

回流水槽におけるカワムツ群の分散度と水質

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	井上, 実 有元, 貴文 河野, 一郎
巻/号	45巻12号
掲載ページ	p. 1485-1490
発行年月	1979年12月

回流水槽におけるカワムツ群の分散度と水質

井上 実・有元貴文・河野 一郎

(1979年8月3日受理)

Degree of Dispersion of the *Zacco temmincki* School to Water Quality in a Streaming Water Trough

Makoto INOUE*, Takafumi ARIMOTO*, and Ichiro KONO*

In a preliminary observation on the schooling behaviour of three kinds of river fish, *Zacco temmincki*, *Tribolodon hakonensis*, and *Moroko steindachneri*, which were composed of three fish each, it was found that the school of *Z. temmincki* showed the most concentrated schooling behaviour at a certain position in the water trough, when it was streaming, compared with the other two kinds of fish.

Using this behaviour of *Z. temmincki*, the relation between the degree of dispersion of the school and the water quality was examined and the following results were obtained. The degree of dispersion of the *Z. temmincki* was obviously affected by the water samples taken from three stations of the Tama river; the upper, middle and lower streams, and it was also found to be affected by the difference of water quality caused by the degree of synthetic detergent ABS contained, from 2.5 ppm to 20 ppm, and the effect of ABS is recognizable from 2.5 ppm.

カワムツ, *Zacco temmincki*, ウグイ, *Tribolodon hakonensis*, アブラハヤ, *Moroko steindachneri*, の3種の河川魚類の回流水槽中での群れの分散度について観察した結果, カワムツ群がもつとも整った群れを作り, また水路のなかの一定位置で遊泳し続ける行動をとることが判明した。さらに環境水として多摩川の水を使用したところ, 流域の違いに基づく水質差によつてカワムツの分散度に違いが生ずること, また界面活性剤 ABS の添加濃度の違いによる水質差によつてもカワムツ群の分散度に影響が現われることが認められたので報告する。

実験魚

実験に主として使用したのはカワムツであるが, この他にウグイ, アブラハヤをカワムツとの比較のために用いた。何れの魚種も都内の淡水魚専門店で購入したが, カワムツ約300尾は関西方面で採捕したもの, ウグイ, アブラハヤのそれぞれ約50尾は多摩川産のものである。これらはガラス水槽(60×45×45 cm)に魚種別に分けて約50尾ずつ飼育し, 10日以上飼育したものを実験に供した。実験時の体長はカワムツは5~7 cm, ウグイ, アブラハヤは7~9 cmであった。

実験装置・方法

装置の概略は Fig. 1 のようで, アクリル製円形水路とモータおよび減速装置とからなる。円形水路(幅10 cm, 高さ15 cm, 最大直径60 cm)には高さ10 cmまで水を入れるが, この場合の水の容量は15.7 lとなる。水路がモータの駆動によつて定速回転を始めると, 水路の水も動き始め, 約1分後には定速の水流が得られる。水路

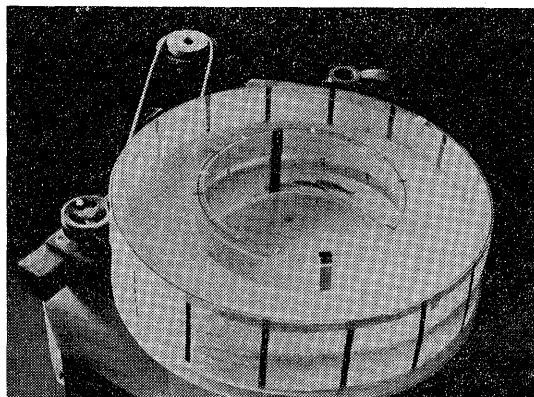


Fig. 1. A streaming water trough. An outside wall with visual objects is fixed and a water trough is rounded by a motor.

* 東京水産大学 (Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato-ku, Tokyo 108, Japan).

の回転速度 V と流速との関係はほぼ $v=0.9V$ で、流速は 20~50 cm/s の範囲で変えられるが、本実験では実験魚の体長 (B·L) の約 3 倍の速度、すなわち約 3B·L cm/s の流速とした。

水路の実験魚に水流方向に対して定位行動をとらせるためには、視覚目標が必要であるから、水路をとり巻く白色の円形アクリル外壁 (Fig. 1) に黒ビニルテープ 16 本 (幅 1.0 cm, 高さ 1.5 cm) を等間隔に貼り、視覚目標とした。この外壁は水路を回転しても移動しない。予備実験では水路外壁を 8 等分するようにテープを 8 本貼つたが、それでは間隔が広すぎ、カワムツは水流に対してやや流される傾向がみられた。16 本にすると、カワムツはかなり良く水流に定位するようになった。さらに、円形外壁の内側にも Fig. 1 のように黒テープ 2 本を外壁の黒テープと対応する位置に貼つた。これは魚を一定点で泳がせる方法を検討した結果、魚は両眼に相称の刺激を得る状態で、最も固定位置での遊泳行動を持続することが明らかになったからである。なお、このことは著者の既報の論文¹⁾ においても述べられている。内側の黒テープを 2 本にしたのは、いずれかの位置で魚に遊泳行動をとらせるため、この位置を固定点と呼ぶ。

実験魚 3 尾による群れの分散度は次の方法で求めた。水路をやや斜め上方から観察したとき、3 尾とも 2 本のテープの間、すなわち外壁の 1 区画 (間隔 12 cm) の中にいれば分散値 0.5、3 本で占められた 2 区画に先頭魚と最後尾魚が広がっていれば分散値 1.0 と評点し、先頭魚と最後尾魚の間隔がもつとも広がった場合を 8 とした。30 分間の観察時間で 30 秒ごとに 3 尾の広がりを記録し、分散値の合計を観察数 60 で除した値を分散度とした。したがって、分散度の小さい方が群れの密集性は高い。

実験に際しては飼育水槽から水路に魚を移し、20 分以上順応時間を置いた後、水路を回転して水流を与える。この水路は開放型であり、空気との接触による酸素補給と魚の遊泳に伴う酸素消費が行われるが、体長 6 cm のカワムツ 3 尾を 24 cm/s の水流で 30 分間泳がせた場合、収支のバランスは 0.2 mg/l ほど消費が大きいことが測定された。この値はそれ程大きいものではないが、実験水は連続 2 回以上の観測には使用しなかつた。

実験では 3 尾を 1 群れの単位としたが、これは水路の幅が 10 cm なので、これらの魚が横に 1 列に並んだ場合 3 尾が限度であり、縦に 1 列に並んだ場合も、各個体の動きを瞬間的に視認できるのは 3 尾が限度であるからである。

水路は 40 W の白色蛍光灯 1 本を 1 m 上方に置き照明したが、実験時刻は魚のバイオリズムを考慮して 10~15 時までとした。

実験は 1978 年 9 月~1979 年 1 月の期間、東京水産大学の実験室で行つた。

結 果

3 魚種の比較 体型が同じような紡錘形のカワムツ、アブラハヤ、ウグイを用いて流水中の群れの分散度の比較を行つた。

1 魚種について、ほぼ同体長の 3 尾を 1 群れとして水路に入れ、静水中と流水中での群れの分散度を観測した。使用した水はチオ硫酸ソーダで脱塩素した水道水 (以下、水道水という) である。流水中では魚の群れは水流を起こして 1 分ぐらいで走流行動をとり、ほぼ纏つて泳ぎ、特にカワムツは固定点の数 cm 後方で整然と群泳するのがみられた。アブラハヤ、ウグイでは最初は固定点に留つていても、間もなく前進遊泳をとることが多く、また、ときには後退することもあり、さらに各個体はまぢまぢに泳ぐこともあり、群れの統一性はカワムツほど顕著ではなかつた。その結果は Table 1 から明らかであり、静水中ではウグイ、アブラハヤの方が群れの分散度は低く、各個体は纏つているが、流水中ではカワムツの方が分散度は低く、群れの密集性が高いことがわかつた。

一般に群れ形成には仲間に対する視覚的な接触作用が必要であることは知られている²⁾ が、上記の場合の群れ形成においても視覚的作用が働いているとすれば、その作用は流水中ではカワムツは他の魚種に比べて強いものと考えられる。そのことを確かめるために水路をとり巻く白色の外壁から黒テープによる視覚目標をとり除き、水流中の視覚目標が仲間相互のみから得られるようにして実験を行つた。その結果を Table 1 に併示する。

それによると、アブラハヤ、ウグイは流水中でテープによる視覚目標のない場合はある場合に比べ、極めて大きい分散度を示すのに対し、カワムツはテープによる視覚目標のない場合でも大差なく低い分散度を示した。このことはカワムツの流水中における群れ形成に仲間への視覚依存度の高いことを肯定せしめるのであるが、なお

Table 1. Comparison of degree of dispersion in a school composed of three fish among three kinds of fish in a trough

Condition of test	Still water with visual object	Streaming water	
		with visual object	without visual object
<i>M. steindachneri</i>	2.31	2.63	4.00
<i>T. hakonensis</i>	1.74	2.52	3.06
<i>Z. temmincki</i>	3.26	1.35	1.74
Water temp. °C	20	20	15

Table 2. Rheotaxis of a single fish of *T. hakonensis* and *Z. temmincki* in a streaming water trough for 10 test fish each

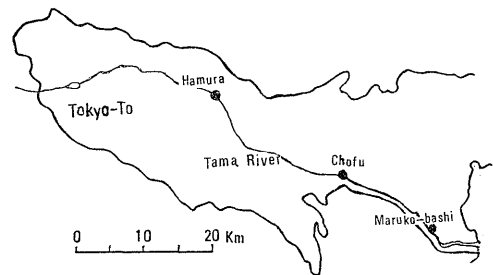
Condition of test fish	Streaming water			
	without visual object		with visual object	
	<i>T. hakonensis</i>	<i>Z. temmincki</i>	<i>T. hakonensis</i>	<i>Z. temmincki</i>
Rheotaxis				
Grain ground	5	2	8	3
Hold ground	2	3	2	7
Lose ground	3	5	0	0
Total	10	10	10	10

Water temp. is 20°C.

詳細に検討するために単体による実験を行った。

ウグイとカワムツ各 10 尾を実験魚に用い、1 尾ずつ水路に入れ視覚目標のある場合とない場合について、水流中での 20 分間の走流行動を調べた。その行動は水路を前進、後退、一定点に留まる遊泳の 3 種に分けられるが、どの実験魚もその何れかに分類できる特徴的な遊泳行動を持続した。なお、後退には水流とともに流される従流行動も含めたが、多くは流れに頭を向けながら後退する行動であつた。Table 2 では実験魚の行動を前進遊泳、後退遊泳、定点遊泳に分けて示した。その結果は視覚目標の有無にかかわらず、ウグイとカワムツの単体では魚種による流れに対する反応に差がみられ、ウグイでは視覚目標のない場合は流れを前進するものが半数であるが、カワムツでは後退するものが半数であつた。視覚目標のある場合はウグイは大半が流れを前進し、一方、カワムツは一点に留つて遊泳するものが多かつた。

魚類の走流性は視覚に極めて大きく依存するという説⁹⁾があるが、視覚の他、側線感覚、接触感覚などの機械的感覚にも支えられたものであろう。ウグイのようにカワムツに比べ上流にすむ魚類では走流性は発達し、それらの魚類では視覚、機械的感覚の何れも発達しており、流れが速い場合には視覚目標がなくとも機械的感覚により走流行動をとり得ることが考えられる。一方、カワムツのように水流の弱い水域にすむ魚類は、速い水流に抗して泳ぐためには視覚目標を定め、その目標から離

**Fig. 2.** Location of three stations in the Tama river, near Hamura, Chofu and Maruko-bashi.

れないように泳ぎ続ける必要があるのであろう。そして、視覚目標が仲間以外に認められない条件におかれた群れの場合は仲間相互を目標にとり合い、その結果、回流水槽の中では密集して泳ぐようになるものと推定することができる。

河川水と群れ行動 流水中のカワムツの統一ある行動が水質によつて変化するかどうかを調べるため、多摩川の上・中・下流の 3 ヶ所の河川水を採水して群れの分散度を測定した。採水は Fig. 2 のように上流として、羽村堰上流 300 m の地点、中流として調布多摩住宅付近の地点、下流として丸子橋上流の読売グラウンド付近の地点で行つた。これらの観測点で 40 l のポリエチレンのタンクに採水するとともに、酸素瓶に溶存酸素を固定して実験室に運び、溶存酸素量 (DO) を測定した。採水は

Table 3. pH, DO and water temperature of the water samples taken from three stations of the Tama river

Station	Upper stream			Middle stream			Lower stream			
	pH	DO (mg/l)	Water temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	Water temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	Water temp. (°C)	
1978	Oct. 27	7.4	10.55	17.0	7.0	7.52	19.0	6.2	3.50	19.5
	Nov. 24	7.4	11.27	14.0	7.2	7.90	14.0	6.4	3.60	17.0
	Dec. 22	7.6	9.70	8.6	7.2	7.03	13.4	6.4	4.88	14.0
1979	Jan. 14	7.6	11.30	7.0	7.2	11.30	7.2	6.4	5.55	12.0

1978年10月、11月、12月および1979年1月に1回ずつ行った。Winkler法によるDO値とpH値はTable 3のようで、上・中・下流で明瞭な差を示す。

これらの3観測点の環境水によるカワムツの群れの分散度はTable 4のようで、上流水による群れの分散度はTable 1に示した水道水のそれに近く、中・下流水になるほど群れ分散度は大きくなる。分散分析による統計的検定でも流域間の差は危険率5%で有意である。

下流水ではカワムツ群は6回のテストの何れの場合でも観測を開始してほぼ10分後に、3尾のうち少なくとも1尾は群れから離れ後退して泳ぐか、あるいは水流とともに流される行動を示した。さらに20分後には2尾あるいは3尾とも流れに抗し切れずに流れとともに従流することが多かった。

下流水では混入物が多く、水路に水を入れてしばらく放置しておくとし殿し、さらに水路を回転して水流を起こすとし殿物は次第にふえ、水路とともに回転するのが目立つ。中流水では静止状態ではし殿は生じないが、水流の回転によつてし殿が生じ10分ほど経つと肉眼で水路底面にはつきりとし殿物が認められるようになる。これらのし殿物は顕微鏡観察によると珪藻が中心であり、実験魚の糞も混ざることあつた。上流水は糞以外はほとんどし殿は生じなかつた。中・下流水では、このし殿物の移動に対する実験魚の視覚的影響、すなわちカワムツの視覚運動反応によつてし殿物の回転に同調して流れと反対方向に移動する反走流性を考慮する必要があり、次の実験を行った。

し殿物の代りに視覚目標物として、1cm平方の黒ビニールテープの小片を水路底面に縦縞と同間隔で16カ所に貼り、環境水として水道水を入れ群れの分散度を調べた。5回のテストを行ったが、何れも底面に視覚目標のない場合とほぼ同じ値を示したので、し殿物の視覚的影

Table 4. Degree of dispersion in *Z. temminckii* school by the water taken from the three stations of the Tama river

Station	Upper stream	Middle stream	Lower stream	Water temp. (°C)
1978				
Oct. 28-29	1.44 1.00	1.46 1.32	2.60 4.20	19.0
Nov. 25-27	1.35 1.01	1.38 2.42	2.37 2.78	17.0
Dec. 25-26	1.48 1.39	1.48 1.80	4.14 2.25	16.0
Mean	1.28	1.63	3.06	
Result of analysis of variance				
$F=15.91, F_0=6.94 (p=0.05)$				

響はないか、あるいはそれ程顕著ではないと考えられる。

したがつて、多摩川の上・中・下流水によるカワムツ群の分散度の違いは環境水の水質的影響と考えられ、それはTable 3に示すようにDO値、pH値と関係があるように思われるが、本研究ではこれ以上の水質分析は行っていないので、その正確な原因については明らかでない。

界面活性剤 ABS の影響 カワムツの群れの分散度が水質によつてどう変化するかを詳細に調べるため、界面活性剤 ABS (分岐鎖型ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム) を用い、その添加濃度を0 (対照)、2.5、5.0、10.0、15.0、20.0 ppm の5段階に変えた試験水により測定した。

ABSは脱塩素水道水20lに添加する。この実験では、まずカワムツ3尾を対照の水道水20lを入れた水路に入れ、統一した群れ行動をとる個体を選び出す。すなわち、3尾のうち走流性の弱い魚、ない魚、あるいは群れから離脱する行動を示す魚がおれば新しい魚ととり代えて観測を継続し、30分間の観測時間で1.30以下の分散度を示す群れを選び出す。こうして選択した3尾をABSの実験に使用するのであるが、選択テストを繰返すことによる疲労が群れ分散度に及ぼす影響をあらかじめ調べる必要がある。そのテストとして、水道水により1時間の休止時間をおいた3回の測定を継続して行った。その結果はTable 5のようである。

この結果、1回目と2回目の測定では群れの分散度は、むしろ2回目の方が小さいこと、また2回目と3回目ではほとんど差がないことが判明した。したがつて、24 cm/s (3 B・L cm/s) の流水中における30分間の遊泳は1時間の休息をおけば疲労の影響は考慮する必要はなく、むしろ測定の繰返しは群れの集合を強固にするようにも思えるので、選択テストの結果を対照としてABS濃度別による実験を行った。

実験では対照実験の終つたカワムツ群を飼育水槽に一旦移して、実験水をABS添加水に代え、次に同じ群れを水路に入れ1時間放置した後、水路を回転して水流を

Table 5. Degree of dispersion in *Z. temminckii* school by the repetitious tests with one hour rest between the tests for thirty min.

Order of test	1	2	3	Water temp. (°C)
Number of test				
No. 1	1.28	1.20	1.25	19.0
2	1.30	1.14	1.10	19.0
3	1.15	1.10	1.10	19.0
Mean	1.24	1.14	1.14	

Table 6. Degree of dispersion in *Z. temmincki* school by the difference of water quality caused by ABS contained

Test water	Tap water (control)	Water of ABS contained	Water temp. (°C)
2.5	1.11	1.20	18.0
	1.25	1.36	17.0
5.0	1.21	1.54	18.0
	1.30	1.61	18.0
10.0	1.00	2.45	18.5
	1.30	1.80	16.0
15.0	1.20	3.65	18.5
20.0	1.20	over* 4.00	18.5

* Each fish in a school dispersed their group within 15 min.

Table 7. Time required until a single fish loses ground in a streaming water of ABS contained. The time is shown with the mean value of three tested fish

Degree of ABS contained (ppm)	Time (min)	Water temp. (°C)
2.5	Over 30	18.0
5.0	"	"
10.0	"	18.5
15.0	23 (15, 28, 26)	"
20.0	18 (15, 18, 22)	"

起こし測定を行う。ABS の各濃度に対する群れ分散度は Table 6 のようである。なお、比較のため単体が走流性を失ない、流されるまでの時間を 30 分を限度として、3 尾の平均値をもつて調べ、その結果を Table 7 に示した。

Table 6 から、ABS の影響が群れ分散度に明らかに現われるのは 5 ppm からであるが、2.5 ppm でも影響はうかがわれる。また、ABS 添加濃度に比例して群れ分散度が高まることも明らかである。また、Table 7 から 15 ppm では単体も 30 分以内に走流性を失ない、水流に流されることが知られたが、Table 6 では群れは 15 ppm で極めて高い分散度を示し、20 ppm では 15 分以内に群れを保持することが困難になるほどの影響を受けることがわかった。このことから、ABS の添加濃度の高い試水では単体の走流行動をもつて、その影響を調べることは可能であること、また、濃度の低い試水では単体の短時間の行動をもつて調べることは困難であるが、群れの分散度をもつてすれば可能であり、精度も高いことが知られた。

考 察

本研究により、カワムツの群れ行動に関し、次の 2 点の実験的に確かめられた。

1) カワムツはウグイ、アブラハヤに比べ流水中での群れ形成が強固なこと。

2) 流水中におけるカワムツの群れ行動には水質の影響が現われやすいこと。

このうち、1) の点についてはすでに 3 魚種の比較の項で述べたが、カワムツの走流性における視覚依存度が他の 2 魚種に大きく、流れのなかでは仲間相互を視覚目標にすることが強いためであろうと考察した。

2) の点については、河川水の流れ別による水質差、あるいは ABS の添加濃度別による水質差によつてカワムツの群れ分散度に違いが現われることが認められた。また、単体では ABS 濃度 2.5 ppm より 10 ppm までは観測時間の 30 分間は完全に走流行動を保ち、ABS の影響は認められないのに対し、群れでは同じ観測時間において 5 ppm あるいは不確実であるが 2.5 ppm ですでに ABS の影響が認められた。これらの実験結果はカワムツの群れの走流行動は水質の変化に対し鋭敏であることを示しているが、その鋭敏性については ABS の実験から次のような仮説を考察することができる。

ABS の添加による水質の影響は実験水路において、単体でも群れのなかの個体でも同じように受けるものとする。その生理的な影響としてはひれやえらの損傷が考えられる。例えば、ヒメダカに対する界面活性剤 (LAS, AS) の 48 時間 TLm 試験で、10~40 mg/l の濃度で胸びれや尾びれに損傷が起こり、また粘液の多量の分泌も生じ、ついには遊泳不能になる⁴⁾ことが報告されている。この他、ABS に暴露した魚のえらの損傷を調べた報告⁵⁾もある。本研究ではカワムツを ABS に暴露した時間は最長で 90 分であるが、この間にわずかでもひれやえらへの影響を受けたものとする。ABS の影響を受けた個体は正常な場合に比べ、その遊泳行動に変化が生じる。著者らの観察によれば、ABS 濃度 15 ppm において、単体のカワムツは走流性を失ない水流に流される前には体や尾びれを大きく振動させ、水流に辛うじて抵抗する動きを示すことをみた。単体の場合は、その動きは他に影響を及ぼすことはないが、群れの場合にはその動きは個体相互に影響し合い、互にその間隔を広げ、分散度を大きくすることになる。言い換えれば、ABS の影響は個体では微少であつても、群れのなかではその行動によつて増幅されて測定できる値となるのであろう。河川水の水質の違いについても同じように考えることができるであろう。この仮説について、魚群の遊泳行動を映画撮影し、そのフィルムを解析することによつて確認できる

と思われるので、改めて実験を行う予定である。

本研究は財団法人とうきゅう環境浄化財団の研究助成金により成されたもので、記して感謝の意を表す。また、測定に協力して頂いた東京水産大学学生長谷川英一君に感謝する。

文 献

1) 井上 実・黒岩広次： 日水誌，**41**，1219-1227

(1975).

- 2) E. SHAW: *F. A. O. Fisheries Reports*, **62**, 217-232 (1967).
- 3) E. P. LYON: *Amer. J. Physiol.*, **12**, 149-161 (1904).
- 4) 若林明子・菊地幹夫他：水産増殖，**23**，119-124 (1976).
- 5) 杉本昭典：水質汚濁，技報堂，東京，1974，p. 406.