

「すばる」と「パーホイホイ」 ガラスの島々 (II) ハワイ島 (2)

"Subaru" astronomical telescope and Pahoehoe lava

Glassy islands II, Hawai'i island (2)

岸井 貫 元・千葉工業大学教授・東芝総研 工学博士(東京工業大学)*
Toru KISHII

7 熔岩ガラス

ハワイ島の玄武岩質熔岩は「パーホイホイ熔岩」と「アア熔岩」とに分類される。

ハワイ島の熔岩には成因に応じて温度が高い(1100-1180℃、1220℃というデータもある)ものがある。従ってそのような熔岩のあるものは噴出したときに液相だけから成り、急冷されると玄武岩ガラスをつくる(パーホイホイ熔岩)。流れ出したときに表面が先ず薄く(熔岩が黒いために内部の放射冷却が遅い)固化した後で内部が流動するので、表面が多重の皺を作り、縄束を拵げたような外観を見せる。そのため“ropy”, “rope-like”などと形容され、「縄状熔岩」、「餅状溶岩」と訳される。

結晶質を含む熔岩は「アア」と呼ばれ、これは「粗く小さい棘が密集して凹凸に富む。ガラス質だが多孔質で砕けやすい。」¹²⁾「火山の事典」¹²⁾。ちなみにパーホイホイ熔岩は「平滑なガラス質」¹²⁾である。

これらの名前は今では普通名詞で、他の火山の溶岩にも適用される。

熔岩は粘度が低く、水・ガス含有量が少ないので、突然に大きいガス爆発をする恐れは小さいが、地下水と遭遇しての水蒸気爆発はある。熔岩自体の圧力による噴水状の噴出もあるし、熔岩の長距離の流下による人家・集落の損害がときに深刻である。

8 「ハイアロクラスタイト」

このほかに熔岩起源のガラス質地質として、大量のハイアロクラスタイトがある^{12), 13)}。

海水中に熔岩が噴き出して「枕状熔岩」になり積み重なるが、その表面部分は急冷されてできたガラスである。これらが水砕・堆積して「ハイアロクラスタイト」を作る。従来は島の地質は枕状熔岩から成ると考えられていたが、今は、ハイアロクラスタイトが主だ、という考えが説かれている¹⁴⁾。

ハワイ島でボーリングするとマウナロアに属するハイアロクラスタイトに次いでマウナケアのものが検出される。両山のクラスタイトは成分から区別が可能であり、また浅いところで噴出したものは水含有量小(噴出時に逃れ去る)、深いところに噴出したものはその逆、ということから、ボーリングをして各所・各深度のハイアロクラスタイトを得て解析すると、ハワイ島の地質史・成長史を知るための有力な資料となる。

ハワイ島は、噴火口が海面付近にあって噴火しては崩壊する、という繰り返しの過程で成長した期間が長かった、と推定された¹³⁾。

ハイアロクラスタイトの他の成因は、熔岩が積雪または氷河の下に噴出した場合である。このようなハイアロクラスタイトは氷河期の印になる¹⁴⁾。

9 日本のハイアロクラスタイト

類似のことはハワイ諸島の他の島々でも、また日本の火山諸島にもあると予想される。

ギリシャ語の「ガラス(ヒュアロス)」に起源があ

* 〒168-0072 東京都杉並区高井戸東 3-14-11
tel/03-3329-3537 fax/03-3329-3890
E-mail/toruki@js7.so-net.ne.jp

る「ハイドロ」を要素として持つ岩石鉱物学用語の例として「ハイドロクラスタイト (Hyaloclastite, 直訳:「ガラス質水砕岩」) と“ Holohyalin rock (「完全ガラス質岩石」, 黒曜石・真珠岩・松脂岩などの総称)”とを本誌に引用したことがある¹⁵⁾。しかし、日本産のハイドロクラスタイトに関する筆者の知見は今まで無かった。最近、鈴鹿市考古博物館がその地域に見られるハイドロクラスタイト製の弥生時代石器について図録で触れている^{16a)}。三重県員弁川の支流青川に石が産出し、員弁郡大安町の宮山遺跡が石斧の生産遺跡である。濃尾ないし伊勢平野にかけてハイドロクラスタイト製石斧遺物が分布している。

もう一つの例は神奈川県大磯丘陵の東縁、湘南平で泥岩中に枕状熔岩とともに挟まれたものである^{16b)}。浅い海底に堆積した地層で、近くに海底火山があったものと推定される。

10 熔岩系列と「玄武岩ガラス」

筆者の熔岩ガラスの理解は次のようなものであった：

熔岩には化学組成から

玄武岩-安山岩-デイサイト (石英安山岩)-流紋岩

と言う系列がある。マグマから直接にできた玄武岩からは、結晶の析出、除去の過程の繰り返しにより酸化物組成ではシリカが多くなり、上記の系列を右へ辿る。玄武岩に近いほど粘度が小さく結晶ができやすいが、流紋岩に近いほど粘度が高く、結晶析出が遅く、ガラス化しやすい。流紋岩質熔岩からは黒曜石のような「完全ガラス質岩石」が得られやすいが、玄武岩質熔岩は、飛滴になって急冷されたような特別な場合でないと、ガラス化しない。

しかしこのような見方は、キーラウエアのカルデラに立ち入ったときすぐに誤りだと気付いた。

後記のようにパーホイホイ熔岩が流出して固化して (小粒・小片・薄膜・細線ではない) マッシュな玄武岩ガラスになっていた。

これに対して日本の熔岩は、海溝に沈み込む海底地殻から大陸地殻へ水が供給され、大陸地殻物質の融点が下がり部分熔融してできる、と考えられる (図??⑨)。従ってハワイの熔岩よりも低温であり、融け残りの結晶を含みやすいから、天然には玄武岩ガ

ラスができにくい (工業的には玄武岩からガラス質の岩綿が作られているけれども)。

ハワイと日本の伊豆・箱根地方との熔岩の異同 (「ソレライト質 (カルク・アルカリ岩質)」か「アルカリ岩質」か) について、一昔前に複雑な議論が交わされていた時期がある¹⁷⁾。学史的にみればその後これららの定義が変更された時期があり、さらに細かい議論としては、結晶質を形成して振り落とした時の残液が、シリカに富むように変わるものと、その逆とがある、とされ、日本とハワイとの火山岩の違いが議論される例があった。

しかし、当時は日本の熔岩も、ハワイのそれと同じくマントルからあまり変質せずにできてきた、と考えていて、その間の違いを論じていた。これに対して最近では「マウナロア・キーラウエア・ロイヒはソレライト質、マウナケア・コハラ・フアラライはアルカリ岩質が上部を覆っている⁸⁾」、あるいは「ハワイ諸島では初期のマグマはアルカリ岩系、火口が海面上に出ると穏やかに流れるソレライト系である¹⁷⁾」。「ロイヒ火山はソレライト段階・アルカリ玄武岩段階・ネフェリン岩段階を経てきている¹⁷⁾」。「キーラウエア火山は海底噴火の時代はアルカリ岩質で、その上側をソレライト質熔岩が覆う¹⁸⁾」などとした論文があるので、日本とハワイの熔岩の比較には、議論の立て方自体からの再検討が必要だと思う。

11 「ペレ」と「マーウイ」の島々

ペレは「多くの形を持つ創造の力」という修飾語を持つ女神であり、明らかに火山あるいは熔岩を擬人化したものである。溶岩流はペレの怒りの手とみなされる。彼女は初めは諸島の西端のニイハウ島にいた⁷⁾が、洞穴を造って安住すると海の邪神に家を壊されて追われ、その繰り返しで島から島へと追い立てられた。いまはハワイ島にまで来て、キーラウエアカルデラ中のハレマウマウ火口がその棲み家である。

この神話は地質時代からのハワイの島々・火山・熔岩の成り立ちと性質とを、偶然とはいえ巧みに表現していることで興味深い。ハワイ群島の島々は古いものほど西北方にあり、西北端はニイハウ島だと言える。それより古い島々は浸食されハワイ海嶺の

連載

海山、珊瑚礁などになってしまった。島々を作る火山活動が見かけ上順次東に移り現在はハワイ島で活火山の活動が続いている。熔岩は屢々熔岩トンネルや洞穴を作り、これはまた崩壊しやすい。

熔岩流が長く伸び、その表面が冷却・固化してから内部の液相が流出すると洞穴やトンネルになる。トンネルも洞穴も壊れやすい。後からトンネルの中に流れ込んだ熔岩は冷却しにくく、長い距離を流れて災害をさらに増やす。熔岩だけでなく噴火口自体も亀裂帯上をあちらこちらと遷る。海中での噴火も観測されている。

現在でもペレの血統を引くと信じられている原住民の家系により尊崇の儀式が行われている。

伝説の他のバージョンでは、彼女は火山の男神がキーラウエアに居るかどうか、を見るためにときどき島に帰ってくる、としている。

もう一つ漁師マーウイの物語がある⁷⁾。彼は小さな鳥を餌にした釣り針で海底を釣り上げて大きな島を作ろうとした。その時クイナの羽の片方を隠されたので、小さい島の列しかできなかった。

マーウイ島がかって今より大きな島「マーウイ・ヌイ」であり、沈降して現状のように周辺の小さい島々と分かれた⁷⁾、という地質時代の過程とこの物語にも、偶然の符合がある。

神話のバージョンは他にも多くある。

12 島々の旅

ハワイの島々は動く海底地殻（速度は $2^9)$ ~3 インチ⁷⁾/年とされる事が多い)の上にできたものである。今ハワイ島はホットスポットの上にあり、陸地の岩は100 万年前よりも若い。諸島の北西端に近い島ほど古い、それは500 万年前と算定される。それより古いものはハワイ海嶺となっている。その先のミッドウェーの島々(3000 万年前)は海面上に残っているが、さらにそれより古い火山群はカムチャッカ半島へ向けて整列する「天皇海山(明治・天智・神武・大覚寺などの名前が付く)」列になっている。

他方でハワイ島の東30km にはロイヒ海底火山が噴火を続けていて、10 万年後には海面に顔を出すと予想される。

このようにしてできた島や火山の他に、後に「若返り噴火過程(rejuvenation)」でできた地形や島が

ある。ダイヤモンドヘッド、パンチボウル(いずれもオアフ島にある)、カウラ島(ニイハウ島の近く)、モロキニ島(マーウイ島の近く)がその例である。

ハワイ島(ハワイ諸島も)が西へ移動しつつあるということは、ガイドツアー(後記)に参加したときのガイドさんも強調していた。このことを意識している島の人々が多いのではないだろうか。

ハワイの動きについてのもう少し詳しいデータを挙げる¹⁹⁾。

複数の電波望遠鏡を干渉計として使い、電波天体(クウェーサー(「準星」))を観測して電波アンテナ間の相対位置を精密に決める方法によると、カウアイ島と茨城県鹿島との距離は年間6.3cm 縮まっている。また西ヨーロッパを基準としてハワイの位置の絶対変位を見る方法では年間10cm 強とされ、しかもこれは世界中で最も速い値である¹⁹⁾。現地で「年間2 ないし3 インチ」と言っているのは誇張ではない。

13 熔岩さまざま

米国ではセントヘレンズ山が最近に大爆発した火山として知られている。その熔岩はハワイ諸島とは対照的に流紋岩質(シリカが多い)である。これとハワイ諸島の玄武岩質熔岩の酸化物組成とを比較した例を表1 に掲げる⁹⁾。

表1 火山灰の化学組成(重量%)の比較文献¹⁰⁾により概略を示す。

	ハワイの火 の平均値 (玄武岩質)	セントヘレンズ 火山の平均値 (流紋岩質)
SiO ₂	48	64
Al ₂ O ₃	13	18
FeO	11	4
MgO	10	2
CaO	10	5
Na ₂ O	2.4	5
K ₂ O	0.6	1.3
TiO ₂	2.8	0.6
その他	1.4	1.0

セントヘレンズ火山などの「大陸性火山」の熔岩はシリカを92 ないし96% 含み、小アンティル諸島マルチニク島のプレー火山では純粋なシリカの岩塔

が立った、と記す本¹¹⁾があるが、シリカが多すぎて信じにくい。珪砂の堆積層が熔岩の熱で軟化・焼結・放出されたものであろうか。1902年のプレー火山爆発の経過の詳細と、火口から300mを超える高さの岩塔が立ち上がった情景は確認できる²⁰⁾けれども。

14 緑砂海岸・黒砂海岸と白砂海岸

ハワイの熔岩はマンツルの物質そのものではないが、マンツルから直接に導かれたものである。従ってマンツルの構成成分と考えられるペリドート（半透明で淡黄緑色の貴石・鉄かんらん石と苦土かんらん石との固溶体）を含んでいる。この粒が洗い出され海岸に堆積すると「緑砂海岸」を作る。緑砂海岸が今は島の南端部にできている。

ハワイがペリドートを使った宝飾品を観光土産にしているのはもっともなことである。しかし「ハワイにおいてはペリドートの産出は確かにあるけれども、製品化されるような原石の産出は全くない。ハワイ土産品としてペリドート宝飾品を目にしたら、その原石はアリゾナ産と見てほぼ間違いない²¹⁾。」というのも他の一面であろう。

かんらん岩（ペリドタイト）の融点についてのデータがある。地表では1370K、地下50kmでは1570Kである²²⁾。

他方で「黒砂海岸」もある。熔岩が海に流れ込み、黒ガラス質の砂になっているものである。海水中では砂表面での光の乱反射が小さいせい、普通の黒砂よりも確かに黒く感ずる。黒砂海岸は不安定で、短ければ数日、永ければ数十年をかけて、砂が流され去って消える。

キーラウエアの熔岩が流れ込んでいる部分には黒砂海岸が長く繋がり、沖の3000mの深海中にもガラス砂が堆積している^{8),18)}。また他地域の5000m近い深海でも同じである。このことは深海研究船「シンカイ」・「カイコー」を使った日米協同の調査で知られた⁸⁾。

ハワイ島の周囲には地滑りの堆積物が広く厚く分布しており、島が噴火と地滑りとの繰り返しで成長してきたことを示している。ガラスはシールド（楕円地形）形成期のソレライト質であり、アルカリ質熔岩がそれを包んでいる。

実見はしていないが、地図上で西岸に“White Sand Beach Park (Disappearing Sands Beach)”と記した地点がある。珊瑚礁起源の砂のためであろう。カイルアの海岸でも黒い熔岩の磯の先が白砂の浜である（図9）。

15 高層気象観測所

マウナロア山の標高3353mの地点に観測所がある。かつての富士山頂の観測所の高さに近い。ここでの永年の観測で大気中のCO₂量の変化が記録され、早くから近年の増加が確認された。以前にはメートル原器の長さを光の干渉現象を使って検定する場合に、ここの大気組成変化のデータが引用された。今はメートルの定義が変わり空気の屈折率とは直接の関係はなくなった。1984年の噴火（マグマ量600m立方）後に観測所にV字型の防壁が設けられた。

16 「オキナー」と「カーハーコ」¹⁰⁾

現地で入手した資料では、地名・動植物名を初めとした現地語起源の言葉に“‘ ” (‘okinā) と“ – ” (Kāhako) の表記を屢々見かける。

後者、カーハーコは母音の上に付ける長音符である。西欧語の“macron（長音符）”に起因する“mekona”の名でも呼ばれる：

pāhoehoe（パーホイホイ熔岩）、Kīlawea（キーラウエアカルデラ）、aikāne（友達）、kōkua（助け）、pō（夜）、Pūowaina（パンチボウル）、nēnē（鷺鳥の一種・ハワイの州鳥）。

カーハーコが二つ続く例：Kēōkea（南コナ郡の地名）

オキナーは「声門閉鎖音（“glottal stop”）」²³⁾または「息を切る（“a break in the breath”）」¹⁰⁾と説明され、印刷では“‘ ”（コンマを倒立させて母音の左肩に置く形）で表わされる。これは日本語の促音に近いらしい。子音の一つとして分類する²³⁾考え方もあり、従って母音の前に置かれる：

Nī‘ihau, Hawai‘i, O‘afu, Kaua‘i, Moloka‘i, Lana‘i, Kaho‘olawe（以上いずれもハワイ諸島に属する島の名）、Halema‘uma‘u（ハレマウマウクレーター）、ka‘ao（伝説）、le‘a（楽しみ）‘ōhi‘a（

連載

樹の種類)。

語頭に来る場合の例：

‘a‘ā (アア熔岩) ‘ohana (家族), ‘A‘ali‘i (灌木の名)

長母音とオキナーとが隣り合う場合の例：

Lē‘ahi (ダイヤモンドヘッド), Moku‘āweoweo (マウナロア火山のカルデラ), ‘ōhelo (果実を付ける灌木, またその果実)

二つのオキナーに短母音が挟まれる例：‘i‘iwi (長くて曲がった嘴を持つ赤みの多い鳥, “rain forest honey creeper”)

二つのオキナーに長母音が挟まれる例：‘Ō‘okala (西北岸の地名), Pu‘u‘Ō‘ō (プウオオ火口)

これらは “Bank of Hawaii”, “University of Hawaii” などの場合には表記されないらしい。また地図の場合, 表面の全体図にはオキナ, カーハーコを記すが, 裏面の拡大図には省いている例がある。

“Hawai‘i” は恐らくここに辿り着いたポリネシア人の原故郷の名前から来たとされる。諸島に初めて到達した人類は A. D. 500 年頃のマルケサス島民であり, 第二次の移民は A. D. 1200 ないし 1400 年ごろのタヒチ島民であったと考えられている¹⁰⁾。このような年代が推定された根拠を知りたいものである。

その他に, “hono-” は湾又は谷を示す接頭辞であり, 「ホノルル」がその用例であろう。

“MAUKA (山に向かって)” と “MAKI (海に向かって)” とは道端に立つ案内図に使われた。島の周囲を巡った地域で生活する状況では北/南による表示よりは便利だと感じた。このような表示の左右の方向は地名を記していおり, コナで実見した例では, 山に向かって右は “KAU”, 左の方向は “KOHALA (火山の名と同じ)” であった。“island-wide (全島)” という言い方も珍しかった。

17 「アロハ！ステート」

米国の各州はそれぞれニックネームを持つ。例えばニューヨーク州は「エンパイアステート」, カリフォルニア州は「ゴールデンステート」など。ハワイ州は「アロハステート」(および “Paradise of the Pacific”) である。道で擦れ違ったときに声をかけられて「なんですか?」と聞き返すと「アロハ!と言ったんだよ」と返えされた。

ホテルのロビーに「リリオカラニ (1838-1917)」と表示された肖像画があった (図 10)。

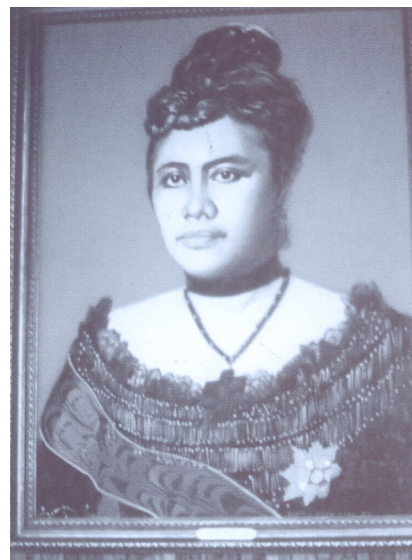


図 10 リリオカラニ女王の肖像

カメハメハ王朝最後の女王で「アロハ・オエ」の作者に違いないだろう。女王は主権の取り戻しに熱意を示していたが叶わなかった。市内に元王族の居館があり, 州記念物として公開されている。海辺の庭に多くの女性が集まって民俗ダンスの練習をしていた。

地図にはカメハメハ一世の生誕記念地と想定埋葬地とがある。

18 プウオオ火口

現在活発に噴火活動をしているのは, キーラウエアカルデラから東方に延びる亀裂帯 “Chain of craters” 上のプウオオ火口である (図 1)。熔岩が 500m も噴き上がっていた時期があった。

火口ができ始めた時点で, その位置が地理学者が持っていた地図の “o” の字に近かった。ハワイの原住民社会と相談して火道を “‘Ō‘ō”, 噴丘を土着の森の鳥の名から Pu‘u‘Ō‘ō とした。この鳥の羽は首長がマントを飾るために使われる。長老たちはこの考えと違い ‘ō‘ō を鳥の名前とし, また別の人達は o‘o を「完全な」・「成熟した」の意味と解している⁷⁾。

19 ガイドツアーから

ハワイ島にも当然観光関連の会社がある。観光バスの頻繁な往来を見かけて、ツアーに参加しようと思いついた。スナック店のコンピューターで予約できそうだったので試みたが、結局予約まで詰めきれなかった。ホテルに日系の旅行社の事務所があったので、都合良く参加することができた。これはかえって良かったと思う。ガイドさんは日系の人であり、自己紹介では前半生を日本で暮らした経歴を持っており、言葉に訛りがなく気楽に説明を聴けた。

ハワイ島は南北 145km、東西 125km、面積で 8000km² 以上、の大きさで “The big island” の異名がある。伊豆の「大島」と同じ様な感覚で受け取られているのか、面積では秋田県より小、宮城県より大、東京都の約 4 倍と見ればよい。バスの経路は、カイルアから海岸沿いに北上して幾つかのホテルで乗客（すべて日本人であり最終的に満員に近かった。）を拾ってから、マウナケア・コハラ両火山間の鞍部を横切り、東岸のヒロ市に出る。ヒロから山中に入りキーラウエアカルデラを見る。それから東南方の黒砂海岸へ出て次に西岸へ回り、北へ向かいカイルアに戻る、というものである。プウオオ火口には回らないのが残念であった。小型の自動車ならば行けるのかも知れない。プウオオは「世界でただ一つの自動車で行ける噴火口」とされているから。

熔岩に関する話が幾つかあった、

山肌に「落書き」がある。「ハワイ島の石は黒い熔岩が珊瑚礁起源の白い石かどちらかである。白い石を拾って黒い山肌に置くことで字が書ける。これは消すのが容易でない。」「熔岩でできた土地は水が地面に保持されないので大変乾燥する。健康に大変良い。家がカラカラに乾くし病気も治る。噴火しても安全である。日本では土地に雨が取り込まれているから熔岩が昇ってくると爆発する。生活用水の雨水を蓄えるための水槽は必要だが、ここに家を建てて住みたい人は居ませんか？」

これには手を挙げる人が居なかった。御婦人方の反応は「熔岩なんてねエ」というものであった。

「熔岩の上に生える木がある。赤い花を咲かせ「ハワイの木」になっている。」

「ハワイの熔岩には「アア熔岩」がある。これは表面が粗くてその上を素足で歩くと怪我をして「ア

ア」と声を挙げるからである。」

聴いた時は下手な洒落だと思ったが、okina を持つ “a‘a” の表記を考え合わせると、事実かしら、と思いたくなる。

「ハワイでは深海水を汲み上げて日本へ輸出している。」実際に日本で「ハワイ産」を表示して深海水を販売する業者がある。火山の山肌の傾斜ががそのまま海中に続き、火山体のために海底が普通よりも深く沈んでいるのが利点か？ 海底の傾斜は普通 1/10、場所（例えば南端）を選べば 1/5 位で深さ 5000m にまで達する。それより深い所は別問題である。船を出して汲み上げても引き合い、商売になるかも。

マウナロア山体の海面下の高さは約 13km¹⁰⁾ との値が引用されている。ハワイ島付近だけの海底地形をみても 10km までは確認できる。山体全部の体積 9 万立方キロメートルは世界一で、ワシントン州のレイニエ火山の 100 倍という。

「ヒロは津波の害をたびたび受け、日本人街が壊滅したことさえある。地震が日本で起きてもチリで起きても（波高 12m）、アラスカで起きても（19m）、アリユーションで起きても津波が来るから堪ったものでない…。今は堤防を高くしてあるが…。ヒロ市には “Tsunami Museum” がある。」

確かに、ヒロ湾には「ブロード・リーフ」の上に 3km くらい延びる “Breakwater” がある。大洋の真ん中では津波の波高は低いはず、と漠然と考えていたが、認識不足であった。ハワイ諸島やハワイ海嶺での地形・海底の高まりのために、太平洋岸と同じように（以上に？）波も高まるのが当然である。

「ヒロでは天文台のことを考えて街灯が無い。」

信じにくかったが、ハワイ島全体で屋外の照明に規制がかけられているのは事実。上向き照明のライトや建物のネオン灯照明が禁止されている⁶⁾。

「あれは日本でテレビコマーシャルで放送されている「気になる樹」である。テレビに出ている樹はホノルルに生えているものだが」。この樹は何ヶ所かで見かけた！日本人は初めサトウキビ畑で働くために来た。日本から桜の木や何種類かの野菜を持ってきた。今はサトウキビ畑はなくなった。ヒロの人口 15 万人のうち、日系の人は 1/4 である。」

「砂糖の後の代わりの作物としてはグアバ（果実）、ユーカリの木（製紙原料）、マカダミアナッツ等が

連載

ある．冬がないので成長が早い．」

食事・トイレ休憩のためにはショッピングセンター・観光農園・チョコレート工場・コーヒー園などを使った．便所の表示は“KANE & WAHINE”であった．

ヒロ市近くでは水色のシートで覆われた家を幾つも見つめた．「あれは白蟻・鼠・ゴキブリを駆除するために四、五日かけて燻蒸している．ハワイでは数年ごとに燻蒸しなければならない．」

ヒロからキーラウエアへ向かった．「ここでは高速道路を走っていると，知らず知らずのうちに標高が高くなる」．ハワイ火山国立公園へ行くにはただ一つの縦貫道路しかない．

20 「カルデラ」と「火口」

バスはキーラウエアカルデラの縁に止まった．すぐカルデラ壁を降りて固まった熔岩の上を歩くことができる(図 11)．薄氷のようにバリバリと音がし



図 11 キーラウエアカルデラの中で

て熔岩が割れた．パーホイホイ熔岩が薄く拡がり流れて固まったものである．その破面も破面に現れた泡の内表面もガラス光沢をもっていて，ガラスであるとわかった．

ジャガー博物館(「ジャガー」は研究者の名前)が火口壁のすぐ外側にある．展示(ペレの涙，髪の毛)があり，ペレの髪の毛と涙のことを「玄武岩ガラス(Basalt glass)から成る」と端的に説明していた(図 12)．グッズ・書籍売場もある．透明な壁を隔てて多数の地震計が動作し，記録紙が回転しているのが見える．これは研究所の一部である．地震計が噴火を必ず予知する，と考えられている．また地震

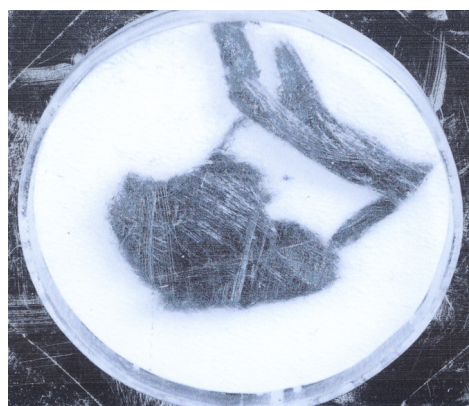


図 12 ペレの髪の毛の標本

波の伝播からマグマ溜まりの位置・形が解析される²⁴⁾．他方で地上での傾斜計や GPS⁷⁾で観測が続けられている．上空(スペースシャトル)からの日々のレーダー背面反射像を干渉計的に処理(隣り合う日々の間の像の相関を調べ，相関しない部分に新しい熔岩の堆積があると判断する)研究があった²⁵⁾．熔岩の噴出量率($2\text{m}^3/\text{秒}$)・拡がり率($300000\text{m}^2/\text{日}$)と，流動による噴丘表面の変形が解析されている．

マグマ溜まりの形は重力分布から推定されるし⁸⁾，また地震波速度を観察すると，固化した火道・マグマ溜まりでの速度が極端に速いことから，それらの分布を推定できる²⁴⁾．

カルデラの外径は2~3km くらいある．カルデラ壁の面は噴出物が積もったものだから黒い筈，と思つて見ると白い層も挟まっている(図 13)．シリカの多

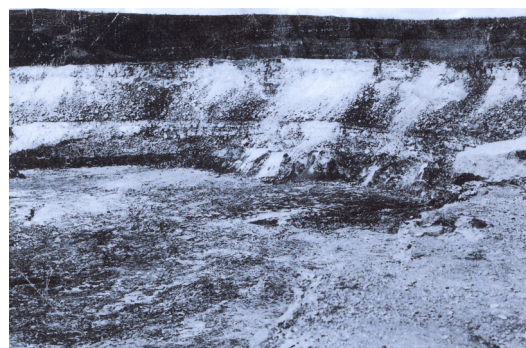


図 13 キーラウエアカルデラの火口壁

い熔岩・火山灰が噴出した時期があったのだろうか．

バスでカルデラの他の部分へ行くと，カルデラに比べては小さいハレマウマウ火口がある．キーラウ

エアの火口原にぽっかり穴が開いた形になっている。柵があって孔の近くには近づけない！「ハレマウマウ」は「羊歯の家」を意味する。固化した熔岩上に初めて生える植物が羊歯である。

キーラウエアの傍らからマウナロアの山腹が立ち上がっているはずだが、高く聳えているという感じはない。マウナロア山頂までの水平距離は 20km くらいで、これは田子の浦・富士山頂間の水平距離より少し短い、垂直距離は約 1000m 短い。山腹の傾斜が凸にカーブして頂上が見通せないためか、見通せても突出した山頂がないためか。

現地の資料では、キーラウエアを「カルデラ」とするものと「クレーター」とするものがある。「クレーター」は「杯」を語源とし、「カルデラ」は火山起源、直径 2km 以上の凹地形ということだから、キーラウエアクレーターはカルデラでもある、と観念して良い場合があるのだろう。

21 ガイドツアーから（続き）

キーラウエアから下って、周辺の洞穴や洞穴から流れ出る川などをそれぞれ回り、黒砂海岸へ降りてしばし停車、水際に佇む（図 14）。



図 14 黒砂海岸のひとつ

ルーペを持ってこなかったことを悔やむ。国立公園内では、些細なものの持ち出しも “illegal” だから、軽率なことはできない。

この先には「合衆国最南端」と言われる岬があるが、道路事情のためか、時間的スケジュールのせい、パスして西岸へ出る。南コナ郡の西岸を北上してカイルアへ向かう。

「ハワイでは熔岩から溶出するミネラルがコーヒー

の味を良くする。玄武岩を砕いて土の代わりにしている。だからコーヒーの実甘い。先のコーヒー園で試せるからやって見なさい。コナコーヒーはキリマンジャロ・ブルーマウンテンと並んで三大ブランドの一つであるが、日本人は粉コーヒーとしか思わない。…」

実際に赤い実を採って味をみる事ができた。果肉は確かに（相当に）甘い、肉薄で量が少ない。コーヒーは種子の利用に最適化して品種改良が行われてきたのか。

「ハワイの養鶏場ではご覧のように鶏が一羽ずつ家（高さ 30cm くらいの風よけのようなもの）を持っている。日本と違い一戸建てである。」 熱帯だから、鳥インフルエンザの伝播防止にはそれなりの効果があるだろう。

謝辞

このようにして短くて永い数日を過ごした。この機会を与えられ、かつ事後にも幾つかの質問に教示を下された国立天文台に謝意を表す。また見学実現への労を執って頂いた「光交流会」の方々に感謝する。さらに事後の地質関係の調査に東京工業大学図書館を利用したことを記して感謝する。

その調査の過程で、米国の地質学界ではハワイ島が重要なテーマであることを知った。例えば “Geology” 誌の索引だけをみてもこれは明白である。最近には “Hyalo-clastites” が索引のキーワードに加えられた。

寺井良平氏は先に本誌にキーラウエアカルデラの見学記を掲載された²⁶⁾。参照して頂けば有益である。

[参考文献]

- 1) 岸井 貫 「天文学へのガラス材料・素子の応用」 本誌（当時は「ニューセラミックス」誌）9 巻 5～8 号（1996）
- 2) 岸井 貫 「地史・考古・天文学へのガラス解析技術の適用」 本誌（当時は「ニューセラミックス誌」）7 巻 8 号 p.69（1994）
- 3) 岸井 貫 「天然ガラス①」 the glass no.36 p.36（1995）日本硝子製品工業会 発行（現在は廃刊）
- 4) 「光交流会」. 2006 年 2 月現在の事務局住所は 173-0024 板橋区大山金井町 38-5-203 Tel 03-3955-8586 Fax03-3955-8588
- 5) 岸井 貫 「ガラスの島々」 本誌 17 巻 7 号 p.45（2004）
- 6) 国立天文台のご教示による。
- 7) J. TenBruggencate Hawai'i-Land of Volcanoes
a) p.33, b) p.3, c) p.2, d) p.67, e) p.63, f) p.21.
Mutual Publishing, Honolulu（1999）

- 8) J. Kauahikaua 他 Geology 28 巻 10 号 p.883 「三次元重力モデルによるハワイ火山の深部マグマ構造」(2002)
- 9) G. A. Macdonald, D. H. Hubbard 他, “Volcanoes of the National Parks in Hawai'i” a) p.55, b) p.14, c) p.22, d) p.34, e) p.9 Hawai'i Natural History Association (2001)
- 10) “Hawai'i Volcanoes & Haleakala” National Park Foundation Official Book a) p.47, b) p.15, c) p.28 (2004/5)
- 11) L. R. McBride “about Hawaii's Volcanoes” a) p.21, b) p.14 The Petroglyph Press (1997)
- 12) 火山の事典 朝倉書店 a) p.139, b) p.47, p.151 (1996)
- 13) 中田節也 「ホットスポットの地下構造」p.11 鍵山恒臣 編 「マグマダイナミクスと火山噴火」朝倉書店 (2004)
- 14) M. O. Garcia 「マウナロア海島火山の海面下観察-成長と内部構造」 Geology 29 巻 2 号 p.163 (2001) b) J. Helgason 「南東アイスランドのスカフタフェルの氷期・間氷期ヒストリー」 Geology 29 巻 2 号 p.179 (2001)
- 15) 岸井 貫 「ガラスの語彙・古語と語源」 本誌 12 巻 8~12 号 (1999)
- 16) a) 鈴鹿市考古博物館 「弥生時代の石器-生産から消費まで」(平成 15 年) b) 藤岡換太郎 他編 「伊豆・小笠原弧の衝突」 p.170 有隣新書 (平 16)
- 17) 久野久 「火成岩成因論の最近の動向」科学 1953 年 2 月号 p.66 岩波書店
- 18) 文献 8) p.38,51 b) 文献 12) p.38 c) P. W. Lipman, J. Naka, T. Ui 他 「キラウエア火山の前駆体の研究」 Geology 28 巻 12 号 p.1079 (2000)
- 19) 入松徹男 他「地球内部の構造と運動」 p.147~151 東海大学出版会 (2003)
- 20) F. M. Bullard “Volcanoes of the Earth” Second edition p.120, Univ.Texas (1984)
- 21) 近山晶 「ペリドートのふるさと」 第 18 回東京国際ミネラルフェア 2005 p.46 同協会発行
- 22) K. Putirka, 「熱圧力測定によるハワイのマグマ移動」 Geology 25 巻 1 号 p.69 (1997)
- 23) 世界大百科事典 「ハワイ」の項 平凡社 (1990)
- 24) P. G. Okubo 他 「地震波によるマウナロア・キラウエアの地下の地殻マグマのイメージング」 Geology 25 巻 10 号 p.867 (1997)
- 25) H. A. Zebker 「スペースシャトルイメージングレーダーの相関測定によるキラウエアの溶岩流下の解析」 Geology 24 巻 6 号 p.495 (1996)
- 26) 寺井良平 「ハワイ島の火山ガラス」 本誌 17 巻 6 号 p.57 (2004)

セラミックスによるソフトエネルギー開発 —高燃料電池、熱電発電、太陽電池—

増補改訂版
2003年6月 発行
B5版 約400頁
定価 27,300円(税込・送料別)

地球環境問題の関連でクリーンな新エネルギーの開発が強力に進められていますが、効率や投入するコストの問題を含め提案されている新エネルギー開発技術が根本的な問題解決になるかが大きな争点となっているところです。高効率熱電変換材料、燃料電池に用いられる固体電解質材料、光触媒、光合成などの光エネルギー変換材料は、積極的に環境改善に寄与する材料として注目されています。一方これらの材料は新しいコンセプトに基づく材料開発技術によって、飛躍的に効率や耐環境性が増し実用化レベルになりつつあります。

本書はそれらの材料の開発から応用までを、旧版以降これまでに月刊「マテリアルインテグレーション」で紹介された粉体に関する記事を中心に新しく加え、再編集し、様々な角度からの理解の助けとなるようにしました。

■第I部■ 燃料電池

第1章 燃料電池の開発

- 第1節 溶融炭酸塩型燃料電池の開発
- 第2節 高温型固体電解質燃料電池の開発
- 第3節 固体電解質型燃料電池の開発状況
- 第4節 固体電解質型燃料電池
- 第5節 燃料電池の開発動向
- 第6節 カーボンナノボーンを用いた携帯燃料電池の開発

第2章 燃料電池用材料の開発

- 第1節 固体酸化物形燃料電池用電極材料
- 第2節 燃料電池用セラミックスの研究開発
- 第3節 ミクロ構造制御による燃料電池電極の高性能化
- 第4節 極薄固体電解質製膜技術開発
- 第5節 固体電解質燃料電池用触媒

■第II部■ 熱電発電材料

第1章 熱電発電システム

- 第1節 熱電発電の需要展望
- 第2節 超高効率複合熱電変換システムの概念設

計

- 第3節 焼却炉排熱による熱電発電
- 第4節 往復動燃焼熱電発電

第2章 熱電発電モジュール

- 第1節 傾斜機能材料による高出力密度熱電変換モジュール
- 第2節 Bi₂Te₃系熱電素子・モジュール
- 第3節 マイクロモジュールと熱電時計
- 第4節 シート積層型熱電素子

第3章 熱電変換材料

- 第1節 傾斜構造熱電変換材料
- 第2節 ミクロ傾斜構造をもつ熱電子発電器エミッタ
- 第3節 スクッテルダイト系化合物の電子構造と熱電物性
- 第4節 フィルドスクッテルダイト
- 第5節 層状構造酸化物(ZnO)_mIn₂O₃
- 第6節 ペロブスカイト型酸化物の熱電特性
- 第7節 秩序ペロブスカイト型酸化物Cd₃TeO₆
- 第8節 強相関電子系酸化物NaCo₂O₄
- 第9節 Al³⁺ドーパントZnO系酸化物の熱電特性
- 第10節 ラティスコンボジットによる熱電材料開発
- 第11節 新機能創成の材料設計-ラティスコンボジット
- 第12節 Si-Ge系量子井戸構造の熱電特性
- 第13節 炭化ホウ素系複合セラミックス

■第III部■ 太陽電池

第1章 太陽光発電システム

- 第1節 太陽光発電の現状と将来展望
- 第2節 太陽電池
- 第3節 次世代太陽電池開発の最前線

第2章 太陽電池モジュール

- 第1節 化合物半導体太陽電池開発の現状
- 第2節 a-Si太陽電池の開発

第3章 太陽電池の高効率化

- 第1節 微結晶シリコン太陽電池-小さな結晶でも高効率化
- 第2節 シアン処理によるシリコン欠陥準位の消滅と太陽電池の高性能化
- 第3節 カルコパイライト型化合物CuInSe₂薄膜の合成とその高効率薄膜太陽電池開発の現状

第4章 新しい太陽光発電

- 第1節 光合成モデルと電子移動
- 第2節 フラレンを用いた光合成型有機太陽電池の開発

- 第3節 次世代酸化チタン太陽電池の課題
- 第4節 酸化亜鉛を用いた高性能な色素増感太陽電池

- 第5節 新しい太陽光エネルギー変換材料の開発