

スクミリンゴガイ防除で混獲される在来種ヒメタニシの 殻の強度と形状に基づく保全の有効性

北野大輔*・近藤博次**

Simple Shell Strength and Shape Based Methods for Distinguishing Golden Apple Snail *Pomacea canaliculata* from Native Pond Snail *Sinotaia quadrata histrica* Captured During a Former Snail Control Activities

Daisuque KITANO and Hirotsugu KONDO

キーワード：外来生物，種判別，水田，生物多様性，物理的防除

スクミリンゴガイの捕殺による防除において混獲されるヒメタニシの保全を目的に、殻の強度と形状に基づいてスクミリンゴガイとヒメタニシの種を簡易に区別する方法の確立を目指した。

1) 殻が破壊される重量による区別：2 種間で殻が破壊される重量（負荷重量）に差異があるか調査した結果、スクミリンゴガイは殻高と負荷重量の間に正の関係がみられた。ヒメタニシではその関係は不明瞭だが、同じ殻高で比較すると、スクミリンゴガイよりも負荷重量が大きい傾向にあった。しかし、供試したスクミリンゴガイすべてを破壊するための負荷重量では、80%以上のヒメタニシも同時に破壊されることが示された。したがって、負荷重量で両種を区別することは困難であると考えられた。

2) 殻の形状による区別：両種の殻の形状（殻径と殻高の比）の差異を利用した種の区別方法を検討した。8 種類の方法で両種の殻径と死亡率の関係を調査した結果、イネ苗を食害するサイズのスクミリンゴガイの死亡率が高く、加えて大型のヒメタニシの死亡率が低かった、すなわち、より多くのヒメタニシを保全できると推定されたのは、10 mm の間隔を設けて板で挟む方法であった。しかし、より大型のヒメタニシを保全するための改良も必要であることが示唆された。

1. 緒言

農地は食料生産の場であるとともに、多様な生物の生息地としての機能を持つ。農地に生息する生物は、害虫の抑制や栄養塩の循環などの様々な生態系サービスをもたらしている¹⁾。しかし、農業の病害虫防除による生態系への影響は大きく、病害虫防除と生物多様性の保全を両立する技術の必要性が指摘されている²⁾。例えば、化学的防除の実施においては標的生物に選択性の高い殺虫剤を選択し、在来天敵昆虫だけでなく、天敵の餌や代替寄主といった非標的生物を併せて保護することが求められている³⁾。また、捕殺やトラップによる捕獲などの物理的防除における非標的生物の混獲も報告されている^{4, 5)} ことから、非標的生物の保全は化学的防除に限らず考慮すべき課題である。

スクミリンゴガイ *Pomacea canaliculata* (Lamarck) はリンゴガイ科 (Ampullariidae) に属する淡水性巻貝であり、南米原産の外来種である⁶⁾。本種は雑食性であり、水田に侵入

した個体は移植直後のイネ *Oryza sativa* L. の苗を食害し、被害を与える⁷⁾。そのため、本種は水稲作における有害生物とみなされており、複数の防除方法が提示されている⁸⁾。スクミリンゴガイが侵入した水田地帯では、ヒメタニシ *Sinotaia quadrata histrica* (Gould) やマルタニシ *Cipangopaludina chinensis laeta* (Martens) などが同所に生息していることがある^{4, 5, 9~11)}。ヒメタニシやマルタニシはタニシ科 (Viviparidae) に属する在来の淡水性巻貝である。これらのタニシ類は水域の生態系において、外来魚類の卵や仔魚の捕食¹²⁾、濾過摂食による水質の浄化¹³⁾ などの役割を果たしている。加えて、マルタニシは古くは食用としても利用され農村地域の重要なたんばく源であったこと¹⁴⁾ など、在来タニシ類は様々な生態系サービスをもたらしている。

滋賀県のスクミリンゴガイ発生地域において、本種捕獲用のトラップを設置すると、同所に生息するヒメタニシやマルタニシが混獲される⁴⁾。また、愛知県の一部地域では、スクミリンゴガイの防除を目的とした捕殺において、農業者はス

*Corresponding author, **湖北農業農村振興事務所
2023年9月11日受付, 12月8日受理

クミリンゴガイとマルタニシを区別しておらず、スクミリンゴガイよりも多くのマルタニシが捕殺される場合がある⁵⁾。そのため、スクミリンゴガイの防除において混獲される在来タニシ類の保全が必要であると考えられる。

在来タニシ類とスクミリンゴガイの外部形態は類似する¹⁾⁵⁾。殻の形状はやや異なっており、殻高に対する殻径の割合はヒメタニシよりもスクミリンゴガイで大きく、スクミリンゴガイはより丸い形状をしているが、その差は10%程度である¹⁾⁵⁾。本種の防除において種を区別していない事例⁵⁾があることから、農業者が作業中に観察し両種を区別することは、時間や労力のコストを考慮すると現実的ではない。また、捕獲直後に泥などが付着した状態でこれらの種を区別することはさらに困難だろう。したがって、スクミリンゴガイと在来タニシ類の種を簡易に区別する方法の確立が必要である。加えて、水稲作における被害抑制のために捕獲したスクミリンゴガイの殺処分が必要であることから、種を区別すると同時にスクミリンゴガイを破壊できることが望ましい。

本研究では、スクミリンゴガイ防除において混獲される在来タニシ類の保全を目的に、スクミリンゴガイとヒメタニシを対象として、両種の区別とスクミリンゴガイの破壊を防除現場で簡易に実施できる方法の確立を目指した。まず、殻が割れるための負荷重量の差異を調査し、種の区別に適用できるかを検討した。次に、両種の殻の形状が異なることを利用し、市販の道具や自作できる簡易な装置によって種を区別できるかを検討するとともに、破壊程度も併せて調査した。

2. 材料および方法

2. 1 供試個体

スクミリンゴガイは、2021年12月15日に滋賀県野洲市安治(35°08' N, 136°00' E)の農業水路で採集した。対象生物の在来タニシ類としてヒメタニシを選定し、2021年12月15日に野洲市安治で、同年12月22日に近江八幡市安土町大中(35°10' N, 136°07' E)の農業水路で採集した。採集した個体は、-18℃で24時間以上保管した。これらを室温で自然解凍し、個体識別のために殻に水性顔料マーカーで番号を付して、デジタルノギスで殻高と殻径(Fig. 1; mm)を計測した後、試験に供試した。

2. 2 殻が割れるための負荷重量による種の区別

スクミリンゴガイなどの巻貝類では、同じ殻高で比較した場合、殻が厚い個体の重量が重くなる¹⁶⁾。また、海水性巻貝類のサザエでは、重量が重い殻は軽い殻と比較して硬い、すなわち、厚い殻は硬いことが示唆されている¹⁷⁾。比較対象が不明であるものの、在来タニシのうち、ヒメタニシの殻は厚いとされる⁸⁾ことから、ヒメタニシの殻は他種と比較して硬

い可能性がある。そこで、スクミリンゴガイとヒメタニシの殻が割れるための負荷重量を計測し、その違いで種の区別が可能かを検討した。そのために、殻が割れた時に殻にかかっていた負荷重量(kg)を以下の方法で計測した。スチール製の板(450 × 300 mm, 厚さ: 0.75 mm)に供試個体1個体を、殻口が下の板に接するように置き、その上に別のスチール板を乗せた。供試個体の上下の板が接しないよう上部の板の中心に重りを乗せ、殻が割れた時点の、上部の板と重りの合計値を負荷重量として記録した。以上の試験に、殻高19–45 mmのスクミリンゴガイ計31個体を、殻高16–30 mmのヒメタニシ計32個体を供試した。なお、スクミリンゴガイについては、雌雄を記録するために供試後の個体を解剖し、生殖腺の形態およびメスに存在するタンパク腺の有無¹⁸⁾を観察した。

2. 3 殻の形状による種の区別

スクミリンゴガイとヒメタニシの殻の形状は異なる。殻高に対する殻径の割合は、ヒメタニシよりもスクミリンゴガイで大きい¹⁾⁵⁾。この殻の形状の違いに基づき、簡易に両種の区別を行う方法を検討した。

2. 3. 1 市販の道具を使用する方法

2. 3. 1. 1 穴を通過させる方法

一定の大きさの穴に供試個体を通過させる方法の有効性を検証した。道具には、バーベキュー用網(網目の内寸: 12 mm 四方, キャンピンググロスター, 永田金網製造株式会社, 東大阪市), 調理バット用網(網目の内寸: 13 × 110 mm, バット用網1号, 谷口金属工業株式会社, 大阪市)およびプラスチックバスケット(網目の内寸: 14.5 mm 四方, ミニライトバスケット, 不動技研株式会社, 南河内郡)を使用した。約30個体のスクミリンゴガイとヒメタニシそれぞれを道具全体に広げて静置し、水平面の前後および左右方向に道具を30秒間揺り動かした。道具の上に残った個体は後に処分すると仮定したため死亡、穴を通り抜けた個体は生存として記録した。本試験には、殻径12–27 mmのスクミリンゴガイ計200個体と殻径11–20 mmのヒメタニシ計122個体を供試した。

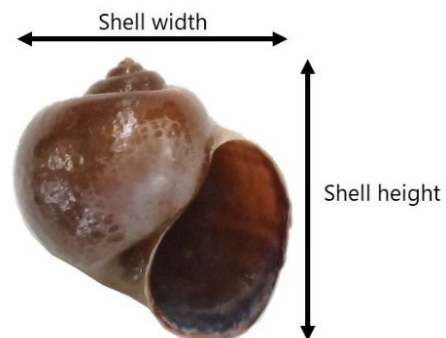


Fig. 1 *Pomacea canaliculata* shell height and width.

2. 3. 1. 2 突起のある道具を使用する方法

突起のある道具を供試個体の上で転がす方法の有効性を検証した。道具には、野菜苗等の栽培で用いられるセルトレイ用鎮圧ローラー（鎮圧ローラー30ASY128 穴，ヤンマーホールディングス株式会社，大阪市）を使用した。本道具は、円錐状の突起（高さ 15 mm，直径 20 mm）の頂点が 30 mm 間隔に並ぶよう配置されている。約 30 個体のスクミリンゴガイとヒメタニシそれぞれを重ねないように広げてスチール板の上に静置し，その上で鎮圧ローラーを人力で 2 往復転がした。この時，鎮圧ローラーの突起が下部の板に当たる程度の荷重をかけた。殻が割れた個体を死亡，割れなかった個体を生存として記録した。本試験には，殻径 13–26 mm のスクミリンゴガイ計 100 個体と殻径 11–19 mm のヒメタニシ計 62 個体を供試した。

2. 3. 2 金属板で挟む方法

2 枚のスチール板の間に木片を設置して間隔を設け，その間に貝を置いて挟む方法（Fig. 2）で両種の区別が可能かを検証した。間に挟む木片の厚さは 10，13，15 および 18 mm の 4 段階とし，下部の板の四隅に木片を 1 つずつ設置した。下部の板の中央に約 20 個体のスクミリンゴガイとヒメタニシそれぞれを重ねないように広げて静置し，その上に板を置き，木片に当たるまで手で板を押した。上部の板を取り除き，供試個体をおよそ 10 秒間手で転がした後，再度上部の板を置いて手で板を押した。殻が割れた個体を死亡，割れなかった個体を生存として記録した。本試験には，殻径 12–27 mm のスクミリンゴガイ計 150 個体と殻径 11–19 mm のヒメタニシ計 105 個体を供試した。なお，最も厚い木片から試験を行い，10 mm 以外の木片を使用して殻が割れた個体は，より薄い木片を使用した場合にも割れると仮定した。例えば，厚さ 13 mm の木片を使用した場合に殻が割れた個体は，10 mm の木片の場合にも割れると判断した。

2. 4 統計解析

2. 4. 1 殻が割れるための負荷重量による種の区別

負荷重量による種の区別の有効性を検証するため，各貝の殻高と負荷重量の関係，線形混合モデル（LMM）で解析した。モデルの説明変数は殻高，応答変数は負荷重量とした。

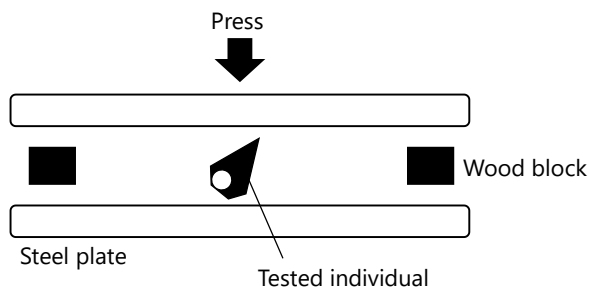


Fig. 2 Schematic diagram of the sandwich method.

データの過分散を考慮し，負荷重量は立方根変換した値を使用した。スクミリンゴガイでは，雌雄を变量効果として組み込んだ。なお，損傷が激しく雌雄が不明であった 3 個体については，それぞれの個体を变量効果とした。ヒメタニシでは，採集地を变量効果として組み込んだ。後述するように，計測できる最大の負荷重量で割れなかった個体は，解析から除いた。推定値の有意性を検証するために，事後検定として t 検定を行った。以上の解析には，ソフトウェア R ver. 4.1.2¹⁾ および lme4 パッケージ²⁾ を使用した。

2. 4. 2 殻の形状による種の区別

2. 4. 2. 1 2 種巻貝類の殻高と殻径の関係

イネを食害するスクミリンゴガイのサイズが殻高で示されている²¹⁾ など，一般に，巻貝類のサイズは殻高で表されることが多い。しかし，考察で述べる通り，本研究で検証した殻の形状による区別の方法は殻径に依存していると考えられた。そこで，供試したスクミリンゴガイ 231 個体とヒメタニシ 155 個体それぞれの殻高と殻径の関係を推定するため，両値の関係をスクミリンゴガイでは線形モデル（LM）で，ヒメタニシでは線形混合モデルで解析した。モデルの説明変数は殻高，応答変数は殻径とした。ヒメタニシでは，採集地を变量効果として組み込んだ。推定値の有意性を検証するために，事後検定として t 検定を行った。以上の解析には，ソフトウェア R ver. 4.1.2 および lme4 パッケージを使用した。

2. 4. 2. 2 ベイズモデルによる殻径と死亡率の関係の推定

殻の形状の違いによる種の区別の有効性を検証するため，調査した各方法によるスクミリンゴガイとヒメタニシの殻径と死亡率の関係を解析した。解析においては，ロジスティック回帰モデルを当てはめ，パラメータをベイズ推定した。第 i 個体の死亡の有無は，以下のモデル (1) と (2) で記述された。

$$n_i \sim \text{Bernoulli}(p_i) \quad (1)$$

$$\text{logit}(p_i) = a + c \times \text{width}_i \quad (2)$$

本モデルでは，目的変数が各個体の死亡率，すなわち確率であることから，誤差構造がベルヌーイ分布に従うと仮定した。

(1) 内の n_i は第 i 個体の生死を表し，死亡の場合には 1 を，生存の場合には 0 を当てはめた。 p_i は死亡率の期待値を表す。

(2) 内の $\text{logit}(p_i)$ は p_i のロジット変換を， a は切片を表す。 c と width_i は，それぞれ係数と殻径を表す。

イネ苗を食害し欠株を発生させるスクミリンゴガイは，殻高 21 mm 以上の個体である²¹⁾。後述する通り，殻高と殻径の関係から，殻高 21 mm の個体の殻径は 17.6 mm と推定されたため，本研究では，殻径 17.6 mm のスクミリンゴガイの死亡率（%；以下， D とする）で種の区別方法を評価した。 D が高い方法について，ヒメタニシでも同様にパラメータ a および

c を推定した。また、より多数のヒメタニシの保全を考慮するためには、大型のヒメタニシが生存できる方法が適していると考えられる。その評価基準として、ヒメタニシの死亡率が50%の殻径 (mm; 以下, SW_{50} とする) を推定し, SW_{50} がより大きい方法を、最も適した区別の方法と評価した。 D は以下のモデル (3) および (4) で, SW_{50} はモデル (5) で計算された。

$$d = a + c \times 17.6 \quad (3)$$

$$D = \exp(d) / \{\exp(d) + 1\} \times 100 \quad (4)$$

$$SW_{50} = -a / c \quad (5)$$

以上のモデルに実測データを当てはめ、切片 a 、殻径の係数 c 、 D および SW_{50} の事後分布を、Markov chain Monte Carlo (MCMC) 法によって推定した。推定にはソフトウェア WinBUGS 1.4.3²²⁾ と R ver. 4.1.2 を使用した。ベイズ推定では、各パラメータに関してあらかじめ明らかになっている知見を事前分布として用いることができる。本研究では事前情報はなかったため、どのような値でもとりうることを仮定した無情報事前分布を適用した。

パラメータの推定にあたっては、10万回のMCMCステップを互いに独立に3回計算し、初期値の影響を取り除くために最初の2万ステップを取り除いた上で、近いステップ間の自己相関を取り除くために50ステップに1回のサンプリングを行った。サンプリング結果の分布から事後分布を得て、その中央値を推定値、事後分布の中央95%を含む範囲、すなわち95%ベイズ信用区間 (95% Bayes credible interval; 以下, 95% BCI とする) を推定誤差とした。モデルとデータとの適合性はMCMCステップの収束状況から判断し、判断基準

として \hat{R} 値²³⁾を計算した。収束が良い場合に \hat{R} 値は1.0に近づくため、各パラメータの \hat{R} 値が1.1未満である場合に、良好な収束であるとした。パラメータ推定に用いたWinBUGSコードは、Appendix 1に示した。

3. 結果

3.1 殻が割れる重量による種の区別

スクミリングガイの殻の負荷重量は、殻高33.8 mmの個体の13.1 kgが最大であり、最小は殻高19.6 mmの3.02 kgであった (Fig. 3a)。殻高と負荷重量の間には有意な正の関係がみられた (LMM, 推定値 (95%信頼区間) = 0.033 (0.025–0.041); t 検定, $t = 8.35$, $p < 0.001$)。切片は0.96 (LMM, 95%信頼区間, 0.72–1.21) と推定され、推定値は0よりも有意に大きかった (t 検定, $t = 7.65$, $p < 0.001$)。

ヒメタニシの殻の負荷重量の最大値は殻高22.7 mmの個体の18.3 kgであり (Fig. 3b)、スクミリングガイよりも約5 kg重かった。ただし、野洲市安治で採集した殻高21.2 mmの個体は、本研究の方法で計測できる最大重量 (23.8 kg) でも殻が割れなかった。最小は、殻高16.3 mmの3.30 kgであった。スクミリングガイとは異なり、殻高と負荷重量の間には有意な関係が認められなかった (LMM, 推定値 (95%信頼区間) = 0.11 (–0.19–0.40); t 検定, $t = 0.72$, $p = 0.48$)。切片は0.05 (LMM, 95%信頼区間, –6.43–6.54) と推定され、推定値は0を含む可能性が示された (t 検定, $t = 0.02$, $p =$

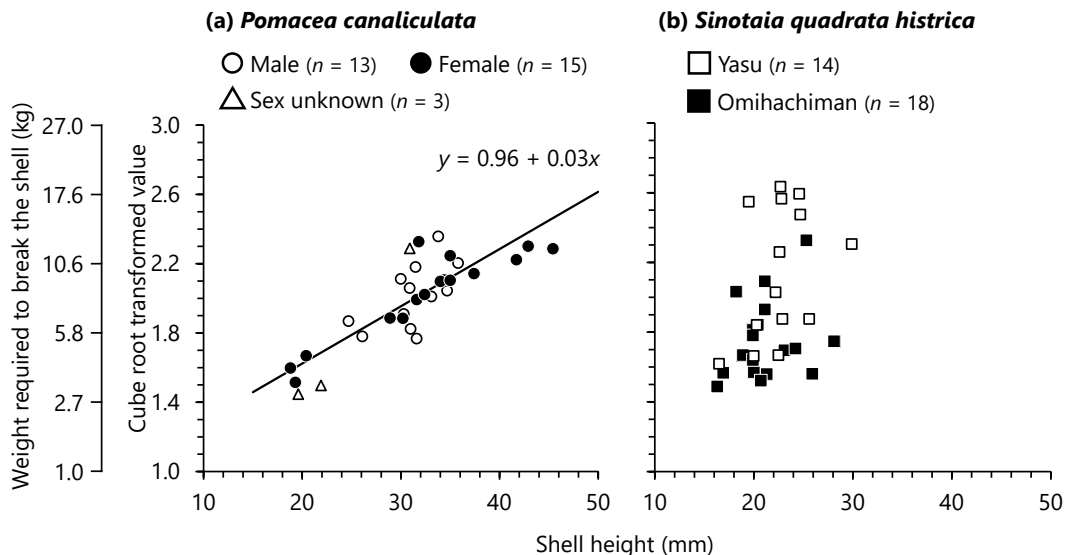


Fig. 3 Relation between shell height and weight required to break the shell for (a) *P. canaliculata* and (b) *S. q. histrica*. Symbols represent sexes of individuals in (a) and locations from which tested individuals were collected in (b). Panel (b) does not include individuals with shells that did not break at the maximum weight that was measured for this study: 21.2 mm shell height and 23.8 kg required weight. The solid line in (a) represents the regression line estimated using a linear mixed model.

0.99).

スクミリングガイで推定されたパラメータによる回帰式 ($y = 0.96 + 0.03x$) とヒメタニシの負荷重量を比較すると、同じ殻高ではヒメタニシで大きい場合が多かった。しかし、スクミリングガイの負荷重量の最大値である 13.1 kg では、供試したヒメタニシ 32 個体のうち 26 個体の殻が割れることが示された。

3. 2 殻の形状による種判別

3. 2. 1 2 種巻貝類の殻高と殻径の関係

両種の殻高と殻径には正の関係がみられた (Fig. 4)。スクミリングガイでは、係数は 0.93 (LM, 95%信頼区間, 0.89–0.97; t 検定, $t = 47.9$, $p < 0.001$), 切片は -1.92 (LM, 95%信頼区間, -2.82– -1.02; t 検定, $t = -4.21$, $p < 0.001$) と推定され、いずれも推定値は 0 と有意に異なっていた。得られた回帰式 ($y = -1.92 + 0.93x$) から、イネ苗を食害する殻高 21 mm の個体²¹⁾の殻径は 17.6 mm であると推定された。ヒメタニシでも同様に、係数は 0.55 (LMM, 95%信頼区間, 0.51–0.60; t 検定, $t = 25.5$, $p < 0.001$), 切片は 4.12 (LMM, 95%信頼区間, 3.23–5.02; t 検定, $t = 9.10$, $p < 0.001$) と推定され、いずれも推定値は 0 よりも有意に大きかった。

スクミリングガイの殻高に対する殻径の割合 (殻径 / 殻高) の平均値は 0.84 (標準偏差; ± 0.06), 最大値は 0.99 であった。ヒメタニシでは平均値 0.77 (標準偏差; ± 0.05), 最大値は 0.87 であった。いずれの種でも殻径より殻高の方が大きく、その傾向はヒメタニシでより顕著であった。

3. 2. 2 ベイズモデルによる殻径と死亡率の関係の推定

全てのパラメータ推定における \hat{R} 値は 1.1 未満となったことから、MCMC ステップの収束は良好であり、ベイズモデルは

データに適合していたと判断された。

3. 2. 2. 1 殻径と死亡率の関係

バーベキュー用網、調理バット用網およびプラスチックバスケットを使用した場合において、いずれも係数 c の推定値の 95% BCI が 0 より大きかったことから (Table 1a), スクミリングガイの殻径と死亡率の間に明確な正の関係がみられた。 c の推定値が最も大きかったのはバーベキュー用網を使用した場合であった。

セルトレイ用鎮圧ローラーを使用した場合にも、大型個体の死亡率が高い傾向がみられた。係数 c の推定値の 95% BCI が 0 より大きく (Table 1a), スクミリングガイの殻径と死亡率の間に明確な正の関係がみられた。

18 mm の隙間を設けて板で挟んだ場合には、供試したスクミリングガイを全く破壊できなかった。10, 13 および 15 mm の間隔を設けた場合には、いずれも係数 c の推定値の 95% BCI が 0 より大きかったことから (Table 1b), スクミリングガイの殻高と死亡率の間に明確な正の関係がみられた。 c の推定値が最も大きかったのは 10 mm の間隔を設けた場合であった。

3. 2. 2. 2 種の区別に適した方法の検討

スクミリングガイの破壊に適した方法の指標として、殻径 17.6 mm の個体の死亡率 (D) を推定したところ、穴の開いた道具を通過させた 3 つの方法のうち、バーベキュー用網を使用した場合のみ D が 50% 以上であり、97.2% (95% BCI, 93.3–99.0%) と推定された (Table 1a)。板で挟む方法を用いた場合には、スクミリングガイを破壊できた 3 段階 (10, 13, 15 mm) の間隔のうち、 D は 10 mm の場合に 50% 以上であり、83.4% (95% BCI, 73.7–90.4%) と推定された (Table 1b)。

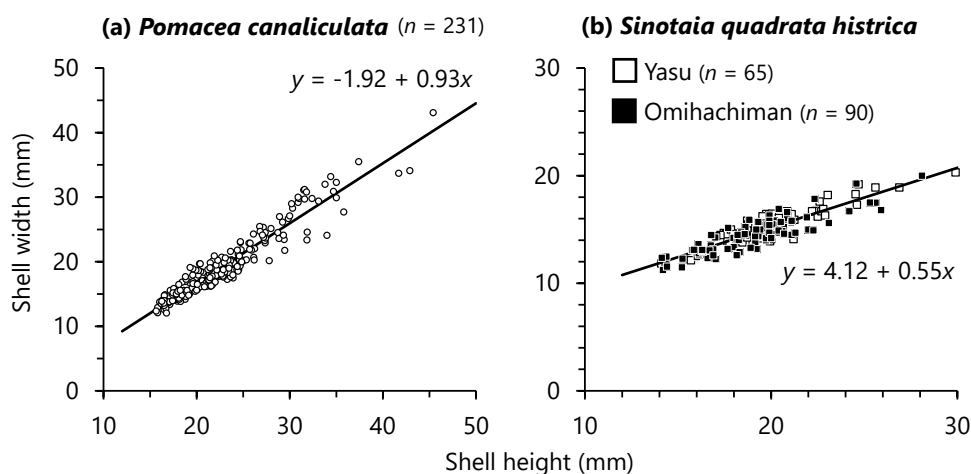


Fig. 4 Relation between shell height and width of (a) *P. canaliculata* and (b) *S. q. histrica*. Symbols represent locations from which tested individuals were collected in (b). Solid lines represent the regression line estimated using (a) a linear model or (b) a linear mixed model.

Table 1 Estimated coefficients for mortality and shell width and mortalities of *P. canaliculata* individuals with 17.6 mm shell width (D) using each method

(a) Using protruding tool

| Tool | n | Estimated values (95% Bayes credible interval) | |
|---------------------------------|-----|--|------------------|
| | | Shell width c | D (%) |
| Passing through holes in a tool | | | |
| Wire mesh for barbecue | 200 | 1.20 (0.97–1.83) | 97.2 (93.3–99.0) |
| Wire mesh for cooking bat | 200 | 0.80 (0.60–1.03) | 7.41 (3.81–12.7) |
| Plastic basket | 200 | 0.66 (0.49–0.85) | 19.7 (13.1–27.2) |
| Rolling a tool with protrusions | | | |
| Roller for cell tray | 100 | 0.16 (0.03–0.31) | 45.7 (35.7–56.4) |

(b) Sandwich method

| Spacing between plates (mm) | n | Estimated values (95% Bayes credible interval) | |
|-----------------------------|-----|--|------------------|
| | | Shell width c | D (%) |
| 10 | 150 | 0.92 (0.68–1.18) | 83.4 (73.7–90.4) |
| 13 | 150 | 0.48 (0.31–0.67) | 9.70 (5.31–16.1) |
| 15 | 150 | 0.53 (0.32–0.77) | 2.26 (0.67–5.66) |

Table 2 Estimated coefficients for mortality and shell width of *S. q. histrica* using two methods

| Methods | n | Estimated values (95% Bayes credible interval) | |
|---|-----|--|------------------|
| | | Intercept a | Shell width c |
| Passing through holes in wire mesh for barbecue | 122 | -14.1 (-18.8 – -9.70) | 1.02 (0.71–1.35) |
| Sandwiching with 10 mm spacing | 105 | -9.00 (-13.9 – -4.43) | 0.52 (0.23–0.85) |

D が50%以上であると推定された2つの手法について、ヒメタニシでパラメータを推定した。係数 c の推定値はいずれも95% BCIが0より大きかったことから、ヒメタニシの殻径と死亡率の間には明確な正の関係がみられた (Table 2)。係数 c はバーベキュー用網を使用した方法で1.02 (95% BCI, 0.71–1.35)、10 mmの間隔を設けて板で挟む方法でより小さく0.52 (95% BCI, 0.23–0.85)と推定された。これらの方法によるヒメタニシの殻径と死亡率の関係をFig. 5に示す。バーベキュー用網を使用した方法では、50%のヒメタニシが死亡するときの殻径 (SW_{50}) は13.8 mm (95% BCI, 13.3–14.2 mm)と推定された (Fig. 5a)。一方で、10 mmの間隔を設けて板で挟む方法では、 SW_{50} は17.1 mm (95% BCI, 16.0–20.1 mm)であり (Fig. 5b)、バーベキュー用網を使用した場合の SW_{50} よりも3.3 mm大きいと推定された。

4. 考察

本研究では、スクミリンゴガイの物理的防除において混獲

される在来タニシ類の保全を目的に、スクミリンゴガイとヒメタニシを簡易に区別し、加えてスクミリンゴガイを効率的に破壊する方法の確立を目指した。まず、両種の負荷重量の違いを比較した。本研究で実施した負荷重量の調査方法は簡易的なものであるため、本稿では殻高と負荷重量の傾向についてのみ議論する。スクミリンゴガイでは、殻高と負荷重量の間に有意な正の関係がみられた。すなわち、スクミリンゴガイは殻高が高くなる程、殻が割れるためには大きい負荷重量が必要であることが示唆された。一方で、ヒメタニシでは個体や採集地による差が大きく、柔らかい殻の個体も多く存在することが示された。そのため、スクミリンゴガイのように殻高と負荷重量に明確な関係性はみられなかったが、同じ殻高で比較するとスクミリンゴガイよりも負荷重量が大きい個体が多い傾向にあった。

スクミリンゴガイの殻の厚さは地域間で異なる²⁴⁾だけでなく、同じ地域内でも生息環境によって異なる場合があり、水田よりも水路で採集した個体の殻は厚い¹⁶⁾。また、季節によっても異なり、九州では本種が6–8月にかけて急激に成長するため、この時期の殻の厚さは他の時期より薄くなる²⁵⁾。

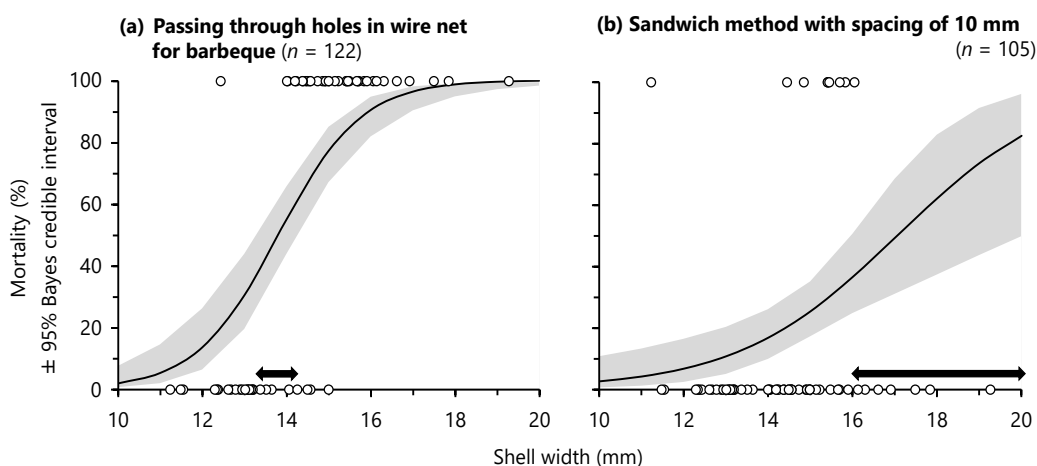


Fig. 5 Relation between shell width and mortality of *S. q. histrica* using (a) passing through holes in wire mesh for barbecue or (b) sandwich method with spacing of 10 mm. Solid lines and shaded areas respectively represent the estimated values (median of posterior distributions) and error ranges (95% BCI) of mortality. Arrows represent the 95% BCI of SW_{50} (shell width with 50% mortality).

本研究の供試個体は成長量が小さい冬季に水路で採集したため、同地域で夏季に生息する個体や水田内に生息する個体と比較して殻が厚い状態であると考えられる。したがって、異なる条件で採集した個体を用いた場合には、より小さい負荷重量でスクミリングガイを破壊できる可能性がある。しかし、本研究で示されたとおり、殻高の高い大型のスクミリングガイの破壊のためにはより大きい負荷重量が必要であり、ヒメタニシよりも大型に成長するスクミリングガイの破壊のために負荷重量を大きくした場合、多くのヒメタニシも同時に破壊されてしまうことが想定される。スクミリングガイとヒメタニシの負荷重量を比較した研究は本研究が初めてであり、他地域の個体において同様の傾向がみられるかは不明であるが、負荷重量で種を区別しヒメタニシを保全することは困難であると考えられる。

次に、殻の形状の違いによって両種を区別する方法として、市販の道具を使用した方法と、板で挟む方法を検討した。本研究で有効性の評価基準とした D の推定値が高かったのは、前者ではバーベキュー用網を使用した場合、後者では間隔を 10 mm とした場合であり、これら 2 種類の方法における D はそれぞれ 97.2% と 83.4% であると推定された。一方で、他の方法では、 D の推定値が最大でも 45.7% であったことから、イネ苗を食害する殻高 21 mm²¹⁾ (本研究では殻径 17.6 mm と推定) の個体を十分に破壊できないと考えられた。在来タニシ類の保全のために、破壊した後に生存している個体を水田や水路に放すことを想定すると、これらの方法ではイネ苗を食害するサイズのスクミリングガイを生きたまま多数放流することになり、防除効果が低下する可能性が高い。

D が高かった 2 種類の方法においてヒメタニシのパラメータを推定した結果、10 mm の間隔を設けて板で挟む方法で SW_{50} がより大きいと推定された。この差は、使用した方法によっ

て死亡率に影響する要因が異なるためであると考えられる。地面と水平な場所にヒメタニシを置くと、殻高の方向が水平方向を向き静止するため、上下から挟む場合には殻径が死亡率に影響する主要因となるだろう。一方で、バーベキュー用網の穴を通過させる場合には、供試個体の向きが置いた状態から大きく変わらないために網目を通過できないことがあり、殻高など殻径以外の要因も死亡率に影響していると推測される。本研究でも示されたように、供試した 2 種巻貝類は殻径よりも殻高の方が大きく、その傾向はヒメタニシでより顕著であった。そのため、板で挟む方法のような、殻高が死亡率に影響しない種の区別方法がヒメタニシの保全に適していると考えられる。なお、供試個体を板の上に置いた場合、必ずしも殻径 (殻高に対して直角方向での最大幅) 方向が地面と垂直に向き静止するわけではなかった。静止した状態の垂直方向の大きさは殻径と異なる可能性があり、有効性をより正確に評価するために、今後詳細に検証すべき課題である。

以上のことから、本研究で検討した方法のうち、イネ苗を食害するサイズのスクミリングガイを十分に破壊でき、より大型のヒメタニシを保全する手法としては、10 mm の間隔を設けて板で挟む方法が最も適していることが示唆された。本方法におけるヒメタニシの SW_{50} は 17.1 mm と推定されたが、本研究の供試個体には同サイズ以上のヒメタニシが 8.4% 含まれていた。そのため、より大型のヒメタニシを保全できる手法について、さらなる検討が必要である。

本研究ではヒメタニシを在来タニシ類として用いたが、スクミリングガイの物理的防除においては、マルタニシも混獲される^{4, 5)}。殻の形状 (殻径 / 殻高) は、ヒメタニシよりもマルタニシがスクミリングガイにより近い値を示す¹⁵⁾。そのため、殻の形状以外の外部形態や行動の差異に基づいた種の区別方法の検討が必要だろう。例えば、スクミリングガイは

藻類, イネ苗, 水田雑草や野菜類を摂食する²⁶⁾だけでなく, 共食いも行うなど動物性の餌も摂食する²⁷⁾. 一方で, 在来のタニシ類は藻類や有機性腐敗物を主に摂食する^{27, 28)}ことから, 各種の食性の違いなどにも着目することで, 在来種の保全により適した区別方法を確立できるかもしれない. さらに, スクミリンゴガイの捕殺を実施している地域では, 水田内にスクミリンゴガイ以外の巻貝類が同所的に生息することを知らない農業者もいる⁵⁾ため, 種の区別方法の確立だけでなく, 在来種保全に関する啓発活動も必要だろう.

5. 謝辞

本稿の執筆にあたり, 増田倫士郎博士には, 統計解析についてご助言いただき, また本文執筆において貴重なご意見を頂いた. 蓮川博之博士, 小久保信義氏および近藤篤博士には, 本稿のご校閲を賜った. 本研究は, 生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業 (JPJ007097)」の支援を受けて行った. ここに記して深く御礼申し上げる.

6. 引用文献

- 1) Natuhara, Y., 2013. Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. *Ecological Engineering*, 56: 97-106.
- 2) Kiritani, K., 2000. Integrated biodiversity management in paddy fields: shift of paradigm from IPM toward IBM. *Integrated Pest Management Reviews*, 5: 175-183.
- 3) 桐谷圭治, 2004. 「ただの虫」を無視しない農業. 築地書館, 東京. 192 pp.
- 4) 増田倫士郎・北野大輔, 2023. スクミリンゴガイの捕獲に用いられるトラップ用餌が水生生物の誘引と生存に及ぼす影響. 関西病虫害研究会報, 65: 28-34.
- 5) 鳥居亮一, 2020. 水田におけるスクミリンゴガイ駆除に伴うマルタニシの混獲駆除の一例. 碧南海浜水族館年報, 33: 22-23.
- 6) 和田節, 2003. スクミリンゴガイ. 外来種ハンドブック (日本生態学会編). 地人書館, 東京, pp. 171.
- 7) Wada, T., 2004. Strategies for controlling the apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) (Gastropoda: Ampullariidae) in Japanese direct-sown paddy fields. *Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)*, 38: 75-80.
- 8) 農林水産省消費・安全局植物防疫課, 2022. スクミリンゴガイ防除対策マニュアル (移植水稻). 農林水産省, 東京.
- 9) 小澤朗人・牧野秋雄, 1988. 静岡県におけるスクミリンゴガイの越冬実態. 静岡県農業試験場研究報告 33: 65-77.
- 10) 川瀬基弘・村性文好・早瀬善正・市原俊・森山昭彦・家山博史, 2012. 岐阜市に生息する淡水産貝類. 陸の水 54: 33-42.
- 11) 高濱秀樹, 2012. 大野川流域の水田に生息する外来種スクミリンゴガイの分布. 大分大学教育福祉科学部研究紀要 34: 63-71.
- 12) 中尾博行・川端健人・藤田建太郎・中井克樹・沢田裕一, 2006. 外来魚ブルーギルの卵・仔魚に対する在来巻貝類による捕食. 魚類学雑誌, 53: 167-173.
- 13) Olden, J. D., L. Ray, M. C. Mims and M. C. Horner-Devine, 2013. Filtration rates of the non-native Chinese mystery snail (*Bellamya chinensis*) and potential impacts on microbial communities. *Limnetica*, 32: 107-120.
- 14) 内山りゅう, 2006. 田んぼの生き物図鑑 第2版. 山と溪谷社, 東京.
- 15) 福田珠花, 2020. タニシ類の殻高と殻幅の比と生態の関係. うみうし通信 109: 2-3.
- 16) 吉田和弘・遊佐陽一・和田節・星川和夫, 2008. スクミリンゴガイの殻厚に影響する要因. *VENUS*, 66: 217-225.
- 17) 高田啓一郎・村上哲士, 1991. サザエ資源の育成に関する研究 II サザエの人工飼育貝と天然生育貝の殻の重量および硬さの差異について. 神奈川県水産試験場研究報告 12: 93-96.
- 18) 田辺実・河合清三, 1988. ジャンボタニシの生物誌. 遺産 42(10): 64-69.
- 19) R Development Core Team, 2021. R: a language and environment for statistical computing. <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/4.1.2/> (2023.08.18 参照).
- 20) Bates, D., M. Mächler, B. Bolker and S. Walker, 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67:1-48.
- 21) 山中正博・藤吉臨・吉田桂輔, 1988. スクミリンゴガイのイネ苗加害習性. 福岡県農業総合試験場研究報告 A-8: 29-32.
- 22) Spiegelhalter, D. J., A. Thomas, N. G. Best and D. Lunn, 2004. WinBUGS user manual. MRC Biostatistics Unit, Cambridge. 60 pp.
- 23) Gelman, A., J. B. Carlin, H. S. Stern and D. B. Rubin, 2004. Bayesian data analysis, Second ed. Chapman and Hall, Boca Raton. 668 pp.
- 24) Estebenet, A. L. and P. R. Martin, 2003. Shell interpopulation variation and its origin in *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) from southern

- pampas, Argentina. *Journal of Molluscan Studies*, 69: 301-310.
- 25) 鈴木芳人・松村正哉・有村一弘・浦野知, 2000. スクミリンゴガイ越冬個体の直播水田初期における成長. 九州農業研究 62: 90.
- 26) 福島裕助・中村晋一郎・藤吉臨, 2001. 野菜に対するスクミリンゴガイの選好性と摂餌行動. 日本作物學會紀事 70: 432-436.
- 27) 田辺実・河合清三, 1988. ジャンボタニシの生活史. 遺伝 42(10): 64-69.
- 28) 藤林恵・中野和典・千葉信男・野村宗弘・西村修, 2008. 脂肪酸解析による伊豆沼周辺に生息するタニシ類の餌同化内容の解明. 伊豆沼・内沼研究報告 2: 27-33.

Appendix 1 WinBUGS code used for analysis in this study.
Text after “#” in each line represents comments.

```

model{
  for (i in 1:N){
    n[i] ~ dbern(p[i]) # deceased or not on each
    logit(p[i]) <- a + c * width[i] # relation
    between shell width and mortality
  }

# prior distributions
a ~ dnorm(0.0, 0.01)
c ~ dnorm(0.0, 0.01)

# estimation for indexes
d <- a + c * 17.6
D <- exp(d) / (exp(d) + 1) * 100 # estimate P.
  canaliculata only
SW50 <- -a / c # estimate S. quadrata histrica only
}

```

7. Summary

During control activities for the golden apple snail *Pomacea canaliculata*, an alien pest which feeds on young rice seedlings, native snails are caught as by-catch. To protect the native snails, we evaluated simple methods to distinguish *P. canaliculata* from native pond snails *Sinotaia quadrata historica*.

1) Methods based on weight required for snail shell breakage: Results show that the weight required to break the *P. canaliculata* shell increased with increased shell height. No relation between shell height and weight required to break the shell was clarified for *S. q. historica*, but this weight was often heavier than that for *P. canaliculata* of equal shell height. However, the weight necessary to break a *P. canaliculata* shell was sufficient to break more than 80% of *S. q. historica* shells.

2) Methods based on shell shape differences: We evaluated 8 species identification methods based on differences between *P. canaliculata* and *S. q. historica* shell shapes (shell width / height). Results demonstrated that the mortality of *P. canaliculata* with a size sufficient to cause damage to rice production was higher when they passed through holes in a wire net with a mesh size of 12 × 12 mm or sandwiching between plates with spacing of 10 mm than when using any of the other six methods. Of these 2 methods, the large *S. q. historica* survival rate was higher when the sandwich method was used.

These results indicate that, among the methods evaluated for this study, the sandwich method with 10 mm spacing is the most suitable for identifying *P. canaliculata* and for conserving *S. q. historica*. To protect the native snails more efficiently, a completely different method such as discrimination by diet must be considered.