イワシシラス漁場形成機構に果たす濁度の重要性*1

魚谷 逸朗, 岩川 敬樹, 川口 弘一

(1993年7月26日受付)

Experimental Study on the Formation Mechanisms of *Shirasu* (Postlarval Japanese Anchovy) Fishing Grounds with Special Reference to Turbidity

Itsuro Uotani*2, Takaki Iwakawa*2, and Kouichi Kawaguchi*3

The response and behavior of postlarval Japanese anchovy (*shirasu*) to differences in turbidity, prey density, and salinity were studied with the aim of understanding the formation mechanisms of *shirasu* fishing grounds. An experimental tank was composed of 2 sections divided by a sliding board in which different combinations of turbidity, salinity, and prey density condition were prepared. The behavior of 50 postlarvae released in one section was observed. After removing the sliding board the number of individuals which moved into another section was counted after 30 seconds. In an experiment on various combination of conditions, *shirasu* showed a strong positive reaction only to turbidity and moved into the section of turbid water. More than 90 percent of *shirasu* moved from the section without turbidity to the section of turbid water of 5-10 ppm, while more than 75 percent moved to the section of 20-30 ppm turbidity. At much higher turbidity in the range of 40-50 ppm, *shirasu* were first attracted into the turbid water, but escaped from it at the next moment. Prey density and salinity showed no significant effect in attracting *shirasu*, although a high prey density may be effective in keeping *shirasu* in the fishing ground. Turbidity and salinity observations in *shirasu* fishing grounds in Suruga Bay also support this result.

キーワード: 漁場形成, カタクチイワシ, シラス, 駿河湾

本邦におけるイワシシラス漁場は、河川水の流入水域に形成されることから、これまでシラス漁場の塩分、餌料生物、透明度などについて調査が行われてきた。その結果、シラス漁場内は一般に低塩分、^{1,2)} 餌料生物が豊富、³⁾ 低透明度⁴⁾であることが明らかになってきた。しかし、これら漁場内の環境特性のうち、未だどの環境要因がシラスを漁場内へ誘引し、また漁場内に停滞させておくかは明らかになっていない。

そこで、本研究ではイワシシラス漁場形成機構の解明を目的とし、生きたカタクチシラスを用いて、実験水槽内での濁度、餌料生物密度、塩分濃度勾配に対するシラスの行動観察を行い、それら要因に対するシラスの反応を明らかにした。また、シラス漁場内の濁度、塩分についても調査を行い、実験水槽での結果と合わせて検討し、シラス漁場の形成機構について論議した。

材料および方法

本研究で用いたカタクチシラスは、駿河湾奥部の興津漁場で、1991年5月19日にシラス漁業者により、特製

の活簀付きシラス網で捕獲され、シラスは網に入れた状態で、船速約2ノットで清水港岸壁まで運ばれた。そこで、魚体に触れることなく活簀に誘導し、次いでシラス網と活簀を分離した。活簀は3日間、岸壁に係留し (Fig. 1)、その後活簀内のシラスはバケツで海水とともに、16

Fig. 1. A net cage used to transport *shirasu* (postlarval anchovy) from the fishing ground in Suruga Bay to the laboratory.

*1 本研究の概要は1992年10月、日本水産学会秋季大会(下関)で発表した。

*2 東海大学海洋学部 (School of Marine Science and Technology, Tokai University, Shimizu, Shizuoka 424, Japan).

*3 東京大学海洋研究所 (Ocean Research Institute, University of Tokyo, Minamidai, Nakano, Tokyo 164, Japan).

Fig. 2. The experimental acrylic tank divider into 3 parts (A, B, C) of equal size by 2 vertically sliding boards (M1, M2).

The board (M3) was used when the tank was divided into 2 equal parts.

トン循環式円型水槽内に設置されている小区画の網の中へ移した。そして、適宜手鍋でシラスを海水ごと掬って実験用材料とした。実験時のカタクチシラスの全長は28.8~30.1 mm (平均 29.2 mm) であった。

シラスの反応実験で用いた水槽は、縦 60 cm、横 180 cm、高さ 45 cm のアクリル製水槽で、水槽内は 2 枚の仕切り板 M₁, M₂ で A, B, C の 3 区画に、さらに仕切り板 M₃ で、区画 B の中央部においても仕切れる構造になっている (Fig. 2)。濁度および餌料生物濃度に対するシラスの反応実験では、A 区画と B 区画の 2 区画を使用し、C 区画を予備槽とした。濁度の実験においては A 区画の濁度を 0 ppm とし、そこにシラスを 50 尾収容した。B 区画の濁度は 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ppm の 7 段階に設定した。餌料生物密度の実験は 5 回行ったが、実験 1~3 では水槽の A 区画に、一日前から餌止めたシラスを収容し、B 区画に餌料生物として体長 0.7~0.9 mm の *Artemia salina* の nauplius 幼生 (1,500 個体/l) を入れた。実験 4 と実験 5 では A 区画にシラスと餌料生物を入れた。全ての実験において、シラスを実験水槽に入れた後は、できる限り刺激を与えないように 5 分間放置し、その後仕切り板をゆっくり引き上げ、B 区画へのシラスの移動を可能とした。そして、30 秒後に再び仕切り、A 区画から B 区画へのシラスの移動個体数を計数し、移動率を求めた。

塩分濃度の実験では、M₃ の仕切り板で水槽を 2 区画に仕切り、片側の区画を使用した。実験に際して、高塩の海水を水槽の約 1/2 の深さまで入れ、その上面をビニールシートで覆った。次にビニールシートの上へと低濃度海水を静かに注いだ。海水の量が上、下層ほぼ同量

Fig. 3. The condition of 2-layered sea water in the experimental tank.

Upper layer: salinity 25, turbidity 30 ppm.

Lower layer: salinity 30, turbidity 0 ppm.

になった時点で、注意を払いながらビニールシートを抜き取り、塩分 5 の高低差により成層構造を作った。Fig. 3 は上層の塩分 25、濁度 30 ppm、下層の塩分 30、濁度 0 ppm の海水が成層している状態を示し、濁っている上層は白く、透明な下層は黒く写っており、成層構造は前述の方法でうまく作り出せることが分かる。シラスを下層に収容する実験ではビニールシートで上面を覆う直前に、また上層に収容する実験ではビニールシートを抜き取った直後に、シラス 50 尾を入れた。その後 5 分間放置し、上層部あるいは下層部へのシラスの移動率を求めた。

塩分濃度の調整は EIL サリノメータ (BB 社製, MC5/2) で測定しながら、人工海水 (日本動物薬品 KK) と淡水で行った。濁度はポータブル濁度計 (京都電子工業 KK, Type PC-06) で測定し (単位は ppm で、1 ppm は精製カオリン 1 mg を水 1 l 中に含む)、実験海水の濃度調整は赤とのこ (アサヒペン社製) で行った。

また興津漁場の環境要因のうち、表面塩分と水深 5~8 m (シラスの平均的漁獲水深) における濁度の調査を、1990 年 3 月 21 日から 8 月 7 日の期間に、漁場全域において行った。

結 果

濁度に対する反応実験 合計 3 回の実験結果を Fig. 4 に示す。実験 1 の結果についてみると、B 区画の濁度が 0 ppm の場合の移動率は、わずか 20.0% に過ぎないが、5 ppm では 95.5% と最高値を示し、10 ppm では 91.7%、20 ppm と 30 ppm ではそれぞれ 76.0%、78.7% となる。そして、40 ppm では 26.5%、50 ppm では 22.9% となり、濁りのない 0 ppm の場合と大差なくなる。実験 2、実験 3 の結果においても、シラスの移動率は B 区画の濁度が

Fig. 4. Ratio of shirasu (postlarval anchovy) which moved from chamber A with transparent water to chamber B with turbid water, with seven different levels of turbidity ranging from 0 ppm to 50 ppm.

5 ppm で最高となり、濁度の上昇とともに漸減するが、その減少パターンは若干異なる。

餌料生物密度に対する反応実験 A 区画にシラスを収容し、B 区画に餌料生物を投入した実験、すなわち実験 1～3 でのシラスの B 区画への 30 秒後の移動率は、実験 1 が 24.5%、実験 2 が 35.6%、実験 3 が 24.9% で、全体の約 1/3～1/4 程度の個体が餌料生物の存在する区画へ移動した。一方、A 区画にシラスと餌料生物を混入させた場合の移動率は、実験 4 が 24.5% で、実験 5 が 8.3% であった (Table 1)。

塩分濃度に対する反応実験 シラスを低塩分の上層へ収容した実験 1～3 の結果では、塩分濃度の高低をとわず、下層へのシラスの移動率が 10% 内外である。反対にシラスを高塩分の下層に収容した実験結果でも、移動率は 4.3%～11.4% と低く、最も高率である実験 4 の結果でも 11.4% に過ぎない (Table 2)。

以上、カタクチシラスの移動は、塩分の高低に余り影響されないことが明らかになった。

濁りと餌料生物に対する反応実験 これまで濁度、餌料生物密度、塩分濃度に対するシラスの反応を個別に調べた。ここでは濁りと餌料生物を組み合わせた 2 回の実験結果について述べる。濁度 0 ppm の A 区画に一日前から餌止めしているシラス 50 尾と餌料生物 1,500 個体/l を混入した。B 区画の濁度は 30 ppm に設定した。餌料生物の投入は仕切り板を引き抜く 10 秒前に行った。

Table 3 は仕切り板を引き抜いてから、30 秒後に再び仕

Table 1. Percent of postlarval anchovy which moved from chamber A to chamber B

Experiment	Percent of fish moved	W. T. (°C)	Sal.	Remark
1	24.5	18.9	31.2	Fish placed in chamber A and prey in chamber B
2	35.6	18.9	31.2	
3	24.9	18.9	31.2	
4	24.5	18.0	32.4	Both fish and prey placed in chamber A
5	8.3	18.0	32.4	

Artemia nauplii were used as prey at the density of 1,500 ind./l. Fifty specimens of postlarval anchovy were used in each experiment.

Table 2. Percent of postlarval anchovy which crossed through the pycnocline

Experiment	Percent of fish moved	Salinity		W. T. (°C)	Remark
		upper l.	lower l.		
1	8.0	20	25	19.8	Fish moved from low to high saline water in exp. 1-3.
2	8.2	25	30	19.8	
3	12.0	30	35	19.8	
4	11.4	20	25	20.0	Fish moved from high to low saline water in exp. 4-6.
5	4.3	25	30	20.0	
6	8.3	30	35	20.0	

Fifty specimens of postlarval anchovy were used in each experiment.

切った時点での B 区画へのシラスの移動率を示している。シラスの移動率は実験 1 が 96.0%, 実験 2 が 94.0% となっており、殆ど全てのシラスが餌料生物存在区画から濁度設定区画へと移動している。このように、シラスは餌料生物よりも濁りに強く誘引された。

濁りと塩分濃度に対する反応実験 本実験は 4 回行っており、実験 1 と実験 2 では上層の濁度を 30 ppm、下層の濁度を 0 ppm とし、下層にシラス 50 尾を収容した。また実験 3 と実験 4 では上層の濁度を 0 ppm、下層の濁度を 30 ppm とし、上層にシラスを 50 尾収容した。塩分の組み合わせは、上層 25 と下層 30 および上層 30 と下層 35 の 2 通りである。

実験 1 および実験 2 の結果が示すように、塩分の高低をとわず、濁りが設定されている上層へのシラスの移動率は 100% である。また、反対に下層に濁りを設定した実験 3、実験 4 の結果でも、下層への移動率はそれぞれ 91.1%, 100% である。このことから、カタクチシラスは、塩分の高低よりは濁りに対して強く反応すると言える (Table 4)。

濁った水に対するシラスの行動 実験水槽中のシラスの行動について肉眼観察およびビデオ撮影での結果を述べる。濁度に対しての反応実験では、シラスの安定時間中 (5 分間) に多くのシラスが濁りの設定されている方向へ頭部を向けているだけでなく、仕切り板に頭部を接触させていた (Fig. 5)。そして、仕切り板を引き抜くと同時に、約 70% 以上のシラスが B 区画へと移動した。移動したシラスは濁度が 20 ppm 以下の場合、殆ど全

ての個体が B 区画の濁った海水中にとどまった。このような現象は、全ての実験で共通していた。しかし、濁度が 40 ppm 以上になると、A 区画内に拡散してくる B 区画からの低濁度の海水中へと逃避する個体が増加した。先に、濁度の増大に伴って移動率が若干異なることを述べたが、これは逃避する速度が異なったためである。

このように、カタクチシラスは餌料生物や塩分の高低差よりも、濁りに強く誘引され、少なくとも 5 ppm から 20 ppm の濁度にはシラスを停滞させる強い効果があることが明らかになった。また、濁度 40 ppm 以上になると、視覚的に誘引作用はあるものの、その濁度の水中に突入後、逃避反応を示すことが分かった。

シラス漁場の塩分および濁度分布 興津シラス漁場内で、実際に漁獲が行われた点において、85 回観測した表面塩分の頻度分布図を Fig. 6 に示す。最低塩分値は 15.2、最高値は 33.9 であった。2 区分の各塩分の観測頻度をみると、塩分 18.1~20.0 が 4.7%, 24.1~26.0 が 7.1%, 28.1~30.0 が 21.2%, 32.1~34.0 が 24.7% であり、高塩分になるに従って、その出現率は増大する傾向にあるが、特に 26.1 以上の 4 階級の値が高く、それらで全体の 83.5% を占める。

また、シラスの平均的漁獲水深である水深 5~8 m における 49 回の濁度の観測値のうち、最低は 1 ppm で最

Table 3. Percent of postlarval anchovy which moved from chamber A with *Artemia* nauplii at the density of 1,500 inds/l to chamber B without prey, but filled with the water of 30 ppm turbidity

Experiment	Percent of fish moved	W.T. (°C)	Sal.
1	96.0	18.9	31.2
2	94.0	18.9	31.2

Fifty specimens of postlarval anchovy were used in each experiment.

Table 4. Percent of postlarval anchovy crossed boundary between the upper and lower layers of different salinity and turbidity

Experiment	Percent of fish moved	Salinity		Turbidity (ppm)		WT (°C)
		upper l.	lower l.	upper l.	lower l.	
1	100	25	30	30	0	18.5
2	100	30	35	30	0	18.5
3	91.1	25	30	0	30	19.8
4	100	30	35	0	30	19.8

Fifty specimens were released in the lower layer in the experiments 1 and 2, and in the upper layer in the experiments 3 and 4.

Fig. 5. The shirasu (postlarval anchovy) heading towards the turbid water and gathering close to the transparent board just before removing the board separating the non-turbid seawater from the turbid water.

Fig. 6. Frequency distribution of surface water salinity measured at each station where the *shirasu* (postlarval anchovy) fishing was conducted.

高は 30 ppm であった。5 ppm の間隔区分で、濁度の出現頻度組成を Fig. 7 に示す。最高出現率は 1~5 ppm 階級に認められ、その値は 46.9% である。ついで、6~10 ppm 階級の 24.5%、11~15 ppm 階級の 16.3%、21~25 ppm 階級の 6.1% となっている。つまり、濁度が 1 ppm から 15 ppm 以下の水域での漁獲回数が総漁獲回数の 80.8% を占めている。

以上のように、本シラス漁場における表面塩分と水深 5~8 m の濁度の 80% 以上が、26.1~34.0 および 1~15 ppm の範囲内にあった。

論 議

静岡県下の主なシラス漁場は、天竜川、大井川、安倍川など河川系水の流入する河口域前線に形成される。⁹⁾ 河口域前線にシラス漁場が形成されるのは駿河湾・遠州灘だけでなく、相模湾、²⁾ 伊勢湾・三河湾⁹⁾ などでも共通しているので、シラス漁場の形成に河川系水の流入が深く関わっていると考えられている。

河川水とシラス漁場形成との関係について論じた報告はいくつかみられ、うち中村⁹⁾ は、カタクチシラスの漁場形成は主に低塩水塊の発達に起因し、シラス終漁期は沿岸河川系水の衰退期と一致するとした。また、三谷・長谷川¹²⁾ は相模湾のシラス漁場内の塩分調査を行い、シラス漁場は表面塩分が 29~32 の場所に形成されていると報告した。本研究結果によれば、駿河湾の興津漁場内のシラス操業地点における表面塩分の 80% 以上が 26.1~34.0 の範囲内であった。駿河湾でも 32.0 未満の低塩分が 75.3% を占めていることから、駿河湾も相模湾と

Fig. 7. Frequency distribution of turbidity measured at 8 m depth at each station where the *shirasu* (postlarval anchovy) fishing was conducted.

同様、シラス漁場は沖合水中には形成されず、一般に低塩分の沿岸水中に形成されると言える。本研究における塩分濃度に対するシラスの反応の実験結果によれば、高塩分区画から低塩分区画あるいは低塩分区画から高塩分区画へのシラスの 5 分間当たりの移動率は、いずれも 10% 程度であった。このことから、塩分差がカタクチシラスを誘引する要因になっているとは考えにくい。

一方、シラス漁場形成には餌料生物の分布密度が関与しているとみなす報告もある。事実、シラス漁場内における微小動物プランクトンの分布密度は沖合域に比べて高く、⁹⁾ シラスの生存に好影響を与えている。⁷⁾ 辻・三谷¹⁴⁾ は相模湾平塚漁場で、かいあし類の nauplius 幼生や *Oithona* の分布密度を調査し、漁場内の餌料環境は非常に良好で、沖合からの流入により漁場に加したシラスは積極的に漁場内にとどまると推察した。このように、餌料生物の存在の多少がシラス漁場形成の 1 つの大きな要素であるとみなされている。

本実験結果では、餌料生物としての *Artemia salina* の nauplius 幼生への反応はそれほど顕著でなく、餌料生物の存在しない区画から餌料生物の存在する区画へのシラスの 30 秒間当たりの移動率は、1 例を除いて 20~30%

** 辻 祥子・三谷 勇: 昭和 60 年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 1985, p. 48.

程度で、餌料生物の無い区画への移動率と大差なかった。

HUNTER⁸⁾ によれば、本種の近縁種である *Engraulis mordax* 仔魚では、餌料生物を発見する距離は、自身体長のわずか 0.74 倍に過ぎない。したがって、本実験では、仕切り板を取り除いた後の 30 秒間が、餌料生物を発見するに十分な時間でなかったことを否定出来ない。実験中 *Artemia salina* の nauplius 幼生が、シラスの目前に来ると積極的に捕食活動を行うことが観察されたことから、餌料生物の存在は塩分の場合とは異なり、シラスをとどめる可能性があるが、誘因機能は濁度に比べ顕著でないと判断される。

濁りに対するシラスの反応行動をみた結果、塩分濃度や餌料生物密度の違いへの反応とは著しく異なっていた。すなわち、カタクチシラスは濁りに対して極めて強い反応を示し、餌料生物の有無、5 程度の塩分の高低差とは無関係に大部分のシラスが仕切り板を通して見える濁りの方へと頭部を向けた。そして、仕切り板を引き抜くと同時に、シラスは一斉に濁りのある区画へと進入した。このような強い反応行動は、塩分や餌料生物の実験では全くみられなかった。このことから、自然界においては、沖合水中で産卵され孵化したカタクチシラスは、⁷⁾ 遊泳生活が可能となる全長 15 mm 頃から、⁹⁾ 沖合水と沿岸水の間に来る沿岸フロントや河口域フロントなどのフロント面での濁度の差を感じて、積極的に沿岸の漁場内へと集積すると考えられる。

シラス漁場内における既往の調査結果では、漁場内は沖合域に比較して低透明度であることが知られている^{5, 10)}。船越⁴⁾は漁業者の経験と観察結果に基づいて、濁った水塊の存在がシラス漁場成立の条件であると述べ、さらに駿河湾における 1977 年と 1978 年の極端なシラスの不漁は、透明度の高い黒潮系水の流入のためであると指摘している。ただ、本実験結果によると、カタクチシラスは餌料生物や塩分よりも濁りに対しての反応が顕著であったが、その濁りの度合によってシラスの反応は異なっていた。すなわち、カタクチシラスの濁りへの正の走性反応は 5~20 ppm、特に 5 ppm が最高で、40 ppm 以上では誘引されるものの、次には逃避行動をとって元の区画に戻ることが観察された。

シラスの漁獲が行われた場所（水深 8 m）での濁度の観測値の範囲は 0~30 ppm で、うち 15 ppm 未満が全体の 80% 以上を占めていた。本漁場では多量の降雨のため岸近くで、表面濁度が 50 ppm 以上に達することが時にはあるが、その場合の漁場はそれより濁度の低い沖合へと移り、そこで操業が行われる。これらのことが示すように、本研究結果で得た結果と実際の漁業の場での現象が極めて良く一致している。

以上から、シラス漁場の形成には餌料生物密度や塩分濃度よりも、適度な濁りの存在が必要不可欠な要素であると判断される。今後、濁度の中の諸要素（濁りの物質、照度、視覚）などを分離した実験を行う予定である。

最後に、本研究に関して有益な助言を頂いた東海大学 林 繁一教授に深謝する。また、シラスの採捕と実験に多大なる便宜をはかって頂いた清水市漁業協同組合ならびに西宮丸船長薩川忠一氏、角太郎丸船長黒柳至良氏、鉄三丸船長望月久夫氏に心からお礼を申し上げる。さらに、当時東海大学学生の稲葉滋広、川原賢一、寺田直樹、門内伸夫、村松政之、卯ノ田好宏、杉田晶子の各氏には実験および資料整理に援助頂いた。

文 献

- 1) 上原 進: カタクチイワシ・シラス漁場を中心とする環境について。水産海洋研究会報, **15**, 47-51 (1969).
- 2) 三谷 勇, 長谷川 保: 河川水の流入に伴う表面塩分変化とカタクチシラス漁場の形成。水産海洋研究会報, **52**, 297-303 (1988).
- 3) 三谷 勇: シラス漁場内における魚群及び餌料生物の分布と環境対応。水産海洋研究会報, **51**, 46-51 (1987).
- 4) 船越茂雄: 駿河湾・遠州灘のシラス生産機構。水産海洋研究会報, **52**, 240-243 (1988).
- 5) 中村保昭: 水産海洋学の見地からの駿河湾の海洋構造について。静岡水試研報, **17** (特別号), 12-126 (1982).
- 6) 近藤恵一: 伊勢湾・三河湾海域における本州太平洋系群の未成魚期について。東海水研報, **51**, 1-27 (1966).
- 7) 服部茂昌: カタクチイワシの産卵の変動と漁況。水産海洋研究会報, **8**, 54-60 (1966).
- 8) J. R. HUNTER: Swimming and feeding behavior of larval anchovy *Engraulis mordax*. U.S. Fish. Bull., **70**, 821-838 (1972).
- 9) 内田恵太郎, 今井貞彦, 水戸 敏, 藤田矢郎, 上野雅正, 庄島庄一, 千田哲資, 田福正治, 道津喜衛: 日本産魚類の稚魚期の研究。第 1 集。九大農水産第二教室, 福岡, 1958, viii+89 pp., 86 pls.
- 10) 中村保昭: 海洋前線について一とくに水産海洋学の意味。ミチュールン生物学研究, **16**, 217-242 (1980).