

海陸熱コントラストがインドシナ半島の雨季の早期化に及ぼす影響

Influence of land-sea thermal contrast on the earliness of the rainy season in Indochina peninsula

北海道大学大学院工学院 ○学生会員 加藤亮介 Ryosuke Kato
北海道大学大学院工学研究院 正会員 山田朋人 Tomohito Yamada

1. はじめに

インドシナ半島タイ国では米生産の GDP は約 3.6 兆円で GDP 総額の約 12% を占めており、米輸出は重要産業の 1 つである。また作付けは主に雨季作と乾季作に分けて行っており、雨季作の収穫量は乾季作の約 3 倍になる。雨季作の作付けは雨季の開始に合わせて行われるが、雨季の開始時期は年々変動が大きく、田植えをした後に育成に必要な降水量が不足し、苗が枯れてしまう場合もある。安定的に米の生産をするために雨季の開始時期の予測は非常に重要である。雨季をもたらすアジアモンスーンに関わる研究は、これまで多くの既往研究がなされてきた。

Kajikawa et al. (2012)¹⁾は、Wang and LinHo(2002)²⁾が定義した雨季の開始時期を算出するインデックスを用いて過去(1979-1993)と近年(1994-2008)の雨季の開始時期を比較し、ベンガル湾-インドシナ半島にかけて雨季の開始時期が約 2 週間程早期化していることを指摘した。また Li and Yanai(1996)³⁾や Ueda and Yasunari(1998)⁴⁾が大陸と海上の空気塊の温度勾配を示す指標として定義した熱的コントラストを用いて、近年 5 月の熱コントラストが大きい傾向があり、陸から海への鉛直循環が強まる時期が早まっていることを指摘した。

本研究では、まずタイ国チャオプラヤ川流域を含む領域を対象に 1979 年-2016 年の期間で雨季の開始時期が早い

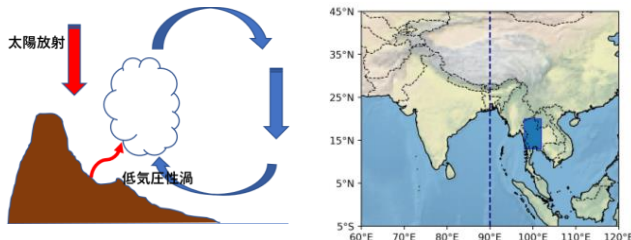


図-1(a) 鉛直循環の模式図(左図) (b) 対象領域(右図)

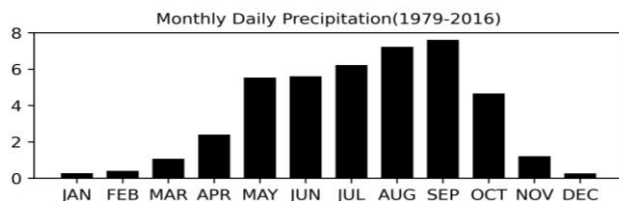


図-1(c) 降水量の月変化(下段) [mm/日]

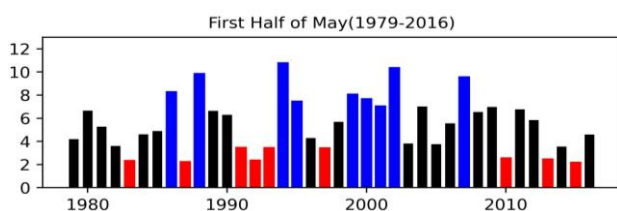
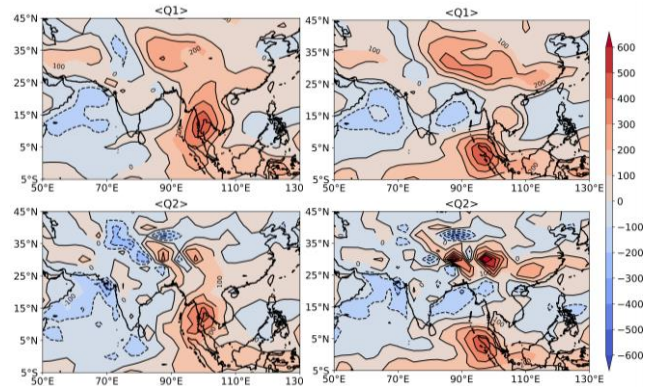


図-1(d) 1979-2016 年の 5 月前半の日降水量 [mm/日]

図-2 5 月前半の雨季が早い年(左図)と遅い年(右図)の $\langle Q_1 \rangle$ (上)、 $\langle Q_2 \rangle$ (下)の空間分布 [Wm⁻²]

年・遅い年を 5 月前半の降水量から定義する。そして、海陸の温度勾配を形成する大元の熱源である顕熱による見かけの熱源 Q_1 と潜熱による見かけの水蒸気シンク Q_2 を求め、5 月前半の大気加熱が雨季の開始時期が早い・遅い年で空間的に異なるのか検討を行い、比較する。

2. 手法

2.1. アジアモンスーンの発達

アジアモンスーンは、チベット高原が熱源となり、インド洋との鉛直対流が下層の低気圧性渦を形成することで発達する。図-1(a) は夏の大陸と海洋の鉛直対流を表している。春先になるとチベット高原から大気への顕熱加熱が大きくなり、加熱された大気は対流圏上層まで膨張し、発散する。それを補うように対流圏低層ではインド洋から湿った空気が流れこみ、低気圧性の渦を形成する。

2.2. 利用したデータ

本研究では、降水量データは CMAP-1 の 5 日間平均データ及び月平均日降水量を用いた。CMAP-1 は地上観測と衛星観測、NCEP 再解析データを合わせた降水量データであり、水平解像度は 2.5 度×2.5 度である。また水平風速、気温、相対湿度、鉛直 P 速度はアメリカ環境予測センター(NCEP)の再解析データ(Reanalysis-2)を用いた。

2.3 見かけの熱源 Q_1 と見かけの水蒸気シンク Q_2

Yanai et al. (1973)⁵⁾は、熱力学方程式と水蒸気量保存則の関係から見かけの熱源 Q_1 と見かけの水蒸気シンク Q_2 を定義した。それぞれ以下の式で表される。

$$Q_1 = c_p \frac{\partial T}{\partial t} - c_p (\omega \sigma - \nabla \cdot \nabla T) \quad (1)$$

$$Q_2 = - \left(L \frac{\partial q}{\partial t} + L \nabla \cdot \nabla q + L \omega \frac{\partial q}{\partial p} \right) \quad (2)$$

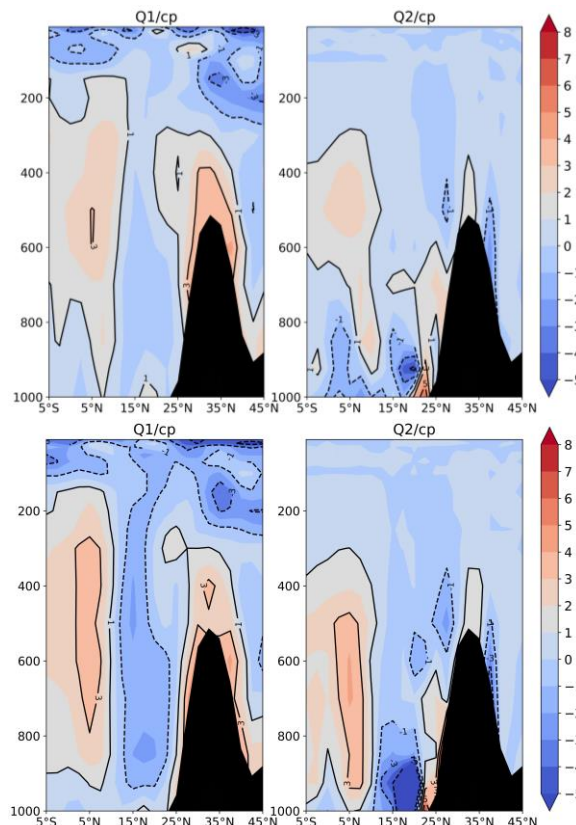


図-3 雨季が早い年(上図)と遅い年(下図)の東経 100 度における $\frac{Q_1}{c_p}$ 、 $\frac{Q_2}{c_p}$ の鉛直断面図(図 1(a)点線) [K/day]

ここで、 c_p は乾燥大気の定圧比熱、 T は気温、 ω は鉛直 P 速度、 V は水平風、 L は水蒸気凝結潜熱、 q は比湿である。 $\sigma = \frac{RT}{c_p p} - \frac{\partial T}{\partial p}$ は静的安定度を表す。式(1)右辺の第 1 項は局所熱量変化、第 2 項は断熱加熱と熱量の鉛直移流、第 3 項は温度の水平移流を表しており、 Q_1 は顕熱による大気の加熱・冷却を意味する。一方で式(2)右辺の第 1 項は局所的な水蒸気量の変化に伴う凝結熱、第 2 項は凝結熱の水平移流、第 3 項は温度の水平移流を表しており、 Q_2 は潜熱解放による大気の加熱・冷却を意味する。1000hPa 面から 300hPa 面まで鉛直積分した値をそれぞれ $\langle Q_1 \rangle$ 、 $\langle Q_2 \rangle$ と表記する。

3. 過去 39 年間のタイ国チャオプラヤ流域の降水特性

図-1(b)はタイ国チャオプラヤ川流域を含む領域(青枠)を、図-1(c)は領域平均した月別日降水量を示している。インドシナ半島の広い範囲で雨季は 5 月後半に開始すること²⁾から、本研究では 1979 から 2016 年の過去 38 年間で 5 月前半の日降水量が多い上位 9 年間で雨季が早い年、少ない下位 9 年を雨季が遅い年と定義した。(図-1(c))

4. 見かけの熱源 Q_1 と水蒸気シンク Q_2 の空間分布

図-2 は雨季が早い・遅い年で平均した 5 月前半の $\langle Q_1 \rangle$ 、 $\langle Q_2 \rangle$ を示している。雨季が早い年では 5 月前半にインドシナ半島南部(北緯 15-5 度、東経 100 度)で約 300Wm^{-2} の大気加熱が見られ、ほぼ同等の水蒸気収束による加熱が同地域で見られる。一方で、雨季の遅い年では雨季が早い年と同等の $\langle Q_1 \rangle$ 、 $\langle Q_2 \rangle$ がベンガル湾南部(南緯 5 度-北緯 5 度、東経 90-100 度)で見られる。雨季の早い年ではイン

ドシナ半島南部で活発化した雲運動が上空の空気塊を加熱し、対象領域の雨季の開始時期を早めた要因の 1 つであると考えられる。

図-3 は東経 90 度(図-1(b)点線部)における雨季が早い・遅い年の 5 月前半の $\frac{Q_1}{c_p}$ 、 $\frac{Q_2}{c_p}$ の鉛直断面図を示す。ベンガル湾南部(北緯 5-0 度)では、雨季が早い年には約 $1-2^\circ\text{C}/\text{日}$ 程度、雨季が遅い年には約 $2-3^\circ\text{C}/\text{日}$ 程度の大気加熱と水蒸気収束が見られる。また一方で、チベット高原上空で雨季の早い年は約 $3^\circ\text{C}/\text{日}$ 程度の大気加熱が見られるが、雨季の遅い年では約 $1-2^\circ\text{C}/\text{日}$ 程度の大気加熱しかない。ベンガル湾南部とチベット高原で見られる大気加熱の特徴は、雨季の早い年には海陸鉛直対流を強め、遅い年には弱めていると考えられる。

5. まとめ

本研究では、タイ国チャオプラヤ川流域を含む領域を対象とし、雨季開始時期が早い・遅い年で見かけの熱源 Q_1 と見かけの水蒸気シンク Q_2 による大気加熱が空間的に異なることを示した。ベンガル湾周辺で雨季の早い・遅い年で約 300Wm^{-2} の大気加熱と水蒸気収束量が見られたが、雨季の早い年ではインドシナ半島付近で、雨季の遅い年はベンガル湾南部で大気加熱があった。この結果は、雨季が始まる直前の大気加熱の位置がアジアモンスーンの発達に影響を与えることを示唆している。また、鉛直断面図の結果からアジアモンスーンの発達には、ベンガル湾南部付近からの見かけの熱源 Q_1 と見かけの水蒸気シンク Q_2 による大気加熱とチベット高原からの見かけの熱源 Q_1 による大気加熱が影響を与えていることが示唆された。特にチベット高原は平均高度約 4000m、面積約 250 万 km^2 であり、対流圏中層の大気加熱に寄与している⁶⁾。見かけの熱源 Q_1 は主に顕熱による熱源を意味しているため、チベット高原の融雪時期が下層のアジアモンスーンの発達に影響を与えている可能性がある。

今後は見かけの熱源 Q_1 と見かけの水蒸気シンク Q_2 の空間分布の年々変動の原因とそれがアジアモンスーンの発達に与える影響、チベット高原の融雪時期が海陸鉛直循環に与える影響を明らかにすることを課題としたい。

6. 参考文献

- 1) Y. Kajikawa, T. Yasunari, S. Yoshida, and H. Fujinami, (2012) "Advanced Asian summer monsoon onset in recent decades," *Geophysical Research Letters*, vol. 39, no. 3, .
- 2) Wang, B., and LinHo (2002), Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon, *J. Clim.*, 15, 386-398
- 3) Li, C. F., and M. Yanai (1996), The onset and interannual variability of the Asian summer monsoon in relation to land sea thermal contrast, *J. Clim.*, 9, 358-375,
- 4) Ueda, H., and T. Yasunari (1998), Role of warming over the Tibetan Plateau in early onset of the summer monsoon over the Bay of Bengal and the South China Sea, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*
- 5) Yanai, M., S. Esbensen and J.-H. Chu(1973), Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. *J. Atmos. Sci.*, 30
- 6) Ishizaki, N. and Ueda, H. (1998), Seasonal heating processes over the Indochina Peninsula and the Bay of Bengal prior to the Monsoon Onset in 1998,