

# レーダーの水気象への利用について

## シンポジウム (概要)

藤原美幸\*

日時 昭和32年6月13日 会場 東京都神田一ツ橋如水会館

わが国のレーダー気象は実質的には1954年3月気象研究所に、PPI-, RHI-, A-scope, SG をそなえた 270km の気象用レーダーが設置されてから始まったといつてよいであろう。気象庁にレーダーを設置するための目的で1953年12月レーダー委員会が気象庁内に設置され、現在 Boston M. I. T. に出張中の小平信彦氏の努力で出来上ったのであるが、その後1954年2月現在の研究所高層気象研究部長今井一郎博士を中心にレーダー気象懇談会を設立し、外国のレーダーに関係ある論文の紹介を主として活動した。その後東京管区気象台(1955年10月)大阪管区気象台(1954年9月)福岡管区気象台(1955年7月)にPPIを主とする気象用レーダーが設置され、ルーチンの観測用具としてレーダーが気象業務に取入れられるようになった。最近航空保安用レーダーにもその目的上気象観測を併用してゆこうという動きが活潑である。さらに極く最近では熊本県人吉市に九州電力によって九州大学農学部的人工降雨実験用として60哩の3-cmレーダーが設置されている。

レーダーは降水の実況把握としては優れた性能をもっていることは異論のない所であろうが、レーダー情報の理解の仕方では現在なお未解決の問題が多い。従つてこれをいかに利用するかという点では寧ろ今後の問題であろう。

米国においては一年半毎に全国的な Weather Radar Conference を開いてレーダーと気象に関する研究の報告と討論が行われている。その範囲は広く、レーダー装置そのものから電波気象、降雨機構、総観気象に至るまで包含されている。今年3月にはその第6回の会議がM. I. T. で開かれ、日本からは北大孫野教授が出席された\*\*。残念乍ら日本ではまだそこまでいってはず、全国的な分科会もまだ開かれていなかった。

前記気象研究所のこの方面の研究の傾向はレーダーを実用に供するための基礎的な研究が主となり、又これを利用して降雨機構に関する問題にもウエイトが置かれてきた。しかし一方現業用レーダーを所有している所では後程各講師の発表にもあるように現業の予報技術に密着した研究も行われており、レーダー気象の全国的な分科会を開くことは意義の深いことであった。

\* 気象研究所 高層研究室

\*\* わが国からの論文出題者はほかに今井、小平(信)(在米)渡辺(年)(同上)である。

今回のシンポジウムはレーダーの一つの重要な応用部門であると思われる水文気象との間隔をうずめる目的で行われた。そしてこのシンポジウムの目的を最も効果的にするために表題の如き議題が選ばれた。このテーマの選択から会の進行に関する具体的な企画は各講師の協力と特に座長の小平吉男博士の適切な指導によって進められた。またこの会を気象学会から電力気象連絡会に協力してほしい希望を述べたところ快く応ぜられ、これを両者の共催とし恒例の水気象全国研究検討会の一部に入れて種々の便宜を計られた。この会の成功はこうした多方面の数多い協力によってとげられた。その内容は次に示すように十分に所期の目的を果した盛況なものであつて、参加者の数も百名をこえ短い時間ではあつたが活潑な討論が行われた。

各講師の講演及び対論の内容は全体で膨大となつて紙数の関係で掲載しきれないので本報告の筆者が圧縮した。なるべくもとの論文を忠実に紹介するよう努めたが見当違いや不十分な点も多いかも知れない。それは本報告の筆者の責任で講師の方や発計者に深くお詫びしたい。

各講師の論文と討論内容は「電力気象彙報」2輯に全文が掲載される予定であるからそれを参照願いたい。

### レーダー気象の諸問題 今井一郎

レーダー気象の中で応用的な面から問題点を列挙する。

#### 1 探知距離

標準大気を仮定すると地球の曲率のため大体 300km まで、レーダーを高山につけても 500km 位である。減衰による減少は波長によって異なるが東管レーダー(5.7cm)と研究所レーダー(3.2cm)を比較すると一様な強い降雨の場合それぞれ 230 及 140km となる。又出力が小さいと減少する。

#### 2 エコーの性質

**対流性エコー**は個々の cell (平均寿命30分~1時間) からなり、個々の cell は大体 700mb の地衡風に流される。上層風の shear があると降水が横に流され、エコーは楕円形となる。気団性のものは random に、寒冷前線、squall line は線状に並ぶ。

**地雨性エコー**は前線面を滑昇する暖気団中に小さいセル群が出来て雪片が著しく吹き流されるので全体としては輪廓の不明瞭な広がったエコーとなる。個々の移動

は、下層の雲層によって複雑化するが、そのない時はセルの生成層の風に従う。雪片の融解高度に現われる bright band は PPI の仰角を少し上げると明るい ring となる。またこれの現われない warm rain も観測されることが多い。

### 3 Synoptics への応用

この方面は現在開拓されつつある所で方法は確立されていない。台風 (ハリケーン)、雷雨, squall line, 等について case study が積み重ねられている。レーダーの範囲が従来の synoptic な範囲より狭いので米国では各地のレーダー像を集めてエコー分布図を作り天気図と比較する composit PPI が研究されている。いずれ現業用に電氣的に集められるようになると思われる。

また Canada, McGill 大学で CAPI (constant altitude plan indicator) が研究されている。PPI の仰角をかえて一定高度の ring 状探知をつなぎ合わせる方法で、高層天気との比較に便利であろう。

その他伝送方法として記憶管に貯像した像を有線で送る方法、Polaroid camera の早撮りや A-scope をフアクシミルにかけて PPI の受像を得る方法が試みられている。

### 4 雨量の測定の問題

先ず雨量計による測定値の代表性の問題であり他に受信電力、電波の伝播に関する誤差があって、種々の誤差を含めた overall の精度は2の因子の程度といわれている。

#### 水気象の諸問題 藤田兼吉

水気象の諸問題のうち流量予報の特にレーダーに関係ある面についてのべる。流域内の平均面積雨量に関しては代表点の問題があるが、一方流出量では滲透、蒸発の問題がある。何れにしても表面流出が基本的であって、それには雨量の予報と実況把握が問題となる。

流量予報の手続には三つの段階がある。先ず水源地域に適用される降雨予想量から、共やく軸解法で求める方法があるが若し降水の時間的配分が予報できれば流出量の時間的配分も予報できる。次に流域内の実雨量資料から前記予報を修正し、流量の時間的配分を予報する。最後に下流の流量予報を実施する。日本のような狭い国土では第2の段階までが重要で、これには従来の米国流の unit graph 式では時間的変化を正しく現わすことが出来ない。unit period を考慮した流出特性曲線を用いて各 unit period 毎の流出量を求めるには、unit ずつ選らせて相重ししなければならない。わが国の場合、種々の点を考慮すれば unit period は1時間位が適当である。最近それ以下が適当であるとも云われ、実際30分位がほしい場合もある。unit period を小さくすると従来の求め方では多少の不都合を生ずるが、最近 Clark 式の概念を発展させ任意の unit period に使えるような見通しができた。レーダーによってこの程度の

period の面積雨量の測定と短期間予報ができるならば水気象に大きな利用度があろう。

#### 雨量予報からみたレーダーの諸問題 石原健二

雨量予報からみたレーダーに期待する諸問題について述べる。

水気象では支派川別流域のような小地域の、且つ短時間雨量予報が重要である。日本の河川では unit graph の立場から例えば数百 km<sup>2</sup> ぐらいの区域の1時間雨量が問題である。このような small scale の実況把握のための観測網の充実と解析に努力が払われているが、レーダーはこの目的には適当している。最近米国においてレーダーを用いた meso-analysis が盛んになっている。現在 small scale の擾乱の発生発達衰弱の機構がレーダーによって明かにされることを期待したい。

先づ雨量予報上レーダーエコーの移動が問題である。更に RHI を用いて降雨が山越えの気流によって風下側に spill over される量を明かにすることが可能ならば水気象にとって有益である。

最後にレーダーによる降雨機構の解明である。現在凝結水蒸気量の計算から雨量を推定している段階で未だ降雨機構の物理が雨量予報に取入れられていない。英国で -12°C 以下にならぬと雨量は少いという予報則を利用している旨 Weather 誌にのっていたが他にはないようである。レーダーによる降雨機構の研究は small scale の雨量予報のため緊急のことであろう。

#### レーダーによる予報の問題 大塚 茂

東京管区のレーダーは定時観測を行っており降雨の探知能力としては大体目的を達している。

昨年対流性及び地雨性エコーの最高々度の平均は2月が最低で 2.0km, 7月が最高で 7.3km で館野のゾンデ資料と対照してみると7月は-13.1°C, 8月は-6.7°C になっている。雷雨エコーの発現は約 4 km, その後 6 km 以上になると発雷するよう思われた。エコーの移動は下層 (1.5~3 km) の風に従いエコーの強い方向に移動する。地雨性エコーの移動はより高い風に従うようである。

面積雨量をエコーの積分から出す反射波積算装置を利根川水利の雨量観測網を利用して試験したところ10分間で約30%, 1時間で約20%の差があった。

目下エコーの高度と降雨強度、持続時間との関係を調査中である。尙昨年30例程観測したレーダー波の異常伝播を気象予報に用い得る相関の有無について調査中である。

南の海上の sea clutter から南寄の強風を予知できるかも知れない。台風などに伴ったエコーの解析から立体構造をしらべ予報に役立たせるよう努力している。

#### レーダーによる豪雨地域の探知 喜多村一男

PPI 指示器だけ用いて予報に役立った実例は (1)雷雨 (2)寒冷前線に伴う突風 (3)局地的集中豪雨予報警報につ

いてである。近畿地方の雷雲は大阪のレーダーで殆んど全部探知でき、発雷の有無も雷雲の高度<sup>(1)</sup>、距離とエコー強度<sup>(2)</sup>の関係から予報の確度を上げている。寒冷前線の警報を出して大阪湾上多数の船舶を救った例もある。元来近畿地方には昭和28年和歌山県の水害の例にもあるとおり梅雨末期に局部的集中豪雨が多い。集中地点の予報は困難で観測点のない所では下流の増水する迄わからないが PPI エコーからもエコーの滞留時間を観ていると、100km 以上もへだたった兵庫県西北部、潮岬方面等をのぞいてその豪雨地域とかなりよく一致する。但し前方の雨で減衰を受けた場合は成績が悪くまた量的にはよく合わない。

### 文 献

- (1) 古郷恒彦1955, 10月: レーダーエコーの観測とその一考察, 近畿地方気象研究会
- (2) —1956, 4月: レーダーによる雷雲エコーの反射強度について, 近畿地方気象研究会
- (3) 喜多村一男, 成川二郎, 1956, 4月: エコーと局地豪雨. 近畿地方気象研究会

### 福岡でのレーダー解析と予報 山田三朗

九州では西方の気象情報の入手が困難なため突風、雷等の予報には特にレーダーが有用である。脊振山レーダーを用いて気象解析を行った2, 3の結果をのべる。1957年1月21日不安定線に伴うエコーバンドは寒冷前線の前方100~250km にあって北端は温暖前線を横切り100km 程突出している。朝鮮海峡で発生して発達しながら南東下するこれらのエコーは上陸と同時に衰弱しはじめ100km程西方に寒冷前線に伴うエコーが出現する。他の例からも、これら二つのエコーはその盛衰が対称的になっているように見える。これらのエコーと対比して上層の解析を行ったが、それによると次の条件のとき不安定線が発達している。

- (1) 九州が長波のトラフとリッジの中間にあって高温場になっているとき、従って低気圧の発達に伴う気圧変化の振巾が大きい時期。
- (2) 短波では満洲附近から南々西に寒冷トラフが、朝鮮海峡を北端とする温暖トラフがあるとき。
- (3) 地上ではやや巾の広い一本のトラフであって三段位の前線に分れ北端の低気圧が活発なとき。
- (4) 低気圧が朝鮮海峡の北東出口に進んで九州脊梁山脈に沿って南西風の暖舌、湿舌が発達し、900~750mb に southerly jet があるとき。
- (5) 更に対馬暖流による気層の不安定化が有効に働くとき。

梅雨のなが雨—4月19~25日の場合も前線解析をした結果、どうしても地上前線は一本しか画けないのにレーダーエコーでは強雨と発雷を伴った二本の収斂帯を形成しており、上層解析でも上述と同様の結果が認められた。

### 討 論

進藤勉 降電はレーダーで検出できるか?

今井 文献によると特殊のエコーから降電のあった報告があるが今後問題であろう。

孫野長治 米国ではエコー強度に対する降電率をしらべている人がいる。

坂上務 大阪の豪雨予報法の精度は?

喜多村 一応エコー滞在1時間で40mm 増という規準でやっているが何耗という精度はない。

内海徳太郎 レーダーによる予報の範囲は?

喜多村 近畿全体の測候所に指示報、警報を出せる。予報とは行かないが災害の早期救援に役立つ。

土井謙二 福岡では150km 内の実況把握は満足で短期予報に役立っている。エコーの移動を知ること努力している。仰角によって正しい降雨検出をしないことがあるらしい。

今井 速い場合はビームが地物の影響をうけることがある。石原氏の出された small scal の問題に対しては小スケールの気象資料が不足している。spill over の量は少くとも RHI で質的には掴める。エコーの移動は前に述べたとおりで、降雨開始時刻に対しては低気圧性の場合の中層雲の下ってくる状態をキャッチすることができる。

内海 現在の雨量予報には降雨機構は入っていないのでゾンデ、飛行機を併用して研究する必要がある。

石原 定性的にでもよいからレーダーによって究明されることを期待する。

### 面積雨量とレーダー網の問題 五十嵐浩三

レーダーを水文気を利用するには雨量測定精度10~15%位の誤差まで精度を上げる必要があると思う。レーダーで面積雨量の測るとき Stout (1951) の研究によると雨量誤差10~60%で、これは700km<sup>2</sup>に1個の雨量計網に相当している。Hudson は地点雨量精度は260km<sup>2</sup>に雨量計一箇に相当する精度と報告しているが、これは現在の凡そ150km<sup>2</sup>に1箇の雨量計網よりはるかに多い。東管の大塚茂氏は積算装置を用いた東管レーダーによる測定結果は面積雨量1時間で約20%、10分間で約30%の誤差であったと報告している。いずれにしても現在30~60%の誤差は覚悟しなければならない。今後10~15%の精度になることを期待する。

面積雨量の推定法は現在 Thiessen 法、等雨量線法等数多くあるがこれらは時間を要し、流出予報には代表点による方法に限られる。これによって只見集水域の北岐(143km<sup>2</sup>)、銀山平(277km<sup>2</sup>)、田子倉(752km<sup>2</sup>)について求めた結果によると代表点3~4点で5%位の誤差で Thiessen 法と一致する。とに角レーダーで point rainfall を求めたこと、無線ロボット雨量計と協力し合う方法等が考えられよう。

観測網についてはレーダーは洪水予報の利用はむしろ

将来の問題で他に短期予報, 雷雨, 台風予報等に利用度が大いであるからむしろこれらの効果を主とすべきで, 現在の3カ所の他に更に大型レーダーと小型レーダーを若干増置する必要がある。

#### レーダーによる実雨量観測 吉原善次

受信強度より降雨強度を算出するレーダー方程式(省略)のうち誤差の原因となるものは Pt, Pr の電気的な変化, 降雨特性 B,  $\beta$ , 減衰, F の変化である。このうち雨の特性によるバラツキが最も大きく, 一点での雨量観測と比較した結果は, 降雨強度と受信強度間のちらばりは40%あった。一点観測の場合はビーム内の雨滴に対する代表性が問題である。

#### 面積雨量の比較

レーダーによる面積雨量の観測方法としては PPI による方法, 雨量積算装置による方法, 等雨量線指示装置による方法等がある。レーダー PPI による方法は Illinois の Water Survey において数年前より地上雨量計網(100平方哩に50個の雨量計)との比較観測が行われ, それによると精度は平均 150平方哩に1個の雨量計を配置した精度に等しい。未知係数 F を適当な値に選定し装置を安定に動作させることによって精度を向上させることが可能であると考えられる。

雨量積算装置及び等雨量線指示装置を気象研究所レーダーの観測装置として試作した。その動作の不安定のためまだ良い結果を得ていないが前者の実験では短時間(約30分)ではそのちらばりが約30%程度という結果を得た。等雨量線指示装置は近く比較観測を実施する予定である。

#### 文 献

- (1) 吉原善次, 1956: レーダーによる降雨強度観測の精度について 研究時報 8巻9号
- (2) Austin, P. M. and E. L. Williams, 1951: Comparison of Radar Signal Intensity with Precipitation Rate. M. I. T. Tech. Report, 14. June.

#### 討 論

**島山久尙** 五十嵐氏は量的なレーダー利用は断念されているようだがそれは固定した結論か?

**五十嵐** 面積雨量の問題ではそういえる。

**大田正次** レーダー網の配置からいえば現在のレーダーの性能からむしろ予報に重点を置くべきであろう。将来レーダー技術の進歩とともにその評価はかわる。

**磯野謙治** 吉原氏の話の中の雨量観測誤差48%はレーダーに本来のものか現在の観測法によるものか?

**吉原** レーダー装置の変動は時間が長いと大きいが観測の結果 3db 位で他は雨滴の分布の変化, 雨滴観測の代表性のないことなどであろう。

**伊藤博** 2, 3点のレーダーを用いると精度がよくならないか? 例えば山の中の雨など。

**吉原** 減衰のない孤立エコーならば差はないであろう。しかし山の中では山の両側から測るべきかも知れない。

**大田** 台風の接近時, 時間的な小スケールの問題としてはどうか?

**今井** 本土接近時は測候所の電報をまたず刻々の移動がわかる。従って, 大出力レーダーを鳥島, 八丈島等につけると非常に有益と思われる。

**孫野** 現在レーダーは誤差からいって雨量計網にとって代わることはないが両者の配置を適当にして運用すれば有効であろう。レーダー網で本邦を覆うことは困難でないので実現を望む。各レーダーは映画に撮るとよい。

#### 照度の問題 石原健二

電力気象の問題としては雷雨, 降雨量, 電線着雪などと並んで照度の問題が最近その重要性を増した。曇りや降雨による空の明るさの変化によって大都市の電力消費量の変動が大きく, これを気象的立場から数時間前に予報することである。

気象用レーダーで雲の粒を探知し, 空の明るさの予報に利用する可能性があるかどうかという問題がある。

#### 今井一郎

現在米国で用いられている測雲レーダーの性能を紹介し, 波長0.86cm 又は1.25cm のこれらのレーダーによると雨滴より遥かに小さな雲粒まで探知可能であるが現在のところこれを PPI 方式にしても探知距離10杆以内であるから雲の水平分布を出す用途には使えない。また3cm の気象用レーダーを用いて予報することもエコーの現われるよりも空の暗くなるのが先であるから照度の予報をレーダーで行うことは困難であろう。

#### 討 論

**荒川秀俊** レーダーによる測雲は照度の問題と共に航空に重要であるから併行して研究すべきである。尙前の雨量とエコー強度の比較は瞬間値と平均値, 上空と地上等の測定対称に差がある為, その結果からレーダーの誤差が大きいと論ずるのは一方的であろう。

**内海** 高層天気図に雲層を記入する目的で測雲レーダーは使えるか?

**今井** 現在の測雲レーダーは10km 内の能力で, 且つ天頂に向けているからその目的には使えない。

**伊藤** 霧や烟霧は逆転層と関係があるがこれを radio duct から探知することは可能か?

**大塚** レーダー波の異常伝播から radio duct の存在を知ることができる。なお雷に関しては, 前橋附近の降電のとき利得を-60db 下げてもエコーの消えない例があった。

最後に孫野長治教授による米国の Weather Radar Conference の出席報告をスライドを用いて行われた。日本雪氷学会誌「雪氷」19. 4. July 1957 P. 28 にほとんど同内容の随筆が掲載されている。