

元箱根 36 号温泉井のボーリング地質と温泉

萬年一剛*、杉山茂夫*2

Geology of Drilling Cores and Hot Springs of Motohakone-36

by

Kazutaka MANNEN* and Sigeo SUGIYAMA*2

Abstract

A geological description, micro fossil analysis, K-Ar dating and bulk rock analysis were performed on the drilling cores of the Motohakone 36 hot spring well, located on the northern end of the central cones of Hakone volcano. The geology of the well was revealed to be as follows in descending order; avalanche debris from Kamiyama or Kamurigatake (806-764 m alt.), andesite of central cone (746-560m alt.), sandy mud (560-546m alt.), andesite of central cone (546-189m alt.), lacustrine (189-90m alt.) and tuff breccia (90-64m alt.). A pollen analysis conducted on the lacustrine indicate that the vegetation at that time was mainly occupied by arboreal of subpolar to cool-temperate along with some non-arboreal. Diatom analysis was performed on the lacustrine and revealed that the sedimentary environment changed from closed waters to unstable flow condition. The thick pile of andesite (546-189m alt.), that should be a lava flow, was dated as 0.07 ± 0.01 Ma. This age was older than the onset of the central cone stage proposed in previous studies (Hirata, 1997; Machida and Suzuki, 1917; Togashi and Matsumoto, 1988; Nakamura et al., 1992). Temperature logging shows that the main aquifer of the hot springs is in the lacustrine. The high hydrogen-carbonate ion content that characterize the hot springs of the area is probably derived from organic materials contained in the layer.

1. はじめに

箱根町旧札場（湖尻）付近では、数百メートル以上の深井戸から温泉を汲み上げている。これまでの研究によれば、本地域の温泉は中央火口丘を取り巻くようにして分布する重炭酸塩硫酸塩泉（第 1 帯）に属し、中央火口丘の基底部付近に形成されている深層地下水と考えられているが（平野1994）、炭酸水素イオンが多いという特異な性質がある。この温泉帯水層の地質を明らかにすることは、この地域の温泉の成因と流動プロセスを解明し、温泉の保護および適切な利用を図るうえで重要であると考えられる。本報告では平成2年に住宅信販株式会社によって掘削された温泉井戸、元箱根36号井（以下本井戸とよぶ）から回収された地質試料の記載及び解析の結果を報告する。

2. 井戸の位置およびサンプリング

本井戸は中央火口丘の北西部、神山と台ヶ岳の鞍部付近を扇頂とし西側に広がった扇状地状地形の南端近くに位置する温泉井で、孔口標高は806m、掘削深度は742m、坑底の標高は64mである（図1）。本井戸の地質柱状図を図2に示す。深度400m以深からオールコアによる試料採取が行われたため、詳しい

地質が明らかになった。回収率はほぼ100%であった。深度400m以浅の地質については掘削業者がスライムなどの観察を基に作成した地質柱状図を参考にした。

3. 肉眼・鏡下でのコア試料の記載

以下、各深度ごとにコア試料の肉眼および鏡下での観察結果を記載する。

深度400~617m（標高406~189m）：灰白色、緻密・硬質で、斜長石および輝石の斑晶が目立つ安山岩である。鏡下の観察では斑晶量は全体で30%を超える。斜長石は直径1.5mm以下のものが多く、20%以上含まれる。斜方輝石、単斜輝石ともに直径1mm以下のものが多く、各々5~10%程度含まれる。このほかに直径0.5mm以下の不透明鉱物を5~3%含む。斑晶鉱物と同種の鉱物からなる集斑晶を多く含む。斑晶鉱物はその多くがわずかに融食形を示す。石基はintergranularから結晶度の高いintersertalである（写真1a）。深度600.95mでK-Ar法による年代測定を実施した結果 0.07 ± 0.01 Ma^{注1}が得られた（神奈川県1993、袴田・ほか 準備中）。深度615m以深で、石基は隠微晶質の基質中に0.05mmほどの斜長石および輝石の結晶が散在するhyalo-ophitic組織を示すようになるが、手

* 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

注1 Maは「百万年前」の略号。

*2 神奈川県湘南地区行政センター 〒254-0073 神奈川県平塚市西八幡1-3-1

論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第31巻, 第2号, 77-90, 2000.

標本では上位のものと区別がつかない(写真1b)。

深度617~656m(標高189~150m):有機物を含む凝灰質砂岩および5cm以下の角礫をふくむ凝灰質礫岩である。含まれる小礫のひとつはpilotaxitic構造を示し、斑晶として斜長石、不透明鉱物、イディングサイト化したかんらん石を含むが、輝石を含まない(写真1c)。一般的な中央火口丘溶岩より斑晶量が少ないように思われる。マトリックスは破碎された斜長石を主としその間を粘土が充填する(写真1d)。

深度656~664m(標高150~142m):白色の数mm以下の軽石および岩片から成る弱く固結した軽石質砂岩である。

深度664~716m(標高142~90m):褐色で暗褐色のラミナを含む弱く固結した砂岩で有機物を含む。湖成堆積物と考えられる。いくつかの層準で花粉、珪藻の分析を行った。結果は後述する。

深度716~坑底(標高90~64m):数cmから十数cmに及ぶ安山岩質角礫を含む凝灰角礫岩である。おおむね固結している。マトリックスは破碎された斜長石、輝石

とそれらを充填する変質鉱物から成る。変質のため詳細は不明であるがわずかに残った組織が多孔質であることから、これらの充填物は軽石である可能性がある。

4. 全岩化学組成分析

採取された岩石のうち深度617m以浅の溶岩について、蛍光X線分析装置(XRF)による主成分全岩化学組成分析を行った。分析の方法は萬年(1999)、Koide *et al.*(投稿中)に拠った。結果を表1、また都城ダイアグラム上にプロットしたものを図3に示す。採集された深度617m以浅の溶岩の組成はカルクアルカリ系列に属し、中央火口丘の組成の範囲内にあることから、中央火口丘溶岩であることが確認できた。本井戸の溶岩の組成はバリエーションが認められず、相互に似通っている。

5. 微化石分析

中央火口丘溶岩類下位の湖成堆積物について、その堆積時期と古環境を明らかにするために花粉分析および珪藻分析を行った。これらの微化石分析はパリーノ・サーヴェイ

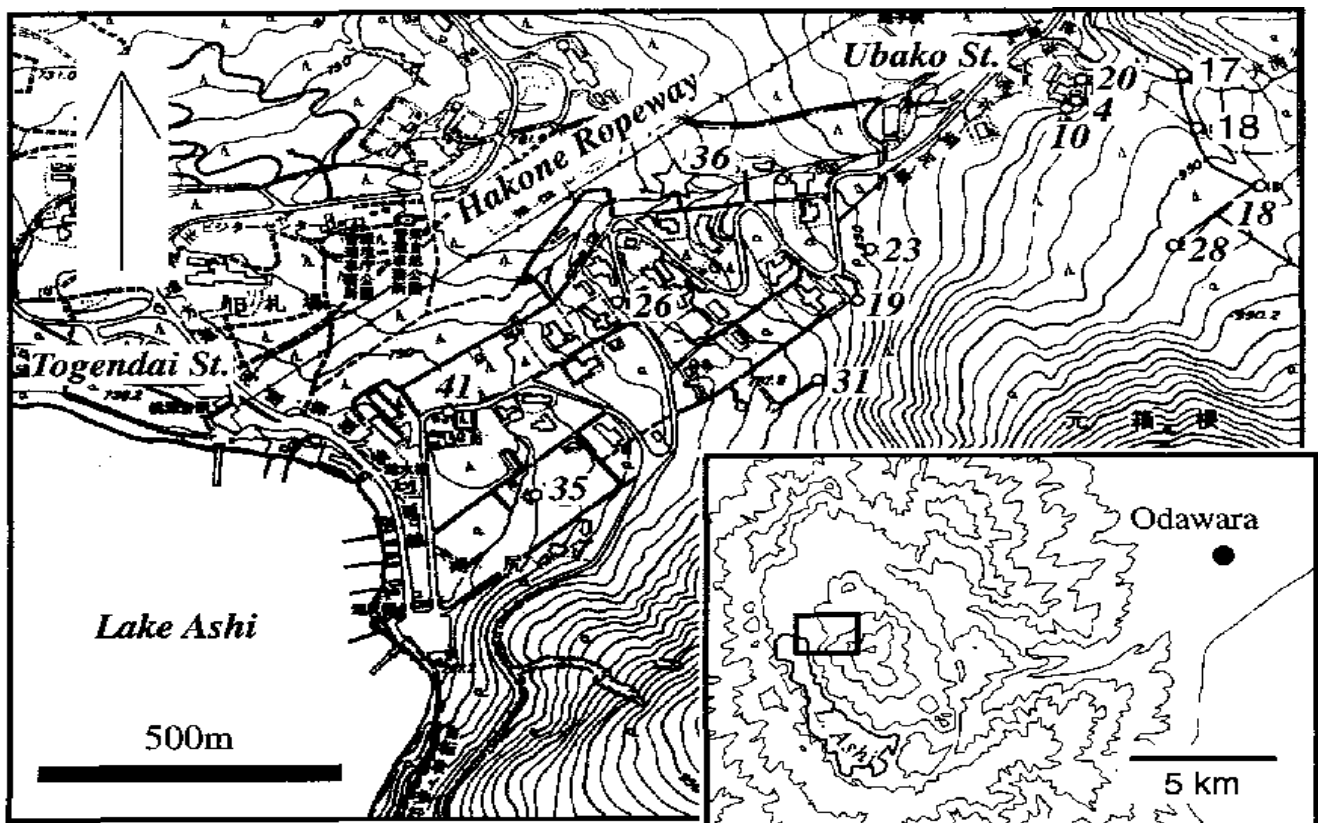


図1 元箱根36号井の位置。白抜き円は温泉井をあらわす。数字は温泉台帳上の番号。イタリックは元箱根台帳、プレーンは仙石原台帳を示す。

Fig.1 Index map of Motohakone-36. Open circles are hot spring wells. Figures in italics show serial numbers from the Motohakone hot springs catalogue. Normal figures are serial numbers from the Sengokubara hot springs catalogue.

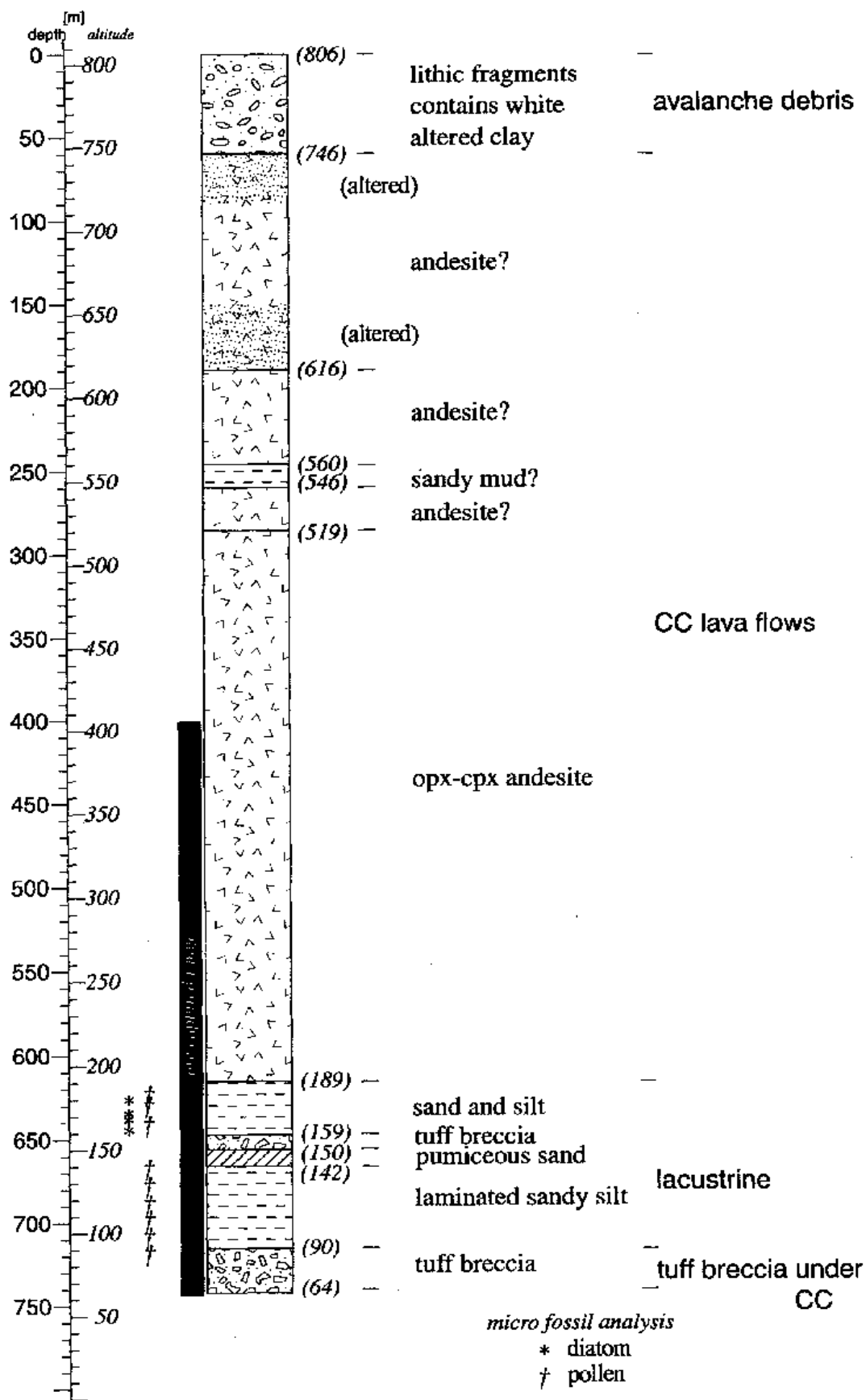


図2 元箱根 36 号井の地質柱状図。

Fig.2 Geological column of Motohakone-36

株式会社に依頼した。本章では、その報告に基づいて分析手法ならびに分析結果を記述する。

5.1. 花粉分析

5.1.1. 分析試料と前処理

中央火口丘溶岩類下位の湖成堆積物の深度 621、627、639.6、665、675、685、695、705、715m の 9 試料について花粉分析を行った。各々の深度のコア試料 10~20g を塩酸処理により炭酸塩鉱物の除去を行った後、フッ化水素酸処理によって珪酸質の溶解と試料の泥化を行った。これを重液で鉱物質と有機物を分離し、濃縮した有機物を水洗し検鏡用の試料とした。処理後の残渣はよく攪拌しマイクロピペットで適量を取りグリセリンで封入、検鏡した。検鏡はプレパラート全面を走査し、その間に出現したすべての種類 (Taxa) について同定・計数することを原則とした。

5.1.2. 結果

深度 639.6m の試料からは比較的良好に花粉化石が産出した。深度 627、665、675、685、695m の各試料からの花粉化石の産出は少なかったが、同定・計数には十分な個体数が得られた。深度 621m の試料からは花粉化石の産出が非常に少なく、また深度 705 および 715m の試料からは花粉化石が産しなかった。結果を表 2 に示す。産出した花粉化石のうち代表的なものについて顕微鏡写真を写真 2 に示す。

深度 627~695m の 7 試料の花粉化石群集は、木本花粉の割合が 70% 以上であること、針葉樹の *Picea* (トウヒ属)、*Pinus* (マツ属)、*Abies* (モミ属)、*Tsuga* (ツガ属) を主体とし、落葉広葉樹の *Alnus* (ハンノキ属)、*Lepidobalanus* (コナラ亜族)、*Carpinus-Ostrya*^{注2} (カバノキ科またはエゴノキ科) 等を含むこと、落葉針葉樹の *Larix* (カラマツ属) を低率で産出すること、草本花粉とシダ胞

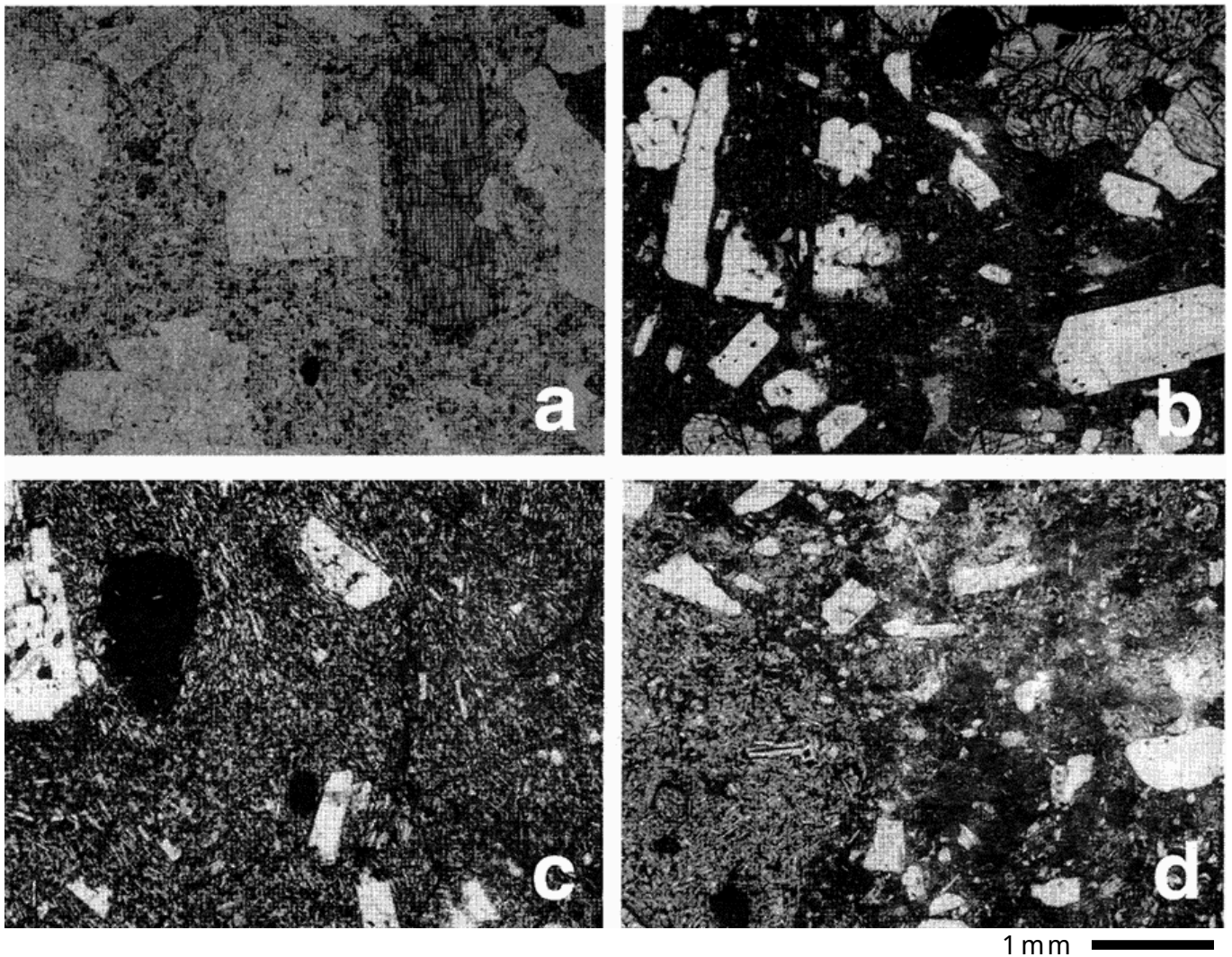


写真 1 元箱根 36 号井の岩石の薄片写真。a) 深度 401.2m の安山岩、b) 深度 615.5m の安山岩、c) 深度 617m の凝灰角礫岩中の礫、d) 深度 617m の凝灰角礫岩のマトリックス部。

Photo 1 Microphotographs of thin sections of Motohakone-36 rocks. a) andesite of 401.2m depth, b) andesite of 615.5 depth, c) lithic fragment in tuff breccia of 617m depth, d) matrix of tuff breccia, 617m 37.5depth.

注2 複数の種名をハイフンで結んだものはその間の区別が明確でないものである。

表1 元箱根 36 号井の安山岩の全岩化学組成。

Table 1 XRF analyses of lavas of andesite of Motohakone-36.

depth(m)	401.2	427.2	463.4	487.1	516.4	558.9	595	616
SiO ₂	58.29	61.12	60.64	58.87	59.24	57.82	59.06	60.56
TiO ₂	0.71	0.67	0.69	0.66	0.64	0.63	0.62	0.68
Al ₂ O ₃	16.67	17.83	17.76	17.24	17.68	17.98	18.24	17.22
Fe ₂ O ₃	8.23	7.52	7.63	7.42	7.14	7.37	6.82	7.27
MnO	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13
MgO	3.90	3.49	3.64	3.30	3.09	3.31	2.96	3.31
CaO	8.11	7.96	8.14	8.19	8.14	8.62	8.44	7.73
Na ₂ O	2.90	3.00	2.91	2.97	3.03	2.98	3.03	3.03
K ₂ O	0.56	0.58	0.57	0.62	0.58	0.53	0.56	0.60
P ₂ O ₅	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
total	99.63	102.42	102.22	99.50	99.78	99.46	99.96	100.64
FeO*/MgO	1.90	1.94	1.89	2.02	2.08	2.00	2.06	1.97

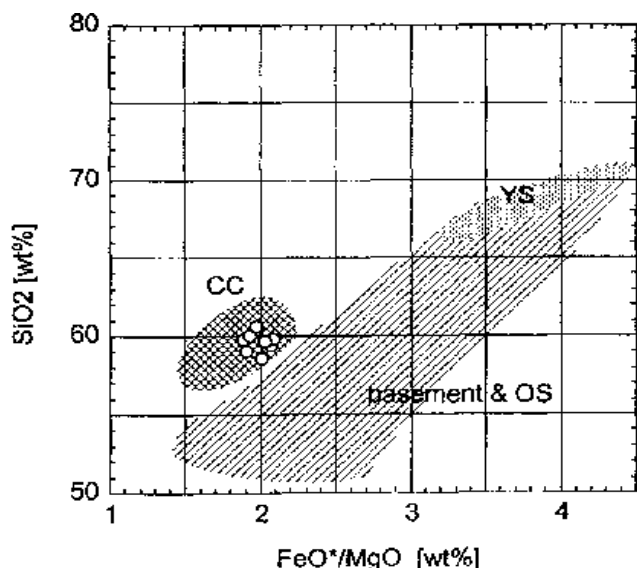


図3 元箱根 36 号井の全岩組成の都城ダイアグラム。CC、YS、OS&basement は各々中央火口丘、新期外輪山、古期外輪山溶岩と基盤の溶岩類の組成範囲を示す(万年未公表)。

Fig.3 Bulk rock chemistry of andesite lava in Motohakone-36 on Miyashiro diagram (open circle). Shaded fields enclose bulk rock compositions of each edifice; CC, central cone lavas; YS, young somma lavas; OS&basement, old somma lavas and basement lavas (based on unpublished data).

子の割合が少ないことなど、類似している。水棲植物は少なく、深度 627m のみから *Typha* (ガマ属) がわずかに産出した。

5.1.3. 古環境

深度 627 ~ 695m の 7 試料の花粉分析結果から本湖成堆積物堆積当時の周辺植生は主として *Picea*、*Pinus*、*Abies*、*Tsuga*、*Larix* などの冷温帯 ~ 亜寒帯針葉樹から成り、*Alnus*、

Lepidobalanus、*Carpinus-Ostrya* などの落葉広葉樹を交える森林植生であったと推定される。本井戸地上周辺の現存森林植生は植林によるものであるが、それらを除く本地域周辺植生は暖温帯から冷温帯性の落葉広葉樹林から成る。これらのことから、本湖成堆積物の堆積当時の古気候は現在よりも気温が低く、冷温帯 ~ 亜寒帯気候であったと推定される。なお、上位 3 層準、深度 627 ~ 665 の 3 試料では *Cryptomeria* (スギ属)、*Carpinus-Ostrya*、*Ulmus-Zelkova* (ニレ属またはケヤキ属)、*Fagus* (ブナ属) などの暖温帯 ~ 冷温帯の要素が増加傾向を、*Picea*、*Tsuga*、*Abies* などの冷温帯 ~ 亜寒帯性要素が減少傾向を示す。このことは、本湖成堆積物の上部で気候がやや温暖化したことを示しているのかも知れない。

5.1.4. 地質年代

本湖成堆積物の花粉化石群集に類似する花粉化石群集は伊東市一碧湖で 15000 年前、相模地域で 16000 ~ 13000 年前と 55000 ~ 50000 年前に見られる。これらのことから、本湖成堆積物の堆積年代は更新世後期の寒冷期 (16000 ~ 13000 年前または 55000 ~ 50000 年前) に対比できるかも知れない。

5.2. 珪藻分析

5.2.1. 分析試料と前処理

深度 621 から深度 715m の間の 11 試料について概査を行い、この中から 4 試料 (深度 627、633、639、645m) を本分析用に選択した。試料約 10g について過酸化水素水と塩酸により試料の泥化と有機物の分解・漂白を行った。その後珪酸殻の濃縮を行い、スライドガラスに張り付け検鏡用の試料とした。検鏡は油浸 600 倍または 1000 倍で行

表 2a 元箱根 36 号井の湖成堆積物中に含まれる花粉化石の分析結果。a) 計数結果、b) 含有量の百分率。

Table 2a Pollen analysis of the lacustrine in Motohakone-36. a) count, b) percentage.

Sample#	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depth(m)	621	627	640	665	675	685	695	705	715
Taxa									
Arboreal pollen									
<i>Abies</i>	-	5	18	20	11	31	23	-	-
<i>Tsuga</i>	-	11	16	36	24	21	18	-	-
<i>Picea</i>	1	33	56	63	49	126	50	-	-
<i>Larix</i>	-	3	8	18	8	8	7	-	-
<i>Pinus subgen. Haploxyton</i>	-	16	-	4	4	-	-	-	-
<i>Pinus</i>	1	66	42	85	74	48	34	-	-
<i>Sciadopitys</i>	-	1	2	-	-	3	-	-	-
<i>Cryptomeria</i>	-	7	9	2	-	-	-	-	-
<i>T.-C.</i>	-	5	3	2	3	-	-	-	-
<i>Taxodiaceae</i>	-	-	-	-	2	3	1	-	-
<i>Pterocarya</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>Juglans</i>	-	5	1	3	3	1	2	-	-
<i>Carpinus-Ostrya</i>	-	21	16	10	12	1	3	-	-
<i>Corylus</i>	-	6	-	3	1	-	1	-	-
<i>Betula</i>	-	8	9	12	7	5	7	-	-
<i>Alnus</i>	-	74	19	19	33	4	21	-	-
<i>Fagus</i>	-	24	2	8	1	1	4	-	-
<i>Quercus subgen. Lepidobalanus</i>	-	24	18	15	9	1	4	-	-
<i>Ulmus-Zelkova</i>	-	11	9	2	2	3	-	-	-
<i>Phellodendron</i>	-	2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tilia</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Elaeagnus</i>	-	1	4	-	1	-	-	-	-
<i>Araliaceae</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Ericaceae</i>	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>Ligustrum</i>	-	1	-	1	-	-	-	-	-
<i>Fraxinus</i>	-	6	4	1	1	-	1	-	-
Nonarboreal pollen									
<i>Typha</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gramineae</i>	-	28	9	10	2	-	-	-	-
<i>Cyperaceae</i>	-	21	8	5	2	1	-	-	-
<i>Umbelliferae</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scabiosa</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artemisia</i>	-	13	17	6	5	6	1	-	-
<i>Carduoideae</i>	-	5	1	5	2	1	-	-	-
<i>Cichorioideae</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Fern spores									
<i>Lycopodium</i>	-	1	2	3	2	1	2	-	-
<i>Dsmunda</i>	-	-	1	-	-	2	-	-	-
<i>other Pteridophyta</i>	-	32	35	17	36	21	15	-	-
TOTAL									
<i>Arboreal pollen</i>	2	331	239	304	247	256	176	-	-
<i>Nonarboreal pollen</i>	-	71	35	26	11	8	1	-	-
<i>Unknown pollen</i>	-	36	42	13	21	9	9	-	-
<i>Fern spores</i>	-	33	38	20	38	24	17	-	-
<i>Total Number of Pollen & Spores</i>	2	471	354	363	317	297	203	-	-

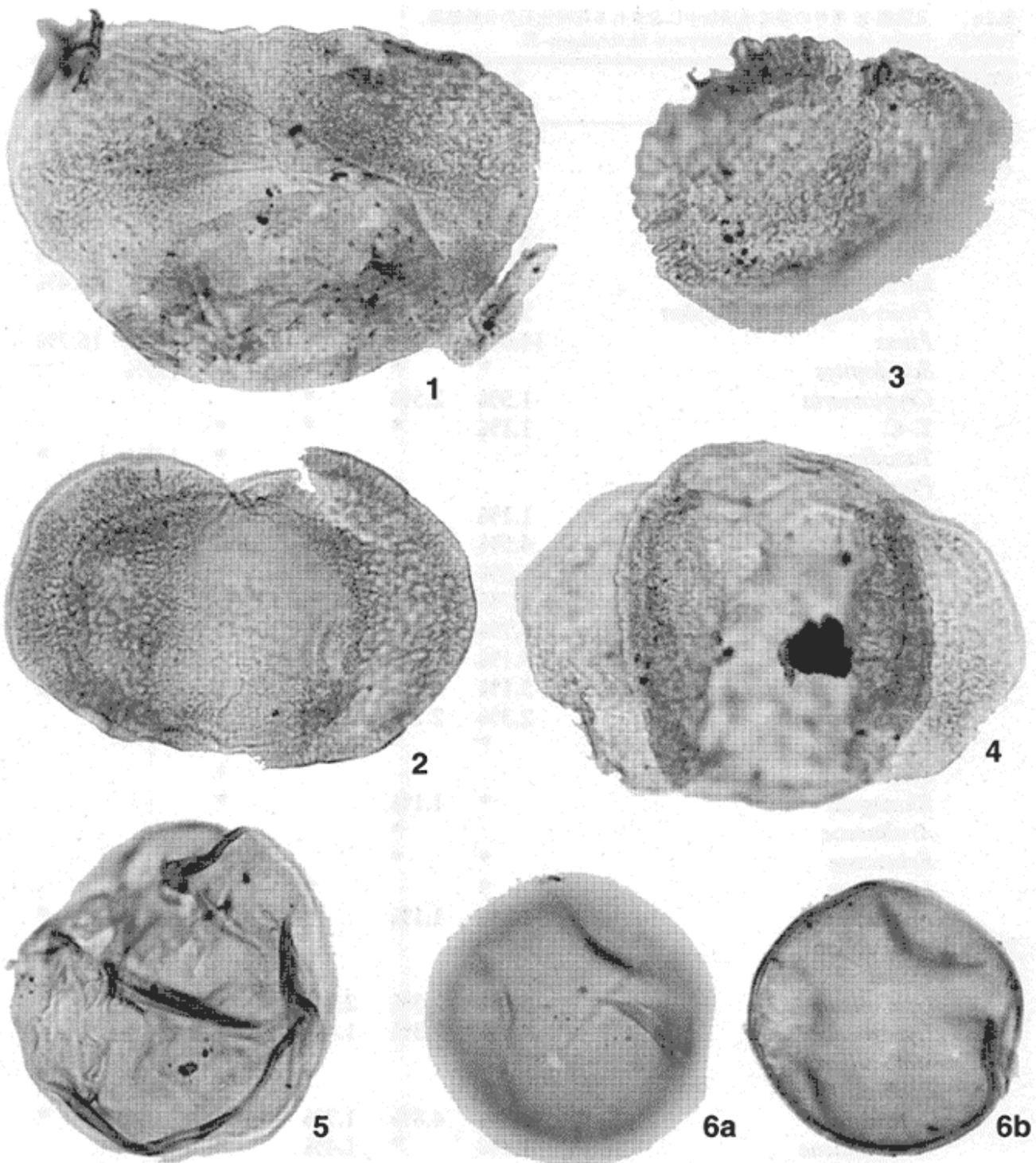
-; absent

表 2b 元箱根 36 号井の湖成堆積物中に含まれる花粉化石の分析結果。

Table 2b Pollen analysis of the lacustrine in Motohakone-36.

sample #	2	3	4	5	6	7
Depth	627	639.6	665	675	685	695
Taxa						
Arboreal pollen						
<i>Abies</i>	1.1%	5.1%	5.5%	3.5%	10.4%	11.3%
<i>Tsuga</i>	2.3%	4.5%	9.9%	7.6%	7.1%	8.9%
<i>Picea</i>	7.0%	15.8%	17.4%	15.5%	42.4%	24.6%
<i>Larix</i>	*	2.3%	5.0%	2.5%	2.7%	3.4%
<i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxyton</i>	3.4%		1.1%	1.3%		
<i>Pinus</i>	14.0%	11.9%	23.4%	23.3%	16.2%	16.7%
<i>Sciadopitys</i>	*	*			1.0%	
<i>Cryptomeria</i>	1.5%	2.5%	*			
<i>T.-C.</i>	1.1%	*	*	*		
<i>Taxodiaceae</i>				*	1.0%	*
<i>Pterocarya</i>		*		*		
<i>Juglans</i>	1.1%	*	*	*	*	*
<i>Carpinus-Ostrya</i>	4.5%	4.5%	2.8%	3.8%	*	1.5%
<i>Corylus</i>	1.3%		*	*		*
<i>Betula</i>	1.7%	2.5%	3.3%	2.2%	1.7%	3.4%
<i>Alnus</i>	15.7%	5.4%	5.2%	10.4%	1.3%	10.3%
<i>Fagus</i>	5.1%	*	2.2%	*	*	2.0%
<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	5.1%	5.1%	4.1%	2.8%	*	2.0%
<i>Ulmus-Zelkova</i>	2.3%	2.5%	*	*	1.0%	
<i>Phellodendron</i>	*					
<i>Tilia</i>				*		
<i>Elaeagnus</i>	*	1.1%		*		
<i>Araliaceae</i>		*				
<i>Ericaceae</i>	*	*				
<i>Ligustrum</i>	*		*			
<i>Fraxinus</i>	1.3%	1.1%	*	*		*
Nonarboreal pollen						
<i>Typha</i>	*					
<i>Gramineae</i>	5.9%	2.5%	2.8%	*		
<i>Cyperaceae</i>	4.5%	2.3%	1.4%	*	*	
<i>Umbelliferae</i>	*					
<i>Scabiosa</i>	*					
<i>Artemisia</i>	2.8%	4.8%	1.7%	1.6%	2.0%	*
<i>Carduoideae</i>	1.1%	*	1.4%	*	*	
<i>Cichorioideae</i>	*					
Fern spores						
<i>Lycopodium</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Dsmunda</i>		*			*	
other <i>Pteridophyta</i>	6.8%	9.9%	4.7%	11.4%	7.1%	7.4%
TOTAL						
<i>Arboreal pollen</i>	70.3%	67.5%	83.7%	77.9%	86.2%	86.7%
<i>Nonarboreal pollen</i>	15.1%	9.9%	7.2%	3.5%	2.7%	0.5%
<i>Unknown pollen</i>	7.6%	11.9%	3.6%	6.6%	3.0%	4.4%
<i>Fern spores</i>	7.0%	10.7%	5.5%	12.0%	8.1%	8.4%

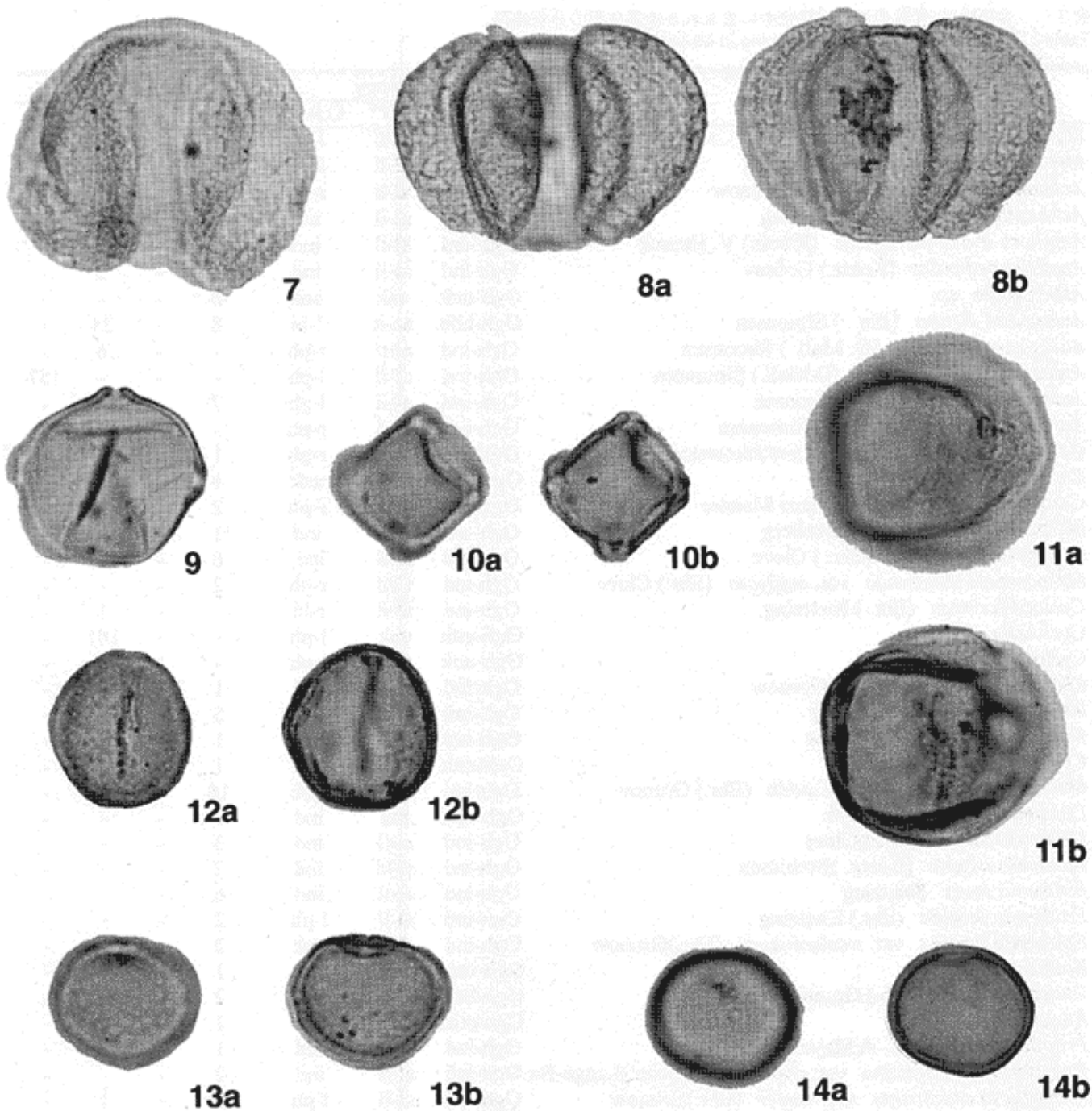
*; trace(<1%)



- 1 *Picea* [695]
- 2 *Picea* [685]
- 3 *Tsuga* [695]
- 4 *Abies* [685]
- 5 *Larix* [675]
- 6a, 6b *Larix* [627]

50um (1-6)

写真 2a 元箱根 36 号井の湖成堆積物中に産する花粉化石。[]内は深度を示す。
 Photo2a Fossil pollen in the lacustrine of Motohakone-36.[#]; depth in m.



7	<i>Pinus</i>	[685]
8a, 8b	<i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon</i>	[675]
9	<i>Carpinus</i>	[627]
10a, 10b	<i>Alnus</i>	[675]
11a, 11b	<i>Fagus</i>	[627]
12a, 12b	<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	[627]
13a, 13b	<i>Ulmus-Zelkova</i>	[627]
14a, 14b	<i>Graminae</i>	[627]

_____ (7,8)
 _____ (9-14)
 50um

写真 2b 元箱根 36 号井の湖成堆積物中に産する花粉化石。[]内は深度を示す。
 Photo2b Fossil pollen in the lacustrine of Motohakone-36.[#]; depth in m.

表3 元箱根36号井の湖成堆積物に含まれる珪藻化石の分析結果。

Table3 Diatom analysis of the lacustrine in Motohakone-36.

Species Name	Ecology			sample/count			
	H.R. *	pH ⁺	C.R. ***	1 [†]	2 [†]	3 [†]	4 [†]
## <i>Achnanthes clevei</i> Grunow	Ogh-ind	at-il	l-ph	1	-	-	-
## <i>Achnanthes japonica</i> H.Kobayasi	Ogh-ind	al-il	r-ph	4	-	-	-
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.) Grunow	Ogh-ind	al-il	r-ph	33	-	1	-
<i>Achnanthes minutissima</i> Kuetzing	Ogh-ind	al-il	ind	2	-	-	-
<i>Amphora ovalis</i> var. <i>affinis</i> (Kuetz.) V.Heurck	Ogh-ind	al-il	ind	-	-	1	-
<i>Anphora pediculus</i> (Kuetz.) Grunov	Ogh-ind	al-il	ind	1	-	3	-
<i>Asterionella</i> sp.	Ogh-unk	unk	unk	8	-	-	-
<i>Aulacosira distans</i> (Ehr.) Simonsen	Ogh-hob	ac-it	l-bi	8	-	24	-
<i>Aulacosira islandica</i> (O.Mull.) Simonsen	Ogh-ind	al-it	r-ph	-	-	6	-
<i>Aulacosira cf. islandica</i> (O.Mull.) Simonsen	Ogh-ind	al-il	l-ph	-	-	-	157
<i>Aulacosira italica</i> (Ehr.) Simonsen	Ogh-ind	al-il	l-ph	7	-	-	-
<i>Auiacosira aff. italica</i> (Ehr.) Simonsen	Ogh-ind	al-il	r-ph	-	-	-	2
<i>Caloneis bacillum</i> (Grun.) Mereschkowsky	Ogh-ind	al-il	r-ph	1	-	-	-
<i>Caloneis</i> sp.	Ogh-unk	unk	unk	1	-	-	-
<i>Ceratoneis arcus</i> var. <i>hattoriana</i> Meister	Ogh-ind	ind	r-ph	2	-	-	-
## <i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	Ogh-ind	al-il	ind	1	-	-	-
<i>Cocconeis placentula</i> (Ehr.) Cleve	Ogh-ind	al-il	ind	6	-	1	-
## <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehr.) Cleve	Ogh-ind	al-il	r-ph	2	-	-	-
<i>Cyclotella comta</i> (Ehr.) Kuetzing	Ogh-ind	al-il	r-bi	-	-	1	-
<i>Cyclotella</i> sp.A	Ogh-unk	unk	l-ph	-	-	161	-
<i>Cyclotella</i> spp.	Ogh-unk	unk	l-ph	-	-	8	-
## <i>Cymbella microcephala</i> Grunow	Ogh-ind	al-il	ind	1	-	-	-
## <i>Cymbella sinuata</i> Gregory	Ogh-ind	al-il	r-ph	5	-	-	-
## <i>Cymbella turgidula</i> Grunow	Ogh-ind	al-il	r-ph	1	-	-	-
<i>Cynbella</i> sp.	Ogh-unk	unk	unk	1	-	-	-
## <i>Diatoma hiemaie</i> var. <i>mesodon</i> (Ehr.) Grunov	Ogh-ind	ac-il	r-ph	10	-	-	-
<i>Diatoma cf. tenuis</i> Agardh	Ogh-unk	ind	ind	3	-	-	-
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve	Ogh-ind	al-il	ind	3	-	-	-
<i>Epithenia adnata</i> (Kuetz.) Brebisson	Ogh-ind	al-bi	ind	2	-	-	-
<i>Epithenia sorex</i> Kuetzing	Ogh-ind	al-il	ind	6	-	-	-
<i>Epithemia turgida</i> (Ehr.) Kuetzing	Ogh-ind	al-il	l-ph	2	-	-	-
<i>Epithemia turgida</i> var. <i>westermanni</i> (Ehr.) Grunow	Ogh-ind	al-il	unk	2	-	-	-
<i>Epithemia</i> sp.	Ogh-unk	unk	unk	1	-	1	-
<i>Eunotia exigua</i> (Breb.) Grunow	Ogh-hob	ac-bi	ind	2	-	-	-
<i>Eunotia</i> sp.	Ogh-unk	unk	unk	1	-	1	-
<i>Fragilaria bicapitata</i> A. Mayer	Ogh-ind	ind	ind	1	-	-	-
<i>Fragilaria cf. capucina</i> var. <i>capitellata</i> (Grun.)Lange-Be	Ogh-ind	al-il	ind	2	-	-	-
## <i>Fragilaria conatruens</i> var. <i>venter</i> (Ehr.) Grunow	Ogh-ind	al-il	l-ph	5	-	1	-
## <i>Fragilaria pinnata</i> Ehrenberg	Ogh-ind	al-il	l-ph	1	-	-	-
## <i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kuetz.) Petersen	Ogh-ind	al-il	ind	8	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.	Ogh-unk	unk	unk	-	-	1	-
<i>Frustul ia vularis</i> (Thwait.) De Toni	Ogh-ind	al-il	ind	2	-	-	-
<i>Gomphonema angustum</i> Agardh	Ogh-ind	al-il	ind	2	-	-	-
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kuetz.) Rabenhorst	Ogh-ind	al-il	ind i	1	-	-	-
<i>Gomphonema parvulum</i> Kuetzing	Ogh-ind	at-iL	ind	4	-	-	-
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	Ogh-ind	al-il	l-ph	3	-	-	-
<i>Gomphonema</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk	2	-	-	-
• <i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grunov	Ogh-ind	al-il	ind	1	-	-	-
<i>Melosira varians</i> Agardh	Ogh-hil	al-bi	r-ph	1	-	-	-
## <i>Meridion circularae</i> var. <i>constrictum</i> (Ralfs) V.Heurck	Ogh-ind	al-il	r-bi	1	-	-	-
• ## <i>Navicula contenta</i> Grunow	Ogh-ind	al-il	ind	3	-	-	-
<i>Navicula decussis</i> Oestrup	Ogh-ind	al-il	r-ph	2	-	-	-
<i>Navicula hasta</i> Pantocsek	Ogh-ind	al-il	l-ph	1	-	-	-
• <i>Navicua ignota</i> var. <i>palustris</i> (Hust.) Lund	Ogh-ind	ind	ind	-	-	1	-
<i>Navicula ninima</i> Grunow	Ogh-ind	al-il	ind	1	-	-	-

表3 元箱根 36 号井の湖成堆積物中に含まれる珪藻化石の分析結果 (つづき)
Table3 Diatom analysis of the lacustrine in Motohakone-36.

Species Name	Ecology			Sample/count			
	H.R.*	pH**	C.R.***	1†	2†	3†	4†
・ # <i>Navicula mutica</i> Kuetzing	Ogh-ind	ind	ind	4	-	-	-
<i>Navicula oppugnata</i> Hustedt	Ogh-ind	al-il	ind	1	-	-	-
<i>Navicula pseudoscutiformis</i> Hustedt	Ogh-ind	al-il	ind	-	-	1	-
# <i>Navicula pupula</i> Kuetzing	Ogh-ind	al-il	ind	3	-	-	-
<i>Navicula radiosa</i> Kuetzing	Ogh-ind	ind	ind	2	-	-	-
・ # <i>Navicula seminulum</i> Grunow	Ogh-ind	ind	ind	2	-	-	-
<i>Navicula tuscula</i> (Ehr.) Grunow	Ogh-ind	ai-il	ind	1	-	-	-
<i>Navicula viridula</i> var. <i>linearis</i> Hustedt	Ogh-ind	ai-il	r-ph	-	-	1	-
<i>Navicula</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk	3	-	-	-
<i>Neidium hercynicum</i> A. Mayer	Ogh-ind	ind	ind	1	-	-	-
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kuetz.) Grunow	Ogh-ind	al-il	ind	2	-	-	-
<i>Nitzschia</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk	5	-	-	-
・ <i>Pinnularia borealis</i> var. <i>rectangularis</i> Carlson	Ogh-ind	ind	ind	2	-	-	-
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitz.) Ehrenberg	Ogh-hob	ac-il	ind	1	-	-	-
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O.Mutler	Ogh-ind	al-il	ind	-	-	1	-
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr.) O.Muller	Ogh-hil	al-il	ind	2	-	-	-
<i>Rhopalodia quisurbergiana</i> Skvortzow	Ogh-hil	al-il	ind	1	-	-	-
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	Ogh-ind	ind	ind	1	-	-	-
<i>Stauroneis</i> sp.	Ogh-unk	unk	unk	1	-	-	-
<i>Surirella angusta</i> Kuetzing	Ogh-ind	al-il	r-bi	1	-	-	-
<i>Synedra ulna</i> (Kuetz.) Ehrenberg	Ogh-ind	al-il	ind	9	-	-	-
<i>Synedra</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk	3	-	-	-
<i>Stephnodiscus</i> cf. <i>minutulus</i> (Kuetz.) Round	Ogh-ind	al-il	l-ph	3	-	-	-
Total Number of Diatoms				206	0	214	159

いメカニカルステージを用いて任意に出現する珪藻化石が 200 個体以上になるまで同定・計数した。なお、珪酸殻が半分以上破損したものについては同定・計数を行っていない。

5.2.2. 結果

分析を行った試料のうち深度 633m のものからは珪藻が産出しなかった。残りの 3 試料からは堆積環境の推定に必要な量の珪藻が産出した。産したのはいずれも淡水性種で、27 属 53 種、11 変種、種不明 12 の計 76 分類群である。結果を表 3 に示す。産した化石の一部を写真 3 に示す。

深度 627m では、好流水性種・流水不安定性種、好アルカリ性種、貧塩～不定性種が高率に認められた。

深度 639m では、流水不明種及び好止水性種、好アルカリ性種、貧塩～不明種が高率に産出した。

深度 645m では、貧塩～不定性種、好アルカリ性種、好止水性種が他産する傾向にあった。

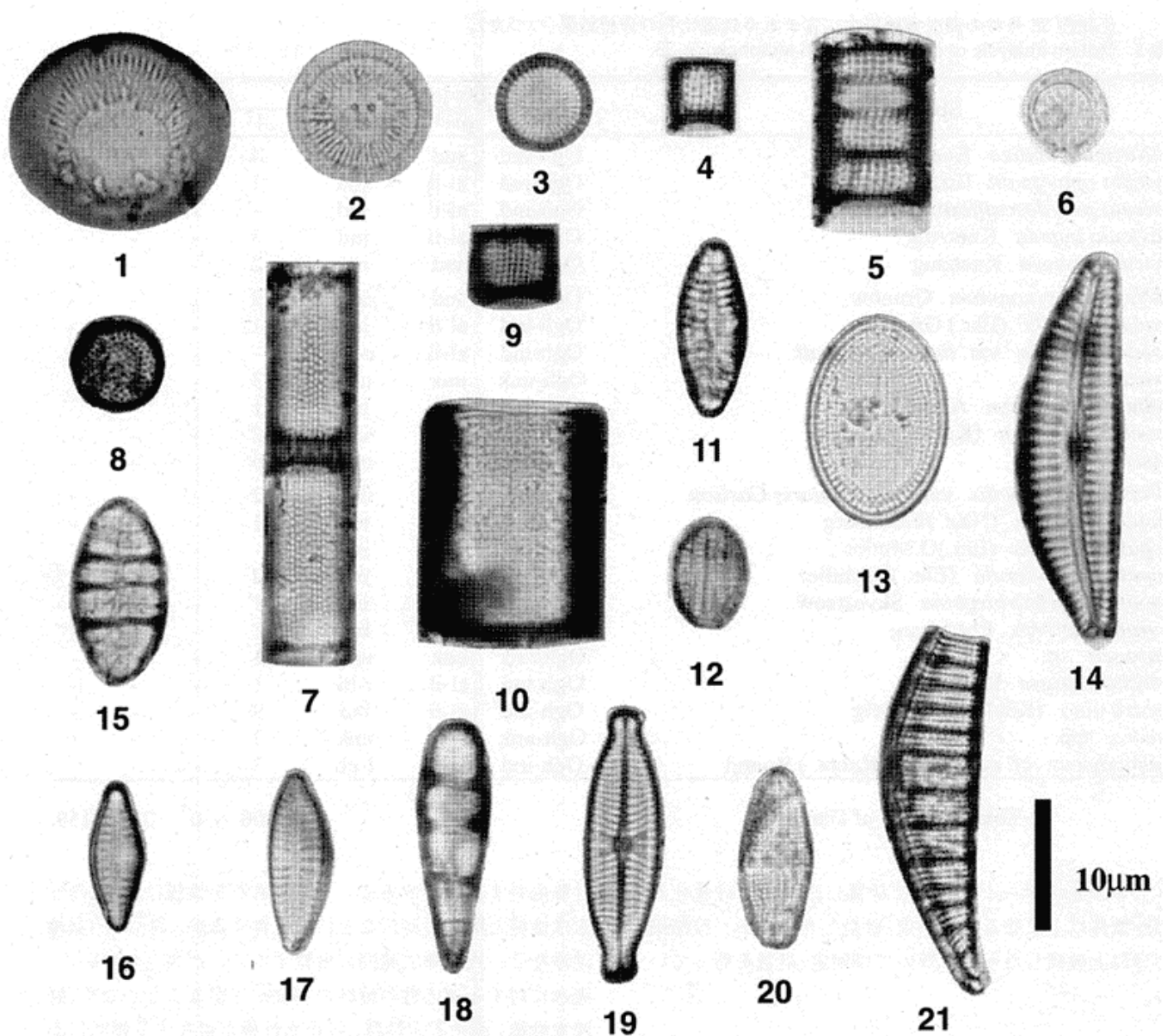
5.2.3. 堆積環境

深度 627m では流水に対する適応性では、好流水性種及び流水不安定性種が多産した。これらのうち好流水性種は河川、沼沢地等の中でも常に流れのある水域で他の藻類などに付

着生育する種群である。一方流水不安定性種は、上記の好流水性種と同様に河川などにも生育するが、池沼、沼沢地、湿地など、比較的広範囲に生育することが知られている。流水に対する適応性の種群の割合が片寄ることがなく、好流水性種、流水不安定性種、好止水性種が混在する傾向にあることから不安定な堆積の場であったことが示唆される。

深度 639.7m では流水不明種の *Cyclotella* 属 (種名の同定にはいたらなかった) が全体の 80% をしめる。他の多産種は *Aulacosira distans* などの臨時性浮遊性種であるが、これは通常、湖沼の底や湖岸付近において水中の基物に付着生育する種とされるほか、酸性水域の指標種とされている。*Cyclotella* 属も殻が円盤状であることから比較的規模の大きい池や湖などに生育する浮遊性の種と思われる。したがって、当時の環境としてはある程度の水深を有した弱酸性水をたたえる湖などの環境が推定される。

深度 645m では優先種として *Aulacosira* cf. *islandica* がみとめられる。これは殻表面の特徴から *Aulacosira islandica* とおもわれるが、*Aulacosira italica* に近似したものも認められることから、cf. をつけて示した。本邦において *Aulacosira islandica* が優先して生育した例は少ないがヨーロッパの文献によると、池や河川に稀に認められる (Hustedt, 1930)、池・川に認められるが生育範囲は広範囲



- | | |
|--|---|
| 1 <i>Cyclotella</i> sp.A[3] | 12 <i>Amphora pediculus</i> (Kretz.)Grunow[1] |
| 2 <i>Cyclotella</i> sp.A[3] | 13 <i>Cocconeis placentula</i> (Ehr.)Cleve[1] |
| 3 <i>Cyclotella</i> sp.A[3] | 14 <i>Cymbella turgidula</i> Grunow[1] |
| 4 <i>Aulacosira distans</i> (Ehr.)Simonsen[1] | 15 <i>Diatoma hiemale</i> var. <i>mesodon</i> (Ehr.)Grunow[1] |
| 5 <i>Aulacosira distans</i> (Ehr.)Simonsen[1] | 16 <i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kuetz..)Grunow[1] |
| 6 <i>Stephnodiscus</i> cf. <i>minutulus</i> (Kuetz.)Round[1] | 17 <i>Gomphonema parvulum</i> Kuetzing[1] |
| 7 <i>Aulacosira italica</i> (Ehr.)Simonsen[1] | 18 <i>Meridion circularae</i> var. <i>consttrectum</i> (Ralfs)
V.Heurck[1] |
| 8 <i>Aulacosira islandica</i> (O.Mull)Simonsen[4] | 19 <i>Navicula decussis</i> Oestrup[1] |
| 9 <i>Aulacosira islandica</i> (O.Mull)Simonsen[4] | 20 <i>Navicula mutica</i> Kuetzing[1] |
| 10 <i>Melosira varians</i> Agardh[4] | 21 <i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr)O.Muller[1] |
| 11 <i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.)Grunow[1] | [#];serial number of samples,same as table3 |

写真3 元箱根36号井の湖成堆積物中に産する珪藻化石。
Photo3 Diatoms in the lacustrine of Motohakone-36.

で適度の富栄養水域に生育する (Krammer and Lange-Bertalot, 1991) とされる。 *Aulacosila islandica* のこうした生態性を基にして堆積時の環境を推定すると、池または川ということになるが、群集組成が貧弱であることを考えると河川の環境は考えにくく、閉鎖的な水域である可能性が高い。

6. 議論

6.1. 本井戸の地質と温泉帯水層

本井戸の坑底付近で見られた地質を各層準ごとに下位から順に考察する。

最下位の、凝灰角礫岩 (標高 64 ~ 90m) は下限が分からないが、坑底までも 26m と厚いこと、層理が見られないこと、かなり大きな角礫を含むこと、比較的良く固結していること、軽石らしいものを多く含むことなどの特徴がある。こうした特徴を持つ凝灰角礫岩は、少なくとも中央火口丘北部において中央火口丘溶岩類の下位に広く見られる (萬年 1999、横山・萬年 1998)。新期カルデラの形成期の噴火に関連した fall back 堆積物と思われるが、詳細は不明である。

その上位のラミナを有する砂岩および凝灰角礫岩 (標高 90 ~ 189m) は、層準により環境の変化はあるもののある程度の広がりを持った湖沼の堆積物で、近傍で時々発生した火砕流噴火の噴出物を挟んだものと思われる。年代は花粉から一応の対比が与えられているが (5.1.4 節)、上位にある安山岩溶岩の K-Ar 年代を考慮すると、先に示したものより古い可能性が高い。

その上位の両輝石安山岩溶岩はコアで確認されているだけでも厚さ 216m、スライムの観察から予想される範囲を含めると 330m 以上におよぶかなりの厚さを持つ溶岩である (標高 189 ~ 519m)。地表に溶岩流やドームの地形があらわれていないので、給源や水平分布などの詳細は不明である。K-Ar 年代は $0.07 \pm 0.01\text{Ma}$ と、中央火口丘期のはじまりであると考えられる箱根東京軽石の噴火年代より古い (平田 1991、町田・鈴木 1971、富樫・松本 1988、中村・ほか 1992)。

その上位には変質した安山岩 (標高 519 ~ 546m) および砂質の泥岩が覆い (標高 546 ~ 560m) さらにその上位には安山岩溶岩、上下が変質した安山岩が推定されている。しかしスライム試料のためこうした安山岩が何枚の溶岩流から成り立つのかなど詳細は不明である (標高 560 ~ 746m)。

この上位には神山、または冠ヶ岳を給源とする岩屑なだれ堆積物と思われる層が地表まで続いている (標高 746 ~ 806m)。

掘削業者が提出した温度検層結果のうち示差温度検層の結果を見ると深度 617m 以深で数個のピークが見られ、こ

れらが温泉湧出亀裂とおもわれる。地質の結果とあわせて考えると、本井戸の温泉は湖成堆積物中の亀裂から湧出しているものと思われる。湖尻周辺の温泉は炭酸水素イオンの濃度が高い特徴があるが、本井戸で見られる限り炭酸水素イオンは湖成堆積物中の有機物から供給されているものと思われる。

6.2. 湖尻～仙石原地域の地質構造と温泉

筆者が温泉地学研究所所蔵の岩石試料を概査した範囲においては、湖尻付近の温泉はすべて浅部の中央火口丘溶岩を掘抜いてその下位の帯水層から温泉を採取していると考えられる。一方、湖尻より北の仙石原地域でこれまで行われた掘削では掘削深度を 1000m に設定しても温泉の開発に失敗している (平野 1994)。本井戸の北では標高 100m まで掘削しても中央火口丘溶岩が連続しているという報告があり (Kuno *et al.*, 1970) 本井戸での結果をあわせて考えると、湖尻～仙石原には地表にはあらわれていないものの地下に潜在的な中央火口丘系の溶岩体があると予想される。本井戸よりも北側のカルデラ内における温泉開発が失敗しているのは、第一にこの潜在的な溶岩体を掘抜くことができなかったことがあげられる。さらに、仙石原北部では掘抜いた井戸でも成功をしていないことを考えると、この潜在的な溶岩体によって温泉の北側への流下が阻害されている可能性が考えられる。このことに関しては、次の機会に改めて論ずることとする。

6.3. 湖成堆積物露頭との比較

箱根カルデラ内の湖成堆積物に関してはこれまでも以下のような報告がある。久野 (1953) は本地域で 28000 年前に噴出した神山火砕流の流下により、広い湖水が存在していたとした。これに関して大木・袴田 (1975) は環境調査のボーリング試料からその湖面標高を 645m と考えた。袴田 (1986) はカルデラ南部、主要地方道湯河原箱根仙石原線の箱根町箱根字壁取付近で、a) 三浦軽石層の下位・安針軽石層の上位、および、b) 吉岡軽石層の下位・小原台軽石流層の上位、の 2 つの湖成堆積物層を認識した。このほか袴田 (1993) は古期カルデラ壁に湖成堆積物が認められるとし、古期カルデラ形成後の巨大な湖を想定している。

本井戸で見られた湖成層は上下のテフラ層により年代を絞り込むことができないため正確な対比はできないが、中央火口丘溶岩類の下位、凝灰角礫岩層の上位にあることや上位の中央火口丘溶岩の K-Ar 年代から考えて新期カルデラ形成期の堆積物と考えるのが妥当と思われる。この場合、本井戸で見られた湖成層は袴田 (1986) が壁取で記載した湖成堆積物と年代的には近いことになる。しかし本井戸で見られた湖成層は壁取付近の湖成層とくらべ標高的にかな

り低く、また珪藻化石から数百メートルに及ぶ水深は考えられないことから、壁取付近とはすくなくとも別個の湖を考える必要があるだろう。

7. まとめ

平成2年に掘削された元箱根36号井の地質について、ボーリング試料の記載、検鏡、全岩化学分析、微化石分析、年代測定などを行って検討した。本井戸の地質は地表である標高806mから標高746mが中央火口丘起源の岩屑なだれ堆積物、標高746から560mが一部風化した安山岩溶岩、標高560~546mが砂質泥岩、標高546から189mが安山岩溶岩、標高189から90mが凝灰角礫岩をとところどころ交える湖成堆積物と思われる砂岩、標高90mから坑底である標高64mまでが凝灰角礫岩から成る。全岩化学組成から、標高189m以浅の安山岩溶岩は中央火口丘系列に属し、湖尻付近ではかなり標高の低いところまで中央火口丘系溶岩が存在していることが明らかになった。年代測定の結果、この中央火口丘系溶岩の噴出時期は従来考えられていた中央火口丘活動期のよりも古い可能性が示唆された。湖成堆積物の花粉化石分析から、湖成堆積物の堆積当時の植生は冷温帯~亜寒帯の木本植物群集から成ることが明らかになった。また湖成堆積物の珪藻化石分析から下位から、a)閉鎖的な水域、b)ある程度の水深を有する湖などの水域、c)流水があつたりなかつたりする不安定な水域、と変化していったことが示唆された。本地域では炭酸水素イオンに富む温泉が採取されているが、本井戸の地質で見る限り、これは湖成堆積物中の有機物から炭素の供給を受けているためと思われる。

謝辞

住宅信販株式会社にはコア採取の必要性に御理解をいただき、全工程の約半分についてオールコアでの地質採取をしていただきました。多大なる御協力に対し、記して深く感謝いたします。温泉地学研究所の松沢親悟さんには薄片の作成をお願いしました。板寺一洋さんとの議論は参考になりました。なお、本研究にあたっては温泉地学研究所経常研究費ならびに東京大学地震研究所特定共同研究(B)の研究費を使用しました。

参考文献

袴田和夫(1986)箱根新期カルデラの段階的陥没に関する

- 若干の試料 大涌谷自然科学館調査研究報告、(6),1-7.
- 袴田和夫(1993)箱根火山探訪、神奈川新聞社、47p.
- 平野富雄(1994)やさしい温泉入門 箱根二十湯、神奈川新聞社、259p.
- 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、no.10,1-11.
- Hustedt(1930)Die Kieselalgen Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz. Under Berücksichtigung der ubrigen Lander Europas Sowie der angrenzenden Meeresgebiete. In Dr.Rabenhorts Kryptogamen Flora von Deutschland, Oesterreichs und der Schweiz, vol.7, Leipzig,Pr1 920p.
- 神奈川県(1993)神奈川県温泉地学研究所平成3年度事業概要、73.
- 神奈川県(1997)温泉分析一覧表、神奈川県温泉地学研究所報告、28,資1-資280.
- Krammer and Lange-Bertalot (1991) Bacillariophyceae, Susswasser flora von Mitteleuropa, 2 (4), 1-596.
- 久野久(1953)箱根火山の地質構造と変遷史、山と渓谷、(108),7-10.
- 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 鈴木正男(1971)火山灰の絶対年代と第四紀後半の編年~フィッション・トラック法による試み~、科学、41,26-70.
- 萬年一剛(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、神奈川温地研報告、31,1-15.
- 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、98,905-908.
- 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.
- 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¹⁴C年代測定法、地調月報、34,513-527.
- 横山泉・萬年一剛(1998)箱根火山の基盤構造、日本火山学会講演予稿集1998年度秋季大会、66.