

冬季東アジアモンスーン変動に関わる ENSO と NAO の複合的影響

酒井 久美(富山大院・理工学教育部)・川村 隆一(富山大院・理工学研究部)

1. はじめに

日本に暖冬や寒冬をもたらす冬季東アジアモンスーンの強弱の要因として、偏西風の上流からのテレコネクション (e.g., Branstator et al., 2002; Watanabe, 2004; Takaya and Nakamura, 2005) や ENSO に代表される熱帯からのテレコネクション (e.g. Wang et al., 2000) など様々な関連性が指摘されている。しかし、依然として包括的な理解は不十分と思われる。

そこで本研究では、①ENSO に伴う熱帯強制によるアジアジェットの変動による冬季東アジアモンスーン循環への影響を理解すること、②アジアジェットの変動による冬季東アジアモンスーン循環への影響を考察することを目的とする。

2. 使用データ及び解析手法

気象庁提供の JRA-25 長期再解析データ及び JCDAS データ (1979-2006 年) の海面更正気圧 (SLP) を用いた冬季東アジアモンスーン指数 (Watanabe, 1994) と北半球の海面更正気圧、500hPa 高度、200hPa 流線関数とを回帰させた。また、200hPa 月平均流線関数偏差 (10° - 40° N, 30° - 150° E) に EOF 解析を適用することで、アジアジェットの主要な変動パターンを抽出した。次に、各 EOF モードが卓越するイベントを抽出し、各物理量についてコンポジット解析を行った。併せて NOAA の OLR や HadISST の SST データも使用した。

また、日平均値に基づいて 31 日移動平均

のローパスフィルターで低周波成分を抽出し、長周期の遠隔伝播パターンの時間発展も調べた。熱帯からの影響と中高緯度の影響を見るために、フィルターをかけた OLR 偏差を 5° - 17.5° N, 100° - 140° E で領域平均したものを OLR インデックス、200hPa 高度偏差の 60° N, 40° W と 50° N, 15° E の差を便宜的に NAO インデックスと呼ぶことにする。この NAO インデックスは従来のものと定義が異なる。

3. アジアジェット変動の主要なパターン

3.1 MOI と関係する循環場

冬季東アジアモンスーンと関連する循環場を見るために、冬季東アジアモンスーン指数 (MOI) に SLP、500hPa 高度、200hPa 流線関数を回帰させた (図 1)。

図 1(a)の MOI と SLP の回帰より、アリューシャン低気圧とシベリア高気圧が見られ、東西気圧傾度が大きく、冬季モンスーン変動を表していることがわかる。図 1(b)の MOI と 500hPa 高度 の回帰では、ユーラシア (EU) パターン (Wallace and Gutzler, 1981) のようなヨーロッパ、ロシア、日本へと続く亜寒帯ルートを通る波列パターンが見られる。図 1(c)の MOI と 200hPa 流線関数との回帰では、中国南部から日本への有意な波列が見られる。また、あまり有意ではないが、ヨーロッパからインド、日本へと亜熱帯ルートを通る波列も混在しているように見受けられる。

つまり、亜寒帯ルートと亜熱帯ルートを通るテレコネクションが冬季東アジアモンスーンと関連していることがわかる。

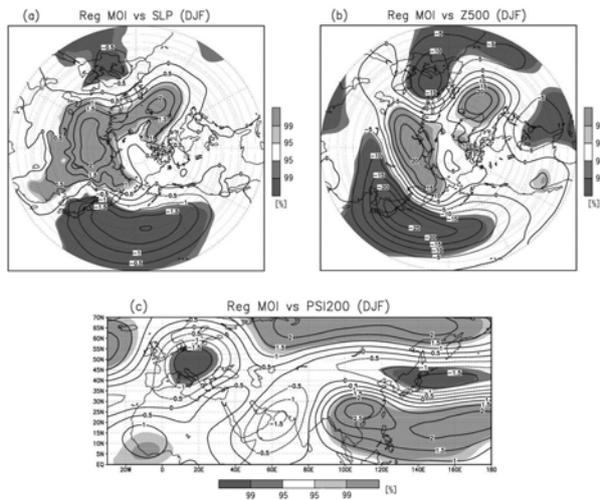


図 1. MOI と冬季 (DJF) の(a)SLP, (b)500hPa 高度, (c)200hPa 流線関数との回帰。濃い陰影は 99%、薄い陰影は 95%以上有意を表す。等値線は回帰係数であり、等値線間隔はそれぞれ 0.5hPa、5m、 $0.5 \times 10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ である。

3.2 アジアジェットの変動パターン

冬季のアジアジェットは南下することから熱帯の影響を受けやすいので、アジアジェットの変動に注目して 200hPa 流線関数偏差場に EOF 解析を適用した。

図 2 に EOF 第 1 モード及び第 2 モード卓越時の 200hPa 高度偏差、波活動度フラックスの合成図を示す。第 1 モード卓越時の図 2(a)より、アジアジェットに沿ってアラビア半島から日本の南に帯状に広がる正の高度偏差が見られる。1 月と 2 月のスコアの振幅が大きく、同時期に Niño3SST 等の ENSO 指標との相関が高い。しかし、MOI との相関はどの月も 0.1 程度であり、冬季モンスーンとは有意な相関がない。

第 1 モード卓越時の 200hPa 高度偏差の合成図である図 3(a)から、熱帯太平洋中部に南北双極子の負偏差が見られ、ENSO と関連していることがわかる。図 3(b)の OLR 及び 200hPa 速度ポテンシャル合成偏差図で

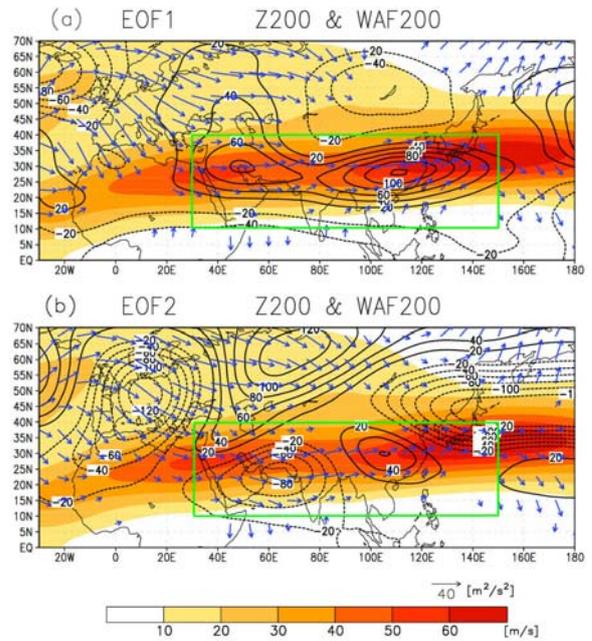


図 2. (a)緑線で囲った領域 (10° - 40° N, 30° - 150° E) で EOF 解析を行い、第 1 モードのスコアの絶対値が 1.0 以上の卓越した事例の 200hPa 高度偏差と波活動度フラックスの合成図。陰影は 200hPa 西風気候値。等値線は 200hPa 高度偏差であり、20m 間隔。ベクトルは波活動度フラックスを表し、 $5 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ 以下を省略。(b) (a)と同じであるが、第 2 モード卓越時の合成図。

は、熱帯インド洋からフィリピン海で広がった負の OLR 偏差と対流圏上層で発散が見られる。それに伴い、南アジア地域上に東西に広がった正の高度偏差ができたと思われる (図 3(a))。また、熱帯太平洋中部で正の OLR 偏差、ならびに収束が見られる。図 3(c)の SST 偏差では、熱帯太平洋中部から東部にかけて低温偏差が広がっている。このように、ラニーニャ現象の最盛期の典型的なパターンを示している。これらのことから、EOF 第 1 モードは、ENSO 最盛期におけるフィリピン海から熱帯インド洋上の対流加熱偏差に応答したアジアジェットの変動であることがわかる。

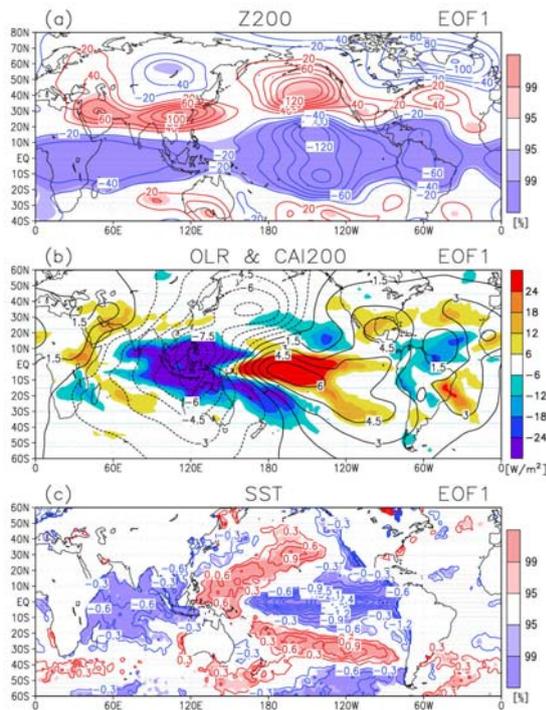


図 3. (a) 第 1 モードのスコアが絶対値 1.0 以上である時の 200hPa 高度合成偏差図。陰影は 99%、95%以上の有意性を表す。等値線間隔は 20m であり、0 は省略。(b) (a) と同じであるが、OLR と 200hPa 速度ポテンシャルの合成偏差図。陰影は OLR 偏差。等値線は 200hPa 速度ポテンシャルであり、等値線間隔は $1.5 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}^{-1}$ 。(c) (a) と同じであるが、SST 偏差の合成図。陰影は 99%、95%以上の有意性を表し、等値線間隔は 0.3K で、0 を省略。

EOF 第 2 モード卓越時の 200hPa 高度偏差、波活動度フラックスの合成図である図 2(b) から、アラビア海と日本上空に負の高度偏差、中国南部に正の高度偏差という東西非対称の波列パターンが見られる。また、ヨーロッパからインドを通り日本へとロスビー波束の伝播も見られる。第 1 モードのスコアは ENSO 指標と 1 月、2 月の相関が高かったが、第 2 モードのスコアは、12 月の ENSO 指標との相関が高い。また、MOI との相関

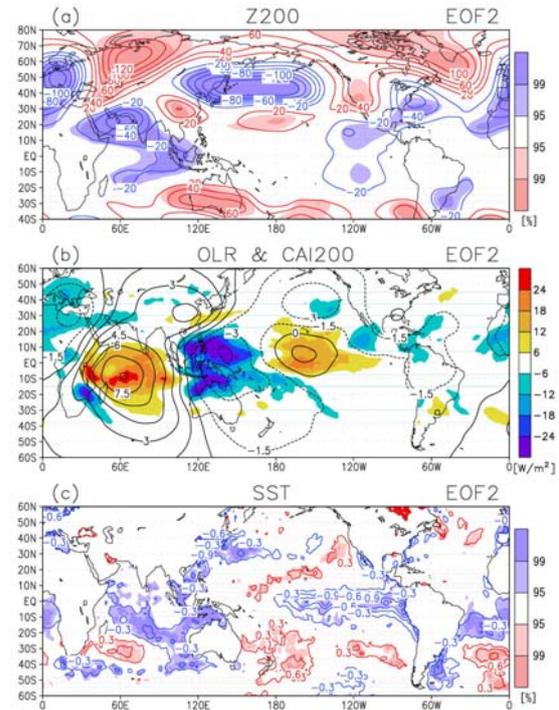


図 4. 図 3 と同じであるが、第 2 モード卓越時。はどの月も高くなっている。

図 4(a) で示した第 2 モード卓越時の 200hPa 高度合成偏差図から、日本付近に顕著な負偏差が見られる。図 4(b) の OLR 偏差、200hPa 速度ポテンシャル偏差の合成図では、フィリピン海で OLR の負偏差と上層での発散、そして熱帯インド洋の正偏差と収束が見られる。これに伴い、図 4(a) で南アジア地域に東西非対称の 200hPa 高度偏差が見られると思われる。また、熱帯太平洋中部で OLR 正偏差ならびに収束が見られ、ENSO の発達期によく見られるパターンであることがわかる (Kawamura et al., 2003)。図 4(c) の SST 偏差から、熱帯太平洋東部で低温偏差が見られるが、EOF 第 1 モード時と比べても弱い。また、日本付近に低温偏差が見られる。つまり、EOF 第 2 モードは、東西非対称な熱帯対流加熱偏差によるアジアジェットの応答を主に説明していることがわかる。

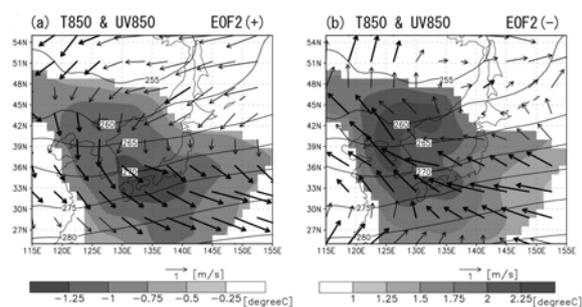


図 5. EOF 第 2 モード卓越時の 850hPa 気温偏差と水平風偏差の合成図。(a)スコアが 1.0 以上の合成図, (b)スコアが-1.0 以下の合成図。陰影は 90%以上有意な 850hPa 気温偏差。等値線は 850hPa 気温の気候値。ベクトルは 850hPa 水平風偏差。太いベクトルは 90%以上有意。

第 2 モードと冬季モンスーンとの対応を確認するために、図 5 に第 2 モード卓越時の 850hPa 気温と水平風の合成偏差図を示す。風ベクトル偏差を見ても正と負の両方で冬季東アジアモンスーンの強弱を表していることがわかる。また、西日本を中心に気温偏差も見られ、第 2 モードは冬季東アジアモンスーンと密接に関連しているパターンであると考えられる。

つまり、熱帯対流加熱偏差によるアジアジェットの応答は少なくとも二種類あることがわかった。一つは EOF 第 1 モードのような ENSO 最盛期に見られる熱帯インド洋からフィリピン海に広がる帯状の対流加熱偏差によるアジアジェットの応答である。もう一つは、第 2 モードのような ENSO 発達期に見られる熱帯インド洋とフィリピン海の東西非対称の局在化した熱源分布による応答である。このパターンは熱源が局在化しているので定在ロスビー波が励起されやすく、南アジア上の亜熱帯ジェットを導波管として伝播することで冬季東アジアモンスーン循環に影響を与えている。結果として、

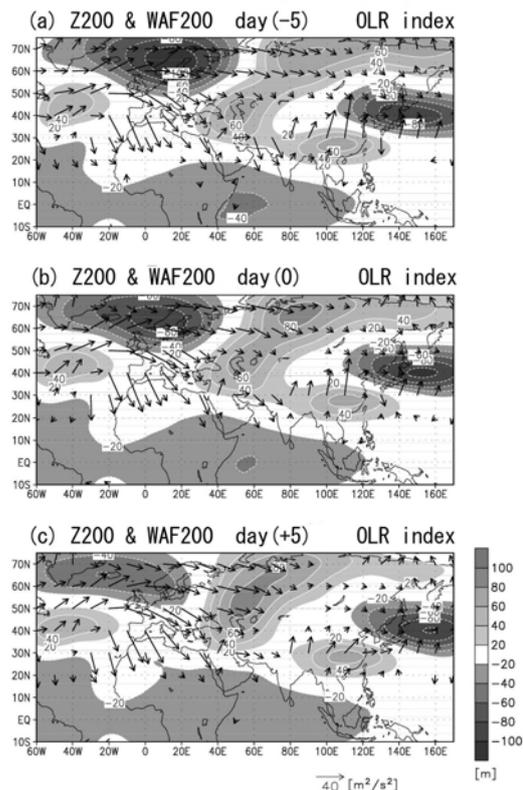


図 6. OLR インデックスが絶対値 1.0 標準偏差以上の卓越時の 200hPa 高度 LF 成分偏差と波活動度フラックスの合成図。陰影は 200hPa 高度 LF 成分偏差。ベクトルは 200hPa 波活動度フラックス。ただし $5\text{m}^2\text{s}^{-2}$ 以下を省略。(a)day(-5), (b)day(0), (c)day(+5)。

冬季日本の天候に大きく影響している。

4. ENSO と NAO の複合による影響

EOF 第 2 モード卓越時は、ENSO に伴う熱帯強制のみならず、亜寒帯ルートと亜熱帯ルートを通るヨーロッパからのテレコネクションも見られる。また、NAO 的な偏差パターンも見られる。そこで、ENSO と NAO の複合の観点から考察を行った。

4.1 ENSO に伴う熱帯強制

ENSO に伴う熱帯強制を調べるために、OLRI を用いて見ていく。図 6 に OLRI 卓越

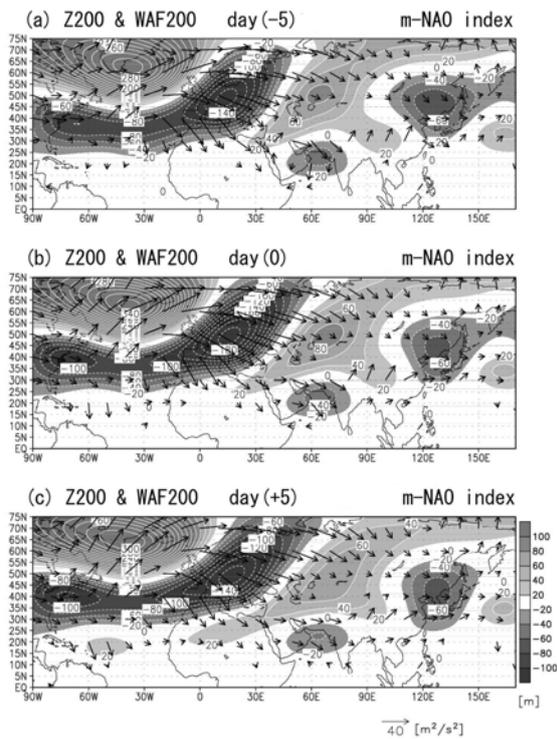


図 7. 図 6 と同じであるが、NAO インデックス卓越時。

時の 200hPa 高度 LF 成分偏差と波活動度フラックスを示す。day(-5)から day(+5)まで中国南部に正の高度偏差が見られ、日本付近は負の高度偏差に覆われている。また、波活動度フラックスからも熱帯の影響が見られる。ヨーロッパから伝播する波列も見られるが明らかに EOF 第 2 モードのパターンとは異なっている。

4.2 中高緯度起源

次に、中高緯度の影響を見るために NAOI 卓越時を調べた。NAOI 卓越時の 200hPa 高度 LF 成分偏差と波活動度フラックスを示す図 7 より、day(-5)から day(+5)まで日本付近は負の高度偏差に覆われていることがわかる。また、亜寒帯ルートを通る波列と亜熱帯ルートを通る波列、そしてロスビー波束の伝播が見られる。しかしながら、中国南部付近の正の高度偏差はあまり明確でない。

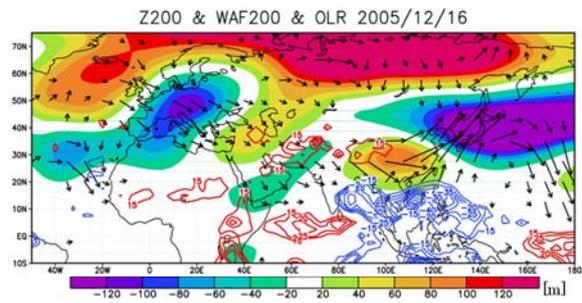


図 8. OLRI と NAOI の両方が卓越している 2005 年 12 月 16 日の OLR 偏差、200hPa の高度 LF 成分偏差と波活動度フラックス。陰影は 200hPa 高度 LF 成分偏差。等値線は OLR 偏差であり、間隔は 5Wm^{-2} 。ただし 10Wm^{-2} 以下は省略。ベクトルは 200hPa 波活動度フラックスであり、 $5\text{m}^2\text{s}^{-2}$ 以下は省略。

4.3 OLRI と NAOI の複合典型事例

図 8 に両インデックスが顕著な複合事例 (2005 年 12 月 16 日) を示す。フィリピン海、南シナ海付近に大きな OLR 偏差が見られる。また、亜寒帯ルートや亜熱帯ルートを通る波列やロスビー波束の伝播が見られる。つまり、NAO 起源のロスビー波束の伝播と ENSO に伴うフィリピン海に局在化した熱源によるエネルギー伝播の複合が、平成 18 年豪雪の発生に寄与していたと思われる。また、昭和 56 年豪雪時も類似の複合パターンであった。このように、冬季モンスーンが極端に変動する時には、ENSO と NAO の複合が関与している事例が多いと考えられる。

5. まとめ

ENSO と関連する熱帯強制によるアジアジェットの応答には、ENSO 最盛期に見られる帯状に広がった偏差パターンと発達期に見られる東西非対称パターンの少なくとも二種類存在する。帯状の応答が顕著な場合、アジアジェットに沿う定在ロスビー波が励

起されにくい。結果として、亜熱帯ルートを介して ENSO が冬季東アジアモンスーンに影響を与えるのは容易ではない。しかし、ENSO と関連した対流加熱偏差がフィリピン海付近に局在化すると、アジアジェットを導波管とする定在ロスビー波が伝播しやすく、下流の冬季東アジアモンスーン循環に有意な影響を及ぼす。つまり、亜熱帯ルートの遠隔伝播パターンで冬季東アジアモンスーン変動に影響を与えるためには、南シナ海・フィリピン海に局在化した熱源分布が有効である。

冬季東アジアモンスーン循環の変動には NAO も重要な要素であり、ENSO と NAO の複合効果によって冬季モンスーン循環の極端な変動が生じていると考えられる。昭和 56 年豪雪時や平成 18 年豪雪時も ENSO と NAO の典型的な事例である。

しかし、アジアジェットで、ENSO 強制と NAO 強制の両者による複合がどのように生じているのかについて現時点では不明瞭な点も多く、更なる研究が必要である。両者の強制が精度良く予測されるならば、冬季東アジアモンスーン変動の予測可能性についても議論が発展することが期待される。

参考文献

- Branstator, G., Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic Oscillation, *J. Clim.*, **15**, 1893-1910, 2002.
- 川村隆一, 小笠原拓也, 吉池聡樹, 2007: 平成 18 年豪雪と冬季東アジアモンスーン変動. 2005/06 年日本の寒冬・豪雪, 気象研究ノート, **216**, 95-107.
- Kawamura, R., T. Matsuura, S. Iizuka, 2003: Equatorially symmetric impact of El Nino-Southern Oscillation on the South Asian summer monsoon system. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 1329-1352.
- Kodera, K., 1998: Consideration of the origin of the different midlatitude atmospheric responses among El Nino events. *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 347-361.
- Nishimori, M., and R. Kawamura, 1993: The relationship between seasonal snow cover in Japan and recent climatic change. International Glaciological Society, *Annals of Glaciology*, **18**, 166-172.
- Takaya, K., and H. Nakamura, Mechanisms of intraseasonal amplification of the cold Siberian high, *J. Atmos. Sci.*, **62**, 4423-4440, 2005.
- 高谷康太郎, 中村尚, 2007: 冬季東アジアモンスーンと熱帯 SST との関連について. 2005/06 年日本の寒冬・豪雪, 気象研究ノート, **216**, 185-192.
- Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 785-812.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate?, *J. Clim.*, **13**, 1517-1536, 2000.
- Watanabe, M., Asian jet waveguide and a downstream extension of the North Atlantic Oscillation, *J. Clim.*, **17**, 4674-4691, 2004.
- Watanabe, T., 1990: Study on formation process of SST anomalies in the western North Pacific: Role of the East Asian winter monsoon. Doctoral Thesis, Tohoku University, 121-pp.