

[研究論文]

福井県小浜湾のアマモ場の変遷

浜口 昌巳^{1)*}・小坂 康之²⁾・
福井県立若狭高等学校ダイビング部²⁾・西野 ひかる³⁾

はじめに

アマモ *Zostera marina* Linnaeus は我が国の浅海域に繁茂する海草類の一種でアマモ場を形成する。アマモ場は高い生物生産性から魚類等海産動物の幼生や幼期個体の保育や生育場となるなど沿岸生態系における生物多様性を支えている (Heck *et al.*, 2003)。また、近年ではアマモ場は地球温暖化の一因である二酸化炭素の貯留効果が高いことから、温暖化を予防したり、緩和することができるブルーカーボン機能が高いことが注目されている (Nellemann *et al.*, 2009 ; 堀・桑江, 2017)。このように、我が国の海洋生物の多様性や生態系の維持および地球規模の環境変動に対する緩和効果などアマモ場の持つ生態系機能は高いため、その保全や再生は極めて重要と考えられる。しかしながら、近年、世界的な規模でアマモ場が減少しており (Waycott *et al.*, 2009), また、福井県水産試験場が行った藻場調査では、小浜湾は調査対象となっていなかったが、県下のアマモ場は減少していたと報告されている (成田ほか, 2006)。そのため、それぞれの地域でアマモ場を安定的に維持するためには、定期的なモニタリング調査とその結果に応じた管理体制が必要である。

福井県小浜湾 (図 1) は日本海に面した水深が20m以下の海域が大部分を占める浅い内湾域で (磯部・相原, 1976), カキ養殖が盛んで、かつては至る所にアマモ場が形成されていたとされるが、近年、減少傾向にある。福井県立若狭高等学校は小浜湾に近い立地条件から、地域活動の一環として小浜湾の海洋環境の問題について学校を挙げて取り組んできた。その中で、同校ダイビング部では、長年にわたり定期的に小浜湾内のアマモ場の分布状況を調査してきており、貴重なデータが蓄積されている。このような長期にわたる地域主導のモニタリング調査は、今後の我が国の浅海域の生態系保全を考えるうえで極めて重要な活動と言える。

そこで、今回、これらの貴重な一連の調査データに環境省の藻場調査結果および地元漁業者や住民の方々からの聞き取り調査を加え、小浜湾のアマモ場の変遷について情報を整理したので報告する。

受付日 2024.5.8

受理日 2024.6.24

所 属 1) 福井県立大学海洋生物資源学部 2) 福井県立若狭高校 3) 一般社団法人うみから

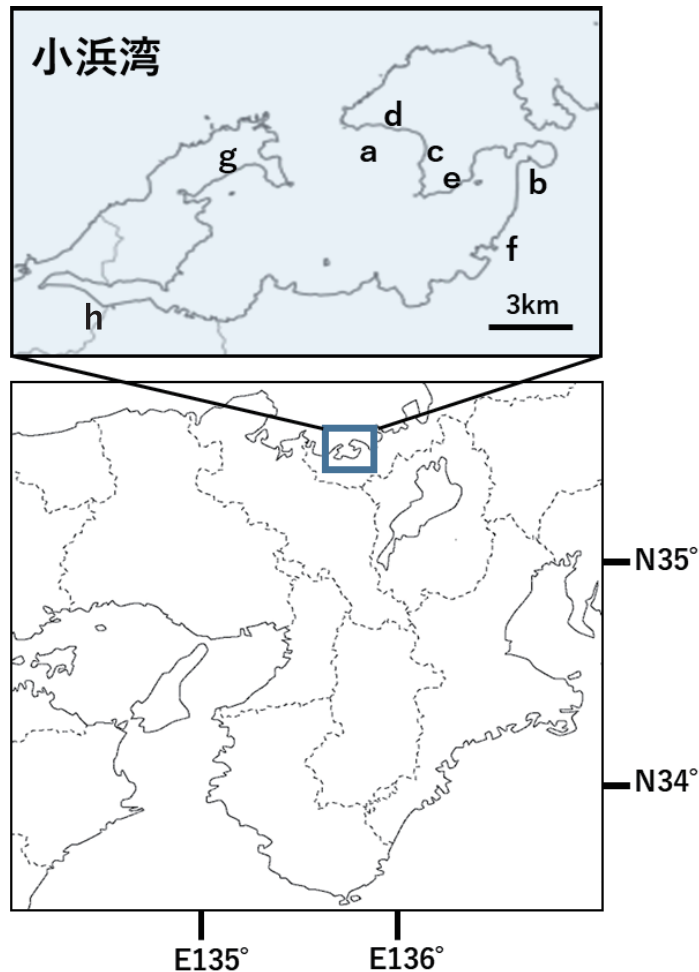


図 1 小浜湾の位置

a : 小浜市泊沖, b : 小浜市甲ケ崎, c : 小浜市堅海, d : 小浜市泊, e : 小浜市仏谷,
f : 小浜市西津, g : おおい町大島, h : おおい町青戸入江

材料と方法

1. 聞き取り調査と実地調査

実地調査に先立ち, 2005年5月に甲ケ崎牡蠣組合の中島輝彦氏, 仏谷渡船組合の川端嘉幸氏, 小浜市漁業協同組合の樽谷宏和氏から主に1980年ごろの状況を調べるために聞き取り調査を行った。アマモ場の分布に関する実地調査は, 2005年以降に聞き取り調査の結果から調査地を検討し, 若狭高等学校ダイビング部の部員(図2)により, 主に目視できる水深3m以浅のアマモ場についてシュノーケリングによって行った(図3)。2022~2023年の調査は仏谷渡船組

合の川端嘉幸氏と大住徳博氏から聞き取りを行った。その後、一般社団法人うみからと福井県立大学海洋生物資源学部の教員と学生によって、小浜湾東部海域についてかつてアマモ場であった場所を中心に数人により15～30分程度アマモの繁茂状況を確認するとともに、水深3 mより深い場所では必要に応じて後日SCUBA潜水による調査も行った。加えて、小浜湾西部海域や港湾域等でシュノーケリング調査が困難な場所は、胴長による調査に目視や漂着したアマモの分布状況よりアマモの繁茂状況を確認した。この調査の間に会ったおおい町の漁業者や住民の方からも聞き取りを行った。



図2 若狭高校ダイビング部のアマモ場調査



図3 シュノーケリングによるアマモ場調査

2. 環境省の調査結果の活用

環境省が実施している自然環境保全基礎調査のうち、1989～1992年に実施された第4回、1997～2001年に実施された第5回、2002～2006年に実施された第7回の藻場調査結果がいずれも公開されているのでそれらを活用した（生物多様性センターHP）。しかしながら、この公開されているデータは例えば、第7回の調査結果では小浜湾周辺の藻場はスガモ場、海藻藻場、アマモ場に分けられているがスガモはこの海域には繁茂していないなどの問題がある。加えて、公開されている第4回と第5回のデータではアマモ場と海藻藻場が明確に区別されていないので、聞き取り情報を加えてアマモ場の位置を確認した。また、第7回の調査結果や1で実施した現地調査でアマモ場が確認されている場所については過去からその時に至るまでアマモ場が残存していると判断した。

結果

現在の小浜湾のアマモ場の状況を図4に示す。浅所ではコアマモ *Zostera japonica* Aschers. et Graebn やウミヒルモ *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. fil と混在していた。一方、水深の深い場所である小浜湾湾口部等のれき交じりの海底では（図1a）、福井県立大学の杉本教授から提供された写真からスゲアマモ *Zostera caespitosa* Miki が繁茂していることが解った。聞き取りや分布調査による小浜湾のアマモ場の変遷については図5に示す。図5のAは1980年頃の分布を示すが、小浜湾全体にアマモ場が広がっており、沖合のやや深い場所でもアマモ場が形成されていたと推測される。その後、海岸開発や埋め立てによって消失したアマモ場もあるとのことであった。次に、2005年のアマモの分布を図5Bに示す。図1bの小浜湾東部の甲ヶ崎地区のアマモ場が消失しており、小浜湾南部のアマモ場も密度が低下した。この傾向は2013年（図

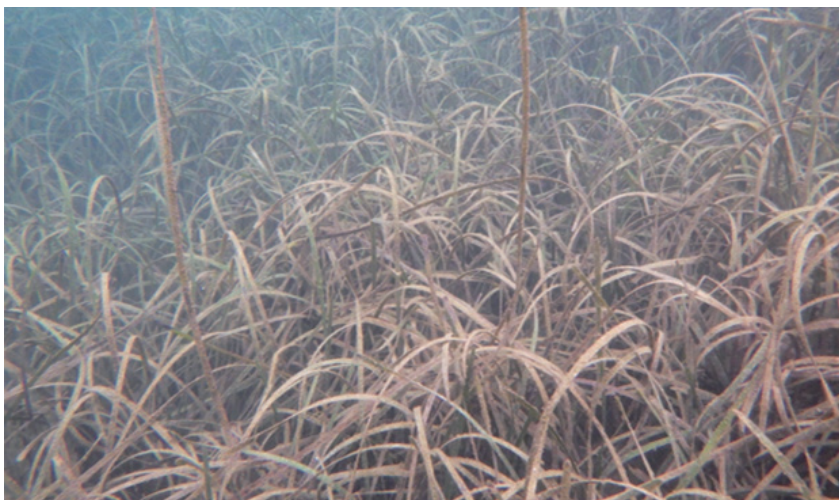


図4 近年の小浜湾のアマモ場（堅海地区（図1C）、2022年8月）

5 C) も続いており、この間図 1 b の小浜市甲ケ先地区のアマモ場はほぼ消失し、その周辺の小浜市仏谷 (図 1 e) や小浜市西津 (図 1 f) 付近のアマモ場の密度も低下した。この時期に泊沖 (図 1 a) で撮影された水中写真から、水深 5 ～ 10 m 程度のれき交じりの場所にスゲアマモが繁茂していることが確認された。一方、小浜湾東部のアマモ場は比較的残存していた。

2022年～2023年には小浜湾東部海域では堅海と泊 (図 1 c, および d) のアマモ場以外はほぼ消失しており、南部も同様であったが代わりにコアマモの植生が確認された。小浜湾の西部はパッチ状ではあるがアマモ場が残存していた。

このように小浜湾では年代の経過とともにアマモ場が減少していることが明らかであるが、小浜湾の湾口部に近い両岸ともにアマモ場が残っていた。東岸のアマモ場は福井県立大学海洋生物臨海研究センター前の小浜市堅海地区 (図 1 c) から泊地区 (図 1 d) の沿岸域に広く分布していた。この場所は、アマモ場が衰退している小浜湾右岸奥部と比較すると透明度が高く、水深も深い。この場所では福井県立大学がSCUBA潜水による調査を行っているが、水深 3 ～ 4 m にアマモの分布の中心があり、深い場所では 8 ～ 10 m までアマモが点在していた。また、この場所では水深 2 m より深い場所では冬季でもアマモが繁茂していることから現在、小浜湾では一年生のアマモが多い中で、多年生のアマモ場が形成されていた。また、小浜湾の西部の海域では広範囲にアマモ場が残っており、胴長や目視等の観察ではパッチ状のアマモ場が散見された。

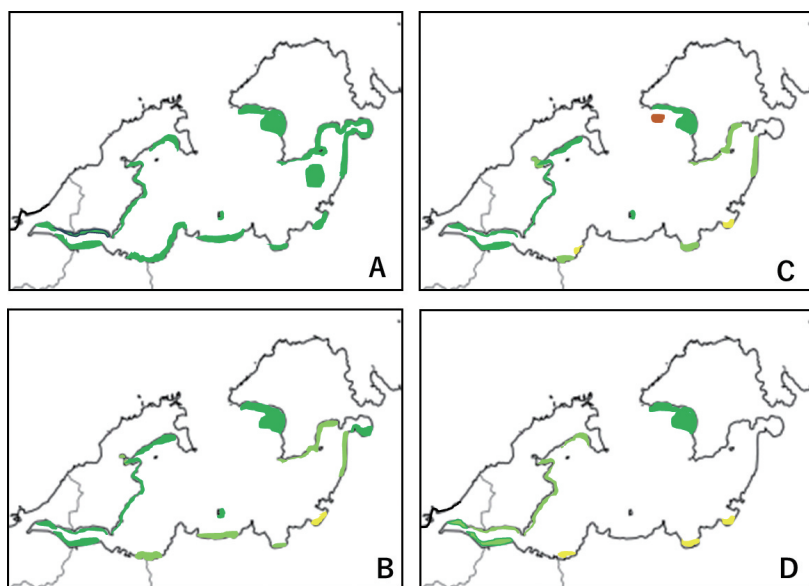


図 5 小浜湾のアマモ場の変遷

A ; 1980年頃, B ; 2005年5-6月, C ; 2013年5-6月, D ; 2022年-2023年6月
 ■ 高密度アマモ場, ■ パッチ状アマモ場, ■ コアマモ場, ■ スゲアマモ場

考察

1. アマモ場の変遷

今回の調査の結果、1980年以降小浜湾のアマモ場は減少してきていることが明らかとなった。なかでも、小浜湾東部の甲ケ崎周辺海域では、かつては広大なアマモ場であったが、その消失が顕著であった。同海域では、青山ほか（2014）が衛星リモートセンシングを用いて調査を行っているが、2011年から2013年にかけてアマモ場が急激に減少したと報告しており、本調査結果とも一致する。

小浜湾のアマモ場の変遷を引き起こした原因については、まずは近年の地球温暖化に伴う水温上昇などの環境変動が考えられる。気象庁によると、日本近海の海面水温は2023年までの約100年間の年平均の上昇率は、 $+1.28^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ とされており、世界の海面水温の上昇率より高く、現在も上昇傾向が続いている（気象庁HP）。現在、小浜湾ではアマモ以外に、亜熱帯域にも分布するコアマモやウミヒルモが繁茂しているが、アマモ場の衰退とこれらの増加は水温上昇の影響による可能性がある。

アマモと水温の関係は電力中央研究所により発芽と発芽体の生長（川崎ほか, 1986a）、栄養株の生長と有性生殖への影響（川崎ほか, 1986b）、昇温におけるライフサイクルの変化（川崎, 1987）と詳細に調べられている。それら以外にも、発芽への影響（Abe *et al.*, 2008）や花枝形成と水温の関係（小見山, 2002）などの文献もある。これらの研究例から、発芽に関しては夏の水温が 28°C 以下であることが好ましいこと、アマモの栄養株は 30°C 以上では枯死する（川崎ほか, 1986b）など高水温では生育に不適となることが報告されている。一方で、アマモの水温と成長との関係は地域差があり、例えば、花枝形成と冬季水温の関係は神奈川県小田和湾のアマモを使った川崎ほか（1986b）の報告と岡山県で採取したアマモでは異なっていたことが報告されている（小見山, 2002）。そのため、地域性も考慮に入れる必要があるが、仮に小浜湾が川崎ほか（1986b）で調べられた神奈川県小田和湾のアマモと同様な東日本のアマモと同じであれば水温上昇に対する耐性は弱いと推測される。

一般的に、水深10m以浅の海域の水温は気温の影響を強く受けるが（和西, 2004）、小浜湾右岸奥部の甲ケ崎地区（図1b）から仏谷地区（図1e）にかけては水深が3m程度と浅いため、気温上昇による影響を水温がより受けやすいと考えられる。水温上昇がアマモの種子から栄養株の生長や繁殖といったライフサイクルにどのような影響するかは、川崎（1987）によって神奈川県小田和湾をモデル海域として詳細に調べられている。これによると水温上昇によるストレスは、アマモのライフサイクルの至るところに影響を及ぼすことが報告されており、今回、小浜湾で観察されたようなアマモ場の消失は近年の水温上昇の影響によるのではないかと推測される。

さらに、この海域は海水が常に濁っており、現在の小浜湾ではアマモの表面に堆積物が堆積

するとともに、ウズマキゴカイ *Dexiospira foraminosus* Bush in Moore & Bush の付着が見られることから、光環境が悪い可能性もある。分類上アマモは陸上植物に近く光環境がその生育には大きく影響することが知られている（中村ほか, 2005）。そのため、この海域では高水温に加え、光環境の悪化が急激なアマモ場の減衰を引き起こしたのではないかと考えられる。聞き取り調査時には、小浜市内を流れる北川、南川の河口域の工事等によって、河川水の流出方向が変わったことによって甲ケ崎地区（図1b）の濁りが変化したのではないかと、という声も聞かれた。西野（2018）は小浜湾の海洋環境の保全のために環境指標を設定するために開催された「小浜市沿岸域総合管理研究会」での議論等を取りまとめているが、そのなかで環境省が調査した小浜湾における透明度の推移を報告している。小浜湾の透明度は、今回の調査で1980年代から現在までアマモ場の減少が著しい小浜市甲ケ崎（図1b）と小浜湾東部の青戸入江（図1h）が最も低いとされているが、青戸入江では現在もアマモ場が散見される。しかし、甲ケ崎では2022～2023年の調査ではアマモ場は確認されなかった。このことから、濁りや透明度だけが原因となってアマモ場が減少しているということでもないと考えられる。今後は、小浜湾でのアマモ場の衰退原因を解明するために、水温や光環境に加え、他の環境項目についても詳細に調べる必要がある。

加えて、海洋環境以外の要因としては、小浜湾内では冬季にはマナマコの桁曳き漁業が盛んであり、これによりアマモ場が消失した可能性も考えられる。渋谷ほか（2018）では2000年以降マナマコの中国向け輸出が増加しており、それに伴い価格が上昇している。そのため、この時期からマナマコの漁獲圧が高まったのではないかと考えられる。桐原（2011）は陸奥湾でマナマコやホタテガイの桁曳き漁業によるアマモやスゲアマモの根茎部の剥離が、両種の衰退の原因となっているのではないかと指摘している。そのため、小浜湾のアマモ場の衰退は、先に述べた水温上昇や透明度の低下に加え、マナマコ漁業の影響もあるのではないかと考えられる。

今回の調査結果から、小浜湾の各地でアマモ場は衰退しているが、堅海～泊地区（図1c～d）およびおおい町大島地区（図1g）などの小浜湾湾口部のアマモ場は安定していた。しかし、島袋ほか（2012）の報告によるとアマモは同じ湾内であっても遺伝的分化が進んでおり、そのため、甲ケ崎地区のアマモと堅海～泊地区のアマモは遺伝的に異なっていた可能性もある。Yamakita *et al.*（2011）は東京湾のアマモ場の解析を行った結果、同じ個体群内でも非同時的な局所個体群の動態が全体の安定度を高めていると報告している。したがって、現在、小浜湾で起こっている部分的な局所個体群の減少は、小浜湾全体のアマモ場の安定度を低下させる可能性もある。そのため、今後の小浜湾のアマモの保全を考える際には、遺伝的多様性をどのように保つのか、ということも重要となる。小浜湾の西部や湾口部のアマモ場がパッチ状でも残されているうちに、なるべく早く試料を採取してその遺伝的関係を明らかにしておく必要があると考えられる。

2. アマモ場のブルーカーボン機能と保全

近年、アマモは地球温暖化の原因となるCO₂を吸収して成長し、枯死後も吸収したCO₂を長期貯留する能力が高いことからブルーカーボン効果が期待されている (Nellemann et al., 2009)。しかしながら、アマモの持つブルーカーボン効果はアマモそのもので発揮されるのではなく、アマモ場の堆積効果によるものである (宮島・浜口, 2017)。宮島・浜口 (2017) や Hamaguchi *et al.* (2018)の一連の研究では、アマモ場の堆積物中にはアマモ生産物が長期に貯留されており、条件が良い場合はその生産物が約5000年程度も蓄積されており、安定したアマモ場が持つブルーカーボン効果は極めて高いことが証明されている。そのため、地球温暖化防止の観点からは、この小浜湾堅海～泊地区 (図 1 c～d) のアマモ場が今後も安定して維持できるよう保全すべきであると考えられる。

小浜湾ではかつては若狭高等学校ダイビング部によるマーメイドプロジェクト (日本河川協会HP) によるアマモ場の保全再生活動が行われていた。現在では、甲ヶ崎地区 (図 1 b) 等小浜湾内のアマモ場の減衰が著しい地域では、前述の漁業者・大住徳博氏、一般社団法人「うみから」 (代表・西野ひかる氏) や海のゆりかごを育む会の大住一平氏によってアマモ場の再生のための活動が行われていて、その活動にも若狭高等学校ダイビング部や福井県立大学が協力しており、これからも地域を挙げて小浜湾のアマモ場の保全・再生に取り組んでいく予定である。

謝辞

過去および現在のアマモの繁茂状況の聞き取り調査に快く応じていただきました、甲ヶ崎牡蠣組合の中島輝彦氏、仏谷渡船組合の川端嘉幸氏、小浜市漁業協同組合の樽谷宏和氏、小浜市仏谷地区の大住徳博氏、大住一平氏、および調査の際にお話を伺ったおおい町の漁業者および住民の方々に心から感謝いたします。また、貴重な資料や情報を提供していただいた福井県立大学海洋生物資源学部富永 修教授と杉本 亮教授、および国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所の島袋宏盛主任研究員に深く感謝いたします。

引用文献

- Abe, M., A.Kurashima, & M. Maegawa, 2008 : Temperature requirements for seed germination and seedling growth of *Zostera marina* from central Japan. *Fisheries Science*, 74, 589-593.
- 青山隆司・矢野達也・八木一平. 2014 : 衛星リモートセンシングを用いた小浜湾の藻場計測. 福井工業大学研究紀要, 44, 7-13.
- Hamaguchi, M., H. Shimabukuro, M. Hori, G. Yoshida, T. Terada, & T. Miyajima, 2018 : Quantitative real-time PCR and droplet digital PCR duplex assays for detecting *Zostera marina* DNA in coastal sediments. *Limnology and Oceanography: Methods*, 16, 253-264.
- Heck, Jr K.L., G. Hays, & R. J. Orth, 2003 : Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, 253, 123-136

- 堀 正和・桑江朝比呂（編）2017：ブルーカーボン・海洋における CO₂ 隔離・貯留とその活用. 254pp., 地人書館, 東京
- 磯部一洋・相原輝雄. 1976：福井県小浜湾の海況について. 地質調査所月報, 27（1）, 1-14.
- 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・下茂 繁. 1986a：アマモへの温度の影響Ⅰ. 発芽と発芽体の生長. 電力中央研究所報告, 485028, 1-18.
- 川崎保夫・寺脇利信・飯塚貞二・後藤 弘・下茂 繁. 1986b：アマモへの温度の影響Ⅱ. 栄養株の生長と有性生殖. 電力中央研究所報告, 486019, 1-23.
- 川崎保夫. 1987：アマモへの温度の影響Ⅲ. 昇温によるライフサイクルの変化. 電力中央研究所報告, U87046, 1-24.
- 桐原慎二. 2011：陸奥湾のアマモ類藻場と持続的漁業生産. 用水と廃水, 53（1）, 76-82.
- 気象庁 HP：海面水温の長期変化傾向（日本近海）
https://ds.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html
アクセス 2024 年 4 月 20 日
- 小見山秀樹. 2002：アマモの花枝形成と水温の関係. 岡山県水産試験場報告, (17), 66-69.
- 小坂康之. 2011：福井県立小浜水産高校. Nippon Suisan Gakkaishi, 77(3), 431-432.
- 宮島利宏・浜口昌巳. 2017. 第 4 章堆積物における長期炭素貯留の仕組みと役割. 堀正和・桑江朝比呂 編著「ブルーカーボン—浅海における CO₂ 隔離・貯留とその活用—」, 93-122pp., 地人書館, 東京.
- 中村由行・細川真也・三好英一・桑江朝比呂・小沼晋・井上徹教. 2005：メソコスム水槽を用いたアマモの生育限界光量に関する検討. 港湾空港技術研究所資料, No.1108, 23p.
- 仲岡雅裕. (2008) 気候変動にともなう沿岸生態系の変化—生物群集から考える. in 大串隆之, 近藤倫生, 仲岡雅裕 編, シリーズ群集生態学 4 生態系と群集をむすぶ, 179-204. 京都大学学術出版会, 京都.
- 成田秀彦・高垣 守・倉有里恵. 2006：藻場減少実態解析事業. 福井県水産試験場報告平成 16 年度, 80-88.
- Nellemann, C., E. Corcoran, C. M. Duarte, L. Valdes, C. DeYoung, L. Fonseca, & G. Grimsditch, 2009 : Blue carbon. A rapid response assessment. United Nations Environment Programme GRID
- 日本河川協会 HP：谷口晃次・森田寛太・森下倅太. アマモマーメイドプロジェクト https://www.japanriver.or.jp/taisyo/oubo_jyusyou/jyusyou_katudou/no13/no13_pdf/obama.pdf.
アクセス 2024 年 4 月 23 日
- 西野ひかる. 2018：小浜湾における新基準「沿岸透明度」の目標値設定プロセスと地域合意に関する考察. 水資源・環境研究, 31（1）, 16-23.
- 生物多様性センター HP：自然環境調査 Web-GIS <http://gis.biodic.go.jp/webgis/> アクセス 2024 年 4 月 21 日
- 志田 崇・藤川義一・石川義朗・今 男人・桐原慎二. 2016：アマモ・ナマコ漁礁におけるスケアマモの保護育成及びマナマコの資源培養効果. 水産工学, 52（3）, 161-170.
- 渋谷長生・吉田 渉・吉仲 怜. 2018：日本産ナマコ輸出に伴う 諸問題と今後の方向. 弘前大学農学生命科学部学術報告, 20, 35-49.
- 島袋寛盛・堀正和・吉満敏・徳永成光・猪狩忠光・佐々木謙介・仲岡雅裕・川根昌子・吉田吾郎・浜口昌巳. 2012：鹿児島・湾に生育する一年生アマモ局所個体群間の遺伝的分化. 日本水産学会誌, 78（2）, 204-211.
- 和西昭仁. 2004：山口県周防灘海域における最近 30 年間の水温変動. 山口県水産研究センター研究報告, (2), 1-6
- Waycott, M., C. M. Duarte, T. J. B. Carruthers, R. J. Orth, W. C. Dennison, S. Olyarnik, A. Calladine, J. W. Fourqurean, K. L. Heck Jr, A. R. Hughes, G. A. Kendrick, W. J. Kenworthy, F. T. Short, & S. L. Williams, 2009 : Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. Proceedings of the

National Academy of Sciences of the United State of America, 106, 12377-1238
Yamakita, T., K. Watanabe, & M. Nakaoka, 2011 : Asynchronous local dynamics contributes to stability
of a seagrass bed in Tokyo Bay. *Ecography*, 34, 519-528.