

## 箱根火山の K-Ar 年代

袴田和夫\*・杉山茂夫\*\*・今永 勇\*\*\*・萬年一剛\*\*\*\*・大木靖衛†

(2005年3月11日受付, 2005年9月4日受理)

## K-Ar Ages of Hakone Volcano, Japan

Kazuo HAKAMATA\*, Shigeo SUGIYAMA\*\*, Isamu IMANAGA\*\*\*,  
Kazutaka MANNEN\*\*\*\* and Yasue OKI†

Hakone Volcano is an active volcano located near the northern end of the Izu-Bonin volcanic arc. Kuno (1950) reconstructed the evolution of this volcano based on detailed study on topography and volcano stratigraphy as follows: 1) development of a large stratovolcano (OS: Old Somma), 2) collapse of the stratovolcano and formation of the first stage caldera, 3) renewed volcanism leading to the formation of a shield volcano (YS: Young Somma) inside the first caldera, 4) collapse of the shield volcano resulting to the formation of the second stage caldera, 5) growth of Central Cones (CC) inside the second caldera. Our K-Ar dating performed on several lava flows, lava domes, and dykes revealed the following interpretations: 1) Ages between parasitic volcanoes on the flank of OS and YS are overlapping. 2) Ages of 'Yugawara volcano' presumed to be pre-Hakone edifice by Kuno (1950) and that of OS are indistinguishable. 3) A lava of CC obtained from a deep well shows close age to Hk-TP eruption, later stage of which is thought to be initiation of the CC stage (Hirata, 1999).

From these results and previous tephrochronological and geological studies (e.g. Machida, 1977; Takahashi *et al.*, 1999), we propose a new classification of the edifices of the Hakone Volcano and their ages as follows: 1) formation of the Lower Older Edifice [LOE] which constitute the main part of Kuno's OS lasted until the eruption of TCu-1 tephra (0.25 Ma). 2) Upper Older edifice [UOE], the parasite volcanoes on LOE, was erupted from 0.25 Ma to 0.11 Ma. 3) Activity of the Younger Edifice [YE; corresponding to Kuno's YS] was initiated since the emplacement of Hk-TAu12 tephra (0.13 Ma) and ended at 0.08 Ma. 4) CC erupted from 0.065 Ma to the present.

**Key words:** Hakone volcano, K-Ar dating, stratovolcano, parasitic volcano, caldera forming

## 1. はじめに

箱根火山は伊豆半島の付け根に位置する第四紀火山である (Fig. 1)。久野 久は、箱根火山について詳細な地形的な観察および岩石学的な研究を行い、後に詳述する、火山体形成史のモデルを提出した (Kuno, 1950)。

久野の形成史はその後、テフラ層準との対応が行われ

(例えば町田, 1977; 町田・森山, 1968), 形成史上の主要な時期に関しては一応の年代が与えられたが、箱根火山の山体を構成する個々の溶岩流や側火山の噴出年代を明らかにするまでに至っていなかった。最近になって、平田 (1999)、高橋・他 (1999) などによって、詳細な地質調査と K-Ar 年代測定に基づく新しい箱根火山の形成史

\* 〒250-0398 神奈川県足柄下郡箱根町湯本 256  
箱根町役場  
Municipal Government of Hakone Town, 256 Yumoto,  
Hakone, Kanagawa 250-0398, Japan.

\*\* 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町 2-28  
相模川総合整備事務所  
Improvement Office of Sagami River, Kanagawa Prefecture,  
2-28 Tamura, Atsugi, Kanagawa 243-0016, Japan.

\*\*\* 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499  
神奈川県立生命の星・地球博物館

Natural History Museum of Kanagawa Prefecture, 499  
Iriuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, 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.

† 2003年1月21日逝去  
2003.1.21 deceased

Corresponding author: Kazutaka Mannen  
e-mail: mannen@onken.odawara.kanagawa.jp

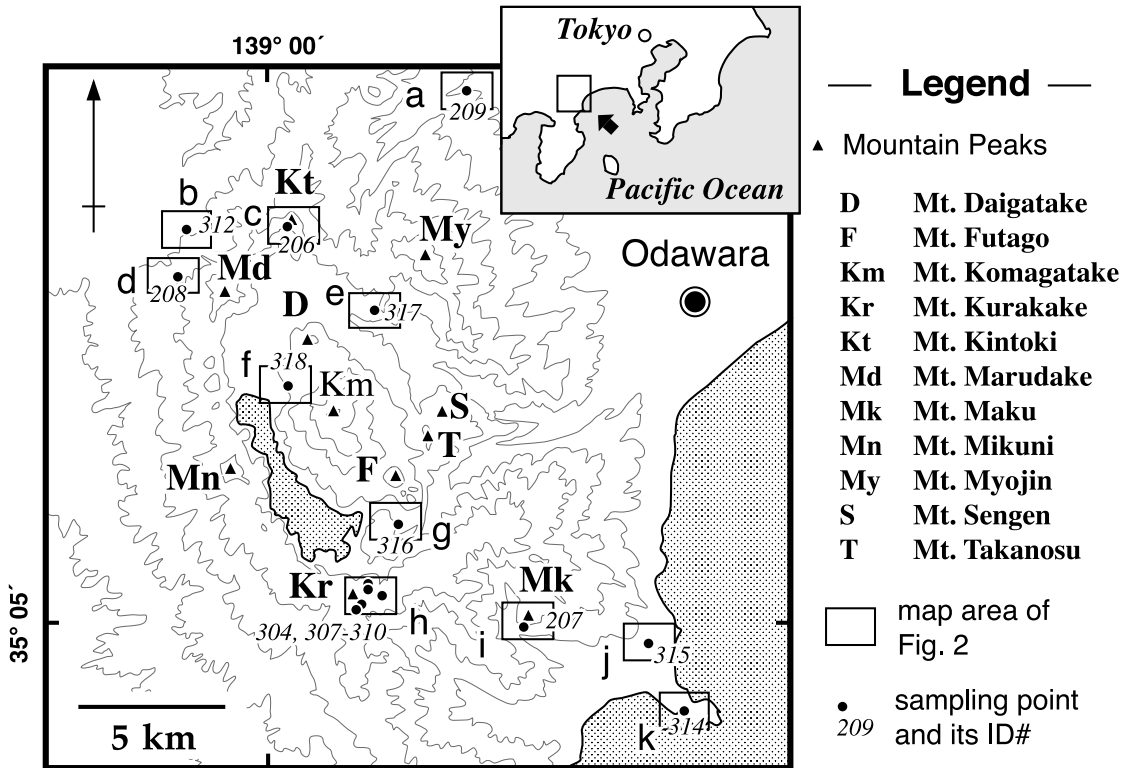


Fig. 1. Index map of Hakone Volcano.

が提案されている。しかし、これらの論文では研究成果の概要が述べられているにとどまり、個々の山体の具体的な年代値は未公表のものがほとんどである。また、これらの報告では山体や岩体の定義が明確でなく、後ほど指摘するように、テフラ層序との関連も十分に議論されているとはいいがたい。

われわれは、箱根火山の形成史を明らかにすることを目的として、箱根火山のいくつかの主要な溶岩流、溶岩円頂丘、スコリア丘などの岩石の K-Ar 年代測定をおこなった。この結果、久野の火山体形成モデルにいくつかの修正を加える必要があることが明らかになった。本報告では、われわれの年代測定について詳述するとともに、これまでに提案された年代モデルの検討を行い、今後解明すべき点を指摘したい。

## 2. 地形区分

箱根火山は地形的に 1) 古期外輪山, 2) 古期外輪山外側斜面上の側火山, 3) 新期外輪山, 4) 中央火口丘群に区分できる (Kuno, 1950; 久野, 1972)。

古期外輪山は、明神ヶ岳、丸岳、三国山などからなる

南北約 11 km 東西約 9 km のだ円形をした、標高 900~1200 m の山稜で箱根火山の古期カルデラ縁を構成する。古期外輪山の斜面は、カルデラの内側は急であるが、カルデラの外側では開析が進んでいるものの全体としてはなだらかである。久野 (1972) によって、古期外輪山山体の外側斜面には、北西-南東方向配列する 8 つの安山岩からデイサイト組成の側火山 (幕山、金時山など) が認められていたが、その後さらにいくつかのスコリア丘が古期外輪山の北西外側斜面で確認された (袴田, 1990; 1991)。また、南東外側斜面には、斜面中腹から噴出したと思われる何枚かの溶岩流が存在する (久野, 1972)。

新期外輪山は頂上が平らないくつかの山体で構成されており、カルデラ内の主に東側に分布する。新期外輪山である鷹巣山 (たかのすやま)、浅間山 (せんげんやま) の西側斜面は新期カルデラ壁であると考えられている (Kuno, 1950; 久野, 1972)。

中央火口丘群は二子山、神山、台ヶ岳など、カルデラ内中央部に北北西-南南東方向に配列した山群である。神山は成層火山と考えられているが、そのほかは溶岩円頂丘と考えられている (Kuno, 1950; 久野, 1972)。

### 3. 研究史

#### 3-1 火山体発達史

Kuno(1950) は地形と岩石学的な観察から、箱根火山の地形発達史を次のように考えた。

箱根火山の噴火史は、2回のカルデラ形成を境界として、第一期から第三期までの3つの時期に区分できる。

第一期では、相次ぐ噴火による火砕物と溶岩の供給で箱根火山のもっとも古い山体(古期外輪山)ができた。古期外輪山山体は、円錐形の成層火山体で現在の箱根火山の古期外輪山を形成している山体である(久野, 1972)。古期外輪山山体形成期のいつ頃かに、金時-幕山構造線と称する北西-南東方向の断層の活動があり、この際、金時山、幕山両火山の噴火が起きた。金時山は成層火山、幕山は溶岩円頂丘である。古期外輪山山体形成期の最後の方で、北西斜面で数個の輝石安山岩~デイサイトの側火山が噴出した。これらは久野(1972)の地質図上で OS<sub>2</sub>として分布が示されている。このすぐ後、古期外輪山山体中央に発生した陥没によりだ円形のカルデラ;第一期カルデラ(古期カルデラ)が形成された。

第二期には、流動性に富んだ珪長質の溶岩が噴出し、頂上が平らな一種の盾状火山を形成した。この山体の溶岩は新期外輪山溶岩と呼ばれる。その後、莫大な量の軽石の噴火があり、盾状火山の西半分が陥没し新しいカルデラ;第二期カルデラ(新期カルデラ)が形成された。

第三期には、神山、二子山、台ヶ岳などの中央火口丘群が新期カルデラ内に形成された。

久野の火山体形成モデルに対して、1980年代以降見直しの動きがある(例えば、Kato, 1985MS; 長井・高橋, 1999; 内藤・高橋, 1999; 高橋・他, 1999; 平田, 1999など)。とくに批判的に検討が加えられているのは古期外輪山についてである。これらの研究の要点は、古期外輪山が、久野の言うような単一の大成層火山ではなく、複数の中小規模の成層火山体の集合体であるということにある。しかしこれらの報告はいずれも断片的で、包括的な古期外輪山の見直しには必ずしも至っていない。このような理由から、本論文では、基本的に久野の地質地形分類に準拠し、後ほどの議論で上述のような見直しの動きについて適宜検討を加えることとする。

#### 3-2 テフラ層序との対応

久野の研究では、各山体の形成年代について多くはふれられていなかった。その後の町田・洋らの研究により、テフラ層序と山体形成史との対応がはかられ、テフラの絶対年代測定や、地形学的な海水準変動との対比により、山体形成史の重要な部分に絶対年代が与えられるようになった。以下、町田(1977)の記述を中心に概観する。なお、今後いくつかの例外を除き、テフラの名称お

よびその年代値は町田・新井(2003)に準拠する。

第一期のテフラは、多摩ローム層(多摩丘陵の地形面である多摩面に堆積するローム層のうち上部の下末吉ローム層以上を除いた部分)に含まれるテフラ群に対応する。多摩ローム層中のテフラは、TCu-1を境にして様相を異にし、この下位では小規模なテフラが多数検出されるのに対し、この上位では大規模な降下軽石層が目立つようになり、いくつかは軽石流も随伴する。このうち、TAm-5, TAm-1, TB-1, TCu-1(町田・他, 1974)は特に噴出量の大きい珪長質テフラでいずれも後述する軽石流期の噴出物よりも噴出体積が大きいと考えられる。以上のことから、多摩ローム層中の箱根起源のテフラは、TCu-1よりも下位のものが大成層火山(古期外輪山本体)形成期に、TCu-1を含むその上位のものが古期カルデラ形成期に相当すると推定した。なお、TCu-1は海洋酸素同位体比ステージ8で Aso-1の上位に当たり、その絶対年代は0.25 Ma ごろにあたる。

第二期の始まりは、下末吉層中の Hk-TAu12(別称・真鶴軽石; MnP)とされた。これは、箱根山中の須雲川上流で新期外輪山溶岩におおわれる軽石層に対比でき、新期外輪山溶岩の噴出する時期のごく初期に、噴出したテフラと考えられるためである。町田は第二期を Hk-OP を境に二つに分け、下位を新期外輪山形成期、Hk-OP をふくむその上位を軽石流期または新期軽石流期と呼んだ。Hk-OP は海洋酸素同位体比ステージの 5a にあたり、絶対年代では 80~85 ka にあたるとされる(町田・新井, 2003)。

新期外輪山形成期のテフラは、大磯丘陵内の吉沢(きっさわ)付近を模式地とする吉沢(下末吉)ローム層に含まれる。なお、町田は、TCu-1以降、新期外輪山形成期の末期まで爆発的活動は基本的に衰えることなく続き、新期外輪山の溶岩が流出するのは、新期外輪山形成期の最後の時期であったと考えている。

軽石流期のテフラは下末吉ローム層上部と武蔵野ローム層下部に当たり、Hk-OP, -AP, -MP, -TP, -S が認識されている。このうち Hk-OP, -MP, -TP には火砕流を伴っている。

第三期は Hk-CC1 以降のテフラ群で、初期は珪長質のプリニー式噴火噴出物である。この時代については本論文では議論しないので詳細は省略する。

最近になってよりテフラ層序と各岩体との関係の精密な調査や、K-Ar 年代測定の実施により新たな箱根火山の噴火史が構築されている(例えば、高橋・他, 1999; 平田, 1999)が、今のところ概要しか明らかになっていない。本文中ではこれらの結果に関して、必要に応じその都度触れることとし、後ほど本研究で明らかになった年代値を踏まえた上で若干の議論を行う。

#### 4. K-Ar 年代測定試料

年代測定を行った試料の採取地を地図上で Fig. 2 に、緯度経度等の採取位置情報を Table 1 に示す。各試料を久野 (1972), 神奈川県教育委員会 (1980) の地質図をもとに、湯河原火山, 古期外輪山溶岩, 古期外輪山外側斜面の側火山・溶岩流・スコリア丘, 新期外輪山, 中央火口丘の各噴出物に分類した。以下この順番で各試料ごと

に、試料番号, 試料名, 産状, 採集の状況, 採取試料の地質区分, 試料の肉眼観察および顕微鏡観察に基づく記載を示す。なお, 参考までに全岩化学組成分析値を Table 2 に示す。全岩化学分析には神奈川県立生命の星・地球博物館に設置されている蛍光エックス線分析装置, 島津製作所製 XRF-1500 を用いた (小出・他, 2000)。

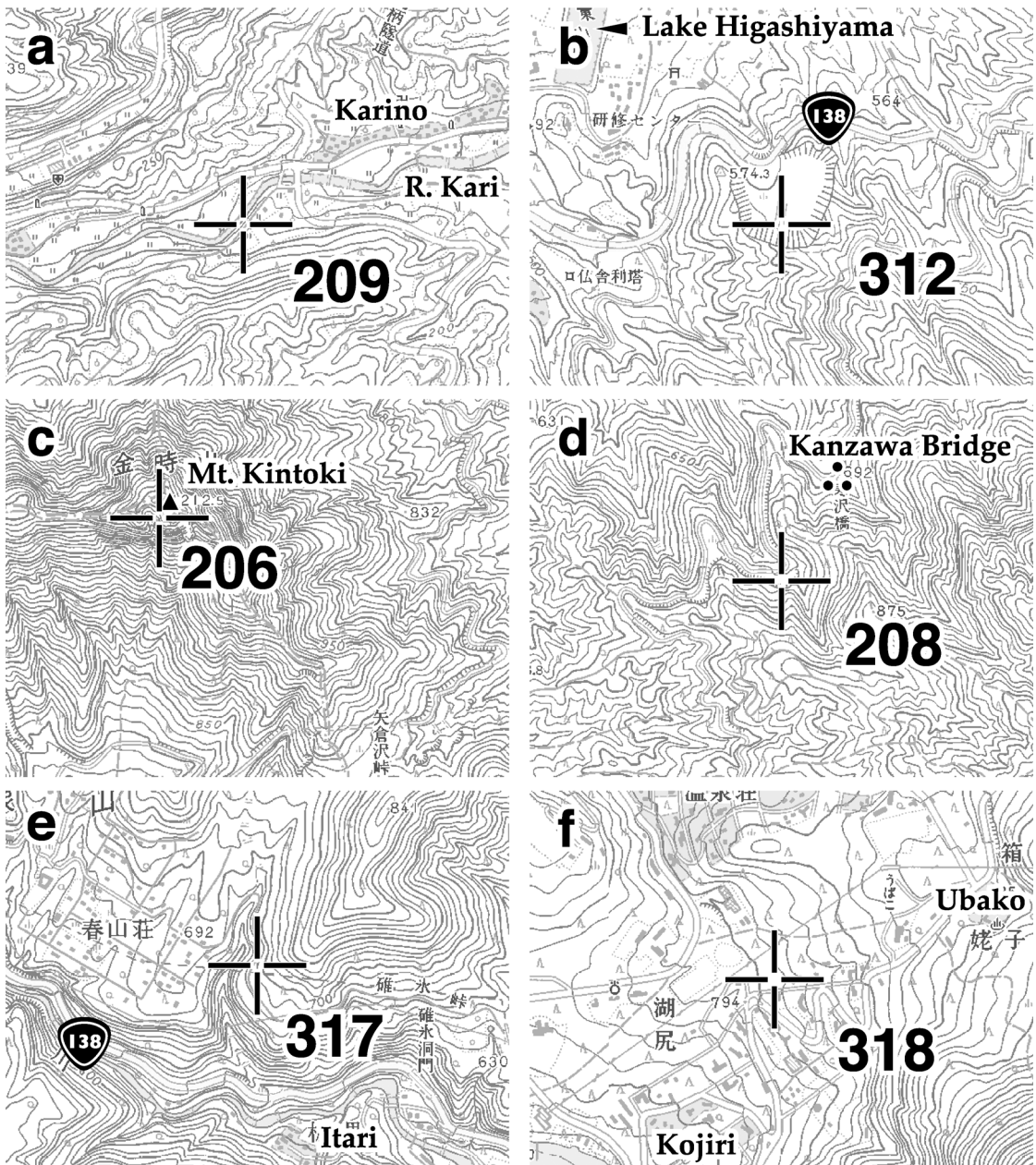


Fig. 2. Index maps of sampling locations.

## 4-1 湯河原火山噴出物

## 4-1-1 鞍掛山南東・単斜輝石かんらん石玄武岩質安山岩岩脈 (試料番号 307)

鞍掛山の南東側、箱根ターンバイク十国峠線の西側に露出する、N60W 方向でほぼ垂直に貫入した岩脈を採取した (Fig. 2i)。久野 (1972) で湯河原火山の安山岩溶岩 (YV1) に関係した岩脈と記述がある岩体に相当する。灰

色で肉眼では 2-3 mm ほどの斜長石斑晶が目立つ。また、やや発泡しており、1 mm 以下の気泡が目立つ。斜長石 (10-15%) およびかんらん石 (3-5%) の単独の斑晶、集斑晶中に単斜輝石斑晶を含む。かんらん石斑晶は全て周縁の数  $\mu\text{m}$  が黒変しているが、内部は新鮮である。石基は 0.15 mm ほどの針状の斜長石と、0.01 mm ほどの輝石および不透明鉱物からなる intergranular 組織を示す。

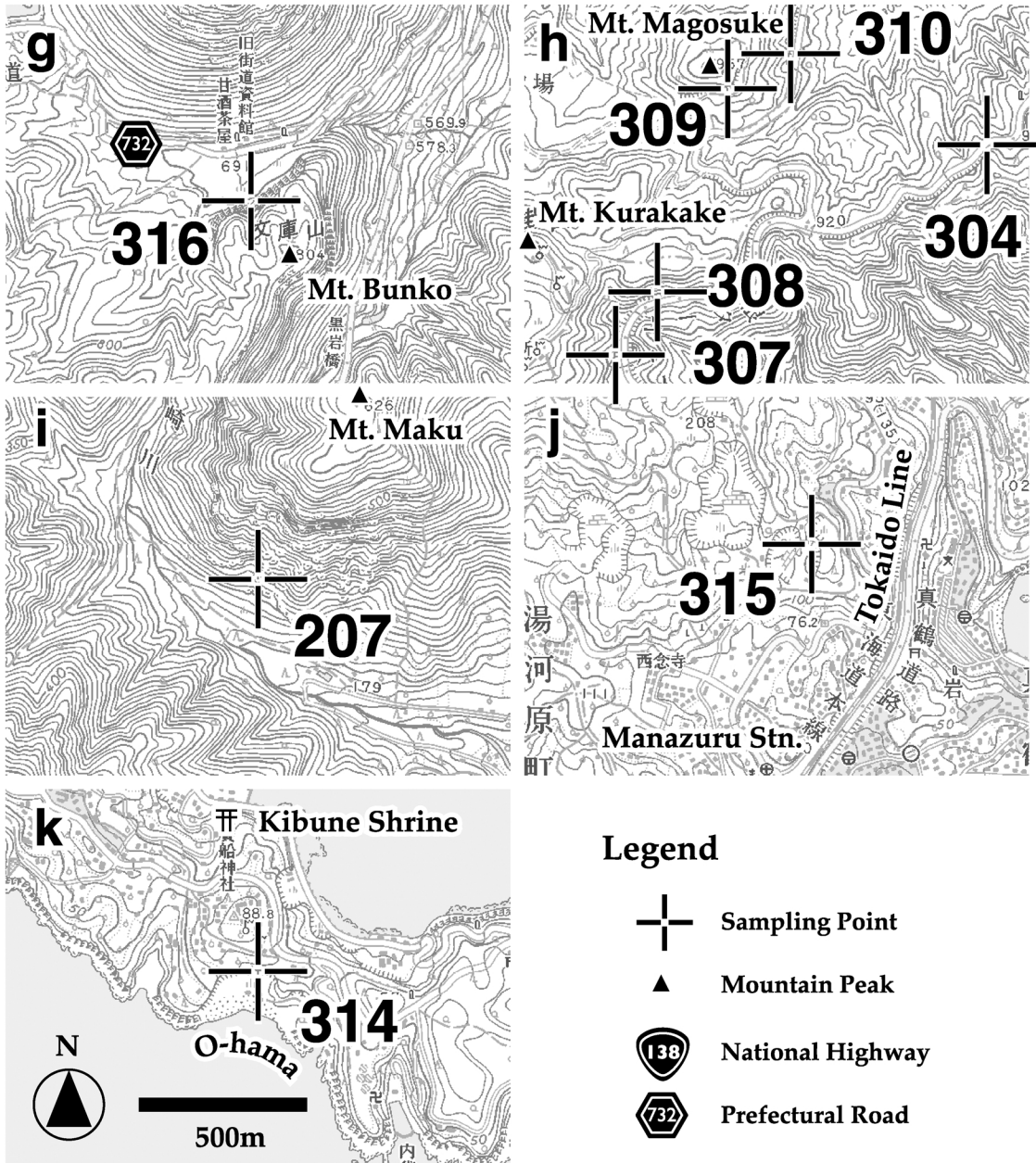


Fig. 2. continued.

Table 1. Summary of sampling locations.

#	露頭名称	位置	緯度 (N)	経度 (E)	標高 (m)
206	金時山山頂南壁露頭1190m付近	神奈川県足柄下郡箱根町仙石原字金時山	35° 17.3'	139° 0.3'	1190
207	幕山南壁	神奈川県足柄下郡湯河原町吉浜字幕山	35° 10.1'	139° 5.3'	260
208	御殿場市東山寒沢橋南露頭	静岡県御殿場市東山	35° 16.4'	138° 57.8'	750
209	神奈川県南足柄市苅野	神奈川県南足柄市苅野字原地内	35° 19.8'	139° 4.0'	170
304	箱根ターンバイク 富士見峠P南西 天閣台	神奈川県足柄下郡箱根町箱根猿上り木立	35° 10.7'	139° 2.4'	970
307	箱根鞍掛山無線中継所東 箱根ターンバイク	神奈川県足柄下郡湯河原町宮上	35° 10.4'	139° 1.7'	900
308	箱根鞍掛山東 箱根ターンバイク北壁	神奈川県足柄下郡湯河原町宮上	35° 10.5'	139° 1.8'	900
309	箱根孫助山南壁	神奈川県足柄下郡箱根町箱根字孫助山	35° 10.8'	139° 1.9'	940
310	箱根ターンバイク 孫助山北東	神奈川県足柄下郡箱根町箱根字孫助山	35° 10.9'	139° 2.1'	860
312	東山スコリア	静岡県御殿場市東山	35° 17.2'	138° 57.8'	560
314	真鶴半島・青木石材 新小松石	神奈川県足柄下郡真鶴町真鶴字道無	35° 8.7'	139° 8.9'	10
315	真鶴駅裏・相良石材 本小松石	神奈川県足柄下郡真鶴町岩	35° 9.8'	139° 8.0'	120
316	甘酒茶屋前文庫山露頭	神奈川県足柄下郡箱根町畑宿字文庫山	35° 12.1'	139° 3.0'	700
317	稚氷峠新期溶岩露頭	神奈川県足柄下郡箱根町宮城野字矢落沢	35° 15.7'	139° 2.0'	680
318	湖尻・住宅信販温泉井	神奈川県足柄下郡箱根町元箱根旧札場	35° 14.5'	139° 0.2'	680

Table 2. Bulk rock chemistry of samples for K-Ar dating.

#	sample code	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	anal. code
206	RM90002b	53.23	0.77	20.25	8.66	0.15	3.51	10.72	2.38	0.25	0.07	XRF990601-24
207	RM90003b	73.13	0.63	14.37	3.55	0.11	0.94	2.57	3.65	0.92	0.13	XRF990601-25
208	RM90004	63.05	0.93	15.60	7.51	0.18	2.19	6.03	3.55	0.77	0.19	XRF990601-26
209	RM90005	63.04	1.03	15.51	7.67	0.15	1.98	5.97	3.46	0.99	0.19	XRF050201-04
304	RM91004	56.78	0.74	17.63	8.59	0.17	4.29	8.45	2.73	0.49	0.12	XRF050201-05
307	RM91007	55.79	0.80	17.66	8.57	0.17	5.53	8.44	2.58	0.32	0.14	XRF990601-29
308	RM91008	51.42	0.63	18.36	9.82	0.18	6.46	11.05	1.82	0.17	0.07	XRF990601-35
309	RM91009c	59.70	0.76	17.10	7.70	0.16	3.33	7.61	2.87	0.63	0.14	XRF990601-37
310	RM91010	51.97	0.68	20.24	8.77	0.15	4.67	11.00	2.16	0.26	0.09	XRF990601-38
312	RM91012	61.11	1.01	15.69	8.22	0.17	2.74	6.70	3.54	0.64	0.19	XRF990601-40
314	RM91014	62.86	0.68	18.28	5.38	0.13	1.63	6.75	3.50	0.64	0.15	XRF990601-42
315	RM91015	65.46	0.81	15.47	6.28	0.16	1.59	5.46	3.80	0.80	0.17	XRF990601-43
316	RM91016	68.18	0.66	15.36	4.64	0.16	1.27	4.33	4.38	0.85	0.18	XRF990601-44
317	RM91017	69.97	0.70	14.55	4.45	0.13	1.04	3.75	4.26	0.95	0.18	XRF990601-45
318*	RM91018-616.0	60.62	0.68	17.23	6.54	0.13	3.32	7.74	3.03	0.60	0.11	XRF000201-12

\* Bulk rock analysis was performed for the same lava as K-Ar dating but slightly different depth.

#### 4-1-2 鞍掛山・両輝石玄武岩質安山岩溶岩 (試料番号 308)

307の採取地の北東300m付近の、箱根ターンバイク十国峠線の北側に露出する溶岩流を採取した (Fig. 2i). 従来の研究では湯河原火山に分類されている (久野, 1972; 神奈川県教育委員会, 1980). 淡灰色で、肉眼では1-3mmほどの輝石斑晶が目立つ。斜長石 (10-15%), 斜方輝石 (3-5%), 単斜輝石 (1-3%), 不透明鉱物 (1-3%) を斑晶として含む。斑晶はやや融食型を呈しているものが多い。石基は隱微晶質の基質中に0.01mmほどの短冊状の斜長石が散在する hyalo-ophitic 組織を示す。

#### 4-1-3 孫助山・かんらん石含有両輝石安山岩溶岩 (試料番号 309)

孫助山山頂周囲の登山道に露出した露岩から採取された (Fig. 2i). 山体を構成する溶岩流と思われるが上位は土壌化しており、下位は埋没しているので詳細は不明である。従来の研究では湯河原火山に分類されている (久野, 1972; 神奈川県教育委員会, 1980). 灰白色で、肉眼観察では、2mm程度の大きさの斜長石斑晶、輝石斑晶をかなり多く含む。斜長石 (15-20%), 単斜輝石 (3-5%), 斜方輝石 (3-5%), 不透明鉱物 (1-3%), およびわずかなかんらん石を斑晶として含む。石基は長径0.05

mm ほどの短冊状斜長石, 単斜輝石, 不透明鉱物よりなる intergranular 組織を示す。

#### 4-1-4 孫助山道路・かんらん石玄武岩溶岩 (試料番号 310)

孫助山北東の, 主要地方道湯河原・箱根・仙石原線の西側の露頭から採取された (Fig. 2j)。露出が悪いため詳細は不明であるが, 溶岩流と思われる。従来の研究では湯河原火山に分類されている (久野, 1972; 神奈川県教育委員会, 1980)。やや緑がかかった灰色で, 肉眼では 4~5 mm の斜長石斑晶が目立つ。斜長石 (15~20%) およびかんらん石 (3~5%) を斑晶として含む。かんらん石斑晶は丸みがあった 0.25 mm 以下の大きさで, 周縁が一部黒変するもののおおむね新鮮である。石基は長径 0.05 mm ほどの斜長石が多くを占め, その間を輝石, 不透明鉱物が埋間する intergranular 組織を示す。

#### 4-2 古期外輪山噴出物

##### 4-2-1 狩川苅野・斜方輝石含有単斜輝石安山岩溶岩 (試料番号 209)

南足柄市を東西に流れる狩川の, 前田橋上流約 200 m 付近の岸に露出する溶岩流を採取した (Fig. 2a)。久野 (1972) で, 古期外輪山山体を構成する OS<sub>2</sub> に分類されている層準に相当すると考えられる。灰色で, 肉眼では 2~3 mm の斜長石が散在し, 石基に径 3 mm ほどの淡灰色のパッチが数多く入ることが特徴である。斜長石 (5~10%), 単斜輝石 (1~3%), 不透明鉱物 (1~3%), およびわずかな斜方輝石を斑晶として含む。斜方輝石には単斜輝石の反応縁が見られる。石基は隱微晶質の基質中に 0.1 mm 以下の斜長石微斑晶がわずかに含まれる hyalo-ophitic 組織を示す。

##### 4-2-2 天閣台・両輝石安山岩溶岩 (試料番号 304)

主要地方道湯河原・箱根・仙石原線の天閣台展望台の, 約 250 m 南西にある露頭に露出する溶岩流を採取した (Fig. 2i)。久野 (1972) では, 古期外輪山山体を構成する OS<sub>2</sub> に分類されている。灰色で, 肉眼では直径 2~4 mm の斜長石斑晶, 2 mm 以下の輝石斑晶・集斑晶が目立つ。斜長石 (10~15%), 単斜輝石 (3~5%), 斜方輝石 (1~3%), 不透明鉱物 (1~3%) を斑晶として含む。石基は 0.1 mm ほどの針状の斜長石と, 0.01 mm ほどの不透明鉱物, およびそれらを埋間する隱微晶質からなる intersertal 組織を示す。

#### 4-3 古期外輪山外側斜面上の側火山・溶岩流・スコリア丘の噴出物

##### 4-3-1 金時山山頂・両輝石玄武岩質安山岩岩脈 (試料番号 206)

金時山の頂上付近の凝灰角礫岩中に, ほぼ南北方向に貫入した岩脈を採取した (Fig. 2c)。久野 (1972) は, 金

時山を第一期カルデラ生成の前に箱根火山北西側中腹にあった独立の成層火山体とした。やや緑色~褐色がかかった灰色で, 肉眼観察では 3 mm 以下ほどの斜長石斑晶をかなり多く含む。斜長石斑晶を 20% 前後, 斜方輝石 (3~5%), 単斜輝石 (1~3%) およびわずかに不透明鉱物を斑晶として含む。石基は 0.25~0.5 mm の方形~短冊状の斜長石の間を隱微晶質が埋間する intersertal 組織を示す。

##### 4-3-2 幕山溶岩円頂丘・斜方輝石含有単斜輝石デイサイト溶岩 (試料番号 207)

幕山の南側に広がる幕山公園の北側には東西 2 つの大きな幕山溶岩円頂丘の岩壁があるが, このうち西側の岩壁から採取した (Fig. 2j)。久野 (1972) では, 幕山とその周辺の古期外輪山溶岩類との間の上下関係が論じられており, 幕山はその北西の新崎川流域の溶岩の上位に, 北東の南郷山 (なんごうさん) を構成する溶岩の下位に位置するとした (両溶岩とも OS<sub>2</sub> とされている)。一方, 神奈川県教育委員会 (1980) は久野 (1972) が幕山の上位に位置するとした溶岩に相当する溶岩を OS<sub>3</sub> (古期外輪山溶岩類・上部溶岩類), 幕山の下位に位置するとした溶岩に相当する溶岩を OS<sub>2</sub> (古期外輪山溶岩類・下部溶岩類) とし, 地質図上で区分したが, 幕山は OS<sub>2</sub>, OS<sub>3</sub> の上位に位置すると考えた。灰色の石基と, 淡赤灰白色の石基が数 mm~数 cm 厚の縞状になっている。肉眼観察では, 2 mm ほどの斜長石が目立つ。斜長石 (5~10%), 単斜輝石 (1~3%), 不透明鉱物 (1~3%) およびわずかな斜方輝石を斑晶として含む。石基は隱微晶質の基質中に 0.1 mm 以下の微細な斜長石がわずかに含まれる hyalo-ophitic 組織を示す。

##### 4-3-3 丸岳西スコリア丘・強溶結集塊岩 [無斑晶質安山岩] (試料番号 208)

静岡県の県道 138 号線 (深沢・仙石原線) の寒沢橋の南西約 300 m 付近の県道沿いにある丸岳西スコリア丘 (袴田, 1991) の強溶結岩滓集塊岩を採取した (Fig. 2d)。灰色ち密であるが一部高温酸化による, やや発泡した不規則な形状の桃色の部分を含む。肉眼では 1 mm ほどの斜長石斑晶がわずかに認められる程度である。鏡下の観察では, いずれも 0.5 mm 以下の, 斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物を斑晶としてわずかに含むのが認められる。石基は隱微晶質の基質中に長径 0.25 mm 以下の針状の斜長石が散在する, hyalo-ophitic 組織を示す。また 0.5 mm 程度の針状の斜長石と細粒の輝石, 不透明鉱物からなる intergranular 組織を示す, 径 2 mm 以下のゼノリスが含まれることを鏡下で確認できる。

##### 4-3-4 東山スコリア丘群・強溶結岩滓集塊岩 [無斑晶質安山岩] (試料番号 312)

御殿場市の南東約 3 km にある二葉建設株式会社東山

砕石工場敷地内に露出した東山スコリア丘火山群(袴田, 1990)の強溶結部を採取した(Fig. 2b). 薄く桃色がかった淡灰色で, ハンマー等で打撃した際の破片は鋭利である. 肉眼では2 mmほどの輝石がまれに含まれるが目立つ. 鏡下の観察では, 1 mm以下の斜長石斑晶を2%程度, 0.5 mm以下の斜方輝石, 単斜輝石をごくわずかに含む. 石基は長径0.1 mmほどの針状斜長石とそれを充填する隠微晶質からなり一部で流理構造が認められる.

#### 4-3-5 真鶴半島青木石材・単斜輝石含有斜方輝石デイサイト溶岩(新小松石; 試料番号314)

真鶴半島中部の南岸にある青木石材株式会社の採石場から採取した(Fig. 2l). 真鶴半島を構成する溶岩流で, 久野(1972)では, OS<sub>2</sub>に分類されている. 神奈川県教育委員会(1980)では幕山溶岩の項で述べたように古期外輪山山体南東部を, 古期外輪山溶岩類・上部溶岩類(OS<sub>3</sub>)と古期外輪山溶岩類・下部溶岩類(OS<sub>2</sub>)に区分しているが, ここではOS<sub>2</sub>に相当する. この採石場の石は, 新小松石と称する石材として流通している. 灰白色で, 肉眼では2~3 mmの斜長石斑晶が目立つ. 斜長石(15~20%), 斜方輝石(1~3%), および, わずかな単斜輝石, 不透明鉱物を斑晶として含む. 石基は0.1 mm以下の斜長石と0.01 mm以下の輝石, 不透明鉱物からなるintergranular組織, 一部でintersertal組織を示す.

#### 4-3-6 真鶴駅裏, 相良石材・斜方輝石含有単斜輝石デイサイト溶岩(本小松石; 試料番号315)

JR 真鶴駅の北側約700 mのところにある, 相良石材店の採石場から採取した(Fig. 2n). 久野(1972)では, OS<sub>2</sub>に分類されている. 神奈川県教育委員会(1980)では古期外輪山溶岩類・上部溶岩類(OS<sub>3</sub>)に相当する. 星ヶ山西方の830 mの山から噴出し流下した溶岩と考えられている(久野, 1972). この採石場の石は, 本小松石と称する石材として流通している. 灰白色・ち密で, 肉眼では1 mm程度の斜長石, 輝石が散在するのが確認できる. 斜長石(5~10%), 単斜輝石(1~3%), およびわずかな斜方輝石, 不透明鉱物を斑晶として含む. 石基は0.25 mmほどの短冊状の斜長石が散在し, その間を隠微晶質が充填している. 斜長石の微晶はやや流理している. また, 径0.5 mm以下の石英パッチが点在する.

### 4-4 新期外輪山噴出物

#### 4-4-1 甘酒茶屋前, 文庫山・無斑晶質デイサイト溶岩(試料番号316)

県道732号線甘酒茶屋南側の文庫山旧採石場の露頭から採取した(Fig. 2h). 従来の研究では新期溶岩流(YS)に分類される(久野, 1972; 神奈川県教育委員会, 1980). 灰白色で, ハンマー等で打撃した際の破片は鋭利である. 肉眼では1 mm以下の輝石がわずかに散在すること

が認められる. 斜長石(1~3%), わずかな斜方輝石, 単斜輝石, かんらん石, 不透明鉱物を斑晶として含む. 斑晶は融食形を示すものが多い. 石基は0.1 mm以下の斜長石, 0.03 mm程度の輝石, および0.01 mm程度の不透明鉱物からなるintergranular組織を示す.

#### 4-4-2 宮城野碓氷峠・デイサイト溶岩(試料番号317)

箱根町宮城野付近を通る足柄幹線林道沿いの露頭から採取した(Fig. 2e). 従来の研究では新期溶岩流(YS)に分類される(久野, 1972; 神奈川県教育委員会, 1980). 淡い灰白色・ち密で, 肉眼では1 mm以下の斜長石, 輝石斑晶がわずかに散在するのが認められる. 斜長石(3~5%), およびわずかな単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物を斑晶として含む. 石基は斜長石微晶の多い部分と, 隠微晶質の多い部分とが混在する. 斜長石微晶は0.1 mm以下, 不透明鉱物の微晶は数 $\mu$ mで, 細粒のintergranularまたはintersertal組織を示す. 斜長石微晶の多い部分は石英パッチ状になっている.

### 4-5 中央火口丘噴出物

#### 4-5-1 住宅信販温泉井600.95 m・斜方輝石単斜輝石安山岩溶岩(試料番号318)

箱根町湖尻にある住宅信販株式会社所有の温泉井掘削の際, 600.95 mの深さでえられた岩石である(Fig. 2f). 孔口標高は806 mであるので, この試料の採集された標高は約205 mである. 深度608 m以浅は中央火口丘系の両輝石安山岩溶岩で, これより深いところは湖成堆積物および凝灰角礫岩からなる. 基底部の深さや, 下位に湖成層が存在することなどから, この溶岩は新期カルデラ形成以後の中央火口丘溶岩類の初期の一つと思われる(萬年・杉山, 2000). 灰白色で新鮮, ち密で, 斜長石斑晶と輝石斑晶が目立つ. 斜長石(15~20%), 単斜輝石(3~5%), 斜方輝石(1~3%), 不透明鉱物(1~3%)を斑晶として含む. また, 斑晶鉱物と同種の鉱物からなる集斑晶(径2 mm以下)が多く含まれる. 斜方輝石は集斑晶に含まれるのがほとんどで, 単独の斑晶としては少ない. 石基は0.2 mmほどの針状~短冊状の斜長石が大部分を占め, 一部0.05 mmほどの輝石, 0.03 mmほどの不透明鉱物が間をうめるintergranular組織を示す.

## 5. K-Ar年代測定方法と結果

アルゴン同位体比の測定は, 岡山大学地球内部センターで開発したアルゴン専用質量分析計を用いて, <sup>38</sup>Arをスパイクとする同位体希釈法で行った. 同位体測定比の誤差は1 $\sigma$ で表示した. 同位体比の測定及び年代誤差の算出はNagao *et al.* (1996)に従った. 測定試料はいずれも全岩を60~80メッシュのサイズに整えたものである. 同位体比の測定は2回以上繰り返して行い, とくに



値がばらついたものに関しては繰り返し測定を行った。

カリウムの定量は三菱マテリアル(株) 中央研究所の原子吸光分析装置 (ジャーレルアッシュ社製 VA-855) を用いた。カリウム測定値の誤差は複数のサンプル測定時の  $1\sigma$  とした。

年代計算にあたっては壊変定数として  $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$  および  $\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{10} \text{ yr}^{-1}$ , K 中の  $^{40}\text{K}$  存在比として 0.01167% の各値を用いた (Steiger and Jäger, 1977)。

分析の結果を, Table 3 に示す。繰り返し測定の加重平均 ( $t_{av}$ ), およびその平均値の誤差 ( $\sigma_{av}$ ) は以下の式に基

づいて求めた;

$$t_{av} = \frac{\sum \left( \frac{t_i}{\sigma_i^2} \right)}{\sum \left( \frac{1}{\sigma_i^2} \right)},$$

$$\sigma_{av} = \sqrt{\frac{1}{\sum \left( \frac{1}{\sigma_i^2} \right)}}.$$

過去の研究に基づく箱根火山の時代区分と, 今回測定した各岩石の各測定ごとの年代の加重平均は Fig. 3 に

Table 3. K-Ar ages for Hakone volcano.

#	sample name	K (wt.%) *	weight (g)	$^{36}\text{Ar}(\times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{g})$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ *	$^{40}\text{Ar-rad.}(\times 10^8 \text{ cm}^3/\text{g})^*$	Age (Ma)	Air Fraction (%)
206	Mt. Kintoki	0.25 ± 0.04	0.5181	1.762	306.8 ± 0.4	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.03	96.5
			0.5201	1.809	305.3 ± 0.6	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.03	97.0
			0.5167	2.017	308.3 ± 1.0	0.25 ± 0.02	0.26 ± 0.05	96.0
			average				0.20 ± 0.02	
207	Mt. Maku	0.92 ± 0.06	0.5114	1.255	336.0 ± 0.9	0.50 ± 0.02	0.14 ± 0.01	88.1
			0.5035	1.563	327.2 ± 0.5	0.49 ± 0.02	0.14 ± 0.01	90.5
			0.5079	1.178	339.8 ± 0.6	0.52 ± 0.02	0.14 ± 0.01	87.1
			average				0.14 ± 0.01	
208	Marudake west scoria cone	0.64 ± 0.04	0.5546	1.048	379.8 ± 0.9	0.88 ± 0.03	0.35 ± 0.03	77.9
			0.5398	1.104	356.6 ± 0.7	0.67 ± 0.03	0.27 ± 0.02	83.0
			0.6531	1.750	329.0 ± 0.9	0.58 ± 0.02	0.23 ± 0.02	90.0
			0.5611	2.085	325.7 ± 4.2	0.62 ± 0.09	0.25 ± 0.04	90.9
			0.5247	1.456	327.3 ± 4.1	0.46 ± 0.06	0.18 ± 0.03	90.4
average					0.26 ± 0.01			
209	Karigawa-Karino	0.83 ± 0.05	0.5026	0.905	385.4 ± 1.1	0.81 ± 0.03	0.25 ± 0.02	76.8
			0.5066	1.003	400.2 ± 1.1	1.05 ± 0.04	0.32 ± 0.02	74.0
			0.5198	1.633	347.0 ± 1.3	0.83 ± 0.03	0.26 ± 0.02	85.3
			0.5330	0.968	376.3 ± 2.7	0.78 ± 0.04	0.24 ± 0.02	78.7
			0.5080	1.148	360.9 ± 2.4	0.74 ± 0.04	0.23 ± 0.02	82.0
average					0.26 ± 0.01			
304	Tenkakudai	0.43 ± 0.04	0.5160	3.173	314.8 ± 0.6	0.60 ± 0.03	0.36 ± 0.04	94.0
			0.5446	3.051	312.2 ± 1.3	0.51 ± 0.02	0.31 ± 0.03	94.8
			0.4835	3.398	310.9 ± 0.6	0.52 ± 0.03	0.31 ± 0.03	95.2
			0.4826	3.097	313.8 ± 0.7	0.57 ± 0.02	0.34 ± 0.04	94.3
average					0.32 ± 0.02			
307	West of Mt. Kurakake	0.31 ± 0.03	0.4712	1.315	332.2 ± 1.2	0.49 ± 0.02	0.41 ± 0.04	89.1
			0.4920	1.297	329.6 ± 1.0	0.44 ± 0.01	0.36 ± 0.04	89.8
			0.4983	2.660	312.2 ± 0.7	0.44 ± 0.03	0.37 ± 0.04	94.8
average					0.38 ± 0.02			
308	Mt. Kurakake	0.17 ± 0.03	0.5182	3.961	299.9 ± 0.6	0.16 ± 0.03	0.25 ± 0.07	98.7
			0.4854	4.054	299.2 ± 0.5	0.16 ± 0.02	0.24 ± 0.06	98.9
			0.5248	4.342	298.6 ± 0.7	0.12 ± 0.04	0.18 ± 0.07	99.1
average					0.23 ± 0.04			

Table 3. continued

#	sample name	K (wt.%) *	weight (g)	<sup>36</sup> Ar(x10 <sup>10</sup> cm <sup>3</sup> /g)	<sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar *	<sup>40</sup> Ar-rad.(x10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> /g)*	Age (Ma)	Air Fraction (%)
309	Mt. Magosuke	0.58 ± 0.04	0.4860	1.890	336.8 ± 0.8	0.77 ± 0.02	0.34 ± 0.02	87.9
			0.4836	2.730	323.1 ± 0.7	0.76 ± 0.04	0.34 ± 0.03	91.6
			0.5631	1.915	335.4 ± 0.9	0.78 ± 0.02	0.35 ± 0.02	88.3
			0.4983	1.819	335.5 ± 0.9	0.74 ± 0.02	0.33 ± 0.02	88.2
			average				0.34 ± 0.01	
310	East of Mt. Magosuke	0.26 ± 0.04	0.4803	2.223	306.6 ± 0.8	0.25 ± 0.02	0.25 ± 0.04	96.6
			0.5053	2.375	306.6 ± 0.7	0.26 ± 0.02	0.26 ± 0.04	96.6
			average				0.26 ± 0.03	
312	Higashiyama scoria cone	0.57 ± 0.03	0.5523	1.692	309.8 ± 0.8	0.25 ± 0.02	0.11 ± 0.01	95.5
			0.5785	1.756	308.6 ± 0.5	0.23 ± 0.01	0.11 ± 0.01	95.9
			average				0.11 ± 0.01	
314	Manazuru P. Shin-Komatsu	0.50 ± 0.03	0.4497	2.276	308.3 ± 0.8	0.26 ± 0.03	0.14 ± 0.02	96.0
			0.5059	2.437	308.3 ± 0.5	0.31 ± 0.02	0.16 ± 0.01	96.0
			average				0.15 ± 0.01	
315	Manazuru Stn. Hon-Komatsu	0.68 ± 0.04	0.5151	2.855	312.1 ± 0.6	0.49 ± 0.03	0.19 ± 0.02	94.9
			0.5572	3.163	312.5 ± 0.6	0.49 ± 0.04	0.19 ± 0.02	94.7
			0.4673	3.114	313.8 ± 0.7	0.58 ± 0.02	0.22 ± 0.02	94.3
			average				0.20 ± 0.01	
316	Mt. Bunko	0.72 ± 0.04	0.5147	2.132	307.0 ± 0.8	0.23 ± 0.03	0.08 ± 0.01	96.4
			0.4661	2.343	305.9 ± 0.7	0.23 ± 0.02	0.08 ± 0.01	96.8
			0.5028	2.301	305.0 ± 0.8	0.23 ± 0.02	0.08 ± 0.01	97.1
			average				0.08 ± 0.01	
317	Usui pass	0.82 ± 0.05	0.5476	1.573	319.9 ± 1.2	0.39 ± 0.02	0.12 ± 0.01	92.5
			0.5403	1.600	321.8 ± 0.8	0.42 ± 0.01	0.13 ± 0.01	92.0
			0.4784	1.523	317.4 ± 0.8	0.34 ± 0.02	0.11 ± 0.01	93.3
			average				0.12 ± 0.01	
318	Jyutaku Shinpan 600.95m depth	0.36 ± 0.07	0.7145	1.777	300.4 ± 0.9	0.08 ± 0.03	0.06 ± 0.02	98.5
			0.4933	1.983	301.5 ± 0.7	0.12 ± 0.02	0.08 ± 0.02	98.2
			0.6116	2.051	298.4 ± 0.6	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.02	99.2
			0.5572	1.942	301.8 ± 0.5	0.12 ± 0.02	0.09 ± 0.01	98.1
			0.5113	1.935	302.2 ± 0.5	0.13 ± 0.01	0.09 ± 0.01	98.0
			0.5205	2.115	298.7 ± 0.5	0.07 ± 0.02	0.05 ± 0.01	99.1
			average				0.07 ± 0.01	

\* Errors are given at 1σ.

まとめて示す。

得られた年代に関しては以後の節で個々に検討するが、火山層序的な上下関係と明らかに矛盾する例は見いだされなかった。

## 6. 議 論

### 6-1 古期外輪山本体と湯河原火山

本研究においては南部の古期外輪山本体と、久野(1972)などによって箱根火山の前の火山体とされた湯河原火山の溶岩をいくつか測定を行った。本研究で分析

した範囲内では湯河原火山(0.23~0.38 Ma)と古期外輪山本体の岩石(0.26~0.32 Ma)とでは年代が重複しており、両者を年代的に区別できなかった。平田(1994)は溶岩の分布、記載岩石学的特徴や年代測定の結果から、湯河原火山と箱根火山が区別しがたいことを指摘している。また、大木(1993)は、久野(1972)が湯河原火山の地形とした箱根峠付近の二重山稜について空中写真の解析から、地すべり地形と結論し、鞍掛山のK-Ar年代も援用して湯河原火山とされた部分が箱根火山の古期外輪山に属すると主張している。本研究もこれらの指摘を支

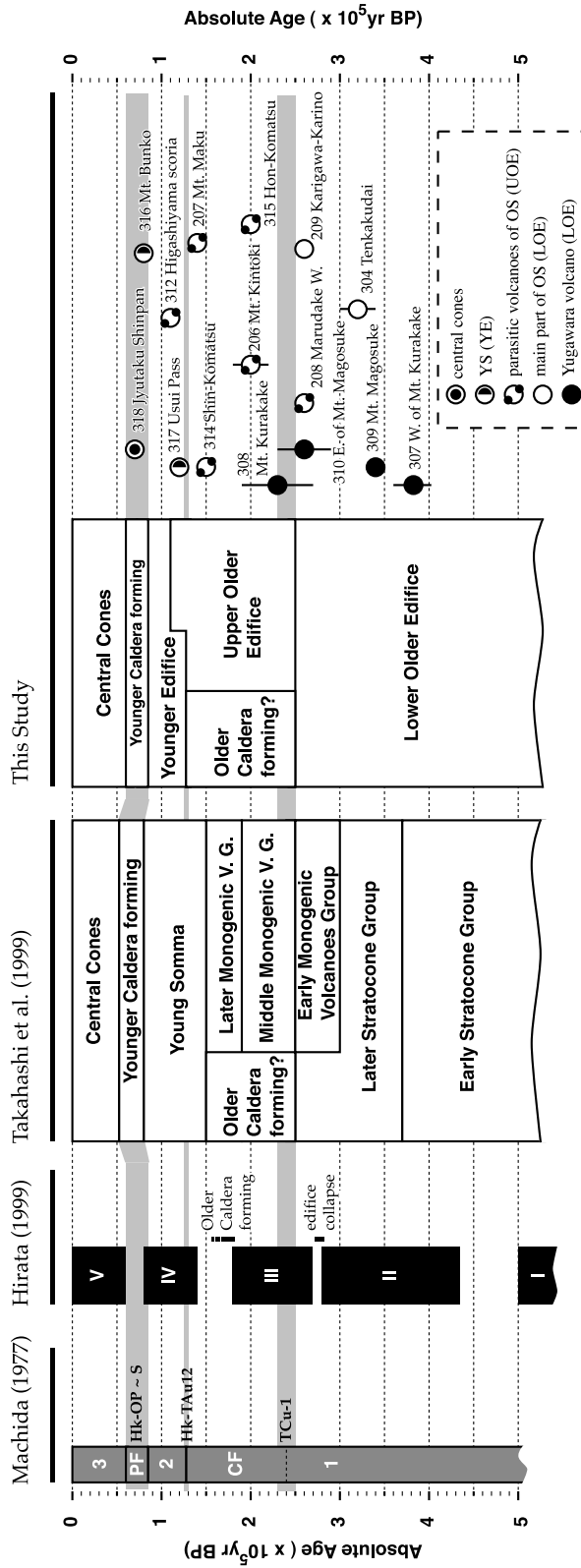


Fig. 3. K-Ar ages in this study and proposed classification of the Hakone volcano edifice. Eruption stages and classification of edifice in previous studies are also shown.

持する。

## 6-2 側火山・古期外輪山麓の溶岩流・新期外輪山の年代

久野 (1972) は、金時山と幕山を古期外輪山山体形成期の中頃に発生した金時-幕山構造線の活動に伴って噴出した古期外輪山山体に寄生する側火山と考えた。しかし今回の年代測定の結果、幕山 (試料番号 207;  $0.14 \pm 0.01$  Ma), 金時山山頂の岩脈 (試料番号 206;  $0.20 \pm 0.02$  Ma) は、新期外輪山溶岩の噴出時期よりは古いものの、古期外輪山本体 (304 天閣台,  $0.32 \pm 0.02$  Ma; 209 狩川苧野溶岩,  $0.26 \pm 0.01$  Ma) の年代よりも若いことが判明した。このことから金時山、幕山共に古期外輪山山体形成の末期に噴出したものと考えられる。

なお、高橋・他 (1999) は金時山を前期成層火山群 ( $0.4 \sim 0.5$  Ma より古い) としているが、この見解は本研究の結果と大きく異なる。本研究の分析試料は山頂付近の岩脈であるため、金時山本体の年代とは異なるなどの理由が考えられるが、今後さらなる検討が必要であろう。

久野の研究以降発見された、外輪山北西麓のスコリア丘 (袴田, 1990; 1991) については、東山スコリア丘 (試料番号 312;  $0.11 \pm 0.01$  Ma) は新期外輪山と同時期に、丸岳西スコリア丘 (試料番号 208;  $0.26 \pm 0.01$  Ma) は、金時山山頂の岩脈よりやや古いものの古期外輪山の新しい時期に噴出したことが判明した。なお、丸岳西スコリア丘は上位のテフラ (TB-9) をもとに 23~24 万年前と推定されていたが (袴田, 1991), 本研究によりこの推定がほぼ妥当であることが明らかになった。

古期外輪山南東部には外輪山外側斜面中腹から流下したと見られるいくつかの溶岩流がある。これらの溶岩をここでは古期外輪山南東麓溶岩流と呼ぶ。このうち本研究で測定した真鶴半島溶岩 (新小松石・試料番号 314;  $0.15 \pm 0.01$  Ma), 星ヶ山から真鶴駅の北をおおう溶岩 (本小松石・試料番号 315;  $0.20 \pm 0.01$  Ma) の年代は、金時山山頂の岩脈 (試料番号 206;  $0.20 \pm 0.02$  Ma) よりも同様か若く、幕山 (試料番号 207;  $0.14 \pm 0.01$  Ma) よりも古い値を得た。なお、真鶴半島溶岩 (試料番号 314;  $0.15 \pm 0.01$  Ma) の年代については整合的に重なる直上の真鶴軽石 (MnP=Hk-TAu12) のフィッシュトラック年代 ( $0.143 \pm 0.11$  Ma,  $0.147 \pm 0.009$  Ma; 町田, 1977) や最近の放射性年代値に基づく層位からの推定 ( $0.125 \sim 0.130$  Ma; 町田・新井, 2003) と調和的である。ちなみに、真鶴半島溶岩と本小松石溶岩の層位関係については久野 (1972) および神奈川県教育委員会 (1980) は、本小松石溶岩を上位と考えていた。この上下関係は、箱根団体研究グループ (2000) がテフラ層位の検討から逆であると指摘しているが、本研究の結果はこの指摘を支持する。

Hirata (1996), 平田 (1999) は K-Ar 年代の測定から箱根火山の噴火史を古い順にステージ I から V までの 5 つに区分した。そのうちステージ III 以降、北西南東方向に分布した古期外輪山上の火口から噴出が始まり、ステージ IV では古期外輪山上の側火山に加えて新期外輪山溶岩の噴出があった。本研究の結果も古期外輪山上の側噴火 (試料番号 207, 208, 312, 314, 315;  $0.11 \sim 0.26$  Ma) と新期外輪山の形成 (試料番号 316, 317;  $0.08 \sim 0.12$  Ma) の時期が重なり、新期外輪山の形成時期はこの中でも新しいという結論を支持する (平田, 1999)。なお、Hirata (1996), 平田 (1999) はステージ III とステージ IV との間 ( $0.18 \sim 0.14$  Ma) に 40000 年の間隙があるとした。本研究の結果でもこの時期に、間隙があるようにも見えるが、本研究は分析試料数が少なく、その当否について結論するのは適切でないだろう。

## 6-3 中央火口丘溶岩類の噴出開始時期

平田 (1991) は箱根東京テフラ (Hk-TP) に伴う軽石流 (Hk-TPfl) の最上部にある石質火砕流が中央火口丘活動期の始まりの噴出物であると考えた。今回の中央火口丘溶岩の年代 (試料番号 318;  $0.07$  Ma) はかなり古く、今回の測定で最も新しい新期外輪山溶岩 (試料番号 316;  $0.08 \pm 0.01$  Ma) と年代が近接している。このことは、新期外輪山形成の後、軽石流期を挟み、中央火口丘の形成がされるという、従来のモデルに抵触するようにも見え、慎重な検討が必要である。

まず、Hk-TP の年代について過去の研究を見てみよう。町田・鈴木 (1971) は Hk-TPfl に含まれる黒曜石のフィッシュトラックによる年代を  $49000 \pm 5000$  年前と求めた。富樫・松本 (1988) は  $^{14}\text{C}$  年代測定の結果から Hk-TPfl について  $50100 + 2700 - 2000$  年 ( $2\sigma$ ) の年代を得た。中村・他 (1992) は加速器質量分析計による  $^{14}\text{C}$  年代測定から Hk-TPfl の年代について、 $52310 \pm 310 (1\sigma)$  年を得た。町田・新井 (2003) は Hk-TP の下位にある泥炭の花粉化石が寒冷期のフローラを示すことから、Hk-TP を寒冷期である酸素同位体ステージ 4 に対比し、6~6.5 万年前頃と考えている。

一方、本研究で分析した中央火口丘溶岩 (試料番号 318) の 6 回の分析の平均は、 $0.07 \pm 0.01$  Ma を示し、最近考えられている Hk-TPfl の年代 (町田・新井, 2003) と大きく離れていない。しかし、この値は、Table 3 に示すように放射起源  $^{40}\text{Ar}$  濃度がきわめて低い値から算出されている。これは、分析試料の若い年代と低いカリウム含有量に起因している。大気起源 Ar の寄与が 99% にも達する試料の年代値は過剰  $^{40}\text{Ar}$  や同位体分別による年代値のずれの可能性もあるため、信頼度の高い年代値を得るのは一般に極めて困難である。過剰  $^{40}\text{Ar}$  の影響があるとす

ると、この年代値は実際より古い可能性がある。

試料番号 318 の溶岩の下位には湖成層が存在するが、この中に含まれる花粉化石の分析から、*Picea*, *Pinus*, *Abies*, *Tsuga* といった冷温帯～亜寒帯針葉樹を主体とし、これらに *Alnus*, *Lepidobalanus*, *Carpinus-Ostrya* などの落葉広葉樹を交える堆積当時の森林植生が推定され、堆積時の古気候は冷温帯から亜寒帯気候であったと考えられる（萬年・杉山, 2000）。このような寒冷期は **Hk-TP** からその下位の **Hk-AP**（箱根安針テフラ; 70 ka; 町田・新井, 2003）に認められることが知られている（Tsuji *et al.*, 1984）。そこで、この湖成層が **Hk-TP** から **Hk-AP** の年代に対比されると仮定すると、その上位の溶岩は **Hk-AP** より少なくとも古くなることはない。

以上の考察から、新时期外輪山溶岩である文庫山溶岩 (0.08±0.01 Ma), **Hk-TP**, 試料 318 に見られる中央火口丘溶岩の年代はそれぞれ近接しているが、従来考えられてきた、新时期外輪山・中央火口丘両山体の噴出時期の間に軽石流期を挟む山体形成史モデルや中央火口丘噴出開始時期に関する平田 (1991) の見解を否定するには至らないと結論できる。

## 7. 山体の年代区分

今回の結果では、1) 湯河原火山が、古期外輪山と年代的に区別できないこと、2) 古期外輪山外側斜面のいくつかの岩体が、新时期外輪山の年代と重複すること、3) 中央火口丘溶岩の年代が新时期外輪山の年代と近接している可能性があること、が示された。これらはいずれも、平田 (1999) および高橋・他 (1999) ですでに言及されているが、本研究および町田 (1977) によるテフラをもとにした時代区分と絶対年代や岩体の定義にやや異なることがある。このため、岩体の定義と年代区分を整理するため、Fig. 3 に示す層序区分を提案したい。

なお、後述するように久野の「古期外輪山」「新时期外輪山」に見られる「外輪山」の用語は「山体」と置き換えることを提案したい。そもそも、これらの部分は、カルデラ形成の前には地形的に見て「外輪山」ではない上、新时期外輪山に至っては「外輪山」であることに疑問を呈する見解もある（高橋・他, 1999）。以上のことから、より地形的に中立な用語である「山体」を用いるべきであると考えられる。

### 7-1 古期山体

われわれは久野の第一期に形成された山体を 2 つに分け、古い方を下部古期山体、新しい方を上部古期山体と呼ぶことにしたい。

下部古期山体は、久野のいう古期外輪山の基本的な構造を形成する溶岩および火砕物をさし、高橋・他 (1999)

による前期成層火山群、後期成層火山群および前期単成火山群に相当する。加えて、従来、湯河原火山とされてきた山体部分も本研究による年代測定結果を見る限り、大木 (1993) や平田 (1994) が主張するとおり、久野の言う古期外輪山の基本的な構成要素と考えるべきであるから、下部古期山体に含める。

上部古期山体は、下部古期山体の上に発達した側火山および外側斜面上の火口から流出した溶岩流と定義する。これは、高橋・他 (1999) による中期単成火山群および後期単成火山群に、また、神奈川県教育委員会 (1980) の OS<sub>3</sub> にほぼ対応すると考えられる。上部古期山体をあえて分けるのは、高橋・他 (1999) や平田 (1999) の指摘や本研究による年代測定結果を見ても明らかのように、側噴火が卓越する時期が久野の言う古期外輪山形成期の後半に集中しているためである。本研究の年代測定結果を見る限り、上部古期山体と下部古期山体の境界年代は本研究の丸岳西スコリア丘の年代から 26 万年前々後と見られ、TCu-1 の年代に近い。丸岳西スコリア丘と TCu-1 との層序関係は今後の課題であるが、先に述べたように TCu-1 は久野の第一期のなかでテフラの性質が変わる大きな事象であり、山体における噴出形態の変化とも何らかの関係性があると考えられる。ここでは、町田の研究を踏襲して、古期山体の上部・下部境界を TCu-1 の下限（ここでは仮に 0.25 Ma）に設定する。なお、高橋・他 (1998MS; 1999) は箱根南東部の調査から、前期単成火山群と中期単成火山群の境界を、上杉 (1976) の Tm-2 (=TCu-1) と Tm-3 (=TCu-2) の間に設定しているようであり、今後の議論が待たれる。

上部古期山体の噴出年代上限は高橋・他 (1999) により 0.15 Ma 付近に設定されているが、本研究では東山スコリア丘の年代 (0.11 Ma) を上限とした。

平田 (1999) は高橋・他 (1999) の後期成層火山群と前期および中期単成火山群に相当すると思われる溶岩をステージⅢと呼称し、その下限を 0.27 Ma としている。TCu-1 の年代は Aso-1 テフラとの層位関係および海水準面変動（町田・新井, 2003）との対応から 0.25 から 0.27 Ma より若いと考えるのが妥当で、また噴火史上の意義も重要である。ステージⅢの特に下限に関する年代論と、溶岩の層序について検討が必要であろう。

なお、平田 (1999) は古期外輪山南東部を白銀山溶岩類と呼称し、古期外輪山の他の地域よりも山体の年代が若いとした（ステージⅢ; 0.27–0.18 Ma）。伊藤 (2000) は古期外輪山南東側外側斜面の小田原市根府川にある橋本石材の溶岩について K-Ar 年代測定を実施し 0.21±0.02 Ma の年代を得た。伊藤 (2000) はこの溶岩が古期外輪山の本体を構成する溶岩と考え、平田 (1999) と同様、古期

外輪山の南東部分の活動が20数万年前後に起こったとしている。本研究では古期外輪山南東部の年代測定が少なく、これらの見解の当否はわからない。今後行われるであろう、詳しい岩体の定義に基づいた議論に期待したい。

また、平田(1999)は白銀山溶岩類の形成後、複数回の大量の火砕流流出があり久野の言う古期カルデラが形成されたとしている。しかし、この時期のカルデラ形成はTCu-1(0.25 Ma)以降とした町田(1977)の見解と相違しており、説明が必要であろう。

### 7-2 新期山体・新期軽石流・中央火口丘

本研究では久野の新期外輪山を新期山体と呼称する事とした。新期山体の下限は町田(1977)に準拠し、Hk-TAu12(ここでは仮に0.13 Ma; 町田・新井, 2003)の上限とする。また新期山体の上限は本研究で最も若い新期山体の文庫山溶岩の0.08 Maとする。

本研究で中央火口丘溶岩の年代値はこれまでになく古いものが与えられたが、年代測定の問題を考えると、従来の考えよりも古いと断定するには至らない。そこで、中央火口丘の下限については、平田(1999)にあるようにHk-TPの石質火砕流の下限とする。この年代は気候層序との対比により、0.06-0.065 Maが与えられているが(町田・新井, 2003)、ここでは仮に0.065 Maとする。

高橋・他(1999)は新期山体の下限を0.15 Maとしているが、この年代値はテフラ層序(町田・新井, 2003)や山体における従来の年代測定(町田, 1977; 鈴木, 1970)とやや異なっており、説明が必要であろう。

平田(1999)は新期山体に真鶴半島、幕山を加えたものをステージIVの噴出物としている。たしかに、新期山体は上部古期山体と一部重なっていて、平田(1999)がしたように同一ステージの噴出物として一括りにしてもよいようにも見えるが、本研究でみる限り新期山体の下限は上部古期山体の下限に遠く及ばない。そこで本研究では久野の研究を踏襲し、新期山体と上部古期山体を分けて考えた。これらを同一のものと考えて良いかどうかは、今後の岩石学的な検討によるべきだろう。

## 8. ま と め

箱根火山および久野により箱根火山より古い火山体とされた湯河原火山についてK-Ar法による年代測定を実施し、久野の山体形成史のモデルを検証した。その結果、1) 湯河原火山は年代的に古期外輪山と年代が重複しており区別ができないこと、2) 古期外輪山の側火山とされた金時山および幕山、袴田らによって認識された古期外輪山外側斜面のスコリア丘、古期外輪山南東麓の溶岩流および新期外輪山溶岩は年代的に混在していること、3)

中央火口丘溶岩の最下位の年代はHk-TPの年代に近いものの、それよりも古いとする積極的な証拠がないこと、がわかった。これらはいずれも最近提案されている平田(1999)、高橋・他(1999)などの見解を大枠で支持するが、これらの主張には現在考えられているテフラの年代との対応などの細かい点で矛盾があることも明らかになった。

そこで、箱根火山の発達史を改めて整理するため、本研究の結果及び過去の研究をふまえ、箱根火山の山体とその年代について、下部古期山体[>0.25 Ma]、上部古期山体[0.25-0.11 Ma]、新期山体[0.13-0.08 Ma]、中央火口丘[0.065 Ma>]の4つに区分することを提案した。

## 謝 辞

住宅信販株式会社には試料を採取、提供していただいた。青木石材株式会社、相良石材店有限会社、二葉建設株式会社には試料の採取を許可していただいた。東京大学地殻化学実験施設の長尾敬介教授には、同位体測定法についてご教授頂いた。産業総合技術研究所の宇都浩三、伊藤順一両氏には草稿を閲読していただき、数多くの有益な指摘を頂いた。神奈川県立生命の星・地球博物館の笠間友博氏にはテフラに関する文献や解釈について、詳細にご教示いただいた。また、同館の山下浩之氏には全岩化学組成分析を、同館ボランティアの皆様には全岩分析試料の一部について調製をお願いした。温泉地学研究所の松沢親悟氏には薄片の作成と試料の採取の手伝いをしていただいた。査読者のお二人には測定値の解釈に関する著者らの誤りを指摘して頂き、本論文は大きく改善された。本研究は、神奈川県地震観測予知研究事業費(平成2~3年度)により実施した。以上の皆様および関係当局に御礼申し上げる。

本研究は試料採取と分析の終了後に、温泉地学研究所の庁舎移転や担当者の転勤などにより、取りまとめに着手できない状態が続き、草稿が完成したのは1999年になった。しかし、この年にいくつかの重要な研究が発表され、その対応などのために投稿がさらに遅れる結果となった。共著者の一人の大木靖衛は本研究の実施に当たって中心的な立場で取り組んだが、草稿の完成後に逝去された。様々な事情で出版の遅れたこととお詫びするとともに、ご冥福をお祈りする。

## 引用文献

- 袴田和夫(1990)箱根のスコリア丘火山について(予報)。大涌谷自然科学館調査研究報告, 9, 1-7。  
袴田和夫(1991)箱根古期外輪山丸岳西方の地質と年代。大涌谷自然科学館調査研究報告, 10, 13-19。

- 箱根団体研究グループ (2000) 箱根火山南東麓の地質 (その3) —真鶴半島—. 関東の四紀, **23**, 3-8.
- 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.
- 平田由紀子 (1994) 箱根火山の形成発達史. 日本火山学会講演予稿集 1994 年度秋季大会, p 146.
- Hirata, Y. (1996) Geology and volcanic activity of Hakone volcano, Japan. IBM arc system symposium - program with abstracts, 103-106.
- 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), **9**, 153-178.
- 伊藤順一 (2000) 箱根火山南東麓の古期外輪山溶岩の K-Ar 年代. 地調月報, **51**, 417-420.
- 神奈川県教育委員会 (1980) 神奈川県地質図.
- Kato, T. (1985MS) Geology and petrology of the north and west old somma of Hakone volcano, Japan. Master thesis, Univ. Tokyo, 106 p.
- 小出良幸・山下浩之・川手新一・平田大二 (2000) 蛍光 X 線分析装置による岩石主要元素の分析精度の検証. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), **27**, 107-125.
- 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) 箱根火山地質図説明書. 大久保書店.
- 町田 洋 (1977) 火山灰は語る. 蒼樹書房, 324 p. 東京.
- 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, 336 p.
- 町田 洋・森山昭雄 (1968) 大磯丘陵の tephrochronology とそれにもとづく富士および箱根火山の活動史. 地理学評論, **41**, 241-257.
- 町田 洋・鈴木正男 (1971) 火山灰の絶対年代と第四紀後半の編年—フィッシュン・トラック法による試み—. 科学, **41**, 26-70.
- 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫 (1974) 南関東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく編年. 地学雑, **83**, 302-338.
- 萬年一剛・杉山茂夫 (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**, 77-90.
- 長井雅史・高橋正樹 (1999) 箱根古期外輪山の形成史. 平成 11 年度東京大学地震研究所研究集会報告 噴出物に基づく火山成長史・噴火の推移の解読および長期噴火予測 (1999-W-09), 37-46.
- Nagao, K., Ogata, A., Miura, Y. N. and Yamaguchi, K. (1996) Ar Isotope analysis for K-Ar dating using two modified-VG5400 mass spectrometers - I: Isotope dilution method. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, **44**, 39-61.
- 内藤昌平・高橋正樹 (1999) 箱根火山新期外輪山の地質と活動史. 平成 11 年度東京大学地震研究所研究集会報告 噴出物に基づく火山成長史・噴火の推移の解読および長期噴火予測 (1999-W-09), 47-56.
- 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. 地質雑, **98**, 905-908.
- 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.
- 鈴木正男 (1970) フィッシュントラック法による黒曜石の噴出年代とウラン濃度の測定—本州中部, 伊豆諸島産出の黒曜石について—. 第四紀研究, **9**, 1-6.
- Steiger, R. A. and Jäger, E. (1977) Subcommittee on geochronology —convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 高橋正樹・長井雅史・内藤昌平・茨城大学富士箱根火山地域研究グループ (1998MS) 箱根火山巡検資料. 24 p.
- 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.
- 富樫茂子・松本英二 (1988) 液体シンチレーション法による 4-5 万年の  $^{14}\text{C}$  年代測定. 地調月報, **39**, 525-535.
- Tsuji, S., Minaki, M. and Osawa, S. (1984) Paleobotany and paleoenvironment of the Late Pleistocene in the Sagami region, central Japan. *Quaternary Res.* **22**, 279-296.
- 上杉 陽 (1976) 大磯丘陵のテフラ. 関東の四紀, **3**, 28-38.

(編集担当 石塚 治)