

キャベツ給餌によるサザエの長期飼育と棘形成に関する考察

Long-term rearing of juvenile Japanese turban shell (*Turbo sazae*) fed cabbage and inference on spine formation

張 成年^{1,2*}・林 順子³・柳本 卓³
Seinen Chow^{1,2*}, Yoriko Hayashi², Takashi Yanagimoto²

¹水産技術研究所, 横浜市金沢区福浦 2-12-4

²アクオス研究所, 東京都八王子市元八王子町 3-2153-79

³水産資源研究所, 横浜市金沢区福浦 2-12-4

¹Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan, ²Aquos Institute, 3-2153-79 Motohachioji-cho, Hachioji, Tokyo 193-0826, Japan, ³Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan.

*Corresponding author; e-mail: kaiyoel@yahoo.co.jp

Abstract

Juveniles of the Japanese turban shell *Turbo sazae* were reared under static and flowing water conditions by feeding cabbage alone for two years. The growth of the reared individuals was comparable to that of reared juveniles fed formulated diets and/or algae and to that of wild juveniles, indicating that the cabbage could be an alternative or supplemental food source for rearing the turban shells. Survival rates were approximately 60 % after one year and decreased to 20 % after two years. Spine formation was not observed in all individuals. Factors involved in the spine formation were discussed.

Key words: turban shell; growth; cabbage feeding; water flow; spine formation

藻食性海産動物であるアワビ、ウニ、サザエ、トコブシにキャベツを与えて飼育する試みが行われ、種によっては餌料としての有効性が確認されている(神奈川県栽培漁業協会 2018; 臼井 2019)。しかしながら、いずれも飼育期間は3–5ヶ月であり、それ以上の長期飼育は過去に例がない。本報告ではサザエ人工種苗に対して、キャベツのみを給餌して2年間飼育した結果について紹介する。また、サザエ殻上の棘は物理的な要因による転落を回避するための適応装置であり、その形成には波浪強度が関与していることが示唆されているが(網尾 1955; 柳本ら 2022)、実験的に棘の形成と環境要因との関係が証明されているわけではない。キャベツで飼育するとともに、人為的に流水環境を与えて棘が形成されるかどうかについても検討した。

使用したサザエ人工種苗は神奈川県栽培漁業協会が2020年7月中に複数の親貝から採卵

した群である。着底稚貝にはアワビ用配合飼料(ハリオス EX、フィード・ワン株式会社)が給餌された。2021年7月にこの群から100個体超をランダムに選び水産研究・教育機構横浜庁舎に輸送し、屋内飼育施設に設置した100L容のパンライトタンク(水深40cm)1基にサザエ稚貝を収容した。砂濾過海水をタンク中央部付近に毎分3–4L注水し、塩ビパイプを通して表層からオーバーフローによる排水を行った。週に2回程度、近隣の食料品店で廃棄されているキャベツの最も外側の葉部分をもらい受け、冷蔵保管しながら餌として用いた。2021年7月12日にランダムに選別した40個体の殻高を測定した。同年10月13日に全個体の殻高を測定しながらランダムに2群(AとB各57個体)に分け、同タイプのパンライトタンク2基に収容した(Fig. 1)。タンク中央部での残餌や水の滞留を防ぐため、中心部に直径15cm、高さ45cm

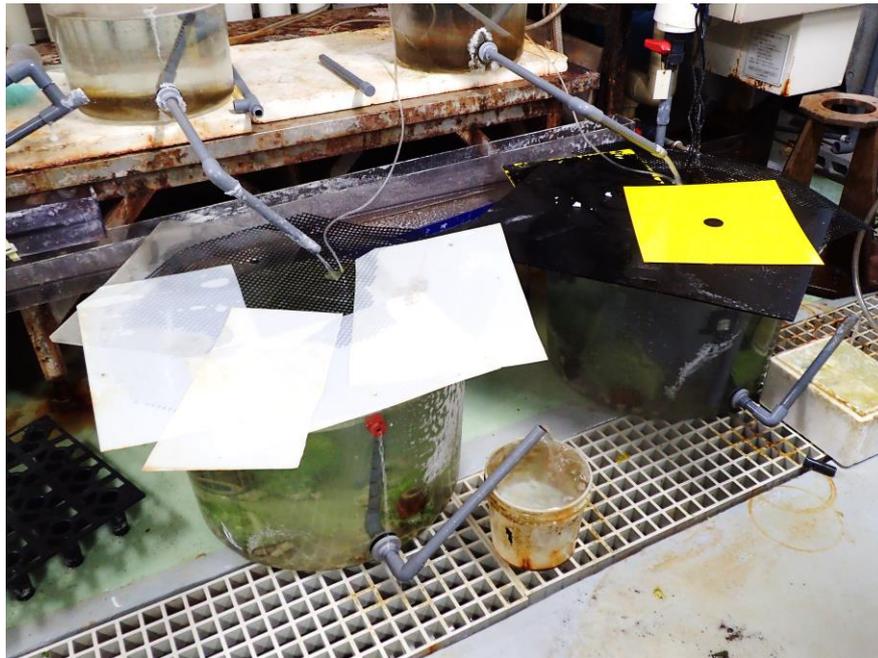


Fig. 1. Tank system used for rearing juveniles of the Japanese turban shell *Turbo sazae*.

の塩ビパイプを縦に置いた。両タンクともにエアレーションを施し上記と同様の注水を行った。タンク B では小型水中ポンプ(吐水量 300 L/h) 4 台のうち 2 台を縁辺部の水面から 5 cm、残る 2 台を水面から 30 cm の位置に対角になるよう配置し時計周りに水平方向の水流を加えた。釣り用の小型ウキを浮かべ、その単位時間当たりの輸送距離を測定したところ、タンク B での表層水流速はタンク縁辺部で約 4 cm/s、中央塩ビパイプ周辺では 1 cm/s 以下であった。タンク A では注水やエアレーションによる方向性の無いわずかな流れがあるのみであった。サザエの逃亡を防ぐためにタンク上面をトリカルネットやプラスチック板で覆った (Fig. 1)。週に 3 日 (月水金) の午前中に、前回与えたキャベツの残渣を取り上げ、糞等の沈殿物をサイフォンで排出した。その際、死亡が確認できた個体を取り出し棘の有無を観察した。死亡個体の多くは軟体部がすでに消失しており死亡日が不明なため殻高は測定しなかった。その後、小石を乗せた新しいキャベツの葉 2-3 枚をタンク底に置いた。2-4 ヶ月に 1 回、タンクの全洗浄を行った。2022 年 7 月 11 日と 2023 年 9 月

29 日に全個体の殻高を測定するとともに、柳本ら (2022) に従って棘の有無について観察した。飼育期間中の水温は 11 °C から 25 °C の範囲であった。

神奈川県栽培漁業協会 (2018) による報告と同様に、サザエ稚貝がキャベツを旺盛に摂餌することが観察された。残餌状況から、与えたキャベツは充分量であったと考えられた。最初の測定日 (2021 年 7 月 12 日) から飼育終了日 (2023 年 9 月 29 日) までに測定した生貝の殻高データを Fig. 2 及び Table 1 に示した。約 1 才である 2021 年 7 月 12 日での生貝の平均殻高は 19.0 mm、その 3 ヶ月後の 2 群に分けた 10 月 13 日での平均殻高は 25.1 mm (A 群) と 26.3 mm (B 群)、約 2 才となる 2022 年 7 月 11 日での平均殻高は 34.5 mm (A 群) と 35.4 mm (B 群)、約 3 才となる 2023 年 9 月 29 日での平均殻高は 48.0 mm (A 群) と 46.6 mm (B 群) であった。2021 年 10 月 13 日の群間で殻高にわずかながら有意差が見られたが (Mann-Whitney U-test, $p = 0.047$)、それ以外では群間で有意差は見られなかった (Mann-Whitney U-test, $p > 0.4$)。低水温期には成長が遅滞することから、夏場 (2021 年 7 月 12 日) から秋 (2021

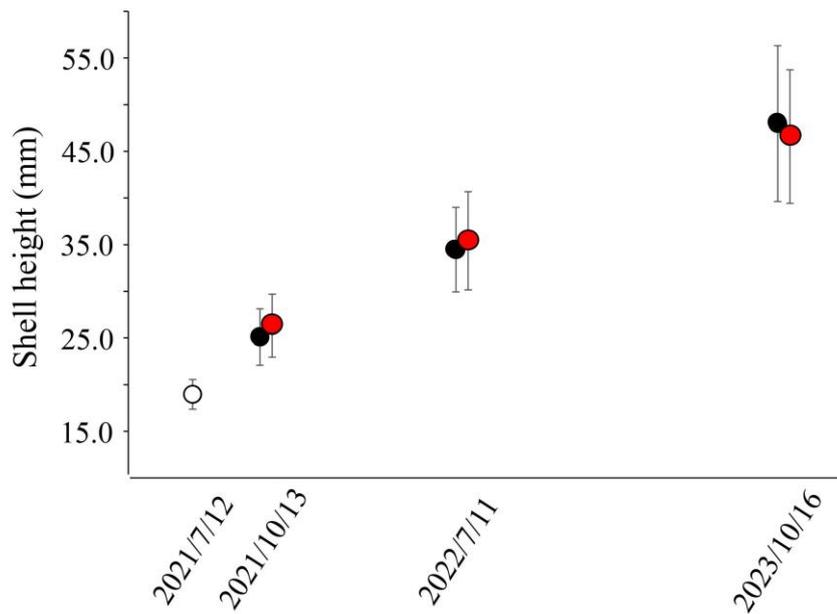


Fig. 2. Shell height of the Japanese turban shell *Turbo sazae* reared under static water (black circle) and flowing water (red circle). Vertical bars show standard deviation.

年 10 月 13 日) までの 3 ヶ月間における日間増殻高 (mm/day) を算出したところ、0.07–0.08 であった。生残率は 2022 年 7 月 11 日で 66.7 % (A 群) 及び 63.2 % (B 群)、2023 年 9 月 29 日で 24.6 % (A 群) 及び 19.3 % (B 群) であった。A、B 群ともに死貝及び各測定時での生貝の殻を観察したが、肉眼で確認できるような棘は見られなかった (Fig. 3)。

Table. 1. Mean shell height (SH mm) of reared Japanese turban shell *Turbo sazae*.

date	group*	n	SH±SD	range
2021/7/12		40 [†]	19.0±1.6	14.8–21.7
2021/10/13	A	57	25.1±3.0	18.8–31.9
	B	57	26.3±3.4	19.1–33.8
2022/7/11	A	38	34.5±4.5	26.0–45.0
	B	36	35.4±5.3	24.8–43.6
2023/9/29	A	14	48.0±8.4	34.7–65.2
	B	11	46.6±7.2	37.1–59.1

*A: static water, B: flowing water. [†] subsample.

サザエの人工種苗を放流し、成長や生残を追跡している研究は少なくない。そのうち、桑原ら (1987) と葭谷ら (1987, 1989) が春および夏に 1 才令で放流した個体について数ヶ月後の殻高を報告している。これらの研究で得られた増殻



Fig. 3. The Japanese turban shell *Turbo sazae* reared under static water (left) and flowing water (right). Both are three years old. Scale bar = 10 mm.

高から算出した日間増殻高は 0.051 から 0.156 であり、我々が今回得た日間増殻高はこの範囲にある。山崎・石渡 (1988) は過去に行われた人工種苗サザエの飼育実験結果を取り纏めている。それによると、殻高は 1 才令で 7.7–27.0 mm、2 才令で 29.4–38.2 mm、3 才令で 49.3 mm であり今回のものと似ている。山崎・石渡 (1988) は天然貝の成長についても過去の調査研究結果を取り纏めている。それによると 1 から 4 才令の平均殻高は地域によって大きく異なるが、山崎・石渡 (1988) は年齢査定法による違いを指摘している。すなわち、殻表面の成長線や殻高頻度分布から推定した年齢での殻高は、1 才令で 25.0–49.5 mm、2 才令

で 45.0–65.3 mm、3 才令で 56.0–92.2 mm、4 才令で 75.0–103.9 mm であった。これらに較べて、蓋内面の年輪から推定した場合の殻高は小さい傾向があり、1 才令で 10.3–26.1 mm、2 才令で 23.9–42.8 mm、3 才令で 41.6–58.3 mm、4 才令で 51.0–65.6 mm であった。このように、過去に行われた人工種苗及び今回の飼育試験で得られた殻高は、蓋内面の年輪から推定した年齢における天然貝の殻高と大きな乖離がない。一方、生残率については先行研究に比べ、今回得られた値は特に 2 年後のものは明らかに低い。海藻や配合飼料で飼育したサザエの人工種苗はある程度成長すると生残率が極めて高くなることが知られている(梶川 1985; 岡部・藤田 1985; 岡部ら 1989)。採苗器から剥離した殻高 3–4 mm の稚貝は 1 年後の殻高 10–15 mm に成長するまでに 6–8 割生残し、その 8–9 割が次の 1 年後まで生残している(岡部・藤田 1985)。また、神奈川県栽培漁業協会による 5 ヶ月間の飼育試験ではキャベツと配合餌料飼育間で生残率には大きな差異は見られていない(神奈川県栽培漁業協会 2018)。今回の飼育試験では 1 年後に 6 割生残しているが、2 年後の生残率が 2 割と低い。そのため長期的にはキャベツだけでは何らかの栄養学的な問題がある可能性は残され、成長不良と死亡が関連しているならば今回得られた成長はやや過大評価していることになる。いずれにせよ、サザエに対してキャベツを補助的な餌料として用いることについてはほぼ問題はないと考えられる。

次に棘形成についてであるが、貝殻上の棘は軟体動物の幅広い分類群で見られ、捕食者に対する防御装置と考えられている(Chirat et al. 2013)。Whelan (2021) は淡水性腹足類における殻形態の種内変異について過去の研究を取り纏めているが、棘の長短や有無に関する報告は多くない。海産種も含めると、棘の長短や有無に関する種内変異をもたらす要因について、遺伝(Holomuzki and Biggs 2006)、寄生虫感染(Levri et al. 2005)、底質(Hylleberg and Tantichodok 1992)、水温や水流等(Holomuzki and Biggs 2006; Vergara et al. 2016; Verhaegen et al. 2018)、成長(Martin-Mora and James

1995; Vergara et al. 2016)、捕食者(Palmer 1979; Holomuzki and Biggs 2006)が示唆されているが、いずれも決定的なものではない。また、コンクガイ(*Strombus gigas*)の幼貝では棘の長短と被食率には明らかな関係が見られなかった(Ray and Stoner 1995)。

サザエでは棘の有無に地域的な特徴が知られており、日本海側のサザエでは有棘タイプが多い一方、瀬戸内海では無棘タイプが大勢を占め、太平洋側では地域によってタイプ頻度が大きく異なる(松井・内橋 1940a, b; Matsui and Uchihashi 1940; 山田 1945, 1946; 小林 1959; 柳本ら 2022)。山田(1945, 1946)はサザエの棘の配列に遺伝的支配があることを示唆しているが、棘の有無や長短については環境の影響が大きいものと考えている。サザエの棘形成の遺伝的支配を検討することを目的として、親貝の棘形態を考慮した交配実験や種苗生産を行った例はない。神奈川県では殻高 30 mm 近くまで飼育したサザエ人工種苗を出荷する場合がありますが全て無棘である(今井利為氏、私信)。しかしながら、殻高 30 mm 以上で棘形成が明瞭となることから(網尾 1955)、これをもって遺伝的要因を完全に否定できるものではない。

多岐にわたる動物がサザエの稚貝を捕食するいわゆる天敵として報告されている(辻・西村 1979; 高田 1990; 藤井 1991; 伊藤・太刀山 1994; Hayakawa et al. 2013)。これら天敵のほとんどは大型になったサザエ成貝を捕食できないが、学術論文としての報告はないものの、ネコザメ(*Heterodontus japonicus*)、コブダイ(*Semicossyphus reticulatus*)、イシダイ(*Oplegnathus fasciatus*)、マダコ(*Octopus vulgaris*)がサザエ成貝を捕食しているところが水族館やダイバーによってしばしば観察されている。そのため、サザエの棘形成に影響を及ぼすほど、海域間でこれら多岐にわたる天敵の捕食圧に大きな差異があるとは考えにくい。また、ごく近隣の海域間でサザエの棘タイプ頻度に大きな差が見られることや、同じ場所でも無棘と有棘個体が混在していることも(小林 1959; 柳本ら 2022)、食害の影響ではないことを支持する。

猪野・龜高(1943)と猪野(1953)が環境要因とサザエの棘形成の関係について試験研究を行っている。彼らは波浪がほとんど無い活洲内でサザエを飼育したところ棘が減少することを観察し、波浪環境だけでなく餌不足、外海とは異なる海水成分、沈殿物、濁りといったサザエにとって良好とは言いがたい環境も棘形成に影響する可能性があるとしている。しかし、これらの試験は棘の減少を観察したものであり、棘形成を促すための試験は今回が初めての試みと言える。今回用いたサザエ稚貝の生産には複数の親貝ペアが関与していると思われるが、その数や棘形態の記録はなく、遺伝要因について検討できる情報はない。また、栄養学的問題によって棘形成が妨げられた可能性も否定できない。遺伝要因や栄養学的問題を除けば、今回用いた流水環境が棘形成を誘引するためには充分ではなかった可能性が考えられる。ここでは棘形成が流水刺激によるものと仮定して考察を進める。

杉本・近澤(2008)は、気象庁が太平洋沿岸6地点、日本海側5地点に設置した波浪計による観測結果を取り纏めている。それによると、月平均有義波高は太平洋側では季節変化が少なく年間を通して1.5 mを超える地点はほとんどないが、日本海側では季節変化が大きく、冬季に1.5から2 mを超える地域が多い。さらに、月平均高波浪継続時間は太平洋側では季節変化が少ない一方、日本海側では冬季に長く、その時間は太平洋側の2倍程度となる地点が多い。逆に夏季では月平均有義波高が1 mを超える地点は日本海側には無いが、太平洋側では多くの地点で超えている。このような気象観測結果の違いは日本海側気候によるものであり、冬の日本海は大きく荒れるという一般的に理解されている現象である。サザエが経験する流水環境については、沿岸の波高と離岸流流速との関係から推測できる。開放的な海岸では有義波高が0.5 mで離岸流流速は毎秒20 cm以上、有義波高が1 mになると離岸流流速は毎秒70 cm以上となり、離岸堤に囲まれた海岸でも有義波高が2 mで離岸流流速は毎秒30 cmを超える(犬飼・難波2021)。連続かつ一定方向の流水

環境であることを除けば、今回我々が用いた流速は冬季の日本海沿岸のみならず夏季の太平洋沿岸の流速にも遙かに及ばないことになる。

今後、流水環境操作によってサザエの棘形成を促す試験を行うならば、サザエが基質から剥がされる流水速度が重要な情報となるが、海産腹足類でそのような実験報告は皆無である。寄生虫の宿主となる淡水性腹足類では、移動や侵入をコントロールすることを目的として、貝の行動や基質からの剥離と流水速度との関係について検討した研究は多い。平坦な基質を用いた室内実験によると、ごく扁平な形状をしている種を除けば、短時間のうちに貝が剥離される流速は毎秒25から89 cmであり(Jones 1993)、これらの値が一つの指標になるかもしれない。自然界では複雑な基質である岩礁の間隙に潜り込んでいるサザエ稚貝はより長い時間にわたってこのような流水環境に耐えられるであろう。日本海側と太平洋側の波浪環境の季節差を考慮すると、冬場における数ヶ月間の流水刺激で充分かもしれない。また、着底後最初に経験する低水温期の波浪環境が棘形成を促すことも考えられることから、0才令の稚貝を用いた試験も重要であろう。

謝辞

サザエ人工種苗生産の情報と種苗の入手に便宜を図っていただいた神奈川県栽培漁業協会の今井利為専務理事に感謝いたします。

引用文献

- 網尾 勝(1955). サザエ *Turbo cornutus* SOLANDER の成長並びに棘の消長に就いて. 農林省水産講習所研究報告 4: 57-68.
- Chirat, R., Moulton, D. E., Goriely, A. (2013). Mechanical basis of morphogenesis and convergent evolution of spiny seashells. PNAS 110: 6015-6020.
- 藤井明彦(1991). 各種海産動物によるサザエ稚貝の捕食. 水産増殖 39: 123-128.
- Hayakawa, J., Kawamura, T., Kurogi, H., Watanabe, Y. (2013). Shelter effects of coralline algal turfs: protection for *Turbo cornutus* juveniles from predation by a predatory gastropod and wrasse. Fish. Sci. 79: 15-20.

- Holomuzki, J. R., Biggs, B. J. F. (2006). Habitat-specific variation and performance trade-offs in shell armature of New Zealand mudsnails. *Ecology* 87: 1038–1047.
- Hylleberg, J., Tantichodok, P. (1992). Shell capacity as a function of spine length phenotypic variation in *Chicoreus ramosus*. *Phuket Mar. Biol. Cent. Spec. Publ.* 10: 135–139.
- 猪野 峻・龜高洋介 (1943). サザエ (*Turbo cornutus* SOLANDER) の食量と環境に依る形態の変化に就て. *日本水産学会誌* 12: 113–118.
- 猪野 峻 (1953). サザエ (*Turbo cornutus* SOLANDER) の生態學的研究-I. 環境の相違による棘の消長. *日本水産学会誌* 19: 410–414.
- 犬飼直之・難波悠太 (2021). 離岸流場において安全に活動するための流況の把握. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)* 77: I_811–I_816.
- 伊藤輝昭・太刀山透 (1994). サザエ人工種苗の放流手法. *福岡水技研報* 2: 59–66.
- Jones, H. R. R. (1993). Water velocity as a control of aquatic snails in concrete canal systems for irrigation. PhD thesis, Loughborough University of Technology, United Kingdom.
- 梶川 晃 (1985). サザエの種苗生産について. *鳥取水試報* 23: 23–30.
- 神奈川県栽培漁業協会 (2018). キャベツを用いた貝類の種苗生産. <http://kanagawa-sfa.or.jp/kyabetu.html>. (accessed on 26 December 2023).
- 小林歌男 (1959). 山口県吉見地区におけるサザエの形態的変異について. *水産増殖* 6: 21–26.
- 桑原昭彦・葭谷 護・浜中進一 (1987). 栽培漁業と新養成技術⑩サザエの栽培漁業に向けて(下). *水産の研究* 6: 40–45.
- Levri, E. P., Dillard, J., Martin, T. (2005). Trematode infection correlates with shell shape and defence morphology in a freshwater snail. *Parasitology* 130: 699–708.
- Martín-Mora, E., James, F. C. (1995). Developmental plasticity in the shell of the queen conch *Strombus gigas*. *Ecology* 76: 981–994.
- 松井佳一・内橋 潔 (1940a). 日本産サザエの棘の變異と其の分布に就いて. *兵庫縣水産試験場試験報告* 2: 27–31.
- 松井佳一・内橋 潔 (1940b). 日本産サザエの棘の變異に就て. *Nippon Suisan Gakkaishi* 8: 349–354.
- Matsui, Y., Uchihashi, K. (1940). On the variation in spines of the Japanese top-shell, *Turbo cornutus* Solander. *Zoo. Soc. Jpn.* 19: 61–67.
- 岡部三雄・藤田眞吾 (1985). サザエ種苗の大量生産技術について. *養殖* 22: 122–126.
- 岡部三雄・赤岩健治・小倉正規・永浜雅和 (1989). サザエ稚貝の水槽飼育における餌料と飼育密度(短報). *京都海洋センター研報* 12: 65–66.
- Ray, M., Stoner, A. W. (1995). Predation on a tropical spinose gastropod: the role of shell morphology. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 187: 207–222.
- 杉本悟史・近澤昌寿 (2008). 気象庁沿岸波浪観測に基づく日本沿岸の波浪特性の調査. *測候時報* 75: S77–S95.
- 高田啓一郎 (1990). サザエ資源の育成に関する研究-I サザエ稚貝の放流初期における行動について. *神奈川県水産試験場研究報告* 11: 75–80.
- 辻 秀二・西村元延 (1979). 蒲入磯根漁場へのサザエ人工種苗放流実験. *京都府立海洋センター研究報告* 3: 18–25.
- 臼井一茂 (2019). キャベツでムラサキウニを育てる！ー野菜残渣を餌にして育てたウニはおいしいの？ー. 平成 30 年度磯焼け対策全国協議会. 農林水産省. https://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/attach/pdf/H30_isoyaketaisakukyougikai-9.pdf. (accessed on 24 December 2023).
- Vergara, D., Fuentes, J. A., Stoy, K. S., Lively, C. M. (2016). Evaluating shell variation across different populations of a freshwater snail. *Molluscan Res.* 37: 120–132.
- Verhaegen, G., Neiman, M., Haase, M. (2018). Ecomorphology of a generalist freshwater gastropod: Complex relations of shell morphology, habitat, and fecundity. *Org. Divers. Evol.* 18: 425–441.
- Whelan, N. V. (2021). Phenotypic plasticity and the endless forms of freshwater gastropod shells. *Freshw. Mollusk Biol. Conserv.* 24: 87–103.
- 山崎明人・石渡直典 (1988). サザエの生態學的研究 III. 初期成長と密度変化. *La mer* 26: 12–18.
- 柳本 卓・張 成年・酒井 猛・澤山周平・林 順子・斎藤和敬・若林敏江・山本 潤 (2022). サザエ *Turbo sazae* 地域集団間の遺傳的及び形態的分化. *Nippon Suisan Gakkaishi* 88: 396–406.
- 葭谷 護・桑原昭彦・浜中進一 (1987). サザエ稚貝の成長と生残に及ぼす生息環境条件の影響. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53: 239–247.
- 葭谷 護・船田秀之助・辻 優秀・内野 憲・田中雅幸 (1989). サザエ稚貝に対する人工中間育成礁の有効性について. *京都海洋センター研報* 12: 1–8.

Received: 20 March 2024 | Published: 2 April 2024