

多摩川水系魚類の分布及び遊泳 行動と水質との関連に関する研究

1 9 8 2 年

井 上 実
東京水産大学教授

多摩川水系魚類の分布及び遊泳行動と 水質との関連に関する研究

目 次

| | |
|-----------------------------------|----|
| § 緒 言 | 1 |
| I 研 究 I 選択箱によるカワムツの多摩川水系水質の選択について | 2 |
| 1. 目 的 | 2 |
| 2. 実験装置 | 2 |
| 3. 実験方法 | 4 |
| 4. 結 果 | 4 |
| (1) 人工試水による実験 | 4 |
| (2) 多摩川試水による実験 | 10 |
| 5. 考 察 | 13 |
| 6. 要 約 | 14 |
| II 研 究 II 多摩川試水に対する魚類の遊泳行動と水質について | 15 |
| 1. 目 的 | 15 |
| 2. 実 験 魚 | 15 |
| 3. 実験装置・方法 | 15 |
| 4. 結 果 | 19 |
| (1) 回流水槽による魚類の分散度の測定 | 19 |
| ① 魚種別の分散度の比較 | 19 |
| ② DO値の違いによる分散度の比較 | 20 |
| (2) 回流水槽による多摩川の観測点の水質と魚群の分散度の測定 | 22 |
| ① 昭和55年度の測定 | 22 |
| ② 昭和56年度の測定 | 28 |
| (3) 回流水槽による魚類の界面活性剤、農薬の影響の測定 | 29 |
| ① 界面活性剤ABSの影響 | 29 |
| ② 農薬BHCの影響 | 30 |
| 5. 考 察 | 31 |
| 6. 要 約 | 33 |

| | |
|---|----|
| III 研究 III 多摩川水系魚類の明・暗環境における向流行動について..... | 34 |
| 1. 目 的..... | 34 |
| 2. 実験装置..... | 34 |
| 3. 実験魚..... | 35 |
| 4. 実験結果及び考察..... | 36 |
| (1) 昼間の観測..... | 36 |
| (2) 夜間の観測..... | 38 |
| (3) 濁水におけるウグイの向流行動..... | 38 |
| 5. ウグイの補償行動(予察)..... | 40 |
| 6. 要 約..... | 41 |
| § ま と め(研究 I・II 種を通じ)..... | 42 |
| § 参 考 文 献..... | 43 |
| § 今後予想される効果..... | 44 |

1. 実験装置の概要
 2. 実験魚の飼育
 3. 実験結果の概要
 4. 実験結果の考察

5. 要約
 6. ま と め
 7. 参 考 文 献
 8. 今後予想される効果

多摩川水系の魚類と水質汚濁の関係

§ 緒 言

本研究では多摩川水系魚類の分布相と水質との関係を魚の遊泳行動を中心に調べた。水質がどの程度魚類の分布相に関与するかという問題は、魚が水質の違いをどの程度まで選択できるかという基礎的な研究から出発する必要がある。本研究ではこの点に着目して、魚が多摩川の水の地域性をどの程度選択するかを先づ調べた。この実験に先立ち、実験に使用する装置として小山¹⁾が作成した水質選択箱を採用し、その装置の有効性についてカワムツ *Zaco temminicki* を用い、溶存酸素量をどの範囲で選択するかを調べた。この実験を研究Ⅰという。

水質の違いと魚類の遊泳行動及び群れ分散度との関係については、前回52、53年度の研究²⁾によりある程度測定方法を確立した。それは回流水槽による魚群の分散度を水質の変化に対応させて測定する方法である。本研究でも再びこの方法により、DO、BODの違いがどの程度魚の遊泳行動、主として群れ分散度に関係するかを詳細に調べ、その結果を研究Ⅰの結果と関連させて調べた。この実験を研究Ⅱという。

次に魚の走流行動を調べた。河川において、或る魚種の生息域が水質や餌料などによって決定された場合でも、その場所に長時間留まるためには常に流れに抗して泳ぐ必要がある。魚の走流行動は視覚に依存することが大きいことはすでに知られている²⁾。したがって、魚類は夜間は川底に定着して休むことが多いが、環境の変化で浮上することもある。その際に走流行動がとれなければ下流に押し流されてしまう。本研究では河川魚類の分布を決める要因の一つとして、魚の走流行動のしくみの解明を行った。この実験を研究Ⅲという。

したがって、本研究では次の3項目の研究

研究Ⅰ 選択箱によるカワムツの多摩川水系水質の選択について

研究Ⅱ 多摩川試水に対する魚類の遊泳行動と水質について

研究Ⅲ 多摩川水系魚類の明・暗環境における向流行動について

更に、最終的にはこれら3項目の結果を総合的に考察し、多摩川水系魚類の分布と水質との関係をまとめた。

研究 I 選択箱によるカワムツの多摩川水系水質の 選択について

1. 目 的

前回(昭和52・53年度)の研究においては、回流水槽により多摩川上・中・下流域の水質とウグイ、カワムツの群れ分散度との関係を求めた。その結果の一つとして、DO、PH、あるいはBODによる水質の違いとカワムツの群れ分散度との関係が認められた。

今回の研究ではDOあるいはBODとカワムツの群れ分散度の関係を更に詳細に検討するため、前回の研究で使用した回流水槽による方法とは異なる方法を用いた。それはアユの水質選択性を調べた小山が¹⁾考察した水質選択実験装置と同形の水槽(ここでは選択箱という)を用いて、多摩川の試水によりカワムツの水質の選択性を調べた。カワムツは多摩川には余り生息していない魚種ではあるが、多摩川の優占種であるウグイに比べ装置に順応しやすく、装置内での行動は安定しており、また群れのまとまりは良好で、テストフィッシュとして好適であるので使用した。

本研究では、まずこの装置による方法の精度を確かめるため、実験室で人工的に作ったDO差のある試水間の選択効果を判定した。その結果、この装置によるカワムツの水質選択の精度はそれ程高いものではないが、多摩川の中流域と下流域との水質差の選択は可能であった。

2. 実験装置

選択箱は図1に見られるようなやや楕円形をした簡単な水槽である。材料は厚さ5mmの亚克力板で、底面は無色透明、側面は水槽内の仕切り板も含めて白色不透明である。水槽の最大長80cm、最大幅50cm、面積約3,500cm²であり、高さは20cmである。選択箱の仕切り板左右の区域をA区域、B区域とし、排水口手前の魚の自由遊泳区域をC区域とする。A区域、B区域に入った魚の尾数によって試水に対する選択性を調べる。

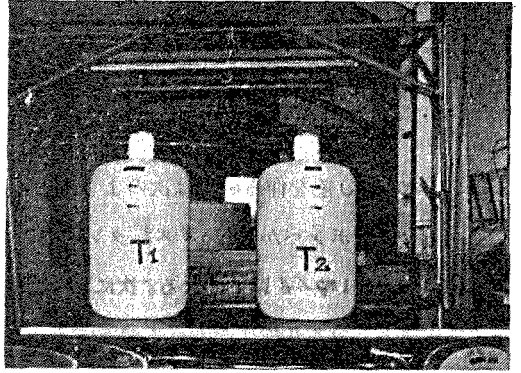
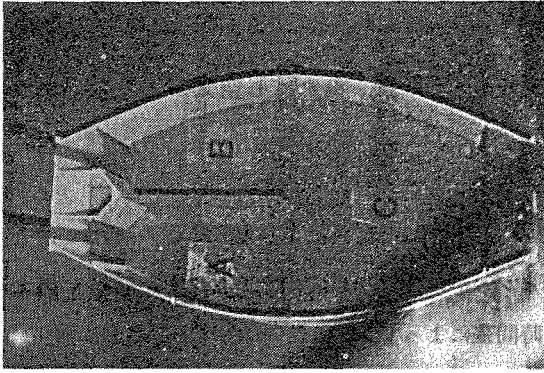


図1 選択箱及び注水用タンクに於ける魚の行動観察装置

選択箱を図1の中に見られる立方体の水槽内に入れるが、これは特別の意味はなく観測に便利のためである。この立方体水槽の外側に高さ2 mの鉄パイプを四隅に立て、暗幕で徹した。これは選択箱を均一の照明状態におくためであるが、照明はパイプ枠上方に設置した白色蛍光灯40 W 2本によった。

試水は50 lのポリエチレンタンク(タンクT₁、タンクT₂、図1参照)に入れ、両方の水を選択させる。魚は観測時間中、A区域、B区域の何れにも自由に入出入りするが、両域に入る魚の行動は暗幕の上方に設置したVTRカメラで撮り、その行動をモニターテレビにより観測する。

選択箱にはあらかじめ水が入っている。この水を「順応水」という。順応水は脱塩素した水道水である。50 lのタンクから選択箱に流し込まれる試水を「注入水」と呼び、順応水が排出されていく状態で、注入水は選択箱に注ぎ込まれる。その結果、選択箱にはC区域を中心に順応水と注入水との「混合水」が生ずる。タンクT₁、T₂の注入水はC区域で混合するが、混合水はA、B区域に観測時間中に逆流することはない。

選択箱による判定はA区域、B区域に入る魚の尾数を15秒毎に数え、尾数の多少で行った。観測は次の3段階で行った。1)魚を選択箱に入れてから15~20分経過した後の順応水中での5分間の行動観測、2)次の5分間、注水時間中における魚の行動観測、3)注水停止後の5分間の混合水における魚の行動観測であるが、3)の記録は参考程度に留めた。

実験魚はカワムツ *Zacco temminicki* で、体長7~8 cmのはほぼ同体長のもの5尾を一群れとして同時に選択箱に入れた。カワムツは都内の淡水魚専門店から2~3ヶ月毎に200~300尾単位で購入し、常時飼育水槽で飼育したものである。実験には特定の固体を連続的に使用することなく、体調のよいものを取り替えて用いた。

3. 実験方法

人工試水による実験は次の手順で行った。

- 1) 試水用ポリタンク 2 個に脱塩素した水道水を入れる。この際、満水にし空気が入らないようにする。
- 2) 試水に DO 差を作るのには次のように行う。
高圧窒素ポンベから N_2 ガスをタンク内に 20 分間通気する。これにより 20 l のタンク 2 個とも DO はほぼ 1mg/l 以下になる。次に、高圧酸素ポンベから両方のタンクに O_2 ガスを時間差（例えば 30 秒と 1 分 30 秒）をもって通気する。この時間差によって DO に違いが生ずる。さらに液化炭素ガスポンベから CO_2 ガスの通気を 10 秒間行う。 N_2 、 O_2 、 CO_2 の何れもケージが示す噴出圧力を 1.0kg/cm^2 とした。 CO_2 を通気したのは板沢³⁾が指摘した次の理由による。
 N_2 を通気することにより水中酸素分圧が低下し、それと共に水中の CO_2 が窒素の気泡中に拡散して空気中に去り、水中の二酸化炭素分圧が低くなる。その結果、血液中の二酸化炭素分圧も低下し、ヘモクロビンの酸化結合力を大きくすることになるが、その影響を除去するためである。
- 3) タンク T_1 、 T_2 の試水の PH、DO、水温を測定し、同時に選択箱の順応水についても同じ測定を行う。
- 4) 注水量とはほぼ釣合う排水量を期待できる塩ビ管を用意しておく。この排水管は選択箱から水を吸い込んでおき、排水管の出口は注水を始めるまで箱より高所に掲げておく。
- 5) 実験魚を水槽に入れ、暗幕を降し、VTR カメラによるモニターテレビの画像で順応中の観察を行う。実験魚が群れてよく泳ぐ時は 15 分経過ごろから A、B 両区域にほぼ等分に入るようになるので、その時点で注水前の 5 分間測定を行う。
- 6) 排水管を選択箱に挿入し 1 分間排水を行う。排水を開始して 1 分経過後、2 個のタンクのコックを全開して注水を始める。タンクからの注水はほぼ 7 分間で終了するので、この間に 5 分間の測定を行う。
- 7) 測定終了後、再び PH、DO、水温を選択箱の A 区域、B 区域及び C 区域について測定する。

多摩川の採水は 4 回行い、それらの試水による実験も上記の手順のうち、2 の項以外は同じ方法で実施した。

4. 結 果

1) 人工試水による実験

人工試水については表 1 のような試水について、2 3 回の測定を行い、その結果を次の 5 項目に分けて検討した。

表1 人工試水による観測結果

表1-1

| 測定 月日 | 順応水 水温 PH DO (mg/l) | タンクT1 水温 PH DO 通気ガス | タンクT2 水温 PH DO 通気ガス | 順応水 | | 試水 | | 判定 存在尾数の多 い区域を示す 順応水の存在 尾数を考慮 |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|------|----|--------|--------|---|
| | | | | 存在尾数 | | 存在尾数 | | |
| | | | | A域 | B域 | T1(A域) | T2(B域) | |
| '81 10/22 | 17.0 7.0 8.3 | 17.6 0.9 N ₂ | 17.3 17.4 O ₂ | 20 | 12 | 26 | 7 | A |
| 10/24 | 17.8 7.0 6.9 | 17.8 1.8 N ₂ | 17.5 6.9 O ₂ | 11 | 25 | 13 | 8 | A |
| 10/29 | 16.0 7.0 7.5 | 15.8 0 N ₂ | 15.7 5. 25.5 O ₂ | 29 | 32 | 16 | 23 | B |
| 10/30 | 16.0 7.0 8.45 | 16.0 19.23 O ₂ | 16.1 0.18 N ₂ | 22 | 27 | 36 | 29 | 差なし |
| 11/16 | 12.9 6.9 8.63 | 13.4 4.7 1.8 CO ₂ | 13.4 7.3 1.9 N ₂ | 35 | 23 | 1 | 53 | B |
| 11/20 | 12.6 5.7 8.89 | 13.3 6.8 6.30 N ₂ | 13.3 5.1 6.30 CO ₂ | 17 | 11 | 28 | 12 | A |
| 11/30 註2) | 9.8 6.6 8.98 | 10.5 7.2 9.15 | 10.5 5.2 8.6 | 70 | 61 | 36 | 9 | A |
| 12/8 註1) | 9.7 7.22 10.6 ppm | 10.5 5.3 13.4 ppm | 10.5 5.32 11.6 ppm | 40 | 95 | 25 | 17 | A |
| 12/9 | 9.6 6.8 11.68 | 10.1 6.2 14.10 | 10.0 6.1 16.92 | 73 | 65 | 27 | 32 | B |
| 12/10 | 9.9 6.9 10.8 | 10.3 6.7 11.90 | 10.3 6.7 9.20 | 2 | 7 | 2 | 30 | B |
| 12/13 | 9.8 6.96 11.33 | 10.3 6.02 10.84 | 9.8 6.09 14.30 | 20 | 34 | 1 | 44 | B |

註1) 12/8以後のDO単位はppmである。

註2) 11/30以後の通気ガスはN₂、O₂、CO₂である。詳細は実験方法に示す。

表 1 続 き

表 1-2

| 測定 月 日 | 順 応 水 水 温 PH DO (ppm) | タンクT ₁ 水 温 PH DO 通気ガス | タンクT ₂ 水 温 PH DO 通気ガス | 順 応 水 | | 試 水 | | 判 定 存在尾数の多 い区域を示す。 順応水の存在 尾数を考慮 |
|--------------|-----------------------------------|--|--|-------|-------|---------------------|---------------------|---|
| | | | | 存在尾数 | | 存在尾数 | | |
| | | | | A 域 | B 域 | T ₁ (A域) | T ₂ (B域) | |
| 12 / 17 | 15.6 7.02 10.46 | 17.5 6.11 10.52 | 17.5 5.9 8.76 | 54 | 57 | 17 | 15 | A |
| 12 / 20 | 15.5 7.16 10.23 | 16.5 6.86 3.21 | 16.5 6.76 4.82 | 22 | 52 | 16 | 9 | A |
| 12 / 22 | 14.0 7.14 10.70 | 15.5 6.74 8.32 | 15.5 6.74 5.38 | 38 | 59 | 19 | 26 | 差なし |
| 12 / 24 | 14.4 6.84 10.55 | 15.6 6.77 10.99 | 15.6 6.68 6.03 | 30 | 52 | 37 | 41 | A |
| 12 / 27 | 14.2 6.84 11.40 | 15.5 7.08 11.37 | 15.5 6.97 3.91 | 15 | 14 | 11 | 21 | B |
| 12 / 28 | 11.0 6.84 11.21 | 10.6 6.65 11.52 | 10.0 6.77 1.22 | 17 | 4 | 8 | 12 | 差なし |
| 12 / 29 | 13.0 6.72 5.98 | 13.5 6.77 4.43 | 12.5 6.54 11.82 | 65 | 38 | 28 | 17 | 差なし |
| '82 1 / 4 | 9.3 6.61 8.48 | 9.0 6.52 10.05 | 9.2 6.63 5.55 | 0 | 21 | 6 | 13 | 差なし |
| 1 / 6 | 11.4 6.30 7.73 | 12.2 5.86 8.40 | 11.2 5.97 4.45 | 1 | 0 | 18 | 6 | A |
| 1 / 7 | 12.6 6.14 7.51 | 11.5 6.00 8.72 | 10.8 6.03 5.17 | 24 | 43 | 25 | 21 | A |
| 合 計 | | | | 605 | 732 | | | |
| 平 均 | | | | 28.80 | 34.85 | | | |

- ① 実験魚のA、B両区域に対する偏在性
- ② PH 6.8前後で、試水の一方が過飽和酸素量の場合のDO選択
- ③ PH 6.8前後で、試水の両方が過飽和酸素量内である場合のDO選択
- ④ PH 6.8前後でのDO選択
- ⑤ 酸素量がほぼ一定の場合のPHの選択

以下①～⑤までの各項目の結果を述べる。

① 実験魚のA、B両区域に対する偏在性

順応水の中の実験魚がA区域、B区域の何れかに偏在する傾向の有無について検討した。

表2によれば、A、B両区域での存在尾数に差はなく、区域による偏在性は認められない。

また、人工試水による実験において、試水注入前の順応水による測定は表1のA区域、B区域における存在尾数の差は平均でA区域2.8、B区域3.4.8で表2より大きい。しかし、合計による検定ではA、B両区域に偏在の傾向は見られない。

表2 実験魚による選択域の偏在性

| 実験 | 存在尾数 | | 実験日 |
|----|------|-----|------|
| | A区域 | B区域 | |
| 1 | 12 | 20 | 9/25 |
| 2 | 32 | 21 | " |
| 3 | 62 | 70 | 9/28 |
| 4 | 14 | 15 | " |
| 5 | 70 | 61 | 9/29 |
| 平均 | 38 | 39 | " |

注；表1の実験とは別に実施した。

これらの結果から、A、B両区域の何れかに魚が偏在する傾向はないとしても、個々の測定では差が見られるので、順応水中のA区域、B区域の比をもって試水の値を補正し、その補正值をもって判定することにした。

② PH 6.8 前後で、試水の一方が過飽和酸素量の場合の DO 選択

表 3 により、PH 6.8 前後ではカワムツは 12 月 28 日測定のを除き O₂ 過飽和を回避する傾向が見られる。

表 3 PH 6.8 前後で、試水の一方が過飽和酸素量の場合の DO 選択

| 実験日 | 水温 | DO(O ₂ 飽和度) | | 存在尾数 | | 判定 |
|-------|------|------------------------|--------------------|------|----|-----|
| | | T ₁ (%) | T ₂ (%) | A | B | |
| 10/22 | 17.0 | 10 | 186 | 26 | 7 | A |
| 10/24 | 17.5 | 19 | 154 | 13 | 8 | A |
| 12/10 | 9.9 | 109 | 84 | 2 | 30 | B |
| 12/24 | 14.4 | 111 | 61 | 37 | 41 | A |
| 12/27 | 14.2 | 115 | 39 | 11 | 21 | B |
| 12/28 | 11.0 | 108 | 43 | 8 | 12 | 差なし |
| 12/29 | 13.0 | 43 | 116 | 28 | 17 | A |

③ PH 6.8 前後で、試水の両方が過飽和酸素量内である場合の DO 選択

表 4 のように、DO の小さい方を選ぶことが認められる。

表 4 PH 6.8 前後で、試水の両方が過飽和酸素量内である場合の DO 選択

| 実験日 | 水温 | DO(O ₂ 飽和度) | | 存在尾数 | | 判定 |
|-------|------|------------------------|--------------------|------|----|----|
| | | T ₁ (%) | T ₂ (%) | A | B | |
| 12/20 | 15.5 | 33 | 50 | 16 | 9 | A |
| 12/22 | 14.0 | 83 | 54 | 19 | 26 | B |
| 1/4 | 9.3 | 90 | 50 | 6 | 13 | B |

④ PH 6.0 前後の DO 選択

表 5 により PH 6.0 前後の DO 選択は DO の大きい方を選ぶのは、5 例のすべてであった。

表 5 PH 6.0 前後での DO 選択

| 実験日 | 水 温 | DO(O ₂ 飽和度) | | 存 在 尾 数 | | 判 定 |
|---------|------|------------------------|--------------------|---------|----|-----|
| | | T ₁ (%) | T ₂ (%) | A | B | |
| 12 / 9 | 9.6 | 128 | 153 | 27 | 32 | A |
| 12 / 13 | 9.8 | 99 | 130 | 1 | 44 | B |
| 12 / 17 | 15.6 | 109 | 91 | 17 | 15 | A |
| 1 / 6 | 11.4 | 79 | 42 | 18 | 6 | A |
| 1 / 7 | 12.6 | 85 | 50 | 25 | 21 | A |

⑤ PHの選択

表6ではPH 7.0前後の場合、PHの大きい方を選ぶことが3例中すべてに示された。

表 6 PH 差の選択性

| 実験日 | 水 温 DO(%) | PH | | 存 在 尾 数 | | 判 定 |
|---------|-----------------|----------------|----------------|---------|----|-----|
| | | T ₁ | T ₂ | A | B | |
| 11 / 16 | 12.9 1.8 | 4.7 | 7.3 | 1 | 53 | B |
| 11 / 20 | 13.3 6.3 | 6.8 | 5.1 | 28 | 12 | A |
| 11 / 30 | 10.5 8.6~9.1 | 7.2 | 5.2 | 36 | 9 | A |

以上の結果から、選択箱によるカワムツ群の試水選択の精度について考える。PH 6.8前後では試水の一方が過飽和酸素量で差が大きい場合でも、両方が過飽和酸素量内で差が小さい場合でもDOの小さい方を選んでいる。

PH 6.0の場合、選択する二つの試水の差は小さいが、DOの大きい方を選んでいる(このようにPH値によって選択傾向が異なる理由については後述する)。

また、DOをほぼ一定に保ち、PHにかなり大きい差(大6.8~7.3、小4.7~5.2)を作った場合はPHの大きい方、すなわち7.0に近い方を選んだ。

しかし、選択箱におけるカワムツの二つの試水への選択傾向は、多くの場合明確ではなく、殊に試水のDO差、PH差が僅少の場合は選択傾向は顕著とはいえない。

したがって、この選択箱を多摩川の流域の違いによる試水に適用して、その何れを魚類が選択するかという実験に用いることには疑問があった。しかし、その実験は人工試水の実験と平行して進められていたこと、上流と下流域のように極端に差がある場合は選択傾向が示されたので、次のように合

計4回の測定を行った。

2) 多摩川試水による実験

多摩川の採水は4回行った。観測点及び水質測定値は表7～16のようである。これらの表に選択箱による多摩川試水 T_1 に対する水道水 T_2 の選択比も示した。その選択比は水道水によるA区域、B区域の偏在比を補正したもの、すなわち $T_1 / T_2 \times A / B$ で示した。 T_1 は常にA区域に注水される。

表7 多摩川試水の測定 11月10日採水 丸子橋下流200m

| | 水道水 | | 注入水 | | |
|------------|------|------|-------------|-----------|----------------------------|
| | A域 | B域 | 丸子橋試水 T_1 | 水道水 T_2 | |
| DO mg/l | 8.27 | 8.27 | 8.23 | 8.29 | 選択比 $T_1:T_2$ 1:1.37 |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.3 | 7.2 | |
| 水温 | 12.0 | 12.0 | 12.2 | 12.2 | |
| BOD mg/l | | | 8.54 | | |
| 存在尾数 | 16 | 14 | 19 | 30 | |

表8 多摩川試水の測定 12月1日採水 羽村堰上流200m

| | 水道水 | | 注入水 | | |
|------------|------|------|-------------|-----------|----------------------------|
| | A域 | B域 | 丸子橋試水 T_1 | 水道水 T_2 | |
| DO mg/l | 9.30 | 9.30 | 11.27 | 9.30 | 選択比 $T_1:T_2$ 1:1.10 |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.4 | 7.2 | |
| 水温 | 13.2 | 13.2 | 12.9 | 13.2 | |
| BOD mg/l | | | 1.33 | | |
| 存在尾数 | 34 | 34 | 38 | 41 | |

表9 多摩川試水の測定 12月1日採水 調布市営住宅付近

| | 水道水 | | 注入水 | | |
|------------|------|------|-------------|-----------|----------------------------|
| | A域 | B域 | 丸子橋試水 T_1 | 水道水 T_2 | |
| DO mg/l | 9.30 | 9.30 | 6.43 | 8.50 | 選択比 $T_1:T_2$ 1:1.30 |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.0 | 7.2 | |
| 水温 | 15.4 | 15.4 | 14.8 | 15.4 | |
| BOD mg/l | | | 3.20 | | |
| 存在尾数 | 32 | 20 | 28 | 24 | |

表10 多摩川試水の測定 12月1日採水 丸子橋下流200m

| | 水道水 | | 注 入 水 | | 選択比 T ₁ :T ₂ 1:1.54 |
|---------|------|------|----------------------|--------------------|---|
| | A 域 | B 域 | 丸子橋試水 T ₁ | 水道水 T ₂ | |
| DO mg/l | 9.20 | 9.20 | 5.50 | 9.20 | |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | |
| 水 温 | 14.5 | 14.5 | 15.0 | 14.5 | |
| BOD | | | 6.40 | | |
| 存在尾数 | 16 | 10 | 9 | 23 | |

表11 多摩川試水の測定 2月16日採水 丸子橋下流200m

| | 水道水 | | 注 入 水 | | 選択比 T ₁ :T ₂ 1:1.75 |
|---------|------|------|----------------------|--------------------|---|
| | A 域 | B 域 | 丸子橋試水 T ₁ | 水道水 T ₂ | |
| DO mg/l | 9.12 | 9.12 | 6.66 | 9.12 | |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.4 | 7.2 | |
| 水 温 | 11.1 | 11.1 | 15.4 | 11.1 | |
| BOD | | | 6.89 | | |
| 存在尾数 | 23 | 47 | 8 | 28 | |

表12 多摩川試水の測定 2月16日採水 野川、多摩川合流点

| | 水道水 | | 注 入 水 | | 選択比 T ₁ :T ₂ 1:4.11 |
|---------|------|------|----------------------|--------------------|---|
| | A 域 | B 域 | 丸子橋試水 T ₁ | 水道水 T ₂ | |
| DO mg/l | 9.43 | 9.43 | 7.69 | 9.43 | |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.4 | 7.2 | |
| 水 温 | 14.0 | 14.0 | 13.6 | 14.0 | |
| BOD | | | 8.23 | | |
| 存在尾数 | 38 | 33 | 11 | 39 | |

表13 多摩川試水の測定 2月16日採水 二子玉川園駅200m上流、野川

| | 水道水 | | 注 入 水 | | 選択比 T ₁ :T ₂ 1:1.43 |
|---------|------|------|---------------------|--------------------|---|
| | A 域 | B 域 | 野川試水 T ₁ | 水道水 T ₂ | |
| DO mg/l | 8.82 | 8.82 | 5.41 | 8.82 | |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.6 | 7.2 | |
| 水 温 | 14.4 | 14.4 | 15.4 | 14.4 | |
| BOD | | | 8.21 | | |
| 存在尾数 | 35 | 9 | 6 | 16 | |

表14 多摩川試水の測定

3月15日採水 羽村堰上流200m

| | 水道水 | | 注入水 | |
|----------|------|------|---------------------|--------------------|
| | A 域 | B 域 | 羽村試水 T ₁ | 水道水 T ₂ |
| DO mg/l | 8.65 | 8.65 | 12.00 | 8.60 |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.0 | 7.2 |
| 水温 | 13.0 | 13.0 | 3.2 | 13.0 |
| BOD mg/l | | | 1.20 | |
| 存在尾数 | 16 | 13 | 22 | 37 |

 選択比
 T₁:T₂
 1:1.33

表15 多摩川試水の測定

3月15日採水 調布市営住宅付近

| | 水道水 | | 注入水 | |
|----------|------|------|---------------------|--------------------|
| | A 域 | B 域 | 調布試水 T ₁ | 水道水 T ₂ |
| DO mg/l | 9.00 | 9.00 | 6.90 | 9.00 |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.0 | 7.2 |
| 水温 | 13.5 | 13.5 | 14.0 | 13.5 |
| BOD mg/l | | | 2.35 | |
| 存在尾数 | 30 | 25 | 25 | 28 |

 選択比
 T₁:T₂
 1:1.34

表16 多摩川試水の測定

3月15日採水 丸子橋下流200m

| | 水道水 | | 注入水 | |
|----------|------|------|----------------------|--------------------|
| | A 域 | B 域 | 丸子橋試水 T ₁ | 水道水 T ₂ |
| DO mg/l | 9.25 | 9.25 | 5.40 | 9.25 |
| PH | 7.2 | 7.2 | 7.0 | 7.2 |
| 水温 | 13.8 | 13.8 | 14.0 | 13.0 |
| BOD mg/l | | | 8.40 | |
| 存在尾数 | 20 | 35 | 13 | 40 |

 選択比
 T₁:T₂
 1:1.80

これらの表から選択比が1:1.50以上の場合に有意性があり、多摩川試水に対しカワムツ群の回避傾向が見られるとすれば、それに該当するケースをまとめると表17のようである。

表17のDO値は選択比が1:1.50以下の試水のDO値にくらべ、特に低値であると思われる。しかし、BOD値は1:1.50以下の試水にくらべ高く、DOよりBODの方が選択比との関連が高いように思われる。

表17 多摩川試水と水道水の選択比 1 : 1.50 以上

の場合の試水の DO、BOD 値

| 採水日 | 採水地点 | 選択比 | DO mg/l | BOD mg/l |
|--------|-------------------|----------|---------|----------|
| 12 / 1 | 丸子橋下流 200 m | 1 : 1.54 | 5.50 | 6.40 |
| 2 / 16 | " | 1 : 1.75 | 6.66 | 6.89 |
| " | 野川、多摩川合流点 50 m 下流 | 1 : 4.11 | 7.69 | 8.23 |
| 3 / 15 | 丸子橋下流 200 m | 1 : 1.80 | 5.40 | 8.40 |

丸子橋下流 200 m の試水が測定 4 回のうち 3 回ともカワムツ群によって回避されたという事実は、その近辺の水が多摩川上・中流域の水にくらべ、カワムツに代表される河川生息魚類にとって生息ににくい条件になっていることが考えられる。

5. 考 察

人工試水で PH 6.8 前後では溶存酸素量の少ない試水がカワムツ群により選択される傾向がみられた。その理由について考察を試みる。

²⁾ 板沢は N₂ ガス通気で DO 値を変化させた実験で、コイの最小必要の DO 値は水中酸素分圧で 30 mm Hg としている。これはかなり酸素不足の状態であるが、板沢はかなりの酸欠に耐えられることを次のように説明している。

DO の減少に伴って、コイは鰓における換水量を増加するように行動する。すると血液中の CO₂ 分圧が下り、血液のヘモグロビンが逆に上昇する。そして、この傾向はヘモグロビンによる酸素親和性を大きくすることになると。

本実験のカワムツでも PH 6.5 ~ 6.9 の比較的 low 値の PH の試水では、ある濃度以上の CO₂ の蓄積は避けられると考えられる。ヘモグロビンに対する PH の影響は O₂ 親和性を小さくするボーア効果として知られている。すなわち、鰓の部分で PH が低いとヘモグロビンが酸素と結合しにくく、血液に酸素が不足する。したがって、呼吸をさかんにを行い、CO₂ を排出し、血液中の PH を高めて酸素不足を補おうとする。実験に用いたカワムツは飼育水槽では常時 7.2 の PH に順応しているが、選択箱ではその PH 値より 0.3 ~ 0.7 程度低い水に曝されることになる。そのため、そのような低 PH の試水では活発に遊泳し換水量を増すことは生理的要求を満す本能的行動と考えられる。

注水される酸素量大の水では酸素量は十分であるが、その中で活発に遊泳して換水量を増し、血液中の酸素を増すことは生理的本能に合わないのではなからうか。それは、本来、換水量を増す直接の原因が酸素量の減少にあるからである。表 4 では飽和度 90% より 50% を、50% より 30% を、さらに表 3 によれば最小値 10% まで DO 小の選択性が示されている。このことにより、血液の PH を上昇さ

せ、ヘモクロビンの O_2 親和性を高めるため換水量を増加させる刺激がDOの低値であることを本実験が示していると思われる。

なお、PH 6.0前後ではDO大の方を選択している。その理由については次のように考える。血液に酸素が不足するものの、換水量を増しても血液中の CO_2 分圧は下らない。すなわち、呼吸によって血液のPHを上昇させ、ヘモクロビンの O_2 親和性を高める機能も、環境水のPHが6.0前後であるときは効果がなくなるのではなからうか。ヘモクロビンに対するPHの影響が大きくなり、ボーア効果によって窒息しないためには溶存酸素量の大きい水を選ぶ他はないと考えられる。

6. 要 約

- 1) 水質選択箱によりカワムツ群の試水選択性を調べた。
- 2) PH、DOに差がある人工試水では、PH 6.8前後ではカワムツ群は O_2 過飽和の試水に嫌忌反応を示し、DOの小さい試水を選んだ。PH 6.0前後の場合にはDOの大きい試水を選んだ。DOがほぼ一定の場合には、PH 7.0前後の試水ではPHの大きい方を選んだ。
- 3) 多摩川の試水では、丸子橋下流の水に対し4回の測定のうち3回まで有意的な差でカワムツ群の回避性が現われ、また、測定は1回であったが、野川と多摩川合流点下流の試水にも回避性がみられ、この回避性は何れの場合もDOよりBODに関係があるように思われた。

研究Ⅱ 多摩川試水に対する魚類の遊泳行動と水質について

1. 目的

この項目は昭和55・56両年度に行った。

昭和55年度は多摩川流域の上流(羽村堰上流)、中流(調布付近)、下流(丸子橋付近)の3Stationにおける水質(DO、BOD、PHなど)の差異が、多摩川産魚類(ニジマス、ウグイ、オイカワ、アブラハヤ)の遊泳行動に及ぼす影響を調べ、魚類の群れ行動と河川の汚濁とに関する基礎的資料を求めた。その際、魚の遊泳行動にはDOが関与することは勿論であるが、河川での魚類の分布相と水質との関係を調べるにはDOと共にBODを重視することが示されたので、昭和56年度にはBODに差のある水域の試水で比較検討することにした。

その結果、カワムツの群れ分散度はDOよりむしろBODに強く影響を受けることが推察された。また、この結果と水質選択箱で得られた結果とを対応させた。

更に界面活性剤、農薬の含有濃度変化によるカワムツの群れ分散度の違いも調べた。

2. 実験魚

実験に使用した魚類はウグイ *Tribolodon hakonensis*、アブラハヤ *Moroco steindachneri*、オイカワ *Zacco platypus*、ニジマス *Salmo gairdneri* Richardson、カワムツ *Zacco temmincki* である。これらの魚はすべて観賞用淡水魚専門店から入手したもので、各魚種ごとに約500～1,000尾を購入した。このうちウグイ、オイカワ、アブラハヤ、ニジマスは多摩川水系のもの、カワムツは関西方面のものである。測定数日前に専門店から魚を実験室に運び、魚種別にガラス水槽(60×45×45cm)に飼育した。

実験時の体長はオイカワ、カワムツ7～9cm、アブラハヤ、ウグイは5～7cm、ニジマスは5～6cmであった。

3. 実験装置・方法

本研究の実験項目は次のようである。

- 1) 回流水槽による魚類の群れ分散度の測定
 - ① 魚種別の分散度の比較(昭和55年度)
 - ② DOの違いによる分散度の比較(昭和56年度)
- 2) 回流水槽による多摩川観測点の水質と魚群の分散度の測定
 - ① 昭和55年度の測定

② 昭和56年度の測定

3) 回流水槽による魚類の界面活性剤、農薬の影響の測定

① 界面活性剤ABSの影響

② 農薬BHCの影響

これら3項目の実験装置は同じであり、実験方法も類似しているため、ここでは纏めて述べる。

回流水槽：装置の概略は図2のようで、アクリル製円形水路と、水路を回転するモーターから成る。ドーナツ型円形水路（幅10cm、高さ15cm、最大直径60cm）に高さ10cmまで水を入れると、水の容量は15.7ℓとなる。水路がモーターの駆動によって回転し始めると水槽の水も動き始め、約1分後には定速の水流が得られる。水路の回転速度Vと流速vとの関係はほぼ $v = 0.9V$ であるが、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 $3B \cdot L \text{ cm/S}$ の流速とした。

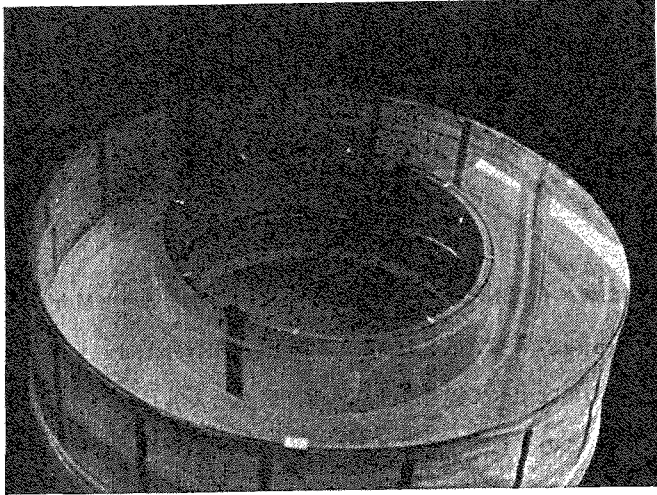


図2 回流水槽

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アクリル外壁に黒ビニールテープ16本（幅1.0cm、高さ15.0cm）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。さらに、円形外壁の内側にもテープを2本、図2のように対応する位置に貼った。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、もっとも固定位置での遊泳行動を長く持続させることが明らかになったからである。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12cm）の中におれば分散値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最も広が

った場合を8.0とした。20分間又は30分間の観察時間で30秒又は1分ごとに3尾の広がり記録し、分散値Tの合計を観察数Nで除した T/N を分散度とした。したがって、同一魚種間では分散度の小さい方が群れの密集性は高いといえる。

実験に際しては、飼育水槽から魚を移し、20分以上順応時間をおいた後、水路を回転して水流を与える。水流を与えてからでも数分置く。3尾が水流に慣れ、群れを形成して1分ぐらい経ってから記録をとり始める。多くの場合、1分以内で群れを作って泳ぎ始めるが、なかなか群れを作らず、いつ迄も乱れているような場合は、その原因とみられる魚を他の魚と交換する。この場合、3尾とも乱れの原因ということはなく、殆んどその中の1尾である。交換の魚は直ちに水流に入れるのではなく、一旦水流を止め、静水中で慣らして前回と同じ手順で行う。

実験では3尾を1群れの単位とした。それは水路の幅が10cmなので、これらの魚が横に並んだ場合3尾が限度であり、縦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。

実験時刻は魚の活動性の高い時刻を選び、9～15時とした。実験は1980年6月～1982年3月の期間、東京水産大学漁法実習室で行った。

多摩川からの採水は昭和55年度は1980年9月～1981年3月の期間に前記3 Station から7回行い(表18)、昭和56年度は1981年1月～3月の期間に4回下流域を中心に行った。なお、その測定値は表7～16に併せて示した。現場では水温、PHの測定、酸素固定を行い、DOは実験室で当日、あるいは翌日測定し、BODは採水5日後に測定した。DO、BODはそれぞれ3個の酸素瓶の平均値である。

表18 採水記録(昭和55年度)

(1) 第1回採水(1980年9月20日)

| Station | 時刻 | 水温℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | 備考 |
|--------------|-------|------|-----|------------|-------------|-----------------------|
| 羽村(堰上流500m) | 14:00 | 15.9 | 7.8 | 8.70 | 0.36 | Stationの位置は各採水日ともほぼ同じ |
| 調布(五本松) | 13:00 | 21.4 | 6.8 | 8.00 | 2.74 | |
| 丸子橋(橋上流500m) | 10:30 | 22.0 | 7.0 | 6.81 | 4.32 | |

(2) 第2回採水(1980年10月24日)

| Station | 時刻 | 水温℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | 流速 cm/S | 備考 |
|--------------|-------|-----|-----|------------|-------------|------------|-----------------|
| 丸子橋(橋上流500m) | 11:30 | 15 | 7.0 | 6.55 | 4.48 | 14.0 | 丸子橋上流にて多量の試水を採水 |

3) 第3回採水(1980年11月24日)

| Station | 時刻 | 水温℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | 流速 cm/S | 備考 |
|---------|-------|------|-----|------------|-------------|------------|----|
| 羽村 | 13:00 | 12.9 | 6.6 | 11.27 | 1.33 | 34.6 | |
| 調布 | 11:00 | 15.4 | 6.8 | 6.14 | 2.53 | 4.5 | |
| 丸子橋 | 10:00 | 14.5 | 7.2 | 5.55 | 3.11 | 0 | |

4) 第4回採水(1980年12月10日)

| Station | 時刻 | 水温℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | 流速 cm/S | 備考 |
|--------------|-------|------|-----|------------|-------------|------------|-------------------------|
| 丸子橋(橋下流500m) | 11:30 | 14.5 | 7.0 | 7.34 | 4.31 | 0 | 丸子橋上・下流 付近を中心に観 測 |
| 丸子橋(橋上流500m) | 11:50 | 15.0 | 7.1 | 6.29 | 4.77 | 0 | |
| 二子橋(橋上流500m) | 12:10 | 14.5 | 7.3 | 6.85 | ※測定不能 | 37.0 | |

※ 懸濁物多く測定不能

5) 第5回採水(1981年1月31日~2月1日)

| Station | 時刻 | 水温℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | 流速 cm/S | 備考 |
|------------------|-------|-----|-----|------------|-------------|------------|----|
| 羽村上流 2/1 | 9:00 | 4.0 | 7.4 | 14.14 | 1.66 | 31.5 | |
| 関戸橋(橋上流500m)1/31 | 15:30 | 9.5 | 7.3 | 10.23 | 7.79 | 24.0 | |
| 調布 2/1 | 17:00 | 8.0 | 6.9 | 9.38 | 2.93 | 0 | |
| 丸子橋下流 1/31 | 10:30 | 7.0 | 7.2 | 9.73 | 8.13 | 3.0 | |

6) 第6回採水(1981年2月28日~3月1日)

| Station | 時刻 | 水温℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | 流速 cm/S | 備考 |
|-----------|-------|-----|-----|------------|-------------|------------|----|
| 羽村上流 2/28 | 14:00 | 8.0 | 7.0 | 12.01 | 0.50 | 37.6 | |
| 羽村下流 2/28 | 14:50 | 8.0 | 7.4 | 13.00 | 1.15 | 25.9 | |
| 調布 3/1 | 9:30 | 8.0 | 6.8 | 6.94 | 1.86 | 0 | |
| 丸子橋下流 3/1 | 10:30 | 8.0 | 7.0 | 7.86 | 7.70 | 0 | |

7) 第7回採水(1981年3月18日)

| Station | 時刻 | 水温℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | 備考 |
|---------|-------|------|-----|------------|-------------|----|
| 調布 | 12:20 | 14.5 | 6.8 | 6.32 | 2.90 | |
| 二子橋 | 11:50 | 13.2 | 7.4 | 6.45 | 6.29 | |
| 丸子橋上流 | 11:00 | 10.5 | 7.3 | 6.20 | 6.07 | |
| 丸子橋下流 | 11:00 | 10.5 | 7.0 | 6.60 | 5.41 | |

回流水槽用の試水は40ℓのポリエチレンタンクに採水し、自動車で実験室まで運搬した。この間にタンク内試水のDO値は多少増加する。例えば多摩川調布(DO、7.86mg/ℓ、水温15℃に換算)を実験室まで運搬するとDOは9.73mg/ℓとなり、またその水を回流水槽に注入すると水路内のDOは10.05mg/ℓとなる。

次に界面活性剤ABSと、農薬BHCの群れ分散度への影響の測定方法について述べる。

回流水槽を用いたカワムツのABS(分岐鎖型ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム)による影響¹⁾については、井上がすでに1979年に報告しているので詳細は省く。ABSの濃度は1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、5.0ppmの5段階に変えた。

BHC(ベンゼンヘキサクロライドbenzen hexachloride)は水素原子と塩素原子の立体配置の違いによりβ、α、γ、θの各異性体がある。各異性体はβ<α<γ<θの順で毒性が強く、γ-BHCを99%以上含むBHCをリンデンと呼んでいる。今回の実験ではこのリンデンを使用した。

リンデンのカワムツに対する24TLm値は不明なので、目安としてニジマスにおけるTLm値0.15ppm⁵⁾に準じて0.1ppm、0.05ppmの2段階の濃度を用いた。なお、農薬は一般に水に対する溶解度は低く、γ-BHCでは7,900ppb(25℃)である。このため、ビーカー内の水(100ml)ではそれぞれの濃度分のγ-BHCを注入しても完全には溶解しない。

4. 結 果

1) 回流水槽による魚類の群れ分散度の測定

① 魚種別の分散度の比較(昭和55年度)

流水中でのカワムツの群れ分散度の小さいことは既に知られている⁴⁾。本研究では多摩川産魚類ウグイ、オイカワ、アブラハヤ、ニジマスの水道水中の群れの分散度を求め、カワムツと比較した(表19)。水道水はチオ硫酸ソーダにより脱塩素したものをを用いた。

表19 魚種による群れ分散度の比較

| 魚 種 | ウグイ | | オイカワ | | アブラハヤ | | ニジマス | | カワムツ | |
|----------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 |
| 平均体長 cm | 7.5 | | 8.0 | | 7.5 | | 5.0 | | 8.0 | |
| 水路内の流れ | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 | 止水 | 流水 |
| テスト1.(測定日6月3日) | 1.37 | 1.93 | 2.20 | 2.01 | 1.34 | 1.89 | 1.18 | 1.70 | 3.90 | 1.32 |
| ” 2.(” 6月5日) | 1.72 | 2.63 | 2.80 | 2.13 | 1.34 | 2.52 | 1.45 | 1.90 | 3.18 | 1.78 |
| ” 3.(” 6月10日) | 1.38 | 1.95 | 2.05 | 2.68 | 1.50 | 2.03 | 1.68 | 1.80 | 2.84 | 1.68 |
| 平 均 | 1.49 | 2.17 | 2.35 | 2.27 | 1.39 | 2.14 | 1.43 | 1.80 | 3.12 | 1.59 |

表19によると、流水中でのカワムツの群れ分散度は他の4魚種に比べ1.59と最低を示し、流水中での環境水の影響を求める実験に使用する魚種としては最適であることを示している。

この実験ではどの魚種についても、飼育水槽からはほぼ同体長の3尾の魚をとり出し、そのまま測定に供した。すなわち、実験方法で述べたように、群れから離れた個体があった場合、その個体を新しいものと交換して測定するという操作は加えていない。もし、そのような操作を加えると、カワムツの群れ分散度は1.00に近づくことは既報⁴⁾の実験で認められている。

なお、試みにウグイ、オイカワ、アブラハヤについて、そのような実験魚交換の操作を1群れについて数回行ってみても、流水中の群れ分散度が1.00に近づくことは稀であった。ただ、水温の低下した冬期ではウグイは表29に示すように、纏った群れを作ることがあった。

上記の魚種中(表19)、カワムツ、ニジマスを除いた魚種(ウグイ、オイカワ、アブラハヤ)についてみると、何れも群れ分散度はカワムツの1.59(平均)に対して、2.14~2.27の範囲で相当の差がある。したがって、環境水の微小な変化に対応するバイオアッセイとして、これらの魚種の群れ分散度の変化を求めることは精度の上で困難な点がある。ニジマスは止水中では群れ分散度は小さく、流水中でもウグイやオイカワに比べ、群れ分散度は小さいので、テストフィッシュとしては良好であろう。しかし、ニジマスは冷水で飼育する必要があり、飼育管理がむづかしいので、長期間にわたりテストフィッシュとして使用することは困難である。

各魚種の回流水槽中で示した群れ行動は、自然河川中の分布様式の推察に役立つものと思われる。この点については考察の項で述べる。

② DO値の違いによる分散度の比較(昭和56年度)

酸素ガス、窒素ガス通気によりDO値を変化させた水道水の試水によるカワムツ群れ分散度は表20、21のようである。DO値を増加させるにはO₂ガスをポンペから常に一定圧力で通気し、その時間差でDO値を変化させた。DO値を減少させる場合はN₂ガスを通気した。

表20 酸素通気によりDO値を増した場合のカワムツ群れ分散度 表20-1

| 日時 | 測定開始時刻 | 水温 | DO mg/l | DO飽和量% | 群れ分散値 | 同標準偏差 |
|---------------|--------|------|---------|--------|-------|-------|
| 1981 11.17 | 12:40 | 12.5 | 20.03 | 194.0 | 1.43 | 0.28 |
| 12.8 | 12:50 | 9.6 | 11.80 | 106.9 | 1.20 | 0.64 |
| 12.8 | 14:50 | 10.0 | 12.90 | 118.1 | 1.24 | 0.34 |
| 12.9 | 12:40 | 10.5 | 13.62 | 126.1 | 1.11 | 0.42 |
| 12.9 | 15:40 | 10.5 | 18.48 | 171.1 | 1.09 | 0.40 |
| 12.10 | 13:00 | 9.2 | 22.53 | 202.2 | 1.17 | 0.25 |
| 12.12 | 11:10 | 12.5 | 29.15 | 282.7 | 1.26 | 0.54 |

表20 続き

表20-2

| 日時 | 測定開始時刻 | 水温 | DO mg/l | DO飽和量% | 群れ分散値 | 同標準偏差 |
|---------------|--------|------|---------|--------|-------|-------|
| 1981 12.12 | 13:20 | 13.5 | 30.48 | 302.08 | 1.54 | 0.34 |
| 12.16 | 10:50 | 11.7 | 32.83 | 312.67 | 1.48 | 0.34 |
| 12.16 | 13:30 | 12.5 | 34.41 | 333.75 | 1.40 | 0.26 |
| 12.12 | 15:30 | 12.7 | 34.78 | 340.60 | 1.63 | 0.34 |
| 12.14 | 11:10 | 11.5 | 35.81 | 339.43 | 1.73 | 0.85 |
| 12.16 | 15:40 | 13.3 | 37.04 | 365.65 | 1.42 | 0.36 |
| 12.16 | 18:00 | 11.1 | 38.40 | 362.44 | 1.44 | 0.33 |
| 12.17 | 13:55 | 13.8 | 40.36 | 402.27 | 1.51 | 0.70 |
| 12.17 | 11:50 | 10.5 | 44.84 | 415.19 | 2.02 | 1.53 |

表21 窒素通気によりDO値を減じた場合のカワムツ群れ分散度

| 月日 | 測定開始時刻 | 水温 | DO mg/l | DO飽和量% | 群れ分散度 | 同標準偏差 |
|-------|--------|------|---------|--------|-------|-------|
| 10.21 | 13:20 | 18.0 | 1.19 | 129.6 | 2.72 | 1.58 |
| 10.23 | 14:00 | 18.4 | 1.32 | 146.7 | 1.48 | 0.96 |
| 10.15 | 12:30 | 19.3 | 1.47 | 164.1 | 2.45 | 1.31 |
| 10.26 | 13:50 | 16.5 | 1.51 | 159.6 | 1.43 | 0.88 |
| 10.16 | 14:00 | 18.4 | 1.56 | 171.1 | 1.94 | 0.94 |
| 10.15 | 14:30 | 19.0 | 1.62 | 179.8 | 1.49 | 0.93 |
| 10.16 | 12:00 | 18.7 | 3.31 | 365.3 | 1.00 | 0.63 |
| 10.15 | 10:30 | 19.4 | 3.95 | 441.8 | 2.24 | 1.36 |
| 12.21 | 11:30 | 11.7 | 1.44 | 137.1 | 1.57 | 0.27 |
| 12.18 | 12:20 | 12.5 | 1.50 | 145.5 | 1.53 | 0.37 |
| 12.17 | 17:20 | 13.0 | 1.54 | 151.0 | 1.67 | 0.87 |
| 12.28 | 14:15 | 11.7 | 1.77 | 168.6 | 1.25 | 0.92 |
| 12.28 | 14:20 | 10.8 | 1.93 | 180.0 | 1.56 | 0.37 |
| 12.15 | 17:10 | 14.3 | 2.00 | 202.8 | 1.95 | 0.87 |
| 12.21 | 14:10 | 10.7 | 2.61 | 242.8 | 1.32 | 0.24 |
| 12.15 | 14:25 | 13.5 | 3.10 | 307.2 | 1.33 | 0.30 |
| 12.15 | 12:00 | 14.1 | 4.72 | 474.4 | 1.54 | 0.41 |
| 12.18 | 17:55 | 14.9 | 7.67 | 784.3 | 1.28 | 1.22 |

DO 値はウインクラーの方法及び DO メーターにより測定した。群れ分散度は 30 分間観測したが、観測開始時点と終了時点での DO 値は約 $0.5 \text{ mg}/\ell$ の減少がある。

表 20、21 をみると、群れ分散度は DO 値が大き過ぎても小さ過ぎても大きくなることが判明した。これは飼育水槽では DO 値が $9.00 \text{ mg}/\ell$ ぐらいであり、また表 22 の通気しない水道水では $8.29 \sim 11.55 \text{ mg}/\ell$ であった。これを大幅にへだてる DO 値の増減があった場合に群れ分散度は大きくなる傾向がうかがわれた。

表 22 通気しない水道水によるカワムツ群れ分散度

| 月 日 | 測定開始時刻 | 水 温 | DO mg/ℓ | DO 飽和量 mg/ℓ | 群れ分散度 | 同標準偏差 |
|-------|--------|------|---------------------|-------------------------|-------|-------|
| 12.18 | 15:00 | 10.1 | 10.05 | 92.2 | 1.21 | 0.30 |
| 12.14 | 15:00 | 10.0 | 11.55 | 105.77 | 1.14 | 0.57 |
| 10.19 | 11:10 | 19.0 | 8.15 | 43.84 | 1.03 | 0.33 |
| 11.11 | 12:30 | 12.0 | 8.29 | 79.48 | 1.00 | 0.30 |

このことはカワムツばかりでなく、他の魚種について実験しても同様の結果を得るとされる。その生理的なしくみについては明らかでないが、窒素ガスを通気して水中酸素量を $3.0 \text{ mg}/\ell$ 以下にすると動脈血中の酸素濃度が低下することが知られている³⁾。この実験では DO 値が減少している場合の方が群れ分散度が大きく示されているが、おそらく動脈血中の酸素濃度は個々の魚の遊泳行動を鈍らすことになり、結果的に群れ分散度を大きくすることになるのであろう。また、DO 値が大きくなった場合も PH 値の低下により、研究 I で述べたように回避傾向が現われるので、群れ分散度も大きくなるのであろう。

この実験では、酸素量の多寡によるカワムツの前進、後退について観察した。多くの魚種は水中の DO 値が減少すると、鰓における換水量を増加させてそれを補うことが知られており、酸素量が低下すれば前進運動が増すように考えられる。今回の実験を通じ、水路内で前進運動が顕著に見られたのは 4 例あり、その中の 2 例は窒素を通気して DO 値を減少させたもの、他の 2 例は酸素を通気して DO 値を増加させたものであり、酸素量の低下が魚の前進運動を活発にするとは言い切れない。

2) 回流水槽による多摩川観測点の水質と魚群の分散度の測定

① 昭和 55 年度の測定

既報²⁾の研究では多摩川を上流(羽村堰上流 500 m)、中流(調布、多摩川住宅付近)、下流(丸子橋読売グラウンド下流 100 m)に分けて、各観測点の水質とカワムツの群れ分散度との関係を 4 回の測定により求めた。その結果、上流水による群れ分散度は $1.00 \sim 1.48$ 、平均 1.29 、

中流水では1.32～2.42、平均値1.57、下流水では2.25～4.20、平均値2.87で、下流水ほど群れ分散度は大きくなることがわかった。分散分析による統計的検定でも流域間の差は危険率5%で有意であった。

昭和55年度の実験にはカワムツの外にウグイを用いることがあった。これは第1回の採水(9月20日)のとき(表23)、カワムツが入手できなかったことにもよるが、ウグイのテストフィッシュとしての可能性の調査、及びウグイの分布様式についての基礎資料を得るためでもあった。観測地点は前回(昭和53年度)²⁾とはほぼ同様の地点である。

表23 昭和55年度第1回採水(9月20日)の試水によるウグイの群れ分散度

| Station | 時刻 | 水温 ℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | ウグイ分散度 | | 測定日 | 水温 ℃ |
|---------|-------|---------|-----|------------|-------------|--------|------|------|---------|
| | | | | | | 水道水 | 試水 | | |
| 羽村(堰上流) | 14:00 | 15.9 | 7.8 | 8.70 | 0.36 | 1.86 | 1.69 | 9/20 | 18.0 |
| 調布(五本松) | 13:00 | 21.4 | 6.8 | 8.00 | 2.74 | 1.95 | 2.16 | 9/21 | 23.0 |
| 丸子橋(上流) | 10:30 | 22.0 | 7.0 | 6.81 | 4.32 | 1.90 | 2.13 | 9/22 | 24.0 |

表23の水道水とはチオ硫酸ナトリウムで脱塩素した水道水のことである。表19と同様、水道水によるウグイの群れ分散度は1.86～1.95と大きいことが知られた。しかし、試水による群れ分散度の測定値のうち、中、下流の調布、丸子橋では水道水と比べ2.13～2.16と増大し、この値は羽村の試水1.69と比べてもかなり大きい。BOD値で示される汚濁の激しい調布や丸子橋と羽村のような清浄な試水との比較はウグイでも測定可能なことが分る。また、魚の群れ分散度とBOD値との関係は一応考えられるが、この表だけでは明らかとはいえない。

表23で丸子橋付近の水は羽村堰上流500mに比べ、かなり悪化していると思われたので、表24、表26では丸子橋、二子橋中心に採水して調べた。

表24によると、水道水によるカワムツの群れ分散度は極めて小さい。しかし、丸子橋試水による群れ分散度は大きく、この下流域付近はかなり水質が悪化していることが考えられる。

表24 昭和55年度第2回採水(10月24日)の試水によるカワムツの群れ分散度

| Station | 時刻 | 水温 ℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | カワムツ分散度 | | 測定日 | 水温 ℃ |
|---------|-------|---------|-----|--------------|-------------|--------------|---------------|-------|---------|
| | | | | | | 水道水 | 試水 | | |
| 丸子橋上流 | 11:30 | 15.0 | 7.0 | 6.55 8.49 | 4.48 | 1.20 1.05 | 2.50* 3.17 | 10/25 | 16.0 |

*試水に送気して測定したDO値は8.49 mg/lであり、その分散度は3.17であった。

次に丸子橋試水で高値を示したカワムツの群れ分散度が水路中の溶存酸素量を高めることにより低値になるかどうかを調べた(表24)。水路内にエアーストーンにより約1時間送気すると、酸素量は6.55 mg/lから8.49 mg/lに増加した。しかし、それにも関わらず、群れ分散度は3.17と依然として高く、群れ分散度に関係する要因としてはDO値だけではないことが知られた。おそらく、BOD値の高い水質では溶存酸素量を高めるだけでは群れ分散度に関する水質要因は良化しないであろう。このことは表20、21に示されたように、DO値が8~11 mg/lより増しても減っても群れ分散度は大きくなることと同じ結果である。

表25 昭和55年度第3回採水(11月24日)の試水によるカワムツの群れ分散度

| Station | 時刻 | 水温 ℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | カワムツ分散度 | | 測定日 | 水温 ℃ |
|---------|-------|---------|-----|------------|-------------|--------------|--------------|-------|---------|
| | | | | | | 水道水 | 試水 | | |
| 羽村 | 13:00 | 12.9 | 6.6 | 11.27 | 1.33 | 1.03 1.10 | 1.35 1.05 | 11/25 | 14.9 |
| 調布 | 11:00 | 15.4 | 6.8 | 6.14 | 2.53 | 1.23 1.00 | 1.50 1.38 | 11/25 | 14.8 |
| 丸子橋 | 10:00 | 14.5 | 7.2 | 5.55 | 3.11 | 1.00 1.05 | 2.08 2.30 | 11/26 | 15.2 |

表25は11月24日採水の試水によるカワムツの群れ分散度を示す。同表によれば、カワムツの群れ分散度に多摩川の各Stationによる違いが明瞭に示されている。すなわち、羽村の試水では1.05~1.35(平均1.20)、調布では1.38~1.50(平均1.44)、丸子橋では2.08~2.30(平均2.19)である。丸子橋ではDO値は低下したものの、BOD値は表24とくらべ良化し、群れ分散度もそれに応じて小さくなったものと思われる。しかし、群れ分散度が2.00を越えた場合は、魚は水路内でしばしば走流性を失ったように水流に流される行動を示す場合であり、明らかに水質の影響を蒙ったことが観測されている。

表26 昭和55年度第4回採水(12月10日)の試水によるカワムツの群れ分散度

| Station | 時刻 | 水温 ℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | カワムツ分散度 | | 測定日 | 水温 ℃ |
|---------|-------|---------|-----|------------|-------------|--------------|--------------|-------|---------|
| | | | | | | 水道水 | 試水 | | |
| 丸子橋下流 | 11:30 | 14.5 | 7.0 | 7.34 | 4.31 | 1.15 1.10 | 2.18 2.90 | 12/10 | 14.0 |
| 丸子橋上流 | 11:50 | 15.0 | 7.1 | 6.29 | 4.77 | 1.00 | 2.35 | 12/11 | 13.0 |
| 二子橋上流 | 12:10 | 14.5 | 7.3 | 6.85 | 測定※ 不能 | 1.00 | 2.26 | 12/11 | 12.8 |

※ 懸濁物多く測定不能

表26は12月10日採水の試水によるカワムツの群れ分散度である。この表によると対照である水道水による群れ分散度は極めて低く、整然とした群れを作っていたことが知られる。しかし、丸子橋、二子橋の試水による群れ分散度は2.18~2.90と高く、表24と同様、試水の影響が明らかに認められる。

また、二子橋上流の試水では懸濁物が多く、BODの測定も不可能であったが、この水をグラスファイバーで濾過し、再び群れ分散度を測った。その結果は濾過前と差はなく2.20であった。すなわち、懸濁物の物理的影響、例えば流水中のゴミや藻類が遊泳中の魚類に接触するようなことは、群れの遊泳行動を妨げ²⁾るものではないことが認められた。このことは前報でも指摘した。なお、表24、表26ともBOD値は5mg/l以下で、コイ、フナなどの生活に支障はないはずであるが、群れ分散度が高値を示すのは、BOD値が関与する有機物の存在の他、他の原因が複合しているからであろう。

表27 昭和55年度第5回採水(1月31日、2月1日)の
試水によるカワムツの群れ分散度

| Station | 時刻 | 水温 ℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | カワムツ分散度 | | 測定日 | 水温 ℃ |
|---------|-------|---------|-----|--------------------|-------------|--------------|--------------|------|---------|
| | | | | | | 水道水 | 試水 | | |
| 羽村 | 9:00 | 12.0 | 7.4 | 14.14 | 1.66 | 1.00 1.10 | 1.00 1.05 | 2/2 | 13.0 |
| 関戸橋 | 15:30 | 15.0 | 7.3 | 10.23 | 7.79 | 1.20 1.36 | 2.76 2.34 | 2/2 | 12.0 |
| 調布 | 17:00 | 15.0 | 6.9 | 9.38 | 2.93 | 1.10 | 1.05 | 2/3 | 13.0 |
| 丸子橋上流 | 10:30 | 15.0 | 7.2 | 9.73 | 8.13 | 1.20 1.15 | 3.03 2.80 | 2/3 | 12.0 |
| 同上 | | | | ※1)3.85 ※2)7.46 | 9.36 | 1.18 1.15 | 4.30 3.80 | 2/15 | 13.0 |

※1) 採日より15日経過した試水のDO値は減少し、BOD値は増加した。分散度も増加。

※2) 採日より15日経過した試水に酸素補合しDO値は増加した。分散度はやや減退。

表27は1月31日~2月1日採水の試水によるカワムツの群れ分散度である。この表で興味のあるのは関戸橋と調布の試水における群れ分散度の比較である。前者は後者に比べDO値は1.0mg/lほど大きい、BOD値は約2.7倍となっている。これから考え関戸橋試水によるカワムツの群れ分散度が大きいのは、この流域のBOD値に影響されたものと考えられる。

丸子橋下流試水での群れ分散度も極めて大きいのもBOD値によるものであろう。

なお、丸子橋下流水について採水日より15日経った時点でのDO値は最初の9.78mg/lから3.85mg/lに低下している。これはタンク内における微生物の酸素要求によるものであろう。採水後15日経過した試水で測定した群れ分散度は表27にみられるように4.30と一層大きくなっ

た。次に、圧縮酸素ビン(商品名、オキソゲン、1瓶620ml)で酸素を補給すると、DO値は7.46 mg/lと1.93倍になった。その結果、カワムツの群れ分散度は4.30から3.80へやや低下したものの大差はみられない。これは溶存酸素量は増えてもBODを中心とする水質そのものが変化しないため、群れ分散度も変化しないのであろうと推察される。

表28は2月28日～3月1日採水の試水によるカワムツ、ウグイの群れ分散度である。

表28 昭和55年度第6回採水(2月28日、3月1日)の
試水によるカワムツ、ウグイの群れ分散度

| Station | 時刻 | 水温 ℃ | PH | DO mg/l | BOD mg/l | カワムツ分散度 | | ウグイ分散度 | | 測定日 | 水温 ℃ |
|---------|-------|---------|-----|------------|-------------|---------|------|--------|------|-----|---------|
| | | | | | | 水道水 | 試水 | 水道水 | 試水 | | |
| 羽村上流 | 14:00 | 16.0 | 7.0 | 12.01 | 0.50 | 1.00 | 1.01 | 1.20 | 2.22 | 3/1 | 14.0 |
| | | | | | | 1.15 | 1.22 | 1.20 | 1.67 | | |
| 羽村下流 | 14:50 | 16.0 | 7.0 | 13.00 | 1.15 | 1.20 | 1.32 | | | 3/1 | 14.0 |
| 調布 | 9:30 | 15.0 | 6.8 | 6.94 | 1.86 | 1.20 | 1.50 | | | 3/2 | 14.0 |
| | | | | | | 1.10 | 1.95 | | | | |
| 丸子橋下流 | 10:30 | 17.0 | 7.0 | 7.84 | 7.70 | 1.20 | 2.85 | | | 3/3 | 14.0 |
| | | | | | | 1.05 | 2.26 | | | | |
| 同上 | | | | ※8.51 | | | 2.10 | | | 3/3 | 14.0 |

※ 丸子橋下流水に酸素補給し8.51 mg/lに増加した。群れ分散度に減少がみられた。

上表で調布の試水と丸子橋の試水ではDO値は6.94 mg/l、7.84 mg/lと大差はないが、BOD値は1.86 mg/lに対し7.70 mg/lとかなりの開きが見られる。その影響は群れ分散度にも現われ、平均で1.72と2.55の違いとなったものと考えてよかろう。丸子橋試水によるテスト最後にオキソゲンにより水路内に酸素補給を行った。その直後の群れ分散度のテストでも酸素補給前と差はみられず、表26の結果と同じように、DO値を高めても群れ分散度には殆ど変化はなく、群れ分散度に影響するのはDO値よりむしろBOD値であるといえる。

なお、ウグイは羽村の試水のなかではよく纏って泳いだ。これは羽村の試水が清浄なことの他に、ウグイの群れ行動には季節的变化があり、冬期から春期にかけては群れのまとまりが良くなることにも原因があると考えられる。次表(表29)の調布の試水によるウグイの群れ分散度からもそのことはうかがえる。

表29は3月18日採水の試水によるカワムツ、ウグイの群れ分散度である。

表29によれば、二子橋試水、丸子橋上・下流試水によるカワムツの群れ分散度は大きい。3月18日の採水ではこれらの地点でのDO値は他の月にくらべ変化はないが、BOD値はやや高くなっている。水温の増加による微生物の繁殖によるものであろう。同時に群れ分散度も高くなっている。前述の結果と同様、群れ分散度の影響はBOD値によるところが大きいものと考えられる。

表29 昭和55年度（3月18日）の

試水によるカワムツ、ウグイの群れ分散度

| Station | 時刻 | 水温 ℃ | PH | DO mg/ℓ | BOD mg/ℓ | カワムツ分散度 | | ウグイ分散度 | | 測定 日 | 水温 ℃ | 備 考 |
|---------|----|---------|-----|---------------|-------------|---------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|--|
| | | | | | | 水道水 | 試 水 | 水道水 | 試 水 | | | |
| 調 布 | | 17.0 | 6.8 | 6.32 | 0.90 | 1.00 | 1.09 | 1.84 | 1.62 | 3/18 | 18.0 | |
| 同 上 | | | | | | | | 1.65 | 1.73 | 3/18 | 18.0 | ABS 5ppm 添加水による テスト |
| 同 上 | | | | | | | 1.20 | | | 3/18 | 18.0 | 魚種混合 カワムツ2尾 ウグイ1尾 |
| 同 上 | | | | | | | 1.36 | | | 3/18 | 18.0 | 魚種混合 カワムツ1尾 ウグイ2尾 |
| 丸子橋上流 | | 18.0 | 7.3 | 6.20 | 6.09 | 1.15 | 3.01 | | | 3/18 | 18.0 | |
| 丸子橋下流 | | 18.0 | 7.0 | 6.60 | 5.41 | 1.20 | 1.88 | 1.50 | 2.50 | 3/18 | 18.0 | |
| 二子橋 | | 18.0 | 7.4 | 6.45 | 6.29 | 1.15 | 2.85 | 1.60 1.20 | 1.81 1.10 | 3/18 | 18.0 | |
| 同 上 | | | | 8.80 10.08 | | | 2.55 2.00 | | | 3/18 | 18.0 | 酸素補給 8.80mg/ℓより 10.08mg/ℓ に増加 |

調布試水に対してはウグイは対照に用いた水道水と殆ど変わりのない群れ分散度を示し、カワムツもまた同様であるから、3月18日の調布流域の水は3月1日の水にくらべ、かなり浄化していたものと思われる。

なお、この試水を使用しウグイのABS 5ppm添加水に対する群れ分散度を調べたが、無添加の水（水道水）と差は見られなかった。カワムツでは5ppmでは影響は明瞭²⁾であるから、ウグイのABSによる影響はカワムツにくらべ少ないものと考えられる。

二子橋試水に対しカワムツは大きな群れ分散度を示したので、オキシゲンによる酸素補給を行ない、その影響を調べた。この試水は現地測定ではDO値6.45mg/ℓであったが、運搬と回流水路への注入により増加し8.80mg/ℓとなった。その試水に対するカワムツの群れ分散度は2.25、オキシゲンによる酸素補給による試水（DO値10.08mg/ℓ）では2.00まで低下したが、なお整った群れを作っていたとはいえない状態である。したがって、ここでもDO値の増加だけでは群れ分散度は回復するものではなく、微生物の除去など水質自体の変化が必要であると思われる。

調布試水を利用し、混合魚群（ウグイ、カワムツ）により形成した1群れの分散度を調べた。その結果は3尾のうちウグイが2尾でもカワムツが2尾でも、混合群は整った群れを作ることが判明した。これは流水路のなかでは魚は移動物体に対して視覚目標をとり一点で遊泳を続ける必要性

が、ウグイ、カワムツ間での魚種選択を上廻ったためとも、あるいはカワムツ、ウグイ間で魚種選択自体が行われないためとも考えられる。ただ、ウグイは1尾の場合でも2尾の場合でもカワムツに対し優先的行動をとり、群れの末尾に位置することはなく、常に先頭ないし中間を泳いでいた。その結果、カワムツはウグイからやや離れ、後尾で泳ぐ行動がしばしばみられた。このことは、ウグイはカワムツより空間占有行動 spacing behaviour が顕著であることを示しているとも考えられる。

② 昭和56年度の測定

11月16日試水の測定結果については、観測30分間(表30)と2時間(表31)について行った。30分観測では対照の水道水の群れ分散度は1.00に対し、丸子橋の試水は1.24と大きく、水質の影響が認められる。一方、DO値は僅差であり、群れ分散度は溶存酸素量によると思われるので、BODに関与するかもしれない。試みに丸子橋試水に通気して過飽和にして群れ分散度をテストしたが(表30)、群れ分散度は1.37と高く過飽和酸素量はむしろ群れ分散度に悪い影響を与えているように思われる。この傾向は2時間測定を表31でも同様であった。群れ分散度を高めるには、酸素通気より水道水で希釈する方が効果があることが表31で示された。

表30 昭和56年度第1回採水(11月10日)の試水によるカワムツの群れ分散度 測定日11月11日

| | | 水道水(対照) | 丸子橋200m 下流試水 | 左同試水 酸素通気 |
|------------|-----|---------|-----------------|--------------|
| DO mg/l | 観測前 | 8.29 | 8.23 | 21.12 |
| | 観測後 | 8.22 | 8.16 | 18.91 |
| PH | | 7.2 | 7.2 | 7.2 |
| 水温 | | 12.0 | 12.2 | 12.2 |
| BODmg/l | | | 8.54 | |
| 群れ分散度※ | | 1.00 | 1.24 | 1.37 |

※ 観測時間30分

表31 昭和56年度第1回採水(11月10日)の試水の条件を変えてカワムツの群れ分散度の測定 測定日 11月12~13日

| | | 水道水(対照) | 丸子橋200m 下流試水 | 河川水を水道 水で1/2に 希釈した水 | 左の試水 酸素通気 | 河川水を水道水で1/2 に希釈、3日放置、酸素 量を自然に増加したもの |
|------------|-----|---------|-----------------|---------------------------|--------------|---|
| DO mg/l | 観測前 | 9.41 | 8.14 | 6.65 | 20.03 | 8.92 |
| | 観測後 | 8.98 | 7.98 | 6.50 | 19.67 | 8.52 |
| PH | | 7.2 | 7.2 | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| 水温 | | 12.6 | 12.7 | 13.9 | 12.5 | 13.2 |
| 群れ分散度※ | | 1.18 | 1.26 | 1.17 | 1.43 | 1.23 |

※ 観測時間2時間

2月16日試水は1月16日試水の結果と比較するため丸子橋下流で採水した。同時にその近辺で最も汚濁していると思われる野川・多摩川合流点及びその合流点より2kmほど上流の野川（二子玉川園近く）で採水した。2月16日試水の測定結果（表32）をみると、野川・多摩川合流点が群れ分散度は1.67ともっとも大きい。丸子橋下流は1.51であり、両者のBODを比較すれば、前者は8.23、後者は6.89である。DO値はむしろ野川・多摩川合流点の方が大きい。このデータからみると、DO値に関らずBOD値の大きい方が群れ分散度も大きいことがわかる。

表32 昭和56年度第3回（2月16日）採水の試水による
カワムツの群れ分散度

測定日2月17日

| | | 水道水（対照） | 丸子橋下流200m | 野川・多摩川合流点 下流50m | 野川・二子玉川園駅 上流50m |
|------------|-----|---------|-----------|--------------------|--------------------|
| DO mg/l | 観測前 | 8.38 | 5.24 | 7.15 | 3.65 |
| | 観測後 | 8.28 | 5.00 | 6.97 | 3.45 |
| PH | | 7.20 | 7.44 | 7.40 | 7.76 |
| 水温 | | 14.0 | 16.0 | 15.3 | 15.0 |
| BOD mg/l | | | 6.89 | 8.23 | 8.21 |
| 透視度 cm | | 30 cm以上 | 30 cm以上 | 30 cm以上 | 22 cm |
| 群れ分散度 | | 1.25 | 1.51 | 1.67 | 1.31 |

しかし、野川と野川・多摩川合流点を比較すると、BOD値は両者はほぼ等しいが群れ分散度は野川・多摩川合流点の方が大きい。これはDO値が野川の方が低く、同時に透視度も低く、水が濁っていることと関係があるように思われる。

透視度が低いにも関わらず、群れ分散度も低く群れのまとまりが良いのは後述の研究Ⅲの結果から、当然あり得るように思われる。透視度22cmの野川の水は現場では底は見ることができない。水路に入れると底は見えるものの、かなり濁った感じであるので、魚は水路外側をとり巻く視覚目標は見ることができないであろう。この水のなかで活発な遊泳と整然とした隊形を保つのは、視覚目標に依存できない遊泳行動を側線や皮膚感覚のような機械的感覚に切り換えて遊泳するからであろう。この点については研究Ⅲで述べる。

3) 回流水槽による魚類の界面活性剤、農薬の影響の測定

① 界面活性剤ABSの影響

カワムツの群れ分散度がABSによってどう変化するかを調べた。この測定はABSの影響を調べるだけでなく、魚群の分散度が水質によってどう変化するかというバイオアッセイの基礎的実験ともなる。

実験方法はABSの添加濃度を0（対照）、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、5.0ppmの6段階に

変えた試験水によりカワムツの群れ分散度を測定した。

A B Sは脱塩素水道水15ℓに添加する。この実験ではカワムツ3尾を対照の水道水15ℓ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、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20分間観察を継続する。結果的には1.20以下の分散度を示す群れを選び出した。

まず対照実験を行い、対照実験の終わったカワムツ群を飼育水槽に一旦移して、実験水をA B S添加水に代え、次に同じ群れを水路に入れて1時間放置した後、水路を回転して水流を起こし測定を行う。A B Sの各濃度に対する群れの分散度は表33に示す。

表33 A B S各濃度に対するカワムツの群れ分散度

| 測定日 | A B S添加濃度 ppm | 分散度 | | 水温 ℃ |
|-------|------------------|------|----------|---------|
| | | 水道水 | A B S添加水 | |
| 11/18 | 1.0 | 1.11 | 1.04 | 15.1 |
| " | 1.5 | 1.15 | 1.16 | 14.5 |
| 11/19 | 2.0 | 1.00 | 1.06 | 14.8 |
| " | 2.0 | 1.19 | 1.63 | 14.3 |
| 11/20 | 2.5 | 1.16 | 1.30 | 14.8 |
| " | 3.0 | 1.00 | 1.83 | 14.8 |
| 11/21 | 5.0 | 1.20 | 4.23 | 14.5 |

表33からA B Sの影響が群れ分散度に明らかに現われるのは5ppmからであるが、2.0ないし2.5ppmからでも影響はうかがわれる。この結果は前回の報告⁴⁾と同様である。また、前述のようにウグイでは5ppmの添加濃度ではA B Sの影響は明らかでなく、A B Sに対するカワムツとウグイの違いが示されている。

② 農薬BHCの影響

A B Sに対する群れの分散度の測定の場合と同じように、実験魚を選定する。BHCの濃度はニジマス(体長4.5cm)のTLm(24時間)の0.15ppm(橋本、1964⁶⁾)を参考に0.05ppmと0.1ppmの2段階とした。

測定は140分連続で1分ごとに群れ分散度を測定し、一定の経過時間ごとに累積の平均値を求め表34を得た。

この表によると、BHC添加濃度が0.05ppmと0.1ppmでは140分経過した後の群れ分散度に明瞭な違いは見られないが、対照(水道水)との差は何れの濃度でも明らかである。また、BHCの影響は何れの濃度でも測定開始1時間後には認められた。したがって、カワムツの群れ分散度を指

標とした流水中の水質の生物検定はA B Sと同様、B H Cにおいても有効なことが知られた。

表34 B H C各濃度に対するカワムツの群れ分散度

| 試 水 | 水路に入れてからの経過時間 | 分 散 度 | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | | 20分 | 30 | 40 | 60 | 80 | 120 | 140 |
| 水道水 | 14.6 | 1.48 | 1.20 | 1.81 | 1.42 | 1.27 | 2.20 | 2.06 |
| " | 14.8 | 1.38 | 1.27 | 1.12 | 1.12 | 1.15 | 1.17 | 1.57 |
| B H C添加水 0.05 ppm | 14.6 | 2.20 | 2.17 | 2.22 | 2.45 | 2.65 | 2.87 | 2.32 |
| 0.05 " | 14.4 | 1.51 | 1.95 | 2.17 | 2.42 | 2.60 | 2.65 | 2.85 |
| 0.05 " | 14.2 | 1.52 | 1.65 | 1.67 | 2.60 | 2.52 | 3.27 | 3.67 |
| 0.1 " | 14.8 | 1.25 | 2.22 | 2.60 | 2.35 | 2.45 | 2.62 | 2.80 |
| 0.1 " | 14.8 | 1.21 | 1.32 | 1.00 | 1.25 | 1.32 | 2.15 | 2.57 |
| 0.1 " | 14.8 | 1.90 | 1.92 | 2.32 | 2.72 | 2.52 | 2.95 | 3.00 |

5. 考 察

研究IIでは多摩川水系魚類の分布及び遊泳行動と水質との関連を調べるのが目的である。

そのために、昭和55・56年度は多摩川流域に水質の異なる観測定点を設定し、各定点から月別に採水し、その水質(DO、BOD、PHなど)の差異が多摩川生息魚類(ウグイ、オイカワ、アブラハヤ、ニジマス、カワムツ)の遊泳行動にどのように影響するかを、回流式円形水路を用いて調べた。

多摩川産魚類のうち、その分布が広く生息数も多く入手しやすい魚類はウグイ、オイカワ、アブラハヤであるが、その何れもが回流水槽のなかでは流水に対し、群れとして反応するよりも各個体が単体として反応する傾向が強く、²⁾前報の研究で知られたカワムツの群れ行動にくらべ、群れ分散度は高かった。

その違いについては、前報ではカワムツは元来、水流の弱い水域に棲んでいるので速い水流に抗して泳ぐためには視覚への依存度が高まり、仲間相互に対して目標をとり密集して泳ぐ必要があると考察している。一方、ウグイを代表とする3種の魚類では、カワムツにくらべ上流に棲むので走流性は発達し、同時に視覚、機械的感覚も発達しているが、流れが直接体に接している河川の場合には機械的感覚が優先するものと考えた。⁴⁾

昭和55年度の実験からも同様な結果を得ており、水質のバイオアッセイにはカワムツをテストフィッシュとして使用することが最適と考えられた。同時に、この結果は多摩川魚類の分布様式の推察にも関係することが知られた。すなわち、ウグイ、アブラハヤのように広水域分布型魚類は水流に対し各個に反応し、仲間相互への依存性が小さいので、集団が移動する必要がない。そのことは近年のように河川

に汚染がみられるような場合、より清浄な水域への移動を容易にし、結果としてその種が生き残れる環境への適応性を強めているのではないかと考えられる。

川那部⁷⁾は同属の魚種であるオイカワとカワムツについて、関西の諸川でオイカワは増加し、カワムツは減少してゆく原因について、アユも含めた3者の競合を考え、アユにオイカワがすみかを奪われた結果、オイカワがカワムツを駆逐してゆくと述べている。その他に、両者の生態的な相違、主として餌の違いと近年における川の変貌をあげ、特に河川工事によりカワムツの稚魚のすみかが減少していることを指摘し、一方、オイカワにとっては河川の変化はかえって生息条件を良くしてゆくことを述べている。

中村による多摩川の昭和51年度の調査⁸⁾では、多摩川においてカワムツが6尾採集されている。これらは琵琶湖産種のアユの放流の折に混って入り、一部で繁殖されたと推定されている。その採集地点は是政橋下、大丸堰上、関戸橋で、本研究では中流とみなした区域であった。昭和49年度の東京都水試の調査でもカワムツが大丸堰下でわづかであるが採集されている。このことは多摩川にもカワムツが生息可能なこと、しかし、現状の河川ではカワムツの増加はむづかしいことを示唆しているのであろう。そのことは、本研究で補足的に行ったABSに対するウグイとカワムツの対応からも知れる。ウグイは回流水槽でABS 5.0 ppm添加水に対し、群れを分散させることなく30分間遊泳を続けたが、カワムツは10分経過したころから群れの乱れは大きく、20分経過すると各個体とも水流に抗し切れずに流れてしまった。すなわち、ウグイはカワムツより河川の汚濁に強いことが推察される。事実、中村⁸⁾のまとめた結果によると、ウグイ、オイカワともカワムツより下流まで分布している。川那部⁷⁾もオイカワはカワムツより汚濁に強いと述べている。

水質判定の目安になるBOD値に対しても、ウグイとカワムツの遊泳行動上の相違がみられた。ウグイに対する実験例は僅少であったが、3月採水の二子橋付近のBOD値は6.29 mg/lでかなり高い。その試水に対しカワムツは2.85の群れ分散度を示し、現象的には30分以内に群れは分散するのに比べ、ウグイは対照とした水道水と殆ど変らない群れ分散度を示した。二子橋付近には実際にもウグイは見られることから、ウグイの汚濁に対する抵抗力の大きさは認められる(このことは、逆説的にはカワムツのテストフィッシュとしての有効性を示すことにもなる)。なお、その実験の際、水路内の溶存酸素量を増加してカワムツの群れ行動を調べたが、DO値の増加だけではカワムツの群れ行動は回復できなかった。このことは他のいくつかの実験で同じ結果が得られた。これらの結果から、20~30分間におけるごく短時間の魚の遊泳行動においても、水中の溶存酸素量だけが水質要因として関係しているのではなく、むしろBOD値が大きく関与していることを示唆している。事実、昭和56年度のカワムツを用いた11月、2月の調査からも、そのことが指摘されている。

ABS、BHCに対するカワムツ群の反応実験は本研究方法の精度の確認を主目的に行った。その結果、カワムツ群は何れの化学物質の段階別濃度に対して短時間で明瞭に相違のある反応を示した。現在、魚類のABS、BHCに対する影響はT₁mによるバイオアッセイで検定されているが、本研究でも

十分その検定が可能である。

また、研究Ⅰで使用した水質選択箱と研究Ⅱで使用した回流水槽による水質検定の精度は直接比較しなかったものの、BODの影響は回流水槽の方がBODが小さい値から有意的に示された。

6. 要 約

1. 多摩川水系魚類の分布及び遊泳行動と水質との関連を求めるため、回流水槽により次の実験を行った。

- ① 魚類の群れ分散度の比較測定
- ② 多摩川視測点の水質と魚群の分散度の測定
- ③ 魚類の界面活性剤、農薬の影響の測定

2. ウグイ、オイカワ、アブラハヤ、ニジマス、カワムツについて、水道水により群れ分散度を比較し止水中ではカワムツを除く他の魚類はカワムツより分散度は小さいものの、流水中ではカワムツが最も小さい分散度を示すことをみた。カワムツに次いで分散度が小さいのはニジマスであった。

3. 多摩川を上流（羽村堰付近）、中流（調布付近）、下流（丸子橋付近）に分け、9月～3月にかけて月1回各流域から採水し、水質の調査を行った。同時にそれらの流域の水を試水として、カワムツ、ウグイにより群れ分散度を測定した。

上流では年間を通じて分散度は低く、中流では高温時に分散度はやや高く、下流では年間を通じ分散度は高かった。DO、BOD値とカワムツの群れ分散度とは何れにも関係は認められるものの、BOD値との関係が緊密のようであった。

4. 界面活性剤ABS、農薬BHCの微量添加水に対し、カワムツの群れ分散度は変化を示した。ABSに対しては2.5ppm以上、BHCに対しては0.05ppm以上に対して有意と思われる差を示した。

5. 上記の実験結果に基づき、多摩川魚類（主としてウグイ、オイカワ）の分布様式について若干の考察を行った。おそらく、これらの魚類は羽村堰より下流においては、BOD値が上昇する春～夏期間は上流へ分布を狭め、BOD値が低下する秋～冬期間は下流へ分布を広げるであろう。

1. 目 的

河川に生息する魚類にとって水流に対する反応は、生活環境を決定する上で重要な意義をもつ。これらの魚類に走流性がなければ全く生活環境を異にする場所に押し流され、危険にさらされることになるからである。

魚類の走流性は古くから皮膚感覚や側線、半規官のような機械的受容器に依存するとされていたが、Lyon¹⁰⁾の研究以来、視覚作用の重要性が強調されている。本研究では視覚目標のない実験水路において、明環境と暗環境について多摩川及びその近辺に生息する魚類の走流性を調べた。その結果、視覚目標のない明環境では魚類の向流行動は極めて微弱であったが、暗環境に変化するに伴い流れに向かって前進する行動が活発になることが見出された。

このことは河川魚類の分布域がその種に好適な水質や餌料によって決定されるばかりでなく、魚類自らのその水域に留まろうとする自発的行動とも関係し、特に上・中流域に生息するためには走流性の役割の大きいことを意味している。

2. 実験装置

図3にみられるような回転式の二重水路の外側水路（最大直径120cm、水路幅10cm、高さ15cm）を実験水路に使用し、実験魚を1尾ずつこの水路に入れた。内側の水路はこの実験では使用しない。水路には白い紙を貼り視覚刺激になるような目標は可能な限りとり除いた。

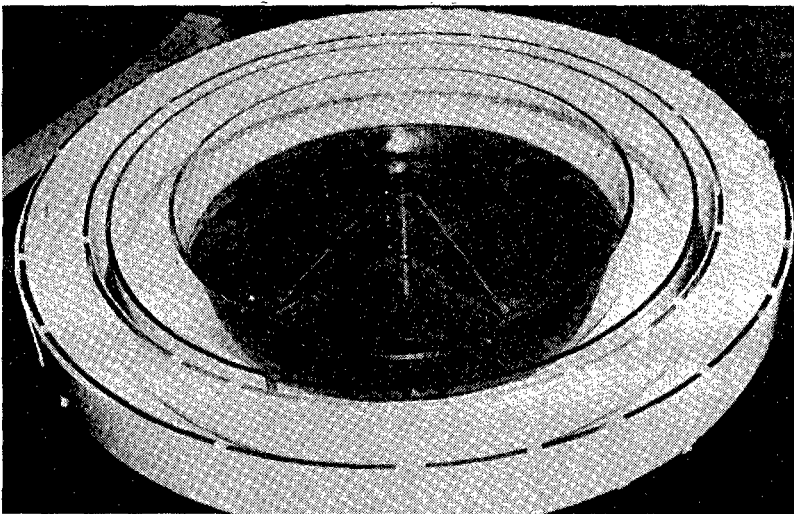


図3 二重水路の回流水槽

水路はモーターにより、時計回りで最低速 18.0 cm/sec で回転する。水路に高さ 10 cm まで水を入れた場合、水路回転方向に流れる流速は水路中央で 17.4 cm/sec である。実験は主として昼間に行なったが、夜間にも同じ実験を昼間の結果との比較のため行った。

実験室は暗室にし、水路上 1.5 m の高さに 100 W の笠付白熱灯 1 個を照明用に置き、電圧調整器で照明を表 35 の 4 段階に変えた。照度段階 1 、 2 を明環境、 3 、 4 を暗環境と規定した。明環境では水路上に内側壁の影が生じたが、魚の遊泳がその影に影響されることはなかった。最低の照度では観察者の眼の真下に魚が来たときに辛じてその存在が認められた。

表35 照明の4階級

| | 照 度 lux | 魚の見え具合 |
|---|---------|----------|
| 1 | 4.0 | はっきりと見える |
| 2 | 0.3 | " |
| 3 | 0.15 | 見えにくい |
| 4 | 0.10 | かすかに見える |

3. 実験魚

実験魚には次の種類の河川魚類を用いた。これらはニジマスを除き、何れも多摩川及びその近傍で魚獲され、本学実験室で数ヶ月飼育されたものである。

| | | |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------|
| ウグイ | <i>Triboldon hakonensis</i> | 全長 $8\sim 10\text{ cm}$ |
| アブラハヤ | <i>Moroco steindachneri</i> | $8\sim 10\text{ cm}$ |
| カワムツ | <i>Zacco temmincki</i> | $6\sim 8\text{ cm}$ |
| オイカワ | <i>Zacco platypus</i> | $11\sim 12\text{ cm}$ |
| ギンブナ | <i>Carassius auratus langsdorfi</i> | $8\sim 10\text{ cm}$ |
| タイリクバラタナゴ | <i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i> | $6\sim 7\text{ cm}$ |
| ニジマス | <i>Salmo gairdneri</i> | $9\sim 10\text{ cm}$ |
| ニゴイ | <i>Hemibarbus barbus</i> | $8\sim 9\text{ cm}$ |

ニジマスは本学の魚類飼育室で種苗生産、育成したものである。したがって、遊泳力は乏しいようであったので、その記録は参考にとどめることにした。

実験期間は 1981 年 $9\sim 12$ 月、 1982 年 1 月で、水温は $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ である。

4. 実験結果及び考察

1) 昼間の観測

外界からの視覚目標のない水路に実験魚1尾を入れ、20分以上の順応時間を置く。水路を時計方向に最低速で回転すると、水は同方向に流れ、2分後には定常流になるので観測を開始する。水路のなかで魚に視覚目標となるものは可能な限り取り除いたが、水路の接合の線やしみなどが多少目標となることが予想された。

明環境では、どの魚種も最初は従流行動が多い。これは視覚目標がないため水路内に静止し、水路の回転と共に移動するためとも考えられるし、また上記のように水路にわずかに認められるしみなどを目標にとり、その移動に追従するためとも考えられる。しかし、5分間観測の後半には向流行動もみられた。

向流行動には頭を流れに向けたまま自らは遊泳せず、水流とともに流れてゆく後退向流、頭を流れに向けて前進してゆく前進向流、及び一点に留まりながら遊泳を続ける静止向流とあるが、静止向流は目標がないためか極めて稀である。従流は流れの流れてゆく方向に移動する行動で、水流より速く移動する前進従流と、自らは遊泳せず水流と同速度で移動する静止従流とがある。

観測は5分間(T)における従流時間 t_1 、向流時間 t_2 (後退向流+前進向流)、前進向流時間 t_3 を測り、従流率 $t_1/T \times 100$ 、向流率 $t_2/T \times 100$ 、向流前進率 $t_3/T \times 100$ を求める。

各魚種の各照度段階における従流、向流率は表36のようである。1魚種に3尾ずつ測定し、各個体の傾向に大きい差がないので、その平均値を示した。

表36によれば、どの魚種でも明環境より暗環境の方が向流率、前進向流率ともに高くなることは明らかで、照度の低下とともに河川魚類の流れにさからって遊泳する活動力は増加することが認められた。実験室で育成したニジマスも同じ傾向を示す。

更に魚種別に検討すれば、最も明るい照度段階1で向流率が小さいのはウグイ、カワムツ、アブラハヤで、反対に向流率の大きいのはオイカワ、ニゴイ、タイリクバラタナゴ、ギンブナである。前者のグループはカワムツを除き、後者のグループにくらべ比較的河川の上流に生息し、体型は紡錘形で遊泳力も高いといえる。それらの魚種が目標のない明るい水路で従流傾向が大きいのは、日中の明るい河川でも視覚に依存して遊泳する視覚依存型のためであろう。カワムツはウグイ、アブラハヤより下流に生息するが、その遊泳はウグイ、アブラハヤより一層視覚依存型であることは、既に著者⁴⁾により確かめられている。

後者のグループは河川の下流の透明度の低い水域に生息しているので、日中であっても視覚に依存する割合は低く、河川の一定水域に留まるため側線のような機械的感覚に依存した向流行動をとるため、水路のなかで目標がなくとも容易に向流行動がとれるのであろう。

前者のグループが暗環境で向流行動を可能にし、かつ活発にするのは、照度の低下で視覚が失われ、てゆくに従い、その代償的役割としての機械的感覚に依存するシステムが体内に備わっているため

表36 河川魚類の照度階級別向流率

| | 照度階級 | 向流率 % | 前進向流率 % | 従流率 % |
|---------------|------|-------|---------|-------|
| ウグイ | 1 | 8 | 0 | 92 |
| | 2 | 52 | 30 | 48 |
| | 3 | 71 | 61 | 29 |
| | 4 | 87 | 78 | 13 |
| カワムツ | 1 | 10 | 0 | 90 |
| | 2 | 28 | 11 | 72 |
| | 3 | 57 | 41 | 43 |
| | 4 | 80 | 78 | 20 |
| オイカワ | 1 | 25 | 14 | 75 |
| | 2 | 51 | 24 | 49 |
| | 3 | 79 | 41 | 21 |
| | 4 | 77 | 52 | 23 |
| ニゴイ | 1 | 32 | 0 | 68 |
| | 2 | 79 | 12 | 21 |
| | 3 | 68 | 32 | 32 |
| | 4 | 84 | 81 | 16 |
| ギンフナ | 1 | 26 | 0 | 74 |
| | 2 | 25 | 0 | 75 |
| | 3 | 37 | 0 | 63 |
| | 4 | 49 | 2 | 51 |
| タイリク バラタナゴ | 1 | 23 | 15 | 77 |
| | 2 | 33 | 22 | 67 |
| | 3 | 70 | 62 | 30 |
| | 4 | 93 | 80 | 7 |
| アブラハヤ | 1 | 13 | 12 | 87 |
| | 2 | 35 | 23 | 65 |
| | 3 | 69 | 51 | 31 |
| | 4 | 82 | 73 | 18 |
| ニジマス | 1 | 19 | 8 | 81 |
| | 2 | 20 | 4 | 80 |
| | 3 | 43 | 7 | 57 |
| | 4 | 79 | 7 | 21 |

水温 15℃

あろう。それは低照度で作用するため明環境では向流行動がとれなかったのであろう。更に、暗環境で前進向流率が高まり遊泳の活動力が増加するのは、流れにさからって積極的に前進することにより、機械的感覚に常に刺激を与え、向流性を常時保有できるからであろう。それは一定区域に長期間留まるための補償的行動ともいえるであろう。

後者のグループのうち、オイカワ、ニゴイ、タイリクバラタナゴの向流率は暗環境でも高いが、ギンブナはすべての魚種のなかで最も低い。これはフナは流れの緩やかな下流、あるいは流れの激みに生息するため、他の魚種にくらべ、それ程積極的な向流行動をとる必要がないからであろう。したがって、前進行流もほとんど見られない。オイカワ、ニゴイはフナにくらべ流れの速い水域に生息するので、暗環境における向流行動は活発なのであろう。

なお、暗環境では視覚が失われた結果、実験魚は遊泳中水路側壁に接触し、その接触が向流行動を引き起こす原因の一つとなることが考えられたので、その点に注目して観察を行った。しかし、暗くても側壁に接触する魚は少なく、この実験においては接触感覚は向流行動に本質的な役割を果たしているとは思われない。

2) 夜間の観察

魚類の行動にはバイオリズムによる昼夜間の差があることは知られている。したがって、実験室を暗室にしても、昼間の結果からでは夜間における河川の魚類の行動を推察することは完全とはいえない。本研究では昼夜間の魚類の向流行動を比較するため、各魚種につき1尾ずつの行動を昼・夜に測定した。夜間でも実験室は暗室にし、昼は10～14時、夜は22～2時に測定した。その結果は表37に示すようである。

魚種別にみると、ニゴイについては夜間の方が向流率、前進向流率共に優れているが、他の魚種については昼間の方がむしろ優れている。しかし、何れの場合もその差は僅少であった。したがって、昼間に行った暗環境の測定結果から夜間の魚類の行動を推察しても差支えないように思われる。

3) 濁水におけるウグイの向流行動

明環境の河川で視覚目標のない状態は川が濁った場合であろう。多摩川でも透視度が30cm以下(30cm透視計で測定)になることはしばしば観察されている。そのような環境のなかで魚は視覚目標を判然ととれない場合、実験水路の暗環境で示したような活発な向流行動をとるかどうかを調べた。

濁水を作るには実験用濁化剤の試験用ダスト $\#11$ (JIS規格28901)を水道水に混入し、透視度30cm以上、28cm、17cm、13cmの4段階の試水を作った。この4段階は照度4段階の魚の見え具合とはほぼ等しい。

実験方法は照度変化の場合と同じである。また、照明は明環境4lux、暗環境0.1luxとした。予備実験として、試験用ダストの魚体への影響の有無を調べるため、暗環境で活発に向流するウグイを透視度13cmの実験水路の試水に入れ、1時間試水に曝した後、水路を回転して魚の遊泳状態を観察した。ウグイは10分間の観察時間を極めて活発に向流行動を続けた。したがって、約1時間に互る実

表37 河川魚類の昼夜別照度階級別向流率

| | 照度階級 | 向流率 % | | 前進向流率 % | | 従流率 % | |
|---------------|------|-------|----|---------|----|-------|-----|
| | | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 |
| ウグイ | 1 | 20 | 20 | 10 | 10 | 80 | 80 |
| | 2 | 35 | 15 | 20 | 15 | 65 | 85 |
| | 3 | 80 | 60 | 60 | 50 | 20 | 70 |
| | 4 | 90 | 70 | 75 | 60 | 10 | 60 |
| カワムツ | 1 | 0 | 20 | 0 | 10 | 100 | 80 |
| | 2 | 43 | 20 | 15 | 15 | 57 | 80 |
| | 3 | 78 | 70 | 60 | 50 | 22 | 30 |
| | 4 | 83 | 80 | 80 | 80 | 17 | 20 |
| オイカワ | 1 | 50 | 50 | 25 | 40 | 50 | 50 |
| | 2 | 63 | 75 | 40 | 50 | 31 | 25 |
| | 3 | 80 | 80 | 70 | 80 | 20 | 20 |
| | 4 | 100 | 85 | 90 | 80 | 0 | 15 |
| ニゴイ | 1 | 0 | 10 | 0 | 5 | 100 | 90 |
| | 2 | 10 | 58 | 0 | 30 | 90 | 42 |
| | 3 | 28 | 63 | 20 | 40 | 72 | 37 |
| | 4 | 60 | 80 | 50 | 60 | 40 | 20 |
| ギンブナ | 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 90 | 90 |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 20 | 15 | 10 | 5 | 80 | 85 |
| タイリク バラタナゴ | 1 | 20 | 15 | 5 | 5 | 80 | 85 |
| | 2 | 35 | 20 | 15 | 15 | 65 | 80 |
| | 3 | 65 | 45 | 50 | 40 | 35 | 55 |
| | 4 | 85 | 60 | 70 | 65 | 15 | 40 |
| アブラハヤ | 1 | 10 | 10 | 5 | 5 | 90 | 90 |
| | 2 | 36 | 15 | 22 | 10 | 64 | 85 |
| | 3 | 75 | 40 | 70 | 45 | 25 | 60 |
| | 4 | 80 | 65 | 70 | 60 | 20 | 35 |
| ニジマス | 1 | 10 | 0 | 5 | 0 | 90 | 100 |
| | 2 | 13 | 0 | 10 | 0 | 87 | 100 |
| | 3 | 40 | 22 | 20 | 15 | 60 | 78 |
| | 4 | 40 | 25 | 25 | 20 | 60 | 75 |

実験時間 昼間10:00~16:00 夜間22:00~2:00 水温14~15℃

験時間中におけるダストの魚体に及ぼす影響は無視できるものとした。

実験結果は表38に示されるようである。ダストの混入していない透視度30cm以上の透明な水では、明環境においては表36と同じように向流性は弱く、暗環境では強くなることが再確認された。

透視度28cmでは透視度30cm以上の場合に比べ、明・暗何れの環境でも向流率、前進向流率とも高まっている。さらに、透視度17cm、13cmと水の濁りが濃くなるに伴い、ウグイは活発に向流する傾向が示されている。さらに、透視度28cm以下の3段階でも明環境より暗環境の方がやや向流性は強いことがうかがわれる。この現象は、照度の低下と共に魚の向流性が活発になる現象と同じであり、視覚が作用しなくなるに伴い機械的感覚がそれを補償するように作用することが推察される。

表38 濁水におけるウグイの向流行動

| ダスト混入量 | 透視度 | 実験魚 | | No 1 | | No 2 | |
|-----------------------|-------------------|-----|-----|------|-------|------|-------|
| | | 明 | 暗環境 | 向流率 | 前進向流率 | 向流率 | 前進向流率 |
| 水道水 | 30cm以上 | 明 | | 20% | 0% | 25% | 10% |
| | | 暗 | | 80 | 63 | 85 | 80 |
| 1.1ppm (42ℓに0.5g) | 28cm 魚ははっきり見える | 明 | | 55 | 20 | 40 | 15 |
| | | 暗 | | 80 | 70 | 75 | 65 |
| 1.7ppm (42ℓに0.75g) | 17cm 魚は見えにくい | 明 | | 80 | 60 | 85 | 45 |
| | | 暗 | | 75 | 60 | 80 | 75 |
| 2.3ppm (42ℓに1.0g) | 13cm 魚の輪郭だけ見える | 明 | | 90 | 75 | 85 | 50 |
| | | 暗 | | 100 | 80 | 85 | 70 |

明：4.00 lux、暗：0.10 lux 水温：16℃ ウグイ：体長11cm

5. ウグイの補償行動（予察）

河川にすむ1魚種の分布域は相当広範囲である。多摩川のウグイの分布域を中村の調査から調べる⁸⁾と、日野橋から檜村橋に及び、その距離は直線で4.0kmに達する。しかし、ウグイ1個体としてみれば、生息範囲はそれ程広くはないであろう。その区域を確保するための走流性の意義はすでに述べたが、無制限に向流前進したのでは生息区域を逸脱することになる。したがって、夜間視覚に頼れない場合は、前進した距離だけ後退し、また後退した距離だけ前進するという一定空間保持の機構を体内に備えていることも考えられる。

事実、本実験の観測でもウグイは水路の一定距離を前進し、また後退するような行動を頻ばんに繰返していた。他の魚種では明確ではなかったが、このような特徴的行動はウグイのような河川の優占種だけに見られるのか、あるいは観測方法の改良では他魚種でも見出し得るのかは、今後の研究課題として

興味のあることである。ウグイについては今後の研究により正確な結論を得たい。

6. 要 約

- 1) 円形水路の明環境と暗環境について、河川魚類（ウグイ、アブラハヤ、カワムツ、オイカワ、ギンブナ、タイリクバラタナゴ、ニゴイ、ニジマス）の向流行動について調べ、次の結果を得た。
- 2) 明環境（0.3 lux 以上）では、どの魚種も従流行動が多い。暗環境（0.15 lux 以下）になると、向流行動は活発になり、水路を前進して向流する行動も見られた。
- 3) 明環境ではウグイ、カワムツ、アブラハヤは向流率は低く、オイカワ、ニゴイ、タイリクバラタナゴ、ギンブナは向流率は高い。暗環境ではこの傾向は逆転する。これは生息域の水流と関係する魚類の適応性と考えられる。
- 4) 濁化剤による透視度の変化と向流性については、透視度の高いときは向流率は低く、透視度が低く、水が濁っているときは向流率は高くなることがわかった。

§ 今後予想される効果

水質がどの程度魚類の分布相に関与するかという問題は、本研究の2年間にわたるテーマであった。BOD、DOが多摩川の魚類分布相に関連することは、中村守純氏が1977年にとうきゅう環境浄化財団のレポートですでに指摘されたことである。中村氏は魚類の採取状況から羽村堰を堺に上流を「ウグイ・カジカ型水域」、下流を「フナ・モッコ型水域」と名付けてもよいような環境であることを提唱された。その記述のなかで、ウグイの生息範囲のBODを0.8~13.0ppm、カジカを1.2~13.0ppm、フナは0.9~26.4ppm、モッコを0.9~17.6ppmと見積られた。

一方、本研究で採水した最下流地点は丸子橋下流200mであったが、そこではBODの最大値は8.13ppmであり、この地点でもウグイは実際に漁獲されていた。このように、ウグイを始め各種の魚類の分布範囲におけるBOD値の上限・下限は相当広範囲となるので、溪流性の魚類を除き魚類分布と水質との関係は現場観察による限りあいまいとならざるを得ない。

しかし、本研究の水槽実験ではBODが2ppm程度の差で水質の選択、あるいは群れの遊泳行動に違いが出ているので、水質と魚類分布との関係は現場観察と水槽における微細な行動観察とを平行的に行えば新しい知見を得られるものと思われる。

中村氏が多摩川水系魚類調査を行われてから6年を経た。この間に多摩川の水質は更に悪化したとも、部分的には良化したともいわれる。中村氏の実施した方法を時期的に場所的に踏襲して、再度調査することにより、多摩川の水質と魚類相の関係を一層明らかにすることができるものと考えられる。

また、副産物的な効果として、明・暗環境における魚類の向流行動の差異を明らかにしたが、この問題は魚類行動学としても興味深い。本研究終了後、昭和57年4月上旬、直線水路を作成し同じ目的の実験を行ったが、結果は円形水路と同じであった。すなわち、明・暗環境では遊泳行動に差があり、暗環境の方が活動性は高かった。

河川魚類は夜間は川底に定着して休息しているので、活動性は昼間より夜間の方が低いものと考えられている。それは事実であろう。しかし、突然の危急事態に対しては、視覚に代り水流に対抗する潜在的な機能を夜間は発現するのであろう。その機能は視覚とは異なり一点に定位できるものではないため、常時向流行動を続けざるを得ず活動性は高まるのであろうと推察した。

この問題は行動学的実験方法に加え、生理学的方法によっても究明されるべきであるが、河川魚類の活動性を明らかにする上で重要である。今後、機会に恵まれれば再度追求したい課題である。