

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

**A pilot study on the mitigation of volcanic hazard caused by a collapsed volcano:
Source of a large andesite block, a natural monument in Maebashi, central Japan, inferred
from $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio**

佐藤興平^{1*}・南 雅代²・鈴木和博²・柴田 賢³

Kohei Sato^{1*}, Masayo Minami², Kazuhiro Suzuki² and Ken Shibata³

¹ 気象庁気象大学校・² 名古屋大学宇宙地球環境研究所・³ 元名古屋大学年代測定資料研究センター

¹ Meteorological College, Japan Meteorological Agency, Asahi Kashiwa 277-0852, Japan,

² Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan

³ Formerly Dating and Material Research Center, Nagoya University, Kurozasa-Izumi, Miyoshi, 470-0232, Japan

* Corresponding author: E-mail: satoko7117@tbz.t-com.ne.jp

Abstract

A large block of andesitic agglutinate at Iwagami in Maebashi was designated as a natural monument in 1938 in appreciation of its massive size and isolated presence in the surrounding flat area. The source of this block has remained an enigma for many years. The block probably derived from Akagi or Asama volcanoes by mudflow. While these two possible sources are hard to discriminate in terms of major element concentrations, our previous report indicated that strontium (Sr) isotope analysis may provide a convincing clue to the origin of the block, as the volcanic rocks of the two volcanoes show remarkably different $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios. A preliminary Sr isotope analysis of a specimen collected from the block suggests that it was derived from the Asama volcano, not from the Akagi and Haruna volcanoes located near Maebashi. The results of a major element analysis are also consistent with the data for volcanic rocks from the Asama volcano. Additional data on the age and chemistry of volcanic rocks from possible sources will be required for a more definitive conclusion, as older volcanic rocks (ca.6–2Ma) beneath the Onoko and Komochi volcanoes show isotopically similar values to those of the Asama volcano. An investigation of the genesis of the mudflow and transporting mechanism responsible for the movement of the large block over so great a distance will also provide important evidence on the origin of this unique natural monument.

Keywords: Natural monument; Maebashi, andesite; Asama volcano; Sr isotope

1. はじめに

前橋市中心部の岩神神社には、1938年に国の天然記念物に指定された「岩神の飛石」がある（図1）。これは古くから前橋の名所に数えられていた安山岩の巨大岩塊で、群馬県内にある国指定地質系天然記念物7件のひとつとなっている（佐藤，1992, 2016）。この巨大岩塊は何故ここにあるのか、天然記念物指定当時から諸説があり、起源は今も完全には解き明かされていない謎である。天然記念物指定に当たって調査した報告書では、赤みを帯びた外観と斑晶鉱物の特徴に着目して類似の岩石を赤城山まで追跡し、供給源は赤城火山と結論していた。その後、前橋台地を構成する前橋泥流は浅間火山起源であるとの見解が出てきたことにより、赤城起源の岩塊が前橋泥流で現地まで2次的に運ばれてきたとの説が現れ、現地の解説板にもそのような趣旨の説明が書かれている。近年は、この巨大岩塊は遙か離れた浅間山から山体崩壊に伴う泥流で運ばれて来たという意見も出されている（佐藤，2016；前橋市教育委員会，2016）。供給源は赤城山なのか、浅間山なのか、この問題を解き明かすことは、郷土の自然史解明という学術的な意義だけでなく、長期的な火山防災の視点からも重要な課題と考えられる。

赤城火山と浅間火山は、いずれも複輝石安山岩を主とし、全体としては類似の主成分組成をもつので、「岩神の飛石」の主成分組成を両火山と対比して起源を特定するのは難しい。天然記念物指定時の報告書が着目した赤っぽい外観と角閃石斑晶についても、両方の火山に見出されるので、厳密な判定基準とするには無理がある。ところが、群馬県とその周辺の火山については、既存の研究でSr同位体組成の特徴が判明しており（例えば、Notsu et al., 1985, 1987）、とくに赤城火山と浅間火山の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の違いは際だっていることが注目される。地理的に両火山の間に位置する榛名火山は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比でも両火山の中間にあって、3つの火山のデータが重複することはない。したがって「岩神の飛石」の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を測定することで容易に起源を特定できるとの着想を得て、そのような同位体地球化学的研究を提案した（佐藤，2016）。その後、前橋市教育委員会が採取した試料のひとつを分けていただき、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比と主成分元素組成を測定することができた。得られた $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、「岩神の飛石」の供給源が赤城火山ではなく、榛名火山とも考えられないことを示している。検討した試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比と主成分組成は浅間火山のデータと調和的であるが、類似の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は榛名火山とその北側に隣接する小野子・子持両火山の基盤に産するやや古い火山岩（ca.6-2Ma）でも得られているので（野津ほか，1987）、「岩神の飛石」の起源を確定するためには更なる検討が必要である。ここでは、今回の検討結果を予報として報告し、今後の課題について考えてみたい。



図1 「岩神の飛石」

地表面からの高さは10 m.佐藤(2016, 図1).

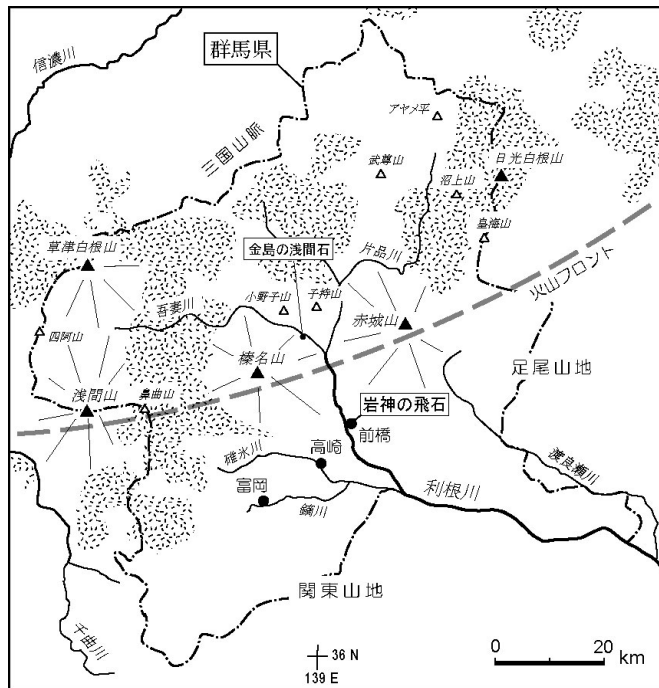


図2 群馬県内の巨石の天然記念物と火山の分布。

黒三角は活火山（気象庁 HP）、白抜きの三角は県内の第四紀火山のうち 2Ma 以降のもの、地紋の部分は中新世－鮮新世火山岩類（地質調査所，1992）。「金島の浅間石」は 1783 年（天明 3 年）浅間山の噴に起因する泥流（天明泥流）で運ばれてきた安山岩の巨大岩塊。

2. 前橋台地と「岩神の飛石」

「岩神の飛石」は前橋の市街地が広がる台地の平坦面に存在する。この前橋台地は、主に火山泥流堆積物（前橋泥流堆積物、厚さ 10～10 数 m）からなり、その上を火山灰や砂礫や泥炭などからなる 3 m 前後の地層が被う（新井，1971）。泥流堆積物の下には過去の利根川の扇状地堆積物とみられる砂礫層（前橋砂礫層）が厚く堆積している。

前橋泥流堆積物は火山岩角礫と細粒の火山物質が渾然一体となった無層理の凝灰角礫岩で、火山泥流が流下の途中で巻き込んだとみられる円礫や樹木片も含む（新井，1971）。樹木片に炭化は見られず、泥流が低温であったことを示唆する。放射性炭素（ ^{14}C ）年代測定で得られた樹木片の約 24000 年前という年代値が、泥流の堆積年代を示すとされている（新井，1967）。岩片（一般に、火山岩角礫は 3–50 cm、円礫は 5–10 cm）とその間を埋める火山灰質基質の割合は 4 対 6 程度である。供給源からもたらされたとみられる火山岩角礫の多くはガラス質な複輝石安山岩であって、基質の重鉍物も紫蘇輝石・普通輝石・磁鉄鉍が主体で角閃石はほとんど含まれていないという。このような岩石・鉍物の特徴が浅間火山の噴出物に似ていることから、新井（1971）は、前橋泥流は浅間火山で発生した応桑泥流に対比される可能性があると指摘し、後に新井（1993）は前橋泥流と応桑泥流は同一のものと断定している。

「岩神の飛石」は前橋台地の平坦面に孤立して存在する高さ 10 m に及ぶ巨大な岩塊である。しかし、これは単一の岩塊ではなく、複数の角張った岩塊が組み合ったかのように重なり合った状態で存在するので岩塊群とも言える（図 1）。岩塊の基部は台地表層部を構成する砂礫層に埋もれているが、最近行われたボーリング調査で、地下約 10 m まで続き前橋泥流堆積物の上に乗ることが確認されたという（前橋市教育委員会，2016）。

「岩神の飛石」は赤褐色の溶結火砕岩からなる（佐藤ほか，2017）。赤みを帯びた色調は溶結火砕岩によく見られる特徴で、火口周辺に堆積直後に高温状態で酸化されたためと考えられる。西側から見ると（図 1）、空隙の少ない塊状の部分とやや空隙の多い層状部分が北傾斜の層状構造をなし、この構造の連続性が中央の大きな割れ目によっても断たれていないことが注目される。このことは、岩塊が 2 次的な移動を経て現地に集積したのではないことを示唆する。

3. Sr 同位体比を測定した試料と測定結果

1) 測定試料

Sr 同位体比を測定した試料 IG-1 は、「岩神の飛石」中央の塊状部から採取された。新鮮な断面では全体が赤褐色を呈し、微かではあるが一部に灰色の薄いレンズ状の溶結構造が見られる（佐藤ほか, 2017）。偏光顕微鏡による薄片の観察によると、斑晶は自形の斜長石 (<2 mm)・普通輝石 (<1.5 mm)・紫蘇輝石 (<1 mm) および磁鉄鉱 (<0.5 mm) からなり、角閃石は認められなかった。石基は主に火山ガラスからなるが、脱ガラス化により透明感は失われている。輝石斑晶の周辺部が酸化を受けて赤色化し、微斑晶では内部まで赤色化している例も見られる。熱水変質を受けたというような兆候は認められない（佐藤ほか, 2017）。

分析用の粉末は、薄片を作成した小岩片と隣り合う 80 g 程度の小片を切り出して作成した。分析用粉末の調製に当たっては、異物の混入を防ぐため、試料と粉碎用乳鉢の洗浄に細心の注意を払った（佐藤ほか, 2017）。

2) Sr 同位体比と全岩化学組成の測定

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の測定は名古屋大学に設置された表面電離型磁場型質量分析計を用いて行った。試料の前処理や測定条件などの詳細については、佐藤ほか（2017）を参照されたい。4 回の測定で得られた $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の平均値は 0.704152 ± 0.000011 となった（佐藤ほか, 2017）。この値は浅間火山の $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ 比とほぼ一致し、赤城火山のデータからはかけ離れている（図 3）。

Sr 同位体比を測定した粉末につき、名古屋大学宇宙地球環境研究所に設置された蛍光 X 線分析装置を用いて、全岩化学組成も求めた。測定法の詳細については中崎ほか（2004）を参照されたい。得られた結果は、浅間火山の火山岩の文献データと良く一致する（佐藤ほか, 2017）。

4. 考察：「岩神の飛石」と前橋泥流の起源

1) 「岩神の飛石」の起源

「岩神の飛石」について今回得られた $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を群馬県内の第四紀火山と比較してみよう。図 2 に示した火山は、いずれも利根川上流域に分布し、前橋に碎屑物を供給し得る位置にある。これらは以下の 3 群に分けられる。すなわち、(1) 群馬県北東部（日光白根山・武尊山など）、(2) 群馬県中央部（赤城山・榛名山など）、および (3) 群馬県北西部（浅間山・草津白根山など）である。

(1) と (2) の火山はいずれも「岩神の飛石」より高い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比をもち、(3) の群馬県北西部にのみ対比可能な火山が分布することが判明した（佐藤ほか, 2017 表 3）。この中で、過去に大規模な泥流が発生したことが知られている浅間火山が（例えば、八木, 1936; Aramaki, 1963）、「岩神の飛石」の供給源として最も有力と考えられる。

しかし、さらに詳しく調べると、実際にはもう少し複雑である。それは、榛名山とその北側に隣接する小野子山と子持山の基盤にも「岩神の飛石」に似た $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比をもつやや古い火山岩（ca. 6–2 Ma）が見出されているからである（野津ほか, 1987）。図 3 には、「岩神の飛石」とその起源として問題になりそうな火山の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比をまとめて示した。フォッサマグナ中央部から伊豆半島に至る地帯の火山列を代表する例として八ヶ岳と富士山のデータ範囲も示してある。この図からも、「岩神の飛石」の起源を近くの赤城火山に求めることはできないばかりか、榛名火山や小野子・子持両火山に求めることも難しいということが明瞭に見てとれる。「岩神の飛石」の起源について新井（1971）は、赤城火山起源の流れ山が前橋泥流で 2 次的に移動したという“赤城火山起源 2 段階流下説”とも称すべきシナリオを提案したが、今回の検討結果は、天然記念物指定時の調査報告の見解だけでなく、この説も否定することになった。一方で「岩神の飛石」の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が浅間火山の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比とほぼ一致するという今回の結果は、この巨石の起源が浅間火山にあることを強く示唆するだけでなく、前橋泥流が浅間火山起源であるという見解（新井, 1971, 1993）を支持することになる。

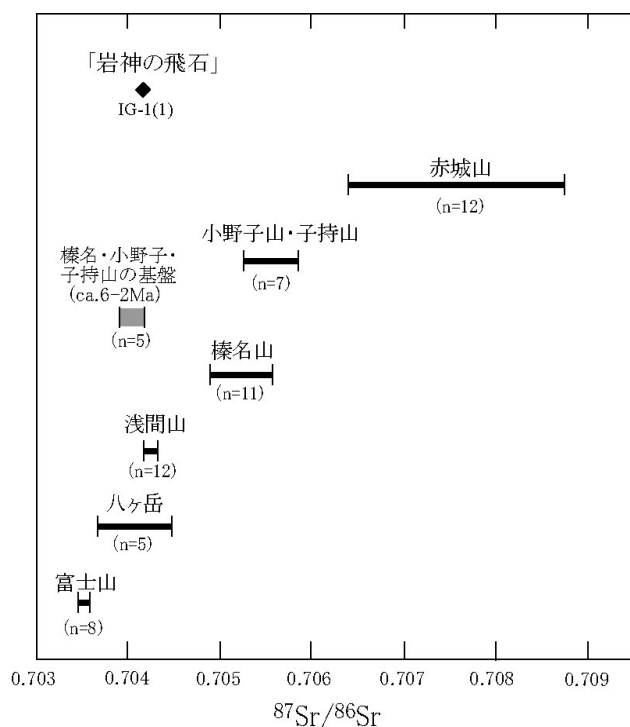


図3. 「岩神の飛石」と赤城山・榛名山・浅間山およびその近傍の火山岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の比較.

佐藤 (2016) を改訂. データ範囲の下の数値 n は測定された試料数 (Notsu et al., 1985, 1987). これらの火山については, 活動の新旧各ステージをカバーするように注意深く選ばれた試料が測定されており, それぞれの火山の Sr 同位体組成の特徴が描き出されていると見なされる. 浅間山の 12 個の試料の中には, 黒斑山の安山岩も 3 個含まれており, 浅間火山の活動時期による $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の変化は小さいとみてよい. 小野子・子持両火山とそれらの基盤および榛名火山の基盤を構成する古い火山岩 (ca. 6-2Ma) の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は野津ほか (1987) の図 2 による.

ただし, この泥流は現在の吾妻川付近を流下したと想定されるので, その経路にあった榛名・小野子・子持の火山の基盤をなすやや古い火山岩が巻き込まれた可能性も完全には否定しきれない. ただ, この地域には「岩神の飛石」のような火砕岩は知られておらず, 仮にあったとしても, 岩塊群の 2 次的移動というようなプロセスは考えにくいので (佐藤, 2016), この付近の基盤から「岩神の飛石」がもたらされたという可能性は大きくはないであろう.

2) 前橋泥流の起源

今回得られた「岩神の飛石」の Sr 同位体比の測定結果は, この巨石が乗る泥流堆積物も浅間火山から流下したことを強く示唆する明確な証拠となった. ただし, 前橋泥流と一括されている堆積物の全てが浅間火山起源なのかどうかについては, 具体的な証拠に乏しく, さらに Sr 同位体比のデータと年代データを補足して泥流の時空分布を検証する必要がある.

図 4 には日本と北米の代表的な火山体崩壊堆積物の体積と流走距離の関係を示した. これらの中で, 浅間火山の活動初期に存在した黒斑火山の崩壊によるとされる塚原泥流と応桑泥流は, 単独でも大規模な部類に属するが, これに前橋泥流が加わると国内最大級の崩壊量となり, 流走距離の大きさが目立つ (>70 km). これら 3 つの泥流が本当にひとつの事変で形成されたのかどうか, 年代データを補足して検証を進めるとともに, 山体崩壊の原因や巨石運搬のメカニズムを解明する必要がある.

5. まとめ

前橋市街地にある巨石の天然記念物「岩神の飛石」の起源を特定するため $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を測定し, 巨石をもたらした可能性のある火山の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比と比較した結果, 以下のことが判明した.

- 1) 「岩神の飛石」は天然記念物指定時に想定された赤城火山からもたらされたものではなく, 赤城火山起源の流れ山の 2 次的移動という現地の解説板に書かれた説も否定される.
- 2) 「岩神の飛石」の供給源は, 前橋に近い赤城・榛名・小野子・子持のいずれの火山でもなく, 西方に遠く離れた浅間火山の可能性が高い.

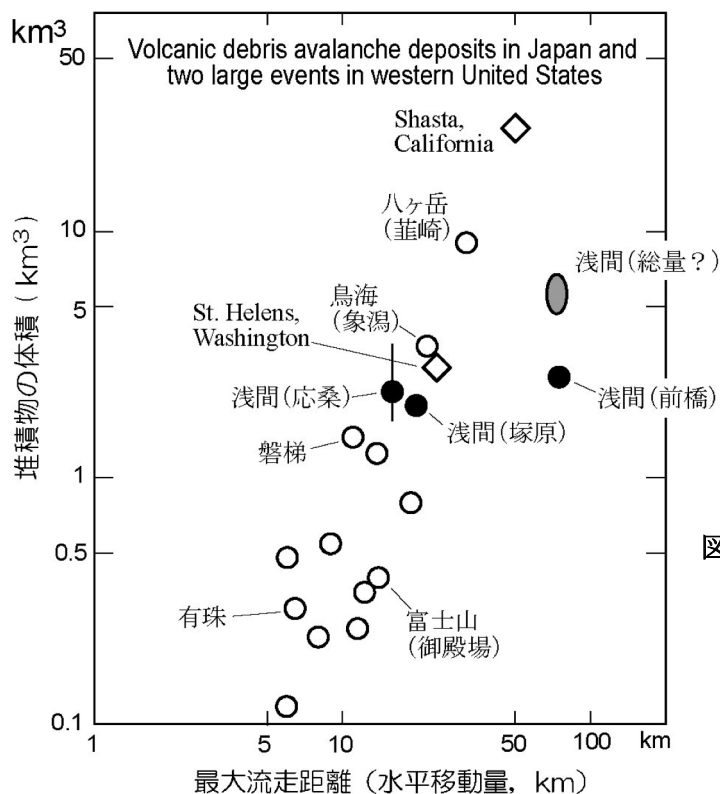


図4 山体崩壊による堆積物の量と流走距離

Ui et al. (1986)と Siebert (1984)参照.

前橋泥流は吉田 (2006) による.

応桑泥流は本研究での見積もり.

- 3) 「岩神の飛石」の Sr 同位体比は、この巨石が乗る前橋泥流も浅間火山起源であることを示唆する. この泥流が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塚原泥流や応桑泥流と一連の堆積物ならば、それらの全量は国内最大級の規模をもっていたことになり、とくに前橋泥流の流走距離の大きさが注目される.
- 4) 「岩神の飛石」の起源と前橋泥流発生の原因、さらには巨大岩塊運搬のメカニズム解明のため、泥流の年代の検証や構成物質の解析も含めた更なる研究が望まれる.

謝辞

本研究では多くの方々にお世話になった. 試料の入手に関しては、文化庁記念物課の柴田伊廣文化財調査官・前橋市教育委員会文化財保護課の小島純一課長・岩神稲荷神社を所有する東照宮宮司の瀬尾 茂氏・群馬県立自然史博物館名誉館長の長谷川善和氏と学芸員の菅原久誠氏が便宜を図ってくださった. 東京大学名誉教授の野津憲治氏は、小野子・子持両火山とその周辺域の火山岩の Sr 同位体組成や年代について、また元東京大学教養学部の大島 治氏は両火山の基盤地質について、詳しく教えて下さった. 以上の皆様に深謝します.

なお、本研究は、平成 28 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用・共同研究プログラム「一般共同研究」においてなされた研究である.

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. ー日本の第四紀層の ^{14}C 年代 XXXIIIー. 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.
- 地質調査所 (1992) 100 万分の 1 日本地質図, 第 3 版, 地質調査所.
- 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, 78 pp.
- 中崎峰子・壺井基裕・金川和世・加藤丈典・鈴木和博 (2004) X 線分析装置 XRF-1800 による岩石の定量化学分析. 名古屋大学博物館報告, **20**, 79-91.
- Notsu, K. (1983) Strontium isotope composition in volcanic rocks from the Northeast Japan arc. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, **18**, 531-548.
- 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.
- 野津憲治・長尾敬介・大島 治 (1987) 北関東の火山岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は, いつから異常に高くなったか? 日本火山学会 1987 年春季大会講演要旨集, p.25.
- 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**, 印刷中.
- Siebert, L. (1984) Large volcanic debris avalanche: characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, **22**, 163-197.
- Ui, T., Yamamoto, H. and Suzuki-Kamata, K. (1986): Characterization of debris avalanche deposits in Japan. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, **29**, 231-243.
- 八木貞助 (1936) 浅間火山, 信濃教育会北佐久郡会・信濃毎日新聞株式会社, 516pp.
- 吉田英嗣 (2006) 前橋泥流が埋積した利根川扇状地の地形と泥流堆積物量の再検討. 地形, **27**, 477-480.

日本語要旨

前橋市内の岩神神社には, 安山岩質な溶結火砕岩の巨大岩塊があり, 1938 年に「岩神の飛石」として国の天然記念物に指定された. その起源については指定当初から諸説があり, 現在も完全には解明されていないが, 赤城火山もしくは浅間火山から泥流で運ばれてきた可能性が考えられている. 火山岩の主成分組成でこれら 2 つの火山を識別することは難しいので, Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) による起源判定という手法を提案した. その後, この岩塊から採取した 1 試料を入手し, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を測定したところ, 供給源は前橋に近い赤城火山や榛名火山ではなく, 西方に遠く離れた浅間火山らしいことが判明した. この試料の全岩化学分析の結果も, 浅間火山の岩石の化学組成と調和的である. ただし, 「岩神の飛石」と同様の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は小野子・子持両火山などの下位に産するやや古い火山岩 (ca.6-2Ma) についても得られているので, 最終的に起源を確定するためには, 年代や化学組成のデータを補充して供給源の候補を絞り込むとともに, 泥流発生の原因と巨大岩塊運搬のメカニズムについて解明する必要がある.