

水中火山岩の地質に関するペンローズ会議報告

山田 營 三 (地 殻 熱 部)

1. ま え が き

米国地質学会主催の水中火山岩の地質に関するペンローズ会議が 1977年11月28日から12月2日まで ロサンゼルス北西約 100km にあるサンタバーバラのミラマールリゾートホテル (The Miramar Resort Hotel) で開催された。

この会議は カリフォルニア大学サンタバーバラ校の Richard V. FISHER 教授の提唱で 同教授およびカナダのケベック大学の Erich DIMITRI 教授が召集者 (Convener) となり 約 70 名の地質家が出席し行なわれた。日本からの出席者は筆者のみであった。

ペンローズ会議 (Penrose Conference) は ペンローズ氏の遺産により米国地質学会が 地質学の分野においてテーマを決めて非公式の討論を行ない 専門家間の自由なアイデアおよび理念の交流をはかる目的を持っている。したがって 出席者全員が同じホテルに泊まり込み 正式の講演以外に朝昼夕食を共にしながら意見を交換するようになっていく。

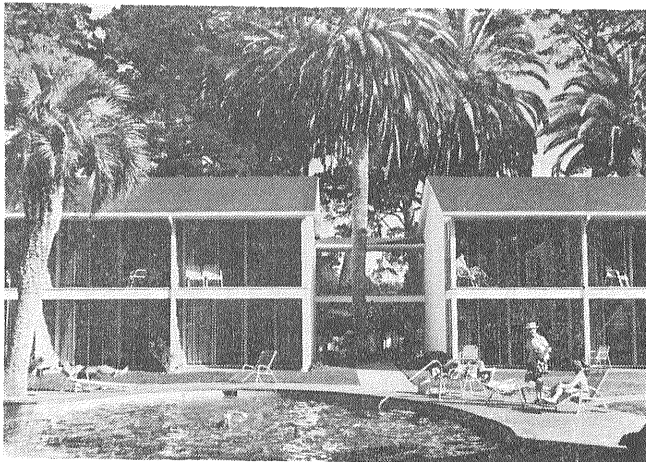
会議は 11月30日に野外巡検で水中火砕流堆積物 溶結凝灰岩および枕状溶岩とハイアロクラスタイトなどを見た他は 初日と最終日を除いて毎日朝 8時から夜10時まで行なわれ 食事をしながらもお互いに討論が行なわれた。それでもまだ足りない人々は 特別に用意された部屋で さらに遅くまでビールなどを飲みながら議論を

行なった。なお FAMOUS 計画 (The French-American Mid-Ocean Undersea Study) の映画および枕状溶岩の出来方を水中カメラでとらえた Fire under the sea: the origin of pillow lava の映画も夜上映された。

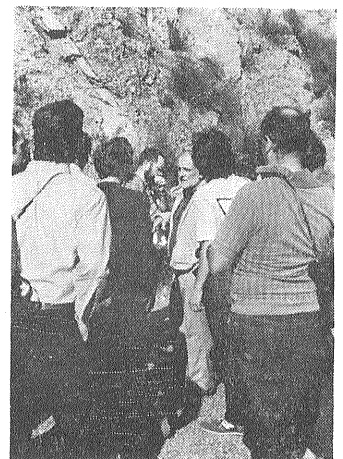
2. 水 中 溶 岩

玄武岩の pillow lava (枕状溶岩) の形態とその生成機構が米国地質調査所の J. G. MOORE によって論じられ ハワイで水深 4~38m の海底で枕状溶岩が生成されて行く過程を水中カメラでとらえた映画が上映された。1枚の枕状溶岩の連続性および側方変化については 15 km 以上も続いている例などが報告された。また 1つのピローの内部構造について 気孔 (Vesicle) はピローの上部に濃集している いや周辺をとり巻いて分布しているなどの意見があった。枕状溶岩のピローとパホイホイ溶岩 (Pahoehoe lava) の toe の識別についても活発な議論があり パホイホイの toe の方が扁平な形をしており ガラス質殻 (glassy rind) の厚さが全体に薄く また厚さが一様でない。また パホイホイ溶岩の上部には酸化されたスコリア (oxidized scoria) があるなどの意見が出された。

先カンブリア紀の玄武岩にみられるアメーバー状溶岩 (amoeboid lumps) の例や ガラス質基質中に卵および



写真① サンタバーバラの the Miramar Resort Hotel の一角。会議期間中ここに全員泊まり込んだ。会議場 レストランもすべて同ホテルのものを使用し行なわれた。12月なのに非常に暖かく まだプールで泳いだ。



写真② 水中火砕流堆積物 (obishop tuff) の前で討論を行なう R. V. FISHER 教授(中央こちら向きの人) 後ろの露頭には水中火砕流堆積物の 1ユニットの基底部が見えている。

ジャガイモ形をした玄武岩 (basalt eggs and potatoes in glassy matrix) が含まれている例などが紹介された。また 深海底掘削 (DSDP) で玄武岩質海底火山堆積物中に枕状溶岩以外にかなり多量の塊状溶岩 (massive basalt flow) が挟まっていることが明らかとなり その生成機構が論じられた。アイスランドでは 枕状溶岩が熱水の貯溜層になっており 透水性はピローの径の大きさに関係しており 一方それはマグマの化学組成に関係している といった地熱への応用を考えた発表もあった。酸性水中溶岩については わずかに一つの講演があったのみで 溶岩が酸性なほどピローの径が大きくなり 径は7m~900mにも達し 内部から外部へ石質流紋岩 (lithic rhyolite) 流理構造を持つ浮石質帯 (flow banded pumice zone) オブシディアン帯 (obsidian zone) があり 浮石が基質部をうめているといった報告であった。

3. 水中への溶岩の流入

ハワイで玄武岩溶岩が海に流れ込んだ時 溶岩の表面が急冷され溶岩チューブ (lava tube) が生じそれを通じて溶岩が海中に流れ込んだか その溶岩チューブ内に水がはいった時 水蒸気爆発を起したという例が米国地質調査所の D. W. PETERSON によって報告され Littoral cone の生成機構との関連が論議された。カリフォルニア大学の R. V. FISHER は Littoral cone の中には5日で200mの高さに達したものがあり これは多数の層 (layers) からなっており 構成粒子は飛ばされた時固体であったものと粘性の低い液体状のものが混在していること Littoral cone は多数回の水蒸気爆発がある限られた範囲に起こり生じたものである という意見を述べた。

水蒸気爆発の起きる条件については Sandia Labora-

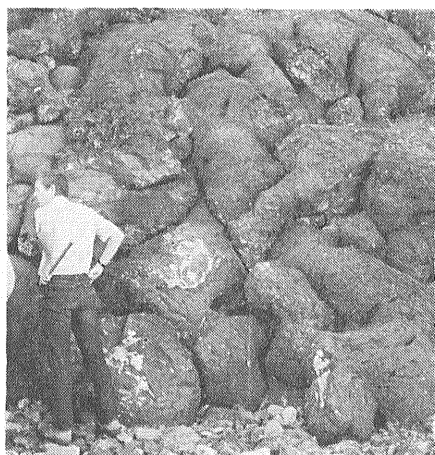
toryの人々による室内実験が注目を集めた。それによると まずサンプル内部からのガスの発生により 破砕 (fragmentation) が起こりサンプルの表面積が増大する。その結果周囲の水が瞬間的に気化し水蒸気爆発が起こるという結論であった。熱応力破砕 (thermal fragmentation) は やや時間がかかり起こる現象で 実験では瞬間的に圧力が上昇したので熱応力破砕はおこらなかったのではなかろうか また水蒸気爆発を起こすに必要な水の量は少量でよい などの意見が述べられた。

マイアミ大学の J. HONNOREZ は ハイアロクラスタイト (hyaloclastite) とハイアロタフ (hyalo-tuff) を区別することを提唱した。ハイアロクラスタイトは 無気孔 (nonvesicular) で割れ口は真すぐ (straight section) で隣接する破片が相接触する割れ口を示していることがあり ピローの周囲がはげ (spalled pillow rim) で乱流によりふるわれ枕状溶岩の上部に堆積し生じるといった 爆発によらない過程で生じた火山碎屑物である。一方 ハイアロタフは 気孔を持ち爆発に伴い生じた火山碎屑物である。すなわち ハイアロクラスタイトは熱応力破砕の産物であり ハイアロタフは水蒸気爆発ないしいわゆる火山爆発の産物と言うことになる。

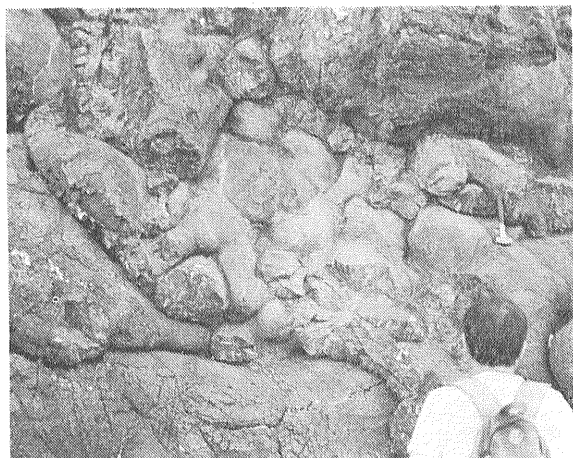
溶岩と水との接触により起こる現象は多様であり 溶岩の供給量 水にはいる時の崖の傾斜 波の状態などによって異なること また パホイホイ溶岩の Toe が引き潮により生じた水たまりにはいった時は 溶岩からの熱は極めて除々に水に伝わったことが報告された。ペペライト (Peperite) の成因および定義などについての議論もあった。

4. 水中火砕流堆積物

水中火砕流堆積物が噴火地域から遠ざかるにしたがい



写真③ Franciscan Group 中の枕状溶岩の表面。



写真④ Franciscan Group 中の枕状溶岩。断面がみえるピローは放射状節理が発達している。写真左中央部では 1つの flow が2つに枝分かれしていく状態が観察出来る。

どのように層相を変化させるか また 水中火砕流堆積物の特徴的な垂直岩相変化(vertical facies sequence)について報告し 水中火砕流堆積物の多くが陸上噴火による火砕流が水中に流入したものであり 深海では火砕噴火(pyroclastic eruption)は起こり得ないこと 水中噴火の場合は浮石の発ぼう度が悪いこと また水中火砕流の流動堆積機構は 高密度乱流(high density turbidite)と同様の機構と考えられること などの報告を筆者が行なった。これに対して 水中火砕流堆積物の上部を構成しているラミナを持つ部分が厚すぎるので それについては別の成因を考える必要があるのではないかと言った意見も出されたが 総じて筆者の意見を裏づけるような事実が多く報告された。たとえば 水中火砕流堆積物中にしばしば発見されるアクリーショナリラピリ(accretionary lapilli)は 陸上噴火ないし極浅海で噴煙柱が水を押しのけて空中に通じた場合のみに生じること Kich'em Jenny 火山では 水深200mでの海底噴火により火山砕屑物が海面をつき破って放出されたが この砕屑物は非常に気孔が少なかった(low vesicularity)ことなどが報告された。そのほか 火砕流が水中に流れ込んだ場合でも 下部は溶結した溶結凝灰岩を生じ得るかどうか議論された。また 海底で採取されたコアにより得られた火砕堆積物と陸上の噴出源との対比が行なわれ 100kmに渡る運搬があったこと ニュージーランドでは 200km³に達する細粒火山灰の噴火があったと考えられること 空中降下火山砕屑物にも逆グレーディング(reverse grading)が良く認められることなどが報告された。

5. 水中火山岩の変質および化学

海底での変質は ① 海底風化(sea-water weathering) ② 初生変質(deuteric reaction) ③ 割れ目変

質(fracture infiltration) ④ 海底変成作用(sea-floor metamorphism)があり ①は低温でその他はやや高温下での変質であること および海底地殻(ocean crust)の層状構成と岩石の変質程度について報告があった。

パラゴナイト化作用についていくつかの報告があり いわゆるパラゴナイトは玄武岩質火山ガラスが変質したもので内側から外側へ calcite, phillipsite, smectite (黄～赤色) 酸化チタン(茶色)といった変質鉱物の帯状分布が認められることが報告された。また 最近の噴火で生じた Surtsey 火山における パラゴナイト化に関する研究が報告され パラゴナイト化は水蒸気による熱のあるところで認められることが報告された。

酸性水中火砕岩の変質については Eocene～Miocene の地層の例が報告されたのみで 初期の変質で clinoptilorite が出来後に mordenite が生成した様子を走査電子顕微鏡写真で説明していた。

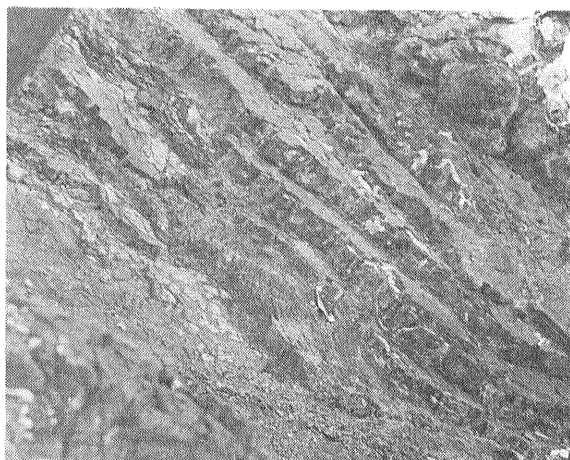
海底火山のマグマの化学組成については 玄武岩はその噴出場所の構造的な位置すなわち海島(Oceanic island) 海洋底(Ocean floor) 島弧(Island arc) 大陸(Continent) などにより化学成分上明瞭な違いがあるという意見があり それに対し海洋底の玄武岩も陸上のものと同じように種々の玄武岩があると言った討論がなされた。

6. 水中火山作用に関連した鉱床

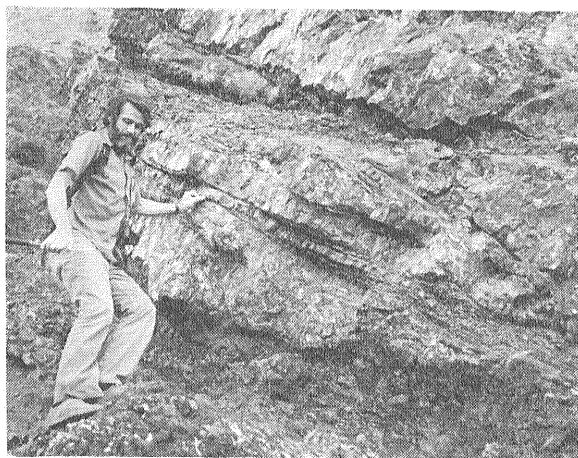
水中火山活動に伴って生じた鉱床として日本の Kuroko(黒鉱)の例がしばしば引用され カナダや米国でも同様の塊状硫化鉄体(massive sulfide)が特に流紋岩ドームの付近に生成している例が報告された。これらの鉱床付近には安山岩質および石英安山岩質の火砕岩類の発達が著しく また sericite, chlorite, carbonate などよりなる変質帯が認められる。これらの鉱床は 鉱せ



写真⑤ 接近して撮った模式的ピロー。



写真⑥ 非常に薄い玄武岩の溶岩がハイアロクラスタイトと互層して何枚も認められるが これは溶岩トンネルがつぶれて表層の殻がつみかさなって出来たという説明だったと思う。



写真⑥と同じような玄武岩の溶岩流の露頭の前で説明する J. G. MOORE.



写真⑧ Franciscan Group中のピローブレッチャに近い玄武岩熔岩.

ん鉱体 (disseminated sulfide) を伴うことがあり また 鉱化体の根もと (feeder mineralization or deep throat mineralization) があることが報告された。黒鉱鉱体は火山ガスの発散 (exhalation) により生じたという意見がカナダの地質家により述べられたが 鉱体鉱物の起源が海水か 火山ガスか 岩石中の元素の溶脱によるものかなどについては活発な議論の割には証拠となる事実の呈示が少なく内容が乏しいようであった。

塩基性水中火山に伴う鉱床として アラスカで大陸周辺部のオフィオライトに伴う フリッシュユのグレイワックケヤシルト岩に層状にはいたする硫化鉱体の例が報告された。

また 現世の水中火山活動に伴って生じた堆積物などの報告がロードアイランド大学の Sigurdsson によってなされた。それによると La Soufriere 火山では 径 1.5kmの火口湖中に安山岩質玄武岩が噴火し 300~3,0

00トンの水が蒸発し 湖水の塩濃度が100から2,000ppmに上昇した。急冷により生じた火山ガラスと斑晶鉱物が水中にはげ落ち対流し 緑色~オレンジ色でねばねばした 10μ の大きさの Fe_2O_3 と石コウからなる泥が堆積した。Kick'em Jenny 火山では 海面下200mで噴火が起り 海面上にまで噴出物を放出した。各噴火は 2~4日間続いた。角閃石と水分に富み気孔の少ない粗粒の岩片と共に緑色~オレンジ色の泥も堆積した。このような水中火山活動により塊状硫化鉱床も生じたのであろうという意見が述べられた。

7. あとがき

今回の会議を通じて いろいろな研究者と知り合い論文の別刷を交換したりして彼らの研究について学ぶことが出来た。会議の性格が限られたテーマについての専門家の集まりなので特に食事をしたりコーヒーを飲みながら1対1で話しをしていると率直に いろいろ意見が開けておもしろかった。ペンローズ会議は このような目的で開催されているため要旨集やProceedingsは発行されないのので この報告も小生が聞いた範囲の話しかもまとめたものである。

今回の会議のために連邦科学財団 (National Science Foundation) から約7,000ドルの支出があり それにより5人の地質家が招待された。お陰で筆者も出席することが出来たわけである。最後に会議の開催 運営から巡検に至るすべてに渡って尽力された Richard V. FISHER 教授に改めてお礼を述べたい。



写真⑨ サンタバーバラの海岸。 すぐ右手は会場のホテルの一角である。この付近の海水は非常につめたい。