

15. メノ気象モデル MM5 を用いた局地気象場のデータベース化とその精度検証

DATABASE OF LOCAL METEOROLOGICAL FIELDS SIMULATED WITH MESOSCALE MODEL MM5 AND ITS VALIDATION

深尾一仁*・大澤輝夫*・嶋田進*・安田孝志*

Kazuhito FUKAO*, Teruo OHSAWA*, Susumu SHIMADA* and Takashi YASUDA*

ABSTRACT; Using PSU/NCAR mesoscale model MM5, database of 3km×3km local meteorological fields over Chubu and Kinki districts was created for one year from April 2001 to March 2002. The meteorological elements (wind velocity and direction, pressure, temperature, mixing ratio, solar radiation and precipitation) included in the database were validated with surface observations from 42 stations. As a result, it was found that the accuracies of calculation for pressure, temperature and mixing ratio are enough to be used for practical applications as hourly values. Calculated wind speed and direction have root-mean-square errors of about 3.0 m/s and 40 to 50 degrees respectively, which are somewhat large to be used as substitutes for hourly observations. For solar radiation and precipitation, their accuracies of calculation are overall not sufficient due to the inaccurate reproduction of clouds in the model, but the calculated values can reach to a practical level as far as they are used as long-term averages such as monthly or yearly values.

KEYWORDS; local meteorology, MM5, Chubu and Kinki districts

1 はじめに

局地気象情報は、天気予報のみならず、環境・防災・建築・土木・農業・林業等の多くの分野で必要とされ、社会的なニーズは年々高まりつつある。また情報内容に関する要望も多様化・高度化し、求められる情報は定性的なものからより定量的なものへと次第に変化しつつある。

我が国では、気象庁によってAMeDASが全国的に配備され、現在約1,300か所で降水量が、約850か所で風向・風速、気温、日照時間が自動的に観測されている。AMeDASの設置間隔は、降水量については約17km、その他については約21kmである。従来の気象情報には、このAMeDASデータの補間によって気象場の空間分布を推定したものが多く、このような補間データは微細地形の影響が考慮できないため、精度面・解像度面で十分であるとは言いがたい。

そこで本研究では、近年急速な発展を遂げているメノ気象モデルに注目し、メノ気象モデルによって得られる計算結果が定量的にどの程度の精度を有しているのかについて検討を行った。メノ気象モデルによって気象場を算出するメリットは、従来の観測データからは得ることができない高い空間解像度にある。本研究ではメノ気象モデルMM5を用いて、中部・近畿地方をカバーする約450km四方の領域を対象として、3km格子、1時間毎の局地気象場を1年間(2001年4月から2002年3月まで)にわたって計算しデータベース化した。そして、データベースに含まれる気象要素の風速、風向、気温、気圧、日射量、水蒸気混合比、降水量について、AMeDAS、気象官署等の計42地点における観測値と比較し、統計量(バイアス、RMS誤差、相関係数)の観点から計算精度を評価した。

* 岐阜大学大学院 工学研究科 環境エネルギーシステム専攻 Environmental and Renewable Energy Systems Division, Graduate school of Engineering, Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu-shi, Gifu, Japan 501-1193.

2 計算手法

メソ気象モデルには、ペンシルバニア州立大学(PSU)と米国大気研究センター(NCAR)で共同開発された MM5 を用いた。MM5 はメソスケールの気象現象を対象とし、大気力学過程、雲物理過程、地表面過程、放射過程等のあらゆる物理過程を考慮した数値モデルである(Dudhia, 1993; Grell et al., 1995)。このモデルは 4 次元同化が可能であり、客観解析値を一定時間間隔でデータ同化することによって過去の気象場を再現することができる。

今回の計算で用いた計算領域と、計算条件および入力データをそれぞれ図 1、表 1 に示す。入力データには、気象庁メソ客観解析値(MSM)及び海面温度データ(NOAA-Reynolds SST)を用い、6 時間毎に 4 次元同化を行った。この気象庁メソ客観解析値には、高層 5 要素(風速 2 成分、等圧面高度、気温、相対湿度)、地上 5 要素(風速 2 成分、気圧、気温、相対湿度)のデータが含まれている。また MM5 には各物理過程の計算スキームに複数のオプションが用意されているが、これらは本計算に先立つ計算(大澤, 2002; Ohsawa et al., 2002)と同様に、表 1 のように設定した。この条件下で、2001 年 4 月から 2002 年 3 月までの 1 年間の計算を行った。

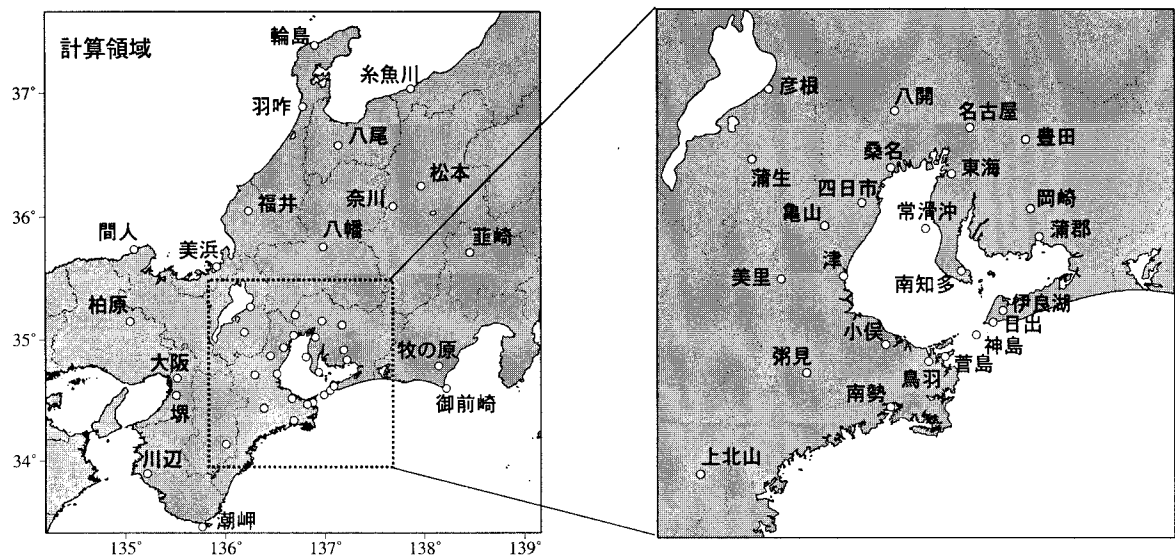


図 1 MM5 の計算領域と観測点

表 1 計算条件と入力データ

計算期間	2001年4月～2002年3月
客観解析値	気象庁メソ客観解析値 MSM (6時間間隔, 10km格子, 20層)
海面温度	NOAA-Reynolds SST (1週間間隔, 1° 格子)
鉛直格子	20層(地表～100hPa)
水平格子	3km格子, 161×152格子
雲物理スキーム	Schultz microphysics scheme (Schultz, 1995)
放射スキーム	Dudhia's long-and short-wave radiation scheme (Dudhia, 1989)
大気境界層スキーム	MRF PBL scheme (Hong and Pan, 1996)
地表面スキーム	5-layer soil scheme (Dudhia, 1996)
積雲パラメタリゼーション	なし

3 計算結果

MM5 から得られた 1 時間毎の計算値を、気象官署、アメダス観測点及びその他の観測点における観測値と比較した。図 1 中に各観測点の位置を示す。バイアス、RMS 誤差(Root-Mean-Square Error)及び相関係数の 3 つの統計量を用いて、風速、風向、気圧、気温、水蒸気混合比、日射量、降水量の 7 要素について計算精度の検証を行った。以下に各要素の計算精度について述べる。

3.1 風速・風向

風速・風向の計算値は、モデル最下層(高度約 6m)と第 2 層(同約 30m)、第 3 層(同約 80m)の値を対数線形補間によって、各観測点の風速計設置高度での値に補正した。各観測点での風速計の設置高度、風速・風向の精度検証の結果をそれぞれ表 2、表 3 に示す。表中の年平均値は観測によるものであり、括弧内の値は年平均値に対するバイアス及び RMS 誤差のパーセンテージを表している。これは、以降すべての気象要素についても同様である。

各観測点における風速のバイアス、RMS 誤差、相関係数の年平均値はそれぞれ-20.7%~10.6%、38.5%~48.1%、0.68~0.75 であり、全地点平均ではそれぞれ-11.6%(-0.83m/s)、44.0%(2.88m/s)、0.71 であった。同様に各観測点における風向のバイアス、RMS 誤差の年平均値はそれぞれ 3.88° ~12.32°、39.32° ~53.38° であり、全地点を平均したバイアス、RMS 誤差の年平均値はそれぞれ 8.95°、46.95° であった。

つづいて、MM5 の計算結果を期間別に比較し、精度検証を行った。風速及び風向の RMS 誤差を全地点平均し、月別にまとめたものを、それぞれ図 2 及び図 3 に示す。また図 2 については月平均観測風速も加えて示した。図 2 より、観測平均風速が大きく季節変動しているのに対して、RMS 誤差はあまり季節変動していないことがわかる。この結果を月平均観測風速に占める RMS 誤差の割合で考えると、夏季に計算精度が低下し、冬季に計算精度が向上する結果となる。つまり風速の計算精度は、絶対的な誤差で考えた場合 1 年を通してあまり変化をしないが、観測平均風速を基準とした相対的な誤差では大きく季節変動するといえる。風向についても同様に夏季に計算精度が低下し、冬季に計算精度が向上するといった明らかな季節変動が見て取れる(図 3)。この原因としては 2 つのことが考えられる。第 1 の原因は、微風時における風向の不確定性である。つまり、風速の低い夏季に風向が不安定になりやすく、風向の計算精度が低下する傾向がある。第 2 に、夏季に卓越する風が海陸風等のローカルな現象であるのに対して、冬季に卓越する風は西高東低の気圧配置によって支配されるシノプティックな現象であることが挙げられる。つまり、解像度の低い MSM (10km 格子)では海陸風等のローカルな現象を正確に再現できていないために、MSM をデータ同化した MM5 の計算精度が夏季に低下し、逆にシノプティックな現象が卓越し、MSM の精度が向上する冬季には、計算精度が向上するものと考えられる。

表 2 風速の年平均計算精度

観測点	観測高度(m)	年平均(m/s)	バイアス(m/s)	RMS誤差(m/s)	相関係数
日出	20	5.54	0.59 (10.6%)	2.66 (48.1%)	0.68
神島	20	8.27	-1.23 (-14.9%)	3.13 (38.5%)	0.72
菅島	40	6.40	-0.95 (-14.9%)	2.96 (47.0%)	0.69
菅島	80	7.33	-1.10 (-15.0%)	3.18 (44.2%)	0.71
常滑沖	18	5.98	-0.87 (-14.5%)	2.69 (46.3%)	0.69
美里	20	6.71	-1.39 (-20.7%)	2.66 (39.7%)	0.75
平均	—	6.71	-0.83 (-11.6%)	2.88 (44.0%)	0.71

表 3 風向の年平均計算精度

観測点	観測高度(m)	バイアス(deg)	RMS誤差(deg)
日出	20	11.54	45.46
神島	20	5.27	42.74
菅島	40	12.11	51.84
菅島	80	12.32	53.38
常滑沖	18	8.56	48.94
美里	20	3.88	39.32
平均	—	8.95	46.95

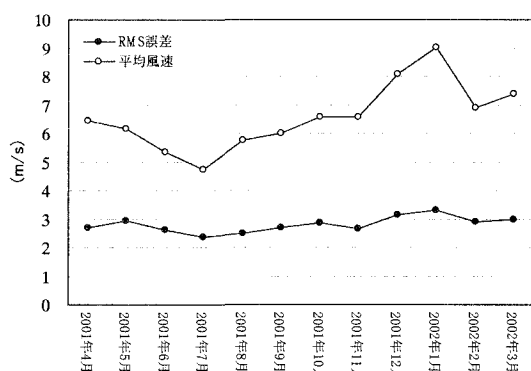


図 2 風速の月別 RMS 誤差及び月平均観測風速

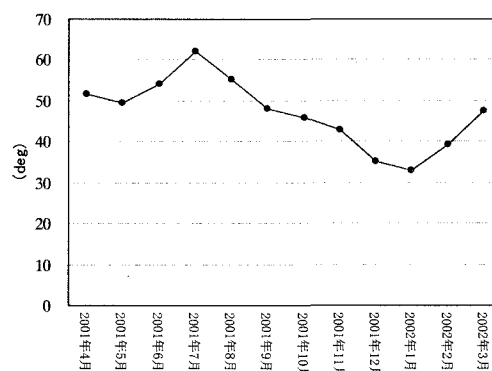


図 3 風向の月別 RMS 誤差

3.2 気圧・水蒸気混合比・気温

気圧の精度検証には、海面更正気圧でなく、各観測点での現地気圧を用いた。また気温と水蒸気混合比(以下、混合比と略記)に関しては高度 2m の値を用いた。表 4、表 5、表 6 に、それぞれ各観測点における気圧、混合比、気温の計算精度を示す。各観測点における気圧のバイアス、RMS 誤差、相関係数の年平均値はそれぞれ-7.95hPa～0.97hPa、0.77hPa～7.97hPa、0.99 であった。同様に混合比についてはそれぞれ 0.10g/kg～0.81g/kg、1.27g/kg～1.48g/kg、0.81～0.82 であり、気温についてはそれぞれ-1.75℃～1.54℃、1.33℃～2.62℃、0.85～0.94 となった。そして、全地点での年間平均のバイアスは気圧が-2.18hPa、混合比が 0.36g/kg、気温が 0.43℃であり、RMS 誤差は、気圧が 3.30hPa、混合比が 1.35g/kg、気温が 1.85℃となった。さらに全地点での年間平均の相関係数は、気圧が 0.99、混合比が 0.81、気温が 0.91 であった。

以上の結果から、気圧、混合比、気温は 1 時間値としても観測値にとって代わり得るものとして、十分実用的に使えるものと考えられる。伊良湖での気圧計算精度が飛び抜けて悪いのは、計算に用いた地形の解像度が低いことに起因している。伊良湖では、実際の標高が 10.7m であるのに対し、MM5 の中の最寄グリッドの標高は 74.3m である。この高度差 63.6m から生じる気圧差を静力学平衡の関係式から計算してみると、-8.10hPa という値が得られる。これは精度検証で得られたバイアス-7.95hPa に非常に近い値であり、誤差の原因が明らかに計算地形と実地形との標高差にあることを示している。

表 4 気圧の年平均計算精度

観測点	バイアス(hPa)	RMS誤差(hPa)	相関係数
名古屋	0.97	1.17	0.99
伊良湖	-7.95	7.97	0.99
津	0.43	0.77	0.99
平均	-2.18	3.30	0.99

表 5 水蒸気混合比の年平均計算精度

観測点	バイアス(g/kg)	RMS誤差(g/kg)	相関係数
名古屋	0.18	1.27	0.81
伊良湖	0.81	1.48	0.82
津	0.10	1.30	0.81
平均	0.36	1.35	0.81

表 6 気温の年平均計算精度

観測点	バイアス(℃)	RMS誤差(℃)	相関係数	観測点	バイアス(℃)	RMS誤差(℃)	相関係数
八開	0.17	1.39	0.94	南勢	0.93	2.18	0.86
名古屋	0.31	1.84	0.92	蒲生	0.30	1.66	0.93
豊田	0.83	1.82	0.94	八幡	0.62	2.01	0.90
東海	0.31	1.48	0.92	美浜	0.42	1.62	0.90
桑名	-0.09	1.33	0.93	羽咋	0.70	1.48	0.93
四日市	1.03	1.83	0.92	八尾	0.53	1.68	0.92
小俣	0.88	1.89	0.91	奈川	-0.92	2.62	0.88
鳥羽	1.42	2.25	0.87	牧の原	0.94	1.85	0.92
岡崎	0.36	1.78	0.92	韭崎	-1.75	2.58	0.90
蒲郡	-0.10	1.48	0.92	上北山	0.32	2.46	0.85
南知多	1.54	2.13	0.89	川辺	0.89	2.01	0.89
伊良湖	0.80	1.61	0.88	堺	0.53	1.57	0.93
亀山	0.86	1.86	0.92	間入	0.80	1.68	0.89
津	0.19	1.57	0.91	柏原	0.18	1.76	0.91
粥見	0.49	2.28	0.88	糸魚川	-0.61	1.79	0.89
				平均	0.43	1.85	0.91

3.3 日射量・降水量

各観測点での日射量の計算精度結果を表 7 に示す。日射量は 1 時間値としては、精度が不十分であることが判明したため、ここでは日積算値の精度検証結果についてまとめている。各観測点でのバイアスの年平均値は 11.5%～28.5%であり、RMS 誤差については 31.5%～44.8%、相関係数については 0.61～0.73 であった。そして全地点を平均した日射量のバイアス、RMS 誤差、相関係数の年平均値はそれぞれ 0.84kWh/m²day(21.2%)、1.55kWh/m²day(38.9%)、0.70 であった。また図 4 は月別に見たバイアスの年変化を示しているが、12 月を中心とした冬季に比較的计算精度が良く、対照的に 6 月の梅雨の時期に計算精度が大きく低下していることが分かる。

各観測点の年降水量と計算年降水量、及び各地点におけるバイアスを表 8 に示す。降水量については、1 時間値及び日積算値、月積算値の検証では精度が不十分であったため、ここでは年積算値についての精度についてまとめている。伊良湖や八幡においてバイアスがそれぞれ 629.0mm(39.7%)、-1043.2mm(-49.1%)という大きな値を示

す一方で、間人では 84.6mm(4.3%)という小さな値を示し、年降水量のバイアスは地点間の格差が非常に大きいことがわかる。

計算精度の空間分布を明らかにするため、レーダー・アメダス解析雨量および計算値と両者の差の分布を図 5 に示す。レーダー・アメダス解析雨量データとは、レーダーによって推定された密な降水分布をアメダス雨量で較正し、緯度 0.025°、経度 0.03125° 間隔(約 2.5km 格子)でメッシュ化した 1 時間降水量データである。観測値、計算値ともに日本海沿岸や紀伊山地、赤石山脈、伊豆半島周辺で大きな値が見られるなど、広い目で見たと空間パターンにはいくつかの類似点がある。その一方で、計算値はレーダー・アメダス解析雨量データでは考慮されていない降水量の標高依存性を明確に捉えていることが分かる。また全体的に降水量の誤差が大きいことや、太平洋上での降水量が多すぎる点、さらに領域の西側で降水量が少ないことなど観測値との大きな違いが見て取れる。従ってレーダー・アメダス解析雨量データと MM5 計算値の両者の利点を組み合わせることで、今後より良い降水量マップデータを作成できる可能性があると考えられる。

表 7 日射量の年平均計算精度

観測点	年平均(kWh/m ² day)	バイアス(kWh/m ² day)	RMS誤差(kWh/m ² day)	相関係数
名古屋	4.06	0.79 (19.5%)	1.51 (37.2%)	0.72
御前崎	4.45	0.51 (11.5%)	1.42 (31.9%)	0.71
大阪	4.04	0.95 (23.5%)	1.60 (39.6%)	0.66
潮岬	4.35	1.02 (23.4%)	1.84 (42.3%)	0.61
彦根	3.61	1.03 (28.5%)	1.60 (44.3%)	0.72
福井	3.69	0.74 (20.1%)	1.47 (39.8%)	0.73
輪島	3.53	0.90 (25.5%)	1.58 (44.8%)	0.69
松本	4.38	0.76 (17.4%)	1.38 (31.5%)	0.72
平均	4.01	0.84 (21.2%)	1.55 (38.9%)	0.70

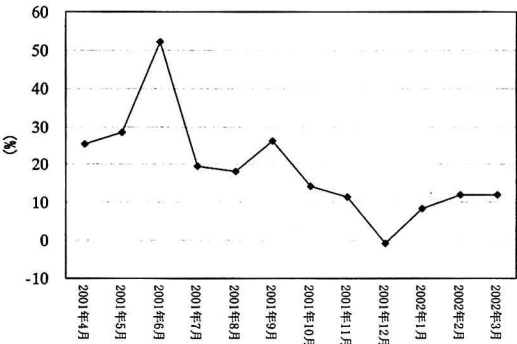


図 4 日射量の月別バイアス

表 8 降水量の計算精度

観測点	観測値(mm)	計算値(mm)	バイアス(mm)	観測点	観測値(mm)	計算値(mm)	バイアス(mm)
八開	1536.0	1391.9	-144.1 (-9.4%)	南勢	2523.0	1750.2	-772.8 (-30.6%)
名古屋	1292.0	1191.0	-101.0 (-7.8%)	蒲生	1110.0	985.5	-124.5 (-11.2%)
豊田	1198.0	1034.8	-163.2 (-13.6%)	八幡	2125.5	1082.3	-1043.2 (-49.1%)
東海	1523.0	1203.5	-319.5 (-21.0%)	美浜	2343.5	2498.1	154.6 (6.6%)
桑名	1477.0	1566.7	89.7 (6.1%)	羽咋	1895.0	2040.7	145.7 (7.7%)
四日市	1473.0	1897.5	424.5 (28.8%)	八尾	2442.5	2039.5	-403.0 (-16.5%)
小俣	1728.5	1593.7	-134.8 (-7.8%)	奈川	1479.0	773.7	-705.3 (-47.7%)
鳥羽	2480.0	2248.9	-231.1 (-9.3%)	牧の原	2014.0	1679.4	-334.6 (-16.6%)
岡崎	1435.0	1208.4	-226.6 (-15.8%)	葦崎	1293.5	610.7	-682.8 (-52.8%)
蒲郡	1539.0	1405.1	-133.9 (-8.7%)	上北山	2451.5	1862.3	-589.2 (-24.0%)
南知多	1617.0	1914.8	297.8 (18.4%)	川辺	1571.5	816.5	-755.0 (-48.0%)
伊良湖	1582.5	2211.5	629.0 (39.7%)	堺	982.0	944.4	-37.6 (-3.8%)
亀山	1688.0	2001.3	313.3 (18.6%)	間人	1950.0	2034.6	84.6 (4.3%)
津	1575.5	1721.9	146.4 (9.3%)	柏原	1393.5	791.7	-601.8 (-43.2%)
粥見	1824.5	1649.4	-175.1 (-9.6%)	糸魚川	3124.0	2392.9	-731.1 (-23.4%)
平均			-204.2 (-11.0%)				

(a) レーダー・アメダス解析雨量

(b) MM5

(c) 両者の差

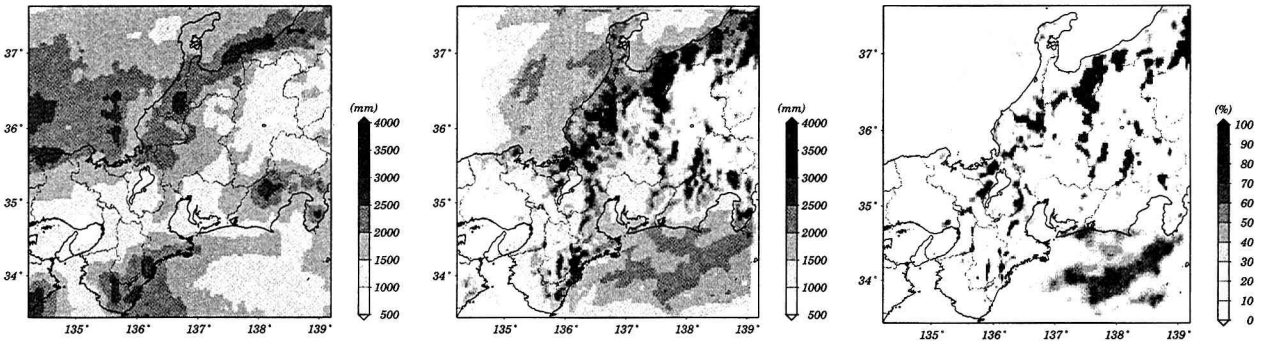


図 5 年降水量分布の比較, (a) レーダー・アメダス解析雨量; (b)MM5 による年降水量; (c)両者の差

4. まとめ

本研究では、メソ気象モデル MM5 を用いて、3km 格子の局地気象場の計算を 1 年間行い、その精度検証を行った。風速、風向については RMS 誤差がそれぞれ約 3m/s、40~50 度近くあり、定量的な利用についてはまだ問題はあるが、10km 格子の MSM に比べれば精度は明らかに上昇しており、今後さらなる高解像度計算を行うことで、計算精度の向上が見込まれる。気圧、水蒸気混合比、気温については高い計算精度を有しており、1 時間値としても実用的な利用が十分に期待できる。日射量については、全地点を平均したバイアスの年平均値が 2 割程度の過大評価傾向となり、これは日射をさえぎる雲の発生が実際よりも少なかったことに起因する。またこのことに関連して年降水量の計算値は全体的に 1 割程度過小評価にあった。しかし計算値がレーダー・アメダス解析雨量データでは見られない降水量の標高依存性を明確に捉えていることがわかり、今後両者を組み合わせることにより、精度の高い降水量マップが作成できるものと考えられる。

謝辞

風速データを提供して頂いた愛知県企業庁及び中部国際空港株式会社、国土交通省中部地方整備局東海幹線道路調査事務所に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 大澤輝夫, 深尾一仁, 安田孝志(2002): 伊勢湾地域における高解像度気象場の再現計算とその精度検証, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp.181-185.
- Dudhia, J.(1989): Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model, J. Atmos. Sci., Vol.46, pp.3077-3107.
- Dudhia, J.(1993): A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR Mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front, Mon. Wea. Rev., 121, pp.1493-1513.
- Dudhia, J.(1996): A multi-layer soil temperature model for MM5, Sixth Annual PSU/NCAR Mesoscale Model User's Workshop, Boulder, CO, pp.49-50.
- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer(1995): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), Tech. Note TN-398-HA, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 125p.
- Hong, S. Y. and H. L. Pan(1996): Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, Mon. Wea. Rev., Vol.124, pp.2322-2339.
- Ohsawa, T., K. Fukao and T. Yasuda(2002): Highly accurate simulation of the surface wind field over Ise bay, Proc. of Coastal Environment 2002, Sep. 16-18, 2002, Athens, Greece, WIT press, pp.279-288.
- Schultz, P. (1995): An explicit cloud physics parameterization for operational numerical weather prediction. Mon. Wea. Rev., 123, pp.3331-3343.