

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2013

課題番号：21244074

研究課題名(和文) 局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究

研究課題名(英文) Study of advanced data assimilation and cloud resolving ensemble technique

研究代表者

斉藤 和雄 (Saito, Kazuo)

気象庁気象研究所・予報研究部・部長

研究者番号：70391224

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,900,000円、(間接経費) 9,270,000円

研究成果の概要(和文)：局地豪雨による被害軽減につながる基盤技術開発のための研究として以下を行った。
・観測データを高解像度の数値モデルの初期値に取り込む手法(データ同化手法)の開発と豪雨事例への適用を行なった。衛星で観測するマイクロ波データ、GPSデータ、ライダー観測による風のデータを用いた同化実験などを行うとともに、静止衛星の高頻度観測データの利用に向けた取り組みにも着手した。
・局地豪雨の発生確率を半日以上前から定量的に予測することを目標に、メソアンサンブル予報のための初期値や境界値の摂動手法の開発と雲を解像する高分解能モデルへの応用と検証を行い、局地豪雨の確率的予測の可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：To overcome the difficulties to predict local convective rains without strong synoptic or orographic forcing, research and development on mesoscale data assimilation and ensemble forecast were conducted.

A storm scale 4DVAR data assimilation scheme, local ensemble transform Kalman filter for the JMA nonhydrostatic model, an ensemble variational data assimilation scheme were developed and applied to data assimilation experiments for local heavy rainfall events and typhoons. Mesoscale assimilation experiments for mesoscale observation data (e.g., GPS data and Doppler lidar data) were conducted. Initial and lateral boundary perturbation methods for a mesoscale ensemble prediction system were developed and the system was applied to a cloud resolving model. Feasibility of the probabilistic forecast of local heavy rainfall was shown through validation of mesoscale ensemble forecasts.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、気象・海洋物理・陸水学

キーワード：局地豪雨 データ同化 4次元変分法 アンサンブルカルマンフィルタ GPSデータ 衛星ラピッドスキャン アンサンブル予報 確率予測

1. 研究開始当初の背景

2008年夏季に頻発した局地的な豪雨は、各地に浸水害や土砂災害をもたらし、死者を伴う被害も発生した。湿った気流や上空の寒気の影響により積乱雲が発生し、局地に短時間に激しい雨をもたらすことが特徴で、その予測の困難さから、「ゲリラ豪雨」などという言葉も報道に用いられるなど、社会的にも大きな問題となった。

2. 研究の目的

本研究は、このような局地豪雨予測に正面から取り組み、予測を通じてその被害を軽減するための基盤技術を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

局地豪雨を予測するための基盤技術として、以下の3つの項目について研究を行う。

(1)先端的雲解像同化手法の研究：雲解像モデルのための非静力学4次元変分法・アンサンブルカルマンフィルタなどデータ同化手法について研究する。アンサンブル予報を用いる変分法的同化手法についても検討を行う。(気象研究所、東北大学、海洋研究開発機構)

(2)局地豪雨の観測とデータ利用手法の研究：マイクロ波放射計(地上設置型、衛星搭載)、GPS視線遅延量、レーダー反射強度データ、ライダー動径風、二重偏波レーダー、RASSデータなどによる局地豪雨の観測と同化実験を行い、データの利用手法について研究する。(気象研究所、情報通信研究機構、京都大学、東北大学)

(3)雲解像アンサンブル手法の研究：雲解像モデルに対するアンサンブル摂動手法を研究し、局地豪雨の確率的予測法について調べるとともに、感度解析に基づく適応観測の可能性を研究する。

4. 研究成果

初期値解析手法、観測データ同化手法、雲解像アンサンブル手法を局地的な豪雨や台風の予測に応用するための開発を行った。

(1)先端的雲解像同化手法の研究

暖かい雨のバルク法雲物理過程を含む雲解像4次元変分法データ同化システムを開発し、深い対流の再現実験に適用した。

アンサンブル変分同化法(EnVAR)でのサンプリング誤差抑制法として、対象点の周囲の地点のアンサンブルを使う手法を開発した。また、アンサンブル予報誤差を平均場と偏差成分に分けることで、物理量毎の水平方向の予報誤差相関のスケールの違いを表すことができるように改良した。そして、この手法をアンサンブルに基づく変分法的同化法に導入したプログラムを開発した。梅雨前線帯の豪雨事例に対して、マイクロ波放射計によ

る位置ずれ補正とEnVAR実験の有効性を確認した。この結果を用いた延長予報の降水予測が改善された。

雲解像4次元変分法データ同化システムのアジョイントモデルを気象庁非静力学モデル4次元変分法(JNoVA)に用いられているアジョイントモデルと統合した新しいデータ同化システム(NHM-4DVAR v3)を開発した。さらに並列化作業を進め、ほぼ完成した。NHM-4DVAR v3の動作確認を行い、500m解像度での運用を試験し、正常に動作することを確認した。解析・予報サイクルの解析部分を局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)とEnVARで切り替えられる実験システムの開発を行い、1点観測実験で動作を確認した。

(2)局地豪雨の観測とデータ利用手法の研究

2011年夏期に観測されたシーロメータの後方散乱データから雲底高度の湿度を調べ、さらに、雲定高度の同化法を開発して、初期的な結果を示した。国際GNSSサービスのCODE解析センターによる5秒衛星クロックと精密軌道暦を用いた予備解析を行った。解析された観測船の鉛直座標は3m程度の振幅で数時間周期で変動し、天頂遅延量は鉛直座標変動に逆比例するような時間変動をしており、船の鉛直座標を平均海面高度に強く拘束させるなどの工夫が必要で有ることがわかった。

2012年5月6日のつくば竜巻の事例について、LETKFを用いて気象研究所のレーダーで観測されたドップラー速度の同化実験を行い、ドップラー速度を同化しない場合に比べ、下層の風速や水蒸気量が修正されることにより、再現される渦が強まるとともに位置がより現実に近づくことが分かった。MTSAT-IR(ひまわり6号)の5分ごとのラピッドスキャンによって得られた風観測データ(大気追跡風)について、同化実験を実施した。JNoVAを用いた停滞前線に伴う大雨の事例の実験で、前線付近の上層風と前線に流れ込む海上の下層風が同化されたことにより、上層の発散あるいは下層の収束が強化され、3時間後の降水量の予報値に増加がみられた。

(3)雲解像アンサンブル手法の研究

LETKFによるデータ同化手法を局所的大雨事例に適用し、決定論的予測の精度向上、およびアンサンブルに基づく確率論的予測の有効性を確認した。

2012年5月6日につくばで発生した竜巻について、LETKFを用いたネストシステムを用いて、再現実験を行った。さらに得られた解析値からダウンスケール実験を行い、竜巻の寿命と環境との関係を調べた。

最新版LETKFを用いたNHM-LETKF実験システムを構築し、2012年7月の九州北部豪雨を対象としたデータ同化、アンサンブル予報実験を行った。LETKFによる解析値を初期値としたコントロール予報では、強度、位置ともに観測に近い豪雨が再現された。アンサンブル

予報に基づく確率予報においても、24時間のリードタイムで50%程度の確率で豪雨が捕捉されており、これらの結果からNHM-LETKFの豪雨事例への有用可能性が示された。

2012年台風第15号について雲解像アンサンブル予報実験を実施し、3重眼構造の再現と予測可能性について調査した。内側のアイウォールの再現は十分ではないが、中間、外側は再現されていた。また、台風事例への応用を通じ、台風トラックデータの同化のインパクトを調査したほか、海面水温の不確実性が台風予報に与える影響について評価を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計70件)

以下には研究代表者、研究分担者、連携研究者による主著者査読付き原著論文のみを示す。共著を含めた全論文リストについては、実績報告書参照。

Kunii, M., 2014: Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system. *Wea. and Forecast.*, doi: 10.1175/WAF-D-13-00032.1. (in press)

Iwai, H., S. Ishii, R. Oda, K. Mizutani, S. Sekizawa, Y. Murayama, 2013: Performance and technique of coherent 2- μ m differential absorption and wind lidar for wind measurement. *J. Atmos. and Ocea. Tech.*, 30, 429-449.

Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, and K. Saito, 2013: A numerical study on a mesoscale convective system over a subtropical island with 4D-Var assimilation of GPS slant total delays. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91, 337-353.

Saito, K., H. Seko, M. Kunii and T. Miyoshi, 2012: Effect of lateral boundary perturbations on the breeding method and the local ensemble transform Kalman filter for mesoscale ensemble prediction. *Tellus*, 64, doi: 10.3402/tellusa.v64i0.11594.

Saito, K., 2012: The Japan Meteorological Agency nonhydrostatic model and its application to operation and research. *Atmospheric Model Applications*, 85-110.

Kawabata, T., M. Kunii, K. Bessho, T. Nakazawa, N. Kohno, Y. Honda and K. Sawada, 2012: Reanalysis and reforecast of typhoon Vera (1959) using a mesoscale four-dimensional variational assimilation system. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90, 449-465.

Seko, H., T. Miyoshi, Y. Shoji and K. Saito, 2011: A data assimilation experiment of PWV using the LETKF system -Intense

rainfall event on 28 July 2008-. *Tellus*, 63A, 402-414.

Iwai, H., Y. Murayama, S. Ishii, K. Mizutani, Y. Ohno, and T. Hashiguchi, 2011: Strong updraft at a sea-breeze front and associated vertical transport of near-surface dense aerosol observed by Doppler lidar and ceilometer. *Boundary-Layer Meteorol.* 141, 117-142.

Shoji, Y., M. Kunii and K. Saito, 2011: Mesoscale Data Assimilation of Myanmar Cyclone Nargis Part II: Assimilation of GPS-Derived Precipitable Water Vapor. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 67-86.

Furumoto, J., T. Shinoda, A. Matsugatani, and T. Tsuda, 2011: Measurements of Detailed Temperature Profiles within the Radar Range Gate Using the Range Imaging Technique. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 28, 22-36.

Aonashi, K. and H. Eito, 2011: Displaced Ensemble variational assimilation method to incorporate microwave imager data into a cloud-resolving model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 175-194.

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 metropolitan area. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1911-1931.

Kunii, M., K. Saito, H. Seko, M. Hara, T. Hara, M. Yamaguchi, J. Gong, M. Charron, J. Du, Y. Wang and D. Chen, 2011: Verifications and intercomparisons of mesoscale ensemble prediction systems in B08RDP. *Tellus*, 63A, 531-549.

Saito, K., M. Hara, M. Kunii, H. Seko, and M. Yamaguchi, 2011: Comparison of initial perturbation methods for the mesoscale ensemble prediction system of the Meteorological Research Institute for the WWRP Beijing 2008 Olympics Research and Development Project (B08RDP). *Tellus*, 63A, 445-467.

Kunii, M., K. Saito and H. Seko, 2010: Mesoscale Data Assimilation Experiment in the WWRP B08RDP. *SOLA*, 6, 33-36.

Kunii, M., Y. Shoji, M. Ueno and K. Saito, 2010: Mesoscale Data Assimilation of Myanmar Cyclone Nargis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 88, 454-474.

Saito, K., T. Kuroda, M. Kunii and N. Kohno, 2010: Numerical Simulations of Myanmar Cyclone Nargis and the Associated Storm Surge Part 2: Ensemble prediction. *J. Meteor. Soc. Japan*, 88, 547-570.

Seko, H., K. Saito, M. Kunii and M. Kyouda, 2009: Mesoscale Ensemble Experiments on Potential Parameters for Tornado Outbreak. SOLA, 5, 57-60.

Seko, H., H. Yamauchi, O. Suzuki and K. Saito, 2009: Estimation of Temporal Variation of Refractive Index Using C-band Doppler Radar Equipped with Magnetron Transmitter. SOLA, 5, 145-148.

Shoji, Y., M. Kunii and K. Saito, 2009: Assimilation of Nationwide and Global GPS PWV Data for a Heavy Rain Event on 28 July 2008 in Hokuriku and Kinki, Japan. SOLA, 5, 45-48.

〔学会発表〕(計 338 件)

各年度の学会等発表件数は以下の通り。

平成 21 年度: 80

平成 22 年度: 61

平成 23 年度: 65

平成 24 年度: 66

平成 25 年度: 66

ここでは平成 25 年度国際学会発表から代表的なもののみを示す。全講演リストについては、実績報告書を参照。

Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, and K. Saito, 2014: GPS Slant Total Delay Assimilation with a Storm Scale 4D-Var on an MCS Event. International Symposium on Data Assimilation. (invited; 2014 年 2 月 27 日、ミュンヘン)

Origuchi, S., K. Aonashi and K. Okamoto, 2013: Displaced ensemble variational assimilation experiment using brightness temperatures of microwave imager. AGU Fall Meeting. (2013 年 12 月 10 日、サンフランシスコ)

Otsuka, M., M. Kunii, H. Seko, K. Saito K. Shimoji, M. Hayashi, 2013: Verification and assimilation experiment of MTSAT rapid scan atmospheric motion vectors. Sixth China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology. (2013 年 10 月 25 日).

Saito, K., H. Seko, T. Kawabata, M. Kunii, S. Origuchi, M. Otsuka, T. Kuroda, L. Duc, K. Ito, and M. Oizumi, 2013: Numerical prediction of severe weather. Sixth China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology. (2013 年 10 月 25 日).

Seko, H., M. Kunii and S. Yokota, 2013: Ensemble forecast experiments of tornadoes occurred on May 6th 2012 using a nested-LETKF system. RIMS International Conference on Theoretical Aspects of Variability and Predictability

in Weather and Climate Systems. (2013 年 10 月 25 日、京都)

Kunii, M., 2013: Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system. Sixth Symposium on Data Assimilation. (2013 年 10 月 8 日、メリーランド)

〔図書〕(計 件)

〔その他〕

ホームページ等：
<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/fo/Project/Kakenhi/8-01-02.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

斉藤和雄 (SAITO, Kazuo)

気象研究所予報研究部・部長

研究者番号: 70391224

(2) 研究分担者

瀬古 弘 (SEKO, Hiromu)

気象研究所・予報研究部・室長

研究者番号: 60354445

川畑 拓矢 (KAWABATA, Takuya)

気象研究所・予報研究部・主任研究官

研究者番号: 80354447

青梨 和正 (AONASHI, Kazumasa)

気象研究所・台風研究部・室長

研究者番号: 50354444

小司 禎教 (SHOJI, Yoshiinori)

気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・室長

研究者番号: 70354446

村山 泰啓 (MURAYAMA, Yasuhiro)

情報通信研究機構・電磁波計測研究センター・グループリーダー

研究者番号: 00359001

古本 淳一 (FURUMOTO, Jun-ichi)

京都大学・生存圏研究所・特定助教

研究者番号: 10402934

岩崎俊樹 (Iwasaki, Toshiki)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号: 30302074

(3) 連携研究者

大塚 道子 (OTSUKA, Michiko)

気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号: 20636055

折口 征二 (ORIGUCHI, Seiji)

気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号: 30613822

国井 勝 (気象研究所予報研究部)

研究者番号: 70370327

横田 祥 (YOKOTA, Sho)

気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号：10723794

石元 裕史 (ISHIMOTO, Hiroshi)

気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・主任研究官)

研究者番号：70281136

鈴木 修 (SUZUKI, Osamu)

気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・室長)

研究者番号：30354517

原 昌弘 (HARA, Masahiro)

気象研究所・予報研究部・主任研究官

研究者番号：30354450

(4) 主たる研究協力者

荒木・健太郎 (ARAKI, Kentaro)

気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号：40636031

岩井 宏徳 (IWAI, Hironori)

情報通信研究機構・電磁波計測研究センター・主任研究員

研究者番号：10359028

佐藤 晋介 (SATO, Shinsuke)

情報通信研究機構・電磁波計測研究センター・主任研究員

研究者番号：30358981

三好 建正 (MIYOSHI, Takemasa)

理化学研究所・計算科学研究機構・チームリーダー

研究者番号：90646209

幾田 泰醇 (IKUTA, Yasutaka)

気象庁・数値予報課・技術主任

小野 耕介 (ONO, Kosuke)

気象庁・数値予報課・技術主任