

フトヘナタリ *Cerithidea rhizophorarum* の生態学的研究： 異なる環境下における同種の個体群間比較と ω 指数に基づく種間関係の分析

中島貴幸・片野田裕亮・小麦崎彰・轟木直人・富山清升

〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35 鹿児島大学理工学部地球環境科学科

■ 要旨

フトヘナタリ *Cerithidea rhizophorarum* (A. Adams, 1855) は、東北地方以南、西太平洋各地に分布するフトヘナタリ科に属する雌雄異体の巻貝であり、アシ原やマングローブ林の干潟泥上に生息している。鹿児島市喜入町を流れる愛宕川の河口干潟にはメヒルギ *Kandelia candel* (L) Druce やハマボウ *Hibiscus hmabo* Sieb. et Zucc. からなるマングローブ林が広がっており、周辺の干潟泥上にはフトヘナタリが生息している。また、鹿児島市谷山を流れる永田川の河口域は、喜入の環境とは異なり、中礫の転石河岸となっており、植生はなく、コンクリート護岸で囲まれているが、河岸上にはフトヘナタリが生息している。本研究では、この異なる環境において、フトヘナタリのサイズ頻度分布の季節的变化や生息密度を調査して生態学的比較を行うとともに、喜入ではフトヘナタリとウミニナの種間関係についても調査した。

まず、2006年2月～2007年1月の期間に毎月1回、大潮から中潮の日の干潮時に、各調査地において、フトヘナタリをランダムに100個体以上採取し、殻幅を記録した。その結果、喜入調査地では、2mm前後の稚貝が9月頃に出現すること

から、この時期に新規加入が起こっていることがわかった。また9月に新規加入した個体は、冬にかけて3-6mmに成長し、春から初夏にかけて10mm前後に成長することがわかった。谷山調査地でも、喜入調査地と同様の結果が得られ、この2つの地域のフトヘナタリの繁殖時期、新規加入時期、成長パターンはほぼ同じであると考えられる。

生息密度調査は2006年12月に行った。各調査地において、50×50cm区画をランダムに20区画用意し、区画内のフトヘナタリの出現個体数を記録した。その結果、谷山調査地よりも喜入調査地のほうが平均密度が高いという結果が得られた。この密度効果が各調査地において個体成長に影響を与えているものと考えられる。

フトヘナタリとウミニナの種間関係調査は、2006年2月～2007年1月の期間に毎月1回行った。喜入調査地において50×50cm区画をランダムに10区画用意し、区画内のフトヘナタリとウミニナの個体数を記録し、それをもとに ω 指数から同所的生息の程度を求めた。その結果、フトヘナタリとウミニナは排他的な分布ではないことがわかり、この2種は、餌の種類や餌のサイズを異にすることにより、同所的に生息しているものと考えられる。

■ はじめに

フトヘナタリは東北地方以南、西太平洋各地に分布するフトヘナタリ科に属する雌雄異体の巻貝であり、アシ原やマングローブ林の泥上に生息している。鹿児島市喜入町を流れる愛宕川河口域の干潟には、小規模ながらメヒルギやハマボウの樹種を主とするマングローブが形成されており、ウミニナ科のウミニナ *Batillaria multiformis* (Lischke, 1869) と、フトヘナタリ科のフトヘナタ

Nakashima, T., Y. Katanoda, A. Komugizaki, N. Todoroki and K. Tomiyama. 2018. Ecological studies of *Cerithidea rhizophorarum* based on intraspecific variation of life history, and coexistence relations with the other species based on ω -index on the mangrove tidal flat, Kagoshima, Japan. *Nature of Kagoshima* 44: 181-187.

✉ KT: Department of Earth & Environmental Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima 890-0065 (e-mail: tomiyama@sci.kagoshima-u.ac.jp.)

Published online: 28 Feb. 2018

http://journal.kagoshima-nature.org/archives/NK_044/044-025.pdf



Fig. 1a. フトヘナタリ *C. rhizophorarum* の標本写真. 稚貝(左)から成貝(右)へ並べたもの。



Fig. 1b. フトヘナタリ *C. rhizophorarum* の殻の色彩変異. 左: 通常型個体, 右: 白色型個体。

り, カワアイ *Cerithidea diadjariensis* (K. Martin, 1899), ヘナタリ *Cerithidea cingulate* (Gmelin, 1791) の4種が同所的に生息している. ウミニナ科とフトヘナタリ科の貝類は汽水域の砂泥底ないし泥上に生息しており, 日本の干潟では普通に見られる巻貝である(奥谷, 2000).

フトヘナタリの生態に関してはいくつかの研究例がある. 波部(1995)は岡山県笠原市の潮間帯における本種の産卵様式について報告している. また, フトヘナタリ, ウミニナ, ホソウミニナ *Batillaria cumingi* (Crosse, 1862), ヘナタリの4種について対塩性, 低湿選好性, 干出選好性の観点からの分布について山本・和田(1999)によって詳しい考察が行われた.

Wells(1983)は, 香港のマングローブ林に生息するウミニナ科・フトヘナタリ科の6種フトヘナタリ, カワアイ, ヘナタリ, ウミニナ, イボウミニナ *Batillaria zonalis* (Bruguere, 1792), マドモチウミニナ *Terebralia sulcata* (Born, 1778)の分布と生息環境との関係を考察するとともに, フトヘナタリがマングローブの樹上に粘液で付着し, さら

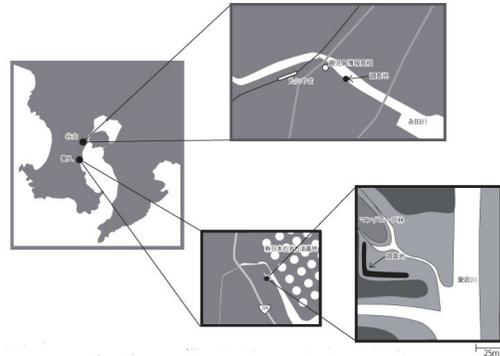


Fig. 2. 調査地の概要. 鹿児島市谷山の永田川河口干潟, および鹿児島市喜入町愛宕川河口干潟.

にフトヘナタリは高潮位にその分布が偏ることを示した. また, フトヘナタリ, ウミニナ, カワアイ, ヘナタリ, コゲツノブエガイ *Clypeomorus coralium* (Kiener, 1834)の5種の垂直分布に関して大滝(2001)によって報告され, フトヘナタリの本登り行動に関して大滝(2002), 武内・富山(2005)によって報告されている. サイズ分布の季節変動に関しては, 愛宕川の河口干潟において若松・富山(2000), 武内・富山(2005)によって報告されているが, 稚貝が新規加入する時期の特定が不十分で, 新規加入が見られる年とそうでない年があるとされている. また, 鹿児島県内における愛宕川以外でのサイズ分布の季節変動は報告されておらず, 異なる環境において同種の生活史が同じであるかどうかは定かではない. そこで, 本研究では愛宕川河口干潟におけるフトヘナタリ在生活史についてさらに調査を進めるとともに, 鹿児島市谷山を流れる永田川河口域の転石河岸をもう一つの調査対象地とし, そこに生息するフトヘナタリ在生活史についても調査し, 異なる環境における同種の比較を行ったものである. また, 潮間帯に生息するフトヘナタリ, ウミニナ, カワアイ, ヘナタリの4種のウミニナ類に関して, カワアイとヘナタリは低潮帯に, フトヘナタリは高潮帯に, ウミニナは低潮帯から高潮帯にまで見られる. そこで, フトヘナタリと同所的に生息するウミニナとの2種の種間関係についても調査を行う.

調査地と方法

調査区の設置

調査地は、鹿児島市喜入町を流れる愛宕川の支流の河口干潟 (31°23'N, 130°33'E) と、鹿児島市谷山を流れる永田川河口域の河岸 (31°31'N, 130°31'E) で行った (Fig. 2).

愛宕川は鹿児島湾の日石石油基地の内側に河口があり、この河口部で八幡川と合流している。干潟周辺にはメヒルギやハマボウからなるマングローブ林が広がっており、太平洋域における北限のマングローブ林とされている。調査地周辺の干潟上には、ウミナナ科のウミナナ、フトヘナタリ科のカワアイ、ヘナタリ、フトヘナタリの4種のウミナナ類が生息している。本調査では、愛宕川河口の支流にある干潟において、マングローブ林の端から20 mほど離れたところで、満潮線から支流までの水平距離が約9 m、高低差が150 cmのLine沿いを調査地とした。底質は砂泥である。

永田川の河口域は、中礫の転石河岸となっており、植生は無く、周りを護岸コンクリートで囲まれている。調査地周辺の河岸上には、ウミナナ、フトヘナタリの2種のウミナナ類しか生息していない。本調査では、鹿児島情報高校の下に位置する河岸を下流に200 mほど下り、満潮線から川までの水平距離が約15 m、高低差が150 cmのLine沿いを調査地とした。

サイズ分布の定期調査

2006年2月～2007年1月の期間に毎月1回、大潮から中潮の日の干潮時に、各調査地において、目視可能なフトヘナタリをランダムに100個体以上採取し、殻幅 (mm) を、ノギスを用いて0.1 mm単位まで計測して記録した。フトヘナタリは成貝になると殻頂部が失われることが多いため殻幅を記録する。大滝 (2001) の調査では、フトヘナタリはサイズによって同じLine内で分布が異なっていることが示された。そのため、サンプルはできるだけLineに沿ってランダムに採集した。殻幅が1 mmに満たない個体は、調査地での目視では同定が不可能のため調査対象から外した。採

集した貝は、計測後、採集した調査地内に放した。

生息密度調査

2006年12月に1回、各調査地において、50 × 50 cm区画をランダムに20区画用意し、区画内の目視可能なフトヘナタリの出現個体数を記録した。殻幅が1 mmに満たない個体は、調査地での目視では同定が不可能のため調査対象から外した。採集した貝は、計測後、採集した調査地内に放した。

フトヘナタリとウミナナの種間関係調査

2006年2月～2007年1月の期間に毎月1回、喜入干潟において50 × 50 cm区画をランダムに10区画用意し、区画内の目視可能なフトヘナタリとウミナナの個体数を記録した。殻幅が1 mmに満たない個体は、調査地での目視では同定が不可能のため調査対象から外した。採集した貝は、計測後、採集した調査地内に放した。月ごとにフトヘナタリとウミナナの分布がどのように変化するのかを調べるため、各月の各種個体数を用いて ω 指数 (Iwao, 1977) を求めた。 ω 指数は2種間の独立的分布に対する相対的な分布の重なり度の尺度であり、次式で表される。

$$\omega_{..} = \frac{\gamma - \gamma_{\text{min}}}{1 - \gamma_{\text{min}}} = \sqrt{\frac{m_x m_y - m_x m_y}{(m_x + 1)(m_y + 1) - m_x m_y}} \quad \gamma \geq \gamma_{\text{min}} \text{ のとき}$$

$$\omega_{..} = \frac{\gamma - \gamma_{\text{min}}}{\gamma_{\text{min}}} = \sqrt{\frac{m_x m_y}{m_x m_y}} - 1 \quad \gamma \leq \gamma_{\text{min}} \text{ のとき}$$

ω は、分布が完全に重なっているとき最大値1、独立的分布のとき0、完全に排他的なとき最小値-1をとる。

種Xと種Yに属する個体が同一空間に分布すると仮定する。種Xに対する種Yの平均こみあい度は

$$m_{xy}^* = \frac{\sum_{j=1}^q x_{xj} x_{yj}}{\sum_{j=1}^q x_{xj}}$$

であり、種Yに対する種Xの平均こみあい度は

$$m_{yx}^* = \frac{\sum_{j=1}^q x_{xj} x_{yj}}{\sum_{j=1}^q x_{yj}}$$

ここで、 x_{Xj} と x_{Yj} はそれぞれj番目の区画内

の種Xと種Yの個体数であり、 Q は総区画数である。

個々の種内の平均こみあい度が次式

$$m_x^* = \frac{\sum_{j=1}^Q x_{xj}(x_{xj} - 1)}{\sum_{j=1}^Q x_{xj}}$$

と

$$m_y^* = \frac{\sum_{j=1}^Q x_{yj}(x_{yj} - 1)}{\sum_{j=1}^Q x_{yj}}$$

で表されるとき、種Xに対する種Xと種Y両種の平均こみあい度は

$$m_{x,x+y}^* = m_x^* + m_{xy}^*$$

となる。同様に種Yに対する種Xと種Y両種の平均こみあい度は

$$m_{y,x+y}^* = m_y^* + m_{xy}^*$$

である。もし種Xと種Yの区別をしなければ、両種を含む全体のこみあい度は

$$m_{x+y}^* = p(m_x^* + 1 + m_{xy}^*) + (1-p)(m_y^* + 1 + m_{xy}^*) - 1$$

となる。ここで、

$$p = \frac{\sum_j x_{xj}}{\sum_j x_{xj} + \sum_j x_{yj}}$$

である。

γ は χX_j と χY_j との間のある種の相関係数と一致しており、直線関係 $\chi X_j = a\chi Y_j$ にどの程度近いを示す。

$$\gamma = \sqrt{\frac{m_x^* m_y^*}{m_x^* m_y^*} \left/ \left(\frac{m_x^* + 1}{m_x^*} \right) \left(\frac{m_y^* + 1}{m_y^*} \right) \right.}$$

結果

サイズ分布の季節変化

2006年2月～2007年1月の各調査地におけるフトヘナタリのサイズ頻度分布の季節変化を Fig. 3 に、各調査地におけるフトヘナタリの殻幅サイズの季節変動を Fig. 4 に示す。

谷山では、2006年2月に、わずかではあるが5 mm 前後にサイズピークを持つグループと11 mm 前後にサイズピークを持つグループの2つのグループが存在し、5 mm 前後のグループは4月

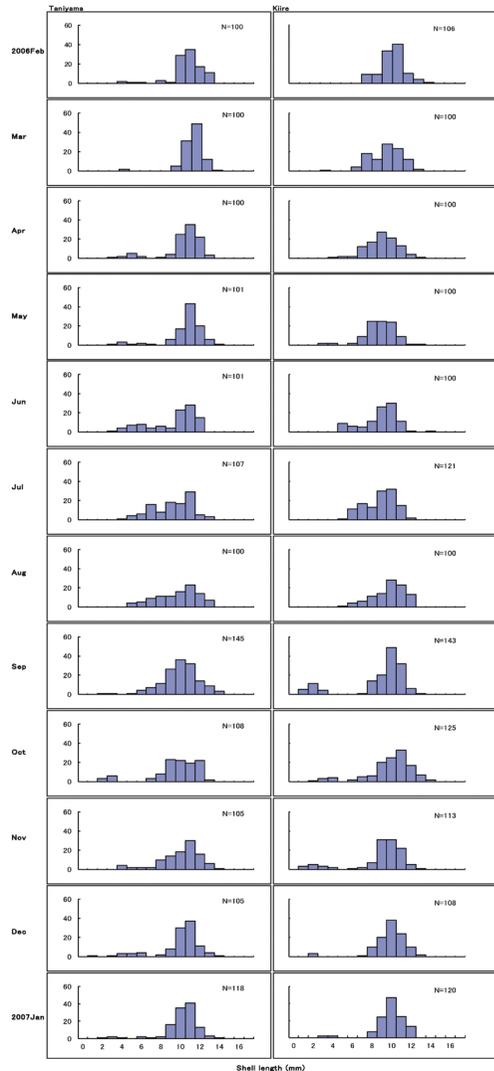


Fig. 3. 各調査地（鹿児島市谷山の永田川河口干潟、および鹿児島市喜入町愛宕川河口干潟）におけるフトヘナタリの殻幅分布の季節変化。

頃からピークを移行させ、6月頃から11 mm 前後のグループに融合を始め、8月にはグラフの山が1つになった。9月には稚貝の新規加入が起り、2 mm 前後の個体が出現した。この個体はその後ピークを移行させ、翌年1月には4 mm 前後に成長した。

喜入では、2006年2月に2つのグループは確認できず、10 mm 前後にサイズピークをもつグループのみ確認できたが、3月から、わずかではあるが4 mm 前後の個体が確認でき、2つのグルー

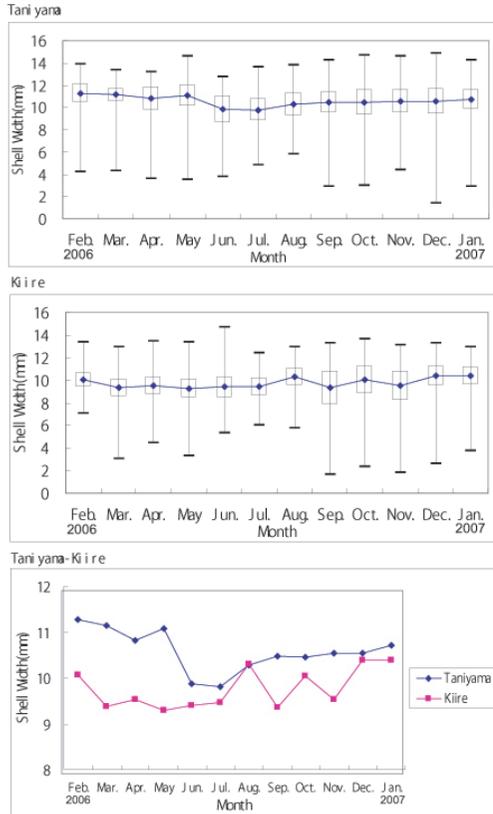


Fig. 4. 各調査地（鹿児島市谷山の永田川河口干潟、および鹿児島市喜入町愛宕川河口干潟）におけるフトヘナタリの殻幅サイズの季節的変動。

プとなった。4 mm 前後のグループは4月頃からピークを移行させ、6月頃から10 mm 前後のグループに融合をはじめ、8月にはグラフの山が1つになった。9月には稚貝の新規加入が起こり、2 mm 前後の個体が出現した。この個体はその後少しずつピークを移行させ、翌年1月には4 mm 前後に成長した。

各調査地とも6月から7月の調査の時にフトヘナタリの繁殖行動が確認できた。1年を通して、喜入では10 mm 前後にサイズピークが、谷山では11 mm 前後にサイズピークが多く、Fig. 4からもわかるように、喜入よりも谷山ほうが平均個体サイズ大きい。

生息密度

2006年12月の各調査地におけるフトヘナタリ

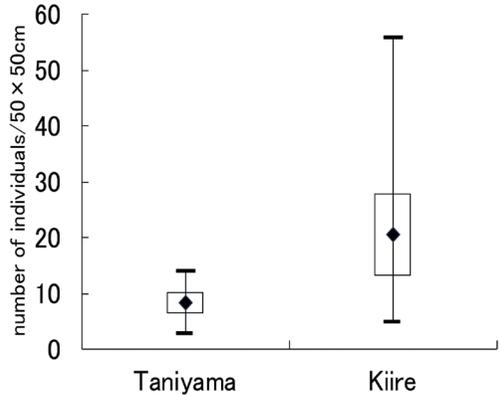


Fig. 5. 各調査地（鹿児島市谷山の永田川河口干潟、および鹿児島市喜入町愛宕川河口干潟）におけるフトヘナタリの平均生息密度。50 × 50 cm の方形区を20区画分とり、出現個体数を数えた値の平均値。

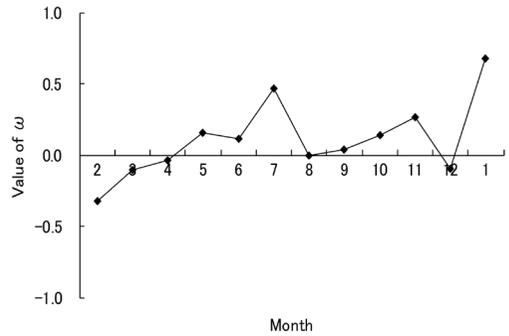


Fig. 6. フトヘナタリとウミニナの2種間のω指数の季節変化。

の生息密度を Fig. 5 に示す。

20区画の生息密度の平均が谷山では8.4個体、喜入では20.6個体と、谷山よりも喜入のほうが生息密度が高い。谷山では最大値14個体、最小値3個体、喜入では最大値56個体、最小値5個体と、谷山よりも喜入のほうが最大値と最小値の差が大きく、密度差が大きい。

フトヘナタリとウミニナの種間関係 (ω 指数)

2種間のω指数の季節変化を Fig. 6 に示す。ω指数は、年間を通して変動が激しく明確な傾向は見られなかったが、0に近い値、または0以上の値をとる月が多く、両者の分布は独立的、または重なる傾向にあった。

■ 考察

喜入調査地におけるフトヘナタリのサイズ分布の季節変動に関して、本研究では、2 mm 前後の個体が2006年9月より見られ始め、フトヘナタリの稚貝が9月頃から新規加入することが明らかになり、武内・富山(2005)の報告と同様であった。またそれらの個体は2-7月にかけて10 mm 前後の個体に成長することが明らかになった。9月に新規加入した稚貝は冬にかけて3-6 mm に成長し、春から初夏にかけて10 mm 前後になるものと推定できる。

谷山調査地におけるフトヘナタリのサイズ分布の季節変動に関しても、2006年2月には稚貝グループが見られなかったものの、3月以降喜入とほぼ同じパターンでグラフの移行が進んでいることにより、谷山と喜入のフトヘナタリの繁殖時期、新規個体の加入時期や成長パターンはほぼ同じであると考えられる。

また、武内・富山(2005)の報告では、2001年9月の新規加入個体数に比べて、2002年9月の新規加入個体数は少なく、新規加入が見られる年と、そうでない年があるとしているが、本研究でも新規加入個体数は少なく、やはり新規加入の見られる年と、そうでない年があると考えられ、また、新規加入の個体が年々減少しているとも考えられる。これらの理由として、新規加入が年によって異なる場所で行われているのか、それとも幼貝の定着自体が減少している可能性が考えられる。前者の仮説については、今後調査地を増やして季節変動を調査することが必要である。後者の仮説については、大滝ほか(2001)によって、有機スズ剤汚染、いわゆる環境ホルモンによって引き起こされるインポセックスによる繁殖力の低下や、生息域と定着場所の汚染による幼生や幼貝の高死亡率の可能性があげられている。インポセックスとは、巻貝の雌に雄の生殖器和輸精管が形成されて発達し、卵形成阻害や輸卵管の入り口が閉塞され、産卵できなくなる一連の症状を指す。愛宕川調査地においては、武内・富山(2005)の交尾頻度調査によって有機スズ剤の汚染の可能性は

支持されるかもしれないとしており、今後の追跡調査が必要である。

殻幅サイズの季節変動において、喜入よりも谷山のほうが一年を通して平均個体サイズが大きかったことは、谷山よりも喜入のほうが高密度で生息しているという生息密度調査の結果により、餌や生息場所など競争の少ない谷山のほうが個体成長に優位であり、密度効果が個体サイズに影響を与えているものと説明できる。また、植生のない転石河岸の谷山調査地よりも、周辺にマングローブ林やアシ原もある泥干潟の喜入調査地のほうが栄養的にも優位なのであると考えられ、小型個体が生存していく上でも非常に適した環境だと考えられる。このため、小型～中型個体の多い喜入調査地のほうが平均個体サイズが低く、生息密度も高くなったと考えられる。これらは、調査地砂泥中の有機物量、植物由来の有機物量、天敵の有無など、詳しい調査がなされていないことなどからはっきりとは言いきれない。今後詳しい調査が必要である。

○ 指数により、フトヘナタリとウミニナは年間を通して排他的な分布をすることはなく、2種間の種間競争は起きていないと考えられる。2種は、餌の種類、餌のサイズを異にすることにより、同所的に生息しているものと考えられる。

フトヘナタリ、ウミニナ、ヘナタリ、カワアイの4種のウミニナ類の分布を比較したとき、谷山調査地では、フトヘナタリとウミニナの二種しか確認できていないのに対し、喜入調査地ではフトヘナタリとウミニナの他、ヘナタリやカワアイの全種が生息している。武内・富山(2005)によれば、ウミニナ類の鹿児島県における分布調査によってウミニナが随所で大量に見られ、カワアイは愛宕川以外で見られず、フトヘナタリやヘナタリがウミニナほど多く確認されなかったことから、ウミニナは環境に対応する力が他の種に比べて優れており、反対にカワアイについては環境をより選択する種であるとしている。よってこの4種全てが生存できている愛宕川マングローブ林は生態学的にも重要な位置を占め、太平洋北限のマングローブ林とされている非常に珍しい場所であ

る。しかし、国道の拡張工事による破壊や、船舶から流出する油や汚染物質などにより、環境が悪化している。また、谷山永田川は、大型工業団地等の開発による取水のため水量が減り、さらに、粗大ゴミの不法投棄や生活排水による汚染により、環境の悪化が問題となっている。しかしながら、こういった状況を前に、鹿児島情報高校の生徒による昭和61年から続く「永田川クリーン作戦」と称したボランティア活動など、地域住民の環境に対する意識が無いわけではなく、こうした地道で持続的な保護措置は重要である。こうした活動が広がり、我々の身近なところに浸透して、さらに地域住民の環境保護への意識向上となっていくことを期待したい。

本研究における喜入愛宕川と谷山永田川というように全く異なる環境においても、フトヘナタリは必死にその環境に適応し、生存している。我々人間による身勝手な汚染行為により多大な害を被り、生命を脅かされている生物たちがいることを忘れてはならない。

■ 謝辞

本研究の調査をするにあたり、論文作成にあたりご協力いただきました多様性生物学講座の先輩方から感謝申し上げます。また ω 指数についてご指導して頂いた鹿児島大学理学部鈴木英治先生に厚くお礼申し上げます。ご多忙の中、共に調査していただいた富山研究室の皆様方に心からお礼申し上げます。また、論文作成にあたり助言をいただいた小野田剛、長野 徹、鈴木達二郎、小長井利彦、武内有加、宮澤絵理子の各氏、助言や励ましを頂いた生態学研究室の皆様方に深く感謝申し上げます。本稿の作成に関しては、日本学術振興会科学研究費助成金の、平成26-29年度基盤

研究(A)一般「亜熱帯島嶼生態系における水陸境界域の生物多様性の研究」26241027-0001・平成27-29年度基盤研究(C)一般「島嶼における外来種陸産貝類の固有生態系に与える影響」15K00624・平成27-29年度特別経費(プロジェクト分)「地域貢献機能の充実―薩南諸島の生物多様性とその保全に関する教育研究拠点整備」、および、2017年度鹿児島大学学長裁量経費、以上の研究助成金の一部を使用させて頂きました。以上、御礼申し上げます。

■ 引用文献

- 安藤美穂・富山清升. 2005. マングローブ干潟におけるヘナタリのサイズ分布の季節変化. 鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻修士論文.
- 波部忠重. 1955. カワアイとフトヘナタリの産卵. *Venus*, 8 (3): 204-205.
- Iwao, S. 1977. Analysis of spatial association between two species based on the interspecies mean crowding. *Researches on Population Ecology*, 18 (2): 243-260.
- 河野尚美・富山清升. 2004. 鹿児島湾におけるヒメウズラタマキビガイの生息地による生活史の違い. 鹿児島大学理学部地球環境科学科卒業論文.
- 奥谷喬司(編著). 2000. 日本近海産貝類図鑑: pp. 132-133. 東海大学出版会.
- 小野田剛・富山清升. 2004. 同所的に生息する淡水巻貝2種の種間関係とイシマキガイの生活史. 鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻修士論文.
- 大滝陽美・真木英子・富山清升. 2001. フトヘナタリの分布の季節変化と繁殖行動. *Venus*, 60 (3): 199-210.
- 武内麻矢・富山清升. 2005. 鹿児島県喜入干潟におけるフトヘナタリの生活史及びウミナガの鹿児島県内における分布. 鹿児島大学理学部地球環境科学科卒業論文.
- Wells, F. E. 1983. The Potamididae (Mollusca: Gastropoda) of Hong Kong, with an examination of habitat segregation in a small mangrove system. In: B. Morton and D. Dudgen (eds.) *Proceeding of the Second International Workshop on the Malacofauna of Hong Kong and Southern China*, Hong Kong, 1983, pp. 140-154. Hong Kong University Press, Hong Kong.
- 山本百合亜・和田恵次. 1999. 干潟に生息するウミナガ科貝類4種の分布とその要因. *南紀生物*, 41: 15-22.