

箱根町笛塚・温泉村 131 号温泉井の地質について

On Geology of Onsen-mura No.131 Hot Spring well at Fuezuka, Hakone

萬年一剛*、内藤昌平*²、高橋正樹*³

Kazutaka MANNEN* , Shohei NAITO*² and Masaki TAKAHASHI*³

Abstract

Core samples of a hot spring well (Onsenmura-131; O-131) drilled in 1969 at eastern margin of the younger caldera of Hakone volcano were investigated to reveal the geology of the younger caldera. The geology of the well can roughly be subdivided into two parts; central cone lavas in the upper, and tuff breccia in the lower. Tuff breccias beneath the central cones have been reported and thought to be caldera fill deposit, however strong hydrothermal alteration has made further investigation impossible. Relatively fresh breccias from the well allow detailed analysis. Breccias in the lower tuff breccia are identified to be old somma and younger somma origin by XRF analysis. Thus, the tuff breccia should be formed in the stage of younger caldera formation and thought to be a caldera-fill deposit. Breccias in a certain depth interval tend to be of one type dominantly; for example all breccias of 387 to 413m in depth are of the Hatajyuku pumice (younger somma) origin. However, for example, breccias originating from old somma were detected at most depths. These aspects of rock type distribution in the tuff breccia indicate that the tuff breccia is formed by in-between process of landslide and fall-back deposit of a caldera forming eruption. Pumice grains in the tuff breccia are not essential products but of edifice origin. The essential products should be fragmented and contained in the matrix of the tuff breccia. This hypothesis will be tested in further studies.

1. はじめに

箱根町小涌谷字笛塚は箱根火山中央火口丘の東部に位置し、蛇骨川を挟んだ西側は新期外輪山の一つである浅間山が聳えている。すなわち、この地域は新期カルデラの東側縁辺部にあると考えられ、この地域の地下地質を明らかにすることは、新期カルデラの構造や成因を考える上で重要である。

笛塚にある温泉村 131 号井は深度 700 m を超える温泉井である。この井戸の地質試料はコアを縮分した手標本が本研究所標本室に所蔵されているが、これまで十分な

検討がされてこなかった。本報告ではこの試料の検討結果を報告するとともに、考察を行い、この地域の地質解明の一助とすることを目的とする。なお、当所には隣接する温泉村 119 号井の地質試料も収蔵されている。この温泉井についても地質の検討を行ったが、その結果、孔壁崩壊後の増掘工事時に採集した試料で、掘削深度が試料の地層中における深度と一致しないことが明らかとなったため、ここでは特に触れないこととする。

* 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 茨城大学理学部 〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1

*³ 日本大学文理学部 〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40

論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 34 巻, 1 - 8, 2002 .

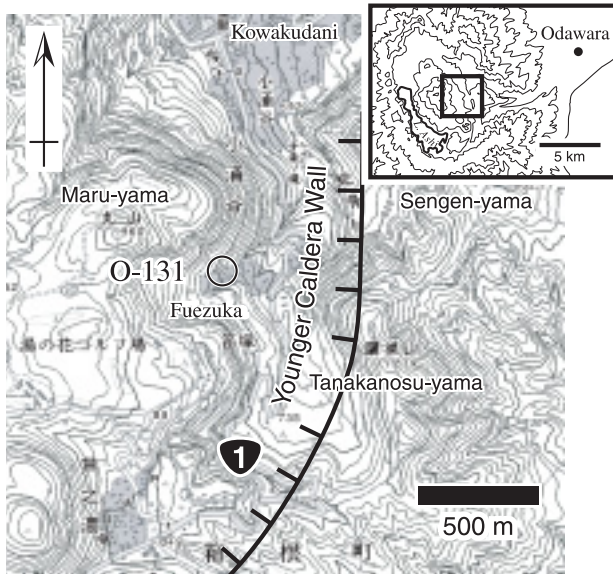


図1 温泉村 131 号井の位置

Fig. 1 Index map of Onsenmura No.131 hot spring well (O-131).

2. 井戸の位置と収蔵試料

温泉村 131 号井は中央火口丘丸山の裾野に位置する(図1)、1968年に掘削が許可された、孔口標高 748 m、深さ 700 m の温泉井戸である。当所の保有する試料は 143 標本で、すべて 1969 年に採集された。これらの試料はすべて掘削時に得られたコアを縮分したものと考えられる。コアの採取間隔は一定で無く、深度によっては長い区間にわたって試料が欠けているところもあるが、それ以外の部分はかなり稠密に採集されているため、のちに示す柱状図の復元は一定の精度を有していると思われる。

3. 収蔵試料の記載

収蔵試料は円柱状のものもあるが、多くはコア試料を一边数センチメートルの大きさに整形した手標本である。これらすべてについて肉眼による記載を行ったほか 76 枚の薄片について鏡下での観察を記載した。以下、上位から下位の順に紹介し、地質を推定する。各節の表題として、各区間の深度、標高とともに推定される岩相をあげる。

3.1. 深度 5 ~ 166 m (標高 743-582 m) 中央火口丘溶岩

この区間の 31 標本はすべて中央火口丘系の両輝石安山岩ないしかんらん石両輝石安山岩である。斑晶量は 20

~ 30% と比較的高く、斜長石斑晶は 2 mm をこえるものも多い。石基は斜長石および両輝石の微斑晶よりなる intersertal から hyalo-ophitic 組織を呈する。これらの安山岩は鉱物組み合わせや石基が異なることからおそらく何枚もある中央火口丘溶岩を掘抜いたものと考えられる。

3.2. 深度 169 ~ 249 m (標高 579-499 m) 軽石質 ~ スコリア質凝灰角礫岩

この区間では 5 標本が保管されているが、深度 169 m および 180 m の標本は軽石質の凝灰角礫岩、深度 171 m の標本はスコリア質の凝灰角礫岩、深度 174 m および 185 m の標本は火山岩である。火山岩は風化皮膜を有することや、岩種が明らかに異なることから見て、凝灰角礫岩中の角礫であると考えられる。深度 210 m から 249 m の区間も軽石質の凝灰角礫岩 13 標本、火山岩 1 標本を採取しているが火山岩 1 標本は小さく凝灰角礫岩中の礫と考えられる。したがってこの区間も全体としては凝灰角礫岩であると考えられる。

3.3. 深度 251 ~ 305 m (標高 497-443 m) スコリア質凝灰角礫岩

深度 251 m から 305 m 付近の標本はスコリアが特徴的である。深度 251 m および 257 m の 2 標本は暗灰色のスコリア質の凝灰岩、深度 260 m の標本はスコリアを fiamme 状に含む軽石質凝灰岩、深度 261 m は安山岩、深度 266 m はスコリア質凝灰岩である。また標本の無い区間を 50 m 近く挟んで深度 304 m でまたスコリア質凝灰岩の標本がある。化学組成的に類似しており、この標本欠如区間は基本的にこのスコリア質凝灰岩で占められていた可能性がある。なお、このスコリアは、後述するように化学組成的には珩長質で、安山岩のうちでもデイサイトとの境界に近い。

3.4. 深度 305 ~ 391 m (標高 443-357 m) 軽石質凝灰角礫岩

深度 305.1 m から 391 m の標本は軽石質の凝灰角礫岩および火山岩であるが、火山岩の標本は岩種が様々である上に風化皮膜を有する。以上のことから、これら火山岩は凝灰角礫岩中の角礫と考えるのが適切であると考えられる。凝灰角礫岩中の角礫のうち、384 m 以深は白色の新鮮な軽石である。

3.5. 深度 393 ~ 413m(標高 355-335m)黒曜石溶岩

深度 393 m から 413 m の 5 試料はすべて黒曜石である。これらは円形の気泡をふくむ白色の層と、黒いガラス質の層の互層よりなる層状のもので、標本によっては層が複雑にフォールディングしている。どのような形で地層中に含まれていたかよくわからないが、深度 393.1 から 400 m の区間にはかなり多く入っていたらしく袋入りで保管されている。このことからみて、ある程度の厚さを持って塊状に存在していたことが推定できる。黒曜石のこの区間以外における産出はなかったようである。

3.6. 深度 420 ~ 470 m(標高 328-278m)軽石質凝灰角礫岩

深度 420 m から 470 m の区間は、深度 426 m および 429 m に斑晶質の安山岩の標本があるが、その他の 9 試料は軽石質の凝灰岩である。これ以浅の区間に見られた軽石質凝灰岩よりも細粒で、手で触るとぼろぼろと崩れるようなもろさがあるのが特徴的である。

3.7. 深度 487 ~ 669.5 m(標高 261-78.5m)凝灰角礫岩

深度 487 m から 513 m の区間は輝石に乏しい玄武岩の標本で、いずれもコアの形状をしているため同一の溶岩流を掘り抜いた可能性がある。517 m 以深の試料は凝灰角礫岩とコアの形状をした火山岩で、一部溶岩である可能性はあるが、概ね凝灰角礫岩が卓越しているものと考えられる。この区間の火山岩は多くが玄武岩質ないし玄武岩質安山岩で、斑晶質であるが輝石に乏しいのが特徴で、両輝石とも欠く標本もある。かんらん石は含まれない。650、655 m の両標本は単斜輝石含有玄武岩で、わずかに発泡している。660、669.5 m の両標本は硬質ち密でおの両輝石安山岩および両輝石デイサイトである。

4. 全岩化学組成分析

凝灰角礫岩中の礫がどこに由来するものなのかを明らかにするため、全岩化学組成分析を実施した。全岩化学分析には神奈川県立生命の星・地球博物館の蛍光エックス線分析装置、島津製作所製 XRF-1500 を用いた。分析の方法及び試料調整は小出ほか(2000)、萬年ほか(2001)によった。その結果を表 1 に示す。深度ごとに産する岩石が異なることは表からも明らかである。とくに特徴的なのは、496 m 以深ではほとんどが玄武岩または玄武岩質

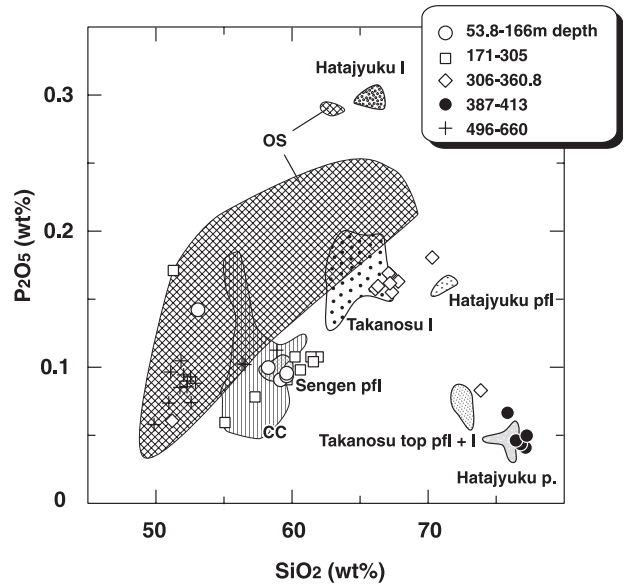


図 2 Si-P ハーカー図上の箱根火山の火山岩の組成分布(内藤・高橋、1999 を改変)と温泉村 131 号井に含まれる火山岩。OS、古期外輪山；YS、新期外輪山；CC、中央火口丘。

Fig. 2 Si-P harker diagram for volcanic rocks of Hakone volcano (After Naito and Takahashi, 1999) and O-131 (this study; see table 1). OS, old somma; YS, younger somma; CC, central cones.

安山岩の組成を有すること、それより上位かつ中央火口丘下位(深度 413 ~ 171 m)の分析ではほとんどが安山岩ないしデイサイトの組成を示すことである。

箱根火山の地表の溶岩と対比するために、Si-P のハーカーダイアグラム図上で示す(図 2)。Si-P のハーカーダイアグラムは特に新期外輪山溶岩を分類する際に効果的である(内藤、高橋、1999)。

深度 496 m 以深のサンプルのほとんどは古期外輪山溶岩の範囲内にプロットされる。それ以浅の凝灰角礫岩中の角礫も深度ごとに組成が異なる。類似した新期外輪山の岩体名と対照すると、多少のばらつきはあるものの、171-305 m の角礫は多くは浅間山火砕流、306-360.8 m は鷹巣山溶岩、387-413 m の角礫は畑宿軽石の組成に近い。特に、深度 393 m から 400 m で見いだされた黒曜石の化学組成は、畑宿で採取された黒曜石の化学組成とほぼ一致していることを指摘しておきたい(表 1)。今後、鏡下の特徴を詳細に検討する必要があるが、斑晶組み合わせや斑晶量は内藤、高橋(1999)の記載と矛盾しない。

表1 温泉村 131 号井ボーリングコア試料中の火山岩の全岩主成分化学組成

Table 1 Chemical compositions of bore hole samples of O-131.

depth (m)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	sample code	analysis code
Samples of Onsen-mura No.131 well												
53.8	59.18	0.82	16.84	7.66	0.15	4.08	7.83	2.83	0.51	0.09	69101-053.8	001101-49
61.8	59.57	0.84	16.49	7.78	0.16	4.04	7.62	2.85	0.56	0.09	69101-061.8	001101-50
115	59.58	0.85	16.76	7.65	0.15	3.86	7.58	2.81	0.65	0.10	69101-115	001101-51
154	58.24	0.84	17.10	7.72	0.15	4.08	8.41	2.80	0.55	0.10	69101-154	010801-031
166	59.5	0.82	16.15	7.72	0.16	3.94	7.98	2.89	0.74	0.09	69101-166	010801-032
171	51.35	1.18	20.08	10.80	0.21	5.85	8.30	1.72	0.35	0.17	69101-171	001101-52
185	59.47	0.85	16.38	8.28	0.17	3.52	7.72	2.98	0.54	0.09	69101-185	001101-53
240	55.07	0.88	18.76	8.86	0.16	4.40	9.35	2.08	0.37	0.06	69101-240L	010801-041
257*	57.27	0.88	16.54	9.06	0.19	4.62	8.60	2.20	0.57	0.08	69101-257B	001101-69
257**	61.51	0.80	16.61	6.95	0.15	3.16	7.07	2.76	0.90	0.10	69101-257S	001101-70
261	61.89	0.82	16.84	6.52	0.16	2.59	7.33	3.24	0.50	0.11	69101-261	001101-54
304*	60.65	0.81	16.64	7.49	0.15	3.28	7.49	2.81	0.58	0.10	69101-304B	001101-71
304**	61.47	0.84	16.08	7.25	0.16	3.21	7.14	3.01	0.74	0.11	69101-304S	001101-72
305	60.23	0.83	16.07	7.58	0.17	3.38	7.70	3.26	0.69	0.11	69101-305b	010801-034
306	66.12	0.84	15.47	5.42	0.14	1.44	5.40	4.18	0.83	0.16	69101-306L	010801-035
308.5	67.3	0.83	15.60	4.95	0.11	1.31	4.80	4.12	0.82	0.16	69101-308.5	010801-036
318	70.21	0.78	15.63	3.15	0.06	0.43	3.80	4.81	0.94	0.18	69101-318	001101-55
322	53.06	0.91	17.75	8.98	0.21	5.00	10.69	2.66	0.60	0.14	69101-322L	010801-037
323.6	73.75	0.53	13.57	2.97	0.05	0.37	2.86	4.62	1.20	0.08	69101-323.6L	010801-038
342	51.27	0.78	18.04	9.71	0.20	5.93	11.80	1.91	0.29	0.06	69101-342L	010801-039
344.6	67.06	0.81	15.29	4.90	0.15	1.39	4.92	4.37	0.95	0.17	69101-344.6	010801-040
344.6	67.81	0.78	15.38	4.66	0.15	1.39	4.56	4.19	0.92	0.16	69101-344.6	001101-56
346	67.2	0.80	15.21	4.81	0.16	1.40	4.86	4.45	0.95	0.17	69101-346	010801-042
360.8	66.31	0.89	15.11	5.84	0.23	1.65	5.05	3.93	0.82	0.16	69101-360.8	001101-57
360	67.12	0.89	15.03	5.51	0.15	1.45	4.82	4.01	0.85	0.16	69101-360L	010801-043
387	75.82	0.39	13.57	2.83	0.11	0.58	2.04	3.17	1.42	0.07	69101-387L	010801-044
391	77.23	0.33	13.61	2.07	0.09	0.45	1.75	3.06	1.36	0.05	69101-391L	010801-045
393-40	76.79	0.33	12.73	1.92	0.07	0.27	1.88	4.64	1.32	0.04	69101-393-400	001101-73
393-40	76.8	0.31	12.65	2.06	0.08	0.30	1.83	4.61	1.32	0.04	69101-393-400-2	001101-74
413	76.49	0.34	12.73	2.17	0.10	0.25	1.92	4.60	1.36	0.05	69101-413	001101-67
496	52.9	0.95	20.01	9.22	0.17	3.24	10.70	2.47	0.26	0.09	69101-496	001101-65
509	52.54	0.95	19.77	9.42	0.17	3.54	10.67	2.57	0.27	0.09	69101-509	001101-66
559.8	52.22	0.77	20.18	8.12	0.14	4.65	11.11	2.36	0.35	0.09	69101-559.8	001101-58
575	50.98	0.81	20.12	9.17	0.18	4.28	11.73	2.41	0.24	0.07	69101-575	010801-046
580.1	51.78	0.75	20.17	8.22	0.17	4.54	11.70	2.37	0.22	0.09	69101-580.1	001101-59
583.8	51.15	0.80	20.13	8.20	0.19	4.24	12.38	2.51	0.31	0.10	69101-583.8	010801-047
585	58.92	0.79	16.65	7.65	0.14	3.59	8.43	3.10	0.63	0.11	69101-585	010801-048
599	52.08	0.89	20.54	8.53	0.18	3.41	11.51	2.53	0.24	0.09	69101-599	001101-60
601	52.68	0.79	20.07	8.08	0.15	4.57	10.97	2.33	0.27	0.07	69101-601	001101-61
604	52.33	0.74	18.95	8.18	0.16	5.44	11.10	2.67	0.35	0.09	69101-604	010801-049
650	51.93	0.90	19.47	8.93	0.23	3.80	11.86	2.53	0.25	0.11	69101-650	001101-62
655	49.9	0.66	22.07	8.05	0.17	3.50	13.66	1.77	0.16	0.06	69101-655	001101-63
660	56.55	1.12	16.73	10.29	0.20	3.42	8.32	2.86	0.40	0.10	69101-660	001101-64
Obsidian of Hatajyuku												
***	76.96	0.36	13.03	2.10	0.05	0.15	1.73	4.30	1.29	0.04	00004	001101-13
***	76.94	0.36	13.13	2.11	0.05	0.16	1.68	4.24	1.30	0.04	00004b	001101-14
***	76.68	0.35	12.95	2.24	0.09	0.30	1.78	4.28	1.29	0.03	00004c	001101-15

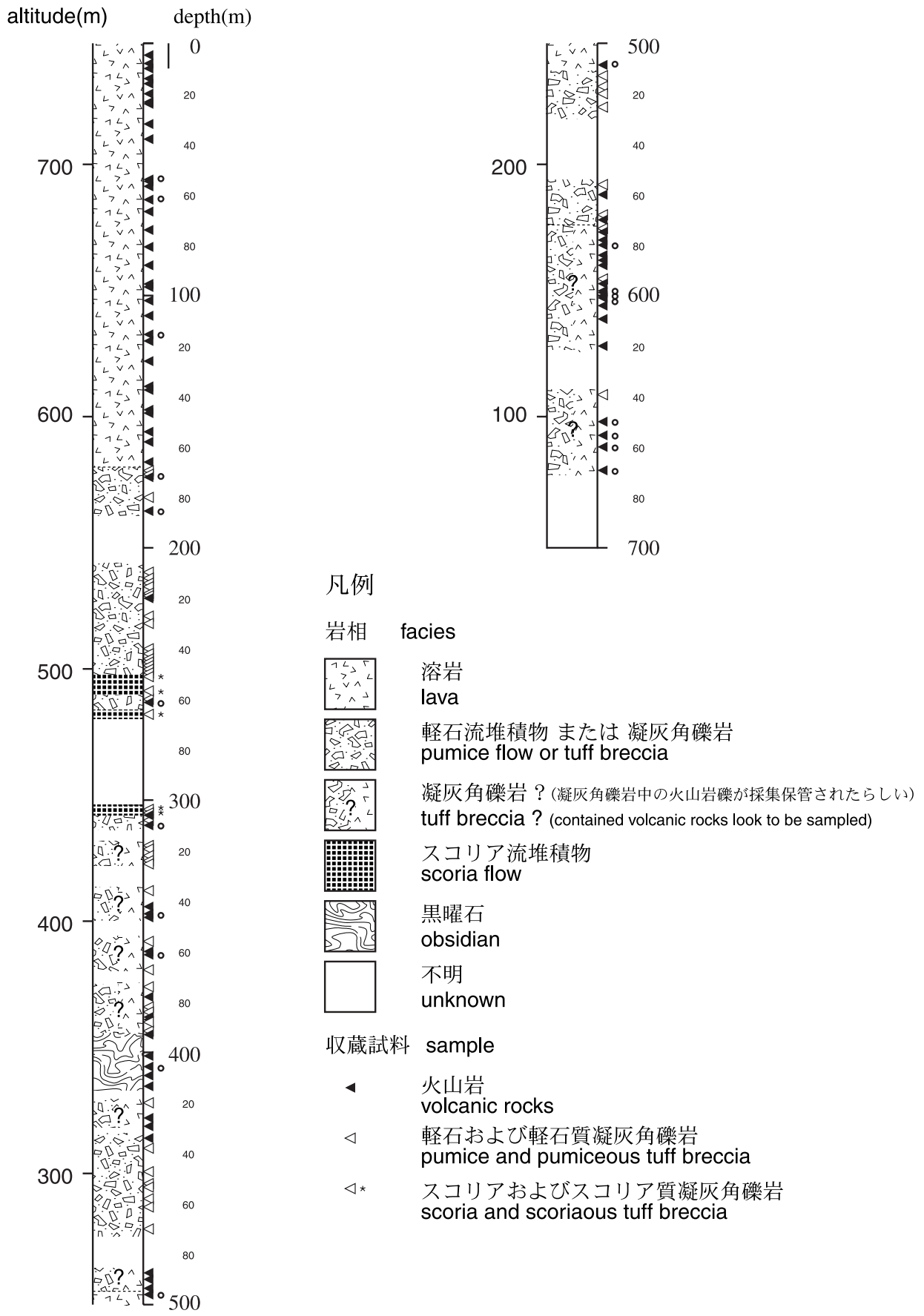


図3 温泉村 131号井の地質柱状図

Fig. 3 Column section of O-131.

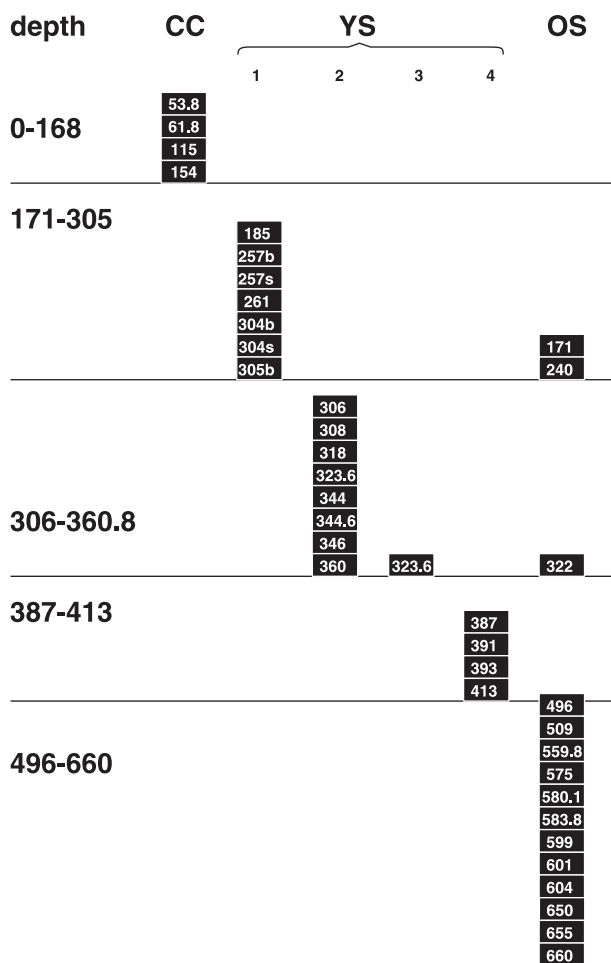


図4 温泉村131号井の火山岩の深度区間別頻度分布。CC、YS、OSは化学組成から推定される起源となった岩体。YSのうち、1は浅間山溶岩、2は鷹巣山溶岩、3は鷹巣山山頂溶岩、4は畑宿軽石を示す。

Fig. 4 Frequency diagram of rock origin of O-131. Figures in upper left are depth interval. YS is subdivided into 4 lavas; 1, Sengen-yama lava; 2, Takanosu-yama lava; 3, Takanosu-yama summit lava; 4, Hatajyuku pumice.

5. 考察

5.1. 131号井戸の地質について

131号井戸の地質は大きくわけて上位の中央火口丘溶岩類と下位の凝灰角礫岩に分類できる(図3)。上位の中央火口丘溶岩類は地表の標高748mから標高580m付近までの厚さ170m程度で複数の溶岩流からなる可能性が高い。下位の凝灰角礫岩は標高580m付近からもっとも深い採取深度であった標高79mまで続き、下限は不明である。

5.2. 中央火口丘溶岩

この地域の地質は小林(1999)によると先神山とよばれる小型の成層火山にあたる。先神山は箱根東京軽石及びその火砕流の噴出後に形成され、中央火口丘テフラとよばれる一連の降下軽石の給源となったとされる。この地域が先神山の山体の一部と判定された理由は、この地域で溶岩流に覆われる、やや解析の進んだ古い地形面が確認できるからであるが、その地質は十分に明らかにされて来なかった。131号井の試料も縮分されたコア試料であるため、地質の解析には十分に無いが、今後岩石学的な研究を行うことによって先神山の性質が明らかになる可能性がある。

5.3. 凝灰角礫岩とその成因

標高580m付近から下の凝灰角礫岩は、新期外輪山の溶岩が含まれることや岩相、孔井の位置から考えて、新期外輪山形成期以降、おそらく新期カルデラ形成期の堆積物で、カルデラ形成に関係する堆積物であると考えられる。そこで、凝灰角礫岩の堆積様式を明らかにするため凝灰角礫岩中の角礫が深度方向にどのような分布の特徴があるのかを検討した。

今回測定したすべての溶岩および角礫を、化学組成から中央火口丘、新期外輪山の浅間山溶岩・鷹巣山溶岩・鷹巣山山頂溶岩・畑宿軽石、古期外輪山の6つに分類し、その深さ区間ごとの度数分布を図4に示す。この結果、たとえば古期外輪山は凝灰角礫岩の中(深度171m以深)ではすべての区間で認められるが496m以深ではほとんどをしめるなど、ある種類の岩石は多少深さ方向に分布の広がりがあるものの、ある特定の深度区間で圧倒的な比率をしめることがわかった。

新期外輪山溶岩や中央火口丘溶岩がボーリング中で発見される標高と露頭の標高を図5で比べた。これによれば、ボーリング中では新期外輪山溶岩が露頭に比べて概ね数十から数百メートル低い位置で発見されることがわかる。このことは、この凝灰角礫岩がカルデラ中への地すべりやカルデラ噴火に伴うフォールバックなどで、もともとあった位置より低いところに定置されたことが推定される。

凝灰角礫岩は、一定の深度区間がすべて同種の角礫でしめられているわけではなく、ある程度異なる種類の角礫が混じる。こうした特徴は凝灰角礫岩がフォールバック

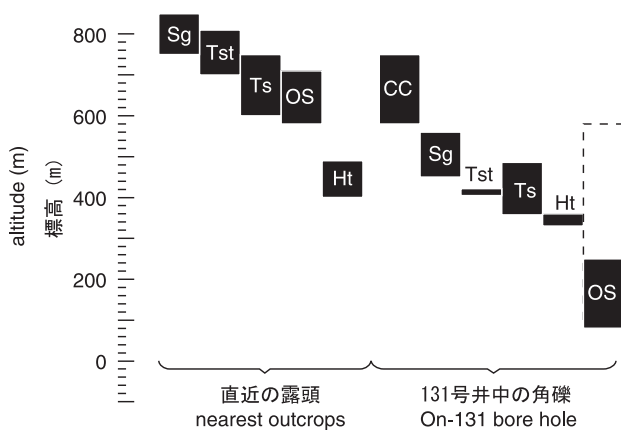


図5 温泉村131号井中の火山岩の起源別標高分布と、起源とされた溶岩の直近露頭における標高分布の比較。Sg、浅間山溶岩；Tst、鷹巣山山頂溶岩；Ts、鷹巣山溶岩；Ht、畑宿溶岩。

Fig. 5 Altitude distribution of lavas in nearest outcrops and O-131. Sg, Sengen-yama lava; Tst, Takanosu-yama summit lava; Ts, Takanosu-yama lava; Ht, Hatajyuku lava.

ク堆積物のような上空に吹き上げられてよく混合されたものと、地すべり地塊のように上下関係を完全に維持したものの中間的なものであるように見える。

じょうご型カルデラである濁川カルデラの充填堆積物の解析(安藤、1983)と比較すると、凝灰角礫岩中の礫が本来の位置よりも低いところに存在することや、深さによって礫種の比率が変化する点は似ているといえる。しかし、本井戸の凝灰角礫岩はある深度区間が特定の礫種でほとんど占められてしまい、礫種の多様性が濁川カルデラに比べて小さいようである。

噴火の際に出来た堆積物であるとするれば、本質物質が凝灰角礫岩中に含まれるはずであるが、今回発見された凝灰角礫岩では本質物質のように見える軽石ももともと山体中に含まれていたものである可能性が高い(たとえば、深さ240m、387mの新鮮な軽石はおのおの古期外輪山溶岩と新期外輪山畑宿軽石に分類された)。今後は凝灰角礫岩のマトリックス部分についても本質物質の有無を詳しく検討する予定である。

6. まとめ

新期カルデラ東側縁辺部にあたる箱根町小涌谷字笛塚所在の温泉村131号井について、地質の解析と岩石試料の主成分全岩化学組成分析を実施した。本温泉井は深度

166-169m(標高582-579m)付近から上位が中央火口丘溶岩、下位が新期カルデラ形成期の凝灰角礫岩と考えられる。下位の凝灰角礫岩中の角礫は化学組成から新期外輪山溶岩および古期外輪山溶岩が起源と考えられる。角礫の組成および井戸の位置から見て凝灰角礫岩は、新期外輪山形成期以降、おそらく新期カルデラ形成期のカルデラ形成に伴う堆積物であると推定される。凝灰角礫岩中の角礫は特定の深度区間が特定の溶岩を起源とする角礫で大部分が占められる傾向があり、この点で地すべり的な堆積プロセスを考える必要がある。一方で、一般的にはもっとも基底部にあたる古期外輪山溶岩を起源とする角礫が全区間に見いだされることから、下方から上方への何らかの流れを考える必要がある。カルデラ形成期の噴火にともなう堆積物だとすると、本質物質が含まれる必要があるが、分析した軽石の中からは本質物質は見あたらず、今後はマトリックス部分の検討をする必要がある。

謝辞

本井戸の施主である、大島工業株式会社には貴重な資料を提供して頂いた。また、同社箱根小涌谷温泉分譲地事業長の赤池好仁氏には掘削当時の話を伺った。検鏡に用いた薄片は松沢親悟技能技師、守矢正則技能技師(退職)が作成した。神奈川県立生命の星・地球博物館の山下浩之技師には蛍光エックス線分析装置の使用を許可して頂いた上、分析を手伝って頂いた。分析の試料調整は永井匡さんと中村裕子さんをお願いした。本研究を進めるにあたって神奈川県科学技術振興課の平成13年度重点基礎研究(戦略型)「箱根カルデラの形成史の解明」および東京大学地震研究所特定共同研究B「高噴火ポテンシャル火山における噴火の規模・様式に関する研究」からの研究費を使用した。以上の方々ならびに関係当局に対し感謝の意を表す。

参考文献

- 安藤重幸(1983)ボーリング結果から見た濁川カルデラの構造, 月刊地球, 5, 116-121.
- 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．

萬年一剛、板寺一洋、松坂進、大山正雄（2001）箱根町・芦之湯 9 号井の地質と温泉帯水層，温地研報告，32，17-24．

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・研究集会報告書「噴出物にもとづく火山成長史・噴火の推移の解読および長期噴火予測」(課題番号 1999-W-09)，47-56．