

箱根火山中央火口丘群の噴火史とカルデラ内の地形発達史 —噴火活動と密接な関連を有する地形—

Eruption History of the Hakone Central Cone Volcanoes, and Geographical Development Closely Related to Eruptive Activity in the Hakone Caldera

小林 淳¹⁾

Makoto KOBAYASHI¹⁾

Abstract. Based on the tephrochronology, facies of eruption deposits and geomorphological features in the last 60kys, this study reveals the eruption history of Hakone central cone volcanoes. There are characteristics that the eruption style, the place of vents and the eruption rate of magma etc. change in the eruption history of the Hakone Volcano. This study suggests that the activity of the Hakone Volcano may be closely related to the tectonic events around the Kozu-Matsuda Faults, Tanna-Hirayama Tectonic Line and Higashi-Izu Monogenetic Volcano Group. It was clarified that the eruption activities of the central cone volcanoes would play the important roles to the geographical development process in the Hakone caldera.

Key words: Hakone volcano, central cones, tephrochronology, eruption history, geographical development

1. はじめに

近年、箱根火山では精力的な調査が行われ、膨大な地質・岩石学的データに基づいた新しい箱根火山の形成モデルが提唱されている（高橋ほか，1999；萬年ほか，2006；高橋・長井，2007 など）。

本研究は、箱根カルデラ内に小型カルデラ（強羅カルデラ；萬年ほか，2006）を形成したとされる箱根東京テフラ（Hk-TP、Hk-TPfl）以降の最近 6 万年間の噴火活動に着目した。本稿では、箱根カルデラ内外で確認される噴火堆積物の層序と層相を記載し、箱根火山の噴火史を明らかにした。そして、噴火活動の時間変化や各時期の噴火活動の特徴を整理するとともに、箱根火山の火山活動と周辺のテクトニクスイベントとの関連性を検討し

た。最後に、箱根カルデラ内の早川から芦ノ湖に至る河川系の地形発達過程に着目し、カルデラ内の地形形成要因としての中央火口丘群の噴火活動との重要性について検討を行った。

2. 中央火口丘群の概要

箱根火山は、古期外輪山と古期カルデラ、新期外輪山と新期カルデラ、中央火口丘で構成される三重式火山であるとする考え方が広く用いられてきた（久野，1972）。これに対して、高橋・長井（2007）は、古期カルデラが地形的に明瞭であるのに対して、新期カルデラが極めて不明瞭であることから、久野（1972）の新期外輪山を前期中央火口丘（新期山体；萬年ほか，2006）、久野（1972）の中央火口丘を後期中央火口丘と定義した。また、前期および後期中央火口丘の噴出物の K₂O 含有量の違いから、前期中央火口丘を第 1 期～第 3 期に細分し、箱根東京テフラや中央火口丘テフラなどの火砕物（降下軽石・火砕流）噴火が卓越した時期を第 4 期、後期中央火口丘（溶岩ドーム群など）を第 5

1) 株式会社ダイヤコンサルタント
ジオエンジニアリング事業本部 地質解析センター
〒331-8638 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3
Dia Consultant Co., Ltd.
2-272-3 Yoshino-cho, Kita-ku, Saitama, Saitama 331-8638, Japan
小林淳；m.kobayashi@diaconsult.co.jp

期に分類した。なお、本研究は、久野（1972）による中央火口丘の活動を主な研究対象としていることから、本稿では、注釈がない限り、前期・後期の区別を付けずに、従来の知見を踏襲し、中央火口丘という用語を使用した。

Kuno（1950）は、中央火口丘の活動を、古い順に中央火口丘軽石（CC₁）の噴出、火山円礫岩（CC₂）の流出、台ヶ岳（CC₃）、小塚山（CC₄）、神山（CC₅）、陣笠山（CC₆）、駒ヶ岳（CC₇）及び二子山（CC₈）からなる中央火口丘群の噴出、神山の山体崩壊（CC₉）に区分した。このうち、中央火口丘軽石（CC₁）の活動は、プリニー式噴火などの爆発的活動に特徴付けられ、関東ローム研究グループ（1965）、町田（1971）、新井ほか（1977）などによって、詳細な層序、層相や鉱物的な特徴などが明らかにされた。一方、中央火口丘群（CC₃～CC₉）の活動は、溶岩ドームや厚い溶岩流の噴出とそれに伴う block and ash flow の流下といった比較的静穏な活動で特徴付けられ（大木・袴田，1975；袴田，1993；小林，1999）、約 3000 年前の冠ヶ岳溶岩ドームを噴出した噴火が最新マグマ噴火とされている（大木・袴田，1975）。

最近になって、神山や大涌谷を中心とする地域において、冠ヶ岳噴火以降に発生した 5 回の水蒸気噴火に伴う堆積物が発見され、それらの噴火年代が明らかにされた（小林ほか，2006）。

3. 噴火堆積物の特徴—テフラ層序を中心として—

箱根東京テフラ（Hk-TP、Hk-TPfl）の噴出以降、最近約 6 万年間の中央火口丘起源の噴火堆積物の特徴について、小林（1999）および小林ほか（2006）のほか、最近の知見を踏まえて再整理する（図 1、図 2）。

(1) 中央火口丘テフラ群；降下軽石の噴出

箱根カルデラ内を給源とした数回の大規模な火砕流噴火の後、小型の成層火山（先神山）が形成された。先神산을給源としたプリニー式噴火などの爆発的活動によって降下軽石（中央火口丘テフラ；Hk-SP、Hk-CC1～7）を噴出した時期である。

a) 箱根東京テフラ（Hk-TP、Hk-TPfl；約 60ka）

箱根東京テフラ（Hk-TP、Hk-TPfl）は軽石流噴出期を代表する大規模な噴出物であり、Hk-TPfl は、横浜西部周辺（町田，1971；笠間・山下，2007）や富士川付近にまで達している（Yamazaki，1992）。

箱根町芦之湯（Loc.113）では、淡黄色～白色降下軽石からなる Hk-TP、その上位に斜交層理が一部発達する層厚 4m 以上の淡黄色の細粒火山灰互層からなる火砕サージ堆積物を確認できる。さらに上位には、層厚 10m 程度の淡茶色火山灰を基質とする火砕流堆積物と、その直上の層厚 3m 程度で類質岩片を多く含む暗灰色の石質岩片を基質とする火砕流堆積物で構成される Hk-TPfl を確認できる。

従来、箱根東京テフラの噴出年代として、Hk-TPfl 中の炭化木片の ¹⁴C 年代（52310 ± 310yrs B.P.；中村ほか，1992）が用いられていたが、最近では 60～65ka（町田・新井，2003）（ka；1000 年前；以下同じ）が使用され

ることが多い。本研究では、Hk-TP 及び Hk-TPfl の噴火年代を約 60ka と考え、他の噴出物の年代推定の基準とする。

b) 先神山テフラ（pre-Kamiyama；約 58ka）

箱根町芦之湯（Loc.113）では、Hk-TPfl の上位にローム層を挟んで、厚さ 140cm の先神山テフラ（pre-Kamiyama）を確認できる。pre-Kamiyama は、下位から、橙色～黄色の降下軽石、無斑晶質の溶岩流、block and ash flow 堆積物、安山岩質岩片を含む白色降下軽石、暗灰色の降下火山砂からなる連続した堆積物と、ローム層を挟んで、その上位の暗灰色～灰色の降下火山砂で構成される。

平田（1991）は、本研究の pre-Kamiyama に相当する噴出物を、層序的に Hk-TPfl 最上部の噴出物と考えているが、block and ash flow 堆積物に含まれる本質岩塊の化学組成が中央火口丘起源の溶岩の傾向に一致することから、中央火口丘期初期の噴出物に相当すると述べている。笠間・山下（2007）は、箱根火山東斜面の小田原市久野諏訪原において、Hk-TP のすぐ上位に斑レイ質岩片を含む降下スコリア層を発見し、諏訪原テフラ（SwS）と命名している。SwS が全体に粗粒であること、斜方輝石を特徴的に含む安山岩質であることなどの特徴から、その上部（SwS-b）を箱根火山起源の噴出物と考えている。また、袴田ほか（2005）および高橋・長井（2007）は、神山北西斜面のボーリング試料で確認された湖成堆積物と凝灰角礫岩を覆う安山岩溶岩（湖尻溶岩；萬年・杉山，2000）について、その層位や K-Ar 年代（0.07 ± 0.01Ma）などの特徴から、箱根東京テフラ噴出後の中央火口丘初期の噴出物と考えている。

以上の知見を踏まえると、箱根カルデラ内においては、箱根東京テフラ噴出後、しばらくの休止期を挟んで、溶岩流や降下軽石・火山灰の噴出を伴う噴火活動が、複数箇所、もしくは幅広い範囲で発生したと考えられる。先神山の噴火年代は約 58ka と考えられる。

c) 箱根三色旗テフラ（Hk-SP；約 52ka）、箱根中央火口丘 1, 2 テフラ（Hk-CC1, 2；約 49ka, 約 47ka）

箱根火山東麓では、Hk-TPfl の上位に箱根三色旗テフラ（Hk-SP）と箱根中央火口丘 1, 2 テフラ（Hk-CC1, Hk-CC2）のといった降下テフラが広く分布する（町田，1971）。

箱根町芦之湯（Loc.113）では、Hk-SP は青色～青灰色岩片を含むピンク色～淡黄色の軽石とその直上の褐色火山砂をとって確認できる。Hk-CC1 は青灰色火山砂とその直上の白色軽石の 2 つのユニットから構成され、白色軽石層中には扁平化した赤色酸化軽石と周辺部が赤く焼けた類質岩塊を含む。一方、Hk-CC2 は赤色化した軽石と類質岩塊を含む白色軽石として確認できる。これらの噴火年代について、Hk-SP が約 52ka、Hk-CC1 は約 49ka、Hk-CC2 は約 47ka と考えられる。

d) 箱根中央火口丘 3, 4 テフラ（Hk-CC3, 4；約 46ka, 約 45ka）

箱根中央火口丘 3, 4 テフラ（Hk-CC3, Hk-CC4）は、箱根火山東麓だけではなく南西麓にも分布する降下テフラである。このうち、Hk-CC4 は、愛鷹ローム団研グルー

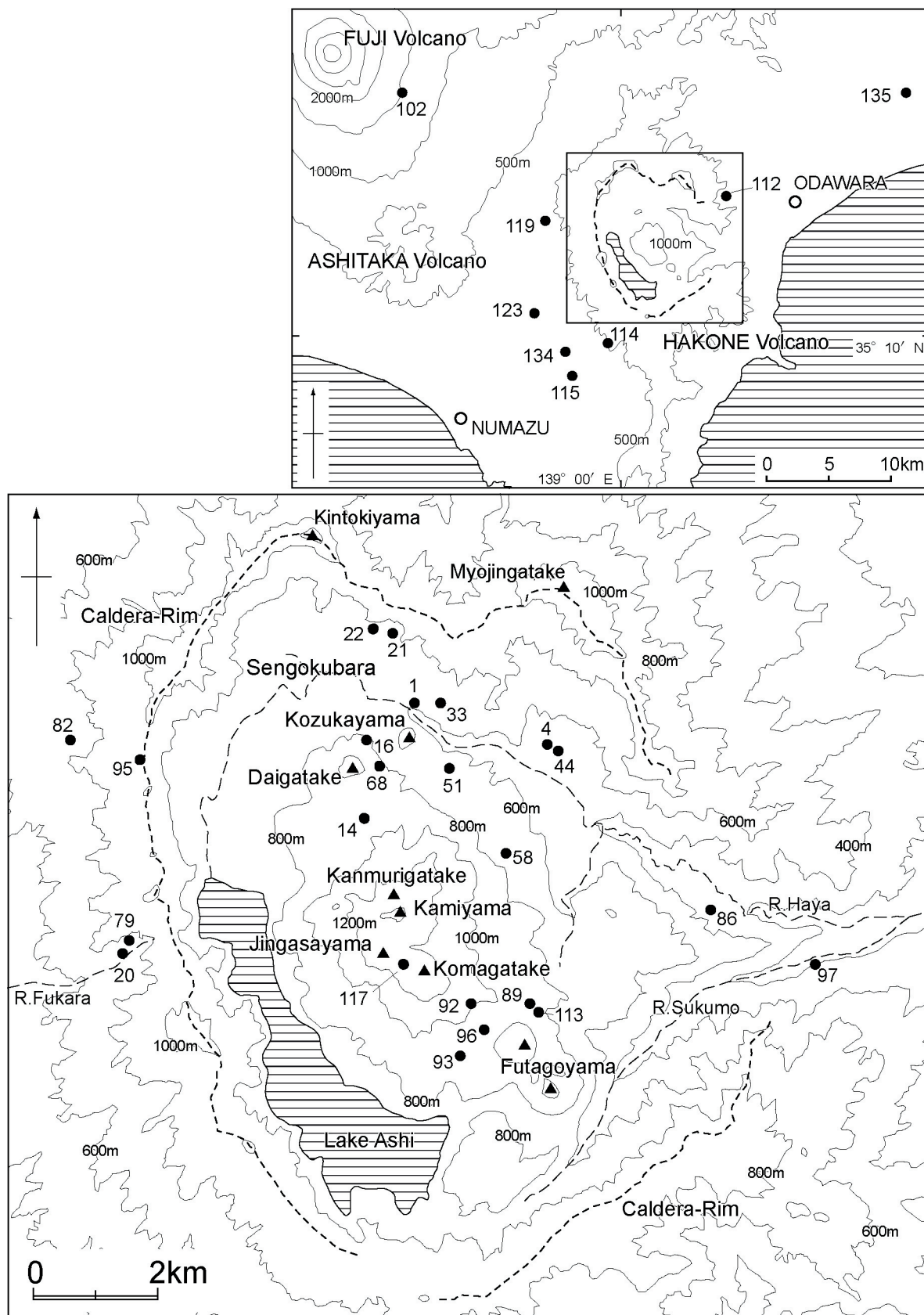


図 1. 箱根火山の地形図及び観察露頭位置.

Fig.1. Locations outcrops around the Hakone volcano.

プ (1969)、由井 (1983)、小林・小山 (1996) によって箱根三島軽石として記載され、その分布主軸は南西方向にあるとされている (小林・小山, 1996)。

箱根芦之湯 (Loc.113) において、Hk-CC3 は暗褐色火山砂混じりの橙色降下軽石とその直上の淡灰色火山砂

として確認できる。Hk-CC4 は、安山岩質の岩片を多く含むピンク色～橙色降下軽石層とその直上の褐色～暗灰色火山砂として確認できる。箱根火山南西麓の三島市山中新田 (Loc.114) では、橙色降下軽石 (Hk-CC4) とその下に火山砂混じりの黄色～橙色軽石 (Hk-CC3)

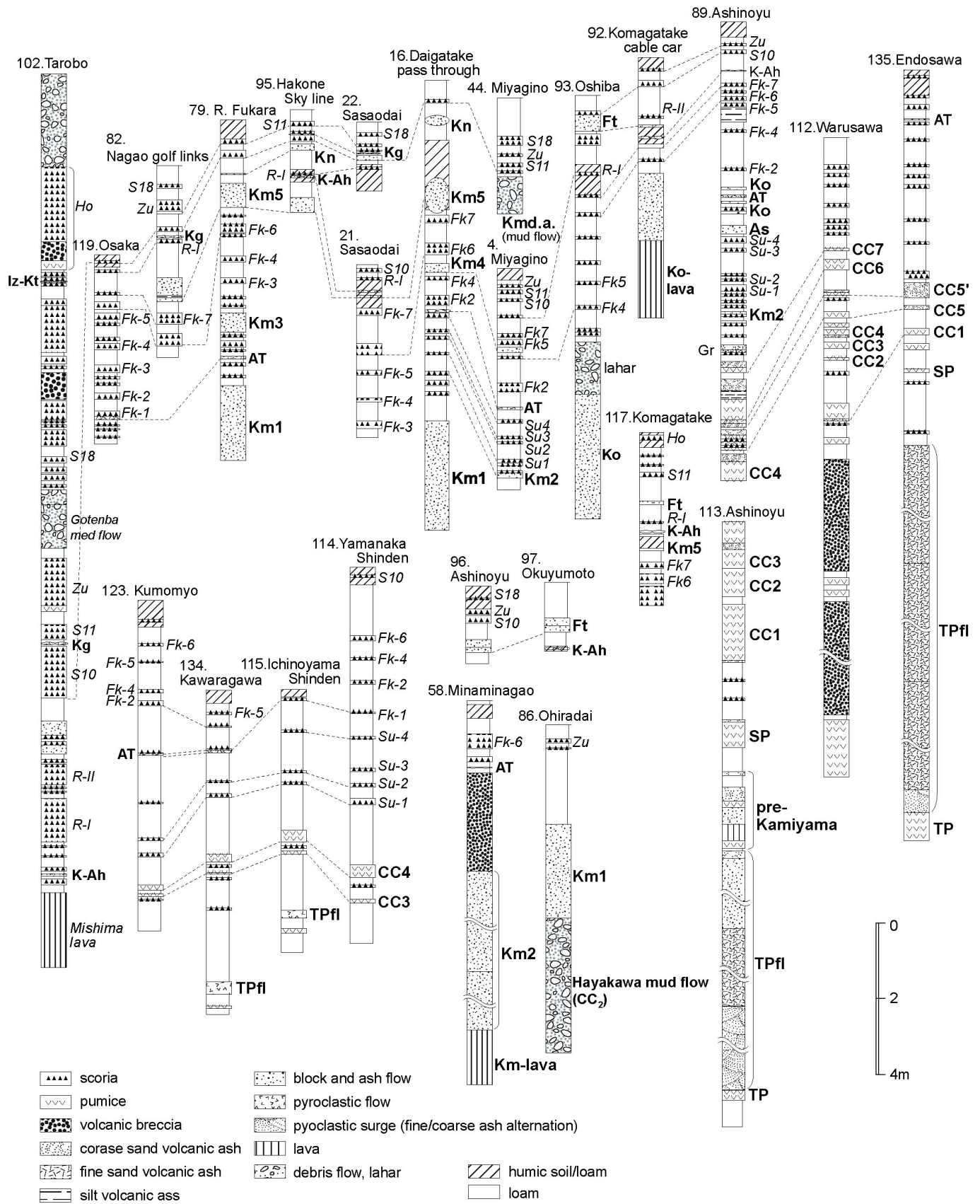


図2. 箱根火山及び周辺域の柱状図(小林, 1999). 給源火山を示す表示(Hk-, Fj-など)は省略した. 太字; 本稿で記載した箱根火山起源及び広域テフラ, 斜体; 富士火山起源テフラ.

Fig.2. Representative columnar sections for tephra layers around around the Hakone volcano. (after Kobayashi, 1999).

として確認できる。噴火年代は、Hk-CC4 が約 46ka、Hk-CC3 は約 45ka と推定される。

e) 箱根中央火口丘 5a, 5b テフラ (Hk-CC5a, Hk-CC5b ; 約 44ka)

箱根中央火口丘 5 テフラ (Hk-CC5) は、皆川 (1968, 1969) によって BCVA (青色粗粒火山灰密集層) と記載された青灰色を呈する降下火山砂～火山礫である。

箱根火山東麓の小田原市和留沢 (Loc.112) などでは、Hk-CC5 は、ローム層を挟んで、下位の火山礫混じり青灰色火山砂からなる Hk-CC5a と上位の青灰色火山砂からなる Hk-CC5b に分けられる。箱根カルデラ内の箱根町芦之湯 (Loc.89) においても、青色や褐色を呈する火山砂、橙色軽石、火山岩片及び火山シルトの互層からな

る Hk-CC5a と、青灰色火山砂からなる Hk-CC5b が薄いローム層を挟んで分布する。噴火年代はともに約 44ka と推定される。

f) 箱根中央火口丘 6, 7 テフラ (Hk-CC6, 7 ; 約 42ka, 約 41ka)

箱根町芦之湯 (Loc.89) において、箱根中央火口丘 6 テフラ (Hk-CC6) は、赤色酸化した類質岩塊を多量に含む黄色降下軽石とその直上の火山シルト～火山砂互層として確認できる。箱根中央火口丘 7 テフラ (Hk-CC7) は、安山岩質岩片を多く含む橙色降下軽石とその直上の暗灰色～暗褐色の塊状火山砂として確認できる。噴火年代は、Hk-CC6 が約 42ka、Hk-CC7 は約 41ka と推定される。

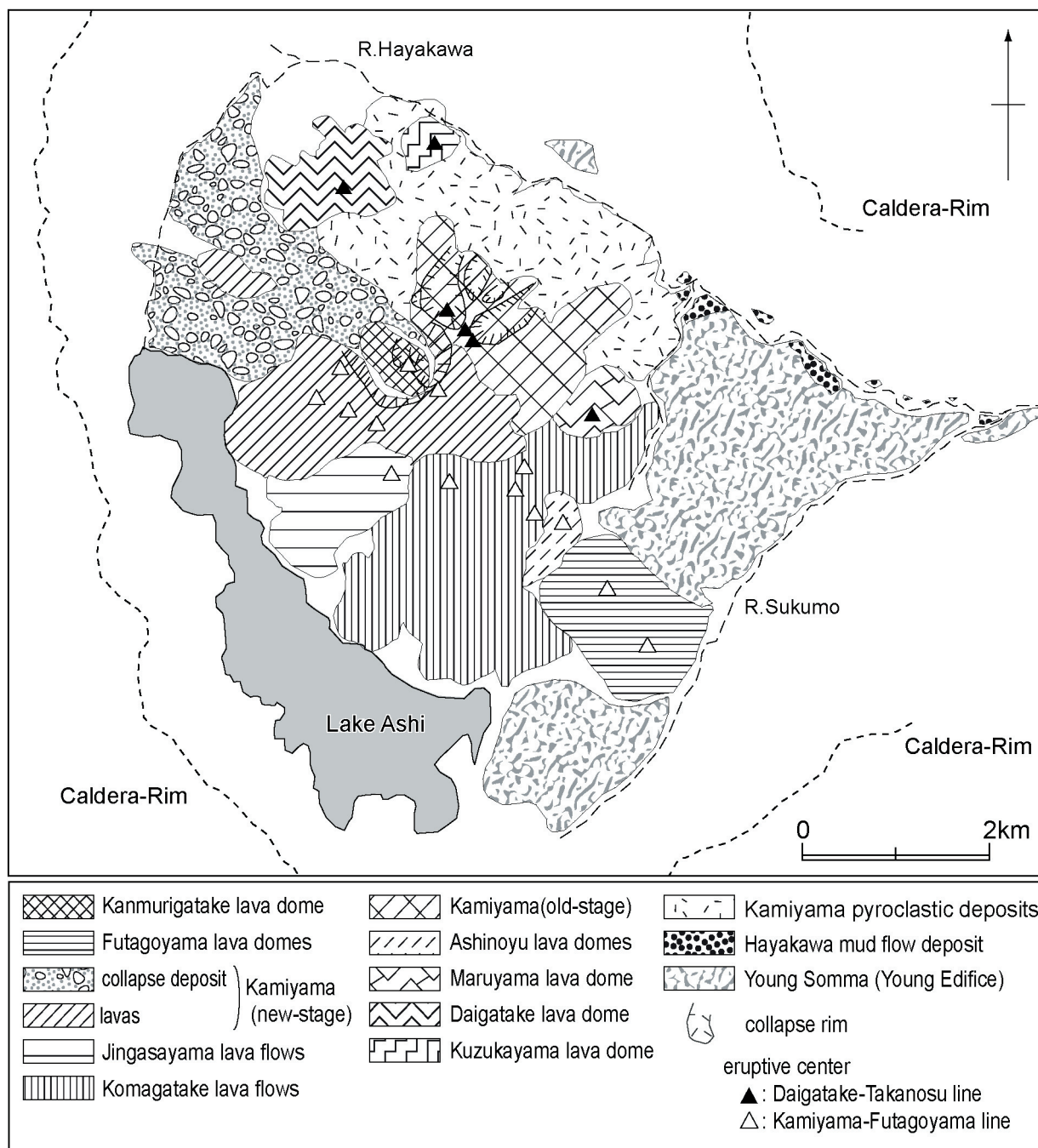


図 3. 中央火口丘群の火山地質図 (小林, 1999 を一部改変) .

Fig.3. Geological map of the Hakone central cone volcanoes. (modified from Kobayashi (1999)).

(2) 溶岩流・溶岩ドームとそれに伴う block and ash flow の噴出

この時期の噴火活動は、玄武岩質安山岩～安山岩の比較的粘性の高い溶岩流や溶岩ドームの噴出と、それに伴う block and ash flow の流下を繰り返す噴火様式で特徴づけられる。block and ash flow 堆積物は、一般に発泡の悪い本質岩塊とその細粉から構成されるが、やや発泡しているものも含まれる。

本研究では、地形的な特徴から、中央火口丘群を台ヶ岳溶岩ドーム、小塚山溶岩ドーム、丸山溶岩ドーム、神山（古期・新期）、駒ヶ岳、芦之湯溶岩ドーム群、陣笠山、二子山溶岩ドーム、冠ヶ岳溶岩ドームに区分した（図 3）。このうち、神山と駒ヶ岳は、複数の噴出中心から噴出した溶岩流で構成される（高橋・長井，2007）。

a) 早川泥流堆積物（CC2；41ka）

早川泥流堆積物（CC2；火山円礫岩；Kuno, 1950）は、シルトや細砂を基質として安山岩の円～亜円礫が混在する泥流堆積物である。

箱根町大平台（Loc.86）や宮ノ下などの早川沿いに分布する河成段丘を構成する（図 3）。箱根町木賀では、よくしまった淡黄色シルトを基質として、径 2m 以上の一部赤色酸化した安山岩の亜円礫を含む土石流堆積物として確認できる。

袴田（1993）は、CC2 に含まれる木片の ^{14}C 年代値として $18560 \pm 510\text{yrs B.P.}$ を報告しているが、CC2 を覆う block and ash flow 堆積物（Hk-Km1；後述）がより古い年代を示すことからこの年代値を疑問視している。

b) 含雲母グリース状テフラ（Gr；約 40ka）

含雲母グリース状テフラは、箱根火山南西麓において含雲母グリース状火山灰（愛鷹ローム団研グループ，1969）やグリース状アッシュ（Gr；由井，1983）と記載され、富士裾野スコリア 1（F-Su1）の直下に分布するとしている（小林・小山，1996）。また、佐護・町田（1996）は、火山ガラスの主成分組成をもとに、Gr を山陰地方の三瓶池田テフラ（SI；50ka；町田・新井，2003）に対比している。

箱根町芦之湯（Loc.89）では、Hk-CC7 の上位に黒雲母と若干の火山ガラスを含む淡黄色の降下火山灰（層厚 3cm）を確認できる。厚板型の火山ガラスと角閃石の屈折率はそれぞれ $n=1.498\text{--}1.501$ 、 $n_2=1.670\text{--}1.678$ であった。この火山ガラスの屈折率は SI に含まれる火山ガラスの屈折率（ $n=1.502\text{--}1.505$ ；町田・新井，2003）よりも有意に低いことから、SI には対比できないと考えられる。この火山灰の広域テフラへの同定については今後の課題と考えている。

噴火年代については、Hk-TP と AT との層位関係より約 40ka と推定した。

c) 箱根神山 1 テフラ（Hk-Km1；約 40ka）

箱根神山 1 テフラ（Hk-Km1）は、主に神山の北～東斜面から早川沿いなどにかけて広く分布する玄武岩質安山岩～安山岩の岩塊と同質の砂礫で構成される block and ash flow 堆積物である（図 4a）。

箱根町俵石（Loc.1）では、始良 Tn テフラ（AT）を

挟在するシルト互層からなる湖成堆積物に直接覆われる。宮ノ下や大平台などでは段丘構成層（CC2）を覆って分布する。また、外輪山西斜面にも分布する（小林ほか，1997）。噴火年代は約 40ka と推定される。

d) 箱根神山 2 テフラ（Hk-Km2；約 39ka）

箱根神山 2 テフラ（Hk-Km2）は、神山の北～東斜面に分布する block and ash flow 堆積物である（図 4a）。

箱根町南長尾（Loc.58）では、厚さ 30m 以上の玄武岩質安山岩溶岩を直接覆う block and ash flow 堆積物として確認できる。箱根町宮城野（Loc.4）では、Hk-Km2 は AT の下位に挟在し、箱根町台ヶ岳林道（Loc.16）では、AT と Hk-Km1 の間の層準に位置する。噴火年代は約 39ka と推定される。

e) 箱根芦之湯テフラ（Hk-As；約 30ka）

箱根芦之湯テフラ（Hk-As）は、箱根町芦之湯（Loc.89）のみで確認できる灰色～暗灰色の安山岩質岩塊とその細粉からなる block and ash flow 堆積物であり、芦之湯ドーム群起源の噴出物と考えられる。

後述する駒ヶ岳テフラ（Hk-Ko）の下位に層準に位置し、噴火年代は約 30ka と推定される。

f) 箱根駒ヶ岳テフラ（Hk-Ko；約 27ka、約 20ka～約 18ka）

箱根駒ヶ岳テフラ（Hk-Ko）は、駒ヶ岳の南斜面や須雲川に沿った広い範囲に分布する block and ash flow 堆積物である（図 4b）。

箱根町大芝（Loc.93）では、一部が赤色酸化した安山岩質の砂礫を基質として、多くの本質岩塊を含む block and ash flow 堆積物を確認できる。また、箱根町芦之湯（Loc.89）では、AT の下位に安山岩質の砂礫からなる Hk-Ko を確認できることから、噴火年代は約 27ka と推定される。

一方、駒ヶ岳ケーブルカー登り口（Loc.92）や駒ヶ岳山頂部（Loc.117）では、駒ヶ岳山頂部を構成する溶岩が AT より新しいテフラのみで覆われている。また、町田（1971）は駒ヶ岳起源の爆発角礫層に含まれる炭化木片の ^{14}C 年代を $18000 \pm 600\text{yrs B.P.}$ と報告している。これらのことは、駒ヶ岳では、約 27ka に Hk-Ko の噴出を伴って山体主要部を形成した後も、噴火活動が発生したこと示している。実際、箱根町芦之湯（Loc.89）では、AT の上位にも粗粒の安山岩岩片からなる降下テフラが確認されるほか、須雲川沿いでは、約 18ka の信濃屋火砕流（袴田・杉山，1994）が分布する。また、箱根湯本の早川右岸に分布する小規模な河成段丘を構成する block and ash flow 堆積物（萬年ほか，2006）に含まれる炭化木片の ^{14}C 年代は約 20ka を有するとされる（笠間ほか，2007）。これらのことは、駒ヶ岳周辺においては、約 20ka～18ka にかけて、溶岩流や block and ash flow のほか、降下テフラが噴出する活動が発生していたことを示すものである。

なお、萬年ほか（2006）および笠間ほか（2007）は、早川右岸の河成段丘を構成する block and ash flow 堆積物について、本質岩塊の主成分組成が駒ヶ岳溶岩に類似する一方で、Nb 含有量は異なる組成を有することから、Nb 含有量が類似する二子山起源の噴出物である可能性

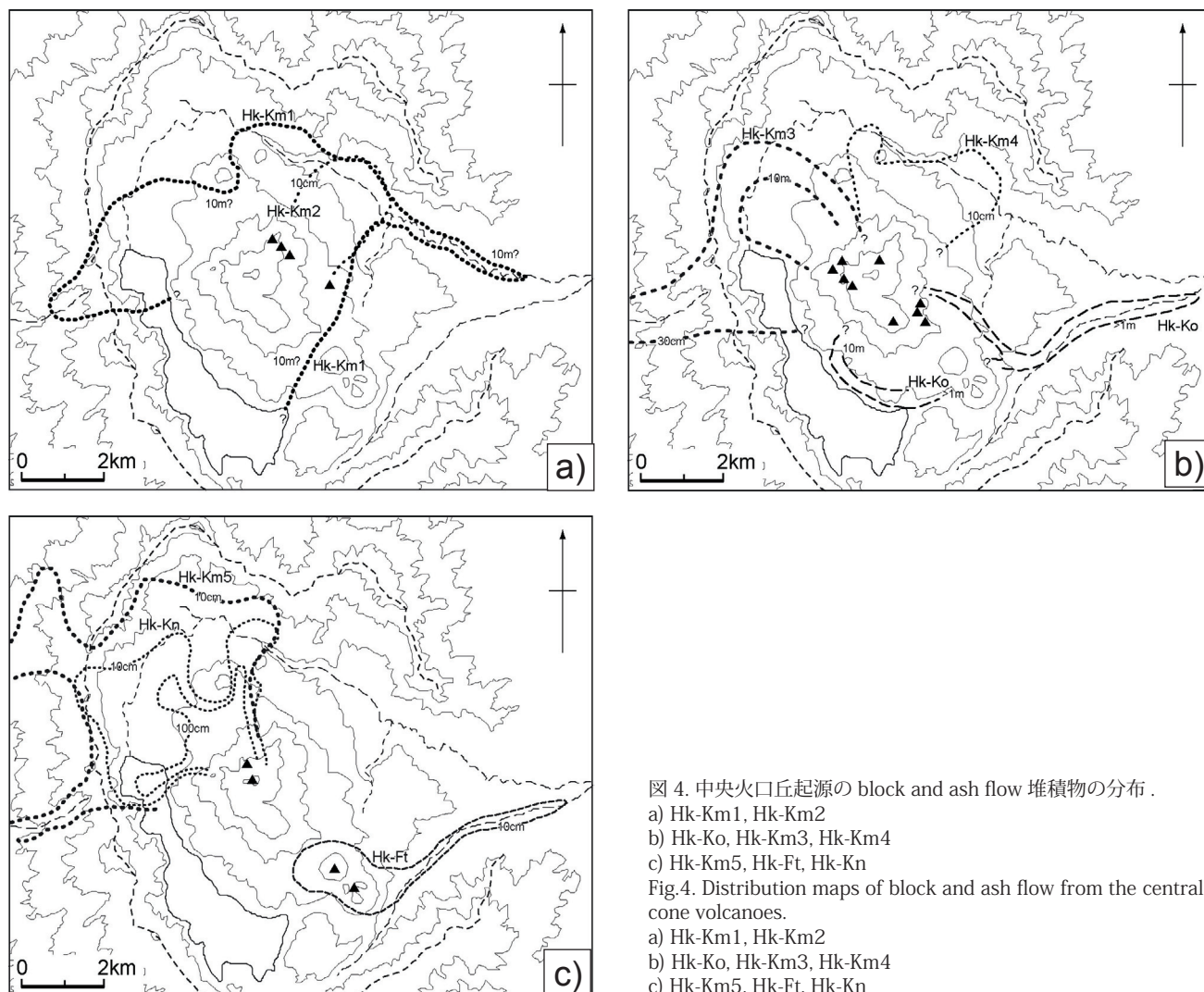


図 4. 中央火口丘起源の block and ash flow 堆積物の分布 .

a) Hk-Km1, Hk-Km2
b) Hk-Ko, Hk-Km3, Hk-Km4

c) Hk-Km5, Hk-Ft, Hk-Kn

Fig.4. Distribution maps of block and ash flow from the central cone volcanoes.

a) Hk-Km1, Hk-Km2
b) Hk-Ko, Hk-Km3, Hk-Km4
c) Hk-Km5, Hk-Ft, Hk-Kn

があることを示している（笠間ほか，2007）。駒ヶ岳東斜面には、前述の芦之湯ドーム群を含め、複数の噴出中心が存在していることから（高橋・長井，2007）、須雲川を流下した block and ash flow の給源については、これらの関連性を含めた検討が必要と考えられる。

f) 始良 Tn テフラ（AT；約 26ka）

始良 Tn テフラ（AT）は、調査地域において広く分布しており、含まれるバブルウォール型火山ガラスの屈折率が $n=1.497-1.502$ と低いことが特徴である。AT に関連した ^{14}C 年代としては、 $24330 \pm 225\text{yrs B.P.}$ （村山ほか，1993）、 $24510 \pm 220\text{yrs B.P.}$ （池田ほか，1995）などが報告されているが、本研究ではその噴火年代を約 26ka（町田・新井，2003）と考え、他の噴出物の年代推定の基準とする。

g) 箱根神山 3 テフラ（Hk-Km3；約 22ka）

箱根神山テフラ 3（Hk-Km3）は、神山の西方に分布する block and ash flow 堆積物である（図 4b）。

外輪山西斜面の裾野市深良川（Loc.20、Loc.79）では、AT の上位に安山岩角礫を含む block and ash flow 堆積物として確認でき、含まれる炭化木片の ^{14}C 年代は $22330 \pm 170\text{yrs B.P.}$ とされる（小林ほか，1997）。この年代値は、神山の北西斜面において神山起源の溶岩を直接覆う block and ash flow 堆積物に含まれる炭化木片

の ^{14}C 年代 $20000 \pm 690\text{yrs B.P.}$ （大木・袴田，1975）と近接することから、Hk-Km3 は箱根カルデラ縁を乗り越えて外輪山西斜面を流下したものと考えられる（小林ほか，1997）。Hk-Km3 の噴火年代は約 22ka と推定される。

なお、神山の南西に位置する陣笠山は、Hk-Km3 噴火に伴って形成されたと考えられる神山北西部の地形と開析度や被覆関係などの特徴が類似することから、Hk-Km3 とほぼ同時期に形成されたものと考えられる。

h) 箱根神山 4 テフラ＜新称＞（Hk-Km4；約 19ka）

箱根神山 4 テフラ（Hk-Km4）は、神山の北東斜面に分布する block and ash flow 堆積物である（図 4b）。

箱根町台ヶ岳林道（Loc.16）では、AT の上位に、暗灰色の安山岩質岩片と同質の砂礫からなる block and ash flow 堆積物として確認できる。町田（1971）は、神山北東斜面の中強羅において、AT から 2.5～3m 上位の block and ash flow 堆積物中の炭化木片の ^{14}C 年代を $19640 \pm 550\text{yrs B.P.}$ と報告している。小林（1999）は、この堆積物を Hk-Km4 と考え、噴火年代を約 19ka と推定している。

i) 箱根神山 5 テフラ（Hk-Km5；約 7ka）

箱根神山 5 テフラ（Hk-Km5）は、箱根カルデラ北部に広く分布する block and ash flow 堆積物である

(図 4c)。

箱根町台ヶ岳林道 (Loc.16) では、富士黒土層中に淡黄色軽石と安山岩質の角礫とその細粉からなる block and ash flow 堆積物として確認でき、含まれる炭化木片の ^{14}C 年代は $7130 \pm 90\text{yrs B.P.}$ とされる (小林ほか, 1997)。

Hk-Km5 は外輪山の西斜面にも広く分布しており、御殿場市長尾ゴルフ場 (Loc.82) では、含まれる炭化木片の ^{14}C 年代が $7000 \pm 100\text{yrs B.P.}$ と報告されている (小林ほか, 1997)。

j) 鬼界アカホヤテフラ (K-Ah; 約 7.3ka)

鬼界アカホヤテフラ (K-Ah) は、Hk-Km5 の上位の富士黒色土中に高屈折率 ($n=1.510-1.514$) のバブルウォール型火山ガラスの濃集帯として認めることができる。噴火年代は約 7.3ka である (町田・新井, 2003)。

k) 箱根二子山テフラ (Hk-Ft; 約 5ka)

箱根二子山テフラ (Hk-Ft) は、町田 (1964, 1971) が二子山爆発角礫層と記載した block and ash flow 堆積物である。

箱根町芦之湯 (Loc.96) では、この block and ash flow 堆積物の直下に紫灰色の降下火山砂を確認できる。これに対応する降下火山灰は、駒ヶ岳周辺 (Loc.92, Loc.117) においても確認できる。一方、Hk-Ft は須雲川沿いを流下しており (図 4c)、箱根町奥湯本 (Loc.97) では、K-Ah 起源の火山ガラス濃集層準の上位に、細粒火山砂の複数ユニットからなる block and ash flow 堆積物として確認できる。

Hk-Ft の噴火年代としては、 $4840 \pm 120\text{yrs B.P.}$ (町田, 1971)、 $4900 \pm 90\text{yrs B.P.}$ (袴田・伊藤, 1996) の ^{14}C 年代が報告されている。

l) 箱根神山岩屑なだれ堆積物 (Hk-Kmd.a; 約 3.1ka)

箱根神山岩屑なだれ堆積物 (Hk-Kmd.a) は、神山北西部の水蒸気爆発によって発生した岩屑なだれの堆積物である (袴田, 1993)。神山北西斜面の姥子付近には複数の流れ山が分布する。

箱根町台ヶ岳林道 (Loc.68) では、淡茶色の変質したシルトを基質として、径 50cm 程度の亜角礫を多く含む Hk-Kmd.a. を確認できる。Hk-Kmd.a. は、主に北西方向に流下しているが、一部は泥流として神山の北東斜面を流下し、早川を宮城野付近まで流下したと考えられる。

Hk-Kmd.a. 中の埋もれ木の ^{14}C 年代は $3100 \pm 90\text{yrs B.P.}$ と報告されている (大木・袴田, 1975)。

m) 箱根冠ヶ岳テフラ (Hk-Kn; 約 3ka)

箱根冠ヶ岳テフラ (Hk-Kn) は、Hk-Kmd.a. によって生じた馬蹄形凹地内において、冠ヶ岳ドームが噴出に伴って流下した block and ash flow 堆積物である。

箱根町上湯場西 (Loc.14) では、層厚 250cm 以上の暗灰色の安山岩岩塊とその細粒岩片からなる block and ash flow 堆積物として確認できる。箱根カルデラ西縁上の数地点 (Loc.95 など) では、Hk-Kn の薄層を確認できる (小林ほか, 1997)。

Hk-Kn の噴火年代としては、 $2900 \pm 100\text{yrs B.P.}$ (大木・袴田, 1975)、 $2720 \pm 70\text{yrs B.P.}$ (小林ほか, 1997) といった ^{14}C 年代が報告されている。

(3) 最新の水蒸気噴火堆積物：大涌谷テフラ群

従来、箱根火山では、約 3000 年前の Hk-Kn の噴出を伴う冠ヶ岳の噴火が最新の噴火活動と考えられてきた (大木・袴田, 1975)。しかし、神山の山頂域には、複数の火口様の凹地が存在し (袴田, 1993) (図 5)、上

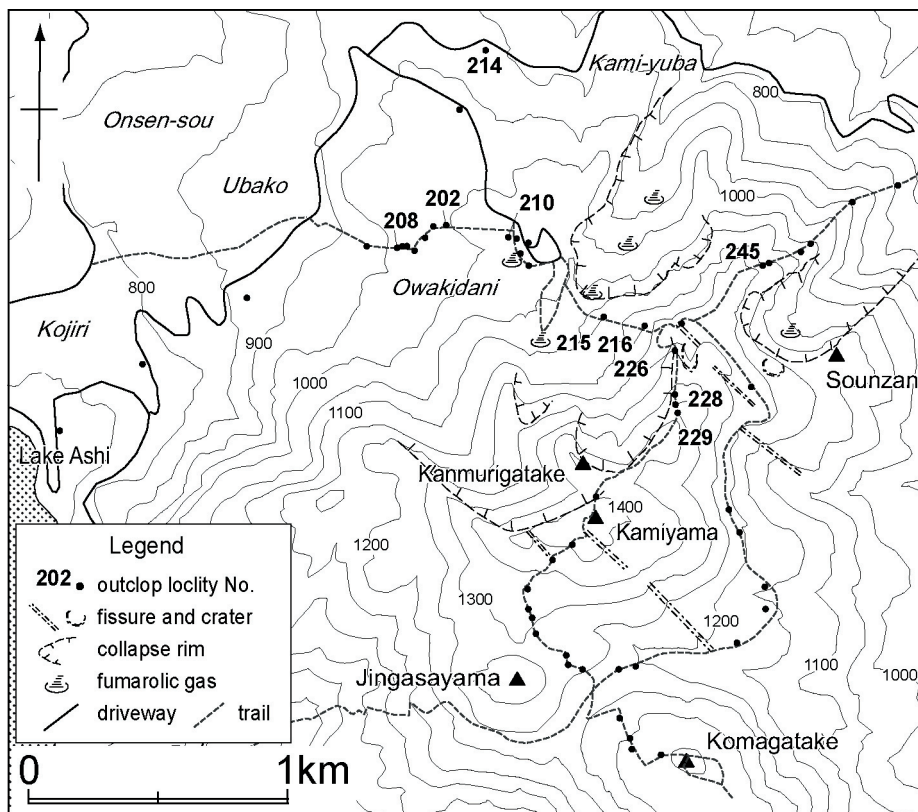


図 5. 神山及び大涌谷周辺の地形図及び観察露頭位置。
Fig.5. Locations outcrops around the Kamiyama and Owakidani areas.

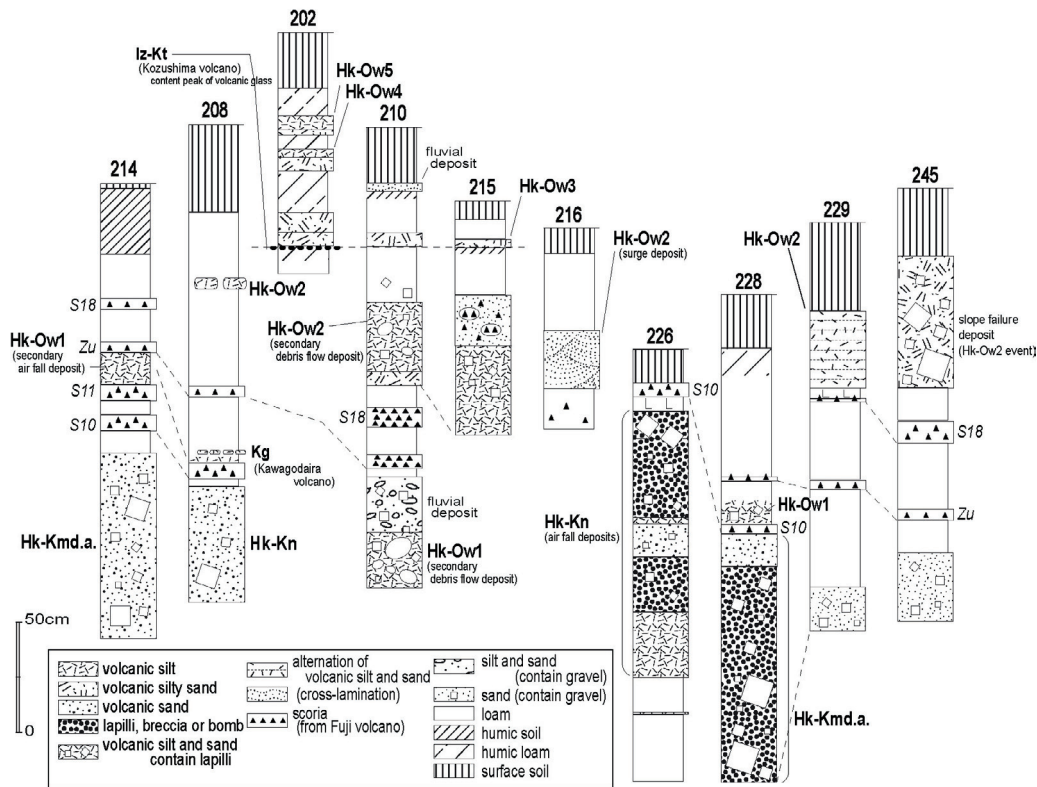


図 6. 神山及び大涌谷周辺の柱状図 (小林ほか, 2006).
太字; 本稿で記載した箱根火山起源及び広域テフラ, 斜体; 富士火山起源テフラ
Fig.6. Representative columnar sections for tephra layers around around the Kamiyama and Owakidani areas. (after Kobayashi et al., 2006)

杉ほか (1992) は、神山周辺において富士火山起源の S11 テフラ直上に熱水変質を受けた泥層の存在を記載するなど、Hk-Kn 噴火以降も何らかの火山活動が発生していた可能性があることが指摘されていた。このような状況の中で、小林ほか (2006) は、大涌谷を中心とした地域において、冠ヶ岳噴火以降の 5 枚の水蒸気爆発堆積物 (大涌谷テフラ群) を発見した。

以下に各テフラの特徴を示す (図 6)。

1) 箱根大涌谷テフラ 1 (Hk-Ow1; 約 3ka)

富士火山起源の S11 テフラ (宮地, 1988) の上位で、細粒軽石が散在するカワゴ平テフラ (Kg) の下位に挟在する変質した降下火山灰層である。全体に黄白色を呈し、神山南東斜面や大涌谷周辺から湖尻にかけての地域で、層厚 10 cm ~ パッチ状で確認できる (Loc.214、Loc.214 など)。

大涌谷周辺では、変質した白色~黄灰色の火山灰を基質とした、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堆積物が分布する。この堆積物は地形的に低所に分布することから、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 (Loc.210)。

Hk-Ow1 の給源は、降下堆積物の層厚分布と土石流堆積物の分布などから、神山山頂から北東方向に延びる尾根付近にあると考えられる。噴火年代は約 3ka と考えられる。

2) 箱根大涌谷テフラ 2 (Hk-Ow2; 約 2ka)

富士火山起源の S18 テフラ (宮地, 1988) の上位に

確認できる変質した火山灰層である。この変質した火山灰層は、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 つの層相で構成される。

細粒火山灰層および礫混じり細粒火山灰層は、Hk-Ow1 と同様、それぞれ降下火山灰、二次的な土石流堆

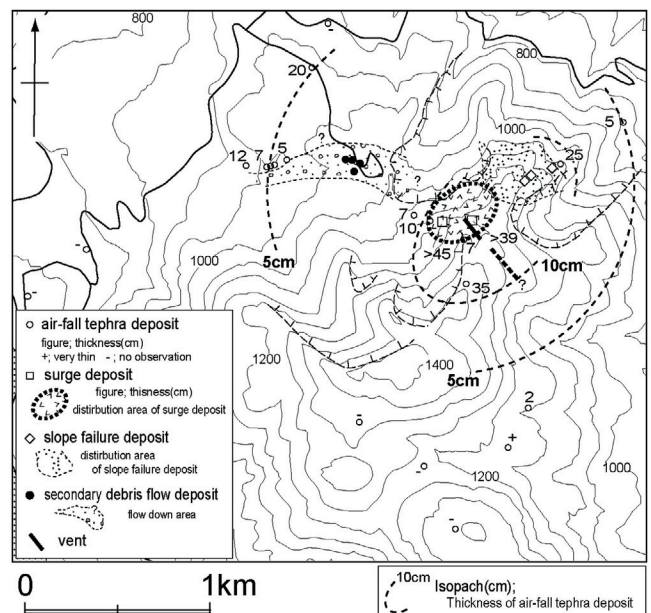


図 7. 大涌谷テフラ 2 及び関連する堆積物の分布 (小林ほか, 2006).
Fig.7. Distribution map of eruption deposits and associated secondary deposits at the Hk-Ow2 event. (after Kobayashi et al., 2006)

積物である。降下火山灰は、神山山頂部から大涌谷周辺の広い範囲に分布する (Loc.208、Loc.210)。一方、ラミナの発達した細粒火山灰層は、神山山頂部の北東斜面を中心とした狭い範囲に分布する (図 7)。この火山灰層は、層厚数 mm ~ 2cm 程度の平行葉理でほぼ構成されるが、各ラミナの層厚が斜面を下る方向に薄くなるほか、一部に斜交葉理も認められることから、この堆積物を火砕サージによるものと判断される。

Hk-Ow2 の給源は、降下堆積物の層厚分布と土石流堆積物の分布などから、Hk-Ow1 と同様、神山山頂部から北東方向に延びる尾根付近にあると考えられる。この付近には、直径数 10m 程度の明瞭な円形凹地や、北東方向に尾根を横断する北西-南東方向の割れ目状凹地が存在するから、これらの凹地群が Hk-Ow1 および Hk-Ow2 の給源火口と考えられる。Hk-Ow2 の噴火年代は約 2ka と考えられる。

3) 箱根大涌谷テフラ 3, 4 及び 5 (Hk-Ow3 ~ 5 ; 12 世紀後半 ~ 13 世紀)

大涌谷と姥子を結ぶ遊歩道沿い (Loc.202) では、Hk-Ow2 の上位の地表近くにローム層を挟在した 3 層の粗粒~細粒火山灰からなる降下火山灰層を確認できる。

これらの火山灰層はいずれも層厚 7 cm ~ 10 cm 程度で、それぞれ下位の粗粒火山灰と上位の細粒火山灰で構成される。Hk-Ow3 はやや暗灰色を呈するが、Hk-Ow4 および Hk-Ow5 はやや淡褐色を呈する。これらの降下火山灰は、現噴気地帯を中心とする約 200 ~ 500 m 範囲内のみに分布することから、現在の大涌谷付近を給源

として噴出したものと推定される。

これらの噴火年代については、伊豆諸島神津島火山起源の天上山テフラ (Iz-Kt ; 西暦 838 年) の特徴を有する火山ガラス (Kobayashi *et al.*, 2007) の濃集層準が Hk-Ow3 の直上もしくは直下にあることのほか、Hk-Ow3、Hk-Ow4 及び Hk-Ow5 に含まれる炭化木片、もしくは直下の腐植質土壌から得られた 14C 年代の大部分が 12 世紀後半から 13 世紀の間で重なり合うことから、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ものと考えられる (小林ほか, 2006)。

4. 噴火活動の時間変化、周辺テクトニクスとの関連

噴出物の K₂O 含有量に着目すると、最近 6 万年間の中央火口丘群の噴火活動のうち、Hk-TP と Hk-TPfl、先神山テフラおよび Hk-SP ~ Hk-CC7 の活動は、高橋・長井 (2007) の区分の第 4 期の後半、Hk-Km1 以降の活動は第 5 期にそれぞれ区分され、噴火様式と岩石学的な特徴の間には関連性があるようにみえる。

本研究では、この岩石学的な知見などを踏まえながら、噴火様式や火山体の発達過程などに係る噴火活動の時間変化や、噴火活動と周辺テクトニクスイベントとの関連性について検討する。

(1) 噴火様式や火山体の発達過程

Hk-TP 噴出後の最近 6 万年間の噴火活動は、先神山の活動と中央火口丘群 (台ヶ岳・鷹巣山火山列、神山・二子山火山列; 高橋・長井, 2007) の活動で大別される (図 8)。

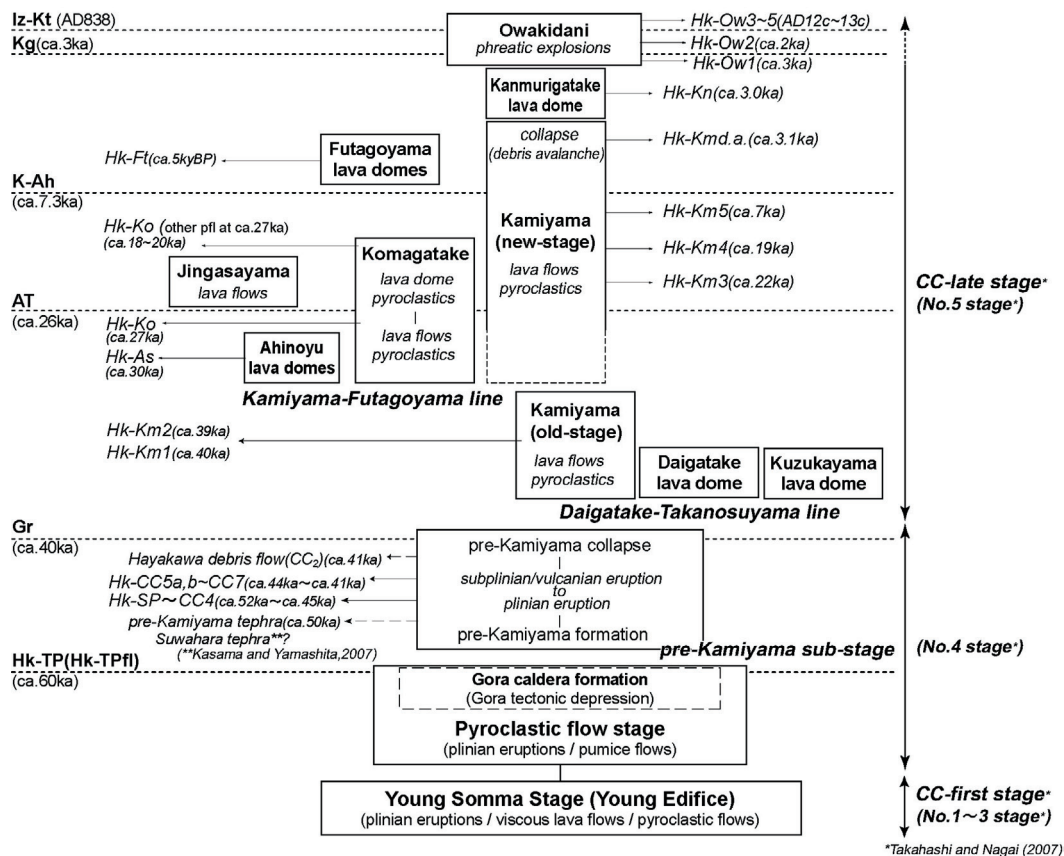


図 8. 最近 6 万年間の中央火口丘の噴火史とテフラ層序。

Fig.8. Eruption history and tephra stratigraphy of the Hakone central cone volcanoes in the late 60kys.

先神山の活動は、台ヶ岳・鷹巣山火山列に沿った複数箇所もしくは幅広い範囲で生じ、溶岩流や block and ash flow の噴出のほか、降下軽石や火山灰の噴出を繰り返しながら小規模な成層火山体が形成されたと考えられる。先神山を給源とした噴火活動は、約 52 ~ 45ka にかけては、プリニー式噴火などによって広範囲に降下軽石 (Hk-SP、Hk-CC1 ~ CC4) を噴出するものであった。しかし、約 44ka ~ 41ka の噴火活動は、各噴火の初期に降下軽石と多量の類質岩塊を噴出し、引き続いて火山砂や火山シルトを噴出するものに噴火様式が変化していった (Hk-CC5a, b、Hk-CC6、Hk-CC7)。特に、Hk-CC6、Hk-CC7 噴火では、それ以前の噴火に比べ、噴出量や軽石の含有量が少ないにもかかわらず、多量の類質岩塊をより遠方まで放出していることから、この時期の先神山は、爆発的な活動を繰り返すことによって、火口が拡大し、山体は大きく崩壊されていったと想像される。そして、その崩壊物の一部は泥流となって早川を流下したと考えられる (早川泥流; 約 40ka)。

その後の噴火活動は、粘性の高い溶岩流や溶岩ドームの噴出とそれに伴う block and ash flow の流下を繰り返しながら中央火口丘群が成長したと考えられる。噴出中心に着目すると、約 39ka までは、それまでの台ヶ岳・鷹巣山火山列での活動だったが、約 1 万年間の休止期を挟んだ約 30ka 以降は、神山・二子山火山列に活動場が移動した。

台ヶ岳・鷹巣山火山列の活動では、台ヶ岳溶岩ドーム、小塚山溶岩ドーム、古期神山火山体を形成した。古期神山火山体は Hk-Km1 と Hk-Km2 を噴出しているが、これらの分布範囲と規模などから、Hk-Km1 に関連する溶岩流として上湯場溶岩、早雲山溶岩ドーム、丸山溶岩ドームなど、Hk-Km2 に関連する溶岩流として南長尾溶岩などが考えられる。(各溶岩流の名称は高橋・長井 (2007) による)

神山・二子山火山列の活動では、芦之湯溶岩ドーム群、駒ヶ岳火山体、新期神山火山体、陣笠山溶岩、二子山溶岩ドーム、冠ヶ岳溶岩ドームが形成された。このうち、駒ヶ岳火山体の活動時期は約 27ka と約 20ka ~ 18ka に分かれ、各活動時期において、粘性の高い溶岩流と block and ash flow (Hk-Ko) を噴出している。前半の活動に関連する溶岩流としては、元箱根溶岩、蛸川溶岩、国際村溶岩など、後半の活動に関連する溶岩流としては、駒ヶ岳山頂溶岩ドームや箱根神社溶岩のほか、駒ヶ岳東麓に分布する湯の花溶岩、笛塚溶岩が考えられる。一方、新期神山火山体からは、Hk-Km3、Hk-Km4 及び Hk-Km5 を噴出しているが、Hk-Km3 に関連する溶岩流としては、神山南溶岩ドーム、湖尻溶岩、防ヶ沢溶岩など、Hk-Km4 に関連する溶岩流としては、神山北溶岩ドーム、Hk-Km5 に関連する溶岩流としては、神山山頂溶岩ドームがそれぞれあげられる (各溶岩流の名称は高橋・長井 (2007) による)。

そして、冠ヶ岳溶岩ドームの形成後は、大涌谷を中心とした活発な噴気を有する地域を給源として水蒸気爆発が発生し、大涌谷テフラ群 (小規模な降下テフラ、火砕サージ) を噴出した。

(2) 最新マグマ噴火以降の火山活動の特徴

大涌谷テフラ群の各噴出物は、いずれも粘土鉱物や変質した岩片を主体とする。現在の大涌谷周辺の地表および地下の広い範囲では、モンモリロナイトを主体とする粘土鉱物を産出するのに対して、カオリナイトは酸性熱水の存在域に限られる。大涌谷テフラ群の降下火山灰に含まれる粘土鉱物はカオリナイトにほぼ限られることから、これらの噴火活動は、熱水活動の活発化などに伴う水蒸気爆発ないし熱水性噴火であったと考えられる。しかし、Hk-Ow2 の火砕サージ堆積物には、やや厚みを有する透明感のある褐色のバブルウォール型火山ガラスが極微量 (<0.1%) 含まれるほか、粘土鉱物としてカオリナイトのほか微量のモンモリロナイトが認められること、新鮮な岩片が若干含まれることから、他の噴火とは異なり、マグマがより浅部まで上昇し、噴火にマグマが直接関与した可能性がある。しかし、一般的なマグマ水蒸気爆発の噴出物中には、新鮮な火山ガラスが 10% 程度 (宮縁ほか, 2005 など) 含まれていることを考えると、Hk-Ow2 噴火におけるマグマの直接的な関与はあっても極めて小さいと考えられる。

(3) 箱根火山の火山活動と周辺テクトニクスとの関連

伊豆半島基部を南北に伸びる丹那ー平山構造線 (小山, 1993) は、箱根火山を縦断してカルデラ内でプルアパート構造を形成する (高橋ほか, 1999)。そのプルアパートに伴う開口割れ目の方向と中央火口丘を形成する 2 列の火山列 (台ヶ岳・鷹巣山火山列、神山・二子山火山列) の方向は調和的である。一方、丹那ー平山構造線は、国府津ー松田断層、西相模湾断裂および東伊豆単成火山群とともに境される真鶴マイクロプレートの西側境界を構成することから (小山, 1995)、箱根火山の噴火活動は、丹那ー平山構造線をはじめとした箱根火山周辺のテクトニクスイベントと密接な関連性を有することが指摘されていた (高橋ほか, 1999)。

箱根火山の噴火活動と、箱根火山周辺のテクトニクスイベント (神縄・国府津松田断層帯; 地震調査研究推進本部, 2005, 平山断層; 上杉ほか, 1996; 丹那断層 (北伊豆断層帯); 地震調査研究推進本部, 2005; 東伊豆単成火山群の火山活動; 小山ほか, 1995) の発生時期を比較する (図 8)。

まず、時間分解能が比較的良好な最近 1 万年間に着目すると、箱根火山の二子山溶岩ドーム (約 5 ka)、冠ヶ岳溶岩ドームおよび大涌谷テフラ 1 (約 3 ka)、大涌谷テフラ 2 (約 2 ka)、大涌谷テフラ 3 ~ 5 (12 ~ 13 世紀) の各噴火と概ね同時期に神縄・国府津松田断層や丹那断層が活動している。冠ヶ岳噴火の時期には平山断層も活動している。また、丹那断層の最新イベント (北伊豆地震; 1930 年) 後の 1933 年 ~ 34 年には、大涌谷で大規模な噴気異常や、駒ヶ岳付近で鳴動・噴気活動などの広範囲にわたる異常現象が記述されている (萬年, 2003)。さらに、東伊豆単成火山群の噴火活動も、二子山や冠ヶ岳、大涌谷テフラ 2 といった比較的大きな規模の噴火とほぼ同時期に噴火が発生しているようにみえる。

より大きな時間スケールでみると、箱根火山の火山

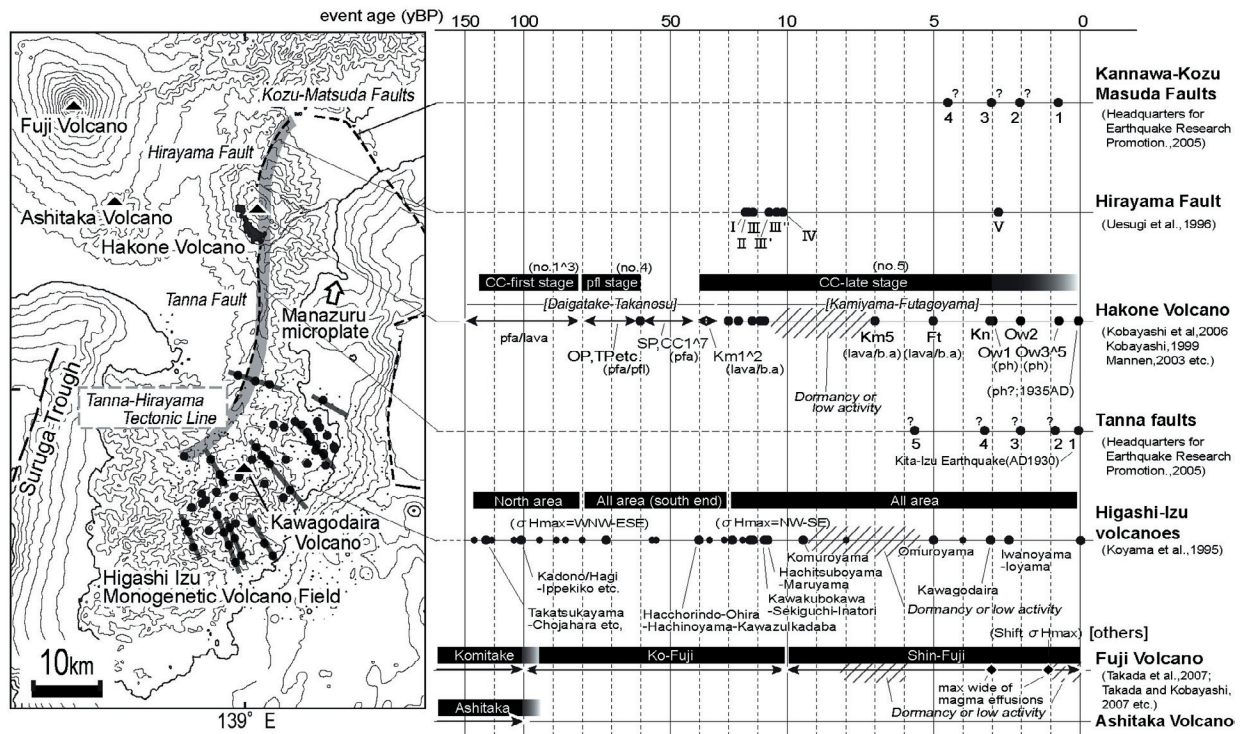


図9. 箱根火山の噴火活動と周辺域で発生した地震・火山活動イベントの同時性。

Fig.9. Seismic and volcanic activity event around Hakone Volcano corresponded with the activity Hakone Volcano.

活動との間には、以下に示す対応関係や同時性が認められる。

- ・箱根火山の前期中央火口丘期の開始（約 150 ka）と東伊豆単成火山群の活動開始
- ・箱根火山での火砕流噴出期の開始（約 80 ka）と東伊豆単成火山の活動域拡大の開始
- ・箱根火山での中央火口丘の火山列移動期に近接した神山・駒ヶ岳の噴火活動多発期（約 20 ～ 30 ka）と東伊豆単成火山群での大きな噴火活動の多発期、平山断層の活動の多発期

以上のことから、箱根火山の活動と周辺テクトニクスイベントには比較的良好な同時性が存在するといえ、箱根火山の火山活動を、真鶴マイクロプレートを構成するテクトニクスの一事象としてとらえることができることを示唆している。

(4) 長期的なマグマ噴出率

箱根火山の最近 11 万年間のマグマ噴出率は約 7.6×10^{11} kg/ky（小林, 1999）（約 3.0 DRE km³/ky）と推定され、約 10 万年前、約 6 万年前および約 2 万年前を境にして、マグマ噴出率が段階的に減少してきたことが指摘されている（小林, 1999；小林・萬年, 2007）。これらのマグマ噴出率の変化は中央火口丘期の噴火様式の変化に対応しているようにみえる。しかし、高橋・長井（2007）が示した岩石学的知見に基づく活動期の分類や、広域的なテクトニクスに関連することが期待される火山列の移動時期とは一致しない。

最近になって、箱根カルデラ内のボーリング試料の再解析などによって中央火口丘下の地質分布・構造や年代

観が見直されつつある（萬年・杉山, 2000；萬年ほか, 2006 など）。また、中央火口丘起源の噴出物の分布や対比についても新たな見解が提示されている（笠間・山下, 2007；笠間ほか, 2007）。これらの新しい知見を反映させながら、中央火口丘群の噴火活動史の全体像を高精度に明らかにすることが、箱根火山の噴火メカニズムの解明に繋がるとともに、中長期的な噴火活動予測の上での重要な課題といえる。

5. 箱根カルデラ内の地形発達と噴火活動との関連

箱根カルデラ内では、中央火口丘群を取り囲むように、北部を早川、南部を須雲川がそれぞれ東に向かって流下する。早川は、箱根カルデラ内の西部を占める芦ノ湖を源として、仙石原を緩やかに流れた後、小塚山付近から下流では、中央火口丘起源などの溶岩・火砕岩、基盤岩を浸食しながら溪谷を形成する。

早川のように周囲を外輪山によって囲まれ、外部からの河川の流入がない閉ざされた流域においては、流域沿いの地形発達過程は、カルデラ内の火山活動と密接な関連を有すると考えられる。本研究では、早川沿いに分布する河成段丘の成因・形成年代、仙石原・芦ノ湖地域で実施されてきたボーリング資料などから推定される地質状況に基づき、箱根カルデラ内の地形発達過程を検討した。

(1) 早川沿いの河成段丘

早川の両岸には小規模な平坦面が断続的に分布する。これらは、成因及び形成年代の違いから 7 段に分類できる（現河床面、須雲川沿いの平坦面を除く）（図 10）。

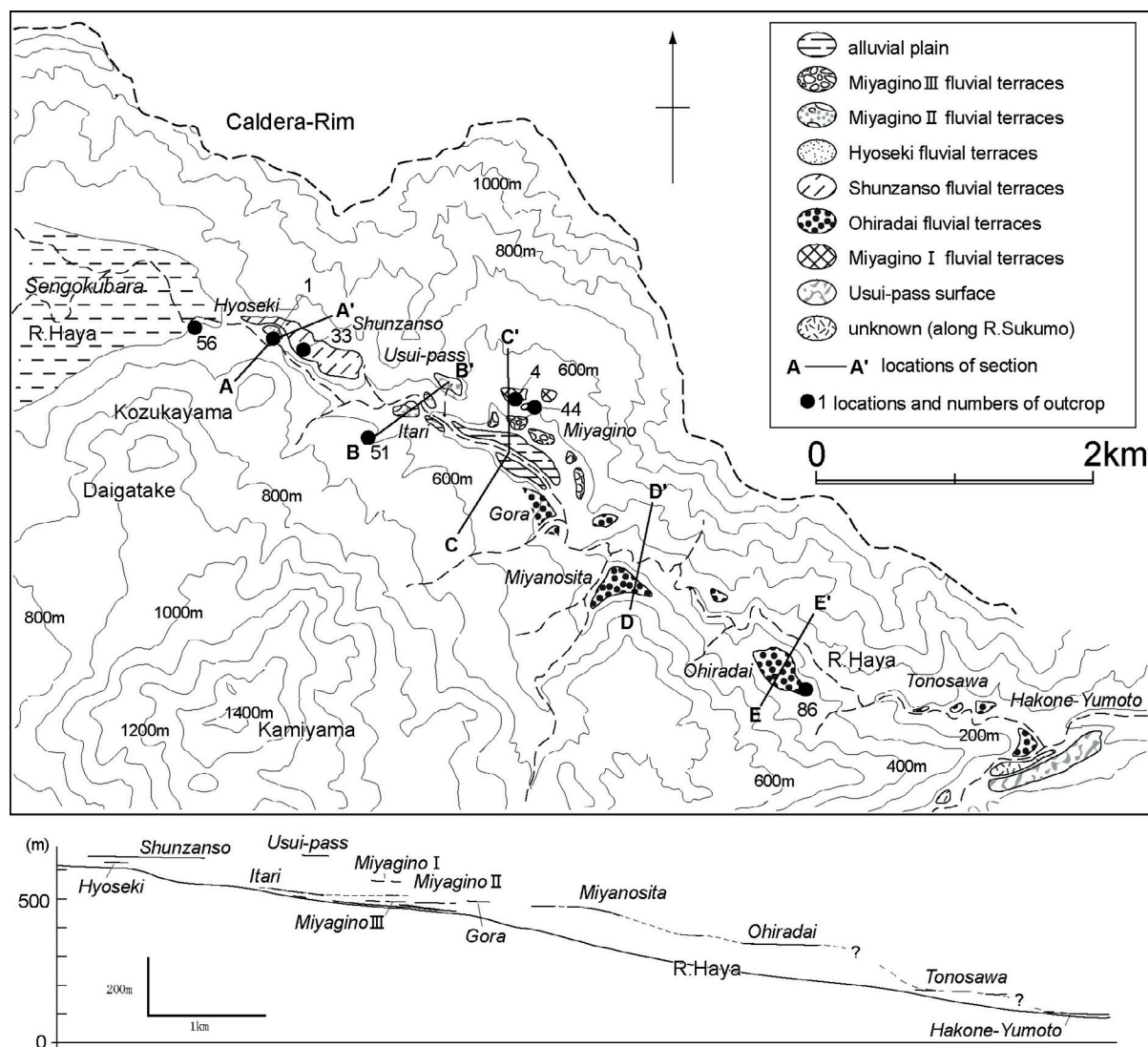


図 10 (a). 早川沿いの段丘分布と河川縦断面図。A-A' ~ E-E' 側線の地質断面図を図 10(b) に示す。

Fig. 10 (a). Classification of the terraces along the R. Haya. A-A' ~ E-E' are locations of sections shown in Fig. 10(b).

以下に、形成年代の古い平坦面から、それらの地形地質的な特徴を記載する。

a) 碓氷峠面；新期山体の平坦面

Kuno (1950) は、箱根町宮城野北西方の碓氷峠付近の平坦面を新期外輪山溶岩（新期山体；萬年ほか、2006）に分類している。碓氷峠と早川の間には、新期山体溶岩とそれを一部覆う火砕流堆積物が分布しており、碓氷峠面は早川の下刻過程で新期山体溶岩の一部が取り残されて形成された平坦面と考えられる。

b) 宮城野 I 面；古期山体の崖錐性堆積物の堆積面

箱根カルデラ縁を構成する明神ヶ岳の南側には、崖錐性堆積物で構成される比較的平滑な斜面が認められる。その末端部に位置する宮城野付近には、小規模ながらも 3 段の河成段丘面が分布する。このうち最上位の宮城野 I 面は、明神ヶ岳南側を構成する斜面と連続する。宮城野 I 面上 (Loc.4) では、平坦面を構成する堆積物を直接確認できないが、層厚 1 m 以上のローム層を覆って Hk-Km2 と AT を確認できる。宮城野 I 面は後述する大平台面より開析が進んでいることから、大平台面よりやや古い時期に形成されたと考えられる。

c) 大平台面；早川泥流の堆積面

前述したように、Hk-CC6 および Hk-CC7 噴火に関連して発生した早川泥流は、強羅から宮ノ下付近にかけて早川に合流し、早川を埋積しながら大平台、塔ノ沢、箱根湯本へと流下した。箱根町大平台 (Loc.86) では、安山岩円礫を含むよくしまった粗砂からなる泥流堆積物とこれを直接覆う Hk-Km1 を確認できる。これらのことから、大平台面は、早川泥流で埋積された早川が、その後の急激な下刻作用によって段丘化して形成された段丘群と考えられる。

d) 春山荘面；Hk-Km1 の堰き止めに伴う仙石原湖の堆積面

箱根町俵石 (Loc.1)、春山荘 (Loc.33) や上湯場 (Loc.56) では、Hk-Km1 を直接覆うシルト-砂互層を確認できる。これらの堆積物は、Hk-Km1 が早川を堰き止めたことによって形成された湖（仙石原湖；大木・袴田, 1975）の堆積物である。春山荘では、この湖成堆積物を砂礫互層からなる支流性の薄い河川性堆積物が覆っており、この河川性堆積物中には AT が挟在する。このことから、春山荘面は、仙石原湖形成当時の堆積面に相当するものと考えられる。

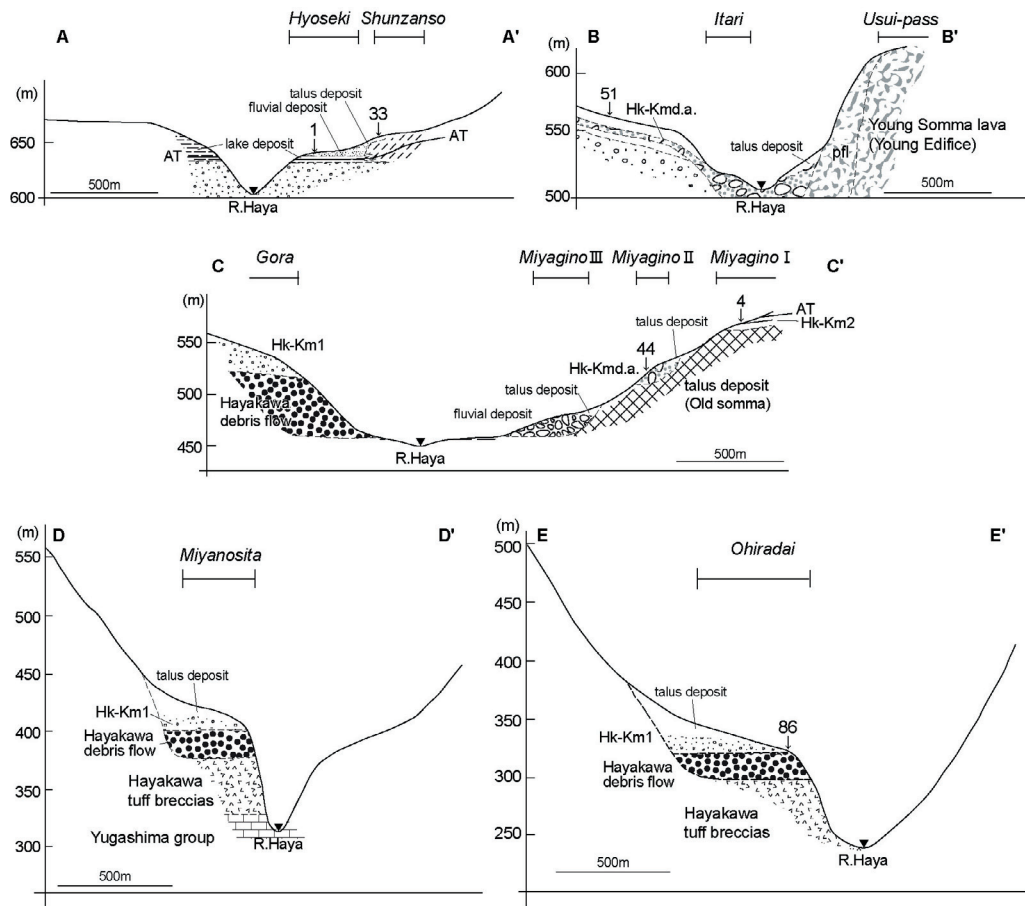


図 10 (b). 段丘を横断する地形・地質断面図。断面位置を図 10(a) に示す。

Fig. 10(b). Topographical and geological sections of terraces. Locations of section are shown in Fig. 10(a).

e) 俵石面；仙石原湖堆積物の浸食面

箱根町俵石 (Loc.1) では、仙石原湖の湖成堆積物を、富士火山起源スコリアの二次堆積物である砂礫とシルト互層からなる河川性堆積物が不整合に覆う。この河川性堆積物を覆うローム層中には Hk-Km5 が挟在する。

俵石面は、春山荘面より約 15 m 低く、俵石面では湖成堆積物中に AT が挟在する。このことは、春山荘面では仙石原湖の水位低下によって AT 降下前から河川性堆積物の堆積環境に移行したのに対して、俵石面では AT 降下後も湖成堆積物の堆積環境が継続し、春山荘面に遅れて河川性堆積物の堆積環境に移行したことを示している。よって、俵石面は早川の下刻過程で形成された浸食面と考えることができる。

f) 宮城野 II 面；土石流化した Hk-Kmd.a. の堆積面

神山北東の箱根町大涌沢沿いには、富士火山起源の S10 テフラ (宮地, 1988) に覆われる土石流堆積物が分布する。大涌沢が早川に合流する箱根町板里では、土石流堆積物からなる地形面が存在する。これらの土石流堆積物は、地形的および層位的にも Hk-Kmd.a. に対応するものと考えられ、Hk-Kmd.a. の一部が土石流化して大涌沢を流下したと考えられる。

箱根町宮城野 (Loc.44) では、S10 テフラに覆われる安山岩円礫で構成される小規模な段丘 (宮城野 II 面) が分布することから、Hk-Kmd.a. から変化した土石流堆積物が早川を一時的に埋積したことを示している。

g) 宮城野 III 面

箱根町宮城野付近の早川左岸には、現河床面より数 m 高い平坦面が断片的に分布する。この平坦面は、主に外輪山起源の安山岩円礫で構成される。宮城野 I 面の背後斜面も同様の安山岩垂円礫～垂角礫によって埋積されており、宮城野付近を刻む谷にも同質の巨礫が点在する。このことから、宮城野 III 面の形成には、これらの崖錐堆積物が関与したと考えられる。

なお、須雲川から早川との合流部にかけては、現河床に対して 10～15m 程度の比高を有する小規模な平坦面が点在する。これらの平坦面は中央火口丘起源の block and ash flow 堆積物 (約 20ka) で構成され (笠間ほか, 2007)、駒ヶ岳周辺で噴出した Hk-Ko が、須雲川を埋積しながら流下したものと考えられる。

(2) 芦ノ湖・仙石原地域の地質

早川の上流には、仙石原と呼ばれる標高 650～670 m の平坦地が存在する。地形的には春山荘面に連続する。仙石原のさらに上流にある芦ノ湖は、その湖面高度が約 725 m、湖底までの深度は約 30～40 m で、湖底は比較的平坦である。湖の中央部には、外輪山と陣笠山溶岩で挟まれた狭窄部が存在する。

本研究では、芦ノ湖・仙石原地域で実施された学術調査や大規模施設建設の際のボーリング調査の資料 (神奈川県小田原土木事務所, 1977; 環境庁・神奈川県・箱

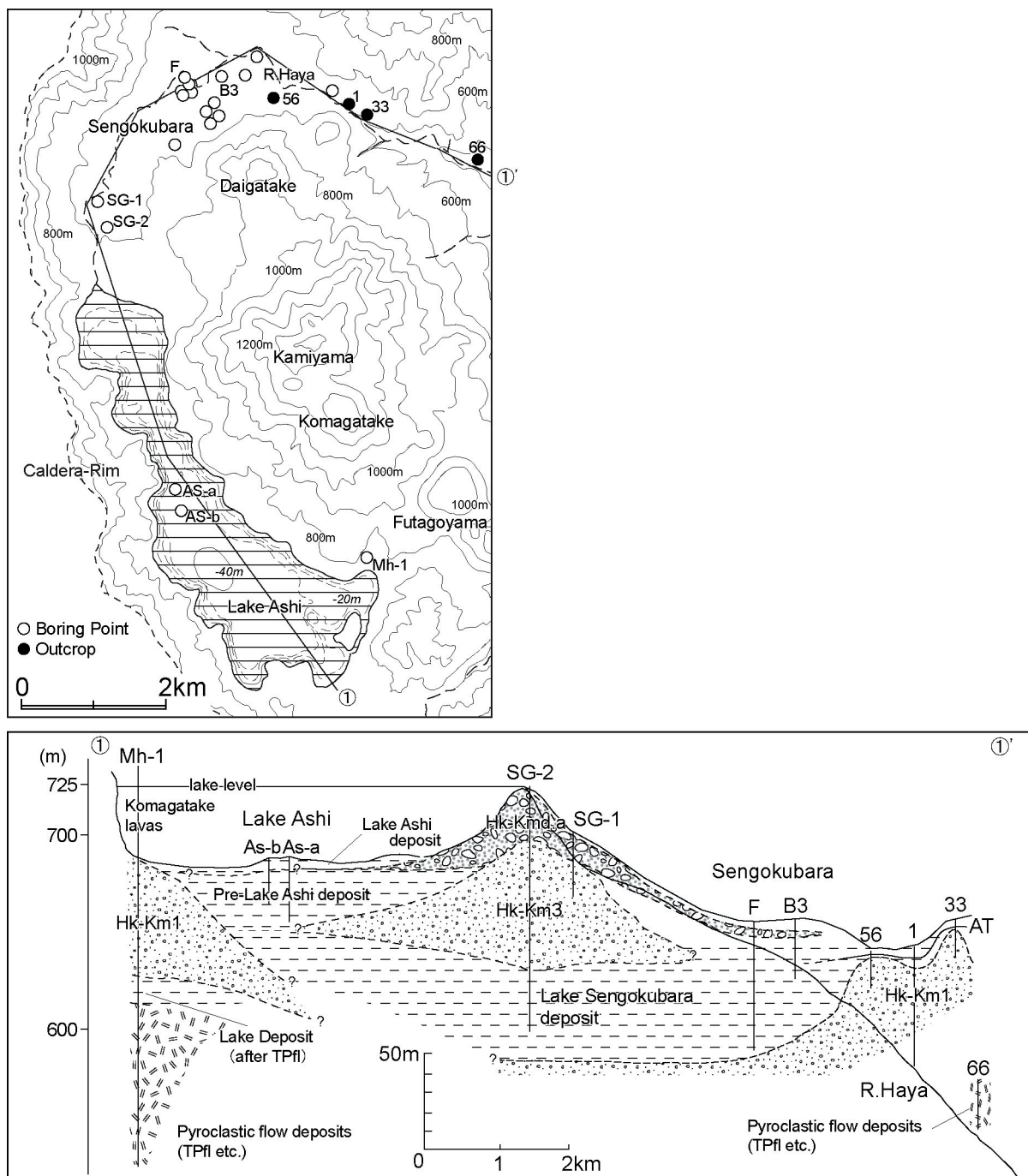


図 11. 芦ノ湖－仙石原地域の地質断面図。

Fig.11. Geological section along the Lake Ashi-Sengokubara area.

根仙石原湿原環境調査団, 1978; 山崎ほか, 1992 など) をもとに、芦ノ湖から仙石原にかけての堆積物の層序と分布を整理し、この地域の堆積環境の時代変遷を検討した (図 11)。

a) 仙石原湖の形成

小塚山周辺には Hk-Km1 が厚く堆積する。この上流には、Hk-Km1 の堰き止めによって形成された仙石原湖の湖成堆積物が堆積する。前述したように、箱根町俵石 (Loc.1) や上湯場 (Loc.56) ではこの湖成堆積物中に AT が挟在する。また、ボーリング資料には、仙石原湖堆積物に相当するシルト・泥などからなる互層中に細粒火山灰などの挟在物の存在を示唆する記載がある。

一方、芦ノ湖南岸の元箱根付近のボーリング (Mh-1)

では、駒ヶ岳溶岩に覆われる砂礫層 (元箱根火山砂礫層; 大木ほか, 1968) が記載されている。大木ほか (1968) は、この元箱根火山砂礫層を、Kuno (1950) の火山円礫岩 (CC2) や神山溶岩類 (CC5) に対比しているが、その記載内容に加え、Hk-Km1 は外輪山西斜面にも分布する大規模な噴出物であることから、元箱根火山砂礫層は Hk-Km1 に対比されと考えられる。なお、Mh-1 において、元箱根砂礫層と軽石流噴出期の火砕流に挟まれる凝灰質シルトは、新期カルデラ形成後の湖成堆積物と考えられている (大木ほか, 1968)。

b) 仙石原湖の分断; 先芦ノ湖の形成、仙石原湖の消滅

AT 降下前には、早川の浸食作用が仙石原湖の堰き止め部に及び、仙石原湖の水位は徐々に低下し、縮小

していったと考えられる。仙石原南部のボーリング資料 (SG-1、SG-2) では、Hk-Kmd.a に覆われる層厚数 50 m 以上の block and ash flow と考えられる堆積物が記載されている。神山北西斜面には厚い block and ash flow 堆積物 (Hk-Km3) が分布し (図 4b) (大木・袴田, 1975)、これはカルデラ縁を乗り越えて外輪山西斜面の広範囲に流下していることから、このボーリング資料に記載された block and ash flow 堆積物は Hk-Km3 に対比されると考えられる。

Hk-Km3 噴火に伴う block and ash flow の仙石原への流下・堆積は、仙石原湖を二分し、その堰き止めによって上流側には先芦ノ湖が形成された。すでに水位低下が進行していた仙石原湖では、上流部を堰き止められたことによってさらに縮小化が進行し、約 5 ka までは湖沼性の環境 (綿貫, 1978)、それ以降は完全に湿原化 (古仙石原湿原; 袴田, 1976) したと考えられる。一方、先芦ノ湖では、最初は湖が拡大したと考えられるが、山崎ほか (1992) によると、約 20 ka 以降は縮小化に転じ、さらに、約 10ka 以降になると、芦ノ湖中部の狭窄部では、隆起運動に伴う閉塞によって谷底浸食が進行したが、狭窄部の上流側では湖水域が拡大したとされている。

c) 芦ノ湖の形成

現在の芦ノ湖は、Hk-Kmd.a が仙石原南部で早川を堰き止めたことによって形成されたと考えられている (久野, 1953; 大木・袴田, 1975 など)。仙石原南部 (SG-1、SG-2) では、層厚約 30 m の Hk-Kmd.a が確認されている。Hk-Kmd.a の堰き止めによって、先芦ノ湖が、芦ノ湖として再拡大して現在の姿になったと考えられる。

一方、再度上流域を堰き止められた古仙石原湿原では、Hk-Kmd.a の二次堆積物の流入や富士火山起源テフラの埋積などによって、約 2.6ka には乾陸化して杉林が形成されたとされる (袴田, 1981)。なお、その後再び湿原が形成され現在に至っているが、その原因はよく分かっていないとされる (袴田, 1981)。

6. 箱根カルデラ内の地形発達過程—まとめにかえて—

これまで述べてきた中央火口丘群の噴火史のほか、早川から芦ノ湖にいたる河川系の地形地質学的な特徴を踏まえ、箱根カルデラ内の地形発達過程を整理した (図 12)。

a) 約 60 ka ~ 約 45 ka (先神山の形成と爆発的噴火に伴う降下テフラの噴出)

Hk-TP および TPfl の噴出後、しばらくの休止期をさみ、溶岩流や block and ash flow の噴出、降下軽石・火山灰の噴出を伴う噴火活動が、台ヶ岳・鷹巣山火山列に沿った複数箇所、もしくは広い範囲で発生して、小型の成層火山である先神山を形成した (約 58 ka)。この先神山を給源とした爆発的噴火によって、Hk-SP や Hk-CC1 ~ CC4 などの降下テフラを噴出した (約 52 ka ~ 約 45 ka)。一方、この時期には、先神山西方のカルデラ床には湖が存在していた。また、碓氷峠と浅間山の新期山体は一続きの尾根部を形成していた。

b) 約 41 ka (先神山の崩壊と早川泥流の流下・堆積)

Hk-CC6 と Hk-CC7 噴火では、多量の類質岩塊の放出によって、火口の拡大と山体の一部の崩壊が進行した。その崩壊物の一部は泥流 (早川泥流) となって、早川を埋積しながら流下した (約 41ka)。この時期までには、

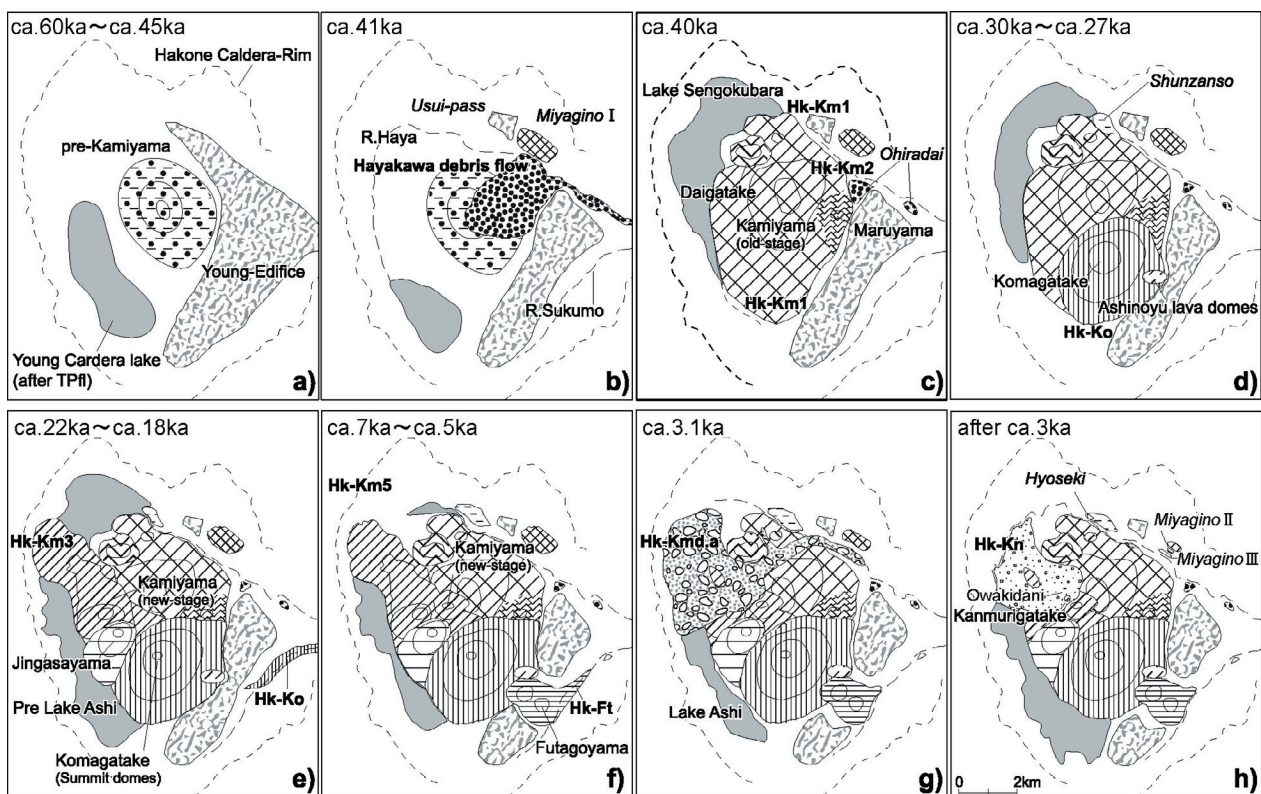


図 12. 箱根カルデラ内の地形発達史。

Fig.12. Historical maps of geographical development in Hakone caldera.

早川の下刻作用によって碓氷峠付近の新期山体は浅間山と分離され、明神ヶ岳南斜面の末端部も段丘化していた（碓氷峠面、宮城野Ⅰ面）。

c) 約 40ka（古期神山の活動開始、仙石原湖の形成）

先神山の崩壊後、比較的粘性の高い溶岩流の噴出とそれに伴う block and ash flow (Hk-Km1, 2; 約 40 ka、約 39 ka) の流下を繰り返しながら古期神山が急速に成長した。この活動に先立って台ヶ岳と小塚山の各溶岩ドームが噴出した。Hk-Km1 は多方向に流下したが、北東方向を流下したものは、小塚山付近で早川を堰き止め、その上流側に仙石原湖を形成させた。この堰き止めなどが原因となって下流部の下刻が急速に進行し、早川泥流の堆積面が段丘化した（大平台面）。

d) 約 30 ka ～約 27 ka（駒ヶ岳の活動開始とその周辺の活動）

それまでの台ヶ岳・鷹巣山火山列の活動から神山・二子山火山列に活動中心が移動し、駒ヶ岳周辺の噴火活動が始まった。約 27 ka には駒ヶ岳の活動が始まり、粘性の大きな溶岩流の噴出とそれに伴って Hk-Ko が主に南方向に流下した。この時期には、仙石原湖の水位低下が進行し、湖成堆積物の堆積面の一部が段丘化した（春山荘面）。

e) 約 22 ka ～約 18 ka（新期神山の活動開始、駒ヶ岳の活動）

現在の神山を中心とした活動（新期神山）が開始した。約 22 ka には、粘性の大きな溶岩流とそれに伴う block and ash flow (Hk-Km3) が北～西方向に大規模に流下し、仙石原を厚く覆うとともに、一部は箱根カルデラの西縁を乗り越えて、外輪山西斜面を流下した。この噴火によって仙石原湖は上流側の先芦ノ湖と分断され、仙石原湖の縮小化がより促進される結果となった。駒ヶ岳周辺では、駒ヶ岳山頂ドーム、陣笠山溶岩流のほか、駒ヶ岳東斜面付近の溶岩流が噴出した。これらの活動に関連した block and ash flow (Hk-Ko の一部; 約 20 ka ～約 18 ka) は須雲川を埋積しながら流下した。

f) 約 7 ka ～約 5 ka（新期神山の活動継続、二子山の活動）

神山山頂部で噴出した Hk-Km5 (約 7 ka) は北～西方向に向かって流下した。一部は箱根カルデラの西縁を乗り越えて、外輪山西斜面を流下した。また、二子山溶岩ドームの噴出に伴って Hk-Ft が須雲川沿いを流下した (約 5 ka)。この時期には、仙石原湖は湿原化（古仙石原湿原）していた。また、先芦ノ湖では、狭窄部周辺では隆起活動に伴う陸化や谷底浸食が卓越したものの、その上流側では湖水域が拡大した。

g) 約 3.1 ka（神山の山体崩壊、芦ノ湖の形成）

神山北西斜面で発生した山体崩壊に伴う岩屑なだれ (Hk-Kmd.a.) が仙石原付近に厚く堆積し、現在の芦ノ湖の形成に大きく関与した。Hk-Kmd.a. の一部は泥流として神山北東斜面を流下して早川を小規模に埋積しながら流下した。古仙石原湿原は Hk-Kmd.a. の二次堆積物や富士火山起源の降下テフラによる埋積などによって徐々に乾陸化していった。

h) 約 3 ka ～現在（大涌谷周辺の活動）

Hk-Kmd.a. の馬蹄形火口内に冠ヶ岳溶岩ドームが形成

され、それに伴う block and ash flow (Hk-Kn) が北～西方向に流下した。Hk-Kn の一部は箱根カルデラ西縁付近にまで達した。その後、大涌谷周辺では水蒸気爆発 (Hk-Ow1; 約 3 ka、Hk-Ow2; 約 2 ka、Hk-Ow3 ～ 5; 12 世紀後半～ 13 世紀) が発生した。Hk-Kmd.a. の堰き止めによって芦ノ湖の湖水域が拡大したが、仙石原は完全に乾陸化し杉林が形成された。また、岩屑の供給が減少した早川では下刻作用が進行し、宮城野Ⅱ面及び宮城野Ⅲ面が形成された。

謝辞

本稿は、著者が東京都立大学（現首都大学東京）大学院在学時における研究成果の一部を基礎として、その後の知見を加えながら再整理したものである。各火山噴出物の産状の詳細などについては、小林（1999）及び小林ほか（2006）を参照していただきたい。

箱根町（元大涌谷自然科学館館長）の袴田和夫氏、神奈川県温泉地学研究所の萬年一剛氏との議論は、本研究を進める上での重要なテーマを与えるものであり、これまでの研究成果の多くは両氏の絶え間ない叱咤激励によるところが大きい。また、神奈川県立生命の星・地球博物館の山下浩之氏をはじめとする皆様には、本報告書への投稿の機会を与えていただいた。以上の方々に記して深く感謝申し上げる。

引用文献

- 愛鷹ローム団研グループ, 1969. 愛鷹山麓のローム層—東名高速道路工事現場を中心として—. 第四紀研究, 8(1): 10-20.
- 新井房雄・町田 洋・杉原重雄, 1977. 南関東における後期更新世の示標テフラ層序—特性記載とそれに関する諸問題—. 第四紀研究, 16(1): 19-40.
- 池田晃子・奥野 充・中村俊夫・筒井正明・小林哲夫, 1995. 南九州, 始良カルデラ起源の大隅降下軽石と入戸火砕流中の炭化樹木の加速器質量分析法による 14C 年代. 第四紀研究, 34(5): 377-379.
- 上杉 陽・米沢 宏・宮地直道・千葉達朗・肥田木 守・細田一仁・米沢まどか・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
- 上杉 陽・伊藤谷生・米沢 宏・染野 誠・千葉達朗・狩野 謙一, 1996. 伊豆半島北縁の平山断層—テフラからみたその変遷史—. 第四紀露頭集—日本のテフラ: 210-211, 日本第四紀学会.
- 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, 築地書館.
- 大木靖衛・荻野喜作・大口健志・広田 茂・平野富雄・守矢正則, 1968. 箱根火山元箱根におけるボーリング調査とその温泉地質学的意義. 神奈川県温泉研究所報告, (6): 21-34.
- 笠間友博・山下浩之, 2007. 神奈川県小田原市久野諏訪原で確認された班レイ岩質岩片を含む諏訪原スコリア（新称）. 神奈川県立博物館研究報告（自然科学）, 36: 17-24.
- 笠間友博・山下浩之・萬年一剛・奥野 充・中村俊夫, 2007. 複数回の噴火で形成された箱根火山二子山ドーム. 日本地球惑星科学連合大会予稿集（CD-ROM）, V156-P031.
- 神奈川県小田原土木事務所, 1977. 昭和 51 年度芦ノ湖周辺公共下水道事業（特定保全公共下水道）環境調査資料集: 172pp.
- 環境庁・神奈川県・箱根仙石原湿原環境調査団, 1978. 昭和 52

- 年度特殊植物等保全事業「箱根仙石原湿原環境調査」報告書, 63pp.
- 関東ローム研究グループ, 1965. 関東ローム. 379pp. 築地書館.
- Kuno, H., 1950. Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part I. J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, (7): 257-279.
- 久野 久, 1972. 箱根火山地質図 (5 万分の 1) および箱根火山地質図説明書; 52pp. 大久保書店.
- 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(4): 327-343.
- 小林 淳・小山真人, 1996. 箱根火山西麓～南麓地域のテフラ層序と火山噴火史. 地学雑誌, 105(4): 431-447.
- 小林 淳・奥野 充・中村俊夫, 1997. 箱根古期外輪山西斜面に分布する中央火口丘起源の火砕流堆積物の 14C 年代. 火山, 42(5): 355-358.
- 小林 淳・萬年一剛・奥野 充・中村俊夫・袴田和夫, 2006. 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. 火山, 51(4): 245-256.
- Kobayashi, M., A. Takada, & S. Nakano, 2007. Eruptive history of Fuji Volcano from AD 700 to AD 1,000 using stratigraphic correlation of the Kozushima-Tenjosan Tephra. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 57(11/12): 409-430.
- 小山真人, 1993. 伊豆半島の火山とテクトニクス. 科学, 63(5): 312-321.
- 小山真人, 1995. 西相模湾断裂の再検討と相模湾北西部の地震テクトニクス. 地学雑誌, 104(1): 45-68.
- 小山真人・早川由紀夫・新井房夫, 1995. 東伊豆単成火山地域の噴火史 2: 主として 32ka 以前の火山について. 火山, 40(3): 191-209.
- 佐護浩一・町田 洋, 1996. 三瓶山東方地域における更新世後期テフラ. 第四紀露頭集—日本のテフラ, 282-283. 日本第四紀学会.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005); 北伊豆断層帯の長期評価について. 平成 17 年 2 月.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005); 神縄・国府津—松田断層帯の長期評価の一部改訂について. 平成 17 年 3 月.
- 高田 亮・石塚吉浩・中野 俊・山元孝広・小林 淳・鈴木 雄介, 2007. 噴火割れ目が語る富士火山の特徴と進化, 富士火山: 183-202, 山梨県環境科学研究所.
- 高田 亮・小林 淳, 2007. 富士火山南山腹のスコリア丘トレンチ調査による山腹噴火履歴. 地質調査研究報告, 57(11/12): 329-356, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 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. 地球, 21(7): 437-445.
- 高橋正樹・長井雅史, 2007. 15 万年前以降における箱根火山の浅部マグマ供給システムとテクトニクス場—横ずれ活断層システムに切られた活火山—. 地球号外, 57: 173-181.
- 中村俊夫・岡 重文・坂本 亨, 1992. 東京軽石流堆積物中の炭化木片の加速器質量分析計による放射性炭素年代. 地質学雑誌, 98(9): 905-908.
- 袴田和夫, 1976. 仙石原湿原のおいたち. 箱根の文化財, (11): 2-9.
- 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, 189pp. 神奈川新聞社.
- 袴田和夫・伊藤 潤, 1996. 箱根二子山火砕流の 14C 年代. 大涌谷自然科学館調査研究報告, (13): 21-24.
- 袴田和夫・杉山茂夫, 1994. 箱根町湯本茶屋で出現した信濃屋火砕流と 14C 年代. 神奈川自然誌資料, 16: 51-52, 神奈川県立博物館.
- 袴田和夫・杉山茂夫・今永 勇・萬年一剛・大木靖衛, 2005. 箱根火山の K-Ar 年代. 火山, 50(5): 285-299.
- 平田由紀子, 1991. 箱根新期軽石流 (TP 軽石流) にみられる中央火口丘起源の本質物質. 大涌谷自然科学館調査研究報告, (10): 1-11.
- 町田 洋, 1964. Tephrochronology による富士火山とその周辺域の発達史, 地学雑誌, 73(5): 293-308, 73(6): 337-350.
- 町田 洋, 1971. 南関東のテフロクロノロジー (I) —下末吉期以降のテフラの起源および層序と年代について—. 第四紀研究, 10(1): 1-20.
- 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—. 336pp. 東京大学出版会.
- 町田 洋・鈴木正男・宮崎明子, 1971. 南関東の立川, 武蔵野ロームにおける先土器時代遺物包含層の編年. 第四紀研究, 10(4): 290-305.
- 萬年一剛, 2003. 文献による箱根群発地震の再検討 (1917～1960) —箱根群発地震活動の地学的意義—. 火山, 48(6): 425-443.
- 萬年一剛・杉山茂生, 2000. 元箱根 36 号温泉井のボーリング地質と温泉. 神奈川県温泉地学研究所報告, 31(2): 77-90.
- 萬年一剛・水野清秀・伊藤順一・山下浩之, 2006. 箱根・強羅付近地下の地質構造—とくに湖成堆積物の分布とその堆積環境—. 神奈川県温泉地学研究所報告, (38): 11-26.
- 萬年一剛・小林 淳・奥野 充・笠間友博・山下浩之・袴田和夫・中村俊夫, 2006. 箱根火山の噴火史—最近の知見に基づく再検討—. 地球, 28(6): 355-362.
- 皆川紘一, 1968, 1969. 相模川山間部のローム層と第四紀地史, 第四紀研究, 7(3): 101-108, 8(1): 1-9.
- 宮地直道, 1988. 新富士火山の活動史. 地質学雑誌, 94(6): 433-452.
- 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(4): 227-241.
- 村山雅史・松本英二・中村俊夫・岡村 真・安田尚登 平 朝彦, 1993. 四国沖ピストンコア試料を用いた AT 火山灰噴出年代の再検討—タンデトロン加速器質量分析計による浮遊性有孔虫の 14C 年代—. 地質学雑誌, 99(10): 787-798.
- 山下浩之・笠間友博・川手新一・平田大二, 2007. 箱根火山起源諏訪原テフラ (SwS) に発見された班レイ岩質岩片の岩石学的性質. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), 36: 25-28.
- Yamazaki, H., 1992. Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, Central Japan. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 43(10): 603-657.
- 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. 科学技術振興調査費「マグニチュード 7 級の内陸地震の予知に関する研究」成果報告書, 科学技術庁研究開発局: 98-111.
- 由井将雄, 1983. 箱根火山西麓のテフラ層序. 関東の四紀, (10): 21-32.
- 綿貫知彦・磯村康博・宮田 保, 1978; 箱根仙石原堆積物のケイ藻殻分析. 箱根仙石原湿原環境調査, 環境庁・神奈川県・箱根仙石原環境調査団: 15-19.