



REPORT
OF
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

海洋生物環境研究所研究報告

No. 91202

イシダイ1年魚の選好温度と高温耐性

平成3年4月

April, 1991



イシダイ 1年魚の選好温度と高温耐性¹

土田 修二・渡辺 幸彦²・鈴木 繁美³

Temperature Preference and Thermal Tolerance of Yearling
Rock Bream, *Oplegnathus fasciatus* (Temminck et Schlegel)

Shuji Tsuchida, Yukihiko Watanabe² and Shigemi Suzuki³

Tsuchida, S., Watanabe, Y. and Suzuki, S.(1991). Temperature preference and thermal tolerance of yearling rock bream, *Oplegnathus fasciatus* (Temminck et Schlegel). *Rep.Mar.Ecol.Res.Inst.*, No.91202 : 1-24.

Abstract : Temperature preference and thermal tolerance were determined of yearling rock bream, *Oplegnathus fasciatus* (Temminck et Schlegel), acclimated at temperatures of 15, 20, 25 and 28°C. Results of experiments using an apparatus for monitoring positions of fish in water column with vertical temperature gradient, indicated that preference temperature of the fish immediately after the formation of temperature gradient ranged from 21.2 to 26.6°C depending on their acclimation temperatures. With the lapse of time the range of their preference temperature tended to become narrower, and the final preference temperature of the fish was estimated to be about 26°C regardless of acclimated temperatures. Linear relations were observed between acclimation temperature and lethal maximum temperature. Results of experiment on critical thermal maxima showed that the equilibrium loss and lethal temperatures of the fish ranged from 32.8 to 37.5 °C and 33.7 to 37.5°C, respectively, depending linearly to their acclimation temperature. From differences, as much as 11-13°C, between critical thermal maxima and preference temperature, it may be concluded that the fish can keep themselves easily away from the critical high temperature by changing their swimming layers.

Keywords : Temperature preference, Thermal tolerance, Rock bream, *Oplegnathus fasciatus*, Vertical temperature gradient.

1.この報告の一部は日本水産学会1984年春季大会で発表した。

2.現在：(財)海洋生物環境研究所実証試験場(〒945-03 新潟県柏崎市荒浜4-7-17)

Present address: Demonstration Laboratory, Marine Ecology Research Institute (4-7-17, Arahama, Kashiwazaki, Niigata Pref., 945-03, JAPAN)

3.現在：三洋テクノマリン(〒103 東京都中央区日本橋堀留町1-3-17)

Present address: Sanyo Techno Marine, Inc. (1-3-17, Horidome-cho, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo, 103, JAPAN)

土田修二・渡辺幸彦・鈴木繁美(1991). イシダイ 1 年魚の選好温度と高温耐性. 海生研報告, No.91202 : 1-24.

要約：イシダイ 1 年魚の選好温度と高温耐性を明らかにするため 2 種類の室内実験を実施した。供試魚は 4 群に分け、試験前に 2 週間以上にわたり、それぞれ 15, 20, 25, 28°C の温度で馴致飼育を行った。垂直温度勾配反応試験装置を用いた試験結果から得られた温度勾配形成直後の 2 時間内における選好温度は 21.2~26.6°C、勾配形成から 1 昼夜経過後の 2 時間内の選好温度は 24.6~27.3°C となり、いずれも馴致温度に依存し、且つ、時間の経過とともに温度範囲が狭くなる傾向を示した。最終的に選好する温度は、馴致温度に係わりなく 26°C 付近にあると推定された。循環水槽を用いて馴致温度から毎時 5°C の速度で昇温させた高温耐性試験の結果から得られた平衡喪失温度は 32.8~37.8°C、臨界致死温度は 33.7~37.5°C で、いずれも馴致温度との間に直線的な関係が認められた。高温側の平衡喪失温度や臨界致死温度と選好温度との間には 11~13°C の差があったので、イシダイ 1 年魚は遊泳層を変化させるという行動反応によって、危険なレベルの高温を回避することができると思われる。

キーワード：選好温度、高温耐性、イシダイ、垂直温度勾配

目 次

I. まえがき	3	2) 馴致温度と選好温度との関係	18
II. 供試魚	3	3. 高温耐性試験	19
III. 試験方法	5	V. 考察	20
1. 選好温度試験	5	1. 温度変化に伴う滞泳水深の変化	20
2. 高温耐性試験	6	2. 最終選好温度の推定	20
IV. 試験結果	6	3. 成長適温と最終選好温度	21
1. 選好温度予備試験	6	4. 高温耐性	21
2. 馴致温度群別選好温度試験	7	5. 環境水温と温度行動反応との関係	22
1) 滞泳水深帯と滞泳温度	7	引用文献	24

図 表 目 次

第 1 図 垂直温度勾配反応試験装置の試験水槽内に収容されたイシダイ 1 年魚	5
第 2 図 15°C 馴致群を用いた選好温度予備試験結果	8
第 3 図 15°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 1 回試験結果	10
第 4 図 15°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 2 回試験結果	11
第 5 図 20°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 1 回試験結果	12
第 6 図 20°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 2 回試験結果	13
第 7 図 25°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 1 回試験結果	14
第 8 図 25°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 2 回試験結果	15
第 9 図 28°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 1 回試験結果	16
第 10 図 28°C 馴致群を用いた選好温度試験の第 2 回試験結果	17
第 11 図 馴致温度と短期・長期選好温度との関係	18
第 12 図 馴致温度と平衡喪失温度・臨界致死温度との関係	20
第 13 図 馴致温度と各反応温度との関係の総括	22
第 1 表 供試魚の馴致条件と大きさ	4
第 2 表 20°C / 150cm の温度勾配における供試魚の滞泳温度範囲・平均滞泳温度	9
第 3 表 高温耐性試験結果	19

I. まえがき

この報告は、通商産業省資源エネルギー庁から当研究所に委託された「温排水生物影響調査」の実施成果の一部をとりまとめたものである。

外界の温度に従って体温が変化する変温動物に属する魚類にとって、温度は基本的に重要な環境要因の一つである。魚類の温度反応に関する研究は、古くから数多く行われており、温度に対する選好・忌避等の行動反応については Richard *et al.* (1977), Cherry and Cairns(1982)が、致死温度等の温度耐性については Brett(1970), Hutchison (1977)が³、魚類に及ぼす温排水影響等については Coutant(1970)が³、それぞれ総述している。しかしながら、これらの総述で引用された報告の大部分は、淡水産魚類もしくは遡河性魚類を取り扱ったものであり、海産魚類についての報告は極めて乏しい。日本沿岸に生息する海産魚類の場合でも、養殖対象種の成長適温や致死温度に関する若干の報告があるが³、温度に対する選好・忌避等についての知見は殆どないのが現状である。

魚類に及ぼす温排水の影響等を検討する際には、温度に対する選好・忌避等の行動反応や高温耐性を把握することが必要である。そこで、筆者らは、沿岸域に生息する重要魚類の温度に対する反応に関する基礎的知見の集積を図ることを目的とした研究の一環として、イシダイ1年魚の選好温度と高温耐性を把握する室内実験を行ったので、その結果を報告する。

報告に先立ち、成果の公表を許可された通商産業省資源エネルギー庁に厚くお礼を申し上げる。また、イシダイ受精卵を快く提供して下さった千葉県水産試験場の関係各位並びに1年間にわたり供試魚の養成飼育全般を担当された当研究所の主任技術員瀬戸熊卓見氏、さらにこの研究の機会を与えられた元常務理事兼中央研究所長古川厚博士に深謝の意を表する。

II. 供 試 魚

今回の試験に供したイシダイ1年魚は、1983年6月18日に千葉県水産試験場で飼育中の親魚の自然産卵によって得られた受精卵を、当研究所中央研究所において約1年間養成飼育を行ったものである。試験実施期間は1984年5月から7月までにわたっていたので、厳密には0年魚の最終期のものも含まれていたことになるが、ここでは便宜上、す

べてを“1年魚”と呼ぶことにした。各試験終了時に測定した供試魚の大きさを第1表に示した。

第1表 供試魚の馴致条件と大きさ

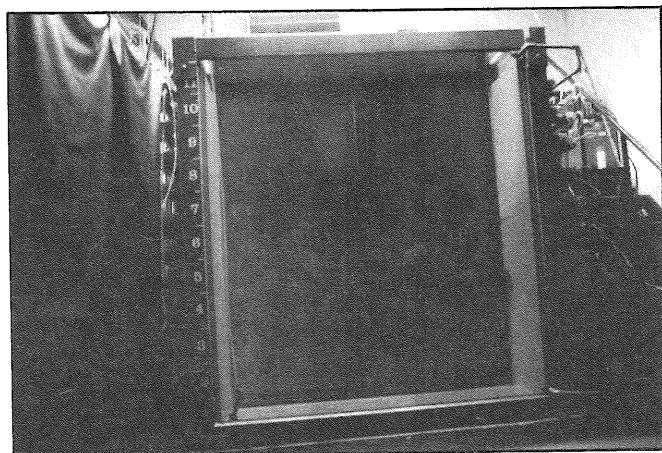
温度 馴致 群	試験 開始 No.	試験 実施 月日	馴致 日数	馴致期間 実測水温 平均±SD	供 試 魚		
					尾数	平均体長±SD	平均体重±SD
[選好温度試験]							
15	予備	5/26	6/21	26	15.3±0.6°C	5	11.6±0.2cm
	No.1	5/26	6/11-12	16	15.4±0.6	5	13.3±0.8
	No.2	5/26	6/15-16	20	15.3±0.6	5	11.3±0.5
20	No.1	5/6	5/23-24	17	20.2±0.4	5	12.5±0.3
	No.2	6/1	6/18-19	17	20.5±0.5	5	13.1±1.1
25	No.1	5/7	6/28-29	21	25.1±0.4	5	12.9±0.6
	No.2	5/7	6/30-7/1	23	25.0±0.6	5	12.2±1.0
28	No.1	5/7	6/4-5	28	28.2±0.1	5	13.1±0.5
	No.2	5/7	6/6-7	30	28.2±0.1	5	12.9±0.8
[高温耐性試験]							
15		6/18	7/5	17	15.1±0.4	5	13.8±0.6
20		6/1	7/5	34	20.5±0.6	5	13.9±0.8
25		6/10	7/6	26	25.6±0.4	5	14.2±0.2
28		6/10	7/6	26	28.2±0.4	5	14.1±1.2

選好温度・高温耐性の両試験とも、試験開始前に供試魚群を4区分して別々の500ℓ容円形断熱水槽内に収容し、それぞれ、15, 20, 25, 28°Cの各一定温度条件下で、少なくとも2週間以上にわたる温度馴致飼育を行った(第1表)。養成飼育最終期の飼育温度から各馴致温度に移行させる際には、供試魚に対する急激な温度ショックを避けるため、1～3日間をかけて緩やかに昇温もしくは降温させた。所定の各馴致温度を得るために、当研究所の濾過海水調温設備から當時供給される35°C前後の温海水と6°C前後の冷海水を、手動弁によって適宜混合した。温度馴致期間中の調温済み海水の置換率は1回/時とした。なお、馴致期間中には、養成飼育期間と同様、配合餌料に解凍魚肉を加えたモイストペレットを1日2回与えた。

III. 試験方法

1. 選好温度試験

選好温度を求める試験には、垂直温度勾配反応試験装置(土田・深滝, 1991)を用いた。本装置の試験用水槽内の試験区の大きさは、内寸で幅1500mm×奥行き 600mm×水深1650mmの直方体である(第1図)。水槽外には海水濾過器、循環ポンプ、熱交換器から成るそれぞれ独立した11系統の循環回路が設けられており、各回路内で任意の所定温度に調節された海水は、水槽の左側面に鉛直方向150mm 間隔で配置された11対の吐出(注水)管を通じて水槽内に入り、対向する右側面にある11対の吸引管を経て各回路に戻る構造となっている。



第1図 垂直温度勾配反応試験装置の試験水槽内に収容されたイシダイ1年魚

試験中の水槽内各層水温の測定・記録については、各吸引管部に設置した温度センサから送られる信号を3分毎にコンピュータに入力した。また、試験中は、供試魚に無用な刺激を与えないために試験水槽室内を無人化し、水槽前面に設置したビデオカメラを通じてコンピュータ室内から供試魚の行動を遠隔観察するとともに、各層水温の入力と同時に、デジタイザの画面上で各供試魚の滞泳位置を、ライトペンを用いてコンピュータに入力した。

試験前日に、各循環回路内の温度をいずれも当該供試魚の馴致温度と等しくなるように制御した温度無勾配状態の試験水槽内へ供試魚5尾1組を移し、そのままの条件下で

1晩放置した。試験水槽へ移した後には供試魚に餌を与えなかった。

データの収録期間は、試験第1日目の温度無勾配状態での1時間と、その後に所定の温度勾配の形成を開始して安定した勾配が得られた直後の2時間、および最初の勾配形成から約1昼夜経過後の試験第2日目の2時間の合計5時間とした。以後、温度無勾配状態の1時間を0期、勾配形成直後の2時間をさらに1時間毎に区分してI期とII期、勾配形成後約1昼夜経過後の2時間を同様に区分してIII期とIV期と呼ぶことにした。また、各期内に3分おきに入力される5尾の供試魚の滞泳位置に関する情報量は合計100個となるが、この情報を水深帯別に区分したものと“滞泳水深帯頻度組成”，同じ情報を各供試魚滞泳水深帯の実測温度によって区分したものを“滞泳温度帯頻度組成”と、それぞれ表現することにした。

この試験は、各温度馴致群について1回に5尾を1組として、それぞれ2回ずつ実施した。なお、それらの試験とは別に、15°C馴致群のみを用いた予備試験も行った。

2. 高温耐性試験

高温耐性試験に当たっては、臨界最高温度(Critical Thermal Maximum)を求める方法(Becker and Genoway, 1979;など)を採用した。この方法では飼育海水の温度を一定速度で上昇させていくことが必要である。そのため、85 ℥容の円形試験水槽内の海水を、外部に設置した調温設備により所定の速度で昇温させることができ循環式の試験装置を使用した。4段階の各温度馴致群毎に同時に5尾ずつ試験水槽内に収容して、順次試験を行った。試験開始温度は当該供試魚の馴致温度とし、その温度を約1時間保持したのちに、5°C／時の速度で昇温を続け、各供試魚が体の平衡を失った時点の温度、ならびに鰓蓋活動を停止した時点の温度を記録し、それらを“平衡喪失温度”と“臨界致死温度”とみなした。

IV. 試験結果

1. 選好温度予備試験

前述のとおり、各温度馴致群に対する試験とは別に、温度成層条件下においてイシダイ1年魚が示す温度変化に対する行動反応を検証するために、15°C馴致群5尾を用いて予備試験を実施した。

この試験では、温度無勾配期（0期）に引き続き、最初は12~22°Cを設定範囲とする10°C/150cmの温度勾配を形成させた期間（1期）を設け、次いで勾配をそのままにして、その設定範囲だけを2°C低温側に移行させた10~20°Cにわたる温度勾配形成期（2期）を設け、さらにその後には設定範囲を5°C高温側に移行させた15~25°Cにわたる温度勾配形成期（3期）を設けた。第2図Aにはこれらの温度設定範囲の移行経過を、3分おきに測定した試験水槽内各層温度の推移によって示した。

第2図Bには前述の0~3期における供試魚の滞泳水深帯頻度組成によって、設定温度の移行に伴う供試魚の滞泳位置の変化を示した。また、第2図Cには1~3期の供試魚の滞泳温度頻度組成を、設定温度範囲の上限・下限値とともに示した。

供試魚は、試験水槽全体が15°Cであった温度無勾配期には底層部から中層部に広がって滞泳していたが、12~22°Cの勾配が形成されると中層部で滞泳するようになり、設定温度範囲を2°C下げた10~20°Cの勾配形成期ではその直前期よりも滞泳水深帯がより表層部に近づき、設定温度範囲を再び5°C上げた15~25°Cの勾配形成期には滞泳水深帯を大きく底層方向へ変化させた（第2図B）。また、これを供試魚の滞泳温度という側面からみると、設定温度範囲の移行にかかわらずにはほぼ同じレベルの温度の所を選んでいるという傾向が認められた（第2図C）。

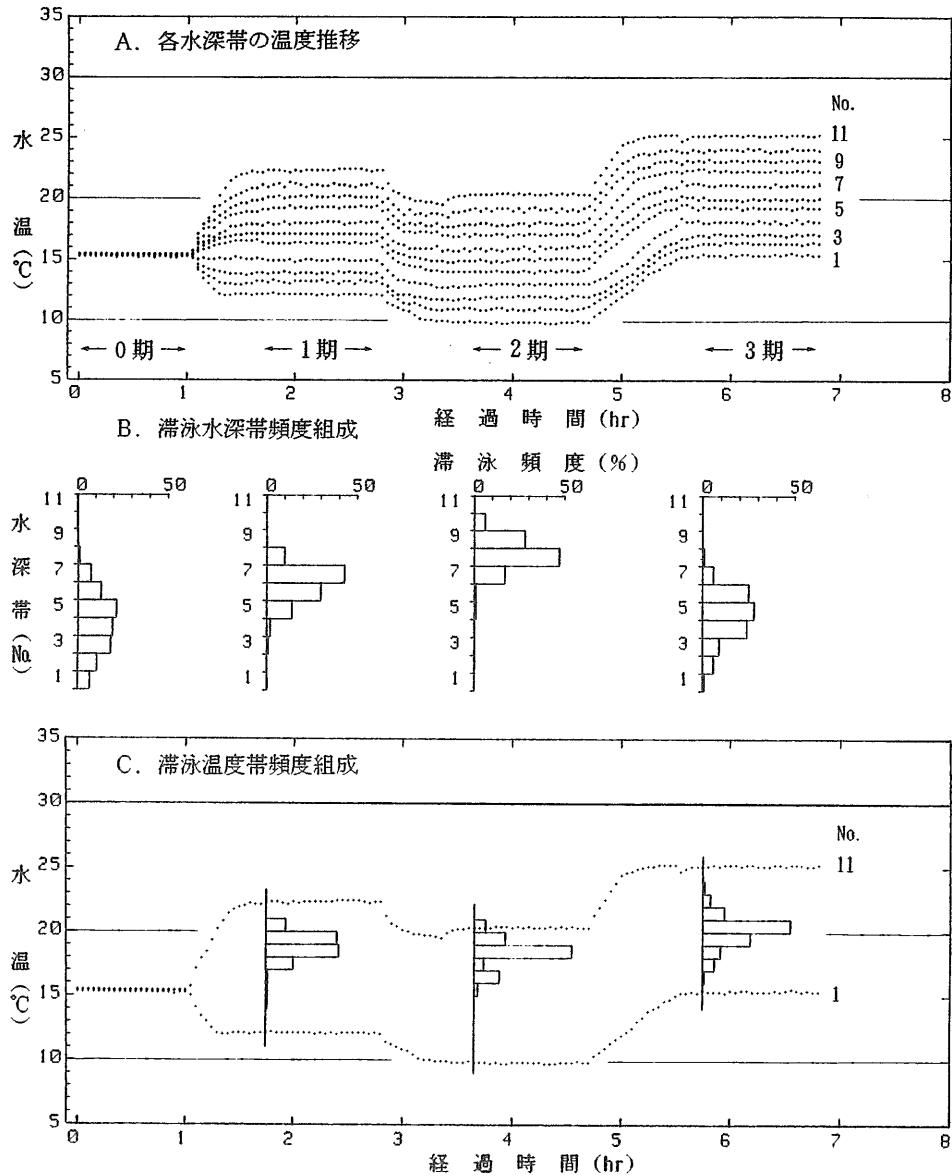
以上の結果から、イシダイ1年魚が2°Cの水温低下や5°Cの水温上昇に対して、遊泳水深を変えるという行動反応をしていること、いいかえれば、供試魚は試験水槽内の特定水深帯を選んで滞泳しているのではなく、好適温度を求めて遊泳層を変化させていることが明らかである。したがって、この装置によってイシダイ1年魚の選好温度を求めることが可能と判断されたので、次に述べる4段階の各温度馴致群に対する選好温度試験を実施した。

2. 馴致温度群別選好温度試験

1) 滞泳水深帯と滞泳温度

試験水槽内に20°C/150cmの温度勾配を設定して、15, 20, 25, 28°Cの各温度馴致群に対して、それぞれ2回ずつ実施した選好温度試験の結果を第3~10図に示した。また、第2表には、I期からIV期までの各温度勾配形成期における供試魚の滞泳温度範囲とその平均値を示した。

図から明らかなように、供試魚は、温度無勾配期（0期）には水槽内の底層部から中層



第2図 15°C馴致群を用いた選好温度予備試験結果

第2表 20°C/150cm の温度勾配における供試魚の滞泳温度範囲・平均滞泳温度

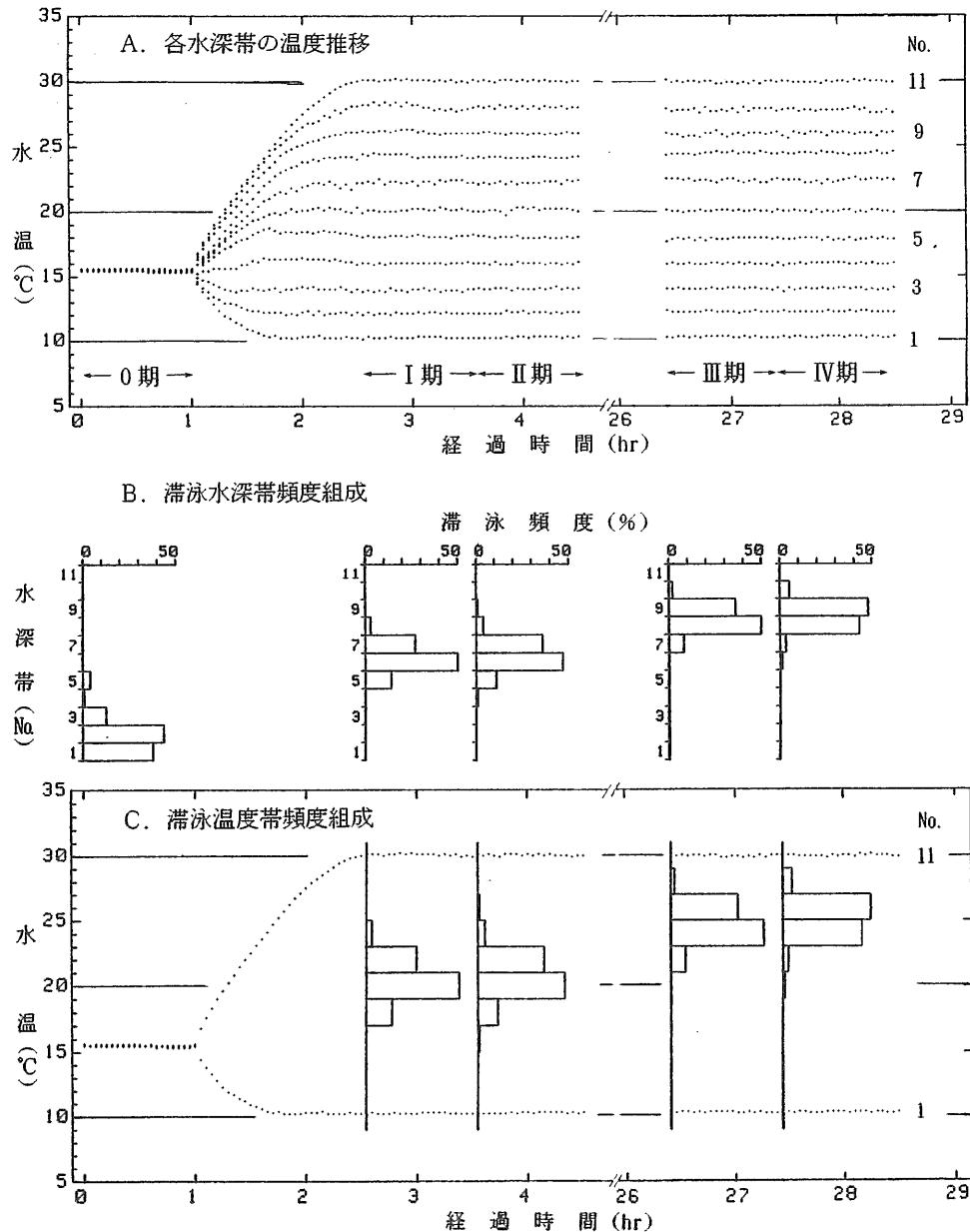
温度馴致群別 試験No.	設 定 温 度 範 围	短 期		長 期	
		期	滞泳温度範囲 平均±SD	期	滞泳温度範囲 平均±SD
15°C -1 -2	10~30°C	I	18.1~24.3°C 20.8±1.4°C	III	22.4~27.8°C 24.9±1.1°C
		II	16.0~26.0 21.1±1.7	IV	20.0~27.8 25.4±1.3
	10~30	I	18.2~24.3 21.8±1.6	III	20.2~26.1 23.5±1.6
		II	13.9~26.1 21.0±2.0	IV	20.2~28.1 24.4±1.7
			13.9~26.1 21.2		20.0~28.1 24.6
20°C -1 -2	15~35	I	18.9~24.8 22.1±1.4	III	21.1~26.7 24.8±1.2
		II	21.2~29.2 23.4±1.3	IV	21.1~29.2 24.7±1.2
	15~35	I	21.0~29.2 25.4±1.5	III	23.2~31.0 27.5±1.3
		II	23.3~29.1 25.8±1.1	IV	25.0~29.2 27.1±1.2
			18.9~29.2 24.2		21.1~31.0 26.0
25°C -1 -2	15~35	I	24.8~30.9 27.7±1.1	III	24.5~31.2 27.7±1.4
		II	24.8~31.0 27.5±1.4	IV	22.9~32.9 27.9±1.6
	15~35	I	23.4~24.9 24.4±0.9	III	25.4~29.1 26.7±1.2
		II	21.0~24.9 24.0±0.7	IV	23.4~29.1 26.8±1.2
			21.0~31.0 25.9		22.9~32.9 27.3
28°C -1 -2	15~35	I	18.8~31.0 25.4±2.2	III	22.9~29.1 26.7±1.5
		II	23.0~30.9 27.6±1.6	IV	25.2~29.1 26.7±1.3
	15~35	I	23.0~31.2 26.8±1.5	III	23.0~29.2 25.9±1.7
		II	21.0~29.4 26.6±1.4	IV	21.0~29.4 26.3±1.7
			18.8~31.2 26.6		21.0~29.4 26.4

部にわたる比較的広い範囲にわたって滞泳していたのに対し、温度勾配が形成されたI期以後は、例外なしにある特定範囲内の水深帯に集中して滞泳する傾向を示した。

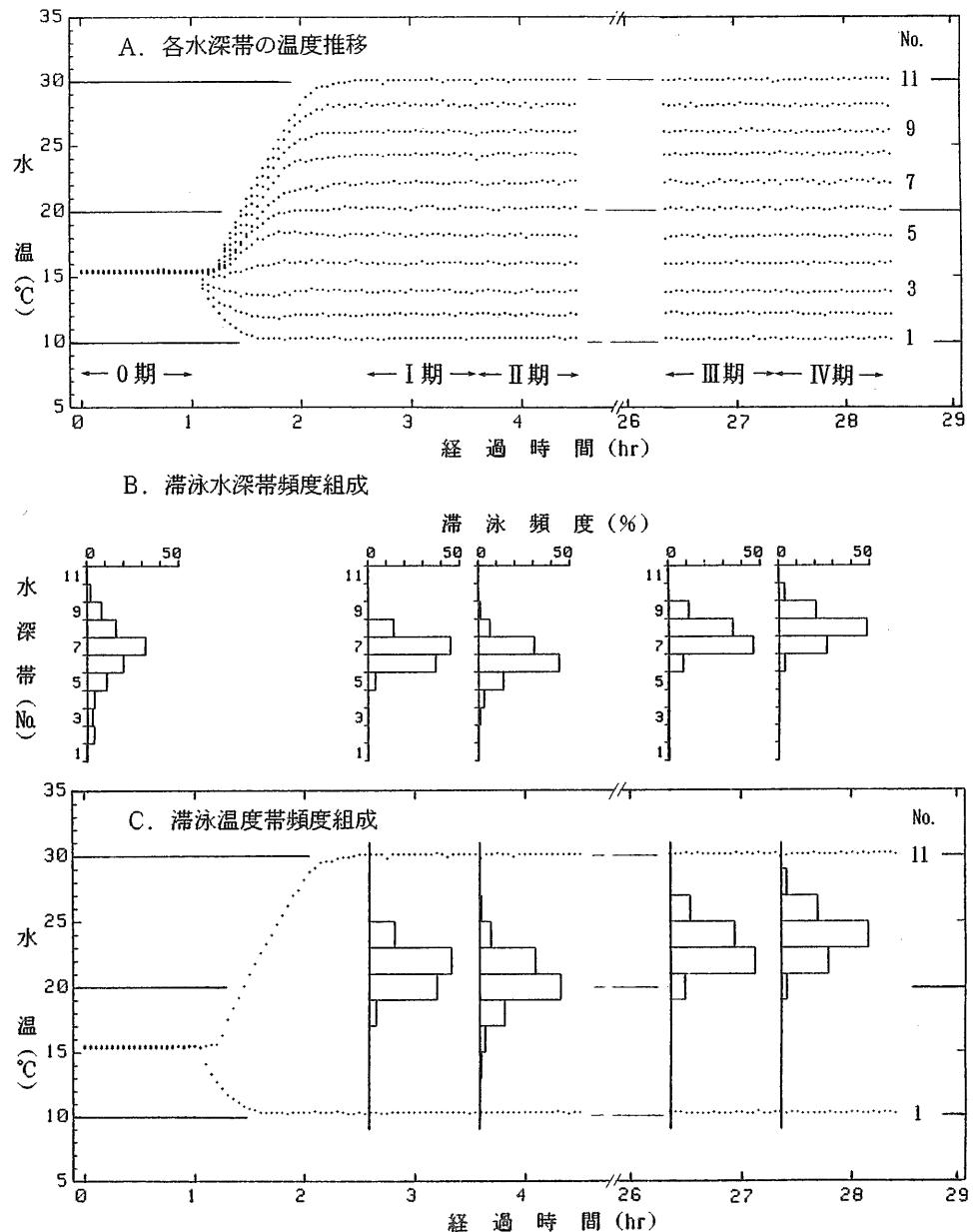
供試魚の滞泳した温度は、15°C馴致群の場合では、10~30°Cにわたる温度勾配形成直後のI, II期には馴致温度よりも5~6°C高い21°Cを中心とした13.9~26.1°Cの範囲で滞泳していた。さらに1昼夜経過したIII, IV期になると、馴致温度よりも約10°C高い25°Cを中心とした20.0~28.1°Cの範囲内の温度帯で滞泳しており、時間の経過とともににより高温帯の方へ移行していく傾向が認められた。

20°C馴致群の場合は、15°C馴致群と同様に、I, II期には馴致温度より高い23~25°Cを中心とした18.9~29.2°Cの範囲で滞泳し、III, IV期になるとさらに高温の25~27°Cを中心とした21.1~31.0°Cの範囲で滞泳していた。

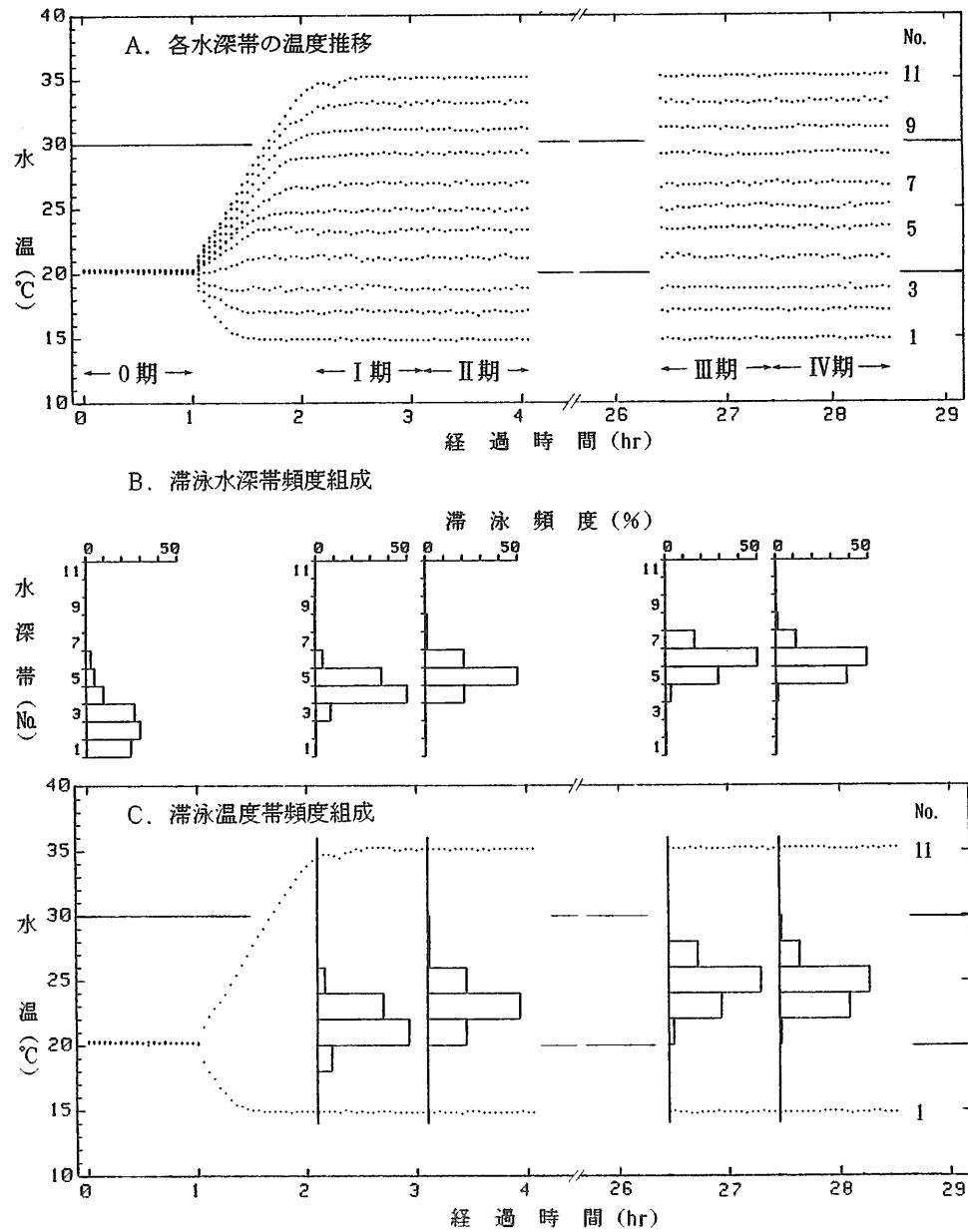
25°C馴致群の場合は、試験によって多少異なる結果を示し、第1回試験では、I, II期に馴致温度よりもやや高温の27~28°Cを中心とした温度で滞泳し、1昼夜経過後にもほぼ同じ温度で滞泳していたのに対し、第2回試験では、I, II期には24°Cを中心とし



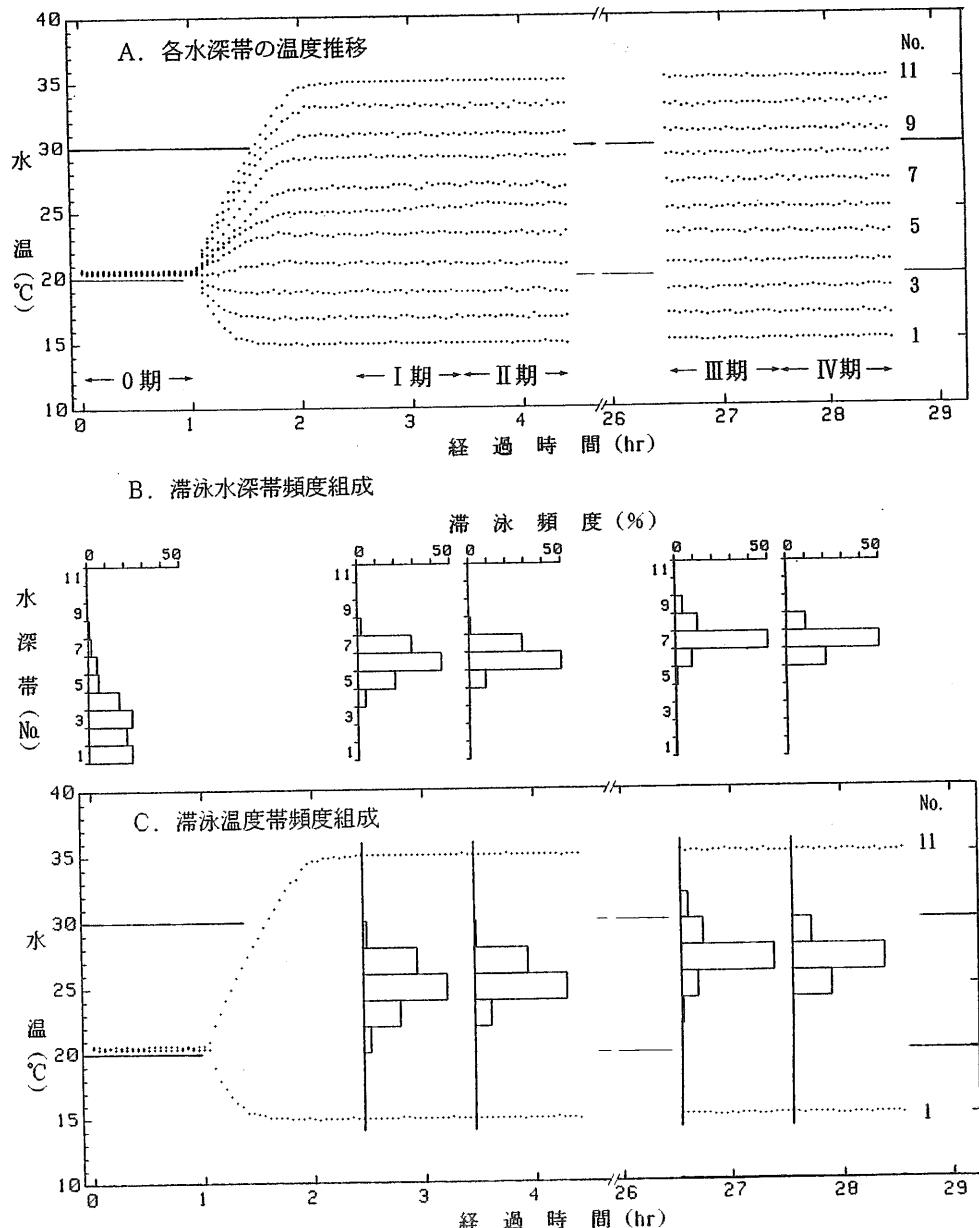
第3図 15°C馴致群を用いた選好温度試験の第1回試験結果



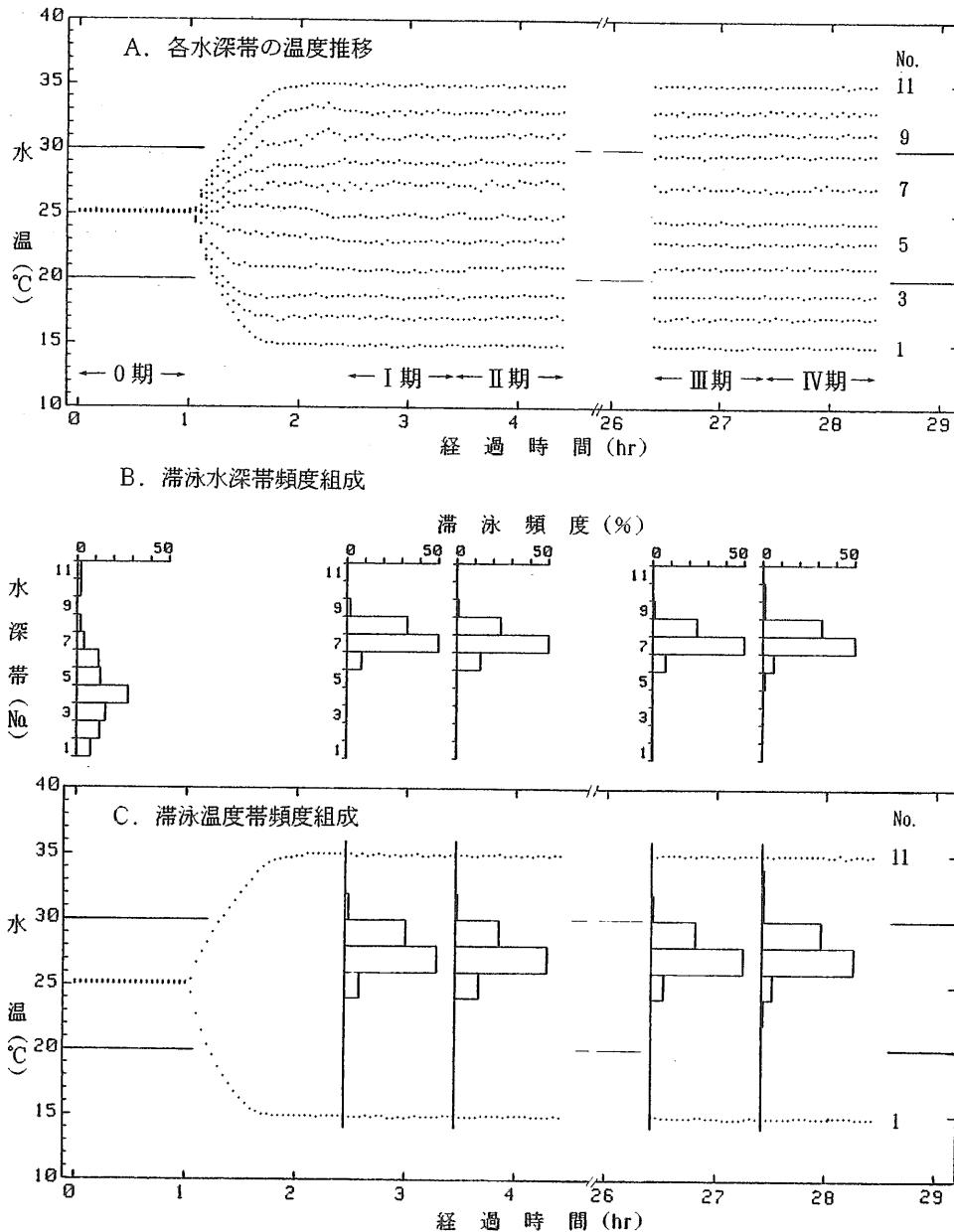
第4図 15°C馴致群を用いた選好温度試験の第2回試験結果



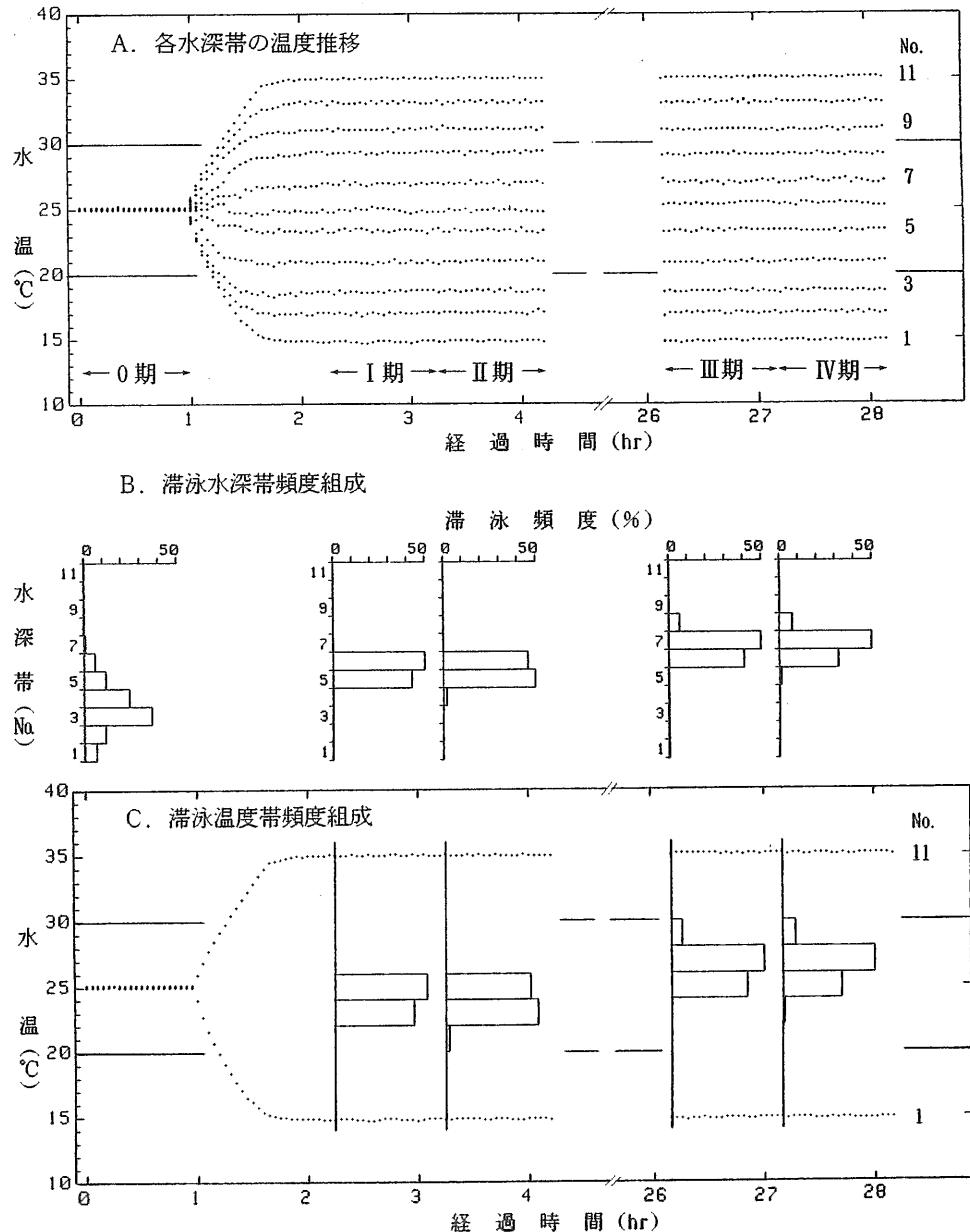
第5図 20°C馴致群を用いた選好温度試験の第1回試験結果



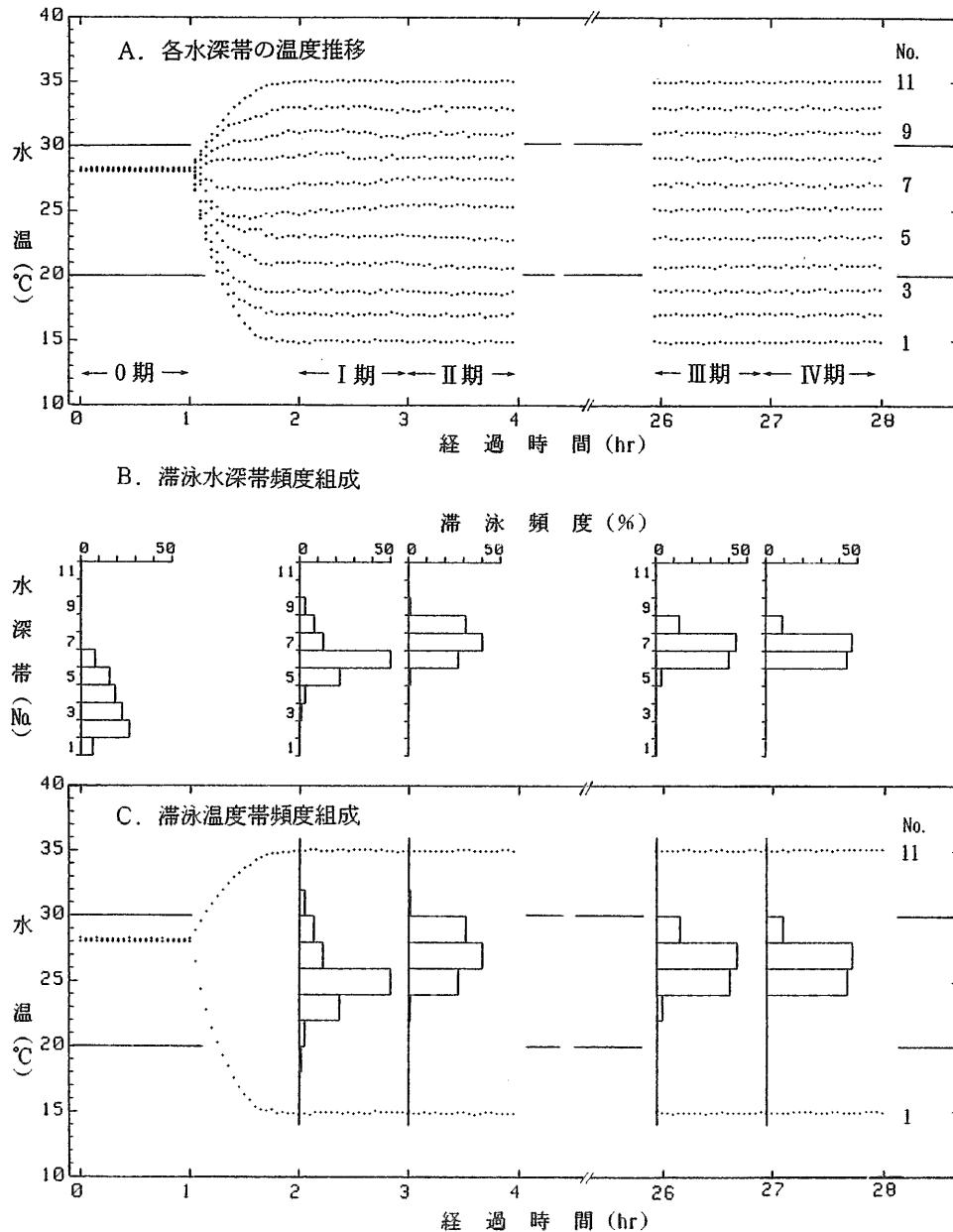
第6図 20°C馴致群を用いた選好温度試験の第2回試験結果



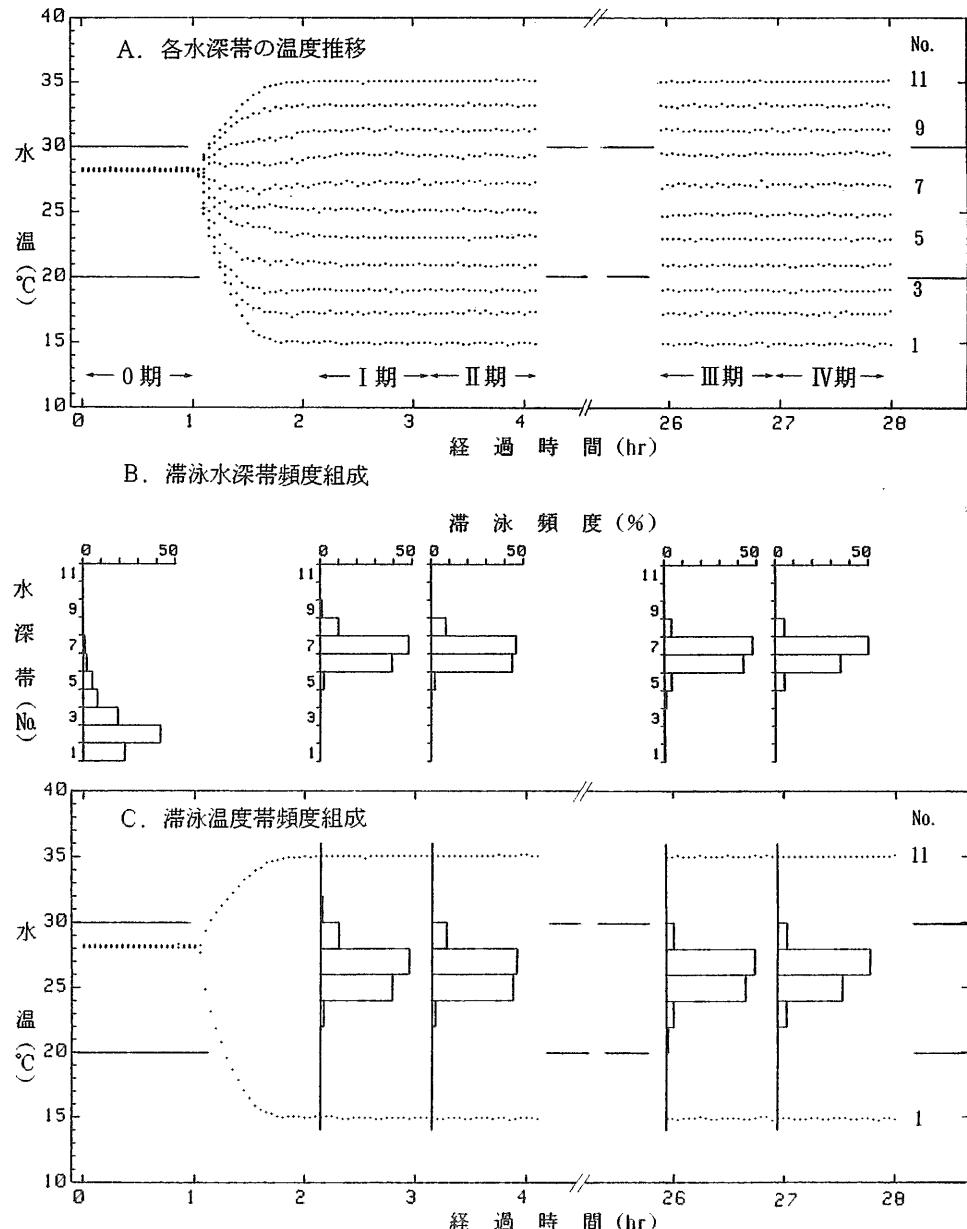
第7図 25°C馴致群を用いた選好温度試験の第1回試験結果



第8図 25°C馴致群を用いた選好温度試験の第2回試験結果



第9図 28°C 刺致群を用いた選好温度試験の第1回試験結果



第10図 28°C馴致群を用いた選好温度試験の第2回試験結果

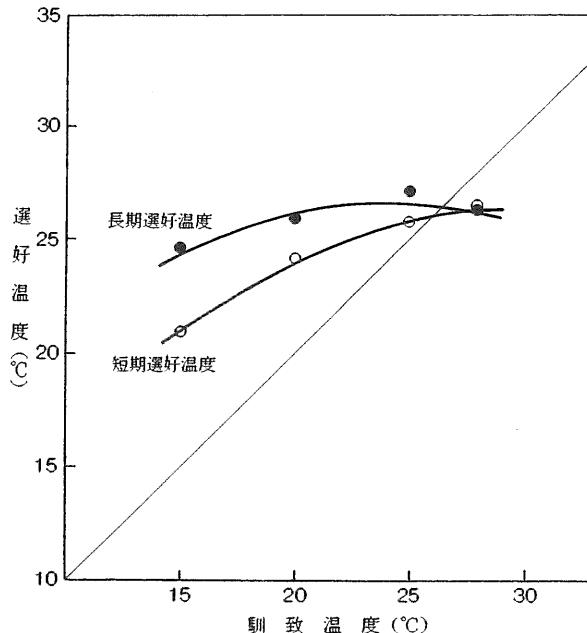
た温度で、III、IV期にはやや高温の27°Cを中心とした温度で、それぞれ滞泳していた。

28°C馴致群の場合は、前述の3温度馴致群の場合とは違って、馴致温度よりもやや低温の25~27°Cを中心とした温度で滞泳し、時間の経過に伴う滞泳温度の変化はほとんど認められなかった。

2) 馴致温度と選好温度との関係

温度勾配形成直後の2時間、すなわち(I期+II期)を“短期”、勾配形成から約1昼夜経過後の2時間、すなわち(III期+IV期)を“長期”として区分し、各馴致温度群について実施した各回の試験における短期および長期の各平均滞泳温度を求め、さらに同じ温度馴致群の2回の試験について得られたこれらの値を平均して、その温度馴致群の“短期選好温度”および“長期選好温度”とみなした。

これらの両選好温度と馴致温度との関係を求めたのが第11図である。両選好温度とも明らかに馴致温度に依存して変化しており、短期選好温度は馴致温度によって大きく変化するのに対し、長期選好温度の方では馴致温度群間の差が比較的小ないこと、また、



第11図 馴致温度と短期・長期選好温度との関係

低温に馴致された群では短期選好温度と長期選好温度の差が大きいのに対し、高温に馴致された群では両選好温度間の差が小さくなるという傾向が認められた。

馴致温度と両選好温度との間に経験的に得られた関係は、馴致温度15~28°Cの範囲内において次の(1)と(2)式によって表すことができる。

$$T_{PS} = -0.024 T_A^2 + 1.431 T_A + 4.830 \quad [^\circ C; r = 1.000] \quad (1)$$

$$T_{PL} = -0.027 T_A^2 + 1.309 T_A + 10.636 \quad [^\circ C; r = 0.923] \quad (2)$$

ここに、 T_{PS} は短期選好温度、 T_{PL} は長期選好温度、 T_A は馴致温度である。

3. 高温耐性試験

5°C/時の昇温に伴って順次観察された供試魚の行動変化を要約すると、次のとおりであった。①試験水槽内底部の側壁寄りに集まり、静止状態を保持。②表層付近に浮上して、遊泳速度が増大。③水面付近での“鼻上げ”に類する行動や狂奔的な行動の出現。④体の平衡を失って狂奔および横臥。⑤横臥状態で鰓蓋活動停止。

第3表には、この試験によって得られた各温度馴致群の平衡喪失温度と臨界致死温度を示した。15~28°Cに馴致された供試魚の高温側の平衡喪失温度は32.8~37.3°C、臨界

第3表 高温耐性試験結果

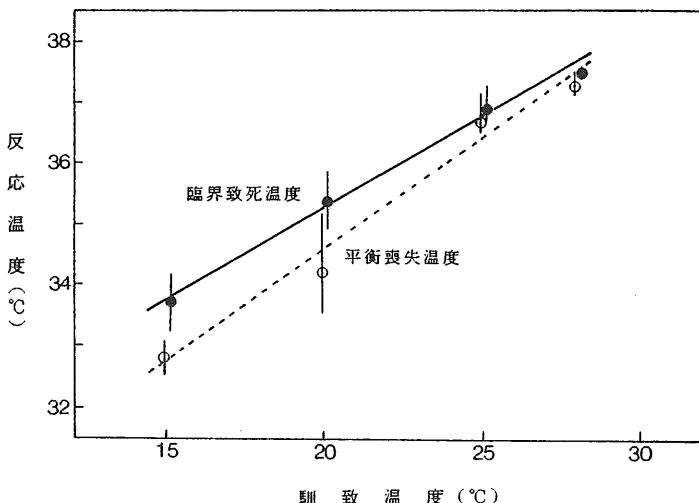
温度 馴致 群	平衡喪失温度			臨界致死温度		
	範 囲	平 均		範 囲	平 均	
15°C	32.5~33.1°C	32.8°C		33.2~34.2°C	33.7°C	
20	33.5~35.2	34.2		34.9~35.9	35.4	
25	36.5~37.2	36.7		36.7~37.3	36.9	
28	37.1~37.5	37.3		37.4~37.6	37.5	

致死温度は33.7~37.5°Cであり、両反応温度間の差は0.2~0.9°Cで、高温馴致群ほど小さくなる傾向が認められた。なお、馴致温度と両反応温度との間に経験的に認められた関係は、次の(3)、(4)式で表すことができる(第12図)。

$$T_{LE} = 0.37 T_A + 27.2 \quad [^\circ C; r = 0.943] \quad (3)$$

$$T_D = 0.30 T_A + 29.4 \quad [^\circ C; r = 0.958] \quad (4)$$

ここに、 T_{LE} は高温側の平衡喪失温度、 T_D は高温側の臨界致死温度、 T_A は馴致温度である。



第12図 駕致温度と平衡喪失温度・臨界致死温度との関係

V. 考察

1. 温度変化に伴う滞泳水深の変化

試験水槽内で広い範囲にわたる温度の成層を形成させると、供試魚は例外なしにある範囲の温度域内で集中的に滞泳するという行動を示した。また、水槽内温度勾配の設定範囲全体を2°Cおよび5°C昇降させると、供試魚の滞泳水深帯は、それに応じて明らかに変化した(第2図)。このような事実から、供試魚が特定の水深帯を求める行動をしているのではなく、特定の温度を求める行動をしているものと考えられる。

こうした設定温度範囲の移行に伴う温度選好行動については、マアジ未成魚(Furukawa *et al.*, 1988)や淡水生活期のサケ・マス類の幼魚(Brett, 1952; McCauley and Tait, 1970)においても認められている。

2. 最終選好温度の推定

短期選好温度に比し長期選好温度の方で駕致温度群間の差が小さかったのは、供試魚が新しい環境温度に接する時間の長期化とともに、試験開始前の飼育温度によって得ていた温度反応特性を次第に喪失し、新しい環境温度に対応した別の反応特性を獲得したことを示唆している。魚類の多くは、それぞれの種に固有の“最終選好温度”をもち、

特に温度条件以外に行動的制約のないように工夫した実験水槽内では、それ以前の馴致温度にかかわりなく、徐々にか、もしくは段階的に、この最終選好温度に近づいていく反応を示すと考えられている(Coutant, 1970).

Crawshaw(1975)は、ナマズ類の1種 *Ictalurus nebulosus*を用いた実験結果から、最終選好温度よりも低温で馴致された群の選好温度は、時間の経過とともに上昇し、1日以内で最終選好温度とほぼ等しい温度を選好するに至ると推定している。イシダイ1年魚の場合は、温度勾配形成から24時間経過後においても、以前の馴致温度に対する依存性はなお残っていて、すべての温度馴致群が最終選好温度を選ぶという状態に至るまでには、より長時間を要するものと考えられる。

最終選好温度はまた、選好温度と馴致温度とが等しくなる所でもある(Reynolds and Casterlin, 1979)。イシダイ1年魚の場合、第11図において、短期・長期選好温度が、馴致温度を示す45度線と交差するのは、いずれも26°C付近である。前述の(1), (2)式において、 $T_{PS} = T_A$, $T_{PL} = T_A$ として求めた最終選好温度は、それぞれ25.8°C, 26.4°Cである。このような事実は、イシダイ1年魚の最終選好温度が26°C前後にあることを示しているものと考えられる。

3. 成長適温と最終選好温度

Jobling(1981)は、魚類各種の成長適温と最終選好水温に関するこれまでの知見を整理検討した結果、両者の値はほぼ等しくなると推定している。熊井(1984)は、イシダイ若年魚の成長を検討した飼育試験に基づいて、比較的良好く摂餌をして増重のみられる温度は18°C以上にあり、成長適温は25~28°Cの範囲内にあると報告している。今回の試験に基づいて筆者らが推定したイシダイ1年魚の最終選好温度は26°C前後で、熊井が明らかにした成長適温の範囲内にあることになる。

4. 高温耐性

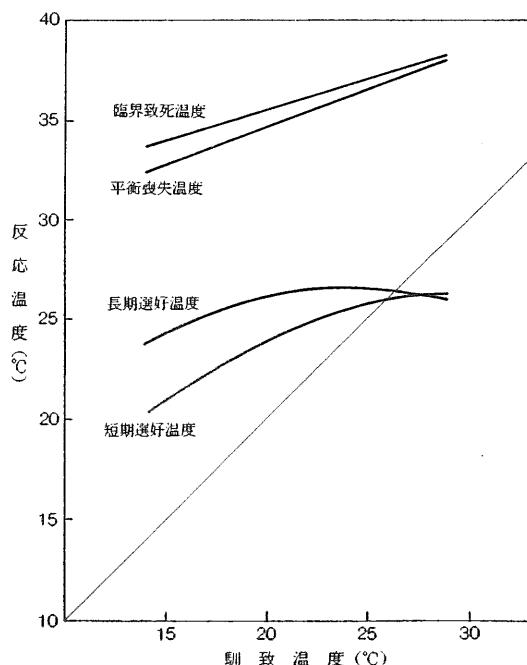
イシダイの幼期における高温側の致死温度については、難波(1975), 大池・小金沢(1976), 熊井(1984)の報告がある。難波は、尾叉長15~25mm, 体重0.04~0.15gのイシダイ稚魚を用いて、飼育温度を段階的に上昇させていく過程における供試魚の斃死率の推移などから、35~36°Cに致死温度があると考えられたとした。大池・小金沢は、23~26°Cで飼育していた全長15~40mm, 孵化後1.5ヶ月のイシダイ稚魚を用いて、31~35°Cの各

温度に対する3時間以内の短期接触試験を行い、高温耐性限界温度および半数致死温度が $33\sim34^{\circ}\text{C}$ および 32.3°C であると報告している。熊井は、 $22\sim24^{\circ}\text{C}$ で飼育していたイシダイ若年魚に対して、異なる速度(約 $7\sim11^{\circ}\text{C}/\text{時}$)で飼育温度を上昇させる試験を行い、 $35.4\sim36.3^{\circ}\text{C}$ で異常遊泳状態が観察され、 $36.6\sim36.8^{\circ}\text{C}$ で供試魚がすべて仮死状態になったと報告している。

今回、筆者らがイシダイ1年魚について実施した試験の結果によれば、 $20, 25^{\circ}\text{C}$ 馴致群の臨界致死温度は $35.4, 36.9^{\circ}\text{C}$ であり(第12図)、熊井の得た結果とほぼ一致している。難波や大池・小金沢の結果は、両者とも稚魚期のものについて得られた値であり、特に後者とは試験方法も違っているので、直接的な比較には問題があるが、今回1年魚について得た結果よりも、やや低い値となっている。

5. 環境水温と温度反応行動との関係

今回の試験で得られたイシダイ1年魚の馴致温度と、選好温度・平衡喪失温度・臨界致死温度との関係を総括して第13図に示した。イシダイ1年魚の短期選好温度は、この



第13図 馴致温度と各反応温度との関係の総括

魚にとって危険な高温レベルである平衡喪失温度や臨界致死温度よりも10~13°C低いところにある。最終選好温度付近の26°Cで馴致されたという仮定をおくと、その選好温度は高温側で逃避不能となる危険なレベルを示す平衡喪失温度よりも約11°C低いことになる。また、第2表に示される滞泳上限温度は平衡喪失温度より4~6°C低い値であった。このことは、イシダイ1年魚は危険なレベルの高温に遭遇する以前に、その危険を回避するような行動反応をする能力を有していることを示唆していると考えられる。

馴致温度を海域における環境水温とみなせば、この図から明らかのように、イシダイ1年魚は、環境水温が最終選好温度と推定された26°C前後よりも低い場合には、より高温側へ誘い込まれていくような反応を示し、環境水温が26°C前後よりも高い場合には、より低温側へ移動するような反応を示すことを意味している。しかしながら、実際の海域における魚類の誘引・忌避反応には、単に温度条件だけではなく、その他の環境条件(餌、水流など)も関与していると考えられるので、海域におけるイシダイの反応をこの結果のみで速断することはできにくい。しかし、温度条件のみから言えば、環境水温よりも高温方向に誘引されるか、あるいは環境水温よりも低温側に誘引されるかを分かつ境界点となる温度は、最終選好温度に相当する26°C付近と想定できよう。

引 用 文 献

- Becker, C. D. and Genowa, R. G.(1979). Evaluation of the critical thermal maximum for determining thermal tolerance of freshwater fish. *Env.Biol.Fish.*, **4** : 245-256.
- Brett, J. R.(1952). Temperature tolerance in young Pacific salmon Genus *Oncorhynchus*. *J.Fish. Res.Bd.Can.*, **9** : 265-323.
- Brett, J. R.(1970). Temperature, animals, fishes. pp.515-560. In :Kinne, O.(ed.), *Mar.Ecol.*,1. Wiley-Interscience, London.
- Cherry, D. S. and Cairns, J. Jr. (1982). Biological monitoring. Part V-Preference avoidance studies. *Water Res.*, **16** : 263-301.
- Coutant, C. C.(1970). Biological aspects of thermal pollution. I. Entrainment and discharge canal effects. *CRC.Crit.Rev.Envir.Cont.*, **1** : 341-381.
- Crawshaw, L. I.(1975). Attainment of the final thermal preferendum in brown bullheads acclimated to different temperatures. *Comp.Biochem.Physiol.*, **52A** : 171-173.
- Furukawa, A., Fukataki, H. and Tsuchida, S.(1988). Temperature preference of immature horse mackerel, *Trachurus japonicus*, in a vertical temperature gradient. *NOAA Tech.Rep.NMF*, **69** : 19-23.
- Hutchison, V. H.(1976). Factors influencing thermal tolerances of individual organisms. pp.10-26.

- In. Esch, G.W.,and McFarlane,R. W.(eds.), *Thermal ecology II. A Symp.Ser.*,CONF-750425.
- Jobling, M.(1981). Temperature tolerance and the final preferendum—rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *J.Fish Biol.*, **19** : 439-455.
- 熊井英水(1984). イシダイの養殖生物学的研究. 近畿大学水産研究所報告, **2** : 1-127.
- McCauley, R. W. and Tait, J.S.(1970). Preferred temperature of yearling lake trout, *Salvelinus namaycush*. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, **27** : 1729-1733.
- 難波高志(1975). 海産生物に対する昇温試験. 福井水試報告, (101) : 11-17.
- 大池一臣・小金沢昭光 (1976). 2・3 の重要海産魚貝類稚仔に及ぼす高水温の影響. 日水研報告, (27) : 103-105.
- Reynolds, W. W., and Casterlin, M. E.(1979). Behavioral thermoregulation and the "final preferendum" paradigm. *Am.Zool.*, **19** : 211-224.
- Richards, F. P., Reynolds, W. W. and McCauley, R. W.(1977). Temperature preference studies in environmental impact assessments : an overview with procedural recommendations. *J.Fish. Res.Bd.Can.*, **34** : 728-761.
- 土田修二・深滝 弘(1991). 新型垂直温度勾配反応試験装置の構造と性能. 海生研報告, No.91201 : 1-20.