

## 船舶用レーダーによる豪雨監視の試み

荒 生 公 雄

長崎大学教育学部地学教室

合 田 政 次・中 根 重 勝

長崎大学水産学部海洋情報科学講座

(昭和62年10月31日受理)

### An Application of the Marine Radar to Observing the Rainstorm

Kimio ARAO

Department of Earth Sciences, Faculty of Education  
Nagasaki University, Nagasaki 852

Masaji GODA and Sigekatsu NAKANE

Section of Marine Information Sciences, Faculty of Fisheries  
Nagasaki University, Nagasaki 852

(Received Oct. 31, 1987)

#### Abstract

The main purpose of this study is to apply the marine radar mounted on the top of a university building to careful observation of the rainstorm. In spite of some differences in the way of using between the meteorological radar and the marine radar, the marine radar is still very useful as a short-range radar. The present study can be summarized as follows:

- (1) We can detect the strong rainfall from cumulonimbus clouds nearly over a 45 Km range from the university by a PPI marine radar of 3.2 cm wavelength.
- (2) The rainfall from stratus clouds is generally weak and in low altitude, so that, the marine radar is sometimes or partly insensitive to this, because the hills surrounding the university hide the lower part of the radar beam.
- (3) The marine radar can be expected to play an important role in the rainstorm season as a strong senser of the development and movement of thunderstorm cells.

## 1. は し が き

長崎豪雨（1982年7月）は防災対策に多くの課題を残したが、気象学的な観点では、(1)豪雨の発生・発達機構の解明、(2)豪雨監視体制の強化、(3)防災気象情報の迅速な伝達、などの重要な課題が山積している。長崎県は西側が海であるため、雨量計による豪雨の先駆的現象の把握が非常に困難であり、レーダーによる注意深い監視が最も望まれる地理的条件にある。しかしながら、長崎県地方は既設のレーダーサイトからはやや遠く、必ずしも十分な気象レーダー環境とは言い難い。後で述べるような、長崎県の地理的・気候学的な条件を考慮すれば、もっと多くのレーダーによる、多方位からの包囲的な豪雨監視体制の確立が是非とも必要であり、国や地方自治体の防災関係機関における中・長期的展望に立った企画が切望される場所である。本研究では、長崎県地方の豪雨の特徴とレーダーの役割を考察し、次いで、長崎大学水産学部が所有する船舶用レーダーの機能に着目し、これによる豪雨の監視の可能性と利用の方法を検討する。

## 2. 長崎県地方の豪雨とレーダーの役割

長崎県地方は日本国内では最も顕著な集中豪雨の発生地帯である。長浜（1984）が明示しているように、越智（1973）の分類でいうところのA級豪雨（最大1時間降水量が110mm以上で、かつ、最大3時間降水量が250mm以上の降雨）は、九州で1953—82年の30年間に4回発生しているが、これらは長崎県と熊本県の2県だけで起こっている。そして、さらにそのなかのbig twoが諫早豪雨と長崎豪雨であり、この2つの豪雨はそのまま日本のbig twoに位置づけられる。超大型のA級豪雨だけでなく、もっと降雨強度の弱いものまで考慮に入れても、九州西部はきわめて頻度の高い豪雨多発地帯である（たとえば、荒生・金子、1985）。

これまでの調査や研究において、長崎県地方の豪雨の特徴がどのように捉えられてきたかをまとめ、その概要を第1表に示す。この表をさらに要約すれば、次のようになる。

- (1) 梅雨期の総観規模の気圧配置は、九州に暖湿な南西気流をもたらすが、この気流は長崎—熊本の海岸域で収束しやすい。
- (2) 積乱雲の発生・発達には海上の島や海岸付近の地形と山岳がかなり強い影響を与えていると考えられ、特に、高さ400m以上の山岳に注目する必要がある。
- (3) 諫早および長崎豪雨の最盛期では、降雨域前面での電波の減衰のために、レーダーは豪雨中心域およびその活動を的確に把握することができなかった。

このように、長崎県地方は地理的・地形的に梅雨期豪雨にさらされやすい状況にあり、将来にわたってA級豪雨に襲われる危険性を十分にもっている。そして、もう一つ強調しておかなければならないことは、(3)に挙げたように、実は“レーダーは強烈な豪雨には目が眩み、よく見えない”ということである。これに対応するには多くのレーダーを配置し、多くの方角から包囲的に豪雨の活動を監視することである。この指摘と趣はやや異なるが、レーダー観測網の拡充に関して、播磨屋（1987）は示唆に富む指摘を行なっている。その内容は、将来を見据えている点で極めて教訓的であるから、ここに原文のまま紹介する。「豪雨は、空間的に非常に狭い範囲に集中する。しかし現在の気象庁及び建設省のレーダー

第1表 長崎県地方の豪雨の特徴

研究者(年)	概要
大沢綱一郎・尾崎康一 (1959)	①諫早地方は地形的に雷雨が停滞しやすい場所と考えられる。 ②諫早豪雨は、局地的な激しい対流と雷雨細胞をもって説明しなければ、単なる地形による上昇流や前面滑走では説明できない。
竹永一雄・矢花和一 (1959)	①南西風が九州にぶつかる時、長崎から熊本の間には気流が収束するのは常に見られる現象である。 ②21時のレーダー指示報では「エコーは衰弱している模様」と報じている。しかし大村付近の豪雨は弱まらず、1時間140.5mmという最盛期にはいった。広域エコーと局地的な対流性の豪雨は必ずしも関連性がなく、このような豪雨を示すほどエコーに実感が伴わないことを意味している。
福岡管区気象台レーダー班 (1974)	①暖域内で、幅10～20km、長さ200kmの対流性線状エコーが等間隔に30km前後に並んで、固定された地域に停滞する場合がある。 ②セルの発生域は海上で西岸域と島の南端に多く、400m以上の山岳がある付近に当たる。
嬉野吉彦 (1984)	①長崎豪雨における18時および19時の福岡レーダーでは、エコー強度と実際の雨の強度との対応が悪くなった。これは佐賀県一帯の強いエコーにより電波の減衰を受け、長崎県のエコーが弱めに観測されたのであろう。
Ogura, Asai and Dohi (1985)	①長崎豪雨の雲のクラスターが地形の影響でほぼ同じ場所に停滞していたことを示唆するが、長崎地方の比較的小規模な丘陵がどのような影響を与えたか、その詳細はわからない。
荒生公雄 (1986)	①長崎豪雨は5つの強雨域で構成され、西海岸から進入して東へ移動した。
武田喬男 (1986)	①海上で発達した積乱雲が、上陸する際、海岸付近に一拳に雨を落すことはよくあり、このような現象には地形が影響していることはまず確かである。

網は、広域を監視するように配置されている。それで山岳地帯の多い日本では、どうしても山かげ等のためにレーダーによる探知が出来ない地域が存在することになる。(中略) こういうところでは、その地域全体を見通せる場所に、自治体なりがレーダーを設置し、常時監視できる体制が望まれる。このような広域レーダー網ではどうしても死角になるところは、日本各地に存在するだろう。それで降雨災害防止のために、狭域用レーダーの展開が急務であると考えられる。」

播磨屋の指摘の主要な理由は、山岳による広域レーダーの死角であり、筆者らが述べたものは広域レーダーの豪雨時の電波の減衰であるが、防災対策を強化する立場からレーダー網の拡充を主張している点では共通している。

ところで、現在(1987年)、長崎県地方をカバーしている気象レーダーは、気象庁の福岡レーダー(背振山:長崎市から約80km)と種子島レーダー(中種子町:同250km)および建設省の九州北部局雨量レーダー(釈迦岳:同100km)であるが、いずれもかなり遠く、しかも長崎県の東側にあつて、おもに西方から来襲する豪雨を早目にしかも的確に捕捉するという観点からは、決して十分な環境ではない。長崎県の西側が海であることがさらに条件を悪くしている。即ち、陸地であるならば、雨量計を設置することによってレーダー環境の多少の悪条件は克服できるが、海上に雨量計を置くことは困難であり、従って、雨量計による強雨の先駆現象の把握も陸続きの地方よりは難しくなる。西方が海であることからレーダーは最大の拠り所であるが、その際、レーダーを過信することなく、その弱点をも

十分に認識して、国と地方自治体の防災関係機関は、ネットワーク化と監視強化のために一層の連携を目指さなければならない。

### 3. 船舶用レーダーの特徴

長崎大学実験局の船舶用レーダー（長崎大学水産学部所有）の主な仕様を第2表に示す。この装置は、日本無線(株)製の型名 JMA-158FB の大型レーダーで、アンテナは長崎大学文教地区キャンパス内で最も高い教育学部本館の屋上に据え付けられている(写真1および写真2)。本装置は、(1)PPI方式に限られ、(2)垂直

ビーム幅が大きく、(3)波長が3.2cmであることが、通常の気象用レーダーとの違いである。気象庁および建設省のレーダーは波長5.3cmを用い(但し、富士山レーダーだけは10cm)、気象庁のレーダーでは仰角を変えることが可能で、3次元的なエコー分布が得られる。一般にレーダーは波長が短いほど降水粒子から



写真1 アンテナ部の拡大写真



写真2 教育学部屋上部

第2表 長崎大学実験局船舶用レーダー

指示方式	PPI方式
空中線方式	スロットアンテナ(直径2.3m)
距離範囲	0.75—96海里(8段切り替え)
指向特性	水平ビーム幅 1°; 垂直ビーム幅 20°
パルス幅	0.8 $\mu$ s(6—96海里)
回転数	22rpm
送信周波数	9330—9420MHz(波長3.2cm)
送信尖頭出力	50kW

のエコー強度が増大するが、その反面、途中の降雨による減衰も大きい。レーダーに使用される波長は、3cm帯(Xバンド)、5cm帯(Cバンド)、10cm帯(Sバンド)の3種だけに限られ、気象庁や建設省のレーダーは、200—400kmの広域をカバーする必要から、3cm帯よりも透過性のよい5cm帯を用いる。しかし、船舶用レーダーには主として3cm帯が使用されている。また、探知範囲が100km程度までの狭域レーダーでは、気象用としても3cm帯が用いられている。例えば、1984年6—7月に九州北西部に降雨特別観測として展開された、北海道大学、名古屋大学、九州大学の3台のレーダーの波長はいずれも3cm帯であった(武田, 1987)。従って、波長の点からは、本レーダーは狭域レーダーとして十分な能力を持っている。気象用レーダーとして設計されたレー

ダーと船舶用レーダーとの最も大きな違いは、船舶用レーダーの垂直ビーム幅が非常に大きいことである。海上を航行する際の波浪による動揺にも十分対応するように、船舶用レーダーでは垂直ビームが水平線を挟んで上下に大きくする必要がある。一方、気象用の場合は、水平ビームばかりでなく、垂直ビームも出来るだけ狭くして、遠方でも十分に細かい分解能が得られるようにしておかなければならない。それ故、本学船舶用レーダーのように、垂直ビーム幅が非常に広く(±10度)、かつ、仰角を変えられないPPI方式に限定されている装置は、一般的に言って、海上や地上からのエコーが強く混入するから、気象用としてはかなり厳しい制約を受けることになる。

#### 4. 垂直ビームと周囲の丘陵

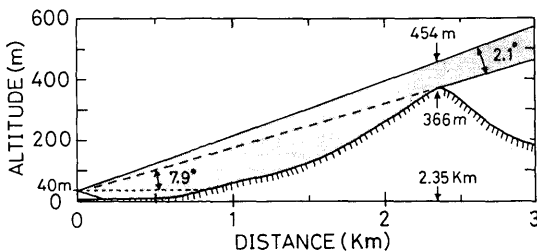
長崎市は比較的狭い谷に沿って住宅地が延び、南北に細長い市街地を形成している。本学文教地区キャンパスは市の北部に位置し、南側は15kmほど見通せるが、そのほかの3方向は小高い山のために約3kmで視界が遮られる。本学レーダーサイトと周囲の山々の頂上との距離と仰角の代表的な関係を第3表に示す。

第3表 周囲の山頂の仰角

順位	名称 (方角)	標高(m)	高度差(m)	距離(km)	仰角(度)
1	金比羅山(SE)	366	326	2.35	7.9
2	岩屋山(WNW)	475	435	3.25	7.6
3	帆場岳(ENE)	506	466	4.50	5.9
4	稲佐山(SSW)	332	292	3.75	4.5
5	川平岳(NE)	226	186	2.50	4.3
	烏帽子岳(NW)	413	373	5.45	3.9
	赤迫岳(N)	152	112	1.65	3.9
	八郎岳(S)	590	550	12.70	2.5

この表のなかで高度差とは、標高からアンテナの高さ(約40m)を差し引いた値である。順位は5位までしか記入していないが、ここに示したのはあくまで山頂の仰角であって、山の峰筋が山頂の高さとあまり変わらない場合には、低い山の頂より仰角が大きくなることもあるから、順位そのものが実は厳密ではないためである。

第1図に、最も高く空を隠している金比羅山の山頂とアンテナおよび垂直ビーム幅の関係を示す。金比羅山の仰角は7.9度であるから、上方側10度の垂直ビームのうち、2.1度だけが山頂を越えて遠方に伝播することになる。従って、山頂より外側では仰角約9度で打ち出されたビーム幅2度の電波と見なすことができる。そして、アンテナから送信された残りの約18度分の電波は、住宅地や山の斜面からの地上エコーとなるが、山が近距離にあるために、この場合、地形エコーは2.4km以内に限られる。このように、本学の周囲を



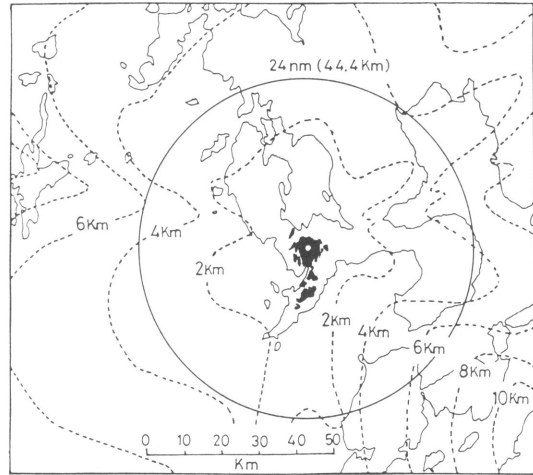
第1図 金比羅山方向の地形と垂直ビーム

取り巻く山々によって、稜線の外側に飛び出す電波の垂直ビームは方向によりかなり異なる。控え目に見積もっても、全方位に対する平均の仰角は3-4度になるであろう。

第2図に、24海里(約44km)レンジにおける探知範囲と、山を越えたビーム最下端の等高線を示す。遠距離になると地球の曲率の影響が出てくるが、

ここではほとんど遮蔽している稜線の仰角で定まり、仰角の著しく高い金比羅山と岩屋山の方向では、40kmの距離では6kmより低いところにある降水粒子は捉えられない。従って、特別の場合を除けば、本装置による適正な探知範囲は24海里レンジ、と判断される。そして、南東と西北西方向にやや弱いことを留意しておく必要がある。

ここに述べてきた船舶用レーダーの特性と周囲の地形に由来する複雑な障害は、決して歓迎すべきものではない。しかし、何よりも幸運な点は、第2図に示されているように、地上エコーが近隣の山々によって非常に狭い範囲に限定されることである。しかも、この地上エコーは南北にはやや長い、東西にはかなり短いから(約5km)、西から東へ移動する



第2図 ビーム最下端の等ビーム高度線と24海里圏  
(黒塗りの部分はグランドエコーを示す)

る傾向をもつ豪雨の追跡には障害が比較的少ない(写真3および写真4)。山高からず、そして遠からずして第2図を得たのである。長崎港内では山が迫りすぎて、東と西に電波が抜けることができない。

## 5. エコー強度と降雨強度

船舶用レーダーのエコーの強さと実際の降雨の強さとの対応性を点検するために、1986年のうちで降水量が比較的多かった3日間(5月19日、5月29日、9月20日)を選んで、レーダーの探知範囲内にある周辺の18地点の雨量観測記録との比較を行なった。なお、雨量記録を提供頂いた18地点の観測機関名等は後述の謝辞の部分に明示した。まず、エコーの写真撮影について説明する。エコーは、空中線(アンテナ)の2回転に相当す

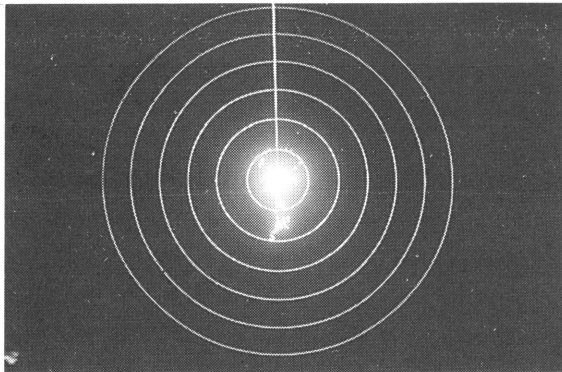


写真3 グランドエコー(24海里レンジ)

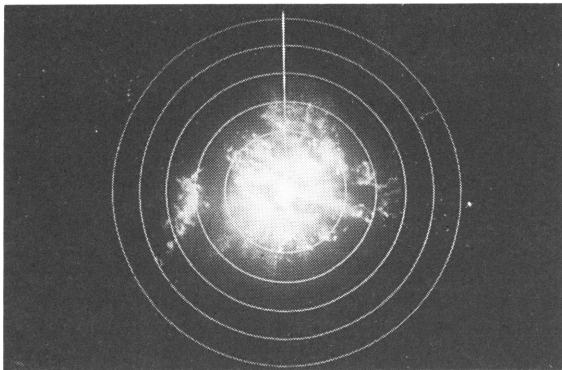
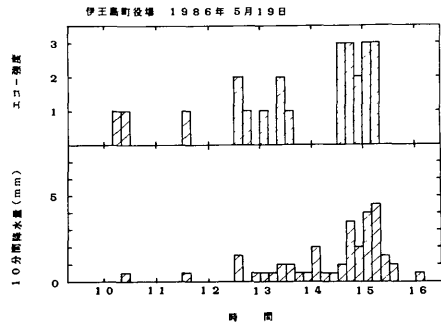


写真4 降雨エコー(24海里レンジ)  
1987年7月20日11時19分

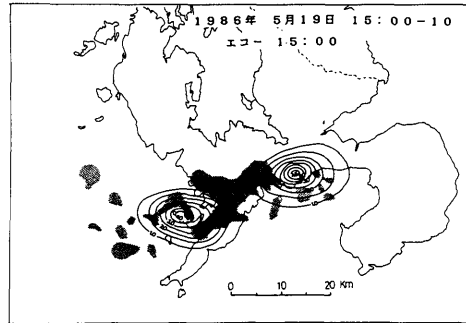
る6秒間の露出時間で、トライ-X（コダック）フィルムを用いて撮影した。指示機のGAINを目盛5.0まで上げると地上のエコーが現われ始め、目盛5.5で最も強い降雨域の中心部分がかすかに映し出されるようになり、目盛10.0（フルスケール）では非常に弱い雨にも敏感になる。弱い雨にも強く反応するようになると、対流性降雨の中心部分が判別できなくなるから、GAINを6.0に絞って撮影した。GAINの目盛6.0は強い降雨域を観測するのに最適な条件であった。

第3図に、1986年5月19日の伊王島町役場における、エコーの強さと10分間降水量の関係を示す。この図では10分間のエコーの強さを1, 2, 3の3段階で表示した。即ち、GAIN6.0で得られたエコーを濃・淡の2種類に分け、それらの占める10分間のなかでの時間的な割合を考慮して3階級に整理した。図から明らかなように、雨の強さは3階級のエコーの強さとよく対応している。なお、この図において、注意しなければならないことは、10分間0.5mmの降雨の解釈の仕方である。通常、転倒ます型雨量計の分解能は0.5mmであるから、しばらく転倒がなくて、たまたまある時刻に1回転倒したとしても、その0.5mmの蓄積にどれほどの時間を要したかは分らない。つまり、そのような場合には、10分間の間に2回の転倒があつて、ようやく10分間に0.5—1.0mmの降雨があつたと言えるのであり、3回、4回転倒回数が増えるにつれて信頼度が急速に増加する。従つて、この図では、10分間1mm以上の降雨があつた時のエコー強度を比較する必要があり、10分間雨量の最大は4.5mmであるが、対応性は良好であるといえる。

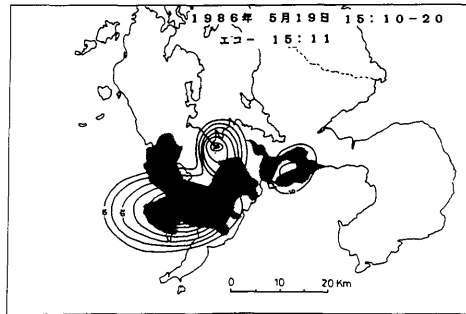
第4図に、同年5月19日15時から15時30分における強いエコー域と10分間降水量の分布を示す。この図で降水量は10分間のものであるが、半暗部で示した強いエコーの部分は写真に撮影した瞬間の状態である。その撮影時



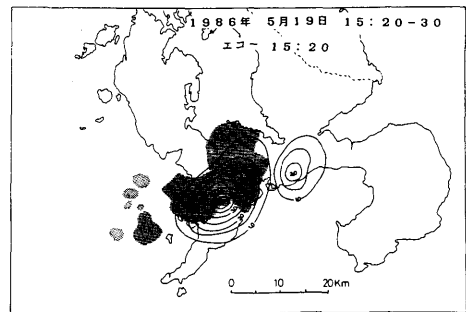
第3図 エコー強度と10分間降水量の関係



(a) 15時00—10分



(b) 15時10—20分



(c) 15時20—30分

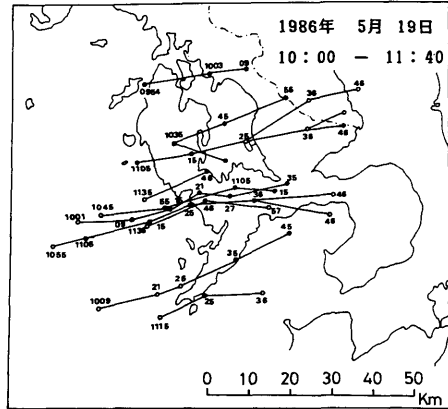
第4図 強いエコー域と10分間降水量の関係(1986年5月19日) 等雨量線は1mm以上を0.5mmごとに表示。

刻は図の説明に示したように、10分間のうちの始めの時刻であるが、おおむね10分間隔で示されているから、西海上から東方への移動も十分追跡できる。なお、上で述べたようにGAINを絞っているから、影で示した地域の外側でも実際には雨が降っている。第4図は、全体的な傾向として、強いエコー域が降雨の中心域とよく一致していることを示している。同じ図の中では、強いエコー域が多雨域よりも幾分西に寄っているが、これはエコーの撮影時刻が10分間雨量の時間帯より早いためで、10分後のエコーと重ね合わせてみれば、降雨中心域と割合によく一致する。但し、3.2cm波の特徴を反映しているものと考えられるが、降雨に対する感度が強く、長崎大学付近に強い雨がある場合には、エコー域が中心に限られる傾向がみられた。

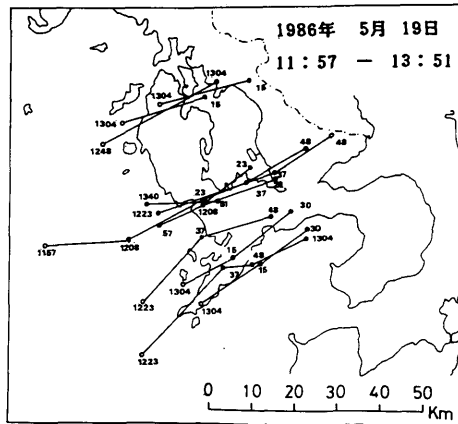
## 6. 課題と展望

上述のように、気象用レーダーとしてみればいくつかの弱点をもってはいるが、本装置でも、比較的強い降雨で、しかも垂直方向に発達する対流性の降雨ならば、ほぼ半径45kmの範囲で探知できることが分かった。もちろん、GAINを上げれば、層状の降雨もかなり弱いものまで把握できるが、一般にこの種の降水の高度は低いから、探知範囲は狭く、かつ、周辺の地形のために、エコーの外縁は第2図の等ビーム高度線に沿った形になる。一方、これまでの観測で確認できた最も遠方のエコーは、佐賀県呼子町沖の壱岐水道上のもので、その距離は約100kmであった。

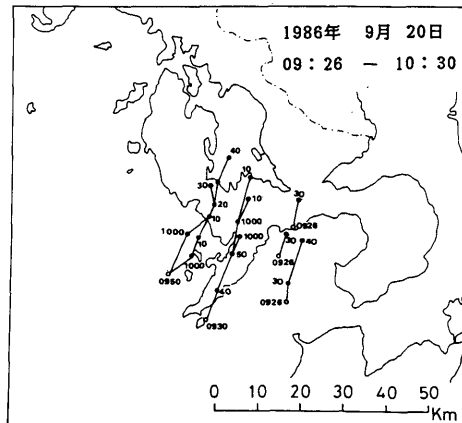
このような船舶用レーダーのもつ固有の特徴や立地条件による弱点を十分に注意を払いながら活用すれば、豪雨監視と防災対策に役立つ情報を獲得できる。その1例を第5図に示す。これらの図は、強いエコーの位置を時間とともに追跡したもので、かなり示唆に富んでいる。即ち、強い降雨域は、西方から(5



(a) 1986年5月19日 10時—11時40分



(b) 1986年5月19日 11時57分—13時51分



(c) 1986年9月20日 9時26分—10時30分

第5図 強いエコー域の移動の様子



月19日)、または南方から(9月20日)来襲し、数時間に限れば、ほとんど同じ方向に進んでいる。そして、第3図に示したように、エコーの移動域は強雨の通過域と一致する。海上を監視すれば、どのあたりに次の降雨が進入するかの監視(短時間予測)の可能性を十分示している。また、このような監視から、移動の速度および強雨域の広がりも把握できる。さらに、降雨の経路が何本かの帯になってほとんど同じ地帯を通過しているようにもみえる。長崎豪雨でみられたような、強雨域の筋状の分布と特定の地域への集中性(荒生、1986)とかなり類似性があるようにみえる。このように、豪雨の進入経路の監視や、降雨と地形の関係などの調査に役立てることができる。

最後に、強調したいことは、船舶用レーダーであっても、豪雨監視に貢献できる能力を相当程度もっている、ということである。実際、北海道大学低温科学研究所では、本装置と同型の船舶用レーダーを鉛直上方のエコーを捉える垂直レーダーとして活用している(藤吉ほか、1987)。但し、もう一つ強調したいことは、レーダーの最大の特徴である広域探知を生かしながらも、レーダーの欠点(強烈な豪雨に弱い)をよくわきまえ、短時間刻みでの実測雨量との比較点検を怠ってはならない。欠点や弱点を十分認識して活用すれば、Better than nothing の思想から生まれた船舶用レーダーの豪雨監視の試みも、何らかの有益な働きをするものと期待できる。

### 謝辞

本研究は、1984年の3大学による九州北西部降雨特別観測に端を発している。この時、西彼杵半島の西彼青年の家で観測班の指揮を執っておられた、北海道大学理学部の菊地勝弘教授に、船舶用レーダーの応用について、思いがけない衝撃的な御教示を頂いた。これが本研究の発端である。菊地勝弘教授の御卓見と御好意に敬意を表し、あわせて、深甚なる謝意を表します。

レーダーエコーの写真撮影および各地の雨量記録の整理は、藤田祐利氏(現在、長崎市立佐古小学校)の御援助によるところが大きい。記してここに謝意を表します。

本研究の一部は、長崎大学の昭和61年度教育学内特別経費の御援助によるものであり、関係各位の御支援に謝意を表します。

次の17の観測機関から雨量記録の写しを頂いた(長崎大学の記録を含めると18機関になる)。ここに明記して、御好意に厚くお礼申し上げます。なお、アメダス地点を含む気象官署の記録の御提供には日本気象協会長崎支部にお世話になった。(1)川棚町役場、(2)大瀬戸(アメダス)、(3)長浦岳(アメダス)、(4)中山ダム、(5)式見ダム、(6)時津町役場、(7)長崎土木事務所、(8)長崎海洋気象台、(9)伊王島町役場、(10)黒浜ダム、(11)長与ダム、(12)多良見町役場、(13)飯盛町役場、(14)長崎県総合農林試験場、(15)大村(アメダス)、(16)長崎海洋気象台長崎空港出張所、(17)五家原岳(アメダス)

## 参 考 文 献

- 荒生公雄, 金子圭一, 1985:九州地方における梅雨期豪雨の地域特性, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, No.36, 17-24。
- , 1986:10分間降水量でみた長崎豪雨の構造, 天気, 33, 17-26。
- 嬉野吉彦, 1984:福岡レーダーエコーと1時間降水量について, 気象庁技術報告, No.105(昭和57年7月豪雨調査報告), 61-62。
- 大沢綱一郎, 尾崎康一, 1959:諫早市の豪雨の解析, 研究時報, 11, 829-838。
- Ogura, Y., T. Asai and K. Dohi, 1985: A case study of a heavy precipitation event along the baiu-front in northern Kyushu, 23 July 1982: Nagasaki heavy rainfall. J. Meteor. Soc. Japan, 63, 883-900.
- 越智 彊, 1973:昭和47年7月豪雨の特徴と過去の集中豪雨との比較について, 気象研究ノート, No.117, 153-162。
- 武田喬男, 1986:豪雨に関する Workshop について (II. レーダー観測を中心とした研究), 天気, 33, 580-583。
- , 1987:降雨災害をもたらす豪雨の集中度に関する研究 (自然災害特別研究研究成果, No.A-61-3), 150 pp.
- 竹永一雄, 矢花和一, 1959:諫早大雨の局地解析と予報, 研究時報, 11, 839-850。
- 長浜宗政, 1984:「昭和57年7月豪雨」の概要, 気象庁技術報告, No.105 (昭和57年7月豪雨調査報告), 3-11。
- 播磨屋敏生, 1987:狭域用レーダー, 降雨災害をもたらす豪雨の集中度に関する研究 (自然災害特別研究研究成果, No.A-61-3), 145。
- 福岡管区気象台レーダー班, 1974:福岡レーダーからみた九州の空, 天気, 21, 265-279。
- 藤吉康志, 遠藤辰雄, 山田知充, 1987:北海道胆振地方での垂直レーダーによる降水雲の観測, 降雨災害をもたらす豪雨の集中度に関する研究 (自然災害特別研究研究成果, No.A-61-3), 52-62。