

第 II 部門

降雨の地形依存特性を考慮した TRMM 衛星レーダによる
時・空間平均降雨量の推定と精度評価

京都大学大学院
京都大学大学院

学生員
学生員

○ 沖村俊郎
鈴木善晴

京都大学防災研究所
京都大学防災研究所

正員
正員

中北英一
池淵周一

1 はじめに 世界で初めて降雨レーダを搭載した TRMM が打ち上げられ、上空からの観測が可能になった。これとは別に、地表面の標高が高くなるにつれてその地点の積算降雨量も増加する特性に関する研究も進んでいる。そこで、この TRMM による観測情報とこの降雨の地形依存特性を用いて、TRMM による山岳域での時・空間平均降雨量の推定方法を提案する。また、この推定方法を評価するために、降雨の地形依存特性を考慮しない推定方法も導き、さらに、各推定方法から得られる推定値の各誤差期待値、各期待誤差分散を比較することで、地形依存性の導入の有用性についても検討する。

2 TRMM と降雨の地形依存特性

2.1 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) TRMM は準回帰傾斜軌道をとって地球を周回しており、1 日に地球を約 16 周する。TRMM 搭載降水レーダーは高度約 15km までを幅約 215km で観測でき、水平方向に約 4km、高度方向に 250m の観測分解能を有する。これにより、降雨の 3 次元構造を明らかにすることができる。ただし、ある 1 地点に関しては時間上離散的な観測情報しか得られない。

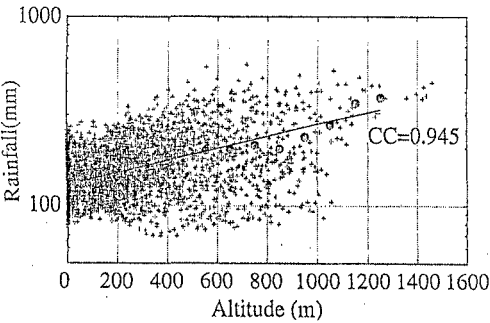


図 1：降雨の標高依存特性の一例

2.2 降雨の地形依存特性 20 日間以上の十分長い時間スケールを考え、無降雨期間を除いた期間 T_0 日が 4 日の積算降雨量を深山レーダ観測領域内の全地点につきプロットしたのが図 1 である。さらに、地形標高を等間隔で層別化し、各標高区分内での降雨量

の平均値を求めると、各標高区分の平均値の対数値は、ほとんど標高の 1 次式で表現できる¹⁾。本研究では、この特性が、TRMM による瞬時の観測分布に関しても成り立つものとする。

3 時間・空間平均降雨量の推定式の誘導 TRMM は時間間欠的な観測に加え、対象領域の一部しか観測しない。そこで、一部の観測情報から全領域の時間・空間平均降雨強度を推定するにあたり、降雨の地形依存性を考慮しない場合は、全領域にわたり降雨分布が一樣であるとし、地形依存性を考慮する場合は、標高区分ごとに平均値が異なるとして全領域の平均値を求める。はじめに、地形依存性を考慮しない場合の時間 T 、領域 B での平均降雨強度の推定式は表 1 の式 (3.1) のようになる。ここで、標高区分数を n 、全観測回数を M 、 i 回目 (時刻 t_i) の観測での k 標高区分観測領域を $O_{i,k}$ 、全観測面積を $V(O_i)$ 、 k 区分に属する地点 x_k の降雨強度を $P(x_k, t_i)$ とする。

表 1：時間・空間平均降雨量 $\hat{\mu}_T(B)$ の推定式

$\hat{\mu}_T(B) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \hat{\mu}_{t_i}(B) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{V(O_i)} \sum_{k=1}^n \int_{O_{i,k}} P(x_k, t_i) dx_k$	(3.1)
$\hat{\mu}_{t_i}(B_k) = b_i \cdot 10^{E[ar] \cdot l_k}$	(3.2)
$b_i = \frac{\sum_{k \in I_i} C_k \hat{\mu}_{t_i}(O_{i,k})}{\sum_{k \in I_i} C_k^2}$	(3.3)
$\hat{\mu}_T(B) = \frac{1}{M} \frac{1}{V} \sum_{i=1}^M \left(\frac{1}{\sum_{k \in I_i} C_k^2} \right) \sum_{k=1}^n V(B_k) C_k \sum_{h \in I_i} \frac{C_h}{V(O_{i,h})} \int_{O_{i,h}} P(x_h, t_i) dx_h$	(3.4)

次に、地形依存性を考慮する場合、TRMM 観測による瞬時の降雨分布にも地形依存性があるものとし、観測ごとに 1 次式による標高依存性 (3.2) が成立するとする。ただし、観測時刻によらず傾きを長期間情報から得られる T 期間での傾きの期待値 $E[ar]$ に固定し切片 b_i のみを最小二乗法、すなわち式 (3.3) によって推定する。ここで、 B_k は標高区分 k に属する領域、 I_i は観測された標高区分番号の集合、 $C_k = 10^{E[ar] \cdot l_k}$ 、 l_k は k 区分を代表する標高、 $\mu_{t_i}(O_{i,k})$ は時刻 t_i 、観測領域 $O_{i,k}$ の面平均降雨強度である。次に、 $\hat{\mu}_{t_i}(B) = \sum_{k=1}^n \hat{\mu}_{t_i}(B_k)$ を式 (3.1) に代入すると時間 T 、領域 B での平均降雨

Toshio OKIMURA, Eiichi NAKAKITA, Yoshiharu SUZUKI, Shuichi IKEBUCHI

強度の推定式(3.4)を得る.

さらに、推定値の真値との誤差期待値、および期待誤差分散の値を算定する式をそれぞれ誘導して上述の2式の評価指標として用いる.

4 算定結果と考察 本研究の解析対象領域は深山レーダの観測域である半径120kmの円内領域とし、月積算降雨量を対象とした. すなわち T はひと月である. ただし、TRMMの軌道は1998年9月のものを用いた. また、TRMMによる降雨強度情報は2割ほど過少推定されているのでこれを用いず、深山レーダによるデータで代用した.

誤差期待値、期待誤差分散の算定式中の確率パラメータである、期待帰帰直線の傾きと切片の期待値、各地点の月積算降雨量ならびに降雨強度の期待値と分散、瞬時ならびに月積算降雨量の空間相関係数、時間相関係数は、深山レーダの1988, 1989, 1990年6, 7, 8, 9, 10月, 1998年7, 8, 9, 10月の19ヶ月分の観測情報を用いて求めた. これらを用いて算定される誤差期待値、期待誤差分散を月積算の誤差期待値、期待誤差標準偏差に換算すると、表2のようになる.

表2：誤差期待値、期待誤差標準偏差の算定結果

	誤差期待値	期待誤差標準偏差
地形依存性を考慮して推定する場合	0 mm/月	66.3972 mm/月
地形依存性を考慮しないで推定する場合	14.3057 mm/月	50.7562 mm/月

地形依存性を考慮した場合、誤差期待値はゼロとなり、このことから適切な推定方法を提案できたとと言える. しかし、期待誤差標準偏差は地形依存性を考慮しない場合と同じ程度か若干大きい値となった.

1998年9月にTRMMが56回観測した情報を用いて得られる、(1) 地形依存性を考慮した推定値、(2) 地形依存性を考慮しない推定値、(3) 深山レーダにより5分ごとに観測される全データから得られる平均値をまとめたのが表3である.

表3：1998年9月の領域平均月積算降雨量

(1)	依存性を考慮する推定値	86.918mm/月
(2)	依存性を考慮しない推定値	152.13mm/月
(3)	実際の降雨量	320.7mm/月

表3を見ると、実際の降雨量に近い値を推定できたのは、地形依存性を考慮しない(2)であることが

わかる. ここで、TRMM通過時の観測分布を調べると、図2(a)のように降雨分布が $E[a_T]$ の傾きをもつ1次式の地形依存性に従う時もあるが、図2(b)のようにそうでない時もある. これが過少推定値を得た原因と考えられる. すなわち、過少評価をしてしまうのは、TRMM観測のどの時刻においても傾きを固定する方法をとったためと考えられる.

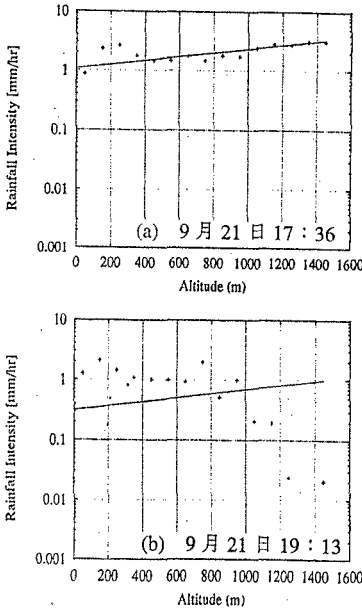


図2：TRMM通過観測時の降雨強度と地形標高

このことは、観測時期が異なれば過大な推定値を得る危険性のあることの理由にもなる. そして、これらのことが先の期待誤差標準偏差を相対的に大きくしている原因である. すなわち、地形依存性を考慮した場合の期待誤差標準偏差が若干大きくなったのは、切片を推定するときに傾きを固定する方法をとったためと考えられる.

5 おわりに 地形依存性を考慮した推定手法は、誤差期待値がゼロになり、期待誤差標準偏差は考慮しない場合より若干大きいのだが同程度になっていることから、その有用性を示せたと言える. しかし、さらに小さな期待誤差標準偏差をもつ推定手法にするために、1次式の傾きも変化させる手法へと改良することが今後の課題と言える.

【参考文献】

1) 中北英一、鈴木善晴、池淵周一:降雨分布の地形依存特性における時間スケール階層構造, 水工学論文集, 第44巻, pp.91-96, 2000.