

Temperature Selection of Juvenile Three-spined
Stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L.
(Anadromus Form)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/21163

降海型イトヨ幼魚の温度選択

平井賢一・角田健治*

Temperature Selection of Juvenile Three-spined Stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. (Anadromus Form)

Ken-ichi HIRAI and Kenji KAKUDA

Abstract

Preferred temperatures of juvenile three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) were determined in a vertical gradient during the months of June and July. The preferred temperature for the fish decreases with acclimation temperature over the acclimation range 10 to 25°C, although acclimation times had virtually no effect on preferred temperature.

The final preferendum of three-spined stickleback was found to be between 17 and 18°C, which is higher than ambient temperature in its original habitat during the earlier part of the season and lower than that during the later part of the season.

はじめに

イトヨ (*Gasterosteus aculeatus* L.) は北半球の高緯度部に広く分布する北方系の魚類であり (Wootton, 1976)、我が国においても島根県付近を南限とした北緯 35 度以北に広く分布している (Kobayashi, 1932; 池田, 1933)。本州では、陸封型は湧水帯で夏季の水温が 16~21°C のところに生息し (山中, 1971; 平井ほか, 1973)、降海型はまだ水温の低い春に淡水域にそ上し産卵する。そして、7 月の水温が 20°C 以上になると頃に幼魚は淡水域から姿を消す (池田, 1933)。

魚類の分布は様々な要因によって影響を受けるが、水温はもっとも大きな要因といわれる (Stauffer et al., 1976)。陸封型イトヨの生息地

が湧水帯に限られているのも水温によるところが大きいと考えられる (平井ほか, 1973) し、降海型イトヨが夏季に海に降るのも温度とのかかわりがあるためではないかと推測される。小林 (1957) は北海道の常呂川に陸封型イトヨが生息しているのは、この川の夏季水温の上昇が不顕著なため、降海しないものが生じたのではないかと考えている。筆者の 1 人は、トゲウオ科魚類の分布と水温の関係、および陸封化に関する諸問題について研究を進めているが、その一端として選択温度の問題を扱ってみた。

本研究では、降海型イトヨ幼魚を 4 段階の水温で馴化し、選択温度を調べると共に、final preferendum (Fry, 1947 参照) を求めることを

昭和 56 年 9 月 16 日受理

*金沢市立森本中学校 (昭和 56 年度金沢大学教育学部生物学教室専攻生)

目的とした。

材料と方法

実験に用いたイトヨの稚魚は、1981年6月上旬に石川県河北潟に連なる農業用水路で採集した平均体長約 17mm のものである。採集は午前 8 時から 9 時の間に行ない、その時の水温は 15~23°C であった。実験室に持ち帰った魚は、直ちに選択実験に用いたものを除き、10, 15, 20, 25°C の一定水温に 1~8 週間馴化させた。馴化水槽にはたえずエアーストンで通気を行ない、1日に1回底にたまった排出物の除去を兼ね、水槽の水約 3 分の 1 を地下水を水源とした水道水と交換した。餌には *Moina* sp. を 1 日 1~2 回わずかな食べ残しがでる程度に与えた。水槽は北側から窓越しに入る自然光下に置き、電燈による明暗周期の調節は行なわなかった。10°C と 15°C で馴化させた魚の死亡率は零に近かったが、25°C については 1 週間を過ぎる頃から死亡率が増加してきたので、2 週間以後の実験は行なっていない。

温度選択装置は長さ 207cm、幅 31cm、深さ 44cm のガラス水槽の底に砂礫を階段状に敷き、前面を除く 3 方の側面を白色の板で囲ったものである (Fig.1)。下から 3 層の底部には投げ込み式クーラーの冷却コイル (最下層は結氷する強力なもの、他はほとんど結氷しない弱いもの) を砂の表面と同じレベルになるように設置した。最下層を除く各層の砂中に棒状ヒーター (100W) を埋め込み、それぞれの温度設定したサーモレギュレーターに接続して、垂直温度勾配をつくった。水槽は北側の窓と平行に置き、さらに水槽の上部 1.5m に 40W の蛍光灯を置いた。冷却器とサーモレギュレーターを作動させる以前に、十分な通気を行なった。

観察は午前 9 時から 10 時の間に始めたが、その 15 時間前に温度勾配装置を作動させ、観察の直前と終了時に勾配図作製のための温度測定を行なった。馴化水槽からイトヨの稚魚 10 個体を小びんに移し、その小びんを馴化温度に最も近い段にしばらくの間放置した。つぎに蓋をはずして魚が自然に出ていくのを待ち、全個体が観察水槽に出た時点から第 1 回目の観察を開始した。その後 1 時間ごとに、1 分間隔で 5 分間温度勾配中の瞬間的な位置を記録し、計 60 点の観察を 1 セットとして、1 馴化実験当たり 9 セット (8 時間分) の観察を行なった。

水槽断面図上に書かれた温度勾配図と魚の位置から魚の選択温度を読み取り、それぞれのセット当りあるいは馴化実験ごとに平均値と標準偏差を求めて記録した。

結 果

野外で採集して来た魚 10 個体 (体長 16~18mm) を水温分布が一様な水槽に入れ、そのうち 1 個体の 5 分間の動きを追跡した。その 1 例を Fig. 2A に示した。魚は水槽の特定の場所にとどまることなく、槽内を広く遊泳している。温度勾配がつけられると (Fig. 2B)、行動範囲は狭くなり、遊泳は一定の層に限られるようになる (Fig. 2C)。

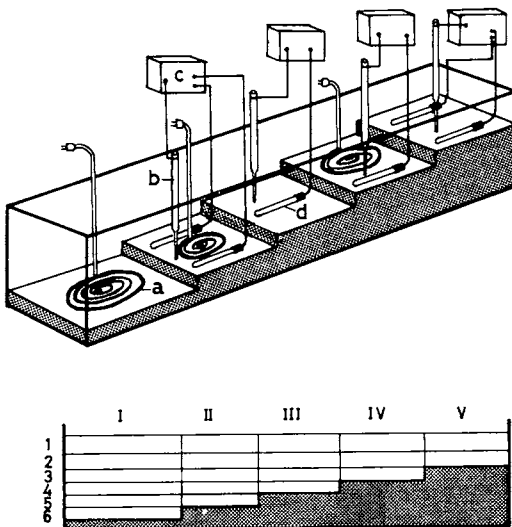


Fig. 1 Diagram of the gradient aquarium.

- a : cooling coil b : thermoregulator
c : relay box d : rod heater 100W

Table 1 には温度勾配中と温度勾配解除後の魚の層別頻度分布の一例を示した。均一な水温分布中では水槽の表層に集まる傾向にあり、温

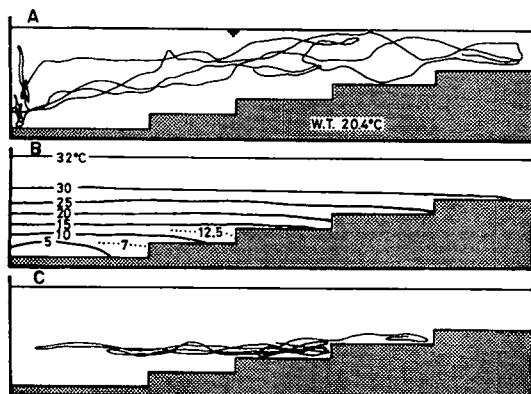


Fig. 2 Tracing maps of a three-spined stickleback in the aquarium of the uniform water temperature and of the vertical temperature gradient. A: Tracing map (Uniform water temperature) B: Temperature distribution C: Tracing map (Temperature gradient)

度勾配中では 15~20°C の層をモードとした中層部に集まる。これらの結果は、イトヨが特定の温度帯を選択していることを示している。

Table 2 には、温度勾配水槽に魚 10 個体を入れる前と、観察終了後（8 時間後）の層別溶存酸素量の測定値を示した。魚の存否にかかわらず、上層部ほど多くなる傾向を示している。観察前後の酸素量の差が少ないことは、魚の酸素消費量がそんなに大きくないことを示している。また、魚がおもに遊泳する層の酸素消費量が特に多くなるという傾向も認められない。

馴化水槽から選択水槽に移されたイトヨは、しばらくの間馴化水温に近い層の底部にいるが、やがて遊泳を始める。水槽の中を水平、垂直両方向に向って試行錯誤をくり返しながら一定の温度層の中を遊泳する。わずかな例ではあるが、急激に温度差の大きい層に入り込み死亡するものもある。実験を始めて 5 分間以内であれば新しく補給し、それ以上経過した場合は残った個体のみで観察を行った。

Table 1 The percentage frequency distributions in a vertical temperature gradient and in a uniform temperature of fish acclimated to 10°C for 1 week and of no acclimation fish.

Aquarium zone (Horizontal)	No acclimation (Sampling water temperature 22°C)			Acclimated to 10°C, 1 week		
	Temperature gradient Frequency distribution of the fish (%)	W.T.(°C)	Uniform temperature Frequency distribution of the fish (%)	Temperature gradient Frequency distribution of the fish (%)	W.T.(°C)	Uniform temperature Frequency distribution of the fish (%)
1	0	26.3	43	8	25.4	58
2	0	25.8	15	16	24.8	10
3	1	24.4	13	27	22.8	5
4	75	20.8	10	44	20.6	6
5	24	16.5	11	5	15.8	11
6	0	13.0	8	0	10.5	10
		6.9			7.0	
Total number	525		288	525		300
Aquarium column (Vertical)						Total number
Temp. gradient (%)	I	II	III	IV	V	525
Uniform temp.	62	13	20	4	1	288

Table 2 Dissolved oxygen distributions in a vertical temperature gradient prior to introduction the fish into the apparatus and at end of the observations (8 hours later).

Aquarium zone	Start		8 hours later	
	D O (ml/l)	W. T. (°C)	D O (ml/l)	W. T. (°C)
1 surface	7.40	25.5	7.58	25.8
2	7.31	25.6	7.42	25.4
3	7.19	23.5	7.15	23.8
4	7.36	21.0	7.00	20.8
5	7.12	16.2	6.97	16.4
6 bottom	7.02	10.8	6.89	10.0
	7.01	5.0	6.83	4.8

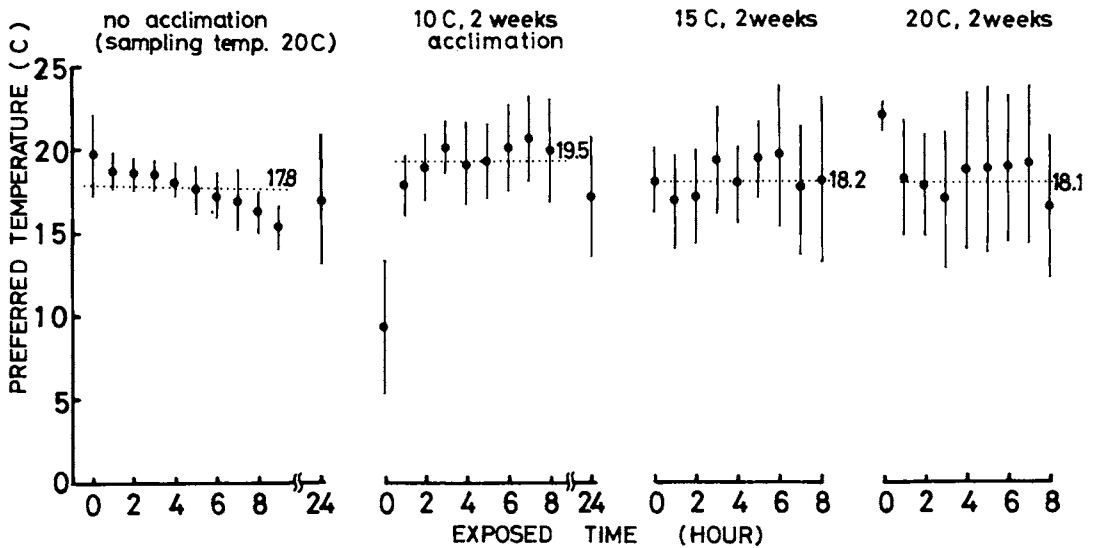


Fig. 3 The mean preferred temperature of three-spined stickleback at intervals of one hour at different acclimation temperature.

Mean preferred temperature (●) and one standard deviation (bar) at each hour are plotted. Dotted lines or figures in the graphs represent the mean of the every one hour preferred temperature.

第1回目の観察時には、イトヨは馴化温度に近い温度層にみられる。1時間を経過した頃には、平均18°Cあたりの温度層に移動しており、その後はほとんど一定の温度層を遊泳する(Fig. 3)。そこで1時間を経過した後から観察終

了時(8時間後)までの各時刻の平均選択温度を平均して、それぞれの馴化温度と見做すことにした。なお、用水路から採集して来たばかりのイトヨの選択温度は、時間の経過と共に低下しているが、24時間後にはほぼ平均選択温度に

達している。

馴化時間の長さは選択温度に対してほとんど影響を与えていないようである (Table 3)。10°C に馴化したイトヨは 6 週間まではほぼ 20°C 付近の一定した温度を選択しており、7 週になってはじめて 2°C ほど低下している。15°C に馴化したものも 6 週までの選択温度に大きな差は認められない。これに対し、馴化温度の違いは選択温度に影響を与えている。つまり、低い温度で馴化したものほど高い温度を選ぶ傾向が認められる (Table 3)。Fig. 4 は馴化温度と選択温度の関係をプロットしたものである。馴化-選択温度曲線と 45 度線の交叉した点が final preferendum と呼ばれるもので、もし魚を温度勾配中に入れ続けておくと、魚の馴化の経過にかかわらず最終的に選択する温度 (Fry, 1947) とされている。馴化期間によって若干の差が生じているが、降海型イトヨ幼魚の final preferendum は 17°C と 18°C の間ということになる。

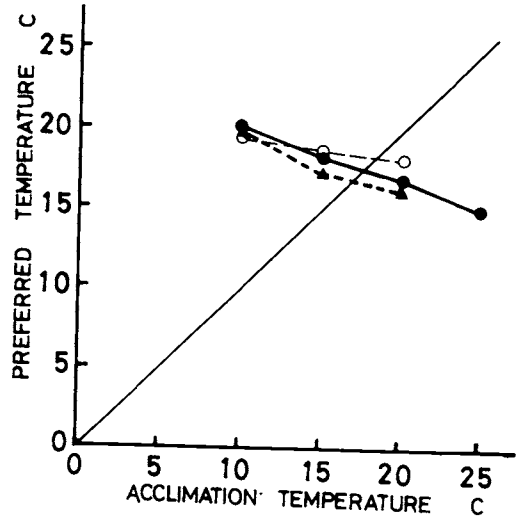


Fig. 4 Relation of the preferred temperature to acclimation temperature in juvenile three-spined stickleback.

● : one week acclimation, ○ : two weeks, ▲ : four weeks.

Table 3 The mean preferred temperature of juvenile three-spined stickleback at different temperatures and acclimation times.

Acclimated times (week)	Preferred temperature (°C) mean ± SD			
	Acclimation temperature (°C)			
	10	15	20	25
1	20.3±1.5	18.5±1.5	17.8±0.8	15.0
2	19.5±0.9	18.2±1.1	18.1±1.0	
4	19.9±1.1	17.0±1.9	16.2±0.5	
5	20.6±1.0	16.8±1.5		
6	19.8±1.4	17.8±0.9		
7	18.9±2.4			
8	18.3±2.5			

論 議

温度選択水槽 これまでに多くの魚種について温度選択実験がなされているが、そのために様々な装置が工夫されてきた。比較的簡単で多くの研究者によって採用されている装置は、水平方向の温度勾配水槽 (*horizontal linear*

gradient tank, Sullivan & Fisher, 1953; Javald & Anderson, 1967; Winkler, 1979 ほか) と垂直温度勾配水槽 (*vertical gradient*, Brett, 1952; Otto, et al., 1976; Nilsen & Røed, 1979 ほか) である。これらの装置はいずれも水槽の一方から水を入れ、他方から抜き取ることが基

本となっている。

今回の実験に用いた水槽は vertical gradient の一種であるが、上述のものとは比べ2つの点で異っている。その1つは水を循環させていないので、長時間観察を続けると魚によっては酸素の欠乏が起る可能性のあることである。イトヨの稚魚の場合には、8時間の観察期間中に溶存酸素量がほとんど変化しなかったため、選択温度に対する影響は考えなくても良いようである。つぎに水槽の形が上下・左右両方向に不対象なため、位置効果の起こることが考えられる。Table 1 で見られるように、水温分布が一様な水槽では水深の大きい側と表層に集まる傾向が認められる。野外の生息地でも、イトヨの稚魚は表層を遊泳するものが多いので、この影響を除去するには、本質的には水平温度勾配装置を用いる必要がある。ただ、温度勾配中では、表層に集まる個体が少なくなり、中層の限られた温度帯を選ぶようになるので、他の研究者達の垂直温度勾配装置と本質的な違いはないものと思われる。McCauley (1977) は過去の研究者達によって行なわれた温度選択実験の方法を10の型に分け、それぞれについて検討した結果、装置や方法の違いは選択温度に大きな違いを与えないと結論している。今回の装置についても、イトヨの幼魚の温度選択に関する限り大きな問題はないものとする。

イトヨ幼魚の選択温度 これまでに行なわれた温度選択実験の結果から、馴化温度と選択温度の関係を大きく3つの型に分けてみる。まず、馴化温度が高くなるにつれて選択温度も高くなる型、つぎに馴化温度にかかわらず一定の温度を選択するもの、つまり選択温度が馴化温度に影響されないもの、最後に馴化温度が高くなるほど選択温度が低くなる型である。第1の型としてはコイ (Pitt et al., 1956)、banded killifish (Melisky et al., 1980)、コイ科5種・バス科4種ほか (Cherry et al., 1975)、yellow perch (Ferguson, 1958)、イトヨ (Garside et al., 1977)、Atlantic salmon (Javaid & Ander-

son, 1967) など多くの魚をあげることができる。第2の型はサケ科の魚にその例が多い (Goddard & Tait, 1976; McCauley et al., 1977; McCauley & Tait, 1970; Sullivan, 1953)。これらに対し、第3の型の魚はニジマス (Garside & Tait, 1958)、カダヤシ (Zahn, 1962) など例数は極めて少ない。

今回のイトヨ幼魚における馴化温度と選択温度の関係は Table 3 と Fig. 4 に示されているが、馴化温度が高くなるにつれて選択温度が低くなるという第3の型となっている。つまり、イトヨは温度の変化に馴れるのではなく、ますます逆の温度を要求するように生理状態の変化していく型の魚といえる。

第1の型から第2、第3の型に近づくにつれて、馴化-選択温度曲線と45度線との交わる角度は大きくなっていくが、Zahn (1962, McCauley & Tait, 1976 より)によれば、同じ final preferendum を持つ2種のうち、大きい角度を持つものはより狭温性の魚とされる。イトヨ幼魚の場合この角度は大きく、その意味では狭温性の魚といえる。陸封型イトヨについては、夏と冬の生息場所と水温の関係から狭温性の魚 (平井ほか, 1973) といってもさしつかえなさそうだが、降海型イトヨ幼魚では生息場所の水温や飼育下の様子からみて、いくらか問題があるように思われる。つまり、10°C の水温で飼育しても活発に活動し摂食も盛んであるし、25°C を越える用水路にも生息している。また、夏季に 25°C を越える条件下での飼育に成功した例もある (中村, 1974)。さらに、ほぼ同じ、final preferendum を持つカナダ産のイトヨ (Garside et al., 1977) と比べ、日本産イトヨの角度は大きい、同種でありながら一方がより狭温性であるという点も問題になるだろう。

今回の実験で得た final preferendum は 17 ~ 18°C であったが、この値はカナダの大西洋岸 (北緯 45 度) のイトヨ (海水中で馴化し淡水中で実験) の値である 16°C (Garside et al., 1977) よりやや高く、ノルウェー (北緯 60 度)

のイトヨの選択温度 4~8°C (Røed, 1979) より 10°C 以上高くなっている。このような選択温度に差ができる要因の1つとして、地理的な分布域の違いをあげることができるかもしれない。カダヤシでは異った水温の場所に隔離されている個体群が同じ選択温度を持つことから、種そのものに遺伝的に定まった選択温度があるとされているが (Winkler, 1979), white perch (Hall et al., 1978), *Fundulus diaphanus* (Melisky, 1980) は南方にすむものほど高い温度を、そして北方のものほど低い温度を選択するというように、南北という地理的隔離が選択温度に影響するとされている。

ノルウェー、カナダ、日本の3地域の降海型イトヨを比べると、後2者の例と同様に南方のものほど高い温度を選択している。つまり、地理的に異なる個体群が、それぞれ異った選択温度を持っている可能性が大きい。ただ、同じ魚種でも体の大きさが異なると選択温度が異なるという報告もあるので (Ferguson, 1958 ; McCauley & Read, 1973 ; Otto et al., 1976ほか)、今回用いたイトヨが稚魚であったという点に考慮が払われるべきだろう。しかし、この点についてはまだ明らかではない。

選択温度が比較的良好似たカナダのイトヨと石川県のイトヨの馴化—選択温度曲線を比べると、前者が右上りであるのに対し、後者は右下りになるという逆の関係になっている。同種の魚で同様な違いは、ニジマスについても認められている。Garside & Tait (1958) の場合は右下り、Javaid & Anderson (1967), McCauley & Pond (1971) は右上りになっているが、このような違いの起る原因として、Javaidらは温度勾配装置、季節、年齢等の違いなどが考えられる要因であるとしており、McCauleyらは装置の違いが原因ではないことを示すと同時に年齢である可能性を示唆している。

イトヨの場合、2つの実験における条件の違いとしては、緯度の差を含む地理的な隔り、馴化が海中か淡水中かの違い、魚の大きさなど

を挙げることができる。しかし、これらの違いが温度曲線の傾きに差をもたらすか否かは現在のところ不明である。

石川県では、イトヨの仔稚魚の出現はまだ水温の低い5月の中旬であり、この時期の水温は選択温度に達していない。いっぽう、淡水域から完全に姿を消すのは、水温が常に 20°C を越す7月上旬~中旬であり、この時期には生息地の水温は選択温度をかなり越えている。野外のイトヨは水温の低い時期には、ちょうど低温に馴化されている状態にあり、生理的には高温を要求していることになる。しかし、海水温もまだ上昇していないので、昼間にやや水温の上昇が起る農業用水路の細流にとどまる。水温が 20°C を越す日が続くようになると、逆に高温馴化と同じ効果を与えるので、イトヨの体の生理状態は final preferendum 以下の水温を要求するように変化してくる。温度が高くなるほどより低い水温域への移動の要求が強まり、その結果降海が促進されると考えれば、降海型イトヨの馴化—選択温度曲線が右下りになることは都合がよい。しかしながら、この考えは分布南限部のイトヨの降海についてはあてはまっても、高緯度のイトヨが降海することの説明にはならない。今後、陸封魚、成魚、緯度の違いなどの加味された温度選択実験のなされることが必要と考える。

ま と め

1. 降海型イトヨ幼魚の温度選択実験を、6月上旬に石川県河北潟周辺の水路から採集してきた魚で行なった。
2. イトヨは 10、15、20、25°C の4段階の水温で1~8週間馴化させた。温度選択水槽は垂直温度勾配型で、水を循環させない方式のものである。
3. 馴化期間の長さは選択温度にほとんど影響を与えないが、馴化温度の違いは選択温度を変化させる。馴化温度が高くなるほど選択温度は低くなっている。

4. 降海型イトヨ稚魚の final preferendum は 17~18°C と推定された。この値は生息時期の初旬では野外水温より高く、後期では低くなっている。また、カナダやノルウエーにすむイトヨの成魚の値よりも大きい。

参 考 文 献

- BRETT, J. R. 1952: Temperature tolerance in young Pacific salmon, genus *Oncorhynchus*. J. Fish. Res. Board Can. 9: 265-323.
- CHERRY, D. S., K. L. DICKSON and J. CAIRNS JR. 1975: Temperatures selected and avoided by fish at various acclimation temperatures. J. Fish. Res. Board Can. 32: 485-491.
- FERGUSON, R. G. 1958: The preferred temperature of fish and their midsummer distribution in temperate lakes and streams. J. Fish. Res. Board Can. 15: 607-624.
- FRY, F. E. J. 1947: Effects of the environment on animal activity. Univ. Toronto Stud. Biol. Ser. 55, Publ. Ont. Fish. Res. Lab. 68: 1-62.*
- GARSDIE, E. T., D. G. HEINZE and S. E. BARBOUR. 1977: Thermal preference in relation to salinity in the threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L., with an interpretation of its significance. Can. J. Zool. 55: 590-594.
- GARSDIE, E. T. and J. S. TAIT. 1958: Preferred temperature of rainbow trout and its unusual relationship to acclimation temperature. Can. J. Zool. 36: 563-567.
- GODDARD, C. I. and J. S. TAIT. 1976. Preferred temperatures of F₃ to F₅ hybrids of *Salvelinus fontinalis* × *S. namaycush*. J. Fish. Res. Board Can. 33: 197-202.
- HALL, L. W. JR., C. H. HOCUTT and J. R. STAUFFER JR. 1978: Implication of geographic location on temperature preference of white perch, *Morone americana*. J. Fish. Res. Board Can. 35: 1464-1468.
- 平井賢一, 田中晋 加藤文男. 1973: 大野盆地の陸封型イトヨの分布におよぼす湧水涵れの影響. 能登臨海実験所年報. 13: 77-84.
- 池田嘉平. 1933: トゲウオの分布と其の変異. 動雑. 45: 141-171.
- JAVOID, M. Y. and J. M. ANDERSON. 1967: Thermal acclimation and temperature selection in Atlantic salmon, *Salmo salar*, and rainbow trout, *S. gairdneri*. J. Fish. Res. Board Can. 24: 1507-1513.
- 小林弘. 1957: 北海道の棘魚に認められた2、3の新事実に就て. 北海道学芸大学紀要(第二部). 8: 44-51.
- KOBAYASHI, J. 1932: General observation of Japanese Gasterosteid fishes. Jour. Sci. Hiroshima Univ., Series B, Div. 1, 2: 145-154.
- MCCAULEY, R. W. 1977: Laboratory methods for determining temperature preference. J. Fish. Res. Board Can. 34: 749-761.
- MCCAULEY, R. W. and W. L. POND. 1971: Temperature selection of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings in vertical and horizontal gradients. J. Fish. Res. Board Can. 28: 1801-1804.
- MCCAULEY, R. W., R. ELLIOTT and L. A. A. READ. 1977: Influence of acclimation temperature on preferred temperature in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Trans. Am. Fish. Soc. 106: 362-365.
- MCCAULEY, R. W. and L. A. A. READ. 1973: Temperature selection by juvenile and adult yellow perch (*Perca flavescens*) acclimated to 24C. J. Fish. Res. Board Can. 30: 1253-1255.
- MCCAULEY, R. W. and J. S. TAIT. 1970: Preferred temperature of yearling lake trout, *Salvelinus namaycush*. J. Fish. Res. Board Can. 27: 1729-1733.
- MELISKY, E. L., J. R. STAUFFER JR. and C. H. HOCUTT. 1980: Temperature preference of banded killifish, *Fundulus diaphanus*, from southwestern Pennsylvania. Copeia 2: 346-349.
- 中村幸弘. 1974: イトヨ(瀬河型)の周年飼育について. 動水誌. 16: 85-90.
- NILSEN, G. B. and K. H. RØED. 1978: A new aquarium for the study of temperature behaviour of fish.

- Sarsia 63: 109—202.
- OTTO, R. G., M. A. KITCHEL and J. O'H. RICE. 1976: Lethal and preferred temperatures of the alewife (*Alosa pseudoharengus*) in Lake Michigan. Trans. Am. Fish. Soc. 1: 96—106.
- PITT, T. K., E. T. GARSIDE and R. L. HEPBURN. 1956: Temperature selection of the carp (*Cyprinus carpio* Linn.). Can. J. Zool. 34: 555—557.
- RØED, K. H. 1979: The temperature preference of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. (Pisces), collected at different seasons. Sarsia. 64: 137—141.
- STAUFFER, J. R. JR., K. L. DICKSON, J. CAIRNS JR. and K. L. DICKSON. 1976: The potential and realized influences of temperature on the distribution of fishes in the New River, Glen Lyn, VA. Wildl. Monogr. 40.*
- SULLIVAN, C. M. and K. C. FISHER. 1953: Seasonal fluctuations in the selected temperature of the speckled trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). J. Fish. Res. Board Can. 10: 187—195.
- WINKLER, P. 1979: Thermal preference of *Gambusia affinis affinis* as determined under field and laboratory conditions. Copeia. (1): 60—64.
- WOOTTON, R. J. 1976: The biology of the sticklebacks. Academic Press. 387p.
- 山中実. 1971: 会津地方におけるイトヨの分布と生態. 動物と自然. 1: 7—11.
- ZAHN, M. 1962: Die Vorzugstemperaturen zweier Cypriniden und eines Cyprinodonten und die Adaptationstypen der Vorzugstemperatur bei Fischen. Zool. Beitr. 7: 15—25.*

(* 印は間接引用したもの)