

ユーラシアに寒波をもたらしたブロッキングと成層圏 プラネタリー波の反射：2012年12月の事例

小寺 邦彦（名大 STE；三重大）・向川 均（京大 防災研）

はじめに

2012年12月はユーラシア大陸の広い範囲で寒気の吹き出しが発生した。平成24年12月気象庁報道発表資料（図1）によると、2012年12月上旬には北東アジア、中旬には中央アジア、下旬には再び東北アジアで大きな低温偏差が観測された。本報告では、特に2012年12月の上、中旬に寒波をもたらした大気循環プロセスについて、プラネタリー波の構造の変化に着目して解析した結果を報告する。

気象庁 報道発表資料.平成24年12

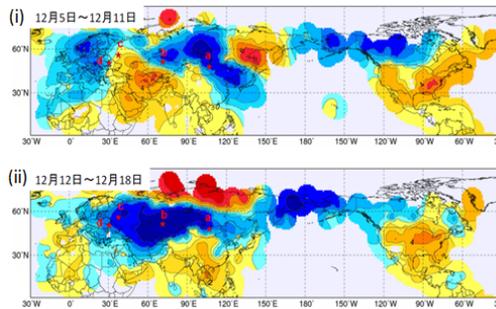


図1. 7日平均地上気温偏差：(i) 2012年12月5～11日、(ii)同12月12～18日。気象庁平成24年度12月報道発表資料より。

解析結果

2012年12月上、中旬のユーラシアの低温はブロッキング現象の発生に伴って発生している。図2aにCPC/NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/block.sh.html>) によるブロッキング強度の経度-時間断面を示す。図1の(i), (ii)の期間に対応して強いブロッキングがそれぞれ東経130度、50度付近で発生している事が分かる。ブロッキングの発生位置を図2bの北緯60～70度における500hPa高度の波成分（帯状非対称成分：帯状平均からの偏差）と比較するとブロッキングはプラネタリー波の

峰付近で発生する傾向がある事が明瞭に見てとれる。12月5日以前ではプラネタリー波は経度方向に波数2の構造を示しており、波の峰はヨーロッパと日付変更線付近に存在する。12月5日以降には、太平洋中央部にあった気圧の峰がユーラシア大陸上を西進するにつれてアメリカ大陸上の谷が増幅してくるので、波数1成分が発達する。この事から12月上旬から中旬における寒波の吹き出しの地理的な位置の変化は、プラネタリー波の水平構造に依存して発生するブロッキングの位置の変化に起因している事が示唆される。

一方、プラネタリー波の水平構造は、その鉛直伝播特性にも依存する事が知られているので(Kodera et al., 2013)、2012/13年初冬における鉛直伝播特性を調べる。図3に、北緯65～85度で平均した東西風の高度-時間断面(a)、波数1(b)及び、波数2(c)成分に伴う北半球(30°-90°N)平均100 hPa E-P fluxの鉛直成分の時系列、3 hPaにおけ帯状平均東西風の緯度-時間断面(d)を示す。図2からも分かる様に、対流圏での波数2成分増幅に伴い11月25日頃から波数2成分のE-P fluxの鉛直成分の増加がみられ、プラネタリー波が成層圏に上方伝播したことが分かる。この結果、成層圏極域の帯状平均東西風が減速する。

通常、成層圏突然昇温現象に伴う西風が減速は、まず上部成層圏で発生し、その後、下部成層圏へと伝播する。興味深い事にこの事例では、極域(北緯65～85度)の東西風が減速は、逆に下層より始まり上方に伸びている。また、上部成層圏の帯状平均東西風(図3d)の緯度分布を見ると、減速が明瞭なのは極域だけで、亜熱帯ではむしろ加速されていることが分かる。この事から、成層圏のプラネタリー波は、この強い

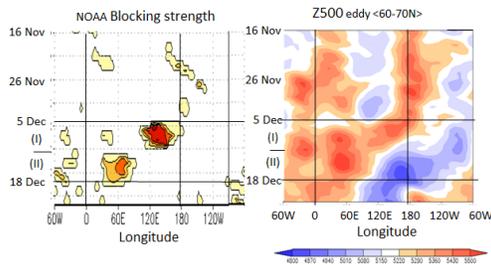


図 2. (a)2012 年 11 月 16 日から 12 月 22 日の期間におけるブロッキング強度の経度-時間断面 (CPC/NOAA による)。(b) 同期間についての北緯 60~70 度における 500hPa 高度場の帯状非対称成分の経度-時間断面。また、図中に図 1 の (i) および (ii) に対応する期間を実線で示す。

上部成層圏亜熱帯ジェットによって極域に捕捉されていると考えられる。一方、波数 1 成分 (図 3b) と、波数 2 成分 (図 3c) の EP-flux の鉛直成分は 12 月 5 日以降ともに負値となりプラネタリー波は下方伝播するようになる。この上方伝播が抑制された状態は 12 月 16 日頃まで継続している。その結果、成層圏ではプラネタリー波による西風減速が減少するので、12 月 5 日以降は極域の西風は回復する傾向となる。

以上のように、12 月の上、中旬においてプラネタリー波の上方伝播特性が変化していた。次に、プラネタリー波の 3 次元構造の変化と対流圏でのブロッキングの発生との関連を調べる。このため、図 4 右列に北緯 60~70 度で平均した高度場の帯状非対称成分の高度-経度断面 (上段) 並びに 500hPa 高度場とその気候値からの偏差成分の水平マップ (下段) を示す。また、図 4 左列には、帯状平均東西風を示す。なお、各図は日付を中心とする 5 日平均場を示している。一般にプラネタリー波の線形理論から、プラネタリー波が上方伝播する時には波の位相は上方ほど西に変位する事が知られている。11 月の末に (極夜ジェットに沿って) プラネタリー波が対流圏から成層圏へと伝播している事は図 3 から分かるが、図 4 においても、11 月 27 日のプラネタリー波に伴うユーラシア上の気圧の峰と谷が西傾していることから、この上方伝播を確認することができる。

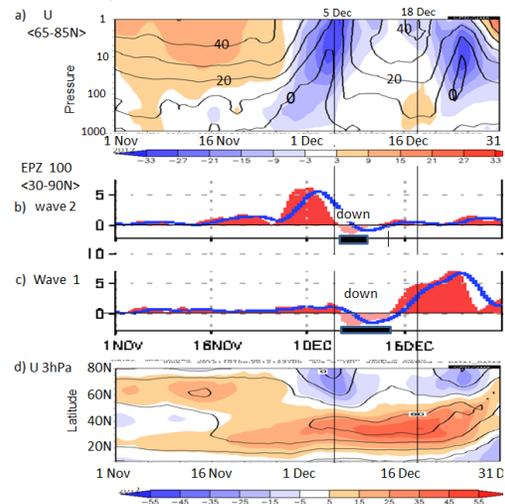


図 3. (a)北緯 65 度から 85 度で平均した帯状平均東西風 (等値線)、およびその偏差 (色彩) の高度-時間断面. (b)北緯 30 から 90 度で平均した 100hPa における東西波数 1 成分に伴う E-P flux の鉛直成分の時間変化. (c) (b) に同じ、ただし東西波数 2 成分. (d) 3hPa 面における帯状平均東西風の緯度-時間断面。(b), (c) は Tokyo Climate Center の stratospheric circulation monitoring (<http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/clisys/STRAT/index.html>) による。

プラネタリー波の伝播が上向きから下向きへと転じる 12 月 5 日には、それまでアリューシャン列島付近に存在していた対流圏の気圧の峰が東シベリアに移動する。この過程でシベリアでブロッキングの形成が始まる。一方、シベリアに存在する気圧の谷の振幅は大きく減少するのでカナダに存在する谷のみが顕著となり、波数 1 的形状が出現し始める。ところで、このような対流圏でのプラネタリー波の峰や谷の西方への移動は、経度-高度断面における峰や谷の鉛直方向の傾きが西傾から東傾へと変化する事に対応している。つまり、対流圏における気圧の峰や谷の西方への移動、またそれに伴うブロッキング発生位置の西方への移動は、プラネタリー波の伝播方向が上向きから下向きへと変化した事に関連して発生したと考えられる。

対流圏における気圧の波の峰や谷は、時間とともにさらに西進を続け、12 月 9 日には対流圏の気圧の谷はヨーロッパ付近に、ま

た峰はベーリング海峡を越えて東シベリアまで伸展し、波数1の構造が明瞭となる。また、プラネタリー波に伴う気圧の峰が西進するのに従って、ロシアと東大西洋において中緯度域に存在していた高圧部は高緯度へと延伸し、13日には、ブロッキングの形成を伴いながらさらに発達する。一方、北米に存在していた気圧の谷は東シベリアまで拡大して波数1の振幅が増大する。

一方、波数1成分の振幅は100hPa付近で最小となり、波の位相はその上下で反転している。このように鉛直に節を持った構造は、対流圏から上方に伝播する波と、成層圏から下方伝播する波とが干渉した結果生じたと理解できよう。また、水平構造においても北緯50度付近が節となり、その南北で位相が反転する様子が認められる。このことから、12月13日におけるのプラネタリー波の3次元構造は、プラネタリー波が極域対流圏に捕捉されて増幅したことを反映していると考えられる。また、ヨーロッパ付近の波数1に伴う気圧の峰は、大西洋（西経40度）とロシア（東経50度）付近でのブロッキング高気圧の形成に伴って発達する。このブロッキング高気圧の東側に位置する中央アジアで、卓越する北風によって寒気が流入したために大きな低温偏差が形成された。

まとめ

本研究によって、2012年12月上旬に東アジアで観測された寒波は以下のように、惑星規模の波の3次元構造の変化と関係して発生したことが明らかになった。まず、成

層圏生じたプラネタリー波の反射によって、それまでアリューシャン付近に存在していた対流圏の気圧の峰が東シベリア域へと西進する。すると、それまで東シベリア域に存在していた気圧の谷が消滅し、そこにブロッキングが形成された。このブロッキングの下流域で強い寒気移流が発生し、東アジア域は大きな低温偏差で覆われた。一方、12月中旬の西アジアで発生した寒波は、プラネタリー波が成層圏で反射して極域に捕捉されて増幅した結果、波の峰が存在するヨーロッパ域でブロッキングが発生し、その下流の西アジアで強い寒気移流が発生したことが原因と考えられる。

この成層圏におけるプラネタリー波の反射と極域対流圏への捕捉には、2012年初冬のこれまでに無く強い上部成層圏亜熱帯ジェットが寄与していると考えられる。今後は両者の関係についてさらに詳しく解析する予定である。

謝辞

本解析には気象庁気候情報課の開発による「異常気象分析ツール」を利用させていただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

Kodera, K., H. Mukougawa, and A. Fujii (2013), Influence of the vertical and zonal propagation of stratospheric planetary waves on tropospheric blockings, *J. Geophys. Res.*, *118*, 1–13, doi:10.1002/jgrd.50650, 2013.

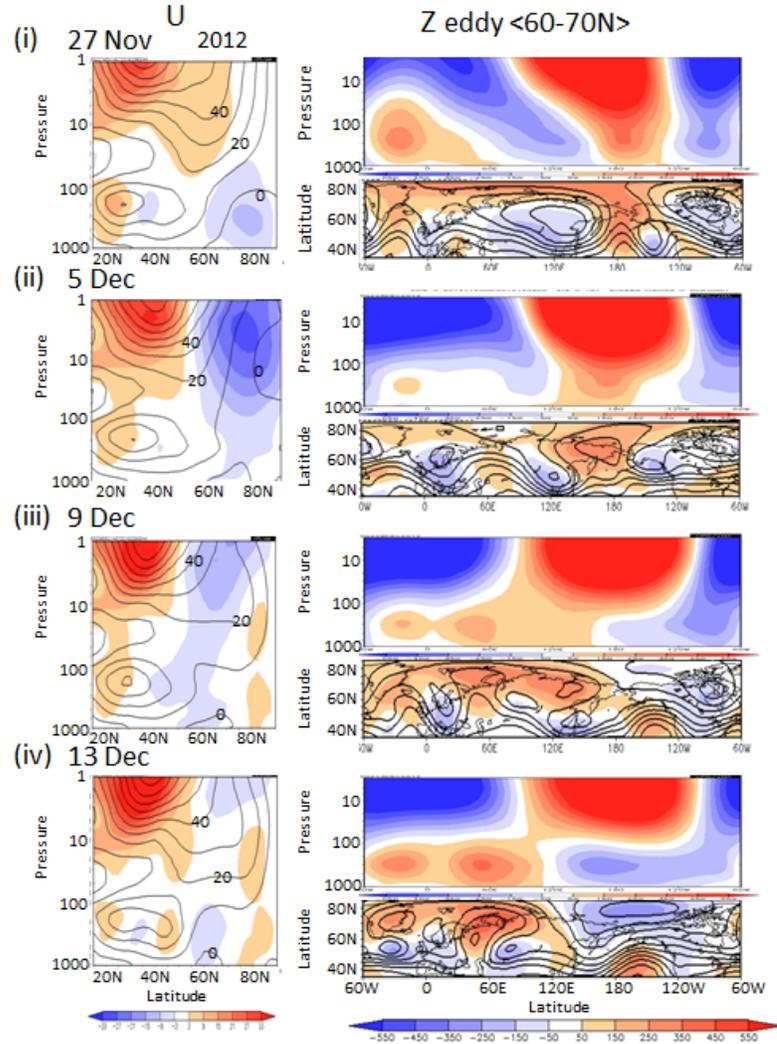


図 4. (左列) 帯状平均東西風 (等値線) 及びその偏差 (彩色) の緯度-高度断面。(右列) 北緯 60~70 度で平均した高度場の帯状非対称成分の経度-高度断面 (上段) と 500hPa 高度 (等値線) 及びその気候値からの偏差 (彩色) の緯度-経度分布 (下段)。また、各パネルは、以下の日付を中心とする 5 日平均値である: (i) 11 月 27 日、(ii) 12 月 5 日、(iii) 12 月 9 日、(iv) 12 月 13 日。