群馬県立自然史博物館研究報告(23)：57－64,2019
Bull.Gunma Mus.Natu.Hist.(23)：57－64,2019

原著論文

火山泥流に含まれる木片の^{14}C不一致年代：前橋泥流と塚原泥流の例

佐藤興平[1]・南　雅代[2]・中村俊夫[2]・柴田　賢[3]・
安部　久[4]・武者　巌[5]・池田信二[6]

[1]気象庁気象大学校：〒277-0852 千葉県柏市旭町7-4-81
[2]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
[3]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
[4]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
[5]〒371-0846 群馬県前橋市元総社町146-1
[6]〒385-0025 長野県佐久市塚原409-1

要旨：火山体の崩壊に起因する岩屑流や泥流は，流下の途中で地表付近の水や植物や土壌などの表層物質を巻き込んで流れ下る重力流であり，流下の途中で巻き込まれた樹木片は^{14}C年代測定試料として山体崩壊の時代を決める有力な手掛かりを与える．しかし，同一堆積物に含まれる木片が誤差の範囲を超えた明瞭な年代差を示し，古い年代は既存の堆積物に含まれる木片が再移動したと解される場合があるため，山体崩壊の時代判定には複数試料の注意深い収集と年代測定が必要である．ここでは浅間火山に起因するとみられる前橋泥流と塚原泥流で見出された樹木片の^{14}C年代測定例を報告する．木片の^{14}C年代から，約2.7万年前の山体崩壊の１万年以上前にも，規模は不明であるが，山体の一部崩壊が複数回あった可能性が浮かび上がってきた．

キーワード：^{14}C 年代測定，加速器質量分析，不一致年代，木片，山体崩壊，前橋，塚原，泥流，浅間火山，黒斑火山

Discordant ^{14}C ages of wood blocks from volcanic mudflow deposits: Examples for the Maebashi and Tsukahara deposits in central Japan

Sato Kohei[1], Minami Masayo[2], Nakamura Toshio[2], Shibata Ken[3],
Abe Hisashi[4], Musha Iwao[5] and Ikeda Shinji[6]

[1]*Meteorological College, Japan Meteorological Agency: Asahi 7-4-81, Kashiwa, Chiba 277-0852, Japan*
[2]*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University: Furo-cho, Chikusa, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan*
[3]*Formerly Dating and Material Research Center, Nagoya University: Kurozasa-Izumi 2-16-8, Miyoshi, Aichi 470-0232, Japan*
[4]*Forestry and Forest Products Research Institute: Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan*
[5]*Motosoja 146-1, Maebashi, Gunma 371-0846, Japan*
[6]*Tsukahara 409-1, Saku, Nagano 385-0025, Japan*

Abstract: Volcanic debris avalanche flow and mudflow caused by the collapse of volcanic edifices are gravity currents which involve surface materials including water, plants and near surface deposits. Wood blocks are useful materials for ^{14}C dating to identify the age of those hazardous events. However, wood specimens within an outcrop occasionally yield distinctly different ages exceeding the error of age dating. Older ages are interpreted to be results for reworked fragments from the deposits of preceding events. Careful sampling and measurement of wood specimens are required for the correct evaluation of the stability of volcanic edifices. Here, we present results of ^{14}C study for the Maebashi and Tsukahara mudflow deposits in central Japan. The results suggest, although scale is unknown, that collapses of Asama volcano occurred more than 10 ka before the main event of about 27 ka ago.

Key words: ^{14}C age, accelerator mass spectrometry (AMS), discordant age, wood, sector collapse, Maebashi, Tsukahara, mudflow, Kurofu volcano, Asama volcano

受付：2018年12月7日; 受理：2019年2月13日

1．はじめに

火山は噴火により火口の周辺に噴出物を堆積させる．同じ火口から噴火を繰り返す成層火山では，噴出物が積み重なって次第に山が高くなっていく．噴出物は溶岩だけでなく火山灰や岩片など多様な固形物からなるため，山体全体としては砕屑物を積み上げたような重力的には不安定な物体とならざるを得ない．このような不安定な山体や急斜面が，噴火活動による山体の変形や地震動をきっかけに崩壊することがある．山体急斜面の堆積物が噴火に伴う融雪や豪雨により土石流となって流下することもある．長い目でみれば，いずれも地球表層部の地形を平準化させる自然な現象とも言えるが，場合によっては大きな災害を引き起こす危険な現象でもある．

山体崩壊の例としては，水蒸気爆発に起因する1888年の磐梯山の例が世界的に有名であるが（Sekiya and Kikuchi, 1889），1980年に起こった米国西部ワシントン州のセントヘレンズ火山の噴火と崩壊は，近代的な観測態勢が整った中で起こった事変としてとくに注目を集めた（例えば，Lipman and Mullineaux, 1981）．この2つの事変はおよそ100年の時間を経て起こったことになる．世界全体では1世紀に一度位起こるのかも知れないが，個別の地域で見れば山体崩壊が極めて稀な事変であることも確かであり，歴史時代に起こり文書として記録が残っているという例は多くはない．このため，何をきっかけに山体崩壊が起こり，崩壊物がどの様に流下したかなどの詳しいことは余りよく分かっていない．実体解明のためには，現在残っている観察可能な堆積物などから過去の事変を探る以外にないのである．

日本各地の火山の麓には火山体からもたらされた堆積物が数多く認められるが，前橋台地を構成する前橋泥流もそのひとつである（註1）．これは火山岩角礫と比較的細粒の火山性砕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）．この厖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）は地層に含まれる重鉱物の組み合わせが浅間火山の噴出物に似ているとして，遠く離れた浅間山が供給源ではないかと考えた．一方，前橋市街の中心部にある天然記念物の巨石「岩神の飛石」は，赤城山起源とされていたが（例えば，新井，1971），Sr同位体を用いた最近の研究で浅間山起源であることがほぼ確実となり（佐藤ほか，2017a, b），前橋台地の形成に浅間山が深く関わっていたという歴史が具体的な地球化学的データを基に浮かび上がってきた．前橋泥流の堆積時期については，泥流に含まれる木片の^{14}C年代から，これまで古い年代測定値（新井，1967）を基に2.4万年前とされていた年代（註1）よりおよそ3000年も古い約2.7万年前（暦年代）であることも明らかになってきた（佐藤ほか，2018a）．

前橋泥流に似た堆積物は浅間山北麓の応桑や南麓の軽井沢から佐久市や小諸市にかけた地域にも知られている．これらには流れ山の地形が見られるが（八木・越，1936; Aramaki, 1963; 荒牧，1968, 1993；河内・荒牧，1979），新期の火山噴出物に被われるため露出が限られており，実態を把握しにくい面がある．南軽井沢の地層は塩沢泥流，佐久地域のそれは塚原泥流と呼ばれ（註2），それらの露出は千曲川やその支流の湯川の河岸に限られるが，両者を合わせると前橋泥流に匹敵する規模をもつ可能性もある（佐藤ほか，2017bの図4）．これら3地域に分かれて分布する地層群は，浅間火山の活動初期に存在した黒斑火山の崩壊によってもたらされたとされ，そのようなモデル図が受け入れられている（中村ほか, 1995, p.192；町田・白尾, 1998, p.68）．

山体崩壊などという地形・地質の激変は滅多に起こる現象ではないので，このようなモデル図は受け入れやすい．しかしながら，年代学的に十分な検証がなされているわけではなく，3地域の地層が本当に同時に堆積したのかどうか確認の必要がある．モデル図を描いた中村ほか（1995）自身も，「場所によっては流れ山内部にふくまれる岩石の種類が地表に露出する黒斑山をつくる岩石と全く異なるなど，同一の岩屑流堆積物であるのか（つまり大崩壊は一回だけだったのか）どうかまだ疑問が残っている」という重要な記述を残している（p.192-193）．

我々は「岩神の飛石」の起源を解明する研究をきっかけに（佐藤，2016; 佐藤ほか，2017a, b），前橋泥流の年代決定を踏まえて（佐藤ほか，2018a），上記の山体崩壊モデルにも興味をもち年代学的な検証に着手した．護岸工事による露頭の減少で検証作業は滞りがちであるが，60km近くも離れた前橋泥流と塚原泥流の露頭で（図1のAとB），我々自身も驚くような発見があった．それぞれ単一の露頭から，約2.7万年前（暦年代）の木片の他に，それより1万年以上古い木片が見出されたのである．冒頭で記述した泥流流下の状況を考えると，堆積時期より古い木片が再移動して紛れ込んでくることはあり得ることなのだが，調査を始めて間もなく相次いでこのような事例が見つかったことに驚いたのである．この事例は，黒斑火山で起こったとされる山体崩壊は一度ではなく，規模は不明であるが2.7万年前よりもさらに古い時代にも崩壊が起こった可能性を示唆している．木片から泥流の堆積時期を決めるにあたっては，複

数個の注意深い試料収集と年代測定が求められることを改めて認識させられたのである．ここでは同一露頭から異なる年代が見出された2箇所の事例について報告し，全体の調査結果についてはデータを補充し稿を改めて報告したい．

2．試料採取地点の地形・地質と木片の産状

図1には，同一露頭から異なる年代が見出された2つの地点（AとB）とともに，佐藤ほか（2018a）が報告した木片の産地（C）も示した．陰影図を基図として使用し，地域全体の地形判読の補助とした．この図には山体崩壊物の推定流下域を地紋で示したが，既に述べたように浅間山周辺では広い範囲が新期の火山噴出物により被われ，また河川沿いでは浸食で失われた堆積物も多いと考えられるため，この分布はあくまで推定の域を出ない．河岸にあった露頭も護岸工事で見えなくなっていることが多く，地層の産状や規模を正確に把握することは難しくなっているという現状がある．小さいながら幸運にも観察できた露頭の状態を以下に報告しておきたい．

A）群馬県前橋市南町の利根川左岸の河床

前橋市の南町と対岸の小相木町を繋ぐ南部大橋の下流約500mの左岸には，台地の上を流れてきた用水の放水口がある．標高は台地面が約100mで河床が約90mだから，河岸の崖は高さが約10mに及ぶ（註3）．南部大橋からこの放水口まで利根川は河床の左岸側を流れるため，河岸は護岸のコンクリートブロックに被われている．この用水の流下地点の下流側の河床に，川の流れに沿って40m近い範囲に泥流堆積物が断続的に露出しており，その一部に木片が見出された．直ぐ脇の流水中には長径4-5mの褐赤色火砕岩の岩塊がある．これらは河川の浸食で泥流堆積物中の岩塊が洗い出されてきたものと推定されるが，泥流堆積物との直接の接触関係は観察できなかった．この地点よりさらに下流側の川原は河川堆積物や草に被われて露頭は見えない．対岸には幅が50mを超える広い川原が広がっており，長径が4-7mの火砕岩塊が3個見られた．これらについても河川堆積物や流水に遮られて泥流堆積物との関係は確認できなかった．我々が見出した露頭は，利根川の河川敷でもたまたま浸食作用が堆積作用を上まわる地点にあたると解される．これまでの利根川の調査で，河床に前橋泥流と判定できる露頭が見られたのはこの地点だけである．

木片は上記の露頭に互いに5m余り離れて見出された．水平に近い状態で，利根川の流れに斜交するか（試料18043003），ほぼ平行な状態で（試料18043004）泥流堆積物の表面に一部が現れていた．掘り出された木片の長さはそれぞれ20cmおよび34cmであった．試料18043003は直径が

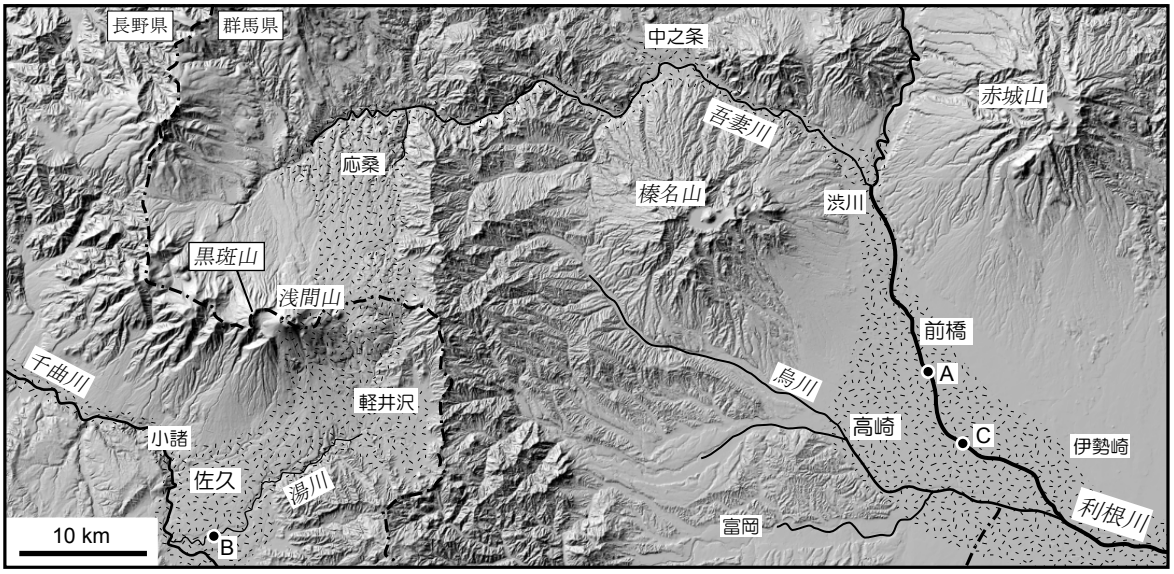

図1．^{14}C不一致年代が見出された露頭の位置．

A:前橋市南町利根川左岸側の河床（試料：18043003, 18043004），B:佐久市根々井の湯川右岸（試料：17050701, 17050702）C:佐藤ほか（2018a）の試料17020603の採取地点．地紋は山体崩壊物の推定流下域を示す．前橋周辺域については,「岩神の飛石」と酷似する岩質やSr同位体比（^{87}Sr/^{86}Sr）をもつ巨石の分布から推定したが（佐藤ほか，2018b），榛名山麓や図右下の利根川下流域についてはそのような証拠を得ていない．浅間山周辺域については，八木・越（1936）・荒牧（1962, 1968, 1993）および中村ほか（1995, p.192）を参照し，地形も考慮したが，浅間山近傍は新期噴出物に被われて詳細は不明である．また，河川沿いの堆積物の大半は浸食で失われたとみられ，流下時の状態は保存されていないが，分かり易くするため誇張して描いてある．地形を示す陰影図は国土地理院の電子国土Webを活用．

2-6cmで小枝の跡と思われる突起が多く，樹木の中でも先端部にあったと思われる．樹種はカラマツ属もしくはトウヒ属と鑑定された（表1，註4）．試料18043004は断面の長径が3-4cmで短径が2cm余りのかまぼこ型で，割れた樹木の一部と判断される．樹種はヒノキ属と鑑定された（表1）．露頭では現生植物の根の混入は認められず，試料の切断面に年輪が確認できることから，比較的保存状態の良い試料と思われる．古い露頭では樹幹の跡が円柱状の穴として残っているだけのことが多いが，この露頭は流水で表面が更新されることで保存状態の良い木片が出現していたのであろう．

この露頭は流水の脇にあるため湿っていて土質な感じを与えるが，佐藤ほか（2018a）で^{14}C年代を報告した木片を含む前橋泥流（図1のC地点）との違いを見出すことは難しい．上記2つの試料周辺の泥流堆積物の基質に違いは認め難く，2つの木片の産出地点の間に何らかの境界を見出すこともできなかった．野外では単一の泥流堆積物の中に2つの木片が含まれているとしか思えない産状であった．

B）長野県佐久市根々井の湯川右岸

佐久市の根々井で湯川をわたる県道139号線の橋の上流数100m付近の右岸は，塚原泥流からなる台地（標高約670m, 註3）を湯川が削り込んでできた比高6-8mの崖になっている．蛇行する湯川が南に向きを変えた部分にあたり，対岸には水田や畑が広がる．崖の下半分は護岸のコンクリートで被われているものの，上部のほぼ垂直な露頭の南端部で塚原泥流を観察することができた．上記の前橋泥流の露頭（A）や佐藤ほか（2018a）で報告した露頭（C）と比べると，基質の微細粒子の割合がやや少なく，河床礫と思われる円摩された礫は見られないが，火山岩塊（径3-20cm, 稀に径50cm）を含む不淘汰な堆積物であることは前橋泥流と同様である．高さ3-5mの露頭の最上部には厚さ1-2mの礫層が見られ，その上にはケヤキの大木の根幹部が1m近くも張り出している．不明瞭ながらほぼ水平な堆積構造をもつこの礫層は，1-5cmの火山岩の亜円礫を主とする地層で，泥流流下後の二次堆積物と思われる．大木が崖の上に張り出しているのは，湯川の浸食で崖の面が後退してきた経過を物語る．比較的保存良好な木片が残っていたのは，このような露頭面の更新のためであろう．

この露頭でも2本の木片が発見された．いずれも露頭面の中段付近にあって，上流側の試料17050701は，長さと直径が約20cmおよび3-7cm，N40°E方向のほぼ水平の状態で3分の2位が露頭面に現れており，周辺がいくぶん腐食して外形がやや不規則な形状を呈していた．樹種はモミ属と鑑定された（表 1）．一方，下流側5.5mの露頭面で見出された試料17050702は，直径が12cmの円柱状で，N70°W方向で40°近い傾斜で東に傾いた形で露頭面から少し突き出しており，木片の全長は不明である．この木片は外観では試料17050701のような腐食は見られないが，樹幹の延びの方向に割れやすく，採取時に1-2cm角の柱状木片に分解してしまった．樹種はトウヒ属と鑑定された（表 1）．いずれの木片にも現生植物の根の混入は見られず，切断面には年輪が確認された．

この二つの木片の周囲の基質には違いが認められず，両者の間に何らかの境界面を見出すこともできなかった．崖の上部にあるためか，A地点と比べて露頭全体に水分が少ない状態ではあるが，単一の泥流堆積物の中に2つの木片が含まれているとしか思えない産状はA地点と同様であった．

3．木片試料の^{14}C年代の測定と結果

木片試料の年代測定は，前処理や測定用グラファイトの調製を含めて名古屋大学宇宙地球環境研究所で行われた．地層に埋没している間に周囲から混入する可能性のある炭酸塩や腐植酸（フルボ酸・フミン酸）などの炭素を含む外来物質の影響を取り除くため，本研究では試料に対してABA処理（Acid-Base-Acid処理）と称する酸－アルカリ処理を繰り返す化学処理を経た後に^{14}C年代測定用のグラファイトを作成した．この手法の詳細については前報（佐藤ほか，2018a）を参照されたい．^{14}C年代の測定は，タンデトロン加速器質量分析計2号機（4130-AMS by HVEE）を用いて行われた．標準物質としてはシュウ酸（NIST SRM4990）を，ブランクとしては^{14}Cを含まないシュウ酸を用いた．^{14}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．これも前報と同様であるが, 今回は慎重を期するため, 前処理から年代測定に至る全工程を2回繰り返した．これらのデータをまとめて表1に示した．2回の測定は1試料を除いてほぼ等しい年代値を与えており，今回の結果は信頼度の高い年代値と考えられる．問題の1試料18043004は2回の測定結果が3.5kaほど異なるので，部位（今回は中心部と周辺部）によっては汚染を受けていると判断し，古い方の年代を表示した. ただし, この年代はブランク値に近かったためバックグランド補正を行っていない値であり，実際の年代はさらに古い可能性が高い．この試料については試料調製時の補正もできていないため，厳密には再測定で検証の必要があり，表の年代値は暫定値として提示したものである．

表1．前橋泥流と塚原泥流に含まれる樹木片の^{14}C年代．
Table 1 ^{14}C ages of wood blocks from the Maebashi and Tsukahara mudflow deposits

Locality[1)] Sample number	Species[2)]	Size（cm） diameter	length	Lab.Code # NUTA2-	δ^{13}C （permil）	^{14}C age[3)] BP（±1σ）	Calibrated age based on IntCal13 calBP（±2σ）	Remarks
Maebashi mudflow depiosit								
A 18043003	*Larix or Picea*	2-6	20	26139	-27.5	22,590±80	27,215-26,585	This study
				26140	-26.9	22,570±80	27,196-26,570	This study
A 18043004	*Larix*	2-4	34	26142	-23.8	38,780±170[4)]	43,019-42,407[4)]	This study
C 17020603	*Picea*	6-7	25	24511	-25.2	22,570±60	27,180-26,589	Sato et al.（2018a）
Tsukahara mudflow deposit								
B 17050701	*Abies*	5	12	25209	-23.0	22,357±65	27,013-26,336	This study
				26135	-22.7	22,881±79	27,447-27,034	This study
B 17050702	*Picea*	10	12+	25586	-22.6	33,754±151	38,652-37,729	This study
				26138	-20.6	34,184±164	39,040-38,341	This study

1）Localities A, B and C are shown in Figure 1.
A: Left bank of the Tone River at Minami Town in Maebashi City, Gunma Prefecture
B: Right bank of the Yukawa River at Nenei in Saku City, Nagano Prefecture
C: Right bank of the Tone River at the northern end of Tamamura Town in Sawa District, Gunma Prefecture
2）Species were identified by H.Abe and M.Kojima of the Forestry and Forest Products Research Institute in Tsukuba.
3）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.
4）This age was not corrected by ^{14}C background（see the text for details）.

4．考察：一致年代と不一致年代

今回の検討で得られた重要な結果は2つに分けられよう．ひとつは60km近くも離れた火山泥流の露頭から得られた対の木片試料のひとつが，一致する年代を与えたことである．もうひとつはそれぞれの露頭の他の木片が，一致年代とは異なる明瞭に古い年代を与えたことである．この関係を図2に示す．この結果について若干の考察を試みたい．

4.1. 一致年代（22.6kaBP）の意義

一致年代とした若い方の年代は，2回の測定の平均値で，前橋泥流A露頭が22.6kaBP, 塚原泥流B露頭が22.6kaBPと等しく，しかも前報で報告した前橋泥流C露頭の22.6kaBPにも一致する．この一致は見事なので，ここではこれを「一致年代」と呼ぶことにする．山体崩壊で大規模な火山泥流が発生するというような地形・地質の激変は頻繁に起こる事変ではないだろうという視点に立てば，この一致は偶然ではなく，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泥流であるという既存の説とも調和的である．図2は我々自身による試料採取と年代測定の結果を比較したもので,前橋泥流に関する大半のデータが今回の「一致年代」に極めて近いことから，これが黒斑火山崩壊事変の年代と判断した．佐藤ほか（2018a）は予察であったが，最初の測定で前橋泥流の年代が精度良く決定できたのは幸運であったと言うべきであろう．ただし，塚原泥流については，年代が得られたのは1露頭にとどまっている．他の露頭の試料については検討を終わっていないので，最終的な結論は控えるべきかも知れない．南軽井沢に露出する塩沢泥流や浅間山北麓の応桑泥流については，まだ木片試料を見出しておらず，それらの年代について議論できるだけの手持ちのデータはなく，今後の課題として残されている．

4.2. 不一致年代（>22.6kaBP）の意義

今回の結果で我々が「一致年代」（22.6kaBP）と同等かそれ以上に重要と捉えたのが，それより明瞭に古い年代であった．前橋泥流A露頭では，上記の「一致年代」より16ka古い約39kaBPの年代が得られたが，この年代値も実際には39kaより古い可能性が高いと考えられる．塚原泥流B露頭では「一致年代」より11-12ka古い年代値が得られた．いずれの露頭でも1万年以上も年代差のある木片が共存していたのである．ここではこれらの古い年代を「不一致年代」と呼ぶことにする．この原因をどう解釈すべきであろうか．既述のように，野外観察では異なる年代を示した木片の産状に違いを見出すことはできなかった．我々はこれら古い年代を示した木片が，一時代前の堆積物に含まれており，それが新期（22.6kaBP, 暦年で約2.7万年前）の泥流に巻き込まれたものと考える．少なくとも，これらの古い木片は地表に存在したのではなく，堆積物に埋もれていたことは間違いない．もし地表にあれば，古い露頭の木片が円柱状の穴を残して消失している例が多いという経験からも容易に分かるように，腐朽して消滅してしまったであろう．その堆積物が何であったかは不明であるが，木片には

炭化の証拠が見られないので，火砕流堆積物や溶岩流ではなかったと考えられる．それらは前橋泥流や塚原泥流の流下経路に存在したのであるから，これらの泥流堆積物と似た火山泥流堆積物であった可能性が高い．そうであれば，たとえ時代が多少異なる堆積物であっても混入の痕跡は見出しにくいと思われる（註5）．このような再移動現象は古生物分野ではreworked fossil（誘導化石，二次化石）としても知られており，今回見出された古い年代を示す木片はその一例とも言えよう．

冒頭で述べたように，岩屑流や泥流は流下の途中で様々な地表物質を取り込む可能性が高い．前橋泥流には現在の利根川河床で見られるような花崗岩質岩の円礫が含まれている．塚原泥流にはそのような証拠が見出されていないが，他地域の泥流でも類似の現象が観察されることがある．富士山から2.2万年くらい前に発生した「富士相模川泥流」は，桂川－相模川の谷を流下する途中で四万十帯や丹沢層群の巨礫を取り込んで流れたことが知られている（町田・久保，2009, p.163）．このように考えると，泥流堆積物の年代決定には慎重さが求められることが再認識される．複数の木片の年代測定が不可欠と言えよう．信頼度の高い年代値が複数得られた場合，原理的にはもっとも若い年代を堆積年代として採用すべきであるが，小規模な二次的再堆積の影響で主たる事変を見逃す可能性も排除できないから，注意深い総合的な判断が求められる．

さて，以上のように今回見出された古い「不一致年代」が，約2.7万年前の前橋泥流より前にも泥流が発生していたことを示すのだとすると，浅間火山の活動初期に存在した黒斑火山の歴史にも新たな視点をもたらすことになろう．その泥流の原因や規模は不明であるが，一回だけの山体崩壊で周辺の泥流堆積物がもたらされたという通説には修正が求められ，山体崩壊という現象は複数回起こった可能性が浮かび上がってくるからである．古い泥流の規模を推定できるだけの証拠はないが，山麓の森林分布域まで達して樹木を巻き込んだとすれば，山体斜面の一部が地すべりを起こしたというような小規模なものではなかったかも知れない．「不一致年代」が示す4万年前頃には（表1），山体の一部が崩壊するほどの高さと傾斜をもつ火山体が形成されていたことを物語るのではなかろうか．当時は最終氷期の寒冷な気候のため，森林限界は現在より低かったであろう．現在より標高の低い地帯に広がる森林地帯まで到達した泥流は，規模も流走距離も小さくはなかったと想像できる．当時の浅間山周辺にどの様な森林環境が展開していたのか，これも興味深い考察要素である．一方，泥流の発生原因については更に手掛かりに乏しい．前橋泥流については，泥流堆積物が板鼻褐色軽石群に挟まれるという層序対比（竹本・久保，2003）を基に，黒斑火山がマグマ噴火を繰

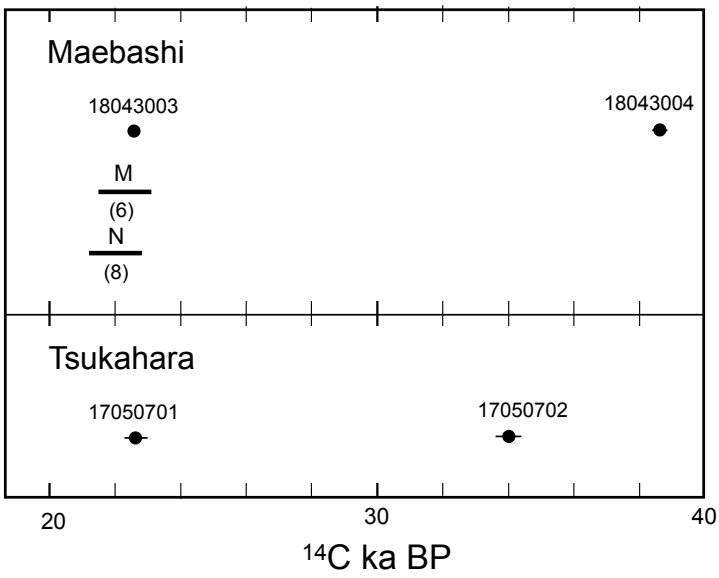

図2．前橋および塚原泥流堆積物から採取された木片の^{14}C年代．

名古屋大学によるAMS-^{14}C年代測定データのみを示す．試料番号を付けたデータが今回報告するもので，2回の測定の平均値を黒丸で示し，細い横線は誤差の範囲も含めたデータ範囲を示す（質量分析計の測定誤差は丸の範囲内．横線がない18043003は2回の測定結果が一致したもの）．太い横線は，M: 佐藤ほか（2018a）および未公表5試料の年代幅，N: 前橋市中央大橋付近で1994年に採取・測定された木片のデータ範囲（中村，未公表）で，下の括弧内は試料数．

り返す中で山体崩壊が発生したと考えたが（佐藤ほか，2018a），これも直接の原因は地震であったかも知れない（註6）．今回見出された古い年代値に対応するような噴火活動を記録したテフラが存在するのかどうかも含めて，黒斑火山形成史に関する年代学的なデータを蓄積していく必要があろう．

5．まとめと今後の課題

今回の検討結果は以下のようにまとめられる．

1）群馬県前橋市に産する前橋泥流と長野県佐久市に産する塚原泥流の露頭から，それぞれ1万年以上の年代差を示す2個の木片を見出した．若い方の年代値（22.6 kaBP）は既報の前橋泥流の堆積年代である約2.7万年前（暦年代）に一致し（佐藤ほか，2018a），浅間山の黒斑火山の山体崩壊に起因する火山泥流の堆積年代を示していると解される．前橋泥流と塚原泥流の分布域は大きく隔たっているが，同一の事変を記録した堆積物だと考えられる．

2）一方，古い方の年代値（34, 39 kaBP）を示した木片は既存の泥流堆積物から再移動してきたと考えられ，泥流堆積時期の年代決定には複数の試料の慎重な検討が必要であることが再認識されるとともに，黒斑火山の山体あるいは斜面の崩壊が約2.7万年前以前にも複数回起こった可能性が浮かび上がってきた．

検討した試料の数が限られているため，最終的な結論を得るまでにはさらに測定試料を追加する必要がある．中村ほか（1995）が「大崩壊は一回だけだったのか？」と疑問を呈した理由は，泥流中の岩石が現在露出する黒斑山の岩石と異なることであった．彼らはその違いについて詳述していないが，泥流の起源を探るためには，年代だけでなく，構成岩石の比較研究も必要になってこよう．残された課題は多い．

謝辞

森林総合研究所の桃原郁夫・児嶋美穂の両博士は，年代測定試料の樹種鑑定にあたりご支援くださった．東京都立大学名誉教授の町田　洋博士は原稿の査読を通じて数多くの貴重なご助言をくださった．それらに応えきれなかった部分もあり次の報告で補いたい．懇切丁寧な査読に篤くお礼申し上げる次第である．

＜註＞

註1）前橋泥流の堆積時期を示す既存の学術的な年代データは，新井（1967）による24,000±650BPがほとんど唯一のものであった．当時の^{14}C年代の測定法や年代学の時代背景は現在とは異なるので，我々の得た年代値（22,570±60BP; 佐藤ほか，2018a）との厳密な比較は難しい．1960年代には1万年を超えるような古い年代値を補正して暦年代を求める手法は確立されていなかったので，新井の年代値は暦年代ではないと解されるが，この年代値がそのまま暦年代の様に「前橋泥流は2.4万年前」と見なされる例が多かった．なお，新井が木片を採取した地点は前橋駅西側にある利根川左岸の崖であるが，現在は護岸工事が施されて露頭は見えなくなっている．

註2）「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」と表記する方が正確であろう．また，山体崩壊に起因する堆積物に対して「岩屑なだれ堆積物（debris avalanche deposit）」の用語もよく使われるが，佐藤ほか（2018a）と同様に，ここでも広く定着した感のある「前橋泥流」の用語を用いる．これと合わせて，軽井沢－佐久地域の類似堆積物についても「泥流」（荒牧，1962, 1968; 軽井沢町誌刊行委員会, 1978）の用語を用いるが，八木・越（1936）と荒牧（1993）は「岩屑流」を用い，河内・荒牧（1979）は「塚原泥流」相当層に「岩尾層」の名称を与えている．実際には，「泥流」と「岩屑流」の境界は余り明確ではない．流動化に関わる水の量が極めて少ない場合は泥流と区別して岩屑流（なだれ）と呼ばれることがあるが（町田1984; 町田・久保，2009），現在残る堆積物から流動時の含水量を見積もるのは容易ではなく，水が存在しないかごく少ない衛星や惑星でも流動性に富む重力流の地形が認められることから（例えば，町田，1984; McEwen, 1989; Pudasaini and Miller, 2013），含水量は流動化を支配する主要な要素ではないという見方もできる．ここでは当面「泥流」の用語を用い，構成物の粒度分布や含水量のような定量的な分類基準が明確になった時点で「岩屑流（なだれ）」という用語も使うことにしたい．いずれにしても，「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や地層までも巻き込んだ重力流であったと推定される．「塩沢泥流」や「塚原泥流」および「応桑泥流」については，これまで我々は河床礫のような混入物を見出していないが，「前橋泥流」に比べて微細粒成分がやや少ないことは指摘できる．「塚原泥流」や「応桑泥流」に流れ山が認められる地形的な特徴も，これらが「前橋泥流」とは異なる点として挙げられるかも知れない．「前橋泥流」は流走距離が長かっただけでなく，利根川による浸

食や堆積の影響で堆積時の地表地形はかなり改変されている可能性がある（佐藤ほか，2019）．堆積面の地形的な差異には2次的な改変の要素も反映されていると思われる．

註3）標高は国土地理院の電子国土Webを参照（データソースはDEM5A）．

註4）樹種の鑑定法は佐藤ほか（2018a）と同様．

註5）古い木片を保持していた堆積物も当然混入しているはずであるが，野外調査ではそれを認識することはできなかった．これは新期の泥流が同じ給源からもたらされた既存の堆積物を取り込んで混合した結果，新旧の構成物を識別するのが難しくなっているためだと解した．塚原泥流の場合は流走距離が短く他の火山に由来する堆積物を巻き込んだ可能性は考えにくいので，この解釈には合理性があろう．しかし，これがそのまま流走距離の長い前橋泥流に当てはまるとは限らない．厳密には，例えばここで検討したA露頭から採取した多数の岩塊や砂粒のSr同位体比が浅間火山のデータ範囲に入ることを示すというような手法も考えられるが，完全な証明は難しく，かなりの時間と労力を要する検証作業となろう．ただ，前橋の「岩神の飛石」（佐藤ほか，2017a, b）や高崎の「聖石」（佐藤ほか，2019）だけでなく，これまでに検討した巨石と，A露頭とは別の地点ではあるが同一露頭から採取した3個の安山岩塊（径20~40cm）のSr同位体比が，全て浅間火山のデータ範囲に入ることから（未公表），「野外観察では識別できないが起源は異なる」というような火山泥流が混入している確率は低いだろうと推定している（佐藤ほか，2018b）．

註6）板鼻褐色軽石群（As-BP）の年代は，町田・新井（2003, p.136）では20-25kaとされ，竹本・久保（2003, p.61）はAs-BPに挟まれる応桑岩屑なだれ堆積物（本稿では応桑泥流）の年代を「テフラ層位から^{14}C法で約2.3万年前」と見積もっている．これは前橋泥流についての我々の見積もり（約2.7万年前，佐藤ほか，2018a）とは一致しない．ただし，明記されていないが，もし彼らの見積もりが較正されていない年代であるなら，我々の年代値（22.6kaBP）に近い．

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^{14}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.

荒牧重雄（1962）：浅間火山地質図，荒牧（1968）「浅間火山の地質」地団研専報14，付図．

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．

軽井沢町誌刊行委員会（1987）：軽井沢町誌，自然編，388pp.

河内晋平・荒牧重雄（1979）：5万分の1地質図幅「小諸」，地質調査所．

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.

Lipman, P.W. and Mullineaux, D.R.（eds.）（1981）: The 1980 eruption of Mount St.Helens. U.S. Geological Survey Professional Paper 1250, 844pp.

町田　洋（1984）：巨大崩壊，岩屑流と河床変動．地形，**5**（3），155-178.

町田　洋・新井房夫（2003）：新編火山灰アトラス－日本列島とその周辺．東京大学出版会，336pp.

町田　洋・久保純子（2009）：富士・箱根火山の活動と相模原．相模原市史，自然編，相模原市，157-173.

町田　洋・白尾元理（1998）：写真でみる火山の自然史．東京大学出版会，204pp.

McEwen, A.S.（1989）: Mobility of large rock avalanches: Evidence from Valles Marineris, Mars. Geology, vol.17, 1111-1114.

中村一明・松田時彦・守屋以智雄（1995）：火山と地震の国（新版 日本の自然1），岩波書店，371pp.

Pudasaini, S.P. and Miller, S.A.（2013）: The hypermobility of huge landslides and avalanches. Engineering Geology, 157, 124-132.

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（2017a）：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.

佐藤興平・南　雅代・鈴木和博・柴田　賢（2017b）：火山体崩壊に起因する火山災害軽減のためのパイロット研究：Sr同位体比から見えてきた巨石の天然記念物の起源．名古屋大学年代測定研究，**1**, 44-50.

佐藤興平・南　雅代・中村俊夫・柴田　賢・児嶋美穂・武者　巌（2018a）：木片の^{14}C年代測定による前橋泥流堆積時期の再検討（予察）．群馬県立自然史博物館研究報告，(22)，95-101.

佐藤興平・南　雅代・中村俊夫・武者　巌・柴田　賢（2018b）:火山体崩壊に起因する火山災害軽減のためのパイロット研究：木片の^{14}C年代と火山岩塊のSr同位体比からみた前橋泥流の時空分布．名古屋大学年代測定研究，**2**, 35-39.

佐藤興平・南　雅代・武者　巌・柴田　賢（2019）:高崎の烏川に産する巨石「聖石」の起源．群馬県立自然史博物館研究報告，(23)，49-56.

Sekiya, S. and Kikuchi, Y.（1889）: The eruption of Bandai-san. *Jour. Coll. Sci., Imperial Univ., Japan,* **3**, 91-172.

竹本幸弘・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．日本大学文理学部自然科学研究所紀要，(38)，55-64.

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．