西南学院大学　人間科学論集　第 11 巻　第 1 号　　101 ― 118 頁　2015 年 8 月

ハワイ島キラウェア火山イーストリフトゾーンにおける溶岩流表面風化と植生の回復過程

磯　　望・黒木貴一[1)]・宗　建郎[2)]・黒田圭介[3)]・後藤健介[4)]

Relation between the Surface Weathering Process on Lava Flow and the Recovering Process of Vegetation on the East Rift Zone of Kilauea Volcano, Hawaii Island

Nozomi Iso, Takahito Kuroki, Tatsuroh Soh,
Keisuke Kuroda and Kensuke Goto

1. はじめに

ハワイ島は、西北西～東南東方向に配列する延長 2,400km に及ぶハワイ列島の島嶼群の南東端に位置し、面積 10,451km^2 の火山島である（Macdonald, G. A., Abbott, A. T. and Peterson, F. L., 1983）。ハワイ列島はホットスポット上に形成された火山島群から成り、ホットスポットの上に位置する太平洋プレートの等速的な移動の結果、点々と火山が連らなる島列を形成したものと考えられている。Dalrymple, G. B. ほか（1973）は、太平洋プレートの移動速度と火山岩の年代との関係を検討した結果、太平洋プレートの西北西方向のほぼ直線的かつ等速的な移動を、マントル深部に位置するホットスポット仮説で説明できると考えた。現在はハワイ島周辺で溶岩流出が活発であり、この事実は、一般的には、ハワイ島下方のマントル深部に位置すると推定される Hawaiian Hot Spot の存在で説明されることが多い。

[1)]福岡教育大学教育学部教授　[2)]志學館大学人間関係学部講師　[3)]西南学院大学非常勤講師　[4)]大阪教育大学学校危機メンタルサポートセンター准教授

Dalrymple らが現在の Hawaiian Hot Spot の真上に形成されている火山としたハワイ島のキラウェア火山は、中心火口であるキラウェアカルデラと、その東方に延びるイーストリフトゾーン（East Rift Zone）で最近も度々噴火を繰り返しており、溶岩流の噴出年代が特定されている数時期の溶岩流を噴出しているほか、現在も継続的に溶岩を流出する活動を継続中である。

ここでは、溶岩流地帯の土地条件の変化過程の自然的特徴について解析する目的で、西南学院大学研究助成制度「湿潤熱帯地域における火山等自然災害後の土地条件変化に関する研究」の助成を受けて、2015 年 3 月 1 日～6 日に実施したハワイ島イーストリフトゾーンの現地調査について報告し、特に溶岩流地帯に植生が侵入するプロセスについて、現地調査で明らかになった点を中心に報告する。

なお、主たる調査地域は、ハワイ島東南部プナ（Puna）地区のパホア（Pahoa）からカイム（Kaimu）（Kalapana 付近）までの州道 130 号線、カイムからカポホ（Kapoho）までの 137 号線、カポホ（Kapoho）（Kumukahi 岬付近）からパホアまでの 132 号線の沿道を中心とした地域周辺である。

2. ハワイ島の火山地形と最近の火山活動

ハワイ島は、北からコハラ（Kohala Mountain, 1,670m）・マウナケア（Mauna Kea, 4,205m）・フアラライ（Hualalai, 2,521m）・マウナロア（Mauna Loa, 4,169m）・キラウェア（Kilauea, 1,248m）の 5 つの大規模な楯状火山から形成されている。

これらの楯状火山のうちハワイ島北部から中部に位置するコハラとマウナケアは、1779 年から始まるハワイ島の歴史時代（キャプテンクックのハワイ寄港と測図作成以降）に噴火した記録がない。ハワイ島西部に位置するフアラライは、1801 年に北東方向に延びるリフトゾーン（地形的には楯状火山の尾根部分）の 2 箇所で噴火し、その溶岩流はハワイ島の西海岸まで到達しているが、その後の活動履歴はない（Sterns, H.T. and Macdonald, G. A., 1946）。コハラは、北東部海岸から河川による山体浸食が一部で深く進行しており、溶岩流出を伴う火山活動は衰えていると考えられている。マウナケアとフアラライでは、

山体内部まで進行するような深い谷は形成されておらず溶岩流の噴出後の浸食期までは至っていないことを示す。マウナケアでは、楯状火山の尾根を形成するリフトの位置に、多数のスコリア丘が点々と配列するほか、山麓部にも寄生火山の噴石丘が点在することが確認できる。コハラでも楯状火山の尾根に同様の噴石丘が点々と配列する。また、フアラライでは、楯状火山の尾根に位置する噴石丘の分布は図 1 では明瞭ではないが、Stearns and Macdonald（1946）は、北西方向に延びる尾根上に多数の噴石丘やスコリア丘が位置することを報告している。

一方、マウナロアとキラウェアは、中心火口とそこから伸びるリフトゾーンで歴史時代以降も度々噴火を繰り返し、溶岩を流出させてきた。両火山は中心火口部分に規模の大きいカルデラとそれに連なる小規模なカルデラ群を形成しているが、時には上昇したマグマによってカルデラ内部に溶岩湖を形成し、溶岩流を溢流させることも生じた。また山体の中心火口であるカルデラから楯状火山の尾根の位置には、線状に延びるリフトゾーンが認められ、そこには、歴史時代にも活動した小規模なカルデラ状の陥没火口（ピットクレーター）や小規模な楯状火山状の噴丘や溶岩を噴出した線状割れ目（fissure）などが断続的に連なり、ここから噴出した溶岩で楯状火山の尾根を形成している。また、尾根の側方には、これらの火口列から流出した溶岩流が分布する。

マウナロアでは、最近の噴火活動は 1984 年が最後で活動の静穏期が継続している。1984 年の噴火は中心火口のモクアウェオウェオカルデラ（Mokuaweoweo Caldera）とノースイーストリフトゾーンで生じた噴火である。マウナロアでは、それ以降溶岩流を伴う噴火は見られず、このところは静穏な状態で推移している。しかし、1870－1896 年には中心火口のモクアウェオウェオカルデラに溶岩湖が存続し、1950 年までは中心火口とリフトゾーンで活発に噴火を繰り返していた。

キラウェアは、1823 年以前から 1894 年まで、長期にわたってキラウェアカルデラ（Kilauea Caldera）内に継続して溶岩湖が形成されていた。1894－1924 年にはキラウェアカルデラ内部のハレマウマウ（Halemaumau）火口で溶岩湖が形成された。また、ハレマウマウ火口は、1940 年代のキラウェアの静穏期

を除いて、1968 年まで断続的に噴火活動や溶岩湖の形成を繰り返した。その後も 2008 年以降活動を再開し、2015 年現在までに溶岩湖の出現や、キラウェアカルデラへの溶岩の流出などをもたらしている。

キラウェアのイーストリフトゾーンでは、最古の歴史的噴火として 1840 年の活動が知られているが、次の活動は 1922 年であり、かなり長期の静穏期が認められる。その後は、1923 年・1955 年・1960 年・1961 年・1963 年・1965 年・1968～1974 年は毎年噴火し、そのうち 1969－1971 年と 1972－1974 年のマウナウル（Mauna　Ulu）の活動はそれぞれ長期にわたり溶岩流を流出した。その後は、1977 年と 1979 年に短期間の噴火が生じた後、1983 年以降現在まで、プウオオ（Puu Oo）火口とその周辺から継続して溶岩を流出し続けている。このほか、キラウェアイキクレーター（Kilauea　Iki　Crater）の活動が、1868 年と 1959 年に生じ、サウスウェストリフトゾーンの活動が、1823 年と 1919－1920 年に知られている（Wright. T. H. ほか，1992、Tilling, R. I. ほか，2010）。

ハワイ島の楯状火山のうち、北部のコハラ・マウナケア・フアラライは、楯状火山の中心カルデラやリフトに沿うピットクレーター状のほぼ垂直に陥没した火口は分布せず、楯状火山の尾根部に相当するリフトゾーンに点々とスコリア丘（砕屑丘）が並ぶ。一方、南部のマウナロアやキラウェアでは、リフトゾーンに沿ってカルデラやクレーター状火口が点在するが、噴石丘は少なく、キラウェアイーストリフトゾーンでは、海岸に近い地域にのみ出現する。また、マウナウルのようなマウンド状の溶岩噴丘が認められることもある。

Hazlett, R. W.（1993）は、キラウェアのイーストリフトゾーンを、地理学的特徴から 3 地域に区分している。それらは、キラウェアカルデラからナパウクレーター（Napau Crater）までの上部地域（Upper East Rift Zone）、ナパウクレーターからヘイヘイアフル（Heiheiahulu）までの中部地域（Middle　East Rift Zone）、ヘイヘイアフルからクムカヒ岬（Cape Kumukahi）までの下部地域（Lower East Rift Zone）である。上部地域の火口は多数のピットクレーターから成るが、イーストリフトゾーンの走向が南東方向から東北東方向に折れ曲がる位置にあるマウナウルなど数個の火口は陥没せず、小規模楯状火山状ないしはドーム状の噴丘の形態を示す。中部地域には、ほとんどピットクレーター

は見られず、多数のドーム状噴丘と、数本の小規模地溝が認められ、これらが溶岩を噴出した地形である。ここにはキラウェア最大のドーム状噴丘であるプウオオ火口も位置する。下部地域には、たくさんの噴丘が分布するがピットクレーターは 2〜3 箇所程度認められるに過ぎない。この部分の海岸付近には小臼状の火砕丘と火砕物が認められる点に特徴があると Hazlett は指摘している。なお、海岸付近の噴石丘の成因は、浅い地下水や海水と溶岩流の接触で水蒸気爆発が生じたことに起因すると考えている。

Stearns, H. T.（1946）は、ハワイ諸島のような大洋の中に形成される火山の発達過程をステージで区分して説明している。その区分によると、ハワイ島北部の楯状火山は発達段階で第 4 ステージの比較的古い火山で、ポストカルデラ形成期に相当し、ハワイ島南部の楯状火山は第 3 ステージの陸成楯状火山形成期に相当していることを示している。第 3 ステージは、大量の玄武岩質マグマを噴出するとともに、噴出後に火口が陥没してほぼ円形の急崖で囲まれたクレーターを形成する。特に山頂付近はマグマ上昇の中心に相当し、噴出口が大きくなることが、規模の大きいカルデラ形成の原因になると考えられる。一方第 4 ステージの火山は、恐らくプレートの移動によって、第 3 ステージではホットスポットから高温の対流上昇に伴って大量に供給されていた高温度の玄武岩質マグマの供給が衰え始め、マグマ溜りが変質してやや粘性の大きいアルカリ玄武岩が生成されるために生じると説明されている。アルカリ玄武岩の溶岩は、第 3 ステージの中心火口に形成されていたカルデラなどを溶岩で埋積し、リフト沿いやカルデラ部分に出現する火口群は、比較的小規模な円錐状の噴石丘を形成する。これらの噴石丘は楯状火山の尾根部に密に配列する形式となっている。なお、アルカリ玄武岩も溶岩流を大量に流出する噴火を伴うことも多く、楯状火山を形成することもある。

これらの火口周辺の地形の違いは、図 1 からも確認することができる。第 4 ステージの火山では、噴石丘の列の地形、第 3 ステージの火山では、中心部のカルデラ群を識別することができるが、リフトゾーンのクレーターは小規模でこの図では確認しにくい。また、この図には、キラウェア南斜面の地すべりを示す複数の正断層崖（pali）の位置を読み取ることもできる。なお、図 1 の原

図は、経済産業省及びNASAの保有するASTER Global DEM（ASTER全球3次元地形データ）から取得している。

3. プウオオ火口の活動と6.27 溶岩流

キラウェアイーストリフトゾーン中部地区に位置するプウオオ火口の活動は、1983年1月3日夜にナパウクレーター（Napau crater）の近くから新たに噴火を生じ、数か月間、数時間継続する数百フィートの高さに及ぶ溶岩噴泉からの溶岩流出を開始し、その年の6月から新たな噴丘を形成したことに始まる。この火口からは噴火を開始してから現在までの32年間以上も溶岩を流出し続けている。この継続期間は、ハワイ島歴史時代のリフトゾーンの活動では最長である。Puuはハワイ語で噴丘状の丘を意味し、Ooはハワイ人の古謡に出てくる雄鶏などの意味を持つ語をあてている。Weisel D. and Stapleton F.(1992)は、もともと米国地質調査所のハワイ火山観測所で、この新たな噴火口名を単にO（オー）火口と当初記載したことから、この音韻連想で正式名称がPuu Oo（プウオオ）となったとしている。

プウオオ火口から流出した溶岩流はその大部分は南側に流下して太平洋にそそぎ、現在は一部に海岸まで溶岩トンネルが形成されて、それを利用して溶岩流が途絶えることなく海まで流れ込み、水蒸気爆発の噴煙をあげている。また、州道130号線の海岸沿いの集落カイム（Kaimu）からラエアプキ（Laeapuki）間の6つの集落は、ほぼ溶岩流に呑込まれ、現在130号線はこの区間の約16kmが溶岩に埋没し通行不能である。

建物の焼失は1983年3月3日にロイヤルガーデンズ（Royal Gardens）地区から始まり、溶岩流はその後も次第にその範囲を拡大した。1986年中頃に、プウオオ火砕丘の活動は、一時的ではあるが急速に衰え、溶岩流の噴出の中心は、リフトゾーンに沿って2マイルほど東方の地点で生じた割れ目噴火に移行した。ここでは、この年の7月末までに、新たな火口が形成されて溶岩湖を形成し、これが盛り上がってドーム状噴丘を形成した。クパイアナハ（Kupaianaha）火口（ハワイ語で不意打ちの意味）である。クパイアナハ火口から流出した溶岩は、溶岩トンネル網を次第に形成し、11月26日には130号線にまで達し、

更に東方に溶岩流を伸ばし、12 月 17 日にカラパナ（Kalapana）集落の建物を焼き始め、1990 年 8 月 20 日までに溶岩流はカラパナの集落を埋め尽くして海まで到達し、さらに海を埋め立ててカイム集落まで達している。

同時期にプウオオ火口から流出した溶岩の一部は、キラウェア火山のイーストリフトゾーンが形成する楯状火山の尾根の北側をリフトに沿うように東北東に流れた。また、クパイアナハ火口の活動もこの方向への溶岩流を多少もたらしたが、この方向の溶岩流は、最近までプウオオ火口から最長 4km 以内の範囲にとどまっていた。

2000 年代に入るとプウオオ火口の活動が再び活発化して火口より南側の太平洋に向かう溶岩流はこれまでより西方に広がり 130 号線の閉鎖区間を次第に西方へ拡大した。また、イーストリフトゾーン北側の東北東方向への溶岩流もしばしば流下するようになり、特に、2012 年頃からはイーストリフトゾーンの尾根の北側を通過する溶岩流がしばしば生じるようにするようになった。2014 年に入ると、6 月 17 日にプウオオ火口から、Kahaualea 2 flow と名づけられた溶岩流が流出し、北東方向に約 8㎞流下している。

2014 年 6 月 27 日にプウオオ火口から発生した溶岩流（June 27th flow とよばれるため、ここでは 6.27 溶岩流と記す）は、北東方向にあるプナ（Puna）地区の中心地であるパホア（Pahoa）方向に向かって流下を始めた。この溶岩流は以前にプウオオ火口から流出した溶岩に北上を阻まれて東方向へと屈曲した。8 月 22 日頃になると溶岩流はリフトゾーン特有の狭長な割れ目内部を流下し、また一部は分岐し Kahaualea 2 flow の一部を越えて北東方向に流下し始めた。9 月 6 日頃には割れ目内部を流下していた溶岩が地表へ流出し始めこの付近の最大傾斜方向である北方向に向きを変えた。9 月 12 日頃にはこの流れは Pahoa の方向に向きを変え始め、10 月 30 日までに Apa'a street を通過して Pahoa の中心部に約 150m まで接近した。溶岩流の先端はこの位置でほぼ停止したが、溶岩流は横幅を広げ、11 月 12 日までには、Transfer Station（この地域の粗大ごみの持ち込みリサイクル施設）の一部に流れ込んだ（内田, 2015）。当時の Honolulu Star Advertiser 紙のこの施設の写真と、3 月 2 日に現地で撮影した写真（写真 1）とはほとんど変化がなく、Transfer station 付近の溶岩流

は 11 月 12 日の時点でほぼ停止したものと判断された。

現地調査の結果、溶岩流の Apa'a street 面からの層厚は 2.6m である。この通りに沿う送電線は、道路右測は電柱保護のため、内側から断熱材、金網に溶岩礫を詰めたもの、穴あきコンクリートの円柱、そして一番外側には溶岩礫を円錐台形に盛り囲んでいる。電柱は木製が多く、一部コンクリート製であるが、これらの電柱を保護材で巻いて、送電を確保することに成功していた（写真 2)。

その後はこの場所の溶岩流は冷却固化したが、プウオオ火口から流出する 6.27 溶岩流そのものは継続して流出し続けている。溶岩流は、北方へ分岐して流下し、パホアの北側の消防署などの近くまで流れて停止している（図 4)。また、その後も 6.27 溶岩流は更に分岐を繰り返しており、まだ終息は見通せない。

4. 溶岩流の風化と植生の回復過程

イーストリフトゾーンの溶岩流は、表面がなめらかで金属光沢を示すパホエホエ（pahoehoe）溶岩と、礫状に破砕された多孔質のアア（aa）溶岩からなる。パホエホエ溶岩のチューブの一部からアア溶岩が出現することもあり、両者の相違は必ずしも初生的ではない。調査地域のイーストリフトゾーンではパホエホエ溶岩が主体であるが、アア溶岩も出現することがある。

6.27 溶岩流の表面を観察すると、図 3 の pahoa2 地点では、溶岩流の冷却に伴って多数の亀裂がこの段階で生じていることがわかる（写真 3)。亀裂の段差は 20cm 前後に達し、長さは数 m 規模に達するものが多い。これらは溶岩流表面の変形に由来するものや，溶岩流の表面が冷却固化しても溶岩流の内部は高温で流動できるために溶岩チューブ状の空洞が生じ、溶岩全体が冷却する過程で収縮して亀裂が生じたものである。

また、写真 3 の手前側を見ると、ロープ状の溶岩皺の表面は、厚さ数 mm 程度の薄く剥離した溶岩片に覆われているように見える。このほか溶岩流の表面に比較的薄い直線的な亀裂も生じている。また流動中の溶岩の表面が部分的に冷やされて黒色の薄い岩片から成る表層を形成することもある。pahoa2 地

点は、2014 年 11 月始め頃に 6.27 溶岩流に覆われた場所であり、現地調査は 4 か月後に実施しているため、実際には溶岩が停止直後か場合によっては流動中にこれらの亀裂や溶岩片の形成がなされた、いわば初生的な亀裂や岩片とみるべきであろう。

写真 4 は、カラパナに隣接したカイムで、1990 年までにクパイアナハ火口から噴出した溶岩流で海岸が埋め立てられた場所である。流下後 25 年ほど経った溶岩の表面は、パホエホエ溶岩特有の金属光沢を示している。段差十数 cm で数 m 以上に達する亀裂や、亀甲状の割れ目なども見られる。溶岩の表面は一部に径 10cm 未満で厚さ数 mm の薄板状岩片がみられるが、その一部は下方に雨水で運ばれて凹地に岩片が堆積しているようにも見える。植生はここでは主にシダ類で、溶岩の割れ目の隙間や、溶岩表面が砕けてブロック状の溶岩礫が形成されている場所などから生育している。人家に近い部分ではノニ（Noni）やオヒアレフア（Ohia-lehua）などの木本類も見られるが、これらの一部は人為的に植栽された可能性もある（Pratt, H. D. 1998）。

写真 5 は、イーストリフトゾーンの上部に位置するマウナウル噴丘から 1974 年に流下した溶岩流で、地点は bm2700 と図 2 に記した場所である。ここは、金属光沢を有するパホエホエ溶岩であるが、表面の亀裂は比較的少ない。しかし表面は数 mm の厚さの小岩片に容易に剥離されること、また溶岩が一部破砕して形成された礫が認められ、礫や小岩片の集まる場所にオフイアレフアをはじめとする木本の幼木がまばらに生育する状態である。溶岩流噴出後約 40 年が経ているが、亀裂が少ないことが、植生がきわめて疎らにしか見られない原因と考えられる。

写真 6 は、イーストリフトゾーン東端の Kumukahi 岬で撮影した一見マツ科植物に見えるアイアンウッド（Ironwood）である（図 2）。この地点は 1960 年の割れ目噴火により大量の溶岩が岬まで流出した。溶岩はパホエホエ溶岩とアア溶岩が混在する。写真のアイアンウッドは、パホエホエ溶岩部分に生育し落ち葉の堆積する窪んだ微地形を利用して生育しているように見える。また、礫質のアア溶岩部分では海岸部を除くとやや密に多様な木本類が生育していることもある。写真の奥の溶岩は表面がパホエホエであるがその下にアア溶岩が認

められ、海岸側ではアア溶岩が下から表面まで噴出して堆積している。

溶岩流噴出後 55 年が経過しているが、植生が比較的密な場所は道路の終点付近の整地された場所付近に限られており、この付近は人為の影響が大きい可能性がある。

写真 7 の opihikao 地点は、1955 年にプウカイム（Puu　Kaimu）の東の割れ目噴火によって、アア溶岩が流下した地点である（図 2）。アア溶岩はパホエホエ溶岩より火山ガスを多く含み自破砕により形成された礫が主体であり、その礫径は、大きいもので 70〜100cm であるが小さい礫は長径 10cm 程度の礫が多い。アア溶岩も水は溜めにくいが礫表面は多孔質であることが多く、岩陰ではある程度保水性が期待できる。このため表面には蘚苔類が繁茂している。樹高 10m 近くに達するオヒアレフアの木もここでは認められた。樹木は写真の印象よりもある程度疎らに生育している。溶岩は流下後 60 年を経ている。

写真 8 は pahoa1 地点（図 3）である。この地点は、6.27 溶岩流には覆われなかった地点で、表面は西暦 1410〜1460 年頃の溶岩流に覆われている。従って、溶岩流堆積後、およそ 600 年程度経過したことになる。ここではオヒアレフア等の樹木が茂り、その樹高は最高 12.5m 程度である。恐らく 2 次林と思われる。表層 6〜8cm 程度の黒色の表土で溶岩礫も混入する。また表土中には細長い根が夥しく張っている。その下は基盤の溶岩で厚さ約 20cm 程度のパホエホエ溶岩が壊れて方形にブロック化している様子が見られる。

写真 9・10 はハワイ州天然記念物の溶岩樹形公園（Lava Tree State Monument）で撮影したものである（図 2　pahoa3）。この溶岩樹形は西暦 1790 年の溶岩流によって形成されており（Hazlett, 1993）溶岩流下後 225 年程度を経ていることになる。溶岩樹形は樹林地帯に侵入した厚みのある溶岩流が流下する過程で形成されたもので、大部分は芯となった樹木は失われているが、一部に炭化物として残存するものもある。筆者らの調査した折に、溶岩樹形の見通しを良くするためか、公園内の多数の樹木が引き倒されていた。このため偶然ではあるが溶岩中の根系の発達状況等を詳らかに観察することができた。

写真 9 は樹高 16.5m のオヒアレフアの木を引き倒したもので、層厚 18cm 程で最後に流下したパホエホエ溶岩ユニットの表面とその下面の双方にほぼ水

平方向に根茎が発達していることがわかる。表土部分の厚さ 3 cm 程度である。表面には苔の層があり、その下は主としてシダなどの根とオヒアレフアの根から構成されており、ほとんど 0 層相当と思われる繊維質の土壌から成る、この下に約 18cm の層厚のパホエホエ溶岩があり、この部分はあまり風化が進んでいない。この溶岩の層の下面に側根が張り付きほぼ水平にひげ根を広げ、その広がりは表層部分より大きいことがわかる。またこれより下位の溶岩には根が侵入していないことも確認できる。

写真 10 は、表層部分に主な側根を広げ、パホエホエ溶岩ユニットの下には本体を支える根を溶岩の下面に多少広げるタイプの樹木もある。表土の層厚は 5 cm 程度であり、角礫混じりの黒色土層で、シダの根などの繊維質を多量に含む。樹木の根はその下位の層厚 16cm のほぼ未風化パホエホエ溶岩との間に広がる。また 16cm のパホエホエ溶岩を貫いて根が入りこみこれもほぼ水平に広がるがその範囲は溶岩表面の根の範囲に比して小さいことがわかる。

もう一つのタイプはアイアンウッドの巨木で樹高 35m、根の広がる表土部分は繊維質が多く、また溶岩の細片も含む層厚 10cm の 0 層から成る。この部分は褐色を呈し、あまり繊維質の分解が進んでいるようには見えない。その下に黒色のパホエホエ溶岩の風化土壌が 1 cm の層厚で分布する。この下に層厚 2〜18cm の部分的にかなり風化し土壌化しつつあるパホエホエ溶岩層が分布するが、この層の下面には根が伸びていないものも見かけた。この樹木は写真 6 の樹木と同じ種類と考えられ、豊富な落葉の集積層によって土層を形成している可能性もある。

以上検討してきたように、イーストリフトゾーンでは、溶岩の表面に 0 層を主とする厚さ 1〜2cm 程度の土壌層が生成すれば熱帯林が形成されるが、土穣層が形成されていない場合には、溶岩の割れ目などを利用してシダ類や樹木等が少しずつ侵入し、溶岩チューブを伴うパホエホエ溶岩の一枚の層の裏側に根を張り始めることから、少しずつ表土となる A_0 の落葉層が広がるものと考えられる。なお、この地域には意外に土壌動物分解による A_1 層の形成が薄弱であることがわかる。

また、溶岩流の上に熱帯林が連続的に形成されるには、少なくとも 100 年〜

200 年程度の時間を要することが明らかとなった。調査地域の降水量は年間ほぼ 100 インチ（約 2,500mm）程度であり（Juvic ほか，1998）、年降水量としては雨林の形成には支障がないと考えられる。しかし、溶岩流地帯には土壌がなかなか形成されず、一般の植物の侵入は困難である。またこの地域の噴火は、主として溶岩流を噴出する噴火であり、土壌の母材となる細粒の火山灰をほとんど伴わないことも、植生の回復を困難にさせている。実際溶岩流下後 70 年間程度では、かなりまばらにしか樹木は生育していない。

この地域の熱帯林の高木で最も目立ち、特徴的な樹冠を形成するのは樹高 40m 以上に達するアルビジア（Moluccan　albizia）の木であり、頂部の平坦な樹冠の外観は特徴的である。しかし、この木そのものは外来種であり、20 年程度で大木に成長するため、意外に新しく 2 次林として形成された可能性がある。その場合にも薄層ではあっても連続した土壌層の存在が不可欠である。その点ではパホエホエ溶岩の割れ目から溶岩の裏側に根を張るオヒアレフアの木は熱帯林の中層を形成するにすぎないが、この地域の溶岩流の特性に適応した固有種として、樹林復活のパイオニア植生としての存在意義が大きいことが明らかになった。また、今後の調査で衛星データを利用した土地被覆の特性と溶岩流年代との関係を精査する予定である。

なお、本研究は本学学内研究助成インキュベートプログラム「湿潤熱帯地域における火山等自然災害後の土地条件変化に関する研究」の助成を受けたものである。また、2014 年度磯ゼミナール学生内田達彦さんには、6.27 溶岩流に関する資料の収集をお願いした。以上関係各位に厚く御礼申し上げる。

引用文献

Dalrymple, G. B., Silver, E. A. and Jackson, E. D.（1973）Origins of the Hawaiian Islands. *American Scientist*, Vol. 61, p.294－308.

Hazlett, R. W.（1993）Geological Field Guide Kilauea Volcano, Hawaii Natural History Association, 127p.

Juvik S. P., Juvik J. O., and Paradise T. R.（1998）Atlas of Hawaii/Dept. of Geography, Univ. of Hawaii at Hilo.－ 3rd ed. Univ. of Hawaii Press, Honolulu, 333p.

Macdonald, G. A., Abbott, A.T. and Peterson, F. L.（1983）Volcanoes in the Sea. The Ge-

ology of Hawaii（2nd ed.）, Univ. of Hawaii Press. 517p.

Pratt, H. D.（1998）A Pocket Guide to Hawaiis Trees and Shrubs, Mutual Publishing, 136p.

Stearns, H. T.（1946）Geology of the Hawaiian Islands. Hawaii Division of Hydrography, Bulletin 8, 106p.

Sterns, H.T. and Macdonald, G. A.（1946）Geology and ground-water resources of the island of Hawaii. Hawaii Division of Hydrography, Bulletin 11, 113p.

Tilling, R. I., Heliker, C. and Swanson, D. A.（2010）Eruptions of Hawaiian Volcanoes— Past, Present, and Future（2nd ed.）, General Information Product 117., U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey. 63p.

内田達彦（2015）溶岩流に関する研究－ハワイ島イーストリフトゾーン溶岩流，
西南学院大学児童教育学科磯ゼミナール卒業論文，52p.（手記）

Weisel D. and Stapleton F.（1992）Aloha O Kalapana, Bishop Museum Press, 154p.

Wright T. L., Takahashi T. J., and Griggs J. D.（1992）Hawaii Volcano Watch, a Pictorial History, 1779－1991, Univ. of Hawaii Press and Hawaii Natural History Association, 162p.

西南学院大学人間科学部児童教育学科

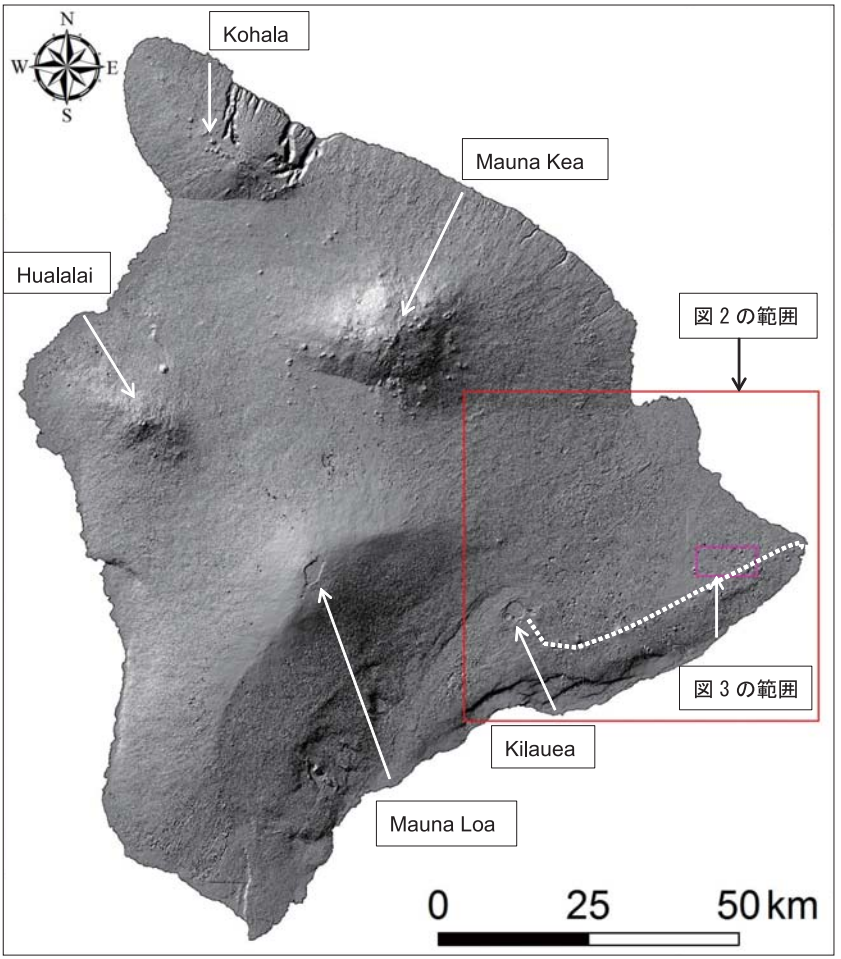

図 1　ハワイ島地形イメージと図 2・図 3 の範囲
地名は楯状火山の名称、白点線はキラウェアイーストリフトゾーンのおよその位置

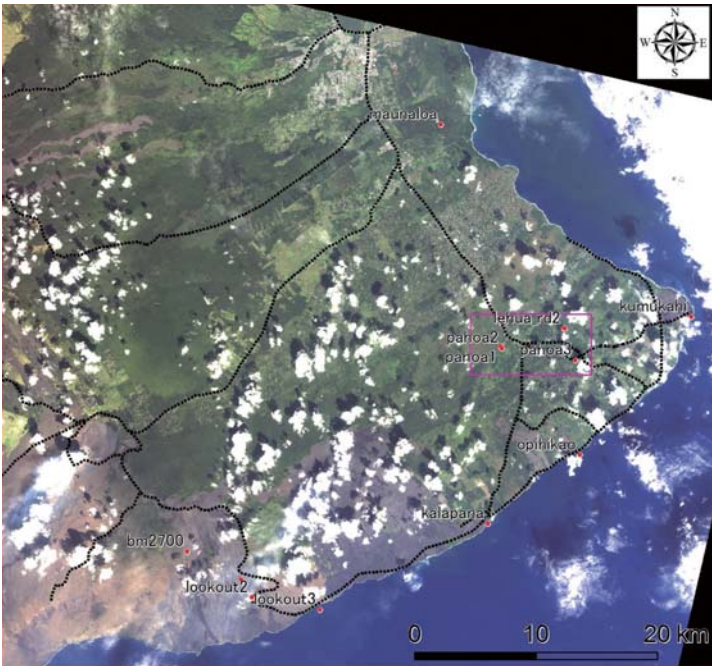

図 2　調査地点位置図（原図の衛星データは ALOS データ、2009 年 12 月 21 日取得）

図 3　パホア（Pahoa）周辺の 6. 27 溶岩流流下前の World View Ⅱデータによるトゥルーカラー画像と廃棄物交換施設（Transfer Station）の調査地点（pahoa 1 及び pahoa 2）

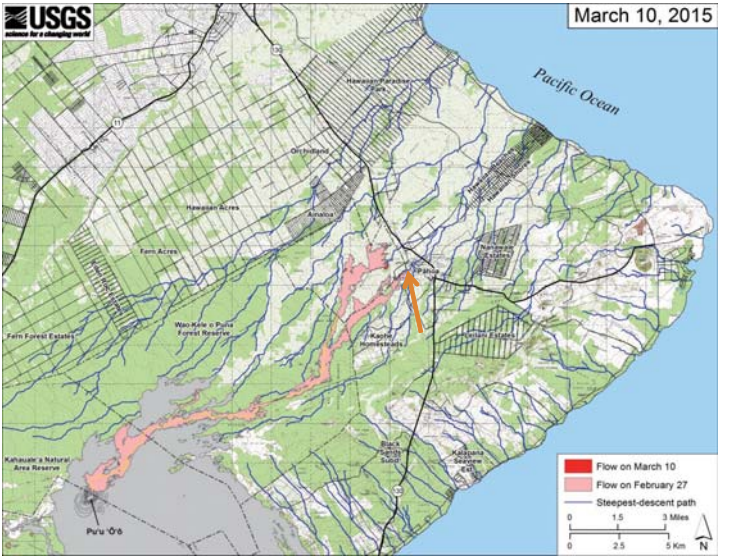

図 4　June 27th flow の 2015 年 2 月 27 日の分布範囲（ピンク色部分）と 2 月 27 日から 3 月 10 日までに拡大した部分（北側で大きく 2 つに分岐した溶岩流の北側の一部にわずかに赤色部分が観察できる）。オレンジ色矢印の先端付近に Pahoa2 観察地点が位置する。
U. S. Geological Survey Hawaii Volcano Observatory による（http : //hvo.wr.usgs.gov/maps/uploads/image-265.jpg）

写真 1　Apa'a street の Transfer station 敷地に流入した 6. 27 溶岩流。道路に流れ込んだ溶岩はその後切り取られている。この施設そのものは 2015 年 3 月 2 日には通常通り稼働していた。

写真 2　Apa'a street を横切る 6. 27 溶岩流。（図 2・図 3 の Pahoa2 地点）

ø 1BIPB•:wÍ×¤×¤9 v
w¯Ø

ø §åÍÆ¢§ Ü£w åw
9 v¢•:x$ wLBJNV£

ø $ wCN •:w9 qè
\{¤ xÚ¢Æ¢çwþp

ø ,VNVLBIJ ´w å9 wÍ
t \ - ` h * S P O X P P E ¢ $ w
LVNVLBIJ•:£