

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 29 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間 2010～2012

課題番号：22540475

研究課題名（和文）洞窟性微小二枚貝の同位体比と微量元素分析に基づく生活史戦略の進化と気候変動の解明

研究課題名（英文）Evolution of life-history strategy and paleoclimate changes from an geochemical record of a cave-dwelling marine micro-bivalve.

研究代表者

北村 晃寿 (Kitamura Akihisa)

静岡大学・理学部・教授

研究者番号：20260581

研究成果の概要（和文）：本研究の最終目的は、海底洞窟性微小二枚貝 *Carditella iejimensis* の化石試料から、生物の貧栄養化に対する適応戦略と気候への太陽活動の影響を解明することにある。そのための基礎研究として、殻成長追跡調査、生貝の  $\delta^{18}\text{O}$ —水温換算式を検討した。その結果、同種は1年を通じて殻成長を行なう可能性が高く、殻長3mmに達するまでに4年間を要すると推定された。この知見と生貝全殻と化石試料の  $\delta^{18}\text{O}$  から、現在の沖縄海域の表層海水温は、過去7千年間で例外的な温暖状況にあることが判明した。

研究成果の概要（英文）：Cave-dwelling micro-bivalve *Carditella iejimensis*, which is less than 3.5 mm in height and length, inhabits the sediment surface in a submarine cave off the Okinawa Islands, Japan. The result of mark-release and recapture surveys indicates that the species is potentially able to undergo year-round continuous growth. If this interpretation is correct, the shell probably requires more than 1 year to reach 1 mm in height, and 4 years to reach 3 mm; consequently, the lifespan for *C. iejimensis* is estimated to be at least 4 years.

To evaluate the use of this species as a quantitative paleoceanographic proxy, we analyzed the  $\delta^{18}\text{O}$  values of 60 living *C. iejimensis* specimens collected from the submarine cave. Results show that most individuals preserve  $\delta^{18}\text{O}$  values corresponding to the mean annual temperature and  $\delta^{18}\text{O}$  of seawater. These results, when applied to fossil shell  $\delta^{18}\text{O}$  records from the cave, indicate that the recent warming is likely exceptional, when viewed in the context of the past 7000 years paleotemperature record, which includes the Medieval Warm Period and the Middle Holocene Climatic Optimum.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1050,000	4,550,000

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・古生物学

キーワード：海底洞窟，微小二枚貝，酸素同位体，沖縄，生活史，気候変動，完新世

1. 研究開始当初の背景

サンゴ礁に発達する海底洞窟などの隠所

的環境に生息する無脊椎動物群(隠所的動物群)は、古生物学的、進化生物学的、古海洋学的に注目され、世界各地で研究されている。洞窟性二枚貝に関しては Kase & Hayami (1992) などにより、微小な殻サイズ(殻長数 mm 程度)、異常に大きい幼期の殻(原殻 I)などの特徴を持つことが明らかにされた。彼らは、それらを貧栄養環境への適応の結果とし、また、成長速度や寿命は不明ではあるが、成体サイズの小さいことから、その矮小性を成長遅滞によるネオテニーよりも、性的早熟によって生じるプロジェネシスによる幼形進化と解釈した。

このように隠所的動物群に関する様々な研究があるが、時系列データの視点からみると、長いものでも数年程度である。これに対して、研究代表者の北村が沖縄県の海底洞窟“大洞窟”から得た堆積物コアは 7,000 年間に及ぶ化石記録を有し、その解析によって、隠所的環境は貧栄養化する傾向にあることを実証した(Kitamura et al., 2007)。さらに、本研究分担者の生形と北村ほかは、3 種の洞窟性微小二枚貝の原殻 I の形態を 5,000 年間にわたって検討し、一般的には形状特性よりも変化しやすいとされるサイズの方がこのケースではより安定だったことを示し、隠所的環境における繁殖戦略への安定化選択の可能性を示唆した(Ubukata et al., 2009)。しかし、貧栄養化に対する適応戦略の進化過程を詳細に解明するには、このデータに成長パターンなどの生活史の情報を加える必要がある。

30 種余りの洞窟性微小二枚貝の中で、自生産状態で、殻が単一鈎物(アラゴナイト)で構成され、かつ 7,000 年間連続的に産出する種は *Carditella iejimensis* だけである(Kitamura et al., 2007; Yamamoto et al., 2009)。そして 7,000 年間に及ぶ同種の酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )測定(1 枚の殻を 1 試料とした)により、太陽活動が弱体化した 6,300 年前、5,870 年前、5,550 年前、5,150 年前には異常に重い  $\delta^{18}\text{O}$  値(低温・高塩分化を示す)が見られるが、約 5,150 年前以降の太陽活動の弱体期(小氷期のマウンダー極小期など)には見られないことが判明した(Yamamoto et al., 2010)。これは太陽活動変動に対する沖縄周辺の気候の応答様式が 5,150 年前を境に変化したことを意味する。

気候変動予測には、太陽活動の気候への影響評価は喫緊の課題である(IPCC 第四次報告書, 2007)。だが、これまでの研究では 1 枚の殻を 1 試料としているので、 $\delta^{18}\text{O}$  値がどの季節あるいは何年分の「水温」や「海水の  $\delta^{18}\text{O}$  値」を反映しているか不明だった。それで、異常に重い  $\delta^{18}\text{O}$  値をもたらした気候変動の実態ならびに太陽活動変動との関係は解明するには至っていない。つまり、この研究課

題の遂行にも、「貧栄養化に対する生活史戦略の進化過程」の解明と同様に、洞窟性微小二枚貝の成長パターンの情報が不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究の最終目的は、海底洞窟性微小二枚貝 *Carditella iejimensis* の化石試料から、生物の貧栄養化に対する適応戦略と熱帯気候への太陽活動の影響を解明することにある。この最終目的を果たすには、同種の殻の形成パターンの解明が必要となる。また、生貝の全殻の  $\delta^{18}\text{O}$  が水温の代替指標となることを示さなくてはならない。

## 3. 研究の方法

上記の目的を果たすための基礎研究として、まずは、*C. iejimensis* の生貝を捕獲して、標識、放流・再捕獲して、成長時期と成長速度を明らかにした。次に、生貝を採取して、それらの全殻の  $\delta^{18}\text{O}$  を測定し、水温・塩分記録と比較することによって、 $\delta^{18}\text{O}$ —水温換算式の検討を行った。

## 4. 研究成果

標識個体の殻成長追跡調査の結果、同種は 1 年を通じて殻成長を行なう可能性が高いこと、殻長 3 mm に達するまでに、少なくとも 4 年間を要することが分かった(Kitamura et al., 2012) (図 1)。洞窟性の二枚貝の成長速度が非常に遅いことが明らかとなった(図 2)。

沖縄県伊江島沖の大洞窟(最大深度 29m)から採取した計 60 個体の *C. iejimensis* の生貝全殻の  $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$  を測定した結果、両同位比との間に相関が見られないことから、貝殻の形成時には同位体平衡が成立していることがわかった。さらに、洞窟内の年間平均水温(24.3°C)と海水の  $\delta^{18}\text{O}$  (0.3‰SMOW)を、Kim et al. (2007)の提示した無機沈殿したアラレ石の  $\delta^{18}\text{O}$  と水温・海水の  $\delta^{18}\text{O}$  の関係式に代入すると、アラレ石の  $\delta^{18}\text{O}$  は-1.12‰PDB と算出され、生貝の  $\delta^{18}\text{O}$  の平均値-1.10±0.18‰PDB と良く一致した。したがって、本種の全殻の  $\delta^{18}\text{O}$  は、年間平均水温と海水の年間平均の  $\delta^{18}\text{O}$  のプロキシーに成ることが分かった(Kitamura et al., 2013)。さらに、生貝の  $\delta^{18}\text{O}$  の平均値は、大洞窟の表層堆積物(厚さ 5cm, 250 年分)から採取した死殻の  $\delta^{18}\text{O}$  の平均値(-0.85±0.18‰, 47 個体)よりも有意に軽く( $p < 0.01$ )、その差は、1.2°C の水温上昇に相当し、これは計測機器記録による過去 100 年間の沖縄周辺海域の年平均表層水温の 1.12 °C の昇温とほぼ一致する。また、大洞窟のコア堆積物から得られた過去 7000 年間の死殻の  $\delta^{18}\text{O}$  のほとんどが-1.10±0.18‰PDB よりも重い値をとる。大洞窟内の年平均

水温とその周辺の年平均水温(24.4 °C)は同じ値をとることから、生貝、表層堆積物、コア堆積物から得た *C. iejimensis* の全殻の  $\delta^{18}O$  の変動は、現在の沖縄海域の表層海水温が、過去 7000 年間の中でも中期完新世温暖期や中世温暖期よりも温暖な例外的な状況にあることを示す(Kitamura et al., 2013) (図3).

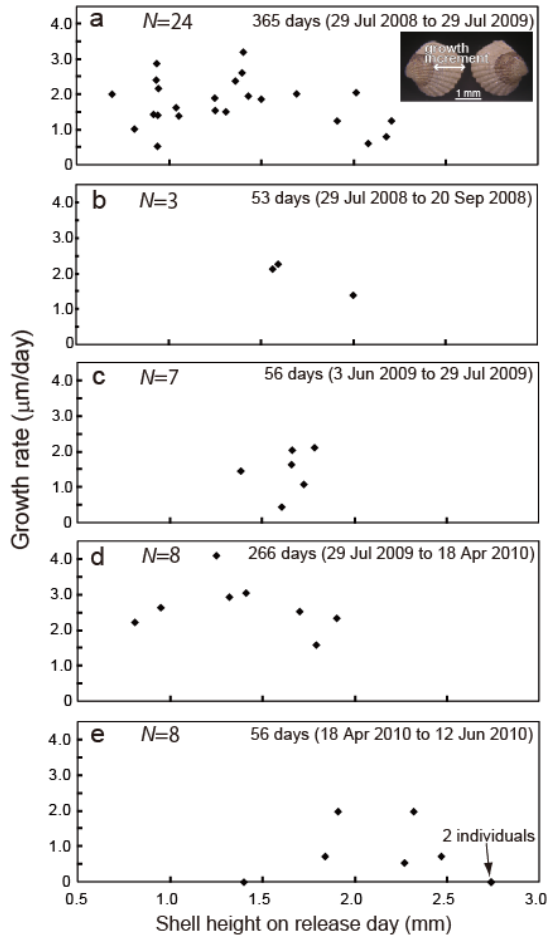


図1 標識個体の殻成長追跡調査の結果

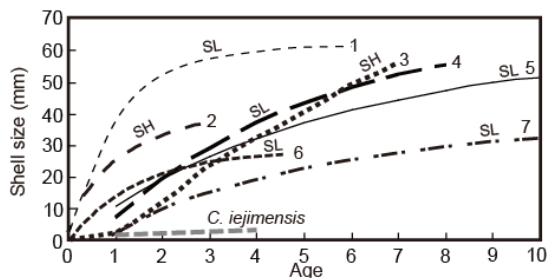


図2 二枚貝の成長曲線. 1, *Mya arenaria oonogai*; 2, *Scapharca kagoshimensis*; 3, *Phacosoma japonicum*; 4, *Pinna nobilis*; 5, *Modiolus barbatus*; 6, *Donax dentifer*; 7, *Arctica islandica*.

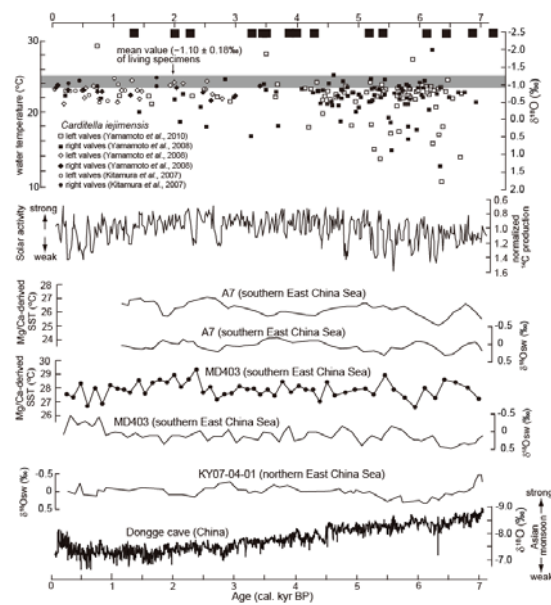


図3 最上段がコア堆積物から得た *C. iejimensis* の全殻の  $\delta^{18}O$  の7000年間の変動.

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

1. Kitamura, A., Kobayashi, K., Tamaki, C., Yamamoto, N., Irino, T., Miyairi, Y. and Yokoyama, Y., 2013. Evidence of recent warming in the Okinawa region, subtropical northwestern Pacific, from an oxygen isotope record of a cave-dwelling marine micro-bivalve. *Paleontological Research*, 17, 58-68. Doi:10.2517/1342-8144-17.1.58 査読有

2. Kitamura, A., Yamamoto, N. and Kobayashi K. 2012. Growth of a submarine cave-dwelling micro-bivalve *Carditella iejimensis*. *Venus*, 70, 41-45. 査読有 [学会発表] (計2件)

北村晃寿・小林小夏・玉置周子・山本なぎさ・入野智久・宮入陽介・横山祐典, 7千年間の海底洞窟性微小二枚貝の酸素同位体比変動から見た沖縄海域の現在の温暖化. 日本古生物学会, 2012年6月30日, 名古屋大学, 愛知県.

北村晃寿・小林小夏・玉置周子・山本なぎさ・入野智久・宮入陽介・横山祐典, 海底洞窟性微小二枚貝 *Carditella iejimensis* の酸素同位体比について, 日本古生物学会, 2011年7月3日. 金沢大学, 石川県.

[その他]

ホームページ等

<http://homepage3.nifty.com/a-kitamura/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北村 晃寿 (Kitamura Akihisa)  
静岡大学・理学部・教授  
研究者番号：20260581

(2) 研究分担者

生形 貴男 (Ubukata Takao)  
静岡大学・理学部・准教授  
研究者番号：00293598  
(H23→H24：連携研究者)  
豊福 高志 (Toyofuku Takashi)  
独立行政法人海洋研究開発機構・研究員  
研究者番号：30371719  
(H22→H23：連携研究者)  
石村 豊穂 (Ishimura Toyoho)  
独立行政法人産業技術総合研究所・派遣職員(研究員)  
研究者番号：80422012  
(H22→H23：連携研究者)

(3) 連携研究者

なし