

ため池の生物多様性損失の評価と保全

—兵庫県南部の調査研究から—

Assessment and Conservation of Biodiversity Loss in Irrigation Ponds

高村 典子*

Noriko TAKAMURA

1 はじめに

湖沼、河川、湿地、池などの淡水域の生物多様性の損失は地球規模で極めて深刻な状況にある。「生きている地球指数¹⁾、²⁾」によれば、淡水域の脊椎動物の調査対象個体群の個体数の減少率は更新の度に高くなり、1970年から2012年までに平均81%減少し、陸域と海域の減少率(38%, 36%)を大きく上回った。日本でも、絶滅の恐れのある野生生物として環境省レッドリスト²⁾に掲載される純淡水魚類や両生類の種数は、在来種の50%を超え、水生維管束植物では40%に上る³⁾。

このような中で、淡水の生物、特に希少種や絶滅危惧種にとって、ため池は、今や生息場所の「最後の砦」のような存在である。この、小さな止水域は、湖沼や河川と比べても単位面積当たりの生物種数が圧倒的に多く⁴⁾、しかも、希少種や絶滅危惧種の重要な生息場所となっている⁵⁾、⁶⁾、⁷⁾。周辺の里地里山の景観とともにため池群として保全することで、地域固有の生物相を維持でき、地域全体の高い多様性を創出できると考えられている。

しかし、水田の減少、担い手の高齢化、宅地への変換、農業の効率化や取水施設の構造の近代化による大規模な貯水池への変換などにより、全国のため池は20世紀後半の間にほぼ半減したと考えられる⁸⁾。さらに、地球温暖化に起因する災害リスクの増加による防災上の理由で、ため池の改廃と減水措置なども進むと想定される⁹⁾ため、淡水の生物が利用できる池環境の減少は今後も加速すると考えられる。

ここでは、ため池の多面的機能のひとつとして重要な生物多様性の保全について、2000～8年に国立環境研究所が実施した兵庫県南部のため池群の調査研究¹⁰⁾の成果から、生物多様性の評価手法、生物多様性の損失を駆動する圧力(駆動因)、保護区の選定、池干しの効果

など、保全の留意点や課題を述べる。

2 ため池の生物多様性の損失を引き起こす駆動因の特定と統合指標の構築

生物多様性の尺度は、便宜的に、出現する種¹¹⁾の数(種多様度)として表わすことができる。しかし、すべての種を網羅することはできないため、具体的に、どのような生物分類群を用いて監視や評価を行うのが適切かを定めることが、保全計画には必要である。

一般に、生物多様性の指標として適切な生物分類群には、対象とする地域に特徴的であり、その地域の広い範囲に分布すること、また、選んだ分類群の種多様度が、分類学上よくわかっていない生物分類群も含め、同所的に出現する他の多くの種の種多様度をよく反映することが望まれる¹⁰⁾。一方、保全の実践を考えると、監視・評価にかかるコストや労力は限られるので、素早く調査ができ、野外でセンサスできるような生物分類群を選ぶこと、継続性や具体的な保全活動との連携も必要なので、例えば、専門家の指導の下に、高校の理科クラブや、地域で自然に親しんでいる団体など、多くの人が楽しんでいる手法を考えることも重要である。

しかし、淡水域の生物は、陸域の生物に比べ分散能力が低く、広域に分布する種が少ないこと、種数が多い上、同定が難しい小型種が多いこと、多くが水の中に生息するため調査に手間がかかり、野外でセンサス調査ができる生物分類群が少ないこと³⁾など、指標に適した分類群の提案は難しいことが想定される。

実際、広域スケールの研究では、陸上の生物グループ間の関係に比べると、それらと淡水生物のグループの間、また、淡水生物グループ間の出現には良い相関が認められないこと¹¹⁾、流域スケールの生息適地分析でも、淡水魚類、両生類、水生ハ虫類、淡水性二枚貝では、おのこの生息適地が重ならないことが示されている¹²⁾。池を

*国立研究開発法人国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

キーワード：1) ため池、2) 生物多様性評価、3) 淡水域の保全、4) 里地里山、5) 農業活動

対象とした研究でも、両生類、トンボ類、水生甲虫類、水生腹足類、水生植物類について、おのおのの出現種数や絶滅危惧種の数の間に、どれかを「代替指標」として使用できるほど高い相関は認められていない¹³⁾。このように、淡水域の生物多様性の評価には、ひとつの分類群で他の分類群を代替して実施することはできないことが示されている¹⁴⁾ ため、新たに、その場の評価に適した指標を検討する必要がある。

我々は2006～7年に兵庫県南部のため池群を対象に、「この地域に普通にみられるため池」を代表する64のため池を、周辺の土地利用（市街地、田園地、森林）ならびに池の植生（抽水植物、浮葉植物、植生なし）という観点から偏らないように選び、ため池の生物相と環境因子の調査を実施した。その調査結果を用い、ため池の生物多様性の評価手法を検討した¹⁵⁾。

ため池の生物多様性を表す指標として相応しいと考えられる8つの生物分類群の種多様度や機能的多様度（①水生植物出現種数、②トンボ成虫出現種数、③大型底生無脊椎動物出現種数、④水生植物絶滅危惧種の出現種数、⑤トンボ絶滅危惧種の出現種数、⑥水生植物の機能的多様度、⑦トンボ幼虫の機能的多様度、⑧大型底生無脊椎動物の機能的多様度）を用い、それらすべての変化が生物多様性損失を引き起こす3カテゴリーの駆動因、すなわち（1）水質悪化、（2）生息地の改変、（3）侵入種、の関数として最もよく適合するモデルを構築し、統合指標とした。

おのおのの駆動因で用いる具体的な変数は、予め、ひとつの駆動因のみから表わされるモデルを用い、測定したすべての変数の中から最も説明力の高い変数を選んだ。すなわち、（1）は、クロロフィルa量、全リン量、シアノバクテリアの細胞数、水中懸濁態物質の量、全窒素量の中からクロロフィルa量、（2）は、コンクリート護岸率、池周辺（100m半径）の都市化率、森林率、水田率の中からコンクリート護岸率、（3）は、ブルーギル、アメリカザリガニ、ウシガエル、オオクチバス（単位努力量当たりの捕獲数）の中から、ブルーギルが選ばれた。選ばれた変数は、おのおののカテゴリーの中では、この地域のため池群の生物多様性損失の主因と考えることができる。さらに、3つのカテゴリーの相対的重要性は、順に、0.44、0.28、0.28と算出され、駆動因として水質悪化が生息地の改変と侵入種より大きなウェイトを示した。

この統合指標の構築により、各池の生物多様性損失の程度が「水中のクロロフィルa量」、「コンクリート護岸率」、「ブルーギルの個体数」の3つの変数の測定から推定可能となった。これらの情報は、池の生物多様性の回

復に効果的な駆動因の緩和や、生物多様性損失の程度が低い保全優先池の選定に役立つと考えられる。

3 生物多様性にとっての「重ね池」の評価

「重ね池」は谷池が幾つも連なった池群を指し、多くの単独の谷池と2～6個程度連なった重ね池がある。重ね池は細い水路で連結しているため、移動性の乏しい生き物は、上池から下池へと水流に乗って移動・分散することが可能である。そのため、重ね池は単独の谷池に比べ α 多様性（ひとつの池に出現する種数）が高いことが予想される。しかし、連結する池の種構成は似ると考えると、地域スケールでみた多様性、すなわち γ 多様性が高くなるかどうかは不明である。そこで、種子や散布体が、水流や鳥などの移動可能な動物に付着するなどして分散する、浮葉植物種と沈水植物種を対象に、この地域の重ね池と単独の谷池での α 多様性、 β 多様性（池間の種構成の違い）、 γ 多様性（地域全体の種数）を調べた¹⁶⁾。その結果、 γ 多様性は重ね池が単独の谷池より大きかった。 β 多様性は、重ね池が単独の谷池より若干低くなるものの、 α 多様性の差が大きく、それが γ 多様性に寄与していると考えられた。

一方、出現種数と池面積の関係を見ると、単独の谷池では池面積が5000m²くらいが最も高くなる一山型を示したが、重ね池では面積が広くなるに従って増加した。さらに、同一面積では、常に、重ね池の出現種数が単独の谷池を上回った。従って、この地域の谷池を対象とした保全に関しては、単独の谷池より重ね池を選ぶのが効果的であることが示された。

4 効率的な保全区（保護地域）の設定

ブルーギルの密度がこの地域のため池の生物多様性損失の大きな要因であることはすでに述べた。ブルーギルは一旦侵入してしまうと、その後は、閉鎖性が強い池の生態系で成長し繁殖するため、主に餌となる生物群（トンボヤゴを含む底生無脊椎動物や小型魚類など）に大きな負の影響を与えることは周知である。さらにブルーギルは孵化直後の初夏には旺盛な食欲で甲殻類動物プランクトンを摂食するため、アオコ等の発生を促すことも知られており、池の水質にも悪影響を及ぼすと考えられる。ブルーギルが入りやすい池とそうでない池を地図上で区別できれば、保全計画に役立つと考えられる。そこで、64池を対象に池のブルーギルの在・不在を予測するモデル（決定木）を作成した¹⁷⁾。ブルーギルがスポーツフィッシングを楽しむ人の手を介して拡散した可能性が高いことを考え、候補変数としては、池にブルーギルが供給されやすい景観要素として①道路からの視認性、②上

流の大型ダムとの連結性, ③池周辺の河川密度を, 従来からよく使われる景観要素である④道路の密度, ⑤都市の割合に加え, さらにその他として⑥池面積, ⑦池のクロロフィル a 量, ⑧池干し・泥吐けの有無, を選んだ。その結果, ブルーギルの出現は①と②で予測できることがわかった。ブルーギルの出現が認められた池の 82% で②が存在し, それ以外の池の中の 83% で①が高かった。選ばれた変数を用いてこの地域のすべてのため池でブルーギルの出現予測を行い地図上に示したところ, 幾つかブルーギルが侵入しにくいエリアが認められたため, それらを保全優先区や保護すべき池の候補として提案することができた。

5 農業活動とのかかわり, 特に「池干し」と「水の供給源」について

「池干し」は「泥吐け」とも呼ばれ, ため池管理の一環として農家の手で行われてきた。この地域では稲の収穫が終わると池の水位を下げ, 雑魚とりを行い, それが地域の青年団の収入源になっていた時代もあったという¹⁸⁾。また, 池底の泥は, 窒素・リンといった栄養分が豊富に含まれるため, 肥料が十分になかった時代は, 池の泥を水田に入れていたとも聞く。「池干し」は, 近年, 外来魚の駆除など新たな目的も加わり再開されるなど, 今でも実施している池があるため, 聞き取りを行い, (1) 完全に干す, (2) 完全ではないが水を落とす, (3) 全く実施しない, の 3 段階に分類し, 池の生き物や水質への効果を検討した^{19), 20)}。その結果, ブルーギルの出現は池干しの有無には左右されないが, アメリカザリガニが池干しをする池に多く出現することが明らかになった。また, 池干しによる水質改善の効果, すなわち池底の溶存酸素濃度への影響は認められなかった²⁰⁾。

ブルーギルは, 上流のダム水ならびに農業排水を主な水の供給源にする池で出現するため, 池干しで一時的にブルーギルが駆除されても, すぐに再侵入する。一方, アメリカザリガニは, 水の供給源の違いでは出現の違いが認められず, 池干しをする池に出現する, 池干しをしない池には出現しない, という差があった。アメリカザリガニは, 池干しをしても, それ自身で水の湧き出る深さまで穴を掘るか, 陸上を歩行して他の水域に移動する。我々の 64 調査池では, 一つの池を除き, ブルーギルとアメリカザリガニは排他的な分布を示した¹⁹⁾。両種の直接的な因果関係は不明であるが, ブルーギルとザリガニの仲間は, 餌をめぐる競争関係が知られている, また, 外来ザリガニは水草を摂食・破壊することで水草を好むブルーギルの繁殖を阻害するとも言われている。ブルーギルは自力拡散能力が低いので, ダムから水を引いてい

ない池では, 池干しをして駆除する効果はあると考えられるが, 池干しをするとアメリカザリガニが好む環境が創出される。残念ながら, 現在のため池環境では, 池干しがブルーギルやアメリカザリガニを減らす効果は期待できない。

6 おわりに

調査地域のため池群については, 石井・角野⁶⁾が 20 年間にわたる 109 カ所のため池の水生植物相の調査で, 1998～9 年には, すでに種の多様性に富んだ池が激減し, 特に貧栄養水域に生育する種や沈水植物で, その残存率は 10-35% と報告している。我々が 2002～7 年にかけて行った 99 池の調査では, 64% の池から少なくとも一種以上の, 5% の池からは 8 種以上の絶滅危惧種がみつかった。一方で, 侵入種が全く観察されなかった池は, たった 5 池にとどまり, 2 種以上の侵入種が見つかった池は 64% に上った⁷⁾。

こうした状況の下で実施した我々の調査研究は, この地域のため池群の生物多様性を回復させるための計画や実践に役立つと考えられる。個々の池の生物多様性の回復には, 池の富栄養化の緩和, 池の植生の再生, 池周辺の樹木や堰堤の草地の維持管理などが重要と考えられる。池の改修に際しては, コンクリート護岸を見直し, 生き物に配慮した素材の利用や工法を採用するなどが必要になる。外来種の駆除については, 未だに良い解決策が見つけられていないが, この地域のため池と, 水の供給水路のネットワークの実態をよく理解し, 池の連結性のプラス面とマイナス面を上手く使い分けることが肝要である。

生物多様性の監視について, 最近では, 環境 DNA 調査の普及により, 淡水魚類相やターゲットとする外来動物種の侵入などの把握は, より簡便に行えるようになってきた。さらに, ため池とその周辺の植生評価や水質汚濁の指標となるクロロフィル a 量の推定にはドローンなどの UAV による空撮が有効になるだろう。これらは数年前までは衛星画像の解像度の問題等から広域評価が困難であった。今後は, 新しい技術を積極的に活用していくことで, 高精度で簡便な監視が可能になると考えられる。

ため池は灌漑用水の供給が主たる機能であるが, 里地里山の重要な景観要素であり, 生物多様性保全の機能以外にも, 出水時の洪水調整機能, 水質(特に窒素の)浄化機能, ヒートアイランドの緩和などの気温調節機能, 炭素の貯留機能, 私たちの心身をより良好に保つアメニティー, 学びの場や社会的絆を構築する場の提供など, 多面的機能を持つことは広く認知されている。実際, 我々の調査からも, 農家・非農家を問わず, 人々は, ため池

の農業面と環境面の双方の価値を十分評価していることがわかっている²¹⁾。しかし、農業利用以外の機能については、生業や経済とは直接結びつかないこと、さらに、ため池の保全管理のコストや、最近では、温暖化影響に伴う防災面での課題もあり、多面的機能への配慮が手薄になる恐れがある。

ため池の保全活動への参加経験は、非農家の人々の「ため池環境に対する知識」を高め、それが、ため池保全への「行動意図」に直接結びつく²¹⁾。また、「社会規範」とおした「行動意図」が高まる。しかし、参加経験がないと、そうしたため池保全への「行動意図」に結びつくパスは弱まり、逆に、「コスト感」から保全活動への負のパスが大きくなる。こうした結果は、一般の人々が、ため池の保全活動に参加することへの動機づけや機会を増やすことの重要性を示している。ため池の生物多様性は、人々が身近な生き物に触れあう機会を提供する大きな地域資源である。それがこれ以上損なわれることがないように、ため池の生物多様性保全是急務である。

注釈

- 注1) 脊椎動物 3,038 種以上 10,380 個体群を対象とした各個体群の個体数の変動調査に基づく個体群変動の傾向。科学者と公的機関により過去 40 年以上にわたりモニタリングされてきた。1970 年時点の指数数値を 1 としている。
 注2) 研究内容の詳細は個別の引用論文を参照のこと。
 注3) 属や科が用いられる場合もある。

引用文献

- 1) WWF: Living planet report 2016, (http://awsassets.panda.org/downloads/lpr_living_planet_report_2016.pdf), 2019 年 10 月 5 日.
- 2) 環境省: レッドリスト, (<https://www.env.go.jp/nature/kisho/hozen/redlist/index.html>), 2019 年 10 月 11 日.
- 3) 高村典子 (2016): 淡水域の保全, その政策を支える生物多様性評価の現状と課題. 保全生態学研究, 21,117-124.
- 4) Williams P, Whitfield M, Biggs J, Bray S, Fox G, Nicolet P, Sear D. (2004): Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biol. Conserv.*,115, 329-341.
- 5) Nicolet P, Biggs J, Fox G, Hodson MJ, Reynolds C, Whitfield M, Williams P. (2004): The wetland plant and macroinvertebrate assemblage of temporary ponds in England. *Biol. Conserv.*,120, 261-278.
- 6) 石井禎基・角野康郎 (2003): 兵庫県東播磨地方のため池における過去約 20 年間の水生植物相の変化. 保全生態学研究, 8, 25-32.
- 7) Takamura N. (2012): Status of biodiversity loss in lakes and ponds in Japan. *The Biodiversity Observation Network*

in the Asia-Pacific region: Towards further development of monitoring. (eds S.Nakano, T.Yahara and T.Nakashizuka), Springer, Tokyo. pp. 133-148.

- 8) 高村典子 (2019): 地域の自然資源としてのため池, その価値の再評価と活用. *水環境学会誌*, 42 (A), 43.
- 9) 農林水産省: 農業用ため池の管理及び保全に関する法律の運用について, (http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/hourei_tameike-3.pdf), 2019 年 10 月 9 日.
- 10) Caro TM, O'doherty G. (1998): On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology*, 13(4), 805-814.
- 11) Darwall WRT, Holland RA, Smith KG, Allen D, Brooks EGE, Katarya V, Pollock CM, Shi Y, Clausnitzer V, Cumberlidge N, Cuttelod A, Dijkstra KB, Diop MD, Garcia N, Seddon MB, Skelton PH, Snoeks J, Tweddle D, Vié J. (2011): Implications of bias in conservation research and investment for freshwater species. *Conservation Letters*, 4, 474-482.
- 12) Stewart D, Underwood ZE, Rahel F, Walters AW. (2017): The effectiveness of surrogate taxa to conserve freshwater biodiversity. *Conservation Biology*, 32(1), 183-194.
- 13) Ilg C, Oertli B. (2016): Effectiveness of amphibians as biodiversity surrogates in pond conservation. *Conservation Biology*, 31(2), 437-445.
- 14) Heino J. (2010): Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystem? *Ecological Indicators*, 10, 112-117.
- 15) Kadoya T, Akasaka M, Aoki T, Takamura, N. (2011): A proposal of framework to obtain an integrated biodiversity indicator for agricultural ponds incorporating the simultaneous effects of multiple pressures. *Ecological Indicators*, 11(5), 1396-1402.
- 16) Akasaka M, Takamura N. (2012): Hydrologic connection between ponds positively affects macrophyte α and γ diversity but negatively affects β diversity. *Ecology*, 93(5), 967-973.
- 17) Kizuka T, Akasaka M, Kadoya T, Takamura N. (2014): Visibility from roads predict the distribution of invasive fishes in agricultural ponds. *PLOS ONE* 9(6), e99709.
- 18) 今田美穂 私信
- 19) Usio N, Imada M, Nakagawa M, Akasaka M, Takamura N. (2013): Effects of pond draining on biodiversity and water quality of farm ponds. *Conservation Biology* 27(6), 1429-1438.
- 20) 西川潮・今田美穂・赤坂宗光・高村典子 (2009): ため池の管理形態が水棲外来動物の分布に及ぼす影響. *陸水学雑誌*, 70, 61-266.
- 21) 今井葉子・野波寛・高村典子 (2016): ため池保全の環境行動意図を規定する要因の分析: 農家と非農家の間でのコモンズ評価の差異に着目した検討—保全生態学研究, 21, 1-14.