

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800247

研究課題名(和文) 大気海洋結合データ同化手法を用いた台風予測可能性の解明

研究課題名(英文) Investigation of predictability of tropical cyclones with an atmosphere-ocean coupled data assimilation

研究代表者

國井 勝 (KUNII, MASARU)

気象庁気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号：70370327

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：領域メソスケール大気結合モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタに基づくデータ同化システムの構築を行い、現実的な海面水温(SST)の再現、およびアンサンブルデータ同化システムにおけるSSTの不確か性の評価を行った。1次元海洋混合層モデルを用いたデータ同化システムにより、2016年の台風Lionrockの事例を対象としてひまわり8号のSST観測データを同化したところ、台風周辺のSSTの低下が適切に表現され、台風の強度、進路予測に正のインパクトがあることが分かった。領域メソスケールモデルを用いた海洋結合データ同化有効性を示す結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：An ensemble Kalman filter using a regional mesoscale atmosphere-ocean coupled model was developed to provide realistic sea surface temperature (SST) estimate and to represent the uncertainties of SST in ensemble data assimilation strategies. The newly developed coupled data assimilation system with a simple mixed-layer model was applied to the case of Typhoon Lionrock in 2016. It was found the coupled system with SST data derived from the Himawari-8 showed positive impacts on the TC track and intensity forecasts. The results indicates the usefulness of the regional mesoscale atmosphere-ocean coupled data assimilation system.

研究分野：データ同化

キーワード：データ同化 アンサンブルカルマンフィルタ 海洋結合モデル 台風

1. 研究開始当初の背景

研究開始時は、データ同化を通じた予報モデルの初期値改善、および大気海洋結合モデルの構築による予報モデルの高度化はそれぞれ独立したアプローチとして適用されることが多かった。しかし、台風予測への海洋場の影響を評価し両者に最適な解析値を求めるためには、大気海洋間の運動量・熱輸送プロセスを陽に表現できる大気海洋結合モデルを用いたデータ同化システムが必須となる。これにより、従来は大気データ同化研究には用いられてこなかった、水温、塩分等の海洋観測データの台風予測への影響評価が可能となることに加え、データ同化によって作成された大気・海洋場の最適値(解析値)を用いることで、大気海洋間の相互プロセスに関する新たな知見が得られることが期待される。実際、大気海洋結合モデルを用いたデータ同化研究は、気候変動予測研究等で用いられている。しかしながら、台風の強度予測を対象としたメソスケールでの研究成果は依然として少ない。

2. 研究の目的

本研究では、台風の強度予測可能性における海洋の役割を明らかにするために、これまでの自身の研究成果から特に重要と考える以下の2点に対象を絞り、新たに研究を行う。

(1) 大気・海洋間の運動量・熱輸送

これまでのアンサンブルデータ同化手法を用いた研究では、海面水温(SST)の不確実性(アンサンブル摂動)の時間発展に関する情報がなかったため、時間固定の気候的な摂動を与えていた。本研究では、データ同化において海洋モデルを合わせて用いることで、より現実的な SST アンサンブル摂動を考慮する。

(2) 海洋観測データの利用可能性

これまで研究では、海洋観測データの台風強度予測に対する影響を直接評価することは困難であった。本研究では、高解像度大気海洋結合モデルを用いたデータ同化システムを開発し、海洋観測データを同化することで、海洋観測データの台風強度予測に対する影響を評価する。

3. 研究の方法

まず、研究代表者によって開発された、気象庁非静力モデル(NHM)を用いた実験システム(NHM-LETKF)を用い、平成26年台風第11号を対象とした標準的な設定によるデータ同化実験を実施した。次に同事例に対し、NHMに鉛直1次元海洋混合層モデルを結合させたモデルを用いることで SST アンサンブル摂動の時間発展を考慮したデータ同化実験を実施した。両実験の比較を通じ、大気観測データが海洋変数に及ぼす影響、時間変動する SST 摂動を考慮することの効果、および台風予測へのインパクトについて調査を

行った。

その後、同システムを海洋変数を制御変数として大気変数とは独立にデータ同化を行うシステム(弱結合データ同化システム)へ拡張し、平成28年度台風第10号を対象としたデータ同化実験を施行した。ここでは、ひまわり8号から得られる高頻度・高解像度 SST プロダクトデータの同化を行い、台風予測への海洋観測データ同化のインパクトを評価した。

この他、研究協力者である和田が開発した、非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いた LETKF 実験システムを構築し、動作確認を行った。ここでは大気変数と海洋変数とを同時に解析する強結合データ同化システムを構築し、台風事例での動作確認を行った。

4. 研究成果

(1) 鉛直1次元海洋混合層モデルを用いたデータ同化実験

気象庁非静力モデル(NHM)に基づく局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(NHM-LETKF; Kunii 2014)において、予報モデルを従来の NHM に 1 次元海洋表層モデルを結合した CMSM(Ito et al. 2015)とした実験システムを構築した。このシステムでは、海洋変数が大気変数との相互作用を通じて時間変動するため、時間依存する SST の不確実性を考慮できるようになる。データ同化サイクルでは、海洋変数については全メンバー同一の気候値で初期化し、データ同化で値を更新せず、地面温度や土壌水分と同様に次のサイクルへ引き継ぐようにした。

上記のシステムを平成26年台風第11号の事例に適用した。全メンバーの海洋変数が気候値で初期化されるため、通常より長いスピンアップ期間を設けた。比較のため、NHMで混合層を結合しない実験(CTRL)を行った。CTRL 実験では、SST は気象庁海面水温解析値(MGDSST)を用いている。水平解像度 15km、50 メンバーの NHM-LETKF での実験で得られた SST の領域平均の時系列を図1に示す。

CMSM の初期設定で行った実験では、同化サイクル開始後、10 日ほどで SST の負バイアスが顕在化することがわかった(図 1a)。これは主に、CMSM で用いられている 1 次元混合層モデルにおいて移流の効果が考慮されていないことに起因する。この負バイアスを改善するため、混合層モデルの鉛直混合に関するパラメータ(critical bulk Richardson number; Rb)の感度を調査した。その結果、Rb を初期設定である 0.6 から 0.25 へ変更することで、アンサンブルスプレッドを減少させずに負バイアスを改善されることがわかった(図 1b)。

図2に、2014年8月10日の SST 水平分布を示す。台風11号は数日前から北上を続け、この日に高知県安芸市付近に上陸している。MGDSST では、台風の通過に伴う SST 低下はあまりよく表現されていない(図 2a)ものの、

混合層モデルを結合した NHM-LETKF による解析では、SST の低下が台風の進路に沿って表現されている(図 2b) . これは、NOAA(米国海洋大気庁)による SST 解析値に比較的似た分布となっていることがわかる(図 2c) .

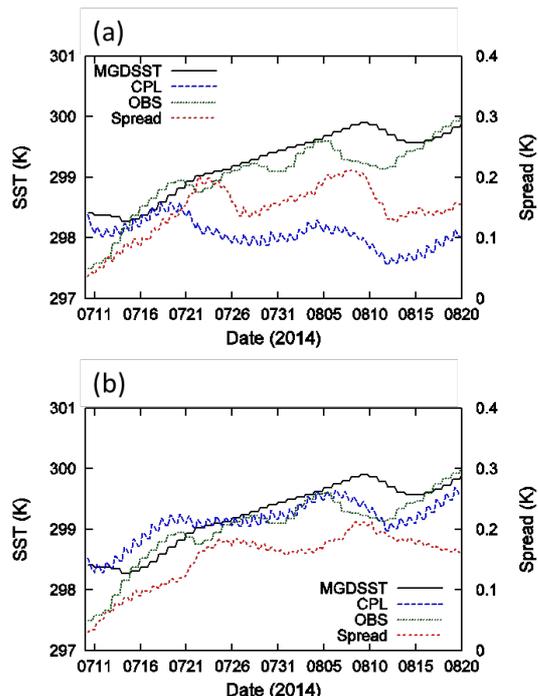


図 1 . 海面水温の領域平均値とアンサンブルブレッドの時系列 . 黒線は気 MGDSST , 青線が 1 次元海洋表層モデルを結合したモデルを用いたデータ同化サイクルで再現された SST(CPL) , 緑線が NOAA の SST 解析値(OBS) , 赤線がアンサンブルブレッド . (a) $R_b = 0.6$, (b) $R_b = 0.25$.

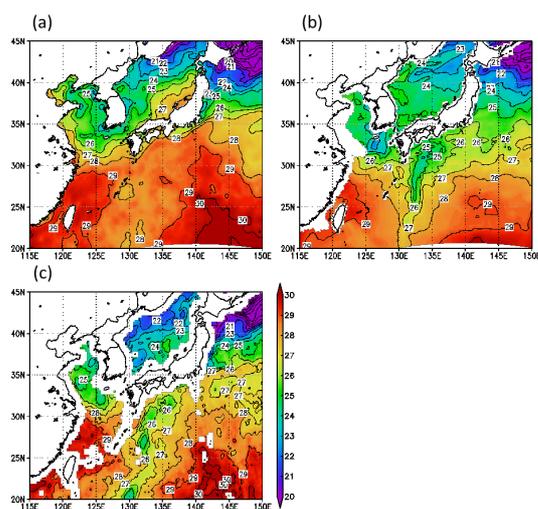


図 2 . 2014 年 8 月 10 日の SST 水平分布 . (a) MGDSST , (b) NHM-LETKF で得られた SST 解析 , (c) NOAA の SST 解析値 .

延長予報実験については、CTRL 実験、および混合層モデルを結合した実験(CPL)で再現された大気場、海洋場の台風予測に対する影響をそれぞれ評価するため、表 1 で示される 3 通りの設定で行った .

表 1 . 延長予報の実験設定

実験名	大気初期値	SST
CTLM	CTRL	MGDSST
CPLM	CPL	MGDSST
CPLO	CPL	CPL

大気、海洋ともに CTRL 実験の解析値を用いた実験(CTLM)では、台風の移動に伴う SST が表現されないため、台風の過発達傾向があることがわかる(図 3a) . 大気の解析値のみを CPL 実験の解析とした実験(CPLM)では、CTLM で見られた過発達傾向が緩和されることがわかった(図 3b) . 大気、海洋初期値のいずれも CPL 実験の解析値を用いた実験(CPLO)では、観測と比べて強度は弱めであるものの、台風の減衰傾向は再現できていた .

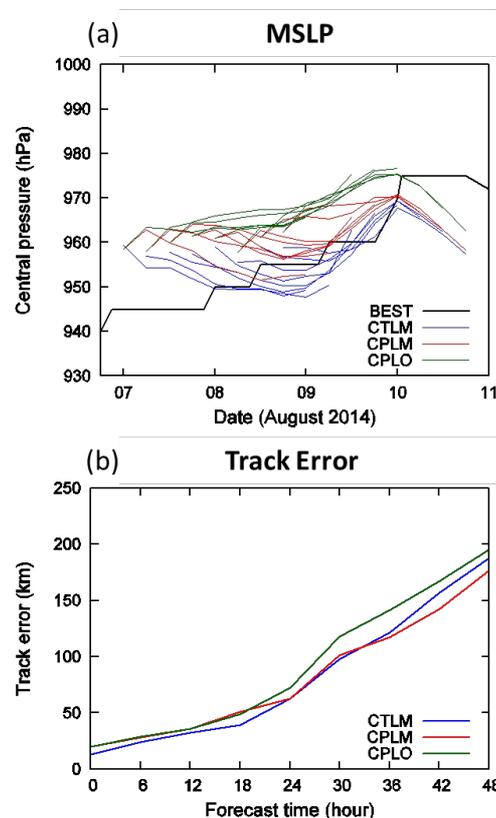


図 3 . 台風 11 号の予報実験における、(a) 強度予報誤差、(b) 進路予報誤差 .

(2) 弱結合データ同化システムを用いたひまわり 8 号の海面水温データの同化実験
 (1) で構築した実験システムをさらに改良し、従来の大気変数の解析に加え、海洋変数の解析を行うデータ同化パートを新規に追加した . 本システムは大気変数、海洋変数を異なるデータ同化プロセスで解析を行うため、弱結合データ同化に分類される . 海洋変数については、0 ~ 400m 深度まで鉛直 13 層の東西流および南北流($m s^{-1}$)、海水温度(K)、塩分(psu)を制御変数としている . 従来の観測データに加え、大気観測データとしてひまわり 8 号の RAMV を、海洋観測データとしてひまわり 8 号 SST を同化し、平成 28 年台風

第 10 号を対象とした同化，延長予報実験を行った。

図 4 に，平成 28 年 8 月 30 日の MGDSST，NOAA による解析値(OISST)，大気海洋結合モデルで得られた海面水温(CPL_NOHIM)，ひまわり 8 号 SST を同化した海面水温(CPL_SST)を示す。従来の NHM で用いられている MGDSST では，短時間の水温変化はノイズとの区別が困難なため，ノイズと共に取り除かれている。そのため，台風通過に伴う SST の低下があまり良く表現されていない。一方で大気海洋結合モデルを用いたデータ同化で解析された SST 分布では，台風経路上の低温域が再現されている(黒矢印)。ただし，ひまわり 8 号の SST を同化しない実験(CPL_NOHIM)では，東北の海洋上や東海沖で観測に比べ低めの SST を解析している(白矢印)。これらの低温域は，ひまわり 8 号の SST を同化することで改善していることが分かる(CPL_SST)。

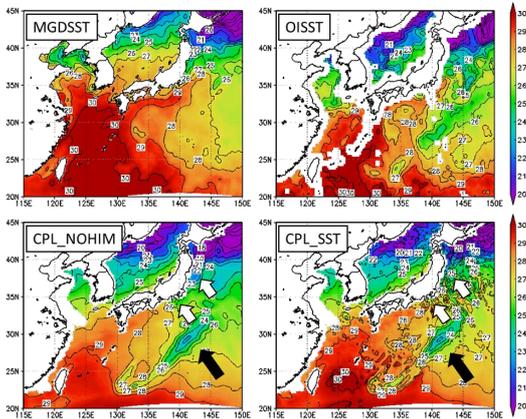


図 4 . 平成 28 年 8 月 30 日の MGDSST，NOAA による解析値(OISST)，大気海洋結合モデルで得られた海面水温(CPL_NOHIM)，ひまわり 8 号の SST を同化した海面水温(CPL_SST)の SST 分布。

図 5 に，2016 年 8 月 20 日 00UTC ~ 29 日 18UTC までの 6 時間おき全 40 予報における，台風中心強度予報結果(5km-NHM)を示す。従来の MGDSST を用いた実験では台風の過発達傾向が顕著であるが，大気海洋結合同化に基づく SST を用いた実験(CPL_SST)では，台風周辺の SST 低下により過発達傾向は抑制される。さらにひまわり 8 号の高頻度大気追跡風(RAMV)を同化する(CPL-SST+RAMV)と，より観測に近い強度が再現されることがわかった。

台風進路予測については，ひまわり 8 号の RAMV，SST データを同化することで，統計的に誤差が減少することがわかった(図略)。誤差の減少分は従来の予報誤差を基準にすると予報時間 6 時間分に相当し，これはすなわち，ひまわり 8 号の観測データを利用することで，6 時間長いリードタイムの獲得に成功したことを示している。

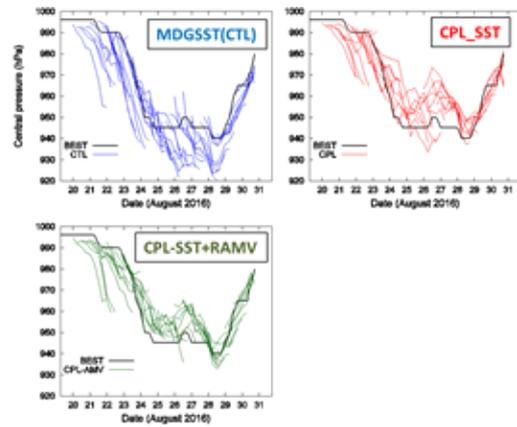


図 5 . 2016 年 8 月 20 日 00UTC ~ 29 日 18UTC までの 6 時間おき全 40 予報における，台風中心強度予報(5km-MSM)。

(3) NHM-LETKF 大気波浪海洋結合システムにおける海面水温の制御変数化

海洋モデルをより精緻化したものとして，気象庁非静力学モデル波浪海洋結合モデルを用いた LETKF によるデータ同化システムの構築を行った。ここでは，海面水温分布をより現実的なものとするために，海面水温を大気変数と同様に制御変数化することを試みた。これは，大気，海洋変数を同時に解析するため，強結合データ同化システムに分類されるものである。

観測 SST データセットは，GHRSSST プロダクトに格納されている AMSRE，GDS2.0 L2P プロダクト(バージョン v7a)から作成した。2008 年 8-9 月のデータについて，データ数を 10 分の 1 に間引きした後，6 時間毎に分類して，大気観測データと同様に同化した。SST の観測誤差は，感度を評価するために想定される誤差よりも小さめの値(0.5)に設定している。水平解像度 15km，50 メンバーの設定で，2008/9/1/1200UTC ~ 9/19/1800UTC の期間，6 時間毎にサイクル実験を行った。海洋の初期値については MOVE データ(北太平洋版，水平解像度緯経度 0.5 度)を使用した。

図 6 は気象庁ベストトラック及び NHM-LETKF により解析された Sinlaku(2008) の中心気圧の時間変化である。海面水温制御実験で得られた中心気圧は，海面水温予報値引継実験よりも気象庁ベストトラックの値により近くなっている。

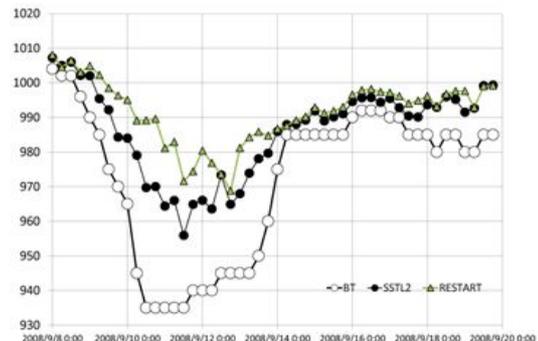


図 6 . 気象庁ベストトラック(BT)による Sinlaku (2008)の中心気圧(hPa : 縦軸)及び海面水温予報値引継実験 (RESTART) と海面水温制御実験 (SSTL2) による中心気圧解析値の時系列 . 横軸は解析日時 .

図 7 は 2008 年 9 月 19 日における NOAA による SST 解析値(OISST, 図 7a)及び海面水温予報値引継実験(図 7b)と海面水温制御実験 (図 7c) により得られた 1800UTC の海面水温分布を示している . 図 7a に表れている台湾東方の冷水渦は, 図 7b では台湾北方で解析されていた . 海面水温を制御することにより台湾東方の冷水渦は解析されるようになった(図 7c) .

以上のことから, 単に海洋データを引きつく同化サイクル実験よりも, 大気波浪海洋結合モデルを用いた強結合データ同化実験により海洋観測データを同化した方が, より現実的な台風構造が解析されることがわかった .

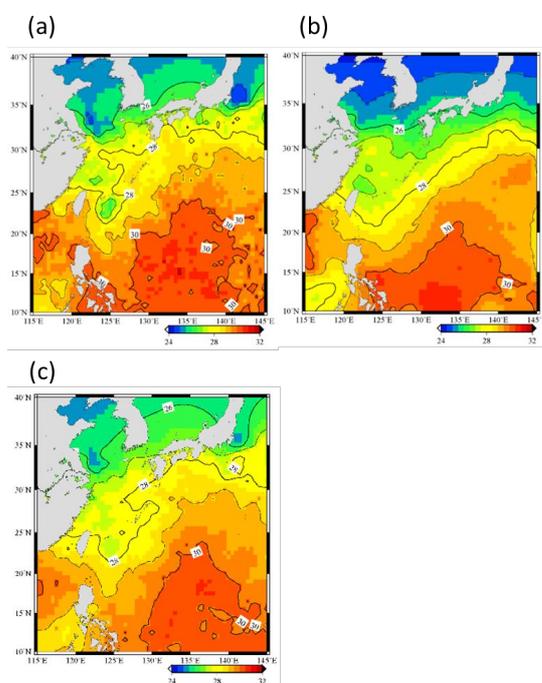


図 7 . 2008 年 9 月 19 日の(a)NOAA による海面水温分布(OISST), (b)海面水温引き継ぎ実験により得られた同日 1800UTC での海面水温分布, および(c)海面水温制御実験で得られた同日 1800UTC での海面水温分布 . コンター間隔は 1 .

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 8 件)

1. Kunii, M., K. Ito, and A. Wada, 2017: Preliminary test of data assimilation system with a regional high-resolution atmosphere-ocean coupled model based on an ensemble Kalman filter. *Mon. Wea. Rev.*, DOI: 10.1175/MWR-D-16-0068.1.
2. Kunii, M., M. Otsuka, K. Shimoji, and H.

Seko, 2016: Ensemble Data Assimilation and Forecast Experiments for the September 2015 Heavy Rainfall Event in Kanto and Tohoku Regions with Atmospheric Motion Vectors from Himawari-8. *SOLA*, **12**, 209–214.

3. Kunii, M., 2015: Assimilation of Tropical Cyclone Track and Wind Radius Data with an Ensemble Kalman Filter. *Weather and Forecasting*, **30**, 1050–1063.
4. Wada, A., and M. Kunii, 2017: The role of ocean-atmosphere interaction in Typhoon Sinlaku (2008) using a regional coupled data assimilation system. *Journal of Geophysical Research – Oceans* (in press).
5. Wada, A., and M. Kunii, 2016: The effect of predicted oceanic conditions on the assimilation of Typhoon Sinlaku (2008). *WGNE Blue Book: Research Activities in Atmospheric and Ocean Modelling*, **46**, 9-05.
6. Wada, A., and M. Kunii, 2015: The impact of a sea-spray parameterization on the assimilation of Typhoon Sinlaku (2008). *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **45**, 908-909.
7. Ito, K., M. Kunii, T. Kawabata, K. Saito, K. Aonashi, and L. Duc, 2016: Mesoscale Hybrid Data Assimilation System based on JMA Nonhydrostatic Model. *Mon. Wea. Rev.*, **144**.
8. Otsuka, M., M. Kunii, H. Seko, K. Shimoji, M. Hayashi, and K. Yamashita, 2015: Assimilation Experiments of MTSAT Rapid Scan Atmospheric Motion Vectors on a Heavy Rainfall Event. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 459-475.

[学会発表 (一部のみ)] (計 21 件)

1. Kunii, M., K. Ito, and A. Wada, Preliminary test of data assimilation system with a regional high-resolution atmosphere-ocean coupled model based on an ensemble Kalman filter, AMS Annual Meeting, 2017 年 1 月, 米国, シアトル .
2. Kunii, M., M. Otsuka, K. Shimoji, and H. Seko, Data assimilation of rapid-scan atmospheric motion vectors derived from Himawari-8 with the NHM-LETKF, 第 6 回超高精度メソスケール気象予測研究会, 2016 年 3 月, 京都府宇治市 .
3. Kunii, M., and K. Ito, Implementation of a high-resolution atmosphere-ocean coupled model with an ensemble Kalman filter, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月, 千葉県千葉市 .
4. Kunii, M., and K. Ito, Implementation of a high-resolution atmosphere-ocean coupled model with an ensemble Kalman filter, 第 5 回超高精度メソスケール気象予測研究会,

- 2015年3月, 愛知県名古屋市 .
5. **Kunii, M.**, Assimilation of Tropical Cyclone Track and Wind Radius Data with an Ensemble Kalman Filter, 2014 AGU Fall Meeting, 2014年12月, アメリカ, サンフランシスコ .
 6. **Kunii, M.**, Data assimilation experiments for TCs with the LETKF, 2014年度AOGS会議, 2014年7月, 北海道札幌市 .
 7. **Kunii, M.**, Data assimilation experiments of tropical cyclones with the NHM-LETKF, 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月, 神奈川県横浜市 .
 8. **国井勝**, 領域大気海洋結合モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタの構築, 第25回CEISTセミナー, 2017年3月, 神奈川県横浜市 .
 9. **国井勝**, 領域大気海洋結合モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタの構築, 第2回アンサンブル同化摂動に関する研究会, 2016年11月, 沖縄県那覇市 .
 10. **国井勝**, 伊藤耕介, 和田章義, 上澤大作, 領域大気海洋結合モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタの構築(第3報), 日本気象学会2016年度秋季大会, 2016年10月, 名古屋市 .
 11. **国井勝**, ひまわり8号高頻度大気追跡風を用いた平成27年関東・東北豪雨シミュレーション, 第3回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題成果報告会, 2016年10月, 東京都港区 .
 12. **国井勝**, 伊藤耕介, 和田章義, 領域大気海洋モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタの構築(第2報), 日本気象学会2015年度秋季大会, 2015年10月, 京都府京都市 .
 13. **国井勝**, 伊藤耕介, 領域大気海洋モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタの構築, 日本気象学会2015年度春季大会, 2015年5月, 茨城県つくば市 .
 14. **Wada, A., and M. Kunii**, Regional Coupled Atmosphere-Ocean Assimilation System Based on NHM-LETKF, 97th American Meteorological Society Annual Meeting, 2017年1月, アメリカ, シアトル .
 15. **Ito, K., T. Kuroda, A. Wada, and K. Saito**, A large number of tropical cyclone intensity forecasts around Japan using a high-resolution atmosphere-ocean coupled model, The World Weather Open Science Conference 2014 (WWOSC2014), 2014年8月, カナダ, モントリオール .
 16. 和田章義, **国井勝**, NHM-LETKF 大気波浪海洋結合システムにおける海面水温の制御変数化, 日本気象学会2016年度秋季大会, 2016年10月, 愛知県名古屋市 .
 17. 和田章義, **国井勝**, NHM-LETKF による台風予測研究, 第17回非静力モデルに関するワークショップ, 2015年12月, 沖縄県那覇市 .

18. 和田章義, **国井勝**, NHM-LETKF を用いた台風0813号(Sinkaku)の予測可能性, 日本気象学会2014年度春季大会, 2014年5月, 神奈川県横浜市 .
19. **Ota, Y., T. Kadowaki**, Impact of initialization on the LETKF and observation thinning within JMA's global hybrid 4DVar-LETKF data assimilation system, Workshop on Sensitivity Analysis and Data Assimilation in Meteorology and Oceanography, 2015年6月, アメリカ, ウェストバージニア .
20. **Ota, Y., D. Hotta**, Recent developments towards a seamless prediction in JMA global ensemble prediction system, University of Maryland Weather and Chaos meeting, 2016年5月, アメリカ, メリーランド .
21. **Ota, Y.**, Adaptive inflation scheme using the relaxation to prior spread method, The 7th EnKF data assimilation workshop, 2016年5月, アメリカ, ペンシルベニア .

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

〔その他〕

報道関連発表(計2件)

1. 京コンピュータを用いた高解像度大気海洋結合モデルによる台風強度の予測 (http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H26/260829/20140829_typhoon_forecast.html) .
2. ひまわり8号で観測した高頻度大気追跡風と海面水温の台風や大雨事例へのインパクト実験 (http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H28/290117/press_20170117.html) .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

国井 勝 (KUNII MASARU)
気象庁気象研究所・予報研究部・研究官
研究者番号: 70370327

(2) 研究協力者

三好 建正 (MIYOSHI TAKEMASA)
理化学研究所・計算科学研究機構・データ同化研究チーム・チームリーダー
和田 章義 (WADA AKIYOSHI)
気象庁気象研究所・台風研究部・主任研究官
Shu-Chih Yan (SHU-CHIH YAN)
台湾国立中央大学・大気科学部・準教授
太田 洋一郎 (OTA YOICHIRO)
気象庁・予報部・数値予報課・技官
伊藤 耕介 (ITO KOSUKE)
琉球大学・理学部・助教