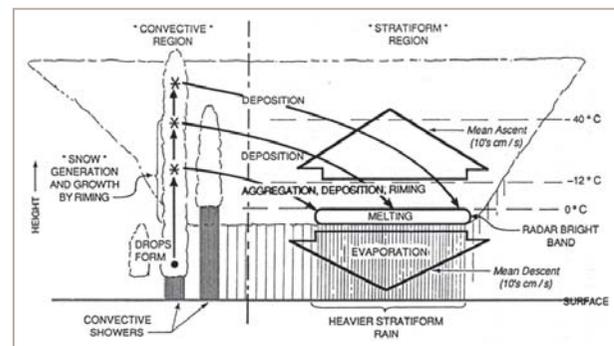


潜熱加熱

降水システムは、水が気相（水蒸気）・液相（水）・固相（氷）の間を相変化することによって、生成・消滅する。水の相変化には潜熱が伴い、大気が加熱・冷却される。中緯度の大気大循環では、傾圧不安定波動が重要な役割を果たしているのに対し、南北温度傾度ならびにコリオリ力が小さい低緯度の大気大循環では、降水システムに伴う潜熱加熱が重要な役割を果たしている。このため、熱帯・亜熱帯域における潜熱加熱の4次元構造（3次元空間+時間）の推定が、TRMMの主要な科学目的の一つであった(Simpson *et al.*, 1996)。

潜熱加熱を直接的に観測することは不可能であるため、これまで、高層観測網のデータからの熱収支解析によって、見かけの熱源 Q_1 (Yanai *et al.*, 1973) が限



図① メソ対流系における降水機構の模式図 (Houze, 1989)

られた観測領域・期間において求められてきた。

$$Q_1 \equiv \pi \left[\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} + \bar{\mathbf{v}} \cdot \nabla \bar{\theta} + \bar{w} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \right]$$

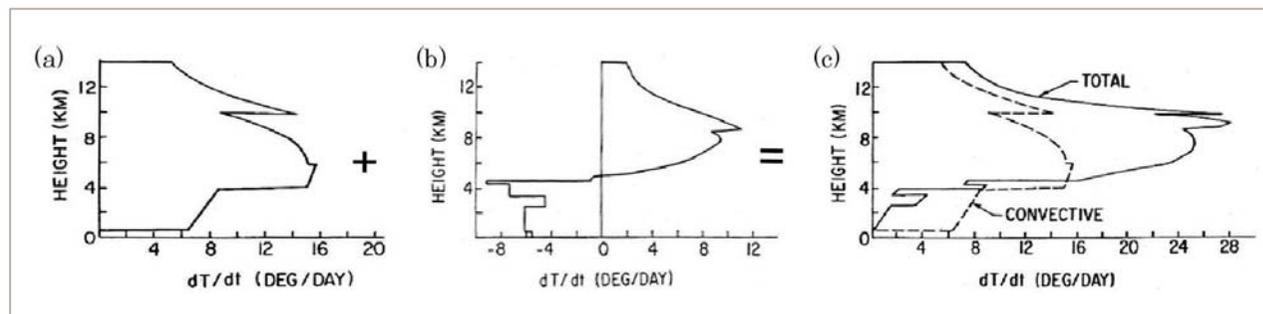
ここで、大気大循環モデルの空間解像度程度のスケールの空間平均を $\bar{\quad}$ と表し、 θ は温度、 \mathbf{v} は水平風ベクトル、 w は鉛直流、 π は無次元圧力である。空間平均からの偏差を $'$ と表すことにすると、 Q_1 は次のように表せる。

$$Q_1 = \pi \left[-\frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho} \bar{w} \bar{\theta}'}{\partial z} - \bar{\mathbf{v}}' \cdot \nabla \bar{\theta}' \right] + \overline{LH} + Q_R$$

ここで、右辺第1項と第2項は積雲スケールの上昇・下降流による正味の鉛直輸送量ならびに水平輸送量、第3項の LH は水の相変化に伴う潜熱加熱量、第4項の Q_R は放射による加熱量である。右辺で最も大きいのは水の相変化に伴う潜熱加熱量、次に放射による加熱量である。

降雨は、大気の激しい上昇下降運動に伴って強く降

る対流性降雨と、水平に広がった雲から長時間しとしと降る層状性降雨に大別される(図①)。両者で潜熱加熱の鉛直分布(プロファイル)の構造が大きく異なるため(図②)、潜熱加熱プロファイルの推定にとって、対流性・層状性降雨の分類は極めて重要である。PRは、層状性降雨の特徴である融解層に伴うブライトバンドの検出が地上レーダよりも容易であるため、対流性・層状性降雨の分類の精度が高く、潜熱加熱プロファイルの推定に適している。Tao *et al.* (1993) は、平均的な対流性・層状性潜熱加熱プロファイルを仮定し、降雨レーダから得られる対流性・層状性降雨比から潜熱加熱プロファイルを求める Convective-Stratiform Heating(CSH) アルゴリズムを開発した。しかしながら、この手法は仮定された対流性・層状性潜熱加熱プロファイルに大きく依存し、地域的・季節的に大きく変化する対流性潜熱加熱プロファイルの変化を考慮にすることができなかった。



図② メソ対流系潜熱加熱のプロファイル

(a) 対流性潜熱加熱プロファイル、(b) 層状性潜熱加熱プロファイル、(c) 全体の潜熱加熱プロファイル。ただし比較のために(a)の対流性潜熱加熱プロファイルが点線で示されている。(Houze, 1982より改変)

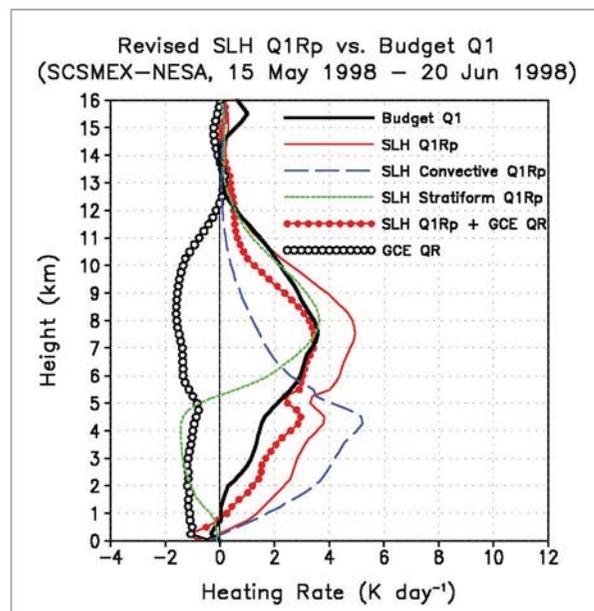
Shige, Takayabu *et al.* (2004) は、TRMMの降雨レーダ(PR)の鉛直情報を積極的に活用するSpectral Latent Heating (SLH) アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは、雲解像モデルによるTOGA-COARE(西太平洋)シミュレーション・データから作成した参照テーブルに基づいて降水に伴う潜熱加熱(LHならびに $Q_{1R}=Q_1-Q_R$)の鉛直プロファイルを推定する。対流性・層状性降雨量比のみから潜熱加熱プロファイルを求めるCSHアルゴリズムに比べて、

1. 降雨タイプや地上降雨強度だけでなく降雨の高さ情報を用いているために、浅い対流と深い対流の潜熱加熱プロファイルの違いが推定できる。
2. 層状性降雨に対しては融解層の降雨強度を用いているために、地上無降雨でも潜熱加熱プロファイルを推定できる。

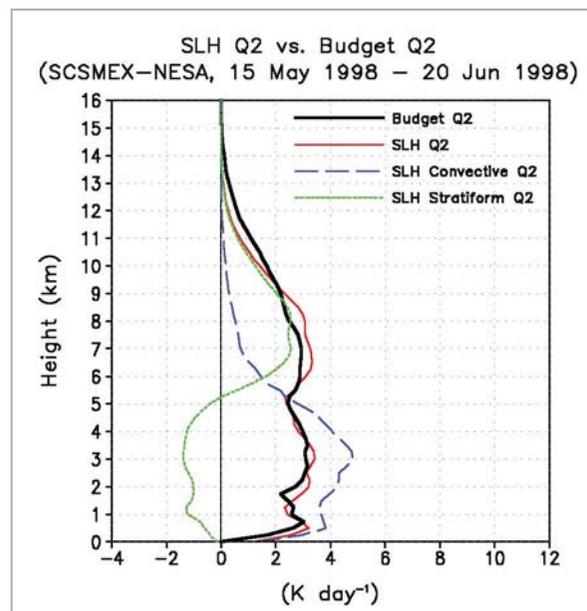
という特徴を持っている。SLHアルゴリズムの初期的適用結果として、台風及び熱帯メソ対流系に伴う潜

熱加熱プロファイル(Tao *et al.*, 2006) や、Madden-Julian振動に伴う潜熱加熱プロファイル(Morita *et al.*, 2006)がある。

SLHアルゴリズムをグローバルなPRデータに適用するために、対流性降雨における液相過程と氷相過程の相対的重要度、ならびに層状性降雨における融解層高度の地域的差異を考慮に入れてアルゴリズムを改良した結果、SCSMEX領域でゾンデデータから診断的に求められた Q_1 プロファイル(Johnson and Ciesielski, 2002)と良く一致した(図③)。また、これまでよく知られている西太平洋(対流圏上層で最大値)と東大西洋(対流圏中層で最大値)の潜熱加熱プロファイルの特徴の違い(Thompson *et al.*, 1979)も推定することができた。さらにSLHアルゴリズムは、降水に伴う潜熱加熱量ばかりでなく水蒸気消失量 Q_2 の高度分布も推定することができる(図④)。一方、放射に伴う加熱プロファイルがTRMMマイクロ波観測装置(TMI)ならびに可視赤外観測装置(VIRS)から求められており(L'Ecuyer and Stephens, 2003)、TRMMによって得られたこれらのデータは、今後、降水システムの気候システムにおける役割の理解に貢献して行くと思われる。



図③ PR2A25 V6の降雨プロファイルからSLHアルゴリズムによって推定されたSCSMEX NESA領域の Q_{1Rp} (降水に伴う Q_{1R})プロファイルと診断的に求められた Q_1 との比較結果(Shige *et al.*, 2007)



図④ PR2A25 V6の降雨プロファイルからSLHアルゴリズムによって推定されたSCSMEX NESA領域の Q_2 プロファイルと診断的に求められた Q_2 との比較結果(Shige *et al.*, 2008)