

# 箱根町仙石原春山下に露出した湖成堆積物の年代

萬年一剛<sup>\*1</sup>・小林 淳<sup>\*2</sup>・西澤文勝<sup>\*3</sup>・笠間友博<sup>\*4</sup>・宮下雄次<sup>\*1</sup>

## Dating of the lacustrine deposit exposed in Shunzan-shita, Sengokuhara, Hakone volcano, Japan

by

Kazutaka MANNEN<sup>\*1</sup>, Makoto KOBAYASHI<sup>\*2</sup>, Fumikatsu NISHIZAWA<sup>\*3</sup>, Tomohiro KASAMA<sup>\*4</sup> and Yuji MIYASHITA<sup>\*1</sup>

### Abstract

A large outcrop (150 m × 50 m) emerged on the northern caldera wall of Hakone volcano, as a result of mudslide caused by a heavy rainfall during a typhoon named Hagibis in 2019. In the bottom part of the outcrop, a lacustrine deposit was recognized, and its pollen assemblage implied a cold but still warmer climate than that of the caldera forming stage of 66 ka cal BP. The diatom assemblage of the deposit implied the effect of the stream although a stable water environment seems to have been predominant. The  $^{14}\text{C}$  age of the lacustrine deposit was approximately 31 ka cal BP. Based on the microfossil assemblage and the numerical age, the lacustrine deposit is considered to be distinct from the deposit of the fossil lake in Gora, east of the outcrop. Also, from the stratigraphic and elevation relationships, the lacustrine deposit recognized in the outcrop differs from that of a fossil lake named Lake Sengokuhara, which is located west of the outcrop and dried up until 5 ka. Here we call the lacustrine and the extinct lake created the deposit as Shunzan-shita lacustrine and Lake Shunzan-shita. Lake Shunzan-shita seems to have formed after the formation of Lake Sengokubara due to the erosion of the Hayakawa River and coexisted temporarily until 31 ka.

### 1. はじめに

2019年10月12日に伊豆半島付近に上陸した令和元年台風19号（東日本台風；Hagibis）は、静岡県から関東甲信越地方、東北地方にかけての広い範囲に記録的な大雨をもたらした。箱根では12日の雨量が922.5 mm、降り始めからの雨量は1,000 mmを越え、各所で土砂崩れが発生した。カルデラの北縁を通る国道138号線では12日23時頃に春山荘別荘地南の斜面頂部近くから、国道の春山下バス停付近にむかって大規模な土砂崩れが生じた（箱根町, 2020）。その結果、国道沿いに巨大な連続露頭が出現し、かつて存在した仙石原湖の名残であると考えられてきた仙石原平坦地の地質の一端があらわになった。春山荘別荘地は、早川の下刻作用の結果残された段丘面（春山荘面；小林, 2008）上に造られており、そこに生じた巨大露頭は早川沿いに繰り返し形成された

湖水域の消長過程を記録していると期待される。なお、箱根火山は植生が深く、連続露頭はほとんど露出しないので、このような機会は貴重である。本報告では、この露頭の記載を行うとともに、基底近くで認められた仙石原湖のものとみられる湖成堆積物について、年代や含まれる微化石を報告し、堆積環境を考察する。

### 2. 露頭の概要

崩壊は箱根町仙石原の春山荘別荘地南東にある送電線鉄塔付近（標高656 m）を上端とする、高さ約150 m、幅約50 mの規模である（図1）。国道138号線は崩壊後、しばらく通行止めが続いていたが、迂回路となる仮設の橋梁が完成して同年12月27日から通行が出来るようになり、その後、全長60 mの洞門（仙宮洞門）が元の国道の位置に完成して、2023年3月28日に開通した（神

\*1 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 静岡県富士山世界遺産センター 〒418-0067 静岡県富士宮市宮町5-12

\*3 神奈川県立生命の星・地球博物館 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田499

\*4 箱根町役場 〒250-0398 神奈川県足柄下郡箱根町湯本256

論文、神奈川県温泉地学研究所報告、第55巻、1-13、2023

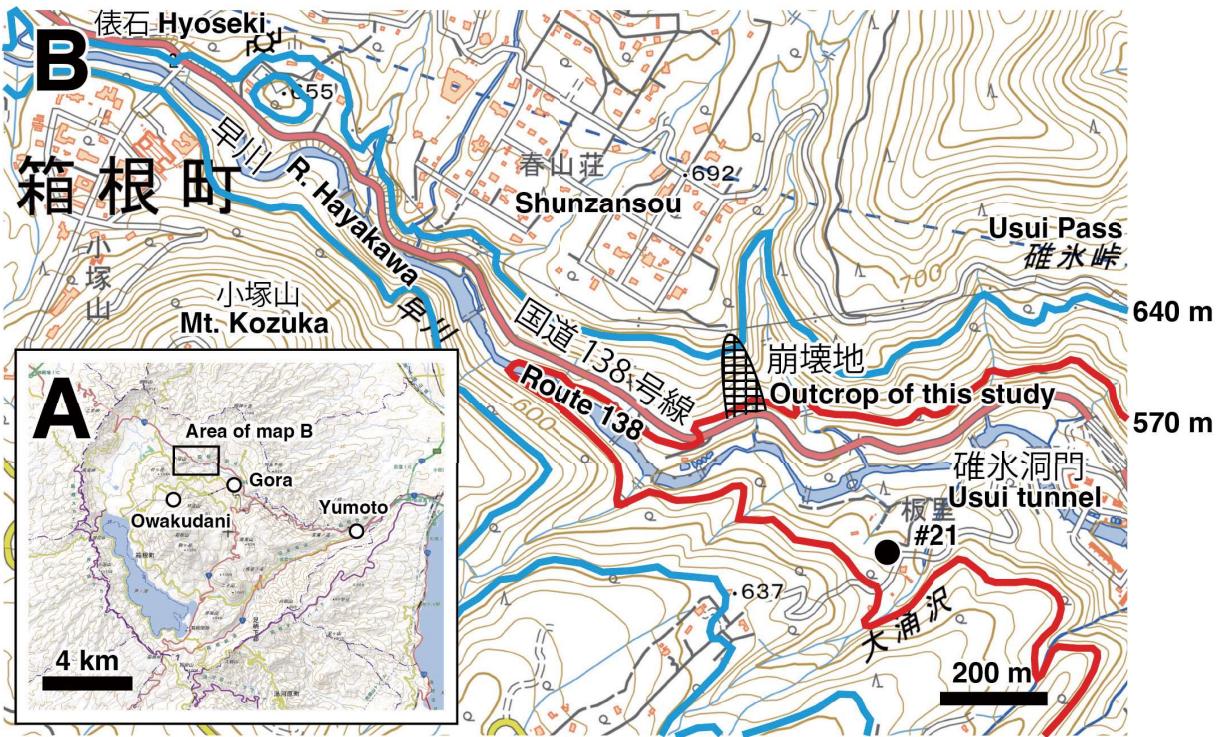


図1 本研究の露頭の位置 A 箱根地域の索引図。B 露頭の場所。A の中に B の図郭を示した。本露頭の湖成層の上端に近い 570 m の等高線を赤線で、従来言われてきた仙石原湖の水位に近いとされる 640 m の等高線を青線でトレースした。#21 は地質試料が整った温泉井（萬年，2008）。いずれの地図も背景図は地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) のハードコピー。

Fig. 1 Locations of the outcrop. A, Index map of the Hakone area; B, Location of the outcrop. The area of panel B is shown in A. The contour line of 570 m, which is close to the top of the lacustrine deposit found in this study is indicated by a red line. Also, the contour line of 640 m, which is considered to be the water level of a paleolake named Lake Sengokuhara is traced with a blue line. #21 is a hot spring well, geology of which is already reported (Mannen, 2008). Background maps for both panels are hard copies of GSI Maps (<https://maps.gsi.go.jp/>).

奈川県, 2023)。

露頭の全景を図2・図3に示す。図3は、UAV (dji 製 Mavic 2 Enterprise Dual) により 2020 年 3 月 19 日に撮影した 150 枚の空撮写真から、写真測量ソフトウェア Agisoft Metashape Professional (ver1.6.2) を用いて作成したオルソ画像である。このソフトウェアでは、撮影時の UAV の位置情報及び撮影した画像の特徴点から、3D メッシュモデル及び数値標高モデル (DEM)、並びにオルソ画像を作成した。オルソ画像中の等高線はこの時作成した DEM を元に描画したものである。柱状図を図4に示す。図2 および図4 中の標高はレーザー距離計 (Nikon AS500) を用いて簡易的に測定した値である。

露頭に出現した地層は、下位からシルトが卓越する湖成堆積物 (標高 575 m 以下)、砂礫が卓越する河川堆積物 (標高 575 m ~ 579\* m)、土壤塊・高温酸化した火山岩塊が卓越する岩屑なだれ堆積物 (標高 579\* m ~ 595 m)、塊状の安山岩角礫支持の角礫岩か

らなるブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物 (標高 595 m ~ 622\* m)、シルト～礫が卓越する河川～湿地堆積物 (標高 622\* m ~ 644\* m)、風成堆積物など (標高 644\* m ~ 656 m) に区分した (図3)。なお、標高の \* は実測値ではなく、露頭で測定された層厚から按分して求められた値であることを示す。以下、各堆積物について記載する。

## 2. 1. 湖成堆積物 (L)

本堆積物は、平行な層理構造が発達する灰褐色のシルト～砂質シルトからなり、この中には粗粒砂やスコリアを多く含む厚さ 50 cm ~ 100 cm を超える砂礫層が挟まれる。径 5 cm に達する角礫片を斑状に密集する層準もある。また、最大層厚 30 cm の淡桃色～桃色を呈する火山灰質の細粒砂～シルト層を数層挟在している (図5)。この火山灰層には荷重痕を伴うこともある。この火山灰層下位のシルト層中には微細な植物片を多く含



図2 露頭の全景（2020年3月5日撮影）。崩壊の上端に送電線の鉄塔とその足下付近を覆うブルーシートが見える。数字は距離計（Nikon AS500）を用いて簡易的に測量した標高。

Fig. 2 View of the outcrop (photo taken on March 5, 2020). A power line tower and a blue sheet covering the foundation of the tower are seen at the upper edge of the outcrop. The figures indicate elevations measured with a razor rangefinder (Nikon AS500).

む。これらの堆積物が浸食されることなくそれぞれ水平に堆積していることから、比較的静穏な環境で堆積した湖成堆積物と考えた。

## 2.2. 河川堆積物 (R)

本堆積物は、円～亜円礫を含む弱い層理構造を含み、シルトの薄層を挟む。

基底部には径 8 cm ~ 10 cm の角礫が密集する。円磨された礫が密集し、その中にシルト薄層が挟まれること、またそれらが弱い層理構造を有することから、これらは河川堆積物と考えた。なお、この河川堆積物の上限には暗灰色土壌様のシルト層を伴い上位層と境される。

## 2.3. 岩屑なだれ堆積物 (DA)

本堆積物は、灰褐色の風化シルト及び火山礫を基質として、黒色シルトの土壤塊や腐植塊、並びに巨大な赤色岩塊を含む（図 6）。これらの堆積物が、ブロック状もしくはパッチワーク構造を有して堆積していることから岩屑なだれ堆積物と判断した。この堆積物の上位には、上位ほどシルト質で弱い層理構造を伴う褐色のシルトや

礫混じり粗粒砂が認められ、所々に黒褐色の腐植土塊を含むことから（図 7）、岩屑なだれ堆積物の二次堆積物と考えられる。

## 2.4. ブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物 (BAF)

本堆積物は、上下 2 層のブロックアンドアッシュフロー型堆積物で構成される。これらの火碎流堆積物は新鮮な溶岩の角礫と粗い火山灰のみで構成され、軽石を含まない。下位の堆積物 (BAF-L) は、暗灰色を呈する角礫状の安山岩や凝灰岩が密に堆積しており基質に乏しいものの細粒火山灰を含む（図 8a）。堆積構造は認められない。この堆積物は、層厚 50 cm 程度のレンガ色に粘土化した細粒火山灰で不明瞭な葉理構造を伴う火碎サージ堆積物を伴う（図 8b）。これに対して、上位の堆積物 (BAF-U) は、桃～桃紫色の粗粒火山灰を多く含み、下位の堆積物とは異なって比較的淘汰がよく細粒火山灰や火山礫に乏しい（図 8b）。そして上位の湿地堆積物へと漸移する。

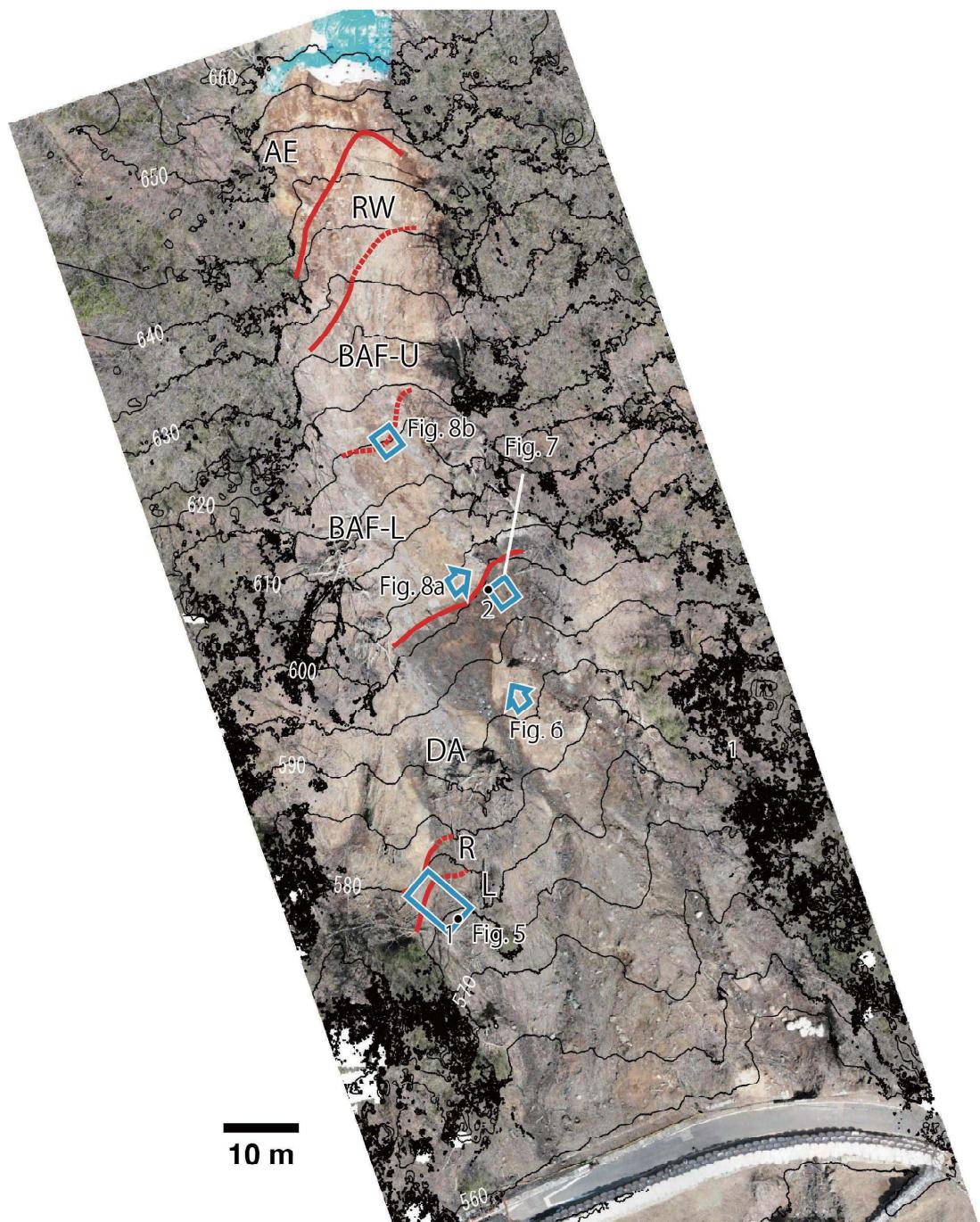


図3 露頭の空撮画像（オルソ画像）（2020年3月19日撮影）。1と2は<sup>14</sup>C年代測定のサンプリング地点。矢印および四角は代表的な露頭の撮影方向および画角で、その写真を示した図の番号を併記した（図5～8）。地層は、下位からL（湖成堆積物）、R（河川堆積物）、DA（岩屑なだれ堆積物）、BAF（ブロックアンドアッシュフロー型火砕流堆積物）、RW（河川～湿地堆積物）、AE（風成堆積物）に区分し、境界を赤線（不明瞭なところは赤い点線）で示した。黒い細線は等高線を示し、白い数字は標高を示す。

Fig. 3 Orthomosaic image of the outcrop, acquired on March 19, 2020. Solid circles (1 and 2) are sampling sites for <sup>14</sup>C dating. Arrows and squares indicate the direction and angle of view of representative outcrops shown in this paper respectively (Figures 5-8). The geology of the outcrop are classified into L (lacustrine), R (river sediments), DA (debris avalanche), BAF (block and ash flow), RW (river to wetland sediments), and AE (aerial sediments), with boundaries marked with red lines (dotted lines indicate unclear due to the covering deposit). Black thin lines indicate contour lines and white numbers indicate elevations.

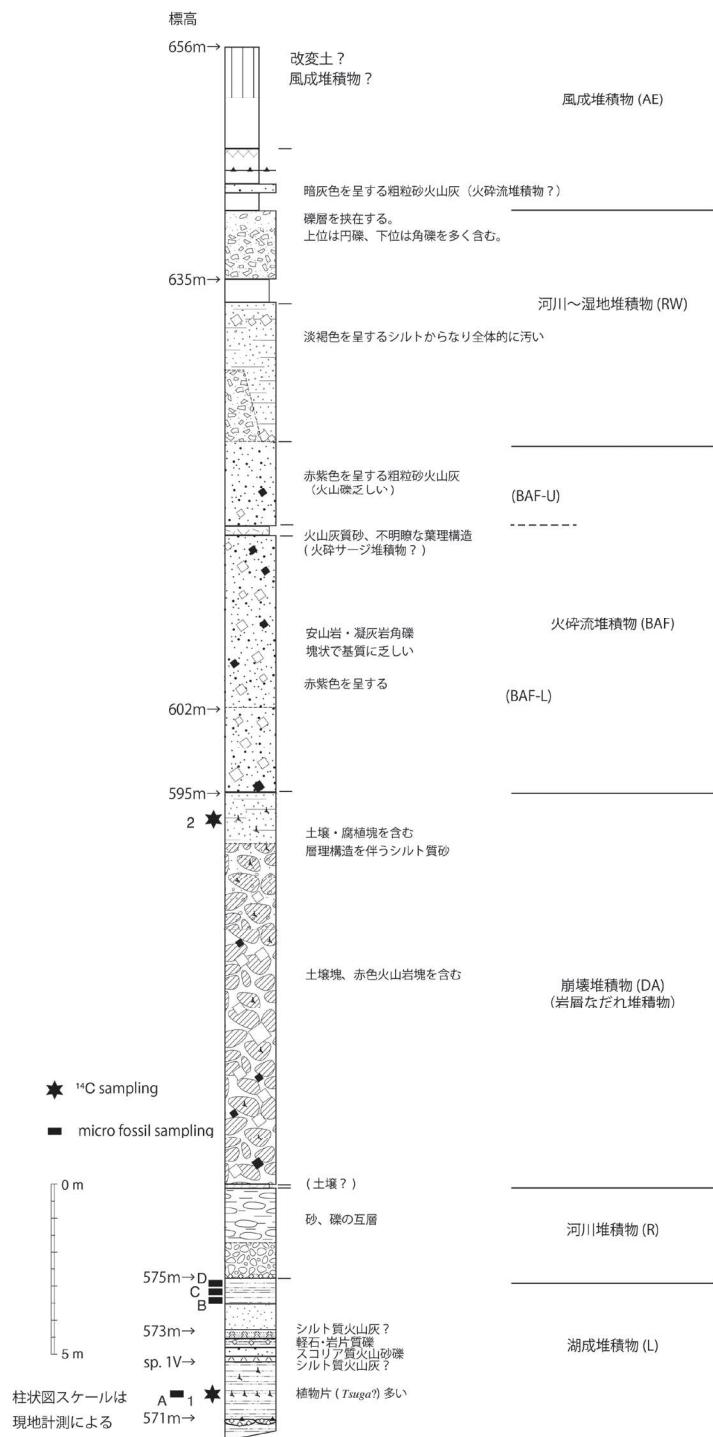


図4 露頭の柱状図。距離計で標高を測定できた層準については標高の値を示している。標高の値を得ていない地層の厚さは露頭での測定により、スケールで示す。

Fig. 4 Columnar section of the outcrop. Elevations were measured with a razor rangefinder. Thicknesses of strata without measured boundary elevation are based on measurement at the outcrop which is shown in the scale.



図5 湖成堆積物中の火山灰質の細粒砂～シルト層（2020年4月11日撮影）。淡桃色～桃色を呈する火山灰質の細粒砂～シルト層を数層挟在する。図3のLに対応。×は火山灰分析を行った火山灰質の細粒砂～シルト(sp.1V)の採取位置。なお、この部分の剥ぎ取り標本は箱根ジオミュージアムで展示されている。

Fig. 5 Fine-grained volcaniclastic sand to silt layers in the lacustrine deposit (photo taken on April 11, 2020). This horizon corresponds to L in Fig. 3. × indicates sampling point (sp. 1V) for ash analysis. A soil monolith which is on display at the Hakone Geomuseum was taken from the outcrop.

## 2.5. 河川～湿地堆積物 (RW)

本堆積物は、淡灰褐～桃黄色シルトからなる湿地堆積物と、それを一部不整合で覆う河川堆積物からなる。河川堆積物は円礫及び角礫が混在し、ところによって円礫がレンズ状に密集する箇所もある。河川堆積物の下位には、褐色を呈する崖錐性の風化火山灰土を伴うところもある。

## 2.6. 風成堆積物 (AE)

本堆積物は層厚9m程度の褐色風化火山灰土からなる。基底からおよそ3mの層位には、暗灰色の安山岩片の粗粒火山灰からなる火砕流堆積物が挟まる。その上



図6 岩屑なだれ堆積物とブロックアンドアッシュフロー型火砕流堆積物（2020年4月11日撮影）。写真中央右の地層がブロックアンドアッシュフロー型火砕流堆積物。写真中央の木片（矢印）の長さがおおよそ1m。  
Fig. 6 Debris avalanche (DA) and block-and-ash flow deposits (BAF-L) (photo taken April 11, 2020). The length of the wood pile (arrow) in the center of the photo is approximately 1 m.

位には風化火山灰土中にスコリアが密集する層準を確認できるが、本露頭の上位3mはブルーシートで覆われており堆積物の産状を確認できなかった。

## 3. 火山灰の分析

春山下の連続露頭に現れた一連の堆積物の年代観を得るために、湖成堆積物中に挟在する火山灰質の細粒砂～シルト (sp.1V: 図4・5) に対して、1) 超音波洗浄機を用いた粘土成分除去、2) 残渣の自然乾燥と筛分け (250 µm, 125 µm, 63 µm)、3) 実体顕微鏡及び偏光顕微鏡を用いて火山ガラスの有無、形態などの観察を行った。その結果、外来テフラとみられる火山ガラスを確認できたことから、これらを対象にして主成分化学分析を実施し、本研究の調査地域において分布が報告されている広域テフラとの比較を行った。

火山ガラスの主成分化学組成分析には、東京都立大学都市環境学部地理環境学科所有のエネルギー分散型X線分析装置（アメテック製：EDAX-Genesis APEX2: EDS）及び走査型電子顕微鏡（日本電子製：JSM-6390）を用いた。分析条件は Suzuki *et al.* (2014) に従い、63 µm ~ 125 µm サイズの火山ガラスを対象とした。測定前後にワーキングスタンダードとなる始良 Tn テフラ (AT; 町田・新井, 2003) の火山ガラスを分析し、系統誤差がないことを確認した。なお、本報告で示した主



図 7 岩屑なだれ堆積物上位の二次堆積物中に含まれる腐植土塊（矢印）(2020 年 4 月 11 日撮影)。年代測定を実施した図 3 の 2 に対応。

Fig. 7 Humic soil (arrow) in a secondary deposit in the upper debris avalanche deposit (taken April 11, 2020). This humic soil was dated as sample 2 (see also Fig. 3).

成分化学組成は、無水で 100 % 換算した値である。この分析は、東京都立大学火山島嶼火山・都市災害研究センター（当時）の村田昌則博士が行った。

sp.1V に含まれる火山ガラスは、軽石型（破碎状）・平板型のバブルウォール型の形状を有し、 $\text{SiO}_2$  含有量が 63.1 ~ 76.2 wt%（重量 %、以下同様）、 $\text{K}_2\text{O}$  含有量が 0.7 ~ 1.7 wt% を示す（図 9）。この火山ガラスの起源を探るために、同時期の広域テフラである箱根東京テフ

ラ（町田・新井, 2003）、AT および三瓶池田テフラ（SI; 町田・新井, 2003）と、主成分化学組成の比較を行った。広域テフラの採取地は、箱根東京テフラは神奈川県南足柄市小市の酒匂川右岸の火砕流堆積物（Hk-TPfl; 小林, 2008）、AT 及び SI は箱根町芦之湯で、採取者は著者の一人である西澤（Hk-TPfl）、並びに東京都立大学都市環境学部の鈴木毅彦教授（AT、SI）である。なお、SI は本研究の調査地である箱根火山周辺では、含雲母グリース状テフラ（Gr; 小林, 1999, 2008）に対比されるため（佐護・町田, 1996）、本研究では両テフラ名を併記する。これらのテフラについて参考までに推定される数値年代を表 1 に示した。

主成分化学分析の結果によれば、本露頭で採取した sp.1V はばらつきがやや大きいものの、Hk-TPfl の化学組成変化と傾向は同じで組成値も大部分が重なることから（図 9）、Hk-TPfl の火山ガラスに対比されると考えられる。したがって、箱根カルデラ内外に広く分布する火砕堆積物が二次堆積物として湖成堆積物に混入したと判断される。なお、春山荘面の離水過程の堆積物に挟まるとされる AT（小林, 2008）、カルデラ南部の芦之湯に位置する大露頭で AT のやや下位の層準にある SI(Gr)（小林, 1999, 2008）の化学組成とは全く一致しないことも、sp.1V に含まれる火山ガラスは Hk-TPfl のものである可能性が高いことを示す。

#### 4. 年代測定・微化石分析

火山灰分析と同様、地層の年代観を得るために、2 層準で放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代を、4 層準で花粉及び珪藻の分析（以下、微化石分析）を試みた。

放射性炭素年代は、No. 1 ~ 2 の 2 試料をアメリカ合衆国フロリダ州に拠点を置くベータアナリティック社に依頼して実施した。分析を実施した試料は、標高 571 m 付近の湖成堆積物中に発達する植物遺体濃集層で採取した植物遺体（*Tsuga?* の樹皮）および、標高 594 m 付近で採取した泥炭質の堆積物である。サンプルの前処理および分析結果は表 2 に示す。

表 1 本論文で出てくる広域テフラと数値年代。

Table 1 Wide-spread key tephras appear in the paper and their numerical ages.

記号	テフラ名	数値年代 (ka cal BP) *
AT	始良 Tn	30
SI	三瓶池田	49
(Gr)	備考：箱根地域では含雲母グリース状テフラ(Gr) に対比	
Hk-TPfl	箱根東京（火砕流）	66

\* 数値年代は山口ほか（2021）による。



図 8 a) ブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物 (BAF-L) と下位の岩屑なだれ堆積物 (DA) (2020年4月11日撮影)。b) ブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物中に挟まる火碎サージ堆積物層 (矢印) (2020年3月5日撮影)。

Fig. 8 a) Block-and-ash-flow pyroclastic flow deposit (BAF-L) and overlain debris avalanche deposit (DA) (photo taken on April 11, 2020). b) Pyroclastic surge deposit layer (arrow) sandwiched within a block-and-ash-flow pyroclastic flow deposit (taken on March 5, 2020).

微化石分析は、花粉と珪藻について、A～D の 4 試料（図 4）をパリノサーヴェイ株式会社に依頼して実施した。試料はいずれも火山灰質シルトで、標高 571 m 付近の 1 検体と、標高 574 m 付近の 3 検体の計 4 検体である。標高 571 m 付近の 1 検体は放射性炭素年代測定を実施した植物遺体を取り出した試料である。

花粉分析は、試料約 10 g に対して、塩酸によるカルシウムの除去、フッ化水素酸による泥化、水酸化カリウムによる腐植酸の除去、篩別、重液分離、植物遺体中のセルロース分解などの操作を経て、花粉の濃集を行い、残渣をグリセリンゼリーで封入してプレパラートを作成した。これに対して、400 倍の光学顕微鏡下で出現するすべての種類について同定・計数を行った。

珪藻分析は、試料約 5 g に対して過酸化水素水と塩酸

による有機物の分解と漂白、粘土分除去などの操作を経て珪藻殻を濃集し、プレパラートを作成した。これに対して、油浸 600 倍または 1000 倍で検鏡して、珪藻化石を 200 個体以上になるまで、同定・計数を行った。200 個以上の計数が得られた後は、重要な種類の見落としがないように全体の精査を行った。

なお、微化石分析は事前に同定と計数が十分に行えるかを確かめる概査を行った。概査の結果、試料 D の珪藻は十分でなく、同定・計数を行う精査は行わないこととした。花粉化石の分析結果を表 3 に、珪藻化石の分析結果を表 4 に示す。なお、花粉化石の保存状態や産出量はおおむね普通であったが、珪藻化石は産出数が少なく、環境推定には十分とはいえないかった。

表 2 放射性炭素年代測定を行った試料と前処理、および分析結果

Table 2 Samples for radiocarbon dating and their pretreatment and analytical results.

ID in Fig 1	Sample	BETA ID	Treatment	MEASURED AGE	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	CONVENTIONAL AGE	2 SIGMA CALIBRATION
1	20200305-4 bark?	559533	acid/alkali/acid	$27935 \pm 133$ BP	-26.9	$27904 \pm 133$ BP	cal BC 29900 to 29425 (cal BP 31850 to 31375)
2	200305-1 peaty sediment	559534	acid washes	$41548 \pm 540$ BP	-26.0	$41532 \pm 540$ BP	cal BC 43865 to 42105 (cal BP 45815 to 44055)

表3 花粉分析の結果。

Table 3 Results of pollen analysis.

ID		A 20200305- 4	B 20200305- 1	C 20200305- 2	D 20200305- 3
Sample#					
Arboreal Pollen					
モミ属	<i>Abies</i>	79	125	164	65
ツガ属	<i>Tsuga</i>	19	26	32	22
トウヒ属	<i>Picea</i>	2	-	2	-
マツ属单維管束亜属	<i>Haploxyylon</i>	-	-	1	-
マツ属複維管束亜属	<i>Diploxyylon</i>	3	2	2	-
マツ属 不明	<i>Pinus</i>	20	23	10	7
スギ属	<i>Cryptomeria</i>	20	16	-	4
イチイ科—イヌガヤ科— ヒノキ科	T.-C.	-	1	-	-
ハンノキ属	<i>Alnus</i>	8	1	4	3
ブナ属	<i>Fagus</i>	9	-	3	1
コナラ属コナラ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	8	-	-	-
コナラ属アカガシ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Cyclobalanopsis</i>	-	1	-	-
ニレ属—ケヤキ属	<i>Ulmus-Zelkova</i>	2	-	-	-
グミ属	<i>Elaeagnus</i>	2	-	-	-
トネリコ属	<i>Fraxinus</i>	-	-	-	1
タニウツギ属	<i>Weigela</i>	-	1	1	-
スイカズラ属	<i>Lonicera</i>	-	1	-	-
Nonarboreal Pollen					
ガマ属	<i>Typha</i>	3	-	-	-
イネ科	Gramineae	1	-	-	-
カラマツソウ 属	<i>Thalictrum</i>	1	-	-	-
フウロソウ属	<i>Geranium</i>	-	-	-	1
ヨモギ属	<i>Artemisia</i>	1	1	1	1
キク亜科	Carduoideae	4	-	-	-
Unknown Pollen					
不明花粉	Unknown pollen	1	1	2	2
Pteridophyta Spores					
ミズニラ属	<i>Isoetes</i>	-	-	1	-
他のシダ植物胞子	other Pteridophyta spores	10	18	10	21
T O T A L					
木本花粉	Arboreal Pollen	172	197	219	103
草本花粉	Nonarboreal Pollen	10	1	1	2
不明花粉	Unknown Pollen	1	1	2	2
シダ植物胞子	Pteridophyta Spores	10	18	11	21
総花粉・胞子	Total Number of Pollen & Spores	192	216	231	126

表4 珪藻分析の結果。

Table 4 Results of diatom analysis.

種類	生態性			環境 指標種	A No.4	B No.1	C No.2
	塩分	pH	流水				
<i>Nitzschia levidensis</i> (W.Smith) Grunow	Meh			E1		1	-
<i>Pseudopodosira kosugi</i> Tanimura et Sato	Meh			D1,E1		2	3
<i>Amphora ovalis</i> (Kuetz.) Kuetzing	Ogh-ind	al-il	ind	T		1	-
<i>Amphora</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk			1	-
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grun.) Simonsen	Ogh-ind	al-il	l-bi	N		63	55
<i>Aulacoseira</i> spp.	Ogh-unk	unk	l-ph	U		4	-
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehr.) Cleve	Ogh-ind	al-il	r-ph	T		3	-
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehr.) Cleve	Ogh-ind	al-il	r-ph	T		17	13
<i>Cocconeis</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk			3	1
<i>Cymbella minuta</i> Hilse ex Rabenhorst	Ogh-ind	ind	r-ph	K,T		1	-
<i>Cymbella</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk			1	-
<i>Diploneis yatukaensis</i> Horikawa et Okuno	Ogh-ind	ind	l-ph	RI	1	-	-
<i>Diploneis</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk			1	-
<i>Epithemia adnata</i> (Kuetz.) Brebisson	Ogh-ind	al-bi	ind	U	-	2	-
<i>Epithemia sorex</i> Kuetzing	Ogh-ind	al-bi	ind	T	-	23	20
<i>Epithemia sorex</i> var. <i>gracilis</i> Hustedr	Ogh-ind	al-il	ind	O,U	-	2	3
<i>Epithemia turgida</i> var. <i>granulata</i> (Ehr.) Grunow	Ogh-ind	al-bi	l-ph	O,U	-	-	4
<i>Epithemia turgida</i> var. <i>westermannii</i> (Ehr.) Grunow	Ogh-ind	al-il	ind	U	-	6	5
<i>Epithemia</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk			3	-
<i>Eunotia tenella</i> (Grun.) Hustedt	Ogh-hob	ac-il	ind	O,U	-	2	-
<i>Eunotia</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk		2	-	-
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres	Ogh-ind	al-il	ind	T	2	-	1
<i>Gomphonema clevei</i> Fricke	Ogh-ind	al-bi	r-ph	T	-	1	-
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kuetz.) Kuetzing	Ogh-ind	ind	ind	U	1	2	-
<i>Gomphonema</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk		-	1	-
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	Ogh-hil	al-bi	r-ph	K,U	-	-	2
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> W.Smith	Ogh-ind	al-il	l-ph	N,O, U	1	-	-
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Breb. ex Kuetz.) Lange-Bertalot	Ogh-ind	ind	r-ph	K,T	1	-	-
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Ag.) Lang-Bertalot	Ogh-hil	al-il	r-ph	K,T	-	1	-
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) Mueller	Ogh-ind	al-il	ind	O,U	2	4	5
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kuetzing	Ogh-ind	ac-il	l-bi	O,T	19	-	-
<i>Tabellaria</i> spp.	Ogh-unk	unk	unk		3	-	-
海水生種					0	0	0
海水～汽水生種					0	0	0
汽水生種					0	3	3
淡水～汽水生種					0	0	0
淡水生種					32	142	109
珪藻化石総数					32	145	112

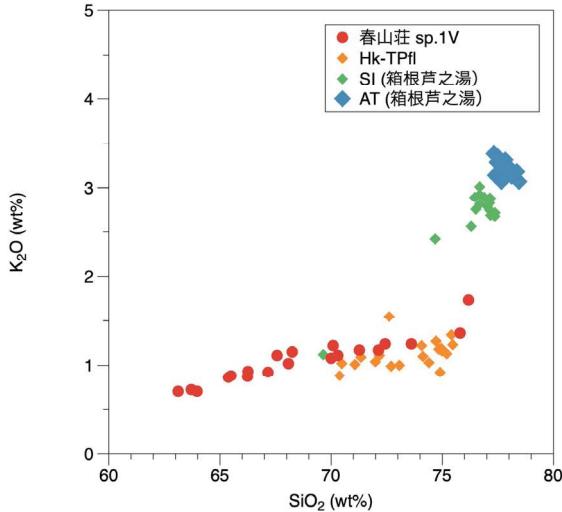


図9 湖成堆積物中に含まれる火山ガラスの  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  組成図。

Fig. 9  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  composition of volcanic glass in the lacustrine.

## 5. 考察

### 5.1. 古強羅湖との比較

萬年（2014）は本露頭の東にある強羅付近で、寒冷期である海洋酸素同位体比ステージ（MIS）4の時期に、直径2 kmほどの湖である古強羅湖が形成され（水面の下限は標高468 m）、強羅凝灰質砂泥部層が堆積したとした。古強羅湖は $^{14}\text{C}$ 年代の測定限界に近い古さであることに加えて、良好な年代測定用試料を産しないため、数値年代の測定が行われていないが、花粉化石や珪藻化石についてはよく検討されている。そこで、古強羅湖とこの露頭の湖成層（以下、近傍のバス停の名称から春山下湖成層と呼ぶ）の微化石を比較検討し、古強羅湖との関係を考察する。

春山下湖成層から検出された花粉化石は *Abies*（モミ属）や *Tsuga*（ツガ属）が多産し、現在より寒冷な気候が示唆される。これらは古強羅湖でも優占するが、同様に優占する *Picea*（トウヒ属）は春山下湖成層では多くない。また、古強羅湖では多くないものの特徴的に産する *Hemiptelea*（ハリゲヤキ属）が春山下湖成層では認められないという顕著な違いがある。

古強羅湖の湛水時期は寒冷期に対比されているが、*Picea*を多産しない春山下湖成層はこれよりやや温暖であることが示唆される。また、*Hemiptelea*は、4.3～3.8万年前頃には国内で絶滅したと考えられるが（吉田ほか, 2011）、春山下湖成層でこれが検出されない。春山下湖成層では、標高571 m付近では部分的に *Tsuga*?

の樹皮に富み、この $^{14}\text{C}$ 年代を測定したところ、31.9～31.4 ka cal BPに求められた。この $^{14}\text{C}$ 年代は4.3～3.8万年前に絶滅したとされる *Hemiptelea*が検出されない事実と、調和的である。以上のことから、春山下湖成層は古強羅湖より明らかに若い別の湖成層であると結論できる。

春山下湖成層の珪藻化石は好流水性種の *Cocconesia placentula* var. *lineata*、流水不定種の *Epithemia sorex*、止水生種の *Aulacoseira ambigua*など特徴的に産し、基本的に湖沼の環境であったと考えられるが、流水の影響も強く受けていることが示唆される。こうした珪藻化石群集は、*Cyclotella reczickiae*、*Fragilaria zeilleri* var. *elliptica*、*Fragilaria ulna*などを特徴的に多産する強羅湖成層と顕著に異なり、珪藻化石からも春山下湖成層は強羅湖成層よりも明らかに異なる年代の湖成層であると結論できる。

### 5.2. 仙石原湖と湖成層の対比

大木・袴田（1975）は、カルデラ形成後、現在の早川沿いのカルデラ北部から西部にかけての広大な地域に水域が発達したと考え、これを仙石原湖と呼んだ。この考えは基本的に現在まで踏襲されている（小林, 2008; 山口ほか, 2021）。今回発見された湖成層は、前述通り強羅湖成層に対比できないことから、次に仙石原湖との対比を検討する。

小林（2008）は早川流域の段丘面と湖成層をまとめ、年代観を示した。以下はその概要である。まず、春山荘をなす平坦面を春山荘面と呼んだ。春山荘面は仙石原湖の31 ka cal BP頃における水位低下によって陸化したと考えた（小林, 2008; 山口ほか, 2021）。また、俵石（図1）付近の平坦面を、春山荘面の侵食地形と考え俵石面とした。ここでは、下位より箱根神山1ブロックアンドアッシュフロー型火砕流堆積物（Hk-Km1; 49 ka（山口ほか, 2021））、シルト—砂互層からなる湖成堆積物（標高640 m付近）、これを不整合に覆う富士火山起源スコリアの二次堆積物である砂礫・シルト互層からなる河川性堆積物を確認できるとしている。そして、湖成堆積物中からはパッチ状に存在するATを認めている。一方、春山荘面の露頭（標高660 m付近）では、砂礫互層からなる河川性堆積物を認め、このなかにATが挟在することを報告した。以上の観察から小林（2008）は、これら2つの段丘面について、春山荘面が仙石原湖形成時の堆積面である一方、俵石面はその後に下刻がすすむ過程で一時的に形成された小規模な堆積面であるとした。仙石原湖は、AT堆積より前の高い標高の水位を持つもの

と、ATと同時期の低い標高の水位を持つものの、少なくとも2世代があったことになる。

大木・袴田（1975）も、水位の標高的に2世代の仙石原湖があることを認めている。初期の仙石原湖の水面は、碓氷峠付近の後期中央火口丘期の火碎流堆積物を地形的障壁として標高650m付近にあったと考えた。その後、俵石で露出する「熱雲堆積物」の標高が650mで、その中に含まれる炭化木の<sup>14</sup>C年代が28kaとされているので、その頃までには仙石原湖の水面は標高650mよりも低くなかった。一方、小林（2008）は、初期の仙石原湖は、Hk-Km1ブロックアンドアッシュフロー堆積物が小塚山付近で早川を堰き止めたため、形成されたと考えた。最近では、深海底ボーリングコアの酸素同位体比曲線の改定とそれに伴う大規模噴火に伴う広域テフラ（AT、Hk-TP等）の年代の見直しが進められており、箱根地域においても、このような新しい年代と層位関係に基づいて、テフラの年代が見直されている。この結果、仙石原湖に形成に関与したHk-Km1が40ka（小林、2008）から49kaに改定された（山口ほか、2021）。以上のように仙石原湖の形成に関しては年代や堰き止めの原因について見解の違いが若干認められる。しかし、仙石原湖はカルデラ形成後速やかにカルデラ北部から西部にかけて形成されたが、水位は一定に保たれたわけではなく、31ka cal BPごろまでには低下したものとする考えは研究の初期から示されていたといえよう。

この年代観に基づいて、この露頭の湖成層を対比してみよう。この露頭では、露出下限の標高571mから575mにかけてシルト質の湖成層が発見された。標高571m付近では部分的に*Tsuga?*の樹皮に富み、この<sup>14</sup>C年代を測定したところ、31.9～31.4ka cal BPに求められた（表2）。これは湖成層の上限付近の年代であるから、ATと同時期の俵石の堆積面年代よりは明らかに古く、このことのみを判断基準にするとAT堆積以前に存在した高い標高に水位を持つ時期の仙石原湖に対比できるように思える。

しかし、春山下湖成層の標高は570m付近と、これまで仙石原湖の湖成堆積物とされてきたものの中でも低い俵石面直下の湖成層より70mほど低い。このことは、仙石原湖とは異なる湖の堆積物である可能性を示唆するようにみられる。加えて、含まれる珪藻化石が少ないため、環境決定には若干懸念のあるものの、流水の影響を比較的受けた堆積環境が示唆されている点も、安定的大きい水域というより、小規模で河川の影響を強く受けた一時的な水域であることを示唆するように見える。以上のことを踏まえると、春山下湖成層は仙石原湖と同時

期ではあるものの、これとは異なる湖の堆積物である可能性が指摘できる。しかし、肝心の仙石原湖の堆積物のとくに古い部分に関して、微化石の検討はほとんど無く、これ以上の議論は困難であることも事実である。

### 5.3. 地層年代の逆転

本露頭では前述した湖成層（31.9～31.4ka cal BP）の20mほど上位の標高595m～622\*m付近にブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物が認められ、この直下の泥炭質土壌（標高594m）の<sup>14</sup>C年代が43.9～42.1ka cal BPと求められた。つまり、この露頭では見かけ上、上位の層準の数値年代が古い、逆転がみられる。ちなみにこのブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物は、年代と分布から、Hk-Km1と対比できる可能性がある。

さて、この逆転について、従来の段丘区分と年代観に基づいて解決するとすれば、ブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物を含む露頭上部は春山莊面の断面を、春山下湖成層をふくむ露頭下部は俵石面の断面が露出しているという解釈になるが、春山下湖成層がAT以前の堆積物であることは確実なので、俵石面の下にある湖成層の年代と矛盾する。従って、春山下湖成層は、俵石面と同様に春山莊面を下刻する途中で一時的にできた水域の堆積物ではあるものの、俵石面よりは古い別の成立過程を有すると考えられる。

しかし、これらの地層年代の逆転を及ぼした地層境界の存在（例えば、春山莊を構成する地層と春山下湖成層をふくむ一時的な堆積物の境界など）を、私たちの調査では、日程の都合上精査することが出来なかった。標高578m付近の土壌とみられる地層がその境界に相当するものかもしれないが、現時点ではその可能性を示すに留めることにする。

### 5.4. カルデラ北部の湖沼の変遷

以上をまとめると、強羅から俵石にかけてのカルデラ北部地域における湖沼の変遷は次のようにまとめられる。

カルデラ形成期（66ka cal BP; 青木ほか、2008）にできたカルデラ内に湛水した古強羅湖（推定水面標高≥470m）が形成された（萬年、2014）。その後31ka cal BPごろまでに、本露頭で認められた春山下湖成層を形成した湖が形成された。ここでは仮に古春山下湖とする。古春山下湖の推定水面標高は570m以上で、早川沿いでこの標高の狭窄部を探すと碓氷峠～碓氷洞門付近ぐらいしかなく、だとすると水域は東西1kmほ

どしかないことになるが（図1）、正確な水域は今後の湖成層の検出を待つしか無い。ちなみに、仙石原第21号井では（図1；萬年, 2014）、スポットコアだが深度99.8～102.7 m（標高454～451.3 m）に粗粒の水平ラミナを含む地層が認められており（萬年, 1999）、これが春山下湖成層と対比できる可能性があるが、花粉化石は検出されず（萬年, 2008）。これ以上の検討は難しい。一方、仙石原湖（湖面標高660 m<）では、その最高水位に対応する春山荘面が形成された後、仙石原湖の水位が徐々に低下する過程で一時的に水位変化が停滞し、標高640 mの俵石面を形成した。この時にATが降下堆積しており、俵石面では湖成堆積物、春山荘面ではこれを覆う河川堆積物の中から確認できる。なお、ATは国道1号線沿いの露頭（町田、1977）や元湯場の露頭（小林, 2008）で、標高650 m程度にATが湖成堆積物中から確認されている。この時点でも大きな水域を保っていたことが想像できる（小林、2008）。

## 6.まとめ

2019年の大雨による土砂崩れで露出した春山下の露頭について、地質の記載を行うとともに、最下部に認められる湖成層の意義について検討した。その結果、この露頭でみられる湖成層は、従来報告がある古強羅湖とも、仙石原湖とも異なる湖の堆積部である可能性が高いことがわかった。そこで、ここでは仮に、この堆積物を春山下湖成層、それを形成した湖を古春山下湖と呼ぶこととした。露頭の見かけ上、上位にはHk-Km1に対比できる可能性が高いブロックアンドアッシュフロー型火碎流堆積物が見つかった。これは春山荘面（小林, 2008）を構成する地層である一方、春山下湖成層は春山荘面を早川が一旦下刻した後、堆積した湖成堆積物と判断するのが妥当だが、両者の正確な境界はよくわからなかった。なお、仙石原湖に関しては古くから多くの論文で言及されている一方、花粉や珪藻化石に関する知見はほとんど無く、水域の拡がりや周辺環境、水質などが全く不明である結果、ほかの湖成層との対比が困難となっていることは、箱根地域のカルデラ湖の変遷を探る上で大きな障害であり、今後の改善が期待される。

## 参考文献

- 青木かおり・入野智久・大場忠道（2008）鹿島沖海底コアMD01-2421の後期更新世テフラ層序、第四紀研究, 47, 391-407.
- 箱根町（2020）令和元年台風第19号災害対応報告書, <https://www.town.hakone.kanagawa.jp/www/contents/1100000001776/simple/20200731-084438.pdf>
- 神奈川県（2023）国道138号（箱根町）に新たな洞門が完成しました, <https://www.pref.kanagawa.jp/docs/b4w/douroijika/r138doumon.html>
- 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.
- 小林 淳（2008）箱根火山中央火口丘群の噴火史とカルデラ内の地形発達史—噴火活動と密接な関連を有する地形—、神奈川県博調査研究報, 13, 43-60.
- 町田 洋（1977）火山灰は語る一火山と平野の自然史、蒼樹書房, 324.
- 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, 1-336.
- 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、温地研報告, 31, 1-156.
- 萬年一剛（2008）箱根カルデラ北部で掘削された孔井の地質試料（1998-2008年解析分）、温地研報告, 40, 91-128.
- 萬年一剛（2014）箱根火山群、強羅付近の後カルデラ地質発達史、地質学雑誌, 120, 117-136.
- 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.
- 佐護浩一・町田 洋（1996）三瓶山東方地域における更新世後期テフラ、「第四紀露頭集－日本のテフラ」、日本第四紀学会, 282.
- Suzuki, T., Kasahara, A., Nishizawa, F., and Saito, H. (2014) Chemical characterization of volcanic glass shards by energy dispersive X-ray spectrometry with EDAX Genesis APEX2 and JEOL JSM-6390. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 49, 1-12.
- 山口珠美・山下浩之・萬年一剛・小林 淳（2021）箱根火山の地質と形成史：最近の研究レビュー、神奈川博調査研報, 16, 137-160.
- 吉田明弘・鈴木三男・金憲彌・大井信三・中島 礼・工藤 雄一郎・安藤 寿男・西本 豊弘（2011）茨城県花室川堆積物の花粉・木材化石からみた最終氷期の環境変遷と絶滅種ヒメハリゲヤキの古生態、植生史研究, 20, 27-40.