

冷たいオホーツク海は、 太平洋高気圧を強化し、梅雨も強めている

○立花義裕・川崎健太(三重大学)・中村哲・山崎孝治(北海道大学)

キーワード：オホーツク海埋め立て実験・亜熱帯高気圧・ストームトラック

1. 要旨

梅雨は時に令和2年7月豪雨や西日本豪雨（平成30年7月豪雨）のように甚大な災害を引き起こす。梅雨前線は低温のオホーツク海気団と暖かい太平洋気団の間のできる前線と説明されることが多いが、オホーツク海気団の礎となる冷たいオホーツク海の役割を明確に示した研究は無い。本研究では低温のオホーツク海が太平洋高気圧を強め、ひいては梅雨の降水量を増やすことを数値シミュレーションにより明らかにした。さらに、低温のオホーツク海が無くとも梅雨現象は起こることを示し、梅雨にとってオホーツク海は副次的な役割であると示した。なお、本研究は、Kawasaki et al. (2020)^[1]で発表した内容に基づいている。

本研究成果の新しい点

- 1)低温のオホーツク海は太平洋高気圧を遠隔的に強めている（図1の高気圧部分）。寒冷なオホーツク海が、対峙する太平洋高気圧を強めていることを示した（メカニズムの詳細は後述）
- 2)強められた太平洋高気圧の西の縁を暖湿気流が流れ込むことで梅雨が強化される（右図の黄色矢印）。
- 3)低温のオホーツク海が無くとも、梅雨は弱まるが存在する。したがって、梅雨の存在に対しては、オホーツク海は主役ではない。

2. オホーツク海が梅雨を強めるメカニズム概要

ア) 梅雨期のオホーツク海は、その緯度帯（北緯約45度）において世界で一番の低温の海である（図2の紫色）。その理由は二つある。一つ目は、6月下旬まで海氷に覆われているため海面水温が初夏まで低水温を維持すること。二つ目は、千島列島近傍のオホーツク海では潮の満ち引きに伴う流れが非常に強く、その強い流れによって海水の鉛直混合が盛んであるために、海洋内部の低温の海水が表面に達し、夏でも低海面水温が維持されている点である^[2]。これら影響による霧や下層雲の恒常的な発生も低海面水温の維持に効いている^[2]。オホーツク海を取り巻くシベリア極東域は日本よりも高緯度に位置するが、夏季はオホーツク海よりも遙かに高温となる。これは海陸の熱容量の差や夏季の日照時間の長さなどの影響による。従ってオホーツク海と周囲の陸との間での気温の海陸コントラストが非常に大きい状態となっており、海域は比較的高緯度に位置するがいわゆるモンスーン気候的な環境となっている。

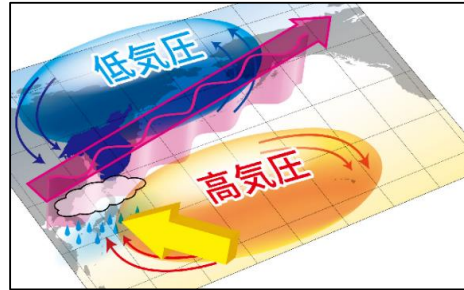


図1：日本上空の模式図（オホーツク海上空の低気圧の下には地上のオホーツク海高気圧がある）高気圧と低気圧をまわる青と赤の細線は気流の流れを示す

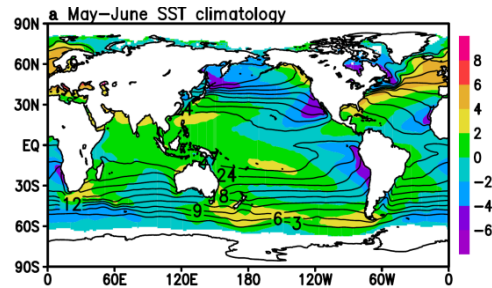


図2：5月～7月の海面水温の気候値(線)。水温気候値の年平均水温からの偏差(色)

イ) 低温の海水の影響でオホーツク海上空の大気が冷やされると冷やされた大気は偏西風に乗りアラスカまで達する(図3aの「寒」と記載した箇所)。この寒気と南の海上の暖かい大気との間に南北の強い温度差が生じ、その強い温度差が原因で東西に列をなす総観模の低気圧や高気圧擾乱(ストームトラック)が活発となる。(図3aの赤いカーテン状に描いた波線部)。なおこの破線を描いた緯度帯は、気候学的なストームトラック域でもある。従って気候学的ストームトラック活動が冷たいオホーツク海が存在によって強化されている。

ウ)この東西に列をなす高低気圧の群れは、擾乱に伴う渦活動と平均流との相互作用によって上空の偏西風を強めるように作用する(図3bのカーテンに重ねて描いた赤矢印)。また、渦と平均流の相互作用は北の上空の低気圧や南の太平洋高気圧を強めるようにも作用する。この作用には傾圧擾乱と順圧擾乱の双方が効いているが、傾圧擾乱の寄与が最も大きい(個々の寄与を示す図は Kawasaki et al. (2020)^[1] 参照)。

エ) 高気圧は時計回りの渦であるため、高気圧の西の縁を回る南から北へ向かう気流が日本近傍で強化される。南に位置する大気は高温多湿であり、高温多湿の大気が日本に流れ込むことで、梅雨の雨量が増す(図3cの黄色矢印)。また、梅雨前線雲での凝結加熱も太平洋高気圧の強化に寄与している(詳細は Kawasaki et al. (2020)^[1] 参照)。

3. オホーツク海埋め立て GCM 実験による上記メカニズムの詳細

極東域の気候形成に対するオホーツク海的作用を検証するために、本研究では大気大循環モデル(GCM)において、オホーツク海を陸に変えたオホーツク海埋め立て実験を実施した。この埋め立て実験(LAND)と気候値を再現させる実験(SSTを気候値としたGCM:CTL)を比較することで、オホーツク海的作用が理解できる。各々の実験を30年分実施し、それらの差を求めた。図4は、気候値実験と埋め立て実験との差を表す(CTL マイナス LAND)。これ以降二つの実験の差を示す図はすべて、CTL マイナス LAND)。冷たいオホーツクが存在することでそこが陸である場合に比して約 100W/m^2 以上の熱放出が抑制されている。その影響でオホーツク海上の気温が約5度程度低下する。

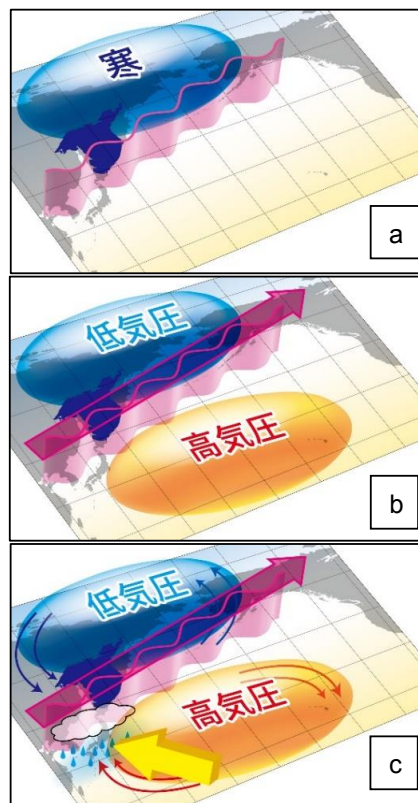


図3: オホーツク海が梅雨を強めるメカニズムの模式図

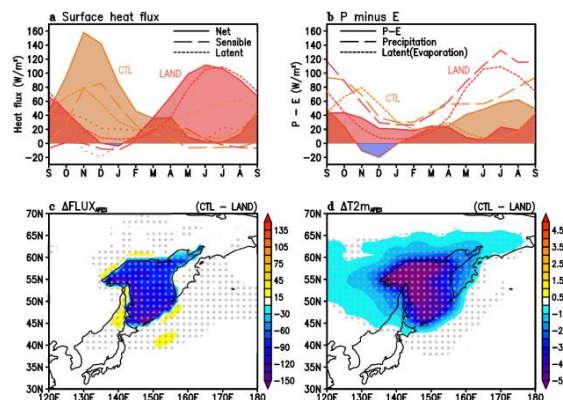


図4: (左上) オホーツク海領域平均の海面フラックスの季節変化(SSTを気候値としたGCM: CTL runと埋め立て実験(LAND))。(右上) オホーツク海上の降水量と蒸発量の季節変化。(左下) 海面フラックス(W/m^2)の差(CTL マイナス LAND)。但し5-6月平均。(右下) 2m 気温の差。但し5-6月平均。

図5は南北鉛直断面の気温とその南北勾配を示した図であり、埋め立て実験から気候値実験を引いた値が描画されている。左がオホーツク海上を含む地域で右が北太平洋上である。オホーツク海上での低温偏差は対流圏上層まで達し、その低温偏差は、北太平洋全体にまで及んでいる。それに伴い、南北の温度勾配の大きい状態もオホーツク海近傍に留まらず、北太平洋全体にまで及んでいる。また、鉛直構造としては、南北に傾斜した変則的な傾圧構造を伴っていることが特徴的である。

図6は、maximum Eady growth rate, ストームトラック, E-vectorを示す。これも気候値実験から埋め立て実験を引いた値が色で示されている。南北温度傾度の強化に伴い Eady growth rate の値が大きく、ストームトラック活動も強化されている。また、擾乱と平均流のフィードバックの診断に用いられる E-vector の発散領域とも良く一致していることから、低温のオホーツク海に伴う南北温度勾配の強化が、偏西風の強化に寄与していることが確認できる。

図7は、z300, 海面気圧, そして水蒸気の水平フラックスを示す。気候値実験から埋め立て実験を引いた値が色や矢印で示されている。実線は気候値である。上空の高度場の南北コントラストが北太平洋を広く覆っている。また、海面気圧の偏差から、亜熱帯高気圧(太平洋高気圧)の西への張り出しにも寄与していることが読み取れる。この海面気圧偏差に対応して、時計回りの水蒸気フラックス偏差が生じ、その収束域が日本付近に存在する。オホーツク海高気圧は海面付近にのみ留まっている。

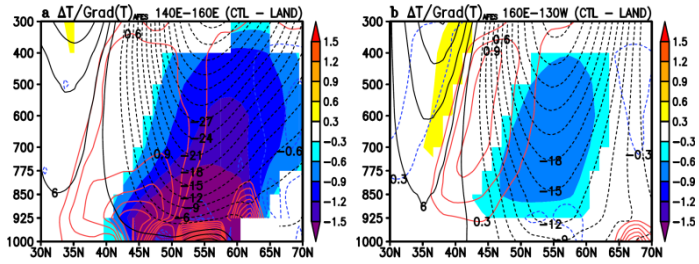


図5：(左) オホーツク海上空を含む緯度帯での南北断面 (CTL マイナス LAND)。色は気温, 実線は気温の北向き気温勾配 ($^{\circ}\text{C} (100\text{km})^{-1}$)。点線は, geopotential 高度 (m)。 (右) 同じく, 北太平洋を含む緯度帯での南北断面。 5-6 月平均。

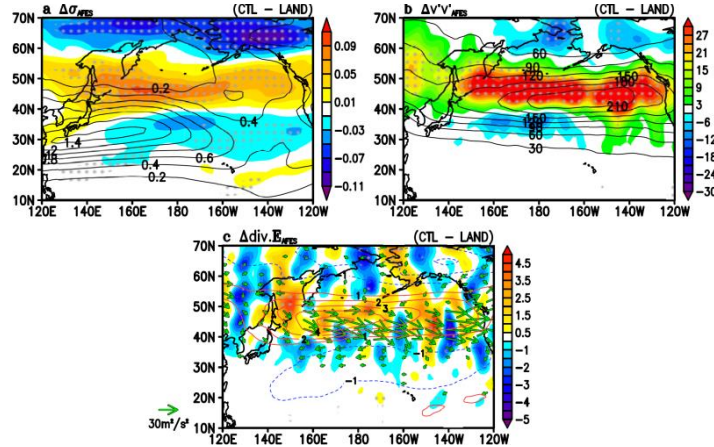


図6：(左上) Eady-growth rate at 850-300 hPa (day^{-1}), (右上) storm-track intensity at 300 hPa ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$)。それぞれ色は, (CTL マイナス LAND) を表し, 線は CTL run の気候値を示す。 (下) 同じく, E-vector at 300 hPa (10^{-4}m s^{-2})。図はすべて 5-6 月平均。

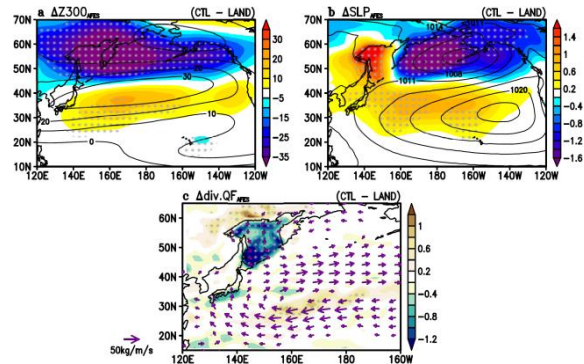


図7：(左上) Z300 (m), (右上) SLP (hPa)。それぞれ色は, (CTL マイナス LAND) を表し, 左上の線は CTL run の東西風の気候値, 右上の線は CTL run の SLP 気候値を示す。 (下) 同じく, 鉛直積算した水平水蒸気フラックスとその発散量 (mm day^{-1})。図はすべて 5-6 月平均。

図8は、降水量を示す。CTLとLANDrun共に梅雨前線に伴う降雨帯がみられることから、オホーツク海の有無は梅雨の存在に対して寄与しない。両者の差の値と気候値の比から、オホーツク海の存在により梅雨に伴う降水は約1割増加する。

4. オホーツク海 SST の年々変動と梅雨

観測にも数値実験と同様の傾向が見られるかどうかを、オホーツク海のSSTの年々変動の視点で確かめた。図9のようにSST高温年と低温年を選び、それらの年の大気場の差を調べた。高SST年がLANDrun、低SST年がCTLrunに対応する。

図10に示すとおり、数値実験ときわめて類似した大気パターンが示される。低温域がオホーツク海のみならず下流のアラスカ周辺まで伸び、低温偏差域の何編にストームトラックの活発域が帯状に存在し、Z300においても北側の低硬度偏差、南側の高々度偏差にともなう亜熱帯高気圧の強化、そしてそれに伴う時計回りの水蒸気フラックスの強化と、日本周辺での降水の増がみられる。

5. 気候学的意義と地球温暖化時への影響

オホーツク海が無くても梅雨は存在できるので、教科書や解説書を書き換える必要がある。

西日本豪雨時(平成30年7月豪雨)のオホーツク海の海面水温は平年よりも約2度低かった。この時は、本研究による数値実験結果で示した諸図ときわめて類似していたことから低温のオホーツク海が西日本豪雨を強化した可能性があり調査したい。

オホーツク海が低温である主因に海洋潮汐混合効果と海水の存在がある。温暖化が進行しても潮汐は変化せず、海水も直ちに無くならないことからオホーツク海の低温は維持される。温暖化により日本の南の気温は上がり南北の温度差が大きくなることで、偏西風が強まり太平洋高気圧も強化される。

したがって、低温が維持されるオホーツク海の影響で将来は梅雨が強化される可能性がある。

参考文献

- [1] Kawasaki, K., Tachibana, Y., T. Nakamura, and K. Yamazaki, Role of the cold Okhotsk Sea on the climate of the North Pacific subtropical high and Baiu precipitation, *Journal of Climate*, **34**, 495-507, DOI: [10.1175/JCLI-D-20-0432.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0432.1), 2020
- [2] Nishikawa, H., Y. Tachibana, and Y. Udagawa, Radiosonde observational evidence of the impact of an extremely cold SST spot on a mesoscale anticyclone, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **119**, 9183-9195, doi: 10.1002/2014JD021538, 2014

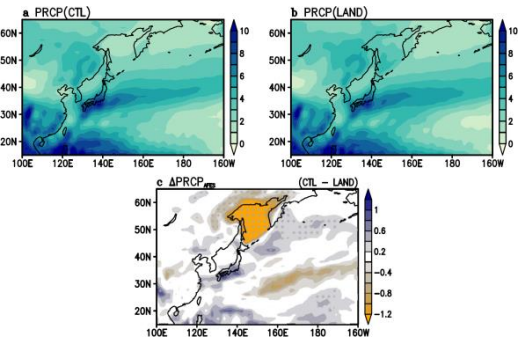


図8：(左上) CTL run の降水量(mm day⁻¹), (右上) LAND の降水量, (下) CTL マイナス LAND の降水量。図はすべて5-6月平均。

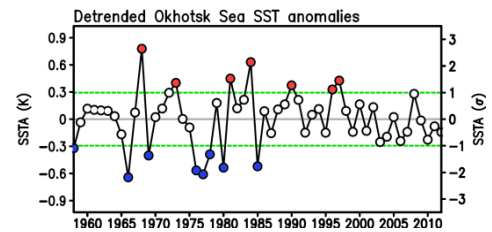


図9：5月～6月のオホーツク海の海面水温の年々変動。赤と青の年がそれぞれ高温、低温年として選んだ年。

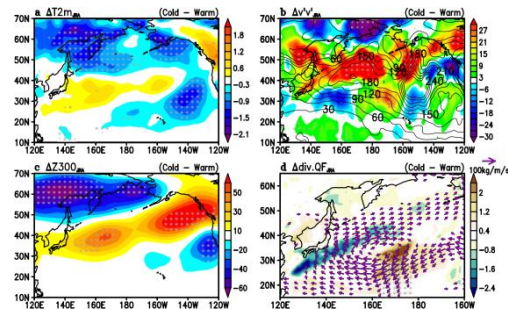


図10、図6、7と同様の図、但し、オホーツク海の低SST年マイナス高SST年。(左上) 2m気温、(右上) ストームトラック、(左下) 300hPa高度、(右下) 水蒸気フラックスとその発散。