

## 富士第5, 第6火山観測施設のボーリングコアの層序と岩石化学的特徴

宮地直道<sup>\*1</sup>・高橋正樹<sup>\*2</sup>・松田文彦<sup>\*3</sup>  
前澤有祐<sup>\*3</sup>・安井真也<sup>\*2</sup>・千葉達朗<sup>\*4</sup>・鶴川元雄<sup>\*5</sup>

### Stratigraphy and Petrological Features of the Borehole Core from the Fifth and Sixth Observation Sites of Fuji Volcano, Central Japan

Naomichi MIYAJI<sup>\*1</sup>, Masaki TAKAHASHI<sup>\*2</sup>, Fumihiko MATSUDA<sup>\*3</sup>,  
Yusuke MAEZAWA<sup>\*3</sup>, Maya YASUI<sup>\*2</sup>, Tatsuro CHIBA<sup>\*4</sup>, and Motoo UKAWA<sup>\*5</sup>

<sup>\*1</sup> *College of Humanities and Sciences, Nihon University, Japan*

*Visiting Researcher, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*

<sup>\*2</sup> *College of Humanities and Sciences, Nihon University, Japan*

<sup>\*3</sup> *Former College of Humanities and Sciences, Nihon University, Japan*

<sup>\*4</sup> *Asia Air Survey Co., LTD., Japan*

<sup>\*5</sup> *Director of Volcano Research Department,*

*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*

#### Abstract

Stratigraphical and petrochemical studies are carried out for the borehole core samples obtained from the fifth observation well (core No. 5) on the northwestern flank of Fuji volcano at 2,080 m in altitude and for those obtained by NIED from the sixth well (core No. 6) on the southern flank at 2,010 m in altitude. The No. 5 core samples consist of eight lava flows (L-5 I to VIII), one scoria cone deposit (T-5 I), three pyroclastic flow deposits (T-5 II to IV), nine lahar deposits, and four weathered tephra and soil layers. Lava layers L-5 I, II and tephra layers T-5 I to IV from the surface to 117 m in depth correspond to the deposits in the middle stage ejecta of Younger Fuji volcano at 5.6 to 2.7 ka; lava layers L-5 III to VIII from 117 to 210 m in depth are identified as deposits of older stage lava flows from 13 to 5.6 ka based on the stratigraphical and whole-rock chemistry data.

The No. 6 core samples consist of eight lava flows (L-6 I to VIII), five pyroclastic flow deposits (T-6 I to V), two welded pyroclastic deposits (W-6 I, II), fourteen lahar deposits, and five weathered tephra and soil layers. Lava layers L-6 I to VIII and tephra layers T-6 I to V from the surface to 110 m in depth are identified as deposits from the middle stage ejecta of the Younger Fuji volcano from 5.6 to 2.7 ka, and pyroclastic deposit layers W-6 I and II from 110 to 206 m in depth are identified as deposits from the later stage of Older Fuji volcano from 25 to 13 ka based on radiocarbon and whole-rock chemistry data. The eruptive center of the Older Fuji volcano, which made the proximal layers of W-6 I and II, may have existed near the No. 6 observation site within a radius of 1 km.

Three to five pyroclastic flow deposits from 5.6 to 2.7 ka are found in the No. 5 and 6 cores. The present data and previous works suggest that the pyroclastic flows in this period repeatedly dispersed from the northwestern to the southern flank of the volcano. Lahar started to deposit repeatedly on the northwestern slope of No. 5 observation site around 5.6 ka when the middle stage lava flows started to flow down and on the southern slope of No. 6 site around 8 ka at the latest when the small-scale tephra erupted repeatedly. Lahar was deposited mainly from 5.6 to 2.7 ka with the pyroclastic flows at both sites.

**Key words** : Borehole core, Fuji volcano, Lahar, Pyroclastic flow, Whole-rock chemistry

<sup>\*1</sup> 日本大学文理学部地球システム科学科, 独立行政法人 防災科学技術研究所 客員研究員

<sup>\*2</sup> 日本大学文理学部地球システム科学科 <sup>\*3</sup> 元日本大学文理学部地球システム科学科

<sup>\*4</sup> アジア航測株式会社

<sup>\*5</sup> 独立行政法人 防災科学技術研究所 火山防災研究部長

## 1. はじめに

富士火山は複数の火山体からなると考えられているものの、表層部は歴史時代まで続く火山活動に伴う火山噴出物に厚く覆われているため、地表調査からその詳細な構造を推定することは困難である。津屋(1968, 1971)は富士火山が小御岳火山、古富士火山、新富士火山の3つの火山から成るとした。これに対し、町田(1964)は小御岳火山を覆う富士火山を一体のものとし、富士火山を新期富士火山、古期富士火山Ⅰ期・Ⅱ期に区分した。山元ほか(2005)は富士火山の噴出物の詳細な年代測定を行い、町田(1964)の考えを支持するとともに、津屋(1968)の新富士火山活動初期に噴出した多量の溶岩(旧期溶岩)の噴出年代を17~8ka頃とした。上杉ほか(1983)は10ka頃に大きなテフラの斜交層準があるとし、それ以前を古富士火山期、それ以降を新富士火山期とした。宮地(1988)は11ka頃を境に規模の大きな溶岩が多量に噴出しはじめたことから、11ka以前を古富士火山、それ以降を新富士火山とした。

一方、マグマの岩石化学的性質は10~11kaより古い時代から変化する。富樫ほか(1991)は古富士火山と新富士火山を設定してその境界を11kaとした場合、大淵溶岩を噴出した古富士火山の末期の13ka頃(山元ほか, 2005では17ka頃)に既に新富士火山の特徴を持つマグマが活動を開始していたとした。高橋ほか(2003)もこれと同様の結論を得てY130テフラの18ka頃(上杉ほか, 1992)以前を古富士系マグマ、それ以降を新富士系マグマの活動期とした。ただし、高橋ほか(2003)は新富士、古富士火山を設定する場合、その境界は100ka頃から始まった古富士火山の降下テフラ累層のほぼ最上部にあたるY140テフラの13ka頃(上杉ほか, 1992)になるとした。さらに、山本ほか(2004)は津屋(1968)の旧期溶岩のうち、最下部の白糸溶岩Ⅰや猪之頭溶岩Ⅱは津屋の古富士火山の溶岩の岩石学的特徴を有するとし、旧期溶岩の噴出初期はまだ古富士火山のマグマが活動していたとした。そして、上杉(1998, 2003)は噴火活動様式の変化に加えてこのような岩石化学的特徴や鉱物学的特徴の変化も考慮し、14~6.2kaを古富士・新富士交代期とした。このように、富士火山の旧期溶岩のうち初期に噴出したものには新富士系と古富士系のマグマに由来するものが共存した可能性があるものの、旧期溶岩の多くは新富士系のマグマに由来すると思われる。また、100ka頃から始まった降下テフラの頻繁な噴出も13ka頃まで続いていた。このように17~13ka頃は多量の溶岩の噴出と降下テフラの頻繁な噴出が同時に発生していたと考えられる。

防災科学技術研究所では富士火山の地震活動や地殻変動観測のために火山観測施設の設置を進め、平成元年度から平成7年度までの間に富士山の山麓や山体斜面の4箇所に火山観測施設を整備した(鶴川, 2000; Ukawa, 2005)。すなわち、北麓の標高1,245mには富士鳴沢観測施設(FJN)を、東麓の標高917mには富士須走観測施設(FJS)を、南麓の標高1,060mには富士吉原観測施設(FJY)を、西麓の標高772mには富士広見観測施設(FJH)を設置

した(図1)。このうち富士須走を除く3箇所の観測施設では地表下約200mの観測孔掘削に際し、地表から観測孔の底部までのほぼ連続するボーリングコア試料が採取され、これらの試料の岩石化学的研究が行われた。その結果、多くのボーリングコアで新富士火山や古富士火山に由来すると考えられる噴出物が確認された(宮地ほか, 1995, 1998, 2001; 富樫ほか, 1997)。

さらに平成14年度には北西斜面に富士第5観測施設(FJ5)、平成15年度には南斜面に富士第6観測施設(FJ6)がそれぞれ設置された。そして、これらの観測施設でも観測孔設置に際して約200mの長さの連続するボーリングコア試料が得られた。そこで、本論ではこれら試料について行った岩石化学的検討結果などにに基づき、その層位学的位置づけを明らかにした。本研究の成果は富士火山の構造を明らかにする上での重要な資料となるだけでなく、今後の火山防災対策を策定する上での基礎的知見となる。

## 2. ボーリング地点の位置と地域概説

富士第5火山観測施設は標高2,080mの富士スバルライン沿いの北緯35°22'54", 東経138°41'55"に設置された(図1)。オールコアボーリングは約100mまでの深さの試料を採取するための地点5-1と、観測機器を設置し、かつ約100~200mまでの深さの試料を採取するための地点5-2の2箇所で行われた。地点5-1の東方約10mに地点5-2は位置する。その結果、地点5-1では0~110mまでの、地点5-2では100~200mまでのオールコアボーリング試料が得られた。

本地点は富士火山の北西-南東方向に分布する側火山列の分布域内に位置する。本地点と隣接する富士スバルラインの道路を挟み東側には、道路建設のために半壊したスコリア丘が存在する。このスコリア丘を構成するスコリア層は伊豆天城火山より3.1kaに噴出した(嶋田, 2000)カワゴ平軽石(KwP)に覆われる。本地点はこのスコリア丘から北西方向に続くスコリア丘の一部と考えられる微高地上に位置する。また、本地点の南方にあたる富士火山西側斜面には大沢崩れと呼ばれる崩壊地形が存在する。大沢崩れ周辺には大沢溶岩をはじめとする中期溶岩が分布し(津屋, 1968)、これを覆い火砕流堆積物や3.3ka頃の大沢スコリアなどの降下テフラが分布する(田島ほか, 2006)。

富士第6火山観測施設は標高2,010mの富士スカイライン(表富士周遊道)沿いの北緯35°19'37", 東経138°43'51"に設置された(図1)。ボーリングは約100mまでの深さの試料を採取するための地点6-1と、観測機器を設置し、かつ約100~200mまでの深さの試料を採取するための地点6-2の2箇所で行われた。地点6-1の南方約10mに地点6-2は位置する。その結果、地点6-1では0~110mまでの、地点6-2では100~200mまでのオールコアボーリング試料が得られた。

本地点は南方に高鉢山や西白塚などの側火山が分布するものの、主要な側火山列の分布域内ではない。本地点

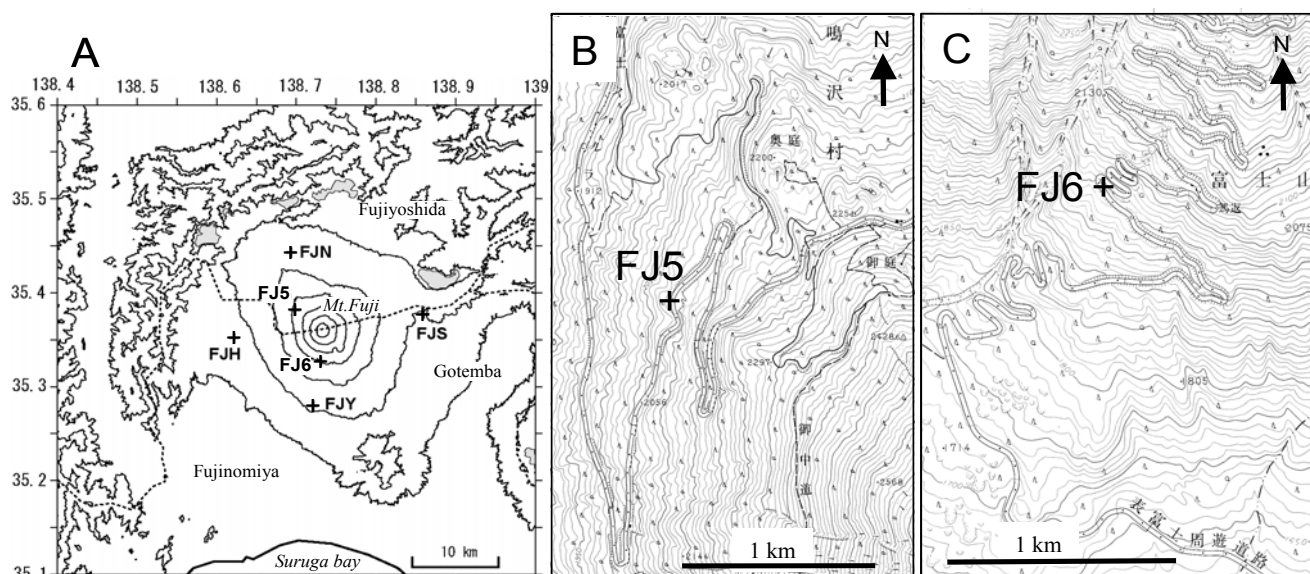


図1 位置図. A: 防災科学技術研究所の観測施設配置図, B: 富士第5観測施設位置図, C: 富士第6観測施設位置図 (国土地理院発行2.5万分の1地形図「富士山」「天母山」を使用).

Fig. 1 Location map. A: Distribution of observation sites of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, B: Location of the Fuji fifth observation site, C: Location of the Fuji sixth observation site. (Topographical maps of “Fujisan” and “Anmoyama” in 1:25,000 scale published by Geographical Survey Institute has been used.)

の南東約700mの表富士周遊道沿いの露頭には2.5ka頃のS18スコリア(泉ほか, 1977; 山元ほか, 2005)から6.3kaの鬼界アカホヤ火山灰に覆われる富士黒土層形成期の降下スコリアにかけて約7mの厚さの降下テフラ層や土壌層が分布する(宮地, 1988). さらにその東方には宝永火口西方から南南東方向に連なる10~11世紀の火口列が分布する(山元ほか, 2005).

### 3. 調査・分析方法

#### (1) 斑晶の最大平均粒径

ボーリングコア試料および岩石薄片より斑晶の最大平均粒径を求めた. 岩石薄片による最大平均粒径の計測は第6観測施設のコアについてのみ行った. ボーリングコア試料については長さ1mのコアに含まれる溶岩や溶岩レキの斑晶を大きい方から3個選び, それらの長径をノギスで計測して, その平均値を斑晶の最大平均粒径とした. なお, 溶岩や溶岩レキを含まない試料には斑晶が含まれていないため, 実際に計測したコアは第5観測施設のコアでは67点, 第6観測施設では86点であった(図2, 3). また, 各コアの中で最も粒径が大きな鉱物は斜長石であったため, ノギスで計測した斑晶はいずれも斜長石であった. 斑晶の識別は肉眼で行い, 集合斑晶ではなく単一の結晶粒を選別した.

岩石薄片についても薄片の中から斜長石とカンラン石の斑晶を大きな方から3個づつ選び, その平均値を斜長石の最大平均粒径とカンラン石の最大平均粒径とした. なお, 薄片により斑晶の粒径を計測した試料は82点であった.

#### (2) 粒度分析

火砕流堆積物とラハール堆積物を識別するために第5観測施設のコア試料について粒度分析を行なった. 粒度分析は乾式フルイを用い, 手フルイにより $-4.0\phi$ よりも細粒な堆積物の基質部分について $0.5\phi$ 間隔で行った. 粒度分析に用いた試料は火砕流堆積物と考えられる2試料(T11, T20)と, ラハール堆積物と考えられるコアの4試料(T10, T21, T24, T27)である.

#### (3) 斑晶量の計測

第6観測施設のコア試料について作成した岩石薄片のうち20試料について斑晶量を計測した. 斑晶量の計測にあたり直径 $300\mu$ 以上を斑晶とし, 1枚の薄片につき3,000点斑晶の有無を計測した.

#### (4) 全岩化学組成

第5観測施設のコア試料26点, 第6観測施設のコア試料63点について, 全岩主化学組成および微量元素組成を計測した. 分析は東京大学地震研究所のフィリップス社製蛍光X線分析装置(PW2400)を使用し, ガラスビード法により行った.

#### (5) 年代測定

第6観測施設のコア試料中の有機物を含む土壌層より3試料を採取しAMS法により放射性炭素年代を測定した. 年代測定は(株)パレオ・ラボに依頼した.  $^{14}\text{C}$ 年代を暦年代に較正するための年代の算出に, 試料番号PLD-2827, 2828はcalib v.4.3を, 試料番号PLD-3311にはOxCal v3.9をそれぞれ使用した.

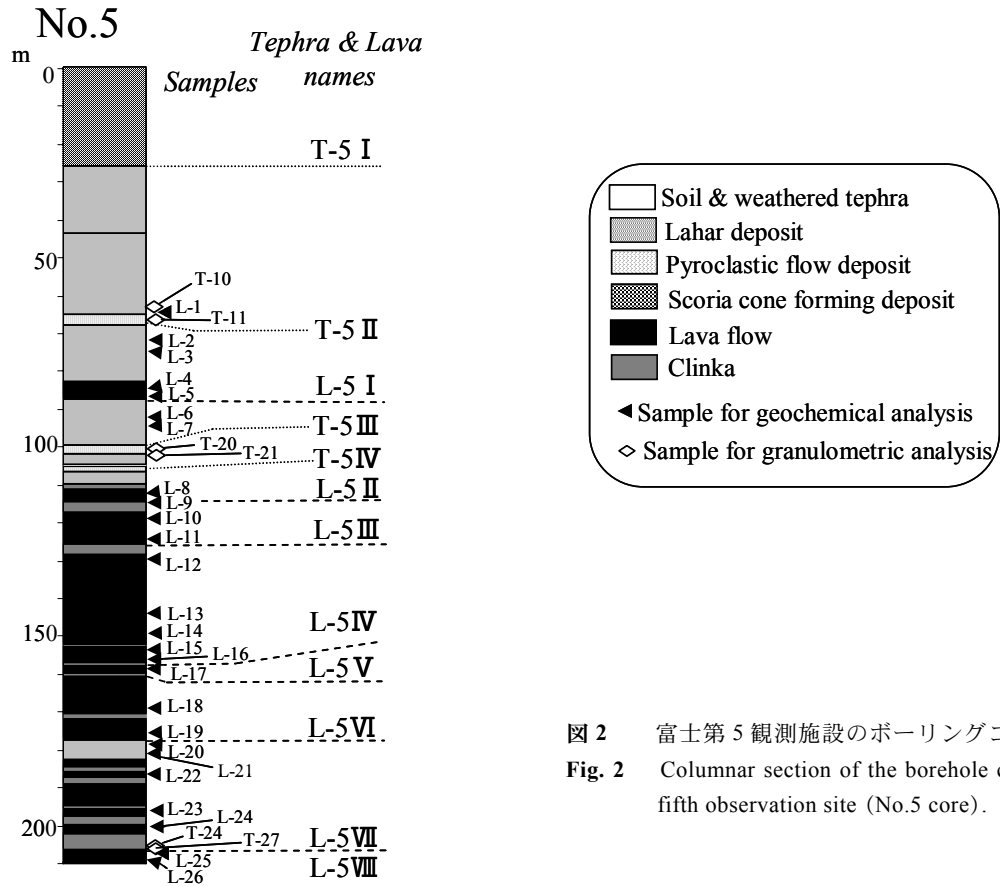


図 2 富士第 5 観測施設のボーリングコアの地質柱状図  
 Fig. 2 Columnar section of the borehole cores taken at the Fuji fifth observation site (No.5 core).

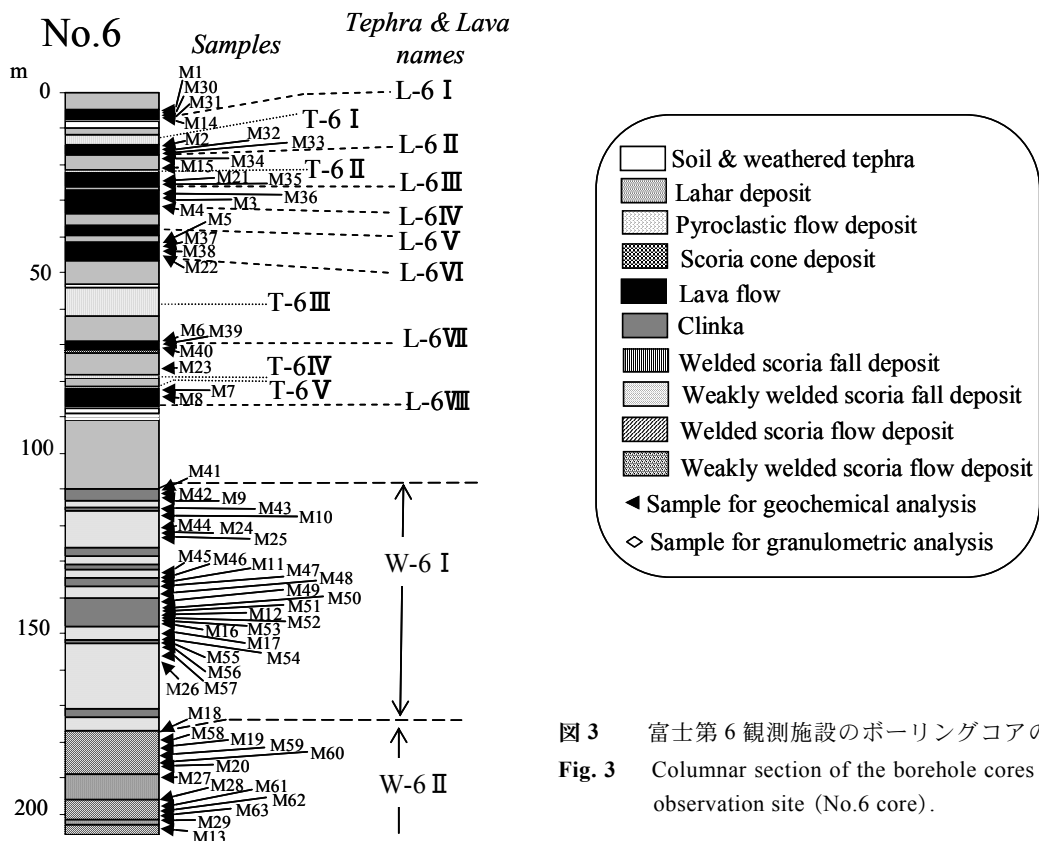


図 3 富士第 6 観測施設のボーリングコアの地質柱状図  
 Fig. 3 Columnar section of the borehole cores taken at the sixth observation site (No.6 core).

#### 4. 調査・分析結果

##### 4.1 富士第5火山観測施設のボーリングコアの特徴

###### 4.1.1 深度別岩相の特徴

第5, 第6観測施設のボーリングコアは主としてラハール堆積物, 火砕流堆積物, 溶岩よりなる。このうち, ラハール堆積物は火山噴出物が水に飽和した流れにより運搬され形成された堆積物の総称をいう (Fisher & Schmincke, 1984)。ラハール堆積物と火砕流堆積物はしばしば岩相が類似するものの, 以下の点で異なる。すなわち露頭観察結果より, 火砕流堆積物のほうがラハール堆積物に比べ基質は均質でシルトサイズの細粒粒子を多く含み, しばしば堆積物の最上部に高温酸化により形成されたと思われる赤色帯を随伴する。そこで, この点を考慮してボーリングコア中のラハール堆積物と火砕流堆積物を識別した。ただし, この基準で判断できない場合は両者の名称を併記した。

第5観測施設のボーリングコア (以下, 第5コア) のうち地点5-1で採取されたのは深度0~110mまで, 地点5-2で採取されたのは深度100~200mまでであった。ただし, 地点5-1では最深部の深度100.0~110mには上位から続くラハール堆積物などが認められたものの, 地点5-2では最上部の深度100.0~110mにはこれらの堆積物はなく, 地点5-1には無かった灰色溶岩が認められた。このため, 本論では地点5-1で確認された深度87.5~110mのラハール堆積物の下位に地点5-2の100m以深の溶岩が堆積していると仮定し, 地点5-2の100mを通算深度110mとして記述する。なお, 以下の記載で地層名の後の括弧内は通算深度を示す。また, 深度別の記述を行う場合, 薄いラハール堆積物層や風化火山灰層は下位の厚い溶岩や火砕流堆積物に加えた。この記述方法は第6観測施設のコアについても同様である。

第5コアはL-5 I~Ⅷの8層の溶岩層, T-5 Iのスコリア丘を構成する堆積物, T-5 II~IVの3層の火砕流堆積物, 9層のラハール堆積物と4層の風化火山灰層および土壌層よりなる。全体に上半部はラハール堆積物が, 下半部は溶岩流が主体を占める (図2)。以下に各層の特徴を記述する。

###### (1) 深度0~26.0m

比較的淘汰の良いスコリア層と火山灰混じりのやや淘汰の悪いスコリア層が3~6m単位の互層をなす【T-5 I】。スコリアはいずれも赤紫色でやや角がとれ, 直径は6~20mmで気泡に富む。火山灰もスコリアと同質で中粒砂~粗粒砂サイズである。これらのスコリアはボーリング地点東方に隣接するスコリア丘を構成するスコリアと同一であることから, 本層はスコリア丘を構成する転動堆積物の一部と考えられる。

###### (2) 深度26.0~64.4m

黒灰色~褐灰色 (深度26.0~48.5m), 赤褐色 (深度48.5~59.9m), 褐灰色 (深度59.9~64.4m) のラハール堆積物よりなる。このうち黒灰色~褐灰色のラハール堆積物は中粒砂または粗粒砂を主とし, 直径4~6mmのスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な堆積物で, 層厚

が0.5~4mの複数のフローユニットよりなる。深度42.5~43.0mは中粒~細粒砂を主とし, 気泡に富む直径6~12mmのスコリアを含む灰色の堆積物で, 火砕流堆積物の可能性もある。また, 深度43.8~44.0mには褐灰色の風化火山灰層が挟在する。赤褐色のラハール堆積物は中粒砂を主とし, 直径2~6mmのスコリアを含む不淘汰な堆積物である。褐灰色のラハール堆積物は中粒砂を主とし, 直径6~15mmの溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。

###### (3) 深度64.4~68.0m

灰色~褐灰色のラハール堆積物 (深度64.4~65.5m) と火砕流堆積物【T-5 II】 (深度65.5~68.0m) よりなる。このうちラハール堆積物は中粒~細粒砂を主とし直径2~6mmのスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。粒子は下位の火砕流堆積物と類似することから, 火砕流堆積物起源のラハール堆積物である可能性が高い。火砕流堆積物も中粒~細粒砂を主とするものの, 上位のラハール堆積物に比べ細粒な粒子が多い。本層は直径4~10mmのスコリアや溶岩レキ, 直径0.1~1.0mの斑晶に富む溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。なお, 深度67.2~67.3mは淘汰の良い中粒~細粒砂よりなり, 火砕サージ堆積物である可能性がある。

###### (4) 深度68.0~83.0m

中粒砂~細粒砂を主とし, 直径2~6mm, 0.3~1.0mの溶岩レキを含む不淘汰な黒灰色~暗褐色のラハール堆積物よりなる。このうち深度75.0~75.7m, 77.0~78.0mの堆積物中には厚さ2~3mmの弱いラミナが認められる。本層は層厚が0.5~2mの複数のフローユニットよりなる。

###### (5) 深度83.0~87.5m

緻密で主として直径0.5mm程度の斑晶を少量含む灰色溶岩【L-5 I】よりなる。ボーリングコアは30~50mmの厚さで板状に割れる。

###### (6) 深度87.5~100.0m

中~細粒砂を主とし, 直径2~4mmの灰色~黒灰色の溶岩レキや直径0.3~1mの斑晶に富み灰色溶岩レキを含む不淘汰なラハール堆積物よりなる。本層は層厚が1~5mの複数のフローユニットからなる。

###### (7) 深度100.0~102.0m

中粒~細粒砂を主とし直径2~4mmの溶岩片を含む灰色の火砕流堆積物【T-5 III】よりなる。最上部の0.6mは赤紫灰色を呈する。

###### (8) 深度102.0~105.0m

中粒砂を主とし, 直径2~6mm, 最大約1.0mの溶岩レキを含む不淘汰な黒灰色のラハール堆積物よりなる。深度102.4~102.8mには厚さ2~3mmの明瞭なラミナが認められる。

###### (9) 深度105.0~106.6m

褐色の風化火山灰層 (深度105.0~105.2m) と灰色の火砕流堆積物【T-5 IV】 (深度105.2~106.6m) よりなる。風化火山灰層は最下部5cmに直径2~4mmの気泡に富む黒褐色スコリアを多数含む。火砕流堆積物

は中粒～細粒砂を主とし直径2～6mm, 0.1～0.3mの溶岩レキを含む。最上部の40cmは暗灰色を呈し細粒砂が主体をなす。

(10) 深度 106.6～110.0m

褐色の風化火山灰層(深度106.6～107.0m)と暗灰色のラハール堆積物(深度107.0～110.0m)よりなる。ラハール堆積物は細粒砂を主とし、直径2～10mmの溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。

(11) 深度 110.0～117.3m (地点 5-2 コア: 深度 100.0～107.3m)

つぶれた気泡を有し、直径1～4mmの斑晶を少し含む多孔質で暗灰色の溶岩【L-5Ⅱ】よりなる。溶岩の上面にあたる深度110.0～111.5mと下面にあたる深度114.7～117.3mにはクリンカが認められる。

(12) 深度 117.3～128.1m (地点 5-2 コア: 深度 107.3～118.1m)

褐色の風化火山灰層(深度117.3～117.6m)と暗灰色の溶岩【L-5Ⅲ】(深度117.6～128.1m)よりなる。風化火山灰層は最下部7cmに降下スコリアと思われる直径2～3mmで気泡に富みやや丸い黒褐色スコリアを多数含む。溶岩はつぶれたり扁平な直径5～10mmの気泡を含み多孔質で、直径5～10mmの長柱状の斑晶を多数含む。深度125.4～128.1mには赤褐色のクリンカが認められる。

(13) 深度 128.1～152.3m (地点 5-2 コア: 深度 118.1～142.3m)

暗褐色のラハール堆積物(深度128.1～128.5m)と灰色溶岩【L-5Ⅳ】(深度128.5～152.3m)よりなる。このうちラハール堆積物は中粒砂を主とし、直径2～6mmの溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。溶岩はつぶれたり扁平な直径5～10mmの気泡を含み多孔質で、直径5～10mmの長柱状の斑晶を多数含む。

(14) 深度 152.3～156.6m (地点 5-2 コア: 深度 142.3～146.6m)

黒色のラハール堆積物(深度152.3～152.6m)と灰色溶岩【L-5Ⅴ】(深度152.6～156.6m)よりなる。このうちラハール堆積物は中粒砂を主とし、直径20～60mmの溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。溶岩はつぶれた気泡を含み緻密で、直径5～10mmの長柱状の斑晶を多数含む。

(15) 深度 156.6～177.5m (地点 5-2 コア: 深度 146.6～167.5m)

丸～扁平な直径4～10mmの気泡を含み多孔質で、直径5～10mmの長柱状の斑晶を多数含む暗灰色の溶岩【L-5Ⅵ】よりなる。溶岩は層厚1～2mの緻密な部分と層厚0.2～0.5mのクリンカが互層をなす。

(16) 深度 177.5～182.6m (地点 5-2 コア: 深度 167.5～172.6m)

赤褐色(深度177.5～178.4m)と黒色(深度178.4～182.6m)のラハール堆積物よりなる。このうち赤褐色のラハール堆積物は中粒砂を主とし、直径6～12mmのスコリアを含む。黒色のラハール堆積物は中粒砂を

主とし、直径2～10mmのスコリアや溶岩レキ、直径0.8～1.0mの暗灰色～灰色の溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。

(17) 深度 182.6～206.4m (地点 5-2 コア: 深度 172.6～196.4m)

つぶれた直径5～10mmの大きな気泡を有し、直径1mm以下の斑晶を含む暗灰色溶岩【L-5Ⅶ】よりなる。溶岩は層厚1～5mの緻密な部分と層厚0.2～0.5mのクリンカが互層をなす。

(18) 深度 206.4～210.0m (地点 5-2 コア: 深度 196.4～200.0m)

つぶれた直径5～10mmの大きな気泡を有し、直径1mm以下の斑晶を含む多孔質な暗灰色溶岩【L-5Ⅷ】よりなる。ボーリングコアは100mm程度の大きさにブロック状に割れる。

4.1.2 粒度分析結果

火砕流堆積物と判断した試料はラハール堆積物と判断した試料に比べ、粒度組成に複数のモードが認められ、+4.0φ(62μ)以下の細粒物質に富む傾向が認められた。特に、ラハール堆積物は-4.0～-1.0φにモードを有するのに対し、火砕流堆積物はこれらの粒径だけでなく、よ

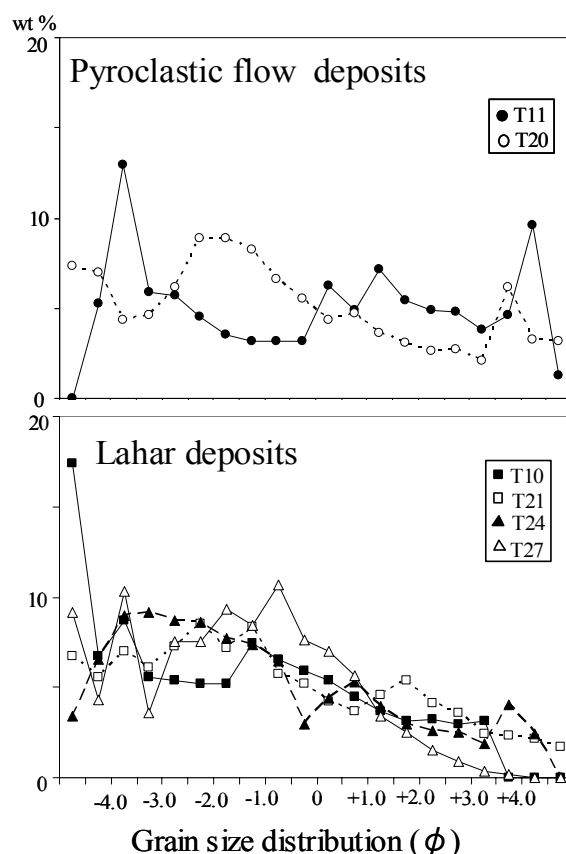


図4 第5コア試料中の火砕流およびラハール堆積物の粒度分布

Fig. 4 Grain size distribution for the pyroclastic flow and lahar deposits of the No.5 core samples.

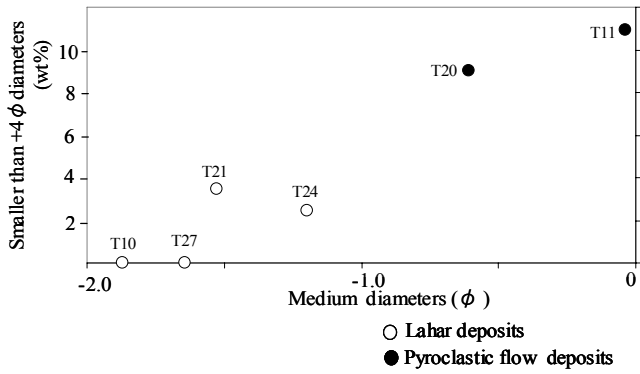


図5 第5コア試料中の火砕流およびラハール堆積物の基質部分の平均粒径と+4φ以下の細粒物質の割合。

Fig. 5 Relation between medium diameters and percentage of smaller than +4 φ (62μ) size for the matrix of pyroclastic flow and lahar deposits of the No.5 core samples.5

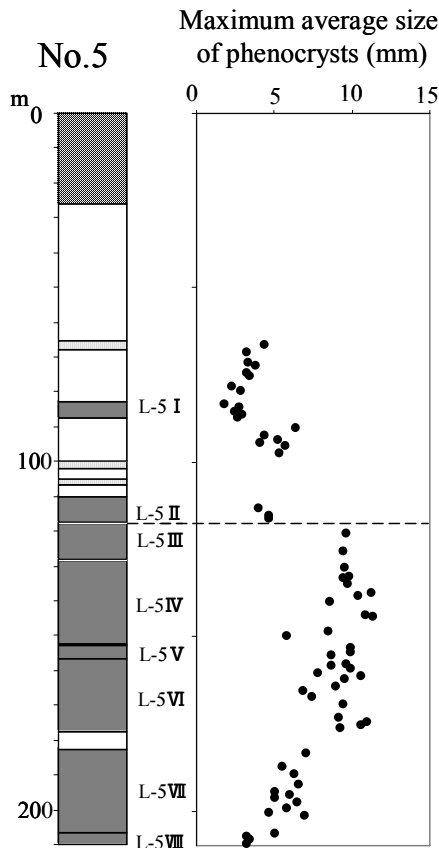


図6 第5コア試料中の斑晶(斜長石)の最大平均粒径の深度別変化。斑晶の最大平均粒径はノギスを用いて測定した。

Fig. 6 Vertical variation of maximum average diameters of phenocrysts (plagioclase) of the No.5 core samples. Maximum average diameters of phenocrysts were measured by the calipers.

り細粒な+1.0~+2.0φや+4.0φ付近にもモードを有する(図4)。また,+4.0φ以下の粒子が占める割合は,粒度分析を行った試料のうち火砕流堆積物と判断した2試料は9~10%で,ラハール堆積物と判断した4試料の0~4%に比べ高い値を示した(図5)。

#### 4.1.3 斑晶の最大平均粒径

第5コア中の斑晶の最大平均粒径はコアの中部で粗粒化する変化傾向が認められる。すなわち斑晶の最大平均粒径は深度65~87mまでは約4mmから2mmへと若干細粒化するものの,深度87~117mでは4~6mmと粗粒になる。さらに深度120~177mまでは粒径の集中は悪いものの概ね8~12mmとさらに粗粒になる。これに対し深度177~206mでは5~7mmと細粒になり,深度206~210mでは約3mmとさらに細粒になる。なお,最大粒径として測定した斑晶はいずれも斜長石であった(図6)。

#### 4.1.4 記載岩石学的特徴

ボーリングコアは全て斑状の玄武岩からなるが,斑晶は斜長石が大部分を占め,カンラン石がこれに次ぐ。輝石を含むものは少なく,深度84m付近および210m付近の溶岩にみられるにすぎない。また,深度67~90m付近および深度130~160m付近にみられる溶岩はカンラン石斑晶に富む。斜長石斑晶には清澄なものと同濁状のものが含まれるが,深度130~160m付近の溶岩は汚濁状のものに富む。ほとんど全ての溶岩は斜長石からなる集合斑晶を含むが,カンラン石と輝石からなる集合斑晶もまれに認められる。

#### 4.1.5 全岩化学組成

第5コアの全岩化学組成は深度117mまで(L-5 I, II)と,それ以深(L-5 III~VIII)で変化傾向が異なる。すなわちSiO<sub>2</sub>量, K<sub>2</sub>O量, Zr/Y比およびRb/Y比は117mまではともに上昇するものの,117m以深ではSiO<sub>2</sub>量はほぼ一定で, K<sub>2</sub>O量は変動幅が大きく明瞭な変化傾向は認められない。また, FeO\*/MgO比も117mまでは増加傾向にあり,深度100m以下では2.4~2.8と高く,次第に分化した溶岩が噴出したと思われる。ただし,深度210m付近ではこの値は減少し未分化になる。Zr/Y比やRb/Y比も117mまでではともに上昇するものの,117m以深では漸減する(表1, 図7)。

### 4.2 富士第6火山観測井のボーリングコアの特徴

#### 4.2.1 深度別岩相の特徴

第6観測施設のボーリングコアのうち地点6-1で採取されたのは0~110mまで,地点6-2で採取されたのは100~200mまでであった。ただし,後述するように,地点6-1では100~110mには上位から続くラハール堆積物などが認められたものの,地点6-2ではこのラハール堆積物は104mまで認められた。このため,本論では地点6-2の深度104mが地点6-1の深度110mに相当すると仮定し,地点6-2の深度100mを通算深度106mとして記述する。この結果,地点6-2の最深部である深度200mは通算深度206mとなる。

第6観測施設のボーリングコア(以下,第6コア)ではL-6 I~VIIIの8層の溶岩層,T-6 I~Vの5層の火砕流

表 1 第 5 コアの主成分、微量成分の化学組成

Table 1 Major and trace element chemistry of the No.5 borehole core samples.

Sample Number	Depth (m)	Total Depth(m)	Major elements (wt%)											Total	FeO*/MgO	Trace elements (ppm)														Rb/Y	Zr/Y
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ba			Co	Cr	Cu	Nb	Sc	V	Ni	Zn	Rb	Zr	Sr	Y				
L01	66.5	66.5	51.1	1.23	18.0	10.0	0.17	5.54	10.4	2.63	0.65	0.25	100	1.81	191	35	97	164	1.7	33	327	47	87	12	73	380	22	0.53	3.3		
L02	71.6	71.6	50.9	1.24	17.6	10.2	0.17	5.97	10.3	2.63	0.66	0.26	100	1.72	198	35	108	155	1.5	34	331	56	88	12	75	371	23	0.53	3.3		
L03	74.6	74.6	50.5	1.24	17.9	10.4	0.17	5.87	10.4	2.53	0.66	0.26	100	1.77	190	37	103	187	1.7	33	322	56	89	12	76	366	23	0.55	3.4		
L04	84.4	84.4	51.1	1.44	16.4	11.1	0.19	6.06	10.0	2.61	0.78	0.32	100	1.83	234	39	114	226	2.6	31	355	55	97	15	90	356	26	0.55	3.4		
L05	87.4	87.4	50.9	1.44	16.3	11.2	0.19	6.27	10.0	2.59	0.77	0.31	100	1.78	233	40	115	222	2.6	31	354	58	98	15	89	353	26	0.58	3.5		
L06	92.6	92.6	51.5	1.47	19.0	10.1	0.16	3.66	9.9	3.01	0.87	0.34	100	2.75	271	30	21	223	2.3	28	326	23	93	17	98	419	28	0.60	3.5		
L07	95.5	95.5	51.7	1.52	17.9	10.4	0.17	4.30	9.8	2.98	0.88	0.35	100	2.42	264	31	46	236	2.9	30	340	32	96	17	100	392	28	0.60	3.6		
L08	102.1	112.1	51.8	1.63	17.4	11.1	0.18	4.18	9.2	3.14	0.94	0.37	100	2.67	304	32	30	243	3.0	30	360	29	100	17	104	391	30	0.58	3.5		
L09	107.0	117.0	52.0	1.65	17.3	11.0	0.18	4.23	9.1	3.12	0.95	0.38	100	2.61	298	33	29	244	3.3	28	368	28	102	18	109	389	31	0.58	3.6		
L10	109.7	119.7	50.9	1.52	18.8	10.5	0.17	3.82	10.3	2.94	0.86	0.33	100	2.73	264	31	43	251	1.8	29	356	31	91	16	93	403	27	0.60	3.4		
L11	15.5	125.5	50.9	1.58	18.3	10.8	0.17	3.95	10.1	2.97	0.88	0.34	100	2.74	304	31	42	233	2.5	29	370	32	96	16	97	395	29	0.55	3.4		
L12	20.0	130.0	50.4	1.35	19.2	10.0	0.16	4.25	10.9	2.74	0.74	0.28	100	2.34	227	31	55	282	1.5	27	323	31	82	13	79	406	24	0.54	3.2		
L13	34.0	144.0	50.9	1.46	18.1	10.6	0.18	4.46	10.5	2.75	0.79	0.30	100	2.37	253	32	52	212	1.9	29	364	28	92	16	86	392	27	0.59	3.2		
L14	39.0	149.0	50.8	1.43	18.5	10.3	0.17	4.31	10.7	2.79	0.78	0.30	100	2.38	234	32	49	247	1.7	33	344	28	88	15	84	397	26	0.58	3.2		
L15	42.0	152.0	50.8	1.48	18.0	10.6	0.18	4.47	10.5	2.80	0.82	0.31	100	2.38	243	33	51	245	2.2	34	365	28	92	15	88	389	27	0.56	3.3		
L16	45.2	155.2	50.6	1.47	18.0	10.8	0.18	4.54	10.5	2.84	0.80	0.31	100	2.38	230	32	55	237	2.1	32	368	28	92	15	88	388	26	0.56	3.4		
L17	48.0	158.0	50.6	1.41	18.5	10.4	0.17	4.44	10.7	2.75	0.77	0.30	100	2.34	243	32	56	251	1.6	31	352	30	88	14	83	397	26	0.55	3.2		
L18	59.0	169.0	50.9	1.46	19.0	10.2	0.16	3.87	10.3	2.99	0.82	0.31	100	2.63	251	33	42	238	1.5	28	337	34	91	15	90	421	26	0.59	3.4		
L19	67.0	177.0	50.7	1.16	21.5	8.4	0.13	3.07	11.1	3.06	0.66	0.24	100	2.73	219	25	35	188	0.7	20	273	28	72	12	71	467	21	0.59	3.4		
L20	69.2	179.2	51.2	1.57	18.5	11.1	0.18	3.59	9.9	2.88	0.88	0.32	100	3.08	256	32	29	203	2.0	29	357	23	100	16	94	390	29	0.56	3.2		
L21	70.8	180.8	50.7	1.66	18.1	11.4	0.18	3.80	9.9	2.95	0.94	0.36	100	2.99	282	33	39	238	2.9	29	377	29	103	17	100	402	31	0.55	3.2		
L22	77.0	187.0	50.8	1.74	17.0	12.4	0.19	4.25	9.2	3.03	0.94	0.36	100	2.93	280	35	31	281	2.5	27	405	34	108	17	100	400	31	0.55	3.2		
L23	85.0	195.0	50.7	1.65	17.8	11.8	0.18	4.00	9.6	3.03	0.87	0.34	100	2.95	267	34	34	244	2.1	31	399	34	105	15	94	417	29	0.51	3.2		
L24	90.6	200.6	51.0	1.76	16.9	12.3	0.20	4.29	9.2	3.03	0.94	0.36	100	2.87	287	38	34	272	2.9	31	410	36	112	18	100	397	32	0.56	3.2		
L25	97.0	207.0	50.9	1.44	16.5	11.5	0.19	6.17	9.7	2.57	0.73	0.29	100	1.87	216	37	89	219	2.1	33	385	53	99	14	82	371	26	0.54	3.1		
L26	99.9	209.9	50.9	1.40	16.8	11.3	0.19	6.03	9.8	2.60	0.71	0.28	100	1.87	208	39	94	211	1.7	34	360	52	96	14	79	377	25	0.54	3.2		



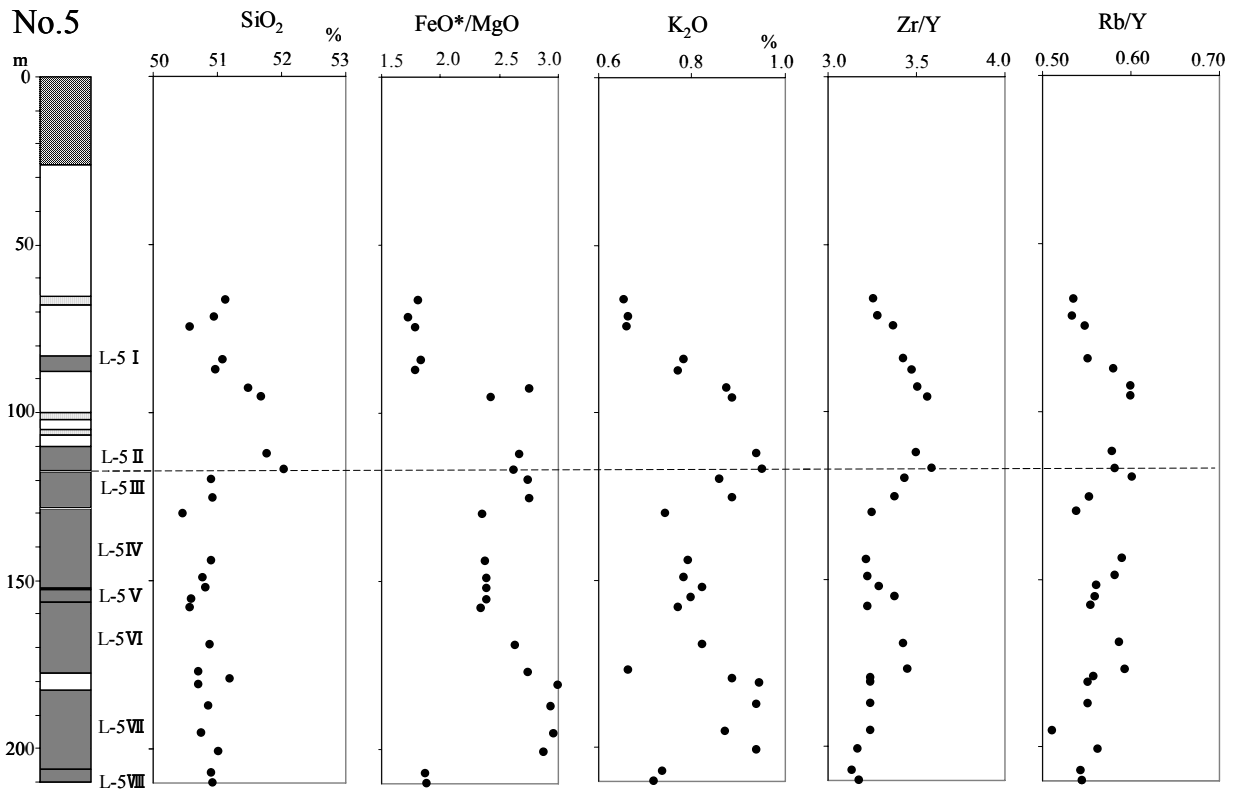


図7 第5コア試料の深度別全岩化学組成の変化

Fig. 7 Vertical variation of whole-rock chemistry of the No.5 borehole core samples.

堆積物, W-6 I・IIの2層の溶結火砕物層とこれらの上に認められる14層のラハール堆積物と5層の風化火山灰層および土壌層よりなる。全体に上半部は溶岩が, 下半部は溶結した火砕物が主体を占める(図3)。以下に各層の特徴を記述する。

(1) 深度 0~4.7m

中粒砂を主とし, 直径4~6mm, 最大約0.1mの溶岩レキを含む不淘汰な黒灰色のラハール堆積物よりなる。

(2) 深度 4.7~7.6m

つぶれた気泡を有し, 直径1~2mmの斑晶を少し含む緻密で暗灰色の溶岩【L-6 I】よりなる。ボーリングコアは10~20mmの厚さで板状に割れる。

(3) 深度 7.6~14.5m

明褐色の風化火山灰層(深度7.6~8.0m), 暗褐色の土壌層(深度8.0~10.0m), ラハール堆積物(深度10.0~11.5m), 火砕流堆積物【T-6 I】(深度11.5~14.5m)よりなる。このうちラハール堆積物は中粒砂を主とし直径4~6mmのスコリアおよび溶岩レキを含む不淘汰な堆積物である。火砕流堆積物は中粒~細粒砂を主とし直径10~20mmの気泡に富むスコリアを含み最上部の0.5mが赤褐色を呈する(図8)。

(4) 深度 14.5~17.0m

球形ないしつぶれた気泡を有し, 直径1~2mmの斑晶を少し含む灰色の溶岩【L-6 II】よりなる。

(5) 深度 17.0~22.0m

黒灰色~赤灰色のラハール堆積物(深度17.0~21.3m)と火砕流堆積物【T-6 II】(深度21.3~22.0m)よりなる。このうちラハール堆積物は中粒砂を主とし, 直径10~20mmのスコリアや溶岩レキを含む。ただし, 深度19.2~20.0mの赤灰色の堆積物は細砂~シルトサイズの粒子を含み火砕流堆積物である可能性もある。火砕流堆積物は中粒~細粒砂を主とし, 直径10~20mmの垂角レキを含み最上部の0.2mが赤紫色を呈する。

(6) 深度 22.0~26.0m

つぶれた気泡を有し, 直径1~2mmの斑晶を少し含む緻密な灰色の溶岩【L-6 III】よりなる。ボーリングコアは30~150mmの厚さで板状に割れる。

(7) 深度 26.0~27.0m

中粒砂~細粒砂を主とし, 直径10~30mmのスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な灰色のラハール堆積物あるいは火砕流堆積物よりなる。

(8) 深度 27.0~33.6m

つぶれた気泡を有し, 直径1~2mmの斑晶を含む緻密な灰色溶岩【L-6 IV】よりなる。



図8 第6コア中の火砕流堆積物 A: 最上部の高温酸化部, B: スコリアや岩片を含む火砕流本体部

Fig. 8 Pyroclastic flow deposits of the No.6 borehole core samples. A: Oxidation at high temperature part on the upper part of pyroclastic flow, B: Main body part of pyroclastic flow containing scorias and lithic fragments.

(9) 深度 33.6~37.0m

中粒砂を主とし、直径 4~6mm, 8~12mm のスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な黒灰色 (33.6~34.6m) および赤紫色 (深度 34.6~37.0m) のラハール堆積物よりなる。

(10) 深度 37.0~39.5m

直径 1~2mm の斑晶を含む緻密な灰色溶岩【L-6V】よりなる。ボーリングコアは 30~150mm の厚さで板状に割れる。

(11) 深度 39.5~41.4m

中粒砂を主とし、直径 2~6mm のスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な黒灰色 (深度 39.5~39.6m, 41.0~41.4m) および赤紫色 (深度 39.6~41.0m) のラハール堆積物よりなる。

(12) 深度 41.4~46.5m

直径 1~2mm の斑晶を含む緻密な灰色溶岩【L-6VI】

よりなる。ボーリングコアは 20~100mm の厚さで板状に割れる。

(13) 深度 46.5~53.0m

全体に中粒砂を主とし、直径 4~8mm, 10~15mm のスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な紫灰色 (深度 46.5~46.7m), 褐色 (深度 46.7~48.0m), 灰色 (深度 48.0~51.0m), 黒灰色 (深度 51.0~53.0m) のラハール堆積物よりなる。灰色のラハール堆積物には細粒砂が多くレキは乏しく厚さ 2~3mm の弱いラミナが認められる。

(14) 深度 53.0~62.0m

褐色の風化火山灰層 (深度 53.0~53.8m) と灰色の火砕流堆積物【T-6III】 (深度 53.8~62.0m) よりなる。風化火山灰層のうち深度 53.2~53.3m は腐植を含む暗褐色の土壌である。火砕流堆積物は細粒砂を主とし直径 4~6mm, 10~20mm の亜角レキを含む。また、火砕流堆積物の最上部にあたる深度 53.8~53.9m は淘汰の良い極細粒砂を主体とする。

(15) 深度 62.0~68.7m

中粒砂を主とし、直径 4~6mm, 10~20mm のスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な黒灰色 (深度 62.0~65.0m, 66.0~68.7m), 黄灰色 (深度 65.0~66.0m) のラハール堆積物よりなる。

(16) 深度 68.7~72.3m

直径 1~2mm の斑晶を含む緻密な灰色溶岩【L-6VII】よりなる。ボーリングコアは 20~100mm の厚さで板状に割れる。最下部 (深度 71.2~72.3m) は褐灰色でレキ状を呈することからクリンカである可能性が高い。

(17) 深度 72.3~82.0m

中粒砂を主とし、直径 4~6mm, 0.10~1.0m のスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な紫灰色 (深度 72.3~78.2m), 黄灰色 (深度 79.3~80.7m), 褐色 (深度 80.7~81.3m) のラハール堆積物と灰色の火砕流堆積物 (深度 78.2~79.3m【T-6IV】, 81.3~82.0m【T-6V】) よりなる。2層準で確認された火砕流堆積物はいずれも中粒~細粒砂を主とし直径 10~20mm の亜角レキを含み、上位の T-6IVは最上部の 0.2m が赤紫色を呈する。

(18) 深度 82.0~87.0m

直径 1~5mm の斑晶に富む緻密な灰色溶岩【L-6VIII】よりなる。

(19) 深度 87.0~110m

中粒砂を主とし、直径 4~6mm のスコリアや溶岩レキを含む不淘汰な黒灰色 (深度 87.0~87.5m, 89.0~89.5m, 90.0~90.4m, 91.0~91.4m, 99.0~101.0m), 中粒砂および細粒砂を主とする褐灰色 (90.6~91.0m, 96.9~99.0m) および紫灰~灰白色 (91.4~96.9m, 101.0~110.0m) のラハール堆積物および褐色の風化火山灰層 (深度 87.5~89.0m, 89.5~90.0m, 90.4~90.6m) の互層からなる。深度 87.5~87.6m は腐植を含む暗灰色の土壌である。

(20) 深度 110.0~171.0m (地点 6-2 コア: 深度 104.0~165.0m)

降下スコリア起源の溶結スコリアとその火砕成溶岩よ

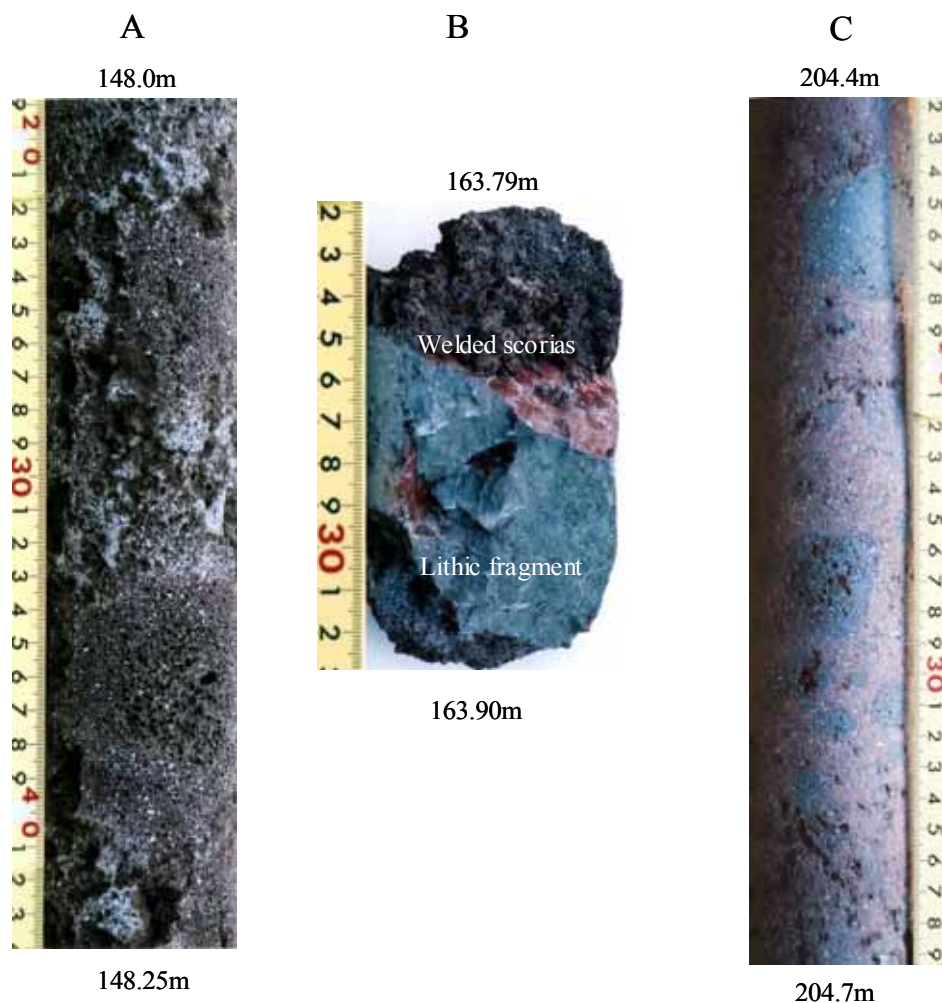


図9 第6コア中の溶結火砕物

A : 弱溶結した直径 50~100mm の降下火砕堆積物, B : 岩片に付着し弱溶結した平均直径約 5mm の降下火砕堆積物, C : 角がとれたスコリアを多数含む溶結した火砕堆積物. コアの深度は観測井設置の際に得られた 2 本のコアをつなぎ合わせて計算した地表からの積算深度.

Fig. 9 Welded pyroclastic deposit of the No.6 borehole core samples.

A : Weakly welded pyroclastic fall deposits consisting of scoria particles of 50 to 100 mm in diameters. B : Weakly welded pyroclastic fall deposits adhered to the lithic fragments consisting of scoria particles of 5 mm in average diameters. C : Welded pyroclastic deposits containing abundant rounded scoria particles. Depth of cores is calculated from the surface by combining two borehole cores obtained from No.6 observation site.

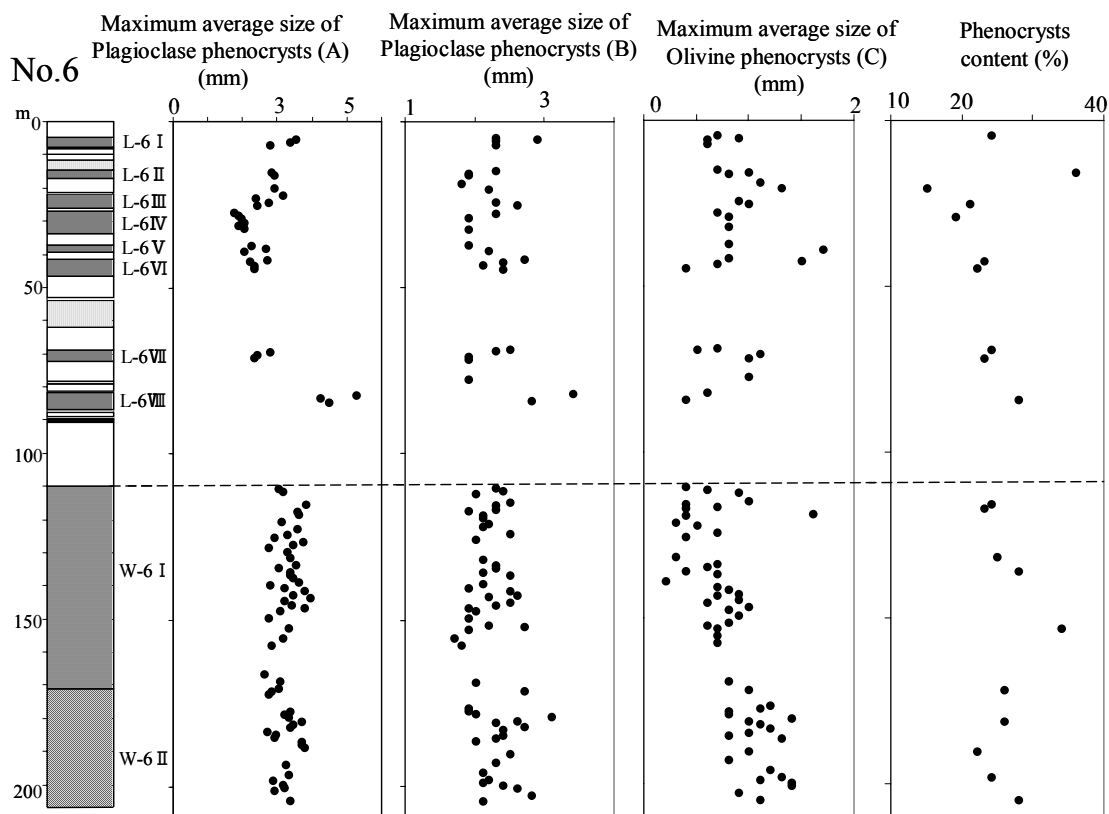


図10 第6コア試料中の斑晶の最大平均粒径の深度別変化。  
斑晶の最大平均粒径を(A)はノギスにて計測し(B),(C)は偏光顕微鏡下でマイクロメーターにて計測した。

Fig. 10 Vertical variation of maximum average diameters of phenocrysts of the No.6 core samples.  
Maximum average diameters of phenocrysts were measured by the calipers(A), and the micrometer on polarization-microscope (B and C).

りなる【W-6 I】。スコリア同士が結合せずに単独の粒子として存在する非溶結部、スコリアの形状が識別できるものの空隙がほとんど認められない弱溶結部、スコリアの原形が判然としない強溶結部からなる。強溶結部が主体をなすものの、7~8層の弱溶結スコリア層が挟在する。このうち弱溶結部には直径10~30mm, 最大約100mmの気泡に富み角張った赤褐色のスコリアが認められる(図9)。弱溶結部においても多数の気泡に富む暗褐色のスコリア片同士が接している。強溶結部は灰色を呈して緻密でしばしば気泡の多い部分が縞状に認められる。  
(21)深度 171.0~206.0m (地点 6-2 コア: 深度 165.0~200.0m)

溶結スコリアとその火砕成溶岩よりなる【W-6 II】。直径20~50mmの気泡に富むスコリアや気泡に乏しいスコリアなどからなり、スコリアは角がとれ垂円レキ状であ

る。弱溶結部は細粒で赤褐~赤紫色を呈し基質にやや富む(図9)。全体に弱溶結部と強溶結部からなり、強溶結部が占める割合が大きい。上位層との境界部は不明瞭である。

#### 4.2.2 放射性炭素年代

第6コアの3層準の土壌試料について<sup>14</sup>C年代測定を行った。その結果、1σの暦年較正年代が深度8.0~8.1mではcal BC 2,040~1,940 (<sup>14</sup>C年代: 3,640±30 yrs BP, δ<sup>13</sup>C: -23.1‰, 測定番号: PLD-3311), 53.2~53.3mではcal BC 3,100~3,010 (<sup>14</sup>C年代: 4,430±40 yrs BP, δ<sup>13</sup>C: -25.8‰, 測定番号: PLD-2827), 87.5~87.6mではcal BC 5,990~5,935 (<sup>14</sup>C年代: 7,070±40 yrs BP, δ<sup>13</sup>C: -28.3‰, 測定番号: PLD-2828)であった。すなわち、1950年を基準年とすると8.0~8.1mは3.9ka頃, 53.2~53.3mは5.0ka頃, 87.5~87.6mは7.9ka頃となる。

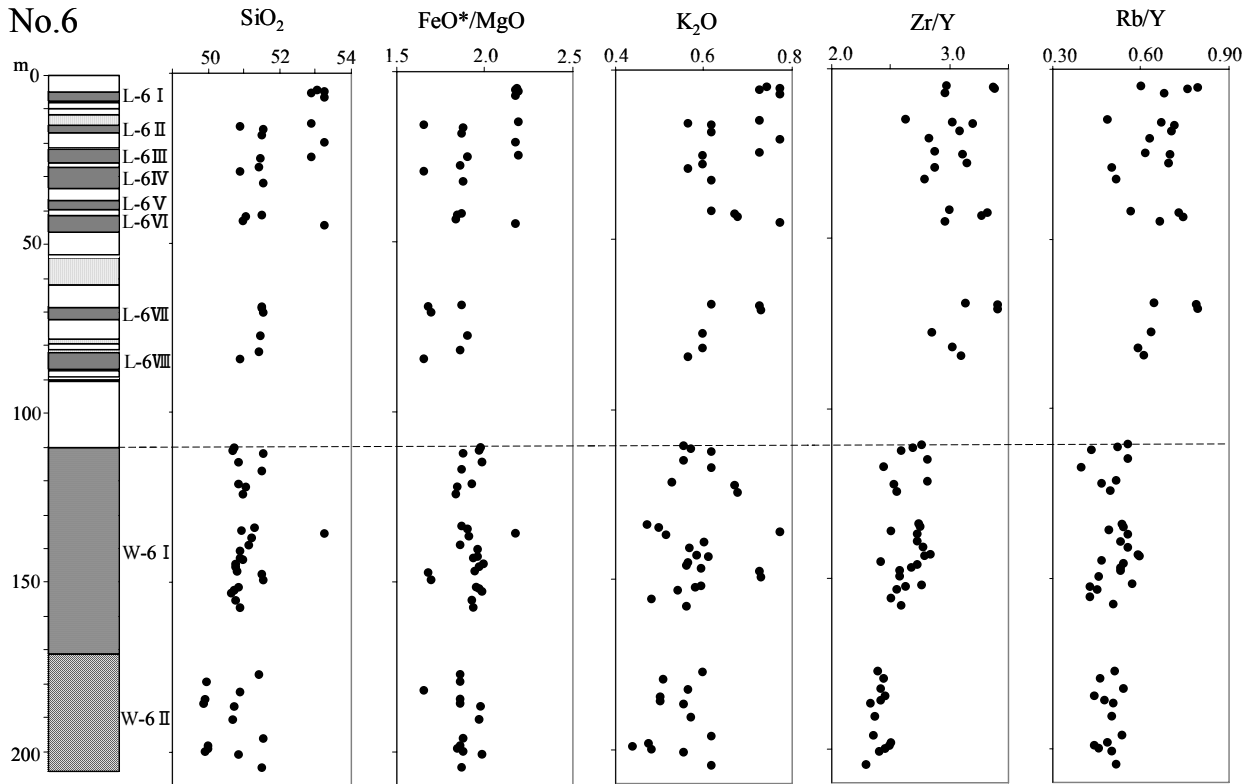


図 11 第 6 コア試料の深度別全岩化学組成の変化

Fig. 11 Vertical variation of whole-rock chemistry of the No.6 borehole core samples.

#### 4.2.3 斑晶の最大平均粒径

第 6 コア中の斑晶の最大平均粒径は明瞭な変化傾向は認められない。すなわち 206m 間を通じて斜長石斑晶の最大粒径は、ノギスで測定した結果 (A) では 2~4mm, 顕微鏡下で測定した結果 (B) では 1.5~3mm で大きな変化傾向は認められない。ただし, (A) は深度 0~26m (L-6 I~III) でやや細粒化する傾向がある。また, カンラン石斑晶の最大平均粒径は W-6 I と W-6 II の境界である深度 171m を境に下方に向かい 1mm 以下から 1mm 以上へと粗粒になる (図 10)。

#### 4.2.4 記載岩石学的特徴と斑晶量

深度別の岩石学的特徴に明瞭な差異は認められず, いずれも斑晶は斜長石とカンラン石を主とし, 輝石を交える。斑晶のうち斜長石には清澄なものは少なく汚濁したものが多く。また, カンラン石斑晶には自形のものと同様のものが認められ, 深度 110m 以深では大型のものが目立つ。集合斑晶はいずれの層準にも含まれ斜長石のみからなる場合が多いが, 斜長石とカンラン石の集合体もみられる。カンラン石斑晶量は深度 0~

110m まではやや少なく, 110m 以深ではやや多い。また 110m 以深ではカンラン石や輝石の斑晶の周辺部に微細な不透明鉱物がみられる場合が多い。斑晶量は 20~30% で深度方向に顕著な変化傾向は認められない。

#### 4.2.5 全岩化学組成

第 6 コアでは, 深度 110m を境に Zr/Y 比, Rb/Y 比が大きく異なる。すなわち, 深度 110m までは Zr/Y 比は 2.8~3.5, Rb/Y 比は 0.5~0.8 だが, 深度 110m 以深では Zr/Y 比は 2.2~2.8, Rb/Y 比は 0.4~0.6 と小さくなる。このほか深度 46m までは SiO<sub>2</sub> 量は 51~53%, FeO\*/MgO 比は 1.6~2.3 だが, それ以深では SiO<sub>2</sub> 量は 50~52%, FeO\*/MgO 比は 1.6~1.9 程度といずれの値もやや小さくなる (図 11, 表 2)。



## 5. 議論

### 5.1 第5コアの形成時期

富士山の噴出物の噴出時期は化学組成をもとにある程度推定することが可能である。高橋ほか(2003)は富士火山の噴出物の形成時期を岩石化学的特徴よりステージ1~9の9時期に区分した。今回、第5, 6コアは掘削深度や岩石学的・岩石化学的特徴より津屋(1968)の古富士火山後期以降の噴出物である可能性が高いと思われる。高橋ほか(2003)は古富士火山の活動時期の後半をステージ2(66~50ka), ステージ3(50~25ka), ステージ4(25~18ka), ステージ5(18~13ka)とし、津屋(1968)の新富士火山の旧期溶岩を噴出した時期をステージ6(13~4.5ka), 中期溶岩を噴出した時期をステージ7(4.5~3.0ka), それに続く降下テフラが頻繁に噴出した時期(宮地, 1988)をステージ8(3.0~2.0ka), 新期溶岩を噴出した時期をステージ9(2.0ka~現在)とした。そして、ステージ1~5は古富士火山, ステージ6~9は新富士火山の噴出物とした。

一方、近年、山元ほか(2005)により富士火山の噴出物に関する多数の暦年補正值が公表された。これにより富士火山の旧期溶岩のうち初期に噴出した大淵溶岩が17kaであることが明らかになったことから、ステージ5には古富士火山の降下テフラと新富士火山の旧期溶岩の一部が共存すると思われる。一方、従来、ステージ6と7を区分する年代値となっていた中期溶岩の年代が4.5~3.0kaから5.6~2.7kaであることも明らかとなった。このため、本論では高橋のステージ区分の年代のうちステージ6を13~5.6ka, ステージ7を5.6~2.7kaとする。また、化学組成の差異が比較的小さいステージ2, 3とステージ4, 5, ステージ7, 8, 9は便宜的に一括し議論する。

第5コアの形成時期は年代試料が得られていないため直接の年代は明らかではないものの、元素組成や斑晶の粒径からある程度の年代値を推定することができる。第5コアの最上部には隣接するスコリア丘の堆積物と連続するスコリア質の堆積物が認められる。このスコリア丘は3.1kaのカワゴ平軽石層に覆われることから、本堆積物が3.1kaよりも古い時代の堆積物であると考えられる。津屋(1968)の新富士火山旧期溶岩の多くは直径5~10mmの斜長石斑晶を有すること(津屋, 1971)から、深度117~206mの溶岩は旧期溶岩の可能性が高い。ただし、最下位のL-5Ⅷは斑晶のサイズが約3mmと、その上位の溶岩よりも細粒である。

一方、新富士火山と古富士火山の噴出物は液相濃集元素量をもとに区分することができる(富樫ほか, 1997; 高橋ほか, 2003)。すなわち  $K_2O$  量と  $SiO_2$  量との関係図,  $Fe^*/MgO$  比との関係図,  $Zr/Y$  比の関係図において、第5コアの試料はいずれも新富士火山の噴出物の領域にプロットされる(図12, 13, 14)。この関係は特に  $Zr/Y$  比の関係図で明瞭であり、L-5Ⅷも含め第5コアの噴出物はいずれも3.0以上である(表1)。 $Zr/Y$  比は高橋ほか(2003)のステージ5以降(18ka以降)の噴出物では3

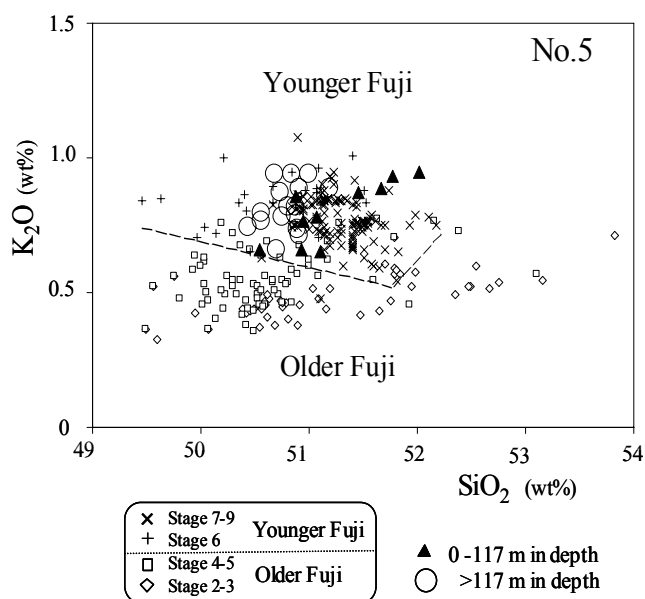


図12 第5コアにおける  $SiO_2$  量と  $K_2O$  量の関係。ステージ区分および古富士火山と新富士火山のマグマの区分は高橋ほか(2003)による。ステージ2-3は66~26ka, ステージ4-5は26~13ka, ステージ6は13~5.6ka, ステージ7-9は5.6~2.7kaを指す。このうちステージ2~5は古富士火山のマグマの噴出期, ステージ6~9は新富士火山のマグマの噴出期にあたる。ただし、ステージ5(18~13ka)には新富士火山のマグマも噴出した。

Fig. 12  $K_2O$  wt % vs.  $SiO_2$  wt % diagram for bulk rocks of the No.5 borehole core samples. Data for the Older and Younger Fuji volcano are adapted from Takahashi *et al.* (2003). Periods of stage 2 to 3 range 66 to 26 ka, stage 4 to 5 range 26 to 13 ka belong to the eruptive period of the Older Fuji volcano, and periods of stage 6 range 13 to 5.6ka, stage 7 to 9 range 5.6 to 2.7 ka belong to the Younger Fuji volcano. Products at stage 5 range 18 to 13 include the deposits of the Younger Fuji volcano.

以上、ステージ5以前(18ka以前)の噴出物では3以下であることが知られている(高橋ほか, 2003)ことから、地表から210mまでの噴出物はすべて18ka以降の噴出物である可能性が高い。また、 $SiO_2$  量と  $K_2O$  量の関係図では地表から117mまでの噴出物はステージ7~9の領域付近に、117~210mまでの噴出物はステージ6の領域付近にそれぞれプロットされる(図12)。前述の通り本地点の噴出物は3.1kaより古い時代のものであることから、地表から117mまでは高橋ほか(2003)のステージ7, すなわち5.6~2.7kaの新富士火山中期溶岩, 117~210mはステージ6, すなわち13~5.6kaの新富士火山旧期溶岩の時期に形成された噴出物である可能性が高い。

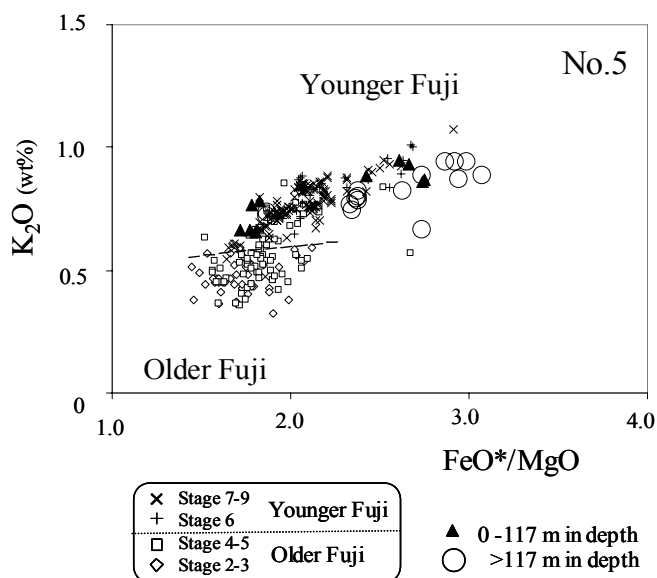


図 13 第 5 コアにおける  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  比と  $\text{K}_2\text{O}$  量の関係。ステージ区分および古富士火山と新富士火山のマグマの区分は高橋ほか (2003) による。図 12 の注を参照。

Fig. 13  $\text{K}_2\text{O}$  wt % vs.  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  ratio diagram for bulk rocks of the No.5 borehole core samples. Data for the Older and Younger Fuji magma are adapted from Takahashi *et al.* (2003). See the caption of Fig. 12.

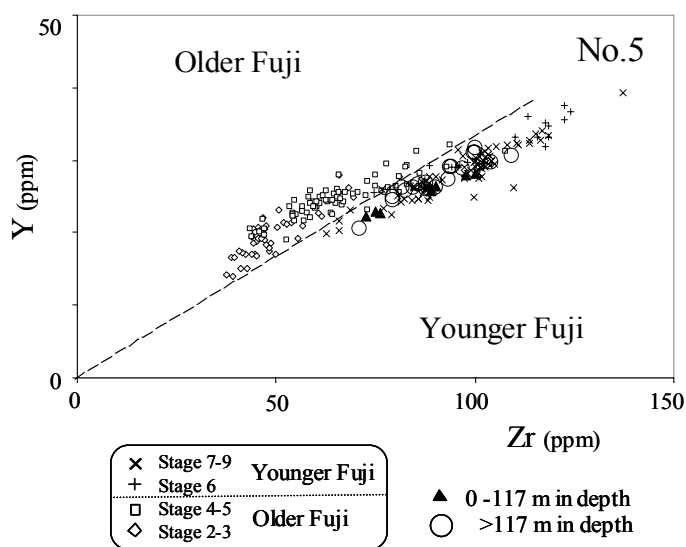


図 14 第 5 コアにおける Zr と Y の関係。ステージ区分および古富士火山と新富士火山のマグマの区分は高橋ほか (2003) による。図 12 の注を参照。

Fig. 14 Zr vs. Y concentration diagram of the No.5 borehole core samples. Data for the Older and Younger Fuji volcano are adapted from Takahashi *et al.* (2003). See the caption of Fig. 12.

## 5.2 第 6 コアの形成時期

第 6 コアについては 3 点の年代値が得られているものの、深度 100m 以深のコアの年代値は得られていないため、下半部は元素組成をもとに推定した。第 6 コアは最上部の溶岩である L-6 I とその下位の L-6 II とともに輝石を含む類似の岩質を呈する。L-6 I と L-6 II の間の年代は 3.9ka 頃、L-6 VII 上位の T-6 III の直上は 5.0ka 頃、L-6 VIII の直下は 7.9ka 頃である。L-6 VII と L-6 VIII はともに類似の岩質を呈することから、L-6 I から L-6 VIII 溶岩はいずれも津屋 (1968) の新富士火山中期溶岩 (5.6~2.7ka) である可能性が高い。

$\text{K}_2\text{O}$  量と  $\text{SiO}_2$  量との関係図、 $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  比との関係図、Zr/Y 比の関係図において、第 6 コアの試料は地表から深度 110m までは新富士火山、深度 110~206m までは古富士火山の噴出物の領域にプロットされる (図 15, 16, 17)。また、 $\text{K}_2\text{O}$  量と  $\text{SiO}_2$  量の関係図では地表から 110m までの噴出物はステージ 7~9 の付近の領域にプロットされる。この点からも L-6 I ~ VIII は 5.6~2.7ka の中期溶岩であると考えられる。さらに、同図で深度 110~206m までの噴出物はステージ 4, 5 の付近の領域にプロットされる。このことから、W-6 I, II は古富士火山末期の 25~13ka の噴出物と考えられる (図 18)。

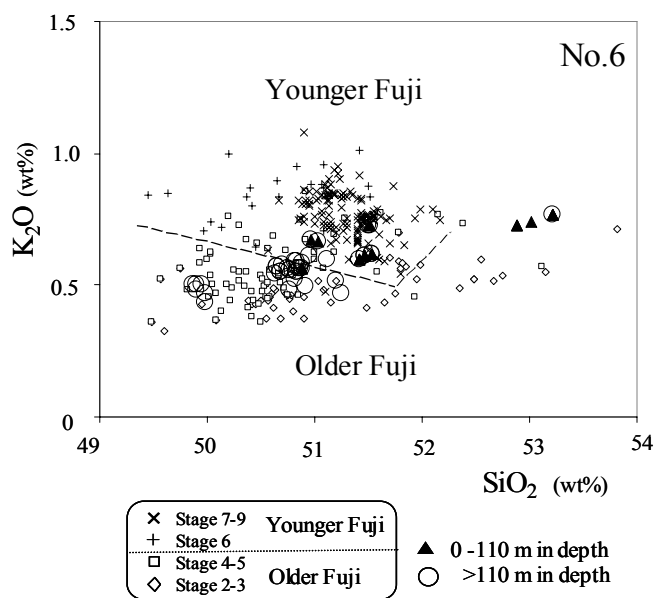


図 15 第 6 コアにおける  $\text{SiO}_2$  量と  $\text{K}_2\text{O}$  量の関係。ステージ区分および古富士火山と新富士火山のマグマの区分は高橋ほか (2003) による。図 12 の注を参照。

Fig. 15  $\text{K}_2\text{O}$  wt % vs.  $\text{SiO}_2$  wt % diagram for bulk rocks of the No.6 borehole core samples. Data for the Older and Younger Fuji volcano are adapted from Takahashi *et al.* (2003). See the caption of Fig. 12.



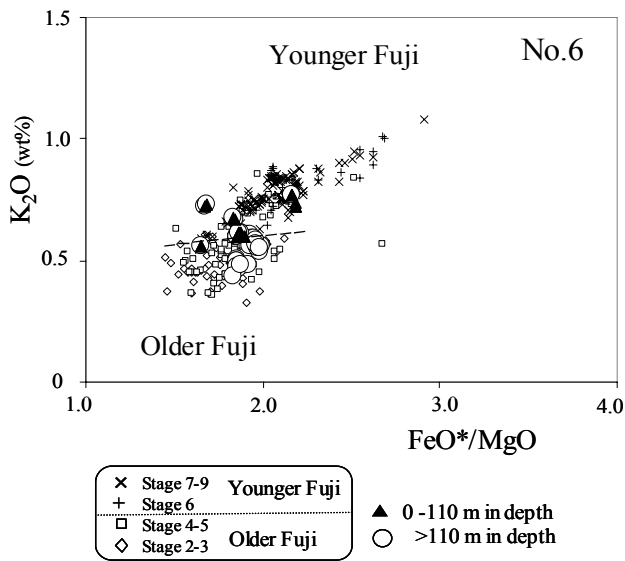


図 16 第6コアにおける  $FeO^*/MgO$  比と  $K_2O$  量の関係。ステージ区分および古富士火山と新富士火山のマグマの区分は高橋ほか (2003) による。図 12 の注を参照。

Fig. 16  $K_2O$  wt % vs.  $FeO^*/MgO$  ratio diagram for bulk rocks of the No.6 borehole core samples. Data for the Older and Younger Fuji volcano are adapted from Takahashi *et al.* (2003). See the caption of Fig. 12.

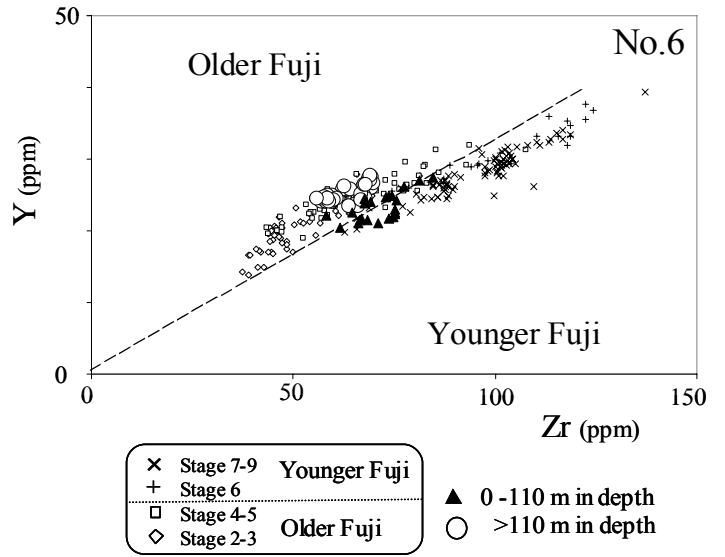


図 17 第6コアにおける Zr と Y の関係。ステージ区分および古富士火山と新富士火山のマグマの区分は高橋ほか (2003) による。図 12 の注を参照。

Fig. 17 Zr vs. Y concentration diagram of the No.6 borehole core samples. Data for the Older and Younger Fuji volcano are adapted from Takahashi *et al.* (2003). See the caption of Fig. 12.

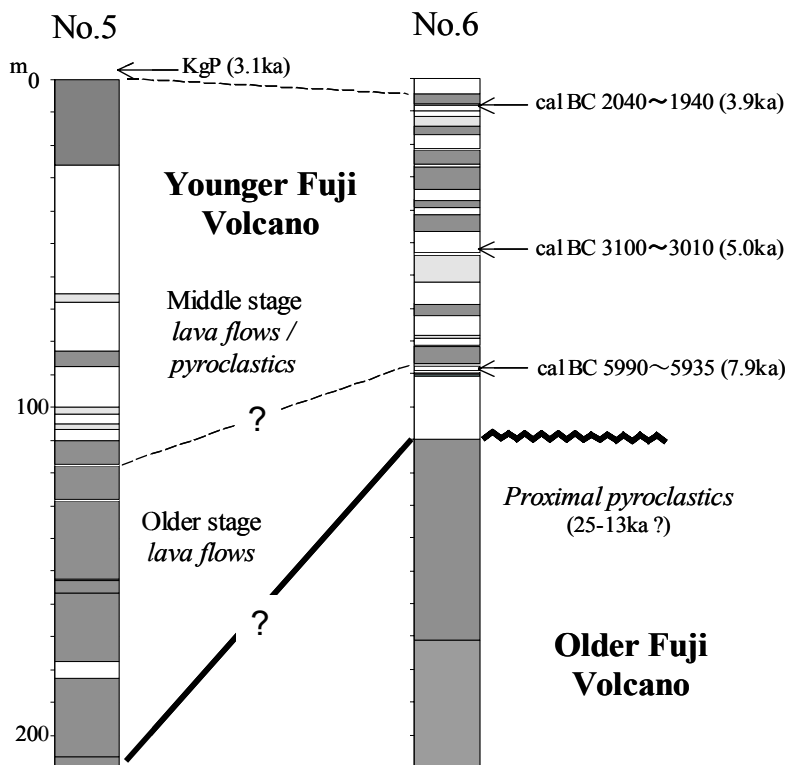


図 18 第5, 6コアの層序図

Fig. 18 Stratigraphy of the No.5 and No.6 borehole core samples.

### 5.3 ラハールおよび火砕流の発生

粒度分析の結果、岩相上の特徴より火砕流堆積物としたものはラハール堆積物よりも約5%多い9%以上の+4.0φ(1/16mm以下)の細粒物質を含む。富士火山の火砕流堆積物やラハール堆積物の粒度組成に関するデータは乏しいものの、富士火山の西側斜面を流下した火砕流(SYP-1~4)では+4.0φ以下の細粒物質の量が約10%以上である(Yamamoto *et al.*, 2005)。また、現在富士山の大沢崩れで発生するラハール堆積物は+4.0φ以下の占める割合が5%程度であった(花岡ほか, 2002)。富士火山で発生する火砕流が一般的にラハールに比べ、細粒物質が乏しいか否かについてはさらに検討を要するものの、既往の研究成果から判断すると、今回、ボーリングコアで火砕流堆積物と判断したものは、野外で火砕流堆積物と判断したものと類似の粒度特性を示す。

火砕流は第5コアで3層、第6コアで5層確認された。これらの火砕流はいずれも3.1ka(cal BC 1,400)よりも古く、7.9ka(cal BC 5,900)よりは新しい時期に発生したと思われる。この時期には富士火山の西側斜面では cal BC 2,500 頃の岩樋火砕流堆積物(田島ほか, 2006), cal BC 1,500 頃の大沢火砕流・SYP1(町田, 1977; Yamamoto *et al.*, 2005)などの火砕流が分布する。また、第6観測施設南方、1.3kmの北高鉢山火口(高田ほか, 2004)付近のBC 2,800 頃の火砕サージや南東斜面の太郎坊における cal BC 2,400 頃の火砕サージ(山元ほか, 2005)などの火砕流や火砕サージが発生したことが知られている。さらに、第6観測井南方、5.2kmの富士吉原観測施設付近には3.3kaのS10スコリアの下位に土壌層を挟みYo-4と呼ばれる火砕サージ堆積物が分布する(宮地ほか, 1998)。今回の調査で発見された火砕流堆積物と従来知られている火砕流堆積物との単層単位での対比は明らかではない。ただし、中期溶岩が噴出した5.6~2.7kaの時期に富士火山の北西斜面~南斜面にかけての広範囲に少なくとも3~5回、火砕流や火砕サージが流下したと考えられる。

第5,6コアともに中期溶岩噴出期には火砕流とともにラハールも頻繁に発生した。この傾向は大沢崩れ下流域に広がる上井出扇状地を構成する上井出扇状地堆積物でも確認されている(田島ほか, 2006)。上井出扇状地では中期溶岩の噴出が開始した直後の5.5ka頃からラハールの発生が頻発した。また、3.5~2.8kaにかけて火砕流や山体崩壊に由来すると思われるラハールも頻発した。

ラハールの発生開始時期は第5コアと第6コアで異なる。仮に第5コアで旧期溶岩に相当すると考えられるL-5Ⅲと中期溶岩に相当すると考えられるL-5Ⅱの間に大きな斜交関係がないとすれば、第5コアにおけるラハールの発生は早ければ中期溶岩の噴出が始まった5.6ka頃である。これに対し、第6コアでは、7.9kaにはすでにラハールが発生し始めている。中期溶岩と考えられるL-6Ⅷと古富士火山の噴出物と考えられるW-6Ⅰの間はラハール堆積物と風化火山灰層および土壌層の互層からなる。L-6Ⅷ直下の7.9ka頃は旧期溶岩の主要な噴出が終了し、比較的小規模な噴火が続き細粒な火山灰

を噴出する時期にあたり(宮地, 1988)、山麓では富士黒土層(町田, 1964)が形成された。以上のことから、第6コアが得られた富士山南斜面では第5コアが得られた北西斜面に比べて旧期溶岩の噴出に続く小規模噴火期の火山灰が厚く堆積していたため、これに由来するラハールが発生した可能性が高い。

### 5.4 南~南西斜面における古富士火山の形状

上述のように第6コアの100m以深は25~13kaの噴出物と推定された。この噴出物は強溶結部が40m以上と厚く、上半部では非溶結の降下火砕物が複数挟在する(図3)。降下火砕物は溶結部と非溶結部が少なくとも7~8回は互層しており、複数の噴火イベントにより形成された可能性が高い。全岩K<sub>2</sub>O量やZr/Y比が深度100~160mにかけてステップ状に変化していることも、複数回の噴火の産物であることを支持する(図11)。また下半分の大半は溶結した火砕堆積物からなり、これらは短時間のうちに堆積したと思われる。これも弱溶結部を挟在することから、複数の噴火イベントの産物であることが考えられる。こうした事実はこれらの火砕物が同一火口より繰り返し噴出した堆積物であることを強く示唆する。

現在の富士火山の中心火口である山頂火口周辺には2.2kaの湯船第2スコリアが溶結火砕岩を形成している。このような強溶結の範囲は火口から約1km以内の範囲に限られる。このため本テフラを噴出した古富士火山の火口は本コア採取地点の1km以内に存在した可能性が高い。この場合、仮に、火口がより高標高側に存在したとしてもその標高は2,000~2,500m付近と推定される。

## 6. まとめ

防災科学技術研究所が平成14年度に北西斜面に設置した富士第5観測施設(FJ5)、および平成15年度に設置した富士第6観測施設(FJ6)の建設の際に得られた各々約200mの長さの連続するボーリングコア試料について岩石化学的検討を行い、以下の結果を得た。

(1) 第5コアは8層の溶岩層(L-5Ⅰ~Ⅷ)、スコリア丘を構成する転動堆積物(T-5Ⅰ)、3層の火砕流堆積物(T-5Ⅱ~Ⅳ)、9層のラハール堆積物と4層の風化火山灰層および土壌層よりなる。このうち、地表から深度117mまでのL-5Ⅰ、ⅡおよびT-5Ⅰ~Ⅳは5.6~2.7kaの新富士火山中期溶岩の形成期、深度117~210mのL-5Ⅲ~Ⅷは13~5.6kaの新富士火山旧期溶岩の形成期に噴出した可能性が高い。

(2) 第6コアでは8層の溶岩層(L-6Ⅰ~Ⅷ)、5層の火砕流堆積物(T-6Ⅰ~Ⅴ)、2層の溶結火砕物層(W-6Ⅰ・Ⅱ)とこれらに認められる14層のラハール堆積物と5層の風化火山灰層および土壌層よりなる。このうち、地表から深度110mまでのL-6Ⅰ~ⅧおよびT-6Ⅰ~Ⅴは5.6~2.7kaの新富士火山中期溶岩の形成期、深度110~206mまでのW-6Ⅰ・Ⅱは古富士火山末期の25~13kaに噴出した可能性が高い。深度110m以深のW-6Ⅰ・Ⅱは溶結または非溶結の降下スコリアや火砕堆積物からなることから火口近傍の堆積物と考えられ、これらのテフラ

を噴出した古富士火山の火口は本コア採取地点の 1km 以内の標高 2,000~2,500m 付近に存在した可能性が高い。

(3) 第5コアでは3層, 第6コアでは5層の火砕流堆積物が認められた。これらはいずれも中期溶岩が噴出した 5.6~2.7ka の時期に富士火山の北西斜面~南斜面にかけての広範囲で確認することができ, この地域に少なくとも3~5回, 火砕流や火砕サージが流下したと考えられる。ラハール堆積物は第6コアでは旧期溶岩噴出後の火山灰噴出期にあたる 8ka 頃には既に堆積していた。第5コアでも中期溶岩の噴出期にあたる 5.6 ka 頃には堆積し始めたと推定され, 両コア地点とも中期溶岩噴出期には頻繁にラハール堆積物が形成された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり, 東京大学地震研究所の中田節也教授, 藤井敏嗣教授には蛍光 X線分析装置の使用をご許可いただいた。住鋳コンサルタント株式会社の上野孝志氏, ニノ宮淳氏にはボーリング調査の実施にあたりお世話になった。防災科学技術研究所の小村健太郎氏, 松田達生氏, 石峯康浩氏, 上田英樹氏にはボーリング観察作業時に多大な尽力を賜った。匿名の査読者からの詳細な指摘は論文修正上, 大変有意義であった。以上の方々 に記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) Fisher, R.V. and Schmincke, H.-U. (1984) : Lahars. Pyroclastic rocks. 297-311, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- 2) 花岡正明・水谷小百合・増田富士夫・田島靖久・石崎俊一・井上公夫 (2002) : 富士山大沢からの大規模土石流 (2000年11月21日) の堆積状況解析. 砂防学会研究発表会概要集, 35, 370-371.
- 3) 泉浩二・木越邦彦・上杉陽・遠藤邦彦・原田昌一・小島泰江・菊原和子 (1977) : 富士山東麓の沖積世ローム層. 第四紀研究, 16, 84-87.
- 4) 町田洋 (1964) : Tephrochronology による富士火山とその周辺地域の発達史 (その 1, 2). 地学雑, 73, 293-308, 337-350.
- 5) 宮地直道 (1988) : 新富士火山の活動史. 地質雑, 94, 433-452.
- 6) 宮地直道・安井真也・富樫茂子・朝倉伸行・遠藤邦彦・鶴川元雄 (1995) : 富士山鳴沢観測井のボーリングコアの層序と岩石学的特徴. 防災科学技術研究所研究報告, No.54, 39-73.
- 7) 宮地直道・安井真也・角田明郷・富樫茂子・遠藤邦彦・鶴川元雄 (1998) : 富士山吉原観測井のボーリングコアの層序と岩石学的特徴. 防災科学技術研究所研究報告, No. 58, 105-120.
- 8) 宮地直道・遠藤邦彦・富樫茂子・田島靖久・小森次郎・橘川貴史・千葉達朗・鶴川元雄 (2001) : 富士山広見観測井のボーリングコアの層序と岩石学的特徴.

防災科学技術研究所研究報告, No.61, 31-47.

- 9) 嶋田繁 (2000) : 伊豆半島, 天城カワゴ平火山の噴火と縄文時代後~晩期の古環境. 第四紀研究, 39, 151-164.
- 10) 田島靖久・宮地直道・井上公夫 (2006) : 新富士火山の噴火活動に伴う上井出扇状地の発達史. 第四紀研究, 45, 287-301.
- 11) 高田亮・石塚吉浩・中野俊・小林淳・鈴木雄介・荒井健一・千葉達朗 (2004) 富士火山の噴火様式の進化 (予報) —トレンチ調査から—. 月刊地球号外, 48, 108-117.
- 12) 高橋正樹・小見波正修・根本靖彦・長谷川有希絵・永井匡・田中英正・西直人・安井真也 (2003) : 富士火山噴出物の全岩化学組成—分析データ 847 個の総括—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, No.38, 117-166.
- 13) 富樫茂子・宮地直道・安井真也・角田明郷・朝倉伸行・遠藤邦彦 (1997) : 古富士火山末期から新富士火山にわたるマグマの組成変化—富士吉原火山活動観測施設のボーリングコアの岩石化学的性質—. 火山, 42, 409-421.
- 14) 津屋弘達 (1968) : 富士山地質図 (5 万分の 1), 富士火山の地質 (英文概説). 地質調査所.
- 15) 津屋弘達 (1971) : 富士山の地形・地質. 富士山—富士山総合学術調査報告書, 富士急行, 1-127.
- 16) 上杉陽 (1998) : 地史. 富士吉田市史史料編第一巻 自然・考古, 富士吉田市, 141-399.
- 17) 上杉陽 (2003) 富士山一般教養. 地学巡検案内書 富士山, 日本地質学会関東支部, 1-22.
- 18) 上杉陽・米澤宏・千葉達朗・宮地直道・森慎一 (1983) : 最終氷期以降の関東平野, I, テフラからみた関東平野. URBAN KUBOTA, 21, 2-17.
- 19) 上杉陽・米澤宏・宮地直道・千葉達朗・肥田木守・細田一仁・米澤まどか・由井将雄 (1992) : 富士系火山泥流のテフラ層位. 関東の四紀, 17, 3-33.
- 20) 鶴川元雄 (2000) 富士山の地震活動・傾斜変動観測. 月刊地球, 22, 535-539.
- 21) Ukawa, M. (2005) Deep low-frequency swarm in the mid crust beneath Mount Fuji (Japan) in 2000 and 2001. Bull. Volcanol., 68, 47-56.
- 22) 山本玄珠・北垣俊明・興水達司・篠ヶ瀬卓二 (2004) : 富士山西麓の古富士火山の溶岩について. 地球科学, 58, 245-253.
- 23) 山元孝広・高田亮・石塚吉浩・中野俊 (2005) : 放射性炭素年代測定による富士火山噴出物の再編年. 火山, 50, 53-70.
- 24) Yamamoto, T., Takada, A., Ishizuka, Y., Miyaji, N., and Tajima, Y. (2005) : Basaltic pyroclastic flows of Fuji volcano, Japan: characteristics of the deposits and their origin. Bull Volcanol, 67, 622-633.

(原稿受理 : 2006年10月20日)

## 要 旨

防災科学技術研究所により富士火山北西斜面の標高 2,080m に設置された富士第 5 観測施設と南斜面の標高 2,010m に設置された富士第 6 観測施設より採取されたボーリングコア試料について層序学的、岩石化学的研究を行った。第 5 コアは 8 層の溶岩流(L-5 I～VIII)、1 層のスコリア丘を構成する堆積物(T-5 I)、3 層の火砕流堆積物(T-5 II～IV)、9 層のラハール堆積物、4 層の風化火山灰層や土壌層よりなる。層位学および全岩化学組成のデータより、地表から 117m までの L-5 I, II や T-5 I～IV は 5.6～2.7ka の新富士火山中期溶岩噴出期の堆積物、117～210m の L-5 III～VIII は 13～5.6ka の新富士火山旧期溶岩噴出期の堆積物に相当する。第 6 コアは 8 層の溶岩流(L-6 I～VIII)、5 層の火砕流堆積物(T-6 I～V)、2 層の溶結火砕物層(W-6 I, II)、14 層のラハール堆積物、5 層の風化火山灰層や土壌層よりなる。放射性炭素年代測定値および全岩化学組成のデータより、地表から 110m までの L-6 I～VIII や T-6 I～V は 5.6～2.7ka の新富士火山中期溶岩噴出期の堆積物、110～206m までの W-6 I, II は 25～13ka の古富士火山末期の堆積物に相当する。火口近傍の堆積物である W-6 I や II を噴出した古富士火山の火口は第 6 観測施設の半径 1km 以内に存在した可能性がある。

第 5, 6 コアでは 5.6 から 2.7ka に噴出した 3～5 層の火砕流堆積物が発見された。今回の結果やこれまでの研究成果より、この時期、富士火山では北西斜面から南斜面にかけての範囲に火砕流が頻繁に流下したと考えられる。ラハールは北西斜面の第 5 コアでは中期溶岩の流下が始まった 5.6ka から、南斜面の第 6 コアでは小規模なテフラの噴出が続いた少なくとも 8ka から繰り返し発生した。第 5, 6 地点ともラハールが多数発生したのは火砕流がしばしば発生した 5.6～2.7ka であった。

**キーワード：**ボーリングコア、富士火山、ラハール、火砕流、全岩化学組成