

# 地球温暖化によるアジアの降水変化 ～日本の梅雨はどうなる？～

○遠藤洋和(気候・環境研究部)

## 1. はじめに

人間活動による温室効果ガス排出により地球温暖化は着実に進行しており、気温は世界平均では100年あたり0.73℃、日本平均では100年あたり1.21℃の割合で上昇している<sup>(1)</sup>。一方、降水変化は気温変化に比べて地域性や季節性が大きく要因が複雑である。このため、降水の精度良い将来予測は難しい。

アジアの多くの国は、大陸と海洋間の温度差から生じるモンスーン(季節風)の影響を受けており、年間に降る雨の多くが夏の雨季に集中する。ユーラシア大陸東部に位置する日本は中緯度にありながらモンスーンの影響下にあり、梅雨はアジアのモンスーンに伴う現象として理解する必要がある。モンスーンは豊富な水資源をもたらす一方で時に水災害をもたらす。このため、モンスーン地域では降水の将来予測は重要な課題である。しかし、降水の将来変化に関して、モンスーン現象の視点での理解が、これまで十分にされてこなかった。

本研究では、最新の気候モデル予測データの解析に基づいて、モンスーン現象の視点から、温暖化に伴う日本を含むアジアの降水の将来変化とその要因について明らかにした。

## 2. 気候モデルによる将来予測

将来の気候予測は、大気、海洋、陸面、氷床等の中で起こる動きや変化を物理法則に従って数式化した計算プログラム(気候モデル)を用いて行われる。気候モデルでは、地球全体の大気や海洋を3次元の格子(水平間隔は数百km)に分割し、各格子で気温、風、水蒸気などの時間変化を計算する。ただし、格子よりも小さな現象の表現方法が気候モデルごとに異なるため、将来予測値には幅が生じる。

世界の様々な研究機関(気象研究所を含む)で開発された気候モデルによる実験結果は、国際的な研究計画の下で集約されて温暖化予測研究に広く利用されている。このほか、気象研究所では、台風や集中豪雨などの極端気象現象の高精度な再現を目指して、大気の水平格子を細かくした高解像度モデルを開発し、世界の温暖化予測研究に貢献している。

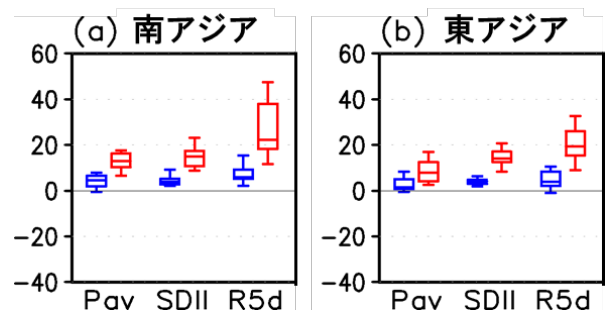
## 3. 予測される将来変化

### 3. 1. アジアモンスーン

夏の大陸は海洋よりも暖かく気圧が低くなるため、地上付

近では海洋から大陸に風が吹き、反対に、冬の大陸は海洋よりも冷たく気圧が高くなるため、大陸から海洋に風が吹く。このような季節的に交替する風をモンスーン(季節風)と呼び、これに伴う降水を含めてモンスーンと呼ぶこともある。東アジアや南アジアは風と降水の季節変化が明瞭であり、モンスーンの影響を大きく受けている。

世界の多数気候モデル予測に基づく、南アジアと東アジアにおける夏季(雨季)の21世紀末の降水変化を第1図に示す。温室効果ガスの排出削減対策をとらない場合(高排出シナリオ)では、夏季平均降水量(Pav)は、南アジアでは13.0%(6.6～17.7%)増加、日本を含む東アジアでは7.8%(2.6～17.0%)増加すると予測されている(多数モデル予測の中央値と10%下限値～90%上限値の幅を記載)。夏季最大5日間降水量(R5d)のような大雨は、南アジアでは22.4%(11.7～47.5%)増加、東アジアでは19.5%(9.0～32.7%)増加すると予測されており、平均降水量(Pav)と比べて増加率が大きい。同様の変化傾向は他のモンスーン地域でも見られるが、アジアでは他の地域よりも大きな増加率が予測されている。一方、温室効果ガスの排出削減対策を十分にとった場合(低排出シナリオ)、各指標の将来変化は高排出シナリオの場合に比べて大幅に小さい。

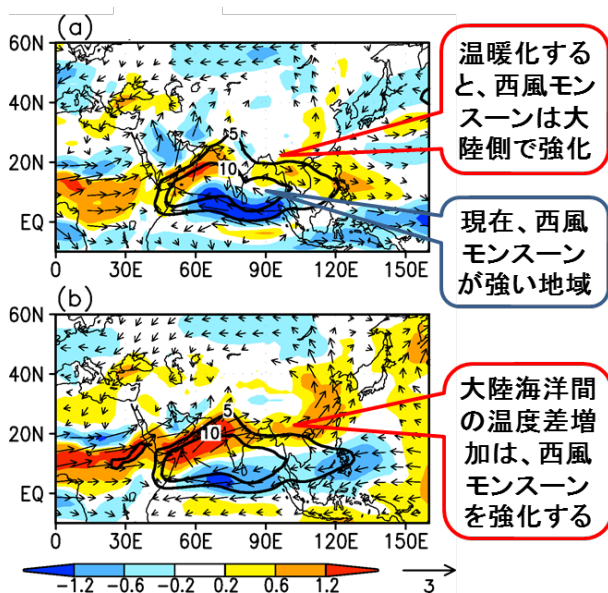


第1図：多数気候モデルによる21世紀末予測の (a)南アジアと(b)東アジアにおける降水変化(%)<sup>(2)</sup>。Pav:夏季平均降水量、SDII:夏季平均降水強度、R5d:夏季最大5日間降水量。青色(赤色)ボックスは低排出(高排出)シナリオの予測幅。

将来の降水量は、水蒸気および風の変化の影響を受ける。温暖化すると、大気中の水蒸気量が増加する(要因①)が、熱帯大気が安定化するため平均的な上昇流は弱まる(要因②)。モンスーン地域では、要因①は降水量を増加させる方

向に、要因②は降水量を減少させる方向に働くが、概して後者よりも前者の影響が大きいと、平均降水量は増加すると予測されている。特に大雨の強度は、要因①が主要因になるため、平均降水量よりも大きな割合で増加する。

アジアの地表付近の風を見ると、現在気候の南アジアでは、西風モンスーンが吹いて、大陸付近で収束して上昇流となり大量の降水がもたらされている。一方、温暖化した気候では、要因②の影響でモンスーン気流は全体としては弱まるものの大陸側で強まる傾向がある(第2a図)。これは、大陸と海洋間の温度差が増加してモンスーン気流が強まる(要因③)ことが関係している(第2b図)。その結果、アジアでは他のモンスーン地域よりも降水量の増加率が大きくなると考えられる。



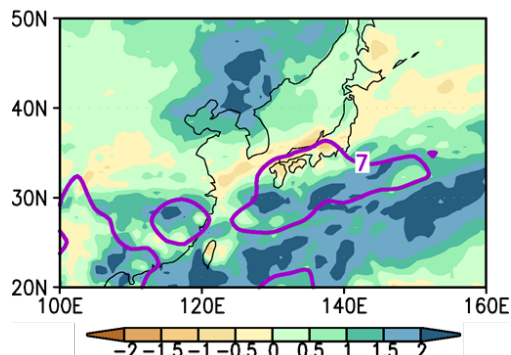
第2図: 6~8月平均の地表付近の風変化(m/s)<sup>(3)</sup>。(a) CO<sub>2</sub>を増加させた温暖化実験、(b)陸面のみを昇温させた理想実験。矢印:風変化、陰影:風速変化、太線:現在気候の東西風速。

### 3. 2. 梅雨

気象研究所の高解像度大気モデルによる温暖化実験では、梅雨前半の6月は、梅雨降水帯が強化して現在よりやや南下する傾向が予測されている(第3図)。一方、梅雨後半の7月は、実験設定の違いにより結果がばらばらしている。また、短期間の大雨は、梅雨期を含めて1年を通して強度が増すと予測されている。

梅雨の将来変化を理解するには、現在の梅雨の形成メカニズムに立ち返って考える必要がある。初夏の南アジアでは、モンスーンに伴う降水活動により大気が暖められて上空では高気圧(地表付近では低気圧)が発達し、その北縁を吹く強い西風(偏西風)が次第に北上する。東アジアではこの偏西風に沿って梅雨前線が形成される。温暖化すると、要因②の

影響で上空の高気圧の発達弱まるため、偏西風の季節的な北上が遅れ、その結果、梅雨前線の北上が遅れると考えられる。さらに要因①の影響で梅雨降水帯は強化される。このように、梅雨の変化はアジアの大規模なモンスーン気流や水蒸気量の変化と密接に関連している。



第3図: 6月の降水量変化(陰影、mm/日)。現在気候の多雨域(7mm/日以上)を等値線で示す。気象研究所の高解像度大気モデルによる21世紀末予測(高排出シナリオ)。

### 4. まとめ

アジアの夏季(雨季)平均降水量は、増加傾向が予測されており、増加率は他のモンスーン地域よりも大きい。梅雨降水帯は、梅雨前半(6月)において強化とともに現在よりやや南下する(季節的な北上が遅れる)傾向が予測されている。大雨強度は、平均降水量よりも大きな増加率が予測されており、増加傾向は既に過去の観測データにも現れている。今後も引き続き、日本を含むアジアの気候変動メカニズムをより良く理解し、より精度の高い将来の予測結果が得られるよう、研究を進めていく予定である。

### 謝辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(2-1904)および文部科学省の統合的気候モデル高度化研究プログラム(テーマC)の支援を受けた。

### 参考文献

- (1) 気象庁, 2019, 気候変動監視レポート2018.
- (2) Kitoh, A., and Endo, H., 2016: Monsoon precipitation in a future warmer world. In: The Global Monsoon: Research and Forecast 3rd Edition, World Scientific, 303-313.
- (3) Endo, H., A. Kitoh, and H. Ueda, 2018: A unique feature of the Asian summer monsoon response to global warming: The role of different land-sea thermal contrast change between the lower and upper troposphere. SOLA, 14, 57-63.