

養殖漁場の環境基準とその実践の仕方

—養魚家自身による底泥分析の勧め—

わが国では1960年代以降、それまでの貝類養殖に加え魚類養殖が発展し、2009年には海面養殖業の生産量は沿岸漁業とほぼ同じ120万t、生産額は海面漁業の42%にあたる4095億円をあげるようになった。その一方で、貧酸素化や硫化物の発生などいわゆる自家汚染と呼ばれる現象が頻発し、持続的な養殖生産が危ぶまれるようになった。このような問題に対処するため、1999年に持続的養殖生産確保法が施行され、本法律により漁場の環境基準が定められた。しかし、どのような考え方や手法により基準が設定されたかについての理解が現場に十分に広まっておらず、大部分の養殖場で養魚家自ら環境のモニタリングを行うには至っていない。本稿では、養魚家が自ら漁場の環境モニタリングを進められるように、本法律に基づいて設けられた環境基準の意味と問題点を整理するとともに、モニタリングの起点となる底泥の採取方法を紹介する。

横山 寿 (よこやま ひさし)

独水産総合研究センター 増養殖研究所主幹研究員。京都大学大学院修了後、大阪市環境科学研究所、養殖研究所大村支所等を経て現職。有機汚濁指標種となる多毛類の生態学的研究により京大博士(農学)。増養殖研究所では養殖漁場の環境評価や環境修復および藻場・干潟など増殖漁場の物質循環に関する研究を行ってきた。

持続的養殖生産確保法に基づく環境基準

持続的養殖生産確保法(以後、確保法と記す)は、養殖漁場環境の改善と特定疾病の蔓延の防止を目的としており、本法律に基づいて漁場の環境基準が定められた(表1)。これには、改善の目標となる基準(農林水産省告示)と、状態が著しく悪化している漁場の基準(水産庁長官通達)があり、それぞれ養殖施設内の水質と底質を測定項目として挙げている。水質項目は溶存酸素量(DO)であり、底質項目は底泥表層(0~1cm)の硫化物量(酸揮発性硫化物態イオウ量、AVS)か底生生物である。観測時期は表層ほど水温が高く海水交換が生じにくい成層期の末期(概ね9月)とされているほか、測定場所、調査地点数など観測条件や分析方法

についても定められている^{1,2)}。

1) 水質項目(溶存酸素量)

溶存酸素は水生生物の生死に直結するので、従来より環境基準の主要な項目となってきた。日本水産資源保護協会は1983年に発表した「水産用水基準(改訂版)」のなかで海産水産物の望ましい酸素条件として6mg/ℓ以上を示した。この値は米国オハイオ川の水質基準を基礎にさらなる安全性と海産生物の活動を考慮して設定された。また、平田・門脇³⁾はブリの安全な成育には5.7mg/ℓ以上を要することから、この

表1 持続的養殖生産確保法に基づいて定められた海面養殖漁場の環境基準

項目	指標	改善の目標となる基準	著しく悪化している漁場の基準
養殖施設内の水質	溶存酸素量	4.0 mg/ℓを上回っていること	2.5 mg/ℓを下回っていること
養殖施設直下の底質	硫化物量	硫化物量が、その漁場の水底における酸素消費量が最大となるときの硫化物量の値を下回っていること	硫化物量が 2.5 mg/g を上回っていること
	底生生物	ゴカイ等の多毛類その他これに類する底生生物が生息していること	半年以上底生生物が生息していないこと

値をブリ養殖場の基準値とすることを提案した。確保法の環境基準値 $4.0\text{ml}/\ell$ ($5.7\text{mg}/\ell$)は、これらを根拠としている。なお、確保法の基準では状態が著しく悪化している漁場の値として、養殖生物の摂餌率が低下する濃度 $3.0\text{ml}/\ell$ と斃死濃度 $2.0\text{ml}/\ell$ の中間値($2.5\text{ml}/\ell$)が採用されている。

2) 底質項目

(1) 硫化物量

硫化物発生のメカニズムとして、①嫌気条件下で還元的有機物分解により有機酸が生成し、これを使って硫酸還元菌が硫化水素を生成し、②生じた硫化水素は酸素を消費し、嫌気環境を拡大させるとともに、自身は底泥中の鉄により不溶性の硫化鉄となり、底泥中に蓄積すること、が明らかにされている⁴⁾。硫酸還元菌の増殖と活性は、 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ の範囲では高温ほど、有機物濃度が高いほど高くなる⁴⁾。有機物負荷の多い養殖漁場では、硫化物生成の条件が整っている。

改善目標となる硫化物量の基準は、「酸素消費速度が有機物負荷量の増加とともに上昇する間は、有機物は生物により円滑に分解されているので、養殖に伴う有機物負荷は許容される。従って、酸素消費速度の最大値に対応する硫化物量は養殖許容量の指標となる。」という考え方⁵⁾に基づいている。この考え方は全国かん水養魚協会(現・全国海水養魚協会)⁶⁾が水産庁より受託して設立した「養殖ガイドライン作成検討委員会」および全国漁業協同組合連合会⁷⁾による「養殖漁場改善推進委員会」により検討され、これを適用すると適正養殖量を漁場ごとに設定でき、きめ細かい漁場管理が可能になると期待されて環境基準に採用された。しかし、これまでに現場調査から酸素消費速度の最大値が求まった確実な例はなく、さらに**数値計算モデルにより酸素消費速度の最大値を求めることも現実的に困難であることが証明された⁸⁾**ため、現在、本基準は使われていない。一方、著しく悪化した漁場の基準値 $2.5\text{mg}/\text{g}$ は、汚濁の進んだ都市部の湾内や一部の養殖漁場で観測され、無生物状態となる環境の指標値とされている。

(2) 底生生物

底生生物とは水底を生息場所とする動植物の総称であるが、確保法の環境基準に挙げられた底生生物は

ゴカイや貝類などの動物(マクロベントス)を指す。これらの動物は海底に沈降した有機物を食べたり、底泥を攪拌し、底泥中の有機物を分解する。また、移動性が乏しく、その種組成や生物量は環境状態を示す指標にもなる。沿岸域では有機物が加わると、マクロベントスの生物量は増加するが、ある段階を超えると減少し、最終的には無生物となる。その過程で汚濁環境に適応した特定の種が優占的に出現することがある。

ただし、確保法の環境基準では現場への適用のしやすさを考慮して、底層環境が最も悪化する成層期末期における底生生物の存否のみを問うている。一方、半年以上無生物となる状況を著しく悪化した漁場の基準として定めているが、このような漁場は国内ではほとんどみられない。

基準としての硫化物量の有効性

溶存酸素量は投げ込み型の測定器により値を容易に知ることができるが、海水の動きとともに大きく変化することが多く、正確な環境評価には継続的な観測が必要である。連続観測が可能な機器も開発されているが、高価であり、頻繁なメンテナンスが欠かせない。一方、確保法に基づく底生生物の基準はその存否が求められているのみで、生物浄化が正常に営まれる範囲を改善目標とする考え方とはギャップがある。底生生物の種組成や生物量を用いると精度高く環境評価を行えるが、これらを知るには専門的知識と多大な時間を要する。

1960年代以降、各地の養殖漁場で環境調査が進められた結果、硫化物量は養殖活動が活発な漁場では経年的な増加傾向を示すことなど養殖負荷の影響を鋭敏に反映することが明らかとなり、環境指標としての有効性が認められるようになった。「水産用水基準(2005年版)」では、硫化物量 $0.2\text{mg}/\text{g}$ 、 $1.0\text{mg}/\text{g}$ をそれぞれ沿岸域における人為的な汚濁の影響が生じ始めた環境および明らかな汚濁環境を示す基準値としている。酸素消費速度から硫化物の基準値を求めることができない現状では、水産用水基準の基準値を適用するか、継続的なモニタリングにより硫化物量が経年的に増加しないことを養殖環境の改善目標とすることが現実的であろう。

養魚家による採泥と分析の勧め

現時点では、漁場の最適の環境指標は硫化物量である。この調査分析に必要な機器、消耗品の購入にかかる費用は比較的少なく、分析についても少し練習すれば誰でも短時間できる。しかし、養魚家が自ら漁場の環境モニタリングを行っている例は少なく、大多数の漁場では自治体の試験機関などによる調査に頼っているのが現状である。この原因として、「食わず嫌い」があるのではないだろうか。そこでまず、硫化物調査の最初のステップである採泥にトライすることを勧めたい。

採泥の際には、底泥の層により硫化物量の値が大きく変化することが多いので、底泥の表層1cmを正確に採取しなければならない。底泥試料の層別採取にはこれまでKK式などのコアラー(柱状採泥器)が用いられてきたが、装置が海底面に着地した際に底泥表面を乱

したり、船上に引き上げる際に底泥がこぼれ落ちることがあった。そこで、市販のエクマン・バージ採泥器(コラム参照)の中にコアを取り付けることにより、不攪乱底泥試料を簡易に安価に採取できるIE(Inside Ekman-grab)式コアラーを開発した⁹⁾ので、次に紹介する。

1) IE式コアラーの作り方

①外径50mm、内径44mm(外径、内径は適宜変更可能)の亚克力パイプを長さ23cmに切断し(これをコアと呼ぶ)、片方の外側を斜めに削り、もう一方の切断面をサンドペーパーにより滑らかにする(写真1の①)。

② コアの上部3ヵ所に小型のステンレス製ネジを取り付ける(写真1の②)。

③ 厚さ4mm前後、直径50mm(コアの外径に合わせる)の亚克力円盤にネジを取り付ける。1つのネジに紐を取り付け、その先端に輪を作る(写真1の③)。

④コアの2つのネジと亚克力円盤の2つのネジを、コアの1つのネジと円盤の1つのネジを、それぞれ輪ゴムで連結する(写真1の④)。

⑤エクマン・バージ採泥器(底面の1辺20cm)のアームを取り付けている4つのボルトのうち1つ(コラム写真のe)をはずし、市販のクランプ(例:アズワンカタログの品番6-775-03)を採泥器内部に取り付け、はずしたナットで固定する(写真1の⑤)。

⑥円盤をつけたコアをクランプで採泥器内部に固定し、円盤につけた紐先端の輪を採泥器のフックにかけて円盤が適度に開くように紐の長さを調整する(写真1の⑥)。

2) 底泥試料の採取法

①コアの内径より若干短い径を有するゴム栓と、1cm刻みの目盛りをつけた外径2~3cm、長さ約40cmの塩ビ管(押し出し棒)を用意しておく。

②コアをセットした採泥器をゆっくりと海底に着地させ、メッセンジャーにより採泥器の底蓋とコア上部の円盤を閉じさせる。採泥器を船上に引き上げ、コア下部にゴム栓を差し込む。

③クランプを緩めてコアを取り出し、押し出し棒でゴム栓を押し上げ、底泥を層別に採取する(写真2)。

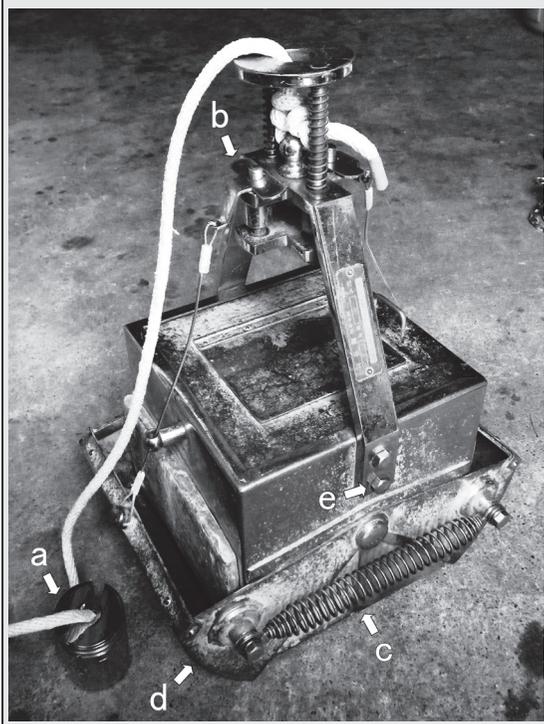
3) IE式コアラーの長所と採泥の実際

本装置を用いると、漁場の底泥とその直上水を乱さず採取できる。他に、砂質堆積物でも採取可能であること、コアの交換が可能で目的に応じて径の異なるコ

【コラム】

エクマン・バージ採泥器(離合社製)

湖沼や浅海で広く用いられている底泥採取器具。本採泥器を海底に降ろした後、メッセンジャー(a)をロープに通して落とすと、フック(b)がはずれ、バネ(c)により底蓋(d)が閉じて底泥をつかみ取る。





特集
重要指標を知る!

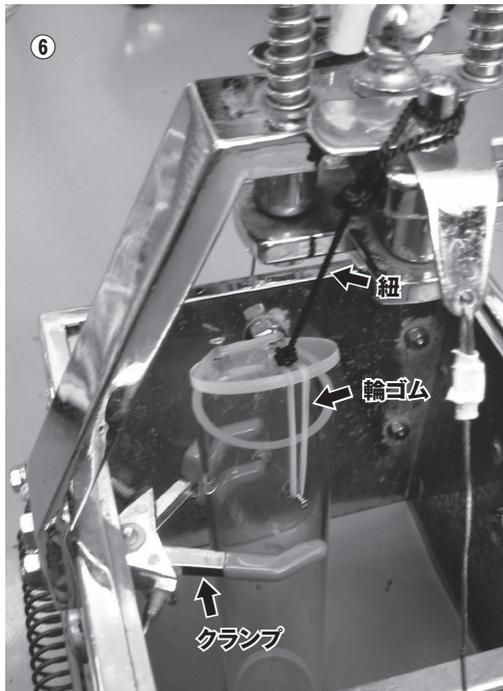
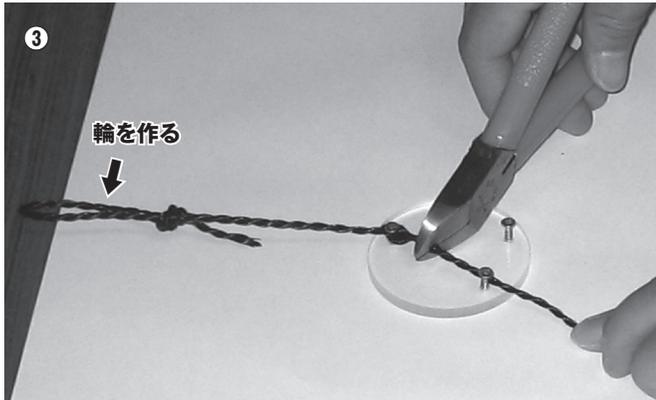
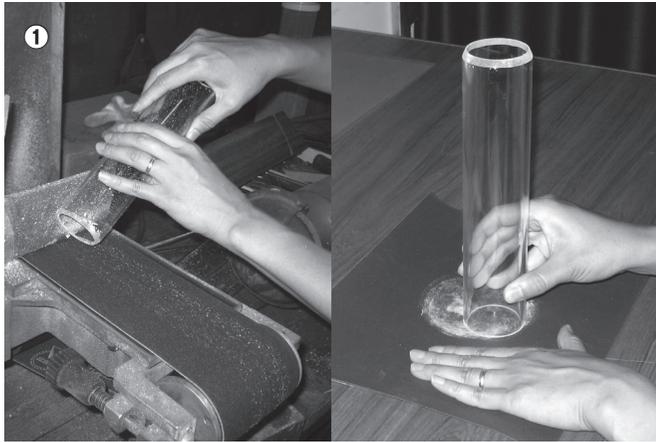


写真1 IE式コアラーの作り方

- ① アクリルパイプ (コア) の片方の外側を斜めに削り、もう一方をサンドペーパーで滑らかにする
- ② 上部3か所にステンレス製ネジを取り付ける。
- ③ コアの“上蓋”となるアクリル円盤にネジを3つ取り付け、その1つに紐を付けて先端に輪を作る。
- ④ コアと円盤のネジ(2本と2本、残り1本と1本)を輪ゴムで連結する。
- ⑤ エクマン・バージ採泥器の内部に、市販のクランプを取り付け、ナットで固定する。
- ⑥ コアを採泥器内部に固定し、円盤につけた紐の輪を採泥器のフックにかけて紐の長さを調整する。



写真2 コアの取り出し
押し出し棒でゴム栓を押し上げ、底泥を層別に採取する。

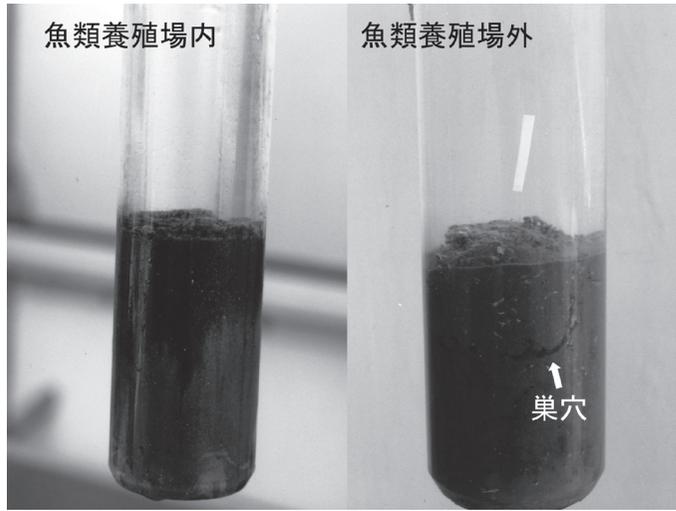


写真3 魚類養殖場の底泥と漁場外の底泥
魚類養殖場の底泥表層は黒いが、漁場外では褐色で、生物やその巣穴を見出すこともある。

アを選択できること、取り扱いが容易で安価に手作りできることが長所として挙げられる。

魚類養殖場の底泥と漁場外の底泥を比較すると、違いが一目瞭然である。すなわち、養殖場の底泥表層は黒いが、漁場外では褐色であり、生物やその巣穴を見出すこともある。養殖場でも環境が好転すると養殖場外の底泥に近づく。もし、コアの中に底生生物を見出せば確保法の基準に達していることを確認できる(写真3)。

4) 硫化物量測定法

確保法に基づく硫化物分析では、検知管法を用いることが勧められている。本手法は(株)ガステックが開発したもので、測定にはヘドロテック-Sと検知管を用いる。測定方法はガステック社のHP (<http://www.gastec.co.jp/>)を参照されたい。また、全国漁業協同組合連合会より測定マニュアル¹⁰⁾が発行されている。

硫化物量測定値は乾泥1gあたりのイオウ量として示すので、分析に用いた底泥の水分含量を求める必要がある。これには乾燥機(食器乾燥機で代用可)と天秤(少なくとも1mgの精度)を用いる。海面養殖場の底泥中には塩分が含まれるので、脱塩処理を省略するならば塩分補正が必要である。硫化物量は次の式で求まる。

$$AVS(\text{mg/g 乾泥}) = \frac{(WSw \times R \times 1000)}{WSs(1000+S)} \times DSw - S \times WSw$$

ここで、 WSw は水分含量測定用湿泥重量、 DSw は水分含量測定用乾泥重量、 WSs は硫化物量測定用湿泥重量、 S は塩

分(通常34前後)および R は検知管読み値。

求められる気概とスキル

養殖業は養殖廃物の処理を自然の浄化力に頼って成り立つ産業である。畜産家に家畜屎尿の処理義務があるように、養魚家には養殖廃物が環境に及ぼす影響を最小限に止める責務がある。現時点では検知管法による底泥の硫化物量測定が最も簡便で精度の高い漁場環境の評価法であり、これを用いた環境モニタリングを養魚家自ら行う気概とスキルが求められる。

一方、持続的養殖生産確保法に基づいて定められた硫化物に関する基準には不備がある。早急な改訂を望みたい。

文献

- 1) 水産庁(監)(2000): 持続的養殖生産確保法関係法令集. 成山堂書店.
- 2) (社)日本水産資源保護協会(2008): 漁場改善計画・運用のための手引書(指導者編)(<http://www.fish-jfrca.jp/01/pdf/other/tebiki.pdf>より入手可能)。
- 3) 平田八郎, 門脇秀策(1990): 適正利用基準. 酸素収支. 海面養殖と養魚場環境. pp.28-38, 恒星社厚生閣.
- 4) 畑幸彦(1969): 底土中の硫化物. 沿岸海洋研究ノート, 7, 14-18.
- 5) Omori K, Hirano T, Takeoka H(1994): The limitations to organic loading on a bottom of a coastal ecosystem. *Mar. Pollut. Bull.*, 28, 73-80.
- 6) 全国かん水養魚協会(1995): 魚類養殖対策調査事業報告書.
- 7) 全国漁業協同組合連合会(1999): 平成10年度海面養殖業高度化推進事業 養殖漁場改善推進委員会報告書.
- 8) 阿保勝之, 横山 寿(2003): 三次元モデルによる「底泥の酸素消費速度に基づく養殖環境基準」の検証と養殖許容量推定の試み. 水産海洋研究, 67, 99-110.
- 9) Yokoyama H, Ueda H(1997): A simple corer set inside an Ekman grab to sample intact sediments with the overlying water. *Benthos Res.*, 52, 119-122.
- 10) 全国漁業協同組合連合会, 全国かん水養魚協会(2002): 硫化物の簡易測定法マニュアル.