

機関番号：14301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19740296

研究課題名 (和文) 熱帯降水システムに伴う潜熱加熱の大気大循環への影響に関する研究

研究課題名 (英文) Study on latent heating associated tropical precipitating systems on the atmospheric large-scale circulations

研究代表者

重 尚一 (SHIGE SHOICHI)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：60344264

研究成果の概要 (和文)：熱帯降水システムに伴う潜熱加熱を、熱帯降雨観測衛星搭載降雨レーダから推定されたデータを用いて解析した。熱帯東太平洋では、潜熱加熱が浅い鉛直構造を持っていた。潜熱加熱によって励起される東太平洋での対流圏循環が、観測されている浅い子午面循環と整合性を持つことが大気モデルによって示唆された。また、潜熱加熱の日周期変化を調べたところ、海洋上では、鉛直構造が1日を通してほぼ同じ構造を持っているのに対し、陸上では大きな変化が見られた。

研究成果の概要 (英文)：Latent heating associated with tropical precipitating systems are examined using data from the precipitation radar onboard the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite. Vertical heating structures over the eastern Pacific are shallow. It is indicated that the tropospheric circulation over the eastern Pacific excited by latent heating is consistent with the observed shallow meridional circulation, using an atmospheric model. Diurnal variations of latent heating structures are also examined. Vertical heating structures over tropical oceans keep almost the same structure all day, but those over tropical lands show a significant variation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,200,000	600,000	3,800,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学

キーワード：気候

1. 研究開始当初の背景

熱帯降水システムに伴う潜熱加熱の大気大循環における役割は、熱源応答実験等によって調べられてきた。しかしながら、観測が乏しい潜熱加熱の鉛直プロファイルについては簡単な構造が仮定され、潜熱加熱量の振幅の時間的変化や空間的変化を、静止衛星搭載赤外センサからの精度の低い降雨量推定値から導いて調べるしかなかった。

このような状況の下、熱帯域の降雨量ならびに潜熱加熱量の推定を目的に、熱帯降雨衛星 (TRMM) が打ち上げられた。TRMM は、日本が開発した世界初の衛星搭載型降雨レーダ (PR) によって、降雨の鉛直プロファイルを観測しており、我々は、降雨の鉛直プロファイルデータから潜熱加熱の鉛直プロファイルを推定する Spectral Latent Heating (SLH) アルゴリズムを開発した (Shige et al.,

2004)。SLH アルゴリズムは、南シナ海での特別観測結果 (Johnson and Ciesielski 2002) と良く一致し、Thompson et al. (1979) によって示された西太平洋 (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も示す等、従来手法である Convective Stratiform Heating (CSH) アルゴリズム (Tao et al. 1993, 2000, 2001) に比べて、鉛直プロファイルに関する精度の高い推定を可能にした。

TRMM は 1997 年 11 月の打上げ以来、順調に観測をつづけ、研究開始当初 (2007 年 4 月) には、これまでにない潜熱加熱プロファイルのデータが 9 年間にわたって蓄積されていた。このため、熱帯降水システムに伴う潜熱加熱の大気大循環における役割に関する新たな研究が可能な状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、熱帯降水システムに伴う潜熱加熱構造が大気大循環に与える影響の理解である。特に SLH アルゴリズムの特性を生かし、これまで観測が不足していたため、簡単な構造が仮定されていた鉛直プロファイルに着目する。

熱帯海洋上については、Zhang et al. (2004) によって観測されている東太平洋上での浅い子午面循環との関連について調べる。北風反流が上層にのみ存在するという古典的なハドレー循環に対し、浅い子午面循環では北風反流が大気境界層の直上にあり、その励起源については、はっきりしていない。

一方、熱帯陸上では、潜熱加熱の日周辺化について調べる。降雨の日周期変化が卓越していることは多くの研究によって明らかにされている。降雨に伴って潜熱加熱も日周期変化し、熱帯大気循環に重要な影響を与えていることが予想されるが、観測不足のため、これまで調べられてこなかった。

3. 研究の方法

TRMM PR データから SLH アルゴリズムによって推定された 3 次元潜熱加熱の月別データセットを作成・解析する。その際、必要に応じて、アルゴリズムの改良等を行う。比較のため、同じく TRMM PR データから CSH アルゴリズムによって推定された 3 次元潜熱加熱の月別データセットも解析する。

解析した 3 次元潜熱加熱のデータセットを、簡略化した大気大循環モデルに入力して、熱帯大気の応答についても調べる。使用した大気大循環モデルは、惑星大気モデル DCPAM (Dennou-Club Planetary Atmospheric Model; 高橋他, 2010) の ver. 4 である。実験は、主に東太平洋上での浅い子午面循環と関連して行う。

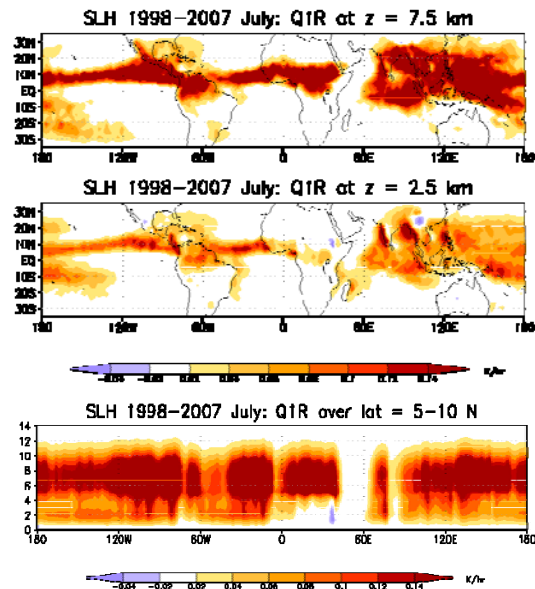


図 1 1998 年から 2007 年の SLH データから計算した潜熱加熱の 7 月平均値。(上) 高度 7.5 km, (中) 高度 2.5 km での水平分布。(下) 北緯 5~10 度で平均した経度-高度断面図。

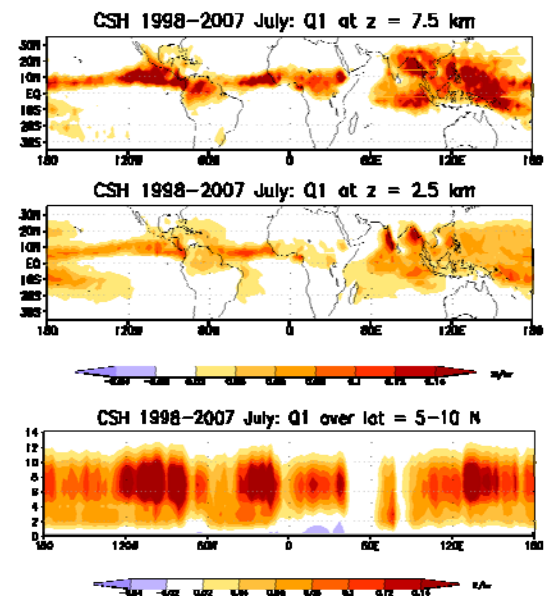


図 2 図 1 と同じ。ただし、CSH データから計算した結果。

熱帯陸上で卓越する潜熱加熱鉛直構造の日周期変化を調べるには、上記の月別平均データセットではなく、衛星軌道ごとのデータを用いた。CSH アルゴリズムについては、衛星軌道ごとのデータが作成されていないため、SLH アルゴリズムについてのみ調べた。

4. 研究成果

図 1 ならびに図 2 は、1998 年から 2007 年

の 10 年間の SLH データならびに CSH データから計算した潜熱加熱の 7 月平均値である。両アルゴリズムともに同一の TRMM PR の降水データから推定しているため、水平パターン等の大まかな特徴で一致している。しかしながら、SLH データでは CSH データに比べ、東太平洋で上層（高度約 7km）と下層（高度約 2km）にダブルピークを持つ潜熱加熱鉛直構造を顕著に示している。これは、CSH アルゴリズムが潜熱加熱鉛直分布を求めるのに TRMM PR から対流性・層状性降雨量比のみ利用しているのに対し、SLH アルゴリズムが降雨タイプや地上降雨強度だけでなく、降雨頂の情報を利用していることによる。

次に、SLH データならびに CSH データから計算した各月毎の潜熱加熱量 10 年平均値を DCPAM に入力し、熱帯大気応答実験を行った。実験設定は、CSH アルゴリズムと同様の手法によって算出した潜熱加熱データを用いて熱帯大気応答実験を行った Schumacher *et al.* (2004) にならった。基本場は、NCEP-NCAR 再解析データから潜熱加熱量と同じ期間の 10 年平均値を計算して与えた。

東太平洋上 [Galapagos (0.9°S, 89.7°W), Christmas Island (2.8°N, 157.5°W)] ならびに西アフリカ上 [Abidjan (5.3°N, 4°W), Dakar (14.6°N, 17.5°W)] で観測されている南北風の浅い子午面循環の構造 (Zhang *et al.* 2008) と比較したところ、東太平洋、特に Galapagos で良い一致を示す一方、西アフリカでは不一致を示していた。海上では、降水に伴う潜熱加熱が浅い子午面循環の主要因だが、陸上では、降水に伴う潜熱加熱だけでなく、陸面からの顕熱の影響が大きいことが原因と考えられる。また、同じ東太平洋でも、Galapagos は Christmas Island に比べて大陸から離れているために、観測値と一致していたと考えられる。

このため、Galapagos (0.9°S, 89.7°W) が位置する経度での浅い子午面循環に着目し、Zhang *et al.* (2008) で報告されている再解析データの結果と比較した。NCEP-NCAR ならびに NCEP-DOE-AMIP II における浅い子午面循環は非常に弱い一方、ERA40 では浅い子午面循環が存在するが、500hPa まで達する非常に深い構造になっている。熱帯海洋上では、再解析データの拘束条件となる観測が得られないことが原因と思われる。これに対し、SLH ならびに CSH の潜熱加熱プロファイルに対する応答は 700hPa までの非常に浅い構造で、観測値とより良い一致を示していた。

一方、SLH と CSH の潜熱加熱プロファイルに対する応答に違いも見られた (図 3)。SLH の潜熱加熱に対する応答は CSH のものに比べ、北風反流が大気下層にとどまったまま加熱域から長距離にわたって拡がっていた。Galapagos (0.9°S, 89.7°W) が位置する経度で、

潜熱加熱量が大きい北緯 5~10 度の鉛直構造を比べると、SLH の潜熱加熱は CSH に比べて上層と下層（高度 2km）のダブルピークがはっきり見られる (図 4)。SLH と CSH は共に TRMM PR の降水量データから潜熱加熱量を推定しているため、加熱域の水平的拡がりは同じである。したがって、SLH の応答は、CSH の応答と水平スケールは同じだが、鉛直方向には浅い応答が励起される。同じ水平波長に対して、鉛直波長が小さければ鉛直群速度が小さくなる。このため、SLH の応答は CSH のものに比べて、大きな振幅を保ったまま加熱域から大気下層を長距離にわたって拡がることのできたと考えられる。

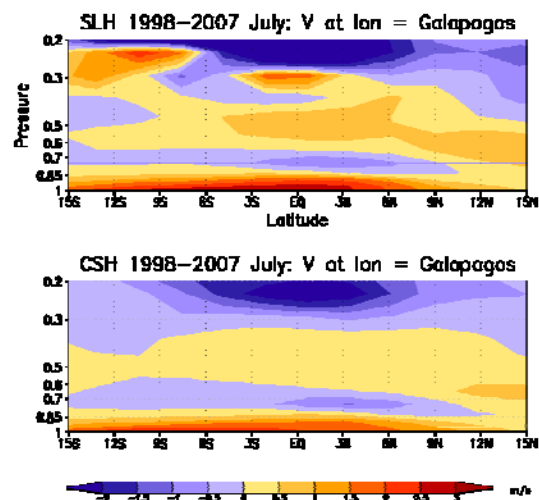


図 3 熱源応答実験の結果 (7 月) での Galapagos (0.9°S, 89.7°W) が位置する経度における南北流の鉛直南北断面図。(上) SLH データ, (下) CSH データを用いた熱源応答実験。

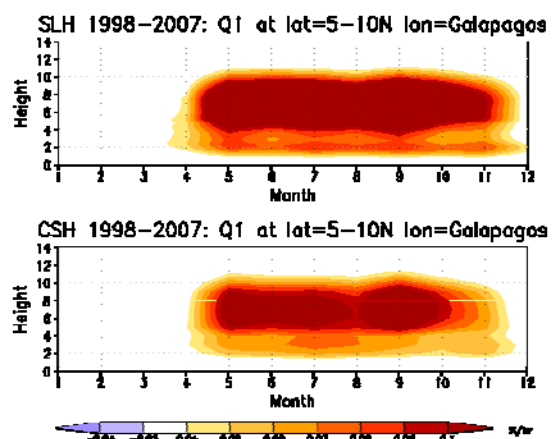


図 4 Galapagos (0.9°S, 89.7°W) が位置する経度の北緯 5~10 度で平均した潜熱加熱プロファイルの月変化。(上) SLH, (下) CSH の 1998 年~2007 のデータからの 10 年平均。

11年間(1998年~2008年)のSLHアルゴリズムによる衛星軌道ごとのデータから潜熱加熱の日変化を算出した。海上の代表として西太平洋、陸上の代表として南アメリカの結果を図5に示す。海洋上では、潜熱加熱の振幅が明け方で大きくなっており、過去の研究ですでに知られている降雨量の日変化と整合的な日変化を示している。一方、鉛直構造は、1日を通してほぼ同じ層状性加熱構造を持っており、日変化を示さない。これに対し、陸上では、振幅が夕方になるだけでなく、鉛直構造に大きな変化が見られた。すなわち、夕方に対流性加熱構造を持ち、それ以外の時間は層状性加熱構造を持っている。Silvia Dias et al. (1987)は、南アメリカの日変化する潜熱加熱の熱帯大気循環への影響を調べる熱源応答実験において、一定の鉛直構造を仮定し、潜熱加熱量の振幅の時間的変化のみを考慮していた。海上の潜熱加熱の応答実験の場合、彼らの仮定は妥当であるが、陸上の場合、振幅だけでなく、鉛直構造も日変化させる必要があることが本結果によって示された。

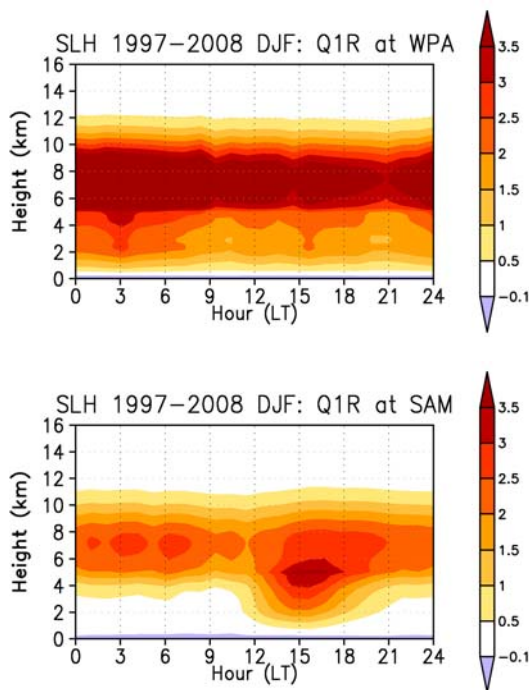


図5 11年間(1998年~2008年)のSLHデータをコンジット解析して算出した潜熱加熱鉛直構造の日周期変化(12月~2月)。(上)西太平洋、(下)南アメリカ

この他、SLHアルゴリズムを改良してグローバルなTRMM PRデータから潜熱加熱プロファイルを推定した論文(Shige, et al. 2007)、ならびにSLHアルゴリズムから見かけの水蒸

気消失源プロファイルを求める論文(Shige, et al. 2008)ならびにSLHアルゴリズムの核である参照テーブルに関して、これまで使用してきた2次元雲解像モデルによるものと3次元雲解像モデルによるものとを比較した論文(Shige, et al. 2009)等を出版した。

引用文献

- Johnson, R. H., and P. E. Ciesielski, 2002: Characteristics of the 1998 summer monsoon onset over the northern South China Sea. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 561-578.
- Schumacher, C., and R. A. Houze Jr., and I. Kraucunas, 2004: The tropical dynamical response to latent heating estimates derived from the TRMM precipitation radar. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 1341-1358.
- Shige, S., Y. N. Takayabu, W.-K. Tao, and D. E. Johnson, 2004: Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data. Part I: Development of a model-based algorithm. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 1095-1113.
- Silva Dias, P. L., J. P. Bonatti, V. E. Kousky, 1987: Diurnally forced tropical tropospheric circulation over South America. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1465-1478.
- 高橋 芳幸, 石渡 正樹, 納多 哲史, 小高 正嗣, 堀之内 武, 森川 靖大, 林 祥介, DCPAM 開発グループ, 2010: 惑星大気モデル DCPAM, <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>, 地球流体電脳倶楽部.
- Zhang, C., M. McGauley, and N. A. Bond, 2004: Shallow meridional circulation in the tropical eastern Pacific. *J. Climate*, **17**, 133-139.
- Zhang, C., D. S. Nolan, C. D. Thorncroft, and H. Nguyen, 2008: Shallow meridional circulations in the tropical atmosphere. *J. Climate*, **21**, 3453-3470.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① Jiang, X., D. E. Waliser, W. S. Olson, W.-K. Tao, T. S. L'Ecuyer, S. Shige, K.-F. Li, Y. L. Yung, S. Lang, and Y. N. Takayabu, 2011: Vertical diabatic heating structure of the MJO: Intercomparison between recent reanalyses and TRMM estimates. *Mon. Wea. Rev.*, in press.
- ② Zhang, C., J. Ling, S. Hagos, W.-K. Tao, S. Lang, Y. N. Takayabu, S. Shige, M.

- Katsumata, W. S. Olson, and T. L'Ecuyer, 2010: MJO signals in latent heating: Results from TRMM retrievals. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 3488-3508
- ③ Elsaesser G. S., C. D. Kummerow, T. S. L'Ecuyer, Y. N. Takayabu, and S. Shige, 2010: Observed self-similarity of precipitation regimes over the tropical oceans. *J. Climate*, **23**, 2686-2698.
- ④ Shige, S., Y. N. Takayabu, S. Kida, W.-K. Tao, X. Zeng, C. Yokoyama, and T. L'Ecuyer, 2009: Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data. Part IV: Comparisons of lookup tables from two- and three-dimensional cloud-resolving model simulations. *J. Climate*, **22**, 5577-5594.
- ⑤ 岡本謙一・重尚一, 2008: 熱帯降雨観測衛星搭載降雨レーダの研究開発とその観測成果, *電子情報通信学会論文誌, J91-B*, 723-733. (招待論文)
- ⑥ Shige, S., Y. N. Takayabu, and W.-K. Tao, 2008: Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data. Part III: Estimating apparent moisture sink profiles over tropical oceans. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 620-640.
- ⑦ Shige, S., Y. N. Takayabu, W.-K. Tao, and C.-L. Shie, 2007: Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data. Part II: Algorithm improvement and heating estimates over tropical ocean regions. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **46**, 1098-1124.

[学会発表] (計4件)

- ① Shige, S., The large-scale response of tropical atmosphere to latent heating estimated from the TRMM PR, アメリカ気象学会第91回年会, 2011年1月27日, 米国・シアトル.
- ② Shige, S., Y. N. Takayabu, M. Kachi, and W.-K. Tao, Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data, 2010 AGU Fall Meeting, 2010年12月13日, 米国・サンフランシスコ.
- ③ Shige, S., The large-scale response of tropical atmosphere to latent heating estimated from the TRMM PR, The 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 2010年5月10日, 米国・ツーソン.
- ④ Shige, S., Y. N. Takayabu, S. Kida, W.-K. Tao, and X. Zeng, Spectral

retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data.: Comparisons of lookup tables from two- and three-dimensional simulations, 28th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 2008年4月30日, 米国・オーランド.

[図書] (計1件)

井口俊夫他, 「宇宙から見た雨 2 熱帯降雨観測から全球へ」, (独)宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター・編, 9-10 及び 54-56.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

重尚一 (SHIGE SHOICHI)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 60344264

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: