

マリアナ背弧海盆のアルヴィンガイ (*Alviniconcha hessleri*) 及びシュリンプ (*Chorocaris vandoverae*) の硫黄同位体組成

牧 陽之助*1 溝田 智俊*2

北緯 13 度 23 分・東経 143 度 55 分 (「しんかい 6500」第 353・354 潜航) 及び北緯 18 度 12 分・東経 144 度 42 分 (第 355・356 潜航) の海域で、マリアナ背弧海盆の熱水噴出域の生物 (Snail, *Alviniconcha hessleri*: Shrimp, *Chorocaris vandoverae*) と熱水及びチムニー鉱物を採取し、硫黄同位体組成を測定した。Snail の硫黄同位体組成は重いものから順に鰓・足・卵巣であった。熱水とチムニー鉱物は鰓よりさらに大きい値を示した。Shrimp は Snail の鰓とほぼ同じ値であった。Snail の鰓には硫酸化細菌が共生し、単体イオウが蓄積していることから硫酸化細菌による硫化水素の酸化過程で負の同位体分別が起きている可能性がある。また足と卵巣の硫黄同位体組成 (同化された有機態硫黄) は鰓と同様に熱水由来の硫化水素と推定され、共生硫酸化細菌から供給されと考えられた。ここで分析したアルヴィンガイ体組織の硫黄同位体組成は、硫酸化細菌を共生させる巻貝としては、最初のものである。さらにこの研究によって、熱水域生物群集の構成生物の組織と熱水の硫黄同位体をセットとして解析することにより、熱水域生物群集の食物関係を明かにする可能性が示された。

キーワード: アルヴィンガイ, マリアナ背弧海盆, 硫黄同位体, 熱水, チムニー鉱物

Sulfur isotopic composition of *Alviniconcha hessleri* and *Chorocaris vandoverae* from Mariana Back-Arc Basin

Yonosuke MAKI*3 Chitoshi MIZOTA*4

Sulfur isotopic compositions were measured for unique benthic animals, i.e., snail (*Alviniconcha hessleri*) and shrimp (*Chorocaris vandoverae*), along with associated hydrogen and chimney sulfides from hydrothermal vents in Mariana Back-Arc Basin. The sulfur isotopic signature ($\delta^{34}\text{S}$, ‰) of gill from the snail of which the major form is an elemental sulfur was heaviest among analysed soft tissues. Slightly lower values were observed for foot and ovary which represent assimilated organic sulfur. The $\delta^{34}\text{S}$ values of both vent hydrogen and chimney

* 1 岩手大学人文社会科学部生物学教室

* 2 岩手大学農学部土壌学教室

* 3 Laboratory of Biology, Faculty of Humanities and Social Sciences, Iwate University, Morioka 020, Japan

* 4 Department of Agriculture and Forestry, Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka 020, Japan

sulfides were heavier than that of gill from snail. Whole body $\delta^{34}\text{S}$ value of the shrimp gave a comparable value with gill from the snail. Negative isotopic fractionation during the oxidation of hydrogen sulfide into elemental sulfur through endosymbiotic sulfur-oxidizing bacteria was implied. Major source of assimilated sulfur in snail foot and ovary, and shrimp would be hydrogen sulfide issuing from associated hydrothermal vent. The present sulfur isotopic result is the first document for endosymbiotic marine snail. Our study implies potential use of sulfur isotopic composition for elucidating food web among hydrothermal vent community.

Key words : sulfur isotopic composition, *Alviniconcha hessleri*, *Chorocaris vandoverae*, hydrogen sulfide, chimney sulfide

1. はじめに

熱水噴出孔の周囲に発達するいわゆる深海生物群集は、第1次のエネルギー源を熱水に含まれる硫化水素やメタンを酸化して得られる化学エネルギー、すなわち硫黄酸化細菌やメタン酸化細菌による化学合成に依存していることが知られている (Tunnicliffe, 1991)。この深海生物群集では群集構成生物の体組織の硫黄源という点からすれば、熱水に含まれる硫化水素に加えて周囲の海水に由来する硫酸イオンが考えられる。熱水に含まれる硫化水素の硫黄同位体組成は、マグマ起源のものは、 $-5 \sim +10$ パーミルで軽い。一方、海水の硫酸イオンのそれは地域に関係なく著しく均一であり、ほぼ $+20$ パーミルと非常に重い。深海生物群集の発達する熱水環境では、これら軽い硫化水素と重い硫酸イオンがいわばモザイク状に分布し、生物はいずれかの、あるいは双方の硫黄を利用していると推察される。

軽い硫化水素はまず硫黄酸化細菌によって菌体に固定され、その後共生宿主生物あるいは食物網を通して構成生物間に広がるか、直接に体組織に吸収同化されると考えられる。一方、海水の重い硫酸イオンは、有光層で光合成生物によって同化固定されたものがデトリタスとして深海生物に利用されたのち食物網によって広がるか、あるいは直接に吸収同化されると考えられる。したがって、深海生物群集の構成生物の体組織の硫黄同位体組成を比較検討することによって、深海生物群集の食物網あるいは硫黄源 (エネルギー源) を推測できる。その際注意すべき点は、試料への海水の混入を充分排除することはもちろん、熱水起源の硫化物 (硫化水素ないしチムニー鉱物) とその周囲の生物とをひとつのセットとして測定し、比較検討することである。

マリアナ背弧海盆の熱水噴出域の深海生物群集では、鰓に硫黄酸化細菌を共生させる巻貝 (アルヴィンガイ, *Alviniconcha hessleri*) が優占しており、その鰓には単

体イオウが蓄積している (Stein *et al.*, 1988)。本研究では、アルヴィンガイの体組織と熱水硫化水素の $\delta^{34}\text{S}$ を測る事によって、体組織の硫黄源が硫酸イオンでなく硫化水素である事を明らかにしようとした。

1996年11月28日から12月16日まで、「しんかい6500」及び「よこすか」によるマリアナトラフ海域の深海底調査 (レグ2) に参加する機会を得た。本研究は、硫黄同位体組成によって食物網を解析しようとする研究の可能性をさぐる第一歩である。

2. 材料と方法

2.1 試料の採取

「しんかい6500」による潜航は、第353潜航から第359潜航まで、合計6回であった。このうち第353潜航 (観察研究者: 藤倉克則, JAMSTEC)・第354潜航 (観察研究者: 奥谷喬司, 日本大学)・第355潜航 (観察研究者: 角皆潤, 東京大学)・第356潜航 (観察研究者: 長谷川和範, 国立科学博物館) の4潜航によって得られた生物 (Snail, *Alviniconcha hessleri*; Shrimp, *Chorocaris vandoverae*)・熱水・チムニー鉱物について、硫黄同位体組成を調べた。これらの潜航の概要については、Fujikura *et al.* (1996) を参照されたい。

熱水の採取 (第353・354・355潜航) は、ポンプ式熱水採水器によって行った。採水時の温度測定によれば、最高温度は $170 \sim 267^\circ\text{C}$ に達した。潜航艇の揚収後、船内実験室で直ちに硫化水素を捕集した。すなわち熱水に希硫酸を加えた後、圧縮空気を通気して硫化水素を追い出し、これを酢酸カドミウムで固定した。研究室にこれを持ち帰り、過酸化水素水を加えて硫酸とした。

チムニー鉱物は脱イオン水で充分洗浄・乾燥した後、その一部を過酸化水素処理法によって硫酸とした。Snail と Shrimp は船内実験室で直ちに -80°C で凍結した。Snail については解凍後、鰓・足・卵巣の各組織を

取り出し、多量の脱イオン水で数回洗浄し、海水を除いた。Shrimpは組織を取り出すことなくそのまま洗浄した。

生物試料はすべて凍結乾燥し、Parr Bomb法によって硫酸に変換した。塩酸酸性とした試料液に加熱した塩化バリウム溶液を過剰に加え、硫酸バリウムを作成した。硫酸バリウムの沈澱は繰り返し脱イオン水で洗浄し、乾燥・秤量した。

2.2 硫黄同位体組成の測定

10 mgの硫酸バリウムに酸化剤 (V_2O_5 と SiO_2 の混合物) を加え、真空ライン中で 950°C まで加熱した。生成した SO_2 ガスについて、 $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 比を VG-SIRA10 質量分析計によって測定した。硫黄同位体組成 ($\delta^{34}\text{S}$) は CTD 標準に対する千分率偏差として表示した。

3. 結果及び考察

表1には、アルヴィンガイ体組織及び Shrimp の硫黄同位体組成を示した。アルヴィンガイ体組織の硫黄含量は $0.8\sim 5.0\%$ (乾燥重量当たり) で、鰓で最も高かった。鰓の硫黄含量は、Stein ら (Stein *et al.*, 1988) が報告した値にはほぼ一致した。これに対して、足及び卵巣の硫黄含量は $0.8\sim 1.6\%$ で、鰓の数分の1に過ぎなかった。鰓の硫黄含量がこのように高かったのは、アルヴィンガイの鰓に硫黄酸化細菌が共生しており (Stein *et al.*, 1988)、熱水中の硫化水素がこの共生細菌によって酸化され、中間代謝物である単体イオウが蓄積しているためと考えられる。事実、鰓は肉眼的にも白黄色で肥厚しており、多量の単体イオウの蓄積が推察された。

鰓・足及び卵巣の各組織の硫黄同位体組成の範囲は、 $+0.3\sim +5.0$ パーミルであった。この値はこれまで知られている海底熱水系ないしマグマ発散物の硫化物硫黄同位体組成の範囲にある。しかし、組織毎の同位体組成の変動は同一でなかった。すなわち、鰓は $+2.9\sim$

$+5.0$ パーミルで最も重く、足では $+1.3\sim +2.8$ 、卵巣は最も軽く $+0.3$ であった。

鰓には、単体イオウと鰓組織のタンパク質や多糖類として同化された有機態硫黄が含まれていると考えられる。鰓組織に同化された有機態硫黄の割合は単体イオウに較べてかなり少ないと推定されるから、鰓の同位体組成は単体イオウの同位体組成と考えて大きな間違いはないであろう。一方、足及び卵巣には単体イオウは含まれていないから、これらの値は同化有機態硫黄の同位体組成と考えてよい。鰓と足・卵巣との硫黄同位体組成の違いはおそらくこのような硫黄の化学的形態の違いによるものであろう。卵巣は足よりもさらに軽かった。これは足のような筋組織の発達した組織とそうでない卵巣組織との同化有機態硫黄の違いによるものと思われる。

熱水噴出孔の周辺には、肉眼でもはっきり確認できるほど白色のバクテリアマットが発達していた (写真1 A, B)。一方、アルヴィンガイは、歯舌と腸をもっている (奥谷・沖山, 1995; Okutani and Ohta, 1988)。写真2に示したようにアルヴィンガイは岩上に密集しており、付着するバクテリアマットを摂食しているようにも見える。アルヴィンガイが体組織の硫黄源として、バクテリアマットではなく海水の硫酸イオンに由来する重い硫黄を同化しているとすれば、鰓よりも足や卵巣の硫黄同位体組成は大きくなるはずである。今回得られたデータはこの可能性を否定するものである。歯舌と腸が機能しているとしてもその食物は岩に付着する硫黄酸化細菌のマットであろう。アルヴィンガイはもっぱら硫黄酸化細菌に硫黄源を依存しているのではなかろうか。

第353・355・356潜航で採取した熱水中の硫化水素及びチムニー鉱物の硫黄同位体組成は、 $+3.9\sim +8.3$ パーミルの範囲にあった。第355潜航の硫化水素の値は、日下部ら (Kusakabe *et al.*, 1990) とほぼ一致したが、チムニー硫化物はそれ ($+3$ パーミル) よりも重か

表1 アルヴィンガイ体組織、硫化水素及びチムニー硫化物の硫黄同位体組成
Table 1 Sulfur isotopic compositions of soft tissues from *Alviniconcha hessleri*, H_2S , and chimney sulfide.

Lon. (N)	Lat. (E)	Depth (m)	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$				Dissolved H_2S	Chimney sulfide	Dive No.
			Tissues (Sulfur content; %), number analysed						
			Gill	Foot	Ovary	<i>C. vandoverae</i>			
13°23.70'	143°55.32'	1524	+2.9(4.0), 3	+1.3(1.2), 3	+0.3(1.6), 3	—	+8.3	+8.1	353
13°23.68'	143°55.16'	1502	—	—	—	—	+1.8	+0.7	354
18°12.83'	144°42.46'	3597	+3.9(4.0), 3	+2.3(1.0), 3	—	—	+3.9	+8.1	355
18°12.83'	144°42.45'	3598	+5.0(5.0), 1	+2.8(0.8), 1	—	—	—	+6.9	356
						+4.7(1.0), 5	—	—	353, 356

った。今回得られた硫化水素とチムニー鉱物の値は、アルヴィンガイの鰓組織よりもさらに重い。鰓に共生する硫黄酸化細菌による酸化過程で、負の同位体分別が起きている可能性がある。これに対して第354潜航の硫化水素とチムニー硫化物の硫黄同位体組成は、第353・355・356潜航の値に比べて明らかに軽かった。海底熱水噴出孔の硫化水素の硫黄同位体組成は、地域あるいは時期によって変動があるのかも知れない。

Chorocaris vandoverae (shrimp) は5個体を一緒にして計測したもので、大きさがほぼ同じであったから、得られた硫黄同位体組成はほぼ平均値と考えてよい。その値は+4.7パーミルで、アルヴィンガイの足や卵巣よりも重く、鰓とほぼ同じ範囲にあった。写真3に示したように、*C. vandoverae* も岩上に密集しているのが観察され、また硫黄同位体の組成からみてもバクテリアマットを摂餌していると考えられる。

以上のように、熱水噴出孔の周囲に生息する生物の硫黄同位体組成は、生物種によってまた組織によって異なった値を示した。熱水噴出孔周辺の環境には、熱水由来の比較的軽い硫黄と海水の硫酸イオンを起源とする重い硫黄とが不均一に分布している。それぞれの生物の食性あるいは同化硫黄源の違いによってさまざまな同位体組成を示すものと考えられる。さらにこれを比較検討することによって、熱水噴出域に発達する生物群集の食物関係を解析できる可能性が示された。

謝 辞

本研究に用いた試料の採取をお願いしたJAMSTECの藤倉克則博士・日本大学の奥谷喬司教授・東京大学の角皆潤博士・国立科学博物館の長谷川和範博士の諸氏に、厚く御礼申し上げます。また井田正比古司令をはじめとする「しんかい6500」の運航チーム、ならびに支援母船「よこすか」の斎藤房雄船長以下クルーの方々にはたいへんお世話になった。記して謝意を表します。硫黄同位体の測定に際しては、岡山大学固体地球研究セン

ターの日下部実教授の実験室を使わせていただいた。ここに厚く御礼申し上げます。最後にこのクルーズに参加する機会をつくっていただいた信州大学の加藤憲二教授に感謝いたします。

引用文献

- Fujikura, K., K. Hasegawa, T. Koder, Y. Maki, T. Okutani, R. Stern, C.-H. Sun, S. Tsuchida, U. Tsunogai, H. Ueno, H. Hideki, H. Yamamoto, and T. Yamazaki (1996): "SHINKAI/YOKOSUKA" Cruise MARIANA TROUGH ONBOARD REPORT. Japan Marine Science and Technology Center.
- Kusakabe, M., S. Mayeda, and E. Nakamura, (1990): S, O, and Sr Isotope Systematics of Active Vent Materials from the Mariana Backarc Basin Spreading Axis at 18°N. *Earth and Planetary Science Letters*, 100, 275-282.
- 奥谷喬司・沖山宗男 (1995): しられざる海の不思議な生物たち. Newton 別冊「動物の不思議」, 144.
- Okutani, T., and S. Ohta, (1988): A new Gastropod Mollusk Associated with Hydrothermal Vents in the Mariana Back-Arc Basin, Western Pacific. *Venus, The Jap. J. Malacology*, 47, 1-9.
- Stein, J. L., S. C. Cary, R. R. Hessler, S. Ohta, R. D. Vetter, J. J. Childress, and H. Feldbeck, (1988): Chemoautotrophic Symbiosis in a Hydrothermal Vent Gastropod. *Biol. Bull.*, 174, 373-378.
- Tunnicliffe, V., (1991): The Biology of Hydrothermal Vents: Ecology and Evolution. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 29, 319-407.

(原稿受付: 1997年7月7日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

A



B

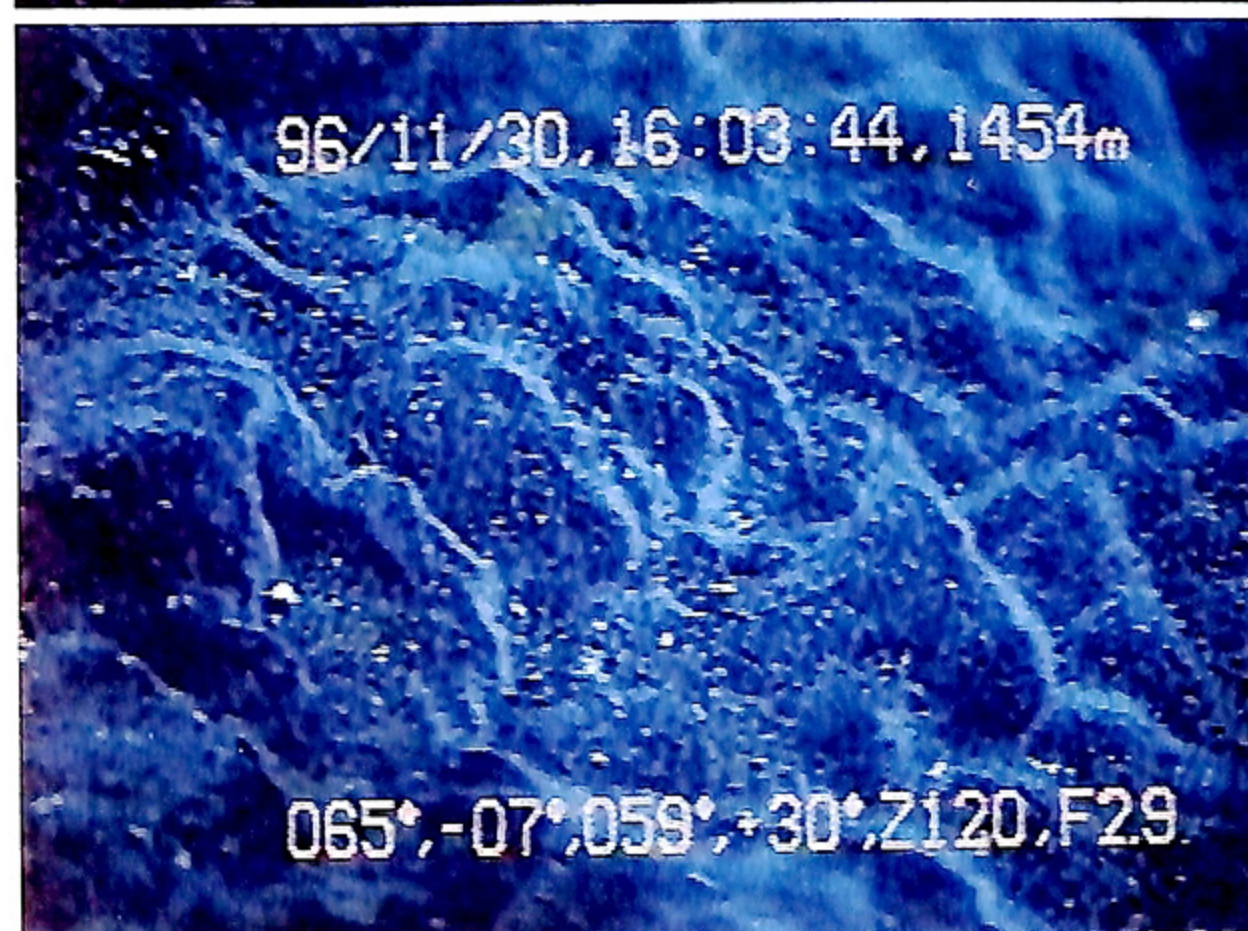


写真 1A, B 熱水域の岩上に付着するバクテリアマット
Photo 1A, B White bacterial mat developing on rock probably receiving hydrothermal fluid.

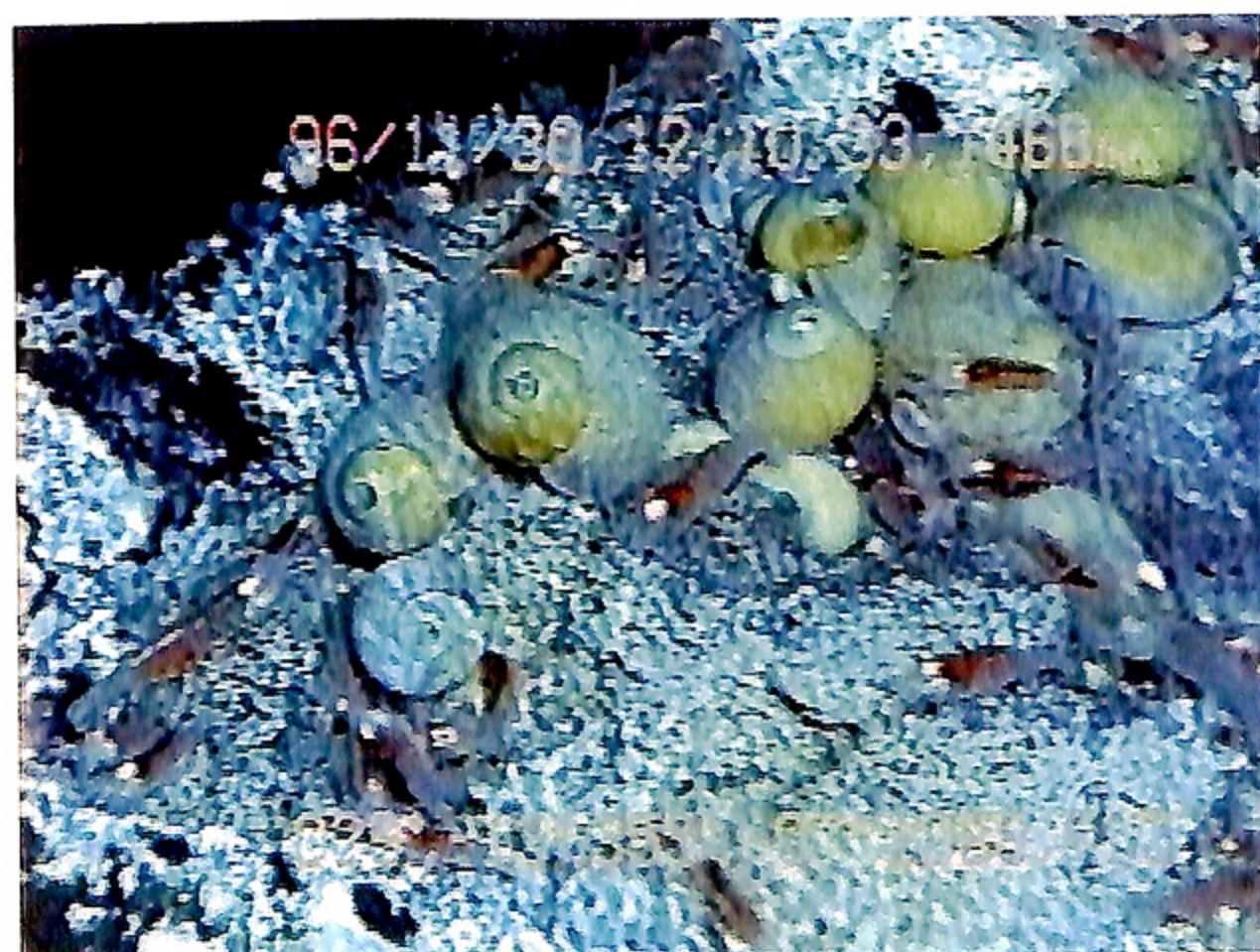


写真 2 岩上に集っているアルヴィンガイとシュリンプ
Photo 2 *Alviniconcha hessleri* and *Chorocaris vandoverae* crowding on rock. They look like grazing bacterial mat.



写真 3 岩上に群がっているシュリンプ
Photo 3 *Chorocaris vandoverae* crowding on rock.