

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2005～2008

課題番号：17340142

研究課題名（和文） 豪雨の力学的予測のための初期値解析と予測信頼性の評価に関する研究

研究課題名（英文） Study of data assimilation and evaluation of forecast reliabilities for dynamical prediction of heavy rainfall

研究代表者

齊藤 和雄 (SAITO KAZUO)

気象研究所・予報研究部・室長

研究者番号：70391224

研究成果の概要：集中豪雨を数値モデルで予測するため、大気の3次元的な状態を観測データを用いて精度良く解析する研究、および予測の信頼性を定量的に見積もる手法の研究を行った。非定時の観測データを同化する高解像度4次元変分法の開発、GPSデータ、マイクロ波放射計データ等の同化実験を行い、豪雨の予測が改善できることを示した。アンサンブル予報の手法をメソ現象の短時間予測に適用し、予報誤差を定量的に見積もる手法を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	4,300,000	0	4,300,000
2006年度	4,100,000	0	4,100,000
2007年度	3,300,000	0	3,300,000
2008年度	3,400,000	0	3,400,000
年度			
総計	15,100,000	0	15,100,000

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：集中豪雨、数値モデル、気象予測、データ同化、観測データ、アンサンブル予報

1. 研究開始当初の背景

集中豪雨の数値モデルによる予測は防災上重要なテーマであるが、水蒸気や風・温度場など数値モデルの初期値を観測データで改善する本格的な取り組みは行われておらず、研究レベルにおいてさえも豪雨の力学的な予測は成功していなかった。またメソ数値モデルの予測結果の信頼度を定量的に見積もることも行われていなかった。

2. 研究の目的

集中豪雨など局地的な激しい気象現象を力学的に予測するため、モデル初期値としての大気状態を観測データを用いて定量的に

解析するための研究を行う。また、初期値に含まれる誤差成長を調べるなどアンサンブル予報の手法をメソ現象の短時間予測に適用する手法を研究し、数値モデルの予測結果の信頼度を定量的に見積もることを試みる。さらに、最も進んだ初期値解析手法とされるアンサンブルカルマンフィルターを集中豪雨などのメソ予報に応用する方法を研究する。

3. 研究の方法

(1) 非静力学モデルの初期値のための変分法解析手法の研究

豪雨予測を目的とする高分解能非静力学

モデルのための変分法を用いた初期値解析手法の研究を行う。制御変数の検討・メソスケールと積雲スケールの背景誤差統計量の調査・随伴（アジョイント）モデルへの湿潤過程の導入・側面境界条件の扱いの追加・重力波ノイズに対するペナルティ項の検討など、非静力学4次元変分法骨格部分の開発とテストを行う。

(2) リモートセンシングデータ、メソスケール観測データ同化手法の研究

高分解能非静力学モデルの初期値改善に利用可能な観測データのうち、ドップラーレーダー・ウィンドプロファイラ屈折率データ・GPS 遅延量データ（地上・掩蔽）・衛星搭載マイクロ波放射計データなど、豪雨予測に有効と考えられるデータについて、精度検証や変分法観測演算子の開発、同化実験を通じたインパクトテストを行う。雲物理量の同化手法やアメダス風などメソ観測データ同化手法の検討を行う。

(3) メソアンサンブル手法の研究

豪雨予測の信頼度を見積もるためのメソアンサンブル手法についての研究を行う。メソ4次元変分法アジョイントモデルを用いた特異ベクトル算出法の検討、全球モデル特異ベクトル法や成長モード育成法の開発を行う。

(4) アンサンブルカルマンフィルターについての基礎調査

アンサンブルカルマンフィルターのメソ気象予測への有用性について調査し、手法の基礎調査と実データを用いた実験を行う。

4. 研究成果

(1) 非静力学モデルの初期値のための変分法解析手法の研究

豪雨予測を目的とする雲解像非静力学4次元変分法の開発を行った。背景誤差の設定として、水平解像度 2km と 5km, 予報時間間隔 6 時間と 1 時間で、予報誤差共分散の統計的性質を調査した。側面境界条件を制御変数に追加した。

1999 年 7 月の練馬豪雨の事例について、ドップラーレーダー動径風、GPS 可降水量・アメダスデータを水平解像度 2km で同化する実験を行い、豪雨をもたらした深い対流の再現に成功した。

水蒸気・雲水・雲氷の摂動を考慮した接線形・随伴モデルを開発し同化システムに雲物理過程の導入を行った。2005 年 9 月の首都圏豪雨事例について、雲解像度 4 次元変分法によるレーダー反射強度データの同化実験を行い、反射強度と降水強度の双方で、観測データとよく一致する結果を得た。

4 次元変分法の評価関数最適化アルゴリズムとして、Bundle 法の検討を行った。

(2) リモートセンシングデータ、メソスケ

ール観測データ同化手法の研究

ドップラーレーダーの高仰角の動径風データ、ウィンドプロファイラの屈折率データ、国土地理院 GPS 観測網による可降水量データ、CHAMP 衛星屈折率データ、衛星搭載マイクロ波放射計データなどについて、精度検証を行うとともに変分法観測演算子を開発し、降水予報へのインパクトテストを行った。CHAMP 衛星の GPS 掩蔽データの特徴を調べるとともに、屈折率の鉛直相関や視線全体を考慮したノンローカル観測演算子を開発し、2004 年 7 月の事例について同化実験を行い、観測に近い降水系が再現できた。

静止衛星搭載マイクロ波放射計データからの降水情報の利用のため、冬季日本海上を対象とする雲解像モデルの降水物質の解像度依存性やアンサンブル予報誤差の擾乱依存性について調べた。

(3) メソアンサンブル手法の研究

全球ターゲット特異ベクトル法、メソ特異ベクトル法、メソ BGM 法による初期値摂動手法を構築し、日本域や北京域を対象とする非静力学モデルによるアンサンブル予報実験を行い、単独予報に対して降水予報精度が向上することを確認するとともに、各手法の比較を行った。2008 年に行われた WWRP のメソアンサンブル予報についての国際比較実験「北京オリンピック 2008 予報実証研究開発プロジェクト」に参加し、概ね良好な成績を得た。

(4) アンサンブルカルマンフィルターについての基礎調査

非静力学メソモデルのアンサンブル予報に基づいて衛星マイクロ波放射計データ地上降水強度を平方根フィルターによって同化する実験を行い、予報精度が向上することを確認した。また非静力学メソモデルによる局所アンサンブル変換カルマンフィルタの開発を行い、予報スプレッドの空間分布の確認を行った。

順圧大気大循環モデルを用いた拡張カルマンフィルターとアンサンブルカルマンフィルターの比較実験を行った。非静力学モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルターによる衛星マイクロ波放射計データの同化、局所アンサンブル変換カルマンフィルタによる実データ同化実験に着手した。

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 38 件)

① Aonashi, K., J. Awaka, M. Hirose, T. Kozu, T. Kubota, G. Liu, S. Shige, S. Kida, S. Seto, N. Takahashi, and Y. N. Takayabu,

- GSMaP passive precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and Validation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87A, 119-136. (2009) 査読有
- ② Seko, H., K. Saito, M. Kunii and M. Kyouda, Mesoscale Ensemble Experiments on Potential Parameters for Tornado Formation. *SOLA*, 5, 57-60. (2009) 査読有
- ③ Y. Shoji, A Study of Near Real-time Water Vapor Analysis using a Nationwide Dense GPS Network of Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 1-18. (2009) 査読有
- ④ Y. Shoji, M. Kuniil and K. Saito, Data Assimilation Experiments of GPS derived PWV on the 28 July 2008 Hokuriku and Kinki Heavy Rainfall. *SOLA*, 5, 45-48. (2009) 査読有
- ⑤ Eito, H. and K. Aonashi, Verification of Hydrometeor Properties Simulated by a Cloud-Resolving Model Using a Passive Microwave Satellite and Ground-Based Radar Observations for a Rainfall System Associated with the Baiu Front. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87A, 425 — 446. (2009) 査読有
- ⑥ Yanagino, T., S. Oharu, Theoretical Approach to Improving Observation by a Windprofiler. *Advances in Mathematical Sciences and Applications*, 19, 1-19. (2009) 査読有
- ⑦ M. Matsueda and H.L. Tanaka, Can MCGE Outperform the ECMWF Ensemble? *SOLA*, 4, 77-80. (2008) 査読有
- ⑧ 齊藤和雄、第3回 WWRP 北京 2008 予報実証実験/研究開発プロジェクト(B08FDP/RDP)ワークショップ報告. *天気*, 54, 101-108. (2008) 査読無
- ⑨ 齊藤和雄、WWRP 北京オリンピック予報実証/研究開発プロジェクト(B08FDP/RDP). 数値予報課報告・別冊, 54, 246-254. (2008) 査読無
- ⑩ 瀬古弘、B08RDP の Tier2 プロジェクト実験. 数値予報課報告・別冊, 54, 257-259. (2008) 査読無
- ⑪ 國井勝、メソ解析の適用と降水同化. 数値予報課報告・別冊, 54, 257-259. (2008) 査読無
- ⑫ Yanagino, T., Optimal affine transformations of Lorenz equations and chaotic behavior near fixed points. *Advances in Mathematical Sciences and Applications*. 18, 651-673. (2008) 査読有
- ⑬ Yanagino, T., S. Oharu Sensitivity of numerical schemes for Lorenz systems. *Advances in Mathematical Sciences and Applications*, 18, 675-707. (2008) 査読有
- ⑭ 松枝未遠・田中博ほか マルチセンター グランドアンサンブルでみる 2005/2006 年の冬. *グロースベッター*, 45, 44-59. (2007) 査読無
- ⑮ T. Miyoshi and S. Yamane, Local ensemble transform Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 3841-3861. (2007) 査読有
- ⑯ T. Miyoshi, S. Yamane and T. Enomoto, Localizing the Error Covariance by Physical Distances within a Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF). *SOLA*, 3, 89-92. (2007) 査読有
- ⑰ T. Miyoshi, S. Yamane and T. Enomoto, The AFES-LETKF Experimental Ensemble Reanalysis: ALERA. *SOLA3*, 45-48. (2007) 査読有
- ⑱ T. Tsuyuki and T. Miyoshi, Recent Progress of Data Assimilation Methods in Meteorology. *J. Meteor. Soc. Japan*, 85 (2B), 331-361. (2007) 査読有
- ⑲ H. Seko, Y. Shoji and F. Fujibe, Evolution and air flow structure of a Kanto thunderstorm on 21 July 1999 (the Nerima Heavy Rainfall Event). *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 455-477. (2007) 査読有
- ⑳ 小司禎教、地上 GPS 観測による可降水量の同化. 気象研究ノート「気象学におけるデータ同化」. 217, 228-238. (2007) 査読有
- 21 川畑拓矢、雲解像データ同化による深い対流雲の研究. 気象研究ノート「気象学におけるデータ同化」 217, 255-256. (2007) 査読有
- 22 T. Kawabata, H. Seko, K. Saito, T. Kuroda, K. Tamiya, T. Tsuyuki, Y. Honda and Y. Wakazuki, An Assimilation and Forecasting Experiment of the Nerima Heavy Rainfall with a Cloud-Resolving Nonhydrostatic 4-Dimensional Variational Data Assimilation System. *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 255-276. (2007) 査読有
- 23 瀬古弘、3次元変分法同化システムを用いた練馬豪雨の再現実験. 気象研究ノート「気象学におけるデータ同化」 217, 224-227. (2007) 査読有
- 24 瀬古弘、屈折率のデータ同化システムの開発, 気象研究ノート「気象学におけるデータ同化」. 217, 239-249. (2007) 査読有
- 25 T. Miyoshi, Assimilating Satellite Radiances with a Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) Applied

- to the JMA Global Model (GSM). SOLA, 3, 37-40 (2007) 査読有
- 26 J. Furumoto, S. Imura, T. Tsuda, H. Seko, T. Tsuyuki and K. Saito, The variational assimilation method for the retrieval of humidity profiles with the wind-profiling radar. J. Atmos. Ocean. Technol. 24, 1525-1545. (2007) 査読有
- 27 斉藤和雄、気象庁の短時間降雨予測技術について。水環境学会誌, 5, 230-235. (2007) 査読有
- 28 斉藤和雄、降水現象の予報高度化の技術。天気, 54, 622-631. (2007) 査読有
- 29 小司禎教、地上 GPS: 準リアルタイム解析データの同化実験。数値予報課報告別冊, 54 (2007) 査読無
- 30 M. Matsueda, M. Kyouda, H. L. Tanaka, and T. Tsuyuki, Multi-center grand ensemble using three operational ensemble forecasts. SOLA, 2, 33-36. (2006) 査読有
- 31 M. Matsueda, M. Kyouda, H. L. Tanaka, and T. Tsuyuki, Daily forecast skill of multi-center grand ensemble. SOLA, 3, 29-32. (2006) 査読有
- 32 T. Miyoshi, Applying a Four-dimensional Local Ensemble Transform Kalman Filter (4D-LETKF) to the JMA Nonhydrostatic Model (NHM). SOLA, 2, 128-131. (2006) 査読有
- 33 斉藤和雄、メソモデルによる台風事例のアンサンブル予報ダウンスケール実験。月刊海洋, 38, 732-739 (2006) 査読無
- 34 田中博、気象予測とカオス。日本信頼性学会誌, 28, 481-488. (2006) 査読有
- 35 斉藤和雄・牧原康隆、集中豪雨の予知技術最前線。地質と調査, 105, 32-37, (2005) 査読有
- 36 斉藤和雄、メソアンサンブル予報。数値予報課報告別冊、52, 66-79. (2005) 査読無
- 37 三好建正、アンサンブル・カルマンフィルタ～データ同化との融合～。数値予報課報告別冊, 52, 80-99. (2005) 査読無
- 38 Y. Honda, M. Nishijima, K. Koizumi, Y. Ohta, K. Tamiya, T. Kawabata and T. Tsuyuki, A pre-operational variational data assimilation system for a non-hydrostatic model at the Japan Meteorological Agency: Formulation and preliminary results. Q. J. R. Meteorol. Soc., 131, 3465-3475. (2005) 査読有

[学会発表] (計 152 件)

- ① 原 昌弘、WWRP 北京オリンピック 2008 予報実証/研究開発プロジェクト(全球特異

ベクトル法による初期値・境界値摂動の作成) .日本気象学会 2008 年度秋季大会.

(2008 年 11 月 19 日 仙台国際センター)

- ② 國井勝、気象庁非静力学モデルに対する特異ベクトルの計算 (第 5 報) . 日本気象学会 2008 年度秋季大会. (2008 年 11 月 21 日 仙台国際センター)

- ③ K. Aonashi, and H. Eito, Toward Assimilation of MWR TBs into CRM: Ensemble Forecast Error Distribution and Covariance of CRM variables and TBs. IGARSS2008. (2008 年 7 月 8 日 米国ボストン)

- ④ K. Saito, Possible contribution of MRI to COPS. 6th Convective and Orographically-induced Precipitation Study (COPS) Workshop. (2008 年 2 月 28 日 University of Hohenheim, Stuttgart, Germany)

- ⑤ T. Kawabata, Development and Result of a Cloud-Resolving Nonhydrostatic 4DVAR Assimilation System (NHM-4DVAR). 6th Convective and Orographically-induced Precipitation Study (COPS) Workshop. (2008 年 2 月 28 日 University of Hohenheim, Stuttgart, Germany)

- ⑥ H. Seko, Japan Area Meso Ensemble Experiments using JMANHM. 7th International SRNWP-Workshop on Non-Hydrostatic Modelling . (2007 年 11 月 6 日 Bad Orb, Germany)

- ⑦ Y. Shoji, Development of GPS Data Assimilation Systems for Operational Numerical Weather Prediction Models. 4th annual meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2007). (2007 年 8 月 2 日 Bangkok, Thailand)

- ⑧ Kondo, K. and H. L. Tanaka, Influence of local ensemble transform Kalman filter with the NICAM on high latitudes. First International Symposium on the Arctic Research. (2008 年 11 月 5 日 東京未来会館)

ほか 144 件

[図書] (計 1 件)

- ① 斉藤和雄、気象予報士ハンドブック、オーム社 2008、896 ページ (共著、437-444)

[その他]

新聞報道：以下のほか、地方紙に多数の報道があった。

日本経済新聞 2008年1月15日「五輪で天気予報も競う 日米中など6カ国機関」

産経新聞 2008年3月10日「北京で競う天気予報 日米中など6カ国機関」

読売新聞 2008年5月3日「五輪北京の空、予報

精度競う 日米中など気象機関」

TIMES ONLINE Toughest event at Beijing Olympics - getting weather forecast right (<http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/asia/article3912922.ece>)

朝日新聞 2008年9月8日「アンサンブル予報で当てる 複数天気パターン短時間で計算」

産経新聞 2008年9月20日「北京五輪で国際実験 日本の天気予報”金メダル級”ゲリラ豪雨に应用期待」

読売新聞 2008年11月2日「ゲリラ豪雨に予測システム 気象研究所が開発」

日本経済新聞 2009年3月29日「局地豪雨の予報に挑戦 予測精度の向上データ解析を工夫 計算技術が進歩 観測の充実カギ」

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・室長
研究者番号：70391224

(2) 研究分担者

田宮久一郎 (TAMIYA KKYUICHIRO)
気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：40354443 (H17年度)

青梨 和正 (AONASHI KAZUMASA)
気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：50354444

瀬古 弘 (SEKO HIROMU)
気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：60354445

小司 禎教 (SHOJI YOSHINORI)
気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：70354446

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

大関 誠 (OZEKI MAKOTO)
気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：20370322 (H17-19年度)

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 (H18-20年度)

柳野 健 (YNANAGINO KEN)
気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：80391225

中澤 哲夫 (NAKAZAWA TETSUO)
気象研究所・台風研究部・室長
研究者番号：20343890

國井 勝 (KUNII MASARU)
気象研究所・台風研究部・研究官
研究者番号：70370327

(3) 連携研究者

永戸 久喜 (EITO HISAKI)
気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：10354440

村上 正隆 (MURAKAMI MASATAKA)
気象研究所・物理気象研究部・室長
研究者番号：30354484

田中 博 (TANAKA HIROSHI)
筑波大学・計算科学研究センター・教授
研究者番号：70236628

津田 敏隆 (TSUDA TOSHITAKA)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号：30115886

古本 淳一 (FURUMOTO JUN-ICHI)
京都大学・生存圏研究所・特認助教
研究者番号：10402934

若月 泰孝 (WAKAZUKI YASUTAKA)
地球環境フロンティア研究センター・ポ
ストドク研究員
研究者番号：70455429

(4) 研究協力者

気象研究所予報研究部 林修吾
気象庁数値予報課 露木義・小泉耕・西嶋
信・石川宜広・本田有機・三好建正・経田正
幸・山口宗彦・澤田謙・酒井亮太・米原仁・
小野耕介・津口裕茂・藤田匡
京都大学生存圏研究所 三上彩
筑波大学生命環境科学研究科 近藤圭一
フロリダ州立大学 劉國勝