

「すばる」と「パーホイホイ」 ガラスの島々 (Ⅱ) ハワイ島 (1)

"Subaru" astronomical telescope and Pāhoehoe lava

Glassy islands II, Hawai'i island(1)

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

Abstract

Hawai'i island contains two characteristic features, "Subaru" astronomical telescope and Kilawea caldera. The first part of the article relates with the visit to Subaru astronomical telescope and the observatory. The second part relates to the geological view of the island including Kilawea crater, magma, lava and glassy rocks (hyaloclastite) induced from the magma and lava of submarine volcanoes. The views in a sightseeing guided tour in the island are also included.

キーワード: Hawai'i island, Astronomy, Telescopes, Natural glasses, Lavas, Basalts, Hyaloclastites, Volcanoes, Magmas, Hot spots, Mauna Kea, Mauna loa, Kilawea, Caldera

1 「ガラスの島」

今までの個人的な研究・調査の経過の中で、ハワイ島(図1)とは二つの接点があった。一つは、ハワイ島に建設された「ケックⅠおよびⅡ」・「ジェミニ北」や建設途上の「すばる」などの大型天体望遠鏡と天文台であり、これらのうちの多くが建設段階にある時期に本誌(当時は「ニューセラミックス誌」¹⁾)に総説を掲載させて頂いた。これらは結晶化ガラス、または高シリカ極低膨張ガラス製の超大型(8-10mφ)反射主鏡を持っている。

もう一つは、島のキーラウエア火山から噴出する熔岩から飛沫が飛び、それらが急冷されてできる滴状および線状のガラス体(「ペレの涙」・「ペレの髪の毛」・「ペレアイト」という岩石名を与えられた²⁾)である。このようなガラスが、ザイールのニイラゴンゴ火山の噴火に際してもできていたこと、ハワイ島では岩石が詳しく研究されて、他での報告例が少ない岩石の報告があることも記した^{2),3)}。

月日は巡り十年の年は遷り、多くの望遠鏡とそれらを包む天文台は完成し、それぞれ所期の性能を発揮しつつある。我々専門外のものにも、各天文台が

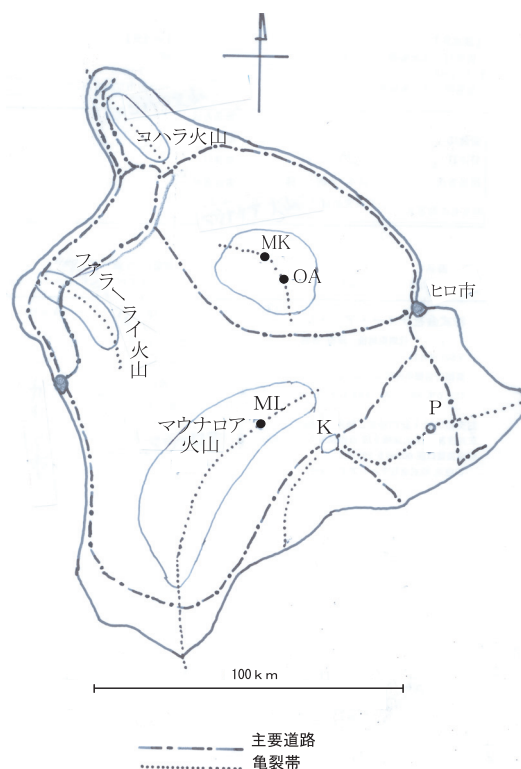


図1 ハワイ島の概略図

K: キーラウエアカルデラ P: プウオオ火口

MK: マウナケア山頂 ML: マウナロア山頂

OA: オニヅカ天文学センター

* 〒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

ホームページ上で成果を競っていることがわかる。

光学関連機器メーカーの会合⁴⁾で、「ガラスと天文学」について講演した。主題は前記の総説に沿ったもので、光学望遠鏡の特殊ガラス製反射主鏡とレンズ用の光学ガラス、および天体用電波干渉計（複数のアンテナの電波信号間の相関関係を計算し、電波源の電波強度分布を求める。）のデータ伝送に使われる光通信用ガラスファイバーであった。その折りに「すばる望遠鏡」を見学したい、という提案があって、2004年10月に国立天文台の御厚意で実現した。

その機会に、キーラウエア-カルデラを見学して、火山ガラスについても思いがけず多くの知見を得た。その主要な点は、ハワイ島の玄武岩質熔岩からは特殊な場合に少量のガラス体ができるに過ぎない、と思っていたのに対して、多量のガラス質の岩や生成物がハワイ島の主体を形成して、誇張して言えば島自体が「ガラスの島」のようなものである、ということであった。ハワイ諸島の他の島々も、また伊豆諸島を始めとする日本の火山列島の島々も同じであるかも知れない。

さきに「ガラスの島々」と題して、伊豆の神津島（黒曜石を産する）と新島（コーガ石を産する）について述べた⁵⁾。本稿の副題はこれを受けている。

2 すばる望遠鏡へ

東岸のカイルア-コナ（北コナ郡のカイルア市。コナは北コナ・南コナ両郡に分かれる。）に現地集合した。コナ郡飛行場に着くとき、飛行機の狭い窓から島を観ると、黒い山（フアラライ火山、2510m）肌が見えて、伊豆の大島に近づいたような感覚を味わった。飛行場には「Lei stand（当便には使われなかった。）」と「島々への船便がある。」という立札があった。

当日の朝にホテルを大型四輪駆動車で出発し、数時間かけてマウナ・ケア火山（4205m）の頂に着く。途中には農場・牧場や山腹噴火の円頂丘（図2a）がある。資材運搬用か、ジェットコースター類の装置も見かけた。また隣のマーウイ島のハレアカラー火山（3658m）が雲の上に頭を出しているのを見た。

車はかなり揺れた。特に道の凹凸がひどい部分は、道路法規違反でもあるので、新しい道に置換するた

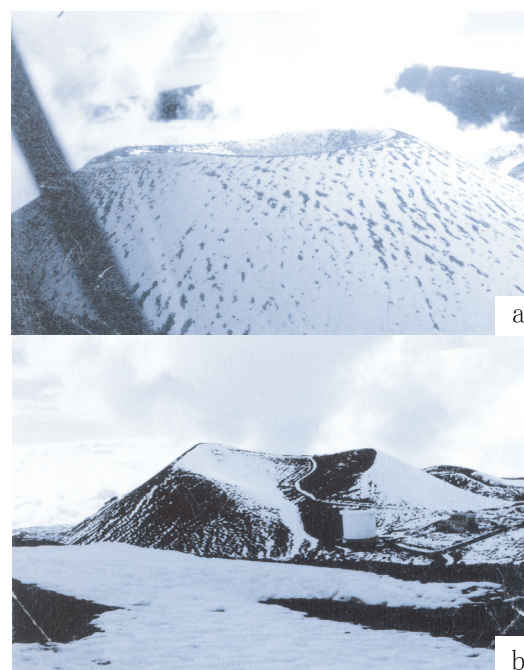


図2 a) マウナケアの中腹にある噴火口円頂丘 b) 同じく山頂にある円頂丘

めの工事が進められている。天文台建設のための資材・人の運搬に相当の労力が払われたことが感じられた。またこのような場所にも軍用地がある。

高さ2800mのところ「オニヅカ天文学センター」があって、ここで高度馴化のための休憩をとった！「オニヅカ」はスペースシャトル打ち上げ時の事故で殉職された日系の軍人の名である。この名を冠した他の施設はハワイ島西岸の「オニヅカ-スペース-センター（博物館）」である。

天文学センターではアマチュア向けであろうが、大きい天体望遠鏡を設備しており、天文グッズを売っている。夜にここで「北極星から南十字星まで」を観望するツアーがある。このツアーでは夕方に山頂から沈む夕日を眺める。「奇妙な雲の形、優れた写真撮影の機会、超現実的な地形も楽しめる。」「ハワイのもっともドラマチックなスペクタクル。ただし天候の保証はしない。」がこのツアーの広告文である。しかし南十字星を観るには季節と時間を選ぶ必要がありそうに思える。センターは山頂の東南に当るので、両者の観察に山頂は邪魔にならない。

エール・リキッド社のロゴを描いたタンク車を見かけた。言うまでもなく天文台で観測に使うための

連載

液体窒素を運ぶ車で、機器、特に測光・撮像素子の冷却用であろう。



図3 「すばる」の天文台 (左) とケックⅠ及びⅡ天文台

山頂に着くと、日当たりはなくて薄く雪粒が地面に敷かれていたが、寒さは感じなかった。遠く近くに予想以上に多くの「天文台」があるのに驚いた(図3～図7)。後に知ったところでは、8ないし10m ϕ の望遠鏡は「すばる」・ケックⅠ号・ケックⅡ号・「ジェミニ北」の四つであるが、それまで関心がなかった小口径の望遠鏡(ハワイ大学0.6m鏡・同2.2m鏡・カナダ-フランス-ハワイ3m鏡・NASA赤外線用3m鏡・英国赤外線用3.8m鏡、合計5基)を持つ天文台もあって、大小合計9基になっており、また外見からは光学天文台と見分けがつかない形の電波天文台(ジェームズ・クラーク・マクスウェル電波天文台(15m)・カルテックサブミリ波望遠鏡(10m)、合計2基)も建っていた⁶⁾からである。そのほかに露天にある複数の電波望遠鏡の干渉計配列(サブミリ波アンテナアレイ、すばるの近くにある)と山頂から5km程降ったところに超長基線(VLBA、8000km、北アメリカの多くのアンテナと結合する)電波干渉計の一部である25mアンテナとがある。

ジェミニ(「双子」の意味)は北(ハワイ)と南(チリ)に同型の望遠鏡を置き、全天の観測を可能にすることを目的にしている。

結局、電波干渉計系を除けば、全てが1km²内に収まっているという意味で壮観である(ハワイ大学によるマウナケアに関するホームページによる。)

すばるの隣にはケックⅠ、Ⅱの双子の天文台があり(図3)、すばるの建屋に登るとまた別の組合わせが見える(図4)。その他個性ある形の天文台が建つ(図3～図7)山頂全体には現在は13施設があるが、



図4 すばるの建屋からの天文台群の遠望
望遠鏡群は左から「カナダ-フランス-ハワイ 3.6m鏡」、「ジェミニ北 8.1m鏡」、「ハワイ大学 2.2m鏡」、「英国赤外 3.8m鏡」。



図5 個性的な天文台群-ケックⅠ及びⅡ天文台

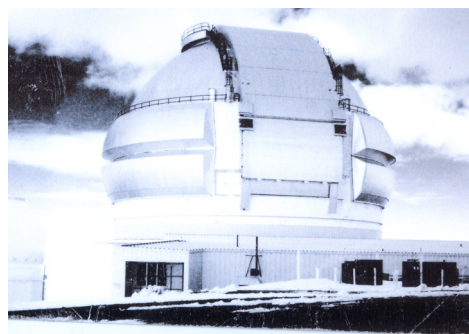


図6 個性的な天文台群-ジェミニ鏡の天文台

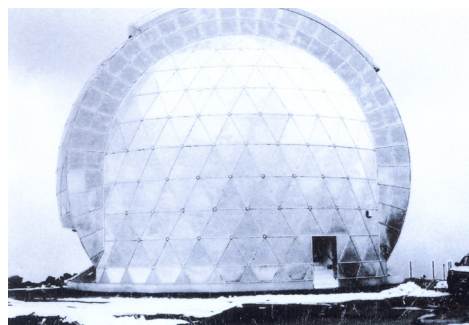


図7 個性的な天文台群-カルテック(カリフォルニア工科大学)の電波天文台

現地住民社会の信仰・宗教的な理由で、上限を 17 に制限されているとのことである。

ケック I および II 天文台では、数年前に 2 台の望遠鏡からの光を地下の経路で合成して、光学干渉計（基線長 80m）として使うことができた、とホームページで表明していた。同じことをチリの高山にある「ヨーロッパ南天天文台」も基線長 200m で実行して、幾つもの観測結果を提示していた。恒星に近接している惑星の発見・確認が目的に入っており、これも成果はホームページに記載されていた。このような観測は国際競争のように続けられている。

すばる望遠鏡の主鏡は昼間はカバーに覆われ、天気予報による夜の予想気温（たとえば 10 月下旬で 2℃）に等しく保冷される。気温との差が 0.2℃ があると陽炎が立って観測の障害になる。昼間は現地で委嘱された日系の方が麓から昇ってきて天文台全般を管理しており、同時に研究者達が夜の観測のための準備として、機器を焦点位置に取り付ける、などの作業をする、というサイクルで仕事が進んでいる。訪れたときにも、外国人研究者を含めたメンバーが作業中であった。

すばるは、恒星の光を遮り周囲の惑星を検出する目的のコロナグラフを備えている。月明は赤外線観測には影響しない。鏡のアルミメッキが曇ったら、メッキ落とし・再蒸着ができる。撮像系は画素数八千万の画像センサーである。

この研究室と国立天文台の三鷹キャンパスを結んでのオンライン画像通信が、キャンパス開放日のトピックスになっていたことがある。ここからの画像が講壇の上方に架けられたビデオ装置に送られ、「高い所から失礼します。」と挨拶があって会場が湧いた。

望遠鏡の台車の部分も見学した。大きくて重い望遠鏡を動かし、星像を 0.1 秒角の精度で追尾するための機構の一部で、多数の幅広の車輪が丸い軌条の上に乗っている。重量物を支えていることが実感される。実際にはこの下にも建設のための深い基礎工事がある。

周囲には高い雲の柱が多数立って、やや傾いた日に照らされていた。水平に流れる気流が大変弱いという状況で、上昇気流に伴う雲を横から見ているのであろう。すばるの近辺には日が射さない、という状況であった。夜は夜で気流が変わり、雲が無くな

るのかも知れない。日本の気象からの類推は北緯 20 度のハワイ島には当てはまらないだろう。

4000m を超える高さなので呼吸は楽でないが、富士山頂よりややハードな程度のはずである。肺内の気圧を高めるような行動を工夫するのは有効とのこと。本土のロッキー山脈がここより少し高い。また紫外線は地上の 2 倍あるし、眠るのはタブーである。山頂で撮ったカラー写真の印画では、直射日光を受けない雪と白いドームは青みを帯びて現像された。他方で日光を受けて明るい雲にはこの効果が見られない。

山を作る熔岩は脆くて石器を作れないが、例外として積雪（氷河も？）の下に溶岩が噴出して固化したものは使えるので、近くに古代の採石場があるという。後に述べる「ハいろクラスタイト」なのであろうか。地上噴火に伴うハいろクラスタイトの生成は、熱帯では高い火山の山頂に限られるはずである（後記）。

少し降りていった場所に露天のバラボラアンテナがポツンと建っているのを見た。電波干渉計用アンテナアレイの一部か。

帰りは暗くなってからカイルアに着き、レストランで昼食を兼ねての会食をして解散した。

3 「ホットスポット」の島

地球上で熔岩は幾つかの地域で噴出し、過去に噴出したものはそれぞれ特有の地形を形成して、その寿命を辿りつつある。最大の噴出源は海嶺であり、次いで島弧の火山（日本列島・伊豆諸島がその例である。）、さらにそれ以下の噴出量ではあるが「ホットスポット」の火山がある（図 8）。

太平洋の海底は東太平洋の海嶺から出た玄武岩質熔岩で形成され、海底がコンベアのように移動して日本近海で島弧の下に潜り込む。ここで海底地殻から水を与えられた島弧の地質は融点が下がり、熔岩が発生して島弧の火山（図 8⑨）が作られる。

ホットスポットは海嶺や海底・大陸とは独立にマントルに固定して熔岩を押し出し、海底火山・大洋島を作る。

ハワイ諸島はホットスポットからの熔岩が海底を押し破って海底火山ができ、その山頂が海上に現れて「大洋島」になったものである（図 8②、③、④）。

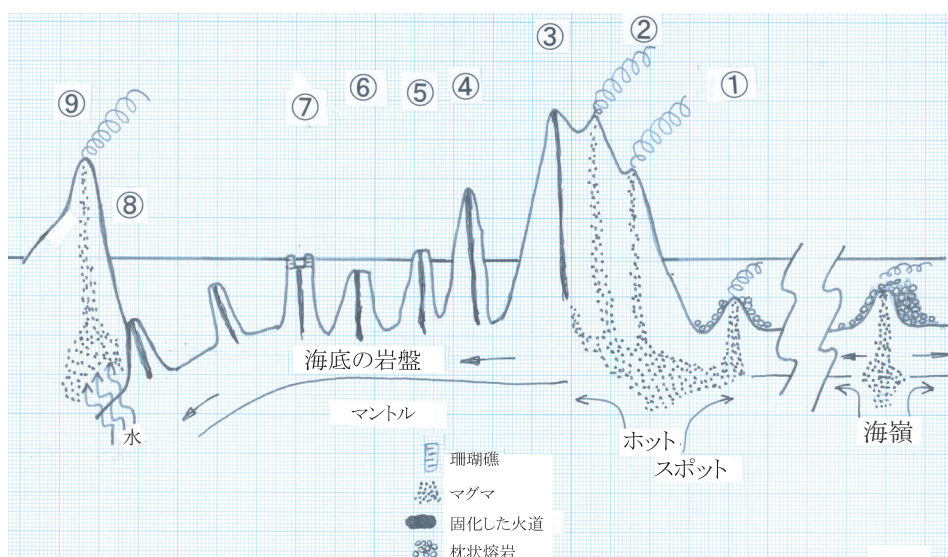


図 8 海嶺・ホットスポット・大洋島・海山・島弧の火山系列の説明図

①：海底火山，②：大洋島の活火山，③：大洋島の死火山，④：死火山の島，⑤：浸食の進んだ死火山島，⑥：「平頂海山」，⑦：環礁，⑧：島弧への付加体，⑨ 島弧の火山

，⑤，⑦）。

ホットスポットの熔岩はマントル深部の物質が対流によって上昇し、減圧・融点降下のために融液を発生し、これが地表・海底まで上昇してきたものである。熔岩のうちでは比較的に高温で粘度が特に低いという点で、日本の熔岩と違う挙動が多い。

融液がそのまま現れると「パーホイホイ熔岩」で、速く固化するとガラス質になる。熔岩が結晶を含むか又はパーホイホイ熔岩が結晶を析出するかすれば「アア熔岩」になる。しかしアア熔岩がパーホイホイ熔岩に転化する例は経験されていない。

火山体は海底のコンベアに乗るように西へ移動してゆき、火山島が次々に作られる。移動し去った火山体は死火山の島となり、浸食されて水面下の海山(図8⑥)や珊瑚礁(図8の⑦、この場合は「環礁」となる。最後の火山島の後ろには、海底火山(図8①、ハワイ諸島では「ローイヒ海底火山」)があってもおそらく次世代の大洋島になるであろう。

大洋島の他の例はナポレオンが流されたセントヘレナ島である。海嶺上にありかつホットスポットの火山でもある例はアイスランドに、大陸に噴出したホットスポットの火山の例は西グリーンランドにある。

4 火山と島々

ハワイ諸島ではしばしば複数の火山が一つの島を造っている。ハワイ島はKohala (1670m) , Hualalai (2510m) , Mauna Kea (4205m) , Mauna Loa (4169m) , Kilauea (1247m) の五つから成る、と見なされる(図1)。それ以前に噴火した Mahukona 火山がコハラ、フアラライ火山の下に隠されているか。又は北方の海中に沈んでいる^{7),8)}。マウナロアは海面下の部分を含めた火山体の体積が世界一だと言われ、火山体の目方のために海底は通常よりも沈んでいる。

隣のマーウイ島とその周辺の小さい島々はかつては一つの島(「マーウイ・ヌイ」)であった。全体の沈降により火山の頭の部分が海上に残り現状となった⁷⁾。

島々の海岸は山腹に相当する。波に洗われて粗い形で露出し、窪みに珊瑚礁起源の白い砂を貯める(図9)。

5 「楕状火山」

山々は粘度の小さい熔岩の積み上がりで流下・拡がり、及び地滑り・山崩れを繰り返しながら成長して



図9 カイルア海岸の玄武岩溶岩の磯。窪みに白砂を貯める。

きた。山崩れ・地滑りの生成物は周囲の海底にも厚く分布する。さらに噴火口そのものも「亀裂帯（“rift zone”）」上をあちこちと移動するので、高く聳え立った火口丘の地形は目立たず、その結果火山の平面形は長円、横から見てはなだらかな山容で、楕を伏せたような「楕状火山」と表現される。

6 活火山

現在のハワイ諸島では、活火山はハワイ島（マウナロア、キーラウエア両火山）とその東のローイヒ海底火山だけといってよいらしい。西隣りマーウイ島のハレアカラー火山（3055m。「ハレアカラー」は「太陽の家」の意味）を休眠火山としているが、その最新の噴火は放射性炭素法で1449年ないし1633年と知られ⁹⁾、噴火の可能性あり、ともされる^{10a)}。ハレアカラーにはハワイ大学の天文学施設や、敷地を借用しての東京大学の2mφマグナム望遠鏡が作られているから、噴火の恐れはないか、または対策が十分と考えられているのであろう。

ハワイ島のフアラライ火山が1801年に噴火した¹¹⁾、と記され、または数百年の周期で噴火する⁷⁾、とも言われる。

マウナケアはマウナロアに先だって成長し、はるか以前に噴火を終えた。マウナロアはマウナケアに寄りかかるようにして成長してきた。キーラウエアはマウナロアの裾の中腹にある。

2001年現在でいうと、マウナロア（4169m）とキーラウエア（1247m）とはともに最近の噴火が1984年であり⁹⁾、後者は現在（2005年）まで噴火を続けている。両者が同時に噴火したのはこれが有史上2回

目である。どちらの山にもそれぞれ北東または東から南西へ延びる亀裂帯があって（図1）、溶岩の噴出点はこの帯上のあちこちに遷る。火山はこのように「亀裂帯」からの噴火で成長するので、楕状火山になり「長い山（マウナロア）」という山名ができ、またキーラウエアの火山の女神「マダム・ペレ」が各所にさまよう、という神話ができた（後記）。

キーラウエア火山では最近の噴火は東方に延びる亀裂帯“Chain of craters”の中で続いており、現在はその中のプウオオ火口が活動している。噴煙や火山灰は貿易風に乗るので、カイルアの人々は、このごろは快晴でも空がすっきりしない、と言う。

（次号に続く）

〔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④」 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 Hawaii-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）