

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26800250

研究課題名(和文) 感度解析に基づく多重壁雲形成機構の解明

研究課題名(英文) Sensitivity analysis on the formation of secondary eyewall

## 研究代表者

伊藤 耕介 (Ito, Kosuke)

琉球大学・理学部・助教

研究者番号：10634123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：台風は我が国に甚大な被害をもたらす現象である。本研究では、著しい強度変化を引き起こしたTyphoon Bolavenの多重壁雲形成機構を明らかにすることを目的として高解像度非静力学大気モデルとその随伴モデルを用いた感度解析を実施した。その結果、外側壁雲形成領域の最大風速は、外部領域下層の湿度に鋭敏であることが明らかとなり、追加の数値実験によりその影響を確かめることができた。本研究の成果は、米国気象学会のハリケーン・カンファレンスなどで発表した。

研究成果の概要(英文)：Tropical cyclones are often highly destructive. In this work, sensitivity analysis with a high-resolution nonhydrostatic atmospheric model and its adjoint model is conducted to elucidate the important factors on typhoon Bolaven's secondary eyewall formation (SEF) that influenced the rapid change of its intensity. As a result, the SEF is shown to be sensitive to a humidity profile in the lower atmosphere outside of the SEF region. The impact is verified by additional numerical experiments. These results are presented in several conferences such as American Meteorological Society Hurricane Conference.

研究分野：気象学

キーワード：台風強度 感度解析

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) 台風は我が国に甚大な被害をもたらし、地球規模での熱循環を考える上でもインパクトが大きい。台風の進路が総観規模現象に大きく依存していることから理解が比較的進んできたのに対し、台風の構造や強度は中心付近の内部コアと呼ばれる領域で起こる現象に大きく依存するとされ、いまだに理解が不十分である。内部コア力学の理解を深めることは、地球科学・自然災害学上の重要な研究課題の一つと言える。
- (2) 台風の内部コア領域に見られる未解明な現象として、多重壁雲の形成が挙げられる。発達した台風の中心付近には、台風の眼とそれを取り囲む眼の壁雲と呼ばれる降雨帯があるが、西部太平洋域で発生した猛烈な台風の場合には 70%程度の確率で外側に外側壁雲（セカンダリ・アイウォール）と呼ばれる壁雲が新たにでき、多重壁雲構造が形成される。その後、多くの場合、内側壁雲が消滅したのち、最大風速には 10-20m/s の劇的な変化が起こる。
- (3) これまでに、内側壁雲から渦ロスビー波と呼ばれる波動が伝播し外側壁雲を形成するという説、内側壁雲の外側にできるダウンドラフトが起源になるという説、環境場の相対湿度が高く対流活動が活発な外部領域で収束帯が形成されるという説などが提案されているが、多くの研究者が同意する機構とはなっていない。

### 2. 研究の目的

- (1) 多重壁雲形成に関し、多数の説が提案されているが、現実的な台風においてどの機構が重要であるかを特定する。そのため、外側壁雲形成に関する感度を全領域・全物理量にわたって計算する。
- (2) 従来、多重壁雲の形成機構を調べるために、理想的な台風ライクの渦に関する研究は数多く行われてきたが、本研究では、現実的な多重壁雲形成に関する物理的メカニズムを明らかにすることが目的である。そのため、実際に多重壁雲が観測され、沖繩に接近した 2015 年の Typhoon Bolaven を対象とする数値的研究を行った。

### 3. 研究の方法

- (1) 全領域・全物理量に対する感度を明らかにする感度解析には、後方時間積分を実行するための随伴モデルが必要となる。そこで、4次元変分法データ同化システム NHM-4DVAR を、感度解析を行うためのシステムに改変する。ただし、多重壁雲は高解像度モデルでないと再現されないため、高解像度化したときに随伴モデルが適切に

動くかを検証することが必要となる。

- (2) 現実的な多重壁雲を高解像度シミュレーションで再現したのち、その結果に対して随伴モデルを適用し、感度解析によって多重壁雲形成にとって重要な物理量を計算する。
- (3) 感度解析の結果、計算された感度場に関する物理的な解釈を加える。その際、大気状態の不安定に注目する。その後、感度場が実際に多重壁雲形成にとって重要であるかどうかを確認するため、高解像度モデルを用いて、初期状態を変化させた追加の数値シミュレーションを実行する。

### 4. 研究成果

- (1) 4次元変分法データ同化システムである NHM-4DVAR の随伴モデルで、大量のデータを扱えるよう MPI 並列化に取り組んだ。
- (2) 本研究の実施に当たり、高解像度システムで再現される対流活動への感度が随伴モデルで適切に計算されているかどうかを検証したところ、良好に計算できることが確認できた。また、この結果は、高解像度データ同化に応用できることが明らかとなったため、その成果をまとめ、国際誌に論文を投稿し受理された。その後、感度解析システムへの改変を行った。
- (3) 高解像度モデルにより、2015年に発生した台風 Bolaven の多重壁雲の再現を試みた。随伴モデルは多くのメモリを消費するため、初めに、広い計算領域で通常の予報モデルを用いて高精細に場を再現し、その後、台風の中心付近 600 km × 800 km の領域で随伴モデルを用いた数値計算を行うこととした。初期値・境界値としては気象庁が作成した全球モデルの解析結果を採用した。雲物理過程として、通常の予報モデルでは氷晶を含むシミュレーションを行ったが、随伴モデルでは氷晶過程を考慮していない。また、初期時刻を 2015 年 8 月 25 日 21 時とし、水平格子点間隔を 4km とした。数値計算の結果、観測結果と同様に Typhoon Bolaven (2015) 発生時の多重壁雲形成が再現された。
- (4) 外側の壁雲形成領域に現れた風速の極大値に対する感度を 3 時間にわたって計算した。評価関数は、外側壁雲形成領域近傍における風速とした。感度解析の結果、外側壁雲形成領域のさらに外側の下部対流圏における水蒸気量に鋭敏であることが明らかとなった。一方で、内側壁雲の近傍に現れた感度は大きくなかった。すなわち、この時間スケールにおいては、内側壁雲が外側壁雲の形成に及ぼす影響が小さいことが分かった。

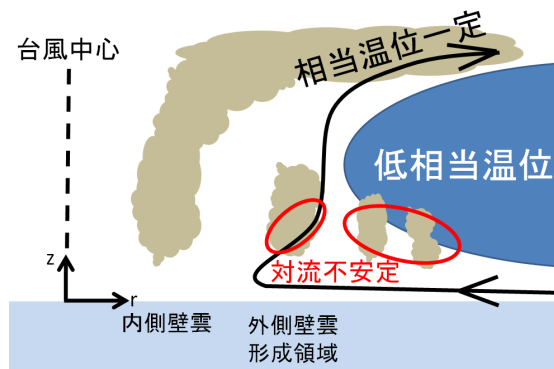


図1. 外側壁雲形成時の状態

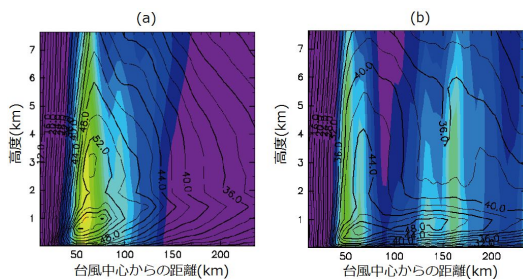


図2. 数値シミュレーションにより得られた雨水混合比。台風中心から120km以上離れた対流圏下層において(a)水蒸気混合比を50%とした場合(b)水蒸気混合比を150%とした場合。

- (5) 対流圏下層の水蒸気に鋭敏である理由を調べたところ、外側壁雲の形成領域近傍に存在する対流不安定の条件が深く関わっていることが明らかとなった。外側の下層から外側壁雲形成領域の近傍に水蒸気が輸送されてくることにより、この領域では対流活動が活発となり、新たな壁雲が形成されることが分かった。
- (6) 外側壁雲形成領域の近傍で対流不安定となっていた理由を調べた。その結果、台風中の高相当温位気塊が、対流圏下層と上層に存在し、対流圏中層の空気が相対的に冷たく乾いているためであることが分かった(図1)。
- (7) (4)-(6)で明らかとなった事実をもとに、対流圏下層の水蒸気分布を変更する高解像度数値シミュレーションを行った。その結果、外側壁雲より外側の下層で水蒸気を増加させた場合、外側壁雲形成領域で、対流不安定に伴う対流活動の活発化で明瞭な外側壁雲が形成されるようになった。一方、外側壁雲より外側の下層で水蒸気を減少させた場合、外側壁雲は形成されず、単一の壁雲のみとなった(図2)。
- (8) (3)-(7)の研究成果について、米国ハリケーンカンファレンスなどの学会において発表を行ったほか、台風研究会報告書に

研究の概要をまとめ、成果を報告した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

伊藤耕介: 多重壁雲形成機構に関する感度解析、2015年度台風研究会報告書、査読なし、2016、pp. 84-87.

Kawabata, T., K. Ito, and K. Saito: Recent progress of the NHM-4DVAR towards a super-high resolution data assimilation, SOLA, 査読あり, 10, 145-149.

DOI: 10.2151/sola.2014-030

[学会発表](計4件)

Ito, K., and C.-C. Wu: Secondary eyewall formation fueled by outer convective instability, Asia Oceania Geosciences Society Annual Meeting, Beijing, China, August 2016.

Ito, K., and C.-C. Wu: Secondary eyewall formation fueled by outer convective instability, 32nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, San Juan, Puerto Rico, April 2016.

伊藤耕介: 多重壁雲形成機構に関する感度解析、台風研究会、京都大学防災研究所、京都、2015年11月。

Ito, K.: Increase of maximum tangential velocity in a hurricane as a sequence of cause and effect, ICMCS-X, Boulder, Colorado, United States, September 2014.

[図書](計1件)

筆保弘徳, 伊藤耕介, 山口宗彦, 2014: 台風の正体(気象学の新潮流 2), 新田尚・中澤哲夫・斉藤和雄監修, 朝倉書店, 171p.

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤 耕介 (Kosuke Ito)  
琉球大学・理学部・助教  
研究者番号：10634123

### (2) 研究協力者

川畑 拓矢 (Takuya Kawabata)  
気象研究所・予報研究部・主任研究官  
研究者番号：80354447