

阿寒カルデラ阿寒湖温泉街東側に分布する軽石質火砕流堆積物の特徴と U-Pb 年代
**Characteristics and U-Pb ages of pumiceous pyroclastic flow deposits around Akanko Hot
Spring, Akan Caldera, Japan**

石塚吉浩¹・佐藤鋭一²・檀原 徹³・和田恵治²

ISHIZUKA Yoshihiro¹, SATO Eiichi², DANHARA Toru³ and WADA Keiji²

¹地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

²北海道教育大学旭川校

Hokkaido University of Education at Asahikawa

³株式会社 京都フィッション・トラック

Kyoto Fission-Track Co., Ltd.

Ishizuka, Y., Sato, E., Danhara, T. and Wada, K. (2026) Characteristics and U-Pb ages of pumiceous pyroclastic flow deposits around Akanko Hot Spring, Akan Caldera, Japan. Open-File Report on the Geological Survey of Japan, AIST, no. 787, 11p.

要旨

阿寒カルデラ内の阿寒湖温泉街東側に小規模に分布する火山礫凝灰岩を再記載し、阿寒岳神社奥之院火砕流堆積物と呼ぶ。この堆積物は、弱溶結で変質に乏しい流紋岩火山礫凝灰岩からなり、普通角閃石および直方輝石を極少量含む。これまで新第三紀中新世に対比されてきたが、新たに 0.25 ± 0.05 Ma のチバニアン期に相当する U-Pb 年代を得た。この年代は阿寒火砕流堆積物や屈斜路火砕流堆積物の活動時期に近い。一方で、本火砕流堆積物は分布が限られていること、普通角閃石を含むことから、阿寒カルデラ外側に点在する同時代の阿寒火砕流堆積物との対比関係は、現時点では明らかでない。

Abstract

Akandakejinjaokunoin Pyroclastic Flow Deposit, exposed east of Akanko Hot Spring, is newly described. Previously assigned to the Miocene, the deposit consists of weakly welded, slightly altered rhyolitic lapilli tuff containing minor amounts of hornblende and orthopyroxene. A new U-Pb age of 0.25 ± 0.05 Ma places the deposit in the Chibanian and is close to the ages of the Akan and Kutcharo

pyroclastic flow deposits. However, its limited distribution and hornblende-bearing mineral assemblage make its correlation with similarly aged Akan pyroclastic flow deposits outside the caldera uncertain.

1. はじめに

阿寒カルデラは、北海道東部を代表する大型カルデラの一つであり、少なくとも前期更新世以降、長期にわたって大規模な火砕噴火を繰り返してきた火山である。阿寒カルデラ周辺の火砕堆積物については、層序、年代、岩石学的特徴に基づく研究により、多数の噴火ユニットが識別されている（長谷川・中川，2007）。一方、カルデラ内部に分布する小規模な火砕流堆積物については、分布が限られることなどから、産状、岩石学的特徴および年代に関する基礎的な記載データの蓄積が十分とはいえない。

カルデラ内部では、後カルデラ火山噴出物や湖成堆積物に覆われるため、火砕流堆積物の分布や層序関係を直接確認できる場所は限られている。このため、カルデラ内部に残された小規模な火砕流堆積物の年代と岩石学的特徴を明らかにすることは、既存の噴火層序を補足し、カルデラ内外の火砕堆積物の対比を検討するための基礎資料となる。阿寒カルデラ内の阿寒湖温泉街東側に位置する阿寒岳神社奥之院^{おくのいん}周辺には、従来、中新統湖畔層^{こはん}に属するとされてきた軽石質火砕流堆積物が分布するが、これまで放射年代値は報告されていなかった。本研究では、この軽石質火砕流堆積物について産状、岩石学的特徴および U-Pb 年代を、阿寒カルデラ周辺の火砕堆積物に関する基礎資料として報告する。

2. 阿寒湖温泉街周辺の地質概説

阿寒カルデラ内の阿寒湖温泉街周辺には、新第三系と第四系が分布する。新第三系は中新統湖畔層からなり、安山岩質溶岩、軽石凝灰岩および凝灰質泥岩を主体とする（佐藤，1965）。第四系は、阿寒カルデラ外輪山を構成する溶岩類、カルデラ内を埋積する湖成堆積物からなる古阿寒湖層、ならびに雄阿寒岳・雌阿寒岳などの後カルデラ火山噴出物からなる。阿寒カルデラ周辺では、少なくとも 130 万年前以降に複数回の大規模火砕噴火が発生し、カルデラ形成に伴う火砕流堆積物が広く分布する。最新のカルデラ形成噴火は 34 万年前以降とされている（長谷川・中川，2007）。一方、カルデラ内部では湖成堆積物や後カルデラ火山噴出物に覆われるため、火砕流堆積物の露出は限られる。本研究で対象とする阿寒湖温泉街東側の軽石質火砕流堆積物も、既存地質図では湖畔層に含まれている（佐藤，1965）が、その産状と年代については再検討の余地がある。

3. 阿寒湖温泉街東側の軽石質火砕流堆積物

前章で述べた阿寒湖温泉街東側の露出のうち、阿寒岳神社奥之院周辺では、灰白色ないし淡黄褐色を呈する弱溶結で軽石を含む火山礫凝灰岩が確認される。その岩石学的特徴および後述の年代測定結果を踏まえて再定義して、記載する。

地層名：阿寒岳神社奥之院付近 (43.43416° N, 144.10140° E; 第1図) に模式的に露出することから阿寒岳神社奥之院火砕流堆積物とする(新称)。佐藤(1965)の記載した新第三系中新統湖畔層を構成する軽石凝灰岩に相当する。

分布と層序関係：本堆積物は、阿寒湖温泉街東側において、約 750 m×500 m の狭い範囲に分布する。露出は2地点で確認され、その一つは阿寒岳神社奥之院付近、もう一つは阿寒湖畔である。阿寒湖畔の露頭は、噴気の影響により強い変質を受けている。周囲とは孤立して存在し、露頭も限られるために下位層との関係は不明で、阿寒湖温泉街東側では高位段丘堆積物にアバットされる。

産状：本堆積物は主に灰白色を呈し、一部は淡黄褐色を帯びる火山礫凝灰岩からなる(第2図)。塊状で明瞭な層理は認められず、弱く溶結している。火山灰基質中には、径 2 cm 以下の発泡度の低い軽石片が含まれる。全体として変質は軽微であるが、一部の軽石片には変質が認められる。

岩石名：普通角閃石直方輝石含有流紋岩。

岩石記載：本火山礫凝灰岩は、軽石片と、火山ガラス片および結晶の破片状粒子からなる火山灰基質で構成される。火山ガラス片は淡褐色を呈し、主に細粒の破片状ないし繊維状を示す。軽石片は内部に円形から楕円形の気泡を有し、全体としてやや扁平化しており、一部に軽微な変質が認められる。結晶片は主に斜長石(径 0.5 mm 以下)からなり、普通角閃石(径 0.3 mm 以下)および直方輝石(径 0.2 mm 以下)をごく少量含む(第3図, 第4図)。石質岩片は露頭・標本・顕微鏡のいずれのスケールでも明瞭には確認されていない。

全岩化学組成：全岩化学組成の測定には、火山灰基質を含めた直径約 10 cm の火山礫凝灰岩試料を用いた。試料を粉碎したのち、850 °Cで4時間灼熱し、産総研地質調査総合センターGSJ Lab.のPANalytical Axiosにより測定した。測定手法はOgasawara *et al.* (2018)に従った。測定結果を第1表に示す。Total 100%に再計算した値では、SiO₂=69.2-69.3 wt.%, K₂O=2.03 wt.%の流紋岩組成を示す。

4. U-Pb 年代測定手法と年代値

U-Pb 年代測定は(株)京都フィッシュン・トラックで行った。火山礫凝灰岩 750 g から、重液分離と磁性分離を用いて 120 粒のジルコン粒子を抽出した。本試料のジルコン含有量は少なく、粒径は 60~200 μm と細粒である。晶癖や色調の多様性から多起源粒子の混在が予想されるが、インクルージョンの影響は少なく、年代測定に適した試料と判断された。

年代測定は東京大学理学系研究科地殻化学実験施設平田研究室所有の LA-ICP-MS を用いて 30 粒子について行った。測定条件の詳細は第2表に示す。そのうちコンコダント粒子は 24 個(コンコダント比率 80%)であった。この比率は十分に高く、併行して実施さ

れた標準物質の繰り返し測定値が推奨値と誤差範囲で一致することから、安定した測定結果と判断できる。なお非常に若い U-Pb 年代粒子群を含むことから、測定データの解釈には U-Th-Pb 非平衡補正 (Sakata, 2018) を加えた。

コンコダント粒子 24 個の年代は、100 Ma 台が 2 個、7 Ma 台が 1 個、5~1 Ma 台が 13 個、0.6~0.1 Ma 台が 7 個であり、4 つの年代クラスターから構成される。コンコダント最若粒子集団として 0.6~0.1 Ma 台の 7 粒子を抽出し、それらの加重平均値である 0.25 ± 0.05 Ma を本試料の年代値とみなした (第 3 表, 第 5 図)。

5. 阿寒火砕流堆積物および屈斜路火砕流堆積物との対比

阿寒岳神社奥之院火砕流堆積物から得られた U-Pb 年代は 0.25 ± 0.05 Ma であり、阿寒カルデラの最新期の火砕流活動および周辺カルデラ火山の活動時期と重なる。また、本堆積物は従来、中新統湖畔層に含められてきたが、産状および年代値からは第四紀更新世チバニアン期の火砕流堆積物である可能性を示す。このため、本堆積物の給源および既存火砕流堆積物との関係を検討する基礎資料として、年代、分布、全岩化学組成および鉱物組合せに基づき、阿寒火砕流堆積物および屈斜路火砕流堆積物との対比を行う。

阿寒火砕流堆積物については、少なくとも 130 万年前以降に 17 回の火砕流流出イベントが識別されており、このうち 34 万年前以降に流出したものは Ak-1 および Ak-2 である (長谷川・中川, 2007)。阿寒火砕流堆積物の全岩化学組成は $\text{SiO}_2=60.5\text{--}76.2$ wt.%, $\text{K}_2\text{O}=0.8\text{--}2.8$ wt.% と広い範囲を示すが、 K_2O のハーカー図では各噴火グループに対応した組成トレンドが認識される (長谷川・中川, 2007)。本研究で測定した 2 試料は、Total 100% に再計算した値で $\text{SiO}_2=69.2\text{--}69.3$ wt.%, $\text{K}_2\text{O}=2.03$ wt.% を示し、化学組成上は Ak-2 の組成範囲に近い (第 6 図)。さらに、本堆積物の調査地点は阿寒カルデラ内の中央部に位置し、Ak-2 は阿寒カルデラ西部から流出したとされるため (長谷川, 2017)、分布上もカルデラ内に堆積した可能性と矛盾しない。

ただし、阿寒火砕流堆積物には普通角閃石が含まれないとされるのに対し (長谷川・中川, 2007)、本堆積物には普通角閃石が認められる。この点は、化学組成のみから本堆積物を Ak-2 に単純に対比することを難しくしている。本堆積物と年代範囲が重なる可能性のある広域火砕流堆積物として、屈斜路火砕流堆積物 VIII (Kp-VIII, 210 ± 180 ka; 長谷川ほか, 2011) が挙げられるが、屈斜路火砕流堆積物にも普通角閃石は含まれない。一方、長谷川・中川 (2007) は、阿寒火砕流堆積物中に普通角閃石を含む流紋岩質火砕岩類が挟在することを報告している。これら火砕岩は阿寒・屈斜路地域以外の火山を給源に持つ可能性があると言われており、普通角閃石を含む本堆積物との関係についても検討の余地がある。

以上のことから、阿寒湖温泉街東側に分布する本堆積物は、年代および全岩化学組成の点では阿寒火砕流堆積物、とくに Ak-2 との関連が示唆されるものの、鉱物組合せには違いが認められるため、現時点では特定の既知の火砕流堆積物に対比することはできない。

6. まとめ

阿寒カルデラ内の阿寒湖温泉街東側に小規模に分布する火山礫凝灰岩について、産状および岩石学的特徴を再記載するとともに、全岩化学組成および U-Pb 年代を新たに明らかにし、本堆積物を阿寒岳神社奥之院火砕流堆積物と新称した。本堆積物は従来、中新統湖畔層に含められてきたが、ジルコンの U-Pb 年代として 0.25 ± 0.05 Ma が得られたことから、第四紀に形成された火砕流堆積物である可能性が高い。全岩化学組成は阿寒火砕流堆積物の Ak-2 に近いものの、普通角閃石を含む点で、既知の阿寒火砕流堆積物および屈斜路火砕流堆積物とは異なる。このため、本堆積物の給源および既知の火砕流堆積物との対比については、今後さらに検討する必要がある。

謝辞

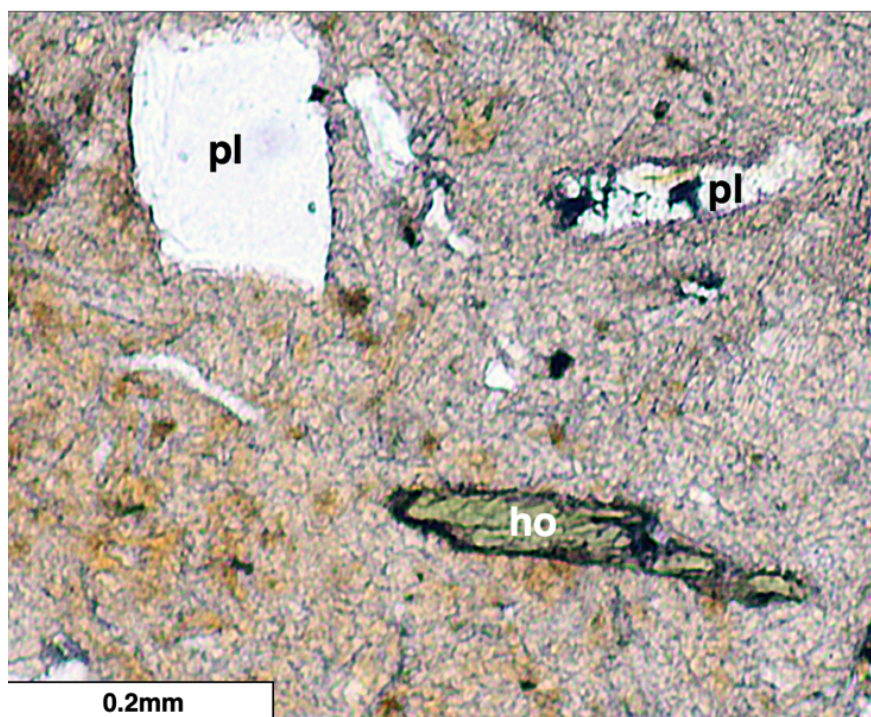
本報告をまとめるにあたり、古川竜太博士と草野有紀博士には鏡下観察で、GSJ 地質試料調整グループには薄片作製でお世話になった。以上の方々に深く感謝する。



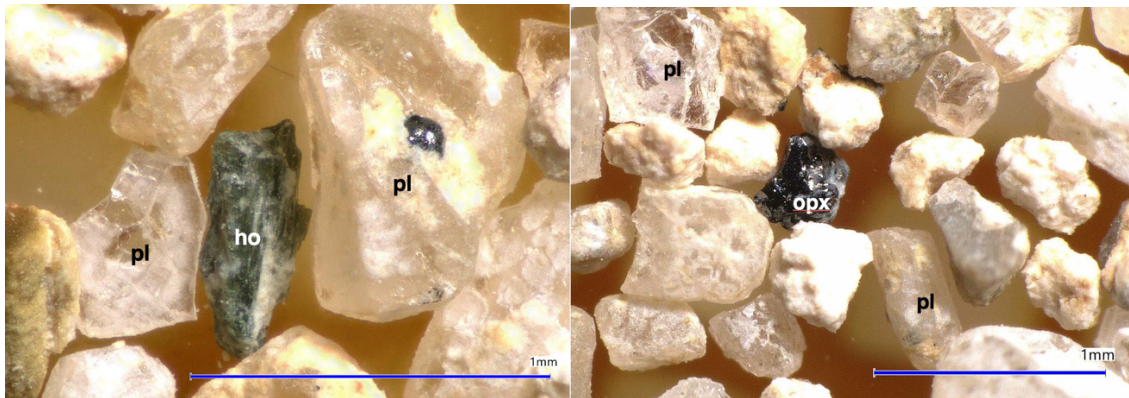
第 1 図 阿寒岳神社奥之院火砕流堆積物の試料採取地点 (矢印の赤丸)。阿寒町阿寒湖温泉標高 440 m 付近。阿寒岳神社奥之院火砕流堆積物堆積物の分布範囲を黒の太点線で示す。地理院地図 (電子国土 WEB) を使用した。



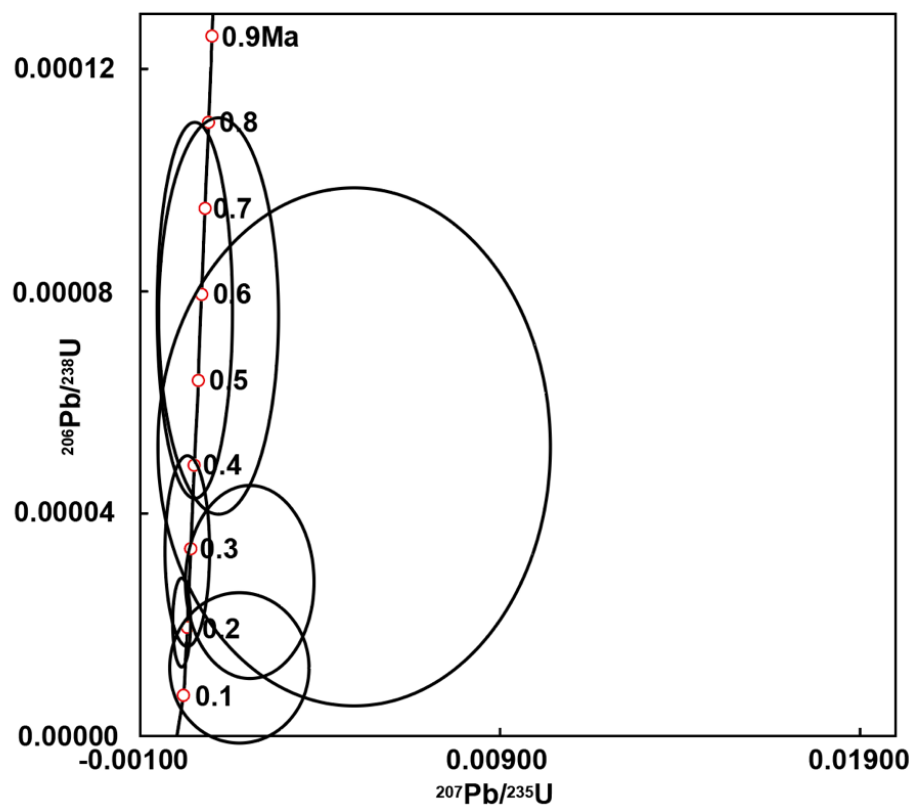
第 2 図 第 1 図の試料採取地点での火山礫凝灰岩の写真．塊状で明瞭な層理は認められない．弱溶結．径 2 cm 以下の発泡した軽石片を含む．



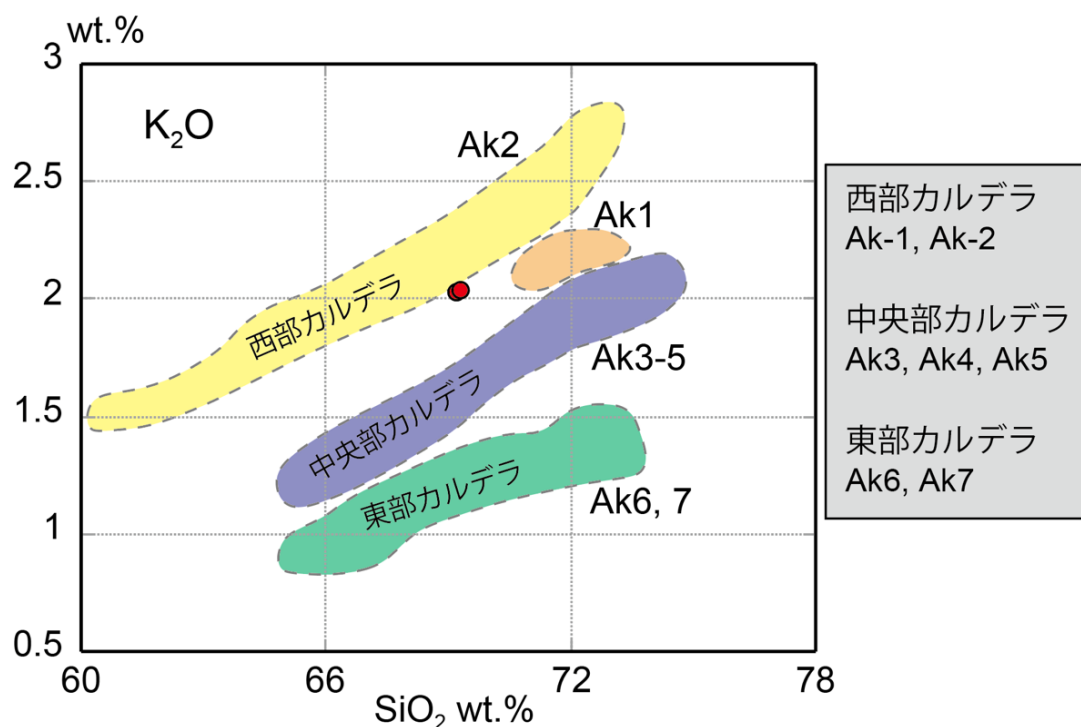
第 3 図 火山礫凝灰岩の顕微鏡写真．オープンニコル．pl: 斜長石，ho: 普通角閃石．



第4図 火山礫凝灰岩の実体顕微鏡写真。粒径 0.1 mm～0.5 mm。pl: 斜長石, ho: 普通角閃石, opx: 直方輝石。スケールは 1mm。



第5図 阿寒湖温泉街東側に分布する火山礫凝灰岩中のジルコンの U-Pb コンコーディア図。コンコーダント最若粒子集団を示す。



第 6 図 全岩化学組成のハーカー図. 本研究による阿寒湖温泉街東側の軽石質火砕流堆積物 (赤丸) と, 阿寒火砕流堆積物の組成範囲 (Ak-1~Ak-7; 長谷川・中川, 2007) を示す.

第 1 表 阿寒湖温泉街東側に分布する火山礫凝灰岩の全岩化学組成.

試料名	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total	ig-loss
240904-1-1	66.70	0.53	16.24	2.85	0.06	0.50	4.60	2.83	1.96	0.10	96.36	4.77
240904-1-2	66.35	0.53	16.02	2.86	0.07	0.50	4.59	2.79	1.95	0.10	95.74	4.96

採取地点は43.43416° N., 144.10140° E. 釧路市阿寒町阿寒湖温泉標高440m.

ig-loss ; 850°Cで4時間灼熱後の減量 (%), * ; 全鉄量

産総研地質調査総合センターGSJ Lab.のPANalytical Axiosにて測定. 測定手法はOgasawara et al. (2018) に従った.

試料240904-1-1と240904-1-2は, 直径約10cmの採取試料を粉碎した後、2分割して個別に分析を行ったものである.

第2表 測定条件一覧表 東京大学大学院理学系研究科地球化学実験施設 LA-ICP-MS.

試料名：240904-1		[2024年11月30日測定] 結晶外部面でFT・U-Pb年代測定 (30粒子)
1 レーザーアブレーションシステム		
製造元	Light Conversion, Vilnius, LITHUANIA	
製品名	Carbide	
レーザー種類	Yb:KGW femtosecond laser (ST Japan Inc., Tokyo, Japan)	
パルス幅	290 fs	
波長	260 nm (4th Harmonic Generation)	
フルエンス (パワー)	3.8 J cm ⁻¹ (30mW)	
ビーム径	10 μm	
レーザー照射方法	multi- spot	
ガルバノ光学系	used	
周波数	150 Hz	
レーザー照射形状(面積)	30μm角 (30μm×30μm)	
照射時間	10 s	
キャリアガス (He)	0.40 L min ⁻¹	
2 ICP質量分析計		
製造元	PerkinElmer, USA, Japan	
製品名	NexION 5000 multi-quadrupole ICP-MS	
ICP-MS 種類	トリプル四重極型	
スキャンモード	Q3 Only モード	
イオンガイドモード(IGM)	Extraction	
プロファイル	Heium KED (He gas flow: 3ml/min)	
RFパワー	1600 W	
キャリアガス (Ar)	1.30 L min ⁻¹	
ThO ⁺ /Th 酸化物生成率	～ 1%	
データ取得方法	Time-resolved analysis Integration of total ion counts per single ablation. The signal intensities gained from first few seconds were not used for the compilation of data, and next signals gained from 10 s were integrated for further calculations.	
データ取得時間	25 s (15 s gas blank, 10 s ablation)	
測定同位体	²⁹ Si, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ (Pb+Hg), ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U The isotope ²⁹ Si was used as an internal standard for normalizing intensity of ²³⁸ U for U concentration calculation. The ²³⁵ U signal intensity is calculated based on assuming a U decay constants by ²³⁸ U/ ²³⁵ U of 137.88 [Jaffey et al. 1971]. (²³⁵ U counts = ²³⁸ U counts / 137.88)	
滞留時間	0.2 s for ²⁰⁶ , ²⁰⁷ Pb, 0.1 s for others	
3 スタンダード試料		
1次スタンダード (U-Pb)	91500 ^{*1}	
2次スタンダード (U-Pb)	Plešovice ^{*2} , OD-3 ^{*3,4,5} , GJ-1 ^{*6} ,	
1次スタンダード (FT)	Fish Canyon Tuff ^{*7,8}	

*1, Wiedenbeck et al. (1995); *2, Sláma et al. (2008); *3, Iwano et al. (2012); *4, Iwano et al. (2013); *5, Lukács et al. (2015); *6, Jackson et al. (2004); *7, Danhara and Iwano (2013); *8, Iwano et al. (2018)

第 3 表 阿寒湖温泉街東側に分布する火山礫凝灰岩中の分析ジルコンから得られた加重平均 U-Pb 年代. コンコードント最若粒子集団の分析結果を示す.

Grain Number	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Error 2 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error 2 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error 2 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age (Ma)	Error 2 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ age (Ma)	Error 2 σ
no.5	0.81	0.04921 $\pm$ 0.10083		0.00008 $\pm$ 0.00003		0.00052 $\pm$ 0.00104		0.58 $\pm$ 0.22		0.42 $\pm$ 1.06	
no.7	0.63	1.03347 $\pm$ 1.60351		0.00001 $\pm$ 0.00001		0.00176 $\pm$ 0.00194		0.14 $\pm$ 0.17		1.67 $\pm$ 1.96	
no.9	0.90	0.05041 $\pm$ 0.08953		0.00002 $\pm$ 0.00001		0.00014 $\pm$ 0.00025		0.21 $\pm$ 0.06		0.06 $\pm$ 0.22	
no.14	0.65	0.53340 $\pm$ 0.57064		0.00003 $\pm$ 0.00002		0.00204 $\pm$ 0.00178		0.26 $\pm$ 0.13		1.96 $\pm$ 1.81	
no.15	0.76	0.11274 $\pm$ 0.16819		0.00008 $\pm$ 0.00004		0.00118 $\pm$ 0.00167		0.57 $\pm$ 0.23		1.08 $\pm$ 1.69	
no.25	0.37	0.06740 $\pm$ 0.13925		0.00003 $\pm$ 0.00002		0.00031 $\pm$ 0.00062		0.30 $\pm$ 0.12		0.20 $\pm$ 0.63	
no.27	0.48	0.68898 $\pm$ 0.97617		0.00005 $\pm$ 0.00005		0.00495 $\pm$ 0.00546		0.42 $\pm$ 0.34		4.90 $\pm$ 5.50	
Average $\pm$ 2SD								0.35 $\pm$ 0.35		1.47 $\pm$ 3.36	
Weighted average								0.25 $\pm$ 0.05		0.15 $\pm$ 0.20	

文献

- Danhara, T. and Iwano, H. (2013) A review of the present state of the absolute calibration for zircon fission track geochronometry using the external detector method. *Island Arc*, **22**, 264–279.
- 長谷川 健・中川光弘 (2007) 北海道東部, 阿寒カルデラ周辺の前–中期更新世火砕堆積物の層序. 地質学雑誌, **113**, 53-72.
- 長谷川 健・中川光弘・伊藤順一・山元孝広 (2011) 北海道東部, 釧路地域に分布する第四系の年代: 高分解能テフラ層序に基づく対比と編年. 地質学雑誌, **117**, 686–699.
- 長谷川 健 (2017) 阿寒火山におけるカルデラの成り立ち. 佐藤 謙・日野修次・和田恵治・若菜 勇 監修 阿寒の大自然誌, 釧路叢書, **37**, 3–15.
- 岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳史・小笠原正継 (2012) 同一ジルコン結晶を用いたフィッシュン・トラックと U-Pb ダブル年代測定法の評価—島根県川本花崗閃緑岩中の均質ジルコンを用いて—. 地質学雑誌, **118**, 365–375.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J.-I., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y. and Yamamoto, K. (2013) An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U–Pb dating standard. *Island Arc*, **22**, 382–394.
- Iwano, H., Danhara, T. and Hirata, T. (2018) Standardless fission-track ages of the IUGS age standards. *Chemical Geology*, **488**, 87–104.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A. (2004) The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, **211**, 47–69. doi:10.1016/j.chemgeo.2004.06.017.
- Ogasawara, M., Mikoshiba, M., Geshi, N., Shimoda, G. and Ishizuka, Y. (2018) Optimization of analytical conditions for major element analysis of geological samples with XRF using glass beads. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **69**, 91–103.
- Lukács, R., Harangi, S., Bachmann, O., Guillong, M., Danišík, M., Buret, Y., von Quadt, A., Dunkl, I., Fodor, L., Sliwinski, J., Soós, I. and Szepesi, J. (2015) Zircon geochronology and geochemistry

- to constrain the youngest eruption events and magma evolution of the Mid-Miocene ignimbrite flare-up in the Pannonian Basin, eastern central Europe. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **170**, 52. doi:10.1007/s00410-015-1206-8.
- Sakata, S. (2018) A practical method for calculating the U-Pb age of Quaternary zircon: Correction for common Pb and initial disequilibria. *Geochemical Journal*, **52**, 281-286.
- 佐藤博之 (1965) 5 万分の 1 地質図幅「阿寒湖」及び説明書. 地質調査所, 82p.
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D. J., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M. N. and Whitehouse, M. J. (2008) Plešovice zircon — A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, **249**, 1–35.
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J. C. and Spiegel, W. (1995) Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, **19**, 1–23.