

沖縄トラフ熱水生物の炭素・窒素および硫黄の同位体比

金 銀洙^{*1} 酒井 均^{*1} 蒲生俊敬^{*1}
橋本 惇^{*2} 太田 秀^{*1} 柳澤文孝^{*1}

1989年6月～7月に行われた「しんかい2000」のDive409, 413, 416および428潜航で、沖縄トラフの伊是名海穴(JADE site, 26°16'N, 127°05'E), 伊平屋海嶺(CLAM site, 27°33'N, 126°58'E)および南奄西海丘のC凹地(28°23'40"N, 127°38'40"E)の熱水・温水湧口付近で採集された生物試料について、炭素・窒素および硫黄同位体比の分析を行った。また、熱水試料については硫黄同位体比の分析を行った。

熱水中の硫化水素と硫酸の同位体比には相違点が見られ、JADE siteとCLAM siteの熱水循環系に違いがあることが明らかになった。3地点で採集した生物の炭素・窒素および硫黄同位体比は、一般の海洋生物とは大きく隔っている。イガイ類の炭素同位体比はシロウリガイより高いが、この原因としては共生バクテリアによる有機炭素以外の炭素源があるためと考えられる。また、イガイ類の窒素同位体比はシロウリガイの同位体比より比較的低かった。これは、vent内の高い NH_4^+ 濃度、あるいは堆積物から生成される軽い窒素源があることが考えられる。熱水噴出孔近くに生息している生物は、熱水の火山性硫黄と同じ同位体比を示しており、熱水噴出孔から離れた地点の生物は、堆積物中の硫酸還元バクテリアによって生成された軽い硫化水素を利用している。

Carbon, nitrogen and sulfur isotopic ratios in hydrothermal vent animals from the mid-Okinawa Trough

Eun-Soo KIM^{*3} Hitoshi SAKAI^{*3} Toshitaka GAMO^{*3}
Jun HASHIMOTO^{*4} Suguru OHTA^{*3} and Fumitaka YANAGISAWA^{*3}

Hydrothermal vent animals and fluids were collected from the Izena Cauldron (JADE site, 27°16'N, 127°05'E), the Iheya Ridge (CLAM site, 27°33'N, 126°58'E) and the Depression C of Minami-Ensei Knoll (28°23'40"N, 127°38'40"E) in the mid-Okinawa Trough during Dives 409, 413, 416 and 428 of the submersible "SHINKAI2000" in June to July, 1989. In the present study we analyzed carbon, nitrogen and sulfur isotopic ratios of the vent animals and sulfur isotopic ratios of the vent fluids.

* 1 東京大学海洋研究所

* 2 海洋科学技術センター

* 3 Ocean Research Institute, University of Tokyo

* 4 Japan Marine Science and Technology Center

From the sulfur isotopic ratios of hydrogen sulfide and sulfate in vent fluids, we found that fluid convection mechanism is different between the JADE and CLAM sites. In the three sites studied, stable isotopic ratios of vent animals are significantly different from those of normal marine animals, reflecting their dependence on symbiotic chemoautotrophic bacteria which utilize H_2S in vent fluids and other reduced inorganic compounds.

The mussels were less depleted in ^{13}C compared to the clams indicating that the mussels utilize different carbon sources than the clams, in addition to the carbon fixed by their autotrophic symbionts. However, nitrogen isotopic ratios of the mussels are relatively lighter than those of the clams. We think that this is attributed to the high ammonium concentrations in vent fluids or the use of the light nitrogen sources from sediments. Sulfur isotopic ratios of animals living in close proximity to the vent is similar to those of the volcanic sulfides in vent fluids, while those of animals living in places where volcanic sulfides do not reach utilize isotopically light hydrogen sulfide biogenically produced in sediments.

1. はじめに

海底熱水帯や冷水湧出帯には、シロウリガイやハオリムシなどの大型生物を主体とする特異な生物が発達する。これらの生物のエネルギー源が、彼らの体内に共生する硫黄酸化バクテリアやメタン酸化バクテリアのような独立栄養化学合成バクテリアであることはよく知られている。これらの化学合成の硫黄・炭素・窒素の同位体比は、光合成によって海洋表層や陸地で生産される有機物のそれらに対し、著しく異なっていることが多い。したがって、化学合成バクテリアを利用する熱水性生物と冷水生物の安定同位体比は、光合成による有機物を利用する一般の海洋生物とは異なった値を取ることが多く、これを利用して海底熱水帯や冷水帯に於ける硫黄・炭素・窒素の起源や循環過程を追跡することができる。

1989年6月～7月に沖縄トラフの伊是名海穴 (JADE site) と伊平屋海嶺 (CLAM site), 南奄西海丘において「しんかい2000」による潜航調査が行われ、熱水起源と考えられる硫化水素に富んだ海水と、シロウリガイ・ハオリムシ・エビ・イガイ類および腹足類が採集された。これらの生物が利用する炭素・窒素および硫黄の起源と、熱水噴出孔から噴出する硫化水素の起源を明らかにするため、生物の炭素・窒素および硫黄同位体比と熱水の硫黄同位体比の分析を行った。

2. 試料と方法

CLAM site (27°33'N, 162°58'E; 水深: 1,395～1,425m)

分析した生物試料は、1989年に行われたD 409潜航 (オブザーバー: 太田) で採集したシロウリガイ (*Calyptogena* sp.: 未記載新種, 以下シロウリガイと略記) と、D 416潜航 (オブザーバー: 蒲生) で採集した細いハオリムシ (*vestimentifera* gen. sp.), イガイ (? *Bathymodiolus* sp.: 以下イガイと略記), エビ (? *Alvinocaris* sp.: 以下エビと略記) である。また、熱水試料は、D 416潜航と、7月のD 426潜航 (オブザーバー: 満沢), D 427潜航 (オブザーバー: 長沼) で採取したものである。

JADE site (27°16'N, 127°05'E; 水深: 1,340～1,395m)

1989年6月のD 413潜航 (オブザーバー: 酒井) で採集したイガイと、7月のD 423潜航 (オブザーバー: 田中) で採集した熱水の分析を行った。

南奄西海丘のC凹地 (28°23'40"N, 127°38'40"E; 水深: 670～710m)

1989年7月のD 428潜航 (オブザーバー: 橋本) で採集したシロウリガイ (*Calyptogena soyoe*), イガイと腹足類 (*Neptunea* (?) sp.: 以下マキガイと略記) を分析した。

熱水試料中の硫化水素は船上で2N酢酸亜鉛溶液を加えてZnSの形で固定して持ち帰り、硫黄同位体比分析に供した。生物試料は冷凍(-80℃)して実験室に持ち帰り、分離可能なものについては部位毎に区分して凍結乾燥してから、後の分析に使用した。炭素および窒素同位体比は、Minagawa et al. (1984)の方法によって分析した。

概略は次のとおりである。乾燥させ粉末にした10~20mgの試料を、酸化銅1gと石英管(40mmX6mm)に入れ混合した。この石英管を銀のオイル・還元銅とともに大きな石英管(250mmX9mm)に入れ、ケージンユニオンを用いて、真空装置に接続して排気したあと溶封した。溶封した石英管は500℃で30分間加熱後、850℃で2時間燃焼させてから数時間かけて徐冷した。生成したCO₂とN₂は真空ラインで分離してから、おのおの質量分析に供した。硫黄同位体比分析ため、乾燥させ粉末にした試料を塩化リチウム溶液で2回洗浄してから再度乾燥させた。試料0.2~0.5gをParr bombで燃焼させ、生成した硫酸をBaSO₄の形で沈澱させてからSO₂ガスを作成し、硫黄同位体比の測定に供した(Yanagisawa and Sakai, 1983)。C、NおよびS同位体比は通常用いられるδ値で表示した。

$$\delta(\text{‰}) = \left\{ \left(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} \right) - 1 \right\} \times 1000$$

Rは¹³C/¹²C、¹⁵N/¹⁴Nあるいは³⁴S/³²S。標準試料は炭素はPDB、窒素は空気中の窒素、硫黄についてはCDTを用いた。標準物質を用いた測定精度は±0.2‰である。

3. 結果と考察

表1と図1、図2に生物の同位体比の結果を、表2と図3に熱水試料の硫黄同位体比を示した。JADE siteとCLAM siteでは熱水とガスの成分や濃度に違いが認められ、熱水循環の形態が異なっていると考えられる(酒井ほか, 1989)。このことから、生物の有する安定同位体比にも違いがあることが予想される。しかし、両siteで採集された生物種類に重複するものが少ないことから、十分な比較検討することはできなかった。

3. 1 生物の炭素同位体比

食物連鎖における炭素同位体比の変動は、一段につき約1‰重くなる(DeNiro and Epstein, 1978)程度であり、生物の炭素同位体比は利用する餌の炭素同位体比とほぼ一致しているとみてよい。このため、生物の炭素同位体比の測定は餌の起源を追跡することに有用である。

本研究の生物について測定された炭素同位体比は、一般の海洋底棲生物(-16~-19‰)より重い、あるいは軽い同位体比を示しており(表1)、メタンバクテリア(<-40‰)によって影響されたと考えられる生物は見られなかった。また、生物の炭素同位体比の変化幅が狭いことは、海洋において溶存無機炭素の同位体比(0‰)がほぼ一定し、硫酸化バクテリアが有機炭素を化学合成する際、一定の炭素同位体分別を起こすためと思われる(Ruby et al., 1987; Saino and Ohta, 1989)。CLAM site(D 409)と南奄西海丘(D 428)のシロウリガイは-34~-37‰の値を有している。この値は、Louisiana slope(Brooks et al., 1987)のシロウリガイとほぼ同じ値であるが、本研究で測定した他の生物よりは軽い値である。これは、共生バクテリアによる有機炭素の影響が大きいと考えられる。EPR, 21°Nのガラバゴスシロウリガイ(*Calyptogena magnifica*)は、海水から溶存物を吸収する能力がないことが知られており(Fiala-Medioni et al., 1987)、本研究でのシロウリガイもほとんどの餌を共生バクテリアに依存していると推定される。イガイはCLAM site(D 416)、JADE site(D 413)と南奄西海丘(D 428)でおおの-30‰・-28‰・-26‰の値を示し、生息地による違いが認められた(表1)。この生息地による違いに二つの要因が考えられる。第一にもし、イガイの生理作用が同じであるとすると、利用するCO₂の炭素同位体比の差に起因すると考えられる。メタンが酸化されたことによって生成したCO₂の炭素同位体比は軽くなるが、このCO₂を利用していたとすると、イガイの炭素同位体比は軽くなるはずである。この仮定はCLAM siteとJADE siteのメタンとCO₂の濃度を比較することによって推測することが可能である。CLAM siteとJADE siteのメタンの濃度は共に15mMであるが、CLAM siteの

表1 生物の炭素、窒素および硫黄の同位体比

Table. 1 Carbon, nitrogen and sulfur isotopic ratios of animals.

Dive No. (Locality)	Sample (species)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)
D409 (CLAM)	Bivalvia			
	<u>Calymene</u> sp.			
	gill	-34.9	-0.9	-26.5
	foot	-33.8	+1.9	-25.5
	gill	-35.7	+0.2	-25.3
	foot	-34.8	+3.1	-25.2
D416 (CLAM)	Polychaete ^a			
	total	-11.8	+0.1	-
	Vestimentifera			
	total	-16.0	+1.2	-6.1
	Bivalvia			
	<u>Bathymodiolus</u> (?)sp.			
	total	-30.2	-5.8	+5.3
	total	-30.1	-5.9	+5.6
D413 (JADE)	Shrimp ^a			
	<u>Alvinocaris</u> sp.(?)			
	total	-18.4	+1.4	-3.3
	Polychaete			
	total	-27.7	-	-
D428 (Minami -Ensei Knoll)	Bivalvia			
	<u>Bathymodiolus</u> (?)sp.			
	gill	-28.1	-1.3	+10.2
	rest	-28.0	-0.9	+8.6
D428 (Minami -Ensei Knoll)	Bivalvia			
	<u>Calymene</u> <u>soyoae</u>			
	gill	-36.5	+5.4	+1.6
	foot	-35.4	+7.5	-3.4
	<u>Bathymodiolus</u> (?)sp.			
	gill	-25.7	-7.5	+9.8
	rest	-26.1	-7.3	+10.3
	Gastropoda			
	<u>Neptunea</u> sp.(?)			
	tissue	-29.4	+14.2	-9.4

a: 5 pooled individuals.

CO₂ の濃度は約250mM, JADE site の濃度は約210mM (石橋ほか, 1989) である。CLAM site で見られる高い CO₂ 濃度は、後述するように地下深部で発生したメタンが浅部で酸化されたことによる CO₂ に起因すると考えられる。しかし、

CLAM site のもとのメタン濃度が JADE site のメタン濃度より高いものか否かは不明である。また、CLAM site の CO₂ の炭素同位体比は JADE site のものより高いので (酒井ほか, 1990), CH₄ や CO₂ の炭素同位体比については更に検討

表2 CLAM siteとJADE siteの熱水の硫化水素と硫酸の硫黄同位体比

Table. 2 Sulfur isotopic ratios of hydrogen sulfide and sulfate in hydrothermal solutions at the CLAM site and JADE site.

Locality	Dive No.	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4} \text{‰}$	
		Bulk- H_2S	Liq.- SO_4
IZENA CAULDRON (JADE SITE)	D 413-6	+7.7	+20.6
	D 423-2	+7.6	+20.7
IHEYA RIDGE (CLAM SITE)	D 416-2	-0.3	+25.7
	-5	+3.0	+21.4
	D 426-6	+0.9	+24.0
	D 427-3	+1.4	+25.6

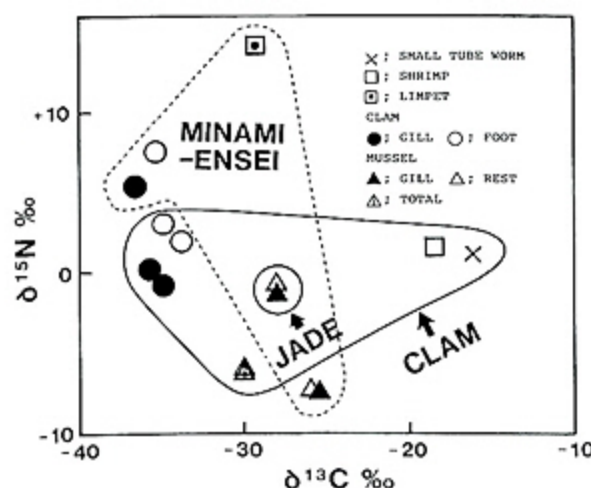


図1 生物の炭素および窒素同位体比の関係

Fig. 1 The relationship between C and N isotopic ratios of animals.

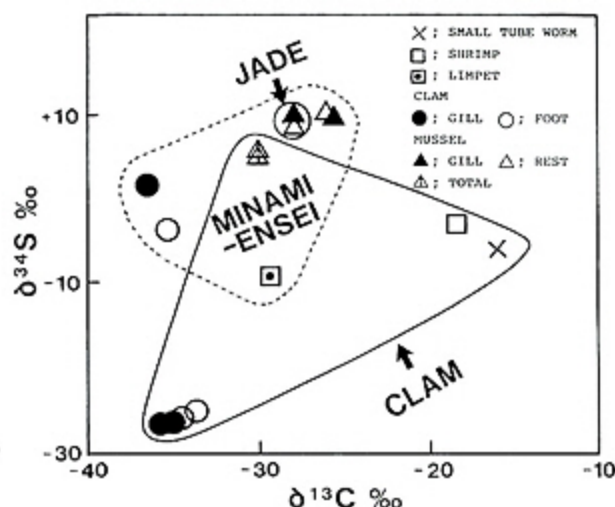


図2 生物の炭素および硫黄同位体比の関係

Fig. 2 The relationship between C and S isotopic ratios of animals.

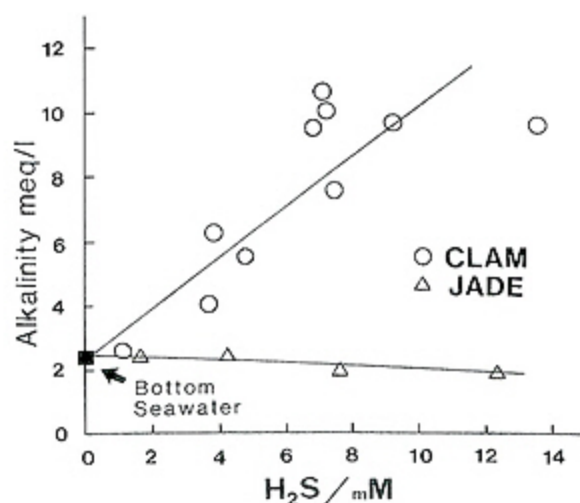


図3 熱水の硫化水素濃度とアルカリ度の関係

Fig. 3 The relationship between hydrogen sulfide concentration and alkalinity of hydrothermal solutions.

が必要である。第二は、次に述べるようにイガイは化学合成バクテリア以外にも、他のエネルギー源を利用している可能性があり、その寄与の割合の違いによるものである。イガイの元素同位体比 ($-26 \sim -30\text{‰}$) が、シロウリガイ ($-34 \sim -37\text{‰}$) より高い原因は、イガイが共生バクテリアから供給される有機炭素以外の炭素源を有しているためと推定される。イガイはシロウリガイ・ハオリムシと異なって、口と消化管を持っていることから、海水中のアミノ酸を摂取できる (Fiala-Medioni et al., 1986)。また、イガイの RuBP Carboxylase 酵素 (CO_2 固定の Calvin-Benson 回路のカルボキシル化過程に作用する酵素) 活性も、シロウリガイやハオリムシより低いことが明らかになっている (Felbeck et al., 1981)。最近、Louisiana slope のメタン共生バクテリアを持っているイガイが、海水中の粒状物を摂取する能力があることが報告されている (Page et al., 1990)。

CLAM site (D 416) の細いハオリムシは -16‰ を示している。この値は、熱水系の -11‰ (Rau, 1981) と冷水系の -20‰ (Brooks et al., 1987; Kulm et al., 1986) の中間値である。ハオリムシは、その栄養源の100%を共生硫黄酸化バクテリアから得ている。ハオリムシの共生硫黄酸化バクテリアもシロウリガイの場合と同様に、海水中の無機炭酸から有機物を合成するわけで、前者の炭素同位体比が後者に比べて著しく高いのは、化学合成の際の同位体効果が前者では小さいためと説明される。その理由については、まだ明らかになっていないが、ハオリムシでは体内に吸収した二酸化炭素をより効率的に固定するのに対し、シロウリガイではその効率が悪いので、同位体効果が最大限に反映されるためと推定される。エビ (-18‰) は移動可能であり、vent 内の他の生物を食べているのがよく観察されることから、共生バクテリアを持つシロウリガイ・イガイと、共生バクテリアを持っていない多毛類 (-12‰) を餌として利用していると考えられる。マキガイは共生バクテリアを持っていることが知られている (Stein et al., 1988)。しかし、本分析に用いたマキガイは共生バクテリアを持っていないので、その炭素同位体比 (-29.4‰) は彼らが共生バク

テリアを保有するシロウリガイやイガイを専ら捕食していることを示唆している。

3. 2 生物の窒素同位体比

生物が利用出来る窒素源としては $\text{N}_2 \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{NO}_2^- \cdot \text{NH}_4^+$ など多様なものがある。また、窒素は栄養段階によって ^{15}N が約 3 ‰濃縮されることが知られているが、vent 内の海水と堆積物の窒素化合物のデータはほとんど報告されていない。

海水中には N_2 が飽和した状態で存在するので、共生バクテリアは N_2 を利用できる。海洋において N_2 固定による同位体分別は小さく (< 1.005)、海水中の N_2 の窒素同位体比はほぼ 0 ‰であり、 N_2 固定による海洋生物は $-1.5 \sim +3.0\text{‰}$ の窒素同位体比を有していることが知られている (Wada and Hattori, 1976)。本研究のシロウリガイ、細いハオリムシと JADE site のイガイは $-1.3 \sim +7.5\text{‰}$ (表 1) であり、東太平洋熱水系のシロウリガイ・ハオリムシ ($+1.8 \sim +4.9\text{‰}$; Rau, 1981) のように、 N_2 固定によって窒素を得ていると推定される。しかし、CLAM site (D 416) のイガイと南奄西海丘 (D 428) のイガイは $-5.8 \sim -7.5\text{‰}$ の値を有しており、 N_2 固定では説明できない。

N_2 以外の窒素源としては海水中に溶存している NH_4^+ と NO_3^- が考えられる。海水中と堆積物中の窒素化合物については分析を行っていないが、太平洋深海中の NO_3^- の窒素同位体比は $+6 \sim +8\text{‰}$ (NH_4^+ の data はない) であることが知られている (Rau, 1981)。 NH_4^+ と NO_3^- が高い濃度で存在する場合には、共に -13‰ の同位体分別が起こると報告されている (Macko et al., 1987)。従来報告されている熱水系の NH_4^+ 濃度は $< 10\mu\text{M}$ 、 NO_3^- 濃度は $< 40\mu\text{M}$ (Jannasch and Mottl, 1985) と低濃度であり、このような低い濃度ではあまり大きな同位体分別は期待できない (Wada and Hattori, 1978)。しかし、CLAM site (D 416) のイガイを採取した地点は熱水噴出孔近くであり、熱水に含まれた高い濃度の NH_4^+ (3.2mM; 蒲生ほか, 1989) が窒素源になる可能性が大きい。したがって、CLAM site (D 416) のイガイの軽い窒素同位体比は熱水の高い

濃度の NH_4^+ に起因することと考えられる。JADE site (D 413) のイガイが採取された地点は熱水噴出孔からやや離れており、CLAM site (D 416) より NH_4^+ 濃度が低い (1 mM; 蒲生ほか, 1989) ことから、JADE site (D 413) のイガイにおいては大きな窒素同位体分別は起っていないことが予想される。また、南奄西海丘の熱水の NH_4^+ 濃度の分析は行わなかったが、イガイは熱水噴出孔周辺に、シロウリガイは噴出孔から少し離れた場所に生息している (橋本ほか, 1989) ことから、シロウリガイ同位体比 (+5.4 ~ +7.5‰) とイガイの同位体比 (-7.3 ~ -7.5‰) の相違が説明できる。

他に窒素源として考えられるのは堆積物中の有機窒素である。堆積物中の有機窒素の窒素同位体比は +5 ~ +13‰ であるが (Rau, 1981), そのまま vent 生物に利用されるわけではない。堆積物中の有機窒素が分解する過程で NH_4^+ が作られるが、この際に同位体比が 5 ~ 7‰ 軽くなる (Letolle, 1980)。このように軽い同位体比を持った NH_4^+ が、高濃度に存在したとすると、 NH_4^+ が生物に同化される際に、更に大きな同位体分別が起こる可能性も考えられる。

3. 3 生物の硫黄同位体比

海洋のプランクトンとバクテリアは海水中の硫酸を同化還元し、有機硫黄として取り入れるが、この際の同位体効果は小さいため、有機硫黄の同位体比は海水硫酸 (+20‰) と極めて近い同位体比を示す。その結果、これらのプランクトンやバクテリアに依存する海洋生物の硫黄同位体比は、海水の硫酸の同位体比とほぼ同じ値の +15 ~ +20‰ を示している。一方、熱水系の硫化水素はマグマ起源であり、また、冷水系に存在する硫黄化合物は海水の硫酸がバクテリアによって非同化的に還元されたものであって、海水の硫酸より著しく軽い硫黄同位体比を有している。前者は一般に 0 ~ +10‰、後者は -20 ~ -40‰ の値を持つ。したがって、それを利用する生物は一般の生物より低い硫黄同位体比を有することになる。しかし、冷水系生物中でもメタンバクテリアと共生関係を持つ生物は重い硫黄同位体比を示している。CLAM site (D 409) のシロウリガイ (-

25‰) は熱水が噴出されていないところで採集されたものであり、Ogasawara Arc の海形海山のイガイの仲間 (-22 ~ -26‰; Kim et al., 1989) と同じように、硫酸還元バクテリアによって生産される硫化水素 (-20 ~ -40‰) が利用されていると考えられる。しかし、同じ CLAM site でも熱水噴出孔近くで採集された D 416 の生物 (-6.1 ~ +5.6‰) は、熱水に含まれた硫化水素 (-0.3 ~ +3‰) の影響が大きいようである。エビは、炭素同位体比の場合と同様に細いハオリムシとイガイの中間値を示している。JADE site (D 413) のイガイは +9 ~ +10‰ の硫黄同位体比を示すことから、熱水の硫化水素 (約 +8‰; 表 2) が利用されているらしい。このように CLAM site の D 409 のシロウリガイでは、海底の堆積物中の硫酸還元バクテリアによって生産される硫化水素が重要な硫黄源になっており、熱水孔の付近の D 416 と D 413 の生物には、熱水孔から噴出される硫化水素が重要である。

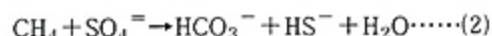
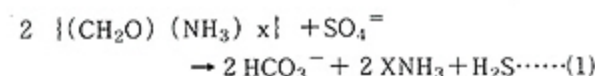
南奄西海丘でも全く同じである。D 428 (C 凹地) で採集したイガイの硫黄同位体比は +10‰ であり、イガイは火山性熱水の硫化水素を利用していると考えられる。一方、“C 凹地” から 2 km ほど北北西にある“B 凹地”で 1988 年の D 357 潜航の際に採集されたハオリムシは、-24 ~ -25‰ の同位体比を示している。“C 凹地”は“B 凹地”に比べて海底下の温度異常が大きく、地下の火山活動がより盛んであることを示している。また、現在生息している生物の密度も大きい。これらの相違点は硫黄同位体比の相違と調和的である。

3. 4 熱水の硫黄同位体比

酒井ほか (1990) は JADE site の熱水と CLAM site の熱水で、アルカリ度・ NH_4^+ ・Li、 H_2S 、 CO_2 、He の濃度が異なることから、熱水噴出メカニズムに違いがあると推定した。JADE site では下部から噴出した熱水が直接海底に噴出するのに対して、CLAM site では下部から噴出した熱水が上部で海底から入って来る海水と混合して、浅部熱水系を形成していると考えた。その結果、海水中的硫酸がメタンによって H_2S に還元され、アルカリ度が増加し、 $\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{S} \cdot \text{CO}_2$ の同位体

比が変化するのである。

表2に示したように、JADE site と CLAM site の熱水の硫化水素と硫酸の硫黄同位体比には大きな違いが認められる。硫黄同位体比から JADE site と CLAM site の熱水系の違いは以下のように説明される。JADE site の硫化水素は深部熱水系から直接由来しており、火山性硫化物の硫黄同位体比の約+8‰を示す。一方、CLAM site の硫化水素は地下深部から由来したものと、海水硫酸が浅部で堆積物の有機物と深部から由来するメタンによって還元されたものが混合されて噴出したと考えられる。したがって、CLAM site の硫化水素の同位体比は軽く、熱水の硫酸は重くなったと推定される。すなわち、CLAM site では下式のような反応 (Kulm et al., 1986) が同時に起こっていると考えられる。



CLAM site の熱水のアルカリ度が高いのは、上述の反応によって生成した重炭酸とアンモニアの寄与があるためと考えられる (蒲性ほか, 1990; 図3)。また、前述したように CLAM site のイガいの炭素同位体比が JADE site のイガイより軽いのは、(2)式のように CH_4 から生成した軽い CO_2 に起因するためと推定される。しかし、前述のように CH_4 と CO_2 の炭素同位体比にはまだ問題が残されている。

4. ま と め

以上の結果をまとめると

- ① CLAM site と JADE site の熱水の硫化水素と硫酸硫黄同位体には相違点が見られた。この相違は、熱水循環系の違いに対応したものと考えられる。しかし、両 site の CH_4 や CO_2 の炭素同位体比については今後の検討が必要である。
- ② 生物の有する炭素同位体比は、共生バクテリアによって支配されている。各生物が有する同位体比の幅が狭いことも共生バクテリアに起因すると考えられる。

③ CLAM site と南奄西海丘のイガいの窒素同位体が高いのは、熱水中の高い NH_4^+ 濃度に起因すると思われる。

④ 生物の硫黄同位体比は、火山性からバクテリア起源に至る幅広い同位体比を示し、生息場所によって大きく変化した。熱水噴出孔に近いほど火山性の硫黄が支配的になり、遠ざかるほど硫酸還元バクテリアによる硫黄の影響が大きかった。

謝 辞

本研究には1989年6月～7月に行われた「しんかい2000」による潜航調査、D 409・D 413・D 416・D 418の試料を使用した。これらの研究調査に参加された研究者、「しんかい2000」運航チームの方々、「なつしま」乗組員の方々に感謝いたします。また、同位体比分析に協力いただいた地質調査所鉱物資源部の松久幸敬博士、東京大学理学部地質学教室の島崎英彦教授と鹿園直建博士、東京大学海洋研究所の才野敏郎博士、堤真氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- Brooks, J. M., Kennicutt, M. C. II, Fisher, C. R., Macko, S. A., Cole, K., Childress, J. J., Bidi-gare, R. R., Vetter, R. D. 1987. Deep-sea hydrocarbon seep communities: Evidence for energy and nutritional carbon sources. *Science*, 238, 1138-1142.
- DeNiro, M. J. and Epstein, S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 495-506.
- Felbeck, H., Childress, J. J. and Somero, G. N. 1981. Calvin-Benson cycle and sulphide oxidation enzymes in animals from sulphide-rich habitats. *Nature*, 293, 291-293.
- Fiala-Medioni, A., Alayse, A. M. and Cahet, G. 1986. Evidence of in situ uptake and incorporation of bicarbonate and amino acids by a hydrothermal vent mussel. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 96, 191-198.
- Fiala-Medioni, A. and Metivier, C. 1987. Ultrastructure of the gill of the hydrothermal vent

- bivalve *Calymene magnifica*, with a discussion of its nutrition., Mar. Biol., 90, 215-222.
- 蒲生俊敬, 酒井均, 石橋純一郎, 下島公紀, 金銀洙, 柳澤文孝, 山野誠, 松本剛, 田中武男, 満沢巨彦, 長沼毅, 大森保 1990. 沖縄トラフ海底熱水活動の地球化学的研究: 「しんかい2000」第416回潜航報告と熱水の重要化学成分濃度からみた熱水活動の特徴., 第6回「しんかい2000」研究シンポジウム, 印刷中
- 橋本惇, 藤倉克則, 堀田宏 1989. 南奄西海丘における温湯湧出現象に伴う深海生物群集., 第6回「しんかい2000」研究シンポジウム予稿集, 77-79
- 石橋純一郎, 佐野有司, 堀田宏, 蒲生俊敬, 堤真, 酒井均 1989. 沖縄トラフ海底熱水活動の地球化学 III. 溶存ガス濃度からみた熱水活動の特徴., 第6回「しんかい2000」研究シンポジウム予稿集, 11-12
- Jannasch, H. W. and Mottl, M. J. 1985. Geomicrobiology of deep-sea hydrothermal vents., Science, 229, 717-725.
- Kulm, L. D., Suess, E., Moore, J. C., Carson, B., Lewis, B. T., Ritger, S. D., Kadko, D. C., Thornburg, T. M., Embley, R. W., Rugh, W. D., Massoth, G. J., Langseth, M. G., Cochran, G. R. and Scamman, R. L. 1986. Oregon subduction zone: venting, fauna and carbonates., Science, 231, 561-566.
- Lettolle, R. 1980. Nitrogen-15 in the natural environment., in "Handbook of Environmental Isotope Geochemistry", Volume 1A, The terrestrial environment, Frize, P. and Fontes, J. C. eds, Elsevier, Amsterdam 407-433.
- Macko, S. A., Fogel (Estep), M. L., Hare, P. E. and Hoering, T. C. 1987. Isotopic fractionation of nitrogen and carbon in the synthesis of amino acids by microorganisms., Chem. Geol., 65, 79-72.
- Minagawa, M., Winter, D. A. and Kaplan, I. R. 1984. Comparison of Kjeldahl and combustion methods for measurement of nitrogen isotope ratios in organic matter., Anal. Chem., 48, 1859-1861.
- Page, H. M., Fisher, C. R. and Childress, J. J. 1990. Role of filter-feeding in the nutritional biology of a deep-sea mussel with methanotrophic symbionts., Mar. Biol., 104, 251-257.
- Rau, G. H. 1981. Low $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in hydrothermal vent animals; ecological implications., Nature, 289, 484-485.
- Ruby, E. G., Jannasch, H. W. and Deuser, W. G. 1987. Fractionation of stable carbon isotopes during chemoautotrophic growth of sulfur-oxidizing bacteria. Appl. Environ. Microbiol., 53, 1940-1943.
- Saino, T. and Ohta, S. 1989. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of vesicomyid clams and a vestimentiferan tube worm in the subduction zone east of Japan. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 71, 169-178.
- 酒井均, 蒲生俊敬, 石橋純一郎, 下島公紀, 金銀洙, 柳澤文孝, 山野誠, 松本剛, 田中武男, 満沢巨彦, 長沼毅, 大森保 1990. 沖縄トラフ海底熱水活動の地球化学 I. 熱水活動の概要および液状二酸化炭素の湧出., 第6回「しんかい2000」研究シンポジウム, (本誌, 別記)
- Stein, J. L., Cary, S. C., Hessler, R. R., Childress, J. J., Ohta, S., Vetter, R. D. and Felbeck, H. 1988. Chemoautotrophic symbiosis in a hydrothermal vent gastropod., Biol. Bull., 174, 373-378.
- Wada, E. and Hattori, A. 1978. Nitrogen isotope effects in the assimilation of inorganic nitrogenous compounds by marine diatoms., Geomicrobiol. J., 1, 85-101.
- Yanagisawa, F. and Sakai, H. 1983. Preparation of SO_2 for sulfur isotope ratio measurements by the thermal decomposition of $\text{BaSO}_4/\text{V}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ mixtures., Anal. Chem., 55, 985-987.

(原稿受理 1990年4月9日)