

NCEP-GFS を用いた Atmospheric River の予報実験

宮地哲朗・榎本剛（京大防災研）・太田洋一郎（気象庁数値予報課）・
三好建正（メリーランド大学）・Hann-Ming Henry Juang（NCEP）

1. はじめに

NCEP-GFS（NCEP Global Forecast System）は米国環境モデリングセンター（NCEP/EMC）で開発されている全球大気大循環モデルであり、NCEPにおける数値予報や再解析データの作成に使用されている。今回、NCEPにおいてIBM社のスーパーコンピュータで運用されているGFSの現業バージョンをLinux環境に移植する作業を行い、GFSを用いた予報実験環境を構築した。本発表ではNCEP-GFSの概要と移植したGFSを用いて行ったAtmospheric Riverの予報実験の結果を示す。

2. NCEP-GFSの概要

GFSは全球3次元の静力学スペクトルモデルであり、鉛直方向にはシグマ座標と気圧座標のハイブリッド座標が採用されている。NCEPの現業予報での解像度は決定論的予報で192時間予報まではT574L64（水平約0.2度、鉛直64層）、以降384時間予報までT190L64（水平約0.6度）で1日4回の予報が行われている。

主な物理過程のスキームには、放射にRRTM（Mlawer et al. 1997）、積雲対流としてSASスキーム（Han and Pan 2006）、shallow convectionにはbulk mass-fluxスキーム（Han and Pan 2010）、陸面過程は4層のNOAH land surface modelが使用されている。

24時間予報の計算時間

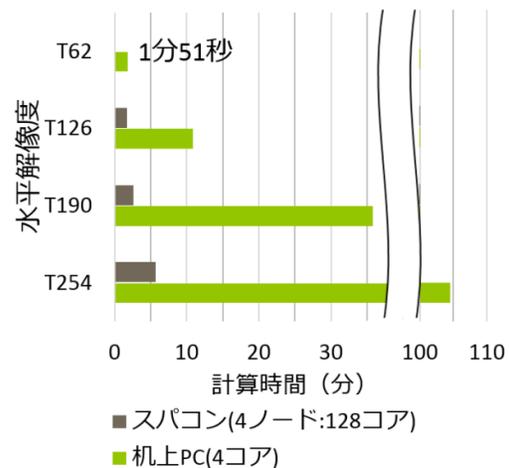


図1. 移植したスーパーコンピュータ（システムA）と机上PCでの24時間予報の計算時間

3. NCEP-GFSの移植

GFSをメリーランド大学のLinuxクラスタ計算機、京都大学のスーパーコンピュータ（Cray XE6；1ノードあたり32コア、演算性能320 Gflops、メモリ64GB）、及び机上のLinux PC（OS；Ubuntu 12.04 64bit、CPU Core i7 2.4GHz 4コア、メモリ16GB）に移植した。IntelコンパイラとPGIコンパイラでコンパイルして、並列計算できることを確認している。参考までに24時間予報の計算にかかった時間を図1に示す。低解像度の計算であれば、机上PCでも良いパフォーマンスが出ており、小規模なマシンでもGFSを用いた予報実験が可能である。

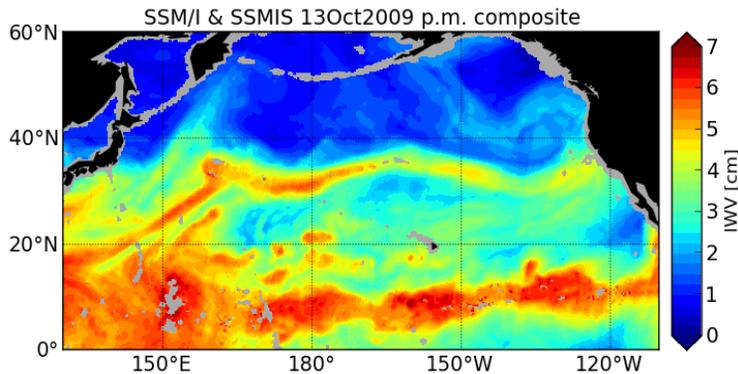


図 2. 2009 年 10 月 13 日午後における SSM/I、SSMIS 衛星観測データの可降水量。

4. Atmospheric River の予報実験

4.1 Atmospheric River

Atmospheric River は熱帯から中緯度に伸びる細長い水蒸気量の極大域であり、太平洋や大西洋、南半球の海上でしばしば見られる。Atmospheric River は全球の水蒸気循環に対して大きな役割を果たしており、中緯度の水平水蒸気輸送量の 90%以上が、Atmospheric River に伴って起こると報告されている (Zhu and Newell, 1998)。

また太平洋上に現れる Atmospheric River は、北米大陸西岸まで達すると局所的な豪雨をもたらす要因となることが知られている。図 2 は 2009 年 10 月 13 日に観測された太平洋上の可降水量分布である。北西熱帯太平洋から北米大陸西岸にまで達する長さ 6000km 以上の Atmospheric River がみられる。この事例では北米西岸到達点であるカリフォルニア州セントラルコーストで 13 日から 14 日にかけて 24 時間に 495mm の大雨が観測された (Ralph et al. 2011)。この事例の他にも Atmospheric River に伴う局所的な水蒸気供給が要因となって発生した豪雨・豪雪の事例がいくつか報告されている (e.g. Neiman et al. 2008, Ralph et al. 2011)。

今回は図 2 で示した 2009 年 10 月 13 日の事例について、GFS を用いて予報実験を行った。また、他センターの予報結果との

比較を行い、初期値やモデルの違いによる Atmospheric River の予報精度変動について解析を行った。

4.2 実験設定と使用データ

移植した GFS の現業バージョンを使用し、解像度は T126L64 (水平約 1 度、鉛直 64 層)、物理過程は NCEP の現業予報と同じ設定とした。初期時刻は 2009 年 10 月 3 日から 10 月 12 日までの時刻 12UTC とし、10 日予報から 1 日予報まで実験を行った。初期値として NCEP-CFSR 再解析値を用い、SST は初期値固定とした。

また他センターの予報結果と比較するため、TIGGE (THORPEX Interactive Grand Global Ensemble) の ECMWF と JMA のコントロールランの予報結果を用いた。2009 年 10 月における現業アンサンブルの解像度は、ECMWF が TL399L62、JMA が TL319L60 である。比較のための解析値として、NCEP-CFSR 再解析データを用いた。

4.3 結果

図 3 b は、2009 年 10 月 13 日 12UTC における 10 月 6 日 12UTC を初期時刻とした 7 日予報の結果である。太平洋上には北米西岸に達する Atmospheric River が予測されており、その形状や北米西岸の到達位置は図 3 a で示した解析値とよく一致する。また、アラスカ湾で発達した低気圧の中心

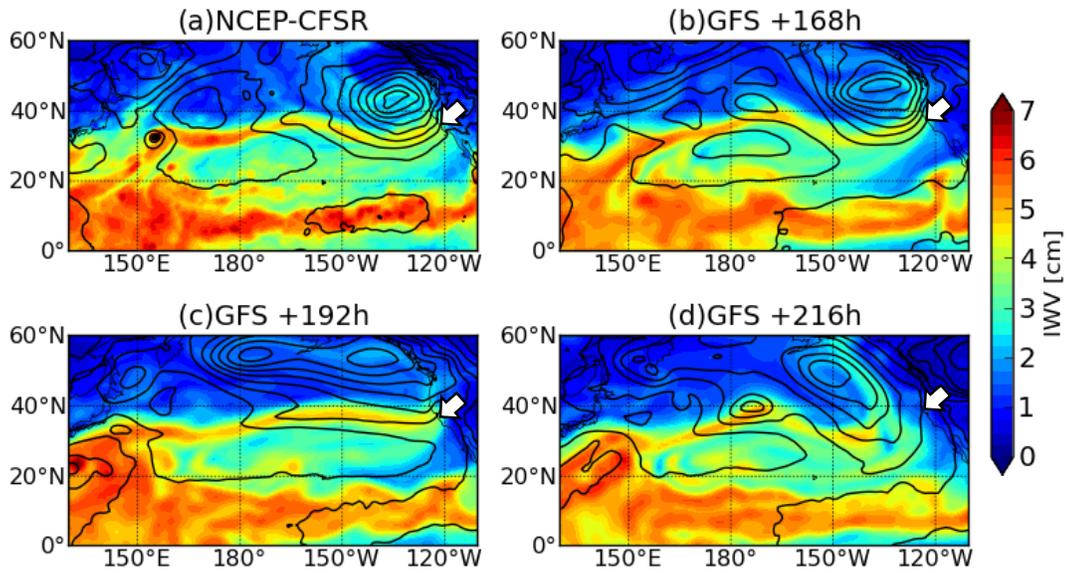


図 3. 2009/10/13 12UTC での (a) NCEP-CFSR の可降水量 (陰影) と海面気圧 (コンター) および GFS を用いた (b) 7 日予報、(c) 8 日予報、(d) 9 日予報の予報時刻 2009/10/13 12UTC での可降水量 (陰影) と海面気圧 (コンター)。コンター間隔はいずれも 5hPa。矢印は解析値での北米西岸到達位置。

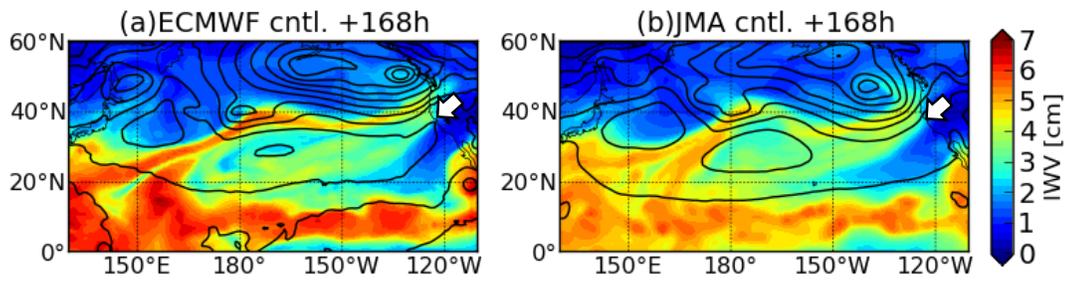


図 4. (a) ECMWF、(b) JMA の 7 日予報のコントロールランの予報時刻 2009/10/13 12UTC での可降水量 (陰影) と海面気圧 (コンター)。その他は図 3 に同じ。

位置や形状も解析値とよく一致している。10 月 7 日以降を初期時刻とした結果でも、Atmospheric River の位置や形状はおおよそ解析値と一致しており (図略)、GFS を用いた本実験では、Atmospheric River の出現と北米西岸への到達が 7 日予報まで予測できていた。一方、8 日予報では Atmospheric River は北米西岸に達するものの蛇行が弱く形状までは予測できなくなり (図 3c)、9 日予報では北米西岸への到

達は予測できなかった (図 3d)。8 日予報以降、アラスカ湾で発達した低気圧の中心位置が解析値に比べ北へずれるようになり、急激に予測精度が悪くなっていた。この低気圧に吹き込む風が、Atmospheric River の北米西岸到達位置に大きく影響しており、7 日予報を境にして予測が悪化した要因になっていると考えられる。

次に他センターの予報結果との比較を行った。図 4 は TIGGE ポータルより取得し

た ECMWF と JMA の 2009 年 10 月 6 日 12UTC を初期時刻とした 7 日予報の結果である。GFS と同じく太平洋上に北米西岸に達する Atmospheric River が予測できている。一方、GFS の 7 日予報と比較すると、北米西岸の Atmospheric River の到達点が異なっている。GFS では矢印で示した解析値の北米西岸到達位置をほぼ正しく予測できているのに対して (図 3b)、ECMWF と JMA の 7 日予報では到達位置が北にずれている。ECMWF、JMA の結果ではアラスカ湾の低気圧中心が、解析値や GFS の 7 日予報に比べて北にずれて東西に広がった形をしており、この低気圧の予測精度の差が Atmospheric River 到達点の北偏に影響していると考えられる。

最後に Atmospheric River の形状と北米西岸到達点に着目して GFS、ECMWF、JMA の 6、7、8 日予報での Atmospheric River の予測結果をまとめたのが図 5 である。図 5 は各経度における可降水量の値が 3cm 以上かつ最大となる緯度で定義した Atmospheric River の中心位置である。GFS による予報結果では、7 日予報でも Atmospheric River の形状と位置が解析値の位置とほぼ一致している。一方、ECMWF の予報結果では Atmospheric River 西半分の位置や形状は予測できているものの、北米西岸到達位置が 6 日以上の子報で北にずれており予測できていない。JMA の予報結果でも同様に到達位置が北にずれ、Atmospheric River 西半分も大きく蛇行してしまい予測精度が悪くなっている。

5. まとめ

NCEP の全球大気大循環モデルである GFS の現業バージョンを Linux 環境に移

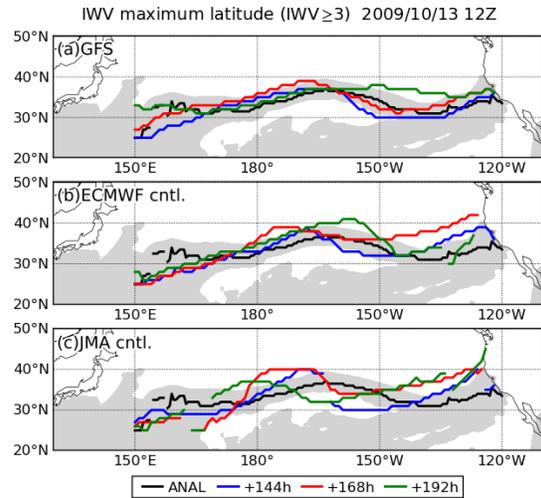


図 5. 各経度における 3cm 以上の可降水量最大緯度で定義した Atmospheric River の位置。上から GFS、ECMWF、JMA の 6 日 (青)、7 日 (赤)、8 日 (緑) 予報の結果と解析値 (黒)。灰色の陰影は解析値可降水量 3cm 以上の領域を示す。

植し、GFS を用いた予報実験環境を構築した。

移植した GFS を用いて 2009 年 10 月 13 日に太平洋上で観測された Atmospheric River の予報実験を行い、TIGGE ポータルの ECMWF と JMA の予報データと比較することで初期時刻やモデルの違いに伴う Atmospheric River の予報精度の変動を解析した。GFS を用いた予報実験では Atmospheric River の発生は 7 日予報で予測可能であった。また GFS では 8 日予報、ECMWF と JMA の予報では 6~7 日予報を境にして北米西岸の到達位置の精度が悪くなり北に偏るようになる。この予報期間を境にアラスカ湾で発達した低気圧の予測精度が悪化しており、この事例における Atmospheric River の北米西岸到達にはアラスカ湾の低気圧の予測が重要であったと考えられる。

謝 辞

今回の 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いました。プログラムおよびメリーランド大学大気海洋科学部の皆様に感謝いたします。

数値実験には京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータを利用しました。

参 考 文 献

- Han, J., and H.-L. Pan, 2006: Sensitivity of Hurricane Intensity Forecast to Convective Momentum Transport Parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 664–674.
- Han, J., and H.-L. Pan, 2011: Revision of Convection and Vertical Diffusion Schemes in the NCEP Global Forecast System. *Wea. Forecasting*, **26**, 520–533.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, **102**, 16663-16682
- Neiman, P. J., F. M. Ralph, G. A. Wick, J. D. Lundquist, and M. D. Dettinger, 2008: Meteorological Characteristics and Overland Precipitation Impacts of Atmospheric Rivers Affecting the West Coast of North America Based on Eight Years of SSM/I Satellite Observations. *J. Hydrometeor.*, **9**, 22–47
- Ralph, F. M., P. J. Neiman, G. N. Kiladis, K. Weickmann, and D. W. Reynolds, 2011: A Multiscale Observational Case Study of a Pacific Atmospheric River Exhibiting Tropical–Extratropical Connections and a Mesoscale Frontal Wave. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1169–1189.
- Zhu, Y., and R. E. Newell, 1998: A Proposed Algorithm for Moisture Fluxes from Atmospheric Rivers. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 725-753.