

異常気象，実は海が決めていた！？ ～鍵を握るは日本の海を測ること～

立花義裕（三重大学大学院・生物資源学研究科）

1. 「異常な気象」のオンパレード時代

毎年のように、そして今年も、異常な気象や天候がオンパレードである。このオンパレードは、市民の社会経済活動や災害に影響するが、ワタシたち研究者も異常気象研究が追いつかないという「非常事態」に陥っている。

この講演集執筆時（2021年8月中旬）にも、西日本を中心に豪雨が1週間以上継続した。それは東京オリンピック終了直後の台風通過後であった。日本の北にはオホーツク海高気圧が1週間以上居座り、太平洋の亜熱帯高気圧との間に前線が1週間以上も日本上空を停滞した。

2. 海がオンパレード時代を導いた？

オンパレードが普通となる時代が迫っているのか？それに迫る研究の一つが海と大気との双方向の作用だと考えている。海洋が大気へ及ぼす影響の定番は、エルニーニョ／ラニーニャ現象の影響である。これは主に大気大循環を介して中緯度域から高緯度域へと全球大気に伝わることから、非常に多くの研究があり、高校の教科書にも記載されている。しかし、エルニーニョは4年に一回程度発生する。だからオンパレードは定番のエルニーニョだけでは説明できないのだ。異常な気象現象を理解するには、普通の気象学者は大気の力学などを中心に研究する。夏期大学に参加されている皆様も、気象学に興味をお持ちであろうから、この夏期大学を申し込んだと思う。従って大雨をもたらす大気内部の振る舞いや、それを支配する大気大循環系の変動のメカニズムの理解を深めるのが気象学の本流である。気象現象への興味がつよければ強い人ほど、空ばかり見てしまう傾向を感じる。ワタシが注目しているのは、熱帯以外の海洋の影響である。それは海水温の温暖化が激しいのは中高緯度であり、北極の海水も激減しているからである。

梅雨末期の豪雨の強化と将来の豪雨の増加が、東シナ海の海面水温と連動していることを明確に示した最初の研究は、気象学者では無く、海洋学者の万田らを中心とした海洋学者と気象学者との混成のチームであった（Manda et al., 2014）。水温が上がられ

ば海から蒸発する水蒸気が増え、雨雲が増え、梅雨期の豪雨が増えることを彼らは明確に示した。言われてみれば当たり前のことを彼らは示したのである。コロンブスの卵であろう。多くの気象学者が気付かなかった梅雨に伴う豪雨増加の海洋の役割を、海洋学者が示した事実は示唆に富む。異分野融合が有効に作用したのだ。彼らの研究をはじめとして、数多くの中高緯度の海洋が大気に及ぼす影響を示した研究が存在する。それらを網羅的に紹介することも手であるが、1時間という限られた講演時間であることと、船舶を用いた海洋観測の重要性を参加者の皆さんに理解していただきたいとの気持ちから、海洋観測の重要性に絞り、ワタシが関わった大気海洋観測とそれに触発された研究に絞って話題を展開する。手前味噌となることをお許しいただきたい。

みなさんの記憶に新しい2021年8月中旬の豪雨に関係する内容をメインの題材として講義を行う。この時の大気状態は、2018年の西日本豪雨時の状況と類似していた。共通点はユーラシアを横断する偏西風の蛇行、オホーツク海に居座る高気圧、太平洋の亜熱帯高気圧の西縁を回る水蒸気の強い流れの存在、そして台風通過直後であった点である。本講演は、それら共通点のなかでオホーツク海の観測と、オホーツク海が気象に及ぼす影響をメインの例として話題を展開する。

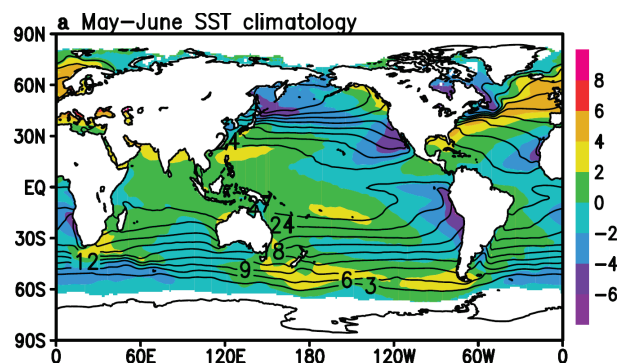


図1 (線) 5月～6月の海面水温の気候値の等温線。(色) 水温気候値の帯平均水温からの偏差 (Kawasaki et al., 2021)

3. 日本を取り巻く海の地球規模で見た特殊性

まず、図1をご覧ください。これは梅雨期の海面水温分布図である。色は同一緯度の平均水温からのずれを表している。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り、低温域はアリューシャン列島に沿ってベーリング海にまで張り出している（図1の紫色）。日本の南の台湾付近を中心として、高温域が見られる（図1の黄色）。この海域は黒潮源流域に相当する。日本列島は、際だって暖かい黒潮と際だって冷たいオホーツク海に挟まれているのだ。つまり日本列島は南北の水温コントラストが地球上で最も大きい場所に位置している。それは等温線が日本列島北部で蜜となっていることから確認できる。この事実は、北風が吹くか南風吹くかで、日本の気象が全く異なることを意味する。温度の南北勾配が大きいので、風速が弱くても風向の影響は大なのだ。ただし、それは、気温が水温に追従していなければならない。気温が水温に追従するなら、気温の南北コントラストも大きいことから、そこは傾圧帯となり高低気圧が発達および通過しやすい環境となる。日本の気象が海の影響を受けていることを強く示唆する図である。重要なのは海上気温の水温追従性である。これについては、観測船による観測事実を例に後述する。その前に北のオホーツク海が冷たい理由について説明する。

4. オホーツク海の際だった特徴

オホーツク海が冷たい理由は二つ。一つ目は、6月下旬まで海水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（Nishikawa et al., 2014）。蛇足ながらオホーツク海を取り巻くシベリア極東域の地上気温に少し触れる。ここ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。

オホーツク海上の気温は水温にどの程度追従する

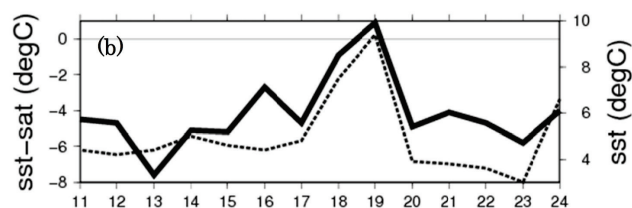


図2 (点線) 水温 (目盛りは右の縦軸). (実線) 水温マイナス海上気温 (目盛りは左の縦軸). 横軸はオホーツク海域での観測点番号であり、ここでは特に意味は無い. (Nishikawa et al., 2014)

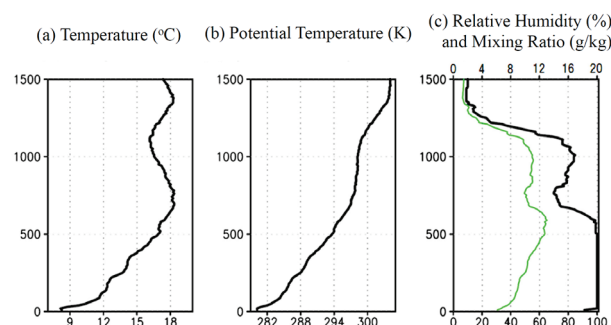


図3 (左) 気温, (中) 温位, (右) 相対湿度 (黒—目盛りは下横軸%), 水蒸気混合比 (緑—目盛りは上横軸 g/kg). 縦軸は高度 (m). 左横軸は摂氏温度(°C), 中横軸は絶対温度 (K), (Nishikawa et al., 2014)

のだろうか？オホーツク海高気圧の構造はどうなっているのだろうか？そして冷たいオホーツク海は梅雨にどのような役割を持っているのであろう？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に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ほとんど無かった。オホーツク海高気圧研究が活発で無い理由の一つには、日本での船舶による直接が不可能であるからだ。不可能な理由は、オホーツク海がロシアの排他的経済水域 (EEZ: Exclusive Economic Zone) であるからである。

我々はロシア極東水文研究所の観測船を用いたロシアとの共同観測の機会を約 20 年前に得た。その共同観測において、オホーツク海において 2 カ年のラジオゾンデ観測が実施された (1998 年と 2006 年の 7 月—8 月)。その時の観測事実を示す (図 2)。

4. オホーツク海観測が示した低温の実態

点線が海面水温を示すが、摂氏 5 度を下回るほどの北極海並み冷たい海面水温であった。そしてほと

んどすべての観測において、海面水温が海上気温よりも低かった。潜熱と顕熱は大気から海洋に向かい、その量は約 30W/m^2 であった。水温の観測結果と、公開されている客観解析の水温を比較した。場所によっては我々が測定した直接観測による水温が客観解析の水温値よりも 6 度以上も下回る場合もあった。つまり海面水温分布図などで目にするオホーツク海の冷たさは、過小評価されている可能性がある。図 1 は客観解析による水温であるので、この図のオホーツク海域も過小評価されているであろう。

次に典型的なラジオゾンデ観測による鉛直分布を示す(図 3)。気温分布を見ると、強烈な接地逆転層が海上から 700m 高度にかけて存在する。海面付近気温は 8°C で 700m では 18°C であるから、気温差は 10°C に達する。これほど強い接地逆転層を冬期の放射冷却時の陸上や南極以外でワタシは見たことが無い。海が大気を冷やしているのである。温位を見ると強い安定層が存在することが見て取れ、相対湿度から、厚さ 600m 程度の深い霧に覆われていることがわかる。また、このような気温プロファイルは、観測期間のほぼすべての放球時に見られた。観測期間には低気圧の通過が何度かあったが、低気圧通過時も接地境界層構造はほぼ同様であった。従ってこれは大気の事情で起こる現象ではなく、海が大気に強制を与え続けていることを示している。このように、オホーツク海上の大気は、常に冷たい海に追従して冷やされている。なお、ロシアとの共同大気観測は 2006 年を最後に実施されていない。

5. オホーツク海は太平洋高気圧と梅雨を強化する

冷たいオホーツク海が直上の大気を冷やすことが観測事実から理解できた。直上大気だけではなく遠隔的に遠くの大気にまで影響がおよぶのか？それを大気大循環モデルを用いた数値シミュレーションにて調べた。その結果を次のようであった。

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。つまり、冷たいオホーツク海は梅雨の増幅効果を持つ。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。

そのメカニズムを順を追って説明する。

ア) 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 4a 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 4a 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の存在によって強化されている。

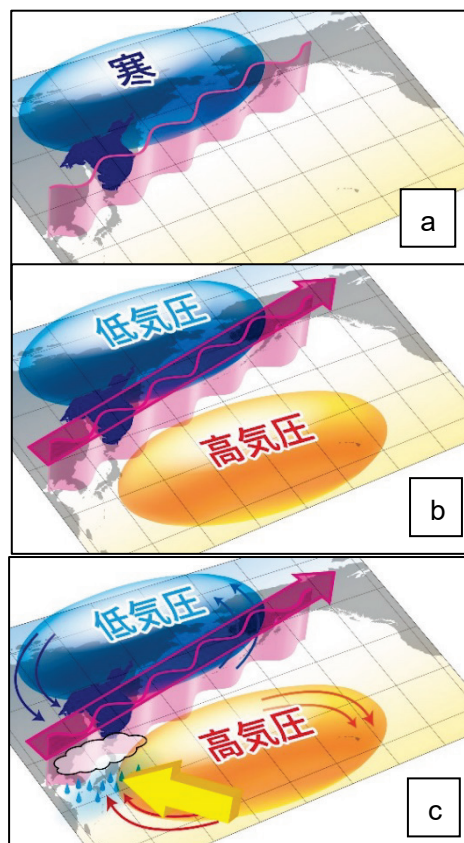


図 4 オホーツク海が梅雨を強めるメカニズムの模式図 (Kawasaki et al., 2021)

イ) 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 4b 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。

ウ) 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 4c 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。

西日本豪雨時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る。

6. 気候学的意義と地球温暖化時の影響

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氷の存在がある。温暖化が進行しても潮汐は変化せず、海氷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。

7. メッセージ

講義では、上述のオホーツク海の観測に加えて、黒潮流域で実施した三隻同時観測の結果や、東シナ海での観測結果についても触れる。また、今後予定している船舶による冬期日本海観測の予定についても触れる。日本海での観測は、大雪をもたらす日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) をターゲットとしている。

最後に二つのメッセージをお伝えしたい。1) 自分の目で気象現象を積極的に見る習慣をつけてほしい。そして様々な気象現象やそれに関連する自然現象を体で体験することに積極的になってほしい。この体験が気象に携わる人の直感力やインスピレーションにつながると思う。2) ワタシの講義は海をことさら強調した形態をとった。それは、気象に興味がある人は上ばかり見て、下の海を見ない傾向があるからだ。くれぐれも「海がすべての気象を支配する」と勘違いしないでほしい。海は異常な気象を増幅する作用があるのであり、海だけでは気象が決まることは無い。海以外の気象もしっかりと学んでほしい。2) テレビの天気予報番組のアメダスはお茶の間でもおなじみとなっているが、日本のまわりの海には何も描かれていない。テレビの天気図も大気の高気圧配置が等圧線で描かれているが、海は青の単色で塗られているだけである。テレビの毎日の天気予報で用いられる図に海面水温分布やその平年からの差の図と一緒に塗られるのが日常になる日がくるように参加の皆さんが各方面に働きかけていただきたい。ワタシなんかより、みなさんの方が人脈は圧

倒的に広いでしょうから。

参考文献

- Kawasaki, K., Tachibana, Y., T. Nakamura, and K. Yamazaki, 2021: 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
- Manda, A., Nakamura, H., Asano, N. *et al.* 2014: Impacts of a warming marginal sea on torrential rainfall organized under the Asian summer monsoon. *Sci Rep* **4**, 5741, <https://doi.org/10.1038/srep05741>
- Nishikawa, H., Y. Tachibana, and Y. Udagawa, 2014: Radiosonde observational evidence of the impact of an extremely cold SST spot on a mesoscale anticyclone, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **119**, 9183-9195, <https://doi.org/10.1002/2014JD021538>