

ハワイ・キラウエア火山—その2—

三村 弘二(地質部) 須藤 茂(地殻熱部) 曾屋 龍典(環境地質部) 松久 幸敬(鉱床部)
 Koji MIMURA Shigeru SUTO Tatsunori SOYA Yukinori MATSUHISA

4-2 Visitor Center

アメリカ本土の国立公園によくあるようにここにも公園に関するあらゆる情報案内を一手に引きうける Visitor Center (Hawaii Volcanoes National Park Headquarters, 第20図) が置かれている。合衆国地質調査所(USGS)と同じく内務省(Department of the Interior)に属し 何人かのパークレンジャーが配置され 愛想よく来訪者の質問に応ずる。公園の簡単な紹介パンフレットは無料。もっと詳しい資料 公園の歴史 鳥 虫 植物 地質などの自然紹介 写真集 絵ハガキ スライドなどが売られている。ことにわれわれを喜ばすのは最近のキラウエア噴火の8ミリと16ミリフィルムの販売で いささか高くつくが16ミリは音声入りである。

最も評判のよい出版物は MACDONALD と HUBBARD 共著の Volcanoes of the National Parks in Hawaii で Hawaii 諸島の成り立ちから噴火の特徴 歴史上の噴火等がカラー写真も含めて60頁そこそこの小冊子に手際良く紹介されている。新しい噴火を追って版を改めており 現在第7版。巻末には主な地質用語の解説と文献リストが収められている。

USGS 発行の地形図や地質図(24,000分の1 Kilauea Crater と Kau Desert, Mauna Loa の3枚が出版されている)も廉価で入手できるが 残念なことにハワイ島全体の地質図は 1946年以来絶版である。唯一それにかわるものとして 米国石油地質協会(The American Association of Petroleum Geologists)発行の Geological High-

way Map (50万分の1 1974年版)がある。いささか簡単すぎて満足できかねるが 何もないよりはましである。

1979年7月に訪れたときは あいにくこの Visitor Center は一部改築中であつたが 筆者の一人が1977年10月に訪ねたときは ハワイ火山の成り立ちと噴火の16ミリフィルムの上映に テープではなく実際に壇上で話してくれる説明があつて ハワイの火山のあらしを短時間でのみこむことができた。このあと訪問者は公園に散つて見学開始。思い思いの一日を楽しめばよい。ともあれ山頂のキラウエア・カルデラは目前である。ここから歩いて2・3分のカルデラ壁にある Volcano House に向かう足は思わず早くなる。

4-3 キラウエア・カルデラ

単調な楕状火山の斜面を登ることに慣れきつた眼にここ Volcano House からのカルデラの眺めは一転してまさに圧巻である。

この Volcano House はキラウエア山頂地域唯一のホテルであり 食事を提供してくれるのもここだけのため 多くの観光客が立ち寄つて行く。ここには白人が来る以前からハワイの住民によって小屋らしいものが作られていた。常夏の島とはいえ海拔約1200m しかも北東貿易風にさらされる山の東側にあるため 寒さと雨露をしのぐ小屋が必要だったのであろう。1823年に初めて白人の探険隊がキラウエアを訪れた時 ハワイの住民達はカルデラの崖縁に小屋を作つたので 探険家はな



第20図 ハワイ火山国立公園 Visitor Center ポールには星条旗とハワイ州旗がひるがえる



第21図 Volcano House 展望台からみたキラウエア・カルデラ 左遠方にハレマウマウ火口 右遠方カルデラ壁上に USGS 火山観測所がある 手前にはカルデラ壁を囲む環状割れ目の一部がみえる 雲のかかったスカイラインはマウナ・ロア

滅多に人に会うことがない。二人きりの世界もお好みのままである。

カルデラの囲りは Crater Rim Road (第23図) とよばれる車道が整えられていて この方はクルマの絶えることがない。一周約 25km。

では Volcano House を出てカルデラを反時計まわりに一周してみることにしよう。蒸気のたちのぼるサルファーバンク(Sulphur Banks)の脇を走り抜け 右手に星条旗のひるがえる米軍キャンプの小ぎれいな建物の散在する一面を過ぎ カルデラを半周程まわった所に合衆国地質調査所ハワイ火山観測所(USGS Hawaii Volcano Observatory 通称 H.V.O.)がある。

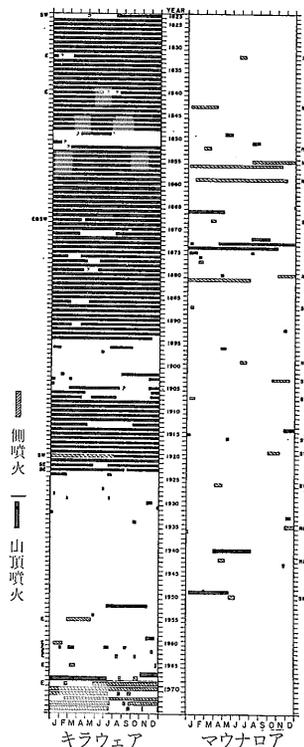
4-4 ハワイ火山観測所(H.V.O.)

H.V.O. の名は火山関係はもちろん 広く地球科学にたずさわる人ならば一度は耳にするであろう。その恵まれた立地条件を十二分に生かしたスタッフの献身的な活動により 火山観測・研究の最前線として今や広く世界的な評価を得るに至っている。

1912年初代所長の Dr. T.A. JAGGAR の創設になる H.V.O. は 当初資金ぐりをはじめとする運営面の困難に終始つきまとわれたという。施設は粗末なものであったろうことは想像に難くない。1948年に合衆国地質調査所(USGS)に最終的に移管された。

所長以下20名に満たないスタッフを収容する現在の建物(第25図)も胸をときめかせて初めて訪れる者にはいささか意外な位小さく 簡素な(みすばらしくすらある!)感じを与える。建物や機械さえ立派なものにすれば なんとなく素晴らしい研究が生まれてくるような錯覚におちいりがちな人々には すこし考えなおしてみるきっかけになるかもしれない。

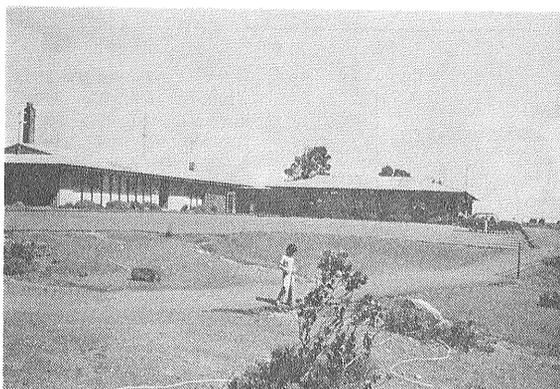
さきにふれた立地条件の素晴らしさは一目瞭然である。建物は キラウエア・カルデラの眺望をほしいままにで



第24図
ハワイ火山活動史のグラフ J~D は1月から12月を指す
(MACDONALD and HUBBARD, 1974)

きる北西のカルデラ壁の直上にある。ハレマウマウの火口はグンとクローズアップされ(第26図)その全貌を標準レンズの視野に納めることはもはや不可能である。建物のカルデラよりにはしっかりと展望台が整えられ訪れる人々のために簡潔な説明板が用意されている。観光客はたえないがガチャガチャ硬貨を入れて作動する望遠鏡や自動販売機はない。

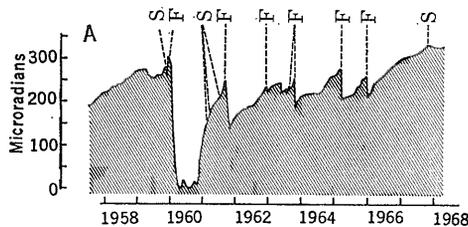
展望台の下にはここにもカルデラ縁に平行な環状の割れ目に沿って内側が階段状に落ち込んでいる地形がよく



第25図 ハワイ火山観測所(H.V.O.) 向って左の棟に研究室 右の棟に地震記録計 事務室 建物の右方がカルデラ壁に臨んだ展望台



第26図 H.V.O. 展望台から望むハレマウマウ火口(35mm 広角レンズ使用)



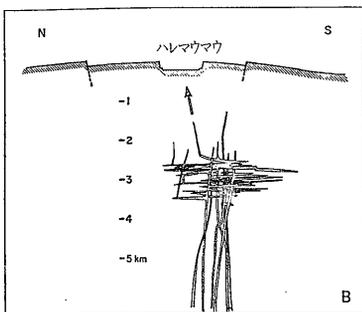
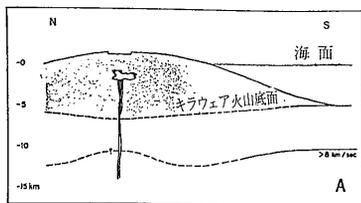
第27図 H.V.O. での東西方向の地面傾斜変化 (FISKE and KINOSHITA, 1969) 曲線の上昇は火山体の膨張を示す S 山頂噴火 F 側噴火

見える。

建物の展望台に面した側には H.V.O. の活動の説明板があり その横の大きなガラス張りの窓からは 3 台の地震計の記録ドラムが作動している室内がみえる。火山性の地震・微動は全島45カ所に設置された地震計からここに集約され わずかな変動も逃さず観測される。最近ではコンピューターの導入がすすみ 莫大な量のデータの蓄積と検索の他 極めて短時間の解析処理で 震源の位置・規模・応力の方向がプロットされる。ただ格段に金を食うようになったのが欠点とのこと。1956年以來水管傾斜計による山頂部の地殻変動も観測されるようになり 現在ではさらに気泡型傾斜計による観測と共に水準測量や辺長測量によって火山活動がモニターされている。

これらの観測によってハワイでは最近の噴火様式のモデルがほぼ確実に把握され 噴火の短期予報すら可能になってきている。その噴火の典型的順序は次のようなものである。後にのべる 1959 年のキラウエア・イキ (Kilauea Iki) の噴火はまさにその典型例であった。

- 1 まず噴火に先立つ数ヵ月から数年にわたって山頂部を中心とした火山体の膨張 (inflation) がみられる。絶え間ない地下からのマグマの供給でマグマ溜りの圧力が上昇 地底でペレーの女神の火の朝食が終りに近づきつつあることを示す。
- 2 山頂部に地震群が発生。身体に感じない程度だが発生頻

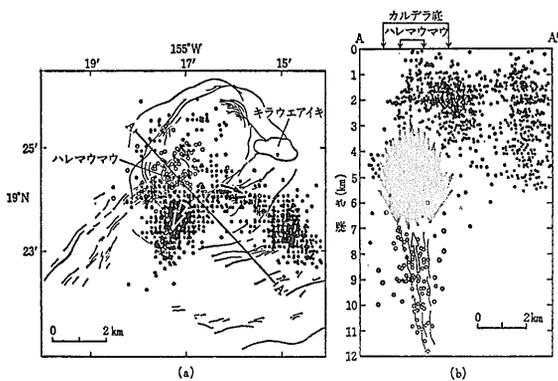


第28図 A キラウエア火山断面図 (FISKE and KINOSHITA, 1969) マグマ溜りは地下 2—3km に示されている B 推定されるマグマ溜り断面 矢印は1967年噴火を例にとったマグマの推定上昇経路

度がすこぶる大きい。やがて振幅も急激に大きくなり 火山性の微動をとまらうようになる。食事を終えたペレーが地表へ近づいてくる足音だ。そしてついに山頂噴火 (1回ないし数回)。

- 3 浅発地震群がリフトゾーン沿いに発生。震源域は次第に山頂から山麓に向かって移動していき マグマが山頂直下からリフトゾーンの下を移動し始めたことを示している。山頂の噴火はもはやない。
- 4 やがて震源域が集中してきた所に 火山性微動と共に裂け目が発生し リフトゾーンでの山腹ないし山麓噴火が始まる。赤く巨大な溶岩噴泉 (lava fountain) や 壮大な火のカーテン (curtain of fire) がみられる。このとき山頂部では急速な山体の収縮 (deflation) が起っており やがて噴火は終息する。やっとペレーの長い一日が終る。

何回かくり返される噴火と山体の膨縮との相関は第27図に示されるとおり実に美事である。このような地殻変動を説明する圧力中心の深さと水平位置の移動をもとに キラウエア火山の断面や マグマ溜りの断面が推定されている (第28図)。地震の情報からもこれとほぼ調和的なマグマ溜り断面が描かれる (第29図)。いずれもマグマ溜りの上部が地表からせいぜい 2—3 km とごく浅いこととその水平面の直径が 2—3 km 程度であることが推定される。このサイズはキラウエア・カルデラの直径よりやや小さめである。



第29図 キラウエア山頂の震源分布 (1971~1973年) (横山他編, 1979 KOYANAGI et al., 1976 原因) 白丸は周期の長い地震 (a) 震央分布 (b) AA' 断面の震源分布 網目部分は推定されるマグマ溜り 矢印と波形は推定されるマグマ補給路

さて唯一の活動クレター ハレマウマウの火口がカルデラ中央より南西端に偏っていることは 既にのべたが 面白いことに推定されるマグマ溜りの位置は この火口の直下ではなく さらに南へずれた斜め下にある。これは一体なぜだろうか？ もう一度第28図および第29図をみて頂きたい。カルデラがごく浅いマグマ溜り天井の崩壊によって生ずるものであれば そのマグマ溜りは当然カルデラ直下にあるかあるいはあったはずである。そのあとにできた火口も 浅いマグマ溜りの直上にできるのが至極自然であったはずである。とすればわれわれはいまコマ切れの8ミリフィルムをみるようなもので現在のマグマ溜りは実は時間と共に 山頂部に対して相対的に南へ移動しつつつけてきているのではあるまいか？ ひょっとすると このことはマグマ溜り下のマグマの供給路そのものが次第に山頂より南へ偏りつつあることによるのではないか？ 改めて第29図(b)を見ると周期のやや長い地震が 推定されるマグマ溜りよりさらに深い6km 以深でおきており その分布があたかもマグマの上昇する路を示すかのようにやや北に傾いた筒状に地下へのびているのがわかる。1969年に観測されたもっと深い地震はさらに深く地下15—35kmにわたってやはり北へ傾いた筒状の分布を示した。より新しいマグマはやはり地下深く より南から供給されていることはもはや間違いないように見える。ここで読者はあるいは この稿のはじめにふれたハワイ・エンペラーチェーンの成因にまつわるホット・スポットとプレートのかかわりあいを想起されていることであろう。マグマの供給源のズレは このようなより大きな構造運動と関係しているのかもしれない。

観測に調査にと追われる H.V.O. のスタッフは見る目にも忙しい。むしろあわただしいといってよい雰囲気。小さな建物に溢れている。週の初めのミーティングには早朝から全員が顔をそろえ 一週間の予定と打合わせが行われる。いよいよ噴火らしい！ ということになると昼夜を問わず全員に非常招集がかけられる。米本土でごく当り前の家庭最優先主義は ここでは火の女神の前にあえなくその神通力を失ってしまう。

スタッフは事務系の地元出身者をのぞくと すべて米本土から USGS の研究官がローテーションで派遣されてくる。管理職までを含む人事のローテーションは USGS の得意とするところで 地球化学 地球物理の他 地質関係も必ずしもそれまで火山が専門でなかった人もどしどし送りこまれてくる。例えば現在活躍中の Dr. J. P. Lockwood はサーペンティンをやっていたし Dr. N. G. Banks はポーフィリー・カップー鉱床を元

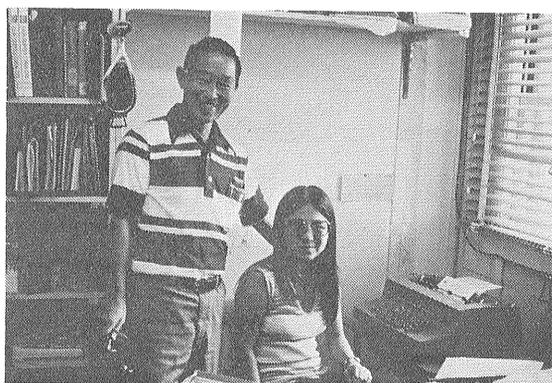
所長の Dr. J. G. Moore のホームグラウンドはシエラネバダのバソリスだったといった具合である。これも現役の Dr. P. W. Lipman は火山岩でも San Juan の酸性火砕物をやっていて 黒っぽい玄武岩は初めてとあってよかった。たとえ玄武岩を扱っていても めばしい活火山のない米本土からきた彼らは 恐らく初めてみる噴火現象の壮さにたとえようもない新鮮な驚きをうけ ストレートにその科学的探究心をかきたてられたに相違ない。彼らの漸新で精力的な研究報告の数々は雄弁にそのことを物語っている。

地元出身の多い事務・技術部門にはタイピストも含めて日系の人も何人かいる。事務長の役を務めている Mr. A. Yamamoto (第30図) もその一人で にこやかに世話をしてくれるその口をついてでるのはなめらかな日本語であった。彼から歴代の所長のエピソードも楽しく聞くことができる。

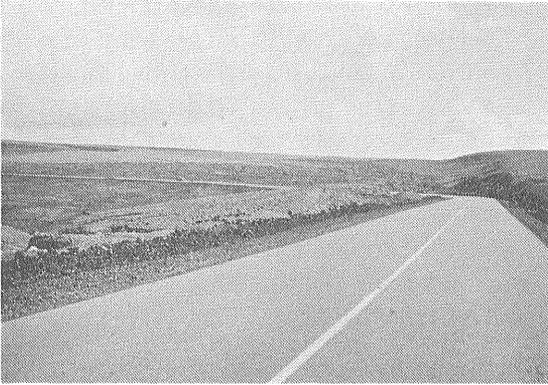
H.V.O. に別れをつけて駐車場へ戻るわれわれの前にまた何台かのバスが着いてアロハシャツ姿の観光客の一団がはきだされてきた。その背後に巨大なクジラの背を思わせるマウナ・ロアの稜線が空を画している。

4-5 Southwest rift zone を横切る

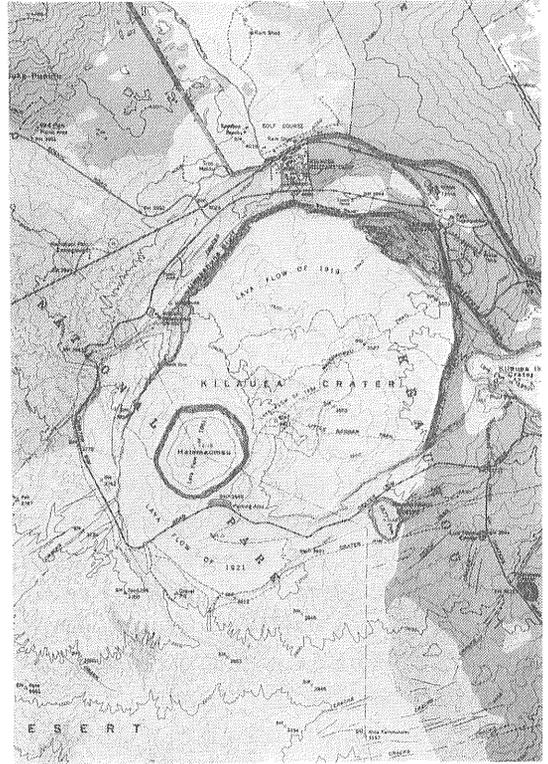
H.V.O. からカルデラ西縁を南下すると道沿いの植生はみるまに乏しくなりカウ・デザート (Kau Desert) とよばれる一面の荒涼たる世界 (第31図) に変る。植生が緑色のトーンで示されている USGS 発行の地形図を開けてみると 植生の密なカルデラ北東側の斜面とは対照的に カルデラを含めてその南西側はほとんど丸裸といってよい荒地であることがわかる (第32図)。新しい溶岩岩でおおわれたカルデラ底に植生が乏しいのはわかるとして カルデラ南西側一帯に広がるカウ・デザートはな



第30図 日系の H.V.O. 職員 Mr. Akira YAMAMOTO とその秘書嬢



第31図 カルデラ南西縁 カウ・デザートをはしる Crater Rim Road 道路左手と正面にカルデラ壁 前方道が左に曲る手前で Southwest rift zone を横切る カルデラ壁はその向うで最も低くなる 黒くみえるのが1971・1974年溶岩

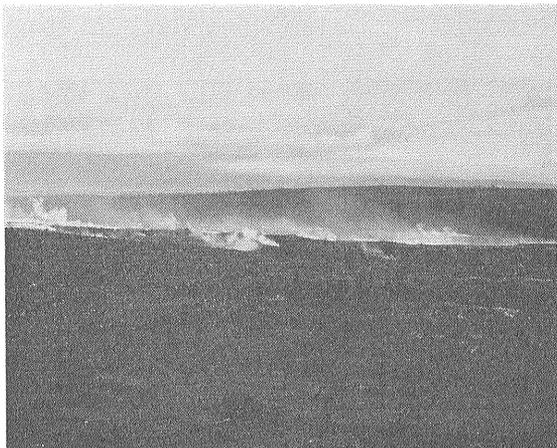


第32図 USGS 発行2万4千分の1地形図にみるカルデラ周辺の植生の明瞭な違い 暗色部は密な植生を示す緑色のトーン 暗点部(緑点)は植生が粗で白色域は植生がほとんどない

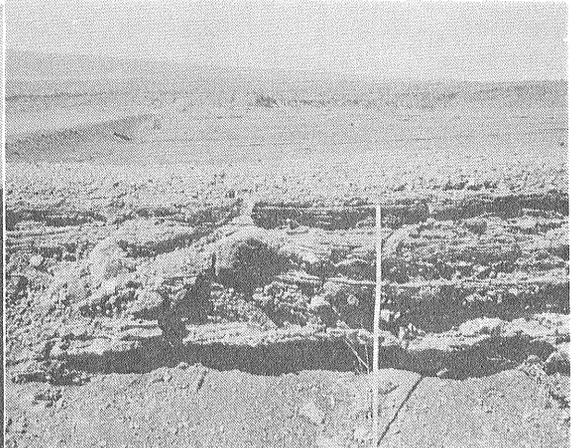
ぜ植生がほとんどないのであろう？ カルデラ南西部に偏ったハレマウマウの火口に近い所は 後にのべる何回かの爆発で植生が破壊されたものの 高所のため回復がおこなわれていることもあろう。しかしカルデラ南西一帯の広大な荒地を説明するのは やはり貿易風である。しかもここでは 山頂から風下で 降雨量が少いだけではない。ハレマウマウや大小の噴気孔から絶えず吐き出される噴煙・火山ガス(第33図)が風によって全てこの地域を直撃してくる。そのうえカルデラ壁はこの南西側で最も低い。エントツの出口の風下であってみれば 新鮮な空気でする植物にとっては文字通り死の世界に違いない。

東一南西で場所はちょうどカルデラの南西端にあたりこの地帯の延長上にハレマウマウの火口がある(第22図)。個々の割れ目は大小さまざまだが 大きいもので幅数m 底の方は埋っていて元々の深さはわからないが10mをこえる。

その荒地に何本もの開口割れ目(open crack)が並行して走り ズタズタになった地帯を道が直角に突切る所で車を止める。Southwest rift zone である。割れ目地帯の幅は 900m程 無数の割れ目の方向はすべて北



第33図 ハレマウマウから吐きだされるガス 風によって南西へ流れる 遠くマウナ・ロアが雲にかくれている

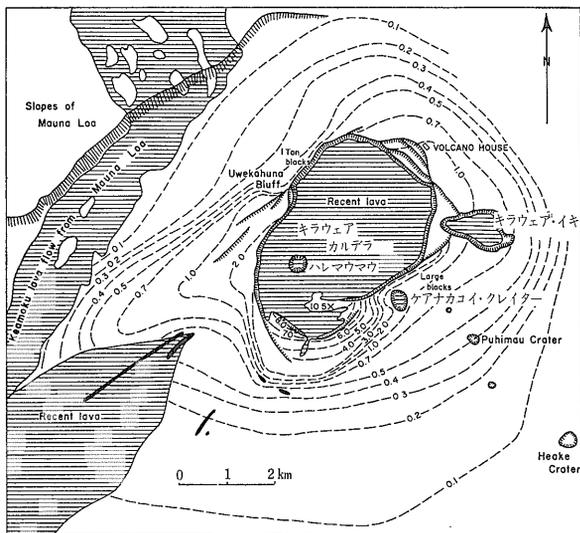


第34図 Southwest rift zone で開口割れ目中にみられる成層した地層断面 ゆるやかなサンド・ウェーブも見える ハレマウマウ火口は右方

道路わきの割れ目のひとつに首をつっこんでみると割れ目の壁の上部に溶岩をおおって成層した地層断面(第34図)がみえる。これは Keanakakoi Formation と呼ばれる分級の悪い火山砕屑物で カルデラ周縁に分布することが知られている(第35図)。構成物は大小の溶岩片の他 褐色の軽石 火山灰などで ときに火山豆石 (accretionary lapilli) も含まれる。一枚一枚の層の厚さはさまざまで 上下に粒径変化を示すものあり クロス・ラミナの発達したものあり なんらの内部構造も示さないものありといった具合だが それらが集合した成層断面には いくつかの浸蝕不整合に似た不連続や砂丘にみられるようなサンド・ウエーブ (sand wave) それに噴出落下した溶岩片のメリ込みによるボム・サグ (bomb sag) などの構造が認められる。一見してとても穏かな噴火の堆積物とは思われないものばかりである。

ハワイ島の歴史をひもとくと 1790年 有名なハワイ王 カメハメハ (Kamehameha) と交戦中のケオウア (Keoua) の軍隊が このカルデラ縁を行軍中 突然 ハレマウマウの爆発にあって その一分隊が一しゅんにして全滅したといわれている。通常の 美しい火のカーテンや溶岩泉を噴き上げるおだやかな噴火で ハワイ火山をわが家とする住民が それも軍隊が易々と 突然全滅するとは考えにくい。一体何事が山頂で起ったのであろうか。

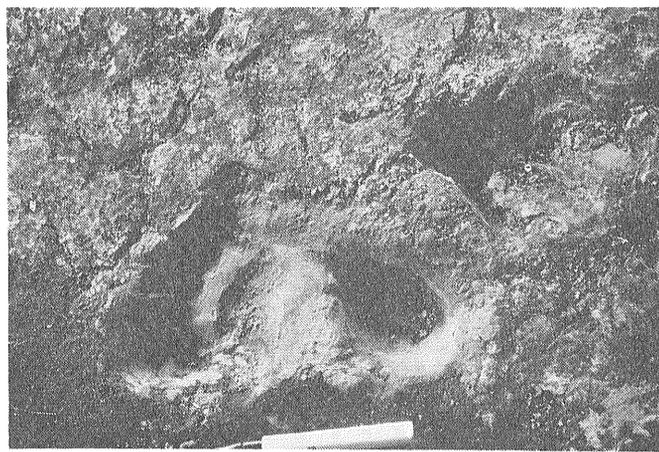
ここから 3.5km 程下った Southwest rift zone 上のマウナ・イキ (Mauna Iki) 北西近くには このとき驚き逃げまどった兵士たちのものと思われる多数の 乱れた '足跡' が Keanakakoi Formation の火山豆石を含む火山灰上にくっきりと残されているのが見つかった。その一部は今でも fossil footprints として永久保存され



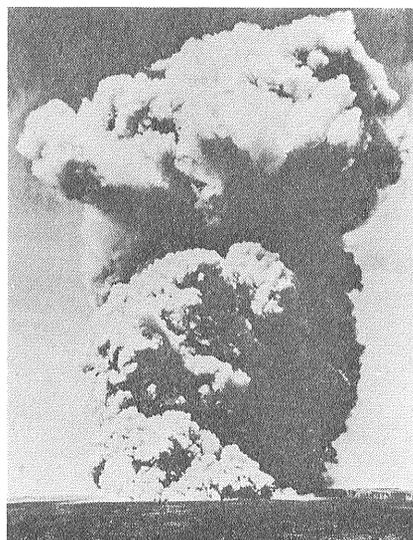
第35図 カルデラ周辺に分布する火山砕屑物の等高線図 単位はm (MACDONALD and ABBOTT, 1970)

ているが わざわざ訪ねてみたそれ(第36図)は どうも保存のため人の手加わりすぎているせいかわざとらしさの方が気になる。

1924年に突然起ったハレマウマウの爆発は 歴史に残る軍隊全滅事件の真相に手がかりを与えた。この年の2月 ハレマウマウ火口で 100年余りにわたって活動し続けていた溶岩湖が消えてしまい 4月に入って East rift zone で地震が起った。大量の溶岩がこのとき海面下へ流出していったと考えられている。山頂では火口底の沈下が著しく 5月初めには火口から 200mまで下がり 火口壁が崩壊をはじめ 5月11日に突然大爆発



第36図 1790年のハレマウマウの爆発に遭遇したハワイ軍の fossil footprints

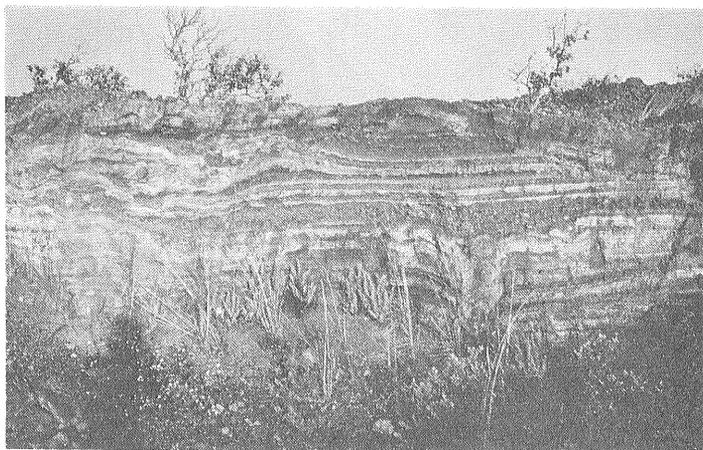


第37図 1924年5月のハレマウマウの水蒸気爆発 (GREELEY edit., 1974 TAI SING LOO 撮影)

(第37図) を起こした。 1週間後に爆発は極限に達し一気に火口を拡大した。 このときの爆発では溶けた溶岩や軽石の放出は認められず 典型的な水蒸気爆発であった。 原因は火口底の低下に伴い 地下水が熱い火道

中へ流れこむようになったためと推定される。

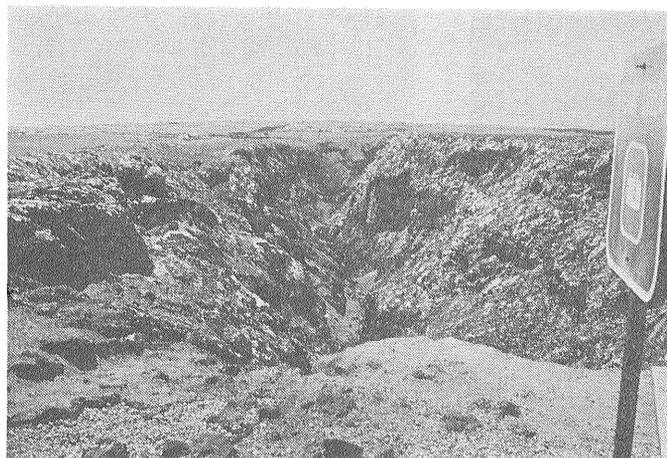
1790年には 実はこれのもっと規模の大きいものが起ったらしい。 USGS の Dr. R. L. CHRISTIANSEN の最近の研究では さきにのべた Keanakakoi Formation とよ



第38図
ハレマウマウの水蒸気-マグマ噴火による堆積物層 火口は左手前約 1km



第39図
第38図と同地点にみられるボム・サグ 第38図右下よりもみえる

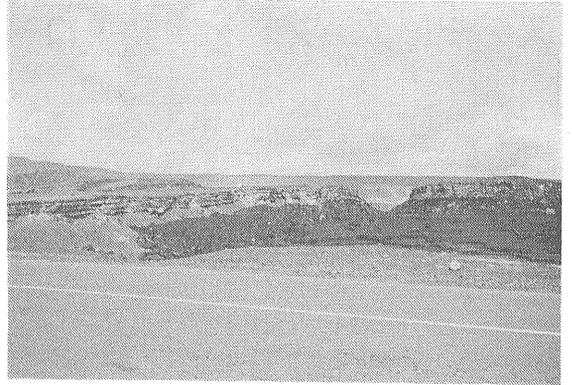


第40図
Southwest rift zone の開口割れ目と流れ込んだ1971年溶岩 割れ目はまだ埋っていない

ばれる火砕堆積物のほとんどは このときのベース・サージ (base surge) を含む噴火で放出されたものと考えられている。そして噴出物からみて 爆発は水蒸気だけでなく マグマも直接関与した水蒸気—マグマ噴火 (phreatomagmatic eruption) だったと彼は結論している。これでは火口近くを行軍していた人間など 全くひとまりもなかったはずである。また わずかだが溶岩も噴出し 火砕堆積物中には含まれているという。

この Keanakakoi Formation は これから先 Crater Rim Road に沿ってケアナカコイ・クレイター (Keanakakoi Crater) までのカルデラ南縁にいくつか好露頭がみられる。たとえばケアナカコイ・クレイターの手前約 800m で道が大きく左へカーブしたあたりの 右手に見える露頭(第38図)もそのひとつで ときにサンド・ウェーブ構造や 溶岩片がハレマウマウ火口から飛来したことを示すボム・サグ(第39図)もみられる。

さて 道にもどってさらに Southwest rift zone のなかを進むと開口割れ目の中に いかにも新鮮な溶岩が流れ込み(第40図) これを満たしているのに出合う(第41図)。これは Southwest rift zone 上では実に半世紀ぶりに噴火が再開された1971年の溶岩 (第42図)である。この年の噴火では8月にまず山頂カルデラの東南縁に沿ってケアナカコイ・クレイター近くに開口した東西ないし東北東方向の割れ目から 溶岩泉がみられ これはわずか一日で終了した。 つづいて9月にほぼ同じ場所で噴火が再開し 最盛期には長さ 2km におよぶ美しい火のカーテンをみせながら 噴火は次第に西へ移動し カルデラの南西縁で Southwest rift zone の開口割れ目に溶岩を流しこみ その一部はカルデラ縁の低い所を選んでさ



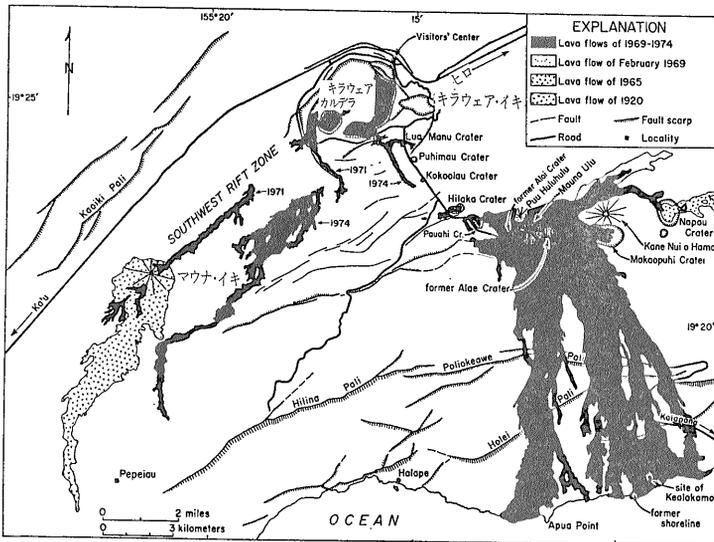
第41図 第40図と同じく開口割れ目を埋めて押し寄せた1971年溶岩 成層した地層は1790年噴出物 このうしろにカルデラ壁がある

らに南山腹へ溢流した。 なおも噴火は Southwest rift zone に沿って山腹を西下し 1週間後にはカルデラ縁から 11km 南西のマウナ・イキ (Mauna Iki) 付近まで達した (第42図)。

この時期は East rift zone でも マウナ・ウル (Mauna Ulu) の噴火が最盛期を迎えて 大量の溶岩流を海にまで押し出しており いわば近年のキラウエア火山が最も活動的な噴火をくり返していたときであった。

Crater Rim Road は Southwest rift zone をすぎてすぐカルデラ縁南西端で左に大きく曲がり この1971年溶岩のカルデラ溢流部を横ぎる。 当時道はこのあたりで 熱い溶岩流によって寸断のうき目をみていたはずである。 立看板に当時の模様が語られている。 道はわずか3年後の 1974 年には再び溶岩流によって切断された。 この年の噴火は 1971 年とほぼ同じ山頂カルデラ

南縁で7月に始まり ケアナカコイ・クレイターはその南北両側に開いた割れ目からの溶岩の滝によって埋められ溶岩の湖ができ また一部は南山腹を流下した。 溶岩の滝はカルデラ底にも落下し カルデラ縁の内側を埋めて北東の Volcano House 直下まで溶岩の海が押し寄せた。 溶岩はその年の9月にはハレマウマウ火口へ流れ込み さらに南山腹からも溶岩を流出した。 地震の動きからみると このとき大量のマグマが Southwest rift zone に沿って移動していったことがわかる。 以上が山頂カルデラと Southwest rift zone で行われた最後の大規模な噴火であった。 (つづく)



第42図 キラウエア山頂付近の最近の溶岩流分布図 (MACDONALD and HUBBARD, 1974)