

(P-15)

降雨時の地表面後方散乱断面積に関する統計的考察

(独)情報通信研究機構

○瀬戸 心太, 井口 俊夫

1. はじめに

世界初の衛星搭載降雨レーダ TRMM/PR は、周波数 13.8GHz(Ku 帯)を利用している。これは一般的な降雨レーダで使用されている C 帯などの周波数に比べて高く、降雨減衰の影響が無視できない。TRMM/PR の標準アルゴリズム[Iguchi et al., 2000]では、Hitschfeld-Bordan 法(以下, HB 法)と、表面参照法を組み合わせて、降雨減衰補正を行っている(図 1)。HB 法では、減衰係数  $k[\text{dB/km}]$  とレーダ反射係数  $Z_e$  の間に、 $k=\alpha Z_e^\beta$  ( $\alpha, \beta$  は定数)の関係を仮定する。一方で、表面参照法では、レーダから地表面までの積算減衰量  $\text{PIA}[\text{dB}]$  を与える。以下では  $\text{PIA}$  は往復分とする。表面参照法で必要となる  $\text{PIA}$  は、地表面後方散乱断面積  $\sigma^0$  を利用して算出する。

$$\text{PIA}=\sigma^0e-\sigma^0m \quad (1)$$

ここで、 $\sigma^0m$  は観測された  $\sigma^0$ 、 $\sigma^0e$  は減衰の影響を除いた実際の  $\sigma^0$  である。標準アルゴリズムで使われる表面参照法[Meneghini et al., 2004]では、無降雨時に観測された  $\sigma^0$  についての統計的なデータベースから  $\sigma^0e$  を推定する。すなわち、表面参照法では、「降雨時と無降雨時に地表面の状態は変化しない、少なくとも  $\sigma^0e$  の統計的性質は変化しない」ことを仮定している。果たして、この仮定は妥当であろうか。海面における  $\sigma^0e$  は、海上風速に依存性を持つ。降雨時の方が、統計的にみて風速が強い場合、表面参照法の仮定は正しくない。また、陸面における  $\sigma^0e$  は、植生量や土壌水分量に影響を受ける。降雨時には土壌水分量が高くなり、 $\sigma^0e$  が無降雨時より高くなるはずである。本研究では、TRMM/PR の  $\sigma^0m$  および  $\sigma^0e$  についての統計的解析を行い、表面参照法の妥当性について検討する。

2. 統計解析

TRMM/PR 標準プロダクト Version6 1年分(2000年1月~12月)を利用して、以下の統計を算出した。

- $\sigma^0NR$  無降雨時の  $\sigma^0m(=\sigma^0e)$
- $\sigma^0R$  降雨時の  $\sigma^0m$
- $\sigma^0ref$  降雨時の表面参照法による  $\sigma^0e(=\sigma^0R+\text{PIA}ref)$
- $\sigma^0fin$  降雨時の表面参照法と HB 法を組み合わせて最終的に推定された  $\sigma^0e(=\sigma^0R+\text{PIA}fin)$

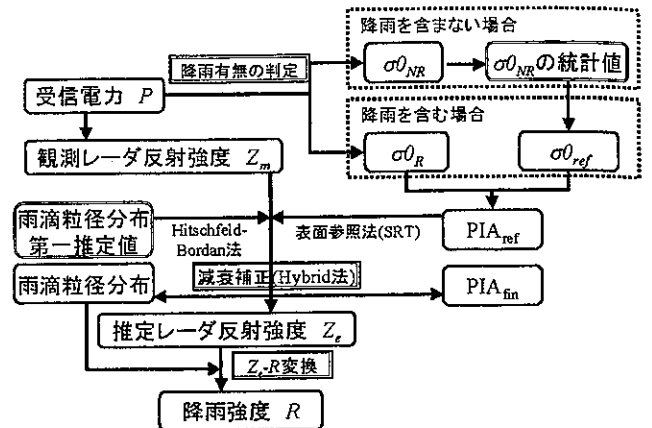


図1 TRMM/PR 標準アルゴリズムの概略図。

緯度経度  $1^\circ$ 、1ヶ月、入射角  $0.75^\circ$  ( $0^\circ$  から  $18^\circ$  までの 25 ビン)ごと、降雨の有無および降雨強度別、海陸別、表面参照法で用いられる参照法別、に分類して上記の各値の統計を取った。なお、降雨強度とは PR 標準アルゴリズムで算出される地表面付近降雨強度である。

$\sigma^0NR$  は、 $\sigma^0e$  の推定値の一つである。以下で、 $\sigma^0R$ 、 $\sigma^0ref$ 、 $\sigma^0fin$  について、 $\sigma^0NR$  を基準としたバイアスで表現する場合、 $\Delta$ をつける。なお、複数の緯度経度、月、入射角にわたっての統計値を示す場合には、 $\sigma^0NR$  は、無降雨時データの出現頻度ではなく、比較対象の降雨時データの出現頻度で重みをつけた平均として算出した。

3. 解析結果

主な解析結果について、図2から図4に示す。図2は、海上全体と陸上全体について、降雨強度を横軸(対数軸)に、 $\Delta\sigma^0R$ 、 $\Delta\sigma^0ref$ 、 $\Delta\sigma^0fin$  を縦軸に示している。海上では、 $\Delta\sigma^0ref$ 、 $\Delta\sigma^0fin$  はほぼ  $0[\text{dB}]$  であり、 $1\text{mm/h}$  以下の弱い雨については、 $\Delta\sigma^0R$  もほぼ  $0[\text{dB}]$  となる。一方、陸上では  $\Delta\sigma^0ref$ 、 $\Delta\sigma^0fin$  が  $1\sim 2[\text{dB}]$  となり、 $\Delta\sigma^0R$  も弱い雨については正となる。

図3に、陸上について、降雨強度  $1\text{mm/h}$  以下の場合の、 $\Delta\sigma^0R$  の地域分布を示す。 $\Delta\sigma^0R$  が正の値をとるのはサヘル・インド・オーストラリアなどの植生の比較的少ない地域であり、森林域では  $\Delta\sigma^0R$  は、ほとんど  $0[\text{dB}]$  となっている。

図4に、降雨強度  $1\text{mm/h}$  以下の場合の入射角別の  $\Delta\sigma^0R$ 、 $\Delta\sigma^0ref$ 、 $\Delta\sigma^0fin$  を、海上全体と陸上全体について

示す。海上では、入射角が小さい場合に負、大きい場合に正の値をとる。陸上では、全体に正だが、入射角が0°に近い場合にやや大きめである。

#### 4. 考察

降雨強度が弱い(1mm/h 以下)場合には、降雨減衰はほとんどなく、 $\Delta\sigma^{\circ}R$  は地表面状態の変化を反映している。少なくとも、 $\Delta\sigma^{\circ}R$  が統計的に正のバイアスをもつことは、降雨減衰では説明できない。陸上では、植生が少ない地域ほど $\Delta\sigma^{\circ}R$ が大きくなる傾向にあることから、降雨による土壌水分量の増加の影響を反映していると説明しても、定性的な矛盾はない。海上については、降雨時には風速が強くと $\sigma^{\circ}e$ の入射角依存性が弱くなることを反映しているとして、図4に見られる $\Delta\sigma^{\circ}R$ の入射角依存性を説明可能である。

$\sigma^{\circ}ref$ および $\sigma^{\circ}fin$ はいずれも $\sigma^{\circ}e$ の推定値となるが、 $\sigma^{\circ}ref$ が表面参照法の統計的なデータベースにのみ基づくものに対して、 $\sigma^{\circ}fin$ はHB法により上空の観測レーダ反射因子の情報も利用しているため信頼性が高い。図2~4で見られる限り、 $\sigma^{\circ}fin$ は、降雨による地表面状態の変化の影響を反映している。

表面参照法では、降雨による地表面状態の変化はないと仮定しているとされるが、多くの場合に、 $\sigma^{\circ}ref$ は、 $\sigma^{\circ}NR$ と異なり、 $\sigma^{\circ}fin$ と同様に地表面状態の変化を反映しているようである。表面参照法には、大きく分けて空間参照法と時間参照法がある。空間参照法とは直前の無降雨域での $\sigma^{\circ}$ から $\sigma^{\circ}ref$ を与えるもので、時間参照法は前月に観測された緯度経度1°グリッド内の無降雨時の $\sigma^{\circ}$ から $\sigma^{\circ}ref$ を与えるものである。このうち、空間参照法を用いる場合だけ取り出すと、前述のように地表面状態の変化をある程度追えている(図5)。これは、無降雨域であっても、降雨域に隣接していれば、地表面状態は降雨域のそれに近いとと考えられる。時間参照法が用いられる場合には $\Delta\sigma^{\circ}ref$ はほとんど0[dB]に近くなる。空間参照法の場合も、土壌水分量による変化が大きいサヘルの場合には $\Delta\sigma^{\circ}ref$ は $\Delta\sigma^{\circ}fin$ に比べて明らかに小さい(図略)。また、 $\Delta\sigma^{\circ}fin$ は地表面降雨強度が強いほど高くなるが、 $\Delta\sigma^{\circ}ref$ は地表面降雨強度によらずほぼ一定である。このように、表面参照法では、降雨による地表面状態の変化を部分的にしか反映できていないといえる。

#### 5. まとめ

陸面では、降雨時には土壌水分量の増加により、無

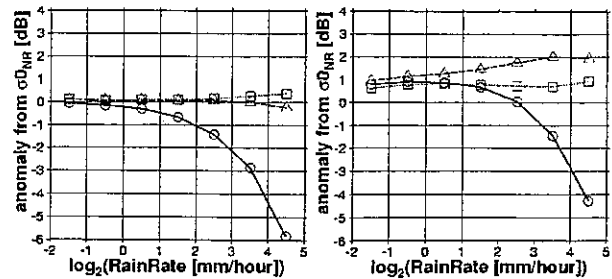


図2 地表面付近降雨強度別の $\Delta\sigma^{\circ}R$ (黒○),  $\Delta\sigma^{\circ}ref$ (青□),  $\Delta\sigma^{\circ}fin$ (赤△)[dB]. (左)海上. (右)陸上.

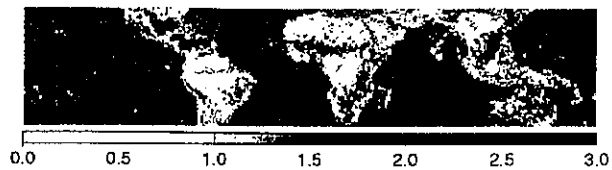


図3 1mm/h以下の降雨時の $\Delta\sigma^{\circ}R$ [dB]の陸上における分布。 $\Delta\sigma^{\circ}R$ が負となる領域は白で表示される。

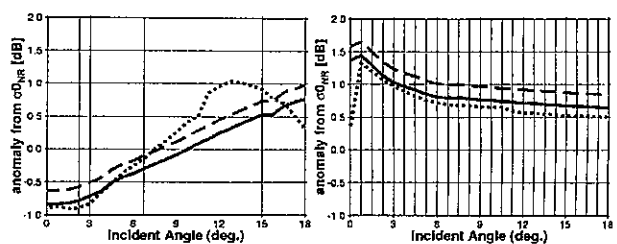


図4 1mm/h以下の降雨時の入射角別の $\Delta\sigma^{\circ}R$ (黒実線),  $\Delta\sigma^{\circ}ref$ (青点線),  $\Delta\sigma^{\circ}fin$ (赤破線)[dB]. (左)海上. (右)陸上.

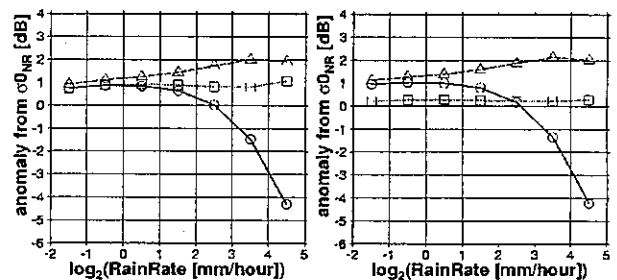


図5 図2の右と同じ。ただし、(左)空間参照法を用いる場合。(右)時間参照法を用いる場合。

降雨時よりも地表面後方散乱断面積が高くなると考えられる。これを裏付ける結果が、TRMM/PRデータの統計的解析により得られた。TRMM/PRによる降雨強度推定に用いられる表面参照法では、降雨による地表面状態の変化を部分的に反映しているが、不十分な場合も残っている。このことが、標準プロダクトによる降雨強度推定にどの程度影響を与えているか定量的な検討を今後行いたい。

#### 参考文献

- Iguchi et al., 2000: *J. Appl. Meteor.*, 39, 2038-2052.
- Meneghini et al., 2004: *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 21, 1645-1658.

キーワード 降雨レーダ, 減衰補正, 表面参照法, 土壌水分量