

1984年4月の山陰沿岸域における マイワシ産卵場の海洋特性*

長田 宏** · 木谷浩三** · 渡辺和春**

Environmental Features in the Coastal Waters off the San-in District, Especially with Reference to the Spawning Ground of the Japanese Sardine, *Sardinops melanostictus* (T. & S.) in April, 1984.

Hiroshi NAGATA**, Kozo KITANI** and Kazuharu WATANABE**

Abstract

The coastal waters off the San-in district in the southwestern Japan Sea are important fishing grounds for pelagic fishes such as sardine, squid, tuna, etc., as well as being their spawning grounds. Marine environmental conditions were investigated and eggs and larvae of pelagic fishes were collected in April, 1984.

Seven environmental factors, that is, water temperature (WT), salinity (Sal), dissolved oxygen (DO), dissolved inorganic nitrogen (DIN), dissolved inorganic phosphorus (DIP), dissolved organic phosphorus (DOP) and chlorophyll *a* (Chl-*a*) were selected to indicate sea conditions at that time. As a result of Principal Component Analysis (PCA) and information on a spawning ground of the Japanese sardine, the following results were revealed;

- 1) Both spawning area and number of eggs of the Japanese sardine in 1984 were less than those in 1983. During the first half of 1984, water temperature in most of the Japan Sea was extremely low in comparison with normal years, and may have caused this.
- 2) Water temperature and salinity of the spawning area were 12.5-13.5°C, 34.4-34.8 respectively.
- 3) Using PCA, it was found that two principal components (Z1, Z2) could represent 77% of the original oceanographic data.
- 4) The first principal component (Z1) showed a positive correlation with WT and Sal, and a negative one with DO and Chl-*a*. This may reflect an influence of the Tsushima Warm Current. The second principal component (Z2) showed a negative correlation with DIN and DIP, and it may reflect nutrient supply.
- 5) The stations where sardine eggs existed are close to each other in a specific area on the Z1-Z2 plane.

This suggests that the spawning area of the Japanese sardine in this region is influenced by not only high water temperature and salinity, but also by large amounts of chlorophyll (phytoplankton standing crop) and poor nutrients.

1. はじめに

日本海の山陰沿岸は、いわし、さば、いか類等の重要な漁場であるとともに、産卵域としても重要であり、こ

れまでもマイワシ、スルメイカ、クロマグロ等の卵稚仔分布調査が行われてきた(水産庁, 1985; 木川・西川, 1985)。これらの調査結果を将来の漁況予測、資源管理に役立てるためには、その海域における生物生産機構や環境収容力の概念が今後ますます必要となってくる。そのため、卵稚仔採集とともに、それらに係わる捕食～被食関係、さらに基礎的な餌料である植物プランクトンの増

* 1986年7月31日受理

日本海区水産研究所業績B第8604号

** 日本海区水産研究所 Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory, Suido-cho, Niigata, 951 Japan

殖に影響する環境条件なども含めた、多項目にわたる海洋環境調査を並行して行う必要があろう。

著者は、水産庁の昭和59年度漁業資源評価システム高度化調査の一環として、山陰沿岸域におけるマイワシ卵稚仔採集を行い、同時に諸項目にわたる海洋観測を実施した。本稿ではこの調査によって得られた多項目のデータを主成分分析によって解析して海域区分を試み、マイワシ産卵域における海洋環境特性を解析した。とくに1984年は、数十年に一度という異常低水温現象に見舞われ、日本海漁業が大きな影響を受けた特異な年であった(笠原, 1984)。したがって、この年の海洋環境を詳細に検討することは、今後の日本海の生物生産機構を解明する上で、一つの基礎資料となる。

本文に先立ち、原稿の校閲をいただいた広島大学生物生産学部遠藤拓郎教授、調査に御協力をいただいた京都府立水産高等学校練習船「みずなぎ」(148t)の斎藤潤司船長ほか乗組員各位に謝意を表す。

2. 方 法

1984年4月12~22日、山陰沿岸に設定した113の定点(Fig. 1)において、いわし類の卵稚仔採集を行い、このうち白丸で表した29の定点においては、同時に海洋観測も実施した。海洋観測点では、水面から300mまでの10層における水温(WT)、塩分(Sal)、溶存酸素量(DO)、溶存態無機窒素(DIN=Nitrite-N+Nitrate-N)、溶存態無機リン(DIP)、溶存態有機リン(DOP)、クロロフィルa量(Chl-a)を測定した。水温は棒状温度計または転倒温度計、塩分はサリノメーター(オートラボ 601 Mk IV)、溶存酸素量はウインクラー法によった。また、

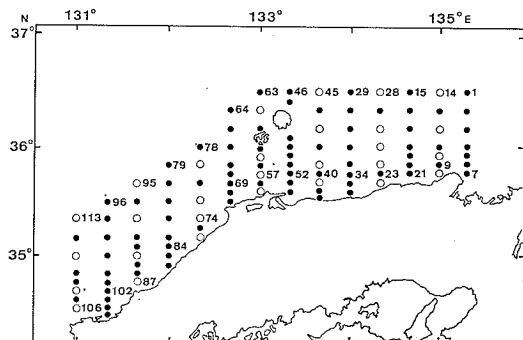


Fig. 1. Map of stations off the San-in district in April 12-22, 1984. Net sampling was carried out to collect sardine eggs and larvae at every station. Open circles indicate stations where oceanographic observations were carried out with net sampling.

DINの分析はAuto Analyserにより、DIPおよびDOPは海洋観測指針(気象庁編, 1970)に基づいて分析した。さらにクロロフィルaについては、90%アセトンで抽出後、蛍光法で測定した。このほかの定点では、表面測温のみ行った。なお、HOLM-HANSEN (1969)は、クロロフィル量にある係数を掛けた値が直接検鏡によって求めた現存量とよく一致することを報告している。そこで、ここでは植物プランクトンの現存量をクロロフィルa量で表わした。

卵稚仔採集には、丸特ネット(口径45cm、網目330 μ m)を用い、150mから表面までの鉛直曳を行った。採集した試料は中性ホルマリンで固定(10%)した後、魚卵・稚仔の選別、査定を行った。

一般に、マイワシ卵は数十m以浅の表層に多く分布することが知られており(伊東, 1961)、また調査期間中は鉛直混合によって等温層が発達していたので、表層水に関する測定結果に注目し、マイワシ卵の分布域における海洋環境をT-Sダイアグラムを用いて検討した。さらに、水温、塩分だけでなく、溶存酸素量、餌としてのプランクトン量、そしてそれらの増減に係わる栄養塩量などの影響を調べるため、上記7種の観測項目の結果を主成分分析によって解析した。

主成分分析法を用いて海洋環境を解析した例は、これまで鈴木ほか(1981)、大内・高山(1981, 1984)などがある。前者は東京湾の生態系、低次レベルのシステム特性の解明のために、また後者は広島湾における赤潮の発生環境の解析および予察のために利用し、いずれも本法が有効な方法であることを述べている。

なお、主成分分析の計算は、NECパーソナルコンピュータPC9801Fを用い、ソフトウェアは、日本マイコン学院製統計パッケージ「多変量解析」を利用した。

3. 結 果

(1) マイワシ産卵場

マイワシ卵は島根半島以西の沿岸域を中心に南西~北東に広く分布しており、最も多く採集されたのは、Stn. 87で、81 eggs/haul、ついでStn. 72の65 eggs/haulであった。しかし、採集量は陸から遠ざかるにつれて急激に減少し、距岸30カイリ以上の沖合域には全くみられなかった。さらに、隠岐海峡以東では沿岸域、沖合域ともマイワシ卵は採集されなかった(Fig. 2)。採集されたマイワシ卵はNAKAI (1962)の発生段階区分A, B-stageの、比較的発生段階の初期の卵が多かったことから、卵の採集域を産卵域とみなしてもよいであろう。

(2) T-S ダイアグラムからみた海域特性

海洋観測を行った29の定点における表面の水溫、塩分の値を T-S ダイアグラム上にプロットしたところ、マイワシ卵が認められた定点は比較的狭い範囲に分布しており、水溫が 12.5~13.5°C、塩分が 34.4~34.8‰の海域に限られていたことが示された (Fig. 3)。また、これらは対象海域全体の T-S ダイアグラムの中では高温・高塩分領域に属していた。全調査海域をみると、山陰西部海域では高温・高塩分、東部ほど低温・低塩分になる T-S 特性が示されている。

(3) 主成分分析からみた海域特性

7種の環境要素 (水溫, 塩分, 溶存酸素量, DIN,

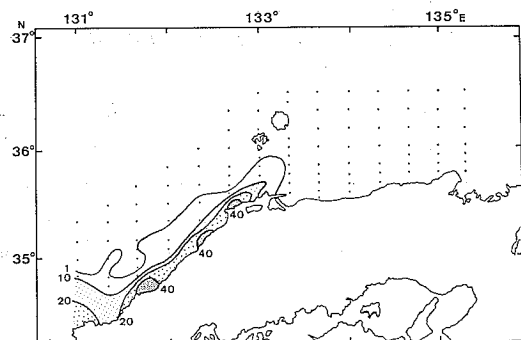


Fig. 2. Horizontal distribution of sardine eggs. (No./haul)

DIP, DOP, クロロフィル a 量) を用い、相関行列から出発して主成分分析を行った結果、第 1 主成分の寄与率は、42.8%, 第 2, 第 3 主成分までの累積寄与率は、それぞれ 76.9%, 91.0% であることが示された (Table 1)。したがって、いま第 2 主成分までをとると原データの

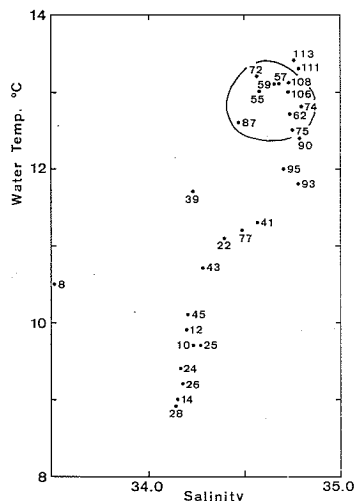


Fig. 3. Relationships between surface water temperature and salinity. Numerals in the T-S diagram indicate station number and stations in the circle indicate where sardine eggs were collected with the exception of Stn. 62.

Table 1. Result of Principal Component Analysis for data in April, 1984.

Principal component	Z1		Z2		Z3	
Eigenvalue	2.99		2.39		0.99	
Accumulated proportion (%)	42.8		76.9		91.0	
	EV	FL	EV	FL	EV	FL
WT	0.44	0.75	0.38	0.58	0.01	0.01
Sal	0.52	0.89	0.17	0.26	0.14	0.14
DO	-0.55	-0.95	0.09	0.13	-0.12	-0.11
DIN	-0.02	-0.04	-0.62	-0.97	0.12	0.12
DIP	0.15	0.27	-0.59	-0.92	0.10	0.10
DOP	-0.11	-0.20	0.10	0.15	0.97	0.96
Chl-a	-0.45	-0.78	0.26	0.41	0.09	0.09

		EV: Eigenvector				FL: Factor loading		
Correlation matrix		WT	Sal	DO	DIN	DIP	DOP	Chl-a
WT		1.000						
Sal		0.778	1.000					
DO		-0.654	-0.785	1.000				
DIN		-0.565	-0.246	-0.083	1.000			
DIP		-0.297	0.013	-0.416	0.871	1.000		
DOP		-0.063	-0.021	0.104	-0.032	-0.119	1.000	
Chl-a		-0.288	-0.542	0.739	-0.323	-0.467	0.255	1.000

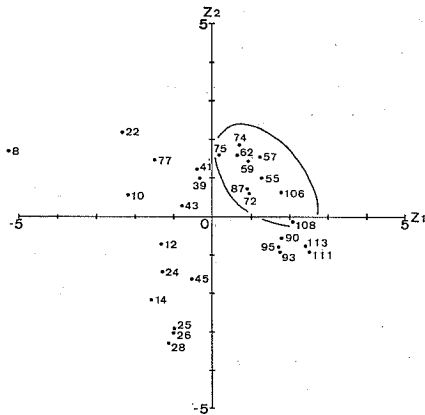


Fig. 4. Environmental classification of observed stations based on the first and second principal component (Z1, Z2). Stations in the circle indicate where sardine eggs were collected with the exception of Stn. 62.

77%の情報が得られ、23%の情報損失で7次元座標上の点を2次元の平面座標上にプロットできることになる。変数はすべて基準化したものとすれば、第1主成分 (Z1)、第2主成分 (Z2) はそれぞれ

$$Z1 = 0.44WT + 0.52Sal - 0.55DO - 0.02DIN + 0.15DIP - 0.11DOP - 0.45Chl$$

$$Z2 = 0.38WT + 0.17Sal + 0.09DO - 0.62DIN - 0.59DIP + 0.10DOP + 0.26Chl$$

と表せる。

この式から、各定点における Z1, Z2 を計算し、座標にプロットしたところ、マイワシ卵が認められた定点は、1例 (Stn. 108) を除き、すべて第1象限に属していた。さらに、卵が特に多かった3定點 (Stns. 72, 87, 106) は地理的には離れているが、座標上では極めて接近していた (Fig. 4)。

4. 考 察

マイワシ卵の分布域を1983年4月と比較すると、'83年は山口県から京都府西部まで広がっていた (水産庁, 1985) のに対し、'84年4月は島根半島以西に限られていた。また、卵の現存量も'83年は最高 136 eggs/haul 存在したのに対し、'84年は最高で 81 eggs/haul と少なかった。一方、卵の分布域の水温は、'83年4月には50 m層で 13.0~15.0°C であった (水産庁, 1985) が、'84年4月は表面水温で 12.5~13.5°C, 50 m層では 11.7~12.7°C と低かった。一般に、マイワシの産卵産期の水温は、日本海西部海域および九州北西海域では、

14~17°C 程度といわれている (伊東, 1961)。'84年4月の産卵域面積、現存量ともに前年4月を下回ったのは、'84年前半における異常低水温現象による産卵時期の遅れが一因と考えられる。

T-S ダイアグラム上において、マイワシ産卵域は、調査海域の中では比較的高水温、高塩分域であり、特定の T-S を有した海域に産卵が限られていることがうかがえる (Fig. 3)。しかし、T-S ダイアグラムでは、ほぼ同程度の高温・高塩分でありながら、卵が全く認められなかった Stns. 90, 93, 95, 111, 113 を産卵域と明確に区別することはできない。おそらく、水温、塩分以外の海洋特性も産卵域の分布に関与すると考えられる。そこで、栄養塩、クロロフィル a 量等のデータを含めて主成分分析の結果を検討すると、第1主成分 (Z1) は水温、塩分と高い正の相関があり、一方、DO、クロロフィル a 量とは高い負の相関があった。すなわち、水温、塩分の値が大きいほど Z1 の値は大きくなり、DO、クロロフィル a 量の値が大きくなるほど Z1 の値は小さくなった。春季の対馬暖流水は、流域外の水よりも高温、高塩分であり、栄養塩、酸素量は少ないことが示されている (舞鶴海洋気象台・函館海洋気象台, 1984)。したがって、暖流の性質が強いほどこの場合の Z1 の値は大きくなることから、Z1 は対馬暖流の影響の強さを示す成分と考えられる。一方、第2主成分 (Z2) は水温、クロロフィル a 量と正の相関がみられるものの、DIN, DIP とは著しく高い負の相関があった。つまり、DIN, DIP の値が大きいほど Z2 の値は小さくなることから、Z2 は栄養塩との係わりを示す成分と考えられる (Table 1)。

Z1-Z2 座標上に各定点をプロットすると、産卵域は非産卵域 (Stns. 90, 93, 95, 111, 113) より、いずれも植物プランクトンが多く、栄養塩量が少ないという点で区別できた (Fig. 4)。この非産卵域は産卵域よりも沖合に位置し、対馬暖流の本流に近い海域と思われるが、沿岸寄りである産卵域の方が栄養塩量が少なかったのは、植物プランクトンによる消費が多かったためと考えられる。一方、Stn. 62 ではマイワシ卵は認められなかったが、T-S ダイアグラム、主成分分析でみた限り、海洋環境の点では産卵域と区別できなかった。この理由については、明らかでない。

Z1-Z2 座標上のそのほかの点をみると、第4象限には、低水温、低塩分である一方、クロロフィル a 量、DO が高濃度の海域が占め、Stn. 77 を除いては兵庫~鳥取県沿岸から隠岐東方にかけてのクロロフィル高濃度域 (Fig. 5) がこれに相当した。また、第3象限の点は、

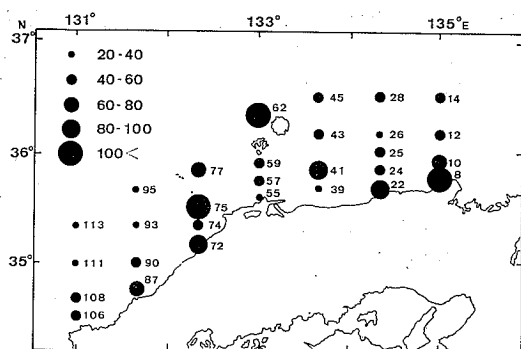


Fig. 5. Horizontal distribution of chlorophyll *a*, accumulated from surface to 50 m (mg/m^3). Numerals indicate station numbers as in Fig. 1.

水温、塩分、クロロフィル濃度は低い、栄養塩量が多い海域が占め、兵庫、鳥取県沖合域がこれに相当した。この海域の北方では、隠岐海嶺が南西から北東に向かって延びており、当時北方から冷水の張り出しがあった(日水研, 1984; 長田・木谷, 1985)。さらに、低水温の水系が深層から上昇しているパターンがうかがえたことから、湧昇が起こっていた可能性がある。第2象限には高水温、高塩分で、比較的栄養塩が多い海域が占め、山口県沖合域が含まれていた。

今回の主成分分析によって、山陰沿岸の1984年4月におけるマイワシの産卵域は、水温、塩分だけでなく、栄養塩とクロロフィル濃度にも関係していることが示された。マイワシ卵稚仔の分布域と海洋環境との関連については、船越・柳橋(1983)が遠州灘沿岸域において、また中原ほか(1985)は山口県の日本海側における結果を報告している。特に船越・柳橋(1983)は、マイワシ産卵場では珪藻類の現存量が周辺海域よりも著しく多く、さらに産卵は水温が年間で最も低い時期に行われることを述べている。日本海の春季の植物プランクトン増殖期には主に珪藻が優占する(NISHIMURA, 1965)といわれ、当海域でも産卵が行われた島根～山口県沿岸域では植物プランクトンが比較的高濃度であった。しかし、隠岐西～南西域および兵庫沿岸～鳥取県沖合域にも植物プランクトンの高密度域(Fig. 5)がみられたが、ここではマイワシ卵は発見できなかった。特に後者は、毎年マイワシ卵の分布が少ない海域である(渡辺, 未発表)。おそらく、'84年については、近年にない異常低水温であって3～4月も低水温のまま推移し、表面で10～11°C、50mになると9～10°Cの低水温であったため、産卵が行われなかったと推察される。

5. 要約

1984年4月における山陰沿岸域の海洋観測資料を解析し、マイワシ産卵域との関連を考察した。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 1984年は山陰沿岸域におけるマイワシの産卵域面積、卵数とも前年を下回ったが、これは当時の異常低水温現象が一つの原因と考えられる。
- 2) マイワシ産卵域の環境を解析するには、従来のT-S解析だけでなく、生物・化学的な他の環境要素も加えた主成分分析法を併用するのが有効である。
- 3) 主成分分析の結果、第2主成分までを採用することにより、23%の情報損失で7次元データを2次元データに簡約化できた。そして、第1主成分(Z1)は水温、塩分と正の相関があり、DO、クロロフィル*a*量とは負の相関があったことから、対馬暖流の影響の強さを示す成分と考えられる。第2主成分(Z2)は主にDIN、DIPと負の相関があったことから、栄養塩との係わりを示す成分と考えられた。
- 4) マイワシの産卵域は、高水温、高塩分であると同時に、栄養塩が低濃度で、さらに相対的にはクロロフィル*a*量(植物プランクトン現存量)が多いという条件を満たした海域であった。

文 献

- 船越茂雄・柳橋茂昭(1983) 遠州灘沿岸の渥美外海域におけるマイワシ産卵場および産卵期の環境特性。水産海洋研究会報, 44, 29-43.
- HOLM-HANSEN, O. (1969) Determination of microbial biomass in ocean profiles. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 740-747.
- 伊東祐方(1961) 日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究。日本海区水研研報, 9, 1-227.
- 笠原昭吾(1984) 1984年日本海の異常低水温にかかわる魚・貝類の斃死及び漁況の特異現象について。日本海区水産試験研究連絡ニュース, No.329, 1-9.
- 木川昭二・西川康夫(1985) 幼稚魚の加入実態(クロマグロ稚仔の分布と豊度の変動)。昭和59年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究, クロマグロ, 5, 23-26.
- 気象庁編(1970) 海水の化学分析, 海洋観測指針。日本海洋学会, 東京, 145-205.
- 舞鶴海洋気象台・函館海洋気象台(1984) 北陸沿岸海域の水塊構造とその変動調査。海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究。北陸沿岸地域調査成果報告, 日水研。
- 長田 宏・木谷浩三(1985) 1984年春季の山陰沖におけるクロロフィル*a*分布と海洋構造。日本海区水研研報, 35, 161-164.

- 中原民男・小川嘉彦・河野光久(1985) イワシ稚仔魚の分布と環境. 山口県近海. 水産海洋研究会報, 47・48, 66-69.
- NAKAI, Z. (1962) Studies relevant to mechanisms underlying the fluctuation in the Japanese sardine, *Sardinops melanosticta* (T. & S.). Japan. Jour. Ichthy., 9, 1-115.
- NISHIMURA, S. (1965) The zoogeographical aspects of the Japan Sea. Part II. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 13, 81-101.
- 日本海区水産研究所(1984) 日本海漁場海況速報. No. 379.
- 大内 晟・高山晴義(1981) 主成分分析による赤潮図について. 日水誌, 47, 1275-1279.
- 大内 晟・高山晴義(1984) 赤潮図による *Gymnodinium* '65年型種赤潮の予察について. 日水誌, 50, 1201-1205.
- 水産庁(1985) 昭和58年度漁業資源評価システム高度化調査結果報告書. 水産庁研究部, 234-265.
- 鈴木正明・大内 東・小峰 淳・福岡二郎・加地郁夫(1981) 主成分分析による水質データの解析. 東京湾における栄養塩, クロロフィルなどの変動. 海と空, 56, 161-169.