサイズに難があった。台風以外に2011年の新潟・福島豪雨な

どを対象とした実験を行ったが、160 km四方の領域で計算したFSSはhybrid法の結果が最も良かった。福井 真(東北大)は、2014年8月を対象として、従来型観測のみを用いたNHM-LETKFを実行し、領域再解析データセットとしての精度検証について報告した。長期の力学的ダウンスケールでは、総観場自体が崩れて誤差が大きくなっていったが、従来型観測を同化することで、場の再現性が大きく改善し、地上付近でJRA-55と同程度の精度を持っていることが示された。幾田泰醇(気象庁)は、気象庁の現業局地モデルasucaを基にしたハイブリッドデータ同化システムを用いて、ひまわり8号やフェーズドアレイレーダーなど高頻度の観測同化のインパクトについての予備調査を報告した。非正時の観測を正時の観測として同化する単純化は観測のもつ情報の損失をもたらした。時間方向の分解能の高い観測では、その度合いが大きくなる傾向があった。また、ハイブリッドデータ同化システムでは、高頻度観測の情報の損失の影響が他の観測のインパクトに波及する傾向も見られることが示された。

(前島康光)

## 2.6 データ同化 II

和田章義(気象研)は台風予測のためのNHM-LETKF(アンサンブルカルマンフィルタを用いたJMA-NHMに基づく同化システム)について紹介した。はじめにKunii and Miyoshi (2012)による、アンサンブルデータ同化における海面水温摂動及び1次元海洋結合の台風予測への有効性を示した。その上でNHM-LETKFの予報部分に波浪モデルと海洋モデルを結合したシステムの開発について紹介し、2008年台風第13号の解析に関して、波浪海洋結合モデルの結果を引き継ぐことより台風中心気圧が浅まり、また予報部分で計算された領域平均海面水温は衛星解析データのものと同等の時間変化であったことを示した。今後海面水温の制御変数化を目指すこととなる。

川畑拓矢(気象研)は、二重偏波レーダー同化観測演算子の開発について発表した。モデルから偏波情報へ変換する演算子2種類、観測からモデル降水量へトリブする演算子3種類を、それぞれ性能を評価し、その結果、前者からは散乱計算をフィッティングによって置き換える演算子を、後者からは観測情報として非偏波間位相差のみを用いる演算子を、データ同化へ用いる演算子として選択した。これらをWRF-Var(WRFを用いた変分法システム)へ適用し、若

干の改善を示した。

瀬古 弘 (気象研) は、航空機による MODE-S 観測データと水蒸気ライダーデータを紹介し、同化へのインパクトを示した。MODE-S データは、航空管制レーダから航空機に個別質問を送ることによって得られる個々の航空機の対地速度等のデータで、4~10秒毎に水平風や気温を求めることができる。このデータの水平風をモデルと比較し、若干のバイアスが見られるものの、十分同化に利用可能な精度を持っていることを示した。また、気象研究所で開発中の可搬型水蒸気ライダーについて、日中でも観測可能であること、その観測データの同化を試みたところ、下層の水蒸気場などにインパクトがあらわれることを示した。

(川畑拓矢)

## 2.7 数値予報

本セッションでは4件の講演が行われた。

三好建正 (理研) は、準リアルタイム数値天気予報実験から学ぶことについて議論した。ほぼリアルタイムで取得可能な NCEP の現業数値天気予報で利用されている観測データ PREPBUFR を用い、非静力学領域モデル SCALE と LETKF によるデータ同化サイクル及び5日予報を準リアルタイムで実行し始めた。これにより、SCALE-LETKF の安定性や精度について日常的な検証が可能となったと報告した。また、このような研究が可能となり、米国 NOAA で取り組まれている研究と現業の相乗効果、Operation to Research (O2R)、Research to Operation (R2O) が、日本でも重要になることを予言した。

大塚成徳 (理研) は、水平格子間隔  $\Delta x = 100 \text{ m}$  でブリーディング実験を行い、積雲対流の予測可能性に関して議論した。30秒毎に擾乱の再規格化を行うブリーディング実験を行ったところ、発達中の積雲のコアを取り巻くようなリング型のフィラメント状の擾乱が得られた。一方、規格化の際のノルムの大きさを3倍して30秒毎に規格化する実験を行ったところ、積雲コアの位置に、フィラメントではなく、その中を塗りつぶした形状の擾乱構造が得られた。抽出する擾乱の振幅を変えることにより、擾乱の成長率や空間構造に違いが出たと考察した。

松林健吾 (気象庁) は、気象庁が2015年1月から現業の局地モデルとして運用を開始した  $\Delta x = 2 \text{ km}$  の次世代非静力学モデル asuca を、 $\Delta x = 5 \text{ km}$  のモデルへ拡張する際に顕在化した問題点とその解決法につい

て議論した。積雲対流スキームである Kain Fritsch スキーム内で計算される積雲の上昇流が強く、その結果、現実大気の前線雲頂に比べサブグリッドスケールの積雲雲頂が高すぎることを示した。これは、サブグリッドスケールの積雲におけるエンTRAINメントにより上昇流が弱められる効果等の表現が適切でないことを示唆していると述べた。

加藤亮平 (防災科研) は局地的短時間強雨に対する気象庁高解像度降水ナウキャストの予測精度の検証結果を紹介した。1時間積算雨量が50 mm 以上の非常に激しい降水をもたらした局地的短時間強雨23事例を調査した結果、 $20 \text{ mm h}^{-1}$ 以上の強雨域の予測精度は数十分の短時間で急激に低下することを示した。この結果から、時間外挿をベースとしたナウキャストと数値モデルによる予測を組み合わせたブレンディング手法を用いて局地的短時間強雨の予測精度を上げるには、数十分先の予測精度がよい数値モデルの結果をブレンドする必要があることを示した。(加藤亮平)

## 2.8 雲物理

最後のセッションでは雲微物理のモデリングとともに様々な雲のシミュレーション結果についての報告がなされた。橋本明弘 (気象研) は粒子の純水質量と構成化学成分、体積、アスペクト比の詳細な変化を計算できる多次元ビン法微物理モデルを JMA-NHM に導入し、2次元計算領域を用いた対流雲の数値実験に適用した。計算された氷粒子のアスペクト比や密度の特徴は実際の大气で観測される氷粒子の多様性と整合していることを示した。野田 暁 (JAMSTEC) は NICAM による  $7 \text{ km}$  格子データを基にして、Hartmann and Larson (2002) により提唱された FAT 仮説の検証を行った。温暖化大気においても雲頂温度の変化が小さいか否かは雲のサイズに大きく依存する可能性を示した。これにより雲のサイズ分布を精度良く再現することが雲フィードバックを正しく見積もる上で重要となることを示した。清木達也 (JAMSTEC) は GCM の対流圏上層の鉛直解像度が巻雲の発達に与える影響を調べた結果、 $400 \text{ m}$  以下が必要と結論付けた。鉛直解像度が十分高くない場合には巻雲は単層で発生する。この場合、赤外放射による雲頂での放射冷却と雲底付近の放射加熱とが打ち消し合うために本来雲層内で起こる雲-放射相互作用を表現できないことを示した。中村晃三 (JAMSTEC) は CReSS に導入したビン法雲微物理モデルを用いた質

易風帯積雲のLESを行った。特にCCNの活性化を鉛直流の強さに基づいてモデル化する場合には同時に活性化を促す機構も導入する必要性を述べた。これを考慮しない場合には雲底付近より上の層では雲粒数濃度を大きく過少評価することを示した。宮本佳明(理研)は広領域LESデータを基に、亜熱帯域の西岸域から沖合にかけて発生する境界層細胞状循環のアスペクト比の増大機構を熱輸送の効率化にあるとする仮説を立てた。雲セルサイズを抽出しコンポジット解析を行い、降水の蒸発高度の違い等の影響を論じた。

(野田 暁)

### 3. おわりに

非静力学モデルワークショップは今回で17回を数える。ワークショップ開始当初の2000年頃は、基本フレームの開発や簡単な適用事例の報告が中心だった。近年では、研究が進化し講演内容の専門性が高まり、分野の独立性も強まった。それでもこのワークショップは、非静力学数値モデルに関わる諸問題を俯瞰するよい機会となっている。数値モデルは汎用性高い道具であるが、その描きだす世界は地域の特色にあふれている。地域持ち回りで開催されるワークショップは、地域に固有の物差しで数値モデルの性能を考えるよい機会である。台風の最前線である沖縄で開催されたことは、今後の台風予測の精度向上に向けて大変意義深い。もちろん、沖縄開催は当地を知るよい機会であった。短い時間に垣間見た沖縄の自然と風土、文化も大変興味深く感じられた。開催にご尽力いただいた、琉球大学、沖縄気象台、日本気象学会沖縄支部の皆様にご感謝いたします。

(岩崎俊樹)

#### 略語一覧

BSISO : Boreal Summer Intraseasonal Oscillation  
 CCN : Cloud Condensation Nuclei  
 CFWT : Combined-Fourier-Wavelet Transform  
 CReSS : Cloud-Resolving Storm Simulator  
 DFS : Double Fourier Series  
 eSiB : extended Simple Biosphere model  
 FAT : Fixed Anvil Temperature  
 FCT : Flux Corrected Transport  
 FSS : Fractions Skill Score

GCM : General Circulation Model  
 GSM : Global Spectral Model  
 GSMaP : Global Satellite Mapping of Precipitation  
 JAMSTEC : Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology  
 JMA-NHM : Japan Meteorological Agency-NonHydrostatic Model  
 LES : Large-Eddy Simulation  
 LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter  
 MJO : Madden-Julian Oscillation  
 MSSG : Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment  
 NICAM : Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model  
 OSSE : Observing System Simulation Experiment  
 SCALE : Scalable Computing for Advanced Library and Environment

#### 参考文献

- Hartmann, D. L. and K. Larson, 2002 : An important constraint on tropical cloud-climate feedback. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1951-1954.
- Kikuchi, K., 2014 : An introduction to combined Fourier-wavelet transform and its application to convectively coupled equatorial waves. *Clim. Dyn.*, **43**, 1339-1356.
- Kodama, C. *et al.*, 2015 : A 20-year climatology of a NICAM AMIP-type simulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 393-424.
- Kunii, M. and T. Miyoshi, 2012 : Including uncertainties of sea surface temperature in an ensemble Kalman filter: A case study of Typhoon Sinlaku (2008). *Wea. Forecasting*, **27**, 1586-1597.
- Lien, G.-Y., T. Miyoshi and E. Kalnay, 2016 : Assimilation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis with a low-resolution NCEP Global Forecast System. *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 643-661.
- Takemura, K., K. Ishioka and S. Shige, 2016 : Development of a non-hydrostatic atmospheric model using the Chimera grid method for a steep terrain. *Atmos. Sci. Lett.*, **17**, 109-114.
- Zalesak, S. T., 1979 : Fully multidimensional flux-corrected transport algorithms for fluids. *J. Comput. Phys.*, **31**, 335-362.