

# TRMM PR データからの潜熱加熱プロファイルのスペクトル推定: 雲解像モデルによるアルゴリズム開発

\* 重 尚一 (NASDA/EORC) · 高 藪 縁 (東大 CCSR) · Wei-Kuo Tao · Daniel Johnson (NASA/GSFC)

## 1. はじめに

Takayabu (2002, *GRL*) は、熱帯降雨観測衛星 TRMM 搭載の PR によって観測された降水プロファイル、降水頂高度 (PTH) ごとのスペクトル表示によって熱帯降雨システムの特徴を明らかにした。これに基づき、TRMM PR2A25 の降水強度の鉛直情報を最大限生かしたスペクトル潜熱加熱 (SLH) アルゴリズムを雲解像モデル (CRM) によって導入する。水物質の相変化に伴う潜熱加熱  $LH$  及び、“見かけの熱源”  $Q_1$  (Yanai et al. 1973, *JAS*) から放射過程に伴う冷却・加熱率  $Q_R$  を除いた  $Q_1 - Q_R$  (以下、 $Q_{1R}$ ) の推定を目的とする。

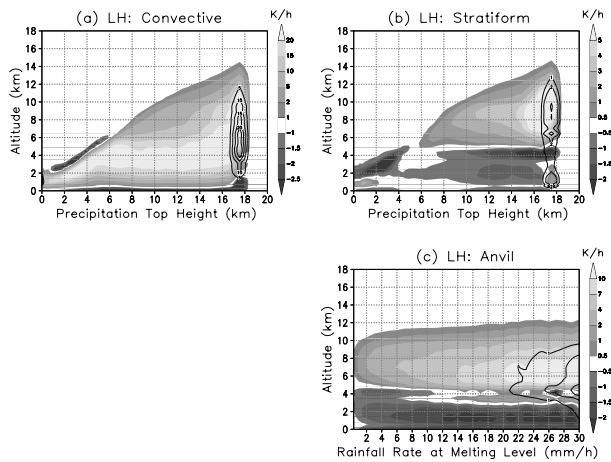


図 1 Ensemble-mean, model-generated latent heating profiles, plotted as functions of precipitation top height (PTH) from convective (a) and stratiform (b) regions, and rain fall rates at melting level from anvil region (c). Contours indicate values of confidence interval for the mean with the Student-t test.

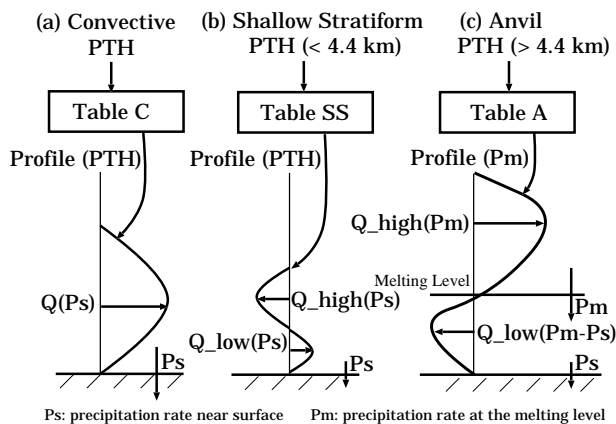


図 2 Diagram showing the procedure for deriving latent heating profiles using the spectral latent heating (SLH) algorithm.

## 2. 手法

Goddard Cumulus Ensemble (GCE) モデル (Tao and Simpson 1993, *TAO*) の 2 次元版を用い、潜熱加熱プロファイルの Look-up テーブルの作成、及びアルゴリズムの検証を行った。TOGA-COARE の観測データ (Lin and Johnson 1996, *JAS*) を外部強制力として用いて計算を行った。

計算を行った 1992 年 12 月 9–27 日及び 1993 年 2 月 9–27 日の 2 つの期間の CRM 出力結果を用いて、同じ PTH の高さごとに対流及び層状性域の潜熱プロファイルを蓄積して平均し、PTH の高さ順に並べてプロットした (Fig. 1a,b)。以下、主に  $LH$  の結果を示す。対流域・層状域の分類は GCE の方法 (Tao et al. 1993, *JAS*) を用い、PTH の決定には PR の感度を考慮して  $0.3 \text{ mm h}^{-1}$  を閾値として用いた。

対流域の潜熱プロファイルは、PTH が高いほど深い加熱プロファイルになっている。ただし、PTH < 6 km の浅い対流は、観測されるように上層で冷却がみられる (Johnson and Lin 1997, *JAS*)。層状性の潜熱プロファイルは、約 4.4km の融解層に達しない浅い層状性潜熱プロファイル (PTH < 4.4 km) と、融解層をもつアンビル性の潜熱プロファイル (PTH > 4.4 km) の 2 つのグループから成る。浅い層状性の潜熱プロファイルは、層積雲で観測されるように上層冷却と下層加熱で特徴付けられる (Ciesielski et al. 1999, *JAS*)。

一方、アンビル性潜熱プロファイルは、上層加熱と下層冷却で特徴付けられ、過去の観測的研究の結果 (Johnson and Yang 1983, *JAS*) と一致する。アンビル領域の上層では氷相の凝結物に占められるが、PR は氷相凝結物に対する感度が低いので、アンビル領域の PTH を正確に観測することができない。 $Q = (LH, Q_{1R})$  を融解層  $z_m$  から圏界面  $z_t$  まで鉛直積分すると、

$$\int_{z_m}^{z_t} \rho Q \Delta z \approx \frac{L_v}{C_p} P_m \quad (1)$$

となり、融解層での降水強度  $P_m$  は上層の潜熱加熱総量をあらわすと考えられるので、PTH の代わりに  $P_m$  の強さごとにアンビル域の潜熱プロファイルを平均し、 $P_m$  の強さ順にプロファイルを並べたアンビル域の Look-up テーブルを作成した (Fig. 1c)。 $P_m$  が強くなるにしたがって上層加熱が単調増加し、Eq. (1) と整合的である。

Figure 2 は、SLH アルゴリズムの潜熱加熱の導出過程を示す。対流及び浅い層状域では、PTH に対応する加熱プロファイルを Look-up テーブルから選択し、振幅は地上の降水強度  $P_s$  で決める。アンビル域では、 $P_m$  に対応する加熱プロファイル Look-up テーブルから

選択し、上層加熱の振幅は  $P_m$  で決める。一方、融解層より下層における蒸発冷却は、融解層から地上にかけての降雨強度の減少に比例していると考えられるので、蒸発冷却の振幅  $Q_{low}$  は、融解層と地上の降雨強度の差  $P_m - P_s$  で決める。アンビル雨の融解層より下層での降雨強度の減少は、これまでの地上レーダーの観測と同様に PR でも観測されている (see Fig. 1 of Takayabu 2002)。

### 3. パフォーマンス

SLH アルゴリズムのパフォーマンスをテストするために、モデル出力データの内、入力データとして必要な対流性・層状性の分類や PTH 等を用いて 1992 年 12 月 19–27 日の加熱プロファイルを再構築し、シミュレートされた加熱プロファイルと比較することでアルゴリズムのパフォーマンスを検証した。

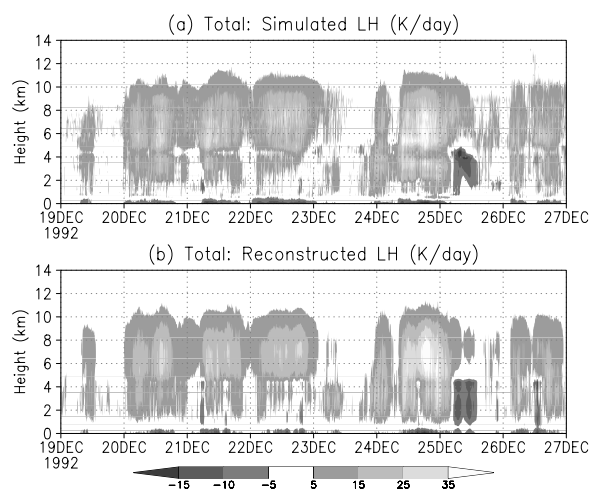


図 3 Time series of latent heating profiles for the period during December 19–27 1992. (a) Simulated from the GCE model. (b) Reconstructed using the SLH algorithm with the  $LH$  look-up tables shown in Fig. 1

図 3a,b は、それぞれ  $LH$  プロファイルのシミュレーション結果と再構築結果を示す。再構築された加熱プロファイルの時間変動パターンが、シミュレーション結果とよく一致している。再構築された結果は、なめらかな時間変動の特徴をしめしているが、これは PTH ごとに平均化した加熱プロファイル Look-up テーブル (Fig. 1) から選択しているためである。降雨の高さ情報 (i.e. PTH) を用いた結果、浅い対流のステージと深い対流のステージとの違いが、現実的に再構築されている。また、地上降雨の非常に少ない衰退期 (e.g., 12 月 25 日) の加熱プロファイルも再構築することができる。これはたとえ地上降水がない場合でも、アンビル域において融解層で降水があれば潜熱プロファイルを再構築できるためである。

Fig. 4 に 12 月 19–27 日の 8 日平均した潜熱プロファイルのシミュレーション結果を示す。Fig. 4a,b は  $LH$ 、

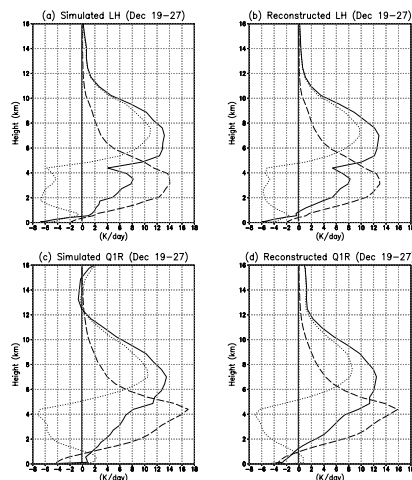


図 4 Eight-day average profiles of latent heating ( $LH$ ) rate and apparent heat source ( $Q_{1R}$ ) in total (solid), convective (dashed), and stratiform (dotted) regions for the December 19–27, 1992. (a) Simulated  $LH$  from the GCE model. (b) Reconstructed  $LH$  using the SLH algorithm with the  $LH$  look-up tables shown in Fig. 1. (c) Same as (a) except for  $Q_{1R}$ . (d) Same as (b) except for  $Q_{1R}$  using the SLH algorithm with the  $Q_{1R}$  look-up tables (not shown).

Fig. 4c,d は  $Q_{1R}$  を示し、Fig. 4a,c はシミュレーション結果、Fig. 4b,d は再構築結果である。再構築した 8 日平均プロファイルは  $LH$ 、 $Q_{1R}$  ともに、シミュレートしたものと、対流域、層状域、及び全体で、それぞれよく一致している。

### 4. まとめ

TRMM PR の降雨鉛直情報を最大限に生かした新しい潜熱加熱アルゴリズムである SLH アルゴリズムを GCE モデルを用いて開発した。TOGA COARE シミュレーションによって、アルゴリズムの導出と検証をおこなった。このアルゴリズムの長所は、PTH を用いることによって鉛直構造の異なる対流性加熱プロファイルを推定することができ、さらにアンビル域については融解層降水強度を用いているために、地上に降水がない場合でも、加熱プロファイルを推定することができるという点である。

今後、東大西洋における GATE (GARP Atlantic Tropical Experiment) や南シナ海における SCSMEX (South China Monsoon Experiment) で得られた外部強制力データを用いてシミュレーションを行い、今回得た TOGA COARE テーブルの海洋性テーブルとして汎用性を調べると共に、アメリカ南部大平原における ARM (Atmospheric Radiation Measurement Program) で得られた外部強制力データを用いてシミュレーションを行って陸域性テーブルを作成していく予定である。