

相模湾初島沖で採集されたシロウリガイ殻の 酸素・炭素同位体比

服部 陸男*¹ 大場 忠道*²

相模湾初島沖のシロウリガイ群生地付近の赤褐色変色域においてシロウリガイを採集し、大型の2個体について酸素・炭素同位体比を測定した。研究の目的は、メタンを多量に含む冷水の長周期の変動等の性質を把握することである。2個体の貝殻の $\delta^{13}\text{C}$ 値については、成長につれて増加し、稚貝期に、小さい $\delta^{13}\text{C}$ 値をもつ冷水のメタンの影響を受けた可能性がある。 $\delta^{18}\text{O}$ 値から計算された水温は、稚貝期に最も高く、3つのピークを持つ変動を示す。稚貝期の酸素・炭素同位体比は、稚貝が堆積物中に埋まって生活していることと調和的な値を示す。また、シロウリガイ殻の同位体比は、同位体平衡に近い形で形成されたことと、冷水の流れに長周期の変動がありそうなのが分かった。

キーワード: 酸素・炭素同位体比, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, 冷水, シロウリガイ

Oxygen and Carbon Stable Isotope Ratio of *Calyplogena* Shells Collected from *Calyplogena* Community Associated with Cold Seeps off Hatsushima Island, Sagami Bay, Central Japan

Mutsuo HATTORI*³ Tadamichi OBA*⁴

The purpose of this paper is to know the characteristics of cold water seeps, especially the long term change of cold water flow at the *Calyplogena* community off Hatsushima Island, Sagami Bay, Central Japan. Living specimens of *Calyplogena* were collected at the high heat flow area near the *Calyplogena* community. Two specimens were analyzed by Finnegan MAT 251 isotopic ratio mass spectrometer to obtain contents of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in shells. Values of $\delta^{13}\text{C}$ are increased from beak to ventral margin of shells, suggesting shells of larval stage were formed under the influence of methane (small $\delta^{13}\text{C}$ value) rich cold seeps. The temperature is highest at beak. Curves of temperature versus distance from beak to ventral margin show rather cyclic change that have 3 peaks. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ stable isotopic ratios indicate that those shells were formed in near isotope

*1 海洋科学技術センター 深海研究部

*2 北海道大学大学院地球・環境科学科

*3 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

*4 Graduate School Environmental Earth Science, Hokkaido University

equilibrium with the ambient bottom sea water and there might be long term change of cold water flow.

Key words : Oxygen-Carbon stable isotope ratio, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, Cold water seeps, *Calypptogena*

1. はじめに

相模湾初島南東沖には、シロウリガイを優勢種とする、冷湧水に依存する独立栄養動物群集が分布することはよく知られている（橋本ほか, 1987; 奥谷・江川, 1988）。また、初島沖の冷湧水の性質については、海底下の地層の間隙水が活断層等に沿って上昇してきたものと考えられるが、堆積物の示す高い熱流量から火山性の熱源が関与したことが想定されている（Gamo et al., 1988; 木下ほか, 1988; 太田, 1990; 仲ほか, 1991; 服部ほか, 1993）。動物群集分布地点付近の底層水には、最大で10,000nl/kgの多量のメタンが含まれている（酒井ほか, 1987）。また、海底面直下の堆積物中では特徴的な硫酸還元等の生物・化学作用が進行中であり（たとえば, Masuzawa et al., 1991）、独立栄養動物群集の生活が営まれている。この冷湧水の性質及びそこで進行している生物・化学作用の解明は、極めて興味深い地球化学上の課題である。

筆者らは、この海域に生息するシロウリガイ殻の酸素・炭素同位体比が、なんらかの形で冷湧水の物理・化学的性質の変化及びシロウリガイの生活環境の変化を反映しているのではないかと考え、「しんかい2000」の試験潜航の際にシロウリガイ生貝試料の採集、堆積物の温度測定を「しんかい2000」運航チームの段野洲興司令にお願いした。

「しんかい2000」の第667潜航（1993年4月9日）の際に、赤褐色変色域（水深1,170m）から6個体のシロウリガイ生貝が採集された。この場所での温度は、海底表面水温3.16℃、深さ10cmの堆積物中で3.36℃を示した。なお、この潜航では、シロウリガイ採集場所の近くから相模湾では初めての炭酸カルシウムコンクリーションが採集されている（服部ほか, 1993, 1994）。

冷湧水に依存するシロウリガイ類の殻の $\delta^{13}\text{C}$ については、いくつかの研究がある（酒井ほか, 1987; Boulègue et al., 1987; 吉田・塚原, 1991; Sakai et al., 1992）。これらの研究によると、貝殻の $\delta^{13}\text{C}$ の値は+1.1‰から-6.4‰の間の値を示す。これらの値は、底層海水中的溶存無機炭素の値（ほぼ0‰）に近く、冷湧水中のメタンあるいは溶存有機炭素に由来する炭素を多く含むシロウリガイの生体部分の値（-34.7‰～-36.2‰）

と比較して非常に高い（酒井ほか, 1987）。また、海水中の $\delta^{18}\text{O}$ の値が0～-0.4‰程度であるのに対して、これまでに報告されたシロウリガイ類の殻の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、南海トラフ、日本海溝では2.7～4.6‰（Boulègue et al., 1987; Sakai et al., 1992）である。これらの分析値から、シロウリガイ類の殻の酸素・炭素同位体比は、底層海水と同位体平衡に近い状態で形成されたようである。しかし、ある場合には、シロウリガイ類の殻の酸素・炭素同位体比は、なんらかの理由で同位体平衡にならなかったか、あるいは周辺環境から推定して最もありそうなことであるが、形成時の周辺水が、完全な底層海水ではなく冷湧水との混合であり、冷湧水の性質に依存して変化していることが推定される。このことから、採集時の環境がよく分かっているシロウリガイの個体について細かく分析を行えば、冷湧水の性質の変化について時間的尺度での知見を得られる見通しがあると予想して、殻の酸素・炭素同位体比等の分析を行った。

2. 採集地点、採集時の状況、採集試料

「しんかい2000」の第667潜航（1993年4月9日）の際に、35°00.0'N, 139°13.5'Eのトランスポンダ設置地点から約400m北側の赤褐色変色域（水深1,170m）から6個体のシロウリガイ生貝が採集された（図1）。この

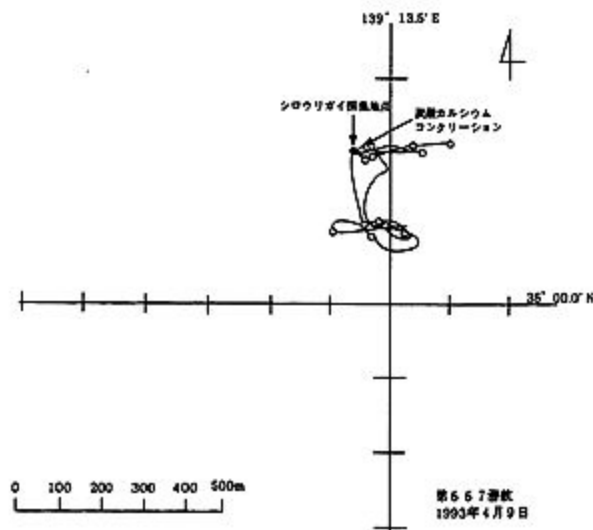


図1 初島沖、シロウリガイ採集地点
Fig. 1 Locality map shows sampling point of *Calypptogena soyoe*, off Hatsushima Island, Sagami Bay.

場所で、試料採集時に離合社製RMT自己記録式水温計で測定した温度は、海底表面で3.16°C、深さ10cmでの堆積物中で3.36°Cを示した。採集されたシロウリガイの寸法、重量等を表1に示す。分析に使用した試料は、このうち、No. 5とNo. 6である。シロウリガイ殻の寸法は、殻長が107.9mm (No. 5)と105.1mm (No. 6)で、初島沖シロウリガイ群集から採集された82個体の殻長の平均値88.6mm (服部ほか, 1993) よりかなり大きく、十分に成長した個体であることを示している。

3. 前処理、測定

採集されたシロウリガイ6個体のうちから状態の良い2個体No. 5とNo. 6について、殻の酸素・炭素同位体比の分析を行った。分析試料は、貝殻表面を希塩酸に浸した後、貝殻の殻腹の部分から殻頂まで、殻の表面から成長線に直角に5mm間隔で、成長線と平行に0.5mmの巾で削り取った。なお、殻腹の部分ではサンプル1と2の間だけ1mm間隔で3試料を追加した(図2)。

各試料は、焼却処理を行わずそのまま100%の H_3PO_4 と60°Cで反応させ、発生した CO_2 を精製後、Finnegan MAT 251同位体比質量分析計で測定した。測定値はPDBスケールで表示した(表2)。なお、測定値は殻頂からの距離に換えて示してある。

4. 酸素・炭素安定同位体比

$\delta^{13}C$ 値については、図3に示すように、No. 5とNo. 6で同様な傾向が見られる。すなわち、殻頂からの距離が近いところで、特に10mm付近で極小値を示し、その後直線的に増加している。最小自乗法による回帰直線も0.84~0.89という高い相関を示す。なおNo. 5の $\delta^{13}C$ 値は-0.97~1.34‰、平均0.61‰、No. 6は-1.08~1.84‰、平

均0.88‰を示した。

相模湾の水深1,200mにおける海水の $\delta^{13}C$ 値は報告されていないので、日本海溝における水深約1,000mの値(-0.3~-0.4‰ vs PDB, Kroopnick, 1985)で代用する。深海に生息しているアラレ石の殻をもつ底生有孔虫について、海水と炭酸塩の間の $\delta^{13}C$ の分別係数を調べたGlossman (1982)によると、3.0°Cにおける炭酸塩の $\delta^{13}C$ 値は海水のそれより約1.8‰大きい。すなわち、3.0°Cにおいて同位体平衡に達した貝殻の $\delta^{13}C$ 値は約1.4~1.5‰であり、これに近い値はNo. 5とNo. 6共に殻腹付近に見られる。このように $\delta^{13}C$ については、殻腹付近では同位体平衡に近い状態で殻を形成したと考えられる。しかし、稚貝のころの $\delta^{13}C$ 値が小さいのは、海底下からの小さい $\delta^{13}C$ 値を持つ冷湧水起源のメタンの影響を受けた可能性がある。

図4に殻頂から殻腹にかけての $\delta^{18}O$ の変化を示す。 $\delta^{18}O$ 値は、No. 6($\delta^{18}O$ 値: 2.38~3.73‰、平均値3.13‰)では成長するにつれて次第に大きくなる。No. 5($\delta^{18}O$ 値: 2.91~3.52‰、平均値3.20‰)では、この傾

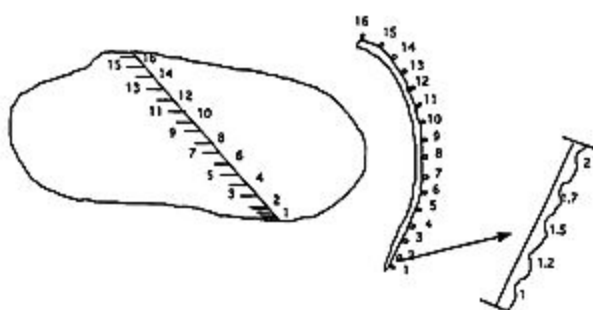


図2 酸素・炭素同位体分析用試料採集点 (No. 6の例)

Fig. 2 Sampling points for carbon and oxygen stable isotopes (No. 6).

表1 採集したシロウリガイの寸法等。No. 5とNo. 6が分析した個体

Table 1 Dimensions and weight of samples collected from the locality. No. 5 and No. 6 are analysed specimens.

Dive #667,9 Apr. '93 Off Hatushima, 1,170m	Length (mm)	Height (mm)	Width (mm)	Shell Wt. (gram)	Total Wt. (gram)
No. 1	89.4	40.1	30.3	37	66
No. 2	91.8	41.6	34.3	46	90
No. 3	92.3	50.0	28.9	54	98
No. 4	98.7	49.0	36.6	60	111
No. 5	107.9	46.8	33.5	60	111
No. 6	105.1	50.3	31.3	60	121
Sum	585.2	277.8	194.9	317	597
Mean	97.5	46.3	32.5	52.8	99.5

表 2 酸素・炭素同位体比分析値, 温度計算値

Table 2 Stable isotope ratios and calculated temperature of 2 samples.

	Sampling points	Distance from beak	$18\text{-O}\text{‰}$ vs PDB	$\pm 1\sigma$	$13\text{-C}\text{‰}$ vs PDB	$\pm 1\sigma$	Temperature
Sample 5	17.0	1	3.06	0.17	-0.58	0.05	3.6
	16.0	5	3.12	0.07	-0.52	0.02	3.4
	15.0	10	2.91	0.08	-0.98	0.03	4.2
	14.0	15	3.47	0.05	-0.54	0.02	2.0
	13.0	20	3.31	0.03	-0.12	0.02	2.6
	12.0	25	3.24	0.01	0.25	0.00	2.9
	11.0	30	3.13	0.04	0.69	0.01	3.3
	10.0	35	3.02	0.03	0.96	0.01	3.8
	9.0	40	2.99	0.03	0.70	0.01	3.9
	8.0	45	3.00	0.10	1.04	0.03	3.9
	7.0	50	3.52	0.06	0.97	0.02	1.8
	6.0	55	3.37	0.05	1.17	0.02	2.4
	5.0	60	3.36	0.07	1.08	0.02	2.5
	4.0	65	3.25	0.10	0.99	0.03	2.9
	3.0	70	3.21	0.04	1.22	0.01	3.0
	2.0	75	3.24	0.07	1.34	0.02	2.9
	1.7	76	3.23	0.11	1.25	0.04	2.9
	1.5	77	3.11	0.11	0.84	0.03	3.4
	1.2	78	3.05	0.09	1.16	0.03	3.7
	1.0	79	3.37	0.08	1.34	0.04	2.4
Sample 6	16.0	1	2.38	0.06	-0.07	0.01	6.3
	15.0	5	2.46	0.05	-0.46	0.01	6.0
	14.0	10	2.77	0.06	-1.08	0.02	4.8
	13.0	15	3.38	0.03	-0.13	0.01	2.4
	12.0	20	2.83	0.05	0.15	0.02	4.5
	11.0	25	3.11	0.04	0.85	0.01	3.4
	10.0	30	3.38	0.03	0.91	0.01	2.4
	9.0	35	2.88	0.01	0.95	0.01	4.3
	8.0	40	3.06	0.01	1.04	0.00	3.6
	7.0	45	3.33	0.02	1.53	0.01	2.6
	6.0	50	2.94	0.02	1.24	0.01	4.1
	5.0	55	3.39	0.02	1.70	0.01	2.3
	4.0	60	3.58	0.02	1.70	0.01	1.6
	3.0	65	3.30	0.01	1.44	0.01	2.7
	2.0	70	3.73	0.10	1.84	0.03	1.1
	1.7	71	3.16	0.08	1.19	0.01	3.2
	1.5	72	3.02	0.09	1.31	0.04	3.8
	1.2	73	3.22	0.12	1.05	0.05	3.0
	1.0	74	3.56	0.07	1.51	0.02	1.7

向を示さない。2 サンプルの値を9次の多項式で近似した曲線を図5に示す。両曲線とも、ほぼ同じ傾向を示すがNo. 6の方が小さい変動が数多くある。

一般に、外洋水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は1,000m以深でほぼ一定しており、房総半島沖の海溝三重会合付近の1,000mにおける海水の $\delta^{18}\text{O}$ 値 (δ_w) は、 -0.2‰ vs SMOW (-0.4‰ vs PDB) を示す。(大場・安田, 1992)。

この値を採用して、測定した試料の $\delta^{18}\text{O}$ 値 (δ_c) を据

部・大場のアラゴナイト試料の燃焼処理をしない場合の温度スケール(下記, 未発表)に代入して水温を算出すると、表2に示すような値が得られる。

$$T = 18.5 - 4.72(\delta_c - \delta_w) + 0.12(\delta_c - \delta_w)^2$$

図6に、殻頂から殻腹にかけての水温変化を示す。No. 5, No. 6とも2つの極小と3つの極大値を示し、傾向的に近似する。No. 5の水温の平均値は3.0℃, No. 6は3.4℃であり、これら2個体の貝殻の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、 $\delta^{13}\text{C}$

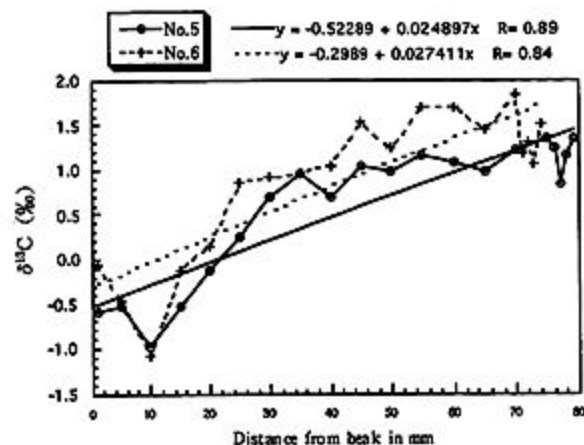


図 3 $\delta^{13}\text{C}$ 値の殻頂からの距離に対するプロット
Fig. 3 Plot of $\delta^{13}\text{C}$ value against distance from beak.

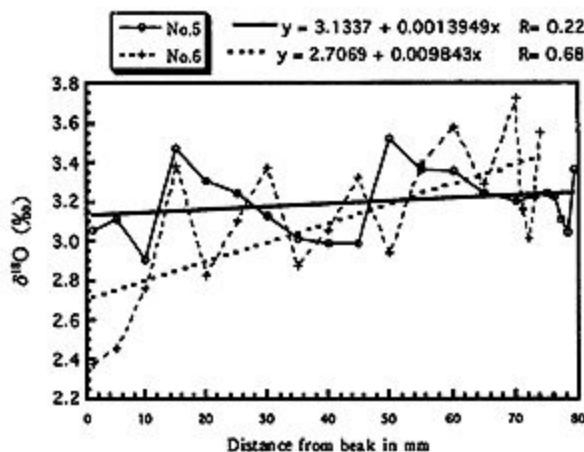


図 4 $\delta^{18}\text{O}$ 値の殻頂からの距離に対するプロット。直線と点線は最小二乗法による回帰直線
Fig. 4 Plot of $\delta^{18}\text{O}$ value against distance from beak. Solid and dotted lines are linear regression lines by least square method.

と同様に水深1,200mにおける実際的水温 (3.2°C) の下で同位体平衡に近い状態で殻を形成したことを示していると考えられる。最も高い温度は、No. 6 の殻頂にあって 6.3°C を示すが、この値は、同位体平衡にない状態で殻が形成されたか、あるいは稚貝期における高温環境を示しているのかも知れない。これは、シロウリガイが稚貝期にはほとんど殻を堆積物に埋めて生活している (Horikoshi and Hashimoto, 1993; 服部ほか, 1993) ことと調和的である。

図 7-A に $\delta^{18}\text{O}$ 値と $\delta^{13}\text{C}$ 値の関係を示す。 $\delta^{18}\text{O}$ 値と $\delta^{13}\text{C}$ 値は、No. 5 では有為な直線的関係を示さないが、No. 6 では $\delta^{18}\text{O}$ 値が増加すると $\delta^{13}\text{C}$ 値も増加して直線

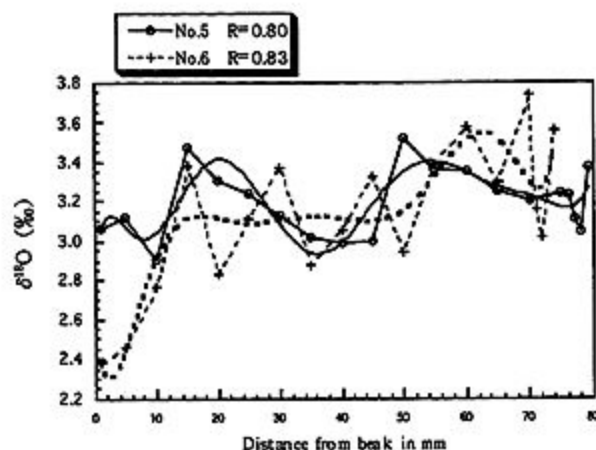


図 5 図 4 と同じプロットを 9 次の多項式 (相関係数 0.8 以上) で近似した曲線

Fig. 5 The same plot as the Fig. 4 solid and dotted curves are 9th polynomial curves of correlation coefficient larger than 0.8.

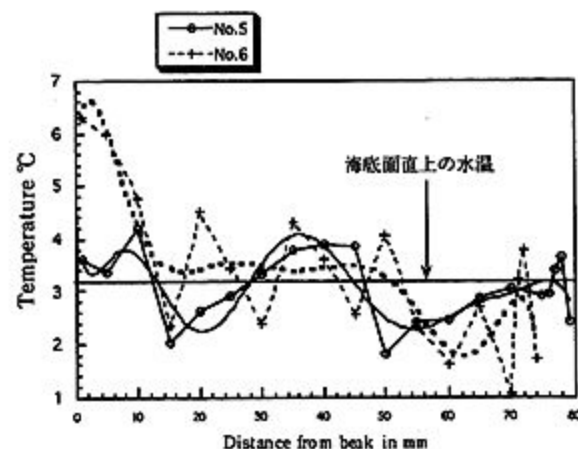


図 6 温度と殻頂からの距離の関係のプロット
Fig. 6 Plot of temperature against distance from beak.

的に有意な関係にある。より直感的な理解を助けるために、図 7-B に温度と $\delta^{13}\text{C}$ 値の関係を示した。No. 6 では温度が高いと $\delta^{13}\text{C}$ 値が小さい。すなわち、底層水より温度の高い冷水の影響が強くなると、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が小さくなることになる。これは、シロウリガイにとって冷水の影響の強いときに、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の小さい炭素 (メタン) がより多く殻の形成に関与していることを示し、最初に予想したとおり、シロウリガイの殻は、時間的な冷水の変動やあるいはシロウリガイの生息深度の変化による冷水の影響の変化を記録していることになる。

これまでに述べたような $\delta^{18}\text{O}$ 値や $\delta^{13}\text{C}$ 値の変化、特に $\delta^{18}\text{O}$ 値 (水温) の規則的な変動は、単にシロウリガ

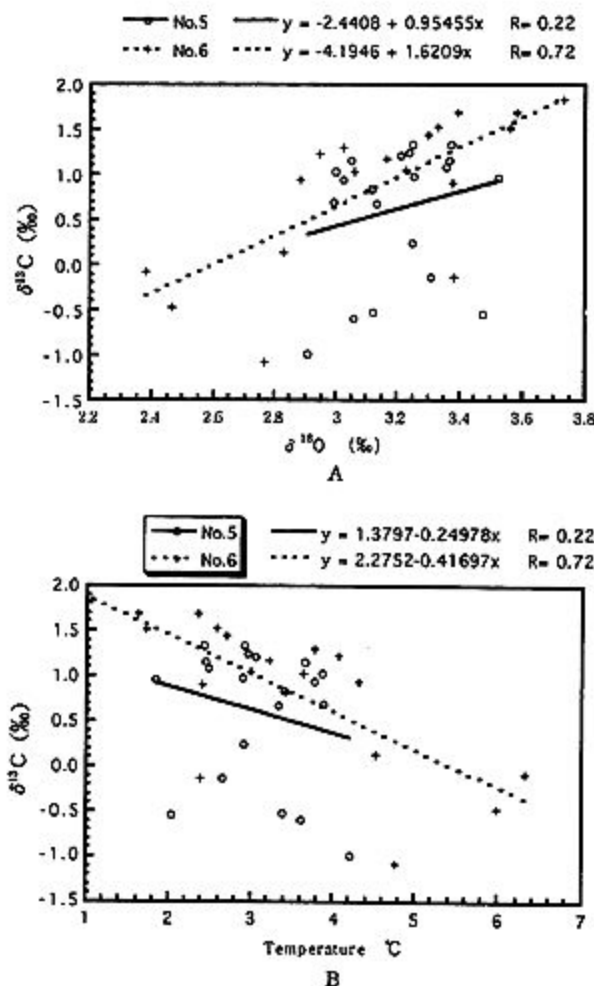


図7 図7-Aは $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ との関係、図7-Bは $\delta^{13}\text{C}$ と温度の関係を示す。

Fig. 7 Fig. 7-A shows relationship between $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$. Fig. 7-B shows relationship between $\delta^{13}\text{C}$ and temperature.

イの生息深度の変化ではなく、冷湧水の流れのリズミカルな変化があることをうかがわせる。

初島沖シロウリガイ分布地域内での比較的長期間の温度の測定は、太田 (1990)、中西ほか (1993)、木下ほか (1993) 等により行われている。これらの測定により、短周期、長周期の温度の変動があることが分かっているが、木下ほか (1993) は、地下の間隙流体の“episodic”な流動によると考えられる温度の変動も報告している。

しかし、 $\delta^{18}\text{O}$ や $\delta^{13}\text{C}$ が同位体平衡より大きい値については妥当な説明を与えるのは難しい。おそらく、深海という貝にとっては厳しい生活環境下において、貝は同位体平衡で殻を厳密には形成しなかったであろう。同様な現象は、日本海深部の巻貝や二枚貝にも認められる (大場・長谷川, 1988)。

海洋科学技術センターでは、1993年9月に初島沖のシロウリガイ生息地に、有線方式によりリアルタイムでTVカメラの映像、地震計、CTD、地中温度等のデータを陸上に送れる長期海底ステーションを設置した。11月の中旬には、無人潜水機ドルフィン-3Kにより、温度プローブを堆積物中に突き刺し、これ以後の堆積物及び底層水の温度を測定中である。

2個体のシロウリガイに記録された酸素・炭素同位体比の変化が、果たして何年分かも全く分からない。しかし、少なくともシロウリガイの寿命は、数年から十数年以上であることが推測される。たとえば、熱水噴出域におけるシロウリガイ類とシンカイヒバリガイ類の成長速度についての研究によると、*Calymene magnifica* (ガラバゴスシロウリガイ) が約210mmの殻長にまで成長するのに約25年かかり、その間の成長速度は年に0.6から6.0mmであるという (Lutz et al., 1985)。また、同じガラバゴスシロウリガイでも、場所による成長速度の差は大きく、ガラバゴスリフトと東太平洋海膨の21°Nでは、前者の方が2倍速いということである。

冷湧水の流れの変動及びシロウリガイの生息環境、成長速度等の問題の解決のための1つのアプローチとして、1994年9月に予定されている無人潜水機ドルフィン-3Kの潜航の際に、長期ステーションの温度プローブ近くからシロウリガイを採集し、再度酸素・炭素同位体比の測定を試みるつもりである。

5. おわりに

シロウリガイ殻の酸素・炭素同位体比の測定により、冷湧水の流れに長周期の変動がありそうながことが分かった。また、現場での長期間の温度測定データと同じ場所で採集したシロウリガイ殻の同位体比の比較により、より詳細な議論ができそうな見通しができた。

シロウリガイ試料を採集してくださった「しんかい2000」運航チーム、段野洲興司令ほか運航チームの諸氏に謝意を表す。

参考文献

- Boulègue J., E.L. Benedetti, D. Dron, A. Mariotti and R. Létouille (1987): Geochemical and biogeochemical observations on the biological communities associated with fluid venting in Nankai Trough and Japan Trench subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 83, 343-355.
- Gamo, T., J. Ishibashi, K. Shitashima, M. Kinoshita, M.

- Watanabe, E. Nakayama, Y. Shorin, E. Kim, T. Masuzawa and K. Fujioka (1988): Anomalies of bottom CH₄ and trace concentrations associated with high heat flow at the *Calypptogena* community off Hatsu-shima Island, Sagami Bay, Japan: A preliminary report of Tansei Maru KT-88-1 cruise Leg-1. *Geochemical Jour.*, 22, 215-230.
- Glossman, E.L. (1982): Stable isotope in live benthic foraminifera from the southern California borderland. Doctor thesis, Univ. Southern California, Los Angeles, CA, 169pp.
- 橋本 惇・田中武男・松沢誠二・堀田 宏 (1987): 相模湾初島沖におけるシロウリガイ群集の調査. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 37-50.
- 服部陸男・蟹江康光・橋本 惇・藤倉克則 (1993): 相模・駿河トラフ沈み込み帯に生息するシロウリガイ類の地質学的背景, 生態と殻の形態. しんかいシンポジウム報告書, 9, 237-251.
- 服部陸男・大場忠通・蟹江康光・秋元和實 (1994): 相模湾初島沖で発見された自生の炭酸塩類. JAMSTEC 深海研究, 10.
- 木下高正・蒲生俊敬・藤岡換太郎・T-88-1 航海乗船者一同 (1988): 相模湾初島沖で発見された高熱熱流量異常. 1988年度日本地震学会講演要旨集.
- Horikoshi, M. and J. Hashimoto (1993): Two distinct stages of a deep-sea, giant white clam, "*Calypptogena*" *soyoae*, and its allied species. *La Mer*, 30 (2), 73-82.
- Kroopnick, P.M. (1985): The distribution of ¹³C of Σ CO₂ in the world oceans. *Deep Sea Res.*, 32 (1), 57-84.
- Lutz, R.A., W.F. Lowell and R.M. Cerrato (1988): A comparison of bivalve (*Calypptogena magnifica*) growth at two deep-sea hydrothermal vents in the eastern Pacific. *Deep Sea Res.*, 35 (10/11), 1793-1810.
- Masuzawa, T., N. Handa, H. Kitagawa and M. Kusakabe (1992): Sulfate reduction using methane in sediments beneath a bathyal "cold seep" giant clam community off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 110, 39-50.
- 仲 二郎・藤倉克則・橋本 惇 (1991): 相模湾, 初島沖シロウリガイ群集域における地質学的新知見. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 7, 1-5.
- 大場忠通・長谷川卓 (1988): 日本海深部産現生 Mollusca の酸素同位体比. 月刊海洋科学, 20 (10), 627-632.
- 大場忠通・安田尚登 (1992): 黒潮域における最終氷期以降の環境変動. 第4紀研究, 31 (5), 329-339.
- 太田 秀 (1990): 相模湾冷水生態系に関する生態学的知見. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 181-195.
- 酒井 均・蒲生俊敬・遠藤圭子・石橋純一郎・柳沢文孝・日下部実・赤木 右・石塚明男・小寺雅子・五十嵐丈二・太田 秀 (1987): 「しんかい2000」による相模湾初島沖シロウリガイコロニーの地球化学的研究. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 75-90.
- Sakai, H., T.Gamo, Y. Ogawa and J. Boulègue (1992): Stable isotopic ratios and origins of the carbonate associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough. *Earth and Planetary Science Letters*, 109, 391-404.
- 吉田則夫・塚原弘昭 (1991): シロウリガイ貝殻の δ¹⁴C, δ¹³C と群生地下からの物質の供給. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 7, 25-31.

(原稿受理: 1994年6月24日)