土佐湾の大陸棚および大陸斜面域における底生魚類相の水深別区分

堀 川 博 史・通 山 正 弘

(1985 年 1 月 26 日受理)

Faunal Zones of Demersal Fish across the Continental Shelf to Slope in Tosa Bay, South-Western Japan

Hiroshi HORIKAWA* and Masahiro TORIYAMA*

Data on 47 otter trawls towed at depths of 30 to 400 m in Tosa Bay show demersal fish fauna changes by depth. Results of cluster analysis of the data suggest that three distinct faunal zones exist on the continental shelf (30 to 100 m), upper continental slope (165 to 400 m), and between them (100 to 165 m). Rapid changes of the species recruitment curve mean the species composition of the faunae extensively changes at the two boundaries. Common species among adjacent zones occupy 30 to 40% of the total number of species in each zone. However, the rate is less than 10% between the shelf and the upper slope. These results suggest that the zone from 100 to 165 m is the transitional region between the shelf and the upper slope.

Value of the species diversity is high through the shelf and transitional region, and low on the upper slope. The species diversity is largely affected by species evenness within the faunae, and the low species diversity on the upper slope is mainly attributed to a dominant species, *Chlorophthalmus albatrossis*.

底生魚類の資源研究において、その分布に関する検討は量的な検討とともに不可欠な課題である。我が国太平洋沿岸中・南部域では、すでに横田ら¹⁾によって、底生魚類を対象とする水深別分布に関する研究の水産資源学上の重要性が指摘されていた。しかし、当水域では水深別の漁獲資料が不足していたため、十分な検討が行われず今日に至っている。

一般に底生生物相は水深別にみた場合、まずその大区分として浅海系・深海系に2区分され、その境界は水深100-200 mにある²⁾とされている。近年、深海系の底生無脊椎動物相を主対象とした多くの研究³⁻⁷⁾が行われ、深海系をさらに細分できることが明らかとなった。しかし、資源研究への応用面からは、このような大区分とは別に底生魚類資源にとって重要な水域である大陸棚や大陸斜面上部⁸⁾での詳細な知見が必要である。

以上の観点から、筆者らは土佐湾中央部の大陸棚と大陸斜面上部において、約10年間底生魚類相の調査を行ってきた。今回はこれらの資料を用い、底生魚類相の平均的な分布構造に関して検討を加え、若干の知見を得たので報告する。

材 料 と 方 法

調査水域は、高知港口から磁針方位 160° 沖合の水深 30 m から 400 m にいたる線の西側約 9 km である (Fig. 1)。当水域において、1973 年 1 月から 1983 年 3

Fig. 1. Map showing research area in Tosa Bay. The area surrounded by thick line is divided into 16 depth zones. The intervals of these depth zones are 10 m from 30 to 130 m, 35 m from 130 to 200 and 50 m from 200 to 400 m. The number of trawls at each depth zone are shown in Table 1.

* 南西海区水産研究所 (Nansei Regional Fisheries Research Laboratory, Fisheries Agency, Sanbashi-dori, Kochi 780, Japan).

月にかけて、南西海区水産研究所所属の調査船こたか丸(総トン数 47.48 t)により、両袖間隔 5 m の小型オッターロール網を用いて調査が行われた。なお、このトロール網のコッドエンドの目合は 23 mm である。

当水域では等深線が海岸線とはほぼ平行に走り、同一水深を曳網することは比較的容易である。とくに距岸 20 km 以内、水深 135 m までは 6/1000 の勾配と平坦であるため、水深 10 m ごとの曳網も可能である。しかし、水深 135~180 m では勾配が 11~12/1000 を示し、これより沖合では 34~50/1000 の急斜面であるために、浅海域のように水深 10 m ごとの曳網は困難である。そこで水深 30 m から 130 m 未満の浅海域を水深 10 m ごとの 10 区分し、その沖合の水深 200 m 未満の水域を水深 35 m ごとの 2 区分、さらに沖合の水深 400 m までの水域を水深 50 m ごとの 4 区分し、合計 16 の水深帯を設けた。これらの水深帯で計 47 回、いずれも昼間に各 1 時間トロール網を曳網した。各水深帯ごとの曳網回数を Table 1 に示す。

Table 1. Number of trawls at each depth zone

Zones	Depth range	No. of trawls
Z1	30~40 m	7
Z2	40~50 m	3
Z3	50~60 m	6
Z4	60~70 m	7
Z5	70~80 m	3
Z6	80~90 m	2
Z7	90~100 m	2
Z8	100~110 m	2
Z9	110~120 m	2
Z10	120~130 m	3
Z11	130~165 m	2
Z12	165~200 m	2
Z13	200~250 m	3
Z14	250~300 m	1
Z15	300~350 m	1
Z16	350~400 m	1

採集された標本は、種別に個体数および重量を測定し、水深帯毎に種別の総出現個体数と総重量を計算した。これらの結果のうち個体数に関する資料を用いて、水深帯ごとの SIMPSON の単純度指数 λ ⁹⁾ SHANNON 情報量指数 H' ^{10,11)} および均等性要素多様度 J' ^{11,12)} を計算した。

SIMPSON の単純度指数 λ は次式で示される。

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S n_i(n_j - 1)}{N(N-1)}$$

ここで、 S は 1 試料中の総種数を示し、 N は総出現個体数を示している。また、出現種に 1 から順に適当な番号を付け、その i 番目の種の個体数を n_i で示している。多様度指数としてはその逆数 $1/\lambda$ が用いられることも多

いが、本報では $D=1-\lambda^{13)}$ を用いることとし、これを SIMPSON の多様度指数と呼ぶ。

SHANNON 情報量指数 H' は次式で示される。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

均等性要素多様度 J' は次式で示される。

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

また、各水深帯ごとの種別の総個体数・総重量の資料を用いて、水深帯相互の種組成の類似性を C_π ¹⁴⁾ と $C_{\lambda(W)}$ ¹⁵⁾ を用いて評価した。

C_π は次式で示される。

$$C_\pi = \frac{2 \sum_{i=1}^S n_{1i} n_{2i}}{(\sum \pi_1^2 + \sum \pi_2^2) N_1 N_2}$$

ただし、

$$\sum \pi_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{1i}^2}{N_1^2}, \quad \sum \pi_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{2i}^2}{N_2^2}$$

ここで、比較する 2 試料をサンプル 1・サンプル 2 とし、その総個体数をそれぞれ $N_1 \cdot N_2$ で示している。また、両試料を合計した総出現種に 1 から順に適当な番号を付け、その i 番目の種のサンプル 1 での個体数を n_{1i} 、サンプル 2 での個体数を n_{2i} で示している。なお、ここでの S は両試料を合計した総種数を示している。

$C_{\lambda(W)}$ は次式で示される。

$$C_{\lambda(W)} = \frac{2 \sum_{i=1}^S w_{1i} w_{2i}}{(\lambda_{(W)1} + \lambda_{(W)2}) W_1 W_2}$$

ただし、

$$\lambda_{(W)1} = \frac{\sum_{i=1}^S w_{1i}^2}{W_1^2}, \quad \lambda_{(W)2} = \frac{\sum_{i=1}^S w_{2i}^2}{W_2^2}$$

ここで $W_1 \cdot W_2$ はサンプル 1 とサンプル 2 の総重量を示し、 $w_{1i} \cdot w_{2i}$ は両試料の i 番目の種の重量を示している。

このように C_π と $C_{\lambda(W)}$ は扱う量には差があるものの、式の構造は同一である。本報では個体数・重量両側面からの検討が必要という立場から両指数を用いた。これら両指数で各水深帯相互の種組成の類似性を評価し、クラスター分析として単純連結法¹⁶⁾ (single linkage method) によるデンドログラム (dendrogram) を作成した。

結 果

種多様性 出現種数 S 、SIMPSON の多様度指数 D 、SHANNON 情報量指数 H' および均等性要素多様度 J' の水深別変化を Fig. 2 に示す。これから明らかなように、当水域では D と H' はほぼ同一の傾向を示し、どちらの指数を用いても多様性の評価に差はない。両多様度指

Fig. 2. Plots of number of species (S), SIMPSON's species diversity (D), SHANNON function (H') and evenness component diversity (J') with depth.

Fig. 3. Relationship between SHANNON function (H') and evenness component diversity (J').

数は水深 30-130 m まで高い値を維持し、それ以深で急激に低下し、水深 165-350 m では低い値となっている。しかし、水深 350-400 m の水深帯では再び両指数値が上昇している。均等性要素多様度 J' も上記の両多様度とはほぼ同様の傾向を示しており、Fig. 3 に示したように H' と J' が相関係数 $r=0.972$ と高い正の相関を示していることがわかる。また、 D と J' との相関係数はさらに高く $r=0.992$ である。

種数累積曲線 47 曳網の結果を各曳網の平均曳網水深に従って浅い方から深い方へ並べ、出現種数の累積値

Fig. 4. Cumulative number of species of 47 trawls from 30 to 400 m.

の変化を示した (Fig. 4)。これによると水深 30 m から新たな種が急激に増加するが、水深 70-80 m になるとその傾向がやや鈍化する。水深 100 m を過ぎると再び新たな種が増加するが、水深 140-170 m 間は増加がほとんどない。そして水深 170 m 以深になると再び種数の累積値の増加傾向が認められる。このように、種数累積曲線は階段状の構造を示し、水深 100 m 付近および 170 m 付近を境界として 3 相に区分することができる。

クラスター分析 個体数からみた各水深帯間の種組成の類似関係を Fig. 5 に示す。これによると、大きくみて 30-100 m・100-165 m・165-400 m の 3 つのクラスターを分別することができる。そこで、それぞれを順に

Fig. 5. Dendrogram of relationship among 16 depth zones. Similarity is measured with C_π based on number of individuals. This clustering strategy is single linkage method. NZ and MD denote name of depth zone and mean depth of zone in meter, respectively.

Fig. 6. Dendrogram of relationship among 16 depth zones. Similarity is measured with $C_{\lambda(w)}$ based on weight. This clustering strategy is single linkage method.

第1クラスター・第2クラスター・第3クラスターと呼ぶ。各クラスター内の類似性をみると、第1クラスターでは各水深帯が類似性の低い水準で連結しているが、第2・第3とよりクラスター内の類似性が高まっている。しかし、第3クラスター内の350-400 mの水深帯は、その他の水深帯が C_{π} 値 0.97 と非常に類似性の高い水準で互いに連結しているのに対し、 C_{π} 値 0.76 で連結している。

重量からみた各水深帯間の種組成の類似関係を Fig. 6 に示す。これによると、大きくみて 30-100 m・100-165 m・165-400 m の3つのクラスターを分別することができる。この結果は Fig. 5 の個体数から見た場合と一致している。よって同様に各クラスターを順に第1・第2・第3クラスターと呼ぶ。Fig. 5 と Fig. 6 のデンドログラムは、各クラスター内および各クラスター間の連結パターンにおいては類似しているが、連結する類似度の水準に差が認められる。Fig. 5 では第1・第2・第3クラスターと順に各クラスター内の類似性が高まっているのに対して、Fig. 6 では第2・第1・第3の順となり、第2クラスター内の類似性が低く評価されている。また、各クラスター間においては、第1と第2が連結し、次にそれらと第3クラスターが連結するというパターンには差がないものの、Fig. 6 では Fig. 5 に比べて第1と第2クラスターが類似度のやや高い水準で連結するという差が生じている。

考 察

種多様性 今回使用したオッタートロール網による資

料の他に、同一期間、同一水域でビームトロール網によっても資料が得られている。これらの資料を合計すると、当水域での出現魚種は、85 科・183 属・255 種にのぼる。¹⁷⁾ このような狭い水域で、これだけの種が出現することから見て、土佐湾は底生魚類に関して多様な水域といえよう。

種多様性は水深別にみると大陸棚上では高く、大陸斜面上部では低い (Fig. 2)。また、水深 350-400 m となると再び多様性が上昇する傾向が認められた。ここで用いた SIMPSON の多様度指数 D と SHANNON 情報量指数 H' は、種多様性の2要素、つまり種類の豊富さの程度と、個々の種がどのような割合で個体数を分け合っているかを示す均等性を総合して評価するための指数である。そのため逆に2要素それぞれが多様度指数にどのような影響を及ぼしているかを把握することができない。そこで2要素のうち均等性を評価する指数として均等性要素多様度 J' を計算し、多様度指数との相関を見た (Fig. 3)。その結果、当水域に限っていえば種多様性は均等性に大きく影響を受けていることが判明した。また、Fig. 2 より大陸斜面上部ではそれと異なる個体数の分配様式が存在しているといえよう。大陸斜面上部では採集個体数の約 65% がアオメソ *Chlorophthalmus albatrossis* で占められており、このような卓越した優占種の存在が種多様性低下の主要因と考えられる。

HAEDRICH *et al.*⁶⁾ は北西大西洋での水深 40-4986 m のトロール網による採集結果から、 H' および J' を計算し、megabenthic fauna の種多様度 H' は種類の豊富さよりも優占種の存在に大きく影響を受けていると述べている。東シナ海の大陸斜面域の魚類についても、水深による多様度の差は種数によるよりもむしろ各種に属する個体数が比較的平均化されているか、あるいは特定の種に集中しているかによる。¹⁸⁾ しかし、北西大西洋における底生有孔虫類の調査結果¹⁹⁾では、均等性要素だけではなく種数に関する要素が強く働く場合があり、水深によってこれら2要素の相対的な重要性が変化することが指摘されている。

底生魚類相の水深別区分 本報では、各水深帯間の種組成の類似性を C_{π} と $C_{\lambda(w)}$ で評価し、クラスター分析を行ったが、両者のクラスターの基本的配置には差がなく、ほぼ同様な結果が得られた。これは、今回使用した漁具で採集された底生魚類の個体重には、クラスターの基本的配置に影響を及ぼすほど極端な差がなかったことを意味している。しかし、クラスター間およびクラスター内における連結の水準には差が認められる。とくに Fig. 6 では Fig. 5 に比べ、第2クラスター内の各水深帯が類似度の低い水準で連結しており、クラスター内の

類似性が低く評価されている。第2 クラスター内の重量からみた類似度を大きく左右しているのは、シャチブリ *Ateleopus japonicus* およびニギス *Glossanodon semifasciata* といった第2 クラスターに対応する水深での採集重量からみた最上位種である。これらのうちシャチブリは最も多獲された 100-110 m の水深帯でも掃過面積 1000 m² 当り 2 個体と、個体数からみると密度が比較的低い。しかし、当漁具で採集される他の魚と比べて、平均個体重量が 300~400 g と重いため、個体数から評価した場合と重量から評価した場合で差が生じる結果となる。

結果の項において、とくに個体数から見たデンドログラム (Fig. 5) の場合、第1 クラスター内の各水深帯が類似度の低い水準で互いに連結していることを指摘した。このことは第1 クラスター内にさらに内部構造が存在していることを示唆している。Fig. 5 の第1 クラスターを見ると、水深 50 m 付近を境にして 30-50 m と 50-100 m の2つのサブクラスターが認められるようである。また重量からみた場合 (Fig. 6) でも水深 50 m 付近にサブクラスターの境界が存在するようである。このように、サブクラスターの存在の可能性を指摘することはできるが、より浅い水域での資料が欠除していることや、このような浅海域では季節変動が著しいと予測されることから、今回の資料ではその存在を明確に結論づけることはできない。

前述のように底生魚類相の3つのクラスターは水深に従って区分できるので、以後これらを単に水帯と呼ぶことにする。クラスター分析で示されたこれら3水帯は Fig. 4 に示した種数累積曲線の3相とも良く一致している。第1水帯から第2水帯へ移行する水深 100 m 付近で新たな種が多数出現し、第2水帯から第3水帯へ移行する水深 170 m 付近で再び新たな種の増加がみられている。これはそれぞれの水帯内の固有種やその水帯で浅では出現しない種が、水帯の境界付近で数多く現われるために起こる現象と考えられる。

しかし、これらの明瞭な3水帯はそれぞれ完全に独立したものではない。Table 2 は、各水帯間の共通種数を示したものである。これによると、第1・第2水帯間では共通種は 38 種ある。これはそれぞれの水帯内の総種数の 30-40% にあたる。また、第2・第3水帯間では共通種が 28 種あり、それぞれの水帯内の総種数の約 30% にあたる。このように隣接する水帯間では、種数から見ると 30-40% が重複していることになる。しかし、第1水帯と第3水帯では共通種は7種のみとなり、それぞれの水帯内の総種数の 10% 以下を占めているにすぎない。第2水帯内にはトサダルマ *Psettina tosana*・カワラガレイ *Poecilopsetta plinthus* などの固有種も存在し

Table 2. Number of common species among 3 faunal zones. Faunal zones are inferred from Figs. 5 and 6, and defined in text

	1st-Zone (30-100 m)	2nd-Zone (100-165 m)	3rd-Zone (165-400 m)
1st-Zone	—	38	7
2nd-Zone	—	—	28
3rd-Zone	—	—	—

ているが、隣接するどちらかの水帯と共通な種が総種数の約 7 割を占める。これらの性質から、第2水帯を第1水帯と第3水帯の推移帯と位置づけることができよう。

当水域での海底地形の断面と各水帯との対応を見ると、第2水帯 (推移帯) は大陸棚と大陸斜面との境界を中心とした水深を占めており、その上部の大陸棚上に第1水帯が、その下部の大陸斜面上部に第3水帯が位置している。また、海洋の生物帯区分²⁾に従うと、これらの位置関係から見て、第1水帯は浅海底帯に、第3水帯は上部漸深底帯にそれぞれ相当し、その中間に境界領域として推移帯が存在することになる。

他水域との比較 水深による底生生物相の区分に関しては、近年北西大西洋で多くの研究³⁻⁷⁾がなされている。これらは大陸棚から深海にいたる底生生物相の大区分を行ったものであり、多くは浅海系と深海系の境界をほぼ水深 200 m に置いている。しかし、これらの報告では大陸棚上での測点が極端に少なく、浅海系-深海系の境界付近にはあまり重きを置いていない。また、同じ北西大西洋の North Carolina 沖で、Day *et al.*²⁰⁾ が大陸棚上の底生生物相に関して報告を行っている。これによると底生生物相は水深に従って、3 m 以浅・3-20 m・40-120 m・120-200 m に4区分された。この最後の水帯は、水深から見れば土佐湾の推移帯に相当するが、Day *et al.* はこれを fauna of the upper slope としている。しかし、測点が 200 m 以浅に限られているため、それが推移帯的な性質をもつかどうかは不明である。

北アメリカ西海岸では底生魚類を対象に調査²¹⁾が行われている。当水域では水深に従って、43-73 m・119-199 m・594-1143 m・1383-1829 m の4群集が認められた。しかし、この結果では各群集間に水深の空白部分が多く、時にはそれが水深差で約 400 m にも及ぶ。そのため本報の結果との比較は困難だが、大陸棚縁辺部の 119-199 m に独立した群集を認めていることは注目すべきである。

東シナ海大陸斜面では、井上ら²²⁾が底生魚類群集に関して報告を行い、水深 250 m 以浅を大陸棚群集、250-700 m 深を大陸斜面群集、700 m 以深から海盆底までを

海盆底群集と3区分している。そして大陸棚群集は上層水と対応し、さらに130 m以浅では表層混合水と対応する均質な魚類群を認めている。また、大陸斜面群集のうち亜群集として斜面上部群集(250-500 m)を認めている。このように、井上らは水塊構造と魚類群集との対応を詳細に報告しているが、本報で推移帯と呼ぶような境界領域に関してはふれていない。

一方、堀越²⁾は我が国の底生生物研究を概観し、その上で水塊間の躍層という一種の中間域に中間的性質を帯びた群集が存在することが多いとし、推移帯(中間帯)の存在を指摘している。また、太平洋沿岸中部に位置する駿河湾では、底生魚類を含む底生生物相において、土佐湾と同様な構造が認められている。OHTA²³⁾によると駿河湾では lower shelf zone (130 m 以浅) と upper slope zone (200-400 m) の中間に shelf break zone (142-200 m) が存在する。この shelf break zone は、大陸棚と大陸斜面上部の中間に位置することからみて、土佐湾の推移帯に相当するものと思われる。土佐湾は楕円形の土佐海盆に向ってすり鉢状となった湾であるが、駿河湾は中央に駿河トラフへ連なる細長い海谷をもつ急峻な湾である。このように異なる海底地形をもつにもかかわらず、水深400 m以浅に限れば共通した構造が存在している。これらのことから、少なくとも我が国太平洋沿岸中・南部域では、大陸棚と大陸斜面の中間に推移帯が存在するという可能性を指摘できよう。

さて、本報で用いた資料は約10年間の資料であり、これによって底生魚類相の平均的な分布構造を論じたわけである。しかし、それは年変動・季節変動を無視した静的な構造を取り扱ったにすぎない。これら諸変動を含めた検討は今後に残された課題である。また、構造の水平的な拡がり进行を明らかにするため、各地でのこの種の調査・解析が望まれる。

謝 辞

本報をまとめるにあたって、水産庁南西海区水産研究所の多くの方々に御協力をいただいた。外海資源部第2研究室岸田周三室長には終始有益な御助言をいただき、佐野蘊外海資源部長、本城康至企画連絡室長、上村忠夫前所長には校閲をしていただいた。また、高知大学の岡村収教授には種の査定や原稿作成に関して御助言をいただいた。さらに、調査に際しては、こたか丸日高覺船長

はじめ乗組員各位に多大な御協力をいただいた。これらの方々に謹んで深謝の意を表する。

文 献

- 1) 横田滝雄・工藤晋二・通山正弘・金井富久子: 南水研報, No. 10, 1-47 (1959).
- 2) 堀越増興: 日本海洋学会創立20周年記念論文集, 日本海洋学会, 東京, 1962, pp. 707-723.
- 3) G.T. ROWE and R.J. MENZIES: *Deep-Sea Res.*, **16**, 531-537 (1969).
- 4) H. L. SANDERS and R. R. HESSLER: *Science*, **163**, 1419-1424 (1969).
- 5) R. L. HAEDRICH, G. T. ROWE, and P. T. POLLONI: *J. Marine Res.*, **33**, 191-212 (1975).
- 6) R. L. HAEDRICH, G. T. ROWE, and P. T. POLLONI: *Marine Biol.*, **57**, 165-179 (1980).
- 7) G. T. ROWE, P. T. POLLONI, and R. L. HAEDRICH: *Deep-Sea Res.*, **29**, 257-278 (1982).
- 8) 青山恒雄: 底魚資源(青山恒雄編), 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp. 7-16.
- 9) E. H. SIMPSON: *Nature*, **163**, 688 (1949).
- 10) R. H. MACARTHUR and J. W. MACARTHUR: *Ecology*, **42**, 594-598 (1961).
- 11) E. C. PIELOU: *J. Theoret. Biol.*, **10**, 370-383 (1966).
- 12) E. C. PIELOU: *J. Theoret. Biol.*, **13**, 131-144 (1966).
- 13) E. C. PIELOU: 数理生態学(南雲仁一監訳, 合田周平・藤村貞夫訳), 産業図書, 東京, 1974, pp. 242-244.
- 14) S. KIMOTO: *Esakia*, No. 6, 27-54 (1967).
- 15) M. MORISHITA: *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. E (Biol.)*, **3**, 65-80 (1959).
- 16) 木元新作: 動物群集研究法 I, 共立出版, 東京, 1976, pp. 147-151.
- 17) 堀川博史・通山正弘: 昭和57年度漁業資源研究会議西日本底魚部会報, 水産庁, 東京, 1983, pp. 35-50.
- 18) 岸田周三・北島忠弘: 西水研報, No. 55, 53-63 (1980).
- 19) M. A. BUZAS and T. G. GIBSON: *Science*, **163**, 72-75 (1969).
- 20) J. H. DAY, J. G. FIELD, and M. P. MONTGOMERY: *J. Anim. Ecol.*, **40**, 93-125 (1971).
- 21) D. S. DAY and W. G. PEARCY: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **25**, 2665-2675 (1968).
- 22) 井上尚文・北島忠弘・岸田周三: 水産海洋研究会報, No. 43, 35-41 (1983).
- 23) S. OHTA: *Bull. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo*, No. 15, 1-244 (1983).