

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04288

研究課題名(和文) 海洋酸性化が沿岸生物の世代交代、群集・個体群構造に及ぼす長期影響評価

研究課題名(英文) Elucidating the long-term impacts of ocean acidification on trans-life-cycle and transgenerational responses of coastal marine organisms

研究代表者

高見 秀輝 (Takami, Hideki)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(塩釜)・グループ長

研究者番号：50371802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：海洋酸性化が海産動物に及ぼす長期的な影響を評価するため、沿岸生態系の中でも中心的な役割を果たすウニ類(キタムラサキウニ)、造礁サンゴ類(コユビミドリイシ)、魚類(アマノガワテンジクダイ)について、酸性化環境の応答を発育段階間、世代間にわたる長期飼育実験により解析した。酸性化環境で飼育した親由来の子の応答は、ウニ類と魚類で影響が軽減した。造礁サンゴ類では共生藻の介在により世代間影響が複雑化することが示唆された。ウニ類の遺伝子発現は、酸性化環境下の親由来の子と非酸性化環境下の親由来の子で質的・量的に異なり、遺伝子発現レベルで環境への順化が生じていることが考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海産動物に対する海洋酸性化への応答予測は、多くが直接的な環境変動の影響を受けやすい初期生活史を対象とした短期間の飼育実験による結果に基づいており、幼生から成体へ成長する過程、さらには再生産や世代交代に及ぼす影響については研究例が極めて限られている。本研究では、沿岸生態系で中心的な役割を果たすウニ類、造礁サンゴ類、魚類について、異なる発育段階間および複数の世代間における海洋酸性化の応答を解析した。その結果、酸性化環境下で成育した親由来の子世代は、同環境に順化することが示唆された。本成果は、海洋酸性化に関する将来予測の不確実性を軽減し、有効な適応・緩和策の推進に貢献するものと期待される。

研究成果の概要(英文)：To evaluate the long-term effects of ocean acidification (OA) on marine organisms, we analyzed the response of sea urchin *Mesocentrotus nudus*, reef-building coral *Acropora digitifera*, and coral fish *Pterapogon kauderni* to OA through long-term rearing experiments across trans life cycles and transgenerations. The impacts of OA on offspring derived from parents reared in OA were reduced in *M. nudus* and *P. kauderni*. In *A. digitifera*, transgenerational effects of OA were complicated by the infection of symbiotic algae *Symbiodinium microadriaticum*. Gene expression in larval *M. nudus* differed qualitatively and quantitatively between offspring of OA and non-OA parents, suggesting that environmental acclimation may occur at the gene expression level.

研究分野：水産生物学

キーワード：海洋酸性化 世代間 キタムラサキウニ コユビミドリイシ アマノガワテンジクダイ 順化 適応 長期 世代間

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋生物に対する酸性化への応答予測は、主として直接的な環境変動の影響を受けやすい胚や幼生などを対象とした短期間での飼育実験による結果に基づいており、幼生から成体へ成長する過程、さらには再生産や世代交代に及ぼす影響については研究例が極めて限られている。本研究担当者が参画した先行課題、2014～2018 科研費基盤 S「海洋酸性化の沿岸生物と生態系への影響評価実験」(以降、先行課題)では、数年にわたり安定した二酸化炭素濃度を維持できる流水飼育システムが開発され、酸性化の長期的な影響を明らかにするための実験環境が整備された。本研究では、沿岸生態系で中心的な役割を果たすウニ類(キタムラサキウニ)、造礁サンゴ類(コクビミドリイシ)、沿岸魚類(アマノガワテンジクダイ)に焦点を当て、発育段階間、世代間にわたる長期酸性化影響を評価することを目的として飼育実験に着手した。なお、これら対象生物における海洋酸性化の長期影響に関する研究開始当初の現状は以下の通りである。

(1) ウニ類

酸性化がウニ類の世代交代に及ぼす影響については、成熟可能となった親を酸性化環境で飼育し、生まれた子の順化・適応過程を調べた結果、親の飼育期間によって子の順化・適応能が異なる可能性が報告されるなど研究例が限られており、整合性のある結果が得られていないため、全生活史を通して複数世代にわたる影響評価の重要性が指摘されている(例えば Ross et al. 2016)。

(2) 造礁サンゴ類

炭酸カルシウムの骨格を形成する造礁サンゴ類が海洋酸性化の影響を受けるという研究が多数あるが、それらの多くは異なる酸性化環境で採取した成長したサンゴ群体の骨格の分析(例えば Mollica et al., 2018)や、成長したサンゴ群体から作った破片を異なる酸性化条件で飼育する水槽実験(例えば Sekizawa et al. 2017)と、主に成体サンゴへの影響が検討されてきた。またいくつかの研究結果は、温暖化が酸性化よりもサンゴに強く影響することを示唆しているが(Bahr et al. 2016, Manullang et al. 2023)、酸性化は成体よりも幼生や初期ポリプ(幼生着底・変態直後の 1 ポリプからなるサンゴ)に影響を強く受ける可能性が考えられた。

(3) 魚類

魚類は海洋酸性化に対して、比較的感受性の低い生物群ではあるが、中長期的影響については実験例が不足している。先行課題において、海洋酸性化に対する生物の順化・適応の可能性を明らかにするため、世代交代の早いアマノガワテンジクダイ(最短で生後約 7 か月で成熟)を用いて酸性化環境における継代飼育実験を実施した。その結果、高二酸化炭素濃度下で飼育したアマノガワテンジクダイの親魚から産出した子世代(第 1 世代)の酸性化耐性は、対照条件下で産出された稚魚に比べて高かった。また、第 2 世代についてもほぼ同様の結果が示された。

2. 研究の目的

(1) キタムラサキウニ

酸性化環境で飼育した親から生まれた子を対象として、長期にわたる飼育実験を実施し、この間の生理・生態的な特性の変化を異なる二酸化炭素濃度間で比較することによって酸性化への順化・適応過程を解明する。さらに、順化・適応が起こるメカニズムを遺伝子発現、石灰化機構などの視点から解明する。

(2) コクビミドリイシ

研究開始当初に研究例が少なかった、海洋酸性化が世代交代期であるサンゴ幼生の生残と定着・変態、変態後の初期ポリプの成長と代謝に及ぼす影響を検討することを、研究の目的とした。

(3) アマノガワテンジクダイ

本研究では、先行課題から酸性化環境で継代飼育中のアマノガワテンジクダイ(第 2 世代)を更に継代して飼育し 3 段階の二酸化炭素濃度に設定した海水中で産卵実験を行い、繁殖に対する影響を評価する。また、産卵実験で産出された稚魚(第 3 世代)の一部を用いて、酸性化環境に対する耐性を評価する。さらに、これら飼育個体の遺伝子発現量を解析する。

3. 研究の方法

(1) キタムラサキウニ

先行課題において、異なる二酸化炭素濃度(300、400、600、800、1,600ppm)で成育したキタムラサキウニを本研究でも継続して飼育した。この間、定期的に殻径と体重の測定、棘の微量元素の分析を行い、幼体から成体に至る 5 年間の成長速度および Mg/Ca 比の経時変化を二酸化炭素濃度間で比較した。

上記のウニを親とし得られた子世代の幼生について、酸性化環境に対する応答を評価した。具体的には、約 400ppm の原海水で飼育していた親から得られた受精卵を同じく 400ppm で孵化・飼育する対照区、400ppm の親から得られた受精卵を 800ppm と 1,600ppm で孵化・飼育する非順化区を設定した。また、800ppm と 1,600ppm の親から得られた受精卵をそれぞれ親と同じ二酸化炭素濃度で孵化・飼育する順化区を設定した。受精後 8 日目の 6 腕期プルテウス幼生について、口後腕長を測定し実験区間で比較した。受精後 17 日目には、各実験区から幼生を無作為に抽出し、RNA-seq 解析を行った。得られた配列をアセンブルした結果、17,675 遺伝子配列の取得

に成功し、発現解析用のレファレンス配列とした。そして、レファレンス配列にフィルタリング済みのショートリード配列をマッピングして各区での発現量を算出し、階層クラスター解析・非階層クラスター解析による各区の類似度を調べた。また、対照区、800ppm 順化区、800ppm 非順化区では、受精後 22 日目における 8 腕期プルテウス幼生のウニ原基形成率、受精後 31 日目には幼生から稚ウニに変態した個体の殻径を計測した。

(2) ココビミドリイシ

沖縄のサンゴ礁で普通に見られるココビミドリイシの放卵放精時期である 6 月に 11 群体を採集し、実験室内で放卵放精させ、異なる群体に由来する配偶子を含む海水を混合して他殖による受精を行い、受精卵を 1 μ m のフィルターでろ過した海水で飼育した。受精後 3 日で受精卵はプラヌラ幼生に発生した。それら幼生を異なる二酸化炭素分圧を設定した水槽内で飼育し、酸性化がサンゴ幼生に及ぼす影響を検討した。さらに幼生を定着させ初期ポリプとし、同じくろ過海水中で飼育した。ココビミドリイシの卵には褐虫藻がなく、受精卵、幼生および初期ポリプを 1 μ m のフィルターでろ過した海水で飼育した場合褐虫藻と共生しないので、人為的に褐虫藻 *Symbiodinium microadriaticum* を初期ポリプに感染させて、異なる二酸化炭素分圧を設定した水槽内で飼育した。これら初期ポリプを毎週観察し、ポリプの投影面積、新しいポリプの萌芽状況を記録し、酸性化が初期ポリプの成長に及ぼす影響を検討した。さらに生物に影響を与えず酸素濃度を測定できる装置 (Fibox3、PreSens) を用いて、褐虫藻と共生する初期ポリプの呼吸量に及ぼす酸性化の影響も検討した。また、ココビミドリイシとは産卵期の異なる *Acropora* sp.1 の配偶子から作成した初期ポリプを用いて、二酸化炭素分圧 1000ppm 処理区を設けて RNA 抽出及び RNA-seq を行った。

(3) アマノガワテンジクダイ

成熟した第 2 世代アマノガワテンジクダイを 3 段階の二酸化炭素濃度に設定した海水でペア飼育 (1 実験区つき 3 系統設、計 9 ペア) し、産卵実験 (産卵の有無、産卵回数および産卵間隔を確認) を行った。また、産卵実験で産出された第 3 世代の稚魚 (65~75 日齢) の一部を用いて急性毒性実験を行った。急性毒性実験では、各二酸化炭素濃度区で産出された稚魚を、さらに高い致死レベルの二酸化炭素濃度海水に再曝露し、生残率を求めた。再曝露の二酸化炭素濃度は、対照区 (約 530ppm)、50,000ppm 区、70,000ppm 区および 90,000ppm 区の 4 段階に設定した。1 実験区につき稚魚を 10 個体使用した (実験区を 4 段階設けたので、1 回の試行につき稚魚 40 個体を使用) 再曝露の期間は最大 72 時間とし、24 時間ごとに生死を確認した。急性毒性実験は、産出された実験区につき各 3 回試行した。

継代飼育および産卵実験は、自然海水 (砂ろ過) に CO₂ ガスを通気して作製した高二酸化炭素濃度海水と自然海水を混合することで、二酸化炭素濃度を 3 段階に調製した海水を水槽に掛け流した。急性毒性実験は、ガス混合装置を用いて CO₂ (各試験区所定の%)、O₂ (21%) および N₂ (不活性ガスとして残余%) からなる混合ガス (対照区は空気) を毎分 300mL で連続通気し、二酸化炭素濃度を 4 段階に調製した海水を水槽に掛け流した。継代飼育、産卵実験および急性毒性実験は、水温 26°C、光条件 12L12D で実施した。継代飼育中および産卵実験中のアマノガワテンジクダイには、午前中に冷凍オキアミを、午後自製モイストペレットをそれぞれ適量給餌した。急性毒性実験中の稚魚には、冷凍魚卵 (マダイ) を午前 1 回、午後 1 回、適量給餌した。

飼育実験を経たアマノガワテンジクダイは、組織片を切り出して RNA 抽出および RNA-seq を行い、アセンブルした配列群の注釈付をしてストレス応答に関与する可能性のある配列候補を抽出した。そしてそれらの配列候補から発現定量用のプライマーを作成した。二酸化炭素濃度約 1,200ppm で飼育したサンプルに対し、熱変性タンパク質 (heat-shock protein) の 1 つである HSP70 に設計したプライマーを用いて、デジタル PCR による発現定量を実施した。

4. 研究成果

(1) キタムラサキウニ

異なる二酸化炭素濃度で飼育期間中の定期的な棘の Mg/Ca 比測定の結果、殻径 40mm 以下の幼体は成体に比べ棘の Mg/Ca 比が高いことが分かった。また、幼体期と成体期に分けて殻長の成長速度 (μ m/day) に対する酸性化の影響を調べたところ、成体期には明瞭な酸性化影響が認められなかったが、幼体期では 800ppm 以上の高二酸化炭素濃度環境下で成長速度が低くなっていた。また、これまでの本研究で、飼育海水中の二酸化炭素濃度とウニ棘の Mg/Ca 比には正の相関関係があることが分かっており、高二酸化炭素濃度下で飼育したウニの Mg/Ca 比は対照区に比べて高くなる。方解石 (CaCO₃) の Mg 含有量が高くなると溶解度が増すことが指摘されているので (Ries 2011) 幼体期に高二酸化炭素環境下で析出する石灰化部位は全体的に Mg/Ca 比が高く、溶解度が高いと考えられ、幼体は成体と比較して酸性化に脆弱であることが推察される。成体期の棘の Mg/Ca 比は、高二酸化炭素環境下のもでも 50mmol/mol 程度であり、これは幼生期の対照区の棘の Mg/Ca 比と同程度である。幼体期の成長率に低下が見られた 800ppm では、棘の Mg/Ca 比が約 54mmol/mol であり、1,600ppm では約 58mmol/mol

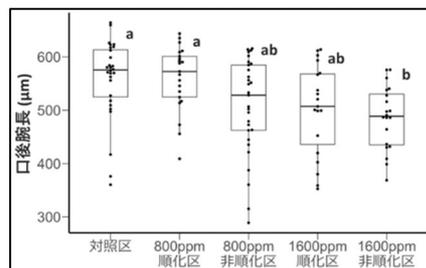


図 1: キタムラサキウニ 6 腕期幼生の口後腕長。異なるアルファベットは有意差があることを示す (GLM (Gamma) with likelihood-ratio and Tukey test)

であった。これらの結果から、棘の Mg/Ca 比が 53 ~ 54mmol/mol を超えてくると、酸性化に対して負の影響が及ぶ可能性が高いことが示唆された。ウニの石灰化には非晶質炭酸カルシウム (ACC) が関与していることが指摘されており、Mg の存在下で ACC が安定すること、また石灰化初期段階で ACC が効率的に作用していることも指摘されている (Gilbert et al. 2022)。よって、ウニの石灰化機構として、幼体期に効率よく石灰化するために ACC を分泌するが、一方で Mg 含有量が高くなることで溶解度は増すので酸性化には脆弱になるというパラドックスが生じることが示唆される。本研究を通して、地球化学的視点からは、海洋酸性化は特にウニの幼体期の成長に対して負の影響を及ぼすこと、またそのメカニズムの一端が明らかとなった。

酸性化環境を経験した親から得られた子の環境応答に関する実験では、受精後 8 日目の 6 腕期プルテウス幼生において、800ppm 順化区および 1,600ppm 順化区で幼生の腕長は対照区と有意な差は認められなかった。800ppm 非順化区でも幼生の腕長は対照区と有意な差は見られなかったが、個体間の変動が大きかった。一方、1,600ppm 非順化区では、対照区および 800ppm 順化区に比べて腕長が有意に低下した (図 1)。また、8 腕期プルテウス幼生のウニ原基形成率とその後に変態した稚ウニの殻径はいずれも対照区、800ppm 順化区、800ppm 非順化区の順に高い値を示した (図 2)。

受精後 17 日目における幼生の RNA-seq 解析を行い各実験区の類似度を調べた結果、800・1,600ppm 順化区は、対照区と 800・1,600ppm 非順化区とは別のクラスターを形成し (図 3) また、順化区で特異的に発現変動している遺伝子も複数抽出された。以上から、キタムラサキウニでは、初期発育における酸性化影響は、800ppm でウニ原基の形成率の低下や稚ウニ殻径の小型化が生じ、1,600ppm で腕長の短化に顕れることが明らかとなった。これらの影響は、非順化区よりも順化区の方が小さいため、酸性化環境を経験した親の子世代ではその影響が軽減される可能性が示唆された。また、遺伝子発現レベルでも酸性化環境に対する順化が生じていることが示唆された。

(2) コクビミドリイシ

コクビミドリイシ幼生の飼育は、4 つの異なる二酸化炭素分圧 (350、500、660、820ppm) で行い、温度と塩分濃度は異なる二酸化炭素分圧で同じとした。異なる二酸化炭素分圧間で、幼生の生存率、着底・変態率に有意差はなかった。

コクビミドリイシ初期ポリプの飼育は、4 つの異なる二酸化炭素分圧 (400、600、800、1,000ppm) で行い、温度と塩分濃度は異なる二酸化炭素分圧で同じとした。初期ポリプの投影面積は実験開始時には全処理区でほぼ同じであり、実験開始後 14 日までは処理間で有意差はなかったが、開始後 21 日に 400ppm の面積が 1,000ppm よりも有意に大きく、実験終了時の 28 日後には 400 と 600ppm の面積が、1,000ppm よりも有意に大きくなった (図 4。実験開始後 21 日で $p < 0.05$ 、28 日で $p < 0.01$ [ANOVA] Fisher LSD による多重比較の結果を図中に示した。各処理で $n = 68 \sim 108$)。初期ポリプの投影面積で評価した成長には処理間で有意差が認められたが、出芽数には実験期間中処理間で有意差はなかった。*Acropora* sp.1 の初期ポリプの RNA-seq を行った結果、処理区間で遺伝子発現パターンが異なる傾向が観察された。初期ポリプ飼育開始時 (図 4 の Day 0、図 5 の Initial) と 28 日後に、暗条件で褐虫藻込みの呼吸量を測定したところ、飼育開始時と 28 日後の 400 および 600ppm 間に有意差はなかったが、ポリプの投影面積が有意に小さかった高い二酸化炭素分圧 (800 および 1,000ppm) で、呼吸量がそれら以外よりも有意に高かった (図 5。 $p < 0.05$ 、ANOVA。Fisher LSD による多重比較の結果を図中に示した。各処理で $n = 5 \sim 12$)。初期ポリプの投影面積が有意に小さか

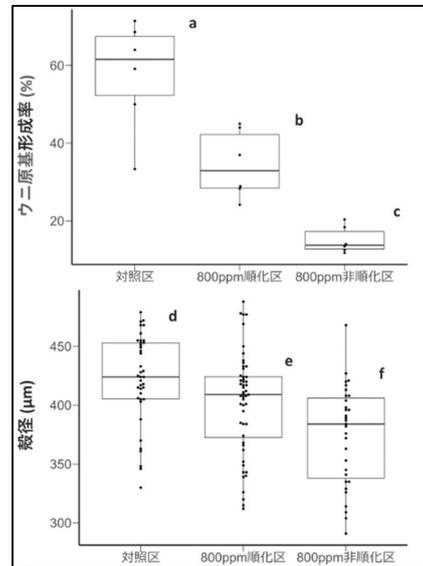


図 2: キタムラサキウニ 8 腕期幼生のウニ原基形成率および稚ウニ殻径。異なるアルファベットは有意差があることを示す (ウニ原基形成率: GLM (binomial) with likelihood-ratio and Tukey test、殻径: GLM (Gamma) with likelihood-ratio and Tukey test)。

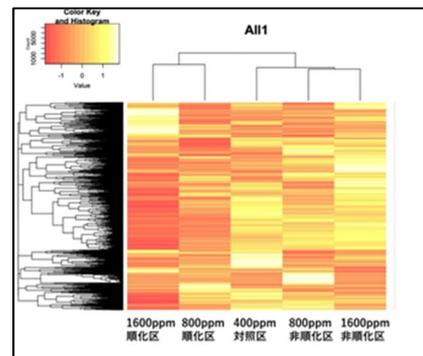


図 3: 受精後 17 日目のキタムラサキウニプルテウス幼生における遺伝子発現量のヒートマップ図。

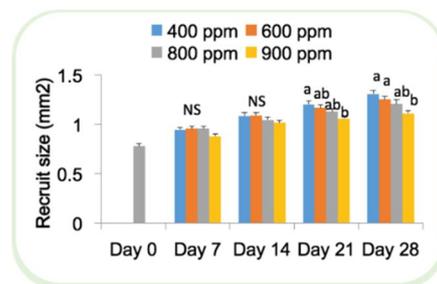


図 4: 異なる二酸化炭素分圧におけるコクビミドリイシ初期ポリプの投影面積。NS は処理間で有意差なし、小文字のアルファベットは処理間で有意差があり、同じアルファベットは多重比較で差がなかったことを示す。

った高い二酸化炭素分圧処理で呼吸量が有意に高かったことは、高二酸化炭素濃度による石灰化の低下に対応するためにサンゴ宿主の代謝が高まっていることや、または高二酸化炭素濃度により共生する褐虫藻の代謝が増加し、サンゴと褐虫藻込みの呼吸量が増加した可能性が考えられた。

先行課題では、海洋酸性化が褐虫藻と共生しないココビミドリイシ幼生の呼吸量を低下させ、着底・変態率を下げることを示唆されているが（Nakamura et al., 2011）、本研究の結果は褐虫藻と共生することによって、サンゴと褐虫藻共生体を受ける酸性化の影響が変化することを示唆し、酸性化のサンゴ世代交代に及ぼす影響が複雑である一端が明らかとなった。

(3) アマノガワテンジクダイ

産卵実験の結果、全ての実験区で産卵が認められ次世代を生産した。産卵回数および産卵間隔に二酸化炭素濃度の違いによる顕著な影響は確認されず、二酸化炭素濃度が1,200ppmまで上昇しても、アマノガワテンジクダイの繁殖には酸性化の影響が及ばないことが示唆された。この結果は、先行課題の第0世代および第1世代の結果と同様であった。

急性毒性実験の結果を図6に示した。第3世代の稚魚では、50,000ppmへの再曝露では、曝露72時間後まで、全ての実験区でほとんどの個体が生存した。70,000ppmへの再曝露では、48時間後までに、1,200ppm区で産出された稚魚のみで斃死が認められた。90,000ppmへの再曝露では、850ppm区産出稚魚の生残率が一番高く、対照区産出稚魚、1,200ppm区産出稚魚の順で生残率は低下した。先行課題の第1世代および第2世代と本研究の第3世代の稚魚の急性毒性実験の結果から、72時間曝露半数致死二酸化炭素濃度を求めた結果、全ての世代で850ppm区産出稚魚の値が高かった（表1）。従って、アマノガワテンジクダイは、850ppmの二酸化炭素濃度下において酸性化環境に対する耐性が向上し、1回の世代交代で順化・適応する可能性が推察された。なお、デジタルPCRによる熱変性タンパク質HSP70の発現定量の結果、対照区で飼育したサンプルと比べて明瞭な差異は見られなかった。

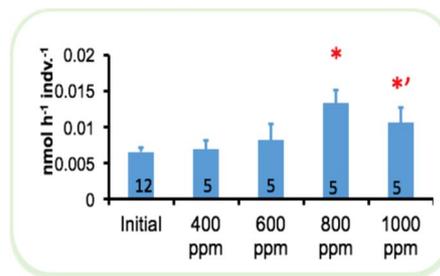


図5：異なる二酸化炭素分圧におけるココビミドリイシ初期ポリプの暗条件下での呼吸量。Initialは図1のDay 0、それ以外はDay 28の初期ポリプの測定結果。アスタリスクは他よりも呼吸量が有意に高く、アスタリスク間には有意差がないことを示す。バー内の数字はnを示す。

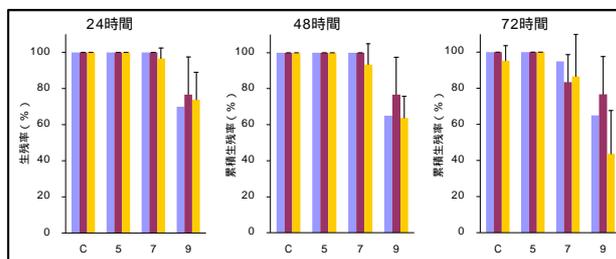


図6：アマノガワテンジクダイの第3世代稚魚を用いた急性毒性実験の結果。縦軸は生残率(%)または累積生残率(%)、横軸は再曝露時の二酸化炭素濃度(×10⁴ppm、Cは対照区)を示す。水色が対照区稚魚、えんじ色が850ppm区稚魚および黄色が1,200ppm区稚魚を示す。

表1：急性毒性実験により推定された全世代の稚魚の72時間曝露半数致死二酸化炭素濃度(ppm)。

	対照区	850ppm区	1,200ppm区
第1世代	79,154	91,038	73,796
第2世代	82,727	84,061	61,345
第3世代	89,780	94,155	83,757

※72時間曝露半数致死二酸化炭素濃度の算出には、ロジットモデル(フリーソフトウェアR上でプログラムパッケージdrc)を使用した。表の値は3回の試行の平均値(対照区稚魚のみ2回)。

引用文献

Bahr et al. (2016) Coral Reefs 35: 729–738. Gilbert et al. (2023) Sci. Adv. 8: eabl9653. Manullang et al. (2023) Mar. Environ. Res. 188: 106030. Mollica et al. (2018) Proc. Natl. Acad. Sci. 115: 1754–1759. Nakamura M et al. (2011) PLoS ONE 6: e14521. Sekizawa et al. (2017) Mar. Pollut. Bull. 122: 282–287. Ries (2011) J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 403: 54–64. Ross et al. (2016) ICES J. Mar. Sci. 73: 537–549.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 木村量・高見秀輝・鬼塚年弘・小笠恒夫・野尻幸宏	4. 巻 NMFS-F巻/SPO-222巻号
2. 論文標題 Effects of ocean acidification on the early developmental stages of the commercially important gastropods, Ezo abalone and horned turban, in Japan.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 46th U.S.-Japan Aquaculture Panel Symposium, NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-222	6. 最初と最後の頁 68-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishizu, M., Miyazawa, Y., Tsunoda, T., and Ono, T	4. 巻 16
2. 論文標題 Ocean acidification trends in coastal waters in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 4747-4763
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/bg-16-4747-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Sastri, A., Christian, J.R., Achterberg, E.P., Atamanchuk, D., Buck, J., Bresnahan, P., Duke, P.J., Evans, W., Gonski, S.F., Johnson, B., Juniper, K., Mihaly, S., Miller, L.A., Morley, M., Murphy, D., Nakaoka, S.-i., Ono, T., Parker, G., Simpson, K., and Tsunoda, T.	4. 巻 6
2. 論文標題 Perspectives on in situ sensors for ocean acidification research	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 653-653
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmars.2019.00653	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 高見秀輝	4. 巻 73
2. 論文標題 海洋酸性化のアワビ・ウニへの影響予測	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 FRA NEWS	6. 最初と最後の頁 18-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高見秀輝・村岡大祐・井上麻夕里・小埜恒雄・井口亮・松本有記雄
2. 発表標題 酸性化環境を経験したキタムラサキウニを親とする子世代の初期発育における環境応答
3. 学会等名 令和5年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北山紗也佳・中井省悟・宮井里紀・高見秀輝・村岡大祐・野尻幸宏・井上麻夕里
2. 発表標題 Variations of the growth and Mg/Ca ratios in sea urchins (<i>Mesocentrotus nudus</i>) cultured under the long-term acidification experiment.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高見秀輝・村岡大祐・藤田大和・井上麻夕里・松本有記雄・小埜恒夫・藤井賢彦
2. 発表標題 キタムラサキウニにおける海洋酸性化の世代間影響
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井口亮・林正裕・依藤実樹子・西島美由紀・鈴木淳・村岡大祐・高見秀輝・小埜恒夫
2. 発表標題 熱帯性魚類のストレス応答の分子基盤の解明ーアマノガワテンジクダイをモデルとしてー
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田大和・村岡大祐・高見秀輝・ベルナルド ローレンス・小埜恒夫・藤井賢彦
2. 発表標題 海洋酸性化がキタムラサキウニ幼生へ及ぼす影響
3. 学会等名 第6回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高見秀輝・鬼塚年弘・村岡大祐・松本有記雄・中坪あゆみ・馬場 将輔・野尻幸宏
2. 発表標題 高二酸化炭素濃度下で培養された無節石灰藻 エンジ イシモ類のエゾアワビ浮遊幼生に対する変態誘起効果
3. 学会等名 2019年度水産海洋学会研究発表大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村岡大祐・高見秀輝・井上麻夕里
2. 発表標題 海洋酸性化がウニ類の成長に及ぼす影響
3. 学会等名 第5回宮古地域水産シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Christian, T. Ono
2. 発表標題 PICES special publication "ocean acidification and deoxygenation in the north pacific ocean": information exchange with social sectors
3. 学会等名 4th GOA-ON International workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 J. Christian and T. Ono (Ed)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 PICES Press	5. 総ページ数 116
3. 書名 Ocean Acidification and Deoxygenation in the North Pacific Ocean	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林 正裕 (Hayashi Masahiro) (20444870)	公益財団法人海洋生物環境研究所・海生研実証試験場・研究員 (82678)	
研究分担者	井上 麻夕里 (Inoue Mayuri) (20451891)	岡山大学・自然科学学域・教授 (15301)	
研究分担者	村岡 大祐 (Muraoka Daisuke) (30371800)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(長崎)・グループ長 (82708)	
研究分担者	小埜 恒夫 (Ono Tsuneo) (40371786)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・主幹研究員 (82708)	
研究分担者	酒井 一彦 (Sakai Kazuhiko) (50153838)	琉球大学・熱帯生物圏研究センター・教授 (18001)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井口 亮 (Iguchi Akira) (50547502)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関