

箱根火山大涌谷テフラ群—最新マグマ噴火後の水蒸気爆発堆積物

小林 淳*・萬年一剛**・奥野 充***・中村俊夫****・袴田和夫*****

(2005年7月19日受付, 2006年6月22日受理)

The Owakidani Tephra Group: A Newly Discovered Post-magmatic
Eruption Product of Hakone Volcano, JapanMakoto KOBAYASHI*, Kazutaka MANNEN**, Mitsuru OKUNO***,
Toshio NAKAMURA**** and Kazuo HAKAMATA*****

We discovered a set of phreatic explosion deposits, herein referred to as the Owakidani tephra group, on the northern slope of Mt. Kamiyama and in the Owakidani fumarolic area of the Hakone Volcano. The tephra group is the product of the volcanic activities since the latest magmatic eruption of Hakone Volcano at around 2.9 ka. It comprises five units named Hk-Ow1 to Hk-Ow5 in the ascending order. Both Hk-Ow1 and Hk-Ow2 comprise tephra fall deposits and secondary debris flow deposits. In addition to these deposits, Hk-Ow2 is also associated with surge deposits. Hk-Ow3, Hk-Ow4 and Hk-Ow5 consist of tephra fall deposits. The ash of these tephra fall deposits and the matrix of the secondary debris flows are principally composed of clay, altered lithics and secondary minerals supposed to be of fumarolic area origin.

It is possible that Hk-Ow1 and Hk-Ow2 erupted from a fissure on the northeastern ridge of Mt. Kamiyama, while Hk-Ow3, Hk-Ow4 and Hk-Ow5 erupted at Owakidani.

No juvenile material was found within the deposits of these eruptions except for Hk-Ow2, while the surge deposit of Hk-Ow2 contained trace amounts of volcanic glass fragment. Although it is considered that the principal nature of the eruptions of the Owakidani tephra group is phreatic, the deformation of the edifice around the source area implies the possibility of magma intrusion to shallow levels.

Based on the calendar ages of the Owakidani tephra group and the stratigraphic position of the Kozushima-Tenjosan tephra, we estimated that Hk-Ow3, Hk-Ow4 and Hk-Ow5 erupted in relatively short intervals between the latter half of the 12th and 13th centuries. On the other hand, Hk-Ow1 and Hk-Ow2 erupted at around 3 kyr BP and 2 kyr BP, respectively.

The eruption ages of the Owakidani tephra group generally correspond to the seismic events that occurred in the Koze-Matsuda Faults and the Tanna-Hirayama tectonic line. It is suggested that the activity of the Hakone Volcano may be closely related to the tectonic events in this region.

Key words: Hakone volcano, Owakidani tephra, phreatic eruption, Kozushima-Tenjosan tephra, radiometric carbon age

* 〒331-8638 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3
株式会社ダイヤコンサルタント
Dia Consultant Co., Ltd., 2-272-3 Yoshino-cho, Kita-
ku, Saitama, Saitama 331-8638, Japan.

** 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
神奈川県温泉地学研究所
Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture,
586 Iriuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan.

*** 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1
福岡大学理学部地球圏科学科
Department of Earth System Science, Faculty of Sci-
ence, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-

ku, Fukuoka, Fukuoka 814-0180, Japan.

**** 〒464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町
名古屋大学年代測定総合研究センター
Center for Chronological Research, Nagoya University,
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8602, Japan.

***** 〒250-0398 神奈川県足柄下郡箱根町湯本 256
箱根町役場
Hakone Town Office, 256 Yumoto, Hakone, Ashigara-
Shimo, Kanagawa 250-0398, Japan.

Corresponding author: Makoto Kobayashi
e-mail: M.Kobayashi@diaconsult.co.jp

1. はじめに

箱根火山は、伊豆半島北端部に位置する第四紀火山である。約 50 万年前に活動を開始し、2 回のカルデラ形成期とそれらを挟む 3 回の山体形成期からなる複雑な山体形成史を有する(久野, 1972; 平田, 1999)。2 回目のカルデラ形成期最後の活動である箱根東京テフラ (60~65 kyr BP; 町田・新井, 2003) の噴出後は、カルデラ中央部で噴火活動を繰り返した(中央火口丘期)。

現在に至る最新の火山活動期である中央火口丘期は、約 37 kyr BP の早川泥流を境に噴火様式に大きな違いがあり、それ以前はプリニー式噴火による軽石の噴出や小型成層火山の形成、それ以降は、主に安山岩~安山岩質玄武岩質溶岩の噴出で特徴づけられる。現在みられる神山、駒ヶ岳や二子山などの中央火口丘群の地形は、主として 37 kyr BP 以降に形成された(小林, 1999)。

箱根火山は中央火口丘の山腹まで観光開発が進んでおり、噴気地帯の大涌谷(「おおわきだに」または「おおわくだに」)は、箱根観光の主要な中心地の一つとなっている。このため、とくにこの地域における最近の噴出物を検出し、その分布範囲や年代、噴火様式を明らかにすることは、火山学的な関心のみにとどまらず、防災上も重要である。

これまで箱根火山では、テフラ層序の検討と ^{14}C 年代

測定から冠ヶ岳溶岩ドームの形成(箱根冠ヶ岳テフラ; 2.9 kyr BP)が最新の噴火活動と考えられてきた(日本火山学会編, 1975; 袴田, 1981; 杉山・他, 1992; 小林, 1999 など)。しかし、大涌谷のある神山では、山頂付近に割れ目火口状や爆裂火口状の凹地が存在することが指摘されている(大木・袴田, 1975; 袴田, 1993)。また、上杉・他(1992)は、神山周辺において熱水変質を受けた泥層の存在を記載し、箱根冠ヶ岳テフラ噴出以降の火山活動の存在を示唆した。

そこで、著者らは、箱根冠ヶ岳テフラ噴出以降の噴火活動の有無を明らかにすることを目的として大涌谷から神山周辺にかけて現地調査を行った。その結果、神山北斜面及び大涌谷周辺を給源とする水蒸気爆発堆積物を発見した。本報告では、これらの堆積物の産状や分布、噴火様式のほか、外来広域テフラである神津島天上山テフラとの層位関係及び ^{14}C 年代に基づく噴火年代について述べる。

2. 大涌谷テフラ群の産状と分布

大涌谷から神山及び駒ヶ岳にかけての調査位置を Fig. 1 に示す。神山及び駒ヶ岳は安山岩~安山岩質玄武岩の溶岩流と火砕物で構成される成層火山である(小林, 1999)。神山の北西斜面には、山体崩壊によって形成され

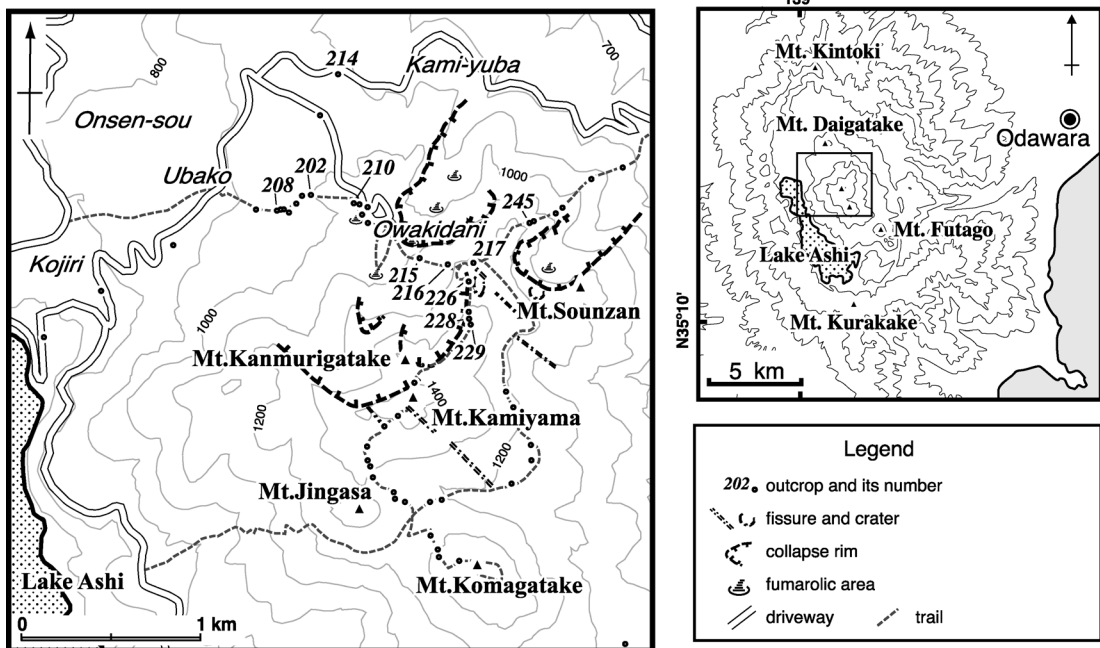


Fig. 1. Location of outcrops and sampling points around central volcanic cones of Mt. Kamiyama and Mt. Komagatake in the Hakone Volcano. Contour interval is 100 m.

た馬蹄型の凹地があり、その中に冠ヶ岳溶岩ドームがある。冠ヶ岳溶岩ドームの北東側脚部には、活発な噴気地帯である大涌谷がある。

大涌谷テフラ群は、調査地域内で神山の山体崩壊に伴う堆積物（箱根神山岩屑なだれ堆積物: Hk-Kmd. a; 小林, 1999）や箱根冠ヶ岳テフラ (Hk-Kn) を覆う。大涌谷テフラ群は降下・火砕サージ起源の5つのテフラからなる。以下ではそれぞれのテフラを、下位から大涌谷テフラ1~5 (Hk-Ow1~5; いずれも新称) と命名し記載を行う。主要地点における柱状図を Fig. 2 に示すとともに、Hk-Ow1 及び Hk-Ow2 に係わる堆積物の分布図を Fig. 3 に示す。

2-1 箱根大涌谷テフラ 1 (Hk-Ow1; 新称)

大涌谷周辺地域では、富士火山起源の降下スコリア層 (宮地, 1988) である S11 の上位, Zu の下位には、十数~数十 cm の風化火山灰層を挟んで変質した火山灰層が認められる。この火山灰層は、白色~黄白色を呈する細粒火山灰層と、礫混じり細粒火山灰層の2つの層相がある。2つの層相が同時に露出する露頭はなく、両層相間の上下関係は不明であるが、同じ噴火イベントの堆積物と考え、箱根大涌谷テフラ 1 (Hk-Ow1) の名称を与える。

細粒火山灰層は、大涌谷周辺をはじめ、神山南東斜面や湖尻 (こじり) などで認められ、層厚 10 cm~パッチ状に残存する淘汰のよい黄白色の細粒火山灰からなる (地点 208 及び 228)。淘汰がよい点や、葉理などの内部構造が認められないこと、分布や層厚と地形の関係が認められないことから、この細粒火山灰層は降下火山灰堆積物であると判断した。

礫混じり細粒火山灰層は、変質した白色~黄灰色の火山灰を基質とし、直径 30 cm 以上の変質した玄武岩質安山岩の亜円礫を多く含む淘汰の悪い無層理の堆積物で、おもに大涌谷と姥子を結ぶ遊歩道沿いに認められる (たとえば、地点 210)。この礫混じり細粒火山灰堆積物は、構成粒子が前述の降下火山灰堆積物のものと類似すること、おそらく神山の溶岩を起源とする輝石安山岩の亜円礫として含まれること、分布が谷地形に規制されているように見られること、などの特徴がある。これらの特徴から、この無層理の礫混じり細粒火山灰堆積物は、Hk-Ow1 噴火に伴う堆積物などが、降雨などに伴う流水によって運搬された二次的な土石流堆積物と考えられる。

なお、前述の上杉・他 (1992) が神山周辺で記載した「やや熱水変質を受けた泥層」は層準的にみて、Hk-Ow1

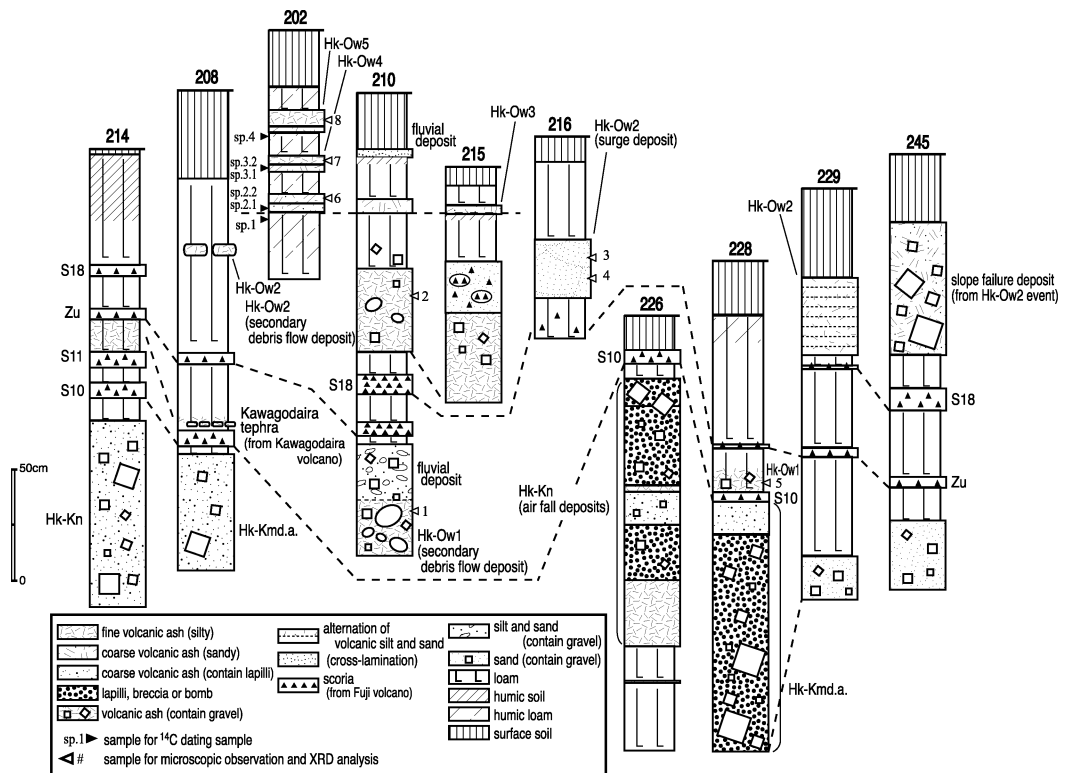


Fig. 2. Columnar sections around Owakidani and Mt. Kamiyama.

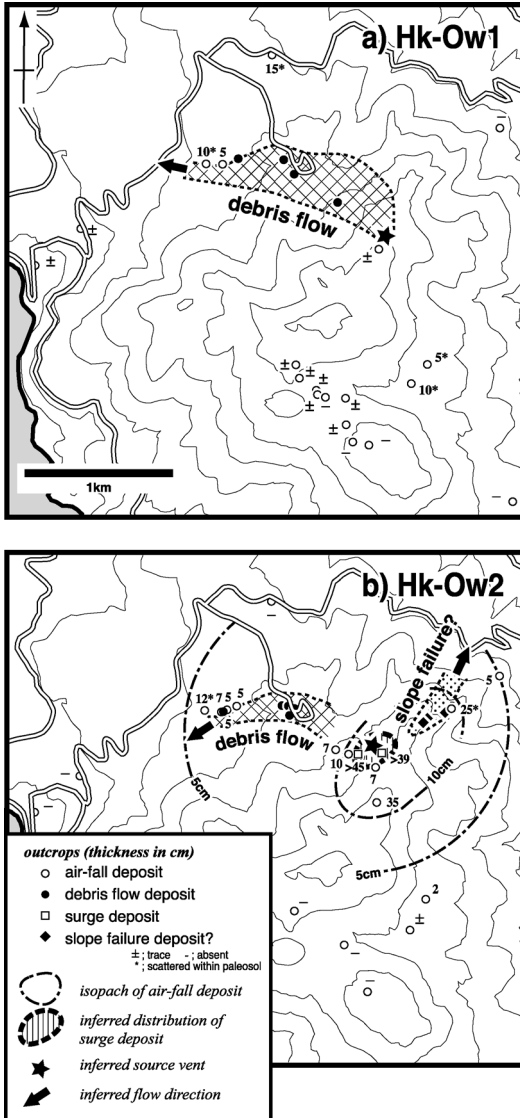


Fig. 3. Distribution of eruption deposits and secondary deposits of Hk-Ow1 (a) and Hk-Ow2 (b).

の降下火山灰または土石流堆積物に対比されるものとみられる。

2-2 箱根大涌谷テフラ 2 (Hk-Ow2; 新称)

Hk-Ow1 と同様の範囲で、富士火山起源の降下スコリア層である S18 (宮地, 1988) の上位に数 cm~数十 cm の風化火山灰層を挟んで変質火山灰層が認められる。この変質火山灰層は、細粒火山灰層、礫混じり細粒火山灰層、ラミナの発達した細粒火山灰層の 3 つの層相がある。これら 3 つの層相は同時に見られる露頭がないため上下関係が不明であるが、同じ噴火イベントのものであると考

え、箱根大涌谷テフラ 2 (Hk-Ow2) の名称を与える。

Hk-Ow2 の細粒火山灰層及び礫混じり細粒火山灰層は、Hk-Ow1 のそれと類似しており、成因も同様に、それぞれ降下火山灰堆積物、二次的な土石流堆積物であると考えられる (地点 208, 地点 210 及び地点 215 など)。

ラミナの発達した細粒火山灰層は、地点 216 および 217 で認められる。地点 216 では、S18 と考えられる赤褐色スコリアが分散した風化火山灰土と、それを覆う層厚数 mm~2 cm 程度のラミナで構成される層厚 45 cm の堆積物が確認できる。ラミナはほとんどが平行葉理で斜面を下る方向 (北西方向) に一様に薄くなるほか、一部斜交ラミナも認められる。以上の観察から、著者らはこの堆積物を火砕サージに伴うものと判断した。

なお、神山北東斜面には、S18 の上位に、黄白色を呈する変質したシルト質火山灰を基質として、変質及び未変質の直径 30 cm~1 m 程度の角礫状の安山岩岩塊を雑多に含む堆積物が分布する (例えば地点 245)。安山岩塊が全体に角礫状を呈すること、地形的に尾根部で確認されることなどから、これらの堆積物は、大涌谷から姥子にかけて分布する土石流堆積物とは別のものとみられる。成因は不明であるが、Hk-Ow2 の噴火イベントに関係した斜面崩壊の堆積物かもしれない。

2-3 箱根大涌谷テフラ 3, 4 及び 5 (Hk-Ow3~5; いずれも新称)

大涌谷と姥子を結ぶ遊歩道沿いでは、Hk-Ow2 の上位、地表近くに 3 枚の粗粒~細粒火山灰層が認められる。これら 3 枚の火山灰層相互の間、およびその上下は、腐植質の風化火山灰土が挟まれる (地点 202 及び 210)。これら 3 枚の火山灰層はおおの別々の噴火イベントの堆積物であると考え、下位から箱根大涌谷テフラ 3, 4, 5 (Hk-Ow3, Ow4, Ow5) の名称を与える。

これらの火山灰層はいずれも層厚 7 cm~10 cm 程度で、同一層中で下位が粗粒火山灰、上位が細粒火山灰のセットを成す。これら 3 枚の火山灰層の色調は互いに類似しているが、Hk-Ow3 はやや暗灰色、Hk-Ow4 および 5 はやや淡褐色を呈する。各火山灰層は、粗粒火山灰層全体に淘汰が良いこと、層内の構造が認められないことから、著者らは降下火山灰層と判断した。

3. 噴出物の構成

大涌谷テフラ群の構成物を明らかにするために実体顕微鏡観察と X 線回折分析を実施した。対象試料を Table 1 に示す。採取した堆積物 10 数グラム程度を蒸発皿に入れ、水道水を加えた後、超音波洗浄機を用いて細粒粒子を分散させた。細粒粒子が懸濁した水を取り除いた残りの粒子について実体顕微鏡を用いた観察を実施した。ま

Table 1. Summary of microscopic observation and XRD analysis of samples from the Owakidani group.

no	locality	unit	deposit	sample code
1	210	Hk-Ow1	debris flow (fine volcanic ash)	210-a
2	210	Hk-Ow2	debris flow (fine volcanic ash)	210-b
3	216	Hk-Ow2	pyroclastic surge (fine volcanic ash)	216-a
4	216	Hk-Ow2	pyroclastic surge (coarse volcanic ash)	216-b
5	228	Hk-Ow1	air-fall (fine volcanic ash)	228-a
6	202	Hk-Ow3	air-fall (fine volcanic ash)	202-a
7	202	Hk-Ow4	air-fall (fine volcanic ash)	202-b
8	202	Hk-Ow5	air-fall (fine volcanic ash)	202-c

た、細粒粒子が懸濁した水については、数日程度放置して、粒子を沈殿させて分離した後、オープンで乾燥させてX線回折分析用の試料とした。

3-1 実体顕微鏡観察

すべての試料について、直径1 mm以上の粒子は、白、褐色及び灰白色などを呈する変質した岩片であった。直径1 mm以下の粒子では、変質した岩片のほか、石英、斜長石、輝石などの鉱物片が含まれるようになり、特に、直径0.25 mm以下では変質した岩片以外の構成物の割合が高くなる。

含まれる鉱物片のうち、斜長石の大部分と輝石は、大涌谷周辺に分布する安山岩溶岩の造岩鉱物と考えられるが、石英と一部の斜長石については、噴気地帯における変質によって生じたものと考えられる。石英は箱根火山の噴出物には含まれず、検鏡試料のものは自形を呈しているためである。これらの鉱物は、すべての試料で共通に含まれるものであるが、一部の試料からは、新鮮な火山ガラスや岩片が確認された。

新鮮な火山ガラスは、Hk-Ow2の火砕サージ堆積物(地点216)にのみ含まれる。含まれる量はごく微量(0.1%未満)である。この火山ガラスは、透明感のある褐色を呈するほか、表面が滑らかで、やや厚みを有するバブルウォールの形態を示す。一方、新鮮な岩片は、Hk-Ow2の火砕サージ堆積物及びHk-Ow3のシルト質の細粒火山灰層中にそれぞれ1%程度、0.5%程度含まれる。これらの岩片は、全体に灰白色を呈し、大涌谷周辺の安山岩溶岩に起源を有するものと考えられる。

Hk-Ow2の火砕サージ堆積物には、新鮮な火山ガラスがごく僅かながら含まれることから、Hk-Ow2噴火の際は、マグマが浅部まで上昇し、噴火に直接関与した可能性が示唆される。

3-2 X線回折分析

大涌谷テフラ群を構成する物質のうち、細粒成分の同定を行うためにX線回折分析を行った。分析にあたっては、温泉地学研究所の理学電気株式会社製Miniflexを

使用した。分析条件は、管電圧および電流がそれぞれ30 kV, 15 mA, スリットはDSが θ 軸連動可変スリット, SSが 4.2° , RSが0.3 mmである。

すべての試料について、斜長石、石英、明ばん石及び粘土鉱物のピークが得られた。石英、明ばん石及び一部の斜長石は変質によって生じたものと考えられ、これらの含有比に大きな変化は認められない。一方、粘土鉱物の種類と量比は各堆積物間で大きく異なる。

大涌谷テフラ群で検出された粘土鉱物のものと見られる低角のピークは、 15\AA 、 9.0\AA 及び 7.2\AA のものである(Fig. 4)。 15\AA 及び 7.2\AA のピークはそれぞれモンモリロナイト、カオリナイトに該当する。 9.0\AA のピークは微弱ではあるが、パイロフィライトの可能性がある。土石流堆積物では、モンモリロナイトが極めて優勢であるが、パイロフィライト及びカオリナイトも含む。降下テフラでは、カオリナイトがすべての試料に含まれるが、パイロフィライトは一部の試料でしか含まれず、モンモリロナイトは全く検出されなかった。一方、火砕サージ堆積物では、微弱ながらもモンモリロナイトとカオリナイトが検出された。

大涌谷や早雲山の温泉井や蒸気井で採取されたコア試料では、地表から300~400 m付近まではモンモリロナイト、それ以深では緑泥石及び緑泥石・モンモリロナイト混合層粘土が認められる。一方で、カオリナイトは地表の噴気付近や地下の強酸性熱水を胚胎する層準にのみ認められる(萬年・山下, 2005)。

パイロフィライトについては、これまで箱根火山の噴気地帯及びその地下で検出報告がないことからその起源は今後の課題であるが、酸性熱水が存在する領域からもたらされたものと考えられる。小坂(2003)によれば、パイロフィライトは稀に火山噴出物中に認められるが、地表に達する経路ははっきりしていないという。

降下テフラに含まれる粘土鉱物がカオリナイトにほぼ限定されるのは、爆発が噴気地帯の中心部で発生したためと考えられる。前述したように、噴気が優勢な地域で

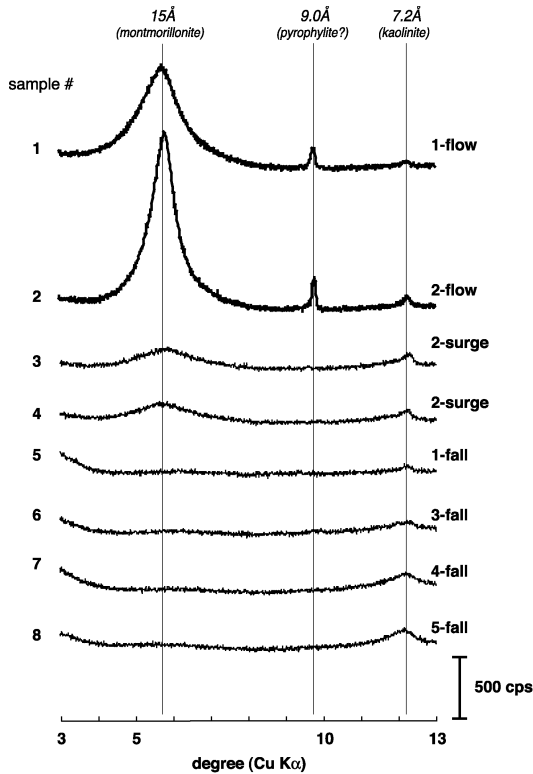


Fig. 4. XRD patterns of Owakidani tephra group.

も、地表下数 m～数十 m ではモンモリロナイトが支配的になることを考えると、爆発は地表近傍で発生したと考えられる。火砕サージ堆積物にモンモリロナイトが含まれることは、爆発がより深いところで発生したことを示す。

一方、土石流堆積物にモンモリロナイトやパイロフィライトと見られるピークを含むのは、これらが噴火後の裸地化によって生じたものであり、噴出堆積物そのものに加え、その下位層準や土石流の流域などの広い範囲を浸食して形成されたためと考えられる。

4. 大涌谷テフラ群の給源と噴火様式

4-1 噴火の給源

一般的に、降下堆積物の層厚は給源付近で大きく、土石流堆積物の給源は堆積物の確認地点より上流に位置する。Hk-Ow1 及び Hk-Ow2 噴火に伴う降下堆積物の層厚分布と、土石流堆積物の確認地点の分布及び地形から推定される土石流の流向から、これらの給源は現在の優勢な噴気地帯である大涌谷ではなく、神山山頂から北東方向に延びる尾根付近にあると推定される (Fig. 3)。

神山山頂周辺には、主に北西-南東方向に伸びる割れ

目状凹地や円形の凹地が多数分布する (Fig. 1)、山頂から北東に延びる尾根上に直径数 10 m 程度の明瞭な円形の凹地が分布するほか、この尾根を横断する割れ目状凹地が存在する。Hk-Ow1 及び Hk-Ow2 の降下テフラ及び土石流堆積物の分布は、この地域に収束する傾向を示すとともに、特に、Hk-Ow2 に伴う火砕サージ堆積物は割れ目状凹地の近傍でのみ確認することができることから、本研究では、これらの凹地群を Hk-Ow1 および 2 の給源火口と推定する (Fig. 3)。

一方、Hk-Ow3～5 は、現在の噴気地帯を中心とした約 200～500 m 範囲内でのみ確認できる。このことから、本研究では Hk-Ow3～5 の給源が現在の大涌谷付近であると推定する。

4-2 噴出物からみた噴火様式

大涌谷テフラ群は、構成物や給源、分布範囲の広さから見て、噴気地帯で発生した比較的小規模な水蒸気噴火であると考えられる。マグマ水蒸気噴火であるか否かを噴出物中の本質岩片の有無で定義すれば、大涌谷テフラ群の噴火は火山ガラスが含まれる Hk-Ow2 を除き、噴火に際して、マグマが直接関与していない可能性が高い。

火山ガラスは、変質しやすいために過去の噴火のものが残りにくい。このため、噴出物に含まれる火山ガラスの存在の有無はその噴火時にマグマが新たに上昇してきたことを示唆するものとして注目されるが、火山ガラスがその噴火時に上昇してきたマグマであることを証明することは難しい。

例えば、九重火山の 1995 年噴火は噴気地帯で発生した噴火で、噴出物中には新鮮な火山ガラスが相当量含まれていた (星住・他, 1996; 渡辺・他, 1996)。しかし、この噴火で放出された火山ガラスは、噴火の推移に伴い水和の程度に違いがあることが明らかになり、噴火の前半に放出された水和の影響を受けたガラスはこの噴火で新しく供給されたマグマのものでは無いとされた (渡辺・他, 1996)。Hk-Ow2 の火砕サージ堆積物に検出された火山ガラスについても、今後、化学分析などに基づく詳細な検討が必要である。

通常、マグマ水蒸気爆発が疑われる噴出物中の火山ガラスの含有量は 10% 程度と高く (例えば、宮縁・他, 2005)、Hk-Ow2 に含まれる火山ガラスの含有量は非常に少ない。

このように噴出物から見る限り、大涌谷テフラ群の形成に対するマグマの関与はないか、あったとしても限定的に見える。しかし、Hk-Ow1 および 2 の給源と推定される付近は顕著な割れ目状の地形が認められ、山体の変形が明らかである。もし、この山体変形が Hk-Ow1 や 2 の噴火と関連すると仮定すると、マグマが地表近くまで

供給された可能性は高いと言える。

5. 大涌谷テフラ群の噴出年代

5-1 神津島天上山テフラの降灰層準

伊豆大島や伊豆半島周辺、静岡平野のごく新しい層準には、白色を呈する細粒火山ガラスからなる「白色火山灰層」の存在が知られている(杉原, 1984; 静岡県埋蔵文化財調査研究所, 1991; 早川・小山, 1992)。火山ガラスの微量分析(嶋田・他, 1998; 杉原・嶋田, 1998)、朝廷で編纂された史書である「続日本後紀」の解析など(小山・早川, 1996)から、この白色火山灰層は神津島天上山噴火(AD838)に伴う降下テフラ(神津島天上山テフラ; 町田・新井, 2003)が飛来したものと考えられている。一方、富士火山山麓では、肉眼では層として認識できないものの、風化火山灰土中に発泡の悪い低屈折率火山ガラスが含まれることが指摘され(上杉, 2003; Sugiuchi and Fukuoka, 2005)は、その火山ガラスの主成分比から神津島天上山テフラに対比される可能性が高いと指摘した。

本調査では、大涌谷テフラ群における神津島天上山テフラの降灰層準を特定することを目的として、姥子遊歩道(地点202)及び大涌谷(地点210)で確認したHk-Ow2層準より上位の風化火山灰土を約5~10cm間隔で採取した。採取試料から検出した火山ガラスは、一様に透明で発泡が悪く、低屈折率(1.494~1.498)を有し、神津島天上山テフラの特徴と類似するものだった。

試料中に含まれるこれらの火山ガラスの個数を計測し、火山ガラスの含有率(%; 1,000粒子中の火山ガラスの個数)として表した(Fig. 5)。含有率の鉛直変化に注目すると、Hk-Ow3直下からHk-Ow5直上にかけて全体に広範な(30~49%)な変化を示すが、Hk-Ow3の上下層準付近でピーク(直下42%, 直上49%)を示し、その下位で急激に減じている(11%)。

風化火山灰土壌に含まれる特定のテフラ層は、動植物や凍結・融解などによる擾乱作用を受け、初期の層準から上下に拡散することが普通である。そこで火山ガラスの含有率から降灰層準を推定する際には、含有率が最大を示す層準をテフラ降灰層準と仮定するか、産出の下限を降灰層準の下限と考えるのが妥当であろう。

分析を行った2地点の検討では、含有率の最大はHk-Ow3の直上か直下、産出の下限はHk-Ow2と3の間とみられる。従って、神津島天上山噴火の層準はHk-Ow3に近く、Hk-Ow2よりも上位にあるものと推定される。

5-2 ^{14}C 年代測定結果

姥子遊歩道(地点202)で確認された大涌谷テフラ群に含まれる微細な炭化木片のほか、テフラ層の直上及び

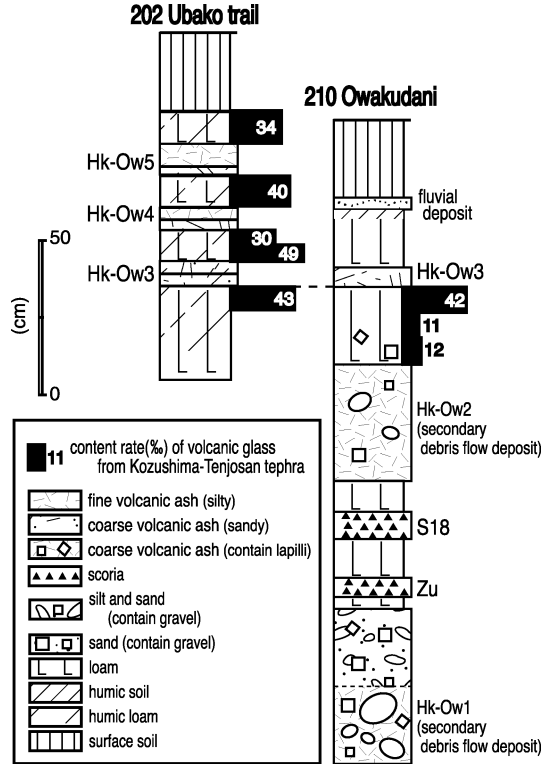


Fig. 5. Contents of volcanic glass shards from Kozushima-Tenjosan tephra.

直下の土壌及び腐植質風化火山灰土を対象として ^{14}C 年代測定を実施した。年代測定は名古屋大学年代測定総合研究センターのHVEE社製のタンデトロン加速器質量分析計(Nakamura *et al.*, 2000)を使用した。なお ^{14}C 年代の算出には国際的に用いられているLibbyの半減期5568年を用い、試料の ^{13}C によって同位体分別効果を補正した(中村, 2001)。測定誤差は1標準偏差で示す。また、暦年較正にはIntcal04.14C(Reimer *et al.*, 2004)のデータベースに基づくCalib5.04(Stuiver and Reimer, 1993; Stuiver *et al.*, 2005)を使用した。以下の記載では、2標準偏差の較正暦年を用いた ^{14}C 年代値及び較正暦年をTable 2に示す。

Hk-Ow3直下の腐植質風化火山灰土の ^{14}C 年代は1,420 ± 30 yr BP (NUTA2-7757)、Hk-Ow2に含まれる炭化木片が830 ± 25 yr BP (NUTA2-7751)及び795 ± 25 yr BP (NUTA2-4458)である。これらは、それぞれ581~660 cal AD, 1,166~1,260 cal AD及び1,209~1,276 cal ADの較正暦年に相当する。また、Hk-Ow4に含まれる炭化木片の ^{14}C 年代は890 ± 25 yr BP (NUTA2-7752)及び810 ± 30 yr BP (NUTA2-7758)である。これらは、概ね1,044~

Table 2. Results of AMS ^{14}C data.

Unit	Sample No.	Lab No.	Method	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ^{14}C age (yrBP; $\pm 1\sigma$)	Calendar age ($\pm 2\sigma$)
Loam below Hk-Ow5	sp.4	NUTA2-7759	AMS	soil	-23.4	880 \pm 25	1045 AD - 1094 AD
							1120 AD - 1141 AD
Hk-Ow4	sp.3.2	NUTA2-7758	AMS	soil	-23.8	810 \pm 30	1175 AD - 1271 AD
Hk-Ow4	sp.3.1	NUTA2-7752	AMS	charcoal	-28.3	890 \pm 25	1044 AD - 1103 AD
							1118 AD - 1143 AD
Hk-Ow3	sp.2.2	NUTA2-4458	AMS	charcoal	-23.8	795 \pm 25	1209 AD - 1276 AD
Hk-Ow3	sp.2.1	NUTA2-7751	AMS	charcoal	-26.7	830 \pm 25	1166 AD - 1260 AD
Loam below Hk-Ow3	sp.1	NUTA2-7757	AMS	soil	-26.2	1420 \pm 30	581 AD - 660 AD

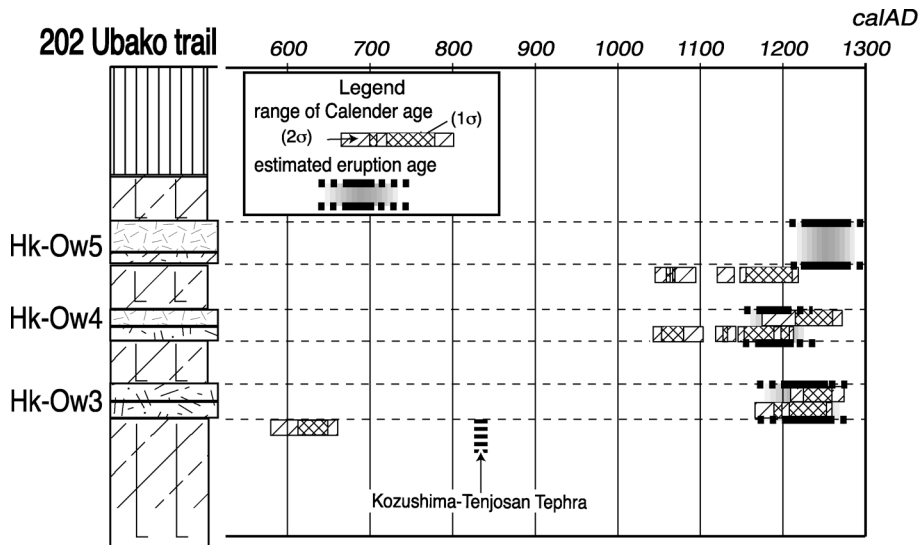


Fig. 6. Eruptive ages of Hk-Ow3, Hk-Ow4 and Hk-Ow5 estimated from the layer of Kozushima-Tenjosan tephra and calendar ages of ^{14}C .

1,215 cal AD 及び 1,175~1,271 cal AD の較正暦年に相当する。一方、Hk-Ow5 直下の腐植質風化火山灰土の ^{14}C 年代は 880 ± 25 yr BP (NUTA2-7759) であり、概ね 1,045~1,219 cal AD の較正暦年に相当する。

較正暦年に注目すると、Hk-Ow3 直下と Hk-Ow3 層準に約 500 年の時間間隙がある一方、Hk-Ow3 から Hk-Ow5 にかけての年代値の大部分が重なり合っていることがわかる。

5-3 噴出年代の検討

前述した神津島天上山テフラの降灰層準及び較正暦年などにに基づき、大涌谷テフラ群の噴出年代を検討する (Fig. 6)。

Hk-Ow1 は箱根冠ヶ岳テフラ (Hk-Kn) とカワゴ平テフラの上位で、S11 テフラと砂沢テフラの間に挟まれる。Hk-Kn の ^{14}C 年代は約 2.9 kyr BP と考えられてきた

が (大木・袴田, 1975)、最近の研究によって、カワゴ平テフラ及び砂沢テフラの ^{14}C 年代が概ね 3.1 kyr BP であることが報告され (嶋田, 2000; 山元・他, 2005)、これらの年代関係が層位と矛盾することが明らかになっている。今後、箱根冠ヶ岳テフラの噴出年代の再検討が必要だが、本論文では、Hk-Ow1 の噴出年代をカワゴ平テフラや富士火山起源のテフラ群との ^{14}C 年代値に基づき約 3 kyr BP と考える。一方、Hk-Ow2 の噴出年代は、その下位にある S18 テフラ (2440~2520 cal yr BP; 山元・他, 2005) と Hk-Ow3 との層位関係などから約 2 kyr BP と推定される。

Hk-Ow3 の較正暦年は 12 世紀後半から 13 世紀前半に集中する。これは神津島天上山テフラの降灰層準が Hk-Ow3 の下位に推定されるのと調和する。一方、Hk-Ow4 及び Hk-Ow5 の較正暦年も Hk-Ow3 と同様、12

世紀中頃から13世紀中頃に集中する。このことは、これらの噴火が12世紀後半から13世紀にかけての比較的短期間に発生した可能性が高いことを意味する。

6. 大涌谷テフラ群と周辺のテクトニクス

高橋・他(1999)は、箱根火山中央火口丘の冠ヶ岳溶岩ドーム(約3kyr BP)及び二子山溶岩ドーム(約5kyr BP; 袴田・伊藤, 1996)の形成時期が、国府津—松田断層の活動時期にほぼ一致することに注目した。箱根火山は丹那—平山構造線(小山, 1993)上に形成されているが、この構造線は国府津—松田断層と接続していると見られる(徐, 1995; 萬年・他, 2005; Fig. 7)。高橋・他(1999)は箱根火山のマグマ供給システムが、丹那—平山構造線(小山, 1993)上に形成された箱根火山中心部にあるブルアパートに支配されていると考え(Fig. 7)、その噴火活動が、丹那—平山構造線とそれにつながる国府津—松田断層と密接な関係にあると考えた。

そこで、本論文で明らかになった箱根火山の最近約3000年の噴火イベントが、周辺のテクトニクスのイベントとどのような時間的な関係があるのかについて整理・検討を行った(Fig. 8)。

Hk-Ow1の噴出時期は、国府津—松田断層の活動イベント3もしくは4(神奈川県, 2003; 2004)、丹那断層の活動イベントE(丹那断層発掘調査グループ, 1983)の発生時期に近接する。また、Hk-Ow2の噴出時期は、国府津—松田断層の活動イベント2、丹那断層の活動イベントD(丹那断層発掘調査グループ, 1983)の発生時期に近接する。一方、Hk-Ow3、Hk-Ow4及びHk-Ow5の噴出時期と考えられる12世紀後半から13世紀にかけては、最近明らかになった国府津—松田断層の最新活動イベント(12世紀~1350AD; 神奈川県, 2003; 2004)の時期に当たり、両者のイベント発生時期が非常に近接することが分かった。このように、国府津—松田断層、丹那断層の活動と箱根火山の活動との間には、高橋・他(1999)が指摘したテクトニクスの関連性が最新期の水蒸気爆発でも認められるように見える。

7. まとめ

1) 箱根火山の大涌谷周辺において、神山北斜面及び大涌谷を給源とする大涌谷テフラ群(Hk-Ow1~5)を発見し、記載した。大涌谷テフラ群はこれまで確認されている箱根火山の最新のマグマ噴火よりも新しい。

2) Hk-Ow1は降下火山灰堆積物と二次的な土石流堆積物からなる。Hk-Ow2は降下火山灰堆積物、二次的な土石流堆積物に加えてサージ堆積物からなる。Hk-Ow3から5はいずれも降下火山灰堆積物のみからなる。

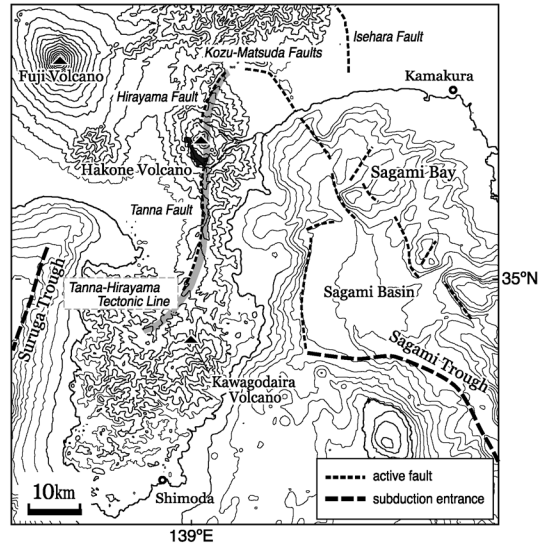


Fig. 7. Tectonic setting around northernmost area of Izu Peninsula (Koyama, 1995; Takahashi et al., 1999). Contour interval is 200 m.

3) 降下火山灰の層厚分布、および土石流堆積物の流路の検討などから、Hk-Ow1および2の給源は大涌谷噴気地帯ではなく、その西側稜線上にある凹地であるものと見られる。一方、Hk-Ow3から5は分布の中心が大涌谷噴気地帯付近にあり、現在の噴気地帯を給源とするものと見られる。

4) 大涌谷テフラ群は、変質岩片、変質鉱物、造岩鉱物片及び粘土鉱物などが主要な構成物である。これらの構成物は、現在の噴気地帯の地表部において普遍的に見られるものである。こうした構成物の特徴や給源の位置を踏まえると、大涌谷テフラ群は噴気地帯における水蒸気爆発によってもたらされたものと考えられる。しかし、Hk-Ow2の火砕サージ堆積物には、ごく微量ながらも新鮮な火山ガラスが含まれていることや、給源付近の地形が変形していることを考えると、箱根大涌谷テフラ群の形成時にマグマが浅部まで上昇してきた可能性は否定できない。

5) 神津島天上山テフラの降灰層準との関係及び較正暦年から、Hk-Ow3、Hk-Ow4及びHk-Ow5は12世紀後半から13世紀にかけての比較的短期間に噴出した可能性が高い。

6) 大涌谷テフラ群の噴出年代は、国府津—松田断層及び丹那断層の活動イベント年代と近接しているように見える。

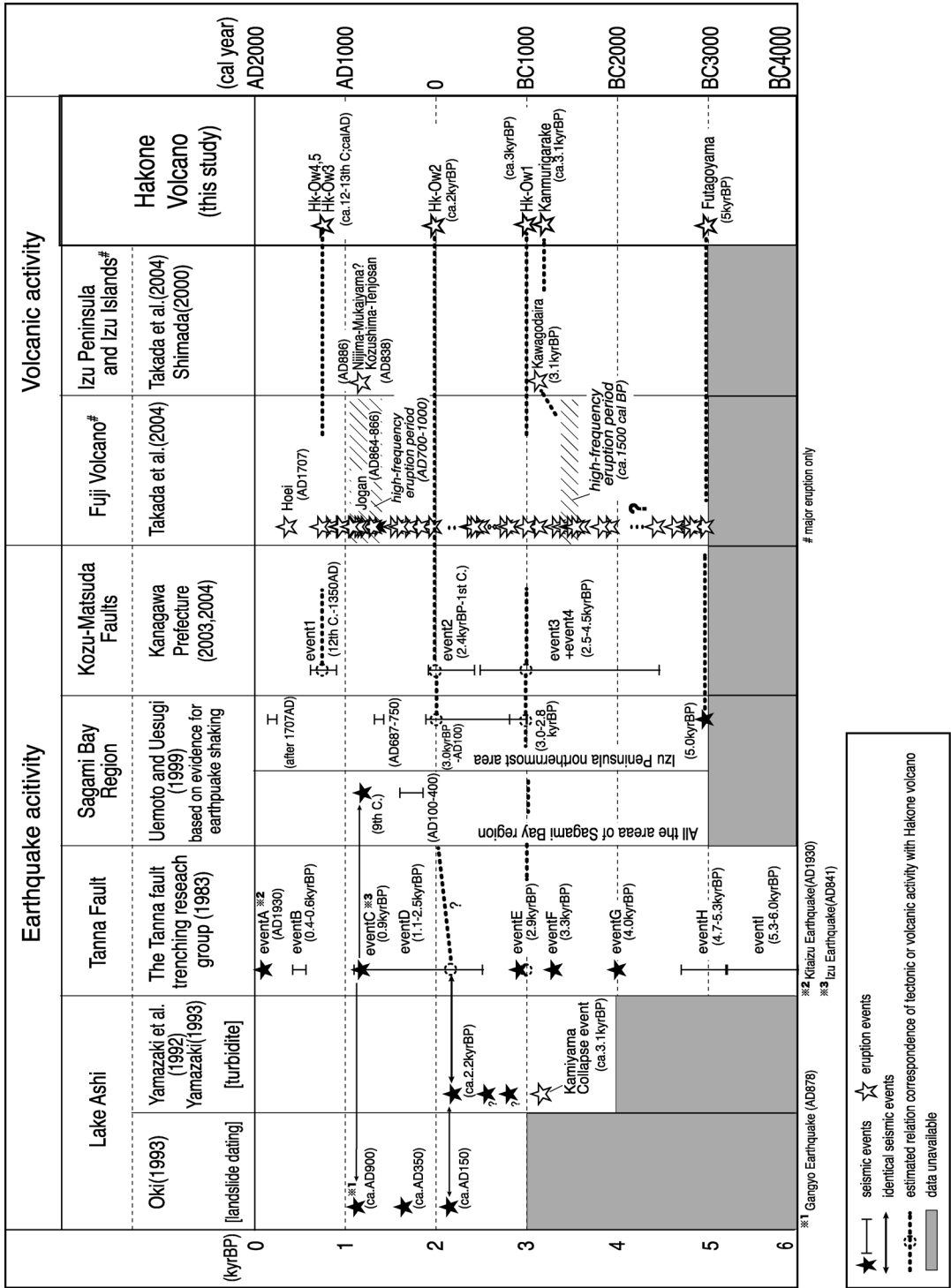


Fig. 8. Seismic and volcanic events around Hakone Volcano correlated with the activity of Hakone Volcano.

謝 辞

静岡大学教育学部の小山真人教授、産業技術総合研究所の高田亮研究員には、現地調査に同行いただき、主要露頭で確認された大涌谷テフラ群の特徴及び観察上の留意点について丁寧にご教示頂くとともに、本研究の進め方などについても貴重なコメントを頂きました。また、査読者である鹿野和彦氏と一名の匿名査読者、編集者である石塚治氏の細部にわたる適切な指摘によって、本論文の内容は大きく改善されました。以上の方々に深く感謝いたします。

なお、本研究の一部には「東京大学地震研究所特定共同研究 B」(研究課題名: 活火山における噴火様式の時代的変遷と長期噴火予知の基礎的研究)の経費(研究分担者: 萬年一剛)を使用いたしました。

引用文献

- 袴田和夫(1981)箱根仙石原の地質と編年。大涌谷自然科学館調査研究報告, **1**, 1-10.
- 袴田和夫(1993)箱根火山探訪。神奈川新聞社, 189p.
- 袴田和夫・伊藤 潤(1996)箱根二子山火砕流の¹⁴C年代。大涌谷自然科学館研究報告, **13**, 21-24.
- 早川由紀夫・小山真人(1992)東伊豆単成火山地域の噴火史 1: 0~32ka。火山, **37**, 167-181.
- 平田由紀子(1999)箱根火山の発達史。神奈川県立博物館調査研究報告(自然科学), **9**, 153-178.
- 星住英夫・川辺禎久・鎌田浩毅・齊藤英二(1996)九重火山 1995年10月の噴火とその堆積物。地質ニュース, (498), 33-35.
- 神奈川県(2003)平成14年度神奈川県活断層(神縄・国府津一松田断層帯)調査事業成果報告書, 78p.
- 神奈川県(2004)平成15年度地震関係基礎調査交付金神縄・国府津一松田断層帯に関する調査, 76p.
- 小林 淳(1999)箱根火山の最近5万年間のテフラ層序と噴火史。第四紀研究, **38**, 327-343.
- 小山真人(1993)伊豆半島の火山とテクトニクス。科学, **63**, 312-321.
- 小山真人(1995)西相模湾断層の再検討と相模湾北西部の地震テクトニクス。地学雑, **104**, 45-68.
- 小山真人・早川由紀夫(1996)伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史。地学雑, **105**, 133-162.
- 久野 久(1972)箱根火山地質図および同説明書。箱根火山地質図再版委員会, 52p.
- 町田 洋・新井房夫(2003)新編火山灰アトラス—日本列島とその周辺。東京大学出版会, 336p.
- 萬年一剛・山下浩之(2005)箱根火山・早雲山噴気地帯の地下構造。日本地質学会第112年学術大会講演要旨, p. 67.
- 萬年一剛・小林 淳・山下浩之・古澤 明(2005)神奈川県山北町・浅間山の隆起開始年代—伊豆弧北東端のアクティブテクトニクスに対する一つの制約。地質雑, **111**, 111-114.
- 宮縁育夫・池辺伸一郎・渡辺一徳(2005)阿蘇火山中岳で2003年7月10日と2004年1月14日に起こった湯

- だまりからの火山灰噴出。火山, **50**, 227-241.
- 宮地直道(1988)新富士火山の活動史。地質雑, **94**, 433-452.
- 中村俊夫(2001)放射性炭素年代とその高精度化。第四紀研究, **40**, 445-459.
- Nakamura, T., Niu, E., Oda, H., Ikeda, A., Minami, M., Takahashi, H., Adachi, M., Pals, L., Gott dang, A. and Suya, N.(2000)The HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B172**, 52-57.
- 日本火山学会編(1975)箱根火山。箱根町, 185p.
- 大木靖衛(1993)箱根の逆さ杉と南関東の大地震。地学雑, **102**, 437-444.
- 大木靖衛・袴田和夫(1975)箱根芦ノ湖誕生のなぞをさぐる。国土と教育, **30**, 2-9.
- 小坂丈予(2003)日本各地の火山噴出物に含有される粘土鉱物と噴火活動様式の考究。火山, **48**, 43-61.
- Reimer, P.J. et al. (2004)IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 26-0ka BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029-1058.
- 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.
- 嶋田 繁・杉原重夫・福岡孝昭(1998)火山ガラスの微量元素組成による神津島天上山テフラと神津島向山テフラの識別。地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集, 416.
- 静岡県埋蔵文化財研究所編(1991)池ヶ谷遺跡。平成2年静清バイパス(池ヶ谷地区)埋蔵文化財発掘調査概報, 33p.
- 徐 垣(1995)足柄層群南縁の衝上断層(日向断層)とその地震テクトニクス上の意義。地質雑, **101**, 295-303.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. and Reimer, R.W. (2005) CALIB 5.0. [WWW program and documentation; <http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/calib/>].
- 杉原重夫(1984)丹那断層名賀地区トレンチにおける示標テフラの岩石記載の特性と噴出年代。月刊地球, **6**, 171-177.
- 杉原重夫・嶋田 繁(1998)上土遺跡で発見された流紋岩質テフラの微量元素分析。静清バイパス総括編(補遺)—昭和59年~平成5年度静清バイパス埋蔵文化財発掘調査報告書, 財団法人静岡県埋蔵文化財調査研究所, 169-174.
- Sugiuchi, Y. and Fukuoka, T. (2005) Tephrochronology of recent (~1200 YBP) Mt. Fuji eruption history using rhyolitic tephra derived from outside Mt. Fuji Volcano. *International Field Conference and Workshop on Tephrochronology and Volcanism: "Tephra Rush 2005"*, INQUA Sub-Commission for Tephrochronology and Volcanism (SCOTAV).
- 杉山茂夫・粟屋 徹・平野富雄(1992)箱根火山の火砕流。神奈川県温泉地学研究所報告, **23**, 1-8.
- 高田 亮・石塚吉浩・中野 俊・小林 淳・鈴木俊介・荒井健一・千葉達朗(2004)富士火山の噴火様式の進化(予報)。月刊地球, 号外, **40**, 108-117.

- 高橋正樹・長井雅史・内藤昌平・中村直子 (1999) 箱根火山の形成史と広域テクトニクス場. 月刊地球, **21**, 437-445.
- 丹那断層発掘調査グループ (1983) 丹那断層 (北伊豆・名賀地区) の発掘調査. 地震研究所彙報, **58**, 797-300.
- 上本進二・上杉 陽 (1999) 相模湾周辺の遺跡から検出された地震跡. 第四紀研究, **38**, 533-542.
- 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序. 関東の四紀, **17**, 3-33.
- 上杉 陽 (2003) 地学見学案内書 富士山. 日本地質学会関東支部, 117p.
- 渡辺公一郎・渡辺一徳・壇原 徹・中田節也・本村慶信 (1996) 九重火山 1995 年噴火に伴う火山灰の推移と発泡ガラスの発見. 地球惑星科学関連学会 1996 年合同大会予稿集, 379.
- 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.
- 山崎晴雄 (1993) 南関東の地震テクトニクスと国府津・松田断層の活動. 地学雑, **102**, 365-373.
- 山崎晴雄・下川浩一・水野清秀・井内美郎 (1992) 断層の活動史に関する研究. 科学技術庁研究開発局: 科学技術振興調整費「マグニチュード7級の内陸地震の予知に関する研究」, 第I期, 第II期成果報告書, 98-112. (編集担当 石塚 治)