

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2023

課題番号：17K05658

研究課題名（和文）観測情報の拡充による全球大気予測の高度化に関する研究

研究課題名（英文）Study on improving global atmospheric state prediction through the expansion of observational information

研究代表者

石橋 俊之（Ishibashi, Toshiyuki）

気象庁気象研究所・気象観測研究部・主任研究官

研究者番号：30585857

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、全球大気状態の解析について、データ同化で重要な誤差共分散行列の高精度化によって同化可能な観測の制限を緩和し、飛躍的に多くの観測情報の同化を可能にした。これにより解析、予測精度や理論整合性が顕著に改善することを示した。観測情報の増強により変分法の随伴モデルをアンサンブル予報に置き換えた場合でも高い精度が得られることを示した。アンサンブル同化による客観推定で構築した高精度な背景誤差共分散行列をネットワーク理論に基づいて解析し、大気摂動の基本的な性質を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気はカオス系であり、その状態解析や予測の高精度化や理論整合性の向上は重要な科学的知見である。高精度な大気状態解析は、大気科学の発展に不可欠なデータセットの生成を可能にし、これらの発展にも不可欠である。ネットワーク理論による大気摂動の基本構造の解明は大気科学に新しい描像を提供する。また、データ同化を利用する他分野（海洋、固体地球、地球重力圏等）に広範囲に応用可能な普遍的知見となる。大気状態の解析や予測は社会基盤情報であり、その精度や理論整合性の向上は社会的にも重要である。

研究成果の概要（英文）：In this study, by improving the accuracy of the error covariance matrix, the most important parameter in data assimilation, we relaxed the restrictions on assimilable observations for global atmospheric state analysis, and made it possible to assimilate a dramatically larger amount of observational information. This resulted in significant improvements in analysis and prediction accuracy and theoretical consistency. We showed that by increasing observational information, high accuracy can be obtained even when the adjoint model of the variational method is replaced by an ensemble forecast. The high-precision background error covariance matrix constructed by objective estimation through ensemble assimilation was analyzed based on network theory, and the basic properties of atmospheric perturbations were clarified.

研究分野：データ同化

キーワード：データ同化

## 1. 研究開始当初の背景

10 日程度先までの全球大気状態の数値予測の精度は、数値予測モデルやデータ同化システムの発展により、10 年毎に 1 日程度のペースで予測可能期間が延びている (Bauer et al. 2015, Nature)。しかし、予測には依然大きな誤差が含まれ、例えば 3 日後の台風の位置の予報誤差は年平均で 200km 程度となっている。予測誤差の主要因の一つとして、データ同化で作成される予測初期値に含まれる誤差が、予測期間中に急速に成長することがある。大気解析の主な情報源は観測データであるが、現在の同化システムでは利用可能な観測の 0.1%未満しか利用できていないことが、予測精度向上の大きな障壁となっている。このような観測データ利用の制約は、第 1 に観測誤差共分散行列の近似精度が不十分なことに起因する。例えば観測誤差の水平相関を無視する近似の下では、観測データは大幅に間引かれて利用される。このため、観測誤差共分散行列の客観推定に関する研究 (Desroziers and Ivanov 2001; Desroziers et al. 2005; Daescu 2008) やその部分的な利用 (Ishibashi 2010; Bormann et al. 2016) が進んでいるが、推定誤差は依然大きい。第 2 に同化用予測モデル (随伴モデル) の精度が不十分なことがある。随伴モデルは接線形化の為に湿潤過程が簡略化されているため、雲や降水の影響を受けた観測の同化には十分な精度をもたない。しかし、接線形近似しないフルモデルによるアンサンブル予報で随伴モデルを置換すると、サンプリングノイズのために解析や予測精度が悪化してしまう (Buehner 2010, Lorenc et al. 2015)。一方これらの研究とは別に、Rabier et al. (1997) や石橋 (2011) の研究は、初期値の精度向上が予測をどれだけ改善しうるかを感度解析の応用等により示しており、それらによると初期値の改善により、現行の予測誤差の半減が可能である。

つまり、上記 2 つの問題を解決することは、数値予測のメインテーマの一つとなっており、その先には、観測情報の大幅な拡充による飛躍的な予測精度の向上が期待できるのである。このような高精度の数値予測の実現は、数値天気予報の精度向上だけでなく、高精度の大気解析データセットを通して気象学や気候学の発展にも不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、データ同化手法の高度化によって同化可能な観測の制限を緩和し、飛躍的に多くの観測情報を同化することで、解析、予測精度を大幅に改善することである。このために、観測及び背景誤差共分散行列の高精度推定手法を確立し、推定した共分散行列を同化システムに導入して解析や予報精度を評価する。観測情報の大幅な拡充は、解析精度の背景誤差共分散行列への依存を相対的に低下させると考えられるため、これにより随伴予測モデルをアンサンブル予報に置換した場合の影響の変化についても明らかにする。水物質等の非線形性の強い新たな観測データの同化についても観測情報の拡充を図る。

本研究では研究期間内に以下を明らかにすることを目的とした。

- ① すべてのデータの誤差共分散行列を客観推定する。観測誤差共分散行列については、複数の推定手法 (Hollingsworth and Lönnberg 1986; Desroziers and Ivanov 2001; Desroziers et al 2005; Daescu 2008; Anderson et al. 2000) を用いて高精度な推定を行う。背景誤差共分散行列については、観測空間での振幅推定とアンサンブル同化によるモデル空間での構造まで含めた推定の 2 つの方法で推定する。
- ② 得られた誤差共分散行列を同化システムに導入し、飛躍的に多くの観測データを同化し、解析及び予報精度や理論整合性を評価する。
- ③ 観測情報を大幅に拡充した場合、解析精度の時間推進手法 (随伴モデル、アンサンブル予報) への依存がどの程度緩和されるのかを明らかにする。特に、観測情報の拡充により、随伴モデルのアンサンブル予報への置換が可能になるかを明らかにする。非線形性の強い新たな観測データの同化について検討する。
- ④ 観測が解析や予報に与える影響を線形解析 (Langland and Baker 2004; Ishibashi 2011) によって解析する。
- ⑤ 数値モデルの下部境界付近の情報を持った観測情報を有効に利用できるように、同化システムを拡張して観測情報をさらに拡充する。
- ⑥ 現実大気を高精度で解析、予報可能な複雑な数値天気予報システムを研究者が構築及び維持管理しながら研究を遂行し (Operations to Research: O2R)、研究成果と社会基盤情報改善に直接的に貢献する成果をフィードバックすること (Research to Operations: R2O) が可能であることを示す。

## 3. 研究の方法

本研究は、気象庁全球数値予報システム (JMA 2013, 2022) をベースに申請者が開発中の数値予報システム上で行う。モデルの水平解像度は 20km、鉛直方向には 100 層でモデルトップは 0.01hPa、同化手法は、4 次元変分法 (4D-Var) であり、随伴モデルとアンサンブル予報による時間推進の選択や併用が可能であり、一回の解析あたり 100 万個程度の観測データを同化

する。以下のように研究を進めた。

- ① 観測誤差共分散行列を 5 つの推定手法を用いて推定する。複数の手法を用いるのは、手法毎に異なる仮定のもとに推定を行うため、推定結果を統合することで単一の手法よりも精度の高い推定を行うためである。5 つの手法は以下である。
  - A) OFA 統計法 (Desroziers et al. 2005) : 観測測値 (O)、予報値 (F) 及び解析値 (A) の差分データの統計量から推定する方法。
  - B) 情報量最適化法 (Desroziers and Ivanov 2001) : 変分法の評価関数と観測データの情報量との理論関係が実際のデータ同化システムで成立するように共分散行列を最適化して推定する手法。
  - C) HL 法 (Hollingsworth and Lönnerberg 1986) : 観測誤差相関が水平方向に無視できると仮定し、チャンネル間相関や時間相関を推定する手法。
  - D) 感度解析による方法 (Daescu 2008) : 予報誤差の観測及び背景誤差共分散行列への感度を計算し、これに基づいて最適化して推定する手法。
  - E) モンテカルロ法 (Anderson et al. 2000) : 同化システムに与えた背景誤差の観測空間での標本をモンテカルロ法で生成して、観測誤差を求める方法。
- ② 背景誤差共分散行列については、観測空間での振幅推定とアンサンブル同化によるモデル空間での構造まで含めた推定の 2 つの方法で推定する。
- ③ 推定した誤差共分散行列を同化システムに実装する。観測誤差共分散行列にはチャンネル間相関を導入する。水平及び時間方向には観測誤差相関は導入せず、①の推定に基づいて間引き距離と誤差分散の最適化を行うことで観測情報を拡充する。これによって飛躍的に多くの観測情報が同化可能になる。
- ④ 1 か月程度の期間の解析、予報サイクル実験を行い、解析、予報精度の評価を行う。
- ⑤ ④の実験で得られる観測統計量を用いて、①の診断を行い、誤差共分散行列の推定に変化があるか調べる。必要に応じて①-④を繰り返して収束性を確認する。
- ⑥ 上記同化システムについて、4 次元変分法で用いる随伴予測モデルをアンサンブル予報に置換したシステムを構築する。アンサンブルメンバは 100 メンバ程度として、アンサンブル生成も 4D-Var で行う。
- ⑦ ⑥の精度を 1 か月程度の実験で評価する。観測情報の拡充の程度により、随伴モデルを使用した通常の 4D-Var と随伴モデルをアンサンブル予報で置換した 4D-Var の精度がどのように変化するかを解析する。
- ⑧ 観測が解析や予報に与える影響を線形解析 (Langland and Baker 2004; Ishibashi 2011) によって解析する。
- ⑨ 数値モデルの下部境界付近の情報を持った観測の情報を有効に利用できるように同化システムを拡張して観測情報をさらに拡充する

#### 4. 研究成果

本研究では、全球大気状態の解析について、データ同化で重要な誤差共分散行列の高精度化によって同化可能な観測の制限を緩和し、飛躍的に多くの観測情報の同化を可能にした。これにより解析、予報精度や理論整合性が顕著に改善することを示した。観測情報の増強により変分法の随伴モデルをアンサンブル予報に置き換えた場合でも高い精度が得られることを示した。アンサンブル同化による客観推定で構築した高精度な背景誤差共分散行列をネットワーク理論に基づいて解析し、大気摂動の基本的な性質を明らかにした。詳細は以下である (Ishibashi 2018, 2020, 2023; 石橋 2022)。

- ① 複数の推定手法を用いて観測及び背景誤差共分散行列を客観推定した。推定された観測誤差標準偏差は、現行値と比較してほとんどの観測種別で小さく、特に水蒸気に感度のある衛星輝度温度観測では現行値の 25%程度であった。気温に感度のある衛星輝度温度観測の最大水平相関距離の推定結果は現行の 1/5 程度であり、現行の 25 倍程度の高密度同化が可能であることを示していた。水蒸気に感度のある衛星輝度温度観測では強いチャンネル間誤差相関がみられた。背景誤差共分散行列についても推定された誤差標準偏差は現行値の 60%程度であった。
- ② 客観推定した共分散行列を同化システムに導入し、夏冬 1 か月間ずつの解析、予報サイクル実験を行った結果、全球的に 5 日程度先までの予測精度が顕著に改善することがわかった。最も効果が大きいのは衛星観測が重要となる南半球であり、予報時間 2 日程度までの高度場の予測の根平均 2 乗誤差 (RMSE) では 10%程度の減少がみられた。背景誤差共分散行列の推定を観測空間で振幅のみ推定した場合とモデル空間で構造まで推定した場合を比較すると後者でより大きな精度改善が見られた。共分散行列の推定を再帰的に行った場合は推定結果の変動が見られたが、これは推定手法の推定精度の範囲内の変動と考えられる。また、夏期間で推定した共分散行列を冬期間で使用した場合でも解析、予報精度は改善したことから、推定で得られた共分散行列は、季節変化や推定回数に強く依存しないロバストなものである。
- ③ 客観推定した共分散行列を導入して観測情報を拡充した場合は、随伴モデルをアンサンブル

ルで置換しても、従来の経験的な誤差共分散行列と随伴モデルを用いた同化よりも、平均的には精度改善する。特に観測情報の拡充が最も大きい南半球で改善が最も大きい。

- ④ 統計的推定理論に基づいて同化システムの理論的な整合性を評価し、従来のシステムでは20%未満であった理論的整合性が、本研究のシステムでは95%以上であることが示された。
- ⑤ 現実大気を対象とする高精度かつ複雑な数値予報システムで、全観測を対象とした観測誤差共分散行列の高精度推定と、変分法によるアンサンブル生成及び背景誤差共分散行列の高精度推定を同時に行い、これらの同化システムへの導入による予測精度や理論整合性の顕著な改善を示したのは、本研究が初めてであり、科学的に重要な成果である。また、本研究の成果は、これまで経験的調整によっていた背景及び観測誤差共分散行列の推定にかかるコストを大幅に軽減するため、今後の数値天気予報研究に大きく貢献することが期待できる。
- ⑥ 観測データが解析や予報場に与える影響の線形評価を行った。先行研究では随伴演算子による計算の検証はされていなかったが、本研究では部分解析インクリメントを用いた別の手法でこれを始めて検証し十分な精度があることを示した。また、誤差共分散行列の高精度化により、従来の経験的な誤差共分散行列に比べて水蒸気に感度をもった衛星輝度温度観測のインパクトが顕著に増加していること等がわかった。
- ⑦ データ同化システムの精度評価のためには、解析や予報誤差を高精度で推定する必要がある。このため、予報期間中の誤差成長について、物理量、空間依存性を評価し、熱帯高度場や対流圏上層の水蒸気量などは中緯度対流圏中層と比べて、誤差成長率が小さく、予報誤差の評価の誤差が相対的に大きいこと等を明らかにした。また、解析場や予報場の評価に使用するため、感度解析の拡張によって高精度の解析場を生成した。
- ⑧ 観測情報のさらなる拡充のため、非線形性の強い観測演算子を持つ観測として衛星による雷光観測の観測演算子を構築し、月平均予報場を衛星観測と比較した。
- ⑨ 水物質の影響を受けた衛星輝度温度観測の誤差共分散行列の気象場への依存性（流れ依存性）を考慮するように同化システムや誤差共分散行列の推定手法を高度化した。流れ依存性を考慮する従来の手法では、観測値と予報値の差の統計から、流れ依存した観測誤差分散をモデル化するが、観測誤差と予報誤差の分離は経験的調整によっており、誤差相関も考慮されていなかった。新手法では、誤差の分離や相関構造も含め、客観推定に基づいて流れ依存した誤差共分散が構築される。これにより、非線形性の強い観測演算子を持つこれらの観測からより多くの観測情報が適切に同化されることが期待できる。実際に全球数値天気予報実験システムによる夏期間と冬期間の各1か月の解析・予報サイクル実験により、本研究で新しく構築した誤差共分散行列を用いた場合は、従来の誤差共分散行列を用いた場合よりも、解析や予報精度が全球的に改善することがわかった。ここで、誤差共分散行列は、これまでの実験と同様に、夏冬実験とも夏期間のデータで推定したものをを用いており、冬実験でも予報精度が改善することは、推定した誤差共分散行列の堅牢性を示している。
- ⑩ 観測情報の拡充が解析及び予報精度に与える影響の定量的な評価の一つとして、4次元変分法のハイブリッド化のインパクトや3次元変分法に対する4次元変分法のインパクトと比較し、共分散行列最適化のインパクトは前者より概ね大きく、後者より概ね小さい（水蒸気場は概ね同等）のインパクトとなることを示した。
- ⑪ 観測情報のさらなる拡充のため、大気状態と地表面状態を同時に解析できるように全球大気同化システムを拡張した。これにより、大気モデルの下部境界条件と大気場の整合性の向上や、地表面付近の情報を持った観測の同化が可能になった。同システムによって、海面水温を大気状態と同時に解析する解析予報実験を行い、これまで同化の難しかった低周波マイクロ波（6-11GHz）等の観測を新たに同化することで、海面水温や大気下層の予報精度が向上することを明らかにした。これにより同化されたマイクロ波イメージャデータの数は倍程度に増加した。
- ⑫ ネットワーク理論の大気科学への適用は、従来は気候学的な時間スケールの摂動場（偏差場）に対する研究に限定されていた。これは、天気予報の時間スケールでの大気摂動場の生成が難しかったためである。本研究では、アンサンブル同化による客観推定で構築した高精度な背景誤差共分散行列が得られたため、これをネットワーク理論に基づいて解析し、大気摂動の基本的な性質を明らかにした。
- ⑬ 現実大気を高精度で解析、予報可能な複雑な数値天気予報システムを研究者が構築及び維持管理して研究を遂行し（O2R）、研究成果と社会基盤情報改善に直接的に貢献する成果をフィードバックすること（R2O）が可能であることを示した。

本報告の参考文献は以下である。

- Andersson, E., M. Fisher, R. Munro, and A. McNally, 2000: Diagnosis of background errors for radiances and other observable quantities in a variational data assimilation scheme, and the explanation of a case of poor convergence. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 1455–1472, <https://doi.org/10.1256/smsqj.56511>.
- Bauer, P., R. Buizza, C. Cardinali, and J.-N. Thépaut, 2011: Impact of singular-vector-

- based satellite data thinning on NWP. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137**, 286–302, <https://doi.org/10.1002/qj.733>.
- Bormann, N., M. Bonavita, R. Dragani, R. Eresmaa, M. Matricardi, and A. McNally, 2016: Enhancing the impact of IASI observations through an updated observation-error covariance matrix. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **142**, 1767–1780, <https://doi.org/10.1002/qj.2774>.
  - Buehner, M., L. Houtekamer, C. Charette, H. L. Mitchell, and B. He, 2010a: Intercomparison of variational data assimilation and the ensemble Kalman filter for global deterministic NWP. Part I: Description and single-observation experiments. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 1550–1566, <https://doi.org/10.1175/2009MWR3157.1>.
  - Daescu, D. N., 2008: On the sensitivity equations of four-dimensional variational (4D-Var) data assimilation. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 3050–3065, <https://doi.org/10.1175/2007MWR2382.1>.
  - Desroziers, G., and S. Ivanov, 2001: Diagnosis and adaptive tuning of observation-error parameters in a variational assimilation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **127**, 1433–1452, <https://doi.org/10.1002/qj.49712757417>.
  - Desroziers, G., L. Berre, B. Chapnik, and P. Poli, 2005: Diagnosis of observation, background and analysis-error statistics in observation space. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 3385–3396, <https://doi.org/10.1256/qj.05.108>. Desroziers et al. 2005;
  - Hollingsworth, A., and P. Lönnberg, 1986: The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data. Part I: The wind field. *Tellus*, **38A**, 111–136, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1986.tb00460.x>.
  - Ishibashi, T., 2010: Optimization of error covariance matrices and estimation of observation data impact in the JMA global 4D-Var system. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **No. 40**, 1.11–1.12.
  - Ishibashi, T., 2011: Tangent linear approximation based observation data impact estimation in 4D-Var. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137**, 1898–1912, <https://doi.org/10.1002/qj.871>.
  - Ishibashi, T., 2018: Adjoint-based observation impact estimation with direct verification using forward calculation. *Mon. Wea. Rev.*, **146**, 2837–2858, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0037.1>.
  - Ishibashi, T., 2020: Improvement of accuracy of global numerical weather prediction using refined error covariance matrices. *Mon. Wea. Rev.*, **148**, 2623–2643. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0269.1>.
  - Ishibashi, T., 2023: Network structure of atmospheric perturbations. *Mon. Wea. Rev.*, **151**, 1849–1861, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-22-0242.1>.
  - Japan Meteorological Agency, 2013: Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency. *Appendix to WMO Tech. Progress Rep. on the global data processing and forecasting system and numerical weather prediction*, <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-centre/nwp/outline2013-nwp/index.htm>.
  - Japan Meteorological Agency, 2022: Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency. *Appendix to WMO Tech. Progress Rep. on the global data processing and forecasting system and numerical weather prediction*, [https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2022-nwp/pdf/outline2022\\_02.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2022-nwp/pdf/outline2022_02.pdf).
  - Langland, R. H., and N. L. Baker, 2004: Estimation of observation impact using the NRL atmospheric variational data assimilation adjoint system. *Tellus*, **56A**, 189–201, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2004.00056.x>.
  - Lorenc, A. C., N. E. Bowler, A. M. Clayton, S. R. Pring, and D. Fairbairn, 2015: Comparison of Hybrid-4D-EnVar and Hybrid-4D-Var Data Assimilation Methods for Global NWP. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 212–229, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00195.1>.
  - Rabier F, Klinker E, Courtier P, Hollingsworth A. 1996. Sensitivity of forecast errors to initial conditions. *Q. J. R. Meteor. Soc.* **122**: 121–150.
  - 石橋俊之, 2011: 解析誤差の推定, *数値予報課報告別冊*, **57**, 103-107.
  - 石橋俊之, 2022: 大気解析のための変分法データ同化における背景誤差共分散行列の根の定式化, *統計数理*, 第 **70** 巻第 2 号, 181-193.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ishibashi Toshiyuki	4. 巻 151
2. 論文標題 Network Structure of Atmospheric Perturbations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 1849 ~ 1861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/MWR-D-22-0242.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 石橋俊之	4. 巻 70
2. 論文標題 大気解析のための変分法データ同化における背景誤差共分散行列の根の定式化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 統計数理	6. 最初と最後の頁 181-193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ishibashi Toshiyuki	4. 巻 148
2. 論文標題 Improvement of Accuracy of Global Numerical Weather Prediction Using Refined Error Covariance Matrices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 2623 ~ 2643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/MWR-D-19-0269.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ishibashi Toshiyuki	4. 巻 146
2. 論文標題 Adjoint-Based Observation Impact Estimation with Direct Verification Using Forward Calculation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 2837 ~ 2858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/MWR-D-18-0037.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 全球大気と地球表面状態等の結合同化に向けて
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 観測誤差共分散行列の流れ依存性
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 Data assimilation of lightning observation data for global numerical weather prediction
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 Observation impact study in global numerical weather prediction
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 雷光観測の全球同化(序)
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会,
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 数値天気予報のための全球大気解析の高精度化に関する研究,
3. 学会等名 神戸大学惑星科学研究センターセミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 4次元の背景誤差共分散行列を使った4D-Varによるアンサンブル生成と決定論的解析(3)
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会, 2019年5月, 東京都渋谷区
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishibashi, T.
2. 発表標題 Superposition of atmospheric states using information redundancy for Numerical Weather Prediction
3. 学会等名 JpGU meeting 2019, 2019年5月, 千葉県千葉市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishibashi, T.
2. 発表標題 Numerical Weather Prediction Experiments using a Coupled Atmosphere-Ocean Data Assimilation System in JMA/MRI (3)
3. 学会等名 JpGU meeting 2019, 2019年5月, 千葉県千葉市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 4次元の背景誤差共分散行列を使った4D-Varによるアンサンブル生成と決定論的解析(4)
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会, 2019年10月, 福岡県福岡市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 全球解析に関する最近の研究から
3. 学会等名 第3回 理研・気象庁 データ同化に関する情報交換会, 2019年8月, 東京都
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 航空機データの全球数値天気予報へのインパクトについて
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 航空機データの全球数値天気予報へのインパクトについて
3. 学会等名 気象学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 大気海洋結合データ同化
3. 学会等名 第2回 理研・気象庁データ同化研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 観測誤差共分散構造の診断とその利用(3)
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石橋俊之
2. 発表標題 4次元の背景誤差共分散行列を使った4D-Varによる アンサンブル生成と決定論的解析(2)
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<https://www.mri-jma.go.jp/Member/obs/kiishibashitosh.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------