



ガンガゼ類の多様な生態学的役割

石川 達也

尾鷲市役所 (〒 519-3696 三重県尾鷲市中央町 10-43)

Tatsuya Ishikawa: Various ecological roles of sea urchins in the genus *Diadema*. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 71: 165–169, November 10, 2023

Sea urchins are the most important consumers in shallow-water ecosystems. Their grazing activity results in the formation of barren grounds, but seaweed beds are restored when they are removed in many parts of the world. For example, on the barren grounds in Haidaura Bay, Mie Prefecture, algal coverage and number of species increased owing to the continuous removal of *Diadema* spp., resulting in the reappearance of turban shells and abalone. However, the ecological roles of sea urchins in the genus *Diadema* are more complex. They do not only affect algae but also sessile animals, and provide habitats for small fish and a variety of parasites. Particularly, their grazing pressure is important for the maintenance of coral reefs. Their mass mortality increases the algae which cover and damage scleractinian corals, while high density of sea urchins in the genus *Diadema* overgraze corals. Following removal of sea urchins in the genus *Diadema* in barren grounds, optimized efforts are needed to restore algal beds with high species diversity.

Key Index Words: *Diadema*, restoration, sea urchin, seaweed bed

Owase City Office, 10-43 Chuo-cho, Owase, Mie 519-3696, Japan

Author for correspondence: diver823@gmail.com

はじめに

藻場が著しく衰退、消失する磯焼けは 2015 年頃までにほぼ全都道府県で報告されており、拡大傾向を示している (Fujita 2010, 水産庁 2021)。海藻が茂る藻場は環境、水産のいずれの面においても重要な生態系であり、各地の磯焼け域で藻場再生活動が実施されている。磯焼けの要因は様々であるが、ウニが優占する磯焼け域では、ウニ除去による藻場再生活動が盛んに行われてきた (四井・前迫 1993, 吾妻ら 1997, 水産庁 2021, 門田ら 2022 など)。ウニは恐竜時代から浅海域の生態系において最も重要な消費者のグループであったと考えられており、今日においても海藻藻場、海草藻場、サンゴ礁等といった幅広い海洋生態系において重要な役割を果たしている (Steneck 2020)。本稿では、ウニの摂食圧が主要因となった磯焼けについて述べ、その対策の例として著者が関わったガンガゼ類除去活動による生物相への影響について紹介する。さらに、ウニが様々な生態系に与える影響について、ガンガゼ類を例に言及する。

磯焼けの発生・持続要因としてのウニ

磯焼けが発生する要因は様々であり、高水温・貧栄養化などの環境変化、台風による攪乱、植食性動物による食害、人的影響による海域の汚濁、植食性動物の捕食者の乱獲、火山灰の堆積などが挙げられる (藤田 2002)。磯焼けは一度発生すると長期にわたり持続する傾向がある。磯焼けが持続する

主要因としては、高水温・低栄養などの海藻の生育に不適な環境条件に加え、植食性動物による摂食などが挙げられる (富士 1999)。植食性動物の摂食圧は海藻群集を制御する大きな要因であり (Kuempel & Altieri 2017)、中でも植食性魚類とウニは深刻な影響を及ぼす生物群とされる (Hughes *et al.* 2007)。

ウニは岩礁生態系において重要な役割を持ち、その摂食が磯焼けの発生および持続要因となることが知られている (藤田ら 2008, Filbee-Dexter & Scheibling 2014, Ling *et al.* 2015)。現生するウニは世界中で約 1,000 種とされており、赤道直下の熱帯海域から南極、北極圏の寒冷な海、潮間帯から超深海、岩礁域から砂泥底などの多様な環境に適応したグループである (田中ら 2019)。ウニの摂食圧が主要因となっている磯焼けは、亜寒帯域から熱帯域に至る広い海域で確認されており (Sammarco 1982, Fujita 2010, Sangil *et al.* 2014)、大規模なものは沿岸 2,900 km に及ぶとされている (Moore & Miller 1983)。ウニの摂食圧が主な持続要因となっている磯焼け域においては、優占するウニの除去により藻場が再生することが知られている。日本では、ムラサキウニ *Heliocidaris crassipina* (A. Agassiz) の優占域で四井・前迫 (1993)、キタムラサキウニ *Mesocentrotus nudus* (A. Agassiz) の優占域で吾妻ら (1997)、ガンガゼ類の優占域で Fujita *et al.* (2013)、山田ら (2015)、Akita *et al.* (2021) などがウニ除去による磯焼け対策を実施している。

本稿で扱うガンガゼ類はウニの中でも際立って長い棘を持つことが特徴であり、熱帯域 (Muthiga & McClanahan 2020) から暖温帯域 (Fujita & Haroun 2010) にかけて広く分布している。日本国内にはガンガゼ *Diadema setosum* (Leske), アオスジガンガゼ *D. savignyi* (Audouin), アラサキガンガゼ *D. clarki* Ikeda, *D. paucispinum* A. Agassiz の4種が分布しており (Chow *et al.* 2014), 三重県ではガンガゼやアラサキガンガゼの摂食圧が主な持続要因となる磯焼けが報告されている (倉島ら 2014, 石川ら 2021)。

早田浦におけるガンガゼ類除去による生物相の変化

三重県尾鷲市の早田浦という小湾では1999年時点でガンガゼ類が優占する磯焼け域が湾奥部に確認されていた (倉島ら 2001)。そのため、過去の磯焼け対策 (水産庁 2007, 藤田ら 2008) から手法を検討し、地域の漁業者や住民、三重大学ダイビングサークル等が早田地区再生協議会を組織して、2010年よりガンガゼ類除去による藻場再生活動を開始した。早田浦においては水産庁の環境・生態系保全活動支援事業、2013年度からは水産多面的機能発揮対策事業を活用し活動を継続している。

早田浦では3つの除去区を設け活動を行っているが、本稿では除去効果が最も顕著であった湾奥部北岸の除去区について言及する。本除去区は他の除去区と比較して巨礫 (人頭大~等身大) の割合が多い転石帯であり、除去前の目視調査で最も多くガンガゼ類が確認された海域である (倉島ら 2014)。本除去区において除去前はガンガゼ類が8.8個体 m^{-2} と高密度に生息し、直立海藻の被度は0%と典型的な磯焼けの状態であった (図1A)。2010年からのダイバーや漁船からの継続的な除去によって、ガンガゼ類密度は減少し (図1B)、密度が約2個体 m^{-2} 以下になると海藻の被度が増加し、図1Cのように藻場の再生が認められた (倉島ら 2014)。早田浦全体におけるガンガゼ類除去前後の海藻植生を比較したところ、除去後には林冠構成種のホンダワラ類 *Sargassum* spp. だけでなく、多様な小型海藻の増加が確認された (石川ら 2017)。早田浦では藻場が再生した後も新規加入したガンガゼ類を継続的に除去して、その密度を低く保ち、海藻被度が安定した藻場を維持できた。

ガンガゼ類除去前の除去区では有用貝類であるサザエ *Turbo sazae* H. Fukuda やアワビは確認されなかった。しかし、海藻被度が増加し始めると、生息が確認されるようになり、最大密度ではサザエで0.6個体 m^{-2} 、アワビで0.2個体 m^{-2} となった (石川ら 2021)。これは、ガンガゼ類除去によって磯焼け域に藻場が再生されて餌料となる海藻も増えたことで、サザエやアワビが増加したと考えられた。

本除去区においては、除去前に確認されたウニはガンガゼとアラサキガンガゼの2種のみであったが、ガンガゼ類の減少に伴って他のウニが増加し、調査期間中に計10種が認められた (石川ら 2021)。増加が顕著であったムラサキウニとナガウニ類 *Echinometra* spp. 等はガンガゼ類と同所的に生息し

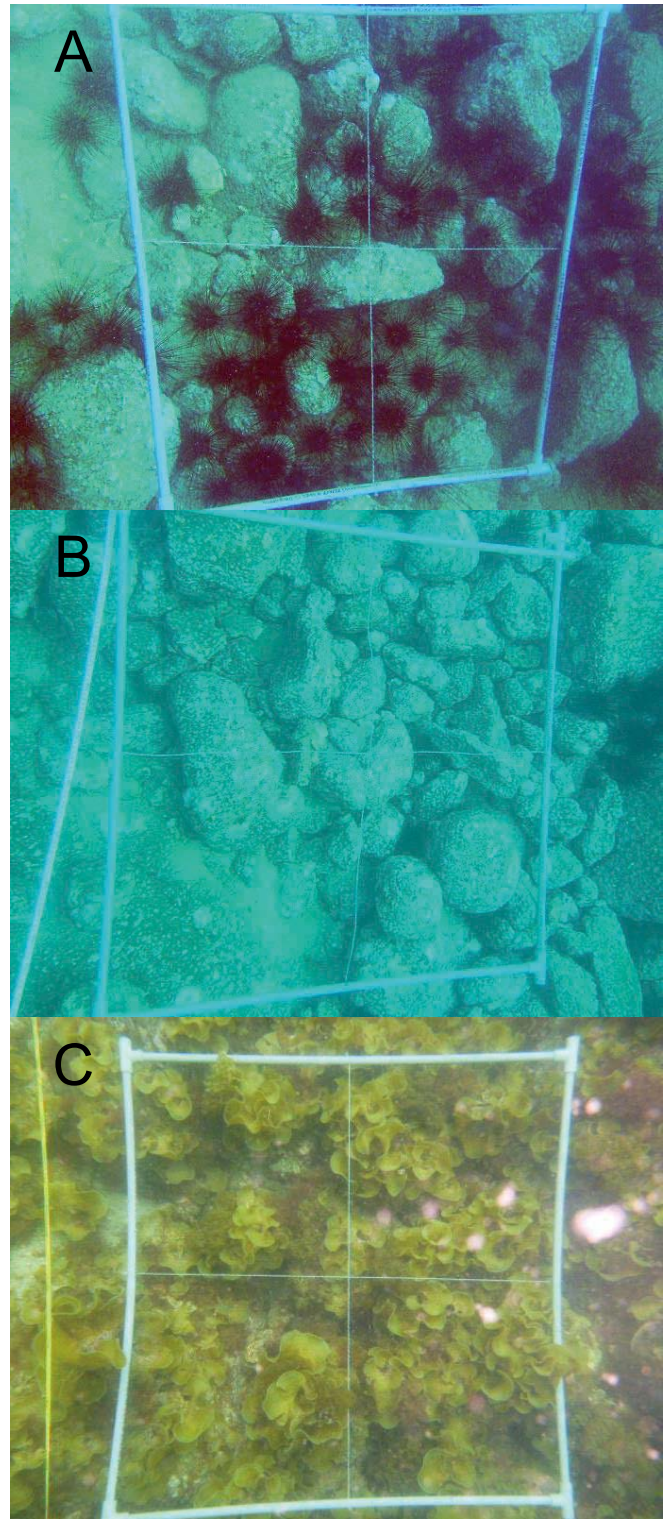


図1. 早田浦におけるガンガゼ類除去区内の状況。写真内の調査枠は1m×1m。A: 除去開始時 (2010年3月), B: 除去後 (2010年11月), C: 藻場再生後 (2013年6月)。

ていた。カリブ海のサンゴ礁域では、*D. antillarum* (Philippi) とナガウニ属の *E. viridis* A. Agassiz を対象とした野外実験の結果から、一方の種を除去すると他種が増加するウニの種間の競合関係が報告されている (Williams 1981)。早田浦においても、競合関係にあったガンガゼ類が、継続除去によりその密度が低く保たれ、他のウニの種数や密度が増加したと考えられる。しかし、国内にはムラサキウニ (四井ら 1994) やナガウニ類 (Kawamata *et al.* 2011) が優占する磯焼け域も報告されている。そのため、継続的なウニ除去を実施する際にはウニ相の調査を併せて行い、必要に応じて除去対象を追加・変更する必要がある。早田浦の活動では、2019 年以降に増加したナガウニ類の除去も実施している (石川ら 2021)。

様々な生態系におけるガンガゼ類の摂食圧の役割

ガンガゼ類は熱帯域において最も広範囲に豊富に生息するウニであり、サンゴ礁生態系や岩礁生態系等において重要な役割を果たしている (Muthiga & McClanahan 2020)。ガンガゼはインド太平洋海域の沿岸に幅広く分布しているが、2006 年に、それまで分布していなかった地中海のトルコ沿岸で初確認された (Yokes & Galil 2006)。それ以降、外来種としての調査が行われ、地中海で分布の拡大が報告されており (Galanos & Kritikos 2019, Nour *et al.* 2022)、ガンガゼの増加によって在来の底生生物群集に与える影響が懸念されている (Vafidis *et al.* 2021)。

ガンガゼ類の摂食圧にはこの類の個体密度が関係し、海藻の生育量だけでなく種多様性にも影響を与える (道津ら 2002, Ishikawa *et al.* 2016)。Hernández *et al.* (2008) は *D. africanum* Rodríguez, Hernández, Clemente & Coppard の個体密度が 2 個体 m^{-2} より高くなれば直立海藻が劇的に減少し、6.5 個体 m^{-2} 以上で直立海藻が生育できないことを報告している。筆者らがガンガゼの密度を段階的に変化させたケージ内での海藻の生育状況を比較した実験では、ガンガゼのいないケージと比較して 1-2 個体 m^{-2} のケージ内では海藻の被度や現存量は減少し、4 個体 m^{-2} 以上のケージ内では直立海藻はほとんど確認されなかった。しかし、海藻の種数は、ガンガゼ密度が約 2 個体 m^{-2} 以下であれば、ガンガゼのいないケージと大きな違いは認められなかった (Ishikawa *et al.* 2016)。これらのことから、早田浦を含めた尾鷲市内の活動ではガンガゼ類密度を約 2 個体 m^{-2} 以下に維持することを指標として活動を行っている。このように、高密度に生息するガンガゼ類の摂食圧は藻場生態系において、海藻の被度や現存量、多様性に負の影響を与え、磯焼け持続の主要因となりうる。

一方、海藻の生育量を少なく制御するガンガゼ類の摂食圧は、サンゴ礁生態系においてはサンゴ礁の維持に重要な役割を果たしている。海外においてはバクテリアなどによるウニの大量死に伴うサンゴ礁の崩壊が報告されており、1983-1984 年にカリブ海で *D. antillarum* の大量死により、サンゴ礁の崩壊が起きた事例が有名である。藻類に高い摂食圧を与えていた *D. antillarum* が大量死した結果、競合相手である藻

類が急激に増加し、造礁サンゴが大きく減少した (Carpenter 1990, Edmunds & Carpenter 2001, Idjadi *et al.* 2010)。カナリア諸島においても *D. africanum* の大量死が 2009 年および 2018 年に確認されている (Clemente *et al.* 2014, Hernández *et al.* 2020)。2009 年の例ではグラム陰性細菌が原因の細菌性疾患によって *D. africanum* の密度が大きく減少し、一部の磯焼け域でホンダワラ類等の群落が形成された (Clemente *et al.* 2014)。

このように、ガンガゼ類の摂食圧は造礁サンゴに正の影響を与える例が多く報告されているが、ガンガゼ類の密度が非常に高くなった場合には造礁サンゴの新規加入や生育に負の影響を与えることも知られている。実際に、大久保ら (2003) は高密度に生息するガンガゼの摂食圧が造礁サンゴの現存量を減少させたことを明らかにしている。台湾南部のサンゴ礁域におけるアオスジガンガゼを対象としたケージ実験では、その密度が 8 個体 m^{-2} の場合は藻類を制御し造礁サンゴに正の影響、16 個体 m^{-2} の場合は造礁サンゴの摂食に伴う物理的ダメージによる負の影響が認められている (Do Hung Dang *et al.* 2020)。

ガンガゼ類は、藻場再生活動の除去対象となっていることから、植食性と考えられがちであるが、実際には幅広い食性を示し、主に雑食性かつデトリタス食者とされることもある (Lewis 1964, 水産庁 2021)。Fujita *et al.* (2013) は磯焼け域から採集したガンガゼの消化管内容物からフジツボ類などの固着動物を検出している。丹羽ら (2020) はガンガゼの炭素窒素安定同位体比分析の結果から、ガンガゼの栄養段階は肉食性の値を示し、ガンガゼが海藻だけでなく、底生の無脊椎動物を潜在的な窒素源にしていると推察した。また、磯焼けを模した海中実験においても、ガンガゼの摂食圧の有無は海藻現存量だけでなく、フジツボ類等の固着動物の現存量にも影響を与えることが示されている (石川・倉島 2022)。これらのことから、ガンガゼ類の摂食圧は海藻群集に加え、固着動物相にも影響を与えられよう。

マイクロハビタットとしてのガンガゼ類

ガンガゼ類の摂食圧が生態系に与える影響を論じてきたが、視点を変えてガンガゼ類の存在自体が生態系において担う役割を紹介する。ガンガゼ類は英語で Long-spined sea urchin と呼ばれるように、非常に長い棘が特徴である。このガンガゼ類の長い棘が作る三次元的な空間が稚魚等のシェルターとして機能する。イサキ科魚類 *Haemulon parra* (Desmarest) の幼魚やスズメダイ科魚類のオヤビッチャ *Abudefduf saxatilis* (Linnaeus) 等がガンガゼ類の棘と棘の間の空間を捕食者からのシェルターとして利用することが報告されている (Grande *et al.* 2020)。捕食者などの存在を感知した小型魚類がガンガゼの棘が作る空間の奥に素早く移動する防衛行動が観察されている (Bilecenoglu *et al.* 2019)。

また、ガンガゼ類や近縁種に特異的に寄生する生物も報告されている。ガンガゼカクレエビ *Tuleariocaris zanzibarica*

Bruce やガンガゼエビ *Stegopontonia commensalis* Nobili 等の甲殻類、腹足類のガンガゼヤドリニナ *Echineulima robusta* (Pease)、有櫛動物類のクラゲムシ属の一種 *Coeloplana* sp. などの多様な生物がガンガゼ類に寄生する (Ponder & Gooding 1978, 毎原・鈴木 1993 など)。ガンガゼカクレエビはガンガゼ類の棘に擬態したエビ類で、細く長い黒色の体の特徴である。ガンガゼカクレエビはガンガゼ類の棘上に付着してガンガゼ類をシェルターとするだけでなく、胃内容物の解析からガンガゼ類の外皮を食物として利用すると考えられている (毎原・鈴木 1993)。ガンガゼヤドリニナはハナゴウナ科の巻貝であり、ガンガゼとガンガゼモドキ *Echinothrix diadema* (Linnaeus) 等の棘間や口囲に寄生する (堀 2000)。このように、ガンガゼ類は小型の魚類や無脊椎動物にシェルターを提供するとともに、多様な寄生生物の宿主にもなっている。ガンガゼ類はそれ自身が生態系の構成種であることに加え、多様な生物へ生育環境を提供してマイクロハビタットにもなっており、生物多様性の観点からも重要な役割を担っていると考えられる。

おわりに

ガンガゼ類は藻類や造礁サンゴの動態を制御し、藻場や磯焼け域、サンゴ礁等の生態系において多様な役割を担っている。特に、棘が長いガンガゼ類は寄生生物や小型魚類へ住処を提供している。そのため、ガンガゼ類の除去は、海藻だけでなく、生態系の他の構成要素にも様々な影響がある。実際に、藻場再生を目的とした活動において、ウニを徹底的に除去した結果、海藻ではなくソフトコーラルや二枚貝などの固着動物が優占した例も報告されているので注意を要する (水産庁 2021)。様々な磯焼けの要因に対して、それぞれに応じた適切な対策を取ることで豊かな藻場の再生が期待される。本稿がその一助となれば幸いである。

謝辞

本稿で紹介した一連の研究についてご指導をいただいた三重大学の倉島彰准教授に深く感謝いたします。ガンガゼ類除去及び調査にご協力いただいた尾鷲湾藻場再生協議会、九木浦藻場再生協議会、早田地区再生協議会、三木浦藻場再生協議会の皆様、除去活動に参加いただいた多くの方々に感謝いたします。

引用文献

吾妻行雄・松山恵二・中田章文・川井唯史・西川信良 1997. 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移. 日本水産学会誌 63: 672–680.
Akita, S., Yamada, H., Ito, M. & Fujita, D. 2021. Restoration of *Ecklonia radicata* bed on a long-left concrete block dominated by *Diadema* sea urchin. *Algal resour.* 14: 49–58.
Bilecenoglu, M., Yokeş, M. B. & Draman, M. 2019. The invasive sea urchin *Diadema setosum* provides shelter for coastal fish – first observations from the Mediterranean Sea. *Zool. Middle East* 65: 183–185.

Carpenter, R. C. 1990. Mass mortality of *Diadema antillarum*. *Mar. Biol.* 104: 67–77.
Chow, S., Kajigaya, Y., Kurogi, H. *et al.* 2014. On the fourth *Diadema* species (*Diadema*-sp) from Japan. *PLoS ONE* 9: e102376. doi: 10.1371/journal.pone.0102376
Clemente, S., Lorenzo-Morales, J., Mendoza, J. C. *et al.* 2014. Sea urchin *Diadema africanum* mass mortality in the subtropical eastern Atlantic: role of waterborne bacteria in warming ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 506: 1–14.
Do Hung Dang, V., Fong, C., Shiu, J. & Nozawa, Y. 2020. Grazing effects of sea urchin *Diadema savignyi* on algal abundance and coral recruitment process. *Sci. Rep.* 10: 20346.
道津光生・太田雅隆・益原寛文 2002. 長崎県松島周辺の海藻植生に及ぼすガンガゼ類の食圧の影響について. *海洋生物環境研究所研究報告* 4: 1–10.
Edmunds, P. & Carpenter, R. C. 2001. Recovery of *Diadema antillarum* reduces macroalgal cover and increases abundance of juvenile corals on a Caribbean reef. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98: 5067–5071.
Filbee-Dexter, K. & Scheibling, R. E. 2014. Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 409: 1–25.
富士昭 1999. 磯焼けの研究の現状. 谷口和也 (編) 磯焼けの機構と藻場修復. pp. 9–24. 恒星社厚生閣. 東京.
藤田大介 2002. 磯焼け. 堀輝三・大野正夫・堀口健雄 (編) 21世紀初頭の藻学の現況. pp. 102–105. 日本藻類学会. 山形.
Fujita, D. 2010. Current status and problems of isoyake in Japan. *Bull. Fish. Res. Agen.* 32: 33–42.
Fujita, D. & Haroun, R. 2010. Interactions of the sea urchins with the marine vegetation in the warm-temperate coastal habitats of the Atlantic and Pacific Oceans. *Algal resour.* 3: 81–92.
Fujita, D., Ishii, R., Kanyama, T., Abe, M. & Hasegawa, M. 2013. Patchy and zoned *Diadema* barrens on central Pacific coasts of Honshu, Japan. In: Johnson, C. (ed.) *Echinoderms in a Changing World*. pp. 187–193. CRC Press, London.
藤田大介・町口裕二・桑原久美 2008. 磯焼けを起こすウニ一生態・利用から藻場回復まで一. 成山堂書店, 東京.
Galanos, C. J. & Kritikos, S. 2019. *Diadema setosum* (Leske, 1778) (Echinodermata, Echinoidea Diadematidae), first record for Simi Island, Hellas, eastern Mediterranean. *Parnassiana Arch.* 7: 15–19.
Grande, H., Reis, M. & Carvalho, N. F. 2020. Use of the sea urchin *Diadema antillarum* (Echinodermata, Echinoidea) as a shelter for non-cryptobenthic juvenile reef fishes. *Mar. Biodivers.* 50: 53.
Hernández, J. C., Clemente, S., Sangil, C. & Brito, A. 2008. The key role of the sea urchin *Diadema* aff. *antillarum* in controlling macroalgae assemblages throughout the Canary Islands (eastern subtropical Atlantic): An spatio-temporal approach. *Mar. Environ. Res.* 66: 259–270.
Hernández, J. C., Sangil, C. & Lorenzo-Morales, J. 2020. Uncommon southwest swells trigger sea urchin disease outbreaks in Eastern Atlantic archipelagos. *Ecol. Evol.* 10: 7963–7970.
堀成夫 2000. ハナゴウナ上科. 奥谷喬司 (編) 日本近海産貝類図鑑. pp. 171–180. 東海大学出版会. 東京.
Hughes, T. P., Bellwood, D. R., Folke, C. S., McCook, L. J. & Pandolfi, J. M. 2007. No-take areas, herbivory and coral reef resilience. *Trends Ecol. Evol.* 22: 1–3.
Idjadi, J. A., Haring, R. N. & Precht, W. F. 2010. Recovery of the sea urchin *Diadema antillarum* promotes scleractinian coral growth and survivorship on shallow Jamaican reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 403: 91–100.

- 石川達也・倉島彰 2022. ガンガゼによる磯焼け海域を模した実験区における海藻被度、現存量および固着動物現存量の変化. 日本ベントス学会誌 77: 20–26.
- Ishikawa, T., Maegawa, M. & Kurashima, A. 2016. Effect of sea urchin (*Diadema setosum*) density on algal composition and biomass in cage experiments. *Plankton Benthos Res.* 11: 112–119.
- 石川達也・竹内大介・玉山(加藤)葉・倉島彰 2021. 三重県早田浦におけるガンガゼ類除去区における海藻被度、ウニ類相および有用貝類個体密度の変化. 日本水産学会誌 87: 386–392.
- 石川達也・戸瀬太貴・阿部真比古ら 2017. 三重県早田浦におけるガンガゼ除去に伴う海藻植生の変化. 日本水産学会誌 83: 599–606.
- 門田立・清本節夫・増田佳子・宮野哲平・吉村拓 2022. 長崎県壱山町地先におけるウニの密度管理による小型海藻藻場の造成. 日本水産学会誌 88: 49–57.
- Kawamata, S., Yoshimitsu, S., Tanaka, T. & Igari, T. 2011. Importance of sedimentation for survival of canopy-forming fucoid algae in urchin barrens. *J. Sea Res.* 66: 76–86.
- Kuempel, C. D. & Altieri, A. H. 2017. The emergent role of small-bodied herbivores in pre-empting phase shifts on degraded coral reefs. *Sci. Rep.* 7: 39670.
- 倉島彰・石川達也・竹内大介・岩尾豊紀・前川行幸 2014. 三重県早田浦の磯焼け海域におけるガンガゼ除去の影響. 日本水産学会誌 80: 561–571.
- 倉島彰・森田晃央・栗藤和治・前川行幸 2001. 三重県早田浦の海藻植生. 三重大学生物資源学部紀要 27: 41–49.
- Lewis, J. B. 1964. Feeding and digestion in the tropical sea urchin *Diadema antillarum* Philippi. *Can. J. Zool.* 42: 549–557.
- Ling, S. D., Scheibling, R. E., Rassweiler, A. *et al.* 2015. Global regime shift of catastrophic sea urchin overgrazing. *Philos. Trans. R. Soc. B.* 370: 20130269.
- 毎原泰彦・鈴木克美 1993. 駿河湾沿岸のガンガゼ類に着生するガンガゼカクレエビの生態. 東海大学海洋研究所研究報告 14: 71–81.
- Moore, D. S. & Miller, R. J. 1983. Recovery of macroalgae following widespread sea urchin mortality with a description of the nearshore hard-bottom habitat on the Atlantic coast of Nova Scotia. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1230: 1–94.
- Muthiga, N. A. & McClanahan, T. R. 2020. *Diadema*. In: Lawrence, J. M. (ed.) *Sea Urchins: Biology and Ecology*. pp. 397–418. Academic Press, London.
- 丹羽健太郎・黒木洋明・澤山周平ら 2020. 生化学的アプローチによるガンガゼ *Diadema setosum* の天然餌料の検討. 日本水産学会誌 86: 9–19.
- Nour, O. M., Al Mabruk, S. A. A., Adel, M. *et al.* 2022. First occurrence of the needle-spined urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) (Echinodermata, Diadematidae) in the southern Mediterranean Sea. *Bioinvasions Rec.* 11: 199–205.
- 大久保明彦・船越義隆・跡邊隆行・上野信平 2003. 駿河湾のエダミドリイシ個体群の成長とガンガゼによる摂食の影響. 東海大学海洋研究所研究報告 24: 51–58.
- Ponder, W. F. & Gooding, R. U. 1978. Four new eulimid gastropods associated with shallow-water diadematid echinoids in the Western Pacific. *Pac. Sci.* 32: 157–181.
- Sammarco, P. W. 1982. Echinoid grazing as a structuring force in coral communities: Whole reef manipulations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 61: 31–55.
- Sangil, C., Sansón, M., Díaz-Villa, T., Hernández, J. C., Clemente, J. & Afonso-Carrillo, J. 2014. Spatial variability, structure and composition of crustose algal communities in *Diadema africanum* barrens. *Helgol. Mar. Res.* 68: 451–464.
- Steneck, R. S. 2020. Regular sea urchins as drivers of shallow benthic marine community structure. In: Lawrence, J. M. (ed.) *Sea Urchins: Biology and Ecology*. pp. 255–273. Academic Press, London.
- 水産庁 2007. 磯焼け対策ガイドライン. 水産庁. 東京.
- 水産庁 2021. 第三版 磯焼け対策ガイドライン. 水産庁. 東京.
- 田中颯・大作晃一・幸塚久典 2019. ウニハンドブック. 文一総合出版. 東京.
- Vafidis, D., Antoniadou, C., Voulgaris, K., Varkoulis, A. & Apostologamvrou, C. 2021. Abundance and population characteristics of the invasive sea urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) in the south Aegean Sea (eastern Mediterranean). *J. Biol. Res. (Thessalon)* 28: 1–14.
- Williams, A. H. 1981. An analysis of competitive interactions in a patchy back-reef environment. *Ecology* 62: 1107–1120.
- 山田博一・伊藤円・秋田晋吾・藤田大介 2015. 静岡県のガンガゼ優占域におけるガラモ場の回復と拡大—瀬切りと中層網の利用—. 月刊海洋 47: 323–328.
- Yokes, B. & Galil, B. S. 2006. The first record of the needle-spined urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) (Echinodermata: Echinoidea: Diadematidae) from Mediterranean Sea. *Aquat. Invasions* 1: 188–190.
- 四井敏雄・前迫信彦 1993. 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験. 水産増殖 41: 67–70.
- 四井敏雄・前迫信彦・新山洋 1994. 対馬沿岸における磯焼けについて. 長崎県水産試験場研究報告 20: 73–77.

(2023年4月17日受付, 2023年7月25日受理)

通信担当編集委員: 渡邊 裕基