

海洋熱波

美山透（海洋研究開発機構）

1. はじめに

現在海洋学では、しきい値を超えた異常な水温上昇を海洋熱波と呼び、活発な研究が行われている。海洋熱波は大気熱波から概念を輸入したもので、よく使われている定義では、30年など気候学的期間で確率10%以下(90パーセンタイルを超える)の高水温が期間5日を超えた場合に海洋熱波と呼ぶ。海洋熱波は海洋学の新しい研究対象で、2012年に1つ論文が出て以降、近年研究数が急上昇している(図1)。なぜ、海洋熱波は注目されているのだろうか？

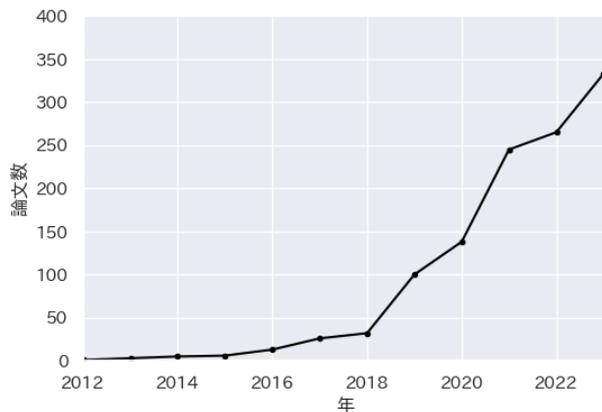


図1: web of science で検索した海洋熱波の年毎の論文数。

2. 海洋熱波が注目される理由

地球温暖化の進行とともに日本周囲の海の温度も上昇している。日本近海における平均の海面水温の温度上昇率は100年当たり $+1.28^{\circ}\text{C}$ である(気象庁 2024)。この上昇率は、世界全体で平均した海面水温の上昇率($+0.61^{\circ}\text{C}$)よりも大きい。100年で1度強の温度上昇は大きな温度上昇には感じられないかもしれないが、海の熱容量は大気のそれの約1000倍以上もあり、水温が変化しにくい海にとってこれは大きな変化である。

しかし、平均だけでは海の変化は語りきれない。それを概念的にしめたのが図2である。自然はもともと時間的に変動している(図2aの青線)。ある年には記録的な猛暑などの原因によって基準を超す平年より数度以上の異常な水温上昇をし

めすことがある。これが海洋熱波である。海洋熱波が発生すると、サンゴが白化するなど海洋生態系に大きなダメージがある。日本周辺の海面水温が平年より高いことで、豪雨・豪雪・台風の強化される場合もある。海洋の水温が直接社会に影響あると意識されるのは、ゆっくりとした水温上昇というよりも、このような海洋熱波である場合が多いだろう。

自然の水温変動に加えて、地球温暖化による水温上昇が加わったらどうなるであろうか。それを示したのが図2bである。地球温暖化自体は100年に1度程度のゆっくりとした温度上昇だったとしても(図2b 緑点線)、温度変動(青線)はかさ上げされ、基準を超えた海洋熱波が頻発することになる。近年、異常な海面水温のニュースを、魚の不漁、サンゴの白化、豪雨などとの関連でニュースを聞く機会が増えているのではないだろうか。異常な海水温を、「はじめに」で述べたような定義を決めて、研究者が調べ始めたところ、実際に急増していたのである。

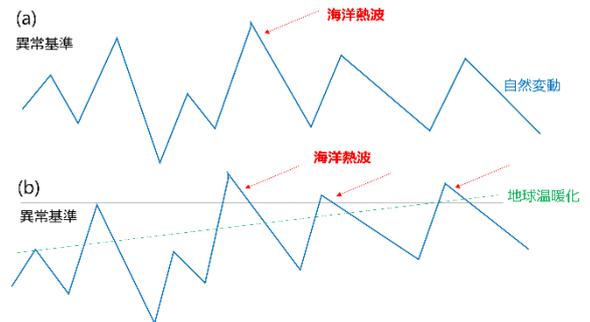


図2: 海洋熱波の概念図。(a)自然変動のみの場合。(b)地球温暖化が加わった場合。

3. IPCC がしめす海洋熱波

近年になって研究者が海洋熱波という観点から世界の海温水温の変化を調べた結果、その急増ぶりが明らかになってきた。

その成果をもとに海洋熱波が気候変動に関する政府間パネル (IPCC) により主要な課題として取り上げられたのは IPCC 特別報告書「変化する気候下での海洋・雪氷圏」(IPCC SROCC 2019) か

らである。1982 年以降、海洋熱波は頻度が 2 倍になった可能性が非常に高いとされた。

IPCC 第 6 次報告書では(IPCC AR6 2021)、2006 年以降の海洋熱波ほとんどに人為的な温暖化が関わっている可能性が非常に高いと結論づけている。予測では、海洋熱波は今後も頻度が増加し、2081 年から 2100 年には 1995 年から 2014 年と比較して、低排出シナリオ(SSP1-2.6)では 2~9 倍、高排出シナリオ(SSP5-8.5)では 3~15 倍になるとされている。高排出シナリオでは、21 世紀には熱帯海域、北極海、南緯 45 度付近で恒久的な海洋熱波(年間 360 日以上)が発生する可能性がある。

4. 海洋熱波の例: プロブ

海洋熱波の代表的な例として世界のニュースのヘッドラインをかざったのは 2014 年から 2016 年にかけて北東太平洋で発生しプロブ(blob)と呼ばれる現象である。これは通常よりも 3°C 以上高い異常な海面水温を特徴とし、4 標準偏差を超えていた(Bond et al., 2015; Di Lorenzo and Mantua, 2016; Hu et al., 2017)

プロブは海洋生態系に大きなダメージを与え、表層近くのプランクトン濃度が異常に低く(Whitney, 2015)、アシカ、クジラ、海鳥の大量死を引き起こした(Welch, 2016)。一方で、温水を好む動物、例えば温水サメやマンボウは、アラスカ沿岸まで北上した(Welch, 2016)。

2014-2016 年のプロブは持続的な高気圧で引き起こされ、日射量が増加し、極端な状況につながった(Chen et al. 2023)。これらの現象は、亜熱帯から熱帯へのテレコネクションによって促進されたと考えられている。混合層が浅くなり熱がたまりやすく、風が弱かったため、熱損失が減少したことも熱波の激化の一因となった。

5. 日本海域での海洋熱波の例

海洋熱波は日本でも増えており、今後も増えていくことが予測されている。海洋熱波の発生原因としては、日照量が多く高い気温が続くというような気象が主原因として発生する場合と、海流が変化し海洋現象が主原因として発生する場合がある。日本は黒潮のような強い暖流が存在することから、海洋現象由来の海洋熱波が発生しやすいという特徴があると言える。

日本特有の海洋熱波として北海道、東北沖の海洋熱波について触れる(Miyama et al. 2021)。2010 以降、黒潮続流から切離した暖水渦が北上し、親潮の南下がさまたげられることが多くなっている(図 3a)。そのために、水温が上昇し、特に北海道・東北沖(図 3 の四角で囲った海域)で海洋熱波が毎年のように特に夏に発生するようになっている(図 4)。

この海域の夏季(7-9 月)の海面水温の年時系列を見ると、以前は年に水温が上がったり下がったりであったが、2010 年以降は毎年のように高い水温になっている(図 5、黒線)。高い水温が継続したことで、2010 年以降に北海道太平洋側に、おける南方の魚のブリの漁獲量が急増している(図 5、赤線)。一方で北方の魚であるサンマやサケは不漁になっている。この海洋熱波は大気よりも海洋が主原因になっていることから、海面下数百メートルまで高温偏差が見られるのが特徴である(図 6)。

2023 年からはさらに極端な海洋状態になった。2023 年から今年 5 月までは黒潮続流が異常に北上し、北海道東北沖に過去最高の高い水温をもたらした(気象庁 2023)。

2024 年 5 月には北端から暖水渦が切離して、図 3a のような状態になったが、2024 年 7 月現在、高水温が続いている。

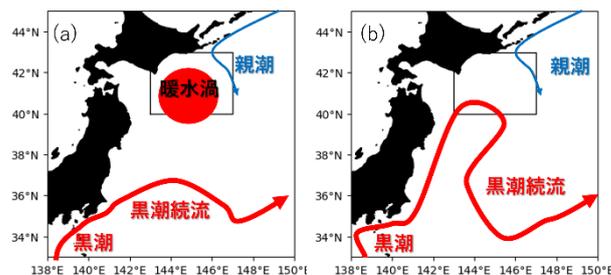


図 3: 東北・北海道沖の状態の概念図。(a)2010 年代からしばしば見られる状態。(b) 2023 年から 2024 年 5 月までの状態。

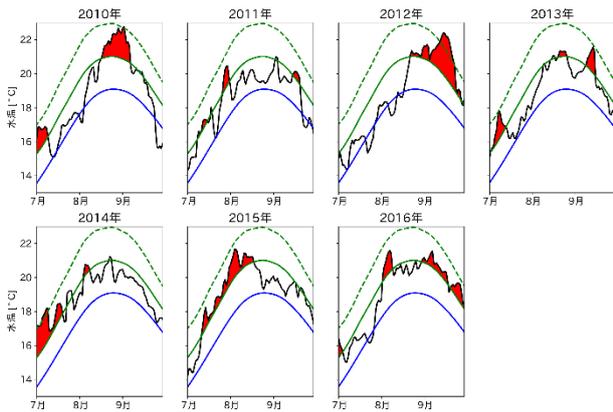


図 4：各年の青線が平年の季節水温変化で黒線が実際の温度。緑線を越えると統計的に 10%以下の頻度の高温。赤色で塗りつぶされた領域が、その高温が 5 日以上続いて海洋熱波と定義された期間。緑の点線は青線と緑の差を 2 倍にした線。

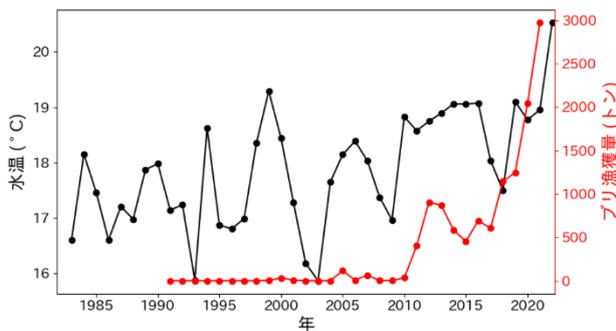


図 5：図 3 の黒線枠で平均した夏期(7~9 月平均)海面水温の時系列(黒線；左縦軸の°C)と北海道南東部(日高・十勝・釧路)のブリ漁獲量の時系列(赤線；右縦軸のトン)。漁獲量データは「北海道水産現勢」(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/03kanrig/suitoukei/suitoukei.htm>)より入手した。

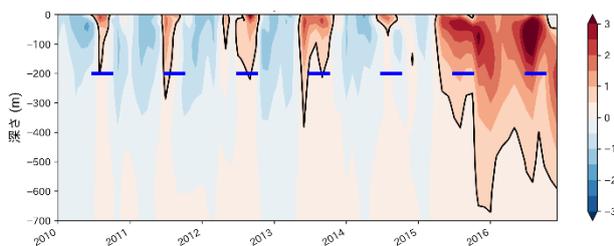


図 6：図 3 の黒枠線深さ方向の 2010 年から 2016 年までの (A) 水温と (B) 塩分の 1993-2009 年との差。横軸が時間、縦軸が深さ。青線は夏期(7

~9 月)の 200m の深さを示す。

6. 気象への影響

最新の研究結果では、2023 年の北日本の歴代 1 位の気温になった理由の一つに、図 3b の黒潮続流の極端な北上による海洋熱波があることが示された(Sato et al. 2024)。海洋熱波により下層雲の形成が妨げられて日射が増大したこと、海洋が大気を直接加熱したこと、大気中の水蒸気が増えて温室効果が強まったことが影響している。

7. まとめ

IPCC が予測しているように、地球温暖化が抑えられない限り、今後も海洋熱波が増加する可能性が高い。したがって、海洋熱波が社会に影響を与えて行くであろう。海洋熱波は海の生態系へ影響するのはもちろんのこと、気象にも影響を与えることが分かってきている。このような背景のもとに、海洋熱波の季節内・季節予測の研究が進められている(Jacox et al. 2022 等)。将来はこれらの知見を環境対策に組み込むことが求められるだろう。

謝辞

本研究は、科研費 JP20H01968、JP19H05697、JP24H02227 の助成を受けた。

参考文献

- Bond, N. A., Cronin, M. F., Freeland, H., & Mantua, N. (2015). The blob: An extreme warm anomaly in the Northeast Pacific [in “State of the climate in 2014”]. *Bull. Amer. Meteor. Soc*, 96(7), S62–S63.
- Chen, H.-H., Wang, Y., Xiu, P., Yu, Y., Ma, W., & Chai, F. (2023). Combined oceanic and atmospheric forcing of the 2013/14 marine heatwave in the northeast Pacific. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00327-0>
- Di Lorenzo, E., & Mantua, N. (2016). Multi-year persistence of the 2014/15 North Pacific marine heatwave. *Nature Climate Change*, 6(11), 1042–1047. <https://doi.org/10.1038/nclimate3082>
- Hu, Z.-Z., Kumar, A., Jha, B., Zhu, J., & Huang, B. (2017). Persistence and Predictions of the

- Remarkable Warm Anomaly in the Northeastern Pacific Ocean during 2014–16.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0348.1>
- Iizuka, S., Kawamura, R., Nakamura, H., & Miyama, T. (2021). Influence of Warm SST in the Oyashio Region on Rainfall Distribution of Typhoon Hagibis (2019). *Sola*, 17A(Special_Edition), 21–28. <https://doi.org/10.2151/sola.17A-004>
- IPCC SROCC 2019, Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate,
<https://www.ipcc.ch/srocc/>
- IPCC AR6 2021, Working Group 1: The Physical Science Basis,
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jacox, M. G., Alexander, M. A., Amaya, D., Becker, E., Bograd, S. J., Brodie, S., Hazen, E. L., Pozo Buil, M., & Tommasi, D. (2022). Global seasonal forecasts of marine heatwaves. *Nature*, 604(7906), Article 7906. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04573-9>
- 気象庁 (2023) 三陸沖の海洋内部の水温が記録的に高くなっています
https://www.jma.go.jp/jma/press/2308/09a/20230809_sanriku_seatemp.html
- 気象庁 (2024) 海面水温の長期変化傾向 (日本近海)
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html
- Mantua, N. (2015). The blob: An extreme warm anomaly in the Northeast Pacific [in “State of the climate in 2014”]. *Bull. Amer. Meteor. Soc*, 96(7), S62–S63.
- Miyama, T., Minobe, S., & Goto, H. (2021). Marine Heatwave of Sea Surface Temperature of the Oyashio Region in Summer in 2010–2016. *Frontiers in Marine Science*, 7(1150).
<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.576240>
プレスリリース
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20210114/
- Sato, H., Takemura, K., Ito, A., Umeda, T., Maeda, S., Tanimoto, Y., Nonaka, M., & Nakamura, H. (2024). Impact of an unprecedented marine heatwave on extremely hot summer over Northern Japan in 2023. *Scientific Reports*, 14(1), 16100.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-65291-y>,
プレスリリース
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2407/19b/20240719.html>
- Welch, C. (2016). The blob that cooked the Pacific. *Nat. Geogr*, 230(3), 54.
- Whitney, F. A. (2015). Anomalous winter winds decrease 2014 transition zone productivity in the NE Pacific. *Geophysical Research Letters*, 42(2), 428–431. <https://doi.org/10.1002/2014GL062634>