

令和元年9月3日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05294

研究課題名(和文) 雲解像モデルのアンサンブルに基づく同化システムを用いた台風発生過程の解明

研究課題名(英文) Study on typhoon genesis process using ensemble-based assimilation system for cloud-resolving models

研究代表者

青梨 和正 (Aonashi, Kazumasa)

気象庁気象研究所・台風研究部・部長

研究者番号：50354444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、台風発生期において、マイクロ波放射計等のデータから、現実的な環境場やメソ対流系の初期値を作るデータ同化システムを構築した。このため、本研究は、雲解像モデル(CRM)にマイクロ波放射計等のデータを入力するアンサンブルに基づく同化手法を開発した。主な開発項目は、1)降水情報のサンプリング誤差等を抑える手法の開発、2)CRM用の降水域の位置ずれ補正法の開発、である。このデータ同化システムを使って、2013年の台風6号の事例のマイクロ波放射計等のデータをCRMに同化した。その結果から、この事例の場合、偏東風波動付近が湿っていて降水が起きやすい環境であることが、熱帯低気圧発生に重要であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

台風発生過程に関しては、様々な仮説が提案されている。これらが現実的な台風の発生に対してどれくらい寄与しているかを考える上では、現実大気に出来るだけ近い、環境場(気温・水蒸気等)と降水を与えたCRMのシミュレーションが不可欠である。本研究の特徴は、衛星搭載マイクロ波放射計などのリモートセンシングデータを精巧な雲物理過程スキームを持つCRMに同化することで、現実的な環境場と降水分布の初期値を得ることである。発生期の台風の通常の観測は非常に少ないが、このリモートセンシングデータを使うと、すべての海域、季節において、台風となっていく渦の組織化がどのように進行していくのかを調べることができる。

研究成果の概要(英文)：The present study constructed a data assimilation system which produced realistic initial fields of environmental variables and meso convective systems from satellite microwave imager (MWI) brightness temperatures (TBs). For this purpose, we developed ensemble-based assimilation methods to incorporate MWI TBs into cloud-resolving models (CRMs). The main development items were 1) a sampling error reduction method for precipitation-related variables; 2) a displacement error correction method for precipitation areas. Then, the present study employed this assimilation system to incorporate MWI TBs for the case of T1306. The results showed that the humid environment around the easterly wave disturbance was most important for the genesis of the tropical cyclone in this case.

研究分野：衛星データ同化

キーワード：台風 データ同化 雲解像モデル

1. 研究開始当初の背景

台風発生過程は、それに適した大規模な環境場の形成と、その中でメソスケールの対流が組織化して構造を作る現象を含む。このため、台風発生過程の解明には、対流スケールから大規模までの幅広い空間スケールの雲解像モデル(CRM)のシミュレーション結果の解析が不可欠である。しかし、熱帯海上での環境場(気温、水蒸気など)や、台風に先行するメソ対流系の降水の情報が不足していることが主なネックとなり、CRMによる現実大気の良いシミュレーションは依然として困難な課題である。

この状況を改善し、海上の降水や、水蒸気、気温などの情報を与えるものとして、近年、衛星搭載のマイクロ波放射計(MWR)(例えば、日米共同プロジェクトとして、2014年2月に打ち上げられた全球降水観測衛星(GPM)のマイクロ波放射計(GMI)、JAXAのGCOMW衛星搭載のマイクロ波放射計 AMSR2、NOAA衛星のマイクロ波サウンダ(AMSU)等)が注目されている。これは、マイクロ波領域の電磁波は、粒径の小さい雲に対しては感度が小さく、雨や固体降水等の大粒径の水粒子に対して大きな感度を示すことから、降水や雲域の水蒸気や気温の情報を含むことによるものである。

現実的な台風発生過程を再現するためには、これらのリモートセンシングデータを精巧な雲物理過程スキームを持つ CRM に同化することが必要となるが、これらの情報を取り込むことが可能なアンサンブルに基づく変分同化法(EnVA)と呼ばれる手法が近年提案されている(Lorenc 2003, Zupanski 2005, Aonashi and Eito 2011)。この手法の特徴は、(1)初期摂動を与えたアンサンブル予報を使って物理量のグラディエントを表す、(2)観測値と解析値から前方計算した値の差を最小にする解を、非線形最小値化スキームを使って求める、ことである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、台風発生期において、上記マイクロ波放射計等のデータを CRM アンサンブルに基づく同化システムに入力して、現実的な環境場やメソ対流系の初期値を作ることである。さらに、この初期値からの CRM アンサンブルによるシミュレーション結果を用いて台風発生過程の物理的理解を進める。具体的には、より現実に近い大気場において、台風となっていく渦の組織化がどのように進行していくのかを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、CRM アンサンブルに基づく同化システムにマイクロ波放射計等のデータを入力する手法を開発する。主な開発項目は、1)CRM アンサンブルに基づく同化システムに上記データを同化する際のサンプリング誤差等を抑える手法を開発する、2)CRM 用に降水の非正規分布モデルと降水域の位置ずれ補正法を開発する、である。

次に、このデータ同化システムを使って、実際の事例のマイクロ波放射計等のデータを CRM に同化する。そこから得られたアンサンブルの初期値から CRM のアンサンブルによるシミュレーションを行なう。その結果を使って、環境場等の違いが、台風発生に及ぼす影響を確かめる。

4. 研究成果

1) サンプリング誤差等を抑える手法の開発

アンサンブルに基づく変分同化法(EnVAIR)スキームを雲解像モデル(CRM)に適用すると、降水物理量のサンプリング誤差が深刻である。本研究は、JMAの現業CRMのサンプリング誤差や予報誤差の空間、変数

間、波数空間での特性を調べ、この予報誤差の特性に基づき、サンプリング誤差抑制法を開発した。

サンプリング誤差や予報誤差の空間、変数間、波数空間での特性を調べるため、本研究は、100 member の Ensemble 予報を用いて、気象擾乱の事例について、CRM 予報誤差を解析した。予報誤差相関を計算すると、降水物理量にサンプリング誤差による顕著なノイズが見られた。Ensemble 予報摂動の特性を調べると、CRM は、波数空間での局所化の仮定を満たすこと、一定のスケールの空間的局所化や変数局所化は適用できないことが分かった。

この予報誤差の特性に基づき、本研究は、波数空間での局所化に基づき、ある格子点の予報誤差相関を推定するのに周囲の格子点のアンサンブルメンバーを使う、Neighboring Ensemble(NE)法を開発した。NE 法を EnVAR に導入するため、本研究は、NE を大規模成分と偏差成分に分離した。1 点観測データを同化した結果、この手法 (Dual-scale NE 法) は、簡単な空間的局所化や変数局所化に比べ、降水物理量のサンプリング誤差を抑制し、鉛直方向に深い、尤もらしい解析インクリメントを与えるのに成功している。

2) 降水の非正規分布モデルと降水域の位置ずれ補正法の開発

本研究は、降水域を含む all-sky マイクロ波イメージャ (MWI) TB を雲解像モデル (CRM) へ同化するため、Aonashi et al (2016) の 2 スケール NE 法を使うアンサンブルに基づく変分同化法スキーム (EnVAR) に、すべての地点で適用できる、降水の非正規分布モデルと、位置ずれ補正法を導入した。

EnVAR の降水の予報誤差 PDF を決めるため、本研究は、Lien et al (2013) と同様の手法で、多くの事例の降水予報誤差の各種 PDF model への適合性を調べた。その結果、混合対数正規分布モデルが最適であることを見つけた。EnVAR にこの混合対数正規分布モデルを適用するために、(降水なし、降水あり) の 2 つの PDF レジームを導入した。また、本研究は、従来の大規模スケールの位置ずれ補正に加えて、偏差成分について、観測 (非降水域、弱雨域、強雨域) に対応した PDF の代用レジームを設定することで、全地点について降水の位置ずれ補正をおこなった。本研究の EnVAR は、代用レジームを含む予報誤差のハイブリッドを使って解析値を求めた。

我々は、台風 1518 の事例で all-sky MWI TB を同化する実験を行ない、非正規の PDF、代用レジームによる位置ずれ誤差の補正のインパクトを調べた。2015/9/7-9/8 の MWI の all-sky TB の同化実験は、関東からその南海上に発生した降水帯を東よりに進め、強化することで、CRM の降水予報を 1 日以上に亘って顕著に改善した。9/8/17UTC の同化実験との比較の結果、この予報改善には、降水域の TB の同化による相対湿度 (RH) と、風速、地上気圧の改変が貢献していることが分かった。

3) 実際の事例のマイクロ波放射計等のデータの CRM への同化

本研究は、PALAU2013 期間中の T1306 号事例について、EnVAR での MWI TB の同化のインパクトについて調査した。また、EnVAR で実行したアンサンブル予報を用いて、環境場などの変動が台風発生過程に及ぼす影響をチェックした。

対象事例について述べると、T1306(RUMBIA)は、27日00UTCに(9.1N, 132.5E)で熱帯低気圧として発生し、28日12UTCに(10.3N, 128E)で、台風となった。その後、フィリピンから南シナ海を西北西進し、7/2 12UTCに大陸で温低となった。

本研究で用いたJMANHMの水平解像度は5 km、水平格子は、1101x551、鉛直は50層である。6/24/00UTC GANALから比較となる、コントロールラン(CNTL)の初期値を内挿し、これに6/23/12UTC 週間摂動を加えた50メンバーのアンサンブル予報を実行した。このアンサンブル予報に4次元に拡張したEnVARで、6/24/21UTCのTMI、SSMIS F17と22UTCのSSMIF18のTBを同化し、アンサンブル平均の解析値(DA)を求めた。

我々はまず、EnVARでのMWI TBの同化のインパクトを調べた。図1左は、6/24/00UTCのCNTLからのNHMの27日00UTCの予報である。CNTLでは、偏東風波動に伴う熱帯低気圧はできていない。但し、6/24/00UTCのアンサンブル予報のうち29メンバーでは、熱帯低気圧が発生する。図1右は、DAからのNHMの27日00UTCの予報である。DAでは、偏東風波動に伴う熱帯低気圧が発生している。EnVARで作られた、解析インCREMENTを調べると、フィリピン東海上の広い範囲で加湿していることが分かった(図2右参照)

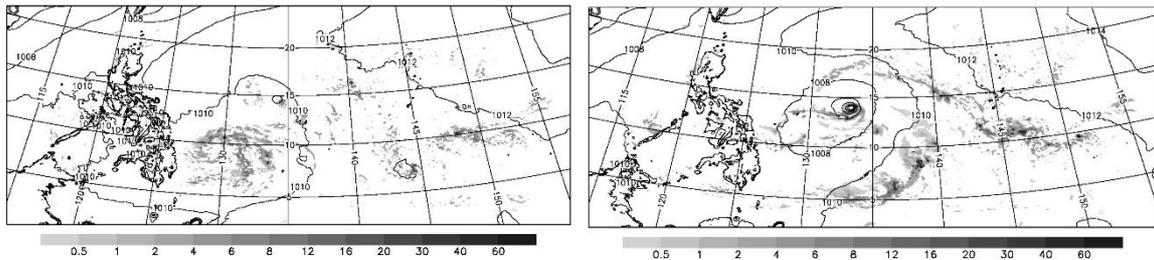


図1 : JMANHMの2013/6/27/00UTCに対する降水強度(mm/h, shade)と地上気圧(hPa, contour)の予報
(左)6/24/00UTCのCNTL (右) 6/24/12UTCのDA

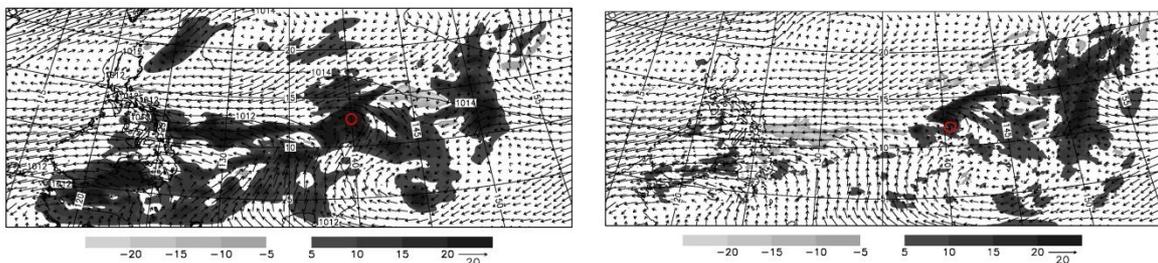


図2 : 2013/6/27/21UTCの高度5 kmでの相対湿度インCREMENT(% , shade)と水平風速(m/s,vector)

(左) DAの第1推定値からの解析インCREMENT

(右) 6/24/00UTCのアンサンブル予報のうち、熱帯低気圧が発生するメンバーと発生しないメンバーの差

次に、環境場変動の台風発生への影響調査を行った。我々は、6/24/00UTCのアンサンブル予報のうち、熱帯低気圧が発生する29メンバーの平均と発生しない21メンバーの平均の差を求めた。その結果、東経140度付近から東で相対湿度に顕著な違いがあり、熱帯低気圧が発生する場合のほうが高いことがわかった(図2右参照)。このことから、この事例の場合、偏東風波動付近が湿っていて、降水が起きやすい環境であることが、熱帯低気圧発生に重要であったと考える。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

Aonashi, K., K. Okamoto, T. Tashima, T. Kubota, and K. Ito, 2016: Sampling Error Damping method for a Cloud-Resolving Model using a Dual-Scale Neighboring Ensemble, *Monthly Weather Review*, **44**, 4751-4770.

S. Kida, T. Kubota, S. Shige, and T. Mega, 2017: Development of a Rain/No-Rain Classification Method over Land for the Microwave Sounder Algorithm, *Remote Sensing of Aerosols, Clouds, and Precipitation*, Chapter 12, 249-265. Doi:[10.1016/B978-0-12-810437-8.00012-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810437-8.00012-8)

K. Kanemaru, T. Kubota, T. Iguchi, Y. N. Takayabu, and R. Oki, 2017: Development of a precipitation climate record by spaceborne precipitation radar. Part I: Mitigation in effects of switching to redundancy electronics in the Tropical Rainfall Measuring Mission

Satellite Precipitation Radar, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, vol. 34 No. 9, 2043-2057.
doi:10.1175/JTECH-D-17-0026.1

Okamoto, K. 2017: Evaluation of IR radiance simulation for all-sky assimilation of Himawari-8/AHI in a mesoscale NWP system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 143, 1517-1527. doi:10.1002/qj.3022.

T. Mega, T. Ushio, T. Matsuda, T. Kubota, M. Kachi and R. Oki, 2019: Gauge-Adjusted Global Satellite Mapping of Precipitation, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 57, no. 4, pp. 1928-1935, doi: 10.1109/TGRS.2018.2870199.

K. Kanemaru, T. Kubota, and T. Iguchi, 2019: Improvements in the beam-mismatch correction of Precipitation Radar data after the TRMM orbit boost, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, in press.

Maru, E., T. Shibata, and K. Ito, 2018: Statistical Analysis of Tropical Cyclones in the Solomon Islands, *Atmosphere*, 9(6), doi:10.3390/atmos9060227.

[学会発表] (計14件)

Aonashi, K., K. Okamoto, and S. Origuchi 2015: New Ensemble-based Variational Assimilation Method to incorporate MWI TBs into a Cloud-Resolving Model. 3rd Joint JCSDA-ECMWF Workshop on Assimilating Satellite Observations of Clouds and Precipitation into NWP Models, カレッジパーク 米国、2015年12月.

青梨和正、田島知子、岡本幸三、山口宗彦、2015: Neighboring Ensemble に基づく変分同化法を使った2014年台風11号事例への衛星雲・降水観測データの同化実験(その1)、日本気象学会2015年春季大会、東京、日本、2015年5月

青梨和正、岡本幸三、山口宗彦、五十嵐崇士、2015: Neighboring Ensemble に基づく変分同化法を使った2014年台風11号事例への衛星雲・降水観測データの同化実験(その2) 日本気象学会2015年秋季大会、京都、日本、2015年11月

青梨和正、岡本幸三、山口宗彦、五十嵐崇士、2016: Neighboring Ensemble に基づく変分同化法を使った2014年台風11号事例への衛星雲・降水観測データの同化実験(その3) 日本気象学会2016年春季大会予稿集, C155.

青梨和正、岡本幸三、山口宗彦、田島知子、2016: Neighboring Ensemble に基づく変分同化法を使った2015年台風18号事例への衛星搭載マイクロ波放射計輝度温度の同化実験 日本気象学会2016年秋季大会予稿集, P121.

K. Aonashi, 2016: Dual-Scale Neighboring Ensemble Variational Assimilation of Satellite Microwave Imager Brightness Temperatures for Typhoon Etau, 8th Workshop of International Precipitation Working Group, 2016.

Aonashi K., K. Okamoto, T. Kubota, T. Tashima, Dual-Scale Neighboring Ensemble Variational Assimilation of Satellite Microwave Imager Brightness Temperatures for Typhoon Etau, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2017, 2-6 October 2017, Rome, Italy

青梨和正、岡本幸三、山口宗彦、田島知子、Ensemble に基づく変分同化法を使ったPALAU2013事例への衛星搭載マイクロ波放射計輝度温度の同化実験、日本気象学会2017年度春季大会、2017年5月、東京都

青梨和正、岡本幸三、山口宗彦、野牧 知之、Neighboring Ensemble に基づく変分同化法を使ったPALAU2013事例への衛星搭載マイクロ波放射計輝度温度の同化実験(その2)、日本気象学会2017年度秋季大会、2017年11月、北海道札幌市

青梨和正・岡本幸三・石元裕史・山口宗彦、次世代のマイクロ波イメージャ降水リトリーバルアルゴリズム開発(その5)、日本気象学会2017年度春季大会、2017年5月、東京都

青梨和正、岡本幸三、石元裕史、山口宗彦、次世代のマイクロ波イメージャ降水リトリーバルアルゴリズム開発(その6)、日本気象学会2017年度秋季大会、2017年10月、北海道札幌市

青梨和正、岡本幸三、石元裕史、山口宗彦、次世代のマイクロ波イメージャ降水リトリーバルア

ルゴリズム開発（その7）： GPM の散乱アルゴリズムの誤差と JRA55 環境変数の比較，日本気象学会 2018 年度秋季大会，2018 年 11 月，宮城県仙台市

青梨和正,岡本幸三,山口宗彦,野牧知之, NE に基づく変分同化法への降水の混合対数正規分布の導入（その2），日本気象学会 2018 年度秋季大会，2018 年 11 月，宮城県仙台市

青梨和正,岡本幸三,山口宗彦,野牧知之, Neighboring Ensemble に基づく変分同化法への降水の混合対数正規分布の導入，日本気象学会 2018 年度春季大会，2018 年 5 月，茨城県つくば市

〔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〕

ホームページ等

6 . 研究組織

研究分担者氏名： 伊藤 耕介 ローマ字氏名： Kosuke Ito

所属研究機関名：琉球大学 部局名：理学部 職名：准教授

研究者番号（8 桁）：10634123

研究分担者氏名： 久保田拓志 ローマ字氏名： Takushi Kubota

所属研究機関名：独立行政法人宇宙航空研究開発機構 部局名：第1衛星利用ミッション本部地球観測研究センター 職名：主任開発員

研究者番号（8 桁）：90378927

研究分担者氏名： 山口宗彦 ローマ字氏名： Munehiko Yamaguchi

所属研究機関名：気象研究所 部局名：台風研究部

職名：主任研究官

研究者番号（8 桁）：80595405

研究分担者氏名： 石橋俊之 ローマ字氏名： Toshiyuki Ishibashi

所属研究機関名：気象研究所 部局名：台風研究部 職名：主任研究官

研究者番号（8 桁）：30585857