

アジアモンスーン降水量の季節予報改善のための APHRODITE データ、 TRMM プロダクトによるスーパーアンサンブル

谷田貝亜紀代（京大・生存研）・

T.N. Krishnamurti, A. K. Mishra, V. Kumar and A. Simon (Florida State University)

1. はじめに

アジアモンスーンの季節降水量予報は社会的に重要であるが、科学的にはチャレンジングな課題である。複数のモデルによるスーパーアンサンブル手法によりモンスーン降水予報スコアが向上することが Krishnamurti et al. (2002) によって示され、その後、高分解能の観測データセットによりインドモンスーン降水量の短期・季節予報が改善することも報告されている (Krishnamurti et al., 2009; Chakraborty and Krishnamurti, 2009)。降水量の予測は、局地的な影響を受けるため、現実的にも経験則やガイダンスが用いられている。また温暖化による地域降水量、水文現象への影響といった分野には、観測データに基づく統計的なダウンスケーリング手法が有効である。これらの点から、陸域の観測降水量データによるアジアモンスーン季節降水量予報改善への効果を調べることは、意味があると考えられる。そこで本稿は、近年整備された雨量計によるアジアモンスーン地域の降水量グリッドデータと比較的広く用いられ更新が続いている熱帯降雨観測衛星による降水量グリッドデータを、複数のモデルと合わせて用い、スーパーアンサンブル予報の結果を示す。

2. データと解析手法

2.1 使用する観測データ

雨量計ベースの降水量データとして、Asian Precipitation – Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation (APHRODITE) of the water resources プロジェクト (Yatagai et al., 2009; 2012) によるアジア地域の日降水量 0.25 度プロダクト APHRO_MA_V0902 (以降、APHRO) を月降水量に変換して用いる。また熱帯降雨観測衛星 (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) による TRMM3B43 月降水量

データを比較のために用いる。TRMM3B43 は、TRMM マイクロ波イメージャー (TMI) 等のマイクロ波放射計、赤外放射計データと雨量計データを含むが、アジア地域の雨量計データは世界気象通信網 (Global Telecommunication System, GTS) による観測データのみであり、Yatagai et al. (2012) 等が示す通り南アジア・東南アジアの GTS 観測値は非常に少ない。

将来的に現実的な予報への応用を想定すると、准リアルタイムでデータが得られる必要があることが多いことから、TRMM3B43 の最適利用が期待される。APHRO, TRMM3B43 (以降 TRMM), APHRO により修正した TRMM3B43 (以降 modified TRMM) の 3 種類のデータを本研究では用いる。期間は TRMM と APHRO の重なる 7 年間 (1998-2004 年) 分の夏季 (6-8 月) のデータを用いた。また解析範囲は、アジアモンスーン地域 (60-150E, 0-50N) であり、使用データもこの範囲に含まれるものである。

2.2 使用するモデルデータ

スーパーアンサンブル手法では、4 つから 5 つのモデルデータが必要である。本研究には、表 1 に示す 4 種類の大気海洋結合モデルの出力値の降水量データを月降水量に変換したものをを用いた。

表 1 4 用いた結合モデルの特徴

Institute	AGCM	OGCM	Reference
GFDL	AM2.1	MOM4	Delworth et al. (2006)
NCEP	GFS	MOM3	Saha et al. (2005)
SNU	SNU	MOM2.2	Kug et al. (2005)
UH	ECHAM4	UH Ocean	Fu and Wang (2001)

SNU: Seoul National Univ., Korea, UH: Univ. Hawaii, USA

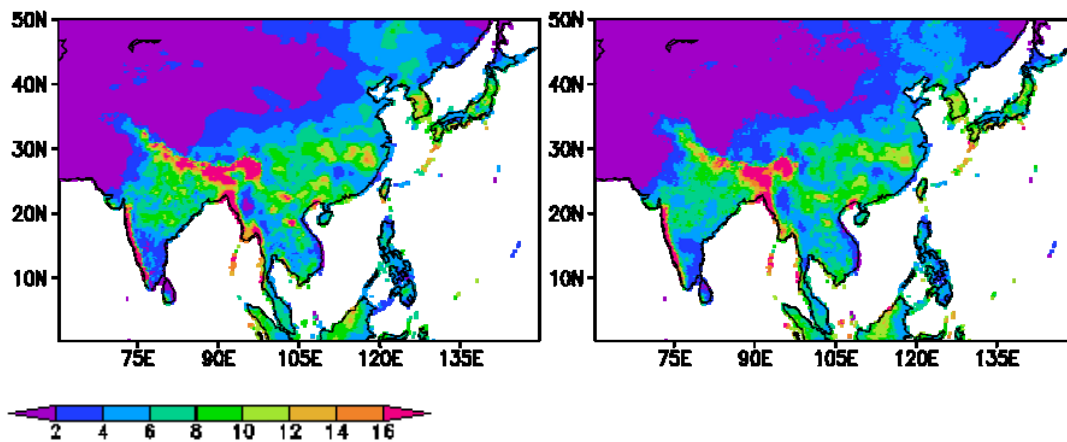


図1 APHRODITE (左) および Modified TRMM (右) 1998 年の夏季 (6-8 月) 総降水量 (mm/day)。

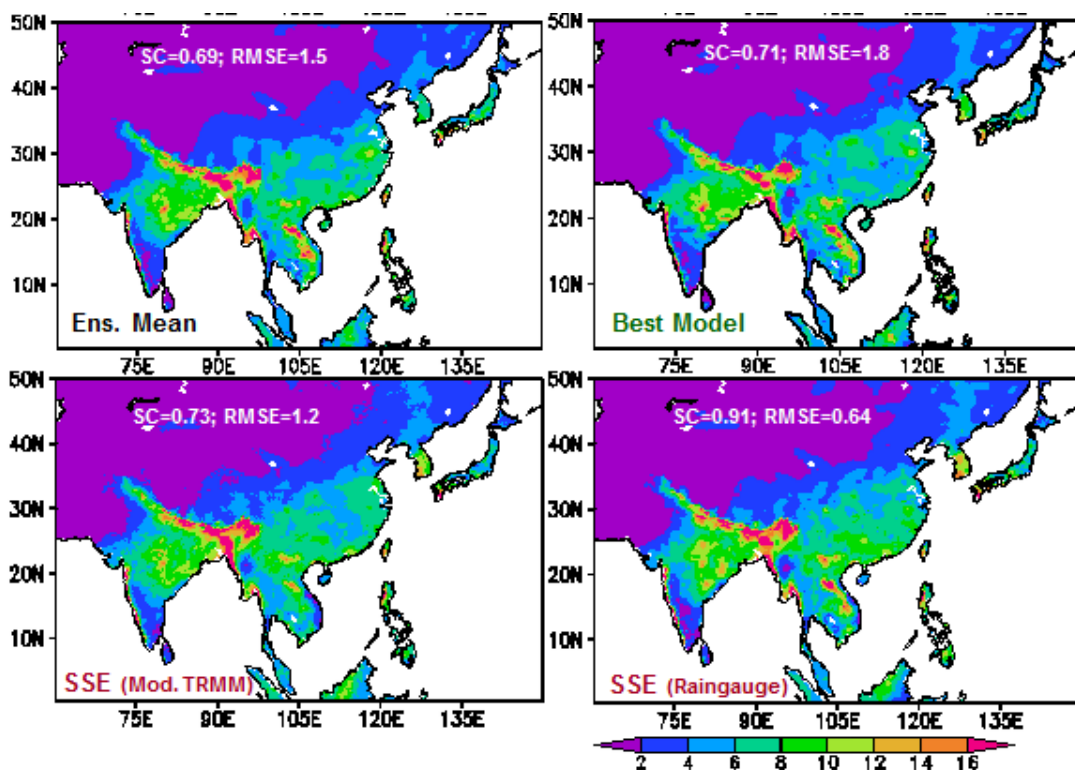


図2 1998 年 6-8 月についての予報結果降水量 (mm/day)。(左上) アンサンブル平均、(右上) 4 つのモデルのうち最高のスコアを示した単独モデルによる結果、(左下) Modified TRMM を教師データとしたスーパーアンサンブル予報結果、(右下) APHRO を教師データとしたスーパーアンサンブル予報結果。

2.3 解析手法

Modified TRMM データは、6-8 月それぞれに、APHRO を真値とし、TRMM と APHRO を比較

し、各グリッドごとに次式のように最小二乗法により回帰式の係数 (SLOPE, INTERCEPT) を決定し、TRMM とその修正係数により APHRO に近づけることにより定義する。

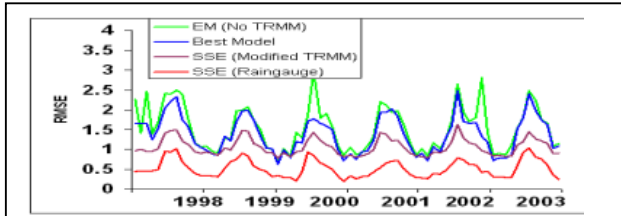


図3 APHRO を基準として計算した月予報値の最小二乗誤差。緑 (アンサンブル平均)、青 (最良の結果を示した単一モデル)、紫 (Modified TRMM によるスーパーアンサンブル予報結果)、赤 (APHRO によるスーパーアンサンブル予報結果)。

$$\text{APHRO} = \text{SLOPE} \cdot \text{TRMM} + \text{INTERCEPT}$$

モデル値は、まず APHRO と同じ空間解像度である

る 0.25 度に内挿する。次に、APHRO とモデル値の回帰係数 (a,b) を定義する。(これをここではダウンスケーリングと呼ぶ) ここでは 7 年分のデータから、それぞれの年は独立とし、1 年の予報ターゲットを決め、その年の観測データを用いず係数を決め、6 年分の月データからスーパーアンサンブルもしくはアンサンブル予報を実行し、用いなかった観測データにより検証するクロス検証手法を適用する。

スーパーアンサンブル手法 (Krishnamurti et al., 1999) は、複数のモデルと過去の観測データとの成る際の誤差を最小にするように配列を定義し (training phase), その配列を用いて予報する。季節予報の場合には、それぞれのメンバーモデル (この場合表 1 の 4 つ) の時系列と観測データとの時系列に経験直交関数 (EOF) 解析を適用し、主要モードの合成にする係数を決定する (Chakraborty and Krishnamurti, 2009)。

その合成係数により予報された降水量データと、上記のように使用しなかった観測データとの間で相関係数や最小二乗誤差、ETS などのスコアを計算する。

3. 結果

図 1 に 1998 年の APHRO, Modified TRMM の分布を示す。

また、予報実験は各年をターゲットに行ったが、その結果の空間分布を図 2 に示す。また、各年月の、APHRO に対する最小二乗誤差を図 3 にまとめた。

なお図 2 の統計値と図 3 は、APHRO に対して計算したものである。図 3 が明らかに示す通り、APHRO によるスーパーアンサンブル予報が、きわめて小さい誤差を示している。アンサンブル平均や、4 つのうちの最小スコアを示したモデルはもちろん、Modified TRMM と比較しても誤差は小さい。

図 4 に、Equitable Threat Score およびバイアスを示す。弱い雨に対しても強い雨に対しても、APHRO を教師データとしたスーパーアンサンブル結果は、最良のスコアを示し、Modified TRMM は、それに続く良好なスコアを示した。

これまで APHRO を真値としてスコアを計算した結果を示した。3 種のデータセットとは、ダウンスケーリングとスーパーアンサンブルの Training phase の教師データとして用いているが、結果が教師データに似るのはある意味で当然である。そこで、TRMM, Modified TRMM を基準にしてスコア等を計算した結果を表 2 にまとめた。

その結果、APHRO, Modified TRMM, TRMM それぞれ、教師データとして用いたデータで検証した場合に相関が高く、誤差が小さく、スコアが高い結果となった。その値に着目すると相関係数

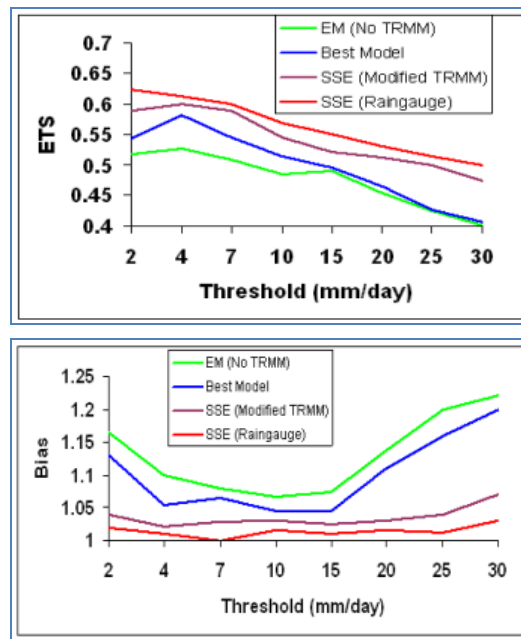


図 4 APHRO に対する (上) Equitable Threat Score、(下) バイアス。凡例は図 3 に同じ。

は、APHRO の組み合わせが最も高く、誤差も APHRO の組み合わせが最も小さい。スコアは、TRMM, APHRO, Modified TRMM の順に高い結果となった。APHRO は密な雨量計ネットワークにより作成されるため細かい分布を再現できている。細かい分布があるためにノイズとなり相関が低くなることも予想されたが、そうではなく、APHRO を教師データとして用いて検証した場合の相関が最も高かった (0.91) ことは、密な雨量計ネットワークによる降水グリッドデータが予報改善にきわめて有用であることを示している。

4. まとめ

APHRODITE 降水データ, TRMM3B43, 4 つの CGCM データを用い、ダウンスケーリングと EOF を踏まえた合成スーパーアンサンブル手法により、アジアモンスーン地域の月降水量の予報改善を試みた。観測データを用いないアンサンブル季節予報との比較も行った。検証や予報テスト (RMS 誤差, Equitable Threat Scores (ETS), Bias) を APHRODITE に対して行った。その結果次のことが明らかになった。

1. 密な雨量計ネットワーク (APHRODITE) や修正 TRMM プロダクトは、夏季モンスーン降水予報をかなり改善させた。その結果は、使用した 4 つのうち最高精度を示した結果よりも、単なるアンサンブル平均よりも、明らかによいものであった。

2. 密な雨量計網によるグリッドデータが得られたことは、本研究の成功における Essential な点である。(過去のデータの利用の重要性)
3. この手法は、衛星の利用を含めて、Real-time に応用が可能である

謝辞

APHRODITE データの作成は、地球環境総合推進費 (A0601) により実施しました。

参考文献

- Chakraborty, A., and T.N. Krishnamurti, 2009. Improving global model precipitation forecasts over India from downscaling and FSU superensemble. Part II: Seasonal climate. *Mon. Wea. Rev.* **137**, 2736–2757.
- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, T. E. LaRow, D. R. Bachiochi, Z. Zhang, C. E. Williford, S. Gadgil, and S. Surendran, 1999: Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble. *Science*, **285**, 1548–1550.
- Krishnamurti, T.N., A.K. Mishra, A. Chakraborty, and M. Rajeevan, 2009: Improving Global Model

Observations Used in Downscaling/ Training	Validation against APHRODITE			Validation against Modified TRMM			Validation against TRMM		
	COR	RMS E	ETS *	COR	RMSE	ETS *	COR	RMSE	ETS*
APHRODITE	<u>0.91</u>	<u>0.64</u>	<u>0.62</u>	0.74	0.95	0.54	0.52	1.3	0.61
Modified TRMM	0.73	1.2	0.60	<u>0.88</u>	<u>0.80</u>	<u>0.60</u>	0.51	1.4	0.59
TRMM	0.45	1.9	0.46	0.75	0.97	0.50	<u>0.82</u>	<u>1.0</u>	<u>0.65</u>

表 2 使用したデータセットと、スーパーアンサンブル予報結果の検証に用いたデータセットの組み合わせによる統計結果の評価。

Precipitation Forecasts over India Using Downscaling and the FSU Superensemble. Part I: 1–5-Day Forecasts., *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 2713–2735

Krishnamurti, T.N., A.K.Mishra, A. Simon, A. Yatagai, 2009: Use of a dense gauge network over India for improving blended TRMM products and downscaled weather models, *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 395–416.

Yatagai, A., O. Arakawa and K. Kamiguchi, H. Kawamoto, M. I. Nodzu, A. Hamada (2009): A 44-year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *SOLA*, **5**, 137–140, doi:10.2151/sola.2009-035.

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, *Bulletin of American Meteorological Society*, **93**, 1401–1415, doi:http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00122.1.