

島原半島北部を通過した1994年11月18日の対流性降雨の活動特性

荒生 公雄・進藤 康彦・江山 孝則*

長崎大学教育学部地学教室

武田 喬男・藤吉 康志

名古屋大学大気水圏科学研究所

(平成7年10月31日受理)

Features of the Convective Rainfall System over the Northern Area of Shimabara Peninsula on 18 November 1994

Kimio ARAO, Yasuhiko SHINDO, Takanori EYAMA

Faculty of Education, Nagasaki University, Nagasaki 852, Japan

Takao TAKEDA and Yasushi FUJIYOSHI

Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences

Nagoya University, Nagoya 464-01, Japan

(Received October 31, 1995)

Abstract

A convective rainfall occurred on 18 November 1994 over the northern area of Shimabara Peninsula in Nagasaki Prefecture is studied by the research of rain-gauge and an RHI radar observation. Main results are as follows.

- (1) The rain echoes appeared at the central region of Nagasaki Peninsula at the first stage. They then moved eastwards to the northern area of Shimabara Peninsula and brought a strong rainfall there.
- (2) The second rain echoes, which attacked the same area more strongly, originated on the sea (Tachibana Bay) between Nagasaki Peninsula and Shimabara Peninsula at the west end of the foregoing echoes. As a result of this, the rain echoes grown up in a band shape of 35km long and 5km wide.
- (3) All the active rain echoes moved from WSW to ENE (N60°E) with a velocity of 45~50km/h. Their direction and speed almost agreed with those at the levels of 500~700hPa of the nearest upper air stations (Fukuoka and Kagashima).
- (4) The features of this rainfall suggest the enhancements of rain-cloud generation by the orographic effects of the Nagasaki Peninsula.

* 現在 長崎県大村市立大村中学校

1. はじめに

長崎大学教育学部地学教室では、雲仙・普賢岳の火山活動に伴う土石流災害に注目し、長崎県諫早市の高台に設置中の R H I レーダー（1994年2月に名古屋大学から長崎大学に移管）を用いて観測を行っている。おもな目的は島原地方に強雨をもたらす降雨系の発生発達過程を明らかにし、土石流災害の防止に寄与することである。1994年の暖候期は異常な少雨であったため、幸いにして、被害に結びつくほどの規模をもつ土石流は発生しなかったが、それでも、小規模な土石流は3回発生していた（荒生ほか、1995）。本報では、このような一連の観測の中で明らかになったもので、島原半島北部に顕著な局地性降雨をもたらした1994年11月18日の対流性降雨の活動の特徴について報告する。

2. R H I レーダーの特性

第1表に本学教育学部 R H I レーダーの主要特性を示す。鉛直（仰角）回転を主とし、方位角回転を従とするもので、1回の鉛直回転のたびに方位角方向とその反対側の水平距離±50km（合計100km）におけるエコー強度の鉛直断面分布が得られる（高度は0～15kmの範囲）。方位角方向の回転のステップは任意に設定できるが、通常はおおむね3°～5°ステップ（全方位 PPI を得るのに要する時間は10分～6分）の範囲で運転している。この R H I レーダーの最大の特徴は鉛直回転を主回転とすることであり、高さ15kmから地面付近までのエコーの強度分布が時間差なしで観測できる。すべての鉛直回転ごとのレーダーエコーの観測記録は磁気テープに収録されるが、磁気テープ1巻に最大30時間のデータを記録できる。収録された磁気テープは、名古屋大学のプログラムを活用して、長崎大学総合情報処理センターの大型計算機で処理され、各高度の CAPPI 図、特定ライン上の断面図、特定地点の時間-高度図、数時間の合成 CAPPI 図などが作図できる。

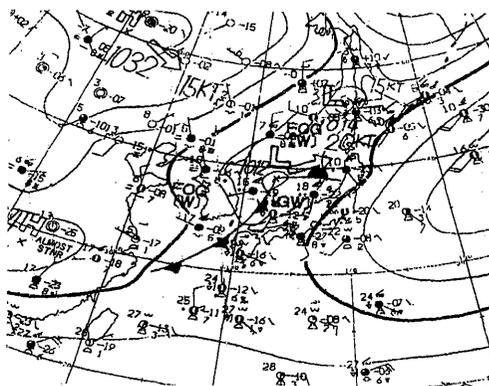
なお、R H I は Range Height Indicator（距離-高度表示装置）、CAPPI は Constant Altitude Plane Position Indicator（一定高度平面表示装置）の略語である。

3. 天気の概況と降雨の状況

第1図は11月18日15時の地上天気図である。朝鮮半島を経て日本海に入った東進中の低気圧（中心気圧1012hPa）から伸びる寒冷前線が長崎県本土に接近しつつあった。また、第2表に示すように、長崎県南部地方の風向は、午前中は南寄りであったが、午後になって、南→西→北と時計回りに転換した。本報で対象とする降雨の時間帯は11～14時であるから、その時間帯のあいだに本地方の風向はおおむね南→南西→西と変化したことになる。第2表の風向を注意深くみると、15時または16時には北寄りの風に転換しており、第1図の天気図の寒冷前線は長崎県本土側にもっと近い位置にあったと考えられる。一方、福岡および鹿児島の高層観測によると（気象庁天気図）、上空700～600hPa付近（高さ3～5km）の風向〈SW；225°～235°〉と風速〈23～33kt；12～17m/s〉はともに非常によくそろっていた。この高さでは比較的風速が弱かったわけである。ただし、500hPa面においては（高さ5.6km）、福岡の南西の風向（230°）は変わらないものの、鹿児島では西風（265°）に

第1表 長崎大学教育学部RHIレーダーの主要特性

項目	内容
送信周波数	9415 MHz (波長3.2cm)
送信尖頭出力	40 KW
送信パルス幅	1 μ s
パルス繰り返し周波数	750 Hz
ビーム幅	1.3°
アンテナ	2 m (パラボラ直径)
アンテナ回転速度	仰角方向: 6rpm
//	方位角方向: 18~30°/min
受信範囲	半径0~50km/高度0~15km
受信分解能	半径1 km/高度0.5km
記録方式	磁気テープ(最長30時間)

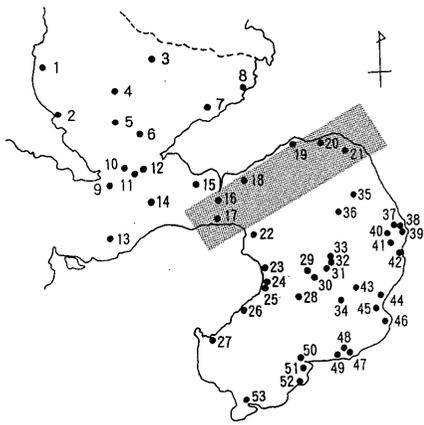


第1図 1994年11月18日15時の地上天気図 (気象無線FAXによる)

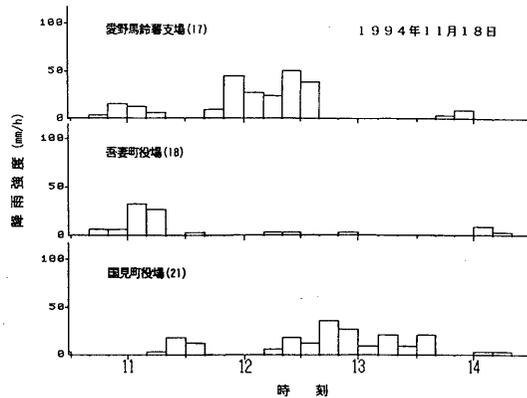
第2表 1994年11月18日07~18時の1時間ごとの気温、湿度、風向および風速

ただし、長崎航空測候所のカッコ内の値は気温および露点温度の整数値から得られる概略値。アメダスの野母崎と絹笠山は風向・風速のみ。

観測機関	項目	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
長崎航空測候所	気温(°C)	(18)	(18)	19.0	(19)	(19)	20.3	(20)	(21)	20.0	(19)	(19)	18.2
	湿度(%)	(94)	(94)	97	(94)	(94)	91	(94)	(88)	88	(94)	(88)	86
	風向	SSE	SSE	ESE	SE	ESE	SE	SSE	W	N	NNW	NNW	NW
	風速(m/s)	2.1	3.6	2.5	3.1	3.1	4.9	3.6	5.7	3.9	4.1	5.1	6.2
長崎大学教育学部	気温(°C)	18.4	18.4	18.6	19.0	20.3	21.8	21.7	20.4	20.1	19.0	18.9	18.5
	湿度(%)	98	99	99	99	99	90	85	97	86	98	95	94
	風向	SSW	—	S	S	S	SSW	SW	WNW	W	NNW	NNW	NNE
	風速(m/s)	2.0	0.0	1.2	1.2	0.3	3.2	5.1	1.5	2.8	2.0	0.5	2.0
長崎海洋气象台	気温(°C)	18.5	18.4	18.9	20.1	21.7	23.2	22.6	20.3	20.3	19.6	19.2	18.9
	湿度(%)	95	97	96	93	87	81	78	89	84	88	86	83
	風向	ENE	SE	NNW	ESE	SSE	SW	SW	W	W	W	NW	WNW
	風速(m/s)	0.9	0.9	1.2	1.0	2.4	3.0	5.4	4.7	4.4	2.4	1.7	2.0
野母崎 (アメダス)	風向	SE	SSE	SSE	S	SSW	SW	WSW	NNW	NNW	N	N	N
	風速(m/s)	3	6	8	5	6	2	1	4	5	4	2	7
絹笠山 (アメダス)	風向	SE	SE	SSE	S	S	SW	SW	WSW	W	WNW	NW	NW
	風速(m/s)	7	12	8	6	6	3	6	7	4	7	6	4



第2図 雨量観測機関の番号と位置
半影部は18日11~14時の降雨中心域



第3図 3地点における10分間ごとの降雨強度
(11月18日10時30分~14時30分)

なっていた。同時に、両者とも500hPaでは風速が45~50kt (22~25m/s)程度であったから、このあたりで風速が急増していた。

第3表は対象地域におけるこの日06時から15時まで10時間の1時間ごとの降水量と日降水量を示す。表の番号は本研究室の整理番号(1994年)であり、それらの位置は第2図に示される。本報で注目する11~14時の降水量は島原半島北部にのみ顕著であり、中部と南部の降雨は軽微であることがわかる。さらに、第4表には北部地区の観測機関と本学部の3台(小浜, 雲仙, 島原)の雨量計の11時から14時までの10分間降水量を示す。ただし、北部地区でも週巻き自記紙の記録は1時間雨量までしか整理しなかったため、第3表には記載されていない。また、中部および南部は明らかに少雨であったから、10分間雨量に関する詳しい調査は行っていない。第3表と第4表から明らかのように、特に顕著な降雨は長崎県総合農林試験場愛野馬铃薯支場(番号17)で観測され、正時1時間で23.5mm(12~13時)、最大1時間降水量で32.5mm(11時40分~12時50分)を記録した。

また、11~14時の3時間雨量では、

- ①愛野馬铃薯支場37.5mm ②国見町役場32.0mm ③島原北消防出張所15.0mm

の順位となる。第2図の半影域は3時間雨量の多い地域を示す。愛野町に隣接する森山町と飯盛町(西側)および千々石町(南東側)でほとんど降っていないことに基づいて、多雨域に半影を施したものである。

第3図は第2図の半影内にある3地点の10分間ごとの降雨強度を示す。時間的な経過からみると、20分間10mm以上の強い雨は初め吾妻町役場に現れ(1100-20:10mm)、次いで愛野馬铃薯支場(1150-1210:12mm; 1220-40:15mm)、最後に国見町役場(1240-1300:10.5mm)に出現した。これら4つの強雨は11時から13時までの2時間に起こっており、最後の1時間(13~14時)の降雨は前の2時間よりも弱い。以下では、これら4つの強雨に焦点を当ててレーダーの観測結果と比較検討する。さらに、第3図と第4表から明らかなのは、4つの強雨域の中心軸は時間とともにわずかながら次第に南下していることである。すなわち、最初の吾妻町役場を通過した強雨は瑞穂町役場と愛野馬铃薯支場にも十分な降

雨をもたらしたが、最後の国見町役場の強雨では、愛野馬鈴薯支場、吾妻町役場、瑞穂町役場のいずれも0.5mm以下の雨量しかない。それゆえ、雨量の記録だけからでも、第3図の半影域において、最初は北側、最後は南側を強雨の中心が通過したことは容易に推定できる。

4. 降雨系と降雨エコーのふるまい

第4図は高さ2kmのCAPPIの時系列である。図は09時29分から15時02分までの約5時間半を29画面で構成されており、1画面に要した時間は平均11分である。第1表に示したように、アンテナは1分間に6回の鉛直回転を行う。この日の場合、その1回転ごとに方位角を平均2.7°(1分間に15.4°)間隔で転換させたため、1画面のCAPPI図に11分を要したわけである(アンテナは鉛直回転で前後の距離±50kmを観測するから、180°の方位角回転で全方位を網羅するCAPPIが得られる)。また、CAPPI作図の段階においては、方位角60°の方向へ移動する1群のエコー域の時間的接続性を保つために、①方位角60°~240°で1画面、②同240°~60°で1画面、となるように計算機上で制御し、それぞれの最初と最後の時刻が第4図の各画面の左下に示されている。すなわち、最初の時間は各図の右端(東側)の観測時刻、最後の時刻は左側(西側)の観測時刻を意味する。第5図の時刻も同様の意味である。さらに、第4図の最初の画面に示したラインA-Bは第5図の鉛直断面線の位置を表している。ラインA-Bは「北からの方位角が60°で、レーダーサイトからラインに降ろした垂線の距離が13km」と規定できる。これを以下〈60°, 13km〉と記述する。各図ではラインA-Bが真横になるように南北線を東側に30°だけ傾けている。なお、第4図のCAPPIでは25dBZ未満の弱いエコーは省略されていることに留意されたい。

第4図で最初に島原半島北部に上陸したエコーは10時50分頃であり、この降雨は11時00~20分の吾妻町役場の強雨とよく対応する。そのエコーの出現は09時50分頃(2画面目)に長崎半島中央部の長崎市千々町付近であった。従って、出現時刻と上陸時刻から推定した最初のエコーの移動速度は13m/sであり(時速47km;実際には第5図から推定した)、この速度は福岡や鹿児島の上空4~5kmの風向・風速とおおむね一致する。なお、本図には現れていない弱いエコーは1画面前(09時20分頃)から同じ千々町付近に観測されており、この地域が最初のエコー発生域であった可能性が高い。

さらに、第4図の第1列目(0929-1037)に現れているように、千々町付近の海岸域では小規模エコーが次々に発現し、それらが後に発達成長して愛野町の海岸に上陸した。図から愛野馬鈴薯支場の第1波(1150-1210)は10時35分頃に千々町海岸に発生したものと判断できる。また、第2波(1220-40)は12時00分頃に橘湾中央部で発生したが、そのエコーは先行するエコーの後端に新規発生している。さらに、国見町役場の強雨(1240-1300)はそのまた後端に新規発生したエコーによることがわかる。このように、実際の雨量記録と2km-CAPPIのエコーの位置とは非常によく対応する。

第5図はラインA-B〈60°, 13km〉上の高さ15kmまでのエコーの鉛直分布の時系列を示す。ここでは09時28分から14時42分までを示しており、第4図のCAPPI図と時間的にほとんど対応する(最後の2画面のみ第5図が欠落)。図の横軸の距離+4kmが愛野町の海岸、距離-30kmが長崎半島中部の山岳部にあたる。この種の図はRHIレーダーで得られる最

も特徴的な画面であり、エコーの鉛直分布が一目瞭然となり、降雨セルの発生発達特性および運動特性を吟味点検するのに非常に有用である。第4図の記述と一部重複するが、第5図が示すエコーの構造と運動の特徴を以下に記す。

(1)09時頃の段階で長崎半島の周辺にエコーが存在しないことを確認しているため、最初の降雨系の起源は、09時20分頃に長崎半島中部（長崎市千々町の山岳地帯、最高峰は八郎岳590m）で新規に発生したものと考えられる。最初のセルが東進するにつれて、その後端に次々に新しいセルが形成され、移動方向に横長のエコー群に成長した。

(2)最初の降雨エコー（セル数3～4個）は成長とともに鉛直方向にも強いエコーの範囲を広げ、その強度を強めながら東方に進み、11時頃森山—愛野町海岸に上陸した。雨量計では吾妻町役場（1100-20）で最も強い雨となっていたが、その頃が降雨エコー群の最盛期（成熟段階）に達していたことがわかる。この降雨系はその後も東進して、有明海上から熊本県側に至り、徐々に衰弱した。ただし、次に愛野馬鈴薯支場に來襲するエコー群よりは全体としてやや小規模であった。

(3)最初のエコー列の後方約25kmの橘湾上に、第5図（その1）の最下図の距離—13km付近に、2番目のエコー列の「はしり」が出現した。それは先行するエコーの後端に次々に増結するように成長し、一列に連なって愛野町に上陸した。そのため、エコー群は進行方向に約35kmの長さを持ち、幅約5kmの細長い帯状を呈した。個々のセルの大きさは5～6km程度で、長さ35kmの帯のなかには4～5個のセルが活動していた。ただし、このエコー列の主軸の位置は最初のエコー列よりも約2km南側にあった。この2番目のエコー列は愛野馬鈴薯支場に2回の強雨（1150-1210；1220-40）をもたらした。さらに、その最後尾にあったエコーは、西海岸の雨量計をすり抜けるように（第4図）、やや南側を通過したため、国見町役場にのみ強雨（1240-1300）をもたらした。なお、上で述べたような、先行するエコーの後端に新しいエコーが形成される過程は、既存の対流雲の下降流と地上風との新しい収束域の形成によるものとして、よく知られている現象である（たとえば、武田、1987）。

(4)14時から15時までの降雨系の中心域がラインA—B上にあったとは限らないが、ひとつだけ注目したいことがある。第4図の13時50分～14時20分には方位角45°程度に傾いた上とは別の帯状エコーが半島北部を通過しており、第5図はその1断面を捉えていることになる。そのエコーはこれまでに注目してきたものとは異なり、背の高い弱いエコーと中心部の比較的背の低い中程度のエコーから成る。すなわち、第5図上では強い対流性を示していない。その帯状エコーは12時48分の2km-CAPPI（第4図）に既に五島灘（長崎港の西側）に姿を現し、方位角約45°の姿勢を保ったまま東進し、15時にはその南端が有明海を渡っている。明らかに持続性の強いエコーである。この帯状エコーは寒冷前線付近の風向の収束域によって形成され、収束域の移動に伴って移動した可能性が高い。少なくとも、この推論は第2表の風向の変化と矛盾しない。また、参考までに記すと、長崎海洋気象台では13時30分～40分の10分間に11.0mmの強雨を観測していた（ただし、13～14時の1時間では13mm）。第4図にはそれに符合するエコーは現れていないが（ただし、20～25dBZのエコーは現れていた；諫早方面に強いエコーがあったためかも知れない）、この局地的な強雨はこの帯状エコーの通過時に発生したことはかなり確かである。なお、長崎大学教育学部の13時～14時の1時間雨量は1.5mmであった。

(5)上のことと関連して、特に注目しておきたいことは、①愛野町付近を通過した強雨エコ



第4図(その1) RHIレーダーエコーの2km-CAPPI図(11月18日09時29分~12時37分)
 黒: 35dBZ以上, 縞: 35~30dBZ, 白: 30~25dBZ
 最上図のラインA-B <60°, 13km> は第5図の断面図の位置

一はすべて上空の風向・風速に沿って移動していた, ②14時頃の方位角45°をもつ帯状エコーの走行は上空の風向とは一致しない, ということである。このことは「比較的単純な対流性降雨の構造と風系の収束域に起因する降雨の構造による違い」を示唆する可能性を含んでおり, 今後の研究課題のひとつとしたい。

第6図は高さ6kmと2kmのCAPPIの時間合成図である。合成時間は09時56分から15時49分までとやや長めにとったため, 雲仙岳方面にもエコーの帯が認められる。しかし, 雲仙岳方面への降雨は14~15時であったから, 第2図の中で顕著な降雨帯を形成している島原半島北部の11~14時の降雨とは明瞭に分離できる。なお, 14時以降の降雨は島原半島の中部に移り, 北部ではほとんど降っていない。第6図はエコー強度の合成図であるから, 個々の降雨セルのふるまいを表すものではなく, 約5時間のあいだの2つの高度におけるエコーの平均強度分布を表している。

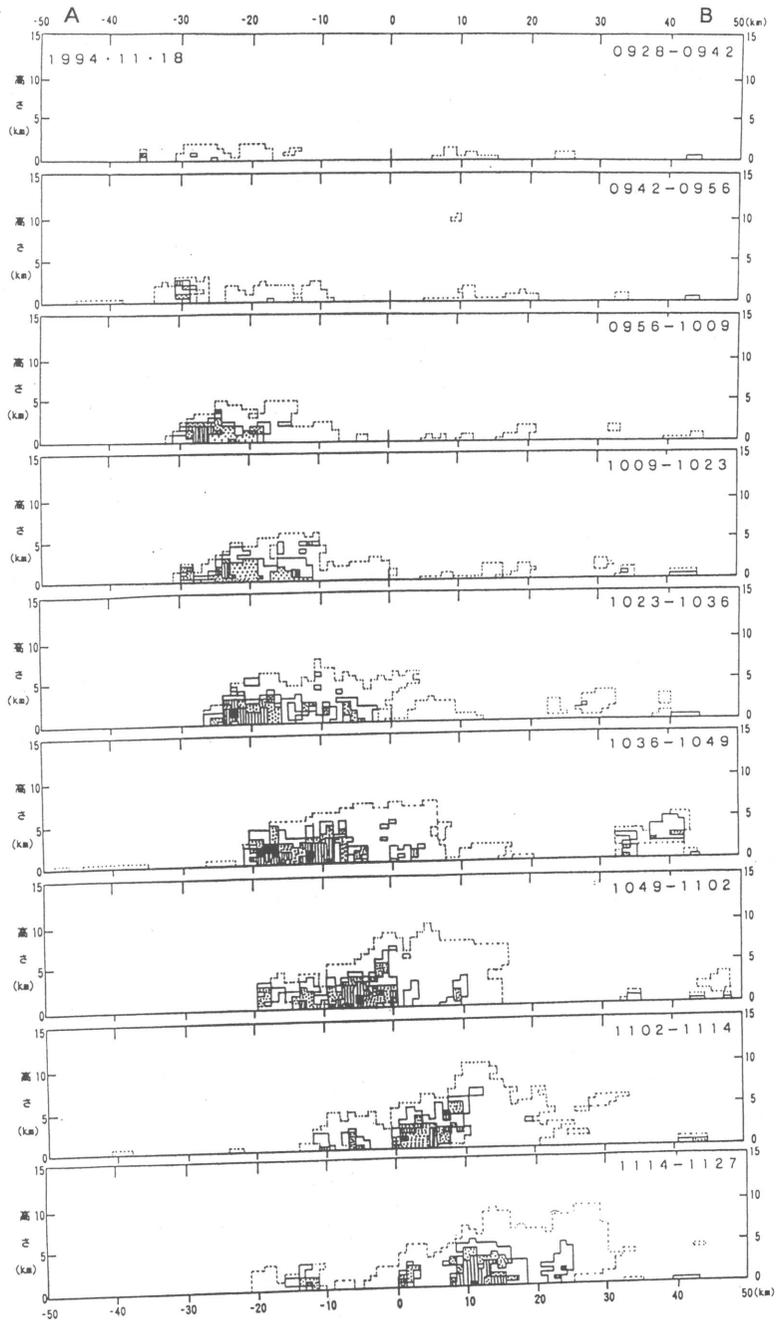
第6図のエコー強度の強い帯状の領域は, 個々のセルが西南西から東北東の方向へ移動



第4図(その2) RHI レーダーエコーの2 km-CAPPI 図 (11月18日12時37分～15時02分)
 黒：35dBZ以上，縞：35～30dBZ，白：30～25dBZ

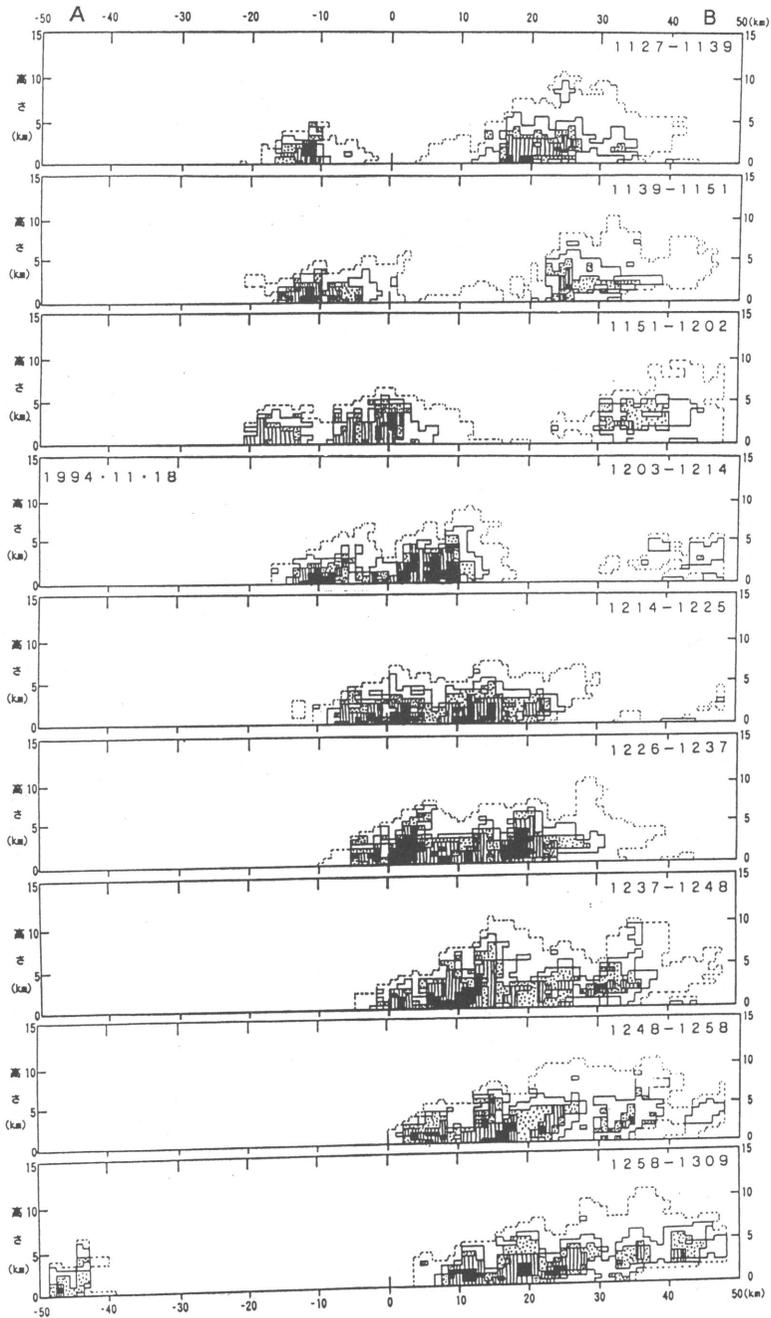
したことを十分に示唆するものである。すなわち，長崎半島付近で発生した個々の小規模なエコーは成長しながら次々と押し出すように東北東へ移動し，島原半島北部で最盛期に達していたことが読み取れる。また，高さ6 kmのエコーは2 kmのものに比べて，わずかながらその中心軸の方位角が東側に傾いている。これは高さ6 km(480hPa)の風向が西に転向し，風速が強まる傾向にあったことを反映している。また，高さ6 kmでみると，愛野方面の強雨エコーの背の高さが目立ち，14時以降の雲仙方面のエコーとの違いが明瞭である。

最後に，やや重複するが，注目に値すると考えられる「地形効果」について若干ふれておきたい。第6図でも，長崎市千々町のあたりから東側にのみ顕著なエコーが出現し，西側にはほとんど現れていない。このことはエコーが千々町付近で発生したことを意味し，同時に，八郎岳周辺の山岳地形による上昇気流または下降気流の一般風との相互作用が関与する可能性を示唆しているように読み取れる。

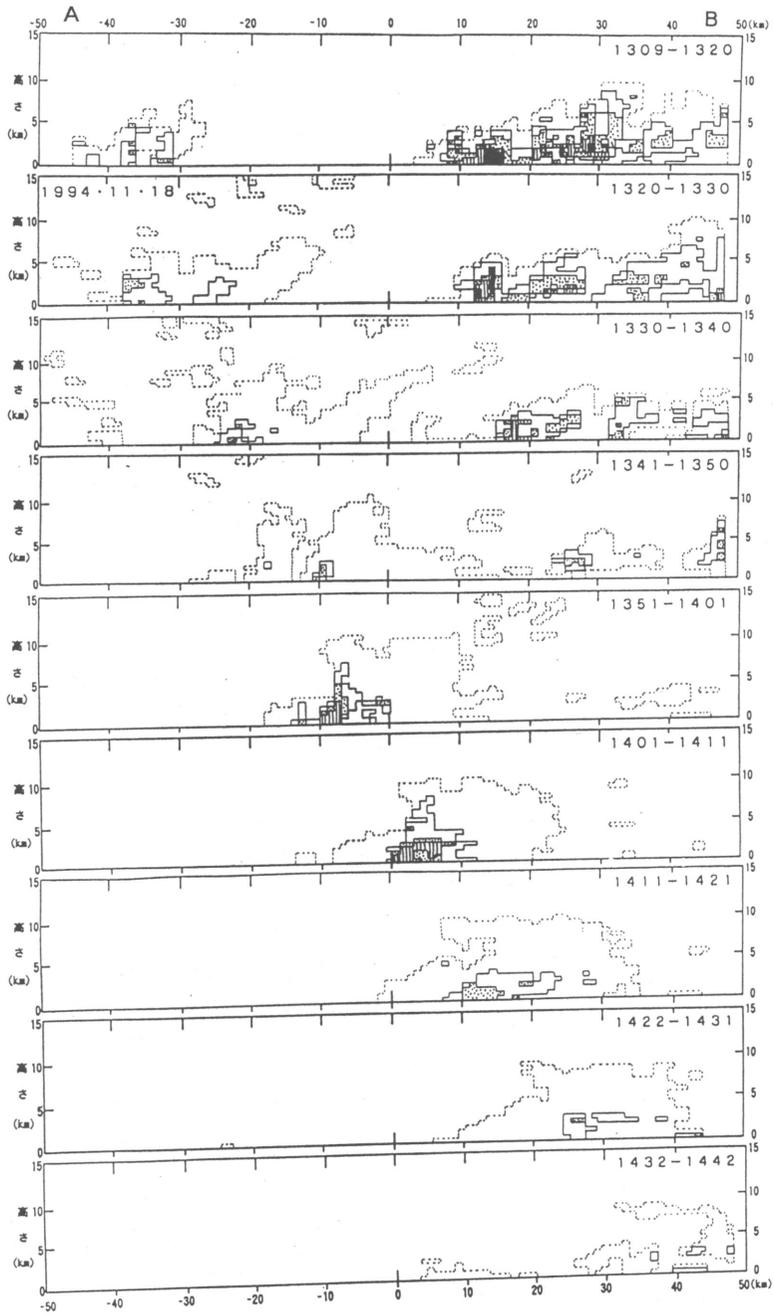


第5図(その1) ラインA-B $\langle 60^\circ, 13\text{km} \rangle$ 上のエコーの鉛直強度分布
(09時28分~11時27分)

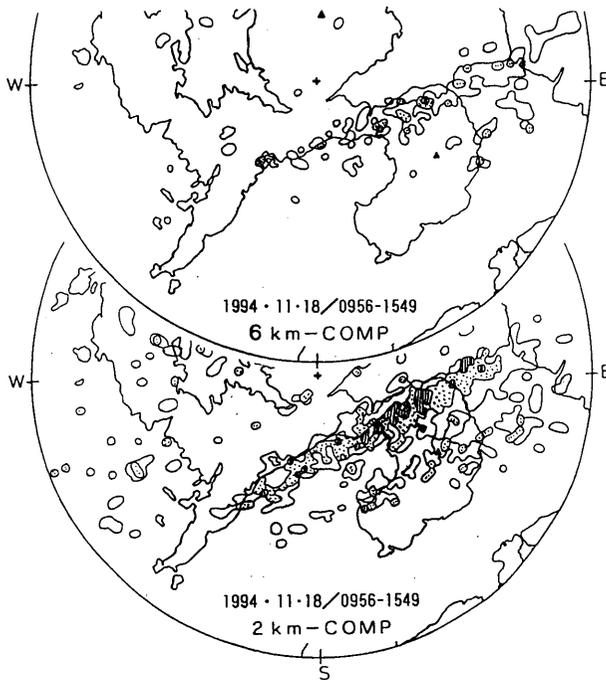
黒：35dBZ以上，縞：35~30dBZ，斑：30~25dBZ，白：25~20dBZ，
破線：20dBZ以下；距離+4kmが愛野町の西海岸に対応する



第5図(その2) ラインA-B <60°, 13km> 上のエコーの鉛直強度分布
 (11時27分~13時09分)
 黒: 35dBZ以上, 縞: 35~30dBZ, 斑: 30~25dBZ, 白: 25~20dBZ,
 破線: 20dBZ以下; 距離 +4 kmが愛野町の西海岸に対応する



第5図(その3) ラインA-B <60°, 13km> 上のエコーの鉛直強度分布
 (13時09分~14時42分)
 黒: 35dBZ以上, 縞: 35~30dBZ, 斑: 30~25dBZ, 白: 25~20dBZ,
 破線: 20dBZ以下; 距離 +4 kmが愛野町の西海岸に対応する



第6図 高度6 km(上)と2 km(下)の合成エコー強度(09時56分～15時49分)
 縞: 35～30 dBZ, 斑: 30～25 dBZ, 白: 25～20 dBZ
 ライン状エコーの中心軸がラインA—B <60°, 13km> に対応する

5. ま と め

- (1)1994年11月18日に島原半島北部で活動した対流性降雨は愛野町付近に強雨(最大1時間32.5mm)をもたらした。その降雨系の始まりは長崎半島中部の長崎市千々町付近であり、それらが東北東に移動しながら発達し、愛野町付近に局地的強雨をもたらした。
- (2)最も強い雨をもたらした第2の強雨は、第1の強雨が橘湾を東進中にその降雨系の最西端に新規発生したエコーが起源になっていた。最西端にエコーが新規発生する過程は第2の降雨系でも繰り返され、結局、この降雨エコーは長さ35km、幅5kmの長大な帯状エコーに成長した。そのなかには直径5～6km程度の強雨セルが4～5個並んでいた。
- (3)長崎半島または橘湾で発生したこれらの活発なライン状エコーは方位角60°の方向に時速45～50kmで移動したが、それは上空4～5kmの風向・風速と一致していた。
- (4)この日の降雨はそれほど強いものではないが、降雨の実態をRHIレーダーがしっかり捉えていた点で注目し値する。さらに、レーダーエコーの観測結果は対流性降雨の発生に長崎半島の地形が関与した可能性を示唆している。

謝 辞

本研究にあたり、長崎海洋气象台と長崎航空測候所からはさまざまな御援助をいただいた。また、島原半島北部を中心とする対象地域の雨量観測機関からは貴重な観測資料を提供いただき、本研究に弾みをつけさせていただいた。さらに、観測と資料の整理にあたっ

ては、小浜町立木指小学校、雲仙ロープウェイ(株)、島原市立第二小学校、諫早市の岩永政太郎氏と藤山雅照氏、長崎大学卒業生の太田綾子嬢に多大な御協力を賜った。上記の機関と各位に厚くお礼申し上げます。

本研究には、平成6年度文部省科学研究費補助金〈一般研究(B)〉、同年度名古屋大学大気水圏科学研究所共同研究経費および同年度長崎大学教育研究特別経費(特別分)から御援助をいただいた。関係者各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 荒生公雄, 中根重勝, 武田喬男, 藤吉康志, 1994: 島原半島北部を通過した1994年11月18日の対流性降雨の発生発達機構, 日本気象学会九州支部講演要旨集, NO.16, 17-18.
- 荒生公雄, 中根重勝, 江山孝則, 進藤康彦, 1996: 雲仙岳周辺における1994年の降雨の特徴, 雲仙火山災害の調査研究(長崎大学調査研究グループ), 第4報, 1-16.
- 気象庁, 1994: 天気図, 1994年11月.
- 武田喬男, 1987: 水循環の科学—雲の群れのふるまい—(4章 積乱雲と降水), 東京堂出版, 44-73.
- 長崎海洋気象台, 1994: 長崎県気象月報, 1994年11月号.