2024 年 1 月 15 日

プレスリリース

国立研究開発法人水産研究・教育機構
公益財団法人海洋生物環境研究所
一般社団法人サスティナビリティセンター
特定非営利活動法人里海づくり研究会議
株式会社エイト日本技術開発
国立大学法人東京大学
国立研究開発法人海洋研究開発機構

日本沿岸域の酸性化進行状況に関するモニタリング結果を公表

ポイント

- 日本沿岸域で、降雨時の塩分低下に伴って、10 日間程度 pH（注１）が低下する現象（酸性化）が頻繁に発生していることがわかりました。
- その際に、貝類の幼生の殻の形成に影響が現れるとされるレベルまで pH が一時的に低下することも確認されました。
- ただし、実際に殻に異常を生じた貝類幼生は観察されていません。
- 陸から沿岸域へ供給される栄養塩（注２）の量が少ない海域ほど、塩分低下時の pH の短期的低下が小さいことがわかりました。
- 沿岸域への栄養塩負荷量を適切にコントロールすることによって、将来の沿岸域における pH の低下量を削減できる可能性があります。

人類が放出した二酸化炭素の一部を海が吸収することにより、海水の pH が徐々に低下していく「海洋酸性化」が世界中で観測されています。海水の pH が低下し過ぎると、貝やウニ、サンゴ等の石灰石（炭酸カルシウム）の殻を持つ生物が殻を作りにくくなるため、沿岸の生態系や磯根資源に何らかの影響を与えることが懸念されています。

水産研究・教育機構は海洋生物環境研究所、サスティナビリティセンター、里海づくり研究会議、エイト日本技術開発、東京大学大気海洋研究所、北海道大学大学院環境科学院、海洋研究開発機構と連携して、国内の５つの沿岸海域（岩手県宮古市地先、新潟県柏

崎市地先、宮城県南三陸町志津川湾、岡山県備前市日生町地先、広島県廿日市市地先）において pH とその他の関連する項目の通年観測を実施し、日本沿岸域における酸性化の進行状況を評価して、論文として公表しました。

観測した５つの海域で、pH の年平均値は 8.0～8.1 の間でした。しかし、降雨等により沿岸域の塩分が短期的に低下した時に、沿岸の pH も 10 日間程度の短期間、平均値から大きく外れて低下する現象を、年十回～数十回の頻度で起こしていることがわかりました。この際、特に規模の大きな pH 低下現象の際には、飼育実験の上では貝類の幼生の殻の形成に異常を生じる可能性のレベルまで、pH が低下することも確認されました。ただし、現時点では貝類幼生の顕微鏡観察の結果から実際に殻に異常を生じた幼生は確認されていません。

一方で、５つの海域間の比較からは、陸域から沿岸に供給されている栄養塩量が少ない海域ほど、塩分低下時に観察される短期的な pH の低下幅が小さくなっていました。栄養塩が一時的に多くなることにより生物活動が活発化した結果、当該海域の pH が下がったと考えられることから、各沿岸域に陸から供給される栄養塩の量を適切にコントロールすることによって、短期的な pH 低下イベント抑制の可能性が示唆されました。

本研究は、独立行政法人環境再生保全機構「環境研究総合推進費事業」「海洋酸性化と貧酸素化の複合影響の総合評価」（JPMEERF20202007）および日本財団助成事業「海洋酸性化適応プロジェクト」により実施されたものです。

問い合わせ先

（研究担当者）

国立研究開発法人　水産研究・教育機構

水産資源研究所　水産資源研究センター　海洋環境部（横浜）　小埜恒夫

水産技術研究所　環境応用部門　沿岸生態システム部（宮古）　村岡大祐

水産技術研究所　環境応用部門　沿岸生態システム部（廿日市）鬼塚　剛

（広報担当者）

国立研究開発法人　水産研究・教育機構　広報課

E-Mail：fra-pr@fra.go.jp

詳細資料

［研究の背景］

人類が放出した二酸化炭素の一部は海に吸収されていますが、二酸化炭素は水に溶けると弱酸性の炭酸イオンや重炭酸イオン（炭酸水素イオン）に変わるため、二酸化炭素の吸収によって海水の pH は年々少しずつ低下しています（海洋酸性化)。自然の状態でも光合成や呼吸といった生物活動による二酸化炭素の吸収・放出により、海水の pH は変動していますが、海洋酸性化によって pH の年平均値自体が低下すると、自然の変動により pH が低下した時の最低値もより低くなるため、貝やウニ、サンゴ等の石灰石の殻を持つ生物が殻を作りづらくなります。このため、沿岸の生態系や磯根資源に大きな影響を与えることが懸念されています。

日本の沿岸域では、これまで本格的な pH のモニタリングがされておらず、沿岸域における酸性化の進行状況について詳しい情報がつかめていませんでした。このため 2020 年代になって、国内の沿岸各地で pH と関連する諸項目のモニタリングが開始されています。

水産研究・教育機構と海洋生物環境研究所は独立行政法人環境再生保全機構「環境研究総合推進費事業」「海洋酸性化と貧酸素化の複合影響の総合評価」（JPMEERF20202007）により、岩手県宮古市地先と新潟県柏崎市地先においてモニタリングを開始しました。

一方、里海づくり研究会議はサスティナビリティセンター、エイト日本技術開発、水産研究・教育機構、東京大学、北海道大学、海洋研究開発機構の協力のもと、日本財団助成事業「海洋酸性化適応プロジェクト」により、宮城県南三陸町志津川湾、岡山県備前市日生町地先、広島県廿日市市地先においてモニタリングを開始しました。

今回、この５海域における pH と関連項目の通年モニタリングの結果をとりまとめ、現在の日本沿岸域における酸性化の進行状況を評価するとともに、将来の酸性化の影響を緩和するための方策を検討しました。

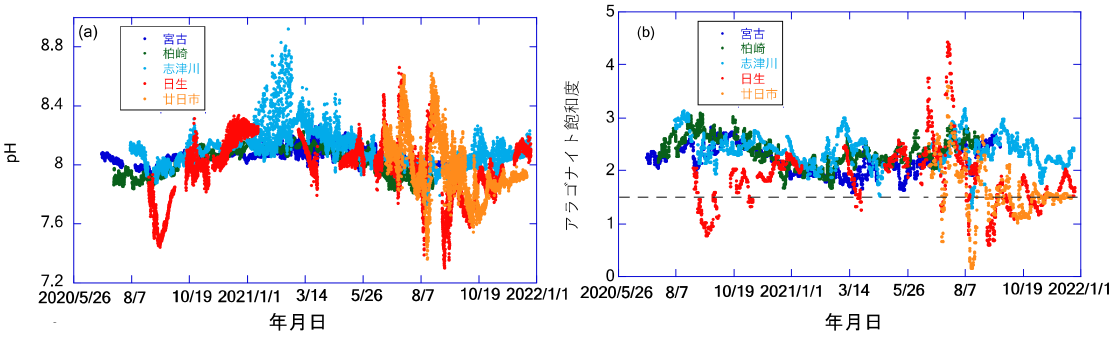
［研究の概要と得られた知見］

上記の５海域で実施している pH とその他の関連項目（水温、塩分、溶存酸素濃度等）のモニタリングデータのうち、2020 年から 2021 年にかけてのデータを収集して海域ごとの特徴を解析しました。

５つの全ての海域で、pH の年平均値は 8.0～8.1 であり、生物に危険なレベルではありませんでした。ただし、降雨等により沿岸域の塩分が短期的に低下した時、沿岸海域の pH も 10 日程度の短期間、平均値から大きく外れて低下する現象を、年十回～数十回起こしていることがわかりました。観測された pH から、沿岸生物の殻の作りやすさの指標であるアラゴナイト飽和度（注３）を計算すると、降雨時の短期的な pH の低下の際に、アラゴナイト飽和度が一時的に、飼育実験で沿岸の貝類等に影響が現れることが確認されてい

る 1.5 以下のレベルまで低下する場合があることも確認されました（図１、注４）。

図１：５つの沿岸域で 2020 年から 2021 年にかけて観測された、(a)pH と(b)アラゴナイト飽和度の周年変動。(b)の黒点線は、飼育実験においてアラゴナイト飽和度がこれ以上下がるとマガキ幼生の殻形成に影響を与えることがわかっている閾値（飽和度=1.5）を示す。

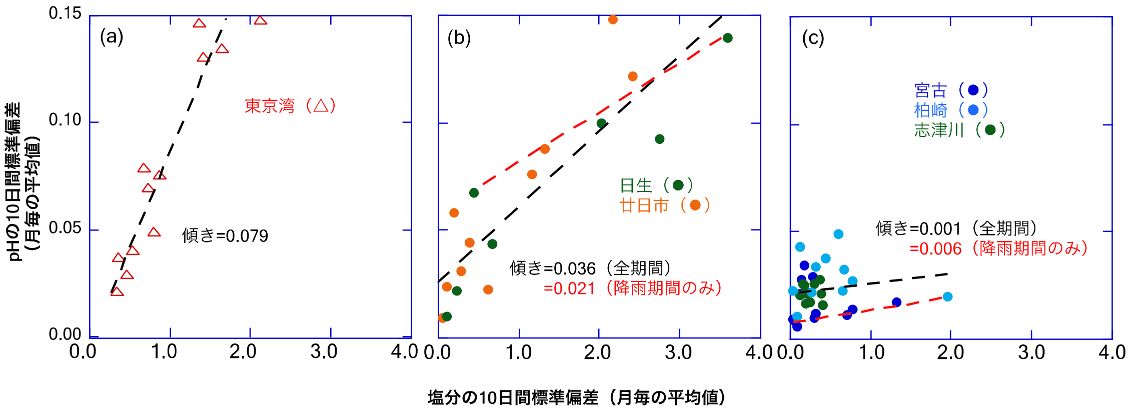


pH 低下時に採取された貝類幼生を含む沿岸生物から酸性化の明確な影響は検出されていません。現在、モニタリングした一時的な pH 低下現象が沿岸生物に与える影響は、今のところないと考えられますが、将来さらに酸性化が進行すると pH 低下イベントの頻度や継続時間が徐々に増加していく可能性が考えられます。

詳細な解析の結果、モニタリングされた短期間の pH 変動は、降雨によって増水した河川水に溶けたリンや窒素または川底から巻き上がった有機物中のリンと窒素を使い、沿岸域の生物活動が活発化することで引き起こされていることがわかりました。

また上記の５つの海域に、東京湾環境情報センターから公開されている東京湾の pH モニタリングデータ（https://www.tbeic.go.jp/MonitoringPost/Top）も加えた６海域で、

図２：塩分と pH の 10 日間移動標準偏差（月毎の平均値）の海域別相関プロット。陸域栄養塩負荷の小さい海域（宮古・柏崎・志津川）、中程度の海域（日生・廿日市）、負荷の大きい海域（東京湾）の３つの海域カテゴリ別に相関を計算した。
図中の黒線は全期間、赤線は月間降雨量の大きな期間のデータのみを使った回帰直線を示す。



河川の影響の短期変動の指標である表層塩分の 10 日間移動標準偏差と、酸性化の短期変動の指標である pH の 10 日間移動標準偏差を計算しました。さらに、それぞれの 10 日間移動標準偏差の月毎の平均値を算出して関係を調べたところ、両者の間に統計的に有意な相関が認められました（図２）。この結果、陸域から沿岸に供給されている栄養塩量が少ない海域ほど、この相関の傾きが小さいこともわかりました（図３）。このことは、陸域から沿岸に供給される栄養塩量が少ない海域ほど、塩分低下と同時に観察される短期的な pH の低下幅が小さくなっていることを示しています。

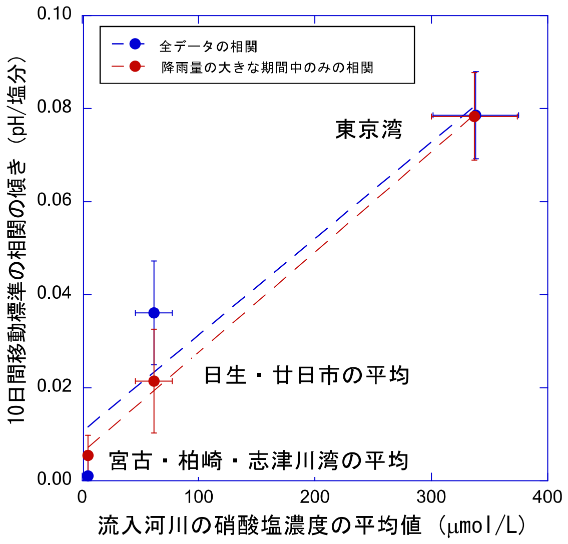


図３：東京湾も加えた６つの海域で計算した、塩分と pH の 10 日間移動標準偏差の相関の傾きを、各海域に流入する河川水の栄養塩（硝酸塩）濃度に対してプロットしたもの。陸域栄養塩負荷の小さい海域（宮古・柏崎・志津川）、中程度の海域（日生・廿日市）、負荷の大きい海域（東京湾）の３つの海域カテゴリの間で、同じ塩分の短期変動に対するpH短期変動の大きさと河川硝酸塩濃度の間に正の相関が認められる。

このことから、将来の酸性化によって沿岸の pH 年平均値が徐々に低下してきた場合でも、各沿岸域に陸から供給される栄養塩の量を適切にコントロールして、短期的な pH 変動の大きさを抑制する事ができれば、pH が短期的に低下した際の最低値は、現在と同程度に維持できる可能性が示唆されました。

［今後の展望］

今回の研究により、陸域からの栄養塩供給量を適切にコントロールすることで将来の沿岸域における pH の低下を抑制できる可能性が示されました。一方で、日本の沿岸域では栄養塩負荷量の低下による生産力の低下も問題になっています。今後、酸性化の抑制と生産力の維持を両立する栄養塩供給レベルの検討が必要です。

また、河口域に藻場を造成して川から流れてくる有機物粒子をトラップすることで、川に溶けている栄養塩を減らさずに、有機物粒子由来の栄養塩を減少させるという方法も考えられます。今後、より多くの観測点でモニタリングを続けることにより、pH 低下をコントロールする様々な環境要素が見出せることも考えられています。

［発表者情報］

国立研究開発法人水産研究・教育機構　水産資源研究所　小埜恒夫
水産技術研究所　村岡大祐、岡村知海、鬼塚剛、須藤健二
公益財団法人海洋生物環境研究所　林正裕、依藤実樹子
一般社団法人サスティナビリティセンター　太齋彰浩
株式会社エイト日本技術開発　大本茂之
特定非営利活動法人里海づくり研究会議　田中丈裕
国立大学法人東京大学　藤井賢彦
国立大学法人北海道大学　濵野上龍志
国立研究開発法人海洋研究開発機構　脇田昌英

［論文情報］

雑誌名：Biogeosciences
題　名：Short-term variation of pH in seawaters around coastal areas of Japan: Characteristics and forcings
著者名：Tsuneo Ono, Daisuke Muraoka, Masahiro Hayashi, Makiko Yorifuji, Akihiro Dazai, Shigeyuki Omoto, Takehiro Tanaka, Tomohiro Okamura, Goh Onitsuka, Kenji Sudo, Masahiko Fujii, Ryuji Hamanoue,and Masahide Wakita
URL：https://bg.copernicus.org/articles/21/177/2024/

［用語解説］

（注１）pH（水素イオン濃度指数）

液体の酸性・アルカリ性を表す指標で、水素イオン濃度の逆数の常用対数に-1を乗じた値である。値が7だと中性、7より低いと酸性、7より高いとアルカリ性。

（注２）栄養塩

植物が成長するために必要とする物質。環境中に植物が必要とする最小濃度のため、人工的に添加することで植物の生産量を増やせるものを特に栄養塩と呼ぶ。陸上植物の栄養塩は窒素・リン・カリウムにあたる。海洋植物の栄養塩は窒素・リン・ケイ素があたる。海の栄養塩が多すぎると富栄養化や酸性化となり、赤潮を招き水産物へ被害を及ぼすことがある。

（注３）アラゴナイト飽和度

アラゴナイトとは、炭酸カルシウムの結晶形のひとつ。たとえば、貝やウニ等の殻の構成物質は炭酸カルシウムだが、幼生と成体では同じ炭酸カルシウムでも結晶構造が違ってい

る。幼生はアラゴナイトと呼ばれる結晶構造の殻を形成する。こうした幼生の骨格や殻がどのくらい作りやすいかを示す指標をアラゴナイト飽和度という。この数値が大きいほど、生物は容易に骨格や殻を作ることができる。

（注４）アラゴナイト飽和度とｐＨの関係
貝やウニ等の殻の構成物質は炭酸カルシウムだが、幼生と成体では同じ炭酸カルシウムでも結晶構造が違う。幼生はアラゴナイト（あられ石）、成体はカルサイト（方解石）と呼ばれる結晶構造の殻を形成する。海水中のカルシウムイオンと炭酸イオンからアラゴナイトが結晶化する際の結晶化のしやすさの指標をアラゴナイト飽和度という。水温や塩分の影響を受け、pH が低いほど海水のアラゴナイト飽和度が小さくなり貝殻の形成が悪くなる。

海水のアラゴナイト飽和度が１以下であれば、海水中で結晶化したアラゴナイトはすぐに海水に再溶解して、アラゴナイト殻を作り出すのが非常に難しくなる。また、アラゴナイト飽和度が１以上の場合、飽和度の数値が高いほど、アラゴナイト殻を作り出すときに必要とするエネルギー量は小さくなる。

マガキの幼生が殻を作りやすいアラゴナイト飽和度の下限値が 1.5 と言われているため、この値が酸性化の程度を示す指標とされる。この値に対応する pH の値は水温や塩分によって大きく異なるため、今回のように複数の海域の酸性化の程度をまとめて評価する際には、pH ではなくアラゴナイト飽和度を指標として使うことが多い。