



REPORT  
OF  
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

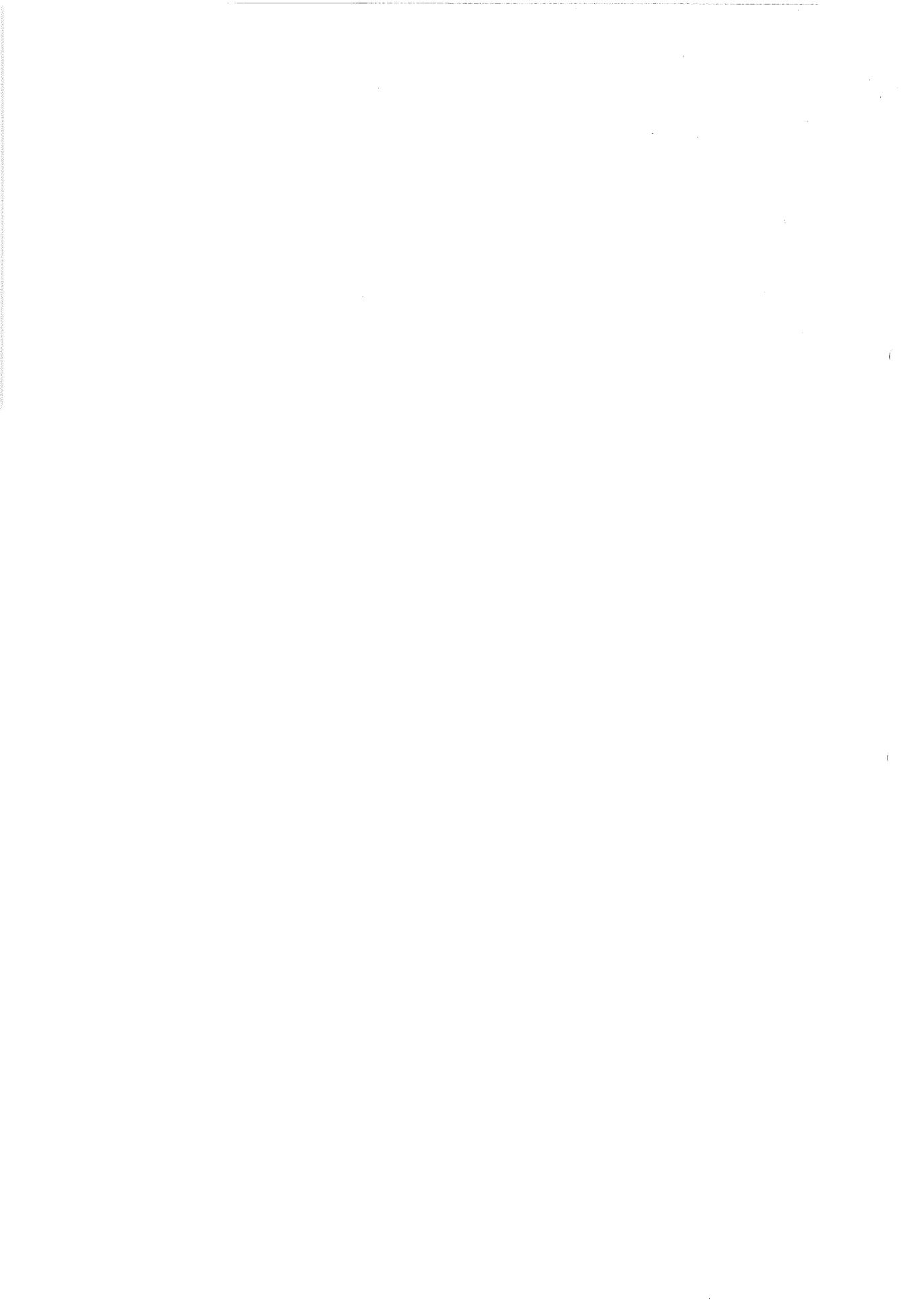
海洋生物環境研究所研究報告

No. 91201

新型垂直温度勾配反応試験装置の  
構造と性能

平成 3 年 4 月

April, 1991



## 新型垂直温度勾配反応試験装置の構造と性能<sup>1</sup>

土田 修二・深滝 弘

Structure and Performance of a Laboratory Apparatus Newly Designed  
to Form a Thermally Stratified Sea Water Column

Shuji Tsuchida and Hiroshi Fukataki

Tsuchida, S. and Fukataki, H. (1991). Structure and performance of a laboratory apparatus newly designed to form a thermally stratified sea water column. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.*, No.91201 : 1-20.

**Abstract :** A laboratory apparatus was designed and used for studying the preference- and avoidance-temperatures of marine fishes through their behavioral responses under thermally stratified conditions. The apparatus is composed of the following three major components; (1)one box-shaped experimental aquarium (1,500mm×600mm×1,650mm in sizes of L×W×H. of the test chamber), (2)automatic control systems for sea water temperature of eleven layers in the aquarium, and (3)monitoring and recording systems for each layer's temperature and for the swimming location of individual fish in a shoal at a fixed time interval during experiment. From results of performance test of the apparatus, it was clarified that a stable, vertically stratified thermal condition was well kept under recirculation of water, and that no disturbance on the stability of the thermal stratification was induced by swimming fish.

**Keywords :** Fish, Vertical thermally stratified water column, Preference temperature, Avoidance temperature

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.

**要約：**鉛直的な温度成層条件下における海産魚類の行動反応を通じて、それら魚類の選好温度や忌避温度を把握する実験を行うために、垂直温度勾配反応試験装置を設計・製作した。この装置の主要部分は、(1)箱型の試験水槽部(試験区の大きさ、間口1,500mm×奥行600mm×水位1,650mm)、(2)試験区内11層水温の自動制御システム、(3)試験期間中、一定の時間間隔で行われる11層水温および供試魚個々の滞泳位置についての観察・記録システム、の3者によって構成されている。この装置の性能試験の結果、試験槽内では安定した水温成層状態がよく保持されること、また、安定した温度成層状態は供試魚の滞泳行動によっても擾乱されないことが確認された。

**キーワード：**魚類、鉛直的温度成層、選好温度、忌避温度

1. この報告の概要については、1984年日本水産学会春季大会で発表した。

## 目 次

I. まえがき	2	III. 試験装置の性能	9
II. 試験装置の構造	3	1. 垂直温度勾配確認試験	9
1. 試験水槽部	3	2. 供試魚収容時における温度勾配	12
2. 水温自動制御部	6	確認試験	12
3. 観察記録部	7	IV. 既往試験装置との比較	15
		引用文献	19

## 図 表 目 次

第1図 垂直温度勾配反応試験装置の構成模式図	4
第2図 試験水槽部の正面模式図	5
第3図 正面からみた試験水槽部	5
第4図 調温海水循環回路の平面模式図	6
第5図 調温海水循環回路関係機器類の収納棚	6
第6図 水温自動制御システムの設定用機器と試験水槽部モニタ用テレビ画像	8
第7図 ビデオデジタイザ	8
第8図 垂直温度勾配確認試験時の水温測定位置	9
第9図 垂直温度勾配確認試験で得られた水温測定結果	11
第10図 温度無勾配期および温度勾配形成期における各回路吸引管部水温、ならびにイシダイ供試魚の滯泳水深帯別・滯泳水温帯別頻度組成の推移の1例	14
第1表 各循環回路における熱交換器の性能	7
第2表 垂直温度勾配確認試験の測定条件	10
第3表 垂直温度勾配確認試験における各水深帯水温の測定結果	12
第4表 安定した温度勾配形成直後1時間にわたる試験水槽内各水深帯の水温とそれらに対応する各吸引管部水温との比較	15
第5表 魚類の選好温度測定に用いられた既往の鉛直的温度勾配反応試験装置の概要	16

## 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。

臨海発電所からの温排水放出が魚類の行動などに及ぼす影響を明らかにするためには、現地における観察や実験の他に、適切な設備と的確な計画に基づく室内実験手法を採用して、沿岸域に生息する重要魚類の選好温度や忌避温度などに関する基礎的知見を集積することが必要である。近年、魚類の水温に対する行動反応について数多くの報告がみられるが、その大部分は淡水産魚類を対象にしており、海産魚類を取り扱ったものは比較的少ない。日本沿岸に生息する魚類についてもこれらの知見は極めて限られている。

McCauley(1977)は、魚類の選好温度など、主として水温に対する行動反応の測定を目的とした実験装置について総述し、内容によってそれらの実験装置を10タイプに区分し

た。装置の多くは、空間的な温度勾配を設定して、供試魚に最適水温域を選択させる方  
式を採用している。そのうち、鉛直的な温度勾配を用いたものとしては、Brett(1952),  
Purcell and Shrode(1983), Wyllie *et al.* (1976)などが、水平的な温度勾配を用いたも  
のとしては、Javaid and Anderson(1967), Ehrlich *et al.* (1979), Wyllie *et al.* (1976)  
などが挙げられる。

一方、こうした装置による実験においては、長時間にわたって供試魚の行動を観察し,  
さらには、観察者の動作などが供試魚の行動を攪乱するのを防ぐために、ビデオカメラ  
やフォトセンサなど光学機器の利用が一般化している(松田ら, 1984; 兼広ら, 1985;  
有元・井上, 1985; Bitwell and Kruzyński, 1987; など)。

当研究所は、通商産業省からの委託に基づいて、魚類等の水温に対する反応に係わる  
諸特性値を室内実験によって把握するために、比較的大型の実験装置の開発を1980年度  
以降の年次整備計画に従って進めてきた。これらの装置を用いて得られた各魚種につい  
ての詳細な試験結果は、別途報告する予定であるが、ここでは、1980~1981年度に設計・  
製作をし、1982年度から使用し始めた“垂直温度勾配反応試験装置”の構造と性能確認  
試験の結果の概要を報告する。鉛直的な水温成層が形成されたこの装置の試験水槽内に、  
海の表・中層部などを遊泳する魚類を収容して、遊泳行動で示される供試魚類の選好温  
度や滞泳水温範囲の上限・下限などを実験的に把握することが可能となった。

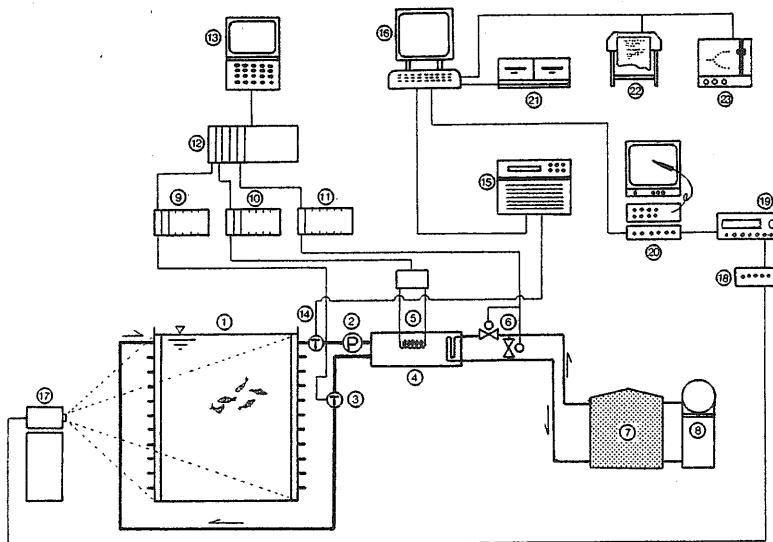
今回の報告に当たって試験内容の一部公表を許可された通商産業省に厚くお礼を申し  
上げる。装置の設計検討には、当研究所中央研究所内に設置された実験施設整備委員会  
のメンバーが当たった。この委員会を主宰した設計・製作当時の中央研究所長古川 厚  
博士をはじめとする所内委員各位、ならびにこれらの委員と検討協議を進めながら製作  
を担当された㈱アクアレックスに対して深謝の意を表する。

## II. 試験装置の構造

垂直温度勾配反応試験装置の構成を第1図に示した。この試験装置の主要部分は、試  
験水槽部、水温自動制御部、観察記録部よりなる。

### 1. 試験水槽部

この装置の試験水槽は、外寸で幅1,720mm×奥行き740mm×高さ1,830mm の大きさ  
をもつ直方体のものである。水槽の前側面と背側面は耐圧ペアガラス、左右両側面と底



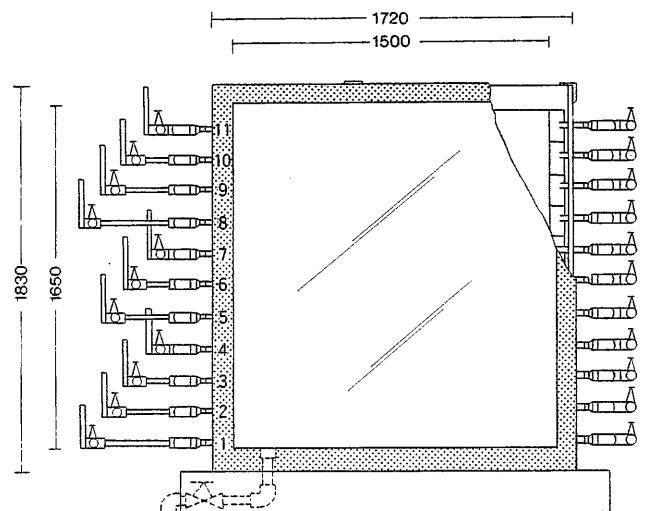
第1図 垂直温度勾配反応試験装置の構成模式図

①試験水槽, ②循環ポンプ\*, ③制御用温度センサ\*, ④熱交換器\*, ⑤電気ヒータ\*, ⑥電磁弁\*, ⑦ブラインタンク, ⑧チラーユニット, ⑨温度変換器, ⑩, ⑪リレーボックス, ⑫フィールドコントロールユニット, ⑬オペレーターコンソール, ⑭記録用温度センサ\*, ⑮温度記録計, ⑯パーソナルコンピュータ, ⑰ビデオカメラ, ⑱ビデオタイマ, ⑲ビデオレコーダ, ⑳ビデオデジタルシステム, ㉑ディスクドライブ, ㉒プリンタ, ㉓プロッタ,  
[\*をつけた機器は×11台を示す]

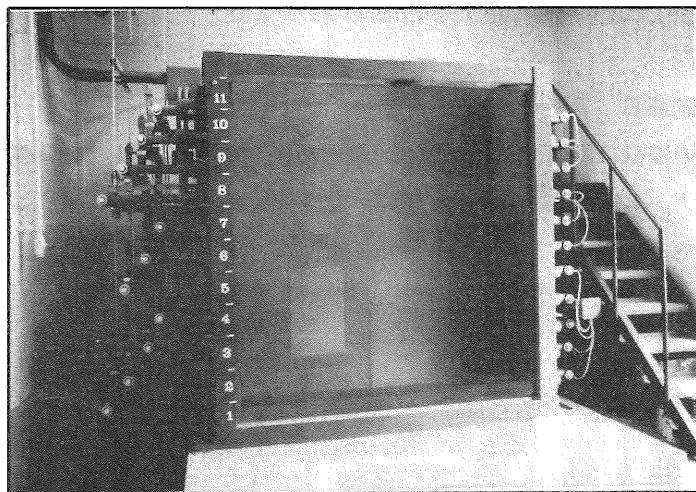
面は厚さ30mmの硬質塩化ビニル板からなり、塩化ビニル被覆仕上げの鋼板製フレームによって支持されている。水槽の上面は開口しており、取り外し可能なアクリル製の蓋が設けられている。

水槽の左側面内側には、幅600mmの水平隔板で仕切られた11段の調温海水吐出ヘッダ区が、また、これらに対向する右側面内側には11段の海水吸引ヘッダ区が、それぞれ設けられている。各ヘッダ区の上下幅は150mmで、その中央には各1対の吐出管、もしくは吸引管が水槽外部から接合されている(第2図、第3図、第4図)。両ヘッダ区の間、すなわち試験区内の海水の整流状態を保持するために、各吐出・吸引管の先端部には工夫が加えられており、さらにまた、両ヘッダ区と試験区との間は塩化ビニル製の多孔板で仕切られている。試験区の大きさは、幅1,500mm×奥行き600mm×高さ(水位)1,650mmで、試験区内の海水容量は約1,500ℓである(第2図、第3図)。

海水の調温循環回路は、それぞれ設定温度に対応できる独立の11系統とした(第4図)。



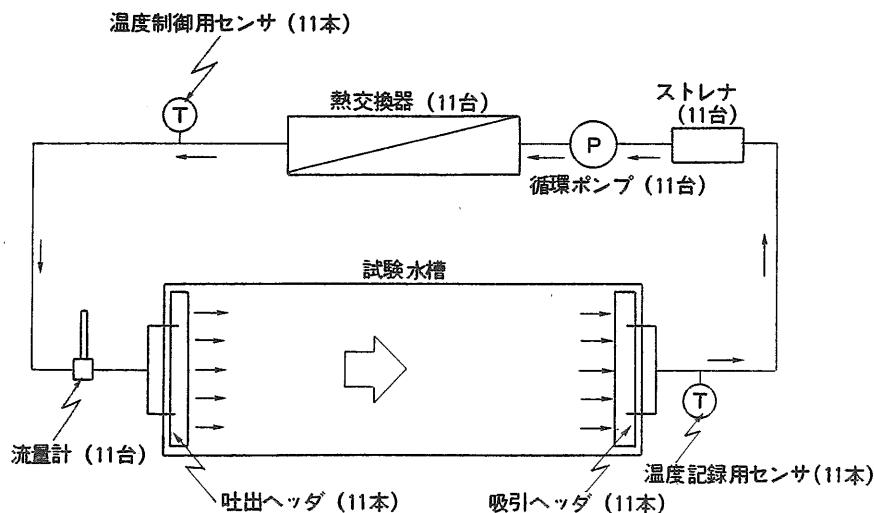
第2図 試験水槽部の正面模式図



第3図 正面からみた試験水槽部

試験水槽内から吸引された海水は、系統毎にストレナ→循環ポンプ→熱交換器→流量計を順次通過し、熱交換器内でそれぞれの設定温度に再調節されたのち、再び試験水槽内に吐出される。各系統における最大流量は $25\text{ l}/\text{分}$ である。

水槽の上には40Wの白色蛍光灯6本が吊り下げられており、散光板を通過した後の光

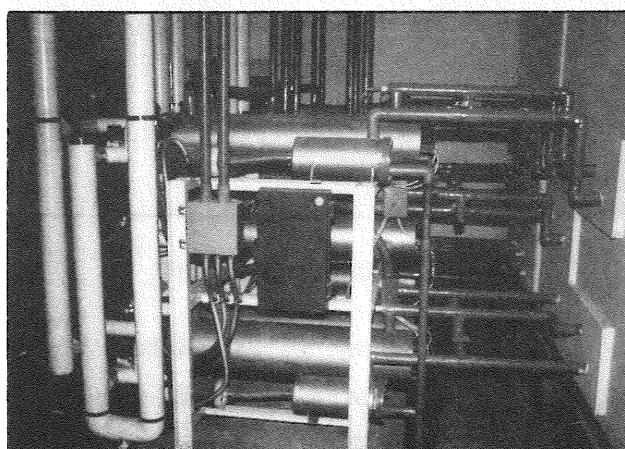


第4図 調温海水循環回路の平面模式図

の照度は、水面上で600~800 lux、水槽前面のガラス面上で50~120 luxであった。

## 2. 水温自動制御部

水温制御用の機器を設置した機械室は、試験水槽室とは間仕切り壁で隔離されており、前述のストレナ、熱交換器、循環ポンプ等が機械室内の3段の棚に収容され、間仕切り壁を貫通するパイプ類によって試験水槽と接続している(第5図)。



第5図 調温海水循環回路関係機器類の収納棚

各系統の循環回路中の熱交換器と海水吐出ヘッダとの間には制御用の温度センサが取りつけられており、コンピュータ室内のパッケージ計装制御システムと接続している(第6図)。各系統の熱交換器内には電熱ヒータと冷却用コイルが内蔵されており、パッケージ計装制御システムで演算処理した出力信号によって、各回路毎に独立に設定可能な任意の水温に制御することができる。この制御は、具体的には電熱ヒータの断続作動と、冷却コイル内を流れるブラインを電磁弁によって循環もしくはバイパスさせるオン-オフ方式が採用されている。第1表には各循環回路に用いた熱交換器の性能を示した。

第1表 各循環回路における熱交換器の性能

回 路 No.	伝熱面積 (m <sup>2</sup> )	熱交換器容量 (kcal/h)	
		加 热	冷 却
1	0.79	4,300	2,290
2	0.79	4,300	2,290
3	0.54	3,440	1,990
4	0.54	3,440	1,990
5	0.40	2,580	1,800
6	0.40	2,580	1,800
7	0.40	2,580	1,800
8	0.54	3,440	1,990
9	0.54	3,440	1,990
10	0.79	4,300	2,290
11	0.79	4,300	2,290

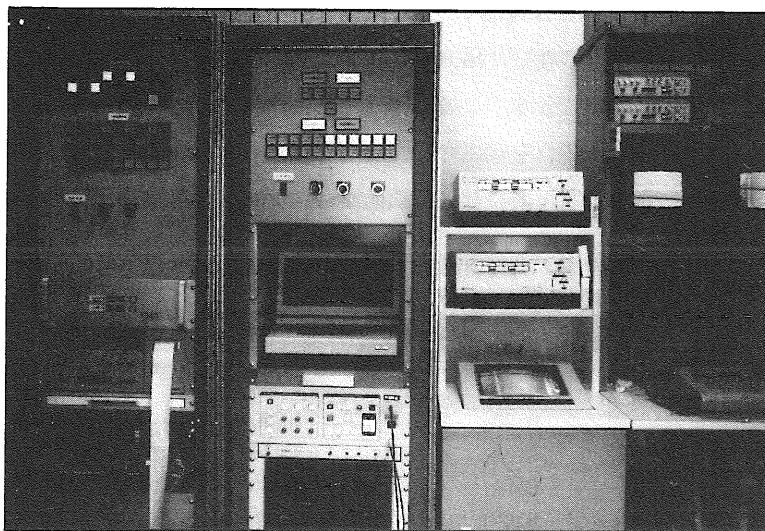
### 3. 観察記録部

試験水槽内の各水深帯に対応する水温は、各回路の吸引ヘッダとストレナの間に設けられた記録用の温度センサによって、設定した時間間隔毎に記録・解析用のコンピュータに自動入力される。

試験期間中は、供試魚の遊泳行動が周囲の諸条件によって攪乱されることを回避するために、試験水槽室内を無人化し、供試魚の行動や滞泳位置の観察・記録は、すべて試験水槽前面に設置した高感度ビデオカメラを通じて遠隔的に行なった。

コンピュータ室内には、位置検出用のビデオデジタイザおよびモニタ用テレビを置き、前者の画面上でライトペンによって、試験期間中の所定時間間隔毎に各供試魚の滞泳位置をX, Y軸上の値として捉えた。それらの値をリアルタイムに記録解析用のコンピュータに入力するとともに、供試魚滞泳画像をビデオテープレコーダに収録して、試験終

了後におけるオフラインでのデータ処理もできるようにした(第6図, 第7図)。



第6図 水温自動制御システムの設定用機器と試験水槽部モニタ用テレビ画像



第7図 ビデオデジタイザ

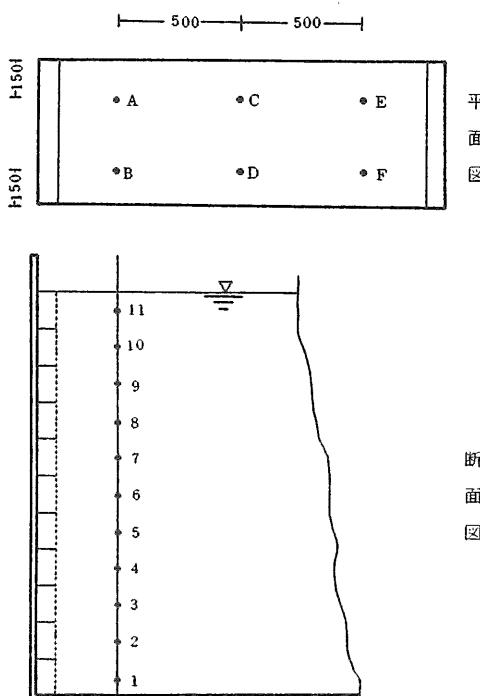
### III. 試験装置の性能

#### 1. 垂直温度勾配確認試験

##### 1) 試験方法

まず、試験水槽内に供試魚を収容していない状態で、装置自身のもつ垂直温度勾配形成機能を確認するための試験を行った。このため、この試験装置の水温自動制御システムを運転しながら、各吐出ヘッダの中心水深に対応するように 150mm 間隔で 11 個の温度センサを取りつけた垂直な棒(層別測温棒)を第 8 図に示す 6 点(A ~ F)に順次移動してそれぞれ約 10 分間の水温測定を行った。

温度勾配形成条件を違えて、この水温測定を 10 回実施した。それらの条件の詳細を第 2 表に示す。試験 No.1 ~ 8 までは、異なる水温範囲で  $10^{\circ}\text{C} / 150\text{cm}$  の温度勾配を、試験 No.9, 10 は、この試験装置の水温制御可能最大範囲である  $5 \sim 40^{\circ}\text{C}$  にわたる  $35^{\circ}\text{C} / 150\text{cm}$  の急勾配設定を、それぞれ試みた場合である。



第 8 図 垂直温度勾配確認試験時の水温測定位置

第2表 垂直温度勾配確認試験の測定条件

試験 No.	求める 温度勾配 (°C / cm)	設 定 温度勾配 (°C / cm)	温度勾配 設定範囲 (°C)	海水流量 (ℓ / 分)	ブライン 流 量 (ℓ / 分)	ヒータ 設定容量
1	10 / 150	10 / 150	5.0 - 15.0	20	100	下表A
2	10 / 150	10 / 150	10.0 - 20.0	20	100	A
3	10 / 150	10 / 150	20.0 - 30.0	20	100	A
4	10 / 150	10 / 150	30.0 - 40.0	20	100	B
5	10 / 150	11 / 150	4.5 - 15.5	20	100	A
6	10 / 150	11 / 150	9.5 - 20.5	20	100	A
7	10 / 150	11 / 150	19.5 - 30.5	20	100	A
8	10 / 150	11 / 150	30.0 - 40.0	20	100	B
9	35 / 150	35 / 150	5.0 - 40.0	14	100	B
10	35 / 150	38 / 150	3.5 - 41.5	14	100	B

熱交換器 回路No.	全容量 (kcal/時)	第9図〔A〕		第9図〔B〕	
		設定率 (%)	設定容量 (kcal/時)	設定率 (%)	設定容量 (kcal/時)
11	4,300	70	3,010	70	3,010
10	4,300	65	2,795	65	2,795
9	3,440	60	2,064	60	2,064
8	3,440	60	2,064	60	2,064
7	2,580	60	1,548	60	1,548
6	2,580	50	1,290	50	1,290
5	2,580	50	1,290	50	1,290
4	3,440	50	1,720	50	1,720
3	3,440	40	1,376	50	1,720
2	4,300	40	1,720	50	2,150
1	4,300	40	1,720	50	2,150

## 2) 試験結果

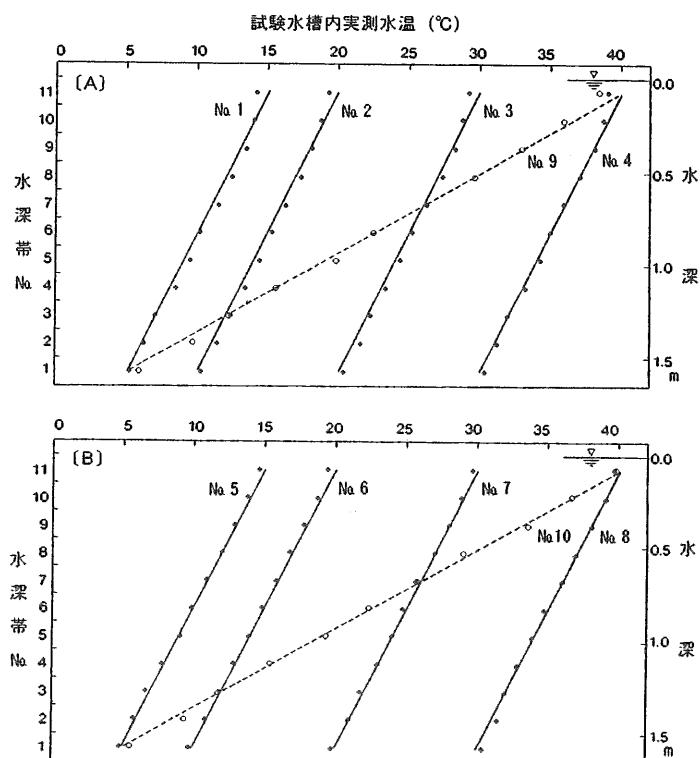
各試験時の水槽内 6 点(第8図A～F)における11層水温の平均値と標準偏差を第3表に示した。各層水温の変動は比較的小さく、水温の標準偏差の出現頻度でみると、延べ110層のうち、0.1°C以下の27層(24.5%)、0.1～0.19°Cの54層(49.1%)の両者で全体の約3/4を占め、標準偏差の最大値は、急勾配をつけた試験No.10の水深帯No.8における0.42°Cであった。

各試験時における水温測定結果を第9図に示した。この図において、各直線は求めようとした温度勾配を示し、各点は試験水槽内における各吐出ヘッダの中心水深に対応する各水深帯の6ヶ所(A～F)で測定した水温の平均値を示している。

第9図Aは試験No.1～4の結果であるが、設定温度勾配を10°C / 150cmとしたこれら4回の試験においては、水槽底面付近では求めようとした水温よりもやや高めの水温

が得られ、一方、水槽の表面部分では逆に求めようとした水温よりもやや低めの値が得られるという傾向が認められた。こうした傾向を補正するために、第9図Bに示した試験No.5～8では、設定温度勾配を $11^{\circ}\text{C} / 150\text{cm}$ としたところ、各点は求めようとした水温勾配に第9図Aの場合よりも一層接近した。

第9図のなかで破線で示した試験No.9と10は、この装置で制御可能な最大の水温範囲である $35^{\circ}\text{C} / 150\text{cm}$ の温度勾配を求めようとした場合の水温測定結果である。試験No.9では設定温度勾配を $35^{\circ}\text{C} / 150\text{cm}$ としたが、前述の試験No.1～4の場合と同様に、求めようとした温度勾配よりも、水槽底面付近ではやや高温になり、水槽表面付近ではやや低温になるという傾向が認められた(第9図A)。そこで、試験No.10では、設定温度勾配を $38^{\circ}\text{C} / 150\text{cm}$ としたところ、求めようとする温度勾配により一層接近した水温測定結果が得られた(第9図B)。



第9図 垂直温度勾配確認試験で得られた水温測定結果

これらの試験結果を通じて、この装置に要求される最も基本的な性能である“安定した垂直温度勾配の形成”という点は、実用的に満足すべきレベルで確保されていることが確認された。

第3表 垂直温度勾配確認試験における各水深帯水温の測定結果

水深 帯 No.	底面か らの距 離(mm)	試験No.1		No.2		No.3		No.4		No.5	
		X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D
11	1575	14.2 ± 0.08	19.2 ± 0.05	29.2 ± 0.08	39.0 ± 0.00	14.6 ± 0.14					
10	1425	14.0 ± 0.17	18.8 ± 0.12	28.8 ± 0.11	38.7 ± 0.12	13.8 ± 0.15					
9	1275	13.4 ± 0.11	18.1 ± 0.09	28.2 ± 0.14	38.1 ± 0.20	12.9 ± 0.28					
8	1125	12.5 ± 0.18	17.3 ± 0.20	27.3 ± 0.15	37.1 ± 0.28	12.0 ± 0.24					
7	975	11.5 ± 0.18	16.2 ± 0.30	26.2 ± 0.16	35.9 ± 0.16	10.9 ± 0.24					
6	825	10.2 ± 0.13	15.2 ± 0.25	25.2 ± 0.05	34.9 ± 0.08	9.9 ± 0.11					
5	675	9.5 ± 0.16	14.4 ± 0.16	24.3 ± 0.06	34.2 ± 0.10	9.1 ± 0.23					
4	525	8.5 ± 0.14	13.3 ± 0.28	23.3 ± 0.19	33.1 ± 0.09	7.8 ± 0.16					
3	375	7.1 ± 0.25	12.3 ± 0.18	22.2 ± 0.08	31.9 ± 0.16	6.7 ± 0.12					
2	225	6.3 ± 0.32	11.4 ± 0.17	21.6 ± 0.04	31.3 ± 0.13	5.8 ± 0.24					
1	75	5.2 ± 0.09	10.3 ± 0.09	20.4 ± 0.10	30.3 ± 0.08	4.8 ± 0.08					
水深 帯 No.	底面か らの距 離(mm)	試験No.6		No.7		No.8		No.9		No.10	
		X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D	X ± S D
11	1575	19.5 ± 0.12	29.7 ± 0.200	39.7 ± 0.253	38.4 ± 0.133	39.8 ± 0.055					
10	1425	18.7 ± 0.08	28.8 ± 0.126	39.1 ± 0.110	35.9 ± 0.234	36.6 ± 0.163					
9	1275	17.8 ± 0.13	28.0 ± 0.217	38.1 ± 0.225	32.9 ± 0.197	33.6 ± 0.288					
8	1125	16.8 ± 0.15	27.0 ± 0.243	37.0 ± 0.335	29.6 ± 0.327	29.1 ± 0.423					
7	975	15.9 ± 0.19	25.7 ± 0.152	35.9 ± 0.219	26.2 ± 0.242	25.8 ± 0.316					
6	825	14.9 ± 0.16	24.7 ± 0.052	34.7 ± 0.041	22.4 ± 0.373	22.3 ± 0.055					
5	675	14.0 ± 0.14	24.0 ± 0.072	33.9 ± 0.075	19.8 ± 0.216	19.3 ± 0.103					
4	525	12.9 ± 0.19	23.0 ± 0.103	32.9 ± 0.098	15.6 ± 0.343	15.5 ± 0.160					
3	375	11.8 ± 0.14	21.8 ± 0.182	32.0 ± 0.122	12.3 ± 0.234	11.8 ± 0.103					
2	225	10.9 ± 0.20	21.1 ± 0.082	31.4 ± 0.126	9.7 ± 0.110	9.4 ± 0.082					
1	75	9.8 ± 0.10	19.9 ± 0.117	30.4 ± 0.164	5.8 ± 0.117	5.6 ± 0.126					

## 2. 供試魚収容時における温度勾配確認試験

### 1) 試験方法

次に、試験水槽内に収容された供試魚がある特定範囲の水深帯で泳ぐ場合でも、前述のような成層状態、すなわち安定した垂直温度勾配が攪乱されることなく、保持されるか否か等を検討した。

供試魚としては、平均水温約25°Cで試験前2週間にわたり温度馴致したイシダイ5尾(平均体長13.7cm, 平均体重93.2g)を用いた。試験の前日に、循環中の試験水槽内水温を供試魚の馴致水温とほぼ等しい温度無勾配の循環状態にしてから、供試魚5尾を収容し、

そのまま一晩経過後、試験を開始した。まず、温度無勾配状態で1時間にわたって供試魚の滞泳位置を入力し、次いで、15~35°Cにわたる20°C／150cmの温度勾配設定を開始し、約1時間後に安定した温度勾配になってから2時間にわたって供試魚の滞泳位置の入力を行った。この温度勾配形成期においては、各循環回路の吸引管部に挿入した11個のセンサによって測定した水温を自動的に記録するとともに、前述の層別測温棒を用いて試験水槽内中心部の各層水温の測定も同時に行つた。試験期間中を通じて、水温測定および供試魚の滞泳位置の入力は、すべて3分間隔で実施した。なお、温度勾配形成期における装置運転条件の詳細は次のとおりであった。

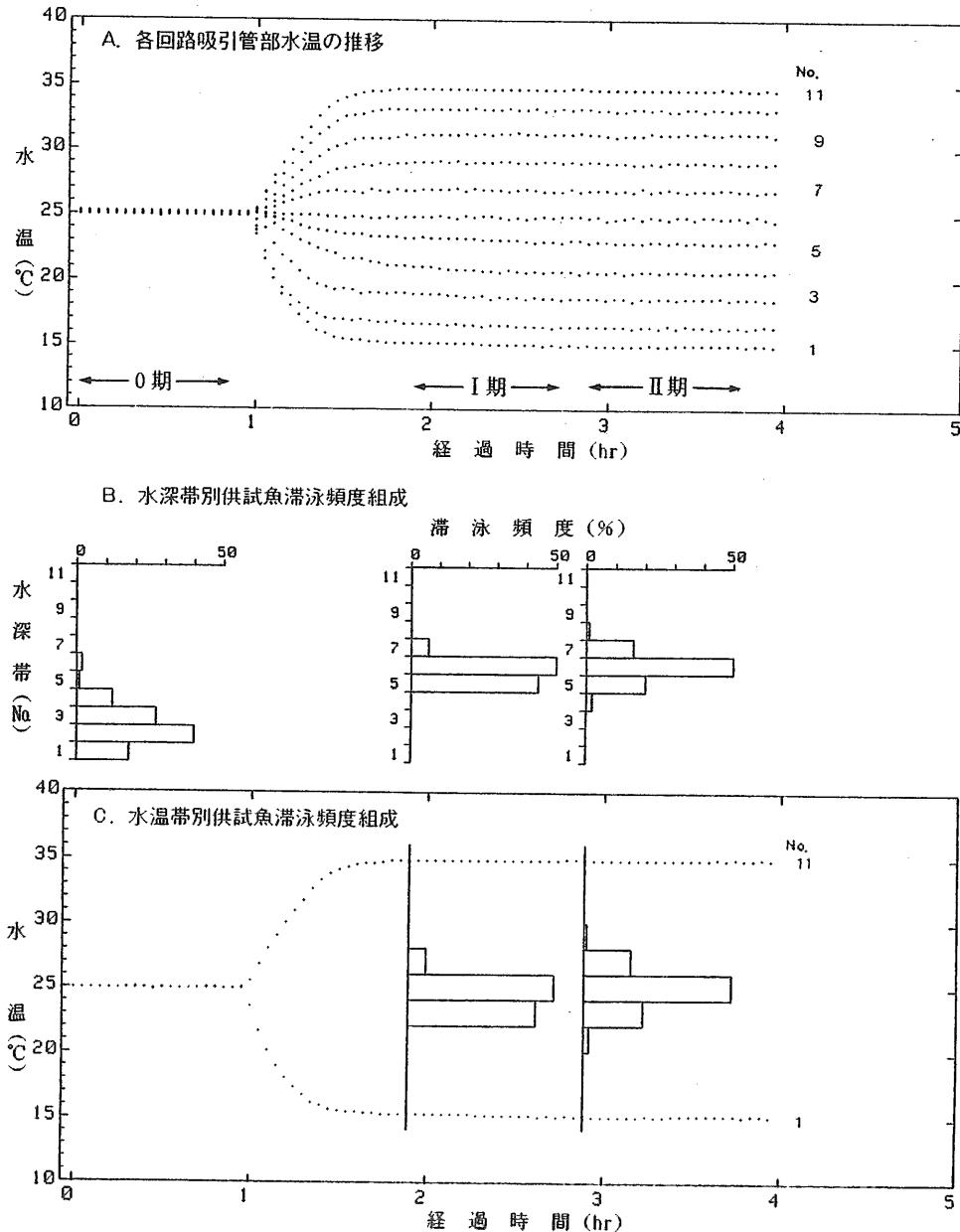
- ・求めようとする温度勾配〔水温範囲〕 ..... 20°C／150cm [15~35°C]
- ・設定した温度勾配〔水温範囲〕 ..... 22°C／150cm [14~36°C]
- ・各水深帯の海水流量 ..... 20 ℥／分
- ・ブライン流量 ..... 100 ℥／分
- ・ヒータ設定容量 ..... 第2表Aのとおり

## 2) 試験結果

安定した温度勾配形成後の1時間にわたる各水深帯の水槽内水温と各回路吸引管部水温を、第4表に対比して示した。この表から明らかなように、両水温間にはほとんど差が認められず、供試魚を収容した場合でも、各吸引管部で自動的に測定される水温は、試験水槽内の各水深帯の水温を良く代表していることが確認された。

第10図Aには、供試魚を収容して実施したこの試験期間中の各吸引管部水温の推移を示した。また、同図Bには、温度無勾配期の1時間と安定した温度勾配形成期の2時間における供試魚の水深帯別滞泳頻度組成を、同図Cには温度勾配形成期の2時間における供試魚の水温帯別滞泳頻度組成を、それぞれ示した。安定した温度勾配形成期における供試魚の滞泳水深帯はNo.4~8にわたり、特にNo.5~7に集中して滞泳する傾向が認められたが、これらの水深帯の水温が供試魚の滞泳によって大きく攪乱されるというような事態は全く起こらなかった。

そもそも、供試魚の遊泳によって温度成層が攪乱されるというような事態が起こるのであれば、その攪乱の程度も把握できるようにしたいとの意図があつて、記録用の温度センサの設置箇所を、海水が試験水槽内を貫流した後の吸引管部に選定したわけであつた。しかしながら、供試魚の滞泳によって試験水槽内の温度成層状態が攪乱されるかも



第10図 温度無勾配期および温度勾配形成期における各回路吸引管部水温、ならびに  
イシダイ供試魚の滞泳水深帶別・滞泳水温帶別頻度組成の推移の1例

第4表 安定した温度勾配形成直後1時間にわたる試験水槽内各水深帯の水温とそれらに対応する各吸引管部水温との比較

水深帯 No.	得ようと する水温	試験水槽内 水温〔A〕	吸引管部 水温〔B〕	水温差 〔A-B〕
11	35°C	35.0±0.12°C	34.8±0.03°C	0.2°C
10	33	33.3±0.09	33.2±0.06	0.1
9	31	31.4±0.10	31.3±0.09	0.1
8	29	29.1±0.14	29.1±0.06	0.0
7	27	27.1±0.22	27.0±0.07	0.1
6	25	24.8±0.19	24.9±0.07	-0.1
5	23	23.2±0.14	23.2±0.10	0.0
4	21	20.9±0.25	20.9±0.14	0.0
3	19	19.0±0.18	18.8±0.13	0.2
2	17	16.8±0.13	16.6±0.09	0.2
1	15	15.0±0.11	15.1±0.07	-0.1

知れないという当初の懸念は、杞憂にすぎなかつたことが、この試験、ならびにその後に着手した沿岸域に生息する代表的な重要魚種を順次対象にした本格的な試験によって確認された(土田ら, 1991; など)。

#### IV. 既往試験装置との比較

鉛直的な温度勾配を形成させた試験水槽内において、太平洋産サケ属5種の稚魚を対象にして、それらの最頻遊泳層を通じて各魚種の選好温度を把握する試験を最初に行つたのはBrett(1952)であった。彼が用いた試験水槽はガラス板と鉄枠で構成された箱型のもので、その大きさは高さ914mm、長さ914mm、幅508mmであった。この水槽の底層部から冷水を注入し、表層部からオーバーフローさせるとともに、水槽内壁の近くに熱交換用の銅管製の細い螺旋状コイルを設けて、その管内に表層部から底層部方向へ温水を通し、これらの槽内注入冷水と細管内通過温水の温度と流量を適宜調整することによって、所期の温度勾配を得るという方式が採用されていた。

Brettの用いたものとほぼ同形同大の試験装置が、原型を部分的に改良した程度のままで、カナダの研究者によって、yellow perch(Ferguson, 1958; McCauley and Read, 1973), ニジマス(Garside and Tait, 1958; McCauley and Pond, 1971), lake trout(McCauley and Tait, 1970)などを対象にした試験にも使用された。これらの報告で部分的な改良点として記載されているもの全てを列挙すると、①水槽を構成する材質に透明アクリル板とベニア板を併用した、②熱交換用コイルの材質にアルミニウムを用いた、

第5表 魚類の選好温度測定に用い.

試験水槽					試験水槽の内部に設 熱交換用					
形状	大きさ(mm)		容積 (ℓ)	材質 前面 側面等 枠	注水		排水			
	H	L	W		部位	温度	部位	方式	材質 (mm)	径 (m)
箱型	914	914	508	[424] <sup>1)</sup> ガラス	ガラス	鉄	底層	冷水	最表層	単式 銅 — —
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	" — —
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	複式 アルミニウム アルミニウム — —
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	(2-3°C)
"	"	"	"	450	"	"	"	"	"	単式 " — —
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	(4°C)
"	"	"	"	"	透明 ベニア板	"	冷水	"	"	銅 — —
"	"	"	"	"	アクリル	"	"	"	"	" — —
"	1130	330	330	[145]	"	アクリル	"	"	"	複式 チタン — —
"	1500	1000	600	[900]	ガラス ベニア板	"	"	"	"	(2-3°C) 銅 12 —
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	" — —
"	1250	920	610	[702]	ガラス ガラス	鉄	"	"	"	4°C — —
"	(1650)	1500	600	1485) <sup>2)</sup>	ガラス 塩化 ビニル板	鉄	11層 調温済	11層 海水	〔水槽内部にはコイルな 独立した11系統の温度	
円筒型	2438	914	[1600]	ガラス繩	表層	温水	底層	単式 ポリエ チレン	—	30.5
"	760	1220	800					複式 アルミニウム	—	—
"	910	890	566	透明ア クリル				" 銅	—	—
"	(800)	880	486) <sup>2)</sup>					"	—	—
"	1000	76.2	[4.6]	透明ア クリル	底層	冷水	表層	単式 ステンレス	3.2	—
"	(900)		[4.1]			(120ml/分)		(直立1本)		
"	2100	900	[1336]		表層	温水	底層	単式		45.7
						(3.8- 7.6ℓ/分)				

<sup>1)</sup>原報告には容積の記載なく、〔 〕内の値は大きさから算出したもの；<sup>2)</sup>( )内は試験区のみの値

## られた既往の鉛直的温度勾配反応試験装置の概要

置された コイル	勾配 温 度 範 囲 媒体 方 向 (°C)	試験対象魚種	原 報 告
温水 表→底		マスノスケ、ベニザケ、ギンザケ、カラフトマス、シロザケの稚魚	Brett (1952)
" "		yellow perch ( <i>Perca flavescens</i> )	Ferguson (1958)
" "	24-4	ニジマス ( <i>Salmo gairdneri</i> )	Garside and Tait (1958)
ライン 底→底			
温水 表→底	22-4	lake trout ( <i>Salvelinus namaycush</i> )	McCauley and Tait (1970)
" "		ニジマス ( <i>Salmo gairdneri</i> )	McCauley and Pond (1971)
" "	30-14	yellow perch ( <i>Perca flavescens</i> )	McCauley and Read (1973)
" "		カワマス ( <i>Salvelinus fontinalis</i> ) (18-25°C)	Peterson (1973)
冷水 底→底 (2-3°C)			
温水 表→底		イトヨ ( <i>Gasterosteus aculeatus</i> )	Garside et al. (1977)
冷海水 底			
温水 表→底	30-5	メダカ科の2種 ( <i>Fundulus heteroclitus</i> )	Garside and Morrison (1977)
冷海水 底	36-9	( <i>F. diaphanus</i> )	
温水 表→底	25-5	ニジマス ( <i>Salmo gairdneri</i> )	Kwain and McCauley (1978)
冷水 底→表			
し、外部に 制御機器設置]	40-5	日本沿岸の海産魚種	本報告 (1991)
冷水 底→表		大西洋産海産魚等13種	Wyllie et al. (1976)
温水 表→底	最大幅	Alewife ( <i>Alosa pseudoharengus</i> )	Otto et al. (1976)
冷水 底→表	33°C	[ニシン目の1種]	
温水 表→中		ボラ ( <i>Mugil cephalus</i> )	Major (1978)
冷水 底→中			
温水 表→底		[幼稚魚用試験装置の記載]	Purcell and Shrode (1983)
エチレン 底→表		striped bass ( <i>Morone saxatilis</i> )	Kellogg and Gift (1983)
グリコール		white perch ( <i>Morone americana</i> )	
		spottail shiner ( <i>Notropis hudsonius</i> )	
		[スズキ目2種、コイ科1種]	

③コイルの懸垂位置を上下に移動できるようにした, ④熱交換用コイルを複式にして, 表層から底層方向に温水を通すものとは別に, 底層部には冷凍用ブラインを循環させるコイルを設けた, ⑤供試魚の位置の記録用に35mmカメラを採用した, などであり, いずれも本格的な改良ではなかった。

その後もカナダの研究者は, 種々の大きさの箱型水槽内に熱交換用複式コイルを設けた装置を用いて, カワマス(Peterson, 1973), イトヨ(Garside *et al.*, 1977), メダカ科2魚種(Garside and Morrison, 1977), ニジマス(Kwain and McCauley, 1978)を対象にした試験を行った。

一方, 米国では, 円筒型の試験水槽内に鉛直的な温度勾配を形成させた試験装置が採用されていた。すなわち, 大西洋産の海産魚など13種(Wyllie *et al.*, 1976), ニシン科の1種 alewife (Otto *et al.*, 1976), ポラ(Major, 1978), スズキ目やコイ科の魚3種(Kellogg and Gift, 1983)についての試験が行われ, Purcell and Shrode(1983)は幼稚魚用の小型試験装置について報告した。これらの装置もまたすべて試験水槽内に熱交換用コイルを設置したものであった。

米加両国における上述の既往試験装置の概要を要約して第5表に示した。試験水槽の大きさでは, 今回筆者らが報告した装置が箱型のものなかでは最大であり, 円筒型のものを含めても最大級である。

今回の装置の構造と機能で特筆に値するのは, 温度勾配形成のための温度制御方式が既往の装置とは全く異なる点である。第5表から明らかのように, 既往装置の大部分では, 試験水槽の底層部から冷水を注入して表層部から排出するか, あるいは表層部から温水を注入して底層部から排出するかの, いずれかの方式が採用されていた。したがって, 試験水槽内では常に鉛直方向に弱い流れが存在していた。また, 試験水槽の内壁面近くには, 螺旋状もしくは階段状に熱交換用コイルが配管されていた。このコイルには単式の場合と複式の場合とがあり, 単式の装置ではコイルの管内を温水, もしくは冷水か冷却剤が, 前述の水槽内の微弱な流れと対向する方向に貫流していた。複式の装置では, 表層部から底層(もしくは中層)部までのコイル内を温水が貫流するとともに, それとは別に, 底層部のコイル内を冷水か冷却剤が循環するか, 底層部から表層(もしくは中層)部までのコイル内を冷水か冷却剤が貫流するという方式が採用されていた。試験水槽内への注水についての記述が全く見当たらない一部の装置では, 止水条件下で複式の熱交換コイルを機能させていたものと推測される。

いずれにしろ、既往の装置では全く例外なしに、試験水槽の内部に管型の隔壁式熱交換器が設置され、その管内を貫流する媒体、ならびに試験水槽内へ直接注入される淡水もしくは海水の温度と流量を制御することによって、鉛直的な温度勾配が形成されていった。そのため試験水槽内の構造が複雑化し、さらに加熱・冷却用コイルと供試魚との接触防止とか、供試魚観察上の障害回避などに特別の措置が必要となり、そのことがまた試験水槽内の構造を一層複雑にしていた。

一方、今回報告した装置においては、前述のとおり、安定した温度勾配条件を確保するため、それぞれ独立した11系統の温度自動制御用循環回路を採用し、これらの回路は全て試験水槽の外部に設置された。その結果、試験区内の構造は極めて単純化し、供試魚の遊泳行動に対して複雑な影響を与えるおそれが解消された。また、供試魚観察の障害となるものがほとんどなくなったので、水槽前面に設置したテレビカメラによる遠隔観察も容易なものとなった。さらにまた、多くの既往装置のように、鉛直方向に流れが発生することも回避され、水平方向にのみ微弱な整流が継続して流れるという、表・中層性の供試魚類にとって、より望ましいと考えられる試験条件を確保することができた。

### 引 用 文 献

- 有元貴文・井上 実(1985). TV画像信号による魚群行動計測装置. *La Mer*, 23(1) : 6-13.
- Birtwell, I. K. and Kruzynski, G. M.(1987). Laboratory apparatus for studying the behaviour of organisms in vertically stratified waters. *Can.J.Fish. Aquat.Sci.*, 44(7) : 1343-1350.
- Brett, J. R.(1952). Temperature tolerance in young Pacific salmon Genus *Oncorhynchus*. *J.Fish. Res.Bd.Can.*, 9(6) : 265-323.
- Ehrlich, K. F., Hood, J. M., Muszynski, G., and McGowen, G. E.(1979). Thermal behavioral responses of selected California littoral fishes. *Fish.Bull.*, 76(4) : 837-849.
- Ferguson, R.G. (1958). The preferred temperature of fish and their midsummer distribution in temperate lakes and streams. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, 15(4) : 607-624.
- Garside, E.T., Heinze, D.G. and Barbour, S.E.(1977). Thermal preference in relation to salinity in the threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L., with an interpretation of its significance. *Can.J.Zool.*, 55(3) : 590-594.
- Garside, E.T. and Morrison, G.C.(1977). Thermal preferences of mummichog, *Fundulus heteroclitus* L., and banded killifish, *F. diaphanus* (LeSueur), (Cyprinodontidae) in relation to thermal acclimation and salinity. *Can.J.Zool.*, 55(7) : 1190-1194.
- Garside, E.T. and Tait, J.S.(1958). Preferred temperature of rainbow trout(*Salmo gairdneri* Richardson)

- son) and its unusual relationship to acclimation temperature. *Can.J.Zool.*, **36** : 563-567.
- Javaid, M. Y., and Anderson, J. M.(1967). Thermal acclimation and temperature selection in Atlantic salmon, *Salmo salar*, and rainbow trout, *S. gairdneri*. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, **24** : 1507-1519.
- 兼広春之・鈴木 誠・松田 焱(1985). タイリクバラタナゴの群れサイズによる行動特性. 日水誌, **51**(12) : 1977-1982.
- Kellogg, R.L. and Gift, J.J.(1983). Relationship between optimum temperatures for growth and preferred temperatures for the young of four fish species. *Trans.Am.Fish.Soc.*, **112**(3) : 424-430.
- Kwain, W. and McCauley, R.W.(1978). Effects of age and overhead illumination on temperatures preferred by underyearling rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in a vertical temperature gradient. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, **35**(11) : 1430-1433.
- Major, P.F.(1978). Aspects of estuarine intertidal ecology of juvenile striped mullet, *Mugil cephalus*, in Hawaii. *Fish.Bull.*, **76**(2) : 299-314.
- 松田 焱・鈴木 誠・兼広春之(1984). 定置網の網模型に対する魚群行動の水槽実験. 日水誌, **50**(7) : 1109-1114.
- McCauley, R. W.(1977). Laboratory methods for determining temperature preference. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, **34**(5) : 749-752.
- McCauley, R.W. and Pond, W.L.(1971). Temperature selection of rainbow trout(*Salmo gairdneri*) fingerlings in vertical and horizontal gradients. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, **28**(11) : 1801-1804.
- McCauley, R.W. and Read, L.A.A.(1973). Temperature selection by juvenile and adult yellow perch (*Perca flavescens*) acclimated to 24°C. *J.Fish.Res.Bd. Can.*, **30**(8) : 1253-1255.
- McCauley, R.W. and Tait, J.S.(1970). Preferred temperature of yearling lake trout, *Salvelinus namaycush*. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, **27**(10) : 1729-1733.
- Otto, R.G., Kitchel, M.A. and Rice, J.O.(1976). Lethal and preferred temperature of the alewife (*Alosa pseudoharengus*) in Lake Michigan. *Trans.Am.Fish.Soc.*, **105**(1) : 96-106.
- Peterson, R.H.(1973). Temperature selection of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) as influenced by various chlorinated hydrocarbons. *J.Fish.Res.Bd.Can.*, **30**(8) : 1091-1097.
- Purcell, L. J., and Shrode, J. B.(1983). Vertical temperature preference tank for larval and juvenile fish. *Prog.Fish-Cult.*, **45** : 27-29.
- 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.
- Wyllie, M. C., Holmstrom, E. R., and Wallace, R. K.(1976). Temperature preference, avoidance, shock, and swim speed studies with marine and estuarine organisms from New Jersey. *Ichthyological Associates, Inc.Bull.*, **15** : 1-76.