

2018年10月31日

報道関係者各位

慶應義塾大学

## 台風の急激な構造変化のメカニズムを解明 — 台風の強度予報の精度を飛躍的に向上できる可能性 —

慶應義塾大学の宮本佳明環境情報学部専任講師、杉本憲彦法学部准教授らの研究チームは、長年の謎であった台風の構造が急激に変化する現象について、気象学の基礎理論を基に新しい理論を構築し、メカニズムの解明に成功しました。

発達した台風には、中心付近に雲のない“眼”と、それを取り囲むリング状の雲“眼の壁雲”が存在しています。強い台風では、中心より外側に新たにもう一つリング状の雲“外側壁雲”が形成することがあります。外側壁雲の形成により台風の構造が急激に変化し、強度が劇的に変化するため、台風の強度予報が非常に難しくなります。しかし、その形成メカニズムは台風研究の中でも最大の謎の一つとされ、近年世界中で研究されてきましたが、未だ解明されていませんでした。今回の研究では、教科書にも載っている気象学の基礎理論を基に、これまでにない全く新しい視点から、この形成メカニズムを説明する新しい理論の構築に成功しました。この結果を基にすれば、台風の強度予報の精度を飛躍的に向上できる可能性があります。

本研究の成果は、米国気象学会（AMS）発行の学術雑誌 Journal of the Atmospheric Sciences のオンライン版に掲載されました。

### 1. 本研究のポイント

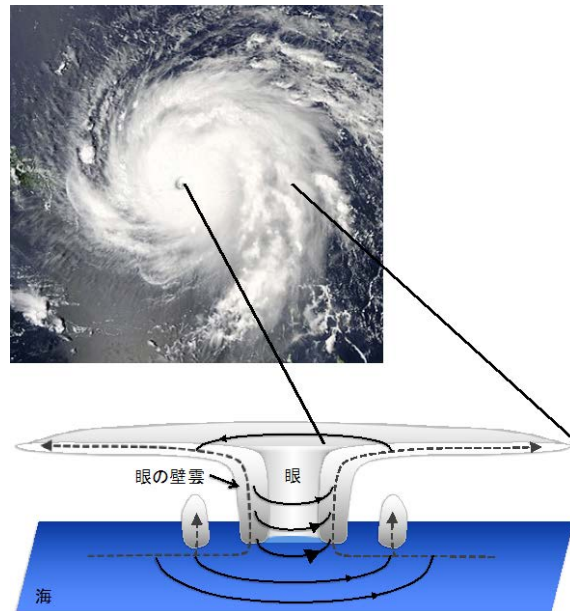
- ・台風の急激な構造変化のメカニズムを説明する新しい理論を構築
- ・複数の台風シミュレーションを行って、構築した理論の有用性を確かめた
- ・本結果を基にすることで、台風の強度予報の精度を飛躍的に向上できる可能性がある

### 2. 研究背景

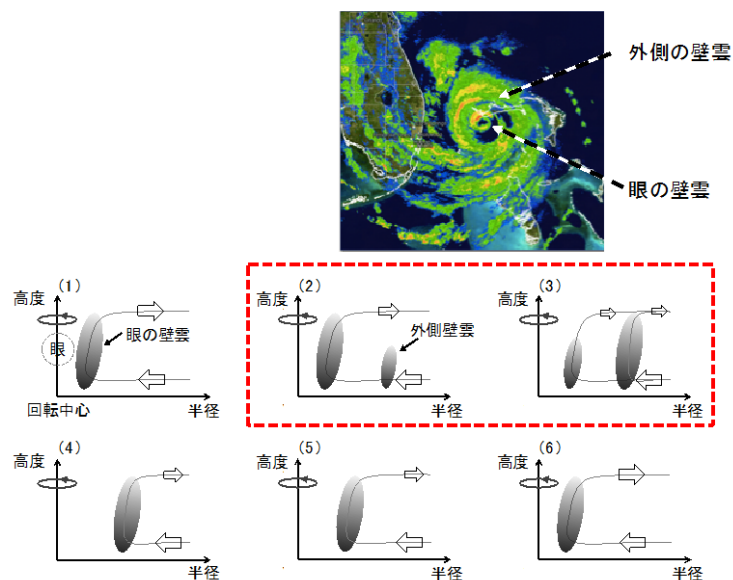
台風による災害を未然に防ぐには、精度の高い台風の進路、および、強度の予報が必要です。予報技術やコンピュータの進展により、進路予報の精度は向上してきた一方、強度の予報には課題が残っています。その主要因の一つは、以下のように台風が急激に構造を変えることで強度が劇的に変わる現象があり、その理解が不十分なためです。

台風には眼を取り囲む“眼の壁雲（※1）”と呼ばれるリング状の雲が存在し（図1）、この眼の壁雲で海から流入した水蒸気が凝結すること（水滴になること）で台風が動いています。つまり、眼の壁雲は台風のエンジンのようなもので、台風の強度も壁雲での凝結量に強く依存します。強い台風の中には、突然その外側に新たにもう一つリング状の雲が生じることがあり、“外側壁雲”の形成と呼ばれます（図2上）。すると、周囲から集めた水蒸気が新しい外側の雲に取られてしまい、元々あった内側の雲への供給が絶たれるため、内側の壁雲が減衰する一方、外側の壁雲が成長して、後に内側と入れ替わります（図2下）。つまり外側に壁雲が形成することがきっかけで、一気に台風の構造・強度が変化するのです。この一連の過程はこれまでも多く観測されてきましたが、いつ・どこで“外側壁雲”が形成されるのか、未だ解明されていませんでした。

この外側壁雲の形成過程は、科学的にも、天気予報の面でも非常に重要なため、台風の物理的研究の中でも最大の謎の一つとして、特にこの10年の間、世界中で研究されてきました。それにもかかわらず、外側壁雲の形成を予測できる理論はありませんでした。



▲図1：通常の(外側壁雲が形成する前の)台風の構造を示す模式図。(上)衛星による台風の雲画像。(下)台風の中心付近の雲と流れ場の鉛直構造。

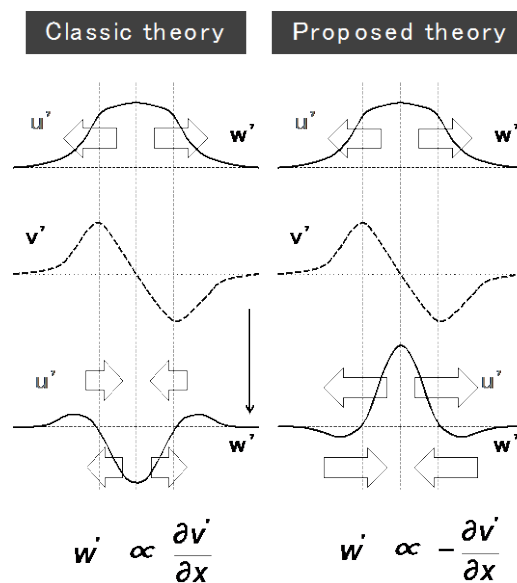


▲図2：外側壁雲が形成する過程の台風の構造を示す模式図。(上)中心外側に第二の壁雲が形成したときのレーダー画像。(下)外側壁雲が形成する前後の雲の構造と回転風速の変化を示す鉛直構造(半径・高度断面図)の時系列(時間変化図)。外側に壁雲が形成し(2)、外側から供給される水蒸気を獲得して成長すると共に(3)、元々あった内側の壁雲が減衰して(4,5)、やがて置き換わる(6)。今回の研究では、いつ・どこで外側の壁雲が形成するのかを予測する、新しい理論の構築に成功した。

### 3. 研究内容・成果

研究チームは、気象学の教科書にも載っているエクマン理論（※2）を発展し、台風の風の場合がある条件を満たすと、リング状の上昇流（外側の壁雲）が形成されるという解が存在することを発見しました。この上昇流は、地表面の摩擦によって駆動される地面付近の流れ（高度数 100 m）と、対流圏下層（高度数 km）の流れが相互に作用し合うことで形成されます（図3）。既存のエクマン理論では、上昇流と水平方向の流れ分布が正の関係を持つことが重要なのですが（図3左）、今回の研究では、発達した台風ではこの関係が逆転し得ることを発見しました（図3右）。一度この関係が逆転すると、エクマン理論で上昇流を弱めるように働いていたメカニズムが、一変してむしろ上昇流を強めるように働き、短時間の間に非常に強い上昇流を作ります。強い上昇流域には雲ができ、それが壁雲へと成長するというわけです。

これは非常にシンプルな考えであるのですが、これまで誰も考えてきませんでした。この理論で予測される新たな壁雲形成の位置やタイミングは、これまでに観測されてきた値と非常に良く一致していることが分かりました。また、複数の台風のシミュレーションを行って検証したところ、外側に新たな壁雲が形成する数時間前から、この理論を用いて予測が可能であることが分かりました。



▲図3：既存のエクマン理論(左)と今回の研究で提案した理論(右)。ある上向きの流れ ( $w'$ ) が与えられると（図上段）、その上側で  $w'$  の極大の両脇に向かう流れ ( $u'$ ) が生じ、この  $u'$  によって紙面に向かう流れ ( $v'$ ) が生じる（図中段）。エクマン理論では、この  $v'$  から、最初に与えた  $w'$  を弱めようとするような  $w'$  の応答が生じる（図下段）。これは、 $w'$  と  $v'$  の関係が正であるためである（図下）。しかし今回の研究で、台風の風の分布がある条件を満たすと、 $w'$  と  $v'$  の関係が負になり、この時は、最初に与えた  $w'$  をむしろ強めようと働き、一連の過程も巻き込んだ正のフィードバックがかかるメカニズムを提案した。

### 4. 今後の展開

台風の構造の予測というのは、現状の天気予報モデルにおいてもまだまだ難しく、今後の発展が切望されています。今回の研究成果によって、代表的な台風の構造変化のメカニズムを示すことができたので、今後の台風予報の精度向上に資することが期待されます。また、今回の理論が基にしたエクマン理論においては、渦の減衰する方向のみを考えていましたが、今回の理論では、それを一般化す

る形で、渦を成長させる方向にも働き得ることを示しました。そのため、本研究で発見したメカニズムは、台風以外の現象でも存在している可能性が十分にあり、今後幅広い研究が期待されます。

※本研究は、JSPS 海外特別研究員制度 26-358、米国 National Science Foundation (NSF) 1654831 の助成をうけて実施されました。

<参考文献情報>

“台風が発達するワケ”，  
筆保博徳編、宮本佳明他著「台風についてわかっていること知らないこと」ベレ出版

<原論文情報>

“A Dynamical Mechanism on Secondary Eyewall Formation of Tropical Cyclones”，  
Y. Miyamoto, D. S. Nolan, and N. Sugimoto,  
*Journal of the Atmospheric Sciences*. 75, 3965–3986, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-18-0042.1>

<用語説明>

※1 眼の壁雲

発達した台風の中心には“眼”と呼ばれる雲の無い円状の領域があります（図1）。この眼を取り囲むように存在するリング状の雲のことを“眼の壁雲”と呼びます。眼の壁雲は台風にとってエンジンのようなもので、根本的に重要です。台風の下の海面から流入した水蒸気は、台風内の風に乗って眼の壁雲域まで移動し、壁雲域で凝結することで、大気を暖めて強い上昇流を作ります。それによって壁雲下層で空気が不足するため、これを埋めるために内側に向かう空気の流れが駆動されます。この内側への流れが外側から角運動量を輸送して、中心付近で速い回転が生まれ、台風が強くなります。

※2 エクマン理論

地球大気では、台風などの様々な渦が生成しては消えるという過程を繰り返して存在しています。その生成要因は渦によって様々ですが、一度形成すると渦は地表面の摩擦を受けて徐々に減衰します。エクマン理論は、地球の回転の効果がある中で、渦を地表面の摩擦で効率的に減衰させるメカニズムを説明します。

<参考情報：宮本佳明環境情報学部専任講師講演予定>

研究チームの宮本佳明環境情報学部専任講師が講演を行います。ご取材にはぜひこの機会をご利用ください。

2018年度藤沢市民講座「自然災害に向き合う～メカニズムから備えまで～」

第1回「豪雨はどうやって生じるの？メカニズムと地球温暖化の影響」

[https://www.sfc.keio.ac.jp/about\\_sfc/extended\\_education/open\\_lectures.html](https://www.sfc.keio.ac.jp/about_sfc/extended_education/open_lectures.html)

【講師】宮本 佳明（環境情報学部 専任講師）

【日時】11月24日（土）13:00～15:00（講演90分＋質疑応答時間30分）

【会場】慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス オメガ館（Ω館）12番教室

<https://www.sfc.keio.ac.jp/maps.html>

【問合せ】湘南藤沢事務室 総務（広報）担当 TEL：0466-49-3418

E-mail：sec-kikaku@sfc.keio.ac.jp

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信しております。

---

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学環境情報学部 専任講師 宮本 佳明 (みやもと よしあき)

TEL: 0466-49-3467

E-mail: ymiya@sfc.keio.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (竹内)

TEL: 03-5427-1541 FAX: 03-5441-7640

Email: m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/ja/>