

レーダーの天気予報への利用*

(秋季大会シンポジウム)

昭和34年度秋季大会シンポジウムは「レーダーの天気予報への利用」を主題として、11月8日14時から九州大学工学部防音教室で倉石六郎氏座長のもとに行われた。予報現業に関係深い問題であったため、レーダー網の充実した九州地区では特に関心と呼び、参加者は会場にあふれる盛況であった。気象レーダーの歴史が新しいためか、予報への利用はまだ充分ではないようで、今後一層の発展が望まれる。また業務の面でも改善すべき点があるように見受けられた。(今井記)

I. レーダーの天気予報への利用

大塚 茂**

東京レーダーは昭和30年10月に設置され気象観測を行っている。使用している波長は5.7cmでPPIおよびAスコープが設備してある。

東管と気研では昭和33年、34年にわたって共同観測を行っている。定常観測のほかレーダーの性能はあくのための観測および台風、雷雨、大雨などの時は連続観測を行ないエコーと地上天気図との関係を調査し天気予報への利用に資している。また電波の異常伝播(ラジオ・ダクト)も観測されるがこれと天気の関係も更に調査しなければならない問題であると思う。

昨年および今年は割合多くの台風が関東地方に来襲し上陸した。それぞれの台風についてレーダー・エコーの解析が行なわれているが昨年の11, 21, 22号(狩野川台風)、本年の7号、15号(伊勢湾台風)などの観測結果から予報への利用について2, 3の問題について述べる。

中緯度北上中の台風について気圧の中心と風の中心とレーダーエコーの中心の3つがあることについて1954年 UNESCO symposium¹⁾で島山、今井博士が報告されている。このことはレーダー・エコーの観測、予報について非常に重要なことである。われわれはレーダーで台風観測の場合経験上次の3つに注意している。すなわち

- a. 台風におけるレーダー・エコーの眼
- b²⁾. 眼の周辺にある ring 状のレイン・バンド: 中心より約 100km 位にあらわれるもの
- c. 外側のレイン・バンド: ring 状のレイン・バンドの更に外側数百 km にわたり何本か観測される。

* Applicatin of Radar to Weather Forecasting

** 東京管区気象台

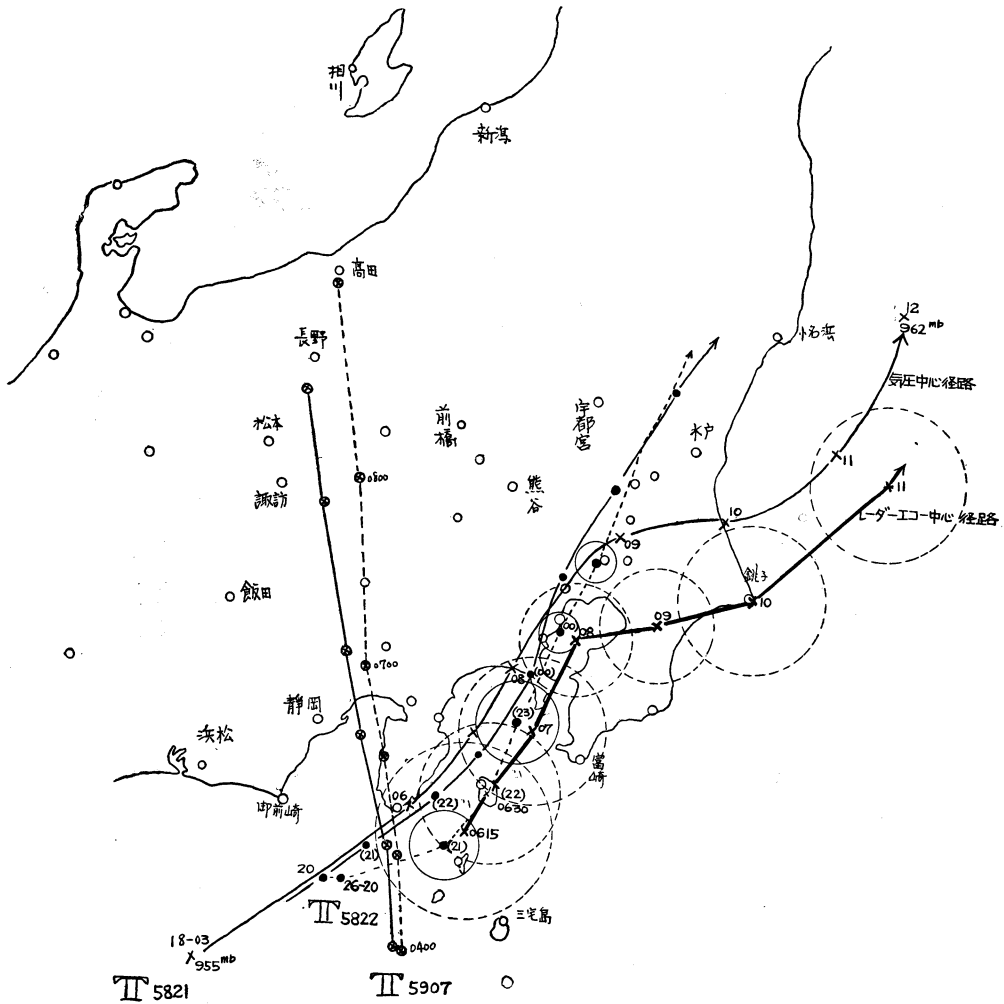
問題点の1つとして

気圧の中心とレーダー・エコーの中心とのズレについて古くは1947年 H. Wexler³⁾が発表した論文に気圧の中心とエコーの中心の軌跡が出ているが明らかにズレている。ここにエコーによる眼がはっきり観測されたものについて気圧中心の進行速度に対するズレの方向およびズレの距離を調べて見た(第1~3図参照)。

本土に接近している台風ではエコーの眼は気圧中心の進行方向の東側にいずれもあらわれている。また気圧の中心の速度が早ければエコーの中心は次第に遠ざかり南東方向にズレる傾向があると見ても良さそうである。

またエコーの中心についてはエコー・セルの速度ベクトルから眼の速度ベクトルを引いて眼についての相対速度ベクトルを画くと流線は眼を中心とした同心円となるから相対風の中心に対応していることが解析の結果求められた⁴⁾。エコーの中心が求まるとそれまでの気圧中心位置の経過とエコーの中心位置の関係から気圧の中心位置を可成りの正確度で30分乃至1時間早く固定することが出来る。

- 1) Hatakeyama, Imai, Masuda, 1954: On Some Radar Observation of Typhoon "LORNA" Proc. Unesco Symposium.
- 2) b, c はそれぞれ Inner Band, outer Band と云っている。D. Atlas, 1956: Radar-Synoptic Analysis of Hurricane EDNNA. Geo. Res. paper No. 50.
- 3) H. Wexler, 1947: Structure of Hurricanes as determined by Radar. Ann. N.Y. Acad. Sci.
- 4) 大塚, 小平, 1959: 台風22号(10A)のレーダーエコー解析・気象庁彙報(未刊)。



第1図 等圧線の中心およびレーダー・エコーの中心による台風の経路

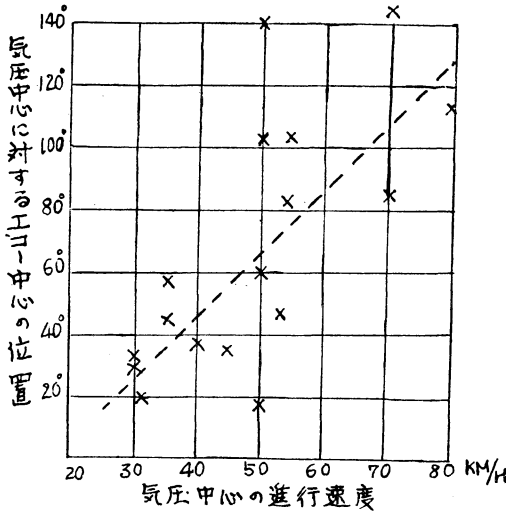
台風のレイン・バンドについて

眼の周囲の ring 状のレイン・バンドは割合様な5本位のバンドで高さは 5000~6000m 位であるがその中の1本が割合発達して高度が高くなるのがある。外側のバンドは1般に高度は高く対流性の多くのセルがはつきりわかることが多い。これらのレイン・バンドの曲率からエコーの中心が求められるかどうかと云う点で今まで対数螺旋⁵⁾すなわち $\tan \alpha \theta = \log r$ として 20°, 15°, 10° の模型をつくり中心に近い方は 10°, 速くの方は 20° を

使用してバンドからエコーの中心を推定したが誤差の入るのはやむを得なかった。今回幾つかのレイン・バンドについて調査した結果 300km 位では 35° 位で、更に速くでは逆に角度は減少する傾向も見られるが、中心に向い小さい角度になるような修正した log. spiral が得られた。

以上簡単に述べたが将来レーダー網が密になって台風を前後左右より捕捉出来コンポジット・マップの作製が可能となり、地上天気図と重ね合すことが出来るようになれば予報にも災害対策にも飛躍的に向上をもたらすことであろう。そして観測結果を通報する方法改善も当然考えられなければならない。

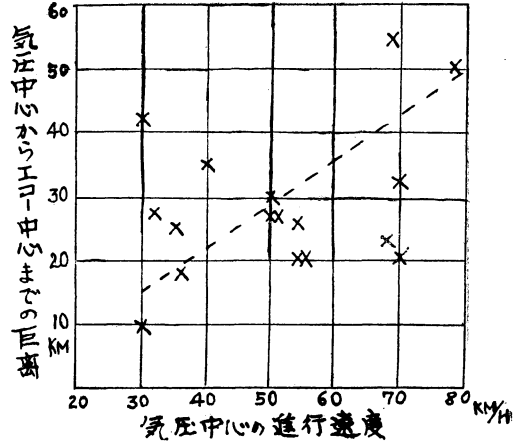
5) H.V. Senn and H.W. Hiser, 1957: Tracking Hurricanes with Radar, Proc. 6th W. R. Conf.



第2図 台風気圧中心の進行速度とレーダー・エコー中心の関係

討 論

- 今井 (気研) バンド内のセルの移動を調べたか?
- 大塚 outer rain band 内のセルについて調べた。
- 倉石 (福岡) 傾角 (等圧線又は流線とバンドのなす角) は高さとともに変化するか?
- 大塚 変化すると思うがまだ確証づける段階にまで至っていない。
- 土井 (福岡) エコーの中心と気圧中心とのずれの大きさをレーダー・サイトから台風までの距離や台風の進行速度などと結びつけるには、さきほどの図の点のバラ



第3図 台風気圧中心の進行速度とレーダー・エコー中心の位置

- ツキから見て無理ではないか?
- 大塚 そう思う。台風その他の条件を統一して調査を続けたい。またレーダー・サイトから遠ざかった台風については、レーダーの観測精度も十分検討したい。
- 高橋 (気研) 台風気圧中心とレーダー・エコーの中心と二つあられるのは、地形の影響によるのではないか。
- 大塚 そういうことも考えられる。
- 大崎 (日航) 飛行機で fix した台風中心とエコー中心との関係はしらべたか?
- 大塚 本邦にごく接近すると飛行機によって fix されることが少なくなるので十分な資料が得られないようだ。

II. レーダーの天気予報への利用

古 郷 恒 彦*

雷雲は雲頂が極めて高くかつ高い所まで濃密である、従って雷雲は極めて遠方からでもレーダーに探知され易い。また普通の雨にくらべ雷雨は降雨範囲が小さいので孤立した雷雨等は可成り遠距離でも減衰する事なく探知され易い。しかしこの探知したレーダー・エコーを雷雨と単なる降水現象とに区別する必要があるが、この方法として雷雲の雲頂高度と反射強度を測定して判断する事が可成り有効である。

雷雲の高度測定

観測したエコーが発雷しているものか、ただの降水現象なのかを区別するため、地上のデーターと対応させてそのエコーの過去、未来の発雷に関係なく現在発雷しているか否かで区別した雷雲の頂部高度と発雷率の関係は

高度	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	×1000m
%	0	8	14	29	80	67	57	71	100	51	100	%

高度 8 km では80%発雷しており、ここを境にして高度の高い方では発雷率が多く、高度 7 km 以下では発雷エコーが少なくなっている。これも季節によって多少異

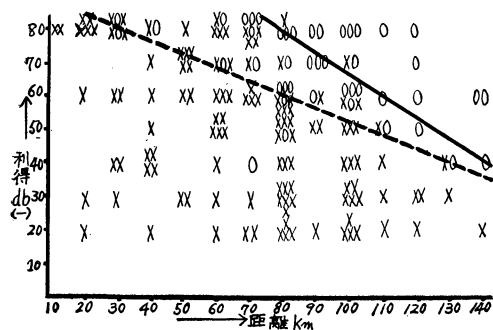
* 大阪管区気象台

なっており一概に雷雲の高度だけを以て発雷と否との区別はできないが現業予報者が見分ける大きな目安となっている。

雷雲エコーの反射強度

雨滴の半径の6乗に比例して反射強度が強くなっているから小粒の水滴からなる降水より十分発達した雷雲の反射の方が強いのは当然であろうと考えられる。

測定方法は常に受信機の状態を出来るだけ一定にしておき、レーダーの受信利得のみを下げて弱い反射エコーから消して行き、そのエコーが消滅する時の下げた受信利得をそのエコーの反射強度とした(第4図)。



第4図 水平距離と反射強度

○印のついた発雷エコーは実線の左上方にかたよっており、実線と点線の間は発雷しているものと発雷していないものが共存し、一方発雷していない×印のエコーは点線の左下方に集まっている。大体において反射強度の強いものほど発雷しており、反射強度の弱いものほど発雷していない。

レーダー使用による雷雨注意報の改善¹⁾

レーダーを使用することにより従来にくらべて多くの点で著しい進歩を示した。それはまず発雷電報到着前にも注意報が出せた事、雷雨注意報の発布回数が増した事、警戒時刻と発雷時刻との差が短縮された事、注意報の適中率が向上した事等である。

雷雨注意報の適中

	警戒地区 に発雷	隣接地区 に発雷	その他の区 域に発雷
1954	28回	12回	26回
1955	65回	40回	22回
1956	114回	22回	3回

1) 2) 大阪予報『近畿電力委員会』に一部発表

レーダー以前と以後の発雷分布²⁾

レーダーを使用する以前の発雷分布図とレーダーを使用以後の発雷分布図を発現頻度について比較した結果、特徴ある傾向を示した。それは京阪神の近畿中部地方や琵琶湖付近の平坦にして観測網の密な地方では今までより雷雨の発現頻度は減少したが、逆に紀伊山脈地方や、兵庫中部の山岳地方や、若狭地方の観測網の粗な山岳地方に於ては今までより増加している傾向を示した。このことは資料が短期間であるが、山岳地方のような観測所の少ない地方においてはその観測網にかからない雷雲により多く正確に探知されたものと思われる。

討 論

孫野(北大) 雷の予報は、エコーの強さ、高さから予報しているようだが、エコーの予報が先か、発雷が先か、あるいは同時現象か。

古郷 同時現象であって、レーダーで発雷を予報できたわけではない。

藤井(大阪) 電力関係を例にとると雷の所在や進行速度を正確に知ることは送電線の問題では非常に価値のあることで、雷の予報でなく実況通報はかなり要望されている。

岡部(福岡) 背振山レーダーでは積乱雲の initial echo が出てからの life の長さで発雷とはある程度関係がありそうだが、そのような調査はされたか。

古郷 大阪ではやっていない。発雷予想は synoptic な方法でやっている。

岡部 エコーの強度はいかに測定するか？

古郷 ブラウン管上のエコーの輝度を左右する他のパラメーターを一定に保ち、gain だけを変えて測定する。

倉石 にわか雨の予想はやっているか？

古郷 ルーチンにはやっていない。

藤井 実際には高さ 10,000m 以上の top をもつエコーでは強い雨が降るといった結果を得ている。

高橋 高さは地上から測ってか freezing level から測ってか？

古郷 地上からだ。

III. 局地的異常気象の予報への利用

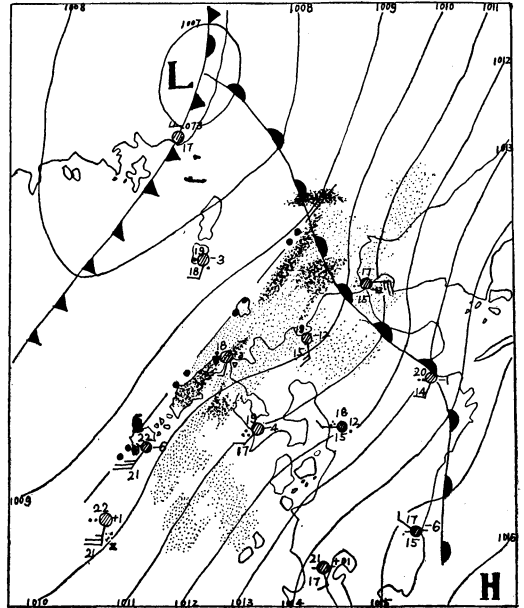
山田三朗*

福岡でも気象用レーダーを主として次のような2-3時間内の短期予報に利用している。(1) エコー域の移動、消長により雨の降り始め時刻や降り終り時刻の予報。(2) エコーの高さ、強さ、移動により雷雨の強さと起時や場所の予報。(3) エコー域の強さや停滞時間によって雨量の目安を知る。(4) スパイラル・エコー等からの台風中心位置の決定等。しかし、台風予報への利用については東京管区から、雷予報については大阪管区から、それぞれ主として観測者の立場からの話題提供があったので、福岡管区としては予報者の立場から主として「レーダーにより nonfrontal な squall line を海上で発見し、それに伴う突風、大雨、強雷、たつまき等の局地的異常気象の予報精度を向上させることについて」述べる。

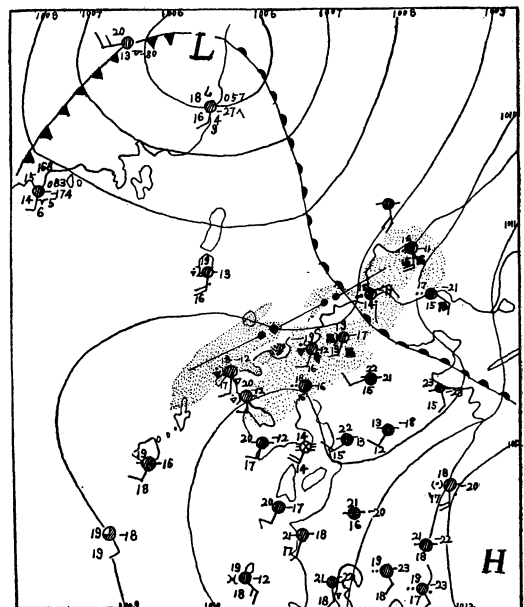
九州はその地理的条件等の関係から上記のような局地的異常気象を伴う severe local storm が多く、それらの局地的異常気象は nonfrontal な squall line に伴うことが多い。したがって、それらの局地的異常気象を高い精度で予報するためには、それを伴いやすい前線性でないスコール・ラインをレーダーによって九州に上陸する前に、海上で発見して追跡し、外挿することが最も効果的である。また従来はそれら異常気象をメソ解析する資料がなかったが、今後は背振山、種子島、名瀬のレーダー網により、エコーの合成図等も作り、局地天気図や毎時雨量図などと共にメソ解析してその機巧を調べ、シノプティック資料との関係を求めて、シノプティック・スケールの資料から、それらメソスケールの現象の予報を半日ないし2日前から予報できるようにすることが望ましい。

すなわち、九州のように周囲が海上で、西方、北方および南方の海上に暖流が流れ、そこに異常気象を伴いやすい不安定線が発生、発達しやすい条件の所では特に、レーダーがなければ、海上での nonfrontal なスコール・ラインの発見や解析もできないし、それに伴う局地的異常気象の予報精度も向上しない。そこでレーダー資料や局地天気図等のメソ解析資料を用いて、約50例の大雨、31例の強雷、25例の突風、21例のたつまき、24例のひょうを調べ、その機巧と予報条件を検討している。

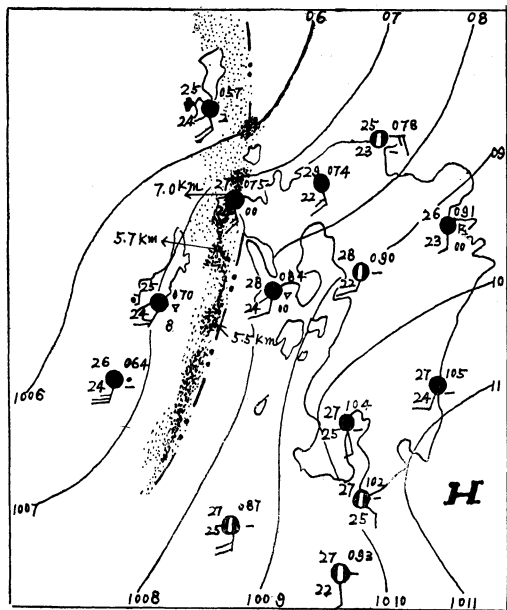
* 福岡管区気象台



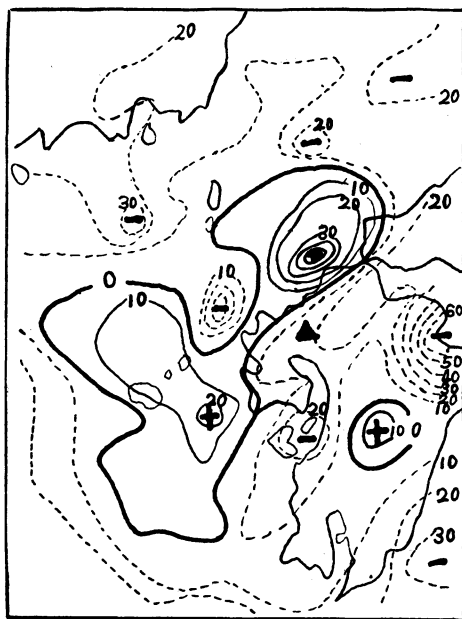
第5図 1957年11月10日21時局地天気図とレーダー・エコー



第6図 1958年3月25日15時局地天気図とレーダー・エコー



第7図 1959年7月17日21時局地天気図と
レーダー・エコー



第8図 全エコーの発生頻度の偏差分布図

かくして第5図のような pre-cold-frontal なスコール・ラインに局地的な突風やたつまきが伴ったり、第6図のような温暖前線に直交したエコー・バンドに強雷と記録的な大雨を伴ったり、あるいは前線が朝鮮中部にあるとき、その暖域に第7図のような nonfrontal なスコール・ラインができ、それに伴って雷とにわか雨が西から東に進行するなど、いろいろなケースのあることがわかった。そこで、それら各種異常気象を伴うときのそれぞれのエコーの特徴や、それに関連してのメソ解析とマクロ解析との関係などを求めた。その結果得られた lower southerly jet や中層の寒冷前面と不安定線との関係、メソ低気圧や閉塞点低気圧と不安定線との関連、日本海や瀬戸内海上の寒気との関係や閉塞前線との関連等が次第にわかり、局地的な異常気象の予報精度が向上しつつある。

一方これらのレーダー資料を予報に有効適切に活用するためにはレーダー気候学的な知識も必要とするので、脊振山エコーの統計資料を作り、脊振を中心とする 300 km 以内の各 20km 格子点におけるエコー出現頻度の年変化や日変化の分布図を作り、その時刻別の平均減衰率からの偏差分布図を第8図などのように作った。また第9図のように線状帯状エコーや帯状エコーの地域別発生頻度を季節別に求めた。これらの資料によって、それらのそれぞれの条件のときのエコーの発生と、地形や海流ある



第9図 線状帯状エコーの季節別発生分布図
冬期 (1. 2. 3. 12月)

いは海陸風などとの関係も次第にわかり、レーダーができるまでは知るこのとのできなかった海上でのこの種気象資料の日変化や年変化も陸上と同じ精度で検討でき、それらの発生、発達機巧を考究すると共に、予報に利

用して、その精度を向上させつつある。

討 論

坂上 (九大) 降水の年変化とレーダー・エコーの年変化との相関をしらべて降水の予想をすることはできないか？

山田 傾向としては可能性があると思うが、量的予想は現段階ではむづかしい。

星野 (新潟) 突風の場合、雨を伴わないことがあ

る。これは全体の何割位か？

山田 調査していない。

菊地 スコール・ラインが後のフロントに追いつかれるのは九州だけの事か？

山田 アメリカではスコール・ラインの方が一般に早く移動するが、九州ではスコール・ラインの成因が地形に関係しているの、寒冷前線に追いつかれる場合が多い。他の地のことは資料がないのでわからない。

IV. レーダーの天気予報への利用

石 原 健 二*

1. レーダー・エコー解析の意義

シノプティック・スケールの天気図解析から期待される天気予報というものは、元来その観測網のスケールに応じたある空間に対する平均の予報である。従って局地性の集中豪雨や雷雨・トルネード等の小スケールの激しい擾乱の予報をシノプティック・スケールの天気図解析からおこなうことは一般的にいって無理である。日常の天気予報では、幸いにして天気現象というものが空間的にあるひろがりをもった持続性のある現象であるので、それによってかなりの程度までカバーされているのが実状であろう。

最近の気象災害の大部分は小スケールの擾乱現象に伴って発生しているので、利用面からは、それらの現象の予報を要望する声が非常に高まってきている。しかし、小スケールの予報には小スケールの気象力学を確立することが必要である。気象力学的に見て、シノプティック・スケールの現象と小スケールの現象とでは、力のバランスが異なっている。そして小スケールの気象力学については、はっきりした形がまだ与えられていないのが現状である。このような状態において小スケールの擾乱の予報は現実的にどのようにして行なったらよいのであろうか？ 結局は擾乱の初期を実況として把握し、その発達や移動を追跡してタイミングよく予報をおこなう以外に方法はないであろう。この意味において小スケールの観測網は予報現業にとって欠くべからざるものとなるのである。また小スケールの観測網は小スケール現象の正しい解析をおこなうことを可能にし、その現象の規則

性をつかむことによってその力学の樹立への基礎を与えることに寄与するものである。

従来日本における小スケールの観測網としては次のようなものがある。

- (1) 区内気候観測網
- (2) 電力気象雷雨観測網
- (3) 水理水害用の雨量観測網

(1)の観測網は気候観測が目的であるので、自記器械ではなく、観測回数も1日1回、観測項目は気温・湿度・風向・風力というような極めて簡易なものであり、速報組織にはなっていない。従って小スケール現象の予報現業としては適切ではない。

(2)の観測網は電力会社・国鉄等の出先機関をネットとするもので、雷雨現象に関係のある一般気象観測を1日2～数回定時におこなうほか、雷雨の発生するつど雷雲の状況を随時に観測している。観測結果は各機関の専用線を通じて気象台の雷雨予報中枢に速報される。この観測網は雷雲の発達や移動の監視・追跡を可能にするもので、日本の電力機関の雷災防止に寄与するところ多大なものがあった。

(3)の観測網は昭和28年の梅雨季の北九州・紀伊半島の豪雨を契機として全国的に設けられたもので、その中の相当数はロボット雨量観測であり、ちょう密なネットは雨量予報や洪水予報の貴重な裏付け資料となった。しかし、局地的な集中豪雨を完全に把握するには、全国的に見ればまだこのネット・ワークは十分ではなく、なお充実する必要がある。しかも、この観測網が雨量だけの観測に限られていることは、予報という立場からは不十分で、このようなちょう密な速報観測網が気圧・気温・

* 気象庁予報部

風のような雨量を算出するパラメーターを観測項目に加えることができるならば、小スケール現象の予報に対して貢献するところ絶大なものがあると考えられる。

一方、レーダーのネット・ワークは、日本においても年々その数を増し、ようやく日本全土をカバーしようとする態勢にある。このレーダーの出現は小スケール現象の解明に苦しんでいた日本の気象技術者に、大きな光明を点ずるものであった。既設の小スケールの気象観測網の充実とともに、レーダーが今後小スケール現象の究明に威力を発揮するであろうことは疑う余地があるまい。

レーダーは対流雲の構造を把握する。ある区域内の雲の分布・移動・発達と衰弱を一目で見ることができるといのはレーダーのもつ大きな威力である。

しかし、日本においてはレーダーのエコー解析の歴史は浅い。未だその解析技術が定型化されたわけではなく今後も解析資料の集積が必要である。

また、日本の地形はレーダーの利用を阻害することが大きい。300kmの有効半径のレーダーも、実際に使用して見ると、せいぜい150~200kmに対して有効であるというのが実状であろう。この意味においてレーダーのネット・ワークを更に充実することが必要であり、各都府県の地方気象台に一器宛設置する位の密なネット・ワークがしかれば、防災予報を今よりも有効におこなうことが可能であろう。そのような暁には、レーダーの全国解析中枢の必要性も考えられよう。

2. 予報現業への利用

(1) 台風予報：レーダーによって台風を観察すると、スパイラル状に inner band と outer band のエコーが台風中心にまき込んでいる状況を見ることができ、台風の中心位置の決定にこのバンド状エコーを利用する方式が確立されつゝある。台風が何処の地点へ上陸するかは、これはやはり小スケールの問題であり、このような時、レーダーは有効に利用されている。地形によって等圧線の変形する如く、エコーも当然変形を受け、上陸後の台風中心位置をレーダーから決定することはやゝ困難となってくるが、決して不可能ではない。この場合には比較的高度な解析技術を必要とする。

(2) 雷雨予報：雷雲の対流細胞の発達・衰弱過程を把握できるという点において、レーダーは雷雨予報に極めて有効である。一般的に言って対流雲の高度の高いほど

発達し易く、また雲の温度も発達に関係する。雲の高度はレーダーでわかるが、雲の温度は近くのゾンデ観測を参考にする。昭和33年の東京のレーダーの観測結果をとりまとめると、下記の各月に下記の高度以上に対流雲が発達すると発雷率が大きい。

5 月	6000m
6 月	7100m
7 月	7800m
8 月	7900m
9 月	7400m

シノプティック・スケールの不安定解析により、雷雨の発生しやすい不安定な区域の予想をおこなうことができる。しかし、その区域内の何処に発生するかは、雷雲の臨時観測とかレーダーによる以外には現在のところ方法がないのであり、その移動・発達が小スケールの雷雨予報に肝要となるのである。

(3) 雨量予報：一般的にいてレーダーの反射強度の強いほど雨滴が大きいといわれている。エコーから雨量を算出する方式は未だ確立されていないが、定性的にでもその分布が得られるということは、予報者に大きな心強さを与える。地形性降雨は極めてうすいエコーがグラウンド・エコーと重なって現われることが多い。しかもその場所の雨量観測所からはかなりの強度の雨が報ぜられる。現状では、既設の雨量観測網と、レーダー・エコーとを併用することが、雨量予報や洪水予報にとって必要である。エコーの滞留時間の長いほど、大雨が降り易いことは各所から報ぜられている。

討 論

北田（予報）ばく然とブラウン管を見ての感じだが、台風の眼がレーダーでキャッチされなくても外側のエコーから進行方向と速度はわかるし、転向するときは、エコーのパターンが急に変わるようなことをしばしば経験した。レーダーでとらえた中心と他の方法で得た中心が多少ずれても、進行方向と速度から見ても価値は極めて大きい。

倉石 今の意見に全く同感だ。

岡部 背振山レーダーの通報はどれくらい本庁で利用されているか。

石原 東管の資料と同じ程度に利用している。

V. メソ解析とレーダー・エコー

今井一郎*

レーダースコープに現われたエコーの像を観測するだけでは、単に雨域の移動や雨量の速報に用いられるだけで予報への利用価値は少ない。予報への利用度を高めるにはエコーの状態と天気状態との対応をつけることが必要である。しかし、レーダーの探知範囲はせいぜい 300 km であり、エコーのスケールは数 km から数十 km 位に過ぎないから、エコーの状態と通常の天気図との対応をつけることは困難である。

台風や前線、低気圧などの大規模な天気系とエコー・ボタンとの対応を調べるのにしばしば用いられる方法は composite picture (組合せ写真) の方法である。これはレーダー網の増設につれて発展することが予想される。しかしエコーの発生、配置などもっとスケールの小さい現象を調べるにはメソスケールの天気図解析が必要となる。メソ解析で扱える気象現象は資料の関係で大気の下層に限られるから、メソ天気図と対応づけられるレーダー・エコーは下層に発生源を持つ対流性エコーが主であり、温暖前面の上方に発生源のある地雨型エコーの解析にはメソ天気図は無力であろう。

メソスケールとは Fujita (1952) や Tepper (1959) によると 10~100 mi のスケールを言い、メソ高気圧、メソ低気圧、スコール線などがこれに属する。これに対して通常の天気図で取扱う 300mi 以上の現象は macro-scale と呼ぶ。また 5 mi 以下の雷雨、しゅう雨、トルネード、雲形などの現象は local scale 又は microscale と名付ける。mesoscale や microscale の現象の解析はかなり前から行なわれているが、“meso” という語は Swingle (1953) が用いたのが初めてである。

メソ解析の方法を始めて体系化したのは Fujita (1952) である。観測点の不足を補うために自記記録を活用し、time section を space section に変換する。この際天気系はある短い時間(約 1 時間位)の間変化しないで一定方向に一定速度で移動すると仮定する。系の移動は自記紙上の pressure jump などの特異現象を追跡することによってきめる。メソスケールの現象は強度が小さいから観測値の取扱いが重要で、測器の誤差や地形による不規則な凹凸を消去するため、日平均図による平滑化

を行う。また気圧、気温は海面更正を施し、必要があれば日変化を除去する。その他日雨量から時雨量を推定するのに百分率法を用いたりする。上層のメソ天気図を作る試みも行なわれている。

メソ解析の問題点 メソ解析は米国中部の平野部でかなりの成績を挙げているが、日本では問題が少なくない。1) 観測網が不足している。通報所も次第に増加しているが、目的が違うため偏って分布しており、測器もよくない。2) 測器の精度。現用気象測器は前世代的のものであるからメソ解析に適さない。特に風向、気圧などがいけない。3) 資料の収集。現在自記紙は各官署に死蔵されて居り、収集に著しく不便である。トレースでは用をなさないで、資料センターを作って要求に応じてコピーを発行できるようにすることが望ましい。4) 地形の影響。日本では色々の点で地形の影響が利いてくる。第 1 に風の強いときは気圧計の示度に著しく影響する。これは地形と風向との関係でちがう。第 2 に観測点の高低差が大きいので気圧の海面更正の影響が現われる。海面更正の意味について立入った考察が必要のようである。第 3 に風向、風速が気圧傾度よりも地形に左右されることが大きい。第 4 に、メソ天気系自体が地形の影響をうける。これは系の高さがせいぜい 1000~2000 m の冷気塊から成ることを考えれば当然考えられることで、実際にもそういう現象が見出されている。

メソ天気図とレーダー・エコー メソ系には必ずレーダー・エコーを伴っている。Fujita (1959) によると移動しないメソ系では周縁部分にしゅう雨性エコーが多く発生している。またその移動速度は系の外側よりも内側の方が大きく、方向もやや違っている。

筆者は関東地方の雷雨によるメソ前線の南下を追跡したが、マクロの天気図では単に寒冷前線の南下と見られる場合でも、雷雨域ごとに別々のメソ系が現われ、拡がりながら南下して合一するということがわかった。また梅雨前線上の低気圧では前線の南側と北側でエコーの特長に著しい違いがあることが知られた。メソ解析は著しく手数のかかる仕事であるが、case study を積み重ねて行くことにより一般側が見出されるものと思われる。

討 論

* 気象研究所

高橋 メソスケールの解析に海陸風の影響がノイズとして入ってくるか？

今井 しらべたわけではないが、恐らく入ってくるだろう。

藤井 ラジオダクトはメソ気象学の方に入るか。

今井 メソよりスケールが小さいと思う。

島山 水平にはメソ位のスケールはあるだろうが、高

さはせいぜい数百メートルだからマイクロ気象学の方になるだろう。

孫野 メソ解析には非常な労力があると聞くが。

今井 レーダー・エコと天気図の関係を明かにして予報に役立てるにはメソ解析が是非必要なので、労力がかかるのは仕方がない。

VI. 観測, 通報, 資料の問題

土井 謙二*

1. 天気予報のための観測, 通報

レーダーのもつ2つの大きな利点は、(1) 降雨実況を時間および空間的に連続的に教えてくれること、(2) 情報をほしいときにすぐ提供してくれることである。しかし、このようなレーダーを天気予報に利用しようとする、すぐに次のような問題点に直面する：

(1) 情報の信頼度

電波伝ばん上の現象や観測方法の違いによって、信頼度には限界がともなうが、これまでの資料から見て、並以上の雨に対しては、かなり信頼してもよいように思う。

(2) エコ-の extrapolation の限界

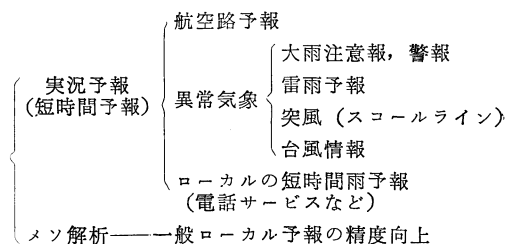
レーダーが与えるものは降雨の実況であるから、予報に使うためには、その実況を多少なりとも extrapolate する必要がある。そこでエコ-の移動や発達衰弱などの傾向を、どの程度正しく観測し、それを将来に引きのぼすことが可能かということが問題となる。一般に、輪郭のはっきりした線状エコ-などは、移動の観測も割合楽であるし、時としては3時間以上も extrapolate することができるが、それでもまだ組織的に予報にとり入れる段階にはなっていない(途中で消えてしまうこともある)。さらに停滞前線に伴う停滞性エコ-はしばしば大雨の原因となるのであるが、その発達衰弱はなかなか予測困難で、このような場合には all watch をするほかはない。

(3) エコ-・ボタンと天気との関係

さらに一般的には、全体としてのエコ-・ボタンと天気及び天気変化との関係が問題となる。large scale の解析と local 予報との橋渡しとして、meso scale の解析の必要性がとえられているが、レーダーはこの種の解析に有力な情報を提供しそうである。レーダー解析は

後の発展が期待される分野であり、このためにはレーダー・ネットの充実に伴い、composite PPI などの technique も用いられるであろう。

以上述べたレーダーの利点と問題点を念頭において、実際上の予報への利用方法を考えると次のようになる。



予報のための観測, 通報の方法を論ずるに当って、次の2つの点を特に強調したい。

(1) 利用目的ないし利用方法により、観測, 通報の方法は違ってくること。

(2) 実況予報にあっては、レーダーのもつ情報の即時提供という利点をできるだけ積極的に生かすべきであること。

第(1)については、現在われわれが採用している観測通報のやり方は、だいたいにおいてアメリカ気象局の方式になっているが、この方式は主として航空路予報に利用することを目的としたものであって、実況予報に利用するためのレーダー実況報としてはかならずしも満足できない。なぜかという、この観測の方法は擾乱の全般的な記述に重点をおいているために、個々のエコ-の記述はどうしても粗くなる。ところが予報者は自分の予報地域に関するエコ-の状態をもつと詳細に知りたいと思っているからである。この点現在の、いわば総花式の観測通報では、時として観測者は、広い範囲にわたる、あまり重要でないエコ-の観測に注意を奪われて、ロー

* 福岡管区気象台

カルの、その地点にとっては重要なエコーの通報を忘れてたり省略したりすることさえあり得る。

第(2)のレーダーの即時性を生かすことは更に重要である。エコーの extrapolation の限界が十分わからない現状では、1時間経過した過去のレーダー情報はしばしば無価値となるから、実況予報では、レーダー情報はなるべく早く、それを必要とする予報者に送るべきである。実際にも、これまでレーダーがほんとうにその効果をおさめたのは、たいていは予報者がほしいと思った時に直ぐになされた臨時の観測通報であって、これに反して、いわゆる 3-hourly 程度の定時観測通報だけでは、ほとんど役に立たないといってもよい。

以上述べたことから、実況予報のための観測、通報のあり方としては

(1) 必要に応じて行う臨時観測通報を立てまえとする。これは予報者の要求によって行うほか、予報者の注意もれた降雨を早期発見するために、観測者はその時の状況によって、なるべくひんばんにレーダーによる監視をおこなうこと。

(2) 観測、通報はかならずしもエコー・パタンの忠実な再現をねらう必要はない。重要なエコーについて重点的に、強さ、移動、変化傾向、高さなどをできるだけ詳しく観測して通報すること。

(3) 観測者が、予報上どれが重要なエコーであるかを正しくつかむためには、あらかじめ地上実況や解析結果を知っておくことは非常に役に立つ。

(4) 情報の速達のために、通報文はかんたんにして、作製にあまり時間をかけないこと。

以上は実況予報のための観測通報であるが解析資料としてレーダーを利用するためには、全体としてのエコー・ボタンと天気や天気変化とを結びつけて観測すべきである。これは map time に行えばよい。このための観測方法や通報式は将来の宿題であるが、その第1段階は、天気と関連させて分類したエコー・ボタンの記述であろう(たとえば雲の観測において、空の状態を分類して観測するように)。

2. 資料

レーダー観測の結果を、どのような形で資料として残すかは、レーダー解析その他の調査のために重要な課題である。エコーを写真に記録する場合、単独なスチール写真だけではあまり役立たないことが多い。エコーの特徴や変化傾向を調べるためには、少なくとも5分おきくらいの間隔でとった連続写真が望ましい。16ミリ シネ

フィルムは映画として見る場合はよいが、こまかい解析には解像力がやや不足のようであるから、35ミリのスタンダード・シネ版がよいと思われる。写真による観測はすべて、この種のシネ・カメラにより自動的に1~5分おきのこま撮りにするののも一方法である。

討 論

高橋 レーダー・エコーの通報にファックス等を利用したらどうか。

倉石 ファックスも一方法だが目的によってはかならずしも必要ではない。またファックスで一枚の画像を送っただけではすまされないから、エコーの移動や変化などを電報に組んで送る方法にも利点はある。

藤井 定時通報はあまり役に立たないとのことだが、大阪では毎時観測し、エコーがあればその時だけ通報している。

土井 毎時やれば、ここで述べた臨時観測なみである。ここで定時観測といったのは、3時間とか6時間ごとのマップ・タイム程度の観測通報のことである。

木部(熊本) 臨時観測を増加し、定時をもっと簡単にすべきだとのことだが、むしろ定時観測を毎時位まで増加すべきだ。

土井 主旨は同じことだと思う。

孫野 予報者がレーダー観測をやった方がいいのではないか。

土井 理想的だと思うが、エコーの速度などの観測には時間がかかるし、観測そのものも簡単ではないから、現状の予報作業では、その片手間にレーダー観測を行なうことはむりだろう。

高橋 レーダー観測通報の分類で、予報的な利用があるように云われたが、これはあくまで実況通報である。シノプティックな利用法はないだろうか。

倉石 天気図の解析結果を更にレーダーでチェックすることができる。

伊藤(板付) レーダー通報で、エコーがある場合は、上層から下層まで雲におおわれていると解釈してよい。飛行機観測では中間の高さで切れて層になっていることがよくある。

今井 それは層雲系の雲についてと思うがR、H、Iを使わなければ2層になっているかどうかはわからない。積雲系については top から base までつながっていると考えてよい。