

36. 北半球における夏季のブロッキング現象が 極端高温日に与える影響

布川 敦士^{1*}・北野 慈和²・山田 朋人³

¹北海道大学工学部環境社会工学科（〒060-8628札幌市北区北13条西8丁目）

²北海道大学大学院工学院, 学術振興会特別研究員DC1（〒060-8628札幌市北区北13条西8丁目）

³北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628札幌市北区北13条西8丁目）

* E-mail: anunokawa@eis.hokudai.ac.jp

近年、熱波や旱魃などの極端現象が増加している。そこで、本研究では夏季におけるブロッキング現象と極端現象の関係を調べるため、ヨーロッパ中期気象予報センター(ECMWF)が提供する40年再解析データ(ERA-40)を用いて北半球のブロッキングの出現頻度分布、及びブロッキングと高温日の関係を解析した。ブロッキング抽出に用いるブロッキングインデックスは、Masato et al.⁵⁾に準拠して作成した。解析の結果、ブロッキングは北緯60度付近の高緯度で出現頻度が高いことを確認し、またブロッキングの中心地の北から北西側に高温日が集中しやすい傾向にあることがわかった。

Key Words : *atmospheric blocking, extreme event, heat wave, blocking index ,*

1. はじめに

大気上層のジェット気流が南北に大きく蛇行する場合には、同時に地表から大気中上層を貫く背の高い高気圧が停滞していることがある。この高気圧により、偏西風、及びこれに伴い東進する高低気圧の渦列がブロックされることをブロッキングという。ブロッキングにより通常と異なる気圧配置が数週間継続することで、中高緯度地域に熱波や旱魃、寒波などの極端現象を引き起こす。Fisher et al.¹⁾は、2003年にヨーロッパの中央部から南部の広範囲で発生し、22,000-35,000人もの死者を出した熱波事例では、ヨーロッパ地域における熱波は春季の土壌水分の減少により強まる可能性を示唆した。2010年には西ロシアで発生したブロッキングが熱波や森林火災を引き起こし、15,000人が死亡し150億ドルの経済損失をもたらした。また同一のブロッキングがパキスタンでは豪雨とそれに伴う大洪水をもたらし1,700人の命を奪った。その被害総額は400億ドルと見積もられている(WMO²⁾)。このようにブロッキングは人的・経済的に大きな被害をもたらすため、将来のブロッキングの発生予測や物理的メカニズムの解明は今後ますます重要になる。

ブロッキングの定量的な評価はRex⁷⁾において初めて行

われ、その発生頻度について気候値を作成した。その後Lejanäs and Økland⁶⁾, Tibaldi and Molteni³⁾, Pelly and Hoskins⁴⁾らによりブロッキング発生を定義するインデックスが提案された。本研究ではヨーロッパ中期気象予報センター(ECMWF)が提供する40年再解析データ(ERA-40)を用いて、北半球で夏季に発生するブロッキングが、極端現象にどの程度影響を与えるのかを解析した。

2章では解析に使用したデータおよび解析手法を提示し、3章で北半球におけるブロッキングの発生頻度、4章で北半球のブロッキング発生位置と高温日の関係を示し、5章でまとめを行う。

2. 使用データと解析手法

(1) 使用データ

本研究では、再解析データERA-40を用いて夏季のブロッキングと高温日について解析した。解析期間は1960-1999年の過去40年間の夏季(6-8月の92日間、40年間)とし、全ての期間で北半球のみの2m高さ気温とジオポテンシャルの日データを用いた。また、使用した再解析データの空間解像度は緯度2.5度×経度2.5度であるが、本研究が準拠した既往のブロッキング抽出手法(Masato et

al.⁵⁾に倣い、緯度1.5度×経度4.5度に内挿した。

(2) ブロッキング同定手法

ブロッキングが発生しているときの気圧配置は、高気圧が単独でΩ状に高緯度側に張り出ているか、またはそれに加え低緯度側に切離低気圧が伴っているかのいずれかである。これまで多くのブロッキングの同定手法が提案されているが、ここで代表的なものを紹介する。Tibaldi and Molteni³⁾では500hPa面でのジオポテンシャル高度の比較をすることでブロッキングを同定している。同論文ではブロッキングインデックスを

$$GHGS = \frac{Z(\phi_0) - Z(\phi_s)}{\phi_0 - \phi_s} \quad (1)$$

$$GHGN = \frac{Z(\phi_n) - Z(\phi_0)}{\phi_n - \phi_0} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \phi_n &= 80^\circ N + \Delta \\ \phi_0 &= 60^\circ N + \Delta \\ \phi_s &= 40^\circ N + \Delta \\ \Delta &= -4^\circ, 0^\circ \text{ or } 4^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

と定義した。GHGS、GHGNはそれぞれ中緯度、高緯度でのジオポテンシャル高度勾配であり、 $Z(\phi)$ は緯度 ϕ でのジオポテンシャル高度を表している。ここで、少なくとも1つの Δ において $GHGS > 0 \text{ m/deg lat}$ かつ $GHGN < -10 \text{ m/deg lat}$ が成り立つ場合、つまり、ある緯度 ϕ_0 のジオポテンシャル高度が低緯度側より大きく、高緯度側よりも小さい時、ブロッキング発生とする。

Pelly and Hoskins⁴⁾は、渦位面により動的に定義された対流圏界面での南北の温位勾配の逆転でブロッキングインデックスBを定義した。彼らが定義した式は以下の通りである。

$$B = \frac{2}{\Delta\phi} \int_{\phi_0}^{\phi_0+\Delta\phi/2} \theta d\phi - \frac{2}{\Delta\phi} \int_{\phi_0-\Delta\phi/2}^{\phi_0} \theta d\phi \quad (4)$$

ここで、温位 θ は渦位が2PVUとなる高度での温位、 ϕ_0 は $\phi_0 = \phi_c \pm \Delta$ (ϕ_c :ブロッキングの中心となる緯度、 $\Delta = 4^\circ$)で定義される。

本研究のブロッキング抽出方法はMasato et al.⁵⁾に準拠している。同論文の手法は上記の2つのインデックスを組み合わせたものであり、ジオポテンシャル θ をジオポテンシャル高度 Z に置き換えている点で式(4)とは異なる。つまり、本研究では同論文にならいブロッキングインデックスを

$$\beta = \frac{2}{\Delta\phi} \int_{\phi_0}^{\phi_0+\Delta\phi/2} Z d\phi - \frac{2}{\Delta\phi} \int_{\phi_0-\Delta\phi/2}^{\phi_0} Z d\phi \quad (5)$$

の式で定義する。

また、Masato et al.⁵⁾はブロッキング抽出の手順を以下のようにした。1) ブロッキングインデックス β を対象期間中の全域において計算し、正の極大値を取る点（以降、 β が正の極大値を示す点を極大点とする）を求める。2)

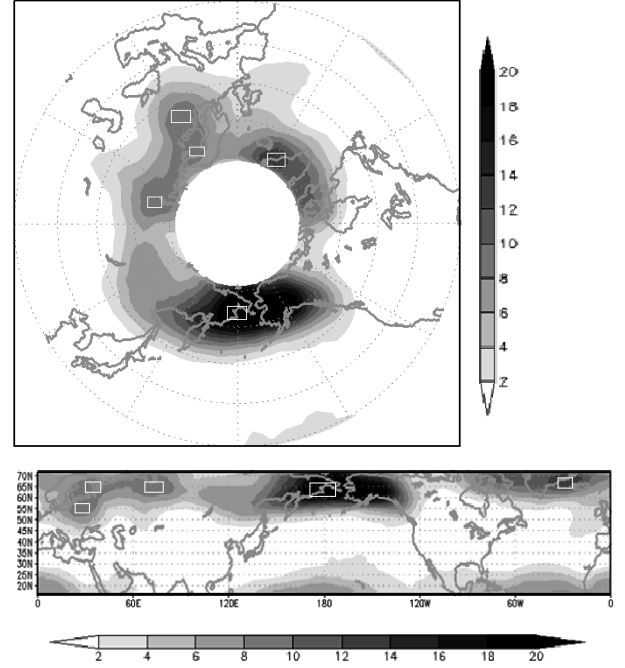


図-1 解析データにおけるブロッキングの発生頻度の分布図。

上下の図は同じ解析の結果を異なる図法で表現したものである。白い長方形で囲んである5つの地域はブロッキングの発生頻度の極大値であり、4章ではこれらのブロッキングと北米・ヨーロッパ地域の極端現象の関係を解析する。

ある極大点に対して、翌日の極大点の座標が前日の極大点の座標を中心とした経度27度×緯度36度のエリア内に留まる場合、これらは同一のイベントとみなす。ただし最初に発生した極大点を中心に経度40度×緯度54度のボックスを定め、ある日の極大点があるボックス外にあるときは同一のイベントとみなさない。3) 手順1) 2)を5日以上みたす極大点があるとき、その点及びその点と連続した β が正の地域をブロッキングの発生域とする。ブロッキングの発生頻度は、対象期間3680日中、ある地域が手順3までを満たした日数の割合である。

(3) 本研究における高温日の定義

2m高さ気温の日データについて、99パーセンタイル以上の気温の日を高温日として扱う。つまり夏季3680日から暑い日の上位1%である36日を高温日と定義する。

3. 北半球におけるブロッキング発生頻度

図-1は1960-1999年の6-8月における北半球のブロッキング発生頻度の分布を表す。ベーリング海峡周辺で発生するブロッキングの頻度が多く20%以上を占める。また、北緯60度以北の高緯度地域で高い出現頻度が見られる。

この図から特にブロッキングの出現頻度が高い地域として、次の5カ所を選んだ。それぞれの地域についてブロッキングの場所と中心地の座標、ブロッキング出現頻

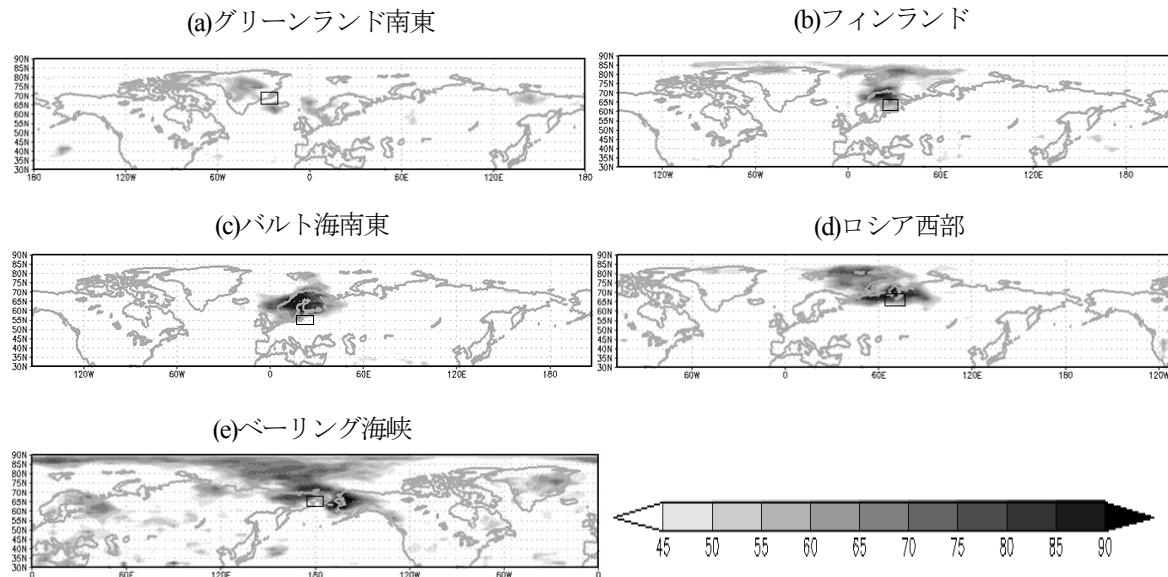


図-2 3章で抽出したブロッキング発生頻度の高い地域でブロッキングが発生した場合の異常気象発生地域の分布。右下のバーの単位は%であり、値が大きいほどブロッキングの出現日が高温日と重なることを示す。

度を示す。(a) グリーンランド南東(北緯68.5度, 西経27度), 24.1% (b) フィンランド(北緯64度, 東経31.5度), 20.7% (c) バルト海南東(北緯55度, 東経27度), 20.5% (d) ロシア西部(北緯65.5度, 東経72度), 20.1% (e) ベーリング海峡(北緯64度, 東経180度), 41.5%。(b)と(c)という近い位置を選んだ理由は、モスクワ上空に広がるブロッキング頻度の高い地域の形状が一塊でなく、ここに2つのブロッキングが存在すると考えたためである。よってモスクワ上空域での発生頻度の上位2つではなかったが、2つの異なるブロッキングを扱うためフィンランドとバルト海南東の2カ所を選んだ。4章ではこの5地点でブロッキングの発生と極端現象との関係を見る。

4. 北半球のブロッキングと高温日の関係

図-2は、3章で示した5地点でブロッキングが発生した場合の高温日の出現分布を表している。つまり、値が大きい地域はブロッキングが発生した時に高温になる傾向があることを示している。いずれのブロッキングにおいても、中心地付近で高温日が集中して発生しており、特に中心地の北側に偏る傾向が見られる。ベーリング海峡でブロッキングが発生した時はブロッキング周辺に限らず広範囲で高温日の発生が発生しているが、これはこのブロッキングの発生頻度が他の4つと比べて高いことが影響していると考えられる。

5. まとめ

再解析データERA-40の2m高さ気温とジオポテンシャル高度を用いて、北半球における夏季のブロッキングの

影響を解析した。解析の結果は以下である。1) 夏季ブロッキングの多くが緯度60度以北の高緯度で発生している。また発生頻度はベーリング海峡周辺が最も高い。2) ブロッキング発生時の高温日はブロッキング周辺に多く見られる。3) ブロッキング発生時は、ブロッキング高気圧の北部が高温日になる傾向が高い。

以上の結果より、北半球の夏季ではブロッキングの発生が周辺地域の高温日に影響すると思われる。3)については、ブロッキングにより高緯度側に蛇行した偏西風の影響が考えられるが、詳しい議論は今後の課題としたい。

謝辞：本研究はJSPS科 研費(15K1811, 26249072)及びMEXT/RECCA, SOUSEI(c-i-c)の成果の一部である。

参考文献

- 1) Fischer, Erich M., et al. "Soil moisture-atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave." *Journal of Climate* 20.20 (2007): 5081-5099.
- 2) WMO. "Weather extremes in a changing climate: Hindsight on foresight." (2011).
- 3) Tibaldi, Stefano, and Franco Molteni. "On the operational predictability of blocking." *Tellus A* 42.3 (1990): 343-365.
- 4) Pelly, Jo L., and Brian J. Hoskins. "A new perspective on blocking." *Journal of the atmospheric sciences* 60.5 (2003): 743-755.
- 5) Masato, Giacomo, Brian J. Hoskins, and Tim Woollings. "Wave-breaking characteristics of Northern Hemisphere winter blocking: A two-dimensional approach." *Journal of Climate* 26.13 (2013): 4535-4549.
- 6) Lejenäs, Harald. "Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data." *Tellus A* 35.5 (1983): 350-362.
- 7) Rex, Daniel F. "Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate." *Tellus* 2.4 (1950): 275-301.