

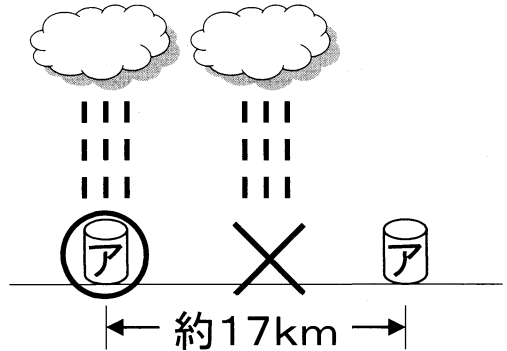
レーダー・アメダス解析雨量 (I)

新保明彦*

1. はじめに

気象庁では、強雨による災害防止を目的とし、詳細な降水分布の資料として、1983(昭和58)年に「レーダー・アメダス雨量合成図」の名称で、中部日本領域を対象にFAX図の配信を開始した。その後、1988(昭和63)年4月の降水短時間予報業務の開始と共に、「レーダー・アメダス合成図」と名称が変更され、GPV(Grid Point Value:規則正しく配置された格子点上の値)配信への移行、数度にわたるデータ領域の拡大、解析手法の改良を経て、現在の「レーダー・アメダス解析雨量(以下、「解析雨量」)」に至っている。解析雨量は、毎時刻作成されオンライン提供されたものが、気象庁や民間気象会社にてリアルタイムに日々の天気予報に利用されている。テレビの天気予報番組で、「現在の雨の様子」という場面や、民間気象会社のホームページで見たことのある読者も多いであろう。また、1995年以降の過去データについては、(財)気象業務支援センター(ホームページアドレスは<http://www.jmbc.or.jp/>)よりCD-ROMで提供されており、一般の方でも入手可能である(気象業務支援センター、2000)。これらにより、最近、一般の方から解析雨量に対する質問を数多くいただくようになったため、この場をお借りして(宣伝を兼ねて)解析雨量についてお話しさせていただくことになった。

なお、今回は上述の「解析雨量CD-ROM」の利用における補足の意味をこめて、2001年3月まで作成されていた、「5km格子解析雨量」を対象とする。2001年4月以降オンラインで配信されている、「2.5km格子解析雨量」については、次号で紹介する。



第1図 アメダスによる雨の観測の模式図。

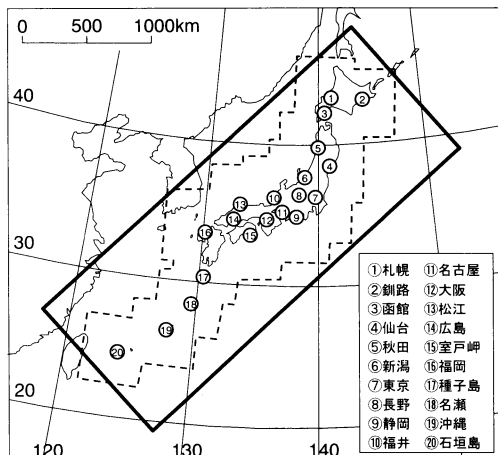
2. 解析雨量とは?

雨の降っている様子を知るために、気象庁では2種類の観測を行っている。1つはアメダス雨量計による観測、もう1つは気象レーダーによる観測である。解析雨量のもつ特性を理解するためには、利用している入力データの特性を知ることが重要である。ここで、簡単にアメダス、レーダーについて復習しておこう。

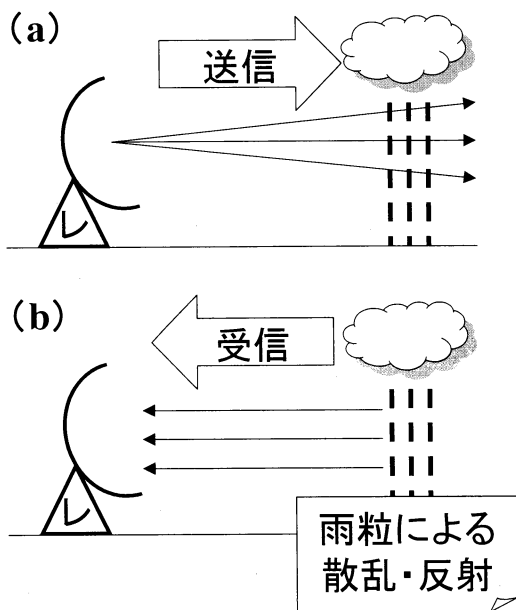
アメダスの雨量観測点は全国に1300か所余り設置されており、平均して約17km四方に1か所という世界でも有数の観測密度を持っている。解析雨量に利用しているのは正時から次の正時までの1時間雨量である。アメダス雨量は、実際その場所で観測した雨量であるため、精度の高い雨量が得られる反面、アメダスの存在しない所では、その雨の分布を知ることができない(第1図)。

気象レーダーは全国に20か所(平成13年3月現在)設置されている(第2図)。気象レーダーによる観測の原理は、レーダーサイトから電波(ビーム)を送信し(第3図a)、雨粒によって散乱・反射されて戻ってくる電波を受信して、電波の往復にかかる時間と方向から雨域までの距離と方向を、受信した電波の強さから雨

* SHIMPO Akihiko, 気象庁予報部(現 気象庁気候・海洋気象部)



第2図 気象庁における気象レーダーの配置(平成13年3月現在)と全国合成領域(太実線), 全てのレーダーが稼動した場合にレーダーデータが得られる範囲(点線).



第3図 レーダーによる雨の観測の模式図。
(a) レーダーサイトから電波を送信し,
(b) 雨粒によって散乱・反射された電波を受信している。

の強さを推定するものである(第3図b. 詳しくは小平(1980)などを参照されたい。なお、気象庁では電波と雨の強さの関係には、Marshall and Palmer (1948)の関係を使用している。). 解析雨量では、1時間に6

または8回のレーダー観測によって得られるデータから、正時から正時までの1時間雨量(以下「レーダー雨量」)を5km四方格子ごとに見積もり、利用している。観測高度は、地表に近くするほど地表での雨の推定の精度は上がるが、あまり低くすると地形エコーやシークラッターなどの誤データ(第3章で述べる)が本物の雨のデータに混入してしまうため、レーダー探知範囲全体で約2km上空のデータとなるように設定している(ただし、レーダーサイトから遠く離れた、2kmより高い高度のデータしか得られない領域では、できるだけ低い観測高度になるような設定にしている)。1レーダーのデータの範囲は500km四方である(迫田, 1990)。このように、レーダーによる観測では、面的(2次元的)な、すきまのない雨量の分布を得ることができるが、間接的な雨の観測(=リモートセンシング)であるために誤差を生じることが避けられない。第4図に、前線性降水域を例とした、レーダー観測における主な誤差要因を示す(予報部予報課, 1995)。

この2つの雨量データの長所を生かし短所を補って、アメダスによる観測よりも細かな5km四方格子ごとに、アメダス雨量と同程度の精度を持った地上雨量を求めたものが、解析雨量である。

3. 解析雨量ができるまで

それでは、実際にどのような順序で解析雨量が求められるかを見てみよう。おおまかな流れは次のとおりである。

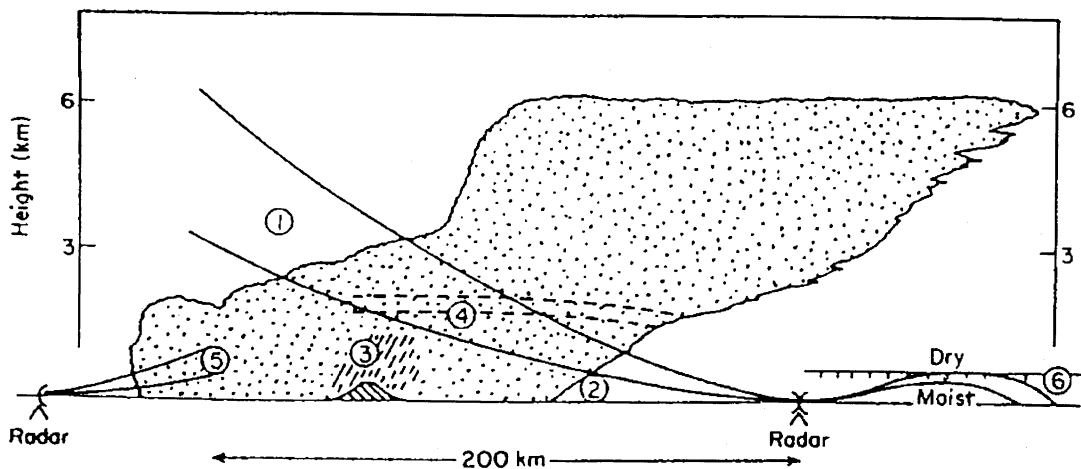
1. 入力データの品質管理: 入力データに存在する誤データを取り除く。
2. 雨量解析値の推定: レーダーごとに、レーダー雨量をアメダス雨量と比較して、より精度の高い雨量(雨量解析値)を推定する。
3. 全国合成: レーダーごとに求められた雨量解析値を、全国をカバーする領域で合成する。

以下では、それぞれについて説明する。より詳しい説明については、予報部予報課(1995)を参照のこと。

3.1 入力データの品質管理

観測データには、どうしても誤データは付き物である。これらを詳細な解析の前に除去しておくことは、別の正しいデータへの悪影響も取り除くことにつながるため、非常に重要である。

観測されたレーダーデータに含まれる主な誤データは、「地形エコー」「シークラッター」「機器の故障や電波の干渉などによる異常データ」などがある。地形エ



第4図 気象レーダーによる雨の強さの観測で発生する誤差の主な要因 (前線性降水域の例) (予報部予報課, 1995, 原図は Browning *et al.* (1982)). 図中に①~⑥で表す要因は,
 ① 遠くにある背の低い降水域が探知できない.
 ② ビームが通過する高さの下で雨滴が蒸発する (上空エコー).
 ③ ビームが通過する高さの下で地形によって降水が強まる (地形性降水).
 ④ 降水粒子が雪から雨に変わる 0°C層直下の高度でエコーが強まる (プライトバンド).
 ⑤ 霧雨は比較的大きな降水粒子が地表付近にかざられるため過小に推定する.
 ⑥ 大気成層状態 (大きな鉛直湿度差) によってビームが異常に伝搬する.

コーとは、レーダーサイトから発射されたビームの通り道にある山などの障害物により反射された電波を、雨と勘違いしてしまったもの、シークラッターとは、海で波が高い時に、波やしぶきを雨と勘違いしてしまったものである。誤データが残っていると、降ってもしない所に雨が降っていると解析雨量で求められてしまうため、できる限り前もって取り除くようにしている。このうち、地形エコーの大部分は、観測の後レーダー雨量が求められる際に取り除かれているが (Tatehira and Shimizu, 1987; 中井・高橋, 1985), 除去しきれないものが残っている場合があるため、レーダーの各格子の周辺に存在しているアメダス雨量計による雨の観測状況を考慮し、地形エコーと判断されるものは解析雨量に利用しないことにしている。また、同じ強さのデータが一列並んでいるなど、明らかに異常なデータについては、そのレーダーのデータを全て利用しないようにしている。

さらに、アメダス雨量についても、観測時に品質管理が行われており、そのチェックにかかったデータは解析雨量に利用しない。

3.2 雨量解析値の推定

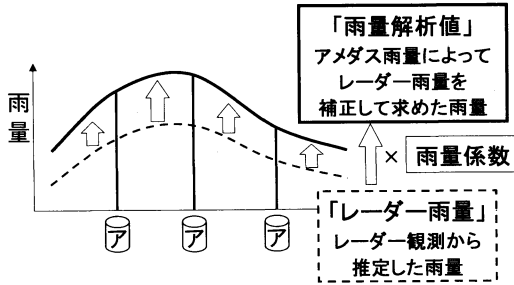
レーダー雨量を、アメダス雨量を用いて補正し、「雨量解析値」を推定する (この方法の有効性については、

立平 (1980) などを参照されたい)。解析雨量では、観測による実況値を元に、いろいろな誤差要因を考慮して、診断的に雨量の推定を行うことが最大の特徴である。

雨量解析値の推定は、個々のレーダーごとに行う。まず、各レーダーの格子 (レーダー格子) のうち、アメダスが存在する格子 (アメダス格子) で、レーダー雨量とアメダス雨量を比較し、「レーダー雨量を何倍したら、アメダス雨量に近い値になるか?」を調べる。この係数を「雨量係数」と呼ぶ。雨量係数は、1であればレーダー雨量がそのまま雨量として利用できることを示し、1より大き (小) ければ元々のレーダー雨量が少な (多) めになっていることがわかる。

次に、アメダス格子の雨量係数を元にして、1つのサイトの全てのレーダー格子の雨量係数を求める。基本的には、各レーダー格子の周りにあるアメダス格子で求められた雨量係数の重み付き平均を利用する。重みをつける基本的な考え方は、

1. 「距離・減衰重み」: 距離が近い、又は途中降水による減衰の状況が似ているアメダス格子ほど観測状況は似ているだろうから、雨量係数は近い値をとると考えて、重みを大きくする。ここで、「途中降水による減衰 (降水減衰)」とは、レーダーサイトから



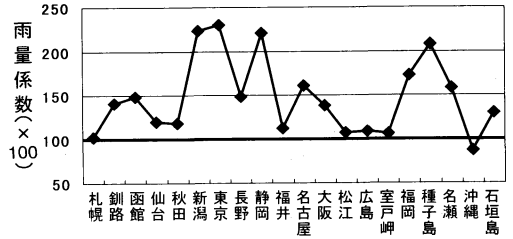
第5図 アメダス雨量によるレーダー雨量の補正の模式図。アメダス雨量は「点」のデータであり、レーダー雨量は「面」(図では2次元で表現している)なので「線」であることに注意。

発射されたビームが、途中にある降水域によるビームの反射・散乱により、弱くなって次の降水域に達するために、強い雨の影にあたる領域で降っている雨が弱く観測される現象のことである。

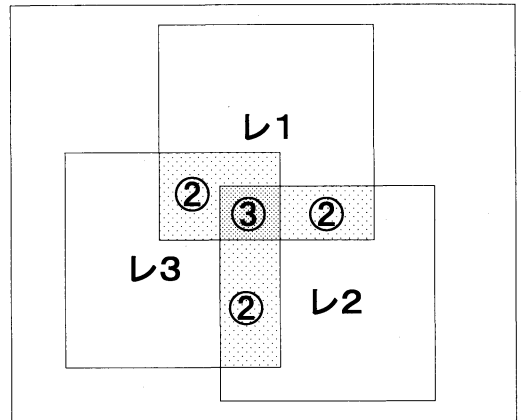
2. 「レーダー雨量比重み」: 周囲のアメダス格子で降っている同程度の強さの雨は、似た性質(層状性, 対流性)の雨であろうから、雨量係数は近い値をとると考えて、重みを大きくする。

である。このような考え方から、全てのレーダー格子の雨量係数を求め、個々の格子ごとにレーダー雨量に雨量係数を乗じると、「雨量解析値」となる。この考え方は、周囲にアメダスが存在することが条件なので、海上では使えない。そこで、海上の格子については、各レーダーの範囲内に含まれるアメダス格子で求められた雨量係数の平均的な値から、「雨量解析値」を求めている。また、海上にのみ雨が降り、陸上のアメダス観測にかからないような場合は、過去の解析で求められた雨量係数を利用して補正を行う。第5図に、アメダス雨量によるレーダー雨量の補正の模式図を示す。雨量係数は、レーダーの各格子ごと、また時刻によっても異なる。

ここで、レーダー雨量をアメダス雨量で補正する効果について知るために、全国の各レーダーで平均的な雨量係数がどのくらいの値をとるか(どのくらい補正すると、より確からしい雨量となるのか)を見てみよう。第6図は、各レーダーの雨量係数の例である。このように、各レーダーによって雨量係数はばらばらであることから、アメダスによる補正の重要性がうかがえよう。



第6図 雨量係数の例(平成12年6月の平均)。



第7図 全国合成の模式図。1つのレーダーのみ観測されている領域ではそのレーダーのデータ、②の領域では2つのレーダー、③の領域では3つのレーダーのうち大きい値の格子のデータが採用される(最大値法)。

3.3 全国合成

以上までの処理で各レーダーごとに解析雨量の元となる雨量解析値が求められた。つまり、範囲の異なる20枚の雨の分布図ができたわけである。これを1枚の図にまとめ、「レーダー・アメダス解析雨量」を作成する。

合成する領域には、日本列島に沿う基準線を持ち、方位と距離のひずみが少ない斜軸ランベルト図法を採用し(牧原, 1990)、「全国合成領域」(第2図)を設定している。第2図で示された全国合成領域を5 km 格子に分割し、20枚の雨の分布図を重ねていく。レーダー格子と斜軸ランベルト格子は共に5 km 四方格子なので、座標変換は1対1で行われる。複数のレーダーのデータを重ねていくと、中には、1つの斜軸ランベルト座標格子に異なる複数のレーダーの格子が重なるものが出てくる。このような時は、「強雨を見逃さない!」

第1表 緯経度座標の1格子(緯度方向3.00°×経度方向3.75°)の緯度別サイズ(予報部予報課, 1995).

北緯	緯度方向	経度方向
25°	5.56 km	6.30 km
30°	5.56	6.02
35°	5.56	5.69
40°	5.56	5.32
45°	5.56	4.91

という解析雨量作成の考え方から、基本的には最も強い雨を観測しているレーダーの雨量解析値をその斜軸ランベルト座標格子の値として利用することにしている(第7図)。ただし、「レーダーサイトの近くで観測条件が他のレーダーと比べて良いと考えられる格子は、他のレーダーで観測された雨量より小さくても、近くのレーダーによる雨量を利用する」というような、データの精度を上げるための、いくつかの例外もある。全てのレーダーについて重ねあわせを繰り返した後、さらにアメダス雨量の全国分布を重ねあわせる。アメダス雨量の重ねあわせは、例えば冬季の雲頂高度の低い雲による雨のように、レーダーによる観測より低い高度で雨が降っており、レーダーには観測されていないがアメダスでは観測されているような時に威力を発揮する。

このようにして、日本全国を含んだ斜軸ランベルト座標系の解析雨量が完成する。しかし、このままでは非常に利用しづらい。例えば、「ある緯度経度の地点の雨量は?」と尋ねられた時に即答しにくい。そこで、利用者の便宜を考慮して、斜軸ランベルト座標系で作成された解析雨量を、東西3.75°(=1/16°)、南北3.00°(=1/20°)にそれぞれ等分割された緯度経度格子に割り当てる。この格子間隔は、若干5 kmより大きい(第1表)。そのため、緯度経度格子への割り当ての際に複数の斜軸ランベルト座標系の格子が1つの緯度経度座標の格子に重なってしまうところでは、大きい値の方の格子を緯度経度座標の格子に割り当てる。ただし、

割り当てる格子の対応は、できるだけ元々のレーダー格子の並びが緯度経度座標格子の並びに反映されるように決定している。

以上の作業によって作成された緯度経度座標系の解析雨量が、毎時刻のオンライン配信によって天気予報に利用されている。また、CD-ROMで提供されている過去データもこの形式である。

次回は、これまでの解析雨量の作成方法を踏まえて、実際に解析雨量を利用する上で注意して欲しいことについてお話ししたい。

参考文献

- Browning, K. A. and C. G. Collier, 1982: An Integrated Radar-Satellite Nowcasting System in the UK, Nowcasting, 47-61.
- 気象業務支援センター, 2000: How to Get Meteor. Data (2)「レーダー・アメダス解析雨量」CD-ROM, 気象新聞, (54), 5.
- 小平信彦, 1980: 気象レーダの基礎, 第1章, 気象レーダ特集, 気象研究ノート, (139), 1-31.
- 牧原康隆, 1990: レーダーエコー合成図における合成手法について, レーダー観測技術資料, (39), 1-10.
- Marshall, J. S. and W. M. Palmer, 1948: The Distribution of Raindrops with Size, J. Meteor., 5, 165.
- 中井公太, 高橋俊二, 1985: レーダーの受信信号の統計的性質とMTIフィルタによる地形エコー除去の原理, 測候時報, 52 (3), 173-184.
- 迫田優一, 1990: 気象レーダーのデジタル化について, 天気, 37, 659-670.
- 立平良三, 1980: レーダによる雨量測定と短時間予報, 第3章, 気象レーダ特集, 気象研究ノート, (139), 79-108.
- Tatehira, R. and T. Shimizu, 1978: Intensity Measurement of Precipitation Echo Superimposed on Ground Clutter—A New Automatic Technique for Ground Clutter Rejection—, Preprints of 18th Radar Meteor. Conf., 364-369.
- 予報部予報課, 1995: レーダー・アメダス解析雨量の解析手法と精度, 測候時報, 62 (6), 279-339.