

## 東アジア域における降雨の減少は熱帯域の海水温の影響

### ～暖かいインド洋と冷たい太平洋の複合的効果～

#### 研究成果のポイント

1. 1999年以降、東アジアで夏季降水量が少ない傾向が続いていました。その原因は、遠く熱帯の海域で広域に分布していた高温・低温の海水の影響であることが明らかになりました。
2. 近年まで、熱帯西部太平洋と熱帯インド洋では海水温が高く、熱帯中部・東部太平洋では低い傾向が続いていました。東アジアの降水量を減らしていたのは、太平洋の水温分布が大気の流れを変えたためであることがわかりました。
3. 今後のアジア域の降水量には、太平洋の水温の変動が大きく作用する見込みです。2015年のようなエルニーニョの状態が続けば、東アジアの降水量は大きく回復する可能性があります。

国立大学法人筑波大学(以下、筑波大学)生命環境系の植田宏昭教授、国立環境研究所の釜江陽一研究員(現所属:筑波大学生命環境系 助教)らの研究グループは、気候モデル<sup>注1</sup>を用いた数値実験の結果と観測データを照合し、アジア域の熱帯から中緯度にかけての広域的な降水システム「アジアモンスーン」の近年の変動は、遠く熱帯域の海水温の特異的な傾向によって説明されることを明らかにしました。近年の海水温の分布は、西部を除く熱帯太平洋上の海水温は低く、熱帯西部太平洋からインド洋にかけての海水温は高い状態が続いていました。これは、ラニーニャ<sup>注2</sup>として知られる典型的な対応関係とは逆の現象で、日本を含むアジア域を始め、遠隔地の気候にどのような影響があるのか、明らかにされていませんでした。

本研究では、近年の熱帯における特異的な水温分布の影響を調査するため、海面水温分布を仮定した大気大循環モデルによる再現実験に加え、海面水温を海域ごとに分けて設定した理想化実験を実施しました。その結果、中国華北部から日本付近にかけて東西約4,000kmに渡る地域で降水量が少なく、熱帯西部太平洋上と西インド洋上で多い、という近年の夏季降水量の傾向を再現することに成功しました。理想化実験の結果を加味すると、東アジア域の少ない降水量は、熱帯太平洋の海水温分布(中部・東部で低く、西部で高い)にあることがわかりました。本研究によって、従来知られていたよりも広い範囲で、熱帯の海洋が遠く離れた中緯度の気候に影響していることが明らかになりました。

本研究の成果は、2015年11月13日(日本時間19時)付でNature出版グループのオンライン専門誌「Nature Communications」上で公開される予定です。

\*本研究は、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」(研究期間:平成24～28年度)、環境省環境研究総合推進費A1201(平成24～26年度)によって実施されました。

## 研究の背景

熱帯から中緯度にかけてのアジアの人々の生活は、湿潤な雨季と乾燥した乾季をもたらす「アジアモンスーン」に大きな影響を受けています。特に降水量は農業や水害に深く関係するため、その変動メカニズムと将来予測は社会・経済活動にとっても重要な意味を持ちます。20世紀の半ばから末期にかけて、モンスーンに伴う世界の陸上降水量は減少していたと言われていましたが、東アジア域などの地域ごとで見ると、十年から数十年程度の大きな変動が確認できます(IPCC第五次報告書WG1の14章)。地域的な降水量の変動メカニズムは極めて複雑で、将来の予測においても大きな不確実性が残されていました。

20世紀末から21世紀の初頭にかけての十数年間、世界的な平均地上気温の上昇はほぼ横ばいで、地球温暖化の停滞期<sup>注3</sup>と呼ばれていました。この世界平均気温上昇の停滞には、近年の熱帯太平洋の広域(中部から東部にかけて)に冷たい海水が分布していた影響と考えられています(図1)。熱帯太平洋西部の高温な海水と、中部から東部にかけての低温な海水(ここ15年間で平均すると、例年と比較した東西の高温・低温の水温差は、水深150m付近で約2.2°C、海面で約0.7°C異なる)は、年々変動で確認されるラニーニャの傾向に似ており、大気の流れを介して、夏季のインド洋は冷たい海水に覆われることが知られています(植田 2012)。一方で、インド洋の海面水温は上昇し続けており(図1; 20世紀半ばと比較すると約0.9°C上昇)、ラニーニャ時の関係には当てはまりません。このような特殊な熱帯の高温・低温な海水の分布は、日本を含む中緯度の気候にどのような影響があるのか、明らかではありませんでした。

地上観測や衛星観測をもとにした複数の降水量データセットをもとに調べると、近年のアジアモンスーン域の降水量には、明瞭な地域差があることが確認されました。フィリピン付近を中心とした熱帯西部太平洋上と、西インド洋からインド付近にかけては、例年よりも降水量が多く(一か月の降水量はそれぞれ18mm、6mm多い)、中国華北部から日本付近にかけての東アジア域では降水量が少ない傾向(6mm少ない)が確認されました。長期的には、地球温暖化の進行により、一般的にモンスーンに伴う降水量は増えると考えられていますが、最近十数年間の傾向で確認される地域差は、単純な地球温暖化の影響では説明できません。

## 研究内容と成果

本研究では、気象研究所の大気大循環モデルを用いた数値実験によって、近年の降水量分布の特徴の再現を試みるとともに、その要因の解明に取り組みました。大気大循環モデルで、観測された海面水温分布を仮定して実験を実施した結果、近年の降水量分布の地域差を再現することに成功しました。この実験では海面水温しか変更していない(大気汚染物質の放出や火山噴火、太陽活動の変化などを考慮してない)ため、降水量の地域差に海面水温の分布が重要であることがわかりました。

さらに、熱帯太平洋・熱帯インド洋・熱帯大西洋と、海域ごとに分割して、海面水温を設定した理想化実験を実施し、どの海域の水温が影響しているかを調べました。その結果、熱帯西部太平洋と西インド洋上の降水量の増加には、それぞれ直下の高い海面水温(熱帯太平洋、熱帯インド洋)が重要であることがわかりました。高い海面水温は、活発な対流活動を誘起し、降水量を増やすとともに大気の流れを変えて、隣り合う海域の対流活動を抑制する働きがあります。つまり、これら二つの海域の海面水温は、これらの領域の降水量に対して互いに逆向きに影響することがわかりました(例えば、熱帯西部太平洋の暖かい海水は、東部太平洋とインド洋域の降水量を減らします)。

東アジア域に注目すると、再現実験で確認される降水量減少の要因は、太平洋の海水温にあることがわかりました。熱帯西部太平洋の海面水温が例年より高いと、フィリピン付近の対流活動が活発になり、大気中により多くの凝結熱が放出されます。この熱の働きにより、熱帯域の大気の特性として、東西だけでなく南北方向にも大気の流れの変化が生じます。その結果、フィリピン付近と日本付近で対流活動の強弱(高気圧・低気圧)が逆になる「PJパターン<sup>注4</sup>」の関係により、東アジアの中緯度では降水量が減少することがわかりました。従来、東アジア域の降水量の

うち、PJパターンの影響を受けやすいのは、中国の長江流域(今回注目している地域よりも南側)であると考えられてきました。一方で、最近の研究では、十年規模の降水量の変動に着目した場合、中国華北部から日本付近にかけての降水量も、遠く熱帯西部太平洋の海面水温の変動と関係があることが示唆されています。

日本付近のような中緯度では、気候システムの中で自然に起こる変動が大きく、多雨や猛暑のように、年によって気候が大きく変動します。そのため、従来は遠く熱帯からの影響が存在するのかどうか、検証することが困難でした。今回の気候モデルによる実験では、設定を少しずつ変更した複数の実験を実施し、その結果のばらつきを調べることで、中緯度の自然変動と熱帯からの影響の度合いを比較しました。その結果、熱帯域の顕著な水温分布の影響は、中緯度の自然本来の変動と同程度に、気候を大きく変えていることがわかりました。

### 今後の展開

近年の太平洋を中心とした、特徴的な海水温の分布は、世界平均的には地球温暖化の停滞に、地域的には降水量の多寡や異常気象の発生頻度に影響する可能性があります。今後、東アジア域以外の中緯度でも、各海洋の特徴的な海水温分布の影響が確認される可能性があります。2015年には強いエルニーニョが発達していて、太平洋の海水温分布が大きく入れ替わりつつあるため、この状況が続けば、世界平均気温は大きく上昇し、東アジアの降水量は回復することが予測されます。

今回の研究は、気候システムの変動メカニズムの一側面を明らかにしました。このような取り組みを続けることで、季節を通した降水量だけでなく、豪雨や干ばつのような異常気象が、どのような条件の年にどの地域で起こりやすいのか、をより高い精度で予測することに繋がることが期待されます。

### 参考図

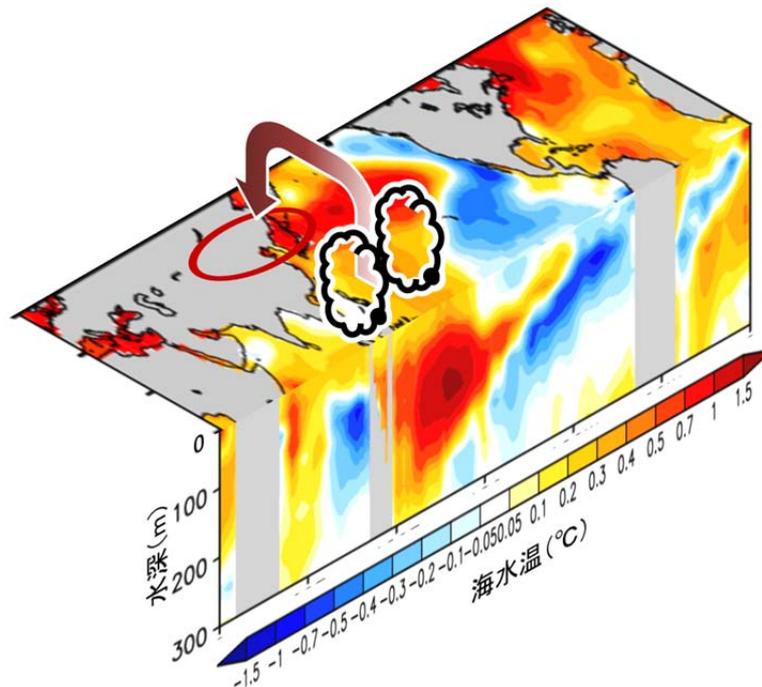


図1. 近年の世界的な海水温の分布とその東アジア域への影響。1999～2013年の特徴を1979～1998年の平均値と比べて示したものの。断面図は南緯5度から北緯5度の平均値。日本の南方にある熱帯西部太平洋では、水深150m付近に1.5℃程度のピークを持つ高温の海水が存在し、海面の水温も高い。インド洋でも全体的に海面水温が高い。一方で熱帯東部太平洋では冷たい海水が分布しており、太平洋上で明瞭な東西差が確認できる。熱帯太平洋の特徴的な海水温の分布により、フィリピン付近では対流活動が活発で、大気の流れを変えることで遠く離れた東アジア域は高気圧に覆われ(赤丸の領域)、降水が少なくなる。

## 用語解説

### 注1) 気候モデル

大気や海洋、陸面などで起こる物理的なプロセスについて、熱や流体運動などの方程式を解くことで、その時間変化を計算するソフトウェア。今回使用している「大気大循環モデル」は、海面水温と海氷の分布を仮定し、大気と陸面で起こる過程を計算している。

### 注2) ラニーニャ

赤道太平洋東部の広い海域で海面水温が例年よりも低い状態が続く現象をラーニャと呼ぶ。逆に高い状態が続くことをエルニーニョと呼ぶ。どちらも熱帯だけでなく、日本を含む世界各地で異常な天候をもたらすことがある。

### 注3) 地球温暖化の停滞期

地球温暖化が進行する中で、十年あるいはそれ以上の期間に渡り、世界的な平均地上気温の変動が横ばいにあるような期間を指す。20世紀の末から21世紀初頭にかけての期間がその一つに相当すると言われている。東京大学大気海洋研究所のプレスリリース(2014年9月1日発表)に詳しい。  
<http://www.ori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2014/20140901.html>

### 注4) PJパターン

Pacific-Japan(太平洋-日本)パターンの略称。フィリピン海付近で例年よりも対流活動が活発な年には、空気中により多くの凝結熱が放出され、その影響で遠く離れた日本付近では気圧が上がり、対流活動(降水量)が弱まるという関係を指す。1987年に新田勅教授が提唱。

## 参考文献

IPCC 第五次評価報告書ワーキンググループ1(AR5 WG1)第14章「気候現象及びそれらの将来の地域的な気候変動との関連性」  
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

植田宏昭 2012: 気候システム論 グローバルモンスーンから読み解く気候変動. 筑波大学出版会, 235 pp.

## 掲載論文

【題名】 Combined effects of recent Pacific cooling and Indian Ocean warming on the Asian monsoon  
(アジアモンスーンに対する近年の太平洋の降温とインド洋の昇温の複合的効果)

【著者名】 植田宏昭<sup>1</sup>、釜江陽一<sup>2、#</sup>、早崎将光<sup>1、\*</sup>、鬼頭昭雄<sup>1</sup>、渡邊茂<sup>3</sup>、三木友梨紗<sup>3</sup>、熊井暖陽<sup>3</sup>

1 筑波大学生命環境系

2 国立環境研究所地球環境研究センター

3 筑波大学生命環境科学研究科

# 現所属: 筑波大学生命環境系・カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所

\* 現所属: 国立環境研究所地域環境研究センター

【掲載誌】 Nature Communications

<http://dx.doi.org/10.1038/ncomms9854>

## 問い合わせ先

植田 宏昭(うえだ ひろあき)

筑波大学 生命環境系 教授

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [ueda.hiroaki.gm@u.tsukuba.ac.jp](mailto:ueda.hiroaki.gm@u.tsukuba.ac.jp)

Tel: 029-853-4756