

11. 火山噴氣作用に因る玄武岩の 二次的熔融

地震研究所 津 屋 弘 達

(昭和16年11月20日發表 — 昭和16年12月20日受理)

緒 言

活火山の噴火口が閉塞されないで、その火口底に露出する熔岩が長期間熔融状態を維持し得る一原因が熔岩から發散する高熱の火山ガスの熔融作用に在るだらうといふ事は Werner v. Siemens (1878)¹⁾ 以來多くの火山研究者に依つて考へられてゐる。Kilauea 火山に於いては、熔岩湖面上の焰を發する部分が特に高い温度を示し²⁾、また熔岩湖の底よりも表面の熔岩噴泉や熔岩洞穴などを形成する部分が一層高い温度を示す事が確められ³⁾、一般に噴火口底に於いて發散する熱の少くとも一部分は熔岩中の火山ガスと空氣との接觸に因る燃燒作用⁴⁾、或は熔岩内に於ける火山ガス相互間の化學反應⁵⁾に基くものと考へられてゐる。筆者が茲に述べようとするのは、火山ガスの斯る化學反應或は燃燒作用に因つて恐らく生ずる熱が一度噴火口から拋出された熔岩砂礫を二次的に熔融し得る程の温度に達する事を示す事實の在る事である。その事實は二つ在つて、一は富士山に於いて、他は三宅島に於て見出されたものである。

富士山頂産玄武岩玻璃

昭和16年8月、富士山頂を調査した際その一局部に僅少ながら殆ど完全な玄武岩玻璃の存在する事實が見出された。その産出状態、肉眼的並に顯微鏡的性質、化學成分等は次の通りである。

此の玄武岩玻璃は富士山頂の最高點を成す剣ヶ峯 (3776 m) の頂上近くに見出される。富士山頂の地形、地質等に就いては別の機會に詳しく報告するつもりであるが、

1) A. SIEBERG, *Geologische Einführung in die Geophysik.*, Jena, 1927, 202.

2) R. A. DALY, *Igneous Rocks and the Depths of the Earth.*, New York and London, 1933, 374.

3) T. A. JAGGER, *Jour. Washington Acad. Sci.*, 7 (1917), 397.

4) T. A. JAGGER, *Amer. Jour. Sci.*, 44 (1917), 115.

5) A. L. DAY and E. S. SHEPHERD, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 24 (1913), 373.

剣ヶ峯のみに就いて簡単に説明すると、之は富士山頂上噴火口の南西壁に相當し、噴火口底から 200m 餘、火口縁外側を取巻く尾根の最低部からは 50m 程高まり(第1圖)、噴火口周縁の上部に分布する噴出物の中では、南側の三島岳頂上部を構成する三島岳熔岩に次ぐ比較的舊い噴出物に依つて構成されてゐる。即ち、剣ヶ峯の上部は3枚の熔岩層とその間に挟まる火山砂礫層とから成り、その頂上を蔽ふ最上位の熔岩(剣ヶ峯熔岩)は 3~5m の厚さを有する無斑晶玄武岩で、之に相當するものは噴火口周縁の他の部分には露出せず、吉田登山道八合目附近に至つて露出する。剣ヶ峯熔岩の下に在る中位の熔岩は複輝石・橄欖石玄武岩で、三島岳熔岩に相當し、之に續くものである。3枚の熔岩層の中の最下位のものは含紫蘇輝石・普通輝石・橄欖石玄武岩で、三島岳熔岩より更に舊く、之に相當するものは大宮登山道八合目西方の山腹に於いて所々に見出される。以上3枚の熔岩層の間には火山礫層が挟まり、特に剣ヶ峯熔岩とその下位の三島岳熔岩に相當するものとの間には數種の火山礫層が相重なつて局部的には 10m 餘の厚さに達してゐる。剣ヶ峯頂上の北東側は北西—南東方向に約 150m の間、噴火口に向つて高さ數十米の絶壁を成し、此の絶壁に之等の熔岩及び火山礫層が露出する。

玄武岩玻璃は上述の絶壁の南東端附近、即ち測候所前庭に近い 3776m 三角點の直下に當たる部分に見出される。此の部分は以前には崖錐に依つて蔽はれてゐたが、昭和 16 年夏にはその一部が人工的に切取られてゐたので、玄武岩玻璃の存在が明かになつた。即ち此の切取りの面には、剣ヶ峯熔岩と三島岳熔岩との間に挟まる火山礫層が數層相重なり、その一部は不整合的關係を示してゐる(第2圖)。玄武岩玻璃は此の火山礫層中に存在し、特に不整合的境界より上位に在る均質の暗褐色岩滓質火山礫層中によく發達するが、同層の全體に互つて一樣に分布してゐるのでなく、局部的に斑紋狀を成して見出されるのみである(第3圖)。而して、その存在する部分は火山礫層中の空隙、割目等の内壁であつて、之等の空隙や割目はその附近に昇華物を附着し或は變質した火山礫の多い事から嘗て火山ガスの通路であつたと考へられるものである。特に一ヶ所では、確に舊噴氣孔の跡である圓筒狀の孔の内壁に純粹な玄武岩玻璃が見出された(第4圖)。

暗褐色火山礫層中の孔隙の内壁に發達する玄武岩玻璃は厚さ 1~5mm の皮膜を成して岩滓質火山礫の表面を蔽ひ、また礫と礫との間の隙間及び礫の中の氣孔に染込んでゐる。此の玻璃は肉眼的に殆ど眞黒で、瀝青或はタール様の光澤を有し、氣泡に比較的乏しく殆ど緻密であつて、火山礫の暗褐色多孔質の礫の部分からは容易に識別される。

此の玻璃を有する火山礫の薄片を顯微鏡下で觀察すると、礫は直徑 0.05mm 内外の不定形の角張つた氣泡を多數に有する橄欖石玄武岩で、長さ 0.1~0.05mm の柱狀の斜長石微晶と暗黒不透明物質とから成る石基中に少量の微斑晶として長さ 0.1mm 内外の亞灰長石 ($Ab_{25} An_{75}$, $n_1=1.577$) と直徑 0.1mm 内外の橄欖石とを含む。此の多孔質玄武岩礫を包み、或はその中の氣孔を充填してゐる玄武岩玻璃は顯微鏡下では大部分淡黃色乃至淡褐色で氣孔を缺くが、多孔質玄武岩礫との境に近い部分では所々濃褐色を示し、また所により多少の氣孔を有する。然し玻璃の中の氣孔の多くは圓形で、且つ比較的大形である。玻璃と多孔質玄武岩礫の部分との境は明確ではなく、後者の石基に含まれる微晶が離れ離れとなつて玻璃の中に入込んでゐる。また同じ境の部分では、玻璃の一部が多孔質玄武岩礫の部分の孔隙中に入込み或は後者から突出する柱狀微晶に押されて褶曲する所がある(第9圖)。斯る境の部分から距たつた所の玻璃は微晶を全く缺き、たゞ多孔質玄武岩礫の部分に含まれてゐる微斑晶と同様の橄欖石及び亞灰長石を稀に含むのみである。然し之等の結晶も完全な外形を示さず蝕融されたかのような玻璃の入込みを有し、特に亞灰長石結晶の縁は玻璃に對して明瞭な境を示さない(第6圖)。

玄武岩玻璃の屈折率は淡色の部分と濃褐色の部分とで多少相異なるが、1.592 より大で 1.596 よりは低く、大部分 $n=1.594$ 或は之に近い⁶⁾。その密度は、氣孔の極めて少ない部分の小砂片 4 個に就いて測定した結果では、2.804, 2.766, 2.830, 及び 2.789 で、之等を平均すれば $d=2.797$ (17.5°C) である。⁷⁾

上述の玄武岩玻璃とそれに接する多孔質玄武岩礫との化學成分は次表の I と II とで夫々示される(地震研究所, 中島眞治分析)。何れも玄武岩の成分を有し、相互に殆ど一致するものと見られる。たゞ I が II に比較して、 Fe_2O_3 に乏しく、 FeO に稍富み、また $H_2O(+)$ にも稍富む事が注目される。

以上の如き産出状態、顯微鏡的性質、化學成分等から判斷すれば、此の玄武岩玻璃はそれの附着する多孔質の橄欖石玄武岩火山礫と元來同一物で、その現在の位置で後者の一部分の二次的に熔融せるものと考へられる。玄武岩玻璃が噴火口の中で生じて火山礫と共に抛出されたものでない事はその産出状態を見れば明かである。また此の玻璃が火山礫層を貫く岩脈でない事もその産出が火山礫層中の局部的の空隙や割目の

6) 比較のために、大島三原山噴出熔岩片中の玻璃の屈折率を掲げると、昭和 13 年噴出の多孔質岩滓狀玄武岩(無結晶)では $n=1.597$ 、昭和 15 年 8 月噴出の玄武岩熔岩片(亞灰長石の肉眼的斑晶を含む)では $n=1.596$ で、何れも富士山の玄武岩玻璃のそれより大である。

7) 寶永 4 年噴出物の 1 種である烏石(安山岩質玻璃)は $d=2.603$ 。Daly が採用した世界玄武岩玻璃は $d=2.772$ (11 個の平均)、結晶質玄武岩は $d=2.827\sim 2.982$ 。

	I	II		I	II
SiO ₂	48.97	49.03	Or	4.45	3.34
Al ₂ O ₃	17.67	18.22	Ab	19.40	22.54
Fe ₂ O ₃	2.88	4.15	An	35.60	36.16
FeO	9.77	8.76	Wo	6.15	4.53
MgO	5.47	5.44	En	12.75	12.65
CaO	10.16	9.46	Fs	13.32	10.55
Na ₂ O	2.27	2.64	Fo	0.63	0.63
K ₂ O	0.79	0.59	Fa	0.71	0.51
H ₂ O(+)	1.39	0.96	Mt	4.17	6.02
(-)	0.18	0.38	Il	1.52	1.67
TiO ₂	0.78	0.86			
P ₂ O ₅	0.02	tr.		Ab ₃₅ An ₆₅	Ab ₂₈ An ₆₂
MnO	—	tr.			
Total	100.35	100.49			

内壁に限られ、且つ之等を連続的に充填する岩體を成してゐない事から明かである。

斯様に、此の玄武岩玻璃は火山礫層が噴出堆積した後に、その現在の位置で同層の一部の二次的に熔融したものとすれば、その熔融は何時かの時代の火山噴氣作用に因るものと考へなければならぬ。實際、既に述べた如く、此の玄武岩玻璃が火山礫層中の噴氣孔の跡と考へられる圓筒狀孔隙の内壁に發達し、その周圍に昇華物が點々と附着する事實は此の地點に於ける玄武岩玻璃の生成と火山噴氣作用とに密接な關係があつた事を示すものである。従つて斯る噴氣孔の内壁を成してゐた火山礫の一部が噴氣孔を通じて上昇した火山ガスの熱に依つて融かされて玄武岩玻璃に成つたと考へられる。若しそうであつたとすれば、その生成に與つた當時の火山ガスの温度は火山礫の一部を融かして玄武岩玻璃を生ずるに十分なものであつたに相違ない。此の温度の最高がどの程度であつたかは玄武岩玻璃の中に橄欖石及び亞灰長石の微斑晶が多少蝕融された形を以て残されてゐる事から大體推定される。即ち普通に橄欖石と呼ばれるものの熔融點は 1360°~1410°⁸⁾であり、亞灰長石のそれは略 1400°~1500°⁹⁾であるから、“dry”の狀態に於ける熔融ならば、問題の玻璃の熔融温度の最高として 1350°~1400°が推定される。Kilauea の熔岩湖に於いても、その表面の焰の發する所は約 1350°に達してゐるのであるから、今の場合にも此の程度の温度は不可能ではない。然し珪酸鹽類の“wet”の狀態に於ける熔融温度がその“dry”に於けるそれよりも遙かに低く成り得る事實が知られてゐるから、問題の玄武岩玻璃が生成された當時の

8) R. A. DALY, 前掲.

9) T. A. JAGGER, 前掲 (3).

温度は斯る事情に依つては上述の推定値に達しなかつたかも知れない。

三宅島新熔岩樹型

昭和15年7月三宅島噴火の際、同島北東側山腹から噴出した火山砂礫の一部分は赤場曉灣岸の森林中に數米の厚さに堆積した。此の堆積物に埋まつた立木が焼失した跡には、その立木の太さと火山砂礫に依つて埋められた深さとに應じて、大小の竪孔が残されてゐて、斯る竪孔の内壁を成す火山砂礫が一種の熔岩樹型を形成することがある。その中で、赤場曉熔岩の流下した神着坪田兩村の境界の谷の下端に於いて、谷の南側の噴火前に森林であつた所に堆積した火山砂礫層の崖錐中に見出されるものは次の如き性質を示し、特に注目すべきものである。¹⁰⁾

此の熔岩樹型には、炭化せる樹片の附着するものとそれの失はれてゐるものがあるが、何れもその生成當時に樹木に接したと思はれる部分は氣孔の比較的少ない、鉛色の光澤を示す滑肌の緻密質熔岩と成り、その樹木に接した表面は椎、櫟等の樹皮に夫々特有の條紋を型取つてゐる(第7圖)。然るに、此の緻密熔岩は樹木に接した表面から僅かに2~5cmの厚さに發達してゐるのみで、その外側には赤褐色の岩滓質砂礫が固まつて居り、しかも此の砂礫の間隙には内側の樹型を型取る緻密熔岩の一部が滲出して來てゐる(第8圖)。

此の樹型を形成する緻密熔岩とそれに接する岩滓質砂礫との薄片を顯微鏡下で觀察するに、何れの部分も赤場曉熔岩と同様に殆ど無斑晶質で之と同一の礦物組成を示し、しかも兩部の境界は寧ろ連続的で、一方が他方の包裹物である場合の如く明瞭でない。然し兩部を比較するに、緻密熔岩部には氣孔が比較的少なく、且つその少量の氣孔が何れも殆ど球形に近いのに反し、岩滓質砂礫の部分には氣孔が多く、且つその大多數は不定形で角張つてゐる。また緻密熔岩部の石基には斜長石、輝石、磁鐵礦等が明瞭に認められるが、岩滓質砂礫の部分の石基には斜長石の柱狀結晶が認められるのみで、他は不透明物質で蔽はれてゐる(第11圖)。

上述の事實から判斷すれば、此の熔岩樹型の内側の緻密熔岩部とその外側の岩滓質砂礫とは元來同一物であつたものと考へられる。然し、前者の一部が後に岩滓質砂礫に成つたのでなくて、岩滓質砂礫が堆積して樹木を包み、その樹木に接した一部分が後に二次的に多少流動性を有する緻密熔岩と成り、樹皮の條紋を型取つたのである。神着・坪田兩村界の谷には赤場曉熔岩が流下したが、その下流の南側の谷壁から外方

10) 津屋弘達 地震 13 (昭和16年), 19.

へは同熔岩流は擴がらなかつたのであるから、此の熔岩樹型が噴出當時流動性の熔岩の直接樹木に接觸することによつて生じたものでない事は明かである。

岩滓質砂礫は堆積當時可成り高温を保つてゐたに相違ないが、その温度が樹木を燒焦がす程度の高々 $500^{\circ}\sim 600^{\circ}$ であつたとすれば、樹木を包んだとしても、その燃焼熱のみでは上述の如き樹型を形成するには至らないであらう。神着・坪田兩村界を成す谷の兩側の山腹には、前に述べた様に、火山砂礫に埋まつた樹木の燒跡が堅坑と成つて多數に残つてゐるが、之等の孔の少くとも地表から觀察し得る深さ迄の間の周壁は容易に崩落する砂礫そのまゝの状態を示してゐる。また噴火直後に噴出物の龜裂や隙間の赤熱状態を保つ部分では 850° 乃至 960° の温度¹¹⁾が測定されたが、斯る部分が冷却した跡を見ても、その部分が二次的に流動性を得る程に熱せられた形跡は無い。

故に上述の熔岩樹型は樹木を包んで堆積した火山砂礫層の地表から少くとも 1m 以上の深さの所に於いて、樹木との接觸部の局部的に少くとも 950° 以上の高温に達した部分に生じたものと推定される。一度火山砂礫の形となつて堆積した噴出物が樹木との接觸部に於いて斯る高温の下に再び流動性を帯ぶるに至つた事は、前報告¹²⁾で述べた様に樹木の燃焼熱が與つてゐるに相違ないが、寧ろ主として噴出物から逸出する火山ガスの燃焼に因る局部的の加熱を示すものであらう。火山砂礫が樹木を圍んで堆積した場合に、兩者の接觸部の間隙は火山ガスの集中逸出に比較的便利であるから、噴出直後の火山砂礫の堆積層の深部に包藏されてゐた火山ガスが此の隙間を通じて逸出する際に、その種々の成分間の發熱的化學反應及び空氣との接觸に因る燒燃作用が起り、樹幹と火山砂礫との接觸部に局部的の高熱を與へたものと考へられる。¹³⁾

總 括 及 び 結 論

富士山頂の剣ヶ峯の一部を構成する岩滓質火山礫層に舊噴氣孔の跡を示す孔隙が在り、その孔隙の内壁に眞黒の瀝青狀の玄武岩玻璃が發達してゐる。顯微鏡的觀察並びに化學分析の結果に據れば、此の玻璃はそれに接する岩滓質火山礫と同一物で、後者の二次的熔融物である。三宅島では、昭和 15 年 7 月噴火に際して同島の北東側山腹から噴出した火山砂礫の堆積層中に、一種の新熔岩樹型が見出される。此の樹型は火

11) 永田武 地震 12 (昭和 15 年), 481.

12) 津屋弘遠 前掲.

13) 昭和 15 年 7 月噴火の際に生じた孤草山や D 丘の噴火口近くに於いては、新噴出物の堆積層中の龜裂から盛に火山ガスが發散し、同年 10 月下旬に至るも尙赤熱状態を保つ所が少くなかつた。斯様に噴出物の空氣に直接曝された部分が長時日の間赤熱状態を保つた事は龜裂に沿つて發散する火山ガスに燃焼作用が起り、龜裂の側壁に絶へず熱を補給した事を示すものであらう。

山砂礫が樹木を包んで堆積した結果生じたものであつて、兩者の接觸部の樹木を型取る灰色緻密質の熔岩皮膜はその外側を固めてゐる火山砂礫と同一物であり、堆積當時樹木に接した後者の一部分が二次的に流動性の熔岩と成つたものである。

上に挙げた二つの事實は火山ガスの發熱作用が可成りの高温を生じ得る事を示すものである。即ち富士山の玄武岩玻璃は、噴氣孔から噴出しつゝあつた火山ガスが孔壁を構成してゐた火山砂礫の一部分を殆ど完全に熔融し得る程度の温度に達した事を示すものであり、また三宅島の新熔岩樹型は、火山砂礫の噴出直後に、その堆積物中から發散した火山ガスが樹木に接した火山砂礫の一部分に多少の流動性を與へ得る程度の温度に達した事を示すものである。

之等の場合に於ける火山ガスの發熱作用が如何なる種類のものであつたかは明かでないが、一般火山ガス中に存在を確められてゐる H_2 , H_2S , S , CO , NH_4 等々の何れかの燃焼作用が少くともその一部分を成すものと考へられる。富士山の玄武岩玻璃とその母岩である火山礫との化學成分を比較して、前者に $H_2O^{(+)}$ が多く、 Fe_2O_3 が少く成つてゐる事は火山礫が熔融する際にその酸化鐵の一部が火山ガスの燃焼作用に因つて還元された事を示すものゝ様である。

富士山の玄武岩玻璃を生成した噴氣孔は現在では全く形跡のみと成つてゐるものであるが、恐らく同火山の活動時に噴火口底から火口壁の割目を通じて直接上昇した火山ガスの所謂 “crater-fumarole”¹⁴⁾ であつたであらう。富士山の現在の噴氣孔は山頂火口の東壁外に在つて、地表で $80^\circ C$ 内外の温度を示し、水蒸氣を微かに噴出して居り、附近の地面を多量の $CaCO_3$ で蔽つてゐるが、火山の休眠時の斯る微弱な噴氣孔が “volcanic furnace”¹⁵⁾ の役目を成し得るか否かは疑はしい。三宅島の新熔岩樹型の形成に與つた火山ガスは噴出直後の火山砂礫中から發散したもので、火山砂礫を熔融して玻璃を生ずる程の熱を發生しなかつたであらう。

火山ガスの發熱作用が火山現象に對して何程の意義を有するかはこの作用に因つて生ずる熱エネルギーの量の多少に關係することである。斯る熱は、火山ガスが地表近くに上昇し、地下深所と異なる壓力及び温度の條件の下に平衡状態に異動を生じた空氣に接觸し易く成つた時に、主として發生するものであらうから、火山地下に於ける岩漿生成や火山現象發現の要因には關係無く、またその熱量は一度固結した火口栓を熔融して多量の熔岩流を生ずるには不十分であるかも知れないが、寧ろ火山の表面的現象及びその生成物の二三を説明する上には考慮の價值を有するものと考へられ

14) F. v. WOLFF, *Der Vulkanismus*, I. Stuttgart, 1914, 551.

15) R. A. DALY, 前掲, 379.



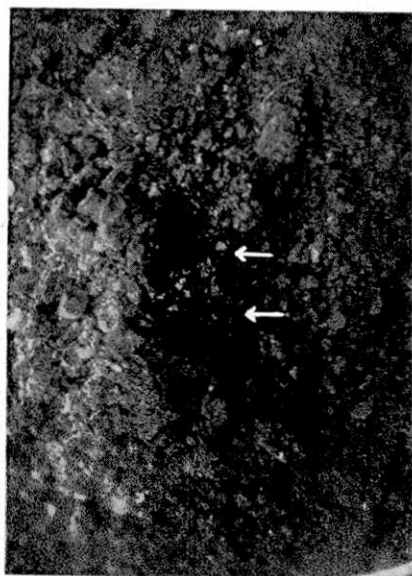
第 1 圖 富士山頂最高峯(剣ヶ峯)を噴火口を距てて南西方向に望む。



第 2 圖 剣ヶ峯頂上部東側の斷崖の一部 (矢印は玄武岩・玻璃の發達せる火山礫層中の割目を示す)。



第 3 圖 火山礫層中の割目の表面に發達せる玄武岩玻璃 (矢印にて示せる黒斑)。



第 4 圖 火山礫層中の舊噴氣孔の内壁に發達せる玄武岩玻璃 (矢印にて示せる黒色部)。



第 5 圖 火山礫の表面に發達せる玄武岩玻璃(平滑にして光澤ある部分), 富士山頂産, 原寸。



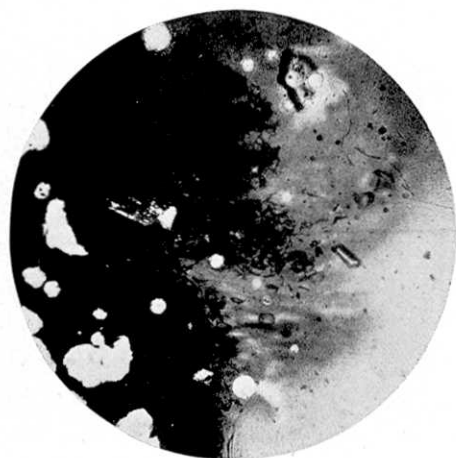
第 6 圖 火山砂礫の間隙に發達せる玄武岩玻璃(淡灰色平滑なる部分及び黑色にして光澤ある部分), 富士山頂産, 原寸。



第 7 圖 昭和15年 7 月噴出の火山砂礫層中に形成せられたる熔岩樹型, 三宅島赤場曉産, $\times 1/3$ 。



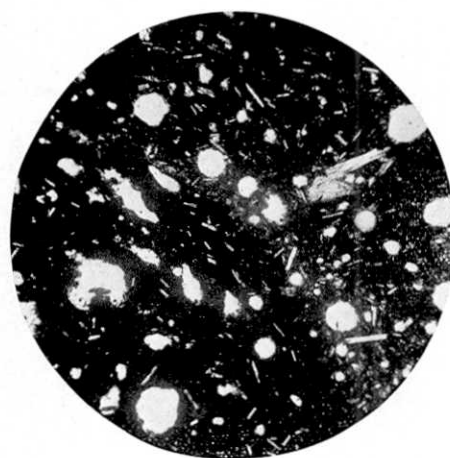
第 8 圖 左に同じ, 火山砂礫の一部分が軟化して樹型を印し, また他の火山砂礫の間隙に滲出せる状況を示す, 三宅島産, $\times 1/2$ 。



第 9 圖 富士山産玄武岩玻璃の顯微鏡寫眞(×31).
左半は熔融せざる火山礫の部分、右半は熔融に依
りて生じたる玻璃。



第 10 圖 前に同じ(×26). 玻璃の部分には熔融せ
ざる橄欖石斑晶殘存す。



第 11 圖 三宅島産熔岩樹型の一部の顯微鏡寫眞
(×31). 左半は元來の火山礫、右半は軟化して樹
型を印せる部分。

る。例へば熔岩流上に見出される “dribble cones,” “hornitos” 等の生成には、熔岩流の内部から發散する火山ガスの機械的作用の他に、その發熱作用が大いに與つてゐるものと考へられる。また本文の初めに述べた様に、活火山の噴火口底の表面に於いて特に温度の高いのは噴出する火山ガスの發熱作用に基くものと考へられるが、その表面全體に亘つて一様でなく、火口熔岩の龜裂、洞穴、噴泉等ガスの逸出の激しい所に於いて温度が特に高く、斯る所のみが赤熱状態を保つてゐるのである。大島三原山噴火口の近年の噴出物を比較するに、昭和 14 年 8 月活動の際に抛出されたものは結晶を全く含まない多孔質岩滓であるに對し、その昭和 15 年 8 月活動の際に抛出されたものは亞灰長石、輝石等の斑晶を多量に含む火山彈、熔岩片等である。斯る短期間に於ける噴出物の岩質の相異は夫々別種の熔岩が地下深所から上昇した事を示すものでなく、三原山火口の熔岩は元來上記の斑晶を有するものであつて、昭和 13 年 8 月にはその一部が火山ガスに依つて結晶を失ふ程度に加熱せられてゐたものと考へられる。同年の噴出物が不定形の多孔質岩礫で、火山彈を形成しなかつた事も火山ガスを比較的多く含み、高温であつた事を示すものであらう。

11. *Secondary Melting of Basaltic Ejecta by Volcanic Exhalations.*

By Hiromichi TSUYA,

Earthquake Research Institute,

In this paper the author calls attention to two evidences showing that it is possible for volcanic exhalations to generate sufficient heat to remelt basaltic ejecta. One of these evidences is a basaltic glass which found at the summit of Volcano Huzi, as a thin incrustation lining the crevices and hollows, leaving traces of former fumaroles, and the other an unusual type of lava tree-moulds which are found in the bed of scoriaceous lapilli that were ejected in the 1940 eruption from several parasitic openings on the northeast flank of Volcano Miyake-sima.