

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05869・19K21050

研究課題名（和文）熱帯・中緯度海上の降水特性を決める大規模環境場要因に関する観測的研究

研究課題名（英文）An observational study on the large-scale environments that determine precipitation characteristics over tropical and midlatitude oceans

研究代表者

横山 千恵（Yokoyama, Chie）

東京大学・大気海洋研究所・特任助教

研究者番号：80649236

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：大規模場の変化から降水特性変化を推定する手法を全球海上に拡張した。統計・事例解析から得られた知見をもとに、全球海上において3タイプの雨域を同定し、各タイプの対流圏中層の大規模鉛直風及び海面水温への依存性を定量化した。これらの関係と現実大気の大規模場データから、全球海上の各タイプの降水分布を再構築した。季節平均した再構築降水分布は観測と良い相関を示し、先行研究の知見とも整合的であった。再構築手法による降水特性変化推定の全球海上への拡張がある程度有効であることが示された一方、特に熱帯域における再構築降水の妥当性のさらなる検証も必要であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

衛星観測から全球海上の降水特性と大規模場との関係を調査した。豪雨事例の解析や統計解析を通して組織化システムの発生・維持の仕組みの理解を深めた。また、衛星による降水の立体構造の統計が比較的少ない中緯度に対し、卓越する雨域特性及び指標となる大規模場に関する統計的知見を得た。更に、全球海上で同定された3タイプの雨域について、季節・領域間でロバストな大規模場依存性を見出した。これらの関係を用い大規模場からタイプ別降水分布を再構築し、現実大気において大規模場変化から全球的降水特性変化を推定する手法の有効性及び今後の課題を示した。研究成果は、全球海上の降水特性の将来変化を推定するための研究に役立つ。

研究成果の概要（英文）：The method to estimate changes in precipitation characteristics with those in large-scale environments was applied to precipitation over global oceans. Based on the knowledge obtained through both statistical and case studies, we identified three types of rainfall events (REs) over global oceans to quantify their dependencies on large-scale vertical velocity in the mid-troposphere and sea surface temperature.

Using these precipitation-environment relationships, we reconstructed precipitation distributions of each type of RE over global oceans with large-scale environments. Seasonal mean distributions of the reconstructed precipitation were shown to be well correlated with observation in a manner consistent with previous studies. While the estimation of changes in reconstructed precipitation was shown to be useful over global oceans to some degree, further validation was found to be needed for the reconstructed precipitation especially over tropical oceans.

研究分野：気象学

キーワード：降水特性 豪雨 衛星観測 将来変化 GPM衛星 降水の組織化 梅雨

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、集中豪雨の頻発化や降水の激甚化が懸念されている。しかし、現行の気候モデルは、大気大循環や海面水温など大規模場は予測可能だが、雨の特徴の精確な予測まではまだ難しい。

最近、代表者は、初夏の日本付近において、人工衛星に搭載された降水レーダの観測に基づいて降水特性と大規模場とを関係付け、その関係と気候モデルの大規模場予測とから降水特性の将来変化を推定する手法を考案した。このような衛星観測の知見を取り入れた将来の降水特性変化の推定は有用だと考えられ、全球で行う価値がある。

そのためには、まず、全球の降水特性を決める大規模場に関する科学的知見が必要である。従来、対流圏下層の対流不安定度は降水の発達に有利な場として認識されている。近年では、対流圏中層の水蒸気も降水の発達や組織化に重要であることが明らかになってきた(e.g., Sherwood 1999; Kuang and Bretherton 2006; Takayabu et al. 2010; Yokoyama et al. 2017)。熱帯海上では、積雲対流の開始に海面水温が効き、深い対流への発達には大気大循環に伴う中層の湿度がエントレインメントを通して効くことが指摘されている(Takayabu et al. 2010)。実際、初夏の日本付近で見られる熱帯的な降水特性は、この観点から整合的に説明できる(Yokoyama et al. 2017)。これらの大規模場は熱帯海上の降水特性を決める要素として示唆されるが、この観点でどこまで統一的に降水特性を説明できるかは明らかでない。

一方、中緯度では、降水をもたらす仕組みが熱帯とは異なる。緯度35度より高緯度側では、衛星搭載降水レーダによる降水の立体観測が開始されたのは比較的最近であるため、降水特性とそれを決める大規模場について統計的研究が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、熱帯・中緯度海上の降水特性を、物理的根拠に基づいて大規模場と結び付け、大規模場から降水特性を推定するための科学的知見を得ることである。衛星搭載降水レーダによる降水の立体観測データを用い、熱帯・中緯度を含めた全球海上の降水と大規模場との関係について調査する。熱帯海上では、先行研究による知見と比較しながら、季節や領域間で共通する関係を見出し、降水特性を決める本質的な要素を探る。中緯度海上では、卓越する降水システムの特性を統計的に調査すると共に、大規模場の指標を見出す。全球海上において見出された降水特性と大規模場との関係を用いて、現実大気の大規模場から降水特性分布を再構築し、観測との比較を通して降水特性の変化が再構築手法によってどの程度表現されているのか調査する。

3. 研究の方法

全球降水観測(GPM)主衛星搭載2周波降水レーダのKu帯レーダ観測データ、気象庁55年長期再解析(JRA55)データ、National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)高解像度海面水温データセット(OI SST V2)、第5次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP5)マルチ気候モデルデータなどを用い、全球海上の降水システムの特性とそれを決める大規模場を統計的・事例的に調査する。特に、GPMの軌道データから「雨域(ひとつながりの降水ピクセル領域)」データベースを作成し、雨域の特性を調査する。

さらに、全球の雨域を特性によってタイプ分類し、それぞれのタイプの大規模場依存性を定量化した参照テーブルを作成する。参照テーブルと大規模場とから各タイプの降水分布を再構築し、GPM主衛星観測との比較を行う。

4. 研究成果

1) 初夏の日本付近における降水特性の将来変化

課題開始前から行っていた初夏の日本付近における降水特性の将来変化推定研究を引き続き行い、論文化した(Yokoyama et al. 2019)。初夏(5-7月)の日本付近の4年間(2014-2017年)のGPM主衛星降水レーダ観測から同定された3タイプの雨域に対し、500 hPaの大規模鉛直風(500)及び海面水温(SST)への依存性を定量化した。なお、500は大気大循環を代表する変数であり、SSTは対流圏下層の対流不安定度と密接に関係する。定量化した関係とCMIP5気候モデルによる現在・将来の大規模場予測とから各タイプの降水分布を再構築し、その将来変化を推定した。推定結果は、タイプ毎に将来変化パターンが大きく異なり、将来の大規模場の変化に応じて雨の降り方が変化することを示した。

推定手法の妥当性についての検証も行った。まず、現在の降水-大規模場関係を将来に適用する妥当性を検討した。CMIP5気候モデルのSSTと下層不安定度を関数とした頻度分布は、現在において変数間のほぼ線形な関係を示した。将来もまた、傾きはやや大きくなるが、現在とほぼ同様の線形関係が確認された。また、500及び比湿の調査から、将来、水蒸気量は全般に増加するが、500の対流圏水蒸気量への相対的な効果は現在に比べて大きく変化せず、現在の降水と500との相対的な関係は将来も維持されると示唆された。大規模場は平均的には劇的に変化せず、現在の降水-大規模場関係が将来もある程度維持されると考えられた。

次に、再構築された降水分布の妥当性を検証した。現在・将来において、再構築された各タイプ降水量の合計とCMIP5モデルが直接計算した降水量について、降水量とSSTを関数とした頻度分布を作成した。再構築降水に対する頻度分布は、現在・将来ともCMIP5降水に対する分布と良い一致を示し、再構築降水分布の将来変化を推定する手法がある程度妥当であることが確認された。

2) 2018年7月豪雨における対流圏上層のトラフの効果

2018年7月5-8日に西日本広域で豪雨が生じ、甚大な被害がもたらされた。この豪雨をもたらした降水システムの特性及び大規模場との関係について、朝鮮半島付近に停滞した対流圏上層トラフの役割に注目して調査した。

GPM主衛星降水レーダ観測データの解析から、豪雨をもたらした降水システムが組織化した降水システムの特徴(広い層状雨域、層状雨域の中に埋め込まれた対流雨、さほど高くない(7-9 km)降水頂など)を持っていたことが示された。大規模場の解析から、上層トラフに伴う力学的上昇流による対流圏中上層の鉛直水蒸気フラックス収束が、水平水蒸気フラックス収束と共に、対流圏全体を加湿していたことが示された。下層は対流不安定であり、その上空が深く加湿されることにより深い積雲対流の発達や組織化が促されると考えられる。一旦深い対流が生じると、対流自身の非断熱上昇流によって対流圏中上層はさらに加湿される。これらの効果により非常に湿潤化された環境場において、組織化した降水システムが維持され、広域の豪雨がもたらされた。以上の結果は論文化され、国際誌で発表された(Yokoyama et al., 2020)。

3) 全球海上の雨域特性及び大規模場依存性の調査

6年間のGPM主衛星降水レーダ観測による全球海上の雨域特性を解析した。熱帯と中緯度の境界を350 K等温面上の ± 2 PVUの渦位で定義し、各領域における雨域の特徴を詳細に調べた。雨域の面積及び層状雨量比の観点から雨量貢献度を調べた結果、熱帯と中緯度とでは卓越する雨域の特徴が大きく異なっていた。熱帯では、層状雨を多く含む面積の大きな雨域からの雨量貢献度が最も大きかった。先行研究による知見から、このタイプの雨域は組織化した降水システムを表すと考えられる。一方、より対流的な深いシステムの雨や雄大積雲の浅い雨など、比較的小さな雨域からの雨量貢献も確認された。

中緯度では層状雨量比80%を超える非常に層状的な雨域の雨が卓越していた。これらの雨域の面積は大小様々だが、いずれもストームトラックに沿って分布し、主に温帯低気圧に伴っている。冬季中緯度北太平洋及び北大西洋では、小さな雨域は大きな雨域に比べ西に偏った分布を持つという興味深い結果も示された。

以上を踏まえ、全球海上の雨域を、面積及び層状雨量比から、「小面積」タイプ、「組織化」タイプ、「中緯度」タイプに分類した。小面積タイプは深い雨域と浅い雨域の両方を含む。なお、同様の3タイプは上述の1)の初夏の日本付近でも同定されたが、ここでは、全球海上における調査結果を反映しタイプ分類方法を改良した。

全球海上で同定された3タイプに対し、大規模場依存性を調べた。先行研究及び上述の1)2)による知見を考慮し、雨域特性を決める大規模場の指標として500及びSSTを用いた。図1に、9-11月の全球海上における日々の500及びSSTに対する各タイプ雨域の平均降水量を示す。小面積タイプの雨はSSTに依存する一方、組織化タイプの雨はSSTだけでなく500にも依存する。これらの関係は初夏の日本付近と同様である。一方、中緯度タイプの雨に対しては、

500への明瞭な依存性が見出された。中緯度では鉛直風は温帯低気圧の活動を表しており、

500は中緯度タイプの雨に対する良い指標だと考えられる。これらの各タイプの大規模場依存性は季節や領域(北半球・南半球・日本付近)によらずロバストであり、全球海上の各タイプの雨に好都合な場がSST及び500によって捉えられることが示された。

4) 大規模場による各タイプの降水分布の再構築

上述1)の初夏の日本付近で考案されたタイプ別降水分布の再構築手法を全球海上に拡張した。図1と同様の図を季節毎に作成し、これを参照テーブルとして、JRA55再解析の500及びOISSTv2のSSTから各タイプの降水分布を再構築した。図2に、2014-2019年の9-11月におけるタイプ別の再構築降水分布とGPM主衛星観測降水分布を示す。各季節の6年間平均について再構築降水分布と観測との相関係数を計算すると、小面積タイプは0.91~0.94、組織化タイプは0.79~0.85、中緯度タイプは0.71~0.75であり、タイプ毎に多少の差はあるものの、いずれの季節でも再構築降水分布は観測を良く再現できていることが分かる。熱帯・亜熱帯域での

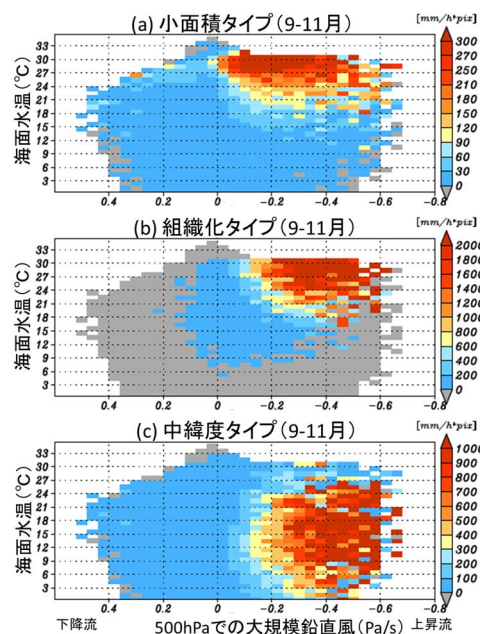


図1. 2014-2019年9-11月の全球海上における各タイプ雨域の日々の500及びSSTに対する平均降水量。(a)小面積タイプ、(b)組織化タイプ、(c)中緯度タイプ。

タイプ間の分布の違いは先行研究 (Takayabu et al. 2010) と整合的で、タイプ毎の降水分布の特徴の違いが 500 と SST とによって捉えられていることが示された。また、大規模場の季節変化に応じた各タイプの降水分布の季節変化も捉えられており、降水特性変化を推定する手法の全球海上への拡張がある程度有効であることが示された。

さらに、38 年間 (1982-2019 年) の各季節におけるタイプ別の降水量トレンドを計算した。その結果、中緯度では変化パターンがタイプ毎に大きく異なるのに対し、熱帯ではタイプ毎の変化パターンの違いが小さいことが示された。熱帯では、SSTトレンドは中緯度に比べて小さく、各タイプの降水量トレンドの水平分布は 500トレンドと似ていた。これらの中緯度と熱帯の振る舞い方の違いなどを含め、今後、特に熱帯海上における再構築降水の妥当性をさらに詳細に検証していく必要がある。

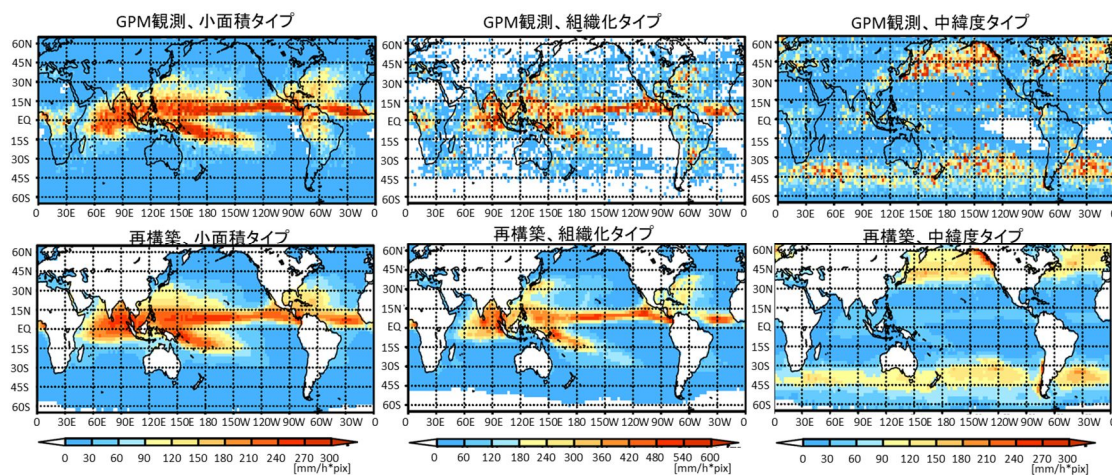


図2. (上段) GPM 観測及び (下段) 再構築された各タイプの降水量分布。(左列) 小面積タイプ、(中央列) 組織化タイプ、(右列) 中緯度タイプ。2014-2019 年 9-11 月平均。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 横山千恵・辻宏樹・高数縁	4. 巻 1
2. 論文標題 豪雨をもたらした降水システムの特性と大規模場解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 平成30年7月豪雨による災害の総合研究報告書	6. 最初と最後の頁 8-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yokoyama Chie, Takayabu Yukari N., Arakawa Osamu, Ose Tomoaki	4. 巻 32
2. 論文標題 A Study on Future Projections of Precipitation Characteristics around Japan in Early Summer Combining GPM DPR Observation and CMIP5 Large-Scale Environments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 5251 ~ 5274
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0656.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yokoyama Chie, Tsuji Hiroki, Takayabu Yukari N.	4. 巻 98
2. 論文標題 The Effects of an Upper-Tropospheric Trough on the Heavy Rainfall Event in July 2018 over Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 235 ~ 255
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yokoyama, C., Y. N. Takayabu, O. Arakawa, T. Ose
2. 発表標題 A study on future projections of precipitation characteristics around Japan in early summer combining GPM DPR observation and CMIP5 large-scale environments
3. 学会等名 第10回熱帯気象研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山千恵・高菰縁・荒川理・尾瀬智昭
2. 発表標題 初夏の日本付近における降水特性の将来変化：GPM DPR 観測とCMIP5大規模環境場予測とを用いた推定
3. 学会等名 日本気象学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高菰縁・横山千恵・辻宏樹・金子航
2. 発表標題 2018西日本豪雨における亜熱帯ジェット蛇行の効果
3. 学会等名 日本気象学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山千恵・高菰縁・辻宏樹
2. 発表標題 2018年7月豪雨の降水特性と後方の上層トラフの効果について
3. 学会等名 研究会「長期予報と大気大循環」2018年夏の異常な天候と大気循環
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yokoyama, C., Y. N. Takayabu, O. Arakawa, T. Ose
2. 発表標題 A study on future projections of precipitation characteristics around Japan in early summer combining GPM DPR observation and CMIP5 large-scale environments
3. 学会等名 The 13th conference on mesoscale convective systems and high-impact weather in East Asia (ICMCS-XIII) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山千恵、高菰縁、辻宏樹
2. 発表標題 2018年7月豪雨の降水特性と後方の上層トラフの効果について
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yokoyama, C. H. Tsuji, and Y. N. Takayabu
2. 発表標題 A study on effects of an upper-tropospheric trough on the heavy rainfall event in July 2018 over Japan
3. 学会等名 AOGS 16th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yokoyama, C., Y. N. Takayabu, O. Arakawa, and T. Ose
2. 発表標題 A study on future projections of precipitation characteristics around Japan in early summer combining GPM DPR observation
3. 学会等名 The 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山千恵、高菰縁、荒川理、尾瀬智昭
2. 発表標題 GPM衛星データとCMIP5マルチ気候モデルデータの複合利用による初夏の日本付近における降雨特性の将来変化推定
3. 学会等名 データ活用社会創成シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山千恵、高藪縁、荒川理、尾瀬智昭
2. 発表標題 初夏の日本付近における将来の降雨特性変化の推定 - GPM衛星観測とCMIP5マルチ気候モデル予測を組み合わせ -
3. 学会等名 「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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山千恵、辻宏樹、高藪縁
2. 発表標題 2018年7月豪雨と2017年九州北部豪雨における雨の降り方および環境場の比較
3. 学会等名 東大水フォーラムワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山千恵
2. 発表標題 梅雨時の雨は将来どう変わるか？
3. 学会等名 東京大学柏キャンパス一般公開 大気海洋研究所講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山千恵、高藪縁、荒川理、尾瀬智昭
2. 発表標題 GPM DPR観測とCMIP5気候モデル予測の複合利用による初夏日本付近の降水特性の将来変化推定：手法の妥当性について
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----