

夏期インドモンスーンオンセットにおけるチベット高原上空大気加熱の年々変動要因 Interannual Variability of Atmospheric Heating over the Tibetan Plateau and Its Influence on the Onset of the Indian Summer Monsoon

○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 onset of the Indian Summer Monsoon? Previous studies have suggested that continental heating, particularly over the Tibetan Plateau, serves as a trigger for the onset of the rainy season. Additionally, a negative correlation between the extent of snow cover from winter to spring and monsoon rainfall has been proposed. This study examines the differences in atmospheric heating over the Tibetan Plateau between years with early and late monsoon onset, along with the factors contributing to these differences. Our analysis reveals that the progression of atmospheric heating over the Tibetan Plateau differs significantly between early and late onset years starting in early May, influencing the timing of the monsoon onset. Notably, the most pronounced differences in heating were observed at around the 300 hPa level. Additionally, a significant correlation was found between the snow cover extent in the Himalayas in March and the timing of the monsoon onset, with a particularly strong correlation (above 0.8) between the snow cover extent in the Karakoram region in early March and the onset date.

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おり、一般的には春の終わりから初夏にかけてのアジア大陸の急激な加熱が、大気循環の季節変換を起こしていると考えられている (Yanai 1992)。また、大陸加熱の中でも、チベット高原の役割は、1950年以降関心を集めてきた。

また、(Hahn and Shukla 1976) は、衛星観測のユーラシア大陸の積雪面積率と、インド全体の降雨量に負の相関があることを示した。以降、インドモンスーンと、冬から春にかけて中央アジアの積雪に関する研究は多数行われている。一方で、モンスーンオンセットと積雪の関係を示す論文は不足している。

そこで本研究では、オンセットが早い年と遅い年でチベット高原を含む大陸の加熱過程にどのような違いがあるのかを示す事、そして冬季から春季にかけて中央アジアの積雪面積とインドモンスーンオンセットの関係を示す事を目的とする。

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は、(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ものである。

次に、チベット高原を含む大陸の加熱の指標として、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) である CT を定義した。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。

積雪面積率は MODIS の日別データを用いた。本研究では、雲と雪面を誤って観測したような観測値を補正する為に、積雪面積率の不自然な低下を無視する処理を行っている。

3. 結果 [CT の推移の違いと要因]

図1は、過去41年間のデータに基づき、モンスーンオンセットの日付が平年値より1標準偏差早い年を「オンセットが早い年」、1標準偏差遅い年を「オンセットが遅い年」として分類し、雨季前後における対流圏上層厚さ（CT）の推移を比較したものである。5月以降、CTの推移に明確な変化が観察され、雨季開始日におけるCTの平年値である6550に達する日付が、オンセットが早い年とオンセットが遅い年で2週間以上の差異が生じていることが明らかとなった。

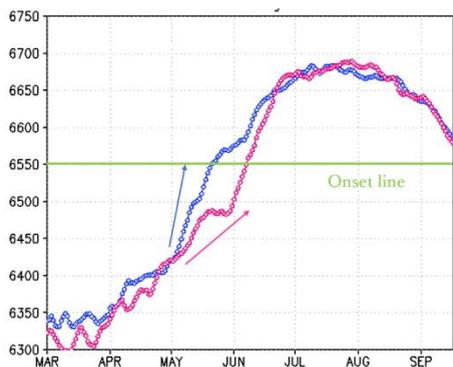


図1 オンセットが早い年（9 case）とオンセットが遅い年（9 case）における、CT（大陸加熱）の推移の平年値

この結果を踏まえ5月のCTの推移の違いに寄与する要素を特定するため、地表面温度に関しては、オンセットが早い年とオンセットが遅い年の間で約1度の差異が確認された。また、大気温の鉛直分布を解析した結果、地表付近から200hPaまでの層において熱の伝達が確認された。一方、300hPa付近においてオンセットが早い年とオンセットが遅い年で顕著な温度差が見られたことから、移流による熱や水蒸気の供給に違いがある可能性が示唆された。

4. 結果 [積雪面積率とオンセットの関係]

次に、2001年から2019年の19年間における1月から6月の各日付における積雪面積率とモンスーンオンセット日との相関分布を解析した。図2は3月4日の相関分布を示しており、ヒマラヤ山脈周辺において積雪面積率とオンセット日の間に有意な相関が存在することが分かる。

図3では、特に相関が高いカラコルム山脈周辺（緯度20°Nから40°N、経度50°Eから100°E）における相関の時系列変化を示している。また、図4は同地域の積雪面積率の領域平均を用いて、オンセットが早い年と遅い年の積雪面積率の推移

を比較している。3月上旬においてオンセットが早い年と遅い年の間で積雪面積率に差異が観察され、特にこの時期に相関が高いことが分かる。3月後半に相関が低下し、4月中旬に再び上昇する要因としては、オンセットが遅い年では、積雪が少ない地域の積雪が3月後半にかけて消失し、積雪面積率が収束した可能性が挙げられる。この現象は、解析範囲をヒマラヤ山脈全域に拡大しても同様に確認された。さらに、チベット高原上の積雪面積率の相関は、1月から6月を通じてヒマラヤ山脈と比較して低く、モンスーンオンセットに対する積雪面積率の影響は、チベット高原よりもヒマラヤ山脈の方が重要であることが示唆された。

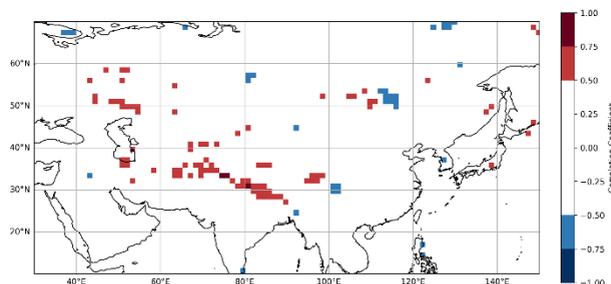


図2 2001～2019年の19年間における、1月から6月における各日付の、各地点の積雪面積率とオンセットの日付の相関分布

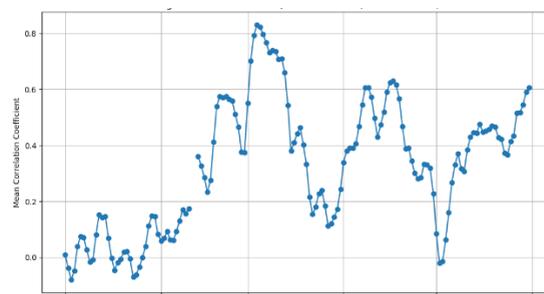


図3 2001～2019の19年間における、カラコルム山脈周辺（20-40N, 50-100E）で領域平均をとった積雪面積率と、オンセット日の、相関値の1月から5月の時系列図。

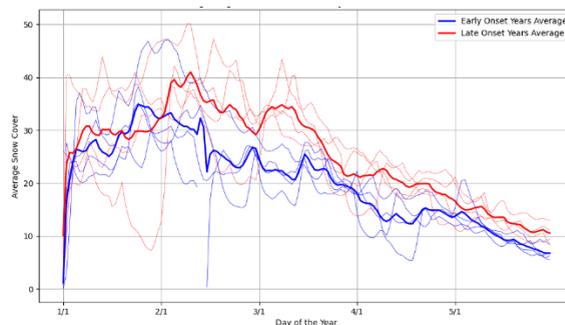


図4 カラコルム山脈周辺（20-40N, 50-100E）で領域平均をとった積雪面積率の推移。オンセットが早い年（青色）、オンセットが遅い年（赤色）。

