

気象庁メソ数値予報モデル (MSM) GPVの 危機管理型防災対策への利用可能性

APPLICABILITY OF JMA-MSM-GPV TO RIVER BASIN RISK MANAGEMENT AND DISASTER MEASURES

是枝伸和¹・中島隆信²・森山 智³・Tarek Merabtene⁴・神野健二⁵・河村 明⁶・西山浩司⁷
Nobukazu KOREEDA, Takanobu NAKASHIMA, Satoshi MORIYAMA, Tarek MERABTENE,
Kenji JINNO, Akira KAWAMURA, Koji NISHIYAMA

¹正会員 工修 株式会社建設技術研究所 東京本社 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町4-9-11)

²正会員 工修 株式会社建設技術研究所 九州支社 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12)

³正会員 工修 株式会社建設技術研究所 九州支社 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12)

⁴非会員 Doctor of Engineer, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
United Arab Emirate University (17555 Al-Ain, Abu Dhabi, UAE)

⁵正会員 工博 九州大学教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁶正会員 工博 九州大学助教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁷正会員 理修 九州大学助手 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

In recent years the economical conditions and the rising public criticism against large-scale public works represent the key issue toward the new directions of flood management in Japan. In consequence the future flood actions is shifting from the well known "traditional hard protection measures stating that no flood should occur" to the so called "soft countermeasures" stating that larger efforts should be concentrated on new alternatives aiming to reduce the loss of life and damage of important properties when a natural flood does occur. Therefore, under this new shift it becomes a primary issue to improve the current soft abilities to forecast the size and impact of flood disaster before a flood does occur. The present research is a growing assessment tool that aims to provide valuable decision support information likely to enhance the judgment abilities of river managers in providing disaster countermeasures actions such as refuge guidance. At earlier stage of this study the correlation nature between the actual AMeDAS precipitation data and the 6-hour forecast precipitation results of the Japan Meteorological Agency mesoscale numerical weather prediction model (Meso Spectral Model : MSM) was investigated. The results showed that rainfall forecast by MSM model would still need further research and improvement in order to be used in practice. At a second stage, the MSM climatological data were used to derive new output variables (such as water divergence) by applying a straightforward mathematical transformation model. The correlation results between the actual AMeDAS precipitation data and the transformed output variables were relatively high and promising.

Key Words : MSM-GPV, AMeDAS, Condensed Water, Convective Adjustment

1. はじめに

我が国では、これまで、頻発する洪水に対し、河道改修による河道の洪水通水能力の増大やダム・遊水地等の建設による流域の洪水貯留能力の増大等を中心としたハード施設整備が進められ、その結果、着実な治水安全度の向上が図られてきた。しかしながら、福岡や東京、名古屋等を襲った都市型水害等、近年になってもなお、

洪水による被害はなくなっておらず、そのため、今後も継続してハード施設の整備を進めていく必要がある。

一方、我が国の財政状況や国民の大規模公共事業に対する監視の目の厳しさ等、公共事業を取り巻く環境も大きく変化してきており、今後、これまでのような早期のハード施設整備は期待できないのが実情である。また、例えばハード施設が整備されたとしても、その施設計画規模以上のインパクトがもたらされる可能性を常に内在しており、これらのことから、安価でかつ即効性のある対

策の実現が急務となっている。

このような背景を踏まえ、我が国では、これまでのハード施設整備と併せてソフト的な対策を講じることにより、万が一災害が発生したとしても、最低限人命や重要資産は守ることを目的とした『危機管理型防災対策』が推進されている。

本研究は、この危機管理型防災対策の重要な初期情報となる降水量の予測に着目し、現在入手可能な情報を効率的に利用し、即実用に適用できることを条件として、その可能性を検討することにした。

危機管理型防災対策の実現のためには、避難誘導等の洪水体制への移行判断を正確に行うことが重要となるため、今後3～6時間程度先の状況を如何に的確に把握するかが鍵となる。この3～6時間程度先の予測雨量としては、現在、気象庁メソ数値予報モデル（Meso Spectral Model、以下、MSMと呼ぶ）の降水量予測値が格子点値（Grid Point Value：GPV）として入手可能であるため、本研究では、まず、このMSM降水量予測値の利用可能性について検討し、次に、MSMで降水量予測値とともに提供されている各種気象要素そのものあるいは何らかの簡易な加工を施した気象要素が河川管理上有効な判断情報となり得ないかの検討を行った。

なお、GPVの河川管理への利用を試みた研究としては、中北ら¹⁾、大石ら²⁾、中島ら³⁾があるが、いずれも気象モデルの初期条件、境界条件としてGPVを利用したものであり、GPVそのものの直接的な利用はされていない。

2. 気象庁メソ数値予報モデル（MSM）GPVの概要

気象庁メソ数値予報モデルMSMは、現在気象庁が実施している天気予報のガイダンス資料（予報官が予報時に使う統計的予測資料）の作成及び降水6時間予報を主目的として、2001年3月から運用されている。MSMの概要を表-1に、MSMの予報変数を表-2に示す。

3. MSM降水量予測値と実績降水量の比較

前章で紹介したMSM-GPVで提供されている時間降水量予測値（以下、MSM降水量予測値と呼ぶ）と実績降水量の比較を行い、降水量予測値そのものの危機管理型防災対策への利用可能性について検討した。なお、紙面の都合上割愛したが、降水量予測値の実績降水量との比較を行うにあたっては、降水量以外の気象要素である気圧、気温についても同様の比較を行い、概ね良好な一致を示していることを事前に確認した。また、メッシュ単位の降水量予測値が現時点では河川管理に直接利用できる程の精度を有していないことはよく言われていることであり、メッシュ単位の評価は意義が少ないと考えられ

表-1 MSMの概要¹⁾

項目	内容
予報期間	18時間（00/06/12/18UTCを初期時刻として1日4回）
数値計算時のモデル領域	・グリッド数:361×289×40 ・水平解像度:約10km
データ配信時のモデル領域	・緯度:22.4N～47.6N ・経度:120.0E～150.0E ・等圧面:120×124×14（水平解像度20km） ・地表面:240×252（水平解像度10km）
投影座標系	ランベルト正積方位図法座標
鉛直座標系	σ -Pハイブリッド（ η 座標系）
側面境界条件	・00UTC,12UTC:12時間前初期値のRSM ・06UTC,18UTC:6時間前初期値のRSM
方程式	プリミティブ方程式系（静力学近似）
時間積分	セミインプリシット法
初期値化	非線形ノーマルモードイニシヤリゼーション+レーダーアメダス
降水過程	・Arakawa & Schbert ・large scale condensation ・convective adjustment
接地境界	モニン-オブコフ相似則
大気境界	Level 2 closure + non-local PBL
放射過程	GSM8911*と同じ手法
地表面過程	3層の温度予測

※ UTC(Coordinated Universal Time):協定世界時

RSM(Regional Spectral Model):気象庁領域数値予報モデル

GSM(Global Spectral Model):気象庁全球数値予報モデル

表-2 MSMの予報変数

高度	予報変数
地表面	海面更正気圧、風速、気温、相対湿度、時間降水量、雲量
気圧面	ジオポテンシャル高度、風速、気温、相対湿度、鉛直気圧速度

るが、本論文の目的がMSM-GPVの河川管理への利用可能性について調査することであり、そのためには、まず、降水量予測値が実際にどの程度の精度を有しているのかを確認する必要があると判断されたため、メッシュ単位の評価をあえて実施するものとした。

(1) MSM降水量予測値と実績降水量の比較条件

MSM降水量予測値と実績降水量の比較条件は以下のとおりである。

a) 比較対象実績降水量

AMeDAS福岡（北緯33° 34.8′，東経130° 22.6′，標高3m）における実績降水量を比較対象とした。

b) 比較対象MSM降水量予測値

AMeDAS福岡を含む水平解像度約10kmのメッシュにおけるMSM降水量予測値（予測時間が00/06/12/18UTCの6時間間隔であるため、それぞれの予測時刻の1～6時間予測値を使用）とした。

c) 比較期間

九州地方で比較的降水量が多かった2001年6月と10月の2ヶ月を比較対象期間とした。なお、2001年6月並びに10月の気象概要は以下のとおりである。

6月：19日以降は梅雨前線の影響でまとまった降雨がもたらされており、特に19～20日にかけては、総雨量230mmにも達し、警戒水位を越える河川も見られた。

10月：低気圧及び台風の影響により5～7日間隔で降雨がもたらされており、16～17日にかけては秋雨前線の影響で、大分、宮崎で総雨量400mmを越える豪雨を記録しているが、福岡では総雨量40mm程度である。

(2) MSM降水量予測値と実績降水量の比較

MSM降水量予測値と実績降水量を(1)に示した条件で比較した結果は以下のとおりである。

a) ハイエトグラフ

6月と10月の月降水量を、AMeDAS福岡を含むメッシュのMSM降水量予測値とAMeDAS福岡における実績降水量とで比較すると表-3に示すとおりとなり、10月についてはほぼ同程度の月降水量となっているものの、6月については実績降水量の1/3程度の降水量予測値となっている。

表-3 月降水量比較表

	実績降水量	降水量予測値
2001年6月	491mm	166mm
2001年10月	148mm	141mm

6月と10月に観測された降雨のうち、それぞれの月の主要な降雨イベント時におけるAMeDAS福岡を含むメッシュのMSM降水量予測値とAMeDAS福岡の実績降水量のハイエトグラフを比較したものを図-1に示す。これによると、6月、10月ともに精度良く予測できているとは言い難く、特に6月については、20mm/hr以上の比較的規模の大きな降雨をほとんど予測できていないことが分かる。

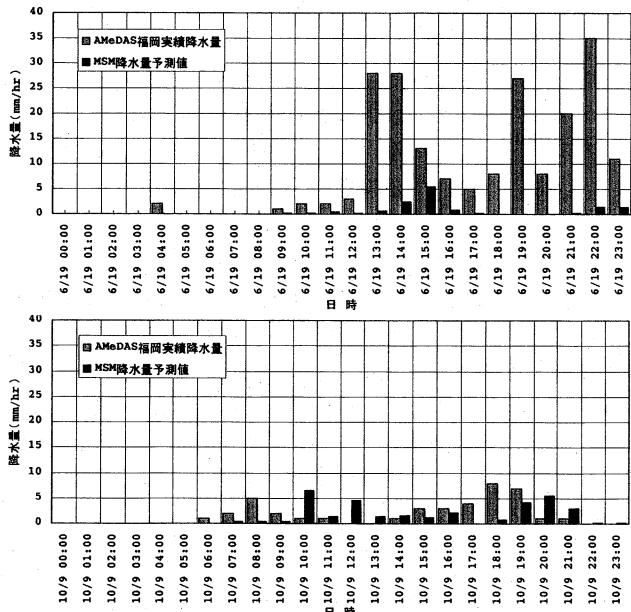


図-1 ハイエトグラフ比較図

b) 相関解析

MSM降水量予測値と実績降水量との相関性の有無を

定量的に評価するため、相関解析を実施した。なお比較するMSM降水量予測値については、AMeDAS福岡を含むメッシュに加え、その周りの24メッシュも対象とした。算定した各メッシュの相関係数は図-2に示すとおりであり、6月で0.4程度、10月で0.3程度の相関性が見られた。また、いずれの月も、AMeDAS福岡を含むメッシュよりも南側のメッシュで比較的高い相関性を示していることが分かる。

	82	83	84	85	86
139	0.155	0.202	0.239	0.228	0.219
	0.222	0.218	0.203	0.187	0.202
140	0.196	0.245	0.304	0.327	0.303
	0.220	0.205	0.214	0.236	0.245
141	0.194	0.224	0.298	0.350	0.356
	0.206	0.223	0.272	0.286	0.271
142	0.230	0.180	0.259	0.353	0.398
	0.233	0.229	0.266	0.277	0.281
143	0.418	0.356	0.356	0.398	0.436
	0.283	0.306	0.295	0.280	0.298

上段：2001年6月、下段：2001年10月

：AMeDAS福岡を含むメッシュ

図-2 相関係数分布図

c) 的中率等

AMeDAS福岡を含むメッシュのMSM降水量予測値とAMeDAS福岡における実績降水量を的中率、スレットスコア、見逃し率及び空振り率（算定方法は下記参照）で評価した。なお、的中率等の評価は、全予測時刻予測値並びに1～6時間後の予測値毎に行うものとし、閾値はいずれも0.1mmとした。

【的中率等の算定方法】

		予 測	
		降雨有り	降雨無し
実 績	降雨有り	A	B
	降雨無し	C	D

的中率 = $(A+D)/(A+B+C+D)$ スレットスコア = $A/(A+B+C)$
 見逃し率 = $B/(A+B)$ 空振り率 = $C/(A+C)$

全予測時刻予測値について評価した結果は表-4に示すとおりであり、防災対策を行う上で重要な指標である見逃し率が比較的高い結果となった。

1～6時間後の予測値毎に評価した結果は図-3に示すとおりであり、これだけでは明確な判断は困難であるが、概ね2～3時間後の予測値でスレットスコアが最大となり、それ以降の予測時間では、スレットスコアが低下するに伴い、見逃し率、空振り率が増加する傾向にある。

以上までの結果より、MSM降水量予測値そのものの危機管理型防災対策への利用については、現時点では困難であると判断される。

表-4 的中率等評価結果（全予測時刻予測値対象）

	2001年6月	2001年10月
的中率	83.7%	88.0%
スレットスコア	34.1%	34.3%
見逃し率	37.5%	27.0%
空振り率	57.1%	60.7%

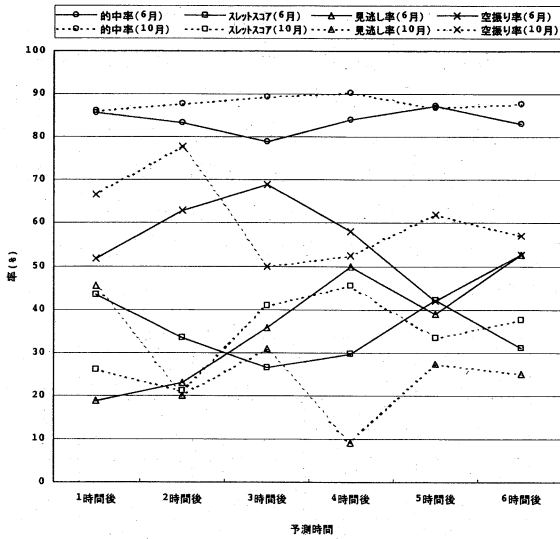


図-3 的中率等評価結果

4. 気象要素と実績降水量の比較

前章でMSM降水量予測値と実績降水量の比較を行ったが、危機管理型防災対策を実現する上でMSM降水量予測値そのものを利用するには問題があることが分かった。そこで、MSM降水量予測値の精度向上については、気象研究者の今後の研究に期待することとし、即実用という河川管理者の立場から、MSM気象要素もしくはMSM気象要素を用いて簡単な処理により得られる加工気象要素と実績降水量の関係を検討した。

(1) 対象としたMSM気象要素

今回対象としたMSM気象要素は次のとおりである。

- ① 気温 (T)
- ② 相対湿度 (Rh)
- ③ 鉛直気圧速度 (ω)
- ④ 比湿 (q)
- ⑤ 水平収束量 ($\nabla \cdot \mathbf{V}$)
- ⑥ 水平比湿収束量 ($\nabla \cdot q\mathbf{V}$)
- ⑦ 疑似安定解消凝結水量 (C)

$$C = C_c + C_s \quad (1)$$

$$C_c = \rho \times \delta q_c \quad (2)$$

$$\delta q_c = q_I - q_{Fs} \times r_{sc} \quad (3)$$

$$q_{Fs} = 0.622 \frac{e(T_F)}{P} \quad (4)$$

$$C_s = \rho \times \delta q_s \quad (5)$$

$$\delta q_s = \frac{q_s(T, p) \times (r_{sc} - r)}{1 + \frac{L}{C_p} \times \frac{\varepsilon L q_s(T, p)}{RT^2}} \quad (6)$$

⑧ 疑似安定解消凝結水収束量 ($\nabla \cdot C\mathbf{V}$)

$$\nabla \cdot C\mathbf{V} = \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} \quad (7)$$

ここで、 ρ は乾燥空気の密度 (kg/m^3)、 T は気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 δq_c は各層の不安定状態を解消するときの混合比の増減量 (kg/kg)、 q_I は不安定解消前の混合比 (kg/kg)、 r_{sc} は T における凝結限界飽和相対湿度 (%)、 q_{Fs} は r_{sc} を 90% と仮定して大気を凝結させることで不安定を解消させた後の飽和混合比 (kg/kg)、 T_F は不安定解消後の気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 P は気圧 (hPa)、 e は水蒸気圧 (hPa)、 q_s は気温 T における飽和混合比 (kg/kg)、 δq_s は過飽和分の混合比 (kg/kg)、 L は単位質量の水蒸気の蒸発潜熱 ($2.5 \times 10^6 \text{J/kg}$)、 C_p は大気定圧比熱 ($1,004.6 \text{J/kgK}$)、 R は気体定数 (287.04J/kgK) である。また、本研究において、 C_c は不安定解消凝結水量 (mm)、 C_s は過飽和解消凝結水量 (mm) と定義した。

(2) MSM気象要素と実績降水量の比較条件

気象要素と実績降水量の比較条件は次のとおりである。

a) MSM対象領域

九州周辺を対象とし、27N~37N, 125E~135E, 鉛直方向12層の40×50×12グリッドとした。

b) 比較期間

2001年6月と10月の各1ヶ月間とし、MSM気象要素は00/06/12/18UTCにおけるMSMの初期値を使用した。

c) 比較対象実績降水量

MSMグリッド内に存在するAMeDASを用い、次の5つの降水量を比較対象実績降水量とした。

- ・ AMeDAS福岡における6時間累積降水量
- ・ 福岡県内AMeDAS (18観測所) における6時間累積降水量の平均
- ・ 福岡県内AMeDAS (18観測所) における6時間累積降水量の最大
- ・ 北部九州 (福岡, 佐賀, 長崎県) AMeDAS (48観測所) における6時間累積降水量の平均
- ・ 北部九州 (福岡, 佐賀, 長崎県) AMeDAS (48観測所) における6時間累積降水量の最大

(3) MSM気象要素と実績降水量の比較

(2)に示す条件で相関係数を算出した。AMeDAS福岡における6時間降水量について、算出した相関係数の3次元分布図を図-4に、また、各気象要素で850hPa面における相関係数の2次元分布図を図-5に示す。6月の降水は、そのほとんどが梅雨前線によるものであり、図-5(1)の $\nabla \cdot \mathbf{V}$, $\nabla \cdot q\mathbf{V}$ には、梅雨前線と考えられる北東から南西にのびる相関の高いエリアが見られる。

次に、各実績降水量と最も相関性が高いグリッドの相関係数を表-5に示した。相関係数の値は-1.0から1.0の範囲であり、1.0に近ければ『実績降水量が増加すると気象要素も増加傾向にあるグリッド』、-1.0に近ければ『実績降水量が増加すると気象要素も減少傾向にあるグ

リッド』を指す。各気象要素において、正負の相関係数の最大値が存在するが、表-5では絶対値の大きい方を記載しており、絶対値で0.7以上を灰色で示している。

これより、6月及び10月ともに各気象要素と最も相関性が高いのはAMeDAS福岡の実績降水量である。また、相関性が高い気象要素は、6月では $\nabla \cdot \mathbf{V}$ と $\nabla \cdot q\mathbf{V}$ 、10月は ω 、 $\nabla \cdot \mathbf{V}$ 及び $\nabla \cdot q\mathbf{V}$ であり、特に算定時に風速を使用する気象要素の相関が高い結果となった。また、本研究で定義した C 及び $\nabla \cdot C\mathbf{V}$ は、6月は相関が低く、10月が高い結果となった。これは、6月の C が、福岡で降雨がもたらされたときには、ほとんど0に近い値となっていることがその要因である。

表-5(1) 相関係数最大値 (2001年6月)

要素	AMeDAS 福岡	福岡 平均	福岡 最大	北部九 州平均	北部九 州最大
T	0.46	0.32	0.34	0.30	0.37
Rh	0.58	0.43	0.45	0.47	0.51
ω	-0.67	-0.65	-0.57	-0.59	-0.49
q	0.46	0.36	0.39	0.32	0.42
$\nabla \cdot \mathbf{V}$	0.70	0.52	0.54	0.50	0.55
$\nabla \cdot q\mathbf{V}$	0.73	0.54	0.57	0.52	0.57
C	-0.11	-0.09	-0.10	-0.10	-0.18
$\nabla \cdot C\mathbf{V}$	0.11	0.08	0.10	0.10	0.16
絶対値 の平均	0.48	0.37	0.38	0.36	0.41

表-5(2) 相関係数最大値 (2001年10月)

要素	AMeDAS 福岡	福岡 平均	福岡 最大	北部九 州平均	北部九 州最大
T	0.59	0.58	0.61	0.54	0.54
Rh	0.62	0.59	0.61	0.56	0.59
ω	-0.88	-0.79	-0.72	-0.80	-0.72
q	0.56	0.54	0.57	0.48	0.48
$\nabla \cdot \mathbf{V}$	0.86	0.68	0.59	0.59	0.56
$\nabla \cdot q\mathbf{V}$	0.88	0.72	0.61	0.63	0.60
C	0.65	0.75	0.52	0.67	0.52
$\nabla \cdot C\mathbf{V}$	0.67	0.76	0.55	0.68	0.53
絶対値 の平均	0.68	0.65	0.59	0.60	0.57

5. 結論

本稿では、現在、入手可能な気象庁メソ数値予報モデル (MSM) GPVの危機管理型防災対策への利用可能性について調査した。今回調査の対象とした降雨イベントの数が少ないため、今後さらに多くの降雨イベントを対象に同様の調査を行い確認していく必要があるが、MSM降水量予測値そのものもしくはMSM気象要素そ

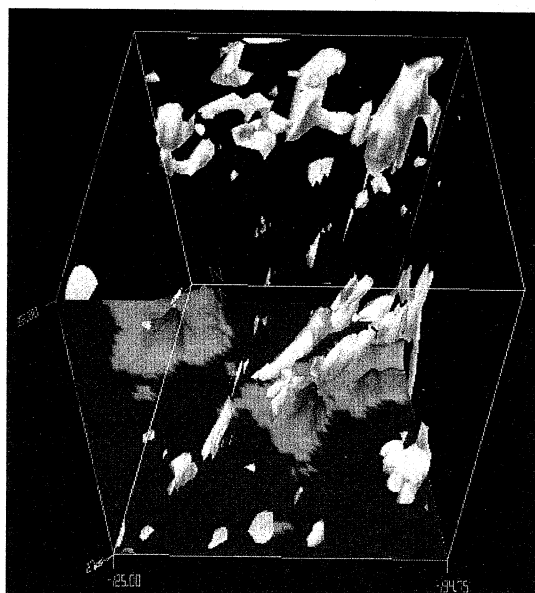


図-4 相関係数の3次元分布図 ($\nabla \cdot q\mathbf{V}$, 6月)
(相関係数0.4以上の領域を表示)

のものの危機管理型防災対策への利用は現時点では困難であると考えられた。但し、MSM気象要素を用いて簡易な加工を施した気象要素の幾つかについては、実績降水量とのよい相関性が見られたものもあり、将来的には、これらの加工気象要素の危機管理型防災対策への利用可能性も期待できるが、現時点では、降雨イベントにより相関性が高い場所が異なる等の特性があり、どの地点のどの気象要素に着目すれば降水量を定量的に予測できるかというところまでは特定できないのが現状である。本稿ではMSM気象要素の格子点値を対象に調査を行ったが、これらの気象要素は、実際には3次元の分布形を呈しており、今後は、各気象要素の2次元あるいは3次元分布形と降水量の関係を調べることにより、分布形のパターンから降水量を予測する手法の開発を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 中北英一・杉本聡一郎・池淵周一・中村徹立・奥田昌弘・山路昭彦・高棹琢磨：3次元レーダーおよびGPVデータを用いた短時間降雨予測手法，土木学会水工学論文集，第40巻，pp.303-308，1996。
- 2) 大石哲・舛田直樹・池淵周一：定性的短時間強雨予測手法による洪水制御支援手法の開発，土木学会論文集，No.691，II-57，pp.13-23，2001。
- 3) 中島隆信・吉谷純一・金木誠：メソスケール大気モデルによる平成10年8月末豪雨の再現計算，水文・水資源学会2000年研究発表会要旨集，pp.134-135，2000。
- 4) 気象庁編：新しい数値解析予報システム，気象庁予報部，2000。

(2002. 9. 30受付)

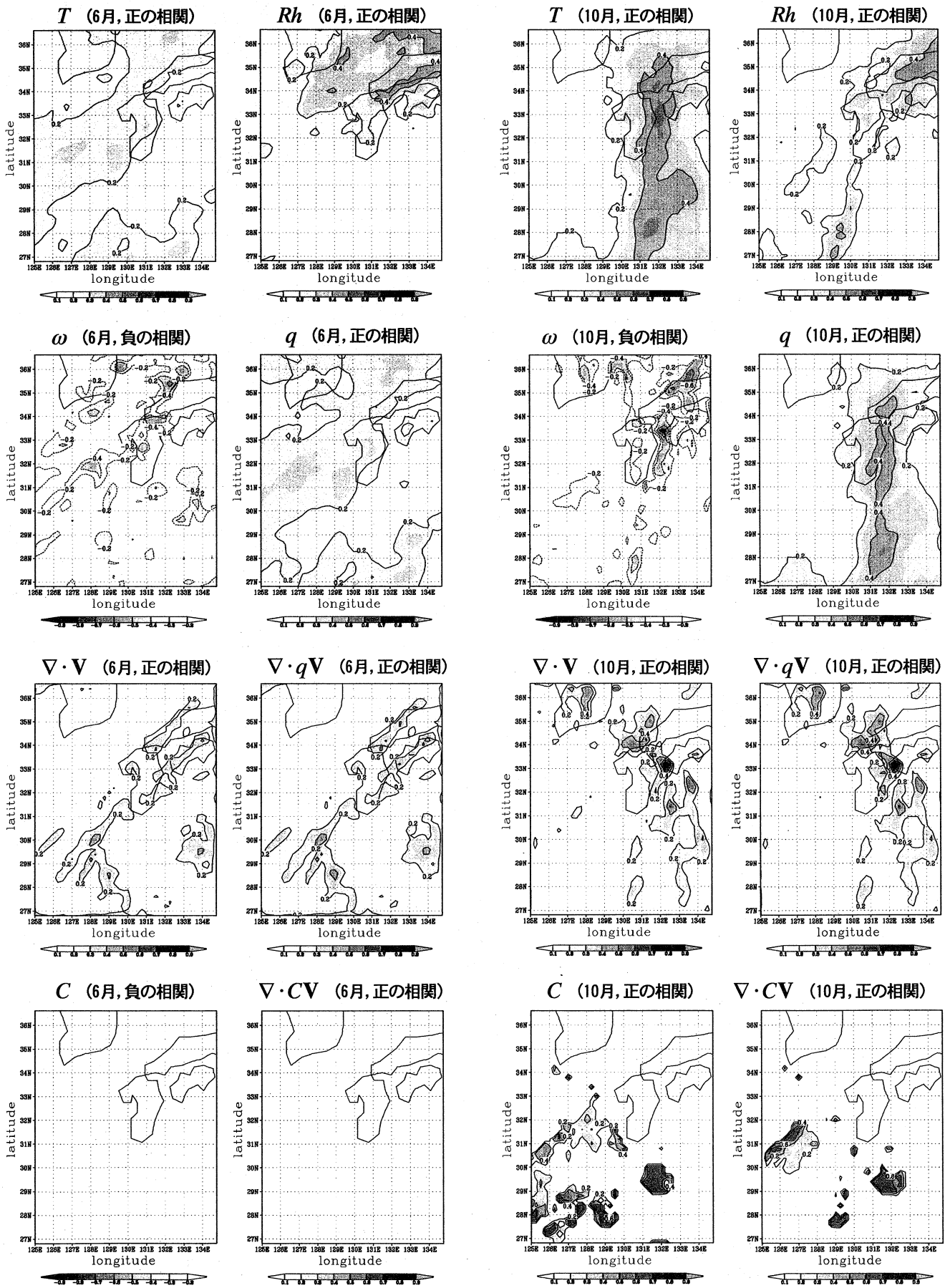


図-5(1) 各気象要素とAMeDAS福岡の相関 (6月, 850hPa)

図-5(2) 各気象要素とAMeDAS福岡の相関 (10月, 850hPa)