

平成21年 5月19日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号： 19540490

研究課題名 (和文) 地球温暖化による造礁サンゴ群集生息域の拡大

研究課題名 (英文) Expansion of hermatypic coral habitat due to climatic warming

研究代表者

中森 亨 (NAKAMORI TORU)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号： 00192229

研究成果の概要：

平成19年度には沖縄県石垣島と高知県で現生造礁サンゴ群集の観察と写真撮影を行い、そこに生息する造礁サンゴのリストを作成した。それを基に亜熱帯群集と温帯群集について検討した。

平成20年度には沖縄県石垣島、鹿児島県喜界島、高知県で現生造礁サンゴ群集のシュノーケリングによる観察と写真撮影を行った。同じ海域において、海水を採取し、海水の全炭酸と全アルカリ度、および、水温と光量子フラックスを測定した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000円	1,020,000円	4,420,000円

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位・古生物

キーワード：造礁サンゴ群集、亜熱帯、温帯、サンゴ礁地形、全炭酸、全アルカリ度、水温、種多様性

1. 研究開始当初の背景

造礁サンゴは熱帯・亜熱帯の貧栄養浅海域に多数生息していたが、様々な擾乱によって大量死滅を繰り返してきた。1980年代には沖縄から本州までの群集がオニヒトデの捕食によってほぼ全滅した。1990年代にはシロレイ

シガイダマシが四国で大発生し、サンゴに甚大な被害を与えた。その後、日本周辺の群集は次第に回復しつつあったが、1998年の白化現象によって90%が死滅した。このように学術的に貴重なサンゴ礁生態系は消滅の危機に度々瀕している。しかしながら、それを防ぐ

ための大学・研究所・政府レベルの対策については不十分と言える。その一つの理由として、造礁サンゴの生育、死滅と環境変化の間に有る因果関係が複雑で、単純な方法では解決不可能であることを挙げるができる。

近年の化石燃料消費によって大気二酸化炭素濃度が上昇し、地球の温暖化が深刻な社会問題となっている。海面上昇等人類への直接的な被害が懸念されているが、その影響は生態系に対しても深刻である。例えば、1998年には世界中の海水温も2℃ほど上昇し、造礁サンゴの白化現象が引き起こされた。沖縄などの亜熱帯海域においては、この現象によって枝状・卓状のミドリイシが死滅した。一方、暖帯海域では白化はそれほど深刻では無く、四国や紀伊半島などの海域では逆に近年造礁サンゴが増加したことが報告されている。このような事実は、従来熱帯に生息していたと思われる魚類や貝類が同海域で増加していることと調和的である。従って、厳しい環境変化の中でも、何らかの条件が適合すると急速に成長し、多くの子孫を残すことができるのがサンゴ群集の大きな特徴と言えよう。

2. 研究の目的

本研究では、今後も地球環境の温暖化が進行すると予測されるため、様々な擾乱の中で白化現象に特に注目した。どのような環境でサンゴが死滅、あるいは、増殖するのかを解明するため、亜熱帯海域と暖帯海域でここ数十年間の気温、水温、栄養塩濃度、海水のpH、全炭酸、アルカリ度等の地球環境に関わるデータを収集した。また、ここ数年のこれらの値を現地で得るため、ダイビングまたはシュノーケリングによって海水を採取し、同じ項目を測定した。特に、炭酸塩飽和度の低下などの大気二酸化炭素濃度上昇の影響を正し

く評価するためには、海水のpH、全炭酸、アルカリ度を小数点以下3桁の精度で測定する必要があった。これらを基に、pHアルカリ度法により群集の有機炭素・無機炭素生産を計算した。これらの生産速度と群集の変化を比較することにより、造礁サンゴ群集が環境変化に対してどのように応答しているかを評価した。

3. 研究の方法

研究方法については、野外調査と室内実験の二つから構成されている。

野外調査

野外調査地域として、典型的な熱帯群集の生息する石垣島白保、熱帯と暖帯の中間的な群集が生息する喜界島花良治、典型的な暖帯群集の生息する高知県大月町西泊の3地点を選んだ。

(1) 群集調査

外洋に面した場所と海岸に近い場所での両方の情報を収集するため、3つの海域においてそれぞれ調査地点を選び、海岸と直交する方向に約1km程度の測線を引いた。シュノーケリングとダイビングにより、測線上に10m間隔で1m x 1mの方形枠を置いた。この枠の中に登場した造礁サンゴ群体をスケッチし、デジタル水中カメラで撮影した。現地で属各種名を同定できるものについては、種レベルで同定した。不可能な群体については、10cm x 10cm程度の試料を採取し、研究室で同定した。これらのデータに基づき、この地点における種構成、種多様性、被覆率などを計算した。

(2) 海水の化学成分

群集のデータを取る際に、石垣島白保の測線上の礁原と礁斜面において海水を1000mlほど採水し、実験室に持ち帰った。採水より1時間以内に、ガラス電極を用いたグランプロ

ット法によりアルカリ度、全炭酸、pHを測定した。大月町では吸光光度計を用いて海水中の栄養塩（リン、硝酸、亜硝酸、アンモニア）の濃度を測定した。

（3）温度と塩分

調査期間中の水温と塩分を自動的に計測するために東北大学大学院理学研究科の温度塩分センサーを石垣島白保の海水の採取地点に投入した。調査終了後にこれらのセンサーを回収した。

室内作業

（1）空中写真・リモートセンシングデータ

石垣島白保海域における30年間の群集変化を再現するために国土地理院撮影1/10000カラー空中写真を購入した。これらのデータを画像処理技術を用いて、群集の変化、特に、被覆率の変化を再現した。

（2）群集の変化

高知県大月町でかつて行われた生態学的な研究を再検討し、過去の群集のデータベースを作成した。それに基づき、過去30年間の種構成、種数、被覆率の時間変化を再現した。

（3）環境の変化

石垣島と高知県大月町付近の海域における気象・海況資料を再検討し、気温、水温、日照量、栄養塩濃度などから構成される過去30

年間のデータベースを作成した。これに基づき、3気象、海況の時間変化を再現した。

4. 研究成果

（1）造礁サンゴ群集

a. 高知県大月町における造礁サンゴ群集の変化

高知県南部の海岸を9つの海域に分け、ダイビングあるいはシュノーケリングでそこに分布する造礁サンゴ類を種レベルで記録した。その結果、そこには合計で16科49属144種のサンゴが生息していることが判明した。この値は、1995年に同海域で行われた調査の際に判明した多様性よりも高い。これは、地球温暖化が進行したため、平均海水温が約1.5度上昇し、熱帯海域に固有な種がこの海域にも進入し始めたためと考えられる。この調査資料を基に、海域のクラスタリングを行い、温帯サンゴ群集を定量的に定義した。近年の群集分布の変化パターンも、地球温暖化に伴う群集変化があったことを裏付けている。

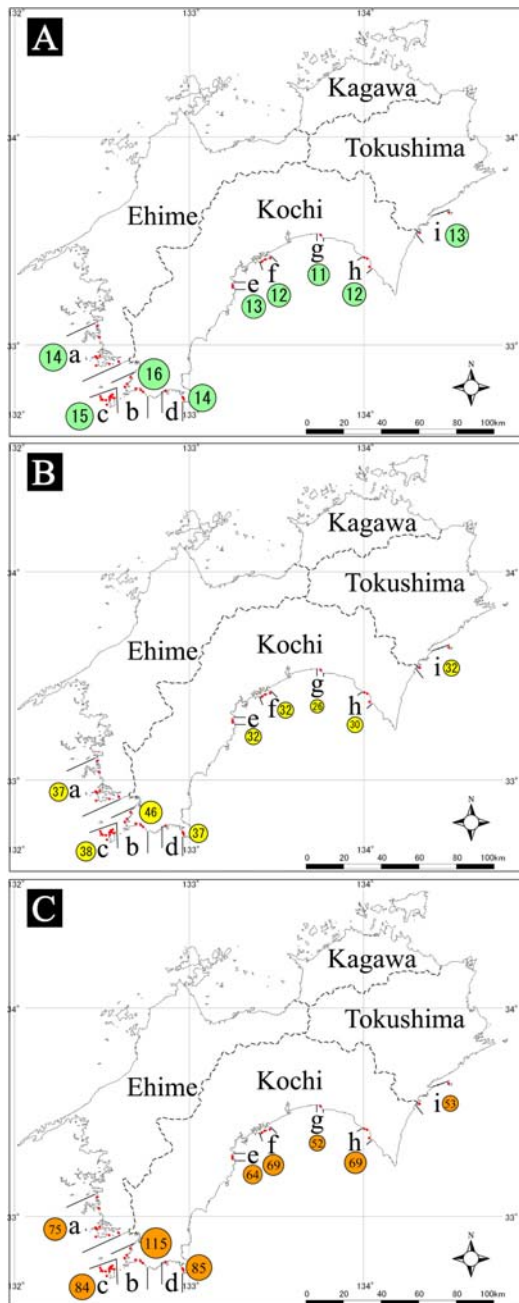


Fig. 1. Distribution maps of coral diversity (A: family, B: genus, C: species richness) in nine areas.

b. 高知県沿岸における造礁サンゴ群集の多様性維持機構

高知県奈半利町と田野町海岸に 1975 年から 2005 年にかけてコンクリート製構造物が連続的に作られた。沖側でより浅くなるその形態は偶然サンゴ礁値地形に類似していたが、そこにミドリ

イシ類を中心としたサンゴが建設当初より付着し始め、現在は熱帯海域と同程度の高被覆率の海域となっている。構造物が作られた年代が判明しているため、この海域は群集の遷移過程を観察する上で最高の海域となっている。最も新しい場所で数年間に渡って同じ群集を観察し、サンゴの定着速度、死亡率、成長速度を見積もった。その結果、温帯海域では定着速度が低く、死亡率も低いことが判明した。また、同じ海域で水平および垂直方向の定着板を用いて幼生の加入、定着速度を測定したところ、これらの値は熱帯海域よりも低いことが判明した。すなわち、温帯域では熱帯域と別の原理で群集が成立している可能性が高いことが明らかとなった。

c. 石垣島白保における造礁サンゴ群集

本研究では全34属127種の造礁サンゴの出現を確認した。正方形枠内のみ出現したサンゴは、全部で24属60種であった。クラスター解析により有意と判断された被覆要素と地点の樹形図を検討した。被覆要素についての樹形図を用いて、適当な距離で基準を設定したところ、群集および底質が7つに区分された。7つの群集(地域)をそれぞれReef rock bottom area、Seagrass area、Reef rock pavement area、Branching *Acropora* assemblage、Branching *Montipora* assemblage、Reef crest algal area、*Pocillopora verrucosa* assemblageと海岸より沖に向かって命名した。

Fig.2のサンゴ種については被覆率が高い16種を色分けした。(b)の灰色部はReef rock bottom area を、緑色部はSeagrass areaを、抹茶色部はReef rock pavement areaを、オレンジ色部はBranching *Acropora* assemblageを、黄色部はBranching *Montipora* assemblageを、水色部はReef crest algal areaを、ピンク色部は *Pocillopora verrucosa* assemblageをそれぞれ表している。

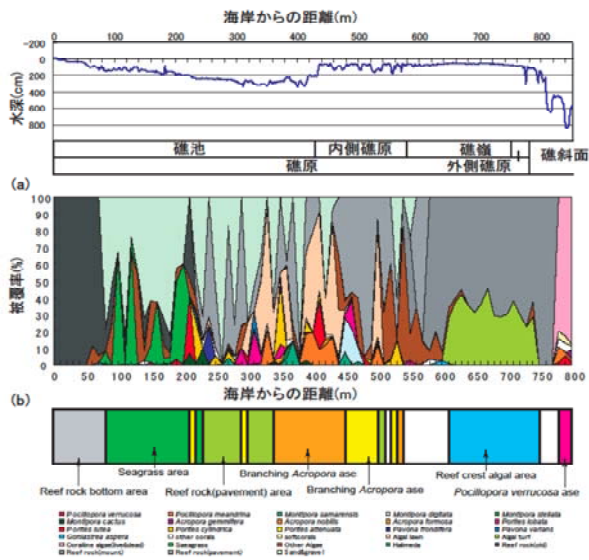


Fig.2 造礁サンゴ及び底質の被覆率(a)とサンゴ群集の分布図(b)

d. 喜界島杉浦における造礁サンゴ群集

平成20年度夏に杉浦ビーチ他において造礁サンゴ群集を観察したが、1998年の白化現象による被害からの回復が十分ではなく、多様性が予想よりも低かった。今回の研究の考察にはこの資料を使用しなかった。

(2) 海水化学成分の変化

石垣島白保の測線に沿った海水成分の変化を記載した。水温を見ると、礁池では夜間の方が高く、最高31.5℃に達するが、昼間は29.05℃まで低下する。一方、礁嶺付近では逆転し、昼間は30℃を超得のに対して、夜間は28.5℃以下となっている。Sについては沖では34.0前後で一定であるが、海岸に近くなるに従って33.0まで減少している。夜間の方が昼間よりも全体的に高く、250mでは最高34.4まで上昇するが、これは昼間に蒸発によってSが高くなった海水が沿岸に流れこんでいるためと思われる。沖のSが平均的な値より低い、この時期に石西礁湖付近の塩分は全体として下がっていることが確認されている

ため(環境省 石西礁湖常時モニタリングシステム ホームページ<http://www.e-monitoring.jp/index.html>)、異常なものではないと考えられる。pH_rについては外洋では約8.0でほぼ一定であるが海岸に近づくに従って昼間は8.312まで、夜間は7.779まで変化している。A_rは外洋では昼間に2140 μmol kg⁻¹、夜間に2080 μmol kg⁻¹前後で一定であった。礁縁に近づくにつれて400 mで昼間が2050 μmol kg⁻¹まで下がり、その後はどちらも上昇し、昼間は2150 μmol kg⁻¹、夜間は2350 μmol kg⁻¹となった。C_rは沖では1800 μmol kg⁻¹程で昼夜共一定になっているが、その後夜間は2050 μmol kg⁻¹まで上昇、昼間は400m付近で1600 μmol kg⁻¹まで減少した。さらに海岸に近づくにつれて1650 μmol kg⁻¹まで僅かに上昇している。f(CO₂)は外洋付近で約390 μatmだが礁の内側では昼間は160 μatm付近まで減少し、夜間は746 μatmまで上昇している。大気CO₂濃度は約370 μatmであるので、白保裾礁は昼間は大気CO₂の吸収、夜間は排出装置としての役目を果たしていると言える。Ω_{arg}は外洋で3.5前後だが海岸に近づくにつれて昼間は5.5まで上昇し、夜間は2.38まで減少し、その後僅かに上昇している。これら化学成分の変化はサンゴ群集が代謝を行った結果であり、海中内で起こった代謝やその他の事象をよく記録しているといえる。

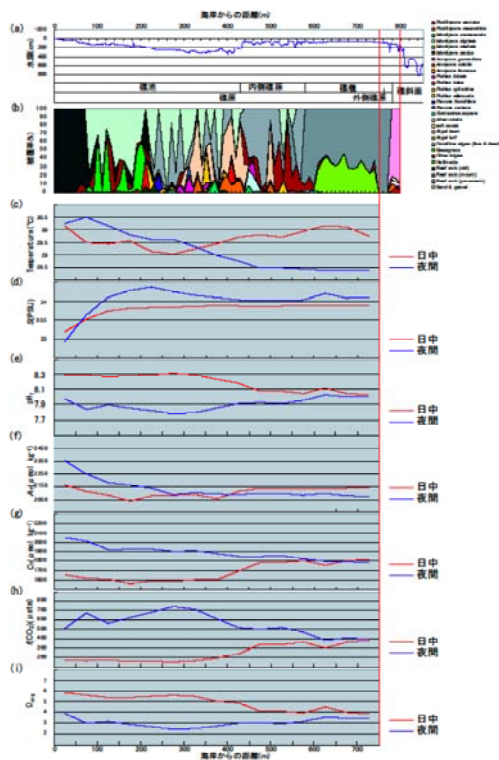


Fig. 3 測線に沿った被覆率と化学成分の変化。

昼間の値が 2008.8.23、夜間のものが 2008.8.25~26 に測定された。(a)サンゴ礁地形断面図 (b)被覆率 (c)水温 (d)塩分 (e) pH_T (f)アルカリ度(A_T) (g)全炭酸(C_T) (h) CO_2 分圧 ($f(CO_2)$) (i)アラゴナイト飽和度(Ω_{arg})。横軸は海岸からの距離で、赤い線は昼間の、青い線は夜間の行きと帰りの値の平均値をそれぞれ示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4件)

① Humblet, M., Iryu, Y., Nakamori, T., and Sugihara, K. (2009) Variations in Pleistocene coral assemblages in space and time in southern and northern Central Ryukyu Islands, Japan. *Marine Geology*, v. 259,1-20. 査読有り。

② Nakamura, T. and Nakamori, T. (2009) Estimation of photosynthesis and calcification rates at a fringing reef by accounting for diurnal variations and the zonation of coral reef communities on reef flat and slope: a case study

for the Shiraho reef, Ishigaki Island, southwest Japan. *Coral Reefs*, v. 28, 229-250. 査読有り。

③ Shirai, K., Kawashima, T., Sowa, K., Watanabe, T., Nakamori, T., Takahata, N., Amakawa, H., and Sano, Y. (2008) Minor and trace element incorporation into branching coral *Acropora nobilis* skeleton, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.72, 5386-5400. 査読有り。

④ Nakamura, T. and Nakamori, T. (2007) A geochemical model for coral reef formation. *Coral Reefs*, v. 26, p. 741-755. 査読有り。

[学会発表] (計 1件)

中森 亨・北村京子、2008、白亜紀以降のSr同位体と全地球炭酸塩沈積速度の変動、日本古生物学会2008年年会・総会、2008年7月6日、東北大学

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中森 亨 (NAKAMORI TORU)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：00192229

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者