

茨城県北部, 久慈川流域の段丘堆積物から発見された大山倉吉テフラ

細井 淳^{1,*}・古澤 明²

HOSOI Jun and FURUSAWA Akira (2023) Daisen-Kurayoshi tephra in fluvial terrace deposits along the Kuji River in northern Ibaraki Prefecture, Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 74 (4), p. 167-178, 7 figs, 1 table and 1 Appendix.

Abstract: The Kuji River, which flows from southern Fukushima Prefecture to northern Ibaraki Prefecture, traverses the northern Kanto Mountains and the northeastern Kanto Plain. The ages of terraces along the Kuji River provide information on the uplift of the northern Kanto Mountains and the difference in the amount of tectonic uplift between the mountains and the plain. In this study, we newly discovered Daisen-Kurayoshi tephra (DKP) in a fluvial terrace deposit at Minamitage, Daigo Town. The tephra retains volcanic glass, whose refractive index, major chemical composition, and petrological characteristics are consistent with reported data for DKP tephra. Based on the terrace age and the height difference between the present riverbed and the terrace surfaces, it is possible to compare the terraces along the Kuji River in the northern Kanto Mountains and in the Kanto Plain (eastern Urizura Hills). The results suggest that there has been no significant difference in tectonic uplift between these regions for at least the last 60,000 years.

Keywords: Daisen-Kurayoshi tephra, volcanic glass, refractive index, major composition, river terrace, Kuji River, Kanto Plain, Kanto Mountains, Abukuma Mountains

要 旨

福島県南部から茨城県北部を流れる久慈川は、関東北部山地と関東平野の北東部を横断する川である。久慈川沿いに発達する段丘の編年は、関東北部山地の隆起や山地と平野部での造構運動の違いを検討する情報をもたらす。今回、久慈川右岸の太子町南田気地区に発達する段丘から、大山倉吉テフラ(DKP)を発見した。本テフラは火山ガラスが残存しており、その屈折率と主成分化学組成及び鉱物の記載岩石学的特徴は既報のDKPテフラのデータと一致する。段丘の離水年代と現河床と段丘面の比高に基づくと、関東北部山地内と関東平野部(瓜連丘陵東部)の久慈川沿いに発達する段丘は、現河床からの比高に基づく対比が可能であることが分かった。また、少なくとも最近6万年以降は関東北部山地と関東平野北部の間で顕著な造構運動の違いはなかったことが考えられた。

1. はじめに

福島県南部から茨城県北部を流れる久慈川は、関東北部山地と関東平野を横断する川である。久慈川はおおよ

そ福島県南部から関東北部山地の中を南に流れ、関東平野に出てから、その流れを東南東方向へ変える。久慈川沿いには断続的ではあるものの、段丘がよく発達する。これらの離水年代の編年は関東北部山地(又は広域的にみると太平洋沿岸に沿って発達する阿武隈山地)の隆起運動や、山地と平野部での造構運動の違いを検討する情報をもたらす。本論では便宜上、関東北部山地を流れる久慈川を久慈川上流、関東平野北部の瓜連丘陵周辺部を久慈川中流、^な那珂台地周辺部を久慈川下流として記す(第1図)。また、地形区分とその名称は貝塚ほか編(2000)に従う。

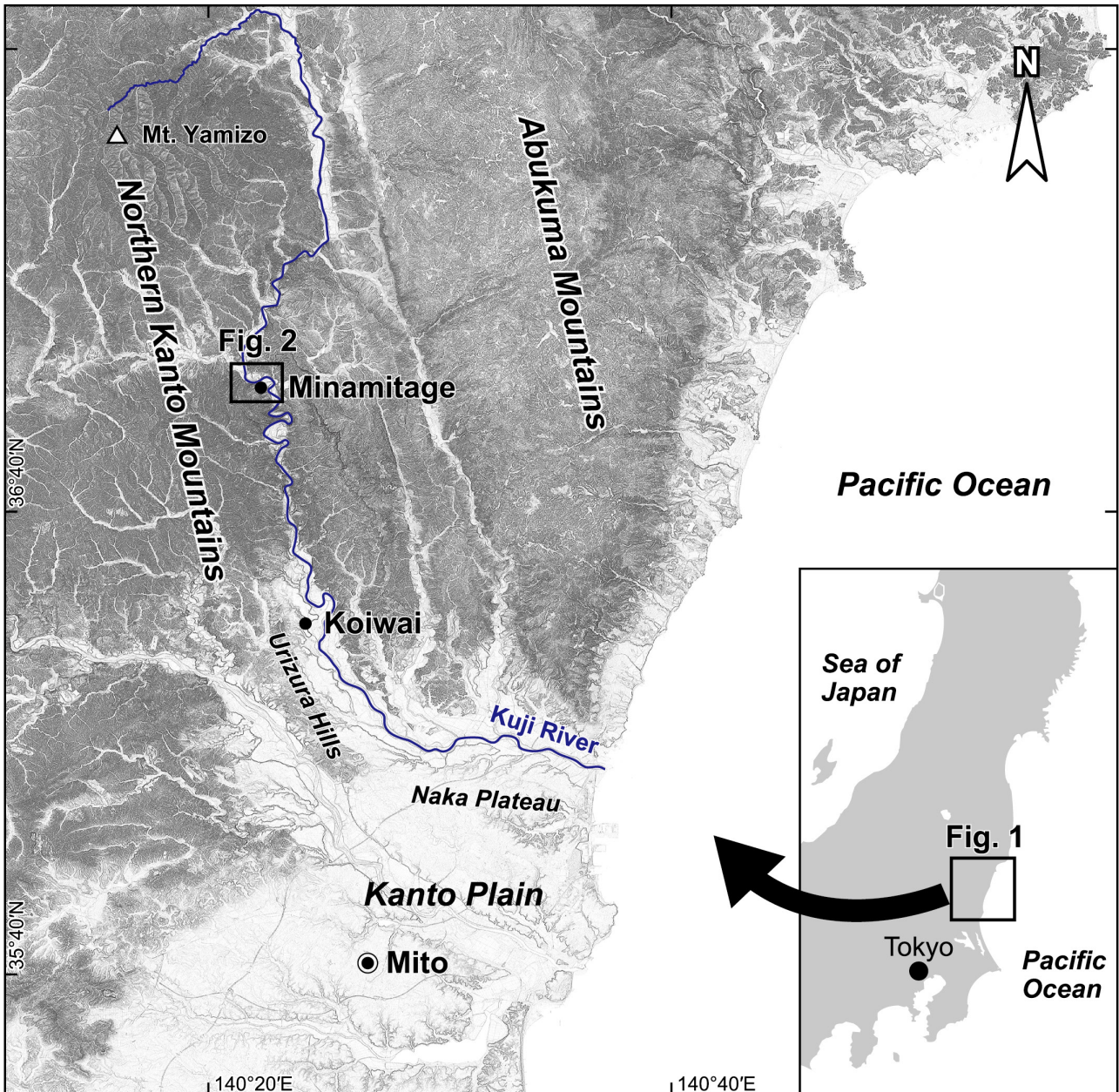
久慈川上流域に発達する段丘の研究は、あまり多くなく、各段丘の離水年代についても明確には言及されていない。町田(1957)は太子町~那珂市瓜連の久慈川沿いに発達する段丘について、第一段丘~第四段丘の4つに区分した。太子町史編さん委員会(1988)は太子町周辺の段丘を、袋田面(下位段丘面)、宮平面(中位段丘面)、館上面(中位段丘面)、入山面(上位段丘面)を認定した。宮平面は関東ローム層に被覆される。早川(2002)は下位砂礫段丘群、中位砂礫段丘、上位段丘に区分した。

一方、久慈川中流沿いに発達する段丘は、離水年代の

¹ 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)

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

* Corresponding author: HOSOI, J., AIST Tsukuba Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan, Email: jhosoi@aist.go.jp

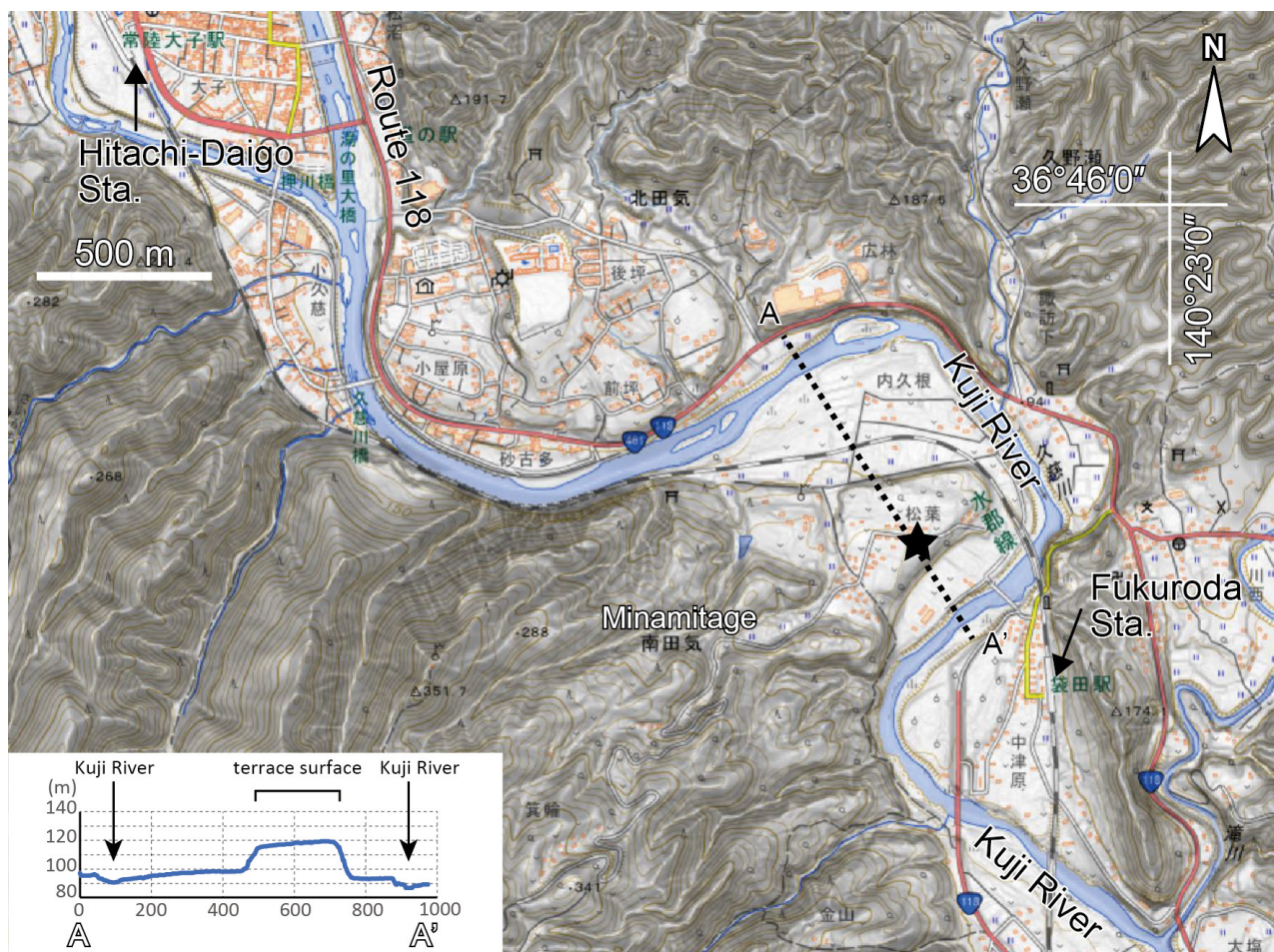


第1図 久慈川周辺の地形。地理院地図の傾斜量図を使用して作成。

Fig. 1 Geographic map features the slope around Kuji River created by using the Geospatial Information Authority of Japan (GSI) Tiles collection of the GSI.

議論も含めて幾つか研究が行われている。坂本・宇野沢 (1976) は瓜連丘陵周辺にて、第V段丘 (低位段丘礫層)、第IV段丘 (額田・上市段丘礫層)、第III段丘 (那珂台地)、第II段丘、第I段丘の5つの段丘を認めた。鈴木 (2001a) は日本の海成段丘アトラス (小池・町田, 2001) の中で、常陸大宮周辺地域の段丘をまとめ、L3面 (fT₂)、L2面 (fT₃)、塩ヶ崎面 (fT5a-2)、額田・上市面 (fT5a-1)、第III面 (fT5e)、第II面・春園I面 (fT7-2)、第I面 (fT7-1) に区分した。この中で、第III面は見和上部軽石層 (Miwa-U:

鈴木, 1989) に覆われる (鈴木, 2001a)。塩ヶ崎面と額田・上市面は赤城水沼2テフラ (Ag-MzP₂: 守屋, 1968; 鈴木, 1990a) (原文では那珂台地軽石 (NkP: 貝塚, 1957) で赤城水沼1テフラ (Ag-MzP₁: 守屋, 1968; 鈴木, 1990a) に対比されたが、山元 (2013a) でAg-MzP₂に修正された) に覆われる (鈴木, 1990b)。L2面とL3面は赤城鹿沼テフラ (Ag-KP: 阿久津, 1955) に覆われない。早川 (2002) は常陸大宮市舟生^{ふにゅう}より下流側の久慈川周辺の段丘を調べ、5つの下位段丘面と3つの中位段丘面、3つの上位段丘面



第2図 久慈川上流、南田気地区周辺の地形。地形図上に傾斜量図を合成。断面図は縦横比1:4。黒星印はDKPテフラ発見位置。地理院地図を使用して作成。

Fig. 2 Geographic map around the Minamitage, upper Kuji River, created by overlaying a slope map of the GSI Tile Collection on a topographic map of the GSI map. Cross-section with 1:4 aspect ratio also shown in the lower left. Solid star indicates the location of the DKP tephra discovery.

を認定した。それによると、下位段丘1面は段丘礫直上にAg-KPが認められ、中位段丘群は那珂台地軽石(NkP: 貝塚, 1957)に被覆される。また、久慈川中～下流及びその支流沿いの段丘(鈴木, 2001b)の田尻浜I面(ft5e)段丘面)被覆層(常陸大宮市天下野町南端の百目木(常陸太田市天神林町)からは、鬼界葛原テフラ(K-Tz: 町田・新井, 1983; Nagaoka, 1988)が報告されている(例えば、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 2016)。

本論では鈴木(2001a, b)の一連の研究に従い、常陸大宮市周辺の第Ⅲ面(ft5e)と田尻浜I面(ft5e)を同一の段丘面とみなした。これらは坂本・宇野沢(1976)の第Ⅳ段丘に対比される。

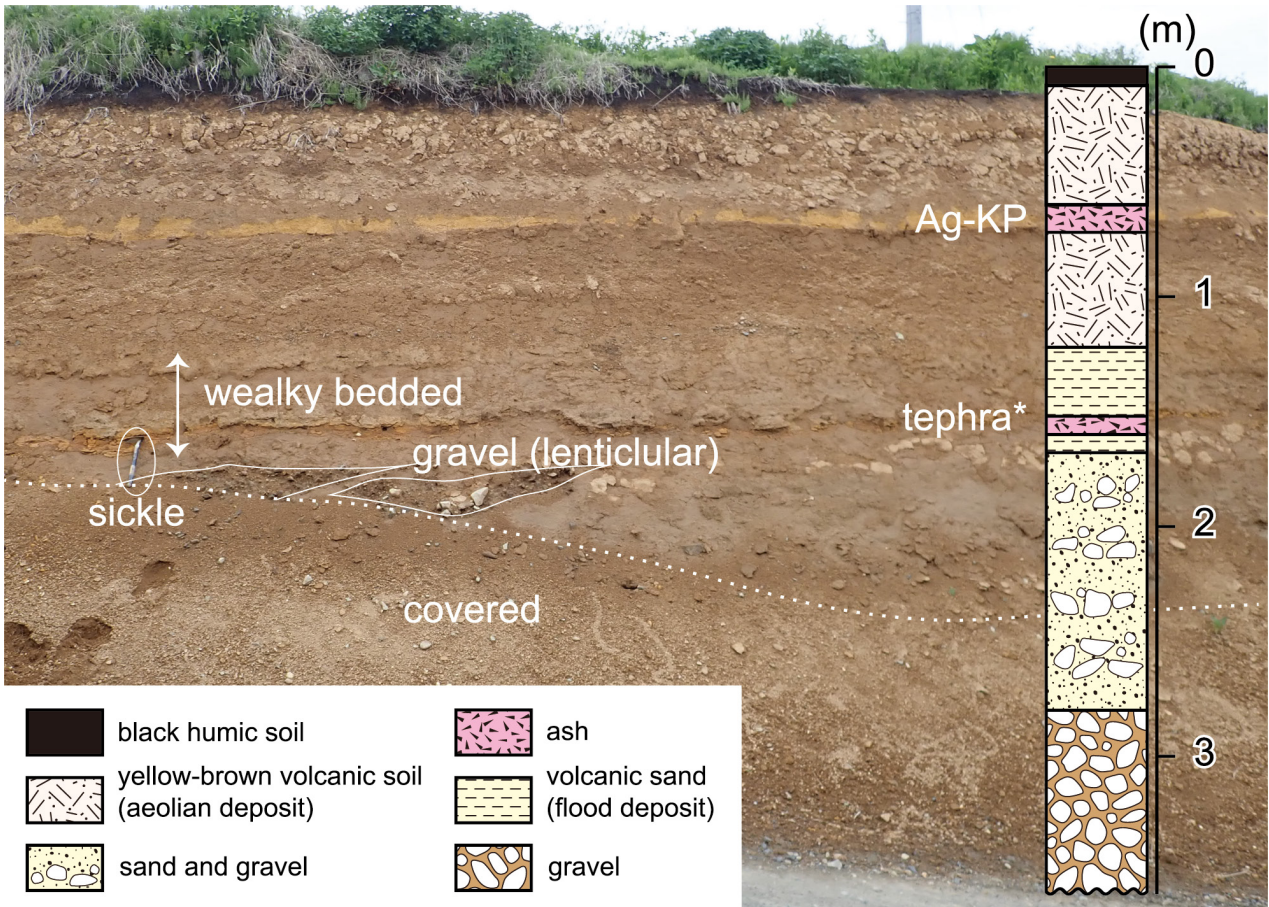
それぞれのテフラ対比とその年代は次の通りである。NkPは、約7万年前のAg-MzP2(鈴木, 1990a)に相当する(山元, 2013a, 2017)。K-Tzは水月湖年縞コアSG06のSG06-5181火山灰(約95 ka)に対比される(Smith *et al.*,

2013)。Ag-KPは約4.4万年前である(青木ほか, 2008)。Miwa-Uは約13万年前のAg-MzP8(鈴木, 1990a)の再堆積物である(山元, 2013b)。

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、現在、5万分の1地質図幅「大子」の整備を進めている。その調査において、久慈川上流の大子地域に発達する段丘堆積物から、新たに見出されたテフラが大山倉吉テフラ(DKP: 町田・新井, 1979)であることを発見した。そこで本論では、その結果を報告するとともに、久慈川上流の大子地域に発達する段丘と久慈川中流の段丘との対比を検討する。

2. テフラ産出地周辺の地形と地質概要

久慈川上流部は関東北部山地の八溝山塊及び鷲子山塊とりこのと久慈山塊の間をおおよそ北から南へ流れる。八溝山塊と鷲子山塊は主にジュラ紀の付加コンプレックスから構



第3図 新たに発見したテフラの露頭写真と段丘構成物の柱状図. *本研究で新たに発見したテフラ.
Fig. 3 Photograph and columnar section of the terrace deposits. *Newly found tephra.

成されており、周辺の山塊とくらべて険しい地形をなす。一方の久慈山塊は主に新第三系から構成され、比較的緩やかな傾斜の山塊である。久慈川上流部は、おおよそジュラ系と新第三系の境界部を流れている。

今回、新たに見出されたテフラを発見した段丘は、袋田駅から北西約600 m、久慈川の右岸の太子町南田気地区に発達する段丘である。この段丘は、町田(1957)に区分に基づく第三段丘である。段丘面と現河床の比高は約30 mである(第2図)。段丘構成物(段丘堆積物及び段丘被覆層)は、下位から順に、礫層、砂礫層、火山灰質砂層、黄褐色火山灰土及び黒ボク土で、新たに見出されたテフラとAg-KPテフラを挟在する。新たに見出されたテフラとAg-KPはそれぞれ火山灰質砂層、黄褐色火山灰土中に挟在し、厚さはそれぞれ約10 cmと約20 cmである(第3図)。最下部の礫層は、厚さ5 m以上でその下限は確認できなかった。礫は現在の久慈川と同様、主にジュラ紀付加コンプレックス起源の砂岩、泥岩、チャートと阿武隈山地起源と考えられる深成岩類から構成される。中礫～大礫サイズの垂円～円礫の礫を主体とする。砂礫層は層厚約1 mで、レンズ状又はトラフ状に礫層が含まれる。

不明瞭な層理が発達する。火山灰質砂層には不明瞭な成層構造が認められる。

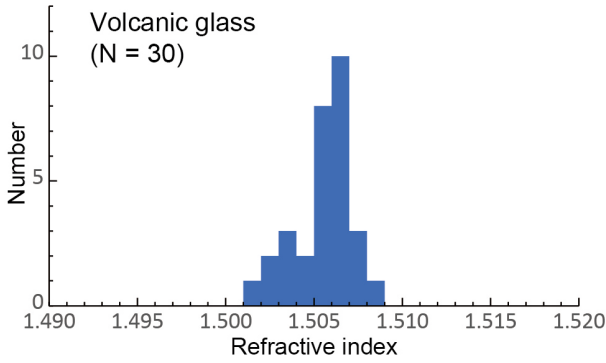
礫層及び砂礫層を河川の流路ないしポイントバー堆積物、火山灰質砂層を洪水性堆積物とし、これらの段丘化した河川堆積物を火山灰土及び黒ボク土が被覆すると考えた。

3. テフラの分析と結果

採取した新たに見出されたテフラ試料は、(100)面の劈開が発達した直方(斜方)輝石、普通角閃石、斜長石及び単斜輝石を主体とし、鉍物のリムに火山ガラスが付着していた。この火山ガラスの屈折率測定と主成分化学組成分析を実施した。

3.1 火山ガラスの屈折率測定

火山ガラスの屈折率測定は浸液の温度を直接測定しつつ屈折率を測定する、温度変化型測定装置「MAIOT」を使用した。屈折率の測定誤差は±0.0001程度である(古澤, 1995)。火山ガラス30片を測定した結果、屈折率は1.502–1.508(平均値: 1.506)であり、若干のばらつきが



第4図 本研究で新たに見出されたテフラから得られた火山ガラスの屈折率。
Fig. 4 Refractive index of volcanic glass of newly found tephra in this study.

あるものの、1.505–1.507付近にモードが認められた(第4図)。

3.2 火山ガラスの主成分分析

主成分分析にあたって、鏡面研磨した火山ガラスの薄片を作成した。火山ガラスは偏光顕微鏡を用いて手選し、エポキシ樹脂を用いてスライドガラス上に包埋後、#3000カーボラダムと1 μmのダイヤモンドペーストを用いて鏡面研磨した。主成分分析はエネルギー分散型X線マイクロアナライザー(EDX)を用いた。走査型電子顕微鏡, EDX, 検出器は、それぞれSU1510 (HITACHI), EMAX Evolution EX-270 (HORIBA), 液体窒素レス検出器X-Max (80 mm²)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。主成分化学組成の計算方法にはファイローゼット(φ(ρZ)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SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, MnO, MgO), 純度99.99%以上の単結晶NaCl, KCl, CaF₂を用いた。また、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、測定精度を確認した。測定は火山ガラス15片に対して行った。

分析の結果、無水100 wt. %換算での各主成分の含有率は、SiO₂が73.5–74.5 wt. %, Al₂O₃が14.1–14.6 wt. %, FeO* (全鉄を2価で計算)が1.6–2.0 wt. %, CaOが1.8–2.2 wt. %, Na₂Oが4.0–4.4 wt. %, K₂Oが2.5–2.9 wt. %であり、若干のばらつきが認められるものの、各値はおおよそまとまった値を示した(第1表)。

4. 考察

4.1 本研究と既報のDKPテフラの比較

本論において新たに発見したテフラと既報のDKPテ

第1表 本研究で発見したDKPテフラ中の火山ガラスの主成分分析結果, S.D. = 標準偏差.

Table 1 Major element contents of volcanic glass in DKP tephra found in this study. S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	71.28	71.53	70.74	69.73	70.08	71.33	71.29	71.70	70.99	71.76	72.17	71.14	70.18	70.47	70.87	71.02	0.68
TiO ₂	0.16	0.21	0.19	0.29	0.35	0.28	0.26	0.29	0.23	0.22	0.23	0.33	0.26	0.33	0.26	0.26	0.05
Al ₂ O ₃	13.52	13.99	13.64	13.91	13.95	13.51	14.02	13.63	13.65	13.39	13.62	13.39	14.01	13.93	13.54	13.71	0.23
FeO	1.51	1.71	1.76	1.75	1.84	1.67	1.72	1.61	1.95	1.71	1.83	1.61	2.02	1.91	1.60	1.75	0.14
MnO	0.00	0.10	0.13	0.06	0.05	0.10	0.03	0.07	0.12	0.00	0.09	0.00	0.05	0.05	0.21	0.00	0.06
MgO	0.35	0.28	0.43	0.52	0.48	0.44	0.52	0.48	0.41	0.41	0.31	0.36	0.42	0.43	0.42	0.42	0.07
CaO	1.73	1.89	1.89	1.93	2.07	1.81	2.02	1.73	1.80	1.78	1.75	1.75	1.93	1.99	1.96	1.87	0.11
Na ₂ O	3.84	4.09	3.98	4.20	4.12	3.92	4.02	3.91	4.04	3.99	4.04	3.88	4.06	3.94	3.90	4.00	0.10
K ₂ O	2.69	2.66	2.68	2.40	2.60	2.63	2.47	2.67	2.68	2.68	2.78	2.73	2.46	2.56	2.61	2.62	0.11
Total	95.08	96.46	95.44	94.79	95.54	95.69	96.35	96.03	95.87	95.94	96.82	95.19	95.39	95.77	95.16	95.71	
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	74.97	74.16	74.12	73.56	73.35	74.54	73.99	74.62	74.05	74.80	74.54	74.73	73.57	73.58	74.47	74.20	0.51
TiO ₂	0.17	0.22	0.20	0.31	0.37	0.29	0.27	0.30	0.24	0.23	0.24	0.35	0.27	0.34	0.27	0.27	0.06
Al ₂ O ₃	14.22	14.50	14.29	14.67	14.60	14.12	14.55	14.18	14.24	13.96	14.07	14.07	14.69	14.55	14.23	14.33	0.24
FeO	1.59	1.77	1.84	1.85	1.93	1.79	1.79	1.68	2.03	1.78	1.89	1.69	2.12	1.99	1.68	1.82	0.15
MnO	0.00	0.10	0.14	0.06	0.05	0.10	0.03	0.07	0.13	0.00	0.09	0.00	0.05	0.22	0.00	0.07	0.06
MgO	0.37	0.29	0.45	0.55	0.50	0.46	0.54	0.50	0.43	0.43	0.32	0.38	0.44	0.45	0.44	0.44	0.07
CaO	1.82	1.96	1.98	2.04	2.17	1.89	2.10	1.80	1.88	1.86	1.81	1.84	2.02	2.08	2.06	1.95	0.12
Na ₂ O	4.04	4.24	4.17	4.43	4.31	4.10	4.17	4.07	4.21	4.16	4.17	4.08	4.26	4.11	4.10	4.17	0.10
K ₂ O	2.83	2.76	2.81	2.53	2.72	2.75	2.56	2.78	2.80	2.79	2.87	2.87	2.58	2.67	2.74	2.74	0.11
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	

ラのデータを比較した。DKPは風化が著しく火山ガラスの報告例は稀だが、栃木県日光市今市、福島県西郷村真船(山元, 2017)、福島県会津坂下町(鈴木ほか, 2016)、長野県の高野層(古澤, 2008)、富山県南砺市(丸山・齋藤, 2014)、給源火山の大山山麓大山池周辺(古澤・梅田 2002; 古澤, 2008)からDKPの火山ガラスのデータが報告されている。

DKPのガラスの屈折率について、大山山麓からは、下部で1.502–1.512、上部で1.503–1.507(古澤・梅田, 2002)、富山県南砺市からは1.500–1.516(丸山・齋藤, 2014)、福島県会津坂下町のボーリング試料からは1.505–1.511(鈴木ほか, 2016)の値が報告されている。また、山元(2017)は西郷村真船のDKPテフラ(IM103)について、1.501–1.503、日光市今市のDKPテフラ(IM104)について、1.499と1.506の値を示している。これらの既報の値にはばらつきがあるが、本研究で測定したテフラは火山ガラスの屈折率は1.502–1.508(平均値: 1.506)であり(第4図)、これらの値と大きな矛盾はない。

ガラスの主成分化学組成については、大山山麓のDKPテフラの斜長石斑晶中のガラス質包有物(古澤, 2008)やDKPテフラに対比される長野県高野層のTKN1080試料(長橋ほか, 2007, 2016)、水月湖年輪コアのSG06-4281テフラ(Smith *et al.*, 2013)、栃木県日光市今市と福島県西郷村真船のIM103とIM104テフラ(山元, 1999, 2017)からデータが報告されている。比較したテフラのうち、SG06-4281とIM104テフラはガラスのSiO₂量は多様で、DKPの他に複数のテフラの混在が指摘されている。実際にこれらのテフラと主成分組成を比較した結果、SiO₂が73.5–75.0 wt. %あたりにデータのまとまりが認められるものの、組成のばらつきが認められた(第5図)。そこで、SiO₂量73.5–75.0 wt. %あたりに絞って組成を検討すると、既報のデータと測定データはほぼ一致することが分かった(第6図)。

大子地域周辺ではDKPに近い層準で、赤城行川1及び2テフラ(Ag-NM1, Ag-NM2)や赤城沼沢2テフラ(Ag-NzP2)の分布が期待される(山元, 2013a)。これらのテフラと測定データの化学組成は、特にTiO₂やCaO、K₂O量で顕著な違いが認められる(第5図、第6図)。本研究で新たに発見したテフラ試料は、直方輝石の形態、ガラスの屈折率、ガラスの化学組成を考慮するとDKPテフラと考えられる。

4.2 段丘の編年での意義

今回新たに発見したDKPテフラは、段丘化した洪水堆積物中から発見した。そのため発見したテフラは再堆積性の可能性があったが、化学組成やガラスの屈折率のデータにばらつきはほとんど認められず、よくまとまる。今回発見したDKPテフラは洪水性の砂層に挟まる降下火砕物と考えるのが妥当と判断される。従って、DKPテ

フラを発見した段丘は、離水直前の洪水堆積物がまだ供給、堆積する時期にDKPテフラが覆ったと考えられる。この段丘の離水年代はDKPテフラの年代(ca. 60 ka)に近似できるものと考えた。

関東山地と関東平野の造構運動について検討するために、久慈川上流(関東北部山地)と久慈川中流(関東平野の北部)の段丘面について比較する(第7図)。瓜連丘陵東部の常陸大宮市小祝周辺に発達する段丘面を久慈川中流の段丘面として用いた。その理由は、久慈川上流部から断続的ながらも連続して分布すること、段丘面が明瞭なこと、その位置が先行研究で示された段丘面とおおよそ照合可能で段丘の編年がなされているためである(付図1)。以下の議論では、段丘面の名称は、坂本・宇野沢(1976)に従う。

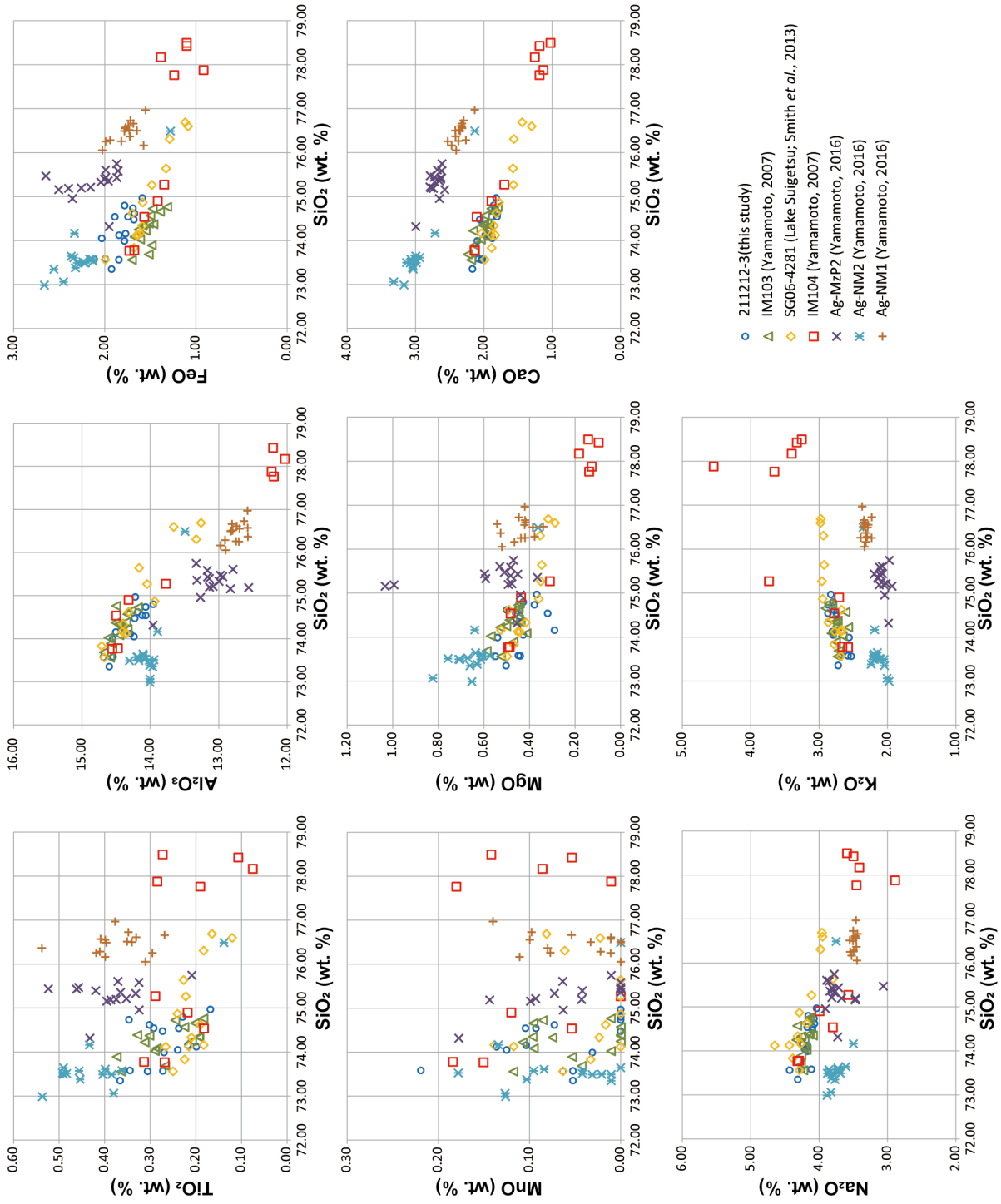
久慈川中流の段丘とテフラの関係は次のとおりである。第V段丘はAg-KP(ca. 44 ka)に覆われない。第IV段丘はAg-MzP2(ca. 70 ka)に覆われる。第III段丘はAg-MzP8(ca. 130 ka)起源のMiwa-UやK-Tz(ca. 95 ka)に覆われる。

本研究でDKP(ca. 60 ka)を発見した段丘面は、町田(1957)の区分に基づく第三段丘面で、常陸大宮市の久慈川中流の第IV段丘(坂本・宇野沢, 1976)に続くと考えられている(付図1)。しかし、DKPを発見した段丘と第IV段丘は離水年代に1年以上の差がある。そのため、DKPを発見した段丘は久慈川中流周辺の第V段丘と第IV段丘の間の時期の段丘とみなすのが良いと考えた。

本結果は、現河床からの比高に基づくDKPの段丘面の離水年代は、小祝周辺の段丘面の離水年代と矛盾がなく、小祝周辺の段丘面と久慈川上流の段丘面区分は、現河床の比高に基づく対比が概ね可能であることを示唆する(第7図)。すなわち、段丘面と現河床からの比高、離水年代は次のとおりである。第V段丘は比高約25 mで44 ka以降に離水、DKPを発見した段丘面は比高約30 mで60 ka頃に離水、第IV段丘は比高約45 mで70 ka以前に離水した。また本研究結果は、少なくとも6万年前以降は久慈川上流と中流、すなわち関東北部山地と関東平野北部の間で顕著な造構運動の違いはなかったことも示唆する。

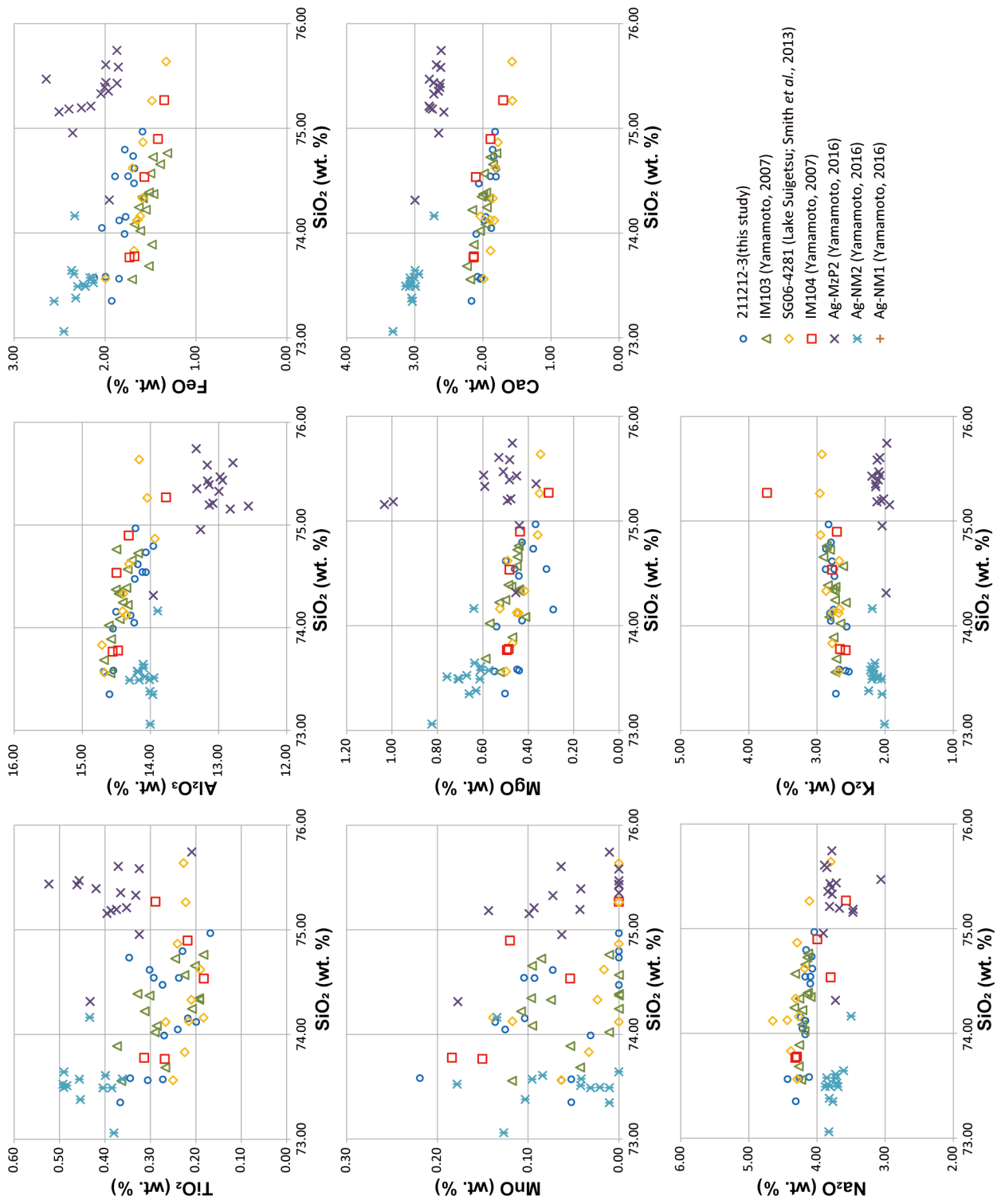
5. まとめ

- ・関東北部山地を流れる久慈川沿いに発達する段丘堆積物から新たに発見されたテフラが、大山倉吉テフラ(DKP)を発見した。
- ・今回発見したテフラからは、火山ガラスの屈折率及び主成分化学組成のデータが得られ、いずれも既報のDKPテフラの値と一致する。
- ・関東北部山地内と関東平野北部(瓜連丘陵)の久慈川沿いに発達する段丘は、現河床の比高に基づく対比が可能であり、また、少なくとも最近6万年前以降は関東北部山地と関東平野北部の間で顕著な造構運動の違いはなかったことが考えられた。



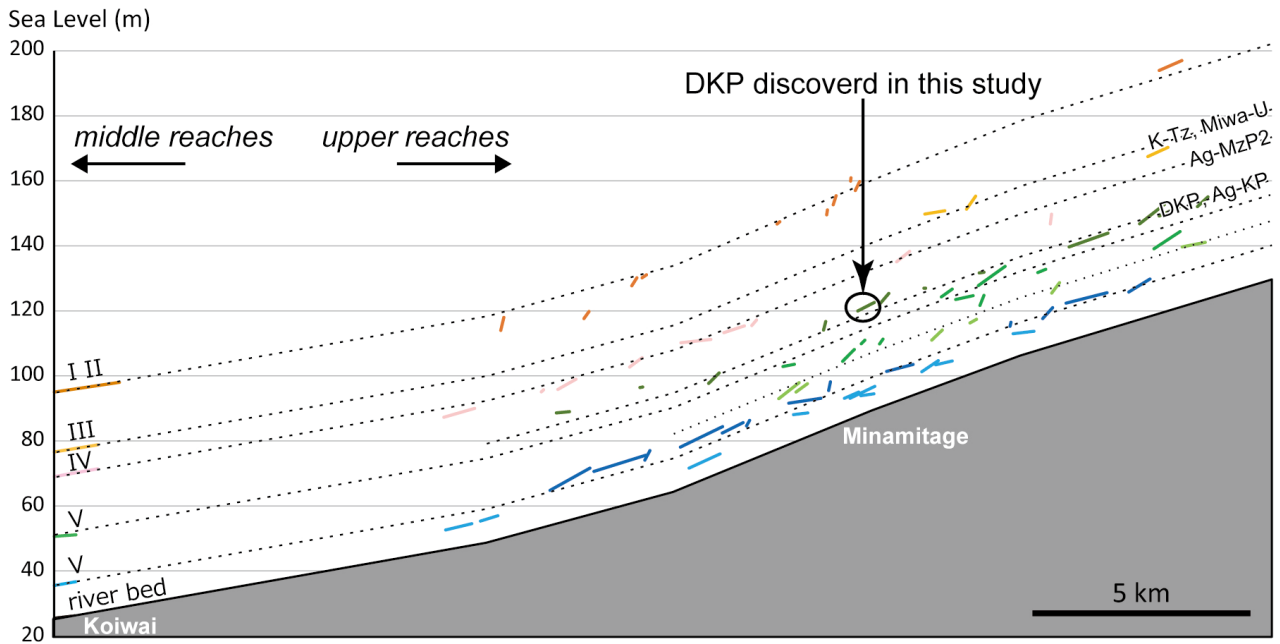
第5図 本研究と既報のDKPテフラに対比されるテフラ(IM103, IM104, SG06-4281), 赤城水沼2テフラ(Ag-MzP2), 赤城行川1及び2テフラ(Ag-NM1とAg-NM2)の火山ガラスの主成分を示したハーカー図。

Fig. 5 Harker diagrams showing the chemical composition of major elements of volcanic glass in DKP, Ag-MzP2, Ag-NM1 and Ag-NM2 tephra. Data are from this and previously published studies.



第6図 第5図に示したデータのうちSiO₂量73-76 wt. %領域を拡大したハーカー図。

Fig. 6 Harker diagram of the 73-76 wt. % SiO₂ contents area in Fig. 5.



第7図 久慈川中流～上流部の段丘縦断面。小祝周辺の段丘面の名称は坂本・宇野沢 (1976) による。

Fig. 7 Longitudinal section of present riverbed and fluvial terraces around the middle to upper reaches of the Kuji River. Terrace surface names around the Koiwai are from Sakamoto and Unosawa (1976).

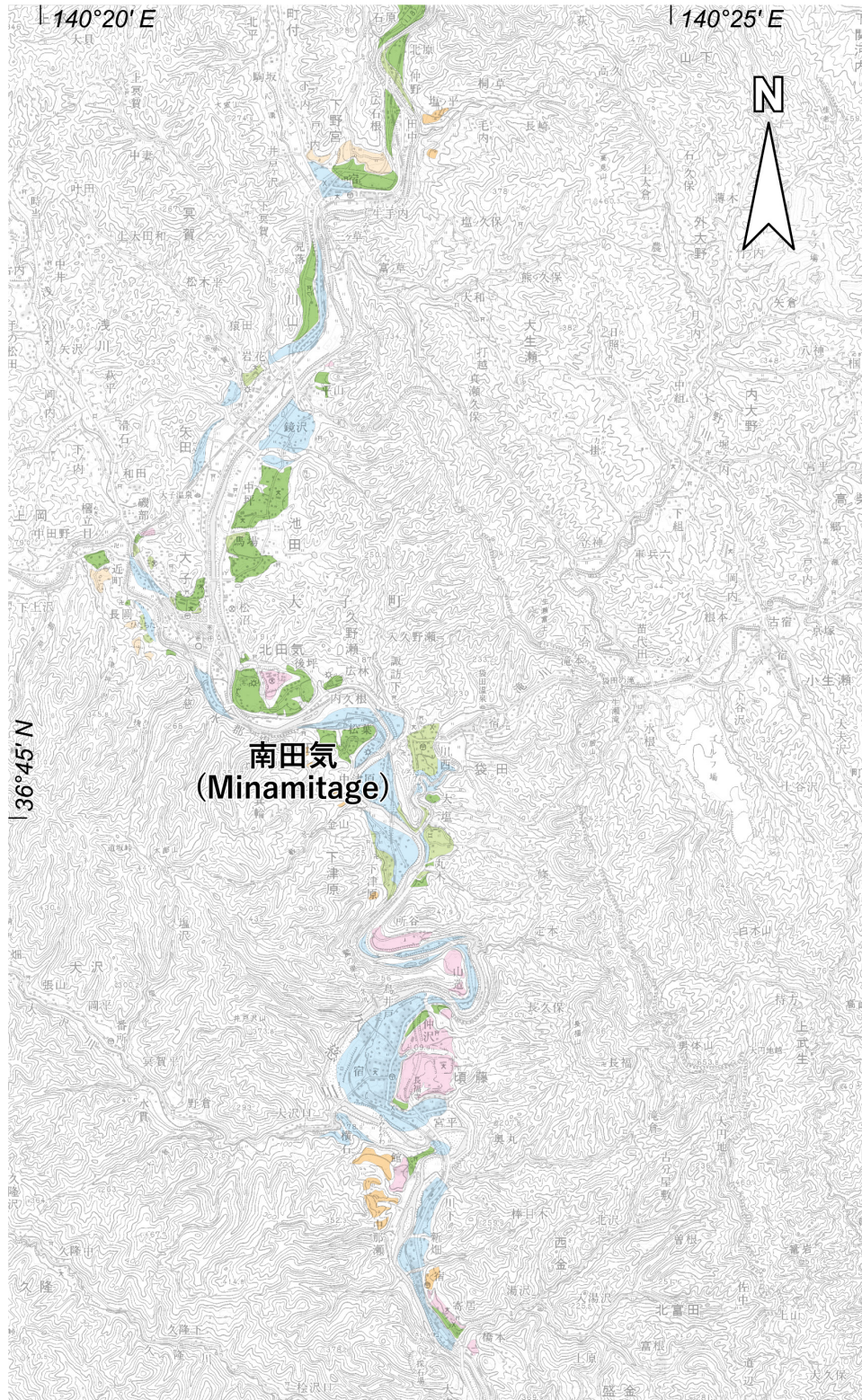
謝辞：本研究を遂行するにあたって、小松原 琢博士からは野外調査及び検鏡にてご指導とご助力頂くと共に、多くの有益なコメントを頂いた。査読者の山元孝広博士（活断層・火山研究部門）からは当該地域に分布するテフラについてご教示頂くなど、原稿改善にあたって大変有益なご指摘を頂いた。編集担当の宮城磯治博士（活断層・火山研究部門）にはハンドリングの労をとって頂いた。以上の方々に深く感謝申し上げます。

文献

- 阿久津 純 (1955) 宇都宮周辺の関東火山灰層と河成段丘。宇都宮大学学芸学部研究論集, **4**, 33-46.
- 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.
- 大子町史編さん委員会 (1988) 大子町史通史編上巻。大子町, 767p.
- 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.
- 古澤 明 (2008) ガラス包有物の主成分分析によるテフラ識別の試み—大山テフラDKP, DSP, DNPの識別を例として—。地質学雑誌, **114**, 618-631.
- 古澤 明・梅田浩司 (2002) 新期大山テフラDNP, DSP, DKPの岩石記載的特徴の再検討。第四紀研究, **41**, 123-129.
- 早川唯弘 (2002) 地形分類図。土地分類基本調査, 常陸大宮・烏山, 茨城県, 13-38.
- 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., Klemd, 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., Guillon, 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)

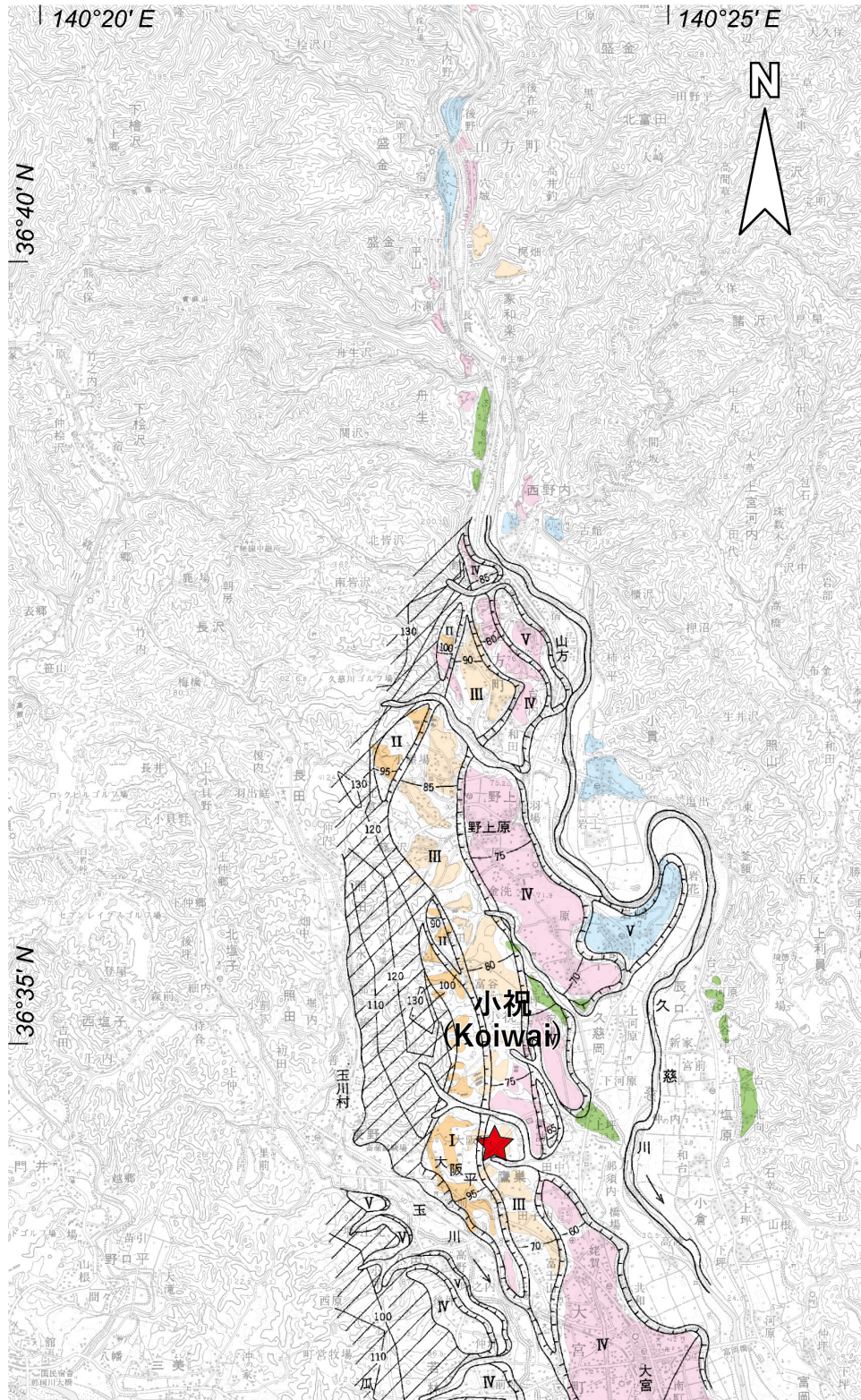
- MPI-DING reference glasses for in situ microanalysis: New reference values for element concentrations and isotope ratios. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **7**, Q02008. doi: 10.1029/2005GC001060
- 貝塚爽平 (1957) 関東平野北東部の洪積台地. 地学雑誌, **66**, 217-230.
- 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編 (2000) 日本の地形4 関東・伊豆小笠原, 東京大学出版会, 349p.
- 小池一之・町田 洋編 (2001) 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 122p+CD-ROM3枚.
- 国土地理院 (2001) 数値地図50000 (地図画像) 茨城・千葉. 国土地理院, CD-ROM1枚.
- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (2016) 原子力科学研究所 (JRR-3) 大洗研究所 (HTTR) 敷地周辺・敷地近傍の地質・地質構造 (補足説明資料). <https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000077189/000158296.pdf> (閲覧日: 2023年3月29日).
- 町田 貞 (1957) 段丘堆積物より見た久慈川中流の河岸段丘. 東京教育大地理学報告I, 113-134.
- 町田 洋・新井房夫 (1979) 大山倉吉軽石層一分布の広域性と第四紀編年上の意義. 地学雑誌, **88**, 33-50.
- 町田 洋・新井房夫 (1983) 鬼界カルデラ起源の新広域テフラと九州における更新世後期大火砕流の噴出年代. 火山, **28**, 206.
- 丸山 正・齋藤 勝 (2014) 富山県南砺市法林寺地区のボーリングコアにおける火山ガラスを含む大山倉吉テフラ (DKP) の認定とその北陸地域の活断層の活動性評価における意義. 地質調査研究報告, **65**, 1-9.
- 守屋以智雄 (1968) 赤城火山の地形と地質. 前橋営林局, 64p.
- 長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏・田原敬治・公文富士夫 (2007) 長野県, 高野層ボーリングコア (TKN-2004) に挟在する広域テフラ層の層序と編年. 第四紀研究, **46**, 305-325.
- 長橋良隆・深谷桃子・木村純一・常 青・佐川拓也・中川 毅・池原 研・KR15-10乗船研究者一同・SG06プロジェクトメンバー一同 (2016) 大山倉吉テフラと山陰1テフラの層序と年代: 若狭湾沖堆積物コアと水月湖SG06コアによる検討. 日本地質学会第123年学術大会講演要旨, R21-O-4. doi: 10.14863/geosocabst.2016.0_301
- Nagaoka, S. (1988) The late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, **23**, 49-122.
- 坂本 亨・宇野沢 昭 (1976) 茨城県瓜連丘陵の第四系と久慈川・那珂川の河谷発達史. 地質調査所月報, **27**, 655-664+付図1枚.
- Smith, V. C., Staff, R. A., Blockley, S. P. E., Bronk Ramsey, C., Nakagawa, T., Mark, D. F., Takemura, K. and Danhara, T. (2013) Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. *Quaternary Science Reviews*, **67**, 121-137.
- 鈴木毅彦 (1989) 常磐海岸南部における更新世後期の段丘と埋没谷の形成. 地理学評論, **62A**, 475-494.
- 鈴木毅彦 (1990a) テフロクロノロジーからみた赤城火山最近20万年間の噴火史. 地学雑誌, **99**, 182-197.
- 鈴木毅彦 (1990b) 北関東海岸部に分布するテフラとそれに関する諸知見. 関東平野, no. 3, 23-32.
- 鈴木毅彦 (2001a) 1/5万図幅「常陸大宮」段丘面図, 編年図及び図幅解説. 小池一之・町田 洋編, 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会. 海成段丘アトラス.
- 鈴木毅彦 (2001b) 1/5万図幅「日立」段丘面図, 編年図及び図幅解説. 小池一之・町田 洋編, 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会. 海成段丘アトラス.
- 鈴木毅彦・斎藤はるか・笠原天生・栗山悦宏・今泉俊文 (2016) 福島県, 会津盆地中西部地下における第四紀後期テフラの層序. 第四紀研究, **55**, 1-16.
- 山元孝広 (1999) 福島一栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物: 沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序. 地質調査所月報, **50**, 743-767.
- 山元孝広 (2013a) 栃木一茨城地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報告, **64**, 251-304.
- 山元孝広 (2013b) 東茨城台地に分布する更新統の新層序とMIS5-7海面変化との関係: 地下地質とテフラ対比による茨城層, 見和層, 夏海層, 笠神層の再定義. 地質調査研究報告, **64**, 225-249.
- 山元孝広 (2016) 赤城火山軽石噴火期のマグマ噴出率と組成の変化. 地質学雑誌, **112**, 109-126.
- 山元孝広 (2017) 東北日本における大山倉吉テフラと山陰1テフラの降下層準. 地質調査研究報告, **68**, 223-235.

(受付: 2022年12月12日; 受理: 2023年6月26日)
(早期公開: 2023年8月25日)



付図1 久慈川中流～上流部の段丘区分. 段丘面の色と名称は第7図と同じ. 赤星は鈴木(2001a)が段丘被覆層からMiwa-Uテフラを報告した位置を示す. 基図は数値地図50000(地図画像)(国土地理院, 2001)を使用. 小祝周辺は坂本・宇野沢(1976)の段丘区分図を重ねた.

Fig. A1 Classification of fluvial terrace surfaces along the middle to upper reaches of the Kuji River. Terrace surface colors and names are the same as Figure 7. A red star shows the locality where the Miwa-U tephra overlie the terrace deposits (Suzuki, 2001a). The topographic base map is referred from a digital map 50000 (map image) (Geospatial Information Authority of Japan, 2001). A terrace classification map around Koiwai is from Sakamoto and Unozawa (1976).



付図1 続き.

Fig. A1 Continued.