

平成 25 年度 卒業論文

ブロッキング高気圧の暖候期における増加トレンドの発見  
Discover of increase trend of blocking high in the warm season

三重大学 生物資源学部

共生環境学科 自然環境システム学講座

地球環境気候研究室 510346

鈴木 耕二郎

指導教員：立花義裕教授

## 目次

### 1章 序論

#### 1-1 研究背景

#### 1-2 研究目的

### 2章 使用データ

#### 2-1 JRA-25 再解析データ

### 3章 解析手法

#### 3-1 ジオポテンシャル高度

#### 3-2 ブロッキング高気圧の検出方法

#### 3-3 移動平均

#### 3-4 コンポジット解析

### 4章 結果

#### 4-1 季節ごとのブロッキング高気圧

#### 4-2 トレンド

#### 4-3 コンポジット解析による発生原因と影響

### 5章 考察・結論

### 参考・引用文献

## 概要

近年、世界各地で猛暑や豪雪、長雨など、観測記録を塗り変える天候や数十年に一度と言われるような稀な事象、所謂「異常気象」が頻繁に観測されている。例えば、2010 年以降、記録的な猛暑が日本を始め、世界各地で観測されており、高温記録が続出している。冬季においても「平成 18 年豪雪」が記憶にあたる。2005 年 12 月に日本を襲った寒波の影響により各地で積雪深の記録を更新。滅多に雪が降らない地域でも積雪を観測した。

このような中緯度の異常気象を引き起こす要因の一つとして、ブロッキング現象が挙げられる。ブロッキング現象とは、対流圏上層を西から東に流れる「偏西風」が南北に大きく蛇行し、数週間から 1 ヶ月にわたって停滞することで大規模な気圧配置が停滞する現象である。また、ブロッキング現象によって生成されるブロッキング高気圧と呼ぶ。

本研究ではブロッキング高気圧に注目し、その発生日数の経年変化傾向を解析した。1979 年から 2012 年までの 34 年間で、暖候期に極東ロシアやアラスカでブロッキング高気圧の発生が増加傾向にあった。増加傾向にあった地域のブロッキング高気圧の原因と影響を探るためコンポジット解析を行った。ブロッキング高気圧の増加と北極の温暖化にポジティブフィードバックがあることが示唆され、将来的に異常気象が頻発することが考えられる。

## 1章 序論

### 1-1 研究背景

日本は四季に富んだ国である。古くから日本人は多様な気候の変化に順応し、営みを繰り返してきた。しかし、異常気象と呼ばれるような、これまでに経験したことのない気象現象や数十年、数百年に一度起こるような稀な事象が近年、頻繁に発生している。

例えば、2010 年は「観測史上最も暑い夏」となり、翌年、翌々年も続いて記録的な猛暑となった。2005/06 年の冬に日本を襲った豪雪は各地に記録的な積雪と被害を及ぼした。後に、気象庁は「平成 18 年豪雪」と命名したことで、その影響の大きさが伺える。しかし、顕著であるのは夏季や冬季だけでなく、春季に異常高温が多発していることが気象庁によって報告されている<sup>5)</sup>。このように頻発する異常気象は日本だけでなく世界的にも同様である。

このような異常気象の発生要因の一つとして大気のプロッキング現象が挙げられる。プロッキングとは、中緯度の対流圏上層を東西に流れる偏西風が南北方向へ持続的に蛇行・分流する現象である。プロッキングは中緯度の天候に大きな影響を与えることが知られている。

通常、偏西風は西から東へ流れている。この偏西風によって総観規模の擾乱も西から東に移動することで天候が周期的に変化するものの、南北方向に移流がないため偏西風の北は寒気、南は暖気が溜まっている。南北の気温勾配が大きくなると、傾圧不安定性から偏西風波動が励起され、プロッキングが起こるとされている。プロッキングは総観規模擾乱よりも長期間(数週間から 1 ヶ月程度)持続するため、高緯度へ暖気、低緯度へ寒気が流れ込み、南北の気温勾配を解消する働きをする。また、偏西風が蛇行することで、それに沿って移動する総観規模擾乱も東進が妨げられることから「プロッキング」の名前が付いた。このように持続的に南北に気温が移流することで熱波や寒波、移動性擾乱の停滞によって長雨や干ばつなどの異常気象を引き起こす。プロッキングはその影響が偏西風波動として遠隔に波及するため、半球規模で異常気象を起こす。

Francis and Vavrus<sup>[1]</sup>[2012](以下、FV12)では、ここ数十年での低中緯度に比べて北極域の温暖化が加速度的に増加しているという北極増幅( Arctic Amplification ) [Screen and Simmonds<sup>[2]</sup> 2010]が、中緯度の異常気象の発生頻度を増加させることに繋がることが示唆されている。北極域の気温が上昇することで層厚が伸長し、南北の気圧傾度が緩和される。駆動力が弱まることで偏西風も弱化し、流れが遅緩するプロッキングのような現象を引き起こされ、異常気象の増加に繋がる。

プロッキングは 20 世紀初頭から確認されてきた現象であるが、異常気象と密接に関係しているため、その発生や持続のメカニズムが現代でも盛んに研究されている。プロッキングの発生は数値予報を用いてもその予測は困難であり、プロッキングを予測することは中長期予報の精度を高めることに繋がる。

## 1-2 研究目的

ブロッキングに関する研究は様々行われているが、その発生や持続メカニズムに注目した事例解析が多い。ブロッキングの増加とその原因を探ることは、異常気象の原因を解明することにつながり、将来の気象予報や防災に有益な指標になると考えられる。本研究ではブロッキングによって生成されるブロッキング高気圧の長期的な変動の解析を行い、近年の傾向とその原因を調査し、異常気象の増加の原因を探ることを目標とする。

## **2 章 使用データ**

### **2-1 JRA-25 再解析データ**

本研究では気象庁の長期再解析プロジェクト(Japanese Re-Analysis 25 years)に基づいて解析された JRA-25 再解析データを用いる.

その中でジオポテンシャル高度, 気温, 風速の日平均データを使用し, 日平均値は 1 日 6 時間毎に 4 回観測されたデータを平均したものを日平均値として用いる. 水平グリッド間隔は 1.25 度×1.25 度で, 鉛直方向に 23 層ある 3 次元データである. 解析対象期間は 1979 年 1 月 1 日から 2012 年 12 月 31 日としている.

### 3 章 解析手法

#### 3-1 ジオポテンシャル高度

ジオポテンシャル(Geopotential)とは、地球上のある場所の高度を示す指標であり、単位質量を平均海面からその場所の高度まで引き上げるのに要する仕事量で表される。すなわち、位置エネルギーを質量で割った値に等しい。

地球の平均海面を基準として鉛直方向に  $z$  軸をとり、物体のする仕事を計る。平均海水面からの高さ  $z$  によってジオポテンシャルを定義すると、

$$\Phi \equiv \int_0^z g dz$$

$\Phi$  : ジオポテンシャル,  $g$  : 重力加速度,  $z$  : 高度

上記のように表される。ジオポテンシャル  $\Phi$  を標準重力加速度  $g_0$  で割った量をジオポテンシャル高度  $Z$  と呼ぶ。

$$Z \equiv \frac{\Phi}{g_0} = \left( \frac{1}{g_0} \right) \int_0^z g dz$$

対流圏内での重力加速度  $g$  の値は、標準重力加速度  $g_0$  の値ではほぼ一定であり、ジオポテンシャル高度  $Z$  と一般的な高度  $z$  はほぼ同じである。現在の高層天気図は、等圧面上の天気図があり、そこに描かれている等高度線は等ジオポテンシャル線である。等圧面上でジオポテンシャル高度が高い地点は、気圧が高い。多くの場面で計算に便利であるため、ジオポテンシャル高度を用いて解析を行った。

#### 3-2 ブロッキング高気圧の検出方法

ブロッキング高気圧の発生を定義する方法は様々あるが、本研究では Tibaldi and Molteni<sup>[3]</sup>, 1990 (以下, TM90)で定義された方法を用いる。ブロッキング高気圧の発生に伴い上層の層厚は伸長する。対流圏上層である 300hPa 面のジオポテンシャル高度( $Z_{300}$ )の南北勾配を用いて、ブロッキング高気圧を検出する。

$$GHGS = \frac{Z_{300}(\varphi_0) - Z_{300}(\varphi_s)}{(\varphi_0 - \varphi_s)}$$

$$GHGN = \frac{Z_{300}(\varphi_n) - Z_{300}(\varphi_0)}{(\varphi_n - \varphi_0)}$$

$$\varphi_s = \varphi_0 - 15^\circ, \quad \varphi_n = \varphi_0 + 15^\circ$$

$GHGS$ ,  $GHGN$ を北緯 45 度から北緯 75 度まで各経度で計算し,

$$GHGS > 0 \text{ かつ } GHGN < -8.0 \text{ m}^{\circ}$$

を満たす場合をブロッキング高気圧が発生したと定義する。 $GHGN$  の指標値と緯度の間隔は TM90 ではなく Arai and Kimoto<sup>[4]</sup>,2005(以下, AK05)の値を用いる。AK05 は TM90 に比べ, 夏季に発生するブロッキング高気圧を多く検出することが報告されている。本研究はブロッキング高気圧の統計的な解析を行うため, より多くのブロッキング高気圧の事例を検出できる手法を適用する。

### 3-3 移動平均

ブロッキングは移動性の低高気圧に比べて時間スケールの長い現象である。移動性擾乱の影響を除くため, データには移動平均をかける。移動平均とは, 時系列データを平滑化するための手法であり, 対象データに含まれる長周期変動成分と短周期変動成分にわけることができる。本研究では, 単純移動平均(Simple Moving Average : SMA)を行う。使用する JRA-25 再解析データは 6 時間毎にデータが存在する。4 個のデータを平均し, 日データとし, 日データを前後 4 日の 9 日間で平均した値を用いて解析を行った。

### 3-4 コンポジット解析

コンポジット解析とは, 合成図解析とも呼ばれ, ある条件で標本を抽出し, 平均値を用いて条件と母集団との関係を探る解析手法である。本研究ではブロッキング高気圧の増加傾向にあった領域でブロッキング高気圧が発生した日を基に抽出した。選択した領域内の格子点が 1 点でも式を満たした日を基準日( $\text{day} \pm 0$ )とした。基準日から選択した領域内の格子点が 1 点でも式を満たしている日までを持続日数と定義する。基準日の前はブロッキング高気圧の発生原因が, 基準日の後はブロッキング高気圧の影響を探ることができると考えられる。



## 4 章 結果

### 4-1 季節ごとのブロッキング高気圧

ブロッキング高気圧が発生した日数を期間の全日数で割ることでブロッキング高気圧の存在確率をしめすことができる。Fig.1 はブロッキング高気圧の存在確率を季節ごとに示した図である。Fig.2 はブロッキング高気圧の発生回数, Fig.3 はブロッキング高気圧の平均持続日数を示した図である。発生回数は各格子点でブロッキング高気圧を検出していから検出しなくなるまでを1回と数え、季節ごとの期間内で何回発生したかを34年間で平均した値である。持続日数はブロッキング高気圧の発生日数を発生回数で割った値である。季節によって細かくはブロッキング高気圧の発生の様子は異なっているが、主なブロッキング高気圧の発生領域は極東ロシアからアラスカにかけての太平洋域と北ヨーロッパ、イギリスからグリーンランドにかけての大西洋域に集中している。ブロッキング高気圧の主な発生地域は大陸上よりも海洋と大陸の境界付近に集中していることから地表面の影響でブロッキングが励起されることが示唆される。

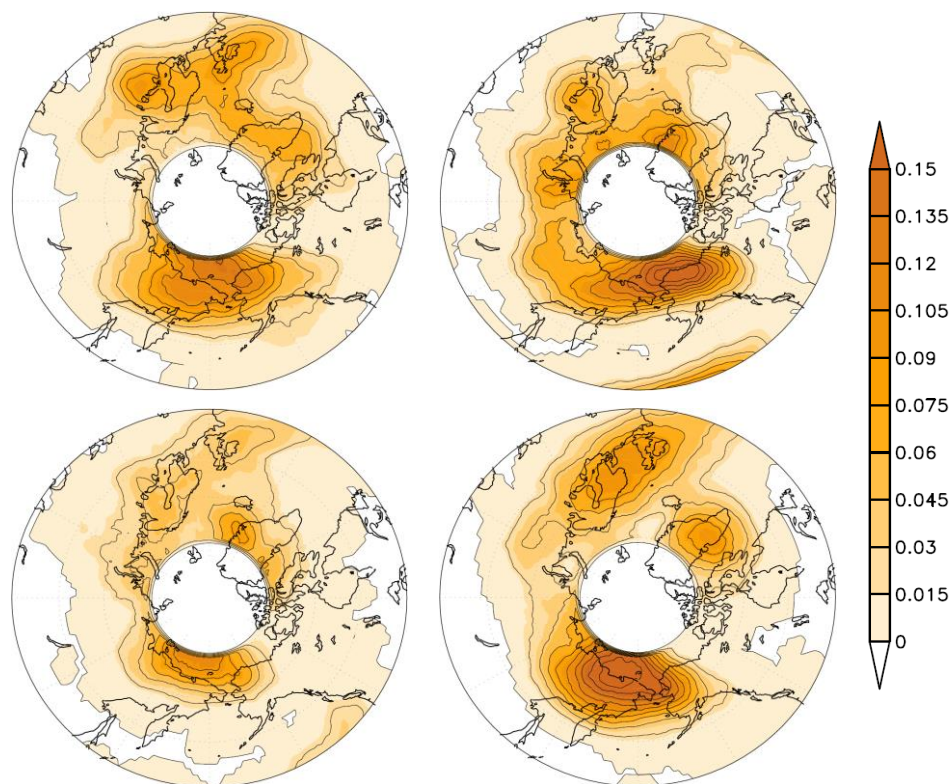


Fig.1 ブロッキング高気圧の存在確率

(左上：春(MAM), 右上：夏(JJA), 左下：秋(SON), 右下：冬(DJF))

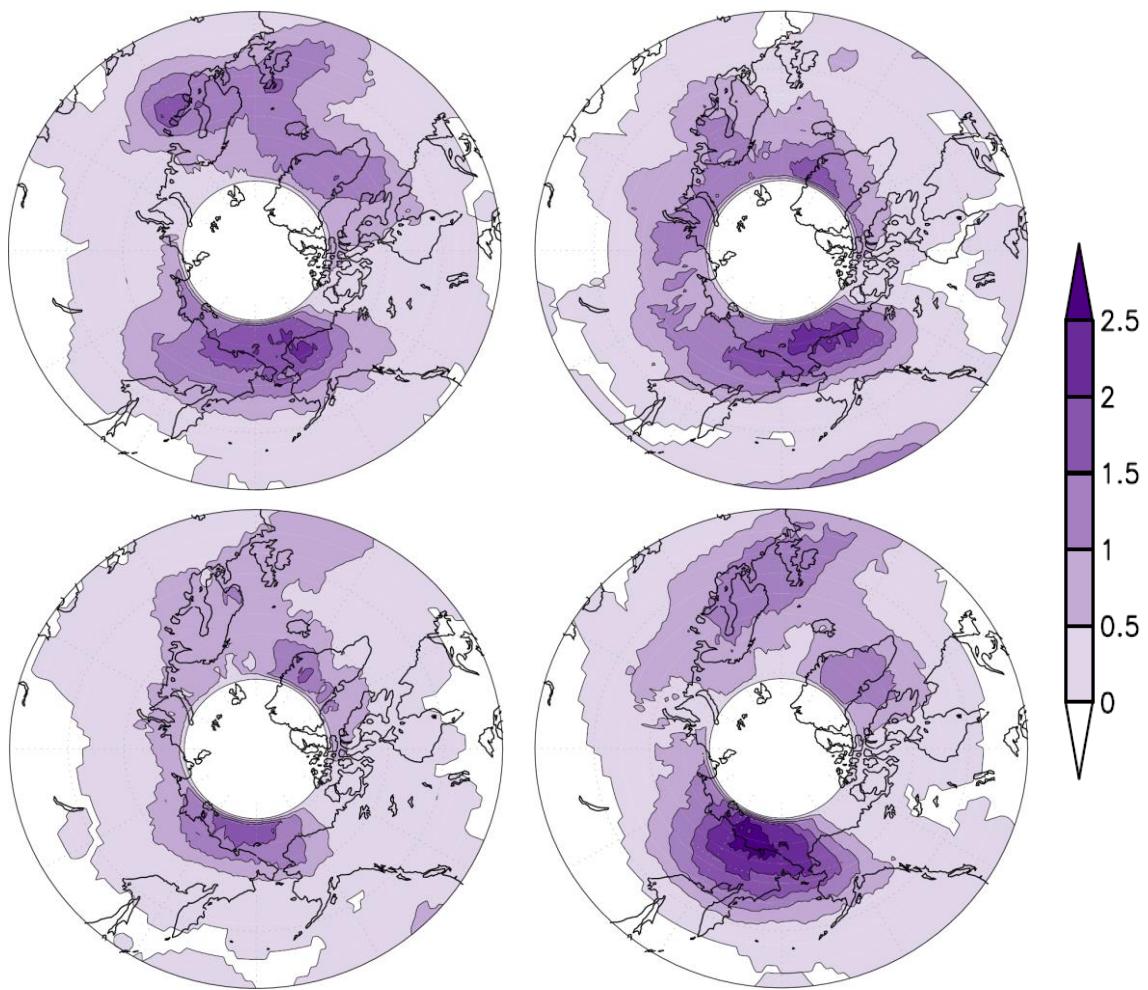


Fig.2 ブロッキング高気圧の平均発生回数  
(左上：春(MAM), 右上：夏(JJA), 左下：秋(SON), 右下：冬(DJF))

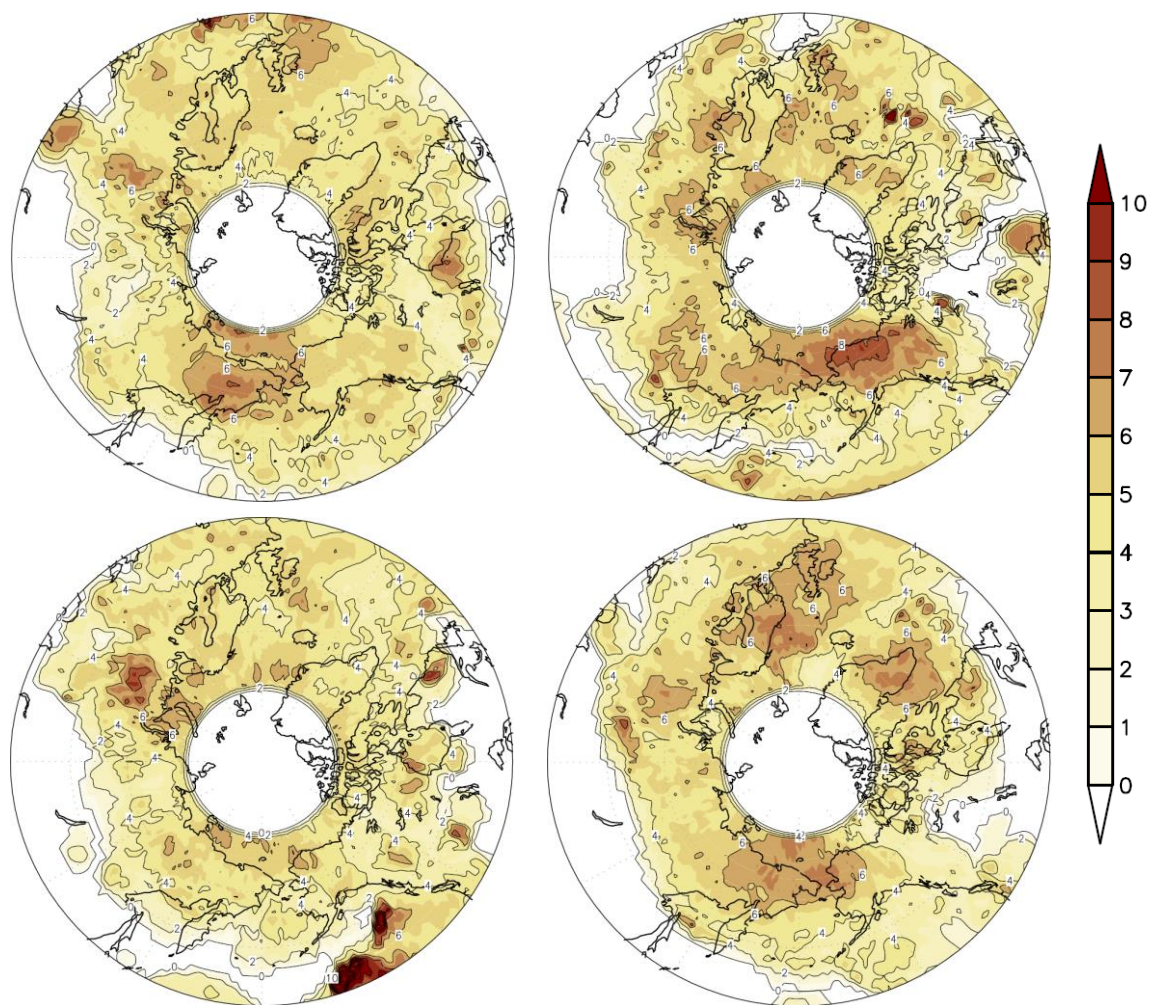


Fig.3 ブロッキング高気圧の平均持続日数

(左上：春(MAM), 右上：夏(JJA), 左下：秋(SON), 右下：冬(DJF))



## 4-2 トレンド

ブロッキング高気圧の発生にどのような変動があるのか探るため、ブロッキング高気圧の発生日数と時間との回帰分析を行う。ここで求められた回帰係数をブロッキング高気圧の発生日数の経年変化傾向(トレンド)と定義する。ブロッキング高気圧の発生日数のトレンドは Fig.4 に示す。発生回数と持続日数に関しても同様の解析を行い、トレンドを算出した ( Fig.5, Fig.6 )。春季と夏季の暖候期に共通して極東ロシアやアラスカ、グリーンランドに増加傾向を発見した。本研究ではこの暖候期における極東ロシアの増加傾向に注目して、解析を進めていく。

極東ロシアのブロッキング高気圧の発生回数に着目し、領域内で 10 日以上持続したブロッキングの発生回数と持続日数が 10 日未満であった場合に分け、プロットし、経年変化を示す(Fig.7)。発生回数そのものに大きな変化はないが、持続期間の長いブロッキング高気圧が近年増加していることが分かる。

ブロッキング高気圧の増加傾向の原因を探るために 850hPa 面の気温と 300hPa 面の東西風においても同様の解析を行い、トレンドを算出した(Fig.8, Fig.9 春季のみを掲載)。気温の増加傾向にある領域の北側では西風が強化、南側では弱化的傾向にある。気温の上昇により層厚が伸長し、気圧傾度に変化したことで東西風が影響を受けたと考えられる。

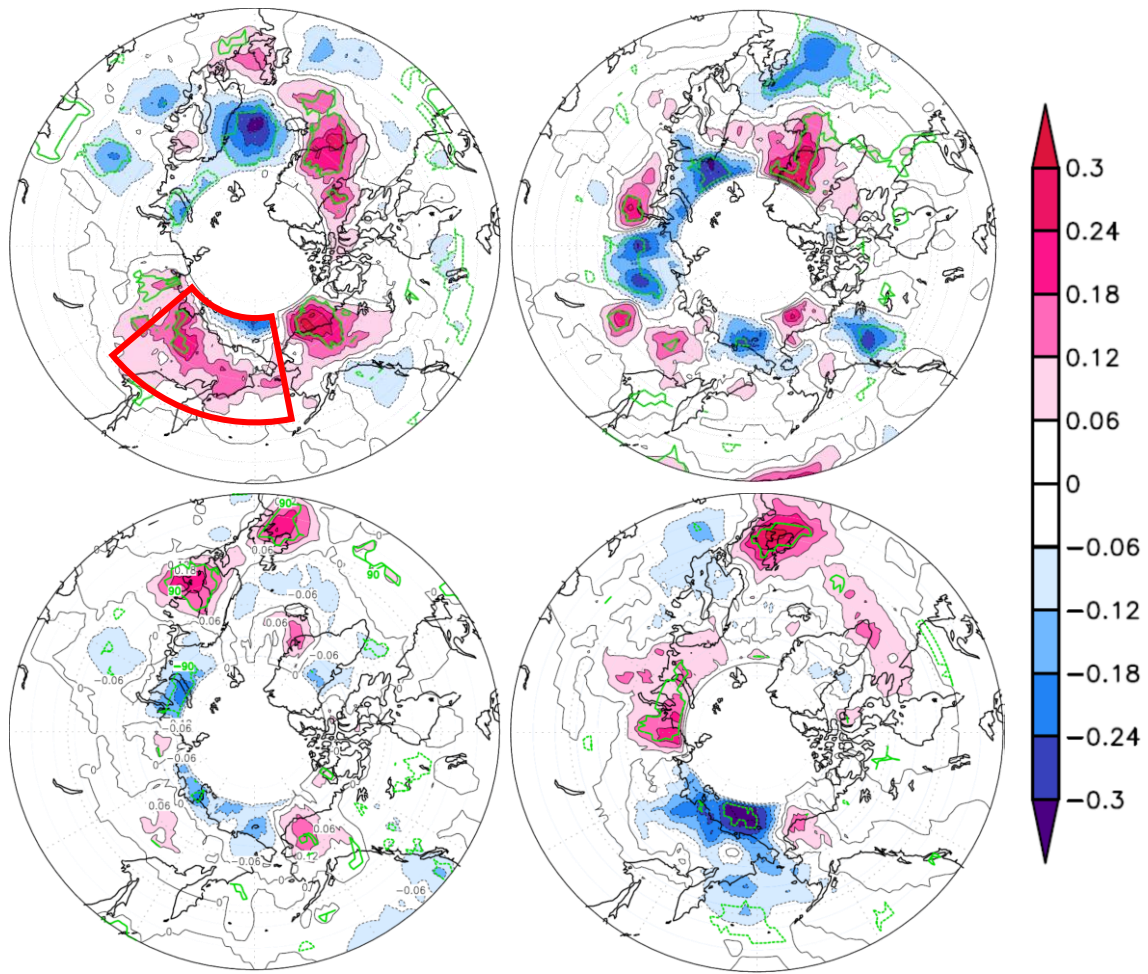


Fig.4 ブロッキング高気圧の発生日数のトレンド

緑線は信頼水準 90%での有意性を示す.

(左上 : 春(MAM), 右上 : 夏(JJA), 左下 : 秋(SON), 右下 : 冬(DJF))

左上の図に示す赤線の領域は選択した極東ロシア領域(60°N~70°N, 130°E~170°W)

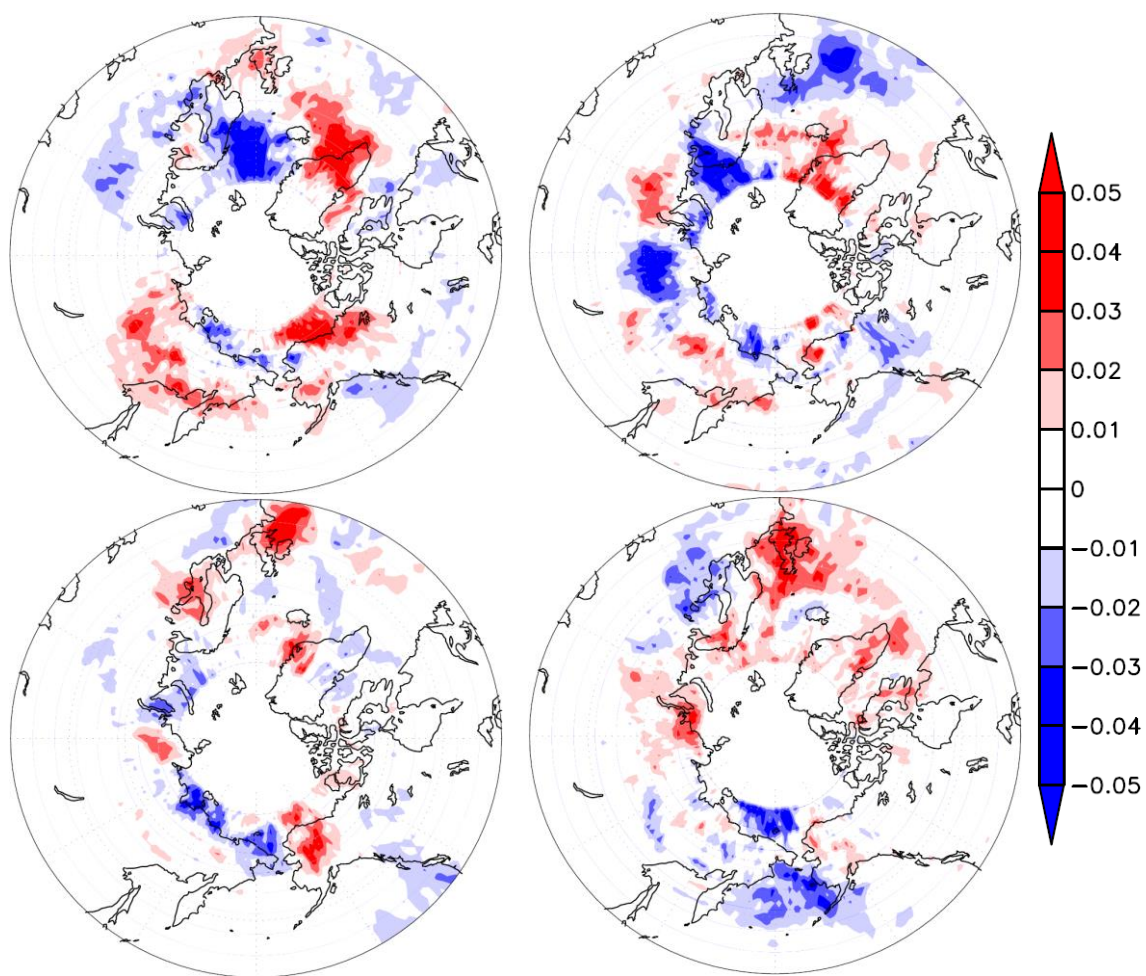


Fig.5 ブロッキング高気圧の発生回数のトレンド  
(左上：春(MAM), 右上：夏(JJA), 左下：秋(SON), 右下：冬(DJF))

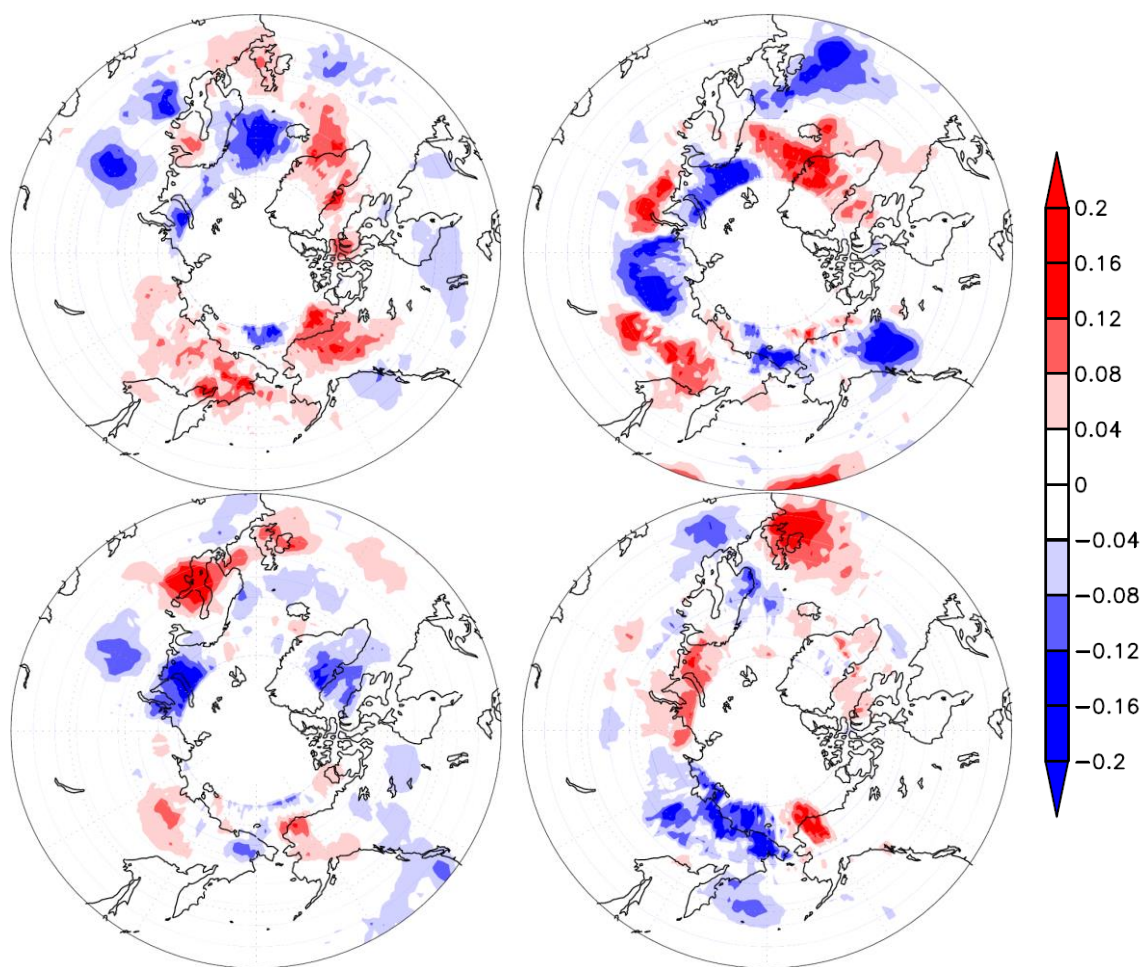


Fig.6 ブロッキング高気圧の持続日数のトレンド  
(左上：春(MAM), 右上：夏(JJA), 左下：秋(SON), 右下：冬(DJF))

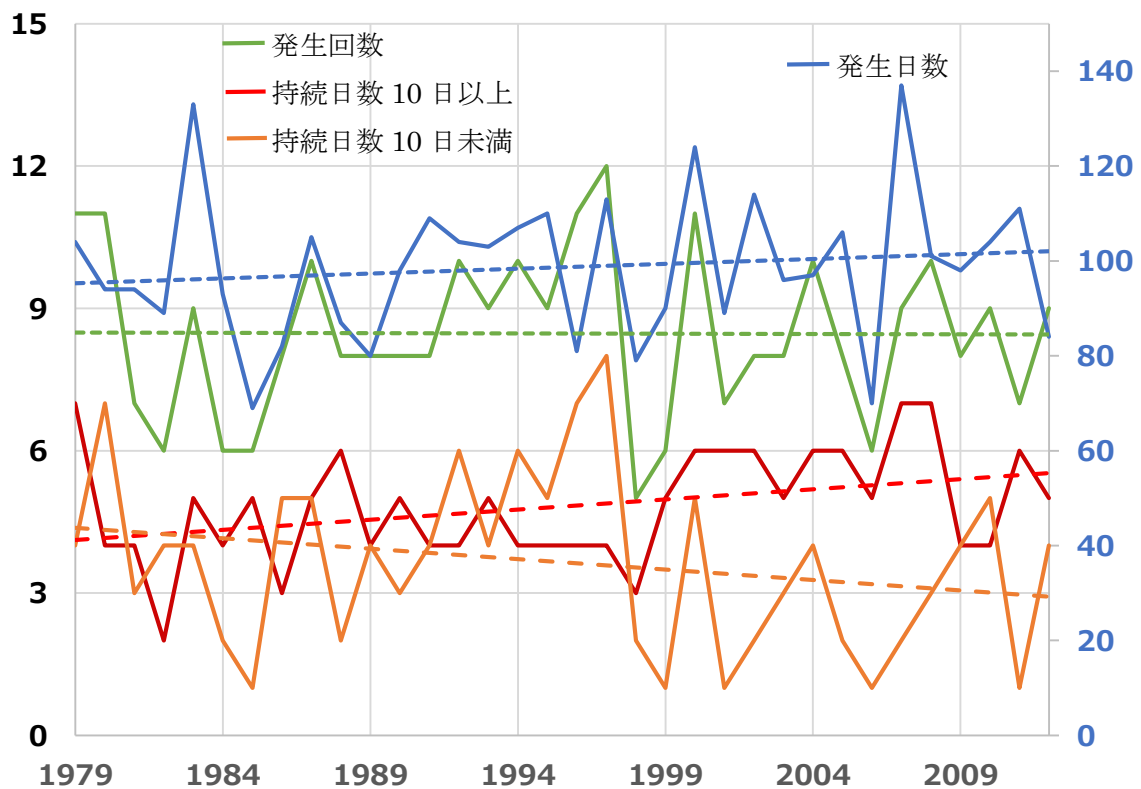


Fig.7 暖候期における極東ロシア上で発生するブロッキング高気圧の経年変化  
 発生日数(青実線)は右軸, 発生回数(緑実色), 10 日以上(赤実色), 10 日未満(橙実色)持続した  
 ブロッキング高気圧の発生回数は左軸で, 同色の破線は実線の回帰直線を示す.



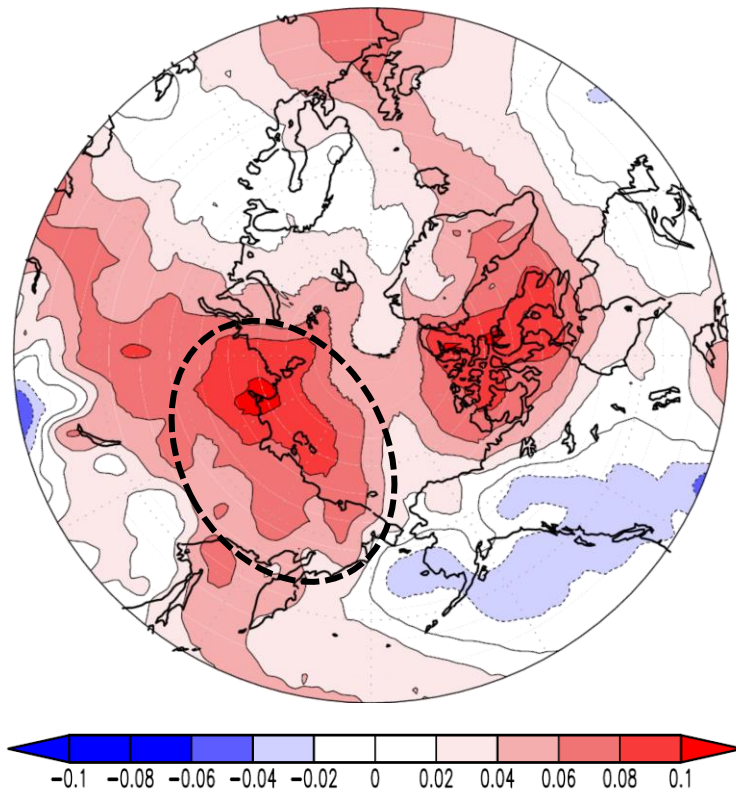


Fig.8 春季における 850hPa 面の気温のトレンド

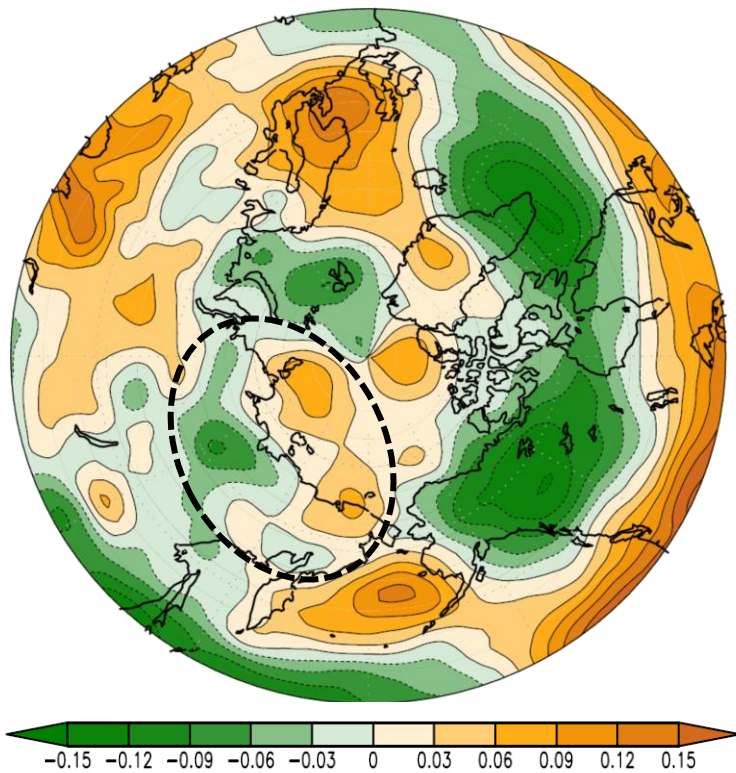


Fig.9 春季における 300hPa 面の東西風のトレンド

#### 4-3 コンポジット解析による発生原因と影響

暖候期における極東ロシアで 10 日以上持続したブロッキング高気圧が発生したときのコンポジット図が Fig.10 である。色は気候値からの偏差を表しており、ここでは日データの 1979 年から 2012 年までの 34 年平均したものに 9 日間のローパスフィルタをかけたものを気候値としている。

ブロッキング高気圧が発生する前には極東ロシアでは低温・低気圧偏差であった。発生後 10 日が経過すると極東ロシアからユーラシア大陸にかけて高気圧偏差に覆われ、日本や北アメリカは低温偏差である。初夏にオホーツク高気圧が日本に”やませ”と言われる冷害を及ぼすことは知られている。

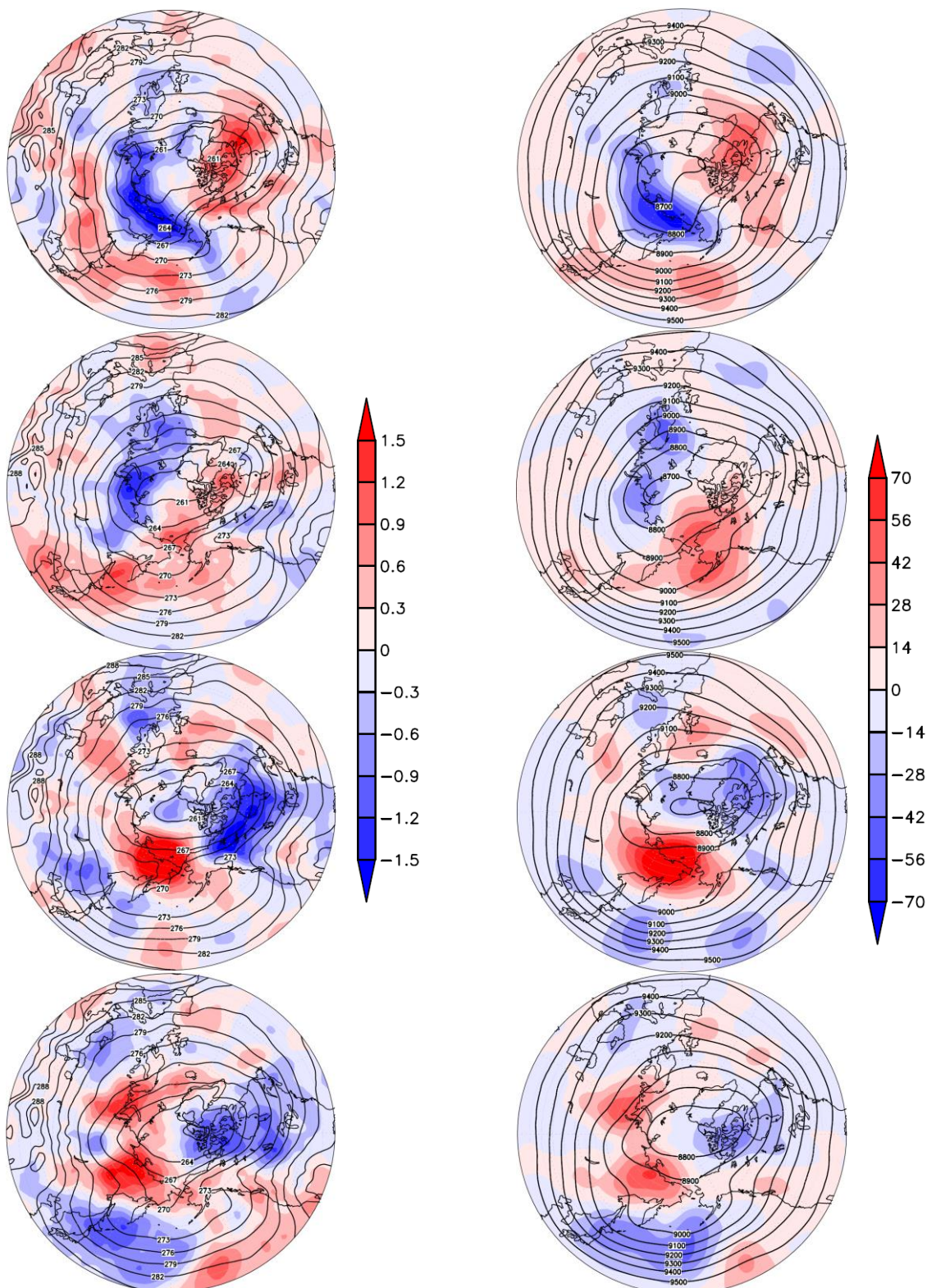


Fig.10 暖候期に極東ロシア領域でブロッキング高気圧が発生した時の左：850hPa面の気温(K),右：300hPa面のジオポテンシャル高度(m). 上から day-5, day±0, day+5, day+10. 色は前後4日(9日間)の気候値からの偏差.

## 5 章 考察・結論

1979 年から 2012 年までの 34 年間で、北半球で発生するブロッキング高気圧に地域、季節別に増加傾向が発見された。暖候期に共通して増加傾向にあった極東ロシアのブロッキング高気圧は、発生回数に変化はないが、より持続日数の長いブロッキング高気圧の割合が増えていた。これは FV12 で示唆されたような北極域の温暖化によってブロッキングが持続しやすい大気場に変化したことが考えられる。実際、気温と東西風のトレンドからも整合性があると言える。極東ロシアのブロッキング高気圧は南北の気圧傾度を解消するように発生しており、その影響は付近だけでなくロスビー波伝播によって西に高温偏差が生じていた。持続日数の長いブロッキング高気圧のほうが大気に与える影響は大きく、北極の温暖化に寄与していると仮定すると、北極の温暖化とブロッキングの長期化はポジティブフィードバックが考えられる。この関係はさらに北半球の異常気象を頻繁にさせるだろう。

## 参考・引用文献

- [1] Francis, J. A. and S. J. Vavrus (2012), Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L06801.
- [2] Screen, J. A., and I. Simmonds (2010), The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification, *Nature*, 464, 1334–337.
- [3] Tibaldi, S., and F. Molteni (1990), On the operational predictability of blocking, *Tellus, Ser. A*, 42, 343–365.
- [4] Arai, M., and M. Kimoto (2005), Relationship between springtime surface temperature and early summer blocking activity over Siberia, *J. Meteorol.Soc. Jpn.*, 83, 261–267.
- [5] 気象庁「異常気象レポート 2005」より

## 謝辞

本研究を進めるにあたり指導教員の立花教授から気象の専門知識、解析手法や結果に関する見解、発表方法の創意工夫に至るまで丁寧にご指導頂きました。感謝を申し上げます。また、自然環境システム学講座の先生方からは合同ゼミでの大変貴重なご意見を頂き、授業では物理学を基礎として我々を取り巻く自然環境を多様な視点から学ぶことができ、深く感謝しております。研究の内容に関しましても小寺邦彦氏、山崎孝治氏、中村哲氏をはじめ研究室の方々の有益なアドバイスや丁寧なご指導を頂くことで、一層研究を深めることができました。また中村氏にはモデル実験のデータを提供していただきました。心より感謝いたします。