

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14833

研究課題名(和文) 大気の水蒸気の季節内変動メカニズム解明と予測 - マッデン・ジュリアン振動に着目して

研究課題名(英文) Mechanisms and predictability of subseasonal variability of atmospheric rivers focusing on Madden-Julian Oscillation

研究代表者

取出 欣也 (Toride, Kinya)

東京大学・生産技術研究所・特別研究員

研究者番号：10865893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：大気中において水蒸気を大量に輸送し、各地に豪雨や洪水をもたらすAtmospheric River(大気の水)の予測改善は重要である。本研究では、ダム管理等に有効な季節内スケール(2-5週間)でのメカニズムの理解と予測改善研究を行った。特に中緯度の低周波振動の役割に着目し、熱帯の対流活動との関連を様々な手法を用いて調べた。その結果、大気の水の季節内スケールでのメカニズムを新たに明らかにし、予測精度が向上できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既往研究では、大気の水の運動を直接支える中緯度の高周波の運動(低気圧)と、季節内スケールでは熱帯において活発な対流活動が東進するマッデン・ジュリアン振動(MJO)の影響を調べるものが多かった。本研究ではそれらに加え、中緯度の低周波振動の役割を提唱したものである。大気の水の予測精度を改善することで、豪雨や洪水の予測精度が改善し、水資源の適切な管理に十分なリードタイムを与えられることが期待される。

研究成果の概要(英文)：It is crucial to improve the forecasts of atmospheric rivers, which transport large amounts of water vapor and are responsible for extreme precipitation and flooding in many coastal regions. In this study, we investigated the predictability of atmospheric rivers on sub-seasonal time scales, which are important for water resource management. We particularly focused on the role of a low-frequency mode in midlatitudes in addition to the convective activity over the tropics. We demonstrated that the low-frequency variability alters the Pacific waveguide and can be used to improve the prediction of atmospheric rivers on sub-seasonal time scales.

研究分野：水工学

キーワード：Atmospheric river MJO PNA Sub-seasonal Predictability

1. 研究開始当初の背景

Atmospheric River (AR; 大気の水蒸気河川) とは、大気において帯状に水蒸気を大量輸送し、川のように見える現象を指す。近年、AR がもたらす豪雨や洪水、さらには AR 活動が少ない時期に発生する干ばつが注目を集めている。AR 予測は最新の気象モデルを用いても 2, 3 日のリードタイムで約 250 km の位置誤差が生まれ、ダム管理者が必要とする流域の降水量を大きく変化させる。さらに、水資源の適切な管理のためには複数の AR イベントにも対応できる 2 週間以上先、季節内スケールでの予報が必要となる。季節内予報とは、大気の初期値の影響を受ける短期予報 (約 10 日先まで) と、海洋に支配される長期予報 (数ヶ月) の中間の予報であり、大気海洋双方の影響を受ける最も難しいスケールである。しかし、その需要は高く、来月は AR 活動が活発 (不活発) になるといった情報は水資源管理に十分なリードタイムを与えることができる。既往研究では、マッデン・ジュリアン振動 (MJO) と呼ばれる熱帯で対流活動が活発な領域が約 1-2 ヶ月かけて東進する現象の影響が指摘されているが、MJO のみによる予測の精度は限られている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、AR の形成と経路に対し影響を及ぼす現象を見つけ出し、その関係を用いて季節内予測を改善することを目的とする。AR は中緯度における高周波の運動 (低気圧運動) の一部であり、季節内スケールでは MJO による熱運動の影響を受けることが知られている。MJO によるテレコネクションは、中緯度の基本場と MJO の熱運動の特徴によって変化する。本研究では、AR 活動に違いを与える MJO や中緯度のプロセスの特徴を特定する。またダイナミクスを考慮できる線形逆モデルを用いた解析も行い、AR の発達に最適な条件について調べる。

3. 研究の方法

本研究は、米国ワシントン大学に滞在し、東京大学との国際共同研究という形で進めた。

(1) MJO と太平洋・北米パターン (PNA) の低周波成分による AR 予測

北太平洋の中緯度の大気場において代表的な指標である太平洋・北米パターン (PNA) が MJO-AR の関係に有効な因子であるという仮説を検証した。この仮説は、太平洋ジェットの基本場が MJO の熱運動よりも MJO のテレコネクションに影響しているというモデル研究の結果に基づいている。ここでは、MJO の影響の強い PNA の日変動ではなく、MJO 活動の影響が少ない PNA の低周波成分 (月変動) に着目した。再解析データを用いて 1980-2019 年の冬における AR 活動を MJO や PNA の指標を用いてコンポジット解析を行った。また、既往研究で指摘されているエルニーニョ・南方振動 (ENSO) や準 2 年周期振動 (QBO) の影響との比較も行った。

(2) 太平洋岸北西部における AR のイベント解析

MJO が発生すると一般的に 10 日程度後に太平洋岸北西部において AR 活動が活発になることがコンポジット解析により明らかになっている。しかし、一つ一つのイベントを解析すると AR 活動は大きく異なる。そこで、MJO がインド洋にて一定期間活発であった過去のイベント (n=96) を選び、MJO 発生後に太平洋岸北西部に AR をもたらしたイベント (AR イベント) とそうでないイベント (noAR イベント) の違いを解析した。さらに線形回帰を用いて、これらのシグナルが、MJO 由来のものか、もしくは MJO に依存しないものによるものなのかを確かめた。

(3) 線形逆モデルを用いた AR の最適発達条件

上記のコンポジット解析に加え、線形逆モデル (LIM) という線形ダイナミクスと白色雑音で系を表す逆推定モデルを使用した AR 研究も行った。本モデルを使用し、AR が発達する最適な環境や熱帯中心の運動、中緯度中心の運動、またその両方による AR 活動への寄与度を調べた。

4. 研究成果

(1) MJO と太平洋・北米パターン (PNA) の低周波成分による AR 予測

本研究では、MJO に依存性が少ない太平洋・北米パターン (PNA) の低周波成分に着目し、MJO

の情報と合わせることで AR の予測精度を向上できることを発見した。これは、既往研究で指摘されていたエルニーニョ・南方振動や成層圏準 2 年周期振動の影響より支配的であった。低周波 PNA が正の位相の時、太平洋ジェットは気候値より東に伸び、ロスビー波は下流の北アメリカに向け広がる。このように PNA の位相によって波束の伝搬スケールを拘束することができ、AR の活発性の推測に役立てることができる。この方法により、AR 活動が最も活発なアメリカの太平洋岸北西部において、20 日以上 of AR 活動の予測可能性を示した。

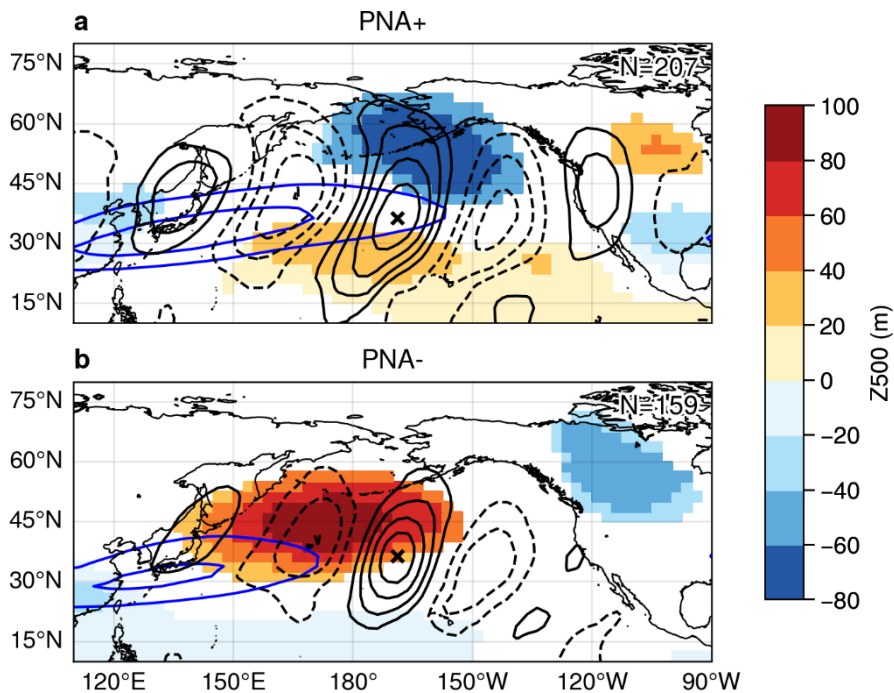


図 1 : PNA の位相の違いによるジオポテンシャル高度、太平洋ジェット、傾圧波の違いを示す (Toride and Hakim, 2021, Figure 3 を改変)

(2) 太平洋岸北西部における AR のイベント解析

AR イベントでは、アルーシャン低気圧が深まり AR が上陸しやすい状況を作り出し出されているのに対し、noAR イベントでは、北太平洋に大規模なリッジが発達し、高気圧性の水蒸気輸送が卓越していた。さらに線形回帰を用いて、これらのシグナルが、MJO 由来のものか、もしくは MJO に依存しないものによるものなのかを確かめた。その結果、MJO 由来成分に関しては AR イベントと noAR イベントの間に差はなく、太平洋上で遅く移動する大規模水蒸気輸送をコントロールしていた。一方で残りの成分は、アラスカ湾を中心とした中緯度の低周波振動に顕著な違いが表れた (AR イベントではトラフ、noAR イベントではリッジが発達)。これは、研究成果 (1) の結果と一致し、PNA の低周波成分の重要性が再確認された。この低周波変動は、太平洋のウェーブガイドを変化させ、AR イベントでは傾圧波の伝搬の向きが通常より大きい水蒸気輸送を発生させやすい状況を作り出していた。

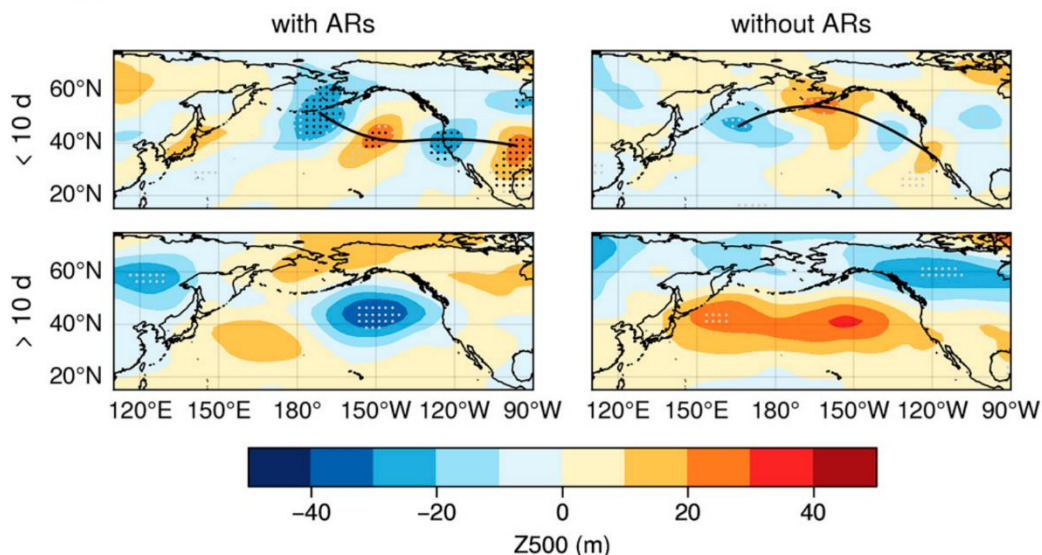


図2 : AR イベント (左) と noAR イベント (右) の高周波成分 (上) と低周波成分 (下) のジオポテンシャル高度 (Toride and Hakim, 2022, Figure 9 より抜粋)

(3) 線形逆モデルを用いた AR の最適発達条件

AR の発達度が最も高くなるのは 5 日のリードタイムであり、主に中緯度大気場からの貢献度が大きいことが分かった。さらに、LIM を構成する振動パターンを解析することで、MJO に酷似するモードが安定して抽出されることも発見した。その結果、MJO の貢献度はリードタイムが長いほど大きくなり 20 日前後でピークを迎えることが分かった。全体の貢献度では他のモードの方が大きく、中緯度における振動が大きいモードの違いによって AR が到達する沿岸地域が決まることも分かった。本論文は現在投稿準備中である。

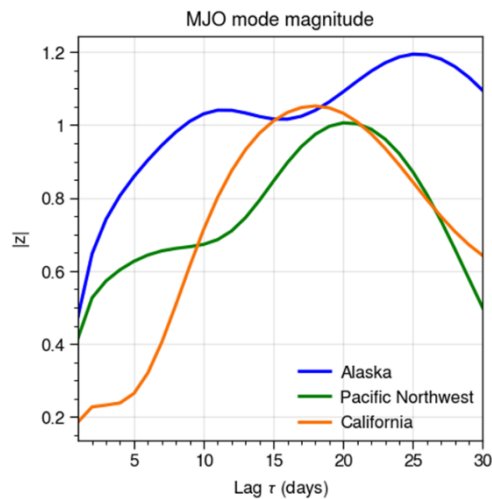


図3 : MJO による 3 つの沿岸地域における AR 活動への寄与度をタイムスケール毎に示す

<引用文献>

Toride, K., G. J. Hakim (2021), Influence of low-frequency PNA variability on MJO teleconnections to North American atmospheric river activity, *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL094078

Toride, K., G. J. Hakim (2022), What distinguishes MJO events associated with atmospheric rivers?, *Journal of Climate*, 35(18), 6135-6149

5. 主な発表論文等

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

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. 著者名 Toride Kinya, Hakim Gregory J. | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 Influence of Low Frequency PNA Variability on MJO Teleconnections to North American Atmospheric River Activity | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 1-10 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021GL094078 | 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 該当する |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1. 著者名 Toride Kinya, Hakim Gregory J. | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 What Distinguishes MJO Events Associated with Atmospheric Rivers? | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Climate | 6. 最初と最後の頁 6135 ~ 6149 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JCLI-D-21-0493.1 | 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 該当する |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Toride, K., G. J. Hakim |
| 2. 発表標題 The influence of the MJO diversity on midlatitude teleconnection patterns |
| 3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2020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 |
|-------|-----------------------------------|----------------------------------------|----|
| 研究協力者 | ハキーム グレゴリー (Hakim Gregory) | ワシントン大学・Atmospheric Sciences・Professor | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|---------|--------------------------|--|--|--|
| 米国 | University of Washington | | | |