

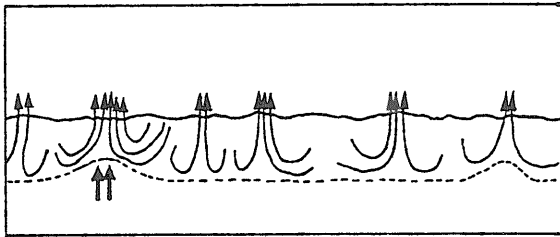
# 海底熱水鉱床について(2)

湯 浅 真 人 (海洋地質部)  
Makoto YUASA

## 4 海底熱水鉱床の世界的分布 (続き)

### 4) 中央海嶺系の研究の進展

紅海の重金属泥や東太平洋海膨頂部の鉄・マンガンに富む重金属堆積物が発見された丁度その頃から 海洋底拡大説の概念が発展し地球科学界に浸透していった。海洋底拡大説 (後にプレートテクトニクス) の構築は 海底の地球物理学的研究の成果に基づいている。プレート

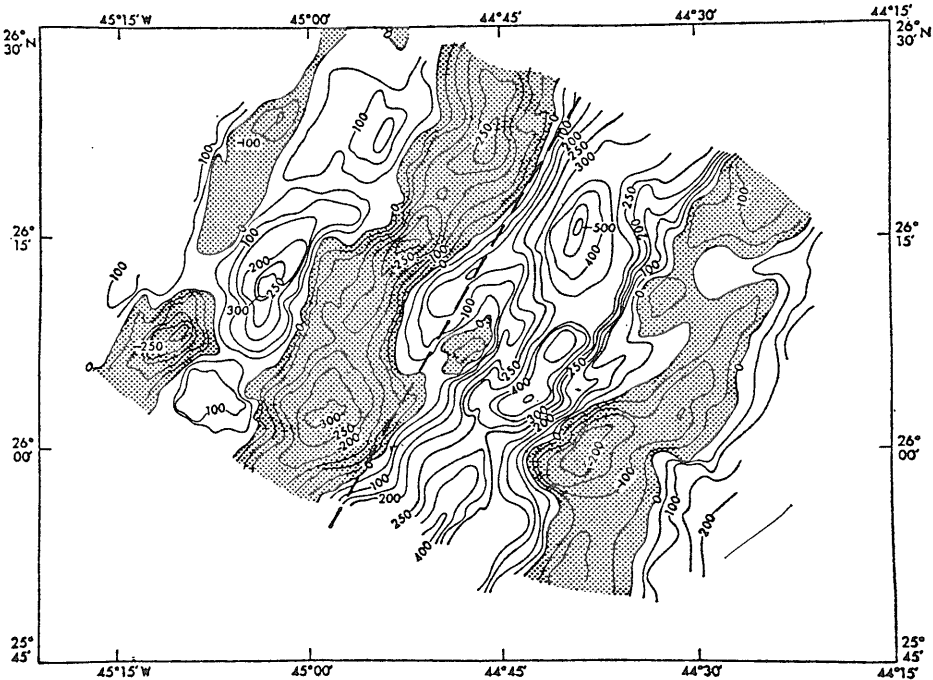


第10図 中央海嶺系近傍の変化に富む地殻熱流量を説明する熱水循環モデル (Lister 1972)。

生産の場である中央海嶺は 海洋底拡大説のいわば重要な柱の1つであり この説を検証するための研究が中央海嶺系で集中的に行われるようになっていった。このような研究の1つとして 従来の洋上からの観測に加えて 中央海嶺を肉眼で観察するという潜水調査も計画された。これがフランスとアメリカとによる大西洋中央海嶺北緯37度付近における Famous 計画 (French-American Mid-Ocean Undersea Study) である。潜水調査も含めて 中央海嶺系における集中的研究により 中央海嶺の活動性・中央海嶺における海底熱水活動を示す様々な現象が明らかになっていった。それには 次の様なものがある。

#### ・中央海嶺近傍の海底地殻熱流量

プレート生産の場である中央海嶺では マグマの上昇冷却 固化 側方への拡大という現象が起こっているの



第11図 大西洋中央海嶺北緯26度 (TAG 地熱地帯) における残留磁気異常パターン (McGregor et al. 1977)。

影をつけた部分は負異常地域。磁気コンターは50ガンマ間隔。破線はリフト谷の軸部。ほぼ中央部に位置する孤立した負異常地域が TAG 地熱地帯に対応する。

であるから熱流量は当然高いと予想される。確かに中央海嶺で観測された熱流量値は高い値を示しているが両側では急激に値を減じまた隣接する測点間での測定値は変化に富んでいる。この現象は中央海嶺近傍に小規模な熱水循環が数多く存在するためと解釈された (Lister 1972) (第10図)。

・中央海嶺近傍の残留磁気強度の減衰

この現象は玄武岩中の磁性鉱物が熱水活動によって変質したことに起因するとされた (第11図) (McGregor et al. 1977; Rona 1978)。

・中央海嶺上のウォーターコラム (water column) 中の水温

$^3\text{He}$   $^{222}\text{Rn}$  Mn 量の異常 (第12図)

これらは全て熱水噴出の存在を直接的に示すものと解釈されている (Rona et al. 1975; Craig et al. 1975; Chung-Craig 1972; Klinkhammer et al. 1977)。

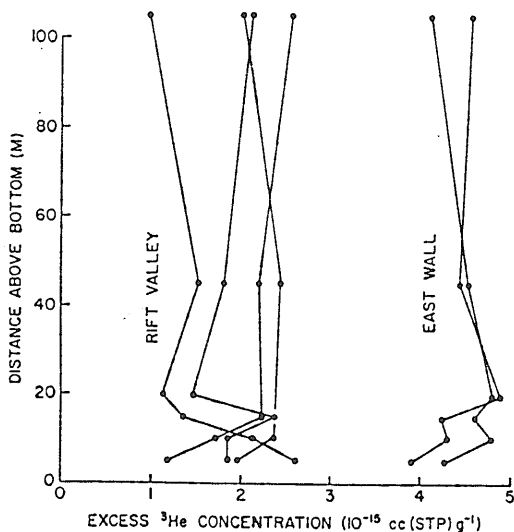
以上示したものの外にも中央海嶺上部地殻中での地震波速度の減少 (Fox et al. 1973) 中央海嶺系における微小地震活動 (Sykes 1971; Macdonald・Mudie 1974) などが中央海嶺系での熱水活動の存在を示す状況証拠として挙げられる。また状況証拠ばかりではなく Famous 地域では熱水噴出口と考えられるフィッシャーとその周囲に分布する熱水性の鉄マンガン酸化物 (第13図) が潜水調査艇 (シアナ Cyana) により観察されサンプリングされた (Hoffert et al. 1978)。さらに大西洋中央海嶺系のピーマ断裂帯 ロマンシェ断裂帯では黄銅鉱を主とする硫化鉱物が鉱染状あるいは網状に玄武岩中

に形成されていたり (Bonatti et al. 1976b) 黄鉄鉱凝固物が鉄水酸化物中に存在したりすることが見いだされた (Bonatti et al. 1976c)。

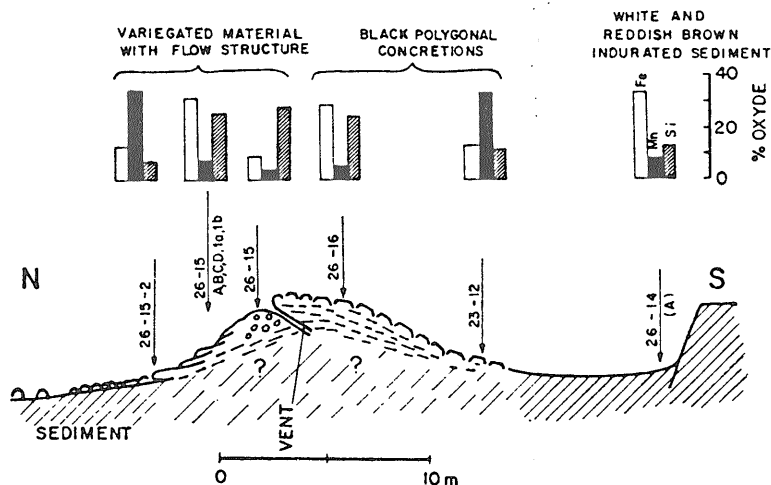
熱水性堆積物・沈積物の採取と前述の状況証拠とに基づいて open sea の中央海嶺系におけるある程度の規模の硫化物鉱床の存在可能性が期待された。

Cronan (1976) は紅海の重金属泥の産状に基づいて硫化物鉱床の存在条件を次の様考えた。

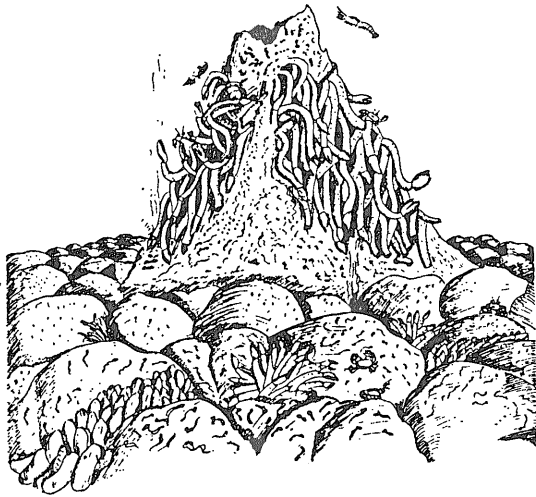
“紅海では熱水供給源の周囲に金属の拡散ハローが形成されており硫化物・酸化物は次の順に外側へ向って分布している。①金属硫化物の拡散と沈澱 ②鉄ケイ酸塩あるいは鉄酸化物の沈澱 ③マンガン酸化物の沈澱。



第12図 底層水中の過剰 $^3\text{He}$ プロファイル (TAG 地熱地帯 Rona 1980)。



第13図 Famous 地域の割れ目状噴出口をもつマウンドの概念的な断面 (Hoffert et al. 1978)。数字付き矢印は試料採取地点 その上の棒グラフは組成を示す。



第14図 熱水噴出口付近の tube-worm と二枚貝のスケッチ (東太平洋海膨北緯21度の例 Francheteau et al. 1980).

open sea ではこの様な順序の存在は報告されていないが中央海嶺のものは外側の酸化物のゾーンに相当するのかもしれない。もしそうなら 硫化物は熱水噴出口あるいは酸化物の下の海洋地殻中に存在するかもしれない。重金属元素を含む熱水が 海底面へ噴出するより前に硫化物を沈澱してしまわなければ 硫化物は海底に沈澱する可能性がある”。

このような期待もあって 中央海嶺系における熱水活動そのものの発見 および 予想される硫化物鉱床の発見を目的とした調査・研究が行われていくことになる。

### 5) 塊状硫化物鉱床の発見

中央海嶺系における熱水の噴出とそれに伴う熱水性の重金属濃集体の発見は 1976年ガラパゴスリフト地域においてなされた (Weiss et al. 1977; Corliss et al. 1978)。この時 潜水調査艇アルビン号 (Alvin) によって観察されたのは 鉄マンガンの酸化水酸化物とノントロナイトとを沈澱させている温泉 (硫黄 鉄硫化物粒子 マンガン 硫化水素を含み 10~11°C) であった。この時点ではまだ 紅海に知られるような あるいはキプロス島などでオフィオライトに伴うような硫化物鉱床は発見されなかった。

アルビン号による 1977年のガラパゴスリフトにおける潜水調査で 奇妙な生物群が発見された (Corliss et al. 1979)。これは後に硫化物鉱床に伴ってしばしば観察された tube-worm と巨大な二枚貝である。一方 この年の11月 カリフォルニア湾ガイマス海盆に潜水した米国海軍の潜水調査艇シークリフ号 (Seacliff) は そこで鉄に富む滑石からなる 台地 (terrace) を発見した

第8表 ガイマス海盆から採取された鉄に富む滑石および磁硫鉄鉱の化学組成 (Lonsdale et al. 1980a)。

	Talc-A	Talc-B	Pyrrhotite
SiO <sub>2</sub>	52.5	50.66	3.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4	0.73	0.095
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.85	<0.1	n.a.
FeO	11.89	15.8	n.a.
MgO	21.15	20.8	0.83
CaO	0.07	0.03	0.07
Na <sub>2</sub> O	0.08	0.12	<0.01
K <sub>2</sub> O	0.02	0.02	<0.02
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.07	0.0016
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.03	<0.15
MnO	0.04	0.05	0.009
LOI*	7.13	8.9	n.a.
Total	97.23	97.25	
Ag	1	3	7
Au	<7	<7	<7
Ba	30	50	3
Co	150	70	200
Cu	300	3000	7000
Ni	3	2	5
Pb	30	70	70
Zn	150	200	300
Calculated stoichiometry			
Talc-A	Talc formula: ** Mg <sub>4.82</sub> Fe <sub>1.17</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>		
	talc (wt.%)	84.21	
	silica (wt.%)	11.94	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt.%)	3.85	
		100%	
Talc-B	Talc formula: ** Mg <sub>4.51</sub> Fe <sub>1.49</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>		
	talc (wt.%)	92.02	
	silica (wt.%)	7.98	
		100%	

n.a. = not analyzed.

\* Loss on ignition includes a correction for weight gain of oxidation of FeO to Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

\*\* Assuming all FeO and MgO to be in talc structure.

(Lonsdale et al. 1980a) (第8表)。この滑石は 硫黄 および酸素の同位体の研究から 280°C で沈積したことが明らかにされている。また 死貝ではあるが 生物活動を伴っていたことも確認され つい最近まで活動していた熱水からの沈積物であると考えられた。この滑石中には 脈状にあるいは散在する結晶として 少量の磁硫鉄鉱や銅・亜鉛硫化物も伴っていたが 硫化物鉱床と呼べるものではなかった。

塊状硫化物からなる鉱床が中央海嶺系から最初に発見されたのは 1978年2-3月にわたって行われたカリフォルニア湾口の東太平洋海膨北緯21度 (EPR 21°N) における RITA プロジェクト (フランス-米国-メキシコの共同調査) の際である。フランスの潜水調査艇シアナ号は 東太平洋海膨の軸部における潜水調査で大きな二枚貝の遺骸や 恐らく自然硫黄からなるサンゴ状成長体などを観察し 採取してきた試料は亜鉛 (~29%) と銅 (~6%)

を含む硫化物であった (Francheteau et al. 1979 1980).  
しかし この時には熱水噴出は観察されておらず 硫化物  
は非活動的熱水鉱床から採取されたものである.

1979年には 海底の熱水性鉱床探査が中央海嶺系の研  
究の脇役から主役に昇格してしまったと言っても言いす  
ぎではないような事態を迎えた. 東太平洋海膨北緯21  
度で行われた RISE プロジェクトでは 深海カメラ サ  
イドルッキングソナー CTD 温度センサー等を備え  
た 深海曳航探査機 (Deep tow) アンガス (ANGUS) に  
より 拡大軸沿いに25個の活動的噴出口からなる列が見  
いだされた. これらのうち8個の噴出口がアルビン号  
による潜水調査のために選ばれ 380±30°C の高温熱水  
の噴出と硫化物鉱床の沈積している現象が観察された  
(RISE project group (Spiess et al.) 1980). この発見  
の驚きは 上田 (1980) 小林 (1980) により 我が国に  
も紹介されている.

1980年代にはいと 東太平洋海膨北緯21度 ガラパ  
ゴスリフト以外の中央海嶺系からの 硫化物鉱床の発見  
が相次いだ. 米国オレゴン州沖のファンデフカ海嶺  
(Normark et al. 1981 1982) (第9表) ゴルダ海嶺におけ  
る塊状硫化物の発見は 米国の200海里排他的経済水域  
内という事情もあり 開発にあたって国際条約等の制約  
を受けないという点に重きが置かれ報道された. この  
時期 中央海嶺系から発見されたものは硫化物鉱床にと

第10表 ガイマス海盆からドレージされた試料中の多核芳香  
族炭化水素 (Simoneit · Lonsdale 1982).

Compound	Formula	MW	7D-2B (ng per g bitumen)	7D-4A, B (ng per g bitumen)
Indane	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>	118	0.5	0.4
Tetramethylbenzene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	134	0.6	4.5
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128	4	12
2-Methylnaphthalene	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	142	8	6
1-Methylnaphthalene	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	142	6	4
Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154	3	1.2
Dimethylnaphthalene	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub>	156	50	8
Acenaphthene	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154	0.8	2.8
Trimethylnaphthalene	C <sub>13</sub> H <sub>14</sub>	170	16	40
Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166	5	0.8
Dibenzothiophene	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> S	184	12	8
Phenanthrene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178	27	8
Anthracene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178	5	10
Fluoranthene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202	40	34
Pyrene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202	200	178
2,3-Dibenzofluorene	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub>	216	40	40
Benz(a)anthracene	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228	15	16
Chrysene (triphenylene)	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228	42	38
Benzo(b)fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	40	28
Benzo(k)fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	10	6
Benzo(e)pyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	62	45
Benzo(a)pyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	25	16
Perylene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	45	40
1,2,5,6-Dibenz- anthracene	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278	3	2.4
Benzo(g,h,i)perylene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276	100	24
Coronene	C <sub>24</sub> H <sub>12</sub>	300	64	5

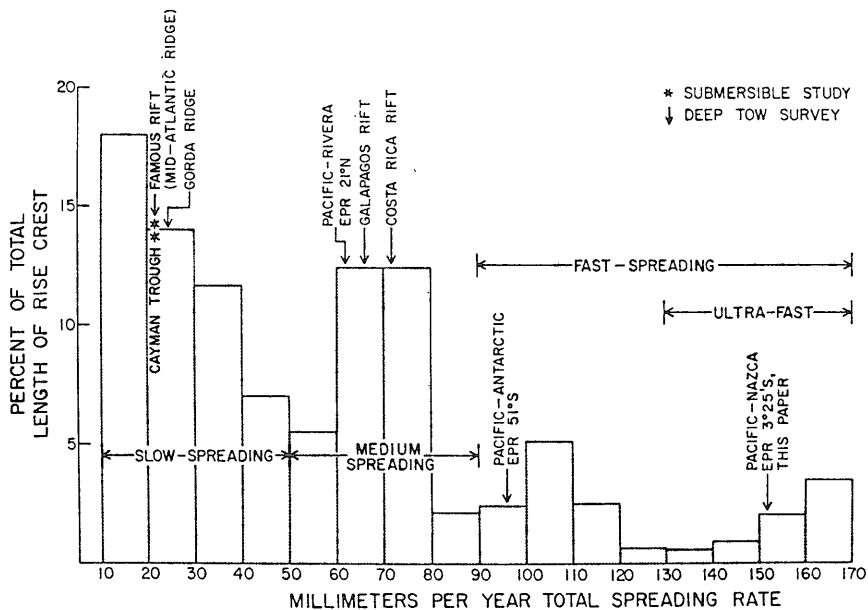
第9表 ファンデフカ海嶺から得られた硫化物の化学組成  
(Normark et al. 1982).

Results of Bulk Chemical Analyses by Atomic-Absorption Spectroscopy				
[Analyses of Zn, Fe, Cu, and Pb in weight percent; analy- ses of Ag and Cd in parts per million. Analyzed for but not detected at 100 ppm; Ni. Analysts: Robert J. Rosen- bauer and Robin M. Bouse.]				
Sample . . .	WF-22D-1	WF-22D-2	WF-22D-3	WF-22D-6
Zn . . . .	54.0	29.7	59.2	0.63
Fe . . . .	8.0	22.5	1.8	50.5
Cu . . . .	0.32	0.24	0.07	<0.0003
Pb . . . .	0.25	0.18	0.06	0.11
Ag . . . .	290	124	230	<3
Cd . . . .	490	—	1060	8

Sample WF-22D-1: Dark-gray massive Zn sulfide con-  
taining pyrite.  
Sample WF-22D-2: Layered massive sulfide composed  
of Zn sulfides and pyrite.  
Sample WF-22D-3: Light-gray spongy-textured Zn sul-  
fide.  
Sample WF-22D-6: Pyritic layer from upper surface of  
massive sulfide sample.

どまらず 石油の発見もあった (Simoneit · Lonsdale 1982)  
(第10表). 場所は カリフォルニア湾ガイマス海盆南  
リフトの熱水活動地域で 脂肪族炭化水素 芳香族炭化  
水素とアスファルト質物質がドレージされた. この海  
盆は狭長なカリフォルニア湾にあり タービダイト等  
による陸源物質の流入が盛んなところである. ここの  
堆積速度は 1000年に1m以上と見積られている. 石  
油成分は有機物 (生物片など) から熱水により抽出・運搬  
され 海底に濃縮したものとされた (Simoneit · Lonsdale  
1982).

太平洋の中央海嶺系で 熱水噴出口 硫化物鉱床の発  
見相次いだのに比べ 大西洋中央海嶺では Cronan  
(1976) の予想にもかかわらず 硫化物鉱床は発見され  
なかった. ここでは 大西洋中央海嶺系で最初に発見  
された熱水活動地域である TAG (Trans Atlantic Geo-  
travers) 地熱地帯からのクラスト状マンガン酸化物の  
採取 (Scott et al. 1974; Rona 1976; Rona et al. 1976)  
Famous 地域からのクラスト状鉄マンガン酸化物を主と  
する熱水性堆積物・沈積物の採取 (Hoffert et al. 1978)  
はあったものの 硫化物としては前述のビーマ ロマン  
シェ 両断裂帯から得られた 少量の硫化物が見られるの  
みであった. Francheteau et al. (1979) は この理由  
を 中央海嶺拡大軸における拡大速度の違いと考えた.  
硫化物鉱床の発見された東太平洋海膨北緯 21° 付近の拡  
大速度は約 6 cm/年 (Larson et al. 1968) ガラパゴス  
リフトでは約 7 cm/年 (Klitgord · Mudie 1974) と見積  
られている. 一方 硫化物の発見されなかった大西洋



第15図  
中央海嶺拡大軸の拡大速度の違い (Lonsdale 1977).

中央海嶺では TAG 地熱地帯で 2.4~2.6cm/年 Famous 地域で 2.0~2.3cm/年と見積られている (いずれも両側拡大速度 大西洋中央海嶺の拡大速度は Rona et al. 1976から引用). この考えはその後多くの研究者により採用されている (Ballard・Francheteau 1982; Rona 1982 ほか) が 拡大速度の違いには 海嶺軸下のマグマ溜りの大きさ マグマ溜り頂部の深さが影響を与え それによって熱水活動の強度 (主として温度) が規制されているものと考えられる. 現在までのところ 塊状硫化物鉱床が発見されている海嶺は 比較的速い拡大速度をもっている (第15図).

硫化物が酸化物かという比較からすれば多少横道にそれることになるが 拡大速度の違いと随伴する重金属堆積物の化学組成の違いとの対応は Boström (1973) により述べられている. 彼は 活動的な海嶺上の鉄マンガに富む堆積物を総括した際に この問題に触れ 拡大速度が遅いかあるいは拡大していない海嶺の堆積物は (Fe+Mn)/Al 比が約 0.65 で 拡大速度の速いところではもっと大きくなり 10cm/年に近い海嶺ではこの比が約 100 になりうるとした. 中央海嶺におけるアルミニウムの沈積速度は低いので これを一定と考えれば 鉄マンガ含有量は拡大速度の関数となる (Boström 1973).

### 6) off-ridge 海底火山

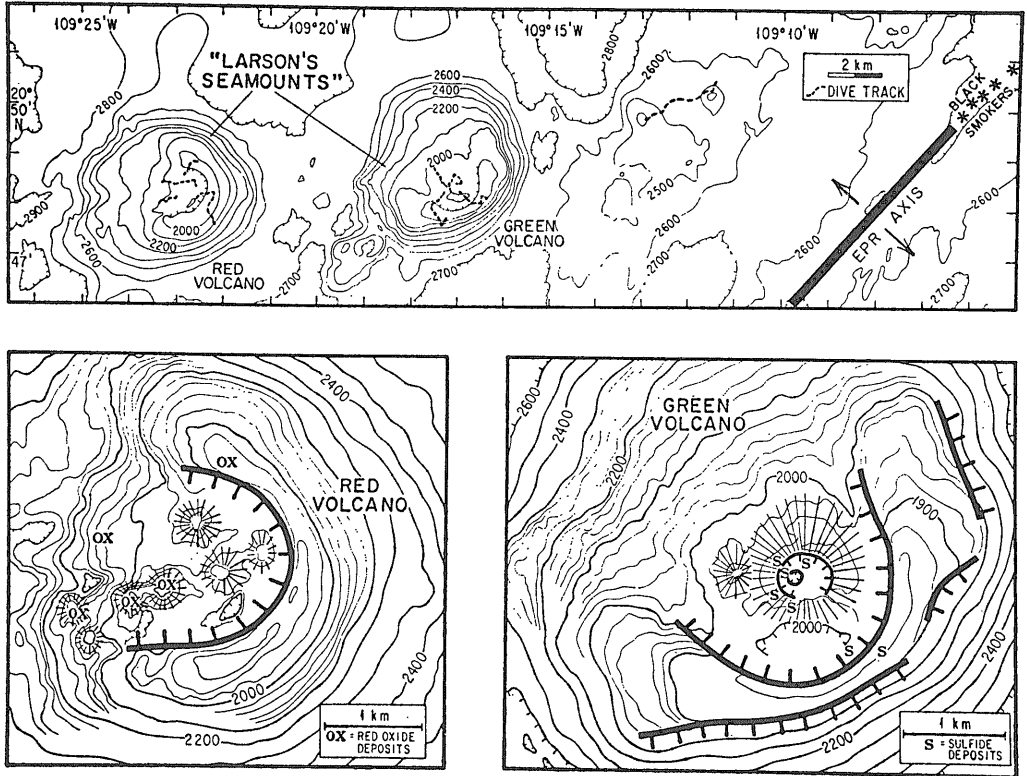
中央海嶺系からの熱水噴出 硫化物鉱床発見のニュー

スが やや下火になりかけたかと思われ始めた頃 今度は中央海嶺系以外の海底火山 (off-ridge 海底火山) 島弧系などにおける熱水活動 熱水性鉱床の発見が話題となった.

off-ridge 海底火山の重金属堆積物・沈積物としては 東太平洋海膨の軸部からやや離れた海嶺側面にある海山の鉄酸化物 (南緯10度38分付近 Amph 2D site Bonatti・Joensuu 1966) 同じく東太平洋海膨北緯 8度48分にある 0.6 Ma より若いとされる海山 (East seamount) からドレッジされた マンガン酸化物 (Lonsdale et al. 1980b) が知られていた. East 海山のマンガン酸化物は 結晶質のパーネサイトからなる 直径 2~10 cm の団塊状濃集体で 熱水溶液が酸素に富む海水と混合して沈積した非晶質マンガン酸化物から晶出したものと考えられた.

off-ridge 海底火山に伴う硫化物としての最初の発見は 1981年 東太平洋海膨北緯 13度付近で行われた CN EXO/COB によるクリッパートン (Clipperton) 航海においてはたされた. Hekinian et al. (1981) は 拡大軸から約 18km 離れて位置する海山斜面から 鉄に富む硫化物をドレッジした. この海山は基底部の径約 6 km 比高 1 km 程の火山で 視測された最小水深は 2055m であった. 採取試料には 鉄硫化物 (黄鉄鉱 白鉄鉱) のほか銅や亜鉛の硫化物も伴われている. また 東太平洋海膨軸部から報告されている硫化物には見られなかった コバルトの濃集も発見された (Hekinian et al. 1981). しかし その濃度は報告されていない.

その後 1982年には東太平洋海膨北緯21度付近の拡大



第16図 東太平洋海膨北緯21度近傍の off-ridge 海底火山の例 (Lonsdale et al. 1982).

第11表 伊豆・小笠原海域から得られた 熱水性および水成鉄マンガン酸化物の化学組成 (Yuasa・Yokota 1982).

	熱水性酸化物			マンガン団塊・クラスト
	1	2	3	
wt%				
Mn	40.03	48.06	27.69	15.91
Fe	0.96	0.60	12.76	17.73
Ca	0.92	1.28	1.33	0.27
Mg	1.52	2.94	3.60	0.93
K	1.32	1.18	0.91	0.42
Na	2.20	1.96	0.92	1.56
ppm				
Cu	825	373	100	719
Ni	145	1120	300	2946
Co	60	15	265	1903
Pb	<10	<10	95	1201
Zn	120	840	225	624
Sr	240	565	420	—
Cr	—	—	55	<25

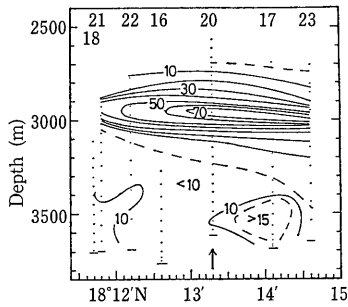
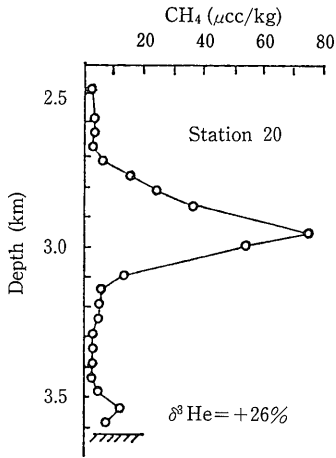
1：小笠原海溝海側海溝斜面 2：伊豆（西七島）海嶺  
 3：八丈島北方中黒瀬堆 4：伊豆・小笠原海域の水成鉄マンガン団塊・クラストの平均組成。

軸西方にあり 軸部から 18 km 離れた地点の海山 (“Lars-on's seamounts” 中の Red 火山) で Lonsdale et al. (1982) により低温 (9.9°C) ではあるが 熱水噴出現象が観察された。これには赤色の鉄酸化物沈澱物が伴っているが 硫化物は伴われていない。一方 同海山群の Green 火山からは 熱水の噴出は確認されなかったが 黄鉄鉱 黄銅鉱等の硫化物が発見されている (第16図)。

海嶺拡大軸部近傍以外の off-ridge 海底火山の重金属堆積物としては ホットスポット型の火山として知られるハワイ諸島南東方沖にあるロイヒ (Loihi) 海山から鉄酸化物が発見された (Malahoff et al. 1982)。これには硫化物は伴われていない。

### 7) 島弧系海底火山および背弧拡大軸

off-ridge 海底火山に加えて 島弧系の火山活動に伴う重金属堆積物も注目をあびるようになってきている。ひと口に島弧系とはいっても ここでは島弧そのものに含まれる火山活動に伴う重金属堆積物と 島弧背後の拡大軸部 (back-arc spreading center) の熱水活動に伴う重金属堆積物とを意味している。前者の例としては 前述の地中海 西太平洋の島弧系火山のほか、最近 南太平洋のトンガケルマデック海嶺 (その殆んどが水面下に



第17図  
 マリアナトラフにおける海水中のメタンプロファイル (左 Horibe et al. 1982) および鉛直断面図 (右 堀部 1982).  
 断面図中の最上部の数字は測点番号を示す。  
 下部の横棒は各測点における海底面を示す。

ある島弧 斜面からマンガンに富むクラスト状酸化物 (Cronan et al. 1982) 本州南方の伊豆・小笠原海嶺域から鉄マンガンおよびマンガンに富む塊状およびクラスト状酸化物 (Yuasa・Yokota 1982) がそれぞれ採取され報告されている (第11表)。いずれも熱水起源と考えられている。背弧拡大軸に関して最近特に注目されているのは マリアナ海嶺西方マリアナトラフの熱水活動である。マリアナトラフは比較的新しい時期(約6 Ma)に拡大を開始した背弧海盆 (Hussong・Uyeda et al. 1981) でありここでは異常に高い地殻熱流量が観測されている (Anderson 1975)。トラフ中軸部海底上のウォーターコラム中でメタンの異常も検出されている (第17図 堀部 1982; Horibe et al. 1982)。熱水性の堆積物としては Leinen et al. (1981) により “スメクタイト脈を伴う含鉄熱水性堆積物” の採取が報告されているが詳細は明らかにされていない。ここでは高さ 20m 以下のマウンドも存在するという。

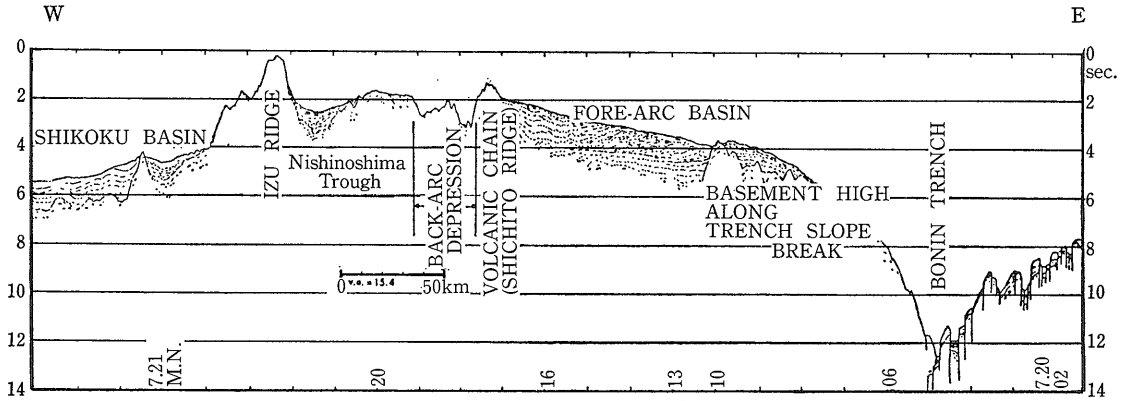
中央海嶺拡大軸部における発見が一段落し現在では学術的興味のターゲットは背弧拡大軸の熱水活動の発見・観察に移行しているように見える。米国では上記マリアナトラフへアルビン号を潜らせる計画が進行しておりその一環として本年4—5月にハワイ大学所属のカナケオキ (Kanakeoki) 号が精密海底地形探査装置であるシーマーク (SeaMARC) II を搭載して同海域のサイトサーベイを行う予定になっている。アルビン号による潜水調査は1984年に計画されているがこれによって背弧拡大軸部の熱水活動の実態 および熱水鉱床の存在が明らかにされる可能性があり期待される。

### 5 海底熱水鉱床発見の今後の可能性

海底熱水鉱床のうちでも特に硫化物鉱床の存在条件存在可能性については従来多くの研究者により論じられてきた。ここでは我が国周辺海域を含め今後に見出される可能性について述べる。

前章の始めに海底の大地形区分とそれぞれに伴う熱水鉱床等のタイプを示した (第6表)。これには従来報告されているもののみを示してあるので今後の調査によってタイプとしては増えていくことは当然考えられる。大地形区分のうち硫化物を伴っているのは中央海嶺系 (拡大軸部と断裂帯) off-ridge 海底火山 島弧系火山 (例えば Vulcano 火山) である。これらのうちでも特に多いのは中央海嶺系拡大軸部である。これに伴う熱水性の硫化物鉱床には紅海の重金属泥および東太平洋海膨北緯21度に代表されるような塊状硫化物鉱床がある。

塊状硫化物鉱床が拡大速度の比較的速い拡大軸部で見出されていることはすでに見た通りである。噴出している熱水の温度 (350°C 前後) も観測されている他の例に比べ著しく高い。例えば off-ridge 海底火山で観測されたのが 9.9°C バーハカリフォルニア沖のアグアブランカ断層に伴う熱水では 102°C (Vidal et al. 1978) である。前者では鉄酸化物を後者では黄鉄鉱と石膏とを伴っているが塊状硫化物鉱床と呼べそうなものは見られない。海底に硫化物鉱床を形成するためには高温の熱水が海底にまで上昇して行くことが必要でありこの条件が保たれない場合 ビーマ ロマンシェ両断裂帯でみられるように硫化物は海底下の岩石中に沈積し海底上へは現われてこない (Cronan 1976) (第2図)。硫化物鉱床を形成している拡大速度の比較的速い拡大軸部ではこの条件が保たれていると考えられる。ここではマグマ溜りは海底下浅所にあり従って熱水循環も浅部に発達している。一方 ロマンシェ断裂帯の場合熱水循環は破碎帯を通過して深部にまで達していると考え



第18図 伊豆・小笠原弧北部の地質構造断面図 (玉木ほか 1981).  
 火山列のすぐ西にある凹地が背弧凹地. 凹地中央部の高まりは新期火山岩からなり 凹地の底には火山灰が厚くたまっている.

られており (Bonatti et al. 1976bc) 熱水の高温条件は海底近傍では失われている. 現在のところ 決定的な存在要因を示すには至っていないが 地殻熱流量や海底近傍の水温等に関する詳細なデータがそろっていない海域について 一般的に塊状硫化物鉱床存在の可能性を考える場合 拡大速度が比較的速いということが ひとつのファクターとして考慮されよう.

紅海の重金属泥の場合には 同様の重金属濃集体が他の海域で見つかっていないことからみて 先に述べた open sea にはない特殊な条件の存在が大きいと思われる. 両側を陸地に囲まれた狭長な拡大軸部という点では カリフォルニア湾が地形的には似ているが ここではタービダイト等により堆積速度が著しく速い.

off-ridge 海底火山の硫化物鉱床への期待が Lonsdale et al. (1982) により述べられているが 現在までに発見された硫化物は 中央海嶺近傍の海底火山からのみである. また そこにおける熱水活動もカルデラ底の陥没火口や主カルデラ断層付近にみられるもので 後カルデラ火山活動の一部である. このような熱水活動により形成された硫化物鉱床が 海山頂部という位置に海水による酸化をまぬがれて存在しつづけることは難しい. 硫化物をその頂部に伴っている海山が 拡大軸から 20 km 以内のところまでしか発見されていない (第16図) ことも それを物語っている.

島弧系の火山に伴う硫化物は 現在までのところ多くは発見されていない. しかし 島弧系の海底火山活動に伴っては 中央海嶺系の塊状硫化物鉱床とは別の 黒鉱型鉱床の存在が期待される. 藤岡 (印刷中) は 黒鉱型鉱床の形成が可能な場として 伊豆・小笠原弧の背

弧凹地 (玉木ほか 1981) (第18図) をあげている.

以上のほかに 現在までのところ硫化物鉱床の報告はないが 縁海盆の拡大軸 (背弧拡大軸) 部に硫化物鉱床が存在する可能性がある (Rona 1982). フィリピン海から得られた基底重金属堆積物は 古海嶺 (Central Basin Fault) における熱水活動に由来すると考えられている (Bonatti et al. 1979) し 前述のように縁海盆拡大軸としてアクティブなマリアナトラフでは海水中のメタンの異常や熱水性堆積物の存在が報告されている. 背弧拡大軸の熱水活動の強度については まだ あまりデータがなく 今後の調査に待つしかない. 環太平洋マッププロジェクトにより作成されたプレートテクトニックマップ (Plate-Tectonic Map of the Circum Pacific Region Northwest Quadrant 1981年発行) を見ると 背弧拡大が起きている場として マリアナトラフのほか アンダマンリフト (アンダマン海) ピスマルクリフト (ピスマルク海) ウッドラークリフト (ソロモン海) があげられている. これらも背弧拡大軸探査のターゲットになりえよう.

以上述べた中で 我が国周辺海域における可能性についても少し触れた. 我が国周辺には中央海嶺系は存在していないが その代りに島弧や縁海があり そのような海域における海底熱水鉱床の調査は 本格的には行われていない. 従って新しい発見の可能性を秘めたフィールドが沢山存在しているという訳であるが 逆にみれば我が国周辺海域の海底鉱物資源のポテンシャルを把握していないということでもある. どちらの意味からも 本格的調査が早急を開始される必要がある. (なお 引用文献については前号掲載分にまとめてあります)