

調査報告

愛媛県の農業用土水路における絶滅危惧種マツカサガイ残存個体群

畑 啓生^{1,*}・東垣 大祐¹・小笠原 康太²・松本 浩司³・山本 貴仁⁴・村上 裕⁵
中島 淳⁶・井上 幹生¹

¹ 愛媛大学大学院理工学研究科

² 愛媛大学理学部

³ 愛媛大学附属高等学校

⁴ 西条自然学校

⁵ 愛媛県立衛生環境研究所生物多様性センター

⁶ 福岡県保健環境研究所

A remaining population of an endangered freshwater unionid, *Pronodularia japonensis* (Lea, 1958),
in a fragmented agricultural ditch

Hiroki Hata^{1,*}, Daisuke Togaki¹, Kota Ogasawara², Koji Matsumoto³, Takahito Yamamoto⁴, Hiroshi Murakami⁵,
Jun Nakajima⁶ and Mikio Inoue¹

¹ Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

² Department of Science, Ehime University

³ Ehime University Senior High School

⁴ Saijyo Nature School

⁵ Biodiversity Center, Ehime Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

⁶ Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

要旨：イシガイ科マツカサガイは、本州、四国、九州に分布する日本固有の淡水性二枚貝である。流水のある淡水域を選好し、現在ではその主な生息地は農業用水路となっている。本研究では、愛媛県の道前平野における農業用土水路にて、マツカサガイの新たな生息地が確認されたため報告する。愛媛県では、マツカサガイは、松山平野南部と宇和盆地のみに生息が知られていたが、それらの地域では分布域と密度が急速に減少しており、愛媛県特定希少野生動物植物として条例で保護されている。道前平野において、圃場整備の一環として流路が変更される予定である農業用水路で調査した結果、水面幅約 1 m、流路長 440 m の範囲の土水路ほぼ全域にわたって、最大密度 20 個体 /m² で、計 651 個体の生息が確認され、1249 個体の生息が推測された。土水路中で一部、二面コンクリート護岸が施されている場所では、確認された個体数は著しく少なかった。マツカサガイの殻長は 41.7 ± 5.8 mm (平均 ± 標準偏差) で、松山平野の国近川の個体群と比較すると、平均値に対する標準偏差の値が大きく、20 mm 程度の幼貝もみられたため、本土水路では、国近川に比べマツカサガイの寿命は短いものの、複数回の再生産が生じていると考えられる。この農業用の水路網は一級河川が作る扇状地に網目状に広がり、周辺は一面に水田が広がるが、圃場整備により、土水路が残されるのは本研究地区のみとなっており、最後に残されたマツカサガイ生息地の断片と考えられる。マツカサガイは全国的にみても準絶滅危惧種であり、この個体群の保全が求められる。淡水性二枚貝類は人為的影響により減少が危惧されるため、圃場整備を行いながらの保全の実践は、他地域のためにも先行例となる。

キーワード：イシガイ科、絶滅危惧種、土水路、圃場整備

* 〒 790-8577 愛媛県松山市文京町 2-5 愛媛大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, 2-5 Bunkyo, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

e-mail: hata.hiroki.mk@ehime-u.ac.jp 2021 年 4 月 1 日受付、2021 年 6 月 28 日受理、2021 年 10 月 31 日早期公開 (J-STAGE)

Abstract: *Pronodularia japonensis* is a freshwater mussel (family Unionidae) endemic to Honshu, Shikoku and Kyushu in Japan. This unionid species prefers running water, and its main habitat is currently agricultural ditches. In this study, we report a newly found population of this species in an agricultural ditch in the alluvial Dozen Plain, in Ehime Prefecture, Japan. In Ehime, *P. japonensis* was previously recorded as inhabiting only the Matsuyama Plain and Uwa Basin, and its distribution area and density have been rapidly decreasing for decades; hence, this species is protected as endangered in Ehime Prefecture. We conducted a survey of an agricultural ditch in the Dozen Plain that was scheduled for rerouting during farmland consolidation. We found 651 *P. japonensis* individuals, with a maximum density of 20 individuals/m², in an earthen ditch with a width of approximately 1 m and a length of 440 m. In total, 1,249 individuals were estimated to inhabit this earthen ditch. In a 60-m section where both revetments were covered with concrete, the density of *P. japonensis* was quite low. The mean shell length of *P. japonensis* was 41.7 ± 5.8 mm, and the standard deviation was larger than that of the Kunichi River population on the Matsuyama Plain. Therefore, the life span of the mussel in this earthen ditch is estimated to be shorter on average than in the Kunichi River, and reproduction occurs repeatedly. In the study area, although agricultural ditches for rice paddies form a network of aquatic habitats on the alluvial plain, most are concrete-covered due to previous farmland consolidation. Therefore, the earthen ditch examined here is one of the very few remaining in this area, and likely represents part of the last remaining habitat of unionid species. *Pronodularia japonensis* is listed as a near-threatened species in Japan, and conservation of the study population is necessary. Freshwater mussels are under threat of further decline due to anthropogenic influences; conservation of this species while also maintaining the adjacent agricultural field could serve as a good example for other areas.

Keywords: earthen ditch, endangered species, farmland consolidation, Unionidae

はじめに

日本においては、氾濫原環境の多くは失われ、水田がその代替生息地として機能してきた（大塚 2020）。しかし、戦後の1949年（昭和24年）に土地改良法が施行されて以降、農耕地面積当たりの収量を上げられるよう圃場整備が行われ、それが氾濫原環境に適応した生物にとっての生息場所を破壊することに繋がった。近年、世界的に生物多様性への理解が進み、その評価が高まる中で、日本では、2001年（平成13年）に土地改良法改正において、土地改良事業の実施にあたっての原則として、環境との調和への配慮が明記された。また、この改正から20年を振り返り様々な事例が取りまとめられ（農林水産省 2020a）、2015年に国連サミットで採択された持続可能な開発目標に沿ってさらに推進する方向で2020年（令和2年）に今後の生態系配慮の方向性が提示されている（農林水産省 2020b）。これらの方針に鑑み、地域の希少動物種を保全することが喫緊の課題であり、このような個別様々な地域の活動こそがボトムアップとなり地球の生物多様性を守ることに資する。

イシガイ目イシガイ科の淡水二枚貝類（以下、イシガイ類）は、157属753種が記載され、極地と砂漠を除く世界各地の河川や湖沼に広く生息する（Graf and Cummings 2021）。しかし、その三分の一の種は、人為的な利水や汚染による生息環境の消失や劣化により、絶

滅の危機に瀕している（Böhm et al. 2021）。現在では、イシガイ科二枚貝類は、農地や用水路などの人為的環境が、世界中で主要な生息地となっている（Sousa et al. 2021）。日本においても、18種の固有種を含む13属26種に加え外来種2種が生息しているが（近藤 2020；Lopes-Lima et al. 2020）、うち13種が絶滅危惧種としてレッドリストに載せられており、多くの種が生息域と生息数を減少させている（根岸ほか 2008a；環境省 2020a）。イシガイ類は、流水性の種と止水性の種に分けられるが、特に流水性の種が減少している（根岸ほか 2008b）。それは、流水性のイシガイ類の日本における主な生息地が農業用排水路であり、戦後の圃場整備にともなう水路の改修の影響を強く受けていることに起因する（鷺谷 2007；Katayama et al. 2015）。日本では、1949年に施行された土地改良法に基づき、農業の生産性の向上を目的とし、農地の区画整理や農業用排水路の新設、管理、改修が行われてきた。そのなかで、かつては土水路であったものが、堆砂や植生の繁茂を防止し得る十分な流速が維持されるように垂直な壁面をもつ三面コンクリート張りの水路へ改修されてきた。このような水路は、堆積物を必要とし、比較的緩やかな流れを好むイシガイ類の生息環境として不適であると考えられる。

愛媛県においては、流水性のイシガイ類としては、イシガイ *Nodularia douglasiae* (Gray in Griffith & Pidgeon, 1833)、マツカサガイ *Pronodularia japonensis* (Lea, 1958)

が生息しており、イシガイは松山平野のみから、マツカサガイは松山平野と宇和盆地のみから、それぞれ生息が報告されていた（千葉 1995；石川・千葉 1999）。しかし、両種とも 1990 年以降分布域と密度を急速に減少させ、2019 年に愛媛県野生動物植物の多様性の保全に関する条例により特定希少野生動物植物種に指定され、保全の必要性が叫ばれている（松川ほか 1993；桑原ほか 2017；吉見ほか 2018；愛媛県 2019）。イシガイ類の減少や絶滅は、イシガイ類に依存する種の連鎖的な絶滅を引き起こす。タナゴ科魚類はイシガイ類の鰓に産卵し、繁殖をイシガイ類に絶対的に依存している。愛媛県では、在来種としてヤリタナゴ *Tanakia lanceolata* (Temminck & Schlegel, 1846) が生息しており、産卵母貝の減少と同時に分布域を著しく減少させている（松葉ほか 2014；藤原ほか 2014）。さらに、産卵母貝の密度の減少によって、国内外来種であるアブラボテ *Tanakia limbata* (Temminck & Schlegel, 1846) との交雑が生じている（Hata et al. 2019；Hata et al. 2021）。このような産卵母貝の減少による連鎖的な絶滅は日本全国でみられ、日本に生息するタナゴ科 16 種（亜種を含む）のうち 15 種がレッドリストに掲載され絶滅が危惧されている（環境省 2020b）。

本研究では、近年整備計画のある愛媛県西条市の道前平野にわずかに残された農業用土水路で、マツカサガイが発見されたため、それらの分布と、密度、殻長分布を調査した。なお、日本のマツカサガイ *Pronodularia japonensis* は、分子系統解析により *Pronodularia* cf. *japanensis* 1、*Pronodularia* cf. *japanensis* 2、*Pronodularia* cf. *japanensis* 3 の 3 種に区分できることが報告されており（Lopes-Lima et al. 2020）、愛媛県の個体群は、本州東部の日本海側から本州西部、四国、九州に広く分布するマツカサガイ広域分布種 *Pronodularia* cf. *japanensis* 1 にあたる（近藤 2020）。しかしながら、現時点では、分類学的な決定はなされていないため、本研究ではマツカサガイ *P. japonensis* とする。

方法

調査地

愛媛県西条市に広がる道前平野は、中山川（幹川流路延長約 29.7 km）が形成した扇状地であり、平野部では主に水稲と裸麦の栽培が盛んで、水田が広がっている。道前平野では、中山川の支流である志河川ダムを水源とし、ため池を経由して農業用水が供給されている。調査は、周辺水田の用排水路が圃場整備によりコンクリート

護岸化されるなか、排水路の一部にパッチ状に残された土水路で行った（図 1）。なお、土水路には柵はなく、土水路の一部およそ 60 m の区間は二面コンクリート護岸であった。土水路の底質は砂質（粒径 0.074-2 mm）と粘土質（粒径 0.074 mm 未満）、および小礫（粒径 2-20 mm）からなる。毎年 5 月に手作業による泥上げが実施され維持されている（著者による地域住民からの聞き取り調査）。また、西条市の農業用の土水路で 2013 年 12 月に電気漁具を用いて実施された魚類相調査により、16 種の魚類の生息が確認されており（付録 1 表 1）、松山平野でのマツカサガイのグロキディウム幼生の寄生状況と比較して（桑原ほか 2017）、少なくとも宿主となりうる魚類として、トウヨシノボリ *Rhinogobius* sp. OR、ヌマチチブ *Tridentiger brevispinis* Katsuyama, Arai & Nakamura, 1972、オイカワ *Opsariichthys platypus* (Temminck & Schlegel, 1846)、タカハヤ *Rhynchocypris oxycephala jouyi* (Jordan & Snyder, 1901) の生息が確認された。また、産卵基質としてマツカサガイを利用するタナゴ類としては、外来種のタイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus ocellatus* (Kner, 1866) のみが確認された。マツカサガイ以外の淡水二枚貝類としては、タイワンシジミ *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) のみが生息していた（玉井ほか 2008）。

調査方法

調査は、非灌漑期にあたる 2020 年 12 月に実施した。流路延長 440 m の土水路において、少なくとも流路長 10 m おきに、流路長 10 m の調査区を設定し、マツカサガイの徒手採集を行った。徒手採集は、畑、東垣、小笠原、松本が底質に手を突っ込み、約 10 cm の深さまで、くまなく探り、2 名が同じ調査区で繰り返し採集し、採取できなくなるまで行った。採集したマツカサガイは、殻長（mm）を計測し、採集した区画に戻した。

統計解析

本調査水路におけるマツカサガイの集団サイズを、調査した 260 m の区画の生息個体数から推定した。各流路長 10 m の未調査区間の生息個体数については、隣接する上流と下流の調査区間の密度を平均し、未調査区間の面積を掛けて推定した。なお、最上流端の未調査区の密度については、直下の調査区の密度をそのまま用いて推定した。

健全な個体群では、頻繁に再生産が行われているため、小さな個体を含む様々な体サイズが見られると考えられ

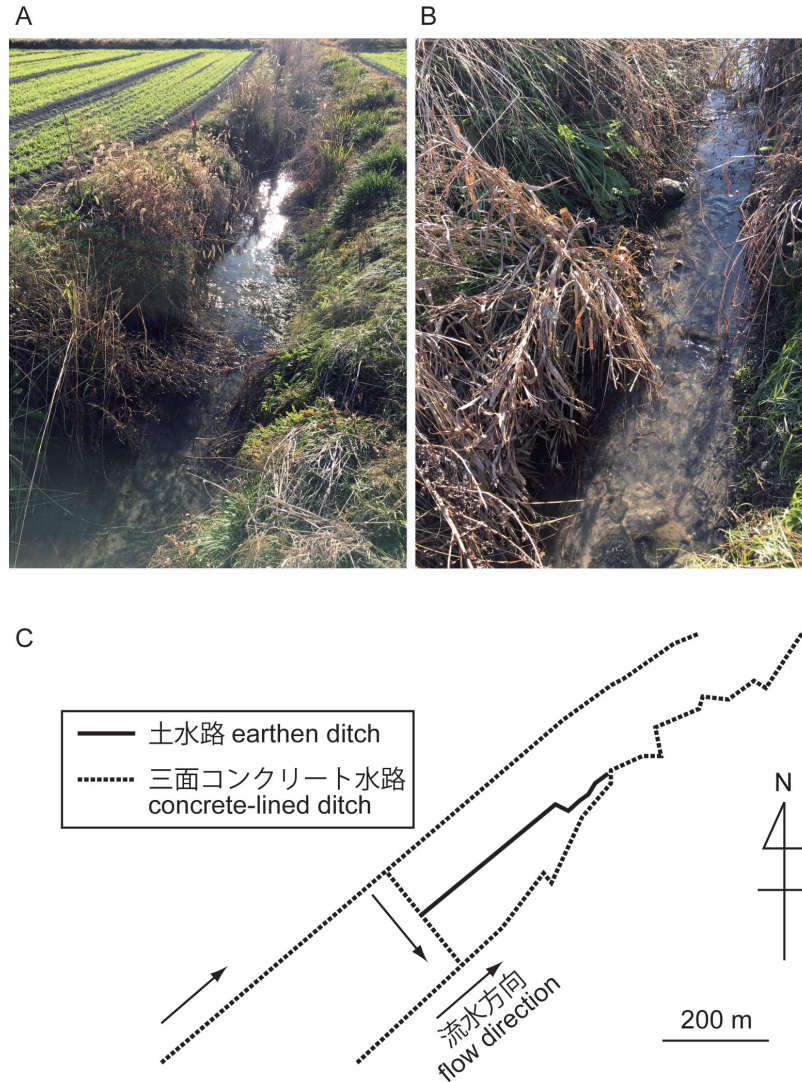


図1. 愛媛県西条市の、扇状地である道前平野扇端に位置する調査地の概要。A) 土水路の景観。B) 土水路の河床。C) 土水路全体の模式図。実線は土水路、点線は三面コンクリート水路を示す。

Figure 1. Study site in the distal fan of the Dozen Plain, Ehime Prefecture. A) Photograph of the earthen ditch. B) Substrate of the earthen ditch. C) Schematic diagram of the ditches at our study site. Solid and dotted lines indicate earthen and concrete-lined ditches, respectively.

る。本調査地の個体群が健全な状態にあるかを調べるため、1990年以降に急速に個体群が縮小している愛媛県松山平野の国近川の個体群（桑原ほか 2017）の殻長分布と比較した。まず、それぞれの集団で殻長の分布が正規分布に従うか、尖度と歪度を用いて R パッケージ `normtest v1.1` の `kurtosis.norm.test` と `skewness.norm.test` 関数を用いて検定した。いずれの集団においても殻長分布が正規分布と異なったため、殻長を応答変数、採集地を説明変数とし、確率分布をガンマ分布、リンク関数を `log` として、一般化線形モデル (GLM) を用いて解析した。

解析には R version 4.0.3 を用いた (R Core Team 2020)。

結 果

マツカサガイの分布状況

調査した流路長 260 m の区画から 651 個体のマツカサガイが確認された。流路延長 440 m の土水路ほぼ全域にわたって、マツカサガイの息息が確認されたものの、一部コンクリート護岸が施されている場所では、確認された個体数は著しく少なかった (図 2)。未調査の流路区

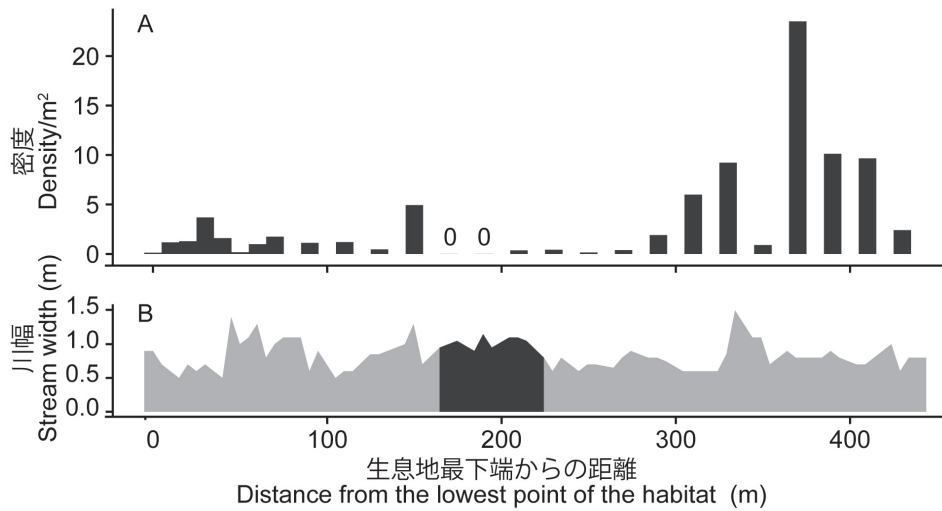


図2. 愛媛県西条市におけるマツカサガイの分布。A) 流路長 440 m の土水路でみられたマツカサガイの密度。空白は未調査区を示す。B) 土水路における水面幅。黒色で示した 180-230 m の区間はコンクリート護岸されていた部分を示す。

Figure 2. Distribution of *Pronodularia japonensis* in an earthen ditch in Saijyo, Ehime. A) Densities in sections along the 440-m earthen ditch. An absence of bars indicates unexamined sections. B) Width of the earthen ditch. The black part is lined by concrete.

分について、隣接する調査区の密度の平均値と未調査区の面積を用いて推定したところ、流路延長 440 m の本水路に 1249 個体の生息が推測された。

マツカサガイの殻長分布

西条市の土水路のマツカサガイの殻長は 41.7 ± 5.8 mm (平均 \pm 標準偏差)、最小 19.5 mm、最大 68.8 mm であった (図3)。殻長分布は、尖度が 4.32 となり、平均的な殻長群の個体数が多く、有意に正規分布と異なった (Kurtosis test for normality, $T = 4.32$, $p < 0.001$)。一方、歪度は正規分布と相違なかった (Skewness test for normality, $T = 0.071$, $p = 0.456$)。マツカサガイの殻長は、西条市と松山平野の国近川とで異なり、西条市で有意に小さかった (GLM, $p < 0.001$)。

考 察

マツカサガイの生息状況

愛媛県西条市、道前平野の農業用排水路である土水路において、マツカサガイの残存個体群が見つかった。愛媛県においては、マツカサガイの分布は松山平野と宇和盆地のみで報告されていたため、新産地となる。しかし、道前平野においては、河川や他の用排水路では生息が全く確認されておらず、また土水路もほとんど残されてい

ない。本土水路区間では、いずれの場所でもマツカサガイが生息し密度が高かったが、土水路に挟まれたコンクリート二面貼区間ではマツカサガイの密度が低く、コンクリート護岸がマツカサガイの密度の減少の引き起こしていると考えられる。そのため、今回見つかった道前平野の個体群は、かつて農業用水路中の複数の場所にパッチ状に生息していた個体群の残存集団ではないかと考えられる。この個体群では、愛媛県国近川水系の個体群と比べて殻長が小さく、かつ殻長の分散が大きい一方、個体群の中で平均的な殻長を持つ個体の割合が多かった。また、徒手採捕であったが殻長 20 mm 程度の若齢個体が複数確認できた。これらのことは、二級河川で水面幅 4-20 m ある国近川に比べ、水面幅 0.5-1.5 m 程度の土水路では、渇水や高水温が比較的高頻度で生じることが想像され、また毎年 5 月に実施される定期的な泥上げにより、個体の寿命が制限されている一方、再生産が複数回生じていることを示唆している。愛媛県の松山平野では、1990 年頃には、国近川水系に広くマツカサガイとイシガイが生息していたが、2014 年までに、マツカサガイは分布域が 90% 以上減少し、密度も 99% 以上減少した。また、イシガイは 2013 年 7-8 月に 2 個体採集されたのが最後の記録で、ほぼ地域絶滅という状況である (桑原ほか 2017; Hata et al. 2021)。一方、道前平野の本調査地でも、松山平野でも、マツカサガイの分布域に外来種

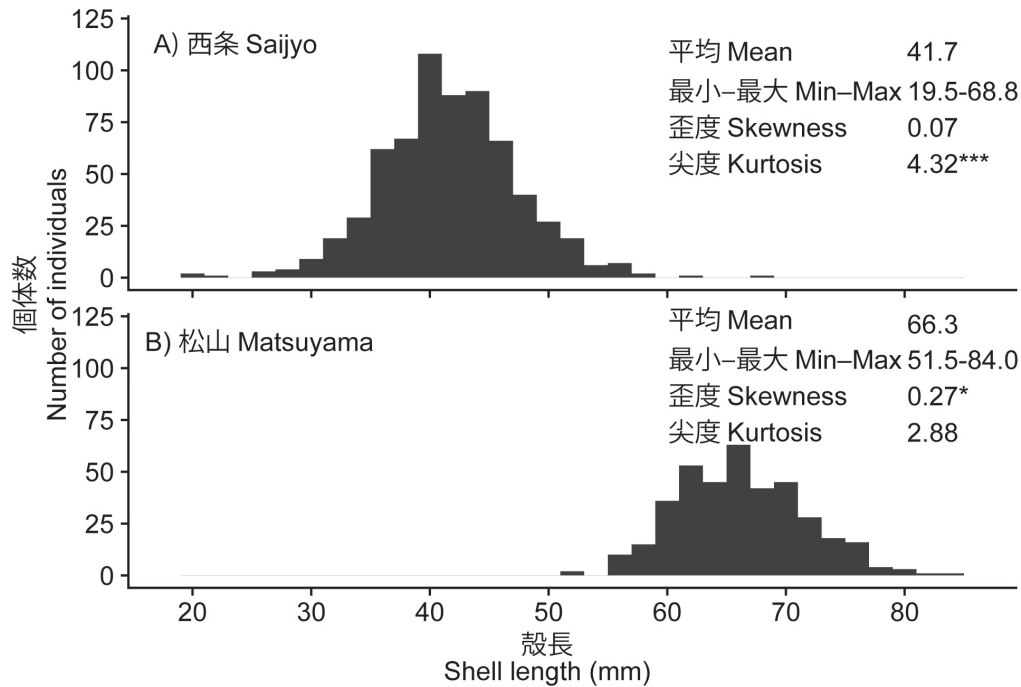


図3. 愛媛県におけるマツカサガイの殻長分布。A) 本研究で対象とした西条市の個体群、B) 桑原ほか (2017) により報告されている松山平野の国近川水系の個体群。Mean, Min, Max はそれぞれ殻長 (mm) の平均値、最小値、最大値を示す。Skewness と Kurtosis はそれぞれ分布の歪度と尖度を示す。

Figure 3. Shell length distribution of *Pronodularia japonensis* in Ehime. A) Population in Saijyo examined in this study, B) population in Matsuyama cited from Kuwahara et al. (2017). Mean, Min, and Max indicate the mean, minimum, and maximum shell lengths (mm), respectively

であるタイワンシジミの生息が確認された。タイワンシジミは餌や生息場所をめぐる競争により在来の淡水二枚貝種の生育に負の影響を与えることが報告されており (Ferreira-Rodríguez et al. 2018 ; Haag et al. 2021)、本調査地においてもタイワンシジミの分布、密度の変化と、マツカサガイへの影響について注視する必要がある。

マツカサガイの圃場整備時における保全

マツカサガイの生息が確認された道前平野の土水路について、圃場区画整理と排水路の付け替えが計画されており、土水路は消失し、近くに新たに水路が構築される予定である (著者による聞き取り調査)。愛媛県特定希少野生動植物として条例で保護されている本種の生息が確認されたことから、圃場整備にあたって何らかの対応を行う必要があるだろう。圃場整備と、そこに住む生物の保全との両立については、様々な取り組みがなされている。例えば、農業用排水路の改修において、長さ 1.5 m、奥行き 1 m 程度の小型の人工ワンドの設置や、材と材との間に隙間を開ける板柵工による河岸の補修など、複雑

性を生じさせる構造を付与することが、魚類の生息場所の創出に効果的であることが示されている (和田ほか 2012)。マツカサガイについても、いくつかの地域で圃場整備後の水路での生息が確認されている。例えば、岐阜県のコンクリート張りの用水路においては、厚さおよそ 10 cm の安定した底質がある場所で、最大 300 個体 /m² の密度が記録されている (Negishi et al. 2011)。山形県では、同じく三面コンクリート張りの農業用水路において、流速が緩やかで砂と小礫が堆積している場所のみでマツカサガイが生息している (菊地・渡邊 2018)。このように、マツカサガイにとって必要な環境条件を確保できれば、コンクリート護岸を行った場合でも本種の生息を維持することが可能であると考えられる。そのため、本水路においても、新水路はできる限り三面コンクリート張りではなく、側面を板柵工にしたり人工のワンドを作ったりするなど構造の複雑な区画を作り、さらに底面はコンクリート底張をしない構造にした上で旧水路の底質を移植するのが望ましいが、コンクリート底張をする場合でも旧水路の底質を移植して、マツカサガイの冬期の潜行に

必要な 10 cm 以上の厚さの底質を確保する必要がある (根岸ほか 2008a; Negishi et al. 2011; 三浦ほか 2014; Miura et al. 2018)。また、イシガイ類は魚類に寄生するグロキディウム幼生期を持つことから、魚類の移動を妨げるような堰や落差を上・下流に設けないことも重要である (根岸ほか 2008b)。旧水路から新水路へのマツカサガイの移植には、工事前の救出や工事中の一時的な保管、工事後の再導入が必要になる (三浦ほか 2014; Miura et al. 2018; 永山ほか 2018)。一次保管ができるだけ短い期間となるよう新水路を先に完成させ、旧水路から新水路への切り替えは短期間に行い、かつコンクリート等による水質悪化の影響を避けるために、新水路には移植前に十分通水しておくことが必要である (三浦ほか 2014; 鬼倉ほか 2020)。また、地元住民の協力を得てマツカサガイの移植作業を行うことができれば、希少種の保全についての意義を共有することができ、より確実で持続的な保全に繋がる。さらに、イシガイ類を移植する時期は、繁殖期にあたる春期から夏期、水温が高く環境変動が死亡を引き起こしやすい夏期、および台風による攪乱が生じる秋期を避け、冬期に行うのが望ましい (永山ほか 2018)。圃場整備後は、水管理の変更などにより水路に水が流れない時期が生じないようにする、水路に農薬等が流れ込まないよう注意喚起する、マツカサガイの生息状況や再生産の有無、グロキディウム幼生の宿主魚類等についてのモニタリング調査を行うことが必要である。

謝 辞

現地調査を許可して下さった地元関係者の皆様、愛媛県環境部自然保護課生物多様性係の皆様、マツカサガイの同定についてご教授下さった近藤高貴博士、また調査に協力下さった愛媛大学理学部生態学研究室の皆様、心より感謝申し上げます。

引用文献

Böhm M, Dewhurst-Richman NI, Seddon M, Ledger SEH, Albrecht C, Allen D, Bogan AE, Cordeiro J, Cummings KS, Cuttelod A, Darrigran G, Darwall W, Fehér Z, Gibson C, Graf DL, Köhler F, Lopes-Lima M, Pastorino G, Perez KE, Smith K, van Damme D, Vinarski MV, von Proschwitz T, von Rintelen T, Aldridge DC, Aravind NA, Budha PB, Clavijo C, Van Tu D, Gargominy O, Ghamizi M, Haase M, Hilton-Taylor C, Johnson PD, Kebapçı Ü, Lajtner J,

Lange CN, Lepitzki DAW, Martínez-Ortí A, Moorkens EA, Neubert E, Pollock CM, Prié V, Radea C, Ramirez R, Ramos MA, Santos SB, Slapnik R, Son MO, Stensgaard AS, Collen B (2021) The conservation status of the world's freshwater molluscs. *Hydrobiologia*, 848:3231-3254. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04385-w>

千葉 昇 (1995) 松山平野南部の淡水産貝類. 愛媛県立博物館研究報告, 12:1-49

愛媛県 (2019) 特定希少野生動植物の指定. 愛媛県報, 22:264-265

Ferreira-Rodríguez N, Sousa R, Pardo I (2018) Negative effects of *Corbicula fluminea* over native freshwater mussels. *Hydrobiologia*, 810:85-95. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3059-1>

藤原 結花, 内田 有紀, 川西 亮太, 井上 幹生 (2014) 灌漑用湧水池における魚類群集の変化 - 護岸改修と外来魚に着目した10年前との比較 -. 応用生態工学, 16:91-105. <https://doi.org/10.3825/ece.16.91>

Graf DL, Cummings KS (2021) A 'big data' approach to global freshwater mussel diversity (Bivalvia: Unionoida), with an updated checklist of genera and species. *Journal of Molluscan Studies*, 87:eyaa034. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyaa034>

Haag WR, Culp J, Drayer AN, McGregor MA, White DEJ, Price SJ (2021) Abundance of an invasive bivalve, *Corbicula fluminea*, is negatively related to growth of freshwater mussels in the wild. *Freshwater Biology*, 66:447-457. <https://doi.org/10.1111/fwb.13651>

Hata H, Uemura Y, Ouchi K (2021) Decline of unionid mussels enhances hybridisation of native and introduced bitterling fish species through competition for breeding substrate. *Freshwater Biology*, 66:189-201. <https://doi.org/10.1111/fwb.13629>

Hata H, Uemura Y, Ouchi K, Matsuba H (2019) Hybridization between an endangered freshwater fish and an introduced congeneric species and consequent genetic introgression. *PLOS ONE*, 14:e0212452. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212452>

石川 裕, 千葉 昇 (1999) 愛媛県産淡水貝類目録. 愛媛県立博物館研究報告, 14:1-50

環境省 (2020a) 貝類 環境省レッドリスト2020. <http://www.env.go.jp/press/files/jp/114457.pdf>, 2021年3月22日確認

環境省 (2020b) 汽水・淡水魚類 環境省レッドリスト2020. <http://www.env.go.jp/press/files/jp/114457.pdf>, 2021年3月22日確認

Katayama N, Baba YG, Kusumoto Y, Tanaka K (2015) A review of post-war changes in rice farming and biodiversity in Japan. *Agricultural Systems*, 132:73-84. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.09.001>

菊地 朋希, 渡邊 一哉 (2018) イシガイ類の生息条件に着目した農業用水路の環境構造. 環境情報科学論文集, ceis32:297-302. <https://doi.org/10.11492/ceisapers>

- ceis32.0_297
 近藤 高貴 (2020) イシガイ科貝類の新たな分類体系. ちりぼたん, 50:294-296
- 桑原 明大, 松葉 成生, 井上 幹生, 畑 啓生 (2017) 愛媛県松山平野におけるイシガイ科貝類個体群の衰退. 保全生態学研究, 22:91-103. https://doi.org/10.18960/hozen.22.1_91
- Lopes-Lima M, Hattori A, Kondo T, Hee Lee J, Ki Kim S, Shirai A, Hayashi H, Usui T, Sakuma K, Toriya T, Sunamura Y, Ishikawa H, Hoshino N, Kusano Y, Kumaki H, Utsugi Y, Yabe S, Yoshinari Y, Hiruma H, Tanaka A, Sao K, Ueda T, Sano I, Miyazaki J-I, Gonçalves DV, Klishko OK, Konopleva ES, Vikhrev IV, Kondakov AV, Yu. Gofarov M, Bolotov IN, Sayenko EM, Soroka M, Zieritz A, Bogan AE, Froufe E (2020) Freshwater mussels (Bivalvia: Unionidae) from the rising sun (Far East Asia): Phylogeny, systematics, and distribution. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 146:106755. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106755>
- 松葉 成生, 吉見 翔太郎, 井上 幹生, 畑 啓生 (2014) 分子系統地理が示す愛媛県松山平野におけるアブラボテの人為移入起源. 魚類学雑誌, 61:89-96. <https://doi.org/10.11369/jji.61.89>
- 松川 正樹, 樋口 素子, 山本 哲也, 井戸 和彦 (1993) 河川域の貝類遺骸集団の情報ロス - 松山市郊外国近川水系の淡水貝群集と遺骸貝殻集団の比較を基にして -. 地質学雑誌, 99:643-657. <https://doi.org/10.5575/geosoc.99.643>
- Miura K, Izumi H, Saito Y, Asato K, Negishi JN, Ito K, Oomori A (2018) Assessment of a unionid freshwater mussel (*Pronodularia japonensis*) population in an agricultural channel during the 4 years following reintroduction. *Landscape and Ecological Engineering*, 14:157-164. <https://doi.org/10.1007/s11355-017-0330-1>
- 三浦 一輝, 齊藤 裕也, 伊藤 一雄, 大森 秋郎 (2014) 地元住人と行ったイシガイ科二枚貝類の農用水路からの救出と一時保管. 応用生態工学, 17:41-46. <https://doi.org/10.3825/ece.17.41>
- 永山 滋也, 塚原 幸治, 萱場 祐一 (2018) 土地区画整理に向けた流水生イシガイ類の一時的な移植場所と移植時期の検討. 応用生態工学, 20:179-193. <https://doi.org/10.3825/ece.20.179>
- Negishi JN, Doi H, Katano I, Kayaba Y (2011) Seasonally tracking vertical and horizontal distribution of unionid mussels (*Pronodularia japonensis*): implications for agricultural drainage management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21:49-56. <https://doi.org/10.1002/aqc.1153>
- 根岸 淳二郎, 萱場 祐一, 塚原 幸治, 三輪 芳明 (2008a) イシガイ目二枚貝の生態学的研究: 現状と今後の課題. 日本生態学会誌, 58:37-50. https://doi.org/10.18960/seitai.58.1_37
- 根岸 淳二郎, 萱場 祐一, 塚原 幸治, 三輪 芳明 (2008b) 指標・危急生物としてのイシガイ目二枚貝: 生息環境の劣化プロセスと再生へのアプローチ. 応用生態工学, 11:195-211. <https://doi.org/10.3825/ece.11.195>
- 農林水産省 (2020a) 生態系配慮に係る取組事例集. <https://www.maff.go.jp/j/nousin/keityo/kankyo/attach/pdf/teigen-3.pdf>, 2021年3月22日確認
- 農林水産省 (2020b) 今後の生態系配慮の方向性 (提言). <https://www.maff.go.jp/j/nousin/keityo/kankyo/attach/pdf/teigen-1.pdf>, 2021年3月22日確認
- 鬼倉 徳雄, 中島 淳, 林 博徳, 西山 穂 (2020) 水田・水路でつなぐ生物多様性ポイントブック. WWFジャパン, 東京
- 大塚 泰介 (2020) 田んぼにしかいない生物は、田んぼができる前にはどこにいたのか. (大塚 泰介, 嶺田 拓也編) なぜ田んぼには多様な生き物がすむのか, 255-273. 京都大学学術出版会, 京都
- R Core Team (2020) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna
- Sousa R, Halabowski D, Labecka AM, Douda K, Aksenova O, Bepalaya Y, Bolotov I, Geist J, Jones HA, Konopleva E, Klunzinger MW, Lasso CA, Lewin I, Liu X, Lopes-Lima M, Mageroy J, Mlambo M, Nakamura K, Nakano M, Österling M, Pfeiffer J, Prié V, Paschoal LRP, Riccardi N, Santos R, Shumka S, Smith AK, Son MO, Teixeira A, Thielen F, Torres S, Varandas S, Vikhrev IV, Wu X, Zieritz A, Nogueira JG (2021) The role of anthropogenic habitats in freshwater mussel conservation. *Global Change Biology*, 27:2298-2314. <https://doi.org/10.1111/gcb.15549>
- 玉井 直樹, 新井 範子, 稲本 安恵, 柴部 佳子, 柴田 洋, 家山 博史 (2008) 淡水産二枚貝マシジミ属 *Corbicula* の教材化. 愛媛大学教育学部紀要, 55:97-103
- 和田 清, 寺町 茂, 西村 美信, 岡井 貴洋, 熊崎 文菜 (2012) 長良川中流域の農業水路改修における生物種の組成変化と生息場の連続性. 環境システム研究論文発表会講演集, 40:1-6
- 鷺谷 いづみ (2007) 氾濫原湿地の喪失と再生 - 水田を湿地として活かす取り組み (自然再生の理念と実践 - 湿地生態系を事例として). 地球環境, 12:3-6
- 吉見 翔太郎, 井上 幹生, 畑 啓生 (2018) 愛媛県松山平野における湧水性水域へのマツカサガイの試験的導入. 保全生態学研究, 23:99-114. https://doi.org/10.18960/hozen.23.1_99

付 録

付録1 表1. 愛媛県西条市の農業用の排水路である土水路における魚類相. 2013年12月に電気漁具を用いておよそ60 m²で調査された。

リンクが示されていない付録は本文のオンラインサイトに掲載。

<https://doi.org/10.18960/hozen.2111>