

## 雲解像数値モデルによる降雨量予測実験

-2004年10月9日の台風22号の事例解析-

清水慎吾\*・加藤 敦\*・前坂 剛\*・木枝香織\*\*・岩波 越\*

### Quantitative Precipitation Forecast Using Cloud-Resolving Storm Simulator for the Case of T0422

Shingo SHIMIZU\*, Atsushi KATO\*, Takeshi MAESAKA\*, Kaori KIEDA\*\*, and Koyuru IWANAMI\*

\* Storm, Flood and Landslide Research division

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan  
shimizu@bosai.go.jp

#### Abstract

We evaluated accuracy of Quantitative Precipitation Forecast (QPF) using Cloud Resolving Storm Simulator (CRSS) with a 1 km resolution for the T0422 which caused heavy precipitation over Kanto region, Japan on 9 October, 2004. Predicted accumulated rainfall amount was validated by Japan Meteorological Agency Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS). Five middle-range (several hours) forecasts using initial conditions from 6 to 2 hours before severe rainfall event provided 5.8–20 % error in accumulated rainfall amount, compared to that observed. For short-range forecast, the forecast using initial condition 1 hour before the heavy precipitation (CRSS\_1h) caused the 60 % error in the accumulated rainfall. Hybrid model using CRSS and nowcasting reduced 30-50 % forecast error compared to the CRSS\_1h.

**Key words** : Quantitative Precipitation Forecast (QPF), Cloud-Resolving Storm Simulator, Nowcasting, Hybrid model

#### 1. はじめに

降雨の短時間予測の手法として、降雨域の時間外挿法（いわゆるナウキャスト法）と数値モデルによる予測 (Wilson *et al.*, 1998) が広く使われている。

雨域の定常性を仮定するナウキャスト法は、簡便で、かつ、計算コストが低いことから、1時間以内の短時間予測に対して最も実用的な手法である。一般に、積乱雲の寿命が30分から1時間程度と短いことから、ナウキャスト法は高い予測精度を1時間程度までしか保つことができない。

数値モデルによる予測は、流体力学や熱力学の方程式を時間積分し、降雨の時間発展を予測するので、定常性を仮定する必要がない。しかし、より正確な降雨予測には1 km程度の高い水平分解能が必要 (Weisman *et al.*, 1997) であり、大きな計算コストがかかる。また、水蒸気から雨

粒を形成するまでに初期時刻から数十分から1時間程度の時間積分が必要であるため、1時間以内の短時間予測には不向きである。

近年、気象レーダデータのデータ同化手法 (Kawabata *et al.*, 2007) が開発され、観測された降雨をモデルに取り込むことで、初期時刻から1時間までの降雨精度を向上させることが報告されている。しかしデータ同化自体の計算コストが高いことから、データ同化を利用した数値予報の短時間予測への実用化には課題が残る。ナウキャスト法と数値予測法の両者の長所を生かすために、ある時刻までナウキャスト法で予測し、時間が経つにつれ、数値モデルによる予測に置き換える手法 (ブレンディング手法) が開発されている (Bowler *et al.*, 2006)。このブレンディング手法において、どのタイミングで、どれくらいの割合で、ナウキャスト法と数値モデ

\* 独立行政法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部

\*\* 株式会社 A. E. S.

ルによる予測結果をブレンドすればよいのかが研究課題となっている。

本研究は、防災科学技術研究所（以下、防災科研）で開発してきた雲解像数値モデル（Cloud-Resolving Storm Simulator: CReSS, Tsuboki, 2007）を用いた数値予測を用いて、2004年10月9日に神奈川県藤沢市に浸水被害をもたらした台風22号の事例について、量的予測精度の検証を行う。また防災科研で開発したナウキャスト法（加藤ほか, 2009）の予測結果と比較し、ブレンド手法において、どのようなブレンドが最適かを議論する。

CReSSを用いた局地豪雨の量的予測精度については、先行研究で2004年10月20日に近畿地方に大雨をもたらした台風23号を対象として調べられ（坪木と榊原, 2006）、1時間積算雨量の精度が検証されている。坪木と榊原（2006）によると、台風23号では強い降水が12時間以上継続し、その長時間の降雨について再現した1時間毎の積算雨量が観測結果と高い相関を持つことを明らかにした。一方、本研究で扱う2004年の台風22号は4時間程度で100 mmを超す雨をもたらした事例で、短時間の予測精度が非常に重要であり、ナウキャストとの併用が重要だと考えられる事例である。

本事例は、既に浸水被害調査が行なわれ、浸水深の測定データが取得されており、浸水予測モデルによる浸水被害の再現性を検証できる事例である。本研究で精度を検証した数値モデルによる雨量予測情報は今後の浸水予測モデルのインプットとして利用する予定である。

## 2. 災害の概要

図1に2004年10月9日9時（日本標準時：以後すべて日本標準時を使う：Japan Standard Time (JST)）の気圧配置と気象衛星 GOES の輝度温度分布を示す。本州中部地方

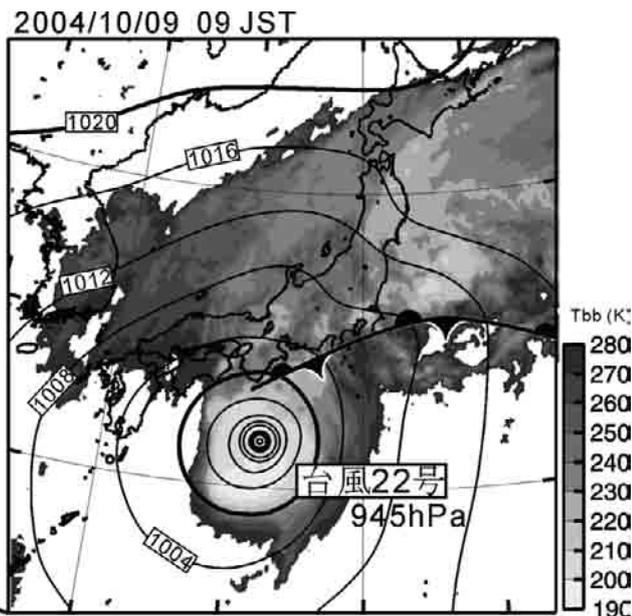


図1 2004年10月9日9時(日本時)における気圧配置と輝度温度の分布  
Fig. 1 Surface weather map and back body temperature at 9 JST on 9 OCT 2004.

の南の海上に発達中の台風が存在し、台風の北東に秋雨前線が位置している。台風22号は中心気圧が945 hPaで勢力を保ったまま、伊豆半島に16時に上陸した。10月9日の12時から24時までの積算雨量（気象庁レーダアメダス解析雨量：格子分解能2.5 kmで30分毎の時間分解能）を図2に示す。台風22号は17時から18時にかけて神奈川県南東部および東京都西部を通過し、18時から19時にかけて千葉県北部、茨城県南部を通過した。神奈川県南東部から東京都西部にかけて、14時から18時の4時間で100 mmを超す猛烈な雨を記録した（図2）。台風22号による死者は7名（千葉県1名、神奈川県1名、静岡県5名）、行方不明者は2名だった（内閣府, 2004）。負傷者は170人、全壊した住宅は136棟、半壊した住宅は299棟、一部破損した住宅は5,081棟、床上浸水が2,121棟、床下浸水が6,189棟の被害が報告されている（内閣府, 2004）。気象庁によると、土砂崩れや浸水被害は静岡県と関東南部に集中して発生していた（気象庁, 2004）。本研究では特に浸水被害が大きかった神奈川県藤沢市に注目し、藤沢市の雨量の予測精度を検証する。

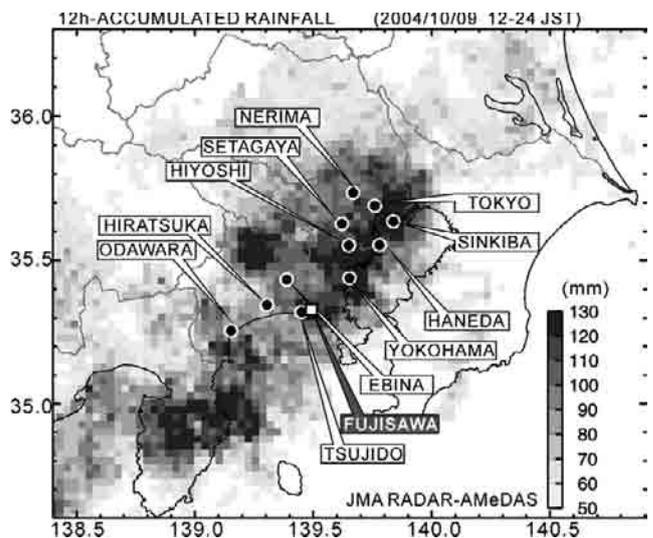


図2 2004年10月9日12時から24時までの積算降雨量（レーダアメダス解析雨量）とアメダス観測点  
Fig. 2 12-hour accumulated rainfall from 12 to 24 JST on 9 OCT 2004 using Japan Meteorological Agency (JMA) Radar-AMeDAS. Black dots indicate locations of AMeDAS sites.

## 3. 解析データ

数値モデルはCReSS（version 3.2）を使用した。格子解像度1 kmで関東地方440 km × 440 kmを予測領域とした（図3のCReSS 1 kmの領域）。初期値および境界値の作成は、気象庁メソスケールモデル(MSM)の出力を利用した。台風22号が発生した2004年当時では、MSMの格子分解能が20 kmと荒かったため、格子解像度5 kmでCReSS（CReSS 5 km）を実行し（図3 CReSS 5 km: 1,000 km × 1,200 kmの領域）、CReSS 5 kmの出力をネスティングすることで、CReSS 1 kmの予測結果を得た。

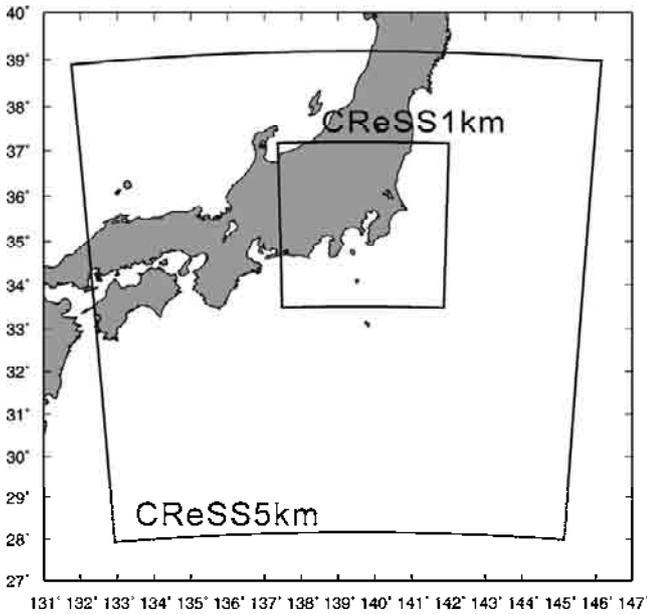


図3 雨量予測のためのCReSSの計算領域。CReSS 5 kmの領域で格子解像度5 kmの計算結果にネスティングさせ、CReSS 1 kmの領域内で格子解像度1 kmの計算を行った。

Fig. 3 Domain for the numerical simulation with CReSS. The CReSS 5 km was one-way nested within the output of MSM. The CReSS 1 km was one-way nested within the outputs of the CReSS 5 km.

CReSS 5 kmでは10月9日の9 JSTを初期時刻とし、11時間積分した(図4)。CReSS 5 kmの11時から16時までの一時間毎に初期値をずらした6つの予測実験を行った(図4 CReSS\_6hからCReSS\_1hまで)。これらの6つの異なる初期値を使った実験の予測精度を神奈川県から東京都にかけて台風が通過する19時までの積算雨量で評価する。11時の初期値を利用した実験では、豪雨発生6時間前の初期値を利用したことになる(CReSS\_6h)。6つの実験を比較することで、豪雨発生の何時間前の初期値を利用することで予測精度に違いがあるかを調べる。

ナウキャストの手法は加藤ほか(2009)の方法を用いた。気象庁1 kmメッシュ全国合成レーダによる雨量と防災科研マルチパラメータレーダ(以後MPレーダと呼ぶ)データから作成した雨量データ(2p-rain:高堀ほか, 2009)を時間外挿することで1時間先までの雨量分布を予測した。本実験では、16時のレーダデータを用いたナウキャスト(Nowcast\_1600)、16時30分のレーダデータを用いたナウキャスト(Nowcast\_1630)、および17時のレーダデータを用いたナウキャスト(Nowcast\_1700)を行った。

検証データとして気象庁アメダス10分積算雨量を用いた。浸水被害が報告された藤沢市周辺の6つの地点(小田原、平塚、辻堂、横浜、海老名、日吉)と、東京都で特に積算降雨が100 mmに近い豪雨となった5つの地点(東京、羽田、新木場、世田谷、練馬)を検証地点に選んだ(図2)。

雨量分布については気象庁1 kmメッシュ全国合成レーダの雨量を用いた。全国合成レーダプロダクトは格子解像度1 kmで10分毎に前1時間積算雨量を提供する。

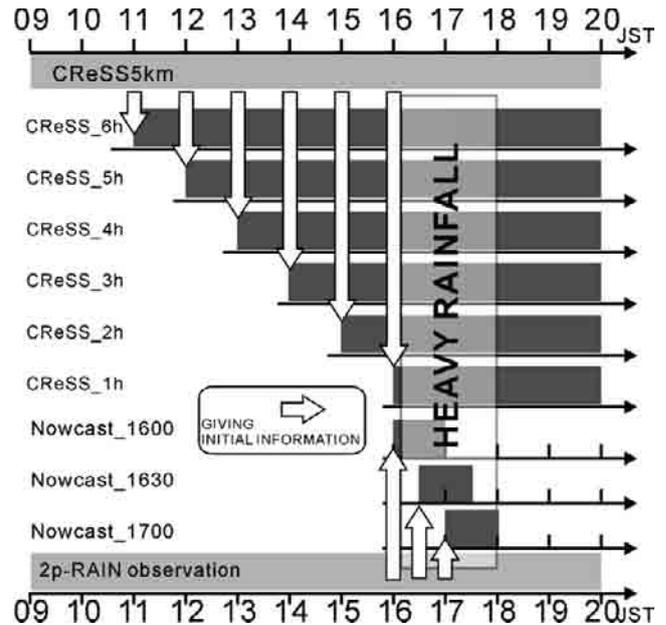


図4 CReSSとナウキャストの予測範囲。16時から18時にかけて強い降水が神奈川県で観測された。

Fig. 4 Forecast range of CReSS and nowcasting. Heavy precipitation was observed from 16 to 18 JST in Kanagawa Prefecture.

#### 4. 台風の再現性

CReSS 1 kmの計算領域は台風22号全体を再現するには小さいので、CReSS 5 kmの計算結果を用いて、台風の再現性を議論する。図5に台風22号のベストトラックとCReSS 5 kmが予測した経路を示す。観測された台風は9時に紀伊半島の南200 kmに中心を持ち、中心気圧は945 hPaだった。その後北東に進み、上陸する16時まで中心気圧を950 hPaに維持し続けた。上陸後の17時以降、中心気圧を980 hPaに上げて急激に勢力を弱めた。

CReSS 5 kmの再現結果では、9時から11時にかけて、北に進む速度が遅く再現された。このため、上陸する16時までのすべての時刻で、観測された台風的位置から南に20 kmにずれて再現され(図5)、伊豆半島に上陸する時刻が1時間遅れた。上陸する16時から18時にかけての台風の経路は、1時間の遅れがあるが、観測された位置とほぼ同じ位置に再現することができた。CReSS 5 kmで予想した台風の上陸後の19時から20時にかけての進路は、観測より北に進んだ。

再現された中心気圧は、9時に946 hPaで、その後緩やかに上昇し、上陸直前の16時には957 hPaに達した。上陸後、急速に勢力を弱め、中心気圧が971 hPaに上昇した。観測された中心気圧はドボラック法(Dvorak, 1975)と呼ばれる衛星画像から推測された概算値である。従って、CReSS 5 kmが再現した9時から16時までの946 hPaから957 hPaの緩やかな気圧の上昇は、ドボラック法では945 hPaから950 hPaの緩やかな気圧の上昇に大まかに対応している。またドボラック法では上陸後すぐに、中心

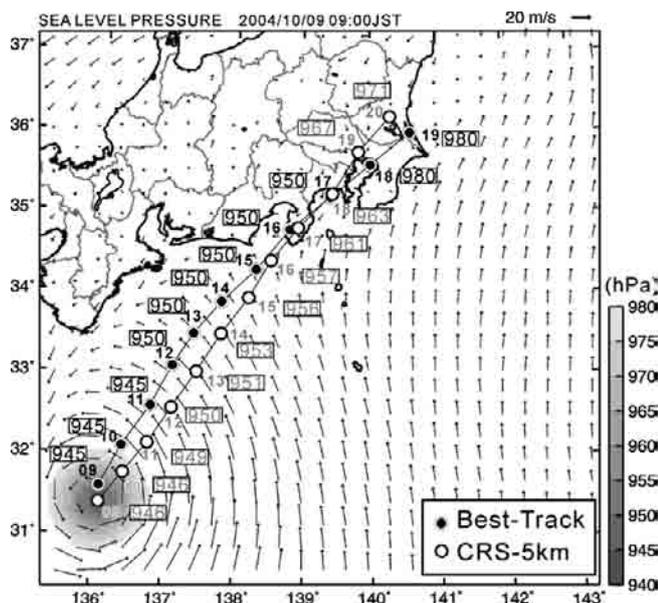


図5 台風の経路(黒丸: 気象庁ベストトラック, 白丸: CReSS 5 km が予測した経路). 2004年10月9日9時におけるCReSS 5 km が再現した海面補正気圧を陰影で地表風をベクトルで示す. 台風の位置は海面補正した気圧の極小値の位置をプロットした. 数字は時刻を表す. 四角で囲まれた数字は中心気圧を示す(黒字はドボラック法で推定された中心気圧を示し, 灰色はCReSS 5 km で再現された中心気圧).

Fig. 5 Tracks of T0422 obtained by JMA best track data (closed marks) and by CReSS 5 km simulation (open marks). Sea level pressure is shown by shade and surface wind is shown by vector at 9 JST on 9 OCT 2004. The numbers indicate the observation or simulated time. Sea level pressure at each time is shown by solid box.

気圧が急激に 30 hPa 上昇しているのに対応して, CReSS 5 km でも, わずか3時間で中心気圧が 961 hPa から 971 hPa に 10 hPa 上昇している. このようにCReSS 5 km は1時間の遅れがあるが台風の位置と強度を良く再現している. そこでCReSS 5 km の出力を1時間早めたものをCReSS 1 km にネスティングした. つまりCReSS 5 km の12時を11時のデータとしてCReSS\_6hの初期値として与えた. これにより正しい台風の位置と時刻を格子解像度1 km のモデルに入力することができた. 以後, 11時を初期値としたCReSS\_6hの再現結果を観測結果と比較する.

### 5. 全国合成レーダ雨量と再現結果の比較

図6に台風22号に伴う気象庁全国合成レーダ雨量の前1時間積算雨量の時間変化とCReSS\_6hによる予測した前1時間積算雨量の時間変化を示す. 13時に台風の中心が静岡県沖に位置し, 東海道の海岸沿いから伊勢湾にかけてインナーレインバンドが形成され, その40 km 外側(北側)にアウターレインバンドに伴う降雨が観測された(図6a). 観測と同様に, CReSSの積分開始から2時間後の13時に台風のコアに対応する雨域とインナーレインバンド

に対応する東海沖の降水バンドと, アウターレインバンドに対応する愛知県, 静岡県, 相模湾の降雨が再現された(図6b).

14時のレーダ雨量図(図6c)では, 台風の中心が伊豆半島に近づくにつれ, コアの北側の雨域が強化し, 伊豆半島での降雨が強まり始めた. CReSSでも台風の中心域に弱い降水域が形成され, その北側の降雨が発達し, 伊豆半島で強い降雨が再現された(図6d).

15時のレーダ雨量図(図6e)では, 駿河湾および御前崎で強い降雨が見られ, 降雨域が東海から関東南部に移動し, 三重県での降雨が無くなった. CReSSでは, 駿河湾の強い降雨は再現されなかったが, 伊豆半島における強い降雨が再現された(図6f).

16時のレーダ雨量図(図6g)では, 台風の上陸に伴い, 台風の中心のアイウォールに対応する弱い降雨が観測されなくなった. 愛知県での降雨が無くなり, 駿河湾での降雨が更に強化され, 箱根や小田原の強い降雨が始まった. CReSSでは伊豆半島における降雨がピークを迎えた(図6h).

17時のレーダ雨量図(図6i)では, 神奈川県南部, 相模湾, 三浦半島で強い降雨が見られた. CReSSでは, 神奈川県南部から東京都や埼玉県まで, レーダ雨量に比べて北側に広がって強い降雨が再現された(図6j). このことはCReSSで再現された台風が, 17時以降実際より北側に早く移動したことによる(図5).

18時には(図6k), 強い雨域は東京都から千葉県に移動し, 浸水被害が報告された神奈川県南部では雨が観測されていない. CReSSでは台風の進路を北側寄りに予測したため, 埼玉県から茨城県にかけて強い雨域を再現したが, 神奈川県南部の降水は急激に弱まった(図6l).

19時には(図示せず), 台風は太平洋側に達し(図5), 関東地方南部には降水が観測されなかった.

このように上陸した16時から19時にかけて台風に伴う降雨の分布を再現することができた. 更に詳しく再現性を検証するために, アメダス観測点における雨量の時間変化を詳しく調べる.

### 6. アメダス地点雨量と再現結果の比較

浸水被害が起こった神奈川県に注目し, 降雨分布の再現性を16時から17時30分の期間で詳細に調べる(図7). 16時から17時にかけて, 箱根から伊豆半島に伸びる強い雨域が西から東へ移動していた(図7a, c, e). この強い雨域はCReSS\_6hでも再現することができた. しかし, CReSS\_6hでは強い雨域が実際よりも北東側に広がってしまい(図7b, d), 間違った雨量分布を予測した.

図8に各アメダス地点における観測された雨量と予測雨量の時間変化を示す. 浸水被害が起きた藤沢市(図7の白い四角)の西側に位置する小田原, 海老名, 平塚では, 16時から16時30分にかけて, この北東に広がった雨域(図7b, d)のため, 強い雨を予測してしまった(図8, 左列). 一方, 16時30分から17時30分の時間雨量100 mmを越す強い雨域の本体は良く再現している(図7d, f, h),

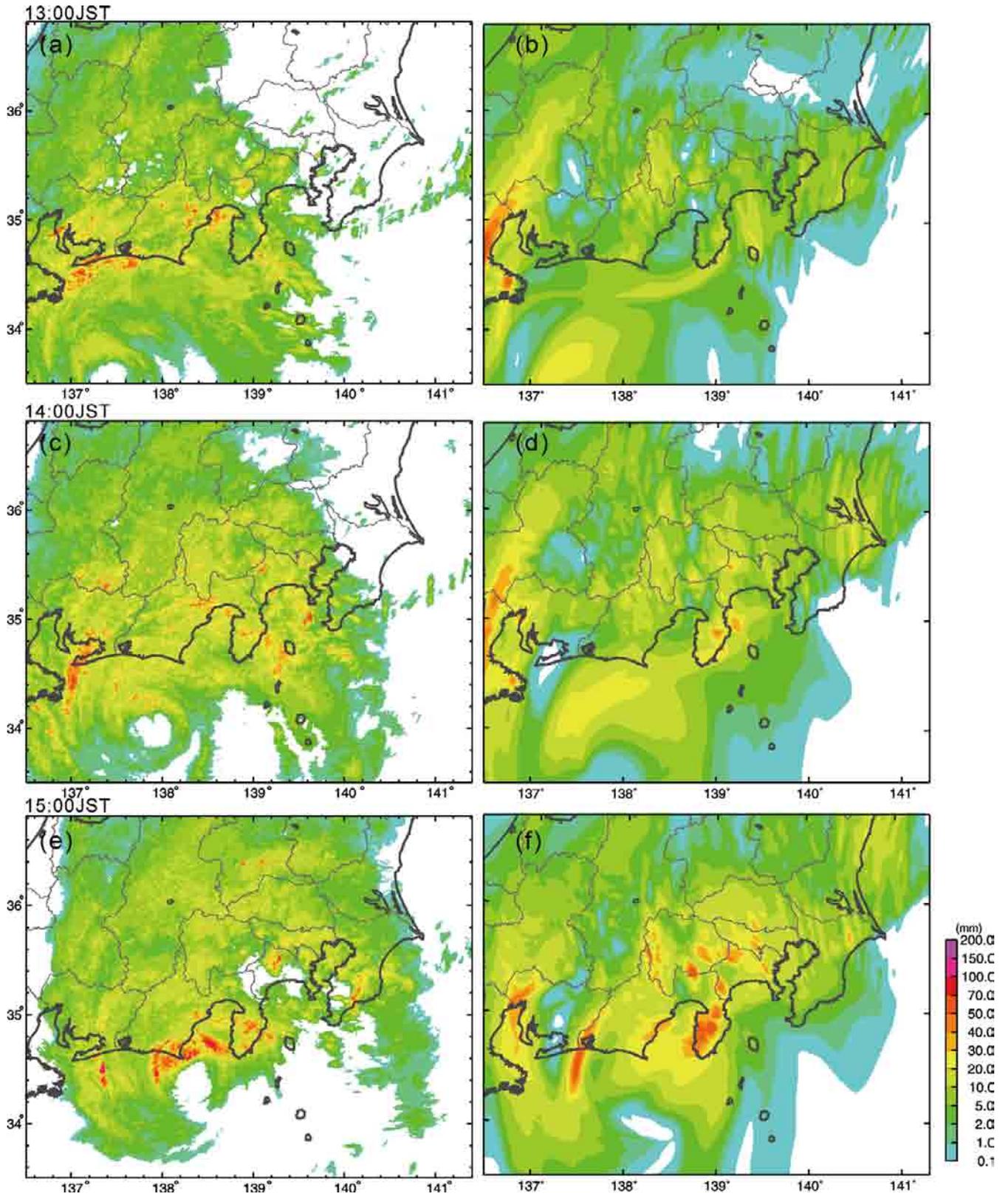


図 6.1 2004 年 10 月 9 日 13 時から 15 時までのレーダ解析前 1 時間積算雨量(左)と CReSS\_6h によって再現された前 1 時間積算雨量(右).

Fig. 6.1 1 hour accumulated rainfall estimated by : JMA radar (left column) and by the CReSS\_6h simulation (right column).

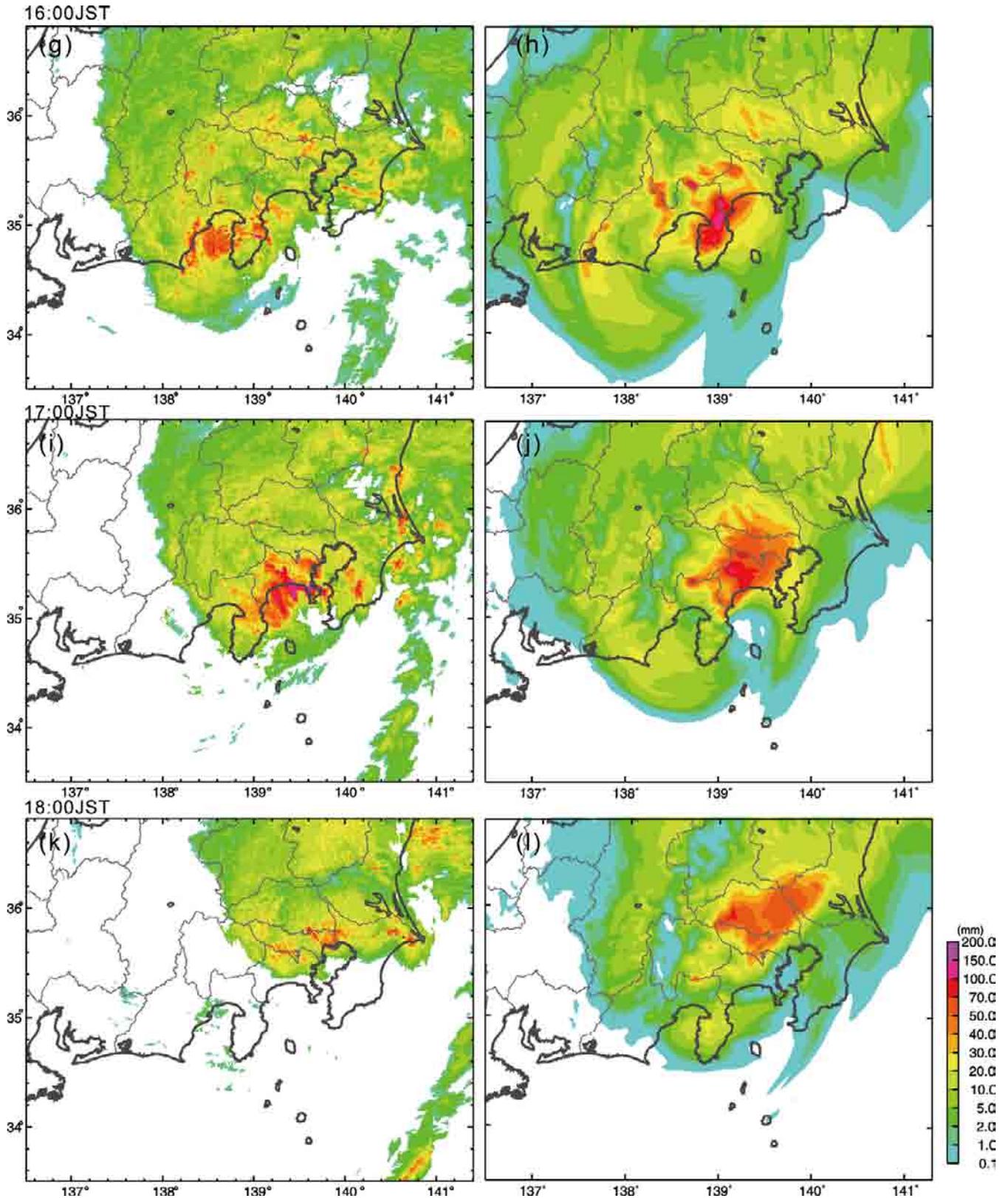


図 6.2 2004 年 10 月 9 日 16 時から 18 時までのレーダ解析前 1 時間積算雨量(左)と CReSS\_6h によって再現された前 1 時間積算雨量(右).

Fig. 6.2 1 hour accumulated rainfall estimated by : JMA radar (left column) and by the CReSS\_6h simulation (right column).

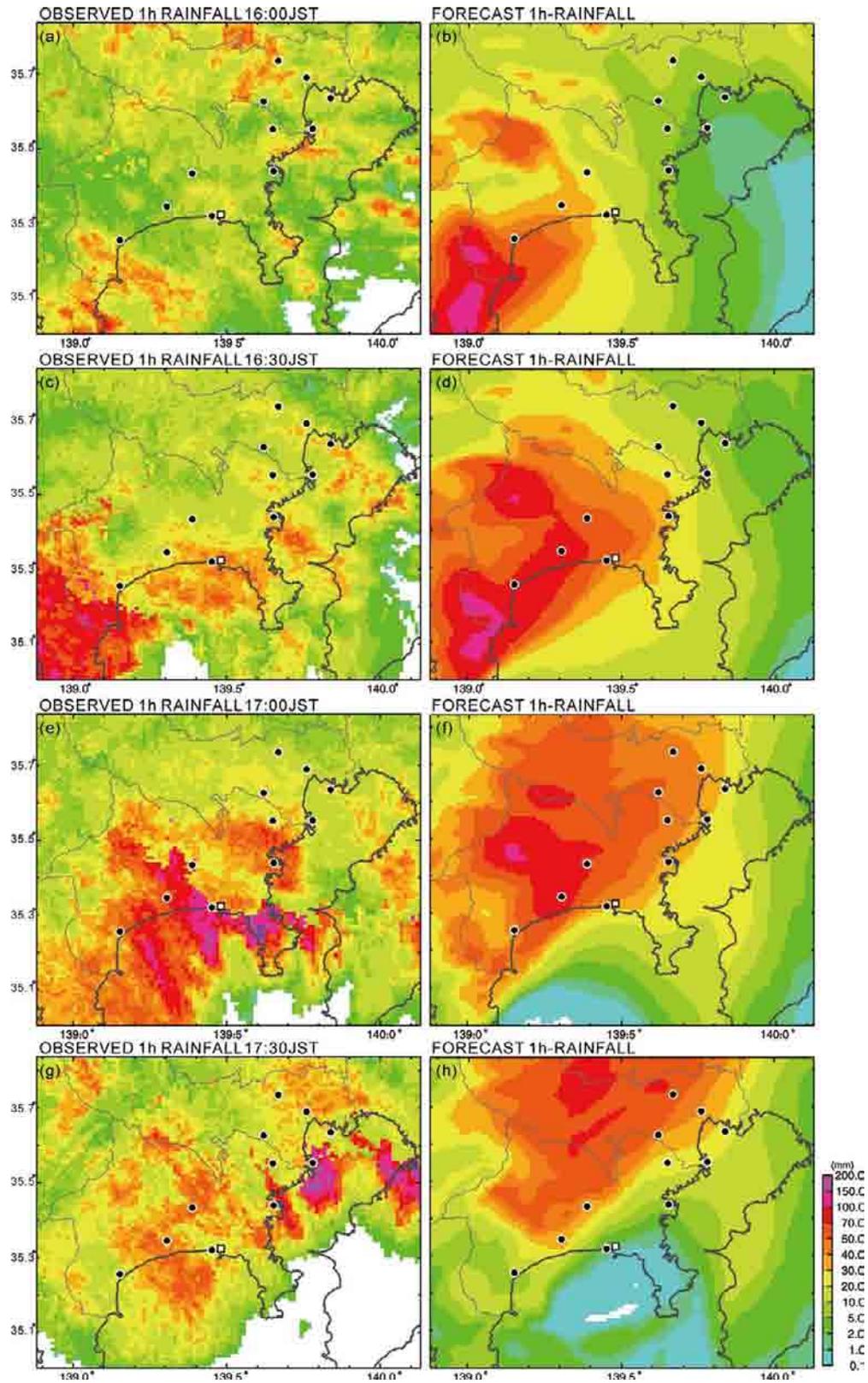


図7 図6と同じ。ただし、16時から17時30分までの30分毎に神奈川県と東京都を拡大した。黒丸はアメダス観測点を示す。白い四角は藤沢市の位置を示す。

Fig. 7 Same as Fig. 6 but for focussing on the area around Tokyo and Kanagawa prefectures from 16:00 to 17:30 JST. Black dots indicate AMeDAS sites. Open square indicates the location of Fujisawa.

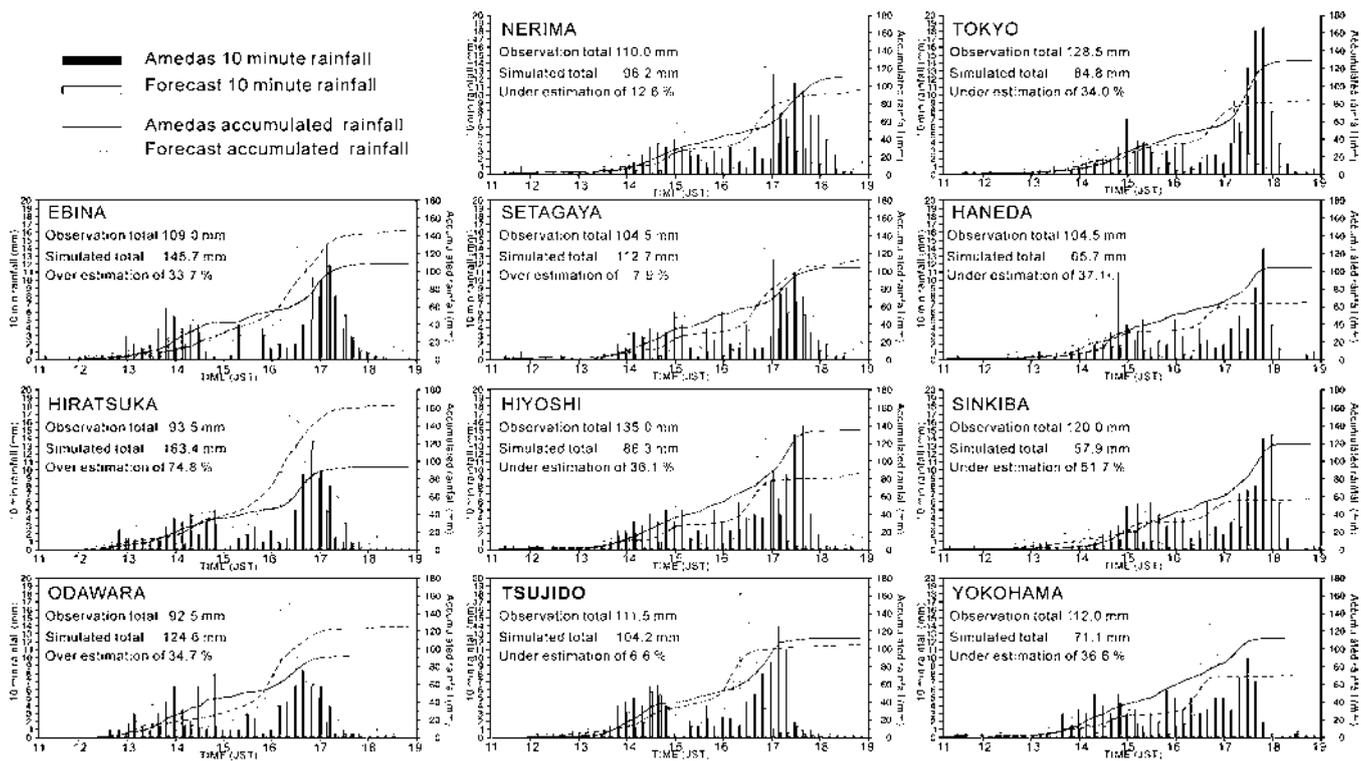


図8 東京都と神奈川県に設置されたアメダス雨量と予測雨量の時系列。棒グラフは10分雨量を示し、線は積算雨量を示す。白い棒グラフはCReSSによって予測された10分雨量を示し、破線は予測された積算雨量を示す。

Fig. 8 Time series of 10-minute rainfall observed by AMeDAS in Tokyo and Kanagawa prefectures, and those forecasted by the CReSS\_6h simulation. Black bar indicates 10-minute rainfall amount and white bar indicates those simulated by CReSS\_6h. Solid (broken) line shows observed (simulated) accumulated rainfall.

16時30分から17時30分までの小田原、海老名、平塚の雨量の時間変化は観測と良く一致する(図8, 左列)。16時から16時30分までの間違った雨量分布予測のために、積算雨量は小田原、海老名および平塚では33.7%から74.8%の過大予測となった。

台風の経路とCReSSで再現された台風の経路(図5)がほぼ一致した直線上に位置する藤沢市辻堂、世田谷、練馬(図8 中列)では、降雨のピークを30分から1時間程度早く予測したが、積算雨量に関しては+7.9%から-12.6%と小さい誤差で予測することができた。

一方CReSS\_6hが予測した台風の進路(図5)より東に位置する、日吉、横浜、東京、羽田、新木場(図8 右列と中列)では、17時30分以降の強い雨を予測することができず、積算雨量に関しては34.0%から57.9%の過小予測となった。

これらの観測値と予測値の比較から、観測された台風の進路よりも相対的に10 km程度北西側に進路をCReSSが予測したことにより(図5)、相対的に西側の観測点で過大評価(図8 左列)し、東側で過小評価(図8 右列)した。台風の経路が観測された経路と重なった地域では、積算雨量の誤差をおおむね1割以内にすることができた。

### 7. ナウキャスト法とのブレンド

本研究では豪雨の6時間前の初期値を利用して、局地的豪雨の定量的予測精度を検証した。一般に積分時間が長くなるほど誤差が大きくなると言われている一方で、初期場に含まれるノイズがなくなり、力学的にバランスした大気状態が得られるまでに、積分開始時刻から1時間程度かかると言われており、数時間前から精度が向上するとも言われている(Doswell, 1986)。従って、雲解像モデルの予測レンジを把握するために、本事例においてCReSSが豪雨発生の何時間前の初期値を使うことが最適であるかを確かめる必要がある。また1時間以内の短時間予測においては、ナウキャスト法が有利であると言われていることから、本事例についてもナウキャスト法による1時間先までの予測と比較する。なお観測と予測の比較は、浸水被害が発生した藤沢市辻堂におけるアメダス観測データを使って行う。

図9に6時間前の11時を初期値にした実験(CReSS\_6h)から1時間前の16時を初期値にした実験(CReSS\_1h)までの6つの実験について、11時から19時までの藤沢市辻堂における10分雨量および積算雨量の観測結果と予測結果を示す。CReSS\_6hからCReSS\_4hまでは13時まで強い降雨が発生しないことから、積算雨量に大きな差が

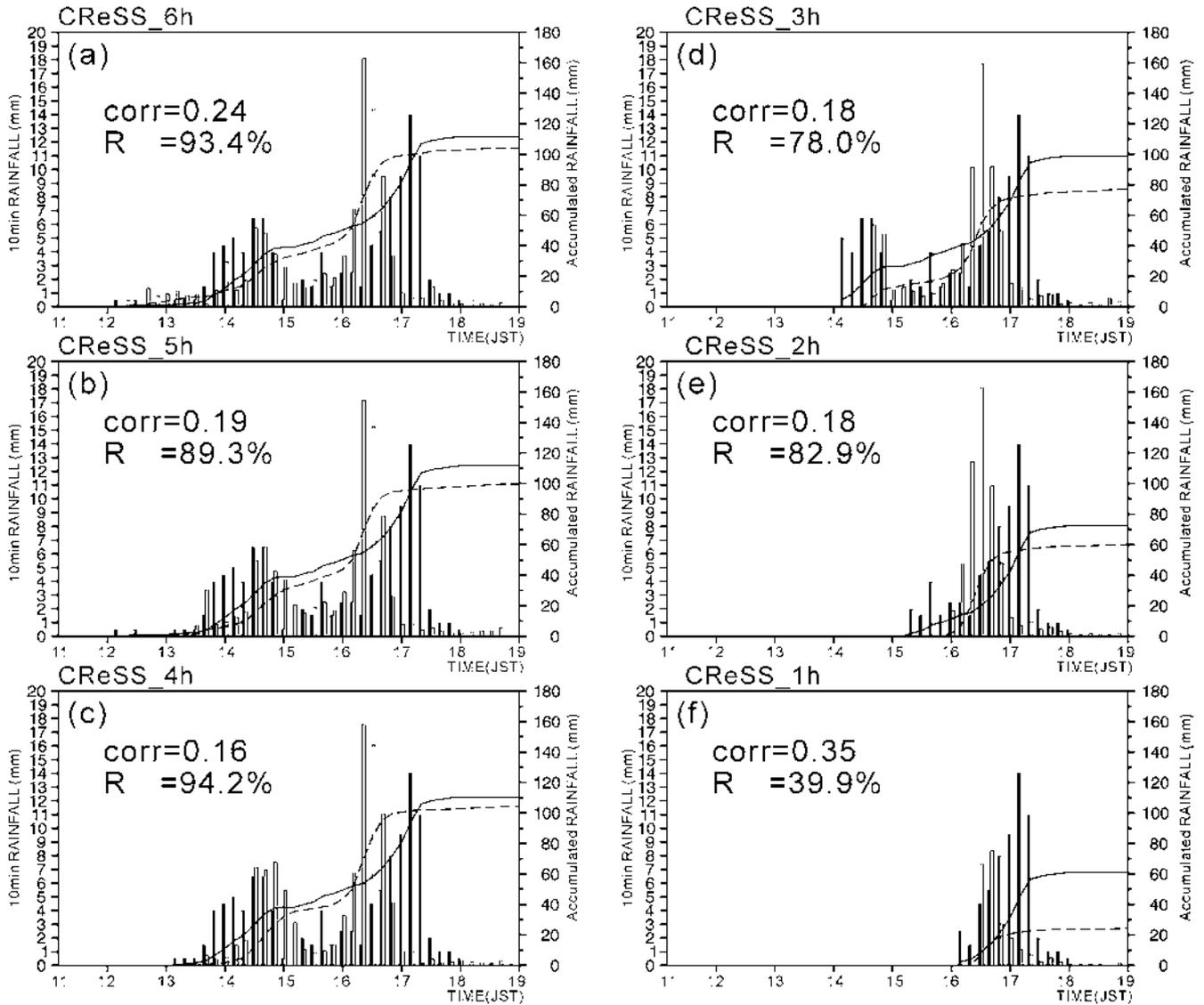


図9 神奈川県藤沢市(辻堂)におけるアメダス雨量と6つの異なる初期値を用いた予測雨量(CReSS\_1hからCReSS\_6h)の時系列。棒グラフは10分雨量を示し、線は積算雨量を示す。白い棒グラフはCReSSによって予測された10分雨量を示し、破線は予測された積算雨量を示す。相関係数(corr)と観測された積算雨量に対する予測積算雨量の比(R)を示す。CorrとRは予報開始時刻から19時までのデータで計算した。

Fig. 9 Time series of 10 minute rainfall observed (simulated) at Tsujido, Fujisawa city shown by solid line (broken line). Six simulations using different initial conditions are compared (from CReSS\_1h to CReSS\_6h, see text for detail). Bars and lines are same as Fig. 8. Correlation between observed rainfall and simulated rainfall (corr) and percentage of forecast accumulated rainfall to observed accumulated rainfall (R) are shown. Corr and R are calculated from initial time to 19 JST.

見られなかった(図9a, b, c)。CReSSの積分開始時刻から19時までの観測積算雨量に対する予測積算雨量の割合R(予測積算雨量/観測積算雨量×100%)は、CReSS\_6h, CReSS\_5h, およびCReSS\_4hでそれぞれ93.4%, 89.3% および94.2%と概ね観測値の9割程度の積算雨量を予測することができた。ただし積分開始時刻から19時までの観測と予測雨量の相関係数(corr)はそれぞれ0.24(CReSS\_6h), 0.19(CReSS\_5h), および0.16(CReSS\_4h)と低く、降雨の時間変動はあまり良く再現できていない。

CReSS\_3hでは(図9d)、初期時刻から30分以内の14時から14時30分におけるアウターレインバンドによる降

雨を予測できず、積算雨量では22%(R=78%)の過小予測となった。また相関係数corrは0.18と低かった。ただし、16時30分の強い雨量はCReSS\_6hからCReSS\_4hと同様に予測されている。また、CReSS\_2h(図9e)でも、初期時刻から1時間以内の15時から16時における降雨の予測に失敗しているが、16時30分の強い雨量は同様に予測されている。積算雨量は17.1%(R=82.9%)の過小評価で、CReSS\_3hと同様に相関係数が0.18と低かった。

CReSS\_1hでは(図9f)、初期時刻から30分以内の16時から16時30分の強い雨を予測することができなかったが、16時30分から17時にかけての強い雨を予測す

表1 16時から16時50分までの神奈川県藤沢市(辻堂)におけるアメダス雨量と6つの異なる初期値を用いたCReSSの予測の比較.

Table1 10-minute rainfall, percentage of forecast accumulated rainfall to observed accumulated rainfall, and correlation between forecast rainfall and observed rainfall from 16:00 to 16:50 JST.

時刻	アメダス雨量	CReSS_6h	CReSS_5h	CReSS_4h	CReSS_3h	CReSS_2h	CReSS_1h
16:00	2.5	3.71	3.22	3.64	2.7	1.87	0
16:10	2.5	7.08	6.23	6.73	4.64	5.29	0
16:20	1.5	18.08	17.17	17.58	10.18	12.7	0
16:30	4.5	14.03	15.21	16.04	17.7	18.11	7.4
16:40	5.5	9.49	8.76	11.05	10.2	10.95	8.35
16:50	8	3.68	2.88	4.56	5.56	5.33	3
合計(mm)	24.5	56.07	53.47	59.6	50.98	54.25	18.75
観測値に対する予測値の割合(%)		228.86	218.24	243.27	208.08	221.43	76.53
相関係数		-0.43	-0.40	-0.30	0.09	0.00	0.57

表2 17時から17時50分までの神奈川県藤沢市(辻堂)におけるアメダス雨量と6つの異なる初期値を用いたCReSSの予測の比較.

Table2 Same as Table1 but for from 17:00 to 17:50 JST.

時刻	アメダス雨量	CReSS_6h	CReSS_5h	CReSS_4h	CReSS_3h	CReSS_2h	CReSS_1h
17:00	9.5	1.05	0.84	1.03	1.7	1.37	1.98
17:10	14	0.64	0.91	0.99	1.4	0.76	1.15
17:20	11	0.65	0.41	0.13	0.57	1.02	0.77
17:30	2	1.49	0.63	0.47	0.79	0.5	0.25
17:40	1	0.5	0.35	0.19	0.92	0.69	0.56
17:50	1	0.23	0.24	0.21	0.17	0.33	0.22
合計(mm)	38.5	4.56	3.38	3.02	5.55	4.67	4.93
観測値に対する予測値の割合(%)		11.84	8.78	7.84	14.42	12.13	12.81
相関係数		0.04	0.68	0.60	0.57	0.64	0.68

ることができた。しかし、他の予測と同様に17時から17時30分の強い降水の予測ができなかった。このため、CReSS\_1hは60.1% (R = 39.9) の過小予測となった。しかし16時30分から17時の強い雨を予測できたため、相関係数は0.35と他の実験よりも高い値を示した。

これらの結果から、数時間以上の積算雨量を評価する場合には、台風の予測進路を正確に求めることさえできれば、豪雨の2時間以上前の初期値を利用することで10から20%の誤差で予測できることが示された。反対に1時間程度前の初期値は、積算雨量を求める場合には過小評価となることが分かった。ただし相関係数が他よりも大きいことから降雨の時間変動は他の実験に比べて良く予測できたと言える。

次に17時の降雨のピーク前後の16時から18時における短時間豪雨の予測精度について比較を行う。表1に16時から16時50分間の観測データと予測データの相関係数および観測された積算雨量に対する予測された積算雨量の割合(R)を実験毎に示す。16時から16時50分にかけて(表1), CReSS\_1hの相関係数が最も高く (corr = 0.57), R = 76.53%で100%に最も近い。一方、17時から17時50分にかけては(表2), 6つの実験すべてにおいて、Rが10%台と過小評価となった。相関係数に関しては、CReSS\_6h以外は0.6以上と弱い正の相関を示した。

これらの結果から、特に強い雨を観測した16時から18時の予測においては、豪雨の一時間前の初期値を用いたCReSS\_1hの誤差が最も小さかった。CReSS\_1hでは積分開始から30分までは降水を形成することができず、その間に降雨があると過小評価になることが分かった。従って、その期間における予測をナウキャスト法に代用することで短時間豪雨の予測精度向上が期待される。

ナウキャスト法による16時から18時の予測結果を図10に示す。図10aは16時のレーダデータを利用したナウキャスト法による1時間先まで藤沢市辻堂における雨量の時間変化と観測値の比較を示す。観測された雨量が次第に強まっているのに対応して、ナウキャスト法でも予測開始から30分間、雨量の増加を予測した。しかし、30分後には実際には雨量が増加し続けているのに対し、反対に雨量が減少すると予測してしまったために、積算雨量では19.5%の過小予測となった。

16時30分のナウキャスト法(図10b)では、予測開始から30分以内の強い降水をやや過大に予測し、30分以降の弱い雨域を過大に予測したので、積算雨量としては37.8%の過大予測となった。

17時のナウキャスト法(図10c)では、予測開始から30分以内の強い降水を精度良く予測したが、30分以降の弱い雨域を大きく過大に予測したため、積算雨量とし

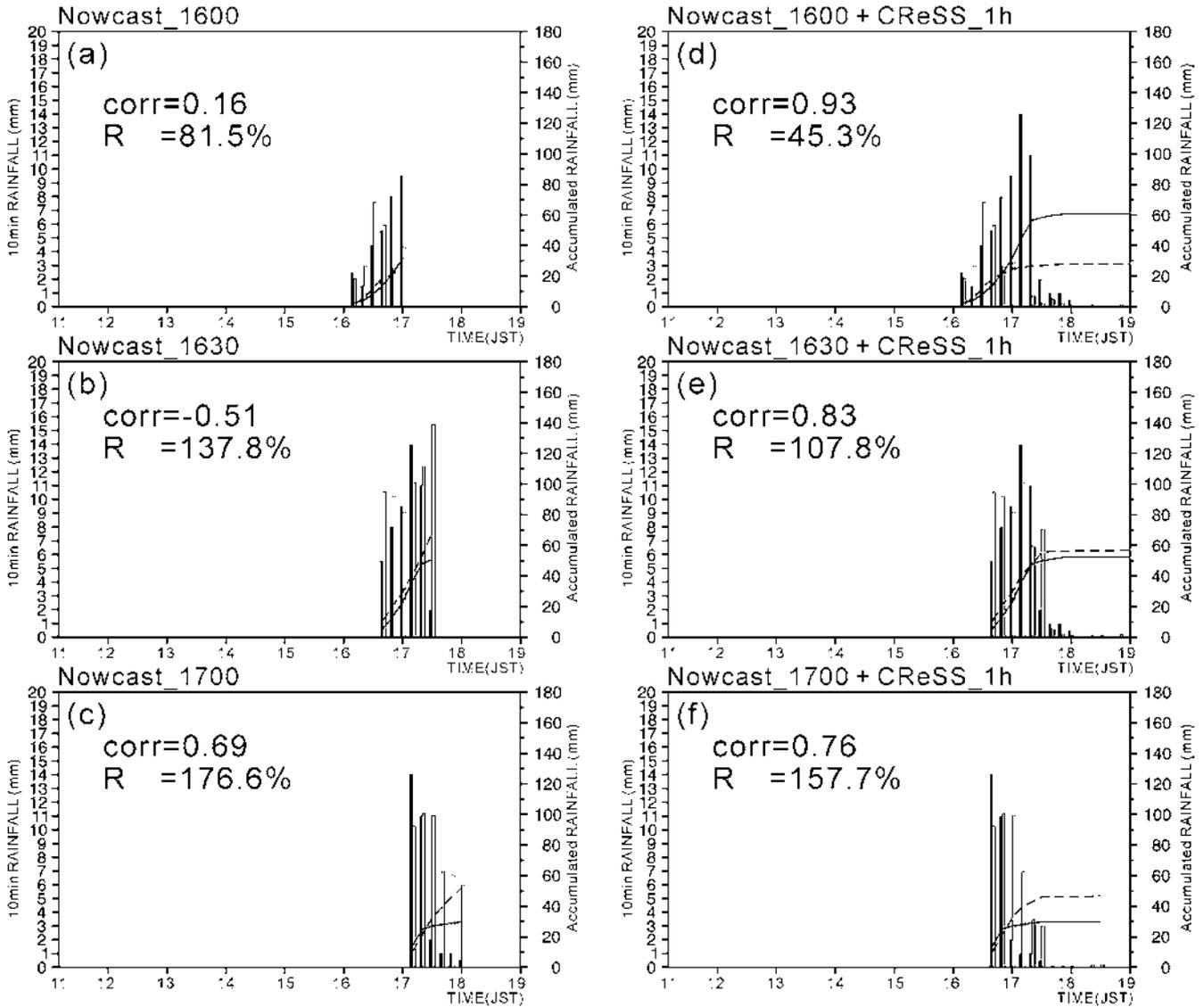


図 10 神奈川県藤沢市(辻堂)におけるアメダス雨量と3つの異なる初期値を用いたナウキャストによる予測雨量(Nowcast\_1600からNowcast\_1700)の時系列(a-c), およびナウキャストとCReSS\_1hをブレンドした予測雨量(d-f)を示す. 図の見方は図9と同じ. 相関係数(corr)と観測された積算雨量に対する予測積算雨量の比(R)を示す. CorrとRはナウキャスト予測では1時間分のデータで, ブレンド予測では2時間分のデータで計算した.

Fig. 10 Same as Fig. 9 but for nowcasting forecast (Fig. 10a-c) and forecast by hybrid model combining CReSS\_1h and nowcasting outputs (Fig. 10d-f). Bars and lines are same as Fig. 8. Corr and R are same as Fig. 9. Corr and R are calculated using 1 hour data of nowcasting, and using 2 hours data of hybrid model.

では76.6%の過大予測となった.

3つのナウキャストの結果から, おおむね30分以内の予測は精度が高いが, 30分以降の予測レンジにおいて, 降雨量の時間変化が大きい現象では誤差が大きくなる傾向がある (Kato and Maki, 2009). そこで, 短時間豪雨予測において最も誤差の小さかったCReSS\_1hの予測結果とのブレンドを試みた. 予測開始から30分間はナウキャストによる予測を行い, 30分から2時間先まではCReSS\_1hの予測とナウキャスト法の予測を平均した.

Nowcast\_1600とCReSS\_1hをブレンドした

予測結果を図10dに示す. このブレンドは, Nowcast\_1600とCReSS\_1hのいずれも17時から17時30分の強い降水を予測できなかったため, ブレンドによる積算雨量の精度向上が見られなかった. しかし17時30分以降の無降水をCReSS\_1hが予測できたため, 相関係数(corr)は0.93と大きくなった.

Nowcast\_1630とCReSS\_1hをブレンドした予測結果を図10eに示す. 17時30分以降のナウキャストの過大予測をCReSS\_1hによって押さえ込むことができ, 観測値との誤差を10%以内にした (R = 107.8%). 相関係数も-0.51から0.83に変わり, 正の相関に変わった.

**表3** 数値予測 (CReSS\_1h) とノウキャスト予測およびブレンディング予測の精度比較。16時から16時50分, 16時30分から17時20分, および17時から17時50分の3期間における, 観測された積算雨量に対する予測された積算雨量の割合 (R) と相関係数 (corr) を示す。

**Table3** Summary of forecast scores such as Corr and R (see Fig. 9) for CReSS\_1h, nowcasting, and hybrid forecasts during 16:00-16:50 JST, 16:30-17:20 JST, and 17:00-17:50 JST, respectively.

時刻	評価方法	CReSS_1h	ノウキャスト予測	ブレンディング予測
16:00-16:50	R (%)	76.53	81.5	45.3
	corr	0.57	0.16	0.93
16:30-17:20	R (%)	43.14	137.8	107.8
	corr	-0.89	-0.51	0.83
17:00-17:50	R (%)	12.81	176.6	157.7
	corr	0.68	0.69	0.76

Nowcast\_1700 と CReSS\_1h をブレンディングした予測 (図 10f) でも同様に, ノウキャスト法の 30 分以降の過大な予測を CReSS\_1h で押さえ込み, 積算雨量の誤差を 18.9% 小さくした。相関係数も 0.69 から 0.76 と大きくなった。

表 3 に 3 つのブレンディング結果をまとめた。ノウキャスト予測は CReSS の予測に比べて, 積算雨量の誤差が小さかった。またブレンドすることにより, 3 つの実験ともに降雨の時間変動の正確さを表す相関係数が大きくなることが分かった。このことは, ブレンディングを行うことで, ノウキャスト予測により CReSS の積分初期の過小評価を補う一方で, 降雨の定常性仮定するノウキャストの欠点を定常性を仮定しない CReSS が補うことができることが示された。

## 8. まとめ

2004 年 10 月 9 日に神奈川県藤沢市に浸水被害をもたらした台風 22 号について, 格子解像度 1 km の雲解像数値モデル CReSS による降雨予測の精度検証を行った。数時間以上の積算雨量の予測に対して, 浸水被害をもたらした強い降雨の 2 時間前から 6 時間前の初期値を用いた実験で予測された藤沢市における積算雨量は, 観測された積算雨量の 5.8% から 22% の誤差に抑えることができた。一方, 強い降雨の 1 時間前の初期値を使った短時間豪雨予測実験では, 積算雨量の誤差が 60% 以上になり, 過小評価となることが分かった。ただし降雨の時間変動については 1 時間前の初期値を使った予測が最も正確だった。CReSS の予測では, 積分開始から 30 分までの降水を予測できないことが過小評価となることが分かった。その期間における予測をノウキャスト法に代用し, 30 分以降をノウキャスト予測と CReSS の予測で平均した結果, ノウキャスト予測と CReSS の予測両方が予測できなかった事例を除いて, 積算雨量の予測精度と降雨の時間変動の正確さが向上した。ブレンディング手法は定常性を仮定するノウキャスト予測の欠点を

数値モデル予測で補うことができる手法であることが本事例で実証された。

現在, CReSS の予測に MP レーダによって観測された速度場を同化する三次元変分法による予測 (CReSS-3DVAR) をリアルタイムで行っており, CReSS 自体による予測精度向上が図られている。今後は CReSS-3DVAR とノウキャスト法をブレンディングする手法を開発し, 更なる精度向上を図る予定である。

## 参考文献

- 1) Bowler, N. E., C. E. Pierce, and A. Seed (2006) : STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges and extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **132**, 2127-2155.
- 2) Dvorak, V. F. (1975) : Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. *Mon. Wea. Rev.*, **103**, 420-430.
- 3) Doswell, C. A. III. (1986) : Short-range forecasting. *Mesoscale Meteorology and Forecasting*. P. Ray, Ed., American Meteorological Society, 689-719.
- 4) Kawabata, T., H. Seko, K. Saito, T. Kuroda, K. Tamiya, T. Tsuyuki, Y. Honda, and Y. Wakazuki (2007) : An Assimilation and forecasting experiment of the Nerima Heavy Rainfall with a cloud-resolving nonhydrostatic 4-dimensional variational data assimilation system. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 255-276.
- 5) kato, A., and M. Maki (2009) : Localized heavy rainfall near Zoshigaya, Tokyo, Japan on 5 August 2008 observed by X-band polarimetric radar – preliminary analysis. *SOLA*, **5**, 89-92.
- 6) K. Tsuboki (2007) : High-resolution simulations of high-impact weather systems using the cloud-resolving model on the Earth simulator. *High resolution numerical modeling of the Atmosphere and Ocean*, 141-156.
- 7) Wilson, J. W., N. A. Crook, C. K. Mueller, J. Sun, and

- M. Dixon, (1998) : Nowcasting Thunderstorms: A status Report. Bull. Amer. Meteor. Soc., **79**, 2079-2099.
- 8) Weisman. M. L., W. C. Skamarock, J. B. Klemp (1997): The resolution dependence of explicitly modeled convective systems. Mon. Wea. Rev., **125**, 527-548.
- 9) 加藤 敦, 真木雅之, 岩波 越, 三隅良平, 前坂 剛 (2009): マルチパラメータレーダを用いたナウキャスト. 水文水資源学会誌, **22**, 372-385. (in Japanese)
- 10) 気象庁(2004) : 災害をもたらした気象事例 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2004/20041007/20041007.html> (in Japanese)
- 11) 内閣府(2004) : 防災白書(平成 16 年度版) (in Japanese)
- 12) 高堀 章, 前坂 剛, 三隅良平 (2009) : Xバンドマルチパラメータレーダによる降雨量推定－複数仰角 PPI データを用いた改善効果について. 防災科学技術研究所研究報告, **73**, 41-47
- 13) 坪木和久, 榊原 篤 (2006): 雲解像モデルを用いた台風に伴う局地豪雨の量的予測実験 -2004 年 10 月 20 日の台風 0423 号に伴う近畿地方北部の豪雨を例として-. 自然災害科学, **25-3**, 351-373

(原稿受理日 : 2010 年 9 月 22 日)

## 要 旨

2004 年 10 月 9 日に神奈川県藤沢市に浸水被害をもたらした台風 22 号について、格子解像度 1 km の雲解像数値モデル CReSS による降雨予測の精度検証を行った。数時間以上の積算雨量の予測に対して、浸水被害をもたらした強い降雨の 2 時間前から 6 時間前の初期値を用いた実験で予測された藤沢市における積算雨量は、観測された積算雨量の 5.8 - 22.2 % の誤差に抑えることができた。強い降雨の 1 時間前の初期値を使った短時間豪雨予測実験では、積算雨量の誤差が 60 % 以上になり、過小評価となることが分かった。CReSS の積分開始から 30 分間の予測をナウキャスト法に代用し、それ以降をナウキャスト予測とブレンディングを行うことで、積算雨量の誤差が 30 から 50 % 減った。

**キーワード：**量的降雨予測，雲解像数値モデル，ナウキャスト法，ブレンディング手法