

オリマルジョンに対するサケ稚魚の忌避行動

伊藤康男・劉 海金・高久 浩・土田修二

Avoidance Response of Juvenile Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) to Orimulsion Suspended in Seawater

Yasuo Itoh^{*1}, Liu Haijin^{*1}, Hiroshi Takaku^{*1} and Shuji Tsuchida^{*1}

要約: 2.1~5.9°Cの海水に馴致したサケ (*Oncorhynchus keta*) 稚魚 (平均尾叉長45.6mm, 平均体重0.66g) のオリマルジョン懸濁海水に対する忌避反応を, 並流型の忌避実験水槽を用いて調べた。1回の供試尾数は1尾, 実験時間は30分とし, 1濃度区の実験回数は原則として10回とした。実験期間中の水温は3.0~5.9°Cの範囲であった。オリマルジョンの濃度段階を0 (対照区), 10ppm, 100ppm, 178ppm, 316ppm, 562ppmの6段階に設定し, 忌避反応の判定には, 実験開始後20~25分間の海水区滞泳頻度の平均値を対照区と各濃度区と比較した。その結果, 178ppm以上の濃度区でt-検定による有意差が認められ, 供試魚がオリマルジョンを忌避したと判断された。また, 濃度が高くなるに従って忌避反応が強くなる傾向も認められた。

キーワード: 忌避反応, 忌避実験, オリマルジョン, サケ稚魚, *Oncorhynchus keta*

Abstract: Avoidance response to orimulsion suspended in seawater was investigated on juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) acclimated to seawater of 2.1-5.9°C, employing an experimental apparatus equipped with the co-current type watercourse. The duration of the behavioral experiment was 30 minutes for one trial (one fish used). Ten trials were done each in six orimulsion concentrations (0, 10, 100, 178, 316, and 562ppms), in principle. The average fork length and weight of experimental fish were 45.6mm and 0.66g, respectively, and water temperature during the experiment was 3.0-5.9°C.

In order to evaluate avoidance response, the mean values of locating rate in the seawatercourse for 5 minutes (20-25min after the start of the experiment) were determined in both of the control experiment and the test experiments. The t-test was conducted by comparing the difference between the mean values of control experiment and those of each orimulsion concentration. As the results, significant difference, in 178ppm and in the concentrations over 178ppm, indicated the clear avoidance responses to these orimulsion concentrations. And the tendency was observed that the higher the concentration is, the stronger the avoidance response is.

Keywords: avoidance response, avoidance test, orimulsion, juvenile chum salmon, *Oncorhynchus keta*

まえがき

オリマルジョンは南米ベネズエラ産のオリノコタールに水および界面活性剤を混合して重油に近い物性を持たせたもので, 火力発電所の石油代替燃料の一つとして導入が進みつつある発電所用燃料である (豊田・中嶋, 1990; 山本, 1998)。その物理化学的性状や水生生物への影響については

若干の報告があるが, 他の石油類に比べるとデータが少ないのが現状である (Jokuty *et al.*, 1995; Wang and Fingas, 1996; Ostazeski *et al.*, 1997)。本研究はサケ稚魚が, オリマルジョンの懸濁した海水に対してどの程度の濃度で忌避するかを実験的に把握するために行った。オリマルジョンとサケ稚魚が接触する可能性があるのは海域であるところから, 海水馴致したサケの稚魚を用いること

(2001年2月1日受付, 2001年5月22日受理)

*1 財団法人 海洋生物環境研究所 中央研究所 (〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300)
300 Iwawada, Onjuku-machi, Isumi-gun, Chiba Pref., 299-5105, Japan
E-mail: itohs30@beige.ocn.ne.jp

とした。

魚類の溶存化学物質や汚濁水に対する忌避実験の方法については、公定法に近いものとして日本水産資源保護協会が編纂した「新編 水質汚濁調査指針 1.5 魚類の忌避行動」があり、4つの方法が紹介されている。その中で1924年に高安が提唱し、大谷ら（1939）が改良した方法は"U-迷路型"と呼ばれ、現在でも広く用いられている。日高・立川（1985）は「魚類による化学物質の忌避試験法（1）～（4）」の中で、このU-迷路型も含め様々な方法を検討した結果、実験の簡便さ、再現性、統計処理の容易さから、"並流型"と呼ばれる方法を推奨している。これは、供試魚の行動範囲を限定し、清浄水（対照区）と薬剤を含む水（薬剤区）のどちらの区画に滞泳する頻度が高いかによって忌避反応を判定するものであり、本実験もこの方法に準じた。本実験は平成11年3月から4月にかけて北海道大学水産学部附属臼尻水産実験所で実施した。

材料および方法

供試魚 供試材料としたサケ稚魚は上磯町漁業協同組合中野孵化場より500尾入手し、北海道大学水産学部附属臼尻水産実験所へ移送した。サケ稚魚は同時に運んだ孵化場用水を容れた100L水槽2基へ250尾ずつ収容し、海水を少しずつ注水して約24時間で完全に海水に置換した。実験に先立つ飼育・蓄養中は水槽の海水交換率を1回/時とし、毎日、朝9時と夕方5時の2回、250尾あたり1.5gの市販配合飼料を自動給餌機により与えた。実験期間中のサケ飼育水槽の水温は第1表のとおりであった。平均水温が3.4℃と低かったにもかかわらず、サケ稚魚は配合飼料をよく摂餌していたので、飼育状況は良好であると考えられた。

忌避実験水槽 実験水槽は、日高・立川（1985）を参考にして製作した。第1図に魚類忌避実験水槽の設計図を、第2図に魚類忌避実験システムを上から見た概念図を示した。

第1表 実験期間中のサケ飼育水槽の水温（℃）

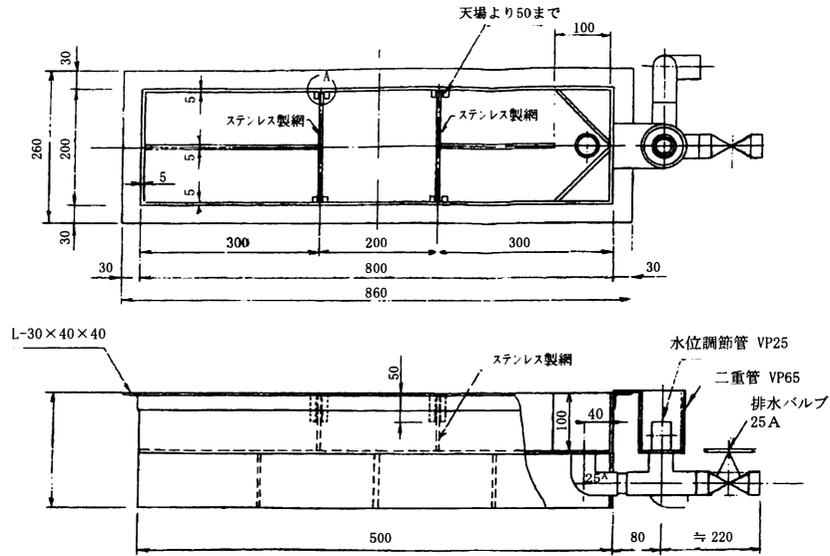
飼育水槽	平均	標準偏差	最高	最低
I	3.41	0.82	5.30	2.20
II	3.44	0.87	5.90	2.10

魚類忌避実験水槽は塩化ビニール樹脂製で、その長軸方向に清浄海水とオリマルジョン添加海水を並流させるように設計した。上流および下流では、中央に立てた隔壁によって両者の混合を防いだ。供試魚を収容する20cm平方の中央区画については、便宜上、清浄な海水が流れる側を海水区、オリマルジョン添加海水が流れる側を薬剤区と呼ぶことにした（第2図）。また、この中流区画には上流側および下流側にステンレス製の網を設置し、供試魚の区画外への移動を防いだ。なお、この区画には海水、薬剤区間の隔壁は置かなかった。第3図にはメチレンブルーを薬剤区に流した時の状態を示した。オリマルジョン添加海水でもほぼ同様の薬剤区—海水区との分離が得られ、一定流量以上の流速があれば海水およびオリマルジョン添加海水は同じ流速で殆ど混合せずに下流側に流れていくことが確認された。忌避実験水槽の排水口は鉛直方向に可動式の二重管でオーバーフローさせ、一定の水位を保つようにした。水位の調節は、二重管の高さを調節することによって行った。

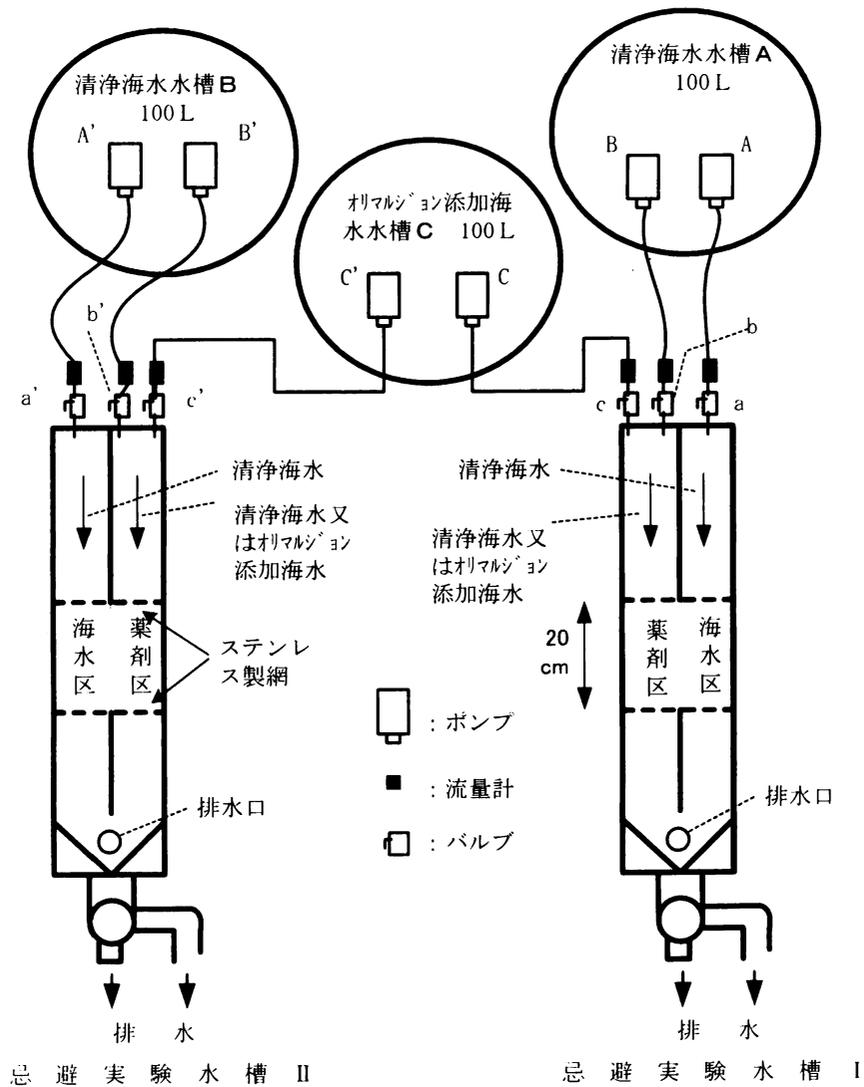
並流型の忌避実験では、海水区と薬剤区における供試魚の滞泳頻度の大小により忌避反応を判定するので、供試魚が水の流れに対して左側を好むか右側を好むかという偏りがあった場合には、オリマルジョンに対する忌避反応を正確に捉えることが困難となる。これらの偏りを除くために、本実験では同じ型の水槽を2基同時に使用して、異なった側にオリマルジョンを流すこととした。即ち、下流側から見て左側にオリマルジョンを流す水槽を忌避実験水槽Ⅰ、右側にオリマルジョンを流す水槽を忌避実験水槽Ⅱとした（第2図）。第4図にはシステム全体の外観を示した。

清浄海水は0.45μmのフィルターで濾過した海水を100L水槽の中から2つの水中ポンプで海水区および薬剤区へ送水した。清浄海水は途中で流量計と流量調節用のバルブを通過させてから水量を調節し、忌避実験水槽へ導いた。オリマルジョン添加海水も同様に100L水槽の中から2つの水中ポンプで忌避実験水槽およびへ送水した（第2図）。

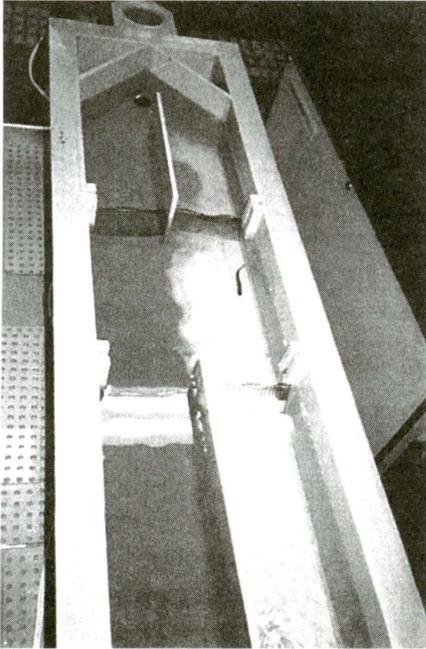
忌避実験の方法 日高・立川（1985）の方法を参考にして予備的な検討を行った結果、下記の手順で実験を行うこととした。オリマルジョンの濃度は0（対照区）、10ppm、100ppm、178ppm、316ppm、562ppmの6段階を設定した。対照区におけるサケ稚魚の行動を吟味する実験では、忌避実験



第1図 魚類忌避実験水槽の設計図



第2図 魚類忌避実験水槽システム

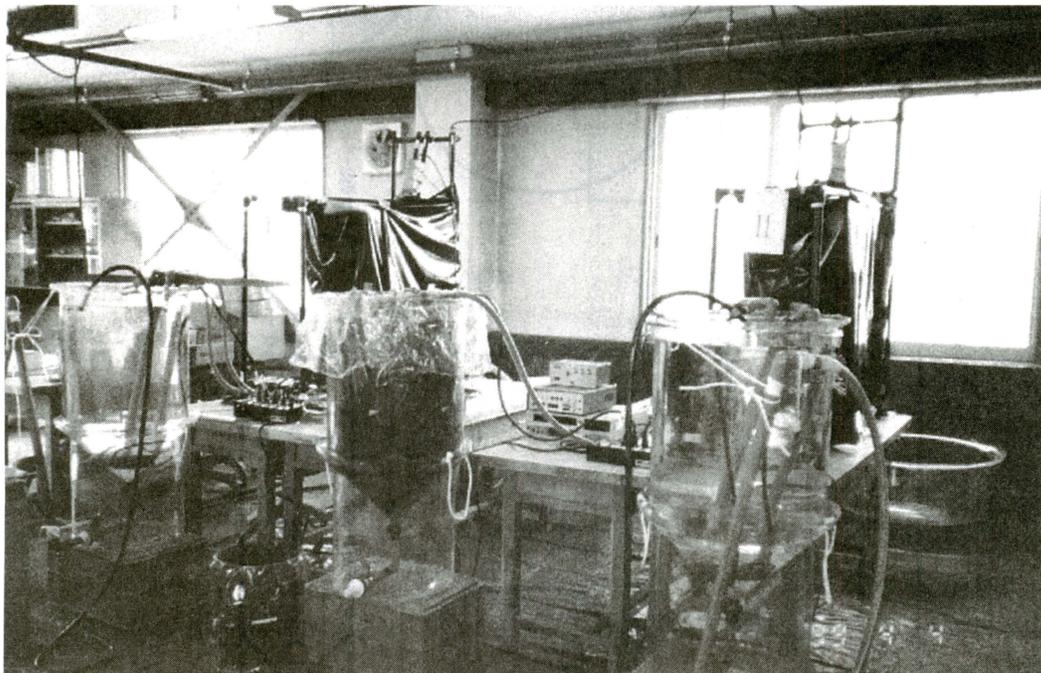


第3図 魚類忌避実験の予備実験
左側の水路にメチレンブルー
を流したところ。サケの稚魚
を中央の区画に1尾入れた。

水槽の海水区，薬剤区ともに濾過海水を流した。各濃度区の実験では，1日の中に忌避実験水槽ⅠおよびⅡの両水槽を用いた実験を並行して5回，のべ10回行った。1回の実験には1尾の供試魚を用いた。実験時間は30分とし，前半15分には海水区，薬剤区ともに濾過海水を流し，後半15分には海水区に濾過海水，薬剤区にオリマルジョン添加海水をそれぞれ流してサケ稚魚の忌避反応をビデオ



第5図 魚類忌避実験における実験魚のビデオによる行動監視



第4図 魚類忌避実験水槽システム
左側が忌避実験水槽Ⅰ、右側が忌避実験水槽Ⅱで、実験中は黒いビニールで覆い、供試魚を刺激しないようにした。また、水槽下流側の上部にビデオカメラを設置し、実験魚の行動をリアルタイムで監視した。中央のオリマルジョン添加海水水槽と両側の清浄海水水槽からポンプで実験用の海水を供給した。

オモニターにより観察した（第5図）。

実験に使用したオリマルジョンは当時使用されていた、商品名「オリマルジョン100」を用いた。

1) 供試魚の準備

供試魚は実験前日の午前9時に、前述の飼育水槽2基から、予備を含めて各10尾ずつ計20尾を10Lのポリバケツに移し、流水中で1日間餌止めを行った。翌日の午前8時ごろに忌避実験水槽のある部屋に移し、バケツへの注水を続けながら1尾ずつ実験に供した。

2) オリマルジョン添加海水および濾過海水の準備

オリマルジョンの濃度は重量比で計算し、1mg/kgを1ppmとした。オリマルジョンは粘性が高いので、上皿天秤上のスクリー管（ガラス製）にディスポザブルシリンジで注入して所定の重量を秤量した。オリマルジョン添加海水の調製にあたっては、あらかじめ調製用100L水槽中へ海水を準備しておき、オリマルジョンをスクリー管と共にいれて懸濁させた。海水量の定量にはあらかじめ確認してつけておいた水槽の目盛りを用いた。その後、東京理化電気製ケミスターラーB-100型でオリマルジョン添加海水を5分間攪拌した。さらに、1時間静置後、表面に浮いた油膜等をオイル吸収マットで取り除き、忌避実験水槽にオリマルジョン添加海水を供給する水槽Cに水中ポンプで移した（第2図）。オリマルジョン調製用の濾過海水および対照区の濾過海水は実験所の海水を0.45 μ mのフィルターで濾過して実験に供した。

3) 忌避濃度実験（第2図）

忌避実験の手順を以下に示した。

- ①清浄海水水槽A、Bに濾過海水を供給し、オーバーフローの状態にした。
- ②ポンプA、B、A'、B'のスイッチを入れ、バルブa、b、a'、b'を開けて海水区、薬剤区の両方に海水を流した。流量はバルブで両区とも3.0L/minになるように調整した。この状態で水深は約6cmとなるので、流量と水槽の大きさから計算した流速は約0.83cm/secであった。この時、バルブc、c'は閉じておいた。
- ③供試魚1尾を忌避実験水槽中央のステンレス製網で区切られた中流区画にたも網で移した。
- ④忌避水槽の上に設置したビデオカメラで供試魚の動きをモニターし、活発な遊泳行動を示さない供試魚は、別の個体に取りかえた。
- ⑤供試魚が活発な遊泳行動を示した時は、実験を

開始した。即ち、5秒ごとに海水区と薬剤区どちらに滞泳したかを数え、1分ごとに海水区にいた回数を記録した。1分間で12回数えるので、両区に均等に滞泳した時は海水区の滞泳回数は6回となり（海水区滞泳頻度50%）、全て海水区に滞泳した場合は滞泳回数が12回（海水区滞泳頻度100%）となる。

- ⑥実験開始後15分間、両側に濾過海水を流し、15分の時点で薬剤区にオリマルジョンを流しはじめた。即ち、ポンプB、B'のスイッチを切り、バルブb、b'を閉じると同時に、ポンプC、C'のスイッチを入れ、バルブc、c'を開けた。流量は海水、オリマルジョンともに3.0L/minになるように調節した。
- ⑦実験開始後15分から30分まで、薬剤区にオリマルジョン添加海水を流し、供試魚の海水区滞泳頻度を測定した。ただし、対照区の実験の場合は、薬剤区にも清浄海水をそのまま流し続けた。

結 果

実験中の水温は3.0～5.9°Cの間で、サケ稚魚にとって比較的低温であったと考えられるが、活発に遊泳行動を示す個体が多かった。しかし、殆ど遊泳行動を示さない個体もあり、そのような個体は極力、早い時期に除いた。各濃度区における忌避濃度実験の代表的な例を1分ごとの海水区滞泳頻度として第6図に示した。また、各濃度区の実験結果を、5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値として巻末の付表1から付表7に示した。316ppmの濃度区の実験では忌避反応が微妙であったので、2日間にわたって実験を行い、それぞれの実験を316ppm I、316ppm IIとして示した。

日高・立川（1985）は実験開始後15～20分後の対照区と各濃度区における平均滞泳頻度をt-検定で比較している。本実験では実験開始後15分後からオリマルジョンを薬剤区に流したので、オリマルジョンが供試魚の試験区に達して安定した流れを形成するまでに若干の時間がかかり、直後の5分間よりも20～25分間の5分間が比較する期間として妥当と考えられた。上記の統計分析を行う上では、対照区の海水区滞泳頻度の平均値が50%に近いこと、即ち海水区、薬剤区ともに均一に泳いでいることが前提条件となる。本実験では、対照区での20～25分間の海水区滞泳頻度の平均値はほぼ50%であったことから（付表1参照）、t検定

の適用は妥当であると考えられた。

対照区での20～25分間の海水区滞泳頻度の平均値と他の濃度区の平均値を付表8にまとめて示した。対照区と他の濃度区との間の海水区滞泳頻度の平均値に統計的に差があるかどうかをt検定により調べるためには、両者の間の分散が等しくなければならない。それぞれの濃度区でF検定を行ったところ、対照区と各濃度区の海水区滞泳頻度の平均値の間の分散が異なるという仮説は棄却されたので、等分散を仮定してもよいと考えられた。そこで、対照区と他の濃度区の海水区滞泳頻度の平均値との間のt値を計算した結果を第2表に示した。あわせて、各試験区の供試魚の平均尾叉長、平均体重も示した。t検定の結果、10ppm、100ppmでは、対照区との間に有意差が認められなかったが、178ppmと316ppm I では $P=0.05$ 、316ppm II では $P=0.01$ で有意差が認められた。さらに、562ppmでは有意差が $P=0.01$ となり、平均値の差もオリマルジョンの濃度が高くなるに従って、大きくなる傾向が認められた。これは、オリマルジョンの濃度が高くなるに従ってより強くオリマルジョンを忌避したためと考えられた。

考 察

日高・立川（1985）が用いた並流型の忌避実験装置を一部改良して実験を行った。原報では供試魚の中流区画を区切るために多孔板を用いており、本実験でも予備的に検討したが、抵抗が多くなるのと流速を上げることが難しかったので、ステンレス製の網を用いた。この結果、水流の抵抗も少なくなり、清浄水とオリマルジョン添加海

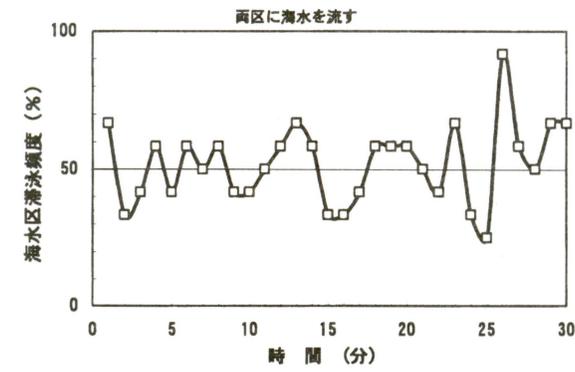
水とのきれいな分離を得ることが出来た。

本実験では、オリマルジョン100ppm以下では忌避反応が認められなかったが、178ppmから忌避反応が認められるようになり、178ppm、316ppm、562ppmと濃度が高くなるに従って、忌避反応が強くなる結果が得られた。今回は実験開始後20～25分間の海水区滞泳頻度の平均値を指標として、供試魚全体の忌避反応を濃度区ごとに調べる方法をとったが、解析方法としては、1尾ずつの供試魚について各濃度段階での忌避反応を調べる方法も考えられる。その場合は、50%の供試魚が忌避反応を示す濃度が指標となり、忌避反応を予想するためのデータとしてはより精度が高いものとなると思われる。しかし、この方法では、ある程度供試魚の数を増やさないと、かえって精度の低いデータが得られる可能性がある。今回、採用した日高・立川（1985）の方法は、少ない供試魚で比較的簡便に忌避反応を解析するためには優れた方法と考えられる。

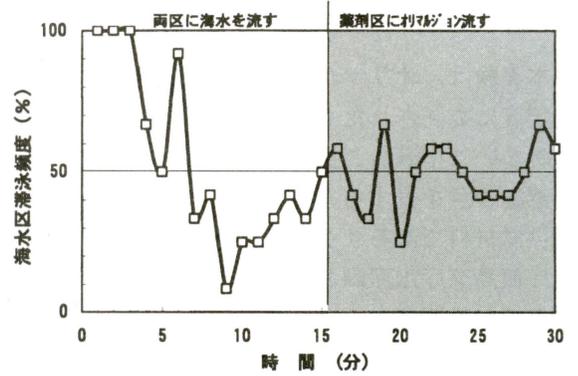
これまでに、サケ稚魚の忌避反応を扱った文献として、高安・麓（1959）が着色水について、黒田ら（1966）が澱粉排水、パルプ排水を用いた例があるが、石油類に対する忌避反応を扱った日本の文献は見当たらない。サケ以外の魚種では、財団法人漁場油濁被害救済基金（1982）がメジナ、カサゴ、チダイ、マアジを用いて、U-迷路型の忌避実験水槽により実験を行っている。その結果、メジナ、カサゴ、マアジは鉱油類（A重油、B重油、C重油、原油）に対して忌避反応をあまり示さなかったが、チダイは反応を示したとしている。ただ、定量的データが示されていないので、今回の結果と直接比較することは出来なかった。

第2表 実験開始後20～25分間の対照区の海水区滞泳頻度の平均値と他の濃度区の平均値との間のt検定

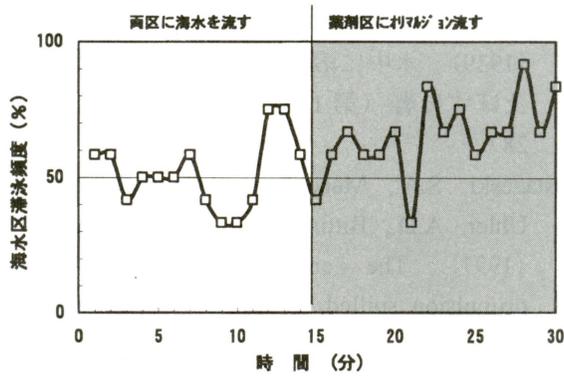
濃度区	平均尾叉長 (mm)	平均体重 (g)	n	海水区滞 泳頻度の 平均値	標準偏差	t 値	自由度	t の限界値		有意差の判定
								P=0.05	P=0.01	
対照区	45.40	0.625	10	50.0	19.3					
10ppm	44.87	0.635	11	63.9	26.9	1.3905	19	2.0930	2.8609	有意差なし
100ppm	45.97	0.636	10	60.2	19.4	1.1752	18	2.1009	2.8784	有意差なし
178ppm	46.69	0.692	10	70.5	23.2	2.1476	18	2.1009	2.8784	P=0.05で有意差あり
316ppm I	45.93	0.702	10	71.2	15.9	2.6727	18	2.1009	2.8784	P=0.05で有意差あり
316ppm II	43.58	0.599	6	81.9	20.9	3.1094	14	2.1448	2.9768	P=0.01で有意差あり
562ppm	45.81	0.690	10	83.7	30.6	2.9438	18	2.1009	2.8784	P=0.01で有意差あり
全試験区	45.57	0.657	67							



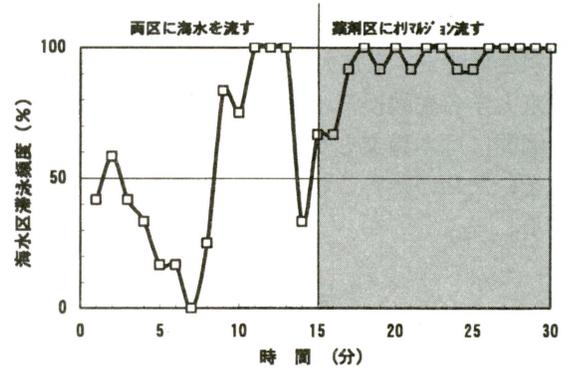
対照区 (実験No.13 水槽 I)



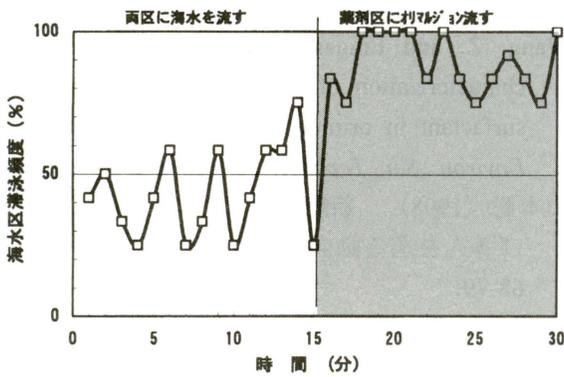
10ppm (実験No.24 水槽 II)



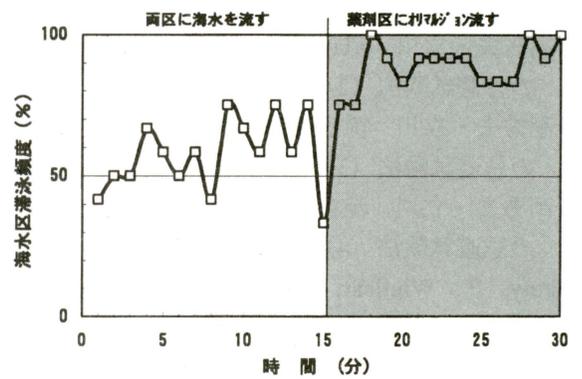
100ppm (実験No.34 水槽 I)



178ppm (実験No.77 水槽 I)



316ppm (実験No.98 水槽 II)



562ppm (実験No.61 水槽 II)

第6図 サケ稚魚のオリマルジョンに対する忌避実験の例

謝 辞

本実験は、オリマルジョン対策協議会より平成10年度に委託されたものであり、同協議会事務局の暖かいご指導、ご援助を賜った。ここに、心より感謝の意を表す。

供試材料であるサケ稚魚の入手に関しては北海道庁渡島支庁水産課および上磯町漁業協同組合の方々のお世話になった。また、本実験の実施にあたっては北海道大学附属白尻水産実験所の施設を使用させていただいた。ここに、お世話になった関係各位に対して、厚く御礼申し上げる。

当研究所の瀬戸熊卓見総括技術員および箕輪康主査技術員にはサケ稚魚の移送・飼育および海水馴致を担当していただいた。また東京大学名誉教授羽生功博士、東京大学名誉教授平野禮次郎博士、東京大学名誉教授清水誠博士、当研究所の待鳥精治顧問には本論文を査読していただき貴重なご意見をいただいた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

引用文献

- 漁場油濁被害救済基金 (1982). 昭和56年度漁場油濁影響調査報告書, 財団法人漁場油濁被害救済基金, 東京, 426pp.
- 日高秀夫・立川 涼(1985). 魚種による化学物質の忌避試験法 (1). 生態化学, 7(4), 17-26.
- 日高秀夫・立川 涼(1985). 魚種による化学物質の忌避試験法 (2). 生態化学, 8(1), 17-27.
- 日高秀夫・立川 涼(1985). 魚種による化学物質の忌避試験法 (3). 生態化学, 8(2), 31-40.
- 日高秀夫・立川 涼(1985). 魚種による化学物質の忌避試験法 (4). 生態化学, 8(3), 31-38.
- Jokuty, P., Whiticar, S., Fingas, M., Wang, Z.,

Doe, K., Kyle, D., Lambert, P. and Fieldhouse, B. (1995). Orimulsion : physical properties, chemical composition, Dispersibility, and toxicity. Environmental Technology Centre. Emergencies Science Division, Environment Canada, No.EE-154, T.31.

黒田久仁男・菊地和夫・岩船早苗・田口昭雄・木村義一 (1966). 有機系統排水に関する生物試験 第1報. サケ稚魚・ワカサギの臭気による嫌忌限度. 北水試月報, 23 (10), 38-43. 日本水産資源保護協会編 (1986). 第7章 生物に関する試験法 1.5 魚類の忌避行動. 「新編 水質汚濁調査指針」, 恒星社厚生閣, 東京, pp.408-411.

大谷武夫・薄井興兵衛・木俣正夫・石川亀好 (1939). 水中に溶存する化学物質の魚介類に及ぼす影響 (第1報). 日水誌, 7 (5), 281-287.

Ostazeski, S.A., Macomber, S.C., Roberts, L.G., Uhler, A.D., Bitting, K.R. and Hiltabrand, R. (1997). The environmental behavior of orimulsion spilled on water. 1997 International Oil Spill Conference, 469-477.

高安三次・麓龍司 (1959). 着色水に対する鮭鱒親魚の忌避行動に関する試験. 道庁化場研究報, No.14, 29-36.

豊田隆治・中嶋靖史 (1990). 5. オリマルジョン. 火力原子力発電, 42 (10), 82-86.

Wang, Z. and Fingas, M. (1996). Separation and characterization of petroleum hydrocarbons and surfactant in orimulsion dispersion samples. Environ. Sci. Technol. 30 (11), 3351-3361.

山本聡 (1998). 新燃料オリマルジョンの生産及び導入を巡る動向. 海外電力, 1998年1月号, 68-79.

付表1 忌避濃度実験(対照区)における供試魚の計測結果と5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値(%)

試験No.	8	9	11	12	13	14	16	20	21	22
試験水槽	II	I	I	II	I	II	II	I	II	I
全長(mm)	46.92	50.19	47.80	47.96	47.89	49.33	49.86	49.20	46.14	44.47
尾叉長(mm)	44.18	47.48	44.90	45.70	44.90	46.89	47.10	46.42	43.94	42.45
体長(mm)	39.84	42.68	41.58	41.74	41.27	42.69	43.16	42.58	39.12	37.48
体重(g)	0.598	0.726	0.597	0.617	0.639	0.646	0.596	0.685	0.633	0.512
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	43.3	45.0	33.3	81.7	48.3	33.3	53.3	55.0	55.0	55.0
5-10分	60.0	68.3	28.3	30.0	50.0	26.7	33.3	53.3	20.0	45.0
10-15分	1.7	71.7	46.7	20.0	53.3	31.7	38.3	35.0	36.7	63.3
15-20分	5.0	61.7	40.0	98.3	50.0	43.3	50.0	43.3	40.0	46.7
20-25分	63.3	45.0	50.0	96.7	43.3	45.0	25.0	33.3	50.0	48.3
25-30分	70.0	98.3	50.0	83.3	66.7	41.7	40.0	71.7	53.3	51.7
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	n						
全長(mm)	47.98	1.78	4	10						
尾叉長(mm)	45.40	1.61	4	10						
体長(mm)	41.21	1.84	4	10						
体重(g)	0.625	0.057	9	10						
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	50.3	13.8	27	10						
5-10分	41.5	16.1	39	10						
10-15分	39.8	20.4	51	10						
15-20分	47.8	23.0	48	10						
20-25分	50.0	19.3	39	10						
25-30分	62.7	18.8	30	10						

付表2 忌避濃度実験(10ppm)における供試魚の計測結果と5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値(%)

試験No.	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
試験水槽	I	II	I	II	I	II	I	I	II	I	II
全長(mm)	50.84	50.27	45.76	47.65	45.14	44.73	45.02	46.41	50.66	44.80	51.19
尾叉長(mm)	48.38	48.72	43.28	43.67	43.25	42.54	41.46	43.44	47.80	42.20	48.88
体長(mm)	42.75	42.77	39.19	40.91	38.42	38.49	38.64	40.10	43.77	38.41	43.91
体重(g)	0.780	0.711	0.637	0.59	0.535	0.534	0.499	0.555	0.718	0.616	0.816
海水区滞泳頻度の平均値(%)											
0-5分	38.3	83.3	51.7	18.3	21.7	38.3	48.3	28.3	58.3	50.0	53.3
5-10分	53.3	40.0	53.3	40.0	46.7	56.7	41.7	48.3	45.0	58.3	51.7
10-15分	55.0	36.7	86.7	8.3	56.7	56.7	40.0	45.0	61.7	68.3	56.7
15-20分	81.7	45.0	66.7	73.3	27.1	53.3	43.3	73.3	48.3	85.0	78.3
20-25分	88.3	51.7	85.0	85.0	0.0	60.0	46.7	56.7	71.7	83.3	75.0
25-30分	86.7	51.7	70.0	63.3	0.0	43.3	50.0	83.3	63.3	90.0	48.3
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	n							
全長(mm)	47.50	2.71	6	11							
尾叉長(mm)	44.87	2.91	6	11							
体長(mm)	40.67	2.25	6	11							
体重(g)	0.635	0.107	17	11							
海水区滞泳頻度の平均値(%)											
0-5分	44.5	18.5	41	11							
5-10分	48.6	6.5	13	11							
10-15分	52.0	19.9	38	11							
15-20分	61.4	18.9	31	11							
20-25分	63.9	25.8	40	11							
25-30分	59.1	25.4	43	11							

付表3 忌避濃度実験(100ppm)における供試魚の計測結果と5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値(%)

試験No.	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
試験水槽	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
全長(mm)	50.91	46.00	48.15	49.26	51.48	46.65	48.09	46.67	47.35	49.49
尾叉長(mm)	47.83	43.25	46.01	46.37	49.43	44.47	45.53	44.12	45.46	47.25
体長(mm)	43.68	39.34	41.60	41.96	44.03	39.81	40.59	39.19	40.33	42.27
体重(g)	0.739	0.514	0.615	0.65	0.806	0.622	0.599	0.575	0.595	0.650
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	51.7	45.0	45.0	58.3	53.3	33.3	36.7	21.7	65.0	31.7
5-10分	43.3	51.7	73.3	73.3	50.0	23.3	41.7	30.0	58.3	38.3
10-15分	58.3	31.7	61.7	51.7	61.7	35.0	35.0	51.7	36.7	23.3
15-20分	61.7	35.0	85.0	58.3	66.7	55.0	51.7	41.7	58.3	26.7
20-25分	63.3	75.0	95.0	50.0	81.7	48.3	36.7	45.0	66.7	40.0
25-30分	75.0	73.3	90.0	63.3	75.0	68.3	41.7	40.0	53.3	61.7
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	n						
全長(mm)	48.41	1.85	4	10						
尾叉長(mm)	45.97	1.85	4	10						
体長(mm)	41.28	1.72	4	10						
体重(g)	0.636	0.083	13	10						
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	44.2	13.4	30	10						
5-10分	48.3	16.6	34	10						
10-15分	44.7	13.9	31	10						
15-20分	54.0	16.6	31	10						
20-25分	60.2	19.4	32	10						
25-30分	64.2	15.7	24	10						

付表4 忌避濃度実験(178ppm)における供試魚の計測結果と5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値(%)

試験No.	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
試験水槽	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
全長(mm)	47.39	50.82	50.42	52.82	47.57	45.97	49.95	49.82	48.99	48.08
尾叉長(mm)	45.45	48.00	47.37	49.97	45.16	43.35	47.09	47.40	46.96	46.11
体長(mm)	41.21	44.00	42.98	45.40	41.28	39.42	43.09	42.81	42.18	40.66
体重(g)	0.685	0.784	0.717	0.92	0.642	0.518	0.711	0.671	0.686	0.586
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	38.3	41.7	51.7	38.3	48.3	38.3	43.3	41.7	51.7	50.0
5-10分	40.0	55.0	41.7	50.0	26.7	18.3	43.3	38.3	50.0	30.0
10-15分	80.0	58.3	53.3	58.3	38.3	3.3	28.3	43.3	55.0	83.3
15-20分	90.0	88.3	48.3	85.0	90.0	11.7	88.3	93.3	75.0	78.3
20-25分	95.0	85.0	48.3	46.7	78.3	43.3	100.0	83.3	85.0	40.0
25-30分	100.0	98.3	48.3	50.0	86.7	46.7	88.3	88.3	61.7	91.7
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	n						
全長(mm)	49.18	2.00	4	10						
尾叉長(mm)	46.69	1.80	4	10						
体長(mm)	42.30	1.73	4	10						
体重(g)	0.692	0.108	16	10						
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	44.3	5.6	13	10						
5-10分	39.3	11.5	29	10						
10-15分	50.2	23.6	47	10						
15-20分	74.8	25.8	34	10						
20-25分	70.5	23.2	33	10						
25-30分	76.0	21.7	29	10						

付表5 忌避濃度実験(316ppm I)における供試魚の計測結果と5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値(%)

試験No.	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
試験水槽	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
全長(mm)	47.04	48.47	50.16	47.00	49.56	48.97	46.27	48.33	52.86	47.90
尾叉長(mm)	44.47	45.80	47.40	44.92	46.22	45.65	43.65	45.40	50.13	45.61
体長(mm)	39.58	41.09	42.92	40.22	42.16	41.48	39.93	41.32	45.19	40.97
体重(g)	0.680	0.741	0.788	0.64	0.664	0.663	0.582	0.706	0.925	0.633
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	35.0	25.0	76.7	50.0	43.3	30.0	46.7	28.3	56.7	43.3
5-10分	50.0	43.3	56.7	30.0	48.3	41.7	66.7	65.0	58.3	50.0
10-15分	21.7	35.0	85.0	78.3	36.7	65.0	48.3	48.3	40.0	53.3
15-20分	45.0	68.3	93.3	95.0	71.7	90.0	38.3	70.0	63.3	48.3
20-25分	60.0	58.3	85.0	96.7	93.3	73.3	58.3	75.0	53.3	58.3
25-30分	53.3	33.3	78.3	88.3	93.3	100.0	68.3	56.7	63.3	46.7
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	n						
全長(mm)	48.66	1.90	4	10						
尾叉長(mm)	45.93	1.79	4	10						
体長(mm)	41.49	1.64	4	10						
体重(g)	0.702	0.097	14	10						
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	43.5	15.5	36	10						
5-10分	51.0	11.2	22	10						
10-15分	51.2	19.9	39	10						
15-20分	68.3	20.2	30	10						
20-25分	71.2	15.9	22	10						
25-30分	68.2	21.6	32	10						

付表6 忌避濃度実験(316ppm II)における供試魚の計測結果と5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値(%)

試験No.	97	98	99	100	101	102	平均	標準偏差	変動計数	n
試験水槽	I	II	I	II	I	II				
全長(mm)	46.22	43.29	51.70	43.31	42.55	45.62	45.45	3.39	7	6
尾叉長(mm)	44.23	42.96	48.63	41.00	40.34	44.31	43.58	2.97	7	6
体長(mm)	39.93	39.02	43.93	36.38	37.45	40.55	39.54	2.65	7	6
体重(g)	0.653	0.489	0.846	0.56	0.406	0.638	0.599	0.152	25	6
海水区滞泳頻度の平均値(%)										
0-5分	100.0	38.3	51.7	53.3	0.0	0.0	40.6	37.7	93	6
5-10分	85.0	40.0	63.3	8.3	0.0	0.0	32.8	35.9	110	6
10-15分	66.7	51.7	73.3	0.0	8.3	0.0	33.3	34.3	103	6
15-20分	71.7	91.7	68.3	66.7	58.3	21.7	63.1	23.1	37	6
20-25分	95.0	88.3	50.0	96.7	61.7	100.0	81.9	20.9	26	6
25-30分	100.0	86.7	50.0	95.0	96.7	100.0	88.1	19.3	22	6

付表7 忌避濃度実験(562ppm)における供試魚の計測結果と5分ごとの海水区滞泳頻度の平均値(%)

試験No.	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
試験水槽	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
全長 (mm)	47.45	46.01	49.91	54.09	50.03	45.55	43.76	51.76	49.54	46.97
尾叉長 (mm)	44.88	43.19	47.45	50.36	47.40	43.24	41.85	49.64	46.07	43.99
体長 (mm)	40.22	38.93	43.04	45.84	42.79	39.46	37.61	44.72	42.59	39.42
体重 (g)	0.664	0.531	0.745	0.99	0.797	0.546	0.518	0.810	0.721	0.578
海水区滞泳頻度の平均値 (%)										
0-5分	86.7	45.0	55.0	83.3	71.7	53.3	58.3	63.3	36.7	26.7
5-10分	78.3	48.3	63.3	38.3	31.7	58.3	58.3	38.3	45.0	0.0
10-15分	36.7	61.7	63.3	38.3	8.3	60.0	51.7	50.0	53.3	0.0
15-20分	88.3	78.3	76.7	96.7	41.7	85.0	56.7	68.3	85.0	81.7
20-25分	90.0	95.0	93.3	96.7	0.0	90.0	71.7	100.0	100.0	100.0
25-30分	95.0	90.0	98.3	96.7	0.0	91.7	76.7	100.0	100.0	61.7
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	n						
全長 (mm)	48.51	3.13	6	10						
尾叉長 (mm)	45.81	2.87	6	10						
体長 (mm)	41.46	2.71	7	10						
体重 (g)	0.690	0.152	22	10						
海水区滞泳頻度の平均値 (%)										
0-5分	58.0	19.2	33	10						
5-10分	46.0	21.3	46	10						
10-15分	42.3	22.1	52	10						
15-20分	75.8	16.3	21	10						
20-25分	83.7	30.6	37	10						
25-30分	81.0	30.9	38	10						

付表8 忌避濃度実験における20分～25分間の海水区滞泳頻度の平均値の比較

供試魚	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
対照区	63.3	45.0	50.0	96.7	43.3	45.0	25.0	33.3	50.0	48.3	
10ppm	88.3	51.7	85.0	85.0	0.0	60.0	46.7	56.7	71.7	83.3	75.0
100ppm	63.3	75.0	95.0	50.0	81.7	48.3	36.7	45.0	66.7	40.0	
178ppm	95.0	85.0	48.3	46.7	78.3	43.3	100.0	83.3	85.0	40.0	
316ppm I	60.0	58.3	85.0	96.7	93.3	73.3	58.3	75.0	53.3	58.3	
316ppm II	95.0	88.3	50.0	96.7	61.7	100.0					
562ppm	90.0	95.0	93.3	96.7	0.0	90.0	71.7	100.0	100.0	100.0	
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	n							
対照区	50.0	19.3	39								
10ppm	63.9	26.9	42	10							
100ppm	60.2	19.4	32	10							
178ppm	70.5	23.2	33	10							
316ppm I	71.2	15.9	22	10							
316ppm II	81.9	20.9	26	10							
562ppm	83.7	30.6	37	10							