

東南アジア付近の活発な対流活動が 高緯度域のブロッキング及びシベリア高気圧の発達に与える影響

竹村 和人（気象庁気候情報課）

1. はじめに

ラニーニャ現象が発生した冬季には、統計的にシベリア高気圧が強まり、東アジアでは低温となる傾向がみられる。このようなエルニーニョ・南方振動（ENSO）によるシベリア高気圧への影響については、現在も活発に研究が行われており、多くの研究（たとえば、Zhang et al. 1997、Cheung et al. 2012、Hao et al. 2016、Kang and Lee 2017 など）は、ENSO がシベリア高気圧の発達に影響を与える可能性を統計的に示している。一方で、いくつかの研究（Yang et al. 2002、Gollan et al. 2012 など）では ENSO の影響はないことを示唆している。さらに、ENSO による影響の有無は太平洋十年規模振動（PDO）の位相に依存することを示唆する研究も存在する（Wang et al. 2008）。このように ENSO によるシベリア高気圧への影響に関しては統一した見解が得られておらず、そのメカニズムに関してはさらなる調査・解析が求められる。

本研究では、ラニーニャ現象の発生と冬季東アジアの天候との関連に着目し、東南アジア付近における活発な対流活動がシベリア高気圧の発達に与える影響について評価を行う。このような解析を行うことは、ENSO による循環場への影響とそのメカニズムに関する研究の発展に繋がるだけでなく、当庁における気候診断技術の向上においても大変重要である。

2. データと解析手法

大気循環場の解析には気象庁 55 年長期再

解析（JRA-55、Kobayashi et al. 2015）、海面水温の解析には COBE-SST（JMA 2006）の 1958～2012 年の期間におけるデータを用いた。熱帯の対流活動の推定には、1979～2012年の NOAA より提供された外向き長波放射量（OLR）データを用いた。ここで、平年値は 1981～2010 年の 30 年平均値、偏差は平年値からのずれで定義した。

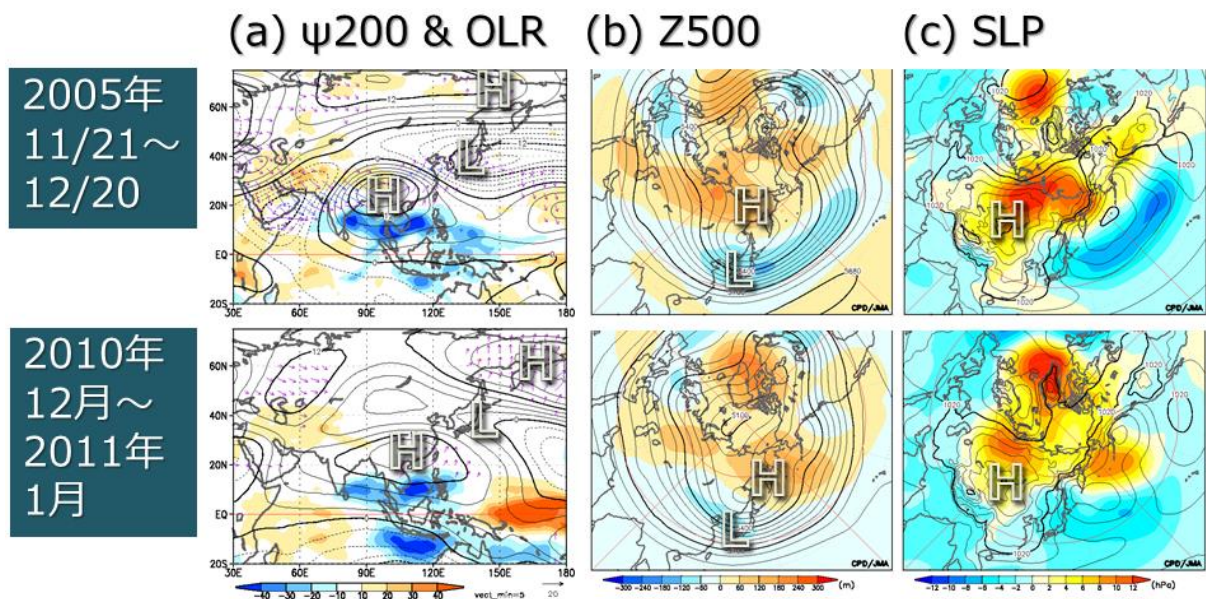
本調査では、熱帯の対流活動による循環場への影響を評価するために、東京大学渡部教授より提供された線形傾圧モデル（LBM、モデルの解像度は T42L40、Watanabe and Kimoto 2000）を用い、冬季（12～2 月）平年値を基本場とした場合の熱帯の加熱強制に対する循環場の定常応答を調べた。

シベリア域で発生するブロッキングを検出するために、55°N を中心とした南北 15°幅の領域における 5 日移動平均 500hPa 高度の差（北側－南側）より指数を定義し、正の指数、すなわち北側ほど高度が高い状態をブロッキングの発生と定義した。さらに、冬毎に指数が正となった日数の割合を計算し、ブロッキング頻度を定義した。

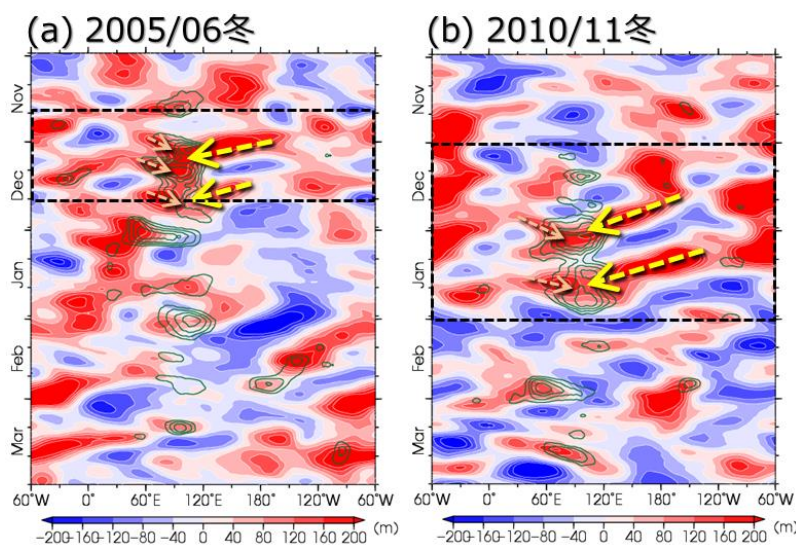
3. 解析結果

3.1 事例解析

ラニーニャ現象が発生した冬季にシベリア高気圧が発達した事例として、2005 年 11 月下旬～12 月中旬および 2010 年 12 月～2011 年 1 月の平均場に注目すると（第 1 図）、2 事例ともに、東南アジア付近での活発な対流活動およびそれに対応した中国南部付近の対流圏上層における高気圧性循環偏差、そ



第1図 2005年11月21日～12月20日平均（上段）と2010年12月～2011年1月平均（下段）の(a)200hPa流線関数偏差（等値線、 $10^6\text{m}^2/\text{s}$ ）とOLR偏差（陰影、 W/m^2 ）、(b)500hPa高度（m）、(c)海面気圧（hPa）。(a)に付した”H”、”L”はそれぞれ高・低気圧性循環偏差の位置を示す。(b)と(c)の等値線と陰影は、それぞれ解析値と偏差。



第2図 (a)2005年11月～2006年3月と(b)2010年11月～2011年3月における、 $50^{\circ}\text{--}80^{\circ}\text{N}$ 平均500hPa高度偏差（陰影）と $40^{\circ}\text{--}60^{\circ}\text{N}$ 平均海面気圧（緑線、1032hPa以上について4hPa毎）の経度-時間断面図。いずれも5日移動平均。点線矢印はシベリア高気圧の発達に関連した高度正偏差の西進・東進イベントを、黒点線枠で囲った期間は第1図の平均期間を示す。

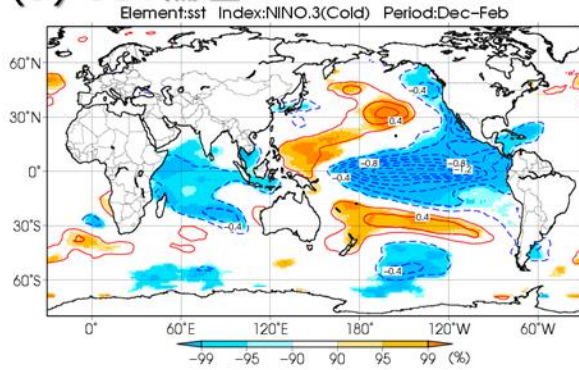
これから東シベリア付近にかけての定常波のパターンがみられる（同図(a)）。またこの波列パターンに対応して、500hPa高度は日本付近で負偏差、東シベリア付近では東西に広く正偏差となりブロッキングが発生しやすい状況を示しており（同図(b)）、これに関連

してシベリア高気圧が大きく発達している（同図(c)）。さらに、それぞれの期間における500hPa高度と海面気圧の経度-時間断面図をみると（第2図）、ベーリング海から中央シベリアにかけて高度正偏差が西進しており（同図の陰影と矢印）、シベリア高気圧

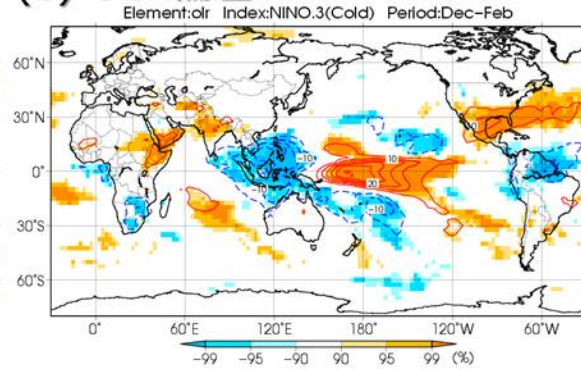
の強化(緑線)に寄与している。この過程は、Takaya and Nakamura (2005)で提唱されているシベリア高気圧の増幅過程の1つである「太平洋起源型」に対応する。一方、ロシア西部付近からの高度正偏差域の東進も

みられ、このこともシベリア高気圧の発生に寄与するとみられるが、シベリア高気圧の明瞭な発達や維持には高度正偏差の西進イベントがより大きく寄与していると考えられる。

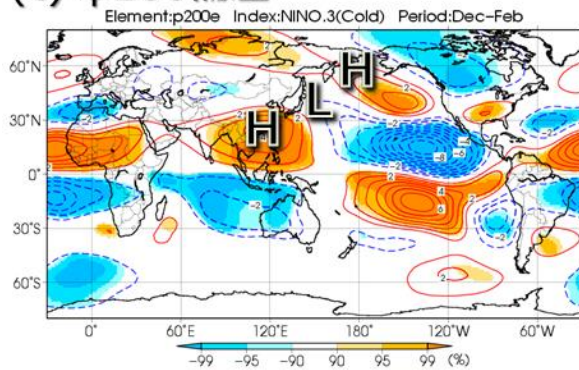
(a) SST偏差



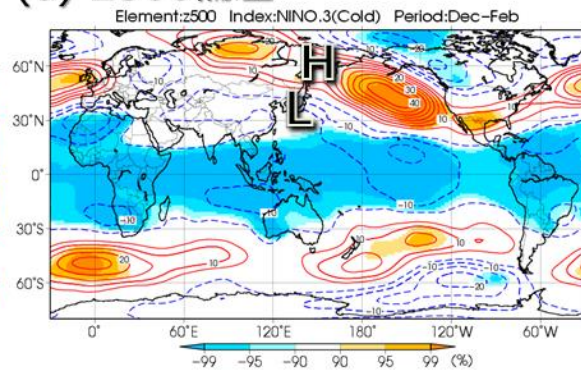
(b) OLR偏差



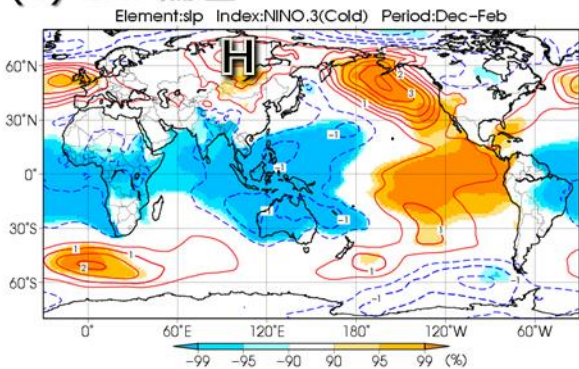
(c) ψ_{200} 偏差



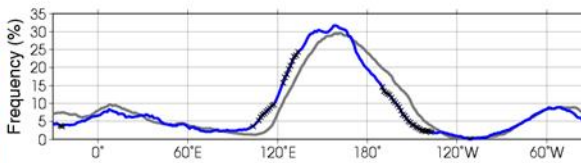
(d) Z500偏差



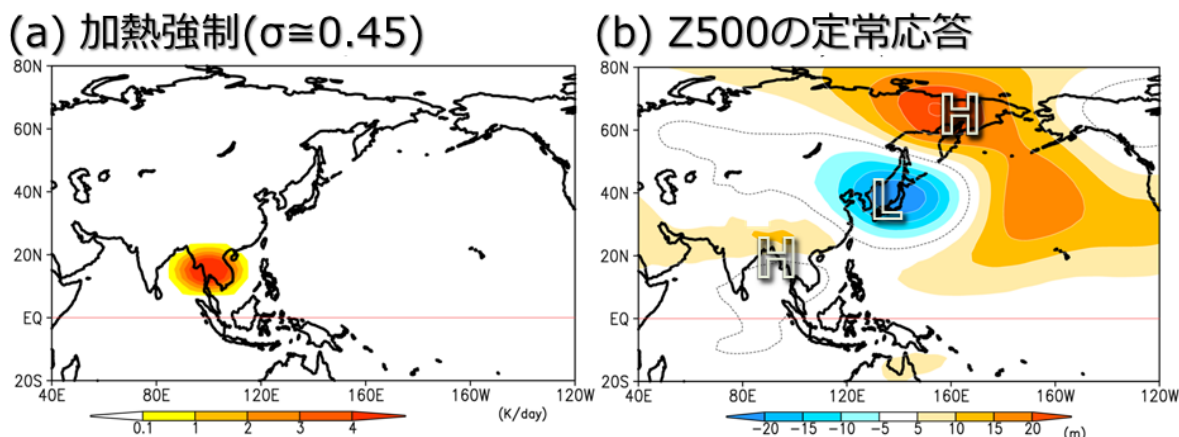
(e) SLP偏差



(f) ブロッキング頻度



第3図 気象庁の定義によるラニーニャ現象発生年で合成した冬季平均の偏差。(a)は海面水温(°C)、(b)はOLR(W/m²)、(c)は200hPa流線関数(10⁶m²/s)、(d)は500hPa高度(m)、(e)は海面気圧(hPa)、(f)はブロッキング頻度(%)。(a)~(e)の等値線は合成偏差、陰影は信頼度水準を示す。(f)の青線はラニーニャ現象発生年、灰色線はENSOが発生しなかった年での合成分布で、青線に付した×印は95%信頼度水準で統計的に有意であることを示す。



第4図 インドシナ半島付近に仮想熱源を置いたLBM実験の結果。(a)はモデルに与えた加熱強力の分布を示し、最大8K/日で水平方向には東西15°/南北8°幅に楕円形、鉛直方向には約450hPaを中心にガンマ分布で与えた。(b)は加熱強制に対する500hPa高度(単位はm)の線形定常応答を示す。基本場は冬平均の平年値で定義した。

3.2 ラニーニャ現象発生時の合成図解析

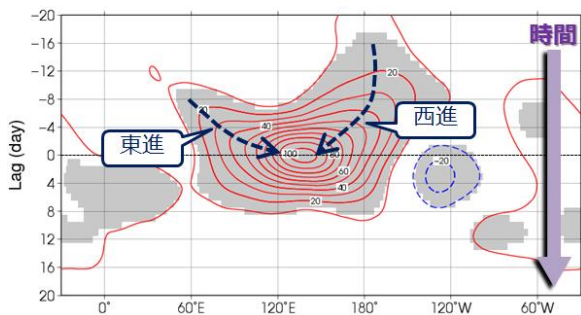
ラニーニャ現象が発生した年における冬平均の合成図をみると(第3図)、太平洋での海面水温偏差の東西コントラストに対応して(同図(a))、東南アジア付近では対流活動が活発となる傾向がみられる(同図(b))。この活発な対流活動に対応して、対流圏上層では、東南アジア付近での南北半球対の高気圧性循環偏差や中国南部からベーリング海付近にかけての波列パターンがみられる(同図(c))。さらに、500hPa高度偏差はベーリング海~シベリアで正偏差となり(同図(d))、中央シベリア付近で海面気圧が正偏差となる(シベリア高気圧が強まる)傾向を示している(同図(e))。また、500hPa高度の南北のパターンに対応して、シベリアではブロッキング頻度が増加する傾向がみられ(同図(f))、Barriopedro and Calvo (2014)による解析結果と整合する。冬平均の合成図にみられるこのようなパターンは、第3.1節の2事例にみられた循環場の特徴とよく整合している。

3.3 活発な対流活動による循環場への影響

次に、熱帯の対流活動による循環場への影響を調べるために、第3.1項の事例解析にみられたOLR偏差の分布に基づき、インドシナ半島付近に仮想熱源を置いたLBM実験を行った(第4図(a))。この加熱強制に対する500hPa高度の線形定常応答をみると、中国南部付近から東シベリアにかけて波列パターンを示しており(同図(b))、2事例の解析結果やラニーニャ現象発生年での合成図にみられる特徴とよく整合している。このことから、東南アジア付近での活発な対流活動が、シベリアでのブロッキングの波源の1つとして重要な役割を果たす可能性が示唆される。

3.4 ブロッキングの西進に関する統計解析

事例解析においてみられた高度正偏差がベーリング海から中央シベリアにかけて西進する特徴について調べるために、中央~東シベリア付近のブロッキングを基準としたラグ回帰分析を行った(第5図)。ピーク日(day0)の10日程前より、ブロッキングがベーリング海付近から西進する傾向が統計



第 5 図 120°-150°E 平均のブロッキング指数にラグ回帰させた同指数（自己回帰図）。day0 が中央～東シベリア域でのブロッキングのピーク日に対応し、day-20～+20 の期間について示す。灰色陰影は 99%信頼水準で統計的に有意な領域。統計期間は 1958/59～2012/13 年の冬季。

的に有意にみられ、事例解析の特徴（第 2 図）とよく整合している。また、事例解析の結果と同様に、ロシア西部付近から数日程度かけてブロッキングが東進する傾向も有意にみられ、このことも大変興味深い。

4. まとめ

本調査では、ENSO による循環場への影響とそのメカニズムに関する調査の一環として、冬季の東南アジア付近における活発な対流活動がシベリア高気圧の発達に与える影響について評価を行った。

ラニーニャ現象発生年におけるシベリア高気圧が強まった 2 事例に着目すると、両事例ともに東南アジア付近の活発な対流活動、中国南部付近から東シベリア付近にかけての波列パターン、および東シベリア付近でのブロッキングがみられた。これらの特徴は、ラニーニャ現象発生年での冬平均の合成図においてもみられ、ラニーニャ現象発生時に現れやすい循環場の特徴が現れていたと考えられる。また、シベリアではブロッキングが西進する様子がみられ、シベリア高気圧の発達と関連している可能性が考えられた。

さらに、インドシナ半島付近に仮想熱源を与えた LBM 実験では、中国南部付近からベーリング海付近にかけての波列パターンが定常応答としてみられ、東南アジア付近における活発な対流活動がシベリアでのブロッキングの波源の 1 つとして重要な役割を果たす可能性が示唆された。

5. 今後の課題

本調査における今後の課題を、以下に挙げる。

- ・Takaya and Nakamura (2005)では、シベリア高気圧が増幅するもう 1 つのメカニズムとして「大西洋起源型」を示している。このことから、ユーラシア (EU) パターンとの関連を含め、ENSO による上流側 (大西洋側) からの寄与についても評価する必要がある。

- ・東南アジア付近における活発な対流活動には、ラニーニャ現象の発生のみならず、熱帯の季節内振動 (MJO 等) による影響も考えられるため、双方の相対的な寄与について見積もる必要がある。

- ・シベリアにおいてブロッキングが西進・東進するメカニズムについて、主に渦度収支や、渦と渦の相互作用の観点で考察を行う必要がある。

参考文献

Barriopedro and Calvo, 2014: On the Relationship between ENSO, Stratospheric Sudden Warmings, and Blocking. *J. Climate*, 27, 4704-4720.

Cheung et al. 2012: Relationship between Ural-Siberian Blocking and the East Asian Winter Monsoon in Relation to the Arctic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *J. Climate*, 25, 4242-4257.

Gollan et al. 2012: Tropical impact on the East Asian winter monsoon. *Geophys. Res. Lett.*, 39, doi: 10.1029/2012GL052978.

- Hao et al. 2016: Assessment of the response of the East Asian winter monsoon to ENSO-like SSTAs in three U.S. CLIVAR Project models. *Int. J. Climatol.*, 36, 847-866.
- JMA, 2006: Characteristics of Global Sea Surface Temperature Data (COBE-SST), Monthly Report on Climate System, Separated Volume No. 12.
- Kang and Lee, 2017: ENSO influence on the dynamical seasonal prediction of the East Asian Winter Monsoon. *Clim. Dyn.* Doi:10.1007/s00382-017-3574-4.
- Kobayashi et al., 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 93, 5-48.
- Takaya and Nakamura, 2005: Geographical Dependence of Upper-Level Blocking Formation Associated with Intraseasonal Amplification of the Siberian High. *J. Atmos. Sci.*, 58, 608-627.
- Wang et al. 2008: Interdecadal modulation of PDO on the impact of ENSO on the East Asian winter monsoon. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L20702.
- Watanabe and Kimoto, 2000: Atmospheric-ocean thermal coupling in the Northern Atlantic: A positive feedback. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 3343-3369.
- Yang et al. 2002: Variations of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies. *J. Clim.*, 15, 306-325.
- Zhang et al. 1997: Climatology and inter-annual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-1995 NCEP/NCAR reanalysis, *Mon. Wea. Rev.*, 125, 2605-2619.