

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02956

研究課題名(和文)ディープラーニングを用いた台風発生最終条件の解明とモニタリングシステムの構築

研究課題名(英文)Final condition of typhoon genesis processes using deep learning and construction of monitoring system

研究代表者

筆保 弘徳 (Fudeyasu, Hironori)

横浜国立大学・教育学部・准教授

研究者番号：00435843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は北西太平洋における台風発生プロセスの最終条件を統計的に調べることである。気象衛星雲画像から客観的に検出されたクラウドクラスターから、台風発生に至ったケースと発生しなかったケースに分けて、それぞれの気象と海洋の環境場における相違点を明らかにした。台風発生環境場診断手法によりそれぞれの発生環境場で分類して台風発生の阻害要因を明らかにしたことで、台風発生環境場ごとにその台風発生・非発生を決定する最終条件を示すことができた。そして、「台風環境場モニタリングシステム」を構築し、日々の台風発生環境場を検出・診断・公開している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学技術が進み台風進路予報が向上した近年でも、甚大な台風被害は発生している。その被害を軽減するには、台風が接近するまでの時間の確保が重要となり、その解決には台風発生予報の実現が求められる。本研究で台風発生環境場ごとにその台風発生・非発生を決定する最終条件を明らかにすること、さらには台風モニタリングシステムの構築は、台風発生の可能性が高く警戒すべき雲域をいち早く特定することができ、台風発生予報や減災対策を革新的に向上させることに貢献する。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to statistically investigate the final conditions of the tropical cyclone generation process over the western North Pacific. This study investigated the environmental conditions of cloud clusters objectively detected from the meteorological satellite cloud image. We compared the cloud clusters that dissipated before reaching tropical storm strength under unfavorable environmental conditions with cloud clusters that reached tropical storm strength in terms of modulations of relevant large-scale flow patterns detected by typhoon genesis score. This study showed the final conditions that determine the tropical cyclone for each environmental flow patterns and developed a "typhoon environment monitoring system".

研究分野：台風

キーワード：台風発生阻害要因 台風発生環境場 台風識別器

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまでの台風発生研究の有力な結果をまとめると図1のようになり、近年の研究で台風発生を導く組織化プロセスの理解は明らかになった(図1最下段の組織化)。積乱雲の集団(クラウドクラスター)が(例えば図2(a)のAとB)、それよりも大きなスケール(図2の台風)の台風構造へ形成をして台風発生となる。しかし、現実の雲活動を調べると、クラウドクラスターが発生すれば常に台風が発生するかといえば、そうではない。例えば図2の衛星雲画像によると、20日には偏東風波動の中で東西に並ぶクラウドクラスターAとBに組織化プロセスが働き、台風構造が形成されようとしている。しかし25日になると、Aは台風発生(台風14号)となり、Bは組織化せずに消滅した。研究計画時の研究(例えばHennon et al. 2013)では、世界中の熱帯海域で発生したクラウドクラスターのうち、わずか7%しか台風にならないと報告している。台風発生プロセスを完全に理解するうえで、何が最終的に台風発生または発生失敗を決めるのか、台風発生を予報するうえでも最も重要な最終段階での発生条件がまだ解明されていない。

研究代表者の過去の研究(Fudeyasu et al. 2010a・b)では、高解像度全球数値シミュレーションにより初期時刻から2週間後の台風の発生の再現に成功し、クラウドクラスターから台風発生という一連のプロセスを示した。そして、「組織化プロセスが適切に駆動できる特定の環境場が、クラウドクラスターから台風発生に至るまでの鍵を握る」と仮説を立てた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者の仮説を立証して、台風発生プロセスの全容解明を目指すことである。まず、機械学習を用いて、気象衛星雲画像からクラウドクラスターを客観的に検出する手法を開発する。もしも、クラウドクラスターが正しく検出できなかった場合には、気象庁による早期ドボラック法

(Early Dvorak Analysis:EDA)を用いて、クラウドクラスターの位置を特定する。過去のクラウドクラスターの情報から、「台風発生環境場診断手法(Typhoon Genesis Score:TGS)」を用いて発生環境場パターンを客観的に診断し、台風発生に至ったケースと発生しなかったケースの相違点を発生環境場別に調べる。環境場パターン持続時間や阻害要因という最終段階における台風発生条件を統計的に示すことで、研究代表者が提案する「特定の環境場が台風発生・非発生を決定する」という仮説の立証を行う。

本研究で強調したいのは、組織化プロセスを促進する特定の環境場パターンは複数あり、後半の組織化ステージにおいて(図1の破線枠)それぞれ違う最終条件を持っている点である。どのパターンの環境場がどのくらいの割合で台風発生に至るのか、逆に何が起きると組織化プロセスが抑制・阻害されるのか、台風発生論に残された最後のテーマに挑むのが本研究の目的である。

そして、本研究の最終プロダクトとして、日々発生する全てのクラウドクラスターの発生環境場パターンを検出・診断・公開する「台風発生環境場モニタリングシステム」の構築を行う。

3. 研究の方法

(1) 機械学習によるクラウドクラスター検出器の開発

本研究は、台風発生前のクラウドクラスターを検出するために、機械学習を用いる。当初は深層学習の利用まで考えたが、検出だけであれば精度をあげなくても検出ができることがわかったため、OpenCV(インテルが開発・公開したオープンソースのコンピュータビジョン向けライブラリ)のカスケード型AdaBoost識別器を基にした台風識別器の作成を目指した。計画していた

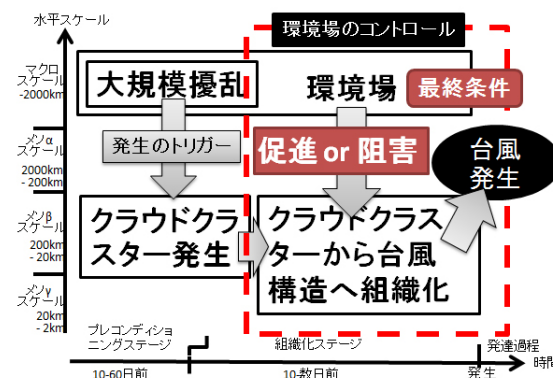


図1: 台風発生プロセスの概念図。横軸は時間経過、縦軸は現象の水平スケール。破線枠が本研究で注目している点。

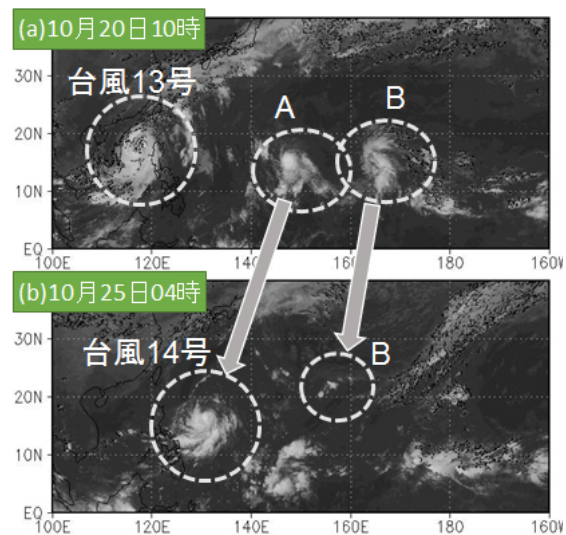


図2: 2010年10月(a)20日10時と(b)25日4時の衛星雲画像。破線丸は米国海軍トラックデータによる位置。AとBはクラウドクラスターで、Aは20日に検出されて25日台風発生、Bは19日に熱帯低気圧15号と検出されて27日に消滅する。

深層学習は、台風強度検出の時に用いた。

学習・検証データは、過去の静止気象衛星の観測結果と気象庁ベストトラックを用いる。正解値の台風位置と強度は、気象庁ベストトラックから時間方向に内挿して 2.5 分間隔データとして得る。その台風位置を中心に切りだした気象衛星雲画像の約 5 万枚を台風 positive 画像とする。そして、台風が発生していない期間の北西太平洋の範囲から、ランダムに抽出した 5 万枚を非台風 negative 画像として学習用データとする。精度が高い台風識別器を用いて、台風の特徴やライフサイクルごとに精度を比較して気象学的に考察する。

(2) 早期ドボラック法による台風・非台風の分類

EDA とは、発生初期の熱帯擾乱の解析（中心位置・強度）及び発達の可能性を判定する、気象庁が独自開発した手法である（Kishimoto 2008 など）。ドボラック法は、台風が発達する可能性がある雲域は台風になる約 1 日～1.5 日前に「活発な対流雲からなる低気圧性に湾曲した雲列や雲バンド」が形成され、この特徴を持つ雲システムを T 数 1.0 と定義している。EDA は、T 数 1.0 の 3 条件を 5 つの条件に分離し、T 数=0.0、0.5、1.0、1.5 に細分している。本研究では、EDA とドボラック解析結果とベストトラックを合わせて調べ、（研究成果 1）では T 数 0.0 で検出されたものの T 数 0.5 以上には発達しなかった熱帯擾乱を非台風の LW、T 数 0.5 以上まで発達しながら台風にならなかった熱帯擾乱を非台風の TD、最終的に台風となった熱帯擾乱を TS と呼ぶ。（研究成果 2）では、EDA で解析されて台風にならなかったものを非台風とする。熱帯擾乱の環境場を比較するために、長期再解析（JRA55）・海洋長期再解析（FORA-WNP30）を用いる。

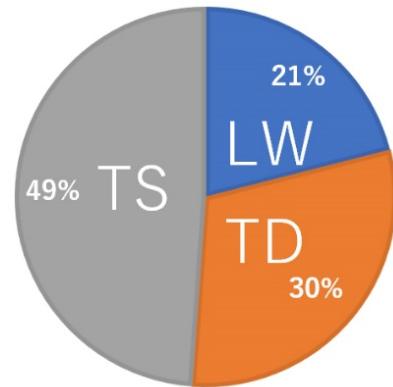


図 3: EDA によるクラウドクラスターのなかでの LW、TD、TS の発生割合。

(3) 組織化プロセスを促進する環境場パターンの分類

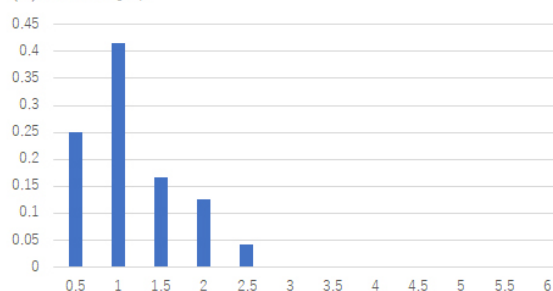
Ritchie and Holland (1999) は、1984 年から 8 年間の TC 発生事例について、対流圏下層の東西風の水平風シアライン (SL)、東西風の合流域 (CR)、モンスーンジャイア内 (GY)、偏東風波動に伴う擾乱 (EW)、先行台風により形成されるロスビー渦列 (PTC) の 5 つに分類した。Yoshida and Ishikawa (2013) は、この台風発生環境場 5 パターンを同定する「台風発生環境場診断手法 (TGS)」を開発した。TGS は、下層風や海面気圧からスコアという指標を用いて定量化し、5 パターンのスコアを算出して、一番大きなスコア値をもつものをその環境場と検出する。例えば図 2 の台風 14 号の環境場パターンを偏東風波動パターンと診断している。

4. 研究成果

(1) 台風発生最終条件

本研究では、EDA のうち客観解析が導入されて一貫した精度で得られている 2013 年から 2016 年で検出された 219 事例の熱帯擾乱を対象とする。EDA で検出された 219 事例のクラウドクラスターのうち非発生と発生を区別した。非発生でも、まったく台風まで発達しなかった事例 LW は 46 事例 (21%) であった。クラウドクラスターが発達したが途中で衰弱して台風にならなかった TD は 75 事例 (30%)、台風発生事例 TS は 98 事例 (49%) であった (図 3)。LW・TD の発生数は、TS と同じように夏・秋に多い。TS を含めた月別発生数のなかでの LW・TD となる割合を調べると、冬・春 (11-5 月) はおよそ 5 割以上になり、夏・秋 (6-10 月) で 5 割以下となる。言い換えれば、熱帯擾乱が発生しても、冬・春では台風にまで発達しにくく、夏・秋では台風にまで発達しやすい。

(a) LW の寿命



(b) T数0.5-消滅or台風発生

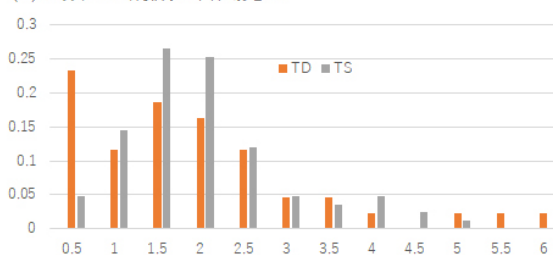


図 4: 2013~2016 年 6-10 月で発生した (a) LW の寿命 (日) の頻度グラム、(b) TD と TS の T 数 0.5 から消滅 (TD) または台風発生 (TS) までの継続時間 (日) の頻度グラム。

図4は、それぞれの継続時間・寿命の頻度グラムである。これ以降の解析は、各熱帯擾乱の季節性の差を除くために、すべて6-10月のものに限定する。発生してT数0.0のまま消滅するまでのLWの寿命は、1日以下が全体の60%、1-2日が30%となっている。一方、TDとTSがT数0.5になるまでのT数0.0継続時間は、どちらも1日が90%となる。つまり、どの擾乱もT数0.0のまま数日間持続することはほとんどない。T数0.5を超えてTS(台風発生)にまで発達する継続時間は、TSの約70%が1日以上3日以下であった。T数の数値が発達の経過日という側面も併せ持つことを考えれば、このTSまでの発達時間が平均的に2-3日となることは整合的である。一方でTDが3日を越える頻度は20%以下しかなく、TDがTSに発達しないまま持続する事例は少なく、多くのTDは何かの理由が消滅の道をたどることがわかる。

LWの特徴をTSやTDと比較すると、EDA検出時からLWとTSに雲の範囲(濃密な雲域を円形にまとめた場合の直径; System size)で有意な差があった。つまり、雲域のまとまり方がTSで大きくLWで小さい。さらに、検出時の精度(Accuracy)はLWでは低く、TDとTSは高い。

LWの環境場を、TSやTDの環境場と比較する。SST・CAPE・MPI・対流圏中下層湿度でみて、LWはTSやTDと有意な差は見られなかった。しかし、Tropical Cyclone Heat Potential (TCHP)では、有意な差を持ってLWよりもTSの方が高い。つまり台風発生には、海面の水温よりも海洋貯熱量が高いことが重要といえる。

次に、TDとTSの特徴を比較すると、EDA検出時から消滅または台風発生するまでの時間、System sizeに有意な差があり、雲域のまとまり方はTDとくらべてTSは小さい。TDとTSの環境場を比べると、SST・CAPE・MPI・対流圏中下層湿度・TCHPで有意な差は見られなかった。しかし、鉛直シアは、EDA検出時から消滅または台風発生するまでに有意な差を持ってTDが大きかった。つまり、統計的に見ると、台風発生の最終的な条件となるのは鉛直シアであった。

(2) 発生環境場別の台風発生最終条件

本研究では、YI13のTGSを拡張して、JRA55を用いてEDAや機械学習で検出されたクラウドクラスターの発生環境場パターンを分類した。この報告書では、EDAを用いて発生・非発生のクラウドクラスターに分類した発生環境場別の台風発生最終条件の結果を報告する。2009年から2017年で検出された476事例の熱帯低気圧に対して、最終的に台風にならなかった熱帯低気圧を非台風TD、台風となった熱帯低気圧を台風TSとする。TDとTSに対して、TGSと長期再解析(JRA55)、海洋長期再解析(FORA-WNP30)からTDとTSの環境場を調べる。EDA開始時間を発生時として解析する。

解析期間では、TDは263事例、TSは213事例(TS発生率45%)に診断された。そのTD・TSを発生環境場別で示したものが図5である。TS発生率が高いCRとPTC(52%)で発生した熱帯低気圧は、他のパターンよりも台風発生にまで発達しやすいことが分かる。反対に、TS発生率が低いEW(35%)の熱帯低気圧は台風発生にまで発達しにくい。

季節の偏りを除くために6-10月に限定して、発生環境場別にTDとTSを比較した。発生場所で比べると、全てのTSの平均位置はTDより西となっているが、PTCのTSはTDよりも南東で偏っている。環境場を比較すると、EWは半径200-800kmの領域で平均したCAPE・鉛直シア・SST・TCHPなどで差はないが、対流圏中層(500hPa)湿度場でTSがTDよりも有意差を持って高い(図6)。GYは大気場やSSTで差がなくTCHPのみに差があった。CRは対流圏下層(850hPa)渦度場と鉛直シアに有意な差があり、PTCは対流圏下層渦度場・SST・CAPEに差があった。つまり、CR、EW、PTCで大気環境場パラメータに有意な差がある。一方、SL、GY、PTCで海洋環境場パラメータに差があった。この研究により、台風発生環境場パターンで分類した台風発生最終条件が明らかになった。

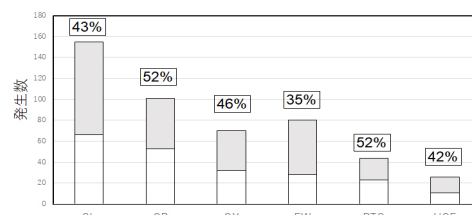


図5:EDAによる9年間のTD(影)とTS(白)の台風発生環境場別発生数。棒グラフ上の割合はTS発生率

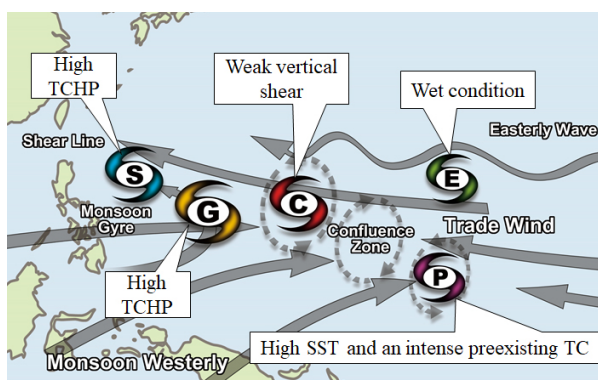


図6: 台風発生環境場別の台風発生最終条件

(3) 機械学習による台風検出器の開発

本研究は、機械学習を用いた台風位置検出器を作成した(図7)。気象衛星画像から得た赤外面像と水蒸気画像を用いて、全36種類の台風検出器を作成し、その台風検出器の検出率と適合率を用いて精度評価を行なった。

検証の結果、赤外面像を学習に用いたモデルの方が、水蒸気画像を学習に用いたモデルよりも全体的に精度が高くなっていた。また、最も精度の高いモデルは、H20-S170(検出率が72.30%、適合率が25.79%)で、最も検出率の高いモデルは、H05-S150(検出率が91.25%、適合率が13.21%)であった。LBPよりもHAAR-LIKEで作成した検出器の方が全体的に検出数は多く、検出率が高くなっていた。

台風事例別に見ると、H20-S170が最も検出率が高かったのは、T1700で100%、検出率が最も低かったのは、T1700で15%であった。フィリピンや沖縄付近など日本の南側で検出率が高く、ベトナムや中央北西太平洋で検出率が低くなっている。全台風事例において、正検出時の中心気圧が、見逃し時の中心気圧よりも低くなっていた。しかし、研究期間内に台風発生の研究に足りる精度はあげられなかった。

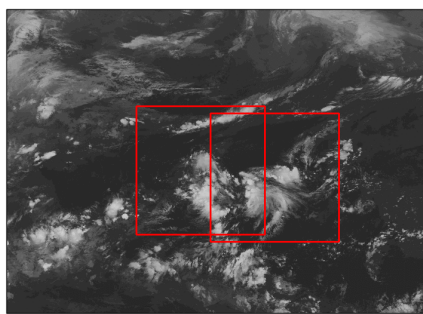


図7：機械学習による台風検出結果

(4) 台風発生環境場モニタリングシステムの構築

本研究では、最終プロダクトとして「台風発生環境場モニタリングシステム」を構築した。本研究で開発した台風検出器は検出精度が悪く、日々の衛星雲画像からクラウドクラスターを検出するにはまだ精度向上が必要である。そこで、まずはすべてのグリッドに対して気象庁数値予報モデルの結果からスコアを算出し、発生環境場パターンを診断している。そして、日々の発生環境場パターンを診断・公開している。台風検出が今後の課題となるが、このモニタリングは台風発生の予報をするうえで貴重な参考資料にもなり得る。

<引用文献>

- ①Fudeyasu, H., Y. Wang, M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura, and W. Yanase, 2010a: Multiscale Interactions in the Lifecycle of a Tropical Cyclone simulated in a global cloud-system-resolving model: Part I: Large-scale and Storm-scale Evolutions, *Mon. Wea. Rev.*, 138, 4285-4304.
- ②Fudeyasu, H., Y. Wang, M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura, and W. Yanase, 2010b: Multiscale Interactions in the Lifecycle of a Tropical Cyclone simulated in a global cloud-system-resolving model: Part II: System-Scale and Mesoscale Processes, *Mon. Wea. Rev.*, 138, 4305-4327.
- ③Kishimoto 2008: Revision of JMA's Early Stage Dvorak Analysis and Its Use to Analyze Tropical Cyclones in the Early Developing Stagea, RSMC Tokyo - Typhoon Center Technical Review. 10, 1-12.
- ④Ritchie, E. A., and G. J. Holland, 1999: Large-scale patterns associated with tropical cyclogenesis in the western Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 2027-2043. Hennon, C.C., P.P. Papin, C.M. Zarzar, J.R. Michael, J.A. Caudill, C.R. Douglas, W.C. Groetsema, J.H. Lacy, Z.D. Maye, J.L. Reid, M.A. Scales, and M.D. Talley, 2013: Tropical Cloud Cluster Climatology, Variability, and Genesis Productivity. *Journal of Climate*, 26, 3046-3066.
- ⑤Yoshida, R., and H. Ishikawa, 2013: Environmental factors contributing to tropical cyclone genesis over the Western north Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 451-467.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yoshida Ryuji, Fudeyasu Hironori	4. 巻 148
2. 論文標題 How Significant are Low-Level Flow Patterns in Tropical Cyclone Genesis over the Western North Pacific?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 559 ~ 576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/MWR-D-19-0023.1	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 該当する
1. 著者名 Fudeyasu Hironori, Yoshida Ryuji, Yamaguchi Munehiko, Eito Hisaki, Muroi Chiashi, Nishimura Shuji, Bessho Kotaro, Oikawa Yoshinori, Koide Naohisa	4. 巻 98
2. 論文標題 Development Conditions for Tropical Storms over the Western North Pacific Stratified by Large-Scale Flow Patterns	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 61 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-004	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 Fudeyasu, H., and R. Yoshida	4. 巻 97
2. 論文標題 Statistical analysis of the relationship between upper tropospheric cold lows and tropical cyclone genesis over the western North Pacific	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Meteor. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 439-451
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 該当する
1. 著者名 Fudeyasu H., K. Ito, and Y. Miyamoto	4. 巻 24
2. 論文標題 Characteristics of tropical cyclone rapid intensification over the Western North Pacific,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 8917-8930
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 加瀬紘熙, 筆保弘徳, 北本朝展, Danlan Chen, 吉田龍二, 竹見哲也	4. 巻 66
2. 論文標題 深層学習を用いた台風強度推定に対する台風の特徴の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 51-58
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 Fudeyasu H., and R. Yoshida	4. 巻 146
2. 論文標題 Western North Pacific Tropical Cyclone Characteristics Stratified by Genesis Environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 435 446
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 筆保弘徳・吉田康平・吉田龍二
2. 発表標題 大規模アンサンブルデータで得られた台風発生環境場パターンの将来変化
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 筆保弘徳・永戸久喜・西村修司・及川義教・室井ちあし・別所康太郎・山口宗彦・吉田龍二
2. 発表標題 台風発生環境場別でみた台風になれなかった熱帯低気圧の環境場
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 筆保弘徳・伊藤耕介・宮本佳明
2. 発表標題 急速発達する台風の気候学的特徴
3. 学会等名 平成30年度京都大学防災研究所共同研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 筆保弘徳・吉田龍二
2. 発表標題 台風発生に影響を及ぼす対流圏上層寒冷渦の統計解析
3. 学会等名 日本気象学会2018年度春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fudeyasu, H., S. Miyazaki, S. Yamasaki, T. Takemi, M. Kato, and K. Tsuboki
2. 発表標題 Typhoon Hazard Maps Developed by the Typhoon Ensemble Simulations,
3. 学会等名 Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fudeyasu, H. and R. Yoshida
2. 発表標題 Western North Pacific Tropical Cyclone Characteristics Stratified by Genesis Environment
3. 学会等名 Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fudehyasu, H. and R. Yoshida
2. 発表標題 Western North Pacific Tropical Cyclone Characteristics Stratified by Genesis Environment
3. 学会等名 米国気象学会ハリケーン学会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 筆保弘徳・吉田龍二
2. 発表標題 台風発生スコアを用いた2016年台風発生環境場の検出
3. 学会等名 日本気象学会2017年度春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 筆保弘徳・室井ちあし・西村修司・別所康太郎・小出直久・山口宗彦・吉田龍二
2. 発表標題 早期トポラックで検出された台風になれなかった熱帯擾乱の特徴と環境場～台風発生最終条件～
3. 学会等名 平成29年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会 - 激甚化する台風災害の要因解明と減災へ向け - 」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 筆保弘徳・室井ちあし・西村修司・別所康太郎・小出直久・山口宗彦・吉田龍二
2. 発表標題 早期トポラックで検出された台風になれなかった熱帯擾乱の特徴と環境場～台風発生最終条件～
3. 学会等名 日本気象学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 筆保弘徳編著, 山田広幸, 宮本佳明, 伊藤耕介, 山口宗彦, 金田幸恵	4. 発行年 2018年
2. 出版社 ベレ出版	5. 総ページ数 242
3. 書名 台風についてわかっていること知らないこと ようこそ、そらの研究室へ!	

1. 著者名 筆保弘徳	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本図書センター	5. 総ページ数 96
3. 書名 天気のみツがめちゃくちゃわかる! 気象キャラクター図鑑	

1. 著者名 筆保 弘徳、山崎 哲、中村 哲、安成 哲平、吉田 龍二、釜江 陽一、下瀬 健一、大橋 唯太、堀田 大介	4. 発行年 2019年
2. 出版社 ベレ出版	5. 総ページ数 276
3. 書名 ニュース・天気予報がよくわかる気象キーワード事典	

1. 著者名 山川修治、常盤勝美、渡来靖	4. 発行年 2017年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 472
3. 書名 気候変動の事典	

1. 著者名 日下 博幸、藤部 文昭、吉野 正敏、木村 富士男	4. 発行年 2018年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 544
3. 書名 日本気候百科	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	吉田 龍二 (Ryuji Yoshida) (30625512)	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・特別研究員 (82401)	削除：2018年7月9日
研究協力者	別所 康太郎 (Bessho Kotaro)		
研究協力者	小出 直久 (Koide Naohisa)		
連携研究者	北本 朝展 (Kitamoto Asanobu) (00300707)	国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授 (62615)	
連携研究者	芳村 圭 (Yoshimura Kei) (50376638)	東京大学・生産技術研究所・教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	山口 宗彦 (Yamaguchi Munehiko) (80595405)	気象庁気象研究所・応用気象研究部・主任研究官 (82109)	
連携研究者	那須野 智江 (Nasuno Tomoe) (20358766)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門・グループリーダー (82706)	