

三陸から八代海までの 27 干潟で実施された市民調査データに基づく
干潟ベントス群集構造の空間変動解析

Spatial changes in the macrozoobenthic community structure at 27 tidal flats from the Sanriku Coast to the Yatsushiro Sea, Japan, using citizen-based monitoring data

金谷 弦^{1),*}・伊藤 萌¹⁾・木村妙子²⁾・青木美鈴³⁾・柚原 剛⁴⁾・多留聖典⁵⁾・海上智央⁶⁾・
横岡博之⁷⁾・坂田直彦⁸⁾・古賀庸憲⁸⁾・榎本輝樹⁹⁾・森 敬介¹⁰⁾・鈴木孝男^{4),11)}・
占部城太郎⁴⁾・横山耕作¹²⁾

¹⁾ 国立環境研究所. 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

²⁾ 三重大学大学院生物資源学研究所. 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

³⁾ 日本国際湿地保全連合. 〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 17-1 城野ビル II 2 階

⁴⁾ 東北大学大学院生命科学研究科. 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

⁵⁾ 東邦大学理学部東京湾生態系研究センター. 〒274-8510 千葉県船橋市三山 2-2-1

⁶⁾ 自然教育研究センター. 〒190-0022 東京都立川市錦町 2-1-22 2F

⁷⁾ いであ株式会社 環境創造研究所. 〒421-0212 静岡県焼津市利右衛門 1334-5

⁸⁾ 和歌山大学教育学部. 〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930

⁹⁾ 亀田医療大学. 〒296-0001 千葉県鴨川市横渚 462

¹⁰⁾ ひのくにベントス研究所. 〒869-0401 熊本県宇土市住吉町 2133-4

¹¹⁾ みちのくにベントス研究所. 〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 390-113

¹²⁾ OWS. 〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-27-13-704

Gen KANAYA¹⁾, Hajime ITOH¹⁾, Taeko KIMURA²⁾, Misuzu AOKI³⁾, Takeshi YUHARA⁴⁾,
Masanori TARU⁵⁾, Tomoo UNAGAMI⁶⁾, Hiroyuki YOKOOKA⁷⁾, Naohiko SAKATA⁸⁾,
Tsunenori KOGA⁸⁾, Teruki MASUMOTO⁹⁾, Keisuke MORI¹⁰⁾, Takao SUZUKI^{4),11)},
Jotaro URABE⁴⁾ and Kosaku YOKOYAMA¹²⁾

¹⁾ National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

²⁾ Graduate School of Bioresources, Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan

³⁾ Wetlands International Japan, 17-1 Nihonbashi Ohdenmachi, Chuo-ku, Tokyo 103-0011, Japan

⁴⁾ Graduate School of Life Science, Tohoku University, 6-3 Aramaki-aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan

⁵⁾ Tokyo Bay Ecosystem Research Center, Toho University, 2-2-1 Miyama, Funabashi, Chiba 274-8510, Japan

⁶⁾ Center for Environmental Studies, 2-1-22 Nishiki-cho, Tachikawa, Tokyo 190-0022, Japan

⁷⁾ IDEA Consultants, Inc. Institute of Environmental Ecology, 1334-5 Riemon, Yaizu, Shizuoka 421-0212, Japan

⁸⁾ Faculty of Education, Wakayama University, Sakaedani, Wakayama, Wakayama 640-8510, Japan

⁹⁾ Kameda University of Health Sciences, 462 Yokosuka, Kamogawa, Chiba 296-0001, Japan

¹⁰⁾ Hinokuni Benthos Laboratory, 2133-4 Sumiyoshi-cho, Uto, Kumamoto 869-0401, Japan

¹¹⁾ Michinoku Research Institute for Benthos, 390-113 Aramaki Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-0845, Japan

¹²⁾ The Oceanic Wildlife Society, 4-27-13 Sendagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151-0051, Japan

Abstract: The macrozoobenthos community structure was investigated at 27 tidal flats in Japan using citizen-based monitoring data. First, we compared the results of free surveys completed by citizens versus scientists conducted repeatedly at Ena, Bishamon, and Koajiro Bays, in the southern Miura Peninsula, and found that species numbers were comparable, although

Received 26 March 2023 Accepted 11 September 2023

* Corresponding author

E-mail: gen@nies.go.jp

scientists found more deep-dwellers, symbionts, and habitat-specific taxa (e.g., muddy sediments, boulder zones, and reed marshes). Species richness showed no apparent latitudinal trends, whereas community structure had a geographical pattern from west to east, and could be grouped in clusters: A, tidal flats with reed marshes in the Yatsushiro Sea; B, Kii Peninsula; C, Koajiro Bay and open shores of the Yatsushiro Sea; D, Ena and Bishamon Bays; E, inner Tokyo and Ise Bays; and F and G, Tohoku region. The reed marshes in the Yatsushiro Sea hosted marsh-specific taxa, including endangered species, leading to specific community compositions at these sites. Species richness was greatest in Ena Bay (239 taxa in the citizen survey), mainly due to the high heterogeneity of habitat structure within a small spatial scale. Tidal flats in southern Miura Peninsula are valuable habitat for macrozoobenthos, including endangered taxa that are nearly extinct in the adjacent Tokyo Bay. Long-term monitoring of tidal flats is necessary for conserving faunal diversity and detecting the possible impacts of natural and anthropogenic disturbances and future climate changes in Japanese coastal waters.

Key Words: Citizen-based survey, Community structure, Endangered species, Qualitative survey, Miura Peninsula, Species richness, Tidal flat

はじめに

近年、一般市民がかかわった生態系モニタリング研究が日本国内でも活発に行われている (Morii et al. 2018, 石田 2020, Yuhara et al. 2022). 市民参加型研究はデータの取得や解析に市民ボランティアが参加して行われるが、誰もが簡単に利用できる研究ツールやソフトウェアの開発によって、気候変動、移入種、保全生態学、自然再生、個体群生態学や各種の生態系モニタリングなど、生態学や環境科学の分野で大きく発展しつつある (Silvertown 2009). しかし一方で、データ精度、プロジェクトの継続性など、市民参加型研究を持続可能なものとする上で解決すべき課題も多く残されている (Kobori et al. 2016).

日本国内において、干潟の底生動物調査手法としていくつかの手法が提案されてきた: (1) 専門家3名以上で方形区内 (5 m 四方) の表層探索と掘り起こしを行い、植生帯での定性調査 (一定の時間内に調査エリアを探索し、出現した全ての表在・埋在動物を採集・記録する) も併用し、底生動物種の多寡を3段階で評価する手法 (第7回自然環境保全基礎調査; 環境省 2007), (2) 方形枠とコアによる定量採集と複数名による定性調査を併用した手法 (モニタリングサイト 1000 干潟調査; 環境省 2014), および (3) (2) の手法と類似しているが、方形枠による表層定量採取を行わない手法 (生態系監視調査; 環境省 2015). このように、統一された調査手法・努力量に従って専門家が調査をすることで、広域的・経時的な比較解析を行うことができる (環境省 2007, 鈴木ら 2019, 金谷ら 2022).

しかし、これらの手法は専門家による実施を前提としており、市民ボランティアとの共同には難しい面もある。コアを用いた定量採取では、ふるい分け、固定、実験室内でのソーティング、顕微鏡下での種同定、計数といった作業が伴い、試薬や高価な器具が必要とされるほか、時に多大な労力と時間も費やされる。また、定性調査で得られるデータは参加者のスキルや専門性に依存し、専門家によるものであっても定量性を欠く。これらを踏まえ、干潟調査

未経験の市民であっても、専門家のサポートのもとで定量的な調査を行うための「干潟生物の市民調査法」が2010年に考案された (Suzuki & Sasaki 2010). その後、本手法を用いた市民ボランティアとの共同調査が、東京湾小櫃川河口、紀伊半島の和歌川や有田川、九州の八代海など各地で実施された (日本国際湿地保全連合 2012, 2013). 東日本大震災後には、仙台湾を中心とする東北地方太平洋岸で市民調査手法による震災影響調査が実施されている (Yuhara et al. 2022). このように、東北地方から九州にいたる広い海域で干潟市民調査が行われてきたが、そのデータを用いた広域解析は行われてこなかった。

三浦半島南端に位置する江奈湾では、NPO 法人 OWS (The Oceanic Wildlife Society) が主体となり 2013 年から干潟市民調査を継続している。同じく三浦半島の毘沙門湾と小網代湾でも干潟市民調査が行なわれており、これら3カ所の干潟では専門家も参加しての定性調査も行われてきた。東京湾口に位置し黒潮流路に面した三浦半島は、伊勢湾以西のようなより南方に位置する干潟と、東京湾や東北地方に位置する干潟との間に位置しており、底生動物の広域的な比較を行う上でも適切な調査地と考えられる。そこで本研究では、(1) 三浦半島を調査地として、江奈湾、毘沙門湾および小網代湾で得られた調査結果から市民調査と専門家らによる定性調査の結果を比較するとともに、(2) 広域比較のために東北地方から八代海で得られた市民調査データを用いた群集解析を行い、海域間での比較を行った。また、以上の結果から (3) 本特集の舞台である三浦半島南部の干潟群について、生息場や底生動物群集の特徴と保全の意義、潜在的脅威について考察した。

方 法

市民調査および専門家を主体とした定性調査

本研究ではまず、8名以上のボランティアと専門家が協力して行う市民調査手法 (Suzuki & Sasaki 2010) で干潟の底生動物相を半定量的に調べた。市民調査手法では、調査サイト内において1~複数の調査エリアを設定し、各調査

員はエリア内に約 50×50 m の調査範囲を設定した（日本国際湿地保全連合 2012）。次に、以下の 2 つの方法で底生動物を探索した。（1）表層調査：調査範囲内の干潟表面を 15 分間探索し、発見した底生動物をポリ袋に入れる。流水を割ったり、石を裏返したり、固着動物を剥がしたり出来るが掘返しは行わず、環境の異なる場を広く探索した。（2）埋入探索：移植ごてでの掘返し（直径 15 cm、深さ 20 cm）を 15 回行い、発見した底生動物をポリ袋に入れた。終了後、研究者が協力して現場で底生動物の同定と集計を行い、同定困難な種は 70% エタノールで固定して持ち帰り、研究者が実体顕微鏡下で同定した。調査者毎に「表層」「埋入」の記録を合算し、各種の発見率（%）（発見者数／調査者数×100）を算出して出現頻度を評価した。

市民調査とは別途実施した定性調査においては、専門家を含む複数名で干潟、転石帯、ヨシ原といった生息場毎に 20 分程度の探索を行い、発見した底生動物を記録した。必要に応じて、移植ごて、溝掘りショベル（頭部長 34.5 cm、金象印、浅香工業）、ヤビーポンプ（ポセイドン社および Alvey 社。共同研究者が自作したものも使用した）やたも網を使用した。同定困難な種は 70% エタノールで固定して持ち帰り、実体顕微鏡下で同定を行った。

市民調査と定性調査の比較を行った調査地—三浦半島江奈湾、毘沙門湾、小網代湾

本研究の主な調査地は、神奈川県三浦半島南部に位置する江奈湾、毘沙門湾および小網代湾である（Fig. 1）。調査は、2013～2021 年までの期間に市民調査手法と定性調査を組み合わせて行われた。

江奈湾（サイト 13；Fig. 1）は湾幅 600 m、奥行 400 m、開口部幅 150 m の小湾であり、東岸が松輪漁港である。湾奥は西部の A エリアと東部の B エリアに分けられ、A エリア奥部に江奈川が流入し、3.4 ha の泥干潟が発達している。集水域の台地には畑地が広がり、降雨により浸食・流入した土壌で干潟が形成されている。A エリア西岸には転石・岩礁帯が分布し、護岸が無いため潮間帯から海岸林までが連続した状態で保たれ、江奈川流入部には約 1.5 ha のヨシ原（*Phragmites australis*）が発達している。B エリアは護岸前面に発達した岩礁と砂泥干潟（1.0 ha）からなり、集落内を暗渠として流下する田鳥川が流入する。両エリアともに潮間帯にはコアマモ *Zostera japonica*、潮下帯にはアマモ *Z. marina* が分布している。調査は AB 両エリアで実施され、2016 年は市民調査、2018 年、2020 年と 2021 年は定性調査のみを行い、2013～2015 年、2017 年および 2019 年は市民調査と定性調査の両方を行った。2014 年と 2020 年の定性調査は、A エリアのみで実施した。

毘沙門湾（サイト 14）は、江奈湾の西隣に位置する幅 350 m、奥行 200 m、開口部幅 100 m の小湾であり、両岸は毘沙門漁港として整備され、湾奥に岩礁帯と干潟（1.7 ha）がある。西岸に大乘川が流入し、土壌の流入により底質は

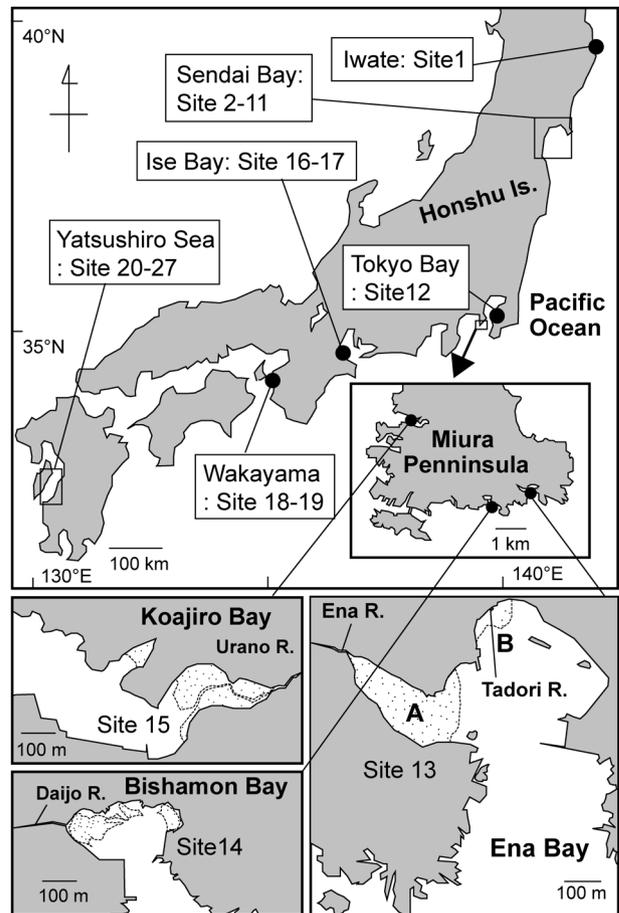


Fig. 1. Locations of the 27 sites where the citizen tidal flat survey was conducted. Iwate Prefecture (Site 1), Sendai Bay including Matsushima (branch) Bay (Sites 2–11), Tokyo Bay (Site 12), Miura Peninsula (Sites 13–15), Ise Bay (Sites 16–17), Wakayama Prefecture (Sites 18–19), and Yatsushiro Sea (Sites 20–27). Site 1, Tsugaruishi; 2, Hatsutsuura; 3, Hitsugaura; 4, Sokanzan; 5, Katsurajima; 6, Sabusawa; 7, Gamo; 8, Torinoumi; 9–11, Matsukawaura, Unoo, Isobe, and Uda; 12, Obitsu; 13, Ena Bay; 14, Bishamon Bay; 15, Koajiro Bay; 16, Tanaka River; 17, Shitomo River; 18, Waka River; 19, Arida River; 20, Ashikita; 21, Fukami; 22, Hinoshima; 23, Tobasejima; 24, Shiranui; 25, Minamikawa; 26, Oshima; 27, Izumi. See Table ES1 for detailed site information. Dashed lines indicate tidal flats.

砂泥～泥質で、潮間帯にはコアマモが分布している。毘沙門湾では 2013 年と 2018 年に定性調査、2014 年と 2017 年に市民調査と定性調査を実施した。小網代湾（サイト 15）は三浦半島の相模湾側に開口し、東西の奥行約 1 km、湾口部幅は 350 m で、湾奥部に浦の川が流入し、2.5 ha の砂質～泥質の干潟が発達している。湾奥部にはヨシ原があり、岩礁もみられ、潮下帯にはアマモ場も分布している。小網代湾の集水域は大部分が森林で土壌の流入は少ない。小網代湾では 2013 年に市民調査と定性調査、2014 年に定性調査を実施した。

なお、江奈湾の 2013 年、2014 年と 2019 年、毘沙門湾の 2014 年、小網代湾の 2013 年調査では市民調査をメイン

で実施しており、同日に実施された市民調査で未発見の種のみを定性調査での記録対象とした。

広域比較に用いた調査地と市民調査データ

広域解析のために、岩手県から鹿児島県までの24サイトで行われた市民調査の結果を利用した (Fig. 1, Table ES1). 岩手県の津軽石川 (サイト1), 宮城県の松島湾 (サイト2~6), 宮城県及び福島県の松川浦を含む仙台湾 (サイト7~11) では2012年と2013年のデータを用い (Urabe et al. 2022, Yuhara et al. 2022), 津軽石川及び仙台湾の蒲生と鳥の海はABエリアを合算した (エリア間で最も高い発見率を解析に使用. 以下, 同様). 千葉県で東京湾に面した小櫃川 (サイト12), 和歌山県で紀伊半島に位置する和歌川と有田川 (サイト18~19) および熊本県と鹿児島県に位置する八代海沿岸部 (サイト20~27) では2012年のデータを用いた (日本国際湿地保全連合2013). なお, 東京湾の小櫃川ではA~Fエリア, 紀伊半島の和歌川では南Sと北Nの2エリアを合算した. 三重県の伊勢湾に面した田中川と志登茂川 (サイト16~17) では, 愛知県立豊丘高校および三重大学の野外実習として市民調査が行われており, 田中川では2013年 (干潟 Tidalflat とヨシ原 Marsh の2エリアを合算), 志登茂川では2012年のデータを用いた. 広域解析においては, 江奈湾についても上記方法で年単位の調査結果をABエリアで合算したものを使用した.

三浦半島の3サイトと上記24サイトを合わせた全27サイトのうち, ヨシ原は津軽石川, 櫃ヶ浦, 蒲生, 鳥の海, 鶴の尾, 宇多川, 小櫃川, 江奈湾A, 小網代湾, 田中川, 和歌川北, 有田川, 芦北, 不知火および南川の13サイトでみられた (Table ES1). アマモ・コアマモ群落は, 波津々浦, 桂島, 鶴の尾, 小櫃川, 江奈湾AB, 毘沙門湾, 小網代湾および深海で確認された. 底質は礫, 砂, 砂泥から泥まで多様であったが, 鳥の海, 磯部, 宇多川, 小櫃川, 和歌川, 有田川, 不知火および南川を除く19サイトで転石帯, 波津々浦, 櫃が浦, 桂島, 寒風沢島, 鶴の尾, 江奈湾, 毘沙門湾, 小網代湾, 田中川, 和歌川および深海では岩礁 (護岸も含む) がみられた. 各サイトは, 淡水影響のある河口域と汽水性潟湖, 淡水影響の少ない小湾と前浜に分けられた. 調査は, 4月から9月の大潮干潮時に年1回実施された.

出現種の特徴と群集構造解析

調査の結果から各サイトの全出現種数と希少種数を求めた. 東北地方 (サイト1~11) に関しては, 津波等の影響がより少ないと考えられる2013年の市民調査データ, 三浦半島の3サイトは各調査年の市民調査と定性調査から算出した. ここで, 複数エリアからなるサイト (2エリア; 津軽石, 蒲生, 鳥の海, 江奈湾, 田中川, 和歌川, 6エリア; 小櫃川) については結果を合算しているため, 他のサ

イトとは調査努力量が異なる. 希少種については, 環境省 (2017; 2020) および日本ベントス学会 (2012) のカテゴリー (絶滅危惧I類 CR+EN, 絶滅危惧II類 VU, 準絶滅危惧 NT, 情報不足 DD) に基づいて抽出し, 両者でカテゴリーが異なる種については, より高いカテゴリー (CR+EN>VU>NT>DD) を解析に使用した. 次に, 市民調査データから各サイトの優占種 (発見率>90%) を抽出した. 複数年の調査を行った東北地方および江奈湾, 毘沙門湾では調査年中で最も高い発見率を使用し, 全部で3種に満たなかった場合は次点種もリストアップした. なお, 各調査時の参加人数については Table ES2 に示した.

群集構造を比較するため, 市民調査で得られた発見率の値を用いたクラスター解析を行った (ソフトウェア PRIMER ver. 6.0, Clarke & Gorley 2001). 1サンプルのみに出現したレア種を除外し, 発見率を4乗根変換した. 次にサンプル間の群集類似度 (Bray-Curtis similarity) を算出し, 群平均法でデンドログラムを作成した. 類似度40%を基準にクラスター群 (A~G) を分け, 類似度百分率 (SIMPER) 法により典型種 (typical species; 各群内の平均類似度への寄与上位種) を累積寄与率が40%に達するまで選定した. また, レア種除外前のデータから, 各群の全出現種数と希少種数を算出した. なお, 解析に用いた全データは電子付録として J-STAGE 上で公開している (Table ES2).

結 果

出現種数と希少種数—三浦半島における市民調査と定性調査の比較

江奈湾では6回の市民調査で239種が記録された (Table 1). これは, 8回実施された定性調査の出現種数 (257種) と同等であった. しかし, その内訳には違いがあり, 62種が市民調査, 80種が定性調査でのみ記録された (Table ES2; EI列とEJ列). 毘沙門湾では2回の市民調査で116種, 4回の定性調査で163種, 小網代湾では1回の市民調査で60種, 2回の定性調査で75種が記録された. 江奈湾と毘沙門湾では定性調査での記録種数が非常に少ない年があるが (5~25種), これは, 市民調査を中心に実施したことによる. 江奈湾では, 市民調査で25種, 定性調査で36種の希少種が記録され, 毘沙門湾と小網代湾でも定性調査で希少種が4~9種多く確認された.

市民調査でのみ記録された希少種は江奈湾で5種, 毘沙門湾で4種, 小網代湾で2種であり, 定性調査のみの記録は江奈湾で16種, 毘沙門湾で8種, 小網代湾で11種であった (Table 2). 市民調査でのみ記録された希少種は, ホウザワイソギンチャク *Synandwackia hozawai*, ハザクラ *Gari crassula*, クチバガイ *Coecella chinensis* のように, 生息密度が低く, 底質表面付近に生息し, 大人数で広範囲を探索することで見つかる種が多かった. 一方, 定性調査で

Table 1. Numbers of total macrozoobenthos and endangered species taxa found in the citizen survey (upper) and qualitative survey (lower) at each site. The highest Red List ranks in Nihon Benthos Gakkai (2012) and Kankyosho (2017; 2020) are indicated.

Method	Site	Year	Taxa						
			All	CE	VU	NT	DD	RL	
Citizen survey	1 Tsugaruishi	2013	52	0	1	1	0	2	
		2014	74	1	2	5	0	8	
		2015	52	0	1	6	0	7	
	3 Hatsutsuura	2013	56	0	0	4	0	4	
		2014	57	0	1	4	0	5	
	4 Hitsugaura	2013	63	0	0	2	0	2	
		2014	41	0	1	2	0	3	
	5 Sokanzan	2013	61	0	3	6	0	9	
		2014	62	1	2	1	1	5	
	6 Katsurajima	2013	57	0	2	5	0	7	
		2014	55	0	3	4	1	8	
	7 Sabusawa	2012	75	1	3	8	1	13	
		2013	89	0	2	5	0	7	
	8 Gamo	2014	102	1	2	4	1	8	
		2015	103	1	3	6	0	10	
	9 Torinoumi	2016	117	1	3	9	1	14	
		2017	138	1	4	9	0	14	
	10 Unoo	2019	118	1	2	11	0	14	
		total	239	1	5	17	2	25	
	11 Isobe	14 Bishamon	2014	73	0	0	4	1	5
			2017	83	1	2	5	1	9
			total	116	1	2	9	1	13
	12 Uda	15 Koajiro	2013	60	0	0	11	0	11
			2013	56	0	3	12	0	15
	13 Obitsu	16 Tanaka	2012	32	0	1	2	0	3
			2012	64	0	3	14	0	17
	14 Ena	17 Shitomo	2012	32	0	1	9	0	10
2012			45	0	1	10	0	11	
15 Ena	18 Waka	2012	67	0	1	7	0	8	
		2012	77	1	1	4	1	7	
16 Ena	19 Arida	2012	56	0	3	9	0	12	
		2012	34	2	8	9	0	19	
17 Ena	20 Ashikita	2012	42	1	2	10	0	13	
		2012	66	1	2	8	1	12	
18 Ena	21 Fukami	2012	67	0	7	13	1	21	
		2012	77	1	1	4	1	7	
19 Ena	22 Hinoshima	2012	56	0	3	9	0	12	
		2012	34	2	8	9	0	19	
20 Ena	23 Tobasejima	2012	42	1	2	10	0	13	
		2012	66	1	2	8	1	12	
21 Ena	24 Shiranui	2012	67	0	7	13	1	21	
		2012	77	1	1	4	1	7	
22 Ena	25 Minamikawa	2012	56	0	3	9	0	12	
		2012	34	2	8	9	0	19	
23 Ena	26 Oshima	2012	42	1	2	10	0	13	
		2012	66	1	2	8	1	12	
24 Ena	27 Izumi	2012	67	0	7	13	1	21	
		total	257	2	5	26	3	36	
Qualitative survey	13 Ena	2013	25	2	0	2	0	4	
		2014	22 ^a	1	1	3	0	5	
		2015	122	0	3	9	1	13	
		2017	102	1	1	4	1	7	
		2018	129	1	4	8	1	14	
		2019	21	0	0	5	1	6	
		2020	81 ^a	1	1	7	0	9	
	total	110	1	3	12	1	17		
	14 Bishamon	2013	45	0	1	1	0	2	
		2014	5	1	0	0	0	1	
2017		99	1	1	9	1	12		
2018		116	1	2	7	1	11		
total	164	1	3	12	1	17			
15 Koajiro	2013	24	1	2	4	0	7		
	2014	58	0	2	13	0	15		
	total	75	1	3	16	0	20		

CE, critically endangered or endangered (CR+EN); VU, vulnerable; NT, near threatened; DD, data deficient; RL, total number of Red List taxa.

のみ記録された種は、転石下に生息するウスコミミガイ *Laemodonta exaratooides* やカハタレカワザンシヨウ “*Nanivitreia*” sp., 底泥深部に生息するユメユムシ *Ikedosoma elegans* やミサキギボシムシ *Balanoglossus misakiensis*, ヨシ

原付近の潮間帯上部に生息するハマガニ *Chasmagnathus convexus* やフトヘナタリ *Cerithidea moerchii*, 泥深い干潟に生息するタルアシナシムシモドキ *Scolanthus ena*, ヒメヤマトオサガニ *Macrophthalmus banzai* やチゴイワガニ *Ilyograpsus nodulosus* のような、特定の生息場に特異的に出現する種が多かった。また、ツボミ *Patelloida conulus* やスジホシムシモドキヤドリガイ *Nipponomysella subtruncata* のような寄生・共生性種も多くが定性調査で記録された。

出現種数と希少種数—市民調査による広域比較

市民調査において、東北地方では41~74種が記録され、波津々浦、寒風沢島、鶺鴒の尾、鳥の海で61~74種と多かった (Table 1)。関東から近畿地方では、東京湾の小櫃川で75種、三浦半島の江奈湾で89~138種 (1回の調査あたり)、毘沙門湾で73~83種 (同)、小網代湾で60種、伊勢湾の田中川で56種、志登茂川で32種、紀伊半島の和歌川で64種、有田川で32種が記録された。九州地方の八代海では34~77種が記録され、樋島、深海、出水、大島で66~77種と多かった。希少種は東北地方で少なく (2~9種)、東京湾の小櫃川で13種、江奈湾で7~14種、毘沙門湾で5~9種、小網代湾で11種が記録された。伊勢湾の志登茂川では3種と少なく、田中川で15種、紀伊半島の和歌川で17種、有田川で10種、八代海では7~21種であった。

各サイトの優占種

発見率が高い種は (Table 3)、個体数も多く干潟内の広範囲に生息していたと考えられる。ユビナガホンヤドカリ *Pagurus minutus*, アサリ *Ruditapes philippinarum* やウミニナ *Batillaria multiformis* は、多くのサイトで優占種となっていた。また、フトヘナタリ、ヒロクチカノコ *Neritina* sp., アシハラガニ *Helice tridens* のようにヨシ原に生息する種は、小櫃川、有田川、芦北、不知火、南川などヨシ原が発達したサイトで優占した (Table 3のNote参照)。カサガイ類、スガイ *Lunella correensis*, マルウズラタマキビ *Littoraria sinensis*, イボニシ *Reishia clavigera*, イガイ類やフジツボ類のような附着性種は、護岸や転石帯のあるサイトで優占した。希少種も13サイトで優占種となり、有田川、大島、出水では2種、小櫃川では3種、不知火では優占した4種全てが希少種であった。

群集構造によるグループ化—クラスター解析

27サイトで得られた45サンプルは類似度40%を基準として7つのクラスター (A~G群) に分けられ、海域毎にまとまった群集構造を示した (Fig. 2)。各サイトの生息場の特徴として、ヨシ原の有無 (Phr), 転石・岩礁帯の有無 (BR), 前浜・小湾環境 (SI), 河口・潟湖環境 (RL) についても Fig. 2にまとめて示した。以下に、海域毎の群集タイプと出現種数、希少種数 (Table 4) および典型種 (Ta-

Table 2. Red List taxa found only during the citizen or qualitative surveys conducted in Ena, Bishamon, and Koajiro Bays on the Miura Peninsula. Highest Red List rank in Nihon Benthos Gakkai (2012) and Kankyosho (2017; 2020) are indicated.

Taxa		RL	Habitat	Ref.
Ena Bay citizen: 5 taxa				
ホウザワイソギンチャク	<i>Synandwakia hozawai</i>	NT	Brackish, S	*
ハザクラ	<i>Gari crassula</i>	NT	Brackish, S	*
ニッポンフサゴカイ	<i>Thelepus cf. setosus</i>	NT	Boulder, MS	*
ヒメドロソコエビ	<i>Paragrandidierella minima</i>	DD	Shore, S	*
スネナガイソガニ	<i>Hemigrapsus longitarsis</i>	NT	Lower tidal, MS	*
Ena Bay qualitative: 16 taxa				
タルアシナシムシモドキ	<i>Scolanthus ena</i>	DD	Intertidal, M	Obs.
ツボミ	<i>Patelloida conulus</i>	NT	Shell of batillalid	*
ネコガイ	<i>Eunaticina papilla</i>	NT	Subtidal, MS	*
ウスコミミガイ	<i>Laemodonta exaratoides</i>	NT	Upper tidal, B	*
スジホシムシモドキヤドリガイ	<i>Nipponomysella subtruncata</i>	NT	Body surface of <i>S. cumanense</i>	*
スジホシムシモドキ	<i>Siphonosoma cumanense</i>	NT	Deeper sed. MS	*
ユメユムシ	<i>Ikedosoma elegans</i>	NT	Deeper sed. MS	*
カンテンフサゴカイ	<i>Amaeana cf. trolobata</i>	DD	Lower tidal, MS	Obs.
オオサカドロソコエビ	<i>Grandidierella osakaensis</i>	DD	Intertidal, B	*
カネココブシ	<i>Philyra kanekoi</i>	NT	Lower tidal, MS	Obs.
タイワンヒライソモドキ	<i>Ptychognathus ishii</i>	NT	Brackish, B	*
ミナミアシハラガニ	<i>Pseudohelice subquadrate</i>	NT	Upper tidal, RM	*
オオヨコナガピンノ	<i>Tritodynamia rathbunae</i>	CE	Burrow of <i>Chaetopterus</i>	Obs.
ヒメヤマトオサガニ	<i>Macrophthalmus banzai</i>	NT	Intertidal, M	*
チゴイワガニ	<i>Ilyograpus nodulosus</i>	NT	Lower tidal, M	*
ムツハアリアケガニ	<i>Camptandrium sexdentatum</i>	NT	Lower tidal, M	*
Bishamon Bay citizen: 4 taxa				
サクラガイ	<i>Nitidotellina hokkaidoensis</i>	NT	Lower tidal, MS	*
セキモリ	<i>Epitonium robillardi</i>	NT	MS	*
ヤミヨキセワタ	<i>Melanochlamys fukudai</i>	VU	MS	*
ワダツミギボシムシ	<i>Balanoglossus carnosus</i>	NT	Deeper sed. MS	*
Bishamon Bay qualitative: 8 taxa				
ツボミ	<i>P. conulus</i>	NT	Shell of batillalid	*
ウミニナ	<i>Batillaria multiformis</i>	NT	MS	*
カハタレカワザンショウ	" <i>Nanivitrea</i> " sp.	VU	Upper tidal, B	*
スジホシムシモドキ	<i>N. subtruncata</i>	NT	Body surface	*
ヤドリガイ			of <i>S. cumanense</i>	
スジホシムシモドキ	<i>S. cumanense</i>	NT	Deeper sed., MS	*
ハマガニ	<i>Chasmagnathus convexus</i>	NT	Upper tidal, RM	Obs.
アカホシマメガニ	<i>Indopinnixa haematosticta</i>	VU	Burrow of <i>S. cumanense</i>	*
ミサキギボシムシ	<i>Balanoglossus misakiensis</i>	NT	Deeper sed., MS	*
Koajiro Bay citizen: 2 taxa				
クチバガイ	<i>Coecella chinensis</i>	NT	Upper tidal, sed. surface	Obs.
スジホシムシモドキ	<i>S. cumanense</i>	NT	Deeper sed., MS	*
Koajiro Bay qualitative: 11 taxa				
ミヤコドリ	<i>Phenacolepas pulchella</i>	NT	Intertidal, B	*
フトヘナタリ	<i>Cerithidea moerchii</i>	NT	Upper tidal, RM	Obs.
ヒモイカリナマコツマミガイ	<i>Melanella tanabensis</i>	VU	Body cavity of <i>Patinapta ooplax</i>	*
コヤスツラガイ	<i>Acteocina koyasensis</i>	NT	Lower tidal, MS	*
サクラガイ	<i>N. hokkaidoensis</i>	NT	Lower tidal, MS	*
ツバサゴカイ	<i>Chaetopterus cautus</i>	CE	Deeper sed., MS	*
カネココブシ	<i>P. kanekoi</i>	NT	Lower tidal, MS	Obs.
ハマガニ	<i>C. convexus</i>	NT	Upper tidal, RM	Obs.
クシテガニ	<i>Parasesarma affine</i>	VU	Upper tidal, RM	*
ユビアカベンケイガニ	<i>Parasesarma tripectinis</i>	NT	Upper tidal, RM	*
ハクセンシオマネキ	<i>Austruca lactea</i>	VU	Upper tidal, MS	Obs.

CE, critically endangered or endangered (CR+EN); VU, vulnerable; NT, near threatened; DD, data deficient; S, sand; MS, muddy sand; M, mud; B, boulder zone; RM, reed marsh. * Nihon Benthos Gakkai (2012). Obs., authors' personal observation.

Table 3. List of the dominant taxa found in the citizen survey at each site. Occurrence (Occ. %) indicates the observation rate among all surveyors.

Site	Dominant taxa	Occ %	Note	Site	Dominant taxa	Occ %	Note
Tsugaruishi	コウダカアオガイ	100	S	Ena	イボニシ	92	S
2012-13	ムラサキイガイ	100	S	continued	ユビナガホンヤドカリ	92	
	イソシジミ	100			ケフサイソガニ	92	
	アサリ	100		Bishamon	ミナミシロガネゴカイ	90	
	ホソウミニナ	92		2014, 17	ユビナガホンヤドカリ *	83	
Hatsutsuura	アサリ	100			イボニシ *	80	S
2012-13	ユビナガホンヤドカリ	92		Koajiro	ホソウミニナ	100	
	ミズヒキゴカイ種群	92		2013	チゴガニ	92	
Hitsugaura	アサリ	100			ヤマトオサガニ	92	
2012-13	ユビナガホンヤドカリ	100		Tanaka	ウミニナ	100	R
	ホソウミニナ	100		2013	ユビナガホンヤドカリ	100	
	オキシジミ	100			ホソウミニナ	92	
	ウミニナ	92	R		マガキ	92	S
	コケゴカイ	92		Shitomo	アラムシロ	93	
	ユビナガホンヤドカリ	92		2012	ユビナガホンヤドカリ *	86	
Sokanzan	アサリ	92			マメコブシガニ *	79	R
2012-13	ウミニナ *	83	R		コメツキガニ *	79	
Katsurajima	ホソウミニナ	92		Waka	ウミニナ	100	R
2012-13	ユビナガホンヤドカリ	92		2012	オキシジミ	100	
	カガミガイ	92			ユビナガホンヤドカリ	100	
Sabusawa	モクズヨコエビ科の一種	92		Arida	ハクセンシオマネキ	100	R
2012-13	ムラサキイガイ *	83	S	2012	ウミニナ	88	R
	アサリ *	75			ユビナガホンヤドカリ	88	
	シロスジフジツボ *	75	S		アシハラガニ	88	M
Gamo	ヤマトカワゴカイ	100			ケフサイソガニ	88	
2012-13	イソシジミ	92		Ashikita	フトヘナタリ	100	R, M
	ケフサイソガニ	92		2012	アシハラガニ	100	M
Torinoumi	ユビナガホンヤドカリ	100			カワザンショウガイ *	75	M
2012-13	イソシジミ	92			シロスジフジツボ *	75	S
	ソトオリガイ	92		Fukami	スガイ	100	S
	ヤマトカワゴカイ	92		2012	ウミニナ	100	R
	タカノケフサイソガニ	92			ユビナガホンヤドカリ *	88	
	ヤマトオサガニ	92		Hinoshima	ヒライソガニ	100	
Unoo	アサリ	92		2012	スガイ *	88	S
2012-13	ヤマトカワゴカイ	92			コケゴカイ *	88	
	ミズヒキゴカイ種群	92			ユビナガホンヤドカリ *	88	
	ユビナガホンヤドカリ	92		Tobasejima	ユビナガホンヤドカリ	100	
Isobe	ムラサキイガイ	100	S	2012	タカノケフサイソガニ *	88	
2012-13	ヤマトカワゴカイ	100			イボニシ *	75	S
	ケフサイソガニ	92		Shiranui	ヒロクチカノコ *	88	R, M
Uda	イソシジミ	100		2012	シマヘナタリ *	88	R, M
2012-13	ヤミヨキセワタ	92	R		カワアイ *	88	R
	アサリ	92			クシテガニ *	88	R, M
	ユビナガホンヤドカリ	92		Minamikawa	フトヘナタリ	90	R, M
Obitsu	アシハラガニ	100	M	2012	マルウズラタマキビ	80	S
2012	イボキサゴ *	88	R		コメツキガニ	80	
	シオフキ *	88		Oshima	ホソウミニナ	90	
	アサリ *	88		2012	ウミニナ	90	R
	コケゴカイ *	88			ミドリシヤミセンガイ	90	R
	テナガツノヤドカリ *	88	R		ユビナガホンヤドカリ	90	
	マメコブシガニ *	88	R	Izumi	ユビナガホンヤドカリ	100	
	ヤマトオサガニ *	88		2012	オサガニ	100	
Ena	ホソウミニナ	100			ウミニナ *	88	R
2013-19	ミズヒキゴカイ種群	100			イボウミニナ *	88	R
	スガイ	92	S				

M, taxa inhabit reed marsh; S, sessile organism; R, endangered taxa as defined in the Red Lists of Nihon Benthos Gakkai (2012) and Kankyosho (2017; 2020). Dominant taxa (> 90% occurrence) are listed for each site. If the cumulative number of dominant taxa was less than three, the next dominant taxa were listed (indicated with *).

ble 5) について述べる。(1) 八代海のヨシ原タイプ (A 群): 芦北, 不知火, 南川からなり, 出現種数は 78 種と多く無かったが希少種は 29 種に達した。典型種はアシハラ

ガニ, フトヘナタリ, カワザンショウガイ *Assiminea japonica*, ヘナタリ *Pirenella nipponica*, ヒロクチカノコなど, ヨシ原に生息するものが多かった。(2) 紀伊半島タイ

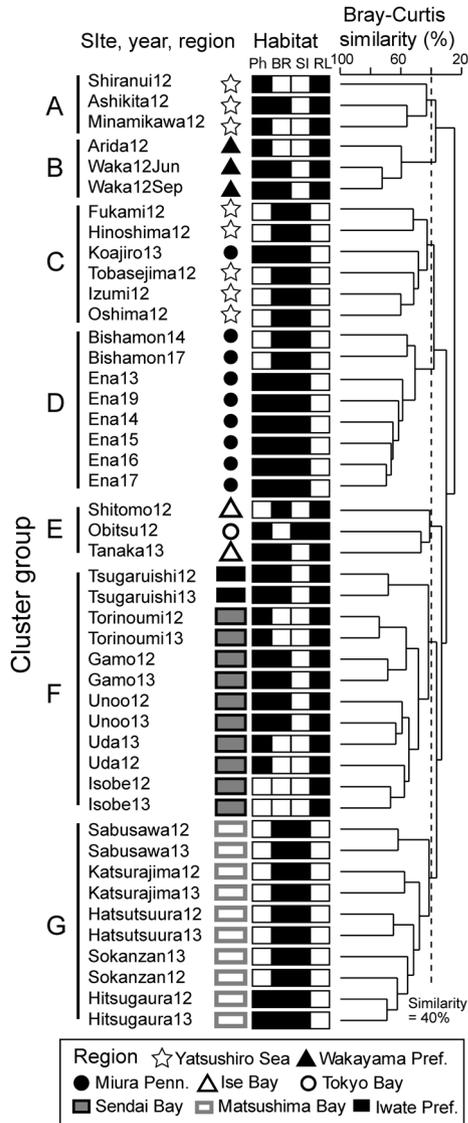


Fig. 2. Cluster analysis based on a Bray-Curtis similarity matrix calculated from the fourth-rooted macrozoobenthic observation rate (%) in the citizen-based survey data. The dendrogram was created using the group average linkage method. Seven groups (A-G) were distinguished at a similarity of 40%. The number in the sample label indicates the year (e.g., 12=2012). Habitat type: ■, present or “yes”; □, absent or “no”; Ph, reed marsh; BR, boulder zone and/or rocky shore; SI, shore or inlet; RL, river or lagoon (see Table ES1 for detailed information).

プ (B 群) : 和歌川と有田川からなり, ヨシ原が立地するためか A 群と類似性が高かった。出現種数は 69 種と多く無いが希少種は 20 種と多く, 典型種はユビナガホンヤドカリ, タカノケフサイソガニ *Hemigrapsus takanoi*, ヘナタリ, ハクセンシオマネキ *Austruca lactea*, ヒメヤマトオサガニ *Macrophthalmus banzai*, フトヘナタリなど砂泥~泥干潟からヨシ原, 転石帯のような多様な場に生息する種で特徴付けられた。(3) 八代海の前浜干潟タイプ (C 群) : 出現種数は 184 種, 希少種は 38 種と多様性に富んでいた。岩礁や転石帯もある規模の大きい前浜干潟であり, 典型種

Table 4. Numbers of taxa for total macrozoobenthos, four taxonomic groups (gastropods, bivalves, annelids, and decapods), and endangered species for clusters A to G.

Group	n	Taxa					
		All	CE	VU	NT	DD	RL
A	3	78	2	9	18	0	29
B	3	69	0	3	17	0	20
C	6	184	2	11	22	3	38
D	8	262	1	5	22	2	30
E	3	110	1	4	17	1	23
F	12	150	1	4	9	1	15
G	10	171	1	4	12	0	17

CE, critically endangered or endangered (CR+EN); VU, vulnerable; NT, near threatened; DD, data deficient; RL, total number of Red List taxa.

にはイボニシ, スガイ, イシダタミ *Monodonta confusa* といった岩礁性種も多く, 一方でヨシ原に生息する種は含まなかった。地理的に遠く離れているにもかかわらず, 三浦半島小網代湾がこのグループに含まれたことは興味深い。(4) 三浦半島タイプ (D 群) : 江奈湾と毘沙門湾からなり, 出現種は 262 種と最も多く, 希少種も 30 種 (2 番目) と多様性に富み, 典型種はイボニシ, ヒライソガニ *Gaetice depressus*, スガイ, アマガイ *Nerita japonica* といった岩礁性種とミズヒキゴカイ種群 *Cirriformia* spp., ホソウミナ, アサリ, マメコブシガニ *Pyrrhila pisum* のように内湾の干潟のみでみられる種からなった。(5) 東京湾・伊勢湾の内湾タイプ (E 群) : 東京湾の小櫃川, 伊勢湾の田中川と志登茂川からなり, 出現種数は 110 種と多くは無く, 希少種は 23 種で, 典型種はユビナガホンヤドカリ, アサリ, コメツキガニ *Scopimera globosa*, アラムシロ *Reticunassa festiva*, ヒガタチロリ *Glycera macintoshi* のような内湾域の干潟のみでみられる種であった。本群は東北地方の FG 群とも類似度が高かった。(6) 東北地方の汽水域タイプ (F 群) : 河口域・潟湖のサイトからなり, 同じく東北地方の G 群と類似性が高かった。種数は 150 種, 希少種は 15 種と, 出現種数は比較的多いが希少種は少なかった。典型種は, 汽水域でしばしば優占する (金谷ら 2019; 2022) イソシジミ *Nuttallia japonica*, ヤマトカワゴカイ *Hediste diadroma* やソトオリガイ *Exolaternula liautaudi* を含んでいた。(7) 東北地方の前浜干潟タイプ (G 群) : 松島湾周辺の前浜・小湾環境に特徴的で, F 群より多様性が高く, ユビナガホンヤドカリ, アサリやミズヒキゴカイ種群等で特徴付けられた。種数は 171 種 (3 番目), 希少種は 17 種 (6 番目) と G 群より多様性が高く, 典型種は高塩分環境に特徴的な (金谷ら 2019; 2022) アサリ, ミズヒキゴカイ種群, コケゴカイ *Simplisetia erythraeensis*, タマシキゴカイ *Arenicola brasiliensis* を含んでいた。

Table 5. Results of the similarity percentage procedure. The list includes the typical species for clusters A to G (see Fig. 2) that contributed most to the within-group similarity. Typical species are listed until the cumulative percentage contribution (Cum. %) reached 40%.

Typical species	Occ %	Cum %	Typical species	Occ %	Cum %
Group A (47.3%), n=3, Yatsushiro Sea			Group D continued		
アシハラガニ	76.8	7.3	タカノケフサイソガニ	37.2	23.6
フトヘナタリ	77.8	14.5	マメコブシガニ	31.0	25.6
カワザンショウガイ	53.1	20.9	アマガイ	29.0	27.5
ヘナタリ	47.1	27.3	マガキ	23.0	29.4
マルウズラタマキビ	47.8	33.4	イソガニ	23.4	31.2
マガキまたはシカメガキ	42.9	39.5	イシダタミ	19.4	33.0
ヒロクチカノコ	42.3	45.2	タマキビ	25.2	34.8
Group B (63.9%), n=3, Wakayama Pref.			ダイダイイソカイメン	21.0	36.6
ユビナガホンヤドカリ	92.4	5.1	タテジマイソギンチャク	22.6	38.4
ウミニナ	84.3	9.9	オウギガニ	19.1	40.1
タカノケフサイソガニ	66.9	14.4	Group E (42.8%), n=3, inner Tokyo and Ise Bays		
ヘナタリ	63.2	18.9	ユビナガホンヤドカリ	86.5	6.3
ハクセンシオマネキ	51.6	22.9	アサリ	78.9	12.5
チゴガニ	44.3	26.8	コメツキガニ	50.1	17.6
ヒメヤマトオサガニ	44.3	30.6	アラムシロ	53.1	22.7
オキシジミ	56.4	34.4	タカノケフサイソガニ	44.3	27.8
ケフサイソガニ	43.6	38.0	ケフサイソガニ	39.1	32.8
ヤマトオサガニ	43.6	41.6	ヒガタチロリ	39.1	37.7
Group C (46.7%), n=6, Yatsushiro Sea, Koajiro Bay			シオフキ	43.6	42.3
ユビナガホンヤドカリ	91.2	4.9	Group F (49.8%), n=12, Sendai Bay, Iwate Pref.		
アラムシロ	57.2	9.0	イソシジミ	79.9	5.8
イボニシ	52.4	13.1	ヤマトカワゴカイ	78.9	11.5
ウミニナ	60.6	17.2	ケフサイソガニ	62.3	16.9
スガイ	55.5	21.1	アサリ	57.2	21.8
イシダタミ	34.3	24.5	マガキ	40.3	26.5
コケゴカイ	34.3	28.0	ムラサキイガイ	44.3	31.1
ミズヒキゴカイ種群	30.0	31.3	ソトオリガイ	34.3	35.5
テッポウエビ	25.2	34.5	ユビナガホンヤドカリ	34.9	39.1
ツボミガイ	21.8	37.6	ホソウミニナ	24.7	42.3
ケフサイソガニ	23.0	40.2	Group G (48.7%), n=10, Matsushima Bay		
Group D (57.2%), n=8, Ena and Bishamon Bays			ユビナガホンヤドカリ	79.9	5.6
ミズヒキゴカイ種群	71.7	2.6	アサリ	72.7	11.0
ユビナガホンヤドカリ	66.0	5.1	ミズヒキゴカイ種群	45.0	15.6
イボニシ	66.9	7.6	コケゴカイ	34.9	19.6
ヒライソガニ	62.3	10.0	タテジマイソギンチャク	28.0	23.5
アラムシロ	58.9	12.4	アラムシロ	26.6	27.1
スガイ	60.6	14.8	マガキ	27.5	30.7
ホソウミニナ	63.2	17.2	ホソウミニナ	27.5	34.0
ケフサイソガニ	46.4	19.5	シロスジフジツボ	22.2	37.3
アサリ	40.3	21.5	ケフサイソガニ	15.7	40.4

The percentage after the group name represents the mean within-group similarity. Occ. % is the mean abundance (discovery rate).

考 察

市民調査法の調査効率—専門家による定性調査との比較

江奈湾での6回の市民調査での総出現種数は239種であり、8回実施された定性調査の257種とほぼ同等であった (Table 1)。毘沙門湾では2回の市民調査で116種、4回の定性調査で163種、小網代湾では1回の市民調査で60種、2回の定性調査で75種が記録された。市民調査と定性調査を同一の干潟で複数回行って結果を比較した事例は本研究が初めてと考えられるが、一連の結果から、調査回数が同等であれば同程度の種数が記録されることが示唆された。しかし、出現種の内訳には違いがみられていたことから、それぞれの調査法で見つかりやすい種が存在すること

が示唆される。

市民調査でのみ記録された種は、低密度ながら底質表層付近に生息し、大人数で広範囲を探索することで見つかるものが多かった (Table 2)。一方、定性調査では、ヨシ原周辺や転石下に生息する種、寄生・共生種、泥干潟に生息する種が多く記録された。市民調査のマニュアルには「軟泥が厚く堆積して、足が深く埋まって抜けなくなるような泥干潟は対象としない」とあり (日本国際湿地保全連合2012)、泥深いエリアは調査対象外となっている。泥干潟や鬱蒼としたヨシ原のように、市民ボランティアの立ち入りが難しい生息場については、専門家による定性調査に利点があるようだ。また、ウスコミミガイやカハタレカワザンショウのように特定潮位の転石下に生息する種、ツボミやオオヨコナガピンノ *Tritodynamia rathbunae* のような寄

生・共生種についても、熟練した調査者が宿主の生息域を丹念に探索するなど、予備知識のある人間が「狙い撃ち」をしなければ発見が難しいため、市民調査では確認されにくいと考えられた。このように、生息場の特異性が高い底生動物種については、事前に参加者へ丁寧なレクチャーを行う、調査のポイントを記した資料を作成し配付するなどの工夫をすることで、市民調査での発見率を向上させることができるかもしれない。

定性調査では、ツバサゴカイ *Chaetopterus cautus*、スジホシムシモドキ *Siphonosoma cumanense*、ユメユムシやミサキギボシムシのように、底泥深部に生息する種も多く見つかった。一連の調査で、市民調査では移植ごて、定性調査では溝掘りショベル（頭部長 34.5 cm）やヤビーポンプが使用されていた。Suzuki & Sasaki (2010) は、埋込調査において移植ごてと溝掘りショベルの発見効率を比較し、出現種数に有意な違いは無かったことを報告している。しかしながら今回の調査結果をみると、熟練した調査者が溝掘りショベルやヤビーポンプを用いて底泥を 40~50 cm の深さまで掘り返すことで、移植ごてでは掘り取るのが難しい底泥深部の埋込ベントスをより効率的に採取出来ることが示唆された。

干潟市民調査と専門家による定性調査は、底生動物の発見効率が生息場所によって多少異なっていたことから、それぞれの手法で得られた調査結果を比較する際には、一定のバイアスが存在する可能性を考慮する必要がある。また、可能であれば、調査対象の干潟で市民調査と定性調査の両方を実施することが望ましいと考えられた。

底生動物多様性の地理的分布

市民調査により、東北地方で 41~74 種、東京湾の小櫃川で 75 種、三浦半島の江奈湾、毘沙門湾、小網代湾で 60~138 種、伊勢湾で 32~56 種、紀伊半島で 32~64 種、八代海で 34~77 種が記録された (Table 1)。環境省によるモニタリングサイト 1000 干潟調査では、底生動物の多様性が紀伊半島以西で高くなる傾向がみられている (鈴木ら 2019)。また、全球的な解析結果でも、海の表層水温が海域の生物多様性を予測する上で有効な指標であることが示されている (Tittensor et al. 2010)。しかし、今回の解析結果では、東北地方、紀伊半島周辺、八代海といった近接した海域内でもサイト間での出現種数のばらつきが大きく、出現種数に“西高東低 (南高北低)”の傾向はみられなかった。

27 サイトの中で、出現種数が 70 種を上回ったのは東京湾周辺の小櫃川、江奈湾および毘沙門湾、松島湾の波津々浦、八代海の樋島であった。また、寒風沢島、鶴の尾、鳥の海、小網代湾、和歌川、樋島、深海、出水および大島でも 60 種以上となった。小櫃川は、広大なヨシ原と約 2 km 沖合まで広がる干潟からなり、低潮線付近にはアマモ場、河口付近には転石帯やクリーク、泥干潟が分布するなど生

息場の多様性が高く、底質や塩分のような生息環境もまた多様である (鈴木ら 2019)。和歌川も面積約 35 ha と近畿地方最大級の河口干潟であり、底質環境が泥、砂、石垣、ヨシ原などと多様であるため干潟生物 (特に表在性・付着性底生動物) の多様性が極めて高い (坂田ら 2016)。江奈湾、毘沙門湾と小網代湾は外洋に面した小規模な干潟であるが、転石帯、岩礁、ヨシ原、海草藻場など多様な生息場が近接し、底質や塩分環境も小スケールで大きく変化する。これらの 3 湾において、淡水流入口の近傍では塩分は 0 に近づくが、潮下帯のアマモ場近傍では 30 を越えた (金谷未発表データ; 2013 年もしくは 2017 年に測定)。底質についても、江奈湾の A エリアでは泥分が 60% を越える泥底があるが、B エリアでは泥分が数% の砂底も分布しており、小網代湾でも干潟の中で砂質のエリア (泥分 < 10%) と泥質のエリア (泥分 > 20%) とが近接して存在している (金谷未発表データ; 2013 年に測定)。松島湾の波津々浦、寒風沢島、鶴の尾、八代海の樋島、深海および大島はいずれも淡水流入の少ない前浜干潟であり、転石帯や岩礁帯のある場所も多い。このような高塩分の干潟は、汽水域と比較して底生動物の多様性が高い (金谷ら 2022)。一方、出現種数の少なかった八代海の芦北、不知火や南川、紀伊半島の有田川は淡水流入の影響が大きい河口部に位置し、周囲には岩礁帯もみられない。このように、同じ海域内のサイト間でみられた出現種数の違いには、生息場の多様性と、塩分や底質のような生息環境の両方が影響していると考えられた。

群集構造と希少種数の地理的分布パターン

底生動物の分布は、底質や塩分のような環境因子 (松政 1996, Kanaya & Kikuchi 2008, Tomiyama et al. 2008) や、ヨシ原や護岸、転石帯のような生息場の存在 (木村・木村 1999, 柚原ら 2016, 金谷ら 2019) によって規定されている。また、より広域的なスケールでは海流や水温、浮遊幼生の供給といった要因も作用し、緯度間で群集構造や多様性の違いが生じる (Connolly et al. 2001, Tittensor et al. 2010, Yuhara et al. 2021)。クラスター解析の結果をみると、東北地方、三浦半島、紀伊半島、八代海といった海域ごとに群集構造の類似性が高かった (Fig. 2)。また、希少種も東北地方で少なく (2~9 種)、東京湾と三浦半島 (5~14 種)、紀伊半島 (10~17 種)、八代海 (8~21 種) と西に行くほど増加する傾向がみられた (Table 1)。これらの結果は、優占種の組み合わせや希少種の多様性に海域毎の特徴があることを示している。

群集構造解析の結果から、紀伊半島や八代海のヨシ原には、出現種数は必ずしも多くないものの、多くの希少種を含む特有の底生動物群集が成立していることが示された。西日本のヨシ原には、フトヘナタリ類、オカミミガイ類、アマオブネガイ類や半陸生カニ類を含む多くの希少種が生息している (日本ベントス学会 2012)。三河湾と伊勢湾で

も、多くの希少な腹足類が潮間帯上部のヨシ原やその周辺を生息場としていることが報告されている(木村・木村1999)。また、江奈湾においても、小面積であるにもかかわらず、Aエリアのヨシ原内からハマガニやベンケイガニ類など希少な半陸生カニ類が確認されている(鈴木ら2023)。今回の解析結果は、ヨシ原は出現種数こそ多く無いものの、特有の底生動物群集が成立しており、希少な底生動物を育む生息場として重要であること、またその保全の必要性が高いことを改めて示したものだといえる。

まとめ—三浦半島南端に立地する干潟群の特徴、保全および潜在的脅威

東北地方から八代海までの27ヵ所の干潟で底生動物の群集構造を解析した結果、三浦半島南端の干潟群は底生動物の多様性が非常に高く、東京湾や伊勢湾の湾内とは異なる特有の群集構造を有していることがわかった。調査回数が少ないこともあり、小網代湾での出現種数は市民調査で60種、定性調査で75種と、江奈湾や毘沙門湾と比較して少なかった。しかし、NPO法人小網代野外活動調整会議が2012年4月から2014年12月まで58回実施した調査では、多くの希少種を含む合計476種の底生動物が小網代湾内から記録されている(岸ら2015)。したがって、小網代の種数も江奈湾や毘沙門湾の種数と大きく変わらないといえるだろう。

江奈湾、毘沙門湾、小網代湾の潮間帯は多くの希少な底生動物種の生息場となっており(岸2015, 鈴木ら2023, 本論文)、ハマガニ、クシテガニ(オオユビアカベンケイガニ)、ハマグリ *Meretrix lusoria*、ユウシオガイ、ウミナナのように隣接する東京湾内で絶滅が危惧されている種(千葉県2019)も多く含まれている。これら3湾はいずれも小規模な湾であるが、多様な生息場・生息環境が近接しており、そのことが多様な底生動物を育む一因となっていると考えられる。3湾のうち、小網代湾ではその集水域(小網代の森)を含めた保全活動が行われており、流域全体が「近郊緑地特別保護地区」として保護対象となっている(岸ら2015)。一方、江奈湾と毘沙門湾についてはその価値が一般に認知されているとは言い難く、底生動物の多様性やその保全についての啓発が重要と思われる。

三浦半島南端の海岸線はその多くが港湾整備などのために人工海岸となっている。しかし、今回調査を行った江奈湾、毘沙門湾、小網代湾はいずれも湾奥部に干潟が残されている。三浦半島南端に残る貴重な自然海岸・干潟であるこれらの湾について、護岸工事や道路拡張工事等による干潟やヨシ原の埋め立て(場の喪失・環境の改変)がなされないように注視する必要がある。また、人間生活に起因する干潟への影響として、江奈湾と毘沙門湾では集水域からの土壌流入が顕著である(越川ら2009)。土壌の流入は、外洋に面した立地としては珍しい泥質の干潟形成に寄与しているが、一方で干潟やヨシ原の陸化を促進し(越川ら

2009)、生息場の喪失につながる可能性もあるため注意が必要である。

江奈湾、毘沙門湾、小網代湾は外洋に面しているため、自然災害による攪乱も大きい。近年でも、東日本大震災時の津波や、台風による海草藻場の流失、堆積物の打ち上げがみられている(岸ら2015, 北村ら2021)。自然災害による攪乱は生息場の創出や環境改善をもたらす、干潟の生物にとって正の影響をおよぼすこともある(金谷2022)。しかし、気候変動により豪雨や高潮、台風による災害が激甚化する可能性が指摘されるなか(環境省ら2018)、干潟生態系への攪乱頻度・強度は将来的に高まると考えられ、外洋に面した干潟では台風などによる影響もより大きくなる可能性が懸念される。

世界各地で、海流や海水温の変化に伴い、海域の生産性や物質循環、海洋生物の地理的分布が変化する可能性が指摘されている(Hoegh-Guldberg & Bruno 2010)。三浦半島の南岸は黒潮の影響を受ける外洋に面しており、生息場の多様性も高いことから、海流に乗って分散してきた南方種の定着が起りやすいと考えられる(Yuhara et al. 2021)。将来的な干潟生態系の変化を検出するため、江奈湾での干潟生物モニタリングを継続していくことの意義は大きいと考えられる。

謝辞: 江奈湾、毘沙門湾および小網代湾の野外調査では、OWSのメンバーとサポーターの皆さま、三浦市立剣崎小学校の教職員の方々、山田勝雅氏、柳研介氏にご協力頂いた。みうら漁業協同組合および小網代野外活動調整会議には、調査の便宜を図っていただいた。東北地方の市民調査では東北大学大学院生命科学研究所、アースウォッチ・ジャパンおよび市民ボランティアのみなさま、田中川と志登茂川では三重大学生物資源学部および愛知県立豊丘高等学校各位、小櫃川、和歌川、有田川と八代海での市民調査では日本国際湿地保全連合、村瀬敦宣氏、加藤健司氏、市民ボランティア各位にご協力いただいた。データ整理に際しては大石亜希子氏にご協力頂いた。本研究の一部は科研費(17K07580, 20K06819)、東洋ゴムグループ環境保護基金、コンサベーション・アライアンス・ジャパン、リコー社会貢献クラブ・FreeWill、株式会社ラッシュジャパン、オリンパス株式会社、三井物産環境基金(R11-F1-020, R14-1009, R17-1011)による援助を受けた。

Electronic supplementary material: The online version of this article (doi: 10.5179/benthos.78.61) contains supplementary material: Table ES1, Table ES2

引用文献

- 千葉県2019. 千葉県レッドリスト動物編(2019年改訂版). https://www.bdcchiba.jp/redlist_animal_2019(accessed on 29 July 2023)
- Clarke KR, Gorley RN 2001. Primer (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) v5: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd., Plymouth, 91 pp.
- Connolly SR, Menge BA, Roughgarden J 2001. A latitudinal gradient in recruitment of intertidal invertebrates in the northeast Pacific Ocean.

- Ecology* 82: 1799–1813.
- Hoegh-Guldberg O, Bruno JFF 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328: 1523–1528.
- 石田 惣 2020. 市民科学による大阪府のオオクビキレガイの生息調査, 並びに分布の現況. *Venus* 78: 105–118.
- 金谷 弦 2022. 東日本大震災後の干潟生態系: 巨大かく乱がもたらした変化と回復. *水環境学会誌* 45: 165–169.
- Kanaya G, Kikuchi E 2008. Spatial changes in macrozoobenthic community along environmental gradients in a shallow brackish lagoon facing Sendai Bay (Japan). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78: 674–684.
- 金谷 弦・鈴木孝男・多留聖典・松政正俊・青木美鈴・井上 隆 2022. 東日本大震災後の広域調査データから明らかにする東日本太平洋岸における干潟ベントス群集の特徴と時空間変動. *日本ベントス学会誌* 77: 40–53.
- 金谷 弦・多留聖典・柚原 剛・海上智央・三浦 取・中井静子・伊藤 萌・鈴木孝男 2019. 福島県いわき市鮫川干潟における大型底生動物の多様性—東日本大震災後の状況と復旧工事による影響—. *日本ベントス学会誌* 73: 84–101.
- 環境省 2007. 浅海域生態系調査 (干潟調査) 業務報告書. 環境省自然環境局生物多様性センター, 富士吉田, 236 pp.
- 環境省 2014. 平成 25 年度モニタリングサイト 1000 磯・干潟・アマモ場・藻場調査報告書. 環境省自然環境局生物多様性センター, 富士吉田, 71 pp.
- 環境省 2015. 平成 26 年度東北地方太平洋沿岸地域生態系監視調査調査報告書. 環境省自然環境局生物多様性センター, 富士吉田, 237 pp.
- 環境省 (Kankyosho) 2017. 環境省版海洋生物レッドリストの公表について. 2017 年 3 月 21 日. <https://www.env.go.jp/press/103813.html> (accessed on 2 October 2022)
- 環境省 (Kankyosho) 2020. 環境省レッドリスト 2020 の公表について. 2020 年 3 月 27 日. <https://www.env.go.jp/press/107905.html> (accessed on 2 October 2022)
- 環境省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁 2018. 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018～日本の気候変動とその影響～. 環境省地球環境局, 東京, 130 pp.
- 木村昭一・木村妙子 1999. 三河湾および伊勢湾河口域におけるアシ原湿地の腹足類相. *日本ベントス学会誌* 54: 44–56.
- 岸 由二・小倉雅實・江良弘光・柳瀬博一 2015. 小網代干潟における無脊椎動物の多様性・RD 種に関する続報. 慶應義塾大学日吉紀要. *自然科学* 58: 19–31.
- 北村晃寿・疋田詩織・鮫島洋美 2021. 神奈川県三浦半島江奈湾の干潟における高潮堆積物調査. *静岡大学地球科学研究報告* 48: 27–36.
- Kobori H, Dickinson JL, Washitani I, Sakurai R, Amano T, Komatsu N, Kitamura W, Takagawa S, Koyama K, Ogawara T, Miller-Rushing AJ 2016. Citizen science: a new approach to advance ecology, education, and conservation. *Ecological Research* 31: 1–19.
- 越川義功・中村華子・田中昌宏 2009. 後背地の影響を受けやすい干潟におけるコアマモ群落の消長・維持機構. *土木学会論文集 B2(海岸工学)* 65: 1076–1080.
- 松政正俊 1996. 北上川による解析例. 楠田哲也・山本晃一 (監修) 財団法人河川環境管理財団 (編), 河川汽水域その環境特性と生態系の保全・再生 第 6 章 汽水域の生物. 技報堂出版, 東京, pp. 222–225.
- Morii Y, Ohkubo Y, Watanabe S 2018. Activity of invasive slug *Limax maximus* in relation to climate conditions based on citizen's observations and novel regularization based statistical approaches. *Science of the Total Environment* 637–638: 1061–1068.
- 日本国際湿地保全連合 2012. 『干潟生物の市民調査』調査リーダー育成の 3 年間. 日本財団「干潟の市民調査と人材育成」事業報告書, 日本国際湿地保全連合, 東京, 70 pp.
- 日本国際湿地保全連合 (Nihon Kokusai Sicchi Hozen Rengo) 2013. 『干潟生物の市民調査』データ集 2012. 2012 年度「干潟の市民調査と人材育成」事業報告書 (別冊), 日本国際湿地保全連合, 東京, 100 pp.
- 日本ベントス学会 (編) (Nihon Benthos Gakkai) 2012. 干潟の絶滅危惧動物図鑑—海岸ベントスのレッドデータブック. 東海大学出版会, 平塚, 285 pp.
- 坂田直彦・古賀庸憲・柚原 剛・鈴木孝男・中川雅博・佐々木美貴 (Sakata et al.) 2016. 和歌川河口妹背山周辺の干潟において 2010 年に実施した「干潟生物の市民調査」の結果. 和歌山大学教育学部紀要—自然科学— 66: 25–29.
- Silvertown J 2009. A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution* 24: 467–471.
- 鈴木孝男・木村妙子・古賀庸憲・多留聖典・浜口昌巳・逸見泰久・金谷 弦・岸本和雄・仲岡雅裕 2019. 2. 干潟生態系. モニタリングサイト 1000 沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場) 2008–2016 年度とりまとめ報告書. 環境省自然環境局生物多様性センター, 富士吉田, pp. 59–136.
- 鈴木孝男・多留聖典・海上智央・横岡博之・横山耕作・金谷 弦 受理. 三浦半島江奈湾の底生動物相と希少種の出現状況—東京湾から紀伊半島間にある 9ヶ所の干潟との比較. *日本ベントス学会誌* 78: 50–60.
- Suzuki T, Sasaki M 2010. Civil procedure for researching benthic invertebrate animals inhabiting tidal flat in eastern Japan. *Plankton and Benthos Research* 5 supplement: 221–230.
- Tittensor DP, Mora C, Jetz W, Lotze HK, Ricard D, Berghe EV, Worm B 2010. Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa. *Nature* 466: 1098–1101.
- Tomiyama T, Komizunai N, Shirase T, Ito K, Omori M 2008. Spatial intertidal distribution of bivalves and polychaetes in relation to environmental conditions in the Natori River estuary, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80: 243–250.
- Urabe J, Yuhara T, Suzuki T, Nishita T, Murakami J, Makino W, Kanaya G, Kinoshita K, Yasuno N, Uchio T 2022. Data from: Recovery of macrobenthic communities in tidal flats following the Great East Japan Earthquake. *Dryad, Dataset*. <https://doi.org/10.5061/dryad.fn2z-34txk>
- Yuhara T, Suzuki T, Nishita T, Murakami J, Makino W, Kanaya G, Kinoshita K, Yasuno N, Uchino T, Urabe J 2022. Recovery of macrobenthic communities in tidal flats following the Great East Japan Earthquake. *Limnology and Oceanography Letters* 8: 473–480.
- 柚原 剛・高木 俊・風呂田利夫 2016. 東京湾における塩性湿地依存性の絶滅危惧ベントスの分布特性. *日本ベントス学会誌* 70: 50–64.
- Yuhara T, Yokooka H, Kanaya G, Tanaka M, Unagami T, Yokoyama K, Taru M 2021. Importance of two river mouths in the southern Izu Peninsula of Japan as habitats for endangered macrobenthic species. *Aquatic Animals* AA2021: AA2021–5.