

# 大分県豊後水道沿岸域における養殖漁場の合成指標による底質評価

岩野 英樹

## Estimation of Sediment by Composite Index in Aquaculture Farm along the Coastal Area of Bungo Channel, Oita Prefecture

Hideki Iwano

西日本の沿岸域で短期間のうちに普及したブリ *Seriola quinqueradiata* に代表される魚類養殖業は、底質環境の悪化からくる様々な好ましくない問題を招いており、現在、環境の保全と生産性の向上を両立させ、持続性のある養殖可能な環境を保持することが望まれるようになっている。この様なことから、まず第一段階として底質環境の的確な把握が必要とされており、そのための評価手法の研究として、従来の単独環境指標を用いた底質評価に加えて、これら複数を組み合わせる総合的に評価する合成指標に関する研究<sup>1) 2) 3) 4)</sup> がなされており、非常に意義深いものと思われる。

そこで、養殖が持続可能な環境を保持するための基礎資料を得ることを目的に、養殖漁場環境調査における底質データを用いて作成した合成指標により底質評価を行った結果、若干の知見を得たので報告する。

なお、本稿を取りまとめるにあたり御指導ならびに御校閲をいただいた大分県海洋水産研究センター上城義信養殖環境部長及び現場調査などの研究実施に御協力いただいた養殖環境部の方々に厚く御礼を申し上げます。

### 材料と方法

1989年度から1996年度の8年間の養殖漁場環境調査の結果から得られたデータを用いた。底質調査は、毎年8月に1回、図1に示す調査点で行った。分析資料は、エクマンバージ採泥器により採泥した後、表層泥を採取し分析試料とした。分析は、強熱減量が450℃・2時間の加熱、CODがアルカリ性過マンガン酸カリ・ヨウ素滴定法<sup>5)</sup>、全硫化物が検知管法<sup>6)</sup>により行った。

各分析項目毎に求めた全調査点の標準偏差と平均値によりデータの標準化を行った後、この標準化データ

を用いた相関行列による主成分分析の結果から底質環境を評価した。

### 結果及び考察

#### 1 底質評価のための合成指標と基準値の作成

COD、全硫化物の各調査点における1989年度～1996年度の平均値、標準偏差を図2、図3に示した。CODの平均値は、1.89～52.15mg/g・乾泥の範囲で、

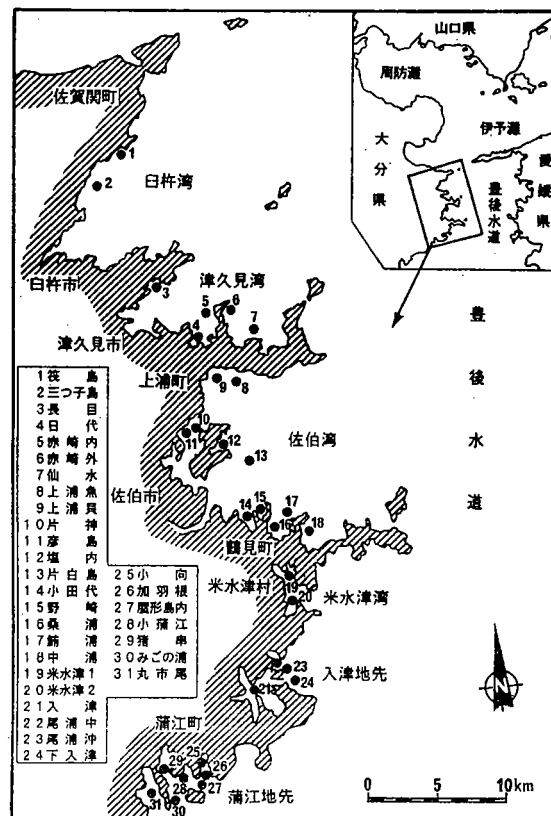


図1 養殖漁場環境調査地点  
調査地点番号(数字1～31)と地区名

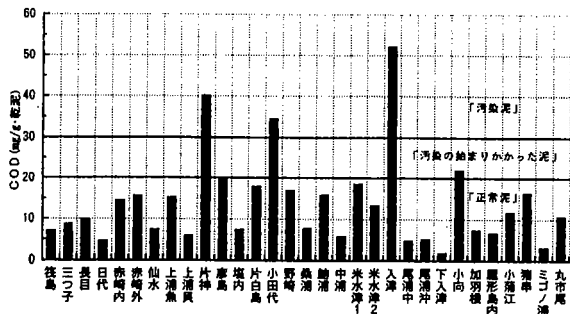


図2 各調査点の底泥CODの平均値 (1989年度～1996年度の平均値)

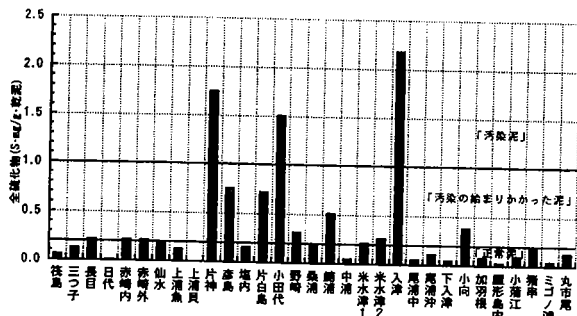


図3 各調査点の底泥全硫化物の平均値 (1989年度～1996年度の平均値)

また全硫化物の平均値は、0.00～2.18mg/g・乾泥の範囲で推移した。底質環境の評価に一般的に用いられている水産用水基準<sup>7)</sup>により各調査点の評価すると、CODの平均値が水産用水基準(20mg/g・乾泥<sup>7)</sup>を越え「やや汚染された泥」～「汚染泥」に該当された調査地点は、片神、彦島、小田代、入津、小向の5点、全硫化物の平均値が水産用水基準(0.2mg/g・乾泥<sup>7)</sup>を越え「やや汚染された泥」～「汚染泥」に該当された調査地点は、長目、赤崎内、赤崎外、仙水、片神、彦島、片白鳥、小田代、野崎、桑浦、鮪浦、米水津1、米水津2、入津、小向の15点であった。

次に、平成7年度底質環境評価手法実用化調査報告書<sup>2)</sup>の方法に準じて、COD、全硫化物、強熱減量の3項目による合成指標を作成し、その結果及び基準値について検討した。

各分析項目の1989年度～1996年度における分析データの平均値と標準偏差を表1に、3項目による主成分分析の結果を表2に示した。主成分分析の結果、第一主成分の固有ベクトルの値は、0.533～0.607の範囲内にあり、第一主成分は3項目の情報が極端に偏ることなく均等に反映されているものと考えられた。また、第一主成分の固有ベクトルは、3項目とも正

表1 底質測定項目の平均値と標準偏差 (1989年～1996年)

|      | 平均値   | 標準偏差  |
|------|-------|-------|
| 強熱減量 | 3.57  | 2.57  |
| COD  | 13.75 | 13.12 |
| 全硫化物 | 0.35  | 0.63  |

表2 標準化データによる相関行列を用いた主成分分析 (1989年～1996年)

|             | 第1主成分 | 第2主成分  | 第3主成分  |
|-------------|-------|--------|--------|
| 強熱減量の固有ベクトル | 0.533 | 0.835  | -0.134 |
| CODの固有ベクトル  | 0.607 | -0.267 | 0.748  |
| 全硫化物の固有ベクトル | 0.589 | -0.481 | -0.650 |
| 固有値         | 2.349 | 0.471  | 0.180  |
| 寄与率         | 0.783 | 0.157  | 0.060  |
| 累積寄与率       | 0.783 | 0.940  | 1.000  |

の値を示し、また各分析項目の値も正の値を示し、汚染が進行するに従ってその値も大きくなるため、第一主成分も、汚染が進行するに従い大きくなる可以说える。また第一主成分の寄与率は、0.783であり、第二、第三主成分に比べて、元のデータの情報集約度が非常に高く、変動のほとんどを第一主成分のみで説明できるものと思われた。以上のことから第一主成分を底泥の汚染の大きさを表す指標(合成指標)として、以下の式で表すこととした。

$$\text{合成指標値} = 0.533 \times (\text{強熱減量} - 3.57) / 2.57 + 0.607 \times (\text{COD} - 13.75) / 13.12 + 0.589 \times (\text{全硫化物} - 0.35) / 0.63$$

合成指標の判定基準は、ベントスの多様度指数等の生物情報との対応関係から検討するのが望ましいと考えられる。しかし今回の調査結果には、生物情

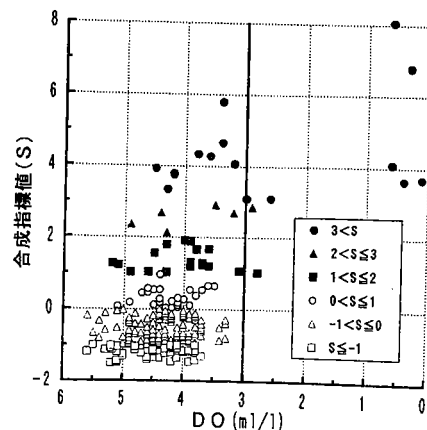


図4 合成指標値(S)と底層DOとの対応関係

報を含んでいないため、生物の生存に大きな影響を及ぼすと思われる底層DO値との対応関係から、合成指標値の判定基準について検討した。合成指標と底層DO値との関係を図4に示した。内湾漁場の夏季底層において最低限3ml/lのDO濃度を維持しなくてはならないと言われており<sup>8)</sup>、これを下回る様な貧酸素傾向は、合成指標が1を越えた値から見られている。しかし、合成指標値に対する夏季底層のDO値の変動は大きく、一定の強い対応関係は見られないことから、底層DO値との対応関係から判定基準を作成することは難しいものと考えられた。

そこで、底質評価の基準として一般的に用いられている水産用水基準<sup>7)</sup>と合成指標との対応関係から基準値の作成について検討することにした。全硫化物と合成指標の関係を図5に、CODと合成指標の関係を図6に示した。

全硫化物の水産用水基準<sup>7)</sup>は、「汚染の始まりかかった泥」が0.2~1.0mg/g・乾泥、「汚染泥」が

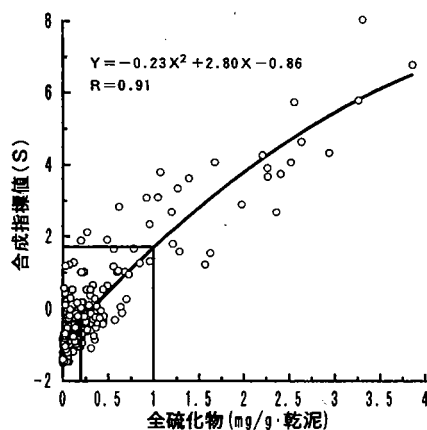


図5 合成指標値 (S) と全硫化物の関係

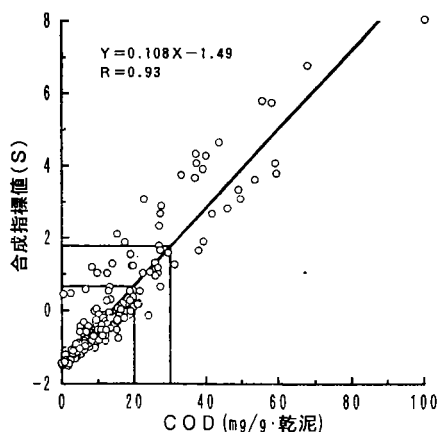


図6 合成指標 (S) とCODの関係

1.0mg/g・乾泥以上であり、これらの基準に対応する合成指標の値は、それぞれ-0.48~1.71、1.71以上であった。同様に、CODの水産用水基準<sup>7)</sup>は、「汚染の始まりかかった泥」が20~30mg/g・乾泥、「汚染泥」が30mg/g・乾泥以上であり、同様に合成指標の値は、それぞれ0.67~1.75、1.75以上であった。「汚染泥」に該当する合成指標の値は、概ね1.7の同程度の値を示したことから、これに基づき「汚染泥」の判定基準を1.5以上とした。一方、「汚染の始まりかかった泥」の水産用水基準<sup>7)</sup>に対応する合成指標の下限値は、全硫化物が-0.48、CODが0.67であり、概ね1程度の違いが見られている。ところで、比較的泥分率の低い砂質の底質では、エクマンバージ採泥器の船上への引き上げ中に表層泥が流失し、分析試料として表層泥を採取できない場合がある。また、0-1cm層の表層泥の全硫化物の値は、0-1cm層より深い泥層に比べて小さい<sup>9)</sup>ため、表層泥の流失により0-1cm層より深い層を分析資料とした場合、値を過大評価する可能性がある。逆に、0-1cm層の表層泥の強熱減量の値は、0-1cm層より深い採泥層に比べて大きく<sup>9)</sup>、CODについても同様のことが考えられる。したがって、0-1cm層より深い層を分析試料とした場合、値を過小評価する可能性がある。これらのことが判定基準に1程度の違いを生じさせた原因として考えられた。そこで、全硫化物の過大評価を修正するため判定基準を上方の緩い方へ、CODの過小評価を修正するため判定基準を下方の厳しい方へそれぞれ約0.5づつシフトして、「汚染の始まりかかった泥」の判定基準の下限値を0とすることにした。以上の結果、「正常泥」の判定基準を合成指標<0、「汚染の始まりかかった泥」の判定基準を0≤合成指標<1.5、「汚染泥」の判定基準を1.5≤合成指標に決定した。

## 2 合成指標を用いた底質評価及び、内湾性指標との関係

各調査点の底質を合成指標の平均値と判定基準により評価するため、1989年度~1992年度までの4年間(前期)と1993年度~1996年度までの4年間(後期)の2期に分けて、その平均値と標準偏差を図7に示した。

白杵・津久見湾の各調査点のうち、筏島、三つ子、長目、日代、仙水は、前・後期ともに「正常泥」に該当した。また、赤崎内の前期、赤崎外の前・後期は、「汚染の始まりかかった泥」に該当した。佐伯湾の各調査点のうち、上浦貝、塩内、桑浦、中浦は、前・後期とも「正常泥」に該当した。上浦魚、野崎は後期に、

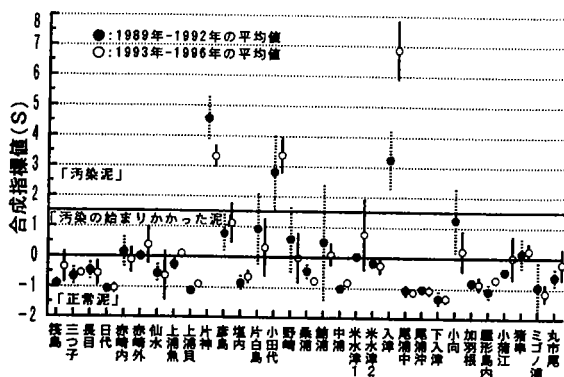


図7 合成指標による各調査点の底質評価

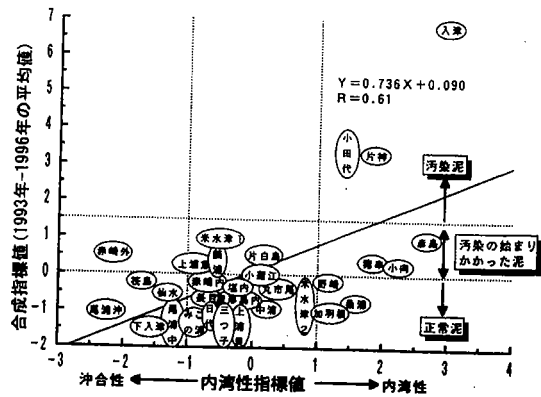


図8 合成指標と内湾性指標の関係

彦島, 片白島, 鮎浦は前・後期ともに、「汚染の始まりかかった泥」に該当した。片神, 小田代は, 前・後期ともに「汚染泥」に該当した。米水津湾・入津地先の調査点のうち, 尾浦中, 尾浦沖, 下入津は, 前・後期とも「正常泥」に該当した。米水津の2調査点のうち, 米水津1の後期で「汚染の始まりかかった泥」に該当した他は, 「汚染の始まりかかった泥」に近い「正常泥」に該当した。入津は, 前期・後期とも「汚染泥」に該当した。蒲江地先の調査点のうち, 加羽根, 屋形島内, ミゴノ浦, 丸市尾の前・後期, 小蒲江の前期は, 「正常泥」に該当し, 小向, 猪串の前・後期, 小蒲江の後期は, 「汚染の始まりかかった泥」に該当した。また, 各調査点における前期と後期の経年変化を, 平均値のt検定( $P < 0.05$ )により検討した。その結果, 上浦貝, 中浦, 入津, 屋形島内の4調査点において, 前期と後期で有意差が認められたものの, 判定結果が変わるほどの劇的な変化は認められていない。また, 赤崎内, 上浦魚, 野崎, 米水津1, 小蒲江の5点については, 統計的に有意差は認められないものの, 前・後期の値が基準値のボーダーライン付近にあり, 若干の変化で前期と後期の判定に違いが見られるという結果になった。この様に, 今回の評価手法を用いた結果によると, 前期と後期では同程度の汚染状況で経過し, 底質汚染の経年的な変化は確認できなかった。

次に, 底質汚染と漁場の海水流動との関係を調べるために, 合成指標と内湾性指標<sup>10)</sup>との関係を図8に示した。各調査点毎の負荷量や生産量と底質汚染を表す合成指標との関係を考慮していないものの, 底質汚染を表す合成指標と海水流動の強弱を表す内湾性指標の間には正の相関( $P < 0.05$ )が見られ, 一般に言われている内湾性の漁場ほど底質汚染が進みやすいという結果と一致し, 底質汚染に及ぼす漁場

の内湾性(海水流動)の影響が大きいことが窺えた。しかし, 内湾性の調査点にありながら「正常泥」に維持されている桑浦, 加羽根や, 逆に沖合性の調査点にありながら「汚染の始まりかかった泥」に該当している赤崎外などが見られており, これらのことは, 沖合性の漁場に比べて環境容量が小さい内湾性の漁場でも, 環境容量の範囲内で養殖を行えば, 底質を正常に維持することが可能であり, 逆に内湾性の漁場に比べて環境容量が大きい沖合性の漁場でも, 環境容量を超えて養殖を行えば, 底質汚染を招く可能性があるということの裏付けと思われ, 一般に言われている「持続的な漁場利用のためには, 漁場の持つ環境容量の範囲内で適正に利用することの重要性」を改めて再認識する結果となった。

### 3 今後の展開

これまで, 合成指標を用いた底質汚染の現状評価について述べてきたが, この現状評価の後に行わなければならない改善策のためには, 具体的な環境容量に関する提言が必要となってくる。この提言のための方法として, 武岡・大森<sup>11)</sup>による理論が有効である<sup>12)</sup>と言われている。この理論は, 全硫化物濃度と底泥の酸素消費速度との対応関係から求めた全硫化物濃度の限界値を漁場の基準値として設定し, この基準値と実測値とのバランスにより望ましい負荷量を定量的に提示できるものであり, 漁場の持続的な適正利用のために漁業者自らが行える簡易な管理手法となる可能性を秘めているものと期待されている。しかし, この理論の普遍的な実用化に向けては, 酸素消費速度の測定方法, 測定時期, 海水交換速度による漁場の類型化などの技術的問題点<sup>13)</sup>の解決に加えて, 各漁場毎に投餌量等の養殖負荷量に関する実態を把握する体制整備が必要不可欠である。

ところで、現在示されている合成指標のうち、新合成指標1(Z1)<sup>1)</sup>は、泥分率、COD、全硫化物、TN、マクロベントスの多様度指数の5項目により、新合成指標2(Z1')<sup>1)</sup>は、泥分率、強熱減量、全硫化物、多様度指数の4項目により、底質環境評価手法実用化調査報告書<sup>2)</sup>の中で示されている合成指標は、泥分率、強熱減量、全硫化物、COD、多様度指数の5項目により合成されている。いずれの合成指標も、流動や物の溜まり易さの情報(泥分率)、有機物量の情報(COD、強熱減量、TN)、底質の酸化還元状態の情報(全硫化物)、底生生物の情報(多様度指数)の4つの情報をすべて備え、底質環境を総合的に評価している点で共通している。しかし、本報告では、流動に関する情報と底生生物に関する情報が不足しており、特に底生生物に関する情報は重要と思われる。今後これらの分析項目を加えた調査の実施により、合成指標の再検討を行い、併せてその基準値についても、生物情報との対応関係から設定したいと考えている。

### 摘 要

1) COD、全硫化物、強熱減量の3項目の標準化データをを用いた相関行列による主成分分析を行った結果、第一主成分は底質汚染の大きさを表し、以下の式で表された。

$$\text{第一主成分} = 0.533 \times (\text{IL} - 3.57) / 2.57 + 0.607 \times (\text{COD} - 13.75) / 13.12 + 0.589 \times (\text{TS} - 0.35) / 0.63 = \text{合成指標}$$

2) 合成指標の判定基準は、水産用水基準との対応関係から検討した結果、以下のとおりとなった。

|               |                |
|---------------|----------------|
| 「正常泥」         | 合成指標 < 0       |
| 「汚染の始まりかかった泥」 | 0 ≤ 合成指標 < 1.5 |
| 「汚染泥」         | 1.5 ≤ 合成指標     |

3) 各調査点の底質環境の評価を、合成指標とその判定基準に従った結果、1993年～1996年(後期)は、「汚染泥」が入津、小田代、片神の3調査点、「汚染の始まりかかった泥」が、彦島、小向、猪串、片白島、米水津1、鮪浦、上浦魚、赤崎外の8調査点となった。

4) 合成指標と内湾性指標の間には正の相関(P < 0.05)が見られ、内湾性の漁場ほど底質汚染が進みやすく、底質汚染に及ぼす漁場の内湾性(海水流動)の影響が大きいことが窺えた。

### 文 献

- 1) 日本水産資源保護協会：平成6年度底質環境保全調査報告書，1995，17-36.
- 2) 日本水産資源保護協会：平成7年度底質環境評価手法実用化調査報告書，1996，5-13.
- 3) 辻野 陸，玉井恭一：大阪湾の底質環境とメイオベントスの分布，南西水研研報，29，87-100(1996).
- 4) 江藤拓也，佐藤博之，神菌真人：夏季の周防灘の底質環境とマクロベントスの分布，福岡県水産海洋技術センター研究報告，8，107-112(1998).
- 5) 日本水産資源保護協会：水質汚濁調査指針，恒星社厚生閣，東京，1980，pp. 244-245.
- 6) 日本水産資源保護協会：水質汚濁調査指針，恒星社厚生閣，東京，1980，pp.256-257.
- 7) 日本水産資源保護協会：水産用水基準，1995，pp66-68.
- 8) 日本水産資源保護協会：水産用水基準，1995，pp16-17.
- 9) 大分県海洋水産研究センター：平成8年度養殖漁場適正管理推進事業報告書，1997，11.
- 10) 岩野英樹：大分県豊後水道沿岸域における養殖漁場の水温、塩分から見た環境特性，大分県海洋水産研究センター調査研究報告，2，(1998)，掲載予定.
- 11) 武岡英隆，大森浩二：底質の酸素消費速度に基づく適正養殖基準の決定法，水産海洋研究，60(1)，45-53(1996).
- 12) (社)全国かん水養魚協会：魚類養殖対策調査事業報告書(養殖ガイドライン作成検討調査)，1995，pp9-12,16-17.