

箱根町宮城野南部のカルデラフィル堆積物

萬年一剛*・笠間友博*²・山下浩之*²・水野清秀*³

Caldera fill deposit at southern part of Miyagino, Hakone, Japan

by

Kazutaka MANNEN, Kiyohide MIZUNO, Tomohiro KASAMA and Hiroyuki YAMASHITA

Abstract

A geological survey was performed on samples from a borehole (no. 10 well in Kuno et al., 1970) located at the northeastern margin of the Hakone Caldera, Japan. The geology of the borehole was revealed to be as follows; talus deposit (0 - 70 m), lahar deposit (70 - 180 m), collapsed Older Edifice (180-280 ± 20 m), and caldera-filling lapilli tuff (280±20 - 318 m). The lahar deposit, which mainly composed of ash and pumice, contains hornblende phenocrysts and from the reflective index, the hornblende phenocrysts are assumed to be identical to that of the TAI-1 pumice fall. The lahar deposit also contains pollen fossils, assemblage of which shows relatively warm paleotemperature. From these observations, age of the lahar deposition is considered to be MIS7, which is also known as the older caldera forming stage of the volcano inferred from tephrochronological studies. Since such hornblende bearing tuff distributes northern margin of the Gora Buried Caldera Structure (Mannen, 2008), central part of which is collapsed in MIS4 (younger caldera forming stage), is a nested caldera structure formed stepwisely during the older and the younger caldera forming stages of the volcano.

1. はじめに

近年、箱根カルデラでは地形的なカルデラ内に砂岩～泥岩と分厚い火山礫凝灰岩からなる岩体が少なくとも2つ以上認められることがわかってきた(萬年, 2008)。筆者は、これらの岩体がじょうご型カルデラ、濁川型カルデラなどと呼ばれるカルデラ構造を充填する堆積物(以下、カルデラフィル)であると考え、現在、包括的な報告を準備中である。カルデラ北東部の強羅地域は、こうしたカルデラフィルのひとつが潜在しており、このことはたびたび報告してきたが(萬年ほか, 2006)、今回、強羅地域の東側、宮城野付近でもカルデラフィルと見られる湖成堆積物と崩落堆積物と見られる溶岩類が認められたので報告するとともに、その地質学的な意義について若干の検討を加える。なお、箱根火山の山体区分については近年、日本地質学会国立公園リーフレット編集委

員会(2007)によって詳細な区分がされているが、本報告では過去の著者の論文との用語の整合性を図るため、袴田(2005)の定義に基づくものとする。

2. 孔井の概要

今回解析を行った井戸は Kuno *et al.* (1970) で no. 10 として記載された井戸である。この井戸は 1962 年頃掘削されたが、揚湯に至らず放棄されている。井戸の位置は掘削当時の地図類から、北緯 35.2478°、東経 139.0547° (日本測地系 2000)、孔口の標高は 445m と推定される(図 1)。

Kuno *et al.* (1970) の元になっている観察記録が、東京大学総合研究博物館のウェブサイトで公開されている(久野久フィールドノート no. 65、74-75 頁)。この記録では、

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

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

*3 産業技術総合研究所地質調査総合センター 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1

論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 40 巻, 11-22, 2008.

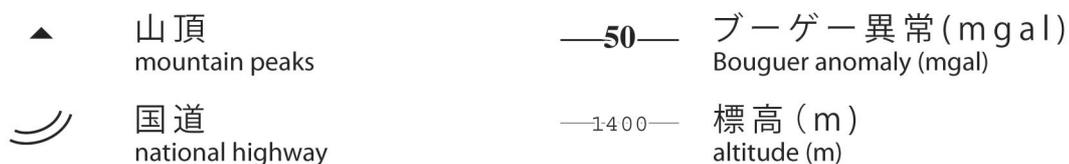
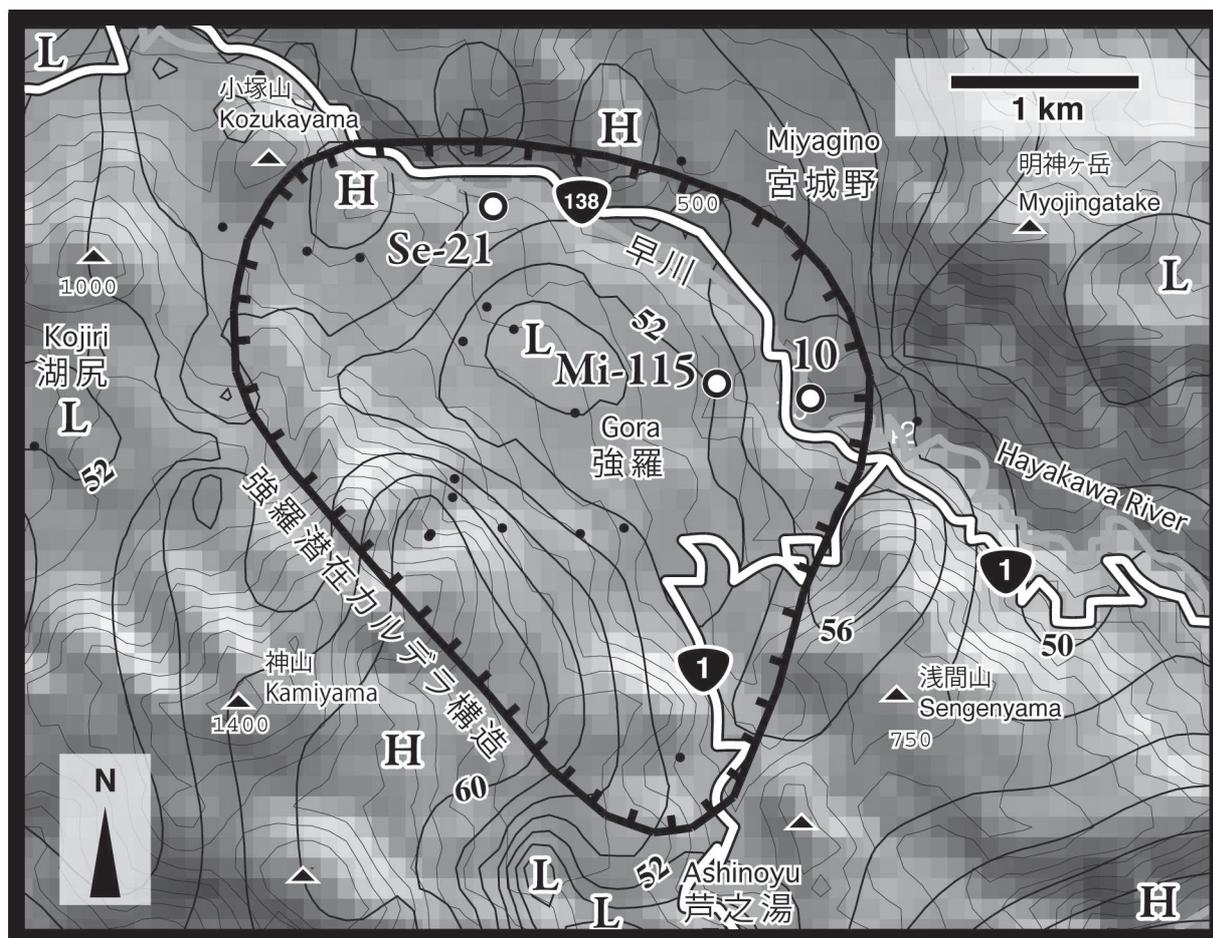


図1 no.10井の位置。H、Lはそれぞれ高重力異常、低重力異常を示す。Se-21とMi-115はそれぞれ仙石原第21号と宮城野第115号温泉井（本文参照）。

Fig. 1 Location of the no.10 well. H and L indicate gravity high and low.

深度 25 ~ 65m、泥流堆積物・中央火口丘溶岩
 深度 71 ~ 182m、灰色の頁岩と黄色い火山礫凝灰岩
 深度 184 ~ 217m、淡い灰色の輝石が目立つ斑晶質で新鮮な安山岩。新鮮で、黒いことから、明らかに OS2 で、地表にも同じものがあつた記憶がある。
 深度 220 ~ 318m、輝石が目立つ斑晶質のやや変質した安山岩で、灰色。深度 307 ~ 315m の区間は暗色の変質した凝灰岩。上位の OS2 が変質したものか、湯ヶ島層群なのかは不明、とされている。

一方 Kuno *et al.* (1970) では、上位から中央火口丘溶岩、OS1、湯ヶ島層群とされている。境界の深度に関する記述はないが、上記フィールドノート及び、Kuno *et al.*

(1970) の図から読み取ると、おおむね深度 70m および 220m 付近に境界を設定したものとみられる。

3. 地質の記載と解釈

先行研究 (Kuno *et al.*, 1970) では本孔井の地質について解釈はされているものの、記載は十分でないため、今回改めて記載し直した。記載し直した試料は当所に収蔵されている本孔井の深度 20m から 318m までの手標本 46 試料で、そのうち 44 試料について薄片を作成し検鏡を実施した。検鏡の結果を表 1 に示す。また、18 試料について全岩化学組成分析を実施した。全岩化学組成分析は神奈川県立生命の星・地球博物館設置の島津製作所製蛍光エックス線分析装置 XRF-1500 により行った。分

表1 no.10 井の岩石記載の概要

Table 1 Summary of petrographic features of rock samples obtained from no.10 well.

深度 depth	岩型 Rock type	斑晶とその量 (phenocryst and the content)						石基 ground mass	変質鉱物 (altered mineral)					
		pl	opx	cpx	hb	ol	opq		qz	smct	chl	calc	zeol	qz
20	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	1-3	-	-	1-3	-	hyalo-ophitic					
40	無斑晶質安山岩	<1	<1	1-3	-	-	<1	-	cryptocrystalline					
45	発泡した両輝石安山岩	10-15	1-3	1-3	-	-	1-3	-	hyalopilitic					
65	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	1-3	-	-	1-3	-	hyalopilitic					
71	凝灰質砂岩	○	△	○	-	-	○	-						
75	軽石質砂岩	○	○	○	-	-	-	-						
78	軽石を交える極細粒砂岩	○	○	○	-	-	-	-						
83	軽石質砂岩	○	-	<1	3-5	-	<1	-		+				
84	凝灰質砂岩	○	out	out	<1	-	<1	-		+		+		
90	凝灰質砂岩	○	out	out	-	-	-	-		+		+		
90	極細粒砂岩	○	○	○	-	-	-	-					+	
100	凝灰質砂岩	○	out	<1	-	-	-	-						
110	砂質泥岩	○	-	○	○	-	-	-						
120	シルト混じり極細粒砂岩	○	○	○	○	-	○	-						
160	粗粒砂岩	○	-	○	-	-	○	-		+				+
166	凝灰質砂質泥岩	○	-	○	-	-	○	-						
172	斜方輝石単斜輝石安山岩	5-10	1-3	1-3	-	-	1-3	-	hyalo-ophitic					
176	安山岩質凝灰岩	5-10	<1	1-3	-	-	1-3	-	hyalo-ophitic				+	
180	凝灰質砂岩	○	○	○	-	-	○	-						
184.5	斜方輝石単斜輝石安山岩	10-15	1-3%	1-3	-	-	1-3	-	intersertal	+				
184.5	斜方輝石含有単斜輝石安山岩	15-20	<1	1-3	-	-	1-3	-	intergranular		+			
187.5	斜方輝石単斜輝石安山岩	20-30	1-3	1-3	-	-	1-3	-	fine grained					
192	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	3-5	-	-	1-3	-	intergranular		±			
198	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	1-3	-	-	1-3	-	intergranular					
198	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	3-5	-	-	-	-	intergranular	+	±			
200	斜方輝石単斜輝石安山岩	10-15	1-3	3-5	-	-	1-3	-	intergranular					
206	安山岩質凝灰岩	10-15	1-3	3-5	-	-	1-3	-	hyalo-ophitic				+	
209	安山岩質凝灰岩	10-15	1-3	3-5	-	-	1-3	-	hyalo-ophitic					
217	安山岩質凝灰岩	5-10	1-3	3-5	-	-	1-3	-	hyalo-ophitic				+	
220	斜方輝石単斜輝石安山岩	5-10	1-3	1-3	-	-	1-3	-	intersertal		±	+	+	
228	安山岩質凝灰岩	15-20	1-3	3-5	-	-	1-3	-	intergranular	+		+	+	
230	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	3-5	-	<1	1-3	-	hyalo-ophitic	+			+	
230	斜方輝石単斜輝石安山岩?	5-10	1-3	1-3	-	-	<1	-	intergranular					
236	両輝石安山岩	15-20	1-3	1-3	-	-	1-3	-	intersertal		+			
236	斜方輝石単斜輝石安山岩	10-15	1-3	3-5	-	-	1-3	-	intersertal				+	+
240	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	1-3	-	-	<1	-	intersertal		+			
248	斜方輝石単斜輝石安山岩	15-20	1-3	3-5	-	-	1-3	-	intersertal	+		+	+	
250	かんらん石含有(?)斜方輝石単斜輝石安山岩	10-15	1-3	1-3	-	?	<1	-	intersertal	+			+	+
258	かんらん石含有(?)両輝石安山岩	10-15	1-3	1-3	-	<1	1-3	-	intersertal	±				
262	斜方輝石単斜輝石安山岩	10-15	1-3	1-3	-	-	<1	-	intersertal				+	+
307	軽石質礫混じり砂岩	○	○	○	-	-	○	○			+	+		
315	両輝石軽石	5-10	1-3	1-3	-	-	3-5	-	pumiceous					
318	やや変質した玄武岩	15-20	?	?	-	-	<1	-	intersertal					

斑晶の量: 数字は%, ○あり, out 変質により分解, - 存在せず, ? 変質が激しく存否不明。斑晶の種類: pl 斜長石, opx 単斜輝石, cpx 斜方輝石, hb 普通角閃石, ol かんらん石, opq 不透明鉱物, qz 石英。変質鉱物: smct スメクタイト, chl 緑泥石およびスメクタイト緑泥石混合層粘土, calc 方解石, zeol 沸石類, qz 石英。

析方法は小出ほか (2000) によった。全岩化学組成分析の結果は表 2 に示す。変質による化学組成の変化について、チェックするために特に変質の影響を受けやすいと思うアルカリ元素について、全アルカリ (K_2O+Na_2O) とセリサイト化指数 ($K_2O/$ 全アルカリ) を検討した。その結果、深度 318m の試料を除き分析した全ての試料は地表の変質を受けてない岩石が示す値の範囲内に入った (図 2)。

表 1 には岩型を示したが、これを見るとわかる通り深度により卓越する岩型が、上位から、安山岩、凝灰質砂岩、安山岩の順で変化する。変化する深度は 70 m、180 m および 300m 付近で、これは前述の久野のフィールドノートにある記述とほぼ一致する。そこで本研究でも地層の大まかな区分が上記の深度でされるものと考え柱状図に示すとともに (図 3)、以下、記載と解釈を行う。

表2 no.10井の火山岩類の全岩化学組成分析結果 (単位は wt%)

Table 2 Summary of bulk rock chemistry of volcanic rocks from no.10 well.

depth	anal ID	bead code	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	FeO*/MgO
20	XRF071001-22	B0822	60.0	0.76	16.6	7.1	0.13	3.8	7.7	3.2	0.60	0.11	1.85
45	XRF071001-23	B0823	59.5	0.74	17.5	6.9	0.13	3.6	7.7	3.2	0.60	0.11	1.94
65	XRF071001-24	B0824	59.5	0.78	16.2	7.7	0.14	4.2	7.8	3.0	0.58	0.12	1.82
184.5	XRF071001-25	B0825	60.2	0.73	17.5	7.5	0.19	2.5	7.6	3.2	0.50	0.10	2.99
187.5	XRF071001-26	B0826	60.4	0.74	17.5	7.4	0.13	2.4	7.6	3.2	0.51	0.11	3.10
192	XRF071001-27	B0827	59.8	0.70	17.6	7.4	0.14	2.6	8.0	3.2	0.50	0.11	2.88
198	XRF071001-28	B0828	60.5	0.72	17.1	7.7	0.15	2.7	7.4	3.1	0.49	0.11	2.83
206	XRF071001-29	B0829	60.3	0.76	17.5	7.9	0.15	2.6	7.1	3.0	0.46	0.11	2.98
209	XRF071001-30	B0830	59.8	0.74	16.9	7.9	0.16	3.0	7.7	3.2	0.49	0.11	2.59
217	XRF071001-31	B0831	58.7	0.77	17.1	8.5	0.14	3.5	7.9	2.9	0.44	0.10	2.45
228	XRF071001-32	B0832	59.3	0.74	17.2	7.8	0.16	3.0	7.9	3.3	0.51	0.12	2.64
230	XRF071001-33	B0833	60.1	0.69	17.4	7.2	0.15	2.7	7.8	3.3	0.50	0.11	2.65
236	XRF071001-34	B0834	60.3	0.70	17.2	7.4	0.16	2.8	7.7	3.2	0.50	0.11	2.65
240	XRF071001-35	B0835	60.0	0.74	16.8	7.8	0.14	3.0	7.7	3.2	0.49	0.11	2.62
248	XRF071001-36	B0836	60.2	0.70	16.9	7.4	0.15	2.9	7.9	3.2	0.47	0.11	2.53
250	XRF071001-37	B0837	60.1	0.69	17.2	7.3	0.16	2.9	7.9	3.2	0.48	0.11	2.54
258	XRF071001-38	B0838	60.0	0.68	17.5	7.2	0.15	2.7	7.9	3.3	0.48	0.11	2.68
318	XRF071001-39	B0839	50.7	1.04	24.1	9.2	0.34	1.8	9.6	3.0	0.06	0.17	4.98

3.1. 崖錐堆積物 (深度 0 ~ 70m)

この区間の手標本試料は両輝石安山岩ないし無斑晶質安山岩で一部風化をしている。詳細は不明で、後述するように成因は様々な堆積物であろうと考えられるが、ここでは一括して崖錐堆積物と表記することにする。本孔井の全部の区間で火山岩の SiO₂ が 60% 前後を示し、化学組成も全般的に類似しているが、この深度区間のものは、FeO*/MgO (FeO* は岩石中の全鉄が FeO として存在すると仮定して重量比を再計算したときの値であることを示す) が 2 以下と低く、この孔井のほかの岩石試料と明瞭な違いがあるほか、MgO、K₂O が高いという特徴がある。こうした化学組成は中央火口丘群に特徴的で、これらの安山岩が中央火口丘群が起源であることを示唆する (図 4)。

日本地質学会国立公園リーフレット編集委員会 (2007) によれば、当該地域の表層は中央火口丘の火砕流、泥流、土石流堆積物で構成されると考えられ、前述の化学組成と調和的である。

3.2. ラハール堆積物 (深度 70 ~ 180m)

この深度区間は弱く固結した礫岩、砂岩、シルト岩からなる。いずれも基質は軽石質で、岩片、軽石、スコリアを砂粒やレキとして含む。花粉化石、植物遺体を含むことから火山噴出物ではなく、河川等の作用による堆積

物と考えられるが、珪藻化石を含まないので堆積域および後背地のいずれも安定した水域ではなかったことが推定される。このことや、本区間が基本的に火山灰からなることから、本研究ではこの区間をラハール堆積物と考える。本区間に産する花粉化石の解析を実施したが、結果については後述する。なお、深度 83m と 84m および 110 と 120m の試料には普通角閃石の遊離結晶および普通角閃石を含む岩片を含む。これまでの地質学的調査から、普通角閃石斑晶を含む箱根火山噴出物は知られておらず、これらの岩片は外来テフラと考えられる。この区間で見られる角閃石斑晶がどの外来テフラに相当するかに関しては後ほど考察する。この区間は変質鉱物としては smectite、脈や空隙に calcite が発達する。

3.3. 古期山体の崩落堆積物 (深度 180 m ~ 285 ± 20 m)

この深度区間は方解石や沸石の脈がやや発達する両輝石安山岩が主体である。輝石はほぼ残存しており、変質の程度はあまり高くないが、全体的に破砕されたようなテクスチャを示すものが多く、クラックを脈が満たす形となっている。この区間の下限は深度 262m と深度 307m の間にあると考えられるが、この間の標本がないので、間を取って 285 ± 20 m とすることにす。

Kuno *et al.* (1970) では 220m 以深が湯ヶ島層群とされ

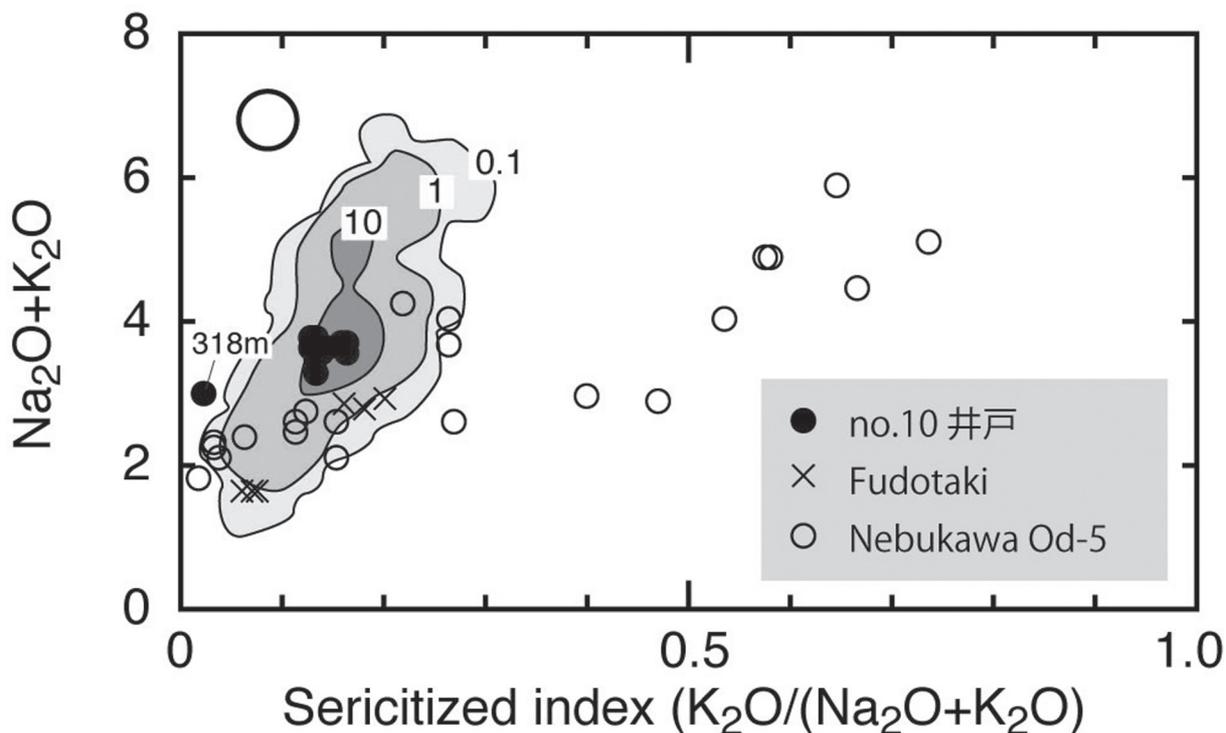


図2 アルカリ成分による変質のチェック。基盤岩と考えられる湯河原不動滝（未公表）や、根府川の小田原5号井試料（萬年ほか，2003）はこの図上で分散するが、本研究のno.10井の試料は集中する。等値線は箱根火山の地表にある岩石の分析値の頻度（%）をしめす。たとえば、1%の等値線上の任意の一点についてそれを中心とする円（大きさは左上に示す円に同じ）の中に含まれる分析値の点数は全体の分析点数の1%ということになる。no.10井の試料は地表試料の頻度の高い組成を示し、変質の影響が少ないことを示唆する。等値線は高橋ほか（2006）、長井・高橋（2007）、著者らの未公表データから選択した計612試料から作成した。

Fig. 2 Alteration check using alkaline contents. Compositions of basement rocks such as which obtained Fudotaki in Yugawara (unpublished data) and Odawara-5 well in Nebukawa (Mannen et al., 2003) show scattered distribution on this plot. In contrast, compositions of rocks of no.10 well show concentrated distribution. Contours in the plot indicate frequency of fresh surface samples of Hakone volcano (in percent). For example, within a test circle (shown in upper left) on an arbitrary point on 1% contour contains 1% of all analyzed points. Most of the samples of no.10 well fall on the high frequency zone of fresh surface samples. This observation indicates few alteration of the no.10 well rocks. Contours are created based on 612 samples selected from Takahashi et al. (2006), Nagai and Takahashi (2007) and the author's unpublished data.

ている。たしかに検鏡によってもこの深度で沸石が見られるようになり、変質の程度が変化するように見えるが、輝石が残存していることや、前述の通り化学組成に変質の影響が認められないことから、本研究では湯ヶ島層群とした Kuno *et al.* (1970) の判断は誤りと考える。

この深度区間は SiO_2 が 60% 前後、 FeO^*/MgO 比が 2.45 から 3.10 を示すが、この組成は古期山体に類似している（図4）。

この深度区間の岩相は縮分試料しか残されていないため詳細は不明であるが、同様の斑晶組み合わせ、テクス

チャ、化学組成をもつ試料がまとまって一定の区間に現れることから、おそらく1枚、あるいは類似した複数枚の溶岩を掘り抜いたものと見られる。そこで本研究ではこの深度区間を古期山体起源の溶岩と考える。

古期山体の直近の露頭の標高が 360m 程度である（宮城野付近の狩川溶岩グループ）一方、この深度区間の標高の上限は 260m であることを考えると、この深度区間の岩石は少なくとも 100m は崩落したものと見られる。この孔井内での発達を見るクラックは崩落した際に生じた可能性も考えられる。

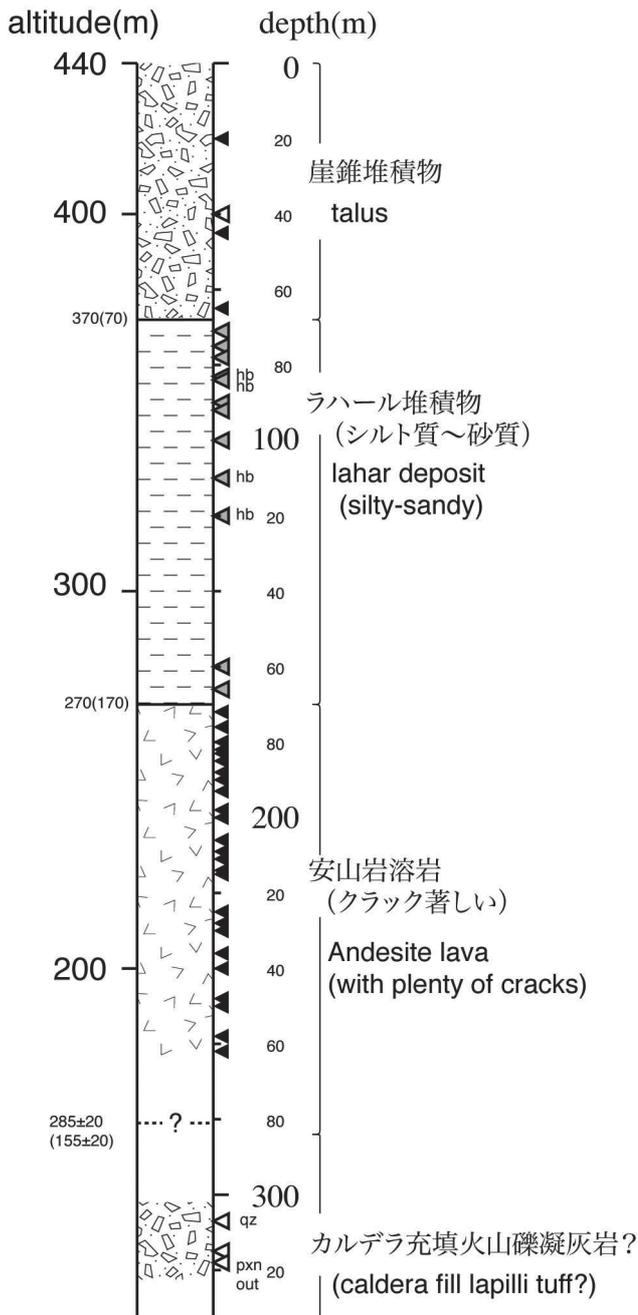


図3 no.10井の地質柱状図

Fig. 3 Columnar section of the no. 10 well.

3.4. カルデラ充填火山礫凝灰岩（深度 280 ± 20 m ~ 318 m）

深度 307m 以深のサンプルは暗褐色になる。3 つある手標本のうち、307m および 315 m はいずれも礫混じりの細粒砂岩、318m は変質した火山岩である。この火山岩の輝石斑晶は変質により失われている。深度 307m の軽石まじり砂岩中の砂粒の一部は石英斑晶を含むが、石英は箱根火山噴出物には含まれないが、基盤岩である早川凝灰角礫岩には含まれる場合があるので、これを起源とする岩片と考えるのが妥当かも知れない。最深部の 318m の試料はやや変質が進んでいるが、玄武岩の組成を有している。これは古期山体の本体を起源とする溶岩と推定される。307m 以深はそれ以浅が溶岩だけであるのと異なり、軽石や砂岩が混じる。

4. ラハール堆積物の花粉化石

本孔井のラハール堆積物のうち深度 83 ~ 166m の 5 試料について花粉化石の微化石分析を実施した。分析は株式会社パリノ・サーヴェイに委託した。以下、同社の報告書をもとに、分析の結果を述べる。なお、分析手法については、萬年ほか（2006）で言及したものと変わらないので、本稿では割愛する。花粉化石とは別に、珪藻化石についても有無の確認を委託したが、すべての試料で珪藻化石は認められなかった。花粉化石分析の結果は以下の通りである（表 3）。

最下部の深度 166m ではトウヒ属、マツ属、コナラ亜属が優占して産出し、ブナ属、モミ属、ツガ属、ニレ属一ケヤキ属などを伴う。深度 120m から 83m ではハンノキ属とブナ属が優占して産出し、マツ属、スギ属、ニレ属一ケヤキ属等を伴う。そして、低率ながらアカガシ亜属やハリゲヤキ属を産出する。また、深度 92m ではサルズベリ属を産出する。なお、ハンノキ属は深度 110m と 92m において著しく多産し、この層準ではブナ属の減少がみられる。最上部の深度 83m ではスギ属、コナラ亜属、ニレ属一ケヤキ属などに増加がみられる。

草本花粉とシダ植物胞子は最上部の深度 83m においてこれよりも下位の試料と較べて多く産出するが、全般的におおきな変化がみられない。イネ科やカヤツリグサ科が主に産出し、低率ながら水生植物のサジオモダカ属を連続して産出する。

以上のような結果から、最下部の深度 166m では後背

凡例

-  火山礫凝灰岩
-  シルト岩(軽石質砂層を含む)
-  安山岩溶岩ブロック
-  収蔵試料

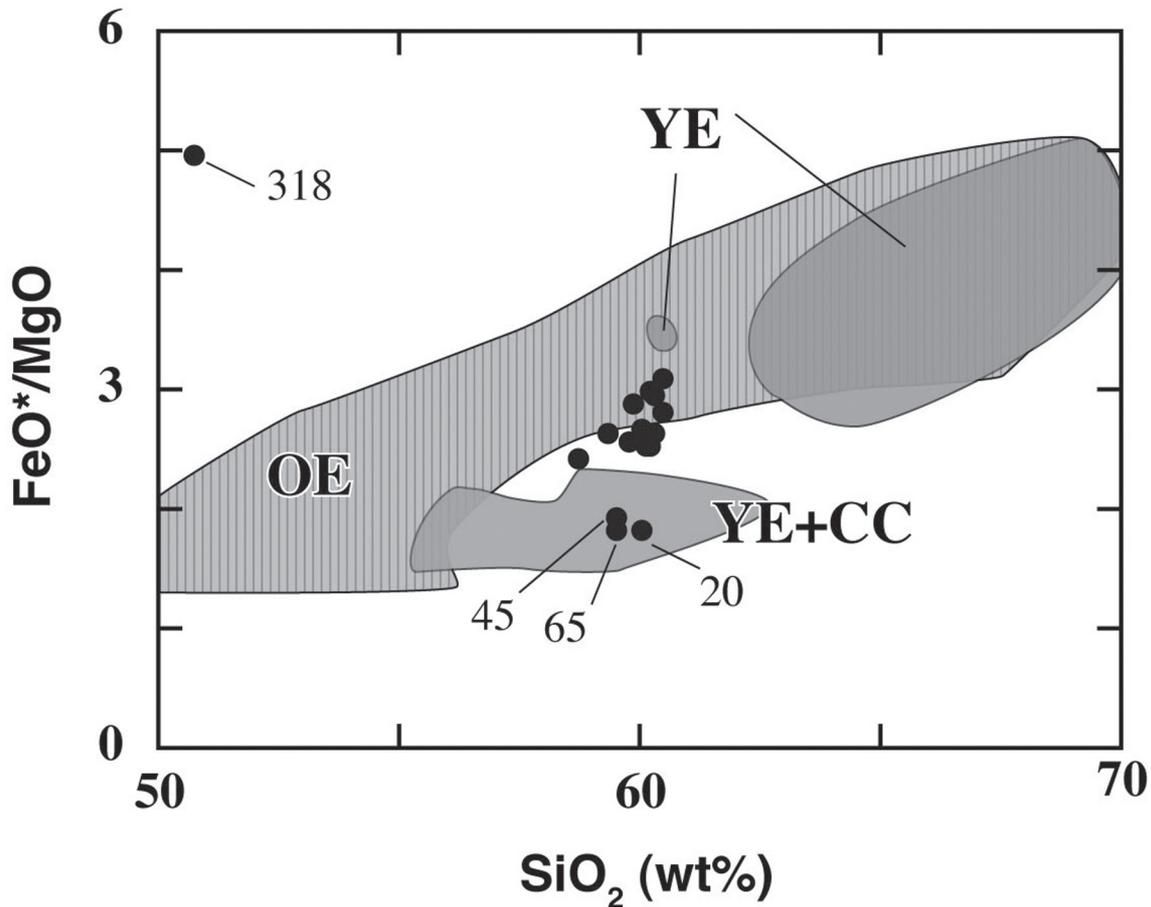


図4 SiO₂-FeO* 図上での箱根火山噴出物の組成範囲と、no.10井試料の化学組成の比較。数字は試料の採取深度。65m以浅の試料は中央火口丘噴出物ないし新期山体噴出物(CC+YE)の組成範囲に入るが、それより深いもの(深度184.5m≦)は古期山体噴出物(OE)の組成に近いものが多い。

Fig. 4 Comparison between surface lavas of Hakone volcano and borehole samples of no.10 well on SiO₂-FeO* plot. Chemistry of shallower samples (≦65m) is identical to that of the central cones rocks and the Younger Edifice rocks (CC+YE) while deeper samples (≧184.5m) are similar to the Older Edifice rocks (OE).

地にトウヒ属とマツ属を主とした常緑針葉樹林が広がっていたと推定され、落葉広葉樹のコナラ亜属も分布していた。深度120m以浅になるとハンノキ属とブナ属が分布を広げる。ハンノキ属は水生植物のサジオモダカ属の産出から水域の環境がうかがえるので、調査地の近隣にハンノキ湿地林が広がったことを示していると考えられる。後背地にはブナ属を主とした落葉広葉樹林が分布していたと推定される。古気候は深度166mでは冷温帯～亜高山帯、深度120m以浅では冷温帯と推定される。

5. 普通角閃石の屈折率

前述の通り深度70～180mの区間には、外来テフラと見られる普通角閃石を含む岩片が認められる。そこで

本研究ではこれらの普通角閃石がいずれのテフラに相当するかを推定するため、屈折率測定を実施した。その結果については投稿中の論文でも述べているが、当該論文では紙面の都合上、分析方法等について省略をしているので、本報告中で詳しく述べる。

普通角閃石の測定は本孔井の深度83mのコア試料のほか、対照試料として過去30万年間の代表的な角閃石含有テフラであるGo1、TCu-4、TB-3、TB-5、TB-9、TAI-1、TAm-6、TAu-4、Klp-4、F-YP、Kg(町田・新井, 2003; 町田ほか, 1974)について実施した。これらの試料を鉄鉢で軽く粉砕したあと、ふるいによって粒度をそろえ、120メッシュから250メッシュの試料について水簾によって普通角閃石を濃集させるとともに試料の水洗

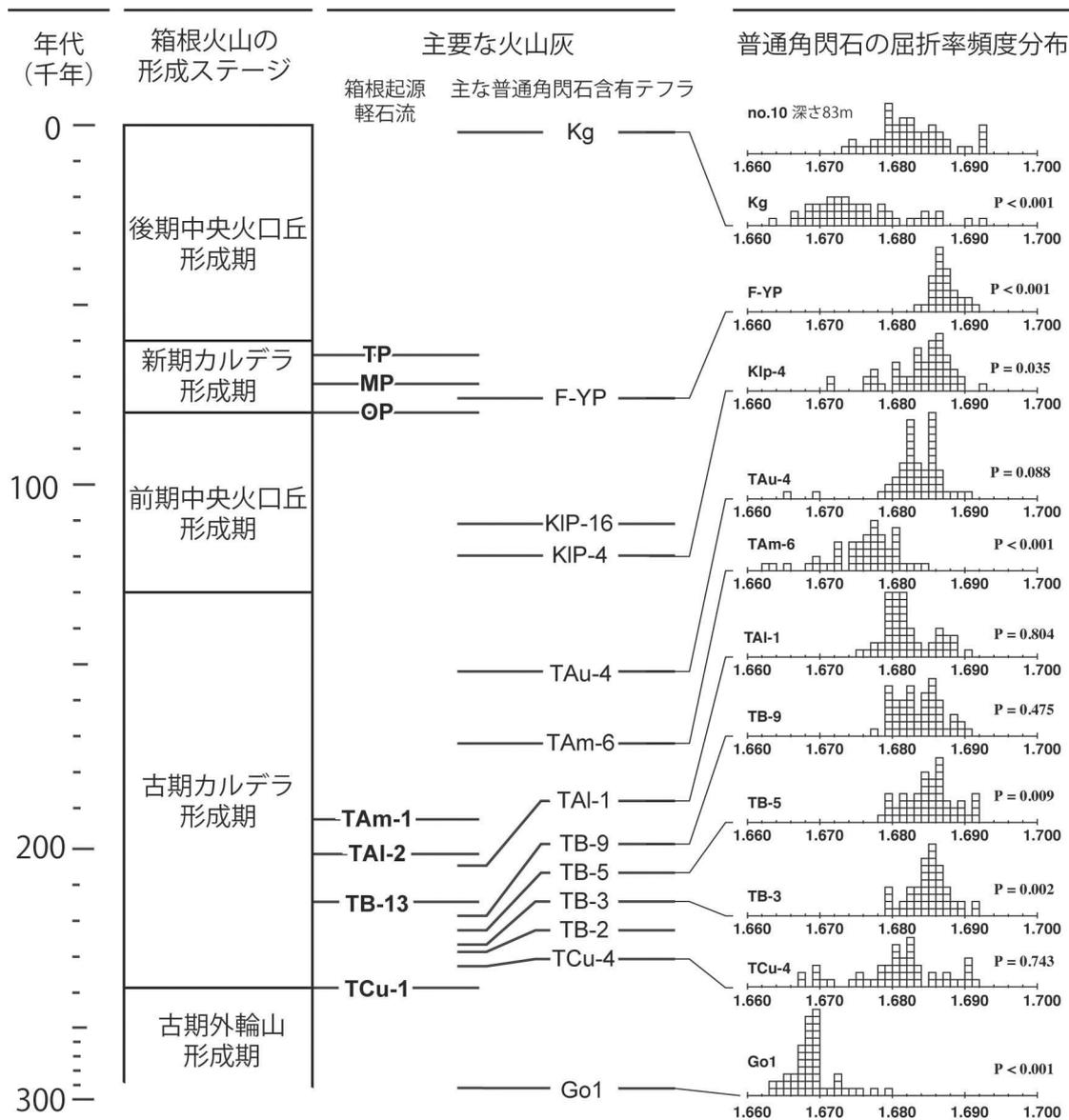


図5 no.10 井の崩落堆積物中の火山岩類と古期山体の前期および中期単成火山群の全岩化学組成の比較。
 Fig. 5 Comparison of bulk rock chemistry between volcanic rocks within the collapsed deposit of the no. 10 well and the Early and Middle monogenic volcanoes.

を行った。このフラクションの普通角閃石斑晶を実体鏡下で一つずつピックアップし、スライドグラスに挟んで破碎し、その破砕片の一つを屈折測定浸液とともに測定用セル内に封入した。一つのセル内にはおおむね 20 から 30 の斑晶の破砕片を封入した。

屈折率の測定は、温泉地学研究所所有の RIMS86 (京都フィッシュントラック製) を利用して行った。使用した浸液は M2 (測定可能な屈折率の範囲 = 1.662 ~ 1.692) である。結果を図 5 に示す。

本孔井の深度 83m から得られた普通角閃石斑晶の屈折率は 1.673 から 1.693 の範囲をもち、1.680 付近にピークを有する。一方、対照試料とした上記 10 の対照試料

のうち TAI-1 がピークの屈折率や範囲が類似している。類似性を統計的に明らかにするために 2 標本コルモゴロフ・スミルノフ (Kolmogorov-Smirnov test) を実施した。実施にあたってはフリーの統計処理ソフト R 上で、群馬大学社会情報学部の青木繁信教授が公開しているスクリプトを用いた (<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/ks2.html>)。結果として得られた有意確率 P 値を図 5 上で示したが、これをみると対照試料の中ではやはり TAI-1 がもっとも高い P=0.804 を示す。TAI-1 以外では、TCu-4、TB-9 がそれに続いてやや高い P 値を示すが、その他の値は非常に小さく、対比されない。以上のことから、本研究では深度 83 m の普通角閃石斑晶は TAI-1 に対比される可能

表3 ラハール堆積物に含まれる花粉化石の分析結果（単位のない数字は個数）

Table 3 Result of pollen fossil analysis of no.10 well.

和名	学名	83	92	110	120	166
木本花粉	Arboreal Pollen					
モミ属	<i>Abies</i>	8	7	2	7	12
ツガ属	<i>Tsuga</i>	3	14	-	1	6
トウヒ属	<i>Picea</i>	9	9	1	4	68
トガサワラ属-カラマツ属	<i>Pseudotsuga-Larix</i>	-	3	-	1	-
マツ属	<i>Pinus</i>	43	42	18	27	48
コウヤマキ属	<i>Sciadopitys</i>	2	6	-	-	4
スギ属	<i>Cryptomeria</i>	22	10	6	1	1
イチイ科-イヌガヤ科-ヒノキ科	Taxaceae-Cephalotaxaceae-Cupressaceae	-	13	1	-	-
ヤナギ属	<i>Salix</i>	-	-	4	-	-
サワグルミ属	<i>Pterocarya</i>	-	1	1	-	-
クルミ属(オニグルミ属)	<i>Juglans</i>	-	-	1	-	1
クマシデ属-アサダ属	<i>Carpinus - Ostrya</i>	5	3	6	5	5
ハシバミ属	<i>Corylus</i>	-	1	2	-	-
カバノキ属	<i>Betula</i>	-	-	1	-	1
ハンノキ属	<i>Alnus</i>	35	96	154	62	6
ブナ属	<i>Fagus</i>	62	41	60	78	22
コナラ属コナラ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	13	2	1	3	66
コナラ属アカガシ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Cyclobalanopsis</i>	2	1	13	4	1
クリ属	<i>Castanea</i>	-	-	-	-	3
シノキ属	<i>Castanopsis</i>	-	-	-	-	-
ハリゲヤキ属	<i>Hemiptelea</i>	1	1	1	2	-
ニレ属-ケヤキ属	<i>Ulmus-Zelkova</i>	25	4	7	7	6
エノキ属-ムクノキ属	<i>Celtis-Aphananthe</i>	-	1	-	-	-
サクラ属	<i>Prunus</i>	-	-	-	-	-
キハダ属	<i>Phellodendron</i>	-	-	-	1	-
シラキ属	<i>Sapium</i>	-	-	1	1	1
モチノキ属	<i>Ilex</i>	-	6	-	1	-
カエデ属	<i>Acer</i>	-	1	1	2	6
ツタ属	<i>Parthenocissus</i>	-	-	-	1	-
グミ属	<i>Elaeagnus</i>	2	2	-	-	-
サルスベリ属	<i>Lagerstroemia</i>	-	1	-	-	-
ウコギ科	Araliaceae	-	-	-	-	3
ミズキ属	<i>Cornus</i>	-	-	-	-	-
ツツジ科	Ericaceae	-	-	-	-	-
ハイノキ属	<i>Symplocos</i>	-	2	-	-	-
エゴノキ属	<i>Styrax</i>	-	-	-	1	-
トネリコ属	<i>Fraxinus</i>	-	-	-	1	-
スイカズラ属	<i>Lonicera</i>	-	-	1	-	-

性が最も高いと結論できる。

6. 考察

6.1. 堆積環境と堆積年代

本孔井の地質は基本的に崩落堆積物とその上位のラハール堆積物からなり、強羅潜在カルデラ（万年ほか、2008 ; Mannen *et al.*, in prep）と同様、陥没とそれに伴い

生じた堆積盆の充填堆積物のセットで、カルデラ構造とみられる。このカルデラ構造の形成年代、すなわち陥没構造の成立年代の上限はラハール堆積物の年代ということになる。

ラハール堆積物の年代は、テフラ中に TAI-1 に対比されると見られる軽石堆積物の存在から、決めることが出来る。すなわち、TAI-1 は MIS7 に対比されると考えら

表3 続き

和名	学名	83	92	110	120	166
草本花粉 Nonarboreal Pollen						
ガマ属	<i>Typha</i>	2	-	-	-	-
サジオモダカ属	<i>Alisma</i>	1	1	1	1	1
イネ科	Gramineae	33	7	1	3	8
カヤツリグサ科	Cyperaceae	53	16	11	9	17
クワ科	Moraceae	-	-	-	-	-
サナエタデ節-ウナギツカミ節	<i>Polygonum</i> sect. <i>Persicaria-Echinocaulon</i>	1	14	2	-	1
タデ属	<i>Polygonum</i>	-	-	-	-	-
ナデシコ科	Caryophyllaceae	-	1	-	-	-
カラマツソウ属	<i>Thalictrum</i>	-	-	-	-	-
キンボウゲ科	Ranunculaceae	-	-	-	-	-
バラ科	Rosaceae	-	-	-	-	-
セリ科	Umbelliferae	1	-	-	-	19
ツリガネニンジン属-ホタルブクロ属	<i>Adenophora-Campanula</i>	-	-	-	-	-
ヨモギ属	<i>Artemisia</i>	-	-	-	-	7
キク亜科	Carduoideae	2	5	-	-	5
タンポポ亜科	Cichorioideae	6	-	-	-	1
不明花粉 Unknown Pollen						
不明花粉	Unknown pollen	14	16	27	14	24
シダ植物・コケ植物胞子 Pteridophyta and Bryophyta Spores						
ヒカゲノカズラ属	<i>Lycopodium</i>	1	-	2	-	-
ゼンマイ属	<i>Osmunda</i>	-	-	-	-	-
サンショウモ	<i>Salvinia natans</i>	2	-	-	-	-
他のシダ植物胞子	other Pteridophyta spores	75	11	10	13	18
ミズゴケ属	<i>Sphagnum</i>	-	-	-	-	-
合計 TOTAL						
木本花粉	Arboreal Pollen	232	267	282	210	260
草本花粉	Nonarboreal Pollen	99	44	15	13	59
不明花粉	Unknown Pollen	14	16	27	14	24
シダ植物・コケ植物胞子	Pteridophyta and Bryophyta Spores	78	11	12	13	18
総花粉・胞子	Total Number of Pollen & Spores	423	338	336	250	361
分析後残渣の観察						
分析後残渣量: VA: Very Abundant(非常に多い), A: Abundant(多い), Common(普通), F: Few(少ない), Tr: Trace(痕跡程度(微量))	C:	F-C	C-A	C-A	C-A	C-A
花粉・胞子化石の産出傾向: VA: Very Abundant(非常に多い), A: Abundant(多い), Common(普通), R: Rare(稀れ), VR: Very Rare(極く稀れ), N: Non(無化石)	C:	R	R	R	R	R
花粉・胞子化石の保存状態: VG: Very Good(非常に良い), G: Good(良い), Moderate(普通), P: Poor(悪い), VP: Very Poor(非常に悪い)	M:	P	P	P	P	P

れ (貝塚ほか、2000)、この時期は箱根の火山噴火史の中では古期カルデラ形成期にあたる。従って、深度 70 ~ 180m のラハール堆積物は古期カルデラ形成期のものである可能性が高いと結論できる。仮に上記の対比が誤りで TCu-4 や TB-9 と対比されるのが正しいとしても、両者がやはり古期カルデラ形成期のものであることから、ラハール堆積物が古期カルデラ形成期のものである

とする考え方は変更されることがない。

一方、花粉化石からは産出数が少ないことに留意する必要があるものの、サルスベリの産出から年代の候補が挙げられる。サルスベリは温暖の指標として用いられることが多いが、MIS1 には産さず、琵琶湖においては MIS5e に産出の極があり、MIS7 にもわずかに産する (奥田ほか、2006 ; Miyoshi *et al.*, 1999)。したがって、この

ラハール堆積物は MIS5 か 7 に対比される可能性がある
と結論できる。この結果は、ラハール堆積物を MIS7 と
するテフラ同定の結果に基づく結論と調和的であり、こ
の陥没構造が MIS7 に形成されたことを示唆する。

この陥没構造の成立年代が古期カルデラ形成期と近接
することから、この構造が箱根火山古期カルデラ形成期
の TCu-1 や TB-13 など軽石流を伴う大きい噴火に対応
して出来た可能性が高いと見られる。

6.2. 陥没構造の分布

本孔井で検出された陥没構造の空間的な広がりについ
ては、普通角閃石斑晶を含む軽石の堆積物の分布からあ
る程度把握することが出来るものと見られる。今回ラ
ハール堆積物とした普通角閃石斑晶を含む軽石の堆積
物は、下湯場地域の DTI-1 (仙石原第 21 号井) の深度
251.5 から 252.7m で得られている (万年, 1999)。万年
(1999) ではこの軽石堆積物が塊状で淘汰が悪いことや、
この上下の区間の堆積物が古期山体起源の溶岩片を含む
ことから、崖錐発達中に流下した軽石流堆積物と判断し
た。しかし、普通角閃石を含む軽石流は箱根地域で未確
認なことからみて、この堆積物は降下軽石の二次堆積物
であると考えても良い。

普通角閃石斑晶を含む軽石の堆積物はこのほか、宮城
野第 115 号井でも見つかっているが、本孔井を含むこれ
ら角閃石を産する孔井は強羅潜在カルデラの北縁に分布
する。これらの普通角閃石がやはり MIS7 の時期の角閃
石であるとすれば、強羅潜在カルデラは MIS7 (古期カ
ルデラ形成期) および MIS4 (新期カルデラ形成期) に
形成された入れ子状の陥没構造であることが示唆され
る。現時点では他の孔井の普通角閃石は量が少ないため、
分析を実施していないが、今後はこれらの分析を行うこ
とにより、陥没構造のより確かな分布と形状について考
察を進めていきたい。

7. 結論

箱根町宮城野で 1962 年に掘削されその後放棄された
no. 10 井 (Kuno *et al.*, 1970) について地質の検討を行った。
本孔井は上位から、中央火口丘群火砕流・泥流・土石流
堆積物、ラハール堆積物、古期山体の崩落堆積物、およ
びカルデラ充填火山礫凝灰岩よりなり、全体として潜在
カルデラ構造の充填堆積物であると見られる。潜在カル
デラ構造の成立年代はラハール堆積物に含まれる普通角
閃石斑晶の屈折率が TAI-1 のそれと類似することや、花
粉化石群集が温暖期に対応することから、MIS7 である
ことが強く示唆される。このことから、この陥没構造は

古期カルデラの大きな噴火に対応して形成されたものと
考えられる。普通角閃石斑晶をふくむ軽石堆積物は強羅
潜在カルデラ構造の北縁に認められ、強羅潜在カルデラ
構造は MIS4 および 7 (新期カルデラ形成期および古期
カルデラ形成期) に形成された入れ子状の陥没構造であ
ることが示唆される。

謝辞

角閃石テフラ試料の一部は、町田洋東京都立大学名誉
教授にご提供頂いた。心より感謝申し上げます。本研究
の遂行にあたって、温泉地学研究所経常研究費のほか、産
業技術総合研究所交付金による「島弧堆積盆の研究」研
究費、東京大学地震研究所特定共同研究 B 「活火山に
おける噴火様式と長期噴火予知の基礎的研究」研究費を
使用した。関係の研究代表者および事務担当各位に厚く
御礼申し上げます。なお、図 1 の作図に GMT (Wessel and
Smith, 1991) を利用した。

参考文献

- 貝塚爽平・遠藤邦彦・鈴木毅彦・小池一之・山崎晴雄編
(2000) 日本の地形〈4〉関東・伊豆小笠原, 349p.
東京大学出版会.
- 小出良幸・山下浩之・川手新一・平田大二 (2000) 蛍
光エックス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., Oki, Y., Ogino, K., and Hirota, S. (1970) Structure
of Hakone Caldera as revealed by drilling. *Bull.
Volcanol.*, 34, 713-725.
- 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.
- 万年一剛 (1999) 箱根・下湯場地域で掘削された 2 本
の温泉井のボーリング地質と温泉, 温地研報告, 31,
1-15.
- 万年一剛 (2008) 箱根カルデラ — 地質構造・成因・現
在の火山活動における役割 —, 神奈川博調査研報
(自然), 13, 61-76.
- 万年一剛・水野清秀・伊藤順一・山下浩之 (2006) 箱根・
強羅付近の地質構造 — とくに湖成堆積物の分布と
その堆積環境 —, 温地研報告, 38, 11-26.
- Mannen, K., Yamashita, H., and Kasama, T., Subcaldera
geology of Hakone volcano, Japan – buried caldera
structures within a single morphological caldera, *Bull.
Volcanol.* (submitted)
- Miyoshi, N., Fujiki, T., Morita, Y. (1999) Palynology of

a 250-m core from Lake Biwa: a 430,000-year record of glacial-interglacial vegetation change in Japan, *Rev. Paleobotany Palynology*, 104, 267-283.

長井雅史・高橋正樹 (2007) 箱根火山外輪山噴出物の全岩主化学組成, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要第2部地球システム科学, (42), 71-95.

日本地質学会国立公園リーフレット編集委員会 (2007)

1. 箱根火山. 日本地質学会.

奥田昌明・百原新・平山廉・岡崎浩子・兼子尚知 (2006)

下総層群清川層堆積期間 (MIS7) の古気候状態 — 花粉ほか代理指標からの考察 —, *第四紀研究*, 45, 217-234.

高橋正樹・内藤昌平・中村直子・長井雅史 (2006) 箱根火山前期・後期中央火口丘噴出物の全岩化学組成, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, (41), 151-186.

Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1991) Free software helps map and display data, *Eos*, 72, 441.