

気象衛星による“台風の日”の中の風の観測に初めて成功

～台風の日強度推定の向上への貢献に期待～

ポイント

- ・「ひまわり 8 号」の機動観測により、静止気象衛星による台風の日の中の風速の観測に初めて成功。
- ・短時間で強度変化と、それに関わる日の中の渦を検出。
- ・社会に発信される台風情報（強度・構造）の改善と、進路・強度予報の向上につながると期待。

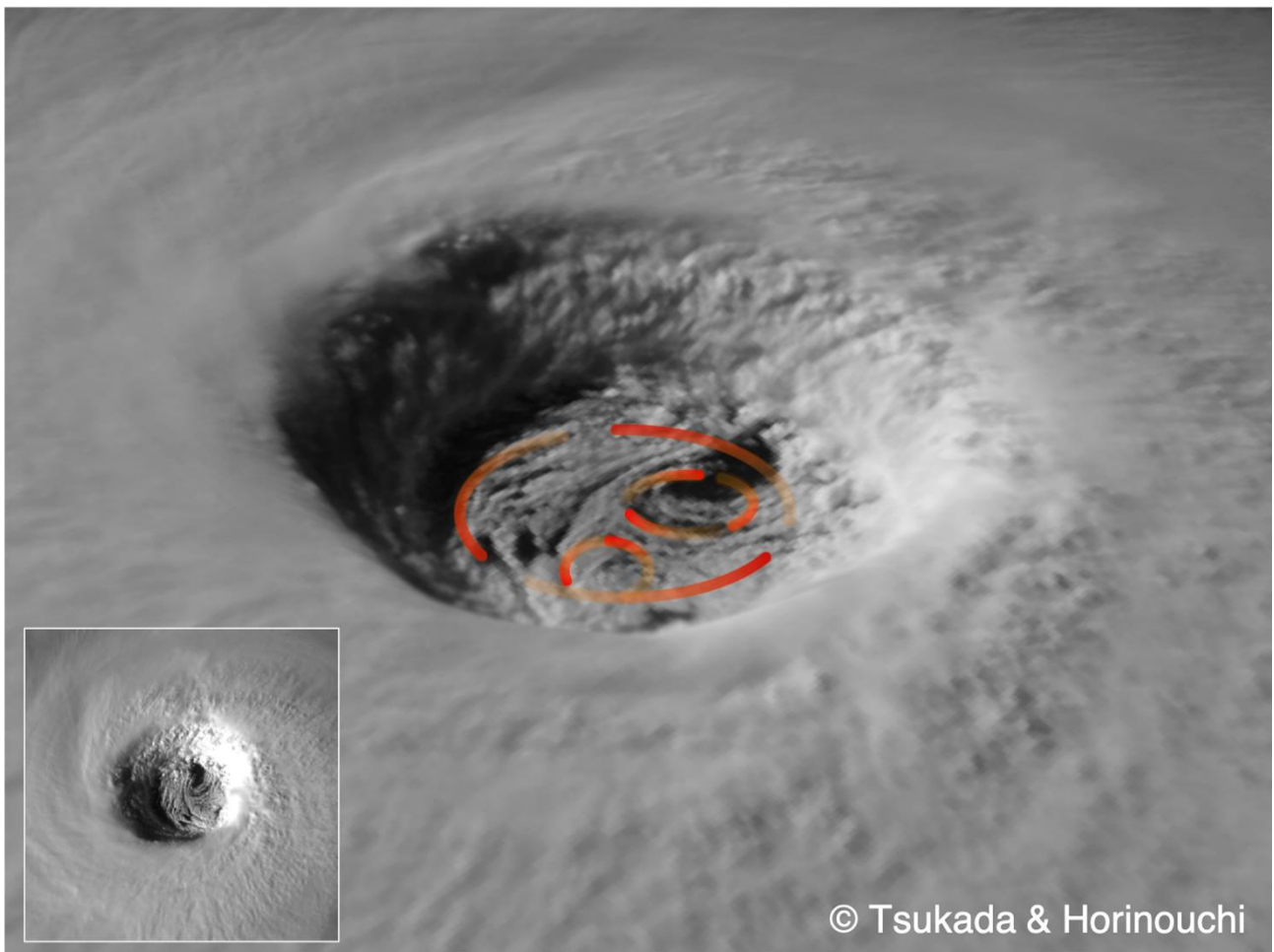
概要

北海道大学大学院環境科学院博士後期課程 1 年の塚田大河氏と、同学院及び同大学院地球環境科学研究科の堀之内武教授は、「ひまわり 8 号」をはじめとする新世代の静止気象衛星で実現した高頻度の観測を利用して、台風の中の雲の動きから風を観測する新しい手法を開発しました。これを、超大型で、日本の研究グループによる航空機観測が実施された 2017 年の台風 21 号の観測データに適用し、日の中の雲の動きから回転の速さの分布を導くことに成功しました。日の中の雲は、大気境界層と呼ばれる、地表面から高度 2 km 程度までの領域の上端付近に主に存在します。台風に伴う回転運動は、境界層の上端付近で最も強くなるので、ここでの風速の水平分布が得られることは、台風の日強度 8 や構造の把握に役立ちます。また、この高度の風速は地表付近での風速との対応も良いため、被害予想にも役立つことが期待されます。

本研究によって、日の中にメソ渦と呼ばれる小さな渦が繰り返し発生し、回転の速さが数時間で増加したことが明らかになりました。これは、メソ渦による混合によって台風の日構造が変化したことによると考えられます。このような過程が、観測から確認されたのは世界で初めてです。

研究グループは、気象庁気象研究所、横浜国立大学などと共同で、新世代静止気象衛星の観測を台風の日診断と研究に活用する世界的にもユニークなプロジェクトを実施しており、台風の日構造を診断しその変動要因を明らかにすることに加えて、社会に発信される台風情報の改善につなげて、防・減災に貢献することを目指しています。その実現には、検証手段となる航空機観測を充実させることが重要であるため、最近日本学術会議が発表した、航空機観測に関する大型研究マスタープランの実現が待たれます。

なお、本研究成果は、2020 年 5 月 28 日（木）公開の *Geophysical Research Letter* 誌に掲載されました。



イメージ図 ひまわり 8 号による 2017 年の台風 21 号の可視画像（左下にはめこみ）を 3 次元モデリングソフトによって立体的に投影したもの。目の外の雲は高さ 15 km ぐらまで広がる背の高い雲ですが、目の中の雲は海面から 2~3 km までの大気境界層内にあります。その間には、斜めに傾いた「目の壁雲」があり、外の高い雲に繋がっています。この画像では、左側の壁雲は日陰となって暗くなっています。今回の研究では、目の中の雲の動きを捉えて、台風を中心から外に向けて回転の速さがどのように変化していたかを詳細に求め（図のオレンジの軌跡の外側のもので視覚的に表現）、求めた回転に重なる局所的な運動をさらに求めました（そのようにして抽出される「メソ渦」を、内側の小さなオレンジの軌跡で表現）。[本図は加工しなければ転載自由。なお、同様な図が、今後出版される Geophysical Research Letters 誌の冊子体の表紙に掲載される見込みです。]

【背景】

台風の観測と強度・構造推定の現状

台風はその一生のほとんどを海上で過ごします。このため、主な観測手段は人工衛星になります。リアルタイムで広く社会に発信される台風の強度推定は、主にドボラック法という推定手法によって行われています。これは、静止気象衛星の赤外画像を担当者がみて、予め決められたパターンに当てはめて中心気圧と最大風速を推定する主観的な診断法です。しかし、ドボラック法は時に大きな誤差を生むことがよく知られており、その改善ないしは新しい手法の開発が望まれています。

新世代静止気象衛星による新たな可能性

2015 年の夏に運用を開始した「ひまわり 8 号」は、第 3 世代と呼ばれる新世代の静止気象衛星の最

初の衛星です（他にアメリカの GOES-R 衛星が運用中）。第 3 世代の気象衛星には、特定の領域を高頻度で観測する機能があります。ひまわり 8 号ではそれを用い、台風を追尾して 2.5 分間隔で撮像する「機動観測」が行われています。

台風の機動観測は、研究に大きく役立ち、強度・構造推定を一新する可能性があります。高頻度観測により、台風の中で生起する現象が追えるようになりました。それを定量化できれば、様々な研究や診断が可能になります。例えば、台風の回転速度がわかれば、被害の指標として重要な風速が診断できます。従来の静止衛星でも、雲の動きから風を推定し、天気予報に活用されていましたが、これまでの手法では、台風の中心付近や下層の風があまり求まらないことが知られており、高頻度観測を活かす新たな手法が求められています。

台風の機動観測を活かしたこれまでの研究

台風の機動観測の研究応用の開拓はまだ始まったばかりです。堀之内教授は、2019 年に気象庁気象研究所、横浜国立大学を分担機関とする研究プロジェクトを発足させ、研究に取り組み始めました。これまでに、台風発達期に発生する「対流バースト」と呼ばれる現象に伴って大気重力波という波動が発生することを発見し、その現象の観測が台風の発達過程の診断に応用できる可能性を提唱しました（参考：関連論文）。これが、新世代静止気象衛星による台風観測の機動観測を活かした世界初の研究になります。本研究によって、さらに大きな波及効果が期待されます。

【研究手法】

台風中心を中心とする円周上の角度と時間という 2 つの座標に沿って、可視光または赤外線雲画像に対し 2 次元のフーリエ変換という数学的な処理を適用します。それを回転角速度（回転の速さ）の範囲毎に分けて足し合わせて比較し、最も卓越する回転角速度を求めます。円の半径、即ち中心からの距離を、一定の間隔で設定して同じことを繰り返すことで、回転角速度の分布を求めることができます。また、使用した雲がどの高さにあるかは、赤外画像から求めることができます。従来の雲追跡手法は、十分に長く時間があいた少数の画像の比較によって行われてきました。今回の手法は、短時間間隔で得られた多数の画像を同時に使うことで安定的に結果が得られることが特徴的です。

この手法により全体的な回転角速度が求まると、今度はその回転を相殺するように元画像（正確には衛星が台風を斜めにみる効果を補正したもの）を逆回転させます。すると、台風の全体的な回転によって見にくくなっていた、より微細な動きが可視化されます。それを面的に抽出できる手法は複数ありますが、今回は目視による雲追跡を行いました。

本研究では、開発した手法を 2017 年の台風 21 号（名称：Lan）の目の中の運動に適用しました。この台風は、名古屋大学、琉球大学などのグループにより、航空機によるドロップゾンデ観測が行われました。ドロップゾンデは航空機から投下される気象センサーで、風速も観測します。上記の手法で求めた結果をドロップゾンデの計測値と比較しました。

なお、台風の目の中は晴れていると言われますが、海上にある台風の目の中には必ずといっていいほど大気境界層内に雲があります（雲頂は主に、回転が最も強い境界層上端付近にあります）。ただし、イメージ図から見て取れるように晴れ間もよくあります。

【研究成果】

航空機観測が行われた 2017 年 10 月 21 日の可視光による観測データを用い、目の中の回転角速度の分布を 30 分毎に求めました。結果は、ドロップゾンデ観測と整合的でした。本研究により、同日日中

の8時間の間に、台風を中心付近の回転が約15%も速くなったことが明らかになりました。それは、観測期間中に発生した複数のメソ渦（目よりも小さなスケールの渦）によって、目の周辺域のより強い回転が伝えられることで起こったことが示唆されました。

目の中の風速の観測手段は、これまで非常に限られていました。代表的な手段は航空機観測ですが、太平洋では米軍による観測が1987年に終了して以降、ほとんどなされていません。今回の台風では、近年発足した大型観測プロジェクトにより特別に観測が行われましたが、目の中には2回短時間突入したのみで、時間変化までは調べることができません。今回の研究では、時間的に均質な連続観測を使うことで、海上での数時間スケールでの角速度変化を初めて捉えました。さらに、目の中のメソ渦の強度（具体的には渦度と呼ばれる指標）が定量できたのも世界で初めてです。近年、数値シミュレーションに基づいて、メソ渦が台風の強度や構造に影響をあたえることが指摘されるようになりましたが、今回初めて、その現れと考えられる現象が観測から捉えられました。

【今後への期待】

本研究は、新しい手法を提案し、その有効性を一つの台風のケースで実証するものでした。研究グループは、今後、2015年のひまわり8号運用開始以降の多数の台風に応用しようとしており、メソ渦のさらなる定量化にも取り組んでいます。さらに、上に述べた北海道大学、気象庁気象研究所、横浜国立大学のグループ全体で、新世代静止衛星の台風研究への活用の開拓と数値シミュレーションによる研究を進めています。それを通して、台風の理解が大きく進むことが期待されます。

本研究の成果は、今後台風の診断に大きな影響を与えると期待されます。現在世界の気象機関から発信される台風の強度情報は、上述のドボラック法に大きく依存しています。台風には多様性があり、主観的パターン分類による単純化には限界がありますが、ドボラック法では、割り切って単純化することで、大外れをなくしているのが特徴です。それに対し、本研究で導いたような物理的な指標を活用することで、台風の多様性にきめ細かに対応し、より精度の高い強度・構造の推定ができる可能性があります。研究グループのリーダーである堀之内教授は、将来の台風の強度・構造推定は現在とは全く異なる原理で行われるようになると考えています。具体的には、人工衛星による観測から求まる物理的なデータを数値シミュレーションに取り込む「データ同化」が中心になると考えています。今回の成果は、その重要な契機となると期待されます。台風の診断がよりよくできるようになると、その時点での地表風速がよりよく推定できるようになるだけでなく、天気予報の「初期値」が改善することで、進路や強度の予報の改善も期待されます。

上記の革新を実現するには、検証データが必要です。具体的には、航空機を用いて台風の中をより直接的に観測し、静止衛星を用いる手法を検証して改善するということを繰り返すことが必要になります。最近、日本気象学会が提案した航空機による観測計画が、日本学術会議が提唱する大型研究マスタープランに採択されました。研究グループでは、この計画の実現と協働を心待ちにしています。

論文情報

論文名 Estimation of the tangential winds and asymmetric structures in typhoon inner core region using Himawari-8 (ひまわり 8 号を用いた台風の内側コア領域の接線風と非対称構造の見積)

著者名 塚田大河¹, 堀之内武^{1,2} (¹北海道大学大学院環境科学院, ²北海道大学大学院地球環境科学研究院)

雑誌名 *Geophysical Research Letters* (地球物理学の専門誌)

D O I 10.1029/2020GL087637

公表日 2020 年 5 月 28 日 (木) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 教授 堀之内武 (ほりのうちたけし)

T E L 011-706-2366 メール horinout@ees.hokudai.ac.jp

U R L <http://www.oes.hokudai.ac.jp/people/horinout/>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

【参考：関連論文（ひまわり 8 号の高頻度観測を始めて活用した台風研究）】

論文名 Convective bursts with gravity waves in tropical cyclones: case study with the Himawari-8 satellite and idealized numerical study (台風における大気重力波を伴う対流バースト：ひまわり 8 号によるケーススタディと理想条件での数値計算による研究)

著者名 堀之内武¹, 嶋田宇大², 和田章義² (¹北海道大学大学院地球環境科学研究院, ²気象庁気象研究所)

雑誌名 *Geophysical Research Letters* (地球物理学の専門誌)

D O I 10.1029/2019GL086295

公表日 2020 年 2 月 3 日 (オンライン公開)