



## 改修された農業排水路における小型魚の移動について

平松研<sup>1</sup>・西村眞一<sup>2</sup>・清水英良<sup>3</sup>・佐藤成<sup>4</sup>

### Migration of Small Fishes in an Improved Drainage Channel

Ken Hiramatsu<sup>1</sup>, Shinichi Nishimura<sup>2</sup>, Hideyoshi Shimizu<sup>3</sup> and Shigeru Sato<sup>4</sup>

**Abstract:** A peak runoff into an agricultural drainage channel around outskirts of cities often becomes larger and keener according with urbanization of its catchment. Then, the channel would be improved to convey increased runoff water smoothly downstream. It is, however, difficult to enlarge its cross-section and/or raise its embankment, because residential area spreads close to it in such a case. The only way left to this situation is to apply concrete lining so as to make the velocity faster. Additionally, eco-friendly works like fish pools and fish habitat blocks are required and also actually introduced with such improvement works in order not to damage the ecosystem in it. However, even if fish pools are introduced, they are located every several hundreds meters discretely in the channel. While the flow in the fish pools is calm enough for fishes to stay and live in, the velocity of flow in every reach between the pools might be too large to migrate through it. In this research migration of two kinds of small fishes, i.e., *Pseudorasbora parve* and *Squalidus chankaensis* sp. in the Ooe agricultural drainage channel that has been under improvement are investigated using fluorescent ink and RAPD markers. The following results are obtained; 1) Velocity in improved reaches is too large for small fishes to migrate, especially migrate upstream; 2) Migration is often taken during non-irrigation period. It might mean decrease of the discharge due to a kind of water management is an important and indispensable factor of the ecosystem dynamics; 3) There are several genetic types of *Pseudorasbora parve* in a single channel and the distribution of the types are dominated by hydraulic conditions.

**Keywords:** Drainage channel, Improvement works, Small fish, Migration, Fluorescent ink, RAPD

#### 1 はじめに

大都市近郊を流下する農業排水路においては、集水域の都市化に伴い、降雨時の流出ピークが大きくなるとともに、早期化する傾向が見られる。そのため、計画高水流量を増加させるための改修を行うことが求められるが、土地価格の高騰や水路周辺にまで及ぶ住宅地の拡張から、水路自体の通水断面を拡大したり、新たな堤防を築堤したりすることは極めて難しい。その結果、これらの水路における改修では、しばしば流下速度を上げるためのコンクリート水路化が行われることになる。一方で、水路や河川のコンクリート化は魚類をはじめとする生態系に深刻な影響を及ぼすことから（佐藤・東, 2004）、現在では、コンクリートブロックに魚の入れる穴を設けた魚巣や周辺水路よりも水深を大きくした魚溜工と呼ばれる深みを設置したりする生態系配慮工法が同時に採られることが多くなっている（たとえば、農業土木学会, 2004）。これら魚巣や魚溜工は緩流帯を作ったり、低水時の退避場所を提供するなどの役割をするが、多くの場合、それらは連続的に設置されるわけではなく、たとえば水路の数

百メートル毎に1箇所といった不連続な形で設置される。すなわち、ある魚溜工からある魚溜工までの間はコンクリート化された流速の大きい水路部分となっていることになり、もし魚溜工に魚が集まったとしても、それらは孤立してしまい、相互に移動することが出来なくなる可能性が残る。

魚類の遊泳速度、あるいは魚道における遡上能力については、Blaxter(1967)をはじめ、塚本・梶原(1973)、近年ではPlaut(2001)や泉・矢部田(2007)などといった多くの研究事例が見られる。水路内の流速と魚類の行動については、たとえばメダカと流速との関係を明らかにした端(2001)やドジョウ、ギンブナなどについて調査した西田・千賀(2004)などがある。また、水路環境と水生生物の関係を調べた例としては、護岸素材を含めた水路環境と底生生物との関係を示した日下部・角道(2002)や水路構造が水生生物に及ぼす影響を明らかにした松井・佐藤(2004)などがあり、魚類の移動自体の研究としては、メダカの季節的な移動について河北潟における調査結果を示した一恩・上田(2004)や標識放流調査により農業用幹線および支川排水路における魚類の移動を調査した中西ら(2007)がある。しかし、コンクリート水路化あるいは水路改修という視点から、流速の上昇が魚類の移動に及ぼした影響を報告したという事例は見あたらない。

本研究では、コンクリート水路化が進む農業幹線排水路の一つである濃尾平野を流下する大江排水路を対象とし、イラストマーと呼ばれる蛍光色素の注入による個体識別とRAPD法と呼ばれる比較的簡易なDNA識別を利用することにより、魚類の移動特性を明らかにすると

<sup>1</sup>岐阜大学応用生物科学部准教授 Associate Professor, Department of Environmental Science, Gifu University, 1-1Yanagido, Gifu 501-1193, Japan (Corresponding Author) E-mail:hira@gifu-u.ac.jp

<sup>2</sup>岐阜大学応用生物科学部准教授 Associate Professor, Department of Environmental Science, Gifu University, 1-1Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

<sup>3</sup>岐阜大学応用生物科学部教授 Professor, Department of Environmental Science, Gifu University, 1-1Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

<sup>4</sup>岐阜大学大学院応用生物科学研究科大学院生 Postgraduate, Grad. School of Applied Biological Science, Gifu University, 1-1Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

もに、水理環境および魚類の生息状況も合わせて、水路改修の影響について考察を加える。

## 2 調査概要

### 2.1 対象水路と調査地点

本研究の調査対象水路とした大江排水路は、木曾川犬山頭首工から取水する宮田用水の幹線排水路部分に該当し、一宮市、稲沢市、美和町を流下し、最終的に蟹江川へと合流する(図1)。平成11年度より下流から上流に向けて順次、改修工事が進められており、調査が行われた平成19年度までに蟹江川合流部から概ね12kmの区間の工事が完了している。改修後は複断面のコンクリート三面張り水路となっているが、生態系に配慮して約500mごとに魚溜りが設けられている。なお、ここでいう魚溜工とは、接続する上下流の水路に比べて約0.5mから0.8m水深が大きくなっている全長20m程度の区間であり、河床には石や砂が堆積している。一部の石は改修時に投入されたものであるが、その他は上流より流下したものが自然堆積している。時期や場所により異なるが、流速が低下する非灌漑期には魚溜工の水深の8割程度にまで砂が堆積することもある。また、側壁には奥行き約50cmの魚巣ブロックが設置されている。これまでの生態系調査において、投網一投あたりの魚類採捕数による統計から、魚溜工には魚を集める効果と魚の退避場所としての効果があることが分かっている。すなわち、生息地として有効であるとともに、水位が下がる非灌漑期には魚類が退避し、越冬することの出来る場所として機能している。

今回の魚類移動に関する調査は魚溜工が設置されている改修済みの①から⑦までの地点、未改修の地点⑧(改修後は魚溜工が設置される予定)、魚溜工と魚溜工の間地点にあたるいずれも改修済みの区間にある地点A、B、改修区間と未改修区間の境界にあたる地点Cの計11箇所の調査地点で行った。当該水路は比較的直線上の区間が多いが、地点Aと地点Bは大きく湾曲している箇所であり、流れが片側に偏るなど、複雑になっている。さらに、地点Bは他の構造物の関係から勾配が他の地点に比べて大きくなっている。地点Cは上流と下流の水路構造が異なるほか、水路下部より構造物が突出しており、通水断面が小さくなるとともに、流速も大きくなっている。そのため、これら3点の水理条件が魚類の移動に影響をもつものと予想した。調査地点の概要を表1に、調査地点間の距離を表2に示す。なお、水路の幅は多少の大小はあるものの、全区間を通じて概ね8mとなっている。

### 2.2 対象魚種

図2は平成19年度に行った本排水路の魚類調査により得られた魚種の割合を示したものである。対象水域全体としては9科27種の魚類が見られるが、総数から見ると優占している6種で全体のほぼ9割となる。この6種のうち、カダヤシは下流域に偏る傾向が見られるが、その他の主要な5種については対象水域全域で優占していることが認められる。

ここでは、イラストマーによる標識調査の対象魚種として、対象水域全域で、時期を問わずに安定して数が取れること、イラストマーによる標識を容易に付けることの出来る程度のサイズであること、という条件から、モツゴ(*Pseudorasbora parve*)とスゴモロコ類(*Squalidus chankaensis* sp.)を選定した。さらに、DNAマーカーに

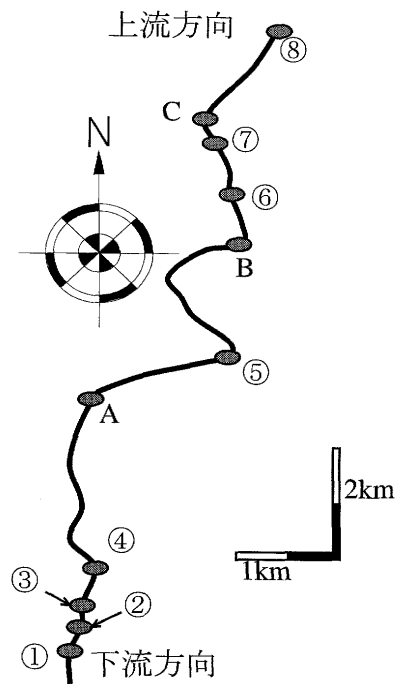


図1: 調査対象水路および調査地点

表1: 主な調査地点概要

| 地点 | 改修年次<br>水路の状況・魚巣など             | 周辺地域   |
|----|--------------------------------|--------|
| ①  | '00(H12)<br>上下2段の魚巣, 河口より約15km | 農地     |
| ②  | '00(H12)<br>上下2段の魚巣            | 農地     |
| ③  | '01(H13)<br>魚巣有                | 農地・住宅地 |
| ④  | '01(H13)<br>魚巣有, ワンド状の広がり部有    | 農地・公園  |
| ⑤  | '04(H16)<br>魚巣有, 魚が多い, 湾曲      | 住宅地    |
| ⑥  | '05(H17)<br>魚巣と横にしたU字ブロック      | 住宅地    |
| ⑦  | '06(H18)<br>魚巣と方枠工, 小排水路と合流    | 住宅地    |
| ⑧  | 未改修<br>未改修                     | 農地     |
| A  | '04(H16)<br>大きく湾曲              | 住宅地    |
| B  | '05(H17)<br>大きく湾曲, 勾配大         | 住宅地    |
| C  | '06(H18)<br>中央に構造物, 流れは複雑かつ流速大 | 住宅地    |

表2: 調査地点間概算距離(km)

| 区間  | 距離  | 区間  | 距離  |
|-----|-----|-----|-----|
| ①-② | 0.5 | ⑤-B | 2.8 |
| ②-③ | 0.5 | B-⑥ | 0.9 |
| ③-④ | 0.7 | ⑥-⑦ | 1.0 |
| ④-A | 3.0 | ⑦-C | 0.6 |
| A-⑤ | 2.0 | C-⑧ | 2.3 |

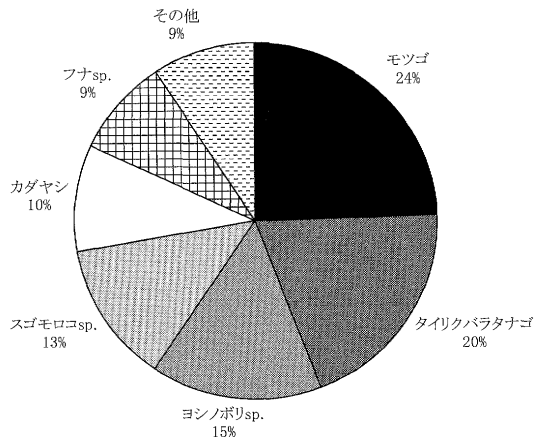
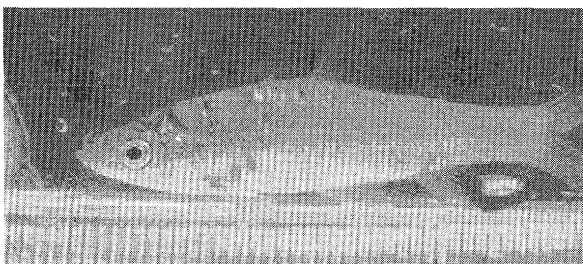
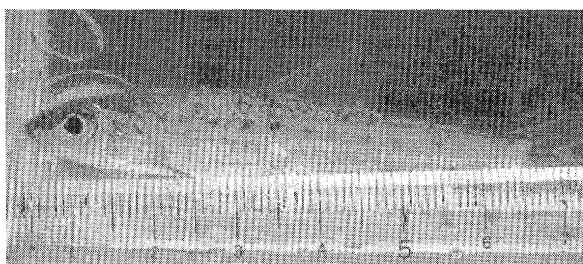


図 2: 魚種割合

よる調査の対象魚としては、上記の二種のうちからより数の多いモツゴを選んだ。

モツゴはコイ科ヒガイ亜科モツゴ属に分類される小型魚で、東アジアに広く分布しており、ほぼ日本全土で生息が確認されている。湖沼や河川の下流域などの泥底の淀みを生息場所とし、アカムシや底生動物、付着藻類を食する雑食性である。産卵期は4月から7月にかけてヨシなどの茎、石やコンクリートなどに卵を産みつける。体長は約8cmとされているが、本調査水域では体長4~6cmのものが最も多い(図3)。

ここでいうスゴモロコ類はスゴモロコとコウライモロコの二種を指している。これらの二種は酷似している上に交雑するといわれており、厳密に同定することが困難であったことから、これらを併せてスゴモロコ類とした。スゴモロコ類はコイ科カマツカ亜科スゴモロコ属に分類され、西日本に広く分布している。河川中下流域の流れの緩やかな場所の砂礫底を主な生息場所とし、水生生物や小型巻貝などを食する雑食性で、産卵期は5月から7月にかけて沈性卵を水底にばらまくとされている。体長は約12cmとされているが、本調査水域では体長6~8cmのものが最も多く見られる(図4)。

図 3: モツゴ (*Pseudorasbora parve*)図 4: スゴモロコ類 (*Squalidus chankaensis* sp.)

モツゴとスゴモロコ類の巡航速度および突進速度を調査した研究は見あたらないため、今回は一般的な体長による式、巡航速度:  $2\sim 4(\text{BL})\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、突進速度:  $10(\text{BL})\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (Blaxter, 1967) を用いての推定を行う。ただし、BLは体長を表す。これらによれば、本調査水域で多く見られる4~6cmのモツゴは巡航速度:  $8\sim 24\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、突進速度:  $40\sim 60\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  であり、6~8cmのスゴモロコ類は巡航速度  $12\sim 32\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、突進速度:  $60\sim 80\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  であると考えられる。一方で、調査対象の排水路改修部における計画流速は  $70\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  となっており、500m間隔で作られている魚溜工間の移動、少なくとも、計画流量流下時に上流方向にこれら魚類が移動することは容易でないと予想される。

### 2.3 標識再捕法による魚類移動調査の方法

イラストマー蛍光色素による調査は、捕獲した対象魚種の個体に色素標識をつけて放流し、時間を空けて、再度、対象魚種の捕獲を行い、色素標識を付けた個体が含まれるかを確かめることにより行う。採捕は投網とタモ網により行い、採捕した個体は体長を測定した後に、NMT社製イラストマー蛍光色素を皮膚下に注入する。色素標識を付けた個体は、約10分間バケツの中に保護し、色素の漏洩がないことを確認した後に、採捕地点に放流する。なお、色素を注入した時期や場所を区別するために、標識は表3、4のように、注入箇所と色(標識のパターン)を変えている。再捕獲においては、同様の方法で採捕した対象魚種について、体長、標識の有無、標識のパターンを確認する。なお、いずれの調査も実施年度は平成19年度である。

標識装着は7月から9月にかけて5回(7/18, 8/22, 8/27, 9/21, 9/26)行った。このうち、7月と8月は地点①、④、地点⑤の3地点において、9月は地点①、地点④、地点⑤、地点⑥の4地点において実施した。再捕獲は8月から11月にかけて、計11回(8/22, 9/1, 9/6, 9/11, 9/17, 9/21, 10/2, 10/6, 10/11, 10/16, 11/23)、地点①から⑧で行った。標識を付けた個体数は表5に示したとおりである。

表 3: 標識パターン (標識の色)

| 調査地点 | 地点① | 地点④ | 地点⑤ | 地点⑥ |
|------|-----|-----|-----|-----|
| 色素の色 | 黄色  | 赤色  | 緑色  | 青色  |

表 4: 標識パターン (標識箇所)

| 調査日  | 7/18 | 8/22, 27 | 9/21, 26 |
|------|------|----------|----------|
| 標識箇所 | 腹部   | 背中左      | 左目の下     |

### 2.4 標識再捕法による個体数推定

標識等を用いて個体の移動を検討する際、移動を確認した個体数の重みを知るために対象水域の全個体数に対する標識を付けた個体数の割合が必要となる。ここでは比較的簡易な手法である Petersen 法 (Bailey の修正式; 尾崎・梶山, 2006) を用いて、対象水域内、特に調査地点の個体数を推定する。

Petersen 法は連続した2回の採捕を行い、1回目に採捕した個体 ( $S$  個体) に標識を付けて放流し、2回目に採捕した個体 ( $n$  個体) のうち標識のある個体 ( $m$  個体) の比率から総個体数 ( $N$  個体) を推定する方法であり、次の

表 5: 標識を付けた個体数

| 調査日  | 魚種     | 地点  |     |     |     |
|------|--------|-----|-----|-----|-----|
|      |        | ①   | ④   | ⑤   | ⑥   |
| 7/18 | モツゴ    | 6   | 22  | 1   | -   |
|      | スゴモロコ類 | 3   | 10  | 6   | -   |
| 8/22 | モツゴ    | 2   | 15  | 12  | -   |
|      | スゴモロコ類 | 2   | 1   | 20  | -   |
| 8/27 | モツゴ    | 5   | 8   | 40  | -   |
|      | スゴモロコ類 | 4   | 17  | 40  | -   |
| 9/21 | モツゴ    | 4   | 6   | 11  | 51  |
|      | スゴモロコ類 | 3   | 3   | 28  | 35  |
| 9/26 | モツゴ    | 35  | 6   | 23  | 14  |
|      | スゴモロコ類 | 45  | 26  | 49  | 55  |
| 合計   |        | 109 | 114 | 230 | 155 |

式が用いられる。

$$N = \frac{S(n+1)}{m+1} \quad (1)$$

また、その分散 (V) と 95% 信頼区間は次のようになる。

$$V(N) = S^2 \frac{(n+1)(n-m)}{(m+1)^2(m+2)} \quad (2)$$

$$N \pm 1.96\sqrt{V(N)} \quad (3)$$

標識には移動調査と同様のイラストマー蛍光色素を用い、標識装着は地点①、地点②、地点④、地点⑤、地点⑦において10月10日と11月13日の計2回とした。再採捕については10月10日、11月13日、11月14日の計3回行い、10月10日は標識装着から約2時間後に再採捕し、11月13日は標識装着から約5時間後に再採捕を行った。10月10日の標識のパターンは、標識装着箇所を地点①でお腹、地点②で背中の中、地点④で左目の下、地点⑤で背中の右、地点⑦で右目の下とし、色はすべてピンクとした。11月は標識装着箇所を背中の中で統一し、色を地点②で黄色、地点④で赤色、地点⑤で緑色、地点⑦で青色とした。なお、Petersen法は1回目と2回目の採捕の間における個体数の変動を考慮しないことを条件としているが、今回のケースでは、調査期間内の地点間移動については、それほど多くないものとして、考慮していない。また、個体の死亡や標識の脱落については、短時間であるためないものと想定している。

## 2.5 RAPD 法によるモツゴの遺伝子型分布調査

デオキシリボ核酸 (DNA: Deoxyribonucleic acid) は核酸の一種である高分子生体物質で、地球上のほぼ全ての生物において遺伝情報を担う物質となっている。この DNA は二重らせん構造を持った極めて大きな分子であり、アデニン (A)、グアニン (G)、シトシン (C)、チミン (T) という4種類の塩基から構成されている。

DNA 全体は極めて長い塩基の配列であるが、PCR (Polymerase Chain Reaction) 法はポリメラーゼ連鎖反応といわれるものを利用した方法であり、プライマーと呼ばれる特定の塩基配列で挟まれた区間の DNA 断片のみを増幅することが出来る。RAPD (Randomly Amplified Polymorphic DNA) 法は、この PCR 法の一つであり、任意 (random) に合成した10個程度の塩基配列をプライマーとして用いる方法である。このとき、10塩基と配列が一致す

る部分が DNA に存在する確率は  $1/4^{10}$  (約100万分の1) 程度であるため、増幅させた DNA 断片は DNA の特定の箇所を表していることになる。また、この DNA の断片は、必然的に個体ごとに長さが異なってくるため、電気泳動を行い、この長さをバンドとして確認することにより個体差を確認することが出来る。すなわち、バンドの差により、個体群を一定のグループとして分類することが可能になる。今回の調査では、対象水域における対象魚種個体群をいくつかのグループに分け、そのグループの空間分布により、魚類の移動状況を推察することを目指す。

今回は酵素に Ex Taq ポリメラーゼ (TaKaRa 社製) を用い、ランダムプライマーには乱数により無作為に選んだ12塩基のプライマーを12種類試した (表6)。PCR 反応では、反応液の鋳型 DNA 濃度を 50ng/ml とし、サーマルサイクラーの反応時間を 94°C × 0.5 分間、45°C × 2 分間、72°C × 2 分間を 40 サイクル、その後、94°C × 10 分間とした。得られた PCR 増幅物をアガロースゲルで電気泳動させた後にエチジウムブロマイドで染色し、312nm のトランスイルミネーター下でバンドを確認した。

サンプルは地点①から⑧において、平成19年6月から平成20年1月にかけて、月に1回のペースで採捕した。採捕方法は他の調査と同様にタモ網と投網による。採捕したサンプルの合計数は186個体であり、採捕時期は問わず、採捕地点のみで振り分けた。

表 6: 使用したプライマー

| 名称      | 配列           | nmol* |
|---------|--------------|-------|
| RA12F1  | ATGATGGGACAC | 14.33 |
| RA12F2  | AGGGTGCCTATA | 14.51 |
| RA12F3  | CTTCTTTGGTCA | 18.32 |
| RA12F4  | ACTTTCCGATTA | 16.58 |
| RA12F5  | AACCTCTCATTT | 17.30 |
| RA12F6  | ACCACTCCATAT | 16.53 |
| RA12F7  | ATGCAGAAGTCT | 12.87 |
| RA12F8  | GGCAGGCCATTA | 15.22 |
| RA12F9  | AAGAGCCTAAAA | 13.09 |
| RA12F10 | CAGAGGCTAAAA | 13.37 |
| RA12F11 | GGAAAGGAAGGC | 12.90 |
| RA12F12 | CGCGTTCGTGGA | 16.47 |

\*は合成したオリゴ DNA の全モル数

## 2.6 水理調査

水理調査は、電磁流速計 (Kenek 社 VP-3000) を用いた流下方向の流速とスタッフによる水深の計測を行った。魚溜工がある地点では、流下方向に5測線 (魚溜工内3測線と魚溜工に接する水路部の上流側と下流側の各1測線)、魚溜工のない地点では1測線をとり、さらに各測線内で横断方向にとった5点 (複数断面箇所において下段のみ通水の場合は3点) を測定点として、6割水深の20秒平均流速を測定した。また、同箇所において水深も測定した。なお、地点①~⑧については4月から11月まで毎月1回の計8回、地点A~Cについては9月と10月の計2回の測定を行った。

### 3 調査結果

#### 3.1 標識再捕法による魚類移動確認数

調査期間を通じて、総数で608個体(モツゴ261個体, スゴモロコ類347個体)に標識を付け、6,981個体(モツゴ1,967個体, スゴモロコ類5,014個体, 表7)を再採捕したが、再採捕した個体のうち標識があった個体はモツゴ15個体, スゴモロコ類11個体の計26個体にとどまった。さらに、これらのうち、標識を付けた場所以外で確認されたものはモツゴが3個体, スゴモロコ類が2個体に過ぎなかった(表8)また、移動はすべて隣接する調査地点への移動であり、地点④から地点⑤に移動したものの以外は移動距離も大きくはなかった。

#### 3.2 標識再捕法による個体数推定

再捕数が0のものを推定不能(ここでは外れ値と呼ぶ)として除き、個体数を予想した結果、一つの魚溜工にいるモツゴとスゴモロコ類の予想個体数はそれぞれ27~3433個体と0~7198個体、平均は894個体と1284個体であった(表9, 信頼区間は(3)式による)。得られた結果は分散が大きく、平均値が必ずしも実態を表してはいないが、概算値として考えれば、今回の個体数推定における標識付き1個体は、モツゴでは10個体, スゴモロコ類では19個体を代表する個体であったといえる。

また、この個体数を基に移動数を検討した場合、移動数調査では、1地点、調査1回あたり平均15.4個体のモツゴと平均20.4個体のスゴモロコ類に標識をつけているため、移動が確認された標識付き1個体はモツゴで52個体, スゴモロコ類で61個体を代表していることになる。

#### 3.3 RAPD 法によるモツゴの遺伝子型分布

12種類のプライマーのうち、RA12F1, RA12F2, RA12F6, RA12F9, RA12F10の5種類により複数のバンドが確認された。それぞれのバンド数は、RA12F2が2, RA12F6, RA12F9, RA12F10が3, RA12F1が4であったため、今回は中でももっともバンド数の大きなRA12F1を用いて、グループ分けを行うこととした(図5)。表10はRA12F1による切断パターンと分子サイズを表したものである。

表11と図6はそれぞれ、各地点における遺伝子型の分布と比率を表したものであるが、①から⑦地点までにはb型, c型が存在しているのに対して、⑧地点ではそれらがみられないという特徴が出ていることがわかる。

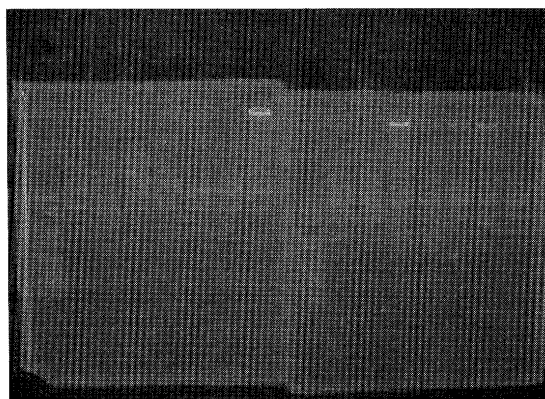


図5: RA12F1による電気泳動パターン

表7: 再採捕個体数  
(上段:モツゴ, 下段:スゴモロコ類)

| 調査日   | 地点  |     |     |     |     |     |     |   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|       | ①   | ②   | ③   | ④   | ⑤   | ⑥   | ⑦   | ⑧ |
| 8/22  | 2   | 5   | 2   | 1   | 12  | 36  | 9   | 0 |
|       | 2   | 0   | 1   | 15  | 20  | 22  | 97  | 0 |
| 9/1   | 6   | 1   | 2   | 1   | 24  | 8   | 5   | 1 |
|       | 24  | 140 | 5   | 9   | 21  | 26  | 74  | 0 |
| 9/6   | 2   | 3   | 21  | 21  | 13  | 4   | 2   | 0 |
|       | 1   | 4   | 2   | 16  | 7   | 15  | 116 | 0 |
| 9/11  | 8   | 13  | 9   | 4   | 9   | 43  | 9   | 0 |
|       | 15  | 2   | 2   | 1   | 12  | 81  | 130 | 0 |
| 9/17  | 7   | 28  | 13  | 59  | 18  | 11  | 5   | 1 |
|       | 53  | 47  | 31  | 123 | 39  | 131 | 166 | 0 |
| 9/21  | 6   | 4   | 4   | 4   | 11  | 51  | 6   | 4 |
|       | 5   | 10  | 12  | 5   | 28  | 35  | 35  | 8 |
| 10/2  | 12  | 12  | 25  | 36  | 60  | 23  | 5   | 0 |
|       | 134 | 459 | 101 | 184 | 284 | 129 | 200 | 0 |
| 10/6  | 60  | 37  | 17  | 84  | 33  | 32  | 21  | 3 |
|       | 42  | 113 | 11  | 203 | 459 | 119 | 226 | 0 |
| 10/11 | 41  | 7   | 27  | 44  | 21  | 53  | 29  | 0 |
|       | 0   | 0   | 3   | 0   | 181 | 141 | 120 | 0 |
| 10/16 | 18  | 26  | 9   | 27  | 40  | 138 | 104 | 0 |
|       | 15  | 36  | 3   | 1   | 67  | 56  | 123 | 0 |
| 11/23 | 15  | 19  | 100 | 52  | 141 | 53  | 35  | 0 |
|       | 3   | 1   | 14  | 0   | 2   | 5   | 3   | 0 |

表8: 移動調査において標識が確認された個体

| 採捕日    | 採捕地点 | 放流日     | 放流地点 | 個体種×数    |
|--------|------|---------|------|----------|
| 9/1    | ⑤    | 8/22,27 | ⑤    | スゴモロコ類×1 |
| 9/11   | ①    | 8/22,27 | ①    | スゴモロコ類×1 |
| 9/17   | ④    | 8/22,27 | ④    | モツゴ×1    |
| 9/26*  | ⑤    | 9/21,26 | ⑤    | スゴモロコ類×1 |
| 10/2   | ⑤    | 9/21,26 | ⑤    | モツゴ×1    |
| 10/6   | ⑤    | 9/21,26 | ⑤    | スゴモロコ類×1 |
|        | ④    | 9/21,26 | ④    | スゴモロコ類×1 |
| 10/10* | ⑤    | 9/21,26 | ⑤    | スゴモロコ類×1 |
|        | ⑦    | 9/21,26 | ⑥    | スゴモロコ類×1 |
| 10/11  | ①    | 10/10   | ①    | モツゴ×1    |
|        | ②    | 10/10   | ②    | モツゴ×1    |
|        | ③    | 10/10   | ②    | モツゴ×1    |
|        | ④    | 10/10   | ④    | モツゴ×1    |
|        | ⑤    | 7/18    | ④    | スゴモロコ類×1 |
| 10/16  | ⑤    | 10/11   | ⑤    | スゴモロコ類×3 |
|        | ②    | 10/10   | ②    | モツゴ×1    |
|        | ④    | 10/10   | ④    | モツゴ×1    |
| 11/13* | ②    | 10/10   | ②    | モツゴ×4    |
| 11/23  | ③    | 10/10   | ②    | モツゴ×1    |
|        | ③    | 11/11   | ②    | モツゴ×1    |
|        | ④    | 11/11   | ④    | モツゴ×1    |

注) 網掛け部は地点間の移動が確認された個体  
\*の採捕日は個体数推定調査での確認

表 9: 標識再捕法による推定個体数  
(上段: モツゴ, 下段: スゴモロコ類)

| 調査日      | 地点 | 標識数 (S) | 調査数 (n) | 再捕数 (m) | 推定個体数 (N) |
|----------|----|---------|---------|---------|-----------|
| 10/10    | ①  | 42      | 28      | 2       | 406       |
|          |    | 1       | 0       | 0       | 1         |
|          | ②  | 47      | 77      | 12      | 282       |
|          |    | 3       | 2       | 0       | 9         |
|          | ④  | 79      | 6       | 1       | 277       |
|          |    | 3       | 1       | 0       | 6         |
|          | ⑤  | 5       | 23      | 0       | 120       |
| 188      |    | 270     | 10      | 4632    |           |
| ⑦        | 12 | 38      | 0       | 468     |           |
|          | 34 | 304     | 0       | 10370   |           |
| 11/13    | ②  | 157     | 81      | 16      | 757       |
|          |    | 31      | 38      | 6       | 173       |
|          | ④  | 86      | 24      | 3       | 538       |
|          |    | 0       | 0       | 0       | 0         |
|          | ⑤  | 110     | 41      | 2       | 1540      |
|          |    | 2       | 0       | 0       | 2         |
| ⑦        | 36 | 38      | 2       | 468     |           |
|          | 22 | 19      | 2       | 147     |           |
| 11/14    | ②  | 157     | 134     | 10      | 1927      |
|          |    | 31      | 11      | 1       | 186       |
|          | ④  | 86      | 27      | 2       | 803       |
|          |    | 0       | 0       | 0       | 0         |
|          | ⑤  | 109     | 153     | 7       | 2098      |
|          |    | 2       | 0       | 0       | 2         |
| ⑦        | 36 | 122     | 5       | 738     |           |
|          | 21 | 32      | 0       | 693     |           |
| 平均       |    | 74      | 61      | 5       | 802       |
|          |    | 26      | 52      | 1       | 1248      |
| 外れ値を除く平均 |    | 86      | 66      | 6       | 894       |
|          |    | 68      | 85      | 5       | 1284      |

表 10: RA12F1 による切断パターンと分子サイズ

| 遺伝子型 | a    | b   | c    | d   |
|------|------|-----|------|-----|
| 分子   | 312  | 312 | 538  | 538 |
| サイズ  | 538  | 538 | 754  | 754 |
| (bp) | 754  | 754 | 1202 |     |
|      | 1202 |     |      |     |

表 11: 各地点におけるモツゴの遺伝子型の分布

| 遺伝子型 | 地点 |    |    |    |    |    |    |   |
|------|----|----|----|----|----|----|----|---|
|      | ①  | ②  | ③  | ④  | ⑤  | ⑥  | ⑦  | ⑧ |
| a    | 5  | 8  | 9  | 8  | 6  | 5  | 5  | 5 |
| b    | 10 | 5  | 10 | 9  | 7  | 8  | 9  | 0 |
| c    | 3  | 7  | 5  | 8  | 7  | 5  | 3  | 0 |
| d    | 6  | 9  | 1  | 5  | 5  | 4  | 6  | 3 |
| 計    | 24 | 29 | 25 | 30 | 25 | 22 | 23 | 8 |

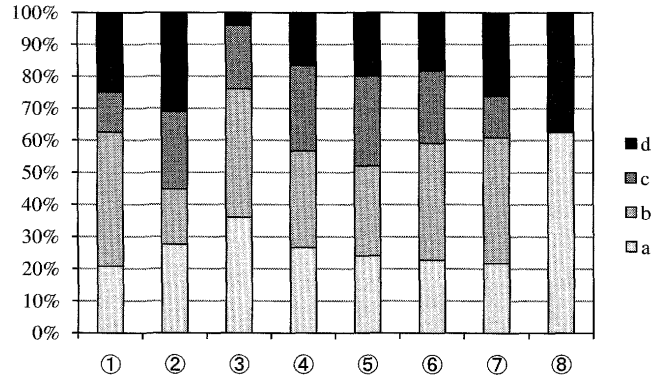


図 6: 各地点における遺伝子の分布比率

### 3.4 水理状況

調査地点における流速と水深の計測結果について、地点①から地点⑧までの平均値を表 12 に、地点 A から地点 C までを表 13 に示す。表 12 の改修地点は地点①から地点⑦までの平均値を、未改修地点は地点⑧の値を表している。また、灌漑期には 5 月から 9 月、非灌漑期には 10 月と 11 月のデータの平均値を用いた。

表 12: 調査地点①~⑧における流速 (cm·s<sup>-1</sup>, 上側) と水深 (cm, 下側)

| 時期   | 改修地点 |        | 未改修地点 |
|------|------|--------|-------|
|      | 魚溜工  | 改修地点水路 |       |
|      | 下段   | 上段     |       |
| 灌漑期  | 44.0 | 63.2   | 55.2  |
|      | 85.9 | 58.8   | 37.6  |
| 非灌漑期 | 7.5  | 18.8   | 13.3  |
|      | 51.3 | 22.1   | 22.4  |

表 13: 調査地点 A~C における流速 (cm·s<sup>-1</sup>, 上側) と水深 (cm, 下側)

| 時期     | 地点 A |      | 地点 B | 地点 C |
|--------|------|------|------|------|
|        | 下段   | 上段   |      |      |
| 9 月    | 58.9 | 35.8 | 67.8 | 75.0 |
| (灌漑期)  | 64.3 | 23.3 | 32.9 | 30.2 |
| 10 月   | 18.9 | -    | 20.6 | -    |
| (非灌漑期) | 18.8 | 0.0  | 7.8  | 4.0  |

### 4 考察

個体数推定調査の結果によれば、一調査地点においてモツゴが 894 個体、スゴモロコ類が 1,284 個体いたと推測されているが、移動調査における再採捕数は平均でそれぞれ 22.8 個体と 55.3 個体に過ぎず、結果として、標識個体の再確認数はモツゴ 15 個体、スゴモロコ類 11 個体、両者を合わせた標識放流個体の再捕率は約 4%にとどまった。しかし、再採捕された 26 個体のうち、地点間を移動していた 5 個体すべてが非灌漑期である 10 月と 11 月に確認されていることから、これら魚種の移動は流速の低下した非灌漑期に限定されるものと推察される。ただし、モツゴの移動 1 個体は概ね 52 個体、スゴモロコ類 1 個体は概ね 61 個体を代表する個体であることから、今回の調査期間でモツゴが 156 個体、スゴモロコ類が 122 個体程度移動していると予想されることになるが、各調査地点における個体群から考えると移動を行う個体は極めて少数で

あり、さらに放流地点と再採捕地点との関係から移動の距離もそれほど大きなものではないということが分かる。

灌漑期の改修後の水路部の平均流速は下段で  $63.2\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、上段でも  $42.6\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  あり、モツゴの推定巡航速度  $8\sim 24\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、スゴモロコ類の  $12\sim 32\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  よりも大きくなっている。植生や石などの無いコンクリート水路においては、水路床や側壁付近の流速の小さな領域も限定的であり、対象魚種の移動は容易でなかったものと予想され、移動調査の結果を裏付けることとなる。一方で、若干ながらも移動が確認できた非灌漑期は、流速が  $18.8\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  程度にまで低下しており、移動を妨げる水理条件ではなかったと考えられる。

RAPD 法の結果より、RA12F1 のプライマーにより得られた 4 つの遺伝子型のうち、“b” と “c” の遺伝子型が最上流の地点⑧で確認されず、“a” と “d” の遺伝子型は①～⑧のすべての地点で確認された。このことから、“a” と “d” は元々この地域に存在したか、上流から下流へと拡がった遺伝子型であり、“b” と “c” は下流から拡がっているが、⑦と⑧の間に移動障害があり、⑧では見られない遺伝子型ではないかと推察される。今回の調査で考えると、⑦と⑧の間には地点 C が存在しており、その灌漑期の流速は平均で  $75.0\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  と、改修後の水路部よりもさらに大きい。また、非灌漑期の水深は 4cm にまで低下しており、対象魚の移動を阻害している可能性が高い。ただし、地点 C の水理状況は改修に伴うものであり、一時的なものであるため、今回のような遺伝的な差異が生じるとまではいえず、むしろ未改修水路に対象魚が移動しない要因があり、逆に改修が進むことにより、徐々に上下流の交流が増加しているのではないかと考えられる。

本研究により得られた魚類の移動と水路改修の影響についてまとめれば以下ようになる。

- 1) 水路改修後の水路部における灌漑期の流速は小型魚の巡航速度に比して大きく、少なくとも上流への小型魚の移動は困難である。また、改修後の魚溜工も水路に比べると流速は小さいものの、小型魚の巡航速度を超えることが分かる。このことから、魚溜工内に魚巣ブロックを設けたり、魚溜工の水深をより大きくとったりすることが求められる。
- 2) 色素標識による移動調査の結果によれば、魚類の移動は主に流速の低下する非灌漑期に行われる。すなわち、灌漑という人による流量管理が農業排水路における生態系に大きな影響を持っており、流量の低減も生態系を維持する上で重要な要素の一つであることが推察される。
- 3) 少なくともモツゴにおいては、連続する排水路内においても複数の遺伝子型が存在し、水理条件によりその分布が決定されることが示唆された。また、その分布から、水路改修がむしろモツゴの移動を促進させる可能性があることが示唆された。

ここで得られたいくつかの結果は、短期間の調査であることや十分なデータ数が確保されていないことから、極

めて限定的ではあるが、今後の排水路の計画においては生物種に対する一つの判断材料として役立つものと考えている。今後はデータ数を増やすとともに、RAPD 法よりも信頼性の高いマイクロサテライト法などの手法も検討したい。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、岐阜大学応用生物科学部板垣博名誉教授、土田浩治教授、岩澤淳准教授には様々のご助言とご協力を頂いた。調査には東海農政局新濃尾防災事業所に便宜を図っていただくとともにいろいろな情報を提供して頂いた。また、調査と実験においては岐阜大学学生および卒業生の協力を得た。とりわけ植手達也君には多くの面で貢献して頂いた。本研究の一部は、科学研究費補助金による研究(18580242)の一部を含んでいる。ここに記して謝意を表する。

#### 引用文献

- [1] Blaxter, J. H. S.(1967): Swimming Speed of Fish, Proc. FAO Conference on Fish Behaviour in relation to Fishing Techniques and Tactics, in Bergen, Norway, pp.69-100.
- [2] 日下部貴規・角道弘文(2002): 多様な生物種の生態に配慮した農業用水路の改修計画, 農業土木学会誌, 70(2), pp.1095-1098.
- [3] 端憲二(2001): 流れにおけるメダカの遊泳行動に関する実験的考察, 農業土木学会誌, 69(9), pp.987-992.
- [4] 一恩英二・上田哲行(2004): 河北潟地域の農業用水路における背水区間とメダカの分布範囲について, 農業土木学会論文集, 234, pp.125-132.
- [5] 泉完・矢部田健一(2007): 河川における自然誘導式スタミナトンネルを用いた野生魚の突進速度に関する実験, 農土論集, 249, pp.115-116.
- [6] 松井明・佐藤政良(2004): 整備済み水田用排水路における魚類生息の実態分析に基づく環境改善案の提示, 応用生態工学, 7(1), pp.25-36.
- [7] 中西毅・西嶋太加志・平井拓也(2007): 標識放流調査による魚類の移動実態把握と魚道の効果検証, 農業農村工学会大会講演会要旨集, pp.474-475.
- [8] 西田一也・千賀裕太郎(2004): 都市近郊における農業水路の環境要因および水田が魚類の生息に及ぼす影響, 農業土木学会論文集, 233, pp.29-39.
- [9] 農業土木学会(2004): 環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き 1 - 基本的な考え方・水路整備一, pp.1-182.
- [10] 尾崎真澄・梶山誠(2006): 千葉県亀山湖におけるオオクチバス資源量の推定, 千葉水総研報, 1, pp.1-5.
- [11] Plaut, I.(2001): Critical swimming speed: its ecological relevance, Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 131, pp.41-50.
- [12] 佐藤太郎・東淳樹(2004): 農業用小河川における生態系に配慮した排水路改修が魚類相と生態環境に及ぼす影響, 野生生物保護, 9(1), pp.63-76.
- [13] 塚本勝巳・梶原武(1973): 魚類の遊泳速度と遊泳能力, 水産土木, 10(1), pp.31-36.

この論文の公開の質疑または討議は 2010 年 12 月 31 日まで受付けます。