

公益信託エスペック地球環境研究・技術基金 平成 19 年度 助成金研究報告書

黒潮親潮移行域におけるウナギ目レプトケパルス幼生の分布特性と
環境変動との対応に関する研究

高橋正知* 望岡典隆

(九州大学大学院農学研究院, * 現・水産総合研究センター中央水産研究所)

背景と目的

黒潮親潮移行域(以下、移行域)は東北地方東方沖に広がる海域で、南からの黒潮系暖水(100m 水温 $>15^{\circ}\text{C}$)と北からの親潮系冷水(100m 水温 $<5^{\circ}\text{C}$)が混合し、複雑な水塊構造を呈する海域である。本海域はマイワシ、マサバ、サンマなどの新規加入量決定の場として、また、好漁場として水産的に極めて重要な海域である(青木, 1992; 青木・寺崎, 1994; 中田・岡崎, 1999; 渡邊, 1999)。さらに本海域は、亜寒帯海域から亜熱帯海域への熱および物質の輸送に大きな役割を果たし、近年地球温暖化の影響が最も顕著に現れる海域の一つと言われ、その水塊構造を把握することで、将来の変動予測につながるものと考えられている(Sakamoto, 2005)。

近年、水塊構造の経年変動を把握するために、様々なプランクトンの指標性が世界的に注目されている(Corten and Lindley, 2003; Beaugrand, 2004)。申請者はこのような環境モニタリングの指標として、ウナギ目魚類のレプトケパルス幼生(以下、葉形仔魚と表記する)を提案している。葉形仔魚は頭部が小さく、体は側偏し透明で、他の仔稚魚に比べ著しく大型になる等の特徴を持ち、ネットサンプルからの識別が容易なイクチオプランクトンである。また、葉形仔魚は海流に長距離輸送されながら長期浮遊生活を送るため、その分布は水塊の影響を強く受けていると考えられる。さらに葉形仔魚は冬季黒潮域では全イクチオプランクトンの20%を占めるほど多量に出現し(Sokolovski, 1975)、外洋域の生物多様性および生態系の把握をする上で重要な位置を占めている。以上のことから、葉形仔魚は今後の環境変動予測において強力なツールとなると期待される。

これら葉形仔魚期を持つ魚類の成魚は、日本周辺海域から4目24科79属171種が報告されているが(波戸岡, 2000)、その葉形仔魚については24種(57タイプ)が報告されているのみであり(多部田・望岡, 1988)、その分類は種ごとに水塊構造との対応を把握する上ではまだ不十分なのが現状である。また葉形仔魚の分類は困難であり、いまだ科レベルの帰属すら不明な仔魚も多く存在する(Smith, 1989)。以上のことから、葉形仔魚の指標性を確立するためには、種レベルでの分類を行い、各種の分布と海洋環境との対応を把握する必要がある。申請者はこの問題に対し、1998～2002年の移行域における葉形仔魚について、外部形態および分子生物学的手法による分類とその結果に基づいた分布特性に関する研究を行い、新たに22タイプの仔魚について記載し、葉形仔魚と水塊構造との対応、さらに経年の仔魚群集変動と環境変動との間に有意な相関があることを見出した(高橋, 2007)。これは葉形仔魚が極めて有効な指標性を持つことを意味し、外洋域における葉形仔魚の分類および分布特性に関する研究の重要性を証明したものである。しかし、海洋環境と海洋生態系の長期的な変動を見積もるためには、広範囲を同一測定法で、長期的に生物系データ群を取得・蓄積することが必要である(石田ほか, 2003)。

本研究では、上記の研究に、さらに1年分のデータを加え、1998～2003年のそれぞれ5～6月に移行域で採集された葉形仔魚を用いて、その出現種と個体数を調べた。それを基に、

連続的に変化する群集の識別および、群集組成と環境データとの統計的解析に優れた品川(1984; 1992; 1999; 2000; 2002; 2006)の群集解析法を用いて、群集構造の識別および経年的な群集構造の変化を明らかにした。さらにそれらの変動と同時期における環境変動との間にどのような関係があるかを明らかにし、環境が葉形仔魚の分布に与える影響について議論した。

長期的なデータ収集・解析を継続することによって、将来の変動予測への知見を蓄積すると共に、葉形仔魚の分布特性の把握から各種の初期生活史を解明し、外洋域での生物多様性および生態系の把握をすることを目的とする。

材料と方法

1998～2003年に移行域で行われた浮魚調査の際に得られた葉形仔魚 3,730 個体を用いた。採集海域および採集定点の詳細を図1と表1に示す。調査海域は移行域の 144～180°E、34～40°N の範囲で、仔魚は 58 観測定点中の 51 定点で得られた (Fig. 3-1-1)。調査に用いられたネットは、表中層トロールネット(ニチモウ製 Model JP-1、開口面積約 700 m²、全長 89m) および NET SYSTEM USA 製 Model NST-660-SR、開口面積約 2,470 m²、全長約 160m)で、各定点の表層から 30m 層を 30 分、船速 3.5 ノットで水平に曳網した。また、各定点では表層から水深約 500m における CTD の観測を行なった。

葉形仔魚は船上でソーティング後、主に 10%海水ホルマリンあるいは 95%エタノールで固定を行い、一部は海水とともに -30℃で冷凍保存した。葉形仔魚の計測と同定は Smith(1979)、Smith(1989b)、多部田・望岡(1988)に従った。

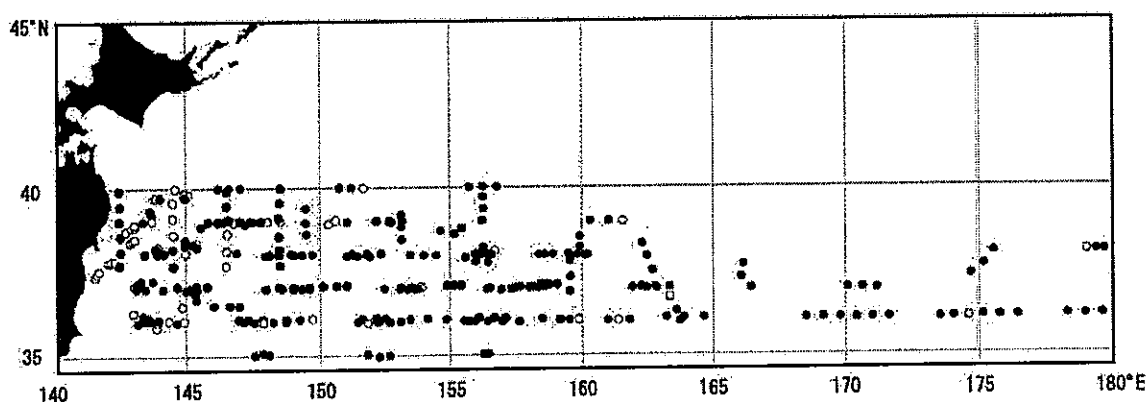


図1 1998～2002年の移行域における採集定点。
●: 葉形仔魚が得られた定点, ○: 葉形仔魚が得られなかった定点

表1 各年の調査月日, 採集範囲, 船名, 採集定点数

年	月日	採集範囲	船名	地点数
1998	14.May - 14.July	144 - 180° E, 34 - 40° N	但州丸*1	58
1999	25.May - 15.July	142 - 164° E, 35 - 41° N	但州丸*1	44
2000	15.May - 8.July	142 - 164° E, 35 - 40° N	但州丸*1	58
2001	18.May - 8.July	140 - 150° E, 37 - 41° N	開洋丸*2	51
2002	8.May - 30.May	140 - 160° E, 35 - 40° N	北鳳丸*3	58
2003	10.May - 30.May	140 - 160° E, 34 - 40° N	北鳳丸*3	61

* 1: 兵庫県立香住高等学校練習船, * 2: 中央水産研究所調査船, * 3: 北海道教育庁練習船

群集解析法

生物群集を解析する方法としては、種の組成に基づき観測点をグループ化する方法と、出現パターンの類似に基づき種をグループ化する方法の 2 方向からアプローチする方法が広く受け入れられている(Field *et al.*, 1982; Hosie *et al.*, 1994)。その際、解析の基礎となる類似度については、従来、木元の $C\pi$ (Kimoto, 1967)を用いる例が多かったが(工藤, 1998: Nanami and Nishihira, 2002 など)、近年は、Bray-Curtis の指数(Bray and Curtis, 1957)が推奨され(千葉, 2001)、日本海におけるプランクトン群集の長期変動(Chiba and Saino, 2002)や、北西太平洋の亜熱帯～熱帯海域におけるハダカイワシ科魚類の仔稚魚の群集解析などで用いられている(Sassa *et al.*, 2004a)。また、黒潮域におけるソコイワシ科を中心とする中深層性魚類の仔稚魚群集や、移行域におけるハダカイワシ科魚類の仔稚魚群集の解析には Morishita-Horn の類似度(CMH: Morishita, 1959; Horn, 1966)が用いられている(Sassa *et al.*, 2002; Sassa *et al.*, 2004b)。一方、葉形仔魚の群集構造解析については、主に大西洋のサルガッソー海や西部太平洋での研究において、Bray-Curtis の指数が用いられている(Miller, 1995; Minagawa *et al.*, 2004)。しかしこれらの方法では総个体数や多様度の相違が反映されず、定点間の類似度が正確に反映されないという問題点がある(品川, 2006)。

品川(1984)はこれらの群集解析法の問題点を解決すべく、類似度の意味を吟味し、木元の $C\pi$ を修正した $C\pi'$ と $C\pi'$ に基づく定点間相関指数 RS、さらに RS に基づく関係類似度 RS_n を考案し、関係類似度行列の固有値分解とその結果のファジイクラスタリングによる新しい群集解析の手法を提案した。また、用いる類似度と解析の手法によって解析結果が異なることを示し、解析法選択の重要性を指摘した(品川, 2000)。

この方法は定点間関係と種間関係の 2 方向から解析を進めるという点では Field *et al.*(1982)の手法と同様であるが、定点の座標付けで得られた空間内に種を布置すること、すなわち、定点間関係に基づいて種間関係を捉える点が異なる。品川(1984)が提案する方法は、前述の $C\pi'$ から導かれた関係類似度行列の固有値分解による座標付けと、座標付け結果のファジイクラスタリングによって構成される。座標付けは定点間関係または種間関係の解析に含まれるクラスター解析の欠点を補う(Field *et al.*, 1982)とされるが、品川の提案する座標付け法はそれ以上に、類似度行列に含まれる不規則な変動成分を取り除く効果がある(品川・多部田, 1998a)。なぜならば行列の固有値分解は、行列の各成分をより少ないパラメータで最小二乗近似する一種の回帰分析だからである(品川, 1999)。また、通常のクラスター解析の問題点として、異なった環境の境界域でみられるような、群集の連続的変化を把握できないことがある。ファジイクラスタ解析はこの点を解決する。実際に品川の解析方法の有効性は、採集个体数の少ない種が多く、かつ不規則な変動が大きい海産マクロベントスのようなデータの解析に対して数値実験(品川・多部田, 1998a)および実際の群集データへの適用例(品川, 1992; 品川・多部田, 1998b; 1998c)によって示され、その理論的根拠も明らかとされている(品川, 1999)。

本論文で用いる葉形仔魚のサンプルは、海産マクロベントス群集同様に採集个体数の少

ない種が多く、不規則な変動が多いデータと言える。そこで、本論文では品川の解析方法を採用し、移行域において 1998 年から 2003 年にかけて行われた浮魚資源量調査の際に得られた葉形仔魚と海洋観測データを解析して、葉形仔魚群集と海洋環境との関係を見出す。

関係類似度 R_{sn} に基づいたファジイクラスター解析

以下に品川の解析方法の手順を示す (図 2)。まず、各定点の種の個体数組成 (図 2a) から計算した各定点間関係類似度 R_{sn} の行列の固有値分解により、第 I ~ 第 II 座標空間 (図 2c) に定点を座標付けした (R_{sn} 法, 品川・多部田, 1998c)。これは定点間相関指数 RS (R_s , 品川, 1984) (図 2b) の行列に、基準化はするが中心化をしない主成分分析を適用することを意味する。次に各種を定点の座標付けと同じ主成分空間に射影して、種も座標付けした (図 2e)。

これらの座標空間内で群集組成・分布形が類似する定点・種の集まりをファジイクラスター解析 (宮本, 1999) により、それぞれ定点群・種群として識別した (図 2c-f)。群の分割数は分割度 (品川, 1984 の Q) や分割係数 (品川, 1984 の P) が大きく、あいまい度 (品川, 1999 の F) が小さく、かつ解釈が容易となるよう試行計算を繰り返して求めた。この分割は二者択一的でないので各定点・種は所属率の配分比により複数の群へ帰属した (図 2d, f, 品川, 1992)。さらに、各種の定点別個体数密度をその種の各種群への所属率の 2 乗の割合で各種群に配分した上で、これを種群別に合計し、種群の個体数密度を定点別に算出した (図 2g)。ここで、葉形仔魚の分布パターンの傾向をつかむために Dufrene and Legendre の指数 (1997) による検定を行った。Dufrene and Legendre (1997) は各種の定点群への出現の偏りを統計的に検定する方法として $IndVal1(z1)$ と $IndVal2(z2)$ を提案している。これは出現量と出現定点数の両方を加味した指数で、前者はその定点群で出現しやすいことを、後者は逆に出現しにくいことを表している。ここではこの指数をファジイクラスターに拡張して、単純平均の代わりに所属率二乗を重みとした平均を用いて計算した。またその結果を一様乱数による 500 回のシミュレーションによって標準正規分布する変数に変換した。したがって、各定点群における値の絶対値が 1.96 を超えれば、5% 以下の有意水準でその種がその定点群に出現しやすい、あるいは出現しにくいと判定され、その定点群の識別が統計的に有意と判断される。最後に群集変数群 (定点別の各種群個体数密度) と環境変数群 (水温、塩分) との間で正準相関分析 (Canonical Correlation Analysis: CCA) を行ない (品川・多部田, 1998c)、各定点を両変数群の共通一次空間 (直線上) に射影して群集組成と環境変数の共通要因を推察した (図 2h)。ただしこの際、種群の個体数密度は 1 を足して常用対数に変換した値を用いた。

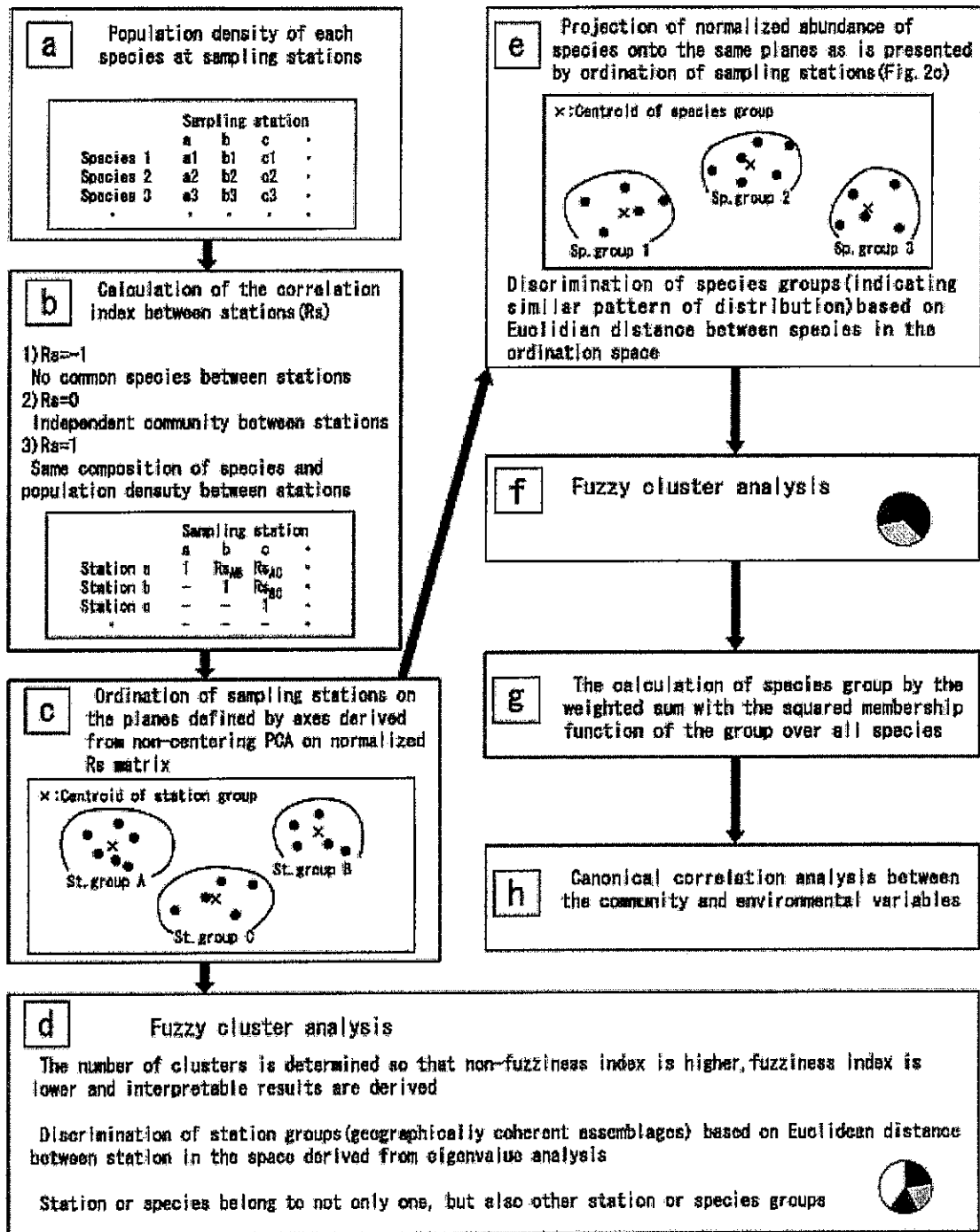


図2 品川の群集構造解析法のフローチャート(高橋, 2007 より).

環境変動指数との比較

葉形仔魚群集の変動パターンと環境変動との対応を明らかにするため、回帰分析を用いて各種気候変動の指標数値との比較を行った。比較には群集変数を従属変数に、環境変数を独立変数にして回帰分析を行い、両者の関係を統計的に解析した。その際、複数のモデル式を仮定し、それぞれのパラメータに重み付けの非線形最小二乗法(マルカール法)により推定し(中川・小柳, 1982)、赤池情報量基準(Akaike's Information Criteria: AIC)を計算して最も有意なモデル式を選択した(鈴木, 1995)。この時、 AIC_0 (従属変数が独立変数とはまったく無関係に正規分布モデルに従う場合の AIC の値)より小さい AIC を得れば、式の当てはめは有効と判断した。

気候変動の指標として、米国海洋大気庁(NOAA CPC)が公開している北半球のテレコネクション指数(<http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>)の West Pacific (WP)と Tropical/Northern Hemisphere (TNH)を、北太平洋の大気変動指数として Fisheries and Oceans Canada (http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/sa-mfpd/climate/clm_indx.htm)が提供しているアリューシャン低気圧指数(Aleutian Low Pressure Index: ALPI)、NCAR/NOAA (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/npindex.html>)が提供している北太平洋指数 (NPI: North Pacific Index)を使用した。また ENSO(エル・ニーニョ/南方振動)の指標として NCEP/NOAA (<http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/>)が公表している、タヒチとダーウィン気圧差を指数化した SOI (Southern Oscillation Index)、東部熱帯太平洋の平均表面水温 NINO1+2 および NINO3 の 5 年の移動平均値を用いた。ここで各数値について 5 年の移動平均を用いるのは変動の大きい年の影響をとり除くためである(Yasunaga and Hanawa, 2002)。

なお、本論文の調査期間である 1998~2003 年の移行域における海況の特徴として、1999 年と 2001 年に本州東方での黒潮の北偏が顕著になったこと、1999~2001 年の冬季海面水温が 35°N 以南の海域で高温化し、160°E 以東においても標準偏差の 2 倍を超える高温化域が広がったことが報告されている(渡邊, 2001)。

結果

i) 出現種の組成

1998～2003年に移行域で採集された葉形仔魚、計3,730個体は2目(ウナギ目、ソトイワシ目)9科9属以上43種(タイプ)に同定された(表2)。採集された葉形仔魚の大部分はウナギ目で占められ、全体の78.3%であった。移行域で出現したソトイワシ亜目はギス1種から構成されており、全体の18.4%を占めた。以上のことから移行域における葉形仔魚はウナギ目とソトイワシ亜目のギス1種で90%以上を占めることが明らかになった。

ウナギ目の中ではアナゴ科が最も多く、ウナギ目全体の91.1%を占めた。種レベルで見るとニセギンアナゴが最優占種であり、ウナギ目全体の58.7%であった。次いでギンアナゴ(13.4%)、ゴテンアナゴ属 sp.8(7.0%)、*Thalassenchelys coheni*(5.9%)、ゴテンアナゴ属 sp.7(4.2%)と続いた。優占種に含まれるギンアナゴとニセギンアナゴの葉形仔魚は、筋節数および体後方の脊椎側面に内在する黒色素胞の有無によって識別される(多部田・望岡, 1988)。しかしながら移行域から採集されたギンアナゴ属の葉形仔魚の中には、脊椎側面の内在性黒色素胞の有無によって識別することが困難な個体も存在した。そこで、これらの2亜種については、mtDNA 16SrRNA 領域の塩基配列によって種同定を行なった。種類数からみると、仔魚の大部分はウナギ目で構成され、全体の90.0%を、ソトイワシ目は10.0%を占めた。また、出現種の約半数は黒潮流域から報告されているものであった(多部田・望岡, 1988)。

表2 1998～2003年に移行域で得られた葉形仔魚各タイプの個体数およびその割合

Taxon	Num. of Individual	Frequency (%)	Taxon	Num. of Individual	Frequency (%)
ソトイワシ目			● マアナゴ	84	2.25
ソトイワシ科			● クロアナゴ	24	0.64
ギス	689	18.47	● ギンアナゴ	392	10.51
ソコギス亜目			● ニセギンアナゴ	1,720	46.11
○ ソコギス亜目 sp. I	1	0.03	○ ギンアナゴ属 sp.	28	0.75
○ ソコギス亜目 sp. II	1	0.03	● クロアナゴ亜科 sp.2*	7	0.18
トカゲギス科			○ クロアナゴ亜科 sp. I	1	0.03
○ トカゲギス科 sp.	1	0.03	○ クロアナゴ亜科 sp. II	1	0.03
ウナギ目			○ クロアナゴ亜科 sp. III	1	0.03
ウツボ科			○ クロアナゴ亜科 sp. IV	1	0.03
○ ウツボ科 sp. I	1	0.03	○ クロアナゴ亜科 sp. V	2	0.05
○ ウツボ科 sp. II	1	0.03	○ クロアナゴ亜科 sp. VI	1	0.03
ホラアナゴ科			○ クロアナゴ亜科 sp. VII	4	0.11
○ リュウキュウホラアナゴ亜科 sp.	4	0.11	○ クロアナゴ亜科 sp. VIII	1	0.03
ウミヘビ科			ヘラアナゴ科		
● ウミヘビ亜科 sp.3*	2	0.05	● ヘラアナゴ科 sp.*	2	0.05
○ ウミヘビ亜科 sp. I	1	0.03	シギウナギ科		
○ ウミヘビ亜科 sp. II	1	0.03	● シギウナギ	42	1.12
ウミヘビ亜科 sp. (破損)	1	0.03	クズアナゴ科		
アナゴ科			● シマイトアナゴ	1	0.03
● ゴテンアナゴ属 sp.2*	1	0.03	● ホソイトアナゴ	2	0.05
● ゴテンアナゴ属 sp.3*	4	0.11	○ クズアナゴ属 sp.	17	0.51
● ゴテンアナゴ属 sp.4*	28	0.75	○ ハシクズアナゴ属 sp.	1	0.03
● ゴテンアナゴ属 sp.5*	37	0.99	所属不明		
● ゴテンアナゴ属 sp.6*	2	0.05	<i>Thalassenchelys coheni</i>	172	4.61
● ゴテンアナゴ属 sp.7*	122	3.27	○ 不明種 sp. I	6	0.18
● ゴテンアナゴ属 sp.8*	206	5.52	○ 不明種 sp. II	1	0.03
			○ 不明種 sp. III	6	0.18
			○ 不明種 sp. IV	1	0.03
			破損	109	0.18
			Total	3,730	100.00

●:黒潮流域から報告されている種(タイプ), ○:未記載種, * 多部田・望岡(1988).

ii) 各年の採集定点の座標付けとクラスタリング

葉形仔魚全 43 種(タイプ)を用いて定点の座標付けを行なった。葉形仔魚が得られた全 239 定点を用いて座標付けを行ったところ、固有値の累積率は第 1 成分までで 60%を超えた。そこで以下の解析では第 I、II 成分を用いた。関係類似度行列(品川, 1998)の固有値分析の結果を用いて定点を第 I ~ 第 II 座標空間に配置し、それを各 2 軸平面上に射影した(図 3)。さらにこの空間内のユークリッド距離を用いて、ファジイ c-means 法(MacQueen, 1967)を用いてクラスタリングを行なった。

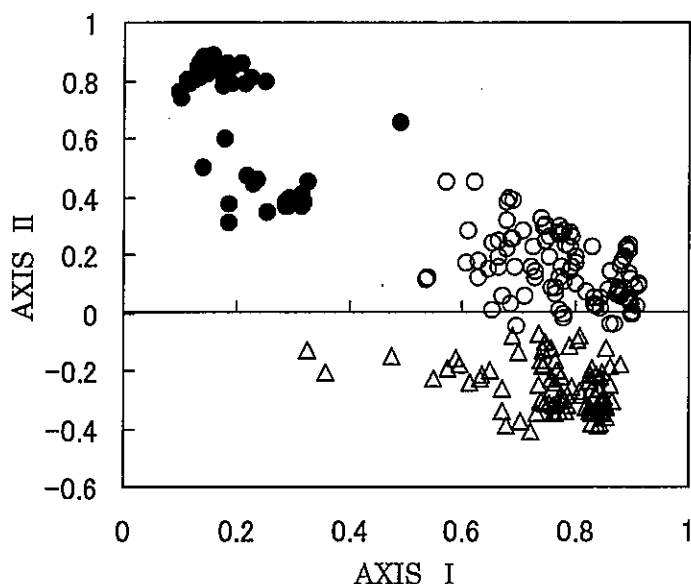


図 3 固有値分析結果に基づきプロットをした 1998 年~2003 年までの定点。各シンボル(●、△、○)はそれぞれファジイクラスタリングによって識別された各定点群(A~C)に対応している。

その結果、葉形仔魚採集がされた全 239 定点は A~C の 3 定点群に識別された。A 区に所属率が高い定点は 50 定点、B 区に所属率が高い定点数は 95、C 区に所属率が高い定点数は 108 であった。各年における各採集定点の所属率を地図上にプロットして示す(図 3)。

1998 年における A 区に所属率が高い定点数は 15 で、調査海域北西から中央部にかけて分布した。B 区に所属率が高い定点数は 8 で、調査海域の西~中央部の移行域を中心に分布した。C 区に所属率が高い定点数は 30 で、調査海域の中央~東部に広く分布した。また 1998 年は C 区の占める割合が最も大きかった(図 4a)。

1999 年では A 区に所属率が高い定点数は 16 で、亜熱帯水域から親潮系冷水域まで分布し、特に調査海域の東西の中央~北部に多く見られた。B 区に所属率が高い定点数は 12 で、調査海域内の中央~北部に分布した。C 区に所属率が高い定点数は 10 で、調査海域の南東部を中心に分布した(図 4b)。

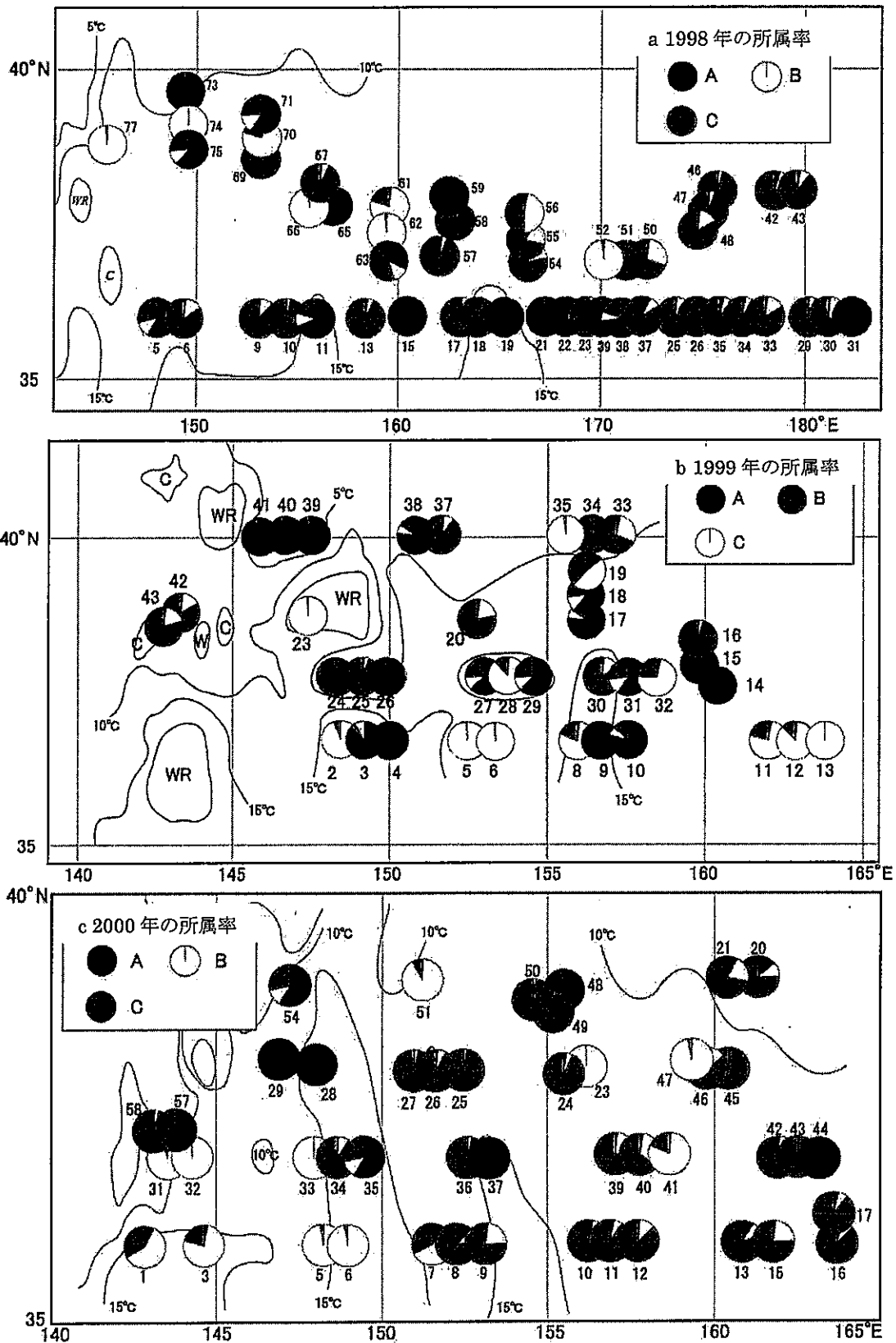


図 4a-c ファジイクラスタリングによって 3 群に識別された, 1998~2000 年各年における採集定点の所属率。図中の等温線は 100m 深水温の分布を表す。亜熱帯水域 >15°C, 5°C < 黒潮親潮移行域 <15°C, 亜寒帯水域 <5°C。

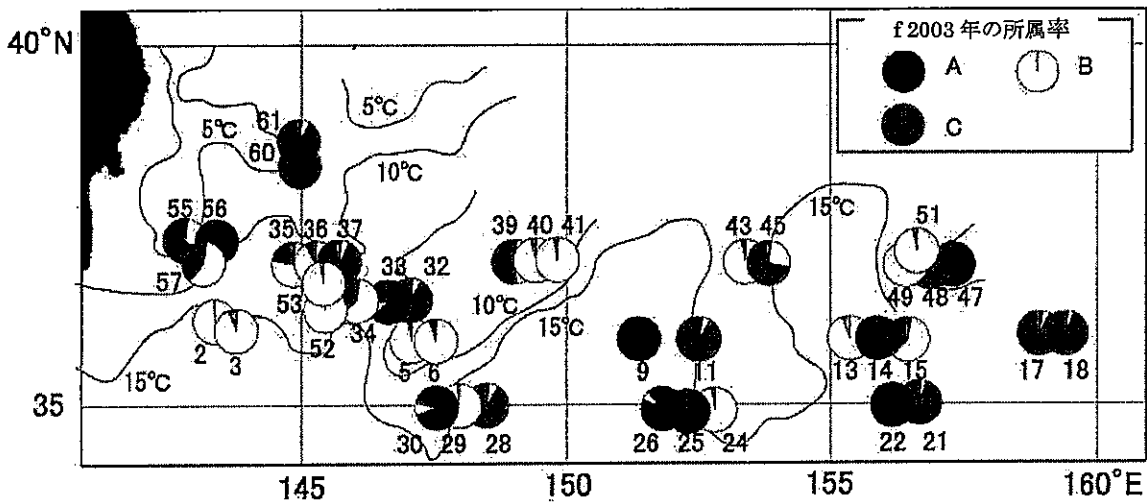
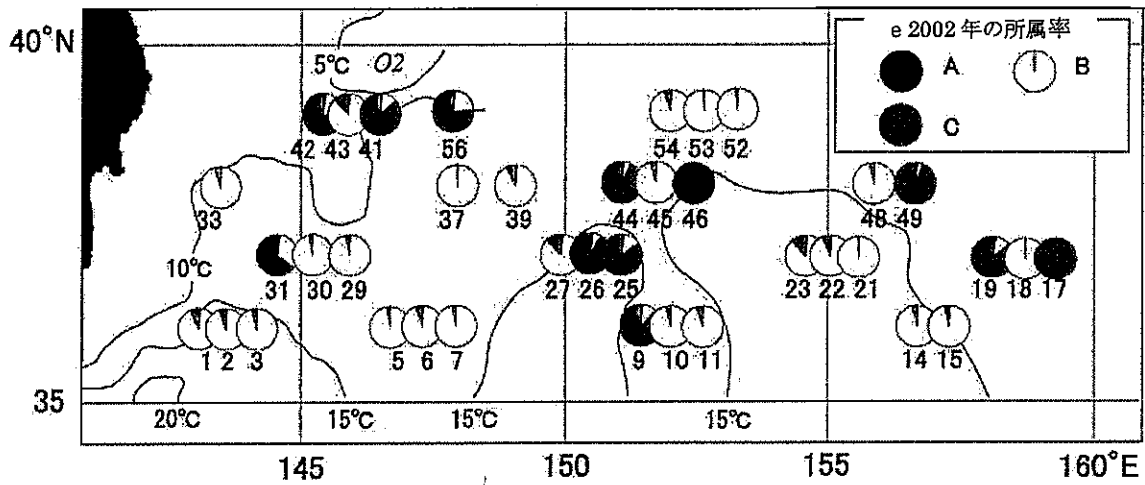
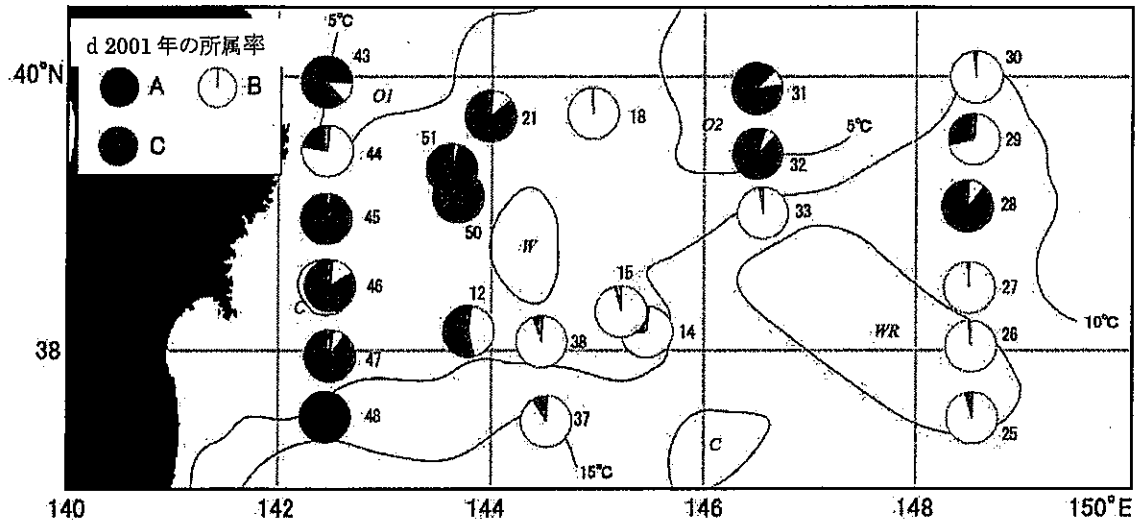


図 4d-f ファジイクラスタリングによって 3 群に識別された, 2001~2003 年各年における採集定点の所属率. 図中の等温線は 100m 深水温の分布を表す. 亜熱帯水域 > 15°C, 5°C < 黒潮親潮移行域 < 15°C, 亜寒帯水域 < 5°C.

2000年ではA区に所属率が高い定点数は8で、調査海域の北部に分布した。B区に所属率が高い定点数は12で、調査海域の南西部を中心に分布した。C区に所属率が高い定点数は26と最も多く、調査海域の中央～東側の海域にかけて分布した(図4c)。

2001年ではA区に所属率が高い定点はSt.48のみで、調査海域の最も南西に位置した。B区に所属率が高い定点は12で、調査海域の南東部を中心に分布した。C区に所属率が高かったのは11で、調査海域の北西部を中心に分布した(図4d)。

2002年ではA区に所属率が高い定点はSt.46のみで、亜熱帯前線の最北部に位置した。B区に所属率が高かったのは26定点と最も多く、移行域全体に分布した。C区に所属率が高い定点数は11で、移行域中央から北部にかけて分布した(図4e)。

2003年ではA区に所属率が高い定点数は9で、採集海域の南側に多く分布した。B区に所属率が高かったのは19定点で、移行域中央を東西方向に分布した。C区に所属率が高い定点数は13で、移行域全体にかけてやや散発的な分布を示した(図4f)。

A区に多く含まれる定点は1999年をピークに一時増加した後、顕著に減少し、2003年に再び増加した。またB区に多く含まれる定点は調査期間中に増加傾向を示した。C区に多く含まれる定点は誤差はあるものの、減少傾向を示した(図5)。

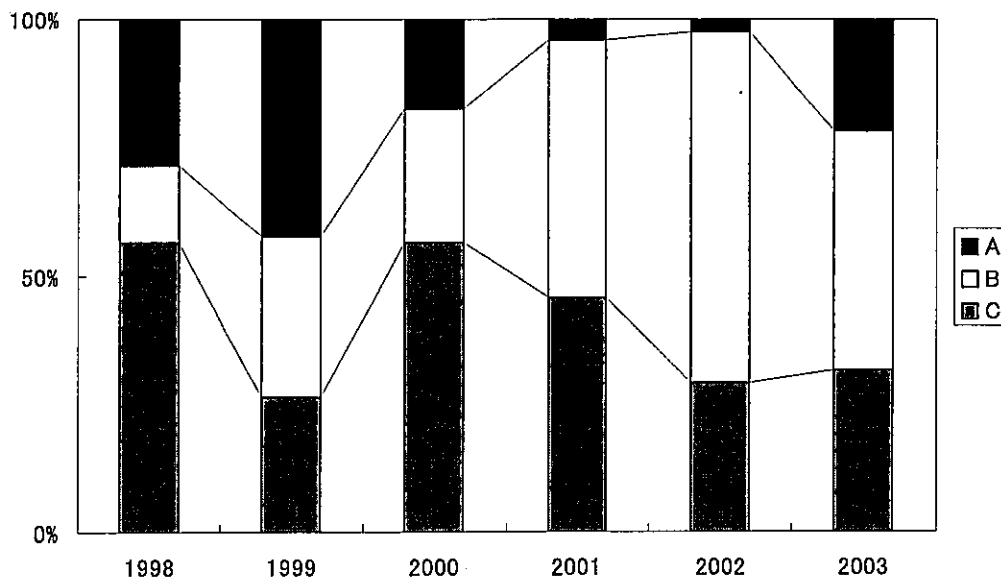


図5 1998～2003年におけるA～C各定点群に高い所属率を示した定点の割合。

iii) 出現種の座標付けとクラスタリング

葉形仔魚全 42 種(タイプ)から 2 定点以上で出現する 25 種(タイプ)を関係類似度行列の固有ベクトルで張られる固有空間内に射影し、さらにそれらを各 2 軸平面上に射影し、定点の場合と同様のクラスタリングを行ったところ SP-1 から 4 の 4 グループに識別された。各種群に含まれた種を所属率の高い順に並べて示す(表 3)。SP-1 はニセギンアナゴとギンアナゴで構成された。これら 2 亜種はいずれもギンアナゴ属で、本調査における優占種である。SP-2 はギス、ゴテンアナゴ属 sp.8、*Thalassenchelys coheni*、クズアナゴ属 sp.、ゴテンアナゴ属 sp.7 の 5 種で構成された。SP-3 はクロアナゴ亜科の未記載種、ゴテンアナゴ属 spp.、シギウナギ等の 11 種で構成された。SP-4 は不明種 sp. I、ソコギス亜目 sp. I、ギンアナゴ属 sp.等の 7 種で構成された。また、年別に各種群の個体数の割合を見ると(図 6)、SP-1 はいずれの年においても 50%以上を占め、2002 年に最も高い割合を示した。SP-2 は 1998~2000 年にかけて高い割合を占めたが、その後減少した。SP-3 の割合は 2001 年と 2003 年に増加したが、それ以外の年は低水準であった。SP-4 は調査機関を通して全体に低い割合であった。以上のように各種群の割合については種群ごとの特異性が見出された。

表 3 ファジイクラスタリングにより識別された葉形仔魚群集

SP-1	所属率	SP-2	所属率	SP-3	所属率	SP-4	所属率
ニセギンアナゴ	0.906	ギス	0.963	クロアナゴ亜科 sp.V	0.987	不明種 sp. I	0.992
ギンアナゴ	0.865	ゴテンアナゴ属 sp.8	0.876	クロアナゴ亜科 sp.VII	0.945	ソコギス亜目 sp. I	0.835
		<i>Thalassenchelys coheni</i>	0.809	ゴテンアナゴ属 sp.6	0.911	ギンアナゴ属 sp.	0.806
		クズアナゴ属 sp.	0.733	ヘラアナゴ科 sp.	0.907	ゴテンアナゴ属 sp.3	0.802
		ゴテンアナゴ属 sp.7	0.469	ウミヘビ亜科 sp.3	0.891	ホソイトアナゴ	0.665
				クロアナゴ亜科 sp.2	0.802	不明種 sp.III	0.461
				リュウキュウホラアナゴ亜科 sp.	0.661	シギウナギ	0.409
				クロアナゴ	0.645		
				マアナゴ	0.568		
				ゴテンアナゴ属 sp.4	0.508		
				ゴテンアナゴ属 sp.5	0.468		

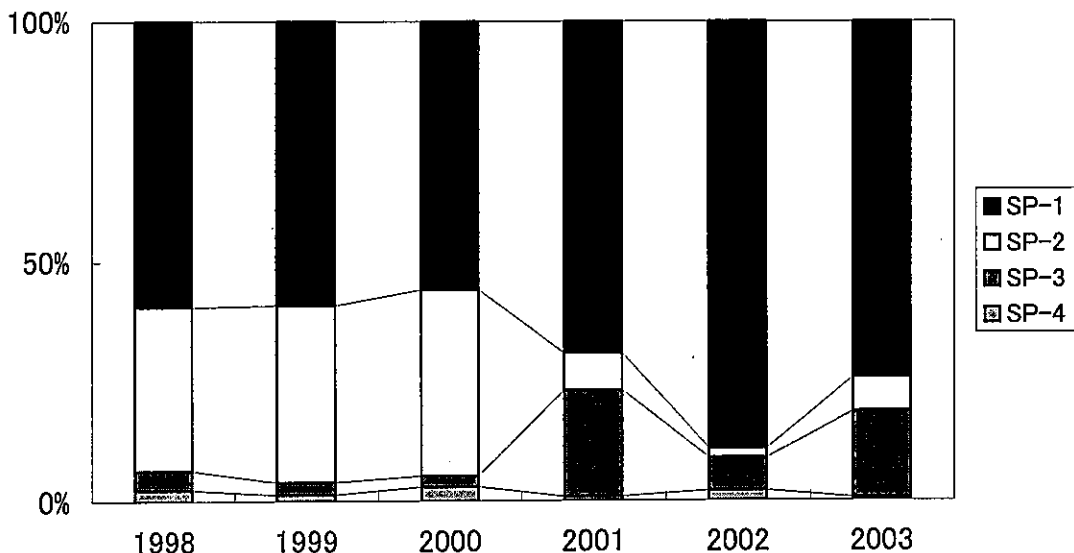


図 6 1998~2003 年における SP-1~3 の各種群の割合。

iv) 各種群の分布様式

分割された種群ごとに各種の個体数密度を所属率の2乗を重みとして合計し、さらに全体での構成比を標準とみて、各集団区分での構成比が標準の何倍になっているかをみるために特化係数(各種群における構成比を全体での構成比で除したもの; 上田, 1982)を求め、各定点群別に図7に示した。SP-1はギンアナゴ属の2亜種で構成されるグループで、その合計はBおよびC区に集中していた。SP-2はギス、ゴテンアナゴ属 sp.8、*Thalassenchelys coheni*、クズアナゴ属 sp.、ゴテンアナゴ属 sp.7の5種で構成され、AおよびC区に多く出現する傾向が見られた。SP-3はクロアナゴ亜科の未記載種、ゴテンアナゴ属 spp.、シギウナギ等の11種で構成される種群で、AおよびB区を中心に出現する傾向が見られた。SP-4は不明種 sp. I、ソコギス亜目 sp. I、ギンアナゴ属 sp.等の7種で構成され、その出現は散発的であるもののA区に多く出現する傾向が見られた。

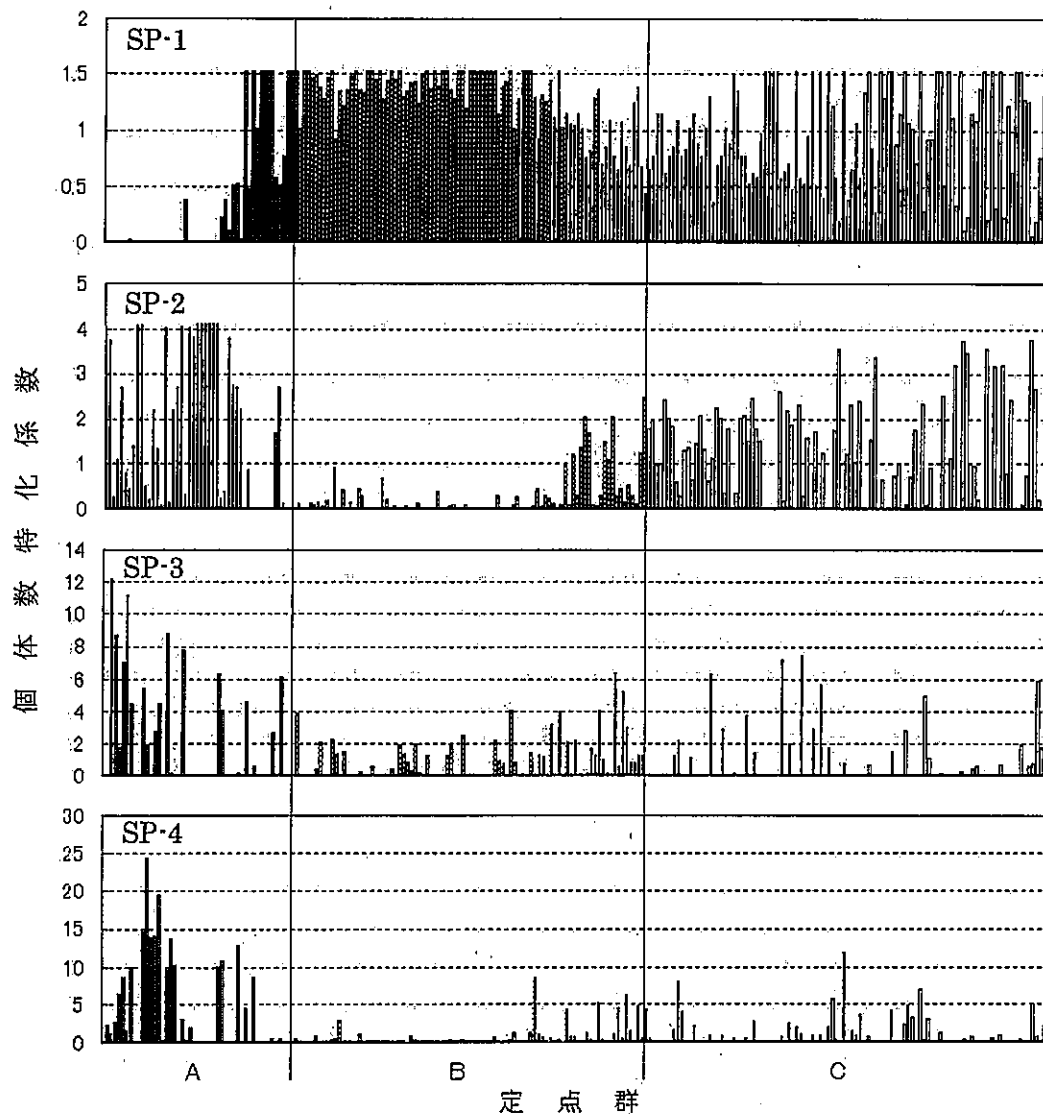


図7 A~Cの各定点群における種群SP-1~4の個体数特化係数.

v) Dufrene and Legendre の指数による検定

検定の結果を表 4 に示す。この表から SP-1 のニセギンアナゴ (IndVal1=4.366) とギンアナゴ (13.674) は B 区に有意に出現しやすく、さらにニセギンアナゴは C 区にも出現しやすい (4.702)。SP-2 のギス (3.778)、ゴテンアナゴ属 sp.8 (3.082)、*Thalassenchelys coheni* (3.909) は C 区に多く出現しやすいことが明らかとなった。SP-3 の内、クロアナゴ亜科 sp.2 (3.007) とクロアナゴ (2.272) の 2 種は B 区に有意に出現しやすい。SP-4 のソコギス亜目 sp. I (1.750)、ゴテンアナゴ属 sp.3 (3.233)、シギウナギ (2.272) は A 区に有意に出現しやすいことが判定できた。

表 4 優占する 25 種についての Dufrene and Legendre の指数。太線で囲まれた数値が出現しやすいことを、黒塗りの数値が出現しにくいことを表す。

種 \ 定点群	IndVal1			IndVal2		
	A	B	C	A	B	C
SP-1 ニセギンアナゴ	-4.299	4.366	4.702	12.503	-1.064	-1.097
ギンアナゴ	-2.594	13.674	-3.544	1.124	-1.095	1.748
ギス	0.153	-1.950	3.778	-0.089	1.364	-1.134
ゴテンアナゴ属 sp.8	-0.885	-1.521	3.082	0.354	0.795	-1.161
SP-2 <i>Thalassenchelys coheni</i>	-0.016	-2.331	3.909	-0.023	1.424	-1.117
クズアナゴ属 sp.	0.451	-1.275	1.770	-0.819	2.065	-1.111
ゴテンアナゴ属 sp.7	1.172	-1.268	0.359	-1.238	1.549	-0.171
クロアナゴ亜科 sp.V	-0.633	-0.685	0.748	0.480	0.481	-1.151
クロアナゴ亜科 sp.VII	-0.448	-0.325	-0.062	0.893	0.121	-1.123
ゴテンアナゴ属 sp.6	-0.544	-0.026	-0.513	2.256	-1.248	-0.749
ヘラアナゴ科 sp. I	-0.605	1.441	-0.766	0.378	-1.094	0.623
ウミヘビ亜科 sp.3	-0.546	1.359	-0.787	0.649	-1.270	0.671
SP-3 クロアナゴ亜科 sp.2	-0.797	3.007	-0.957	0.578	-1.165	0.618
リュウキュウホラアナゴ亜科 sp.	-0.595	-0.738	2.062	0.403	0.655	-1.123
クロアナゴ	-0.240	2.272	-1.473	-0.401	-1.144	1.721
マアナゴ	-1.212	-1.739	-0.068	1.830	-1.117	-0.577
ゴテンアナゴ属 sp.4	0.866	-0.859	-0.068	-0.432	1.473	-1.086
ゴテンアナゴ属 sp.5	0.413	0.463	-1.085	-0.619	-1.134	1.959
Unidentified I	0.841	-0.787	-0.101	-1.394	2.034	-0.548
ソコギス亜目 sp.I	1.750	-0.575	-0.821	-1.838	0.610	1.027
ギンアナゴ属 sp.	0.240	-0.800	-0.463	-1.466	0.762	0.560
SP-4 ゴテンアナゴ属 sp.3	3.233	-0.766	-0.834	-1.667	0.688	0.886
ホソイトアナゴ	-0.127	-0.786	0.268	-0.792	2.076	-1.148
Unidentified III	-0.737	-0.831	1.786	0.465	0.614	-1.138
シギウナギ	2.272	-0.628	-1.225	-1.192	0.329	1.084

vi) 定点群の環境の特徴と正準相関分析

群集構造の形成に関わる環境要因の検討のため、環境変数(水温と塩分)と群集変数(各グループの個体数)の間で正準相関分析を行なった。なお、2001年の2定点および2003年の2定点における環境データが、機材の不具合により得られなかったため、解析はそれらを除いた残りの234定点について行った。環境データに曳網水深と考えられる0-30mの平均水温と塩分を用いたところ、最もp値が低かった($p < 0.01$, χ^2 二乗検定)。その結果、環境変数の因子負荷は水温で高い正の値を示した(表 5)。第 I 正準変量による環境変数群(縦軸)と群集変数群(横軸)との関係を定点別に検討すると、各定点はほぼ一直線上に配列した(図 8)。

縦軸は因子負荷の高い水温と塩分の軸に相当しており、A・B区は原点付近を中心に座標平面右上の正の方向にかけて分布し、やや高水温・塩分の影響を受けているものと考えられる。一方、C区は原点付近から座標平面左下の負の方向に分布し、低水温・塩分の影響を受けていると考えられた。またC区は、A・B区に比べて有意に水温が低いことが分かった($p < 0.05$, post-hoc test)。

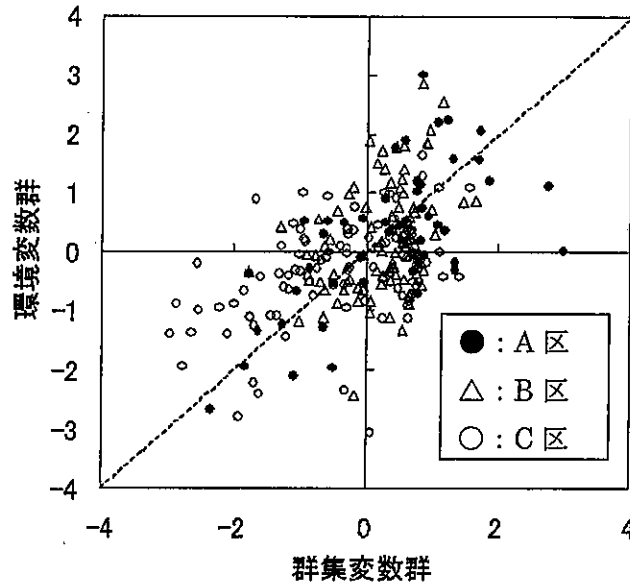


図8 第I正準変量における群集得点と環境得点の散布図。

vii) 各種群の経年変動と各年の環境変動指数との関係

各種群の変動要因を検討するため、種群の変動をそれぞれ従属変数とし、1998～2003年の気候変動を表す種々の指数を独立変数とする回帰分析を行った。なお曲線回帰と判断するにはデータが不足しているため、ここではAICが最小となる直線式についてのみ選択した。その結果SP-1とWPおよびTNHとの間でそれぞれ負、正の相関が認められた。また、SP-2とWPおよびTNHとの間でそれぞれ正、負の相関が認められた(図9)。

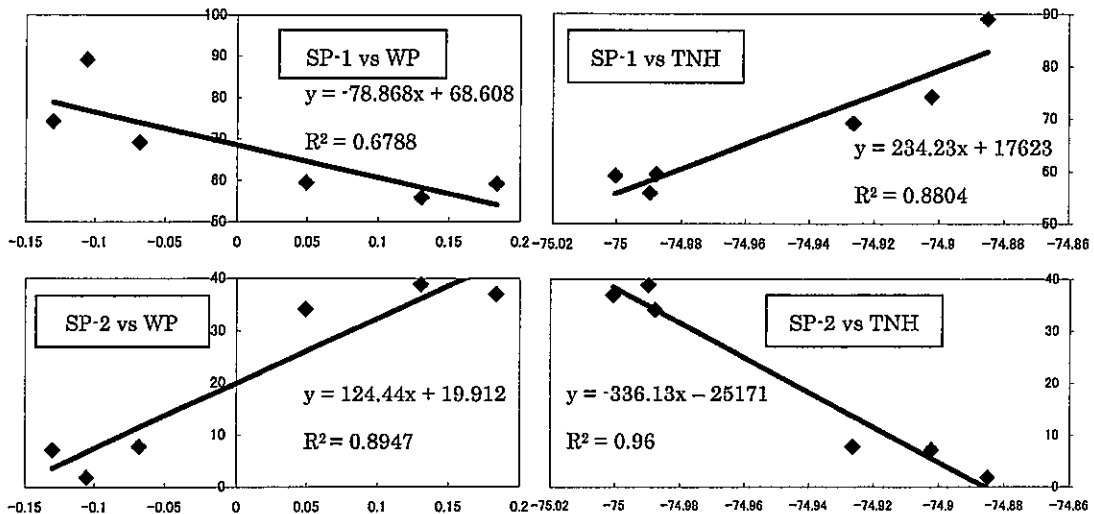


図9 非線形回帰分析によって有意性を得られた気候変動指数(x軸)と各種群の割合(y軸)との関係。

考察

i) 各定点群および種群と海洋環境との対応

葉形仔魚の群集構成から得られた A-C の 3 つの定点群と海洋環境との対応を正準相関分析の結果を踏まえて検討する。

正準変量の変動は 45 度の方向（破線方向）の変動と、それに垂直な方向の変動に分けられ、破線方向は群集と環境に共通する変動で、それに垂直な方向は誤差変動と考えられる。正準変量は水温・塩分と高い正の相関を有したので、破線方向の共通変動の成分は親潮と黒潮の影響度合いを表すと考えられる。また各定点群のプロットのパターンから環境との間には直線的な関係を見出すことができた。

A 区に所属率が高い定点は黒潮系暖水域から亜熱帯水域にかけて分布した(図 4)。また正準相関分析では原点付近から正の方向に広く位置していた(図 8)。また、A 区には SP-4 のソコギス亜目 sp. I、ゴテンアナゴ属 sp.3、シギウナギが有意に出現しやすいことが判定された(表 4)。これらのタイプは日本の南方海域や外洋域から報告されていること(多部田・望岡, 1988)から、黒潮に輸送されて移行域に到達したものと考えられる。これらのことから、A 区は高水温・塩分である黒潮の影響が大きい南方由来の水塊と判断することができる。

B 区に所属率が高い定点の分布は黒潮系暖水域を中心に、亜熱帯水域まで広がっている点で A 区と共通している(図 4)。正準相関分析の結果においては原点付近からやや正の方向に位置していた。出現種は SP-1 のニセギンアナゴおよびギンアナゴ、さらにクロアナゴ亜科 sp.2 とクロアナゴを筆頭とした SP-3 が中心であった。これらの種群の大部分は日本の南方から沿岸域にかけて報告されており(多部田・望岡, 1988; Miya and Hirose, 1994; Miller, 2002)、A 区に出現しやすい SP-4 と同様に黒潮に輸送されて移行域に到達したものと考えられる。しかし、その出現がより沿岸であることと、成魚は陸棚上から陸棚縁辺にかけて分布すること(波戸岡, 2000)から、より沿岸性の種を中心に構成されたものと考えられる。以上のことから B 区も A 区同様に高水温・塩分の黒潮の影響が大きい、A 区に比べてより日本沿岸の特徴を持つ水塊と区分することができる。

C 区に所属率が高い定点は黒潮系暖水域を中心に親潮系冷水域まで広がっていた(図 4)。また、水平的に見ると 1998~2000 年に調査海域の中央から東側に、2001 および 2002 年には親潮系水の影響が強いと考えられる調査海域の北西部を中心に分布した(図 4)。本定点群は A および B 区に比べ、水温が有意に低く、正準相関分析の結果も原点から負の方向に分布していた(図 8)。出現種は外洋域で多く報告される SP-2 を中心に構成されていた(表 4)。これらの葉形仔魚の内、ギスと *Thalassenchelys coheni* は本州東部黒潮続流以北の海域から報告されている(松原, 1942; 多部田・望岡, 1988; Shimokawa *et al.*, 1995; Tsukamoto, 2002)。またゴテンアナゴ属以外の葉形仔魚については南方からの報告はない(多部田・望岡, 1988)。以上のことから C 区は黒潮の影響が A および B 区に比べて弱く、また親潮からの冷水の影響を強く受ける水域であると考えられる。

以上、1998～2003年の5・6月における移行域は、葉形仔魚の分布様式から3つの定点群に区分することができた。その区分は100m深の水温構造で定義される亜熱帯水域、黒潮系暖水域、親潮系冷水域、亜寒帯水域と一致するわけではなく、むしろそれらをまたがって定義された。これらの定点群の識別要因としては、正準相関分析の結果から表層の環境が影響を及ぼすことが示唆され、葉形仔魚の分布様式が生息水深の環境との関わりが大きいことを示した。

A、B区はいずれも黒潮の影響が大きく暖水傾向の強い定点群であり、C区との比較を行なうことで移行域における暖水と冷水の勢力分布を把握できるものと期待される。暖水性の定点は1999年をピークに一時増加した後、2000年に減少し、再び増加傾向を示した(図4、図5)。この変動は1999年と2001年に本州東方での黒潮の北偏が顕著になったことや、1999～2001年の冬季海面水温が35°N以南の海域で高温化し、160°E以东においても標準偏差の2倍を超える高温化域が広がったこと(渡邊, 2001)と対応しており、葉形仔魚群集から判断された定点群が実際の環境と対応したことを示す極めて興味深い結果となった。

ii) 葉形仔魚の分布様式の年変動と気候変動指数の関係

各種群の経年変動パターンは、回帰分析により環境変動指数(WP、TNH)との間に有意な相関があることが明らかとなった(図9)。

WPは北太平洋における気候長期変動の第1のモードであり、WP優勢時には、北太平洋低緯度地域で平均気温の上昇に関連するほか、東シベリアでは平均気温の下降に関連する(Wallace and Gutzler, 1981; Barnston and Livezey, 1987)。WPはSP-1と負、SP-2と正の相関が認められた。SP-1はギンアナゴ属の2種から構成される種群で、黒潮流域からも報告されること(多部田・望岡, 1988; Miya and Hirose, 1994; Miller, 2002)、暖水性でより沿岸水由来の定点群であるB区に出現傾向があることから、黒潮の影響を強く受ける種群であると考えられる。またSP-2は黒潮の影響が弱く、親潮の影響が強い冷水性の定点群Cに出現傾向が認められた。その構成種は外洋性で南方からの報告が少ないものが多いことから(図7、表4)、SP-2はSP-1に対して冷水性または外洋性の種群といえる。このことから、WP優勢時の高緯度地域での平均気温下降と各種群の生態的特長はよく対応していると考えられる。

TNHは北太平洋から大西洋に卓越する変動であり、特に冬季のアラスカ湾とハドソン湾を中心に大きな偏差がみられる。またジェット気流の東進の長期変動との関わりが示唆されている(Mo and Livezey, 1986; Barnston and Livezey, 1987)。TNHはSP-1と正、SP-2と負の相関が認められた。北太平洋中央部では風速の増大に伴い、海面水温は低下することが知られており(杉本, 2004)、このことが暖水性、冷水性それぞれの種群の変動に影響を与えているものと考えられる。またTNHはENSOの変動とも関連があるとも考えられており(Mo and Livezey, 1986)、TNHが負の値を示す時はENSOの発生が確認されている(Barnston *et al.*, 1991)。

種々の気候変動は様々なイベントと密接に係わり合い、その影響は海洋生物とそれを取

り巻く環境にも及ぶ。従来、気候変動の指数が生物群集の変動と関連があることは数多く報告されてきたが(Chiba and Saino, 2003; 稲掛・植原, 2003; Nakata and Hidaka, 2003; Waluda *et al.*, 2004 など)、葉形仔魚群集とそれらの指数との間での関連を示したものはほとんどなく、本研究によって葉形仔魚群集の分布様式の変動と海洋環境や気候変動などの環境変動指数との間に有意な相関があることが明らかとなった。

終わりに

近年、海洋重要資源の変動予測、要因分析、評価・管理手法の高精度化、さらには地球温暖化を視野に入れた餌料環境、魚類の回遊経路、資源加入量などの変動予測等の目的として海況予測モデルの開発が進められている。これらのモデルは将来に向けた予測のみならず、過去に遡って重要水産資源変動と海洋環境変動との関係や、生態系モデルとの組み合わせで過去の餌料環境を復元することも可能であるとされている(小松ほか, 2005)。PICES(北太平洋海洋科学機構)の標準モデルである NEMURO は、外洋域における複数の動物プランクトンのサイズ組成とその生活を組み込んだモデルであり、従来のモデルよりも再現性が高いものとなっている。そしてこの点は黒潮周辺海域の動植物プランクトン現存量の変動を再現する上で重要な鍵となる(小松ほか, 2004)。葉形仔魚と水塊構造との関係や、水塊に取り込まれた際の挙動がより詳細に明らかになれば、葉形仔魚はこれらのモデルの新たな生物パラメータとして最有力候補となるであろう。さらに最近では、数値実験モデルの結果から地球温暖化に伴い、今後黒潮流速が加速するとの予想もされている(Sakamoto, 2005)。ウナギやマアナゴのように産卵場から生息場所に輸送される手段として黒潮を利用している種(Tsukamoto, 1992; Kimura *et al.*, 1994; 黒木, 2006)は、沿岸域での着底の機会を逸する可能性がある。それらの将来を予測するためには現状を把握し、経年変化を蓄積していくことが重要である。そのためにも葉形仔魚と海洋環境との対応を明らかにすることは非常に意義があるものである。また、本研究の特色のひとつである、葉形仔魚を種レベルからアプローチすることも、不明な点が多い外洋域の生物多様性の把握につながる事が期待される。種レベルでの葉形仔魚の指標性をより確実なものとするれば、上述した環境モニタリングモデルの新たな生物パラメータとして活用する最有力候補となるであろう。またその効果は太平洋のみならず、大西洋、インド洋における海洋環境モニタリング調査への波及が予想され、その国際的効果は非常に大きいと期待される。

謝辞

本研究は平成 19 年度公益信託エスぺック地球環境研究・技術基金の助成を受けて遂行されました。ここに関係各位に感謝の意を表し、謝辞といたします。

引用文献

- 青木一郎. 1992. 資源の再生産と変動—卵親魚の生物学から. 水産海洋研究. 56: 219-222.
- 青木一郎・寺崎誠. 1994. 黒潮続流域におけるプランクトンと浮魚. 水産海洋研究. 58: 122-125.
- Barnston AG. and Livezey RE. 1987.** Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.* 115: 1083-1126.
- Barnston AG., Livezey RE. and Halpert MS. 1991.** Modulation of Southern oscillation-Northern Hemisphere mid-winter climate relationships by the QBO. *J. Climate.* 4: 203-217.
- Beaugrand G. 2004.** Monitoring marine plankton ecosystems. 1: Description of an ecosystem approach based on plankton indicators. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 296: 69-81.
- Bray JR., Curtis JT. 1957.** An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27: 325-249.
- 千葉早苗. 2001. プランクトン群集は語る - 環境変動と生態系変動 - . 月刊海洋 号外 27: 12-18.
- Chiba S. and Saino T. 2002.** Interdecadal change in the upper water column environment and spring diatom community structure in the Japan Sea: an early summer hypothesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 231: 23-35.
- Corten A. and Lindley JA. 2003.** The use of CPR data in fisheries research. *Prog. Oceanogr.* 58: 285-300.
- Dufrene M. and Legendre P. 1997.** Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67: 345-366.
- Field JG., Clarke KR. and Warwick RM. 1982.** A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 8: 37-52.
- 波戸岡清峰. 2000. ウナギ目 Anguilliformes. 中坊徹次(編), 日本産魚類検索 全種の同定 第二版. 東海大学出版会, 東京. pp. 192-240.
- Hosie GW., Cochran TG., Pauly T., Beaumont KL., Wright SW. and Kitchener JA. 1994.** Zooplankton community structure of Prydz Bay, Antarctica, January-February 1993. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 10: 90-133.
- Horn. HS. 1966.** Measurement of 'overlap' in comparative ecological studies. *Am. Nat.* 100: 419-424.
- 稲掛伝三・植原量行. 2003. まぐろ類の資源変動と大気/海洋変動. 月刊海洋. 35(3): 180-195.
- 石田洋・渡辺豊・石坂丞二・渡辺雄二・播本孝史・坪田博行. 2003. 西部北太平洋におけるクロロフィル a の長期変動の検出の試み. 月刊海洋. 35(1): 25-31.
- Kimoto S. 1967.** Some quantitative analysis on the chrysomelid fauna of Ryukyu Archipelago. *Esakia (Kyushu Univ.)*. 6: 27-54.

- Kimura S., Tsukamoto T. and Sugimoto T. 1994.** A model for the larval migration of the Japanese eel: roles of the trade winds and salinity front. *Mar. Biol.* 119: 185-190.
- 小松幸生・渡辺朝生・廣江豊. 2004. 中央ブロック低次生態系予測モデルの開発. 黒潮の資源海洋研究. 5: 5-28.
- 小松幸生・瀬藤聡・宮澤泰正・秋山秀樹・清水学・渡辺朝生・廣江豊・斉藤勉・植原量行・伊藤進一・平井光行. 2005. 水産総合研究センターにおける漁況予測モデルの開発. 黒潮の資源海洋研究. 6: 21-40.
- 工藤孝浩. 1998. 相模湾のパヤオ(覆葬式浮魚礁)において潜水観察された魚類群集. 神水研報. 3: 1-18.
- 黒木洋明. 2006. マアナゴ(*Conger myriaster*)葉形仔魚の沿岸域への回遊機構に関する研究. 九州大学学位論文. pp. 1-128.
- MacQueen, J.B. 1967.** Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: *Proc. 5th Berkeley Symposium on Math. Stat. Prob.* (Ed by L.M. Le Cam and J. Neyman) Berkeley: Univ. of California Press. 281-197.
- 松原喜代松. 1942. ギスノ變態ニ就イテ. 農水講研報. 35(1): 1-23, pl. 1.
- Morishita M. 1959.** Measuring of interspecific association and similarity between communities. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.* 3: 65-80.
- Miller MJ. 1995.** Species assemblages of leptocephali in the Sargasso Sea and Florida Current. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 121: 11-26.
- Miller MJ. 2002.** Distribution and ecology of *Ariosoma balearicum* (Congridae) leptocephali in the western North Atlantic. *Environ. Biol. Fish.* 63: 235-252.
- Minagawa G., Miller MJ., Aoyama J., Wouthuyzen S. and Tsukamoto K. 2004.** Contrasting assemblage of leptocephali in the western Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 271: 245-259.
- Miya M. and Hirosawa M. 1994.** Anguilliform leptocephali from a fixed station in Sagami Bay, central Japan. *Japan. J. Ichthyol.* 41: 68-72.
- 宮本定明. 1999. クラスタ分析入門, ファジイクラスタリングの理論と応用. 森北出版, 東京. 1-176.
- Mo KC. and Livezey RE. 1986.** Tropical-extratropical geopotential height teleconnections during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.* 114: 2488-2515.
- 中川徹・小柳義夫. 1982. 最小二乗法による実験データ解析: プログラム SALS. UP 応用数学選書 7. 東京大学出版会, 東京. iv+206pp.
- Nakata K. and Hidaka K. 2003.** Decadal-scale variability in the Kuroshio marine ecosystem in winter. *Fish. Oceanogr.* 12(4/5): 234-244.
- Nanami A. and Nishihira M. 2002.** The structures dynamics of fish communities in an Okinawa coral reef: effect of coral based habitat structures at sites with rocky and sandy sea bottoms. *Env. Biol. Fish.* 63: 353-372.

- 岡崎雄二・中田英昭. 1998. 黒潮続流縁辺域における仔稚魚とその餌生物の分布. 月刊海洋号外 13: 154-158.
- Sakamoto TT., Hasumi H., Ishii M., Emori S., Suzuki T., Nishimura T. and Sumi A. 2005. Responses of the Kuroshio and the Kuroshio Extension to global warming in a high-resolution climate model. Geophys. Res. Lett. 32: L14617.
- Sassa C., Kawaguchi K., Kinoshita T. and Watanabe C. 2002. Assemblages of vertical migratory mesopelagic fish in the transition region of the western North Pacific. Fish. Oceanogr. 11(4): 193-204.
- Sassa C., Kawaguchi K., Hirota Y. and Ishida M. 2004a. Distribution patterns of larval myctophid fish assemblages in the subtropical- tropical waters of the western North Pacific. Fish. Oceanogr. 13(4): 267-282.
- Sassa C., Kawaguchi K., Oozeki Y., Kubota H. and Sugisaki H. 2004b. Distribution patterns of larval myctophid fishes in the transition region of the western North Pacific. Mar. Biol. 144: 417-428.
- Shimokawa T., Amaoka K., Kajiwara Y. and Suyama S. 1995. Occurrence of *Thalassenchelys coheni* (Anguilliformes; Chlopsidae) in the West Pacific Ocean. Japan. J. Ichthyol. 42(1): 89-92.
- 品川汐夫. 1984. 底生動物相による海域環境解析の一方法. 日本ベントス研究会誌. 26: 49-65.
- 品川汐夫. 1992. 動物の種—個体数組成の類似度にもとづく多変量解析法とその適用例. 下関女短大紀要. 10/11: 1-18.
- 品川汐夫. 1999. ファジイクラスター解析を用いた新しい生物群集解析法についての理論的考察. 下関女短大紀要. 17: 1-20.
- 品川汐夫. 2000. 新座標付けによる一次元群集構造の解析例—ノースカロライナ州の大陸棚上における深度に沿った帯状分布構造を有するマクロベントス群集の解析—. 下関女短大紀要. 18: 1-20.
- 品川汐夫. 2002. 群集構造解析プログラム PACS (A Program for Analyzing Community Structures) とその応用について. 下関女短大紀要. 19/20: 1-22.
- 品川汐夫. 2006. 下関市で建設中の人工島周辺における底生動物群集の変化について—座標付けとファジイクラスター解析を用いた群集データによる環境影響評価の手法—. 環境アセスメント学会誌. 4(2): 52-62.
- 品川汐夫・多部田修. 1998a. 数値実験の比較による、関係類似度を用いた Rsn 法の利点. 日水誌. 64(1): 56-64.
- 品川汐夫・多部田修. 1998b. マクロベントス群集の調査データによる対応分析法と Rsn 法の比較. 日水誌. 64(3): 418-426
- 品川汐夫・多部田修. 1998c. 河口域干潟における底生動物群集の経年変化についての RSn 法による解析. 日水誌. 64(5): 796-806.

- Smith DG. 1989.** Introduction to leptocephali. In: Fishes of the western North Atlantic. (Ed. by Böhlke EB.) Mem. Sears. Fdn. Mar. Res. 1(9): 657-668.
- Sokolovski A. S. 1975.** Congridae (Pices, Anguilliformes) larvae from the Kuroshio waters. TINRO Rep. 96: 129-135.
- 杉本隆成. 2004. 総論 気候変動が海の生物生産に与える影響. 杉本隆成(編), 海流と生物資源. 成山堂書店. 東京. pp. 9-23.
- 鈴木義一朗. 1995. 情報量基準による統計解析入門. 講談社. 東京. 182pp.
- Tabeta O. and Mochioka N. 1988. Anguilliform and elopiform leptocephali. In: preliminary report of Hakuho Maru cruise KH-86-4. (Ed. by Kajihara T.) Ocean research Institute. Univ. of Tokyo. 22-25.
- 多部田修・望岡典隆 1988. ウナギ目, ソコギス目. 沖山宗雄(編), 日本産稚魚図鑑. 東海大学出版会, 東京. pp. 21-64.
- 高橋正知. 2007. 黒潮親潮移行域における葉形仔魚の分類および分布特性に関する研究. 九州大学学位論文. pp. 1-226.
- Tsukamoto K. 1992.** Discovery of the spawning area for Japanese eel. Nature. 356: 789-791.
- Tsukamoto Y. 2002.** Leptocephalus larvae of *Pterothrissus gissu* collected from the Kuroshio-Oyashio transition region of the western North Pacific, with comments on its metamorphosis. Ichthyol. Res. 49: 267-269.
- 上田尚一. 1982. データ解析の方法: 質的データの解析. 朝倉書店, 東京. pp. 1-10.
- 渡邊朝生. 2001. 1990年代の北西太平洋の変化. 平成13年度東北ブロック水産海洋連絡会会報. 32: 43-50.
- 渡邊良朗. 1999. 浮魚類新規加入量決定の場としての黒潮親潮移行域の重要性. 月刊海洋 31: 181-183.
- Waluda CM., Trathan PN. and Rodhouse PG. 2004.** Synchronicity in southern hemisphere squid stocks and the influence of the Southern Oscillation and Trans Polar Index. Fish. Oceanogr. 13(4): 255-266.
- Yasunaga S. and Hanawa K. 2002.** Regime shifts found in the Northern Hemisphere SST field. J. Meteor. Soc. Japan. 80(1): 119-135.