

平成 30 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：2014～2017

課題番号：26400465

研究課題名(和文) メガラヤ・バングラデシュ・ミャンマー地域に豪雨をもたらす渦状低気圧の実態解明

研究課題名(英文) A study on vortex-type low pressure systems around the Meghalaya, Bangladesh and Myanmar region

研究代表者

藤波 初木 (FUJINAMI, HATSUKI)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・講師

研究者番号：60402559

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：夏季バングラデシュ周辺では渦状低気圧が発生し大雨をもたらす。この研究課題は、これまで未解明であったバングラデシュ周辺の渦状低気圧の実態、三次元構造及び発生環境と発達過程を明らかにした。渦状低気圧は水平規模が約600km、高度は9000mに達し、上層に暖気核、下層に冷気核を持つ。内部に螺旋状の降水帯を伴い、背の高い積乱雲が発達する。バングラデシュ周辺では降水量が10～20日周期で変動し、降水活発期の約60%がこの低気圧による降水でもたらされる。渦状低気圧の発生にはベンガル湾北部で下層大気の高気圧性シアが強く、鉛直シアが小さい環境が重要である。低気圧の発達には凝結の潜熱が重要であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Vortex-type low pressure systems (LPSs) often appear around Bangladesh and cause heavy rainfall during boreal summer. This study examined the three dimensional structure of the LPSs including precipitation systems and atmospheric environment for the genesis and development of the LPSs. They have horizontal scale of about 600 km and vertical scale of about 9 km. The thermal structure shows clearly a cold core in the lower troposphere and a warm core in the upper levels. There are spiral rainbands with tall cumulus convections in the LPSs in the early stage of the development. Precipitation varies on 10-20 day period around Bangladesh. About 60% of active peaks of rainfall are related to the LPSs. Strong cyclonic shear in the lower troposphere and weak vertical wind shear throughout the troposphere, which fluctuate on intraseasonal timescales, help to induce the genesis of vortex-type LPSs. Latent heating due to condensation causes the rapid development of the LPSs.

研究分野：気候学・気象学

キーワード：渦状低気圧 モンスーン バングラデシュ メガラヤ高原 ミャンマー 降水 季節内振動 日変化

1. 研究開始当初の背景

南アジアのインド亜大陸北東部に位置するメガラヤ高原・バングラデシュ・ミャンマー西海岸域は夏季総降水量が2000mm以上、年間降水量が10000mmを越える場所もある世界最多雨地域である。同領域の夏季モンスーン期(6~8月)の降水活動は常に雨の多い状態が続くのではなく、7~25日周期帯で非常に明瞭な活発期と不活発期を繰り返す。この現象を季節内変動という。同領域はアジアモンスーン領域の中で7~25日季節内変動が最も卓越する(Fujinami et al. 2011)。同領域に夏季にもたらされる大量の降水は、この季節内変動に伴う雲・降水活動の活発期に集中する。この降水量の季節内変動の活発期の振幅の大きさが、夏季総降水量を決定するため(Fujinami et al. 2011)、その振幅を決定する機構の解明は極めて重要である。このように、同領域の夏季総降水量は、モンスーン及び熱帯大気循環の内部力学によって生じる内部変動によって大きく影響を受けるため、同領域の季節降水量の予測可能性は著しく制限されている。

これまで、夏季南アジアでは、インド中部に大量の降水をもたらすモンスーン低気圧と呼ばれる(直径が1000~2000km)渦状擾乱が知られている。このモンスーン低気圧はベンガル湾で発生し、発達しながら北西進し、インドに影響を及ぼす(Krishnamurthy and Ajayamohan, 2010)、この低気圧の活動度と通過経路は、インドにおける30~60日周期帯の季節内変動と強く関係していることも分かっている(Goswami et al. 2003)。最近、申請者及び関係者の研究により、メガラヤ・バングラデシュ・ミャンマー地域の季節内変動の降水活発期に、バングラデシュ周辺に直径500~800km程度の渦状低気圧が存在することがわかってきた。渦状低気圧が発生・発達すると、バングラデシュ平野部周辺で降水量が顕著に増加する。これは、活発期に同領域に発達する渦状低気圧の動態が、季節内変動活発期の振幅と総降水量を決定し、季節総降水量に影響を及ぼすことを示唆する。つまり、季節内変動活発期における渦状低気圧の発生・発達の理解が、同領域に社会的に重要な1~2週間程度の降水予報向上と季節予報の予測可能性の向上の為に極めて重要であることを示唆している。

同領域に降水の季節内変動をもたらす大規模循環場の変動は、赤道ロスビー波の西進によるガンジス平原周辺の顕著な西風と東風の交替と関係している(Fujinami et al. 2014)。同領域の季節内変動活発期には下層の強い西風が北緯20度以北まで達する。このような環境場の変動が、バングラデシュ周辺のメガラヤ高原とアラカン山脈の影響を受け、その風上側のバングラデシュ上に500~800kmの渦状低気圧が形成されているように推測されるが、低気圧の三次元構造、発生・発達の機構は未だに分かっていない。

2. 研究の目的

本研究は、世界最多雨地域であるメガラヤ高原・バングラデシュ・ミャンマー西岸地域の夏季総降水量に影響を及ぼし、季節内変動活発期に発生・発達する渦状低気圧の詳細な三次元構造と発生・発達をもたらす大規模大気循環場の機構を明らかにする。また、低気圧に伴う降水の三次元構造や降水特性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 高精度大気再解析データ(JRA25, ERA-Interim)と高時間空間分解能の格子点降水量データ(APHRODITE, TRMM-3B42, TRMM-PR, GPM-DPR)及び雲量データ(OLR等)を用いて夏季モンスーン期におけるバングラデシュ周辺の渦状低気圧を検出する。渦状低気圧と降水及び大気循環場の季節内変動との時空間関係を解析し、低気圧発生に影響を及ぼす大気循環場の変動と構造を解析する。

(2) 大気再解析データによる渦状低気圧の詳細な大気三次元構造と熱力学的・力学的診断解析を行う。さらに低気圧に伴う降水分布、降水特性(層状性、対流性降雨、降雨頂高度等、降水域の大きさ等)、降雨の三次元構造をTRMM-PRとGPM-DPRを用いて明らかにする。

(3) 雲解像領域モデルCReSSを用いて、同領域での渦状低気圧の発生・発達の再現を試み、再解析データや格子点降水量データによる診断的・力学的解析結果と比較する。渦状低気圧の発達に対する潜熱の影響を調べるために感度実験も行う。

4. 研究成果

(1) 高精度降水量データ(APHRODITE, TRMM3B42)と大気再解析データ(JRA25)を用いて、夏季バングラデシュ周辺で発生し大雨をもたらす渦状低気圧の動態と空間構造を解析した。夏季バングラデシュでは、降水変動に約2週間周期(QBW)で活発期と不活発期を繰り返す季節内変動が卓越する。1979~2007年の統計的な解析から、降水活発期の約60%に渦状低気圧が存在することが分かった。バングラデシュ周辺に渦状低気圧が発生・発達する時は、下層の強い西風が北緯20度付近までしか進入せず、北緯20度から25度の領域は風が弱い(図1a)。一方、降水活発期の残りの約40%は、渦状低気圧は存在せず、強い西~南西風が北緯25度付近まで侵入し、バングラデシュ周辺に流入する(図1b)。渦状低気圧を伴う季節内変動の活発期(LPS case)には、バングラデシュ西部の平野部で降水量が増大する(図1a)、低気圧を伴わない活発期(non-LPS case)には北東部と東部を中心に降水量が増大する(図1b)。渦状低気圧の発生と経路追跡解析より、この低気圧はバングラデシュ周辺で発生・発達し、停滞する傾向があることが分かった。また、渦状低気圧の合成図解析より、バングラデシュ周

辺で発生する渦状低気圧は、水平規模が約 600 km で、高度は約 9000m に達する背の高い鉛直構造を持ち、上層に暖気核、下層に冷氣核を持つことが分かった(図 2)。渦状低気圧の強い下層収束域と降水域は、低気圧の東から南東側に存在する特徴がある。さらに低気圧の北東部から東側にかけて、メガラヤ高原やアラカン山脈などの領域規模の地形が存在することが、低気圧を停滞させる一因であると考えられる。これらの結果は、この渦状低気圧の発生・発達、バングラデシュの夏季総降水量の年々変動を左右する季節内変動の振幅を決定する重要な役割を持っていることを示している。

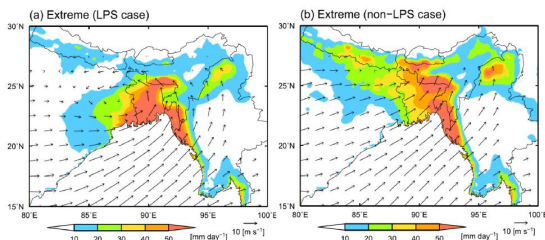


図 1: バングラデシュにおける降水の季節内変動の活発期の降水量(色階調)と 850 hPa の風の場の合成図。(a)LPS case, (b)non-LPS case.

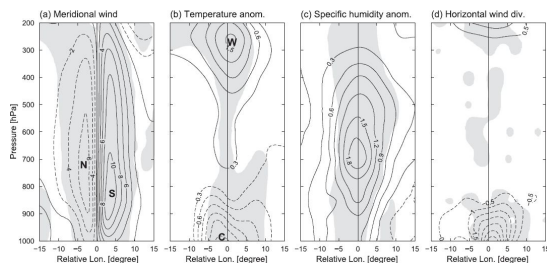


図 2: 渦状低気圧の鉛直構造(合成図)。(a)南北風, (b)気温, (c)比湿, (d)水平発散。灰色の領域は 95% で有意な領域。気温のみ 29 年間の夏季平均値からの偏差。x 軸の 0 が低気圧の中心位置。

(2) バングラデシュにおける QBW の降水活発期をもたらす LPS case と non-LPS case が、どのような機構によって発生するのかを統計的に解析した。その結果、アジアモンスーン域で卓越する 2 つの季節内振動モードで、異なる大気循環場の空間構造と伝播特性を示す QBW と 25 ~ 60 日周期の季節内変動 (boreal summer intraseasonal oscillation; BSISO) の時空間的な重ね合わせにより、LPS case と non-LPS case が周期的かつ選択的に発生する傾向があることを明らかにした。LPS-case は西太平洋から西進する QBW の下層の高気圧偏差がインドシナ半島西岸に位置し、赤道インド洋から北進する BSISO の低気圧偏差がインドからベンガル湾に位置する時に発生しやすい(図 3a)。QBW の高気圧偏差北西側の西風偏差と BSISO の低気圧偏差南側の西風偏差が、ベンガル湾北部で西風を強化し低気圧性シアが増大する。さらに、鉛直シ

アが弱く、中層大気の湿度も上昇しており、バングラデシュ周辺は渦状の低気圧が発生しやすい環境となる。一方、non-LPS case は QBW の高気圧偏差がベンガル湾に位置し、BSISO の高気圧偏差がインドからベンガル湾に位置する時に発生しやすい(図 3b)。BSISO と QBW の高気圧偏差の北側の西風偏差がバングラデシュ上に強い西風を形成し、周辺山岳域の風上斜面で降水が増える。このように、従来バングラデシュの降水変動には影響が小さいと考えられていた BSISO が、QBW の降水活発期における総観規模の降水発生機構に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。さらに、これまで独立した季節内変動であると考えられてきた QBW と BSISO が、西太平洋からインド洋において時空間的に位相固定している可能性を見いだしたことは、熱帯からアジア周辺の大気循環変動の研究に対する学術的な寄与が大きい。

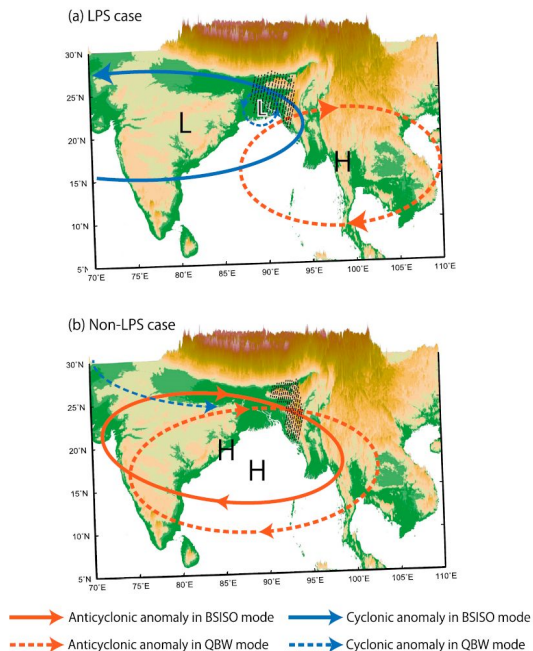


図 3: 渦状低気圧発生期の下層大気における QBW(点線)と BSISO(実線)の空間位相関係の模式図。(a)LPS case, (b) non-LPS case

(3) インド北東部(バングラデシュとの国境付近)に位置するメガラヤ高原の南斜面は、世界で最も雨が降る場所である。メガラヤ高原の南斜面は、バングラデシュ同様に降水変動に QBW が卓越する。さらに、日変化が明瞭であり、夜から明け方に降水量の極大をむかえる。メガラヤ高原では non-LPS case の方が LPS case よりも雨が多くなる。non-LPS case では、風上側のバングラデシュ低地上の下層風が南西風(西風期)、LPS case では南東風(東風期)となる(図 1 参照)。西風期の夜間に南斜面の降水量が最も多くなる機構を調べた。夏季のベンガル湾からの南西風は、高度 1500m 以下に強風軸を伴い、バングラデシュの低地を経由してメガラヤ高原南斜面に到達する。西風期には、バングラデシュ東部が

らメガラヤ高原にかけて南北に連なるアラカン山脈の影響で、山脈に沿ったジェット気流状の南風が形成される。このため、高原の南斜面に向かう水蒸気輸送が強化され、地形性降雨が増大する環境がもたらされる(図4a)。日中は、陸上の大気混合層の発達で摩擦として下層大気に作用し、ベンガラデシュ上の南西風とアラカン山脈に沿った南風の風速が著しく弱くなる。一方、夜間は大気最下層に安定層が形成され、地表面摩擦の影響がなくなるため、南斜面に向かう下層風が加速し、地形性降水を増大させる(図4b)。このように、世界最多雨域は、海からの下層湿潤気流の変動と、周辺の地形・陸面の影響を強く受けて形成されていることが分かった。

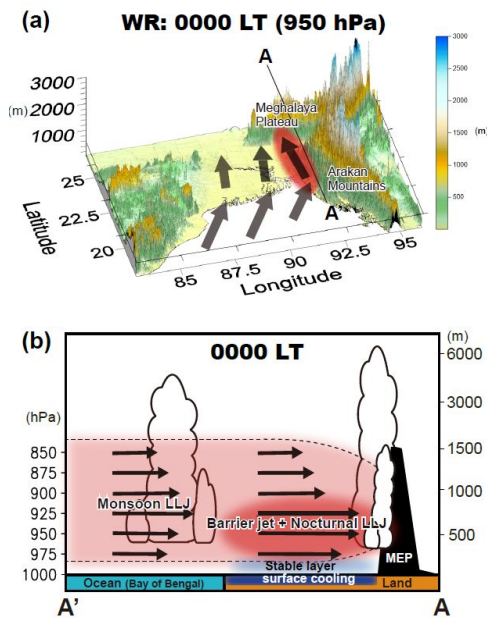


図4: (a)西風期夜間の950hPaの風の分布と地形の関係の模式図。赤楕円域はジェット状の強風域。(b)(a)のA-A'に沿った風速と海及び陸における風速分布の模式図。

(4) 渦状低気圧の詳細な構造を解析するため、雲解像モデル(CReSS, 水平解像度 5km)による再現実験を行った。実験は典型的な渦状低気圧が発生した2003年6月21日を対象とした。6月15日00UTCを初期値にして、10日間計算を行った。CReSSは渦状低気圧に伴う平均的な降水量分布や低気圧の空間構造をよく再現した(図5)。さらに、低気圧内部に螺旋状の降水帯とその降水帯の中に強い降水強度(時間降水量 50~100mm)をもつセル状の降水システムが再現された。

次に2016年8月17日にベンガル湾北部で発生した渦状低気圧(モンスーン depression)の降水システムを解析した。この低気圧は8月16日から17日かけてベンガラデシュ至近のベンガル湾最北部で急発達した。大気循環場は季節内変動の影響を受け、渦状低気圧が発生しやすい状況にあった。降雨観測衛星(GPM)と雲観測衛星(CloudSat)の観測により、この低気圧の発生期にはベンガ

ル湾北部で背の高い対流性の降水システムが観測された。また、低気圧内部には、局所的に強い降水を伴う螺旋状の降水帯が観測された(図6)。18日以降は、層状性の降水や雲が増加した。雲解像モデル CReSS(水平解像度 5km)を用いて、この低気圧の発生・発達の再現実験を行った。初期値には8月14日12UTCの大気再解析データを与え、その後7日間はCReSSの物理過程のみで計算を行った。CReSSによる低気圧の中心気圧の変化は、観測されたモンスーン低気圧の発生・発達のタイミングを良く再現していた。また、観測された降水分布の特徴も概ね再現できた。低気圧の急発達に対する雲・降水活動の潜熱の効果を得るため、CReSSの雲微物理過程をオフにした感度実験を行った。その結果、モンスーン低気圧は発生も発達もしなかった。さらに、ベンガル湾から大気への潜熱供給の効果を得るため、雲微物理過程はオンにしてベンガル湾からの潜熱供給をオフにする実験を行った。その結果、ベンガル湾に弱い降水システムが発生するものの、急発達は起こらなかった。これまでの先行研究には、モンスーン期の渦状擾乱(モンスーン低気圧)の発達に傾圧的な大気重要であるとの結果もあるが、本研究が対象としたモンスーン低気圧は、台風と同様に、発達には対流活動と海上からの潜熱供給が不可欠であることが分かった。周辺地形(アラカン山脈やメガラヤ高原)や土壌水分の低気圧発生や発達に対する影響の評価は、今後の課題である。

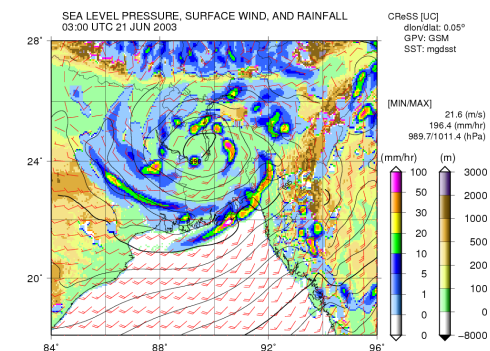


図5: CReSSによって再現された、2003年6月21日にベンガラデシュで観測された渦状低気圧の事例。

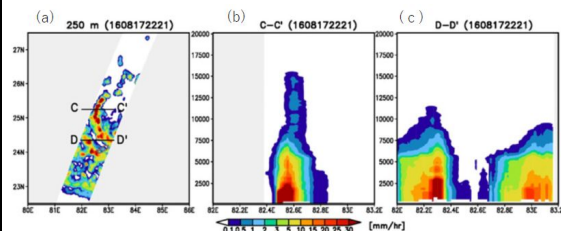


図6: (a) GPM-DPRによる2016年8月16日に観測された渦状低気圧の螺旋状降水帯の観測事例。色階調は降水強度 (b)と(c)はそれぞれ、(a)のC-C'とD-D'の鉛直経度断面図。縦軸の単位はm。

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3件)

Fujinami, H., T. Sato, H. Kanamori and F. Murata, 2017: Contrasting features of monsoon precipitation around the Meghalaya Plateau under westerly and easterly regimes, *J. Geophys. Res.-Atmospheres.*, **122**, 9591-9610.

Hatsuzuka, D. and H. Fujinami, 2017: Effects of the South Asian monsoon intraseasonal modes on genesis of low pressure systems over Bangladesh, *J. Climate*, **30**, 2481-2499.

Hatsuzuka, D., T. Yasunari and H. Fujinami, 2014: Characteristics of low pressure systems associated with intraseasonal oscillation of rainfall over Bangladesh during boreal summer, *Mon. Wea. Rev.*, **142**, 4758-4774.

[学会発表](計12件)

Fujinami, H., T. Sato, H. Kanamori and F. Murata, 2017: Contrasting features of monsoon precipitation around the Meghalaya Plateau in westerly and easterly regimes, Sixth International Workshop on Monsoons (IWM-6), 13-17 November 2017, Singapore.

平田英隆・藤波初木・加藤雅也・坪木和久(2017): 2016年8月中旬に発生したモンスーン低気圧の発達要因, 日本気象学会2017年秋季大会, 2017年10月30日~11月2日, 北海道.

Fujinami, H., T. Sato, H. Kanamori and F. Murata, 2016: Contrasting features of monsoon precipitation around the Meghalaya Plateau in westerly and easterly regimes from a 17-year TRMM observation, AGU Fall Meeting, 12-16 December, San Francisco, CA, USA.

初塚大輔・藤波初木(2015): バングラデシュにおける渦状低気圧の発生と2つの季節内振動モードの関係, 日本気象学会2015年秋季大会, 2015年10月28~30日, 京都.

Hatsuzuka D., H. Fujinami, T. Yasunari, 2014: Characteristics of low-pressure systems associated with intraseasonal oscillation of rainfall over Bangladesh during boreal summer, AGU Fall Meeting, 15-19 December, San Francisco, CA, USA.

Fujinami, H. and T. Yasunari, 2014: Dynamics of distinct intraseasonal oscillation in summer monsoon rainfall over the Meghalaya-Bangladesh-western Myanmar Region, Takio Murakami memorial symposium on tropical

meteorology and monsoon, 2-3 July, Honolulu, Hawaii, USA.

藤波初木・安成哲三(2014): 夏季南アジアの多雨地域に卓越する準二週間周期変動, 日本気象学会2014年度秋季大会, 5月21日~24日, 横浜.

[その他]

ホームページ等

<http://mausam.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~hatsuki/index.htm>

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤波初木(FUJINAMI HATSUKI)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・講師

研究者番号: 60402559

(2)連携研究者

安成哲三(YASUNARI TETSUZO)

総合地球環境学研究所・所長

研究者番号: 80115956

坪木和久(TSUBOKI KAZUHISA)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授

研究者番号: 90222140

広瀬正史(HIROSE MASAFUMI)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号: 40392807

(3)研究協力者

初塚大輔(HATSUZUKA DAISUKE)

名古屋大学・環境学研究科・大学院生

加藤雅也(KATO MASAYA)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・研究員

研究者番号: 00648272

金森大成(KANAMORI HIRONARI)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・研究員

研究者番号: 50422803

平田英隆(HIRATA HIDETAKA)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・研究員

研究者番号: 30808499