

サヘルの対流変動が駆動する北半球大気循環パターン

*中西友恵, 立花義裕, 安藤雄太 (三重大院生物資源)

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。図1は Europe-Japan1 パターン(Wakabayashi and Kawamura, 2004)^[1]と呼ばれ、北半球の夏季における主要なテレコネクションパターンの一例である。このような波列パターンの形成要因として、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。中でも、加熱量の大きい海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, マッデン・ジュリアン振動; MJO, Pacific-Japan パターン^[2]など)。

一方で、海上と比較して加熱量が小さい陸上の対流についてはほとんど注目されない。しかし、陸上では、地表面が暖まりやすいことから上昇流が発達しやすい。そのため、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]。このことから、陸上の対流に伴う熱源のピーク位置は高く、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、私たちは北アフリカに位置するサヘル地域の対流に着目した。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。さらに、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 (NAO) 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、東アジアなど、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、サヘルの対流変動に伴う熱源がもたらす中高緯度への遠隔影響について、北半球規模で解明することを目的とする。

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。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 年分使用している。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。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 (図 2) として大気場データとの線形回帰分析を行った。

さらに、サヘルの対流活動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を参考に、サヘル領域西側の対流圏中層に 1K/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 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現れた (図略)。これは先行研究^[6]の結果とおおむね一致する。さらに、9 月においては、ヨーロッパ地域に留まらず東アジア方面まで連なる波列パターンが見られた (図 3)。このパターンは EJ1 パターンと類似している。また、サヘル OLR インデックスはエルニーニョ・南方振動 (ENSO) や熱帯大西洋の海面水温と有意な相関がある (図 4) が、これらの影響を線形回帰除去しても波列パターンは現れる (図略)。

次に、波列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場合、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-ギル応答 (Matsuno, 1996; Gill, 1980)^{[6][7]}が知られている。OLR 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 5)。これらは、赤道から

北に少しずれた点における松野ーギル応答と整合的である。また、図 6 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小さな絶対渦度の移流を示唆する。これにより北西側で高気圧が生成することも考えられる。

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 (WAF; 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の西から東アジアへ向かって伝播している。これにより波列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。この結果においてもシベリア付近まで連なる波列パターンが見られた (図 7)。位相はややずれているが、おおむね回帰分析の結果と整合的である。

4. まとめと議論

回帰分析の結果より、9月のサヘルの大気変動と北半球中高緯度における波列パターンとの相関関係が示された。ここに熱帯海洋による影響が介在していないことも確認した。さらに、因果関係を明らかにするため LBM 実験を行った。この結果においても回帰分析の結果と整合性のある波列パターンが現れたことから、サヘルの大気変動は波列パターンの形成に影響を与えていると考えられる。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おおむね説明できると考える。

ただし、LBM で再現されたのは西シベリア付近の高気圧までで、東アジアまで影響は届いていない。このことから、サヘル対流はトリガーとして重要であるが、パターンを作る要因は他にもあると考えられる。今後はそれを特定し、サヘル対流との関係性も含めて解析していく必要がある。

今回述べた 9 月に最もパターンが卓越する理由についても解析中であるが、現時点で 2 つ考えられる。一つは、サヘル雨季の終わりに

当たることから、ピークと比べて変動が大きいことである。もう一つは、中緯度のジェット的位置が南下してくることである。また、1カ月のラグ回帰計算を行うと 7 月の場でも同様のパターンが見られた。このようにラグが生じる理由やより詳細な力学過程を明らかにするためにも、Daily データを用いた事例解析やコンポジット解析にも今後取り組んでいきたい。

参考文献

1. Wakabayashi S. and Kawamura R., 2004, *J. Meteorol. Soc. Jpn.* **82**, 1577-1588.
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.

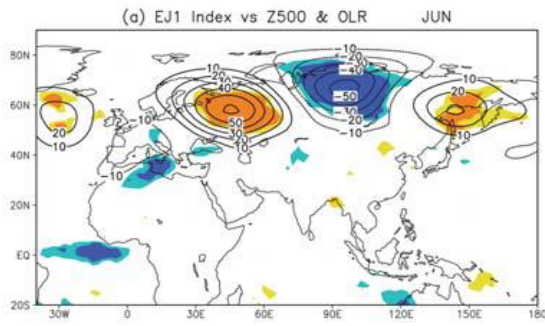


図1 Europe-Japan1(EJ1)パターン(6月) (Wakabayashi and Kawamura 2004 より引用).
 線: 500hPa 面ジオポテンシャル高度の回帰係数 (m)
 色: OLR の回帰係数 (W/m^2)

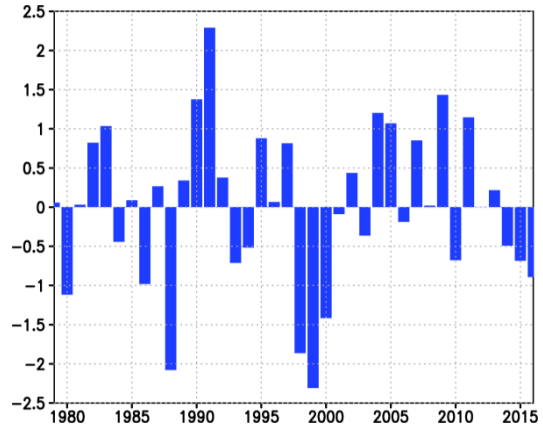


図2 サヘル OLR インデックス (9月)

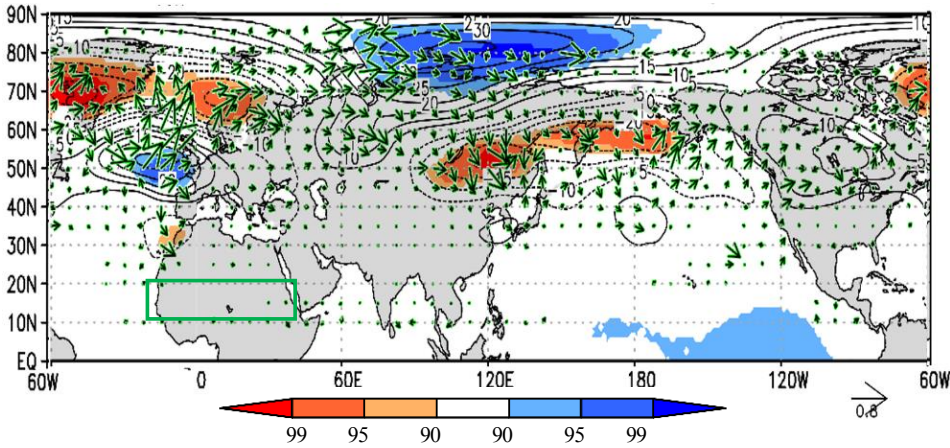


図3 サヘル OLR インデックスと 300hPa 面ジオポテンシャル高度との回帰図 (9月).
 緑枠が本研究で定義したサヘル領域.
 線: 回帰係数 (m), 色: 信頼係数 90%以上(OLR と対流の強さが負相関であるため, 回帰係数の負の値を暖色系, 正の値を寒色系で示した. 以下同様.)

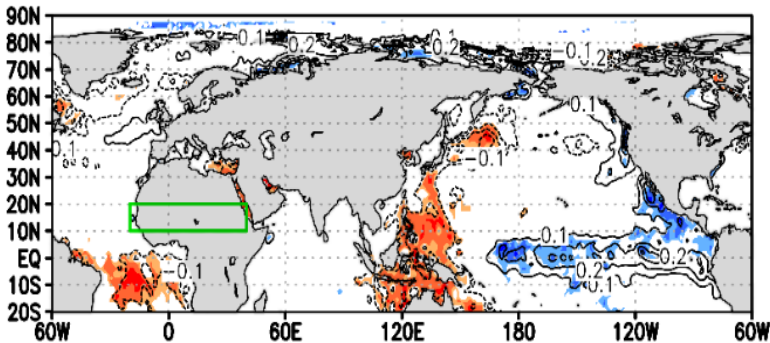


図4 サヘル OLR インデックスと海面水温との回帰図 (9月).
 線: 回帰係数 ($^{\circ}C$), 色: 信頼係数 90%以上

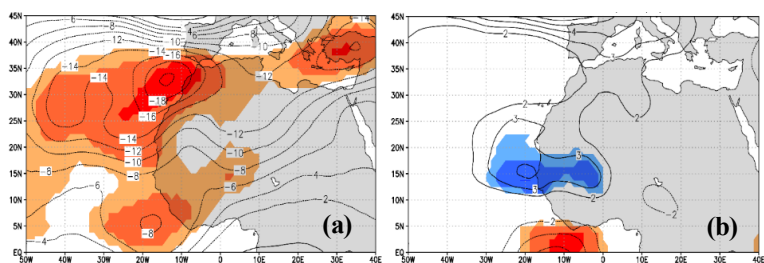


図5 サヘルOLRインデックスと流線関数との回帰図(9月).

線: 回帰係数 ($\times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$), 色: 信頼係数 90%以上

(a)300hPa面, (b)850hPa面

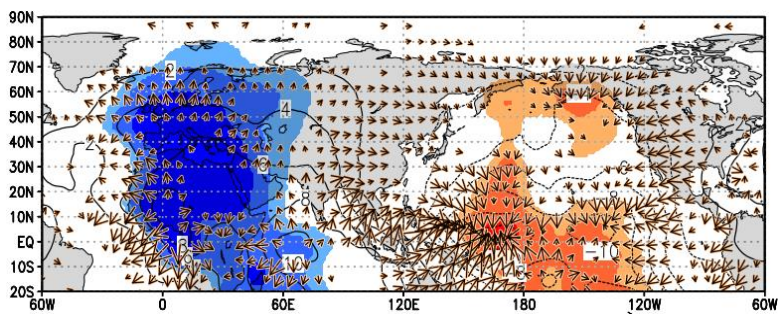


図6 サヘルOLRインデックスと200hPa面速度ポテンシャルとの回帰図(9月).

線: 回帰係数 ($\times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$), 色: 信頼係数 90%以上

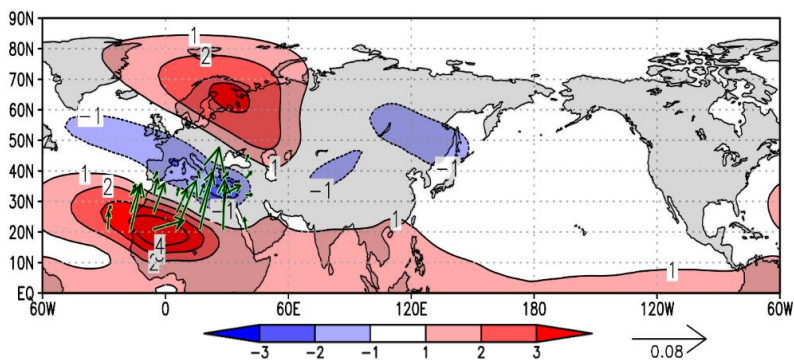


図7 LBM実験(サヘルに熱源)による結果. 9月300hPa面.

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)