

日本海中部地震震源域深浦小丘列の地形・地質 と周辺海底の熱水現象調査

八島邦夫*¹

水路部は1984年に「拓洋」により日本海中部地震震源域付近の調査を行い、小丘列（深浦小丘列）の存在を確認するとともに第3深浦小丘から熱水性の可能性のあるマンガン酸化物を採取した。このため、「しんかい6500」により第3小丘周辺の熱水現象と小丘の起源を探るための調査を行った。

主な調査結果は以下のとおり。

- (1) 深浦小丘列は久六島周辺海域等での最近の知見から第四紀の島弧型火山（アルカリ玄武岩）との想定もなされたが、第3小丘から採取された岩石の K-Ar 年代、化学分析成果は 6～7 Ma のソレイアイト玄武岩を示し、それらとは起源や年代を異にする比較的古い単成火山群である可能性が強まった。
- (2) 小丘周辺の海底には多数の黒色斑点と魚、イカの死骸がみられ、通常の実地環境と異なることを示しているが、直接的な熱水現象は確認できず、「拓洋」採取のマンガン酸化物の起源は依然ナゾのままである。

Submarine Topography, Geology and Hydrothermal Phenomenon Research around the Hukaura Hill Chain in the Epicentral Area of the 1983 NIHONKAI-CHUBU Earthquake

Kunio YASHIMA*²

On 26 May 1983, a great earthquake occurred in the Japan Sea with a magnitude 7.7. The Hydrographic Department carried out topographical, geological and geophysical surveys by the Survey Vessels "SHOYO" in 1983 and "TAKUYO" in 1984. On the occasion of the survey by "TAKUYO", a small linear hill chain (Hukaura Hill Chain) was revealed on the flat floor of the Japan Basin, and fragments of manganese concretion were dredged from the No. 3 Hukaura Hill 128 meters in height, being part of the hill chain. The chemical and mineral composition of the samples are similar to those of hydrothermal manganese oxides reported in the Izu-Ogasawara area. Therefore, there is a possibility that the samples dredged from the No. 3 Hukaura Hill are also hydrothermal manganese oxides. However, hydrothermal activities had not been recognized directly so far in Japan Sea, and the detailed investigations were required.

* 1 海上保安庁水路部

* 2 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

Thus, this dive ("SHINKAI 6500" Dive54) aimed to confirm the expected hydrothermal phenomenon and to research the origin of the hill chain.

Main findings are as follows :

1. Occurrence and distribution of the manganese concretion and direct proofs of hydrothermal phenomena were not found, and the origin of the samples dredged by the "TAKUYO" is still unknown.

However, many black colored patches and fish carcasses were observed around the No. 3 Hukaura Hill, suggesting the existence of extraordinary phenomenon in the sea-beds.

2. Chemical composition and the age by the K-Ar dating method on the rock obtained from the top of the No. 3 Hukaura Hill indicate that the hill is composed of tholeiite basalt of 7.01 ± 1.13 , 6.26 ± 0.98 Ma in age.
3. Judging from the topographical characteristics, chemical composition and K-Ar ages of a sample rock, Hukaura Hill Chain seems to be a monogenic volcano group and its origin should not be younger than 6 Ma.

1. 調査の背景と目的

1983年5月26日に秋田県能代西方約80kmの $40^{\circ}21.4'N$, $139^{\circ}04.6'E$, 深さ14kmを震源として発生した日本海中部地震はマグニチュード 7.7で日本海を震源とする地震としては最大級のものであった。また、この震源域のある日本海東縁部は新しいプレート境界であるとの指摘(小林, 1983; 中村, 1983)がなされるなど注目を集めている海域である(図1)。

水路部は地震発生後の1983年5月～6月及び1984年7～8月に震源域付近の海底調査を、それぞれ測量船「昭洋」、「拓洋」により実施した。この調査には深海用音響測深機(12KHz)、シービームによる測深、エアガン(シングルチャンネル、マルチチャンネル)、表層探査装置(3.5KHz)による音波探査、地磁気測量、重力測量等が実施され、その詳細は加藤ほか(1986)に記録されている。

この「拓洋」のシービームによる調査の際、震源のほぼ北、約30～40kmの九六海脚西方において南北方向の小丘列(深浦小丘列)の存在が確認された。この小丘列の3つの小丘においてチェーンバック型ドレッジによる採泥が試みられ、その1つである第3深浦小丘($40^{\circ}40.8'N$, $139^{\circ}01.5'E$)から最大径10cmの黒色のマンガン酸化物片が採取された(写真1)。採取されたマンガン酸化物片は地質調査所横田節哉氏の分析に

よると鉱物組成は10Åマンガンナイトと7Åマンガンナイトであり、化学組成はMn 37.88%, Fe 0.27%, Cu 24ppm, Pb 5 ppm以下, Zn 46ppm, Ni 52ppm, Co 36ppmである。鉱物組成や化学組成からみると、このマンガン酸化物片は伊豆・小笠原海域(Yuasa・Yokota, 1982)において熱水性のマンガン酸化物とされているものに良く似ており、鉱物の組み合わせ、微量元素含有量が低いこと、Mn/Fe比が非常に高いことが、水成のマンガン団塊とは異なる特徴(湯浅ほか, 1983)で、熱水性のものかどうかの判定は難しいが、化学組成、鉱物組成からみると熱水性のものである可能性がある(加藤ほか, 1986)とされた。

この海域には深浦小丘列のほか、佐渡海嶺北部、最上舟状海盆北部、九六海脚などにも円錐状の小丘群がみられ(図2, 3)、また日本海盆下には火成岩の貫入とみられる音響的基盤の高まりが認められるなど火成活動を示唆する材料がみられ(加藤ほか, 1986)、さらに小丘列東方の久六島周辺海域での熱水性沈殿物からなる変色域の報告(福留・山科, 1985)、久六島西方海域での第四紀火山存在の可能性の指摘(佐藤ほか, 1986; 吉田ほか, 1988)がなされるなど、火成活動に伴う熱水性の沈殿物の生成も十分考えられた。

しかし、これまで日本海においては目視観察などによって直接的に熱水活動が確認されたことは

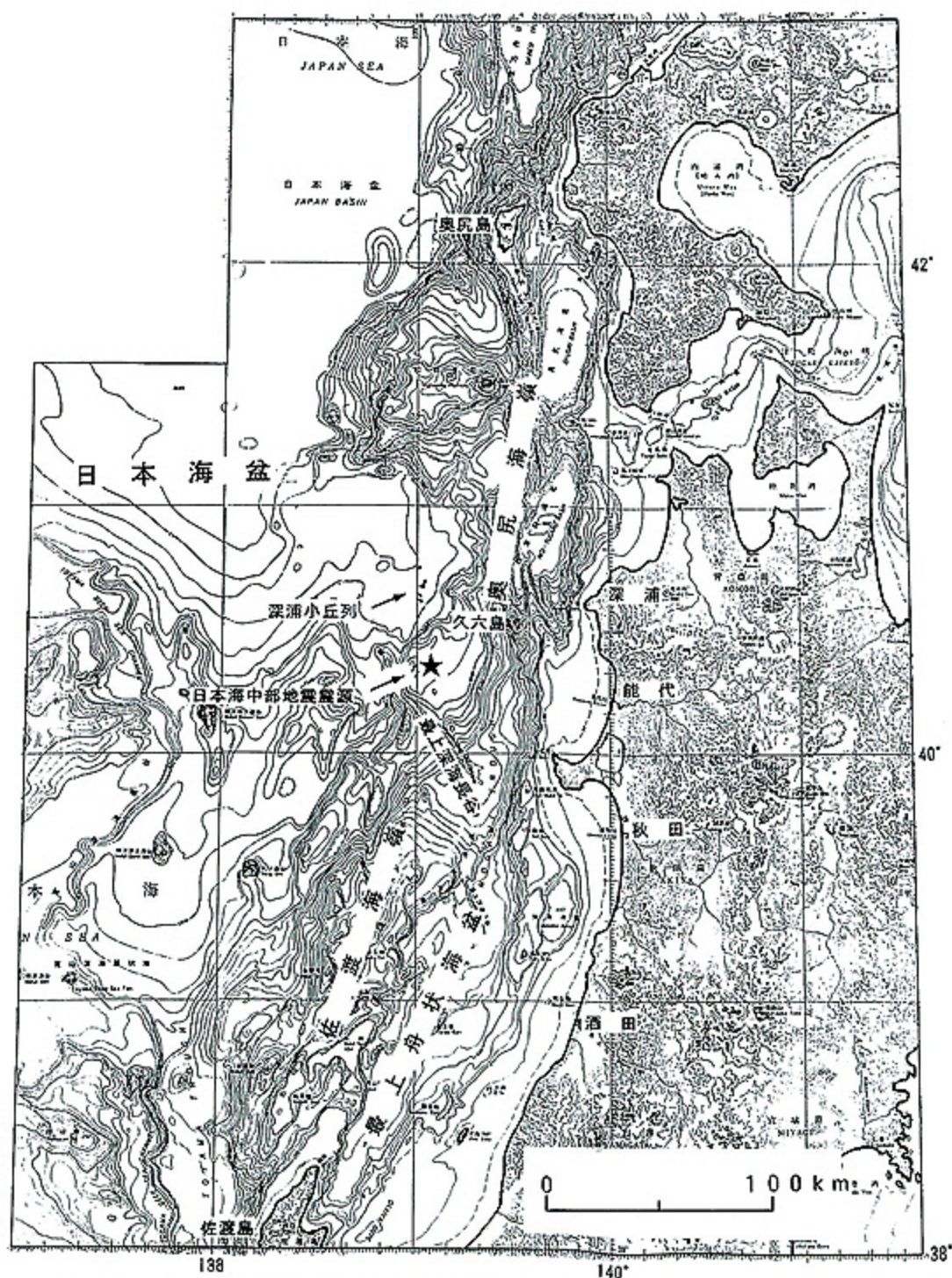


図1 1983年日本海中部地震震源域付近の海底地形

Fig. 1 Submarine topography in the vicinity of the epicentral area of the 1983 NIHONKAI-CHU-BU earthquake.

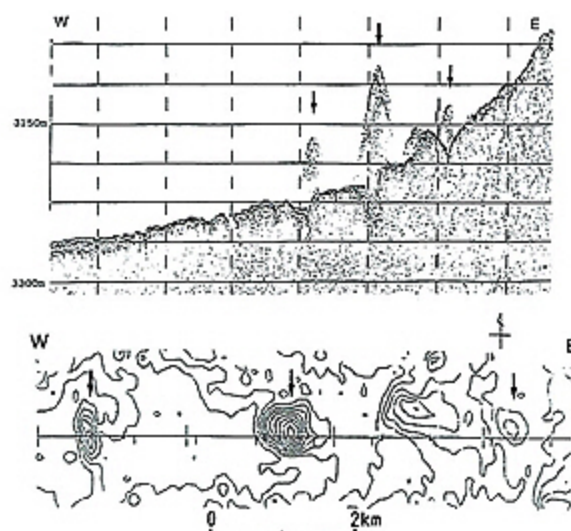


図2 表層探査装置 (3.5KHz) に記録された小丘のサイドエコー (昭洋, 1983) と対応するシービームコンター (拓洋, 1984)

Fig. 2 Hill topography (side-echo) on the 3.5KHz subbottom profiler ("SHOYO" in 1983) and the corresponding sea beam contour ("TAKUYO" in 1984).

なく、また、深浦小丘列の形成年代・成因等についても直接的なデータはなかった。

このため、潜航調査は小丘列を含む周辺海底での熱水現象の有無等を詳細に調査し、「拓洋」が採取した黒色のマンガン酸化物片の起源を明らかにするとともに小丘地形の観察、小丘列を構成する岩石のサンプリング等から深浦小丘列の形成年代、成因を明らかにすることを目的として行った。

なお、本論で呼称する小地形名はすべて仮称である。

2. 調査海域周辺の地形・地質

2.1 地形

調査海域のある日本海東縁部は海嶺、海盆が交互に発達する複雑な地形の大陸境界地と呼ばれる地域で、比較的新しい時代の傾動運動により形成され、現在も運動は継続している (茂木・佐藤, 1975; 佐藤・茂木, 1975) と考えられている。

日本海東縁部には佐渡島から日本海中部地震の震源域付近まで200km以上の長さを持つ佐渡海嶺と震源位置付近より北海道積丹半島沖まで

400km以上の長さを持つ奥尻海嶺が南北ないし北北東—南南西方向に走る (八島ほか, 1982)。前者は大和海盆の東縁をなし、後者は日本海盆の東縁に位置し、鮮新世ないしそれ以降に逆断層運動によって形成された (玉木ほか, 1981; 玉木, 1984) と推定されている (図1)。

佐渡海嶺の北部には海嶺北端を取り巻くように直径2km前後、比高500~600m前後の円錐状の小丘群がみられる (佐渡海嶺北部小丘群)。

一方、奥尻海嶺の西側斜面は比高約1500mの急斜面をなすが、九六島の西方では西北西に張り出し (久六海脚)、この久六海脚西縁付近にも直径1.5km前後、比高500m前後の円錐状の小丘群がみられる (久六海脚小丘群)。

雁行する佐渡海嶺と奥尻海嶺の間には水深2500~2700mの最上舟状海盆がみられ、その平坦面は水深約3300mの日本海盆に開口する。この舟状海盆末端付近にも直径1km前後、比高500~1000mの円錐状の小丘群 (最上舟状海盆北部小丘群) がみられる。この最上舟状海盆の日本海盆開口部付近に約17kmに亘りほぼ南北方向に配列するのが深浦小丘列で、直径500~1500m、比高50~130m、円錐状の形状を持つ5個の小丘から成る。ここでは便宜上、北から南へ、第1深浦小丘~第5深浦小丘と呼称する (図3)。

2.2 海底地質構造

海底地質構造についても加藤ほか (1986) に記載されており、これによると以下のとおりである。

日本海中部地震の震源域付近には佐渡海嶺や奥尻海嶺の西縁に沿うように長さ10~20kmの断層が分布する。各々の断層は短い、その分布は逆くの字状を示し、日本海中部地震の余震の分布域 (東北大学理学部地震予知観測センターほか, 1983) と良い対応を示し、全体としてみれば一つの断層列あるいは構造線とみることができる。

また、音波探査の結果によると佐渡海嶺、久六海脚といった地形の高まりの区域は基盤 (音響) の高まりに対応し、両者に挟まれた最上舟状海盆の区域の基盤は低くなっている。一方、日本海盆の地形はきわめて平坦であるが、海底下の基盤の起伏は激しく、火成岩の貫入によると推定される基盤の高まりがみられる。

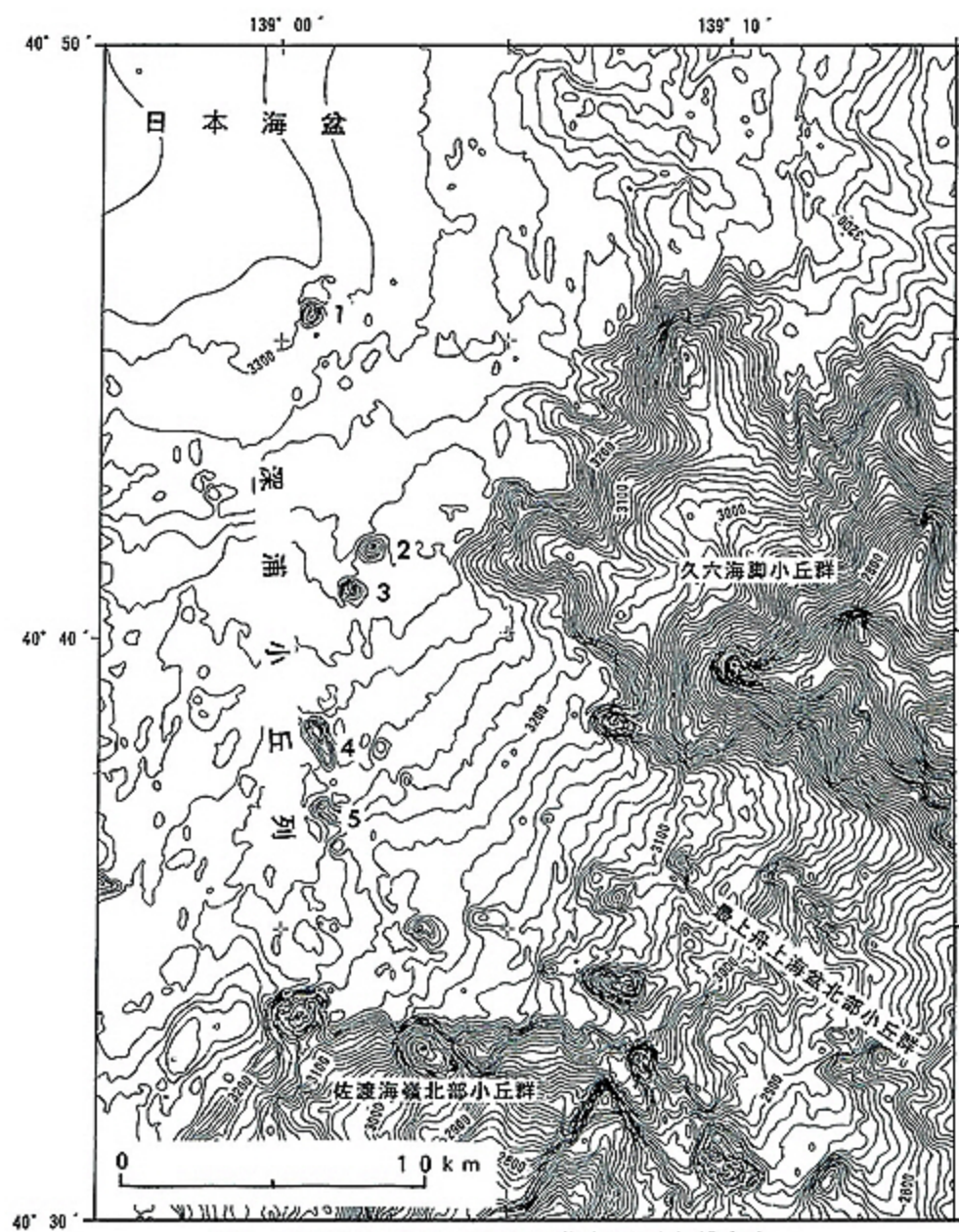


図3 1984年の「拓洋」の測量で作成された深浦小丘列付近の詳細な海底地形

Fig. 3 Detailed bathymetry around the Hukaura Hill Chain, prepared by the survey of "TAKUYO" in 1984.

3. 調査結果

3.1 潜航調査の概要

潜航調査は6月2日にDive 54として行われ、潜航の主な記録は表1のとおりである。

潜航調査に先立っては母船「よこすか」のマルチナロービーム測深機（フルノ HS-10）により、潜航海域付近の精密海底地形調査及び潜水艇のポジショニングを音響航法であるLBL（ロングベースライン）方式で行うために、第3深浦小丘周辺に3個のトランスポンダを設置した。

潜航調査の航跡は図4に示したように第3深浦小丘の西、約900mの地点（水深3256m）から東の方向に山頂に至るコースで約6時間におよび、この間、小丘周辺海底の目視観察とサンプリングバスケット（門馬式）による黒色の斑点状の底質

表1 Dive 54の概要

Table 1 Summary of Dive 54.

潜航番号	Dive 54
日	1991年6月2日
潜航地点	40° 40. 6' N, 139° 01. 5' E
潜航目的	日本海中部地質調査船小丘列の地形・地質と周辺海域の熱水現象調査
ボツバナー	八島邦典 母船 「よこすか」(総トン数 4439トン)
潜水艇パイロット	赤沢良次 母船乗組員 藤川重利(長はか2名)
潜水艇コパイロット	高橋雅彦 母船乗組員 GPSほか
入艇時刻	0920 赤沢良次 「しんかい6500」
出艇時刻	0958 赤沢良次(母船乗組員) 坂本静海(母船乗組員) 3名
潜航時刻	1126 潜水艇の位置 赤沢良次(音響航法装置) 水深30
潜航時刻	1456 赤沢良次(音響航法装置) 赤沢良次(音響航法装置) 赤沢良次(音響航法装置)
浮上時刻	1609
潜水艇回収時刻	1656
潜航時間	6時間11分
最大潜航深度	3262m
天候・海況	晴れ 風向SE 風力1 波高0.4m 波周期2.5m
潜航点の状況	水深3256m, 底質 泥, 視程8m, 水温0.2°C 流れ 極めて微弱

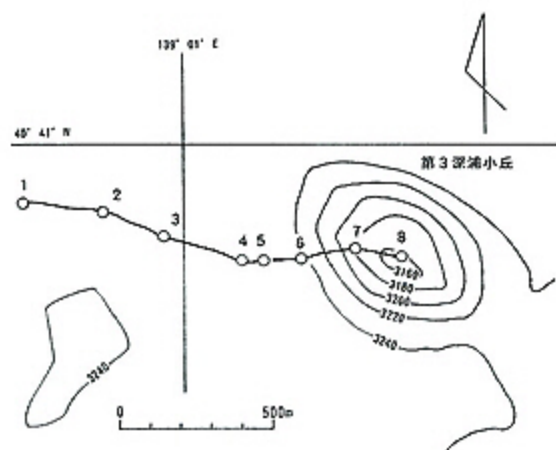


図4 「しんかい6500」DIVE 54の航跡
Fig. 4 Tracklines of "SHINKAI 6500"

の採取と小丘の麓、山腹、山頂の3か所でグラバによる小丘構成岩石の採取を試みた。

3.2 潜航調査結果

3.2.1 第3深浦小丘の地形・地質

第3深浦小丘は、「拓洋」のシービーム、「よこすか」のマルチナロービーム測深機で描画される同心円状の等深線や地形名称の丘というイメージとは異なる平坦な海底から平均傾斜約20度で聳え立つ急峻な山であった。全山に亘りあつく泥に覆われているが(10cm程度?), 絶壁状やoverhang状をなすところもあり、岩が露出しているところもある(写真2)。露出する岩石は山麓から山頂まで茶褐色をした同一の火成岩であるように思われ、山頂から採取された岩石の分析結果は後述するように水中噴出のソレイライト玄武岩であった。

なお、小丘の山頂水深、比高はそれぞれ3135m, 128m(「しんかい6500」の深度計による)、麓径は800mであり、小丘の山頂にはテミスと呼ばれる甲殻類が多数みられた。

3.2.2 小丘周辺海底の性状

小丘周辺の海底はきわめて平坦かつ泥質で、約3時間半にわたる海底の目視観察の結果、小丘周辺の平坦面では底棲生物はきわめて少なく、かなり広範囲に亘って径数cm~10cm程度の多数の黒色斑点が散在し、また魚やイカの死骸も確認できた。

なお、第3深浦小丘の南・北海底、第2深浦小丘の南側海底は海洋科学技術センターの松本氏による調査(Dive 53, 55, 56)も行われ、この際にも多数の黒色斑点、魚やイカの死骸が確認されている(写真3, 4)。

しかし、熱水の噴出や熱水性マンガン酸化物片の分布(堆積)など直接的な熱水現象は確認できなかった。

3.2.3 岩石の分析結果

写真5は山頂を構成する岩体からグラバにより採取した大きさ240×150×150(mm)の岩石である。

薄片観察分析、化学組成分析、年代測定結果の概要は以下のとおりである。

薄片観察結果によると直径1mm前後の多数の空隙がみられ、スメクタイトに変質している部分

が多かった。化学組成分析（全岩分析）の方法及び分析結果は表2のとおりで、水中噴出のソレイアイト玄武岩であった。

採取岩石の年代測定はK-Ar法で行った。この測定方法は岩石・鉱物からのArを抽出・精製とAr同位体比の測定及びKの定量に分けられ、測定試料は60~80メッシュに整粒した全岩試料を用いた。測定結果は表3のとおりで 7.01 ± 1.13 Ma, 6.26 ± 0.98 Maという値が得られた（表3）。

4. 考察

深浦小丘列の地形・地質と小丘列周辺の熱水現象の2つに分けて考察する。

4.1 深浦小丘列の地形・地質

深浦小丘列の成因についてはMud Volcano, 熱水マウンド, 変動地形（地滑り）も想定されたが、小丘地形の形状、構成岩石の化学組成などから、単成火山群であることはほぼ確実である。

しかし、小丘の形成年代や構成岩石の化学組成については久六島周辺海域等（図5）で最近得られた知見等から第四紀の島弧型火山（アルカリ玄武岩）も想定されたが、年代については6~7 Ma, 化学組成についてはソレイアイト玄武岩という結果が得られた。

表2 岩石サンプルの化学組成

Table 2 Chemical composition of rock sample.

(単位: wt %)			
SiO ₂	ガラスビード法		47.92
TiO ₂	ガラスビード法		1.23
Al ₂ O ₃	(野村ほか, 1983)		17.17
Fe ₂ O ₃	ガラスビード法で求めたTotal Feと過酸化水素で求めたFeOの差		4.58
FeO	地質調査所化学分析法	過マンガン酸カリウムによる過酸化	2.92
	(地質調査所, 1978)		
MnO	ガラスビード法		0.12
MgO	(野村ほか, 1983)		4.71
CaO			10.85
Na ₂ O			2.08
K ₂ O			0.57
P ₂ O ₅			0.33
H ₂ O (-)	地質調査所化学分析法	乾燥法	2.97
H ₂ O (+)	(地質調査所, 1978)	ベンゾイル法	1.63
Total			97.08

表3 岩石サンプルのK-Ar法による年代

Table 3 Age of rock sample by the K-Ar dating method.

SAMPLE NUMBER	SUBBERS IN LABORATORY	SAMPLE TYPE	POTASSIUM (X wt %)	Red. ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁶ cc/g)	K-Ar AGE (Ma)	AIR CONST. (X)
D-54	SR-145	Whole	0.45	12.3 ± 1.5	7.01 ± 1.13	38.4
	-149	Rock	±0.05	11.0 ± 1.3	6.26 ± 0.98	32.7



図5 八甲田一岩木火山線沿いの火山一構造図

福留・山科（1985）を改変，三角形：第四紀火山，実線：福留（1984）による東西方向の火山線，円：熱水活動及び温泉箇所，破線：1983年日本海中部地震震域，楕円：黄色斑点分布域，星印：HF-11地点

Fig. 5 Volcano-tectonic map along the Hakkoda-Iwaki volcanic line, retouched to Fukudome・Yamashina (1985). Triangles: Quaternary volcano. Solid lines: E-W trending volcanic line of Fukudome (1984). Dots: Site of hydrothermal activity and hot spring. Broken lines: after shock region of the 1983 NIHONKAI-CHUBU earthquake. Ellipses: distribution area of the yellow colored patches. Star marks: HF-11 station.

まず、周辺海域で得られた知見から述べる。

久六島は、^{へんし} 作崎西北西約30km、深浦小丘列の東南東、約45kmにあり、盛谷（1968）、福留・山科（1985）、田中ほか（1987）、海上保安庁水路部（1992）ほかの報告がある。

盛谷（1968）は久六島を構成する岩石は輝石安山岩ないし石英安山岩の火山碎屑岩類で岩相上の類似から深浦地域の大戸瀬層中部層沢辺安山岩（新第三紀中期中新世）に対比されたとした。

しかし、福留・山科（1985）は盛谷（1968）がかんらん石含有普通輝石紫蘇輝石安山岩の集塊岩として記載した岩石と同一層準の試料について化学分析、K-Ar法による年代測定を行ったところ、これらはアルカリ玄武岩で、年代は1.5Maという値が得られたという。さらに久六島西方約1.5~2 kmの海底で熱水性沈澱物から成る変色域を発見し、変色域ではガスも湧出して熱水活動は現在も続いていることを報告した。これらの原因として福留・山科（1985）は東北日本弧には少なくとも8列の東西性火山列が認められ、その1

つである八甲田—岩木山列の西方への延長線近くに久六島及びその周辺海域は存在し(図5)、比較的新しい時代(第四紀?)に火山活動が起こり、その噴気活動の名残りのガスや熱水が湧出している可能性を指摘した。

また、田中ほか(1987)は久六島西方の急斜面を「しんかい2000」による潜航調査を行ったところ、大量の新鮮な玄武岩質礫が広く分布していることを観察し、比較的新しい時期の火山活動の存在を示唆した。

一方、佐藤ほか(1986)は1985年7～8月のDELTA 85日本海航海において釧路湾西北西約70kmのHF-11地点(40°42'N, 139°03'E, 水深3320m; 図5)で表層探査装置(3.5KHz)による音波探査、地殻熱流量測定及び底質の分析を行ったところ、気体または個体より成る噴煙状の反射(図6)や比較的大きな熱流量を確認したという。そしてここで採取された火山砂は東北日本弧では最もアルカリ質で、東北日本火山帯の背弧側延長の火山に由来する可能性があり、この周辺にこれらの火山灰を噴出させた第四紀火山が存在する可能性がきわめて高いとした。

さらに吉田ほか(1988)はこの地点で得られた試料(火山砂)の光量子放射化法などによる全岩主成分分析並びに微量成分元素分析を行ったところ、これらは鳥海火山列火山特有の性格を有し、

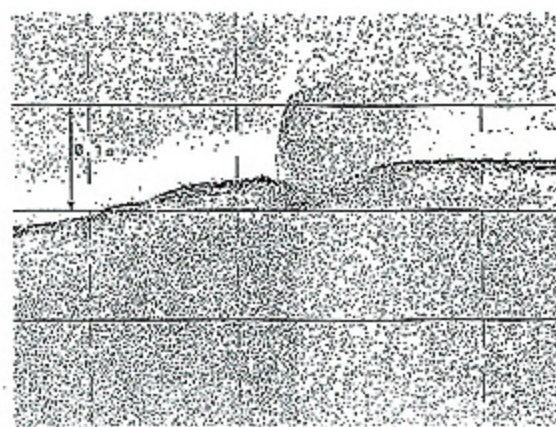


図6 HF-11地点における表層探査装置(3.5KHz)の記録

佐藤ほか(1986)による、図5参照

Fig. 6 Acoustic record (3.5KHz subbottom profiler) across HF-11 station, after Sato et al. (1986). See Fig. 5.

この火山砂を噴出させた火山は東北本州弧第四紀火山のうち最も背弧側に位置する鳥海火山であると位置づけた。

海上保安庁水路部(1992)も沿岸の海の基本図「久六島」の調査を実施し、久六島が位置する水深50～100m平坦面の西端に位置するすり鉢状の凹地は海底火山の火口(図7)であり、周辺海底で採取された軽石は変色も認められない新鮮なものであることなどから、周辺海底に第四紀火山が存在する可能性を指摘している。

今回、採取した岩石の年代測定を行ったK-Ar法の問題点については兼岡(1991)の論文がある。これによるとK-Ar法は海洋底岩石の年代測定に大変有効な測定法であるが、試料が変質を受けると、それまで岩石中に蓄積されてきた ^{40}K から壊変して生じた放射性起源 ^{40}Ar が失われたり、海水の影響でKが岩石中にしみこんだりする。いずれの影響も、実際の岩石が噴出してからの年代に対して、得られたK-Ar年代は若い値をだすように作用する。ドレッジにより海山などから採取されたものは、その岩石が長い間海水にさらされていれば程度の差はあれ、必ずといって良いほど変質を受けている。このため、得られた年代はその試料の噴出年代の最小値を示すと考えた方が無難であるとしている。年代測定を用いた試料は1個であり、以上のような問題点を持つK-Ar法のみでの測定であることから断定的なことはいえないが、第3深浦小丘は厚く泥におおわれ、採取岩

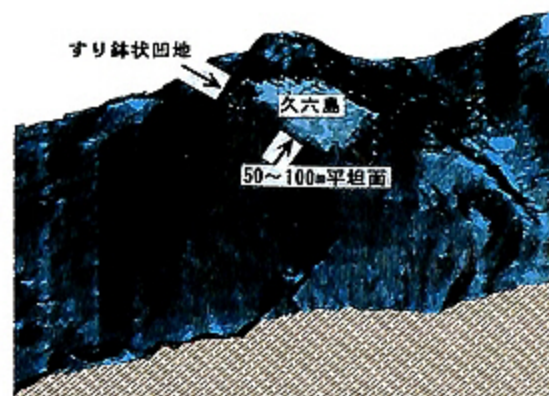


図7 久六島周辺の鳥瞰図

Fig. 7 Bird's-eye view in the vicinity of the Kyuroku Island.

石はスメクタイトに変質していることと合わせ、その噴出年代は比較的早く第四紀以前に遡る可能性が高い。

このことから、第3深浦小丘を構成する岩石は久六島周辺やHF-11で採取された火山灰を噴出させた火山とは起源や年代を異にするものである可能性が強まった。

いずれにせよ、深浦小丘列の起源（噴出）は東北日本弧や背弧海盆の地形・地質発達史のなかでどのような意味を持っているのか？ これらの解明は今後の課題である。

4. 2 深浦小丘列周辺海底の熱水現象

小丘周辺には、多数の黒色斑点や魚やイカの死骸がみとめられた。通常、海底には魚の死骸がみられることは稀（河井・石橋、1986）といわれ、小丘周辺は通常とは異なる海底環境にあることを示している。海洋科学技術センターは地震直後に今回の調査区域のやや北側で曳航式カラーテレビによる海底調査を行ったが、ここでは多数の黄色から橙色の斑点が確認された（図5）。堀田ほか（1987）は地震を起こした歪力により海底に存在する物質が噴出した可能性が高く、さらに低温性の熱水噴出の可能性をも示唆した。今回確認された黒色斑点は、これらの黄色斑点が変色したもののようにも思われる。

しかし、熱水性マンガン酸化物分布の確認、熱水の噴出など直接熱水活動に結びつく現象は確認できず、「拓洋」が採取したマンガン酸化物片の起源は依然ナゾのままである。

5. おわりに

深浦小丘列は久六島周辺等で最近得られた知見等から第四紀の島弧型の単成火山群であることも想定されたが、採取岩石の化学分析や年代測定結果からそれらとは起源や年代を異にする単成火山群である可能性が強まった。

小丘周辺でみられた黒色斑点は日本海中部地震の歪力により海底物質が噴出した黄色斑点の変色したものである可能性があり、魚やイカの死骸の分布など小丘周辺は通常とは異なっていることを示唆しているが、「拓洋」採取のマンガン酸化物片の起源は依然ナゾのままである。

深浦小丘列の活動や「拓洋」採取マンガン酸化

物片は東北日本弧や背弧海盆の地形・地質発達史のなかでどのような意味を持っているのか？ これらの解明は今後の課題である。

謝 辞

潜航調査および本稿作成に当たっては湯川修船長ほかの母船「よこすか」の乗務員一同、板倉勝海司令ほかの「しんかい6500」運行チームの諸氏、海洋科学技術センターの松本剛博士、水路部の加藤茂博士、岩淵洋、加藤幸弘、渡辺一樹の各氏には大変お世話になった。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 地質調査所, 1978, 地球科学的試料の化学分析法 2
- 福留高明, 1984, プレートテクトニクスからみた八幡平地熱地帯の構造, 昭和58年度科研費(総研A)研究成果報告書, 秋田県後生掛地熱地域の総合的研究, 33-43.
- 福留高明・山科健一郎, 1985, 久六島西方海底の熱水活動, 秋田大学鉱山学部研究報告, 6, 151-157.
- 堀田宏・門馬大和・大塚清・橋本惇・田中武男, 1985, 昭和58年日本海中部地震震源域の目視調査, 海洋科学技術センター試験研究報告, 14, 37-53.
- 海上保安庁水路部, 1992, 5万分の1沿岸の海の基本図「久六島」海底地形地質調査報告, 1-40.
- 兼岡一郎, 1991, 日本海の形成時期を探る一放射年代を基にして一, 地質ニュース, 442, 16-29.
- 加藤茂・桂忠彦・浅田昭・春日茂, 1986, 1983年日本海中部地震震源域の海底地形地質, 水路部研究報告, 21, 1-20.
- 河井智康・石橋喜美子, 1986, 死んだ魚はなぜいないか, 海洋科学技術センター試験研究報告, 89-98.
- 小林洋二, 1983, プレート“沈み込み”の始まり, 月刊地球, 5, 9, 510-514.
- 茂木昭夫・佐藤任弘, 1975, 日本周辺大陸縁辺部の海底I, 科学, 45, 9, 551-559.

- 盛谷智之, 1968, 深浦地域の地質, 地域地質研究報告 (1/50,000地質図幅), 工業技術院地質調査所, 1-57.
- 中村一明, 1983, 日本海東縁新生海溝の可能性, 地震研究所叢報, 58, 711-722.
- 野村紘一・関根孝雄・吉岡明, 1983, ガラスビード法によるケイ酸塩岩石のケイ光X線分析, 第33回全国鉱山製錬所現場担当者会議 分析講演集, 141-154.
- 佐藤博明・山野誠・上田誠也・徳山英一・松田高明・木村政昭・倉本真一, 1986, 日本海盆南東縁での第四紀火山の存在について, 火山, 31, 3, 193-201.
- 佐藤任弘・茂木昭夫, 1975, 日本周辺大陸縁辺部の海底II, 科学, 45, 10, 662-629.
- 玉木賢策・本座栄一・湯浅真人・村上文敏, 1981, 日本海中部海域広域海底地質図, 縮尺100万分の1, 海洋地質図 No. 15, 地質調査所.
- 玉木賢策, 1984, 日本海東縁部の活構造とテクトニクス, 月刊地球6, 1, 38-48.
- 田中武男・門馬大和・松本剛・堀田宏, 1987, 日本海中部地震震源域における変動微細地形について, 海洋科学技術センター試験研究報告特集, 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム, 233-249.
- 東北大学理学部地震予知観測センター・弘前大学理学部火山観測所・東北大学理学部地球物理学教室, 1983, 1983年日本海中部地震—(1)地震活動—, 地震学会予稿集2, 3.
- 八島邦夫・今井健三・西沢邦和, 1982, 100万分の1 海底地形図「北海道」・「東北日本」と海底地形, 水路部研究報告, 17, 93-162.
- 吉田武義・佐藤博明・青木謙一郎, 1988, 日本海, 久六島西方海底火山噴出物の微量元素組成, 核理研研究報告, 21, 2, 256-267.
- Yuasa, M. and S. Yokota, 1982, Hydrothermal Manganese and Ferromanganese Concretions from Seafloor of the Ogasawara Arc-Trench Region, Northwestern Pacific, United Nation ESCAP, CCOP, Tech. Bull., 15, 51-64.
- 湯浅真人・横田節哉・佐藤任弘, 1983, 日本周辺海域における熱水起源酸化物, 月刊海洋科学, 15, 9, 519-524.



写真1 第3 深浦小丘付近で採取されたマンガン酸化物片

Photo 1 Manganese oxide concretion dredged at the No. 3 Hukaura Hill.



写真4 第3 深浦小丘でみられた魚の死骸

Dive 53 潜航者 松本剛氏による

Photo 4 Fish carcasses around the No. 3 Hukaura Hill.

Dive 53 observer Takeshi Matumoto

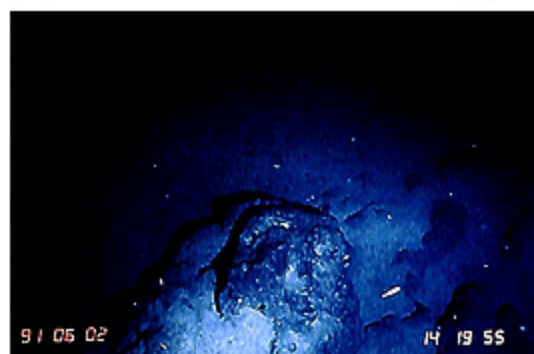


写真2 泥におおわれた第3 深浦小丘の斜面の性状

Photo 2 Slope feature covered by mud of the No. 3 Hukaura Hill.

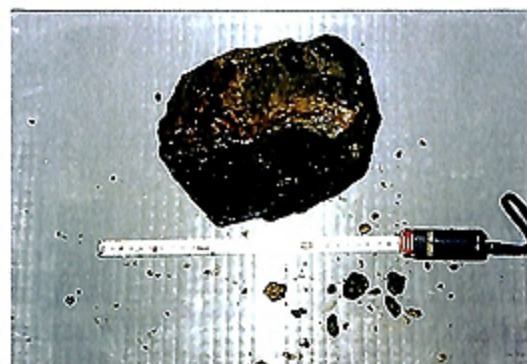


写真5 第3 深浦小丘山頂で採取された岩石

Photo 5 Rock obtained from the top of the No. 3 Hukaura Hill.

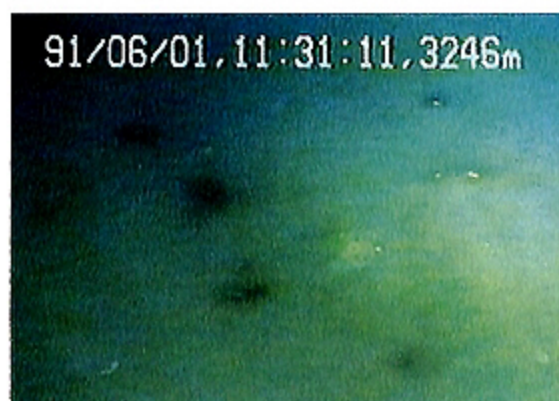


写真3 第3 深浦小丘周辺でみられた黒色斑点

Dive 53 潜航者 松本剛氏による

Photo 3 Black colored patches around the No. 3 Hukaura Hill.

Dive 53 observer Takeshi Matumoto