

漁業に大打撃をもたらす「貧酸素水塊」の発生予測に成功

～北海道南部・噴火湾を例に～

ポイント

- ・夏季に発生する著しく酸素濃度の低い「貧酸素水塊」の発生予測に成功。
- ・直前の冬季における大気と海洋の状態から半年後の酸素状態を予測。
- ・漁業関係者にとって極めて有益な情報になることが期待。

概要

北海道大学水産学部 4 年の三木智尋氏（研究当時）、同大学大学院水産科学研究所の阿部泰人准教授、大西広二助教、大木淳之教授、高津哲也教授の研究グループは、ホタテガイやタラ類、カレイ類、エビ類などの水産資源が豊富な北海道南部の噴火湾（海底水深約 100m）において、夏季の底層に発生し、漁業に大打撃をもたらす「貧酸素水塊^{*1}」の発生予測に成功しました。

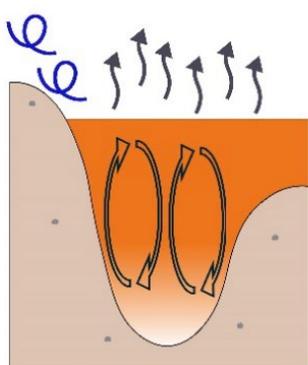
貧酸素水塊は著しく水中の酸素濃度が低い水塊（2ml/l 以下）です。世界中の閉鎖性水域^{*2}（湖と海を含む）で発生し、一旦これが発生すると、呼吸で酸素を必要とするカレイをはじめとした底生魚類などの海洋生物が酸欠状態に陥り、特に遊泳能力が低く貧酸素水塊から逃れるのが困難な生物は大量死に至ります。そのため、漁業関係者も貧酸素水塊には大きな関心を持っています。

この水塊は、夏季に海底近くの底層で発生し、噴火湾でも数年に一度発生します。その原因は、生物による酸素消費量に対して酸素供給量が少ないことにあります。特に夏季は、海面が日射で暖められることで水が軽くなり、水柱^{*3}が安定するため、表層を介した大気からの酸素供給が制限されます。

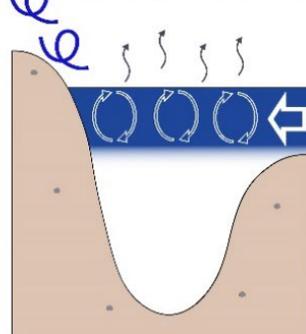
貧酸素水塊の発生予測を試みるべく、本研究では酸素濃度の回復過程に着目しました。冬季では大気からの冷却により表層の水が重くなって沈み、海底にまで達する深い対流が生じることで、表層から底層に酸素が供給されます。本研究は、この回復の程度が年によって異なり、湾外から親潮系の冷たい水が流入する年は、大気からの冷却が抑制されるとともに、親潮系の軽い水が海面を覆うことで対流が制限され、底層の酸素濃度が十分に回復せず、続く夏季に貧酸素が発生しやすくなることを突き止めました。つまり、半年前の大気と海洋の状態から、夏季の貧酸素発生予測が可能となります。

なお、本研究成果は、2024 年 12 月 16 日（月）公開の Journal of Marine Systems 誌に掲載されました。

海が温かい冬



海が冷たい冬
（親潮系水の流入）



本研究で明らかになった噴火湾・冬季における鉛直方向の対流の相違。冬季に親潮系水が流入した年は、底層まで達する対流が起こりづらく、底層の酸素が十分に回復しないため、続く夏季に貧酸素状態に陥りやすい。

【背景】

北海道南部に位置する噴火湾は、ホタテガイやタラ類、カレイ類、エビ類など水産資源が豊富な湾であり、その年間の漁獲高は合計 100 億円を超えます。この湾は円錐型をしており（最大水深約 100m）、図 1 のように南東部だけが太平洋に開いています。湖のように完全には閉じた系ではないため、外部から水が流入することがありますが、全国的にみると閉鎖度の高い湾と言えます。海底近くの底層では水が渾みやすく、大気からの酸素供給が頻繁には生じないため、水柱が安定する夏季は底層で貧酸素水塊が生じやすくなります（図 1）。

過去の報告より、貧酸素水塊は夏季に数年に一度発生していることが分かっています。最も顕著だったのが 1995 年の夏秋季であり、この年には底層で生息するカレイ類の死亡・海面への浮上が発生し、漁業活動に影響が生まれました。この時、底層での酸素濃度が 1ml/l 程度と極めて低かったことが報告されています（通常は 5ml/l 以上）。

海流を人為的に変えて、貧酸素水塊を除去することはできないため、これまで、都市部に隣接する閉鎖的な内湾における貧酸素水塊の発生防止策として、人為起源の栄養塩類（窒素やリン等）の陸域からの流入を抑制する取り組みが行われてきました。過剰に供給された栄養塩類が植物プランクトンの増殖を促し、海底に沈んだ植物プランクトンの死骸を微生物が分解する時に酸素が大量に消費されるため、貧酸素水塊が生じると考えられるからです。一方、栄養塩類は植物プランクトンの生長に欠かせない大事な成分で、これが豊かな海洋生態系を支えているとも言えるため、陸域からの栄養塩類の流入を抑制してよいと一概に結論付けられるものでもありません。

噴火湾については、人為的に供給される栄養塩類は非常に少ないと考えられるため、自然のサイクルで豊かな生態系が維持されており、その中で貧酸素水塊が数年に一度発生し漁業被害をもたらすことがあるのです。したがって、噴火湾で発生する自然起源の貧酸素水塊については、人間がコントロールするものではなく、事前に予測して、人間が柔軟に対応することが求められます。このような観点から、貧酸素が生じやすい年を事前に予測する技術が確立できれば、貧酸素による漁業被害を最小限に留めることが可能になるでしょう。

研究グループでは、2012 年より噴火湾内に底層の酸素の濃度を計測するセンサを設置し、通年観測を 10 年以上にわたって継続してきました。海洋環境データと合わせて解析したところ、夏季に貧酸素水塊が発生する年とそうでない年に分かれることを見出し、その発生の有無が半年前の冬季における表層水温と連動していることを発見しました。この関係を利用すれば予測が可能になります。

【研究手法】

研究グループは、北海道大学附属練習船うしお丸を使って、噴火湾の海洋環境・漁場環境のモニタリングを行っています。本成果に関わる観測機材は「係留系」と呼ばれる、水中の酸素や水温等を計測するセンサ類をロープに取り付けたもので、これを海中に一定期間沈めることで、海中の環境データを 10 分毎に取得します。バッテリーの消費や藻類付着、電蝕などの問題により長期間継続して計測することができないため、2-3 か月に一度程度の頻度でメンテナンスを行っており、回収・設置にうしお丸を用います。

溶存酸素は、表層よりも底層で深刻になることから、溶存酸素を測るセンサは海底のすぐ近く、上部 1m 付近に設置しました。水柱の安定度の指標を測るために、深度 10m から深度 80m まで 10m 間隔で水温計を取り付けており、この経時データを解析することで、水柱が安定する夏季や、不安定になり対流が生じる冬季の構造を把握することができます。

【研究成果】

溶存酸素の時系列データを解析したところ、水柱が安定する夏季は底層で水中酸素濃度の値が低く、不安定になる冬季は高くなるという傾向が見られました。近年公表された研究成果では、冬季の噴火湾は表層で水温の変動が大きく、低い時で2°C、高い時で5°C程度となることが報告されています。

そこで、冬季に着目して解析したところ、水温の高い年と低い年のいずれでも冬季は混合が活発で、夏季に微生物や海洋生物の呼吸により低下した酸素の値が回復する状況にありましたが、さらに詳しく調べてみると、その回復の程度は同じ冬季でも異なることが分かりました。

具体的には、混合による回復はどの年も2月までは継続するのですが、表層が冷たい年は2月以降回復せず、その後、夏に向かって値が低下していました。一方で、表層が温かい年は3月になっても混合が継続し、さらに回復を続けていました。酸素値の年間最低値が8月に見られることは、温暖年・寒冷年に差はなかったため、冬季の回復期間がより長く、溶存酸素の年間最大値も高かった温暖年の方が、酸素が低下する8月までの期間が短く、かつ2月の水中酸素濃度も高いため、続く夏季に貧酸素が生じにくい状況にあると予想されます。

実際に夏季のデータを解析してみると、予想通り温暖年のあとの夏季の酸素濃度が高い傾向が見られました。そこで夏季底層の溶存酸素について、直前の冬季の表層水温と気温（正確には海面熱フラックス）、水柱の安定度を使って予測を試みたところ、図2のように、貧酸素水塊発生の有無を100%の確率で予測することに成功しました。

【今後への期待】

本研究で得られた研究成果は、今後の漁業現場での活用が期待されます。前述のように、貧酸素水塊が発生すると、酸素を必要とする底層の海洋生物が酸欠状態に陥ったり、回避行動をとる傾向があることから、対象種の漁場や、漁獲量が変わることが予想されます。本研究により、半年前から貧酸素水塊の発生を予測が可能となったため、漁業活動上の対策を検討する際の参考情報になると考えられます。本研究は、研究開発によって得られた知識を社会で活用する「社会実装」に大きく貢献します。

【謝辞】

本研究は公益財団法人北水協会、日本学術振興会（JSPS）科研費 JP23K11388、J-PEAKS の助成を受けたものです。また係留系の設置・回収にあたり、練習船うしお丸の前船長・亀井佳彦教授、現船長・坂岡桂一郎准教授、並びに一等航海士・小林直人助教、二等航海士・飯田高大助教、乗組員の皆様に多大なるご協力をいただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

論文情報

論文名 Multi-month prediction of summertime hypoxia occurrence in the bottom of Funka Bay, Japan, with a focus on the wintertime surface heat flux (冬季の海面熱フラックスに着目した噴火湾夏季底層に生じる貧酸素水塊の数か月予測)

著者名 三木智尋¹、阿部泰人²、大西広二²、大木淳之²、高津哲也²
(¹北海道大学水産学部、²北海道大学大学院水産科学研究院)

雑誌名 Journal of Marine Systems (海洋学の専門誌)

D O I 10.1016/j.jmarsys.2024.104035

公表日 2024年12月16日(月)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院水産科学研究院 准教授 阿部泰人(あべひろと)

T E L 0138-40-8843 メール abe@fish.hokudai.ac.jp

U R L <http://odyssey.fish.hokudai.ac.jp>

配信元

北海道大学社会共創部広報課(〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

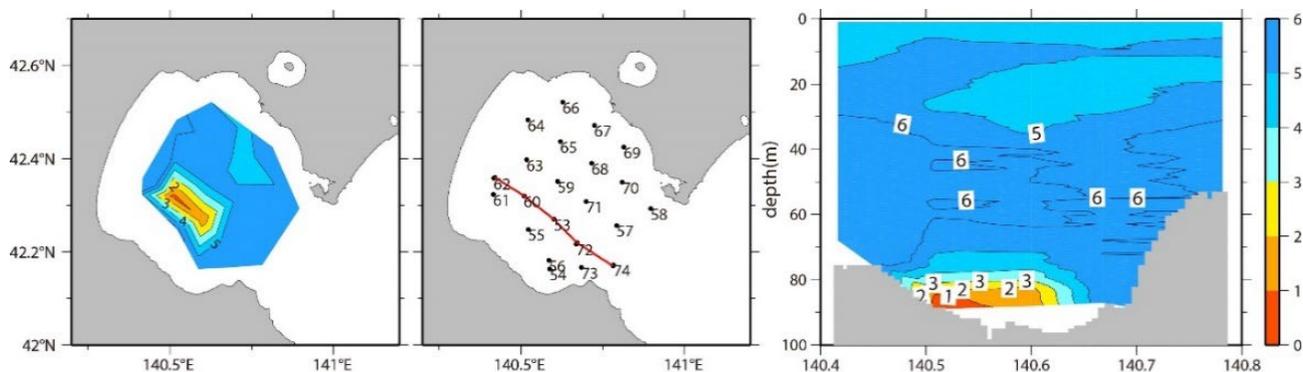


図 1. 貧酸素水塊が発生した 2023 年 8 月における北海道噴火湾の夏季底層の酸素濃度を示している。太平洋との水塊交換が活発な湾口部は比較的高い値 (5ml/l 以上) となっている一方、赤色で示したように、水が澱みがちな水深 80m 以深では 2ml/l 以下 (貧酸素状態) となっている。

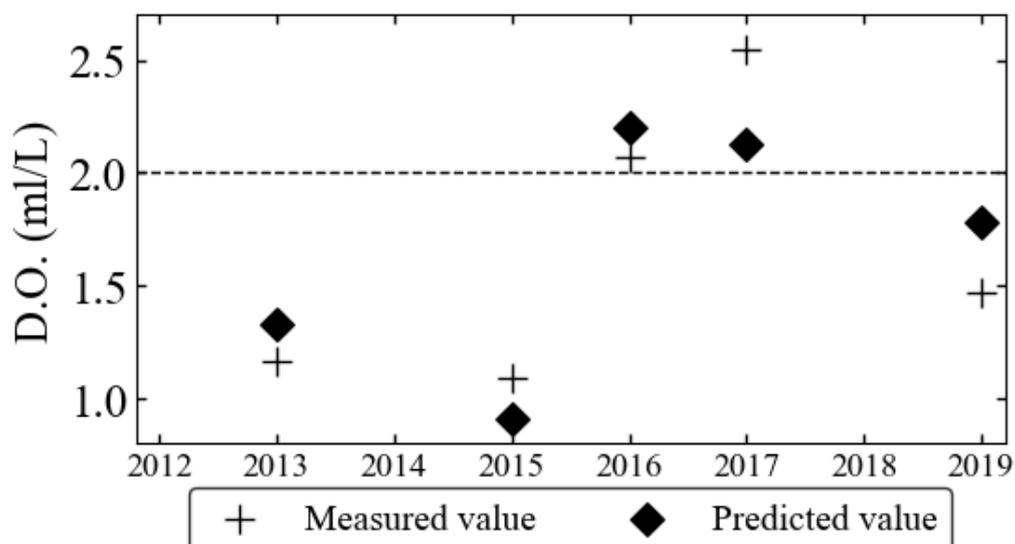


図 2. 8月の噴火湾底層における水中酸素濃度の実測値 (+) と予測値 (◆)。予測値は、6 か月前の2月の大気・海洋データを使ってはじき出している。2ml/l は基準値であり、これを下回ると貧酸素水が発生したとみなされる。本研究は、比較可能な5年(2013、2015-2017、2019年)において、貧酸素の発生の有無を100%の確率で予測することに成功した。

【用語解説】

- *1 水塊 … 水温・塩分・酸素など、比較的一様な海水の大きな塊のこと。
- *2 閉鎖性水域 … 水の入替わりの少ない海、内湾、湖沼などの水域のこと。
- *3 水柱 … 海洋学で用いられる概念。海面から海底までの海水を円柱に見立てたもの。