

原著論文

木片の<sup>14</sup>C年代測定による前橋泥流堆積時期の再検討(予察)

佐藤興平<sup>1</sup>・南 雅代<sup>2</sup>・中村俊夫<sup>2</sup>・柴田 賢<sup>3</sup>・児嶋美穂<sup>4</sup>・武者 巖<sup>5</sup>

<sup>1</sup>気象庁気象大学校: 〒277-0852 千葉県柏市旭町7-4-81

<sup>2</sup>名古屋大学宇宙地球環境研究所: 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

<sup>3</sup>元名古屋大学年代測定資料研究センター: 〒470-0232 愛知県みよし市黒笹いずみ2-16-18

<sup>4</sup>森林総合研究所木材加工・特性研究領域: 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

<sup>5</sup>〒371-0846 群馬県前橋市元総社町146-1

**要旨:** 約2.4万年前とされてきた前橋泥流につき、堆積物に含まれる木片のAMS-<sup>14</sup>C年代を高精度で測定することにより、泥流が流下・堆積した年代の再検討を開始した。予察として利根川河岸の露頭から採取した1試料の<sup>14</sup>C年代を測定したところ22,570±60 BP(±1σ)となった。暦年較正した年代は27,180-26,589cal BP(±2σ)となり、従来の推定より3000年ほど古いとの見通しが得られた。

**キーワード:** 前橋泥流, <sup>14</sup>C年代, 加速器質量分析, 木片, 浅間火山, 利根川

Review on age of the Maebashi mudflow deposit  
by <sup>14</sup>C dating of a wood block: A preliminary study

SATO Kohei<sup>1</sup>, MINAMI Masayo<sup>2</sup>, NAKAMURA Toshio<sup>2</sup>, SHIBATA Ken<sup>3</sup>, KOJIMA Miho<sup>4</sup> and MUSHA Iwao<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Meteorological College, Japan Meteorological Agency: Asahi 7-4-81, Kashiwa, Chiba 277-0852, Japan

<sup>2</sup>Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University: Furo-cho, Chikusa, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan

<sup>3</sup>Formerly Dating and Material Research Center, Nagoya University: Kurozasa-Izumi 2-16-18, Miyoshi, Aichi 470-0232, Japan

<sup>4</sup>Forestry and Forest Products Research Institute: Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan

<sup>5</sup>Motosoja 146-1, Maebashi, Gunma 371-0846, Japan

**Abstract:** An age of the Maebashi mudflow deposit, currently estimated to be 24,000 BP, was reevaluated by AMS-<sup>14</sup>C dating of a wood specimen from an outcrop on the Tone River bank. The specimen yielded 22,570±60 BP(±1σ). The calibrated age was 27,180-26,589 cal BP(±2σ) and about 3000 years older than the previous estimate.

**Key Words:** Maebashi mudflow deposit, <sup>14</sup>C age, accelerator mass spectrometry (AMS), wood, Asama volcano, Tone River

1. はじめに

前橋市街の地下には、前橋泥流と呼ばれる火山性碎屑物からなる地層が分布する(註1)。平坦な市街地でこの地層に出会う機会はほとんど無いが、台地を削り込んで流れる利根川河岸の崖の一部で地層の断面を見ることができる。このような崖の露頭観察とボーリングのデータから、前橋泥流は火山岩角礫と比較的細粒の火山性碎屑物が渾然一体となって堆積した厚さ10-15mの無層理の地層で、前橋だけでなく高崎市側の地下にも広がっているとみられている(例えば、新井, 1971)。この膨大な堆積物の供給源としては、地理的に近い赤城山や榛名山の火山体を想定するのが順当と思われるが、新井(1971, 1993)は遠く離れた浅間

山が供給源と考えた。その理由は、前橋泥流の重鉱物の組み合わせが浅間火山の噴出物に似ており、類似の堆積物が利根川上流の吾妻川沿いにも見出されるというものであった(註2)。

前橋市街の中心部には、「岩神の飛石」と呼ばれ1938年に国の天然記念物に指定された安山岩の巨石がある(佐藤, 1992)。この巨石の起源については、天然記念物指定時には赤城山とされ、新井(1971)も赤城火山起源の流れ山が浅間山起源の泥流で二次的に移動したという言葉が折衷案のような説を出していたが、前橋泥流が浅間山起源という自説との間には不調和な側面があった(佐藤, 2016)。この謎めいた巨石の起源について最近、そのSr同位体比を周辺火山のSr同位体比のデータ(Notsu et al., 1985, 1987)と

比較することにより、「岩神の飛石」の供給源は赤城山でも榛名山でもなく、浅間火山起源であることがほぼ確定した（佐藤ほか，2017）。現在の地表では、新期の堆積物に隠されて「岩神の飛石」と前橋泥流の関係は観察できないが、文化財再調査の一環として行われたボーリング調査によって、この巨石が前橋泥流に直接接することが確認されたという（前橋市教育委員会，2016）。これらの結果は、「岩神の飛石」が前橋泥流とともに遠く離れた浅間火山からもたらされたものであることを強く示唆する。

それでは、この巨石や膨大な地層は前橋に何時もたらされたのだろうか。前橋と浅間山は直線距離で約50km、泥流流下の経路になったとみられる吾妻川沿いには70km以上も離れている。このような長距離をどのようにして前橋まで運ばれて来たのだろうか。浅間山麓の長野原町応桑付近や長野県佐久市塚原周辺にも（図1）、浅間火山の山体崩壊に起因するとされる流れ山や泥流堆積物が知られている（例えば、八木・越，1936；荒牧，1993）。それらも本当に前橋泥流と同時にひとつの事象としてできたものなのだろうか。前橋泥流だけをとりても、新期の堆積物に被われており（新井，1971）、市街地が広がる平坦地での観察は難しく、その時空分布を正確に把握するのは容易ではない。新期堆積物の中には、火山灰や河川堆積物だけでなく、別

の泥流堆積物も含まれるという（例えば、高崎市史編纂委員会，2003）。それらは何時どこからもたらされたのだろうか。しかし残念ながら、これらの疑問に的確に答えられるだけの年代学的な証拠は極めて貧弱なのが実態である。泥流の堆積時期については、過去5万年程度までであれば、含まれる木片などについて $^{14}\text{C}$ 年代を測定するのが最適であろう。前橋泥流については、新井（1967）が前橋駅近くの利根川左岸で採取した木片について得られた $24,000 \pm 650$  BPという $^{14}\text{C}$ 年代がほとんど唯一のデータであり（註3）、この年代値が広く知られている（例えば、新井，1971）。

一方で、新井（1967）の報告から半世紀の時間が経過しており、この間に $^{14}\text{C}$ 年代の測定技術や年代較正のための研究は長足の進歩を遂げている。そこで我々は、現在の技術と知見に基づいて上記の疑問を解明する取り組みを始めた。ところが、この取り組みで出会った最初の難関が露頭の少なさであった。かつては利根川や烏川の河岸で容易に木片を採取することができたとのことであるが（久保，2017）、河川の護岸工事が進んで露頭が少なくなり、試料採取が難しくなっているのである。ここではかろうじて採取できた木片の年代測定の結果を予報として報告し、その他の試料については稿を改めて報告したい。

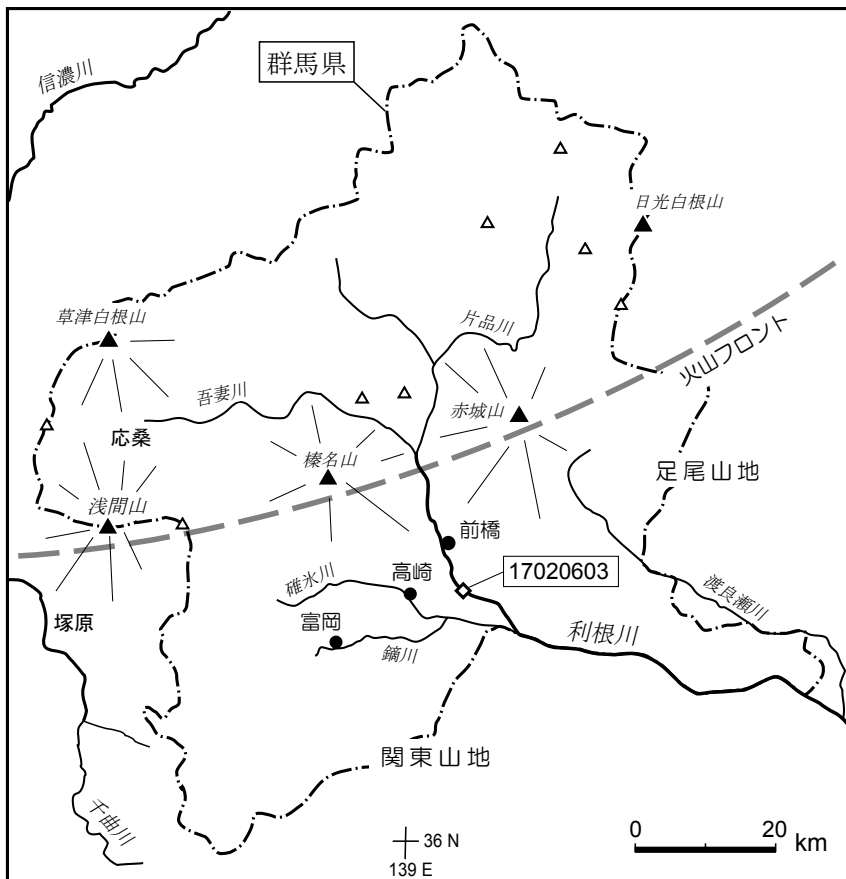


図1.  $^{14}\text{C}$ 年代を測定した試料（17020603）の採取地点と群馬県的主要な火山と河川。

前橋泥流は、浅間火山の活動初期に形成された黒斑火山の崩壊に端を発し、吾妻川に沿って流下して前橋周辺の広い範囲を覆って堆積したとみられる。これと同時期とされる山体崩壊堆積物が吾妻郡応桑付近や長野県佐久市塚原周辺にも分布する（例えば、八木・越，1936；荒牧，1993；新井，1993）。黒三角は活火山、白三角はそれ以外の第四紀火山（ $<2$  Ma）。黒丸は市庁舎の所在地。新井（1967）の木片試料採取地点は、利根川に架かる両毛線の鉄橋脇の左岸で、前橋市庁舎の南南西約0.9kmの位置にあり、この図の黒丸の範囲内。

## 2. 年代測定試料

今年代を報告する木片試料の採取地点を図1と図2に示した。この付近では利根川が前橋市と高崎市および佐波郡玉村町との行政境界になっており（図2）、河岸には護岸工事を免れた露頭が残っている。左岸の前橋側は急崖の下を流れる急流に阻まれて接近は容易ではないが、右岸の高崎側は川原に面した高さ3-5m程の急崖に容易に接近し観察することができた（註4）。この急崖には新井（1971）に記載されたのと同様の前橋泥流が連続的に露出しており、数個の木片を発見することができた。それらの多くは径3cm以下の小片であったが、最大径11cmに及ぶ樹幹も見出された（長さ50cm以上、泥流堆積物に埋もれて全長は不明）。これらの木片は水平に近い状態で堆積物中に含まれていたが、幹の伸びの方向に顕著な傾向は見られなかった。他の露頭では腐食が進んで原型を留めていない木片が残っていたり、木片は残っておらずその跡と解される丸い穴だけが見られるという場合もあったが、この地点ではおそらく利根川の洪水時に露頭面が少しずつ削られて更新されることで、比較的新鮮な木片が観察できる結果になっているのだと思われる。

この急崖露頭は概ね新鮮であるが、一部は低木に覆われて見えにくくなっている。上記の径11cmの樹幹はそのような場所で見出されたもので（17020602）、低木の根が絡みついており、年代測定の対象には不適であった。年代測定の対象としては、全体を見渡して、ある程度の大きさがあり、あまり腐食が進んでおらず、現生植物の根が認



図2.  $^{14}\text{C}$ 年代測定試料（17020603）の採取地点。

国土地理院のサイト「地理院地図（電子国土 Web）」を参照。この付近では、利根川が前橋市と高崎市および佐波郡の境界になっており、試料採取地点は佐波郡玉村町の北端で、高崎市中島町との行政境界にあたる。

められない試料を選んだ。この木片試料（17020603）は高さ5m程の崖の途中で見出されたが、泥流の上下の境界は観察できないので、泥流中の位置は不明である。この木片は径6-7cmで長さは25cm余りであり、切断面には明瞭な年輪が認められた（図3）。幹の伸びの方向を含む直交3方向の薄い切片を作成し、染色して鏡下で組織を観察する手法（能城，2014）で樹種を鑑定した。年代を測定した試料（17020603）はトウヒ、根の絡みついた試料（17020602）はマツ属であることが判明した。他の露頭の検討試料も全てモミヤカラマツなどの針葉樹で、比較的冷涼な生育環境が示唆される。



図3. 年代を測定した木片（17020603）の産状と外観および断面。

A: 露頭の木片（矢印）。角礫は安山岩質溶岩。右下のハンマーは上下33cm。

B: 木片試料の外観と切断片。物差しは全長33.5cm。

C: 切断面の拡大写真（年輪が見える）。物差しの数値はmm単位。

### 3. 年代測定の手法と結果

#### 3.1 前処理

年代測定の対象とする試料は、地層に埋没している間に周囲から炭酸塩や腐植酸（フルボ酸・フミン酸）などの炭素を含む外来物質を取り込む。本来の年代に影響を及ぼすこれらの汚染物質を取り除くため、本研究では試料に対して以下のような化学処理を行った後に<sup>14</sup>C年代測定用のグラファイトを作成した。これはABA処理（Acid-Base-Acid処理）と称する酸-アルカリ処理で、以下の3段階の処理を60℃の条件下で行った。すなわち、ピーカー中で1.0 mol/L-塩酸（12時間）、1.0 mol/L-水酸化ナトリウム溶液（1時間）、1.0 mol/L-塩酸（12時間）による処理を行い、異なる溶液に移る際には超純水（Milli-Q Gradient A10）で4回洗浄した。洗浄水が中性になったことを確認してから試料を80℃で乾燥した後、6 mm径の石英管に入れて石英綿で軽く蓋をしたものを、銀線と酸化銅とともに9 mm径の石英管に真空封入した。これを電気炉内でまず630℃で2時間加熱した後、発生したガスを真空ラインに導入してCO<sub>2</sub>を回収した。次に再び封管して900℃で4時間加熱し、発生したCO<sub>2</sub>を回収した。得られたCO<sub>2</sub>ガスをそれぞれ触媒の鉄と水素ガスとともに封入し、620℃で6時間反応させてグラファイトを作成した。

#### 3.2 AMSによる<sup>14</sup>C年代測定

上記のような試料調製により作成したグラファイトの<sup>14</sup>C年代を名古屋大学宇宙地球環境研究所のタンデム加速質量分析計2号機（4130-AMS by HVEE）で測定した。標準物質としては、シュウ酸（NIST SRM4990）を、ブランクとしてはAso-4炭化材（約9万年前の阿蘇火砕流堆積物中の炭化材）を試料と同じように化学調製したものをを用いた。<sup>14</sup>C年代の暦年較正はIntCal13（Reimer et al., 2013）を用い、OxCal v4.3.2（Ramsey, 2009）によって行った。

#### 3.3 測定結果

630℃で加熱して発生したCO<sub>2</sub>の<sup>14</sup>C年代は22,410±60 BP（±1σ）（NUTA2-24510）、その後の900℃で加熱して発生したCO<sub>2</sub>の<sup>14</sup>C年代は22,570±60 BP（±1σ）（NUTA2-24511）となった（註5）。一方、段階加熱せず900℃までに発生したガスを全部回収してグラファイト化した場合の年代値は22,500±80 BP（±1σ）（NUTA2-24512）であった。これらの結果から、段階加熱することにより、化学処理後に残存していたわずかな外来炭素、酸化銅中の炭素、試料などの表面に付着していた大気CO<sub>2</sub>が除去されたと考えら

表 1. 前橋泥流に含まれる樹木片の<sup>14</sup>C年代。

Table 1. <sup>14</sup>C age of a wood block buried in the Maebashi mudflow deposit.

Samples No.	17020603
Sample locality	Northern end of Tamamura Town in Sawa District on the right bank of the Tone River
Species and size	Spruce ( <i>Picea</i> ), 6–7 cm in diameter
<sup>14</sup> C age*	22,570±60 BP (±1σ) (NUTA2-24511)
Calibrated age based on IntCal13	27,180–26,589 cal BP (±2σ)

\*: Decay constant for age calculation : Libby's half-life of 5568 years  
Age dating was done by M. Minami using an accelerator mass spectrometry (AMS) facility at Nagoya University.

れ（Vandeputte et al., 1998; Bird et al., 1999; Tomiyama et al., 2016）、900℃で発生したCO<sub>2</sub>の<sup>14</sup>C年代22,570±60 BPが最も信頼できる年代値と解される。この年代値をIntCal13を用いて暦年較正した年代値は、27,180–26,589 cal BP（±2σ）となる。

## 4. 考察

この項では、今回の年代測定の結果を既存の年代値と比較するとともに、泥流の起源となったとみられる浅間火山の活動史や当時の森林環境について今後の課題を考えてみたい。

#### 4.1 前橋泥流に関する既存の年代値との比較

前橋泥流の堆積時期を示す年代値として評価に値する公表データは、冒頭で述べたように、新井（1967）による24,000±650 BPがほとんど唯一のものである。この年代値は学習院大学の木越邦彦氏により測定されたものであるが（註3）、試料の前処理や測定条件の詳細は記載されておらず、年代学の時代背景も現在とは異なるので、今回の測定結果との厳密な比較は難しい。ただ、今回得られた<sup>14</sup>C年代が新井（1967）の年代値と比べて1400年余りも若い点が注目される。1960年代には、樹木の年輪との対比から暦年代を求める補正の研究が行われたものの、1万年を超えるような古い年代値の補正データは揃っていないので（木越、1967）、新井（1967）の年代値は暦年代ではないと判断される。以後の研究で、この年代値がそのまま「前橋泥流は2.4万年前」と解されている例が多いが、今回の暦年較正年代（27,180–26,589 cal BP）と照らし合わせると、「2.4万年前」との判定は前橋泥流の年代を3000年ほども若くみていることになる。

放射年代の測定では、質量分析計の測定精度だけでなく、測定試料の野外での産状や汚染の影響を取り除く前処理技術が結果に大きく影響してくることが多い（註6）。前橋泥流の堆積時期を精度良く確定するためには、複数の保存良

好な木片試料を追加検討する必要がある。筆者の一人中村は、1994年の夏に前橋市の中央大橋近傍の利根川右岸に露出していた前橋泥流から採取した8点の木片につき21,450から22,571BPの<sup>14</sup>C年代値を得た（未公表資料）。この最古の年代値は今回の測定値22,570±60BPとよく一致する。一方、8試料の年代幅は1100年を超えるので、同一地点で得られた年代値としては理解しにくい面もある。これは何らかの原因で誤差が大きくなっているためかも知れないが（註7）、年代幅のあるこれらのデータが複数回の泥流流下を記録している可能性も否定しきれない。給源が同じ複数の泥流堆積物を野外で識別するのは困難と思われるからである。この問題は今後慎重に検討していきたい。

#### 4.2 浅間山の火山活動および氷期の森林環境との関係

この研究の目標は、現代の年代学や同位体地球化学分野の高精度な分析技術を駆使して、前橋泥流の時空分布を把握し、更には浅間火山に由来する他の堆積体（応桑泥流や塚原泥流など）との年代対比もふまえて、浅間火山活動史の実態解明に寄与することである。これらの泥流堆積物は浅間火山の活動初期に存在した黒斑火山の山体崩壊に起因するとされるが（例えば、Aramaki, 1963; 新井, 1993）、現代の分析技術を用いて山体崩壊の原因に迫れないだろうか。

Aramaki (1963, p.283) や荒牧 (1968, p.14) は、1888年の磐梯山の例 (Sekiya and Kikuchi, 1889) を念頭に、黒斑火山の山体崩壊の原因が水蒸気爆発であったと指摘した。しかし、竹本・久保 (1995, 2003) によれば、応桑泥流や塚原泥流に対比される堆積物が、板鼻褐色軽石層に相当する軽石層に挟まれているという（註8）。この層序対比が正しいとすれば、黒斑火山の山体崩壊の主因は水蒸気爆発ではなく、マグマ噴火であったと考えることもできよう。浅間山から遠くない地域では、板鼻褐色軽石層には数層が識別されるが、それらの間に風化土壌は見られないという（久保誠二, 2017私信）。この産状からは、風化土壌が発達するだけの時間間隙をおかずに激しいマグマ噴火が繰り返され、その過程で山体崩壊が起こったという状況が浮かび上がってくる。これらの軽石層とこれに挟まれるという泥流堆積物の詳しい岩石学的な特性や高精度の年代が判明すれば、黒斑火山の噴火活動と山体崩壊の関係を把握するための手掛かりが得られるのではないかと期待される。

また興味深いことに、前橋泥流に含まれる木片のほとんどは径10cm程度かそれ以下であって、太い樹幹は全く見られないという（久保, 2017; 久保誠二, 2017私信）。これまでの我々の調査でも、見出された木片の径は最大11cmで、全てそれ以下であった。これは泥流の流下経路に巨木

は存在しなかったことを示唆する。当時は最終氷期であり、今回の樹種鑑定からも冷涼な環境が推察された。そのような気候条件に加え、浅間火山の東側に位置する吾妻川流域では、山体崩壊に先行する頻繁な火山噴出物の降下で、樹木が育ちにくい過酷な環境が広がっていた可能性も考えられよう。森林環境と火山活動との関係の解明が望まれる。

## 5. あとがき

今回は予想的に検討した1試料の年代を報告したが、年代学的・地球化学的な手法が前橋泥流の実体解明に貢献できるとの見通しが得られた。一方、平坦地の地質調査では、宅地開発や護岸工事で露頭が少なくなり、試料採取も難しくなっていることが再認識された。露頭で地層の連続性を追跡するというような手法は現在の市街地では極めて難しく、それだけに年代学的・地球化学的な研究手法の重要性が増していると考えられる。また、今後検討する試料も二度と採取できなくなる可能性があることを考えると、将来の検証や研究継続に役立てるため、重要な研究試料は公的機関で系統的に保管・管理する必要があることを指摘しておきたい。

## 謝辞

森林総合研究所の桃原郁夫・安部 久の両氏は、年代測定試料の樹種鑑定の便宜を図ると共に鑑定技術をご指導くださった。群馬県の地質やテフラに詳しい沼田市の久保誠二氏は丁寧な査読を通じて貴重なご助言をくださった。以上の皆様に深謝します。

## <註>

註1)「泥流」は流れを表す用語としても使われるので、厳密には「前橋泥流堆積物」と表記の方が正確であろう。また、近年は「岩屑なだれ堆積物 (debris avalanche deposit)」の用語がよく使われるが、ここでは広く定着した感のある「前橋泥流」の用語を用いる。「前橋泥流」は、流下する過程で河床や段丘から取り込んだとみられる花崗岩類の円礫や湖成層とみられる泥岩の岩塊も含んでおり、河川水だけでなく河床礫や周辺の土壌あるいは露頭の岩石までも巻き込んだ重力流であったと推定される。「前橋泥流」の上流部にあたるとされる「応桑泥流」については、長野原町応桑の流れ山を見る機会があったが、その内部は「岩屑なだれ堆積物」という形容が相応しく、前橋泥流とは様相が異なっていた。このような岩

屑が吾妻川の溪谷になだれ込み、「岩神の飛石」の様な巨石と共に前橋まで70km以上も流走したのだとすると、その流動機構は具体的にどの様なものであったのか興味を持たれる（佐藤ほか，2017）。

註2) 吾妻川沿いに残る「前橋泥流」類似の堆積物はわずかであり、道路工事などで露頭が失われ、現在ほとんど観察できなくなっているという（久保ほか，1993; 久保誠二，2017私信）。

註3) 各種報告書には年代値が書かれていることが稀にあるが、原典が不明だったりして数値の評価が難しい（例えば、八ッ場ダム地域自然調査会編，1993, p.24; 前橋教育委員会，2016, p.40）。それらに対し、新井（1967）の報告には、測定値：24,000±650y.B.P.とともに、学習院大学の測定番号：GaK-725や測定者：木越邦彦などの詳しいデータも併記されていて、情報としての信頼度が高い。壊変定数（半減期）の記述はないが、「断り書きのない限り半減期はLibbyの測定値（5570±30年）を用いることになっている」という趣旨の記述から（木越，1976, 1977），本稿と同様に年代値の計算にはLibbyの半減期が用いられたと判断される。なお、上記の測定値の後のy.B.P.は、西暦1950年を基準としてそれより何年前かを示す略号である。その表記は研究者により、また同一文書でも使用する場所により異なることがあるが（yr BPやyear B.P.など）、本稿ではBPのみを付けることにする。

註4) この地点（図2）の露頭もやがて護岸工事で消失する可能性がある。前橋や高崎の台地の成り立ちを観察できる貴重な場所なので、可能な限り露頭を残して教育にも活用してほしいと思う。

註5) NUTA2-24510~24512は名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計2号機の測定番号。

註6) 本稿では、真の年代を求める上で重要な前処理について詳述した。岩石のK-Ar年代測定でも、変質の有無や鉱物分離の精度などが結果に大きく影響してくることはよく知られている。

註7) 1994年当時は試料を蒸し焼きして炭化し、銀粉を混ぜてプレス成形したものをターゲットとしていたため、炭素イオンの出力（<sup>13</sup>C, <sup>14</sup>C）が現在より小さく<sup>14</sup>Cイオンの計数も少なかった。測定には名古屋大学年代測定資料

センター（当時）のタンデトロン加速器質量分析計1号機が使われていた。

註8) 応桑泥流相当層（岩屑なだれ堆積物）と板鼻褐色軽石層の関係が観察されたのは、軽井沢駅東の工事露頭で、軽石層は7層に区分され、下位から4番目（BP-4）と5番目（BP-5）の層の間に岩屑なだれ堆積物が挟まっていたという（竹本・久保，1995, 2003）。また、前橋泥流については、渋川市子持町の遺跡発掘調査で板鼻褐色軽石層に直接被われる関係が確認され（群馬県埋蔵文化財調査事業団，1996），同町の国道17号バイパス工事の際には板鼻褐色軽石層に挟まれることが観察された。これらの工事露頭や調査地は、いずれも擁壁に被われたり調査後に埋め戻されたりして、現在では観察できなくなっているという（久保誠二，2017私信）。

## 引用文献

- 新井房夫（1967）：前橋泥流の噴出年代と岩宿I文化遺跡。－日本の第四紀層の<sup>14</sup>C年代XXXIII－。地球科学，（21）：46-47。
- 新井房夫（1971）：地形・地質、『前橋市史』第1巻，第1編「自然」，第2章，8-66。
- 新井房夫（1993）：上州の火山噴火の歴史。新井房夫編『火山灰考古学』，古今書院，30-53。
- Aramaki, S. (1963) : Geology of Asama volcano. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec.2*, **14**, 229-448.
- 荒牧重雄（1968）：浅間火山の地質。地団研専報14, 地学団体研究会，45pp.
- 荒牧重雄（1993）：浅間火山地質図。5万分の1, 地質調査所。
- Bird, M.I., Ayliffe, L.K., Fifield, L.K., Turney, C.S.M., Cresswell, R.G., Barrows, T.T., David, B. (1999) : Radiocarbon dating of "old" charcoal using a wet oxidation, stepped-combustion procedure. *Radiocarbon*, **41**, 127-140.
- 群馬県埋蔵文化財調査事業団（1996）：国道353号道路改築（改良）工事に伴う埋蔵文化財調査報告書第1集，（財）群馬県埋蔵文化財調査事業団調査報告第207集，389pp.
- 木越邦彦（1967）：炭素-14による年代測定の誤差とその補正。第四紀研究，**6**, 151-157。
- 木越邦彦（1976）：同位体，年代測定。日本化学会編『新実験化学講座 10 宇宙地球化学』，337-352。
- 木越邦彦（1977）：放射性炭素による年代測定。日本第四紀学会編『日本の第四紀研究 その発展と現状』，東京大学出版会，38-46。
- 久保誠二（2017）：群馬県南部に分布する前橋泥流堆積物中の埋もれ木。群馬県立自然史博物館研究報告，（21）：55-56。
- 久保誠二・中村庄八・小山和久・高橋陽一（1993）：地形・地質，長野原の自然，群馬県長野原町教育委員会，3-89。
- 前橋市教育委員会（2016）：国指定天然記念物 岩神の飛石 環境整備事業報告書，前橋市教育委員会，78pp.
- 能城修一（2014）：木材プレパレート標準作成法。分類，**14**, 97-99。
- Notsu, K., Kita, I. and Yamaguchi, T. (1985) : Mantle contamination under Akagi volcano, Japan, as inferred from combined Sr-O isotope relationships. *Geophys. Res. Lett.*, **12**, 365-368.
- Notsu, K., Aramaki, S., Oshima, O. and Kobayashi, Y. (1987) : Two

- overlapping plates subducting beneath central Japan as revealed by strontium isotope data. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, **32**, 195-207.
- Ramsey, C.B. (2009) : Baesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, **51**, 337-360.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Ramsey, C.B., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatte, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M. and van der Plicht, J. (2013) : Intcal 13 and marine 13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years Cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869-1887.
- 佐藤興平 (1992) : 関東地方の天然記念物, 地質ニュース, (453) : 25-37.
- 佐藤興平 (2016) : 巨石の天然記念物「岩神の飛石」の起源について. 群馬県立自然史博物館研究報告, (20) : 133-140.
- 佐藤興平・南 雅代・大島 治・鈴木和博・柴田 賢 (2017) : Sr同位体比からみた「岩神の飛石」の起源 (予報). 群馬県立自然史博物館研究報告, (21) : 29-38.
- Sekiya, S. and Kikuchi, Y. (1889) : The eruption of Bandai-san. *Jour. Coll. Sci., Imperial Univ., Japan*, **3**, 91-172.
- 高崎市史編纂委員会 (2003) : 『新編高崎市史, 通史編 1 原始・古代』, 高崎市, 717pp.
- 竹本弘幸・久保誠二 (1995) : 群馬の火山灰, みやま文庫, 前橋市, 180pp.
- 竹本弘幸・久保誠二 (2003) : 浅間火山, 応桑岩屑なだれ堆積物のテフラ層序. 日大文理自然科学研究所紀要, (38) : 55-64.
- Tomiyama, S., Minami, M., Nakamura, T., Mimura, K. and Kagi, H. (2016) : Changes of chemical structure and composition of charcoal by radiocarbon pre-treatments: Decontamination by ABA and ABOx treatments. *Radiocarbon*, **58**, 565-581.
- Vandeputte, K., Moen, L. and Dams, R. (1998) : Study of the <sup>14</sup>C-contamination potential of C-impurities in CuO and Fe. *Radiocarbon*, **40**, 103-110.
- 八木貞助・越 保 (1936) : 浅間火山地質図. 5万分の1, 信濃教育会北佐久部会, 『浅間火山』(八木貞助, 1936) 付図.
- 八ッ場ダム地域自然調査会編 (1993) : 長野原町の自然 : 八ッ場ダムダム湖予定地及び関連地域文化財調査報告書, 長野原町, 498pp.

