



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	日本の亜熱帯域と温帯域におけるキクメイシ <i>Dipsastraea speciosa</i> (Dana, 1846) の骨格成長
Author(s)	永田, 俊輔; 杉原, 薫; 入野, 智久 他
Citation	日本サンゴ礁学会誌, 15, 37-56 https://doi.org/10.3755/jcrs.15.37
Issue Date	2013-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57395
Type	journal article
File Information	JCRS_15_37-.pdf



日本の亜熱帯域と温帯域におけるキクメイシ *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) の骨格成長

永田俊輔^{1*}・杉原 薫²・入野智久³・渡邊 剛⁴・山野博哉²

¹ 一般財団法人沖縄美ら島財団総合研究センター 〒905-0206 沖縄県国頭郡本部町字石川 888

² 独立行政法人国立環境研究所生物・生態系環境研究センター 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

³ 北海道大学大学院地球環境科学研究院地球圏科学部門 〒060-0810 北海道札幌市北区北 10 条西 5

⁴ 北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門 〒060-0810 北海道札幌市北区北 10 条西 8

要旨 琉球列島の南西部に位置する沖縄県西表島（北緯 24°25′，東経 123°47′）と、九州の北西部に位置する長崎県福江島と若松島および壱岐と対馬（北緯 32°39′–34°24′，東経 128°39′–129°40′）から採集されたイシサンゴの一種であるキクメイシ *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) [= *Favia speciosa* (Dana, 1846)] の群体骨格の成長パラメータ（伸長量，密度ならびに石灰化量）を測定し，それらの骨格成長と緯度変化に伴う年平均表層海水温との関連を考察した。その結果，亜熱帯域に位置する西表島産キクメイシの年平均密度と石灰化量は，温帯域に位置する長崎県産のそれらより有意に高かったが，伸長量については有意差が認められなかった。伸長量と石灰化量，密度と石灰化量の間には，調査地域全体でそれぞれ正の相関がみられたが，伸長量と密度の間には認められなかった。この結果は，キクメイシと同科に属する大西洋産 *Orbicella* (= *Montastraea*) や，キクメイシと同じく太平洋に生息するハマサンゴ属 *Porites* に関する先行研究結果よりも，大西洋に広く生息するハマサンゴ属の一種 *Porites astreoides* Lamarck, 1816 のものに類似していた。*Porites astreoides* とキクメイシは，それぞれに近縁な種・属に比べて地理的生息範囲が広く，伸長量と石灰化量が低いといった共通の特徴を持つ。日本産キクメイシでは，3つの骨格成長パラメータの中で，石灰化量が年平均表層海水温と最も相関が高かった。このことから，少なくとも日本列島に生息するキクメイシは，年平均表層海水温の緯度勾配に合わせて骨格の伸長量や密度を変えながら，石灰化量を一定に保っている可能性がある。

キーワード キクメイシ，骨格成長，伸長量，密度，石灰化量，緯度変化，年平均表層海水温

はじめに

一般に“造礁サンゴ”とよばれる有藻性イシサンゴ類は，自身の骨格に年輪を刻みながら数百年間にわたって成長を続けることができる。その骨格内部には，過去の陸域からの土砂や栄養塩流入といったローカルな環境変化から，エルニーニョなどのグローバルな気候変動に至るまで，高解像度で記録されている（渡邊ら 2006 など）。なぜなら造礁サンゴは，海水温，塩分，光量，CO₂ 分圧，pH，栄養塩などの様々な物理環境要因によって，その骨格の形成や成長が規制されており，中でも特に，海水温の

変化に敏感に反応するからである（Carricart-Ganivet 2004; Hoegh-Guldberg et al. 2005; Cooper et al. 2012）。近年は，全球規模での地球温暖化や海洋酸性化などの動向を知る上で重要なツールとして注目されており，サンゴ骨格を用いた過去の海洋環境の解析結果に基づく，将来の海洋環境や気候変動予測の研究が盛んになってきている（Gagan et al. 2000 など）。

造礁サンゴが海水温の違いとともにどのように骨格成長を変化させるかについては，大西洋のカリブ海における *Orbicella annularis* (Ellis and Solander, 1786) [= *Montastraea annularis* (Ellis and Solander, 1786)] を用いた研究（Dodge and Brass 1984; Carricart-Ganivet et al. 2000; Carricart-Ganivet and Merino 2001; Carricart-Ganivet 2004 など）や，太平洋のコブハマサンゴ *Porites lutea* Edwards and Haime,

*連絡著者

E-mail: sh-nagata@okichura.jp

1860 などの塊状ハマサンゴ属サンゴを用いた研究 (Scoffin et al. 1992; Lough and Barnes 1992, 2000; Carricart-Ganivet et al. 2007; Elizalde-Rendón et al. 2010 など) がよく知られている。しかしながら, これらの種は熱帯～亜熱帯のサンゴ礁域にその分布が限られ, 例えば日本の九州西岸～本州南岸のように, サンゴ礁が形成されないものの温帯性の造礁サンゴ群集が広く生息している海域 (以後, 温帯域とよぶ) ではほとんど生息していない (西平・Veron 1995; 杉原ら 2009)。つまり, これらの種は, 近年の地球温暖化に伴う表層海水温の上昇が温帯域でのサンゴ骨格の形成や成長にどのような影響を与えるかを解析するための試料としては不十分である。

日本列島は世界における造礁サンゴやサンゴ礁の分布域の中ではかなり高緯度に位置している。しかし, 琉球列島から本州沿岸に沿って北上する暖かい黒潮の影響により, 種多様性の高い造礁サンゴ相をもっている (Veron 1992)。また, この黒潮の北上に伴う表層海水温の低下が, 日本列島における緯度ごとの造礁サンゴの種多様性の違いを生み出す (Veron and Minchin 1992)。このように, 緯度的に広範囲に連なる日本列島は, 緯度変化に伴う造礁サンゴの生態学的応答とそれら規制要因を解明するという点において, 優れた地理的背景をもっている (山野 2008; 杉原ら 2009)。

キクメイシ *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) [= *Favia speciosa* (Dana, 1846)] に代表されるキクメイシ属は, インド洋から太平洋の熱帯～亜熱帯のサンゴ礁域から温帯域の岩礁域にかけて広く生息する (西平・Veron 1995; Veron 2000)。日本では, 沖縄県の八重山海域から千葉県館山沿岸, 長崎県の壱岐・対馬まで分布している (西平・Veron 1995; Veron 2000; 杉原・山野 2004; 山野ら 2004; 杉原ら 2009)。また生息環境も多様であり, サンゴ礁の礁原上から礁斜面深部はもちろんのこと, 他の造礁サンゴが生育できない内湾の濁った低塩分環境下でも見られることが少なくない (Veron 1986; 西平・Veron 1995; Veron 2000)。Ma (1934) は, 南太平洋のパラオ諸島やマーシャル諸島, 台湾や日本列島各地から採集されたキクメイシをはじめとする塊状サンゴ群体骨格中の泡沫組織 (dissepiments) で形成された成長輪の幅を測定することで伸長量を算出し, それらの測定値が海域ごとに異なっていることを示唆している。しかしながら, Ma (1934) が用

いた手法では, もともとの群体形のばらつきや個体の正確な伸長方向があまり考慮されておらず, 伸長量の計測方法とその結果にまだ検討の余地が残されている。以上のことから, キクメイシ属の骨格成長を明らかにすれば, 地理的分布も生息環境も広いキクメイシ属サンゴは, 他の造礁サンゴに比べてより広範囲 (特に温帯域) での環境指標種となることが期待される。また, 大西洋の *Orbicella* や太平洋の塊状ハマサンゴ属に関する多くの先行研究と同様の手法で分析すれば, それらの研究結果と比較することも可能となるはずである。

本研究の目的は, 地理的分布域や生息環境が広いキクメイシ属サンゴの伸長量, 密度や石灰化量を緯度的に広範囲に連なる日本列島で調べることで, 造礁サンゴの骨格成長と海水温との関係を明らかにすることである。本研究で得られた緯度変化に伴う表層海水温の違いによるキクメイシ骨格の伸長量や密度, そして石灰化量は, 近年の地球温暖化に伴う海水温の上昇が, 造礁サンゴの骨格成長にどのような影響を及ぼすかを予測する上でも, 非常に重要な指標になるであろう。

材料と方法

キクメイシ属サンゴの採集地域

本研究で用いられたキクメイシ属サンゴの群体骨格試料は, 直径が 10 cm 以上の半球状成群体で, 沖縄県の西表島中野, 長崎県の福江島布浦, 若松島滝ヶ原, 壱岐黒崎と板浦, 対馬瀬ノ浦の 5 地域 6 地点 (図 1a-e) の水深 1~3 m で採集された。

西表島は琉球列島南西部, 八重山海域の中心部に位置する (図 1a)。この海域は, 日本で最もサンゴ礁地形が発達し, サンゴの種多様性が最も高いことで知られている (Veron 1992; 西平・Veron 1995)。中野はこの島の北部に位置し (北緯 24°25', 東経 123°47'; 図 1b), その沿岸には沖合に向かって幅が約 300 m~1 km の礁原を持った据礁がよく発達している。この据礁の礁縁付近で 2007 年 3 月 28 日~30 日にキクメイシ属サンゴ 43 群体を採取した。

福江島と若松島は九州北西に浮かぶ五島列島の南西部と中部にそれぞれ位置している (図 1a)。五島列島の沿岸では, 近年の表層海水温の上昇に伴う亜熱帯性サンゴの分布の北上が確認されている (杉原

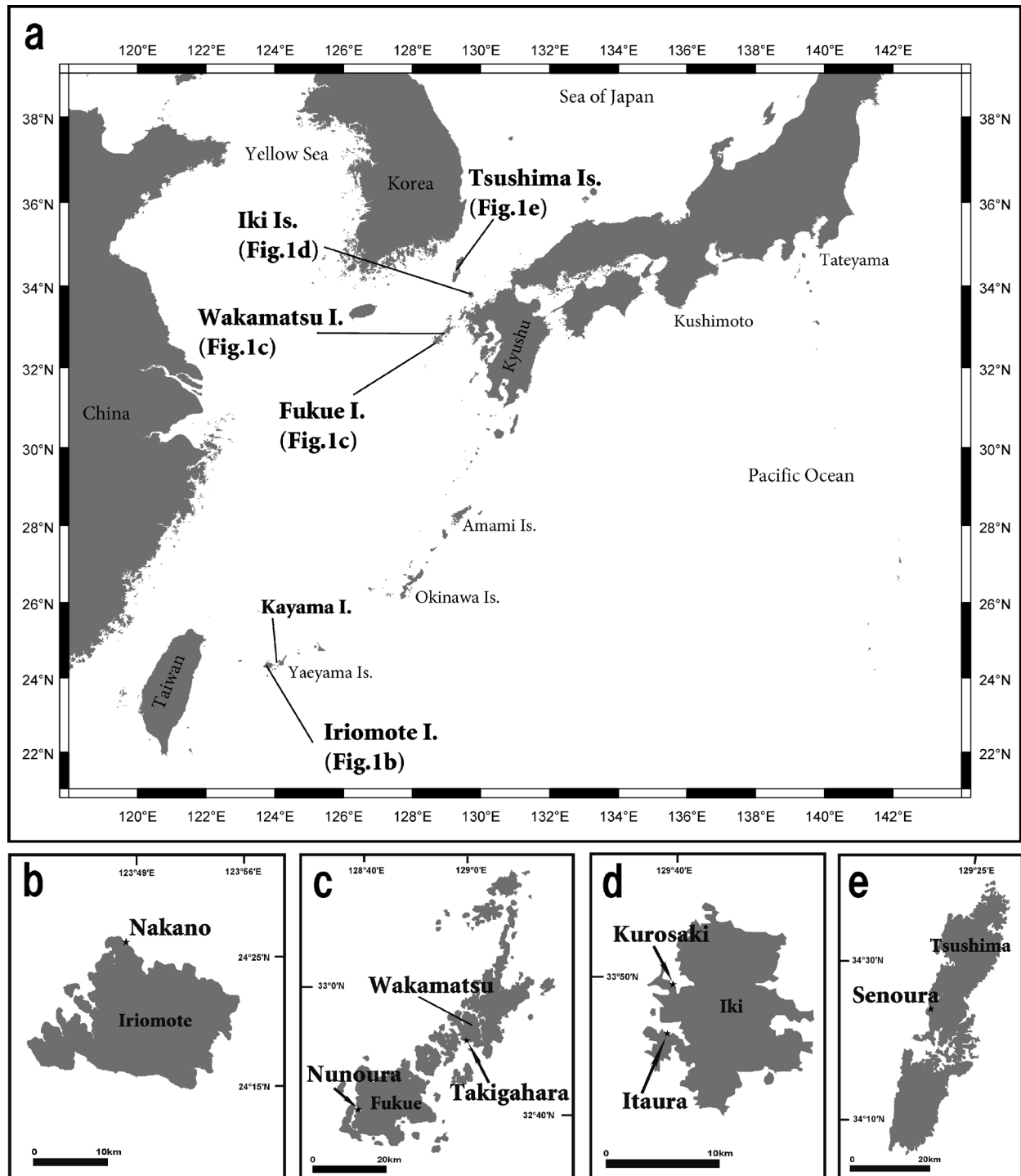


図 1 (a) 西表島, 福江島, 若松島, 壱岐, 対馬の位置図と (b) 西表島, (c) 福江島と若松島, (d) 壱岐と (e) 対馬におけるキクメイシ属サンゴ群体の採集地点

Fig. 1 (a) Map showing the location of Iriomote, Fukue, Wakamatsu, Iki and Tsushima islands. Stars indicate sites sampled for *Dipsastraea* (= *Favia*) colonies in (b) Iriomote, (c) Fukue and Wakamatsu, (d) Iki, and (e) Tsushima islands

ら 2009; Yamano et al. 2011)。布浦は福江島の南西部に位置し(北緯 32° 39', 東経 128° 39'; 図 1c), 北西方向に開いた細長い小湾で, この湾口付近の水深 2m ほどの岩盤上に被覆状~塊状のキクメイシ属サンゴが卓越する(杉原ら 2009)。ここでは 2004 年 9 月 11 日にキクメイシ属サンゴ 3 群体を採集した。滝ヶ原は若松島の南西部に位置し(北緯 32° 52', 東経 128° 58'; 図 1c), 南西に大きく開いた湾口を持つ, やや潮通しのよい湾の内縁部に位置する。ここには塊状のキクメイシ属サンゴや, 枝状や卓状のミドリイシ属サンゴが卓越する(杉原ら 2009)。この地点では 2007 年 8 月 23 日にキクメイシ属サンゴ 10 群体を採取した。

長崎県の壱岐と対馬はともに九州北部に位置する(図 1a)。これらの島々の西岸には, 主にキクメイシ属サンゴによって形成された世界最北端のサンゴ礁地形が局所的に発達する(Yamano et al. 2001, 2012)。黒崎は壱岐中西部に広がる湯本湾の南岸に位置し(北緯 33° 48', 東経 129° 40'; 図 1d), 壱岐・対馬海域の中で最もよく発達したサンゴ礁地形が見られる。ここでは 2006 年 10 月 16 日にキクメイシ属サンゴ 10 群体を採取した。同島の板浦は湯本湾の南方に位置する半城湾の一部で(北緯 33° 45', 東経 129° 39'; 図 1d), 北方向に湾口を持つ小湾である。黒崎のようにサンゴ礁地形は見られないものの, 湾口付近には同様のサンゴ群集が卓越する(山野ら 2004; 杉原ら 2009)。この地点では 2003 年 9 月 26 日, 2006 年 10 月 16 日, 2007 年 8 月 27 日にキクメイシ属サンゴ 28 群体を採取した。瀬ノ浦は対馬中西部に位置し(北緯 34° 24', 東経 129° 16'; 図 1e), 北北東に湾口を持つ小湾で, 規模は小さいものの, 壱岐黒崎と同様のサンゴ礁地形が発達する(Yamano et al. 2012)。また生息する造礁サンゴ群集も, 壱岐黒崎や板浦のものとよく類似する(杉原ら 2009)。この地点では 2004 年 7 月 7 日, 2006 年 10 月 18 日, 2007 年 8 月 28 日にキクメイシ属サンゴ 25 群体を採取した。

採取したキクメイシ属サンゴの群体は, 水道水に 1 週間ほど浸けて軟体部を腐敗させ, それらを流水で除去しながら洗浄し, 自然乾燥させて骨格標本とした。次に, それらの骨格標本の形態観察を行い, Forskål (1775) や Dana (1846) などのキクメイシ属各種の原記載論文や, Veron et al. (1977) に掲載されているそれらのタイプ標本写真を参考にしな

がら種レベルで同定した。なお, 最近の分子系統と骨格形態の再検討による分類体系の見直しによって, 従来のキクメイシ科 Faviidae Gregory, 1900 に入れられていた属の中で, 大西洋産のものについてはオオトゲサンゴ科 Mussidae Gregory, 1900 とサザナミサンゴ科 Merulinidae Verrill, 1865 に, 太平洋産のものについては全てサザナミサンゴ科 Merulinidae Verrill, 1865 に入れられることとなった(Budd et al. 2012)。また, 従来のキクメイシ属 *Favia* Oken, 1815 に入れられていた種の中で, 大西洋産のものには *Favia* Milne Edwards, 1857 (和名なし) が, 太平洋産のものにはキクメイシ属 *Dipsastraea* Blainville, 1830 がそれぞれ採用されることとなった。同様に, 従来のマルキクメイシ属 *Montastraea* に含まれていた種についても, 太平洋産のものにはマルキクメイシ属 *Phymastrea* Milne Edwards & Haime, 1848 が, 大西洋産のものには *Montastraea* Blainville, 1830 および *Orbicella* Dana 1846 (ともに和名なし) がそれぞれ用いられることとなった。よって本稿では, この分類学的変更に従い, 太平洋産キクメイシ属を *Dipsastraea*, 大西洋産 *Montastraea* (= *Montastraea annularis* complex) を *Orbicella* と表記した。

種同定が終了した骨格標本の中から, 部分死や穿孔動物(二枚貝や甲殻類など)の影響などによる群体骨格の変形や損傷の少ない標本を本研究の試料として選定した。その結果, 本研究で用いられた試料は, 西表島のキクメイシ *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) [= *Favia speciosa* (Dana, 1846)] が 6 群体, スボミキクメイシ *Dipsastraea favus* (Forskål, 1775) [= *Favia favus* (Forskål, 1775)] が 12 群体, 福江島のキクメイシ 2 群体, 若松島のキクメイシ 3 群体, 壱岐のキクメイシ 13 群体, 対馬のキクメイシ 11 群体の計 47 群体となった(表 1)。

キクメイシ属サンゴの骨格成長と表層海水温との関連を考察するために, 各地点もしくはその周辺地域での表層海水温データが集められた。今回, 群体骨格試料を採集した福江島布浦, 若松島滝ヶ原, 壱岐黒崎と板浦, 対馬瀬ノ浦は, 環境省が行っているモニタリングサイト 1000 事業(<http://www.biodic.go.jp/moni1000/index.html>)において長崎県のサンゴの長期モニタリング地点となっている。これに関連して, 瀬ノ浦には 2007 年 8 月以降, 滝ヶ原には同年 10 月以降, 水温データロガーが設置されて

表 1 各地点での 2008 年の年平均表層海水温とキクメイシとスボミキクメイシの平均伸長量 (cm yr^{-1}), 密度 (g cm^{-3}) および石灰化量 ($\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$)

Table 1 Annual mean sea surface temperatures in 2008 and average extension rates, densities and calcification rates of *Dipsastraea speciosa* and *D. fava* for each sampling site

Site	Latitude	Longitude	Average annual SST ($^{\circ}\text{C}$)	Species	Number of colonies	Extension rate $\pm$ SE (mm yr^{-1})	Density $\pm$ SE (g cm^{-3})	Calcification rate $\pm$ SE ($\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$)	Habitat environment		
									Topography	Wave energy	Depth (m)
Nakano	24 $^{\circ}$ 25'N	123 $^{\circ}$ 47'E	25.9	<i>Dipsastraea speciosa</i>	5	4.5 $\pm$ 0.3 (n = 25)	1.6 $\pm$ 0.0 (n = 5)	0.7 $\pm$ 0.1 (n = 5)	open ocean	high	1–3
				<i>Dipsastraea fava</i>	8	4.0 $\pm$ 0.3 (n = 40)	1.8 $\pm$ 0.1 (n = 8)	0.7 $\pm$ 0.1 (n = 8)			
Nunoura	32 $^{\circ}$ 39'N	128 $^{\circ}$ 39'E	20.0	<i>Dipsastraea speciosa</i>	2	2.7 $\pm$ 0.3 (n = 10)	1.6 $\pm$ 0.0 (n = 2)	0.4 $\pm$ 0.0 (n = 2)	inner bay	high	1–3
Takigahara	32 $^{\circ}$ 52'N	128 $^{\circ}$ 58'E	19.8	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3	3.7 $\pm$ 0.0 (n = 15)	1.3 $\pm$ 0.0 (n = 3)	0.5 $\pm$ 0.0 (n = 3)	open ocean	high	1–3
Itaura	33 $^{\circ}$ 45'N	129 $^{\circ}$ 39'E	19.7	<i>Dipsastraea speciosa</i>	8	3.8 $\pm$ 0.4 (n = 40)	1.1 $\pm$ 0.1 (n = 8)	0.4 $\pm$ 0.1 (n = 8)	inner bay	low	1–3
Kurosaki	33 $^{\circ}$ 48'N	129 $^{\circ}$ 40'E							inner bay	low	1–3
Senoura	34 $^{\circ}$ 24'N	129 $^{\circ}$ 16'E	20.2	<i>Dipsastraea speciosa</i>	7	3.9 $\pm$ 0.3 (n = 35)	1.0 $\pm$ 0.1 (n = 7)	0.4 $\pm$ 0.0 (n = 7)	inner bay	low	1–3

いる。また、西表島中野に近い嘉弥真島北部でも同事業のモニタリングが行われており、その礁縁には水温データロガーが 2007 年 12 月以降設置されている。一方、布浦には水産総合研究センター西海区水産研究所五島庁舎（旧五島栽培漁業センター）があり、1981 年 10 月以降、継続して海水温を測定している。また黒崎では、ここで真珠養殖を行っていた田崎真珠（現在の社名は TASAKI）が、1985 年 10 月から 2008 年 12 月まで海水温を測定していた。よって本研究では、これらのデータのうち、各地点で共通して存在する 2008 年 1 月から 12 月の海水温データを各地点間での比較をする際に用いた。

骨格成長パラメータ（伸長量、密度と石灰化量）の測定

試料として選定されたキクメイシ属サンゴ計 47 群体を、群体頂上部に位置する複数のサンゴ個体を半割するように岩石カッターで切断した（図 2a）。そして、その切断面の両側から厚さ約 5 mm の骨格平板（スラブ）を作製した（図 2b）。次に、各群体試料の年成長輪を検出し、一年あたりの骨格伸長量を測定した。まず、軟 X 線非破壊装置（SOFTEX 社 M60）を用いて 55 kVp, 3.5 mA, 45 秒の条件下で、作製したスラブの軟 X 線画像を撮影した。撮影した軟 X 線画像のネガをスキャンしてパソコンに取り込んだ後、色を反転させて、画像中に濃黒色と薄黒色の縞模様 1 ユニットとして現れる年成長輪を読み取った（図 2c）。次に、スラブ内の最もきれいに半割されたサンゴ個体中に見られる年成長輪に

ついて、個体の伸長方向に対して垂直に、各スラブにつき 1 個体の過去 5 年分（5 ユニット）の年成長輪の幅をそれぞれノギスで計測し、その平均値を算出して年平均伸長量 (mm yr^{-1}) とした（Knutson et al. 1972）。

造礁サンゴ骨格の密度は、スラブの軟 X 線画像中の各成長輪の濃淡の違いに基づいて推算される方法が最も一般的である（Gagan et al. 2000 など）。しかし、この方法は密度を直接測定しているわけではないため、その値の信頼性には検討の余地がある。よって本研究では、骨格の体積と乾燥重量から直接その密度（空隙率に相当する）を算出する二つの方法を用いた。一つは Dustan (1975) による水銀の比重を用いた方法で（以下、水銀法とよぶ）、もう一つは Carricart-Ganivet et al. (2000) によるアラゴナイトと水（氷）の比重を用いた方法（以下、冷凍法とよぶ）である。水銀法では、スラブを 60 $^{\circ}\text{C}$ のホットプレート上に 24 時間放置して十分に乾燥させ、その乾燥重量を測定した。次に、水銀で満たした容器に乾燥スラブを押し入れ（図 2d）、そこから溢れ出た水銀をトレイ上に回収し、その重量を測定した（図 2e）。そして、これらの測定値と水銀の比重を以下の換算式に代入し、スラブの密度を求めた。なお、これらの測定は 2007 年 5 月（室温 20 $^{\circ}\text{C}$ ）と 2008 年 6 月（室温 24 $^{\circ}\text{C}$ ）に行われた。

$$\text{スラブの密度 (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{乾燥重量 (g)}}{\text{(水銀重量 (g) / 水銀の比重 (g cm}^{-3}\text{))}}$$

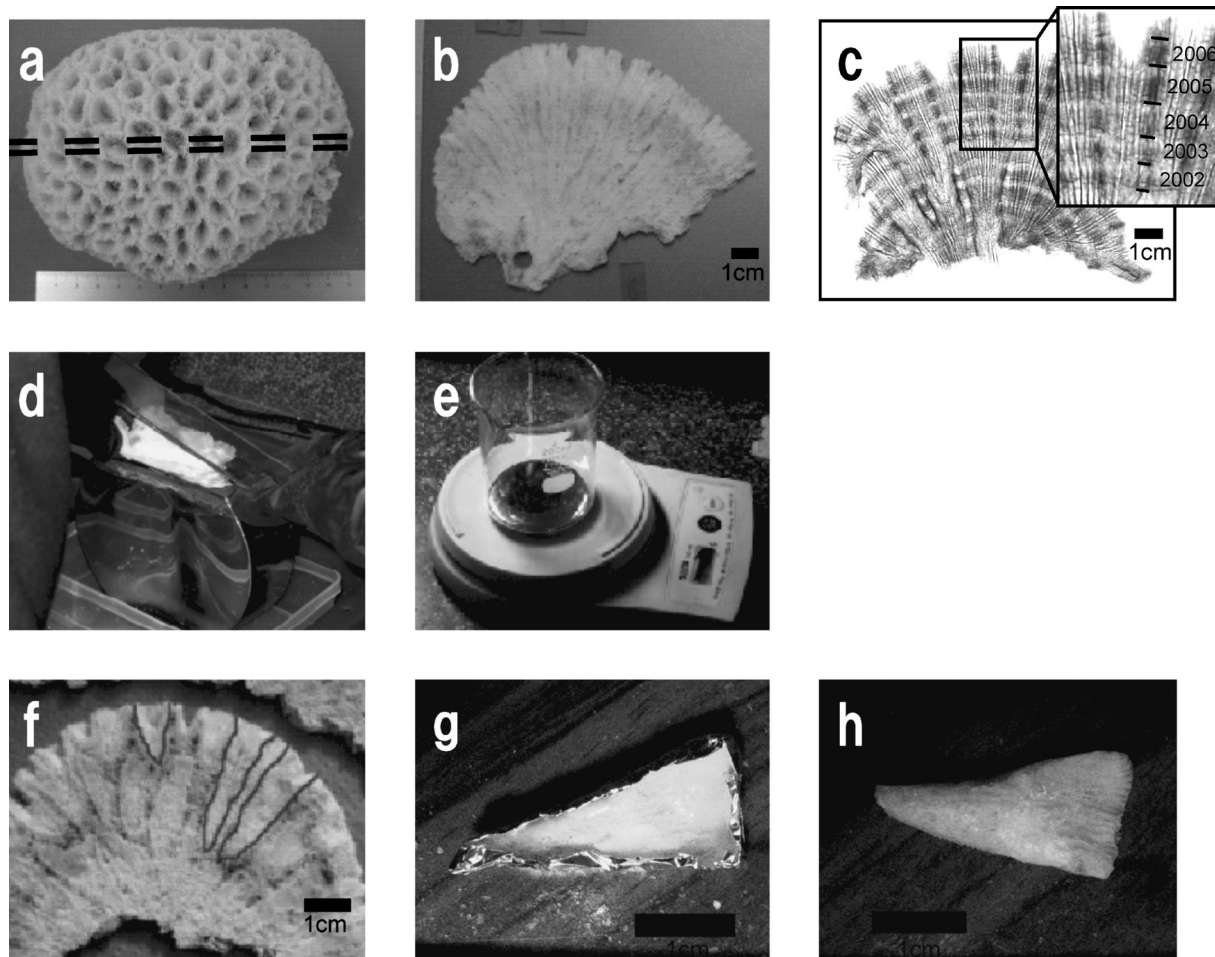


図 2 本研究におけるキクメイシ属サンゴ群体の骨格伸長量と密度の測定手順。(a) 群体骨格の点線部からスラブを切り出す；(b) 5 mm の厚さのスラブ；(c) スラブの軟 X 線写真；(d) 水銀で満たされた容器にスラブを押し込む；(e) 溢れ出た水銀の重量を計測する；(f) スラブから 3 つのサンゴ個体を切り出す；(g) サンゴ個体をアルミ箔で包み、その中を蒸留水で浸す；(h) 冷凍されたサンゴ個体からアルミ箔と個体表面にはみ出した氷を除去する

Fig. 2 Procedures for measuring extension rates and densities of colony skeletons of *Dipsastraea* corals. (a) Cutting out a slab from a colony skeleton; (b) a slab with a thickness of 5 millimeters; (c) an X-ray image of a slab; (d) pushing a slab into a glass container filled with mercury; (e) cutting out 3 corallites from a slab; (f) putting a corallite into aluminum foil filled with distilled water; and (g) removing the aluminum foil and ice protruded from the surface of a frozen corallite

$$\left(\begin{array}{l} \text{水銀の比重：室温 } 20^{\circ}\text{C のとき } 13.5459 \text{ g cm}^{-3}, \\ \text{室温 } 24^{\circ}\text{C のとき } 13.5361 \text{ g cm}^{-3} \end{array} \right)$$

冷凍法では、スラブ内で最もきれいに半割されている 3 つのサンゴ個体を選定し (図 2f)、デンタルカッター (SHOFU 社 Pash-BL50) を使ってそれらを切り出した。切り出したサンゴ個体を、隙間がないようにアルミ箔でカップ状に包み、その中を蒸留水で満たした。そして、蒸留水がサンゴ個体の骨格

内部に十分に浸透するように 24 時間放置した後、 -20°C の低温室に 24 時間放置して凍結させた (図 2g)。その後、同室内でアルミ箔を剥がして骨格の外部まではみ出してできた氷を除去し (図 2h)、サンゴ個体の冷凍重量を測定した。その後サンゴ個体を解凍し、 60°C のホットプレート上に 24 時間置いて乾燥させた後、サンゴ個体の乾燥重量を測定した。これらの測定値を以下の式に代入し、サンゴ個体の密度を算出した。

$$\text{サンゴ個体の密度 (g cm}^{-3}\text{)} = W_d / [(W_d / d_{ar}) + \{(W_f - W_d) / d_{ice}\}]$$

$$\left(\begin{array}{l} W_d: \text{サンゴ個体の乾燥重量, } d_{ar} \text{ (アラゴナイト} \\ \text{の比重)}: 2.93 \text{ g cm}^{-3} \text{ (Liley and Gambill 1986)} \\ \\ W_f: \text{サンゴ個体の冷凍重量, } d_{ice} \text{ (氷の比重)}: \\ 0.915 \text{ g cm}^{-3} \text{ (Liley and Gambill 1986)} \end{array} \right)$$

軟 X 線画像から導き出された骨格の伸長量と、水銀法と冷凍法で得られた骨格の密度をもとに石灰化量を算出した。一般的に石灰化量は、伸長量と密度の積で求められる (Dodge and Brass 1984; Carricart-Ganivet et al. 2000)。

$$\text{石灰化量 (g cm}^{-2} \text{ year}^{-1}\text{)} = \text{伸長量 (cm year}^{-1}\text{)} \\ \text{あるいは mm year}^{-1}\text{)} \times \text{密度 (g cm}^{-3}\text{)}$$

統計解析

本研究で得られた3つの骨格成長パラメータの測定結果について、市販の統計解析ソフト (エクセル統計 2012) を用いて、統計学的有意性の検証を行った。まず、各パラメータの地域間での違いを調べるため、多重比較検定を行った。ただし本研究では、これらの測定を行った群体数が地点ごとに異なっていたため、Carricart-Ganivet and Merino (2001) のような Tukey 法ではなく Tukey-Kramer 法を用い、一元配置分散分析を行っていない。次に、図1や表1からわかるように、緯度と年平均表層海水温が明らかに異なる西表島 (亜熱帯域) とそれ以外の長崎県の島々 (温帯域) との間での違いを調べるために、等分散を仮定した2標本による検定 (Unpaired t-test) を行った。同様に、キクメイシとスボミキクメイシの2種間での各骨格成長パラメータの違いを調べる際にも本検定を行った。その他、同試料で同数の密度測定を行った、水銀法と冷凍法による結果の違いを評価する際には、一対の標本による平均の検定 (Paired t-test) を行った。さらに、各パラメータ間での相関を調べる際には回帰分析を行い、その相関の有意性を検討した。

結果

骨格成長パラメータ

作製したスラブのわずかな厚さの違いなどにより、全47群体中14群体については年成長輪を検出できず、年平均伸長量を算出することができなかった (付表1でNDと示されたもの)。残り33群体のうち、キクメイシ25群体の年平均伸長量は、西表島が $4.5 \pm 0.3 \text{ mm yr}^{-1}$ ($n = 5$)、福江島が $2.7 \pm 0.3 \text{ mm yr}^{-1}$ ($n = 2$)、若松島が $3.7 \pm 0.0 \text{ mm yr}^{-1}$ ($n = 3$)、壱岐が $3.8 \pm 0.4 \text{ mm yr}^{-1}$ ($n = 8$)、対馬が $3.9 \pm 0.3 \text{ mm yr}^{-1}$ ($n = 7$) で、また、西表島のスボミキクメイシ8群体の年平均伸長量は $4.0 \pm 0.3 \text{ mm yr}^{-1}$ であった。各地点のキクメイシの年平均伸長量について、各地域間で多重比較検定を行うと、福江島と対馬の間では有意差が認められたが、それ以外の地点間では認められなかった (表2)。また、亜熱帯域 (西表島) と温帯域 (福江島・若松島・壱岐・対馬) 間に大別して、これらの値を比較しても、有意差は認められなかった (Unpaired t-test, $P = 0.09$)。

全47群体の骨格密度について、水銀法で得られた結果と冷凍法で得られたそれらを比較すると、有意な違いはみられなかった (Paired t-test, $P = 0.47$)。このことから、両手法で得られたこれらの値の信頼性は高いものと思われる。よって以後は、測定方法が簡便で、測定の際にサンゴ個体と共骨の両部位が含まれている水銀法によって得られた密度と、それから導き出された結果を紹介する。伸長量を算出することができた33群体のうち、キクメイシ25群体の平均密度は、西表島が $1.6 \pm 0.0 \text{ g cm}^{-3}$ ($n = 5$)、福江島が $1.6 \pm 0.0 \text{ g cm}^{-3}$ ($n = 2$)、若松島が $1.3 \pm 0.0 \text{ g cm}^{-3}$ ($n = 3$)、壱岐が $1.1 \pm 0.1 \text{ g cm}^{-3}$ ($n = 8$)、対馬が $1.1 \pm 0.1 \text{ g cm}^{-3}$ ($n = 7$) であった (表1)。また、スボミキクメイシ8群体の平均密度は $1.8 \pm 0.1 \text{ g cm}^{-3}$ であった。キクメイシの平均密度について地点間で多重比較検定を行うと、西表島と対馬、福江島と壱岐そして福江島と対馬の間ではそれぞれ有意差が認められた (表2)。今後、各島 (特に温帯域) での試料数が増えれば、対馬以外の島々と西表島間での有意な差が出てくるかもしれない。また、亜熱帯域 (西表島) でのこれらの値は、温帯域 (福江島・若松島・壱岐・対馬) での値よりも有意に高かった (Unpaired t-test, $P <$

表 2 各地域から得られたキクメイシの平均伸長量 (cm yr^{-1})・平均密度 (g cm^{-3})・平均石灰化量 ($\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$), それらの標準偏差, Tukey-Kramer 法による各地域間の多重比較検定の結果。* は, 比較した地域間で統計学的に有意に異なることを示す (**: $P < 0.001$; *: $P < 0.05$)

Table 2 Average and standard deviation of extension rates (cm yr^{-1}), densities (g cm^{-3}), and calcification rates ($\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$) of *Dipsastraea speciosa* at each of the site sampled, and results of Tukey-Kramer test between the sites. Asterisks indicate significant differences (**: $P < 0.001$; *: $P < 0.05$)

Extension rate			Iriomote	Fukue	Wakamatsu	Iki	Tsushima
	Mean	SD	n = 5	n = 2	n = 3	n = 8	n = 7
Iriomote	4.46	0.39		1.78	0.80	0.64	0.53
Fukue	2.68	0.15			0.98	1.14	1.25*
Wakamatsu	3.66	0.01				0.16	0.27
Iki	3.82	1.30					0.10
Tsushima	3.93	0.49					

Density			Iriomote	Fukue	Wakamatsu	Iki	Tsushima
	Mean	SD	n = 6	n = 2	n = 3	n = 13	n = 11
Iriomote	1.62	0.01		0.09	0.37	0.50	0.60**
Fukue	1.55	0.00			0.28	0.41*	0.51**
Wakamatsu	1.27	0.00				0.13	0.22
Iki	1.10	0.03					0.09
Tsushima	1.06	0.04					

Calcification rate			Iriomote	Fukue	Wakamatsu	Iki	Tsushima
	Mean	SD	n = 5	n = 2	n = 3	n = 8	n = 7
Iriomote	0.73	0.01		0.32	0.27	0.29	0.33**
Fukue	0.41	0.00			0.05	0.03	0.01
Wakamatsu	0.46	0.00				0.02	0.06
Iki	0.44	0.03					0.04
Tsushima	0.41	0.01					

0.001)。

密度から算出したキクメイシ 25 群体の平均石灰化量は, 西表島が $0.7 \pm 0.1 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ($n = 5$), 福江島が $0.4 \pm 0.0 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ($n = 2$), 若松島が $0.5 \pm 0.0 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ($n = 3$), 壱岐が $0.4 \pm 0.1 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ($n = 8$), 対馬が $0.4 \pm 0.0 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ($n = 7$) であった (表 1)。また, 西表島のスポミキクメイシ 8 群体については $0.7 \pm 0.1 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。キクメイシの石灰化量に関する地域間での多重比較検定では, 西表島と対馬間でのみ有意差が検出された (表 2)。また, 亜熱帯域 (西表島) でのこれらの値は, 温帯域 (福江島・若松島・壱岐・対馬) での値よりも有意に高かった (Unpaired t-test, $P < 0.001$)。

キクメイシとスポミキクメイシの各骨格成長パラメータを比較すると, どれも有意な違いはみられなかった (Unpaired t-test, 伸長量 $P = 0.35$; 密度 $P = 0.11$; 石灰化量 $P = 0.98$)。

骨格成長パラメータ間の相互関係

各地域から得られたキクメイシ群体のうち, 伸長量を算出することができた 33 群体について, 伸長量, 密度, 石灰化量の相互関係をみてみると (図 3a-c), 西表島, 福江島, 若松島, 壱岐, 対馬の全地点での伸長量と石灰化量および密度と石灰化量には, それぞれ高い正の相関がみられた (図 3a, c; 表 3)。また, 図 3 では示されていないものの, 西表島のみ, あるいは壱岐のみの場合についても, 伸長量

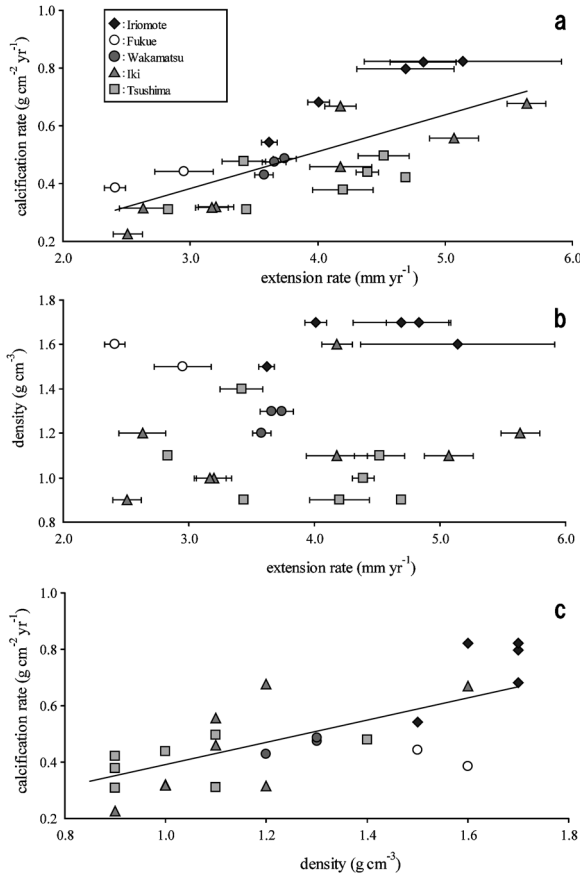


図3 各地点におけるキクメイシの伸長量、密度（水銀法）と石灰化量の相互関係。(a) 伸長量 vs 石灰化量、(b) 伸長量 vs 密度、(c) 密度 vs 石灰化量。図中のバーは標準誤差を示す

Fig. 3 Relationships among extension rates, densities and calcification rates of *Dipsastraea speciosa* for each sampling site. (a) extension rates vs calcification rates, (b) extension rates vs densities, and (c) densities vs calcification rates. Bars indicate standard errors

と石灰化量に（壱岐については密度と石灰化量も）正の相関がみられた（表3）。一方、伸長量と密度には、全地点の場合でも各地点のみの場合でも相関がみられなかった（図3b; 表3）。

西表島で採集されたキクメイシとスボミキクメイシについて、各パラメータ間の相互関係をみると、伸長量と石灰化量については両種それぞれ高い正の相関がみられたが（図4a; 表4）、伸長量と密度、密度と石灰化量についてはともに相関がみられなかった（図4b, c; 表4）。

骨格成長パラメータと緯度および海水温との関係

本研究で得られた日本のキクメイシとスボミキクメイシの骨格の伸長量、密度および石灰化量に、Highsmith (1979) によるエニウェトク環礁から採集されたウスチャキクメイシ *Dipsastraea pallida* (Dana, 1846) [= *Favia pallida* (Dana, 1846)] の骨格の伸長量、密度および石灰化量の測定結果を加えて、これらの骨格成長パラメータと緯度および海水温との関係（図5a-c）をみる。まず、西表島、福江島、若松島、壱岐、対馬そしてエニウェトク環礁の全6地点の緯度と海水温について回帰分析を行うと、有意な相関 ($R = 0.97$, $P < 0.05$) がみられた。次に、緯度と伸長量・石灰化量には負の、表層海水温と伸長量・石灰化量には正の相関がそれぞれみられた（図5a, c; 表5）。一方、緯度と密度および表層海水温と密度にはともに相関がみられなかった（図5b; 表5）。

表3 各地域から得られたキクメイシの伸長量・密度・石灰化量の相関係数。* は、統計学的に有意な相関があることを示す (**: $P < 0.001$; *: $P < 0.05$)

Table 3 Correlation coefficients among extension rates, densities and calcification rates of *Dipsastraea speciosa* for each site. Asterisks indicate statistically significant correlations (**: $P < 0.001$; *: $P < 0.05$)

Relationship	All together n = 25	Iriomote n = 5	Fukue n = 2	Wakamatsu n = 3	Iki n = 8	Tsushima n = 7
Extension rate vs Calcification rate	0.68**	0.96*	—	0.94	0.90*	0.60
Extension rate vs Density	0.14	0.12	—	0.87	0.37	0.41
Density vs Calcification rate	0.71**	0.71	—	0.98	0.74*	0.49

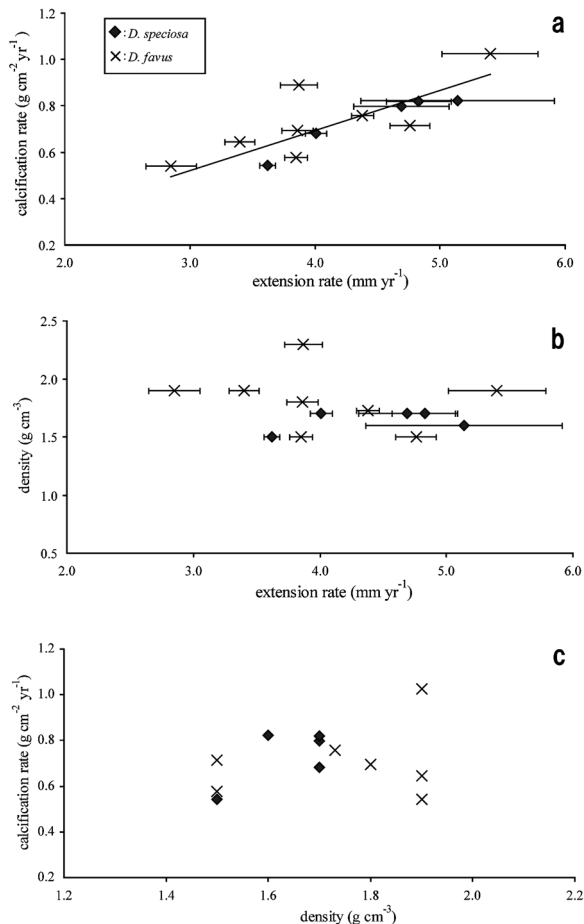


図 4 西表島中野のサンゴ礁縁上のキクメイシとスボミキクメイシの伸長量、密度（水銀法）と石灰化量の相互関係。(a)伸長量 vs 石灰化量, (b)伸長量 vs 密度, (c)密度 vs 石灰化量. 図中のバーは標準誤差を示す

Fig. 4 Relationships among extension rates, densities, calcification rates of *Dipsastraea speciosa* and *D. fava* from the Nakano Reef of Iriomote Island. (a) extension rates vs calcification rates, (b) extension rates vs densities, and (c) densities vs calcification rates. Bars indicate standard errors

考察

骨格成長パラメータとそれらの相互関係の比較

結果で述べたとおり、西表島で採集されたキクメイシとスボミキクメイシ2種間には伸長量、密度と石灰化量の値にどれも有意な違いはみられなかった。また、伸長量と石灰化量の関係をみると、両種ともに高い正の相関がみられ（図 4a; 表 4）、伸長量

と密度や密度と石灰化量にはともに相関がみられなかった（図 4b, c; 表 4）。これらの2種とウスチャキクメイシは、骨格の形態的特徴が非常に類似しており（Veron et al. 1977）、その地理的分布もほぼ同じで（Veron 2000）、これらの分子系統はほとんど違いがないことが知られている（Huang et al. 2011; Arrigoni et al. 2012; Kongjandtre et al. 2012）。以上のことから、太平洋のキクメイシ属の中で骨格形態がよく類似する数種については、群体試料が同地点の同様の生息環境から採集されていれば、それらの骨格成長に関する研究では同様に扱っても問題ないと考えられる。

日本の亜熱帯域に位置する沖縄県の西表島と、温帯域に位置する長崎県の福江島、若松島、壱岐、対馬から得られたキクメイシとスボミキクメイシの骨格成長パラメータの値は、年平均伸長量が2.7~4.5 mm yr⁻¹、平均密度が1.1~1.7 g cm⁻³、年平均石灰化量が0.4~0.7 g cm⁻² yr⁻¹であった（表 1）。これらの結果を、太平洋のハマサンゴ属や大西洋の *Orbicella annularis* の研究結果（Scoffin et al. 1992; Dodge and Brass 1984; Lough and Barnes 2000; Carricart-Ganivet and Merino 2001; Carricart-Ganivet 2004; Carricart-Ganivet et al. 2007）と比較すると、密度はそれほど変わらないが、年平均伸長量と石灰化量は明らかに低いことがわかる（表 6）。太平洋のキクメイシ属の年平均伸長量が同海域のハマサンゴ属のそれらよりも低いことは、エニウェトク環礁やロードハウ島での研究結果（Buddemeier et al. 1974; Harriot 1999）でも明らかにされている。このことから、分類群ごとに（少なくとも属レベルで）骨格の伸長量と石灰化量の範囲は異なっていることが示唆される。しかしながら、大西洋のハマサンゴ属の一種である *Porites astreoides* Lamarck, 1816 の伸長量や石灰化量（Elizalde-Rendón et al. 2010）は、太平洋の同属のものよりも明らかに低く、本研究で得られたキクメイシのそれらと同程度であった（表 6）。本種は、大西洋に生息する造礁サンゴの中で地理的生息範囲が最も広い種の一つで、*Orbicella annularis* が生息していない南アメリカ東岸やアフリカ西岸まで分布している（Veron 2000）。キクメイシもまた、スボミキクメイシやウスチャキクメイシと並んで、太平洋で地理的生息範囲が最も広い種の一つであり、北西太平洋でサンゴの生息北限である千葉県館山まで生息している（西平・Veron

表 4 西表島の中野サンゴ礁礁原から得られたキクメイシとスボミキクメイシの伸長量・密度・石灰化量の相関係数。* は、統計学的に有意な相関があることを示す (*: $P < 0.05$)

Table 4 Correlation coefficients among extension rates, densities and calcification rates of *Dipsastraea speciosa* and *D. favus* from the Nakano Reef of Iriomote Island. Asterisks indicate statistically significant correlations (*: $P < 0.05$)

Relationship	Both species n = 13	<i>Dipsastraea speciosa</i> n = 5	<i>Dipsastraea favus</i> n = 8
Extension rate vs Calcification rate	0.79*	0.96*	0.77*
Extension rate vs Density	0.22	0.45	0.22
Density vs Calcification rate	0.42	0.67	0.45

1995; Veron 2000)。このことから、地理的生息範囲が大きい種ほど、その骨格の伸長量と石灰化量は低い可能性が考えられる。

本研究で得られたキクメイシおよびスボミキクメイシの伸長量と石灰化量および密度と石灰化量には、全地点を合わせた場合はもちろんのこと、西表島や壱岐のように地点ごとにおいても、それぞれ高い正の相関がみられた (図 3a, c; 表 3)。一方、伸長量と密度には全地点の場合でも各地点のみの場合でも相関がみられなかった (図 3b; 表 3)。このことから、これらキクメイシ属 2 種の石灰化量は、伸長量あるいは密度のどちらかが高くなれば、それに比例して高くなると考えられる。本研究でみられた日本のキクメイシ属の伸長量と石灰化量の高い正の相関は、太平洋・大西洋のハマサンゴ属や大西洋の *Orbicella annularis* でも報告されている (Scoffin et al. 1992; Lough and Barnes 2000; Carricart-Ganivet and Merino 2001; Carricart-Ganivet et al. 2007; Elizalde-Rendón et al. 2010) ことから、これは多くの造礁サンゴに共通する特徴である可能性が高い。しかしながら、密度と石灰化量については太平洋のハマサンゴ属で負の相関が認められており (Lough and Barnes 2000; Carricart-Ganivet et al. 2007)、伸長量と密度については大西洋の *Orbicella annularis* や太平洋のハマサンゴ属で負の相関が認められている (Dodge and Brass 1984; Lough and Barnes 2000; Carricart-Ganivet 2004; Carricart-Ganivet et al. 2007)。Scoffin et al. (1992) は、タイ南部から採集されたコブハマサンゴの骨格密度が、局所的な物理環境の違い、特にサンゴ礁の発達方向や水深と

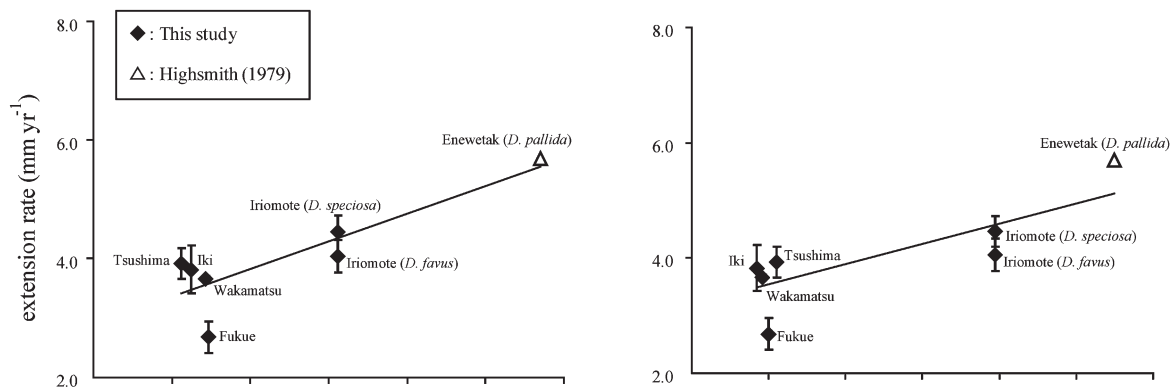
いった波浪エネルギーに関係する環境の違いで変化しやすいことを明らかにしている。その一方で、対象種や対象海域そして対象種を採集した水深が異なっている、密度の平均値はそれほど変わらないことがわかる (表 6)。このことは、密度と伸長量もしくは密度と石灰化量との関係については、各地点での実測値をそのまま考察に反映させた場合と、平均値を求めて比較する場合とでは、その傾向が異なる場合があることを示唆している。実際に、Lough and Barnes (2000) では、グレートバリアリーフのみのデータでは密度と石灰化量に相関がみられないのに、インド～太平洋各地での平均値をもとにした場合は負の相関が認められている。以上のことから、サンゴの骨格成長パラメータ間の関係について過去の研究結果と比較する場合には、過去の文献中での掲載値が実測値なのか平均値なのかを十分に考慮する必要がある。

各骨格成長パラメータの相互関係について、日本のキクメイシ属 2 種と全く同じ結果が得られているのは、大西洋の *Porites astreoides* の研究結果 (Elizalde-Rendón et al. 2010) のみであった。前述のように、これらの種は、近縁な種・属に比べて地理的生息範囲が広く、伸長量と石灰化量が低い (表 6) という共通した特徴を持っている。よって、これらの種と同様の特徴を持つ種の骨格成長パラメータ間では、同様の相互関係がみられるかもしれない。

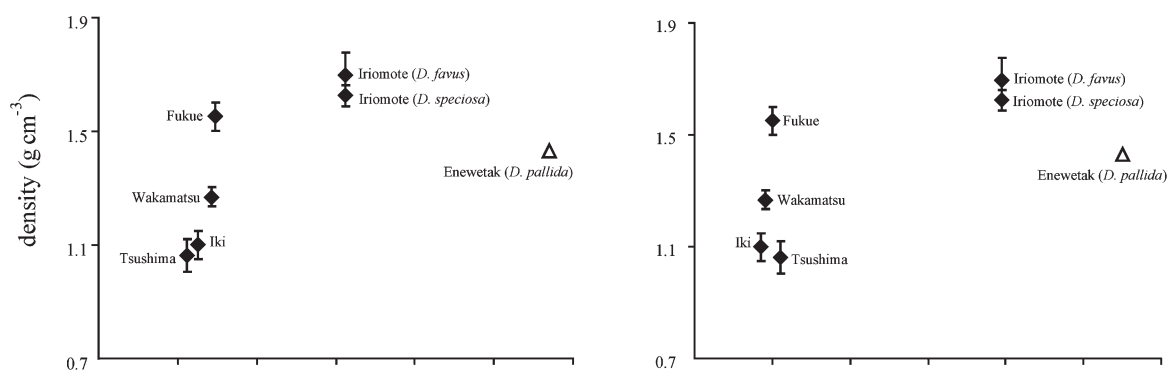
北西太平洋におけるキクメイシ属の骨格成長の緯度変化

本研究で得られた日本のキクメイシとスボミキク

a. Extension rate



b. Density



c. Calcification rate

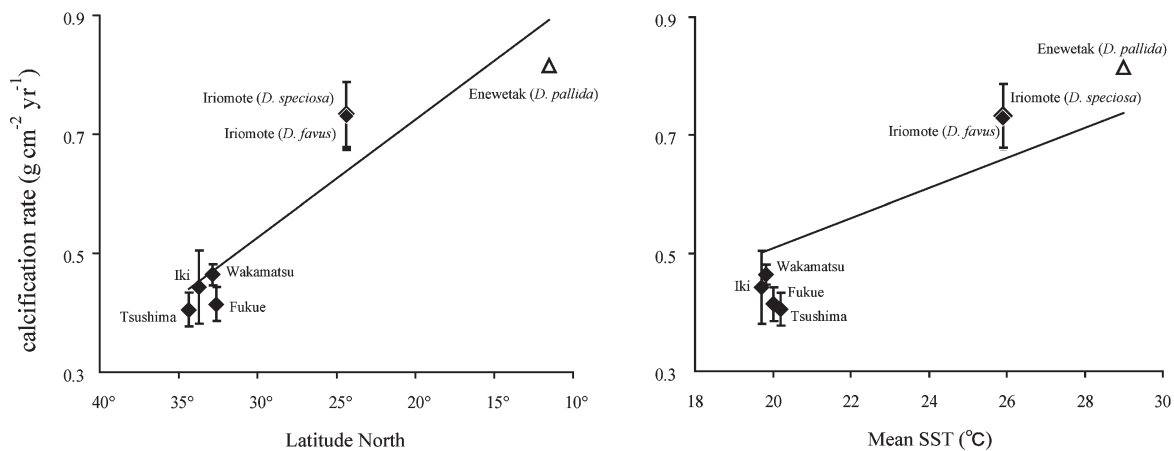


図 5 各地点における緯度および年平均表層海水温と、キクメイシ、スボミキクメイシ、ウスチャキクメイシの (a) 伸長量、(b) 密度および (c) 石灰化量の関係。ただし、ウスチャキクメイシについては Highsmith (1979) の結果を引用。図中のバーは標準誤差を示す

Fig. 5 Relationships among (a) extension rates, (b) densities, and (c) calcification rates of *Dipsastraea speciosa*, *D. favus* (this study), and *D. pallida* for each sampling site, against latitudes and annual mean sea surface temperatures. Bars indicate standard errors. Values for *D. pallida* were from Highsmith (1979)

表 5 緯度および平均表層海水温と、キクメイシ属サンゴの伸長量・密度・石灰化量との相関係数。* は、統計学的に有意な差があることを示す (**: $P < 0.001$; *: $P < 0.05$)

Table 5 Correlation coefficients for extension rates, densities and calcification rates of *Dipsastraea* corals including *D. pallida* (Highsmith 1979), *D. speciosa* and *D. favus* (this study) against latitudes and mean sea surface temperatures. Asterisks indicate statistically significant correlations (**: $P < 0.001$; *: $P < 0.05$)

Relationship	Extension rate	Density	Calcification rate
Latitude North n = 7	0.86*	0.45	0.94*
Mean SST n = 7	0.82*	0.56	0.97**

メイシ, Highsmith (1979) によるエニウェトク環礁から採集されたウスチャキクメイシの骨格の骨格成長パラメータと緯度および海水温との関係 (図 5a-c) において注目すべき点は、福江島から対馬にかけての海域から得られたキクメイシ, また西表島のキクメイシとスボミキクメイシの伸長量と密度には、地域間もしくは種間でばらつきがみられるものの、石灰化量でみると、そのばらつきが少なくなることである。このことは、緯度もしくは表層海水温と伸長量との相関よりも、それらと石灰化量との相関のほうが高いことから裏付けられる (表 5)。例えば、福江島から採集されたキクメイシの伸長量は、海水温が同程度である若松島、壱岐、対馬よりも低く、骨格密度はこれら 3 地域よりも明らかに高い (図 5a, b)。しかし、それらの石灰化量はほぼ同じ値となっている (図 5c)。このことは、キクメイシ属サンゴの骨格の伸長量や密度は、同地点あるいは同地域内である程度のばらつきがあっても、石灰化量は表層海水温が同様の地域ごとにほぼ一定、すなわち石灰化量の海水温への依存性が最も高いことを示唆している。また Scoffin et al. (1992) では、石灰化量が波浪エネルギーをはじめとする局所的な物理環境に影響されないことが示唆されている。これらの考察をふまえると、日本のキクメイシをはじめとするキクメイシ属サンゴは、骨格成長に関わる伸長量または密度を変化させることで石灰化量を一定に保ち、海域ごとに異なる表層海水温にうまく適応しているのかもしれない。その結果として、日本のキクメイシ (本研究試料) や同様の特徴を持つ大西洋の *Porites astreoides* は、太平洋や大西洋での地理的生息範囲が広いのかもしれない。

終わりに

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) の第 4 次評価報告書では、地球温暖化やその後に起こる海洋酸性化が、造礁サンゴをはじめとした石灰質の殻や骨格を持つ海洋生物へ与える影響について触れられている (IPCC 2007)。屋良ら (2009) や Yara et al. (2012) は、地球温暖化と海洋酸性化が現在の造礁サンゴの生息域をより高緯度側に移動させ、それらの白化の規模・頻度・強度を増大させたり、それらの骨格の石灰化を抑制したりすることで、将来の造礁サンゴの分布や健全度に多大な影響を及ぼすことを高解像度予測シミュレーションによって予測している。Lough and Barnes (2000) や Cooper et al. (2012) は、太平洋の塊状ハマサンゴ属サンゴの石灰化量が、地球規模での温暖化に伴う表層海水温の上昇の初期段階では増加する可能性があること、その傾向がすでにオーストラリア西岸の高緯度域 (サンゴ礁分布の縁辺域) で認められること、しかし、そこでは海洋酸性化による石灰化阻害はまだ起きていないことを明らかにしている。本研究と同様の研究が今後も日本周辺海域で定期的に行われれば、地球温暖化や海洋酸性化に伴って、温帯域を含む造礁サンゴの生息北限域でのそれらの骨格形成がどう変化するかをモニタリングすることができのかもしれない。ただし、測定手法によっては伸長量やそれをもとに算出した石灰化量が過大または過小評価されている場合がある。よって、これらを環境指標として用いる場合にはその取り扱い方に十分注意する必要がある (Carricart-Ganivet 2011)。また、

表 6 西太平洋と西大西洋の異なる海域から採集されたサンゴ数種の平均伸長量 (cm yr⁻¹), 密度 (g cm⁻³) および石灰化量 (g cm⁻² yr⁻¹)
Table 6 Average extension rates, densities and calcification rates of several coral taxa in different regions on the western Pacific and the western Atlantic

Taxa	Locality	Latitudinal range	Average annual SST (°C)	Depth (m)	Number of colonies	Extension rate (mm yr ⁻¹)	Density (g cm ⁻³)	Calcification rate (g cm ⁻² yr ⁻¹)	Reference
<i>Dipsastraea pallida</i>	Enewetak Atoll	11°28'N	ND	2–30	21	5.7	1.4	0.8	Highsmith (1979)
<i>Orbicella annularis</i>	Caribbean Sea	17°45'N–17°47'N	ND	2–8	61	8.6–11.6	1.3–1.4	1.1–1.4	Dodge and Brass (1984)
<i>Porites lutea</i>	Andaman Sea	7°36'N–7°50'N	ND	0.5–1	107	14.2–23.8	1.0–1.5	2.2–2.9	Scoffin et al. (1992)
<i>Porites</i> spp.	Great Barrier Reef	12°23'S–21°39'S	-25.0–27.0	3–5	245	8.3–16.7	1.1–1.6	1.1–2.1	Lough and Barnes (2000)
<i>Orbicella annularis</i>	Caribbean Sea	18°30'N–20°51'N	ND	2–10	12	8.2–9.1	1.7–1.8	1.5–1.5	Carricart-Ganivet et al. (2000)
<i>Orbicella annularis</i>	Gulf of Mexico	19°12'N–22°33'N	ND	10	20	7.6–9.2	1.4–2.0	1.2–1.5	Carricart-Ganivet and Merino (2001)
<i>Orbicella annularis</i>	Gulf of Mexico, Caribbean Sea	17°45'N–22°33'N	26.1–28.2	2–10	66	7.8–10.0	1.3–2.1	1.1–1.6	Carricart-Ganivet (2004)
<i>Porites</i> spp.	Great Barrier Reef	18°29'S	ND	0–20	24	9.5	1.4	1.3	Carricart-Ganivet et al. (2007)
<i>Porites astreoides</i>	Gulf of Mexico, Caribbean Sea	18°43'N–22°09'N	26.5–28.0	2–5	59	3.5–4.3	1.4–1.7	0.5–0.7	Elizalde-Rendón et al. (2010)
<i>Dipsastraea speciosa</i> , <i>D. favius</i>	East China Sea	24°25'N–32°39'N	19.7–25.9	1–3	33	2.7–4.5	1.1–1.8	0.4–0.7	This study

塊状サンゴの骨格伸長量は、生息水深によって有意に異なることが知られている (Highsmith 1979; Chalker et al. 1988; Bosscher 1993; Carricart-Ganivet et al. 2007)。よって、新たなデータを加えてこれらの分類群の骨格伸長量と表層海水温（緯度）の関係を議論する際には、試料が採集された水深に特に注意すべきである。その他、造礁サンゴの石灰化量は、サンゴに共生している褐虫藻の光合成量に支配されているとも言われている (Barnes and Taylor 1973; Kawaguti and Sakamoto 1948; Goreau 1959; Pearse and Muscatine 1971; Vandermeulen et al. 1972)。そのため、褐虫藻と表層海水温、そして日射量との関連性は、少なからず造礁サンゴの石灰化量に影響を与えていると考えられる。各地域のキクメイシに共生している褐虫藻のクレードやそれらの水温耐性などが解明されれば、表層海水温がそれらの石灰化のメカニズムにどう影響しているかを詳細に説明することが可能になるだろう。

結論

- 沖縄県の西表島と長崎県の福江島、若松島、壱岐、対馬に生息するキクメイシ *Dipsastraea speciosa* の骨格の年平均伸長量は $2.7 \sim 4.5 \text{ mm yr}^{-1}$ 、年平均密度は $1.1 \sim 1.6 \text{ g cm}^{-3}$ 、年平均石灰化量は $0.4 \sim 0.7 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。
- 亜熱帯域（西表島）でのキクメイシの年平均密度と年平均石灰化量は、温帯域（福江島・若松島・壱岐・対馬）でのそれらより有意に高かったが、伸長量については亜熱帯および温帯域間で有意な違いは認められなかった。
- 本調査地域内でのキクメイシの伸長量 vs 石灰化量および密度 vs 石灰化量にはそれぞれ正の相関がみられたが、伸長量 vs 密度ではみられなかった。よって、キクメイシの石灰化量は、伸長量あるいは密度のどちらかが高くなれば、それに比例して高くなると考えられる。
- 日本産キクメイシの骨格成長パラメータ間の相互関係は、大西洋の *Porites astreoides* のそれらとよく類似する。これら 2 種は、それぞれに近縁な種・属に比べて地理的生息範囲が広く、伸長量と石灰化量が低いといった特徴を持つ。
- 3つの骨格成長パラメータのうち、石灰化量の海水温への依存性が最も高いことが示唆された。このことから、日本産キクメイシ属サンゴは、伸長量または密度を変化させて石灰化量を一定に保つことで、海域ごとに異なる表層海水温に適応している可能性が考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、北海道大学低温科学研究所の飯塚芳徳博士には、低温実験所でのサンゴ骨格密度測定、同大学大学院理学研究院技術部の野村秀彦氏および中村晃輔氏には、薄片技術室でのサンゴ骨格スラブ作製にそれぞれ御協力して頂きました。北海道大学大学院地球環境科学研究院の島村道代博士と同大学理学部の渡邊研究室の学生の方々には、骨格スラブの軟 X 線写真撮影とスラブ試料からのサンゴ個体の切り出しに御協力して頂きました。韓国海洋研究院海洋資源本部の Kiseong Hyeong 博士、福岡大学理学部地球圏科学科地学分野の杵山哲男博士、上野勝美博士、石原与四郎博士と同分野の学生の方々、(一財)沖縄美ら島財団の野中正法博士、山本広美氏およびスタッフの方々には研究内容に関する有益な助言を頂きました。環境省自然環境局生物多様性センター、(独)水産総合研究センター西海区水産研究所五島庁舎、(株)田崎真珠（現在の社名は TASAKI）からは、本研究の対象地域における海水温データを提供して頂きました。(一財)自然環境研究センターの木村 匡氏と高知県水産試験場の柳川晋一氏には、沖縄県と高知県の海水温データの所在情報を頂きました。また、2名の匿名査読者には、本稿の内容と構成に関する非常に有益なコメントを頂きました。以上の方々に、この場をもって深く感謝いたします。なお本研究は、環境省地球環境研究総合推進費（課題番号 RF-082, 研究代表者：渡邊 剛）、日本学術振興会二国間交流事業（韓国との共同研究）（研究代表者：山野博哉）、国立環境研究所地球環境研究センターによる温暖化影響評価のための海洋モニタリング（研究代表者：山野博哉）、環境省モニタリングサイト 1000 事業（サンゴ

礁分野), 文部科学省科学研究費補助金(新学術領域研究)(課題番号 20121006, 研究代表者: 茅根創)による支援を受けました。

引用文献

- Arrigoni R, Stefani F, Pichon M, Galli P, Benzoni F (2012) Molecular phylogeny of the Robust clade (Faviidae, Mussidae, Merulinidae, and Pectinidae): An Indian Ocean perspective. *Mol Phylogenet Evol* 65: 183–193
- Barnes DJ, Taylor DL (1973) In-situ studies of calcification and photosynthetic carbon fixation in the coral *Montastrea annularis*. *Helgol Mar Res* 24: 284–291
- Bosscher H (1993) Computerized tomography and skeletal density of coral skeletons. *Coral Reefs* 12: 97–103
- Budd AF, Fukami H, Smith ND, Knowlton N (2012) Taxonomic classification of the reef coral family Mussidae (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia). *Zool J Lin Soc* 168: 465–529
- Buddemeier RW, Maragos JE, Knutson DW (1974) Radiographic studies of reef coral exoskeletons: rates and patterns of coral growth. *J Exp Mar Biol Ecol* 14: 179–200
- Carricart-Ganivet JP, Beltran-Torres AU, Merino M, Ruiz-Zarate MA (2000) Skeletal extension, density and calcification rate of the reef building coral *Montastraea annularis* (Ellis and Solander) in the Mexican Caribbean. *Bull Mar Sci* 66: 215–224
- Carricart-Ganivet JP, Merino M (2001) Growth responses of the reef building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bull Mar Sci* 68: 133–146
- Carricart-Ganivet JP (2004) Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*. *J Exp Mar Biol Ecol* 302: 249–260
- Carricart-Ganivet JP, Lough JM, Barnes DJ (2007) Growth and luminescence characteristics in skeletons of massive *Porites* from a depth gradient in the central Great Barrier Reef. *J Exp Mar Biol Ecol* 351: 27–36
- Carricart-Ganivet JP (2011) Coral skeletal extension rate: An environmental signal or a subject to inaccuracies?. *J Exp Mar Biol Ecol* 405: 73–79
- Chalker BE, Barnes DJ, Dunlap WC, Jokiel PL (1988) Light and reef-building corals. *Interdisc Sci Rev* 13: 222–237
- Cooper TF, O'Leary RA, Lough JM (2012) Growth of Western Australian corals in the Anthropocene. *Science* 335: 593–596
- Dana JD (1846) Zoophytes. *US Exploring Exped 1838-1842*, 7: 1-740, pl: 1–61
- Dodge RE, Brass GW (1984) Skeletal extension, density and calcification of the reef coral *Montastrea annularis*: St. Croix US Virgin Islands. *Bull Mar Sci* 34: 288–307
- Dustan P (1975) Growth and form in the reef building coral *Montastrea annularis*. *Mar Biol* 33: 101–107
- Elizalde-Rendón EM, Horta-Puga G, González-Díaz P, Carricart-Ganivet JP (2010) Growth characteristics of the reef-building coral *Porites astreoides* under different environmental conditions in the Western Atlantic. *Coral Reefs* 29: 607–614
- Forskål P (1775) *Descriptiones Animalium, Avium, Amphibiorum, Piscium, Insectorum Vermium que in itinere orientali observavit Petrus Forskal*. XVIII-XIX. 131–139. Hauniae
- Gagan MK, Ayliffe LK, Beck JW, Cole JE, Druffel ERM, Dunbar RB, Schrag DP (2000) New views of tropical paleo-climates from corals. *Quat Sci Rev* 19: 45–64
- Goreau TF (1959) The physiology of skeleton formation in corals. I. A method for measuring the rate of calcium deposition by corals under different conditions. *Biol Bull mar biol Lab, Woods Hole* 116: 59–75
- Highsmith RC (1979) Coral growth rates and environmental control of density banding. *J Exp Mar Biol Ecol* 37: 105–125
- Hoegh-Guldberg O, Maoz F, William S, Ron J, Sophie D, Alan S (2005) Coral bleaching following

- wintry weather, *Limn and Ocean* 50: 265-271
- Huang D, Licuanan WY, Baird AH, Fukami H (2011) Cleaning up the 'Bigmessidae': Molecular phylogeny of scleractinian corals from Faviidae, Merulinidae, Pectiniidae and Trachyphylliidae. *BMC Evol Biol* 11: 37
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ and Hanson CE (eds) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Kawaguti S, Sakamoto D (1948) The effect of light on the calcium deposition of corals. *Bull oceanogr Inst Taiwan* 4: 65-70
- Knutson DW, Buddemeier RW, Smith SV (1972) Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. *Science* 177: 270-272
- Kongjandtre N, Ridgway T, Cook LG, Huelsken T, Budd AF, Hoegh-Guldberg O (2012) Taxonomy and species boundaries in the coral genus *Favia* Milne Edwards and Haime, 1857 (Cnidaria: Scleractinia) from Thailand revealed by morphological and genetic data. *Coral Reefs* 31: 581-601
- Liley PE, Gambill WR (1986) Seccion 3. Datos de Fisica y Quimica. In RH Perry and CH Chilton, eds *Manual del Ingeniero Quimico. Volumen 1. Quinta edicion (segunda edicion en espanol)*. McGraw-Hill, Mexico, DF
- Lough JM, Barnes DJ (1992) Comparisons of skeletal density variations in *Porites* from the Central Great Barrier Reef. *J Exp Mar Biol Ecol* 155: 1-25
- Lough JM, Barnes DJ (2000) Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. *J Exp Mar Biol Ecol* 245: 225-243
- Ma TYH (1934) On the growth rate of reef corals and the sea water temperature in the Japanese islands during the latest geological times. *Sci Rep Tohoku Univ second ser (Geol)* 16: 165-188
- 西平守孝・Veron JEN (1995) 日本の造礁サンゴ類. 海游舎, 東京
- Pearse VB, Muscatine AL (1971) Role of symbiotic algae (zooxanthellae) in coral calcification. *Biol Bull* 141: 350-363
- Scoffin TP, Tudhope AW, Brown BE, Chansang H, Cheeney RF (1992) Patterns and possible environmental controls of skeletogenesis of *Porites lutea*, South Thailand. *Coral Reefs* 11: 1-11
- 杉原 薫・山野博哉 (2004) 対馬. 環境省・日本サンゴ礁学会〈編〉日本のサンゴ礁, 環境省, 東京, pp253-256
- 杉原 薫・園田直樹・今福太郎・永田俊輔・指宿敏幸・山野博哉 (2009) 九州西岸から隠岐諸島にかけての造礁サンゴ群集の緯度変化. *日本サンゴ礁学会誌* 11: 51-67
- Vandermeulen JH, Davis ND, Muscatine L (1972) The effect of inhibitors of photosynthesis on zooxanthellae in corals and other marine invertebrates. *Mar Biol* 16: 185-191
- Veron JEN, Pichon M, Wijsman-Best M (1977) Scleractinia of Eastern Australia II, Families Faviidae, Trachyphylliidae. *Aust Inst Mar Sci Monogr Ser* 3: 1-233
- Veron JEN (1986) Corals of Australlia and the Indo-Pacific. Angus & Robertson, Sydney
- Veron JEN (1992) Conservation of biodiversity: a critical time for the hermatypic corals of Japan. *Coral Reefs* 11: 13-21
- Veron JEN, Minchin PR (1992) Correlations between sea surface temperature, circulation patterns and the distribution of hermatypic corals of Japan. *Cont Shelf Res* 12: 835-857
- Veron JEN (2000) Corals of the world. *Aust Inst Mar Sci, Townsville*
- 渡邊 剛・白井厚太郎・島村道代 (2006) サンゴのバイオミネラリゼーション. *地球化学* 40: 221-229
- Yamano H, Hori K, Yamauchi M, Yamagawa O, Ohmura A (2001) Highest-latitude coral reef at Iki Island, Japan. *Coral Reefs* 20: 9-12
- 山野博哉・杉原 薫・中井達郎・山川 修 (2004) 壱岐. 環境省・日本サンゴ礁学会〈編〉日本のサンゴ礁, 環境省, 東京, pp250-252
- 山野博哉 (2008) 日本におけるサンゴ礁の分布. *沿岸海洋研究* 46: 3-9
- Yamano H, Sugihara K, Nomura K (2011) Rapid

poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophys Res Lett* 38: L04601

Yamano H, Sugihara K, Watanabe T, Shimamura M, Hyeong K (2012) Coral reefs at 34° N, Japan: Exploring the end of environmental gradients. *Geology* 40: 835-838

屋良由美子・藤井賢彦・山中康裕・岡田直資・山野博哉・大島和裕 (2009) 地球温暖化に伴う海水温上昇が日本近海の造礁サンゴの分布と健全度に及ぼす影響評価. *日本サンゴ礁学会誌* 11: 131-140

Yara Y, Vogt M., Fujii M, Yamano H, Hauri C, Steinacher M, Gruber N, Yamanaka Y (2012) Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan. *Biogeosci Discuss* 9: 7165-7196

2012 年 9 月 19 日 受領

2013 年 6 月 12 日 受理

© 日本サンゴ礁学会

付表1 西表島, 福江島, 若松島, 壱岐および対馬から得られたキクメイシとスボミキクメイシの骨格標本のリストと, それらの骨格の伸長量 (mm yr^{-1}), 密度 (g cm^{-3}) および石灰化量 ($\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$)

Appendix Table 1 List of specimens of *Dipsastraea speciosa* and *D. favus* sampled at Iriomote, Fukue, Wakamatsu, Iki and Tsushima islands, and their skeletal extension rates, densities and calcification rates

No.	Sampling date	Location/Site	Species	Extension rate ± SE (mm yr ⁻¹) n = 5	Density ± SE (g cm ⁻³)		Calcification rate ± SE (g cm ⁻² yr ⁻¹)		
					Mercury method	Freezing method n = 3	Mercury method	Freezing method	
IN-4	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea speciosa</i>	5.1 ± 0.8	1.6	1.5 ± 0.1	0.8	0.8
IN-17	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.5	1.6 ± 0.0	ND	ND
IN-18	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.0 ± 0.1	1.7	1.7 ± 0.1	0.7	0.7
IN-31	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.7 ± 0.4	1.7	1.7 ± 0.0	0.8	0.8
IN-32	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.8 ± 0.3	1.7	1.7 ± 0.1	0.8	0.8
IN-35	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.6 ± 0.1	1.5	1.5 ± 0.1	0.5	0.6
IN-9	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	3.4 ± 0.1	1.9	1.5 ± 0.1	0.6	0.5
IN-11	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	2.9 ± 0.2	1.9	1.8 ± 0.0	0.5	0.5
IN-14	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	3.9 ± 0.1	1.8	2.0 ± 0.1	0.7	0.8
IN-25	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	ND	1.5	1.4 ± 0.1	ND	ND
IN-27	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	5.4 ± 0.4	1.9	1.8 ± 0.1	1.0	1.0
IN-43	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	3.9 ± 0.1	2.3	1.9 ± 0.3	0.9	0.7
IN-69	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	ND	1.5	1.7 ± 0.1	ND	ND
IN-74	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	ND	1.4	1.6 ± 0.1	ND	ND
IN-77	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	3.9 ± 0.1	1.5	1.7 ± 0.2	0.6	0.7
IN-83	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	4.8 ± 0.2	1.5	1.4 ± 0.1	0.7	0.7
IN-85	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	4.4 ± 0.1	1.7	1.8 ± 0.1	0.8	0.8
IN-86	2007. Mar.	Iriomote	Nakano	<i>Dipsastraea favus</i>	ND	1.4	1.4 ± 0.1	ND	ND
F-2	2004. Sep.	Fukue	Nunoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.0 ± 0.2	1.5	1.6 ± 0.2	0.4	0.5
F-3	2004. Sep.	Fukue	Nunoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	2.4 ± 0.1	1.6	1.7 ± 0.1	0.4	0.4
KT-1	2007. Aug.	Wakamatsu	Takigahara	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.6 ± 0.1	1.2	1.2 ± 0.1	0.4	0.4
KT-3	2007. Aug.	Wakamatsu	Takigahara	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.7 ± 0.1	1.3	1.3 ± 0.1	0.5	0.5
KT-5	2007. Aug.	Wakamatsu	Takigahara	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.7 ± 0.1	1.3	1.5 ± 0.1	0.5	0.6
I-1	2003. Sep.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	5.6 ± 0.2	1.2	1.3 ± 0.1	0.7	0.7
I-2	2003. Sep.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.2 ± 0.1	1.6	1.5 ± 0.1	0.7	0.6
I-9	2003. Sep.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.2 ± 0.1	1.0	1.1 ± 0.1	0.3	0.3
II-1	2006. Oct.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.2	1.1 ± 0.0	ND	ND
II-3	2006. Oct.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.2 ± 0.2	1.1	1.2 ± 0.2	0.5	0.5
II-6	2006. Oct.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.2 ± 0.1	1.0	1.1 ± 0.1	0.3	0.4
II-11	2006. Oct.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	5.1 ± 0.2	1.1	1.0 ± 0.1	0.6	0.5
II-13	2007. Aug.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.0	0.9 ± 0.1	ND	ND
II-14	2007. Aug.	Iki	Itaura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	0.9	0.9 ± 0.1	ND	ND
IK-3	2006. Oct.	Iki	Kurosaki	<i>Dipsastraea speciosa</i>	2.5 ± 0.1	0.9	1.0 ± 0.0	0.2	0.2
IK-6	2006. Oct.	Iki	Kurosaki	<i>Dipsastraea speciosa</i>	2.6 ± 0.2	1.2	1.4 ± 0.1	0.3	0.4
IK-7	2006. Oct.	Iki	Kurosaki	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.1	1.0 ± 0.2	ND	ND
IK-10	2006. Oct.	Iki	Kurosaki	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.0	1.1 ± 0.1	ND	ND
T-4	2004. Jul.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	0.9	1.0 ± 0.0	ND	ND
TS-1	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.5 ± 0.3	1.1	1.2 ± 0.0	0.5	0.5
TS-2	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.7 ± 0.2	0.9	1.2 ± 0.0	0.4	0.6
TS-4	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.1	1.2 ± 0.0	ND	ND
TS-5	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.4	1.4 ± 0.1	ND	ND
TS-6	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.4 ± 0.2	1.0	1.0 ± 0.0	0.4	0.5
TS-10	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	2.8 ± 0.1	1.1	1.0 ± 0.1	0.3	0.3
TS-13	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	ND	1.0	0.9 ± 0.0	ND	ND
TS-17	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	4.2 ± 0.2	0.9	0.9 ± 0.0	0.4	0.4
TS-18	2006. Oct.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.4 ± 0.2	1.4	1.4 ± 0.0	0.5	0.5
TS-19	2007. Aug.	Tsushima	Senoura	<i>Dipsastraea speciosa</i>	3.4 ± 0.2	0.9	1.1 ± 0.1	0.3	0.4

Skeletal growth of *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) from the subtropical and temperate regions in Japan

Shunsuke NAGATA¹, Kaoru SUGIHARA², Tomohisa IRINO³,
Tsuyoshi WATANABE⁴, and Hiroya YAMANO²

¹ Research Center, Okinawa Churashima Foundation, 888 Ishikawa, Motobu-cho, Okinawa 905–0206, Japan

² Center for Environmental Biology and Ecosystem Studies, National Institute for Environmental Studies, 16–2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305–8506, Japan

³ Department of Earth System Science, Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, N10W5, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060–0810, Japan

⁴ Department of Natural History Science, Faculty of Science, Hokkaido University, N10W8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060–0810, Japan

* Corresponding author: S. Nagata

E-mail: sh-nagata@okichura.jp

Communicated by Yasufumi Iryu

Abstract Skeletal growth parameters (extension rate, density and calcification rate) were determined for annual growth bands in skeletal slabs and tips of the zooanthellate scleractinian (hermatypic) coral *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) [= *Favia speciosa* (Dana, 1846)] at Iriomote Island in the southwestern part of the Ryukyu (24°25'N, 123°47'E) and at Fukue, Wakamatsu, Iki and Tsushima islands in the northwestern part of Kyushu (32°39'N – 34°24'N, 128°39'E – 129°40'E), Japan. Relationships among these three parameters along a latitudinal gradient in annual mean sea surface temperatures (SSTs) were also examined. Annual mean density and calcification rate in *D. speciosa* of Iriomote Island located in a subtropical region (Iriomote Is.) were higher than those of the other islands in temperate regions, although there was no significant difference in the extension rates between the two regions. These results agreed well with those of *Porites astreoides* Lamarck, 1816 in the Atlantic rather than those of the Atlantic *Orbicella* (= *Montastraea*) and the Pacific *Porites* species. Both *Dipsastraea speciosa* and *Porites astreoides* are geographically widespread species, and they have lower extension and calcification rates than other neighboring genera/species. Of the three growth parameters of *D. speciosa*, the calcification rate showed the highest significant correlation with the annual mean SSTs. It suggests that while *D. speciosa* distributed in the Japanese islands could keep their calcification rates stable for each site, they change their extension rates and densities in response to the latitudinal gradient in annual mean SSTs.

Keywords: *Dipsastraea speciosa*, skeletal growth, extension rate, density, calcification rate, latitudinal differences, annual mean SSTs

Received: 19 September 2012/Accepted: 12 June 2013

© Japanese Coral Reef Society