

## 沿岸域の底質環境によるマコガレイ幼稚魚の生息場の評価

神山 孝史・板岡 睦・東海 正\*  
阪地 英男・会沢 安志

### Estimation of Suitable Environment for Nursery Ground of Juvenile Marbled Flounder, *Pleuronectes yokohamae* in Coastal Water

Takashi KAMIYAMA, Mutsumi ITOOKA, Tadashi TOKAI\*,  
Hideo SAKAJI and Yasushi AIZAWA

The sediment condition and near-bottom environment were investigated at the coast of Hikari City, in Suo-Nada, the Seto Inland Sea, in April 1985 and March 1989. The suitable nursery ground of marbled flounder was estimated by analyzing the relationship of the results of environmental conditions and the distribution of juvenile marbled flounder settled in the study area. The environmental conditions were based on water depth, near-bottom salinity, sediment properties (mud content, total sulfide, ignition loss and ratio of C/N) and biomass of meiobenthos (nematoda, polychaeta and copepoda). Multiple regression of converted data by principal components analysis was used in analyzing the data.

The predicted equation indicated that the suitable nursery ground is a shallow place, where bottom component is sandy and organic content is low, and where polychaeta of meiobenthos is abundant. In the study area, environmental conditions showed that shallow places around the river mouth were suitable for juvenile marbled flounder.

**Key words:** *Pleuronectes yokohamae*, nursery ground, bottom environment, multivariate analysis

マコガレイ *Pleuronectes yokohamae* は日本の沿岸漁業の主要漁獲対象種であり、種苗放流事業の対象となるなど産業価値の高い魚種である。近年、瀬戸内海ではイシガレイを含めたカレイ類の漁獲量が減少傾向にあり、漁業資源の枯渇が憂慮されている（正木 1986）。その原因のひとつには、沿岸域の開発行為によって幼稚魚の生育場となる沿岸浅海域が減少していることが考えられる（東海区水産研究所 1981）。マコガレイの資源を保護し、安定的な漁業生産を維持していくためには、その幼稚魚の生育場としての環境を明確にし、保全していく必要がある。特に、急激に個体数が減耗する着底期の生息環境を把握することは重要であるが、その情報は断片的なものに限られてきた（遊佐 1979, 南 1981）。

本報告では、マコガレイ幼稚魚の着底期の生育場に適切な底質環境を抽出するため、マコガレイの着底期における分布状況とその底質環境を把握して、両者の関係を定量的に解析した。なお、ここで定義する底質環境とは水深、近底層の海水環境、海底堆積物の物理化学的性状および幼稚魚の餌料となる微小底生生物（メイオベントス）の生息状況を指すものとする。

## 材 料 と 方 法

1985年2～7月に山口県光市沖で小型底びき網（ビーム長3m，魚捕部が網目幅8mmの無結節網地からなる餌料曳網）による試験操業を行った（Fig. 1）。採集されたマコガレイは基準曳網（2ノット15分間の曳網）当たりの尾数として表した。また，同海域における底質環境の分布調査は同年4月に行われ（神山・会沢 1986），さらに，水深10m以下の浅海域を含めた同海域の調査を1989年3月8～11日に実施した。調査には南西水研所属の調査船しらふじ丸とその搭載艇を使用した。

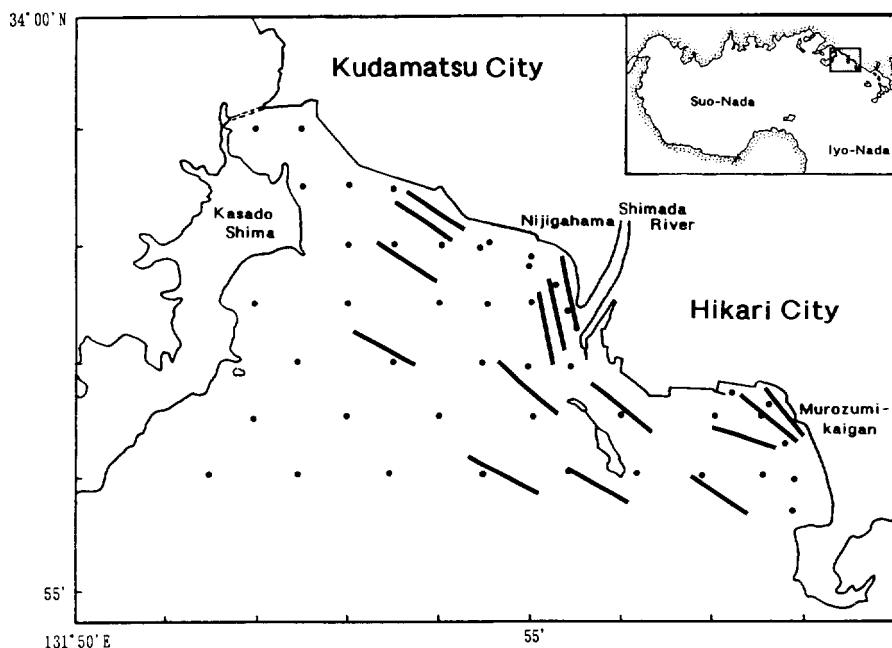


Fig. 1. Location of sampling stations for sediment and meiobenthos, and sampling lines of juvenile marbled flounder by coastal small beam trawl.

生物関連以外の底質環境項目は，水深，近底層の水温，塩分，溶存酸素および底泥の温度，水分，粒度分布から求めた泥分率（粒径  $63\mu\text{m}$  以下の割合），全硫化物量（TS），強熱減量（IL），化学的酸素消費量（COD），全炭素量（TC），全窒素量（TN），TC と TN の比（C/N）である。近底層の水温，塩分は，コアー採泥器によって得られた底泥直上水をポータブル ST 計（YEO-KAL MODEL 602）によって測定し，溶存酸素はウインクラー変法に従い測定した。海底堆積物の採取は径 7.3 cm のコアー採泥器によって行い，得られた海底表層から 5 cm 深の試料を凍結保存し，後日，常法（日本水産資源保護協会 1980）にしたがって上記各項目の分析を行った。ただし，TS は検知管法，COD は過マンガン酸カリウムアルカリ法，TC と TN は CHN コーダー（柳本 MT-3 型）によって測定した。生物関連の底質環境項目は，メイオベントスの分布密度である。内径 7.3 cm のコアー採泥器によって得られた表層 5 cm 深の泥試料から，フルイ目

合で 1 mm を通過し、 $63\mu\text{m}$  に残る生物をメイオベントスとして計数した。なお、上記の環境項目の中で、塩分は 3 月の調査で新たに加えられた項目である。

これら底質環境とマコガレイ幼稚魚の分布との関連の解析には、マコガレイ幼稚魚の採集尾数を目的変数、底質環境項目を説明変数とする重回帰分析法を用いた。ただし、通常、環境項目間には強い相関関係が存在する。それを考慮し、各説明変数のより精確な係数を得るため、ここでは主成分回帰法 (CHATTERJEE and PRICE 1977) を用いた。この方法は、相関の強い環境項目を互いに無相関のいくつかの主成分にまとめて説明変数間の従属性を除去した後に、重回帰分析によって予測式を導くものである。この方法によって、マコガレイ幼稚魚の着底場にかかわる環境項目を抽出するとともに、その場の着底場としての価値を数量化した。

## 結 果

1985 年におけるこの海域の試験操業結果より、マコガレイ幼稚魚は体長約 9 mm から着底が始まり、3 月と 4 月が着底の最盛期と推定された (東海他 1988)。3 月と 4 月におけるマコガレイ幼稚魚の採集尾数を平均し、分布を Fig. 2 に表した。その結果、マコガレイ幼稚魚は島田川河口域を中心とする浅海域に集中して分布し、沖合域に少ない傾向がみられた。

また、この海域における 3 月と 4 月の平均的な状態として底質環境を把握するため、両時期 (神山・会沢 1986) の底質環境項目の測定値を平均し、その主な分布を Figs. 3, 4 に表した。ただし、近底層塩分は 3 月の結果から求めた。近底層の水温および DO は、調査点間の差が非常に小さかった。塩分は沿岸で低く、沖合で高い傾向が若干みられるものの、河川水の直接の影響は認められなかった。泥温は全点でほとんど差がなかった。底泥の水分含有率、泥分率、IL,

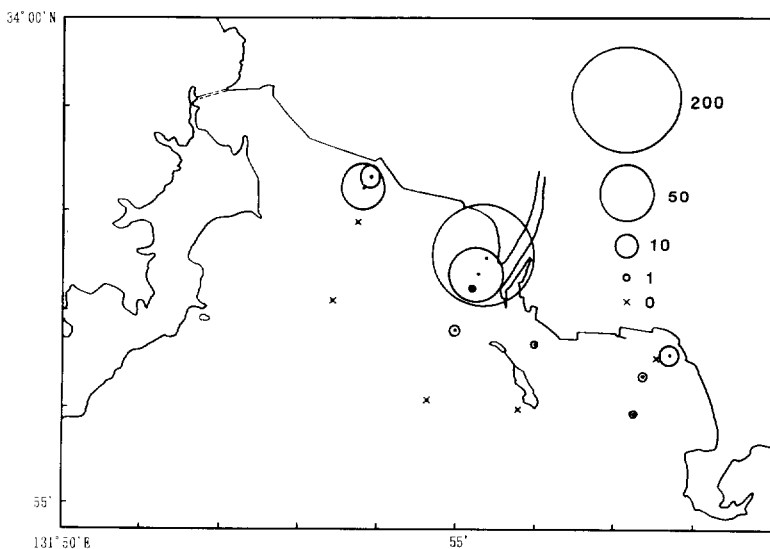


Fig. 2. Distribution of the catch per unit haul of juvenile marbled flounder by coastal small beam trawl. Circles are values of average data in March and April, 1985.

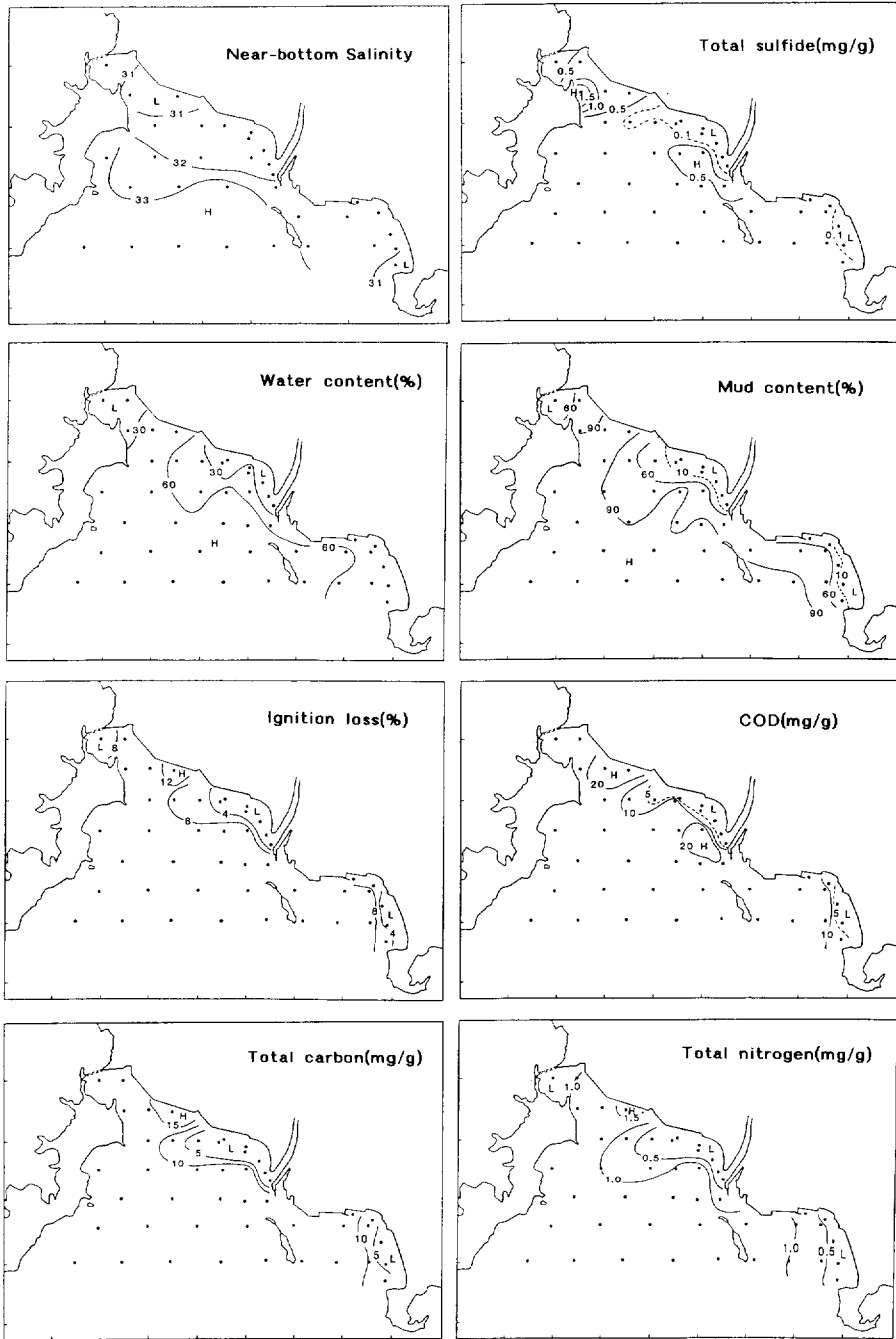


Fig. 3. Sediment properties and near-bottom environment. Mud content is weight percentage of fine fraction (finer than  $63 \mu\text{m}$  in diameter). Sediment parameters are made of mean values of data in April 1985 and March 1989, and near-bottom salinity in March 1989.

COD, TC, および TN は、虹が浜と室積海岸付近で低く、沖合に向かうほど高くなる傾向がみられた。特に、どの項目も虹が浜北西の埋立地沖が特異的に高くなっていた。これは、この付近が浚渫によって深くなり、流れの停滞域となっているためと考えられる。C/N や TS はおおむ

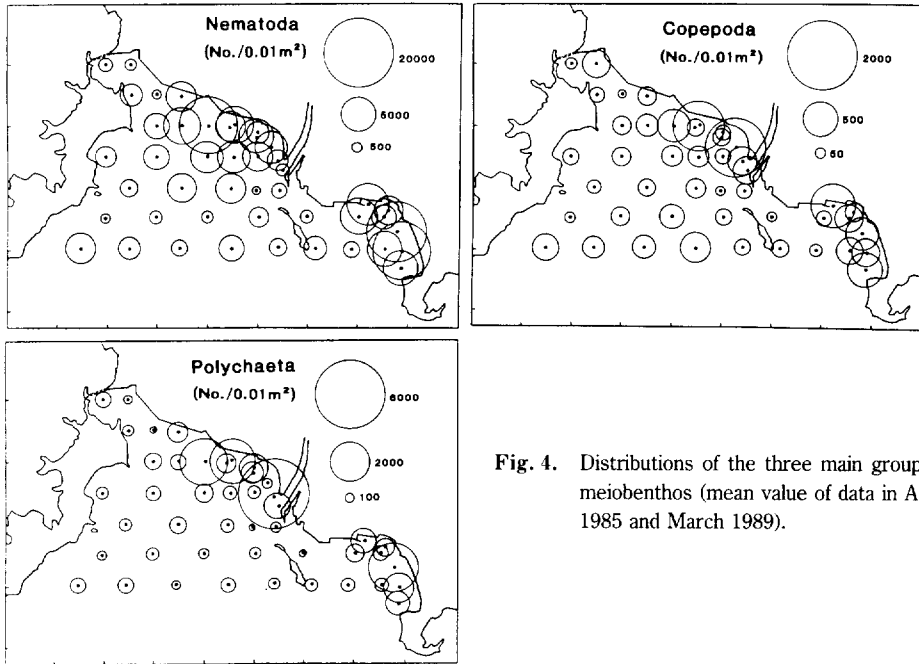


Fig. 4. Distributions of the three main group of meiobenthos (mean value of data in April 1985 and March 1989).

ね上記の底質環境項目と同じ傾向にあったが、前者は笠戸島北側の海峡部で高い値を示し、後者は埋立地沖から笠戸島よりおよび河口周辺部で高い値が表れたことが特徴的である。メイオベントスのほとんどは、線虫類、多毛類および橈脚類で占められ、これらの個体数密度は島田川河口付近や室積海岸沖で高い値を示した。特に、この分布の傾向は多毛類、橈脚類で顕著であった。

以上のように、この海域でのほとんどの底質環境項目は、島田川河口から西方の虹が浜に向い、あるいは室積海岸付近から沖合域に向い傾斜をもった分布の傾向を示していた。この傾向は、先に示した着底期のマコガレイ幼稚魚の分布と類似しており、その生息条件が底質環境に強く影響を受けている可能性を示唆している。

### 解析および考察

マコガレイ幼稚魚の着底場と底質環境との関係を解析するためには、対象とする底質環境項目をしほり込む必要がある。今回対象とした環境調査項目のうち水分含有率と泥分率の相関や、IL, COD, TC, TN の相互の相関係数は非常に強い (Table 1)。前者はいずれも海底の海水交換に由来する項目であり、後者はどれも有機物関連指標となる項目である。したがって、ともにどれか1つの項目をとれば、両者の示す環境情報が指数化され、両者のどの項目を採用しても、解析結果に大きな影響を及ぼさないと予想される。そこで、ここでは最も一般的な項目である泥分率と IL をそれぞれの代表として用いてみた。また、底層の水溫, DO, 泥温は、どれも地理的な分布の差がほとんどなかったため、解析に用いなかった。以上のことから、解析に用いた底質環境項目は水深 m (WD), 塩分 (SAL), 泥分率 % (MUD), 硫化物 mg/g (TS), 強熱減量 % (IL),

**Table 1.** Correlation coefficients between sediment properties based on water content, mud content and indicators of organic materials

	WC	MUD	IL	TC	TN	COD
WC		0.939	0.966	0.899	0.944	0.857
MUD			0.956	0.910	0.955	0.872
IL				0.967	0.975	0.914
TC					0.956	0.919
TN	All paramaters are significant					0.924
COD	at the 0.1% level.					

WC; Water content, MUD; Mud content (finer than 63 μm in diameter), IL; Ignition loss, TC; Total carbon, TN; Total nitrogen, COD; Chemical oxygen demand.

C/N (CN), メイオセントスの線虫類 No./0.01 m<sup>2</sup> (NEM), 多毛類 No./0.01 m<sup>2</sup> (POL), 橈脚類 No./0.01 m<sup>2</sup> (COP) の 9 項目とした。また、マコガレイの試験操業調査点における底質環境データは 3 月と 4 月のその近傍の調査点から比例配分で補間して求めた。これらの項目によって基準曳網当たりのマコガレイ幼稚魚の採集尾数 (Catch per unit haul of marbled flounder; Cmf) を予測する式を導く。

ただし、Cmf のデータは確立分布の歪が大きいので、Log(1+Cmf) と変換したものを目的変数とした (DIGBY and KEMPTON 1985)。また、全てのデータは、各項目毎に平均を引いた値を標準偏差で割って、標準化を行った。これ以後、標準化したデータを説明変数 X<sub>i</sub> (i=wd, sal, mud, ts, il, cn, nem, pol, cop) として示す。

予想される重回帰式を

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_{wd} + b_2 \cdot X_{sal} + b_3 \cdot X_{mud} + b_4 \cdot X_{ts} + b_5 \cdot X_{il} + b_6 \cdot X_{cn} + b_7 \cdot X_{nem} + b_8 \cdot X_{pol} + b_9 \cdot X_{cop} + u \quad \dots(1)$$

とおく。ただし、Y=Log(1+Cmf), b<sub>1</sub>~b<sub>9</sub> は偏回帰係数, u は誤差項である。

ここで、環境項目間には強い相関を示すものがある (例えば X<sub>mud</sub> と X<sub>il</sub>, 表 1) ために、説明変数間に従属性が存在することが予想される。

そこで、各環境項目を 9 個の互いに無相関の主成分 (Z<sub>1</sub>~Z<sub>9</sub>) に変換すると、

$$Y = c_1 \cdot Z_1 + c_2 \cdot Z_2 + \dots + c_9 \cdot Z_9 + u \quad \dots(2)$$

と表される。ただし、c<sub>1</sub>~c<sub>9</sub> は各主成分を変数としたときの偏回帰係数である。

実際に、環境 9 項目間の主成分分析を行い、固有値に注目してみると、第 3 主成分までの値は 1 以上あり、全体の変動に占める累積寄与率は 87% に達している (Table 2)。このため、第 3 主成分までを重回帰式の変数としてとれば、環境 9 項目のもつ主要な情報は、ほぼ満足される (奥野他 1971)。また、第 4 以降の固有値の低い主成分はもとの変数間の従属性を示す情報と推測される (CHATTERJEE and PRICE 1977)。

よって、第 3 主成分までの固有ベクトルから、それぞれの主成分は

**Table 2.** Factor loading, eigenvalue and percentage contribution for environmental parameter and meiobenthos density, calculated from Principal Components Analysis

Environmental parameters	Principal Components				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Water depth	0.3903	0.1594	-0.3133	0.3580	0.0694
Near-bottom salinity	0.3294	-0.4160	-0.1937	0.0104	-0.3767
Mud content	0.4307	-0.0056	-0.0491	0.3365	0.0615
Total sulfide	0.1164	0.3032	0.7712	0.1921	0.2113
Ignition loss	0.4434	0.0737	0.0662	0.3040	0.0054
Ratio of C/N	0.1529	0.5890	-0.2733	-0.4158	0.0133
Meiobenthos					
Nematoda	-0.2027	0.5593	-0.3081	0.2606	-0.1122
Polychaeta	-0.3873	0.0917	0.0953	0.4770	-0.6308
Copepoda	-0.3592	-0.1897	-0.2902	0.4011	0.6279
Eigenvalue ( $\lambda$ )	4.6945	1.9628	1.1742	0.6493	0.2792
Cumulative (%)	0.5216	0.7397	0.8702	0.9423	0.9733

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= 0.3903X_{wd} + 0.3294X_{sal} + 0.4307X_{mud} + 0.1164X_{ts} + 0.4434X_{il} \\
 &\quad + 0.1529X_{cn} - 0.2027X_{nem} - 0.3873X_{pol} - 0.3592X_{cop} \\
 Z_2 &= 0.1594X_{wd} - 0.4160X_{sal} - 0.0056X_{mud} + 0.3032X_{ts} + 0.0737X_{il} \\
 &\quad + 0.5890X_{cn} + 0.5593X_{nem} + 0.0917X_{pol} - 0.1897X_{cop} \\
 Z_3 &= -0.3133X_{wd} - 0.1934X_{sal} - 0.0491X_{mud} + 0.7712X_{ts} + 0.0662X_{il} \\
 &\quad - 0.2733X_{cn} - 0.3081X_{nem} + 0.0953X_{pol} - 0.2902X_{cop} \quad \dots\dots(3)
 \end{aligned}$$

と表される。

各主成分の係数に注目してみると、 $Z_1$ では水深、塩分、泥分率および有機物関連項目が0.3以上の正の係数を示し、生物関連項目がすべて負の係数を示した。このことから $Z_1$ が沖合の泥場の指標となり、メイオベントスの生息に不適な環境要素を表す変数と考えられる。 $Z_2$ では塩分の負、C/Nおよび線虫類の正の係数が注目される。明確な解釈はできないが、 $Z_2$ は河川水の影響を表す主成分であろう。また、 $Z_3$ は硫化物量で0.7以上と大きい係数が認められたため、硫化物量に関連する指標として考えられる。

(3)によって第3主成分までの各調査点の主成分スコアを求め、それを用いて(2)の重回帰式を求めると

$$Y = 0.5952 - 0.2972Z_1 - 0.0548Z_2 + 0.1299Z_3 \quad \dots\dots(4)$$

となる。このときの重相関係数  $R=0.9284$  である。

したがって、(3)、(4)より、この海域のマコガレイ基準曳網当たりの採集尾数 (Cmf) は

$$\begin{aligned}
 Y = \text{Log}(1 + \text{Cmf}) &= 0.5952 - 0.1654X_{wd} - 0.1003X_{sal} - 0.1341X_{mud} + 0.0490X_{ts} \\
 &\quad - 0.1272X_{il} - 0.1132X_{cn} - 0.0104X_{nem} + 0.1225X_{pol} + 0.0795X_{cop}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{wd} &= (WD - 17.5) / 6.5 & X_{cn} &= (CN - 10.64) / 2.39 \\ X_{sal} &= (SAL - 32.01) / 0.82 & X_{nem} &= (NEM - 4033) / 3338 \\ X_{mud} &= (MUD - 63.76) / 31.92 & X_{pol} &= (PLY - 811) / 1056 \\ X_{ts} &= (TS - 0.264) / 0.199 & X_{cop} &= (CPE - 233) / 176 \\ X_{il} &= (IL - 7.70) / 2.79 \end{aligned}$$

によって予測される。

この予測式には各項目間の従属性が除去されている。そこで、各項目の係数に注目すると、マコガレイ幼稚魚の着底場は、水深が浅く、底質が砂地で有機物は少ないがメイオベントス多毛類が多い場所であると解釈できる。

実際に、3月の環境項目の調査結果を用い、より広範囲の海域で上記の予測式によるマコガレイ稚魚の着底場を評価すると Fig. 5 のようになる。この結果から島田川河口付近を中心とする沿岸域が適地として評価できる。なお、予測に用いたデータの範囲から外れる点での信頼性は低いことを注意しなければならない。

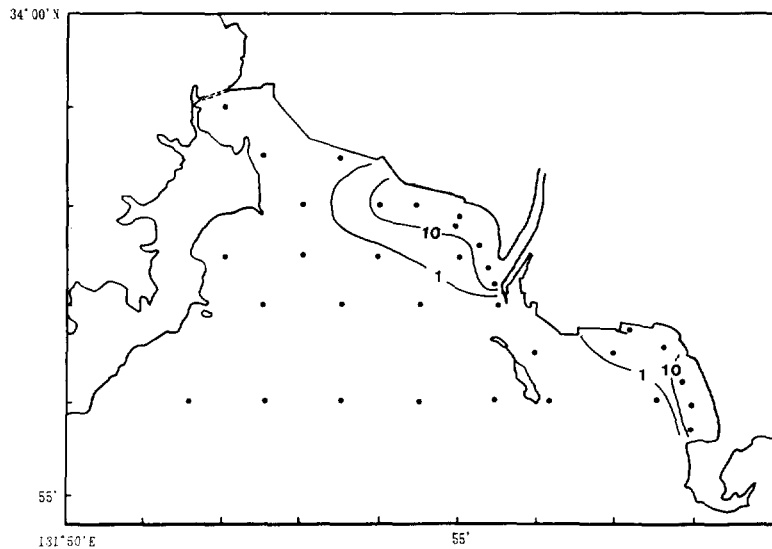


Fig. 5. Predicted suitable place for nursery ground of juvenile marbled flounder. Values are catch per unit haul by coastal small beam trawl.

着底後のマコガレイが岸に近い浅海域に多く分布する傾向は他の海域でも報告されているが、河口付近の低塩分域には生息しないともされている(南 1981)。今回の対象海域における最大の河川である島田川は、3月の近底層塩分の分布から判断すると、通常、河口付近の塩分を大きく下げる程の流量をもたないと推察される。したがって、この海域での河川水は砂質底の形成としての直接的な効果のほか、潮流変化や波浪の影響、または餌料生物への栄養物質の供給という間接的な効果として、着底期のマコガレイ幼稚魚の生息により条件をもたらしていると解釈できる。

このように、今回の結果と解析はこの海域のマコガレイの着底場を大まかに評価できていると



考えられるが、解析に用いたデータの数が十分でないため、これを一般化し、他の海域にも応用するにはさらに多くの検討が必要となる。また、底質環境が幼稚仔の生存に作用するというよりも、異体類幼稚仔の輸送機構には潮汐流が大きくかわり、潮汐流によって受動的に沿岸域へ集積するという可能性もある（南 1985）。今後、より多くの海域での着底初期のマコガレイ幼稚魚の生息調査と底質環境調査を行うと同時に、着底前後の幼稚仔の輸送やその生態に関する知見の集積が必要であろう。

## 文 献

- CHATTERJEE, S. and B. PRICE, 1977: *Regression Analysis by Example*. John Wiley & Sons, Inc., New York.  
[佐和隆光・加納 悟訳, 1981: 回帰分析の実際. 新曜社, 東京, 249 pp.]
- DIGBY, P. G. N. and R. A. KEMPTON, 1985: *Multivariate analysis of ecological communities*. Chapman and Hall Ltd, London, 206 pp.
- 神山孝史・会沢安志, 1986: 生物的環境要因の究明—底生生物の分布と底質環境との関連—. “モニタリング手法の確立に関する調査研究” 昭和61年度報告書, 水産庁, 113-121.
- 正木康昭・伊東 弘・東海 正・山口義昭, 1986: 周防灘産マコガレイの年令と成長. 日水誌, 52(3), 423-433.
- 南 卓志, 1981: マコガレイの初期生活史. 日水誌, 47(11), 1411-1419.
- 南 卓志, 1985: 異体類の初期生活史Ⅳ 輸送機構. 海洋と生物, 36(7), 58-61.
- 日本水産資源保護協会, 1980: 新編 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 552 pp.
- 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉沢 正, 1971: 多変量解析法. 日科技連, 東京, 430 pp.
- 東海区水産研究所, 1981: 三河湾・環境と漁業. 東海区水研業績C集. さかな, 26, 30-160.
- 東海 正・伊東 弘・山口義昭, 1988: 浅海域における魚類の生息生態に関する研究. “モニタリング手法の確立に関する調査研究” 昭和61年度報告書, 水産庁, 35-41.
- 遊佐多津雄, 1979: ヒラメ・カレイ類の生活史と環境. 水産土木, 16, 33-45.