

32周年を迎えたキラウエア火山プウ・オーオー噴火

安井 真也*

The 32th Anniversary of the Pu'u 'Ō'ō Eruption in Kīlauea Volcano

Maya YASUI*

1. はじめに

ハワイ島のキラウエア火山では、プウ・オーオー (Pu'u 'Ō'ō) 火口 (Fig. 1) を中心とする噴火活動が2015年1月3日に32周年を迎えた。これはキラウエア火山の最近約500年間の歴史において最も長く継続する噴火活動とされ、多くの人々の関心を集めている。筆者は最近15年間の様子を知るのみだが、ゆっくりと変化するキラウエア火山の様子を、現地を訪れるたびに実感してきた。ここでは山頂部のハレマウマウ火口 (Halema'uma'u)、イーストリフトゾーンのプウ・オーオー火口と溶岩原における最近の活動の様子について紹介する。

2. 噴火活動の概要

プウ・オーオー火口を中心とする噴火活動は、主にアメリカ地質調査所 (USGS) ハワイ火山観測所 (以下HVOと呼ぶ) によって丹念に観測され、噴火の経緯が記録され続けている。HVOのウェブサイト (Eruption Update^{*1}) では活動状況がほぼ連日更新され、画像もほぼリアルタイムで提供されている。以下ではHeliker and Mattox (2003) や Orr *et al.*, (2012) またHVOのEruption Updateなどの報告からプウ・オーオー噴火の概要をまとめる。

1983年1月3日にイーストリフトゾーン (以下ERZと呼ぶ) (Fig. 1) 上で、総延長8kmに及ぶ大規模な割れ目からの噴火が開始した。4月上旬まで断続的に溶岩噴泉と溶岩流出があり、6月中旬からは現在のプウ・オーオー火口の位置 (山頂カルデラ (Fig. 1 ④) からの距離約

18km) に活動が収束した。3年間にわたる断続的な溶岩噴泉によりプウ・オーオー火砕丘が成長した。平均して数週間毎の溶岩噴泉は約1日継続し、噴泉高度は470mに達することもあった (high fountain)。火口近傍へは激しい火砕物降下があり、溶結火砕岩層が累積した (Heliker *et al.*, 2003; 安井, 2002)。溶岩噴泉の根元からは厚さ4m前後の溶岩 (主にアア溶岩) が北東や南東方向へ流下し、火口から13kmの距離まで到達することもあった。火砕丘は徐々に高さを増し、1986年3月に最大比高が255mとなった。

1986年7月からは溶岩を溢流する噴火様式に変化し、主にERZの南側に溶岩がもたらされた。広大な溶岩原 (Fig. 1) は、2012年までに125km²の面積を覆い、200haの土地がハワイ島へ付加された。プウ・オーオーの東西数km以内で溶岩が噴出することもあった。1986~1992年にはクパイアナハ溶岩湖 (Kupaianaha, Fig. 1) が活動し、1992~2007年にはプウ・オーオーのすぐ南西側に小型の楕状火山が形成された。溶岩は繰り返しチューブを作り、ERZの南側の海岸方面まで溶岩が供給された。溶岩原上では局所的にパホイホイ溶岩が流出することが多いが、新しいチューブシステムの形成初期には、チャンネル状の地表流 (surface flow) が見られることもあった。海岸部ではオーシャンエントリーが見られる期間も多く、海面下では枕状溶岩 (水中のパホイホイ溶岩) の流れる様子が撮影された。海岸部に形成された重力的に不安定な溶岩デルタは時々崩壊し、それに伴う爆発もしばしば起きた。溶岩原上では、パホイホイ溶岩の膨張現象の観察や、アア溶岩とパホイホイ溶岩の表面形態の変化に関する理解が進んだ (Hon *et al.*, 2003 など)。2008年には山頂のハレマウマウ火口内に新たな火口が開いて、

注*1 Kilauea Eruption Update by Hawaiian Volcano Observatory, USGS. (<http://hvo.wr.usgs.gov/activity/kilaueastatus.php>)

* 〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40
日本大学文理学部地球システム科学科
Department of Geosystem Sciences, College of Humanities
and Sciences, Nihon University, 3-25-40, Sakurajosui,

Setagaya-ku, Tokyo 156-8550, Japan.

e-mail: yasui.maya@nihon-u.ac.jp

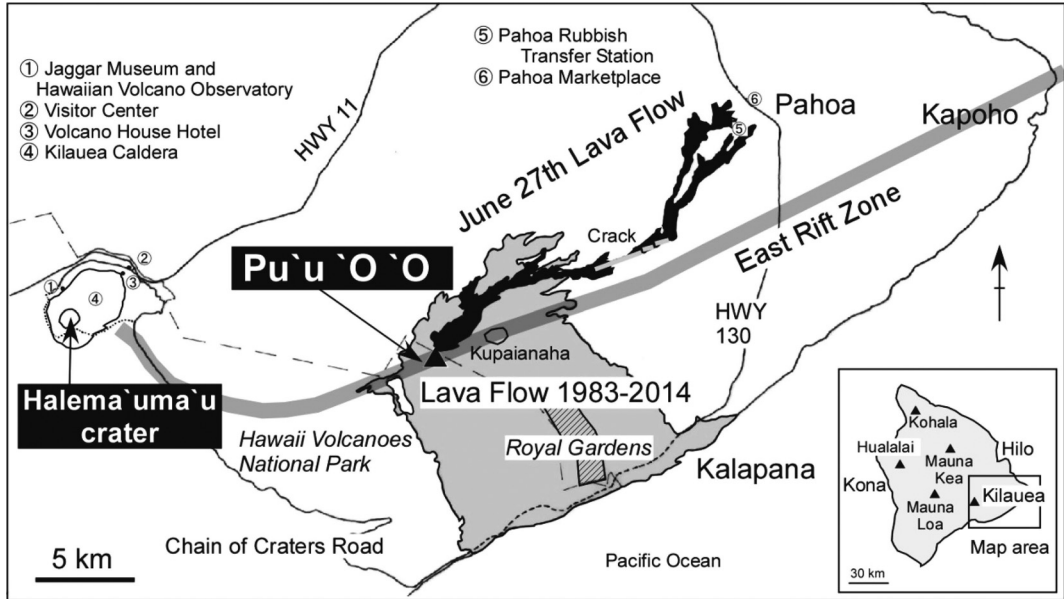


Fig. 1. Distribution of lava flows of the Pu'u 'Ō'ō eruption in Kilauea volcano. Distribution of the ongoing "June 27th flow" is after the map on April 1st, 2015 by USGS in the following.

Map showing flow field changes (<http://hvo.wr.usgs.gov/maps/uploads/image-268.jpg>)

図 1. キラウエア火山のプウ・オーオー噴火の溶岩分布図。2014年6月27日以後流下中の“6月27日溶岩”の分布は、アメリカ地質調査所ハワイ火山観測所の2015年4月1日の溶岩分布図による。

溶岩湖の活動が始まり、Photo 1のような火映が見られるようになった。これ以降、山頂とプウ・オーオーの2ヶ所に溶岩が見られる状況が続いている。2013年からは27年ぶりにプウ・オーオーの北東方向へ溶岩が流出し始め、オーシャンエントリーは11月に完全に止んだ。その後2014年6月27日に、プウ・オーオーの北東山腹で新たな溶岩流出が始まり、現在に至っている (June 27th flow, Fig. 1; Photo 2)。一連のプウ・オーオー噴火による噴出量は2012年までで約4 km³と見積もられている (Orr *et al.*, 2012)。

プウ・オーオー噴火による災害には、主に溶岩流と火山ガスによるものがある。1986年11月下旬に初めて溶岩が海岸へ到達し、カラパナ (Kalapana, Fig. 1) の西方でハイウェイ130号線 (チェーン・オブ・クレーターズ・ロード) を遮断した。プウ・オーオーの東南東5 km 付近から海岸へかけてのロイヤル・ガーデンズ地区 (Royal Gardens, Fig. 1) では、1986年に溶岩流による家屋の焼失が始まった。1990年4月から同地区に本格的に溶岩が流入し、5月には連邦災害宣言が発令された。1991年には海岸部のカラパナ村がほぼすべて溶岩に埋まり、1983~1991年間の焼失家屋は184軒を数えた。その後も時々火災があり、最近では2012年3月にロイヤル・

ガーデンズの最後の民家が焼失した。2013年までに焼失家屋は214軒となった。また火口からの火山ガス (主にSO₂) に起因するVOG (Volcanic smog) も、呼吸器疾患のある人々に影響を与えている。VOGは風に流され、ハワイ島西部のコナ (Kona) 方面まで影響を及ぼしている。

3. ハレマウマウ火口の活動

キラウエア火山の山頂カルデラ内のハレマウマウ火口 (Fig. 1) は、直径約1 kmのほぼ円形の火口で、高さ約85 mの火口壁はほぼ垂直である。1974年噴火で火口を埋めた溶岩がほぼ平らな火口底をつくっている。2008年3月19日に84年ぶりに爆発があり、火口底に新たな火口が形成された。新しい火口の直上の火口縁にあった展望台は、放出された火山岩塊によって破壊された。キラウエアカルデラ周辺の道路は東部を除いて通行が禁止 (Fig. 1の点線部) となっている。新しい火口は、ハレマウマウ・オーバーラック火口 (Halema'uma'u Overlook VentあるいはCrater) と呼ばれている。9月には火口内に溶岩湖が確認され、以来HVOのウェブサイトでもほぼリアルタイムの赤外画像などを見ることができる^{*2}。火口の径は、2009年1月には115 mほどだったが、火口

壁の崩落と爆発を繰り返して現在では倍ほどになっている。溶岩湖のレベルはハレマウマウ火口底の下、36~55 mにある場合が多いが、2015年4月下旬より急上昇し、4月28日に初めて火口底に溢れ出した。オーバーラック火口の北北西約1.8 km、標高1241 mの地点にあるジャガー博物館 (Fig. 1 ①) の展望台からは、通常は青白い噴煙が貿易風で南西方向へたなびく様子が見られる。時々、火口内での噴泉や火口壁の崩落による有色噴煙がHVOのカメラに捕えられる。風向きによっては高濃度の火山ガスがジャガー博物館の方まで漂うことがあり、放送で展望台の観光客に対して屋内への移動が促される。ハワイ火山国立公園には年間200万人もの観光客が訪れるという。公園内のビジターセンター (Fig. 1 ②) やウェブサイト^{*3}では、火山活動状況や防災情報などが観光客に知らされている。

Photo 1は2015年1月4日にジャガー博物館の展望台より撮影したもので、火映の周りにほんやりとハレマウマウ火口の全景が見られる。画面手前は月明かりに照らされた説明パネルである。前日に通過した低気圧の影響で、南からのコナウインドにより、噴煙が通常とは反対方向へたなびいている。

1866年にハワイ諸島を旅した作家マーク・トゥエイン (当時31歳) は、月夜に地元ガイドの案内で溶岩湖を見に行った。Grove (1990) によると、トゥエインは「我々はペレのかまどからの熱によって半分ゆであがったような状態になった」という内容の臨場感あふれる紀行文を残している。直径3 km×4 kmのキラウエアカルデラは、15世紀の山頂部の大規模な陥没で生じたと考えられている (Clague *et al.*, 1999)。その後カルデラが徐々に溶岩で埋められる過程で溶岩湖がたびたび出現した。1924年の爆発的噴火までは、カルデラ内は短命の溶岩湖や溶岩流の寄せ集め状態だったという。19世紀後期の溶岩湖の生々しい光景は、ボルケーノ・ハウス・ホテル (Volcano House Hotel, Fig. 1 ③) のロビーに飾られた絵画にも描かれている。マーク・トゥエインが体験した“ペレのかまど”のような19世紀後期から20世紀初頭のカルデラ内の灼熱の光景は、現在からはとても想像できない。

注*2 Webcams by Hawaiian Volcano Observatory, USGS. Live Panorama of Kīlauea Caldera from HVO [Klcam] (<http://hvo.wr.usgs.gov/cams/panorama.php?cam=Klcam>) Live Panorama of Halema'uma'u Overlook Vent Thermal from Halema'uma'u Overlook [HTcam] (<http://hvo.wr.usgs.gov/cams/panorama.php?cam=HTcam>)

注*3 Current Conditions of National Park, Hawai'i Volcanoes (<http://www.nps.gov/havo/planyourvisit/lava2.htm>)

4. 溶岩に埋もれゆくブウ・オーオー火砕丘

1983年6月からの3年間の断続的な溶岩噴泉の結果、ブウ・オーオー火砕丘の標高は974 mに達し、その体積は約0.067 km³と見積もられている (Heliker *et al.*, 2003)。溶岩噴泉は貿易風に流されるため、1986年頃の火砕丘は南西側にピークをもつ非対称な形だった。その後火砕丘は崩壊を繰り返し、特に南西側が大きくえぐられた。火口は1986年頃に直径約35 mであったが、1989年頃大きく拡大し、2012年には300 m×450 mとなった。Photo 3はブウ・オーオー火砕丘の北斜面 (2000年3月撮影)、Photo 4は南斜面 (2015年1月撮影) である。Photo 3の火口壁の成層構造からは、西側 (画面右手) が高かったことがうかがえる。しかし現在ではかつてのピークの面影は全くなく (Photo 4の画面左手)、最高点の標高は890 m (2014年11月時点) に減じている^{*4}。火口内の溶岩のレベルは長期的に上下を繰り返すが、現在は火口内がほぼ溶岩で埋められている (Photo 4)。火砕丘の外側斜面も火口から溢流した溶岩にかなり覆われて、スコリアから成る火砕丘の原面 (Photo 4の淡褐色の部分) がわずかに見えるのみである。Photo 4の矢印部分には火砕丘と周囲の溶岩の境界 (標高840 m, 2014年11月時点^{*4}) が明瞭に見える。噴火開始の1983年当時の火砕丘基底部の標高は719 mであるため (Heliker *et al.*, 2003)、火砕丘の下方約120 mが周囲の溶岩で埋められたことになる。つまり1986年には比高が255 mあった火砕丘の南斜面は現在中腹の厚さ50 m程度のみしか見えていないのである。1986年の火砕丘の形成終了後、火砕丘の内外部で溶岩流出が続いたため、ブウ・オーオーは遠くから見ると小型の楕円状火山の形を呈している (Photo 2)。長期的に見ると、活動初期の爆発的噴火で形成された火砕丘が楕円状火山の内部に埋積されていくプロセスを、ブウ・オーオー噴火は30年以上の年月をかけて示しているようである。

5. 現在進行形の活動

ここではHVOのEruption Update、ハワイ郡防災局 (Civil Defense)^{*5}や現地新聞社などのウェブサイトに基づいて、現在進行形の活動の様子を見てみる。2014年6月27日にブウ・オーオーの北東斜面にあいた火口から東方

注*4 Eruption Update の Photo & Video Chronology (<http://hvo.wr.usgs.gov/multimedia/index.php?display=default>) 2014年11月24日の記事にブウ・オーオーの地形と標高の解説がある。過去の記事は以下のページに期間等を入力することで検索ができる。 (<http://hvo.wr.usgs.gov/multimedia/search.php>)

注*5 CIVIL DEFENSE MESSAGES and ALERTS by County of Hawai'i (<http://www.hawaiicounty.gov/active-alerts/>)

へ流下し始めた“6月27日溶岩”(The June 27th flow, Fig. 1)は、最初期は複数の割れ目火口からの、きわめて流動性に富む溶岩チャンネルであった。今回の溶岩は主に森林地帯 (rain forest) を進んでいるため、溶岩周縁部での森林火災が続いている (Photo 5)。プウ・オーオー火口の北東8 kmあたりでは、最近の溶岩と1983年の溶岩を見ることができる (Photo 6)。1983年の溶岩上では植生の復活が認められ、30年以上に及ぶ噴火の継続期間の長さが実感できる。8月下旬には、チューブ内の溶岩がERZに平行する割れ目 (crack, Fig. 1; Photo 2) に流入するのが目撃された^{*6}。約1.5 km東方で再び地表に出た溶岩は北上し、10月には人口950人ほどのパホア村 (Pāhoā, Fig. 1) のそばまで到達した (Photo 7)。プウ・オーオー山腹の火口から溶岩の先端までの距離は21 kmにもなる (Fig. 1)。ERZの陸上の東端に近い南プナ (Lower Puna) 地域はヒロ (Hilo) のベッドタウンでもあり、130号線は朝夕の渋滞が有名な幹線道路である。この地域は130線が溶岩流で覆われると陸の孤島と化すため、カラパナの西方の溶岩原上に、2014年9月から道路建設が始まった (Photo 8の矢印)。これは1986年来の溶岩により遮断された約14 kmの区間 (Fig. 1の破線部) を復活させるという計画で、パホイホイ溶岩の表面を剥がして整地し、砕いた溶岩を敷き詰める工事だという。また12月下旬には、パホアの北東で緊急時迂回路が通行可能になったという。

パホアの村はずれに接近した溶岩は、日系人墓地をかなり埋め立て、11月には1軒の民家が燃える様子が日本でもテレビニュースで報じられた。Photo 9の奥 (丸印) には墓地の方 (画面左手) へ流下した厚さ約5 mの溶岩ロープが見える。手前に続く道がアパア (Apa'a) 通りで、溶岩防御の措置が取られた電柱が見られる。Hawaii Electric Light 社 (HELCO) の広報担当者によれば、木の電柱が多いハワイ島における溶岩に対する電柱防御は、初めての実験的な試みだったという。夏の終わり頃にHELCO、ハワイ大学、HVOの協力で電柱防御の設計が開始した。電柱防御は、まず電柱を断熱材で囲み、さらに金網フェンスで取り巻いて、フェンスと電柱の間を火砕物で満たす。さらに基底部にコンクリートのバリアーを築き、その周りを火砕物で囲む構造となっている。火砕物は近くのスコリア丘から運ばれたという (Orr 私信)。設計時には溶岩の膨張も考慮され、全体に背の高

い構造物となっている (Photo 9)。写真後方の電柱は、10月25日に溶岩に囲まれた。この時は電柱が沈下し始め、基底部が溶岩の熱で燃え始めたらしいことから、消防による放水がなされた^{*7}。結果的に、電柱を囲んだ後約5 mの溶岩膨張があったが、溶岩による電力供給停止や停電は起きなかったという。以上からは現地の人々の懸命の溶岩対応の様子がうかがえる。

アパア通り沿いのごみ集積所 (Pāhoā rubbish transfer station, Fig. 1 ⑤) は溶岩の接近により10月24日に閉鎖され、11月12日に溶岩が敷地内に流入した。2015年1月に著者が訪れた際は、日中、防災局が管理する溶岩見学エリア (Lava viewing area) となっており、駐車場係が観光客を誘導していた。溶岩見学および教育普及プログラムの一環ということで、担当者がパネルを用いて説明していた。担当者によると、当初は地元の子供たちのために説明をしていたという。以前カラパナの西方の溶岩見学エリアを何度か訪れたが、今回の迅速な設置と充実したパネル展示には驚かされた。

見学エリア付近ではすべて表面が平滑なパホイホイ溶岩であり、縄状構造も認められる。ハワイ大学作成の説明パネルによると、ごみ集積所の敷地を取り巻くフェンスと、その下の排水用の浅い溝が、溶岩を停滞させ、フェンスに沿って膨張する役目を果たしたという。高さ約170 cmのフェンスわきの溶岩は、表層部に板状の殻があり、パホイホイ溶岩の膨張を物語っている (Photo 10)。溶岩の一部はフェンスの金網をつきやぶって敷地内に流下した。溶岩を縁取るようにアスファルトの火災跡が見られるが (Photo 10)、火災は数日続いたという。溶岩の上にはアンセリウムの花束、レイ、パパイヤなどが置かれていた (Photo 10)。これらは地元の人々が、ペレの怒りを鎮めるために捧げたものである。

2014年12月には流れの向きが変化して、より北方のパホアのマーケット・プレイス (Fig. 1 ⑥) の方向への進行が予想された。地元メディアによると、12月19日には店が閉められ、ガソリンスタンドのガソリンも抜かれたという。1月上旬からは、さらに北方へ溶岩ロープが流下を始めたが、下旬には停滞気味となり、2月には店の再開が始まったという。パホアの溶岩見学エリアも2015年1月末で閉鎖され、ごみ集積所の業務が再開されたという。

水系などからの溶岩の進行予測図が防災局のウェブサ

注*6 Eruption Update の Photo & Video Chronology (<http://hvo.wr.usgs.gov/multimedia/index.php?display=default>)。2014年8月22日から10月20日までの記事に、溶岩チューブからの溶岩が割れ目に入る様子などが写真や動画とともに解説されている。

注*7 Hawaii Electric Light 社のウェブサイトの関連記事の例：Hawaii Electric Light Lava Flow Response Update on November 1 (http://www.hawaiielectriclight.com/helco/_hidden_Hidden/Hawaii-Electric-Light-Lava-Flow-Response-Update-on-November-1)

イトや地元メディアを通じて発表されている。しかし実際の溶岩の挙動はなかなか複雑らしい。ある程度の距離を流下した溶岩ロープは停滞し、上流の溶岩チューブからの供給による溶岩膨張と、周縁部での小規模なブレイクアウトがしばらく続き（例えば Photo 7 の AB）、また別の方向へのロープの流下が始まるといったことを繰り返すようである。この観察の機会に、ハワイ大学や HVO による溶岩流の実態に関する研究の進展が期待される。

山頂火口から遠く離れた ERZ に近い地域が溶岩流に脅かされるのは、1960 年のカポホ (Kapoho, Fig. 1) での噴火以来であり、パホア付近の住民の驚きと不安は想像に余りある。ハワイ島の 5 つの火山を 1~9 の溶岩流のハザードゾーンにわけたマップ (Wright *et al.*, 1992) によると、パホアのあたりは活動的なリフトゾーンに隣接するゾーン 2 に属する。10 年ほど前に HVO の地質学者が、プウ・オーオー火口の北東方向への溶岩流出を危惧していると語っていたことが思い出された。

謝 辞

荒牧重雄先生には、Pu'u 'Ō 'ō 噴火初期の溶岩噴泉と火砕丘形成について、現地ですばる最初の機会を作っていただいた。これまでハワイ火山観測所の Donald A. Swanson, Christina Heliker, Tim Orr, Jane T. Takahashi また Thomas L. Wright の諸氏からはキラウエア火山の活動について多くを学ばせていただいた。また Orr 氏には今回の口絵写真のキャプションを確認していただいた。編集および査読の方々からは建設的なコメントをいただいた。以上の方々に深く感謝いたします。

口絵写真説明

Photo 1. Halema'uma'u crater seen from the lookout of the Jaggar museum. Glow and fume trailing towards the northeast from Halema'uma'u Overlook Vent can be seen. Taken on January 4, 2015.

写真 1. ジャガー博物館前の展望台より見たハレマウマウ火口。Halema'uma'u Overlook Vent の火映と北東方向へたなびく噴煙が見える。2015 年 1 月 4 日撮影。

Photo 2. Pu'u 'Ō 'ō cone and the lava field of the June 27th flow seen from the east. The crack along the East Rift Zone on Kīlauea volcano that captured the flow in late August 2014 is indicated by a dotted line. Taken on January 4, 2015.

写真 2. 東方上空より見た“6 月 27 日溶岩”の溶岩原と Pu'u 'Ō 'ō 火砕丘。破線は 2014 年 8 月下旬に溶岩が流入したイーストリフトゾーン沿いの亀裂を示す。

2015 年 1 月 4 日撮影。

Photo 3. Aerial photo of the northern flank of Pu'u 'Ō 'ō cone seen from the northeast. Remarkable stratification of welded pyroclastic fall deposits formed through high-fountaining between 1983 and 1986 is recognized on the crater wall. Taken on March 2000.

写真 3. 北東上空より見た Pu'u 'Ō 'ō 火砕丘の北斜面と火口。1983~1986 年の溶岩噴泉により形成された溶結降下火砕堆積物の顕著な成層構造が火口壁に認められる。2000 年 3 月撮影。

Photo 4. Aerial photo of the southern slope and lava-filled crater of Pu'u 'Ō 'ō cone seen from the southwest. Notice that the most of the original surface of the Pu'u 'Ō 'ō cone has been covered by lava that has overflowed from the crater. An arrow shows the boundary between the exposed base of the cone and the surrounding lava. Taken on January 4, 2015.

写真 4. 南西上空より見た Pu'u 'Ō 'ō 火砕丘の南斜面とほぼ溶岩に満たされた火口。Pu'u 'Ō 'ō 火砕丘の原面は、火口から溢流した溶岩によってかなりの部分が覆われている。矢印は露出する火砕丘の基底と周囲の溶岩の境界を示す。2015 年 1 月 4 日撮影。

Photo 5. Pāhoehoe lava and smoke from the local forest fire on January 4, 2015.

写真 5. 亀裂北東方のパホイホイ溶岩と局所的な森林火災の煙。2015 年 1 月 4 日撮影。

Photo 6. The lava field northeast of Pu'u 'Ō 'ō as seen from the southeast. Recent lava of the June 27th flow is seen in the foreground. 2013-2014 Kahauale'a 2 flow is in the background. The 1980's lava with sparse vegetation and rain forest on centuries-old flows are seen between the above lava flows. Taken on January 4, 2015.

写真 6. 南東より見た Pu'u 'Ō 'ō 火口の北東方に広がる溶岩原。最近の溶岩である“6 月 27 日溶岩”が手前に見える。後方は 2013~14 年の Kahauale'a 2 溶岩。まばらに植生が復活した 1980 年代の溶岩と、数百年前の溶岩上の森林が、上記の溶岩流の間に見られる。2015 年 1 月 4 日撮影。

Photo 7. Lava flows threatening Pāhoā as seen from the north. The distance between the lava and Highway 130 was about 1 km. Smoke from burning trees marks active breakouts. Taken on January 4, 2015.

PM : Pāhoā Marketplace, SF : Stalled front of the lava, AB : Active breakouts, T : Transfer station.

写真 7. 北方より見るパホアに迫る溶岩。溶岩とハイウェイ 130 号線の距離は約 1 km。燃える木からの煙

が溶岩流の縁部でのブレイクアウトを示す。2015年1月4日撮影。

PM: パホアのマーケットプレース, SF: 停滞した溶岩流の末端。AB: 溶岩流の縁部でのブレイクアウト。T: パホアのごみ集積所

Photo 8. Southeastern part of the vast lava field of the Pu'u 'Ō'ō eruption. Kalapana village that was covered by lava in 1990 is in the distance. An arrow shows the Chain of Craters Road, which is under construction after having been buried for decades. Taken on January 4, 2015.

写真 8. Pu'u 'Ō'ō 噴火による広大な溶岩原の南東部分。遠方に1990年に溶岩に埋没したカラバナ村が見える。矢印は、数10年間にわたって溶岩に埋没してきたChain of Craters Roadの進行中の復旧工事を示す。2015年1月4日撮影。

Photo 9. An open circle shows the roughly 5-m-thick pāhoehoe flow that crossed Apa'a Street and threatened the village of Pāhoa in late October. Note the cinder piles and other protection placed around utility poles. Taken from the lava viewing area on January 5, 2015.

写真 9. 丸印は2014年10月下旬にApa'a通りを横切ってパホア村を脅かした厚さ約5mのパホイホイ溶岩。画面右手は溶岩に対する防御が施された電柱。溶岩見学エリアより2015年1月5日撮影。

Photo 10. A lava viewing area at the Pāhoa rubbish transfer station. Flower and fruit offerings to Pele adorn the pāhoehoe lava that invaded into the transfer station on Nov 12th 2014. Taken on January 5, 2015.

写真 10. パホアのごみ集積所に設けられた溶岩見学エリア。2014年11月12日に敷地内に侵入したパホイホイ溶岩上に、女神ペレへの供物の花や果物がのせられている。2015年1月5日撮影。

引用文献

- Clague D. A., Hagstrum J. T., Champion D. E., and Beeson M. H. (1999) Kīlauea summit overflows: their ages and distribution in the Puna District, Hawai'i. *Bull. Volcanol.*, **61**, 363-381.
- Grove, D. A. (1990) Mark Twain in Hawaii roughing it in the Sandwich Islands. *Hawaii in the 1860's*. Mutual publishing, Honolulu, Hawaii, 110p.
- Heliker, C. and Mattox, T. N. (2003) The first two decades of the Pu'u'Ō'ō-Kupaianaha eruption: Chronology and selected bibliography. In *The Pu'u'Ō'ō-Kupaianaha eruption of Kīlauea Volcano, Hawai'i: The first twenty years*, Heliker, C., Swanson, D. A., and Takahashi, J. T., (eds.), USGS Professional Paper **1676**, 1-27.
- Heliker, C., Kauahikaua, J., Sherrod, D. R., Lisowski, M., and Cervelli, P. F. (2003) The rise and fall of Pu'u'Ō'ō cone, 1983-2002. In *The Pu'u'Ō'ō-Kupaianaha eruption of Kīlauea Volcano, Hawai'i: The first twenty years*, Heliker, C., Swanson, D. A., and Takahashi, J. T., (eds.), USGS Professional Paper **1676**, 29-51.
- Hon, K., Gansecki, C., and Kauahikaua, J. (2003) The transition from Aa to Pahoehoe crust on flows emplaced during the Pu'u'Ō'ō-Kupaianaha eruption. USGS Professional Paper **1676**, 89-103.
- Orr, T., Heliker, C., and Patrick, M. (2012) The ongoing Pu'u'Ō'ō eruption of Kīlauea Volcano, Hawai'i—30 years of eruptive activity: U. S. Geological Survey Fact Sheet 2012-3127, 6 p.
- Wright, T. L., Chun, J. Y. F., Exposito, J., Heliker, C., Hodge, J., Lockwood, J. P., and Vogt, S. M. (1992) Map showing lava-flow hazard zones, island of Hawaii: U. S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-2193, scale 1:250,000.
- 安井真也 (2002) ハワイ島キラウエア火山の溶岩噴泉による火口近傍堆積物。日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要 **37**, 101-118.