

## 調査報告

# モニタリングデータと生態的特性から探る福井県三方湖流域の 純淡水魚類相の変化とその要因

松崎 慎一郎<sup>1,\*</sup>・児玉 晃治<sup>2</sup>・照井 慧<sup>3</sup>・武島 弘彦<sup>4</sup>・佐藤 専寿<sup>5</sup>・富永 修<sup>5</sup>  
前田 英章<sup>6</sup>・多田 雅充<sup>6</sup>・鷺谷 いづみ<sup>3</sup>・吉田 丈人<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人国立環境研究所・<sup>2</sup> 福井県水産試験場・<sup>3</sup> 東京大学農学生命学研究科・<sup>4</sup> 東京大学大気海洋研究所  
<sup>5</sup> 福井県立大学生物資源学部・<sup>6</sup> 福井県海浜自然センター・<sup>7</sup> 東京大学総合文化研究所

Changes in the strictly freshwater fish fauna around Lake Mikata, Fukui Prefecture, Japan, inferred from monitoring data and ecological trait information

Shin-ichiro S Matsuzaki<sup>1,\*</sup>, Kohji Kodama<sup>2</sup>, Akira Terui<sup>3</sup>, Hirohiko Takeshima<sup>4</sup>, Takahisa Sato<sup>5</sup>, Osamu Tominaga<sup>5</sup>,  
Hideaki Maeda<sup>6</sup>, Masamitsu Tada<sup>6</sup>, Izumi Washitani<sup>3</sup> and Takehito Yoshida<sup>7</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Environmental Studies, <sup>2</sup>Fukui Prefectural Fisheries Experimental Station,

<sup>3</sup>Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo,

<sup>4</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>5</sup>Department of Bioscience, Fukui Prefectural University,

<sup>6</sup>Fukui Marine Park Center, <sup>7</sup>Department of General Systems Studies, University of Tokyo

Abstract: Identifying the ecological and life history correlates of local extinction can help us to predict and target extinction-prone species, and to understand the causes and consequences of species extinctions. We examined temporal changes in the native, strictly freshwater, fish fauna around Lake Mikata, a component of the Ramsar wetland, by collecting and integrating fragmentary fish monitoring data for 1978–2007, as well as by conducting broad fish samplings in rivers, ditches, and the lake in 2009 and 2010. We also performed a trait analysis for 22 freshwater fish in an attempt to identify the ecological traits of the species that have disappeared since 1988, when the fish diversity was higher. The integrated monitoring data showed that 5 of the 22 species had disappeared, including endangered species. The generalized linear mixed models incorporating the phylogenetic effects revealed that dependency on spawning substrate (*e.g.*, cobbles and mussels) was the only significant predictor; the species with high dependency on spawning substrate were more likely to disappear. Our results suggest that the loss, degradation, and fragmentation of spawning habitats are the main direct cause of the local extinction of freshwater fish fauna in and around Lake Mikata. Monitoring, investigating, and restoring spawning habitats should be the focus of proactive conservation or management strategies.

Keywords: biodiversity, biological traits, conservation planning, latent extinction, long-term

## 序 文

淡水生態系は生物多様性の喪失と変質が最も深刻化している生態系である (Millennium Ecosystem Assessment 2005 ; Light and Marchetti 2007 ; Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2010)。淡水生物のな

かでも、全生活史を淡水で過ごす純淡水魚類は、生息地の減少や分断化、水質汚染、侵略的外来種の侵入、温暖化など人間活動に起因する環境変化に特に脆弱な分類群であり (片野・森 2005 ; Dudgeon et al. 2006 ; Giam et al. 2011 ; Watanabe in press)、絶滅種や絶滅のおそれのある種が劇的に増加している。日本においても、2007年に

\* 〒 305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2 独立行政法人 国立環境研究所  
National Institute of Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8506, Japan  
e-mail: matsuzakiss@nies.go.jp 2011年3月21日受付、2011年6月1日受理

改訂された「汽水・淡水魚類レッドリスト」(環境省自然環境局野生生物課、[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=9944&hou\\_id=8648](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=9944&hou_id=8648)、2011年5月25日確認)では、144種が絶滅危惧種として選定されており、そのうち約1/3にあたる45種が純淡水魚類である。2003年に環境省が発刊した「改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 汽水・淡水魚類」(環境省自然保護局野生生物課2003)のなかで絶滅危惧種と選定された純淡水魚類24種のほぼ2倍となっている事実は、危機の深刻さを如実にあらわしている。

淡水魚類の種多様性の減少をくいとめるためには、種数や分布の現状とそれらの変動を把握し、減少をもたらす駆動因(ドライバー)の特定が必要不可欠である。しかし、環境変化に対する応答は種間で異なっているため、種別の解析では、種の絶滅リスクに大きな効果をもつ駆動因を見極めることは難しい。この問題に対し、パターンからメカニズムやプロセスを推測するマクロ生態学的アプローチは駆動因の特定に頑健な手法である(Fisher and Owens 2004; 天野 2010; 山浦・天野 2010)。

同じ生態的特性(形質)をもつ種どうしは環境変化に対する応答が等しいと仮定をおく生態的特性アプローチ(種間比較法)は、種や分類群を越え絶滅や個体数の減少に寄与する生態的特性を見出すことが可能である(Dulvy and Reynolds 2002; Olden et al. 2006; Amano and Yamaura 2007; Olden et al. 2008; Larson and Olden 2010; Giam et al. 2011)。個体数や種数の減少パターンや絶滅リスクは、体サイズ、分布範囲、餌資源や生息地のタイプなど様々な生態的特性と関係があることが知られている(Fisher and Owens 2004)。とくに近年減少している種が共有する生態的特性を明らかにできれば、駆動因の特定に加えて、保全上注意の必要な種群(機能群)を抽出し、その種群を対象とした効率的な保全・研究努力の配分を行うことができる(Fisher and Owens 2004; Amano and Yamaura 2007; Kadoya et al. 2009; 天野 2010; Larson and Olden 2010)。

福井県嶺南地方の若狭町と美浜町にまたがる三方五湖は、日本の重要湿地500に選定されていることに加えて、固有な魚類の食物源、産卵場、稚魚の成育場として重要な湿地であることから、2005年にラムサール条約湿地に登録されている。調査対象とした三方湖(面積3.56 km<sup>2</sup>、平均水深1.5 m、35°56'68.18"N、135°88'25.83"E)は、三方五湖の最も上流に位置する唯一の淡水湖であり、複数の小河川が注ぎ、水田地帯が隣接している(図1)。三方湖流域は、ハス *Opsariichthys uncirostris*、イチモン

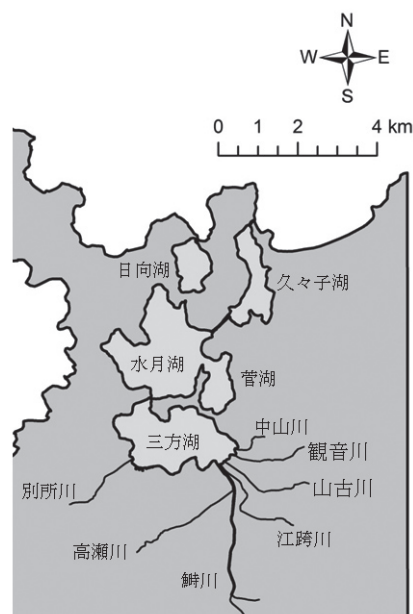


図1. 調査対象とした福井県三方湖流域。三方湖はラムサール条約登録湿地である三方五湖の一部。広域魚類調査(2009～2010年)は、湖内および湖に流入する全ての河川で実施した。

ジタナゴ *Acheilognathus cyanostigma*、タモロコ *Gnathopogon elongatus*、ナガブナ *Carassius auratus* subsp. 2 など日本固有の魚類を含む豊かな魚類相を支えてきた。例えば、ハスは琵琶湖淀川水系と三方湖流域のみに自然分布するが、それらは遺伝的に異なることが示されており(Okazaki et al. 2002)、三方湖流域のハスは進化的に固有な地域集団であるといえる。そのハスも、1993年以降、確実な採捕・目撃記録がなく、絶滅が危ぶまれている。現在までの長期的な魚類相の変化とそれらに関わる駆動因を明らかにし、今後の保全計画に役立つ必要がある。

本研究では、三方湖流域の在来純淡水魚類群集を対象とし、まず既存のモニタリングデータを網羅的に収集し、断片的なデータを統合することで近年消失あるいは著しく減少している魚種を特定した。最近の魚類相を把握するために、本研究においても広域魚類調査を行い、それらのデータも統合した。次に、各魚種の生態的特性を整理し、減少している種群と結びつきの強い生態的特性を特定することを試みた。

## 方法

### 広域魚類調査と既存のモニタリングデータの収集

最近の三方湖流域の魚類相の現状を把握するため、

三方湖流域の純淡水魚類相の変化とその要因

表 1. 三方湖流域の魚類相データを抽出した一次記録文書（原典）。

出典	調査時期	調査場所	調査手法
細谷和海（私信）	1978 年	流入河川 *1	セルビン、たも網
加藤（1985）†	1979 - 1983 年	三方湖および流入河川 *1	投網、刺網、たも網、釣り
細谷和海（私信）	1988 年	流入河川 *1	セルビン、たも網
加藤（1998）†	1990 - 1996 年	三方湖および流入河川 *1	投網、刺網、たも網、釣り
福井県内水面総合センター（1999～2007）	1997 - 2005 年	三方湖	刺網
油谷・松田（2006）†	2003 - 2005 年	流入河川 *2	たも網、モンドリ、潜水目視
福井県海浜自然センター（未発表）	2006 - 2007 年	三方湖および流入河川 *3	定置網、電気ショッカー、投網、たも網、さで網
本研究	2009 - 2010 年	三方湖および流入河川 *3	定置網、電気ショッカー、投網、たも網、さで網、モンドリ

† 各年の詳細データはない。調査期間に採集された魚種がまとめて記載されている

\*1 鱒川、高瀬川

\*2 別所川、中山川

\*3 鱒川、高瀬川、別所川、田井野川、観音川、中山川、山古川、江跨川

表 2. 三方湖流域における在来純淡水魚類相の変化。○は記録された魚種を示す。△は、本研究の広域魚類調査において、1カ所のみで確認された魚種。

科	和名	学名	環境省レッドリスト 2007	福井県版レッドデータブック 2002	1978-1988 年 *1	1990-1996 年 *2	1997-2005 年 *3	2006-2010 年 *4	グループ
スナヤツメ	スナヤツメ	<i>Letheron reissneri</i>	II 類	II 類		○		○	残存種
コイ	カワムツ	<i>Zacco temminckii</i>			○	○	○	○	残存種
	ハス	<i>Opsarichthys uncirostris uncirostris</i>		I 類	○				減少種
	ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>			○	○	○	○	残存種
	アブラハヤ	<i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>			○	○		○	残存種
	タカハヤ	<i>Phoxinus oxycephalus jouyi</i>			○	○		○	残存種
	タモロコ	<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>			○	○	○	○	残存種
	ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>		準絶滅	○				減少種
	モツゴ	<i>Pseudorasbora parva</i>			○	○	○	○	残存種
	カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>			○			○	残存種
	コイ	<i>Cyprinus carpio</i>			○	○	○	○	残存種
	ギンブナ / ナガブナ	<i>Carassius auratus spp.</i>			○	○	○	○	残存種
	ヤリタナゴ	<i>Tanakia lanceolata</i>	準絶滅		○	○	○	○	残存種
	アブラボテ	<i>Tanakia limbata</i>	準絶滅	II 類	○				減少種
	イチモンジタナゴ	<i>Acheilognathus cyanostigma</i>	IA 類	I 類	○				減少種
ドジョウ	ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>			○	○	○	○	残存種
	シマドジョウ	<i>Cobitis biwae</i>			○	○	○	○	残存種
	ホトケドジョウ	<i>Lefua echigonia</i>	IB 類	I 類		○		○	残存種
アカザ	アカザ	<i>Liobagrus reini</i>	II 類	II 類	○			△	減少種
ナマズ	ナマズ	<i>Silurus asotus</i>			○	○	○	○	残存種
メダカ	メダカ	<i>Oryzias latipes</i>	II 類	II 類	○			○	残存種
ドンコ	ドンコ	<i>Odontobutis obscura</i>			○	○	○	○	残存種
合計出現種数					20	15	11	18	

\*1 細谷（私信）、加藤（1985）のデータに基づく

\*2 加藤（1998）のデータに基づく

\*3 福井県内水面総合センター（1999～2007）および油谷・松田（2006）のデータに基づく

\*4 福井県海浜自然センター（未発表）および本研究による広域魚類調査のデータに基づく

2009 年および 2010 年に、三方湖内および三方湖に流入するすべての流入河川（鱒川・高瀬川・別所川・田井野川・観音川・中山川・山古川・江跨川）において詳細な魚類調査を実施した（図 1）。湖内については、6 地点において定置網による魚類採集を行った。また各河川に複数の定点（3 地点以上）を設けて、定置網・電気ショッカー・投網・たも網・さで網・モンドリを用いて生息魚類の確認を行った。

次に、三方湖流域の長期的な魚類相の変化を把握するため、過去に行われてきた信頼性の高い魚類調査のモニタリングデータを網羅的に収集した（表 1）。収集されたデータから純淡水魚種の記録の抽出を行い、便宜的に 1988 年以前・1990～1996 年・1997～2005 年・2006～2010 年の 4 つの年代区分に分類した（表 2）。

表 3. 三方湖流域において出現した在来純淡水魚類の生態学的特性。

科	和名	学名	最大体長 (cm)	産卵基質への 依存性	食性の広さ	成熟年齢 (年)	一腹産卵数 (個)	氾濫原湿地への 依存性
スナヤツメ	スナヤツメ	<i>Letheron reissneri</i>	26	低	2	3	2498	0
コイ	カワムツ	<i>Zacco temminckii</i>	15	低	2	2	6250	0
	ハス	<i>Opsarichthys uncirostris uncirostris</i>	32.5	中 (砂礫)	3	2	12265	0
	ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>	50	低	4	2	15000	0
	アブラハヤ	<i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>	13	低	2	2	2500	0
	タカハヤ	<i>Phoxinus oxycephalus jouyi</i>	10	低	2	2	2500	0
	タモロコ	<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	10	中 (水草、砂)	3	1	3000	0
	ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>	15	高 (礫、托卵)	2	2	5000	1
	モツゴ	<i>Pseudorasbora parva</i>	11	高 (石、貝殻)	3	1	550	1
	カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	20	低	2	2	24000	1
	コイ	<i>Cyprinus carpio</i>	110	中 (水草)	5	3	700000	1
	ギンブナ / ナガブナ	<i>Carassius auratus spp.</i>	39	中 (水草)	4	1	150000	1
	ヤリタナゴ	<i>Tanakia lanceolata</i>	10	高 (二枚貝)	2	1	130	1
	アブラボテ	<i>Tanakia limbata</i>	7	高 (二枚貝)	2	1	35	1
	イチモンジタナゴ	<i>Acheilognathus cyanostigma</i>	7	高 (二枚貝)	2	1	80	1
ドジョウ	ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	15	低	4	1	30000	1
	シマドジョウ	<i>Cobitis biwae</i>	14	低	4	1	1000	0
	ホトケドジョウ	<i>Lefua echigonia</i>	6	中 (水草)	4	1	1000	0
アカザ	アカザ	<i>Liobagrus reini</i>	15	高 (礫)	1	2	100	0
ナマズ	ナマズ	<i>Silurus asotus</i>	130	低	3	2	100000	1
メダカ	メダカ	<i>Oryzias latipes</i>	4	中 (水草)	3	2	800	1
ドンコ	ドンコ	<i>Odontobutis obscura</i>	25	高 (礫)	2	1	3600	0

### 減少種の定義

統合したモニタリングデータから、魚類相の変化を分析するにあたって、出現が確認された種を減少種と残存種の2のグループに分類した(表2)。本研究では、1988年以前に出現記録があり、かつ1994年以降に出現記録がないか、あるいは広域魚類調査において1カ所で1匹のみ確認された種を減少種と定義した。それ以外の種を残存種として定義した。収集したモニタリングデータの中でも最も古かった細谷(私信)と加藤(1985)のデータによれば、1988年以前は多くの絶滅危惧種が残存し比較的種多様性が維持されていたことから、この年を基準とした。

なお、加藤(1985, 1998)に基づき、国内移入魚であるオイカワ *Zacco platypus*、ヌマムツ *Zacco sieboldii*、ワタカ *Ischikauia steenackeri*、ヒガイ類 *Sarcocheilichthy spp.*、ゲンゴロウブナ *Carassius cuvieri* については分析から除外した。また、サケ科魚類であるイワナ *Salvelinus leucomaenis leucomaenis*、ヤマメ *Oncorhynchus masou masou* については、調査によって河川上流域の調査努力量が不十分であるため分析から除外した。ナガブナとギンブナ *Carassius auratus* については、最近の分子遺伝学的な解析から両種に明瞭な違いが認められないことから(Yamamoto et al. 2010)、フナ類(*Carassius auratus complex*)として扱った。

### 生態的特性

減少種に共通する生態的特性を特定するため、出現したすべての魚種について、最大体長、産卵基質への依存性、食性の広さ、成熟年数、一腹卵数、氾濫原湿地への依存性の6つの生態的特性を調べた(表3)。これらの生態的特性は、先行研究から魚類の個体数や分布との関係が示されている(Dulvy and Reynolds 2002; Olden et al. 2006, 2008; 棗田ほか 2010)。日本産淡水魚類のうち広域分布種72魚種の生態的特性に関しては、棗田ほか(2010)により整理されたことから、主にこれらのデータを用いた。さらに、中村(1969)、川那部ほか(2001)、FishBase (<http://www.fishbase.org/>, 2011年5月25日確認)を参照し、特性データをさらに補強した。なお、下記1~5は連続変数、6はカテゴリカル変数である。

#### 1) 最大全長

成魚が最大となる全長 (cm)。

#### 2) 産卵基質への依存性

淡水魚類の中には、産卵のために河床の二枚貝や礫など特定の基質を必要とするものがあることから、産卵基質の依存性を以下のような3段階に分類した(棗田ほか 2010)。  
 ①高: 産卵のために特定の基質を必要とする種あるいは他の魚の巣穴などに托卵する種、  
 ②中: 植物などに卵を産みつけるが、特定の基質がなくても可能な種、  
 ③低: 産卵のための特定の基質は不要である種(例えば、ばらまき型産卵をするナマズなど)。

表 4. GLMM の総当たりモデル選択の結果、AIC が最小となったベストモデルと  $\Delta AIC$  (ベストモデルの AIC との差) が 2 以下となったモデル。K はパラメータ数を表す。

ランク	モデル	K	AIC	$\Delta AIC$
1	産卵基質への依存性	2	21.32	0.00
2	産卵基質への依存性+成熟年数	3	21.39	0.07
3	産卵基質への依存性+食性の広さ+成熟年数	4	21.56	0.25
4	産卵基質への依存性+最大体長+成熟年数	4	21.62	0.30
5	産卵基質への依存性+食性の広さ	3	21.91	0.60
6	産卵基質への依存性+食性の広さ+成熟年数+氾濫原湿地への依存性	5	22.54	1.22
7	産卵基質への依存性+最大体長+成熟年数+氾濫原湿地への依存性	5	22.93	1.61
8	産卵基質への依存性+成熟年数+氾濫原湿地への依存性	4	22.95	1.64
9	産卵基質への依存性+氾濫原湿地への依存性	3	23.07	1.75
10	産卵基質への依存性+最大体長+食性の広さ+成熟年数	5	23.25	1.93
11	産卵基質への依存性+最大体長	3	23.29	1.97

### 3) 食性の広さ

Olden et al. (2006, 2008) の定義に従い、プランクトン/ベントス/水生昆虫・落下昆虫/魚・魚卵/カエル・哺乳類/デトリタス/藻類の 7 つを対象とし、生涯に利用する餌資源の合計値を算出した (範囲は 1 ~ 7)。

### 4) 成熟年数

各種にとって野外条件下における一般的な成熟年数 (年) を調べた。

### 5) 一腹産卵数

繁殖期における雌の一腹卵数の最大値 (個) を調べた。

### 6) 氾濫原湿地への依存性

水田や農業用水路など一次的水域である氾濫原湿地を産卵場所や採餌場所として利用するか (1)、しないか (0) に分類した。

## 統計解析

減少種と残存種のグループ間の生態的特性の違いを明らかにするために、先に示した生態的特性を説明変数、減少種 (1)、残存種 (0) を二項分布に従うと仮定した応答変数として、一般化線形混合モデル (Generalized linear mixed model; GLMM) を用いた。系統的に近い種間では絶滅リスクや特性も類似している場合が多いため、系統関係で説明される効果 (系統的自己相関) を除く必要がある (天野 2010; 大谷ほか 2010)。そこで、統計モデルに、魚種の科をランダム効果として切片に加えることで、系統的自己相関を考慮した。この手法は、系統樹で表わされる詳細な系統関係に関する情報を必要としない簡便な手法として広く用いられている (Kadoya et al. 2009)。

解析する前に、多重共線性の影響を排除するために、各連続変数間のスピアマンの順位相関を算出した。その

結果、一腹卵数と最大体長の間には、有意な相関関係が認められたため ( $r=0.69$ )、一腹卵数を解析から除外した。

最終的に、5 つの説明変数を用いた総当たりモデル選択を行い、AIC が最も低いモデルをベストモデルとして選択した。変数の効果については、95% 信頼区間によって判断した。解析には、R (ver. 2.11.0) を使用した。

## 結果と考察

既存のモニタリングデータと広域魚類調査のデータを統合した結果、約 30 年にわたる三方湖対象流域の在来純淡水魚類相の変化がはじめて明らかとなった (表 2)。出現した在来純淡水魚 22 種のうち、ハス、ムギツク *Pungtungia herzi*、アブラボテ *Tanakia limbata*、イチモンジタナゴ、アカザ *Liobagrus reini* の 5 種が減少種に分類された (表 2)。

系統関係を考慮した総当たりモデル選択の結果、産卵基質への依存度のみを説明変数に含むモデルがベストモデルとして選択された (表 4)。産卵基質への依存度の係数の 95% 信頼区間にはゼロが含まれず、産卵基質への依存性が高い種ほど減少種となる確率が高かった (表 5、図 2)。また、 $\Delta AIC < 2$  となったすべてのモデルで、産卵基質への依存度が変数として採用された。一方、それらのモデルに含まれた他の全ての変数については、95% 信頼区間にゼロが含まれたことから、それらの変数の効果は認められなかった。

減少種に分類された種は、以下のような産卵生態をもつ。アカザは、瀬の礫下にゼリー質でおおわれた卵を産みつける (川那部ほか 2005)。ムギツクは、大きな石の下面、岩盤の割れ目などに卵を産むことや、ドンコ *Odontobutis obscura* やオヤニラミ *Coreoperca kawamebari*

表 5. ベストモデルにおける各変数の推定値と 95%信頼区間。

変数	$\beta$	se	95%信頼区間
切片	-6.57	2.98	(-12.4, -0.73)
産卵基質への依存性	2.31	1.10	(0.15, 4.47)

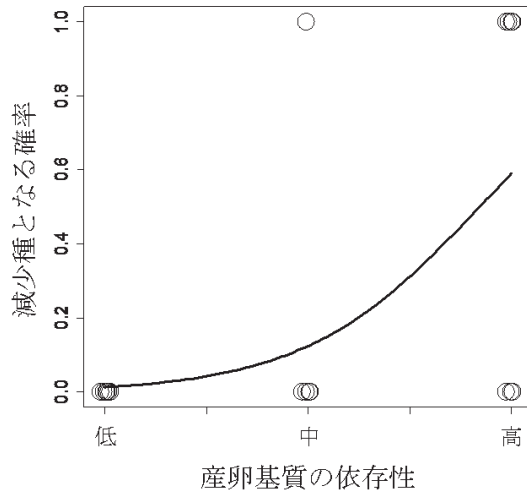


図 2. 減少種となる確率と産卵基質の依存性との関係。実線は、系統関係を考慮した一般化線形混合モデル（ベストモデル）による推定値。

の巣に托卵することが知られている (Yamane et al. 2009)。また、タナゴ類は卵を生きたイシガイ科の淡水二枚貝の鰓内に産むが、アブラボテはマツカサガイ *Pronodularia japonensis* やイシガイ *Unio douglasiae nipponensis* などイシガイ亜科に、イチモンジタナゴはドブガイ亜科に産卵するなど産卵母貝に選択性があることが報告されている (平井 1964; Kitamura 2006)。三方湖では、マツカサガイはここ数十年確認されておらず、イシガイとドブガイ類がわずかに残存していると考えられる (照井ほか 未発表)。一方、ハスについては、産卵基質の依存性は中程度であるものの、琵琶湖では、水の澄んだ河川の流れのゆるやかな浅い砂底または砂礫底のところで産卵することが報告されている (中村 1969)。

生態的特性アプローチによって得られた結果は、三方湖流域における純淡水魚類相が直面している脅威として、産卵環境の不健全化、産卵適地の減少が重大であることを示唆している。三方湖の湖岸は、水害への対策から 99% が人工護岸に大規模改変されたことに加え、ほとんどの流入河川や農業水路が 2 面もしくは 3 面のコンクリート護岸となっている。さらに、水質悪化や泥の堆積に伴う砂礫質河床の減少、二枚貝類の減少、沈水植物などの水草帯の減少などが、淡水魚類の産卵環境の質や

量を低下させる (片野・森 2005)。今後、なぜ産卵基質への依存性が高い種が減少しているのかという問題に取り組んでいく必要があるが、まずは産卵基質に着目した産卵環境の保全・再生や産卵～仔稚魚期の生活史初期段階における基礎調査・研究に努力量を分配していくことが重要である。三方湖流域では、水田魚道の設置や外来種の対策など自然再生に向けた取り組みが最近始まっており、2011 年 5 月 1 日には自然再生協議会が設立された。このことから、淡水魚類に関する保全計画についても本研究から明らかになった課題を盛り込んでいく必要がある。

また、産卵基質への依存性が高いにもかかわらず、減少種として分類されなかった種が 3 種 (ヤリタナゴ *Tanakia lanceolata*、モツゴ *Pseudorasbora parva* およびドンコ) 認められた (図 2、表 2、3)。ヤリタナゴは、イシガイ亜科 (ドブガイ亜科を利用する場合もある: Kitamura 2007) を産卵に利用する。モツゴは、石や貝殻あるいはヨシの茎の表面に卵を産みつけ、その後も卵を警備する。ドンコについても、砂礫床の大きな石の下に産卵室をつくる (川那部ほか 2001)。これら 3 種は、潜在的な高い絶滅リスクをもっている種と考えられるが、減少種として分類されなかった主な理由として、個体数に基づいた定量的なモニタリングデータがないことがあげられる。特に、ヤリタナゴとドンコに関しては、2009 年～2010 年の広域魚類調査で出現は確認されたものの、出現場所も限られていたことから個体数は減少している可能性がある。このように、減少種の生態的特性に注目して個別の観察結果を見なおすことで、将来絶滅リスクが高まる種 (指標種) の特定につながる事が期待される。

最後に、減少種や絶滅リスクの高い種を特定するためには、既存のモニタリングデータの収集・統合に加えて、継続的なモニタリングの実施が極めて重要なプロセスとなる。絶滅リスクを定量的に把握するためには、種数や分布のモニタリングだけではなく、個体数の変動を把握する定量的なモニタリングが必要不可欠である。しかし、淡水魚類の定量的なモニタリングが体系的に行われている事例は稀有である。これまでに環境省、国土交通省、農林水産省などの行政機関によっても広域魚類調査はおこなわれてきたが、いずれの調査についても、年によって採集方法や調査地点が異なる場合や、調査努力量が不足あるいは不明な場合が少なくない。限られた保全努力量のなかで、長期的な魚類相の動態をより精度高く評価していくためには、優先的に保全・モニタリングすべき

河川・湖沼・流域（コアサイト）を選定した上で、コアサイト内での複数地点の調査、異なる採集方法による調査、努力量を評価した調査を実施していくことが望まれる。また、多様な主体が参加する協働参加型調査をモニタリングのスキームに組み込むことは、広域モニタリングの実現につながることを期待される。今後、淡水魚の長期モニタリングをどのように実施していくか、その効果的なデザインの検討が望まれる。

## 謝 辞

魚類採集などの現地調査に際して、小堀徳広さんをはじめ福井県海浜自然センターの皆様、増井増一鳥浜漁業協同組合長ならびに組合の皆様、ハスプロジェクト推進協議会の皆様のご理解とご協力を賜った。統計解析については、国立環境研究所の赤坂宗光博士に御指導いただいた。また、千葉科学大学藁田孝晴博士から、生態的特性のデータを御提供いただいた。以上の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。なお本研究は、平成21年度・22年度の環境省環境研究・技術開発推進費（D-0910 福井県三方湖の自然再生に向けたウナギとコイ科魚類を指標とした総合的環境研究）の一部として行われた。

## 引用文献

油谷 誠・松田隆喜 (2006) 三方五湖に注ぐ小河川に生息する淡水魚. 福井陸水生物会報13:15-17.  
 天野達也 (2010) 生物個体数の指標化. (鷲谷いづみ・宮下直・西廣 淳・角谷 拓編) 保全生態学の技法. pp 157-178. 東京大学出版会, 東京.  
 Amano T, Yamaura Y (2007) Ecological and life-history traits related to range contractions among breeding birds in Japan. *Biological Conservation* 137:271-282.  
 Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata ZI, Knowler DJ, Leveque C, Naiman RJ, Prieur-Richard AH, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA (2006) Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81:163-182.  
 Dulvy NK, Reynolds JD (2002) Predicting extinction vulnerability in skates. *Conservation Biology* 16:440-450.  
 Fisher DO, Owens IPF (2004) The comparative method in conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution* 19:391-398.  
 福井県 (2002) 福井県の絶滅のおそれのある野生生物 福井県レッドデータブック (動物編). 福井県福祉環境部自然保護課, 福井.

福井県内水面総合センター (1999~2007) 平成9~17年度 福井県内水面総合センター事業報告書. 福井県内水面総合センター, 福井.  
 Giam X, Ng TH, Lok AFSL, Ng HH (2011) Local geographic range predicts freshwater fish extinctions in Singapore. *Journal of Applied Ecology* 48:356-363.  
 平井賢一 (1964) びわ湖産タナゴ4種の産卵生態の比較. *生理生態* 12:72-81.  
 Kadoya T, Suda S, Washitani I (2009) Dragonfly crisis in Japan: A likely consequence of recent agricultural habitat degradation. *Biological Conservation* 142:1899-1905.  
 環境省自然保護局野生生物課 (2003) 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物4 汽水・淡水魚類. 財団法人自然環境研究センター, 東京.  
 片野 修・森 誠一 (編) (2005) 希少淡水魚の現在と未来—積極的保全のシナリオ—. 信山社サイテック, 東京.  
 加藤文男 (1985) 福井県の淡水魚類. 福井県の陸水生物 (みどりのデータバンク付属資料). 福井県県民生活部自然保護課, 福井.  
 加藤文男 (1998) 福井県の淡水魚類. 福井県の陸水生物 (みどりのデータバンク付属資料, 第2回). 福井県県民生活部自然保護課, 福井.  
 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 (編) (2005) 日本の淡水魚 改訂第3版. 山と溪谷社, 東京.  
 Kitamura J (2006) Reproductive ecology of striped bitterling *Acheilognathus cyanostigma* (Cyprinidae: Acheilognathinae). *Ichthyological Research* 53: 216-222.  
 Kitamura J (2007) Reproductive ecology and host utilization of four sympatric bitterling (Acheilognathinae, Cyprinidae) in a lowland reach of the Harai River in Mie, Japan. *Environmental Biology of Fishes* 78:37-55.  
 Larson ER, Olden JD (2010) Latent extinction and invasion risk of crayfishes in the Southeastern United States. *Conservation Biology* 24:1099-1110.  
 Light T, Marchetti MP (2007) Distinguishing between invasions and habitat changes as drivers of diversity loss among California's freshwater fishes. *Conservation Biology* 21:434-446.  
 Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and Human Well-being: Our Human Planet. Island Press, Washington.  
 中村守純 (1969) 日本のコイ科魚類. 財団法人資源科学研究所, 東京.  
 藁田孝晴・鶴田哲也・井口恵一郎 (2010) 絶滅のおそれのある日本産淡水魚の生態的特性の解明. *日本水産学会誌* 76:169-184.  
 Okazaki T, Jeon SR, Kitagawa T (2002) Genetic differentiation of piscivorous chub (genus *Opsariichthys*) in Japan, Korea and Russia. *Zoological Science* 19:601-610.  
 Olden JD, Poff NL, Bestgen KR (2006) Life-history strategies predict fish invasions and extirpations in the Colorado River Basin. *Ecological Monographs* 76:25-40.

- Olden JD, Poff NL, Bestgen KR (2008) Trait synergisms and the rarity, extirpation, and extinction risk of desert fishes. *Ecology* 89:847-856.
- 大谷雅人・石濱史子・西廣 淳 (2010) 日本産被子植物の絶滅リスクと生態的特性の関係：系統関係を考慮した地域間・科間比較. *日本生態学会誌* 60:193-205.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2010) *Global Biodiversity Outlook 3*. Progress Press Ltd., Montreal.
- Watanabe K (in press) Faunal structure of Japanese freshwater fishes and its artificial disturbance. *Environmental Biology of Fishes* (DOI 10.1007/s10641-010-9601-5).
- 山浦悠一・天野達也 (2010) マクロ生態学：生態的特性に注目して. *日本生態学会誌* 60:261-276.
- Yamamoto G, Takada M, Iguchi K, Nishida M (2010) Genetic constitution and phylogenetic relationships of Japanese crucian carps (*Carassius*). *Ichthyological Research* 57:215-222.
- Yamane H, Watanabe K, Nagata Y (2009) Flexibility of reproductive tactics and their consequences in the brood parasitic fish *Pungtungia herzi* (Teleostei: Cyprinidae). *Journal of Fish Biology* 75:563-574.