

東日本大震災の津波で被災した名取川河口域のメダカの 野生個体群復元に向けた取り組み (第三報)

棟方有宗*・田中ちひろ**・遠藤源一郎**・小林牧人***

The Third Report of the Population Restoration Project of a Medaka Population around Natori River,
Sendai, Japan, after Great East Japan Earthquake

Arimune MUNAKATA, Chihiro TANAKA, Genichirou ENDOH and Makito KOBAYASHI

要旨： 東日本大震災に伴う津波以降、宮城県仙台市名取川河口域北岸の田圃の用水路に生息していた在来メダカは生息が確認されなくなっている。筆者らは震災の前年の2010年8月に同地区で採集したメダカを宮城教育大学、八木山動物公園、里親の元で約4年間にわたって飼育している。本報では、このメダカの飼育体制、並びに本飼育魚を原資とした野生メダカ個体群再建の一環として行った田圃におけるメダカの試験放流について報告する。

キーワード： 稲、津波、農薬不使用、東日本大震災、メダカ

1. 序論

先の東日本大震災（以下、震災）に伴う津波の後に姿が見られなくなった宮城県仙台市若林区井土地区のメダカ (*Oryzias latipes*) の在来個体群は、その後行われた除塩、圃場整備、用水路の改修後も元の生息地である用水路に姿を現していない（棟方ら、2014）。

これは、本メダカ個体群が既に震災以前の時点で生息域が縮小・分断され、本来は連続していたはずの他所からのメダカの供給が絶たれているためと考えられる（棟方ら、2014）。そこで本活動では、震災の前年の2010年の8月に同地区で採集していた井土地区のメダカの個体群を原資として、本メダカの野生個体群を再建することを、現在の目的としている。本メダカの飼育個体は、飼育開始の当初から自然界に放流（野生個体群を復元）するまでに数年間を要することを想定してきた。その間、最も注意を払う必要があると考えてきたことが、個体数の増加・維持と遺伝的形質の保持である。個体数を増加・維持して適切な個体数のまま放流タイミングを迎えるためには、不測の事態で

飼育個体が全滅してしまわないように、飼育場所を複数に分散しておくことが重要である。また、遺伝的形質の保持に関しては、2つの点に注意が必要である。1つは、これらの飼育個体の水槽に、ペット用に改良されたメダカであるヒメダカやクロメダカ、あるいは他所から持ち込まれた遺伝的に異なる野生メダカの系統が混入し、本活動で飼育している井土メダカ本来の遺伝的形質がかく乱されてしまうことである。また2つ目は、井土地区の野生メダカを少数で長期にわたって経代飼育することで近親交配が進み、形質の弱い個体が増加していくことである。

上記の分散飼育と遺伝的な問題は、時として表裏の関係にある。すなわち、絶滅リスクの軽減のために分散飼育を行った結果、飼育個体群が細かく分断されてしまい個々の群の近親交配による近交弱勢や遺伝的かく乱が起りやすくなる可能性が高くなると考えられる。そこで本稿では、数年間にわたって井土の野生メダカを安定的に飼育・保全するための管理手法について、再度検証を行った。

* 宮城教育大学理科教育講座・環境教育実践研究センター、** 仙台市八木山動物公園、*** 国際基督教大学

一方、本活動の最終目標は、元の生息地である井土地区周辺にメダカの野生個体群を復元することである。本来、復元ということであれば、元の生息地である井土地区の田圃やこれらに接続する用水路にメダカの生息環境を整えることが目的となるが、既に報告しているとおり、元のメダカの生息地である井土地区の田圃地帯では用水路の敷設工事や田圃の整備が完全には終わっていない。そこで本活動では、井土地区から直線距離で約5 km 離れた岡田地区にある、既に除塩や圃場整備が行われて稲作が再開された田圃を用いて、本メダカ個体群再建に向けた基礎的知見を得るための試験放流を行った。なお現在、日本のメダカはキタノメダカ (*Oryzias sakaizumii*) とミナミメダカ (*Oryzias latipes*) に分類されるが (Asai *et al.*, 2011)、本論文ではミナミメダカのみを扱うので、論文中でメダカとした場合、ミナミメダカを指すこととする。



図1. 井土地区で採集されたメダカの飼育個体。

2. 井土メダカ飼育個体の絶滅リスク、ならびに遺伝的かく乱、近交に対する備え

1) 飼育魚の絶滅リスクに対する備え

本活動では、2010年8月に井土地区で採集した野生メダカを宮城教育大学の噴水池に放流して、飼育・保全を開始した (棟方ら, 2013)。しかし、上記の噴水池は公的機関に置かれていることから、池の整備計画の変更や不測の水質の変化、水の枯渇等によってこれらのメダカが生息できなくなる可能性があると考えられた。そこで本活動では、採集したメダカを上記の噴水池に放流する際、一部のメダカを個人の敷地内にある閉鎖系のビオトープ (以下、ビオトープA) にも

分散して飼育を行っている。つまり、本活動ではメダカの個体群の飼育を、2カ所に分散して開始している。

しかしながら、2つの場所のみではなお飼育個体群の絶滅リスクは高いと考えられたため、噴水池で飼育していた個体群の一部は続いて宮城教育大学のタナゴ池に分散させて、飼育を開始した (棟方ら, 2013)。また2014年、閉鎖系のビオトープAが設置されている同じ敷地内にも新たなビオトープ (ビオトープB) を新設し、ビオトープAから一部の飼育魚を分散させた。

また、本活動では既に報告している通り、仙台市八木山動物公園を通じて里親を一般公募し、延べ約150組の市民、学校、企業の里親が誕生している。この里親事業によってメダカの飼育個体は数百尾以上に増加したと推定されており、かつ飼育場所を分散したことによって、当初の目的であるメダカ飼育魚の絶滅のリスクは低減したと考えられる。

しかし、上記のように、飼育個体数を増やすことだけに着目した方策では、もう一つの課題である遺伝的かく乱、近交の問題が残される。

2) 飼育魚の遺伝的かく乱、近交に対する備え

次に、飼育個体の遺伝的課題について論じる。上記のように、本活動では井土地区で採集したメダカ個体群を飼育開始当初、ビオトープAおよび宮城教育大学の噴水池に収容した。上記の2つの場所のうち、ビオトープAは閉鎖された個人の敷地内に置かれているため、外部からヒメダカやクロメダカといった、他の遺伝的形質を持つメダカが進入する可能性は極めて低いと考えられる。一方、大学の構内にある噴水池は、多くの人が行き交うことができる公共の場に設置されている。多くの魚類の保全活動では、このような開放された空間で飼育や保全が行われるケースが多いと考えられる。開放された飼育池においては、他所からヒメダカやクロメダカ、他の野生メダカ個体群が持ち込まれる可能性が相対的に高くなる。そこで、本活動においては誤解によってこうしたメダカの持ち込みが起こらないように、掲示による呼びかけを行っている。

上記の様に、本活動では約150組の里親の元でも井土メダカの飼育が行われているが、一部の方からは、飼育メダカの個体数が少なくなった際、井土の飼育メダカに市販のヒメダカやクロメダカを加えてもよいか

といった質問がなされることがある。このような問題に各里親が個別に判断できるようにするため、本活動では全ての里親に対し、メダカの里親になる前に八木山動物公園で開催されるメダカの里親講習会に参加することを条件とさせていただいている。

特にメダカの場合は、野生個体群が絶滅危惧種である反面、多くのペットショップなどではペット化されたヒメダカやクロメダカが容易に入手できることから、特に野生個体の飼育時には遺伝的かく乱について注意を払うことが必要である。そこで下に、メダカの里親講習会で参加者の方に注意をお願いしている項目を略記する。

- ①井土のメダカの飼育水槽に、市販のヒメダカ、クロメダカ、他所で採集された野生メダカを加えない。
- ②井土のメダカを本来の生息地以外に放流しない。
- ③他所から導入した水草などにはヒメダカなどの卵が付着している可能性があるため、メダカと一緒に育成された水草は導入しない。または、こうした水草を導入する場合は1週間ほど別の水槽に収容し、稚魚の発生がないことを確認してから井土メダカの水槽に移す。

次に、もう一つの遺伝的問題である近交に対する備えについて述べる。上記のビオトープA、B、噴水池、タナゴ池、および約150組の里親の飼育設備のうち、ビオトープA、B、噴水池、およびタナゴ池はメダカの生育や繁殖にとって十分な空間があると考えられ、数年のオーダーであれば、顕著な近交は起こらないと考えられる。

一方、里親の元で飼育されているメダカ飼育個体は、基本的には雄雌2～3ペアを提供して飼育が開始されており、数年間（数世代）に及ぶ繁殖を繰り返す際には近交の度合いが高まるのが推察される。そこで本活動では、上記のメダカの里親講習会の他にも、八木山動物公園において定期的に里親交流会を実施している。この里親交流会においては、里親の元で飼育されているメダカの一部を定期的に宮城教育大学の噴水池で採集した別の成魚と交換し、新たなペアのもとでの繁殖を促すことにより、上記の近交の問題を軽減するために行っているものである。

また、里親交流会では、里親の元で飼育されて増えたメダカ飼育魚の一部を回収することも目的としている。冒頭で述べたように、本活動の大きな目的は、飼育

によってメダカを安定的に保全、増殖し、最終的には増殖した個体を原資として本メダカの野生個体群を復元することである。数組の里親の元では、メダカが数十～百尾程度にまで増えており、これらは里親交流会の際に動物公園で適宜、引き取っている。そこで次に課題となるのが、こうして里親から引き取ったメダカの取り扱いである。これらのメダカは、上記したように宮城教育大学の噴水池の飼育個体から採集された成魚の子孫にあたる。里親の飼育下では、遺伝的かく乱、近交には予め十分に配慮がなされていると考えられるが、幾つかの里親の元では飼育の途中で成魚メダカのうちの数尾が死亡し、その後、少ないペアの組み合わせで一定期間繁殖が行われたケースも含まれていると考えられる。そこで本活動では、里親から回収されたメダカは大学の噴水池には戻さず、すべて八木山動物公園の屋外に新たに設置されたビオトープ（通称、アシカ池ビオトープ：元々アシカが飼育されていたプールを改修したビオトープ）（棟方ら, 2014）に収容することとしている。この池でメダカをさらに数世代にわたって自然繁殖させることにより、近交によって劣性形質が備わったメダカが自然の繁殖活動の中で排除され、結果的に自然環境の中でも十分に繁殖と生残が可能な遺伝的形質を備えた個体のみが保全されるものと考えられる。

以上、ここまでで述べたように、本活動では井土地区で採集したメダカの飼育魚を、数年後と想定される野生個体群の復元（放流）時まで安定的に保全・増殖させる飼育体制について述べた。本飼育体制の要点を簡潔に示すと、以下の様になる。

井土のメダカの飼育体制と各施設の機能

① 閉鎖系のビオトープ（ビオトープA、B）

メダカ飼育魚の遺伝的かく乱、近交のリスクを極力排除した、核（Bank）となる飼育施設。

② 飼育繁殖池（噴水池、タナゴ池）

メダカを安定的に増殖させ、かつ里親等にメダカを供給する役割を担うやや大規模な飼育池。

③ 里親の飼育設備

メダカの飼育増殖を担い、かつメダカ保全の意義について考える、本活動において最も重要な役割を担う飼育設備。

④ 八木山動物公園アシカ池ピオトープ

里親の元で繁殖した井土メダカの飼育魚を一定期間ストックして調整を行う飼育池。

⑤ 八木山動物公園ビジターセンター

井土のメダカを展示し、保全について啓蒙するための飼育設備。

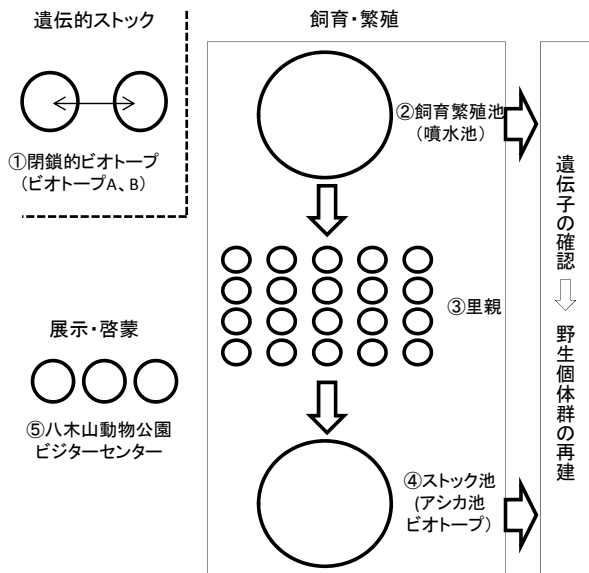


図2. 井土地区で採集した野生メダカを長期間安定的に飼育・繁殖させるための飼育管理体制。飼育繁殖池で増殖したメダカは、里親に供給し、里親から回収したメダカはストック池に収容する。

以上の①～④の飼育設備においては、個々のメダカ飼育設備がそれぞれの役割を担うことに加えて、各設備間の関係性も重要である（図2）。ここで、最も重視しなければならないのが、各施設間のメダカの移動の方向性を限定することである（図2参照）。まず、①～④の飼育設備のうち、原則として①のピオトープは他の飼育設備とは交流をさせず、井土メダカのオリジナルの状態を保持するものとする。また②の噴水池から里親の飼育設備（③）に分譲し、そこで繁殖して増えたメダカは噴水池（②）には戻さず、④のアシカ池ピオトープに収容することで飼育設備内の遺伝的かく乱の可能性を低減させることができると考えられる。

3. メダカの野生個体群再建に向けた、田圃への試験放流

本活動では、上記1)で保全・増殖を行ったメダカは、元の生息地における野生個体群の復元に用いるこ

とを前提としている。しかしながら、本メダカの野生個体群が元々生息していた井土地区を含む仙台市名取川河口域北岸一帯の田圃地帯では、2015年1月現在も圃場整備や用水路のコンクリートU字溝化工事などが地域ごとに行われている段階である。ことに本メダカを採捕した用水路では2015年1月の時点では通水も行われておらず、現時点ではメダカを放流する環境は整っていないと言える。

本活動では、上記の地域におけるメダカ野生個体群の復元の方法として現在、以下の3つの場所と方策を検討している。それぞれの特長と現時点での課題について、以下に述べる。

1) 田圃に隣接する用水路

一つ目のメダカ野生個体群再建候補地としては、田圃周辺の用水路が挙げられる。震災以前、井土地区周辺の用水路の幾つかでは周年にわたって水が流れており、本活動ではこうした用水路において、メダカを採集したことも候補地とした理由となる。

しかし、震災後に新たに敷設されている用水路では、周年にわたって水が流れるかどうかが不明確である。それは、震災前にあった用水路の多くは土がむき出しのいわゆる土側溝であり、底部の起伏によって水が溜まりやすい構造であったことや、周囲からの浸透水や流入水によって周年にわたってある程度の水位を保っていたのに対して、新たに敷設されたコンクリート製のU字溝水路では、上記のような特性がないために農閑期には大きく水位が減少する、あるいは水が流れなくなる可能性が考えられるからである。また、新たに敷設されるU字溝水路では、底面や側面に起伏や、水草などの水生植物が生える基盤が殆ど無いため、常に水路内を水が速い速度で流れ、メダカにとっての繁殖可能流速（10cm/秒以下（小林ら、2012;2013））が再現されない可能性が考えられる。こうした課題を克服するためには、U字溝の敷設工事が終わった後、周年の水位の変動をモニターし、一定の水位が周年にわたって確保されるかどうかを確認する必要がある。仮に水位がある程度保たれるようであれば、その水路の区間に農業にきたす支障を極力抑える範囲で堰板や鉢などの人工物を設置し、メダカの生育や繁殖に必要な流速と、特に繁殖時に必須の役割を演じる水生植物

を定着させることが望ましいと考えられる。

また、現在、田圃周辺に敷設が進められているU字溝の用水路においては、もう一つの課題として、基幹となる用水路とその支線にあたる水路との間に、落差が生じていることが挙げられる(図4)。既に全国各地で取り組まれているように、こうした水路間の落差、ならびに次述する田圃と用水路間の落差には、メダカなどの水生生物が移動可能な魚道を設置することも重要と考えられる(鈴木ら, 2000)。

1) のまとめ

- ①仙台市沿岸域の田圃の用水路の多くは、コンクリート製のU字溝水路になってきている。
- ②上記の用水路にメダカの野生個体群を復帰させるためには、U字溝水路内の流速をメダカが繁殖可能な10cm/秒以下に抑えるための構造や、メダカが卵を生み付けるための水生植物が定着する基質を置くことが



図3. 宮城県若林区井土地区の田圃周辺に震災後に敷設されたコンクリート製のU字溝水路。



図4. 宮城県仙台市若林区井土地区周辺に震災後に敷設されたコンクリート製のU字溝水路とその支線。両水路間には落差が形成されている。

重要と考えられる。

- ③また、用水路間、用水路—田圃間の落差を魚道等で軽減することも重要である。

2) 田圃

一般に、田圃の底質は砂泥で構成されており、また水の流れはあったとしても基本的には緩やかであることから、田圃内は、用水路以上にメダカの生育や繁殖には好適な基本条件を備えている。であるにもかかわらず、多くの田圃では現在、メダカが生息していない。それでは、どのような環境が整っていれば、田圃でメダカが生育・繁殖できるのでしょうか。

まず、田圃の内部の環境について触れる。メダカが田圃内で生育や繁殖を行うためには、農薬、餌生物、水位の3点が重要な条件になると考えられる。これらのうち、農薬や餌については、近年では減農薬や農薬成分の改善が図られ、影響は低下していると考えられるが、メダカや、メダカの健全な繁殖を考えれば、農薬の質・量はメダカに合わせて今後さらに考慮する必要がある。また農薬は、直接的にメダカに影響を及ぼすだけでなく、間接的に、メダカの餌となる小型の生物にも影響を及ぼすものと考えられる。

一方、田圃内の水位は、メダカに対して最も直接的な影響を及ぼす条件となる。宮城県仙台市においては、稲作の過程では稲の出穂前の中干し時、ならびに稲の収穫時には田圃内から水を落とす工程が組み込まれていることから、メダカの多くはこの際に田圃内に生息することが極めて困難になる。

そこで関心が持たれるのがまず、前述した田圃と田圃に隣接する用水路との接続である。古来、日本の田圃では田圃とそれに隣接する用水路(排水路)の間には大きな落差は無かった場合が多く、また落差があった場合も落差部分は、土で壁が覆われ、傾斜もさほど大きくなかったため、メダカを含む多くの水生生物が田圃と用水路の間を行き来していたと考えられる。このような環境では、多くの水生生物は上記の中干しや稲刈り後の農閑期の際には田んぼから用水路に降下し、翌年の春に再び田圃に遡上するといったライフサイクルを送っていたと考えられる。ところが近代の田圃の多くでは、田圃から用水路への排水効率を向上させるといった理由のために田圃と用水路との落差が大

きく急になる傾向があり、ひとたび田圃から用水路に降下した水生生物が再び田圃に遡上するためには、物理的な障壁を緩和するための魚道等の敷設が必要である。従って、田圃におけるメダカの野生個体群の復元を検討する場合は、原則的には隣接する用水路も活用することが必要となるため、上記したように田圃周辺の用水路の中には、少なくともメダカが摂餌や越冬を行う環境が備わっていることが必要条件となる。

一方、これらとは別の方策として、田圃周辺の用水路に極力依存しない方策も、考えられる。

すなわち、田圃の中の一部にメダカが退避できる深場を作り、中干しや農閑期にもそのまま田圃内でメダカを生育させることで、田圃内でメダカの保全を完結させる方策である。また近年ではメダカの保全とは別の視点から田圃の冬季湛水（嶺田ら、2004）が行われており、こうした手法も田圃におけるメダカの周年の生息を可能にすることが期待される。ただし、メダカを退避させる深場を作成する場合には田圃の一部をメダカの生息空間として割くことにより米の収穫量が減少すること、また深場や冬季湛水によるメダカの周年生息を実現するためには、冬季の水の確保やメダカの退避場所においてメダカの生息密度が上昇することなどへの対策が必要となる。

2) のまとめ

- ①田圃の内部は、農薬の影響を回避できればメダカの好適な生息空間となる。
- ②しかし、中干し時や農閑期には水が落とされ、メダカが生息できなくなる田圃が多い。
- ③田圃でメダカを周年生育させるためには隣接する用水路との行き来をスムーズにすること、あるいはメダカがそのまま田圃内で生育できる深場を作ることや冬季湛水の手法を導入することが必要となる。

3) 新規の生息池（ビオトープ）

上記の田圃や田圃に隣接する用水路は、現時点では多くが圃場整備やコンクリート製U字溝の設置が行われている段階であり、メダカの野生個体群を復元するためにはなお数シーズンの試行期間が必要になると想定される。そこで現在浮上しているのが、新たな生息池を作り、そこにメダカを放流することである。

2015年2月7日に、仙台市サポートセンターで開

催したシンポジウム「疏水の歴史保全・継承のための地域交流シンポジウム」におけるパネルトークでは、井土地区の周辺にはかつて複数の湧水、浸透水を水源とする池群があり、これらの中の一つを復元してはどうかとの提言があった。

もしこれが実現すれば、池の中ではメダカの野生個体群が再建されるだけでなく、地域特有の水・餌環境の中でこれらのメダカ個体群が生育する過程や繁殖期繁殖行動の様子を観察することができるようになり、今後、田圃や用水路においてメダカの野生個体群を再建するための基礎的知見を得るためのモデル水面となることが期待される。

4. 田圃におけるメダカの試験放流

上記の2. で述べたように、井土地区の周辺では現在、田圃の圃場整備と用水路のU字溝工事が進められている段階である。一方、元のメダカの生息地である井土地区から直線距離で約5km離れている岡田地区等では、2014年の時点で一部の田圃における稲作が再開されている。そこで本活動では、岡田地区の田圃の地権者である遠藤環境農園の協力を得て、新たに圃場整備された田圃に井土のメダカを放流し、その後の生育・繁殖の有無を確認するための試験を行った。

遠藤環境農園の田圃では、稲や他の生き物、環境に配慮し、農薬不使用の稲作が行われている。また田圃では、田植えの後、除草のため、通常よりも田圃の水位を深くする深水管理を行っており、メダカにとってはより好適な飼育環境が創出されている。



図5. 仙台在来メダカを放流した農薬不使用の遠藤環境農園の様子。

試験放流では、2014年6月21日に宮城教育大学噴水池等で増殖したメダカ約100尾を田圃内に放流した(図5)。その後、8月29日に本論文著者のうちの棟方と小林で田圃におけるメダカの生息状況調査を行ったところ、田圃内の各所で多数のメダカの稚魚が観察され、田圃内で順調に繁殖が行われていることが明らかとなった。

通常、多くの田圃では稲作の工程として、“中干し”と呼ばれる、一度田圃の水を抜いて乾燥化を促す作業が行われるが、遠藤環境農園の田圃ではこの工程は行わないものとした。上記の稲作期間中、田圃の中では環境省の絶滅危惧Ⅱ類に指定されている水生植物であるミズアオイ (*Monochoria korsakowii*) も見られるようになった(図6)。

なお、上記の田圃では、秋の稲刈りの前には、通常の田圃と同様、田圃内の水を落として乾燥させたのちに稲刈りを行った。その際の選択肢としては、メダカを落水とともに用水路に降下させることが考えられたが、本試験放流では田圃の中でのメダカの繁殖、生育状況を知ることが目的としていたことから、今回は稲刈りに備えて田圃から水を抜く前の9月28日に田圃の落水側の畦際に長さ80cm、幅50cm、水深50cmの深場をスコップで造成し、徐々に田圃から水を抜くことでメダカをこれらの深場に誘導し、9月30日にメダカの採捕を行った。

なお、田圃から水を落とす際は、田圃の出口に目合



図6. 農薬不使用の遠藤環境農園の田圃に自生したミズアオイ (*Monochoria korsakowii*)。

い約5mmのメッシュを設置し、メダカの用水路への降下を抑制した。

田圃から採集したメダカは、冬季の間は遠藤環境農園の自宅の庭に設置したビオトープに収容して飼育を行っている。これらのメダカは、また次年度の春に作付けを行う田圃に放流することとしており、当面はこのサイクルを繰り返しながら、メダカの試験放流後の生育、繁殖状況をモニターする計画である。

謝辞

本研究活動は、三井物産環境基金 (R11-F1-056)、農林水産省美しい農村再生事業の助成を受けて行われました。一連の本活動に対するご理解とご支援に心よりお礼申し上げます。

文献

- Asai, T., Senou, H., Hosoya, K., 2011. *Oryzias sakaizumii*, a new ricefish from northern Japan (*Teleostei: Adrianichthyidae*). *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, 22, 289-299.
- 小林牧人・頼経知尚・小井土美香 2013. 繁殖行動の視点からの魚類の保全。「魚類の行動研究と水産資源管理」恒星社厚生閣, 89-100.
- 小林牧人・頼経知尚・鈴木翔平・清水彩美・小井土美香・川口優太郎・早川洋一・江口さやか・横田弘文・山本義和 2012. 屋外池における野生メダカ *Oryzias latipes* の繁殖行動. *日本水産学会誌*, 78, 922-933.
- 鈴木正貴・水谷正一・後藤章 2000. 水田生態系保全のための小規模水田魚道の開発. *農業土木学会誌*, 12, 1263-1266.
- 嶺田拓也・栗田英治・石田憲治 2004. 水田冬期湛水における営農効果と多面的機能. *農村計画論文集*, 6, 61-66.
- 棟方有宗・菅原正徳・田中ちひろ・釜谷大輔 2013. 東日本大震災の津波で被災した名取川河口域のメダカの保全. *宮城教育大学環境教育研究紀要*, 15, 57-63.
- 棟方有宗・田中ちひろ・坂佳美・菅原正徳 2014. 東日本大震災の津波で被災した名取川河口域のメダカの野生個体復元に向けた資源増殖の試み. *宮城教育大学環境教育研究紀要*, 16, 31-38.

