

II-323

チベット高原におけるTRMM TMIを用いた降水量推定手法に関する基礎的検討

長岡技術科学大学 環境・建設系 正員 藤井秀幸
長岡技術科学大学 環境・建設系 正員 小池俊雄

1. はじめに

チベット高原における降水過程はアジアモンスーンと密接に関連しており、高原上の降水量分布を把握することは水・熱循環過程を理解する上で重要となる。熱帯降雨観測衛星 TRMM は、降水レーダ PR、可視赤外観測装置 VIRS、マイクロ波放射計 TMI などの降水センサーを搭載し、広域降水量観測として有効な手段となりえる。本研究では一連の降水センサーのうち、観測幅 760km を有し、チベット高原全体を 1 日で観測可能なマイクロ波放射計 TMI に注目、その有用性を検討した。

通常、陸域では地表面の射出が 9 割近くを占め、土壌の種類や水分・植生の有無などによって大きく変化する。TMI は 10GHz から 85GHz の水平偏波と垂直偏波の組合せで 9 つのセンサーを有し、各センサーの特性を組み合わせることにより、様々な水文情報の観測が可能である。しかし、降水を対象とする場合には、降水層からの射出が地表面に比べ非常に小さく、変化の激しい地表面と識別することは困難である。ここでは、地表面からの射出が降水層で散乱される過程に着目し、消散係数の積分量で定義される光学的厚さ τ_r を指標として、地上で観測された降水量との比較をおこなった。なお、解析には 85GHz と 10GHz の 2 つのバンドを使用した。

2. 放射伝達モデル

陸域における放射伝達の因子として、主に地表面・植生層、そして降水層の 3 つが挙げられる。このうち、植生層と降水層はそれ自身からの射出に加え、下層からの放射を散乱し減衰させる効果をもつ。衛星に搭載されたマイクロ波放射計で観測される輝度温度 T_b は、

$$T_b = T_{bs} e^{-\tau_c} e^{-\tau_r} + (1 - \omega_c)(1 - e^{-\tau_c}) T_c e^{-\tau_r} + \sum_i (1 - \omega_{ri})(1 - e^{-\tau_{ri}}) T_{ri} \quad (1)$$

で表わせられる。右辺の第 1 項は地表面放射、第 2 項・第 3 項は植生層および降水層からの射出を表し、第 1

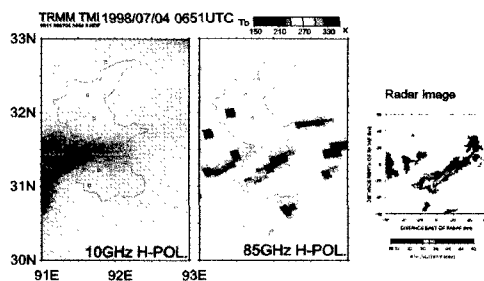


図-1 降水時の TMI 画像

1998 年 7 月 4 日、チベット那曲領域の TMI 画像。左から 10GHz 水平偏波、85GHz 水平偏波、および同時刻に取得されたレーダ画像。

項・第 2 項における $e^{-\tau_c}, e^{-\tau_r}$ は、下層からのシグナルが植生層・降水層によって消散され減衰する効果を表す。ここで、解析にあたり計算を容易にするため、幾つかの仮定をおく。1) 地表面放射に比べ降水層からの射出が小さいことから、これを無視する。2) 対象とするチベット高原の植生は短い草地のため、マイクロ波への影響が少ない。よって、植生の効果はないものとする。3) 図 1 に見られるように、降水域は 85GHz で認識可能であるが 10GHz では見られない。これは、降水層の散乱効果が周波数が高く波長が長いほど大きくなり、10GHz では散乱の影響をほとんど受けないことに起因する。このことから、使用する 2 つのバンドのうち 10GHz では降水層での散乱を考えない。

以上より、式 (1) は簡潔になる。

$$T_{b85} = T_{bs85} e^{\tau_{r85}} \quad (2)$$

$$T_{b10} = T_{bs10} \quad (3)$$

T_{b85}, T_{b10} は、それぞれ 85GHz と 10GHz における輝度温度である。また、地表面放射 T_{bs} は、物理温度 T_s と射出 $(1 - \Gamma')$ の積で表すことができ、

$$T_{b85} = (1 - \Gamma'_{85}) T_s e^{\tau_{r85}} \quad (4)$$

$$T_{b10} = (1 - \Gamma'_{10}) T_s \quad (5)$$

となる。ここで Γ' は反射率。滑面の場合は Fresnel の電力反射係数となり、観測角度と土壤水分量で決まる

Key Words: TRMM, マイクロ波, チベット高原, 降水, 光学的厚さ

〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL/FAX 0258-47-9673

が、実際の地表面では凹凸のために偏波混合が発生する。Wang¹⁾によると偏波混合率 Q における土壤の反射率は、次のようになる。

$$\Gamma'(\theta, p) = [(1 - Q)\Gamma(\theta, p) + Q\Gamma(\theta, q)]e^{-h' \cos^2 \theta} \quad (6)$$

Γ は Fresnel の電力反射係数、 θ は観測角度、 p, q は偏波を表わし、 h' は粗度パラメータである。 $e^{-h' \cos^2 \theta}$ の項は、偏波混合によって生じる減衰を表わしている。本解析では、 h' を 0, 10GHz, 85GHz でそれぞれ Q を 0.35, 0.4 とし、 θ は TMI の観測角度 49° とした。

3. 降水層の光学的厚さの算定

式 (4)(5) から地表面の物理温度を消去するため、Soil Wetness Index (ISW)²⁾ および Polarization Index (PI)³⁾ を導入する。

$$ISW = \frac{T_{b85h} - T_{b10h}}{\frac{1}{2}(T_{b85h} + T_{b10h})} \quad (7)$$

$$PI = \frac{T_{b10v} - T_{b10h}}{\frac{1}{2}(T_{b10v} + T_{b10h})} \quad (8)$$

ISW は周波数によって誘電率が変化する性質を利用した指標であり、PI は偏波による差を利用した指標である。式 (4)(5) へ適用すると

$$ISW = \frac{2(\Gamma'_{10h} - \Gamma'_{10v})}{2 - (\Gamma'_{10h} + \Gamma'_{10v})} \quad (9)$$

$$PI = \frac{(1 - \Gamma'_{85h} e^{-\tau_{85}}) - (1 - \Gamma'_{10h})}{\frac{1}{2}(1 - \Gamma'_{85h} e^{-\tau_{85}}) + (1 - \Gamma'_{10h})} \quad (10)$$

を得る。ISW, PI もともに物理温度 T_s の寄与が消え、ISW は反射率 Γ' つまり土壌水分の関数、PI は土壌水分と降水層の光学的厚さの関数になる。本研究では、光学的厚さ τ_{85} と土壌水分との複数の組合せにより ISW と PI のデータセットを作成し、衛星で観測された輝度温度から ISW と PI を求め、光学的厚さ τ_{85} を算定した。

4. 解析結果

図 2 は、Tibet 高原の東部に位置する Dasa 流域において光学的厚さ τ_r を 1998 年 7 月～8 月の期間について算定した結果を日降水量と比較したものである。この期間においては、宇宙開発事業団の TRMM 検証実験ならびに GAME-Tibet (アジアモンスーンエネルギー・水循環観測研究計画チベット高原観測) 集中観測の一環として、三次元ドップラレーダ観測や各種の気象観測が実施されており、日降水量は流域内に設置した 11 地点の降水データより算出した。一方、 τ_r は TMI のパスが流域全体の 9 割以上占めるシーンをを用い

て求めた流域日平均値である。 τ_r と降水量を直接比較することはできないが概ね良く一致しており、降水層における消散の効果が有効であることを示している。しかしながら、7 月 4 日から 7 日のように過小評価になっている期間や、7 月中旬のように過大評価になっている期間が存在する。レーダ観測や現地記録によると、前者の期間では降水域が長時間わたって広範囲に広がっており、Tibet 高原特有の積雲を主とする通常の日周変化とやや異なっていたことが確認されている。また、チベット高原では境界層内で雨滴が地上まで到達しない現象が多く見られ、後者の場合、上層に存在する降水に対応していることが考えられる。

5. おわりに

降水層の光学的厚さ τ_r は降水量と比較的良好な相関がみられ、マイクロ波放射計による降水観測の可能性が示された。しかしながら、降水雲の種類によって τ_r と降水量の関係が左右されることから、降水タイプ毎に詳しく調べる必要がある。今後、レーダ観測から得られた 3 次元データとの比較を行ない、降水雲の構造と τ_r との関係を明らかにしていく予定である。

謝辞: 本研究は、長岡技術科学大学・宇宙開発事業団共同研究および GAME プロジェクトによる研究成果の一部である。

参考文献

- 1) Wang, J.R., and B.J. Choudhury: Remote Sensing of Soil Moisture Content Over Bare field at 1.4 GHz Frequency, J. Geophys. Res., 86, pp5277-5282, 1981
- 2) Koike, T. et al.: Spatial and Seasonal Distribution of Surface Wetness Derived from Satellite Data, Proceeding of the International Workshop on Macro-Scale Hydrological Modeling, 1996
- 3) Shimonetta Paloscia, Paolo Pampaloni: Microwave Polarization Index for Monitoring Vegetation Growth, Geoscience and Remote Sensing, Vol.26, No.5, pp617-621, September 1988

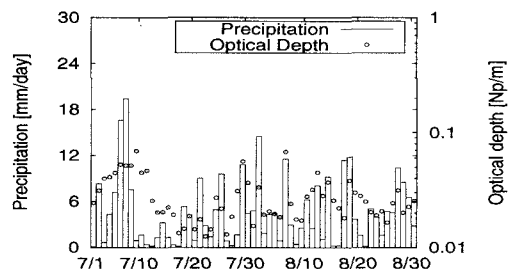


図-2 流域スケールでの日降水量と光学的厚さ τ_r の変化