

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H01283

研究課題名(和文) 台風進路に関わる「藤原効果」の再考

研究課題名(英文) Revisit to the "Fujiwhara effect" on a tropical cyclone track

研究代表者

伊藤 耕介 (Ito, Kosuke)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：10634123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,310,000円

研究成果の概要(和文)：複数の台風が存在する場合の進路について、数値モデルや再解析データに基づく研究を行った。古典的には、2つの台風はお互いの風によって、反時計回りに回転し、接近するとされていたが、本研究では、2つの台風がなす循環によって、対流活動が偏り、それによって時計回りに離反していく成分が生まれることが明らかとなった。これは、世界で初めて見いだされた作用であり、新たに3次元的な藤原効果と名付けることとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に、複数の台風が存在する場合の台風進路は複雑であるとされてきたが、本研究により、台風自身が成す循環の変化に伴う対流活動の偏りも、台風進路に影響を及ぼすことが明らかとなった。これは過去100年間信じられてきた藤原効果の描像を大きく変えるものであり、台風進路研究に新たな展開をもたらすものと評価できる。また、進路予測の観点では、対流活動の適切な表現も重要だということを意味している。本研究で得た知見には、防災・減災を進める上で有益なものが多く含まれている。積極的に論文出版や研究集会、ミーティングでの情報共有を図ったことで、今後の一般社会への貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We investigated the tracks of binary tropical cyclones (TCs) using numerical models and reanalysis dataset. Traditionally, binary TCs are thought to rotate cyclonically and approach to each other due to their winds. However, the analysis showed that the binary-induced circulation imposed the asymmetric convection leading the anticyclonic motion and repulsion. This was found for the first time in the world, and we named this as three-dimensional Fujiwhara effect.

研究分野：気象学

キーワード：台風 藤原効果 対流活動

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

台風の進路は、地球流体力学上・自然災害学上の重要なテーマであるが、依然として、進路の3日予報の誤差は平均で300km弱もある。そのため、台風進路に関わる現象を深く理解し、予測システムを改善していく必要がある。

進路に関わる現象として、2つの台風が接近した場合に、回転・近接のほか、追従や離反などの多様なパターンが見られることが知られている。一般には、これを渦と渦の相互作用について研究した藤原咲平博士にちなんで「藤原効果」と呼ぶ(Fujiwhara, 1923)。しかし、古典的な藤原効果は多様なパターンを全て説明したわけではない。台風を二つの正の有限振幅の渦度領域(低気圧性回転を持つ領域; 北半球を想定)とみなすとき、互いを渦度の重心を中心に反時計回りに回転させ、相互作用で接近させることは説明できる。しかしこのパターンは全体の1/3程度しか発生せず、それ以外のパターンが生じる理由は十分に理解されないままである。

また、近接する台風がある場合には、進路予報が外れやすいことが知られている。これは台風の近接時の特殊な状況を現在の予報システムが適切に反映していない可能性を示唆するが、その理由は明らかでない。これらの点は、気象学・自然災害学にとって基本的でありながら、未解決の重要な問題と言える。

### 2. 研究の目的

本研究の主な目的は、研究参画者らが持つ新たな視点を加え、台風の近接時に見られる多様なパターンを理解することである。また、その応用として、関連する話題についても研究を進め、台風進路予測の精度向上に貢献することも目的とした。藤原効果の理解については、特に3つの特徴に注目することとした(図1)。第一に、現実の台風は、中心付近の正の渦度領域から約1000km離れた地点に、負の渦度領域(高気圧性回転で特徴づけられる下降流域)を伴っているが、このことはあまり考慮されてこなかった。異なる極性を持った有限振幅・サイズの渦は互いを退け合う効果を持つため、運動パターンの多様性を生んでいる可能性がある。第二に、2つの台風の中心を結ぶ線上では、渦度の水平勾配が符号を変えるため、順圧不安定の必要条件が満たされている。この場合、わずかな変動が場を大きく変え、多様性の創出と誤差増大に寄与している可能性がある。第三には、熱力学的な効果である。環境場の水平風に鉛直シアが存在する場合、対流活動及びそれに伴う渦度生成は、台風中心に対して鉛直シアベクトルの前方から前方左側で偏在的に活発になる。台風が近接する場合、この効果により渦度生成の偏りが生じ、台風が移動する可能性がある。

### 3. 研究の方法

本研究の参画者は、台風物理学や渦力学を専門とする研究者および台風現業予報に関わる気象庁関係者である。前項で述べたような新機軸に注目しながら、複数の台風の接近時に見られる現象の理解や予測可能性を単純モデルに基づく理想化数値実験、現実的な高解像度シミュレーション、観測や再解析に基づくデータ解析により明らかにすることを試みた。また、一般的な台風進路の理解や下層渦を伴う停滞前線と台風の相互作用など、関連する研究も進めた。本プロジェクトの実施にあたり、幅広い立場の研究者が相互の研究の進捗状況を確認するため、年一回程度の全体ミーティングを開催するとともに、積極的に論文の出版や学会発表を行った。

### 4. 研究成果

本プロジェクトを通じて、「3次元的な藤原効果」と呼ばれる新たなメカニズムの発見を始めとして、多くの成果が得られた。

#### (1) 理想化実験の結果に基づく3次元的な藤原効果の発見

第一項で述べたように、古典的な藤原効果は、2つの台風が近接した際に互いの風の影響によ

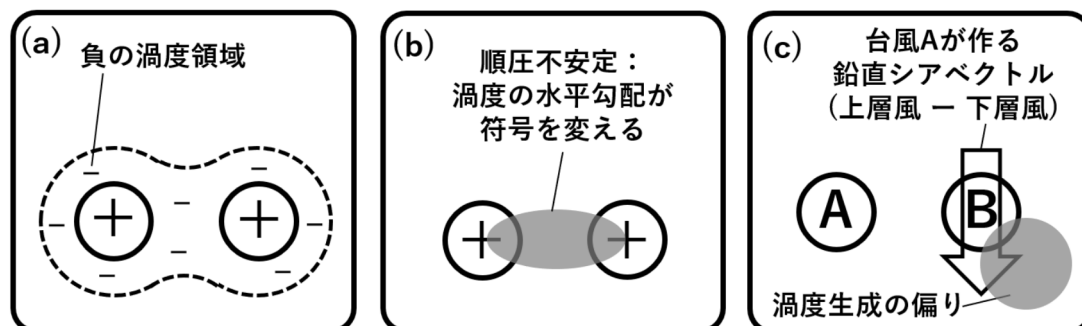


図1. プロジェクト開始時に本プロジェクトで想定した3つの新機軸。

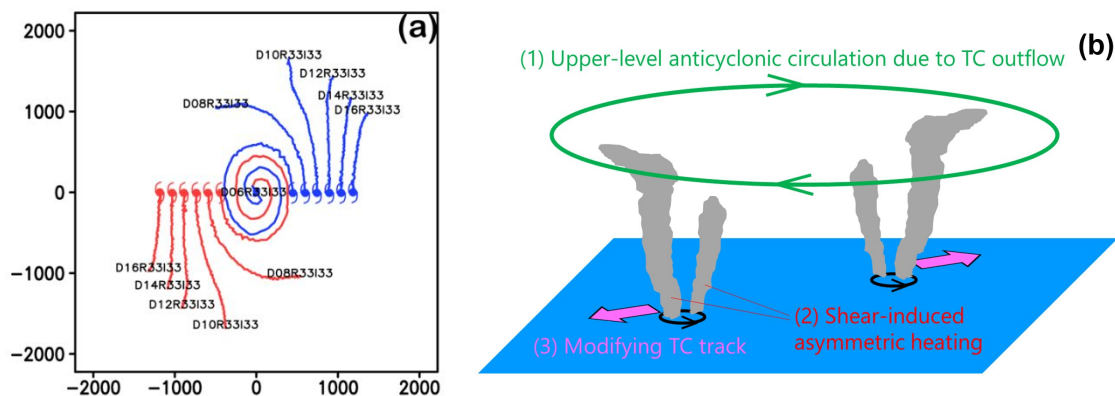


図 2. (a) 高解像度理想化数値実験の結果。初期時刻の 2 つ台風の中心位置の間隔を  $6^\circ$  から  $16^\circ$  まで変えた実験の台風進路を重ね書きしている。(b) 3 次元的な藤原効果の概念図。

り、渦度の重心を中心として、反時計回りに回転しながら接近するという効果であった。しかし、高解像度モデルを用いた相変化を伴う理想化数値実験を行ったところ、初期時刻において約 600 km 程度に近接させて実験を開始した場合にはそのような現象が再現されたのに対して、約 1000 km 以上離して台風を置いた場合には反時計回りの動きは徐々に弱くなり、むしろ、相手から離れていく成分が強くなった(図 2a)。

渦位方程式と呼ばれる方程式を用い、対流圏下層から中層にかけての風による移流や対流活動の偏りの台風移動に対する寄与を分析したところ、近接して台風を置いた場合には古典的な藤原効果で説明されるように、相手の台風の風に伴う移流の効果が支配的であった。一方、約 1000 km 以上離して台風を置いた場合には、対流活動が相手方の台風を正面に見て、後方左側に偏っていた。このような対流活動の偏りは、反時計回りの移動を押しとどめ、お互いの台風を引き離すように作用していた。本研究においては、台風以外の循環は存在しないため、対流活動の偏りは、台風自身が作り出したものである。さらに解析を進めたところ、このような対流活動の偏りは、2 つの台風から出る外流出が対流圏上層において直径 2000 km スケールの高気圧性循環を作り、それが、各々の台風にとっての鉛直シアとして働くことで生じていた(図 2b)。また、非断熱加熱を切った数値実験を実施すると、離反するように動いていた 2 つの台風は反時計回りに回転しながら、接近したのち併合した。

これらの結果は、2 つの台風自身が生み出す非断熱加熱の偏りが個々の台風の進路に影響することを明確に示すものであった。このような「3 次元的な藤原効果」は、過去に報告されたことはなく、本プロジェクトにおいて初めて見いだされたものであり、現実の台風進路の複雑な挙動を理解する上でも重要な成果と言える。本内容は 2019 年に台風研究会で初めて報告し(Lee and Ito, 2019)、2023 年に国際誌 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society の査読付き論文として発表した(Lee et al. 2023)。

## (2) データ解析に基づく 3 次元的な藤原効果の検証

理想化実験において、2 つの台風自身が成す非断熱加熱の偏りによって、反時計回りの回転が抑えられ、離反するという 3 次元的な藤原効果の存在が明らかになったことを受けて、現実の北西太平洋事例において、そのような効果がみられるかどうかをヨーロッパ中期予報センターが作成した再解析データセット ERA5 に基づいて検証した。過去 42 年分のデータを渦位方程式に基づいて解析した結果、現実の 2 つの台風の組においても、対流圏上層に高気圧性の循環が形成されており、それに伴って、対流活動は相手の台風を正面に見て後方左側に偏っていた。渦位方程式を用いた解析では、1000 km 以内に 2 つの台風が存在する場合は移流項が卓越していた一方で、1000-1500 km 離れている場合には非断熱加熱項が移流項に比べて約半分の寄与を持ち、1500-2000 km 離れている場合には非断熱加熱項と移流項が概ね釣り合うなど、3 次元的な藤原効果の影響が認められた。また、非断熱加熱項の寄与は、2 つの台風が接近してからの経過時間が長いほど顕著であった。理想化実験に比べて 3 次元的な藤原効果の影響が小さいのは、対流圏上層の高気圧性循環を 2 つの台風が作り出すのに数日程度の時間がかかることが一因として考えられる。本研究は、3 次元的な藤原効果が現実大気においても働いていることを示すとともに、相手方の台風から離れた側に降水が偏る傾向にあることや 1500 km 以上台風が離れた場合にも相互作用が起こっていることを明らかにした。本内容は、2023 年に国際誌 Monthly Weather Review の査読付き論文として発表した(Ito et al. 2023)。

また、2 つの台風が接近したのち離反した 2009 年台風第 17 号と第 18 号の事例について、渦度収支解析を行った。その結果、2 つの台風が生じた直後においては、主として風による移流の効果が台風進路に寄与していたが、2 つの台風が離反するフェーズにおいては、対流活動の偏りに伴う収束項の影響も大きくなっていった。このように、複雑とされてきた台風の挙動も 3 次元的な藤原効果の考慮により理解できることが示唆された。本内容は、日本気象学会沖縄支部研究発表会で発表した(西平・伊藤, 2023)。

### ( 3 ) 渦度分布の進路及び予測可能性への影響

台風は外側に下降流域を伴うため、平均的な台風中心付近の渦度分布を考えた場合には正の渦度領域の外側に負の渦度領域が存在することとなる。しかし、これまでの藤原効果に関する研究では、このような外側の負の渦度領域の影響はあまり研究されてこなかった。本プロジェクトでは単純化された順圧非発散モデルを用いて、このような負の渦度領域が進路と予測可能性に及ぼす影響を調べた。台風進路については、外側の負の渦度が強い場合に2つの台風が離反する傾向が強まった。また、2つの台風の中心を結ぶ直線上に順圧不安定の必要条件を満たす領域が現れるため、渦度の微小擾乱は拡大しやすく、進路予測が困難になる要因のひとつとなることが示唆された。ただし、2つの台風が十分に離れてしまうと、順圧不安定に伴う摂動の拡大は起こりにくくなるため、負の渦度領域が強すぎる場合には、不確実性の拡大が起きる期間は限定的であった。本内容については、2019年日本気象学会春季大会などで報告した(伊藤ほか, 2019)。

### ( 4 ) 停滞前線に伴う渦度と台風の渦度の相互作用

古典的な藤原効果は、同極の渦が存在する場合に互いを回転させ接近させるものとして説明されるが、停滞前線近傍にも対流圏下層を中心に正の渦が存在するため、これが台風の進路に影響する可能性が考えられる。そこで、本プロジェクトにおいて、藤原効果の応用として、停滞前線に伴う渦度が台風進路に及ぼす影響についても研究を行った。研究手法としては、渦位逆変換法と呼ばれる方法を再解析データ ERA5 に適用し、停滞前線の近傍における下層渦位に伴う流れ場を取り出した。そして、その流れ場を指向流とした場合に台風の進路にどれだけの影響が出るかを評価した。対象は2020年台風第14号とその北東に存在した停滞前線である。解析の結果、台風が停滞前線に接近した3日間において、停滞前線に伴う渦度は台風を約50 km 南東側へ動かしていたことが示された。この事例において、気象庁モデルは誤って台風進路を北西側に予報していたが、本研究は停滞前線を誤って弱く表現した場合にそのような北西バイアスを生じること示唆している。本内容の主な部分は、国際誌 SOLA の査読付き論文として発表した(Hirano et al. 2023)。

### ( 5 ) 台風のサイズが台風進路予報に及ぼす影響

台風がモンスーントラフの東側、かつ、太平洋高気圧の西側に存在する場合、台風は流れの分岐点付近に存在することになるため、進路の不確実性が大きくなる。そのような状況にある台風については、風速 15 m/s の半径で代表される台風のサイズに応じて、周囲の特徴との相互作用の強さが変化すると考えられる。本研究では、主要な気象機関の予測データおよび数値実験を元にしてその影響を調査し、台風サイズが大きい場合には、モンスーントラフとの結びつきが強くなり、西側に進む傾向があることが示された。この結果は、台風進路にとって、台風サイズの適切な表現も重要であることを示唆している。本内容は、国際誌 Meteorological Applications の査読付き論文として発表した(Tang et al. 2020)。

### ( 6 ) 台風進路に関する近年の研究のレビュー報告

研究代表者である伊藤は、プロジェクト初年度となる2018年度にWMO 9th International Workshop on Tropical Cyclonesの近年の台風進路に関する研究のレビューをレポートとして報告する機会を得た。台風の移動は、指向流が大きな影響を及ぼし、地球回転効果の緯度ごとの違いに伴う効果が副次的に作用すると理解されてきたが、近年の研究により、対流活動の偏りや地形の影響、台風通過時の海面水温低下などの様々な要因も影響することが明らかとなっていた。本報告のとりまとめによって最新の知見が整理され、台風進路に係る研究者との連携が進んだ。プロジェクト初年度にこのような機会が得られたことは、プロジェクト全体を推進することに大いに役立った。本報告の内容は、国際誌 Journal of the Meteorological Society of Japan に査読付き論文として発表した(Ito et al., 2020)。

また、本プロジェクト全体のまとめを加えた台風進路に関する総合的なレビューを気象庁の第14回数値モデル研究会において行った(伊藤, 2022)。

### ( 7 ) 偏西風状況下における海面水温と台風進路の関係

本プロジェクトの様々な研究により、鉛直シアに伴う対流活動の偏りが台風の進路に影響を及ぼし得ることが明らかとなった。そこで、本研究では、日本に大きな災害をもたらした2019年台風第19号(東日本台風)の台風進路に注目し、高解像度モデルのアンサンブルシミュレーションに基づいた詳細な解析を行った。その結果、海面水温が平年より高い海上で強く大きくなった台風は、対流圏上層に存在する偏西風帯に接近した際の対流活動の偏りが顕著であり、それに伴う北進成分も強くなることが明らかとなった。すなわち、台風発達期の海面水温の局所的な上昇は、偏西風帯における台風の移動を速めるように作用したと考えられる。本内容は国際誌 SOLA に査読付き論文として発表した(Ito and Ichikawa, 2021)。

### ( 8 ) 現業台風進路予報に関する研究

本プロジェクトでは、現業の台風進路予報に関する研究も多く行われた。国際誌 SOLA に発表した Fukuda and Yamaguchi (2019)では、マルチモデルアンサンブルにおける台風進路予報の不

確実性が、予報誤差の不確実性に高い相関を持つことを示し、予報円(台風の中心が内部に入る確率が70%となるように調整された円)がどうあるべきかについて定量化を図った。また、国際誌 *Journal of the Meteorological Society of Japan* に発表した Kawabata and Yamaguchi (2020) は、台風の進路予報の現業機関における表現方法として、予報円の代わりに予報楕円を用いることで台風の中心が内部に入る確率が70%となる領域の面積を16%(3日予報)、15%(4日予報)、24%(5日予報)減じることができることを示した。さらに、国際誌 *Tropical Cyclone Research and Review* に発表した Tang et al. (2021) では、台風進路予報の誤差が大きくなるパターンを4つのカテゴリー(台風外周域の循環と熱帯的な特徴の相互作用、台風強度の誤差、亜熱帯低気圧の広がり、中緯度トラフとの相互作用)に分類し、主要な気象機関の数値モデルの特徴について整理した。

#### (9) 関連するその他の研究

国際誌 *Journal of the Meteorological Society of Japan* に発表した Fujita et al. (2019) では、2015年に発生した鬼怒川豪雨のアンサンブル予測結果に関する解析を行い、雨量が近傍に存在した2つの台風の位置関係に大きく影響されることを示した。また、国際誌 *Journal of the Meteorological Society of Japan* に発表した Ito (2022) は、台風の進路が海面水温に影響を受けることを踏まえ、気象庁の日別海面水温解析(速報版)の品質調査を行った。その結果、台風の右側後方を中心に海面水温の正バイアスが存在することが明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 19件）

1. 著者名 ITO Kosuke	4. 巻 100
2. 論文標題 Bias in Near-Real-Time Global Sea Surface Temperature Analysis of Japan Meteorological Agency Associated with Tropical Cyclone Passages in Western North Pacific	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 321 ~ 341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2022-016	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 Tang Chi Kit, Chan Johnny C.L., Yamaguchi Munehiko	4. 巻 10
2. 論文標題 Large tropical cyclone track forecast errors of global numerical weather prediction models in western North Pacific basin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tropical Cyclone Research and Review	6. 最初と最後の頁 151 ~ 169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcrr.2021.07.001	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 Ito Kosuke, Ichikawa Hana	4. 巻 17A
2. 論文標題 Warm Ocean Accelerating Tropical Cyclone Hagibis (2019) through Interaction with a Mid-Latitude Westerly Jet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.17A-001	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 Fukuda Junya, Yamaguchi Munehiko	4. 巻 15
2. 論文標題 Determining 70 Percent Probability-Circle Radii of Tropical Cyclone Track Forecasts with Multiple Ensembles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 250 ~ 256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2019-045	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 KAWABATA Yasuhiro, YAMAGUCHI Munehiko	4. 巻 98
2. 論文標題 Probability Ellipse for Tropical Cyclone Track Forecasts with Multiple Ensembles	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 821 ~ 833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2020-042	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 Tang Chi Kit, Chan Johnny C. L., Yamaguchi Munehiko	4. 巻 27
2. 論文標題 Effects of the outer size on tropical cyclone track forecasts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Meteorological Applications	6. 最初と最後の頁 1 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/met.1888	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 Ito Kosuke, Wu Chun-Chieh, Chan Kelvin T. F., Toumi Ralf, Davis Chris	4. 巻 98
2. 論文標題 Recent Progress in the Fundamental Understanding of Tropical Cyclone Motion	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 5 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2020-001	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 FUJITA Mikiko, SATO Tomonori, YAMADA Tomohito J., KAWAZOE Sho, NAKANO Masuo, ITO Kosuke	4. 巻 97
2. 論文標題 Analyses of Extreme Precipitation Associated with the Kinugawa River Flood in September 2015 Using a Large Ensemble Downscaling Experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 387 ~ 401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2019-022	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 Hironori, Ito Kosuke, Miyamoto Yoshiaki	4. 巻 31
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) 10.1175/JCLI-D-17-0653.1	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 -

1. 著者名 Ito Kosuke, Yamada Hiroyuki, Yamaguchi Munehiko, Nakazawa Tetsuo, Nagahama Norio, Shimizu Kensaku, Ohigashi Tadayasu, Shinoda Taro, Tsuboki Kazuhisa	4. 巻 14
2. 論文標題 Analysis and Forecast Using Dropsonde Data from the Inner-Core Region of Tropical Cyclone Lan (2017) Obtained during the First Aircraft Missions of T-PARCI1	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 105 ~ 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2018-018	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 Maru Edward, Shibata Taiga, Ito Kosuke	4. 巻 9
2. 論文標題 Statistical Analysis of Tropical Cyclones in the Solomon Islands	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 227 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos9060227	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 Fukuda, Junichi; Yamaguchi Munehiko	4. 巻 21
2. 論文標題 Determining Probability-Circle Radii of Tropical Cyclone Track Forecasts with Multiple Ensembles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSMC Tokyo Typhoon Center Technical Review	6. 最初と最後の頁 -
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 無
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 Yamaguchi, M., H Titley, and L. Magnusson	4. 巻 -
2. 論文標題 Current and potential use of ensemble forecasts in operational TC forecasting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sub-topic report of WMO 9th International Workshop on Tropical Cyclones	6. 最初と最後の頁 -
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 無
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 Kosuke Ito, Chun-Chieh Wu	4. 巻 -
2. 論文標題 Recent progress in fundamental and theoretical studies on TC motion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sub-topic report of WMO 9th International Workshop on Tropical Cyclones	6. 最初と最後の頁 -
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 無
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 Hirano Soichiro, Ito Kosuke, Yamada Hiroyuki	4. 巻 19
2. 論文標題 Tropical Cyclone Track Modified by a Front Located to the Northeast	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 109 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2023-015	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 Ito Kosuke, Hirano Soichiro, Lee Jae-Deok, Chan Johnny C. L.	4. 巻 151
2. 論文標題 Three-Dimensional Fujiwhara Effect for Binary Tropical Cyclones in the Western North Pacific	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 1779 ~ 1795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/mwr-d-22-0239.1	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 Lee Jae Deok, Ito Kosuke, Chan Johnny C. L.	4. 巻 149
2. 論文標題 Importance of self induced vertical wind shear and diabatic heating on the Fujiwhara effect	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1197 ~ 1212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.4448	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 Ito Kosuke, Yamamoto Ren	4. 巻 10
2. 論文標題 Thermodynamic and kinematic structure of tropical cyclones in the western North Pacific based on ACARS/AMDAR	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2022.1058262	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 伊藤 耕介	4. 巻 70
2. 論文標題 台風予測精度向上に資する大気海洋相互作用とデータ同化の研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 347 ~ 356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24761/tenki.70.8_347	査読の有無 無
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 Holbach Heather et al. (Kosuke Ito (第12著者), Hiroyuki Yamada (第24著者))	4. 巻 12
2. 論文標題 Recent advancements in aircraft and in situ observations of tropical cyclones	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tropical Cyclone Research and Review	6. 最初と最後の頁 81 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcrr.2023.06.001	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 Horinouchi Takeshi, Tsujino Satoki, Hayashi Masahiro, Shimada Udai, Yanase Wataru, Wada Akiyoshi, Yamada Hiroyuki	4. 巻 151
2. 論文標題 Stationary and Transient Asymmetric Features in Tropical Cyclone Eye with Wavenumber-1 Instability: Case Study for Typhoon Haishen (2020) with Atmospheric Motion Vectors from 30-Second Imaging	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 253 - 273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/mwr-d-22-0179.1	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58件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 25件)

1. 発表者名 Ito, K., H. Ichikawa
2. 発表標題 Warm Ocean Accelerating Tropical Cyclone Hagibis(2019) Through Interaction with a Mid-latitude Westerly Jet
3. 学会等名 AOGS annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lee, J., K. Ito, J. Chan
2. 発表標題 Three Dimensional Aspects of the Fujiwhara Effect
3. 学会等名 AOGS annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lee, J., K. Ito, J. Chan
2. 発表標題 Three Dimensional Aspects of the Fujiwhara Effect
3. 学会等名 JpGU Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lee, J., K. Ito, J. Chan
2. 発表標題 Three Dimensional Aspects of the Fujiwhara Effect
3. 学会等名 34th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lee, J., 伊藤耕介, J. Chan
2. 発表標題 3次元的な藤原効果
3. 学会等名 日本気象学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平野創一朗, 伊藤耕介
2. 発表標題 前線が台風の進路に及ぼす影響
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lee, J., K. Ito, J. Chan
2. 発表標題 Binary Tropical Cyclones in a Three-Dimensional Idealized Framework
3. 学会等名 JpGU-AGU joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤耕介, 市川花
2. 発表標題 海面水温偏差が中緯度偏西風ジェットとの相互作用を通じて台風Hagibis(2019)の移動速度に及ぼした影響
3. 学会等名 台風研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤耕介, 市川花
2. 発表標題 海面水温偏差が中緯度偏西風ジェットとの相互作用を通じて台風Hagibis(2019)の移動速度に及ぼした影響
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jae-Deok Lee, 伊藤耕介, J. Chan
2. 発表標題 3次元的な藤原効果
3. 学会等名 熱帯気象研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口宗彦
2. 発表標題 台風予報改善のための研究の最前線 ~ 社会の多様なニーズに応える ~
3. 学会等名 気象研究所成果発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口宗彦
2. 発表標題 台風進路予報における予報円の作成手法の改善
3. 学会等名 2019年度日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川端康弘、山口宗彦
2. 発表標題 台風進路予報における予報楕円
3. 学会等名 2019年度日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Munehiko Yamaguchi
2. 発表標題 Recent Research and Development at JMA to Improve Typhoon Forecasts
3. 学会等名 The International Workshop on Tropical Cyclone Ocean Interaction in the Northwest Pacific 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ito, H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki
2. 発表標題 Analysis and forecast using dropsonde data from inner-core region of tropical cyclones obtained during the aircraft missions of T-PARCII
3. 学会等名 Observational campaigns for better weather forecasts (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Lee, K. Ito, J. Chan
2. 発表標題 Binary Tropical Cyclones in a Three-Dimensional Idealized Framework
3. 学会等名 JpGU-AGU joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤耕介、山口宗彦
2. 発表標題 「藤原効果」に関わる特異ベクトル
3. 学会等名 2019年度日本気象学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤耕介
2. 発表標題 台風の航空機観測を用いた同化・予測実験
3. 学会等名 第23回データ同化夏の学校
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 比嘉未雅、伊藤耕介
2. 発表標題 気象庁非静力学モデル(NHM)を用いた台風Chanthuの進路予報の大外し事例の研究
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jae-Deok Lee、伊藤耕介
2. 発表標題 Tropical Cyclone Binary Interaction on the Idealized Three-dimensional framework: Asymmetry of Diabatic Heating
3. 学会等名 台風研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤耕介、山口宗彦
2. 発表標題 藤原効果に関わる特異ベクトル
3. 学会等名 第二回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高村亮宏、伊藤耕介
2. 発表標題 航空機観測のデータを用いた2017年台風第 21号の構造解析
3. 学会等名 気象学会沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市川花、伊藤耕介
2. 発表標題 2019年台風第19号の海面水温偏差に対する感度実験
3. 学会等名 気象学会沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2020年



1 . 発表者名 Ito, K., H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, K. Tsuboki
2 . 発表標題 Analysis and Forecast Using Dropsonde Data from the Inner-Core Region of Tropical Cyclone Lan (2017) Obtained during the First Aircraft Missions of TPARCII
3 . 学会等名 ICMCS-XIII (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Seko, H., M. Kunii, S. Yokota, Y. Sawada, K. Okamoto, K. Ito and K. Shimoji
2 . 発表標題 Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA
3 . 学会等名 ICMCS-XIII (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Maru, E., and K. Ito
2 . 発表標題 Statistical Analysis of Tropical Cyclones in the Solomon Islands
3 . 学会等名 JpGU Meeting 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki
2 . 発表標題 Overview of T-PARCII aircraft observations of typhoons in 2017 and 2018
3 . 学会等名 ICMCS-XIII (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki
2. 発表標題 Improvements in the forecast of TC Lan (2017) by assimilating dropsondes from T-PARCI and DOTSTAR
3. 学会等名 JpGU Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ito, K., H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, and K. Tsuboki
2. 発表標題 Analysis and Forecast Using Dropsonde Data from the Inner-Core Region of Tropical Cyclone Lan (2017) Obtained during Aircraft Missions of T-PARCI
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Data Assimilation 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 比嘉 未雅, 伊藤耕介
2. 発表標題 気象庁非静力学モデルを用いた台風進路予報の大外し事例の研究
3. 学会等名 日本気象学会沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤耕介
2. 発表標題 台風進路に関する近年の基礎研究
3. 学会等名 第二回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤耕介, 山田広幸, 山口宗彦, 中澤哲夫, 長浜則夫, 清水健作, 篠田太郎, 坪木和久
2. 発表標題 台風Lan(2017)の航空機観測を用いた同化・予測実験
3. 学会等名 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口宗彦, 石橋俊之, 中澤哲夫, 伊藤耕介, 山田広幸, 大東忠保, 清水健作, 長浜則夫, 篠田太郎, 高橋暢宏, 坪木和久
2. 発表標題 気象庁全球数値予測システムとT-PARCIIDロップゾンデを用いた2018年台風第24号を対象とした観測システム実験
3. 学会等名 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤耕介
2. 発表標題 2017年台風21号の航空機観測を用いた強度解析と予測実験
3. 学会等名 第一回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口宗彦, 石橋俊之, 中澤哲夫, 伊藤耕介, 山田広幸, 大東忠保, 篠田太郎, 高橋暢宏, 坪木和久
2. 発表標題 Observing System Experiment using T-PARCIID dropsondes and JMA Global Forecasting System and Development of Sensitivity Analysis Guidance for Tropical Cyclone Intensity
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamaguchi, M., H Titley, and L. Magnusson
2. 発表標題 Current and potential use of ensemble forecasts in operational TC forecasting
3. 学会等名 WMO 9th International Workshop on Tropical Cyclones (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Ito, Chun-Chieh Wu
2. 発表標題 Recent progress in fundamental and theoretical studies on TC motion
3. 学会等名 Sub-topic report of WMO 9th International Workshop on Tropical Cyclones (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口宗彦
2. 発表標題 スマート社会を支える台風予報の高度化
3. 学会等名 環境研究シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤耕介
2. 発表標題 Three-dimensional Fujiwhara Effect
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kosuke Ito
2. 発表標題 Three-dimensional Fujiwhara Effect
3. 学会等名 The First KU-NCU Joint Workshop (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kosuke Ito, Soichiro Hirano, Jae-Deok Lee, Johnny C. L. Chan
2. 発表標題 Three-dimensional Fujiwhara Effect
3. 学会等名 International Workshop on Typhoon Science and Technology Research Center (IWTRC) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kosuke Ito, Soichiro Hirano, Jae-Deok Lee, Johnny C. L. Chan
2. 発表標題 Three-dimensional Fujiwhara Effect in the western North Pacific
3. 学会等名 AOGS annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kosuke Ito
2. 発表標題 Three-dimensional Fujiwhara Effect for Binary Tropical Cyclones
3. 学会等名 JpGU annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kosuke Ito
2. 発表標題 Three-dimensional Fujiwhara Effect
3. 学会等名 ICMCS-XV (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Yamauchi, Kosuke Ito
2. 発表標題 On the Alleged Tropical Cyclonegenesis Induced by a Pre-existing Tropical Cyclone
3. 学会等名 AOGS annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤耕介, 山本蓮
2. 発表標題 民間航空機観測データを用いた台風構造の解析
3. 学会等名 JpGU annual meeting
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤耕介, 山本蓮
2. 発表標題 民間航空機観測データを用いた台風構造の解析
3. 学会等名 日本気象学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤耕介
2. 発表標題 数日先の台風予報はどこまで改善できるか？
3. 学会等名 日本気象学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西平楓, 伊藤耕介
2. 発表標題 接近・離反型の藤原効果
3. 学会等名 日本気象学会沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山内健司、伊藤耕介
2. 発表標題 いわゆる先行台風型の台風発生について
3. 学会等名 日本気象学会沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤耕介
2. 発表標題 台風進路予報改善に資する近年の諸研究
3. 学会等名 第14回気象庁数値モデル研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤耕介, Jae-Deok Lee, Jonny Chan
2. 発表標題 北西太平洋における3次元な藤原効果
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山内健司、伊藤耕介
2. 発表標題 いわゆる先行台風型の台風発生について
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田広幸、伊藤耕介、平野創一朗、坪木和久
2. 発表標題 ドリップゾンデとラジオゾンデ観測による気温偏差と台風強度との関係
3. 学会等名 日本気象学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroyuki Yamada, Soichiro Hirano, Kosuke Ito, Kazuhisa Tsuboki
2. 発表標題 Civilian Aircraft Ability to Monitor Tropical Cyclone Intensity
3. 学会等名 International Workshop for TyphoonShot (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Hiroyuki Yamada, Kosuke Ito, Soichiro Hirano, Kazuhisa Tsuboki
2. 発表標題 Relationship Between the Warm Core and Typhoon Intensity Based on in Situ Measurements
3. 学会等名 International Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather ( (国際学会) )
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroyuki Yamada, Kosuke Ito, Soichiro Hirano, and 14 autors
2. 発表標題 The warm-core structure of typhoons as observed through the T-PARCII aircraft reconnaissance and upper-air soundings
3. 学会等名 JpGU annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田広幸, 伊藤耕介, 平野創一朗, 他14名
2. 発表標題 航空機観測により捉えた台風Mindulle(2021)の暖気核構造
3. 学会等名 日本気象学会春季大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 筆保 弘徳、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	

1. 著者名 山田広幸	4. 発行年 2022年
2. 出版社 国立科学博物館	5. 総ページ数 3
3. 書名 国立科学博物館情報誌 milsil [ ミルシル ] 2022年9月 (通巻89号) 特集 台風～地球温暖化で変化する台風～	

〔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	山田 広幸  (Yamada Hiroyuki)  (30421879)	琉球大学・理学部・教授   (18001)	
研究分担者	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)	

	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
研究協力者	石岡 圭一  (Ishioka Keiichi)	京都大学	
研究協力者	山崎 哲  (Yamazaki Akira)	海洋研究開発機構	
研究協力者	下河邊 明  (Shimokobe Akira)	気象庁	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	氏家 将志  (Ujiie Masashi)	気象庁	
研究協力者	上田 学  (Ueda Manabu)	気象庁	
研究協力者	沢田 雅洋  (Sawada Masahiro)	気象庁	
研究協力者	チャン ジョニー  (Chan Johnny)	香港城市大	
研究協力者	イ チェドク  (Lee Jae-Deok)	琉球大学	
研究協力者	平野 創一郎  (Soichiro Hirano)	琉球大学	

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1件

国際研究集会 ICMCS-XIII	開催年 2019年～2019年
----------------------	--------------------

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

その他の国・地域	香港城市大			
韓国	Kyungpook National University			
その他の国・地域	国立台湾大学			
英国	インペリアル・カレッジ・ロンドン			
中国	Sun Yat-sen University			
米国	National Center for Atmospheric Research			