

## 水田におけるナマズ稚魚の生残

米倉 竜次, 松田 宏典

Survival probabilities in paddy fields  
in juvenile Japanese catfish (*Silurus asotus*)

RYUJI YONEKURA, HIRONORI MATSUDA

水田はコメの安定生産のため人為的に改変された土地であるが、生き物の繁殖や成長などの場としても重要な役割を果たしている。例えば、生物多様性条約第10回締約国会議（CBD-COP10）での“SATOHAMAイニシアティブ”やラムサール条約第10回締約国会議での“水田決議”的に、多くの生物種を育むホットスポットとして水田（ならびにその周辺環境）の意義が今、注目されている。一方で、圃場整備にともなう乾田化、用水路と排水路の分離、農業スケジュールの変化などにより、生き物の繁殖・成長の場としての水田の役割が損なわれているのが現状である。

ナマズ(*Silurus asotus*)は繁殖・成長の場として一時的に水田を利用する日本の代表的な魚類である（片野ら, 1988; Katano et al., 2003; Maehata, 2007）（ただし、水田がないとナマズが繁殖・成長できないわけではない）。岐阜県におけるナマズの生息状況に関する知見は限られるものの、例えば、岐阜県農政部水産課が取りまとめた「岐阜県の水産業（平成23年）」によると、河川等におけるナマズの年間漁獲量は1988年（昭和63年）に102,480kgとピークを向かえたが、2010年（平成22年度）には3,853kgとピーク時の約3.76%にまで減少している（岐阜県水産課, 2011）（ただし、漁獲量の推移には資源量の低下に加え、漁業従事者の減少なども影響している）。岐阜県には平野部を中心に多くの水田があり、これら的一部がナマズの繁殖・成長の場として利用されれば、ナマズの増加に寄与するのではないかと期待される。

水田をナマズの繁殖・成長の場として再生させるためには、(1)圃場整備後の慣行農法をおこなう水田がナマズ稚魚の繁殖・成長に適した環境であるかといった問題（生息環境の問題）と(2)河川—農業排水路—水田といったネットワークの分断により産卵や成長のためのナマズの能動的移動が妨げられていないかといった問題（移動分散経路の問題）に分けて議論する必要がある。この研究では、生息環境の問題と移動分散経路の問題のうち、ナマズ稚魚の成育の場所としての水田環境の意義、すなわち(1)についての検証をおこなう。ここでは、ナマズ稚魚を水田に実験的に放流し、無給餌で放養した場合のナマズ稚魚の生残について報告する。

キーワード：ナマズ、水田、水田養魚、生残

### 方 法

#### 使用した水田

地元農家の協力を得て、岐阜県（白川町、関市、海津市）の水田で計31回の野外実験をおこなった。水田の面積は、

平均 $1,139\text{m}^2$ （最小 $361\text{m}^2$ 、最大 $2,975\text{m}^2$ ）であった。使用した水田は、(1)従来の慣行農法をおこなっている水田、(2)無農薬農法を実施している水田、(3)休耕田のいずれかであり、その内訳はそれぞれ2地点(6.5%)、23地点(74.2%)、6地点(19.4%)であった。(1)および

(2) 関しては、農薬投与（除草剤など）の有無を除けば、いずれも従来どおりの慣行農法により稻作をおこなっている水田であった。また、(3) 関しては、稻作水田同様、水田の整地（代掻き）と湛水のみを実施した。

### 実験の手順

水田へのナマズ稚魚の放流は、ナマズの産卵期にあたる5月下旬から7月上旬までにおこなった。実験には、岐阜県河川環境研究所や民間養殖場でふ化させたナマズ稚魚（全長約10mm）を放流した。水田あたり平均8,607尾（最小374尾、最大32,175尾）のナマズ稚魚を放流した。また、水田あたりの放流密度は平均9.37個体/m<sup>2</sup>（最小0.31個体/m<sup>2</sup>、最大50.0個体/m<sup>2</sup>）であった。ちなみに、ナマズのメス成熟個体における一腹卵数の平均値は12,000粒程度であった（米倉、未発表データ）。このことから、水田あたりのナマズ稚魚の放流数はおよそ1個体のメスが放卵した受精卵が75%程度、ふ化した場合と同程度と推定された。

### 水田からの回収

約1カ月間、水田でナマズ稚魚を無給餌で放養した後、中干し時期にあたる6月中旬から7月下旬までに水田からナマズ稚魚を回収した。水田の落水口直下に回収用カゴを設置し、落水口から水とともに流出するナマズ稚魚を回収した（第1図）。ナマズの回収は水田からの落水が十分終了するまでおこない、その回収時間は各水田につき5~48時間であった。また、水田での養成期間（放流日から回収日までの期間）は平均29.5日（最小20日、最大40日）であった。おおよそ1~2時間おきに、回収用カゴに流下したナマズの有無を確認した。回収されたナマズ稚魚の総

個体数ならびに無作為に抽出した一部のナマズ稚魚の体長を測定した。本研究では、回収用カゴに流下したナマズ稚魚の個体数を水田での生残数と仮定した。水田内に取り残されたナマズ稚魚がわずかに確認される場合もあったが、水田内に取り残されたナマズ稚魚を積極的に回収することはしなかった。ナマズが繁殖・成長の場として水田を利用する場合、中干しにともない水田から排水路に自然流下できなければ、たとえ水田で成長できても意味がないためである。なお、実験に使用した水田はすべて排水路と水田に遡上不可能な落差があったことから、回収されたすべての個体は放流したナマズであるとみなした。

### 解析法

水田におけるナマズ稚魚の生残がどのような要因により影響されるかを検討した。回収時におけるナマズ稚魚の個体数は0以上の離散値をもつカウントデータである。この場合、ポアソン分布を仮定してナマズの生残尾数を推定できるかもしれない。しかし、ポアソン分布では平均=分散という前提条件があるが、本研究では平均<<分散（過分散）であったため、パラメータ推定の誤差が過小評価される危険性があった。そのため、確率分布として誤差を調整する疑似ポアソン分布（family = quasipoisson）、link関数としてlog関数（link = log）を指定した一般化線形モデルを実施した。解析では、カテゴリアル変数として(1)水田類型（慣行農法、無農薬農法、休耕田）、離散変数として(2)水田への放流日（4月1日からの日数）、(3)水田での養成期間（日）、(4)水田の面積（m<sup>2</sup>）を説明変数としてモデルに組み込んだ。また、回収時におけるナマズ個体数は、水田へと放流した個体数に依存する可能性



第1図. 中干し時における水田からのナマズ稚魚の回収の様子。(a)水田の落水口に塩ビ管を継ぎ足し、流下するナマズ稚魚を回収カゴを用いて捕獲した様子。(b)回収されたナマズ稚魚（大きさは全長5~10cm程度）。

があるため、「水田への放流個体数(N)」を offset 項(偏回帰係数=1に固定)としてモデルに組み込んだ。上記の方法により、各パラメータ(偏回帰係数の推定値)ならびにその誤差を推定した。各パラメータについて、Wald 統計値の 95%信頼区間をプロファイル尤度(丹後, 2000; Faraway, 1996)により算出し、信頼区間の上限値および下限値が 0 をまたがない説明変数を回収時におけるナマズ個体数に影響を及ぼす説明変数とした。すべての解析は統計ソフト R2.15.2 を用いておこなった(R Development Core Team, 2012)。

## 結 果

約 1 か月間、平均 8,607 尾 (9.37 尾/m<sup>2</sup>) のナマズ稚魚を水田で放養したところ、平均 308 尾のナマズ稚魚が回収でき、その生残率は平均 4.4% であった。水田からのナマズ回収尾数と各説明変数との関係を一般化線形モデルで解析したところ、「水田での養成期間」、「水田の面積」、「水田類型」は、それらの偏相関係数の 95%信頼区間がゼロをまたぐ結果となり、回収時のナマズ個体数にあまり影響を及ぼさない要因であることがわかった(第 1 表)。回収時のナマズ個体数に有意な影響を及ぼす説明変数は「水田への放流日」のみであり、水田への放流日が遅くな

るにつれナマズの回収個体数が減少する傾向にあった(第 1 表)。例えば、回収時のナマズの個体数および回収率を放流日に対してプロットしてみると、データの当てはまりはあまり良くはないものの、放流日が遅くなるとナマズの回収尾数ならびに回収率が低下する傾向にあり、とくに 4 月 1 日から 75 日後(≈6 月中旬頃)を境界にナマズの個体数および回収率ともに低下していることがわかった(第 2 図)。

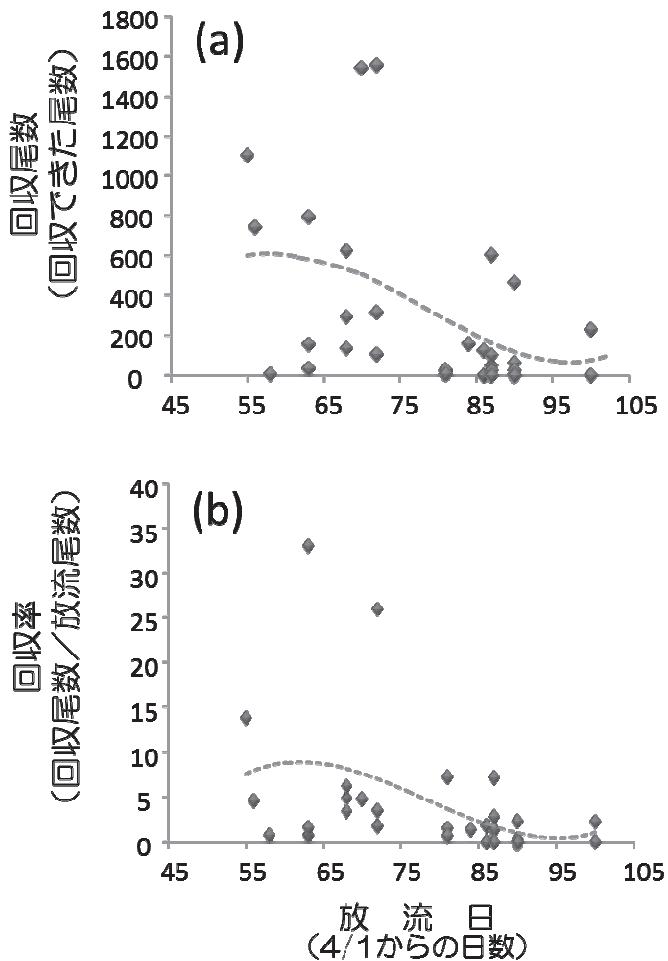
## 考 察

計 31 回の野外実験データから、水田におけるナマズの生残に影響を及ぼす要因は「水田への放流日」であり、放流日が遅くなるほど水田でのナマズ稚魚の生残が悪い推定となった。水田でのナマズ稚魚の生残を高めるためには、4 月 1 日から 75 日後までに水田へと放流することが望ましく、この期間はちょうど田植え後から梅雨入りまでの季節におおよそ該当する。ここで、なぜ「水田への放流日」が水田でのナマズ稚魚の生残に影響を及ぼすのか、その至近要因について考察してみる。客観的なデータはないものの、現場観察からいくつかの示唆ができるかもしれない。例えば、生物学的要因として、水田での餌生物や捕食者の有無が考えられる。上位捕食者であるナマズ稚魚はミジン

第1表 疑似ポアソン分布(family = quasipoisson), link関数としてlog関数(link = log)を指定した一般化線形モデルの解析結果。水田からの回収時におけるナマズ稚魚の個体数を応答変数とした場合の推定値。説明変数として、カテゴリアル変数として、(1)水田類型(無農薬農法、慣行農法、休耕田)、離散変数として、(2)水田への放流日(4月1日からの日数)、(3)水田での養成期間(日)、(6)水田の面積(m<sup>2</sup>)、をモデルに組み込んだ。Wald統計値の95%信頼区間をプロファイル尤度(Faraway 1996, 丹後 2000)により算出し、信頼区間の上限および下限が0をまたがない説明変数を太字で示す。

モデルの説明変数	偏回帰係数	±SE	Wald 95%信頼区間	
			下限値	上限値
切片	5.49	4.37	-2.61	15.38
離散変数				
水田での養成期間	-0.07	0.08	-0.23	0.10
<b>水田への放流日</b>	<b>-0.08</b>	<b>0.03</b>	<b>-0.15</b>	<b>-0.03</b>
水田の面積	-0.00	0.00	-0.00	0.00
カテゴリアル変数 <sup>(a)</sup>				
慣行農法の場合	0.57	0.84	-1.17	2.14
休耕田の場合	-1.15	1.08	-3.49	0.97

(a)無農薬農法を基準にし、慣行農法ならびに休耕田の違いをみた。



第2図. 水田におけるナマズ稚魚の生残に与える水田への放流日の影響. (a) 回収尾数(回収できた尾数)ならびに(b) 回収率(回収尾数／放流尾数). 各点は実験を実施した各水田での観測値. 点線は平滑化による推定曲線.

コ類、水生昆虫、カエル類の幼生などを水田で捕食するが、それら（特に全長 10 mm 程度のナマズ稚魚が捕食可能な小型個体）の多くは、水田への湛水後の時間経過にともない減少する可能性がある。水田への放流日が遅くなると捕食可能な餌生物が個体数・サイズともに少なくなり、その結果、水田でのナマズ稚魚の生残が減少する可能性がある。

一方、ナマズ稚魚は半翅目（タイコウチ、タガメ）や甲虫類（ゲンゴロウ類）などに捕食される場合がある。これらの捕食者はナマズと同じく水田で産卵・成長する昆虫であり、その産卵多くの場合、田植え後から始まる。水田へのナマズ稚魚の放流が遅くなるほど水田にはすでに成

長した捕食者が存在する場合があり、実際に野外実験をおこなった一部の水田ではこれらの生物に捕食されたと思われるナマズ稚魚の遺骸が観察された。このように、放流日が遅いとナマズ稚魚の餌資源が少なくなるうえに、捕食生物の増加により高い捕食圧にさらされることが、放流日が遅くなるにつれ水田でのナマズ稚魚の生残率が低下する結果をもたらした可能性がある。

一方、「水田類型」、「水田での養成期間」、「水田の面積」は、水田でのナマズ稚魚の生残に対してあまり影響を及ぼさない結果となった。例えば、稻の生育のため除草剤などの農薬散布が欠かせないことが多い。以前ほどでは

ないかも知れないが、農薬散布が稻害虫以外の生物に与える影響は未だ懸念されている (Beketov & Liess, 2008)。そのため、本研究では、水田類型として「無農薬農法」、「慣行農法」、「休耕田」の3タイプの違いを検証した。しかし、本研究では、水田におけるナマズ稚魚の生残は、除草剤などを使用した慣行農法をおこなった水田でも無農薬農法や休耕田と同じ傾向を示した。ただし、上記のとおり、「無農薬農法」に対して「慣行農法」ならびに「休耕田」での実験回数が少ないため、その解釈には留意が必要である。

最後に、魚類の成長の場として水田を利用する、いわゆる“水田養魚”は全国的に取り組まれている課題である。各都道府県のいわゆる“水産試験場”に相当する地方公設試では、ニゴロブナ（滋賀県）、ホンモロコ（滋賀県）、フナ類（長野県）、タモロコ・モツゴ（茨城県）などの魚種についての取組みがある。ちなみに、いずれも人為的に親魚、受精卵もしくは稚仔魚を水田へと放流し、一定期間、水田で養成させるといった手順を採用している。本研究でのナマズ稚魚の水田での生残率は4.4%程度であり、フナ類やモロコ類と比べると低い生残率に留まつものの、水田はナマズ稚魚の成育の場として機能することが確認できた。

#### 今後の課題

この実験では、水田におけるナマズ稚魚の成育可否についてのみ評価をおこなった。実験の結果、農薬を使用する慣行農法でおこなわれた水田であっても、水田はナマズ稚魚の成育の場として機能することが確認できた。しかし、この実験では人為的に繁殖させたナマズ稚魚を用いそれらを人為的に水田へと放流したため、水田におけるナマズの繁殖・成長の再生をめざす場合には多くの課題が残る。冒頭にも述べたように、ナマズの繁殖・成長の場として水田を再生させるためには、(1) ナマズ親魚の水田への遡上、(2) 水田内での産卵・繁殖、(3) 水田内での稚魚の生残・成長、(4) 水田からの降下、といった一連の繁殖・成長スケジュールが人の手を介さず、ナマズ自身のいわば“能動的”な行動によりおこなわれる必要があるためである。例えば、いかにナマズ稚魚の成育の場として水田が有用であっても、ナマズ親魚が水田へ遡上できなければ繁殖は寸断させてしまうし、水田でナマズ稚魚が成長できとしても、水田から農業排水路や河川へと降下したのちの環境条件によっては、そこで成長が妨げられてしまう。それらを防ぐためには、河川—排水路—水田といった生態ネットワークの再生の手段として、排水路の移動を妨げる人工横断物の改良や排水路と水田の落差を是正する水田魚

道の設置など、ナマズが自然に繁殖・生産できる仕組みを包括的に整える必要がある。また、稚魚を放流するなど、人為的なナマズの再導入を試みる場合には、本来の生息域ではない場所への生物学的侵入や自然集団との交雑による遺伝的攪乱などにも留意が必要である。また、水田環境に依存する多くの希少動物がいる場合があり、とくにそれらがナマズ稚魚の被食対象となる可能性がある場合には注意が必要である。これらのこととは、とくに生物多様性保全の枠組みのなかで水田養魚をおこなううえでは、本質的に重要な問題である。

#### 要 約

1. 水田でのナマズ稚魚の生残に与える影響を調べるために、水田を利用した実験を計31回実施した。ナマズ稚魚を人為的に水田へと放流し、一定期間経過した後、中干しの際に流下した稚魚数を水田で生残したナマズと仮定した。
2. 疑似ポアソン分布 (family = quasipoisson), link 関数として log 関数 (link = log) を指定した一般化線形モデルの解析結果から、水田でのナマズ稚魚の生残に影響をおよぼす要因は「水田への放流日」であった。「水田類型（慣行農法、無農薬農法、休耕田）」、「水田での養成期間（日）」、「水田の面積（m<sup>2</sup>）」は影響を及ぼすことはなかった。
3. 水田はナマズ稚魚の成育に適した環境であるといえるが、重要な点として、放流時期の違いにより水田での生残が影響されることがわかった。また、人為的な放流をおこなう場合には、生物多様性保全を考え慎重におこなうことが望まれる。

#### 文 献

- Beketov MA, Liess M (2008) Acute and delayed effects of the neonicotinoid insecticide thiacloprid on seven freshwater arthropods. Environ. Toxicol. Chem., 27: 461–470.
- Faraway JJ (2006) Extending the linear Model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, pp. 55–67, 279–285.
- 片野 修, 斎藤 憲治, 小泉 顕雄 (1988) ナマズ *Silurus asotus* のばらまき型産卵行動. 魚類学雑誌, 35(2): 203–211.
- Katano O, Hosoya K, Iguchi K, Yamaguchi M, Aonuma Y,

- Kitano S (2003) Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rice fields. Environ. Biol. Fish., 66: 107- 121.
- 岐阜県農政部水産課 (2011) 岐阜県の水産業.
- 田崎 志郎, 金澤 光 (2001) ナマズの養殖技術. (社) 新魚種開発協会, 東京.
- Maehata M (2007) Reproductive ecology of the Far Eastern catfish, *Silurus asotus* (Siluridae), with a comparison to its two congeners in Lake Biwa, Japan. Environ. Biol. Fish., 78: 135- 146.
- 丹後俊郎 (2000) 統計モデル入門. 朝倉書店, 東京
- R Development Core Team (2012) R2.15.2: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <<http://www.R-project.org>>