

2013年台風26号に伴う伊豆大島の大雨
—レーダーで観測された降雨の特徴について—

三隅良平*・清水慎吾*・出世ゆかり*

Heavy Rainfall over Izu-Oshima Island Caused by Typhoon Wipha in 2013
— Characteristics of precipitation observed by radars —

Ryohei MISUMI, Shingo SHIMIZU, and Yukari SHUSSE

* Storm, Flood and Landslide Research Unit, Department of Monitoring and Forecasting Research,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
misumi@bosai.go.jp, shimizus@bosai.go.jp, shusse@bosai.go.jp

Abstract

This paper describes the characteristics of the heavy precipitation over Izu-Oshima Island caused by Typhoon Wipha from 15 to 16 October 2013 using the precipitation map produced by merging data from 13 rain gauges and radar echoes, and the polar-coordinate data from the Japan Meteorological Agency weather radars. The results are summarized as follows: 1) heavy rainfall was concentrated in the northern part of the island, where the maximum 24-hour rainfall was estimated at 1,038 mm. 2) Heavy rainfall occurred along a local front between the warm south-easterly associated with the typhoon and the north-easterly from the land. The local front had a shallow structure which was obscure above the 850-hPa level. 3) Band-shaped radar echoes appeared over the island during the heavy rainfall, forming along the local front. Volumetrically scanned radar data suggested that these echoes were associated with an “embedded convective type”, that is, a stratiform precipitation containing shallow convective clouds within it. No clear difference was found in the structure of the precipitation system between over the ocean and over the land. 4) The maximum radar reflectivity was approximately 40 dBZ equivalent to about 12 mm h⁻¹ in rainfall intensity. Strong rainfall with intensity above 100 mm h⁻¹ was not observed by the ground-based radars.

Key words: Heavy rainfall, Izu Oshima, Typhoon

1. はじめに

2013年10月10日21時にマリアナ諸島付近で発生した台風26号は、16日明け方に強い勢力で伊豆諸島北部を通過した。この台風により、東日本、北日本の太平洋側を中心に大雨となった。特に東京都大島町では、1時間に100mm以上の猛烈な雨が降り、24時間雨量が824mmに達するなど、記録的な大雨となった(内閣府, 2013)。本報告は、雨量計データや気象レーダーに基づいて、2013年台風26号に伴

う大雨の特徴を記述することを目的としている。

一般に、台風に伴う降雨は地形効果によって強く増幅される(Staff members of Tokyo University, 1969; Sakakibara and Takeda, 1973)。その理由は、台風に伴う湿った気流が山地で雲を形成し、雨滴が山岳上の雲の中で併合成長するためであると考えられている(Gocho, 1978; Misumi, 1996)。このように、上層の雲(シーダ)から供給される降水粒子が、下層の雲(フィーダ)で成長する過程をシーダ・フィーダ機構

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 水・土砂防災研究ユニット

と呼んでいる。2013年台風26号に伴う大雨において、このようなメカニズムが働いていたかどうかを解明することは、データが限られているため困難である。しかし雨量計や気象レーダーで観測された降水システムの特徴を整理しておくことは、今後大雨のメカニズムを考察する上での貴重な資料となると考えられる。

2013年台風26号に伴う大雨に関して、降雨の特徴についてはすでに数値シミュレーション(気象研究所, 2013)や雨量計データ(山本ほか, 2014)に基づく報告がなされている。しかし地上の気象レーダーに基づく解析結果の報告はまだない。本報告では、伊豆大島での13カ所の雨量計データを収集するとともに、気象庁レーダーの極座標データを用いて、伊豆大島に大雨をもたらした降水系の特徴を記述する。

2. データ

表1に収集した雨量計データの一覧を、図1にその配置を示す。気象庁(2カ所)および東京都(5カ所)のデータは、それぞれのウェブページで公開されているデータをダウンロードした。NTTドコモの雨量

計(2カ所)は、同社が全国に展開している「環境センサーネットワーク」の一部であり、伊豆大島には2カ所に設置されている。これらのデータをNTTドコモから購入した。防災科学技術研究所の雨量計(4カ所)は、基盤的火山観測網(V-net)の観測点に設置されている雨量計である。

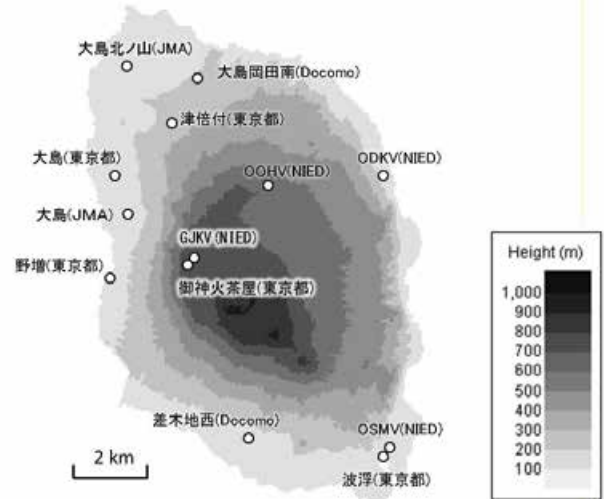


図1 伊豆大島における雨量計の配置と標高
Fig.1 Distribution of raingauges over Izu-Oshima Island. Gray shades indicate elevations.

表1 収集した雨量計データの一覧
Table 1 List of raingauges used in this study.

地点名	位置	管理者	時間間隔
大島	大島町元町字家の上 大島特別地域気象観測所	気象庁 (JMA)	10分
大島北ノ山	大島町元町字北の山 大島空港分室	気象庁 (JMA)	10分
大島	大島町元町字オンダシ 222-1	東京都	10分
波浮	大島町波浮港 17	東京都	10分
野増	大島町野増字大宮 216	東京都	10分
御神火茶屋	大島町野増字上山 764-20	東京都	10分
津倍付	大島町元町字津倍付 56-2	東京都	10分
大島岡田南	東京都大島町岡田沢立 103-2	NTT ドコモ (Docomo)	1分
差木地西	東京都大島町差木地字マツノクボ 118-4118-7	NTT ドコモ (Docomo)	1分
ODKV	北緯 34.75774, 東経 139.43542	防災科学技術研究所 (NIED)	1時間
OOHV	北緯 34.75424, 東経 139.40312	防災科学技術研究所 (NIED)	1時間
GJKV	北緯 34.73804, 東経 139.38072	防災科学技術研究所 (NIED)	1時間
OSMV	北緯 34.69114, 東経 139.43953	防災科学技術研究所 (NIED)	1時間

レーダーのデータは、気象庁による「5 分毎 1 km メッシュ全国合成レーダーエコー強度 GPV」, 「レーダー毎極座標レーダーエコー強度 GPV」および「レーダー毎極座標ドップラー速度 GPV」を使用した。「5 分毎 1 km メッシュ全国合成レーダーエコー強度 GPV」は気象庁が保有するレーダーで観測されたエコー強度(換算降水強度)を合成したもので、5 分間隔、水平分解能 1 km メッシュ(緯度 0.5 分, 経度 0.75 分)で提供されている。「レーダー毎極座標レーダーエコー強度 GPV」は距離レンジ 150 km, 250 km, 400 km の 3 種類を混ぜた 10 分間隔 26 仰角のレーダー反射強度のボリュームスキャンデータである。一方、「レーダー毎極座標ドップラー速度 GPV」は距離レンジ 150 km で 11 仰角, 距離レンジ 250 km で 2 仰角の計 13 仰角のドップラー速度データである。使用したのは、気象庁東京レーダー(千葉県柏市)および気象庁静岡レーダー(静岡県菊川市)のデータである。これらのレーダーの位置および 150 km の距離レンジを図 2 に示している。

これら 2 台のレーダーデータを利用して、10 分間隔のデカルト座標の反射強度データを作成した。作成したデータの水平格子間隔は東西 $0.00545^\circ \times$ 南北 0.0045° , 鉛直方向の格子間隔は 250 m である。極座標からデカルト座標への変換は、クレスマン内挿法(Cressman, 1959)で行った。内挿に必要な影響球の半径を 1,000 m とした。また 2 台のレーダーのドップラー速度データを用いて、清水と前坂(2007)の手法により風ベクトルを計算した。

他に、伊豆大島周辺の大気場を調べるため、「気象庁メソ数値予報モデル GPV」(以下、MSM と呼ぶ)を利用した。これは、気象業務支援センターを通して 1 日に 8 回配信される数値予報の結果で、水平解像度は地上で南北 $0.05^\circ \times$ 東西 0.0625° , 等圧面データ(16 層)においては南北 $0.1^\circ \times$ 東西 0.125° である。また解析雨量については「1 km メッシュ解析雨量 GPV」を利用した。

3. 2013 年台風 26 号の概要

2013 年台風 26 号は、10 月 10 日 21 時にマリアナ諸島付近で発生し、16 日明け方に強い勢力で伊豆諸島北部を通過した。図 3 に 10 月 12 日から 17 日の地上天気図を示す。台風を中心気圧は 10 月 14 日 09 時に 935 hPa に達し、強い勢力のまま伊豆大島を

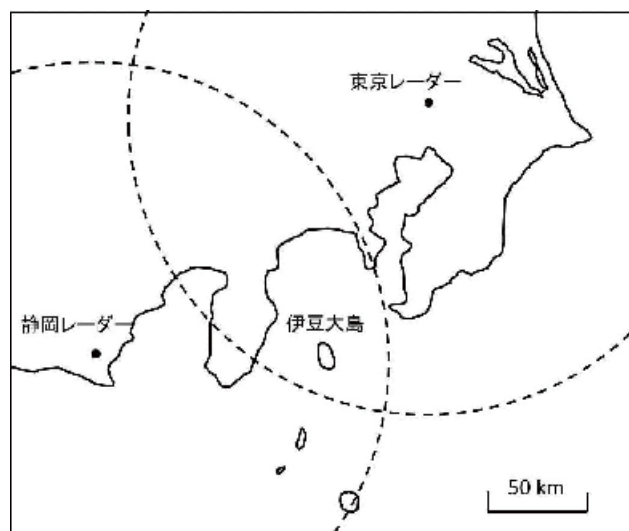


図 2 気象庁東京レーダーおよび静岡レーダーの位置。破線は 150 km の距離レンジを示している。

Fig. 2 Locations of Tokyo radar and Shizuoka radar of the Japan Meteorological Agency. Dashed lines indicate the 150-km distance from the radars.

通過した。その後、10 月 16 日 15 時には温帯低気圧に変わった(東京管区气象台, 2014)。台風を中心は伊豆大島の東側約 60 km の海上を通過し、伊豆大島は台風の進行方向に対して左側に位置していた(図 4)。

MSM の初期値に基づく、伊豆大島周辺の地上、850 hPa 面、および 500 hPa 面での気圧場(または高度場)、気温、風の分布を図 5、図 6 および図 7 に示す。地上には局地前線が存在しており(図 5 の破線)、ここでは台風の周辺を回る暖かい南東風と、陸地から海へ吹き込む北東風が収束している。この局地前線は、大雨が観測されていた期間、伊豆大島付近に停滞していた。伊豆大島は局地前線の北西側に位置していて、地上では北東風が吹き込んでいた。一方、850 hPa 面には局地前線が明確には見られず(図 6)、台風が接近する 16 日 6 時以前は伊豆大島周辺では南東風が卓越している。500 hPa 面における伊豆大島付近での風の分布もまた 850 hPa 面とよく似ている(図 7)。

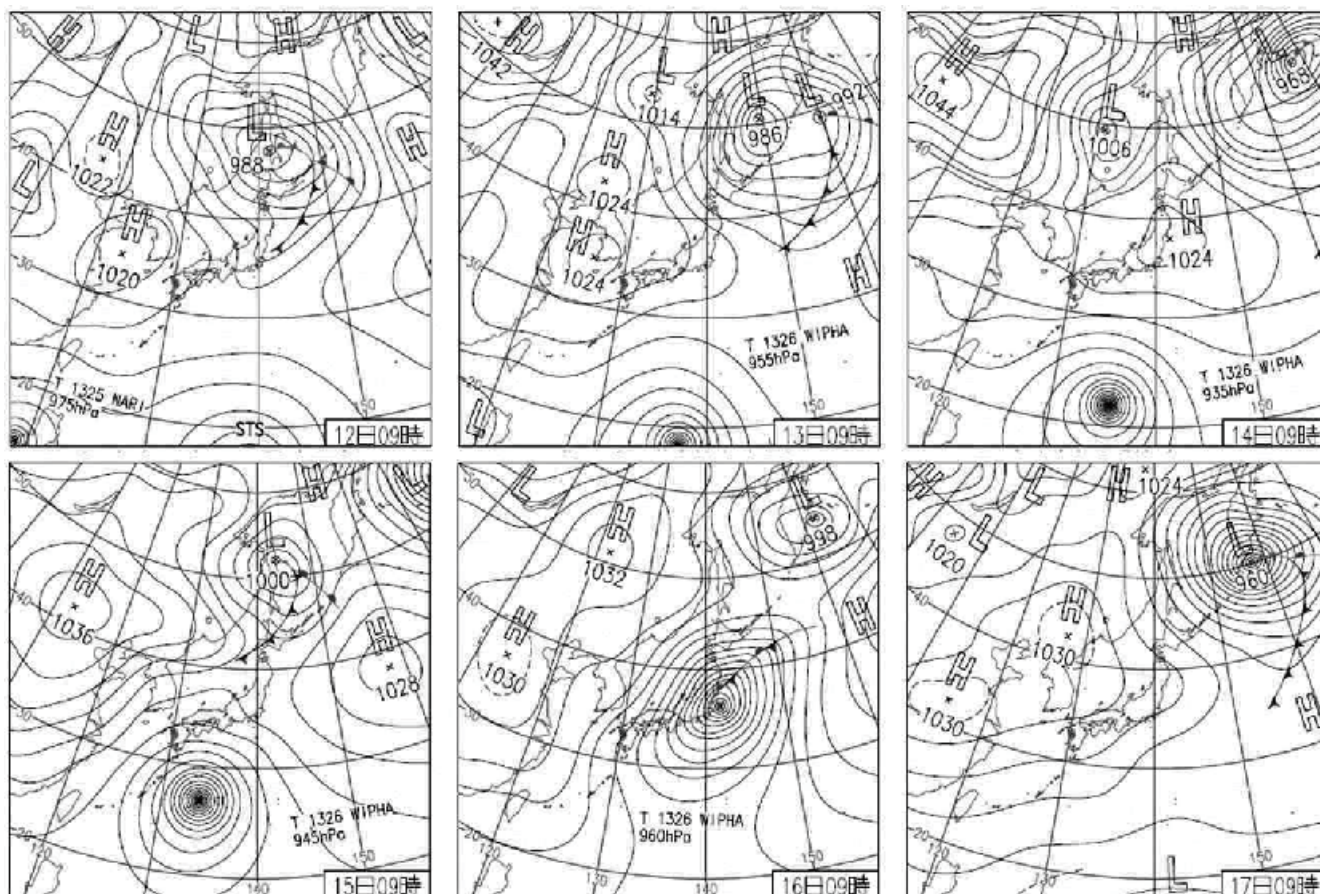


図3 2013年10月12日から16日までの地上天気図(気象庁, 2013)
 Fig. 3 Surface weather charts from 12 to 16 October 2013 (Japan Meteorological Agency).

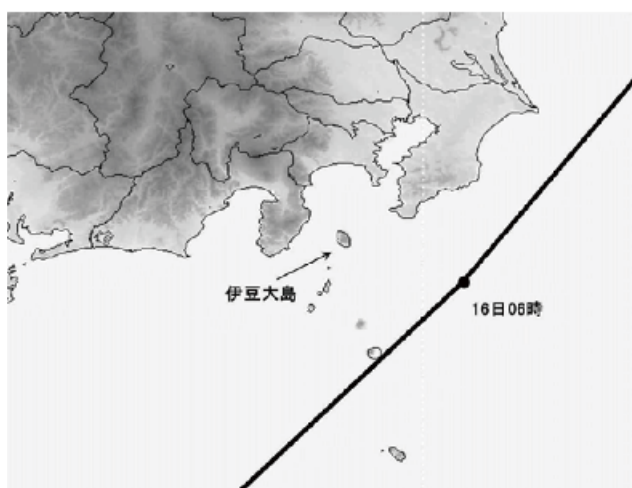


図4 台風26号の経路(防災科学技術研究所, 2014).
 気象庁熱帯低気圧地区特別気象センター提供のベストトラックデータに基づく.

Fig. 4 The track of Typhoon Wipha derived from the Japan Meteorological Agency RSMC Best Track Data.

図8は気象庁5分毎1 kmメッシュ全国合成レーダーエコー強度GPVに基づく3時間毎の降雨強度の分布を示す。台風の接近に伴い、10月15日9時に降雨帯が西日本にかかり始め、12時には雨域が関東地方にも広がっている。その後、近畿以东の広い範囲に雨が観測されているが、16日0時から6時にかけて、関東の狭い範囲に 10 mm h^{-1} 以上の強い雨が集中している。16日9時には台風の移動に伴い、雨域も東北地方へ移動した。

図9は1 kmメッシュ解析雨量GPVに基づく、10月15日21時から16日9時における伊豆大島周辺の雨量分布を示す。強い降雨が伊豆大島周辺に解析されており、12時間雨量の最大値は伊豆大島周辺で652 mmに達している。

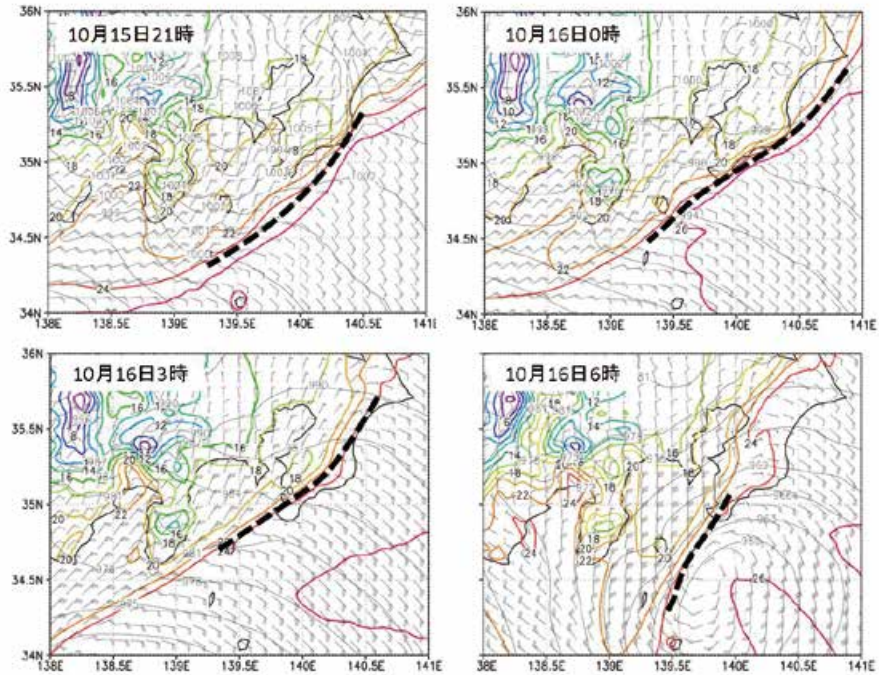


図 5 MSM の初期値に基づく，地上の気圧（黒い実線），気温（色つきの実線）および風（矢羽根）の分布．破線は局地前線を示す．

Fig. 5 Pressure (black contours), temperature (color contours) and wind (barbs) at the surface derived from the initial values of the Japan Meteorological Agency mesoscale forecast model. Broken lines indicate local fronts.

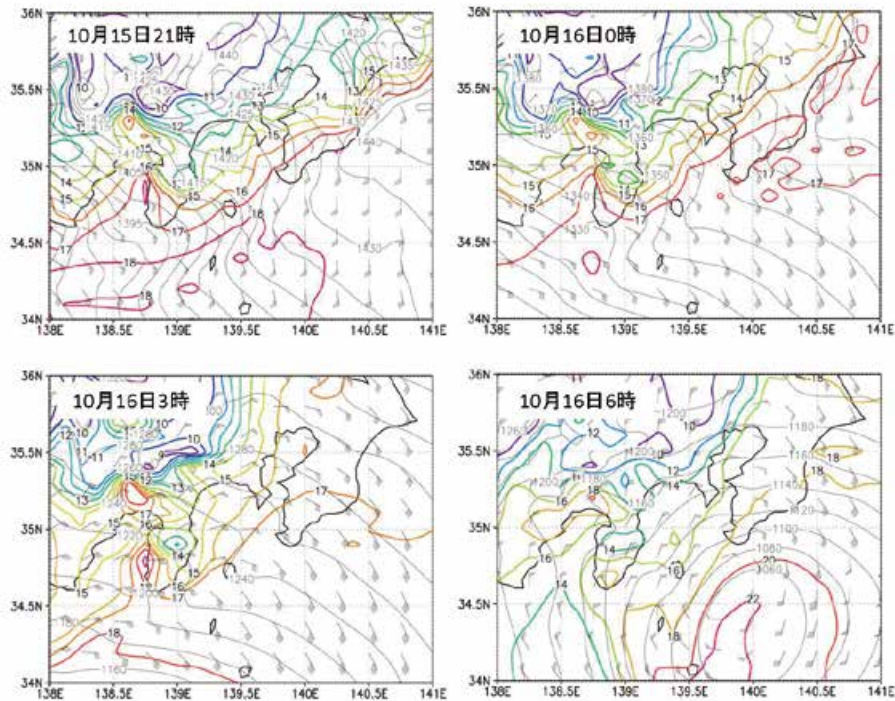


図 6 MSM の初期値に基づく，850 hPa 面の高度（黒い実線），気温（色つきの実線）および風（矢羽根）の分布

Fig. 6 Geopotential height (black contours), temperature (color contours) and wind (barbs) at the 850-hPa level derived from the initial values of the Japan Meteorological Agency mesoscale forecast model.

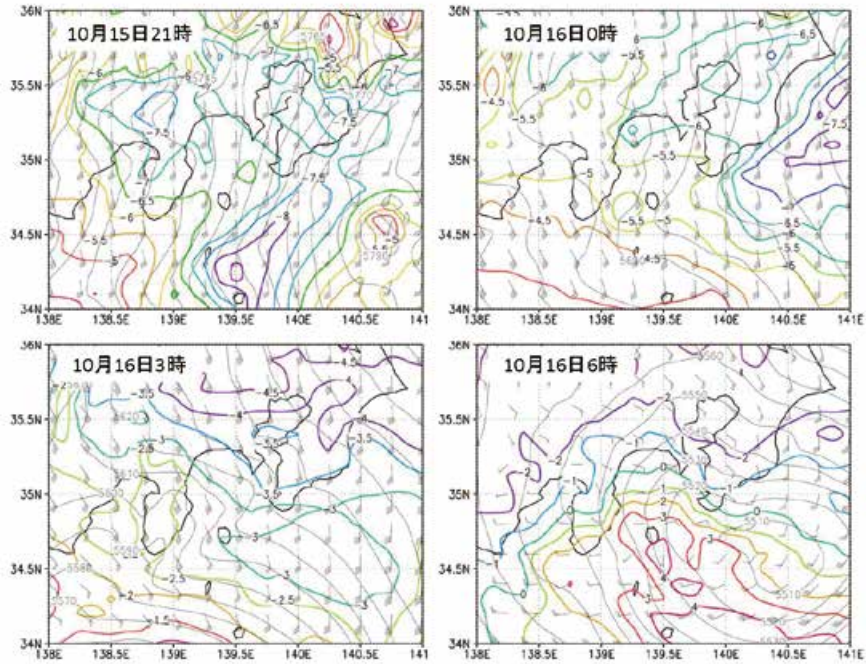


図7 MSMの初期値に基づく、500 hPa面の高度(黒い実線)、気温(色つきの実線)および風(矢羽根)の分布

Fig. 7 Geopotential height (black contours), temperature (color contours) and wind (barbs) at the 500-hPa level derived from the initial values of the Japan Meteorological Agency mesoscale forecast model.

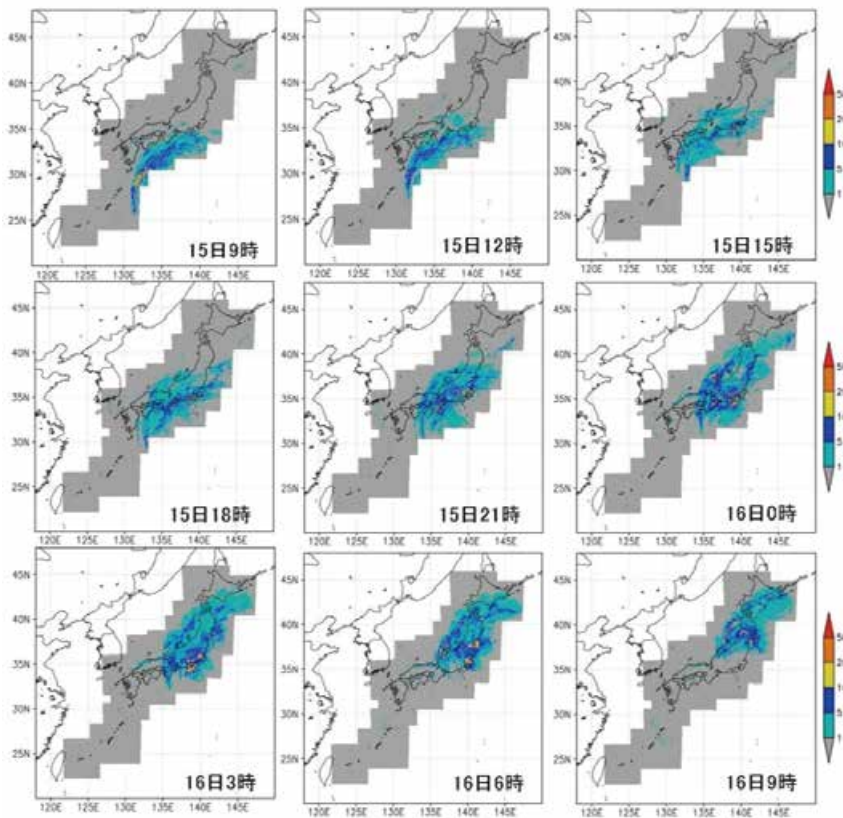


図8 気象庁5分毎1kmメッシュ全国合成レーダーエコー強度GPVに基づく降水強度(mm h⁻¹)の分布

Fig. 8 Distribution of precipitation intensity (mm h⁻¹) derived from the Japan Meteorological Agency 1-km mesh 5-minute interval composite radar data.

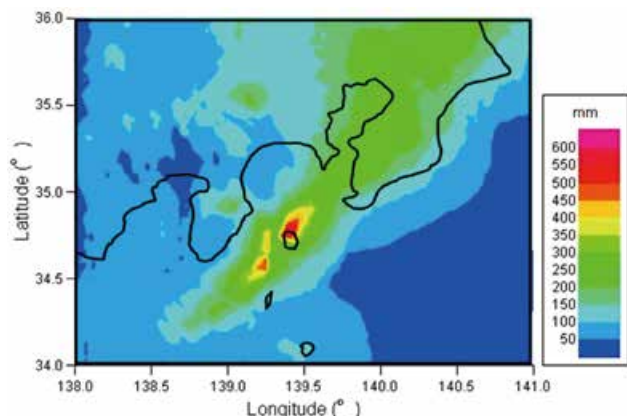


図9 解析雨量に基づく、2013年10月15日21時から16日9時までの総雨量の分布

Fig. 9 Distribution of total rainfall from 21 JST on 15 October 2015 to 09 JST on 16 October 2013 derived from the radar-raingauge analyzed precipitation of Japan Meteorological Agency.

4. 雨量分布の復元

気象庁大島特別地域気象観測所では、最大24時間降水量の記録を更新し、824 mmの雨量が観測された。しかし気象庁による雨量観測点は島内に2カ所しかなく、伊豆大島における雨量分布の詳細はよく分かっていない。この章では収集した13カ所の雨量計データと5分毎1 kmメッシュ全国合成レーダーエコー強度 GPV を合成して、伊豆大島における雨量分布の再現を試みる。

雨量計は比較的正確に雨量を計測することができるが、地点の値であり、空間的な雨量の分布を測定することができない。一方、気象レーダーは空間的な雨量分布を測定することができるが、その値は大きな誤差を含む。雨量計と気象レーダーを相補的に用いることにより、雨量の水平分布を求めることができる。ここでは以下に説明する Brandes (1975) の方法で、レーダーデータと雨量計データの合成を行った。

今、雨量計のある地点 i における雨量を R_i 、該当する地点におけるレーダーで推定した雨量を r_i とするとき、補正係数 f_i を以下のように定義する。

$$f_i = \frac{R_i}{r_i} \quad (1)$$

任意のレーダー格子点における補正係数を F とするとき、その第一推定値を以下のような重み付き平均で計算する。

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^N WT_i f_i}{\sum_{i=1}^N WT_i} \quad (2)$$

ここで N は雨量計の個数である。また WT_i は重み関数で、以下の式で定義される。

$$WT_i = \exp\left(-\frac{d_i^2}{EP}\right) \quad (3)$$

d_i は i 番目の雨量計とレーダー格子点の距離を表す。また EP は各雨量計の影響面積を決めるパラメータである。 EP の値を大きくすると、雨量分布は滑らかになるが、個々の雨量計の測定値が周囲の雨量計の測定値の影響を受けて損なわれてしまう。一方 EP の値を小さくしすぎると、雨量計の周辺で値が急変する不自然な雨量分布となる。本研究では、試行錯誤により、できるだけ EP の値が小さくかつ雨量分布が滑らかになる値として、 $EP = 1 \text{ km}^2$ に設定した。

各雨量計地点における補正係数の残差を以下の式で計算する。

$$D_i = f_i - F_1 \quad (4)$$

(4) において、補正係数の第一推定値 (F_1) は、雨量計の直近のレーダー格子点での値を用いる。次に EP の値を 50% に減じ、第一推定値を以下の式で修正する。

$$F = F_1 + \frac{\sum_{i=1}^N WT_i D_i}{\sum_{i=1}^N WT_i} \quad (5)$$

最終的に、レーダーで推定された雨量に F を掛けることで、レーダーと雨量計との合成雨量が作成される。

1時間間隔の雨量計データと5分間隔のレーダーデータを合成するため、気象庁1 kmメッシュ全国合成レーダーエコー強度 GPV の降水強度を積算することにより、レーダーによる前1時間雨量を作成した。次に雨量計データとして、表2に示した前1時間雨量の値を用い、前述の方法でレーダーデータとの合成を行った。ただし10月16日2時以降のGJKVの雨量計データ、および16日3時以降の

OOHV と御神火茶屋における雨量計データには誤差が含まれている可能性があるため、計算には用いなかった。

この方法で作成したレーダーと雨量計の合成雨量の誤差を推定するため、比較的孤立している雨量計である OOHV (図 1) を除いて試験的に合成雨量を作成し、OOHV 地点における雨量計の値と比較した(図 10)。10 月 15 日 9 時から 16 日 2 時までの総雨量は、雨量計で 565.5 mm, 合成雨量で 405.9 mm であり、合成雨量は 28 % 過少評価していた。また 1 時間雨量の相対誤差の平均値は 31 % であり、合成雨量は

すべての時刻で過少評価していた。したがって雨量計の少ない領域においては、次に示す復元された合成雨量の水平分布が過少評価のバイアスをもつ可能性があることに注意して見るべきである。

図 11 は、復元された 2013 年 10 月 15 日 9 時～16 日 9 時の 24 時間雨量の分布を示している、大きな雨量が島の北部に解析されており、その値は局所的に 1,038 mm に達した。一方、図 12 に 1 時間雨量の分布を示す。注目すべきは 16 日 3 時および 4 時の前 1 時間雨量で、三原山の北西斜面で 120 mm を超えていることである。

表 2 雨量計で記録された前 1 時間雨量
Table 2 Records of hourly rainfall observed by raingauges.

	大島北ノ山 (JMA)	大島岡田南 (Docomo)	津倍付 (東京都)	大島 (東京都)	大島 (気象庁)	野増 (東京都)	OOHV (NIED)	ODKV (NIED)	GJKV (NIED)	御神火茶屋 (東京都)	差木地西 (Docomo)	波浮 (東京都)	OSMV (NIED)
2013/10/15 1:00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013/10/15 2:00	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0
2013/10/15 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013/10/15 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013/10/15 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013/10/15 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013/10/15 7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013/10/15 8:00	0	0	0	0	0	0	5	0.5	1.5	0	0	0	0
2013/10/15 9:00	1	3	2	1	1.5	0	8.5	2.5	5	2	0	0	1
2013/10/15 10:00	2	8	4	2	2.5	1	4.5	2.5	2.5	4	0.5	1	2.5
2013/10/15 11:00	2	7	4	3	2	2	14.5	11	9.5	2	2	1	13
2013/10/15 12:00	3	12	10	8	10.5	7	13	4.5	8.5	11	17	14	7
2013/10/15 13:00	6.5	13	11	7	10	8	17	9	11	10	8	7	12.5
2013/10/15 14:00	6.5	18	13	10	12.5	9	21.5	12.5	15.5	13	11	13	16.5
2013/10/15 15:00	10.5	25	17	14	18	11	24.5	11	17	17	16.5	20	16.5
2013/10/15 16:00	9.5	23	20	17	21.5	13	21.5	11.5	21.5	20	13	19	9.5
2013/10/15 17:00	12.5	27.5	22	21	26.5	20	23	13.5	21	26	14	14	10
2013/10/15 18:00	10.5	22.5	19	18	24	18	28	17.5	15	24	10.5	14	7.5
2013/10/15 19:00	15	31.5	22	15	21.5	12	22	13	12.5	17	7	11	5
2013/10/15 20:00	6.5	18.5	13	10	15	11	26	19	16	13	3.5	8	7.5
2013/10/15 21:00	6	17.5	14	11	22	16	31	21	16	17	7	11	7.5
2013/10/15 22:00	10	29	18	17	28	16	34.5	35	21	15	6	12	5
2013/10/15 23:00	14.5	38.5	23	21	29	20	58.5	53.5	33.5	20	7.5	9	24.5
2013/10/16 0:00	29	71.5	53	46	54	30	71.5	50	44	38	20	29	24.5
2013/10/16 1:00	40	91.5	69	47	69.5	45	70.5	40.5	60	47	28	39	31
2013/10/16 2:00	40.5	80	69	68	92	68	84	51	6.5	73	45	56	31
2013/10/16 3:00	52.5	99.5	77	91	118	93	10.5	60		54	51	57	38
2013/10/16 4:00	61.5	117.5	89	98	118.5	110		36			57	61	18.5
2013/10/16 5:00	56.5	111.5	82	81	97.5	78		21			31	22	12
2013/10/16 6:00	16	31	26	22	29.5	33		0			40	27	0.5
2013/10/16 7:00	0	1	1	1	0.5	0		0			2	1	0
2013/10/16 8:00	0	0	0	0	0	0		0			0	0	0
2013/10/16 9:00	0	0	0	0	0	0		0			0	0	0
2013/10/16 10:00	0	0	0	0	0	0		0			0	0	0
2013/10/16 11:00	0	0	0	0	0	0		0			0	0	0
2013/10/16 12:00	0	0	0	0	0	0		0			0	0	0
計	412	897.5	679	629	824	621	590	496	337.5	423	397.5	446	301

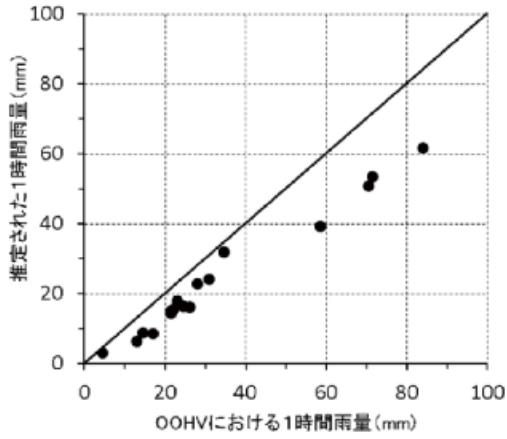


図 10 OOHV 雨量計の 1 時間雨量と、OOHV を除いて作成した合成雨量による OOHV 地点の推定雨量の比較

Fig. 10 Comparison of hourly rainfall at OOHV between the raingauge and the radar-raingauge composite data produced without OOHV data.



図 11 2013 年 10 月 15 日 9 時から 16 日 9 時までの 24 時間雨量の分布. 白丸は雨量計の位置を表す.

Fig. 11 Distribution of 24-hour rainfall from 09 JST on 15 October 2013 to 09 JST on 16 October 2013. Raingauge stations are represented by white circles.

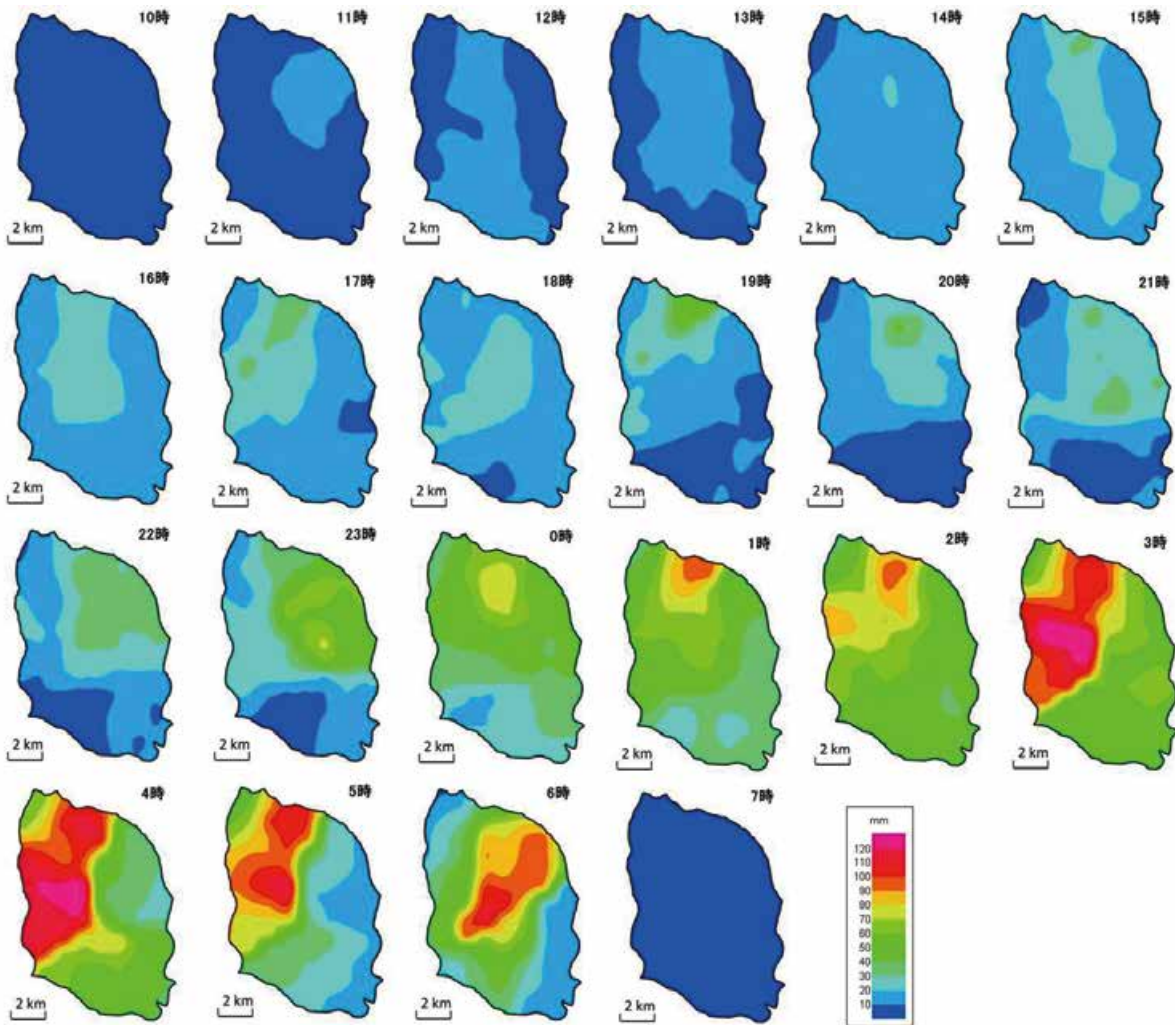


図 12 復元された、2013 年 10 月 15 日 9 時から 16 日 7 時の伊豆大島における前 1 時間雨量の分布

Fig. 12 Distribution of retrieved hourly rainfall over Izu-Oshima Island from 09 JST on 15 October to 07 JST on 16 October 2013.

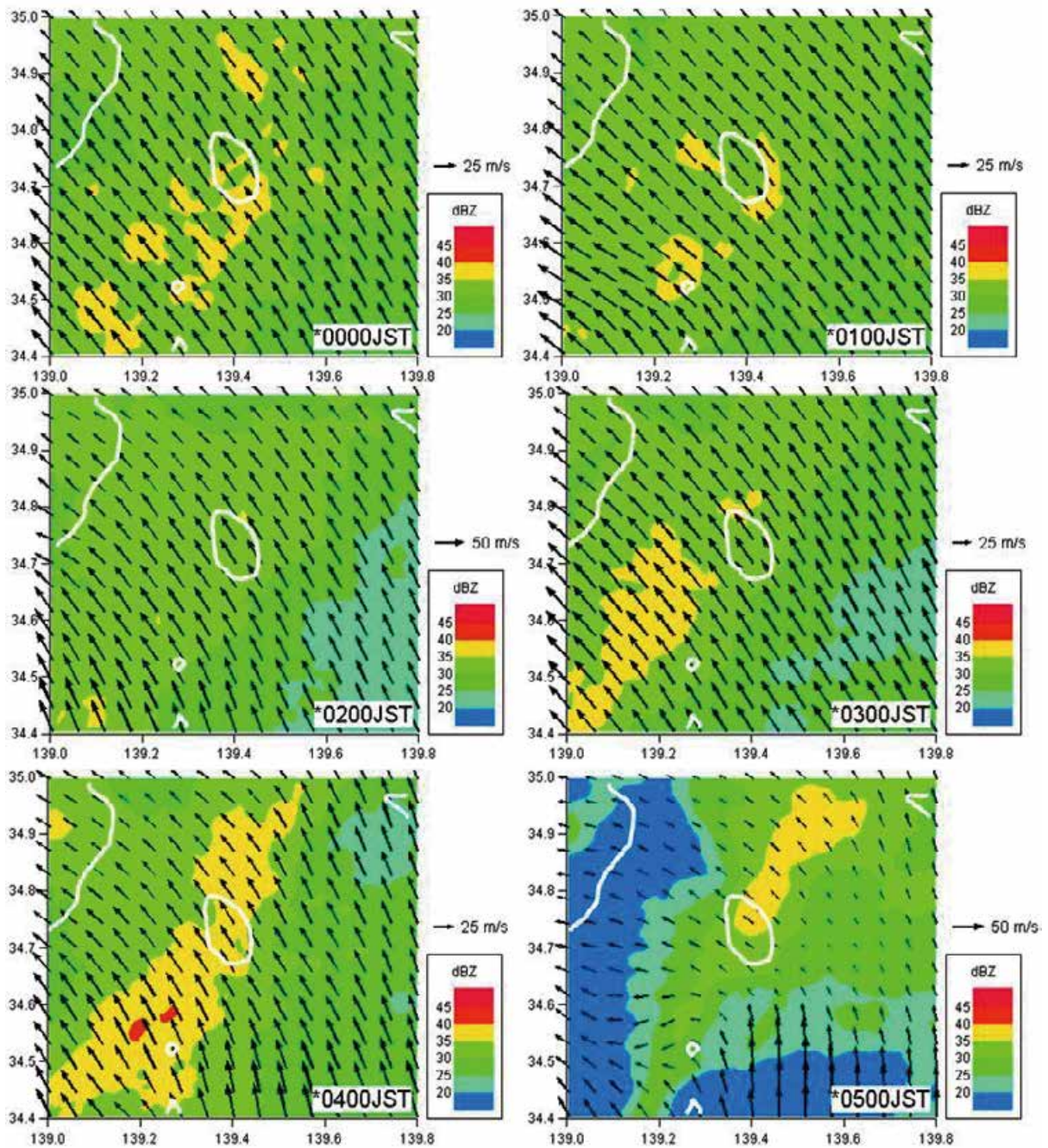


図 13 2013 年 10 月 16 日における、レーダー反射強度および風ベクトルの高度 3 km における水平断面図。白い線は海岸線を示す。

Fig. 13 Horizontal cross sections of radar reflectivity and wind vectors on 16 October 2013. White lines indicate coastal lines.

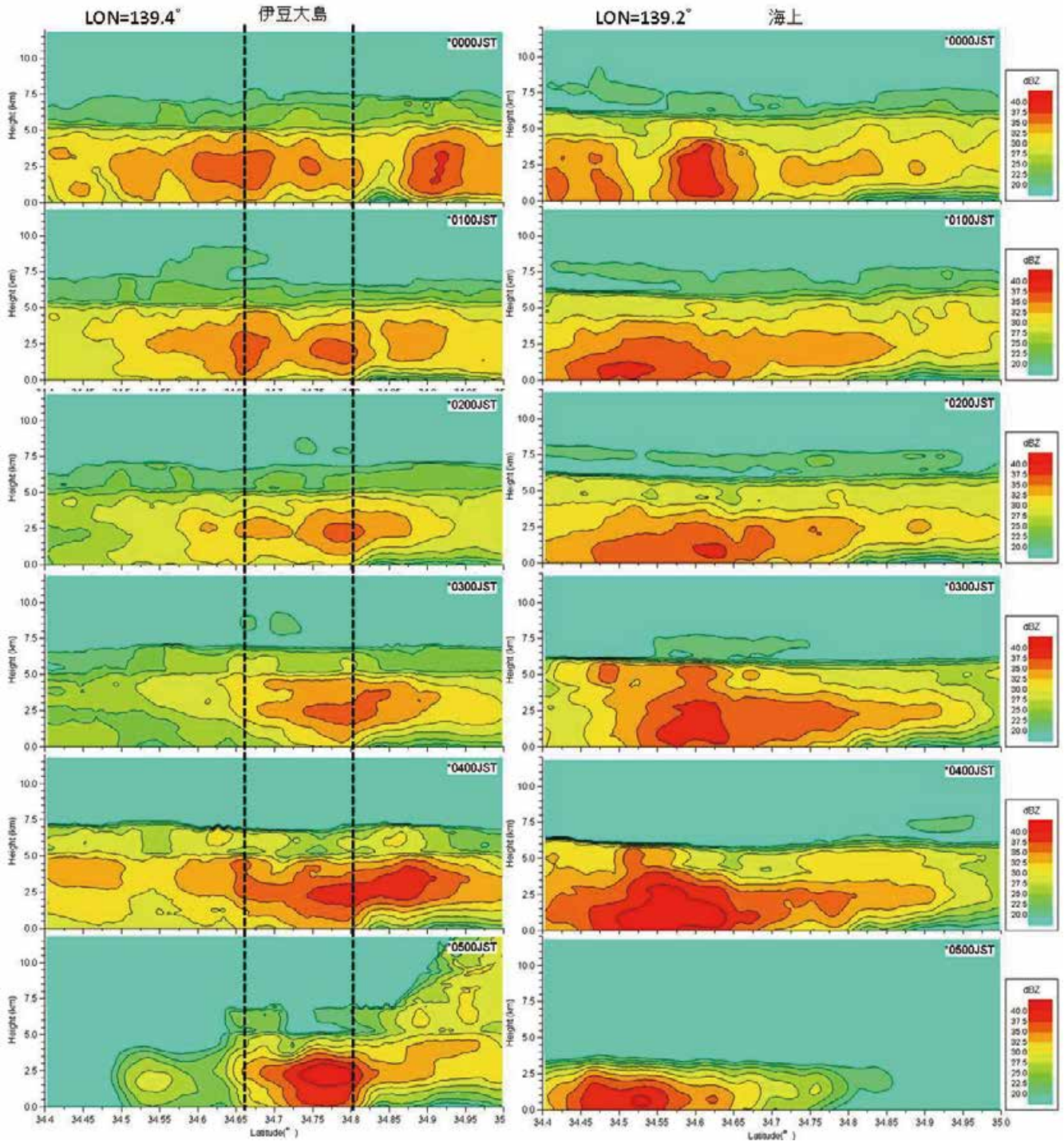


図 14 東経 139.4°(左; 伊豆大島上) および東経 139.2°(右; 海上) の, 2013 年 10 月 16 日におけるレーダー反射強度の南北-鉛直断面図. 左図の黒い線は伊豆大島の範囲を示す.

Fig. 14 Vertical cross sections of radar reflectivity along 139.4°E (left) and 139.2°E (right) on 16 October 2013. The area of Izu-Oshima Island is represented by black broken lines in the left panels.

5. レーダーエコーの特徴

気象庁静岡レーダーおよび東京レーダーのデータに基づいて作成された伊豆大島周辺における高度3 kmのレーダー反射強度および風ベクトルの分布を示す(図13)。伊豆大島周辺には、25～35 dBZ (1.3～5.6 mm h⁻¹相当)の層状のレーダーエコーが広く覆っており、その中に35 dBZよりも強いエコー域が局所的に見られる。全般に、強いエコーの領域は南西から北東方向に帯状に広がっており、地上付近に解析された局地前線(図5)に対応している。ただし地上の雨量計で観測された100 mm h⁻¹に相当するような強いエコーはこの高度では観測されていない。この高度の風向は概ね南東で、風速は約30 m s⁻¹である。5時には台風の接近により風向が乱れている。

図14は東経139.4°(伊豆大島の上)および139.2°(海洋上)に沿う、レーダー反射強度の南北-鉛直断面図を示している。20 dBZで定義されたレーダーエコー頂は概ね高度7.5 kmよりも低く、豪雨時にしばしば見られるような高度10 kmを超えるエコーは見られない。高度5 kmより下層には、いくつかのセル状の強いエコー域が見られる。ただしレーダー反射強度は高々40 dBZ (11.6 mm h⁻¹相当)であり、55 dBZ (100 mm h⁻¹相当)の強いレーダーエコーは観測されていない。

伊豆大島を通る鉛直断面(図12左)では、島の北部に強いセル状のエコーが見られる。このことは、島の北部で強い雨が観測されたことと整合する。一方、海洋上の鉛直断面(図12右)においても強いセル状エコーが観測されており、これらの鉛直断面図で見る限り、島の上空と海洋上とでレーダーエコーの特徴に違いは見られない。

一般に、降水をもたらす雲には対流性の雲と層状性の雲がある。台風に伴う豪雨は、しばしば層状性の雲によってもたらされることが知られている(Gocho, 1978; Misumi, 1996)。伊豆大島に大雨をもたらした雲のタイプをSteiner *et al.* (1995)の方法で判別した。この方法は、レーダーエコーの水平断面図から、その「強度」および「尖り具合(peakedness)」により対流域、層状域を識別するものである。

高度3 kmにおけるレーダーエコーの水平分布にSteiner *et al.* (1995)の方法を適用したところ、大部分の領域が「層状域」に判別された。図15aは気象

庁伊豆大島特別地域観測所の上空における、層状域(S)と対流域(C)の判別結果を示している。10月16日0:00～3:30の時間帯において、地上では50～120 mm h⁻¹の激しい雨が観測されているにもかかわらず、上空で観測されたレーダーエコーのタイプは「層状域」であった。これは40 dBZを超えるような強いレーダーエコーがほとんど観測されていないことや、顕著なレーダーエコーの極大域が見られないためである。3:30以降は、レーダーエコーの一部が「対流域」に判別される。

このように、伊豆大島に大雨をもたらした降水システムの大部分は、見かけ上「層状域」に判定される。しかし明確なブライトバンドが見られないことから、単純な層状雲ではなく、層状性降水の中に対流雲が埋め込まれているEmbedded Convective Type (Shusse *et al.* 2009)に分類するのが妥当と思われる。

図16はデュアル・ドップラーレーダー解析に基づく、気象庁大島特別地域観測所のホドグラフ(高度別の風の分布)を示す。地上と高度1,250 mの間に非常に強い鉛直シアアがある。これは図5に示した浅い局地前線を反映している。高度1,250 mより上空では風向、風速の変化は小さく、30～40 m s⁻¹の南東風が解析されている。

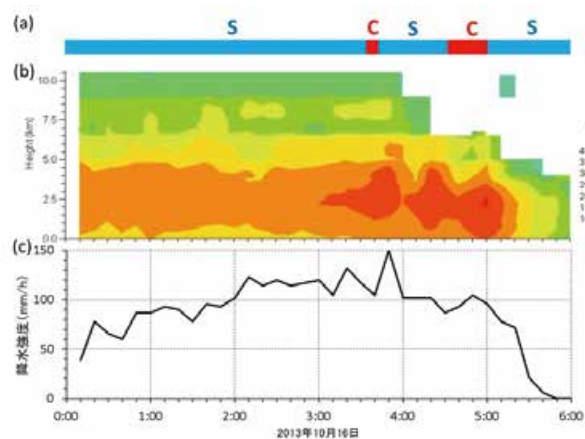


図15 気象庁大島特別地域観測所における、(a)対流域(C)と層状域(S)の判別結果、(b)レーダー反射強度の時間-高度断面図、(c)地上の降水強度の時間変化

Fig. 15 (a) Discrimination of convective precipitation (C) and stratiform precipitation (S), (b) time-height section of radar reflectivity, and (c) precipitation intensity at Izu-Oshima meteorological observatory of the Japan Meteorological Agency.

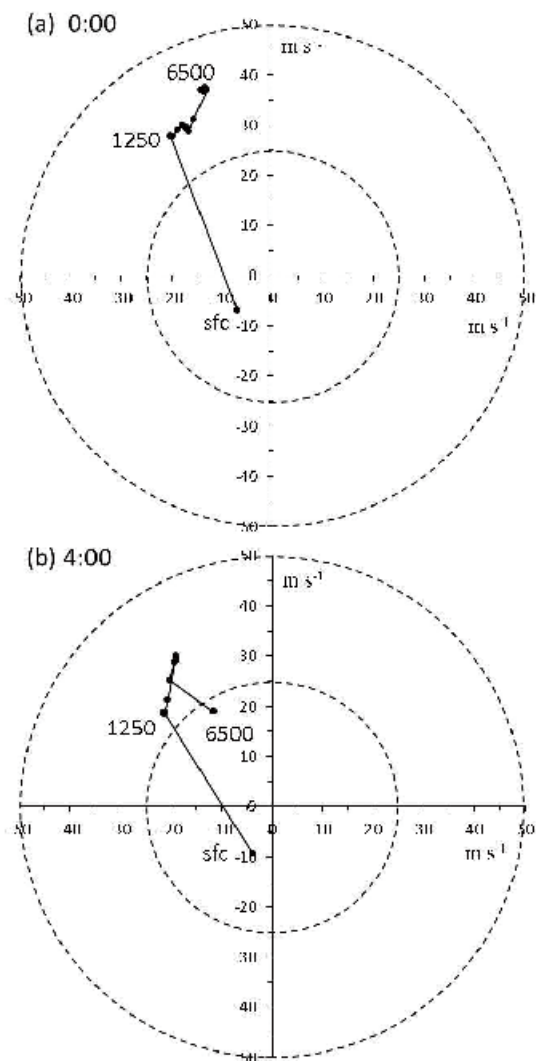


図 16 デュアル・ドップラーレーダー解析に基づく、2013 年 10 月 16 日 (a) 0 時および (b) 4 時の気象庁大島特別地域観測所における hodographs
Fig. 16 Hodographs at Izu-Oshima meteorological observatory of the Japan Meteorological Agency based on dual Doppler radar analysis at (a) 0:00 JST and (b) 4:00 JST on 16 October 2013.

6. 数値予報の状況

気象庁の数値予報のデータは、気象業務支援センターを通じて気象事業者に配信されている。もし災害を引き起こす豪雨の発生を予測できれば、防災活動に活用することができる。ここでは今回の事例に関する数値予報の結果を簡単に記述する。

MSM は 5 km メッシュで 39 時間先までの予報を行っており、その結果は 3 時間おきに気象事業者に配信されている。データが届くのは、予報の初期時刻から 2 時間 10 分から 2 時間 30 分後である。図 17 は 2013 年 10 月 15 日 21 時から 16 日 9 時までの 12

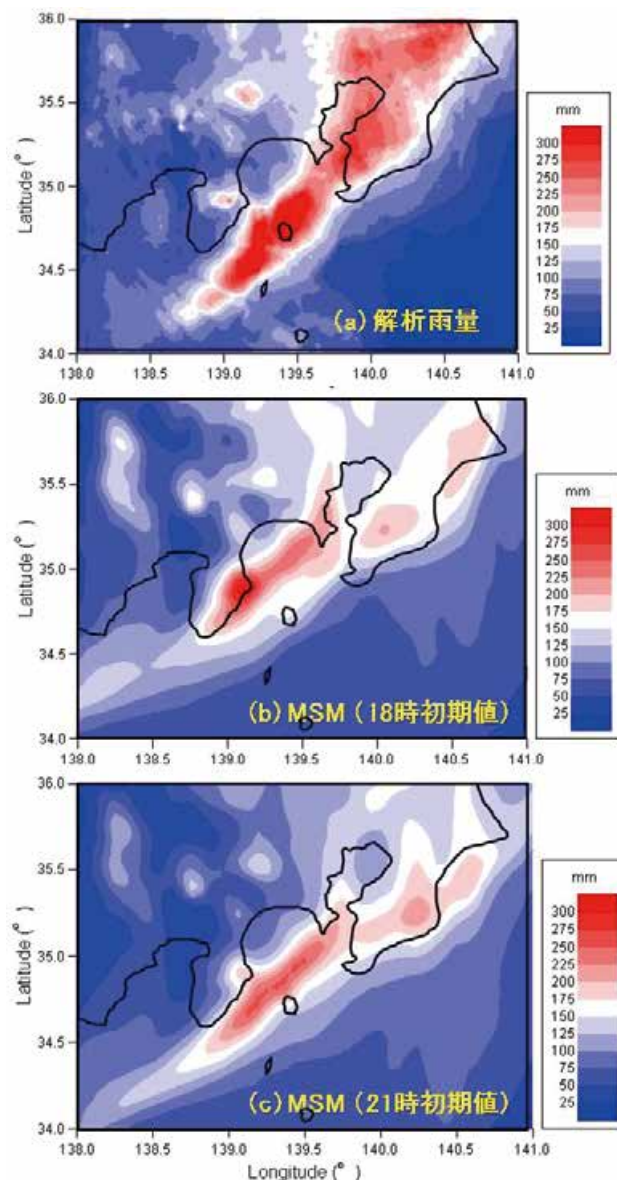


図 17 2013 年 10 月 15 日 21 時から 16 日 9 時までの 12 時間雨量の分布. (a) 解析雨量, (b) 15 日 18 時を初期値とした MSM 予報, (c) 15 日 21 時を初期値とした MSM 予報.

Fig. 17 Distribution of 12-hour rainfall from 21 JST on 15 October 2013 to 09 JST on 16 October 2013 derived from (a) the radar-rain gauge analyzed precipitation of Japan Meteorological Agency, (b) forecast by the Japan Meteorological Agency mesoscale model beginning with the initial value at 18 JST and (c) 21 JST on 15 October 2013.

時間雨量について、解析雨量、15日18時を初期値としたMSMの予報、15日21時を初期値としたMSM予報を比較している。解析雨量では伊豆大島から房総半島にかけて帯状に強い雨域があり、その最大値は652 mmである。一方、15日18時を初期値とした予報では、帯状の雨域は予報されているが、その位置は北西側にずれており、強い雨域は伊豆大島ではなく伊豆半島上にある。また予報された最大雨量は317 mmであり、伊豆大島で観測された値よりもかなり小さい。15日21時を初期値とした予報では、強い雨域の位置は若干修正されているが、依然として観測された雨域よりも北西にずれており、予報されている雨量も小さい。

以上のように、伊豆大島で観測された12時間で600 mmを超える豪雨は、数値予報では予測できなかった。気象業務支援センターでは、MSMよりも解像度の細かい、2 km メッシュの「局地数値予報モデル(LFM)」を用いた9時間予報の配信を2014年3月27日より開始している。今後の数値予報の精度向上が期待される。

7. まとめ

2013年台風26号に伴う伊豆大島の大雨について、13カ所で収集した雨量計データとレーダーデータを合成して雨量分布を推定するとともに、気象庁レーダー毎極座標レーダーエコー強度GPVを用いて、大雨をもたらした降水系の特徴を解析した。得られた結果は、以下のようにまとめることができる。

- 1) 伊豆大島の北部に降雨が集中し、最大24時間雨量は1,000 mmに達したと推定される。一方、伊豆大島の南部では雨量は400 mm程度であった。
- 2) 台風に伴う暖かい南東風と、陸地からの北東風の間で局地前線が形成されており、それに沿って強い雨域が形成されていた。局地前線は850 hPa面よりも上層では不明瞭であり、非常に浅い。
- 3) 局地前線に沿う帯状の降水域は、層状雲の中に浅い対流雲が埋め込まれている、いわゆるEmbedded Convective Typeであった。伊豆大島の上空と海上との間に、降水系の構造に大きな違いはなかった。
- 4) レーダーで観測された反射強度は高々40 dBZ

(約12 mm h⁻¹)であり、地上で観測された100 mm h⁻¹を超えるような強い降水はレーダーでは検出されなかった。

地上の雨量計で100 mm h⁻¹を超える強い雨が観測されていたにもかかわらず、レーダーでは高々12 mm h⁻¹程度の雨しか観測されなかったことは、一種のパラドックスとして興味深い。可能性としては、①シーダ・フィード機構により、レーダーでは観測しにくい地表付近で急激に降雨が増幅された、②従来のレーダー反射強度と降雨強度の関係式では説明できない特殊な雨滴粒径分布をしていた、③空間に占める雨滴の質量(混合比)は大きくなかったが、強い下降流によって雨滴が地上に輸送され、地上雨量としては大きくなった、などが考えられる。類似した事例としては藤原ほか(1974)が、尾鷲付近の豪雨が名古屋レーダーで探知しにくいという問題を調査し、下層の雲が豪雨発生に重要であることを指摘している。今回の伊豆大島の豪雨に関してはデータが不足しているため、上記①～③の可能性のうちどれが正しいかを検証することはできない。

このような層状雲と対流雲の混合体が島の地形の影響を受けて豪雨を引き起こすメカニズムを解明するには、大気下層の降水を観測できる機器、例えばXバンドMPレーダーの利用が有効である。XバンドMPレーダーは高い精度で雨量を推定できるのみならず、雨滴粒径分布の推定や(Kim *et al.*, 2010)、複数台のレーダーによる下降気流の解析(Suzuki *et al.*, 2010)も可能であり、小型のXバンドMPレーダーを伊豆大島周辺に設置することによって、上記①～③の仮説を検証するためのデータを取得することが期待できる。ただし豪雨は稀な現象であるため、短期間の特別観測ではなく、長期間の観測が必要となる。そのため機器の整備には運用面の費用対効果の検討も必要になるだろう。

謝辞

防災科学技術研究所基盤的火山観測網(V-net)の雨量計データは上田英樹主任研究員から提供を受けた。また匿名の閲読者のコメントにより、内容を向上させることができた。以上、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所 (2014) : 台風災害データベースシステム. (http://ccwd05.bosai.go.jp/DTD/search_jsp/login.jsp, 2014.08.15).
- 2) Brandes E. A. (1975): Optimizing rainfall estimates with the aids of radar. *Journal of Applied Meteorology*, **14**, 1339-1345.
- 3) Cressman G. (1959): An operational objective analysis system. *Monthly Weather Review*, **87**, 367-374.
- 4) 藤原美幸・青柳二郎・椎野純一・柳瀬利子(1974) : 尾鷲における低い降水雲の構造について. *気象研究所研究報告*, **25**, 23-50.
- 5) Gocho Y. (1978): Numerical experiment of orographic heavy rainfall due to a stratiform cloud. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **56**, 405-423.
- 6) Kim D-S., Maki M., and Lee D-I. (2010): Retrieval of Three-Dimensional Raindrop Size Distribution Using X-Band Polarimetric Radar Data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **27**, 1265-1285.
- 7) 気象庁 (2013) : 日々の天気図. (<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>, 2014.8.15).
- 8) 気象研究所 (2013) : 平成 25 年台風第 26 号にともなう伊豆大島の大雨の発生要因～局地前線の停滞と伊豆大島の地形による強化～. (http://mri-3.mri-jma.go.jp/Topics/H25/press/20131202/press20131202_T1326heavyrainfall.html, 2014.7.25).
- 9) Misumi R. (1996): A study of the heavy rainfall over the Ohsumi Peninsula (Japan) caused by Typhoon 9307. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **74**, 101-113.
- 10) 内閣府 (2013) : 平成 25 年台風 26 号による被害状況等について (第 30 報). (http://www.bousai.go.jp/updates/h25typhoon26/pdf/h25typhoon26_30.pdf, 2014.8.15).
- 11) Sakakibara H. and Takeda T. (1973): Modification of typhoon 7002 rainfall by orographic effect. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **51**, 155-167.
- 12) Shusse Y., Nakagawa K., Takahashi N., Satoh S., and Iguchi T. (2009): Characteristics of polarimetric radar variables in three types of rainfalls in a Baiu front event over the East China Sea. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **87**, 865-875.
- 13) 清水慎吾・前坂剛 (2007) : 三次元風速場の推定のための変分法を用いた複数台ドップラーレーダデータの解析手法. *防災科学技術研究所研究報告*, **70**, 1-5.
- 14) Staff Members of Tokyo University (1969): Precipitation bands of Typhoon Vera in 1959 (Part I). *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **47**, 298-309.
- 15) Steiner, M., Houze Jr. R. A., and Yuter S. E. (1995): Climatological Characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *Journal of Applied Meteorology*, **34**, 1978-2007.
- 16) Suzuki S., Maesaka T., Iwanami K., Misumi R., Shimizu S., and Maki M. (2010): Multi-Parameter Radar Observation of a Downburst Storm in Tokyo on 12 July 2008. *SOLA*, **6**, 53-56.
- 17) 東京管区气象台 (2014) : 平成 25 年 台風第 26 号に関する東京都気象速報. (http://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/bosai/disaster/ty1326/ty1326_tokyo.pdf, 2014.8.15).
- 18) 山本晴彦・小林北斗・山本実則 (2014) : 2013 年台風 26 号により伊豆大島で発生した豪雨と土砂災害の特徴. *自然災害科学*, **32**, 337-351.
(2015 年 12 月 24 日原稿受付,
2016 年 1 月 16 日改稿受付,
2016 年 1 月 17 日原稿受理)

要 旨

2013 年台風 26 号に伴う伊豆大島の大雨について、13 カ所の雨量計データとレーダーデータと合成して雨量分布を推定するとともに、気象庁レーダーの極座標データを用いて、大雨をもたらした降水系の特徴を解析した。その結果、以下のことが分かった。①伊豆大島の北部に降雨が集中し、最大 24 時間雨量は 1,038 mm に達していたと推定された。②台風に伴う暖かい南東風と、陸地からの北東風の間には局地前線が形成されており、それに沿って強い雨域が形成されていた。局地前線は 850 hPa 面よりも上層では不明瞭であり、非常に浅い構造をもつ。③局地前線に沿う帯状の降水域は、層状雲の中に浅い対流雲が埋め込まれている、いわゆる Embedded Convective Type であった。伊豆大島の上空と海上との間に、降水系の構造に大きな違いはなかった。④レーダーで観測された反射強度は高々 40 dBZ (約 12 mm h^{-1}) であり、地上で観測された 100 mm h^{-1} を超えるような強い降水はレーダーでは検出されなかった。

キーワード：大雨，伊豆大島，台風