

## 2009年10月13～14日に発生したAtmospheric Riverの予測可能性

### The Predictability of Atmospheric River during 13–14 October 2009

宮地哲朗・榎本剛

Tetsuro MIYACHI and Takeshi ENOMOTO

#### Synopsis

Atmospheric River (AR) is long and narrow filaments extending from tropics to extratropics, which often cause extreme precipitation along the US western coast. The predictability of AR during 13–14 October 2009 is investigated by numerical experiments using the NCEP Global Forecast System (GFS).

For a 7-days lead time, GFS was able to predict AR's shape and location, on the other hand, ECMWF and JMA operational forecasts fail to predict them and had northward bias. To distinguish between the forecast errors attributable to the initial condition and those to the model, GFS was run from the initial conditions created from ECMWF analysis data. The northward bias of AR location was reduced by using GFS. This indicates the forecast errors of AR in ECMWF operational forecast are mainly attributable to the model.

**キーワード:** Atmospheric River, TIGGE, 数値天気予報, 予測可能性

**Keywords:** Atmospheric River, TIGGE, numerical weather forecast, predictability

#### 1. はじめに

Atmospheric River (AR) は熱帯から中緯度へ伸びる細長い水蒸気の極大域であり、太平洋や大西洋、南半球の海上でしばしば観測される。ARは典型的には幅約400km以下、長さ数千kmのスケールをもち (Ralph et al. 2004), 狭い領域に多量の水蒸気フラックスを伴った現象である。

ARは全球の水蒸気南北輸送において主要な役割を果たしている。Zhu and Newell (1998) はARに伴う熱帯から中緯度への南北水蒸気輸送は、全球輸送量の90%を占めると述べている。ARの局所的な強い水蒸気フラックスは、中緯度の温帯低気圧に伴って対流圏下層で大きな値をもち、温帯低気圧の warm conveyor belt の一部となっている。ARが陸地に達すると、AR内での収束や山岳による上昇流により、地形性降雨が生じやすく、豪雨・豪雪をもたらすことがある。北米西岸域では、ARに関連した豪雨や洪水災害の事例がいくつか報告されている (Ralph et al.

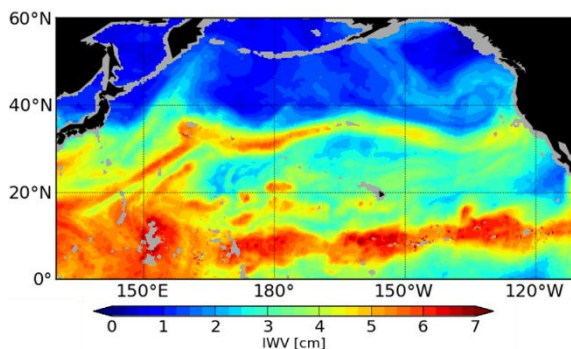


Fig.1 Composite SSM/I satellite imagery of column integrated water vapor (cm) in local evening on 13 Oct 2009.

2004; Ralph et al. 2011) .

Fig.1は、衛星マイクロ波放射計の観測から得られた2009年10月13日の太平洋上の可降水量分布である。太平洋を東西に横切る可降水量極大域が観測され、長さ10000km以上の非常に長いARが形成されている。

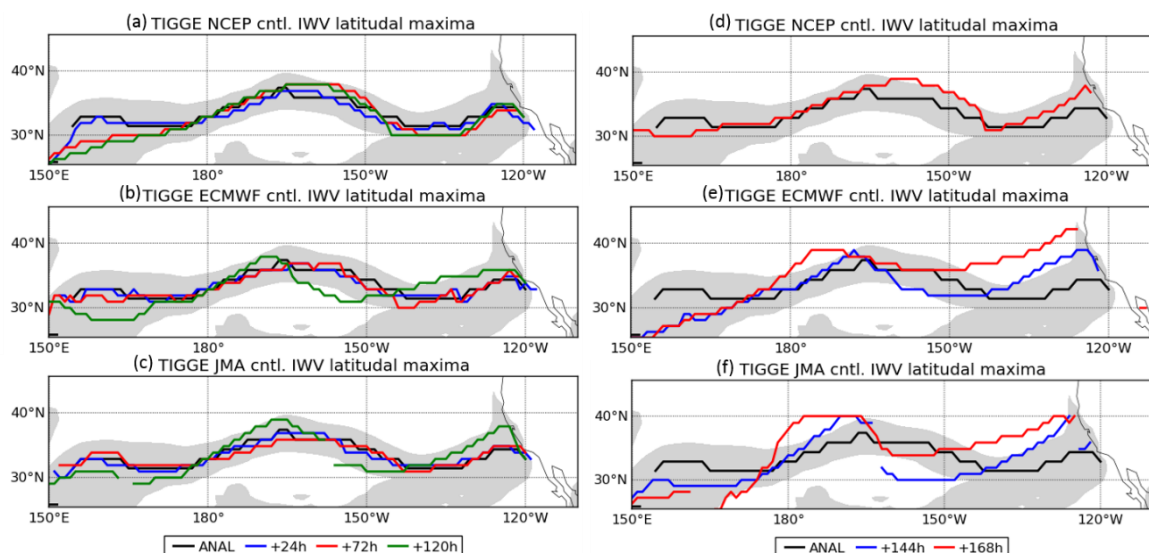


Fig. 2 Latitudinal maxima of column integrated water vapor (larger than 3 cm) between 25°N and 60°N of (a,d) NCEP, (b,e) ECMWF, (c,f) JMA control run forecasts and ERA-interim reanalysis (black line) valid at 12UTC 13 Oct 2009. The left figures (a-c) are based on 24-h (blue), 72-h (red) and 120-h (green) forecast leads, and the right (d-f) are based on 144-h (blue) and 168-h (red) forecast leads (the line of 144-h leads forecast of NCEP is not showed due to missing data in TIGGE portal site). The gray-shaded area shows more than 3 cm integrated water vapor area of the analysis.

このARは10月7日から8日にかけて日本付近を北上した台風に伴って太平洋の西側から形成され始め、10月13日に北米西岸に達した。このARによりカリフォルニア州では24時間に495mm以上の豪雨が観測されている (Ralph et al. 2011)。

本稿では2009年10月13日から14日にかけて発生し、米国西岸に豪雨をもたらしたARについて、その予測可能性を調査した。特に、現業数値予報センター間の予測結果の違いに着目して、予報データの解析と、現業モデルを用いた初期値交換実験により調べた。

## 2. データと実験設定

### 2.1 使用データ

予報データの解析には、TIGGE (The THORPEX Interactive Grand Global Ensemble) データから、米国環境予測センター (NCEP)、ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF)、および気象庁 (JMA) の中期アンサンブル予報データのうち、初期摂動の含まれないコントロールランの結果を使用した。解析期間である2009年10月時点での、各センターの中期アンサンブル予報で使用する数値モデルの解像度は、NCEPがT126L28 (水平約1.0度、鉛直28層、上端約3hPa)、ECMWFがTL399L62 (水平約0.45度、鉛直62層、上端約0.5hPa)、JMAがTL319L60 (水平約0.56度、鉛直60層、上端約0.1hPa) である。また、比較対象とする解析値には、ERA-interim再解析データ (水

平1.25度格子) を使用した。

### 2.2 数値実験

予報実験には、NCEPの全球大気モデル GFS (Global Forecast System) の2010年での現業バージョンを用いた。解像度は T126L64 (水平約1.0度、鉛直64層、上端0.3hPa) とし、各日12UTCを初期時刻として、2009年10月13日12UTCまで積分し、予報実験を行った。予測精度の初期値、モデル依存性を調べるために、NCEPとECMWFの解析値を初期値とした2種類の予報実験を行った。初期値にはそれぞれ NCEP-CFSR のモデル面解析値、および ECMWF の客観解析値を GFS の格子点とモデル面に合わせて、水平方向にはスペクトル内挿、鉛直方向には3次内挿を行って作成したものを用いた。内挿前の ECMWF 客観解析値は、水平1度格子、 $\sigma$ -p ハイブリッド面鉛直91層である。境界値は、いずれの実験も NCEP-CFSR の値で統一した。

## 3. 各センターの予測精度

まずTIGGEデータを用いて、各センターのARの予測精度について、特にその形状と米国西岸への到達位置に着目して解析を行った。Fig.2は各経度における3cm以上の可降水量最大緯度で定義した、NCEP、ECMWF、JMAのコントロールランの10月13日12UTCにおける24、72、120時間予報 (Fig.2a-c) と、144、168

時間予報 (Fig.2d-f) でのARの中心位置である。

7日という比較的長い予測期間でも、どのセンターもARの発生と米国西岸への到達を予測できている。これは、ARの発生の水蒸気源となった日本付近の台風北上が、予測の初期段階であったことが影響していると考えられる。ARの形状と米国西岸位置の到達位置に関しても、5日予報までは、3つのセンターの予測はどれも、解析値でも可降水量の多い領域にある (Fig.2の陰影)。米国西岸への到達位置もカリフォルニア州周辺への多量の水蒸気の流入を予測していた (Fig.2 a-c)。しかし、6日予報以降になると、ARの形状がばらつくようになり、到達位置に予報センター間の違いがみられるようになる。7日予報でも、NCEPの予測ではカリフォルニア州への到達を予測できているのに対して、JMA、ECMWFの予測では到達位置が北偏し、特にECMWFの予測ではAR中心の到達位置が解析値に比べ、7度以上北に位置していた (Fig.2d-f)。この北偏に伴って、ECMWFの予測では、カリフォルニア州の北側での降水が、主に予測されていた (図略)。

AR到達位置の北偏はアラスカ湾で発達した低気圧の位置や形状と関連している。解析値では低気圧の中心位置は北緯42度付近にあり、その形状も南まで伸びて発達し、カリフォルニア州に低気圧に伴う下層の風が吹き込みやすい状況にある (Fig.3a)。一方、ECMWFの予測結果では低気圧の中心位置が北偏して北緯50度付近に位置しており、形状も東西に伸びて誤差が大きい (Fig.3b)。ARは温帯低気圧の下層ジェットに伴うことが多いため、この低気圧の北偏がAR到達位置の北偏誤差に影響していると考えられる。

#### 4. 初期値交換実験

ECMWF のコントロールランにおける AR の誤差が生じた原因を調べるために、最も予測誤差が小さかった NCEP の予測に使用された数値モデル GFS を用いて、ECMWF の解析値を初期値とした実験を行った。比較のために、NCEP の解析値を初期値とした実験も行った。

Fig.4 は、10月13日12UTCにおける6日、7日予報実験の結果である。NCEP の解析値を初期値とした予報実験では、北米西岸到達位置の予測は TIGGE のコントロールランと同じく、7日予報まで可能であった。また、AR 中心位置の形状や北米西岸到達位置の誤差も小さく、カリフォルニア州付近への到達をよく予測している (Fig.4a)。これは、解像度やモデルのバージョンが異なるものの、Fig.2d のコントロールランの結果と整合的である。ECMWF の解析値

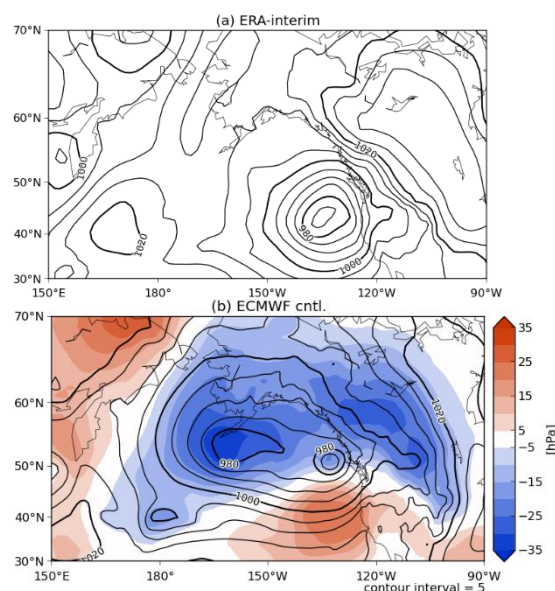


Fig. 3 Mean sea level pressure (contour, hPa) and forecast error (shading) of (a) ERA-interim reanalysis and (b) 172-h forecast of ECMWF control run valid at 12UTC 13 Oct 2009. The contour interval is 5 hPa.

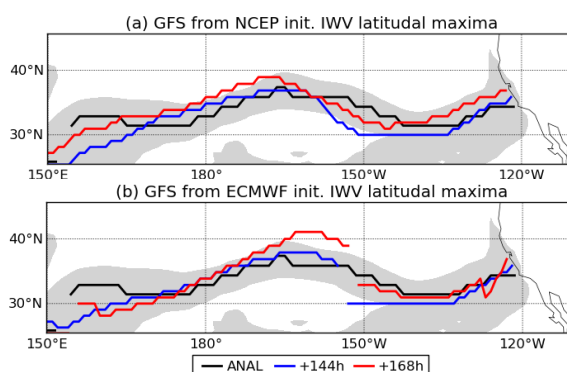


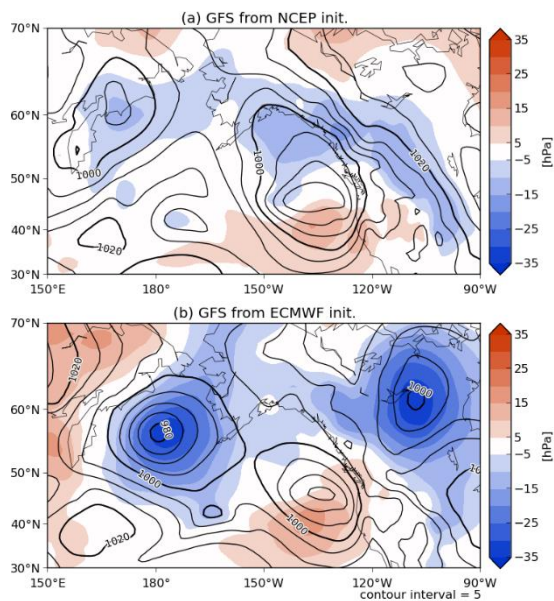
Fig. 4 As in Fig.2d-f, but for the GFS runs from (a) NCEP initial condition and (b) ECMWF initial condition.

を初期値とした予報実験では、TIGGE のコントロールランで生じていた AR 到達位置の大きな北偏は見られず、AR は6、7日予報でも到達位置をよく予測している (Fig.4b)。さらに、アラスカ湾で発達した低気圧の予測誤差も減少しており (Fig.5)、アラスカ湾の低気圧の予測精度と AR 到達位置の予測精度が関係していることを示している。

#### 5. まとめ

2009年10月に太平洋上で発生し、10月13日から14日にかけて米国西岸に達して、カリフォルニア州に豪雨をもたらした Atmospheric River の予測可能性を、複数の現業センターの予測結果の解析と、現業モデルを用いた数値実験により調べた。

NCEP、ECMWF、JMAの予報データの解析から、



ARの北米西岸への到達は7日予報まで、予測できていたものの、その形状や豪雨が観測された北米西岸到達位置の予測精度では、6日予報以降、各センターの予測結果に違いが見られた。NCEPの予測では7日予報でも、形状の誤差は小さく、カリフォルニア州付近への到達を予測していたものの、ECMWF, JMAの予測では誤差が大きくなり、特にECMWFの予測では、その到達位置が大きく北偏していた。この北偏

Fig. 5 As in Fig.4, but for the GFS runs from (a) NCEP initial condition and (b) ECMWF initial condition.

誤差は、アラスカ湾で発達した低気圧の予測誤差と関連している。

ECMWFの予測におけるAR到達位置の北偏誤差の原因を調べるために、NCEPの現業数値モデルGFSを用いて、ECMWFの解析値から作成した初期値からの予報実験を行った。モデルをNCEPのモデルに変えることにより、7日予報において、AR到達位置の北偏

誤差は改善し、アラスカ湾の低気圧の予測誤差も減少した。

初期値交換実験の結果は、ECMWFの6, 7日予報に見られた、ARの北米西岸到達位置の大きな北偏とアラスカ湾で発達した低気圧の予測誤差は、初期値の誤差ではなく、モデルの違いにより生じた誤差の影響が大きかったことを示唆する。

## 謝 辞

本稿で使用したGFSの移植作業は、京都大学防災研究所「組織的な若手研究者派遣プログラム」より旅費の支援を受け、メリーランド大学に滞在して行った。GFSの移植および使用方法に関して、三好建正准教授(当時)及び太田洋一郎氏の助言を受けた。

## 参考文献

- Ralph, F. M., Neiman, P. J., and Wick, G. A. (2004): Satellite and CALJET aircraft observations of atmospheric rivers over the eastern North Pacific Ocean during the winter of 1997/98, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 132, No. 7, pp. 1721–1745.
- Ralph, F. M., Neiman, P. J., Kiladis, G. N., Weickmann, K. and Reynolds, D. W. (2011): A multiscale observational case study of a Pacific atmospheric river exhibiting tropical–extratropical connections and a mesoscale frontal wave, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 139, No. 4, pp. 1169–1189.
- Zhu, Y., and Newell, R. E. (1998): A proposed algorithm for moisture fluxes from atmospheric rivers, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 126, No. 3, pp. 725–735.

(論文受理日：2013年6月10日)