

2012年冬のユーラシア大陸に異常低温をもたらせたブロッキングと成層圏プラネタリー波の反射

小寺 邦彦 (名大・STE) ・向川 均 (京大・防災研) ・藤井 晶 (京大・理)

はじめに

2011/12年の冬は2009/10年の冬と同様、ヨーロッパ、アジアは厳しい寒さに見舞われた。しかし、寒波をもたらした大規模な大気の循環場の特徴は両者で相当に異なっている。2009/10年の冬は北極振動、あるいは環状モードに伴う循環の変化として理解できる。北極振動に伴う寒波では極からユーラシアとともにアメリカ側にも寒気が流出するが、2012年のユーラシア寒波の場合ではアメリカは逆に暖冬になっている。世界的な規模で寒気の流出を伴う循環場としては環状モード以外にも1963年1月のような波数3型のパターンもよく知られているが、この場合にもアメリカは、ヨーロッパや日本と同じく寒冬になる。これに対し、2012年の冬の気温偏差場は東半球と西半球とのシーソーパターン、あるいは波数1型のパターンで特徴付けられ、あまり例を見ないものであった。

さらに、2012年1、2月にシベリアと北太平洋上で同時に発生したブロッキングがともに西進した後、ユーラシア大陸上で一体化して巨大なブロッキングを形成した事は特筆すべき循環場の特徴である。ユーラシア大陸の強い低温偏差域は、このダイポール型ブロッキングに伴う低圧部で形成されている。

ブロッキングの発生に関しては種々の要因が考えられるが、その一つにプラネタリー波の増幅がある(Austin, 1980)。2012年の巨大ブロッキングの形成要因として、このプラネタリー波の役割が考えられる。対流圏のプラネタリー波の構造が変化する要因の一つとして成層圏でのプラネタリー波の反射が知られている(Perlwitz and Harnik, 2003; Kodera et al., 2008)。また、プラネタリー波の反射がブロッキングの発生と関連する可能性が最近の研究から分かってきた(向川他、2012)。ここでは2012年1、2月にユーラシ

ア大陸に寒波をもたらしたブロッキングの発生が、成層圏プラネタリー波の鉛直伝播の変化とどの様に関連していたかについて解析した。

結果

気象庁による再解析データを用いて解析を行った。図1aに東欧が強い寒波に見舞われた2012年1月末から2月初め(1月29日~2月2日)の5日平均850hPa気温偏差、および500hPa高度場を示す。低温偏差域はアラスカから中緯度ユーラシアを横断し、地中海、北アフリカへと続いている。一方、高温偏差域は中部シベリアから北大西洋を経てアメリカ大陸北部、亜熱帯東太平洋へと続いている。このスパイラル構造は300hPa高度場の波数1成分として明瞭に捉えられる(図1b)。

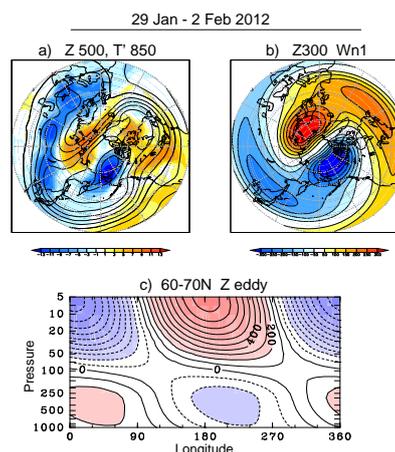


図1. 1月29日~2月2日の5日平均場：
(a) 850hPa 気温偏差および 500hPa 高度。気温偏差は彩色で、高度場は 100m 毎の等値線で示す。
(b) 300hPa 高度場の波数 1 成分。(c) 北緯 60~70 度帯での高度場の波数 1 成分の経度-高度断面。

この右回りのスパイラル構造は、気圧の峰、あるいは谷が低緯度に行くほど西に変位する傾向と対応している。つまり、波数 1 のプラネタリー波が高緯度から低緯度に向かって伝播していることを意味している。図 1c に北緯 60~70 度で平均した高度場の波数 1 成分の経度-高度断面を示す。波の振幅が 100hPa でほぼ 0 であり、その上下で位相が反転していることは、プラネタリー波が成層圏で反射した結果と考えられる。

次に、ユーラシアの低温域と波数 1 のプラネタリー波の鉛直伝播の関連を見るために、図 2 に (a) 北緯 60~70 度で平均した帯状平均東西風の高度・時間断面、(b) 北緯 30~90 度で平均した 100hPa での Eliassen-Palm (E-P) flux の鉛直成分の時系列、(c) 北緯 40~50 度で平均した 850hPa 気温偏差の経度・時間断面を示す。一方、図 2c はベルリン自由大学の解析による北緯 60 度の波数 1 の位相 (峰の位置) を示している。また図 2d はブロッキング強度の経度・時間断面を示す。

図 2 より、1 月初めからプラネタリー波の活動が増加し、1 月 14 日頃に成層圏で小昇温が発生して西風ジェットが弱化的なことが分かる。この小昇温の結果、上部成層圏極域は東風になったが、中部成層圏以下では西風が維持されている。この様に成層圏中層で西風の極大域が存在する帯状風プロファイルではプラネタリー波が反射し易いことが知られている (Perlwitz and Harnik, 2003)。実際、小昇温に引き続いてプラネタリー波が成層圏で反射し、北半球中高緯度で平均した E-P flux (図 2b) はほぼ 0 になった。このプラネタリー波の鉛直伝播特性の変化に伴い、対流圏プラネタリー波の位相構造も変化し、西ヨーロッパ (東経 0 度付近) にあった波数 1 の峰は東アジア (東経 120 度) 付近まで移動する。また、プラネタリー波の構造の変化に同期してブロッキングも 1 月 18 日頃に発生している (図 2d)。東アジアでの低温はこのブロッキングの発生に伴って開始している。その後、プラネタリー波の西方への移動に伴ってブロッキングも西進し、低温域がヨーロッパに伸展している。

図 3 に、ユーラシア域で 3 日移動平均した 850hPa 気温偏差と 500hPa 等圧面高度を、1 月 21 日から 2 月 2 日までの期間について示す。1 月 21 日には東経 160 度と東経 60 度付近の 2 カ所にブロッキングが位置している。このユーラシア大陸東部に形成されたブロッキングの低圧部に沿って低温域が存在している。次第に、これら 2 つのブロッキングは揃って西進するが、1 月 27 日頃から併合してユーラシア大陸を覆う一つのブロッキングを形成する。この変化は図 2d のブロッキング強度の図からもはっきり見て取れる。この巨大なブロッキングの低圧部の形成に伴って寒気が北から流入し、図 2a に示されたユーラシア大陸を横断する低温域が形成される。図 2b から分かるように、この巨大ブロッキング高気圧は、波数 1 のプラネタリー波の峰に対応する。

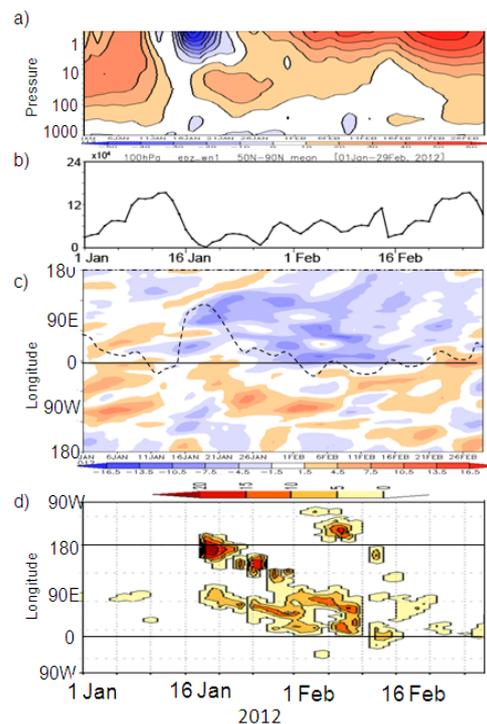


図 2. (a) 北緯 60~70 度で平均した帯状平均東西風の高度・時間断面、(b) 北緯 30~90 度で平均した 100hPa における Eliassen-Palm (E-P) flux の鉛直成分の時系列、(c) 北緯 40~50 度帯の 850hPa 気温偏差の経度・時間断面。図中の波線はベルリン自由大学の解析による北緯 60 度の波数 1 の位相 (峰の位置) を示す。(d) NOAA CPC によるブロッキング強度の経度・時間断面。

ブロッキングの西進、併合の過程とプラネタリー波の鉛直伝播の関連を調べるために、1月11日から31日までの期間の5日毎に、5日移動平均した帯状平均東西風とE-P fluxの高度-緯度断面、及び北緯60-70度で平均した等圧面高度場の帯状非対称成分の高度-経度断面を図4に示した。1月11日にはE-P fluxベクトルの向きが示すように、プラネタリー波は上方伝播している。これは高度場の経度-高度断面でプラネタリー波の位相が高度とともに西傾することと対応している。1月16日になると、小昇温にともない上部成層圏は東風となり、プラネタリー波の上方伝播は抑制される。そして、対流圏で波数2成分の増幅が生じ、東経180度付近と0度付近で気圧の峰が発達する。11月21日になると、下方伝播が促進されて、波の位相の傾きが大きくなり、対流圏の気圧の峰は西方にシフトする。ブロッキングはプラネタリー波の気圧の峰付近に位置するので、ブロッキングもプラネタリー波の位相の変化とともに西進する。1月26日になると、プラネタリー波の下方伝播はさらに増大し、波数1成分の反射も明瞭となる。これに伴い対流圏の波数1成分が増強し、東経60度付近の気圧の峰と東経210度付近の気圧の谷が発達し始める。このように、成層圏でのプラネタリー波の反射の結果、1月31日には、図1cに見られるように、波数1成分の位相は、対流圏と成層圏とで逆転する。

まとめ

2012年の1、2月では、ユーラシア大陸が寒冬であったのに対しアメリカ大陸側は暖冬であり顕著な波数1型の構造が見て取れた。またユーラシア域での寒波の吹き出しは、プラネタリー波の気圧の峰付近に形成されたブロッキングと関連して発生していた。このブロッキングは、プラネタリー波の位相の変化とともに西進し、そのために東アジアからヨーロッパにまで及ぶ広い領域で寒波が広がった。また、プラネタリー波の卓越成分が波数2から波数1に変化したことに対応して、二つのブロッキングが併合して一つの巨大なブロッキングが形成された。このときのプラネタリー波の位相構造の変化は、成層圏突然昇温

現象（小昇温）に伴って生じたプラネタリー波の反射の結果として理解できる。このように、突然昇温発生後にプラネタリー波が上方伝播できなくなったために対流圏で増幅し、プラネタリー波の気圧の峰付近にブロッキングが形成されたと考えられる。波数2成分の増幅による北太平洋域でのブロッキングの発生に関しては向川他（2012）に示されているが、2012年の場合には、波数1成分も反射したことによって、ヨーロッパからシベリアにまで及ぶ巨大なブロッキングが形成されたと考えられる。ただ、プラネタリー波に伴う気圧の峰の発達にはブロッキングの発生を誘因する一要素であり、ブロッキングの形成・維持には傾圧性擾乱との相互作用（Yamazaki and Itoh, 2009）も重要となる。それらの状況が2011/12年の冬にどの様であったかについては、さらに詳しい解析が必要である。

謝辞

解析にあたり、気象庁気候情報課作成による異常気象分析ツールを利用させていただきました。

参考文献

- Austin, J. F., (1980) The blocking of middle latitude westerly winds by planetary waves, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 106, 327-350.
- Kodera, K., H. Mukougawa, and S. Itoh, (2008) Tropospheric impact of reflected planetary waves from the stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L16806, doi:10.1029/2008GL034575
- 向川 均、小寺 邦彦、藤井 晶 (2012) 成層圏惑星規模波の下方伝播が北太平洋ブロッキングの形成に及ぼす影響、第9回「異常気象と長期変動」研究集会予稿集
- Yamazaki, A., and H. Itoh, (2009) Selective absorption mechanism for the maintenance of blocking. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L05803, doi:10.1029/2008GL036770.
- Perlwitz, J., and N. Harnik, (2003) Observational evidence of a stratospheric influence on the troposphere by planetary wave reflection, *J. Clim.*, 16, 3011-3026.

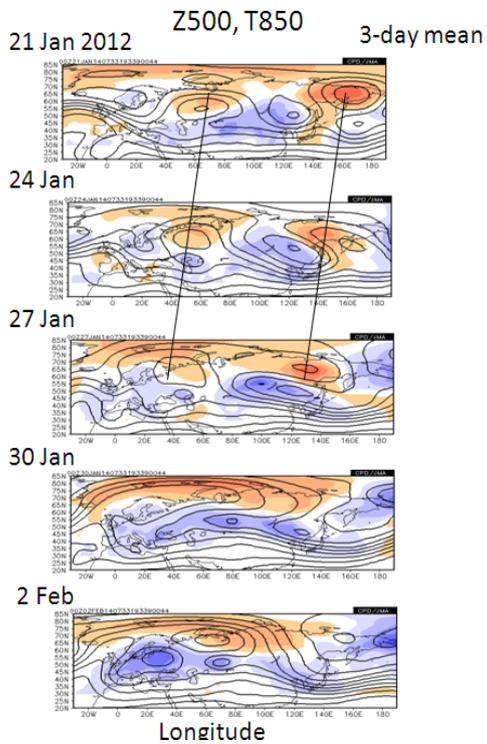


図3. 2012年1月21日から2月2日の期間における3日移動平均した850hPa気温偏差と500hPa等圧面高度(3日毎)。気温偏差は彩色、高度場は100m毎の等値線で示す。

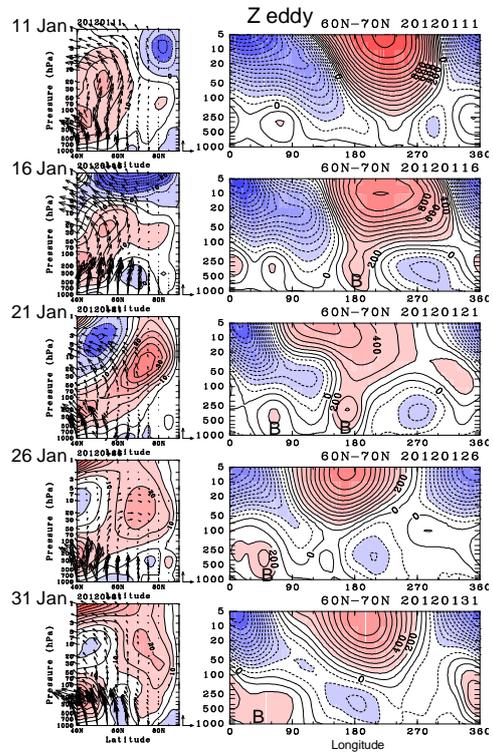


図4. 2012年1月11日から31日の連続5日平均図：(左)帯状平均東西風(等値線)とE-P flux(矢印)の高度-緯度断面、(右)緯度60-70帯の気圧高度場の帯状非対称成分の高度-経度断面。