

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04856

研究課題名(和文) 南北半球差に注目した温帯低気圧に伴う雲・降水システムの気候学的解析

研究課題名(英文) Climatological analysis of cloud and precipitation system associated with extratropical cyclones with a focus on differences between Northern and Southern Hemispheres

研究代表者

小玉 知央(Kodama, Chihiro)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動予測研究センター)・副主任研究員

研究者番号：90598939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,400,000円

研究成果の概要(和文)：高解像度全球非静力学モデルによる気候実験データを温帯低気圧および前線に着目して解析した。モデルは衛星観測から得られた特徴的な降水分布をよく再現できていること、海洋性の温帯低気圧に伴う降水量と地上気温の間には半球および気候に依存しない関係があること、特に強い温帯低気圧については地上気温に対する降水量の増加が大きいこと、を明らかにした。また、モデルは前線の存在頻度分布をある程度再現し、将来気候では頻度の減少と低緯度側へのシフトが予測されることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数値モデルによって得られた降水量と地上気温の関係が現実にも存在すると仮定すると、本研究結果は衛星等による高い信頼性を持った全球降水観測を長期間に渡って実施することで、将来気候における降水変化を制約できることを示している。これは、中緯度における降水量の将来気候変化予測の信頼性を高めることにつながる社会的意義の大きな結果である。前線頻度の将来変化については温帯低気圧そのものの将来変化では説明できず、これまでにない予測結果を提示している可能性がある。

研究成果の概要(英文)：A series of climate simulation data by global high-resolution non-hydrostatic atmospheric model was analyzed with a focus on extratropical cyclones and fronts. It was shown that the model captures the characteristic features of the precipitation around the extratropical cyclones derived from satellite observation. Also, it was found that the precipitation around the oceanic extratropical cyclones scales with the surface air temperature irrespective of hemispheres and climates, and the rate of precipitation change by the surface air temperature is larger with the intense oceanic extratropical cyclones compared with the averaged ones. An analysis of the front showed that the model captures the distribution of the frequency of occurrence of front and that the frequency is decreased and moved equatorward due to global warming.

研究分野：気候科学

キーワード：温帯低気圧 雲・降水システム 高解像度気候シミュレーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

温帯低気圧は中緯度における日々の天候を決定する重要な要因であり、しばしば豪雨や暴風といった自然災害をもたらす。温帯低気圧の特徴である前線や雲・降水システムは、小スケール現象であることから気候モデルによる再現は難しく、長期にわたる詳細な降水観測も存在しないことからその気候学的な振る舞いは十分理解されていない。

2. 研究の目的

本研究では高解像度全球非静力学モデルを用いた気候実験、および雲・降水の詳細構造を把握可能な衛星観測データを利用して、温帯低気圧に伴う雲・降水システムを気候学的に研究する。温帯低気圧の南北半球差に注目して降水量を決定する制約とそのメカニズムを議論することで、気候モデルによる降水将来予測の信頼性向上に資する知見を獲得し、中緯度降水システムに対する科学的理解を深める。

3. 研究の方法

(1) データ

全球非静力学モデル NICAM (Tomita and Satoh 2004; Satoh et al. 2008, 2014) から得られた 2 種類の気候実験データ (Kodama et al. 2015, 2021) を用いた。細かいモデル設定は異なるが、どちらの気候実験も海水面温度を外部境界条件として与える AMIP 型の実験である。Kodama et al. (2015) では 14 km メッシュモデルを用い、現在気候 (1979-2008 年) および将来気候 (2074-2099 年) を想定した実験を実施した。Kodama et al. (2021) では 56-28km メッシュモデルを用いた 100 年連続積分 (1950-2050 年)、および 14km メッシュモデルを用いた過去 (1950-1960 年)、現在 (2000-2010 年)、将来 (2040-2050 年) 気候タイムスライス実験を実施した。なお、本研究課題ではデータを英国の研究グループへ提供することでマルチモデルの観点から温帯低気圧の解析を進め、国際共著論文 (McCoy et al. 2019) を出版した。

観測に基づく降水プロダクトとして、GPM 衛星に搭載されたマイクロ波およびレーダー観測に基づく GSMaP-GPM (Kubota et al. 2007; Ushio et al. 2009) および GPM-DPR を用いた。GSMaP-GPM プロダクトは多数の衛星データを組み合わせることで、北緯 60° から南緯 60° を 0.1 度格子で覆う降水量を毎時間で利用可能である。GPM-DPR は衛星軌道の直下における降水を高精度で観測できるメリットがあり、本研究では±3 時間の誤差を許すことで 6 時間毎・0.25 度格子のマップデータを作成して解析に用いた。GPM プロダクトの利用期間は 2014 年 4 月から 2016 年 3 月までである。大気再解析データとして JRA-55 (Harada et al. 2016; Kobayashi et al. 2015) 再解析データセットを用いた。

(2) 解析手法

地上気圧に基づいて温帯低気圧を自動検知・追尾するトラッキング手法 (Kodama et al. 2019) をモデルおよび再解析データに適用した。地上気温と降水量の関係を理解するため、生涯の半分以上にわたり海洋上に中心がある温帯低気圧を「海洋性」温帯低気圧と定義して解析に用いた。また、生涯最低中心気圧が低い方から上位 10% を「強い」海洋性温帯低気圧と定義した。温帯低気圧に伴う降水等の平均的な描像を得るため、温帯低気圧の中心に対するコンポジット平均を行い、中心から半径 550 km 以内で平均したものを代表的な値として用いた。並行して、Hewson (1998) および Naud et al. (2010) に基づき前線を自動検知するツールを作成した。

4. 研究成果

(1) 降水量の不確実性と高解像度気候モデル評価

図 1 (a)、(b) は GSMaP-GPM および GPM-DPR プロダクトを用いた作成した、強い海洋性温帯低気圧に伴う降水量の分布である。GSMaP-GPM の結果からは、降水のピークが極・東側象限に存在し、強い降水の領域がコンマ状に赤道方向へ伸びていることが分かる。このような特徴は、異なるアルゴリズムでデータ処理された NOAA IMERG V05B (Huffman et al. 2018) プロダクトを用いた場合でも確認できた。GPM-DPR の結果からは、降水量の定性的な分布は GSMaP-GPM よく一致するものの定量的には少ないという結果が得られた。GPM-DPR プロダクトではサンプル数が少ないという問題もあるが、GSMaP-GPM に比べて GPM-DPR は観測可能な緯度が高緯度側へ 5°ほど広いため、弱い高緯度の降水が平均に含まれていることが主要因であると考えている。

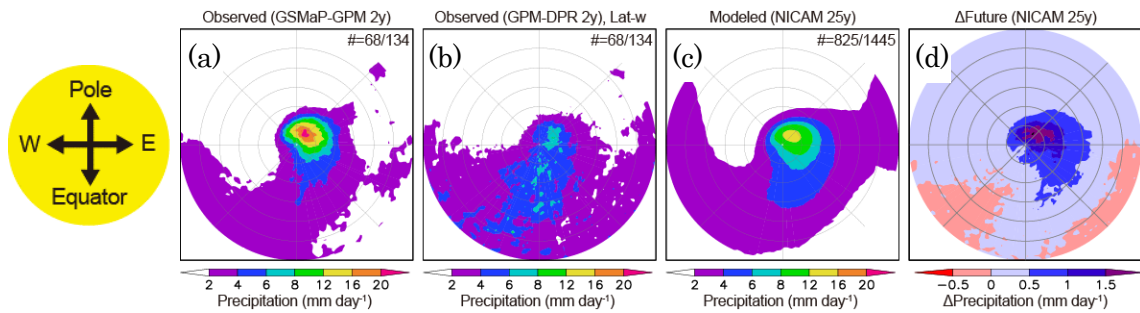


図1：強い海洋性温帯低気圧に対する降水量コンポジット。(a) GSMaP-GPM プロダクト (2014年4月–2016年3月)、(b) GPM-DPR 観測 (2014年4月–2016年3月)、(c) NICAM 現在気候 (1979–2003年)、(d) NICAM 将来変化 (2075–2099年と1979–2003年の差)。図の中心は温帯低気圧の中心であり、右向きが東向き、上向きが極向き（南半球の温帯低気圧は上下反転）である。各コンポジット作成に用いた温帯低気圧のサンプル数を右上に示す。Kodama et al. (2019)。

図1(c)は、NICAM 現在気候実験から得られた降水量である。定性的な特徴は GSMaP-GPM および GPM-DPR とよく似ているが、定量的には GSMaP-GPM より少なく、GPM-DPR よりやや多い。それぞれのプロダクトがカバーしている緯度でマスクをかけてモデルデータのコンポジットを取り直した結果、NICAM の降水量は特に GSMaP-GPM と定量的によく一致することが分かった。以上により、モデルは観測された温帯低気圧に伴う降水の特徴をよく再現できているといえる。

(2) 半球間・気候間における地上気温と降水量の関係

温帯低気圧が存在する領域(ストームトラック)における平均的な地上気温は半球間で異なり、北半球の方が南半球より暖かい。これを現在気候と将来気候の差に見立て、現在気候における半球間の差によって将来気候変化を制約する可能性について検討を行った。図2は気候実験から得られた強い海洋性温帯低気圧および全ての海洋性温帯低気圧の周囲における地上気温と降水量の関係を示したものである。強い海洋性温帯低気圧については半球および気候によらず、およそ 7 %/K の割合で地上気温に対して降水量が増加するという結果が得られた。全ての海洋性温帯低気圧についても定性的には同様の関係が見られたが、地上気温に対する降水量の増加はおよそ 3 %/K と強い海洋性温帯低気圧に比べて小さかった。このような関係は数値実験の結果から得られたものであるが、仮にこれが現実にも存在すると仮定すれば、衛星等によって地上気温と降水量の半球差を観測することで、将来気候における降水変化を制約できる可能性がある。統計的な議論の結果、サンプル数および観測可能な緯度帯の問題により、現時点では観測から将来変化を制約することは難しいことが分かった。将来変化予測の信頼性を高めるためにも、衛星等による長期間の全球均質な降水観測の実現が将来的に望まれる。

本研究では「海洋性」の温帯低気圧を取り出したが、海洋性ではない強い温帯低気圧についても図2のような単調増加の関係が得られる。しかし、全ての温帯低気圧について海洋性に分けて解析すると、北半球の方が地上気温に対する降水量は少ないという結果が得られる(図省略)。これは、温帯低気圧が利用可能な水蒸気量が異なることが主要因であると推測している。このように「海洋性」の温帯低気圧を取り出して解析することで普遍的な結果が得られたことが、研究開始当初は想定していなかった本研究のオリジナリティである。

これらの結果について国際誌へ発表するとともにプレスリリースを行い、国際誌の Top 10% most downloaded paper に選定された。

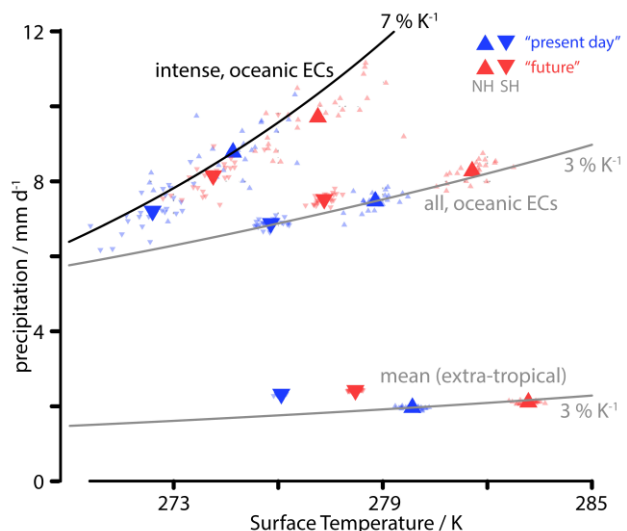


図2：強い海洋性温帯低気圧、全ての海洋性温帯低気圧、および中高緯度全体で平均した地上気温と降水量の関係。温帯低気圧については中心から 550 km の範囲で平均した。▲は北半球、▼は南半球であり、青は現在気候、赤は将来気候である。また、小三角は1年平均、大三角は25年平均である。Kodama et al. (2019)。

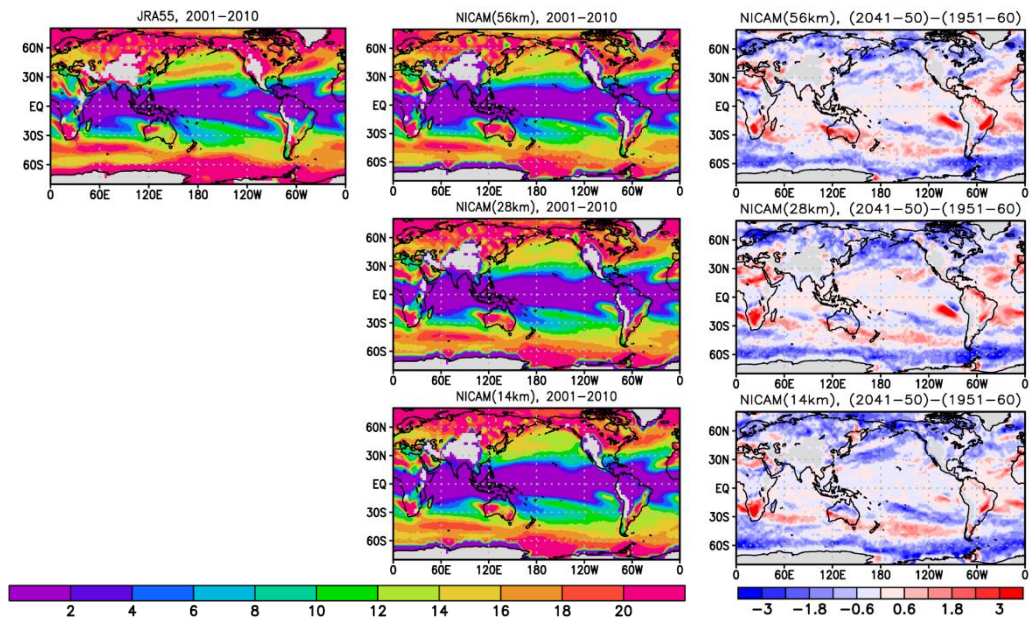


図3: 2.5° 格子あたりの前線の存在頻度 [%]。(左) JRA-55 再解析データ。(中) NICAM 現在気候。(右) NICAM 将来気候-NICAM 過去気候。NICAM の水平解像度は上から順に、56 km、28 km、14 km。

(3) 前線解析ツールのモデルへの適用

温帯低気圧に伴う前線は特徴的な雲・降水システムを伴い、しばしば強風や大雨をもたらす。本研究において作成した前線解析ツールを用い、全球再解析データおよび水平解像度が異なる NICAM 気候実験データ (Kodama et al. 2021) に適用することで、前線の存在頻度についてモデル評価を行った。

図3は各格子点における前線の存在頻度である。図3左のように、海上において前線の存在頻度が高い場所は基本的にストームトラックの位置と一致する。即ち、北西太平洋、北大西洋、南大洋において前線の存在頻度が高い。このような傾向は56-14 kmメッシュというどの水平解像度の気候実験データを用いても確認でき、モデルは前線の存在頻度分布を概ね再現できているように見える。細かく見ると日本付近で北偏バイアスとなっており、これは温帯低気圧そのものの位置が北偏していることと対応している。スナップショットで確認すると、温帯低気圧の構造がモデルの水平解像度に依存することは明らかであり、14 kmメッシュにおいてもまだ収束していない。前線の構造に踏み込んだ水平解像度依存性の解析は今後の課題である。

将来変化については、地球温暖化に伴い前線の存在頻度は減少するという予測結果が得られた。この結果は過去の研究結果 (例えば Catto et al. 2019) と同様であり、地球温暖化に伴う地上気温の南北傾度の減少で説明可能である。一方、特に南半球において、前線の存在位置がやや赤道寄りへシフトしているように見える。これは温帯低気圧の存在頻度の変化とは逆の結果であり、予測結果の妥当性を検討するとともに物理メカニズムの解明を進める必要がある。

<引用文献>

- ① Tomita, H., and M. Satoh, 2004: A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid. *Fluid Dyn. Res.*, 34, 357-400.
- ② Satoh, M., T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, and S. Iga, 2008: Nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM) for global cloud resolving simulations. *J. Comput. Phys.*, 227, 3486-3514.
- ③ Satoh, M., and Coauthors, 2014: The non-hydrostatic icosahedral atmospheric model: Description and development. *Progress in Earth and Planetary Science*, 1, 18.
- ④ Kodama, C., and Coauthors, 2015: A 20-year climatology of a NICAM AMIP-type simulation. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 93, 393-424.
- ⑤ Kodama, C., and Coauthors, 2021: The Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model for CMIP6 HighResMIP simulations (NICAM16-S): experimental design, model description, and impacts of model updates. *Geoscientific Model Development*, 14, 795-820.
- ⑥ McCoy, D. T., and Coauthors, 2019: Cloud feedbacks in extratropical cyclones: insight from long-term satellite data and high-resolution global simulations.

- Atmos. Chem. Phys., 19, 1147-1172.
- ⑦ Kubota, T., and Coauthors, 2007: Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 45, 2259-2275.
 - ⑧ Ushio, T., and Coauthors, 2009: A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 87A, 137-151.
 - ⑨ Harada, Y., and Coauthors, 2016: The JRA-55 reanalysis: representation of atmospheric circulation and climate variability. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 94, 269-302.
 - ⑩ Kobayashi, S., and Coauthors, 2015: The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 93, 5-48.
 - ⑪ Kodama, C., B. Stevens, T. Mauritsen, T. Seiki, and M. Satoh, 2019: A new perspective for future precipitation change from intense extratropical cyclones. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 12435-12444.
 - ⑫ Hewson, T. D., 1998: Objective fronts. *Meteorol. Appl.*, 5, S1350482798000553.
 - ⑬ Naud, C. M., A. D. Del Genio, M. Bauer, and W. Kovari, 2010: Cloud vertical distribution across warm and cold fronts in CloudSat-CALIPSO data and a general circulation model. *J. Clim.*, 23, 3397-3415.
 - ⑭ Huffman, G. J., and Coauthors, 2018: NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2. NASA,.
 - ⑮ Catto, J. L., and Coauthors, 2019: The Future of Midlatitude Cyclones. *Current Climate Change Reports*, 5, 407-420.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kodama C., Stevens B., Mauritsen T., Seiki T., Satoh M.	4. 巻 46
2. 論文標題 A New Perspective for Future Precipitation Change from Intense Extratropical Cyclones	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 12435 ~ 12444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL084001	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 該当する

1. 著者名 D. T. McCoy, P. R. Field, G. S. Elsaesser, A. Bodas-Salcedo, B. H. Kahn, M. D. Zelinka, C. Kodama, T. Mauritsen, B. Vanniere, M. Roberts, P. L. Vidale, D. Saint-Martin, A. Voldoire, R. Haarsma, A. Hill, B. Shipway, and J. Wilkinson	4. 巻 19
2. 論文標題 Cloud feedbacks in extratropical cyclones: insight from long-term satellite data and high-resolution global simulations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 1147-1172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-19-1147-2019	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 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 小玉知央
2. 発表標題 全球非静力学モデルNICAMにおける温帯低気圧の水平解像度依存性
3. 学会等名 日本気象学会2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Kodama, Y. Yamada, T. Ohno, T. Seiki, H. Yashiro, A. T. Noda, M. Nakano, W. Roh, M. Satoh, T. Nitta, T. Nasuno, T. Miyakawa, Y.-W. Chen, and M. Sugi
2. 発表標題 Model updates and early results of a decadal high-resolution climate simulations using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Kodama, M. Satoh, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, Y. Yamada, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, W. Roh
2. 発表標題 Preliminary results of a high-resolution climate simulation using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小玉知央, 佐藤正樹, 大野知己, 野田暁, 八代尚, 山田洋平, 中野満寿男, 清木達也, 那須野智江, Ying-Wen Chen, 宮川知己, 杉正人, Woosub Roh
2. 発表標題 全球非静力学モデルNICAM気候実験における水平解像度依存性
3. 学会等名 日本気象学会2018秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 C. Kodama, B. Stevens, T. Mauritsen, T. Seiki and M. Satoh
2. 発表標題 A strong temperature dependence in intense-storm rainfall indicated by inter-hemispheric contrast of storms
3. 学会等名 Fourth International Conference on Earth System Modeling (ICESM), Hamburg, Germany (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 C. Kodama, B. Stevens, T. Mauritsen, T. Seiki and M. Satoh
2. 発表標題 Future projection of extratropical cyclone simulated by a 14 km mesh global atmospheric model with explicit convection
3. 学会等名 2017 CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity, Itoh Hall, Hongo Campus, University of Tokyo, Tokyo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 C. Kodama, B. Stevens, T. Mauritsen, T. Seiki and M. Satoh
2. 発表標題 A strong temperature dependence in precipitation associated with intense extratropical cyclones indicated by inter-hemispheric contrast of cyclones
3. 学会等名 Asian Conference on Meteorology (ACM) 2017, BEXCO, Busan, Korea (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

地球温暖化に伴う温帯低気圧の雨量増加を衛星観測から高精度に求める試み
http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20191114/

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
---------	---------