

## 伊豆新島向山火山886年噴火の火山地質

### **Volcanic Geology of Eruption of Mukaiyama Volcano in A.D.866, Niijima, the Seven Izu Islands**

稲山尚利  
谷口宏充

# 伊豆新島向山火山886年噴火の火山地質

## Volcanic Geology of Eruption of Mukaiyama Volcano in A.D.866, Niijima, the Seven Izu Islands

稲山 尚利 (Naotoshi INAYAMA)\*

谷口 宏充 (Hiromitsu TANIGUCHI)\*\*

キーワード：向山火山、噴火推移、火砕性密度流、二次噴火

Keywords: Mukaiyama volcano, transition of eruption, pyroclastic density current, secondary eruption

### Abstract

Niijima is one of the Quaternary volcanic island belonging to the Seven Izu islands, and is located at about 160 km southwest of Tokyo. The island is made up of thirteen monogenetic rhyolitic volcanoes and one basaltic volcano. Recently, the end of June 2000, the island and adjacent volcanic islands (Shikinejima and Kouzusima) became active in seismicity accompanied by the volcanic eruption of Miyakejima volcano, about 30 km southeast of Niijima. So, study on the last activity of Niijima is important for mitigation of volcanic hazard.

Mukaiyama volcano, one of monogenetic volcano in southern part of Niijima, erupted in A.D.866. The eruption can be divided into four stages; 1st stage (abbreviation of the deposit: My1), 2nd stage (My2), 3rd stage (My3) and 4th stage (My4).

The first stage activity produced a low-lying and flat-topped hill made up of stratified deposits due to pyroclastic density currents. According to the upward variation of My1, it was concluded that the current speed and explosiveness decreased with time. Study of boring core by Isobe (2001) indicated that My1 distributed also under the sea level. My1 includes large pumice blocks characterized by radial cooling joint. These two evidences suggest that the first stage activity began in the sea.

The second stage activity produced a pyroclastic cone and My2 near the vent is characterized by well sorted pyroclastics. The second stage activity is due to pyroclastic fall, ballistics and crumble brecciation.

The third stage activity produced some lava domes. The lava domes are subdivided into four groups by gully; My3-a, -b, -c, -d. There are ridges on surface of the lava domes. According to the distribution of ridges, it is indicated that the eruption timing and the center location is different.

The fourth stage activity produced three thin pyroclastic deposits (My4-a, -b, -c) on the lava domes. Some My4 are characterized by oxidation. Similar deposit was observed in Kouzusima (Taniguchi, 1982) on Tenjousan lave dome. The deposit was concluded to be produced by secon-

---

\* 東北大学大学院理学研究科

\*\* 東北大学東北アジア研究センター

dary eruption. So, the fourth stage activity may be due to the secondary eruption.

## 1. はじめに

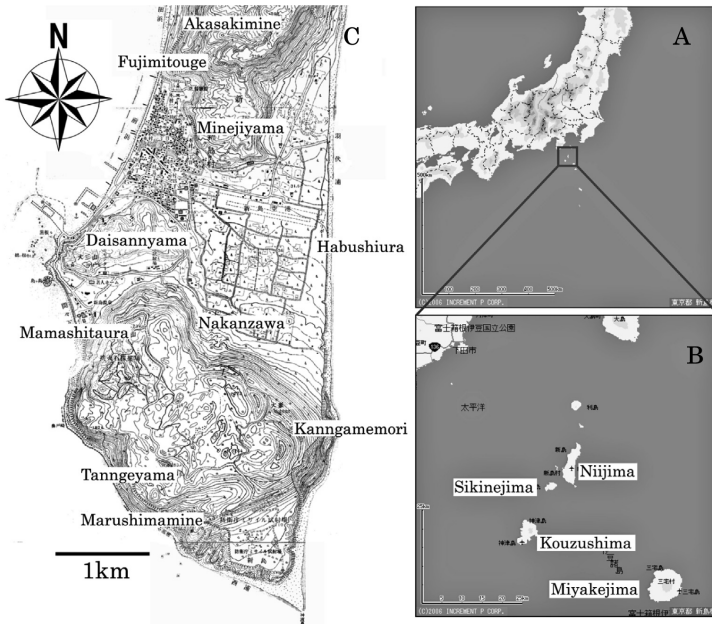
新島南東に位置する三宅島において観察された三宅島2000年噴火の一連の活動では、群発地震の震源が新島－神津島－式根島周辺へ移動し、三宅島西方沖で海底での噴火と考えられる海面の変色水域が観察される[気象庁 2000: 255]など、近年、新島－神津島－式根島周辺における噴火の発生が危惧された。

将来の噴火活動においてどのような現象がどの程度おきるのかを予想するに当たり、その地域において過去に起きた噴火現象を知る事は、防災の面においても非常に重要である。

伊豆新島において最も新しいと考えられている噴火は、向山火山886年噴火である[一色 1973: 169-170]。向山火山886年噴火において、噴火の現象とその推移は調査されている(例えば[横山・徳永 1978: 249-262])が十分な議論がなされているとはいえない。

新島における火山活動は新島が周りを海に囲まれていることから、マグマが水中に噴出する場合だけでなく、マグマが地上に噴出した場合でも、水との接触という現象が起こると考えられる。マグマと水の反応する噴火の推移は学術的に見て興味深い問題であると考えられる。

そこで、以上のような理由から、本研究では伊豆新島における最新の噴火と考えられている



向山火山886年噴火に注目し、その噴出物の地質調査を行い、どのような推移で噴火現象が変化していったのかを考察した。

Fig.1. Index map of Mukaiyama volcano and around it. A and B; Index map of Nijijima and around it (Map fan web site; <http://www.mapfan.com/>). C; Map of Mukaiyama volcano with place names. Mukaiyama volcano is located southern part of Nijijima, the Seven Izu islands, Japan.

## 2. 新島向山の地形概要

新島は東京から南南西へ約150kmに位置し、新島・式根島・地内島・早島・鶴渡根島および

これらに伴う小岩礁は、巨視的には、活動的な伊豆マリアナ島弧上の火山島群である([一色 1987: 1]; Fig.1-A, -B).

また、新島の地形は長軸が11.5km、最大幅が3.1kmの細長い形状を示し、島中央部の平地を境にして大きく北側と南側に分けることができる。本研究における調査地域である向山火山はその南側に位置する(Fig.1-C).

ここで、本研究の調査地域である向山地域の地形について、空中写真判読により作成した地形分類図(Fig.2)とともに詳細に述べていく。

新島の中央部には低平な丘が広がっており、東西の海岸においてはその丘が浸食を受け、高さ20m~50m程の露頭断面を観察することができる。特に、東側の羽伏浦においては長さ5kmにわたって海食崖が広がっている。

向山の北側には、向山とは別の山体、峰路山や赤崎峰などの溶岩円頂丘がいくつか観察できる。そして、向山の北西の方角には、向山とは別の山体、大三山が存在する。大三山は北側には浸食を受けた斜面が広がっているのに対し、南側には比較的滑らかな斜面が広がっている。また、山体全体が北側にゆるやかな弧を描いていることから、火砕丘の一部であると考えられ、その噴出源は南側に位置していたと推定される。

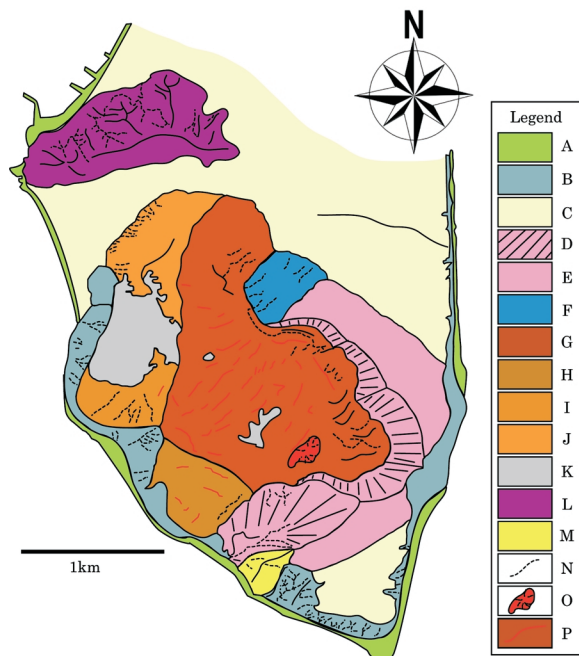
向山の南南東に位置する丸島峰では、周りに比べて波食に強い地形が観察できる。

上述の低平な丘の上には、向山火山を構成する火砕丘がのっている。火砕丘は、北東~東・東~南にかけて、滑らかな斜面が存在する。しかし、この火砕丘東側の斜面に当たる亀見森(崩壊面)においては、海食が激しく、火口縁が侵食されているのが観察できる。また、火砕丘

北側に当たる中沢においては、他の滑らかな斜面とは異なり、細かい谷地形が発達した斜面に覆われている。火砕丘の西半分は、後述の溶岩流(溶岩円頂丘)に覆われてしまい、その地形を観察することは出来ない。火砕丘の内部に

Fig.2. The geomorphological map.

The legend of geomorphological map represent; A; Sand beach and harbor. B; Sea cliff. C; Flat surface. D; Outside of pyroclastic cone. E; Inside of pyroclastic cone. F; Slope of abounding gully. G; Lava a. H; Lava b. I; Lava c. J; Lava d. K; Artificial surface. L; Volcanic edifice of pre-Mukaiyama 886 eruption. M; Terrain of high resistance to weathering. N; Gully. O; Explosion vent. P; Ridges on surface of the lava.



あたる火口は、火砕丘の内側斜面形状から少なくとも4つ確認することができるが、それぞれの形成時期の前後関係はわからない。

そして、火砕丘の内部には溶岩円頂丘が広がっている。この溶岩円頂丘は円頂丘表面に認められる細かい溝により大きく4つのグループ(Lava a~d)に分類することができる。また、溶岩円頂丘の表面には、溶岩しわと思われる細かい起伏が観察できる。このしわは比高が数10mになり、向山南側の丹後山においては50m近くに達する。そして、分類した4つの溶岩円頂丘はその溶岩しわの傾向がそれぞれ異なることが観察でき、それぞれの噴出口が異なると考えられる。

さらに、溶岩円頂丘の中央部分には、直径100m程度のすり鉢状のくぼ地が認められ、その内部には放射状に細かい谷が発達していることが観察でき、この特徴から爆発噴火口であると考えられる。

### 3. 新島向山の地質概要

新島の火山地質に関する研究は過去に数多くなされておられ(例えば, [宮地 1965: 643-657], [一色 1987]), 新島は主として珪長質火山からなる。新島は少なくとも13個の流紋岩単成火山(火砕丘+溶岩円頂丘あるいは厚い溶岩流)、1個あるいは2個の安山岩単成火山(現在観察されるのは降下火砕物だけ)、及び、1個の玄武岩単成火山(火砕サージ堆積物)からなると報告されている([一色 1987: 9-12]; [伊藤 1993: 125-134])。これらの岩体の中で、一番新しい火山と考えられているのが向山火山であり、その噴出年代については、堆積物中の炭化木片の年代測定と古文書記録との対比から西暦886年に噴火したと報告されている [一色

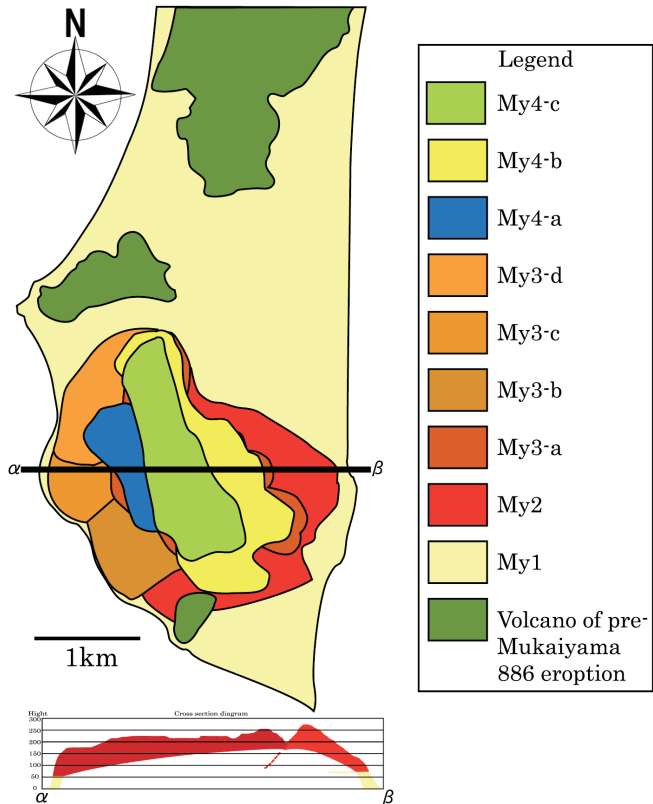


Fig.3. The Geological map of Mukaiyama volcano and cross section diagram of Mukaiyama volcano. The cross section diagram represent view of the geomorphological map along the line  $\alpha$ - $\beta$ .

1973: 169-170]. また、[横山・徳永 1978: 249-262]、[徳永・横山 1979: 111-123]、[一色 1987: 57-61]は、向山火山の活動においてはベースサージが噴出したことを示した。特に[横山・徳山 1978: 249-262]、[徳永・横山 1979: 111-123]は、ベースサージ堆積物に注目し、デューン構造といった堆積構造の変化から、噴火活動の変化をマグマと海水との接触程度の変化と結び付けて説明している。一方、[伊藤 1993: 125-134]は、[横山・徳永 1978: 249-262]らによりベースサージ堆積物とされた堆積物については、[Fisher 1979: 305-318]の火砕物の堆積機構に着目した定義から密度の高い流れである火砕流により運搬堆積したと考えるほうが妥当と示している。

[横山・徳永 1978: 249-262]、[徳永・横山 1979: 111-123]、[一色 1987: 57-61]は、向山火山886年噴火の活動を、噴火様式の差異・堆積物や地形の特徴に基づいて、ベースサージ丘の生成期、火砕丘の生成期、溶岩円頂丘の生成期の大きく3つに分類して、[一色 1987: 57-61]はそれぞれの活動期の堆積物をMy1、My2、My3と名付けている。[伊藤 1993: 125-134]は、向山西部に位置する間々下浦(Fig.1-C)において腐植土層の存在とそれを境とした本質岩片の岩石種変化(カミングトン閃石黒雲母流紋岩→黒雲母流紋岩)から間々下浦火山の存在を示している。さらに、[伊藤 1993: 125-134]はMy1~My3をさらに細かく分類したことに加え、My3以降の活動による堆積物の存在を明らかにした。

今回の調査で得られた地質図をFig.3に示す。

#### 4. 調査結果

先の地形分類図による地形区分、及び、先行研究による地質分類をもとに向山地域の調査を行った。そして、調査結果を述べるにあたり、今回の調査で観察・試料採取を行った露頭の番号をFig.4に示す。

本研究では、向山火山886年噴火の堆積物を大きくMy1、My2、My3、My4の4つに分類する。分類は[一色 1987: 57-61]に基づく。火砕サージ堆積物で形成されたと考えられる低平な丘を構成する堆積物をMy1、火砕丘を構成する堆積物をMy2、溶岩円頂丘を構成する堆積物をMy3とする。加えて、[伊藤 1993: 125-134]がMy3以降の活動による堆積物としたものをMy4とする。

現地調査による各堆積物の特徴を代表的な

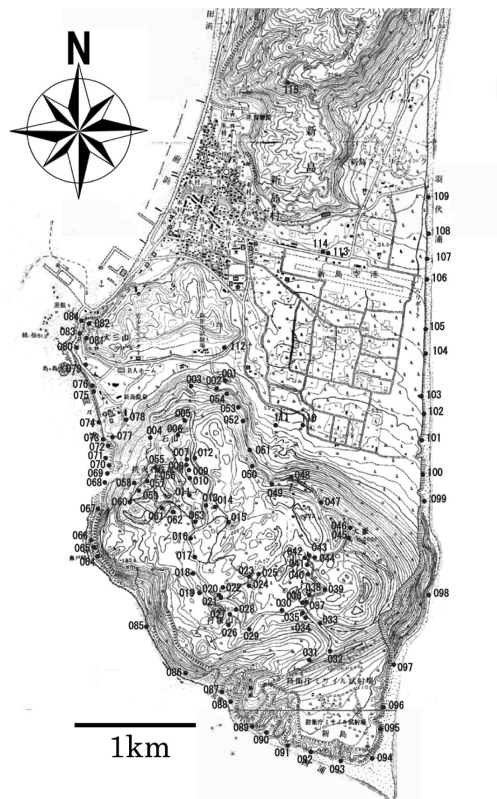


Fig.4. The points of outcrop in topographical map of the Mukaiyama volcano.

露頭を用いて示し、採取試料を用いた粒度分析、粒子の形状観察、薄片観察、粒子密度測定の結果を順に述べていく。

#### 4-1. 露頭記載

##### (1) My1

My1がつくる向山地域の最下部を構成する低平な丘の部分について述べていくが、南北に広がっている海岸沿いの海食崖にその断面が露出することから、この海食崖での特徴について説明する。

まず、My1の特徴として、層厚数10cm～数mの層が重なっていて、全体として20～50m程度の厚さである。露頭で観察できる層の特徴を大きく分類すると、Massive layer、Grading and inverse grading layer、Planer bedding layer、Cross bedding layer、Lithic concentration layer、Giant pumice layerに分かれ、おのおのの特徴を以下に記す。各層の単層は側方への層厚や構造の変化が激しく、単層を連続で数100m以上追うことは困難である。しかし、各層は比較的水平に堆積していることから、大雑把にはあるが高さの対比から単層の対比が可能であると考えられる。

Massive layer(Fig.5-A)は、上部に火砕流の灰かぐらにおいて観察できるような極細粒で淘汰がよい層とその下部に無層理で級化を示さない層の互層をなすユニットをさす。粗粒粒子としては軽石や異質岩片、黒色ガラス岩片などを含んでいる。異質岩片や黒色ガラス岩片は露頭によっては1m～2mに及ぶ岩塊も観察できる。露頭によっては上部の極細粒層がない部分も観察できる。

Grading and inverse grading layer(Fig.5-B)は、最上部を火砕流の灰かぐらにおいてよく認められる極細粒で淘汰がよい層、その下部に軽石の逆級化層、最下部には異質岩片や黒色ガラス岩片などの比較的密度の大きい粒子の級化層という特徴をもつ3層のユニットをさす。軽石の逆級化層、異質岩片などの級化層においては、極細粒粒子が比較的少ないという特徴をもっている。まれにはあるが、異質岩片粒子は含まれておらず軽石粒子が級化あるいは逆級化構造をなす露頭も観察できる。

Planer bedding layer(Fig.5-C)とCross bedding layer(Fig.5-D)は、そのほかのlayerと異なり、火山礫サイズの粒子をほとんど含まず、単層の層厚が比較的薄いという特徴を持ち、Planer bedding layerでは水平板状の成層構造が発達している部分を、Cross bedding layerでは波状構造や斜交層理が発達している部分をさす。

Lithic concentration layer(Fig.5-E)は、石質岩片が濃集した単層をさしている。層内に散在している岩片は、異質岩片や黒色ガラス岩片が主であり、軽石はほとんど見られない。異質岩片や黒色ガラス岩片は、他のMassive layer やGrading and inverse grading layerなどでも観察することはできるが、層全体に、しかも、量が多いということが他と異なる Lithic concentration

layer の特徴である。しかし、層内において石質岩片の量が激しく変化するため、側方へ連続的に観察することは困難である。

新島において観察することのできる1m程度の軽石を以後Giant pumiceと呼ぶ。Giant pumice layerは、このGiant pumiceが含まれている単層(Fig.5-F)をさす。Giant pumice layerにおける構成粒子や構造はMassive layerと同じ特徴を持つ。この露頭で観察できるGiant pumiceには、Fig.

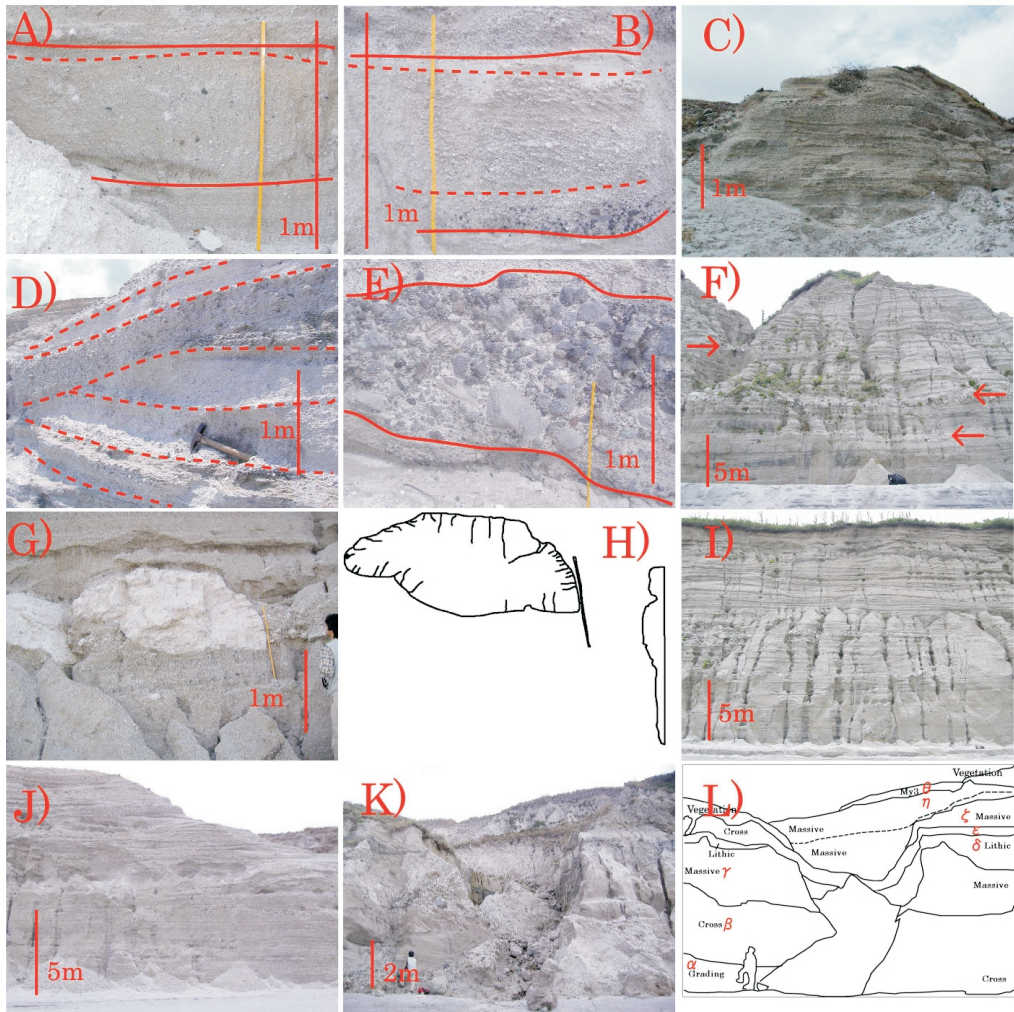


Fig.5. Photographs and sketches of outcrop. A); Massive layer (My1). B); Grading and inverse grading layer (My1). C); Planer bedding layer (My1). D); Cross bedding layer (My1). E); Lithic concentration layer (My1). F); The arrows represent Giant pumice layer (My1). G) and H); Giant pumice in giant pumice layer (My1). I); Outcrop of My1(Loc104). J); Outcrop of My1(Loc108). K) and L); Outcrop at Mamasitaura (Loc071). M); Carbonized wood (Loc 115). N) and O); Outcrop of My2 (Loc052). P); Outcrop of My3's cross section at bottom of Mukaiyama (Loc064). Q); Outcrop of My3's surface at top of Mukaiyama(Loc025). R); Outcrop of Marushimamine(Loc088). S) and T); Outcrop of My4-a(Loc021). U); Outcrop of My4-b(Loc054). V); Outcrop of My4-c(Loc012). W) and X); Outcrop of My4-b and -c(Loc036).



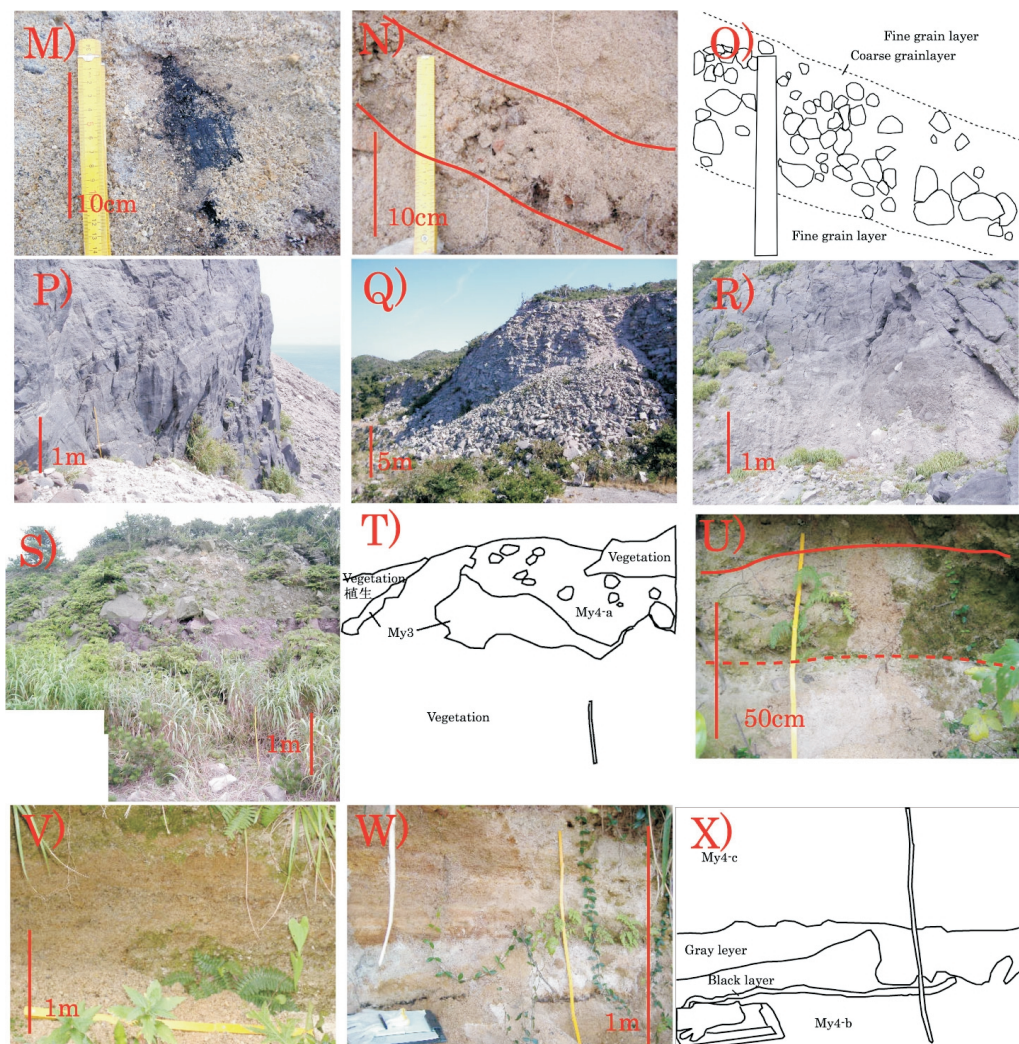


Fig.5. Continued

5-Gや-Hに示されるように、軽石の周囲を覆うような放射状に発達する亀裂が観察でき、こういった亀裂はcooling joint、つまり、水冷破碎による亀裂と考えられる[Clough, Wrigh and Walker 1981: 49-50]。また、このGiant pumiceは露頭において広く分布しているわけではなく、Fig.5-Fに示すように、層状に分布している。

ここで、以上の特徴を持った層を用いて、向山近傍と遠方の露頭の観察結果を記す。

向山近傍(Loc104; Fig.5-I)においては、露頭が断崖であるため上部を直接観察することは出来ないが、下から概観すると、下位から順にGrading and inverse grading layerの間にGiant pumice layerが狭在し、その上にCross bedding layer、Lithic concentration layer、Planer bedding layer、Massive layer、の順に重なっていることが観察できる。

向山遠方(Loc108; Fig.5-J)においても、露頭が断崖であるため上部を直接観察することは出来ないが、下から概観すると、下位から順に、Planer bedding layerの間にGiant pumice layerが狭在し、Cross bedding layerがその上に重なっていることが観察できる。

西側海岸のLoc071においては、これまで述べた層が入り組み、また、東側海岸と対応のつかない特徴の堆積物を観察できる(Fig.5-K, -L)。その堆積物は、下位から順にGrading and inverse grading layer(Fig.5-L- $\alpha$ )、Cross bedding layer(Fig.5-L- $\beta$ )、層厚が数m~10mと非常に厚く最大粒径も1m程度のMassive layer(Fig.5-L- $\gamma$ )、Lithic concentration layer(Fig.5-L- $\delta$ )、Cross bedding layer(Fig.5-L- $\epsilon$ )、マトリックス粒子が暗灰色のMassive layer(Fig.5-L- $\zeta$ )、マトリックス粒子が明灰色のMassive layer(Fig.5-L- $\eta$ )、My3(Fig.5-L- $\theta$ )が成層している。

また、My1における柱状図を東側海岸、西側海岸それぞれでまとめるとFig.6のようになる。

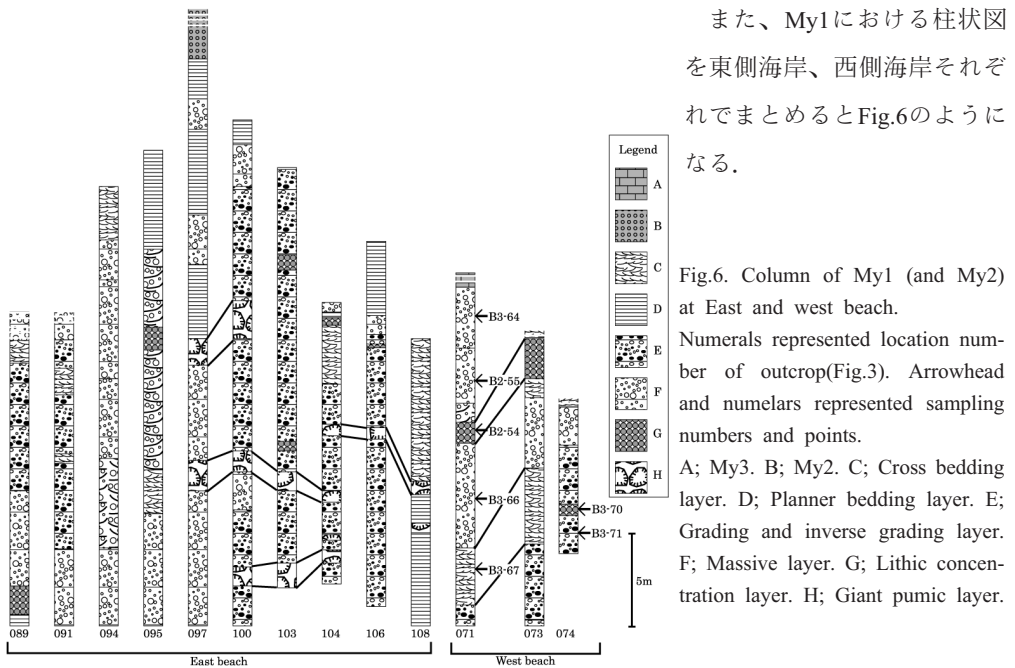


Fig.6. Column of My1 (and My2) at East and west beach.

Numerals represented location number of outcrop(Fig.3). Arrowhead and numelars represented sampling numbers and points.

A; My3. B; My2. C; Cross bedding layer. D; Planer bedding layer. E; Grading and inverse grading layer. F; Massive layer. G; Lithic concentration layer. H; Giant pumice layer.

新島中央部のLoc115(峰路山富士見峠; 高度260m)は[吉田 1996: 221]などによって、向山火山886年噴火における火砕サージ堆積物が観察できる露頭であるとされており、その理由として、Loc115の露頭で最上部に位置すること、堆積物が1m強と厚いこと、比較的淘汰が悪いこと、そして、そのほかの堆積物の分布範囲が挙げられている。堆積物の特徴としては、マトリックス粒子は灰白色~赤褐色で、上部では分級が進み若干成層構造が発達し、下部においては分級がほとんど進んでおらずMassive layerに相当する。また、層中に炭化木片を確認することができ(Fig.5-M)、海食崖において見られるMy1とは異なった特徴を示す。

(2)My2

My1の低平な丘の上に形成された火砕丘を構成しているのがMy2である。

My2は、粗粒粒子が濃集した部分(Coarse grain layer)と細粒粒子が濃集した部分(Fine grain layer)が互層をなしている(Loc052; Fig.5-N, -O)。Coarse grain layerは5~6cm程度の厚さで、その間に20cm程度のFine grain layerがある。それぞれの層内、層間で粒子の色に変化は見られない。Coarse grain layerの構成粒子は、軽石や黒色ガラス岩片が主であり、最大粒径は数10cmになる。粒子の表面が酸化により赤色化しているのも観察できる。Fine grain layerの構成粒子は主に褐色~肌色の火山灰からなる。

### (3)My3

My2の火砕丘内部を埋める溶岩円頂丘がMy3である。地形概要において溶岩円頂丘はLava a~dの4つに分類できるとしたが、露頭観察からはその違いを見ることができなかつたため、それぞれをMy3-a~dと呼ぶ。詳細については考察にて述べる。ここでは、My3の内部と表面で特徴が異なるためそれぞれについて述べる。

溶岩円頂丘内部(Loc064)では、海面から10数mの位置にあり、塊状溶岩が厚く堆積しているのが観察できる(Fig.5-P)。溶岩には流理が発達しているのが確認でき、水平方向に伸びているように見える。

溶岩円頂丘表面(Loc025)では、溶岩しわの断面に当たる露頭が観察できる(Fig.5-Q)。溶岩は弱く発泡していて、水平方向の板状節理が非常に発達している。また、Loc025では溶岩を覆うような堆積物を確認できない。

### (4)My4

My4は向山地域の最上部に堆積しており、堆積構造・分布域の違いにより3つのグループ(My4-a、-b、-c)に分けることができる。

#### A, My4-a

My4-aは赤褐色に酸化した火山灰と、発泡の程度が悪く赤褐色から暗紫色に変色した軽石からなる。無層理で非常に淘汰が悪く、軽石の最大粒径は50cmに達する。

Loc021においては、層厚は2m程度のMy4-aが観察でき(Fig.5-S, -T)、溶岩の直上に堆積しているのが観察できる。

#### B, My4-b

My4-bは灰白~肌色のマトリックスをなす火山灰と、軽石、黒色ガラス岩片からなり、上部は火山灰が赤褐色を呈する(Loc054; Fig.5-U)。無層理で淘汰が悪い。

マトリックスが灰白色部分と赤褐色部分で粒子種類・形状に違いが見られないことから、酸化により赤褐色を呈していると考えられる。

#### C, My4-c

My4-cは主に赤褐色に酸化した火山灰からなり、成層構造が発達している。層毎の粒径は均一で淘汰がよく、単層の厚さは数cm以下である(Loc012; Fig.5-V)。また、Loc012ではピット調

査を行い、下限は不明であるが、地表から1mは層構造が発達し、それより下位では灰白~肌色の無層理構造(My4-b)であることが観察できる。

Loc036においては、上位から順にMy4-c、無層理構造の灰白色の火砕物層、厚さ数cm程度の黒色の火砕物層、My4-bが観察できる(Fig.5-W, -X)。この露頭で観察できる灰白色層と黒色層は、側方に連続的に堆積しているわけではなく、数mほど追うと消えてしまう。また、近くの露頭においても観察できなかったことから、局所的に堆積したものと考えられる。この黒色層は粒子観察結果では構成粒子の表面に黒色の付着物が認められ、それにより黒色を呈していると考えられるが、詳しい成因は不明である。

My2、My3、My4の柱状図をまとめるとFig.7のようになる。

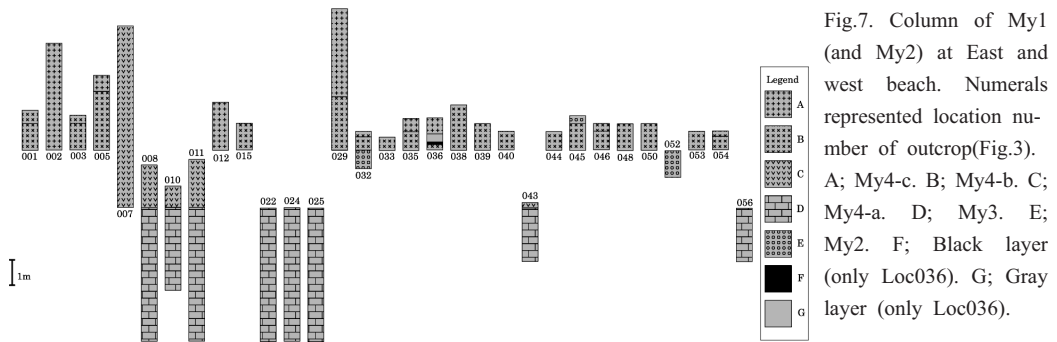


Fig.7. Column of My1 (and My2) at East and west beach. Numerals represented location number of outcrop(Fig.3). A; My4-c. B; My4-b. C; My4-a. D; My3. E; My2. F; Black layer (only Loc036). G; Gray layer (only Loc036).

Loc088は、先の地形分類図において周囲の海浜に比べて侵食されにくい地形に相当し、ここでも溶岩が露出している露頭を観察できる(Fig.5-R)。岩層としてMy3と大きな違いは見られない。この溶岩はMy3に相当するものでないと思えるが、詳細は考察において述べる。

#### 4-2. 粒度分析

各堆積物において、その運搬特性を理解し、堆積物の特徴を分類するために、いくつかのサンプルについて粒度分析を行った。先に示したように、My1において、東側海岸と西側海岸において露頭の特徴が異なるという観察結果が得られた。そこで、西側の堆積物について、各層からサンプリングを行い、粒度分析を行った。西側の各層とサンプル番号の対応はFig.6にまとめる。

各サンプルは300~400g程度になるように縮分を行ってから、十分乾燥させ、分析を行った。粒度分析の際には、目開きが、22.6mm~0.063mmの範囲の篩を用い、0.5φごとに粒子を区分した。

また、分析の結果得られた粒度分析のデータを、[Inman 1952: 125-145]に従い、各堆積物について、平均粒径(Mdφ)、淘汰度(σφ)を求め、得られたデータをもとにMdφ-σφプロット[Walker 1971: 696-714]を適用した(Fig.8)。

粒度分析で得られたデータにおける各堆積物の特徴を以下に記す。

My1は、全体としてはPyroclastic flowの領域にプロットされた。しかし、東側海岸のデータと西側海岸のデータとの間で若干差が認められる。東側の粒度分布は、淘汰度、中央粒径ともにある程度の範囲内にプロットすることができる。西側の粒度分布は東側のものと比べると、淘汰度は幅が広く、また、中央粒径はかなり幅が広くプロットされた。

My4については、My4-aが若干中央粒径に幅が出たが、My4-b、My4-cではほとんど一定の範囲内にプロットされた。それぞれのプロット範囲を観察すると、My4-a→My4-b→My4-cの順に中央粒径と淘汰度ともに小さくなる、つまり、粒径が細くなり、淘汰がよくなるという傾向が得られた。

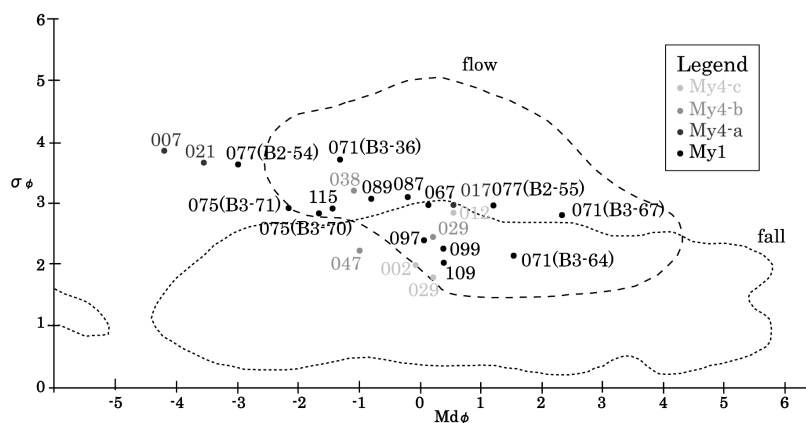


Fig.8.  $Md_{\phi}$ - $\sigma_{\phi}$  plot of deposit of 886 Mukaiyama eruption [Walker 1971: 696-714]. Numerals represent location number of outcrop (Fig.4) and numerals shown in parentheses represent sample number of deposit (Fig.6).

#### 4.3. 粒子形状観察

My4について、その粒子の形状を実体顕微鏡を用いて観察した結果を以下に記す (Fig.9)。また、比較のため、My1の粒子も同様に観察した。

My4-aの粒子 (Fig.9-A) は、繊維状に引き伸びた粒子やバブルウォールの切れ端のような形状の粒子が目立つ。また、大部分の粒子の表面が赤色酸化を受けている。

My4-bの粒子 (Fig.9-B) については、My4-aにみられた上記のような粒子はあまり観察できず、対照的に、円摩されたような粒子や平面によって囲まれた多面体の粒子が目立っている。また、露頭観察によって赤色酸化が確認できる部分の粒子とその下部のあまり酸化を受けていない部分の粒子を観察すると、前者の粒子表面が後者のものに比べて粒子表面が赤色酸化をより受けているが、粒子の形状に違いは観察できなかった。

My4-cの粒子 (Fig.9-C) は、My4-bと同様に引き伸びた粒子などはあまり観察できず、円摩された粒子や多面体の粒子が目立っている。また、大部分の粒子表面が赤色酸化を受けているのが観察できる。

My1の粒子 (Fig.9-D) は、My4-bやMy4-cでみられるような、円摩された粒子や多面体の粒子が多く観察できた。また、一部の粒子においては細かく発泡している特徴やその発泡した気泡

が引き伸びているのが確認できる。My4の粒子とは対照的に、My1の粒子では赤色酸化を受けている粒子は観察できなかった。

My4-bと-cの間に狭在していた黒色層の粒子(Fig.9-E)は、粒子の表面に黒色の付着物があり、それにより黒色を呈していると考えられる。この層中に土壤に相当するような粒子は顕著に見られなかった。

これらの粒子の特徴は粒径ごとに変化しない。

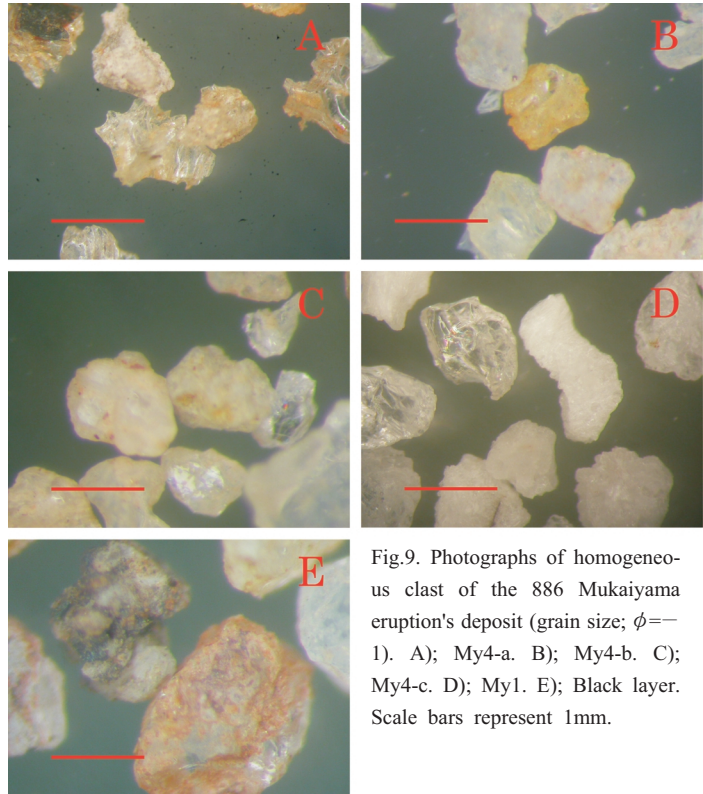


Fig.9. Photographs of homogeneous clast of the 886 Mukaiyama eruption's deposit (grain size;  $\phi = -1$ ). A); My4-a. B); My4-b. C); My4-c. D); My1. E); Black layer. Scale bars represent 1mm.

#### 4-4. 薄片観察

新島は主に流紋岩からなるが、噴出時期の相違により噴出した岩石の種類が異なり、噴出順に紫蘇輝石カミングトン閃石流紋岩→カミングトン閃石流紋岩→黒雲母流紋岩と変化することが報告されている[一色 1987: 9-12]。そのため、今回、観察した堆積物について、対比を行うとともに886年以前の噴火の堆積物との判別をするために、野外調査の際に持ち帰ったサンプルを用いて薄片を作成し、観察・記載を行った(Table.1)。薄片作成には、本質物質と考えられる軽石や溶岩を用いた。

向山火山886年噴火で活動したマグマは、黒雲母流紋岩質であると報告されており(例えば[一色 1987: 9-12])、今回観察された薄片の斑晶組み合わせもほとんどが石英-斜長石-黒雲母であった。いくつかのサンプルについては、若干異なり、紫蘇輝石やカミングトン閃石と考えられる角閃石族の斑晶が含まれている。また、My3は地形概要において大きく4つに分類できると記したが、それぞれにおいて薄片を作成したところ、斑晶鉱物組み合わせは変わらないという結果が得られた。

他の薄片と異なり、Loc103(B2-73)の薄片において、カミングトン閃石や紫蘇輝石の斑晶が観察できるのは、サンプリング時に異質岩片を採取してきてしまったためだと考えられる。

また、丸島峰(Loc088)では、カミングトン閃石や紫蘇輝石の斑晶が観察できる。

		My1												
Loc No		71	71	72	72	75	75	87	93	97	103	103	103	
Sample No		B3-63-1	B3-63-2	B2-56-1	B2-56-2	B2-59	B3-70-1	B3-70-2	B2-62	B3-76	B3-81	B2-70	B2-73	B3-49-1
Quartz		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Plagioclase		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Biotite		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Hyperthene		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Cumingtonite (Holblende)		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△		×
		My1										My3-a		My3-b
Loc No		103	106	111	114	114	115	115	115	GP	GP	19	43	26
Sample No		B3-49-2	B3-82	B2-89	B3-96-1	B3-96-2	B3-53-1	B3-53-2	B3-53-3	B3-44	B3-46	B2-17	B2-37	B2-15
Quartz		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Plagioclase		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Biotite		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Hyperthene		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Cumingtonite (Holblende)		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		My3-c		My3-d		My4-a			My4-c		Pre-Mukaiyama			
Loc No		64	66	56	58	9	21	21	48	50	81	81	88	
Sample No		B2-43	B2-45	B3-17	B2-21	B2-7	B2-23-1	B2-23-2	B3-31	B3-29	B2-85-1	B2-85-2	B2-64	
Quartz		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Plagioclase		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Biotite		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
Hyperthene		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	
Cumingtonite (Holblende)		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	

Table.1. Observation of thin section of the 886 Mukaiyama eruption's deposits. Legend represent frequency of mineral(○>△>×).GP; thin section of Giant pumice.

#### 4-5. 軽石密度測定

My1の中に含まれていた、Giant pumiceとGiant pumice layer中の軽石、Giant pumice layer以外に含まれていた軽石などの密度を測定した。測定方法には、[佐々木・勝井 1981: 117-118]によるガラスビーズ法を用いた。また、測定の誤差を確認するため、同一の試料を10回測定したところ、それほど誤差は見られなかった。また、試料の誤差を緩和するために、ひとつの種類に対して7~10個程度の粒子を測定した。

種々の軽石の産状および測定した結果を以下に記す(Table.2).

この結果を見ると、My1に含まれる軽石は大きさ、つまりGiant pumiceであるかどうかによらず密度はほぼ一定と考えられる。

Sample No	3-75	3-46	3-47	3-84	3-43	3-82
density (g/cm <sup>3</sup> )	0.75	1.02	0.93	0.95	1.26	1.22
	1.54	1.13	1.25	0.99	1.34	1.09
	0.96	1.05	1.33	0.96	1.14	1.49
	1.21	1.03	1.00	1.36	1.39	1.08
	0.80	0.78	1.12	0.82	1.02	1.35
	0.70	0.82	1.71	0.94	0.90	1.28
	0.86	1.04	0.77	1.08	1.41	0.62
	0.97	1.18	1.00	1.27	1.22	0.91
	1.00			0.90	1.62	0.84
				0.96		1.34
mean density (g/cm <sup>3</sup> )	0.98	1.01	1.14	1.02	1.26	1.12

Table.2. Results of measurement of density.

B3-75; Pumice in Massive layer(Loc091)

B3-46; Center part of Giant pumice

B3-47; Pumice in Giant pumice layer

B3-84 and B3-82; Pumice in Grading and inverse grading layer(Loc106)

B3-43; Pumice in Grading and inverse grading layer(Loc100)

## 5. 考 察

各堆積物の特徴を考察し、それらを形成した噴火現象を推測する。

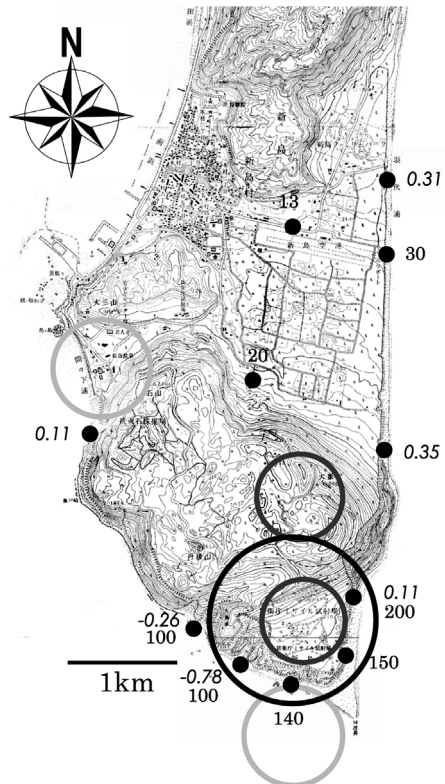
まず最初に、向山886年噴火以前の旧火山体について考察をする。薄片観察で丸島峰において斑晶組み合わせの異なる溶岩が観察できたことから、この地域は旧火山体であると考えられる。地形判読から異なる地形的特徴をもつことが観察できるが、この結果も旧火山体であるということと整合的である。しかし、[伊藤 1993: 125-134]により報告されている間々下浦火山の存在を支持する薄片観察結果が得られなかったこと、地形的に旧火山体の存在を確認できないことから、間々下浦(Loc068~079)の堆積物は向山火山886年噴火のものであると考える。

### 5-1. My1

火山の噴火現象では、火砕物とガスの混合流体が流動するという現象が観察されることがあり、[Wilson and Houghton 2000: 545-553]によれば、このような重力に支配されて側方へ運動するガスと火砕物の混合物を火砕性密度流(pyroclastic density current)、火砕性密度流のうち基底部に物質や運動量が濃集した火砕性密度流を火砕流(pyroclastic flow)、逆に物質や運動量が流れの広範囲に分散し、薄められ、乱流が発達し、懸濁した火砕性密度流を火砕サージ(pyroclastic surge)と定義している。また、火砕流と火砕サージの代表的な堆積物の特徴は[Cas and Wright 1987: 95-126]によって示されており、火砕流堆積物は無層理構造で塊状、火砕サージ堆積物は成層構造が発達し斜交層理なども観察できるという特徴が挙げられる。

My1は、露頭全体をみると成層構造が発達し、Cross bedding layerのように火砕サージに代表される比較的密度の低い流れによって堆積したと考えられる特徴を持つ一方で、Massive layerのように火砕流に代表される比較的密度の高い流れによって堆積したと考えられる特徴も持っている。また、Cross bedding layerを単層ごとに観察してみると、単層自体は分級が進まずMassiveな特徴を示す露頭も観察できる。

Fig.10. Numerals represent diameter of max lithic clast and italic numerals represent  $Md\phi$  by grain-size analysed. Black circle represent the expected location of My1's vent by this study. Dark gray and light gray circle represented the expected location of My1's vent by other study(dark gray; [横山・徳永, 1978: 249-262]. light gray; [伊藤 1999: 417-423])





粒度分析の結果を見ても、堆積構造の変化は顕著であるが、粒度分布はそれほど広範囲に分布しているというわけではない。また、その分布領域も、FlowとFallの境界部分にプロットされ、火砕サージか火砕流かという積極的な証拠になっていない。

また、先行研究を見てみてもMy1の成因を火砕サージと示す研究もあれば(例えば [一色 1987: 57-61])、火砕流と示す研究もある[伊藤 1993: 125-134].

このように、流れの密度の対極的な位置にある火砕サージ・火砕流の特徴を同時に有するということから、このMy1は火砕流や火砕サージ、あるいはそれらの中間的性質の流れにより堆積したと考えられる。よって本論では上記のような区別をせずより広義な火砕性密度流(Pyroclastic density current)という言葉を用いる。

My1の噴出源については、[横山・徳永 1978: 249-262]は向山南部、[伊藤 1993: 125-134]、[伊藤 1999: 417-423]はそのさらに南方と間々下浦のあたりを考えている。本研究においては、粒度分析の中央粒径とその露頭位置の関係、石質岩片の最大粒径とその露頭位置の関係から噴出源を推測し、先行研究とほぼ整合的な結果が得られた(Fig.10).

My1の堆積構造の側方変化と上方変化について考える。

噴出源から、近傍の露頭(Loc104; Fig.5-I)と遠方の露頭(Loc108; Fig.5-J)を比較すると、下部のほうは近傍がGrading and inverse grading layerが発達しているが、遠方ではPlaner bedding layerが発達している。また、上部のほうでは近傍がPlaner bedding layerやCross bedding layerが発達しているのに対し、遠方ではCross bedding layerが発達している。一般的に火砕サージ堆積物の側方への構造変化を観察するとMassive→Planer beds→Cross bedsの順に変化するという報告があり[Valentine 2000: 571-580]、これを噴出源からの距離の相違にともなう流れの減速・減衰に対応したものだと考えられており、My1においても同様の特徴が観察できる。

それぞれの上方変化を観察すると、近傍がGrading and inverse grading layer→Planer bedding layer or Cross bedding layerの変化に対して、遠方ではPlaner bedding layer→Cross bedding layerの変化が特徴的である。

火砕性密度流堆積物の構造変化の議論を、My1の構造の上方変化に対応させると、My1は活動の進行に伴い、火砕性密度流の速度の減少・規模の減衰が起きたといえる。

My1の中に特徴的に含まれているGiant pumiceについて考察する。

まず、Giant pumiceは密度測定の結果から、軽石と呼ぶのに十分発泡していて、My1中のそのほかの軽石密度とそれほど変化がないことが

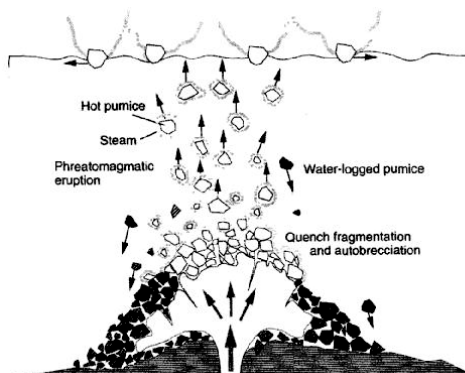


Fig.11. Model of producing giant pumice[Kano 2003: 213-229].

判明した。これと薄片観察の結果から、Giant pumiceは向山火山886年噴火の本質物質であるといえる。Giant pumiceはcool jointがみられることから、水冷破碎を受けたと考えられる。さらに、[磯部・中島 2001: 41-48]によると新島本村におけるボーリングの結果、海水準より下にもMy1が堆積していることが報告されている。これらの考察をあわせて考えると、My1の噴火は水中から起きた可能性が非常に高い。

水中噴火においてGiant pumiceのような巨大な軽石の噴出が観察された例がいくつかあり、[Kano 2003: 213-229]ではその噴出モデルとしてFig.11に表されるモデルを紹介している。露頭観察より、Giant pumice layerとそのほかのlayerを比べたときに、大きな違いはGiant pumiceが入っているということであり、そのほかのマトリックス粒子等にはあまり変化は見られなかったことから、Giant pumiceは他のlayer同様、火砕性密度流により運ばれたといえる。さらに、Giant pumiceの入っている層厚と同程度の層厚でもGiant pumiceが含まれていない層が存在することから、噴出の規模が大きいために運ばれてきたというわけではなく、Giant pumiceの生成時期が限られていたと考えられる。つまり、水中において溶岩ドームを形成するような非爆発的な噴火現象によって生成されると考えられる。

また、Loc115において炭化木片が観察されることから、この火砕性密度流は木片を炭化させるほどの高温な流れであったといえる。

以上のMy1の成因に関する考察を総合すると、My1は「噴出源は向山地域の南側であり、溶岩ドームを形成するような非爆発的噴火と高温の火砕性密度流を発生させるような爆発的噴火を繰り返して堆積していき、徐々に噴火の規模は小さくなっていく噴火現象」により生成されたと考えられる。

## 5-2. My2

空中写真判読によりMy2はいくつかの火砕丘を形成していることが観察できる。しかし地形を見る限り、その噴出現はいずれも火砕丘の中心部付近と考えられる。

また、堆積物の特徴として非常に分級が進み、淘汰がよいという特徴が挙げられる。My1の噴出源からの距離とその分級の程度と、My2の噴出源からの距離とその分級の程度を比較すると、My2のほうがより分級が進んでいる。

この分級程度の違いは噴火現象・火砕物の運搬過程の違いによるものだと考えられる。つまり、My1が火砕性密度流のように側方へ火砕物が流れる現象により堆積したと考えられるのに対して、My2は降下火砕物のように鉛直方向に火砕物が移動し堆積したと考えられる。また、一般的に火砕丘は、火砕物降下や火砕物の弾道放出により形成されると考えられており、堆積物の特徴と整合的である。

以上のMy2の成因に関する考察を総合すると、My2は「火砕丘の中心を噴出源とし、降下火砕物を噴出する噴火現象」により生成されたと考えられる。

5-3. My3

My3は空中写真判読により、溶岩しわの発達した溶岩円頂丘を形成していることが観察できる。また、露頭観察においても、下部では流理の発達した溶岩が、上部では発泡した溶岩が観察できる。

また、空中写真判読により、溶岩しわの傾向が異なるいくつかのグループ、Lava a~dに分けられたが、薄片観察では同じ斑晶鉱物組み合わせが観察でき、いずれの溶岩も向山火山886年噴火によるものであると考えられる。一般的に溶岩しわは溶岩流の進行方向に直角に伸びる傾向がある[守屋 1983: 7-9]。この特徴を考えると、こうした溶岩しわの傾向の違いは、噴出源や噴出時期の違いを反映したものだと考えられるが、この4つの詳細な噴出源や噴出時期の前後関係は分からなかった。Lava a~dの噴出順序については分からなかったが、噴出源や時期が異なる可能性が考えられることから、それぞれにMy3-a、-b、-c、-dと名前をつけた。

以上のMy3の成因に関する考察を総合すると、My3は「噴出源や噴出時期の異なるいくつかの溶岩流を流出する噴火現象」により形成されたと考えられる。

5-4. My4

先に紹介したようにMy4は3つのグループに分けることができ、それぞれ堆積構造や粒度分布、粒子形状の特徴が異なる。これらはTable.3のようにまとめることができる。

My4全体に関して共通する特徴は、一部あるいは全体が赤色酸化を受けている堆積物であり、また、溶岩円頂丘の上に堆積している。似たような特徴を持つ堆積物が神津島において観察でき、その堆積物は[谷口 1982: 249-260]によるとスパイラル形成に伴う二次噴火堆積物であると報告されている。堆積物の特徴や周囲の環境が海という特

My4-a	無層理構造で、全体が赤色酸化 中央粒径が大きく、非常に淘汰が悪い 引き伸びた粒子が目立つ
My4-b	無層理構造で、上部が赤色酸化 中央粒径は中程度で、淘汰が悪い 引き伸びた粒子は目立たない
My4-c	成層構造が発達し全体が赤色酸化 中央粒径は小さく、淘汰が比較的良い 引き伸びた粒子は目立たない

Table.3. Summary of My4's character.

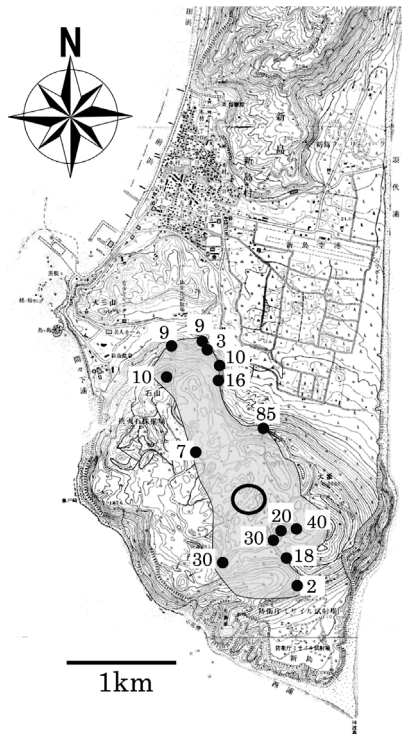


Fig.12. Numeral represented diameter of max lithic clast at the location. Circle represents expected vent of My4-b. Light gray area represents distribution of My4-b

徴、マグマの組成が両者とも流紋岩質マグマということから、My4も二次噴火による堆積物である可能性が考えられる。

また、それぞれの堆積構造と粒度分布の特徴を考えると、My4-a、My4-bは火砕性密度流によって、My4-cは火砕物降下あるいは火砕性密度流によって堆積したと考えられる。また、My4を堆積させたそれぞれの火砕性密度流を比較したときには、My4-aのほうが比較的高密度で火砕流に近い特徴を、My4-cのほうが比較的低密度で火砕サージに近い特徴を持っていたと考えられる。

堆積物が赤色酸化を受けている場合には、噴出源において元々酸化を受けた場合と堆積後に酸化を受けた場合に2種類が考えられる。前者の場合は、二次噴火に代表されるような、噴出源において酸化を受けた堆積物を再び破碎・移動させる過程が必要であり、後者の場合には、堆積後においても酸化を進行させるのに十分な熱量を持っていることが条件である。しかし、My4が二次噴火による堆積物である可能性が考えられることから、現時点ではMy4が上の二つのどちらであったかを判断する十分な証拠がない。

My4-bの露頭における最大粒径とその露頭に位置をFig.12に示す。My4-bの最大粒径は、Fig.2中の爆発火口(Explosion vent)に向かって大きくなっていく傾向が観察できることから、溶岩円頂丘上に観察できる爆発火口はMy4-bの噴出源であると考えられる。

以上のMy4の成因に関する考察を総合すると、My4は「My4-aは比較的高密度の火砕性密度流、My4-bは比較的低密度の火砕性密度流、My4-cは火砕物降下あるいは低密度の火砕性密度流、を伴う一次噴火あるいは二次噴火」により形成されたと考えられる。

#### 5.5. 東側海岸・西側海岸露頭の食い違い

先に述べたように、本研究では間々下浦(西側海岸)で見られる堆積物は向山火山886年噴火の堆積物であると考えられる。このときに、4-1露頭記載で述べた東側海岸と西側海岸露頭の特徴の食い違いと火砕丘西側が欠損していることについて考察する。

まず、東側と西側の総合柱状図を見比べたときに、西側下部において観察できるGrading and inverse grading layerやCross bedding layerは東側においても観察することができるが、それより上の層順にあたる非常に厚いMassive layerなどは東側の露頭では観察できない。つまり、西側海岸のMassive layer以上の堆積物はMy1堆積後のものであると考えられる。空中写真判読では火砕丘西側は溶岩に覆われてしまい確認は出来ないが、その下に火砕丘が存在するような特徴は観察できなかった。つまり、火砕丘西側はその生成過程、あるいは溶岩流出の時期に崩壊を起こしている可能性がある。

二つの考えをまとめると、西側のみ見られるような堆積物は火砕丘の崩壊に伴う堆積物、あるいは、火砕丘崩壊後の地形を埋めるように内部で噴出・堆積した堆積物であると考えられる。

### 5-6. 噴火推移

My1の中に見られた噴火規模が小さくなっていくことやMy1からMy2への噴火現象の変化は、My1の噴火により海が埋め立てられ、浅海から陸化することによりマグマと水の接触が少なくなっていたためだと考えられる。

以上の考察を総合して、向山火山886年噴火の噴火推移を推定すると以下ようになる(Fig. 13).

向山火山886年噴火は、新島南方で、当時は海中であった場所から噴火が開始した。噴火が開始すると、側方へ火砕性密度流を発生させるような爆発的な噴火(Fig.13-A)と溶岩ドームを形成するような穏やかな噴火(Fig.13-B)を繰り返し、My1を堆積させた。噴火の進行・My1の堆積に伴い、噴火環境が水中から陸上へと変化していき、それにより火砕性密度流の速度は減少し、やがて、鉛直方向へ火砕物を噴出する噴火形態へと移行し、My2を堆積した(Fig.13-C)。さらに噴火が進行すると、溶岩流を流出するようになり、My3を形成した(Fig.13-D)。そして、向山火山886年噴火の最終ステージとして、小規模な二次噴火によりMy4が堆積した(Fig.13-E)。

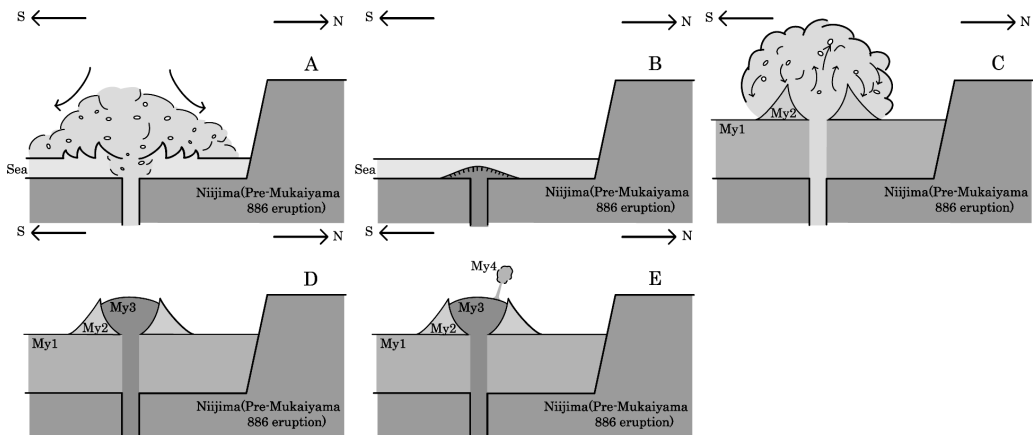


Fig.13. Eruption models of 886 Mukaiyama volcano based on this study. A); The eruption start in sea with pyroclastic density current. B); The eruption mode changed to effusive eruption and maked giant pumice. First stage of the eruption alternate A) and B), and deposited My1. C); After A)and B), the eruption mode change to pyroclastic fall and ballisticsand, deposited My2. D); After the pyroclastic cone formed, lava flow formed some lava domes(My3). E); Last stage of the eruption is the secondary eruption and deposited My4.

## 6. まとめ

本研究では新島向山火山886年噴火の堆積物を調査し、向山火山886年噴火の噴火推移について考察した。本研究で理解したことをまとめると以下ようになる。

My1：水中から噴火が始まり、高温の火砕性密度流を伴う爆発的な噴火と溶岩ドームを形成する非爆発的な噴火を繰り返し、噴火の進行とともに火砕性密度流の速度は減衰していった

My2：降下火砕物や弾道放出物により火砕丘を形成したが、西側火砕丘は崩壊した

My3：溶岩の噴出時期や噴出位置の違いにより、少なくとも4つの溶岩流が発生した

My4：溶岩流出後の二次噴火により形成された可能性があり、この活動は火砕性密度流や降下火砕物を伴ったが、その規模はMy1と比べると小規模であった

## 7. 謝 辞

本研究を進めるにあたり、東北大学東北アジア研究センター後藤章夫博士、宮本毅先生には多くの貴重な意見と助言を頂きました。特に宮本先生には現地調査に同行していただき、大変貴重なご指導を頂きました。東北大学の吉田武義教授には粗稿を読んでいただき、有益なご助言をいただきました。火山科学講座の先輩方には、日ごろより多くのご指導とご意見を頂きました。東北大学理学部の大山次男技官、伊藤嘉紀技官、川野部裕之技官には薄片作成法に対するご助言を頂き、作成に協力していただきました。東北大学理学部地球物質科学科の教官の方々にはご指導、議論していただきました。現地調査のときに、新島村役場の方々、島民の方々には親切にいただきました。

最後に、本研究を進めるにあたりお世話になりました方々に感謝いたします。

## 参考文献

Clough, B.J., J.V.Wright, G.P.L.Walker 1981

An unusual bed of giant pumice in Mexico, *Nature*, Vol. 289, 49-50.

Cas and Wright 1987

Three types of pyroclastic deposits and their eruption: an introduction, *Volcanic succession*, 95-126.

Fisher, R. V., 1979

Models for pyroclastic surges and pyroclastic flows, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 6, 305-318.

Inman, D.L. 1952

Measures for describing the size distribution of sediments, *Journal of Sedimentary Research*, 22, 125-145.

磯部一洋・中島礼2001

伊豆新島南部の火砕物から採取された貝化石と基盤岩, *地質調査所月報*, 52, 41-48.

一色直記 1973

伊豆新島向山火山の14C年代, *火山*, vol.18, 169-170.

一色直記 1987

新島地域の地質, *地域地質研究報告(5万分の1図幅)*.

伊藤順一 1993

伊豆新島向山火山西暦886年噴火 - 古文書記録との対比 -, 研究成果報告書, 文部省 科学研究費自然災害特別研究, 計画研究, 「火山災害の規模と特性」 (代表者 荒巻重雄),

- 125-134.
- 伊藤順一 1999  
伊豆, 新島および神津島における噴火災害の要因分析, 月刊 地球, Vol. 21, No 7, 417-423.
- Kano, K 2003  
Subaqueous Pumice Eruptions and Their Products: A Review, Explosive Subaqueous Volcanism, 213-229.
- 気象庁 2000  
日本の火山活動概況 (2000年5月~6月), 火山, 45, 255.
- 宮地良和 1965  
伊豆新島の火山地形, 地理学評論, 38, 643-657.
- 守屋以智雄 1983  
日本の火山地形, 東京大学出版会, 7-9.
- 佐々木龍男・勝井義雄 1981  
ガラスビーズを使った軽石の密度測定法, 火山, 26, 117-118.
- 谷口宏允 1982  
神津島面房溶岩内の珪長質スパイラルの形成過程, 火山, 27, 249-260.
- 徳永徹・横山勝三 1979  
伊豆新島向山火山の噴火様式と生成過程, 地理学評論, 52, 111-123.
- Valentine, G.A., and R.V. Fisher 2000  
Pyroclastic surges and blast, Encyclopedia of Volcanoes, 571-580.
- Walker, G.P.L 1971  
Grain-size characteristics of pyroclastic deposit, Journal of Geology, 1971, Vol. 79, 696-714.
- Wilson, C.J.N. and B.F.Houghton 2000  
Pyroclastic transportation and deposition, Encyclopedia of Volcanoes, 545-553.
- 横山勝三・徳永徹 1978  
伊豆新島向山火山のベースサージ堆積物, 火山, 23, 249-262.
- 吉田浩 1996  
伊豆諸島で9世紀にあいついで起こった噴火 - 神津島天上山テフラ、新島向山テフラ -, 第四紀露頭集 - 日本のテフラ -, 221.