

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740320

研究課題名(和文)南アジアにおける雲・降水のマルチスケール時空間変動の解明

研究課題名(英文)Multi-scale spatiotemporal variation of convection and atmospheric circulation over South Asia

研究代表者

藤波 初木(Fujinami, Hatsuki)

名古屋大学・地球水循環研究センター・助教

研究者番号：60402559

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円、(間接経費) 540,000円

研究成果の概要(和文)：世界最多雨地域であるバングラデシュ周辺で卓越する準2週間周期変動は、熱帯～中緯度の対流圏全層をまたぐ非常に広域なモンスーンシステムの中でみられる同周期帯の大規模大気循環場(6000km以上)変動が、対象領域周辺の大規模な地形的特徴(約3000km)を介して同周期帯の東西風変動を顕著にし、さらに領域スケールの地形分布(約500km)により、地形性降雨の増大と小規模低気圧(約600km)の発生・発達をもたらす、降水変動として顕在化することが分かった。まさに、多重空間スケールの地形と大気変動の相互作用及び中緯度-熱帯大気の相互作用が、世界最多雨領域の降水変動を形成・維持していることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The rainfall distribution and rainfall amount, related to the distinct quasi-biweekly oscillation around Bangladesh, are highly controlled by regional-scale topography located on the easternmost part of the Gangetic Plain. Strong westerly/southwesterly flow along the plain enhances the orographic rainfall in the windward area of the mountains. A region away from mountainous area also gets high rainfall due to the low-level convergence, associated with a closed low of the horizontal scale of ~600 km. The  $n=1$  equatorial Rossby wave is a key agent that regulates the low-level zonal wind along the plain to the south of the Tibetan Plateau (TP) and controls the periodicity. The mid-latitude atmospheric circulation around the TP also play an active role in enhancing the zonal wind fluctuation along the plain. Thus, multi-scale interaction is obvious between topography, precipitation system and atmospheric circulation, resulting in the distinct intraseasonal oscillation around South Asia.

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：モンスーン 降水 雲 季節内変動 地形性降水 マルチスケール 南アジア

### 1. 研究開始当初の背景

南アジア陸域は夏季(6~8月)総降水量が2000mm以上、年降水量が10000mmを超える場所もある世界有数の多雨地域である。同領域の夏季の雲・降水は常に多いわけではなく、7~25日(準2週間周期)と30~60日周期帯で明瞭な活発期と不活発期を繰り返す(Yasunari 1979等)。この現象を季節内振動と呼ぶ。気候学的には、南アジアでこれら2つの周期帯が卓越する領域は異なる傾向がある。準2周期変動はバングラデシュを中心としたガンジス平原周辺で最も卓越し、30~60日周期はインド西岸~中部、ミャンマー西岸で卓越する。これらの2つの周期帯の季節内変動は、それぞれ空間スケールの異なる特徴的な大気循環場の変動を伴う。

この季節内変動の活動度は、南アジアの夏季降水量の年々変動に大きく影響を及ぼす(Goswami and Mohan 2001, Fujinami et al. 2011)。北インドやバングラデシュ周辺では夏季降水量の年々変動とエルニーニョ等の外部強制力(外部強制力は持続時間が長いいため、予測可能性の向上につながる)との関係はほとんどなく、季節内変動の活動度で年々変動が決まる(Fujinami et al. 2011)。季節内変動はモンスーンの内部力学によって生じる内部変動である。南アジアモンスーン領域は、雲・降水活動の季節内変動が非常に強く、同領域の季節降水量の予測可能性を著しく制限している。これはインド等、他の南アジアでも、程度の差はあるが同様の傾向である。

このように、季節内変動に伴う雲・降水は同領域の季節降水量及びその年々変動に実質的な影響を及ぼす重要な物理量である。そのため、雲・降水の季節内変動の実質的な降水量生成を担う雲・降水システムの詳細な時空間特性とその発生要因の理解が重要となる。しかし、同領域でこれらを調べた研究は非常に少ない。これまで、地上降水レーダーやTRMM-PR(熱帯降雨観測衛星の降雨レーダー)を用いて、夏季平均の降水システムの空間特性や降雨特性は研究されている(Hirose and Nakamura 2005; Rafiuddin et al. 2009; Romatschke and Houze 2011等)。また、季節内変動と他の時間スケールの雲・降水変動との関係は、インド上の季節内変動と3~6日周期のモンスーン低気圧経路(Goswami et al. 2003, 図3左)やインドとネパールの降水の季節内変動と日変化(Singh and Nakamura 2010)の観点から一部研究がなされている。

夏季アジアモンスーン域の陸上では、雲・降水の卓越周期に、季節内変動の他に、日周期(日変化)と3~6日周期(総観規模擾乱)が存在する。特に、日変化を伴う雲・降水システムと季節内変動は大規模山岳地形の分布により、その卓越領域が選択されているようである(Ohsawa et al 2001)。また、季節降水量の分布が、大規模山岳地形の影響を強く受けていることも明らかである。これらは降水量

分布に対し、大規模地形による強制上昇を伴う力学的な地形性降雨と熱的局地循環に伴う降雨(Fujinami et al. 2005, Takahashi et al. 2010)が重要であることも示唆している。さらに重要なことは、これらの大規模山岳域でも雲量や降水量は明瞭に季節内変動を示すことである(図3)。つまり、地形性降雨や降水の日変化も季節内変動の時間スケールで変調されることを示唆している(Fujinami and Yasunari 2001)。

(b) Magnified view (17N-29N,83E-97E)

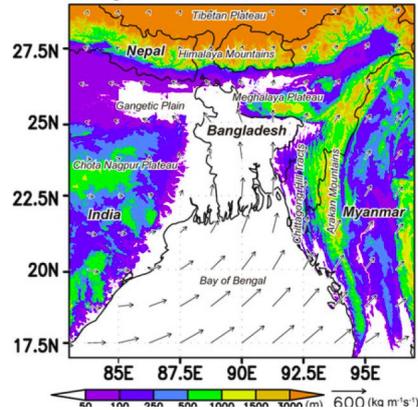


図1: 対象領域周辺の地形図と鉛直積分した水蒸気フラックス(1979~2007年の6~8月平均値)。

### 2. 研究の目的

本研究は、南アジアに卓越する雲・降水の季節内変動がどのような時空間特性を持ち、どのような循環場の変動によってもたらされるのかを明らかにする。その際、それぞれの多重(マルチ)スケールの時空間構造とその変動に注目して解析を行う。1)そのため、まず高い時空間解像度もつ格子点降水量データセットにより、南アジアにおける雲・降水変動の卓越周期の空間特性を明らかにする。2)また雲・降水の季節内変動(特に準2週間周期)と異なる時空間スケール、特に日変化、総観規模擾乱、地形性降雨がどのような時空間関係にあるのかを季節内変動の位相(活発期、不活発期とその遷移期)に注目し明らかにする。また、TRMM-PRのデータを用いて降水システムの降雨特性を明らかにする。3)さらに季節内変動をもたらし循環場の3次元の特徴とその時空間変化が、他の時間スケールの雲・降水変動にどのように影響をもたらすかを考察する。

### 3. 研究の方法

1)南アジアにおける各年の雲・降水変動の卓越周期とその空間分布を調べる。季節内変動が卓越する領域で、他の時間スケール(日変化、総観規模擾乱、地形性降水等)の雲・降水量変動との時間位相関係を雲(GMS,MTSAT,OLR)と降水量データ(APHRODITE,TRMM-3B42)のウェーブレット解析で調べる。

2)降水時系列を元に季節内変動の位相(活発期、不活発期、遷移期)を決め、コンボジット解析や回帰分析等を用い、各位相での日変化、

総観規模擾乱、地形性降水等の時空間相互関係を明らかにする。季節内変動の各位相における降水特性を TRMM-PR データにより解析する。

3) 季節内変動をもたらす循環場変動の3次元構造を解析し、降水の季節内変動の各位相における大気循環場の特徴が、他の時空間スケールの雲・降水システムの発生にどのような影響をもっているのかを物理的に理解する。

#### 4. 研究成果

1) インド亜大陸北東部に位置するバングラデシュ、メガラヤ高原、ミャンマー西部を含む領域(北緯 20~26 度, 東経 88~93 度; 以後、対象領域とする。図 1 参照) は陸上で最も降水量が多く、準 2 週間周期変動が卓越する領域である。1979 年~2007 年の夏季(6~9 月)の対象領域の日降水量時系列データ(APHRODITE)にウェーブレット解析を行った。1980, 1982 及び 1990 年を除く全ての年で、準 2 週間周期帯に有意なスペクトルピークが確認された。一方、1980, 1982, 1990 年には 30~60 日周期帯に有意なスペクトルが見られた。このように、同じ時期に有意な準 2 週間周期と 30~60 日周期帯が共存することはなかった。対象領域では 2~5 日周期程度の総観規模擾乱とこれらの季節内変動との間には有意な関係は見いだせなかった。約 30 年間で平均したウェーブレットスペクトルから季節内変動の卓越する時期が明らかになった(図 2)。準 2 週間周期変動は 6 月上旬よりパワーが強くなり、6 月下旬~7 月上旬にかけてピークを迎え、8 月下旬まで比較的強いパワーが持続する。一方、30~60 日周期は準 2 週間周期変動よりも 2 週間ほど早くパワーが上昇し、6 月中旬~下旬にかけて最も強くなった。

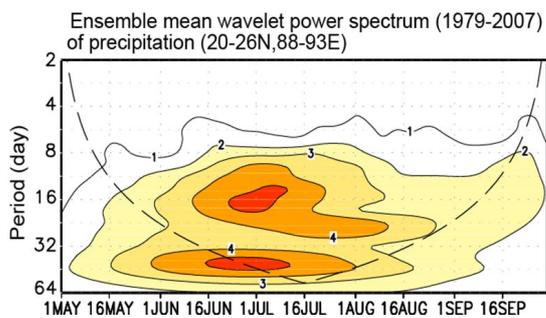


図 2: 対象領域 (20-26N, 88-93E) における夏季降水量のアンサンブルウェーブレットスペクトル(1979~2007 年までの 29 年分)

2) 対象領域で平均した降水量時系列データを元に季節内変動の極大日と極小日を抽出し、領域スケールの降水変動の詳細な時空間変動の解析を行った。バングラデシュ周辺の降水変動は顕著な空間位相変化をみせず、バングラデシュを中心としたガンジス平原上で増加し、減少するような定常波動的な振る舞

いをする。特に、メガラヤ高原南斜面とミャンマー西岸域の山岳域の西側斜面で降水変動の振幅が大きい(図 3)。これは、活発期にこれらの風上斜面に法線方向の風速が増加するために引き起こされる地形性降雨である(図 3 と 4 参照)。下層の比湿は活発期も不活発期も大きな変化はない。これは不活発期にもベンガル湾からの湿った南風が入ってくるからである。そのため、下層大気不安定度(600hPa と 1000hPa の相当温位の鉛直傾度で定義)はどちらの期間も大きな変化はなく、対流不安定な成層をしている。この期間で大きく異なるのは風速と風向である(図 5 上)。活発期は西風~南西の風が卓越する(図 4 参照)。水蒸気フラックスの変動は主に風の変化によってもたらされている。一方、活発期には、山岳域の風上斜面だけではなく、平野部でも降水量は増加する。これは平野部では低気圧性の循環場が強化されることによる。実際、活発期の約 6 割の事例で直径が 500~800km 程度の渦状の低気圧がバングラデシュ周辺に存在することが明らかになった。この低気圧による下層収束の強化により平野部で降水量が増大し、さらにメガラヤ高原南面とミャンマー西岸への法線方向の風速も増大するため、地形性降雨が増加する(図 4)。

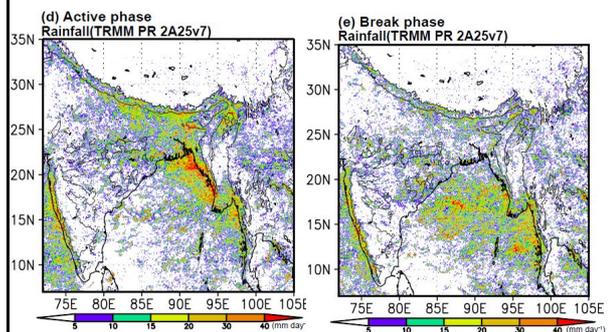


図 3: TRMM-PR(ver7)による(左) 季節内変動活発期の降水量の空間分布及び(右) 不活発期の降水量の空間分布。図中の細実線は標高 500m と 3000m を示す。

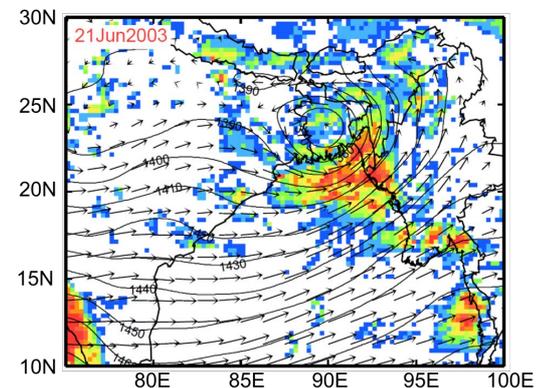


図 4. 季節内変動活発期の降水極大日に観測された直径 500~800km の渦状低気圧とそれに伴う降水分布の事例(2003 年 6 月 21 日)。等値線は 850hPa の高度場、ベクトルは風を示す。色階調は TRMM3B42 による降水量分布。

このように対象領域周辺の準2週間周期変動は同周期帯での風速、風向の変動が周辺の地形的な特徴によって顕著になった結果、同周期帯で明瞭な水蒸気収束が生じ、降水変動として顕在化していることを示唆している。

一方、不活発期にはバングラデシュを含むガンジス平原周辺の降水量は顕著に減少する。対象領域周辺では南東～東風が卓越し、ガンジス平原を収束せずに通過するため、領域全体としては降水量が減る。メガラヤ高原南面とミャンマー西岸には法線方向の風速が弱くなるため、平野部と山岳域で降水量が減少する。不活発には雲量及び降水量が多い領域はベンガル湾を西進する(図3右)。

TRMM-PRの解析から、対象領域周辺においては、活発(不活発)期の降水量増加(減少)は降雨頻度の増加(減少)によるところが大きいことが分かった(図4下)。メガラヤ高原南面やミャンマー西海岸の風上斜面では降水強度の増加も寄与している。メガラヤ高原南面は総降水量に対する対流性降雨の割合が約7割(層状性降雨が3割)を占める。一方、メガラヤの山頂から北側山麓にかけては層状性の雨が約7割を占めた。

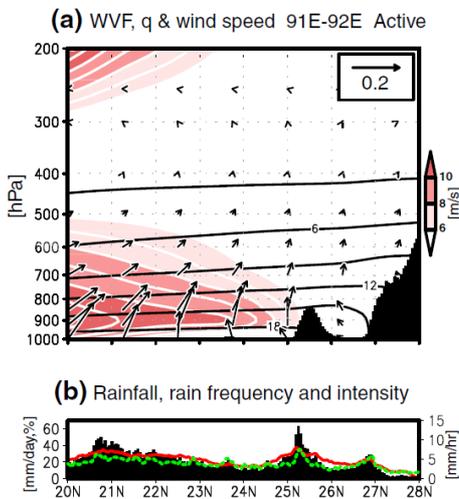


図5:(上)メガラヤ高原を含む経度帯(91-92E)で平均した風速(色階調),各層の水蒸気フラックス(ベクトル)及び比湿(等値線;g/kg)の緯度高度断面図。図中の黒色は地形断面を示す。北緯25~26度付近の山岳地形がメガラヤ高原(下)(上)と同様だが、TRMM-PR(ver7)による降水量(黒棒グラフ;左軸),降水頻度(赤実線;左軸)及び降水強度(緑破線;右軸)の緯度分布。

3)次に、対象領域の降水変動に重要なガンジス平原上の東西風変動をもたらす大規模循環場の3次元構造とその変動を解析した。対象領域は東西南北にそれぞれ500kmほどの領域にもかかわらず、その領域の降雨変動に関係する循環場の変動は6000km以上の空間スケールにおよび、アジアモンスーン域を含む熱帯～中緯度と、さらに対流圏下層～上層にかけての広大な領域に分布することが分かった。ガンジス平原上の準2週間周期の東西

風変動は西太平洋付近から西進する赤道対称ロスビー波( $n=1$ )によってもたらされる。すなわち、赤道対称ロスビー波により、対流圏下層(850hPa)で高気圧性偏差がベンガル湾に西進してくると、その高気圧偏差の北側の西風偏差により、ガンジス平原は西風が強化される(図6上)。一方、低気圧偏差がベンガル湾に西進してくると低気圧偏差北縁部の東風偏差により東風が強化される。重要な点はこれらの熱帯擾乱により、実質的に東風と西風が交替する点である。赤道ロスビー波は準2週間周期の変動特性をもっているため、ガンジス平原の東西風変動も同じ周期を持つことになる。対流圏中層(500hPa)の循環場偏差は850hPaの偏差分布とほぼ同じである。活発期にはチベット高原上でより顕著な低気圧性循環が見られる(図6中)。この順圧的な構造により、ガンジス平原上は下層から中層まで西風が強化される。さらに、対流圏上層(200hPa)においても、チベット高原上には有意な低気圧性偏差が存在し、対流圏下層～上層までチベット高原の周辺は順圧的な構造を持っていることになる。200hPaでは北緯

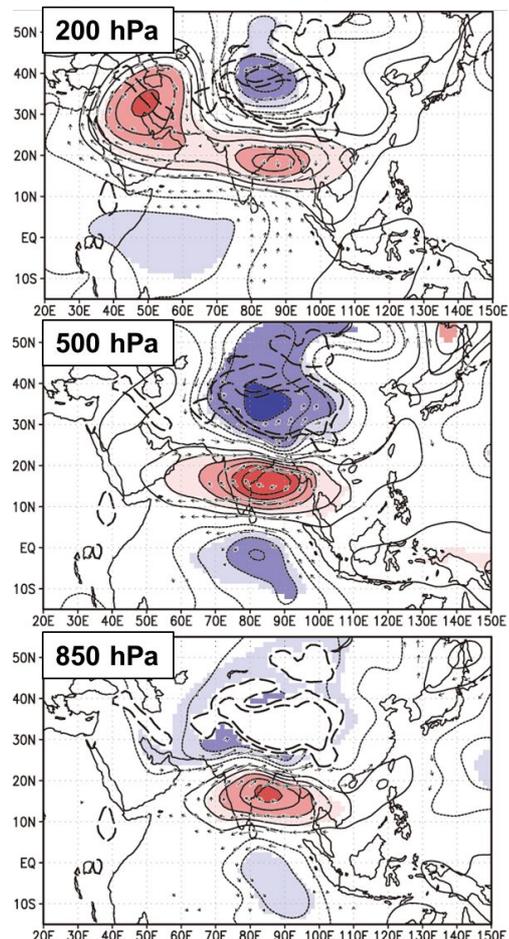


図6:対象領域の降水量極大期における流線関数と風速の合成図。(上)200hPa,(中)500hPa,(下)850hPa。各要素は7~25日バンドパスフィルターをかけた値を使用した。ハッチは流線関数の値が99%で統計的に有意な領域。風ベクトルは99%で有意な格子点上のみ描いた。

40 度付近に存在する亜熱帯ジェット気流上に波列構造が存在して、チベット高原付近の低気圧性偏差はこの一部を形成している。このように、中緯度大気の変動は熱帯波動と同期して特に、ガンジス平原上の東西風変動を対流圏下層～中層にかけて顕著にしている。

今回の研究により、南アジアの最多雨地域で卓越する準2週間周期変動は、熱帯～中緯度をまたぐ非常に広域なモンスーンシステムの中でみられる数千キロスケールの大気循環場の変動が、対象領域周辺の大規模な地形的な特徴を介して東西風変動を顕著にし、さらに領域スケールの地形分布により、地形性降雨の増大と小規模な低気圧の発生・発達をもたらす、降水変動として顕在化することが分かった。まさに、地形を含む多重空間スケールの大気変動の相互作用が、世界最多雨領域の降水変動を形成・維持していることが分かった。なぜ、熱帯波動と中緯度波動が同期して変動するのかは未解明であるが、対象領域周辺の準2週間周期の雲・降水変動による大量の潜熱放出による大気熱源応答と、中緯度の対流圏中層にまで突き出すチベット高原との力学的な作用が関係している可能性がある。また、準2週間周期変動の活発期に発生する渦状低気圧は、降水をもたらす降水システムとして重要である。この発生・発達機構は今後の課題である。準2週間周期変動と雲・降水の日変化の統計的な時空間位相関係は今回の解析では完了することができなかった。この関係も、南アジアの降水システムの理解には重要であり、今後の重要な課題である。

#### 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1件)

1) Fujinami, H., T. Yasunari and A. Morimoto, 2014: Dynamics of distinct intraseasonal oscillation in summer monsoon rainfall over the Meghalaya-Bangladesh-western Myanmar region: covariability between the tropics and mid-latitudes, *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-013-2040-1, 印刷中。(査読有り)

[学会発表](計5件)

1) Fujinami, H. and T. Yasunari, 2012: Quasi-biweekly oscillation of rainfall in heavy rainfall areas over South Asia, AOGS-AGU(WPGM) Joint assembly 2012, 13-17 August, Singapore.

2) 初塚大輔・安成哲三・藤波初木 (2012): バングラデシュの降水量における季節内変動と低気圧システムについて, 熱帯気象研究

会, 2012年9月20日～21日. 高知大学朝倉キャンパス, 高知.

3) Fujinami, H., D. Hatsuzuka and T. Yasunari, 2013: Characteristics of low pressure systems associated with intraseasonal oscillation in rainfall over Bangladesh during boreal summer, The third international MAHASRI/HyARC workshop on Asian monsoon and water cycle, 28-30 August, Da Nang, Vietnam (招待講演).

4) 初塚大輔・藤波初木・安成哲三, 2013: バングラデシュの降水量における季節内変動と低気圧システムについて, 2013年日本気象学会秋季大会, 2013年11月19～21日, 仙台.

5) Fujinami, H. and T. Yasunari, 2013: Dynamics of distinct intraseasonal oscillation in summer monsoon rainfall over the Meghalaya-Bangladesh-western Myanmar region, 28-31 October, 5th WMO international workshop in Macao, China.

[図書](計0件)

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

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤波初木 (HATSUKI FUJINAMI)

名古屋大学地球水循環研究センター・助教  
研究者番号: 60402559

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：