

# ハワイ諸島周辺海域における98年「かいこう／かいいい」、 99年「しんかい6500／よこすか」調査結果概要

仲 二郎\*1

98「かいいい」、99「よこすか」ハワイ諸島周辺海域調査乗船研究者\*2

海洋科学技術センターでは、平成10年に無人探査機「かいこう」とその母船「かいいい」、平成11年の潜水調査船「しんかい6500」とその母船「よこすか」によりハワイ諸島周辺海域において海底地質等の調査を行った。

その主たる目的は

- 1) Nuuanu slide, Koolau 火山 (オアフ島北方)とその北アーチ海域  
オアフ島北方にあるNuuanu slideはハワイ諸島周辺における最大に地回り体で、調査の目的はその地回りを構成する物質を調査しその起源を明らかにすることと、その地回りにより挟りとられたKoolau火山の深部の構造と岩石を調査すること。さらに、その北方にある比較的新しいと見られている北アーチの溶岩を調査すること。
- 2) Hilina slumpとKilauea東リフト(ハワイ島南方) 海域  
Hilina slumpは現在も動いていると考えられているハワイ島の南にある地回り体である。今回の目的はその構成物をしらすその地質を明らかにすることである。また、同様にKilauea火山の東リフトの地質も合わせて調査する。
- 3) Loihi 海山(ハワイ島南方) 海域  
ハワイの火山のもっとも初期段階にあると見られているハワイ島南方にある Loihi 海山の地質と熱水現象を調査すること。

主たる調査の成果は

- 1) Nuuanu slide, Koolau volcano (オアフ島北方)とその北アーチ海域  
この海域では、Nuuanu slideとその東側のモロカイ島北方にあるWailau slideの海底地形を調査した。その結果から「かいこう」、「しんかい6500」による潜航調査を行った。  
オアフ島北方のKoolau火山北側斜面ではよく保存された枕状溶岩等の露頭があり、そこからKoolau火山のものと思われる玄武岩を採集した。  
Nuuanu slideの最大の岩体であるTuscaloosa海山からは陸上噴出と思われる玄武岩の岩片を採集した。しかし、Tuscaloosa海山やそれ以外の地回り体で潜航調査により観察された露頭や採集された試料は海岸線付近で形成された火山岩の破片等からなる堆積岩であった。このことは、この地回りはハワイの島を形成する堆積岩に部分が崩壊したものであることを示している。  
北アーチの潜航では新鮮なシートフロー溶岩や120mにおよぶ厚さの溶岩の露頭を観察した。
- 2) Hilina slumpとKilauea東リフト(ハワイ島南方) 海域  
Hilina slumpには水深約3000m付近の平坦面を挟んで上部と下部に急斜面がある。「かいこう」と「しんかい6500」の潜航調査は主としてこれらの急斜面で行った。深い方の急斜面では、固結した火山岩岩片からなる角礫岩や砂岩の露頭が観察された。これらの堆積岩は海岸線付近で形成された岩片から出来ているものと考えられる。この堆積岩体はHilina slumpの動きにより、その前面に移動してきたものと思われる。一方上部の急斜面では、海底で噴出したと思われる枕状溶岩等の露頭を観察した。この枕状溶岩はHilina slumpの主体上に乗っているより新しいKilauea火山からの溶岩と思われる。
- 3) Loihi 海山(ハワイ島南方) 海域  
「しんかい6500」と「かいこう」による潜航調査を主としてLoihi海山の南リフトの水深2000m以深の部分で行った。そこでは、新鮮な枕状溶岩やシートフロー溶岩が観察されたが、活動的な熱水活動は認められなかった。  
一方、南リフトの延長の平坦部で6.8℃(周囲海水0.9℃)の湧水を認めた。そして、ここから沈澱物等の採集を行った。

キーワード：ハワイ諸島, ホットスポット, 地回り, 海底火山

\* 1 海洋科学技術センター深海研究部

\* 2 別表 1

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

\* 4 See Table 1

# **Preliminary results of the Deep Sea Research Cruises around Hawaiian Islands using ROV KAIKO and R/V KAIREI in 1998 and DSRV SHINKAI 6500 and R/V YOKOSUKA in 1999.**

Jiro NAKA\*<sup>3</sup>

Shipboard Scientists of Deep Sea Research Cruises around Hawaiian Islands using KAIREI in 1998 and YOKOSUKA in 1999\*<sup>4</sup>

JAMSTEC conducted underwater geological studies around the Hawaiian islands, using ROV KAIKO and its mother ship KAIREI in 1998 and the DSRV SHINKAI 6500 and her mother ship YOKOSUKA in 1999.

## **The main objectives are**

- 1) Nuuanu slide, Koolau volcano (north of Oahu) and its north arch  
The Nuuanu Landslide located north of the Island of Oahu is the largest landslide around the Hawaiian Islands. The main objectives of the research are to identify the origin and age of the landslide, and to observe the deep structure and the materials of the Koolau volcano. There are some large newly formed lava flows farther north of the Nuuanu slide. The other objective is to identify the nature of the lava flow.
- 2) Loihi seamount (southeast of Hawaii)  
Loihi seamount located on the southern flank of the Island of Hawaii is an active submarine volcano which represents the immature state of Hawaiian hot spot volcanoes. The main objectives are to conduct geological research on the volcano, and to study the hydrothermal vents located around the volcano.
- 3) Hilina slump and east rift, Kilauea volcano (south of Hawaii)  
The Hilina slump is an active landslide body located on the southern flank of the Island of Hawaii. The main objective is to conduct geological research on the landslide body. Kilauea east rift is an active and well developed submarine rift among the Hawaiian volcanoes, which is the objective of another geological study.

## **The preliminary results are follows:**

- 1) Nuuanu and Wailau landslides and their adjacent areas.  
We made a detailed map in the area of Nuuanu slide, northeast of Oahu and Wailau slide, north of Molokai. Based on this map we carried out piston coring, dredging, ROV KAIKO dives and SHINKAI 6500 dives.  
On the north flank of Koolau volcano, north of Oahu, we observed well preserved pillow lava outcrops and collected Koolau volcano origin basalt samples.  
We obtained some subaerial basalt lava fragments samples from the Tuscaloosa seamount which is the largest slide block in the Nuuanu slide. However, most of the observed outcrop and materials were volcaniclastics which originally formed around the surf zone. This indicates that this giant landslide originally formed the sedimentary section of these islands.  
We also carried out SHINKAI 6500 dives at two possible vent sites in the north arch volcanic field, and observed about 120m thick basalt lava.
- 2) Hilina slump and its adjacent area  
Two well-developed steep slopes on the Hilina slump are separated by bench like flat plane. We carried out KAIKO and SHINKAI 6500 dives mostly on these steep slopes. In the deeper slope we observed well indulated volcaniclastic breccia and sandstone outcrops. These volcaniclastics are probably composed of hyaloclastic materials which originally formed around the surf zone. It seemed that these volcaniclastics body moved to the front of the Hilina slump. We observed submarine erupted pillow lava on the shallower steep slope. This pillow lava just overlies the Hilina slump body.
- 3) Loihi seamount  
We carried out SHINKAI 6500 and KAIKO dives mostly along its south rift deeper than 2000m. We observed comparatively fresh pillow and sheet flow lava along it.  
We confirmed a fluid seepage field at the southern extension of the south rift. The measured maximum temperature was 6.8 °C (ambient water was 0.9 °C), and we collected water and deposits.

**Keywords :** Hawaiian islands, Hot Spot, Landslide, submarine volcano

1. はじめに

ハワイ諸島の火山はホットスポットの火山の典型と考えられており、それらはカムチャツカ半島付近の明治海山にいたる長大な海底山脈を形成している。ホットスポットの火山は地球上ではその分布は限られるものの、中央海嶺、沈み込み帯などとともに、地球上の火山域として重要な位置を占めている。しかし、ハワイ諸島の火山においては、その陸上部の調査は世界の火山でも最も進んでいるひとつであるが、その海底部における調査が行われていない部分も多く、それら火山の下部構造あるいは初期段階はLoihiや捕獲岩等から得られる情報を除いて、その岩石等についての情報は殆どなく、不明瞭な部分も残っていた。そこで1998年および99年に深海調査研究の一環として、ハワイ諸島周辺海域のこれまでに有人潜水船による調査が殆ど実施されていなかった海域において日米の研究者による調査が実施された。その調査海域を図1に示す。

調査は大きく分けて2回、1998年8月24日から2日までは「かいいい」の単独行動、4日から19日までは「かいこう」と「かいいい」により調査をおこなった。この間9月7日米国側研究者の乗下船を行った。また1999年は8月1日から25日までと8月31日から9月22日にかけて「しんかい6500」と「よこすか」による調査を行った。

なお、調査で得られた試料およびデータは現在各乗船研究者とその共同研究者により分析、解析等が行われており、その結果は今後各自より報告があると思われるので、ここでは、主として航海中に得られて結果を中心に報告する。

これらの調査には、センターの他、地質調査所、東京工業大学、北海道大学、東京大学地震研究所、静岡大学、岡

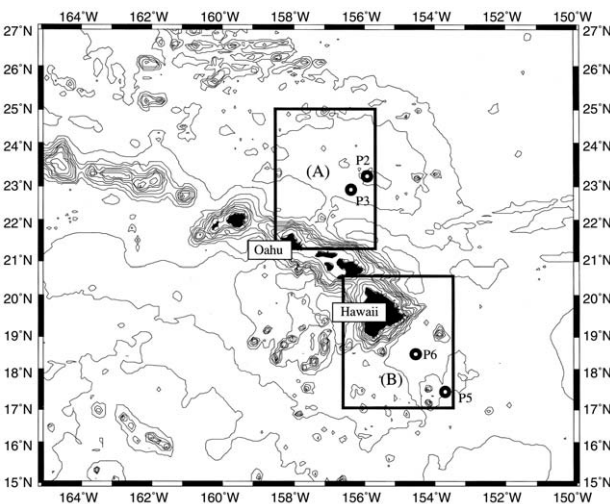


図1 調査海域位置図  
(A)はオアフ島北方(Nuuanu/Koolauと北アーチ)、(B)はハワイ島南方(Hilina slump/Kilauea east riftとLoihi)海域丸はピストンコア(P1,4を除く)の地点を示す。

Fig. 1 Location of studied areas  
Box (A) and (B) indicate the north of Oahu and south of Hawaii, respectively.  
Circles indicate the piston core positions.

山大学、広島大学、九州大学、熊本大学、琉球大学、ハワイ大学、米国地質調査所、モンレー湾水族館研究所、カーネギー研究所の研究者が参加した。なお参加者を表1に示す。

謝辞：本調査において、福井勉「かいこう」操縦班班長とチームの方々、「かいいい」湯川治船長と乗組員の方々、今井義司「しんかい6500」司令と運航チームの方々、「よこすか」田中等船長と乗組員の方々にはお世話になった。また、米国側研究者の調整にSOEST副学部長Lorenz Megaard博士には多大な努力を頂いた。これらの方々にお礼申し上げます。

2. 調査航海の背景

1980年代に米国地質調査所(USGS)は米国の200哩水域において、広域サイドスキャンソナーであるGLORIAによる調査を実施した。その結果ハワイから北西のミッドウェー島周辺にいたるハワイ海山列にはその側面からその周辺にかけて大規模な地入り地形が存在することが明らかとなった(Moore et. al., 1994など)。その内最も大きな

表1 乗船研究者  
Table 1 List of Shipboard Scientists

98年「かいいい」、99年「よこすか」乗船研究者	
中嶋 勝治, 篠崎 健, 高橋 栄一	(東京工業大学)
兼岡 一郎, 羽生 毅	(東京大学地震研究所)
宇井 忠英	(北海道大学)
栢野 一昌, 柴田 次夫	(岡山大学)
海野 進	(静岡大学)
長沼 毅	(広島大学)
石橋純一郎	(九州大学)
横瀬 芳久	(熊本大学)
大森 保	(琉球大学)
石塚 治, 佐竹 健二, 宝田 晋治, 宇都 浩三	(地質調査所)
金松 敏也, 仲 二郎, 坪山 乃博	(海洋科学技術センター)
Michael G. DAVIS, Michael O. GARCIA, Kevin T. JOHNSON, Stephen C. LESLIE, Alexander MALAHOFF, Gary M. MCMURTRY, Brian P. MIDSON, Julia K. MORGAN, Jordan R. MULLER, John R. SMITH, Jr.	(ハワイ大学SOEST)
Peter W. LIPMAN, James G. MOORE, David R. SHERROD, Thomas W. SISSON, Carl R. THORNBUR, Frank A. TRUSDELL	(米国地質調査所)
David A. CLAGUE	(モンレー湾水族館研究所)
Aaron J. PIETRUSZKA	(カーネギー研究所)

ものはオアフ島北側のKoolau火山の北側斜面から北東方に広がるNuuanu slideで、その流れ山と考えられる岩体の分布はオアフ島からおよそ200km北東方まで認められた(Moore et al., 1987)。ただし、このNuuanu slideはそのすぐ東側のモロカイ島から由来したと考えられるWailau slideとともにMoore (1964)によりすでに大きな地送りであることが指摘されていた。この地送りはこれまでの考えでは、ハワイ諸島の火山の成長期に起こる、すなわちKoolau火山の主活動期の250~150万年の間に起こっていると考えられていたが、その証拠は不十分であった。

また、オアフ島の北側はこの地送りにより抉りとられたようになっており、そこにはこれまで、ハワイ諸島の火山では観察されたことのない、火山の深部が露出していることが期待された。また、Koolau火山は他のハワイの火山に比べSiO<sub>2</sub>に富む火山岩からなっており、その下部における火山岩からその起原となったマンツルの情報も取得されることも期待された。

GLORIAによるもう一つの発見はオアフ島の北方の北アーチ周辺に於いてハワイ島より大きな分布範囲を持つ溶岩と見られる強い反射率をもつ地域が認められたことである。その後少量ながら岩石も採取され、それがオアフ島のダイヤモンドヘッドのような後侵食期の火山岩と類似の組成を持つことがあきらかとなった(Clague et al., 1990)。しかし、その分布面積は分かっているものの、その噴出量についての情報はなく、またその噴出年代についても明確ではなかった。さらに、ここでは溶岩流が潜水船等で調査されたこともこれまでになかった。

一方、ハワイ諸島にはLoihiを含め5つの噴火記録のある活火山がある。その中で主活動期であるシールド期にあり、最も頻繁に噴火が起こっているのは、ハワイ島の南部にあるKilaueaである。その標高は約1300mであるが、現在もっとも成長中の火山といえる。山体の急速な成長のため、山体が重力的に不安定となり、山頂クレーターから延びるリフトの南側にリフトと平行にHilina断層のような正断層ができ、その南側が滑落することでその不安定を解消している。またこの断層が動く際にはM7以上の地震が起きることもある(Lipman et al., 1985など)。この断層の深部での行方は不確定であるが、それは恐らく、途中で逆断層にセンスを転じ、断層から南側に部分を海側へ押し出していると考えられており(Moore and Chadwick 1995など)、この部分をHilina slumpと呼んでいる。この考えはあたかも沈み込み体の付加体に類似した構造を呈しているというものである(図2)。また、これまでの調査では、このKilauea火山の南側斜面は先述のNuuanu slideの様な山体崩壊を起こしておらず、その状況は山体崩壊前の状況を知る上でも重要な海域でもある。しかし、この海域でも過去にドレッジ等による調査は行われており(Moore and Fiske 1969など)、また1992年に米国の潜水船Sea Cliffによる調査が一部で行われたが、殆どの部分はこれまで、人間の目に触れたことのない部分であった。

Kilauea火山の火山活動は山頂火口と、そこから東と南

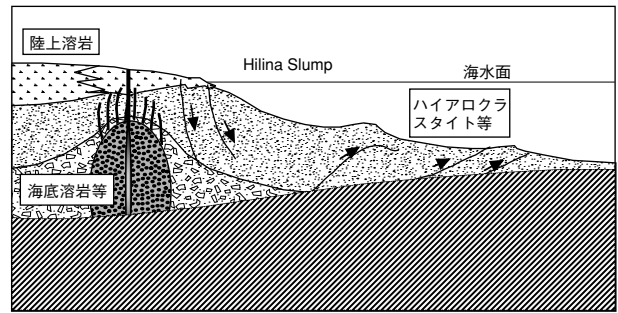


図2 ハワイ島南部の模式断面 (Moore et al., 1995より)

Fig. 2 Schematic cross section of southern part of Hawaii island (modified after Moore and Chadwick, 1995)

西に延びる2本のリフト沿いに起こっている。その内、東リフトの方が活発で、その延長は120kmに達している。しかし、ここでも水深が2000mを超える部分ではこれまでに潜航調査が行われたことはなかった。

現在ハワイホットスポット火山の最も初期段階にあり、最南端に位置するLoihiも1955年に始めて海底火山に記載されていた(Emery 1955)。それがハワイホットスポットの火山であると認識されたのは1970年代の後半になってからであり、その後集中的にハワイ大学等により調査が実施され、その山頂では熱水の存在も確認されていた(Malahoff et al., 1982など)。しかし、1991年のロシアの潜水船MIRが2000m以深で調査した他は、ハワイ大学の所有する潜水船PICESE 5は2000m級のためその調査範囲は水深約960mの山頂付近などごく限られた範囲であった。

また、Loihiでは山頂付近で1996年に観測記録のある内で過去最高の地震活動が起こり、その後の調査でごく少量の玄武岩の噴出を伴う噴火があり、それによって山頂部に深さ約300mの陥没孔Pele's pitが発生した(The 1996 Loihi Science Team, 1996, Garcia et al., 1997)。またこの活動後陥没孔内では約200℃の熱水活動が確認されたが、その後徐々に沈静化している。Loihiにも南北にリフトがありその南側の地形が顕著である。この1996年の活動は山頂付近に限られているように思われたがそのリフトでの活動の有無にも興味をもたれていた。

また、1991年のMIRの調査では南リフトの延長にあたるところで、熱水活動域が認められていたが、その際には試料採集等は行われていなかった。

### 3. 調査結果の概要

平成10年度は「かいいい／かいこう」で11年度は「よこすか／しんかい6500」による調査が実施されたがここでは、各領域について、これらの結果をまとめて報告する。

#### 3.1. Nuuanu, Wailau slideとオアフ島、モロカイ島北側斜面海域。

オアフおよびモロカイ島北方海域では98年にシービームによる海底地形調査をまず実施しその結果から10回の

ドレッジを行った。それらの結果から「かいこう」による潜航調査を2回実施した。また、最大の地回りブロックであるTuscaloosa海山とWailau slideの最もモロカイ島よりのブロックの上の平頂部とオアフ島から約200kmと300kmの地点合計4点でピストンコアによる柱状堆積物採取を行った。

また99年は98年の範囲をさらに広げてシービームによる海底地形調査を行った。その結果図2は示す様に、海底地形調査はこれら2つの地回りのほぼ全域において実施できた。なお、潜航調査等の地点も合わせて図3に示した。

ドレッジはTuscaloosa海山を含む、地回りの流れ山と見られるブロックで6回実施した。

Tuscaloosa海山で「かいこう」およびドレッジにより得られた岩石はかなり発泡した一部円礫のハワイ諸島の火山起原と思われる玄武岩やそれらの円礫を含む礫岩であった(写真1)。そのため、「しんかい6500」による潜航調査を行うまでは陸上噴出の溶岩の露頭が観察されるものと考えられた。しかしTuscaloosa海山を含む他のNuuanu slide Wailau slideの流れ山と見られる岩体における「かいこう」と「しんかい6500」の潜航調査では陸上溶岩と見られる露頭はなく、観察されたものは写真2のように、裂かの発達した火山性の塊状の角礫岩と写真3の様なほぼ斜面の平行

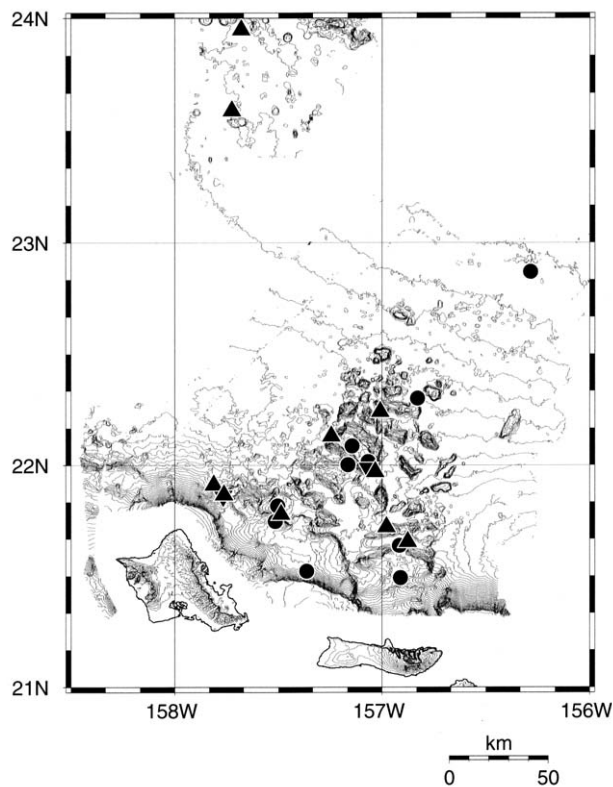


図3 オアフ、モロカイ島海域海底地形図  
 三角は「しんかい6500」、逆三角は「かいこう」の潜航調査地点を示す。丸はドレッジとピストンコア(P2は範囲外)の地点を示す。

Fig. 3 Bathymetry of north of Oahu and Molokai islands.  
 Triangles indicate the SHINKAI 6500 dive sites and reverse triangles indicates the KAIKO dive sites.



写真1 オアフ島北方Nuuanu slideのTuscaloosa海山東側斜面水深約3200mで採取した大きな気泡を持つ玄武岩礫

Photo 1 Comparatively large vesicule having basalt boulder from east flank of Tuscaloosa seamount at the depth of 3200m collected by KAIKO Dive #90

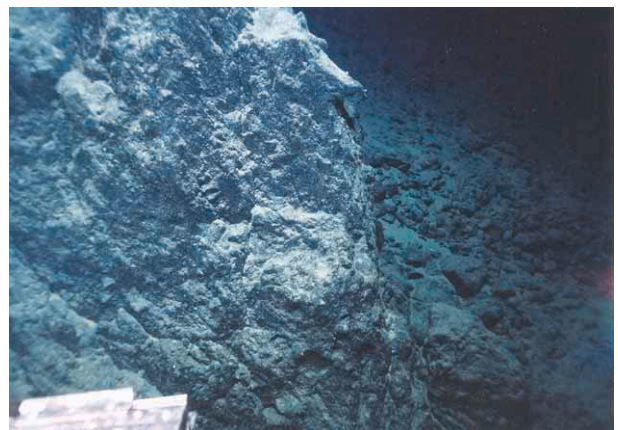


写真2 Tuscaloosa海山東側斜面(水深約3400m)の裂かの発達した露頭

Photo 2 Fractured outcrop photo on the eastern side of Tuscaloosa Seamount at the depth of about 3400m took by KAIKO Dive #90

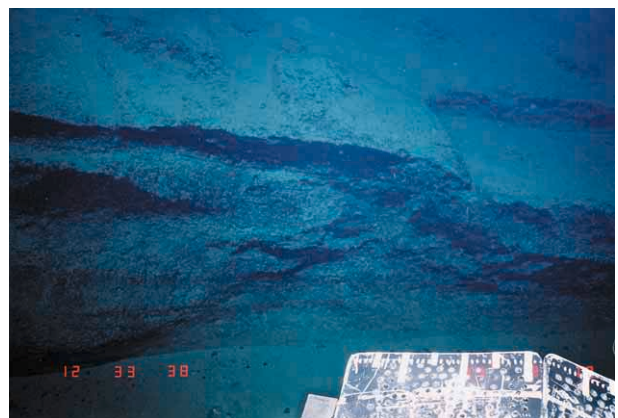


写真3 Nuuanu slide, 最もオアフ島よりのブロックの斜面で観察されたよく成層した火山性の堆積岩露頭(水深約3300m)。

Photo 3 Well bedded volcaniclastic breccia or conglomerate on the flank of the nearest block to Oahu (at the depth of about 3300m).

に良く成層した礫岩が観察された。前者の礫岩はおそらく、オアフ島やモロカイ島を構成していた火山の海面下部分を構成する、海岸線等で形成される火山性の碎屑物（ハイアロクラスタイト等）部分に相当する、地這りに伴う流れ山本体と思われる。一方後者は、地這りによって発生した懸濁物と伴に堆積した堆積物と思われる。しかし、Wialau slideで最もモロカイ島に近い岩体では他の潜航調査を行った岩体とは異なり、この後者の堆積岩の下位には枕状溶岩が観察された。従ってこの岩体はハワイ諸島の火山体の下部を占める水中噴出の溶岩からなる部分に由来するものと考えられる。

一方、オアフ島北側斜面ではドレッジにより、枕状溶岩

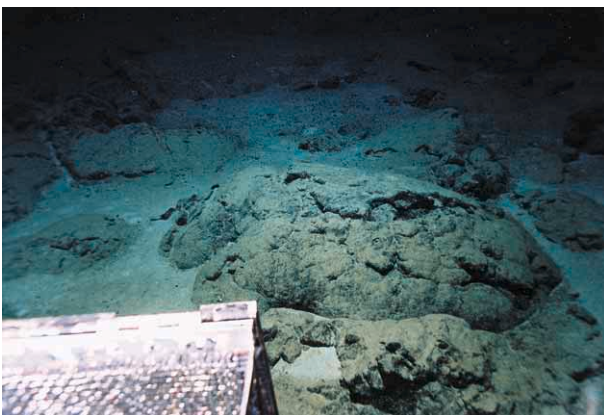


写真4 Koolau火山北側斜面（水深約2700m）の枕状溶岩の露頭  
Photo 4 Pillow lava outcrop on the north flank of Koolau volcano at the depth of about 2700m collected by KAIKO Dive #89.

の破片が水深3000から2500mの部分で採集された。そこで、「かいこう」と「しんかい6500」による潜航調査を水深2700m付近で実施した。ここでも、斜面に平行に成層した礫岩が観察されたが、写真4の様に、よく構造を残した枕



写真5 オアフ島北東方約200km（水深約4300m）で採取したピストンコア（P3）。恐らくNuuanu slide起源と見られる黒色の火山砂層が含まれている。

Photo 5 Piston core sample from 200km northeast of island of Oahu (4300m), which is mostly composed of pelagic brown clay and black colored volcanic sand layer.

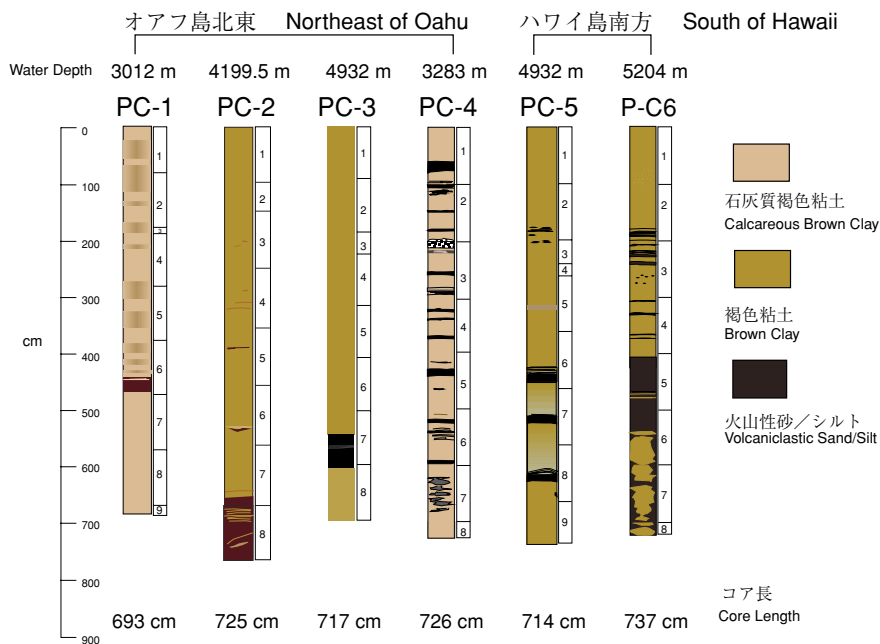


図4 柱状試料岩相図  
Fig. 4 Lithology of piston core samples

状溶岩の露頭が観察された。また、採集された試料はドレッジも含め比較的発泡度の低い玄武岩で、ピクライト質のものも含まれていた。この、溶岩の露頭はKoolau火山のこれまでで最も下位の試料の可能性がある。

柱状堆積物試料の内オアフ島から約200km(写真5)と300km付近のものは主として褐色の遠洋性粘土から成るが、その最下部にハワイ諸島から由来したと思われる火山砂あるいはシルト層が存在した。これらの火山砂の起原が特定ができ、Nuanu slide, Wailau slideとの対応が分かれば、この2つの大きな地帯の形成年代が特定できるかも知れない。また、Tuscaloosa海山の上の試料の下部にも火山砂層があるのでこのコア試料の下部の年代は少なくともNuanu slideの年代の上限を示すものと期待される。なお、コア試料の岩相を図4に示す。

### 3.2. オアフ島北方北アーチ火山地域

北アーチ火山地域ではUSGSによるGLORIAによるサイドスキャン図を基に、噴火位置と思われる部分を含む海域で99年にシービームによる海底地形調査を行った。その結果から、2つの噴火口と考えられる地点を選定し、2回の「しんかい6500」による潜航調査を行った。

1つは比高約200mの小丘で(第502潜航)で、潜航はその麓の平坦部を含み行われた。その結果、平坦部では写真5のように枕状溶岩やシートフロー溶岩が観察された。一方小丘では枕上溶岩のほか、枕状溶岩の破片を含む数10cm大の角礫(一種のハイアロクラスタイト)が優勢であった。

もう1つの潜航は直径約800mで深さ約260mの陥没孔で行われた。陥没孔の底とそれから100m以上の範囲では露頭はみとめられず、数m以上の大きな角礫が点在していた、陥没孔縁から深さ約120mの部分では写真6の様にシートフローや枕状溶岩からなる溶岩の露頭が連続して観察され

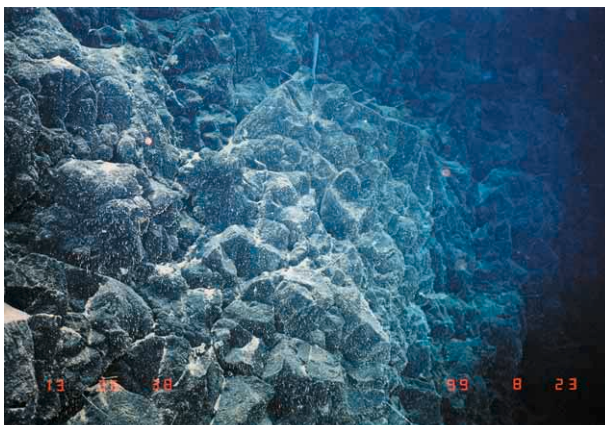


写真6 オアフ島北方、北アーチ溶岩地域にある火山性と思われる陥没孔の内側側面で観察された溶岩の露頭(水深約4450m)。

Photo 6 Cross cut surface outcrop of lava flows observed on the steep inner wall of a pit crater in the north arch volcanic field, north of Oahu (at the depth of about 4450m).

た。また、陥没孔より外側ではシートフローの等の溶岩が観察された(写真7)。

採取された岩石の多くは、4500mを超える水深にかかわらず、Clague et al., (1990)の報告同様、極めて多孔質であった。

### 3.3. ハワイ島南方海域

ハワイ島南方海域ではこれまでのシービーム等の測深結果を取りまとめた海底地形図が既に公表されていた(Chadwick et. al., 1993など)。その結果をもとに、98年に「かいこう」による潜航調査を4回実施した。また、ハワイ島から南東方約80kmと170kmの地点でピストンコアによる柱状堆積物試料の採集を行った。また、99年にはこれらの結果を基に、「しんかい6500」による潜航調査を行った。

#### 3.3.1. Hilina slump海域

Hilina slumpは東はKilauea火山の東リフトとLoihiに挟まれた部分にあたる。先述の「かいこう」による潜航調査はこのHilina slumpの部分において3回、「しんかい6500」により6回実施された。また、Loihiを挟んだ西側のKilauea火山の南西リフトの延長にあたるPunaluu slideで1回の「しんかい6500」により、Hilina slumpの前面にある東西性の小海嶺において1回の「かいこう」により潜航調査が行われた。これら2回の潜航調査結果はHilina slumpと関連性が強いのでここで合せて結果を記述する。また、それらの潜航調査地点を図5に示す。

Kilaueaの南斜面のうちHilina slumpの部分は海岸線から急斜面が水深約3000m付近まで続き、そこから海側では一部に緩やかな海盆状の凹地地形を持つ平坦面がある。そこから更に再び急斜面が周辺のHawaii Deepへ続いている。ここでは、この平坦面から上の急傾斜を上部斜面、下

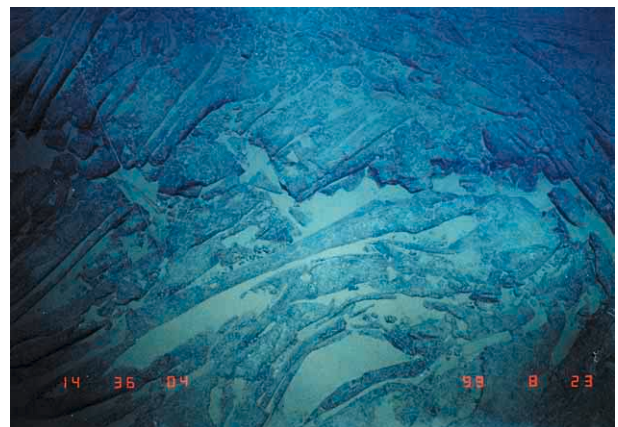


写真7 オアフ島北方、北アーチ溶岩地域で観察されたシートフロー溶岩(水深やく4350m)。

Photo 7 Sheet flow lava observed on the north arch volcanic field, north of Oahu (at the depth of about 4350m).

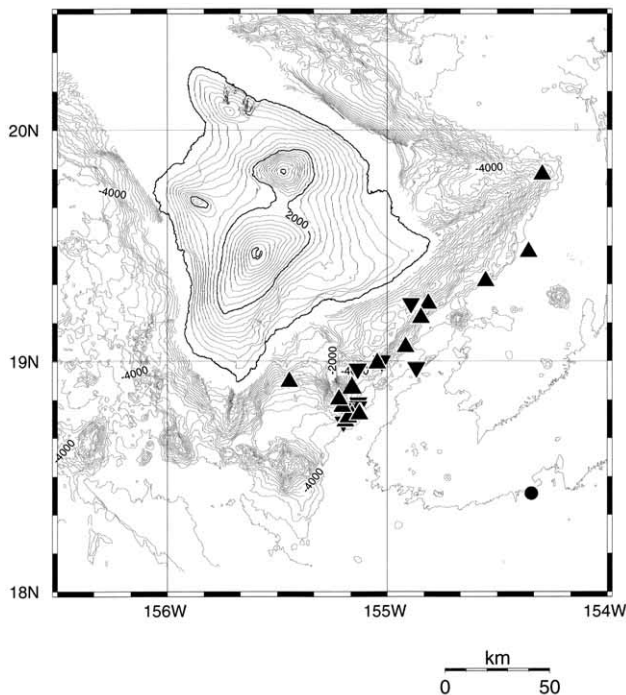


図5 ハワイ島南方海域海底地形図  
三角は「しんかい6500」、逆三角は「かいこう」の潜航調査地点を示す。

Fig. 5 Bathymetry of south of Hawaii island.  
Triangles indicate the SHINKAI 6500 dive sites and reverse triangles indicates the KAIKO dive sites.

の斜面を下部斜面とよぶことにする。この上下斜面は西側ではKilaueaの浅海部から由来した地回り体であるPapau (Fornari et al., 1979) とよばれる北西南東方向の小規模嶺に平行な海嶺に平行な急斜面で切られている。また下部斜面の方が北東-南西方向性で上部斜面が北北東-南南西方向のため、ハワイ島東端の南方で収斂している。

下部斜面では、写真8に示す様に、固結した礫岩～シルト質の火山性堆積岩からなっている。岩片は玄武岩質の火山岩が主で礫岩は角礫から亜円礫である。砂岩やシルト岩はよく成層しており、一般的に上方細粒化が認められる、礫岩からシルト岩のサイクルが数10から数100mの間隔でくり返すような印象がある。また全体としては下位に向い固結度が増す傾向がある。また、細粒な礫岩や塊状の砂岩の部分では良く摂理が発達しており、最も下部斜面の広い西側では下部を主として、写真9のように剪断され癖開が発達し、白色の鉱物で充填された脈も発達している部分が数個所で認められた。なお、Hilina slumpの下部斜面の表層の崖錐礫からハンレイ岩が採集された。

一方、上部斜面では、写真10に示す様によく構造の保存された、枕状溶岩等海底噴出と思われる玄武岩溶岩の露頭が観察された。また、Hilina slumpのとPuna 海嶺の境界部でも海底噴出の枕状溶岩等の溶岩が観察されたが、剪断され小断層や摂理が発達していた。



写真8 Kilauea火山南側Hilina slumpの下部斜面で観察された成層した火山砂砂岩層(水深約4400m)。

Photo 8 Well bedded volcanic sandstone outcrop observed on the lower steep slope of Hilina slump, south flank of Kilauea volcano (at the depth of about 4400m).

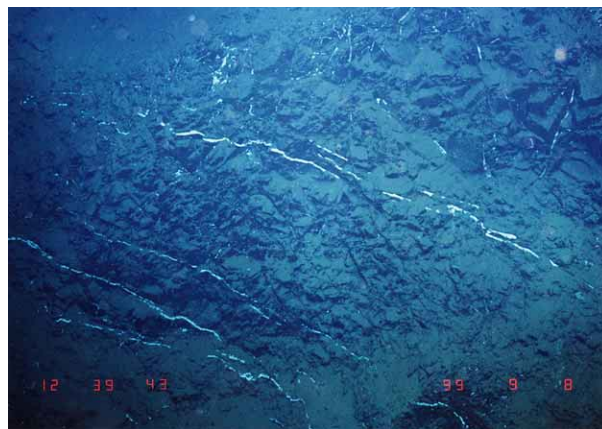


写真9 Kilauea火山南側Hilina slump下部急斜面で観察された裂かや癖開の発達した火山砂砂岩(水深約3550m)。

Photo 9 Fractured volcaniclastic sandstone outcrop observed on the lower steep slope on Hilina slump, south flank of Kilauea volcano (at the depth of about 3550m).



写真10 Kilauea火山南側上部斜面(水深約2800m)の枕状溶岩の断面露頭

Photo 10 Cross cut isolated pillow breccia or pillow lava outcrop photo on the upper slope of Kilauea south flank at the depth of about 2800m



Hilina slumpの海側にある東西性の小海嶺ではHilina slumpの下部斜面と同様な固結した火山性の堆積岩露頭が観察された。また、Punaluu slideではやや摂理の見られる溶岩が観察された。

Hilina slumpの下部斜面の剪断された堆積岩はMoore and Chadwick (1995)が示す、Kilauea火山のHilina 断層から南側の厚い堆積体が南へはり出すような動きで形成されたことを支持する結果と思われる。また、上部斜面の溶岩はKilaueaのリフトから出た溶岩がその上に流れたものと思われる。

ハワイ島南東方約80km (P6)と170km (P5)の地点でピストンコアにより堆積物の採取を行った。両方のコアとも遠洋性の褐色粘土を主とするが、P5では3層、写真11に示す様にP6では10数層のハワイ諸島起原と思われる火山砂層が採集された。

### 3.3.2. Kilauea火山東リフト

キラウエア火山東リフトは火口から東に延びハワイ島東端からさらに75kmまでのび深海盆に達している(この海底部をPuna海嶺と呼んでいる)。1998年に米国の調査船によりDeep Tow等による調査が行われた (Smith, D.K. et al, 1998)。その結果から海嶺上において噴火地形の認められる部分(水深約4200m)に於いて1回と、南側の基底においてGLORIAにより平坦な溶岩と思われる部分 (Holcomb et al, 1988, 水深約5600m)において1回の「しんかい6500」による潜航調査を行った。



写真11 ハワイ島南方約80km(水深約5200m)で採取したピストンコア(P6)。ハワイ島の火山起源と考えられる黒色の火山砂層が複数認められる。

Photo 11 Piston core sample from about 80km south of island of Hawaii at the depth of about 5200m which includes more than 10 black colored volcanic sand layers.

その結果はリフト上の部分では噴火地形と思われた部分で、比較的新鮮な枕状溶岩やシートフローなどが観察され数10mの深さの陥没地形やフィッシャーなども観察された。しかし一部で熱水性と思われる沈澱物は認められたものの、活動的な熱水活動を示すものは認められなかった。

一方、Puna海嶺南側基底部ではGLORIAにより得られていた溶岩と思われる部分で写真12に示す様に広範な部分でシートフローや枕状溶岩の露頭が良く観察された。この溶岩が作る地形は、潜水線から見える範囲のような、小さなスケールでは数mの起伏はあるものの、全体としては平坦であった。

採取された岩石は発泡はなく、他のハワイ周辺の大水深のものとは異なり殆ど無斑晶であった。

### 3.4. Loihi海山海域

Loihiでは、1996年の地震-噴火活動を挟んで、海底地形調査等は比較的良好に実施されていた。今回の調査でも「かいいい」、「よこすか」のシービームによる地形調査を行ったが、1996年の活動直後の海底地形図からは変化は認められなかった。98年の「かいいい」の潜航調査はこれ

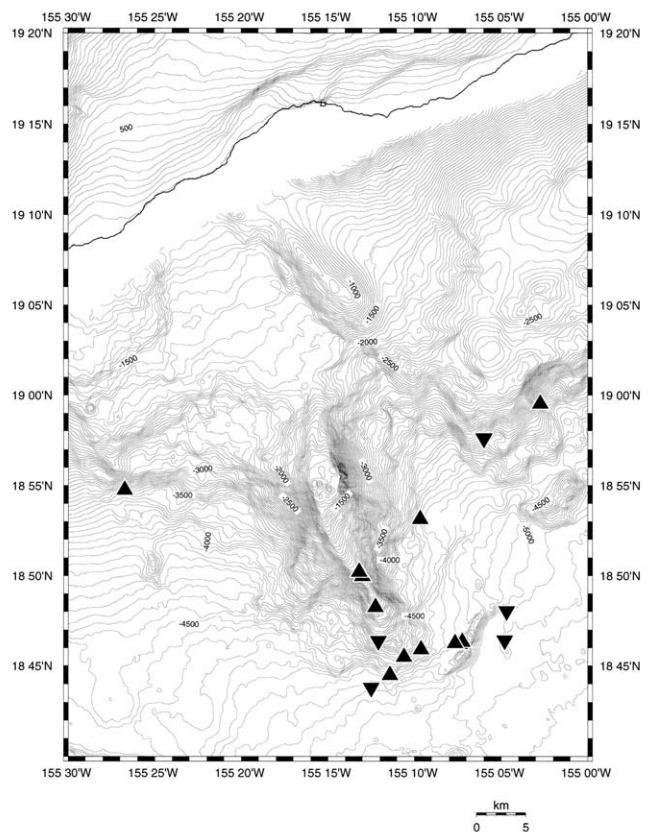


図6 ロイヒ海山海域海底地形図  
三角は「しんかい6500」、逆三角は「かいいい」の潜航調査地点を示す。

Fig. 6 Bathymetry of Loihi Seamount  
Triangles indicate the SHINKAI 6500 dive sites and reverse triangles indicate the KAIKO dive sites.

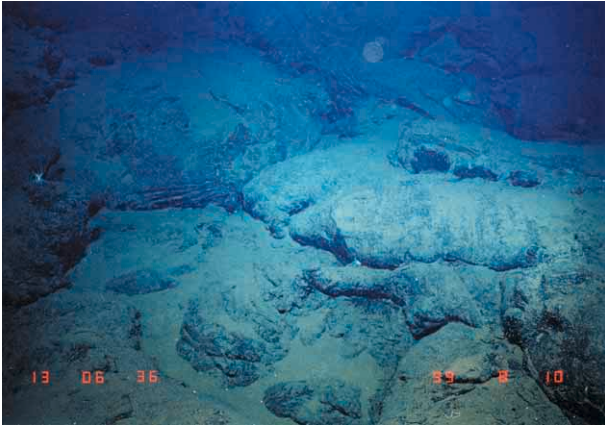


写真12 Kilauea東リフト(Puna海嶺)の南側基底で観察された溶岩(水深約5600m)。

Photo 12 Lava flows observed on the southern foot of Kilauea east rift (at the depth of about 5600m).

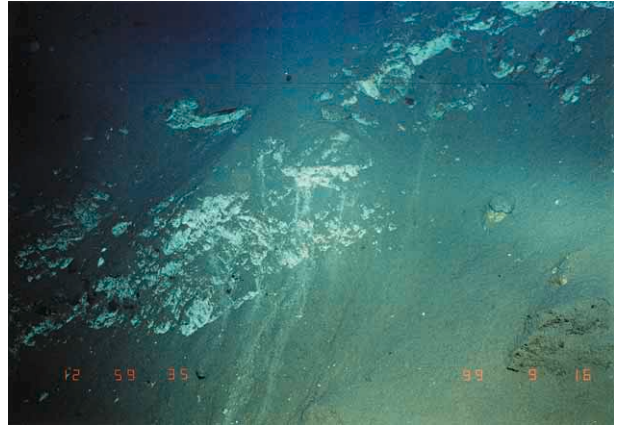


写真15 Loihi南方の小海嶺の北側斜面の粘土化した火山岩(碎屑岩?)の露頭(水深約4800m)。

Photo 15 Clayey altered volcanic rock outcrop on the small ridge, south of Loihi (at the water depth of about 4800m).

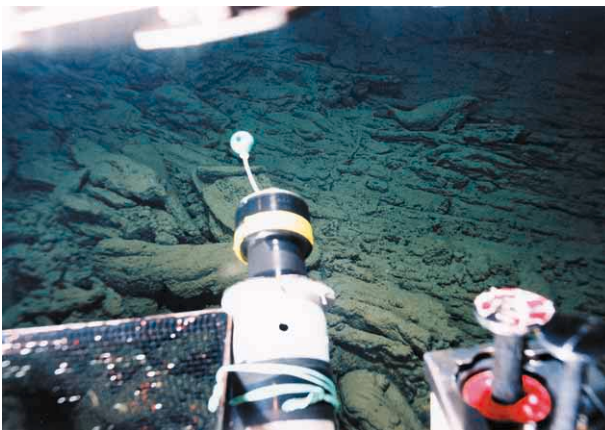


写真13 Loihi南リフト南端(水深約4900m)の縄状組織の認められるシートフロー溶岩

Photo 13 Ropy surface sheet flow lava outcrop photo on the south rift of Loihi Seamount at the depth of about 4900m.

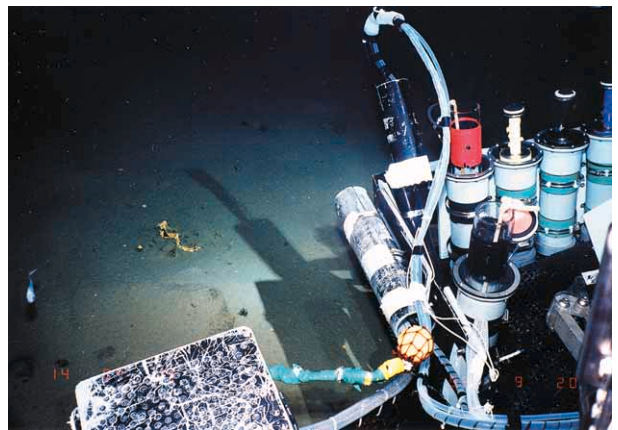


写真16 Loihi南リフト基底で観察された、湧水域(水深約4800m)。

Photo 16 Fluid seepage area around the southern end of south rift of Loihi Seamount (at the depth of about 4800m).

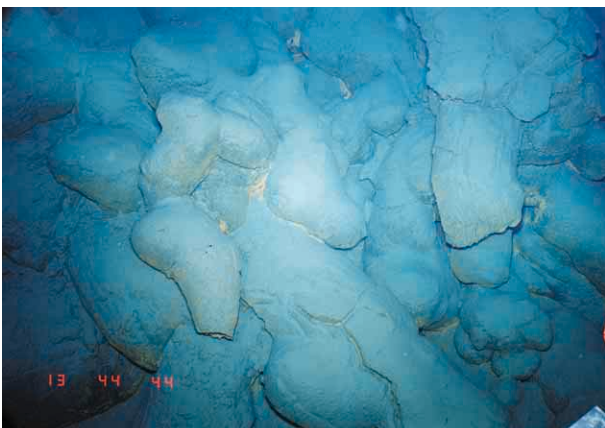


写真14 Loihi南リフト上の薄い熱水性の沈澱物を伴う枕状溶岩(水深約4400m)。

Photo 14 Pillow lava attached with thin reddish yellow hydrothermal deposit on the Loihi south rift (at the depth of about 4400m).

までに潜航調査実績のあまりない南リフトの水深4000mを超える部分で2回、1991年にMIRが見つけた熱水活動域周辺で2回の潜航調査を行った。99年は、火山地質の研究については98年の潜航調査結果の補完的調査を南リフトの水深2000m以深の部分で4回の「しんかい6500」の潜航調査を実施し、熱水関連の分野においては、98の潜航調査結果と99年9月に実施された、ハワイ大学の調査船 Kaimikai-O-Kanaloa (KOK) による Tow Yow 等による調査結果をもとに7回の「しんかい6500」による潜航調査を行った。それらの潜航調査地点を図6に示す。

南リフト沿いでは、熱水探索も合わせて、水深2000～2500m, 3000m, 4000m, 4400m, 4600m, 4800m付近で潜航調査が行われた。潜航調査結果は新鮮な枕状溶岩やシートフローが観察された(写真, 特に最もリフトの南端にあたる水深4800mの「かいこう」の第94潜航では、溶岩のチャンネルと思われるシートフロー溶岩が観察された(写真13)。また、リフト上の所々で小規模なイベントと見られる

枕状溶岩からなる小丘も認められた。リフトの2500mより浅くなると、ガラス質の火山性の砂が枕状溶岩などからなる窪み等で認められた。リフト上で得られた試料は概して水深が深くなるに従ってカンラン石の斑晶の量が多くなり、4000mを超えるとピクライト質となってくる。この傾向は他のハワイの火山でも認められるが、その変化はより深い部分で起こっているようである。

一方、南リフト沿いでは写真14に示すような、黄褐色の熱水性の沈澱物が溶岩に付着していることがしばしば認められたが、「しんかい6500」の潜航調査に先立って行われたKOKの航海で認められたMn異常付近を含め活動的な熱水域は認められなかった。1991年のMIRにより見つけられていた南リフト延長部における熱水域(ただしこの際は温度測定や、試料採集は行われていなかった)の調査を98年に「かいこう」の2回、「しんかい6500」の3回の潜航調査によって行った。

98年の「かいこう」および99年の「しんかい6500」の1回の潜航調査はLoihi南リフトの延長上にある北東-南西性の小海嶺の西側基底付近で行ったがここでは写真15のように粘土化した火山岩の露頭が認められたが、1991年に認められた熱水域は確認出来なかった。しかし、それより西側の平坦部の水深約4870mの部分で写真16に示すような黄褐色のスポットが約50mの範囲で分布しており、そのいくつかで海水の揺らぎも観察される湧水域を認めた。測定した最高の温度は6.9℃(周囲海水0.9℃)であった。また今回は黄褐色の沈澱物等の採集も行った。

#### 4. 調査結果のまとめ

##### 4.1. オアフ、モロカイ島北方

オアフ島から由来したと考えられるNuuanu slideの中で、最大の地回り岩体はTuscaloosa海山で、2回の潜航が1500mの高さのTuscaloosa海山の東西斜面で行われた。「かいこう」および「しんかい6500」で採取された試料と目視観察結果は、大きな地滑りブロックは溶岩流ではなく砕かれた溶岩の破片であることを示していた(火山砕屑物)。これは現在のKilaueaでの溶岩が海岸線を越えて海中に流入する際に海水と接触し急冷されて砕かれ、急な斜面を下る破片状の火山砕屑物或いはその固結した岩石と同種のものである。これらの火山砕屑物はハワイの火山の成長に伴い、海底の溶岩流の部分の上を広く覆う。「しんかい6500」の潜航はNuuanu slideの他のブロックと同様にモロカイ島の北に広がる同様な物質でできている大きな地滑り体でも行われた。このような破片状の物質はKoolauや東モロカイ火山が崩壊し、地滑りを起こさせる弱い基盤を作り出している。なお、1回はワイラウ地回りでは最もモロカイ島の近いブロックで行われたがここでは、枕状溶岩が観察されたため、このブロックは火山砕屑物より下位の海底の溶岩の部分と思われる。

「かいこう」による1回と「しんかい6500」による2回の潜航が地滑りにより挟まれて露出したKoolau火山の深部部分の岩石を調べるためNuuanu slideの南西端で実施され

た。「しんかい6500」1回の潜航では他のNuuanu slideと同様に溶岩の破片等が観察されたが、他の潜航ではかなり新鮮な枕状溶岩の露頭が観察された。この溶岩の露頭はKoolau火山の深部である海中部の可能性がある。

##### 4.2. オアフ島北方北アーチ

しんかい6500の2回の潜航は北アーチ火山地域の2つの溶岩の噴出場の考えられるところで行われた。一つの火口は陸上の軽石丘に似た、水中に噴出した溶岩の破片を伴う爆発的噴火と考えられるものであった。もう一つはKilauea火山のHalemaumauや1996年に出来たLoihiの陥没孔によく似た大きさの陥没孔で、その内壁には120mの厚さの若い溶岩が観察された。この潜航で溶岩の厚さに関する手がかりが得られ、その噴出量の見積もりが可能となった。

##### 4.3. ハワイ島南方Hilina slump

98年の「かいこう」の潜航では、その東部での上部の斜面では深海で噴出した枕状溶岩が観察されたのに対し、西部下部斜面では(おそらく海岸で形成されたと思われる)火山岩等の角礫を含む、角礫岩や砂岩が観察された。今年も東西でのそれらの関連をしらべた。ベンチ状の部分は基本的にハワイ島のKilauea等の陸上火山の海岸線等で形成された火山性の砂等の砕屑物からなるよく固結した堆積岩が形成しており、また、それらがかなり破碎された露頭が観察された。また、ベンチ状部の発達しない東側では、海底噴出の枕状溶岩が観察された。これらのことは、Kilauea(あるいはMauna Loa等や古い火山)の前面で堆積した火山砕屑物が沈み込み帯の付加体同様に付加してベンチ状部を形成した可能性を示している。またその付加体状の部分にその後のKilauea火山の東リフトの溶岩は載っていると考えられる。

##### 4.4. ハワイ島東方Kilauea東リフト

今回は2回の潜航をKilauea東リフトの海中部であるプナ海嶺で行った。

一つは潜航はプナ海嶺の最深部に近い約4200mの水深の部分の大きな溶岩ベンチで行われた。その結果比較的鮮やかな枕状溶岩等が観察された。

もう1回の潜航はPuna海嶺の南東縁の水深が約5600mのところで行われた。ここでは特徴的な海底地形がないにもかかわらず広く若い溶岩が分布していた。

##### 4.5. ハワイ島南方Loihi海山

今回はLoihiの南リフトを中心に水深2000mを超える部分で潜航調査を行った。

「かいこう」の2回と「しんかい6500」4回は南リフトの2000m以深においてこれまでの潜航調査が行われていない場所を中心に潜航調査を行い、その火山地質の調査と岩石試料の採集を行った。これらの潜航では、新鮮な枕状溶岩等の玄武岩を観察した。採取された玄武岩の試料

で4000mより深い部分で採取されたものは非常にカンラン石に富んでいる。この様なカンラン石に富んだ岩石はふつうハワイの火山では下部に多く存在するが、Loihi場合その変化がKilaueaやMauna Loaより更に深い水深の部分で起きている

「かいこう」の2回と「しんかい6500」6潜航は1991年にMIRにより発見されていた熱水域周辺において潜航調査を行った。

南リフトの水深2400~2200mと4400m付近では、溶岩に黄褐色の熱水沈澱物が付着していることが認められたが、活動的なものは認められなかった。一方、南リフトの延長部の水深約4800mの部分で、細粒の堆積物からなる平坦な海底で黄色の沈澱物の数~数10cm大のスポットが点在する部分を発見し、そこで周囲の海水より約6℃高い湧水を確認し、MIRでは採集出来なかった、沈澱物と湧水の採集を行った。

#### Reference

- 1) Chadwick, W. W., Smith, J. R., Moore, J. G., Clague, D. A., Garcia, M. O., Fox, C. G. "Bathymetry of south flank of Kilauea volcano, Hawaii", U.S. Geol. Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-2231 (1993).
- 2) Clague, D. A., Holcomb, R. T., Sinton, J. M., Detrick, R. S., Torresan, M. E. "Pliocene and Plistocene alkalic flood basalts on the seafloor north of the Hawaiian islands," Earth Planet. Sci. Lett., **98**, 175-191 (1990).
- 3) Emery K. O. "Submarine topography south of Hawaii," Pacific Science, **9**, 286-291 (1955).
- 4) Fornari D. J., Moore, J. G., Calk, L. "A large submarine sand-rubble flow on Kilauea volcano," Jour. Volcanol. Geother. Res., **5**, 239-256 (1979).
- 5) Garcia, M. O., Rubin, K. H., Norman, M. D., Rhodes, J. M., Graham, D. W., Muenow, D. W., Spencer, K. "Petrology and geochemistry of basalt breccia from the 1996 earthquake swarm of Loihi seamount, Hawaii: magmatic history of its 1996 eruption," Bull. Volcanol., **59**, 577-592 (1998).
- 6) Lipman P. W., Lockwood J. P., Okamura R. T., Swanson D. A., Yamashita K. M. "Ground deformation associated with the 1975 magnitude-7.2 Earthquake and resulting changes in activity of Kilauea volcano, Hawaii," USGS Prof. Paper, **1276**, 1-42 (1985).
- 7) Malahoff A., McMurtry G.M., Wiltshire J. C., Yeh H-W. "Geology and chemistry of hydrothermal deposits from active submarine volcano Loihi, Hawaii," Nature, **298**, 234-239 (1982).
- 8) Moore, J. G., Clague, D. A., Holcomb, R. T., Lipman, P. W., Normark, W. R., Torresan, M. E. "Prodigious Submarine Landslides on the Hawaiian Ridge," Jour. Geophys. Res., **94**, 17465-17484 (1989).
- 9) Moore, J. G., Normark, W. R., Holcomb, R. T. "Giant Hawaiian Underwater Landslides," Science, **264**, 46-47 (1994).
- 10) Moore, J. G., Fiske, R. S. "Volcanic substructure inferred from dredge sample and ocean-bottom photographs, Hawaii," Geol.Soc.Amer.Bull., **80**, 1191-1202 (1969).
- 11) Moore, J. G., Chadwick, W.W. "Offshore geology of Mauna Loa and adjacent Areas, Hawaii," AGU Geophys. Mongr., **92**, 21-44 (1995).
- 12) Smith, D. K., Kong, L. S. L., Johnson, K. T. M., Reynold, J., Puna Ridge cruise participants "A Datile Investigation of the submarine Puna Ridge, Kilauea volcano," AGU Fall Meeting Abs., F1022 (1998).
- 13) The 1996 Loihi Science Team "Researchers rapidly respond to submarine activity at Loihi volcano, Hawaii," EOS, **78**, 229-233 (1997).

(原稿受理: 2000年1月24日)