



レーダー・アメダス解析雨量 (II)

新保明彦*

4. 実際の事例

3節では、レーダー、アメダスによる観測データから、どのような考え方の元にレーダー・アメダス解析雨量(以下、「解析雨量」)が作成されているかについて説明した。この節では、実際のレーダー、アメダスの観測データと解析雨量を示し、雨量補正、全国合成の様子を視覚的に理解していただければと思う。随時、3節の解説を参照しながら読んでいただきたい。なお、以下に出てくる時刻は、全て日本時間である。

4.1 アメダス雨量によるレーダー雨量の補正の重要性

解析雨量の最大の特徴は、レーダーとアメダスによる両方の観測値を元に、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である。ここでは、解析雨量作成の過程でよく見られる雨量値が補正される様子を示す。

第8図は、1999年9月21日14時の(a)東京レーダーによるレーダー雨量と(b)アメダス雨量の分布である。解析雨量に利用される気象レーダーの雨量データは、単独の1レーダーにつき500km四方(5km格子が100×100)の格子データとして作成されたものであるが、第8図では、250km四方(5km格子50×50)の範囲の図と、東京都付近(領域A)を拡大した図を表示し、アメダスもレーダーと同じ範囲としている。また、レーダー雨量、アメダス雨量は品質管理が終了した段階のデータである。この時は、関東南岸から九州にかけて前線が停滞し、広い範囲で雨が観測された。このような雨が降っているときは多くのアメダスで雨の観測データが得られる。しかし、レーダーによる観測と比較すると、その観測密度は荒いことがわかる。一方、レーダーの方は隙間のない雨量の2次元分布を

提供してくれるが、間接的な雨の観測(=リモートセンシング)であるため、実測値であるアメダス雨量と比べると、誤差が大きい。例えば領域Aに注目すると、アメダスでは最大で33mm/hの観測があったが、その周囲では、レーダーで10mm/hを超えるような降水は観測されていない。目をこらして他の領域を見ても、ほとんどの地点でレーダー雨量の方がアメダス雨量よりも小さいことがわかる。

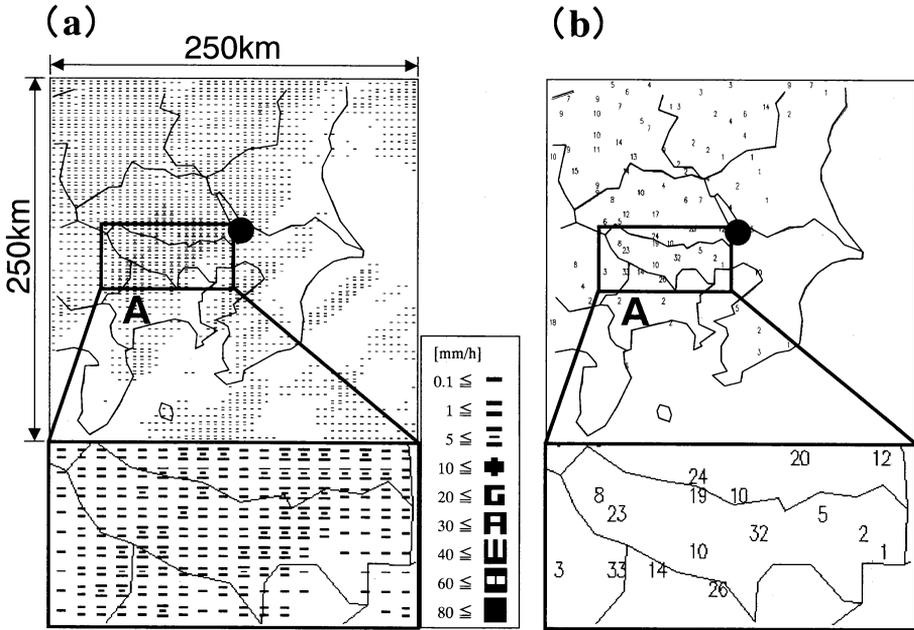
以上のことを考慮し、レーダー雨量とアメダス雨量から作成した解析雨量が第9図である。表示範囲は第8図に合わせてある。この解析雨量は全国合成されたものであるが、この表示した範囲では、東京レーダーの観測状況が最も良いため、多くの格子で東京レーダーにおける雨量補正值が採用されている。そのため、第8図と比較して、アメダス雨量によるレーダー雨量の補正の様子を知ることができる。なお、表示されている格子の数がレーダー雨量(第8図a)と解析雨量で異なるのは、レーダー雨量は5km四方格子であるのに対し、解析雨量は東西、南北それぞれについて、1度を16、20に分割した格子(約5km格子、第1表)で作成されているためである。

先ほど見たように、この時の東京レーダーでは、アメダスが存在する格子でレーダー雨量とアメダス雨量を比較すると、レーダー雨量の方がアメダス雨量よりも小さい傾向がある。そのため、ほとんどの領域でレーダー雨量を大きくするように補正している(すなわち、雨量係数は1より大きい)。第8図aと第9図を比較して欲しい。アメダスによる補正により、レーダー雨量ではあまりはっきりとしていなかった降水分布の強弱が表現されるようになった。

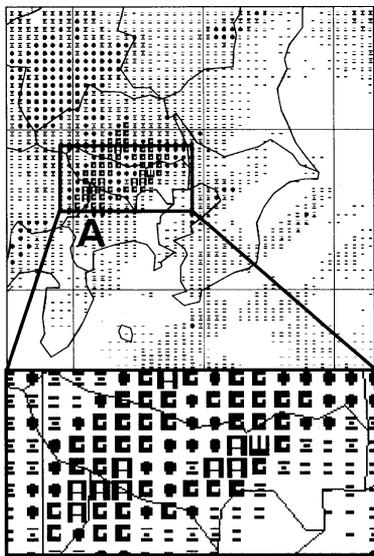
4.2 降水減衰の影響を考慮する効果

雨量解析値の推定で、レーダー格子の雨量係数の決定に、降水減衰の影響を考慮している。ここでは、降水減衰の影響を考慮することの有効性が顕著である事

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



第8図 1999年9月21日14時における, (a) 東京レーダーによるレーダー雨量, (b) アメダス雨量の分布 (単位: mm/h). それぞれ上段に250 km 四方 (レーダーで5 km 格子50×50に対応), 下段に, 上段図中領域 A の拡大図を表示. 図中黒丸は東京レーダーのレーダーサイトの位置.



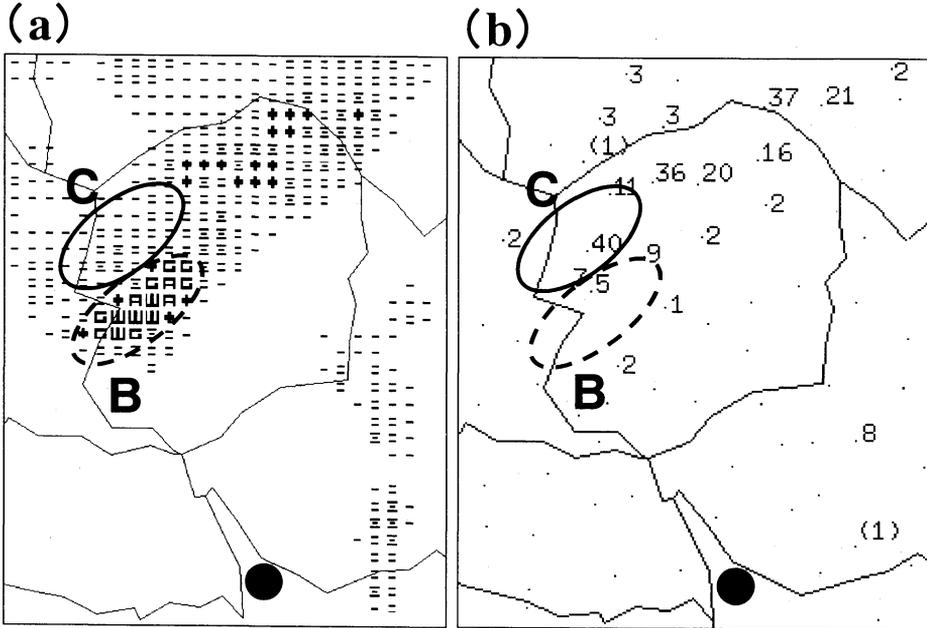
第9図 1999年9月21日14時における, 解析雨量の分布 (単位: mm/h). 図の表示範囲, 記号と雨量の対応は第8図と同様.

例を紹介する.

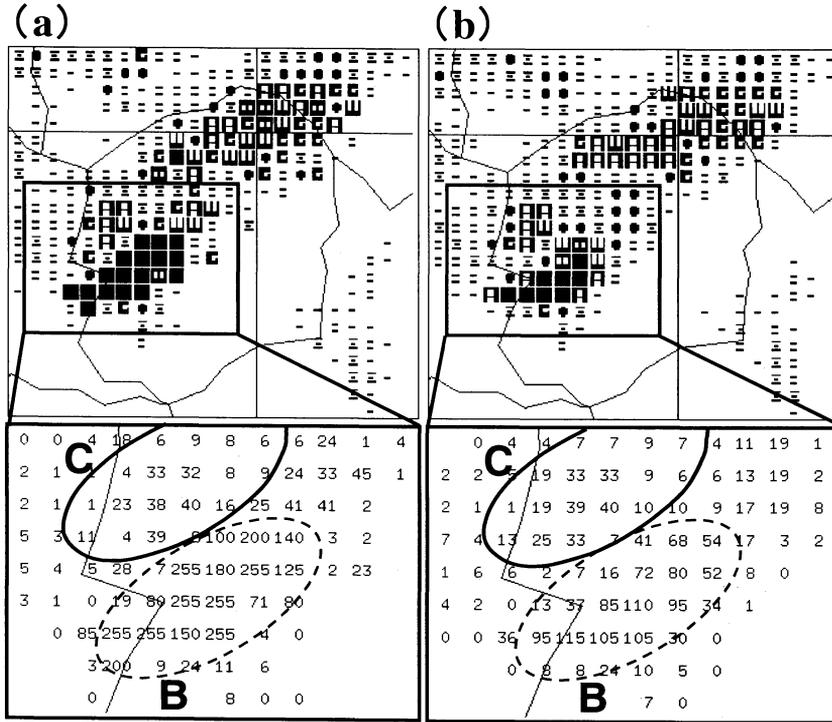
第10図は, 1998年7月29日19時の栃木県付近における, (a) 東京レーダーによるレーダー雨量と (b) アメダス雨量の分布である. レーダーによる観測では領域 B に強雨域が見られるが, アメダスでは観測されていない. 一方, 領域 C ではアメダスで最大40 mm/h が観測されているのに対し, レーダーでは領域 B よりも観測された雨量は小さかった. レーダーサイトの位置を考えると, 領域 B は東京レーダーのレーダーサイトと領域 C の間に位置しており, レーダーで領域 C の雨が弱く観測されているのは, レーダーサイトから発射されたビームが領域 B を通過する際に起こった降水減衰の影響ではないかと推測される.

第11図は, (a) 降水減衰の影響を考慮しない場合と, (b) 考慮した場合の解析雨量である. 領域 C の雨量値に大きな違いは見られないが, その周辺では値が異なっている. 特に領域 B では値が大幅に小さくなっている. 同じ領域に設置されているアメダスとは独立な他の雨量計による観測雨量分布 (表示せず) と比較すると, 降水減衰の影響を考慮した場合の解析雨量の方が雨量分布の対応が良かった.

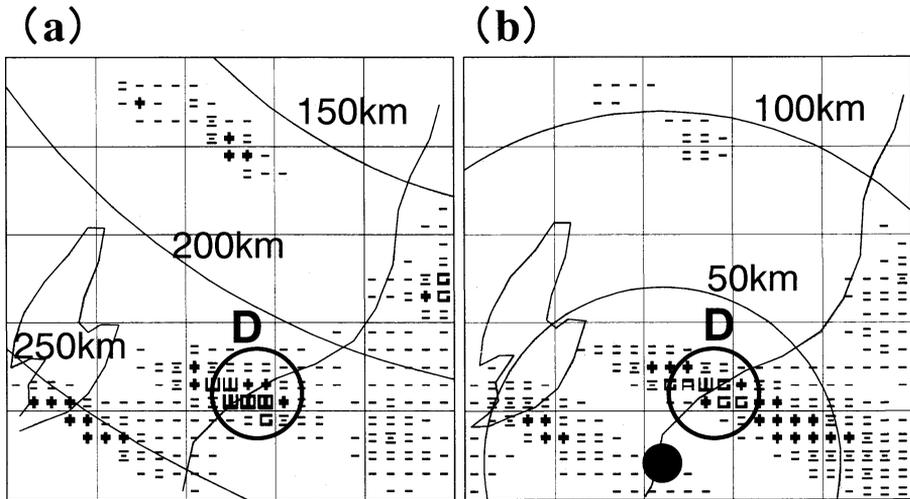
このように, 降水減衰の影響を考慮しない場合, 領



第10図 1998年7月29日19時の栃木県付近における、(a) 東京レーダーのレーダー雨量、(b) アメダス雨量の分布 (単位: mm/h)。図中黒丸は東京レーダーのレーダーサイトの位置。記号と雨量の対応は第8図と同様。



第11図 1998年7月29日19時における、(a) 降水減衰の影響を考慮しない場合、(b) 降水減衰の影響を考慮した場合の解析雨量の分布 (単位: mm/h)。それぞれ、上段図中の枠内を拡大したものを下段に表示。記号と雨量の対応は第8図と同様。



第12図 1998年10月10日16時における、(a) 秋田レーダー、(b) 新潟レーダーの観測によるレーダー雨量の分布(単位: mm/h)。図中黒丸はレーダーサイトの位置で、円弧はそれぞれのレーダーサイトからの距離を表す。記号と雨量の対応は第8図と同様。

域Cのように降水減衰の影響でレーダーでは弱い雨が観測された領域で、アメダスでは強い雨が観測されると、レーダーで観測された弱い雨を、アメダスで観測された強い雨に合わせるように補正する効果が、周囲の降水水域では雨量値を必要以上に大きくしようとしてしまい、雨量を過大に推定してしまう傾向がある。従ってこの例の場合、降水減衰を考慮することが、領域Bにおける過大評価を防ぐために必要となる。

4.3 全国合成の最大値法の例外

最後に、全国合成における最大値法の例外が有効に働いている事例を紹介する。

第12図は、1998年10月10日16時の新潟県付近における(a) 秋田レーダー、(b) 新潟レーダーの観測によるレーダー雨量の分布である。領域Dの各レーダーサイトからの距離は、秋田レーダーで約220 km、新潟レーダーでは約30 kmであり、観測ビーム高度は約4 km、1 kmである。レーダーサイトから近く、観測ビーム高度が低いほど、より信頼性の高いレーダー観測値が得られていると考えられる。統計的には、同じ領域に降っている雨を複数のレーダーで観測した場合、観測状況の良いレーダーの方がレーダー雨量が大きくなり、というよりは観測状況の劣るレーダーで小さくなることが多いが、時として観測状況の良いレーダーの方がレーダー雨量が小さいことがある。この例では、領域Dについて明らかに観測状況の良い新潟レーダーよりも、秋田レーダーのレーダー雨量の方が大きかった。よっ

て、全国合成の際には、単純に最大値法に基づいて全国合成を行うと、領域Dで秋田レーダーの雨量解析値を採用してしまう(第13図a)。しかし、領域Dでは新潟レーダーによる雨量解析値を採用する方が精度の高い雨量分布になると考えられる(第13図b)。実際、この時は、領域Dの付近で第13図aのような強い雨は見られなかった。

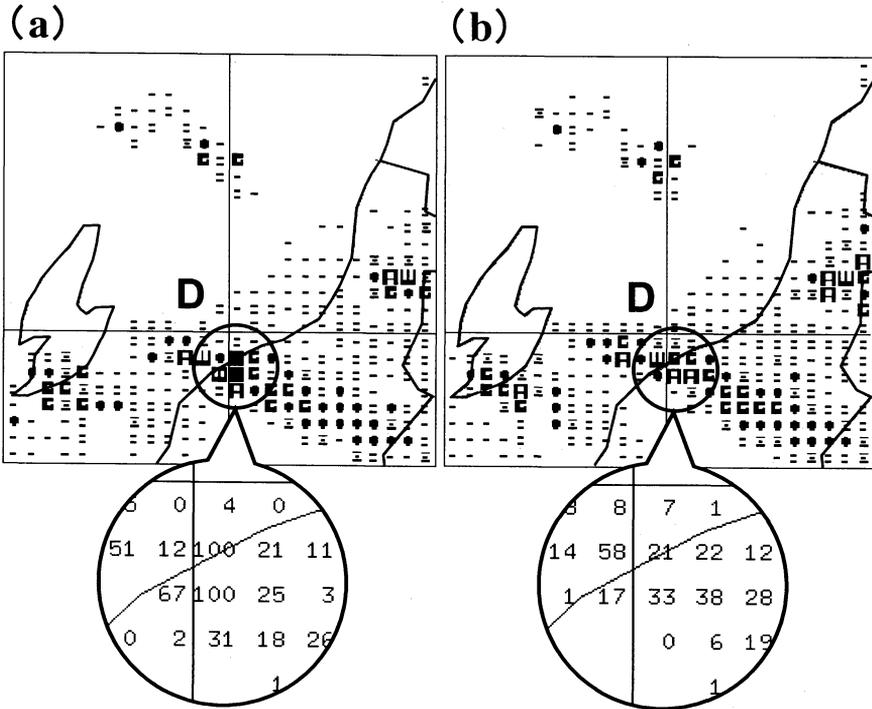
このような例は秋田レーダーと新潟レーダーの組み合わせに限ったことでは無く、その他の気象レーダーの組み合わせでも起きることがわかっている。「精度の高い雨量分布の提供」のためには、各レーダーごとの雨量値の補正とともに、この全国合成手法、特に適確な「最大値法の例外」の設定が非常に重要である。

5. レーダー・アメダス解析雨量の利用上の注意

これまでお話したように、解析雨量は面的にきめ細かく精度の高い1時間ごとの雨量分布を提供し、特にアメダスとアメダスの“すきま”で降るような強い雨(局地的強雨)の監視に非常に有効である。

しかし、解析雨量は、元となるデータの性質や計算方法から、いくつかの特性を持っている。利用の際には以下の点について注意して利用して欲しい。なお、①から⑦については、予報部予報課(1995)が詳しいので参照のこと。

① 解析雨量とその格子内の雨量計データはかなり異なることがある。

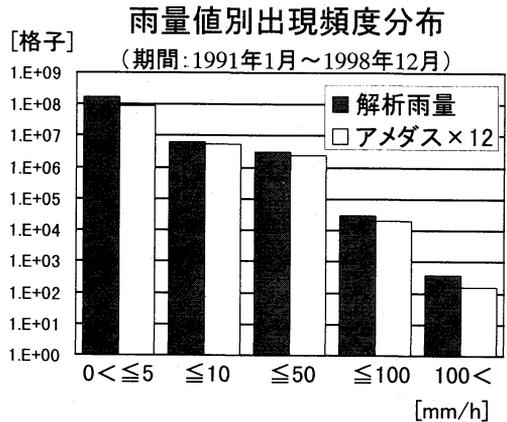


第13図 1998年10月10日16時における、最大値法の例外を(a)考慮しない場合、(b)考慮した場合の解析雨量の分布(単位: mm/h). 記号と雨量の対応は第8図と同様. 拡大図中「0」は、「1 mm/h 未満」を示す.

解析雨量は5 km 四方格子に一つの代表値で表現されているが、現実には「5 km 四方の領域の中では雨の強さが全て同じではない」ことは実感としておわかりいただけると思う。雨の中車を運転していると、「雨の切れ目」に出会った読者も少なくないであろう。もちろん、あの切れ目は、解析雨量の格子の境界とは関係は無い。少々脱線したが、解析雨量は、「災害を引き起こすような強雨を逃さず表現する」ことを第一の目的として作成されているため、同じ格子内の雨量計による実測データより値が非常に大きいことが起こる。また、場合によっては隣の格子の解析雨量が雨量計と近い値を示していることがある。

② 統計的に見ると、解析雨量はアメダス雨量より少し多めになる。

全国合成処理の中で、全国のレーダーによる雨量解析値の合成の後、アメダス雨量分布の重ね合わせを行っている。このときは単純に最大値法を行っているため、処理が終わった後の解析雨量と、アメダス雨量について比較すると、



第14図 1991年1月から1998年12月の期間における、解析雨量とアメダス雨量の雨量値別出現頻度分布. ただし、解析雨量は全国合成領域の陸上の格子のみを対象とし、解析雨量の格子密度とアメダス雨量計の設置密度を考慮して、アメダス雨量の頻度は12(≒17²÷5²:面積比)倍してある.

第2表 レーダー雨量(正式には、「1時間積算降水強度」という)の各レベル値に対応する降水強度の下限と上限の値, およびその幅(単位: mm/h).

(単位: mm/h)

レベル値	降水強度	幅
0	0	(無降水)
1	$0 < < 0.5$	0.5
2	$0.5 \leq < 1.0$	
:	:	
6	$2.5 \leq < 3.0$	1.0
7	$3 \leq < 4$	
8	$4 \leq < 5$	
:	:	2.0
13	$9 \leq < 10$	
14	$10 \leq < 12$	
15	$12 \leq < 14$	4.0
:	:	
40	$62 \leq < 64$	
41	$64 \leq < 68$	4.0
42	$68 \leq < 72$	
:	:	
62	$148 \leq < 152$	4.0
63	$152 \leq$	

解析雨量 \geq アメダス雨量

になる。

以上のことは、アメダスの存在する格子における話であるが、これを範囲を広げて統計的に調べてみる。第14図は、1991年1月から1998年12月における、解析雨量とアメダス雨量の雨量値別出現頻度分布である。但し、解析雨量は全国合成領域の陸上の格子のみを対象とし、アメダス雨量の頻度は、解析雨量(5 km 格子)とアメダス(約17 km 四方に1か所の割合で設置)の分布を考慮して、 $12 (=17^2 \div 5^2)$:面積比)倍してある。このように、雨量の出現頻度分布を調べると、解析雨量のほうがアメダス雨量よりも少し多めになる。これは、最大値法を採用している結果に加えて、解析雨量が、アメダスだけでは捉え切れない雨もしっかりと表現していることに対応する。

③強い雨に対しては、1 mm/h 単位の精度を持たない。

解析雨量で利用されているレーダー雨量は、観測の後に、第2表に沿ってレベル値化されたものである。第2表を見ると、雨量が大きいほど1つのレベルで表

第3表 解析雨量の代表値とその代表値が意味する雨量の下限と上限の値, およびその幅(単位: mm/h).

(単位: mm/h)

代表値	雨量値	幅
-1		(不明)
0	$0 \leq \leq 0.1$	(無降水)
0.4	$0.2 \leq \leq 0.8$	1.0
1	$0.9 \leq \leq 1.4$	
2	$1.5 \leq \leq 2.4$	
:	:	
77	$76.5 \leq \leq 77.4$	5.0
80	$77.5 \leq \leq 82.4$	
85	$82.5 \leq \leq 87.4$	
:	:	7.5
125	$122.5 \leq \leq 127.4$	
130	$127.5 \leq \leq 134.9$	
140	$135.0 \leq \leq 144.9$	10.0
:	:	
200	$195.0 \leq \leq 204.9$	
255	$205.0 \leq$	

現している雨量の幅が大きくなっていることがわかる。そして、各レベル値を雨量として利用する時には、各レベル値が意味している雨量値の範囲を考慮して、適当な代表値を決めている(牧原, 1995)。そのため、元々幅をもっているレーダー雨量について、どれだけアメダス雨量で補正して解析雨量を作成しても、本質的に1 mm/h 単位の精度はもたない。そのため、解析雨量も大きいほど個々の代表値に対応する雨量の幅を大きくしてある(第3表)。

しかし、この解析雨量を代表値で表現していることにより、例えばアメダスで102 mm/hの雨が観測されて、その値が対応する格子の解析雨量となる時、102 mm/hに対応する解析雨量の代表値は100 mm/hであるため、見かけ上、「観測されたアメダス雨量よりも解析雨量が小さい」ということがまれに起こることがある。

④最大で1格子程度の格子ずれを生じることがある。

解析雨量の元となるレーダー雨量の「レーダー座標系」から、全国合成に利用している「斜軸ランベルト座標」,そして「緯度経度座標」へと座標変換をするために、1格子程度の格子ずれが生じることもある。また、レーダーで観測される高度2 km付近より下で、風によって流されて地上に達するまでに位置がずれてし

まうことも考えられる。以上のような理由で、1格子程度の格子ずれが生じることがある。解析雨量が小さい格子の中にある雨量計で大きい雨量が観測された場合、その周囲の格子で対応する解析雨量が現れていることがあるので、利用の際には確認して欲しい。

⑤ 水平スケールが小さく激しい対流性の降水では精度がやや落ちる。

気象庁では、レーダーによる観測で得られる電波の強さから雨量を推定する際に、Marshall and Palmer (1948)の関係を使用しており、これは層状性の雨を仮定することに対応している。実際に観測される雨は、層状性、対流性のものが混在しているため、上述の仮定による誤差(=層状性ではなく対流性の雨が観測されたとき)を、周辺のアメダスと比較して雨量解析値を作成することで補っている。しかし、解析雨量の精度はアメダス雨量の精度に強く依存している。よって、激しい対流性の雨になるほど、周辺のアメダスによる観測網にかかりづらくなり、レーダー雨量を補正する材料が少なくなるため、結果的に精度がやや落ちる。

⑥ 電波の遮蔽や減衰などによる誤差の完全なカバーは無理である。

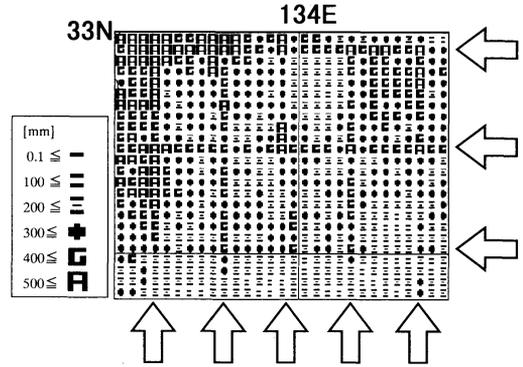
周囲の山地や強い雨などの影響により、電波が遮蔽(後ろに通らない)されたり、減衰したりする地域がある。雨量解析値を求める際に降水減衰の影響を考慮したり、複数のレーダーによる雨量解析値を日本全域を含む領域で重ね合わせて合成することで、この影響による誤差は軽減されるが、各レーダーの運用状況により、すべてのケースはカバーできない。

⑦ レーダーの異常データが取り込まれることがある。

レーダーサイトでの地形エコーの除去、レーダーデータの品質管理によって、大部分の異常データは取り除かれる。しかし、レーダー同士の電波干渉で発生する混信やレーダー機器の不具合で発生するノイズなどの異常データが解析雨量として取り込まれることがある(田畑, 1995)。特に実際の雨の分布と重なってしまうと、区別することは難しい。

⑧ 格子ごとに時間積算すると、積算雨量の大きい格子が「網目状」に並ぶ。

緯度経度座標系の解析雨量を格子ごとに時間積算すると、3時間程度ならばあまり気にならないが、さらに積算すると、積算雨量の大きい格子が東西、南北に網目上に並ぶ(第15図)。この現象が起きる原因は以下の通りである。全国合成によって斜軸ランベルト座標



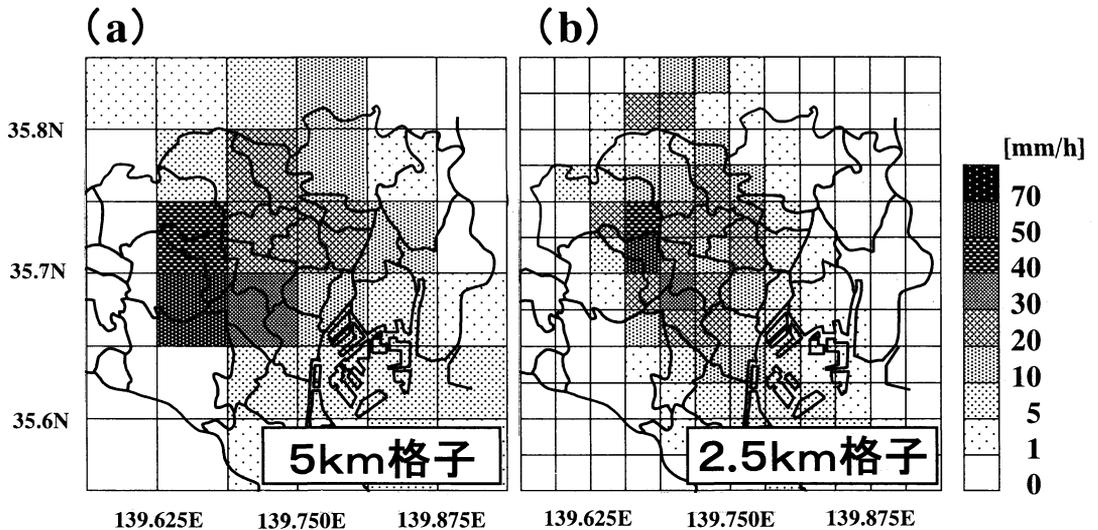
第15図 1999年9月(=30日×24時間=720時間)の解析雨量からもとめた積算雨量(単位:mm)。図中矢印が、大きな積算雨量の格子が並んでいる並びを示す。

系の解析雨量が作成された後、利用者の便宜を考慮して、緯度経度格子への割り当てを行なっている。ところが、この緯度経度格子が若干5 km 四方格子よりも大きい(第1表)ために、ある特定の緯度経度格子に複数の斜軸ランベルト座標格子が対応する。現在は、短時間の大雨を補足する目的のため、複数の斜軸ランベルト座標格子の値の平均ではなく、各時刻で大きい値の方の格子を割り当てている。すなわち、他の斜軸ランベルト座標格子1格子が割り当てられている緯度経度格子よりも、大きな雨量が現れやすいことになり、時間積算すると、複数割り当てられている格子で積算雨量が大きくなる。この積算雨量の大きい格子が、網目状、すなわち東西南北に規則正しく並んでいるのは、レーダー雨量を全国合成領域に割り当てる際に、できるだけ元々のレーダー雨量の並びが緯度経度格子の並びに反映されるようにしているためである(第8, 9図)。

6. これからの解析雨量

これまで5 km 四方格子のデータとして提供されてきた解析雨量が、平成13年3月の気象庁数値計算システムの更新を機会に、空間分解能を細かくし、2.5 km 四方格子のデータとして提供されることになった(第16図)。この結果、より空間的に詳細な雨の分布を知ることができるようになる。更に、地方自治体の保有している地上雨量計による観測データを、レーダー雨量の補正に利用し、より精度の高い解析雨量の提供が可能となっている。

また、解析雨量は、「降水分布の実況把握」という役



第16図 1999年7月22日16時の東京都における、(a) 5km 四方格子で解析した場合、(b) 2.5 km 四方格子で解析した場合の解析雨量の分布図 (単位: mm/h)。

割と共に、降水短時間予報、土壌雨量指数(岡田ほか、2001)などの防災気象情報に利用される各種プロダクトの「基礎となる雨量データ」としての役割もますます大きくなってきている。

今後も、気象庁では解析雨量の解析手法の改良、精度検証が行われていくが、あくまで防災気象情報における利用を第一に考えている。その他の目的で解析雨量を使用する際には、第5節で述べたように解析雨量の持つ性質、くせを知り、その目的に合った利用方法を良く考えて行なって欲しい。今後、「研究者向けの解析雨量の利用方法」など、どこかで発表が見られることを期待したい。

謝 辞

本稿を作成するにあたり、仙台管区気象台の牧原康隆技術部長、気象庁予報課の国次雅司予報官、黒良龍太調査官、同観測課の木俣昌久調査官には、たくさんの有益な助言をいただきました。また、解析雨量を始

めとする降水短時間予報プロダクトの改良は、多くの皆様の叱咤、激励の元に成り立っております。降水短時間予報業務に関わるすべての皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- 牧原康隆, 1995: 降水短時間予報に適した標準レーダーの新しいエコー強度レベル代表値, 研究時報, 47, 67-76.
- Marshall, J.S. and W.M. Palmer, 1948: The Distribution of Raindrops with Size, J. Meteor., 5, 165.
- 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斎藤 清, 2001: 土壌雨量指数, 天気, 48, 349-356.
- 田畑 明, 1995: レーダー・アメダス解析雨量とレーダーデータの品質について, レーダー観測技術資料, (44), 1-20
- 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.