

新防汚剤としての二酸化塩素

－海産魚類の受精卵および珪藻類を用いた曝露試験－

はじめに

沿岸に立地する発電所など大量の海水を冷却水などに使用するプラントでは、海水系統に付着する生物は厄介者扱いです。わが国で稼働中の火力、原子力発電所の約半数では、海水の電気分解液を使った塩素注入によって防汚対策が行われています。海水電解液による以前は、化学兵器としても使われた塩素ガスを直接注入していました。このように海水電解液の付着防止効果については、広く知られ長年の実績があります。それなのに、今なぜ二酸化塩素(ClO_2)を取り上げたのか、以下はその経緯です。

最初は、イタリアからの売り込みでした。かの国の化学薬品会社の担当者曰く「イタリアでは、海水電解液のトリハロメタン生成対策として、二酸化塩素の注入に切り替えた。二酸化塩素は、水道水の殺菌はおろか、かの有名な〇〇コーラも殺菌している。環境保全の観点から日本もこれに切り替えるべきである」と。1時間余のプレゼンテーションは、大量のデータで次亜塩素酸ソーダと二酸化塩素を比較しており、管理システムも自動化されているようでもあり、完璧で圧倒されました。外人コンプレックスもあり軽い劣等感を持ったほどです。

わが国でも上水の殺菌剤として使用が認められていることから、近々、海域で代替付着防止剤として使用される可能性も考えられます。そこで、海産生物にどの程度の影響があるのか、試みに魚類の受精卵および珪藻を対象に、二酸化塩素の毒性についての試験を行いました。

1. 海水添加時の二酸化塩素濃度

海水に海水電解液を注入した場合、残留塩素の減衰が大きいことが知られています。取水口で2~3mg/Lの濃度で注入したものが、海水系統を通過し放出される十数分~数十分の間に減衰してしまいます。わが国では「放水後、結合塩素が検出されない濃度とする」として、公害協定を結ぶことが多いようです。

図1に二酸化塩素濃度の経時変化を示しました。原液を300mLの海水中に1.0mg/Lおよび0.5mg/Lとなるよう添加し、室温(20.4℃)で30分放置した二酸化塩素(図中の○)は、時間とともにほぼ直線的に減衰しました。魚類受精卵(図中△)の試験時に計測した結果も同様の傾向を示しました。珪藻を用いた試験(図中*)時の減衰傾向は、前二者よりも大でした。海水電解液中の

残留塩素や二酸化塩素について「放水後に検出されない濃度とする必要」があるかどうかについては別の機会に譲りますが、防汚に効果がある濃度で運用された場合どの程度減衰するかについては、この結果が参考になるでしょう。

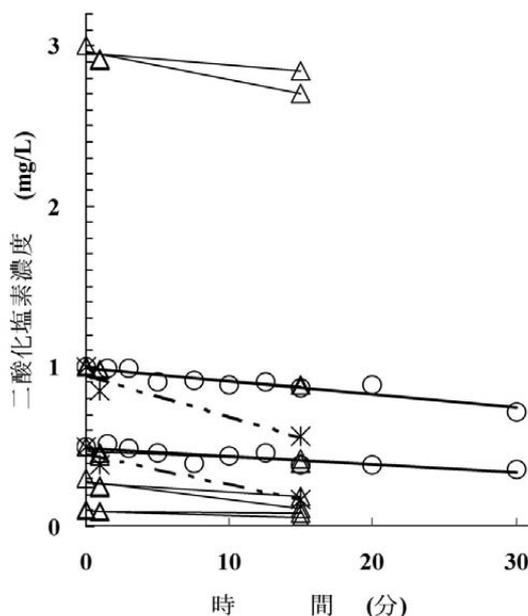


図1 二酸化塩素濃度の減衰: ○;対照区. 530.7mg/Lの二酸化塩素0.377または0.188mLを300mLの濾過海水に添加した。△;マダイ、ヒラメ受精卵曝露実験時。受精卵数百個/1,000mL濾過海水。*;植物プランクトン曝露実験時。10⁷細胞/110mL濾過海水。

2. 魚類受精卵を使った曝露試験

試験材料は、千葉県夷隅郡御宿町にある海生研中央研内で飼育しているアオギス、マダイ、ヒラメの受精卵を用いました。3回の試験の結果をまとめて二酸化塩素濃度区ごとの孵化率を図2に示しました。曝露後24時間のアオギスおよびマダイを用いた試験1の結果では、孵化率に10倍程度の差がみられアオギスで高く、マダイでは低い結果でした。孵化率が低かったマダイ受精卵では、孵化間近と思われる個体が多く存在していました。

24時間後で孵化間近と思われる個体が多く存在したため、その後の試験では試験時間を延長しました。曝露後の期間を48時間とし、同一の試験条件で行った試験2では、マダイ、ヒラメの受精卵を用いました。その結果、ヒラメ受精卵でもマダイと同様、孵化率は曝露濃度が高くなるにつれて低下しました。

試験1, 2とも多少不満足な結果であると感じられたので、試験2と同じヒラメおよびマダイの受精卵を用い、曝露濃度を0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0mg/Lの5段階、曝露後の期間を72時間と増やして試験3を行いました。

これらの結果、少なくともマダイ、ヒラメの2種については低濃度曝露の場合、発生が遅延し、高濃度では死亡する傾向が示唆されました。

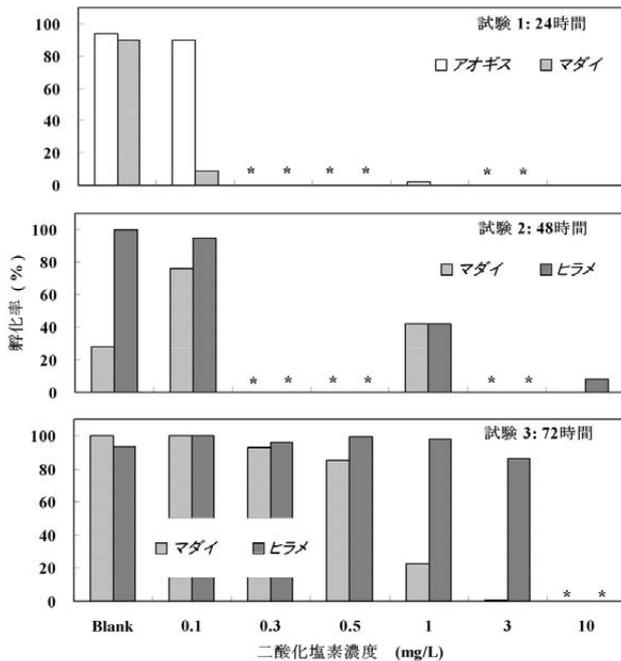


図2 魚類の受精卵を15分間二酸化塩素に曝露した場合の孵化率：*；データ無し，試験1では300mL当たり，試験2, 3では1,000mL当たり数百個の受精卵を投入した後、二酸化塩素を添加し、15分間の曝露後正常海水に戻し孵化を観察した。

3.珪藻 (*Chaetoceros gracilis*) 曝露試験

植物プランクトンの一種である珪藻を用いた結果においても、二酸化塩素と曝露時間の組み合わせによって増殖への阻害の傾向が異なりました。0.5mg/L以上の二酸化塩素に曝露した試験区では、対照区に比較して少なくとも48時間の増殖阻害が認められました。また0.5mg/L区では96時間以降安定期に入りましたが、1.0mg/L区では同時期に依然として増殖期にあると考えられるため、増殖阻害を受ける期間が曝露濃度に正比例する可能性が示唆されました。しかし、本試験では*Chaetoceros gracilis*に対する増殖阻害が、細胞の活性低下など内部要因に起因するのか、曝露された細胞の殆どは死滅し、生存した細胞数が相対的に低いため、増殖する時間が長期化したのかは判断できませんでした。

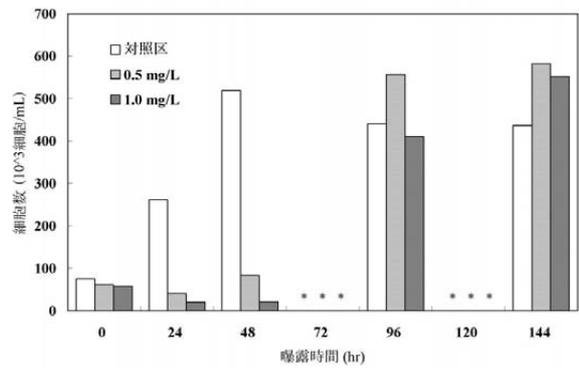


図3 植物プランクトン (*Chaetoceros gracilis*) を二酸化塩素に15分間曝露した後の増殖量：*；データ無し，植物プランクトン約10⁷細胞/110mL濾過海水に二酸化塩素を添加した。

おわりに

二酸化塩素は、タンパク質の生成を阻害するといわれていることから、魚卵の発生阻害や植物プランクトンの増殖抑制に働いている可能性があります。魚卵の発生、植物プランクトンの増殖に及ぼす影響は、0.5mg/L程度の濃度では魚卵の発生や植物プランクトンの増殖は遅延するが、明らかに悪影響があるのは1mg/L以上でしょう。

これらのことから、二酸化塩素を次亜塩素酸ソーダの代替物として使用する場合、防汚に効果がある濃度は、上記に示した毒性値よりも低い濃度であるのか否か検討することが必要になるでしょう。海水を使用する3カ所のプラントを調査した文献によると、環境負荷が少ない0.05~0.25mg/L程度の注入で防汚効果は充分であると結論しています。

蛇足ですが、なゼイタリアで海水電解液を二酸化塩素に替えたかについては、冷却に使う海水の水質が悪いのが原因ではないかと考えられます。次亜塩素酸ソーダ(海水電解液)は、アンモニアなどに消費されやすいという性質があります。付着する生物は、多少水質が悪くても容赦はしませんので、電解液を注入しても効果がないことになると、二酸化塩素の様なものを考えなければならなかったのかも知れません。わが国でも内湾域や河口域など栄養豊かなところに立地する発電所では、海水電解液を使っても効果が低くなっているようなことはないでしょうか？最後に、この実験に協力して頂いた多くの所内、所外の方々に感謝します。

文献

原 猛也・藤澤俊郎・山田 裕・青山善一・杉島英樹・小林努(2005):二酸化塩素が海生生物に与える影響の予備的検討,海生研報, (8), 11-18.

(事務局 研究調査グループ 原 猛也)