

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20740266

研究課題名(和文) 超高解像度の全球モデルを利用した多様な熱帯低気圧・メソ低気圧の包括的研究

研究課題名(英文) A comprehensive study of various tropical cyclones and meso-scale cyclones using a global high-resolution model.

研究代表者

柳瀬 亘 (YANASE WATARU)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号：80376540

研究成果の概要(和文)：

本研究では超高解像度の全球大気シミュレーションにより、台風・ハリケーン・サイクロンなどの熱帯低気圧の形成に関わる全球スケールから雲降水システムのスケールまでの様々なプロセスを明らかにすることができた。また、全球大気シミュレーションで形成する熱帯低気圧や温帯低気圧、メソスケール低気圧など多様な低気圧を理解するための考え方と手法に取り組み、複数のアプローチで環境場が低気圧の活動度や性質に及ぼす影響を調べた。これらの成果は気候変動などに伴う低気圧の振舞いの変化を解釈するのにも有用な知見を与える。

研究成果の概要(英文)：

Using a global high-resolution atmospheric model, we have clarified multi-scale dynamics from global atmospheric circulation to cloud-system organization, which are responsible for the formations of tropical cyclones including typhoons, hurricanes, and cyclones. We have also examined the influence of environmental field on the various types of cyclones including tropical cyclones, extra-tropical cyclones, and meso-scale cyclones using a global high-resolution model and other approaches. These results also help us understand the tendency in the cyclone activity under climate changes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 気象・海洋物理・陸水学

キーワード：全球雲解像モデル、熱帯低気圧、台風、ハリケーン、サイクロン、温帯低気圧、ポーラーロウ、メソスケール低気圧

1. 研究開始当初の背景

熱帯低気圧(台風・ハリケーン・サイクロンの総称)は強風や豪雨や高潮によって人間社会に大きな影響を及ぼす激しい大気擾乱

である。ある程度発達した熱帯低気圧では中心の眼、それを囲む壁雲、外側の数本のスパイラルバンドという構造が特徴的であり、壁雲での凝結熱が渦をさらに発達させるとい

うメカニズムが知られている。しかし、初期に渦がどのようなきっかけで発生するかというメカニズムは多様であり、熱帯を伝播する波動や中緯度からやって来る擾乱の影響などが指摘されている。また渦自身のスケールだけではなく、渦がエネルギーを得られる条件を持った大きなスケールの環境場や、渦の内部での積雲対流の組織化のような小さなスケールの構造も重要なプロセスである。このようなメカニズムの多様性とマルチスケールのプロセスにより熱帯低気圧の発生に関しては十分に理解されていない。

また地球上には熱帯低気圧だけではなく、温暖前線・寒冷前線を伴う中緯度の温帯低気圧や、高緯度や梅雨前線内で形成する直径数百 km のメソスケール低気圧が形成しており、それぞれ盛んに研究が進められている。このように多様な低気圧が形成する原因として、熱帯から極域に至る地球上の幅広い環境場が重要であると考えられる。このため、低気圧の多様性を包括的に理解するには、個々の低気圧の領域に着目するだけではなく、全球スケールでの大気循環に着目する必要がある。

全球大気シミュレーションは、マルチスケールのプロセスで発生する熱帯低気圧や、幅広い大気環境場で形成する多様な低気圧を理解するのに重要な手法である。しかしながら従来の 100~200km の格子間隔では熱帯低気圧(台風やハリケーン)の内部構造(~200km)やメソスケール低気圧の力学を表現することは困難であった。地球シミュレータに代表される近年の計算機技術の進歩は、格子間隔が~10km の全球シミュレーションを可能とし、新たなアプローチで低気圧の力学を解明できる時代が到来しようとしている。

2. 研究の目的

本研究では地球上の多様な低気圧のダイナミクスを包括的に理解することを目指す。そのために低気圧を表現できる高解像度の全球シミュレーションを利用し、従来の手法と有機的に組み合わせながら、マルチスケールの低気圧の力学を扱う。

主な対象としては熱帯低気圧の発生過程を研究する。渦より大きなスケールのプロセスとして環境場の変化、渦のスケールのプロセスとして熱帯波動や他の擾乱の影響、渦より小さなスケールのプロセスとして積雲対流の組織化に焦点を当てる。

また、熱帯低気圧だけではなく温帯低気圧やメソスケール低気圧を含めた地球上の低気圧の多様性に関して、全球高解像シミュレーションによる包括的な理解を得るための、概念や解析手法を開発することにも積極的に取り組む。

3. 研究の方法

マルチスケールのプロセスで発生する熱帯低気圧のシミュレーションを行うために、全球非静力学モデル NICAM(Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model)を利用した。水平格子間隔は全球あるいは低気圧の周りで 14km とし、積雲対流のパラメタリゼーションは用いず、雲の微物理過程により雲降水システムを直接的に表現した。膨大な計算機資源を必要とするシミュレーションには、地球シミュレータや国立環境研究所のスーパーコンピュータを利用した。実際に起きた低気圧のシミュレーションでは、初期条件に観測から得られた大気場の情報を与える。また、数値シミュレーションが作り出す大気場の中で発生する低気圧の研究では、数十日の時間積分によって大気の準平衡状態を作る実験を行った。

本研究では全球大気シミュレーションで多様な低気圧を解析する手法を構築することも目的の一つである。低気圧のライフサイクルを解析するトラッキング法、低気圧の発生に都合の良い環境場を測る指標、環境場の変動を調べるためのコンポジット解析などを問題に適した形で工夫を付け加えた。また、低気圧の多様性を理解するために、環境場と低気圧との関係に着目し、観測データや全球低解像シミュレーション、理想化数値実験などの他のアプローチも積極的に活用した。

4. 研究成果

実際に起きた熱帯低気圧の発生に関する事例解析を(1)~(3)に、平衡実験における熱帯低気圧の発生を(4)に、その他の様々な低気圧に関する研究を(5)に紹介する。

(1) 熱帯低気圧と他の擾乱との相互作用

2006年11月に北太平洋西部に発生した台風 Durian はフィリピンを通過して大雨によるマヨン山の泥流災害(死者・行方不明者 1200人)を引き起こした。この事例のシミュ

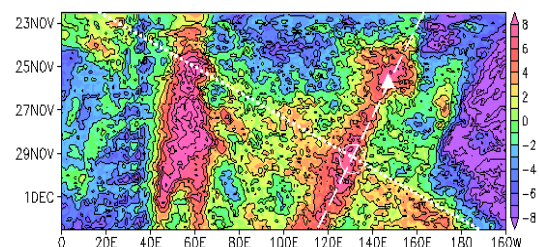


図 1: 赤道域(5°S-5°N 平均)の東西風の時間傾度分布。Durian 発生の時刻・場所を△で示し、急発達の時刻・場所を円で囲む。破線は西向きに伝播する熱帯波動、点線は東向きに伝播する熱帯波動を示す。

レーションを行ったところ、Durian の発生と急発達、フィリピン上陸を再現することができた。大気場を眺めると Durian の発生は太平洋中部から西進して来る熱帯波動がきっかけであり、急発達はインド洋から東進して来る熱帯波動が影響している可能性が示唆された(図 1)。シミュレーションで仮想的に西進波動や東進波動を取り除く感度実験を行ったところ、それぞれ Durian の発生と急発達到大きな影響を及ぼしていることを実証できた。この研究の意義は、全球スケールの距離を東西に伝播する熱帯波動が、複数回にわたり熱帯低気圧のライフサイクルに影響を及ぼしうることを示した点にある。

(2) 熱帯低気圧の環境場の変動

2008 年 4 月 27 日にベンガル湾に発生したサイクロン Nargis はミャンマーにおいて高潮による甚大な被害を及ぼした(死者・行方不明者 13 万人以上)。Nargis の発生に関するシミュレーションを行ったところ、観測された発生位置や時刻を正確に再現することは困難であったが、4 月 27 日前後の期間は他の期間に比べてサイクロンが発生しやすい状況にあることが確かめられた。

大気場の解析を行ったところ、Nargis 発生の 10 日ほど前から北インド洋をゆっくりと北進する大きなスケールのシグナルが見られた。この北進シグナルはサイクロンの発生に都合の良い環境場を作り出しており、シグナルがベンガル湾に達したタイミングは、数値シミュレーションでサイクロンが発生しやすかった期間と一致していた。

この研究の意義は数十日で北進するシグナル(夏季の季節内振動)がサイクロン発生に都合の良い環境場を作っていること、また、そのような期間では数値シミュレーションでサイクロンが発生しやすいことを確率的に予報できる可能性があることを示したことである。

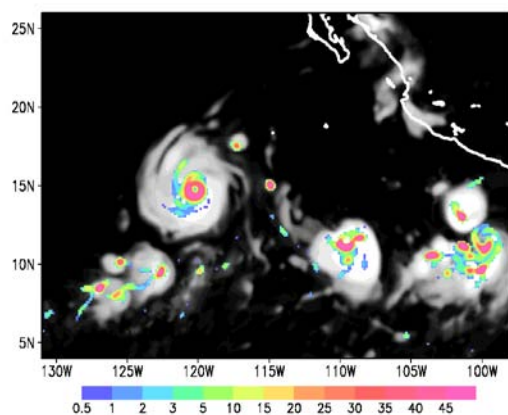


図 2: 7 月平衡実験の中で形成されたハリケーンの雲(グレー)と降水(カラー)。

(3) 台風 Fengshen の発生過程

2008 年 6 月に北太平洋西部に発生した台風 Fengshen はフィリピン近海でフェリーの沈没事故(死者・行方不明者 800 名以上)を引き起こした事例である。Fengshen の発生は PALAU2008 という集中観測でもとらえられており、台風発生期の雲降水システムの組織化の様子を観測と比較するのに適した事例である。台風発生の 3 日前の初期値を用いて数値シミュレーションを行ったところ、Fengshen の発生過程を再現することができた。台風の発生前と発生後の様子を比較し、台風の発生後には主に台風スケールの構造が渦の成長に寄与しているのに対し、発生前には複数の雲降水システムの集団的な効果も渦の成長に寄与していることを示した。

(4) 平衡実験における熱帯低気圧の発生

現実の熱帯低気圧の事例をシミュレーションした(1)~(3)の研究では、観測データを反映させた大気場を初期値として用いているため、大気場の全てをモデルの中で作り出しているわけではない。しかし、数カ月以上の時間積分を行う季節予報や温暖化実験では、熱帯低気圧の発生に関わる大循環場やきっかけとなる擾乱をモデル自身が表現できるかどうか重要となる。そこで、初期値の情報が失われるほど十分に長い全球高解像実験を行い、準平衡状態に達した大気の中での熱帯低気圧のダイナミクスを調べた。この研究では 7 月の日射量と海面水温分布を与え続けることで、大気の準平衡場を作りだした。

図 2 は格子間隔 14km で行った平衡実験の中で形成された熱帯低気圧の雲・降水パターンである。シミュレーションで再現された大気場の中でスパイラルバンド・壁雲・眼の構

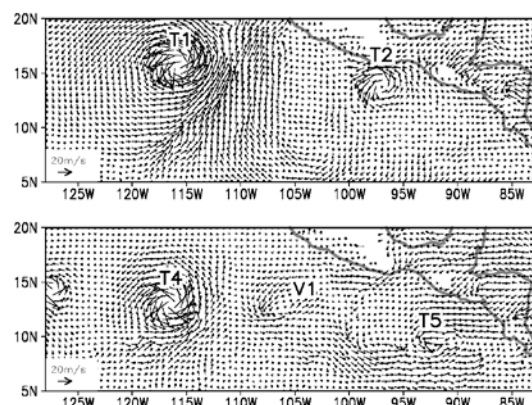


図 3: 7 月平衡実験の中での北太平洋東部での様々な渦のプロセス。(上)先に形成したハリケーン T1 がエネルギーを南東側に出すことで新たに形成されたハリケーン T2。(下)西に進むハリケーン T5 が小さな渦 V1 を併合する前の様子。

造を持つ熱帯低気圧が再現されている。風や温度の3次元構造と熱帯低気圧の強度も現実のものとして良く対応していた。北太平洋東部のハリケーンの発生を調べたところ、アフリカで形成されて西へと伝播する偏東風波動が北太平洋まで到達してハリケーンを引き起こすという、現実大気と整合的なプロセスが再現されていることも確認された。また、ハリケーンの形成時には、すでにあるハリケーンから放出された波のエネルギーによって新たに発生するハリケーンや(図3上)、小さな渦を併合しながら発達するハリケーンなども見られ(図3下)、熱帯低気圧の発生過程の多様性が確認された。

この研究の意義は、格子間隔 14km の全球高解像シミュレーションがマルチスケールのプロセスで発生する熱帯低気圧を表現できることを示したことである。これによるメリットの一つとして、熱帯低気圧の発生の起源に関して、どこまでも遡って調べられることにある。現実の熱帯低気圧の場合は、その発生を再現することは一般的には難しく、事例によっては 1~2 日前からの予報ですら難しい場合がある。しかし、平衡実験の中で自然に形成される熱帯的圧に関しては、その低気圧の起源を数日前にまで遡って解析することが可能である。

(5) 低気圧の多様性の理解に向けて

全球高解像シミュレーションではマルチスケールのプロセスで発生する熱帯低気圧を表現できることが(1)~(4)の研究を通じて確認された。また、シミュレーションの中では温帯低気圧やメソスケールの低気圧も形成していた。このような低気圧の多様性に関する包括的な理解をどのようにして更に深めて行くべきか、複数のアプローチを有効に使うことでその方向性を確認した。

スケールの大きな中緯度の温帯低気圧に関しては、比較的粗い解像度の全球シミュレーションを用いて、現在と氷河期の気候の違いを調べた。氷河期の北太平洋では温帯低気圧の通り道が南下していることがシミュレーションから得られた。この解釈のために、温帯低気圧の発達に都合が良いとされる鉛直シアの環境場指標を求めたところ、氷河期の大循環場の変化に伴い温帯低気圧が発達しやすい環境場が南下していることがわかった。この研究の意義は、氷河期のような気候変動の下でも、低気圧の活動分布は環境場の変化でよく説明されることを示したことである。

メソスケールの低気圧に関しては、かねてより行っている領域モデルによる理想化実験を継続した。単純化した環境場において水平温度勾配を変化させることで、低気圧の多様な性質の多くを説明できることを確認し

た。この研究の意義はメソスケールの低気圧においても環境場が低気圧の性質を決める重要な役割を担うことを確認できたことである。

熱帯低気圧に関しては、成果(2)で示したサイクロン Nargis の数値シミュレーションで得られた知見を現実事例で統計的に確認するため、過去 27 年間にベンガル湾で実際に発生したサイクロンとその環境場を調べた。ベンガル湾の閉じた海域を利用して、サイクロンの発生時の環境場をコンポジット(重ね合わせ)解析を行ったところ、環境場変動のシグナルを有効に取り出すことができた。得られた結果は(2)の数値シミュレーションと整合的で、夏季の季節内振動による~40 日の周期的な環境場の変動がサイクロンの発生しやすい時期としにくい時期を説明できることがわかった。この研究の意義は、熱帯低気圧の発生しやすい環境場は季節進行の時間スケールだけではなく、~数十日の時間スケールでも変動していることを、夏季の季節内振動の例で示したことである。

以上の研究を経て、全球高解像シミュレーションで低気圧の多様性を理解するための考え方と解析方法の方向性を示した。環境場は低気圧の性質を決定する重要な要因であり、その考え方は気候変動した大気場やメソスケールの低気圧に対しても有効であった。また、環境場は季節変化以外にも数十日の時間スケールでも変動することもわかり、環境場の変動をとらえるにはコンポジット解析などの手法も有効であることがわかった。

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 7 件)

- ① Yanase, W., H. Taniguchi and M. Satoh, The Genesis of tropical cyclone Nargis (2008): environmental modulation and numerical predictability, Journal of the Meteorological Society of Japan, 査読有, vol. 88, 2010, pp. 497-519.
- ② Yanase, W., M. Satoh, H. Yamada, K. Yasunaga and Q. Moteki, Continual influences of tropical waves on the genesis and rapid intensification of Typhoon Durian (2006), Geophysical Research Letters, 査読有, vol. 37, 2010, L08809.
- ③ Yanase, W. and A. Abe-Ouchi, A numerical study on the atmospheric circulation over the midlatitude North Pacific during the Last Glacial Maximum, Journal of Climate, 査読有, vol. 23, 2010, pp. 135-151.

- ④ Yamada, Y., K. Oouchi, M. Satoh, H. Tomita and W. Yanase, Projection of changes in tropical cyclone activity and cloud height due to greenhouse warming: global cloud system resolving approach. Geophysical Research Letters, 査読有, vol. 37, 2010, L07709, doi:10.1029/2010GL042518.
- ⑤ Fudeyasu, H., Y. Q. Wang, M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura and W. Yanase, Multiscale interactions in the life cycle of a tropical cyclone simulated in a global cloud-system-resolving model. Part I: large-scale and storm-scale evolutions, Monthly Weather Review, 査読有, vol. 138, 2010, pp. 4285-4304.
- ⑥ Fudeyasu, H., Y. Q. Wang, M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura and W. Yanase, Multiscale interactions in the life cycle of a tropical cyclone simulated in a global cloud-system-resolving model. Part II: system-scale and mesoscale processes, Monthly Weather Review, 査読有, vol. 138, 2010, pp. 4305-4327.
- ⑦ 柳瀬 亘, ポーラーロウの理想化実験-2009年度山本・正野論文賞受賞記念講演-, 天気, 査読有, vol. 57, 2010, pp. 371-381.

[学会発表] (計 14 件)

- ① Yanase, W., Seasonal and intra seasonal modulations of environmental field for tropical cyclogenesis over the Bay of Bengal. 29 th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 2010. 5. 11, Tucson, USA.
- ② Yanase, W., Large-scale environmental field associated with tropical cyclogenesis over the Bay of Bengal, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, 2009. 11. 9, Tsukuba, Japan
- ③ Yanase, W., Numerical simulation of the genesis of Cyclone Nargis using a global cloud-system resolving model, NICAM, First International Conference on Indian Ocean Tropical Cyclones & Climate Change, 2009. 3. 9, Muscat, Oman.
- ④ Yanase, W., Case studies of tropical cyclone genesis using a global high-resolution model, NICAM, Third International Workshop on High-Resolution and Cloud Modeling,

2008.12.3, Hawaii, USA.

- ⑤ Yanase, W., Dynamics of tropical cyclone genesis simulated by a global cloud-system resolving model, NICAM, JSPS 5th University of Allied Workshop on Climate and Environmental Studies for Global Sustainability, 2008. 7. 2, Makuhari, Japan.
- ⑥ Yanase, W., Tropical cyclone formations in 30-day simulation using cloud-system-resolving global non-hydrostatic model (NICAM), 28th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 2008. 4. 30, Orlando, USA.

[図書] (計 1 件)

- ① Yanase, W., H. Taniguchi and M. Satoh, Springer, Indian ocean tropical cyclones and climate change, 2010, pp. 65-72.

[その他]

ホームページ

http://dpo.aori.u-tokyo.ac.jp/dmmg/people/yanase/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳瀬 亘 (YANASE WATARU)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号 : 80376540