

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24710030

研究課題名(和文) 造礁サンゴ類の代謝調整能力に対する変動環境影響の生理・生態学的研究

研究課題名(英文) Physio-Ecological study on Scleractinian corals' metabolic adjustability to dynamic environmental changes

研究代表者

中村 崇 (Nakamura, Takashi)

琉球大学・理学部・講師

研究者番号：40404553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では造礁サンゴ類における温度ストレス影響と個体群内での差異を検討した。「単口ポリプ=個体」として存在するトゲクサビライシを対象とした実験の結果、代謝への影響が顕著となる体サイズ期が、性成熟期と重なることが明らかとなり、生活史上でのトレードオフによる一時的代謝調整能の低下が示唆された。また、コユビミドリイシを対象とした、浮遊幼生、初期ポリプ、成体期の各段階の温度ストレス応答を比較により、浮遊幼生・成体期に比べ、初期ポリプ期での骨格生長および出芽が顕著に抑制されることから、温帯域にかけて浮遊幼生として分散が起きた場合、初期の成長抑制が生存のためのボトルネックとなることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Ctenactis echinata, as the rare case of "individual" scleractinian coral species, has been selected to explore the potential margin among thermal-stress responses within a population. The greater thermal sensitivities among sexually maturing individuals suggested the trade-off between maintenance and sexual reproduction in this species while stable tolerance were found among larger (older) individuals. In addition, experiments focused on various life stages of Acropora digitifera such as; planktonic larvae, primarily polyps and mature colonies by cold-water stresses had been conducted. According to the results, neither planktonic larvae and mature colonies were not critically affected by cold stress however, primary polyps' calcification as well as budding rates were significantly suppressed. These results strongly suggest this species ability to survive under marginal region (temperate water) environments is limited by the initial growth suppression.

研究分野：サンゴ礁生理生態学

キーワード：造礁サンゴ 代謝測定 環境ストレス

1. 研究開始当初の背景

熱帯～亜熱帯域の海洋環境において最も生物多様性が高く、重要な生態系として挙げられるサンゴ礁生態系が、近年の環境異常等により世界的な衰退と消失の危機に瀕している。国内に目を向けるとサンゴ礁が広がる沖縄県では、世界的なサンゴの白化現象が報告された 1998 年には 62% のサンゴ礁が消失し、これ以降、サンゴ群集での異常が頻繁に見られている。Hughes らによる 2003 年の報告によると、このままのペースでいけば 2050 年頃までに現存しているサンゴ礁生態系の約 60% が姿を消すであろうことが示唆されており (Hughes et al. 2003) その保全・回復が強く求められている。

このような背景の下、申請者はこれまでに、高水温異常に伴う共生藻光合成への光傷害の増幅のメカニズム解明、水流環境によるストレスの抑制についての研究を進めてきた。その過程でストレスのメカニズム解明・数値化には、宿主代謝と共生藻光合成の同時計測が必要であると考えた。

2. 研究の目的

環境温度は生物の種数、分布を決定づける最も重要な要因とされる。しかし、進行する温暖化に対して、異種間はもちろん、同種の生息域を異にする個体間や、個体の生活上での環境耐性変化については不明な点が多い。そこで本研究では、サンゴ宿主の代謝・共生藻による光合成の同時計測によるストレス影響測定を用いて、これまで不明であった、造礁サンゴにおけるストレス応答を基準とした個体群中の偏差や生活上の調整能力の違いを検出・数値化することで、個体群での適応の可能性、環境負荷耐性の可塑性を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

具体的には、宿主・共生藻の基礎代謝測定系を軸とした環境ストレス評価法の確立を目的として、

- 1) サンゴ個体間での高水温ストレス応答の差異検出
- 2) 高・低水温ストレスについての生活上での影響変化の比較検討

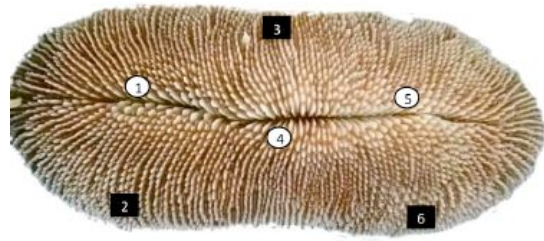
を行うため、主に室内飼育実験系を用いた研究を実施した。

4. 研究成果

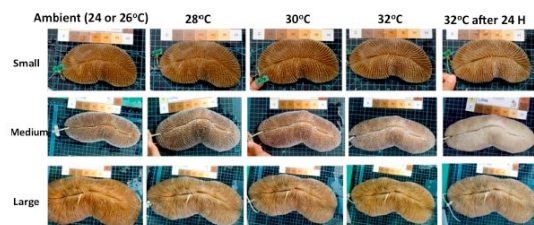
サンゴ礁域における温度・光を軸とした微環境の測定を開始し、実際にサンゴが生育しながらも、ストレスを受けるであろう温度域の選定、環境変化速度などを明らかにした。また、サンゴ礁生態系で近年注目をされつつある異常高水温・低水温状態でのサンゴ・共生藻の代謝異常や白化・死亡に至るプロセスを明らかにするための実験を進めた。

具体的には、本課題において新規導入した

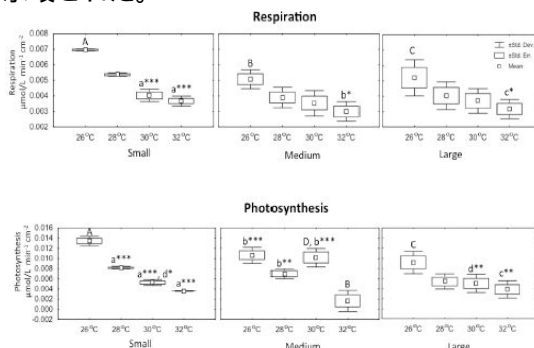
蛍光式酸素濃度測定装置を用いた代謝速度測定用チェンバーによるモデルサンゴ種を対象とした室内実験系における固定条件飼育による代謝速度決定、環境ストレス下での応答測定などを実施した。



単口のポリプとして存在するクサビライシ類の一種である *Ctenactis echinata* (上写真) での高水温ストレス下でのパフォーマンス低下を体サイズグループ間で比較した。実験では、高水温負荷条件下でのダメージを共生藻の光合成能低下に加え、宿主の呼吸能低下、外部組織の様態変化 (下図)、色素量の増減などを軸としたパラメータによって評価した。



水温上昇にともなう代謝異常の基礎データが得られ、呼吸による酸素需要・光合成による酸素供給のバランスに顕著な変化がみられることが示された。特に、ストレス条件下では、性転換・性成熟を行うとされる中間サイズの個体において、顕著な光合成活性の低下、共生藻密度の減少を伴う色素退色などの初期症状および、白化が観察されたことから、代謝維持と性成熟/転換にかかるエネルギー分配のバランスによっては、ストレス下での代謝異常の進行が早まるケースがあり得ることが示唆された。溶存酸素濃度の変化を指標とした場合、基礎代謝は体サイズ依存ではないが、ストレス下では個体群内での差異を生む原因のひとつとなることなどが示唆された。



また、一連の実験系により、ストレスによ

るダメージ評価のため、非破壊または低侵襲での代謝測定が可能な“Fibox-3 蛍光式酸素測定装置”による呼吸代謝測定と、“Diving-PAM クロロフィル蛍光測定装置”による光合成活性測定を組み合わせることで、より信頼性が高い結果を得ることが出来ることが示唆された(上図)。

サンゴ個体群維持については、成体サンゴ群体の減少だけではなく、サンゴの新規個体の加入量減少、定着・成長率低下などが重要であり、近年の気候変動が影響を少なからず受けていると考えられて

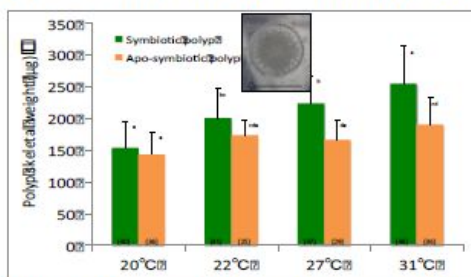
二次出芽ポリプ計数用の稚ポリプ写真



いる。そこで研究後半では、*Acropora digitifera*(ココビミドリイシ)の定着直後の稚ポリプの成長に対して環境変化がどのような影響を及ぼすかに焦点をおきつつ、褐虫藻獲得の有無により、稚ポリプの初期成長がどのような影響を受けるかを明らかにするための実験を実施した。

実験では、ココビミドリイシの配偶子から得られた、褐虫藻感染稚ポリプと褐虫藻非感染稚ポリプを、複数の温度条件や光条件下において飼育する実験系を用いた。褐虫藻を持つ稚ポリプでは、褐虫藻を持たない稚ポリプに比べて、いずれの温度条件下においても、高い成長量が示された。また、異なる温度条件間では褐虫藻の有無に関わらず 31 条件区で最も高い骨格重量の増加が示された。これらの結果から、稚ポリプにおける定着直後の初期成長においては、比較的高い水温に対する耐性が示唆された。

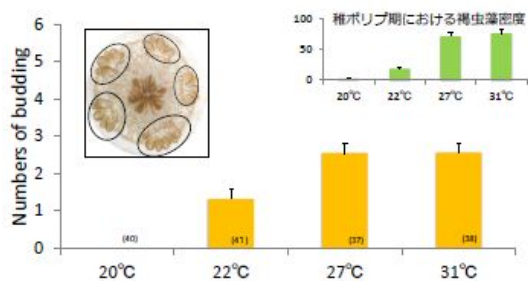
稚ポリプ期における骨格成長量



褐虫藻有り(緑)ポリプの骨格成長量には温度依存性が認められた

一方で、浮遊幼生として高緯度域に流れて行った場合の定着場所で想定される低温条件下では、成長が阻害されることが示唆された。併せて、放卵放精型の繁殖様式をもち幼生分散能が高いと考えられるココビミドリイシにおいて、これら稚ポリプの初期成長における低水温感受性の存在は、高緯度地域における本種の分布制限要因となっているかもしれないことが示唆された。

稚ポリプ期の2次ポリプ出芽数



20°Cで二次ポリプの出芽が抑制される

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9件)

樋口富彦,湯山育子,中村 崇,総説 造礁性サンゴ類のストレスと防御機能 生理・遺伝子・生態の視点から, 日本サンゴ礁学会誌, 査読あり,16 巻,2014,pp. 47-64, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcrs/16/1/16_47/_pdf

2 Nishida K, Ishikawa K, Iguchi A, Tanaka Y, Sato M, Ishimura T, Inoue M, Nakamura T, Sakai K, Suzuki A, Skeletal oxygen and carbon isotope compositions of *Acropora* coral primary polyps experimentally cultured at different temperatures., *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 査読あり,15 巻,2014,pp. 2840-2849, DOI: 10.1002/2014GC005322.

3 Tanaka Y, Iguchi A, Nishida K, Inoue M, Nakamura T, Suzuki A, Sakai K, Nutrient availability affects the response of juvenile corals and the endosymbionts to ocean acidification, *Limnology and Oceanography*, 査読あり,59 巻,2014,pp. 1468-1476, DOI: 10.4319/lo.2014.59.5.1468

Tanaka Y, Inoue M, Nakamura T, Suzuki A, Sakai K, Loss of zooxanthellae in a coral under high seawater temperature and nutrient enrichment., *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 査読あり,10 巻,2013,pp. 7013-7030, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2014.04.019>

Ohki S, Irie T, Inoue M, Shinmen K, Kawahata H, Nakamura T, Kato A, Nojiri Y, Suzuki A, Sakai K, van Woesik R, Symbiosis increases coral tolerance to ocean acidification, *Biogeosciences Discussions*, 査読あり,10 巻,2013,pp.

7013-7030,DOI: 10.5194/bg-10-6807-2013

Tanaka Y, Iguchi A, Inoue M, Mori C, Sakai K, Suzuki A, Kawahata H, Nakamura T, Microscopic observation of symbiotic and aposymbiotic juvenile corals in nutrient-enriched seawater., Marine Pollution Bulletin., 査読あり, 68 巻, 2013, pp. 93-98, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.12.017

Hayashi E, Suzuki A, Nakamura T, Iwase A, Ishimura T, Iguchi A, Sakai K, Okai T, Inoue M, Araoka D, Murayama S, Kawahata H, Growth-rate influences on coral climate proxies tested by a multiple colony culture experiment., Earth and Planetary Science Letters, 査読あり, 362 巻, 2013, pp. 198-206, DOI: 10.1016/j.epsl.2012.11.046

VanWoesik R., Irikawa A., Anzai R., Nakamura T, Effects of coral-colony morphologies on mass transfer and susceptibility to thermal stress., Coral Reefs, 査読あり, 31 巻, 2012, pp. 633-639, DOI : 10.1007/s00338-012-0911-2

Inoue M., Shinmen K., Kawahata H., Nakamura T, Tanaka Y., Kato A., Shinzato C., Iguchi A., Kan H., Suzuki A., Sakai K., Estimate of calcification responses to thermal and freshening stresses based on culture experiments with symbiotic and aposymbiotic primary polyps of a coral, *Acropora digitifera*., Global and Planetary Change, 査読あり, 96 巻, 2012, pp. 1-7 DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.05.001

〔学会発表〕(計 16 件)

1 大野 良和, 藤田 和彦, 豊福 高志, 中村 崇, バイオミネラリゼーション研究における ライブイメージング手法の確立 - 大型有孔虫を例として -, 日本サンゴ礁学会, 2014年11月27日, 高知

2 石川 恵, 西田 梢, ベル 智子, 井口 亮, 鈴木 淳, 酒井 一彦, 中村 崇, 稚ポリブ期コユビミドリイシの褐虫藻保持が温度ストレス応答に及ぼす影響, 日本サンゴ礁学会, 2014 年 11 月 28 日, 高知

3 大野 良和, 藤田 和彦, 豊福 高志, 中村 崇, バイオミネラリゼーション研究における ライブイメージング手法の確立 - 大型有孔虫を例として -, 日本サンゴ礁学会, 2014 年 11 月 27 日, 高知

4 Nakamura T, サンゴ礁島嶼系における気候変動による危機とその対策 (Palau COral

Reef Island Ecosystem P-CORIE Project) ~ SATREPS JICA/JST 地球規模課題対応国際科学技術協力 活動例として ~ ,Expert Conference on Development of Island's Sustainable Societies, The Ministry of the Environment / Okinawa Prefecture, 2014 年 06 月 28 日, 沖縄

Nozawa Y, Kakaskasen A. Roeroe, Suzuki G, Guest J, Tanangonan J, Trapon M, Munasik, Put O. Ang Jr., Villanueva R, Arakaki S, Kawai T, Nakamura T, Mezaki T, Edmunds P, Latitudinal Pattern in Growth and Survivorship of Juvenile Corals, 3rd Asia-Pacific Coral Reef Symposium, 2014 年 06 月 23 日, 台湾

大野良和, 井上麻夕里, 井口亮, 西田梢, 中村 崇, 鈴木淳, サンゴ初期ポリブを用いた石灰化イメージング, 沖縄生物学会, 2014 年 05 月 24 日, 沖縄

Kavousi Javid, 井口亮, 田中泰章, 中村 崇, Species-specific responses of scleractinian corals to cold temperature stress, 沖縄生物学会, 2014 年 05 月 24 日, 沖縄

Nishida K, Ishikawa K, Iguchi A, Tanaka Y, Sato M, Ishimura T, Inoue M, Nakamura T, Sakai K, Suzuki A, Skeletal isotope compositions of *Acropora* coral primary polyps experimentally cultured at different temperatures, 地球惑星連合大会, 2014 年 04 月 28 日, 横浜

Takashi Nakamura, Makoto Tsuchiya, James D. Reimer, Haruko Kurihara, Yoko Fujita, Kaoruko Miyakun, YuenYeongShyan, Julein Simon Pierre, Takashi Kawai, Tadashi Kimura, Yimnang Golbuu, Kevin Polloi 他 26 名, パラオ国における SATREPS プロジェクト“ P-CORIE ”について, 第 16 回日本サンゴ礁学会, 2013 年 12 月 14 日 ~ 2013 年 12 月 15 日, 沖縄県那覇市

Lely Fika Anggraini · Camille Paxton · Takashi Nakamura, *Ctenactis echinata* Stress response to Increased Temperature Based on Size Classes, 第 16 回日本サンゴ礁学会, 2013 年 12 月 14 日 ~ 2013 年 12 月 15 日, 沖縄県那覇市

寺本 真梨子, 井口 亮, 中村 崇, 沖縄島周辺におけるパリカメノコキクメイシ *Goniastrea aspera* の色彩多型に着目した分布パターンの解明, 第 16 回日本サンゴ礁学会, 2013 年 12 月 14 日 ~ 2013 年 12 月 15 日, 沖縄県那覇市

田中泰章、井口亮、西田梢、井上麻夕里、中村崇、鈴木淳、酒井一彦、サンゴ初期ポリプに対する酸性化と栄養塩の複合効果,第16回日本サンゴ礁学会,2013年12月14日~2013年12月15日,沖縄県那覇市

西田 梢、石川 恵、鈴木 淳、田中泰章、中村 崇、酒井一彦、佐藤瑞穂、井口亮,ココビミドリイシ初期ポリプ骨格の酸素、炭素同位体比に与える水温の影響,第16回日本サンゴ礁学会,2013年12月14日~2013年12月15日,沖縄県那覇市

Nakamura T ,Risk and benefits of photosynthesizing symbiont in marine invertebrates,Amakusa Biodiversity Symposium,2012年12月02日,天草(熊本)

中村 崇, 山崎 秀雄, 野島 哲, Robert VanWoesik,造礁サンゴにおける水流環境影響,第15回日本サンゴ礁学会,2012年11月21日,東京

Nakamura T., A. Suzuki, A Iwase, A. Iguchi,Variation of growth and symbiont photosynthesis among corals,12th International Coral Reef Symposium,2012年07月13日,ケアンズ・オーストラリア

〔図書〕(計1件)

中村 崇、暑いとサンゴも夏バテする? ~ 褐虫藻との共生によるメリットとデメリット~、「第1章 サンゴ礁の今、昔、みらい」、「琉球列島の自然講座 サンゴ礁、島の生き物たち、自然環境」、琉球大学理学部「琉球列島の自然講座」編集委員会編、ポーターインク、2015、pp. 30-38

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 崇 (NAKAMURA TAKASHI)
琉球大学、理学部、講師
研究者番号：40404553

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：