

長崎半島付近で発生した1996年6月の持続型ライン状降雨

荒生 公雄*・藤吉 康志**・武田 喬男***

Line-Shaped Stationary Rain Echoes Appeared in June 1996 from Nagasaki Peninsula in Kyushu, Japan

Kimio ARAO*, Yasushi FUJIYOSHI** and Takao TAKEDA***

Abstract

In order to reveal the evolution and structure of heavy rainfalls over Nagasaki district, the authors carried out the observational study using a meteorological RHI radar at Isahaya City. We obtained three-dimensional details of radar echo distribution within a radius of 50km and up to 15km in height every 10 minutes. Our observations in June 1996 detected three cases of the line-shaped stationary radar echoes extending from the Nagasaki Peninsula area to the direction of Isahaya Bay. The appearance of this kind of line echo is fairly common.

These particular echoes suggest that there is a topographical effect of rain-cloud formation, because these line-shaped echoes appear only under some common limited conditions, which are:

- (a) A considerably strong, humid surface wind from the S to SSW.
- (b) Individual cellular echoes within the linear echoes move in a velocity coinciding with the upper wind, so that, every component is replaced continuously.
- (c) The direction of the line also agrees with the direction of the upper wind.

1. はじめに

長崎半島付近から北東方向に伸びるライン状降雨エコーは、福岡管区気象台の気象レーダーによってしばしば観測され、早くから一種の地形性降雨である可能性が指摘されていた(福岡管区気象台, 1973, 1974)。また、長崎大学教育学部屋上に設置された水産学部船舶用レーダーを用いた観測によっても、同様のライン状降雨エコーが確認されていたが、その原因については、長崎半島の地形や山岳の影響をやや漠然と

指摘するにとどまっていた(荒生ほか, 1989)。最近、長崎大学と名古屋大学との共同研究計画に基づく気象用RHIレーダー観測によって、3次元的なエコー強度の解析が可能となり、このライン状降雨は、長崎半島中央部の真南に開いた深い谷地形(千々谷)による暖湿気流の強制上昇によって引き起こされる可能性を指摘した(荒生ほか, 1996a, 1997a)。しかしながら、①山岳や丘陵を越える気流の鉛直上昇、②複雑な海陸分布による地表面粗度の変化や山体をま

* 長崎大学環境科学部自然環境保全講座

Faculty of Environmental Studies, Nagasaki University, Nagasaki, 852-8521 Japan.

** 北海道大学低温科学研究所

Institute of Low Temperature Sciences, Hokkaido University, Sapporo, 060-0819 Japan.

*** 名古屋大学大気水圏科学研究所

Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoya University, Nagoya, 464-8601 Japan.

写真1は本RHIレーダー装置の外観を示す。写真左側のシェルター（コンテナ）には電波発信・受信装置、レーダーエコー収録用のコンピューターと磁気テープ装置が納められている。右側はパラボラアンテナである。また、**図1**は本レーダーの定量的な観測範囲の平面図を示す。方位角は北を0度とし、東-南-西まわりの360度で表す。本装置は、アンテナを仰角方向に6rpmの速度で回転させ、仰角が正の時に波長3.2cmの電波を発信し、鉛直断面の観測を行う。アンテナの1回転で、特定の方位角方向とその反対側の半径50km（前後100km）、高さ15kmの長方形の鉛直断面上の降雨エコーを観測し、磁気テープに収録する。アンテナの仰角が負の時は発信せず、アンテナを方位角方向に約3°回転させる。

したがって、約10分ごとにひと組の3次元データ ($180^{\circ} \times$ 直径100km \times 高さ15km) が得られる。鉛直断面の距離分解能は水平方向1.0km、鉛直方向0.5kmであるが、方位角方向の分解能は遠方ほど粗くなり、距離50kmでの分解能は約4.5kmである（荒生ほか，1996b，1997b）。千々谷は図1のなかの長崎半島の最高峰・八郎

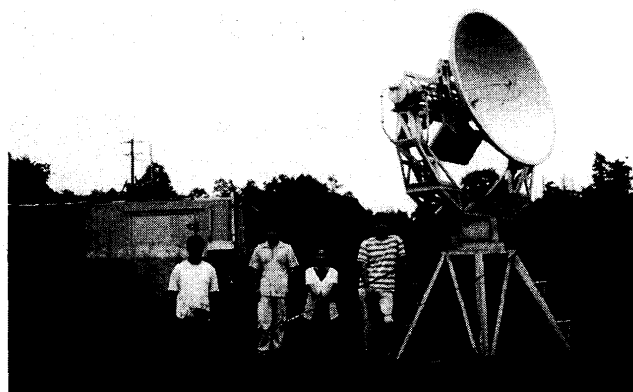


写真1 気象用RHIレーダー装置の外観

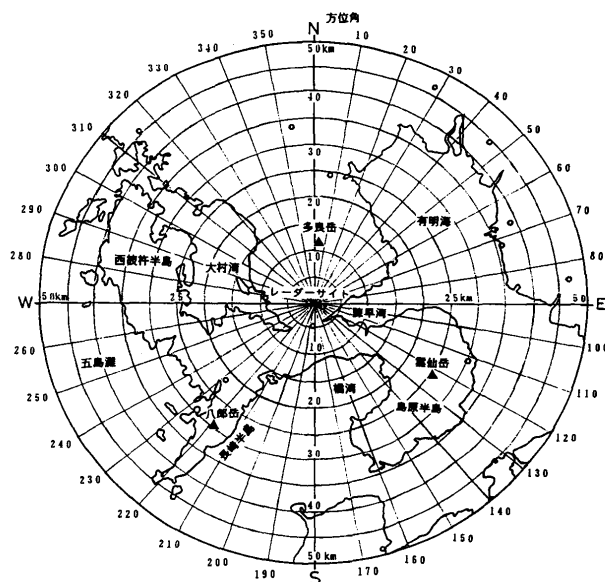


図1 RHIレーダーの定量的観測範囲

岳（標高590m）の東側に位置する。

本報ではレーダーエコーを次の3種類の図面を用いて表す。

(1)CAPPI (Constant Altitude Plane Position Indicator ; 一定高度の平面分布図),

(2)COMPOSITE (CAPPIの特定の時間帯で平均したエコー強度の合成平面分布図),

(3)任意断面図(特定のライン上におけるエコー強度の鉛直断面分布図),

また、本稿で報告する1996年6月下旬のレーダーデータは以下の日時に観測されたものである。

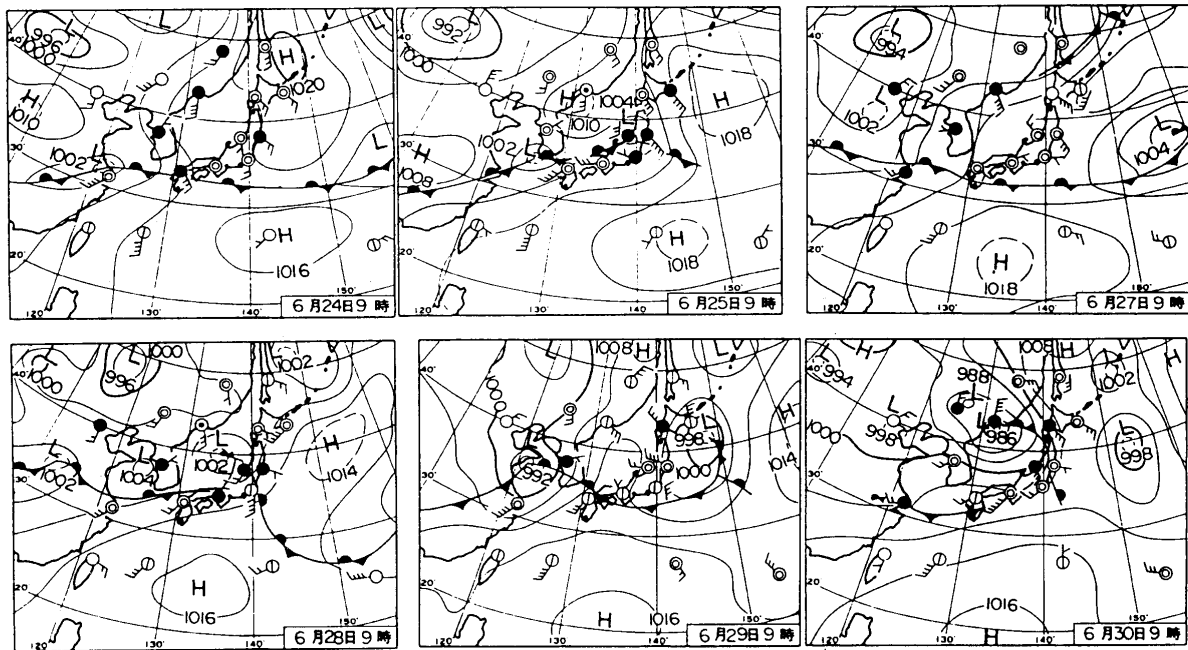


図2 1996年6月24～25日、27～28日および29～30日の地上天気図
(いずれも09時；月刊誌『気象』による)

(1)6月24日09時10分～25日08時50分

(合計23時間40分)

(2)6月27日07時59分～28日08時09分

(合計24時間10分)

(3)6月29日20時41分～30日17時01分

(合計20時間20分)

ただし、ライン状降雨の消長や紙面構成の都合により、すべての観測時間帯を記載することはせず、一部の時間帯を省略している。

2. ライン状降雨エコー発生時の天気概況

図2は、1996年6月下旬の6日間の朝09時における地上天気図である。本図では6月24～25日、27～28日、29～30日の3つのセットになるように、意図的に、幅の狭い2つの空白で仕切っている。このような天気図や長崎県気象月報（長崎海洋気象台、1996）などから、この時期の天気の状態は次のようにまとめることができる。

(1)6月24～25日：22日には奄美付近、23日には九州南岸にあった梅雨前線が、24日朝から徐々に北上し、25日朝、対馬海峡付近に達した。同時に、梅雨前線上の低気圧の東進に伴い、対馬

地方で大雨となった（25日の日雨量：鰐浦250mm、厳原測候所183.0mm）。

また、長崎県南部地方（以下、長崎地方と略記する）は、前線の暖域側に入り、長時間にわたって、湿潤でかなり強い南風が流入した（長崎海洋気象台日雨量：24日21.5mm、25日0.5mm）。

(2)6月27～28日：北側を通過した低気圧によって、26日には、梅雨前線が一時九州南部まで南下したが、再び27日に北上を始め、朝鮮半島南部まで北上した。28日には対馬付近に停滞した。ただし、前線上の低気圧の中心は、25日に比べて北に偏っていた（海洋気象台日雨量：27日4.0mm、28日0.0mm）。

(3)6月29～30日：上の2つの場合とは逆に、29日朝には前線の南側に位置し、一日中暖域側にあったが、ゆっくりと南下する寒冷前線の影響を受け、30日未明から、長崎地方全域に降雨がもたらされた（海洋気象台日雨量：29日0.0mm、30日37.0mm）。

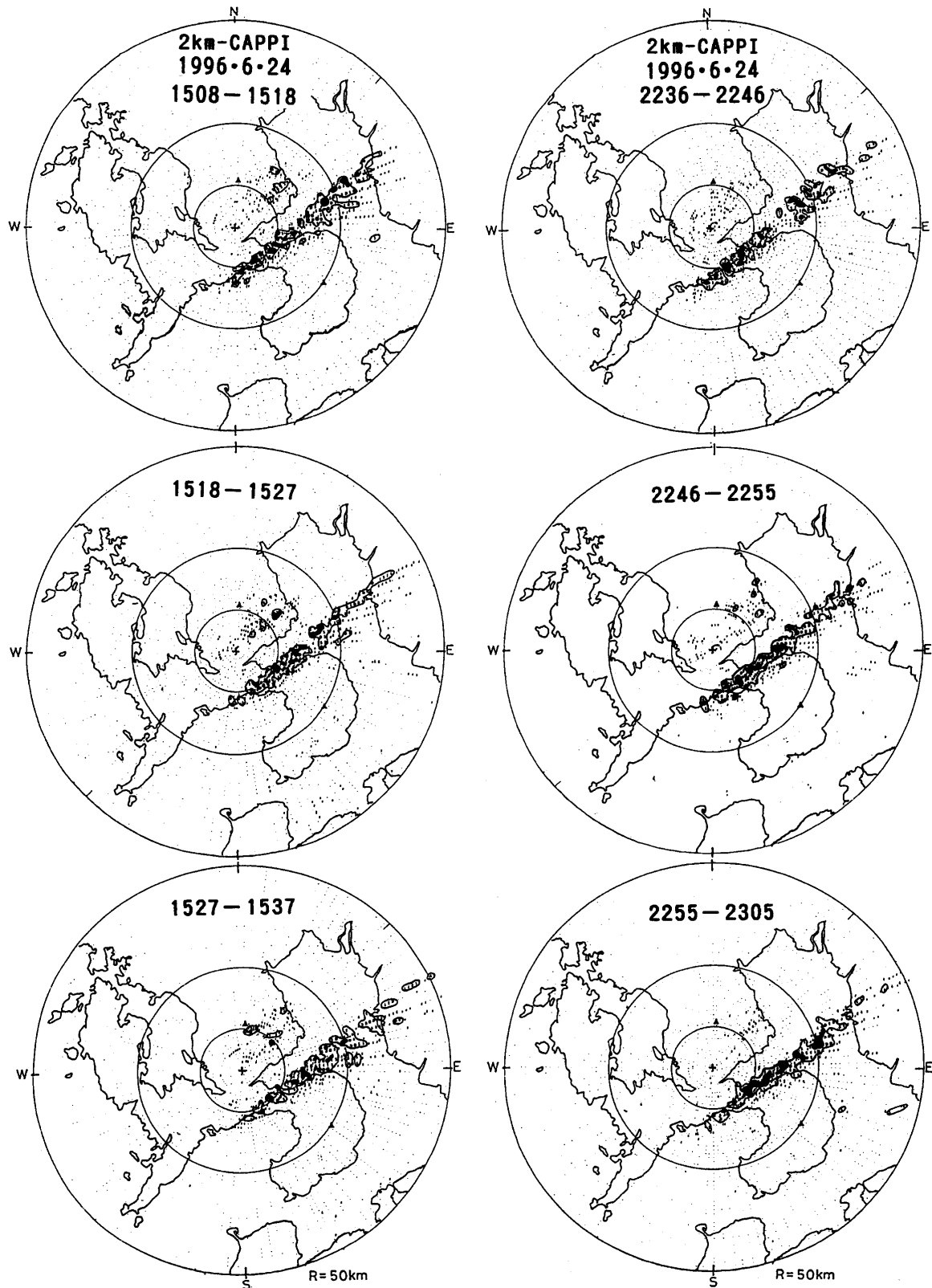


図3 1996年6月24日に観測された高度2kmのCAPPIの例

(左列) 15時台の約30分間の観測結果,

(右列) 22時台の約30分間の観測結果

黒 : 35dBZ以上, 実線内 : 25~35dBZ, 外側の細かい数字 : 25dBZ以下のエコー域

3. ライン状降雨の実態

3-1 6月24～25日のケース

図3に、6月24日の2つの時間帯における高さ2kmのCAPPIを示す。左側3列は15時台、右側3列は22時台の、それぞれ約30分間の観測結果である。すでに述べたように、本レーダーでは1枚のCAPPIを作図するのに約10分の時間が必要である。従って、厳密に言えば、方位角方向によってエコーを観測した時刻が少しずつ異なる。図3の最初のCAPPI図(1508-1518)を用いて説明すると、最初の15時08分55秒には、アンテナは方位角44度(外円に切り込みマークを記入)の方向に上昇し、方位角224度の方向に降下したので、方位角44度と224度の方向にある高さ0～15kmの範囲のエコーを観測する。そのあと、アンテナは約3度時計まわりに方位を変えるので、次のアンテナの上方回転では、方位角47度と227度の方向を観測する。このように、アンテナの方位角を徐々に転換させながら、観測を行うので、最初の方位角44度から最後の222度までの57組の鉛直断面の観測値から、高さ2kmにおけるエコー強度のみを抽出して水平面分布図としたものである。同様に、2枚目のCAPPI(1518-1527)は、アンテナの最初の方位角が226度、最後が41度である56組のデータの2km値で構成されている。データ処理上の最初の方位角は任意に選択できるが、この場合に45度(あるいは225度)付近から始めているのは、ライン状エコーを時間的に連続性のあるエコーとして表示するためである。

図3では、レーダーエコー強度を3段階に区分して表示している。すなわち、強度の大きい方から順に、黒(35dBZ以上)、実線(25～35dBZ)、その他の細かい数字(25dBZ以下)に分類している。図面を縮小印刷しているために、25dBZ以下のエコー域の数字はほとんど識別できないが、原版では1～4の数字を用い、5dBZ刻みのエコー強度の意味をもたせている(たとえば、4は20～25dBZ)。もちろん、数字が記入されて

いない領域ではエコーが観測されていない。また、高度2kmのCAPPIを用いることにも理由がある。それは、①実際の雨量と十分比較できるレーダーエコーであることが望ましい、②しかし、雲仙岳の標高は約1.5kmであるので、地形エコーが観測されない最低高度が2kmである、ことによる。

図3に示した6月24日15時も22時も、降雨エコーは橘湾北岸(飯盛町)から諫早湾を通り、有明海東岸(福岡県大牟田市)に一筋の明瞭なラインを形成し、その位置は時間的にほとんど変化していない。すなわち、あとで詳しく示すように(図5)、細長い帯状の地域にのみ降雨エコーが長時間かかっていた。ラインの幅は4～5kmに過ぎないが、長さは図の外周円(半径50km)に到達し、60km以上に及ぶ。実は、レーダーサイトの南側半円は非常によく開けているが、北西～北～東北東の方角は多良岳の斜面が迫っているために、北側の観測可能域は限られる。北東方向では方位角の小さい方向ほど、電波の届かない領域が拡大し、高度2kmでは大牟田市付近までが探知の限界である(あとに示す図8の3列目のエコー分布から影の状況が読み取れる)。そのため、今後に示す図においても、ラインが有明海上で消滅しているものがあるが、それらの原因の一つは電波が山影に入っているためであり、気象庁福岡レーダーでみると、福岡県を越えて大分県日田地方にまで伸びている場合も珍しくない(福岡管区気象台・雲仙岳測候所、1993)。図3でもう一つ注目したいことは、顕著なライン状エコーに平行で、ほとんどレーダーサイトの真上を通るような、やや弱い別のライン状エコーがあることである。さらに、その約5km離れた北側にもっと弱い3本目のライン状エコーがあるように見える。これらを実用的に、2本目、3本目のライン状エコーと呼ぶことにする。これら3本のラインを除けば、図3のなかにはエコーがほとんどなく、降雨がない状態であった。

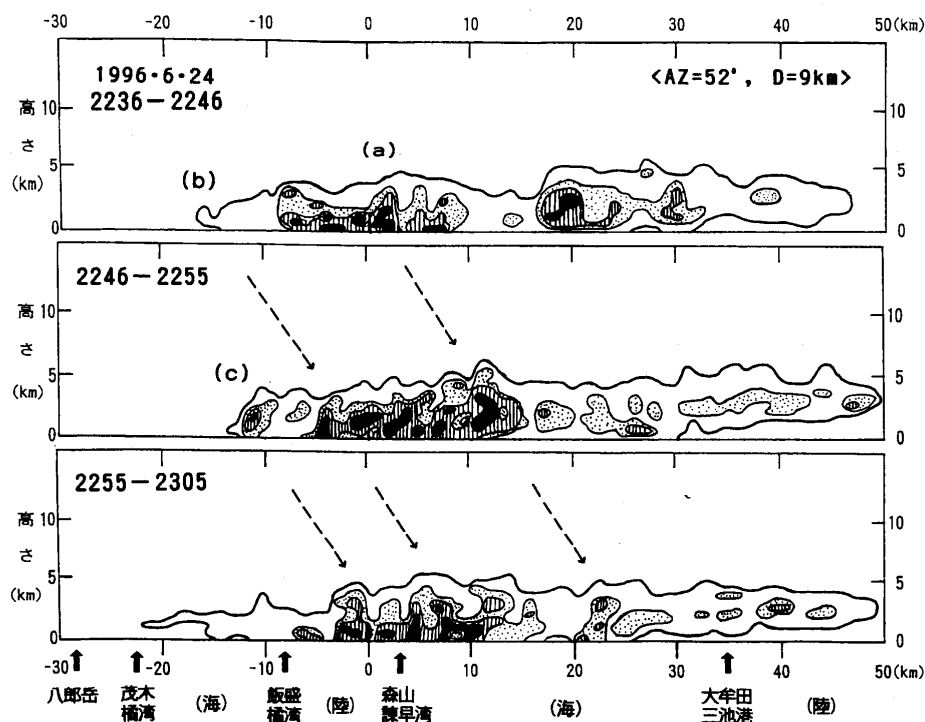


図4 1996年6月24日22時台に観測されたエコーの任意断面図の例
 黒：35dBZ以上，縦線内：35～30dBZ，斑点内：30～25dBZ，
 実線内：25dBZ以下のエコー観測域。方位角52°で，レーダー
 サイトからの垂線が9kmであるライン上の鉛直面分布を意味
 する（距離0kmは垂線の足の地点で，諫早市南東部に対応）。

表1 福岡管区気象台の高層風の状況（1996年6月24～25日）

気圧面	6月24日09時		6月24日15時		6月24日21時		6月25日03時		6月25日09時	
(hPa)	風向 (方位角)	風速 (m/s)	風向 (方位角)	風速 (m/s)	風向 (方位角)	風速 (m/s)	風向 (方位角)	風速 (m/s)	風向 (方位角)	風速 (m/s)
1000	144	7	178	3	211	7	206	6	204	7
900	215	19	231	21	230	19	228	17	224	20
850	228	24	234	25	242	22	233	22	227	26
800	230	25	240	26	249	24	233	24	230	27
700	231	27	249	26	243	25	236	24	235	31
600	240	26	241	31	250	32	245	33	240	35
500	249	26	248	27	252	27	254	26	239	29

図4に22時台のライン主軸（方位角52度，レー
 ダーサイトからの垂線距離9km）上のエコーの
 鉛直断面図を示す。この図は，図3の右列の3
 枚のライン状エコーと時刻が一致している。図

4の横軸の距離目盛は，垂線の足の地点を基準
 にして東側に正（西側に負）の符号をつけてい
 る。また，位置関係を明らかにするために，お
 もな地名を黒の矢印で示す。高さは15kmまで

表2 1996年6月24～25日の気象概況

1996年 6月	長崎海洋气象台			長崎大学教育学部			アメダス野母崎		長崎海台		長崎大学		アメダス絹笠山	
	気温 (℃)	露点 (℃)	凝結高度 (m)	気温 (℃)	露点 (℃)	凝結高度 (m)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)
24日09時	25.7	24.5	149	25.7	25.0	87	S	6	SSW	4.2	S	6.5	SW	10
12	28.5	25.4	384	27.0	25.4	198	SSW	9	SW	6.4	S	7.0	SW	12
15	28.1	24.9	397	27.0	25.2	223	SSW	9	SW	6.9	SSW	5.0	WSW	12
18	27.7	24.7	372	27.0	24.9	260	SSW	9	SSW	5.6	SSW	6.6	WSW	12
21	27.1	24.7	298	26.9	24.9	248	SSW	9	SSW	5.5	SSW	7.8	SW	10
24	27.0	24.7	285	26.6	25.0	198	SSW	9	SSW	7.8	S	7.5	WSW	11
25日03時	26.5	24.4	260	26.0	24.6	174	SSW	9	SSW	5.9	S	7.2	SW	11
06	26.7	24.4	285	26.2	24.6	198	SSW	9	SSW	6.5	S	7.8	SW	10
09	27.8	24.5	409	27.2	24.6	322	S	9	SW	8.0	S	8.3	SW	12

表示したが、実際のエコーは最大7kmまでしか存在していなかった。図4のなかに示されている記号(a)～(c)は、明瞭に識別できる特定の対流性降雨セルを意味し、矢印で時間とともに右手側（北東方向）に移動していく様子を表す。その移動速度は、約10分間につき11～12kmであるから、時速では70km程度である。図4の最も重要な意味は、①ライン状エコーは、5～7個程度の対流性降雨セルの一直線上の連なりで構成され、②ラインの南西端で次々に新しい対流性降雨が発生し、北東方向へ移動しながら成長する、ということである。

次に、図3および図4との関連から、表1に上空の風の状態を、表2に地上の気象の状態を示す。表1は福岡管区气象台の高層観測の結果であり、福岡上空と長崎上空の風がいつも一致しているとは限らないが、上空の状態を推定する手掛かりを与える。この日の上空3km(700hPa)の風向はおおむね230～240度の範囲にあり（風下の方位角：50～60度）、図3と図4に示したライン状降雨の方位角52度とよく一致する。一方、同じ高さの風速は25m/s程度、時速90kmとなり、図4の個々の対流雲の移動速度(70km/h)よりもかなり大きい。しかし、24日21時の700hPa面高層天気図でみると、鹿児島島の風向は福岡と同じで、風速は40kt(約20m/

s=72km/h)であったから、図4の移動速度とほとんど一致する。このとき、対馬海峡付近の上空（梅雨前線上）に顕著な強風帯があったために、福岡上空の風はかなり強く、長崎上空は鹿児島に近い状態であったと考えられる。

表2に地上気象の概況を3時間おきに示す。アメダス野母崎は長崎半島先端部の丘陵に立地し（標高190m）、標高がやや高いが、そのために周囲がよく開けており、風向・風速の代表性に優れている。アメダス絹笠山は島原半島の山岳観測点（標高849m）であり、地上気象の範疇からは外れるが、上空の状況を示す貴重な情報として表に加えた。表2において注目できることは次のようなことである。

(1)長崎海洋气象台および長崎大学教育学部における気温と露点温度の差はせいぜい2～3度であり（相対湿度85～90%程度）、理論上の凝結高度は250～370m程度であった。

(2)地上の風向はほとんどS～SSWであり、平均風速は7～8m/sとかなりの強風であった。さらに、アメダス野母崎ではほとんど連続して9m/sの強風が吹いていた。

(3)絹笠山では、風向がSW側にずれ、風速が10～12m/sになっていた。すなわち、地上の風向はほとんど真南であるのに、上空約850mの風向は3km(700hPa)の高さの風向にかなり

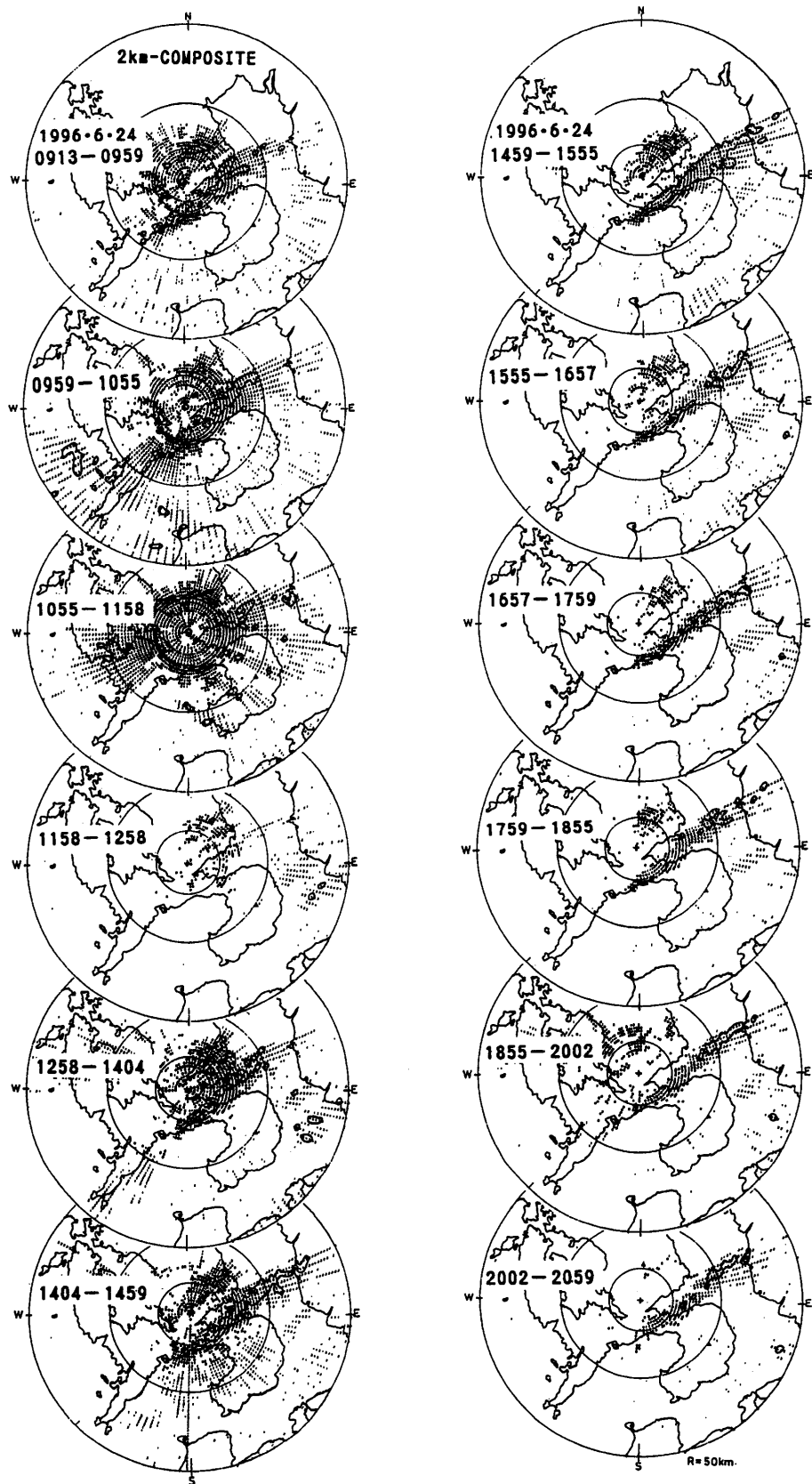


図5(a) 1996年6月24～25日の約1時間ごとの高度2kmにおけるエコー合成図(前半)
実線内：平均強度25dBZ以上，外側の細かい数字：平均強度25dBZ以下

長崎半島付近で発生した1996年6月の持続型ライン状降雨

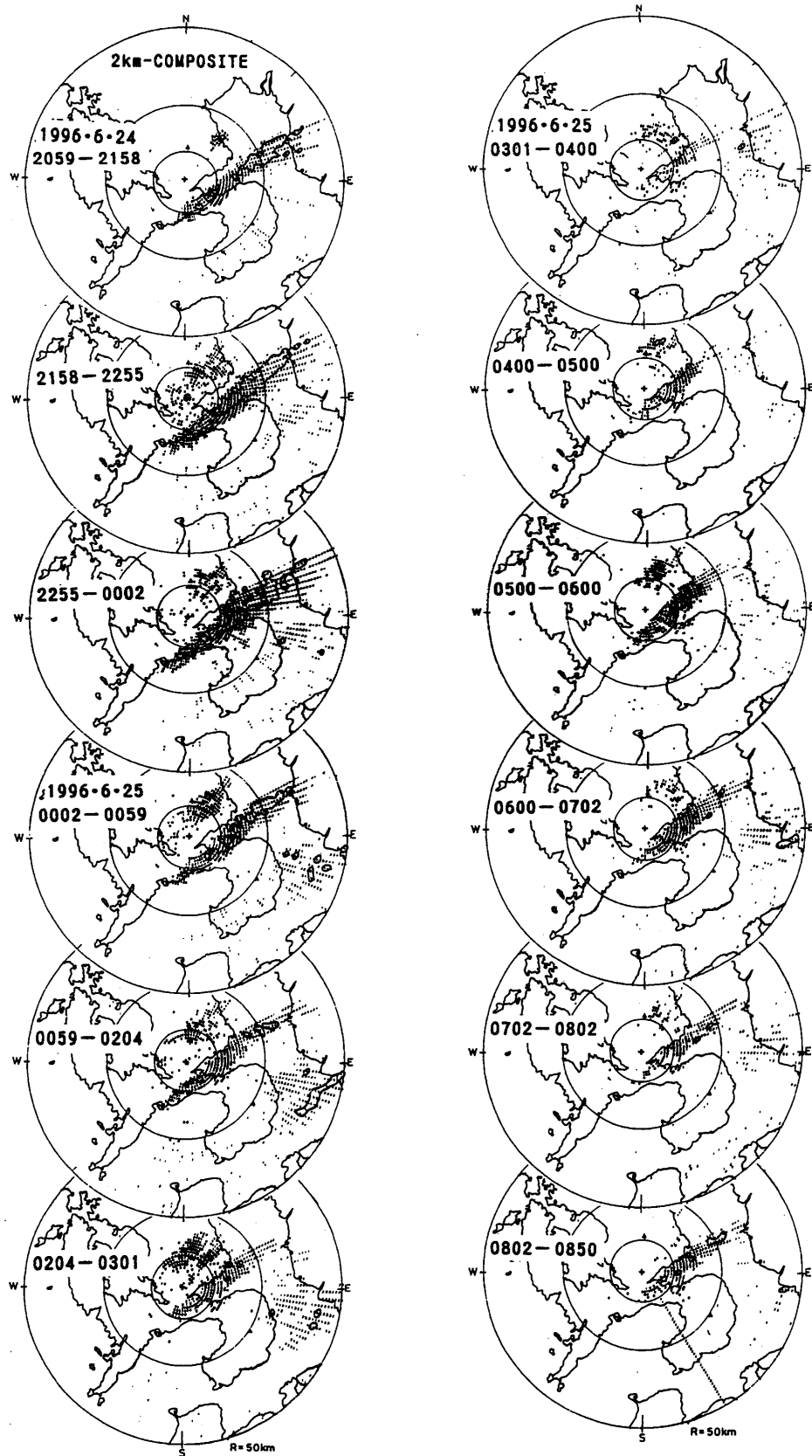


図5(b) 1996年6月24～25日の約1時間ごとの高度2kmにおけるエコー合成図(後半)

実線内：平均強度25dBZ以上，外側の細かい数字：平均強度25dBZ以下

表3 1996年6月24～25日の降雨の状況 (単位: mm)

番号	観測機関	6月24日						6月25日		30時間の雨量
		00-06時	06-12時	12-15時	15-18時	18-21時	21-24時	00-03時	03-06時	
3	建設省小野	14	6	0	0	0	0	0	0	20
4	五家原岳(アメダス)	12	10	0	0	0	0	1	0	23
5	農水省黒新田	12.0	7.0	0	1.5	0	0	0.5	0	21.0
6	小長井町役場	17.5	27.5	1.0	0	0	0	1.5	11.5	59.0
7	建設省本野	6	5	0	0	0	0	0	0	11
8	農水省折山	9.5	3.5	0	0	0	0	0	0	13.0
9	高来町役場	11.5	7.0	0	0	0	0	2.5	8.5	29.5
10	諫早消防高来分署	13.5	11.5	0.5	0	0	0	2.0	10.5	38.0
11	建設省清水	10	3	0	0	0	0	0	0	13
12	建設省諫早出張所	19	9	0	0	0	0	3	5	36
13	諫早市役所	18.0	8.0	0	0	0	0	3.0	4.0	33.0
14	小ヶ倉ダム	21.0	26.5	0	0	0	2.0	0	0.5	50.0
15	建設省夫婦木	27	25	0	0	0	6	6	0	64
16	飯盛町役場	34.0	15.0	0	0	0	0	0	0	49
17	森山町役場	25.0	18.0	5.0	17.5	1.5	26.0	0	0	93.0
18	諫早消防愛野分署	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	県愛野馬鈴薯支場	28.5	7.5	0.5	0	0	0	0	0	36.5
20	農水省山田	36.5	7.0	0	0	0	0	0	0	43.5
21	瑞穂町役場	23.5	10.0	0	0	0	0.5	0	0	34.0
22	島原消防北分署	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	国見町役場	24.0	1.5	0	3.5	0.5	3.5	9.5	5.5	48.0
24	千々石(アメダス)	37	5	0	0	0	0	0	0	42

近い状態になっていた。

図5(a)(b)は、高さ2kmにおける1時間間隔の合成図の時系列である。合成された時間帯が毎正時の刻みになっていないのは、図3で説明したように、ライン状エコーの時間的な切断を避けたために、方位角45度または225度付近でエコーの合成を開始(または終了)したからである。したがって、通常は6枚のCAPPIによって合成されるが、開始・終了の時刻の関係で、5枚または7枚の合成になっている場合もある。図5では、エコーを2種類に区別している。すなわち、実線内は1時間の平均強度が25dBZ以上のエコー域であり、その外側の数字の部分(25dBZ以下の領域で、空白はエコーのなかった領域である。この合成図はそれぞれの場所における5～7個のエコー強度の平均値を示すもので

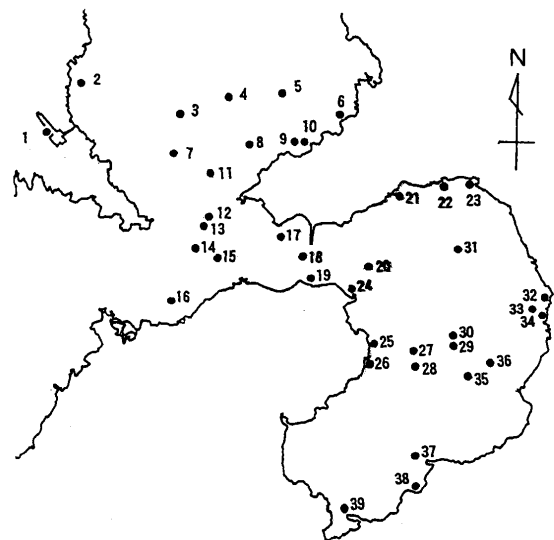


図6 雨量計の位置
(雨量表の番号に対応する)

あるから、合成図の空白域は、その時間帯においてエコーが一度も観測されなかったことを意味する。図から明らかなように、長崎半島や島原半島では、若干の例外を除けば、エコーはほとんど存在せず、実際に降雨も観測していない。たとえば、0.5mm基準の無降水時間帯は、

長崎海洋気象台：24日08時～25日20時、

長崎大学教育学部：24日12時～25日19時、

となっており、長崎市内では24日昼頃から25日夕方まで無降水であった。

図5で最も特徴的なことは、ライン状降雨が延々と24時間以上もほとんど同じ場所に存在していたことである。この間、一時的にライン状降雨が弱くなっている時間帯もあるが、観測開始から終了までの間、ほぼ同じ場所にライン状降雨は維持されていた。ただし、厳密には、全く同じライン状の場所に張りついていたわけではない。24日朝からのラインの方位角を測ってみると、09時台50度、14時台54度、17時台56度、22時台52度、25日01時台50度、05時台48度、08時台50度、と変化している。すなわち、ラインの方位角は8度ほどの範囲で変化していた。このため、幅5kmほどのラインは、おおむね、諫早湾に挟み込まれるように横たわっているが、注意してみると、方位角が小さい（48度）場合は降雨域が諫早湾の北岸（高来町、小長井町）にかかり、逆に、方位角が大きい（55度）場合は南岸（瑞穂町、国見町）にかかっている。また、諫早湾の北岸を通るときはラインの方位角が小さく、南岸を通るときには方位角が大きいので、ラインの軸を南西側へ伸ばした延長線はつねに長崎半島中央部を通っていることも確認できる。

表3はライン状エコーのまわりに置かれていた雨量計の記録である。紙面の都合で、時間帯は等間隔になっていないことに注意していただきたい。表3の番号は、位置を示す図6の番号と対応するが、表3では諫早湾周辺地域に限定したので、3番から24番までしか掲載していない。

い。24日午後のライン状降雨は森山町役場(17)で顕著であり、これは図3・4の強エコー域と対応するとともに、図5(b)の21～24時の強エコー域ともよく一致する。

森山町の雨量は18～21時にはかなり少ないが、図5(a)をみれば、この時間帯のラインのエコー強度も弱かったことがわかる。表3では25日未明の降雨域は北湾の高来町(9, 10)や小長井町(6)に移っているが、このことも図5(b)のエコー分布とよく対応する。

3-2 6月27～28日のケース

図7は1996年6月27～28日の1時間合成図の時系列である。このケースでは、観測開始直後08時頃から、弱いエコーが諫早湾の南岸のごく限られた地域に観測されていた。図7の10時台から16時台には、この局地的な弱いエコーが愛野町付近に現れている。そのエコーが明瞭なラインを形成するのは17時台に入ってからである。その後約5時間にわたって継続したライン状エコーは一時的に（22～01時）衰弱したが、01～03時には再び出現している。さらに、28日05～07時の2枚も、島原半島北部にかかるラインも西側への延長線が長崎半島中央部を通ることから、同様のライン状エコーである可能性がある。

表4には6月27～30日の高層風の状態をまとめて示し、表5は27日17～24時の地上気象の概要である。表4からは、27日夜の上空の風向は240度程度で、ライン状エコーの方位角（50～60度）と十分対応している。表5の凝結高度は200～400mの範囲にあり、6月24日の場合とほとんど同じである。ただし、地上風の風向はほぼ真南であるが、平均風速は5～7m/sで、24日よりやや弱い。ここで、22時頃を境にライン状エコーが急に衰弱したことを地上気象の条件から考える。この時間帯でみると、①凝結高度には変化がない、②風速にも変化がない、③風向は22時頃から南風成分が若干西風成分に偏向した傾向がある、という程度で、地上気象に関する

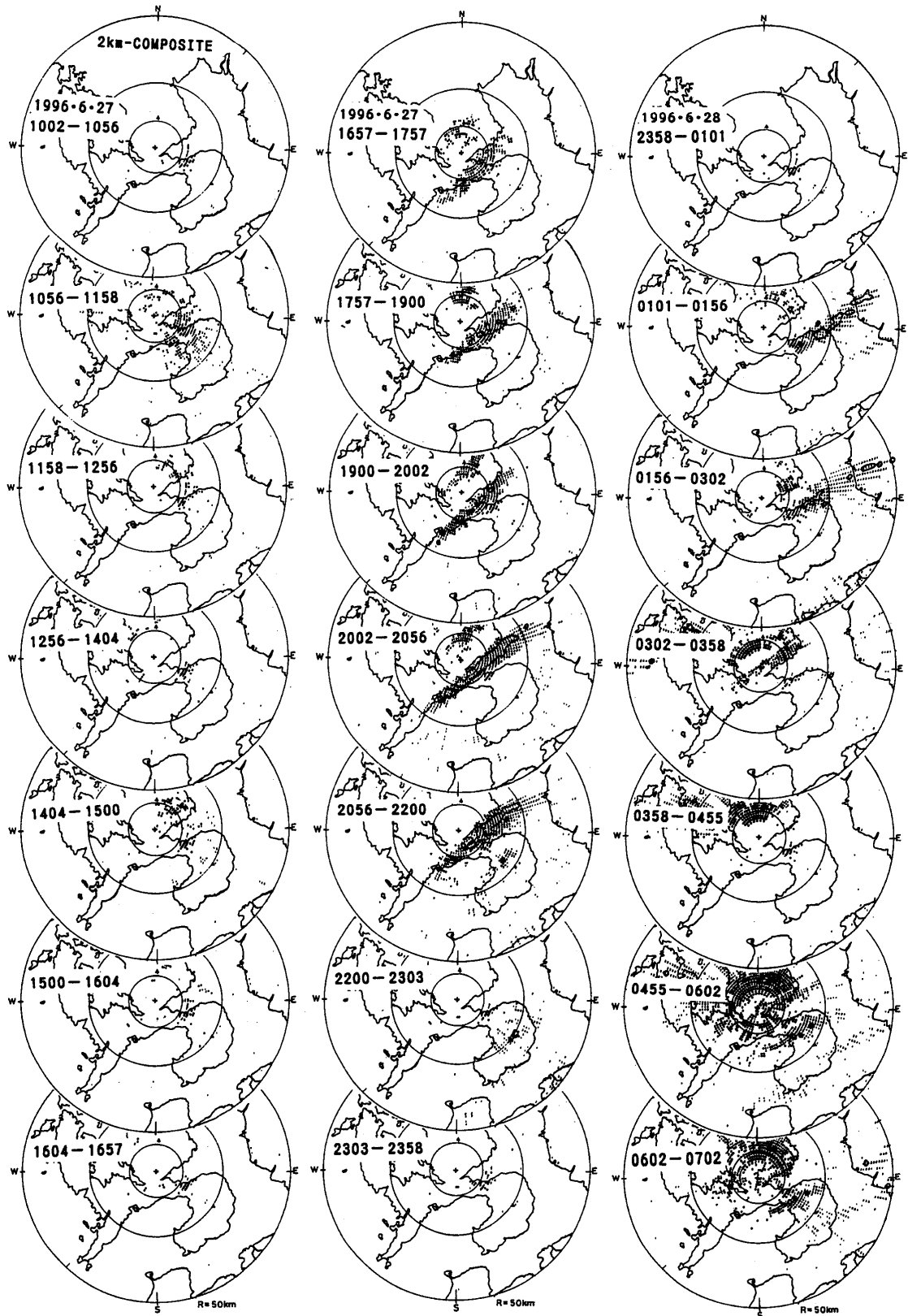


図7 1996年6月27～28日の約1時間ごとの高度2kmにおけるエコー合成図
実線内：平均強度25dBZ以上，外側の細かい数字：平均強度25dBZ以下

長崎半島付近で発生した1996年6月の持続型ライン状降雨

表4 福岡管区気象台の高層風の状況（1996年6月27～30日の抜粋）

気圧面	6月27日15時	6月27日21時	6月28日03時	6月29日21時	6月30日03時
(hPa)	風向 風速 (方位角) (m/s)	風向 風速 (方位角) (m/s)	風向 風速 (方位角) (m/s)	風向 風速 (方位角) (m/s)	風向 風速 (方位角) (m/s)
1000	(観測休止)	205 5	215 5	201 6	269 5
900		211 13	240 18	220 23	252 18
850		204 15	242 26	227 23	246 24
800		226 21	237 29	225 26	244 25
700		243 22	237 28	230 30	242 27
600		253 24	242 32	243 33	252 35
500		241 23	252 32	250 29	247 29

表5 1996年6月27日の気象概況

1996年 6月	長崎海洋気象台			長崎大学教育学部			アメダス野母崎		長崎海台		長崎大学		アメダス絹笠山	
	気温 (℃)	露点 (℃)	凝結高度 (m)	気温 (℃)	露点 (℃)	凝結高度 (m)	風向 (方位角)	風速 (m/s)	風向 (方位角)	風速 (m/s)	風向 (方位角)	風速 (m/s)	風向 (方位角)	風速 (m/s)
27日17時	27.0	24.1	360	27.0	24.3	335	S	7	SW	4.9	S	6.5	WSW	7
18	27.1	24.3	347	26.9	24.4	310	S	6	S	5.4	S	7.8	SW	9
19	26.9	24.2	335	26.7	24.4	285	SSW	8	SW	3.7	S	6.4	SW	9
20	26.9	24.4	310	26.6	24.6	248	S	6	SW	5.2	SW	3.8	WSW	10
21	26.8	24.5	285	26.7	24.6	260	S	6	SW	5.9	SSW	4.7	SW	9
22	26.5	24.1	298	26.4	24.4	248	SSW	7	SSW	5.8	S	5.7	SW	9
23	26.5	24.1	298	26.3	24.3	248	SSW	7	SSW	4.9	S	6.0	SW	8
24	26.7	24.2	310	26.4	24.6	223	SSW	7	SW	5.1	S	5.7	WSW	10

表6 1996年6月27日の降雨の状況（単位：mm）

番号	観測機関	時間区分								日雨量
		00-08時	08-17時	17-18時	18-19時	19-20時	20-21時	21-22時	22-24時	
3	建設省小野	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	2.0
4	五家原岳(アメダス)	2.0	0	0	0	0	0	0	0	2.0
5	農水省黒新田	1.5	0.5	0	0	0	0	0	0	2.0
6	小長井町役場	0.5	0	0	0	0	2.5	8.5	0	11.5
7	建設省本野	1	0	0	0	0	0	0	0	1
8	農水省折山	1.0	0	0	0	0	0	0	0	1.0
9	高来町役場	1.5	0	0	0	0	0	0.5	0	2.0
10	諫早消防高来分署	0	0.5	0	0	0	0	1.0	0	1.5
11	建設省清水	2	0	0	0	0	0	0	0	2
12	建設省諫早出張所	4	0	0	0	0	0	0	0	4
13	諫早市役所	6.0	0	0	0	0	0	0	0	6.0
14	小ヶ倉ダム	2.0	0	0	0	1.0	4.0	5.0	0	12.0
15	建設省夫婦木	4.0	1.0	0	0	4.0	1.0	3.0	0	13.0
16	飯盛町役場	4.5	0	0	0	3.0	7.5	1.0	0	16.0
17	森山町役場	6.5	0	0	0.5	0	0	0	0	7.0
18	諫早消防愛野分署	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	県愛野馬鈴薯支場	5.5	0.5	0	0	0	0	0	0	6.0
20	農水省山田	6.5	0.5	0	0	0	0	0	0	7.0
21	瑞穂町役場	6.0	0	0	0	0	0	0	0	6.0
22	島原消防北分署	4.5	0	0	0	0	0	0	0	4.5
23	国見町役場	4.0	0	0	0	0	0	0	0	4.0
24	千々石(アメダス)	6	0	0	0	0	0	0	0	6

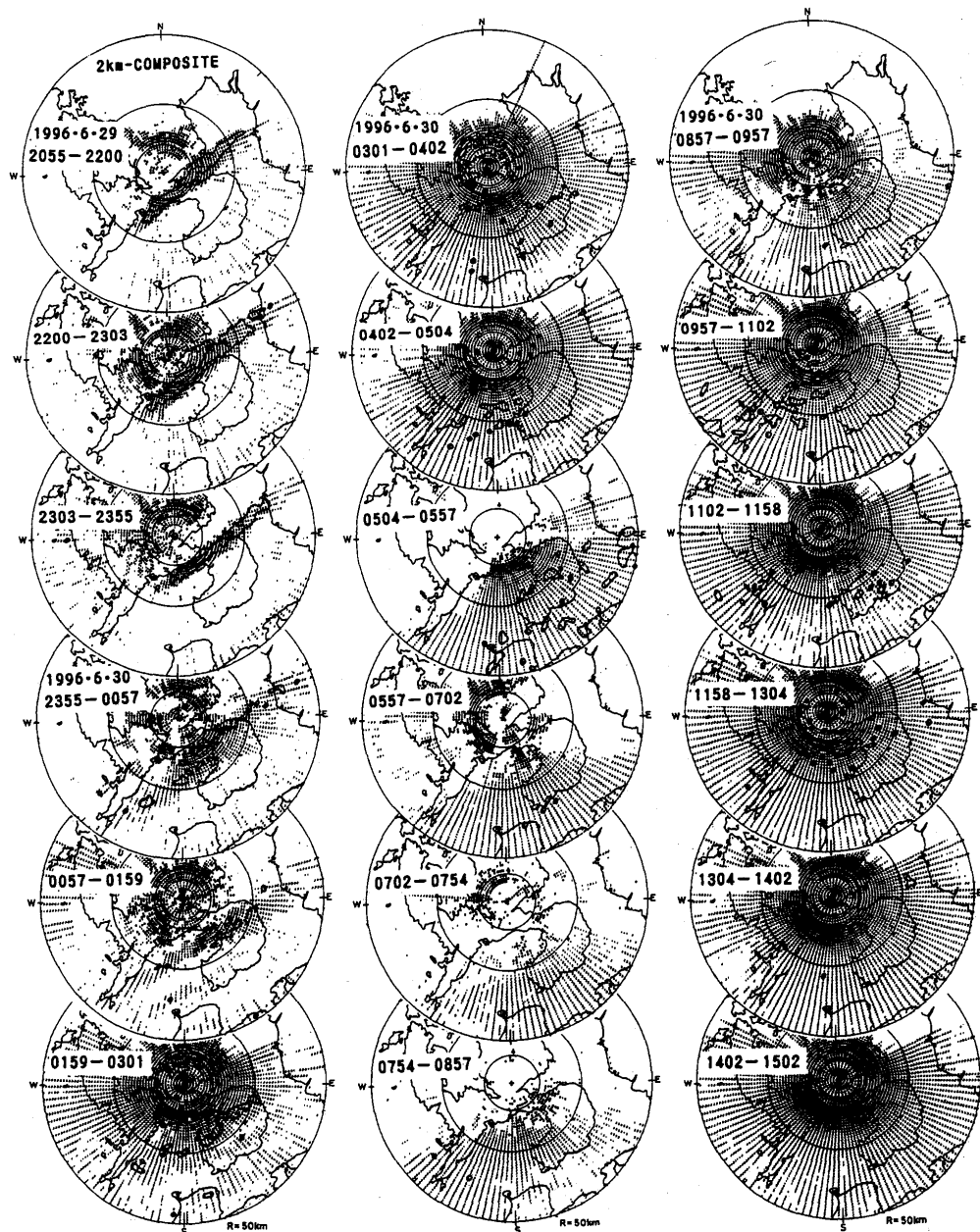


図8 1996年6月29～30日の約1時間ごとの高度2kmにおけるエコー合成図
実線内：平均強度25dBZ以上，外側の細かい数字：平均強度25dBZ以下

表7 1996年6月29日の気象概況

1996年 6月	長崎海洋气象台			長崎大学教育学部			アヲノ野母崎		長崎海台		長崎大学		アヲノ絹笠山	
	気温 (℃)	露点 (℃)	凝結高度 (m)	気温 (℃)	露点 (℃)	凝結高度 (m)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)
29日17時	27.9	24.1	471	27.8	23.6	521	SSW	11	S	4.4	S	5.2	SW	8
18	27.5	24.1	422	27.7	23.7	496	SSW	11	SSW	7.3	S	5.2	SW	10
19	27.1	24.4	335	27.5	23.7	471	SSW	12	SSW	5.2	S	7.5	SW	12
20	27.0	24.1	360	27.3	24.0	409	SSW	11	SSW	5.9	S	7.2	SW	11
21	27.1	24.1	372	27.4	23.6	471	SSW	9	SSW	7.4	S	7.8	SW	11
22	27.3	23.8	434	27.0	23.8	397	SSW	8	SSW	8.5	SSW	8.1	SW	11
23	27.0	24.0	372	26.8	24.3	310	SSW	9	SSW	8.3	SSW	6.2	WSW	13
24	26.5	24.1	298	26.3	24.1	272	SW	10	SW	8.5	SSW	6.8	WSW	14

表8 1996年6月29日の降雨の状況(単位:mm)

番号	観測機関	時間区分								日雨量
		00-05時	05-10時	10-15時	15-20時	20-21時	21-22時	22-23時	23-24時	
3	建設省小野	0	2	0	0	0	0	0	0	2
4	五家原岳(アメダス)	2	3	0	0	0	0	1	2	8
5	農水省黒新田	1.0	2.0	0.5	0.5	0	0	0	1.0	5.0
6	小長井町役場	1.0	0.5	0	1.0	0.5	0	0	0	3.0
7	建設省本野	0	1	0	0	0	0	0	0	1
8	農水省折山	0.5	4.5	0	0	0	0	0.5	0.5	6.0
9	高来町役場	1.0	0	0	0.5	0	0	0	0	1.5
10	諫早消防高来分署	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	建設省清水	0	4	0	0	0	0	0	0	4
12	建設省諫早出張所	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	諫早市役所	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.5
14	小ヶ倉ダム	0.5	0	0	0	0	1.5	1.0	0	3.0
15	建設省夫婦木	0	1	0	3	3	5	1	0	13
16	飯盛町役場	0	0	2.0	0	0	0	0	0	2.0
17	森山町役場	0.5	2.0	0	14.5	4.5	19.5	17.0	0	58.0
18	諫早消防愛野分署	0	4.5	0	0	0	0	18.0	21.0	43.5
19	県愛野馬鈴薯支場	0	4.5	0	0	0.5	0.5	0	4.5	10.0
20	農水省山田	0.5	1.0	0	0	0	0	0	0	1.5
21	瑞穂町役場	0	6.5	0	0	0	0	2.5	19.5	28.5
22	島原消防北分署	10.0	0	0	0	0	0	0	0	10.0
23	国見町役場	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	千々石(アメダス)	0	1	0	0	0	0	0	0	1

る限り、やや微妙な風向変化以外は特に指摘できる要素はない。大気の鉛直方向の安定度の吟味はこのような細かい時間帯では困難であるので、風向変化をやや根拠の弱い原因として指摘するに程度にとどめておきたい。

表6は同日の雨量一覧表である。明瞭なラインが確認できた17~22時の雨量にポイントを置いて表示した。図7から明らかなように、1時間の平均エコー強度が強かったのは20~22時の2時間である。表6では、20~21時では小ヶ倉ダム(14)と飯盛町役場(16)で多く、21~22時では北岸の小長井町役場(6)で多く、図7の傾向とよく一致する。

3-3 6月29~30日のケース

図8は1996年6月29~30日の1時間合成図の時系列である。このケースでは、観測開始時の21時頃からすでに顕著なライン状エコーが形成されていた。そのライン状エコーは、ゆっくりとした前線性降雨域の南下と重なり、30日01時に

消滅した。消滅後は前線性降雨が優勢になった。この地域全域に広がる降雨域のなかで、エコーの強弱からは諫早湾付近のラインを検出することはできない。表4に示した同日の高層風は、前述の2つのケースとほぼ同様である。また、表7に示す地上気象においても十分暖湿な南風(7~9m/s)であり、観測開始の21時よりかなり前からライン状エコーが出現していた可能性を示唆する。ただし、23~24時の風向は次第に西風成分が強められるいく傾向を表している。

表8に示す6月29日の雨量記録においても、21時頃のライン上の降雨が確認できる。森山町役場(17)、諫早消防署愛野分署(18)、瑞穂町役場(21)を辿れば、やや強い降雨域が徐々に南東方向に移っており、図8上のラインの方位角変化と対応している。

4. 考察

(1)これまではライン状エコーの出現状況と降雨の有無に焦点を当ててきたので、ライン上

の降水量の多少についてはほとんど記述していない。そのことに若干触れておくことにしたい。
ライン上の最多降水量は、

24～25日：50.0mm/12h(平均4mm/h；

森山町役場)

27日：11.5mm/3h(平均4mm/h；

飯盛町役場)

29日：41.0mm/3h(平均14mm/h；

森山町役場)

である。また、最大1時間降水量は21.0mm(諫早消防署愛野分署)であった。これらの雨量は決して「強い雨」とは言えないものの、同時に、小雨模様というほどに軽微なものではない。すぐ近くの隣接地域は無降水であるのに、ごく限られた地域にのみもたらされる降雨であるから、住民にはかなり影響の大きい現象である。さらに、既に報告したように(荒生ほか, 1997a), ライン状降雨が激しい雷雨となって、2時間に177mmの豪雨となった1995年7月11日の例もあり、雨量の観点でも十分注意を払う必要がある。

(2)上との関連で、図9は福岡上空の気温分布を示す。長崎地方の局地的な降水現象に福岡管区气象台の高層データを用いることに若干の違和感を伴うが、最も近い高層気象官署という意味で価値は十分にあり、解析上の手がかりとして活用したい。なお、同時に、厳密には長崎上空の状態ではないことに留意する必要がある。図9には、今回報告した1996年6月の3つのケースと1995年7月11日(雷雨)の、合計4本の気温分布曲線を示している。1枚のエマグラム上に4本の気温分布を表したため煩雑になっているが、1995年7月11日の気温分布を太い実線で強調し、それと今回の3つのケースとを対比できるように表示した。これら4つの場合とも凝結高度はせいぜい300m程度であるので、降水雲は970hPa付近で凝結し、それより上方への運動は湿潤断熱過程に従う。図9から明らかに、4つの気温分布はいずれもが、凝結高度から上

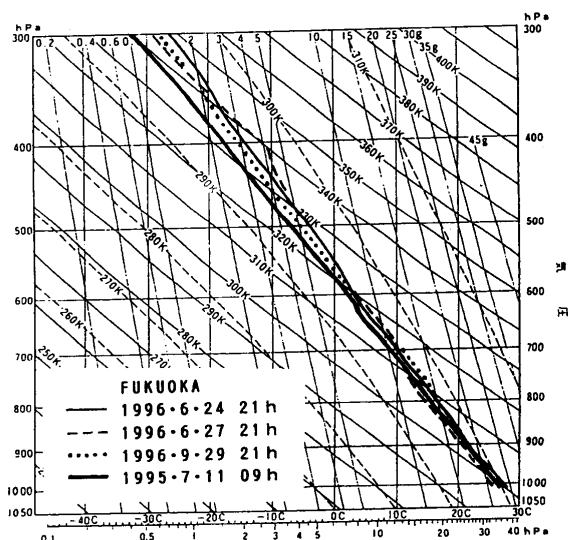


図9 福岡における高層気温分布(エマグラム)

方の湿潤断熱変化に対しては、不安定になっている。また、それらの高さに対する温度勾配から、1995年7月11日の場合は「著しい不安定状態」、今回の3つのケースは「やや弱い不安定状態」と判断できる。したがって、一般的には、「大気下層に湿潤な南風が流入してライン状降雨を発生させる場合は、下層が比較的高温になっているので、湿潤断熱変化に不安定となり、対流活動を助長させる」と言うことができる。ただし、ライン状の降雨域以外は無降水なのであるから、大気全体としては条件付不安定の状態であり、降水雲は特別の舞台や装置(強制上昇、水平収束)がないと発生しないことを暗示する。

(3)筆者らが「千々谷仮説」に魅力を感じる理由は、①ライン状降雨は、長崎地方においてやや強い地上風が、暖湿で南寄りの風向であるときにのみ発生する、②RHIレーダーや船舶用レーダーで見ると、ライン状降雨は明らかに対流性降水雲の連なりで構成されており、個々の降水雲は強い上昇流によって形成された可能性を示唆する、③ライン状降雨エコーの上空の風上側に標高差の大きい谷地形があり、南風を効率よく上昇させることができる、④ライン状降雨が発生している気象条件下においても、八郎岳よりも標高が高く、山域が広い多良岳

(1076m) や雲仙岳 (1486m) の周辺には降水雲の発生が認められず、単なる山越え気流や、山体をまわり込む気流の収束だけでは説明が困難であるものと考えられること、などである。(4) 最後に、谷地形仮説の長所と弱点について述べることにする。千々谷による地形効果の可能性にはかなりの説得性があると考えられるが、現段階では決定的な「証拠」を明示し、「立証」することは非常に困難である。山越え気流説や水平収束説など、別の「地形効果」を整然と否定することはできないからである。これが最大の弱点である。ただし、谷地形仮説を支持する状況が本報の図面に現れていると考える。それは、千々谷 (標高差500m) よりも規模の小さい真南に開いた谷地形 (標高差200~250m程度) の風下側に、「ライン状エコー」と平行に「微弱なライン状エコー」が存在することである。すでに述べたことも含めて、それらを列記すると、①2本目のライン状エコー：図3、図5・13~15時；長崎市大浜町大浦川の谷、②3本目のライン状エコー：図5・13~15時、図7・19~20時；長崎市相川町の谷、③島原市沖のライン状エコー：図5・16~20時、22~24時；島原半島加津佐町野田地区の谷、である。「ライン状エコー」が現れているときに、それに平行に現れる「微弱なライン状エコー」は、谷地形仮説の傍証となる可能性を秘めている。このような視点から、今後はライン状エコーだけではなく、微弱なライン状エコーの出現状況を詳しく研究する必要がある。

5. まとめ

(1)1996年6月下旬に長崎半島付近から発生した3例のライン状降雨エコーを解析した結果、ラインは5~7個の対流性降水雲の連なりで形成されていた。

(2)ライン状エコー出現時の気象状況は、暖湿でやや強い地上の南風と、上空の南西風という共通性があり、ラインの走向は上空の風向と

一致していた。

(3)この種のライン状降雨は、地形による降水雲の形成を強く示唆し、従来から提案してきた谷地形効果の可能性を否定するような事実は見出せなかった。

(4)ライン状降雨エコーと平行に「微弱なライン状エコー」が出現し、それらも風上側に南に開いた谷地形と対応している。このことは、谷地形仮説を支持する傍証となりうる現象であり、さらに詳しい研究が必要である。

謝辞

長崎大学RHIレーダーの観測にあたっては、長崎大学の中根重勝名誉教授、諫早市の岩永政太郎氏と藤山雅照氏に極めて実践的な御支援をいただいた。長崎海洋気象台、福岡管区気象台、日本気象協会長崎支部をはじめ、研究対象地域の多くの気象観測機関からは種々の気象データを御提供いただき、長崎市千々公民館 (風向・風速)、小浜町立木指小学校 (雨量)、雲仙ロープウェイ (雨量) および島原市立第二小学校 (雨量) には本学部の観測計器を設置させていただいた。また、各種のデータ整理と解析には、当時、長崎大学教育学部の学生であった井口潤君 (現在、長崎市立三川中学校)、勝野慎君 (同、長崎県警察) および中田昭大君 (同、北海道枝幸町立枝幸小学校)、坂口千恵美嬢 (同、長崎大学教育学部地学教室) に多大なる御援助をいただいた。上記の機関と各位に厚く感謝申し上げます。

本研究には、平成8年度文部省科学研究費補助金 (基盤研究C) と同年度名古屋大学大気水圏科学研究所共同研究経費から御援助を賜った。

参考文献

荒生公雄、椿 隆博、中田勝夫、1989：1987年に観測された長崎県南部地方の対流性降雨の微細構造、長崎大学教育学部自然科学研究報告、No.40、55-66。

荒生公雄, 中根重勝, 藤吉康志, 武田喬男, 1996a :
長崎市東部から諫早市方向に伸びるライン状降雨
エコーの解析と地形効果に関する考察, 長崎大学
教育学部自然科学研究報告, No.55, 9-22.

荒生公雄, 岩崎博之, 福井敬一, 早川由紀夫, 武田
喬男, 1996b : 降水レーダーを用いた雲仙岳火砕
流に伴う噴煙の構造と時間変化に関する事例解析,
火山, 41, 149-158.

荒生公雄, 中根重勝, 藤吉康志, 武田喬男, 1997a :
長崎県高来町周辺に豪雨をもたらした1995年7月
11日の雷雨, 長崎大学教育学部自然科学研究報告,
No.56, 13-24.

荒生公雄, 中根重勝, 岩崎博之, 藤吉康志, 武田喬
男, 1997b : 雲仙岳に大規模な土石流を発生させた

豪雨の特徴, 自然災害科学, 16, 27-40.

気象庁, 1996 : 天気図, 1996年6-7月.

長崎海洋气象台, 1996 : 長崎県気象月報, 1996年6
月号.

日本気象協会, 1996 : 気象, 1996年8月号 (同年6月
の天気図).

福岡管区气象台, 1973 : レーダーと集中豪雨, 福岡
管区气象台要報, No.28, 135-173.

福岡管区气象台レーダー班, 1974 : 福岡レーダーか
らみた九州の空, 天気, 21, 264-279.

福岡管区气象台・雲仙岳測候所, 1993 : 災害時火山
現象調査報告-平成3年(1991年)雲仙岳噴火,
pp.282. (引用p.144)

(1998年8月31日受理)