

インドネシアにおける下部対流圏水平風

～ ウィンドプロファイラネットワーク観測と全球再解析データの比較～

田畑悦和¹, 橋口浩之¹, 山本真之¹, 山本衛¹, 山中大学², 森修一²,
Fadli Syamsudin³, Timbul Manik⁴

1: 京大生存研, 2: 海洋研究開発機構, 3: BPPT, Indonesia, 4: LAPAN, Indonesia

1 研究背景

インドネシア海洋大陸は世界有数の多雨地域で活発な対流活動に伴う潜熱加熱は大気大循環の駆動源の役割を果たしている。この地域の対流活動に大きな影響を及ぼす現象が季節内変動である。海洋大陸上の複雑な地形は季節内変動に伴う下部対流圏における西風を変調させる (Nitta et al., 1992)。このように海洋大陸上における下部対流圏水平風は気象学的にも重要な要素となってくるが、その時空間的に連続したデータとして頻繁に使われているのが客観解析データである。客観解析の計算過程において観測データが同化されるが、海洋大陸における高層気象観測は日本などの中緯度に比べて疎であり、例えば東西 5000 km におよぶインドネシアにおいてラジオゾンデ観測が常時行われている地点は 12 箇所しかない。このために客観解析データの精度が劣ることが予想される。2005 年から始まったプロジェクトである「地球観測システム構築推進プラン」の「海大陸レーダーネットワーク構築」(Yamanaka et al., 2008) では海洋大陸上においてスマトラ島コトタバンにある既存の赤道大気レーダー (100.32°E, 0.20°S) に加えて西からカリマンタン島のポンティアナ (0.00°S, 109.37°E)、スラウェシ島のマナド (124.92°E, 1.55°N)、パプア島の北にある島であるピアク (136.10°E, 1.18°S) と赤道上におよそ 1000 km おきにウィンドプロファイラ (WPR) の観測ネットワークを構築した (図 1)。本研究ではこの WPR 観測ネットワークのデータを全球再解析水平風速データと比較することにより、全球再解析水平風速データ精度を定量的に評価することを目的とする。

Seto et al. (2009) は、スマトラ島コトタバンにある赤道大気レーダーの 700hPa 風速を National Center for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR) Reanalysis 1 (以下、R1) の水平格子点 (100°E, 0°N) における水平風と比較する研究を行っている。ところが、海洋大陸における気象学研究において用いられる全球再解析データは R1 だけでなく、例えば NCEP/Development of Endrgy (DOE) Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP)-2 reanalysis (以下、R2) などが用いられている。このため、本研究ではこれらのデータも比較の対象とした。

2 使用データ及び解析手法

2.1 全球再解析データ

本研究で用いた全球再解析データとその主要諸元を表 1 に示す。

R1 は米国環境予測センター (NCEP) と米国大気研究センター (NCAR) が共同開発した再解析データで、データ同化手法には 3 次元同化法が用いられている。モデルの分解能は T62L28 (水平 210 km、鉛直 28 層) である。1957 年から現在に至るまでのデータが時間空間分解能それぞれ 6 時間、緯度経度 2.5° で提供されている。

R2 は米国環境予測センターと米国エネルギー省が共同開発した客観解析データで、R1 にいくらかのエラーの修正を施して作成された。データ同化手法には 3 次元同化法が用いられている。モデルの分解能は R1 と同じで、1979 年から現在に至るまでのデータが時間空間分解能それぞれ 6 時間、緯度経度 2.5° で提供されている。

Japan Meteorological Agency Climate Data Assimilation System (JCDAS) は日本気象庁と中央電力研究所が共同で開発した再解析データで、1979年から2004年までを網羅する Japanese 25 year Reanalysis (JRA-25) を現在に至るまで拡張したものである。データ同化手法には3次元同化法が用いられている。モデルの分解能は T106L40(水平 120 km、鉛直 40 層) である。JCDAS は特に東アジアや熱帯の風速精度を向上させるために台風のベストトラックデータを同化させている。時間空間分解能それぞれ 6 時間、緯度経度 1.25° で提供されている。

European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) Re-Analysis-Interim (ERA-Interim) は ECMWF の再解析シリーズの最新版である。モデルの分解能は T255L60 (水平 50 km、鉛直 60 層) 上述の 3 つの再解析と違う点としてデータ同化手法に 4 次元同化法を用いている点が挙げられる。1989 年から現在に至るまでのデータが時間空間分解能それぞれ 6 時間、緯度経度 1.5° で提供されている。

本研究ではこれらの客観解析データの 700 hPa および 850 hPa の水平風速データを比較対象とした。

2.2 観測データ

ポンティアナ・マナド・ピアクの WPR は 1357.5 MHz で運用されており、それぞれ 2007 年 2 月 22 日、2008 年 9 月 18 日、2007 年 3 月 11 日に設置完了して以来、連続観測を行っている。時間鉛直分解能はそれぞれ 60 秒、100 m である。コトタバンにある赤道大気レーダーは 2001 年より 47.0 MHz で運用されている (Fukao et al., 2003)。時間鉛直分解能はそれぞれ 90 秒、150 m である。本研究ではこれら 4 つの WPR の 2007 年から 2008 年のデータを用いた。

WPR と客観解析データの比較で見られた特徴がどの程度の水平領域のひろがりを持つかを確かめるためにインドネシア海洋大陸及びその周辺 (90°-150°E、10°S-10°N) で行われている 27 地点でのラジオゾンデデータ (図 1) と客観解析データを比較した。Seto et al. (2009) はインドネシアにおけるラジオゾンデ観測が 2006 年以降増加していることを述べているため本研究では 2006 年から 2008 年のデータを用いた。

2.3 解析手法

客観解析データは観測サイトの最寄りの水平格子点データを用いた。WPR データは局所的な影響を含むために時間高度方向に平均化した値を用いた。すなわち、時間方向については対象時間の 3 時間前から 3 時間後までの 6 時間平均し、高度方向については 700 (850) hPa に対しては 2.8-3.5 (1.2-1.8) km のデータを平均化した値を用いた。赤道大気レーダーの 850 hPa はデータが得られない高度であるために比較の対象から除き、ピアクの 700 hPa はデータの品質が悪いためにこれも比較の対象から除いた。この結果、比較に用いるデータセットはそれぞれ 4 地点に対して 2 レベルの 8 データセットから上述の 2 データセットを除いた計 6 データセットである。客観解析データと観測データを比較する際には 2 データセットの相関係数、散布図の回帰直線 (傾きと切片) さらに散布図のそれぞれの点に関して回帰直線からの変位の標準偏差を算出した。また、それらをサンプル数で重み付けし、6 データセットによる比較結果の指標として用いた。

3 解析結果

まず WPR データがどの程度大規模場を表しているかを確かめるために最寄りのラジオゾンデデータと比較を行った。コトタバン、ポンティアナ、マナド、ピアクの WPR はそれぞれ最寄りのラジオゾンデサイトであるパダン (100.35°E, 0.88°S)、クチン (110.37°E, 1.48°N)、マナド (124.94°E, 1.53°N)、Biak (136.12°E, 1.18°S) のラジオゾンデデータと比較した。6 データセットを用いて WPR を横軸に、ラジオゾンデを縦軸にして比較した結果を表 2 にまとめた。重み付

け平均した結果では東西風・南北風とも相関係数が0.7以上と高い値を持つものの、回帰直線の傾きは東西風が1.03とほぼ1に近いのに対して南北風は1.22と2割以上の差が生じている。このことからWPR東西風は大規模場を表しているのに対して南北風は局所的な影響が強いといえる。

図2に4つの客観解析850 hPa東西風データをポンティアナのWPRデータと比較した結果を示す。いずれも相関係数が0.8以上と高い値を示しており、特にERA-Interimは0.88と最も高い値を示している。標準偏差も1.19と他に比べてERA-Interimが最も小さい値を示している。回帰直線の傾きはR2を除くといずれも1より小さい値を示している。

他のデータセットで比べた結果を表3・4に示す。重み付け平均した相関係数がいずれも0.8以上と高い値を示しており、客観解析データは定性的に大規模場をよく表現できているといえる。特にERA-Interimは最も高い相関係数(0.89)と最も小さい標準偏差(1.43)の値を示しており、WPR風速との相関が最もよい。また、切片の絶対値の重み付け平均も最小(0.16)の値を示しており、バイアスが最も小さい。一方で重み付け平均した回帰直線の傾きは全ての客観解析で1より小さい値を示しており、R1とR2が0.85より高い値を示しているのに対してJCDASとERA-Interimは0.8より小さい値を示している。これらのことから4つの客観解析データは東西風の振幅が観測よりも1~2割程度小さい振幅を持っている傾向があるといえる。

南北風について同様にして比較した結果を表5・6に示す。東西風と同様に重み付け平均した値で、ERA-Interimは最大の相関係数(0.77)と最小の標準偏差(1.20)を表しており、WPR風速との相関が最もよい。また、切片の絶対値の重み付け平均も最小の値(0.21)を示しており、バイアスが最も小さい。

東西風・南北風ともERA-Interimが最もWPRとの相関がよく、バイアスが小さいことは、ERA-Interimのみがデータ同化手法に4次元変分法を用いていることが一つの理由として考えられる。また、表3から表6を通じてR1とR2は似た結果を残しているが、これはR2はR1を元に修正を加えて作成されたことが理由である。

客観解析東西風データが観測よりも小さい振幅を持つという特徴がどの程度の水平スケールを持つのかを調べるために客観解析東西風データをラジオゾンデデータと比較した。表2よりラジオゾンデ東西風データの振幅は大規模場の振幅とほぼ等しいといえるので、ラジオゾンデの振幅は大規模場を代表しているといつてよい。700hPaでは、重み付け平均した回帰直線の傾きはR1が0.88、R2が0.89、JCDASが0.85、ERA-Interimが0.90であり、850hPaにおいても重み付け平均した回帰直線の傾きはR1が0.88、R2が0.89、JCDASが0.83、ERA-Interimが0.85であった(図省略)。これらのことから700 hPa850 hPaとも東西風の振幅が観測より1~2割程度小さく表現されている傾向は海洋大陸の広い領域にわたっているといえる。また、客観解析データをWPRと比較した際に見られたJCDASとERA-Interimの東西風の振幅がより小さく表現される傾向はラジオゾンデデータとの比較においては明瞭でない。

4 まとめ

NCEP/NCAR Reanalysis、NCEP/DOE AMIP-2 Reanalysis、JCDASおよびERA-Interimの水平風速データをWPR及びラジオゾンデ観測ネットワークデータと比較した。4つの客観解析データはいずれもWPR観測との相関がよく、とくにERA-Interimが最も高い相関を持っていた。4つの客観解析データはいずれも東西風速の振幅がWPR観測に比べて小さく表現される傾向があった。ラジオゾンデ観測データとの比較により、この傾向は海洋大陸の広い領域に及んでいることが分かった。

参考文献

- Fukao, S., and coauthors, Equatorial Atmosphere Radar (EAR): System description and first results, *Radio Sci.*, 38, 1053, doi:10.1029/2002RS002767, 2003.

Nitta, Ts., T. Mizuno, and K. Takahashi, Multi-scale convective systems during the initial phase of the 1986/87 El Niño, J. Meteor. Soc. Japan, 70, 447–466, 1992.

Seto, T.H., and coauthors, Comparison Study of Lower-Tropospheric Horizontal Wind over Sumatera, Indonesia Using NCEP/NCAR Reanalysis, Operational Radiosonde, and the Equatorial Atmosphere Radar, SOLA, 5, 021-024, doi:10.2151, 2009.

Yamanaka, M.D., and coauthors, HARIMAU radar-profiler network over the Indonesian maritime continent: A GEOSS early achievement for hydrological cycle and disaster prevention. J. Disaster Res., 3, 78–88, 2008.

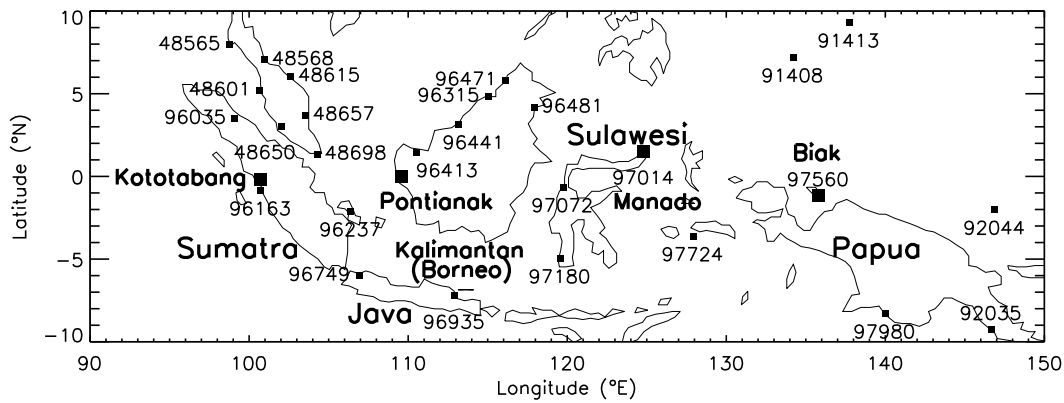


図 1: コトタバンの赤道大気レーダーと「海大陸レーダーネットワーク構築」によって設置された WPR、さらにはインドネシアとその周辺におけるラジオゾンデ観測地点の配置図。5 桁の数字はラジオゾンデの観測地点番号を表す。

表 1: 本研究に用いた全球再解析データおよびその主要諸元

再解析データ名	開発機関	対象期間	モデル分解能	データ同化手法
NCEP/NCAR R1	NCEP/NCAR	1948-現在	T623L28	3次元同化法
NCEP/DOE R2	NCEP/DOE	1979-現在	T623L28	3次元同化法
JRA-25/JCDAS	JMA/CRIEPI	1979-現在	T623L28	3次元同化法
ERA-Interim	ECMWF	1989-現在	T623L28	4次元同化法

表 2: ラジオゾンデと WPR 東西風データの比較結果。

データ	データ数	相関係数	標準偏差	傾き	切片
Kototabang 700hPa	868	0.88	1.87	1.00	-0.08
Pontianak 700hPa	1079	0.83	2.17	1.07	-0.37
Manado 700hPa	136	0.96	1.01	0.95	-0.17
Pontianak 850hPa	1144	0.72	2.03	1.07	0.38
Manado 850hPa	134	0.94	1.10	0.95	0.08
Biak 850hPa	645	0.89	1.87	0.99	0.09
重み付け平均		0.82	1.94	1.03	0.00

表 3: WPR と客観解析東西風データの比較結果。相関係数と標準偏差を示す。

データ	データ数	相関係数				標準偏差			
		R1	R2	JCDAS	ERA	R1	R2	JCDAS	ERA
Kototabang 700hPa	2077	0.86	0.86	0.87	0.86	1.79	1.82	1.64	1.77
Pontianak 700hPa	2166	0.85	0.86	0.89	0.90	1.86	1.82	1.54	1.45
Manado 700hPa	298	0.87	0.84	0.89	0.93	1.73	1.94	1.50	1.24
Pontianak 850hPa	2345	0.81	0.81	0.84	0.88	1.60	1.64	1.41	1.19
Manado 850hPa	299	0.80	0.77	0.82	0.91	1.83	1.97	1.77	1.18
Biak 850hPa	1946	0.81	0.79	0.80	0.93	2.35	2.44	2.39	1.42
重み付け平均		0.83	0.83	0.85	0.89	1.88	1.91	1.72	1.43

表 4: WPR と客観解析東西風データの比較結果。回帰直線の傾きと切片を示す。

データ	データ数	傾き				切片			
		R1	R2	JCDAS	ERA	R1	R2	JCDAS	ERA
Kototabang 700hPa	2077	0.75	0.80	0.64	0.67	-1.79	1.82	1.64	1.77
Pontianak 700hPa	2166	0.87	0.88	0.81	0.85	1.86	1.82	1.54	1.45
Manado 700hPa	298	0.85	0.89	0.72	0.86	-1.73	1.94	1.50	1.24
Pontianak 850hPa	2345	0.96	1.00	0.88	0.79	-1.60	1.64	1.41	1.19
Manado 850hPa	299	0.82	0.82	0.85	0.76	-1.83	1.97	1.77	1.18
Biak 850hPa	1946	0.82	0.80	0.81	0.82	-2.35	2.44	2.39	1.42
重み付け平均		0.85	0.87	0.79	0.78	-0.42	-0.38	-0.84	0.01
絶対値の重み付け平均						0.51	0.46	1.02	0.16

表 5: WPR と客観解析南北風データの比較結果。相関係数と標準偏差を示す。

データ	データ数	相関係数				標準偏差			
		R1	R2	JCDAS	ERA	R1	R2	JCDAS	ERA
Kototabang 700hPa	2077	0.71	0.69	0.72	0.72	1.42	1.45	1.32	1.40
Pontianak 700hPa	2166	0.71	0.70	0.71	0.80	1.46	1.50	1.45	1.22
Manado 700hPa	298	0.77	0.76	0.80	0.81	1.33	1.31	1.18	1.18
Pontianak 850hPa	2345	0.79	0.78	0.80	0.85	1.32	1.38	1.39	1.11
Manado 850hPa	299	0.73	0.70	0.76	0.87	1.32	1.49	1.32	0.90
Biak 850hPa	1946	0.43	0.53	0.58	0.66	2.74	1.83	1.46	1.13
重み付け平均		0.68	0.68	0.71	0.77	1.47	1.52	1.39	1.20

表 6: WPR と客観解析南北風データの比較結果。回帰直線の傾きと切片を示す。

データ	データ数	傾き				切片			
		R1	R2	JCDAS	ERA	R1	R2	JCDAS	ERA
Kototabang 700hPa	2077	0.75	0.80	0.64	0.67	-1.79	1.82	1.64	1.77
Pontianak 700hPa	2166	0.87	0.88	0.81	0.85	1.86	1.82	1.54	1.45
Manado 700hPa	298	0.85	0.89	0.72	0.86	-1.73	1.94	1.50	1.24
Pontianak 850hPa	2345	0.96	1.00	0.88	0.79	-1.60	1.64	1.41	1.19
Manado 850hPa	299	0.82	0.82	0.85	0.76	-1.83	1.97	1.77	1.18
Biak 850hPa	1946	0.82	0.80	0.81	0.82	-2.35	2.44	2.39	1.42
重み付け平均		0.85	0.87	0.79	0.78	-0.42	-0.38	-0.84	0.01
絶対値の重み付け平均						0.51	0.46	1.02	0.16

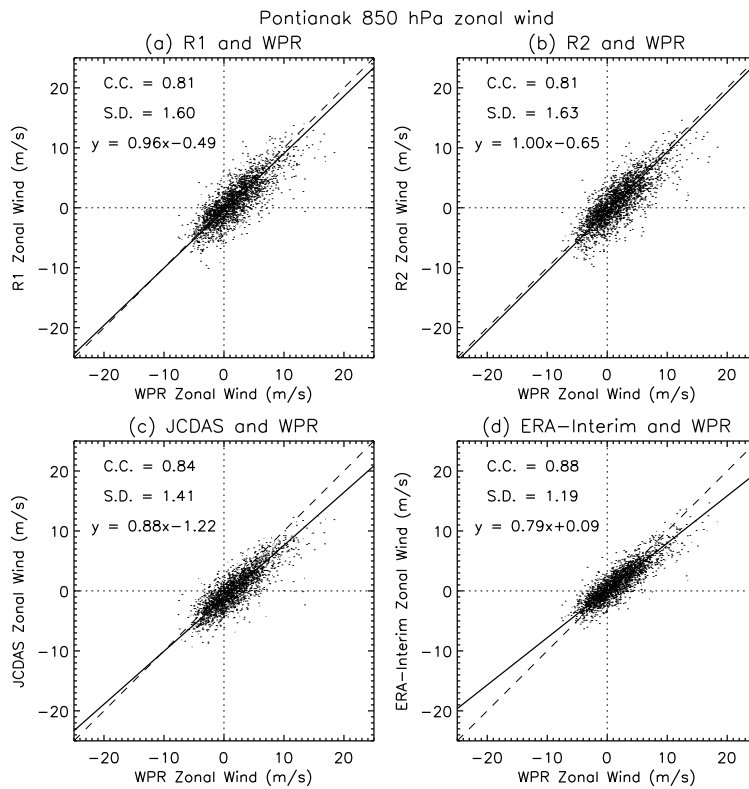


図 2: ポンティアナにおける WPR850 hPa 風速 (横軸) と (a)R1、(b)R2、(c)JCDAS、(d)ERA-Interim 850 hPa 風速データ (縦軸) の散布図。