

令和元年6月17日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2014～2018

課題番号：26220102

研究課題名(和文) 海洋酸性化の沿岸生物と生態系への影響評価実験

研究課題名(英文) Experimental studies of ocean acidification impact on coastal marine organisms and ecosystem

研究代表者

野尻 幸宏 (Nojiri, Yukihiko)

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10150161

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 149,900,000円

研究成果の概要(和文)：沿岸海洋生物の海洋酸性化影響を将来シナリオが予測するCO₂濃度範囲を含めて実験した。わが国沿岸のサンゴ、二枚貝、ウニなどの種の影響評価実験と、特に昇温影響を受けるサンゴについて温暖化との複合影響評価を行った。アワビ幼生のCO₂濃度日周変動を含む実験では閾値を越す度合の積算が影響する、沖縄のサンゴ種では酸性化と温暖化の両方が石灰化に影響するなどの知見を得た。生態系影響評価としてCO₂濃度調整水槽への加入実験を行い、加入生物の炭酸殻のMg/Ca比に酸性化の影響が現れる結果を得た。魚類の再生産実験では魚種による酸性化への応答の違いが見られ、世代交代の早い魚種の継代飼育実験から順化の評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋生物の海洋酸性化影響評価が比較的高いCO₂濃度範囲の影響実験で行われてきたのに対し、将来シナリオが予測する起こりうる濃度範囲を中心とした評価が重要であることが認識されるようになった。これはIPCC第5次評価報告書などでの議論を受けたものである。本課題では、今世紀に起こりうるCO₂濃度範囲を含む海洋酸性化影響評価の正確な実験が可能な装置の運用技術確立し、西部太平洋の亜熱帯から亜寒帯に位置するわが国周辺の重要種の海洋酸性化影響評価を行った。海洋酸性化影響評価としてより高度な実験が必要な、種の再生産への影響評価や沿岸生態系への影響評価に向け、方法開発と応用を行った。

研究成果の概要(英文)：Impacts of ocean acidification for coastal species were evaluated including the CO₂ ranges, expected by the emission scenarios under possible future socio-economic conditions. Ordinary corals, bivalves, and sea urchins inhabiting in Japanese coastal areas were tested and additional tests with increased water temperature were carried out for corals. Impacts for larval shell formation of Ezo abalone showed relationship with integration of exceedance of concentration from a critical value and exposure time. For two coral species of Okinawa, additive impacts of acidification and water temperature increase were observed. Recruitment experiment into the CO₂ concentration adjusted tanks were carried out for evaluation of ecosystem impact of acidification and change of Mg/Ca ratio in shell carbonate in accordance with acidification were observed. Difference in reproduction impacts for two fish species was observed. Acclimation test of a fish species was experimented during subculture process.

研究分野：大気水圏地球化学、気候変動

キーワード：二酸化炭素 海洋酸性化 沿岸生物 石灰化 生態系影響 飼育実験 サンゴ 水産有用種

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国連は気候科学の専門家に協力を求め IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 評価報告書として中立な立場で気候科学の知見を集約・評価してきた。第 5 次評価報告書(AR5)では、海洋表層の平均的 pH は排出抑制があまり進まない将来シナリオでは 2100 年頃までに工業化以前より 0.3 程度低くなるとされた。大気 CO₂ 濃度増加はすなわち海洋酸性化(海水中 CO₂ 濃度の上昇・pH 低下)の進行を意味する。気候変動影響は、気温上昇とそれによる気象現象の変化や海面上昇などを通して生じる。一方で海洋酸性化影響は海水中 CO₂ がもたらす現象なので、大気 CO₂ 濃度に応じて表層海水の化学的指標が変化して生物の感受性に応じた影響が現れる。気候変動影響が発現する大気 CO₂ 濃度予測は複雑であるが、大気 CO₂ 濃度に応じて生じる海洋酸性化は直接的な CO₂ 濃度影響である。これまで、海洋酸性化の生物影響評価は実験の容易な CO₂ 濃度 1000 ppm かより高濃度で行われることが多かったが、本課題代表者も加わった IPCC AR5 作成などで、現実的将来シナリオのもとで何が起こるかを示すべきという認識が進んだ。種レベル影響評価を進めることは今後も重要ではあるが、より低濃度での影響評価やより複雑な生態系影響を考える必要となる。本課題では IPCC の今後の報告書等に貢献することを念頭に置き、CO₂ 濃度 1000ppm 程度より低い濃度範囲を含む生物種の影響評価、海洋酸性化と温暖化の複合影響評価、知見の少ない生態系影響評価の実施に重点を置いた。

2. 研究の目的

人為起源 CO₂ がもたらす海洋酸性化の沿岸海洋生物への影響を種レベルと生態系レベルで明らかにする研究を、わが国の沿岸生物を主たる対象として行う。工業化以前の海洋表層 CO₂ 濃度から想定しうる近い将来 CO₂ 濃度変化がもたらす影響を明らかにする。実験はこれより濃度範囲を広げ、正しく CO₂ 濃度を制御した海水で生物を飼育し影響を評価する。わが国の亜熱帯から亜寒帯にかけての臨海施設を活用する。これまでに開発した屋内および屋外型の海水 CO₂ 濃度制御系を用いて種レベルの影響評価を行う。加えて、種の再生産実験、生物の加入・定着実験、種間相互作用実験などから生態系レベルの海洋酸性化影響評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 屋内型 CO₂ 濃度制御装置による海洋酸性化影響評価実験

屋内型 CO₂ 濃度制御装置では、海水に CO₂ 濃度を調整した空気を吹き込んで CO₂ 濃度を制御し、CO₂ 濃度を精密計測してから飼育海水として供給する。海水流量は比較的少ないが、小型個体や幼生の飼育実験を行うことができる。琉球大学瀬底研究施設(以下、瀬底施設)と東北区水産研究所宮古支所(以下、宮古施設)に設置し、小型生物の飼育によって海洋酸性化影響の評価を行った。瀬底施設では、サンゴの石灰化率や光合成活性に及ぼす海洋酸性化の影響評価実験を、沖縄のサンゴ礁における普通種を対象に実施した。海洋酸性化と温暖化(水温上昇)の複合影響を評価するため、海水 CO₂ 濃度または水温のみを上げる実験と両方を同時に上げる実験を実施した。また、海洋酸性化影響によるサンゴ種内変異の有無も検証した。宮古施設では石灰化生物の石灰化と成長への海洋酸性化影響を日周変動も考慮して評価する実験として、海水 CO₂ 濃度上昇と日周変動がエゾアワビ幼生の生残、幼殻形成に及ぼす影響を評価した。

(2) 大容量型 CO₂ 濃度制御装置による海洋酸性化影響評価実験

大容量水槽で CO₂ 濃度制御が可能な実験系は、海洋生物環境研究所柏崎実証試験場(以下、柏崎施設)で運用した。海水に CO₂ を吹き込んで高濃度 CO₂ 海水を作り定量送液ポンプで原海水と一定比率に混合し CO₂ 濃度調整海水を得る。6 水槽の CO₂ 濃度を常時計測するので、簡易型装置より精密に CO₂ 濃度変化が記録される。大きな水深が必要なマダイの繁殖行動の実験のために 10t 水槽の CO₂ 濃度制御系を準備し、繁殖への海洋酸性化影響評価及び海洋酸性化と温暖化の複合影響評価実験を行った。また、日本沿岸の北上サンゴ種と二枚貝について高水温・高 CO₂ 濃度条件下の生育を評価する実験を実施した。さらに、世代交代が 10 か月程度と特に短い実験魚種(*Pterapogon kauderni*、スズキ目)を用い、一貫した CO₂ 濃度調整下で再生産を繰り返し、海洋酸性化に対する順化・適応の可能性を評価する実験を実施した。

(3) 屋外簡易型 CO₂ 濃度制御装置による海洋酸性化影響評価実験

小型 CO₂ 分圧計測装置を利用し、平衡器自動切替器と組合せて屋外水槽(200L 規模)で 5 段階の CO₂ 分圧制御を簡易な設備で可能とした。大容量水槽から小水槽に配水して多種の生物を別々の区画で同時に飼育でき、影響評価実験が効率化された。本課題では、瀬底施設、柏崎施設、宮古施設(ただし屋内設置)に、200L タンクスケールの装置を設置した。実験は屋外光条件で行うことができるが、屋内設置では LED を用いた光条件調整機能を持たせた。瀬底施設では海洋酸性化がサンゴの有性生殖に及ぼす影響を評価した。宮古施設では、ウニ類を幼体から成体に成長するまで異なる CO₂ 濃度段階で飼育し、長期の影響評価実験を実施した。また、国内 4 箇所(宮古、柏崎、白浜、瀬底)に設置した屋外型簡易 CO₂ 制御装置で統一した生物加入実験を試みた。本稿における海水中 CO₂ 濃度制御の記述では、単位を海水中分圧の単位 μatm で表した。海水中分圧とその海水に平衡な空気の CO₂ 濃度(分率) ppm 値はほぼ等しい。

4. 研究成果

(1) 屋内型 CO₂ 濃度制御装置による海洋酸性化影響評価実験

沖縄で普通に見られる 2 種のサンゴ(コクビミドリイシとエダコモンサンゴ)を対象に、4 段階濃度(400, 600, 800, 1000 μatm)の酸性化海水暴露実験を行い、海洋酸性化がサンゴの石灰化、褐虫藻密度、クロロフィル濃度、光合成活性に及ぼす影響を種間比較した。両種とも海洋酸性化の程度が高まって光合成活性等は有意には変化しなかったが、石灰化率は有意に減少し、後者でより減少率が高かった。また CO₂ と水温を独立および同時に高める(400 と 1000 μatm 、正常水温と +3) 実験では、両種とも石灰化率が高 CO₂ と高水温条件で有意に低くなったが、海洋酸性化と温暖化を同時に起こした際に起こった石灰化の減少率は、それぞれを単独で起こした減少率に対し相加的であり、両者の相乗的効果は認められなかった。

沖縄で普通に見られる 2 種のサンゴ(エダコモンサンゴ、ユビエダハマサンゴ)のサンゴ片を、400 及び 900 μatm の CO₂ 濃度海水を供給した水槽で飼育し、石灰化率と光合成活性の変化から海洋酸性化応答の種間・種内比較を行った。サンゴ片を採取する群体数を従来研究よりも増やして応答の種内変異を明らかにした。両種とも高い CO₂ 濃度で石灰化率と光合成効率が低下するものの、種内でその応答は顕著に異なりほとんど石灰化の低下が見られない群体も存在した。これは同種内に耐性が異なる遺伝子型が存在することを意味し、海洋酸性化の進行に応答してサンゴ集団に進化的変化が起こる可能性が示唆された。一方同様の実験を別種の枝状サンゴ(ショウガサンゴ)で実施したところ、この種は石灰化率と光合成効率ともに高い CO₂ 濃度海水中でもあまり低下せず、海洋酸性化の影響を受けにくいと考えられた。また瀬底施設では、沖縄で普通に見られる 2 種のサンゴ(コクビミドリイシ、ハナヤサイサンゴ)を材料として、酸性化海水がこれらサンゴの幼生に及ぼす影響も検討した。これら幼生を前述の海水 CO₂ 濃度 4 段階で飼育し、生存率と定着率を比較した。その結果幼生の生存率と定着率は、海洋酸性化の影響を受けないことが明らかとなった。一方、これら初期ポリプを上記 4 段階で飼育したところ、初期ポリプの成長は高い CO₂ 濃度条件で減少し、呼吸量が高い CO₂ 濃度条件で増加した。これらのことから海洋酸性化は、サンゴ初期ポリプの代謝を増加させ、成長に負の影響を及ぼすことが示唆された。

宮古施設では、海水中 CO₂ 濃度の日周変化影響を評価した。飼育海水の CO₂ 濃度を一定にした水槽と日周変動させた水槽でエゾアワビ幼生を飼育し、3 日後の生残率、奇形率、幼殻長を比較した。両条件とも海水 CO₂ 濃度が高くなるほど死亡率、奇形率が上昇し、幼殻長が減少する傾向が認められた。450, 800, 800 \pm 400 μatm 区では、対照区と比べて死亡率、奇形率、幼殻長に差は認められなかったが、1200, 1200 \pm 400 μatm 区では奇形率、幼殻長に有意差が認められた。1200 \pm 400 μatm 区では 1200 μatm 区より負の影響が強かった。結果から 1000~1300 μatm の範囲にエゾアワビの幼殻形成にマイナスの影響を及ぼす CO₂ 濃度の閾値が存在し海水 CO₂ 濃度が閾値を超えた時間と超過濃度の積の積算値が影響の程度に寄与した(図 1)。

屋内型 CO₂ 濃度調整装置による研究から、将来の低 CO₂ 濃度レベルでの影響は小さく高 CO₂ 濃度レベルで影響が顕在化する海洋生物種が多いことが確認された。

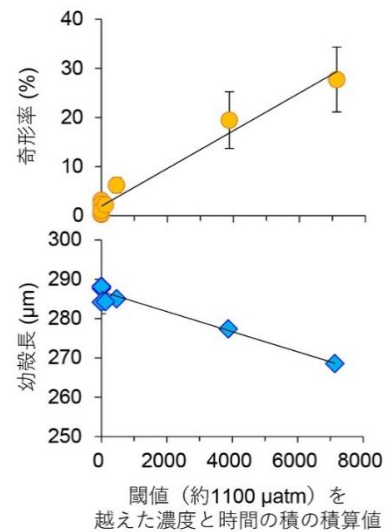


図 1 エゾアワビ浮遊幼生を海水 CO₂ 濃度が日周変動する環境で飼育した際の 1100 μatm を越えた濃度と時間の積と奇形率および幼殻長の関係。

(2) 大容量型 CO₂ 濃度制御装置による海洋酸性化影響評価実験

一般的に魚類は CO₂ に対する急性毒性レベルが高いが、シロギスの繁殖実験では再生産過程においても海洋酸性化への強い耐性が明らかになった。ただし、海洋酸性化と温暖化の複合実験では、シロギスの繁殖は海水の酸性化及び水温上昇に対し過度に敏感ではないが、早期卵発達あるいは産卵した配偶子に対して海洋酸性化と高水温が相乗的に影響を及ぼし得ると示唆された。そこで生態学的特性が異なるマダイの繁殖に対する海洋酸性化影響及び海洋酸性化と温暖化の複合影響評価を行った。魚類では CO₂ 影響が表れる濃度が高いことを踏まえ実験海水の CO₂ 濃度は 450-570 μatm (対照区自然海水)、1000 μatm 及び 2000 μatm の 3 段階に設定し、各実験水槽に親魚複数対を収容して数週間ばく露した。1000 μatm 区と 2000 μatm 区で平均産卵数と孵化率に影響が現れた。シロギスでは 2000 μatm の CO₂ 濃度条件で孵化に影響がなかったことから、マダイの酸性化に対する感受性は、シロギスより高いことが示唆された。

マダイの繁殖に与える海洋酸性化と高水温の複合影響評価を同様の産卵実験で行った。実験条件として、対照区(自然海水)、昇温区(対照区水温 + 2)、高 CO₂ 濃度区(2000 μatm)及び複合区(対照区水温 + 2、2000 μatm)を設け、各実験水槽に親魚(雄雌各 6 対)を収容して 3 週間ばく露した。ばく露後、水温と CO₂ 濃度を上昇させた実験区は、水温と CO₂ を対照区と同じにまで戻し 1 週間経過観察した。ばく露後、複合区の産卵数が対照区と比較して有意に減少した。減少した複合区の産卵数は、ばく露終了後も回復することはなかった。さらに、ばく露終了後、昇温区の産卵数が大きく減少した。受精卵の正常発生率は、ばく露後、昇

温区において、対照区よりも有意に低下した。そして、低下した昇温区の正常発生率は、ばく露終了後も回復することはなかった。複合区の正常孵化率が最も低かったものの、対照区と比較して有意ではなかった(図2)。マダイの繁殖は温暖化により負の影響を受け、海洋酸性化と高水温が相乗的に影響を及ぼし得ることが示唆されたが、影響の程度の見積りは困難であった。

アカガイ、ウバガイの2種について海洋酸性化の体成長や殻成長への影響を評価した。アカガイは酸性化条件下でも殻成長・体成長ともに有意な変化はみられなかった。一方、ウバガイは酸性化が進行するほど殻の厚みが薄くなる傾向がみられ、種による海洋酸性化耐性の相違が顕著だった。さらに、飼育期間に成長した殻の炭酸塩の炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)は、ウバガイで海水中溶存無機炭素の炭素同位体比をより強く反映した。これは相対的にウバガイの石灰化部位(外套膜外液)に周囲海水が浸入しやすいことを示唆し、外套膜外液のpHが低下して石灰化量の減少が起きた可能性が考えられる。炭酸塩殻の炭素同位体比を指標に貝類の海洋酸性化に対する石灰化機能の耐性を評価できる可能性があることが分かった。

温帯性サンゴの海洋酸性化影響として、九州天草海域から採取されたスギノキミドリイシとハマサンゴ属のサンゴについて、水温23℃、CO₂濃度4段階(対照区, 750, 1200, 2000 μatm)での約1ヶ月の飼育実験では、比較的高いCO₂濃度区まで(~1200 μatm)顕著な骨格成長の低下は認められなかった。スギノキミドリイシでは、群体間の骨格成長速度に種内変異が大きく、また海洋酸性化応答にも差異があることが示唆された。高いCO₂濃度区(2000 μatm)では、スギノキミドリイシとハマサンゴ属共に骨格成長が低下する傾向が見られた。

海洋酸性化に対する生物の順化・適応の可能性を調べるために、世代交代の早い魚種を用いて酸性化環境における継代飼育実験を実施中である。熱帯性のテンジクダイ科魚類 *P. kauderni* の第0世代(親世代)を3段階のCO₂濃度(対照区約530 μatm , 850 μatm 区, 1200 μatm 区)に設定した海水でペア飼育し、産卵実験(産卵の有無、産卵回数及び産卵間隔を確認)を行った。産卵実験で産出された稚魚(第1世代)が成熟したら、第2世代の生産を開始すると共に、第0世代と同様の産卵実験を行った。また、産卵実験で産出された第1世代及び第2世代の稚魚の一部を用いて急性毒性実験を行うところまで進出した。これまでの結果からは、海洋酸性化環境に対する *P. kauderni* の耐性が、1回の世代交代で獲得されるのではなく、世代交代を繰り返すことにより徐々に固定化される可能性が推察された。

大容量型CO₂濃度調整装置による研究では、魚類の海洋酸性化影響に関する新しい知見を見出した。海洋酸性化への感受性が高い貝類について影響メカニズムの解明の手法を見出した。

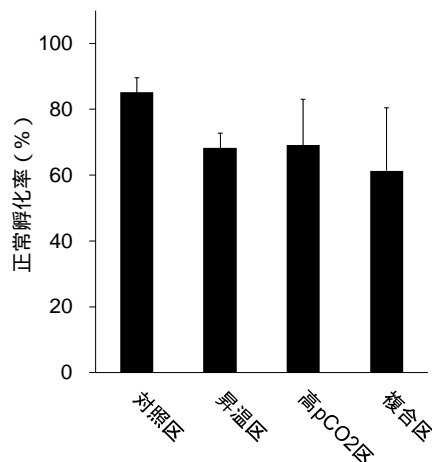


図2 マダイの海洋酸性化・高水温複合影響評価実験における正常孵化率、縦軸は正常孵化率(%), 横軸は各実験区を示す。

(3) 屋外簡易型CO₂濃度制御装置による海洋酸性化影響評価実験

瀬底施設では、成熟したハナヤサイサンゴをCO₂濃度400および1000 μatm で半年間飼育し、海洋酸性化がハナヤサイサンゴの有性生殖(幼生保育)に及ぼす影響を検討した。その結果、海洋酸性化はハナヤサイサンゴの幼生放出数、幼生の生存率・定着率に大きな影響は及ぼさないことが明らかとなった。

亜寒帯沿岸域の主要な植食動物であるエゾバフンウニとキタムラサキウニについて、異なるCO₂濃度下(300 μatm , 対照区原海水(400 μatm 前後), 700 μatm , 1000 μatm , 2000 μatm)で幼体から成体まで(エゾバフンウニ: 8ヶ月間、キタムラサキウニ: 26ヶ月間)飼育し、この間の成長速度、摂餌量等を比較した。エゾバフンウニでは1000 μatm 以上の濃度区で体重の日間成長量が対照区と比較して有意に低かった。300および700 μatm の濃度区では対照区と比較して有意差は無かったものの日間成長量は対照区より低下する傾向があった。飼育終了後、棘の微細構造を電子顕微鏡で観察した結果、1000 μatm 以上の濃度区では微細構造が失われ表面に溶解したような痕跡が認められた。2000 μatm では表面の繊維状の規則的な構造が乱れ、明らかな変形が観察された。これらのことから、高濃度区での成長速度低下の要因に殻の形

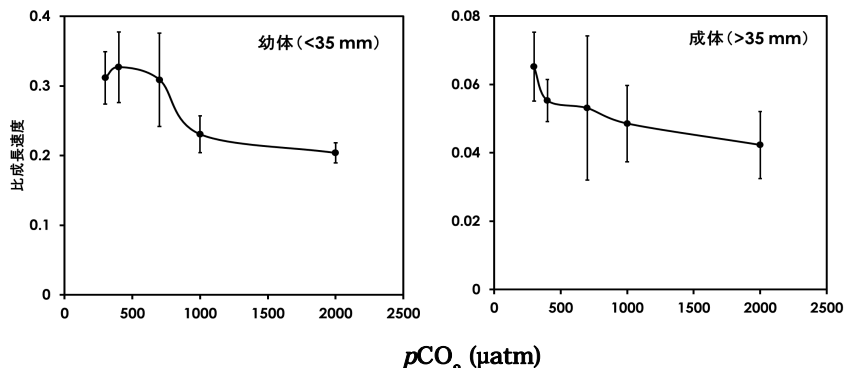


図3 キタムラサキウニ幼体および成体を異なるCO₂濃度で飼育した際の相対成長速度

成阻害や溶出が示唆された。キタムラサキウニは殻経 35 mm から成熟し始めるので、幼体と成体に分類できる。幼体と成体それぞれで各濃度区の比成長速度を比較すると、幼体では 300, 400, 700 μatm の比成長速度が 1000, 2000 μatm よりも有意に高かった。一方、成体では高い濃度区ほど比成長速度平均値が低下する傾向が見られたが、濃度区間の有意差は認められなかった(図 3)。以上から、キタムラサキウニ幼体では、エゾバフンウニと同様に 1000 μatm 以上で成長に影響が始められるが、成体に成長すると影響が軽減される可能性が示唆され、発育段階で海洋酸性化影響の応答が異なると考えられた。キタムラサキウニの長期間飼育では、定期的に各個体から棘を数本採取し、化学分析(Mg/Ca 比、Sr/Ca 比)を行った。棘試料は表面の有機物を除去した後に荒く砕いて粉末試料とした。個体差による誤差はあるが CO_2 濃度と棘の Mg/Ca 比に明瞭な正の相関関係が認められた。これはエゾバフンウニでも見られた傾向で、ウニの棘を構成する方解石は Mg 含有量が増加すると溶解度が上昇するので、高 CO_2 濃度環境下で成長したウニの棘は対照区に比べて溶解しやすい。キタムラサキウニの棘の方が Mg/Ca 比が 1.5 倍程度高く、キタムラサキウニの方が海洋酸性化に脆弱な可能性が示唆された。

生物加入実験では、瀬底施設と柏崎施設で約半年間の継続実験を実施した。5 台の実験水槽をアルカリ添加区(約 300 μatm)、対照区(原海水)、700 μatm 、1000 μatm 、2000 μatm CO_2 濃度調整区とし水温は調整しなかった。一つの濃度区に 3 つの実験水槽を設置し、各実験水槽の塩ビ板を回収して有機炭素・無機炭素、窒素含有量、C/N 比を測定した。また、炭酸塩中の Mg/Ca 比及び Sr/Ca 比の測定を行った。さらに粉末試料の X 線回折分析から結晶相の同定を行った。2 施設共に CO_2 濃度増加に伴い付着生物の有機炭素/無機炭素比が減少する傾向が認められた。瀬底施設では、アルカリ添加区、対照区、700 μatm 区、2000 μatm 区の間に有意差が認められた。同様の傾向は柏崎施設でも認められ、 CO_2 濃度増加に伴い、付着生物の無機炭素含有量が減少し、石灰化生物の減少が示された。また、 CO_2 濃度増加とともに炭酸塩中の Mg/Ca 比が上昇する傾向が見られ、特に瀬底施設で顕著であった。柏崎施設では、方解石中の Mg 量が CO_2 濃度の増加に伴って減少する傾向が見られ、海洋酸性化に脆弱なあられ石や Mg 方解石が選択的に減少したものと考えられた。一方瀬底施設では炭酸塩成分の Mg/Ca 比が CO_2 濃度増加に伴って増加傾向を示した。ドロマイト($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)は方解石に比べて水に溶けにくい鉱物で高 CO_2 濃度海水にも溶けにくい。ドロマイトは方解石やあられ石に比べて Mg 含有量が高く 2000 μatm と特に CO_2 濃度が高い条件下で、海水温の高い瀬底施設の方が柏崎施設に比べて炭酸塩成分の Mg/Ca 比が高かった結果とも整合的である。

屋外型簡易 CO_2 濃度制御装置は、海洋酸性化の影響を評価する実験に簡易に導入できる装置であり、その有効性が明らかになった。海洋酸性化への感受性比較的高いウニについて 2 年を越す長期飼育実験から幼体と成体に影響の相違があることを明らかにする重要な成果を得た。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 15 件)

Nishida, K., Hayashi, M., Yamamoto, Y., Irie, T., Watanabe, Y., Kishida, C., Nojiri, Y., Sato, M., Ishimura, T., and Suzuki, A., Effects of elevated CO_2 on shell ^{13}C and ^{18}O content and growth rates in the clam *Scapharca broughtonii*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 235, 246-261 (2018). DOI:10.1016/j.gca.2018.05.030 査読有

Onitsuka, T., Takami, H., Muraoka, D., Matsumoto, Y., Nakatsubo, A., Kimura, R., Ono, T., and Nojiri, Y., Effects of ocean acidification with pCO_2 diurnal fluctuations on survival and larval shell formation of Ezo abalone, *Haliotis discus hannai*, *Marine Environmental Research*, 134, 28-36 (2018). DOI: 10.1016/j.marenvres.2017.12.015 査読有

Sekizawa, A., Uechi, H., Iguchi, A., Nakamura, T., Kumagai, N. H., Suzuki, A., Sakai, K., and Nojiri, Y., Intraspecific variations in responses to ocean acidification in two branching coral species, *Marine Pollution Bulletin*, 122, 282-287 (2017). DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.06.061 査読有

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：林 正裕

ローマ字氏名：(HAYASHI, masahiro)

所属研究機関名：公益財団法人海洋生物環境研究所

部局名：実証試験場

職名：主査研究員

研究者番号(8桁)：20444870

研究分担者氏名：井上 麻夕里

ローマ字氏名：(INOUE, mayuri)

所属研究機関名：岡山大学

部局名：自然科学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)： 20451891

研究分担者氏名：酒井 一彦

ローマ字氏名：(SAKAI, kazuhiko)

所属研究機関名：琉球大学

部局名：熱帯生物圏研究センター

職名：教授

研究者番号(8桁)： 50153838

研究分担者氏名：高見 秀輝

ローマ字氏名：(TAKAMI, hideki)

所属研究機関名：国立研究開発法人水産研究・教育機構

部局名：東北区水産研究所

職名：グループ長

研究者番号(8桁)： 50371802

研究分担者氏名：井口 亮

ローマ字氏名：(IGUCHI, akira)

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：地質調査総合センター

職名：主任研究員

研究者番号(8桁)： 50547502

研究分担者氏名：鈴木 淳

ローマ字氏名：(SUZUKI, atsushi)

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：地質調査総合センター

職名：研究グループ長

研究者番号(8桁)： 60344199

研究分担者氏名：石田 明生

ローマ字氏名：(ISHIDA, akio)

所属研究機関名：常葉大学

部局名：社会環境学部

職名：教授

研究者番号(8桁)： 60359148

研究分担者氏名：中野 智之

ローマ字氏名：(NAKANO, tomoyuki)

所属研究機関名：京都大学

部局名：フィールド科学教育研究センター

職名：助教

研究者番号(8桁)： 90377995

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。