

日本列島における atmospheric river 通過時の豪雨の気候学的特徴

釜江陽一（筑波大学 生命環境系・UCSD スクリプス海洋研究所）

Wei Mei（ノースカロライナ大学）

Shang-Ping Xie（UCSD スクリプス海洋研究所）

1. はじめに

中緯度の渦擾乱によって熱帯から高緯度側へ輸送される水蒸気は、ときに東進する温帯低気圧に伴う寒冷前線前面で組織化し、極めて大きな水蒸気輸送を伴うことがある。この細長い水蒸気フラックスの帯を atmospheric river (AR) と呼ぶ (Gimeno et al. 2016; AMS 2017)。AR の影響が大きい北米、欧州、アフリカ北部の大陸西岸域では、AR 上陸時の地形性上昇に伴う降水が、気候学的な豪雨の発生頻度や降水量に占める割合が大きいことが知られている (Dettinger et al. 2011; Guan and Waliser 2015)。近年、東アジア、特に朝鮮半島から日本列島上空を通過する AR の振る舞いが注目され始めた (e.g. Hirota et al. 2016; Kamae et al. 2017a) もの、AR が東アジアの水循環に果たす役割は評価されていない。

図 1 に 2006 年 5 月 10~12 日の、東アジアにおける AR の典型的な通過事例を示す。大陸から張り出す寒気と、太平洋上の高気圧との間で、寒冷前線に伴う強い南風が流れ込むことに対応し、熱帯の水蒸気が大量に高緯度側へ輸送されている。AR が日本列島上空を通過した 5 月 10 日には、西日本を中心に

広い範囲で大雨になり、高知県香美市繁藤では 5 月の記録を更新する日降水量 317.5mm を観測した。このような東アジア AR と豪雨との関係は、特定の事例では確認されている (Kamae et al. 2017a) もの、気候学的な特徴は調査されていない。

本研究では、全球再解析データおよび高解像度陸上降水量データを使用し、東アジア降水における AR の役割を定量的に評価する。

2. 手法

東アジア水循環に対する AR の役割を、大きく二つのステップから評価する。はじめに、全球再解析データ JRA-55 (Kobayashi et al. 2015) の鉛直積算水蒸気フラックスの 6 時間値を用いて、1958 年から 2007 年までの AR の検出を行う。AR の検出手法は Mundhenk et al. (2016) に従った。鉛直積算水蒸気フラックスの絶対値 (IVT) の気候値からの偏差のクラスタが、ある条件を満たすとき、そのクラスタを AR と判別する。判別の条件にはクラスタの形状（長さ >1,400km など）を用いる。台風のような同心円状の IVT 偏差クラスタは除外される。

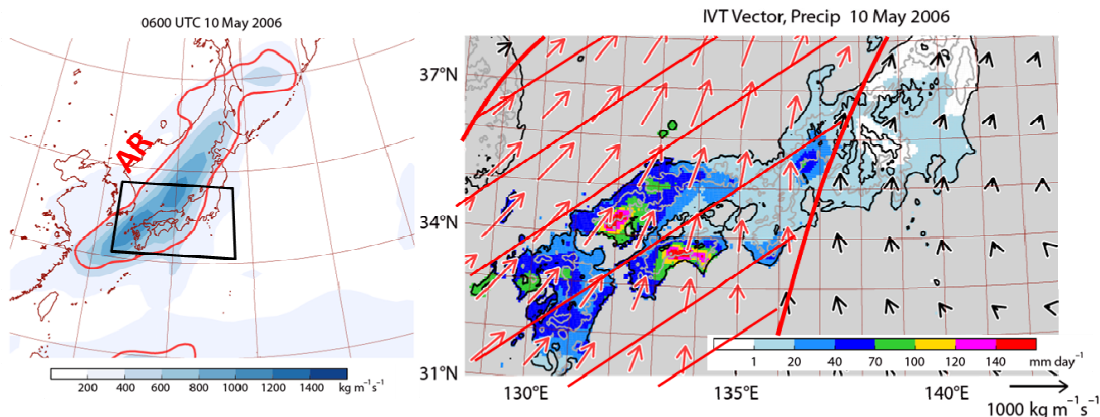


図 1. 2006 年 5 月 10 日の atmospheric river (AR) 通過事例。(左) 06UTC の鉛直積算水蒸気フラックスの絶対値（陰影）と、検出された AR（赤線）。(右) 日降水量 (mm day^{-1}) の分布。ベクトルは鉛直積算水蒸気フラックス。AR の存在域を赤い斜線で示す。

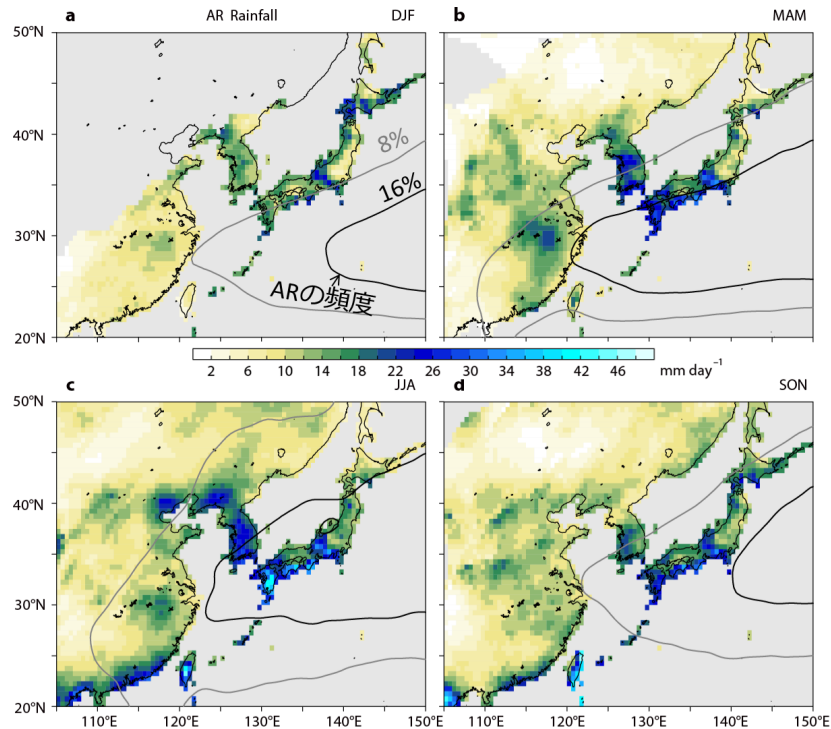


図 2. 1958-2007 年の AR 日降水量の気候値 (mm day^{-1})。等値線は AR 通過頻度 (%) を示す。

次に、検出した AR 通過時の降水量を抽出する。降水量データは 0.05° 格子の APHRO_JP (Kamiguchi et al. 2010) で、時間解像度は日である。6 時間値の AR が 24 時間中 2 回以上カウントされた日を AR 日と定義する。AR 日の降水量の積算値や極端降水の統計を、全ての日を対象にした統計と比較する。

3. 結果

図 2 に AR 通過日の降水量の気候値を季節ごとに示す。東アジアの全体的な特徴を掴むため、ここでは 0.5° 格子の APHRODITE MA (Yatagai et al. 2012) を用いている。季節によって陸上の値が欠落している場所は、AR 通過頻度が 0% の地域に相当する。東アジアにおける暖候期の降水量は、平均して $1\text{--}8 \text{ mm day}^{-1}$ 程度なのに対し、AR 通過日の降水量は中部地方、西日本から朝鮮半島を中心に多い ($8\text{--}44 \text{ mm day}^{-1}$)。これは暖候期平均値が無降水日と弱い雨の日を含んでいるのに対し、AR 通過日はより強い雨の日の頻度が多いことによる (Kamae et al.

2017b)。AR は通過頻度が限定的でありながら、それに伴う降水は総降水量に対して大きな役割を果たしていることがわかる (詳細は Kamae et al. 2017b を参照)。AR 通過日の降水量は、暖候期の朝鮮半島から西日本にかけてピークを持ち、中国大陆では少ない傾向がある。日本の空間的に詳細な AR 日降水量を図 3a に示す。AR 降水量は地域的な地形の分布とよく対応し、九州山地、四国山地、紀伊半島、日本アルプス、伊豆半島の山地で多い。AR 通過時の水蒸気フラックスは、多くの場合で南西方向から流れ込む (図 1b)。寒冷前線前面の南風は対流圏下層にピークを持ち、下層の水蒸気の流れは日本列島上の地形に衝突して地形性の降水をもたらす。図 3a に示す AR 降水の明瞭な地域差は、東アジアを通過する AR が日本列島の地形の影響を強く受けていることを意味する。地形の効果は極端な豪雨にもよく表れる。図 3b は日降水量が 100 mm を超える豪雨の発生頻度に占める AR 日の割合を示す。春季の場合、 100 mm を超える日降水量の発生頻度は低く、AR 日の相対的割合の評価が難しい地域が多

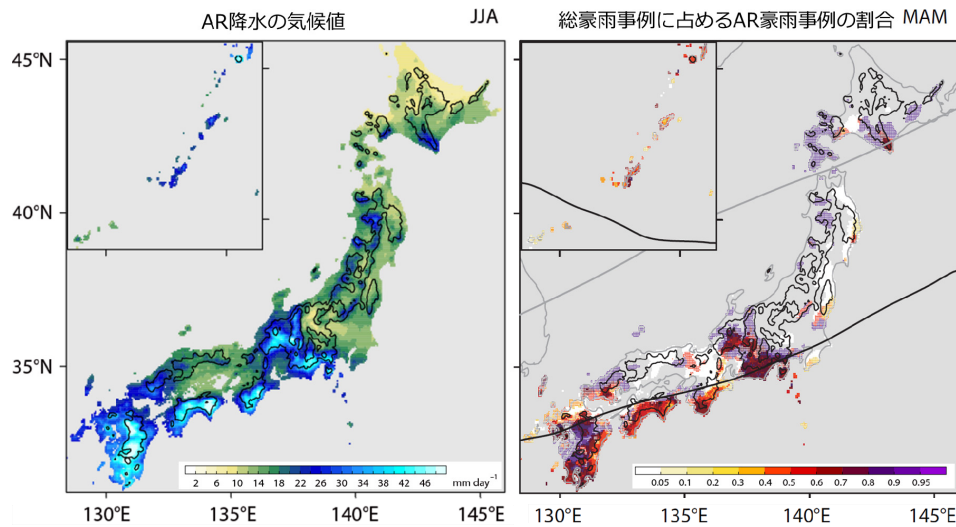


図 3. (左) 1958-2007 年の夏季 AR 日降水量の気候値 (mm day^{-1})。 (右) 春季豪雨頻度に占める AR 日の割合。

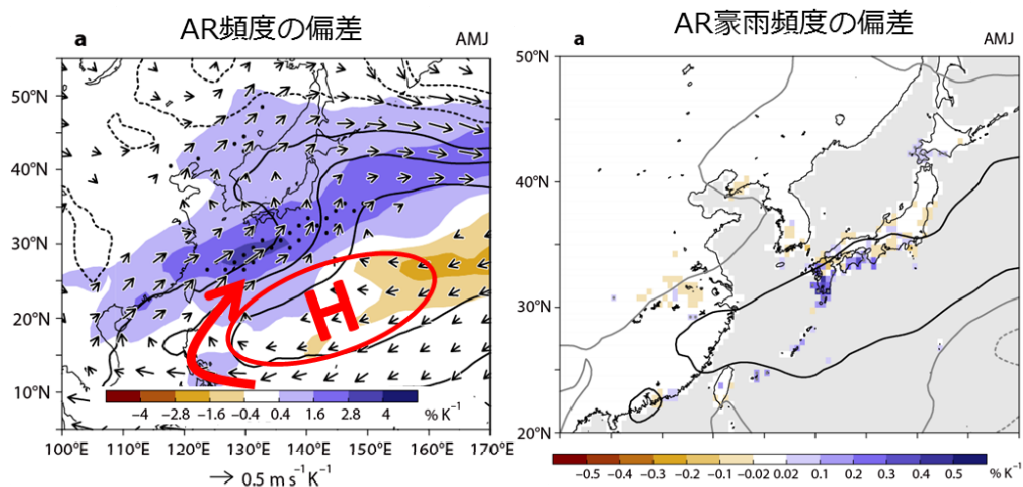


図 4. 冬季エルニーニョ発達後の 4-6 月の特徴。(左) AR 通過頻度 (陰影)、海面更正気圧 (等値線)、850hPa 風偏差 (ベクトル)。(右) AR 豪雨の発生頻度の偏差 (陰影) と AR 通過頻度の偏差 (等値線)。

い。豪雨の頻度が多い地域では、AR 日の相対的割合が非常に高く (60-90%)、豪雨の予測にとって AR の発生・通過の予測が極めて重要であることを示している。

AR 日の割合が高い地域は、西日本・中部地方の地形の南～西斜面に集中しているため、これらの地域は AR 豪雨のリスクのホットスポットと考えることができる。梅雨前線や台風の活動の影響のある夏季・秋季には、AR 豪雨の割合は相対的に低くなる (Kamae

et al. 2017b)。

日本列島を通過する夏季 AR の頻度は、エルニーニョが発達した冬季の半年後に増える (Kamae et al. 2017a)。季節を分けると、図 4a に示す 4-6 月には、フィリピン東方から北西太平洋にかけて、ローカルな風・蒸発・海面水温フィードバックと、インド洋キャパシタ効果 (Xie et al. 2016) によって高気圧が維持される。下層の高気圧偏差の北西側の縁には南西風偏差が卓越し、

transient な水蒸気輸送 (AR の活動) を強める。この大規模場の水蒸気輸送は、ローカルな極端降水とも対応する。図 4b に示す AR 豪雨の発生頻度は、AR 通過頻度が特に増える西日本太平洋岸で有意な増加を示す。7-9 月には、アジアモンスーンの影響を受けて北西太平洋の大気海洋相互作用が変わり、南北に三極構造の循環場偏差が形成される。これに伴い、南西風偏差と AR 通過頻度の偏差、AR 豪雨発生頻度の偏差のピークは北側にずれる (Kamae et al. 2017b)。

4. まとめ

東アジアを通過する AR は、通過頻度が多く、大量の水蒸気を輸送する暖候期に東アジアに大量の降水をもたらす。日降水量を積算すると、総降水量の 14-44%、豪雨の 20-90% が AR 日に集中している。AR の通過頻度が多いことに加え、より多くの水蒸気フラックスが通過する朝鮮半島と西日本では、AR 降水の役割が特に大きい。AR に伴う下層の水蒸気輸送は南西方向から流入する場合が多く、AR 豪雨のリスクは地形の南～西斜面に集中する。AR 豪雨の発生頻度は冬季エルニーニョ発達後の半年後に増加し、台風によるものを除くと、暖候期の豪雨の季節的なリスクの変動は、部分的には予測可能であることを示唆している。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 17K14388、文部科学省委託事業統合的気候モデル高度化研究プログラムの支援を受けた。

参考文献

- American Meteorological Society, 2017: "Atmospheric river". Glossary of Meteorology.
- Dettinger, M. D., F. M. Ralph, T. Das, P. J. Neiman, and D. R. Cayan, 2011: Atmospheric rivers, floods, and the water resources of California. *Water*, **3**, 445–478.
- Gimeno, L., F. Dominguez, R. Nieto, R. Trigo, A. Drumond, C. J. C. Reason, A. S. Taschetto, A. M. Ramos, R. Kumar, and J. Marengo, 2016: Major mechanisms of atmospheric moisture transport and their role in extreme precipitation events. *Ann. Rev. Environ. Res.*, **41**, 117–141.
- Guan, B., and D. E. Waliser, 2015: Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **120**, 12514–12535.
- Hirota, N., Y. N. Takayabu, M. Kato, and S. Arakane, 2016: Roles of an atmospheric river and a cutoff low in the extreme precipitation event in Hiroshima on 19 August 2014. *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 1145–1160.
- Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi, and H. Ueda, 2017a: Atmospheric rivers over the Northwestern Pacific: Climatology and interannual variability. *J. Climate*, **30**, 5605–5619.
- Kamae, Y., W. Mei, and S.-P. Xie, 2017b: Climatological relationship between warm season atmospheric rivers and heavy rainfall over East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95**, 411–431.
- Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada and N. Yasutomi, 2010: Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years. *Hydro. Res. Lett.*, **4**, 60–64.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5–48.
- Mundhenk, B. D., E. A. Barnes, and E. D. Maloney, 2016: All-season climatology and variability of atmospheric river frequencies over the North Pacific. *J. Climate*, **29**, 4885–4903.
- Xie, S.-P., Y. Kosaka, Y. Du, K. Hu, J.S. Chowdary, and G. Huang, 2016: Indo-western Pacific ocean capacitor and coherent climate anomalies in post-ENSO summer: A review. *Adv. Atmos. Sci.*, **33**, 411–432.
- Yatagai, A., K. Kamiguchi, O. Arakawa, A. Hamada, N. Yasutomi, and A. Kitoh, 2012: APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 1401–1415.