

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400466

研究課題名(和文) 極端に強い台風にみられる急激な中心気圧低下のメカニズムの解明

研究課題名(英文) Rapid Deepening Mechanism of an Extremely Intense Tropical Cyclone

研究代表者

金田 幸恵 (KANADA, Sachie)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教

研究者番号：80727628

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：雲や降水を直接計算し、より現実的な台風の内部構造を表現する極めて高解像度の雲解像モデルを用いて、極端に強い台風の急激な中心気圧低下メカニズムを調査した。まず最低中心気圧877hPaに達した歴史的顕著台風・1958年9月狩野川台風の24時間当たり90hPaを上回る急激な中心気圧低下の再現に成功した。水平解像度を変えた感度実験から、発達に伴う内部構造やプロセスの解像度依存性と対応する中心気圧低下量(発達率)を明らかにした。さらに温暖化実験を実施し、将来温暖化気候下で極端に強い台風がより急激な中心気圧低下を経て、より強い台風に発達する可能性を示唆した。

研究成果の概要(英文)：Rapid deepening mechanism of an extremely intense tropical cyclone was studied by using a high-resolution cloud resolving model with a horizontal resolution of a few kilometers that can represent the inner-core structures and processes of the tropical cyclone. First, we conducted numerical simulations of Typhoon Ida (1958), an extremely intense typhoon with a minimum central pressure of 877 hPa. Extremely rapid deepening of the maximum central pressure drop exceeding 90 hPa/24h was successfully simulated. The model-resolution sensitivity experiments revealed that only the cloud-resolving 2km model could reproduce the maximum intensity and intensification rate of Typhoon Ida since the model could produce the convective activity around the storm core region. We further investigated future changes of an extremely intense tropical cyclone. The results suggest that the maximum intensity and intensification rate of an extremely intense typhoon will increase in the future warmer climate.

研究分野：気象学

キーワード：熱帯低気圧 雲解像モデル 急発達

1. 研究開始当初の背景

2010年 Typhoon Megi が2000年台に入って初めて最低中心気圧 885hPa に達して以降、最低中心気圧が 900hPa 以下となる極端に強い台風が毎年のように発生している。2013年 11月には Super Typhoon Haiyan が急激な中心気圧低下を経て最低中心気圧 885hPa に達した後、フィリピンに上陸し、人的・物的に甚大な被害をもたらした。

一方、台風予測においては強度予測の改善が大きな課題となっていた。とりわけ極端に強い台風の強度変化予測が困難であった。なぜなら、台風予測に用いられている国内外の全球数値モデルは、たかだか水平解像度 20km 程度であり、眼の壁雲などの内部構造を表現するには不十分だからである。強い台風の大半にみられる特徴的な発達過程「急激な中心気圧低下」のメカニズムを解明するためには、台風の内部構造や力学・熱力学を直接表現する高解像度の雲解像モデルによる取り組みが必要と本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

最大風速 70m/s 以上(最低中心気圧 900hPa 以下)といった極端に強い台風は出現頻度こそ小さいものの、ひとたび発生・上陸すると甚大な被害をもたらす。このような台風のほとんどは最大強度に達する前に急激な中心気圧低下を示す。これはハリケーンにおいても同様で、Rapid Intensification と呼ばれ、強いハリケーンの特徴として注目されている(Kaplan and DeMaria 2003)。しかしながら、この急激な中心気圧低下のメカニズムはわかっていない。なぜなら、急激な中心気圧低下には台風の内部構造や力学・熱力学プロセスが深く関わっており、それらを表現するためには少なくとも水平解像度数キロメートル以下の雲解像モデルが必要だからである(Hill and Lackmann 2011; Kanada et al. 2012)。そこで、本研究では、雲や降水をあらわに計算し、より現実的な台風構造を解像する極めて高解像度の雲解像モデルを用いて急激な中心気圧低下を再現し、極端に強い台風の急激な発達プロセスに対する台風自身の内部構造変化や力学・熱力学過程を直接的に解明する。

3. 研究の方法

本申請課題の主たる研究方法は、台風の内部構造を表現することが可能な雲解像モデルによる高解像度シミュレーションである。まず、観測データから極端に強い台風を抽出する。次に、その中から急激な中心気圧低下がみられた事例について、雲解像モデルによる高解像度シミュレーションを実施して急激な中心気圧低下の再現を試みる。再現結果を解析し、急激な中心気圧低下がみられた台風の急速発達期及び前後の内部構造と物理過程を明らかにする。

用いたモデルは、名古屋大学で開発された雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Strom

Simulator)および気象庁・気象研究所で開発された JMANHM である。事例抽出・環境場解析および、雲解像モデル実施のための初期値・境界値には、気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55) を用いた。統計解析を実施するため、気象庁全球気候 20km モデルによる 1979 年～2003 年の気候実験 (Mizuta et al. 2012) の結果も用いた。

4. 研究成果

まず 1958 年以降、北西太平洋域にて最低中心気圧が 900hPa に達した極端に強い台風を調査した。その中から、1958 年 9 月狩野川台風 (TY195822、IDA) を対象に数値シミュレーションを実施した。狩野川台風は、24 時間当たりの最大気圧低下が 90hPa を上回る急激な発達を経て最低中心気圧 877hPa に達した歴史的顕著台風である。台風の強度特性の水平解像度依存性を調査するため、水平解像度 20, 10, 5, 2 km (それぞれ NHM20, NHM10, NHM5, NHM2 とする) で感度実験を実施した。

水平解像度を変えた実験間で再現された台風の発達率や構造変化には大きな違いがみられた(表 1、図 1)。高い水平解像度の感度実験ほど、より大きな変化率をとともなうより強い台風となった。水平解像度 2km の数値実験においてのみ、観測された狩野川台風の最大強度と著しい強度変化を現実的に再現することが可能であった。

実験結果を比較したところ、内部コア領域における境界層構造、境界層インフローの先端から形成される背の高く強い上昇気流の数と最大風速半径に対する位置に違いがみられた。最大風速半径内側の強いインフロー先端における高鉛直渦度域から背が高く直立した強い対流が形成され、軸対称構造が確立することが急激な中心気圧低下開始のカギであり、この表現がモデルの水平解像度で異なっていた。

さらに、急激な中心気圧低下の再現に成功した水平解像度 2km モデルの大気環境場を調査したところ、再現例では、それ以外のものと比較して、上層での水蒸気量と相対湿度が高くなっていた。このことは先行して発達した対流によって水蒸気が内部コア域上層に輸送され、背の高く強い上昇気流の形成、ひいては急発達に好都合な環境場が整えられたことを示唆する。以上を雑誌論文[3], [4]としてまとめた。

表 1 各実験の最低中心気圧(hPa)及び 6 時間当たりの最大中心気圧低下量(hPa/6h)

	最低中心気 圧 (hPa)	最大中心気圧低 下量 (hPa/6h)
観測	877	39
JRA55	926	12
NHM20	940	6
NHM10	916	8
NHM5	889	18
NHM2	878	35

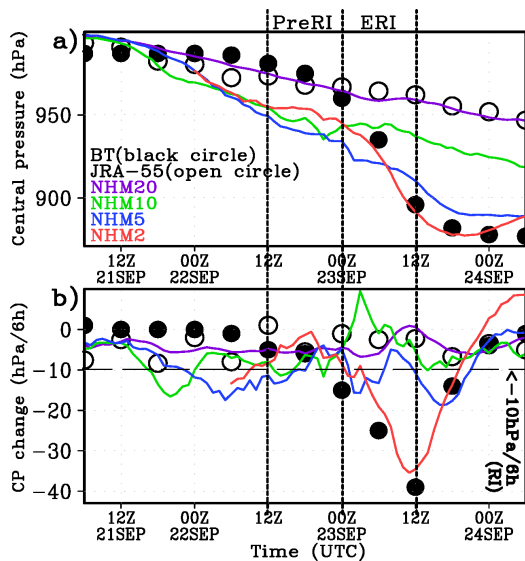


図1 (a) 中心気圧(hPa)及び(b) 中心気圧変化量(hPa/6h)の時系列。ベストトラック(黒丸)、JRA55(白丸)、NHM20(紫)、NHM10(緑)、NHM5(青)、NHM2(赤)

次に気象庁全球気候 20km モデルによる気候実験の結果を用いて統計解析を実施した。まず、全球気候 20km の 1979 年～2003 年の結果から、西部北太平洋域において中心気圧が 900hPa 以下に達した極端に強い台風を抽出する。それらすべてにおいて NHM5 によるダウンスケール実験を実施した。なお、全球気候 20km モデルの台風強度は積雲パラメトリゼーションに強く依存するため、Yoshimura (YS) および荒川シュバート (AS) の二種類の積雲パラメトリゼーションを用いた実験を実施した。最低中心気圧が 900hPa 以下の極端に強い台風は YS 実験では 50 例みられた。AS 実験ではみられなかった。

気象庁ベストトラックデータとの比較から、全球気候 20km モデルには、最低中心気圧到達緯度に顕著な北上バイアスがあることが明らかになった(図2a)。その傾向は、台風の強度を増すにつれて大きくなる。また、全球気候 20km モデルのカテゴリー 4 以上の強い台風には発達速度の過小評価傾向がみられた(図2b)。一方、NHM5 では、それら全球気候 20km モデルでみられた最大強度到達緯度の北上バイアス及び最大発達速度の過小評価傾向ともに大幅に改善され、ベストトラックデータとほぼ同一になった(図2)。

西部北太平洋域の台風の多くは熱帯付近で発生し、北上しながら発達する。ベストトラックにおける極端に強い台風は発生初期に急激に発達するとともに北緯 25 度以南で強度のピークを迎える。一方、全球気候 20km モデルの極端に強い台風の発達速度はベストトラックより緩やかであるが、より長時間発達を継続することにより北緯 25 度以北の日本近海で中心気圧 900hPa 以下の最大強度に達するものが多かった。

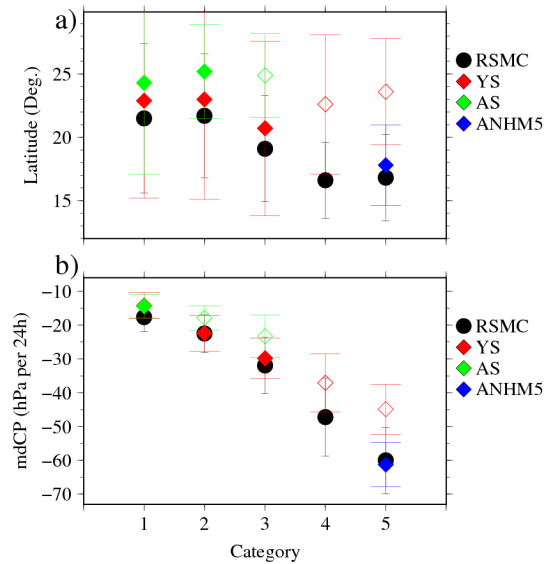


図2 台風の強度カテゴリー別の平均最低中心気圧出現緯度(a)と 24 時間あたりの最大中心気圧変化量(b)。気象庁ベストトラックデータ(黒)、全球気候 20km モデル YS (赤)、全球気候 20km モデル AS (緑)、NHM5 (青)、エラーバーで標準偏差を示す。

中心気圧が 900hPa 以下の台風について、ベストトラックの特性を再現した NHM5 と全球気候 20km モデルとは、中心付近の内部構造に大きな違いがみられた(図3)。台風の内部コア構造は発達速度で異なるとされるため、全球気候 20km モデルでは急発達したものとしなかったものの 2 グループに分けてコンポジットした。なお、NHM5 では、すべての該当台風が急発達した。

まず、NHM5 で再現された極端に強い台風では中心付近に強く背が高く直立した壁雲上昇気流がみられる。一方、全球気候 20km モデルでは発達速度にかかわらず壁雲上昇気流が弱く背が低くかつ高度とともに外側に傾いている。接線風速より明らかなように台風渦も NHM5 では背が高い。動径風速プロファイルによると、境界層インフローの最大強度にこそ NHM5 と全球気候 20km モデルで差はないものの、NHM5 の方が境界層が厚く、強い上昇気流を生み出している。上層発散流の高度も NHM5 でより高く、このことから NHM5 の方がより背の高い二次循環を形成していることがわかる。

NHM5 では、下層インフロー先端の傾度が大きく強い超傾度風状態となっている。また、下層インフロー上端で絶対角運動量の等値線が大きく内向きに屈曲し、中心に向かって大きな絶対角運動量が輸送されている。一方、全球気候 20km では下層インフロー先端の傾度が小さく顕著な超傾度風はみられない。このような構造の違いが発達速度の差異に繋がったと考えられる。

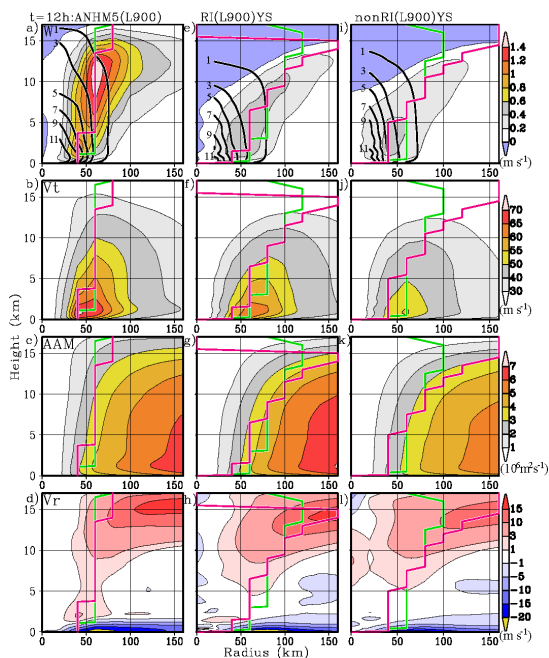


図3 NHM5 (左列)、全球気候 20km モデル (急発達: 中央、急発達しなかったもの: 右列)の発達時の内部コア構造。(a) 上昇気流、(b) 接線風速、(c) 絶対角運動量、(d) 動径風速。各高度の最大上昇気流半径で定義した上昇気流軸 (赤線) と最大風速軸 (緑線) をあわせて示した。

次に、全球気候 20km モデルの台風特有のゆるやかだが長時間持続する発達プロセスを取り上げる。全球気候 20km モデルの降水は、積雲対流スキームを介しての降水と大規模凝結による降水から成る。中心から半径 200km 以内にもたらされる総降水量に対する積雲対流スキームによる降水の寄与率と大規模凝結による降水の寄与率を調査したところ、強度を増すにつれて大規模凝結による降水の割合が大きくなり、中心気圧が 950hPa 以下に発達すると 70% 以上が大規模凝結による降水となっていた (雑誌論文[2])。この間、台風中心付近の中・下層に著しい昇温傾向がみられた。大規模凝結に付随する雲スキームでは、計算不安定を避けるため凝結物の蒸発冷却が 10 K/day 以内にとどまるように毎ステップで制限を設けている。この制限により、大規模凝結による降水の卓越時、蒸発冷却が強く抑制された結果、台風中心付近の中・下層の昇温傾向が持続し、ゆるやかな発達の継続に寄与したと考えられる。以上を雑誌論文[2]としてまとめた。

最終年度には計画通り、温暖化気候の台風への敷衍を試みた。そのために擬似温暖化実験手法を構築し、1959 年 9 月東海地方を襲い甚大な被害をもたらした伊勢湾台風を対象に CReSS および JMANHM を含む 4 モデルで擬似温暖化実験を実施した。その結果について、これまでの知見を活かして急激な中心気圧低下メカニズムに着目して調査したところ、温暖化気候下におかれた将来の伊勢湾台

風はより急激な中心気圧低下を経た上でより強度を増す可能性を口バストに示した (図 4)。以上を雑誌論文[1]としてまとめた。

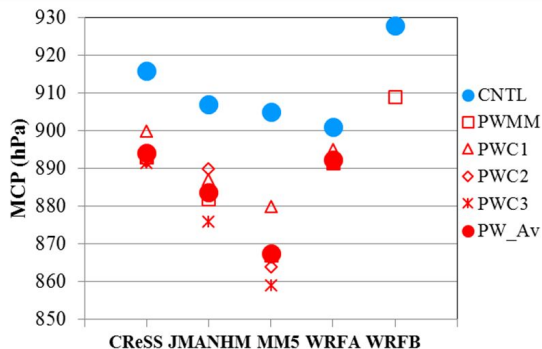


図4 雲解像モデル CReSS、気象庁非静力学モデル JMANHM、米国の非静力学モデル MM5 および WRF (A,B) による伊勢湾台風のシミュレーションにおける最低中心気圧。青丸は現在気候、赤い四角、三角、ダイヤ、米印は 4 種類の海面水温の将来気候実験、赤丸はそれらの平均の最低中心気圧を示す。

本研究で得られた大きな成果は、雲や降水を直接計算し、より現実的な台風構造を解像する雲解像モデルを用い、既往顕著台風の最大強度や急激な中心気圧低下の再現に成功した点である。台風の内部構造を表現することで、急発達にともなう構造変化を発達速度と結びつけて理解することが可能となった。水平解像度を変えた実験から、急激な中心気圧低下のカギとなる内部コア構造と水平解像度によってそれらがどのように変化するか、また、その結果、中心気圧低下量がどの程度変わるか調査することもできた。また、水平解像度 20km および 5km のみではあったものの、50 事例にも及ぶ実験結果の比較から、モデル及びその物理過程、水平解像度により、内部コア構造や発達過程が大きく異なることも明らかになった。

極端に強い台風の急激な中心気圧低下メカニズムにおいて積み残された問題としては、まず大気海洋相互作用が挙げられる。また、本研究で明らかになった特徴的な内部コア構造や物理過程が、どの程度、発達速度の促進もしくは抑制に寄与しているかを発達のステージ別に評価する必要もある。用いるモデルによって発達プロセスが異なることから複数の物理スキームを用い複数のモデルによる相互比較の試みも重要である。

< 引用文献 >

Hill, K. A., and G. M. Lackmann, 2011: The impact of future climate change on TC intensity and structure: A downscaling approach. *J. Climate*, 24, 4644–4661.

Kanada, S., and Coauthors, 2012: Effect of PBL schemes on the development of intense tropical cyclones using a cloud resolving model. *J. Geophys. Res.*

Kaplan, J., and M. DeMaria, 2003: Large-scale characteristics of rapidly intensifying tropical cyclones in the North Atlantic basin. *Wea. Forecasting*, 18, 1093-1108.

Mizuta, R., and Coauthors, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 235-260.

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4件)

[1] Kanada, S., T. Takemi, M. Kato, S. Yamasaki, H. Fudeyasu, K. Tsuboki, O. Arakawa, and I. Takayabu: A multi-model intercomparison of an intense typhoon in future, warmer climates by four 5-km-mesh models. *Journal of Climate*, (査読有), 30, 2017. doi:10.1175/JCLI-D-16-0715.1

[2] Kanada, S., and A. Wada: Different Climatological Characteristics, Inner-Core Structures, and Intensification Processes of Simulated Intense Tropical Cyclones between 20-km global and 5-km regional models. *Journal of Climate*, (査読有), 30, 1583-1603, 2017. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0093.1

[3] Kanada, S., and A. Wada: Sensitivity to horizontal resolution of the simulated intensifying rate and inner-core structure of typhoon Ida, an extremely intense typhoon, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, (査読有), 94A, 181-190, 2016. doi: 10.2151/jmsj.2015-037

[4] Kanada, S., and A. Wada: Numerical study on the extremely rapid intensification of an intense tropical cyclone, Typhoon Ida (1958), *Journal of the Atmospheric Science*, (査読有), 72, 4194-4217, 2015. doi:10.1175/JAS-D-14-0247.1

[学会発表](計11件 すべて口頭)

[1] Kanada, S.: A multi-model inter-comparison of a Category-5 typhoon in future, warmer climate by four 5-km mesh models. 2016 American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, 12-16 Dec. 2016.

[2] 金田幸恵: 21世紀末を想定した擬似温暖化実験による伊勢湾台風の将来最大強度推定(続報) 温暖化強化プロセス. 日本気象学会 2016年度秋季大会, 名古屋大学東山キャンパス, 愛知県名古屋市, 予稿集 A363, 2016年10月28日.

[3] 金田幸恵: 21世紀末を想定した擬似温暖化実験による伊勢湾台風の将来最大強度推定. 日本気象学会 2016年度春季大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 東京都, 予稿集 C302 2016年5月20日.

[4] Kanada, S.: Characteristics of intensity changes of tropical cyclones in the Northwestern

Pacific in track data and simulations by global and regional atmosphere models. 台風セミナー-2015, 気象庁本庁, 東京都千代田区大手町, 2016年1月6日.

[5] 金田幸恵: 非常に強い台風に見られる二つの発達プロセス. 第17回非静力学モデルに関するワークショップ, 那覇第一地方合同庁舎, 沖縄県那覇市, 2015年12月1日.

[6] 金田幸恵: 西部北太平洋域における台風の強度特性と気象庁全球気候 20km モデルによる再現性: 続報 高解像度モデルで再現された強い台風の強度変化と内部コア構造. 日本気象学会 2015年度秋季大会, 京都テルサ, 京都市, 予稿集 A307 2015年10月30日.

[7] Kanada, S.: Intensity Change of Tropical Cyclones in the Northwest Pacific. Part I: Comparison Between Observation and Numerical Models. 12th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Singapore, Singapore, 7 Aug. 2015.

[8] Kanada, S.: Characteristics of intensity changes of tropical cyclones in the Northwestern Pacific in track data and simulations by global and regional atmosphere models. 5th International Summit on Hurricanes and Climate Change, Chania, Crete, Greece, 9-14 Jun. 2015.

[9] 金田幸恵: 西部北太平洋域における台風の強度特性と気象庁全球気候 20km モデルによる再現性. 日本気象学会 2015年度春季大会, つくば国際会議場, つくば, 予稿集 D460, 2015年5月24日.

[10] Kanada, S.: Numerical study on the extreme rapid intensification of an intense tropical cyclone by a 2-km mesh non-hydrostatic model: Case study of Typhoon IDA (1958). Joint Workshop of the 6th Int'l WS on global cloud resolving modeling and the 3rd Int'l WS on Nonhydrostatic Numerical Models, RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS), Kobe, Japan, 26 Sep. 2014.

[11] 金田幸恵: 水平解像度2kmの非静力学モデルを用いた狩野川台風(TY195822: IDA)の再現実験(続報). 日本気象学会 2014年度秋季大会, 福岡国際会議場, 福岡, 予稿集 A112(p.56), 2014年10月21日.

[その他]

ホームページ等

http://profs.provost.nagoya-u.ac.jp/view/html/100008675_ja.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

金田 幸恵 (KANADA, Sachie)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教

研究者番号: 80727628