

サヘルの積雲対流変動がもたらすユーラシアを横断するテレコネクション

*中西友恵¹, 立花義裕¹, 安藤雄太^{1,2}

¹三重大学大学院生物資源学研究科 ²新潟大学理学部

1. はじめに

北半球中高緯度地域における異常気象の要因の一つに、テレコネクションパターンがある。その形成要因として、熱帯の積雲対流活動に伴う大気中層の熱源が重要であることが知られている (Hoskins and Karoly, 1981^[1]など)。中でも、加熱量の大きい海洋上の対流活動に関する研究は盛んである (エルニーニョ・南方振動; ENSO, Pacific-Japan パターン^[2]など)。一方で、陸上の対流についてはあまり注目されていない。しかし、地域によっては海洋上に匹敵するほどの加熱量が存在する。陸面は比熱が小さく暖まりやすいことから上昇流が発達しやすい。そのため、全降雨量に占める対流性降雨の割合が高く、降雨頂高度も高い (JAXA, 2008) ^[3]。このような陸上の対流に伴う熱源は、中高緯度の波列パターンを形成する要因として重要である可能性がある。

ここで、本研究では北アフリカに位置するサヘル地域の積雲対流活動に着目した。本地域はサハラ砂漠南縁部に位置し、雨季と乾季が存在する半乾燥地帯である。雨季には激しい対流が立つことが知られている。また、気候学的に亜熱帯ジェットとの距離も近い。サヘル対流の経年変動は、北大西洋振動の変調を介して、ヨーロッパの気候に影響を与えることが示唆されている (Gaetani et al. 2011) ^[4]。しかし、北極域や東アジアといったさらに遠方の地域への影響を調べた研究はない。以上により本研究では、サヘル地域の積雲対流変動がユーラシアを横断するようなテレコネクションパターンの形成要因となりうるかを検討する。

2. 使用データ・解析手法

対流活動の指標としてアメリカ海洋大気庁の外向き長波放射 (OLR) を、その他の大気場データには気象庁 55 年長期再解析データ (JRA-55) を用いた。海面水温には HadISST を

用いた。サヘルが雨季にあたる 6-9 月の月平均データを 1979-2016 年の 38 年分使用した。まず、西経 20 度-東経 40 度、北緯 10 度-20 度で OLR を領域平均し時系列を作成した (図 1)。これを線形トレンド除去および標準化し、サヘル OLR インデックスとして大気場データとの線形回帰分析を行った。

さらに、サヘル対流に伴う熱源に対する大気場の定常応答を確認するため、線形傾圧モデル (LBM; Watanabe and Kimoto, 2000) ^[5]による実験を行った。後述の回帰分析の結果に従い、サヘル領域西側の対流圏中層に最大で 0.5K/day の熱源を与えた。

3. 結果と考察

各月のサヘル OLR インデックスを同時月のジオポテンシャル高度場に回帰すると、7,8,9 各月においてヨーロッパ付近に高気圧と低気圧の双極子パターンがみられた (図略)。これは先行研究^[6]の結果と整合的である。さらに、9 月においては、ヨーロッパ地域に留まらず、シベリアを経由して東アジアまで連なるテレコネクションパターンが見られた (図 2)。続いて、このテレコネクションパターンのインデックスを新たに定義し (図 1)、OLR および海面水温 (SST) との回帰分析を行った (図略)。結果として、サヘル以外の熱帯地域には西太平洋域を除いて顕著なシグナルがみられなかった。この地域の対流はサヘル対流と連動して変動しているものの、テレコネクションパターンを直接的に励起するものではないと考えられる。よってサヘル対流とテレコネクションパターンとの関係は見かけのものではないとみられる。

次に、パターン形成に至る力学過程について考察する。サヘル地域で対流活動が活発なとき、直上の大気中層では非断熱加熱と上昇流が卓越している (図略)。このような熱帯域の熱源

に対する応答として、松野ーギル応答 (Matsuno, 1996; Gill, 1980) ^[67]が知られている。サヘルインデックスを流線関数に回帰すると、サヘル地域の北西の下層で低気圧、上層で高気圧偏差が見られた (図3)。これらは、赤道よりやや北の地域における松野ーギル応答と整合的である。また、図4は200hPa面の速度ポテンシャルとの回帰図である。サヘル領域を中心に非地衡風の発散が見られ、これは低緯度から高緯度への負の絶対渦度の移流を示唆する。以上により、サヘル北西側で高気圧が形成され、テレコネクションの始点となると考えられる。

さらに、定常ロスビー波のエネルギー伝播を確認するため、波活動度フラックス (Takaya and Nakamura, 2001) ^[68]を計算した。図2を見ると、ロスビー波束がヨーロッパから東アジアへ向かって伝播している。これによりテレコネクションパターンが形成されると考えられる。

最後に、因果関係を明らかにするため、LBMによる実験を行った。結果として、サヘルからヨーロッパまで連なる高気圧と低気圧のパターンが見られた (図5)。位相はやや異なるが、熱源応答の様子はおおむね回帰分析と整合的である。

4. まとめと議論

回帰分析の結果より、9月のサヘル積雲対流変動とユーラシアを横断するテレコネクションパターンとの関係が示された。ここに熱帯海洋など他地域の影響が介在していないことも確認した。9月にパターンが卓越する理由としては、雨季の終わりで対流の変動が大きいことや、亜熱帯ジェットが季節進行により南下することが考えられる。

さらに、因果関係を明らかにするためLBM実験を行った。結果として、サヘルからヨーロッパまで連なる波列パターンが現れたことから、サヘル対流はテレコネクションパターン形成のトリガーになりうると考えられる。その力学過程については大気中層の熱源に対する松野ーギル応答や絶対渦度の移流、およびロスビー

一波束の伝播から説明できると考えられる。ただし、LBMでは東アジアに至るまでの影響は再現されず、振幅も小さい。このことから、サヘル対流がテレコネクションパターンを励起する過程には非線形の効果も存在する可能性がある。また、テレコネクションパターンが逆にサヘル対流に影響を及ぼすような相互作用も考えられる。今後は、そのような観点からもより詳細なメカニズムについて検討する必要がある。

最後に、本研究の結果を、日本が猛暑や豪雨に見舞われた2018年の事例に当てはめてさらに考察した。この年の異常気象の要因の一つとしてジェットの蛇行が挙げられている。ジオポテンシャル高度偏差 (図6)は、ユーラシアを北回りに横断する波列を示しており、これは回帰分析で得られたもの (図2)と非常に類似している。このとき、サヘル地域のOLR偏差は全体的に負であり、対流活動が活発であったことも示された (図略)。以上の結果は本研究の結果と整合的であり、サヘル対流変動が日本の異常気象へも影響を与える可能性を示唆した。

引用文献

1. Hoskins B. J. and Karoly D., 1981, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179-1196.
2. Nitta T., 1987, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **65**, 373-390.
3. JAXA, 2008, 宇宙から見た雨 **2**, 70-73.
4. Gaetani M. et al., 2011, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L09705.
5. Watanabe M., Kimoto M., 2000, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **126**, 3343-3369.
6. Matsuno T., 1966, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **44**, 25-42.
7. Gill A. E., 1980, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **106**, 447-462.
8. Takaya K. and Nakamura H. 2001, *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.

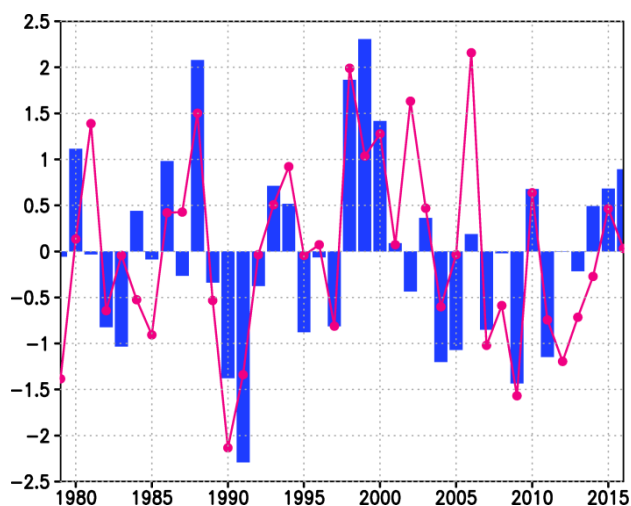


図1 9月のサヘルOLRインデックス（青棒）とテレコネクションインデックス（赤線）
両インデックス間の相関係数は0.66

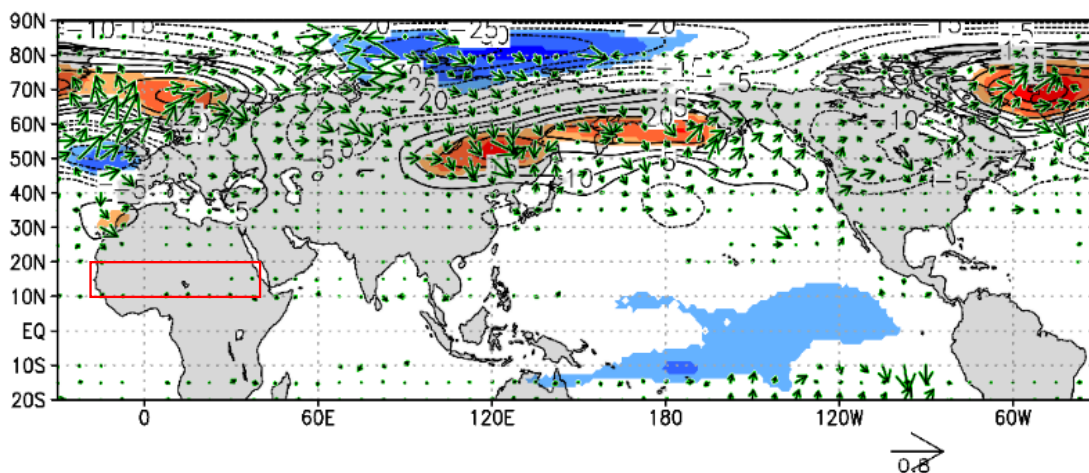


図2 サヘルOLRインデックスと300hPa面ジオポテンシャル高度との回帰図（9月）
赤枠が本研究で定義したサヘル領域。
等値線：回帰係数（m），色：信頼係数90%以上，ベクトル：波活動度フラックス（ m^2/s^2 ）

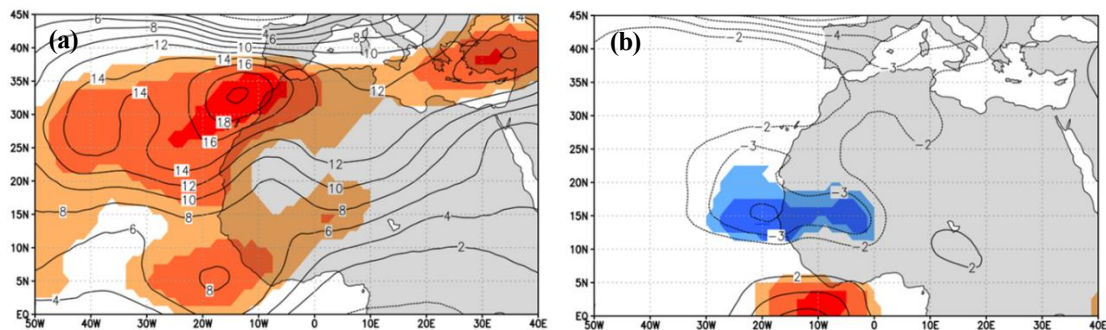


図3 サヘルOLRインデックスと流線関数との回帰図（9月）. (a)300hPa面, (b)850hPa面
等値線：回帰係数（ $\times 10^5 m^2/s$ ），色：信頼係数90%以上（暖色：高気圧性，寒色：低気圧性）

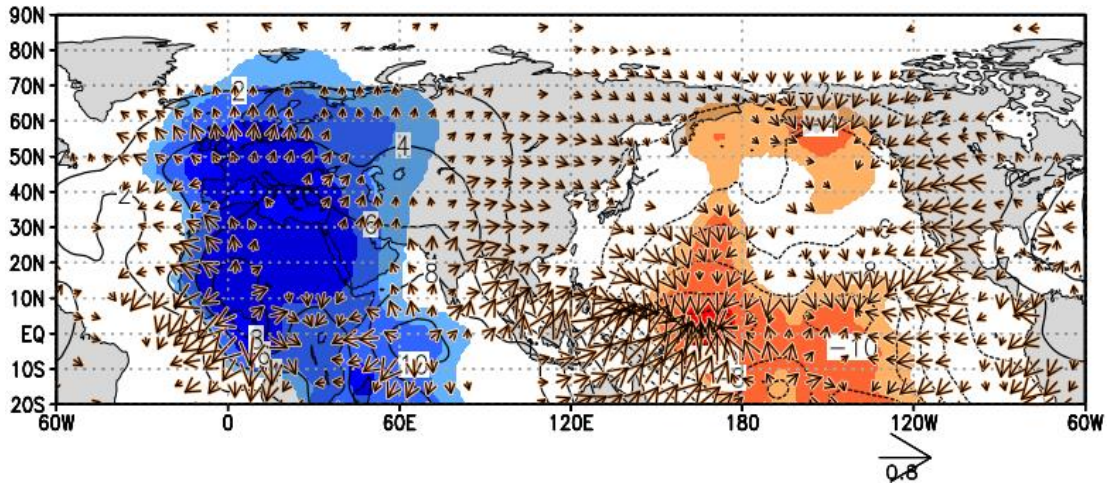


図4 サヘル OLR インデックスと 200hPa 面速度ポテンシャルとの回帰図 (9月).
等値線: 回帰係数 ($\times 10^5 \text{m}^2/\text{s}$), 色: 信頼係数 90%以上 (暖色: 収束, 寒色: 発散)

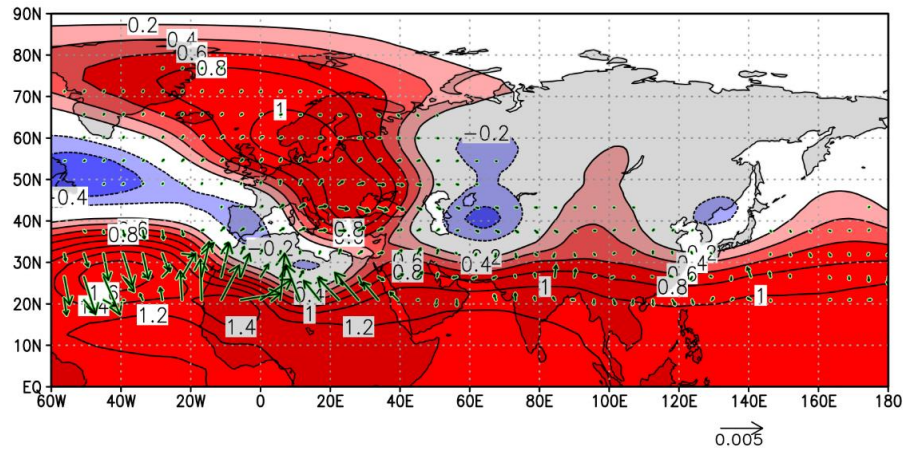


図5 LBM 実験(サヘル西部に熱源)による結果. 9月 300hPa 面.
等値線, 色: ジオポテンシャル高度の偏差 (m), ベクトル: 波活動度フラックス (m^2/s^2)

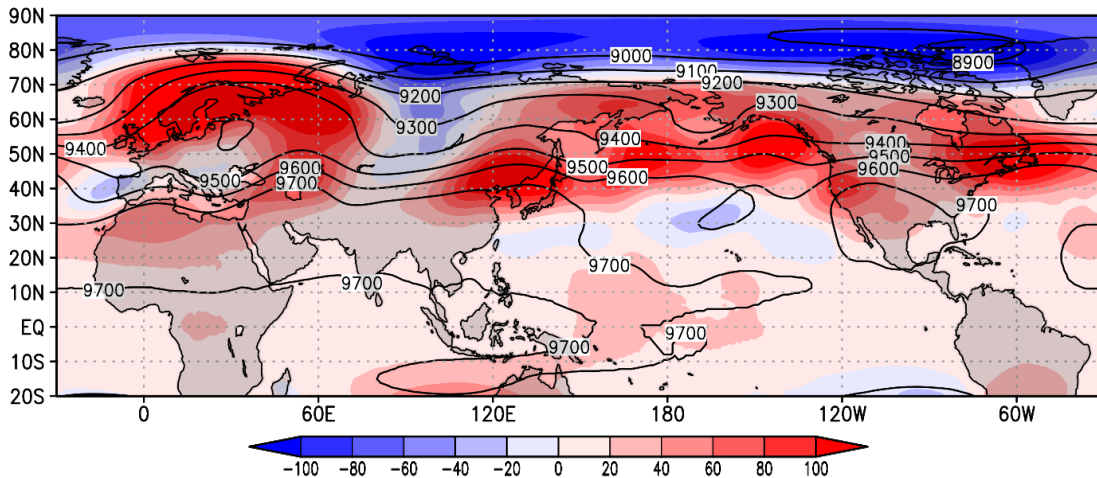


図6 2018年7月の 300hPa 面ジオポテンシャル高度 (m, 等値線) と気候値からの偏差 (m, 色)