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、サヘルの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[5]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) 「「「「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, サヘルの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)^[8]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月のサヘルの積雲対 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、サヘルの対流変動が日本 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

- Hoskins B. J. and Karoly D., 1981, *J Atmos Sci*, 38, 1179-1196.
- 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.
- Watanabe M., Kimoto M., 2000, J. Meteorol. Soc. Jpn., 126, 3343–3369.
- 6. Matsuno T., 1966, J. Meteorol. Soc. Jpn., 44, 25-42.
- Gill A. E., 1980, Quart. J. R. Met Soc., 106, 447-462.
- Takaya K. and Nakamura H. 2001, *J.Atmos.Sci*, 58, 608-627.



図19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)



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.





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(×10⁵m²/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 (×10⁵m²/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(m²/s²)



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)