

茨城県瓜連丘陵に分布する引田層のフィッション・トラック年代

山元孝広¹

Takahiro Yamamoto (2012) Fission-track age for the Hikita Formation in the Urizure hill, Ibaraki Prefecture, NE Japan. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no.562, p.1-7, 4 figs., 3tables.

Abstract: The Hikita Formation, forming the Urizure hill, the Ibaraki Prefecture, NE Japan, is made up of fluvial sediments in unknown age. I ordered fission-track dating of zircon grains from massive lahar sand containing abundant volcaniclastic materials in this formation to Kyoto Fission-Track Co. Ltd. Although this dated material (UR203) is made up various zircon grains including accidental ones, adequate grouping of dated zircons can provide a depositional age for mixture. The initial result of the fission-track dating showed that the zircons of UR203 consist of five age groups and the youngest group is determined as 1.2 ± 0.4 Ma. To inspect the age grouping, I ordered additional U-Pb dating for the zircon grains to Kyoto Fission-Track Co. Ltd. The result of U-Pb dating, however, the youngest age grouping was inappropriate and the most zircon grains younger than 10 Ma were thermally annealed. So, I have assumed that the thermal annealing occurred with the single eruption and the annealed grains were perfectly re-set by the eruption, although this hypothesis has not been verified. The fission-track age for UR203 has been recalculated as 3.4 ± 0.5 Ma.

Keywords: Hikita Formation, Urizure hill, fission-track age, U-Pb age, Pliocene.

要旨

瓜連丘陵の引田層中の火山砕屑物に富む砂質河川堆積物 (UR203) を対象にジルコン結晶粒子のフィッション・トラック年代測定を実施した。測年対象は年代の多様な外来結晶を含む混合粒子群であるものの、適切な年代グループ分けにより、堆積物の形成年代を絞り込めるものとして測定を試みている。さらに年代グループ分けの妥当性を検証するために、ジルコン粒子のU-Pb年代測定を実施した。その結果、フィッション・トラック年代測定による年代グループ分けによりUR203に対して当初、 1.2 ± 0.4 Maの年代を得たものの、この年代グループ分けには妥当性がないことがU-Pb年代測定で示された。さらに、10 Maよりも若い粒子年代を持つジルコンのほとんどは外来結晶が熱アニーリングを受けたものであることも明らかになった。このアニーリングは全て噴火時に起きたものであること、アニーリングによって年代は完全にリセットされたことを仮定して、年代算出粒子を選び直すとその年代値は 3.4 ± 0.5 Maとなる。ただし、設定した仮定が完全に成立しているのかどうかは検証されていない。

1. はじめに

関東平野は日本最大の平野であり、約300万年前以降の上総・下総層群が厚く堆積する沈降性の堆積盆であるとともに、日本の首都機能が位置する地政学的に最も重要な地域でもある。その成り立ちやそこで進行中の地殻変動を理解するためには、関東平野及びその周辺丘陵構成層の層序・年代の詳細を明らかにすることが、当然ながら求められよう。このような背景から、特に南関東地域ではテフラ層序を中心とした編年が古くから進められ高精度な層序が確立されている(例えば貝塚, 1958; 町田ほか, 1974)。一方、北関東では南関東に比べ地殻変動量が少ないため地形的に識別される指標面の数が少なく、その編年は最終間氷期の堆積物がつくる地形面(貝塚, 1957; 小池; 1961; 坂本, 1972; 鈴木, 1989)にまでしか及んでいないのが現状であった。しかし、産総研では近年になり北関東地域第四系の再編年を中心とした調査研究を進めてきている(山元, 2006; 2007; 吉川ほか, 2010)。本論ではその一連の研究のなかから、茨城県北部の瓜連丘陵を構成する第四紀層とされていた“引田層”(坂本・宇野沢, 1976)再編年のための年代測

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

定結果について報告する。“引田層”の地質年代については、これが東茨城台地を構成して広く発達する見和層（最終間氷期の海進に伴う海成堆積物）より古いことから、漠然と中期更新世とされていたが、年代を積極的に支持する証拠は報告されていない（坂本・宇野沢, 1976）。

今回試みた測年手法は、火山碎屑物に富む砂質の河川堆積物（UR203）を対象にしたジルコン結晶粒子のフィッション・トラック（FT）年代測定である。本来なら、FT年代測定の測年対象には純度の高い本質結晶を用いるべきであり、今回のような混合粒子の試料は年代測定には不適である。しかしながら、FT年代測定は粒子毎の年代を測定するため、大量の粒子を対象とすれば適切なグループ分けにより、堆積物の形成年代を絞り込める可能性がある。このような見通しから UR203 の FT 年代測定を、平成 21 年度に（株）京都フィッション・トラックに依頼し、88 のジルコン結晶粒子に対して 5 つのグループ年代を得ている（別冊 1：フィッション・トラック年代測定結果報告書）。さらに平成 22 年度には前年度のグループ分けの妥当性を検証するために、（株）京都フィッション・トラックに依頼して、ジルコン粒子の U-Pb 年代測定を実施した（別冊 2：U-Pb 年代測定報告書）。しかし

ながらその結果は、前年度のグループ分けの妥当性を否定するものであった。ここでは、その結果を再検討し、引田層の形成年代についての一つの解釈を提示する。

2. 引田層

2-1. 分布と定義

茨城県北部の久慈川・那珂川の間には基盤岩からなる八溝山地から東南方向に瓜連丘陵がのび、末端部は最終間氷期に堆積した見和層から構成される那珂台地（坂本ほか, 1972）へ続いている（Fig. 1）。丘陵頂面の高度は良くそろい、北西部（140m）から南東部（90m）へと穏やかに高度を下けている。標高 50m から 30m の那珂台地より高度が高く、最終間氷期以前の地形面をつくっている。

この丘陵を主に構成するのは、坂本・宇野沢（1976）によって“引田層”と呼ばれていた最大層厚 60m ～ 80m の固結度のやや低い礫・砂・シルト層で、基盤の中部中新統瓜連層を不整合に覆い、丘陵の頂部には引田層を不整合に覆って高位段丘礫層とこれを覆う那須火山起源の火山泥流堆積物（余笹川岩屑なだれ堆積物もしくは黒礫岩屑なだれ堆積物：山元, 2006）が分布する。当初、坂本・宇野沢（1972）は“引田層”

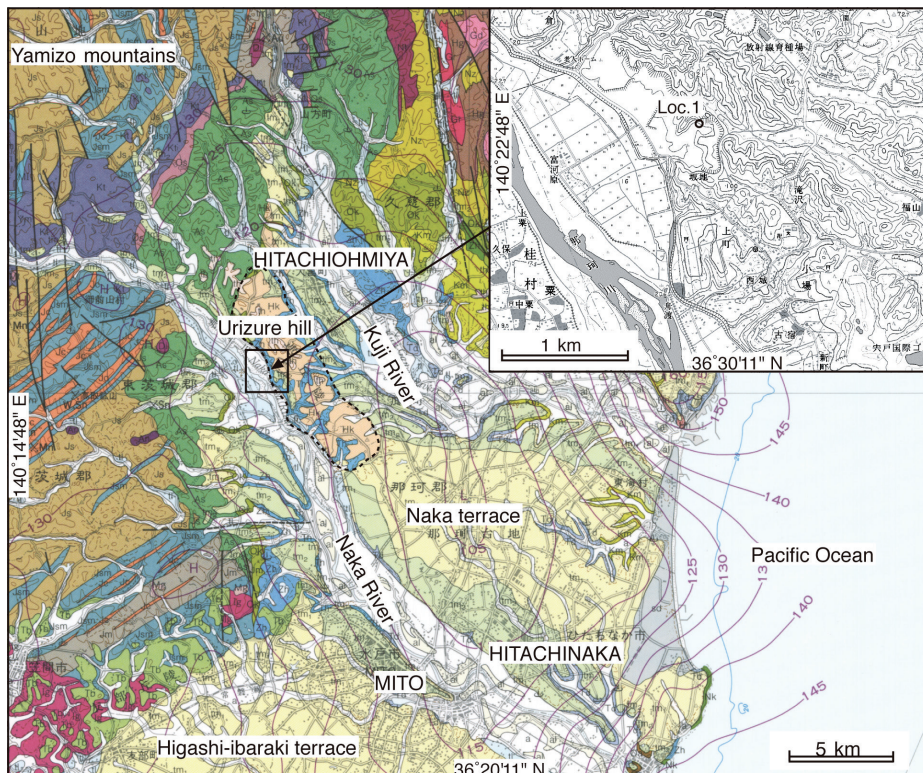


Fig. 1. Geology around the Urizure hill and location of the outcrop (Loc. 1). Geological map = 1 : 200,000 Mito, Second Edition (Yoshioka et al., 2001); Geographic map = 1 : 25,000 Hitachi-Ohmiya (Geospatial Information Authority of Japan).

第 1 図 瓜連丘陵周辺の地質図と露頭 (Loc. 1) の位置。地質図は 1/20 万「水戸」図幅 (吉岡ほか, 2001)、地形図は 1/2.5 万「常陸大宮」(国土地理院)。

を中期更新世の旧久慈川の河谷埋積堆積物と考え、シルト卓越相が下位の礫卓越相からなる埋没段丘堆積物（古徳礫層・新町礫層）にアバットするものと解釈していた。ただし、アバット関係そのものは露頭で確認されたものではなく、ボーリング掘削で確認された礫卓越相の上面深度の違いから推定されていたものである（坂本・宇野沢, 1972）。その後、瓜連丘陵では“引田層”を対象とした砂利採掘が複数箇所で行われ大規模な露頭が出現するようになり、坂本・宇野沢（1976）の層序には見直しが必要になってきた。一部の採掘場露頭は粕ほか（1988）でも記載されており、シルトが卓越するとされていた“引田層”もかなりの部分が古徳礫層・新町礫層と同様な礫・砂の卓越する河川流路堆積物からなることが既に示されている。他の採掘場においても同様で、これまでに埋没礫層に対してシルト卓越相がアバットする関係は確認できず、両者は後述するように一連の河川堆積相を構成する。このようなことから、本報告では坂本・宇野沢（1972）の古徳礫層・新町礫層と“引田層”を合わせたものを、新たに引田層として再定義することにする。その模式地は、粕ほか（1988）でも記載された茨城県常陸大宮市坂地の北にある砂利採掘場（Figs. 2 & 3）とする。



Fig. 2. The Hikita Formation exposing in a quarry (Loc. 1), Sakachi, Hitachi-Ohmiya City. Arrows indicate the sampling points for UR203 and UR204. Gm, Gt, St and FI mean depositional facies codes.

第2図 常陸大宮市坂地の砂利採掘場（Loc. 1）に露出する引田層。矢印はUR203・UR204の採取箇所。Gm, Gt, St, FIは堆積相コード

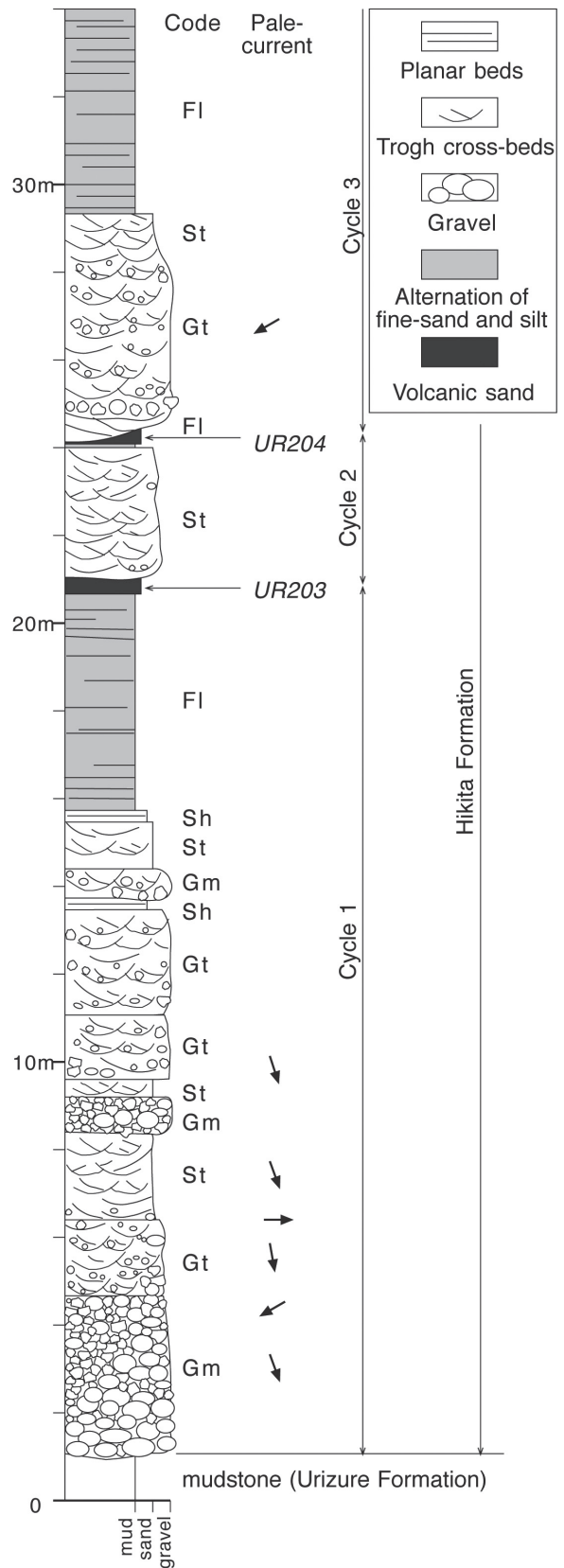


Fig. 3. Stratigraphic section of the Hikita Formation at Loc. 1.

第3図 Loc. 1における引田層の露頭柱状図。

2-2. 岩相

引田層は既に述べたように固結度のやや低い礫・砂・シルトからなる河川堆積物で構成されている。模式地である茨城県常陸大宮市坂地の北の砂利採掘場（北緯 36 度 31 分 19 秒、東経 140 度 23 分 18 秒）では、上方細粒化する 4 つのサイクルが粕ほか（1988）により記載されていた。その岩相は 2011 年現在も観察可能で、下位 3 サイクルが採掘場中央部 (Figs. 2 & 3), 最上位の 1 サイクルが南端に露出している。岩相の詳細は粕ほか(1988)の柱状図とは若干異なるが、これは掘削の進行に伴い露頭面が側方にずれたため岩相が変化することによるのであろう。

模式地の引田層 (Figs. 2 & 3) は、以下の 5 つの岩相で構成されている。用いる堆積相コードは、Miall (1978) が河川堆積物の記載に用いたもので、その解釈もこれに従っている。

Gm 相：岩片支持で比較的淘汰の良い塊状の円礫からなり、極粗粒砂～細礫の基質を少量伴っている。礫の最大径は 22cm で、b-type のインブリケーションが発達する。礫種は足尾帯起源の黒色頁岩及び灰色砂岩が多く、花崗岩類と流紋岩を伴っている。また、礫は弱く固着している。本相は、最下位のサイクル 1 の下部に卓越する。材木片を多く含む層準がある。網状河川の縦状礫堆や河川流路残留堆積物に相当すると考えられる。

Gt 相：トラフ型斜交層理を持つ円礫で、極粗粒～中粒砂を伴う。礫の最大径は 12cm, 斜交層理のセット高は 120～40cm である。礫種は、Gm 相と共通している。また、礫の固結度は低い。本相は、サイクル 1 の中部と 2 の下部に卓越する。Gm 相 > Gt 相 > St 相へと上方細粒化する層序が顕著に認められる。網状河川の流路埋積物に相当すると考えられる。

St 相：トラフ型斜交層理を持つ極粗粒～中粒砂で、一部中礫混じりとなる。淘汰は中から良い。斜交層理のセット高は 70～20cm である。砂の固結度は低い。

本相は、サイクル 1～4 に認められる。網状河川の曲線状砂堆に相当すると考えられる。

Sh 相：平行層理を持つ細粒～中粒砂からなる。本相は St 相から Fl 相への情報細粒化移行部に出現し、浅い高領域の流れがつくる平滑床の堆積物に相当すると考えられる。

Fl 相：級化した薄い細粒砂とシルトの細互層からなり、一部で小型のリップル葉理や平行葉理を伴っている。植物片に富む層準が複数存在する。また、火山細屑物に富む砂層も複数層準に存在する（後述）。細粒砂・シルトは弱く固結している。本相はサイクル 1 と 2 の上部に卓越し、洪水氾濫堆積物と考えられる。粕ほか（1988）の珪藻化石群集、全硫黄量、全炭素量の分析結果によると、Fl 相は淡水環境が卓越するもののその一部には明らかな塩水の影響が認められ、河口に近い環境下で形成されたと結論付けられている。

2-3. 火山細屑物の記載

サイクル 1 の最上部 (UR203) とサイクル 2 の上部 (UR204) には火山細屑物に富んだ砂層が存在する (Figs. 2 & 3)。砂層は Fl 相中に挟まれ、どちらも径 4mm 以下の軽石片や粗粒砂サイズの輝石結晶片が肉眼で確認できるページュ色のやや淘汰の悪い中粒～細粒差からなる。その組成は以下の通りであるが、UR203 と UR204 で大きな違いはなく、ほぼ同様な母材で構成されている (Fig. 4)。

UR203 は、構成物の約 33% が結晶片、約 9% が火山ガラス片及びその風化物、約 58% が岩片からなる。結晶片のうち軽鋳物は斜長石・石英、重鋳物は斜方輝石 (425%)・単斜輝石 (22%)・普通角閃石 (12%)・黒雲母 (7%)・カミングトン閃石 (1.5%)・不透明鋳物 (13%) からなる。火山ガラスの屈折率は 1.500～1.503 にピークを持つものの、軽石型・気泡壁型・不規則型の明らかに形態の異なるものが混在してい

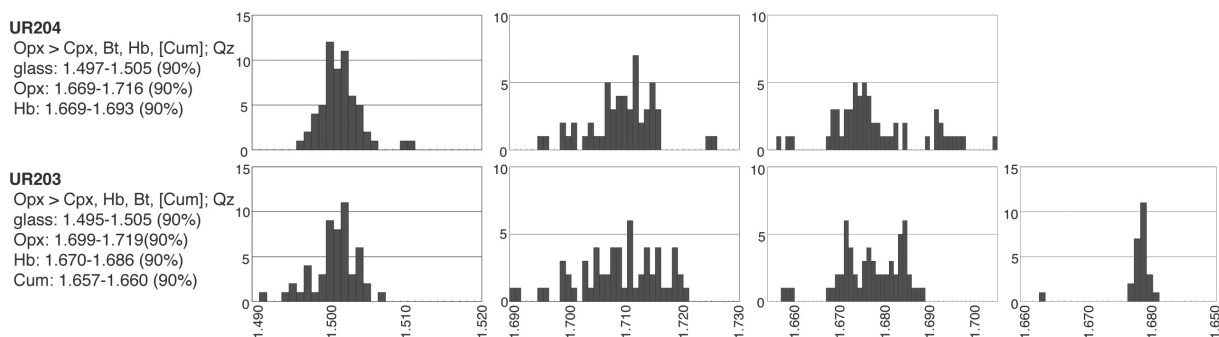


Fig. 4. Characteristics of UR203 and UR204 and refractive index mode. Cpx = clinopyroxene; Cum = cummingtonite; Hb = hornblende; Opx = orthopyroxene; Qz = quartz; [] = minor component.

第 4 図 UR203・UR204 の構成物組成と屈折率分布。Cpx = 単斜輝石；Cum = カミングトン閃石；Hb = 普通角閃石；Opx = 斜方輝石；Qz = 石英；[] = 微量成分。

る。また、斜方輝石や普通角閃石の屈折率も複数のピークが認められ、広い範囲に分散している。

UR204 は、構成物の約 36% が結晶片、約 10% が火山ガラス片及びその風化物、約 54% が岩片からなる。結晶片のうち軽鋳物は斜長石・石英、重鋳物は斜方輝石 (42%)・単斜輝石 (21%)・普通角閃石 (15%)・黒雲母 (15%)・カミングトン閃石 (微量)・不透明鋳物 (6%) からなる。火山ガラスの屈折率は 1.500 ~ 1.502 にピークを持つものの、軽石型・気泡壁型・不規則型の明らかに形態の異なるものが混在している。また、斜方輝石や普通角閃石の屈折率も複数のピークが認められ、広い範囲に分散している。

3. 年代測定結果

UR203 に含まれるジルコンの FT 年代測定を、平成 21 年度に (株) 京都フィッション・トラックに依頼し、以下の結果を得ている (別冊 1: フィッション・トラック年代測定結果報告書)。本試料のジルコン結晶粒子は大部分細粒で、かつ色調から見ても桃・赤・褐・紫色と 4 種類以上の、起源の異なる粒子の混在するものである。分析精度を高めるため 88 粒子を測定対象とした結果、分析結果図 (自発トラック数 N_s -誘導トラック数 N_i 相関図, 自発トラック密度 ρ_s -誘導トラック密度 ρ_i 相関図) の中に複数の相関関係 (直線性) が確認されている。 χ^2 検定ではこれらの分離は困難なため、測定データの一つの解釈として次の 5 つの年代グループに分けて検討された: ① 粒子年代が 250-70 Ma の A グループ (3 粒子); ② 50-30 Ma の B グループ (9 粒子); ③ 30-10 Ma の C グループ (27 粒子); ④ 10-3 Ma の D グループ (32 粒子); ⑤ <3 Ma の E グループ (17 粒子)。この 5 つのグルー

プは分析図中の同一年代を示す直線性を概ね満足しており、各グループ毎に年代値を決定することが可能で (Table 1)、最も若い E グループの FT 年代 1.2 ± 0.4 Ma を UR203 の年代値として報告された。しかしながら、各年代グループのしきい値は、恣意的に採用されたものであり、独立する科学的根拠によるものではない。特に、実際の粒子年代の最大頻度が 4-5 Ma であることを重視すると、3 Ma で D・E グループを分けることの妥当性は、別途、検討される必要があった。

UR203 の 88 ジルコン結晶粒子に対する追加の U-Pb 年代測定を、上記の理由から、平成 22 年度に (株) 京都フィッション・トラックに依頼した (別冊 2: U-Pb 年代測定報告書)。このうち 59 粒子から U-Pb 年代値が得られ、その結果は以下の通りである (Table 2)。A グループの 3 粒子については FT 年代と U-Pb 年代が誤差の範囲で互いに一致する。B グループの 5 粒子については、FT 年代と U-Pb 年代が一致しないものが多い。特に FT 年代 > U-Pb 年代のものは、FT 年代が外部効果の影響により、見かけ上古く測られている可能性がある。C グループの 18 粒子は、概ね FT 年代と U-Pb 年代が一致している。D グループの 24 粒子については FT 年代 \leq U-Pb 年代となり、両者の粒子年代の相関から外れるものが多い。E グループの 9 粒子も大半が FT 年代 < U-Pb 年代となり、この結果から FT 年代が熱アニーリングを受けて若返っているものと解釈される。別冊 1 のフィッション・トラック年代測定結果報告書では、E グループのみを最も若い年代グループ (=本質結晶) としていたが、ジルコン結晶粒子を年代 (3 Ma) だけで D・E グループに区分するだけの根拠はないことが明らかになった。

Table 1. Fission-track ages for zircons of UR203. See Table 2 for individual ages of zircon grains.

第 1 表 UR203 のジルコン・フィッショントラック年代測定結果。個々の粒子の年代は第 2 表に示されている。

Age group	Number of grain	Spontaneous ρ_s ($1/\text{cm}^2$)	Induced ρ_i ($10^6/\text{cm}^2$)	Dosimeter ρ_d ($10^6/\text{cm}^2$)	[Ni]	[Nd]	r	$P(\chi^2)$ (%)	U (ppm)	Age $\pm 1\sigma$ (Ma)	
All grains	88	1.02×10^6	[720]	3.95	[2785]	13.08	[3923]	0.284	0	290	13.2 ± 0.6
Group A	3	6.04×10^6	[145]	3.08	[74]	13.08	[3923]	-0.955	4	220	99.4 ± 14.3
Group B	9	3.71×10^6	[193]	3.96	[206]	13.08	[3923]	0.977	99	290	47.7 ± 4.9
Group C	27	9.48×10^5	[202]	3.37	[717]	13.08	[3923]	0.853	99	240	14.4 ± 1.2
Group D	32	5.84×10^5	[171]	4.78	[1401]	13.08	[3923]	0.955	99	350	6.2 ± 0.5
Group E	17	7.32×10^4	[9]	3.15	[387]	13.08	[3923]	0.704	98	230	1.2 ± 0.6

(1) ρ and N are density and total number of fission tracks counted, respectively.

(2) All analyses by internal detector method using ED2.

(3) $P(\chi^2)$ is the upper χ^2 tail probability corresponding to the observed χ^2 -statistics.

(4) Age calculated using dosimeter glass NIST-SRM612 and $\xi = 391 \pm 4$ (Danbara and Iwano, 2009).

(5) r is correlation coefficient between ρ_s and ρ_i .

(6) U is uranium content.

(7) the total decay rate for ^{238}U : $\lambda_{238}\text{U} = 1.55125 \times 10^{-10} / \text{yr}$.

No.		FT age (Ma)		U-Pb age (Ma)		Relationship between U-Pb and FT age		
		average	Error 1σ	238U-206Pb age (Ma)	Error 2σ	FT> U-Pb	FT= U-Pb	FT< U-Pb
35	A	250.70 ± 112.25	± 112.25	239.02 ± 3.93	± 3.93		○	
75	A	98.13 ± 22.15	± 22.15	113.8 ± 1.45	± 1.45		○	
80	A	76.26 ± 16.04	± 16.04	60.9 ± 1.15	± 1.15		○	
88	B	51.98 ± 10.49	± 10.49					
18	B	50.94 ± 17.50	± 17.50	15.86 ± 0.32	± 0.32	○		
25	B	50.94 ± 15.05	± 15.05	251.03 ± 6.52	± 6.52		○	
27	B	50.94 ± 41.60	± 41.60	12.96 ± 0.33	± 0.33		○	
46	B	50.00 ± 9.71	± 9.71					
34	B	42.48 ± 18.21	± 18.21	11.52 ± 0.19	± 0.19	○		
87	B	41.11 ± 11.08	± 11.08					
83	B	40.78 ± 19.36	± 19.36					
5	B	29.16 ± 18.28	± 18.28	13.23 ± 0.13	± 0.13		○	
39	C	27.84 ± 14.14	± 14.14	26.58 ± 0.43	± 0.43		○	
8	C	25.52 ± 31.26	± 31.26					
63	C	25.52 ± 22.11	± 22.11	15.4 ± 0.19	± 0.19		○	
32	C	22.69 ± 9.65	± 9.65	16.11 ± 0.26	± 0.26		○	
41	C	22.69 ± 13.64	± 13.64					
14	C	20.42 ± 9.87	± 9.87					
10	C	18.73 ± 6.61	± 6.61	65.74 ± 1.32	± 1.32			○
58	C	18.03 ± 8.57	± 8.57					
28	C	17.03 ± 13.90	± 13.90	4.86 ± 0.12	± 0.12		○	
73	C	17.03 ± 3.60	± 3.60	12.8 ± 0.16	± 0.16		○	
67	C	16.32 ± 3.92	± 3.92	6.9 ± 0.09	± 0.09	○		
47	C	15.32 ± 10.09	± 10.09					
71	C	14.60 ± 4.43	± 4.43	13.2 ± 0.17	± 0.17		○	
50	C	13.44 ± 6.76	± 6.76	17.9 ± 0.56	± 0.56		○	
48	C	12.77 ± 4.77	± 4.77					
38	C	12.49 ± 4.21	± 4.21	12.68 ± 0.21	± 0.21		○	
52	C	12.46 ± 4.40	± 4.40	15.7 ± 0.49	± 0.49		○	
72	C	12.17 ± 6.06	± 6.06	10.5 ± 0.13	± 0.13		○	
62	C	11.79 ± 5.35	± 5.35	14.2 ± 0.18	± 0.18		○	
60	C	11.05 ± 4.31	± 4.31	11.0 ± 0.34	± 0.34		○	
57	C	10.57 ± 4.75	± 4.75					
79	C	10.52 ± 4.37	± 4.37	9.2 ± 0.17	± 0.17		○	
49	C	10.48 ± 4.07	± 4.07	12.64 ± 0.40	± 0.40		○	
21	C	10.22 ± 11.20	± 11.20					
37	C	10.22 ± 11.20	± 11.20	19.95 ± 0.32	± 0.32		○	
43	C	9.89 ± 4.42	± 4.42					
24	D	9.58 ± 6.03	± 6.03	18.57 ± 0.47	± 0.47		○	
40	D	9.29 ± 7.14	± 7.14	15.84 ± 0.26	± 0.26		○	
78	D	8.76 ± 3.87	± 3.87	61.4 ± 1.16	± 1.16			○
20	D	8.29 ± 3.65	± 3.65	17.82 ± 0.36	± 0.36			○
65	D	8.07 ± 2.51	± 2.51					
45	D	7.86 ± 1.89	± 1.89					
81	D	7.57 ± 4.06	± 4.06	5.8 ± 0.11	± 0.11		○	
82	D	7.43 ± 2.82	± 2.82	6.2 ± 0.12	± 0.12		○	
55	D	7.42 ± 1.51	± 1.51	6.5 ± 0.20	± 0.20		○	
13	D	7.30 ± 5.52	± 5.52					
42	D	7.16 ± 2.89	± 2.89	7.78 ± 0.11	± 0.11		○	
15	D	6.89 ± 2.12	± 2.12					
53	D	6.55 ± 3.12	± 3.12	15.6 ± 0.49	± 0.49			○
36	D	6.39 ± 6.78	± 6.78	7.83 ± 0.13	± 0.13		○	
22	D	5.90 ± 2.08	± 2.08	7.94 ± 0.20	± 0.20		○	
6	D	5.68 ± 5.99	± 5.99	10.03 ± 0.10	± 0.10		○	
3	D	5.38 ± 2.31	± 2.31	11.82 ± 0.12	± 0.12			○
51	D	5.38 ± 4.00	± 4.00					
7	D	5.11 ± 5.36	± 5.36					
56	D	5.11 ± 3.79	± 3.79	16.6 ± 0.52	± 0.52			○
29	D	4.99 ± 2.61	± 2.61	15.61 ± 0.40	± 0.40			○
31	D	4.87 ± 3.60	± 3.60	6.76 ± 0.17	± 0.17		○	
4	D	4.65 ± 4.86	± 4.86	5.04 ± 0.05	± 0.05		○	
16	D	4.65 ± 4.86	± 4.86	17.49 ± 0.35	± 0.35			○
68	D	4.65 ± 1.84	± 1.84					
76	D	4.54 ± 1.68	± 1.68	8.1 ± 0.15	± 0.15			○
59	D	4.26 ± 4.44	± 4.44	16.1 ± 0.50	± 0.50			○
77	D	4.09 ± 3.01	± 3.01	15.6 ± 0.29	± 0.29			○
17	D	3.93 ± 2.89	± 2.89	11.75 ± 0.24	± 0.24			○
85	D	3.93 ± 4.08	± 4.08					
86	D	3.86 ± 2.00	± 2.00	58.8 ± 1.11	± 1.11			○
33	D	3.65 ± 3.78	± 3.78	1936.95 ± 36.40	± 36.40			○
26	D	3.07 ± 1.82	± 1.82	0.58 ± 0.01	± 0.01		○	
11	E	2.92 ± 2.12	± 2.12	17.82 ± 0.36	± 0.36			○
74	E	2.49 ± 1.81	± 1.81					※
19	E	2.43 ± 2.49	± 2.49	6.63 ± 0.13	± 0.13			○
70	E	1.89 ± 1.93	± 1.93	5.9 ± 0.07	± 0.07			○
54	E	1.38 ± 1.40	± 1.40	11.4 ± 0.36	± 0.36			○
12	E	1.14 ± 1.15	± 1.15	4.21 ± 0.08	± 0.08			○
44	E	1.07 ± 1.08	± 1.08					※
1	E	0.00 ±						※
2	E	0.00 ±						※
9	E	0.00 ±						※
23	E	0.00 ±		0.03 ± 0.00	± 0.00		○	
30	E	0.00 ±		8.86 ± 0.23	± 0.23			○
61	E	0.00 ±		17.1 ± 0.53	± 0.53			○
64	E	0.00 ±		14.3 ± 0.18	± 0.18			○
66	E	0.00 ±						※
69	E	0.00 ±						※
84	E	0.00 ±						※

Table 2. Fission-track and U-Pb ages for zircon grains in UR203. Hatched grains are used for the recalculation in Table 3. ※ means Group E grains without U-Pb ages.

第2表 ジルコン粒子毎のフィッシュトラック及び U-Pb 年代。ハッチは第3表のフィッシュトラック年代再計算に用いた粒子を示す。※は E グループのジルコン粒子のうち U-Pb 年代値を欠くもの。

4. 年代値の解釈

UR203 の FT 年代値については、10 Ma 以前のもののは外来結晶と判断されるので、これを除外した D・E グループの 51 ジルコン結晶粒子の加重平均値 5.3±0.4 Ma が噴出年代の目安となる。引田層自体は基盤の中部中新統を不整合に覆っており（坂本・宇野沢, 1976）、この設定は層序関係と矛盾しない。一方で、D・E グループのジルコン結晶粒子は FT 年代 ≤ U-Pb 年代となり、その扱いが問題となる。FT 年代と U-Pb 年代は、閉鎖温度の違いから FT 年代 ≤ U-Pb 年代の関係があることは当然である。しかしながら、FT 年代 < U-Pb 年代の場合、FT 年代は噴火時に加熱されアニールしたものと解釈可能であるが、アニーリングの程度によって完全に年代がリセットされているのか不完全にリセットされているのかの判断が難しい。以下の年代算出手順では噴火時に完全にリセットされたものと仮定しているが、これが不完全な場合には得られた FT 年代は見かけのものであり、噴出年代はこれよりも若くなることに注意しなければならない。

D・E グループの粒子年代値から仮定噴出年代を求めるためには、古いものほど外来結晶の可能性が高いため、χ² 検定に合格するまで本質結晶以外と判断される粒子を除外することが求められる。そのために、1) FT 年代 = U-Pb 年代は粒子の形成年代と見なせるので、これを古い順に除去する。No. 24, 40, 81, 82, 55, 42, 36, 6, 31, 4 の 11 個がその対象で、これらは全て D グループに属し外来結晶と判断される。2) FT 年代 < U-Pb 年代の 21 粒子を、本質結晶もしくはリセット年代粒子と見なす。3) U-Pb 年代が測定できなかった粒子は、両年代の比較による判断が出来ないため、除外する。ただし、E グループ中の 8 粒子は FT 年代が全て 0 を示し十分若い本質もしくはリセット年代粒子と見なし、年代算出粒子に含める。このようにして選別された 31 粒子を使って加重平均を求めると (Table 2 のハッチ部)、その年代値は 3.4±0.5 Ma となる (Table 3)。

鮮新世を示すこの年代 (3.4±0.5 Ma) は、坂本・宇野沢 (1976) が当初考えていた引田層の形成年代 (中

Table 3. Recalculated fission-track age for zircons of UR203.

第3表 UR203のジルコン・フィッショントラック年代再計算結果.

Sample	Number of grain	Spontaneous ρ_s ($1/cm^2$)	[Ns]	Induced ρ_i ($10^6/cm^2$)	[Ni]	Dosimeter ρ_d ($10^6/cm^2$)	[Nd]	r	P(χ^2) (%)	U (ppm)	Age $\pm 1\sigma$ (Ma)
UR203	31	2.26×10^5	[60]	3.38	[897]	13.08	[3923]	0.592	60	240	3.4 ± 0.5

- (1) ρ and N are density and total number of fission tracks counted, respectively.
 (2) All analyses by internal detector method using ED2.
 (3) P(χ^2) is the upper χ^2 tail probability corresponding to the observed χ^2 -statistics.
 (4) Age calculated using dosimeter glass NIST-SRM612 and $\zeta = 391 \pm 4$ (Danbara and Iwano, 2009).
 (5) r is correlation coefficient between ρ_s and ρ_i .
 (6) U is uranium content.
 (7) the total decay rate for ^{238}U : $\lambda_{238} = 1.55125 \times 10^{-10} / \text{yr}$.

期更新世)よりも相当古いものである。しかしながら、引田層が中部中新統を不整合に覆い、かつ高位段丘礫層に不整合に覆われる層序関係と矛盾するものではない。むしろ得られた年代は久慈川の北側に分布する鮮新統久米層(坂本ほか, 1972)の形成年代と近く、両層の対比の可能性を示唆している。

5. まとめ

瓜連丘陵の引田層中の火山砕屑物に富む砂質河川堆積物(UR203)を対象にジルコン結晶粒子のフィッション・トラック(FT)年代測定を実施した。引田層はこれまで中部更新統とみなされていたものの、その年代に根拠があったわけではない。今回の測年対象は年代の多様な外来結晶を含む混合粒子群であるものの、適切な年代グループ分けにより、堆積物の形成年代を絞り込めるものとして測定を試みている(別冊1: フィッション・トラック年代測定結果報告書)。さらに年代グループ分けの妥当性を検証するために、ジルコン粒子のU-Pb年代測定を実施した(別冊2: U-Pb年代測定報告書)。その結果、FT年代測定による年代グループ分けによりUR203に対して当初、 1.2 ± 0.4 Maの年代を得たものの、この年代グループ分けには妥当性がないことがU-Pb年代測定で示された。さらに、10 Maよりも若い粒子年代を持つジルコンのほとんどは外来結晶が熱アニーリングを受けたものであることも明らかになった。このアニーリングは全て噴火時に起きたものであること、アニーリングによって年代は完全にリセットされたことを仮定して、年代算出粒子を選び直すとその年代値は鮮新世を示す 3.4 ± 0.5 Maとなる。ただし、設定した仮定が完全に成立しているのかどうかは検証されていない。

引用文献

Danbara, T. and Iwano, H. (2009) Determination of zeta values fission-track age calibration using thermal neutron irradiation at the JRR-

3 reactor of JAEA, Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, 115, 141-145.
 貝塚爽平 (1958) 関東平野の地形発達史. 地理学評論, 31, 59-85.
 粕武・安藤一男・宇野沢昭・坂本 亨 (1988) 茨城県中部, 瓜連丘陵の第四系泥質層の化学組成・化石珪藻から見た堆積環境. 地調月報, 39, 573-599.
 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫 (1974) 南関東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく編年. 地学雑誌, 83, 302-338.
 Miall, A.D. (1978) Lithofacies types and vertical profiles models in braided river deposits: a summary. In Miall, A.D., ed., Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., no.5, 597-604.
 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. 地調月報, 27, 655-664.
 坂本 亨・田中啓策・曾屋龍典・野間泰二・松野久也 (1972) 「那珂湊」地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図). 地質調査所, 94p.
 山元孝広 (2006) 宇都宮市宝積寺段丘を貫くUT05コアの層序記載と鬼怒川の堆積侵食履歴. 地質調査研究報告, 57, 217-228.
 山元孝広 (2007) テフラ層序からみた新潟県中期更新世飯土火山の形成史: 関東北部での飯土真岡テフラとMIS7海面変動の関係. 地質調査研究報告, 58, 117-132.
 吉川敏之・山元孝広・中江 訓 (2010) 「宇都宮」地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図), 産総研地質調査総合センター, 79p.
 吉岡敏和・滝沢文教・高橋雅紀・宮崎一博・坂野靖行・柳沢幸夫・高橋 浩・久保和也・関 陽児・駒澤正夫・広島俊男 (2001) 20万分の1地質図幅「水戸(第2版)」。地質調査所。