

CloudSat 衛星搭載雲レーダと赤道大気レーダによって観測された 地形性対流雲と上昇流

植松 明久¹・大野 裕一¹・山本 真之²・橋口 浩之²・阿保 真³・古津 年章⁴

¹独立行政法人情報通信研究機構・²京都大学生存圏研究所

³首都大学東京システムデザイン学部・⁴島根大学総合理工学部

1. はじめに

雲システムの発達・維持メカニズムを理解するためには、雲の水平構造に加え、雲の鉛直構造や雲粒の凝結を支える上昇流といった背景の風速場の観測が重要である。2006年6月に観測を開始したアメリカ航空宇宙局(NASA)の CloudSat 衛星搭載 94GHz 雲レーダ(Im et al., 2005, Stephens et al., 2002)は雲の鉛直構造を観測可能であり、赤道大気レーダ(EAR) のほぼ真上を一定の時刻(1400LT)に16日周期で通過している。EARで観測される風速3成分とCloudSat等の衛星データを組み合わせることにより、雲の発達や維持に寄与する鉛直流や、雲の動きや構造に寄与する水平風に関する情報を得ることができる。

本研究では CloudSat や、CloudSat の15秒後に同じ軌道を通っているライダー搭載衛星 CALIPSO で観測された雲の断面構造と EAR で観測された風速のデータを活用し、雲の空間構造と風速場を対応づけて対流雲内における対流コアの検出や対流雲からのアウトフローに伴って生じた層状雲の広がりといった、雲システムの発達過程の理解へ貢献すること、及び現在開発中のドップラー観測機能を備えた EarthCARE 衛星搭載雲レーダのアルゴリズム開発へ寄与することを目指している。本発表では観測データのうち、スマトラ島西部に日中に発生する地形性の対流雲と対流雲中に存在する顕著な上昇流を解析した結果を報告する。

2. データ解析の概要

CloudSatの通過時刻は一定であり、赤道大気観測所(東経100.32°、南緯0.2°)のほぼ真上を14時(地方時)に周期16日で通過する。CloudSatは高度705kmを飛行し、搭載されている雲レーダは94.05GHz、高度分解能は500mで、250mのオーバーサンプリングを行っている。水平分解能は1.4×2.5kmで、サンプリング間隔は1.1kmである(Im et al., 2005)。データ解析には Level 2B-GEOPROF のレーダ反射因子データを用いている。CALIPSOについては、Level 1の後方散乱係数データを用いており、鉛直分解能60m、水平分解能333mである。EARの東西風、南北風、鉛直流データは一般に公開されている10分平均のデータを用いた。また、MTSAT-1Rの赤外IR1チャンネルの輝度温度データを利用した。MTSATのデータは高知大学気象情報頁による。

3. 顕著な上昇流を持つ地形性対流雲

2007年4月19日及び2007年5月21日にスマトラ島西部において地形性とみられる対流雲列を観測したのでその解析結果を報告する。

3-1. 2007 年 4 月 19 日の事例

図 1 に、2007 年 4 月 19 日 1400LT に CloudSat で観測されたレーダ反射因子の緯度・高度断面、CALIPSO で観測された後方散乱係数の緯度・高度断面、CloudSat 軌道に沿った MTSAT-1R の IR1 輝度温度の変化を示す。CloudSat のレーダ反射因子を見ると山岳地帯において高度 11km まで対流雲エコーが到達し、EAR サイトのある南緯 0.2° 付近にある積雲エコーは高度 14km まで到達している。また、高度 11~14km にレーダ反射因子の小さな層状の巻雲・アンビルのレーダエコーが観測されている。一方 CALIPSO の後方散乱係数を見ると、対流雲エコーの上端部分に対応して強い散乱があり、高度 11~14km に存在する層状雲に対応した散乱エコーも観測されている。これらの雲エコーを MTSAT の赤外輝度温度と比較すると、対流雲が存在している領域において輝度温度が低くなっているほか、高度 11~14km に存在する層状雲領域においても輝度温度の低下がみられる。

図 2 に、CloudSat 通過時刻の 1 時間前である 13LT から 16LT までの 1 時間毎の MTSAT-1R の IR1 輝度温度分布を示す。13LT には EAR サイトがあるスマトラ島西部において山岳地形に沿って雲列が発生しはじめ、CloudSat が通過した 14LT には個々の積雲の輝度温度が低下し、その面積も拡大している。さらに時間の経過とともに個々の積雲の発達がみられ、対流雲が水平に広がって層状雲へと変化している。

図 3 に、EAR で観測された 10 分平均鉛直流・東西風・南北風の時間・高度断面を示す。鉛直流を見ると、CloudSat が通過した 1400LT において強い上昇流が生じ、最大で 2.8m/s になっている。上昇流は高度 11km まで達し、図 1 に示す対流雲の雲頂と対応している。上昇流は 20 分程度継続し、その前後は下降流になっている。このことから 1400LT 頃に生じた上昇流によって地形性対流雲が発生したと考えられる。対照に、高度 11~14km に存在している層状雲域については下降流になっている。水平風については上昇流が発生した 1400LT の前後で急変が生じ、東西風で顕著に変化している。高度 5km 以下においては東風から弱い西風に変化し、高度 5~7km においても東風が弱まっている。

3-2. 2007 年 5 月 21 日の事例

図 4 に、2007 年 5 月 21 日 1400LT に CloudSat で観測されたレーダ反射因子の緯度・高度断面、CALIPSO で観測された後方散乱係数の緯度・高度断面、CloudSat 軌道に沿った MTSAT-1R の IR1 輝度温度の変化を示す。対流雲に対応する CloudSat や CALIPSO のエコーが存在し、一部は高度 11km まで達している。前節の事例と異なり、層状雲はほとんどなく、CALIPSO では対流雲の上端部分で強い反射が生じており、その下では減衰によりエコーは捉えられていない。MTSAT の輝度温度を見ると、高度 11km まで達した対流雲エコーに対応して輝度温度の低下がみられる。

図 5 に、13LT から 16LT までの 1 時間毎の MTSAT-1R の IR1 輝度温度分布を示す。CloudSat が通過した 14LT ごろにスマトラ島西部の山岳地帯に対流雲列が現れ発達していく。4 月 19 日と同様に、対流雲が時間とともに水平に広がって層状雲へと変化している。

図 6 に、EAR で観測された鉛直流・東西風・南北風の時間・高度断面を示す。鉛直流については 13LT 過ぎと 14LT 頃に 2 度顕著な上昇流が発生しており、高度 11~14km まで達している。その大きさは最大で 2.9m/s であった。2 度の上昇流はそれぞれ 20 分程度継続しており、その前後に断続的に下降流と上昇流を繰り返している。したがって断続的な上昇流によって対流雲列が発生していると考えられる。一方東西風・南北風については対流の前後で顕著な変化はみられなかった。

4. まとめ

2007年4月19日及び5月21日にCloudSat・CALIPSOとEARで同時観測された対流雲の解析結果について報告を行った。特にCloudSatがEARサイトを通る14LT頃にはスマトラ島西部の山岳地帯に地形性対流雲が存在し、顕著な上昇流を伴っていることが分かった。CloudSatがEAR上空を通る1400LT前後の時刻を雲の日周期変動の観点から見ると、1400LTには地形性対流が発生しはじめる傾向があり(Mori et al. 2004)、CloudSatで観測される対流雲は日射加熱に伴って発生する地形性対流の初期段階を捉えていると考えられる。

今後はさらにEARで観測された鉛直流をより細かい時間分解能で調べる。また、CALIPSO衛星搭載ライダーとの比較やMJOに代表される季節内変動との関係を調べ、地形性対流が発生する初期段階における対流雲の振る舞いを明らかにする。また、EarthCARE衛星搭載雲レーダに対して地形性対流雲についての観測シミュレーションを実施する予定である。

参考文献

Im E., C. Wu and S. L. Durden, Cloud Profiling Radar for the CloudSat Mission, IEEE A&E Systems Magazine, vol. 20, no. 10, pp. 15-18, October 2005.

Mori, S., J.-I. Hamada, Y. I. Tauhid, M. D. Yamanaka, N. Okamoto, F. Murata, N. Sakurai, H. Hashiguchi, and T. Sribimawati, Diurnal land-sea rainfall peak migration over Sumatera Island, Indonesian maritime continent, observe by TRMM satellite and intensive rawinsonde soundings, Mon. Wea. Rev., vol. 132, pp. 2021-2039, 2004.

Stephens, G. L., et al., The CloudSat mission and the A-train, Bull. Am. Meteorol. Soc., 83, 1771-1790, 2002.

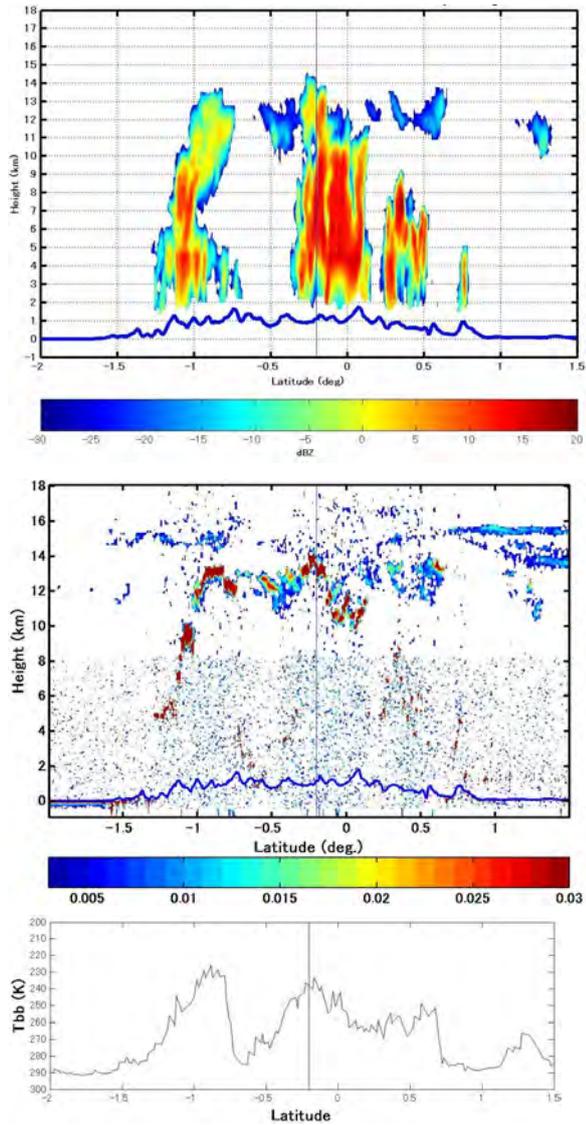


図 1: 2007 年 4 月 19 日 1400LT に CloudSat で観測された(上)レーダ反射因子の緯度・高度断面、(中)CALIPSO で観測された後方散乱係数の緯度・高度断面、(下)CloudSat 軌道に沿った MTSAT-1R の IR1 輝度温度の変化。

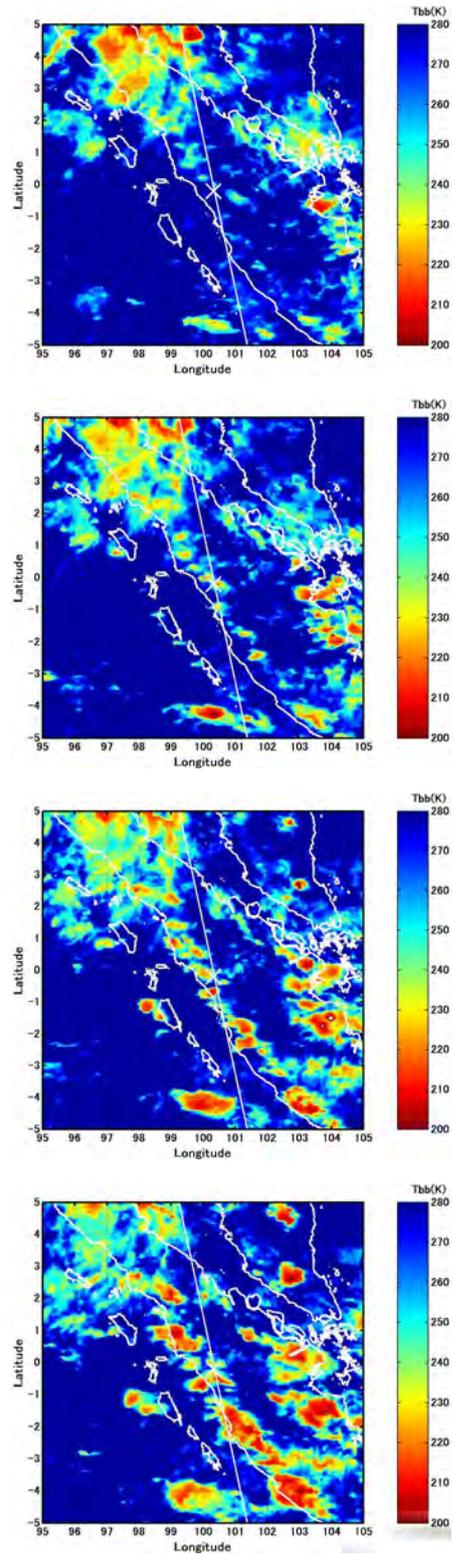


図 2: 2007 年 4 月 19 日における MTSAT-1R の IR1 輝度温度分布。上から順に、13LT, 14LT, 15LT, 16LT。×は EAR サイト、直線は CloudSat の軌道を示す。

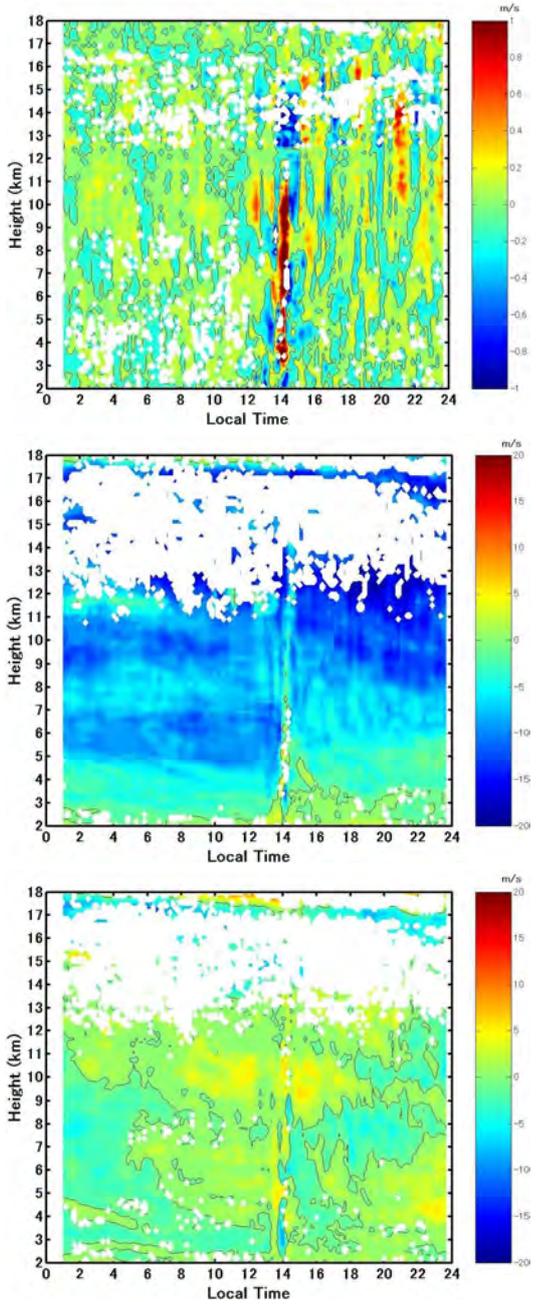


図 3: 2007 年 4 月 19 日に EAR で観測された (上)鉛直流・(中)東西風・(下)南北風の時間・高度断面。

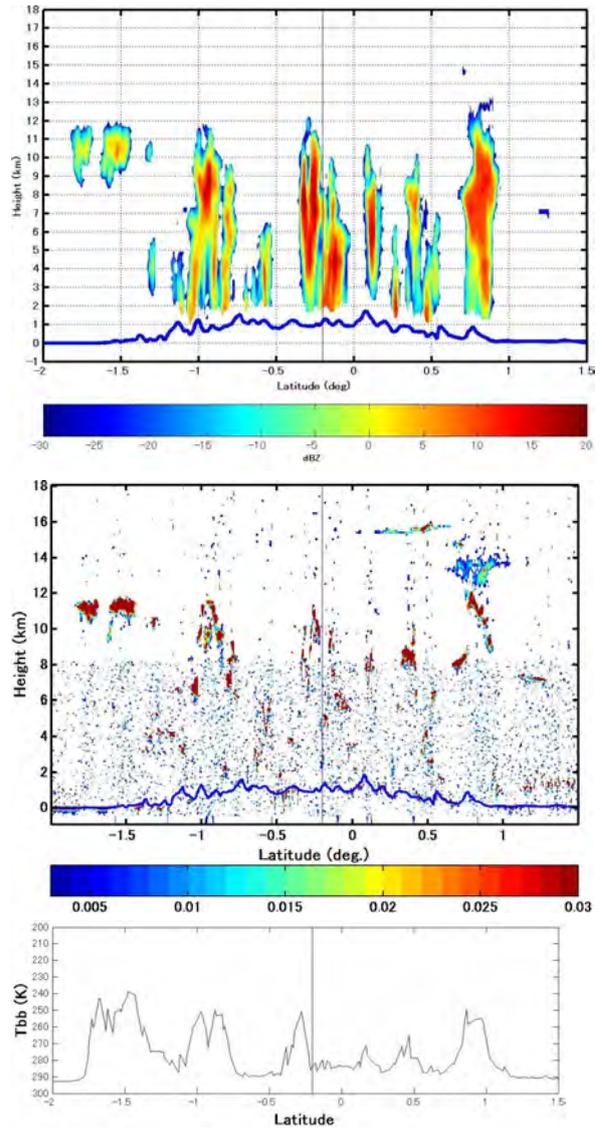


図 4: 2007 年 5 月 21 日 1400LT に CloudSat で観測された(上)レーダ反射因子の緯度・高度断面。(中)CALIPSO で観測された後方散乱係数の緯度・高度断面、(下)CloudSat 軌道に沿った MTSAT-1R の IR1 輝度温度の変化。

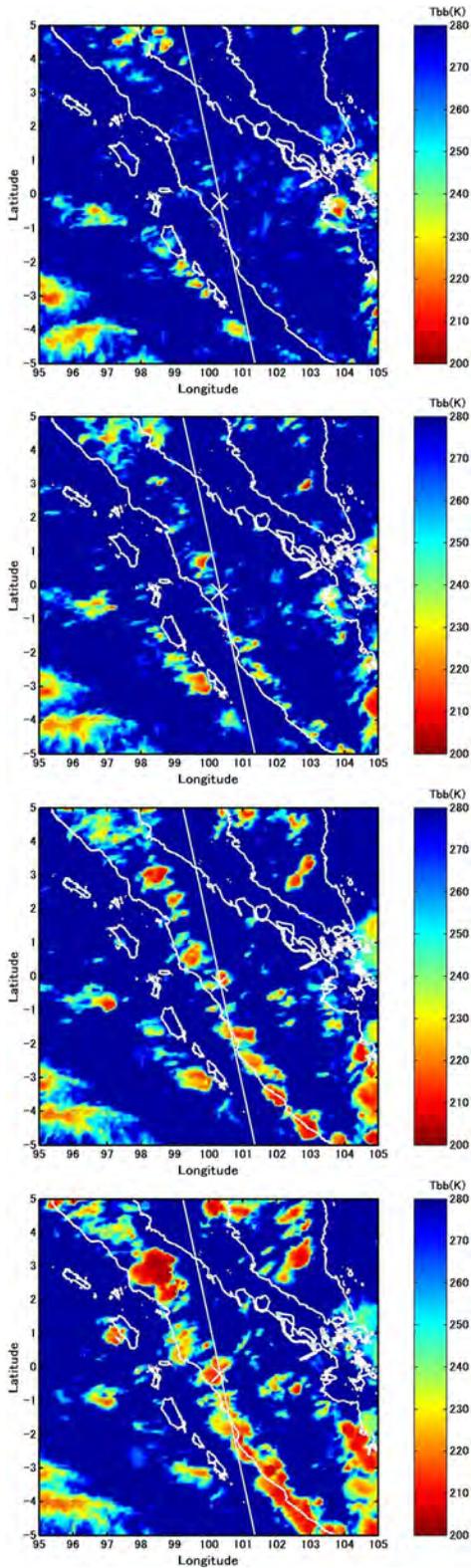


図 5: 2007 年 5 月 21 日における MTSAT-1R の IR1 輝度温度分布。上から順に、13LT, 14LT, 15LT, 16LT。×は EAR サイト、直線は CloudSat の軌道を示す。

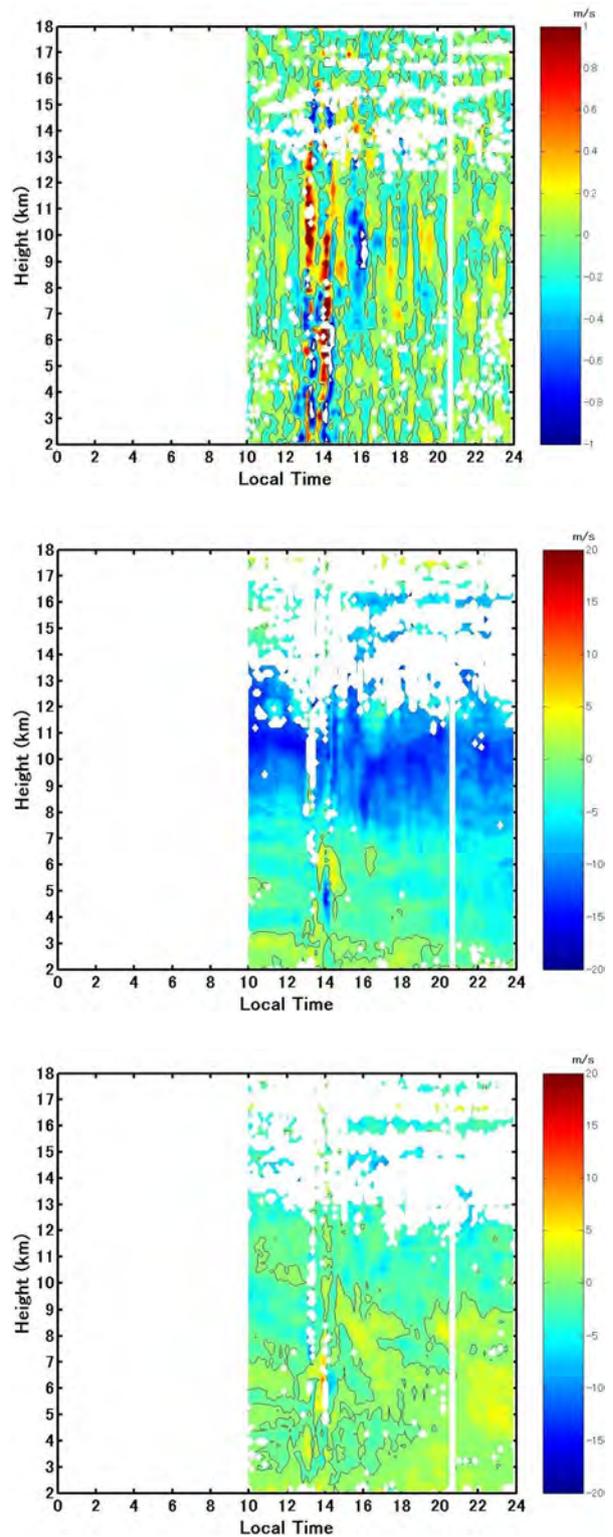


図 6: 2007 年 5 月 21 日に EAR で観測された (上)鉛直流・(中)東西風・(下)南北風の時間・高度断面。