

インド夏季モンスーンオンセットと地表面状態の関係について
 The Relationship between Indian Summer Monsoon Onset and Surface Conditions

○岩本蘭丸・田中賢治・萬和明・峠嘉哉・梶川義幸

○Ranmaru IWAMOTO, Kenji TANAKA, Kazuaki YOROZU,
 Yoshiya TOUGE, Yoshiyuki KAJIKAWA

What are the main factors determining the timing of the Indian Summer Monsoon Onset, marking the beginning of the rainy season in India? Previous studies have identified continental heating in regions, including the Tibetan Plateau, and the active Madden-Julian Oscillation (MJO), as major influencing factors. In this study, we investigated the relationship between the onset of the monsoon and two factors using 42 years of data, from 1979 to 2020. Additionally, we conducted an examination of winter snowfall, which has the potential to influence continental heating. The correlation coefficient between the monsoon onset date and the date of sufficient continental heating was found to be 0.61. Additionally, in years when the MJO-induced high-pressure anomaly affected southern India, the onset of the monsoon was delayed by more than 10 days in relation to continental heating. This suggests that there is a tendency for the monsoon to occur when continental heating is sufficient and there is no high-pressure anomaly induced by the MJO. Furthermore, in investigating surface conditions that may influence continental heating, we found that in years with a delayed onset compared to early onset years, there was a tendency for deeper snow accumulation on the Tibetan Plateau during the winter season.

1. 研究背景と目的

インド夏季モンスーンとは、インドで夏季の南西風がもたらす雨季のことである。雨季開始を表すモンスーンオンセットの日付は、10億人以上の人々の食糧生産を支える農業計画や、社会経済生活における重要なイベントである。

モンスーンオンセットのメカニズムは、様々な研究が行われている。(Yanai 1992) は、チベット高原が熱的となりモンスーンの大規模垂直循環を維持していることを指摘している。また、(Taraphdar, Zhang et al. 2018)は、モンスーンオンセットの時期を決定する主要な要因の1つとして、活発なマッデンジュリアン振動(MJO)に伴う季節内変動が存在することを示した。MJOは、大規模な対流の東進であり、大規模な気圧・循環の変化を伴う為、これがモンスーンの循環場に影響をもたらす。

そこで本研究では、過去42年間の事例から、チベット高原を含む広域の大陸加熱とMJOの位相と強さに着目し、インドの夏期モンスーンオンセットの物理的なメカニズムを解明することを目的とする。その上で、チベット高原周辺の大陸加熱に影響を与えうる地表面状態についても考察する。

2. 定義

本研究で、用いた定義や指標について説明する。まず、モンスーンオンセットの定義だ。本研究ではモンスーンオンセット日の検出に(Wang, Ding et al. 2009)で用いられた指標である onset circulation index (OCI)を用いる。OCIは、南アラビア海(40-80E, 5-15N) (SAS) で領域平均した 850hPa の東西風が 6.2 [m/s] を超えた日が 6 日以上続いた場合、その初日をモンスーンオンセットと定義する。

次に、チベット高原周辺の大陸加熱の定義について説明する。チベット高原を含む広域の大陸加熱は、チベット高原とその周辺(20-40N, 50-100E) で面積平均した対流圏上層(200-500hPa)の厚さ(ジオポテンシャル高度の差)で定義した。この指標は、(Kawamura 1998)のモンスーンの強度を評価する指標の一部を用いたものである。空気は暖かいほど膨張するため、この対流圏上層の厚さは大陸加熱を示す良い指標である。これをCTと名付ける。本研究では、オンセットの日付と比較する為、CTが6日連続で6530mを超えた日を大陸加熱が十分な日付KCTと定義した。この定義は、平均的なオンセットの6日前におけるCTの値が約6530mであることに基づいている。

最後に、MJOの強さと位置の指標は、NOAAのOMI(the OLR MJO index) (Kiladis, Ventrice et al.

2014)を用いた。

3. 結果

図1は、対象の42年間における、KCTとonsetの日付の関係と、KCT時のMJOの位相と強度を表した図である。横軸はモンスーンオンセットの日付、縦軸は大陸加熱が十分な日付KCTを表している(1→5月1日、33→6月2日)。散布図の各円の大きさと色はそれぞれ、大陸加熱十分の日付時のMJOの強さと位置を表している。直径がMJOの強さを表しており、1以上の場合色が濃くなっている。また、OMIではMJOの位置を1~8で表すことが出来、3~7の場合は青色、8.1.2の場合は赤色で示している。赤色はMJOによる大気循環の高気圧偏差がインドにかかる位置にMJOが存在していることを表している。

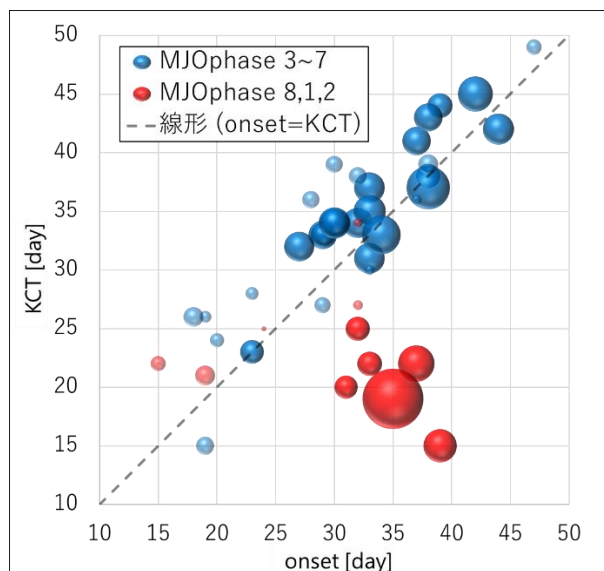


図1 KCT(大陸加熱)とonsetの日付の関係と、KCTにおけるMJOの位相と強度の関係図。

この図から分かることは主に2点ある。1点目は、チベット高原周辺の加熱とオンセットには非常に高い相関があることである。全てのケースでの相関は0.62であり、図の濃い赤色の年を除いた場合の相関係数は0.82となった。2点目は、大陸加熱が十分となった日付において、MJOが1以上の強度かつ位相が8,1,2(濃い赤色の年)の場合、KCTに対してオンセットは遅延されることだ。

これは、モンスーン循環の形成には、チベット高原を中心とした大陸が熱源となることが必要であり、熱源が形成された場合においてもMJOの循環場による高気圧偏差によりモンスーン循環が抑

制され、オンセットが遅延することを示している。

これらの結果を踏まえ、2つの要素の内の一つである、大陸加熱十分の日付の決定要因について地表面状態に着目して検証した。

大陸加熱を抑制する地表面状態の一つの要因として、積雪がある。地面に熱が伝わることを妨げる上、雪が解けて土壌水分量が増加すると、その水分を蒸発させることに熱が消費されるからである。また降水も土壌水分量に影響を与える。

そこで、積雪や土壌水分量がオンセットの時期に与える影響を考察すべく、オンセットの日付が平均より標準偏差分早い場合と遅い場合に関して、オンセット以前の積雪深・降雨量の比較を行った。

結果として、オンセットが早い年に対して遅い年は、2月中旬から5月頭にかけてチベット高原の積雪深が深い傾向にあることが分かった。また、オンセット以前の降雨量に差は見られなかった。

これは、チベット高原の冬季の積雪が多い場合、夏の雨季開始時期が遅らされることを示している。また、雨季開始以前は降雨量が少なく、降雨が大陸加熱に与える影響は少ない事が推測できる。

今後は、具体的な積雪深の影響具合や、大陸加熱に影響を与える他の要因(土壌水分量や植生状態、水蒸気の流入、冷気の流入など)について検証を行う。

REFERENCE

- 1) Kawamura, R. (1998). "A Possible Mechanism of the Asian Summer Monsoon-ENSO Coupling." *Journal of the Meteorological Society of Japan* 76.
- 2) Madden, R.A. and Julian, P.R. (1994) Observations of the 40-50-Day Tropical Oscillation: A Review. *Monthly Weather Review*, 122, 814-837.
- 3) Taraphdar, S., et al. (2018). "MJO Affects the Monsoon Onset Timing Over the Indian Region." *Geophysical Research Letters* 45(18): 10011-10018.
- 4) Wang, B., et al. (2009). "Objective Definition of the Indian Summer Monsoon Onset*." *Journal of Climate* 22(12): 3303-3316.
- 5) Yanai, C. (1992). "Seasonal Heating of the Tibetan Plateau and Its Effects on the Evolution of the Asian Summer Monsoon." *Department of Atmospheric Sciences*.