

## 2012年12月のユーラシアの寒波と成層圏プラネタリー波の下方伝播

小寺邦彦（名大・宇地研）、向川 均（京大・防災研）

### 序

2012年12月、ユーラシア大陸は厳しい寒波に見舞われた。一方、アメリカ大陸は非常に温暖な天候であった。このような地上気温の分布は、ユーラシア大陸とアメリカ大陸の双方に寒波をもたらす北極振動に伴って出現する寒波のパターンとは異なっている。また、38豪雪でも出現した、ヨーロッパ、東アジア、アメリカ東部に寒波をもたらす波数3の惑星波増幅による寒波パターンとも異なっていた。

2012年12月には、2度にわたり、ブロッキング現象に伴う中緯度への強い寒気の吹き出しがあった。最初の寒波は12月5～11日に東ユーラシアのバイカル湖から日本にかけて、2度目は12月12～18日にカスピ海から中央シベリアにかけて発生した（JMA, 2012）。

ブロッキング現象それ自体は地域規模の対流圏現象で、その維持には移動性総観規模擾乱が大きな役割を果たすが（Shutts, 1983; Nakamura et al., 1997; Woolings et al., 2008; Yamazaki and Itoh, 2009）、ブロッキングは準定在性惑星波に伴う気圧の峰付近で発生しやすいことも知られている（Austin, 1980）。従って、ブロッキングの発生には、地域的条件の他に、惑星波も何らかの役割を果たしていると考えられる。

一方、最近の研究から、成層圏で反射し下方伝播する惑星波の対流圏への影響が明らかになりつつある（Perlwitz and Harnik, 2004; Shaw and Perlwitz, 2013）。特に、惑星波の成層圏での反射が、北太平洋-ユーラシア域でのブロッキングを誘起するという報告（Kodera et al., 2013, 2016; Nath and Chen, 2016, Nath et al., 2016）は、注目に値する。

ここでは、2012年12月の寒気の吹き出しをもたらしたブロッキングの形成と、惑星波の伝播との関連について解析した。

### 解析結果

本解析には気象庁による JRA55 再解析データ（Kobayashi et al. 2015）を用いた。

図1aに2012年12月平均の規格化地上(2m)気温偏差を示す。年々変動の標準偏差の2倍以上に達する低温偏差域が中緯度ユーラシアの中央と東部の2カ所に見られる。次に、どのような時期に中緯度への寒気の吹き出しが生じたのかを調べるために、北緯35度～50度で平均した地上気温偏差の経度-時間断面を図1bに示す。寒波は移動性低気圧の通過に従って定期的に現れるが、12月初旬の東アジア、12月中旬の西アジアでは、ブロッキングの出現に伴い低温偏差域は東進しなくなる。このように、2012年12月の厳しい寒波は、ブロッキングの発生に伴って生じたことが分かる。

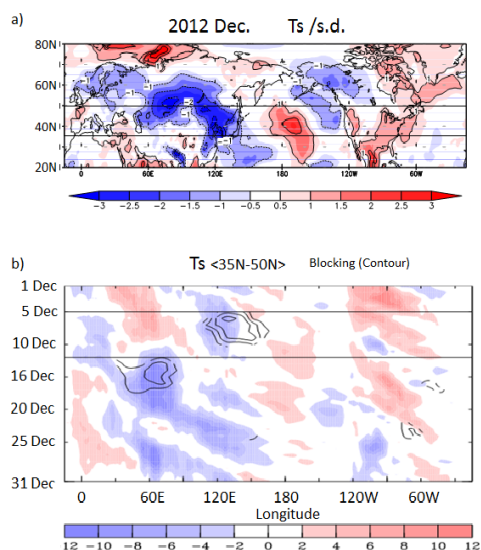


図1 (a)2012年12月における規格化した地上平均気温偏差。(b)北緯35度-50度で平均した地上平均気温偏差の時間-経度断面(彩色)。等値線はブロッキング強度指数を表す。

図 2a の 3 日平均 500hPa 高度場を見ると、12 月 1 日に、北太平洋中央部にあった気圧の峰は、4 日には北へ伸展し、7 日には西進、増幅してユーラシア大陸の東端で大規模なブロッキングを形成する。その後、この東アジアのブロッキングは次第に衰退するが、ユーラシア大陸の中央部 (10 日)、次いで北大西洋域 (13 日) で気圧の峰が発達し、そこで新たなブロッキングが発生する。一方、10 日以降では、アラスカ付近で気圧の谷が発達する。このようにして、高緯度では東西波数 1 のパターンが次第に明瞭となる。

次に、対流圏での惑星波の水平構造の変化と、上部成層圏までの領域における鉛直構造の変化との関係を吟味する。なお、図 2 で示した期間では、対流圏惑星波の気圧の峰の位置とブロッキングの位置はよく一致している (ブロッキングの位置を図 2 中の B の記号で示した)。図 2b に示した、北緯

60 度~70 度の緯度帯で平均した高度場の東西非一様成分の経度-高度断面を見ると、12 月 1 日には、惑星波の気圧の峰や谷は、北大西洋域からユーラシア域で高度とともに西に傾いていることが分かる。従って、この領域で惑星波は波束として鉛直上向きかつ東向きに伝播している。また、4 日から 7 日の期間において、上部成層圏では、気圧の峰や谷は依然として高度とともに西に傾斜しており、惑星波は引き続き上方伝播している。しかし、下部成層圏から対流圏の領域では、逆に、その位相は高度とともに東に傾き、惑星波は下方伝播している。この下方伝播に伴い、ユーラシア大陸の東端で気圧の峰が増幅し、ブロッキングが形成される。さらに、10 日には、ユーラシア大陸の西端で気圧の峰が、アラスカでは気圧の谷が対流圏内で発達し、その位相が高さとともに東に傾いた東西波数 1 の惑星規模構造が出現する。このことは、波数 1

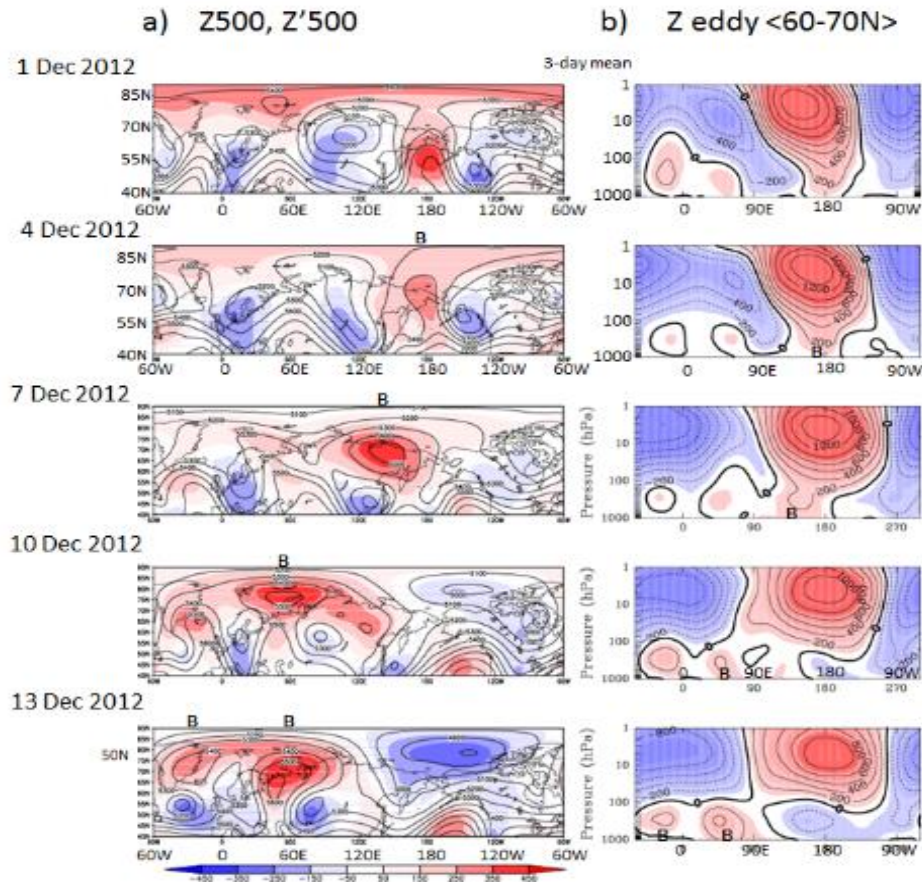


図 2 (a)3 日平均 500hPa 高度場 (等値線)、及びその気候値からの偏差 (彩色)。 (b) 北緯 60 度 -70 度で平均した 3 日平均高度場の東西非一様成分の高度-経度断面。図の日付は 3 日平均の中心の日を示す。上から、12 月 1 日、4 日、7 日、10 日、13 日。

の惑星波が下方伝播していることと対応する。さらに、12月13日には、成層圏の気圧の谷と対流圏の気圧の峰が同じ経度帯に位置し、100hPa付近で節を持つ鉛直構造が顕著となる。これは、波数1の惑星波が、鉛直方向に捕捉されて、定在波構造を有するようになったことを意味する。あるいは、上方伝播する波と、下方伝播する波との干渉が生じたかと推察できる。

さて、このような惑星波の鉛直伝播方向の変化をEPフラックスの子午面断面図(図3)で確かめる。帯状平均東西風と全波数成分のEPフラックスの子午面断面図(図3a)を見ると、11月25日から12月1日の期間では、惑星波の上向き伝播が急増していることが確認できる。この上方伝播には波数2成分の寄与が大きい(図3b)。一方、図3cより、波数1成分の寄与は、対流圏や下部成層圏では小さいが、上層ほどその寄与が大きくなるのが分かる。振幅分布(等値線)を見ると、波数2成分は大気下層から上方伝播した後は次第に消滅することが分かる。一方、波数1成分は上部成層圏で増幅した後、7日頃に下方伝播が開始すると、下部成層圏と対流圏で徐々に増幅する。実際、13日の波数1の振幅分布を見ると、100hPa付近で極小となり、図2で示された鉛直方向に定在波構造となる特徴を示していることが分かる。

## まとめ

12月の初旬にユーラシア大陸から波束として成層圏に上方伝播(Hayashi, 1981)した惑星波のうち、東西波数2および3といった比較的大きな波数を持つ成分が成層圏下層で反射し、まずユーラシア大陸の東端でのブロッキングの形成に寄与した。それに引き続き、波数1成分が成層圏から対流圏へと下方伝播したのに伴い、ユーラシア大陸の西端で気圧の峰が発達し、ブロッキングが西アジアや北大西洋で発生したと示唆される。

このように、2012年12月におけるユーラシア大陸中緯度域への寒気の強い吹き出しをもたらしたブロッキングの形成には、惑星波の成層圏から対流圏への下方伝播が重要な役割を果たしていたと考えられる。

## 謝辞

本研究の初期解析には、気象庁の異常気象分析ツールを用いました。ここに謝意を表します。

## 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.
- Hayashi, Y., (1981) Vertical-Zonal Propagation of a Stationary Planetary Wave Packet, *J. Atmos. Sci.*, *38*, 1197-1205.
- Japan Meteorological Agency, Cold wave over the Eurasian Continent in December 2012, press release 28 Dec. 2012. ([http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press\\_20121228.pdf](http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press_20121228.pdf))
- Jung, J.-H., C.S. Konor, C.R. Mechoso, and A. Arakawa, (2001) A study of the stratospheric major warming and subsequent flow recovery during the winter of 1979 with an isentropic vertical coordinate model, *J. Atmos. Sci.*, *58*, 2630-2649.
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebita, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K., Takahashi, K., (2015) The JRA-55 Reanalysis: general specifications and basic characteristics, *J. Meteorol. Soc. Japan*, *93*, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.
- 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.
- Kodera, K., H. Mukougawa, P. Maury, M. Ueda, and C. Claud, (2016) Absorbing and reflecting sudden stratospheric warming events and their relationship with tropospheric circulation, *J. Geophys. Res. Atmos.*, *121*, doi:10.1002/2015JD023359.
- Nakamura, H., M. Nakamura, and J. L. Anderson, (1997) The role of high- and low-frequency dynamics in blocking formation, *Mon. Wea. Rev.*, *125*, 2074-2093.
- Nath, D., and W. Chen, (2016) Impact of planetary wave reflection on tropospheric blocking over the Urals-Siberia region in January 2008, *Adv. Atmos. Sci.*, *33*, 309-318, doi: 10.1007/s00376-015-5052-4.
- Nath, D., W. Chen, C. Zelin, A. I. Pogoreltsev, and K. Wei, Dynamics of 2013 sudden stratospheric warming event and its impact on cold weather over Eurasia: Role of planetary

wave reflection, (2016) *Sci. Rep.*, *6*, 24174, doi:10.1038/srep24174.

Perlwitz, J., and N. Harnik, (2004) Observational evidence of a stratospheric influence on the troposphere by planetary wave reflection, *J. Clim.*, *17*, 4902-4909.

Shaw, T. A., J. Perlwitz, (2013) The life cycle of northern hemisphere downward wave coupling between the stratosphere and troposphere, *J. Clim.*, *26*, 1745-1763.

Shutts, G. J., (1983) The propagation of eddies in diffluent jet stream: Eddy forcing of

'blocking' flow fields, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, *109*, 737- 762.

Yamazaki, A., and H. Itoh, (2009) Selective absorption mechanism for the maintenance of blocking, *Geophys. Res. Lett.*, *36*, L05803, doi:10.1029/2008GL036770.

Woollings, B. J. Hoskins, M. Blackburn and P. Berrisford, (2008) A new Rossby-wave breaking interpretation of the North Atlantic Oscillation, *J. Atmos. Sci.*, *65*, 609-626.2.

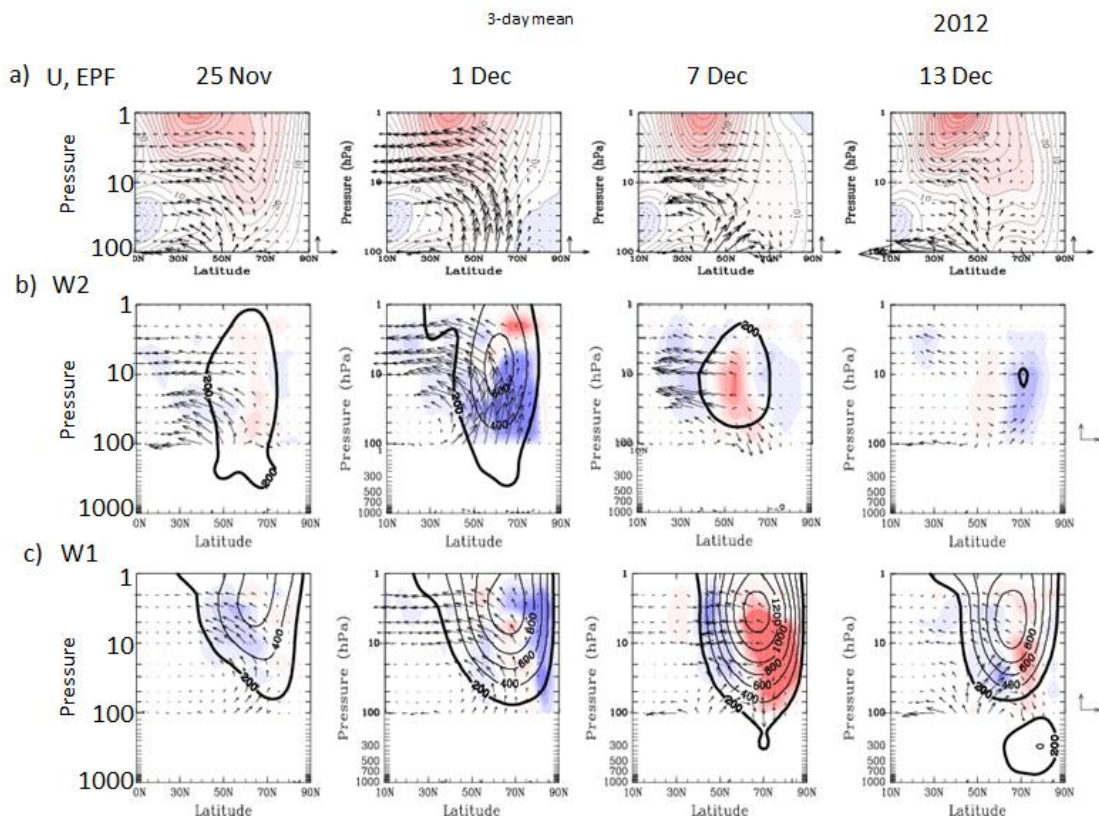


図3 (a)帯状平均東西風(等値線)、全波数成分に伴う EP フラックス (矢印) 及びその発散 (色彩)。 (b) 東西波数 2 成分の EP フラックス (矢印) 及びその発散 (色彩) 及び、その高度波の振幅 (等値線)。 (c) 図3bと同様、ただし、波数1成分。