

福岡レーダーからみた九州の空*

福岡管区気象台レーダー班**

まえがき

九州地方は、地理的条件から、多種多様の気象現象をとらえることができる。福岡レーダーは、これら現象の監視を続ける一方、その観測結果を用い、数多くの調査・研究を行い、レーダーの位置づけに懸命の努力を払ってきた。

このたび、本誌から課せられたテーマは、レーダーを媒介として九州の空を表現する趣旨であるが、この趣旨を生かすためには、過去に行なわれた解析結果を紹介することで十分と考えられ、あわせて、今後の解析業務の参考としたい。

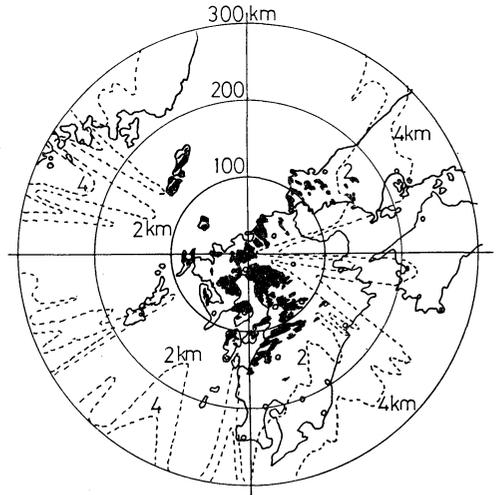
I. 福岡レーダーの特性

レーダーの観測結果を理解し、正確な解析を行なうためには、そのレーダーの持つ機器の特性および、立地条件を知っておく必要がある。福岡レーダー新旧機器の性能を第1表に示したが、機器更新で性能が変わった。この性能の相違は、観測結果に明瞭に現われている。例えば、エコー頂高度を統計結果から比較すると、 S_{min} の増加により新レーダーが平均にして、およそ、2 km 高く測定されている。他の要素にも影響していると考えられるので、当レーダーの資料解析には、この点の注意がある。

次に福岡レーダーは探知距離内に、幾多の山岳を抱えているため、第1図に見られるとおり地形エコーが近距離に固まって観測され、等ビーム高度線も極めて複雑に画かれる。地形エコーを除去するため、アンテナ高度角

第1表 福岡レーダーの性能

	UNIT	新	旧
周波数	MHz	5300	5300
定格出力	kW	250	300
ビーム幅		1.5°	1.3°
パルス幅	μ s	1.5	1.0
アンテナ直径	m	3.0	3.0
最少受信電力	dBm	-104	-98
PPI 最大レンジ	km	400	300



第1図 グランドエコーと等ビーム高度線（黒塗りのはグランドエコーを示す）

を1~5° あげて観測するので、山と重なっている背の低い雨域は探知しにくい。探知された雨域も、ビームが雨域上部を走査するので、Zの垂直分布次第では、雨量強度が弱く観測され、実況との対比が難しい。とりわけ、福岡レーダーの東には、背振主峯が控えているの

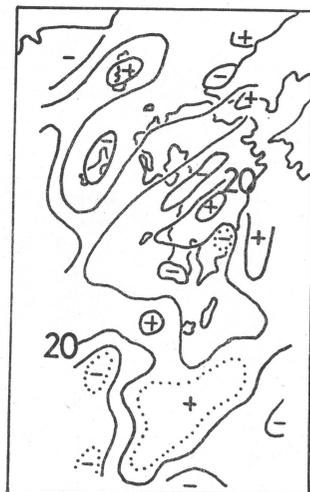
* Weather in Kyushu District observed by Fukuoka Radar

** Staffs of Fukuoka Radar 石碓浩, 内村進, 前田宏, 豊丸秀仁, 生野信頼, 菊池昌宏, 原口尚喜, 榑原均, 矢野兼三, 山口敬

—1974年2月27日受理—



第2図 線状エコー（春一番低気圧による）昭和45年2月20日14時20分レンジマーク50km 高度角0°



第3図 停滞の分布（線状エコー）実線、出現率10%毎の分布 破線、出現率5%域

で、ビームの影にあたる大分県は、高さ4 km 以上の雨域でないとは探知できない。しかし、現在この区域は、レーダー情報伝送網の展開によって、広島レーダーが全面的にカバーしている。

II. 季節とレーダーエコー

季節を春夏秋冬に分け、各季節に特徴的レーダーエコーを抽出し解析を含めて紹介するが、福岡レーダーの解析結果で不十分な現象については、種子島・名瀬レーダーの分を借用した。

1. 春のエコー

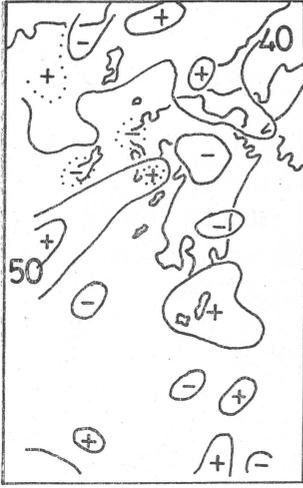
立春も過ぎ2月も下旬を迎えると、大陸高気圧の一部が、移動性の高気圧となって九州付近を通過する。この現象は春も真近いことを示しているが、レーダーでは“春一番”低気圧に付随した線状エコーの南下から感じられる。この低気圧中心付近のエコーは九州から距離的に遠いため、通常は観測されないが、南西方に走る寒冷前線に対応するシャープな線状エコーをとらえることが出来る（第2図）。

この線状エコーは、低気圧中心に吹き込む暖気と、対馬暖流の相乗結果として、異常な発達をとげ、突風・雷雨などで不測の災害を与える。このエコーは、探知範囲ぎりぎりぎりまで達する頃、すでに明瞭な線状を示すことが多い。このことは、エコー頂高度も平均して高く勢力も強いことを示しているが、前述のとおり、対馬暖流上で最も強い勢力を示す。しかし、九州北岸に接近もしくは、上

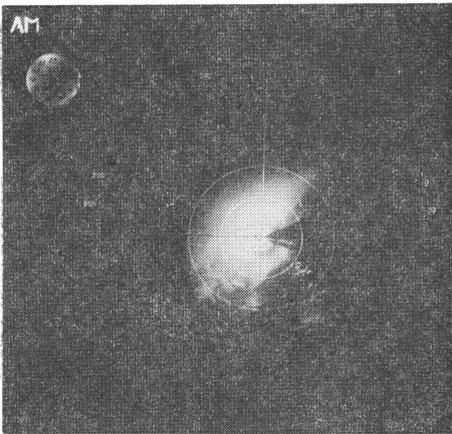
陸すると同時に形を崩し、一般に面エコーとなって勢力も衰えるが、福岡南方の筑紫平野に到着する頃、再び、線状エコーとして復活する。同じ現象が九州山脈付近でも観測される。線状エコーに地形効果の及ぼす影響を地域ごとに解析しておく必要があるが、線状を崩したエコーでも、その位相の追跡に細心の注意を払う必要がある。

ここで、九州地方における線状エコーの移動速度について一般的性質を述べたい。第3図に線状エコーの停滞しやすい場所を示したが、対馬・九州北部・熊本県南部とそれぞれ南西にのびる带状域（+域）に多い。また第4図にその平均速度の分布を示したが、天草から南西にのびる带状域（+域）の速いのが目立っている。これらのことから、島や山脈など地形の影響で、前線や不安定線の停滞しやすい所では、線状エコーの移動速度は遅く、影響の少ない所では相対的にやや速くなる。また、緯度によっても変わり、高い緯度ほど、移動速度は速くなる。

次に、九州に関係の深い低気圧“台湾坊主”について述べたい。台湾坊主は台湾付近の海域で発生して、九州方面に接近する低気圧であるが、九州北部はもちろん、九州南部にも大雨や大雪をもたらすことがある。顕著な例として、1968年2月に接近した低気圧を紹介する。14日に九州南部で980mbと異常に発達して東北東に進んだ。九州地方における低気圧性エコーは一般に、混合エコーが多いがこの例は、すべてのエコーが層状で占めら



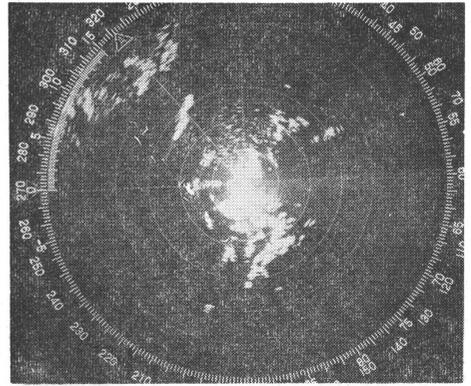
第4図 線状エコーの平均速度分布. 実線 10km/h 毎, 破線 5 km/h の域



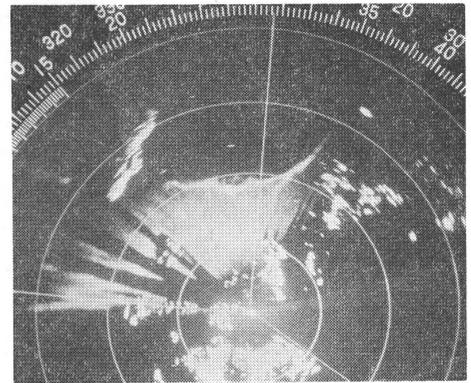
第5図 “台湾坊主” 低気圧に伴うエコー. 昭和43年2月15日07時41分, レンジマーク 50km, 高度角 0°

れ, エコー性質からもその異常性が認められる. 第5図は, 低気圧最盛期のエコーパターンであるが, エコー走向は低気圧の進行方向と並行である. 特記すべきは, 南西端に見られる2~3本のらせんエコーであろう. レーダーからみた台湾坊主は, その特徴としてらせんエコーを伴っていることが多く, このことで, 台湾坊主は発生機構などが, 一般の低気圧と異なるのではないかと, 疑問を持たれる理由であろう.

このほか, 春に多いのは, 異常伝搬エコー・エンゼルエコー等の特殊エコーである. これらのエコーは, ともに雨粒のない空間からの反射で観測され, 無降水エコー



第6図 異常伝搬によるエコー. 昭和48年6月8日17時34分, レンジマーク 50km, 高度角 0°



第7図 エンゼルエコー (混合型) 昭和47年5月20日20時33分, レンジマーク 50km, 高度角 0°

の代表ともいえる. 異常伝搬エコーでは, マイクロ波の異常屈折で, 日頃, 観測されない遠方の山や, 波浪エコーが観測される. 当レーダーでは主に, 朝鮮半島南部 (第6図) や山陰地方の山々が観測され, このような時はエコー頂高度に測定誤差を生じやすい. 異常伝搬エコーは気圧傾度が小さく, 風の弱い日, すなわち, 高気圧圏内に発生することが多い. 最も顕著に観測されるのは, 東シナ海を東進する高気圧圏内で, その発生の主因とみられる大気のダクトは, 極めて低層にあって, 気圧にして1000mb 付近にある. エンゼルエコーも, 異常伝搬エコーと類似の気象条件で発生し, 5月・8月が最も多い. その発生区域は玄海灘に限られ, 有明海には見られない. このことから, 発生には対馬暖流が多分に関与しているとみる向きもある. 形状としては観測状況か

ら、つぎの3つの型に分類できる。

(1) 波状型：5~10km の幅を持った波状で、エコー走向は海岸線に平行である。

(2) 放射状型：玄海灘から対馬海峡にかけて放射状に現われる。

(3) 混合型：両者の混在しているもので、一般に放射状内に波状が加わる(第7図)。

2. 夏のエコー

夏のエコーとして、初夏、梅雨、盛夏に分けて述べる。

(1) 初夏のエコー

初夏には、一週間程度の周期(波長数千キロ)をもったじょう乱が通過するが、エコーの出現にも、それに対応して周期的な変化が認められる。低気圧が、東シナ海に現われると、まず最初に、弱い層状エコーが上空エコーとして観測される。この上空エコーを拡大してみると、時々ベナールセル状の対流細胞を見ることがある。この層状エコーが拡がり始めると、やがて、霧雨程度の降雨が観測される。これは、一般に、上空の方が、エコー強度の強い、いわゆる上空性エコーである。このような場合、地上観測では、 $C_M=7$ 高層雲と高積雲の共存である。これは温暖前線の前駆降雨域ともいえる。

温暖前線の接近と共に、前線の走向と同じ走向を持った団塊状の混合エコーの列が見られる(第8図)。

低気圧の中心から、2~300km 付近にかけて、エコー

強度は増加し、密な団塊状エコーから構成されるようになり、下層ジェットが強い場合は、温暖前線を横切るような数本のラインバンド(線状エコー)が見られることがある。これらの線状エコーは、下層風と同じ走向で、等間隔に30km 前後に並び、前線と一緒に、パターンは移動する。主に対流性エコーから出来ており、幅20km 位で、長さは、100~150km 程度である。この線状エコーが出る頃は、かなり発達した低気圧の中心が近いことを示している。

温帯低気圧の暖域では、下層での暖気や、湿潤空気の流入の程度によって、対流性エコーが散乱状態になる場合と、雄大なエコー系(エコークラスター)に固まる場合とがある(第9図)。福岡レーダーでの出方は、冬季と同様、九州西岸から、対馬暖流上の海域に対流性エコーが現われ、活発に消長を繰返す。

寒冷前線付近のエコーは、線状エコーで代表される。この寒冷前線に相当する線状エコーの他に、その進行方向の前方(南東方)暖域内に、線状のスコールライン(プレフロンタルスコールライン)が見られることがある。このスコールラインは、寒冷前線エコーと同程度の規模をもつものであるが、普通には、幅が30km 前後、長さ200~300km 位である。従って、このスコールラインが強いときには、寒冷前線エコーは弱いか、ほとんど雨を持っていないかである。

寒冷前線や暖域内スコールラインの南下の状態は、島や山岳の影響を受けて微妙に変化する。例えば、朝鮮海峡を南東進する北東-南西走向の線状エコーは、対馬に



第8図 温暖前線付近のエコー。1971年6月2日11時00分



第9図 低気圧中心付近。1972年5月8日、07時30分、

さしかかって走向が乱れる。つまり、対馬を屈曲点として、南西側は位相速度で順調に進行するため、次第に南北に立った走向に変わり、北東側は、東西走向を持つ傾向がある。

暖域内スコールラインは、線の南東側で輪郭がはっきりして、北西側には層状エコーが幾分広がっている。一方、寒冷前線に対応するスコールラインでは、北西側も輪郭がはっきりして、寒気の流入の強さを示している。南西側は幾分不明瞭である。

前述の順調に移動する線状エコーの外に、寒冷前線に相当する線状エコーが停滞する場合がある。これは低気圧が朝鮮半島を北東進した場合に多く、寒冷前線も北東進するため、それに伴う線状エコー系も走向に沿って北東進し、長時間停滞しているように見えるためである。朝鮮海峡、対馬海峡に多く出現するのは、熱源、水蒸気補給としての暖流の効果が強いためである。

初夏の寒冷前線、暖域内スコールラインでは、界雷が発生して、ひょうを伴うものが多い。エコー強度が極めて強い場合には、必ずひょうをもたらししている。

低気圧中心付近のエコーは、気圧中心より東ないし南東側に強雨域が存在している。従って、低気圧中心付近の典型的なエコーパターンは、コンマ状の降雨域をもったものである(第9図)。また、発達した低気圧には、ラムダ状を呈したり、台風のらせんエコーを思わせるようなレインバンドを見ることがある。スコープ上で全容が観測されるのは、天気図で表現出来ないようなメソ低気圧の場合で、大規模な低気圧では、その一部分しか見られない。

(2) 梅雨期のエコー

梅雨期に入ると、大気全体に雨をもたらしやすくなる。このため、じょう乱が九州に接近すれば、海上・内陸部とも、活発な対流活動が見られる。エコー強度も、強いエコー(16~64mm/hour)がよく観測され、極めて強いエコー(64mm/hour以上)も多く観測される。

梅雨期のエコーは、東西に横たわる雄大な帯状エコーが特色である。これらのエコーは、初夏のエコーより、対流活動が活発であるため、エコー頂高度も高くなる。初夏のエコー頂高度が、平均6.5kmであるのが、6月には、平均8.3km、7月には、平均10.0kmとなっている。個々のエコーにおいては、10km以上の出現回数が多く、18kmに達するものもある。

梅雨期のエコーは活発であるため、九州の陸地の影響で弱まるというケースは少ない。非常に湿った温かい気流が、大気下層で南から吹いてくるので、潜在不安定度も大きく、引金作用があれば、常にじょう乱が発生する場になっている。これは、冬期の吹き出しエコーの場合に似ていて、冬期の上層寒気、下層の対馬暖流上の暖気の代りに、上層の乾燥気塊、下層の高温多湿気流となつて、対流性エコーが卓越する。

梅雨前線上に現われるエコーは、天気図上で、北と南の高気圧にはさまれた低圧部に、波長1,000km、周期12時間位の間規模のじょう乱に対応して現われる。そして、サブトロピカルジェット的位置によってエコーの出方が決まってくる。つまり、500mbにジェットコアが存在するとき、下層大気では、コアの前方北側で収束、南側で発散、また、後方北側で発散、南側で収束となり、この収束域に対応してエコーが出てくる。この収束域内で、波長数百キロ、周期2~3時間の中規模じょう乱が発生する。

福岡レーダーでの梅雨前線エコーの中でも、南九州に現われるものとは、エコーの出方が違っている。

南九州に現われるエコーは、前線の北領域を見ているため、ほとんど、団塊状対流性エコーと、北方に縁辺がボヤけている層状エコーとの混合エコーである。時には、コンマ状エコーも見られるが、これは、メソ低気圧に伴うエコーである。この形状は、南九州内陸部で形を崩す場合が多い。この持続時間は、2~3時間であるが、強力なものは6時間に及ぶものもある。

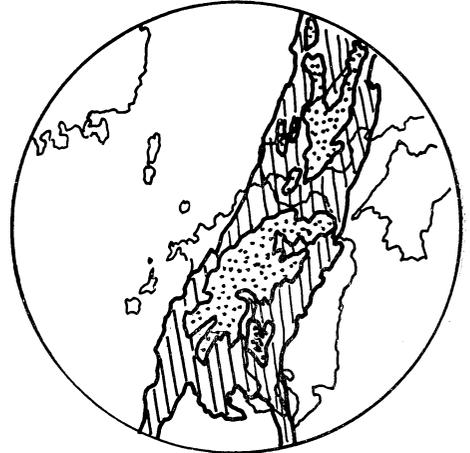
一方、対馬海峡・支海灘に現われるものは、南北幅



第10図 梅雨前線エコー。1972年7月12日10時00分



第11図 梅雨前線上のメソ低気圧エコー. 1972年6月29日15時00分



第13図 寒冷前線の雄大な線状エコー. 1972年8月10日06時00分



第12図 暖域内の線状エコー. 1972年7月3日15時00分

100~150km の東西走向の停滞性帯状エコーと、これから南西側に垂れ下る、長さ100km程度の線状エコーからなっている(第10図)。

停滞性帯状エコーは、北側が層状でエコー強度も弱いですが、南側は対流性が卓越した混合エコーで、エコー強度は強い。

南西に垂れ下る線状エコーは、30km間隔に直線的に数本並んでいるが、これが曲率を持ってコマ状エコーとなると、50~100km間隔と広がって現われる。これは、メソ低気圧に対応するものと考えられる(第11図)。

中部九州に前線が停滞している場合には、東西走向に、幅50km程度の人参型の帯状エコーが定着して、大雨を降らせることがある。

梅雨前線がはるか北方にあって、九州は、太平洋高気圧の縁辺部にある、いわゆる暖域内で、幅10~20km、長さ200km位の対流性線状エコーが、等間隔に30km前後に並んで停滞する場合がある(第12図)。これは、湿った南西流によって、対馬海峡、九州北西部、諫早付近(雲仙岳と多良岳の間)、九州山脈の北側、天草~熊本方面、水俣・阿久根付近、野間半島~鹿児島~都城方面と固定された地域に、下層風向(1~4km)と同じ走向に線状エコーが生成されるのである。セルは、その内部を走向と同じ方向に移動する。このセルの発生域は海上で、九州の西岸域と島の南端に多く、400m以上の山岳がある付近に当る。そして、北東進する間に急速に発達、強化される。一般に、風下側では層状との混合エコーとなって扇形をしている。柳川豪雨は、この典型である。

エコー頂高度については、ほとんど12~13kmである。しかし、層状エコー系は、10km程度である。

エコー系の移動は、団塊状、線状エコーは30~60km/hourで東進するが、内部のセルの移動は非常に速く、100km/hour前後であることも珍しくない。

(3) 盛夏のエコー

梅雨期を過ぎて盛夏期に入ると、小笠原高気圧の圏内に入る。



第14図 熱雷エコー. 1972年8月16日15時00分

夏期の温帯低気圧は、梅雨期と同様であるが、寒冷前線に相当するエコーは雄大で、はっきりしている。暖域内スコールラインは現われない(第13図)。

晴天の日には、熱雷が発生することがある。発生場所は、九州山脈を中心とした、霧島、人吉、宮崎県西部、阿蘇、九重、英彦山系および日田付近である(第14図)。午前10時頃から発生し始めて、午後9時頃には終る。総観的な場における大気成層が急激に変化する事もないので、発生すると、3~4日継続するのが特長で、発生域もある程度固定されてくる。しかし、発生時刻は日を追って遅れてくる。山間部に発生するときは、直径1km以内であるが、最盛期には、10km位になる。そして、これらの細胞が幾つか集まって雷雲系を形成する。この雷雲系は組織化されて、循環を伴った渦状を示すこともある(寿命は1時間足らずである)。

衰弱期に入った雷雲は、上部が上層の一般流に流されて、かなとこ雲となり、上空エコーとして観測される。

移動としては、山間部に発生したものは、河川流域に沿って谷間を移動する。

小笠原高気圧の縁辺に出るエコーとしては、朝鮮半島南部に出現するものと、日向灘に出現するものがある。

朝鮮半島南部に出るものは、高気圧の位置が、少し南に片寄っているときで、南西風による停滞したエコー系を形成する。これは、主に8月中旬頃見られ、幅100km前後、長さ300kmにも及ぶ東西の走向を持った带状エコーである。朝鮮海峡には前線が発生し、ゆっくり南下してくる。そして、この上を低気圧が東進して、大雨を降らせる。梅雨末期の集中豪雨に似ているが、15km前



第15図 停滞前線上のメソ低気圧. 1972年8月21日06時00分

後の高さの対流性エコーにより構成されているため、雨量強度も強い。朝鮮海峡に带状エコーが出来たときには、大雨に注意しなくてはならない。対馬の大雨は、このパターンによっている(第15図)。

宮崎県、日向灘に出来るものは、高気圧の位置が、北に片寄ったときで、偏東風によるエコーである。この対流性エコーは、泡状に日向灘で無差別に発生する。そして、10~20km/hourの速度で西進して、宮崎県沿岸部に雨を降らせると、内陸部では消滅する。組織だったものではないが、場の変化がゆるやかなため、長時間にわたって存在し、次々に発生、消滅を繰り返す。このエコーでも、1967年9月27日の宮崎市青島の大雨(110mm/hour)の例もあるように、宮崎県沿岸部には大雨の場合もある。

(4) 集中豪雨エコー

初夏、梅雨期、夏期を通じて、九州地方のエコーとして特筆しなくてはならないのは、局地的な集中豪雨エコーである。

ここでは、その特徴を述べよう。

A. エコー系の配列から見た場合

(ア) じょう乱中心型

メソ低気圧を含む温帯低気圧の中心近傍のエコーには、らせん状のエコー系が見られ、中心が埋没して団塊状あるいはコンマ状をしていることが多い。そして寒冷前線に対応する带状エコー系を南西側に伴っている。大きなうず度を持っているし、エコー系の西側に寒気の移

流を示すクリアな領域を持っているときには、その近傍で大雨を降らせている。

(イ) 帯状(線状)の複合型

帯状に配列した場合が、ほとんどであるが、それについて次のように分類出来る。

a. 合流型

発生源の異なる2つ以上の帯状(線状)エコー系が、合流交差する型で、その交差点付近では、エコー頂高度が最も高く、また、この付近が波動の中心となって、メソ低気圧が生成されることがあり、大雨を降らせる。

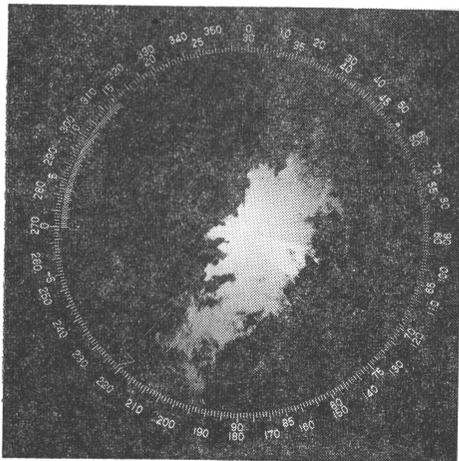
b. 加重型

前駆移動して来た線状エコーが、場や地形の影響で減速、定着しているところに、後続のエコー系が移動して来て、前者のエコー系に併合する型で、併合した時、面状に拡がることもあるが、再び帯状(線状)に移行する。特に、海上から内陸へと移動してくるエコー系にこの傾向がある。

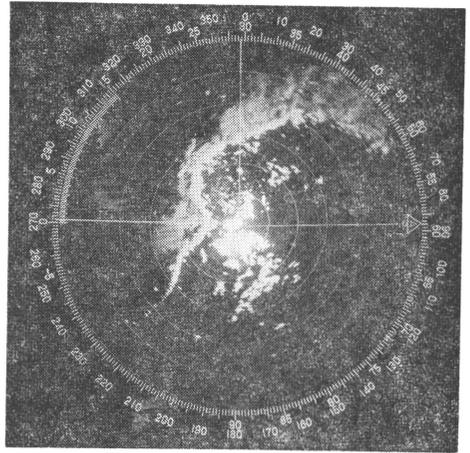
c. 共存型

前線系のエコー群に、熱帯低気圧(もしくは台風)が接近して来て、それらのレインバンドなどと、前線系エコーが合流する型である。これは、それぞれ発生源、生成機構の異なった系統の合流といえる。当然、合流した付近を中心に大雨を降らせる。

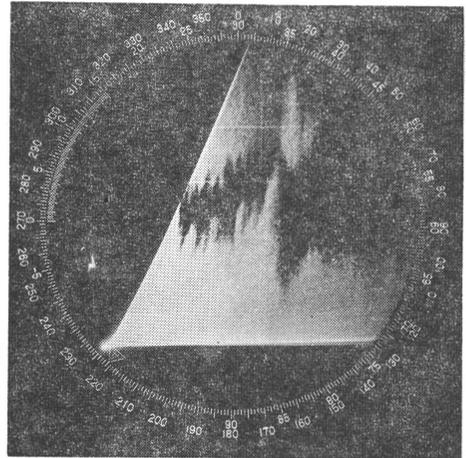
(ウ) 単一のエコーパターンの場合で、雷雲エコー群による場合、明瞭な線状(帯状)エコーによる場合などで、後者の場合は、ほとんどが寒冷前線に伴う帯状エコーの型で、1973年7月31日早朝の福岡市近郊の豪雨(春



第16図 寒冷前線(福岡近郊豪雨)。昭和48年7月31日02時33分。レンジマーク20km, 高度角4.4°, エコー強度2mm/h以上,



第17図 寒冷前線による線状エコー。昭和46年8月20日13時57分, レンジマーク50km, 高度角0°



第18図 福岡近郊豪雨垂直断面。昭和48年7月31日02時29分。RHI, レンジ50km(マーカー10km), 高度マーカー2.5km

日市115mm/hour)はこの型である(第16図)。また、台風のレインバンドもこの場合に入る。

B. エコー系内の微細構造では、帯状エコー系内に、直径10km位の渦が見られることがある。寿命は数十分と短いが、次々と発生、消滅を繰り返す。

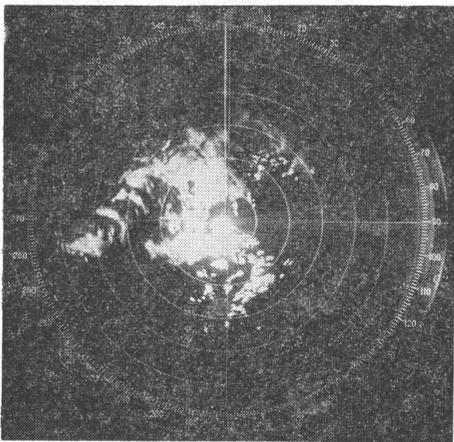
積雲対流の激しさが見られるのは、セルの活発な消長によっている(第17図)。

豪雨の場合のエコー系の垂直構造については、1973年7月31日福岡市近郊の豪雨の例を第18図で示す。これは、上層10kmを中心に厚さ3km位の上空エコーと、中層以下のエコーとの間に、2~3kmのクリアな層が存

在している。そして中層以下のエコー系から塔状にそそり立つ高い積雲エコーと、上空エコーから垂れ下るスタラクタイト（鐘乳石構造）があって、両者が接している地点で豪雨が起っている。上層の貯水池からの導水管の役割を果しているように考えられる。写真では、佐賀県多久市付近の豪雨を示しているが、同時刻の RHI では、福岡市北東部に同構造のエコーが認められた。これが南下して、粕屋町、太宰府町の豪雨となっている（この場合もそうであったが、下層ジェットの使用も、集中豪雨と関連していることは、云うまでもない）。

3. 秋のエコー

夏の間、日本の気候を支配する小笠原高気圧も、8月の終りになると大きく後退して、その中心を日本の南海上に移してくる。これとひきかえに大陸の高気圧は勢力を増し、日本付近にその姿を現わし始める。レーダーエコーにこの季節変化は顕著に現われ、夏の間、昼夜を問わず賑やかに発生していた対流性エコーは姿を消し、北の方、朝鮮半島から組織だった線状エコーが南下してくる。これが普通、秋雨前線と称されるものであるが、エコーパターンの走向は北東-南西で、かなりの傾斜を持って南下し、九州付近で一時的に停滞する。秋雨前線のエコーパターンは、その初期には cold Type で、対流性の線状エコーが前線の本体に沿って、あるいは暖域内によく現われる（第19図）。しかし、9月も下旬に近づくと、エコーパターンから対流性がとれ、層状エコーのパターンに移行し、初期に高かったエコー頂高度も日を追って低くなる。梅雨前線が一般に、Warm Type で始まって、エコー頂高度も日ごと高くなったのに比べて、



第19図 秋雨前線によるエコー，昭和43年9月13日02時05分，レンジマーク50km，高度角0°

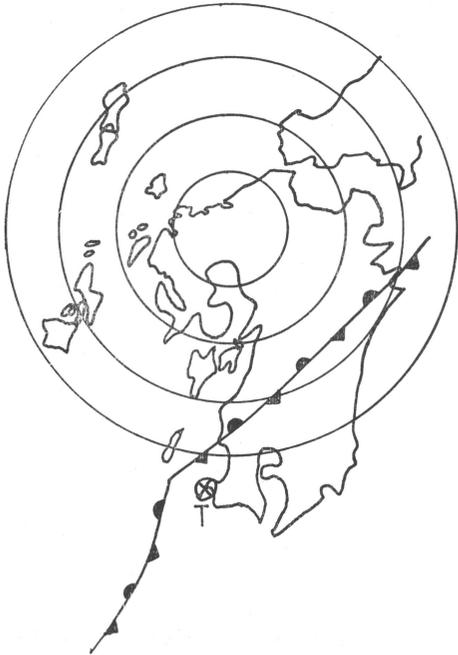
秋雨前線はエコーの変化過程を含めて、全く逆の変化を示すことが多い。

次に台風に移るが、九州は台風の本場といわれるだけ、台風についての調査・研究は多い。しかし、大部分の解析結果が個々の場合に限られて、台風の大まかな特徴をとらえるのに精一杯である。レーダーからみた台風の一般的特徴として、夏の台風は、中心域を除いて対流性エコーで占められるが、秋台風は層状エコーが主体であることが多い。今門は、名瀬レーダーの台風パターンを用いて、レーダーエコーからみた中心域の特徴をとらえて、次のように分類している。

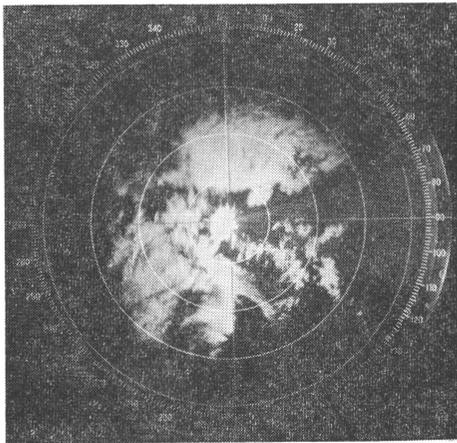
- (1) 有眼台風：中心付近に eye wall がある
 - (ア) 層状型：雨台風の要素がある
 - (イ) 線状型：風台風の要素がある（小型台風に多い）
 - (2) 無眼台風：中心付近に eye wall がない
 - (ア) 拡散型：地形効果や衰弱のため、中心域が拡散して眼が不明瞭
 - (イ) 変質型：台風が寒冷前線に接近するか、または台風自体で前線を形成して、温帯低気圧に移行するとき、中心域のエコーがくずれて、層状または面状エコーに変化する。
 - (ウ) 無形成：発生当初から無眼または、有眼台風が何らかの原因で2次的に無眼となった（第20図）。
- 台風が福岡レーダーのレンジに入るときは、すでに地形の摩擦あるいは衰弱して変形し、台風のモデルパターンをみることは少ない。上述の型として(2)の場合が多い。とりわけ、秋には、秋雨前線が台風の干渉をうけて、屈曲して屈曲点を現わすこともある。この場合の分類型は(2)の(イ)に相当しよう。第22図は、秋雨前線が、九州中部にあるとき、南海上から台風6816号が北



第20図 レーダーエコーからみた台風の分類，有眼台風：左上一層状型，左下一線状型，無眼台風：中上一拡散型，中下一変質型，右上一無形成型



第21図 台風6816号と前線。1968年9月24日21時00分



第22図 台風6816号のエコー。昭和43年9月24日22時42分，レンジマーク50km，高度角1°

上して秋雨前線を屈曲させた例であるが、このことは第21図の地上天気図からもうかがわれる。この台風は、南海上ではかなりの勢力を保っていたが、九州上陸とともに埋没し、中心決定も困難になった。北象限の層状エコーは、前線性エコーと台風の循環エコーの合流したものである。その日の雨資料では、宮崎で時間雨量55.5mm、

日雨量で244mmとなっている。エコーパターンからは、層状エコーが主体であるので、それ程の豪雨は予想しにくい。秋雨前線を刺激した結果として注目に値する台風であろう。

4. 冬のエコー

比較的安定した秋の天気が続いているうちに、次第に、シベリア大陸には優勢な大陸高気圧が出現してくる。この高気圧の発達や、太平洋側に東進した低気圧の発達による引き込み、あるいは、その両方の条件が重なり、九州付近の気圧傾度が大きくなると冬の季節風が吹き出し始める。月が進み、11月以降になると、季節風の吹き出し回数も次第に多くなり、本格的な冬の訪れとなる。

九州の地理的条件は、北は日本海南部、西は東シナ海、東および南は太平洋に面している。また、内陸には海拔1,000～2,000m近くの間々が密集している。このような地形のため、冬期における九州の気候は、北部から西部にかけては裏日本型で、背の低い層積雲におおわれて「にわか雨」や「雪」が降りやすく、東部では表日本型のよく晴れた青空になることが多い。

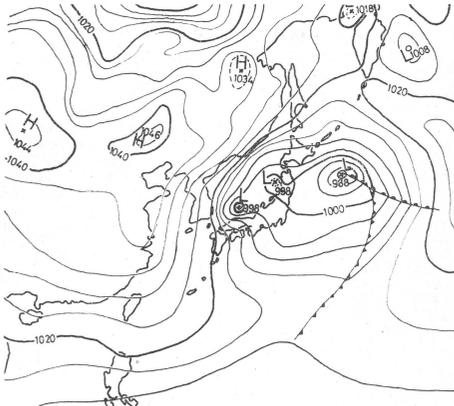
冬期、九州のレーダーで観測するエコーを大きく分類すると、総観規模の低気圧等に伴うもの、中規模の現象として観測される上層の寒冷渦に伴う渦状エコーや、季節風の吹き出しに伴う「吹き出し」エコーがある。また、降水エコーではないが、冬期に多く観測するものに波浪エコー (Sea Clutter) がある。

一般に、冬期のエコーに伴う降水量は少なく、人口の多い平地では雨として観測されることが多いので、暖候期の多大な降水量をもたらすエコーに比べ、注目される度合は低い。しかし、年によっては、平地でも雪が降り続くことがあり、福岡で昭和38年の1月21日～2月5日は継続して積雪があり、同年の1月は27日間、2月は12日間の雪日数を観測した。

総観規模に伴うエコーは、他の季節と比較した場合、いわゆる台湾坊主と呼ばれる低気圧以外は、とくに、特徴は認められない。台湾坊主については春のエコーで述べたので、ここでは「吹き出しエコー」と渦状エコーについて紹介する。

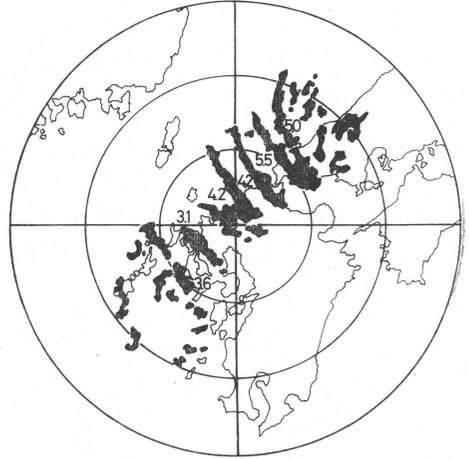
(1) 吹き出しエコー

低気圧が日本付近を東進し、東方海上で発達すると、低気圧および前線等に伴うエコーの通過後しばらくして季節風の吹き出しとともにエコーが発生する。1971



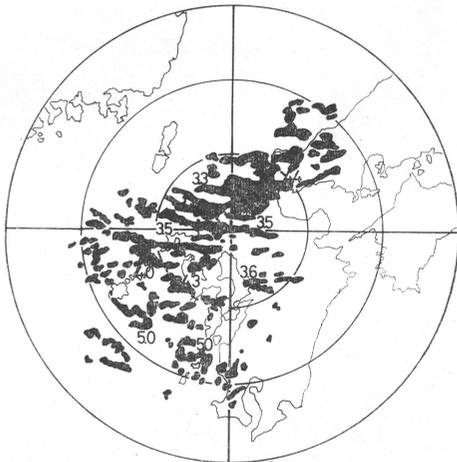
2100 JST Jan. 04. 1971

第23図 地上天気図



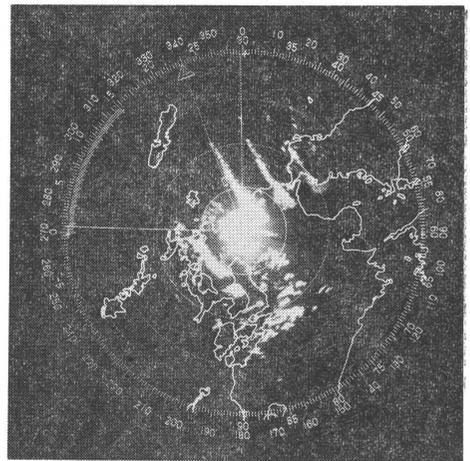
0430 JST Jan. 05. 1971

第25図 エコー分布図 (数字はエコー頂高度).
 $\bar{S} = 3.5 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$



1505 JST Jan. 04. 1971

第24図 エコー分布図 (数字はエコー頂高度)
 $\bar{S} = 10.9 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$



第26図 "吹き出し" エコー. 昭和46年1月8日04時58分, レンジマーク50km, 高度角1°

年1月4日の地上天気図(第23図)は、九州付近に強い季節風をもたらした時のものである。4日～5日にかけて出現した「吹き出し」エコーを(第24図～第26図)例にとって紹介する。「吹き出し」エコーは、一般的にエコー強度は弱く、エコー頂高度はおよそ2～5kmの範囲にある。また「吹き出し」エコーが数本の線状エコーを形成した場合、それぞれの間隔はほぼ20～30kmである。

名瀬レーダーによる奄美大島本島付近の「吹き出し」エコーの調査結果では、

ア. 発生初期のエコーの大きさは1～2kmで不規則

に散在し、10分間隔の観測でも、エコーの追跡ができないことから、その寿命は比較的短いと考えられる。

イ. その後のエコー域の増大も、一定した発生域があって、次々発生したエコーが、上層風によって流されたためとは考えにくいとしている。

種子島レーダーでも同様に、発生期には小エコーが散在していることを示している。発達期、最盛期には線状エコーの形成が見られる。これは風の垂直シアと関係づけられることが多いが、垂直シアがかなりあっても線状が形成されず、散乱していることもある。この線状

第2表

月 日 時	エコー走向	850mb の風向	** $\bar{S}_1 (\times 10^{-3} \text{sec}^{-1})$	*** $\bar{S}_2 (\times 10^{-3} \text{sec}^{-1})$
1月4日15時	280°	278°	8.6	10.9
1月4日21時	300°	303°	8.8	6.5
1月5日04時30分	330°	*320°	7.1	3.5
1月5日09時	340°	340°	6.3	3.2

* 03時の風向を用いた。

** エコー頂までの平均シア-

*** 雲頂(ゾンデ資料)までの平均シア-

エコーは、前線などに伴う線状エコーと比べると地上の気象要素の変化は小さい。衰弱期になると線状エコーは再び散乱しエコー頂高度も低くなり消滅する。

気象衛星から写した雲域とレーダーで観測するエコーとの間には、写真の解像度の問題もあって、一概に対比できないかも知れないが、衛星写真を解析した Tsuchiya and Fujita (1967) は風の垂直シア (\bar{S}) で雲の形を分類している。それによると、

- $0 < \bar{S} \leq 5.0 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$ セル状雲
- $5.0 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1} < \bar{S} \leq 7.0 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$ 流れに直角な雲
- $7.0 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1} < \bar{S}$ 流れに平行な雲

となっている。この手法を先にあげた、1971年1月4日の「吹き出し」の例に適用する。線状エコー(レンジ150km 以内)の走向を5°ごとに読みとり、850mb(福岡)の上層風の風向と比較した結果を第2表に示す。

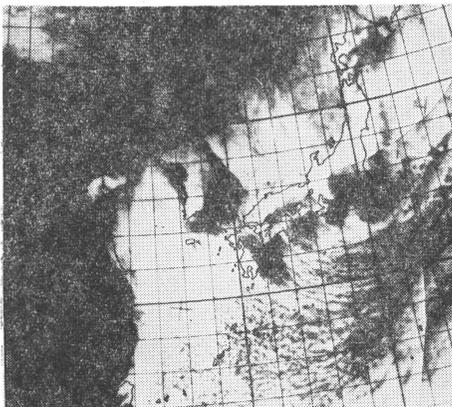
第2表から明らかなように線状エコーの走向と風向は非常によく一致している。また、この「吹き出し」エコーが出現した時の衛星写真(第27図)を見ると、雲とエ

コーの走向も良い対応を示している。しかしながら、 \bar{S}_1 は6.3から $8.8 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$ までに分布しているものの、 \bar{S}_2 は $3.2 \sim 10.9 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$ の間をとっていて、必ずしも、Tsuchiya and Fujita の結果と一致しない。

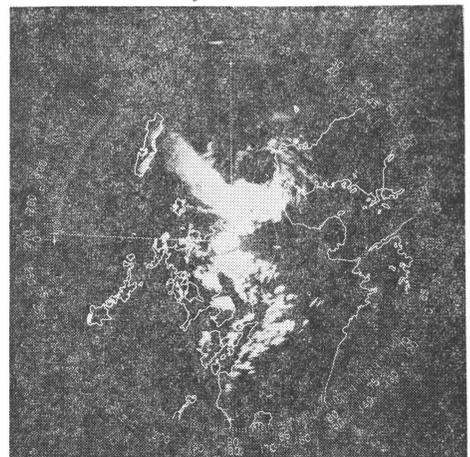
(2) 渦状エコー

冬期、福岡レーダーで観測する渦状エコーで最も特徴のあるものは、上層寒冷渦の近傍で発生する、小規模じょう乱または低気圧に伴うものである。この渦状じょう乱に伴うエコーのエコー頂高度は「吹き出し」エコーに比べると6~7kmで高く、エコー強度も強い。水平規模は100km前後で、中心には直径40~50kmのエコーホールが観測されることがある。寿命は渦状エコーとしては数時間程度であるが、エコーの一部は半日以上も残ることがある。

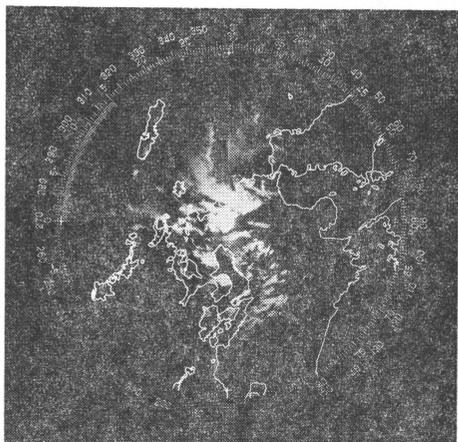
エコー例として1971年1月8日(第28図)と1972年3月4日(第29図)を紹介する。このような渦状エコーが、北陸では豪雪をもたらすことは宮沢(1968)によ



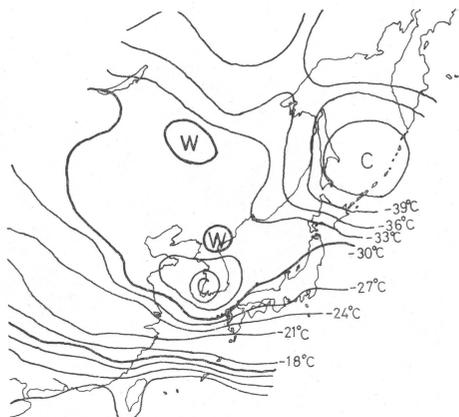
第27図 人工衛星エッサによる雲分布。昭和46年1月5日、09時00分



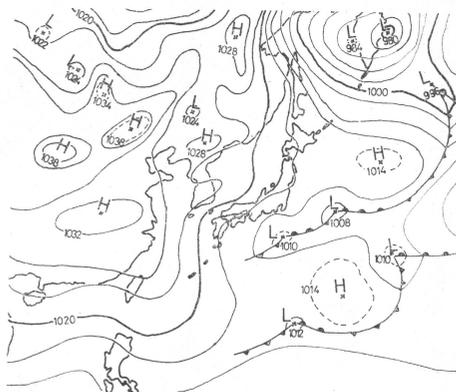
第28図 渦状エコー。昭和46年1月8日、16時17分 レンジマーク50km、高度角1°



第29図 渦状エコー。昭和47年3月4日, 01時03分
レンジマーク50km, 高度角 1°

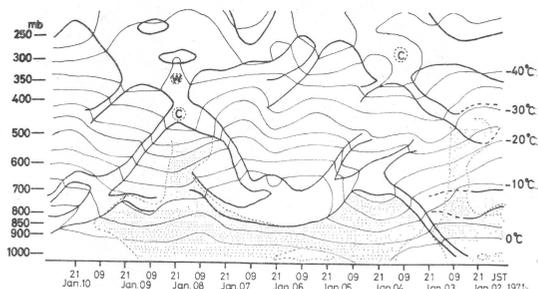


第31図 500mb の気温分布図。昭和46年1月8日
09時



2100 JST Jan.08.1971

第30図 地上天気図



第32図 福岡の時間断面図(昭和46年1月2日21時
~昭和46年1月10日21時). 陰影域:湿度
70%以上の湿潤域, 太線:安定域の境界,
細線:5°C毎の等温線

で示され、気圧配置は袋型になっていることを指摘している(第30図)。また、寒冷渦の形状からみた最も特徴的な点は、ドーム状の寒気とロート状の圈界面がみられ、ドームの背高は450mb前後のところにおいて、500mb 天気図に寒気核として現われやすいことである(松本)。当日9時の500mb 面の寒気核(第31図)は朝鮮半島南部にあって南東進して、21時には豊後水道付近に達した。それとともに、渦状エコーの中心も、ほぼ南東に移動したが、エコーは陸地を進むにつれ、次第に消滅した。北陸の渦状エコーの場合も、山間部で地表面摩擦のため、消滅する傾向があることを宮沢は示している。この時の福岡の時間断面図(第32図)でも、明瞭な寒冷渦がみられ、前述のとおり「吹き出し」エコーとの性質の相違がでている。

宮沢は、暖流上の熱補給と強い上層寒冷渦との存在によって、気層を不安定にさせ、これに地形などによる下層収束・上層発散の効果が重なると、渦状じょう乱が発生しやすくなると考え、さらに、岡林(1972)は衛星写真の解析結果も加え次のように考えている。

“袋型”気圧配置(気圧の谷線が解析されるはず)

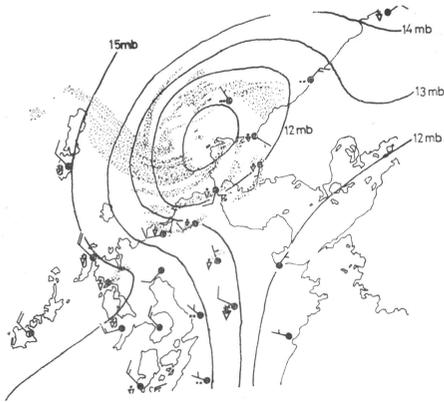
↓
収束場発生

↓
そのなかに小じょう乱発生
(陸地近くでは小低気圧として検出される)
それに対応して渦状エコー発生

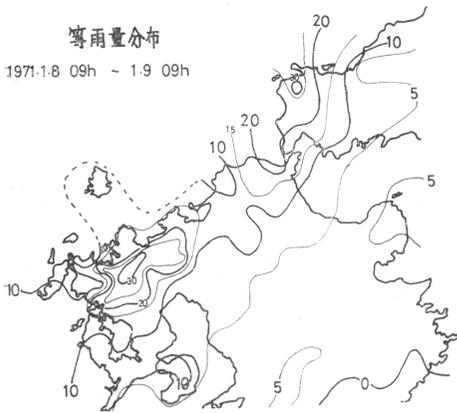
↓
その通過時に大雪を降らせる。

第33図は福岡レーダー(1月8日)の場合をあてはめた。

福岡レーダーで、この渦状エコーを観測すると、日本海南部(対馬海峡北部)に多く出現する。この場所は、過去の資料においても1月の平均的場所であるが、表面



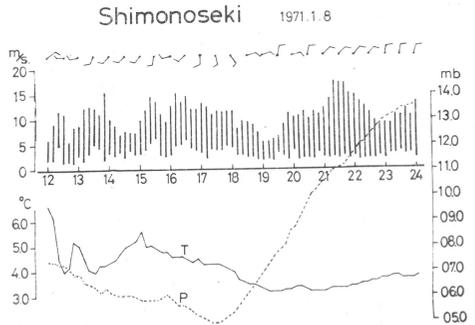
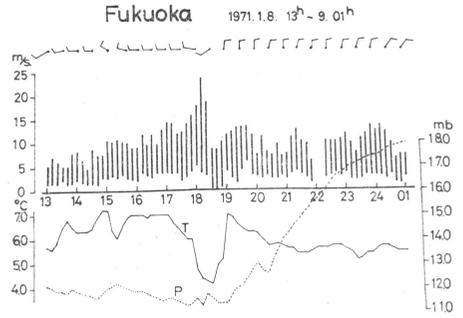
第33図 局地天気図とエコー域(陰影部分), 昭和46年1月8日15時



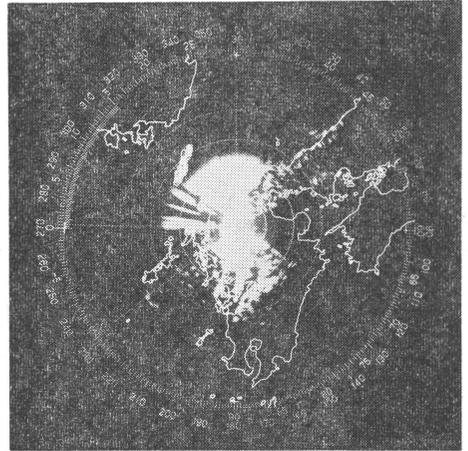
第34図 渦状エコーが通過した日の雨量分布. 昭和46年1月8日(単位: R/mm)

海水温が高く(およそ 15°C)また、表面海水温と気温の差が大きい(およそ 10°C)所である。しかし、収束雲の存在はまだ確認していない。北陸などでは、雪として降るが、九州では山間部を除き雨として降ることが多い。1971年1月8日の渦状エコーが通過した時の日降水量(第34図)は、雨量としては少ない方であるが、これが雪として降るならば、かなりの積雪量となるはずである。

渦状エコーの通過時には、「吹き出し」エコーとは異なり、激しい気象変化を伴う。1971年1月8日の渦状エコーの南象限にある帯状エコーが福岡を通過した時、 23.5m/s の最大瞬間風速と約 3°C の気温の急変があった(第35図)。また、このようなじょう乱は雷を伴い、なかでも、1972年3月4日には福岡空港に着陸しようと



第35図 地上気象変化図(T: 気温, P: 気圧)



第36図 波浪エコー. 昭和46年2月27日15時3分, レンジマーク50km, 高度角 0°

した旅客機10数機に次々と落雷した。これらのエコーの出現には、福岡レーダーの場合、対馬暖流の影響が非常に大きいことが考えられる。

(3) シー・クラッター

シー・クラッターの成因としては、海面に凹凸ができ、レーダー電波に対し垂直な小さな面ができたり、あ

るいは、波頭が砕けて海面上にひまづを生じたとき、反射電波を生じ、シー・クラッターとして観測されると考えられている。

このようにシー・クラッターは海面状態を表わしているので、シー・クラッターからの反射電力やシー・クラッターの探知距離を測定し、波高あるいは海上風の強さを求める関係式を得ているレーダーもある。

福岡レーダーの場合、シー・クラッターが出現するのは電波伝播事情により、主に北～西象限にかけてである。第36図は強い冬期の季節風の時出現したシー・クラッターで、北～西象限に、一面に白く写っている。

文 献

- 永福順則, 1965: 寒気はんらんに伴うエコーについて, 研究時報, **17**の1, 52-56
- 福岡管区気象台, 1973: レーダーと集中豪雨, 福岡管区気象台要報, **28**, 135-173.
- 福岡管区気象台, 1973: 種子島レーダー・エコーの観測ノート, 技術解説資料, **4**, 45-47.
- 原口尚喜, 1973: エコー頂高度の時刻別, 海上・陸上別変化について, 福岡管区気象台研究会誌, **34**, 9-11.
- 井田利規, 平野博, 1968: 1968年2月の大雪エコーについて, 福岡管区技術通信, **14**, 107-111.
- 井田秀治, 田尻道信, 1966: 季節風に伴う線状エコー, 福岡管区気象台要報, **21**, 100-103.
- 今門宗夫, 1964: 台風のレーダーエコー分類試案, レーダー技術打合せ会資料(種子島レーダー).
- 石硯浩, 平野博, 1967: 1967年3月17日九州北部を通過した雷雨エコーについて, 福岡管区技術通信, **13**, 136-139.
- 石硯浩, 平野博, 1967: 1967年4月19日朝鮮海峡を通過した低気圧の暖気エコー, 福岡管区技術通信, **13**, 178-182.
- 黒木義秋, 1968: 昭和42年9月27日の大雨について, 福岡管区気象研究会誌, **29**, 95-98.
- 前田宏, 山中陸男, 1966: エコー高度についての統計およびその応用, 福岡管区気象台要報, **21**, 108-117.
- 前田宏, 長野尙, 1968: 種子島レーダーによる1968年梅雨エコーの特徴, 福岡管区技術通信, **14**, 452-460.
- 松本誠一, 1968: 寒冷うずの立体構造, 気象庁技術報告, **66**, 60-69.
- 松本誠一, 吉住禎夫, 1969: 梅雨前線の構造. 昭和43年度梅雨末期集中豪雨(GARP)特別観測資料による解析, (梅雨末期集中豪雨プロジェクト速報).
- 宮沢清治, 1968: うず状じょう乱, 気象庁技術報告, **66**, 168-174.
- 成田信一, 鳥居貢, 1967: シークラッターと波浪, 気象研究ノート, **89**, 306-315.
- 岡林俊雄, 1972: 気象衛星からみた雪雲と降雪についての研究への利用, 気象研究ノート, **113**, 492-524.
- 迫田正大, 窪田光顕, 1971: シークラッターと海面状態について, 福岡管区気象研究会誌, **32**, 128-129.
- 背振山・種子島・名瀬各レーダー, 1969: レーダーによる集中豪雨観測時の注意事項, 福岡管区技術通信, **15**, 157-189.
- 立平良三, 1971: 帯状エコーの生成・維持に必要な綜観場の条件, 研究時報, **23**, 341-355.
- 豊丸秀仁, 1966: 背振山で観測したエンゼルエコーの形態について, 福岡管区気象研究会誌, **27**, 27-30.
- 豊丸秀仁, 前田宏, 今門宗夫, 1971: 上空エコーの調査(第1報), 福岡管区気象研究会誌, **32**.
- Tsuchiya, K. and T. Fujita, 1967: A satellite meteorological study of evaporation and cloud formation over the western Pacific under the influence of winter monsoon., J. Meteor. Soc. Japan, **45**, 232-250.
- 牛島敏光, 1966: 梅雨前線に伴う典型的レーダーエコー, 福岡管区気象台要報, **21**, 83-92.
- 山田三朗, 1962: 線状エコーの性質, 福岡管区気象台要報, **18**.
- 山中陸男, 1966: レーダーエコーの解釈と利用(1), 福岡管区技術通信, **12**, 147-152.
- 山中陸男, 1966: レーダーエコーの解釈と利用(2), 福岡管区技術通信, **12**, 208-214.
- 矢野兼三, 前田宏, 1973: 複数線状エコーのレーダーおよびメソ解析, 福岡管区気象研究会誌, **34**, 24-27.