

気象レーダーによる降水の短時間予報

—レーダーエコーの見方—

佐藤 昇*

1. はじめに

今回の学習指導要領の改訂により、高等学校では実生活や人間、環境、科学技術の進歩などとの関わりを重視した、「地学 I A」などの新科目が設置された。「地学 I A」では、自然災害、資源とエネルギー、自然環境の保全など身近な現象を扱うことになっている。日本国内の気象災害としては、台風や梅雨末期の大雨・洪水、冬季日本海側の豪雪など降水現象に伴うものが多い。

科学技術の発展にともない、リモートセンシング技術が気象観測においても多用されている。テレビを通じて我々の生活になじみ深い静止気象衛星「ひまわり」による雲画像はその一例である。人工衛星による雲画像は雨雲のみ示しているわけではなく、降水域を検知することができない。日本国内ではアメダスにより、およそ17km²あたり一か所の雨量観測点があり、一時間ごとの降水量が観測されている。しかしながら、豪雨時などにおいては空間的・時間的に連続した降雨域や降水強度を知ることが必要である。この要求を満たすリモートセンシング技術が気象レーダーである。

ここでは、降水の実態のリアルタイムの観測や豪雨・豪雪災害の予測に欠くことのできない気象レーダーについて簡単に説明するとともに、気象庁で実用化されつつある1～3時間先の降水の短時間予報について説明したのち、冬季日本海側の降雪を例にとり簡単な外挿法による短時間予報の方法を示す。それにより気象レーダーについての理解を深めることを目的とする。

2. 気象レーダー

レーダー (radar) は radio detection and ranging の略で、雲中に存在する mm オーダーの雨粒や氷粒 (雪や霰など) によって電波が反射されることを利

用している。雨雲 (降水を伴う雲) を観測するには欠くことのできない測定器である。

レーダーは元々は第二次世界大戦中に飛行機や船を探知するために発明された電波機器である。これが雨や雪などの降水を観測することにも利用できることがわかり、1950年代から降水観測用に設計された気象レーダーが各国に設置されるようになった。レーダーはリモートセンシング技術の草分け的存在である。現在気象庁ではレーダーを全国20か所に配置し、ほぼ全国をカバーしている。その一つ一つの探知領域はおよそ200～300kmで、富士山頂レーダーはその二倍の能力を持つ。近畿では高山山に大阪レーダーがある。

現在広く使われている気象レーダーは、波長が3.2 cm, 5.7cmあるいは10cmのマイクロ波をパラボラアンテナによって一方向に集中させ、細いビーム(1.3～1.7°角の円錐体) 状にして、1秒間に約300回、1/1000000秒程度のごく短時間、電波を間欠的 (パルス) に発射する。この電波が降水粒子に当たり反射されて戻ってくるが、これが「エコー」と呼ばれている。反射される電波はごく一部なので、大部分の電波はさらに遠くの降水粒子に当たって、エコーとして次々と戻ってくる。電波を発射してから戻って来るまでの時間を測定すれば、電波の進む速度から電波の反射された雨雲までの距離がわかる。また、雨雲の方位はパルスをどの方向に向けたとき電波の反射があったかでわかる。このようにしてほぼ同一高度での雨雲の水平分布がレーダーによって測定できる。

レーダーによって直接測定できるものは、降水粒子からの反射電波の強さであり、降水量そのものではない。しかし、レーダーが受信するエコー強度はビームの中に存在する降水粒子の半径の6乗と降水粒子の総数量に比例するので、レーダーエコーの強さ ($Z: \text{mm}^6 \text{m}^{-3}$) から降水強度 ($R: \text{mm/h}$) が推定できる。これは $Z-R$ 関係といわれ、雨については

* 大阪府科学教育センター

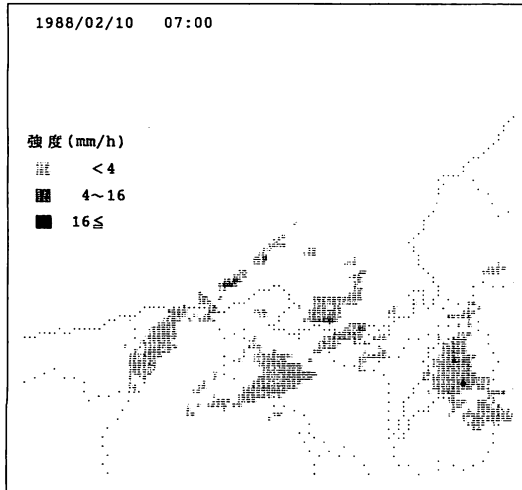


図1 7:00のレーダーエコー

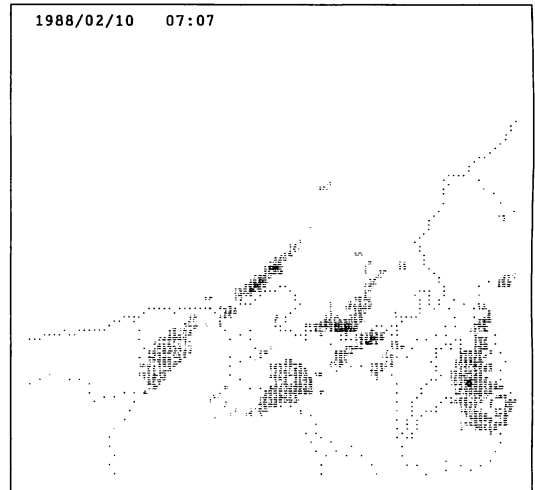


図2 7:07のレーダーエコー

$Z = 200R^{1.6}$ という実験式が成立する。氷粒子については形の影響が大きく、 $Z-R$ 関係はばらつきが大きい。現在気象庁では5kmメッシュごとにエコー強度を8段階に分類してデジタル化し、アメダスの降水データと組み合わせることにより(レーダー・アメダス雨量合成図)、 $Z-R$ 関係を使わずに細かい雨量分布を知ることができるようになっている。

3. 短時間予報

気象現象にはそれぞれ固有の時間スケールと空間スケールがある。たとえば、台風の空間スケールは数百km、時間スケールは数日間である。天気図にでてくる高・低気圧に関連する2・3日先(いわゆる総観スケール現象)の天気予報をするには、現在の地上観測点の空間密度約100kmで十分に表現することができる。それに対して、数時間先の天気予報をするためには、もっと空間的・時間的に密な観測網が必要である。この目先数時間のきめ細かい予報が「短時間予報」と呼ばれている。天気図に表現できるスケールと目視で把握できるスケールの中間が中規模現象(メソスケール)といわれるもので、短時間予報に関連する現象である。気象レーダー、アメダス、気象衛星などは、このメソスケール現象を予報することを可能にする観測手段である。メソスケール観測網で詳細に把握でき、人間活動に大きな影響をもつ気象現象は降水であるため、気象庁では降水

の短時間予報を実用化している。予測する方法としては次の二通り考えられる。

①レーダーとアメダスによって得られた降水分布を単純に外挿する方法。降水エコーを外挿するための移動速度を求める方法には三通り考えられる。¹⁾

a) パターン認識技術により移動速度を求める。

たとえば、現在と1時間前のエコー図を平行移動させながら最も重なり合う移動量を求める。

b) 線形速度場による近似から移動速度を求める。

適当な時間間隔の2枚のレーダーエコー図で対応する点を指定して、その移動速度を求める。

c) 気象学的知識を利用して移動速度を求める。

降水エコーの発生の原因となっている気象現象ごとに、エコーの移動がどの高度の風速に一致するかを統計的にあらかじめ求めておき、エコーを外挿するときに適用する。

②大気下層(大気境界層)の数値モデルをつくり、観測データを迅速に入力し、降水量などの気象要素をコンピュータで計算する方法。この方法は困難な点が多く現在のところ完成するめどはたっていない。

4. パターン認識の外挿法による降水の短時間予報

1988年2月10日の季節風による日本海側の若狭湾から琵琶湖にかけての降雪を例にとり、簡単なパターン認識による降水の短時間予測を行う。

図1に大阪レーダーの7:00のレーダーエコーを、

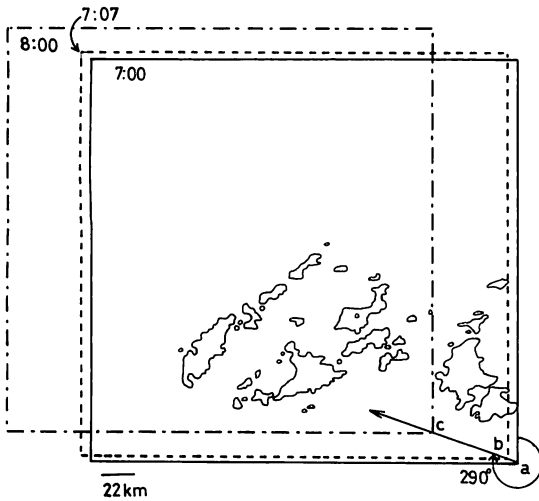


図3 移動速度の求め方

図2に7:07のエコーを示す。図の外枠が今回対象とする領域である。図中で上部が日本海で、点線が海岸線及び府県境界を示す。図の右下に琵琶湖が位置している。その近くの丸印は彦根の位置を示す。観測されているエコーは高さ約2km付近のものである。エコーの強さは図1に示すように3段階で表示している。レーダーエコーの1時間後の分布を以下のようにして推定する。

- ①7:00のレーダーエコーをトレース用紙に外枠（図3の実線）とともにトレースする（図3）。
- ②トレースした図と7:07のレーダーエコーを重ね合わせ、外枠が平行になるようにして、最大限重なり合うように目測で位置を決める。決定後7:07の図の外枠（図3の点線）をトレース用紙に記入する。
- ③このようにして求めた二つの長方形の外枠が7:00のレーダーエコーと共にトレース用紙に図3のように記入される。図3の右下（風下側に対応）の隅に注目し、7:00に対応するaと7:07に対応するbを直線で結び、その長さを測定する。図3に示すスケールから、7分間で6.9km移動したことになる。これは16.5m/sの移動速度である。
- ④この速度で更に1時間後8:00まで風下に移動したとすると、その移動距離は59.4kmで図3で風上のcの位置にくる。その位置が右下の隅になるようにトレース用紙に外枠（図3の一点鎖線）を記入する。

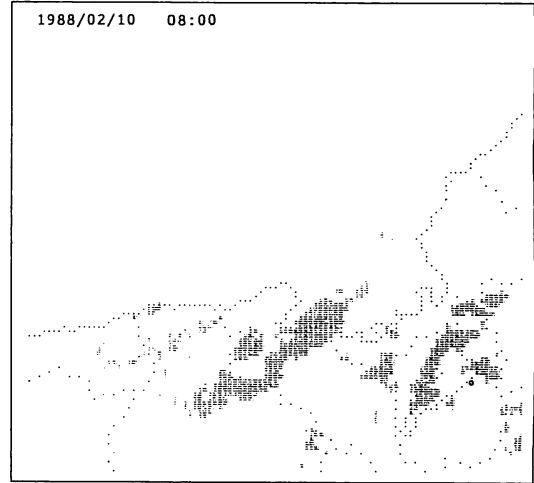


図4 8:00のレーダーエコー

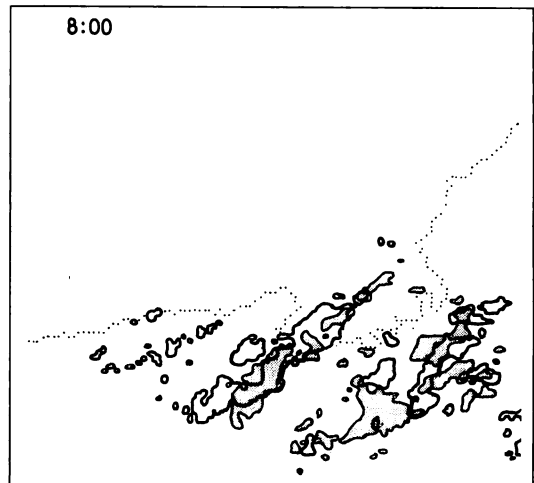


図5 外挿したエコーと実測したエコーの比較

- ⑤8:00の推定した外枠の中にみられる7:00のエコーが、単純に外挿した場合の1時間後の対象領域の降水エコーの水平分布に対応する。

以上のように単純に外挿して1時間後の降水分布や降水量が予測できる。その予測した8:00のエコー分布と実測された8:00のエコー分布（図4）を重ね合わせたものが図5である。スクリーンをほどこしたエコーが7:00のエコーを1時間外挿したエコーで、なにもほどこしていないものが8:00の実測したエコーである。個々のエコーは必ずしも一致し

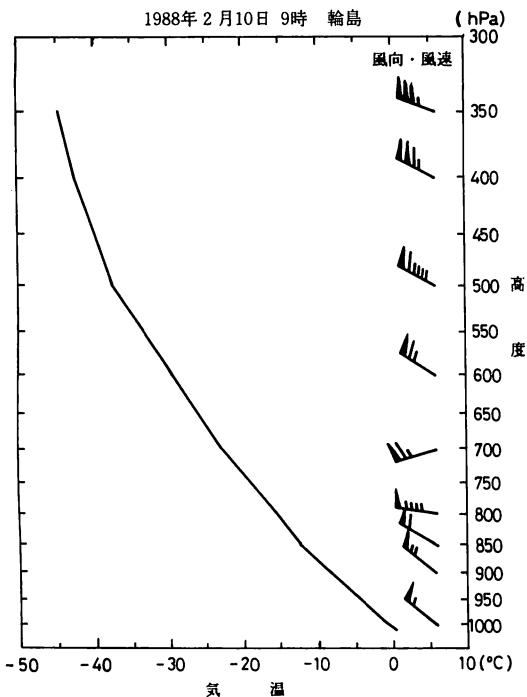


図6 輪島での高層データ

ないが、風下に流される風に垂直なエコー列は一致しているのがわかる。ただし、風上のエコーは発生項を考慮していないので予測できていない。実際にエコーには、発達中のものと衰弱中のものがあり、単純に1時間その勢力を維持するわけではない。しかし、降水エコーをつくる場それ自体は、移動しつつ1時間以上にわたって維持され続けていることがわかる。

一般にエコーは700hPaの風に流されるといわれている。今回のエコーは風速16.5m/sで、風向290°(北を0°として時計まわりで測った方角)の風で流されている。輪島の午前9時の高層観測(図6)によれば、800hPa(1901m)で風速14m/s、風向277°、700hPa(2895m)で風速16m/s、風向254°であった。風向は必ずしも一致しないが、上空2000~3000mの風に降水エコーが流されていることがわかる。

次に降水量について考える。降水エコーの強さ、移動速度、移動方向を考慮すると、彦根の上空では4mm/h以下のエコーが7:00~7:21の間通過したと考えられる。最大で1.3mmの降水が期待できる。彦根地方気象台の降水の記録(図7)によれば、7:00~8:00までの1時間降水量は2.5mmで、予測結果は

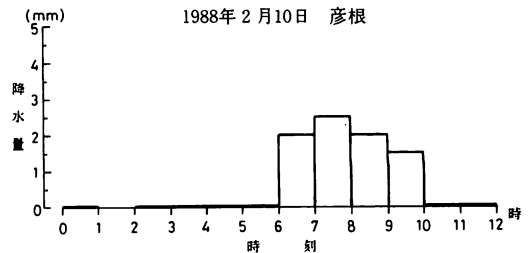


図7 彦根での降水量の時間変化

過小評価であった。

5. まとめ

気象レーダーを使った降水の短時間予報の例を示した。日本海側の季節風に流された降雪雲という単純なものであり、簡単な外挿によりかなり正確に1時間後の予測ができた。しかし、他の気象現象に伴う降水の予測はかなり複雑である。地形の影響や気象条件を考慮しなければならない。気象レーダーの情報は現在でもテレビを通じて流されているが、さらにケーブルテレビなどの普及により近い将来リアルタイムで我々の生活に入ってくるであろう。日本の気象災害では集中豪雨によるものが大部分をしめるが、集中豪雨に対する予報は予報技術としては短時間予報に属する。集中豪雨などの予測を自分なりに行うためにも、気象レーダーや短時間予報に関する知識を持つことが今後大切になるものと考ええる。

謝辞 ここで使用したレーダーのデータは大阪管区気象台より提供していただきました。ここに記して感謝致します。

引用・参考文献

- 1) 立平良三：新しい天気予報，東京堂出版(1986) p93~114
- 2) 気象ハンドブック編集委員会編：気象ハンドブック，朝倉書店(1979) p224~230
- 3) 内田英治：天気予報の話，中央公論社(1985) 210pp.
- 4) 立平良三：気象情報の見方，岩波書店(1987) 193pp.