

## 北上山地中西部, 盛岡市藪川地域の外山高原で見出されたチバニアン期後半のテフラ

内野 隆之<sup>1,\*</sup>・工藤 崇<sup>1</sup>・古澤 明<sup>2</sup>・岩野 英樹<sup>3</sup>・檀原 徹<sup>3</sup>・小松原 琢<sup>1</sup>

UCHINO Takayuki, KUDO Takashi, FURUSAWA Akira, IWANO Hideki, DANHARA Toru and KOMATSUBARA Taku (2022) Late Chibanian tephra recognized in the Sotoyama Plateau of Yabukawa area in Morioka City, Iwate Prefecture, mid-western Kitakami Massif. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 73 (2), p. 67–85, 12 figs, 4 tables and 1 appendix.

**Abstract:** The Sotoyama Plateau on the mid-western Kitakami Massif, Northeast Japan, displays a low-relief surface with an altitude of 650–1000 m. This topography is considered to have been formed by periglacial phenomena. We discovered the 80-cm-thick pyroclastic fall deposit, named Yabukawa Tephra in this study, from the Quaternary valley floor deposits along the Sotoyama River on the plateau. This tephra is subdivided into four subunits on the basis of their lithofacies. The tephra contains characteristically large amounts of vesiculated pumice and minor lithic fragments: andesite, dacite, rhyolite, tuffaceous mudstone, tonalite, chert, etc. It also contains grains of beta-quartz, feldspar, hornblende, orthopyroxene, ilmenite, biotite, etc. A geochemical composition of volcanic glasses from the tephra shows relatively high SiO<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>O, and low CaO, MgO and TiO<sub>2</sub>. Their refraction indexes are 1.495–1.498.

The Yabukawa Tephra is thought to deposit in the late Chibanian on the basis of the  $0.24 \pm 0.04$  Ma fission-track age from zircon in its pumice. Furthermore, the tephra is possibly correlated with the Odai White Volcanic Ash, which occurs in the eastern foot of Mt. Iwate, based on its petrography, refraction indexes of volcanic glasses and the zircon age.

**Keywords:** Chibanian, Yabukawa Tephra, zircon, fission-track age, stratigraphy, correlation, Morioka, Kitakami Massif

### 要 旨

盛岡市藪川地域, 外山川沿いの谷底低地を埋める第四紀堆積物から80 cm厚の降下火砕堆積物を発見し, 藪川テフラと命名した。本テフラは発泡した軽石を多く含み, 中性~珪長質火山岩, トーナル岩, チャートなどの石質岩片を少量伴う。また, テフラ中には高温型石英・長石・普通角閃石・直方輝石・チタン鉄鉱・黒雲母が含まれる。テフラに含まれる火山ガラスの組成は比較的高いSiO<sub>2</sub>・K<sub>2</sub>Oと低いCaO・MgO・TiO<sub>2</sub>で特徴づけられ, またその屈折率は1.495–1.498である。軽石中のジルコンからは $0.24 \pm 0.04$  Maのフィッション・トラック年代が得られ, 本テフラはチバニアン期後半に堆積したと判断される。そして, 記載岩石学的特徴, 火山ガラスの屈折率, ジルコン年代などから, 岩手山東麓に分布する大台白色火山灰に対比できる可能性がある。

### 1. はじめに

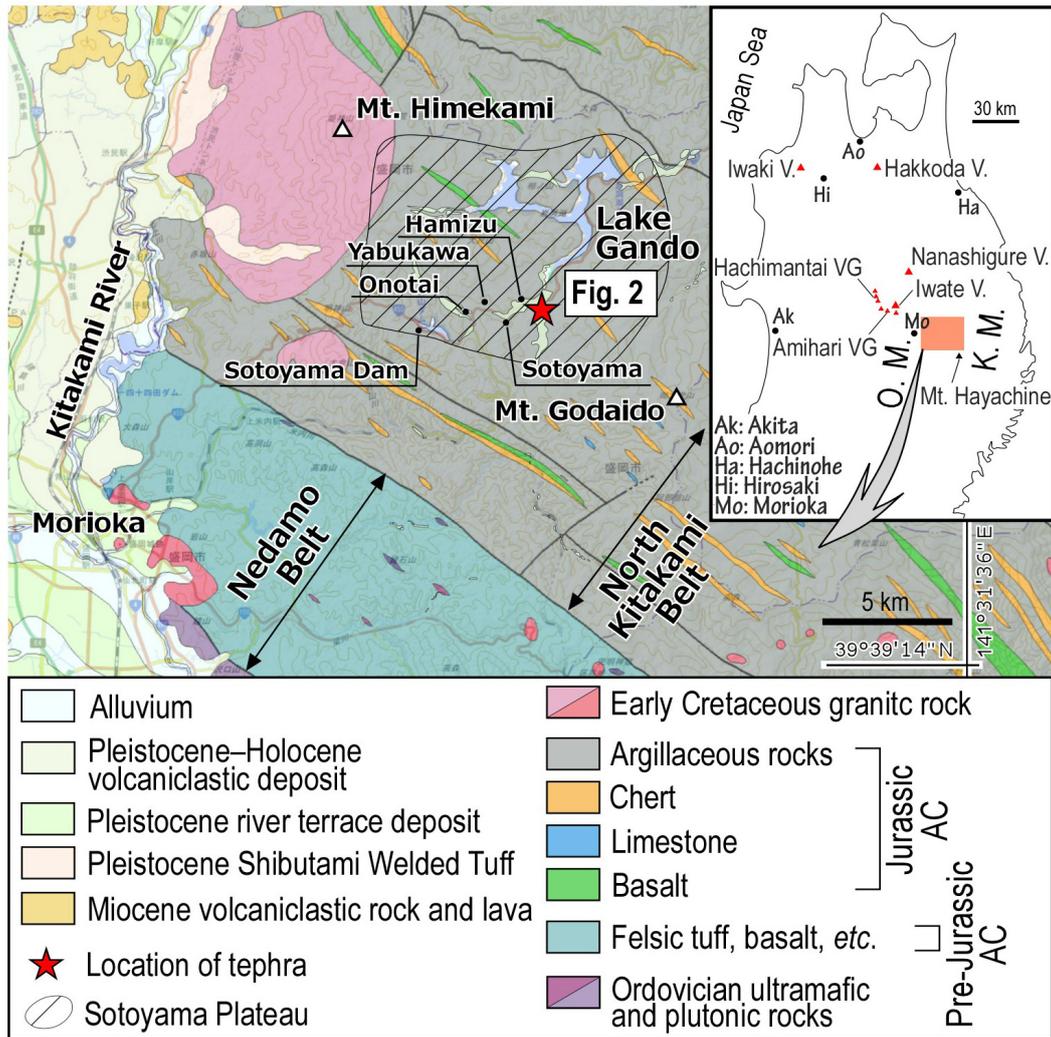
岩手県盛岡市の北東部に広がる外山高原<sup>そとやま</sup>は, 北上山地中西部に位置し, 650 ~ 1,000 mの標高で緩やかな起伏を呈している。この小起伏地形は周氷河作用によって形成されたと考えられており, その時期は堆積物中に挟在する炭質層やテフラの年代から概ね5万年前以降と推定されている(例えば, 井上ほか, 1981; 檜垣, 1987)。しかし, 炭質物を対象とした<sup>14</sup>C年代測定法は約5万年前以前の地層には適用できないこともあり, 北上山地及び北上川流域における特に後期更新世よりも前のテフラ層序の編年はあまり進んでいない。このことが, 最終間氷期より前にも起こっていたとされる古い周氷河作用(例えば, 井上ほか, 1981; 檜垣, 1987)の実態をつかみにくくしている。また, 外山高原内で認められる高位段丘(例えば, 磯, 1973)についても同様にその形成年代が良く分かっておらず, 北上山地における隆起や傾動などの構

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup> 株式会社古澤地質 (Furusawa Geological Survey Co., Ltd., Okazaki, Aichi 444-0840, Japan)

<sup>3</sup> 株式会社京都フィッション・トラック (Kyoto Fission-Track Co., Ltd, Kita-ku, Kyoto 603-8832, Japan)

\* Corresponding author: UCHINO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: t-uchino@aist.go.jp



第1図 北上山地中西部における地質図。20万分の1日本シームレス地質図V2（産総研地質調査総合センター，2019）を使用（基図は地理院地図）。外山高原の河岸段丘堆積物の分布は本研究での調査による。O. M.：奥羽山脈；K. M.：北上山地；VG：火山群；V.：火山。

Fig. 1 Geological map in the mid-western Kitakami Massif, Iwate Prefecture. The map was referred from the Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) V2 (Geological Survey of Japan, AIST, 2019) on the GSI map of the Geospatial Information Authority of Japan. Distribution of the river terrace deposits within the Sotoyama Plateau is painted based on the geological survey for this study.

Abbreviations: O. M. (Ou Mountain Range); K. M. (Kitakami Massif); VG (volcanic group); V. (volcano).

造運動に関して未解明な点が多い。したがって、後期更新世より前に堆積したテフラの詳細な層序の確立、とりわけ年代情報の充実が望まれている。これは、氷期-間氷期サイクルを含めた気候・環境変動のみならず、噴火の発生時期や規模、テクトニクスなどの解明にも寄与する。

このたび、盛岡市藪川地域の外山高原内を流れる外山川沿いにおいて、谷底低地を埋積する第四紀堆積物から層厚1 m弱の厚いテフラを見出した。このテフラはアクセスしやすい場所にありながら、これまで全く報告されていない。本研究では、このテフラの性状を明らかにするため、層序学的・岩石学的記載を行うとともに、ジル

コンの年代測定、火山ガラスの化学分析、含有鉱物の屈折率測定などを実施した。年代測定の結果、このテフラがチバニアン期後半を示すことが分かった。また、その他の特徴も併せ、北上川流域で認識されている鍵テフラとの対比を試みた。

## 2. 地形・地質概説

外山高原は、岩手県盛岡市東部（旧玉山村）に位置しており、外山ダム、<sup>ひめかみさん</sup>姫神山、<sup>がんだう</sup>岩洞湖の間に広がっている（第1図）。岩泉町との境界に位置する東方の早坂高原と併せた一帯は「外山早坂県立自然公園」に指定されており、旧

御料牧場（外山牧場）をはじめとする多くの牧草地のほか、シラカバやシナノキなど冷温帯の植生で特徴付けられる。外山高原内にある盛岡市の藪川地域は標高660～690 mではあるが、1945年には氷点下35℃を記録したこともある本州一寒い集落として知られる。また、澤口（2005）が示した北上山地を対象とした積算寒度図によると、藪川地域は700～750℃/日と特に寒冷で積雪量も少なく、最終氷期には永久凍土が存在した可能性も指摘されている。

河川については、外山川が標高700 m地点の分水嶺から西方の外山ダムに向かって緩やかに流れ、しかし外山ダムからは滝ノ内沢と名称を変えて、険しい侵食谷を形成しながら南西に流れる。外山川の源流部では、南方から緩やかに流れてくる大石川が合流する。一方、分水嶺より東側では湿地上に蓄えられた岩洞湖（第1図）が広がり、堰堤から西北西に向かって丹藤川が緩やかに流れ出ている。

外山高原は、定高性の良い稜線、山頂・山麓に発達する緩斜面、湿地、河岸段丘から構成されるなだらかな小起伏山地である。耕作地としての沖積低地は、外山川、大石川、丹藤川上流沿いのみに僅かに認められる。外山高原における緩斜面堆積物については、阪野（1971）、Higaki（1980）、井上ほか（1981）、澤口（1984）、檜垣（1987）などで記載があり、本高原の小起伏地形は、表層部の凍結融解による岩屑生産とソリフラクションによる斜面の削剥、すなわち周氷河作用に起因すると考えられている。また、緩斜面堆積物中に生出黒色火山灰（OBA、50–30 kyr BP：土井、2000）、小岩井浮石（KP、13.5–12 kyr BP：和知ほか、1997）及び柳沢浮石（YP、11.9–11.6 kyr BP：和知ほか、1997）など年代が判明している鍵テフラの挟在も確認されている（例えば、Higaki、1980；井上ほか、1981）。このことから、本地域の周氷河堆積物は少なくとも後期更新世以降に形成されたと考えられている。

外山川上流～中流域（藪川地域葉水周辺）及び大石川中流～下流域では、標高665 m以上において谷底低地を埋積する第四紀堆積物が分布し、少なくともその最上部は礫層を主体とする河岸段丘堆積物からなる。この段丘堆積物は岩洞湖以東を流れる丹藤川でも認められ、磯（1973）によると上流部において高位段丘及び低位段丘Ⅰ～Ⅲの4段が識別されている。本研究で報告するテフラは、葉水付近を流れる外山川の一部でのみ露出しており、下位に厚い泥炭層を伴っている。

外山高原に分布する先古第三紀の基盤岩は、主に北部北上帯に属するジュラ紀の付加体である（内野、2019、2021）。本付加体は、泥質岩を主体として、砂岩・チャート・玄武岩と僅かの石灰岩をシート状・レンズ状に含む（第1図）。地質構造は北西–南東走向及び南西傾斜であり、高峰はしばしばチャートからなる。外山川では中流部より下流側（大の平以西）でチャートや泥質岩が河床に

露出するほか、大石川でも下流部で第四紀堆積物に不整合に覆われた泥質岩が確認できる。外山高原の北西部における基盤岩は、姫神山を形成する前期白亜紀の花崗岩類（姫神岩体）である。

### 3. 地層の記載

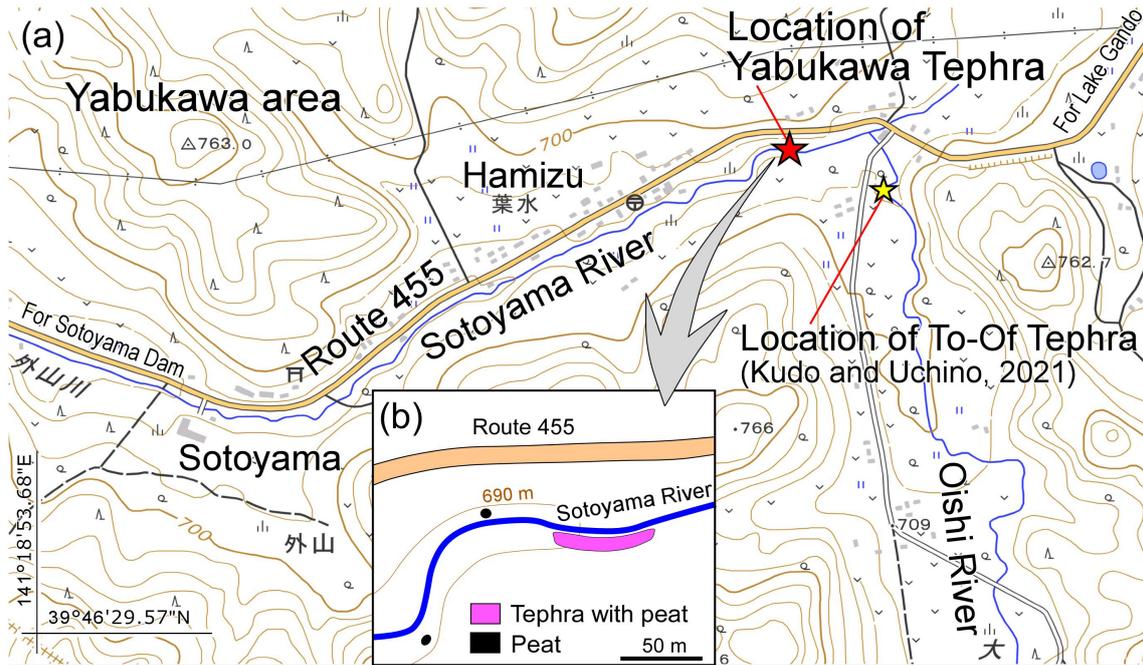
藪川地域の谷底低地を埋積する第四紀堆積物は、礫層、テフラ層、泥炭層などから構成される。今回、葉水の外山川左岸（藪川郵便局から約400 m東）（第2図）で見出された露頭は、下位よりA層（泥炭層）、B層（テフラ層）、C層（火山灰火山礫互層）、D層（礫層）の各ユニットからなり、それを表層の土壌が覆っている（第3図、第4図）。テフラ層（B層）は、層厚が約80 cmで、更に層相によってB1～B4層のサブユニットに細分される。このテフラ層（B層）については、本研究にて「藪川テフラ」と新称を与える。藪川テフラ（B層）の分布域は水平距離にして約60 m程度である（第2図b）。礫層（D層）は藪川テフラ（B層）の最上部及び火山灰火山礫互層（C層）を一部削って堆積している（第3図、第4図）。このD層を含む一連の礫層は、外山川や大石川では普遍的に見られ、これらは平坦な段丘面を構成している。段丘面の高さは、本露頭付近では河床面から約4 mである。

以下に各ユニットについて下位から順に詳しく記載する。構成粒子については、水洗・超音波洗浄して細粒懸濁物を取り除いた後の試料（残渣）を実体顕微鏡にて観察した結果による。粘土化した軽石は水洗・超音波洗浄の際に分解されているため、軽石起源と周りの基質起源との粒子の区別はつかない。したがって、観察結果は軽石火山礫を含むテフラ層全体の特徴を反映したものとなっている。なお、火山ガラスの形態分類については町田・新井（1992、2003）に従った。

#### 3.1 A層（泥炭層）

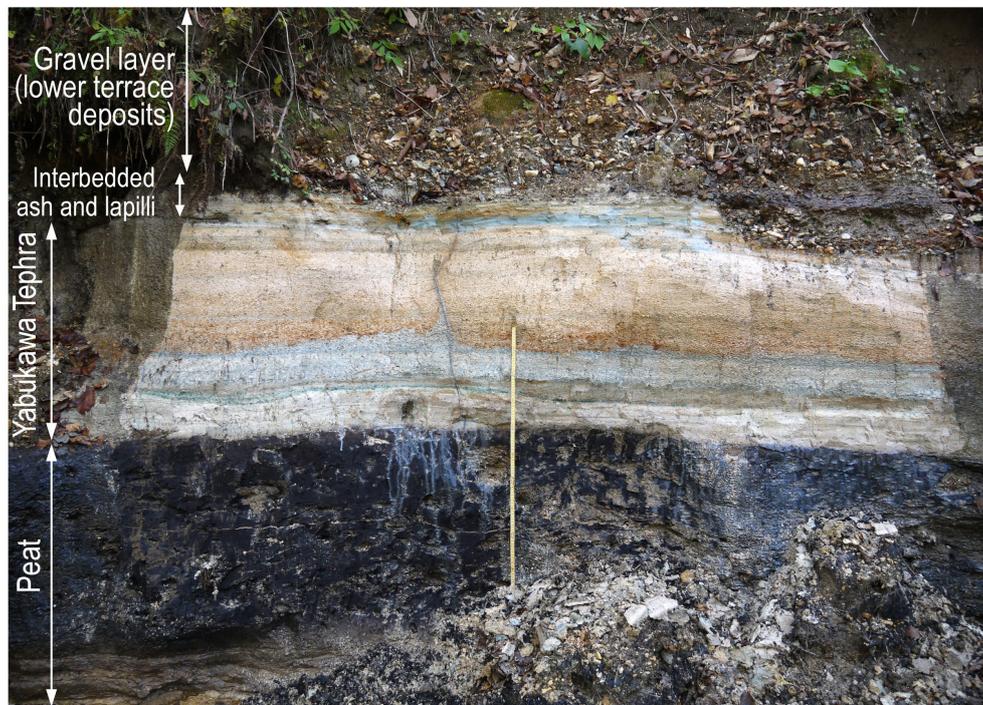
藪川テフラ（B層）の下位には層厚1.3 m以上の厚い黒色～暗灰色の泥炭層が存在する（第3図、第4図）。泥炭層には材化石が大量に含まれ、大きいものでは太さが30 cmに及ぶ（第5図a）。この泥炭層は、藪川テフラ同様、外山川沿いに約100 mにわたってよく追跡できる（第2図b）。泥炭層の下限は現河床堆積物が埋積しているため確認できない。

第3図aの露頭の約30 m下流側では、泥炭層の上面から約70 cm下の層準に薄いテフラが認められ（第5図b）、それは更に下流側に20 m程追跡できる。このテフラを便宜的にYT2iPテフラと呼ぶ。YT2iPテフラは、厚さが2～6 cmで、脱水作用の影響とみられる側方膨縮を呈する流動変形の構造が特徴的である（第5図b、c）。本テフラは、細粒火山灰からなる薄ページュ色の下部と、粗粒火山灰からなる灰色掛かったページュ色の上部からなり、上方粗粒化（逆級化）している（第5図c）。残渣中の鉱物量比は、



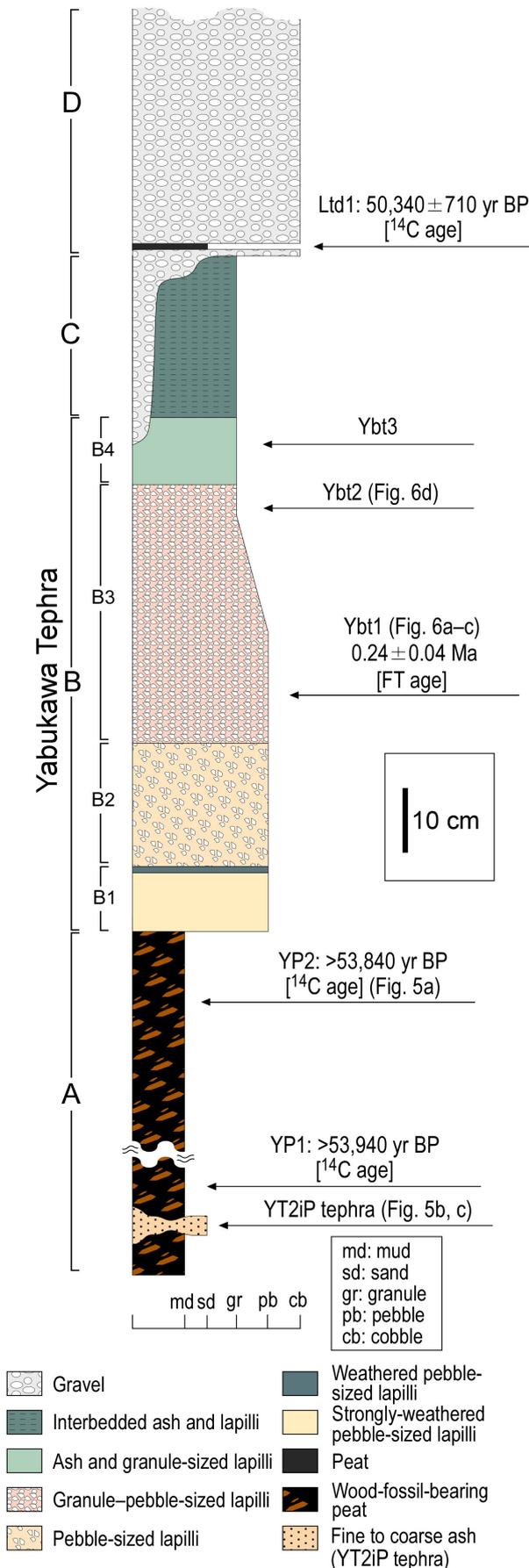
第2図 盛岡市薮川地域，薮川テフラ露頭周辺の地形図 (a) とルートマップ (b)．地形図は地理院地図を使用。

Fig. 2 Topographic map (a) and route map (b) around the outcrop of the Yabukawa Tephra, Yabukawa area in Morioka City. The topographic map is from the GSI map of the Geospatial Information Authority of Japan.



第3図 薮川テフラ (B層) の露頭写真。中央の折尺の長さは1 m。

Fig. 3 Outcrop of the Yabukawa Tephra (unit B). Straighten folding scale at the center of the outcrop is 1 m long.



下部・上部ともに，石英≫直方輝石≫チタン鉄鉱≒長石≫普通角閃石≒黒雲母≒単斜輝石である(第1表)．石英にはしばしば六方両錐形の高温型石英が認められる．本テフラは，石英を主体とすること，直方輝石が多いこと，普通角閃石が極めて少ないことが特徴的で，後述する藪川テフラ中の残渣の内容とは異なる．

### 3.2 B層(テフラ層)

[テフラ名]藪川テフラ(新称)

[模式地]盛岡市藪川外山葉水の外山川左岸(39° 47' 04.53" N, 141° 20' 03.66" E)

[層厚] 80 cm前後

[分布]現状確認されている限りでは，模式地の露頭を含めた外山川沿いの東西約60 mの区間

[層相]下位より，粘土化した中礫サイズの火山礫層(B1層：10 cm厚)，中礫サイズの火山礫層(B2層：19 cm厚)，細礫～中礫サイズの火山礫層(B3層：40 cm厚)，粗粒砂～細礫サイズの火山灰-火山礫層(B4層：10 cm厚)の各サブユニットからなる(第4図)．

[層序関係]泥炭層(A層)の上位に整合に堆積し，藪川テフラのリワーク堆積物と考えられる火山灰火山礫互層(C層)に整合に覆われる．

[記載]

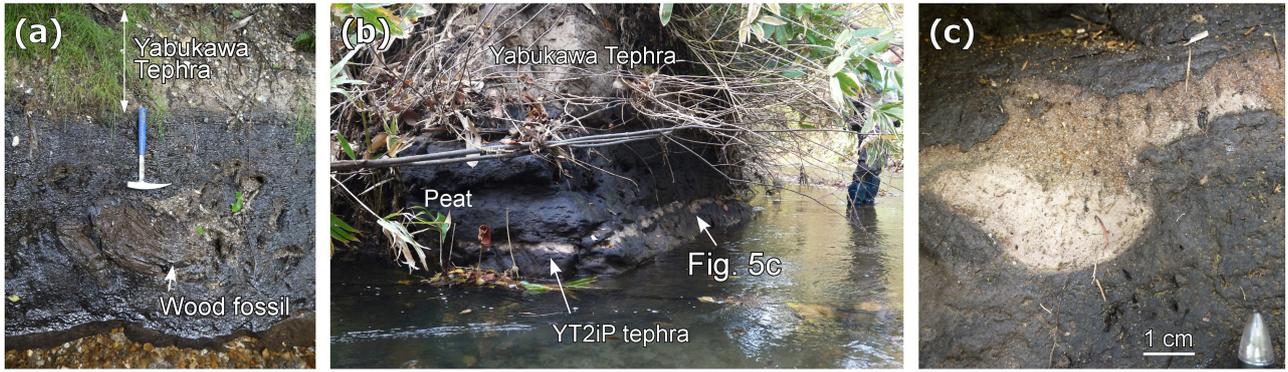
ユニット・サブユニットの特徴を第1表にまとめた．以下にサブユニットごとの詳細を述べる．なお，残渣中の鉱物及びB層主部をなすB3層中の石質岩片については次項で詳述する．

B1層は中礫サイズの火山礫からなり，薄ページュ色を呈する．火山礫の大部分は著しく粘土化した軽石からなり，石質岩片を少量伴う．軽石は粘土化のため，外形が不明瞭となっているものが多いが，確認できるサイズとしては長径5 mm程度のもが多く，最大で2 cmに達する．最上部には厚さ1～2 cmで緑灰色を呈する風化変質した軽石の濃集層が認められる(第3図，第4図)．この軽石もすべて粘土化しており外形は不明瞭であるが，一部で5 mm～1 cm径のものが確認できる．B1層中にまばらに含まれる石質岩片は，長径2～3 mmで多くが暗緑色～暗灰色の火山岩である．

B2層は中礫サイズの火山礫からなり，ページュ色を呈する．この火山礫もB1層同様，風化変質した軽石を主体とする．軽石は長径1 cm程度であり，多くが粘土化しているが，まれに粘土化が軽度で発泡組織が残されているものも認められる．石質岩片は長径数mmで，最大1 cmに及ぶ．緑灰色を呈する火山岩が多いが，赤紫色を呈するものも少量認められる．石質岩片の含有率は1割

第4図 藪川テフラを含む地層の柱状図．

Fig. 4 Columnar section of the strata containing the Yabukawa Tephra.



第5図 (a) 薮川テフラ直下の泥炭層 (A層) 中の材化石. (b) 泥炭層中のテフラ (YT2iPテフラ). (c) 脱水による膨縮構造を示すYT2iPテフラの拡大写真.

Fig. 5 (a) Wood fossil in the peat layer (unit A) underlying the Yabukawa Tephra. Hammer is 30 cm long. (b) YT2iP tephra interbedded in the peat layer. (c) Expanded photograph of the YT2iP tephra showing a pinch-and-swell structure by dewatering.

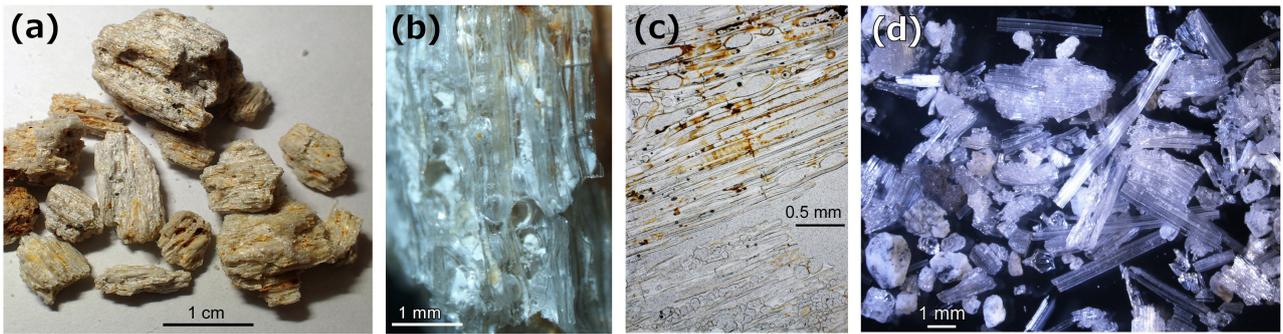
第1表 薮川テフラ及び上下層の各ユニットの特徴. 残渣に含まれる鉱物量については多い順に「+++」, 「++」, 「+」, 「\*」, 「tr」と記してある.

$\beta$  : 高温型石英の存在, Bt : 黒雲母, Cpx : 単斜輝石, Ep : 緑れん石, Fld : 長石, Hbl : 普通角閃石, Ilm : チタン鉄鉱, Opx : 直方輝石, Qz : 石英, L : 下部, U : 上部.

Table 1 Lithologic features of each unit of the Yabukawa Tephra and its lower and upper units. Symbols of “+++”, “++”, “+”, “\*” and “tr (trace)” are written in descending order of mineral content in residues.

Abbreviations:  $\beta$  (presence of beta-quartz); Bt (biotite); Cpx (clinopyroxene); Ep (epidote); Fld (feldspar); Hbl (hornblende); Ilm (ilmenite); Opx (orthopyroxene); Qz (quartz); L (lower part); U (upper part).

Unit	Grain size	Color	Thickness (cm)	Mineral in residue								Remark
				Qz	Fld	Hbl	Opx	Cpx	Ilm	Bt	Ep	
C	Coarse sand to granule	Grayish green to pale green	25	+++ $\beta$	+++	+	*		tr	tr	tr	Laminated /abundant spherulites
B4	Coarse sand to granule	Pale greenish gray	10	+++ $\beta$	++	+	*		tr	*	tr	Fine/greenish
B3	U Granule	Grayish beige	40	+++ $\beta$	+++	+	*	tr	tr	*	tr	Abundant coarse pumice
	L Pebble			+++ $\beta$	+++	+	*	tr	tr	*	tr	
B2	Pebble	Beige	19	+++ $\beta$	++	+	+	tr	*	tr	*	Abundant lithic fragments
B1	Pebble	Pale beige	10	+++ $\beta$	++	+	+	*	*	tr	tr	High argillation
A (YT2iP)	Silt to coarse sand	Pale to grayish beige	2–6	+++ $\beta$	*	tr	++	tr	*	tr	tr	Reverse grading /dewatering structure



第6図 (a)藪川テフラのB3層中のYbt1層準から得られた軽石。(b)軽石の拡大写真。(c)軽石の薄片写真(単ポーラー)。(d) B3層上部のYbt2層準から得られた火山ガラスを含む残渣の写真。

Fig. 6 (a) Photograph of pumice samples from the horizon Ybt1 in the subunit B3 of the Yabukawa Tephra. (b) Photomicrograph of the pumice. (c) Thin section image of the pumice, under open-polarized light. (d) Volcanic glasses in residues from the upper part (horizon Ybt2) of the subunit B3.

弱でありB層中で最も高い。

B3層は藪川テフラの主体をなす。大部分が薄橙色で、一部で灰色掛かったベージュ色を呈する(第3図)。全体的に級化しており、粒度によって下部と上部に分けられる。下部は主に中礫サイズの比較的淘汰の良い火山礫からなり、礫支持である。火山礫はほとんどが軽石で、石質岩片が少量認められる。軽石は、薄ベージュ色で繊維状発泡のため短柱状の形態を示し、最大長径は3 cmに及ぶ(第6図a)。この軽石は、著しく発泡した繊維状の火山ガラスを主体とするが、しばしば繊維状ガラス間に楕円形のバブル状ガラスを挟有する(第6図b, c)。これらの火山ガラスの内部には、火山ガラスが変質したものと思われる白色粘土が充填することが多い(第6図b)。軽石は無斑晶状ではあるが、長径0.5 mm以下の石英(高温型を含む)、長石、有色鉱物(普通角閃石、直方輝石、単斜輝石、黒雲母)、不透明鉱物(鉄鉱の集合体、チタン鉄鉱)及びジルコンなどが僅かに認められる。石質岩片は少量であり、長径は数mm～1 cm程度である。B3層上部は主に細礫サイズの火山礫からなり淘汰は良い。火山礫は下部同様にほとんど軽石で、石質岩片が少量認められる。軽石は下部に比べ粘土化が進んでいる。石質岩片は、最大長径1 cm未満で、全体的に下部より小さい。

B4層は粗粒砂～細礫サイズの火山灰～火山礫からなり、正級化している。薄い緑灰色を呈するが、橙色掛かったベージュ色の部分もある(第3図)。火山礫の多くは軽石であるが、ほぼ粘土化している。石質岩片は長径が5 mm以下で、B3層のものより小さいが、含有率はB3層より高い。これらの石質岩片や軽石は変質・粘土化によって淡緑色になっており、それがB4層の色として反映されている。

#### [残渣の特徴]

B1～B4層を水洗して得られた残渣中の鉱物の量比は、

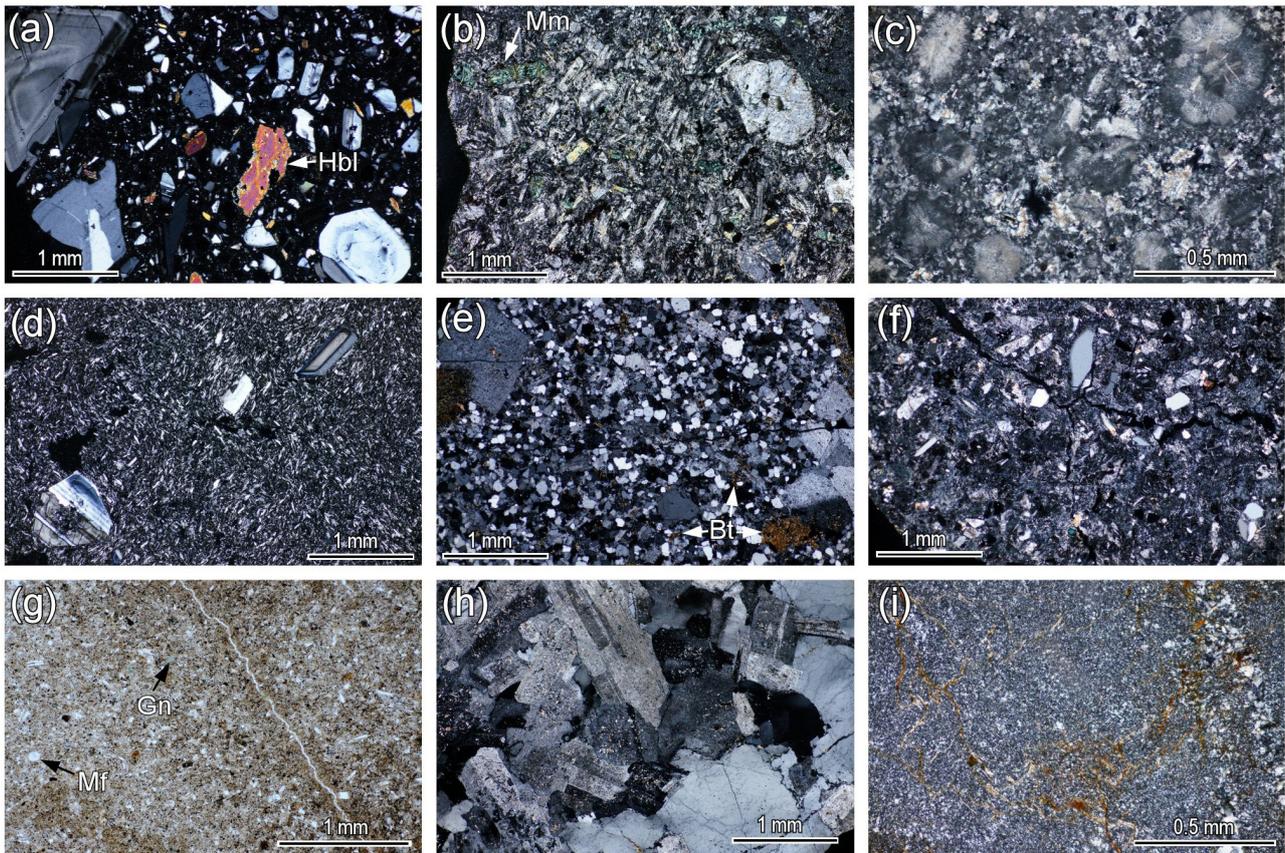
どのサブユニットも大差はない。石英・長石が多く、その次に普通角閃石、直方輝石が、そして僅かにチタン鉄鉱、単斜輝石、黒雲母、緑れん石などが含まれる(第1表)。また、すべてのサブユニットで六方両錐型の高温型石英が認められる。

B1層の残渣は中粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>直方輝石>普通角閃石>単斜輝石>チタン鉄鉱>黒雲母≒緑れん石である。B1層の火山ガラスは粘土化のためほとんど失われているが、残存している火山ガラスの形状の多くは平板状である。残渣中での石質岩片の割合は、長石と同程度である。

B2層の残渣は中粒～粗粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石≒直方輝石>チタン鉄鉱>緑れん石>単斜輝石≒黒雲母である。残渣中には軽石由来の火山ガラスが含まれており、そのほとんどが繊維状である。普通角閃石や緑れん石は長石を付随させていることがある。残渣中の石質岩片の割合は長石と同程度である。

B3層下部の残渣は粗粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石>黒雲母>単斜輝石≒チタン鉄鉱≒緑れん石である。残渣中には火山ガラスが極めて大量に含まれており、そのほとんどが繊維状である。黒雲母はしばしば長石を付随させている。残渣中の石質岩片の割合は黒雲母と同程度である。B3層上部の残渣も粗粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石≒黒雲母>チタン鉄鉱≒緑れん石≒単斜輝石である。下部同様、残渣中には火山ガラスが極めて大量に含まれており、そのほとんどが繊維状である(第6図d)。残渣中の石質岩片の割合は長石と同程度である。

B4層の残渣は中粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石>黒雲母>緑れん石



第7図 藪川テフラ中の石質岩片の薄片写真。(a)角閃石安山岩、(b)玄武岩質安山岩、(c)スフェルリティック(球顆状)組織を示すデイサイト、(d)デイサイト、(e)流紋岩、(f)凝灰質砂岩、(g)凝灰質泥岩、(h)トーナル岩、(i)チャート。(g)のみ単ポーラーでその他は直交ポーラー。

Bt: 黒雲母, Hbl: 普通角閃石, Gn: 海緑石, Mf: 球状微化石仮像, Mm: 緑泥石に置換された苦鉄質鉱物。

Fig. 7 Thin section images of rock fragments from the Yabukawa Tephra: (a) hornblende andesite; (b) basaltic andesite; (c) dacite showing a spherulitic texture; (d) dacite; (e) rhyolite; (f) tuffaceous sandstone; (g) tuffaceous mudstone; (h) tonalite, and (i) chert.

Only Fig. 7g is under open polarized light, while the others under cross polarized light.

Abbreviations: Bt (biotite); Hbl (hornblende); Gn (glauconite); Mf (pseudomorph of spherical microfossil); Mm (mafic mineral replaced by chlorite).

>チタン鉄鉱で、B3層上部とほぼ同様である。火山ガラスも石英と同程度に多く含まれており、そのほとんどが繊維状である。残渣中の岩片の割合は長石と同程度である。

#### [B3層の石質岩片の特徴]

藪川テフラの主部をなすB3層に含まれる石質岩片を鏡下観察したところ、玄武岩質安山岩、安山岩、デイサイト、流紋岩、凝灰質砂岩、凝灰質泥岩、トーナル岩、チャートが認められた(第7図)。量比としては安山岩とデイサイトが多くを占める。安山岩は灰色で、斜長石を斑晶とし、岩片によっては普通角閃石や石英も斑晶として認められる(第7図a)。斑晶の斜長石はときに顕著な累帯構造を示す(第7図a)。なかには石基部分がやや粗粒な鉱物で占められ、半深成岩様のものもある(第7図b)。

デイサイトは灰色～灰白色で、斜長石と石英を斑晶とするが、緑泥石に置換された有色鉱物の仮像を含むこともある。まれにスフェルリティック(球顆状)組織を示す(第7図c)。また、しばしば無斑晶状のものも認められる。斑状、無斑晶状に関わらず、デイサイトの石基中に産する斜長石は長柱状あるいは針状を呈する場合が多い(第7図d)。玄武岩質安山岩は、暗灰色で、安山岩に比べ石英が少なくかつ有色鉱物のモード比が高い。流紋岩は白色で、デイサイト同様、斜長石と石英を斑晶とし、まれに緑泥石に置換された有色鉱物の仮像を含む。流紋岩はフェルシティック組織を示す無斑晶状のものも認められる。岩片によっては、石基の石英・長石がやや粗い半深成岩様のものがある(第7図e)。なお、ほとんどの流紋岩において、長径0.2 mm以下の長柱状～粒状黒雲母が散在

し、デカッセイト組織を呈している(第7図e)。凝灰質砂岩は淡黄灰色～灰色を呈し、シリカ鉱物等に置換された火山ガラス、石英、長石のほか、針状の黒雲母粒子を含み、岩片によっては白雲母、単斜輝石、緑れん石、不透明鉱物などの粒子が認められる。中にはやや粗粒な石英や長石の粒子を含むものもある(第7図f)。凝灰質泥岩は淡黄灰色で、火山ガラスと円磨度の低い碎屑粒子を含む。また、しばしば、海緑石や球形の微化石仮像が認められる(第7図g)。トータル岩は白色で、斜長石及び石英と少量の黒雲母からなり(第7図h)、岩片によっては普通角閃石や直方輝石を含んでいたり、やや粗粒な緑れん石を含むものもある。チャートは微細な石英からなり、いくつかの岩片では細粒の黒雲母が発達している(第7図i)。

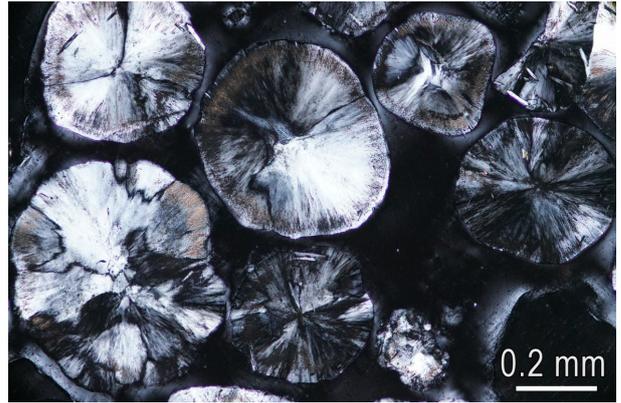
全体的に、ほとんどの石質岩片が多かれ少なかれ変質を受けており、それが著しいものでは、斜長石はソーシライト化し、有色鉱物は緑泥石に置換されている。また細粒な緑れん石もしばしば産する。これらの緑色の変質鉱物が多産する場合、岩石全体が緑掛かり、それは特に火山岩において顕著である。また、微細な赤鉄鉱が多産する場合は全体に赤紫色を呈する。

### 3.3 C層(火山灰火山礫互層)

詳細については後述するが、C層は藪川テフラを主な母材とするリワーク堆積物と考えられる。本層は淡緑色～灰緑色を呈し、厚さは25 cmである。細粒～粗粒火山灰と変質した火山礫とが厚さ約2 cm以下で互層したもので構成される。特に、最下部では細粒火山灰層が、また上部では軽石からなる火山礫層が挟在している。場所によっては斜交葉理が確認できる。軽石は無斑晶状で長径最大1 cmに及び、その多くが変質によって粘土化し、ベージュ色あるいは灰緑色を呈する。変質は著しいものの、一部で繊維状の発泡組織が残存している。石質岩片は流紋岩、デイサイト、安山岩のほか、粗粒な安山岩や珪長質火山岩も認められ、それらは緑れん石や緑泥石などの変質鉱物の発達によって緑色を呈するものが多い。残渣中の鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石>黒雲母≒緑れん石≒チタン鉄鉱である(第1表)。軽石に由来する繊維状もしくは平板状の火山ガラスもしばしば認められ、特に上部で量が多い。石英はまれに六方両錐形の高熱型のものが認められる。残渣中の石質岩片の含有割合は長石と同程度である。

C層で特筆すべき点として、下部でも上部でも径1 mm以下の白色で魚卵状を呈するスフェルライトが多産することが挙げられる。鏡下では中心から外側にかけて繊維状結晶が放射状に発達した構造が認められ、また粒子のリムは隠微晶質な鉱物の晶出によって汚濁している(第8図)。スフェルライトはしばしば複数個の粒子同士が融合していることがある。

なお、C層が呈する淡緑色～灰緑色の色調は、緑れん



第8図 C層から得られたスフェルライトの薄片写真(直交ポーラー)。

Fig. 8 Thin section image of spherulite grains from the unit C, under cross-polarized light.

石や緑泥石などの変質鉱物が発達する石質岩片が多く含まれることに起因すると考えられる。

### 3.4 D層(礫層)

C層の直上には主に細礫と中礫とが不均質に混ざり合う淘汰の悪い礫層が約1.8 mの厚さで堆積している。角礫～垂角礫を主体として、礫支持である。礫の長径は3 cm前後のものが多く、ときに10 cm程度の大礫も認められる。礫種はチャートがほとんどで、そのほか、ジュラ紀付加体起源の泥岩や砂岩の礫も僅かに認められる。チャートの色調は多様で、灰色、暗灰色、白色が多く、それ以外では黒色、赤紫色、淡緑色がある。礫層は一部でB層(藪川テフラ)とC層を深さ20 cmほど削り込んで堆積しており(第3図)、この凹面を埋積した礫の直上には厚さ2 cm程度の炭質層が挟在する(第4図のLtd1)。なお、確認できた礫層の上限から段丘面までは、途中の露出が不明瞭ではあるが高さ約1.6 mである。

## 4. 火山ガラスの主成分分析

### 4.1 試料層準と分析手法

藪川テフラのB3層とB4層の2層準(第4図のYbt2とYbt3)に含まれる火山ガラス(試料番号はそれぞれ20181113 L1-2a, 20181113 L1-2b)について、エネルギー分散型X線マイクロアナライザー(EDX)を用いて主成分分析を行った。走査型電子顕微鏡, EDX, 検出器は、それぞれHITACHI製 SU1510, HORIBA製EMAX Evolution EX-270, 液体窒素レス検出器X-Max (80 mm<sup>2</sup>)であり、加速電圧は15 kV, 試料電流は0.3 nA, ビーム径は約90 nm (4 μm 四方を走査), ライブタイムは50秒である。主成分組成計算方法にはファイローゼット( $\phi$ ( $\rho Z$ )補正)を適用した。スタンダードには高純度人工酸化物結晶(純度99.99%以上のSiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, MgO), 純

度99.99%以上の単結晶NaCl, KCl, CaF<sub>2</sub>を用いた。また、測定終了時ごとに、ヨーロッパで二次標準物質となっているMPI-DINGのATHO-G (Jochum *et al.*, 2000, 2006)及びガラスの主成分がほぼ均質なATテフラの火山ガラスを用い、測定値をチェックした。

## 4.2 分析結果

測定した2試料の主成分分析結果を付表1に、ハーカー図を第9図に示す。両試料は主成分元素組成がほぼ一致する。B3層(Ybt2)の各主成分の平均含有率(wt.%)は、SiO<sub>2</sub>: 78.3, TiO<sub>2</sub>: 0.07, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 12.7, FeO\* (全鉄を2価で計算): 1.02, MnO: 0.12, MgO: 0.06, CaO: 0.67, Na<sub>2</sub>O: 4.34, K<sub>2</sub>O: 2.79, B4層(Ybt3)は、SiO<sub>2</sub>: 78.4, TiO<sub>2</sub>: 0.11, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 12.7, FeO\*: 0.90, MnO: 0.09, MgO: 0.07, CaO: 0.66, Na<sub>2</sub>O: 4.30, K<sub>2</sub>O: 2.77である。両者とも特に、SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>Oの平均含有率がそれぞれ78%, 2.8%と高く、一方でCaOが0.7%弱、MgOが0.07%程度、TiO<sub>2</sub>が0.1%程度と低い特徴を示す。FeO\*-SiO<sub>2</sub>図ではSiO<sub>2</sub>の含有率が高くなるにつれFeO\*の含有率が低下する負の相関を示す。

## 5. 屈折率測定

### 5.1 試料層準と分析手法

主成分分析を行った藪川テフラのB3層とB4層の2層準(第4図のYbt2, Ybt3)(試料番号: 20181113 L1-2a, 20181113 L1-2b)について、火山ガラス、直方輝石及び普通角閃石の屈折率を測定した。また、藪川テフラ下位の泥炭層中のYT2iPテフラについても火山ガラスと直方輝石の屈折率を測定した。普通角閃石はほとんど含まれていないため、測定を行っていない。

屈折率測定には、浸液の温度を直接測って屈折率を求める温度変化型測定装置「MAIOT」(古澤, 1995)を使用した。

## 5.2 分析結果

### 5.2.1 藪川テフラ

20181113L1-2a (B3層のYbt2)に含まれる火山ガラスの屈折率は1.495–1.498 (中央値: 1.497, 測定数: 30)である(第10図d)。普通角閃石の屈折率( $n_2$ )は1.673–1.685 (中央値: 1.679, 測定数: 35)で、1.677–1.680付近にピークが見られる(第10図f)。少量含まれる直方輝石の屈折率( $\gamma$ )は1.706–1.711及び1.724–1.731 (測定数: 35)で双峰型の分布を示す(第10図e)。

20181113L1-2b (B4層のYbt3)に含まれる火山ガラスの屈折率は1.495–1.497 (中央値: 1.496, 測定数: 30)である(第10図a)。普通角閃石の屈折率( $n_2$ )は1.674–1.691 (測定数: 40)で、1.679–1.682と1.690–1.691付近に2つのピークをもつ双峰型の分布を示す(第10図c)。直方輝石の屈折率( $\gamma$ )は1.702–1.740 (測定数: 35)と幅広い分

布を示す(第10図b)。

両試料を比較すると火山ガラスはほぼ同様の値を示す。直方輝石は屈折率の分布パターンに違いがあるものの幅広い分布を示す特徴は類似している。普通角閃石については、B3層、B4層の試料はそれぞれ単峰型、双峰型と異なるが、前者のピークと後者の屈折率が低い方のピークは近接する。

### 5.2.2 YT2iPテフラ

火山ガラスの屈折率は1.498–1.503 (中央値: 1.501, 測定数: 30)で比較的良好にまとまっている(第10図g)。直方輝石の屈折率( $\gamma$ )は1.720–1.725 (中央値: 1.722, 測定数: 30)とこちらもよくまとまる(第10図h)。

藪川テフラと比較すると、火山ガラスの値は両者で明らかに異なる。直方輝石は藪川テフラB4層中の値の範囲内に収まるものの、全く異なる幅を示しており、B3層中の値とも重複しない。すなわち、直方輝石についてもYT2iPテフラと藪川テフラは明確に識別可能である。

## 6. フィッション・トラック年代測定

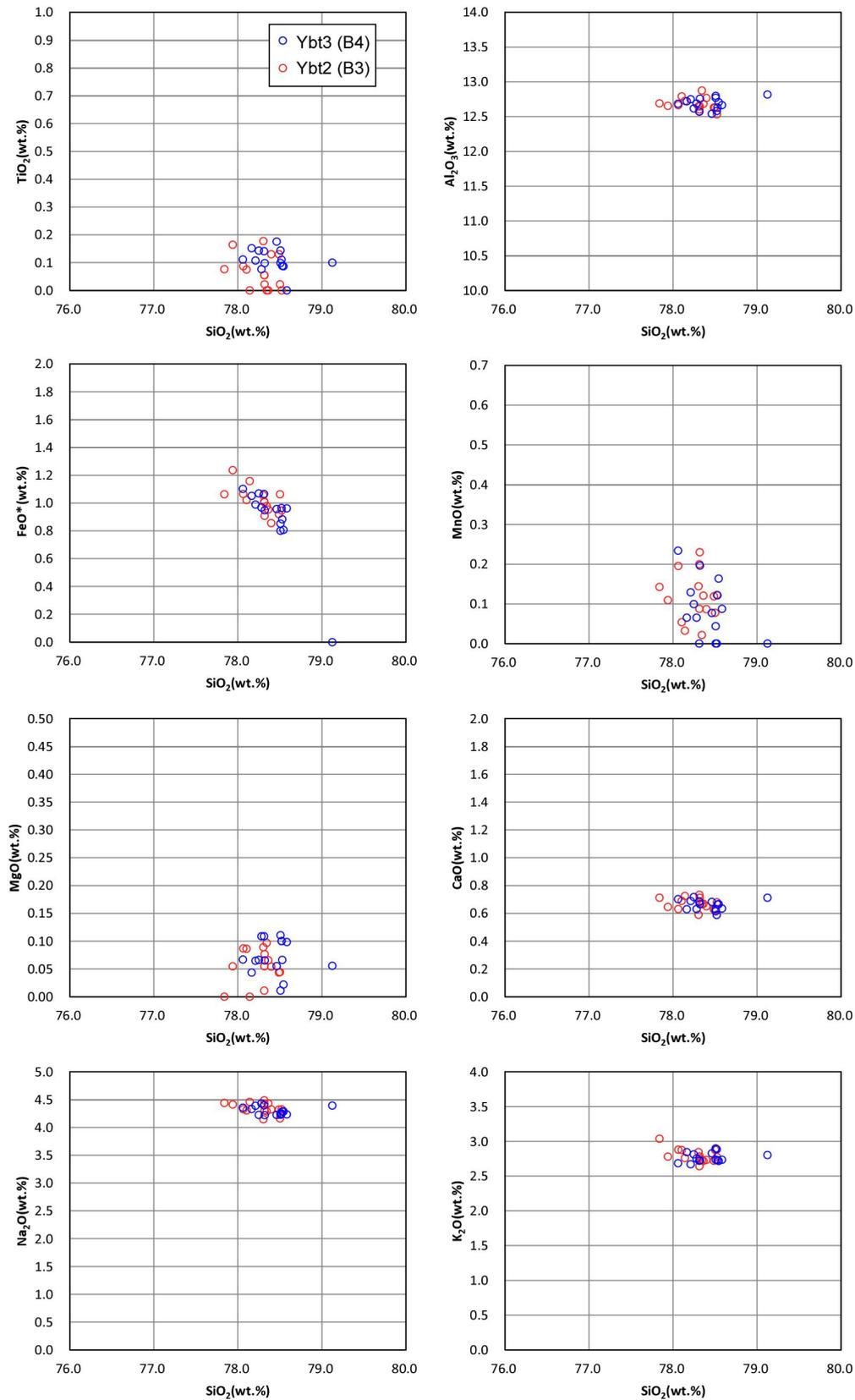
### 6.1 試料層準と手法

藪川テフラの主部をなすB3層下部(第4図のYbt1層準)の軽石から抽出したジルコンについて、フィッション・トラック年代(FT年代)を測定した。ジルコンは63粒子得られ、すべて透明かつ自形である。測定に際し、まずジルコンをPFAテフロンシートに埋め込み、ダイヤモンドペーストで研磨した。その後、水酸化カリウムと水酸化ナトリウム各1 mol共融液(225 °C)で40時間かけ結晶外部面の自発トラックをトラックの方位分布が等方的になるまでエッチングした。光学顕微鏡(Nikon ECLIPSE E1000)とデジタルカメラ(浜松フォトニクス C9440-05G)を通して、モニター画面(タッチパネルシステムズ17モニター: 観察倍率は2550倍)上で自発トラック密度を計測した。FT年代測定に必要なウラン濃度については、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置で測るLA-ICP-MS-FT法を用いて測定した。使用機器は東京大学大学院理学研究科地殻化学実験施設の四重極型誘導結合プラズマ質量分析装置で、本装置はフェムト秒レーザーシステムを搭載している(Yokoyama *et al.*, 2011; Sakata *et al.*, 2014)。測定条件を第2表に示す。ウラン濃度の標準物質としてNancy 91500スタンダード(Wiedenbeck *et al.*, 1995)のジルコンを、またFT年代校正の一次標準試料としてFish Canyon Tuff (28.4 ± 0.2 Ma: Danhara and Iwano, 2013)のジルコンを使用した。年代算出の際のゼータ値は44.9 ± 1.8である。なお、FT年代値の計算法については細井ほか(2018)に詳しい。

### 6.2 測定結果

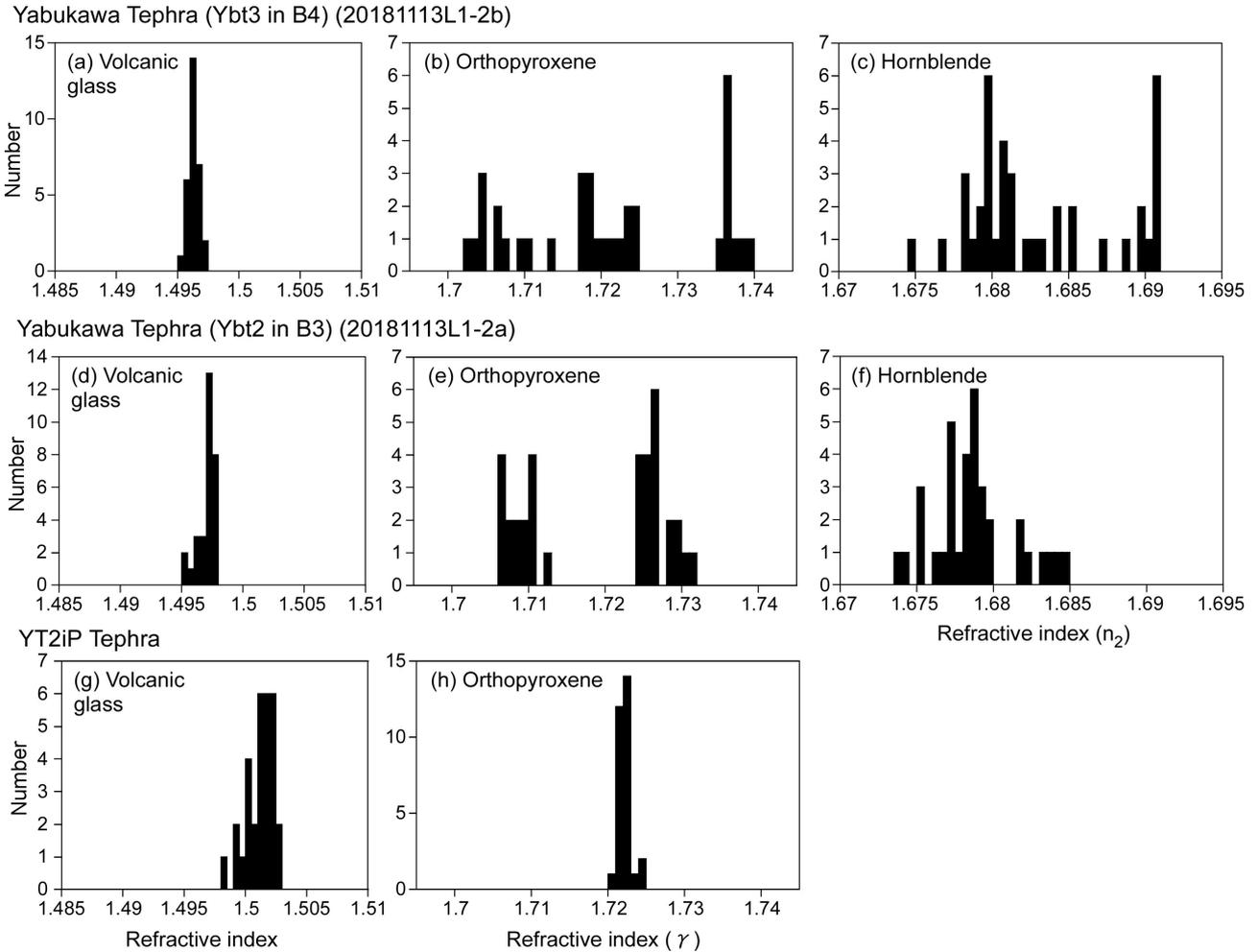
軽石から抽出された63粒子すべての値が $\chi^2$ 検定に合格

北上山地中西部，盛岡市藪川地域のチバニアン期後半テフラ（内野ほか）



第9図 藪川テフラのB3層上部及びB4層から得られた火山ガラスの主成分を示したハーカー図。

Fig. 9 Harker diagrams showing the chemical composition of major elements of volcanic glasses from the upper part of the subunit B3 and the subunit B4 in the Yabukawa Tephra.



第10図 藪川テフラのB3層上部及びB4層ならびに泥炭層中のYT2iPテフラから得られた火山ガラス・直方輝石・普通角閃石の屈折率。

Fig. 10 Refractive indices of volcanic glasses, orthopyroxene and hornblende from the upper part of the subunit B3 and the subunit B4 in the Yabukawa Tephra and the YT2iP tephra in the unit A (peat layer).

し ( $P(\chi^2)$  値: 95%),  $0.24 \pm 0.04$  Ma (1 $\sigma$ ) のFT年代 (pooled age) が得られた (第3表)。

## 7. $^{14}\text{C}$ 年代測定

### 7.1 試料層準と手法

藪川テフラ下位の泥炭層 (A層) に含まれる材化石 (第4図のYp2, 第5図a, 試料番号: 20181113L1-1) とYT2iPテフラ直上の泥炭 (第4図のYp1, 第5図b, 試料番号: 20190903L4-1), そして藪川テフラ上位の礫層 (D層) 最下部に厚さ2 cmで挟在する炭質層中から採取された泥炭 (第4図のLtd1, 試料番号: 20190903L3-1) について $^{14}\text{C}$ 年代の測定 (AMS測定) を行った。

試料の前処理は以下の通りである。材化石については1 mol/l (1 M) の塩酸に浸し, 次に水酸化ナトリウム水溶液で0.001 Mから1 Mまで徐々に濃度を上げながら酸処理を行う。泥炭については1 mol/l (1 M) の塩酸のみを

用いて酸処理する。これらの処理によって不純物を化学的に取り除いた後, 超純水で中性になるまで希釈し乾燥させる。乾燥試料を燃焼させ, 二酸化炭素を発生させる。真空ラインで精製した二酸化炭素を, 鉄を触媒として水素で還元し, グラファイトを生成させる。このグラファイトについて, 加速器をベースとした $^{14}\text{C}$ -AMS専用装置 (NEC社製) で $^{14}\text{C}$ の計数,  $^{13}\text{C}$ 濃度 ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) 及び $^{14}\text{C}$ 濃度 ( $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) の測定を行った。標準試料は米国国立標準局 (NIST) から提供されたシュウ酸 (HOx II) であり, この標準試料とバックグラウンド試料の測定も同時に実施した。なお,  $^{14}\text{C}$ 年代の測定は株式会社加速器分析研究所に依頼した。

### 7.2 年代測定結果

#### 7.2.1 泥炭層 (A層) 中の炭質層の $^{14}\text{C}$ 年代

材化石は  $>53,840$  yr BP, 泥炭は  $>53,940$  yr BPの年代

第2表 フィッション・トラック年代測定における四重極型誘導結合プラズマ質量分析装置の測定条件.

Table 2 Measurement condition of the instrumentation using a quadrupole inductively coupled plasma mass spectrometry for fission-track dating.

Laser ablation	
Model	CARBIDE (Light Conversion)
Laser type	Femtosecond laser
Pulse duration	224 fs
Wave length	260 nm
Energy density	1.6 J/cm <sup>2</sup>
Laser power	40 %
Spot size	10 μm
Repetition rate	100 Hz
Duration of laser ablation	10 s
Carrier gas (He)	0.6 L/min
ICP-MS	
Model	iCAP-TQ ICP-MS (Thermo Fisher Scientific)
ICP-MS type	Quadrupole
Forward power	1550 W
Make-up gas (Ar)	0.9 L/min
ThO <sup>+</sup> /Th (oxide ratio)	<1 %
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis
Data acquisition	25 s (15 s gas blank, 10 s ablation)
Monitor isotopes	<sup>29</sup> Si, <sup>202</sup> Hg, <sup>204</sup> Pb, <sup>206</sup> Pb, <sup>207</sup> Pb, <sup>208</sup> Pb, <sup>232</sup> Th, <sup>238</sup> U
Dwell time	0.2 s for <sup>206</sup> Pb, <sup>207</sup> Pb; 0.1 s for others
Standards	
Primary standard (U content)	Nancy 91500 (Wiedenbeck <i>et al.</i> , 1995)
Primary standard (FT age)	Fish Canyon Tuff (Danbara and Iwano, 2013)

値（ともにδ<sup>13</sup>C補正済み）が得られた（第4表）。

### 7. 2. 2 礫層（D層）中の炭質層の<sup>14</sup>C年代

礫層中の炭質層からは，50,340 ± 710 yr BP（δ<sup>13</sup>C補正済み）の年代値が得られた（第4表）。

## 8. 考察

### 8. 1 外山川沿いの第四紀堆積物の層序

藪川地域葉水の外山川沿いで確認された谷底低地を埋積する第四紀堆積物の層序について改めて整理する。この第四紀堆積物は，下位より1.3 m以上の泥炭層（A層），80 cmの藪川テフラ（B層），25 cmの火山灰火山礫互層（C層），そして約1.8 mの礫層（D層）の各ユニットからなる（第3図，第4図）。泥炭層（A層）は大量の材化石を含み，また，厚さ2～6 cmのYT2iPテフラを挟有する（第5図）。材化石及びYT2iPテフラ直上の泥炭の<sup>14</sup>C年代はともに約4～5万年とされる年代測定限界より古い。

藪川テフラ（B層）は，下位よりB1～B4のサブユニットに細分され，いずれも軽石（第6図a-c）を主体とし，少量の石質岩片を含む。火山礫の長径は軽石が3 cm以下，

石質岩片が1 cm以下である。軽石中に含まれるジルコンのFT年代は約0.24 Ma（チバニアン期後半）を示し，A層中の炭質物が示す<sup>14</sup>C年代の結果と矛盾しない。石質岩片は，安山岩，デイサイト，流紋岩，凝灰質砂岩，凝灰質泥岩，トータル岩，チャートなどが認められる（第7図）。凝灰質泥岩は，非変形・非変成で，浅海成の海緑石を含むものがあることから，海溝充填堆積物とは考えにくく，非付加体由来のものと判断される。したがって，藪川テフラ中の石質岩片で先古第三紀基盤岩に由来すると言えるものはトータル岩（前期白亜紀花崗岩類）とチャートである。チャートは，北部北上帯のジュラ紀付加体要素であり，多産する細粒黒雲母は前期白亜紀花崗岩類の接触変成作用によるものと考えられる。また，デッカイト組織を示す流紋岩も，この花崗岩類の熱的影響を受けている，すなわち現在北上山地に多産する前期白亜紀岩脈（土谷ほか，1999；内野・羽地，2021）を起源とする可能性がある。藪川テフラの残渣には繊維状の火山ガラスが大量に含まれるほか（第6図d），その他，高温型石英，普通角閃石，直方輝石，チタン鉄鉱の産出で特徴付けられる。藪川テフラは全体的に淘汰が良く，発泡した軽石を主体とし礫支持であること，また本テフラ中に認められる層理が基底面とほぼ平行であることから，本テフラは降下火砕堆積物と判断できる。

火山灰火山礫互層（C層）は，淡緑色～灰緑色を呈し，細粒～粗粒な火山灰と変質した火山礫とが細かく互層したことから構成される。火山礫は，ほとんどが変質して粘土化した軽石からなる。C層には細かい葉理が発達し，一部ではそれが斜交する部分も認められることから（第11図），水流による影響下での堆積が示唆される。C層は，繊維状に発泡した無斑晶状軽石や残渣中に石英・長石をはじめ普通角閃石・直方輝石・チタン鉄鉱を含むことから（第1表），藪川テフラ（B層）と共通した特徴を持つ。一方で，スフェルライト粒子を大量に含むという特徴も有している（第8図）。藪川テフラの残渣中にはスフェルライトは確認されていないが，本テフラのデイサイト岩片には一部でスフェルリティック組織が認められる（第7図c）。ただし，本組織を示すデイサイト岩片の量自体は少ないため，C層のスフェルライトがこの岩片に由来するのかどうかは不明である。もし岩片由来であったとすると，スフェルライト粒子のC層への大量濃集は，堆積時の水流による分級作用に起因する可能性がある。またその場合，C層は藪川テフラ（B層）を主な母材としたリワーク堆積物であり，B層の堆積後すぐにそれを整合的に覆ったと考えられる。ちなみに，藪川テフラに続く火山噴出物中に大量のスフェルライトが初生的に含まれていたという可能性もあるが，その蓋然性については現状では判断できない。

藪川テフラ（B層）及び火山灰火山礫互層（C層）の上位には礫層（D層）が堆積しており，D層はB層・C層を一部

第3表 藪川テフラの軽石に含まれるジルコンのフィッシュン・トラック年代.

$N_s$ : 自発トラック数,  $N_{u-sp}$ : 未知試料における $^{238}U$ の領域補正されたカウント数,  $N_{u-std}$ : 標準試料のウランカウント数,  $\rho_s$ : 自発トラック密度,  $\rho_{u-sp}$ : 未知試料における $^{238}U$ の領域補正されたカウント密度,  $\rho_{u-std}$ : 標準試料のウランのカウント密度,  $U_{ICP}$ : ウラン濃度.

Table 3 Fission-track ages for the zircon from the pumice in the Yabukawa Tephra.

Abbreviations:  $N_s$  (number of spontaneous tracks);  $N_{u-sp}$  (area-corrected total count of  $^{238}U$  on unknown sample);  $N_{u-std}$  (number of counted uranium of standard);  $\rho_s$  (density of spontaneous tracks);  $\rho_{u-sp}$  (density of area-corrected total count of  $^{238}U$  on unknown sample);  $\rho_{u-std}$  (density of counted uranium of standard);  $U_{ICP}$  (uranium content).

Grain no.	$N_s$	$\rho_s$ ( $cm^{-2}$ )	$N_{u-sp}$	$\rho_{u-sp}$	$U_{ICP}$ (ppm)	Age ( $\pm 1\sigma$ ) (Ma)
1	1	$1.042 \times 10^4$	14,410	$3.603 \times 10^9$	96	$0.41 \pm 0.41$
2	1	$6.250 \times 10^4$	88,816	$2.220 \times 10^{10}$	589	$0.40 \pm 0.40$
3	3	$2.000 \times 10^5$	75,449	$1.886 \times 10^{10}$	501	$1.51 \pm 0.87$
4	0	0.000	67,001	$1.675 \times 10^{10}$	445	0.00
5	0	0.000	16,369	$4.092 \times 10^9$	109	0.00
6	0	0.000	65,328	$1.633 \times 10^{10}$	434	0.00
7	0	0.000	32,443	$8.111 \times 10^9$	215	0.00
8	1	$5.000 \times 10^4$	66,705	$1.668 \times 10^{10}$	443	$0.43 \pm 0.43$
9	0	0.000	52,638	$1.316 \times 10^{10}$	349	0.00
10	0	0.000	10,153	$2.538 \times 10^9$	67	0.00
11	0	0.000	9,713	$2.428 \times 10^9$	64	0.00
12	0	0.000	50,706	$1.268 \times 10^{10}$	336	0.00
13	0	0.000	14,895	$3.724 \times 10^9$	99	0.00
14	2	$6.250 \times 10^4$	57,335	$1.433 \times 10^{10}$	380	$0.62 \pm 0.44$
15	1	$6.250 \times 10^4$	55,309	$1.383 \times 10^{10}$	367	$0.64 \pm 0.64$
16	0	0.000	84,971	$2.124 \times 10^{10}$	564	0.00
17	1	$2.500 \times 10^4$	44,776	$1.119 \times 10^{10}$	297	$0.32 \pm 0.32$
18	2	$8.000 \times 10^4$	170,414	$4.260 \times 10^{10}$	1131	$0.27 \pm 0.19$
19	0	0.000	113,440	$2.836 \times 10^{10}$	753	0.00
20	0	0.000	18,727	$4.682 \times 10^9$	124	0.00
21	0	0.000	13,035	$3.259 \times 10^9$	86	0.00
22	0	0.000	12,697	$3.174 \times 10^9$	84	0.00
23	0	0.000	21,060	$5.265 \times 10^9$	140	0.00
24	0	0.000	32,481	$8.120 \times 10^9$	216	0.00
25	2	$5.714 \times 10^4$	81,635	$2.041 \times 10^{10}$	542	$0.40 \pm 0.28$
26	2	$8.333 \times 10^4$	190,857	$4.771 \times 10^{10}$	1266	$0.25 \pm 0.18$
27	2	$1.000 \times 10^5$	134,065	$3.352 \times 10^{10}$	890	$0.42 \pm 0.30$
28	0	0.000	79,005	$1.975 \times 10^{10}$	524	0.00
29	0	0.000	42,271	$1.057 \times 10^{10}$	281	0.00
30	1	$4.348 \times 10^4$	92,254	$2.306 \times 10^{10}$	612	$0.27 \pm 0.27$
31	2	$4.762 \times 10^4$	33,705	$8.426 \times 10^9$	224	$0.80 \pm 0.57$
32	2	$8.333 \times 10^4$	184,273	$4.607 \times 10^{10}$	1223	$0.26 \pm 0.18$
33	1	$4.167 \times 10^4$	109,782	$2.745 \times 10^{10}$	728	$0.22 \pm 0.22$
34	1	$6.250 \times 10^4$	66,359	$1.659 \times 10^{10}$	440	$0.54 \pm 0.54$
35	0	0.000	147,618	$3.690 \times 10^{10}$	980	0.00
36	2	$1.111 \times 10^5$	151,589	$3.790 \times 10^{10}$	1006	$0.42 \pm 0.29$
37	0	0.000	9,417	$2.354 \times 10^9$	62	0.00
38	0	0.000	72,225	$1.806 \times 10^{10}$	479	0.00
39	0	0.000	8,706	$2.177 \times 10^9$	58	0.00
40	1	$1.111 \times 10^5$	276,040	$6.901 \times 10^{10}$	1832	$0.23 \pm 0.23$
41	0	0.000	95,156	$2.379 \times 10^{10}$	631	0.00
42	1	$1.111 \times 10^5$	153,736	$3.843 \times 10^{10}$	1020	$0.41 \pm 0.41$
43	0	0.000	154,416	$3.860 \times 10^{10}$	1025	0.00
44	1	$5.556 \times 10^4$	95,130	$2.378 \times 10^{10}$	631	$0.33 \pm 0.33$
45	0	0.000	125,324	$3.133 \times 10^{10}$	832	0.00
46	0	0.000	95,128	$2.378 \times 10^{10}$	631	0.00
47	0	0.000	28,521	$7.130 \times 10^9$	189	0.00
48	0	0.000	20,321	$5.080 \times 10^9$	135	0.00
49	1	$7.143 \times 10^4$	105,121	$2.628 \times 10^{10}$	698	$0.39 \pm 0.39$
50	1	$4.167 \times 10^4$	35,505	$8.876 \times 10^9$	236	$0.67 \pm 0.67$
51	0	0.000	38,689	$9.672 \times 10^9$	257	0.00
52	0	0.000	11,531	$2.883 \times 10^9$	77	0.00
53	0	0.000	15,709	$3.927 \times 10^9$	104	0.00
54	0	0.000	91,188	$2.280 \times 10^{10}$	605	0.00
55	1	$8.333 \times 10^4$	43,905	$1.098 \times 10^{10}$	291	$1.08 \pm 1.08$
56	0	0.000	32,131	$8.033 \times 10^9$	213	0.00
57	0	0.000	65,179	$1.629 \times 10^{10}$	433	0.00
58	0	0.000	57,714	$1.443 \times 10^{10}$	383	0.00
59	0	0.000	47,197	$1.180 \times 10^{10}$	313	0.00
60	0	0.000	110,939	$2.773 \times 10^{10}$	736	0.00
61	0	0.000	56,614	$1.415 \times 10^{10}$	376	0.00
62	2	$2.222 \times 10^5$	121,525	$3.038 \times 10^{10}$	806	$1.04 \pm 0.74$
63	2	$3.333 \times 10^4$	70,605	$1.765 \times 10^{10}$	469	$0.27 \pm 0.19$
Total	37	$2.578 \times 10^4$				
Mean	0.6	$3.036 \times 10^4$	72063	$1.802 \times 10^{10}$	478	
<b>Pooled age</b>						<b><math>0.24 \pm 0.04</math></b>

Zeta value ( $cm^2/yr$ ):  $44.9 \pm 1.8$ . Correlation coefficient between  $\rho_s$  and  $\rho_{u-sp}$  (r): 0.512.  $N_{u-std}$ : 12,659,  $\rho_{u-std}$ :  $3.165 \times 10^9$ .

第4表 泥炭層 (A層) 及び礫層 (D層) 中の炭質物の  $^{14}\text{C}$  年代のリスト。層準名は第4図を要参照。pMC: 標準現代炭素に対する試料炭素の  $^{14}\text{C}$  濃度の割合。

Table 4 List of  $^{14}\text{C}$  ages measured for carbonaceous materials from the peat layer (unit A) and gravel layer (unit D). Horizon names are referable to Fig. 4. pMC: percent modern carbon.

Horizon	Sample no.	Sample	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)(AMS)	Libby age (yr BP)	pMC (%)
Ltd1	20190903L3-1	Peat	-28.63 ± 0.39	50,340 ± 710	0.19 ± 0.02
Yp2	20181113L1-1	Wood fossil	-26.63 ± 0.36	>53,840	<0.13
Yp1	20190903L4-1	Peat	-29.50 ± 0.33	>53,940	<0.13



第11図 C層で見られる斜交葉理。

Fig. 11 Cross lamina observed in the Unit C.

削っている(第3図, 第4図)。礫層下部に薄く挟在する炭質層の  $^{14}\text{C}$  年代は約 50,000 ~ 51,000 yr BP (後期更新世) であるが,  $^{14}\text{C}$  年代の測定限界に近い値であるため, 本泥炭層も約 4 ~ 5 万年より古い年代を示すと考えておく。この礫層は外山川沿いや東方の大石川沿いで普遍的にみられ, 本地域の低位段丘面を形成している。なお, 大石川下流部(藪川テフラ露頭から約 200 m 東: 第2図a)では, 礫層上部から漸移するシルト層中に厚さ 10 cm 程度のテフラが挟在しており, それは約 36 cal kyr BP の十和田-大不動テフラに対比されている(工藤・内野, 2021)。

以上を基に, 本地域の谷底低地を埋積する地層の総合柱状図を第12図に示した。まとめると, 藪川地域の河川沿いでは後期更新世の礫層を主体とする堆積物が低位段丘を構成しており, 外山川のごく限られた区間において礫層の基盤としてチバニアン期後半の泥炭層と藪川テフラ及びリワーク堆積物が合わせて 2.3 m 以上の厚さをもって存在することが明らかになった。

## 8. 2. テフラの対比

藪川テフラは, 層厚が 80 cm と厚い降下火砕堆積物であり(第3図, 第4図), また最大長径 3 cm の軽石及び最大長径 1 cm の石質岩片を含むことから, 比較的近傍の火山から飛来したと判断される。盛岡周辺において, 藪

川テフラの FT 年代 ( $0.24 \pm 0.04$  Ma) に近い 30 ~ 20 万年前頃に活動した火山としては, 西方に位置する網張火山群, 岩手火山(西岩手), 八幡平火山群, 北西方に位置する七時雨火山(第1図)などが知られており(大場・梅田, 1999; 土井, 2000; 伊藤・土井, 2005; 伊藤ほか, 2006; 藤田ほか, 2019), これらが給源の候補となり得るであろう。

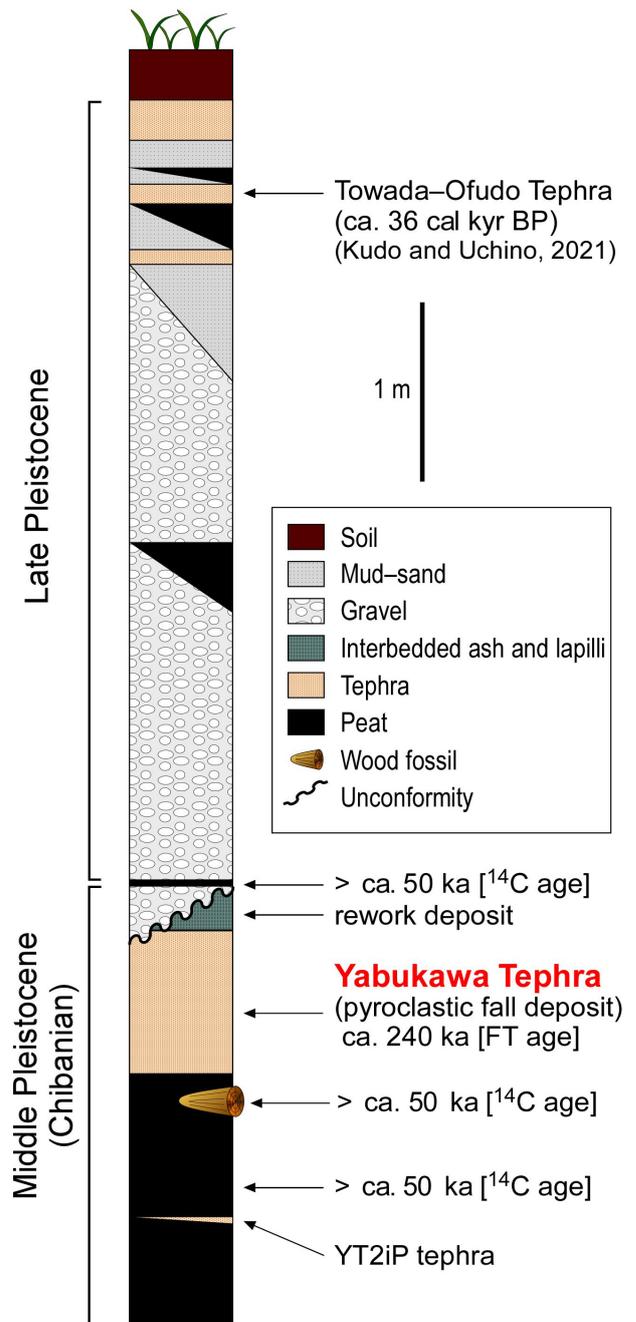
本調査地域の西方, 岩手山麓には, 上記火山を含む周辺火山を主な給源とする膨大な量の第四紀テフラが分布している。そのテフラ層序については, これまでに中川ほか(1963)を始めとして多くの研究が行われ, それらの成果は土井(2000)によって包括的にまとめられている。これらのテフラは, 段丘との関連や不整合の存在を基に, 下位より寺林, 玉山, 岩手川口, 江刈内, 沼宮内, 山崎, 松内, 外山, 洪民, 分の 10 火山灰に区分されている(例えば, 大上ほか, 1980; 土井, 2000)。なお, これらの「火山灰」は, 顕著な鍵テフラとその間に介在する小規模テフラや古土壌層を一括したものであり, それぞれの「火山灰」は, 複数回の噴火によるテフラと古土壌層の互層からなる点に注意が必要である。このうち, 外山火山灰上部には, 約 10.9 万年前の洞爺火山灰(町田ほか, 1987; 東宮・宮城, 2020)が挟在する。洞爺火山灰は, 北海道の洞爺カルデラを給源とし, 北日本に広く分布する広域テフラで, 盛岡周辺では層厚数 mm ~ 10 cm 程度の細粒火山灰層として産する(土井, 2000)。この洞爺火山灰より上位層では, 複数枚の広域テフラが認められており, 放射年代が測定されたテフラも多く, 比較的詳細な年代軸が入れている(例えば, 土井, 2000)。一方, それより下位層の年代については, 一部で層位上の位置から推定年代が示されているものの(土井, 2000), これらは洞爺火山灰より上位層から求められた外挿年代のため, 不確実な点が多く残されている。いずれにしても, 年代的に見ると藪川テフラの対比候補となり得るのは, 少なくとも洞爺火山灰よりも下位の「外山火山灰」以下の層準にあるテフラと判断される。ちなみに, 外山高原では緩斜面堆積物中から OBA, KP, YP などの鍵テフラが報告されているが(例えば, Higaki, 1980; 井上ほか, 1981), どれも後期更新世を示すものであり, 藪川テフラの対比対象となるテフラは見当たらない。

岩手山麓に分布するテフラのうち、洞爺火山灰よりも下位層準において、藪川テフラと産状及び記載岩石学的特徴が最も類似するテフラは、松内火山灰下部の大台白色火山灰 (OdWA) (大上ほか, 1980) と呼ばれる降下火砕堆積物である。土井 (2000) によると、大台白色火山灰は以下の特徴を有する。1) 白色～褐白色を呈する風化した細粒火山灰からなり、新鮮な露頭では白色で著しく発泡した軽石が認められる、2) 軽石は最大径2.5 cmで、容易につぶれ針状の細粉となる、3) 軽石は、著しく斑晶に乏しく、斜長石・石英のほか、苦鉄質鉱物として角閃石、直方輝石及び鉄鉱を含む、4) 火山ガラスの屈折率は1.496-1.498である、5) 岩片として、安山岩、角閃石黒雲母花崗岩、粘板岩が認められる。

藪川テフラも、白色～淡黄白色を呈すること、著しく繊維状に発泡した軽石 (潰すと針状の細粉状となる) を含むこと、岩片として安山岩やトータル岩を含むこと、斜長石、石英、普通角閃石、直方輝石、チタン鉄鉱の粒子を含むこと、火山ガラスの屈折率が1.495-1.498であることなど、大台白色火山灰との類似点が多い。相違点としては、藪川テフラが粘板岩岩片を含んでいないことである。ただし、凝灰質ではあるが、泥質岩自体は藪川テフラにも含まれている。その他の相違点としては、黒雲母及び緑れん石が大台白色火山灰からは報告されていないことが挙げられる。しかし、藪川テフラに含まれるこれらの含有量は極微量で、特に緑れん石はサイズも小さいため、その有無に関しては試料の処理方法や処理量に依存している可能性もある。洞爺火山灰より下位のテフラにおいては、火山ガラスの屈折率測定が行われたテフラは数が限られているものの (土井, 2000)、今のところ藪川テフラと屈折率が一致するのは大台白色火山灰のみである。なお、火山ガラスの主成分化学組成については、比較対象となり得る時代のテフラについて報告が皆無な状況のため、現状では対比検討に用いることはできない。

今回、詳細な対比のために大台白色火山灰の採取を試みたが、模式地付近における露出状況の悪化により、残念ながら本火山灰を発見するに至らなかった。今後、両者を正確に対比するために、本火山灰の露頭を確認し、年代測定、火山ガラスの主成分化学組成分析、詳細な石質岩片の比較などを実施することが必要である。よって本論では、藪川テフラは大台白色火山灰に対比される可能性があるという指摘に留めておく。

藪川テフラは、当地における厚さからみて、太平洋沿岸まで分布している可能性があり、三陸海岸北部の高位段丘堆積物 (及びその被覆層) や太平洋沖の海底コアなどから本テフラに対比されるものが検出されることは十分にあり得る。Matsu'ura *et al.* (2014, 2018) は、東北地方北部沿岸・太平洋沖の深海底コア (C9001C, ODP1150A, ODP1151C) に挟在するMIS 18以降のテフラについて、火山ガラスの主成分化学組成を報告し、詳細な対比と編



第12図 藪川地域の外山川・大石川周辺に分布する第四紀層の総合柱状図。上部更新統の情報は工藤・内野 (2021) による。

Fig. 12 Comprehensive columnar section of the Quaternary strata around the Sotoyama and Oishi rivers in Yabukawa area. Date of the Upper Pleistocene was referred from Kudo and Uchino (2021).

年を行っている。これらのコア中のテフラと藪川テフラの火山ガラス主成分化学組成を比較したところ、藪川テフラと組成が一致するものは見つからなかった。ちなみに、藪川テフラに最も類似した主成分化学組成を示すものとしては、洞爺火山灰があるが、両者にはCaO量で有意な差が認められ、直方輝石の屈折率（例えば、町田ほか(1987)では $\gamma = 1.756-1.761$ ）でも両者は明確に区別可能である。上記の深海底コア中には、藪川テフラに相当するテフラは今のところ見当たらない。

外山高原における藪川テフラを含むチバニアン期の地層の分布は、現状では極めて限定的である。今後、調査範囲を拡げ、本地層の垂直及び水平方向への追跡、複数層準における花粉分析、YT2iPテフラの化学分析などを行うことで、これまで良く分かっていない最終氷期よりも前の氷期の気候・環境やチバニアン期の周氷河作用のイメージがより正確に捉えられていくと考えられる。加えて、北上山地におけるテクトニクスや噴火に伴う影響などの解明の手掛かりになる可能性がある。

## 9. まとめ

- ・盛岡市東部，藪川地域の谷底低地を埋積する第四紀堆積物から厚さ約80 cmのテフラを見出し、「藪川テフラ」と新称定義した。
- ・藪川テフラは発泡した軽石を主体とし、テフラ層中には高温型石英・長石・普通角閃石・直方輝石などが認められる。また、少量含まれる石質岩片の種類は、安山岩・デイサイト・流紋岩・凝灰質泥岩・トータル岩・チャートである。
- ・火山ガラスの組成は比較的高いSiO<sub>2</sub>・K<sub>2</sub>Oと低いCaO・MgO・TiO<sub>2</sub>で特徴づけられ、またその屈折率は1.495–1.498である。
- ・軽石中のジルコンから $0.24 \pm 0.04$  MaのFT年代が得られ、藪川テフラはチバニアン期後半に堆積したと判断される。
- ・藪川テフラの産状、記載岩石学的特徴、火山ガラスの屈折率、FT年代などから、松内火山灰層の鍵テフラである白色大台火山灰に対比できる可能性がある。

謝辞：株式会社加速器分析研究所には<sup>14</sup>C (AMS)年代を測定いただいた。産業技術総合研究所地質標本館室地質試料調製グループの諸氏には薄片を作製いただいた。岩手大学地域防災研究センターの土井宣夫氏には、岩手山麓の第四紀テフラについて貴重な情報を提供いただいた。有限会社アルプス調査所の本郷美佐緒氏には本文の内容についてご意見をいただいた。査読者の水野清秀氏及び編集担当の納谷友規氏（ともに地質情報研究部門）には、原稿改善に当たり有益なご意見を賜った。記して感謝の意を表す。

## 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.
- 土井宣夫 (2000) 岩手山の地質：火山灰が語る噴火史。滝沢村文化財調査報告書，**32**，234p.
- 古澤 明 (1995) 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析。地質学雑誌，**101**，123–133.
- 藤田浩司・和知 剛・土井宣夫・千葉達郎・岡田智幸・吉田桂治・越谷 信・林 信太郎・斎藤徳美 (2019) 八幡平火山群形成史：1 mメッシュ DEMを用いた火山地形判読とK–Ar年代測定にもとづく解析。岩手の地学，**49**，4–25.
- Higaki, D. (1980) Tephrochronological study of slope deposits in the Northwestern Kitakami Mountains. *Science Reports of the Tohoku University, 7th Series*, **30**，147–156.
- 檜垣大助 (1987) 北上山地中部の斜面物質移動期と斜面形成。第四紀研究，**26**，27–45.
- 細井 淳・中嶋 健・檀原 徹・岩野英樹・平田岳史・天野一男 (2018) 岩手県西和賀町に分布するグリーンタフのジルコンFT及びU–Pb年代とその意味。地質学雑誌，**124**，819–835.
- 井上克弘・金子己・吉田 稔 (1981) 北上川上流域における後期更新世の周氷河現象と火山灰層序。第四紀研究，**20**，61–73.
- 磯 望 (1973) 西北部北上山地における斜面発達。日本地理学会予稿集，no. 4，36–37.
- 伊藤順一・土井宣夫 (2005) 岩手火山地質図。火山地質図13，産総研地質調査総合センター。
- 伊藤順一・土井宣夫・星住英夫・工藤 崇 (2006) 岩手火山地質データベース。数値地質図V-1 (CD-ROM)。産総研地質調査総合センター。
- Jochum, K. P., Dingwell, D. B., Rocholl, A., Stoll, B., Hofmann, A. W., Becker, S., Besmehn, A., Bessette, D., Dietze, H.-J., Dulski, P., Erzinger, J., Hellebrand, E., Hoppe, P., Horn, I., Janssens, K., Jenner, G. A., Klein, M., McDonough, W. F., Maetz, M., Mezger, K., Münker, C., Nikogosian, I. K., Pickhardt, C., Raczek, I., Rhede, D., Seufert, H. M., Simakin, S. G., Sobolev, A. V., Spettel, B., Straub, S., Vincze, L., Wallianos, A., Weckwerth, G., Weyer, S., Wolf, D. and Zimmer, M. (2000) The preparation and preliminary characterization of eight geological MPI-DING reference glasses for in-situ microanalysis. *Geostandards Newsletter*, **24**，87–133.
- Jochum, K. P., Stoll, B., Herwig, K., Willbold, M., Hofmann,

- A.-K., Amini, M., Aarburg, S., Abouchami, W., Hellebrand, E., Mocek, B., Raczek, I., Stracke, A., Alard, O., Bouman, C., Becker, S., Dücking, M., Brätz, H., Klemm, R., de Bruin, D., Canil, D., Cornell, D., de Hoog, C.-J., Dalpé, C., Danyushevsky, L., Eisenhauer, A., Gao, Y., Snow, J. E., Groschopf, N., Günther, D., Latkoczy, C., Guillong, M., Hauri, E. H., Höfer, H. E., Lahaye, Y., Horz, K., Jacob, D. E., Kasemann, S. A., Kent, A. J. R., Ludwig, T., Zack, T., Mason, P. R. D., Meixner, A., Rosner, M., Misawa, K., Nash, B. P., Pfänder, J., Premo, W. R., Sun, W. D., Tiepolo, M., Vannucci, R., Vennemann, T., Wayne, D. and Woodhead, J. D. (2006) MPI-DING reference glasses for in situ microanalysis: New reference values for element concentrations and isotope ratios. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **7**, Q02008. doi: 10.1029/2005GC001060
- 工藤 崇・内野隆之 (2021) 岩手県盛岡市藪川, 大石川沿いで確認された十和田大不動テフラ. 地質調査研究報告, **72**, 129–138.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 276p.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス. 東京大学出版会, 336p.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史 (1987) 北日本を広くおおう洞爺火山灰. 第四紀研究, **26**, 129–145.
- Matsu'ura, T., Furusawa, A., Shimogama, K., Goto, N. and Komatsubara, J. (2014) Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan. *Quaternary Geochronology*, **23**, 63–79.
- Matsu'ura, T., Komatsubara, J. and Ahagon, N. (2018) Using Late and Middle Pleistocene tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy to refine age models of Holes ODP1150A and ODP1151C, NW Pacific Ocean: A cross-check between tephrostratigraphy and biostratigraphy. *Quaternary Geochronology*, **47**, 29–53.
- 中川久夫・石田琢二・佐藤二郎・松山 力・七崎 修 (1963) 北上川上流沿岸の第四系及び地形: 北上川流域の第四紀地史 (1). 地質学雑誌, **69**, 163–171.
- 大場 司・梅田浩司 (1999) 八幡平火山群の地質とマグマ組成の時間—空間変化. 岩鉱, **94**, 187–202.
- 大上和良・畑村政行・土井宣夫 (1980) 北部北上低地帯の鮮新・更新両統の層序について (その2). 岩手大工学部研究報告, **33**, 53–73.
- 阪野 優 (1971) 北上山地・外山高原の周氷河地形. 東北地理, **23**, 18–22.
- Sakata, S., Hattori, K., Iwano, H., Yokoyama, T. D., Danhara, T. and Hirata, T. (2014) Determination of U–Pb ages for young zircons using laser ablation-ICP-mass spectrometry coupled with an ion detection attenuator device. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **38**, 409–420.
- 産総研地質調査総合センター (2019) 20万分の1日本シームレス地質図V2. <https://gbank.gsj.jp/seamless/>. (閲覧日: 2021年8月1日)
- 澤口晋一 (1984) 北上山地北部における晩氷期以降の化石周氷河現象. 東北地理, **36**, 240–246.
- 澤口晋一 (2005) 第2章北上山地と阿武隈山地, 2-1 北上山地の地形, (4) 化石周氷河現象から見た氷期の北上川上流域と北上山地. 小池一之・田村俊和・鎮西清高・宮城豊彦編, 日本の地形3, 東北. 東京大学出版会, 55–58.
- 東宮昭彦・宮城磯治 (2020) 洞爺噴火の年代値. 火山, **65**, 13–18.
- 土谷信高・高橋和恵・木村純一 (1999) 北上山地の前期白亜紀深成活動に先行する岩脈類の岩石化学的性質. 地質学論集, no. 53, 111–134.
- 内野隆之 (2019) 岩手県外山地域の北部北上帯に分布するジュラ紀付加体中砂岩の碎屑性ジルコンU–Pb年代. 地質調査研究報告, **70**, 357–372.
- 内野隆之 (2021) 岩手県岩泉町釜津田の北部北上帯付加体砂岩から得られた中期ジュラ紀ジルコン年代: 大川試料を含む付加体の年代検証. 地質調査研究報告, **72**, 99–107.
- 内野隆之・羽地俊樹 (2021) 北上山地中西部の中古生代付加体を貫く白亜紀岩脈群の岩相・年代と貫入応力解析から得られた引張場. 地質学雑誌, **127**, 651–666.
- 和知 剛・土井宣夫・越谷 信 (1997) 秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動. 火山, **42**, 17–34.
- 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 and Geoanalytical Research*, **19**, 1–23.
- Yokoyama, T. D., Suzuki, T., Kon, Y. and Hirata, T. (2011) Determinations of rare earth element abundance and U–Pb age of zircons using multispot laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, **83**, 8892–8899.

( 受付: 2021年12月10日; 受理: 2022年6月6日 )

( 早期公開: 2022年7月5日 )

付録

Appendix

付表1 藪川テフラのB3層上部及びB4層に含まれる火山ガラスの主要元素組成。試料20181113L1-2a及び20181113L1-2bはB3層のYbt2層準，B4層のYbt3層準からそれぞれ得られた。  
SD：標準偏差，FeO\*：全鉄を2価で計算した値。

Table A1 Major element chemical compositions of volcanic glasses from the upper part of the subunit B3 and the subunit B4 in the Yabukawa Tephra. Samples 20181113L1-2a and 20181113L1-2b were from the B3 (Ybt2 horizon) and B4 (Ybt3 horizon), respectively. SD: standard deviation. FeO\*: total Fe as FeO.

20181113L1-2b (Ybt3)																	
Point no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	SD
SiO <sub>2</sub>	70.94	70.94	71.82	70.77	70.09	72.68	71.33	72.00	71.18	71.94	71.84	71.06	71.52	72.02	72.00	71.48	0.66
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.13	0.09	0.10	0.10	0.10	0.16	0.08	0.09	0.07	0.00	0.08	0.09	0.14	0.13	0.10	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.44	11.54	11.70	11.34	11.39	11.85	11.40	11.65	11.53	11.66	11.58	11.43	11.66	11.72	11.56	11.56	0.14
FeO*	0.97	0.77	0.87	0.87	0.99	0.92	0.87	0.74	0.00	0.89	0.88	0.80	0.73	0.97	0.98	0.82	0.24
MnO	0.09	0.00	0.18	0.00	0.21	0.12	0.07	0.15	0.00	0.06	0.08	0.11	0.04	0.06	0.00	0.08	0.07
MgO	0.06	0.10	0.06	0.09	0.06	0.06	0.05	0.02	0.05	0.10	0.09	0.06	0.01	0.04	0.10	0.06	0.03
CaO	0.65	0.57	0.61	0.53	0.63	0.64	0.62	0.61	0.64	0.58	0.58	0.60	0.56	0.58	0.63	0.60	0.03
Na <sub>2</sub> O	3.83	3.84	3.87	3.83	3.91	4.08	3.84	3.93	3.95	4.07	3.87	3.88	3.85	3.99	4.04	3.92	0.09
K <sub>2</sub> O	2.55	2.47	2.50	2.60	2.41	2.48	2.57	2.49	2.52	2.53	2.50	2.47	2.64	2.62	2.50	2.52	0.06
Total	90.66	90.36	91.70	90.13	89.79	92.93	90.91	91.67	89.96	91.90	91.42	90.49	91.10	92.14	91.94	91.14	
SiO <sub>2</sub>	78.25	78.51	78.32	78.52	78.06	78.21	78.46	78.54	79.12	78.28	78.58	78.53	78.51	78.16	78.31	78.42	0.25
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.14	0.10	0.11	0.11	0.11	0.18	0.09	0.10	0.08	0.00	0.09	0.10	0.15	0.14	0.11	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.62	12.77	12.76	12.58	12.69	12.75	12.54	12.71	12.82	12.69	12.67	12.63	12.80	12.72	12.57	12.69	0.09
FeO*	1.07	0.85	0.95	0.97	1.10	0.99	0.96	0.81	0.00	0.97	0.96	0.88	0.80	1.05	1.07	0.90	0.26
MnO	0.10	0.00	0.20	0.00	0.23	0.13	0.08	0.16	0.00	0.07	0.09	0.12	0.04	0.07	0.00	0.09	0.07
MgO	0.07	0.11	0.07	0.10	0.07	0.06	0.05	0.02	0.06	0.11	0.10	0.07	0.01	0.04	0.11	0.07	0.03
CaO	0.72	0.63	0.67	0.59	0.70	0.69	0.68	0.67	0.71	0.63	0.63	0.66	0.61	0.63	0.69	0.66	0.04
Na <sub>2</sub> O	4.22	4.25	4.22	4.25	4.35	4.39	4.22	4.29	4.39	4.43	4.23	4.29	4.23	4.33	4.39	4.30	0.08
K <sub>2</sub> O	2.81	2.73	2.73	2.88	2.68	2.67	2.83	2.72	2.80	2.75	2.73	2.90	2.84	2.72	2.77	2.77	0.07
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
20181113L1-2a (Ybt2)																	
Point no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	SD
SiO <sub>2</sub>	70.45	71.49	71.81	70.49	71.52	72.55	72.46	71.58	72.33	72.21	72.89	70.91	71.19	71.02	70.53	71.56	0.80
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.00	0.08	0.00	0.02	0.07	0.12	0.05	0.12	0.00	0.00	0.02	0.15	0.07	0.05	0.06	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.38	11.57	11.65	11.25	11.55	11.88	11.66	11.49	11.78	11.76	11.98	11.41	11.56	11.58	11.35	11.59	0.20
FeO*	0.95	0.87	0.98	0.85	0.83	0.95	0.85	0.92	0.79	1.07	0.91	0.96	1.13	0.97	0.91	0.93	0.09
MnO	0.13	0.11	0.18	0.11	0.21	0.05	0.11	0.08	0.08	0.03	0.02	0.07	0.10	0.13	0.18	0.11	0.05
MgO	0.08	0.06	0.08	0.09	0.07	0.08	0.04	0.05	0.05	0.00	0.09	0.04	0.05	0.00	0.01	0.05	0.03
CaO	0.53	0.61	0.58	0.61	0.65	0.64	0.58	0.67	0.60	0.67	0.62	0.56	0.59	0.65	0.61	0.61	0.04
Na <sub>2</sub> O	3.73	4.04	3.98	3.88	3.93	4.00	3.99	4.04	3.99	4.12	3.99	3.76	4.03	4.05	4.04	3.97	0.11
K <sub>2</sub> O	2.56	2.48	2.65	2.49	2.54	2.67	2.51	2.52	2.52	2.55	2.54	2.60	2.54	2.77	2.38	2.55	0.09
Total	89.97	91.23	91.99	89.77	91.32	92.89	92.32	91.40	92.26	92.41	93.04	90.33	91.34	91.24	90.06	91.44	
SiO <sub>2</sub>	78.30	78.36	78.06	78.52	78.32	78.10	78.49	78.32	78.40	78.14	78.34	78.50	77.94	77.84	78.31	78.26	0.20
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.00	0.09	0.00	0.02	0.08	0.13	0.05	0.13	0.00	0.00	0.02	0.16	0.08	0.06	0.07	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.65	12.68	12.66	12.53	12.65	12.79	12.63	12.57	12.77	12.73	12.88	12.63	12.66	12.69	12.60	12.67	0.09
FeO*	1.06	0.95	1.07	0.95	0.91	1.02	0.92	1.01	0.86	1.16	0.98	1.06	1.24	1.06	1.01	1.02	0.10
MnO	0.14	0.12	0.20	0.12	0.23	0.05	0.12	0.09	0.09	0.03	0.02	0.08	0.11	0.14	0.20	0.12	0.06
MgO	0.09	0.07	0.09	0.10	0.08	0.09	0.04	0.05	0.05	0.00	0.10	0.04	0.05	0.00	0.01	0.06	0.03
CaO	0.59	0.67	0.63	0.68	0.71	0.69	0.63	0.73	0.65	0.73	0.62	0.65	0.71	0.68	0.67	0.67	0.04
Na <sub>2</sub> O	4.15	4.43	4.33	4.32	4.30	4.31	4.32	4.42	4.32	4.46	4.29	4.16	4.41	4.44	4.49	4.34	0.10
K <sub>2</sub> O	2.85	2.72	2.88	2.77	2.78	2.87	2.72	2.76	2.73	2.76	2.73	2.88	2.78	3.04	2.64	2.79	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

