

# Temperature Preference of Ninespine Stickleback, *Pungitius sinensis*, Collected at Different Seasons

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	<a href="http://hdl.handle.net/2297/20566">http://hdl.handle.net/2297/20566</a>

# トミヨの温度選択の季節変化

平井 賢一\*・梅本 浩照\*\*

## Temperature Preference of Ninespine Stickleback, *Pungitius sinensis*, Collected at Different Seasons

Ken-ichi HIRAI\* and Hiroaki UMEMOTO\*\*

Thermal preferences were determined seasonally in a vertical temperature gradient aquarium, for samples of ninespine stickleback, *Pungitius sinensis*, from the streamlet having springs in Shika, the southernmost locality for the species in Honshu. The preferred temperatures of nonacclimated adult fish were 6.5°C to 8°C in cold season (from November to April), and about 10°C in warm season (from May to October). These temperatures were lower than ambient temperatures at which the fish were acclimatized, that is about 11°C in winter and 14°C to 17°C in summer. The final temperature preferenda were 13°C in August and 10°C in November, which were about 3 degrees C warmer than the preferred temperatures of non-acclimated fish. In these experiments, the acclimation temperature exerted little or no effect on the preferred temperature.

Our results suggested that at southernmost locality, spring water may play an important role for habitat of stenotherms or cool water species, *Pungitius sinensis*, though the available temperatures in its original habitat were always greater than their preferenda.

### はじめに

温度勾配のある水域に生息する魚は、温度以外の環境要因が良好ならば、好みの温度を中心としてその周辺に分布することはよく知られている。とくに、Fry(1947)が final preferendum という概念を提唱して以来、多くの研究者によって実験的に魚の選択温度が求められ、分布に対する温度の影響を明らかにする試みが行われてきた (Ferguson 1958; Barans and Tubb 1973; Garside, Heinze and Barbour 1977; Røed 1979; Winkler 1979 ほか)。

トミヨ属魚類は温帯から寒帯にかけて広く分布する淡水魚で、日本列島はその分布の南限に当たる (池田 1933; Wootton 1976)。そして、

本州における生息地の多くは、湧水帯を中心とする狭い地域に限定されている。氷河期の遺存種とされるこの種の生息域が湧水帯に限られるのは、冷水を好むという性質とかがわりが深いものと考えられる。

野外におけるトミヨの生息地の水温については、京都府のミナミトミヨが冬の 9°C から夏の 22°C の間 (Kobayashi 1933)、福井県のトミヨが 14~16°C (五十嵐 1958) 等の記録がある。筆者の一人は、石川県手取扇状地でトミヨの分布範囲と水温の関係を調査しているが、水温が冬に 5°C 以上、夏に 25°C 以内の場所に生息することを確かめている。しかしながら、これはトミヨの生息地の水温の状況を示したものであって、必ずしもトミヨが好む水温を示すものではない。つまり、生息場所として耐え得る温度と、

平成 2 年 9 月 17 日 受理

\* 金沢大学教育学部生物学教室 Biological Institute, Faculty of Education, Kanazawa University

\*\* 石川県立寺井高等学校 Terai Senior High School, Ishikawa

トミヨがもっとも好む温度とは別である。

本研究は、トミヨの地域分布に対する環境の温度の影響について若干の洞察を与えるため、実験的に選択温度を求めることを目的とした。今回の実験は、日本列島における実質的な分布の南限の地である石川県に生息するトミヨ、*Pungitius sinensis* について、1. 馴化温度と選択温度の関係から、final preferendum を求めること、2. 水温の年較差の小さな湧水帯に生息する魚の選択温度に、季節変化が存在するかを知ること、の2点について行った。

### 材料と方法

実験に用いたトミヨは、1987年11月から1988年12月にかけて、石川県志賀町にある湧水の流れる用水路で採集したものである。採集した魚は生息地の水に入れ、断熱コンテナで運搬した。運搬に要した時間は1～2時間であった。また、採集時に水温を測定し、それを生息地の水温と見なしたが、水路の水温は11～17℃と一年を通して比較的安定していた。

実験室に持ち帰った魚は、直ちに採集地の水温に調節した水槽に移し換えた。実験に使用した水は、すべて地下水を水源とする水道水である。温度選択実験は、採集後3日以内に開始する事を原則とし、それまでの間魚を採集地と同水温に調節した28Lの水槽で蓄養した。いっぽう、馴化水槽にいた魚については5、10、15、20℃の各馴化設定温度に達するまでは、1日に1.5℃の割合で水温を変化させ、設定温度到達後さらに2週間馴化を続けた。温度設定は高感度のリレーにより行い、変動の幅を±1℃以内におさえた。水槽にはたえずエアーストンで通気を行い、2～3日に1回の割合で排出物の除去を兼ね、水槽の水の3/4程度をあらかじめ各設定温度に調節しておいた水と入れ換えた。馴化中は餌としてイトミミズを1日に1回、食べ残しが出る程度に与えた。馴化水槽は北側から窓越しに入る自然光下に置き、人為的な明暗周期の

調節は行なわなかった。

温度選択装置は前面と左側面がガラス張りのステンレス水槽（0.98×0.35×1.20m）で、底に白珊瑚れきを敷いた垂直温度勾配槽である（Fig. 1）。前面のガラスに5cm間隔の白線を引くことにより、勾配槽を20の層に分けた。底部のれき面から5cmの高さを始点とし、10cm間隔でサーモレギュレーターに接続したパイプヒーターを2列、10段、計20個取り付け付けた。さらに、銅-コンスタンタン熱電対温度計のセンサーを各層の中央部に計20点設置した。センサーやヒーター、給水パイプ等の水槽内突起物はステンレス製の網（3×3mm）で区切ることによりその影響を除去した。このため実際に魚の遊泳できる範囲は0.80×0.26×1.00mの空間に限られた。金属部位には耐熱性の灰色ペイントを塗布した。

4～6℃に冷却し、さらに充分に通気した水を底部から注ぎ（30L/h）、底から1mの高さにあるスリットから排水した。水は上部に移動する間に、各温度に設定されたパイプヒーターで漸次温められ、底層の5℃から表層の24℃までの間1℃/5cmの割合で、ほぼ直線的な温度勾配を生じた。実験は、温度勾配槽の前面約2.5mにある北側の窓からの自然光のもとで行なったので、明暗周期は自然状態に従っている。ただし、9：00から17：00の間に補助採光として、

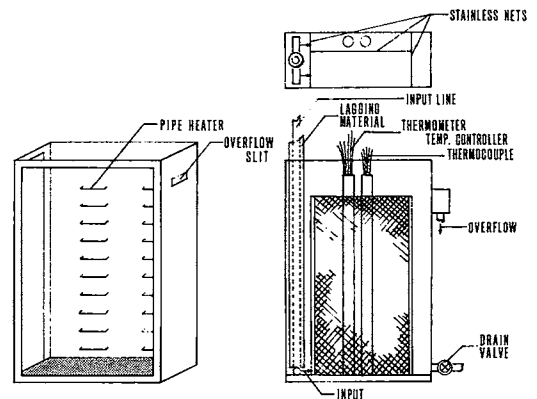


Fig. 1 Schematic diagram of the gradient aquarium.

勾配槽の斜め上方 1 m に 40W の蛍光灯 2 本を点灯した。

魚の選択温度を求めるための観察は、3日間行った。実験開始日の 9:00 に、トミヨ 6 個体を小ビンに入れて、馴化温度にもっとも近い層まで沈め、そこで蓋をはずして泳ぎ出させた。魚を温度勾配の中で 60 分間馴れさせた後、観察を開始した。3 日の観察の間、毎日 10:00~17:00 まで、1 時間ごとに 30 秒間隔で 10 回、各層の魚の数を記録した。1 時間ごとの観察数 60 点 (6 個体 × 10 回) を 1 'run' とし 1 日 8 runs, 1 回の実験で 24 runs の観察をおこなった。温度選択槽の各層の温度は、毎回 run のはじめに記録した。小数点以下を四捨五入した各層の水温を、その層にいた魚の選んだ温度とし、60 点の平均をその run の選択温度とした。そして、24 runs の平均値を各実験での選択温度とした。

## 結 果

6 月に採集したトミヨ 6 個体 (平均体長 40mm) を温度勾配槽に入れ、魚が遊泳する温度層の頻度分布を求めた。Fig. 2 は、8 runs 分の分布状況をヒストグラムで示したものである。温度勾配中では、10°C 付近をモードとする 5~15°C の範囲に集まる。時間帯によって分布状況に若干のかたよりが見られるが、時間の経過に伴う選択温度の変動の幅はごく小さい。温度勾配を解消すると、水槽全体に行動範囲を広げ、分布は比較的均一になる。温度勾配中と均一温度中の 2 つの頻度分布の差は、温度勾配中ではトミヨは特定の温度帯を選ぶことを示すものである。Fig. 3 は採集後実験室で馴化していないトミヨの、選択温度の季節変化を示したものである。なお、採集地の水温、魚の大きさ等は Table 1

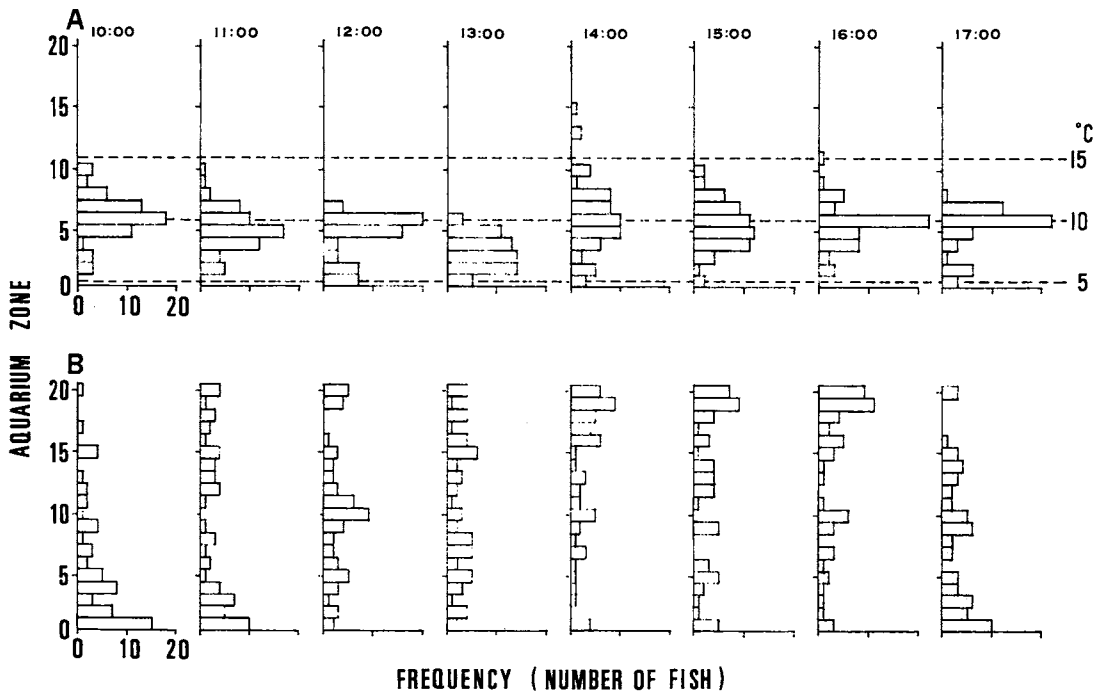


Fig. 2 Vertical distributions of ninespine stickleback collected in June in test aquarium under vertical gradient and control conditions.

(A) Frequency in gradient aquarium. (B) Frequency in non-gradient aquarium; water temperature is 15.7°C

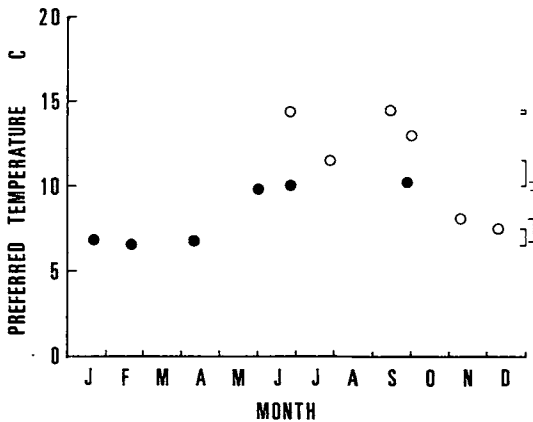


Fig. 3 Seasonal changes in temperature preferred by ninespine stickleback collected from streamlet with springs at Shika. Brackets indicate ranges that did not differ (Duncan's multiple range test,  $P < 0.05$ ). Open circles: juvenile. Solid circles: adult.

Table 1 Water temperature of streamlet in Shika, and standard length of the ninespine stickleback for the preferred tests (Fig. 3).

Sampling date	Ambient water temp. (C)	Fish size S.L. $\pm$ SD (cm)
Jan. 16	11.2-13.4	4.1 $\pm$ 0.6
Feb. 19	11.7-12.3	3.4 $\pm$ 0.7
Mar. 23	13.5	3.9 $\pm$ 0.5
May 30	13.7	4.0 $\pm$ 0.6
June 22	17.2	4.0 $\pm$ 0.3
		2.6 $\pm$ 0.1
July 25	14.2	3.1 $\pm$ 0.5
Sep. 10	15.2	2.7 $\pm$ 0.4
Sep. 23	15.2	3.6 $\pm$ 0.6
		2.9 $\pm$ 0.2
Nov. 6	13.2	3.4 $\pm$ 0.4
Dec. 6	11.3-11.8	3.6 $\pm$ 0.3

に示した。トミヨの選択温度は季節によって変動しており、6.5°Cから14.4°Cと8°Cの季節較差があった。夏期(5月から10月)の選択温度は成魚で10°C付近、幼魚で14°C前後である。いっぽう、冬期(11月から4月)は7~8°Cと選択温度はやや低い。Duncanのmultiple range testによる分析( $P < 0.05$ )では、夏期と冬期の間、また夏期においては成魚と幼魚の間で選択温度に有意差が認められる。

生息地の水温等を考慮した代表的な4つの月

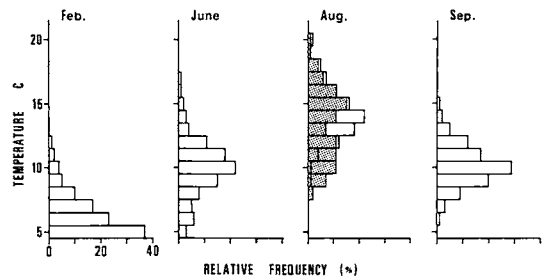


Fig. 4 Frequency distribution of ninespine stickleback in gradient aquarium at different seasons. Samples collected in February, June and September are non-acclimated fish. Samples collected in August are fish acclimated to 10°C (open bars) and to 15°C (shaded bars) respectively.

について、温度勾配中でトミヨが選択した温度層の頻度分布をFig. 4に示した。8月のトミヨは10°C及び15°Cで2週間馴化させたものであり、他は採集後すぐに実験したものである。供試魚はいずれも平均体長で3.4cm以上の成魚である。8月には13°C付近を中心に8°Cから20°Cの層を行動範囲とし、2月には選択温度6.5°C、行動範囲は5°Cから12°Cであった。ただし、温度勾配槽の設定最低温度が5°Cであるため、2月の低い方への行動範囲については、不十分な結果となっている。6月と9月は選択の傾向が似ており、いずれも10°Cをモードに6°Cから15°Cの間を選択した。

温度勾配の中でのトミヨは、もっとも好む温度を中心に、勾配の中を両端値へと行動範囲を広げるが、生理的に不利な状況が増加することにより引き戻されるようである。その行動範囲はいずれの時期も10°C前後の温度範囲である。この場合、遊泳の中心であるモードが最適温度、両端値がその状態における忌避温度と考えることができる。

Fig. 5に調査期間中の生息地の環境水温とトミヨが選択した温度との関係を示した。生息地の水温と選択温度とが等しい場合、プロットは45度の線上に並ぶことになるが、本実験ではプロットはすべて下方に集まっている。つまり、いずれの季節においても、選択する温度は生息

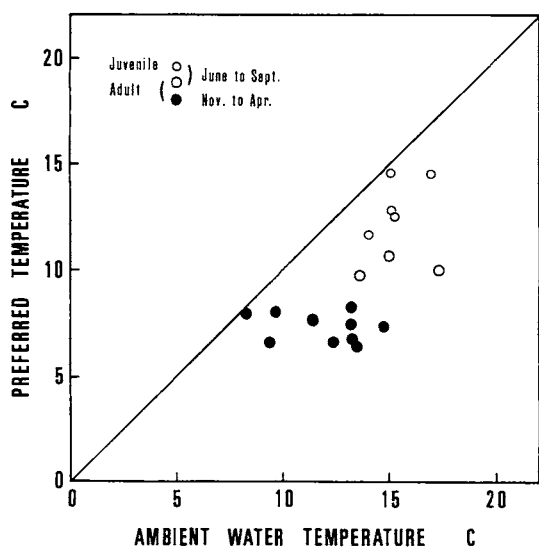


Fig. 5 Relation of the preferred temperature to ambient temperature in ninespine stickleback from streamlet with springs.

地の水温よりも低いことを示している。なお、生息地の水温と選択温度との間には中程度の相関が認められる ( $r=0.612$ ) が、季節ごとあるいは年齢ごとにまとめて見た場合は相関はほとんど認められない。

実験室で一定温度に馴化させたトミヨについて、馴化温度と選択温度との関係を Fig. 6 に示した。Fry(1947)は馴化温度と選択温度が等しくなる点を final temperature preferendum と呼び、もし魚を温度勾配中に入れ続けておくと、魚の馴化の経歴にかかわらず最終的に選択する温度と定義している。実用的には馴化-選択温度直線(曲線)が45度線と交差した点として求めることができる。プロットが若干分散しているが、馴化温度と選択温度との関係を1次回帰式で近似すると、8月では  $P = -0.01A + 13.74$ 、11月では  $P = 0.07A + 9.45$  ( $P$ : 選択温度,  $A$ : 馴化温度) となる。勾配はいずれの場合も小さく、グラフから見る限り、馴化温度は選択温度に影響を与えていないことがわかる。また、この式から final preferendum を求めると、それぞれ  $13.6^{\circ}\text{C}$  と  $10.2^{\circ}\text{C}$  となる。この2つの値は、

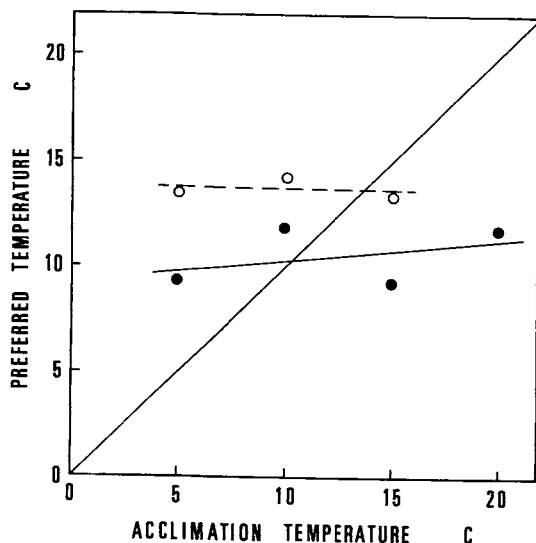


Fig. 6 Relation of the preferred temperature to acclimation temperature in ninespine stickleback. Open circles: November. Solid circles: August.

同時期の馴化しなかったトミヨの選択温度 (Fig. 5) より  $3^{\circ}\text{C}$  程高い。

## 論 議

馴化温度に対する魚類の選択温度の関係を、平井と角田 (1982) は便宜的につぎの3つの型にわけている。すなわち、馴化温度が高くなるにつれて選択温度も高くなるもの (I型)、馴化温度にかかわらずほぼ一定の温度を選択するもの (II型)、馴化温度が高くなるほど選択温度が低くなるもの (III型) である。いずれの型に属するかは、それぞれの魚種の生理的要求や生息環境等と関係があるようである。

馴化温度と選択温度に関する今回の結果は、Fig. 6 に示されているが、トミヨは第II型、つまり馴化温度が選択温度に影響をおよぼさない型の魚に属する。このII型の場合、馴化-選択温度直線が座標軸と45度をなす線と交差する角度は、45度前後となる。Zhan (1962) は同じ 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であるとしている。この意味ではトミヨは同じ温帯に棲むコイ科、バス科 (Pitt *et al.* 1956 ; Cherry *et al.* 1975) や yellow perch (Ferguson 1958)などの魚と比べ交わる角度は大きく、より狭温性といえる。選択温度が馴化温度に影響されない魚としては、ニジマス(McCauley, Elliott and Read 1977), lake trout (McCauley and Tait 1970), *Salvelinus* の交配種 (Goddard and Tait 1976), ベニザケ(Ferguson 1958)など冷水魚に比較的その例が多い。

Hokanson (1977)は魚の温度要求の違いから、温帯の魚を狭温性、中温性、広温性の3つのグループに分けている。この3つの温度性を分類する基準の1つとして、生理的最適温度 (Physiological optimum)をあげており、その値が20℃未満である場合を狭温性としている。そして、狭温性の魚としては河川の上流など冷水域に生息するカワマス、ニジマスなどサケ科の魚類をその例としてあげている。final preferendum は生理的機能が最高になる温度と考えられているが (Crawshaw 1977 ; Winkler 1979), 狭温性の魚である多くのサケ科の final preferendum は10℃から15℃前後であり、(Cautant 1977 ; Ferguson 1958), 上記の生理的最適温度の範囲内にある。今回の実験に用いたトミヨの final preferendum が10.2℃および13.6℃であったことは、トミヨがこの基準によっても、狭温性の魚であることが証拠づけられている。トミヨの final preferendum は、8月と11月の実験の間で約3℃の差があった。この場合それぞれの月の馴化温度は同じであるから、この差は温度以外の要因によるものと考えられる。選択温度が季節によって異なることは、採集後すぐに実験した魚についても認められたが、季節変化の原因については明らかでない。

今回の実験に用いたトミヨの生息地は湧水帯なので、水温の日較差は小さい。したがって、生息地の水温を近似的に馴化温度と見なすことができる。こうして Fig.5を見ると、馴化温度の

上昇に伴う、選択温度の上昇の傾向は明白である。しかしながら、馴化-選択温度の関係を大きく夏期と冬期の2つに分けて見た場合、それぞれの時期の選択温度は馴化温度に影響されていないことが分かる。冬期には馴化温度にかかわらず7℃前後、夏期の成魚は10℃前後が選択温度である。

幼魚の選択温度は、成魚より3~5℃高い。そしてこれは、ほかの多くの魚種にも見られる比較的普遍的な現象である (Ferguson 1958; Barans and Tubb 1973; McCauley and Read 1973; Otto, Kitchel and Rice 1976ほか)。幼魚の生息場所は流れの緩い浅所であることが多く、そのような場所の夏の環境水温は相対的に高い。したがって、選択温度の高いことは幼魚にとって有利になる。

speckled trout は3月頃、環境の温度と無関係に選択温度を急激に上昇させ、11月頃急激に下降させる (Sullivan and Fisher 1953)。Sullivanらは、このような変化が生じるのは、馴化温度と独立して変化する季節的な要因によると考えている。そして、生殖に関する周期が季節的であるのと同様、季節と関係した生理的な要因によるものと考えている。トミヨについても、状況は比較的よく似ているように思われる。

志賀町のトミヨでは、四季を通して選択温度が生息地の水温より低いという結果が得られた。選択温度が生息地の水温よりも高いか低いかは、魚種や生息地の条件によってさまざまである。北米のErie湖にすむ white bass, emerald shiner などの4種は、shinerの一時期を除き、四季を通して選択温度が高い (Barans and Tubb 1973)。これは、Erie湖の生息地の水温が、これら4種の好む水温より低いということを示すものである。広温性の魚はその名の示す通り適温域の幅が広く final preferendum 以下の水域であっても、生息を続けることは可能である。そして、魚の選択温度より低い水温しか得られない場所では、魚はその水域の中での最高温度に集まるであろうと Baransらは考えている。

四季を通して、生息地の水温よりも低い温度を選択する魚の例としては、ノルウェーのイトヨが知られている(Røed 1979)。この魚の場合、夏期の選択温度が8℃前後なのに対し、生息地の水温は20℃に達する。他地域のイトヨの final preferendum 等が12℃から18℃である (Gar-side, Heinze and Barbour 1977; 平井・角田 1982; Lachance and Magnan 1987) のに比べこの値は若干低いが、魚が生理的な最適温度を持つことと、そのような温度帯に生息できること、あるいは生息していることとは別であることを示している。

今回の実験で求めたトミヨの選択温度は、魚の大きさ、季節、実験の方法等の違いによって若干の差が見られたが、その幅は6℃から15℃の間であった。トミヨの分布の南限にあたる石川県付近では、Table 1に示した志賀町の水温に代表されるように、年間の湧水温はおおよそ11℃から16℃の間にある。したがって、湧水帯は狭温性の冷水魚であるトミヨにとって、少なくとも夏の生息環境としては好ましい場所と考えられる。ただ、先にも述べたように環境温度である湧水温は、いずれの時期もトミヨが生理的に要求する適温(選択温度)よりは幾分高い。しかし、選択温度は単に平均値として示される値であって、温度勾配中での行動範囲が平均値を中心として±5℃であることを考慮すれば、5℃から20℃がトミヨの普通に生息する温度範囲と考えることができる。

手取扇状地では、かって湧水が広範囲で湧出し、トミヨも広い範囲に生息していた。Fig. 7は1970年頃のトミヨ生息地の水温と採集された魚の個体数の関係を示したものである。冬には8℃を中心に5～12℃に、夏には20℃を中心に16～25℃の水域に生息量が多い。この温度は、選択温度と比べ冬は1～2℃、夏は最高で10℃程高い。Michigan湖の *Pungitius* は、9月頃には13℃付近を中心に7～15℃の水深で採集されている(Brandt, Magnuson and Crowder 1980)。Mississippi川支流のCrooked湖では、

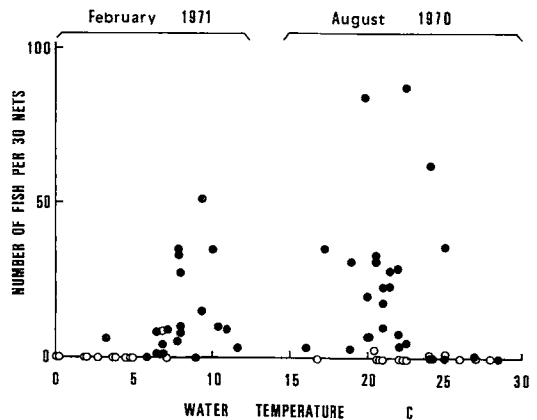


Fig. 7 Number of ninespine stickleback caught by dip net in various temperatures of streamlets at Tedori Fan. Solid circles indicate sites with vegetation and open circles indicate sites with no vegetation.

夏には5℃から25℃の範囲の温度層で採集できるが、分布の中心は6～12℃の温度層の水深である(Nelson 1968)。また、*Pungitius*を湖岸のいけすに入れ、24～28℃で1週間おいた場合でも、ほとんどが生存している。今回の実験における選択温度の範囲、および志賀の生息地の水温は、これら2水域の *Pungitius*の主たる生息域の水温の範囲と一致している。さらに、手取扇状地における生息地の温度範囲である5～25℃についても、Crooked湖の状況とよく似ている。

ここで選択温度と生息地の水温について、以下の3つに分けてみる。

- ① 最適温度：選択温度あるいは final preferendum に相当する温度で、季節によって変化する。
- ② 適温帯：温度勾配槽中の行動範囲に相当し、生理的に好適な温度帯
- ③ 生息可能温度帯：本来は忌避温度帯に相当するが、致死温度帯には達していない温度帯  
今回実験した志賀町のトミヨについては、①は夏の final preferendum である13.5℃、冬では選択温度の6.5℃がこれに当たる。②は夏の8～20℃がこれに相当し、生息地水温13～17℃



はこの範囲にはいつている。③は手取扇状地の生息地のうち、20~25℃の場所がこれに当たる。

狭温性、低温種であるトミヨにとっては、分布の南限地では、湧水帯のような低温水域に生息場所を定めざるを得なかったであろう。しかし、湧水の水温は生理的に要求される最適水温よりも、なおやや高いという結果であった。陸封化の後今日まで、生息地の水温にまだ十分に適応していない可能性もあるが、湧水の水温と選択温度がかけ離れている訳ではなく、11~16℃はむしろ好適な水温であると考えてよいであろう。ただ、湧水等の減少で水温が常に25℃になるようであれば、トミヨが姿を消していく可能性はある。この点については致死温度に関する研究が必要である。

### 要 約

1. 本州における分布南限の地である石川県のトミヨについて、選択温度の季節変化を垂直温度勾配槽で調べた。
2. 選択温度の測定は、採集後できるだけすみやかにを行った。また、8月と11月には5、10、15、20℃の4段階の水温で2週間馴させた後、選択温度を決定した。
3. トミヨの選択温度は季節によって変化し、冬期の6.5℃から夏期の幼魚の14.4℃まで約8℃の季節変化があった。冬期(11月~4月)には生息地の温度に関係なく7℃前後を選択し、夏期(5月~10月)には成魚で10℃前後を選択した。
4. 温度勾配槽の中のトミヨは、選択温度を中心に、ほぼ±5℃の温度層を行動範囲とした。選択温度はいずれの時期も、生息地の環境水温よりは低かった。
5. トミヨは選択温度が馴化温度にほとんど影響されない、狭温性の冷水魚といえる。final preferendum は約10℃と13℃であった。
6. トミヨの選択温度と生息地の環境温度との関係について、トミヨの生息地が湧水帯であることに注目して論議した。

### 参 考 文 献

- BARANS, C. A., and R. A. TUBB. 1973. Temperatures selected Seasonally by four fishes from western Lake Erie. J. Fish. Res. Board Can. 30:1697-1703.
- BRANDT, S. B., J. J. MAGNUSON, and L. B. CROWDER. 1980. Thermal habitat partitioning by fishes in Lake Michigan. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37:1557-1564.
- BRETT, J. R. 1952. Temperature tolerance in young Pacific salmon, genus *Oncorhynchus*. J. Fish. Res. Board Can. 9:265-323.
- COUTANT, C. C. 1977. Compilation of temperature preference data. J. Fish. Res. Board Can. 34:739-745.
- 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.
- CRAWSHAW, L. I. 1977. Physiological and behavioral reactions of fishes to temperature change. J. Fish. Res. Board Can. 34:730-734.
- 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.
- GODDARD, C. I., and J. S. TAIT. 1976. Preferred temperatures of F<sub>3</sub> to F<sub>5</sub> hybrids of *Salvelinus fontinalis* × *S. namaycush*. J. Fish. Res. Board Can. 33:197-202.
- 平井賢一, 角田賢治. 1982. 降海型イトヨ幼魚の温度選択. 金沢大学教育学部紀要, 自然科学編 31:149-197.
- HOKANSON, K. E. F. 1977. Temperature requirements of some percids and adaptations to the seasonal temperature cycle. J. Fish. Res. Board Can. 34:1524-1550.
- 池田嘉平. 1933. トゲウオの分布と其の変異. 動雑. 45:141-171.

- 五十嵐清. 1958. 福井県産トミヨ *Pungitius sinensis* (Guichenoi). 動雑. 67:173-174.
- JAVID, 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.
- KOBAYASHI, J. 1933. Ecology of a stickleback, *Pungitius sinensis* var. *kaibarae* (TANAKA). J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. B, Div.1, 2:71-89, figs, 1-5, pls, 1-3.
- LACHANCE, S., P. MAGNAN, and G. J. FITZGERALD. 1987. Temperature preferences of three sympatric sticklebacks (Gasterosteidae). Can. J. Zool. 65: 1573-1576.
- 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 J. S. TAIT. 1970. Preferred temperature of yearling lake trout, *Salvelinus namaycush*. J. Fish. Res. Board Can. 27:1729-1733.
- NELSON J. S. 1968. Deep-water ninespine sticklebacks, *Pungitius pungitius*, in the Mississippi drainage, Crooked Lake, Indiana. Copeia (2):326-334.
- OTTO, R. G., M. A. KITCHEL and J. O. RICE. 1976. Lethal and preferred temperatures of the alewife (*Alosa pseudoharengus*) in Lake Michigan. Trans. Am. Fish. Soc. 106:96-106.
- 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.
- 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 sticklebacks. Academic Press 387pp.
- ZAHN, M. 1962. Die Vorzugstemperaturen zweier Cypriniden und eines Cyprinodonten und die Adaptationstypen der Vorsungstemperatur bei Fischen. Zool. Beitr. 7:15-25.\*

(\*印は間接引用したもの)