

PNA・EU パターンの力学的結合とその背景場に関する解析

竹村 和人、卜部 佑介、齋藤 仁美、及川 義教（気象庁気候情報課）
前田 修平（気象研究所）

1. はじめに

2015 年 12 月から 2016 年 1 月にかけて、北半球中高緯度の循環偏差場の特徴が大きく反転し、1 月上旬以降は正の PNA(Pacific North America)・EU(Eurasia)パターンがほぼ同時に現れる特徴的な循環場となった。第 1 図に示した 500hPa 高度をみると(同図(b)上段)、正の EU パターンに対応して西シベリアではリッジ、東アジアではトラフが深まり、1 月以降はユーラシア大陸北東部で明瞭な低温偏差となり(同図(b)下段)、下旬前半には東アジアで強い寒波に見舞われた(同図(c)下段)。PNA 指数と EU 指数の日別時系列をみると、上記の循環場の急速な変化と対応して、両指数ともに 1 月はじめ以降に正の大きな値を示している。また、冬の期間を通して、両指数の推移はよく類似していることがわかる。以上のことから、本研究では以下 2 点に着目した解析を行った。

- ・2015/2016 年冬季にみられたような両パターンの統計的関連はあるのか。
- ・両パターンに統計的関係が認められる場合、どのような過程を経て両者が結合し得るか。

2. データと解析手法

大気循環場の解析には 1958/1959～2015/2016 年冬季(12～2 月)における気象庁 55 年再解析データ(JRA-55, Kobayashi et al. 2015)を用い、平年値は 1981～2010 年の 30 年平均値に対して 60 日の low-pass フィルター(Duchon 1979)を施した値、偏差は平年値からの差で定義した。準定常ロスビー波をはじめとする低周波変動成分の抽出

には 10 日の low-pass フィルターを、移動性擾乱に伴う変動成分の抽出には 2～8 日の band-pass フィルター(Blackmon 1976)を用いた。テレコネクションパターン、指数については、Wallace and Gutzler (1981)に従って導出した。準定常ロスビー波の伝播の診断には、Takaya and Nakamura (2001)の波の活動度フラックス(以下、WAF)を用いた。

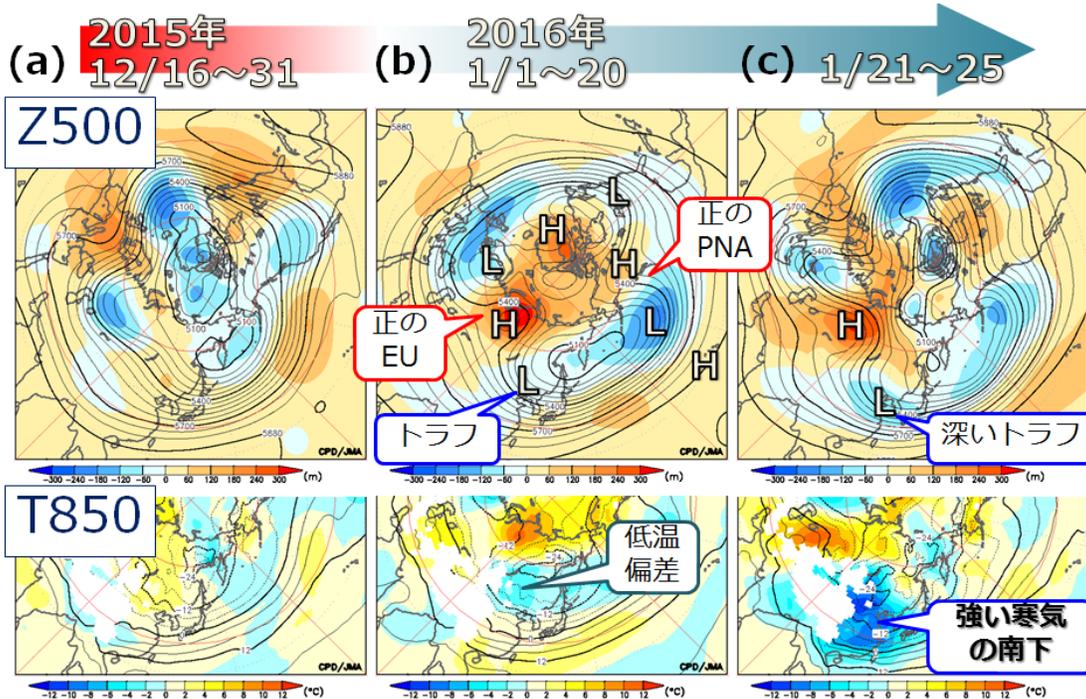
3. 統計解析

3.1 PNA・EU 指数の相関

はじめに、PNA・EU パターンを比較すると(第 3 図)、それぞれの典型的なパターンに加えて、弱いながら互いのパターンもほぼ同位相で見られ、統計的には互いのパターンが同時に発現しやすい傾向を示唆している。月別の PNA・EU 指数の間には、+0.81 の正の有意な相関がみられる(第 4 図)。両パターンの高い相関を示唆する先行研究として、Ohhashi and Yamazaki (1999)もまた、波の活動度フラックスを用いた主成分分析より PNA・EU パターンが重なったモードを抽出しており、上記の結果と整合している。

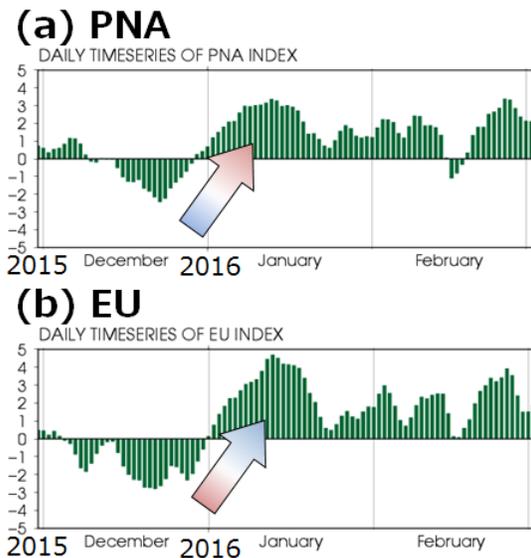
3.2 ラグ合成図解析

次に PNA・EU パターンの結合の時間発展を調べるために、解析期間において EU 指数が正のピークを示したイベントの上位 31 事例について、循環場の日別値を用いたラグ合成図解析を行った。ここで、ラグの基準日(day0)は EU 指数が極大を示した日とした。300hPa における循環場のラグ合成図を第 5 図に示す。day-12(同図(b))をみると、



第1図 500hPa 高度 (上段) と 850hPa 気温 (下段)

(a)2015年12月16日~31日平均、(b)2016年1月1日~20日平均、(c)1月21日~25日平均。等値線は解析値 (500hPa 高度は 60m 間隔、850hPa 気温は 4℃間隔)、陰影は偏差を示す。



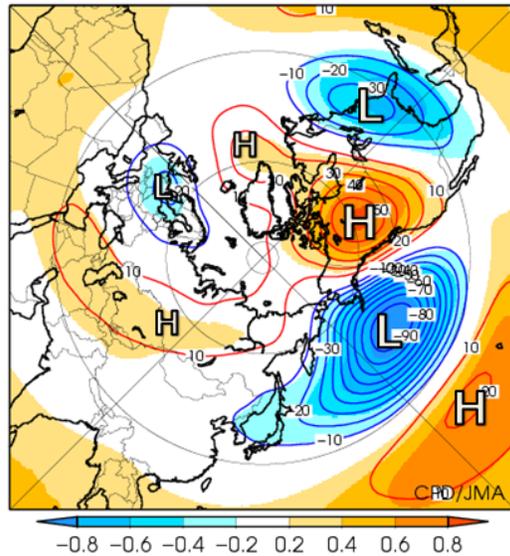
第2図 2015年12月~2016年2月におけるテレコネクション指数の日別時系列 (a)は PNA 指数、(b)は EU 指数。

20°~40°N 帯のジェット気流に沿った準定常ロスビー波の伝播 (以下、波束伝播) がみられるが、その後 day-9 (同図(c)) にかけて太平洋から北米にかけての正の PNA パターンに対応した大円状の偏差パターンが強化され、北大西洋では波束伝播が北向きに変化している。day-6 にかけて PNA パターンは減衰する一方、北大西洋での北向きの波束伝播に伴って、グリーンランドの南からヨーロッパ北部で偏差が大きく増幅し (同図(d))、カナダ北部からグリーンランド付近にかけてはロスビー波の碎波に対応した南北の偏差パターンが発達している。その後 day0 にかけて、正の EU パターンに対応したユーラシア大陸北部を經由する寒帯前線ジェット気流に沿った波列パターンが発達している (同図(e)と(f))。これらの合成図より、正の

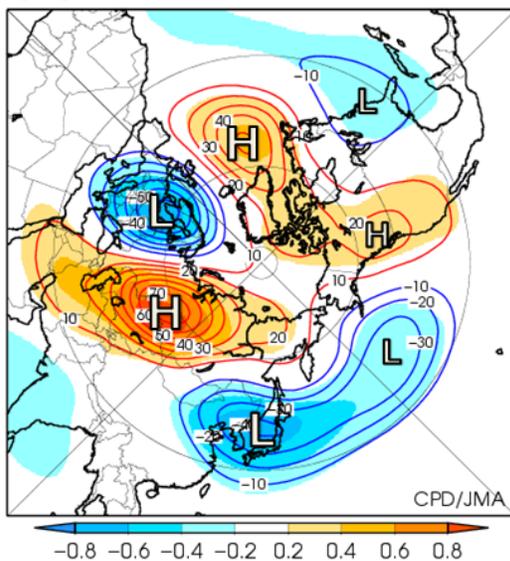
PNA パターンから正の EU パターンに至る時間発展が確認できる。

正の EU パターンの増幅期における波束伝播の経路とロスビー波の導波管との対応をみると (第 6 図)、大西洋西部やユーラシア大陸南部の導波管に沿った波束伝播がみられるほか、大西洋北部からユーラシア大陸北部にかけては波束が導波管の中心より大きく北に偏って伝播しており、グリーンランド付近でのロスビー波の砕波や正の EU パターンの増幅と対応している。同期間における 300hPa 傾圧エネルギー変換をみると、北大西洋北部からヨーロッパ北部にかけて大きな値を示し (第 7 図)、傾圧不安定に伴う基本場・擾乱間のエネルギー変換がこの領域における偏差パターンの形成や維持に主に寄与した可能性が示唆される。第 8 図に示した day-20~+20 の期間における北大西洋~ヨーロッパ北部で領域平均したエネルギー収支をみると、day-10 前後以降にみられるエネルギーの大きな増加及び維持において、正の (すなわち基本場から擾乱への) 傾圧エネルギー変換による寄与がみてとれる。さらに、全エネルギーが増加に転じる day-12 前後には、一時的な WAF の収束がみられることから、北大西洋北部からヨーロッパ北部にかけての偏差パターンの形成には、主に準定常ロスビー波の伝播が、その維持には主に基本場からの傾圧エネルギー変換による寄与が考えられる。また、北大西洋北部では高周波擾乱による渦度フラックスに伴って高度が上昇する傾向がみられ、高周波擾乱によるフィードバック効果もまた、北大西洋北部での南北の偏差パターンの形成に寄与する可能性が考えられる。

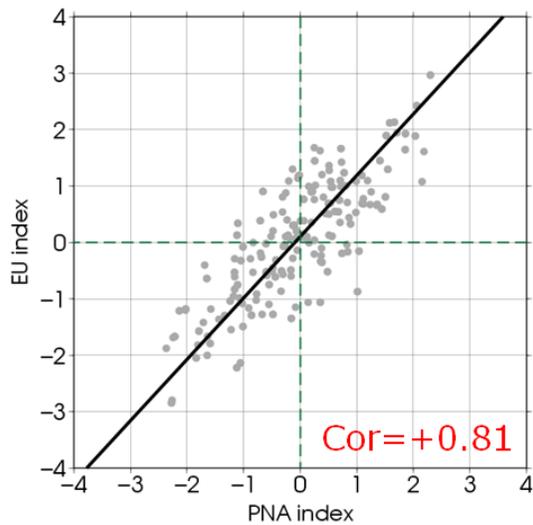
(a) PNA



(b) EU



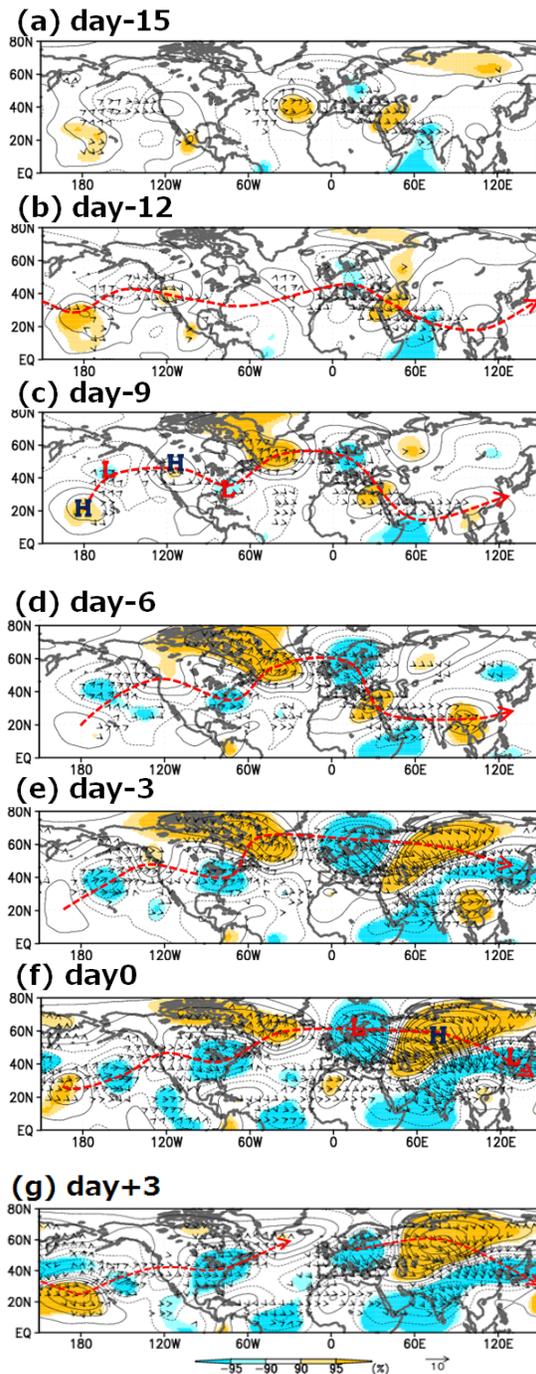
第 3 図 冬季の月別 500hPa 高度から算出したテレコネクションパターン (a)は PNA パターン、(b)は EU パターン。等値線は指数に回帰させた 500hPa 高度、陰影は指数と 500hPa 高度との相関係数。



第4図 月別の PNA 指数と EU 指数の散布図
横軸は PNA 指数、縦軸は EU 指数。黒線は回帰直線。
図の右下に両指数の相関係数を示した。

4. 議論と考察

ラグ合成図解析の day-12 にみられる北半球中緯度帯を一周する波列パターンより、Branstator (2002) で示されている冬季の CGT (Circum-Global Teleconnection) パターンが想像される。ここから正の EU パターンのピーク期間にかけて、波束伝播の経路が高緯度側に大きくシフトし、北大西洋北部からユーラシア大陸北部を経由する偏差パターンが卓越している。このいわゆる北回りのパターンは、Branstator(2002) が示している CGT パターンとは異なり、北大西洋からユーラシア大陸北部にかけての領域を経由する CGT パターンの存在を示唆する結果であり大変興味深い。さらに、北大西洋北部からヨーロッパ北部にかけての偏差パターンには、基本場-擾乱間のエネルギー変換による寄与が示唆された。先行研究による同様の解析として、Simmons et al. (1983) は、順圧エネルギー変換が太平洋のストームトラックにおける擾乱の発達に大きく寄与する可能性を示唆しているが、合成図解析の結果は



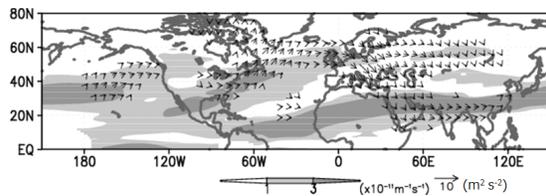
第5図 EU 指数が正のピークを示したイベントの上位 31 事例における日別循環場のラグ合成図
(a)day-15、(b)day-12、(c)day-9、(d)day-6、(e)day-3、
(f)day0、(g)day+3の合成図。等値線は合成した 300hPa
流線関数偏差 (単位: $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)、陰影はその信頼度水
準 (%)、矢印は WAF (単位: m^2/s^2)。準定常ロスビ
ー波のおおまかな伝播経路を赤点線で示した。

大西洋のストームトラック域における傾圧エネルギー変換の重要性を示唆している。

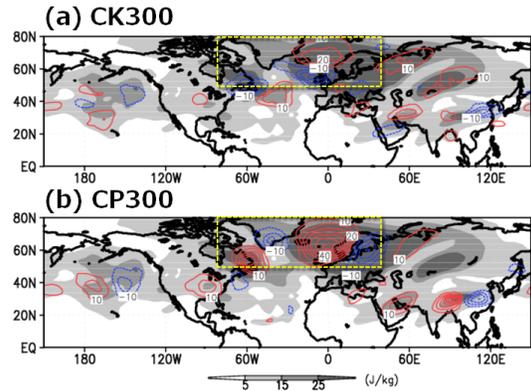
5. まとめ

2015/2016年冬季にみられた大気循環場の特徴を踏まえて、PNA・EUパターンの統計的關係やその結合過程に関する解析を行った。月別のPNA・EU指数の相関解析より、両指数の間には統計的に有意な正の相関がみられた。正のEUパターンのピーク日を基準にしたラグ合成図解析より、正のPNAパターンの発達から、大西洋での北向きの波束伝播、正のEUパターンの励起に至る時間発展がみられ、北大西洋北部からヨーロッパ北部にかけての偏差パターンの形成には、上流からの波束伝播や高周波擾乱によるフィードバック効果が、その維持には基本場からの傾圧エネルギー変換が主に関連している可能性が示唆された。

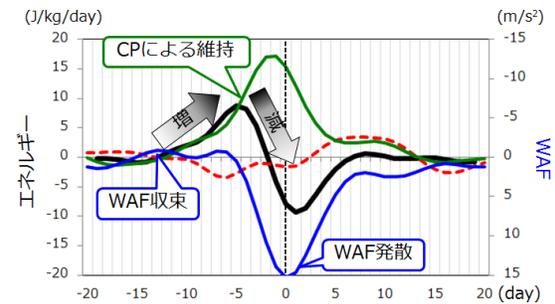
本研究では正のEUパターンを対象に調査を行ったが、負のEUパターン時にも同様の特徴がみられるかどうかについては今後調査する必要がある。また、PNAパターンはENSO(エルニーニョ・南方振動)に代表される熱帯域の循環場と強く関連しているため(Renwick and Wallace 1996)、PNA・EUパターンの結合に対する熱帯域の循環場変動による寄与についても着目して調査していきたい。



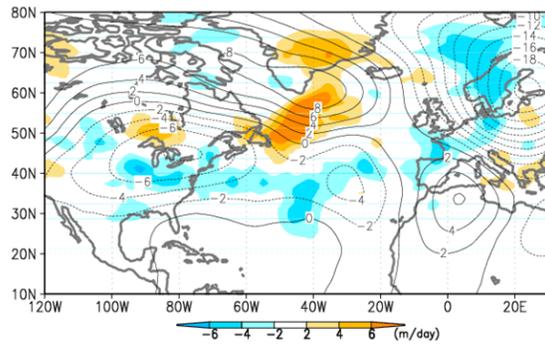
第6図 day-10~0で平均した300hPa絶対渦度の南北勾配(陰影)とWAF(矢印)



第7図 day-10~0で平均した300hPaエネルギー変換(a)は順圧エネルギー変換、(b)は傾圧エネルギー変換。エネルギー変換の単位はJ/kg/dayで、正(赤線)の値は基本場から擾乱へのエネルギー変換を示す。基本場は平年値で、擾乱は偏差で定義した。陰影は低周波変動成分の300hPa乾燥全エネルギー(単位: J/kg)。



第8図 day-20~+20の期間における、大西洋北部~ヨーロッパ北部(50°-80°N, 80°W-40°E)で領域平均した300hPa乾燥全エネルギーの時間変化率、順圧・傾圧エネルギー変換、WAFの収束・発散の時系列。黒線は乾燥全エネルギーの時間変化率、赤点線は順圧エネルギー変換、緑線は傾圧エネルギー変換(単位: J/kg/day)、青線はWAFの収束・発散(単位: m/s²)。



第9図 day-10~0で平均した300hPa高周波擾乱によるフィードバック効果と高度場変化率

陰影は300hPa高周波擾乱の渦度フラックスの収束発散に伴う高度変化率(m/day)、等値線は高度の変化率(m/day)を示す。

参考文献

- Branstator, G. W., 2002: Circumglobal Teleconnections, the Jet Stream Waveguide, and the North Atlantic Oscillation, *Amer. Meteor. Soc.*, **15**, 1893-1910.
- Blackmon, M. L., 1976: A climatological spectral study of the 500 mb geopotential height of the Northern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1607-1633.
- Duchon, C. E., 1979: Lanczos filtering in one and two dimensions. *J. Applied Met.*, **18**, 1016-1022.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita,

M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

Mori, M. and Watanabe, M., 2008: The growth and triggering mechanism of the PNA: A MJO-PNA coherence, *J. Meteor. Soc. Japan*, **86**, 213-236.

Ohhashi, Y., K. Yamazaki, 1999: Variability of the Eurasian Pattern and Its Interpretation by Wave Activity Flux, *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 495-511.

Renwick, J. L., J. M. Wallace, 1996: Relationships between North Pacific wintertime blocking, El Niño, and the PNA pattern. *Mon Weather Rev.*, **124**, 2071-2076.

Simmons, A. J., J. M. Wallace, G. W. Branstator, 1983: Barotropic Wave Propagation and Instability, and Atmospheric Teleconnection Patterns, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1363-1392.

Takaya, K., and H. Nakamura, 2001: A formulation of a phase-independent wave activity flux for stationary and migratory quasi-geostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.