

短時間強雨監視のための面的雨量の推定*

福島大学理工学群 渡邊 明

1. はじめに

気象庁(2005)は、地域気象観測システム(AMeDAS)のdata分析によって、近年1時間に50mm以上の雨が降る「短時間強雨」や1日の降水量が200mmを超える「大雨」の回数が増えていることを指摘している。同庁が76年に開始したAMeDASの観測dataによれば、短時間強雨は1976年から1985年までで209回、1986年から1995年までで234回、1996年から2004年で293回発生し、大雨も1976年から1985年までで6.3回、1986年から1995年までで5.1回、1996年から2004年まで12.3回と急増していることを指摘している。また、2004年は台風の上陸数が増加したこともあり、短時間強雨が469回、大雨が30回を記録し、AMeDAS観測開始以来最多となった。しかし、このdataは基本的に全国約1300カ所にある観測所で観測されたdataに基づくもので、日本を面的にカバーしたものではない。日本を面的にカバーした降水量として気象庁からレーダー・アメダス解析雨量が公開されているが、こうした雨量には誤差が多く、短時間強雨を的確に表現できるものには至っていない。ここでは、短時間強雨発生をより適格に認識することを目的に、面的雨量の精度向上を目指す試みを行った。

2. レーダー・アメダス解析雨量

気象レーダーは、全国に20ヶ所設置されており、1レーダーで直径500kmの円内の範囲をカバーすることができる。この範囲の高度2kmの反射強度を測定し、面的データの反射強度を得ている。しかし、地形や建造物の影響を受けているところは、他の地点のレーダー反射強度を使用するか、内挿することが必要になる。また、同じレーダーで観測していても遠方になるほど対象高度の反射強度ではなく、高高度の反射強度になり、高度2kmの反射強度を測定することは原理的に不可能になる。この他、地形エコー、シークラッター、電波異常データの除去の整合性や大気の成層状態による伝搬状態の差異などを考慮しないと正確な反射強度が得られないことになる。

一方、こうした反射強度を基に、約17km平方のAMeDAS観測雨量データと比較し、

$$\text{レーダー雨量} \times \text{雨量係数} = \text{実際の雨量}$$

を用いて、観測毎に雨量係数を計算して、その雨量係数を用いて、AMeDAS観測雨量がない地点の雨量を計算することで、面的雨量、レーダー・アメダス解析雨量が作成される。雨量係数をその都度計算することによって(レーダーサイトごとに雨量係数95から230程度の値を有している)、常に高高度の反射強度を用いてレーダー・アメダス解析雨量を計算するなど、特性が固定されたものについては除去できるが、大気状態によって異なるものや、レーダー観測にかからない低いエコーによる降水などは基本的に除去することはできない。また、AMeDA観測雨量から求めた雨量係数を空間的に内挿する場合、一定の重みづけとして距離減衰重み付けや途中降水による減衰の重み付け、さらには層状雲など類似した雲からは同じような雨量が期待できると考えてレーダー雨量比重み付けなどの補正が行われている。しかし、これでも、レーダーサイトから離れた地点では低高度降水エコーが見えないなどエコーの空間代表性が必ずしも保障されていないために、正確な面的雨量を観測することは容易ではない。さらに、レーダー・アメダス解析雨量では、エコー合成時にレーダー雨量の大きい方を優先する最大値法が用いられているため、接合領域で相対的に多くなる領域が形成される。また、レーダー雨量は64階調値で表現され、雨量強度の幅が大きくなるほど大きくなる。一方、解析雨量は256階調値、0から77までは1mmごと、80から5mmごと、130から7.5mm、140から10mmごとになっている。このため、多雨ほど誤差が大きくなる表現になっている。従って、AMeDASデータが得られない水

* Estimation of the two dimensional precipitation that monitors the heavy rain in the short period
by Akira Watanabe

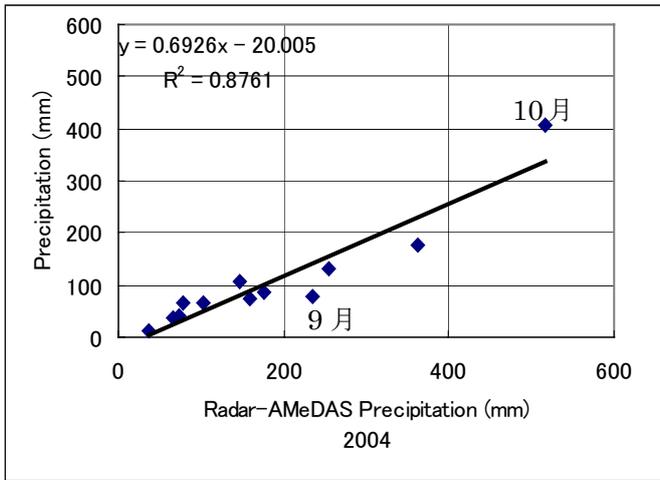
平スケールが小さい激しい対流性降水の精度は原理的に悪くなる。こうした原理的な課題を踏まえて、精度の高い短時間強雨の面的分布を求めることが必要である。

3. 雨量の精度

レーダー・アメダス解析雨量は基本的に短時間強雨を監視するもので、基本的に積算雨量を求めるものではないことが気象庁（1995）から指摘されている。しかし、短時間強雨が精度よくモニターできているのであれば、積算雨量も基本的に一定の精度で表現できていなければならないはずで、短時間強雨監視のためにも面的雨量の精度を向上させる必要がある。

ここでは、まず積算雨量にどの程度の精度があるのかを福島県内の AMeDAS データとレーダー・アメダス解析雨量を用いて検討した。

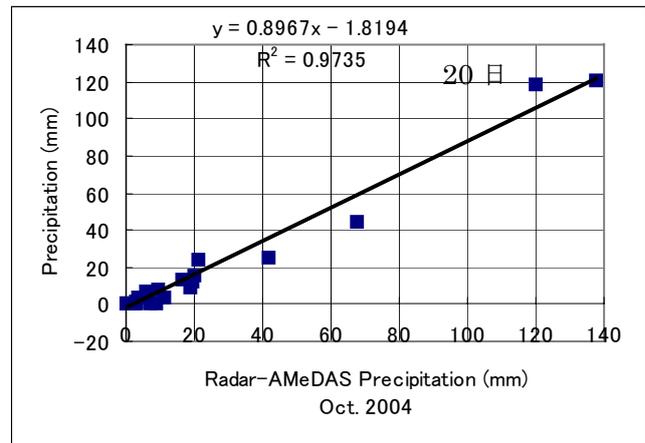
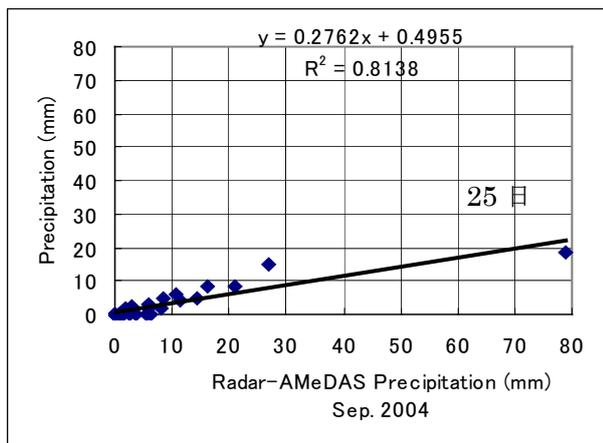
第1図は2004年の AMeDAS データとレーダー・アメダス解析雨量の福島における月降水量の関係を示したものである。レーダー・アメダス解析雨量は前述の通り AMeDAS 雨量と比較し、雨量係数によって適正化が図られているが、2004年の月降水量としては AMeDAS 雨量の2倍の降水量を示していることがわかる。さらにこの中で最も大きい差異を有した9月と、比較的誤差の少なかった10月についての日降水量の関係を調べた。



2004年の月降水量としては AMeDAS 雨量の2倍の降水量を示していることがわかる。さらにこの中で最も大きい差異を有した9月と、比較的誤差の少なかった10月についての日降水量の関係を調べた。

第2図は誤差の最も大きかった9月と誤差の小さかった10月の日降水量の AMeDAS データとレーダー・アメダス解析雨量の関係を示したものである。この図から誤差の大きかった9月の例では AMeDAS の平均日雨量がレーダー・アメダス解析雨量の約 1/3 程度になっていることがわかる。また、誤差の少なかった10月では、AMeDAS データ

はレーダー・アメダス解析雨量のほぼ90%程度を示している。一般に降水系は季節によって発達高度が異なり、冬季の場合は約3km程度であるのに対して、夏季は8km程度まで発達する。従って、echo 強度の測りにくさという観点から考えると、仙台レーダーから離れた福島では、冬季降水が少なく表

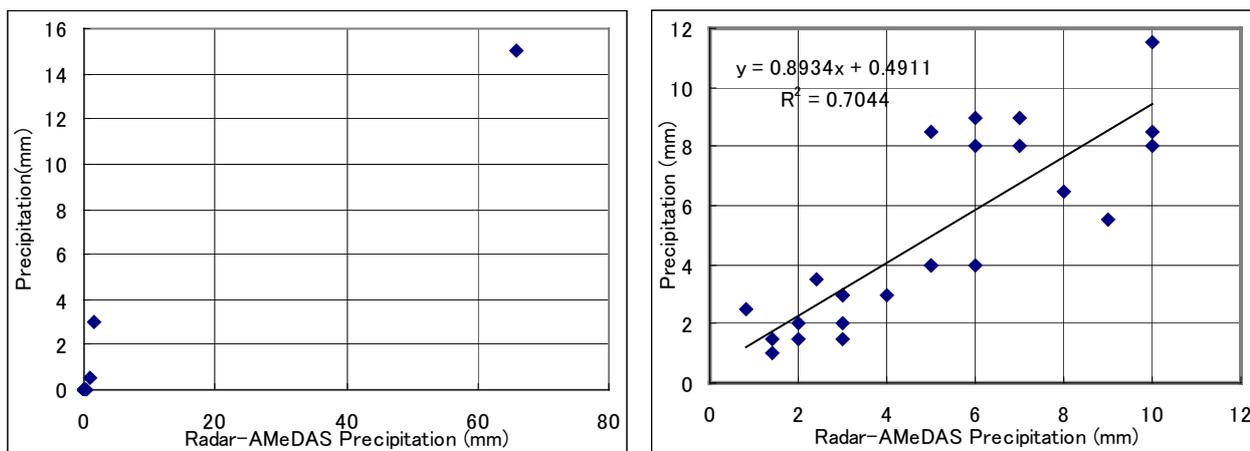


第2図 2004年9月（左）と10月（右）のレーダー・アメダス解析雨量とアメダス雨量の日積算値の関係

現され、夏季の降水はよりの確に計測できるものと考えられる。しかし、第2図に示すように降水が相対的に多い9月、10月でまったく異なる傾向を示す理由は、echo 高度に依存して誤差が生じているわけではないことが分かる。

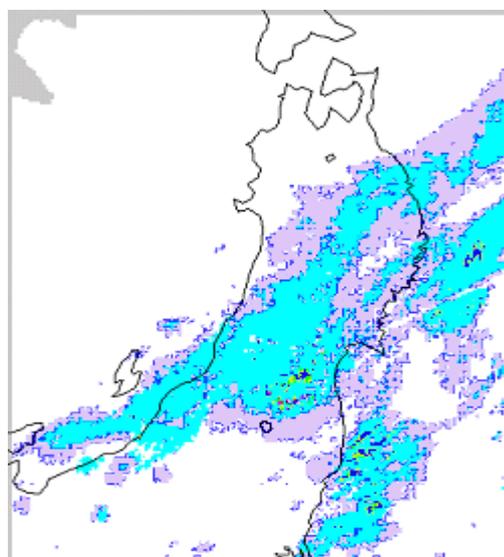
さらに、前述の9月で最も誤差の大きかった25日と、同量の降水量を示した10月20日について時

間降水量の関係を示したものが第3図である。特に、誤差の大きかった9月25日の例では15mmのAMeDAS降水量に対して66mmのレーダー・アメダス解析雨量が算出された。このため積算した月降水



第3図9月25日(左)と10月20日(右)のレーダー・アメダス解析雨量とアメダス雨量の1時間値の関係

量でも大きな誤差を生む結果となっていることがわかった。一方、AMeDAS雨量とレーダー・アメダス解析雨量とが一致している10月20日の例では、逆に日積算量は一致しているものの、時間降水量を比較すると±2mm程度以内の誤差が常に生じていることがわかる。短時間強雨監視のためにも少なくとも時間雨量のレベルで確度の高い降水量表示が必要になっている。



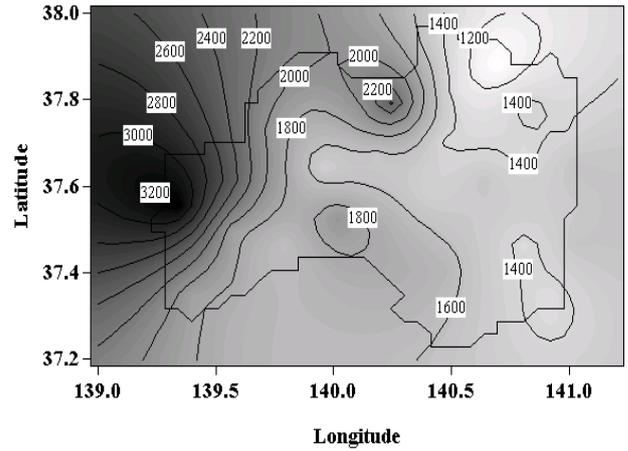
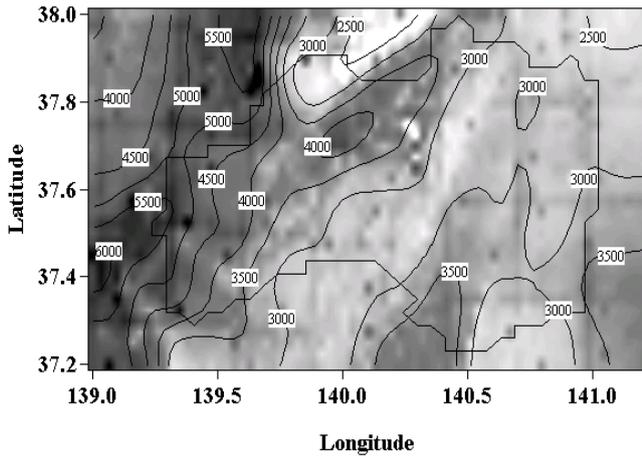
第4図9月25日8時の解析雨量図

に大きな誤差が生じたものと考えられる。

4. 面的雨量

前述の通り、地点の積算雨量については、特に点状 echo で積算値に大きな誤算が発生していることが明らかになったが、2次元的な雨量分布を検討することで、地形的影響などを評価することができ。そこで、福島県を中心とする北緯37.2度から38度と東経139度から141.2度に囲まれる範囲の積算雨量を作成して検討を行った。ただし、季節別降水分布や、年降水分布を検討する際、積算値には欠測があるため積算値の絶対値を比較することは困難である。そこで、欠測値を除去するために観測回数で割った平均値を求め、その形態とAMeDAS雨量とを比較することで、面的雨量の問題点を考察することにする。

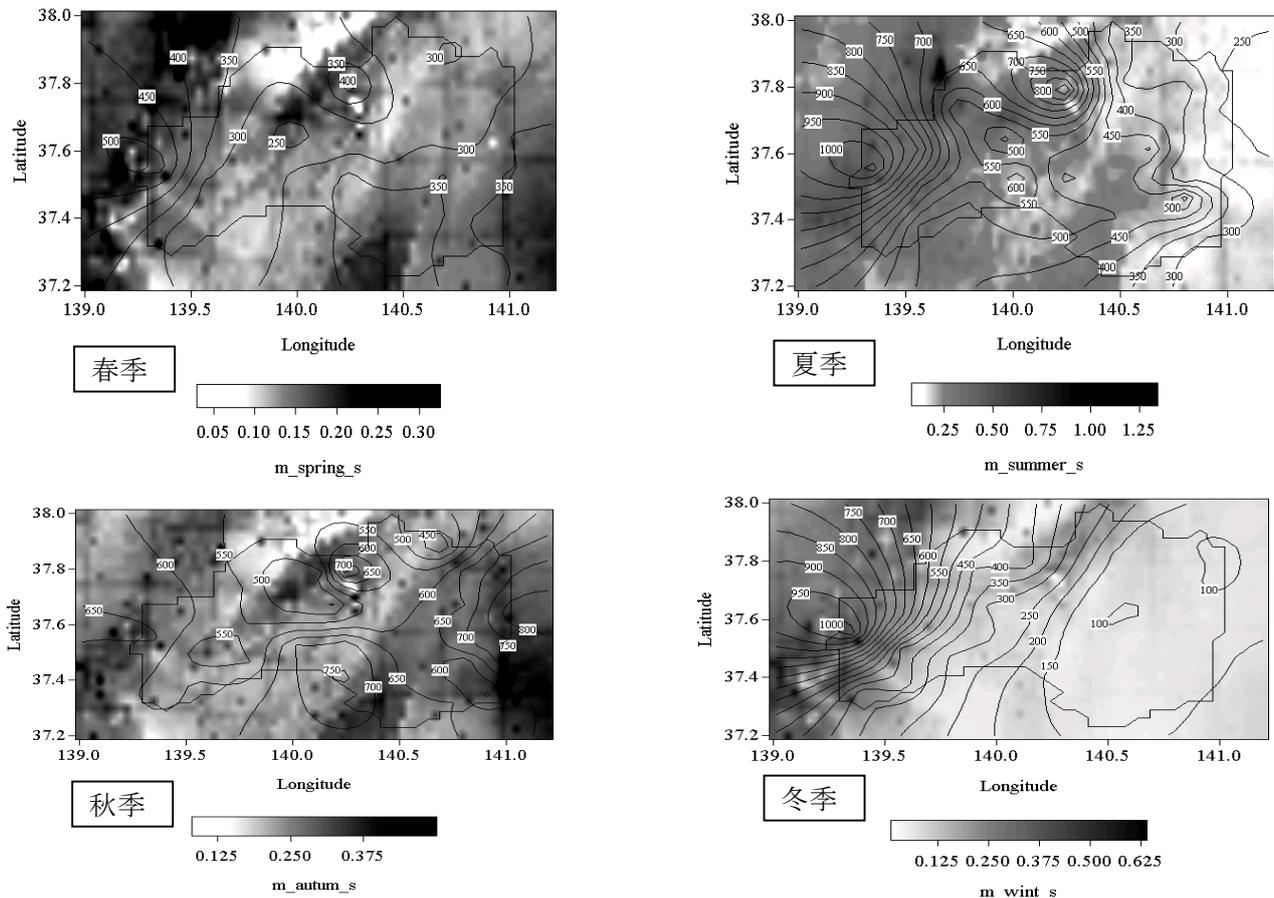
第5図は欠測を無視して求めた2004年のレーダー・アメダス解析雨量と37地点のAMeDASデータで求めた年降水量の分布を示したものである。レーダー・アメダス解析雨量は2.5km格子の空間分解能を持ち、AMeDAS雨量は福島県では約20km四方の空間分解を有している。従って、レーダー・アメダス解析雨量の濃淡図はそのまま2.5km四方で表現し、等値線は5点のスムージングをかけて表現してある。これらの結果を比較すると、レーダー・アメダス解析雨量の年降水量はAMeDASデータ雨量の



第5図 2004年のレーダー・アメダス解析雨量（左）と AMeDAS 雨量（右）の年降水量の分布

2倍以上の値を示している。また、AMeDAS データでは大きく西多東少の傾向を示しているのに対して、レーダー・アメダス解析雨量では仙台レーダーの放射方向に明確な縞状構造を示していることが分かる。吾妻山系の少雨地帯は蔵王山系の山陰に対応し、霊山、大滝根山などの山陰でも少雨地帯が認められる。レーダー・アメダス解析雨量は山陰で相対的に高い echo しか確認できなくとも、実際の AMeDAS データと比較することによって補正ができていないはずである。従って、局所的な地形が考慮されていないと考えられる。これは AMeDAS がそもそもレーダー・アメダス解析雨量の補正を目的として設置されていないために精度よく補正されていないと考えられる。また、echo 強度にしても山陰の高高度 echo と実際に降水をもたらす echo との補正が精度良くないためと考えられる。なお、地形障害のない海岸域でも年積算雨量に倍以上の誤差があり、雨量係数の推定に課題がある。

第6図に季節別のレーダー・アメダス解析雨量（濃淡）と AMeDAS データ（等値線）の分布を示す。



第6図 季節別のレーダー・アメダス解析雨量（濃淡）と AMeDAS データ（等値線）の分布

前述した、仙台レーダの放射方向に沿うレーダー・アメダス解析雨量の変動は季節によらず存在し、固定された現象と考えられ、電波の地形による遮蔽減衰効果の完全補正ができていないものと考えられる。また、いずれの季節も格子状に大きい値が並び、斜軸ランベルト座標系から緯度経度格子に変換するとき最大値法を用いて合成している効果も顕著に出現している。レーダー・アメダス解析雨量は基本的に AMeDAS 雨量と対応しているものの、夏季、冬季、秋季、春季の順に降水量が多くなっているのに対して、夏季のレーダー・アメダス解析雨量が他の季節に対して2倍以上の大きさになっている。これは radar echo の反射強度の季節変化に対応したもので、冬季は echo 発達高度が低いに対して、夏季は高いために、相対的に echo 強度が強くと表現されるためと考えられる。従って、レーダー・アメダス解析雨量は echo の鉛直補正も適性に表現されていない可能性がある。その他、空間分布から推定される問題として、団塊状 echo が連続している時のレーダーサイトより遠方の echo の適性評価がされていない。

5. まとめ

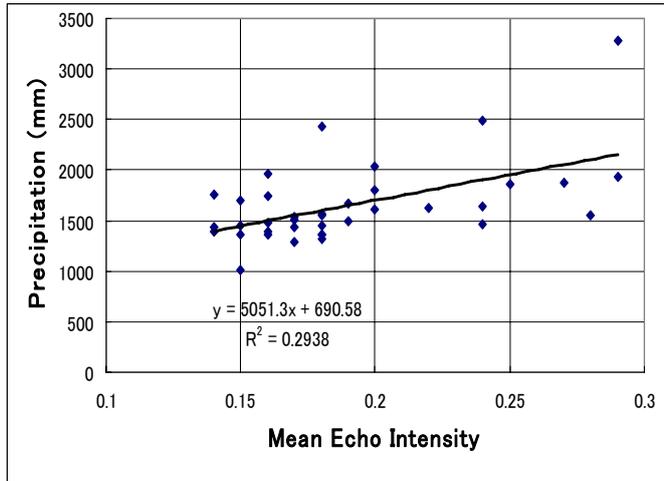
レーダー・アメダス解析雨量は、唯一の面的雨量を詳細に示す有効なデータである。しかし、その精度は必ずしもよいわけではなく、短時間強雨を的確に表現できるものには至っていない。短時間強雨を的確に表現するためには、レーダーの echo 特性や地域の降水特性を理解して、よりの確に表現する方法を検討する必要がある。ここではこうした観点から、時間分解能 30 分、空間分解 2.5km のレーダー・アメダス解析雨量を用いて、その精度と空間的特性について福島県内のデータを中心に検討した。その結果、レーダー・アメダス解析雨量は、年積算雨量や月積算雨量で AMeDAS 雨量の平均 2 倍になっていること、日降水量でも 3 倍から 5 倍の誤差があることが分かった。さらに、時間降水量ではレーダー・アメダス解析雨量と AMeDAS 雨量とが日積算雨量で一致していても、平均 11% 程度の誤差を有し、レーダー・アメダス解析雨量の方が大きくなっていることが分かった。こうした誤算の要因は、すでに気象庁予報部 (1995)、新保 (2001a,b) らによって指摘されており、新保 (2001a,b) は①遠方の背の低い降水が探知できないためにレーダー雨量が過小評価になること、②ビーム測定高度以下で雨滴が蒸発してレーダー雨量が過大評価になること、③ビーム測定高度以下での降水強化が測定されないためにレーダー雨量が過小評価になること、④メルティングゾーンでの echo 強度が増加し、レーダー雨量が過大評価になること、⑤霧雨など下層雲による降水が測定されずレーダー雨量過小評価されること、⑥鉛直水蒸気量の分布に反射強度が大きく依存するため、レーダー雨量が過大評価される事などを指摘している。これらの指摘によれば、平均的に②、④、⑥の過大評価される部分が課題となるが、レーダー雨量が過大評価になっても AMeDAS 雨量と比較検証されて、雨量係数として補正されれば大きな誤差を生むことはないと考えられる。従って、こうしたレーダー特性による誤算が直接レーダー・アメダス解析雨量の誤差となっているとは考えにくい。

一方、気象庁 (1995) によれば、①レーダー・アメダス解析雨量が最大値法を用いて合成されていること、②強い雨に対して 1 mm/h の精度を持たず、レーダー雨量は 64 階調値で表現し、雨量強度の幅が大きくなるほど大きくなっていること、③解析雨量は 256 階調値で表現されていること、④格子のずれが最大 1 格子ずれること、⑤水平スケールが小さい激しい対流性降水の精度が悪く、AMeDAS データにかからない降水もあること、⑥電波の遮蔽減衰効果が完全補正されていないこと、⑦異常データの取り込みがあること、⑧レーダー雨量の座標格子変換時に最大値を用いて合成していることなどが指摘されている。

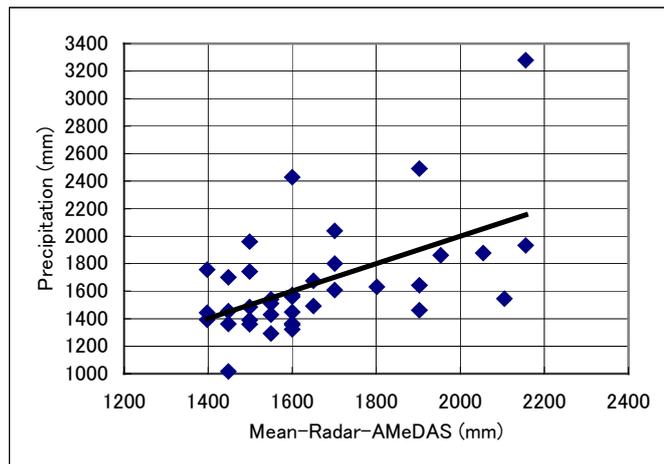
以上の問題を考慮すると、積算雨量の誤差は、レーダー雨量やレーダー・アメダス解析雨量の適性評価という問題ではなく、それらを結合させる雨量係数の評価に問題があると考えられる。すなわち、レーダー雨量がいかなる値でも、相対的にレーダー雨量が雨の空間分布を評価していれば、原理的に雨量係数で補正されることになる。しかし、AMeDAS 雨量は限られた地点にしかなく、レーダー雨量が山陰などで相対的に高い echo や弱い echo を表現していて、その元にある AMeDAS 雨量で雨量係数が求められ、山陰でない echo をその係数で表現することによって過大評価になることが考えられる。月積算雨量や年積算雨量がレーダー放射に沿って多い領域と少ない領域が形成されるのはこの

ためと考えられる。

確度の高い積算雨量を求めるためには、観測ごとに用いられる雨量係数だけではなく、積算雨量を評価する地点の平均 echo 強度と対比させることによってどの程度改善できるかを検討した。第 7 図



第 7 図 echo 強度と AMeDAS 雨量との関係



第 8 図 AMeDAS と補正したレーダー・アメダス解析雨量との関係

いるが、全体的に年降水量が多く表現されている。こうしたモデルのチューニングにも確度の高い面的雨量の必要性が高くなっており、広域での確度の高い面的雨量の表現についても今後検討する予定である。

は福島県内の各地点の年積算雨量と年平均 echo 強度との関係を示したものである。この結果は統計的に正の有意な相関を示しているものの、必ずしも確度の高いものではない。すなわち、平均 echo 強度が必ずしも積算雨量を正確に表現しているとは限らないことを示すものである。この両者の関係は雨量係数に相当するものであるから、求めた両者の関係を使用し、レーダー・アメダス解析雨量を補正する。補正したレーダー・アメダス解析雨量の年積算降水量と、AMeDAS データの年降水量との関係を第 8 図に示す。レーダー・アメダス解析雨量の年積算値は AMeDAS の年降水量と平均的に±20%程度の誤差に納まり、レーダー・アメダス解析雨量をそのまま用いて 2 倍以上の誤差であるものを使用するより、再度一定領域内で雨量係数の再計算を行い、レーダー・アメダス解析雨量を補正することによってかなり積算雨量の確度が高くなることが分かった。

今後、こうした手法で、短時間雨量の表現の確度を高めることを検討し、面データを評価し直すことによって国内での短時間強雨の発生予測を確度の高いものになりたいと考えている。高藪 (2005) や Sasaki, Kurihara and Takayabu(2005)は、モデルの降水量検証にレーダー・アメダス解析雨量を用いて議論して

引用文献

- 気象庁予報部, 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 Vo.62, 279-339.
- 気象庁, 2005: 2004 年夏から秋にかけての集中豪雨・台風等について, 気象変動監視レポート 2004, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/2004/topics.html#top>.
- Sasaki, H., Kurihara, K. and I. Takayabu, 2005: Comparison of climatic reproducibility between a super-high resolution atmosphere general circulation model and a meteorological research institute regional climate model, SOLA, Vol11, 81-84
- 新保明彦, 2001: レーダー・アメダス解析雨量 (I), 天気, Vol.48, 579-583.
- 新保明彦, 2001: レーダー・アメダス解析雨量 (II), 天気, Vol.48, 777-784.
- 高藪 出, 2005: 地域気候モデル研究の特性と課題について, 水文・水資源学会誌, Vol18, 547-556.