

H. V. O. 75周年記念 ハワイ・シンポジウムと最近のハワイ

須藤 茂 (地殻熱部)
Shigeru Suto

1. はじめに

1987年1月19日から26日まで 米国ハワイのヒロ市で表記のシンポジウムが開催されました。このシンポジウムは正しくは Hawaii Symposium on how volcanoes work Diamond jubilee (1912-1987) Hawaiian Volcano Observatory というものでした。つまりハワイのキラウエア火山の山頂部にある火山観測所の創立75周年を祝う研究集会であったのです。さて How volcanoes work とは何と訳せば良いのでしょうか。筆者は大会に参加する機会に恵まれながら とうとう良い日本語訳は思いつきませんでした。ともあれ大会は無事終了しましたのでここでその概要を報告し 巡検コースに沿った地質と最近のハワイの火山に関する出版物について紹介します。なおキラウエア火山の1983年からの活動については別に稿を改めて紹介する予定です。

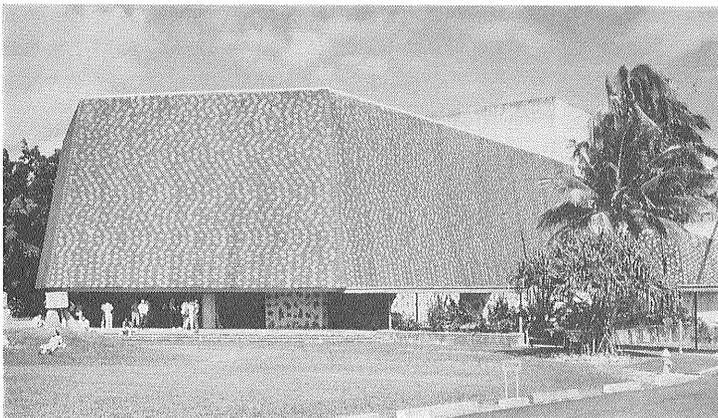
2. シンポジウムの概要

このシンポジウムは米国地質調査所 (U. S. G. S.) ハワイ大学ヒロ校 国際火山学地球内部化学協会 (IAVCEI) など8者の共催で行われました。実際の運営はほとんど U. S. G. S. とハワイ大学の手によって行われているようでした。特に会議の進行は U. S. G. S. の Robert W. Decker 氏が1人でとりしきっていました。

大会の登録者は439人で そのうち7割は米国からの参加者でした。特に U. S. G. S. だけでも100人を超す出席者があり 本シンポジウムにかける意気込みを感じさせました。彼らの多くは H. V. O. に勤務していたことがあり その同窓会的性格があったのかもしれませんが。日本からの参加者は34人で ほかにイタリア カナダ フランスからは2ケタの出席者がありましたが それ以外の国からの参加者は少なく かなり偏りがありました。

発表件数286のうち口頭発表は124件 ポスターセッションが162件でした。口頭発表の方が少なかったのは会場がハワイ大学ヒロ校の講堂の1会場でのみ行われたためです(第1図)。ポスターセッションは宿舎となったホテルで行われました(第2図)。1週間の会期のうち4日間は講堂でのセッション 3日間は巡検であり巡検が行われた日の夜にポスターセッションが行われるという日程でした。ポスターセッションのない日の夜は講堂で特別な催しが開かれ 真面目に参加すると日によっては朝7時から夜の10時半までのかなり過密なスケジュールでした。

大学とホテルとは離れており 移動にはバスが使われました。夕食後の夜のセッションのためにもバスに乗りねばならず かなり時間が拘束されました。しかしながら概ね出席率は良かったようです。



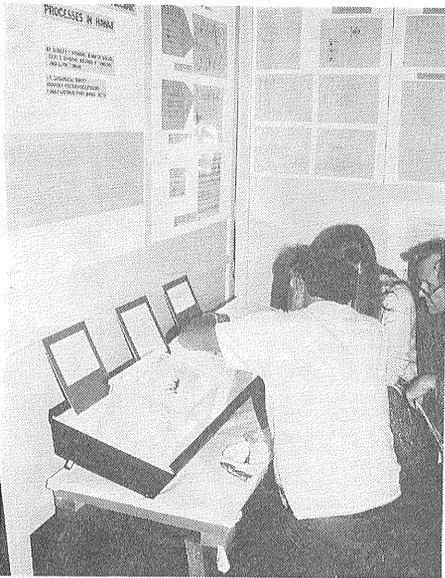
第1図 講演会場となったハワイ大ヒロ校講堂。
休憩時間にお茶を飲みに出てきたところ。

「今まさに噴火している火山のすぐそばで こんなに大勢の火山学者が集まってシンポジウムを開くなんて初めてじゃありませんか」という Decker 氏のあいさつによりシンポジウムが始まりました。セッションに先立ち その今まさに噴火しているキラウエア火山の Puu Oo の活動の概要が紹介されました。

その後以下の8つのセッションが開かれました(カッコ内は発表件数)。

1. Conceptual models of how volcanoes work. (47)
2. Internal and deep structure of volcanoes. (18)
3. Dynamics of magma chambers. (27)
4. Dynamics of intrusion and eruption processes. (60)
5. Exploration of submarine volcanoes. (22)
6. Earthquakes and tremor related to volcanism. (43)
7. Monitoring active volcanoes. (30)
8. Assessing volcanic hazards, forecasting eruptions, and reducing volcanic risk. (39)

また Abstract Volume-Hawaii Symposium 1987 (282ページ) は下記で販売しています(13ドル 送料不明)。



第2図 ポスターセッション風景。

ポスターは概してカラフルでしたが それに飽きらず 8mm 映画や立体模型を持ち込む参加者もいました。手前後姿はハワイの震源分布について説明する H. V. O. の Koyanagi 氏。

Geology Club
Natural Sciences Division
University of Hawaii at Hilo
Hilo, Hawaii, 96720-4091

なおいくつかの論文は Journal of Geophysical Research の本シンポジウム特集号に2回に分けて掲載される予定です。

最近の IAVCEI などの火山に関する国際会議は大陸の火山活動 島弧の火山活動 火砕流などある特定のテーマに絞ったものが多かったのに対し 本シンポジウムは間口の広いものでした。全体の印象としては 世界の火山で今何が起きているか それをどう観測し どう解析し またどうしたら噴火を予知できるかといった大きな流れがあったように筆者は感じました。これは伊豆大島の噴火直後の大会であったためかもしれません。

各セッションの概要の紹介は日本火山学会の「火山」に掲載される予定です(澤田ほか 1987)ので ここではそれ以外のことについて報告します。

3. 火山の映画

大会3日目の夜 映画「Volcanoes of the Americas」が上映されました。これはフランスの Maurice and Katia Kraft 夫妻(第3図)により火山学の一般普及を目的として製作されたものですが その映像は素晴らしく参加者を堪能させました。また自称世界で最も大きな(偉大な)火山学者の1人 M. Kraft 氏の解説もユーモアたっぷりで会場からは笑いと拍手が絶えませんでした。対象となっている火山は南北アメリカ大陸とハワ



第3図 フランスの Maurice (左) Katia (右) Kraft 夫妻。映画の中にも俳優またはスケール代りとして しばしば登場します。

イと広範囲であり 特にアラスカや中米の火山の中には現場に行き着くだけでも難行苦行を強いられる所もあります。

1981年に日本で開かれた IAVCEI シンポジウムの際には Kraft 夫妻は米国のセント・ヘレンズ火山の噴火の映画を上映してくれました。また日本滞在中に夫妻は北海道から九州までのいくつかの火山を空から撮影しました。筆者はそのとき写した何枚かのスライドを見せて頂いたことがあります。富士山の写真はありませんでした。富士を軽くみたわけではないのです。その年は視界が良い日が少なかったらしく 何と富士山の空撮のためだけに1ヶ月飛行待ちをしていたのだそうです。それでも撮影できなかったことを悔しそうに話してくれました。蛇足ながら 日本の飛行機のチャーター料金が他の国に比べて異常に高いと驚いたそうです。

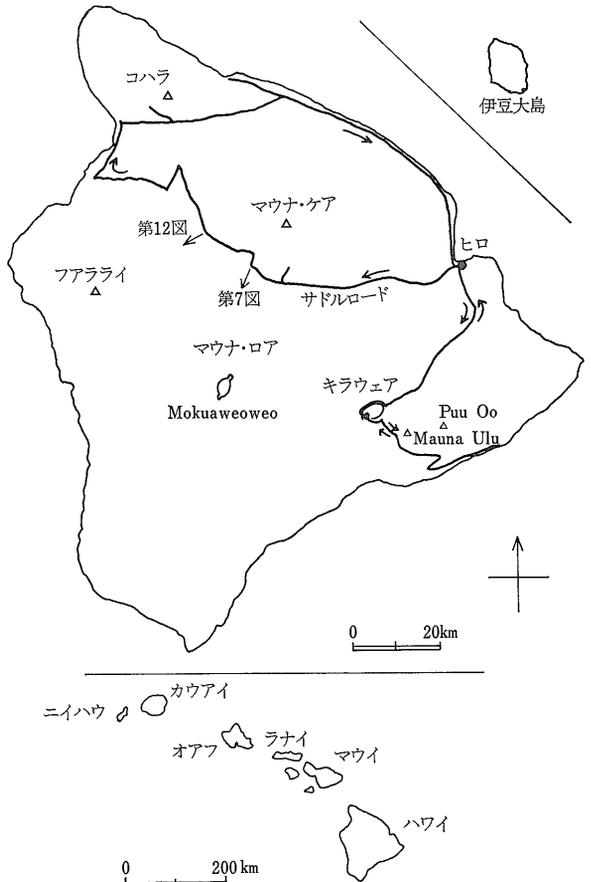
日本ではビデオが良く普及し 最近では火山の研究者も自ら撮影機をかついで行くことも珍らしくありません。映画と違って機動性の点で優れています。しかし 私は Kraft 夫妻が作った映画を見て これはかなわんと思いました。茶の間や研究室の中で見るならいざ知らず学会の大きな会場で大きな画面を参加者一同が見るに耐える映像。遠い将来の予測はできませんが もうしばらくは Kraft 夫妻には撮影を続けて欲しいと思います。できれば日本でも火山研究者の手による火山の映画が作製されることを期待します。

4. 特別セッション

大会5日目の夜開かれた特別セッションでは伊豆大島の噴火とカメルーンのニオスのガス災害がとり上げられました。

伊豆大島の1986年11月噴火の様子は東京大学地震研究所の荒牧重雄・中村一明両氏によって報告されました。

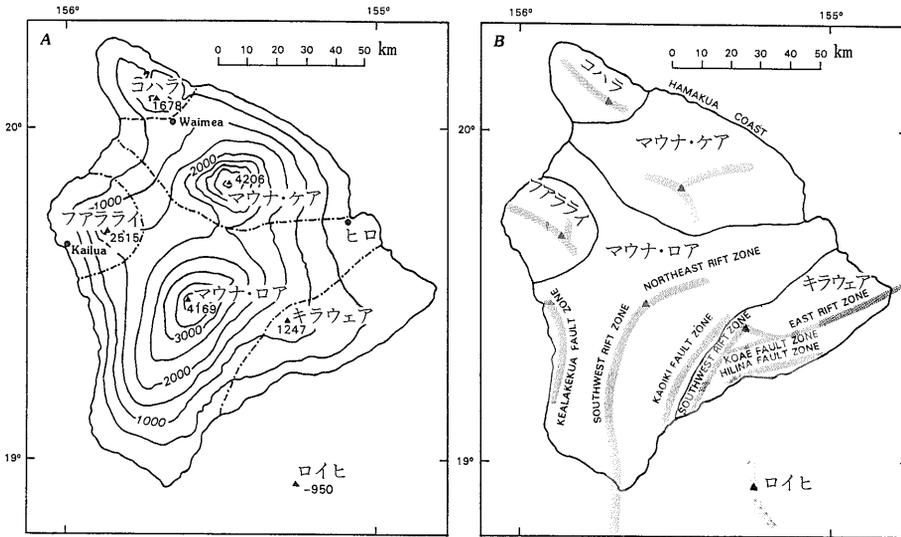
報告後の質疑の多くは 島からの避難は誰が決めたのか なぜ住民は逆らわずに従ったのか ということに費やされました。これは世界各国の火山研究者の一部にとってはとても関心があることなのです。最近では西インド諸島のスーフリエール火山 米国のセント・ヘレンズ火山 コロンビアのネバド・デル・ルイス火山などの噴火や異常現象時の避難について議論があったところです。それだけに避難が順調に行われたことは大きな驚きであったのです。また噴火そのものについては なぜ fire fountain が1,000m 以上もの高さ上がったのか カルデラ内のB火口からの溶岩流(地質ニュース第392号曾屋ほか 1987参照)の表面が空からの写真では紫がかって見えているのはなぜかなどの質問が出されました。



第4図 ハワイ島の概略図とシンポジウムの巡検コース。右上に同縮尺の伊豆大島火山を示しました。

た。前の質問は特にハワイの火山研究者から多く出されました。彼らにとってはキラウエア火山のキラウエア・イキでの1959年の噴火の際の高さ1,900フィートの溶岩噴泉は観測最高記録なのであり その記録を大幅に上回る噴泉現象の実体がどのようなものであったのかは大きな疑問でした。大島噴火の詳細は近々日本火山学会の雑誌「火山」の特集号に掲載される予定であり 後の溶岩流の色の質問なども含めこの大会での質問の答えも示されるものと期待されます。

一方カメルーンのニオス湖からのガス災害事故については主にフランスの研究者から報告がありました。米国及び日本の調査隊の結果も報告されましたが フランス隊は映画付きの報告を行い ここでも映画の威力が発揮されました。この映画ではガス災害の生々し過ぎる被害状況も映し出されており 一般普及用のフィルムではないかも知れませんが とくに調査困難な地での仕事の中味がよくわかるように作られてはいました。ガス



第5図 ハワイ島の地形概略図。
A：地形図と5つの火山の境界。
B：主要なリフトゾーンと断層帯。

発生のメカニズムについては各国の調査者全員の意見が必ずしも一致しているわけではなく 今後も行われるであろう調査とガス噴出の実態解明に期待したいと思います。

5. 巡検

巡検は1日置きに計3日間予定されていましたが このうちリーダーが案内してくれたのは ①マウナ・ロアマウナ・ケア コハラ火山コースと ②キラウエア火山コースの2日分だけで 残りの1日は各参加者が御自由にというスタイルでした。 後で何人かの参加者に聞いたところ車を借りて リーダー付きの巡検では寄らない所を回ったり また主催者が用意した観光飛行会社のリストを元に飛行機あるいはヘリコプターからの観察を試みたり様々でした。

第4図に①と②の巡検のコースを 第5図にハワイ島の地形の概略図をそれぞれ示しました。 以下簡単に各火山の紹介をします。 なお2つのコースともガイドブックが配付されましたが そのうち②のコースの方はキラウエア山頂部にある国立公園のビジター・センターで7ドル程度で販売されていました。 それはこのガイドブックがビジター・センターを運営している Hawaii Natural History Association の後援で作成されたためと思われます。 題名は「Geological Field Guide Kilauea Volcano」 著者は Richard W. Hazlett です。

参考までにはほかの市販されているガイドブックも紹介します。 Harold T. Stearns 著「Road guide to points of geologic interest in the Hawaiian Islands」. Ro-

bert and Monica Easton 共著「Highway geology of the Hawaiian Islands」, Barbara and Robert Decker 共著「Road Guide to Hawaii Volcanoes National Park」. 最後の1冊はハワイ島の 火山国立公園の範囲内の案内書で前の2冊はカウアイ オアフ モロカイ マウイ ハワイの5島のガイドブックです。

6. マウナ・ケア (Mauna Kea)

シンポジウムの会場のあるヒロ市はマウナ・ロアとマウナ・ケアの2つの大きな盾状火山がよく見える位置にあります。 しかし会期中にはほとんど曇り空で視界は悪くひどい雨にも会いました。 ハワイとはいえ1月 寒さが骨にしみるタイプの筆者はセーターなど着ていました。 この季節 ヒロ市は天気の良いようです。

しかしそれは風向きと地形によるらしく バスでマウナ・ケアの西側に回ると素晴らしい視界が開けました。 マウナ・ケアとマウナ・ロア間の道路 サドル・ロードからはこの2つの火山が向かい合って臨めます。 マウナ・ロアの稜線が緩かであるのに対し マウナ・ケアの斜面には多くの側火山体突起状に見え 谷地形も比較的発達しています。 この巡検ではマウナ・ケアの山頂部へは回りませんでした。 盾状火山は文字どおり上に凸の斜面を有するため 山頂部はむしろ山体から少し離れた方が良く見えます。 ヒロに発着する飛行機からも山体の上部の多くの小火山体と山頂部にある天体観測所群が臨めます。 マウナ・ケアは火山発達史の上からは現在は 盾状の火山体形成後のアルカリ岩の小火山体生成期に相当しています。 最も新しい活動は完新世内

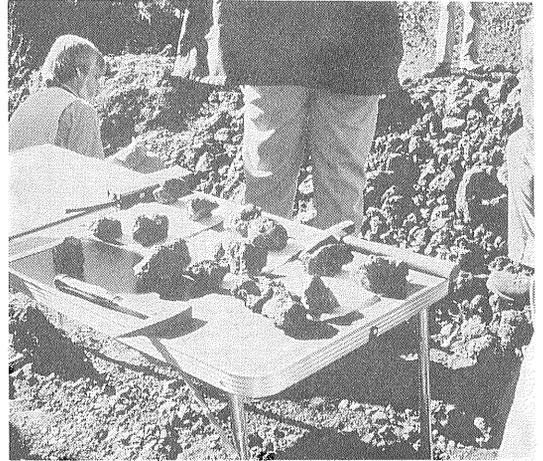
に起きています。5,000年前から3,500年前までの間の噴出物により山頂部の表面の約20%が覆われているくらいです。

マウナ・ケアの特徴としてかつて氷河が存在していたことがあります (Stearns, 1945 など)。最近の研究により山頂が氷河に覆われていたときの火山活動の様子が明らかになりました (Porter, 1987)。アイスランドの氷河の下の火山と比べると規模は小さいですが形態はよく似ています。まずハイアロクラスタイトからなる火山体が氷の下にできます。さらに大きく成長すると山頂部は氷の上に出てシンダー・コーンができます。氷の下の溶岩流の周囲は急斜面で囲まれておりその表面は急冷したガラスからなります。ガラスはパラゴナイト化していることもあります。また一部には枕状溶岩も認められます。氷期はいくつかに分けられますがそのうち十数万年前の Waiha 氷河期には山頂部の 140 km^2 が氷に覆われていたそうです。マウナ・ケアの地質については Stephen C. Porter 氏の一連の研究報告があり Porter (1979) によくまとめられています。

7. マウナ・ロア

マウナ・ロア (Mauna Loa) は long mountain を意味するハワイ語であり 1日の巡検の途中でちょっと立ち寄って見て回れる規模ではありません。そのため巡検の案内者は一工夫してくれました。巡検の参加者が乗るバスとは別に車で先回りした案内者の1人 U. S. G. S. の John P. Lockwood 氏は道路脇の溶岩原の上に折りたたみのテーブルを広げ その上にマウナ・ロアの地質図と代表的な岩石試料を並べて待っていたのです (第6図)。マウナ・ロアの大きな山体を背に Lockwood 氏は熱弁をふるいました (第7図)。付近には建物もなく時折車が走り抜けていきます。参加者が立っているのはマウナ・ロアの1843年溶岩の上です。

マウナ・ロアはハワイ島第2位の高度4,169mを有すること そのため山頂部は雪に覆われることもあること また山腹には長期にわたって CO_2 の濃度を測定している観測所があることなどで知られています。そして最近の話題としては日本のマスコミでも報道されたように1984年3月から4月にかけての噴火があります。この時にはキラウエア火山も活動状態にあり 2つの火山が同時に噴火したのは1919年以來のできごとでした。その前のマウナ・ロアの噴火は1975年にありました。マウナ・ロアの噴火地点は高いことが多く 観測は容易ではありません。たとえば1832年以來記録された32の噴火は海拔3,000m以上の高所で起きており そのうち15



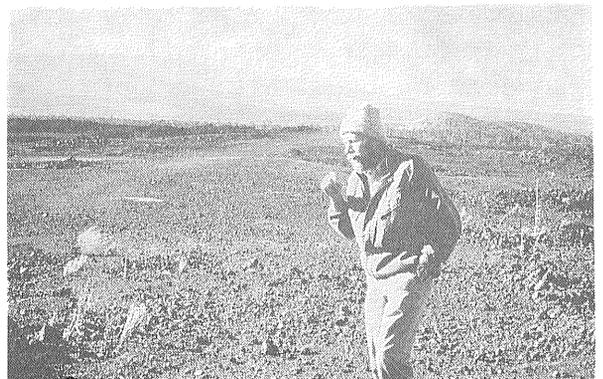
第6図 巡検の案内者の一人は先回りをして 道路脇にテーブルを広げ 地質図と代表的岩石試料を展示しました。

は山頂部での噴火です。地形変動 ひずみ 電気 地化学 重力 温度などの観測手段がマウナ・ロアでもよく適用されるようになってからは 噴火はこの1975年と1984年の2回だけしか起きていません。

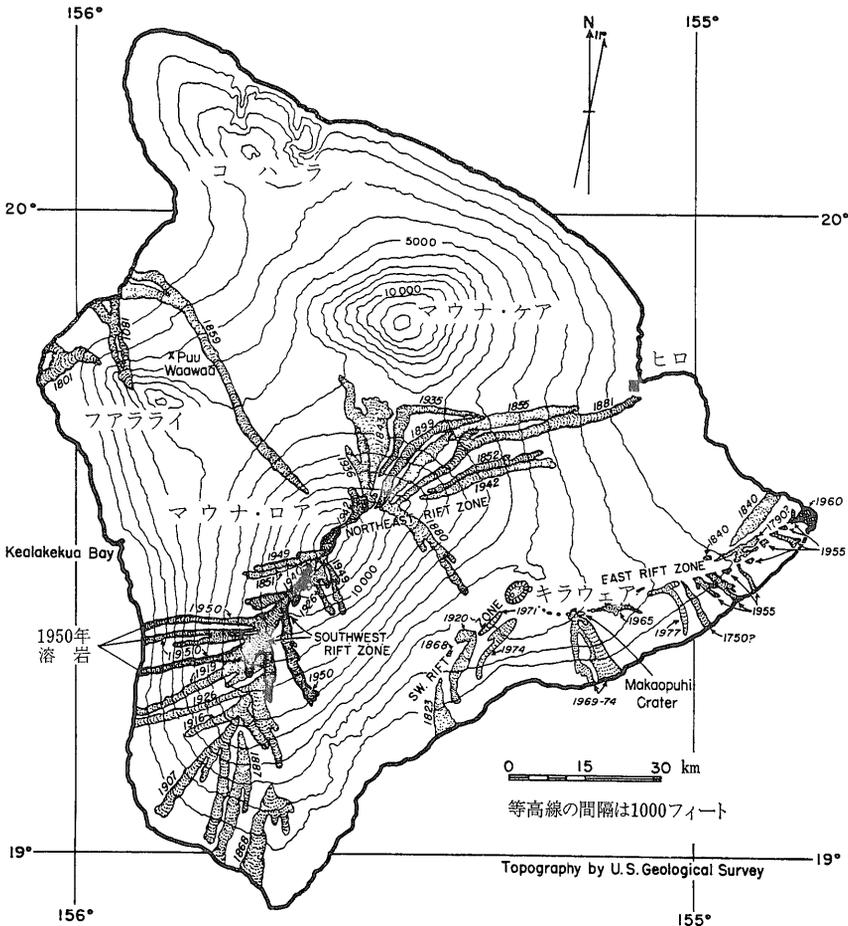
以下に記すマウナ・ロアの話は主に Lockwood and Lipman (1987) Lockwood ほか (1987) 及び Lipman and Banks (1987) によるものです。

7.1 マウナ・ロア1975年噴火

マウナ・ロアでは1950年に観測史上最大規模の噴火がありました。この噴火はマウナ・ロアの南西リフト・ゾーンで起き 噴出した溶岩は 0.376 km^3 に達し 112 km^2 を覆い 溶岩流の先端は幾筋かに分かれ海岸にまで達しました (第8図)。それ以来25年間マウナ・ロアでは噴



第7図 マウナ・ロアを背に熱弁をふるう U. S. G. S. H. V. O. の John P. Lockwood 氏。



第8図 ハワイ島の有史の溶岩の分布。
Macdonald ほか (1983) より。

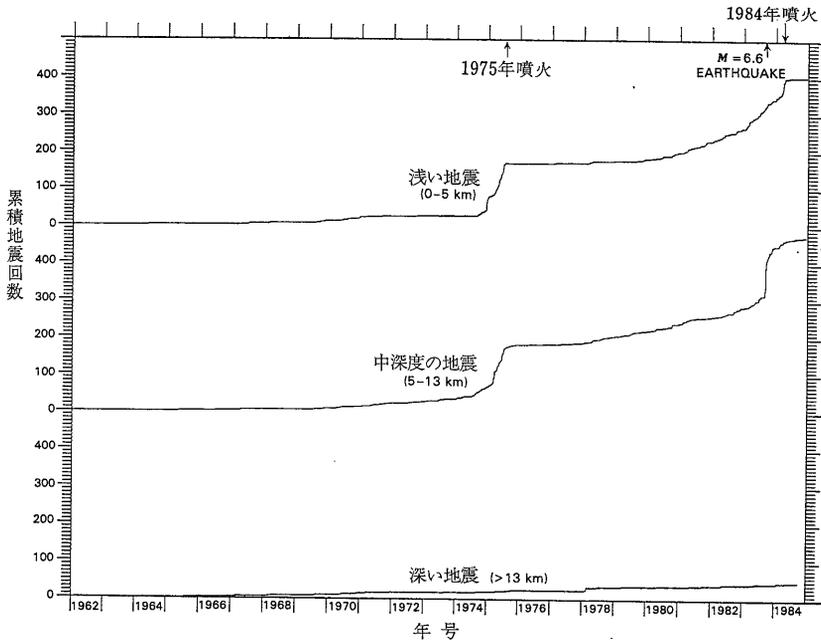
火がなかったのです。

1975年7月5日 23時18分 H. V. O. のスタッフの自宅で H. V. O. からの地震のアラームが鳴りました。微動の振幅が大きくなっていました。彼は23時30分に H. V. O. に到着しました。23時42分 マウナ・ロア山頂の Mokuaweoweo カルデラ (第4図) の南西端付近が赤くなっているのが見え それは約1分間で山頂全体に広がっていきました。翌日の01時48分 H. V. O. のスタッフを乗せた軽飛行機は噴火が始まった山頂部に達しました。なぜこの様な時間にこだわって紹介するのかというと 実はこの噴火はわずか19時間しか続かなかったのです。観測は常に迅速に 良い手本でしょう。先に紹介しましたようにマウナ・ロアの山頂部は海拔が4,000m 以上あります。7月とはいえ高空では温度はかなり低かったようです。H. V. O. の John P. Lockwood Robin T. Holcomb の両氏の乗った飛行機はマウナ・ロアの山頂につくと暖かい赤い雲の中に突入しました。そして彼らはマウナ・ロアでは25年ぶりの火のカーテンを目撃することになったのです。噴火地点の

1987年11月号

上空を飛行中彼らは熱気を感じました。やがて翼に何か滴が付いているのが見えました。ただの水ではなくそれは翼の塗装が熱で溶けてできた滴だったのです。彼らは観測を終えて空港に戻るときは緊張しました。この分では飛行機のタイヤのゴムも溶けているかもしれないと しかし無事着陸できました。翌日も山頂部へ飛行したそうです。

さてこの噴火は山頂部のみで起こり 噴出した溶岩の体積は 0.03km^3 で 14km^2 の範囲に広がりました。噴火後にマウナ・ロア北東リフト・ゾーンで1日数百回の地震と harmonic tremor が1週間続きました。また過去の噴火の経過をみると 山頂噴火の後数日以内に山腹割れ目噴火が多く起こっていることがわかっていました。北東リフト・ゾーンでは1日当たり4cmもの拡大も観測され 逆に山頂カルデラは収縮したことがわかりました。これらの事実はマグマが北東リフト・ゾーンの下に貫入したためであろうと推定され この一週間噴火の警告が出されました。結局地表への溶岩の噴出は一週間が過ぎてもありませんでした。



第9図 マウナ・ロア山頂域の累積地震回数。1962年1月1日から1984年12月31日までのマグニチュード1.5以上の地震をすべて数えたもの。Lockwood ほか (1987) より。

7.2 マウナ・ロアの1984年噴火まで

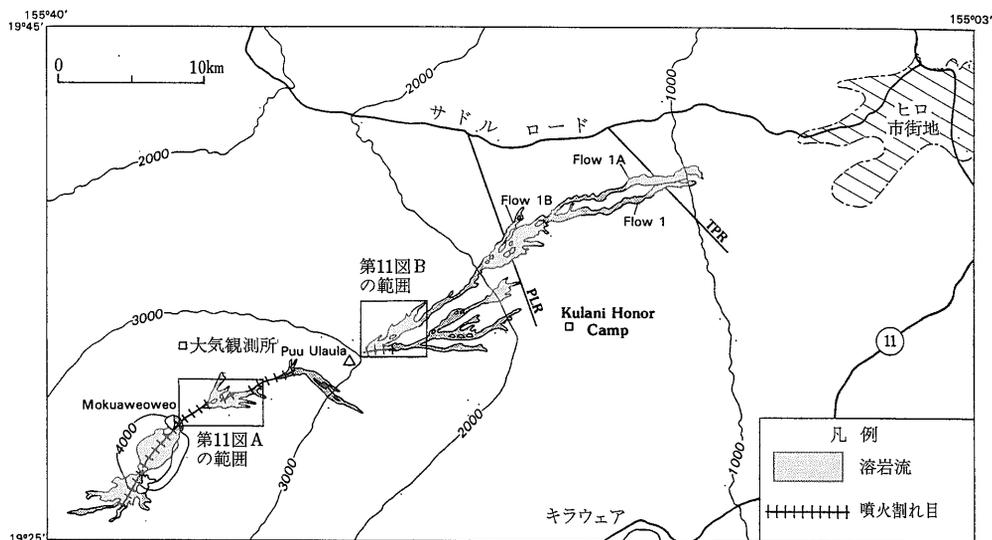
マウナ・ロアの過去の噴火の歴史を調べてみますと1975年7月のような孤立した噴火活動があると その2-3年後に大きな山腹噴火が起こった例が多くあります。そのため Lockwood ほか (1976) は次のような予想をしました。「過去の噴火史から 1975年7月噴火は一連の活動の第1期であると位置づけられる。そのためマウナ・ロアの山腹の大噴火が1978年夏までの間に起こる可能性がある。来たるべき噴火も まず山頂の短い噴火から始まり 山腹噴火は1975年7月噴火後の動きから判断すると海拔2,800-3,000mの間で起こるであろう。過去の噴火の例から判断するとリフト・ゾーンに沿って長さ1-3 kmの割れ目火口ができ そこから高さ50-75 mの比較的低い“火のカーテン”ができるだろう。溶岩流は最初の1-2日間で火口から10kmは流れるだろう。その辺までは山腹の傾斜が急だからである。それより先は傾斜が緩くなるので溶岩の進む速度は遅くなるだろう。」

1975年7月の噴火後 マウナ・ロアの山頂部は膨張し続けました。地形変動測定の結果 マグマは山頂の Mokuaweoweo カルデラの下に供給され続けているものと推定されました。行政担当者はハワイ島最大の都市ヒロが溶岩流に襲われる可能性があると考え ヒロの上流地点で溶岩流を分岐させることなどを検討しました。

しかし 1978年夏になっても噴火は起こりませんでした。

マウナ・ロア山頂域の地下の浅い部分を震源とする地震は1980年頃から急に多くなりました(第9図)。Decker ほか (1983) は「マウナ・ロアがあと2年の間に噴火する可能性が大きくなった。」と予測しました。特に山頂の Mokuaweoweo カルデラの南縁付近に膨張の中心が位置していることがわかっていましたので 過去の噴火のパターン同様まず山頂域から噴火が始まるだろうと考えました。地形の変動は続きましたが 変化の速度が一定であったため噴火予知にはあまり貢献できませんでした。また1975年噴火以降 Mokuaweoweo カルデラ内の噴火割れ目からは色のついた高温のガスが噴出し続けていたため 温度と H₂ 濃度の測定が継続して行われてきました。H₂ 濃度は1983年11月 つまりちょうどマウナ・ロアとキラウエアの中間の深さ12km 地点を震源とするマグニチュード6.6の大きな地震があった時に変化しました。1984年3月の噴火の時には その噴火のためにセンサーが壊されてしまう1時間前までのデータが採れています。しかし残念ながら噴火前の異常は検出できませんでした。

1984年3月18日には登山者が Mokuaweoweo カルデラ内の割れ目 (1975年噴火のもの?) に沿って赤熱部分があるのを目撃しました。また3月23日にはカルデラ内に噴煙が立ち上るのを登山者が見ました。さらに3月24日 つまり噴火の前日には Mokuaweoweo カルデラの中心付近の1975年噴火割れ目から岩石と蒸気が噴出しているのが目撃されました。しかしこれらの報告はす



第10図 マウナ・ロア1984年活動の溶岩と噴火割れ目の分布。等高線の単位はm。Lockwood ほか (1987) より。

ぐには H. V. O. には入りませんでした。

7.3 マウナ・ロア1984年の噴火

1984年3月24日深夜から火山性微動の振幅が大きくなり 3月25日0時56分 42km北西方にあるマウナ・ケア山頂部の天文観測の望遠鏡は微動のために安定せず使用不能になりました。米軍の衛星の赤外センサーは1時25分16秒に強い信号を記録しました。噴火の始まりです。

Mokuaweeweo カルデラ内で始まった噴火は まず南西リフト・ゾーンに沿って割れ目が開き 続いて北東リフト・ゾーン上でも噴火が始まりました (第10図)。

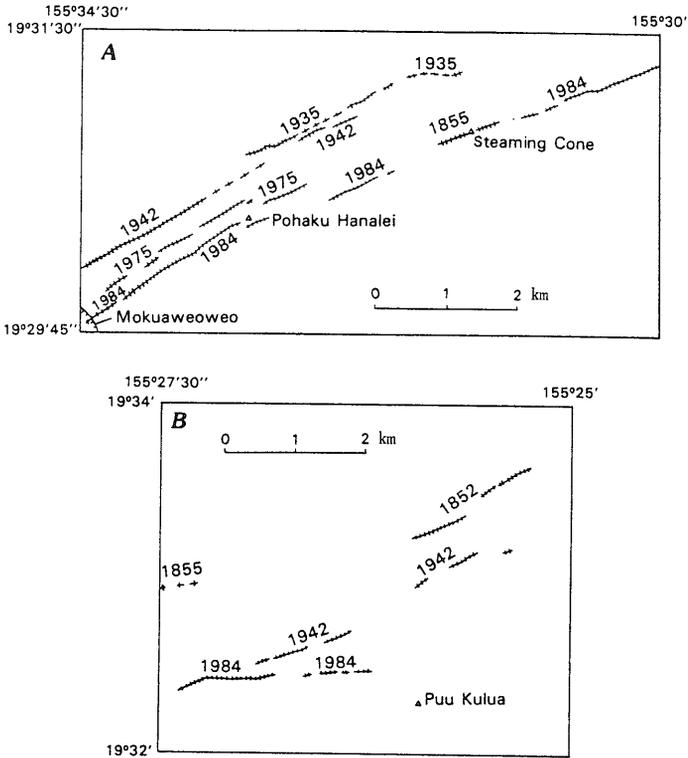
25日9時10分には7km東方のリフト・ゾーン上でも噴火が始まり その割れ目は東西に拡がり 9時30分には長さ2kmの火のカーテンが出現しました。噴泉の高さは10-50mでした。16時41分には Mokuaweeweo 内の最初の噴火地点から19kmも東方の地点からも噴火が始まり ここでも割れ目は東西に開き 18時30分には長さ1,700mの火のカーテンができました。溶岩噴泉の高さは低く 50mを超えることはありませんでした。3月28日には最も低い (東方に位置する) 噴火地点から更に4km東の地点で割れ目から蒸気が出ているのが確認されました。しかしここからは溶岩は噴出せず この地下に岩脈ができただけでマグマはそれ以上は上昇してこなかったものと解釈されました。

3月29日には海拔2,900m地点から噴出した溶岩は25kmも流下し ヒロ市街地の最も近い建物から6km地点まで迫りました。しかし幸運なことにこの速く流下し

てきた溶岩流はその途中で 固結した外側の殻が破れて本流から分岐した別な溶岩流ができてしまいました。溶岩流の分岐は次々と起こり また溶岩の噴出量も4月に入ると少なくなったため ヒロ市街地は溶岩流に襲われる危機から逃れることができました。噴火は4月15日に終わりました。

この噴火が起きたときは 噴火を予測した Decker 氏の米国本土への転勤の時期でもありました。噴火の前日の夜 噴火が始まる2時間前まで 彼のさよならパーティーが開かれていました。地元の新聞によれば 彼は火山の現象を一般の人にもよくわかるように説明してくれる点で評判が良かったそうです。

この噴火によりマウナ・ロアの北東リフト・ゾーンに沿って流れた溶岩流はよく観察され その形態 流速 温度 密度 微斑晶量 化学組成などの多くのデータが系統立てて得られました。溶岩の温度は溶岩流に対してはクロメル・アルメル熱電対を挿入して 溶岩噴泉に対しては赤外温度計を用いて離れた所から測定しました。噴出口の下流数百m地点での溶岩の温度は1,140°C±3°Cで一定でした。これより10km下流の地点でもその温度は1,135°C±5°Cであり 湿度はあまり下がっていませんでした。また噴出した溶岩の化学組成はほとんど均質でした。溶岩の流下速度はいくつかの地点で求められ 速いところでは30m流れるのに1.7秒つまり秒速17.8mという値が得られました。これは傾斜が急 (6.5°) な場合ですが その速さは時速64kmであり Macdonald and Abott (1970) に示されているそれまでの最高記録; 時速56km (原著では時速35マイル) をしの



第11図 マウナ・ロアの北東リフト・ゾーン上の有史の噴火口列の位置。火口列の位置が次第に南に移動していると Lockwood ほか (1987) は指摘しています。図の位置は第10図参照。

ぐスピードでした。ただしこれは特に速い部分の記録でありほかの大部分の流れはもっと緩かなものです。

この噴火の様子は先に書きました Lockwood ほか (1976) が予想したものとかなり良く一致しています。しかし噴火の時期は約6年間はずれました。

さて1977年に 海拔1,150m 地点に高さ4-5m 長さ40mの堤防が建設されました。溶岩の流れを制御することができるかどうかテストするためのものです。1984年4月2日 溶岩の一部がこの堤防に達しました。溶岩はどんどん厚くなり ついに4月8日には厚さ10-12mになって堤防の上を超えてしまいました。

1984年噴火では最終的に0.22km³の溶岩が噴出し 48km²の土地を覆いました。溶岩の厚さは薄いところでは1m以下 そして流れの先端部のア溶岩の厚いところでは18mにも達しました。

前にも書いたようにこの噴火の期間中 3月30日にはキラウエアの東のリフト・ゾーン上の Puu Oo も噴火しました。しかしながらマウナ・ロアの噴火にはその影響は認められず この2つの火山のマグマの活動は全く独立しているものと考えられています。

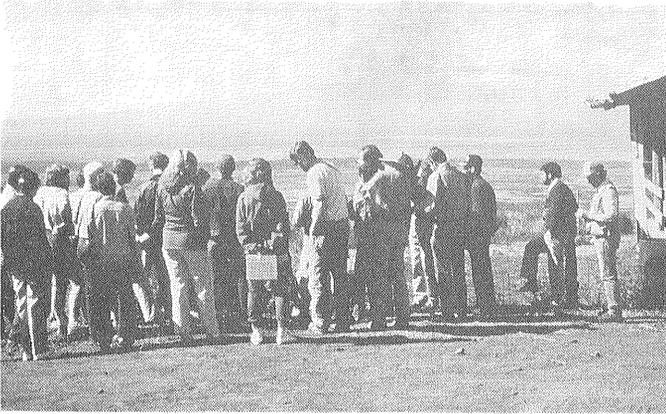
7.4 マウナ・ロアの次の噴火の予測

まず過去の噴火の歴史を調べてみますと マウナ・ロ

アの表面の40%が最近の約1,000年間の噴出物で覆われていることがわかりました。ただこれは長期的な話ですから短期的な噴火活動にも その割合をそのまま適用することはできません。

噴火が起きる場所についてはどうでしょうか。1832年以来の32の噴火の大部分は海拔3,000m以上の地点で起きています。そのうち15回は山頂部 2回は北西斜面 7回は南西リフト・ゾーン 8回は北東リフト・ゾーン上でそれぞれ起きています。これらの噴火発生場所の頻度は将来の活動にも適用されるものと思われています。

また南西リフト・ゾーン上では 1868年から1950年にかけて噴火の位置は山の上の方に移ってきています。一方北東リフト・ゾーン上では特に今世紀に限ると噴火の位置が南に移ってきています(第11図)。もしこの傾向が今後も続くとすると 北東リフト・ゾーン上からの溶岩が南方へ流下することも考えられます。この南斜面は自動車道路も少なく もし噴火したら調査者は難儀するだろうなどという予想もされています。北東リフト・ゾーン上の噴出物で噴出年代がわかっている溶岩のうち体積にして90%以上が北側に流下しているのです。噴出口の位置の情報も流下する溶岩の分布を予測する上で重要です。



第12図 フアラライ火山を遠望する道路脇で 地質と岩石について議論する参加者達。

残念ながらマウナ・ロアの次の噴火についての短期的な予知に関する報告類は見当りませんでした。今のところ異常なしなのでしょう。

8. フアラライ (Hualalai) 火山

マウナ・ケアの西方の道路沿いにマウナ・ロアとフアラライの2つの火山が良く遠望できる場所があり、ここでしばらく景色を眺め、また岩石の説明がなされました(第12図)。直接岩石に触れるわけではないので頭の上を岩石の話がとびかっているようでしたが、この2つの火山は眺めるだけでも楽しいものです。というのはマウナ・ロアは全く緩やかな稜線を示すのに対し、フアラライのスカイラインには凹凸が見られます。以下主に R. B. Moore ほか(1987)によりフアラライ火山の概略を記します。

フアラライ火山には北、北西及び南南東の3方向にリフト・ゾーンがあります。リフト・ゾーン上に多くの小火山体があり、スカイラインはでこぼこしていません。

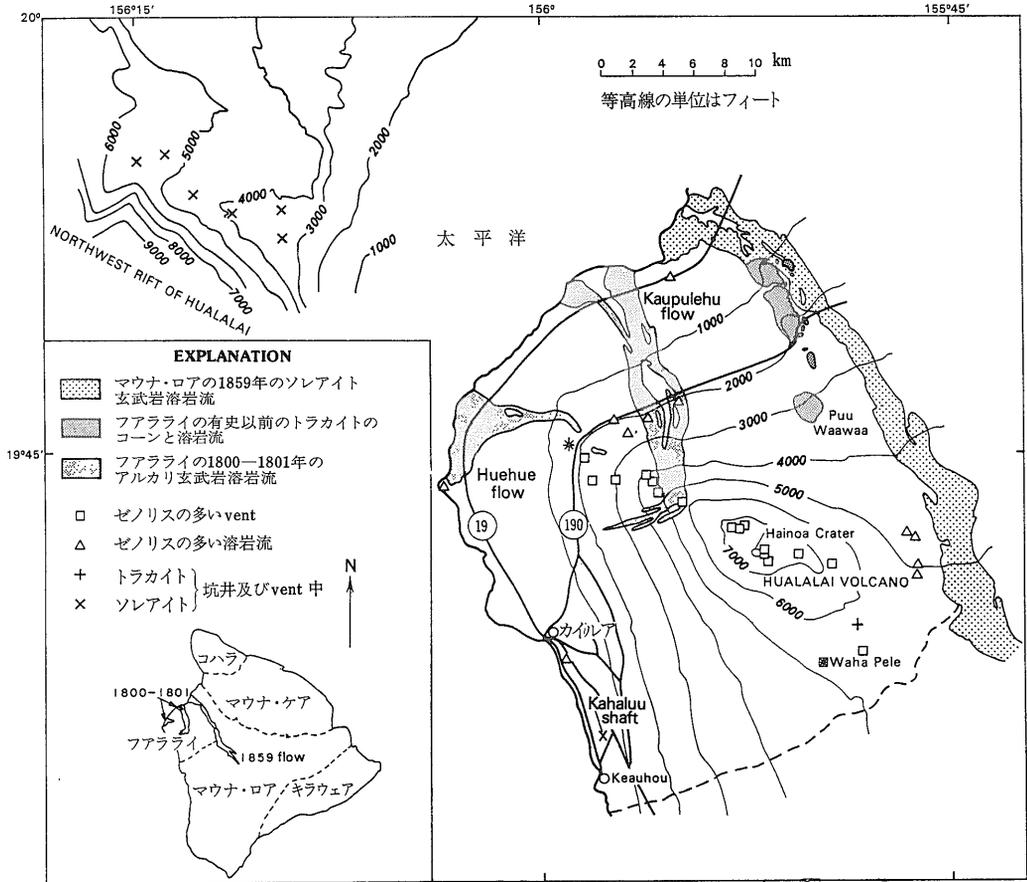
さて一般にハワイの火山は、その発達史上では、ソレライトからなる盾状火山形成期、アルカリ岩からなる後盾状火山活動期、アルカリ岩からなる再生活動期に区分されています(第16図参照)。フアラライ火山の地表の斜面にはソレライトは見られません。ソレライトはフアラライの北西のリフト・ゾーンの海中への延長上と何本かの坑井内でのみ確認されています(第13図)。

しかしフアラライ火山を作っている岩石はそれほど古いものではありません。1800-1801年のアルカリ玄武岩はたくさんの超塩基性岩のノジュールを含むことで有名です。また現在火山体の地表部の斜面の25%は最近の1,000年以内の噴出物で占められており、同じく55%は最近の3,000年以内、95%は完新世の噴出物が占めて

います。フアラライ火山のソレライトはマウナ・ロア火山の岩石と似ています。このソレライトを覆うアルカリ岩の大部分はアルカリ玄武岩で、少量のハワイアイトとトラカイトも見られます。特にフアラライ山頂の北東方向にある Puu Waawaa は大きなトラカイトの火山体です。Puu Waawaa は約10万5千年前に噴出しました。周囲が比較的急斜面で囲まれた火山体と溶岩流とを合わせた体積は 5.5km^3 あります。この体積は単一の噴火による噴出量としてはハワイ島の他の噴火と比べて桁違いに大きいものでした。またこのトラカイトは SiO_2 が約63%、 Na_2O と K_2O の合計が約12%で、ハワイ島の火山岩の中では最も SiO_2 量が多い岩石です。

Puu Waawaa 付近では1976-1978年に地熱の調査が行われました。この火山噴出物が良く分化したマグマからもたらされたということは、それだけ長い間マグマ溜りが生き続けていたということを示し、それは熱源として有望であると考えられました。S. D. Keller (1987)によれば、この周辺で電気探査、地磁気地電流法探査(MT法)、土壌中の水銀調査などが行われました。その結果はキラウエア火山の熱水系で得られた結果とよく似ていました。そのため2本の坑井が掘削されました。深さは2 kmにも達するものです。しかしながら得られた温度データは衝撃的なものでした。坑井内には地表の水と同じ冷水しか存在しなかったのです。

フアラライ火山のリフト・ゾーン上は Puu Waawaa に比べると活動の年代が若く、地熱のポテンシャルが高いと考えられています。フアラライのリフト・ゾーンの空中磁気異常値は他のハワイ島の火山のそれと比べると小さいことがわかっています。これは玄武岩と比べて磁気異常が弱いトラカイトがリフト・ゾーンに分布しているためであり、残念ながらキュリー点より高温の物質が伏在するためではないという見解が示されています。ただ電気探査によって得られた異常のパターンは



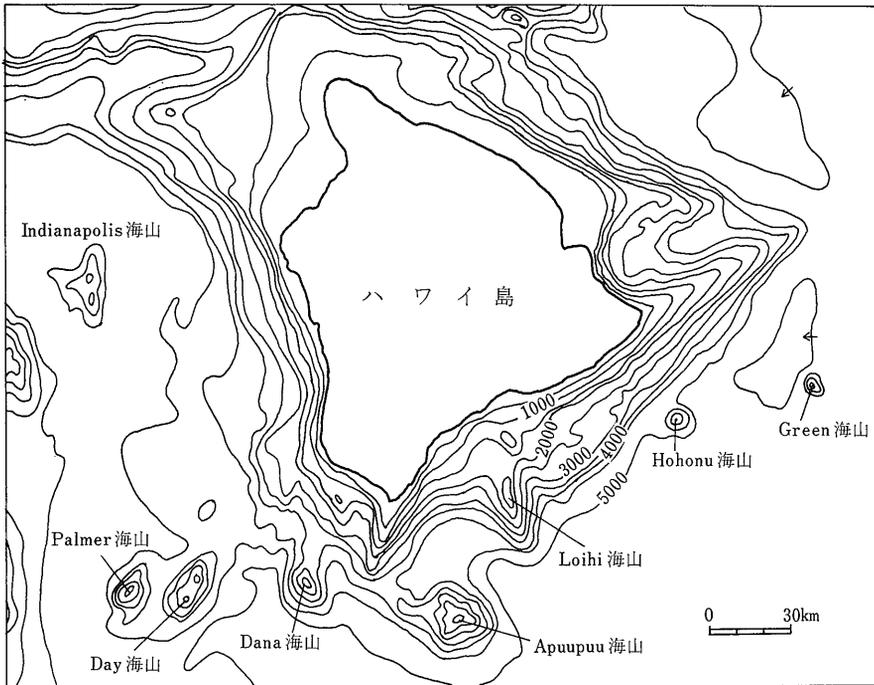
第13図 フアラライの概略図。現在フアラライ火山の表面はアルカリ岩に覆われており ソレイトは坑井内とマール噴出物 それに北西方の海底からのみ得られています。 R. Moore ほか (1987) より。

キラウエアのものによく似ているために 山頂部や1800年溶岩噴出地点付近では比較的浅所に低比抵抗体が分布しているのではないかとこの考えもあり 今後地熱の調査が期待されているそうです。

さてフアラライの山体の下では地震活動はあまり活発ではありません。最近の16年間の測定では火山性の微動は記録されていません。1929年には約1ヶ月間群発地震が続きました。このときはマグマが地下に貫入したのではないかと考えられました。

フアラライでは1801年以来186年間噴火はありませんでした。しかしこの火山では最近の1万年間に約200回の噴火がありました。つまり平均すると50年に1回の割合です。ですから将来フアラライが噴火する可能性は大きいと考えなければなりません。数十年間以内に噴火することもあり得るでしょう。過去の噴火の経緯から判断すると フアラライではマグマの上昇速度は大きく 噴火に先立つ地震活動の期間が短い可能性があ

ります。またフアラライの山体の斜面は急であるため溶岩が大量に流出した場合にはその流下速度が大きくなることが考えられます。たとえば観光地として有名なカイルア(コナ)の街はフアラライ山頂からわずか15kmの地点に位置し その間の斜面は9.5°もの傾きがあります。フアラライ火山のどこで次の噴火が起きるかは現段階では予測できません。しかもリフト・ゾーン上の地形は起伏に富んでおり 人口の多いカイルア地区に溶岩が流下してくるのか ほとんど人家のない区域に流れるのかを予測することも難しいのです。過去の溶岩流の厚さから判断すると 溶岩の流れをかわずのためにちょっとした障壁を造ることはあまり効果がなさそうで災害に会いそうになったら避難の方がよさそうだとこのことです。



第14図 ハワイ島周辺の海底地形図。
等深線の間隔は500m。
多くの海山のうちロイヒだけが活火山で、ほかは白亜紀のもので、Chase ほか (1980) を簡略化。

9. コハラ (Kohala) 火山

巡検のコースはサドル・ロードを北西方向に下り、緩やかな牧場の間を抜け丁度昼に海岸に着きました。用意のよい参加者は水着持参であり、昼食後海水浴を楽しみました。用意の悪い筆者はその間ほとんど面識のない参加者の荷物の番をさせられました。さてこの辺からは5つの大型盾状火山が同時に見えます。東から時計回りにマウナ・ケア、マウナ・ロア、フアラライ、海に向こうのマウイ島のハレアカラ、そしてハワイ島では最も古いコハラ火山です。ハレアカラ火山は少しかすんでいましたが、5つの火山をぐるりと見渡せるのは実に壮快であります。

コハラ火山のリフト・ゾーンは北西—南東方向に伸びており、頂部にはいくつかの小火山体が認められます。このリフト・ゾーンを挟んだ北東(風上)側と南西(風下)側の様子はだいぶ違います。南西側は明るく、比較的緩やかな斜面が広がっています。一方北東側は天気が悪く(巡検の日にも雨に降られました)、谷地形が発達しています。巡検時の岩石の採取は南西側の斜面上で行われました。北東斜面の岩石は地下深所まで風化しており、とても化学分析に足るような試料は得られないのだそうです。

コハラ火山の活動は大きく盾状火山形成期とその後のアルカリ岩噴出期に区分されます。ソレライトからな

る盾状火山は約40万年前にはできあがり、またその岩石がすべて正常磁を示すことから73万年前よりは新しいと考えられています。盾状火山形成後の岩石はハワイアイトやトラカイトで、玄武岩と比べると色もだいぶ明るいものです。最も新しい活動は約10万年前に起こりました。

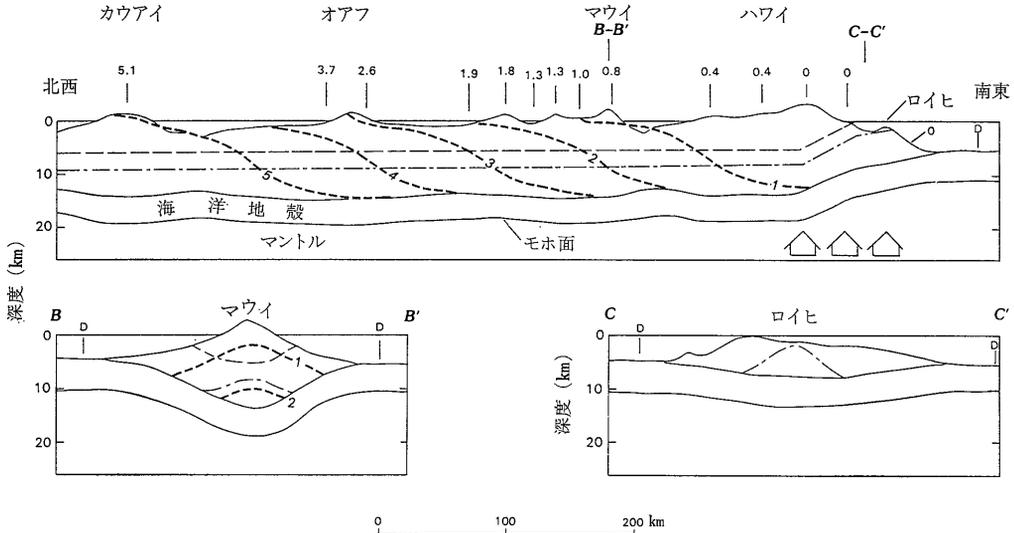
10. キラウエア (Kilauea) 火山

今回のキラウエア火山の巡検は第4図に示したように少し効率が悪くなっています。というのは東リフト・ゾーン上のPu'u O'oの噴火により、海岸沿いの道路が遮断されてしまったためです。巡検ではハワイ火山観測所、キラウエア山頂カルデラ内ハレマウマウ火口、Pu'u O'oからの溶岩流が海岸に達した所などを回りました。これらについては稿を改めて紹介する予定です。

11. ロイヒ (Loihi) 火山

ハワイ島の火山巡検により5つの巨大な盾状火山を概観することができました。ただこれだけでは不満に思う方もいらっしゃるかも知れません。ハワイで最も新しい火山であるロイヒ火山の説明が抜けていました。

ロイヒはハワイ島の南にある海底火山ですから、簡単に見学するわけにはいきません。ロイヒ海山が発見された



第15図 地震探査と重力測定に基いたハワイ諸島の模式断面。

太い破線：火山噴出物の等年代線（単位100万年）。 細い破線：陸上に噴出した溶岩と海中に噴出した溶岩の境界。 一点鎖線：線の上はソレライト玄武岩 下は初期のアルカリ玄武岩。 太い矢印：ホット・スポットの位置。 水平：垂直比=1:4 J. Moore ほか (1987) より。

のは比較的最近のことです (Emery, 1955)。ただしハワイ諸島の周囲にはほかにも海山はたくさんあります (第14図)。それらは白亜紀に形成されたものです。ハワイの地震観測網が整備されるに従ってロイヒ海山付近で浅い地震の活動が活発であることがわかりました (Klein and Koyanagi, 1979)。ロイヒは活動的な火山である可能性があることからドレッジが行われました (Malahoff ほか 1982; Moore ほか 1982)。その結果ソレライトとアルカリ玄武岩が採取されました。これは衝撃的な発見でした。というのはそれまでハワイの火山の活動史は大きく3つのステージに区分されていました。それらは①盾状火山形成期 (ソレライト) ②後盾状火山活動期 (アルカリ岩) 及び ③再生活動期 (アルカリ岩) であり 地形発達史を加えるとより細分されてはいましたが いずれも最初に形成される盾状火山はソレライトからなると考えられていました。ところがロイヒ火山からは2種の玄武岩片がドレッジされました。それらの年代は0.5-1.6ka であり アルカリ玄武岩の方がソレライトよりも幾分古い傾向がありました。そのためまず最初にアルカリ岩の活動があったという新たな火山発達史が組み立てられたのです (Peterson and Moore, 1987)。ただし盾状火山形成の初期にアルカリ岩が噴出したことが確認されたのは このロイヒ火山だけです。

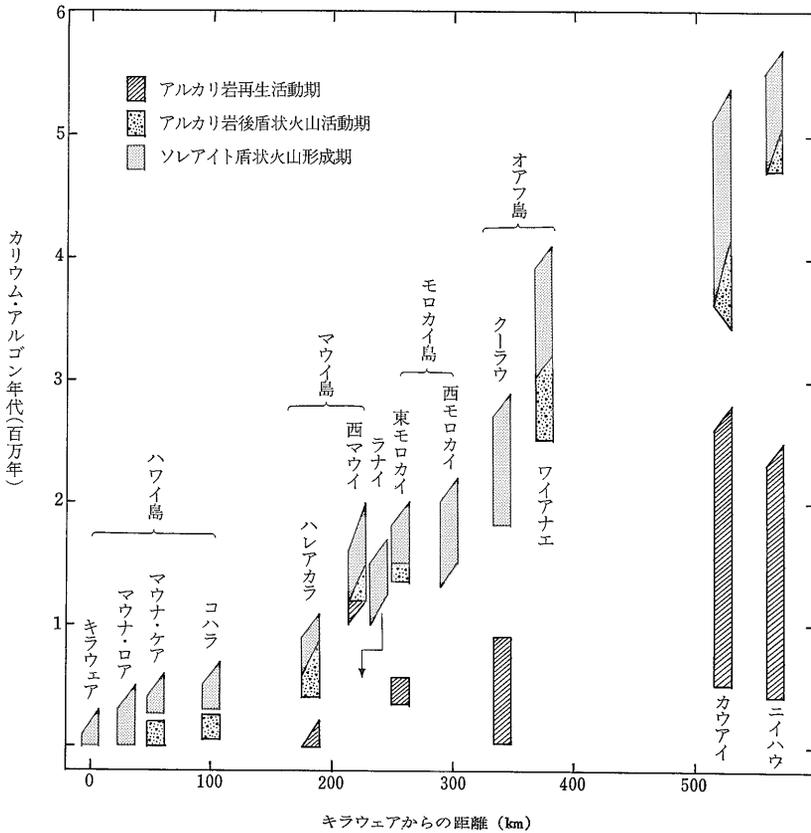
その後 Malahoff (1987) はロイヒ火山頂部の微地形

重力及び磁力探査の結果をまとめて示しました。それによればロイヒ火山の周囲は水深4,000m以上あり山頂は水深969m リフト・ゾーンは北西-南東方向に伸び長さ31kmあることがわかりました。さらに山頂部には既に径2.8km×3.7kmのカルデラ様の陥没があり その中には深さ73mと146mの2つのピットまであることが明らかになりました。磁気異常解析結果によれば海山全体としては正の異常を示すけれども山頂部はむしろ小さな負の異常を示し これは山頂部の地下に磁性の弱い岩体 多分活動的なマグマ溜りが存在するためであろうと推定されています。また潜水調査によりカルデラ内には熱水活動も認められました。

12. ハワイ島とハワイ諸島

巡検のコースなどにしたがってハワイ島の5つの火山とロイヒ火山をざっと紹介しました。そこでここでは簡単にハワイ島及びハワイ諸島の最近の研究のまとめを紹介します。

ハワイ-天皇火山列の地形測量及び年代測定についてはますます精度の良いデータが集積され 火山列の長さは計6,000km 最も古い海山の年代は75-80Ma 火山体の体積の合計は100万km³ 移動速度は8.6±0.2cm/年と算出されています。またホット・スポットの位置は最近の4千万年間は同じですが 65Ma-40Maに7°南

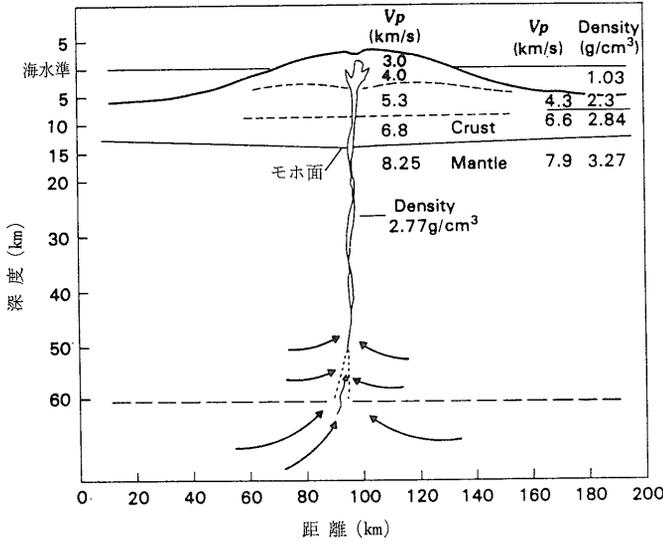


第16図 ハワイ諸島の火山活動史。火山活動をソレイトの盾状火山形成期 アルカリ岩の後盾状火山活動期 アルカリ岩の再生活動期の3つに区分し年代を示してあります。Clague and Dalrymple (1987) より。

にずれました。ホット・スポットそのものの成因についてはまだ諸説あり 意見の一致をみません (Clague and Dalrymple, 1987)。ハワイの火山は成長の過程で地下のマグマが噴出することと 噴出した火山体の荷重のために沈降します。火山体が完成する頃には その中心部の底面は5-8 kmも沈降します (第15図)。ハワイ島の現在の沈降速度は年間数mmと見積もられています。ハワイ諸島の各島の火山発達史上の区分とその活動の年代は第16図の様にまとめられました (Clague and Dalrymple, 1987)。ところで太平洋中の火山では体積の見積りに注意を要します。例えば 地上部分の体積はマウナ・ロア： $7.5 \times 10^8 \text{ km}^3$ キラウエア： $0.7 \times 10^8 \text{ km}^3$ と その体積比は10:1程度であるのに対し 海中部分も含めるとマウナ・ロア： $42.5 \times 10^8 \text{ km}^3$ キラウエア： $19.4 \times 10^8 \text{ km}^3$ となり その比は約2:1になっています (Peterson and Moore, 1987)。海面下の火山斜面の研究も進んでいます。山体の上部の傾斜はマウナ・ロアで最大 8° マウナ・ケアで 13° と例外的に急ですがキラウエアやマウナ・ロアの標高2,000m以下では約 4° と緩かです。それに対し海面下500m以深では 13° もあります。これは水の浮力効果のために溶岩が流れ

にくかったためです。傾斜が 19° もあるような海底では地すべりが起こり その堆積物が海底地形の精密調査により明らかになっています (Mark and Moore, 1987)。

Peterson and Moore (1987) は ハワイ島の岩石の全岩分析値 834 個について 各火山ごとの岩石の化学組成の傾向を論じました。ちなみにその内訳はコハラ:36 マウナ・ケア:36 フアラライ:293 マウナ・ロア:117 キラウエア:340 ロイヒ:12です。ほかにも分析値は多数あり 全部でいくつになるかは 筆者も数えたことがないのでわかりません。ハワイの岩石学については筆者は紹介する能力がありませんので割愛させて頂きますが マグマはマントル中で生成し 地殻中に溜まり 分化あるいは混合し 噴出するという過程が岩石化学と地球物理的のデータを総合した結果得られています (第17図)。今後はマグマ生成の精確な場所の推定などが課題として残されています。例えばハワイのキラウエア マウナ・ロア ロイヒの3つの火山では 深さ15 km 以浅の地震の震源はそれぞれの火山体の真下に縦に長く分布しています。ところがより深所の地震の震源は3つの火山の中程の広い部分に分布する傾向があります (第18図)。この深さ30-60kmで起きている地震も



第17図 ハワイのマグマ生成に関わる模式断面図。 Decker (1987) より。

マグマの上昇と直接関係しているものなのでしょうか。ロイヒ火山の直下にはなぜ深い地震は観測されていないのでしょうか。これからも地球物理データと岩石化学データを考え合わせた研究が進んでいくことでしょう。

13. ハワイに関する最近の出版物

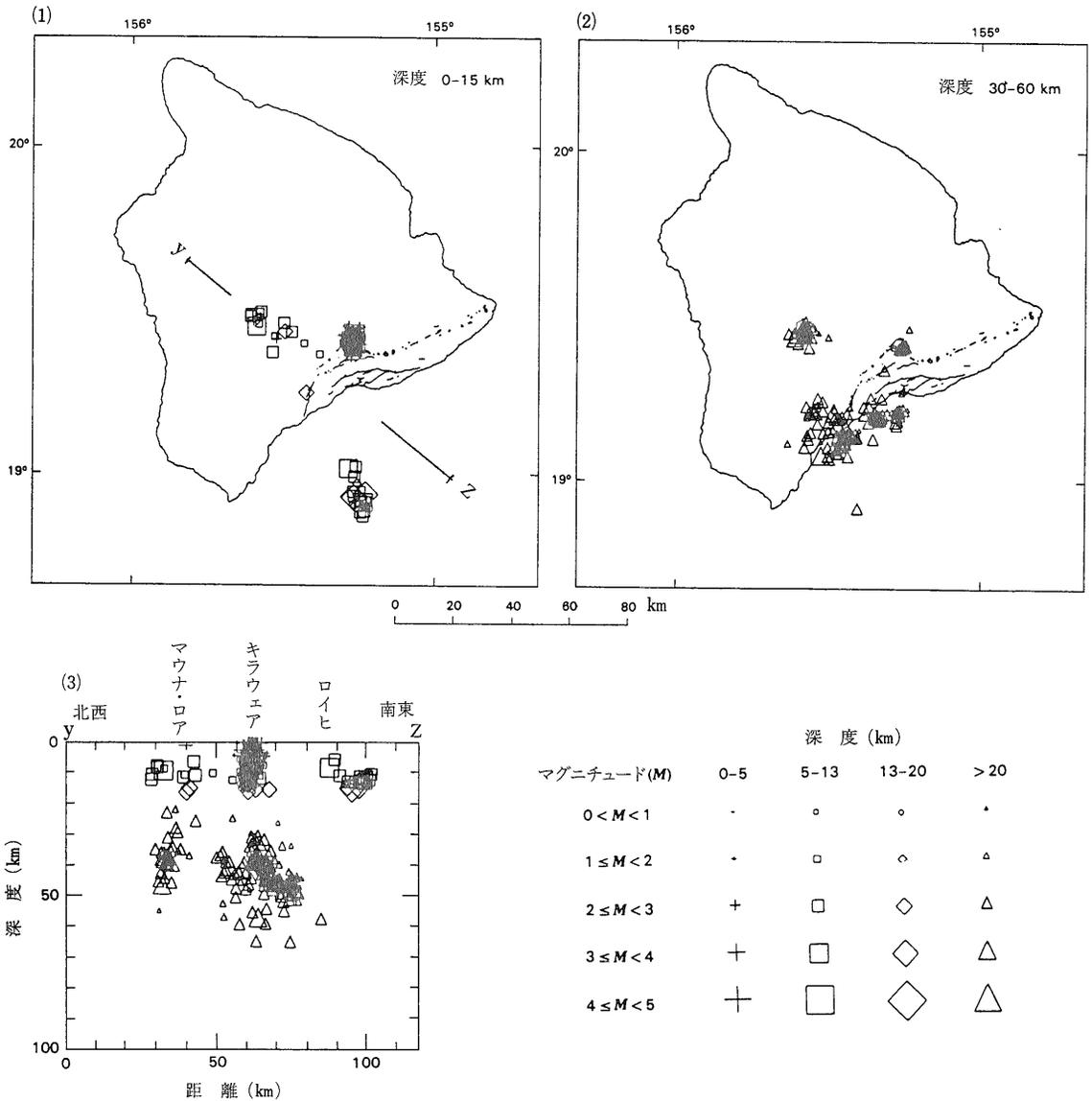
ハワイ諸島全島の地質を調査し その結果を地質図と莫大な量の報告書にまとめた人がいます。Harold T. Stearns. 1900年生まれの彼は地下水調査との関連からこの火山諸島の調査を行いました。ハワイ諸島全域をカバーする地質図は他になかったために 今でも彼の地質図は引用されることがあります。彼はそれらの成果を1966年に「Geology of the State of Hawaii」として著しました。しかしそれは少なくとも1977年の時点では売り切れていました。1985年 第2版が出版されました。現在 U. S. G. S. の地質研究者を中心に地質図の改訂作業が続けられていますが なおしばらくは彼の地質図は引用され続けるでしょう。

もう1人ハワイの主的存在として Gordon A. Macdonald (1911-1978) があげられます。彼は Niihau 島以外の島の地質調査を行い 特にハワイ島では1940年以來の多くの噴火を目撃し 記録してきました。Agatin T. Abott (1917-1975) との共著「Volcanoes in the Sea」(1970年出版) は 彼の教科書「Volcanoes」(1972年出版)の基になっています。1983年に「Volcanoes in the Sea」の第2版が Macdonald, Abott, F. L. Peterson 共著として出版されました。第1版と比べて本の大きさ 内容及び写真の一部がかえられています。

この Stearns と Macdonald ほかの 最近再版された2冊の本はハワイの成り立ちを理解する上で良い教科書となるはずですが。

「The Volcano Letter」(1987) Smithsonian Institution Press 発行。1925年から1955年まで H. V. O. が中心になって発行したニュースの復刻集成版で 厚さ約5 cmあります。ニュースの番号は1から530までありますが 発行者 発行の頻度 ページ数 内容は時代(予算)とともに変遷しました。ハワイの火山の活動状況報告のみの場合もあり 世界各地の火山の報告や地球科学のトピックスが載せられていることもあります。日本の火山の紹介も多く掲載されています。ページ数は少ないときはわずか1ページであり 全部そろえるのは大変だったようです。古い写真にはその後の地形変化により現在では見ることでできない貴重なものも含まれています。火山活動の速報的性格は 1975年から Smithsonian Institution が発行している SEAN (Scientific Event Alert Network) Bulletin に引き継がれています。また最後の頃の Letter の末尾には H. V. O. の職員録が載っています。全職員で6人です。それと地震計の維持を6つの学校に委託していたようです。今では職員は30人弱 50地点に設置された地震計のデータは即座に処理できるシステムができあがっています。

最近のハワイの火山活動とその観測業務の紹介は2冊の小冊子によくまとめられています。それらは両方とも U. S. G. S. から出版されたもので「Earthquakes and Volcanoes, Vol. 18, No. 1, Volcano Monitoring at the U. S. Geological Survey's Hawaiian Volcano Observatory.」71p. (1986) と「Eruptions of Hawaiian Vol-



第18図 ハワイ島の長周期地震の震源 (1972-1984年).

(1): 深度 0-15km を震源とする地震

(2): 深度 30-60km を震源とする地震

(3): 北西-南東断面 ((1)図中に示した Y-Z 幅 80km 分をプロット. Koyanagi ほか (1987) より.

canoës : Past, Present, and Future.」54p. (1987) です。これらはその題名からも想像されるように ハワイの火山活動の実体と その観測業務を広く一般で紹介するために作成されたものです。カラーの写真と図面が鮮かで その意気込みに圧倒されます。同時にそれは数多くの噴火の経験とその研究成果の裏付けがあるからできることであって 日本の火山では Past と Present の紹介はできてはなかなか Future についての自信ある紹介が難しいのではないかと思います。

また野外で直接使用する色刷りの地図も出版されています。地形図は U. S. G. S. の規格品のほかに各島の地形図がハワイ大学出版会から発行されていますが ここに紹介するのは「Hawaii Volcanoes, National Park and Vicinity, Hawaii, 1 : 100,000-Scale topographic map」で米国地質調査所が1986年に発行した地形図です。キラウエアの全部とマウナ・ロアの一部を含む範囲が縮尺10万分の1 キラウエアの山頂部が縮尺24,000分の1でそれぞれ示されています。これらの図面の基になって

いるのは32区画にわたる24,000分の1地形図ですが、その発行年は1980-1982年のものです。また2つの図面とも噴出年がわかっている溶岩流の分布が示されています。この分布図は米国地質調査所が1985年の時点でまとめたものです。キラウエアでは1823年から1985年までマウナ・ロアでは1843年から1984年までの溶岩の分布が示されています。この最近の溶岩流の分布だけを見ると2つの火山とも噴火は山頂とそれから伸びるリフト・ゾーンのみから起こっていることがよくわかります。この地図には付図としてハワイ島の年間平均降水量分布図1825年作成のキラウエア山頂部の古地図が示されているほか3葉の噴火のカラー写真及びRobert and Barbara Decker夫妻によるハワイ火山国立公園内の地質・地形・地名の解説が加えられています。手軽に持ち運べるサイズに折りたたまれていて便利です。

以上に最近のハワイに関する出版物を簡単に紹介しました。しかし何と言っても最新の最も網羅的な出版物は次に示すU.S.G.S.のProfessional Paper 1350 (1987)でしょう。

巻頭言でU.S.G.S. 所長 Dallas L. Peck は H. V. O. の創設者 Thomas A. Jaggar が示した研究目的を復唱しています。1つは噴火現象だけでなく噴火と噴火の間の火山についても良く理解することであり、またもう1つは研究成果を火山災害の軽減に役立てることである。また H. V. O. は火山研究者のトレーニング・センターの役割も果たしてきたことも強調しています。何せ当の Peck 自身も H. V. O. で研究生を送っていたことがあるのですから。キラウエアの溶岩湖の生成やその冷却過程の研究成果などが既に彼及び共同研究者によって発表されています。また Peck はこのトレーニング・センターを出た多くの火山研究者がいたからこそ1980年のセント・ヘレンズの噴火の際にも火山活動のモニタリングや噴火の予知が可能となり、多くの人命を救うことができたのだと述べています。この辺は日本の火山研究者にとっては耳の痛いところでありませぬ。

また序文の中で3人の編者 Robert W. Decker, Thomas L. Wright 及び Peter H. Stauffer は次のように述べています。地震学、岩石学、地球化学など細かな学問分野の中だけでは火山を理解することはできません。火山を理解するためには、いくつもの学問分野にまたがるような研究をしなければならないし、H. V. O. ではそうしています(意識)。これまた日本の火山研究の現状にはきつい指摘であります。

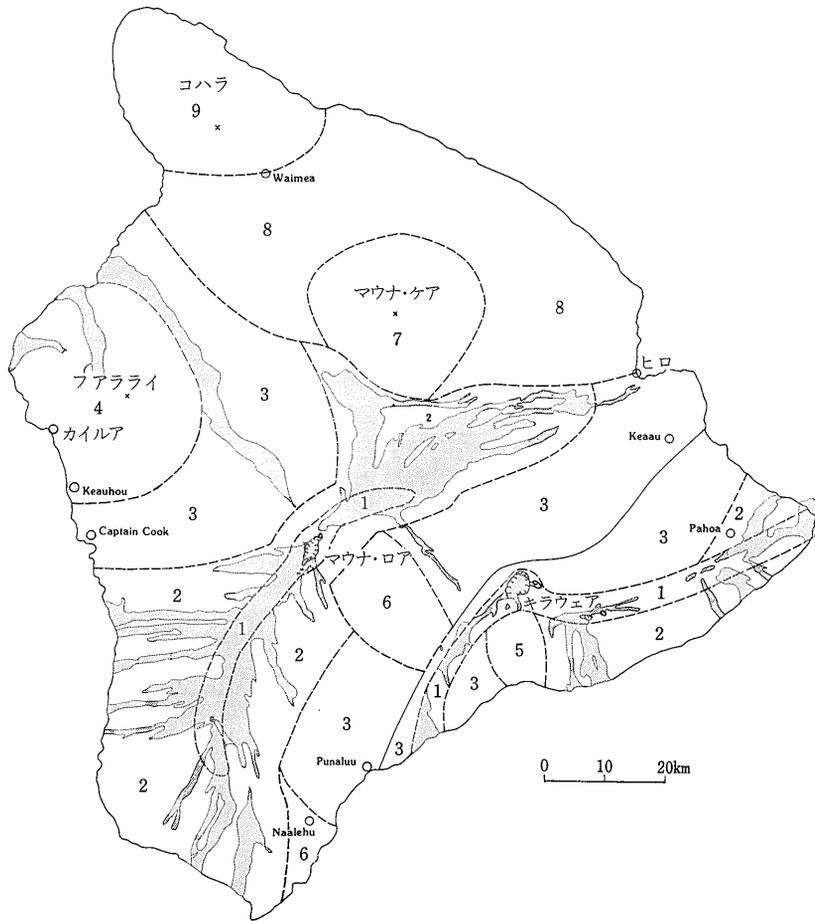
この本は2分冊からなり、総ページ数は1,667ページ、最初に難点を挙げれば、重すぎます。

62の章はそれぞれ独立した報告であり、それらは大きく6つにまとめられています。①自然地理 テクトニクス及び海底地質(6編): ハワイ諸島の成り立ちや最近精密に測定されるようになった海底地形及びロイヒ火山などの記述があります。②ハワイ島の地質(16編): キラウエアとマウナ・ロアの最近の地質調査結果がまとめられています。¹⁴C年代測定結果により、少なくとも地表の地質のまとめはほぼ一段落したところです。フアラライとマウナ・ケアについては一章ずつ、コハラの記事がありません。キラウエアについては1972-1974年のマウナ・ウルの噴火及び1983年1月から1984年6月までのPuu Ooの噴火の記事が、またマウナ・ロアについては1974-1984年の活動の記事がそれぞれあります。③岩石成因論と火山ガス(13編): 主成分による岩石成因論は一段落しているため、微量成分及び希ガスを使った岩石学が述べられています。火山ガスについては8編記されています。噴火予知の1手法として重要視されている分野ですが、今後の課題も多いようです。④構造(6編): 次の章とも関係ありますが、そのうちあまり動的でないものがまとめられています。またここから第2章に入りますが、その巻頭には写真で見るハワイの火山とも言うべきカラー写真が57ページにわたって掲載されています。⑤ダイナミクス(18編): 地震、地形変化、熱、噴出した溶岩などの様々な測定などの情報から地下及び地表のマグマのダイナミクスを論じたものです。直前の噴火予知に役立つ火山性微動の話なども含まれており、非常に興味深いところです。⑥ハワイの火山活動の調査の歴史(3編): 米国による1840-41年のハワイ探検隊の調査 T. A. Jaggar による H. V. O. の創設、そして H. V. O. の設立時以来の職員リストと各人の仕事の内容が掲載されています。

各論説はオリジナルなものとレビューとがあります。著者の大部分は U. S. G. S. の職員であり、一部に大学の研究者が入っています。本書にはカラー写真が多用され、また図面にも色刷りのものが多く見られます。印刷費が高くなるために日本では敬遠されがちですが、米国ではどうなのでしょう。ちなみに定価は95ドル、日本で購入する場合送料としてその25%が別に必要なようです。

14. ハワイ諸島の火山災害

ハワイ諸島の火山災害の原因としては溶岩流、火山灰、pyroclastic surges 及び火山ガスの4つが直接的なものとしてあげられます。また間接的なものとして地割れ、陥没、地震及び津波があります。それぞれの災害につ



第19図 ハワイ島の溶岩流に関するハザード・ゾーン図。
 灰色部：1975年以前の有史の溶岩流分布域
 数字の説明は本文参照 Mullineaux ほか (1987) より。

いては既に多くの報告があり それらは Mullineaux ほか (1987) によくまとめられていますので本章で簡単に紹介します。

14.1 ハザード・マップ

火山学 特に火山地質学が社会に貢献できる仕事としてハザード・マップの作成があります。これは1980年のセント・ヘレンズ火山及び1985年のネバド・デル・ルイス火山による噴火災害時にその存在意義が大きくなりあげられました。ハワイ諸島の火山に関するハザード・マップは既にいくつか提出されています。第19図にはそのうちのハワイ島の溶岩流によるハザード・ゾーンの地図を示します。ハワイ島についてはほかに降下火山灰及び割れ目と陥没に関するハザード・ゾーンの地図が示されています。

第14図に示された9つのゾーンは以下の様な区分によるものです。

ゾーン1：キラウエアとマウナ・ロアのリフト・ゾーンの活動的な部分。19 20世紀に噴出した溶岩流が地
1987年10月号

域の25%以上を占めている。

ゾーン2：キラウエアとマウナ・ロアの活動的なリフト・ゾーンに直接する斜面。キラウエアの東リフト・ゾーンの南斜面では区域の25%以上は19世紀以降の溶岩に覆われており 特に10-15%は1950年以降の溶岩に覆われている。

ゾーン3：キラウエアとマウナ・ロアの斜面のうちゾーン2より少し被災率が低い区域。キラウエアでは19世紀以降の溶岩流が占める割合は5%以下である。しかしながらこの区域の75%以上は最近の750年間に噴出した溶岩流で占められている。マウナ・ロアでは最近の750年間でこの区域の15-20%が溶岩流に覆われた。

ゾーン4：ファアラライ火山体。地域の数%が1800-1801年溶岩流に覆われている。15%が最近の750年間の溶岩流に覆われている。

ゾーン5：キラウエアのカルデラ南の斜面の下部。この区域は最近の750年間の溶岩に覆われているが19世紀以降は被災していない。これは山頂のカルデラ

第1表 キラウエアの表面の噴出物の年代別面積 (Holcomb 1987)

| 年代 (yr B. P.) | 面積 | | 累計面積 | |
|------------------|--------------------|------|--------------------|-------|
| | (km ²) | (%) | (km ²) | (%) |
| 0-50 | 146.5 | 10.1 | 146.5 | 10.1 |
| 50-150 | 38.2 | 2.6 | 184.7 | 12.7 |
| 150-250 | 168.2 | 11.6 | 352.9 | 24.3 |
| 250-350 | 167.6 | 11.5 | 520.5 | 35.8 |
| 350-500 | 454.5 | 31.3 | 975.0 | 67.1 |
| 500-750 | 190.6 | 13.1 | 1,156.6 | 80.2 |
| 750-1,000 | 89.6 | 6.2 | 1,255.3 | 86.4 |
| 1,000-1,500 | 50.4 | 3.5 | 1,395.6 | 89.9 |
| >1,500 | 146.0 | 10.1 | 1,451.6 | 100.0 |

と断層により溶岩が流下して来ないためである。

ゾーン6：マウナ・ロアのカルデラの南南東及び南西リフト・ゾーンの東の斜面。溶岩流の詳細な年代はよくわからないが、マウナ・ロアの表面では最も古い溶岩が分布している。

ゾーン7：マウナ・ケアの標高が高い部分。最近の約3,500年間は活動が認められないが、5,000-3,500年間の噴出物により約20%が覆われている。

ゾーン8：マウナ・ケアの低い部分。最近1万年間は溶岩流に覆われていないが、もし長い溶岩が流下してくれば被災する可能性がある。

ゾーン9：コハラ火山体。最近の6万年間は噴火は起きていないが、低い確率ではあっても噴火する可能性はある。

ところでハワイの噴火の目撃記録は19世紀前半からのものしか残っていません。ハワイの住民は文字の記録を残さなかったのです。ですから上に示した噴火の年代は主に¹⁴C法による測年値に基づいています。ハワイ島の火山噴出物に関わる¹⁴C年代値はU. S. G. S.が火山層序を確立する目的で分析したものだけでもマウナ・ロア：185個、キラウエア：90個、ファアライ：30個、マウナ・ケア：1個、計306個の試料について示されています (Rubin ほか, 1987)。その結果溶岩流による火山災害の長期的予想ができるようになったのです。

14.2 溶岩流に対する防災

① 障壁

キラウエアの東リフト・ゾーンの1955-1960年噴火時に一部に障壁が作られ、一時的に溶岩流をせき止めたが、結局は乗り越えられてしまいました。せき止めるだけでは上流側の溶岩流はどんどん厚くなってしまいます。それを別な流路に導かなければならないのです。

マウナ・ロアの溶岩流による災害からヒロ市を守るための障壁建設の案は1940年代から提出され、試験的に作られたこともあります。基本的な考え方は、より重要な地域を災害から守るために、より重要でない地域に溶岩の流れを変えてしまおうというものです。したがって各地域に対する各人の評価は様々ですから、実現するのは難かしそうです。

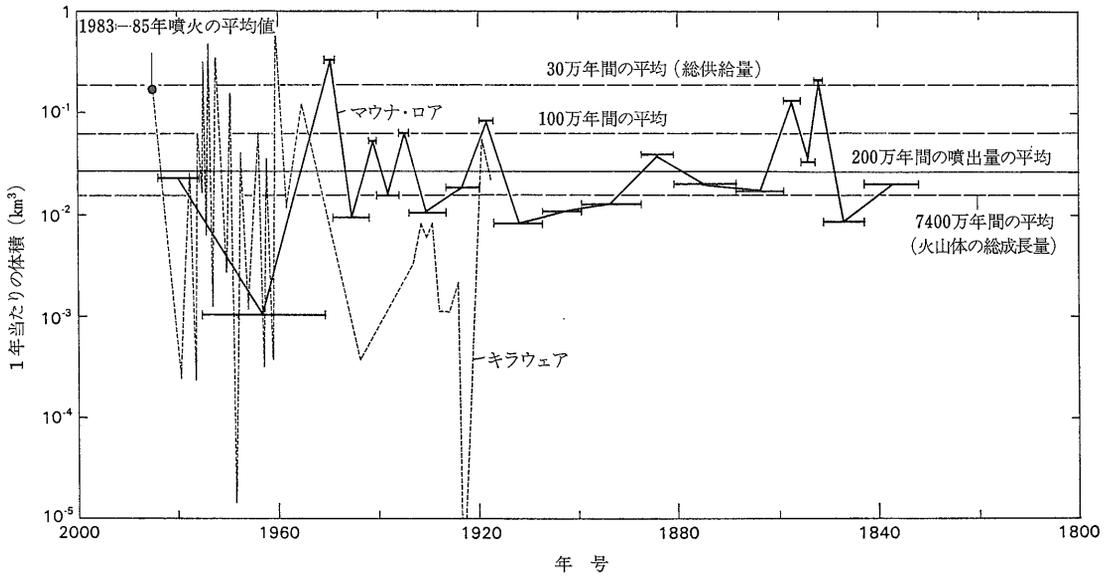
② 爆破による溶岩流のチャネルやチューブの破壊

1935年と1942年にマウナ・ロアの溶岩流を分岐させるために爆弾が投下されました。つまり既にできている長い溶岩流の噴出口に近い所で流路を変えて別な溶岩の流れを作り、既に流下している溶岩流の前進を阻止し、この作業を繰り返して噴出活動が終わるのを待つという作戦です。ただしこれは溶岩の流下速度が大きかったり、単位時間当りの噴出量が多い場合には効果的ではありません。たとえばマウナ・ロアの1950年の大噴火がそうです。

③ 水による溶岩流の冷却

アイスランドのヘイマエイ島の1973年溶岩の水冷作戦の成功例から、ハワイでも溶岩流の水による冷却が考えられています。しかしそれは海岸に近い所で、また規模の小さい溶岩流に対してのみ効果的と考えられています。

キラウエア火山のPuu Ooの噴火では、1986年11月に溶岩流は10戸以上の住家を飲み込みました。この様子を撮影したビデオを見ますと、住宅の庭に押し寄せてきた薄いパホイホイ溶岩に対して消防隊はホースで放水していました。その場面は短かったので放水の効果がいかほどであったかはわかりませんが、平地を流れてくる溶岩に対しては、冷却固結した溶岩が流れの障害となる可能性はあると考えられます。なお溶岩流に対して放水するとマグマ水蒸気爆発が発生するのではないかと、いう考えもありますが、少なくとも赤熱している流動



第20図 様々な時間間隔で区切ったハワイの火山活動の変化。

最近の30万年間の活動は ハワイ-天皇海山列全体の平均の活動より一桁激しいことになりましたが？ Shaw (1987) より。

するパホイホイ溶岩にホースで放水しただけでは爆発は起きませんでした。

近及び山頂火口で発生する可能性があることが指摘されています。

14.3 Pyroclastic surges

玄武岩の火山でも pyroclastic surge (以下サージとします) が発生することがあり その最大到達距離はハワイでは約 10km であります。 キラウエア火山では約 2,000 年前に山頂で大爆発があり 山頂のカルデラ付近では厚さ 10cm 山頂から 9 km 離れた所まで岩屑が堆積しました。 1790年のキラウエアのサージでは死者が出ました。 死因は岩屑の打撃によるものでなく 高温の火山ガスと灰による窒息によるものと考えられています。 サージが発生する確率は溶岩流噴出と比べると非常に小さく またその被災範囲は噴出口から 10km 程度以内に限定されています。 しかしながらその速さと 微地形にあまり制限されない移動様式のために 火山災害の 1つとしてよく認識しておく必要があるでしょう。

サージはマグマが水と接触したときの大爆発により発生します。 この水は地下水であったり海岸付近では海水であったりします。 キラウエア火山山頂カルデラ内のハレマウマウ火口では1924年にマグマが地下水と接触し 大爆発を起こしました。 この噴火により岩片が多く吹き飛ばされ それらは今でも火口の周囲に散乱しています。

サージは1983年10月の三宅島の噴火では海岸付近の火口から発生しました。 マグマと海水が接触したためです。 また1986年11月に始まった大島の噴火でも海岸付

14.4 将来の火山活動

ハワイの火山については その噴火の年代や噴出した溶岩の面積が地質調査によって明らかにされてきています (第1表)。 したがって将来どの程度の割合で溶岩に覆われる可能性があるかをある程度予測することはできません。 しかしながら活動は完全に周期的に起きているわけではありませから その定量的予測には限度があります。 たとえばキラウエアの東リフト・ゾーンでは 1800年から1950年の間に山体の表面の 2% が溶岩に覆われました。 これは 0.013%/年 となります。 ところが1950年から1975年の間には 8% も溶岩に覆われており これは 0.32%/年 と桁違いに大きな割合となってしまいます。 噴出の程度を算出する基になる年代の尺度を様々に変えると その割合も変わってしまうのです。 Shaw (1987) はその割合について数学的な解析を試みています (第20図)。

キラウエアとマウナ・ロアの 2つの火山の活動史は特に最近の10年間で ¹⁴C法による目盛りがつけられたことによって格段によくわかるようになりました。 そのため長期-超長期的噴火予知は可能となりました。 しかしそれだけでは短期-直前予知はできません。 直前の噴火予知は他の物理的・化学的データを総合化することによってようやく可能となるのです。

本報告執筆に際し 当所環境地質部の小野晃司 曾屋龍典の両氏には 原稿を査読して頂き また貴重な御意見を伺うことができました。記して謝意を表します。

文 献

- Chase, T. E., Miller, C. P., Seekins, B. A., Normark, W. R., Gutmacher, C. E., Wilde, P. and Young, J. D. (1980) Topography of the southern Hawaiian Islands. U.S.G.S. Open-File Map 81-120, 3pls.
- Clague D. A. and Dalrymple, G. B. (1987) The Hawaiian-Emperor volcanic chain, Part I. Geologic evolution. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p.5-54.
- Decker, R. W. (1987) Dynamics of Hawaiian volcanoes: An overview. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p.997-1018.
- Decker, R. W., Koyanagi, R. Y., Dvorak, J. J., Lockwood, J. P., Okamura, A. T., Yamashita, K. M. and Tanigawa, W. R. (1983) Seismicity and surface deformation of Mauna Loa Volcano, Hawaii. Amer. Geophy. Union Transac, EOS, vol. 64, no. 37, p. 545-547.
- Emery, K. O. (1955) Submarine topography south of Hawaii. Pacific Science, vol. 132, p. 286-291.
- Holcomb, R. T. (1987) Eruptive history and long-term behavior of Kilauea Volcano. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 261-350.
- Keller, S. D. (1987) Geothermal exploration at Puu Waawaa. Abstract volume, Hawaii Symposium on how volcanoes work, 1987, Hilo, Hawaii, p. 136.
- Klein, F. W. and Koyanagi, R. Y. (1979) Seismicity of Kilauea and Loihi Volcanoes, Hawaii. Hawaii symposium on Intraplate Volcanism and Submarine Volcanism, Hilo, Hawaii, Abstract Volume, p. 124.
- Koyanagi, R. Y., Chouet, B. and Aki, K. (1987) Origin of Volcanic tremor in Hawaii, Part I. Data from the Hawaiian Volcano Observatory 1969-1985. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 1221-1257.
- Lipman P. W. and Banks, N. G. (1987) Aa flow dynamics, Mauna Loa 1984. U.S.G.S. Prof. Pap., 1350, p. 1527-1587.
- Lockwood, J. P., Dvorak, J. J., English, T. T., Koyanagi, R. Y., Okamura, A. T., Summers, M. L. and Tanigawa, W. R. (1987) Mauna Loa 1974-1984: A decade of intrusive and extrusive activity. U.S.G.S. Prof. Pap., 1350, p. 537-570.
- Lockwood, J. P., Koyanagi, R. Y., Tilling, R. I., Holcomb, R. T. and Peterson, D. W. (1976) Mauna Loa threatening. Geotimes, vol. 21, no. 6, p. 12-15.
- Lockwood, J. P. and Lipman P. W. (1987) Holocene eruptive history of Mauna Loa Volcano. U.S.G.S. Prof. Pap., 1350, p. 509-535.
- Macdonald, G. A. and Abott, A. T. (1970) Volcanoes in the Sea. Univ. Hawaii Press, Honolulu, 441 p.
- Macdonald, G. A., Abott, A. T. and Peterson, F. L. (1983) Volcanoes in the Sea. Univ. Hawaii Press, Honolulu, 517p.
- Malahoff, A. (1987) Geology of the Summit of Loihi submarine volcano. U.S.G.S. Prof. Pap., 1350, p. 133-144.
- Malahoff, A., McMurtry, G. M., Wiltshire, J. C. and Yeh, H. W. (1982) Geology and chemistry of hydrothermal deposits from active submarine volcano Loihi, Hawaii. Nature, vol. 298, p. 234-239.
- Mark, R. K. and Moore, J. G. (1987) Slopes of the Hawaiian Ridge. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 101-107.
- Moore, J. G. (1987) Subsidence of the Hawaiian Ridge. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 85-100.
- Moore, J. G., Clague, D. A. and Normark, W. R. (1982) Diverse basalt types from Loihi Seamount, Hawaii. Geology, vol. 10, p. 88-92.
- Moore, R. B., Clague, D. A., Rubin, M. and Bohrsen, W. A. (1987) Hualalai Volcano: A preliminary summary of geologic, petrologic, and geophysical data. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 571-585.
- Mullineaux, D. R., Peterson, D. W. and Crandell, D. R. (1987) Volcanic hazards in the Hawaiian Islands. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 599-621.
- Peterson, D. W. and Moore, R. B. (1987) Geologic history and evolution of geologic concepts, Island of Hawaii. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 149-189.
- Porter, S. C. (1979) Quaternary stratigraphy and chronology of Mauna Kea, Hawaii; a 380,000 year record of mid-Pacific volcanism and ice-cap glaciation. Geol. Soc. Amer. Bull, vol. 90, p. 980-1093.
- Porter, S. C. (1987) Pleistocene subglacial eruptions on Mauna Kea. U.S.G.S. Prof. Pap. 1350, p. 587-598.
- Rubin, M., Gargulinski, L. K. and McGeehim, J. P. (1987) Hawaiian radiocarbon dates. U.S.G.S. Prof. Pap., 1350, p. 213-242.
- 澤田可洋・須藤 茂・笠原 稔 (1987) 1987年ハワイシンポジウム—How Volcanoes Work. 火山, vol. 32, no. 2.
- Shaw, H. R. (1987) Uniqueness of volcanic systems. U.S.G.S. Prof. Pap., 1350, p. 1357-1394.
- 曾屋龍典 (文責) 大島火山噴火対策特別チーム: 地質グループ (1987) 伊豆大島火山1986年の噴火—噴火の経緯と噴出物. 地質ニュース 392号 p. 10-18.
- Stearns, H. T. (1945) Glaciation of Mauna Kea, Hawaii. Geol. Soc. Amer. Bull., vol. 56, p. 267-274.
- Stearns, H. T. (1985) Geology of the state of Hawaii. 335p, Pacific Books, Publishers, Palo Alto, California.
- Tilling, R. I., Heliker, C. and Wright, T. L. (1987) Eruptions of Hawaiian Volcanoes: Past, Present, and Future. 54p, U.S. Geological Survey.