人工衛星で過去にタイムスリップ！！

～30 年前の漁業被害、最新の予測技術で原因究明に成功～

ポイント

・人工衛星と最新の予測モデルを用いて 30 年前に発生した漁業被害の原因究明に成功。
・冬季オホーツク海からの冷たい海水の流入が、夏季の著しい底層の酸素濃度低下の鍵を握る。
・予測モデルの運用に係る観測のコストを軽減させつつも、現地での確認により精度向上に期待。

概要

北海道大学大学院水産科学研究院の阿部泰人准教授らの研究グループは、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（別名内浦湾、海底水深約 100m）において、30 年前の 1995 年夏季に深刻な漁業被害をもたらした「貧酸素水塊」の発生を、長期間海洋をモニタリングしている人工衛星等の環境データと最新の予測モデルを用いて再現することに成功しました。

貧酸素水塊は、著しく水中の酸素濃度が低い水塊（酸素濃度 2ml/l 以下）です。世界中の閉鎖性水域の海底付近で発生することが知られており、一旦これが発生すると、呼吸で酸素を必要とする底生魚類などの海洋生物が酸欠状態に陥り、場合によっては大量死に至ります。最も深刻だったのは 1995 年に発生したもので、当時の酸素濃度は 1ml/l を下回っており、死亡したカレイ類が海面に浮上するなど多大な漁業被害が生じました。

今から 30 年も前に海中で何が起きていたのかを明らかにするのは容易ではありません。ただ、その手掛かりはありました。阿部准教授らの研究グループでは、2012 年より溶存酸素を含む海洋環境モニタリングを継続しており、そのデータを活用して夏季に低下する酸素濃度を予測するモデルの構築に成功しておりました。しかしそれでも 30 年前には遡れません。そこで長期間モニタリングしている地球観測衛星に着目しました。この長期データをモデルに取り込むことで、1995 年 3 月はオホーツク海の海氷融解水の影響を受けた「沿岸親潮[*1]」が噴火湾に大量に流れ込み、それが酸素回復を阻害したことで 8 月に深刻な貧酸素発生に繋がったことが明らかになりました。今回開発したモデルは、データ取得のために観測船で燃料を使って現地に赴く前に貧酸素水塊の発生予測データを提供し、現場観測データで確認することで、いっそう信頼性の高い予測が可能となりました。

なお、本研究成果は、2026 年 1 月 9 日（金）公開の International Journal of Remote Sensing 誌にオンライン掲載されました。

【背景】

北海道南部に位置する噴火湾は、水産資源が豊富な湾であり、その年間漁獲高は合計 100 億円を超えます。この湾は円錐型をしており、閉鎖的ではあるものの唯一開いている南東部から太平洋の水が流入します。ただし底層では水が澱みやすくなっており、特に夏季は、重たい底層の水の上に、太陽光で暖められて軽くなった水が乗っている安定状態となります。そのため、大気に接していて酸素濃度が比較的高い表層の水が底層に供給されにくい構造となっています。酸素供給がほとんどない中で、生物による呼吸や微生物による有機物の分解などで酸素が消費されれば酸素濃度が低下し、それが顕著である場合に貧酸素水塊が発生します。

過去の報告をみると貧酸素水塊は夏季に数年に一度発生しています。最も顕著だったのが 1995 年の夏季であり、この時には底層で生息するカレイ類の死亡や海面への浮上が発生し、深刻な漁業被害が生じました。この時、底層での酸素濃度が 1ml/l 以下と極めて低かったことが報告されています。

この背景を受けて、阿部准教授らの研究グループでは、2012 年より現在まで噴火湾中央部でモニタリングしている係留系[*2]を用いて、海底付近で計測している溶存酸素から一年で最も酸素濃度が低下する夏季の値を見積もり、それを海底の酸素が回復する 6 か月前、冬季の大気・海洋の状態から予測するモデルの構築に成功しました（Miki et al., 2025)。冬季に回復するのは、冷たい北風によって海面が冷却されて重くなり、酸素が豊富な表面の水が海底に供給されるためであり、予測モデルはその度合いが年によって異なることに着目しました。しかし、深刻な漁業被害が発生した 1995 年の予測は、係留観測が行われていないためデータの不足により実現できていませんでした。

そこで本研究は 1970 年代より現在まで海面水温をモニタリングしている人工衛星に着目しました。これが活用できれば 1995 年のみならず他の年も予測できることになります。さらに、従来のモデルのように観測船と係留系で現場データを取ることなく一定の精度で貧酸素水塊の発生が予測できるようになり、リスクの低い年には現場観測の頻度を減らす費用節約と、逆にリスクが高い年には観測頻度を高めるなどの費用対効果を高めつつ信頼性の高い予測が可能となります。本研究は人工衛星を使い貧酸素水塊の発生予測を試みました。

【研究手法】

2012 年以降で夏季溶存酸素濃度の予測に成功している Miki et al. (2025)の式は以下の通りです。

$$DO = -0.08 \times \left(\text{海面熱フラックス}\right) - 0.91 \times \text{（表層・底層の密度差）} - 2.00 \quad \cdots \text{（式 1）}$$

この式は、8 月の底層の溶存酸素（Dissolved Oxygen：DO、左辺)を、6 か月前の 2 月における大気・海洋の状態（右辺）から予測することを意味します。右辺について、第 1 項の「海面熱フラックス」は、どれだけ海洋から大気に熱が放出されるのかを表す指標であり、冬季の冷たい北風により海洋の熱が大気に放出されれば、海面の水が重くなり、重力的に不安定になることで対流が生じ鉛直的に混ざるので、酸素が海底に供給される、という意味です。右辺第 2 項は、第 1 項の酸素回復を促すプロセスを阻害する要因として導入しており、オホーツク海から塩分が低く軽い水が流入すると、海面に蓋がされた状態になるため対流が抑制されて、海底への酸素供給が抑制される、ということを表します。

今回はこの式 1 を以下に改良しました。

$$DO = -0.029 \times \left(\text{海面熱フラックス}\right) + 0.451 \times \text{海面水温} - 0.270 \quad \cdots \text{（式 2）}$$

式 1 との違いは二つあります。まず一点目は、右辺第 1 項、つまり海洋から大気にどれだけ熱が抜けるのかを定量化する項について、その計算に海面水温データが必要となりますが、従来の式 1 では現場観測、つまり係留系において、10 m 深の水温データを使っているのに対し、式 2 では地球観測衛星の海

面水温を使っている点です。二点目は、右辺第 2 項で、海洋の安定度を表すこの指標は、式 1 では観測船で得られた表層と底層の密度を使っており、この計算には水温と塩分が必要なのですが、今回は人工衛星が計測する海面水温を使っています。オホーツク海からの海水の流入を想定したこの項ですが、この海水は塩分が低いとともに水温も低いので、人工衛星が測る水温で代用できると考えました。

改良した二点には共通点があり、それは「観測船や係留系が現場で計測するデータからの脱却」です。その理由は、係留観測が無かった 30 年前に遡って調査することが難しいこと、10 年以上継続している係留系のメンテナンスに係る作業負担を軽減すること、公開データだけを予測モデルの入力値とすることで省力化を図ることにあります。

【研究成果】

8 月における実測と予測モデルの出力値を図 1 に示しました（横軸：年、縦軸：溶存酸素）。▽が係留系の溶存酸素センサを用いて計測した海底付近の溶存酸素、▲が式 2 を使って 3 月の大気海洋データ（地球観測衛星による海面水温も含む）から予測した 5 か月後の 8 月の海底付近の溶存酸素になります。貧酸素水塊の基準である 2ml/l も併せて表示しています。まず実測値（▽）を見ると、表示している 11 年間の中で 1995 年が最も低い値（<1ml/l）を示しており、翌 1996 年や 2023 年も比較的低い値となっていることが分かります。予測モデル（▲）を見ると、観測で見られた 2016 年～2018 年の高い溶存酸素や、前述の著しく低い溶存酸素の値を再現していました。したがって、このモデルの出力値を詳しく調べることで、1995 年に深刻な貧酸素が発生した原因を調べることができます。

その結果、明らかになった事実が二つあります。一つ目はこの年、2 月から 3 月にかけてオホーツク海の海氷融解水の影響を受けた「沿岸親潮」が流入していたことです。図 2 は地球観測衛星が計測した当時の海面水温分布になります。熱赤外における海面からの放射を計測することで水温を推定しています。2 月の噴火湾は平均水温が 4.3°Cと、この時期にしては低くも高くもない水温でした。ところが、3 月になると黒で示した 2°C以下の冷たい水が、根室方面より、北海道南岸に沿って襟裳岬を越えて噴火湾に流入していることが分かります。水温は前月よりも 2°C以上低い 2.0°Cまで低下しました。二つ目は、噴火湾沿岸における陸上気象観測所のデータにより、この時期風が著しく弱かったことです。例年はこの時期 3.0m/s 程度の風速がありますが、1995 年は解析期間で最も弱い 2.5m/s でした。水温が低いと、海洋から大気に熱が抜けにくくなります。風が弱いときも同様です（熱いスープを飲む時に、早く冷ますために息を吹きかけるのと同じ仕組み。この場合は風が弱かったので海が冷めにくい、すなわち対流が起きにくい）。したがって、この年は本来なら暖かい海水が冷える過程で生じる対流によって酸素が回復しないといけない時期に、沿岸親潮によって海面に蓋がされた状態になってしまい、さらに弱風により熱が放出されにくかったことで回復が十分では無かった、と言えます。その後は酸素を利用する海洋生物によって酸素が消費され、深刻な貧酸素となったと考えられます。

【今後への期待】

過去 30 年前から現在に至るまでの貧酸素水塊発生の予測モデルは、本研究で開発したもので精度よく再現できることが示されました。これにより 1995 年に噴火湾で発生した深刻な貧酸素水塊の主な要因を突き止めることができました。このモデルを使えば、現代海洋において貧酸素予測が可能となるため、海洋物理観測のモニタリングのコストを大幅に下げることが期待されます。この点はこのモデルの大きな強みと言えます。他方で、貧酸素水塊の発生リスクが高い年には、モデルの入力値を公開データに限定するのではなく、現場観測を強化するといったメリハリの利いた観測体制の展開することで、必要に応じて予測精度を高める機動的な運用が可能となります。今後は、噴火湾で開発したこのモデルを

他海域に展開していきたいと考えております。

【謝辞】

本研究は公益財団法人北水協会、JSPS 科研費 JP23K11388、JSPS 地域中核・特色ある研究大学強化促進事業 JPJS00420230001 の支援のもと行われました。また係留系の設置・回収にあたり、水産学部附属練習船うしお丸の乗組員の皆様に多大なるご協力をいただきました。大気海洋データは気象庁及びコペルニクスマリンサービスより提供いただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

論文情報

論文名	Application of satellite remote sensing data for predicting the occurrence of hypoxia at the seabed: a case study in Funka Bay, Japan（衛星リモートセンシングを活用した海底における貧酸素水塊の発生予測：日本の噴火湾における事例解析）
著者名	阿部泰人[1]、佐々木暁洋[2]、大西広二[1]、大木淳之[1]、高津哲也[1]、飯田高大[2]、小林直人[2]、坂岡桂一郎[2]、中條飛翔[3]、佐久間颯也[3]、大納進太郎[3]（[1]北海道大学大学院水産科学研究院、[2]北海道大学水産学部、[3]北海道大学大学院水産科学院）
雑誌名	International Journal of Remote Sensing（リモートセンシングの英国専門誌）
ＤＯＩ	10.1080/01431161.2026.2612824
公表日	2025 年 1 月 9 日（金）（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）

ＴＥＬ　0138-40-8843　メール　abe@fish.hokudai.ac.jp

ＵＲＬ　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）

ＴＥＬ　011-706-2610　ＦＡＸ　011-706-2092　メール　jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

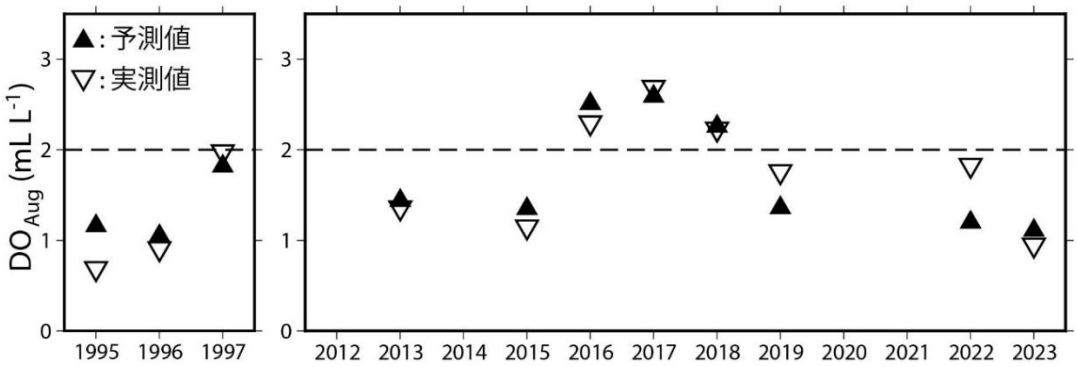

図 1. 8 月の噴火湾底層における水中酸素濃度の実測値（▽）と予測値（▲）。予測値は、5 か月前の 3 月の大気・海洋データを使ってはじき出している。1995～1997 年及び 2012 年～2023 年の結果を示している。2ml/l は基準値であり、これを下回ると貧酸素水塊が発生したとみなされる。本研究は、比較対象可能な 11 年において、貧酸素水塊の発生の有無を 100%の確率で予測することに成功した。著しく溶存酸素が低かった 1995 年も、この予測モデルで表現されている。

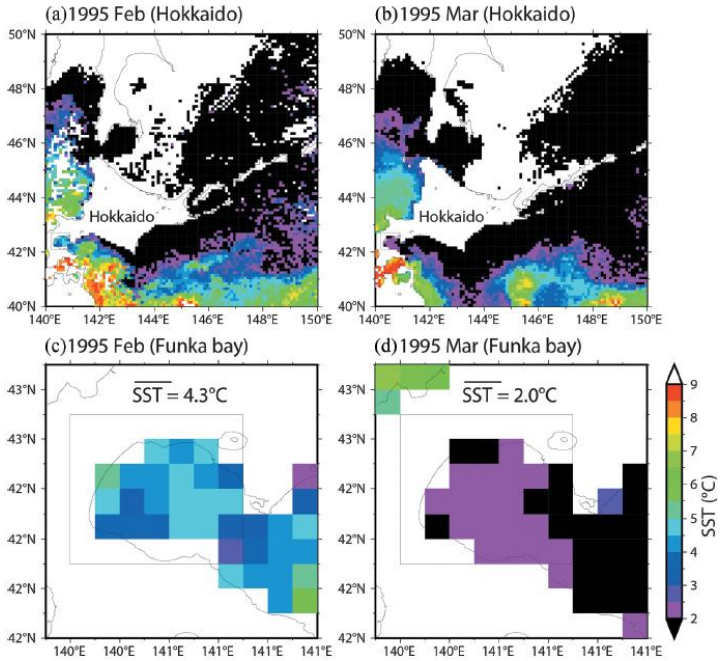

図 2. 人工衛星が計測する 1995 年 2 月と 3 月における北海道周辺及び噴火湾内における海面水温。2 月から 3 月にかけてオホーツク海から水温の低い水が噴火湾内に流入している。

【用語解説】

＊1 沿岸親潮 … オホーツク海の海氷融解水の影響を受けた水で、栄養に富んでいる。冷たいものの塩分が低いことで比較的軽い。

＊2 係留系 … 水温，酸素等を計測するセンサ類やアンカー，ブイ等をロープに取り付けた系のこと。