南極振動が及ぼすソマリジェットを介した北半球大気循環への影響

Influence of the Antarctic Oscillation (AAO) upon atmospheric circulations in the Northern Hemisphere through the Somali Jet

気象・気候ダイナミクス研究室　杉原　直樹（518M206）：指導教員　立花義裕　教授

Naoki Sugihara

Keywords: *Antarctic Oscillation，Somali Jet，Tibetan High，Sea surface temperature*

1.　背景と目的

地球の気候システムでは熱帯域の現象が支配的に働き両半球の中高緯度に影響を及ぼす．しかし，南半球中高緯度の代表的な大気パターンである南極振動が熱帯域，あるいは赤道を越え北半球に影響を及ぼす研究も少ないがいくつか存在する．Eguchi and Kodera（2007）[1]は南半球の成層圏突然昇温が熱帯の対流活動に影響を及ぼすことを見出した．また，Tachibana et al.,（2018）[2]では南極振動と北半球中高緯度の代表的な大気循環パターンである北極振動が同期して変動していることを示し,南極振動が遠く離れた北極にまで影響を及ぼすことを示唆した．このことから南極振動が北半球の気候に対しても非常に重要な現象であることがわかる．

しかしながら,これらの南極振動が及ぼす北半球への影響に関する研究は成層圏を介して熱帯域あるいは北半球への影響を示している．そこで本研究では成層圏ではなく対流圏だけで南極振動が北半球中高緯度に与える影響について評価していく．

この南極振動が及ぼす「対流圏経路」での遠隔影響の橋渡し役として着目したのがソマリジェット（SMJ）である．SMJ は熱帯域のソマリア沖で北半球夏季に南風が卓越する下層ジェットである．赤道をまたいで顕著に吹く風は SMJ が唯一の風である．SMJ は多量の水蒸気をアジアモンスーン地域に運ぶため，インド周辺やアジア各地の降水や大気循環に影響を及ぼす（Wang et al., 2003）[3]ことが知られている．また，SMJ 強度は周りから多くの影響を受ける．Halpern and Woiceshyn（2000）[4]はエルニーニョ・南方振動（El Niño-Southern Oscillation：ENSO）が，Kripalani et al.,（2003）[5]ではヒマラヤの降雪が SMJ 強度に影響を与え，SMJ の経年変動を引き起こすことを示すなど，SMJ に関する研究は数多く存在する．しかしながら，SMJ は赤道をまたいで顕著に吹くことから，南半球と北半球をつなぐ大きな役割を果たしていると予想されるが，SMJ に着目して南半球の極域の現象と北半球中緯度の大気場との両者の関係を考察した研究はない．

そこで本研究では南極振動が SMJ を介して北半球に遠隔影響を与えているかを考察する．明らかにすることで 3 か月予報，季節予報などの長期予報の精度向上につながると共に，気候研究の新しいアイデアになる可能性がある．

2. 使用データと解析手法

本研究では気象庁 55 年長期再解析データ JRA-55（Kobayashi et al., 2015）[6]，海面水温（Sea surface temperature：SST）データは HadISST データ（Rayner et al., 2003）[7]，外向き長波放射（Outgoing Longwave Radiation：OLR）データのみ NCEP-NCAR 再解析データ(Kalnay et al., 1996)[8]を使用した．南極振動の定義は JRA-55 の 12, 1, 2 月平均したジオポテンシャル

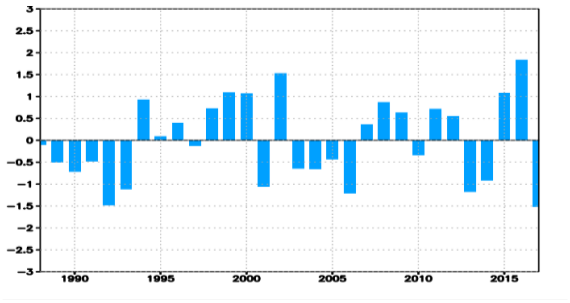


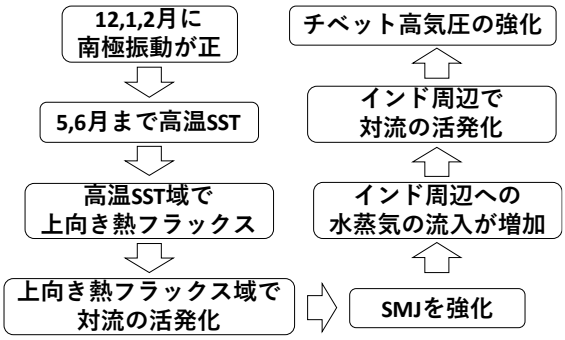
図 1　12,1,2 月の AAO インデックス（ENSO の変動成分を除いている）

高度を 1000hPa～200hPa で平均し，南緯 40 度以南の領域で EOF 解析した第一モード（寄与率 31%）を AAO インデックスとした．解析期間は 1988 年から 2017 年までの 30 年間で解析を行った．

また，本研究では ENSO が両半球の中高緯度域に及ぼす影響を除外したいので ENSO の変動成分を除いた残差インデックスを使用した（図 1）．線形回帰を行うことで南極振動の影響を評価する．

3. 解析結果

本研究では 12,1,2 月の AAO が 5,6 月の SMJ を介して，チベット高気圧を強めることを示唆した．結果の概要をフローチャート 1 に示している．解析の結果を次の章から順に説明する．



フローチャート　1

本研究結果の概要を示すフローチャート.

3-1. 南極振動とソマリジェットとチベット高気圧の関係

初めに, SMJ の標準偏差が大きい吹き初めに対応する 5,6 月の SMJ に着目した. 12, 1, 2 月の南極振動が正の時(極域で低気圧, 中緯度で高気圧の環状パターンの時)に 5, 6 月の 2 か月平均場で顕著に SMJ の強まりが見られた(図 2).

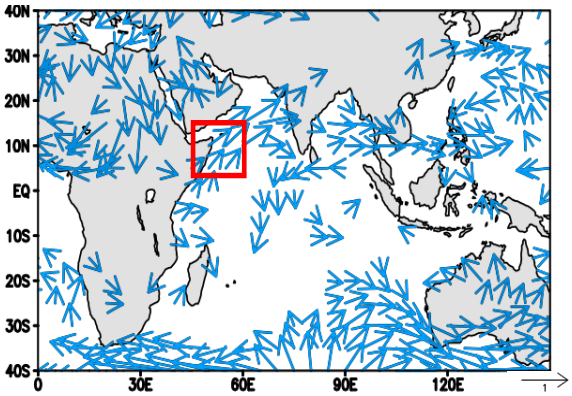


図 2　12,1,2 月の AAO と 5, 6 月 850hPa 面の風との回帰図　ベクトル：回帰係数(m/s)
赤枠は相関をとる際に領域平均したエリア

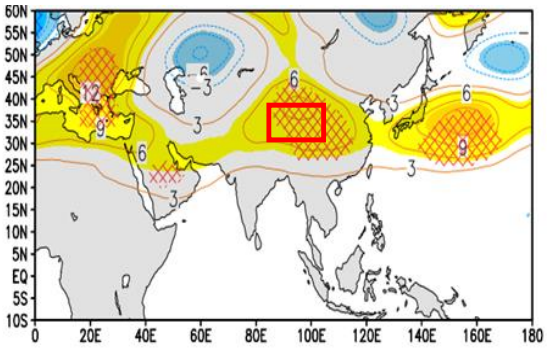


図 3　12,1,2 月の AAO と 5, 6 月の 200hPa ジオポテンシャル高度との回帰図.
色：ジオポテンシャル高度回帰係数（m）
ハッチ：信頼区間 90%以上の領域
赤枠は相関をとる際に領域平均したエリア

また, 5, 6 月の 200hPa 面のジオポテンシャル高度ではチベット高気圧の強まりがみられた(図 3). 12, 1, 2 月南極振動との相関をとると 5, 6 月 SMJ とは相関係数 0.37 の 5, 6 月チベット高気圧とは相関係数 0.41 の相関関係[p<0.05]があった. このことから, 南極振動が正のパターンは SMJ を強め、AAO に強められた SMJ がチベット高気圧を強めるという仮説を立てた.

3-2, 持続する海面水温が及ぼすソマリジェットへの影響

SST は大気に比べ熱容量が大きいため変動が遅い. そのため約半年の時間ずれをもって影響がみられる原因として SST に着目した. 12, 1, 2 月の場では南極振動の正のパターンに対応して環状に高緯度で低温, 中緯度で高温の SST の偏差が見られた. この環状 SST 偏差が 5, 6 月の場まで継続して見られ(図 4), 高 SST 場から上向きの熱フラックスが見られ

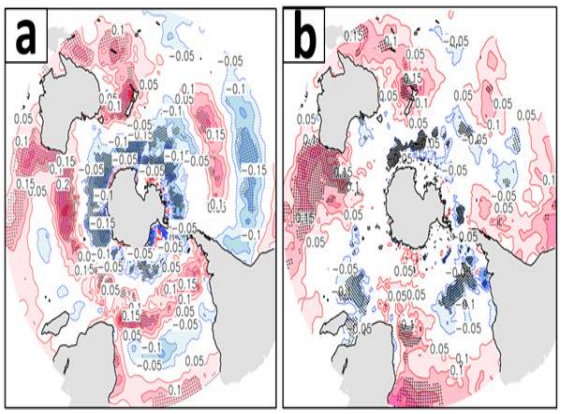


図 4　12,1,2 月の AAO と(a) 12, 1, 2 月の SST (b) 5, 6 月の SST との回帰図.
線, 色：SST 回帰係数(℃)
ドット：信頼区間 90%以上の領域

た(図略). 12, 1, 2 月 AAO とインド洋(50E-110E)で東西平均した熱フラックスの回帰係数の時系列(図略)を見ると, 南半球の夏に当たる 12~3 月に南半球中緯度で顕著に上向きの熱フラックスは見られない. しかし南半球の冬に当たる 4~7 月にかけて南半球中緯度で上向きの熱フラックスが顕著になっていた. このことから南半球が夏から冬に移行することで, 大気は急激に気温が低下するが, 海洋は比較的暖かい SST を保持し, 大気と海洋の熱コントラストが大きくなる. そのため上向き熱フラックスが 12,1,2 月の AAO から時間ずれをもって 5, 6 月に顕著にみられていると考えられる.

次に上向き熱フラックスがみられた南緯 30 度付近の南インド洋で対流の活発化がみられた(図略). 対流の活発化により南緯 30 度の 500hPa 面付近で対流による非断熱加熱が顕著にみられた(図 5). また子午面循環を確認すると対流の活発化があった南緯 30 度で顕著な上昇流が, 南緯 10 度付近で下降流が見られ, 下降流に伴って SMJ が強化されていた(図 6).

3-3. 線形傾圧モデル実験

この持続する高 SST による対流が SMJ を強めている可能性があり, 原因と結果を切り分けるために, 線

形傾圧モデル（Watanabe and Kimoto 2003）[9]による実験を行った．南緯 30 度付近の南インド洋の対流による非断熱加熱に対応する熱源を与え，その線形応答を見た．実験の結果，SMJ の強まりと南緯 30 度付近の上昇流と南緯 10 度付近での下降流が確認された（図略）．これらは再解析の結果とも一致していた．このことから，南インド洋の対流はSMJを強めることが示唆される．

3-4. SMJ の北半球への影響

強化されたSMJが及ぼす影響を見ていくとインド周辺への水蒸気の供給が増え対流活動の活発化が見られた（図略）．その上層のチベット高気圧が強化されており，東アジアまで張り出していることが確認された（図 3）．

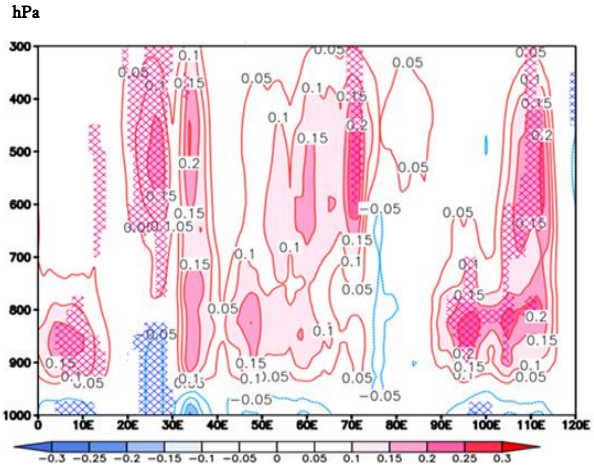


図 5　12,1,2 月の AAO と南緯 30～25 度で平均した対流による非断熱加熱との回帰図（経度高度断面図）．
色，線：非断熱加熱回帰係数(K/day)，
ハッチ：信頼区間 90%以上の領域

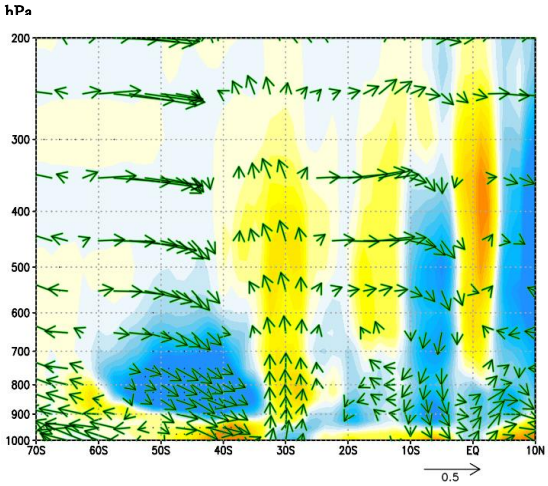


図 6　12,1,2 月の AAO と 5,6 月の風と対流による非断熱加熱の回帰図．（緯度高度断面図）
色：対流による非断熱加熱回帰係数(30S～110S 平均)（K/day）ベクトル：風回帰係数（30E～60E 平均）(m/s)

4. まとめ

結果から，12, 1, 2 月の南極振動が正の時，南半球の中緯度に高温 SST が現れ，5, 6 月に海から熱フラックスが出ることで SMJ を強めた．SMJ が強まるとインドの対流活動が活発になりアジア域に影響を与えることを示唆した．このことから，12,1,2 月の AAO はソマリジェットを介して 5, 6 月の北半球中緯度の大規模な大気循環に影響を与える可能性があることが示唆される。

5. 謝辞

本研究を進めるにあたり，熱心にご指導をいただきました立花義裕教授に深く感謝いたします．また，様々な点で助言を頂きました西井和晃准教授，小松謙介氏をはじめ，同研究室の安藤雄太氏そしてその他研究室の皆様に感謝の意を表します．

6. 参考引用文献

[1] Eguchi, N., & Kodera, K. (2007). Impact of the 2002, southern hemisphere, stratospheric warming on the tropical cirrus clouds and convective activity. *Geophysical Research Letters*, **34**, L05819.
[2] Tachibana et al., (2018). Interhemispheric Synchronization Between the AO and AAO. *GRL*, **45**, 13477-13484.
[3] Wang Huijun , Xue Feng (2003). The interannual variability of Somali Jet and its influences on the inter-hemispheric water vapor transport and the east Asia summer rainfall. *Chinese journal of geophysics,* **46**, 11-20.
[4] D. Halpern, and P. M. Woiceshyn, (2000). Somali Jet in the Arabian Sea, El Nino, and Indian Rainfall. *Journal of Climate*, **14**, 434-441.
[5] R. H. Kripalani et al., (2003). Western Himalayan snow cover and Indian monsoon rainfall: A re-examination with INSAT and NCEP / NCAR data. *Theoretical and Applied Climatology*, **74**, 1-18.
[6] Kobayash et al., (2015). The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan.*, **93,** 5-48.
[7] Rayner, N. A. et al., (2003). Global Analyses of Sea Surface Temperature, Sea Ice, and Night Marine Air Temperature since the Late Nineteenth Century, *J. Geophys. Res.*, **108,** 4407-4410.
[8] Kalnay E. et al., (1996). The NCEP/NCAR 40-year Reanalyses project. *Bull Amer Meteor Soc*, **77**, 437-471.
[9] Watanabe, M., Kimoto, M. (2000). Atmosphere-ocean thermal coupling in the Northern Atlantic: a positive feedback. *Quart J R Meteorol Soc* **126**, 3343–3369.