

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23740349

研究課題名(和文) 低気圧の多様性に関する高解像領域モデルによる理想化実験

研究課題名(英文) Idealized experiments on diversity of cyclones using a high-resolution regional 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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：地球上には熱帯低気圧(台風やハリケーンの総称)、温帯低気圧、ハイブリッド低気圧(複数のメカニズムが影響)など、実に様々な低気圧が形成していることが衛星画像や天気図からもわかる。このような低気圧の多様性を理解するため、低気圧の気候学的な分布を解析した上で、低気圧の発達と環境場との関係を高解像度の数値モデルによる理想化実験で調べた。この結果、気候学的な低気圧の発達や性質は単純化した環境場でも説明できることが確認された。また、亜熱帯は熱帯低気圧の発達にとっても温帯低気圧の発達にとっても中途半端な環境場であること、海洋の西部はハイブリッド型の低気圧が発達しやすい環境であることなどが示された。

研究成果の概要(英文)：Satellite imagery and weather charts show various types of cyclones over the globe, including tropical cyclones, extratropical cyclones and hybrid type of cyclones. To clarify the diversity of cyclones, we analyzed the global distribution of various types of cyclones, and then performed idealized experiments on the relationship between cyclone development and their environment using a high-resolution regional model. We have demonstrated that environmental fields can explain the cyclone development and characteristics well. We have also clarified that the subtropics is an unfavorable environment for both tropical cyclones and extratropical cyclones, and that the western parts of the oceans are favorable environments for hybrid cyclones.

研究分野：気象学

キーワード：低気圧 高解像モデル 理想化実験 環境場 熱帯低気圧 温帯低気圧 ハイブリッド低気圧 ポーラ
ーロウ

1. 研究開始当初の背景

地球上には様々な種類の低気圧が形成しており、代表的な低気圧には熱帯低気圧(台風・ハリケーンなどの総称)や温帯低気圧がある。典型的な熱帯低気圧はスパイラルバンドや眼を伴い、温帯低気圧は温暖前線・寒冷前線を伴うことはよく知られている。しかしながら、実際の低気圧は典型的なものばかりではなく、環境場の変化に応じて性質を変化させる。例えば、熱帯で発達した台風が日本付近にまで北上すると、温帯低気圧へと構造を変化させる。このような背景を踏まえると、熱帯低気圧と温帯低気圧を同じ枠組みの中で比較することで、低気圧の分布を統一的に理解できることが期待される。

また、高緯度の海洋上ではポーラーロウと呼ばれる小低気圧が冬季に発達する。ポーラーロウの性質は事例ごとに異なり、熱帯低気圧に似たものや、温帯低気圧に似たものなど、多様な性質を示す。その理由は、寒気吹出しというポーラーロウの環境場が、対流活動の盛んな熱帯の性質と水平温度勾配の大きな温帯の性質を併せ持つことによる。このように複数のメカニズムで発達する低気圧は、ハイブリッド低気圧とも呼ばれる。

以上のように多様性に富んだ地球上の低気圧を包括的に理解するためには、低気圧と環境場の関係を解明することが重要である。

2. 研究の目的

本課題では、熱帯低気圧や温帯低気圧を始めとする多様な低気圧の分布を環境場の観点から理解することを目指す。そのために、各海域の環境場を数値モデルに与え、その中でどのような性質の低気圧が発達するのかを体系的に調べる。また、海域が変わると複数の環境場が同時に変化することが現実大気の解釈を難しくしているが、感度実験の手法を利用すれば、個々の環境要因の影響を定量的に切り分けることができる。

数値モデルで与える環境場は、実験の解釈を簡明にするために、低気圧の発達に本質的なプロセスだけを単純化して与える。このような手法は理想化実験と呼ばれる。理想化実験における単純化は、実際の現象を十分に把握した上で行わなければならない。そのため、理想化実験に先立ち、現実の大気における低気圧と環境場の関係も詳細に解析する。

まずは天気図上でも顕著な熱帯低気圧や温帯低気圧など(ここでは総観スケール低気圧と呼ぶ)の基礎的な理解を固める。その上で、ポーラーロウのようなハイブリッド低気圧、メソスケール(数百~千 km)の低気圧を対象に加えながら、低気圧の多様性の問題に取り組んでいく。

3. 研究の方法

まず、現実の低気圧の気候学を理解するため、低気圧のデータベースを用意する。低気圧のデータベースには台風のベストトラッ

クなどを利用するが、既存のデータベースが無い場合には、再解析データから低気圧を検出・分類するアルゴリズムを利用してデータベースを作成する。風や温度などの低気圧の環境場は、低気圧の時空間スケールより十分に長い期間・大きなスケールでの平均場を再解析データから求める。

理想化実験には、日々の天気予報でも実績のある気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を利用する。JMA-NHMは気温や湿度の変化を予報し、水蒸気が凝結して雲になるプロセスや、海面から熱や水蒸気を供給するプロセスを表現する。天気予報の場合は現実的な地形や大気場を考えるが、理想化実験では全領域を海とし、東西一様な大気場を仮定して、単純化した場での低気圧の発達や構造を調べる。

JMA-NHMを理想化実験に利用するため、独自の改良も加えた。例えば、境界条件として東西方向に周期境界、南北方向に断熱壁を与える設定、環境場を長時間維持するニュートン冷却の設定などを追加した。

4. 研究成果

研究の方針としては、第1段階で熱帯低気圧や温帯低気圧などの顕著な総観スケール低気圧、第2段階でより小さなメソスケール低気圧を含めた低気圧の多様性の問題に取り組むことを目指した。熱帯低気圧や温帯低気圧は先行研究も多いため、当初の計画では第1段階よりも第2段階に重点を置く予定であった。しかしながら、近年に総観スケールでのハイブリッド低気圧の知見が蓄積され、総観スケールの低気圧だけでも多様性の問題に取り組む必要が出てきた。また、研究を進める内に、熱帯と温帯の間にありながら低気圧が殆ど発達しない亜熱帯(図1)に焦点を当てることから、重要な知見が得られることがわかってきた。これらの状況を踏まえて、より基礎的な現象であり、確実な成果も見込める総観スケール低気圧に重点を置く形で研究を進めた。

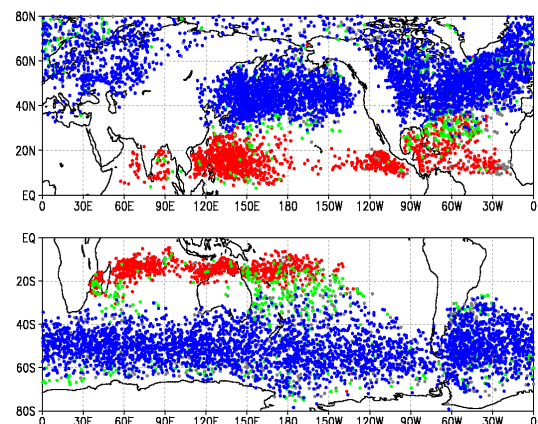


図1: JRA-25再解析にトラッキング手法を適用して得られた30年分の発達中の低気圧の分布。(上)北半球の秋。(下)南半球の夏。熱帯低気圧(赤)、温帯低気圧(青)、ハイブリッド低気圧(緑)

(1) 現実大気での低気圧と環境場の関係 1
 ~ ベンガル湾の熱帯低気圧を例として

理想化実験の設定を決定する上では、現実大気における低気圧の分布を把握し、環境場との関係を把握する必要がある。手始めに IBTrACS というデータセットが整備されている熱帯低気圧に関して、ベンガル湾での低気圧と環境場との関係を解析した。ベンガル湾は熱帯低気圧の活動が春と秋に盛んであり、夏には少ないという独特の季節進行を示す(図2)。再解析データを用いて熱帯低気圧が発生する時の環境場を解析したところ、海面水温が高いにもかかわらず夏に熱帯低気圧の発生が少ない理由として、夏季のアジアモンスーンに伴う上層と下層の風の違い(鉛直シア)が大きいことが熱帯低気圧の発達を妨げていることが示された。また、春から秋にかけての熱帯低気圧が発生しやすい環境場は 20~40 日の周期を持つ季節内振動によってコントロールされていることがわかった。この結果は、Journal of Climate 誌に Yanase et al. (2012)として掲載された。

(2) 現実大気での低気圧と環境場の関係 2
 ~ 総観スケール低気圧の包括的理解へ

次に、熱帯低気圧だけでなく温帯低気圧なども含めた総観スケール低気圧の分布の解析を行った。これらの低気圧の位置や強度に関しては既存のデータセットが無いため、JRA-25 再解析の渦度や温度のデータから低気圧を検出し、その種類を分類するプログラムを整備した。低気圧の検出と経路の追跡に関しては、イギリスのレディング大学の K. I. Hodges 博士が開発したトラッキングのアルゴリズムが実績があるため、レディング大学に1ヶ月間滞在してアルゴリズムを習得した。また、低気圧の分類には Hart (2003)で提唱されている低気圧の暖気核・寒気核構造に基づく分類法が実績があるため、この分類を行うアルゴリズムを Hodges 博士のトラッキン

グプログラムに組み込んだ。このようにして、熱帯低気圧と温帯低気圧、ハイブリッド低気圧を統一した手法で検出し、それらの発達の気候学的分布を初めて示すことに成功した(図1)。熱帯と温帯には異なる性質の低気圧が盛んに発達しており、また特に北大西洋の秋(図1上)にハイブリッド低気圧の発達も見られる。陸地の影響が小さい南半球の夏には(図1下)熱帯と温帯での低気圧の分布が比較的に東西に一樣であるが、その間の亜熱帯ではハイブリッド低気圧が多少発達するものの、全体的には低気圧の活動が不活発である。低気圧が発達しない環境場を理解することは、低気圧が発達する環境場との対比の上でも重要である。このため、本課題において、熱帯と温帯だけではなく亜熱帯も含めた環境場の比較に重点を置くことにした。

さらに、低気圧の発達と環境場との関係を直接に比較するため、環境場の指標を座標軸とする空間を考え、その空間における低気圧の頻度と種類を求めた。横軸に Potential Intensity (海面水温が高いと大きな値をとる)、縦軸に Baroclinicity (水平温度勾配が大きいと大きな値をとる)という環境場を取ると(図3)、熱帯低気圧は右下、温帯低気圧は左上に綺麗に分かれて分布しており、低気圧の種類が環境場に大きくコントロールされていることが示された。また、熱帯と温帯との間に当たる亜熱帯域は Potential Intensity も Baroclinicity も余り高くなく中途半端な海域であるために低気圧が不活発であることが定量的に示された。一方で秋の北半球には Potential Intensity と Baroclinicity が共にある程度高い環境場があり、ハイブリッド低気圧が発達しやすいことも確認できた(図略)。

これらの結果は Yanase and Niino (2014)として、Journal of Climate 誌に掲載された。

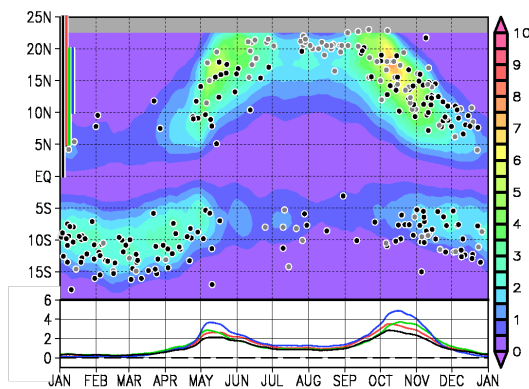


図2：ベンガル湾(80°-100°E)における熱帯低気圧の発生(黒丸)と Genesis Potential 環境場指標(シェード)の季節・緯度分布。

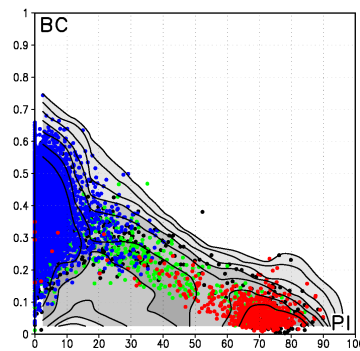


図3：Potential Intensity を横軸に、Baroclinicity を縦軸にとった環境場指標の空間における夏の南半球の低気圧の分布。熱帯低気圧(赤)、温帯低気圧(青)、ハイブリッド低気圧(緑)。灰色のシェードは各環境場の値が出現する頻度。

(3) 総観スケール低気圧の理想化実験
 ~ 熱帯・亜熱帯・温帯のコントラスト

現実大気の大規模スケールの低気圧の解析により、低気圧の発達と環境場との関係が示された。しかしながら、現実大気では地形や周囲の擾乱なども低気圧の発達に影響するため、環境場だけで低気圧の発達をどこまで説明できるかは明らかになっていない。また、海域ごとの環境場の違いを比較する際に、風や気温、湿度などの様々な環境場の要因が同時に変わるため、個々の要因の役割を切り分けることは難しい。これらの理解を深めるため、環境場の影響だけを検証できる理想化実験を行った。

「熱帯と温帯では低気圧が活発であり、亜熱帯では不活発である」という特徴を理解するため、夏の南半球の熱帯・亜熱帯・温帯の環境場を与えた理想化実験を行った。数値実験の領域は東西 6000km、南北 4000km とした。実験で与えた環境場は、気温・湿度・東西風の鉛直分布・コリオリパラメータ・海面と下層大気温度差の 5 つの物理量である。

初期に与えた弱い下層渦の時間発展を調べたところ、熱帯と温帯の環境場では -40hPa の気圧偏差を持つ低気圧が発達した (図 4)。熱帯実験の低気圧は、比較的小さくスパイラル状の雲パターンを伴い (図 5 左)、雲の凝結熱からエネルギーを得るといふ熱帯低気圧に似た特徴を示した。また、温帯実験の低気圧はコマ状の雲を伴い (図 5 右)、環境場の水平温度勾配からエネルギーを得るといふ温帯低気圧に似た特徴が見られた。一方で、亜熱帯の環境場では低気圧の発達は見

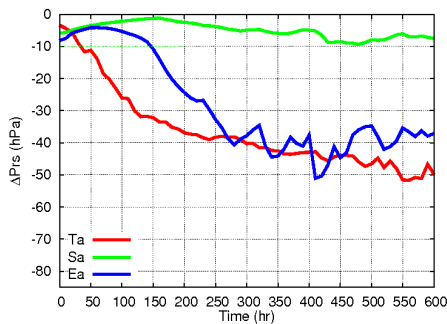


図 4 : 熱帯 (赤) 温帯 (青) 亜熱帯 (緑) の実験における低気圧の中心気圧 (東西平均からの偏差) の時間発展。

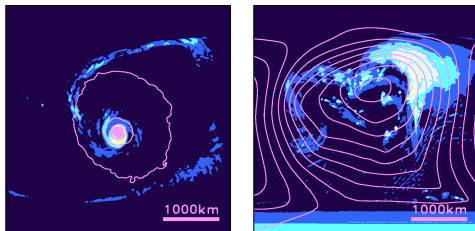


図 5 : 発達した低気圧の雲パターン (鉛直積算した水物質)。(左)熱帯の環境場。(右)温帯の環境場。

られなかった (図 4)。図 6 は夏の南インド洋の 30 地点の環境場に対して理想化実験での低気圧の発達の有無をまとめたものである。熱帯と温帯の多くの実験で低気圧が発達する一方で、亜熱帯では殆どの実験で低気圧が発達しなかった。以上の結果は、現実大気の特徴をよく再現しており、環境場が低気圧の発達や性質に大きな影響を及ぼしていることを確認することができた。

次に、亜熱帯で低気圧が不活発である理由を明らかにするために、5 つの環境場要因を個別に差し替えてその影響を調べる感度実験を行った。熱帯の実験と亜熱帯の実験とで個々の環境場の影響を比較したところ (図 7)、亜熱帯では気温が低く成層が強いため対流活動が弱められて熱帯低気圧の発達が遅いこと、また、東西風の鉛直シアが強く熱帯低気圧の発達が阻害されることが明らかになった。また、同様の感度実験を温帯と亜熱帯で行ったところ、亜熱帯ではコリオリパラメータが小さいことと東西風の鉛直シアが相対的に弱いことにより環境場の傾圧性が弱く、温帯低気圧の発達メカニズムである傾圧不安定が働きにくいことが明らかにな

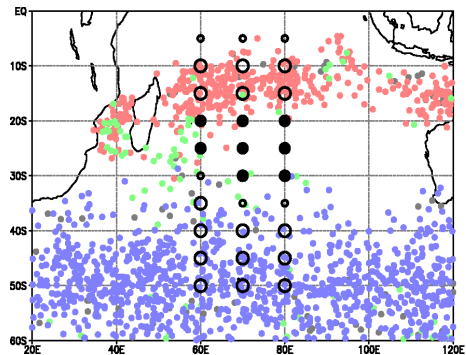


図 6 : 夏の南インド洋の各点の環境場を与えた理想化実験での低気圧の発達の有無。発達 (大白丸) やや発達 (小白丸) 発達せず (黒丸)。赤・青・緑の丸は図 1 と同様に再解析から検出された低気圧。

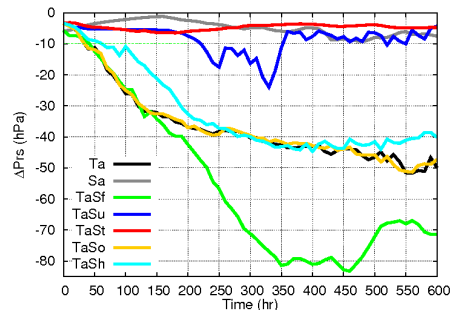


図 7 : 熱帯実験 (黒) において環境場要因の 1 つを亜熱帯実験 (灰) の値に差し替えた感度実験での中心気圧の時間発展。環境場要因はコリオリパラメータ (緑) 東西風 (青) 気温 (赤) 海面の温度差 (橙) 相対湿度 (水色)。

った。以上の結果を Yanase and Niino とし、Journal of Atmospheric Science 誌に投稿したところ、minor revision を経て掲載可能であるという評価を受け、再投稿中である。

これらの実験で興味深い点は、東西風の鉛直シアは熱帯低気圧の発達にとっては阻害要因であるが、温帯低気圧の発達にとっては促進要因となっていることである。鉛直シアの役割はコリオリパラメータや気温との兼ね合いで変化すると考えられる。鉛直シアとコリオリパラメータと気温がいずれも高い秋の西部北大西洋の環境場ではハイブリッド型の低気圧が発達することも確認できた。

(4) その他の成果

メソスケールの低気圧に関しては、ポーラロウのトラッキングデータを利用して環境場を解析したところ、環境場は 1~2 日程度の時間スケールで変化していることや、同じ海域でも事例により環境場の風や成層が異なることが確かめられた。また、積雲対流と傾圧場が強くなるような環境場を与えた理想化実験では、総観スケールの低気圧の特定の場所にメソスケールの低気圧が形成する現象が見られた。

その他、熱帯収束帯における東西風のシア不安定による台風の発生メカニズムを理想化実験により明らかにした Yokota et al. (2012) の研究で共著者として貢献した。また、台風の構造と移動が中緯度で大きく変化した台風 Bebinca(2006) の事例を解析した Arakane et al. (2014) の研究で共著者として貢献した。

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 4 件)

Arakane, S., M. Satoh and W. Yanase: Excitation of deep convection to the north of tropical storm Bebinca (2006). Journal of the Meteorological Society of Japan, 査読有, vol. 92, 2014, pp. 141-161.

doi:10.2151/jmsj.2014-201

Yanase, W., H. Niino, K. Hodges and N. Kitabatake: Parameter spaces of environmental fields responsible for cyclone development from tropics to extratropics. Journal of Climate, 査読有, vol. 27, 2014, pp. 652-671.

DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00153.1

Yanase, W., M. Satoh, H. Taniguchi and H. Fujinami: Seasonal and intraseasonal modulation of tropical cyclogenesis environment over the Bay of Bengal during the extended summer monsoon. Journal of Climate, 査読有,

vol. 25, pp. 2012, 2914-2930.

DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00208.1

Yokota, S., H. Niino and W. Yanase: Tropical cyclogenesis due to breakdown of intertropical convergence zone: An idealized numerical experiment. SOLA, 査読有, vol. 8, 2012, pp. 103-106.

DOI:10.2151/SOLA.2012-026.

〔学会発表〕(計 18 件)

柳瀬 亘: 再解析データを利用した総観~メソ スケール低気圧の気候学的研究. 名古屋大学地球水循環研究センター共同研究課題「グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学」研究集会, 2014.12.25, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

柳瀬 亘・新野 宏: 熱帯・亜熱帯・温帯の環境場における低気圧の発達. 東京大学大気海洋研究所 共同利用研究集会「地球流体における流れの多様性と普遍性の力学」, 2014.11.20, 東京大学大気海洋研究所(千葉県 柏市)

柳瀬 亘・新野 宏: 熱帯・亜熱帯・温帯における低気圧の環境場の比較. 急発達する低気圧の実態・予測・災害軽減に関する研究集会, 2014.11.18, 京都大学宇治キャンパス防災研究所(京都府宇治市)

Yanase, W. and H. Niino: Numerical experiments of cyclone development for tropical, subtropical and extratropical environments. Asia Oceania Geosciences Society 2014, 2014.7.30, Sapporo Royton Hotel (北海道札幌市)

Yanase, W. and H. Niino: Idealized experiments of cyclone development in the tropical, subtropical and extratropical environments. 10th International Conference on Mesoscale Convective Systems, 2014.9.15, Boulder (U.S.A.)

Yanase, W. and H. Niino: Idealized experiments of cyclone development in the tropics, subtropics and extratropics. 3rd International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Model, 2014.9.26, RIKEN AICS (兵庫県神戸市)

柳瀬 亘, 新野 宏: 熱帯・亜熱帯・温帯の環境場における低気圧の理想化実験 その 2. 2014 年度日本気象学会春季大会, 2014.5.23, 横浜市開港記念会館(神奈川県横浜市)

柳瀬 亘, 新野 宏, K. Hodges, 北嶋尚子: 熱帯・亜熱帯・温帯の環境場における低気圧の統計解析 その 2. 2013 年度

日本気象学会秋季大会, 2013.11.19, 仙台国際センター(仙台)

Yanase, W., H. Niino, K. Hodges and N. Kitabatake: Parameter spaces of environmental fields responsible for cyclone development in the tropics, subtropics and extratropics. Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013, 2013.7.11, Davos (Switzerland)
Yanase, W., H. Niino, K. Hodges and N. Kitabatake: Tropical cyclones and other types of cyclones in parameter spaces of environmental fields. 4th International Summit on Hurricanes and Climate Change, 2013.6.17, Kos (Greece)

柳瀬 亘, 新野 宏, K. Hodges, 北畠尚子: 複数の環境場の影響下で発達する低気圧の統計解析. 日本気象学会秋季大会, 2012.10.5, 北海道大学(北海道札幌市)

Yanase, W., H. Niino, K. Hodges, P. Vidale and N. Kitabatake: Statistical analysis of environments for cyclone development in the tropics, sub-tropics and extra-tropics. AOGS-AGU(WPGM) Joint Assembly, 2012.8.14, Singapore (Singapore)

Yanase, W. and H. Niino: Statistical analysis of environments for cyclone developments in the tropics, sub-tropics and extra-tropics. Joint Symposium on Ocean, Coastal, and Atmospheric Sciences, 2012.6.13, Honolulu (U.S.A.)

柳瀬 亘, 新野 宏, K. Hodges, P. Vidale: 熱帯・亜熱帯・温帯の環境場における低気圧の統計解析. 日本気象学会春季大会, 2012.5.29, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

柳瀬 亘, 新野 宏: 熱帯・亜熱帯・温帯の環境場における低気圧の理想化実験. 日本気象学会春季大会, 2012.5.27, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

柳瀬 亘: 熱帯低気圧・温帯低気圧の発達と構造変化の統計解析. 日本気象学会秋季大会, 2011.11.18, 名古屋大学, (愛知県名古屋市)

Yanase, W., M. Satoh, H. Taniguchi and H. Fujinami: Role of intra-seasonal oscillations in modulating tropical cyclogenesis in the Bay of Bengal during extended summer monsoon (May to November). 3rd international summit on Hurricanes and Climate Change, 2011.7.1, Rhodes (Greece).

柳瀬 亘, 佐藤正樹, 谷口博, 藤波初木: 夏季モンスーン期とその前後にベンガル湾に発生する熱帯低気圧の環境場. 日本気象学会春季大会, 2011.5.20, 国

立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区)

〔図書〕(計 2件)

Yanase, W., M. Satoh, S. Iga, J. C. L. Chan, H. Fudeyasu, Y. Wang and K. Oouchi, Nova Science Publishers Inc. (U.S.A), Multi-scale dynamics of tropical cyclone formations in an equilibrium simulation using a global cloud-system resolving model. 2012, pp. 221-232.

柳瀬 亘, 丸善出版株式会社, 風の事典, 2011, pp. 66-69.

〔その他〕

ホームページ等

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