

イ島のキラウエア火山を基準にとると 北西端のカウアイ島の560万年に向かって キラウエア火山から北西に遠ざかるほど古い年代を示すのである。その後 他の島や海山からドレッジされた試料について年代測定がすすむと この関係は ハワイ海嶺からエンペラー・チェーンの全域にわたってなりたっていることがあきらかとなった(第2図)。つまり さきほど見た 太平洋の海底に続く海山と火山島の長い長い列は 7,000 万年もの長きにわたって 火山活動が太平洋底を北西から南東へ移動していった結果なのである。

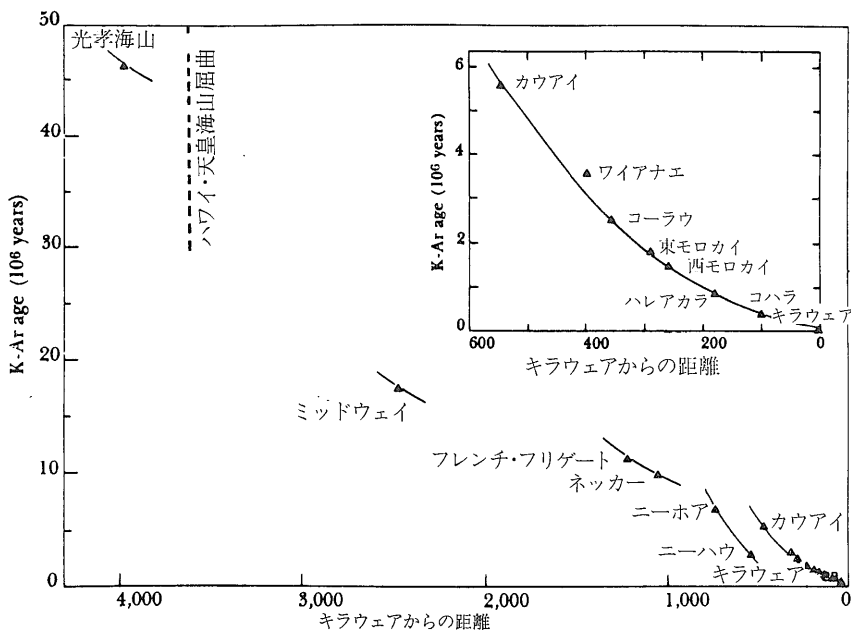
では このような長い火山の列はどのようにして出来るのであろうか。この問題を解くかぎを与えたのがプレート・テクトニクスによる大洋拡大説であった。海嶺で形成された玄武岩質の大洋地かくは プレートの流れにのって大洋底を形成しつつひろがっていく。ハワイ海嶺について考えていたプレート・テクトニクスのチャンピオン J.T. WILSON は1963年に発想の転換を行って“動いているのは地下のマグマの出来る場所ではなく地面の方である”と考えた。つまり マントル中に固定されている“ホット・スポット”の上を太平洋プレートが北西方向にゆっくりと移動していくことによってハワイ海嶺の火山の列が出来る。その後 W.J.MORGAN は急速に増した年代測定のデータとあわせて WILSON の考えをエンペラー・チェーンにも拡張した。それによれば ハワイ海嶺とエンペラー・チェーンの間の折れまがり は 火山列の形成がここまで来たとき(約4,200万

年前) 太平洋プレートの動きの向きが 北から北西へ変わったことを示している。

以来“ホット・スポット”モデルは 地球科学者の論争の集中する 文字通りホット・スポットとなっている。太平洋の他のチェーンにもそれぞれホット・スポットが想定されるわけだが 年代測定が進むにつれてあきらかとなるプレートの動きは 互いにはほぼ調和的のようである。最近では ホット・スポットは 太平洋ばかりでなく 大西洋や大陸の下にも想定されている。では ホット・スポットはどのようにして出来るのであろうか。7,000 万年ものあいだ一か所に存在し続ける秘密は何なのであろうか。この間に生み出されたマグマの量はぼう大である。それを生み出すためにはどれくらいの原料がどのような機構で供給されるのだろうか。議論は尽きない。

3. ハワイ島の地質

ホット・スポットの話に熱中しているあいだに 飛行機はオアフ島上空に達し パール・ハーバーを左手に見ながらホノルル空港に着陸しようとしている。キラウエア火山のあるハワイ島へ行くには ここでまず入国手続をし 飛行機を乗り換えてヒロまで行く。乗り換えの飛行機を待つあいだ 時間の余裕があればオアフ島を見て歩くのもよい。さきに述べたようなハワイ諸島の出来かたからして オアフ島はハワイ島の未来の姿を示しているとも言えるのだ。



第2図
 ハワイ・エンペラー・チェーンのソレイト質玄武岩の K-Ar 年令 キラウエア火山から遠ざかるにつれて K-Ar 年令が高くなることが示されている 内側の図は ハワイ諸島についての詳細を示している
 (DALRYMPLE, SILVER and JACKSON, 1973)

3-1 海洋島の形成過程

ハワイ諸島を南東端のハワイ島から北西端のカウアイ島まで見て歩くと海洋島の形成過程を順次見ることが出来る。H.T. STEARNSはハワイ諸島にみられる火山島の形成過程を観察して第3図のようにまとめた。

ハワイ島のマウナ・ケアやマウナ・ロアは4,000mの標高を持つ雄大な楕状火山であるがこれらの火山は深さ5,000mの深海底から立ちあがっているわけでその分を考慮すると世界で最も高い山々である。火山体形成の大部分の過程は海面下で行われわれわれはそのごく頭の部分を見ているにすぎない(第3図の(1)(2))。しかしその地表部分の山体の大部分はあまり分化の進んでいないソレライト質の玄武岩からなり海面下の山体の主要部分も組成的にはそう変化はないだろうと考えられている。事実キラウエア火山の南方の海底ではロイヒ海山と呼ばれる新しい火山が出来つつあるのだがそこからドレッジで採集された溶岩はソレライト質でマウナ・ロアのそれとよく似ているといわれている。

山体が大きくなると頂上部分が陥没してカルデラを形成する(第3図の(3))。マウナ・ロアやキラウエアは現在この段階にあってカルデラや後で述べるリフト・ゾーンにそって盛んに溶岩を噴出する。マグマの組成はあいかわらずソレライト質である。

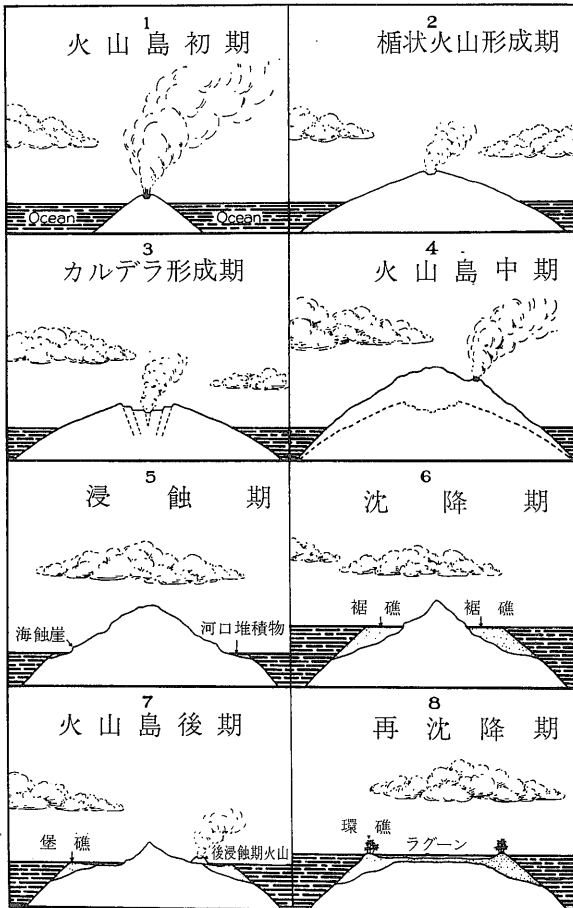
その後頂上のカルデラを埋めるようにトラカイトとかミュージアライトと呼ばれるアルカリ質の溶岩が噴出し山体表面を覆う。また山腹にはシンダー・コーン(噴石丘)が次々と並ぶ(第3図の(4))。この段階の例はマウナ・ケアや隣りのマウイ島のハレアカラに見ることが出来る。ハレアカラではクレイターを埋めつくして海へ流れ降る雄大な溶岩流やクレイター内に立ち並ぶシンダー・コーンの群れを見ることが出来る(第4図)。このアルカリ質の溶岩が山体の表面を覆っているため古い火山では山体の主要部分を構成するソレライト質の溶岩は谷間や海岸の崖にわずかに顔を出しているにすぎない。そこで海洋島はすべてアルカリ質の玄武岩からなるという誤った認識が流布した時代もあったくらいである。

ソレライト質からアルカリ質への溶岩の組成の変化はある層で一線を画していることもあればある時期両者が互層して現われ次第にアルカリ質に変わっていくこともある。

高圧装置を用いた実験によれば上部マントルを構成する(と考えられる)岩石を30~40キロバールの圧力下で溶かすとオリビン組成に富んだソレライト質のマグマが出来る。これがハワイの火山岩の本源マグマであると考えられている。

このような本源マグマがはやい速度で上昇して地表に噴き出せばマグマの組成にほとんど変化は起きない筈だが実際に地表に出てくるハワイのソレライト質玄武岩は本源マグマに比べてオリビン組成に乏しいものとなっている。またオリビンの斑晶を多く含んだソレライト質玄武岩もしばしば見られる。これらの事実は本源マグマが上昇してくる途中でオリビンが晶出してマグマの組成が変化したことを示唆している。ところでキラウエア火山の直下には深さ3~4kmくらいのところにマグマ溜りがあることが地球物理的観測結果から推定されている。このような低い圧力下では本源マグマから晶出してくる結晶はオリビンであることが実験的にも確かめられている。

一方低い圧力下ではオリビン・ソレライト質のマグマからアルカリ岩を導くことは出来ない。そこで楕状火山の末期に噴出するアルカリ質の溶岩はソレ



第3図 海洋の火山島の形成過程 (STEARNS, 1966)

イト質の溶岩とは異なる本源マグマを持つのではないかと考えられたこともある。ところが その後の高圧実験の進歩で 圧力が高くなると(13~18キロバール)液と結晶の平衡関係が変化して 同じオリビン・ソレライト質のマグマが 輝石の晶出によってアルカリ質に変化していくことがあきらかとなった。もしそうだとすると楯状火山の末期のアルカリ質溶岩は 地下のマグマ溜りが 活動の末期に次第に高圧条件下に いいかえれば地下深いところに移行することによって生みだされる。そしてそれは マグマ溜りの上部が固化して 結晶分化作用の舞台が次第に深所に移行するためだ とも言われている。

この時期が過ぎると火山活動は止み 山体は海と風雨の浸蝕にまかせ また沈降が進む。島のまわりにはサンゴ礁が発達し 平和な日々が訪れる(第3図の(5)(6))。ところが 長い休止のあとに 全く思いがけず 噴火が始まる。サンゴ礁を吹き飛ばして 次々と小さなクレイターが出来るのである(第3図の(7))。この段階はホノルルのあるオアフ島で最も典型的に見ることが出来る。観光で有名なダイヤモンド・ヘッド パンチ・ボウル 海水浴のハナウマ湾などはみなこの時期に出来たクレイターで ホノルル・シリーズと呼ばれている。

オアフ島の東半分をつくるコーラウ火山は 年代測定により 220~250万年前に形成されたことが知られているが ホノルル・シリーズの活動は たかだか数万年前である。なんと 200万年もの休止期をはさんで火山が再び活動するのである。この“後浸蝕期”の火山活動の原因は何んであろうか 楯状火山の形成との関係はど

のようなものであろうか。後浸蝕期の火山のマグマの組成が著しくシリカに乏しくアルカリに富んだネフェリンを含むアルカリ岩系であること 噴出量が大へん少ないこと 火山が 楯状火山の配列とは異なった(それにほぼ直角な)方向に並んでいること などが問題を解くかぎとなりそうである。

3-2 ハワイ島の火山

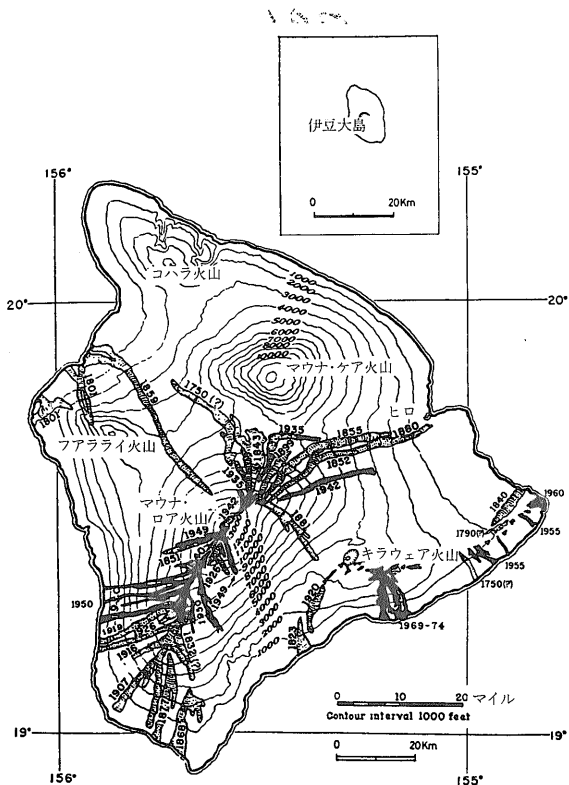
ホノルルからヒロに向かう飛行機は マウイ島の南岸と ハワイ島の北東岸にそって飛ぶ。運がよければ左手にハレアカラ 右手目近かに マウナ・ケアとマウナ・ロアの頂上を見ることが出来るだろう。両方をカメラに収めようと狭い機内を右往左往する人もいる。

ハワイ島は コハラ マウナ・ケア フアラライ マウナ・ロア キラウエアの5つの楯状火山からなり 歴史時代に活動した記録があるのは 最後の3つである(第5図)。もっとも ハワイで歴史時代というのは白人が入植してからのことで 19世紀以降にすぎない。そこで 今までいわゆるプレ・ヒストリックと一括されていた無数の溶岩流の年代測定が 現在精力的に進められている。さて 空港で車を借りて巡検に出発しましょう。前途の行程の概観をつかむために 第5図に同じスケールで伊豆大島の大きさを比較してある。これでおわかりのように 一日で全島を廻ることは不可能である。今日はまずヒロから マウナ・ケアとマウナ・ロアの間を抜けるサドル・ロード(州道20号)を通過して 島の北半分を見てみよう。

ヒロ市はハワイ州第2の都会であるが 全州民77万人



第4図
ハレアカラ・クレイターの内部 シンダー・コーンが直線的に並んでいる クレイターの底を埋める溶岩はアルカリ玄武岩である



第5図 ハワイ島の5つの楯状火山 伊豆大島と大きさを比較された
い 溶岩流のわきの数字は噴出した年を示す

のうち32万人がホノルル市にいて ヒロ市の人口はわずか2.6万人である。町は静かな湾に面して小さな魚市場があってマヒとかアヒとかいう魚を売っている。湾に沿ったココヤシ並木のドライブ・ウェイがおしまいになる頃 道を左にとって サドル・ロードに向かう。途中 マウナ・ロアの溶岩流をいくつか横切るが 1881

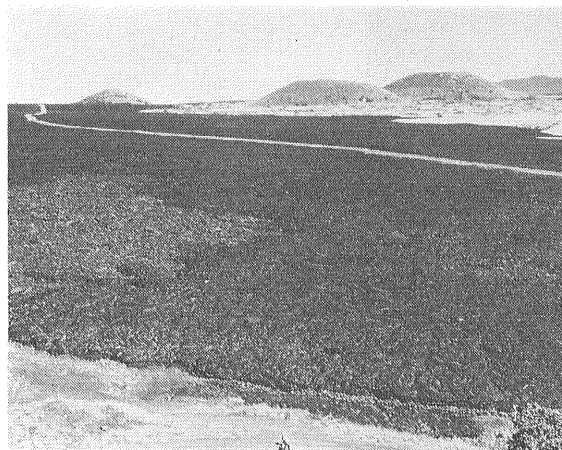
年の溶岩流はヒロの直上まで来たという。

道がマウナ・ケアとマウナ・ロアにはさまれた台上に出ると 雄大な景色が開ける(第6図)。マウナ・ロアから流れくだった何本もの溶岩流の原である。遠くにフアラライ火山が島のように浮んでいる。表面のなめらかなパホエホエ溶岩と さがさがしたアア溶岩を 一見して見わけることが出来る(第7図)。この外観の全く異なった2種の溶岩は 溶岩が流れくだるときの粘性の違いによって生ずる。粘性の低いパホエホエ溶岩はサラサラと水のように流れくんだり(実際の溶岩の粘性は水の10万倍も高いのだが) 固結すると表面にしわがより縄状の模様などをつくることがある。道路ぐいに点々とある丸い丘は マウナ・ケアのアルカリ岩の活動の時期に出来たシンダー・コーンである。

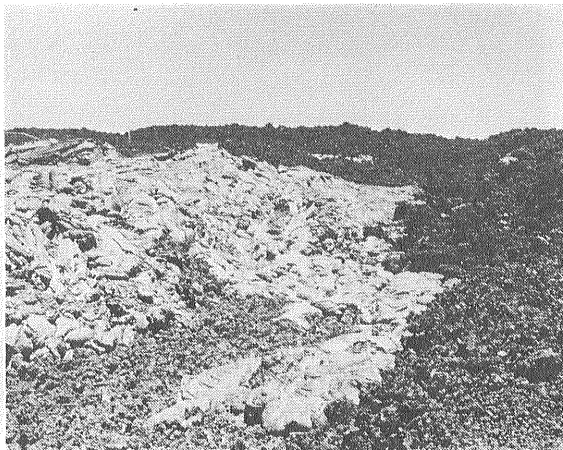
マウナ・ロアは ならかな尾根がどこが頂上ということもなくひろがっていて 標高が4,000mもあるとはとても信じられない(第8図)。中腹に気象観測所があって 地球大気の経年変化などを調べている。ここまでは車で行けるが 頂上のカルデラを見るには あとは歩いて登らなければならない。カルデラ周辺では 溶岩の珍しい形態をいろいろ観察することが出来る。しかし この高度では 疲労と希薄な空気のせい意識がモウロウとなることがあるので 注意が肝心である。

北側のマウナ・ケア(第9図)の頂上にはハワイ大学の天体観測所があって車で行けるが あまり良い道ではない。頂上付近には氷河時代のモレーンや氷河の浸蝕のあとが残っている。頂上のワイアウ湖は 12,000年前(ウィスコンシン期末)の堆積物を含んでいるそうだ。

サドル・ロードを北へたどるとワイメアの町に出る。ここは コハラ火山とマウナ・ケアの斜面にはさまれた



第6図 サドル・ロードの景観 黒くひろがるのはマウナ・ロアの1935年溶岩 まるい丘はマウナ・ケアのシンダー・コーン



第7図 アア溶岩(右側 コークスのように見える)の上を流れるパホエホエ溶岩(左側 なめらかな表面に注目)

谷間で ハワイ島には珍しく 木の生い茂ったしっとりとしたたざまいである。ここに 私営ではアメリカ一大きいといわれるパーカー牧場の本部がある。島の北半分のめぼしい土地は ほとんどがパーカー牧場の所有で ここで働く牧童は毎日ステーキを食べ一定年数働くと家をもらうことが出来る。しかし 生活が単調なことが難点で 毎日ステーキというのも決して喜ぶべきことではないらしい。

コハラ火山は ハワイ島で最も古い火山で K-Ar年令は40万年である。コハラ火山のまわりを廻ってまず気づくことは 山の北東斜面が 海岸線が断崖でそこに深い谷がきざまれ 密林で覆われているのに対し 南西斜面はゆるい傾斜で ほとんど砂漠に近いほど乾燥していることである。実は このことはハワイ諸島のどの島についても言えることで 北東から常に吹いている貿易風のせいである。我々モンスーン地帯に住むものは 風が常に一方から吹くという体験がなく それがもたらす降雨量の差が 山の両側でかくも大きな浸蝕量の差を生み出すことに大きな驚きを感じず。モロカイ島やオアフ島のコーラウ・レインジでは 北東側は高い断崖がかつての火山の頂上は はるか海上の空中に失なわれてしまっている。

すでに述べたように ハワイの火山は表面をアルカリ質溶岩の薄い膜に覆われている。火山の本体をつくるソレライト質の岩石を採るには 北東斜面の深い谷に入らなければならない。我々は その目的のために コハラ火山の北東側のワイピオ渓谷に降った(第10図)。比高 300m の断崖を一気に降る。ところが このような崖には岩石の露出はよいのだが 雨が多いために風化がはげしく 実際にはよい試料はなかなか採れない。



第8図 マウナ・ロア火山 サドル・ロードわきのシンダー・コーン プー・フルフル頂上からの遠望 稜線から流れくだる幾筋もの溶岩流が見える

このときも 沖合が一瞬かすんだかと思うとスコールが来て ぬれぬずみになって崖の上にとどりついた。そして車を走らせて山の南西側に出てみるとネバダの砂漠のような斜面を乾いた風が吹きぬけているのである。

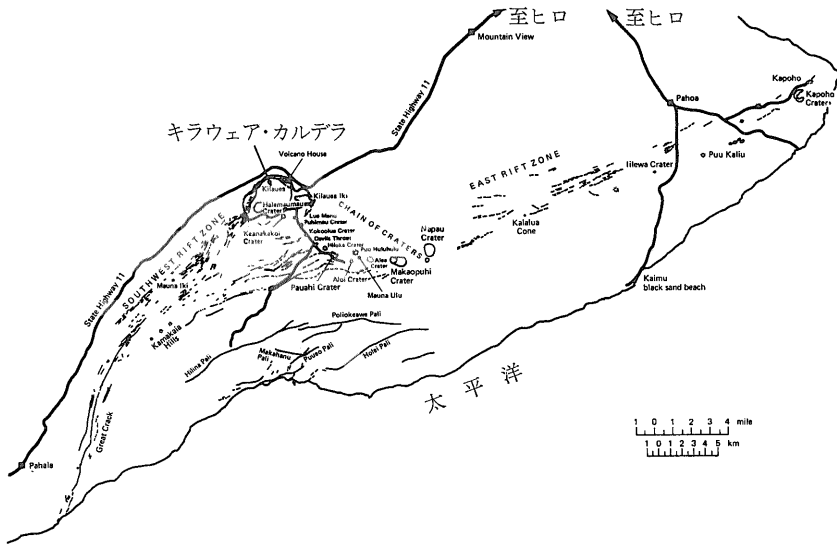
最後の火山フアラライは その1800年溶岩(アルカリ・オリビン玄武岩)が 塩基性及び超塩基性岩のゼノリスを多量に含んでいることで有名である。これらのゼノリスは(少なくともその一部は) マグマが上昇してくるときに 周囲の壁をつくるマントル物質をひっかいてきたものと考えられている。ゼノリスは溶岩にくらべて比重が大きいため 溶岩が斜面を流れくだる際に 多くはその噴出口付近にとり残される。我々にとって残念なことは フアラライ火山の 1800年溶岩の噴出口が私有地の中にあって自由に近づけないことである。



第9図 サドル・ロードから見たマウナ・ケア火山 頂上の稜線がマウナ・ロアにくらべて開析が進んでいる



第10図 ワイピオ渓谷 北東の貿易風によって浸蝕が進んでいる



第11図
キラウエア火山の概念を示す地図
(H.VO. STAFF, 1974)

4. キラウエア火山

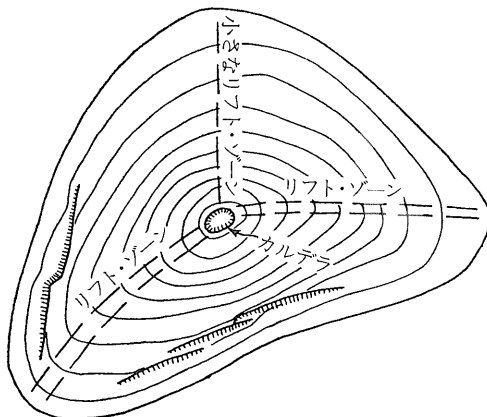
4-1 楯状火山キラウエア

さていよいよハワイで最も若く最も火山活動が活発なキラウエア火山を訪れることにしよう。キラウエア(kilauea)はハワイ語で吐く(spewing)あるいはおし拡がること(spreading)を意味し、その名のとおりこの火山は歴史上ひんぱんに火と煙を吐き、熱い溶岩を押し出し、その山すそを拡げつづけてきた。

この火山の噴火は、ハワイ島の他の諸火山が、かつてあるいはいまもそうであるように、爆発的でないのが普通である。しかもマウナ・ロアなどとはちがいで、火口への接近も容易であることから、今や世界中で最も詳し

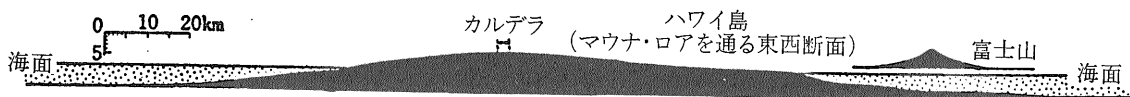
く調べられ、断えず観測され続けている火山のひとつとなっている。現在では噴火の予知もかなりの精度で行なわれるようになり、少なくとも不意打ちの噴火によって人々の生命が危険にさらされることは、まずないといわれている。

噴出物が新鮮で噴火の年月日そして、しばしば時刻の記された溶岩さえ随所に観察できるこの火山のすべてをたった一日で見ようとするのは、いささか虫がよすぎよう。ともかく一刻を惜しんで、ヒロから州道 11 号線を南下し、まっしぐらにキラウエア山頂をめざすことにする。途中、130 号線と別れて道はしばらくマウナ・ロアの亜熱帯林におおわれた東山麓をななめに突切って登りつづけ、やがて Glenwood の人家をすぎたあたりでキラウエア東山腹に移り、大きく右へカーブする(第 11 図)。道わきのカッティングがそれまでとちがって厚い火山灰のほとんどのらない新鮮な玄武岩に変ったことに気づく。キラウエアの溶岩である。道は依然としてさしたる坂道感の感じも与えない。地形図をみるとわれわれは、今キラウエア山腹の等高線をほぼ直角に切っ



第12図 楯状火山の模式的な平面図 (MACDONALD and ABBOTT, 1970)

粘性の低い玄武岩溶岩がつくったこのような巨大な楯状火山の地形は、日本の安山岩を主とする円錐形の火山になれたわれわれにはどうもピンとこない。海上にあらわれた火山の形は、一言でいってしまえば、その名の



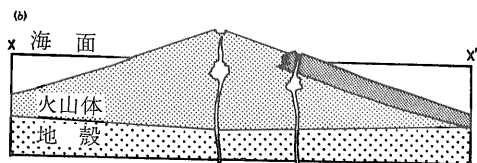
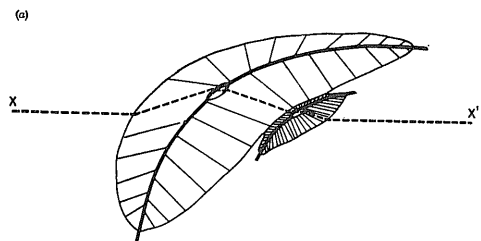
第13図 ハワイの楯状火山(マウナ・ロア)と富士火山の断面の比較(同一縮尺) (荒牧 1970)

とおり楯をふせたように極めて偏平なことを特徴とする。しかし いま少し注意すると ならかな山頂からは2本ないし3本の稜線が発達して 上からみるとこの方向に火山のはびた形(第12図)をしている。

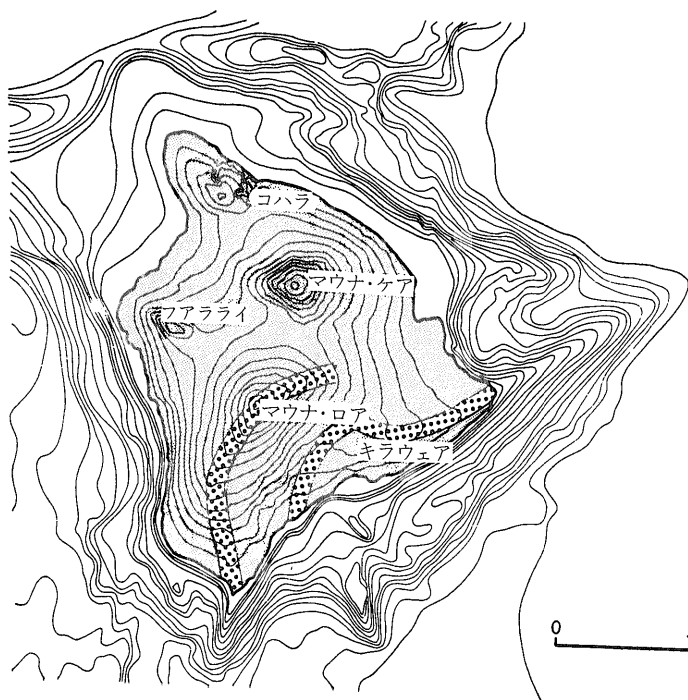
稜線の傾斜はほとんどが2—3°以下と極めてなだらかである。山体の傾斜はこの稜線に直角な方向で最大となるが それでもせいぜい6° めったに8°をこえない。したがって稜線が2つの場合の火山体を上からみると ちょうど海に浮ぶクジラのような形になる。われわれが今のぼりきろうとしているキラウエアは まさにこの例に近い。このようにハワイの楯状火山を特徴づける稜線は あとで述べるように 割れ目(rift)にそった噴火で形成されるため リフトゾーン(rift zone)と呼ばれる。

さき程まで登りつづけていたハワイ島最大の楯状火山マウナ・ロアは富士山より高く 標高約4,171m 体積は 富士山の90倍近い35,000km³ (第13図) 海上部分だ

けでも7,500km³といわれる。それより小型で標高約1,235m 体積18,700km³ 海上部分が700km³のキラウエアは 巨大なマウナ・ロアの東山腹に噴出した楯状火山である。その有様は まさに親クジラ マウナ・ロアの横腹によりそう子クジラといってよい(第14図)。

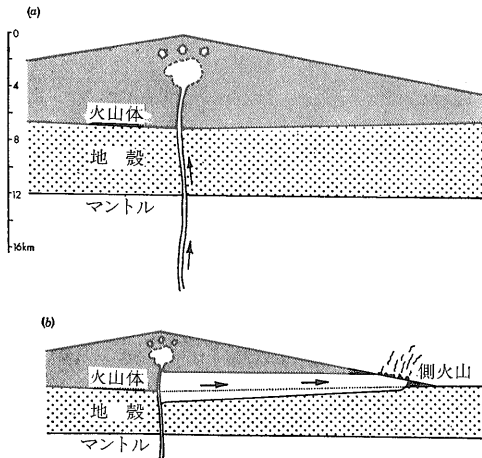


第14図 マウナ・ロアとキラウエア両火山の配置を示す概念図 (FISKE and JACKSON, 1972)



第15図 マウナ・ロアとキラウエア両火山のリフト・ゾーン(点線)とハワイ島周辺の海底地形 等高線は約305m間隔

(FISKE and JACKSON, 1972)



第16図 キラウエア火山の噴火様式を示す模式断面図 (a) マグマの上昇 (b) リフト・ゾーン下のマグマの移動と側噴火 (FISKE and JACKSON, 1972)

カルデラ形成期にあるキラウエアの噴火の場は 山頂とすでにのべた山頂からのびるリフトゾーンである。キラウエアでは山頂から南西と東にこのリフトゾーンがあり それぞれ Southwest Rift Zone および East Rift Zone と呼ばれている。このうち East Rift Zone はより規模が大きく 山頂から 120km 以上ものびて深海底に達する(第15図)。リフトゾーンに沿っては 正の重力異常や地震波速度の大きな部分が認められることから地下に高密度岩おそらくは岩脈群の存在が推定されている。

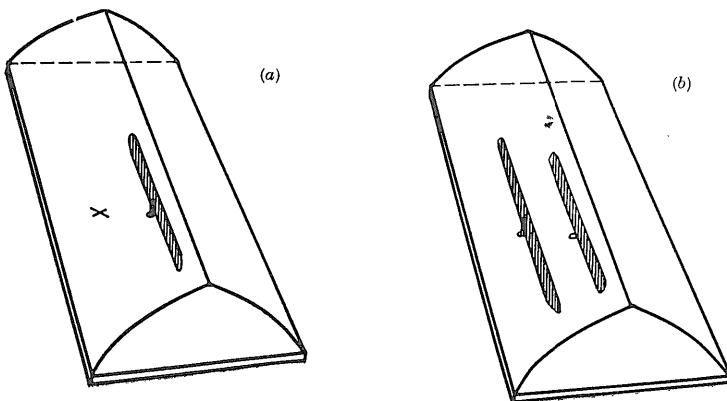
のちにのべるように噴火は通常まず山頂でおこり ついで山腹・山麓でおこるというパターンをもつ。これは山頂直下のマグマ溜りからマグマがリフトゾーンの下を通過して 山腹・山麓の噴出口へ移動していく結果であることが 地震波などの観測から知られている。現在

推定されるリフトゾーン下の岩脈群はかつて山腹・山麓の側噴火を起こしたマグマのいわば“通り路の化石”なのである(第16図)。

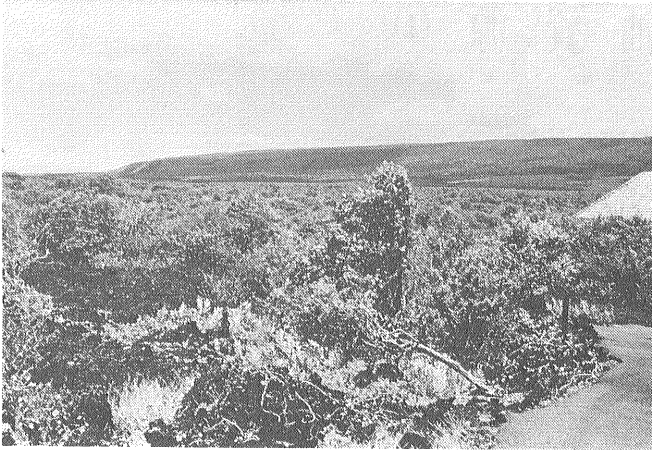
この火山にとってリフトゾーンが 単なる稜線以上の意味をもつ本質的に重要なシステムであることはもはや明白である。

ではなぜこのリフトゾーンの下ばかりを通過してマグマは山腹や山麓に達するのであるのか? USGSのハワイ火山観測所(H. V. O.)の元所長の R. S. FISKE と E. D. JACKSON は面白い実験をしている。ゼラチンで第17図のような細長い山稜模型を作り この中に下から色のついた液を注射液で注入してみる。すると液は鉛直な板状となって稜の方向に沿いその下を細長くのびていくのである。つまり液は最小応力軸の方向に垂直な裂け目をつくってゼラチン内に浸入していくことがわかる。これはリフトゾーン下のマグマの進行方向を示すミニチュア版であり ゼラチン内にできたこの液の板こそリフトゾーン下の岩脈の一枚一枚に対応されるものである。

ひとつの解は次の疑問をよぶ、では最初のリフトゾーンはどうしてできたのか? と。現在のリフトゾーンに対応する長い割れ目がキラウエアの下にもともとあったことを示す観測結果は全くない。すべてのデータは唯一山頂に続く細長い筒状の火道のみを示唆する。ここでキラウエアがマウナ・ロアの山腹斜面にのっていることを思いだして頂きたい。キラウエアの山体は当然この斜面に沿って絶えず下方に引っ張られているはずである。つまりこの山体に働く最小応力軸は斜面と並行になっている。ある程度の大きさの山体を形成したマグマはやがてこの最小応力軸に垂直な方向に沿って山体中を通過するようになるにちがいない。なんとすればその方向にマグマの通り路となる割れ目が最もできや



第17図
ゼラチンモデルによるリフト・ゾーン下のマグマの貫入実験 (FISKE and JACKSON, 1972)
(a) 注射針でそう入された液はリッジの方向に板状に延びていく
(b) ×印からそう入された液も同様である



第18図

キラウエア火山南山腹の断層地形 (Hilina Fault System) ならかなスカイライン左方が断層崖で 急傾斜となっている 左端が海岸線 スカイライン右寄りが山頂部 手前右端の建物は州道 130 号線沿いにあるビジター・センター

すいからである。 こうしてリフトゾーンが誕生する。 ではキラウエアのリフトゾーンの延長方向をみてみよう。 読者は2本のリフトゾーンがいずれも親元のマウナ・ロアのリフトゾーンに見事に並行している (第15図) のを発見されることであろう。

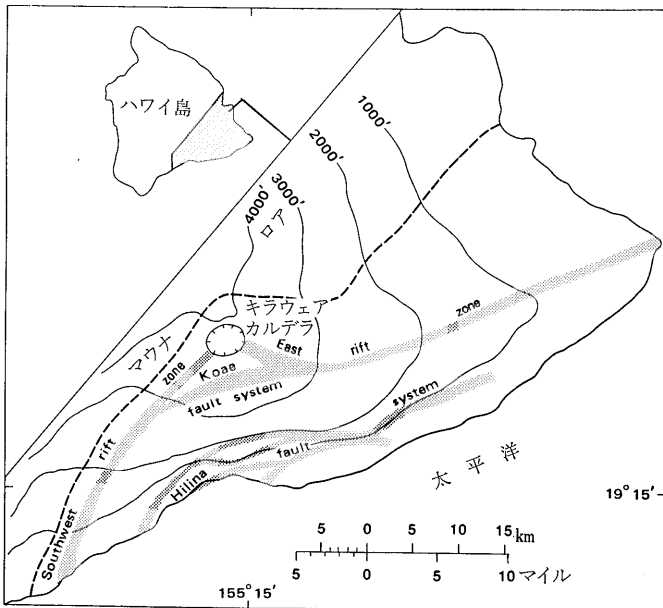
キラウエアで もうひとつ忘れてはならない地形は これら2つのリフトゾーンにはさまれた南山腹に発達する Pali (ハワイ語で崖の意) と呼ばれるおびただしい活断層地形 (第18図) である。 断層系はキラウエアの南の海

岸線にほぼ並行して東北東方向に走っている。 山頂に近い方は幅 3 km の Koae Fault System と呼ばれ 開口地割れと正断層からなる Hilina Fault System がある (第19図)。

いずれもキラウエア火山の2つのリフトゾーンにはさまれた地域が南へ海に向かって引っ張られるように マウナ・ロアの山腹をずり落ちていく不安定な状態にあることを示している。 これに対しわれわれが今登りきろうとしているキラウエア北山腹は地震の無い安定地帯である。

やがて 「Hawaii Volcanoes National Park」の大きな看板をすぎれば もうそこはキラウエアの山頂部である。 ヒロをたつてからまだ1時間とたっていない。 ここで入口近くにある Visitor Centerを訪れてみよう。 これからの見学に有益な情報が得られるからである。

(つづく)



第19図

キラウエア火山の2つの主な断層系 Koae fault system と Hilina fault system (DUFFIELD, 1975)