

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800002

研究課題名(和文)先史遺跡の高精度編年と古環境推定のための黒曜石水和層法の開発

研究課題名(英文)An exploitation of new obsidian hydration dating toward the establishment of reliable chronology in prehistoric sites and the estimation of paleoclimatic conditions

研究代表者

中沢 祐一(Nakazawa, Yuichi)

北海道大学・医学(系)研究科(研究院)・研究員

研究者番号：70637420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：年代測定および古環境推定に用いるための黒曜石水和層法の研究を行った。従来用いられているプレバート法による水和層厚の計測を行った。計測値のばらつきをサンプル内とサンプル間で比較し、信頼性の高い計測値を選びだす方法を示した。北海道の完新世の遺跡から抽出したサンプルを用いて、信頼性の高い計測値を選択し、遺跡の年代推定を行った。また、温度が水和層を発達させる要因となることから、近年用いられているロジャースの公式から水和層の形成に影響する温度を推定した。推定された温度からは、古気候および埋没環境が温度推定に与える影響が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The goal of present research is to explore the new research direction of obsidian hydration dating (OHD). Toward the establishment of reliable chronology of prehistoric sites and estimation of paleoclimatic conditions, I examined as to whether and to what extent OHD works. A procedure to choose a reliable measurement was proposed through a systematic comparison of variation in rim thicknesses within and between the specimens. Site dates were estimated by using the mean rim thickness that was systematically chosen from the samples. The mathematical formula to estimate the effective hydration temperature (EHT) proposed by Rogers (2007) was employed. The difference between EHT for studied early Holocene site and mean temperature based on the local meteorological data indicated that both Holocene climatic maximum and changes in depths of samples in response to the accumulation of sediments had effects on EHT.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：文化財科学・博物館学

キーワード：黒曜石 水和層 計測 年代測定 効果温度 先史遺跡 完新世 北海道

1. 研究開始当初の背景

(1) 黒曜石水和層法研究の背景

アメリカの地球化学者フリードマンらが1960年に開発した年代測定法である黒曜石水和層法は、先史時代の遺跡の年代決定法として利用されてきた。遺物(黒曜石で作られた石器)そのものを計測できる点と、比較的簡便に観察ができることから、考古学の年代測定法として広く利用されてきた。1990年代に入り、水和層の厚さから年代を算出する方法の問題や、他の年代測定法による結果との不一致などが指摘され始めた。こうした批判に対して、計測方法の精緻化や、ガラスの水和に関する新たな数理モデル、変数となる温度の算出法、黒曜石の含水量の影響などについて、欧米の研究者を中心として研究が多角的に展開されてきている。日本へは、先史遺跡の年代決定法として、黒曜石水和層法が開発された比較的初期に導入された。基礎研究面においても、水和速度が温度と黒曜石の産地・成分などによって変化することが指摘され、水和層形成に関する実験研究もなされてきた。一方で、先史遺跡の編年への貢献という当初の問題意識は徐々に薄れてきており、近年は黒曜石水和層法を先史遺物に対して利用した研究例自体も低調であり、学界への成果発信も停滞気味である。

(2) 本研究に至った経緯

代表者は各地で考古学的調査を行ってきた経緯から、遺跡から潤沢に出土する黒曜石が潜在的に有する情報をどのように活用できるかに関心をもってきた。近年、黒曜石水和層法によって古環境の推定が可能であるという研究が欧米で進められていることを知った。日本国内における黒曜石水和層法研究は必ずしも活発とは言えない現状であるが、日本列島の先史時代の人々は後期旧石器時代の初めより長きにわたり黒曜石を利用し続けており、遺跡発掘による資料の蓄積も

十分である。この利点を活かし、代表者は新しい黒曜石水和層法による編年の高精度化を行い、古環境データを得るための素材としても広く利用していく方向性を探りたいと考えた。

2. 研究の目的

本研究は、信頼性の高い黒曜石水和層法を開発し、先史遺跡の高精度編年と古環境推定に貢献することを目的とした。具体的には、以下の諸点である。

(1) 黒曜石水和層の計測

北海道の先史遺跡より出土した黒曜石製石器をサンプルとして抽出した。サンプルからプレパラートを作成した。水和層の厚さの計測値をどのように評価するかについての基準を設定することが必要であるという認識から、計測値の体系的な検討を行った。また一部のサンプルについてSIMS(二次イオン質量分析法)を用いて水分子の分布を追求することによって水和層の厚さを計量した。

(2) 効果温度と古環境の推定

水和層の発達に影響する要因である温度を推定した。また、黒曜石水和層法が年代測定および古環境を明らかにするインジケータとして利用可能であるかを考察した。

(3) 年代測定

遺跡の既知の年代などから推定された水和速度を用いて、遺跡の年代推定を行った。

3. 研究の方法

以下、目的に応じた方法とその実施結果を示す。

(1) 観察・計測方法

① プレパラート法

本研究では、薄片を作成し、水和層を偏光顕微鏡によって観察し、計測した。これはプレパラート法(薄片法)と呼ばれるオーソド

ックスな方法である。代表者は水和層の観察方法の実際に関する経験が乏しかったため、黒曜石水和層法を過去 30 年間にわたって利用してきた経験のあるトム・オリガー氏（アメリカ合衆国）にプレパラート作成法および観察法をご教示いただいた。その方法を用いて、新たにプレパラートを作成し観察を行った（写真 1）。

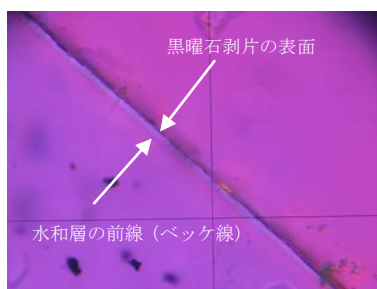


写真 1 偏光顕微鏡下の水和層
(ヲチャラセナイ遺跡・縄文時代前期文化層
出土の黒曜石製剥片)

遺跡から抽出したサンプルを用い、計測法を統一した。また、サンプル内の計測値のばらつきの程度を検討することによって、年代測定に利用できる計測値をどのように評価するかを議論した。サンプルは北海道の先史遺跡から抽出した。具体的には、厚真町・ヲチャラセナイ遺跡・縄文時代前期の文化層（完新世前期）、帯広市・暁遺跡・後期旧石器時代および縄文時代早期の文化層（更新世末～完新世前期）、同・八千代 A 遺跡・縄文時代早期の文化層（完新世前期）の 3 遺跡・4 文化層である。いずれも発掘調査は終了し、整理途上もしくは整理完了の遺跡である。サンプルは厚真町教育委員会および帯広市教育委員会埋蔵文化財センターより借用した（返却済み）。このうちヲチャラセナイ遺跡について、サンプル内とサンプル間の水和層厚の計測値のばらつきを評価することによって、信頼性の高い計測値を年代推定に用いることの妥当性を示した（図 1）。

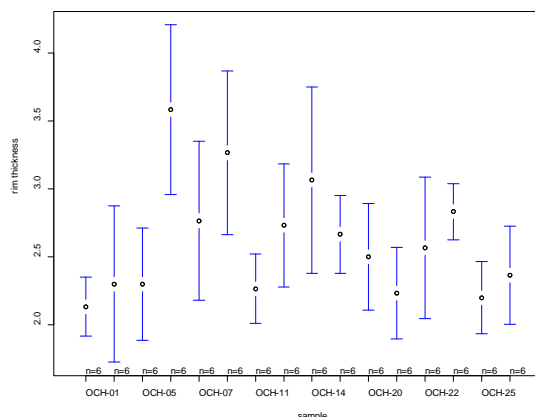


図 1 ヲチャラセナイ遺跡抽出サンプル (N=16) の水和層厚のばらつき。[○は 6 測定値の平均、バーは 95% 信頼区間 (μm)]

②SIMS (二次イオン質量分析法)

プレパラート法によって観察したサンプルの一部について、SIMS による黒曜石水和層の計量を実施した。これは、光学原理を用いた顕微鏡下における水和層の計測値と、水素イオンの検出による計測値の比較である。SIMS は北海道大学創成研究機構 (塚本尚義教授) が運用している同位体顕微鏡システムを利用した。ヲチャラセナイ遺跡のサンプルの一部を分析した結果、黒曜石表面からの水素イオン (H^+) の垂直方向の濃度分布が得られることが示された。この水素イオンの濃度分布は、プレパラートで観察した黒曜石水和層の厚さと対応可能であることがわかり、水和層計測における SIMS の有効性を確認した。

(2) 効果温度と古環境の推定

①効果温度の推定

水和層が発達する最大の制限要因に温度がある。温度は、黒曜石で作られた石器が遺跡に残されてから発掘されるまでの期間に経ていた温度変化の履歴や平均気温を考慮している。これは効果温度 (effective hydration temperature) と呼ばれている。近年、気温の日較差と年較差、サンプルが地中に埋没していた深さを考慮した新たなモ

デルが提示された。このロジャースの公式を利用し、サンプルを抽出した遺跡の効果温度を推定した。ロジャースの公式は、以下である。

$$T = T_a(1 - 3.8 \times 10^{-5}y) + 0.0096y^{0.95}$$

T = 効果温度

T_a = 年平均気温（過去の気象データより）

y = 日中と年間の気温変動の自乗に深さを補正したパラメーター

$$y = \exp(-0.32z) (V_a^2 + V_d^2)$$

V_a = 年間の温度格差（過去 30 年間の 7 月の平均気温 - 1 月の平均気温）

V_d = 日中の温度格差（1 日の最高気温の平均 - 最低気温の平均）

z = 遺物が埋没していた地表面からの深さ

効果温度の推定には、過去 10 年以上の気象観測データを用いる。また、7 月と 1 月の日・月間の平均気温が y を求めるために必要であるため、遺跡に最も近い気象庁の地域気象観測所のデータを利用した。帯広観測所については、1981-2010 年の 30 年間のデータを用いた。厚真観測所については、1983-2013 年の 31 年間のデータを用いた。帯広は 8°C、厚真は 6.87°C が年平均気温であった。ロジャースの公式を用いて求められた効果温度 (T) は、帯広（暁遺跡・縄文時代前期）が 8.96°C、厚真（ヲチャラセナイ遺跡・縄文時代前期）が 7.94°C であった。

②古環境の推定

黒曜石水和層法による古環境の推定とは、温度履歴の推定に代表される。遺跡における水和速度に影響を与える効果温度によってなされる。本研究では、効果温度の推定は、過去 30 年間の気象データを利用したロジャースの公式を用いた。①の効果温度推定の結果は、約 4500 前の完新世前期から現在までの温度平均は、過去 30 年間の平均気温に比較すると 1°C ほど高いこととなる。この理由として 2 つの可能性が考えられる。ひとつは、

遺跡の埋没期間に温暖な時期があった可能性である。これは 7000-4200 年前までが完新世の温暖期に相当することなどからも想定可能である。もうひとつは、遺物の地表面からの深さ（ロジャースの公式における z）が埋没後に徐々に増えることによる効果温度の変化があった可能性である。

(3) 年代測定

水和層の厚さと年代の間には、以下の公式が成り立つ。

$$X^2 = kt \quad (\text{式 1})$$

X = 水和層の厚さ (μm^2)

k = 水和速度 ($\mu\text{m}^2 \times 10^{-3}$)

k は温度に影響され、以下のアレニウスの公式が成り立つ。

$$k = A \cdot \exp^{-E/RT} \quad (\text{式 2})$$

A = 定数（コンスタント）

E = 活性化エネルギー (J/mol)

R = 気体定数 (J/mol)

T = 効果温度 (K)

k の推定には、一定温度に黒曜石を置いた水和実験を行い、水和速度に影響する定数 (A) や活性化エネルギー (E) を求めることが必要となる。本研究では実験は行わず、あらかじめ与えられた年代から k を求め、既存の水和速度と比較し、年代測定として利用可能であるかどうかを考察した。

k の推定には、ヲチャラセナイ遺跡抽出のサンプルを利用した。ヲチャラセナイ遺跡では、計測値から $X = 2.6$ を用いた。放射性炭素年代は、サンプルを抽出した剥片集中に近接する同時期と考えられる住居 (VH-03) より出土したクルミより得られた年代値 (IAAA-102689) が 4597 (cal B.P.) であることより、 $t = 4597$ を与えた。式 1 より、

$$\begin{aligned} k &= X^2/t \\ &= (2.6)^2/4597 \\ &= 6.76/4597 \\ &= 0.00147052425 \end{aligned}$$

よって、1年あたり、 $0.0014 \mu\text{m}^2$ 厚くなっていく。1000年あたり $1.47 \mu\text{m}^2$ である。

これはフリードマンとスミスが公表している亜寒帯 ($0.82 \mu\text{m}^2/1000$) と温帯 ($4.5 \mu\text{m}^2/1000$) の間の水和速度となり、温帯域と亜寒帯の中間に位置する北海道の水和速度と捉えるのが妥当である。この水和速度を既発表データと比較した。EDXRFによる元素組成の結果は、本サンプルの黒曜石原産地のほとんどが置戸産であることを示していることから、置戸産の黒曜石の水和速度と比較した。置戸町勝山の岩体の黒曜石の水和速度は $1.51 \mu\text{m}^2/1000$ 年 (効果温度は $8-9^\circ\text{C}$) である。これは、ヲチャラセナイの効果温度である 7.94°C と等しい条件である。推定した $1.47 \mu\text{m}^2/1000$ とも極めて近似しており、整合的であった。

一方、公表されている式2の変数の計測値を用いて、水和速度を求めた。実験の効果温度とサンプルが由来する遺跡の効果温度は異なるため、式2を補正した以下の公式を用いた。

$$k' = k \cdot \exp[E/R(1/T-1/T')] \quad (\text{式3})$$

k' = 温度 T' における水和速度

T' = サンプルが由来する遺跡の効果温度

k = 実験で得られた温度 T の水和速度

T = 実験の効果温度

E = 水和実験で得られた活性化エネルギー

R = 気体定数 = 8.317 J/Mol

公表されている置戸産黒曜石のデータから、 $k = 1.57 \times 10^{-3}$ 、 $E = 76.45$ 、 $T = 104(^\circ\text{C})+273.15 \text{ (K)} = 377.15 \text{ (K)}$ 、 $T' = 7.94(^\circ\text{C})+273.15 \text{ (K)} = 281.09 \text{ (K)}$ が与えられる。これらを式3へ入れて計算すると、 $k' = 1.56 \mu \times 10^{-3}$ である。すなわち、1000年あたり $1.56 \mu\text{m}^2$ 水和する ($1.56 \mu\text{m}^2/1000$) という推定である。この数値は、放射性炭素年代を利用して求めた水和速度である $1.47 \mu\text{m}^2/1000$ と $0.09 \mu\text{m}^2/1000$ 異なるのみである。

式2より導いた $k' = 1.56 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $X = 2.6$ を式1に入れて年代値を求めると、

$$\begin{aligned} t &= X^2 / k' \\ &= 2.6^2 / 1.56 \times 10^{-3} \\ &= 6.76 / 1.56 \times 10^{-3} \\ &= 4.333 \times 10^3 \\ &= 4333 \end{aligned}$$

よって、年代値は 4333 BP である。放射性炭素年代の 4597 cal B. P. と比べると、約 250 年新しい年代値である。

4. 研究成果

以下に研究成果をまとめ、課題を示す。

(1) まとめ

- ① 水和層厚の計測法であるプレパラート法によって得られた計測値のばらつきを検討し、年代測定に用いるための信頼性を確保する方法を示した。
- ② SIMS が有効な計測法であることを確かめた。
- ③ 効果温度の推定が可能であった。これによって過去の温度履歴について考察を行う見通しを得ることができた。
- ④ プレパラート法によって得た計測値を①によって評価し、従来の公式 (水和層厚の二乗 = 水和速度 × 時間) によって遺跡の年代推定を行った結果、放射性炭素年代値との整合的な数値を得た。

(2) 課題

- ① 整合性は確かめられたが、今後はサンプル数を増やし、プレパラート法と SIMS の計測値の体系的な比較を行う。
- ② 古気温の推定に関する最新の研究では、水和実験によって推定された水和速度、水和層厚、遺跡の年代の3つの要素が必要とされる。今回の推定は効果温度の推定に留まっており、今後はこれらのデータを得るとともに、異なる年代の遺跡を複数比較することが望ましい。

- ③ 旧石器時代の遺跡抽出サンプル数の少なさから困難であった更新世の年代推定の議論を行う。
- ④ アレニウス式では水分子の濃度を記述できないため、フィックの法則を利用した黒曜石水和層年代測定法についても検討する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Izuho, M., Hayashi, K., Nakazawa, Y., Soda, T., Oda, N. Yamahara, T., Kitazawa, M., and I. Buvit, Investigating the eolian context of the Last Glacial Maximum occupation at Kawanishi-C, Hokkaido, Japan., *Geoarchaeology: An International Journal*, 査読有, 29 巻, 2014, 202-220, DOI: 10.1002/gea.21477
- ② 中沢祐一、炉跡周辺の廃棄行動、石器文化研究、査読無、19 号、2014、102-110
- ③ 中沢祐一、廃棄物形成からみた居住活動の組織化：北海道川西 C 遺跡 En-a 降下軽石層下位の居住面について、旧石器研究、査読有、9 号、2013、61-74

[学会発表] (計 11 件)

- ① 中沢祐一、炉跡周辺の廃棄行動、第 17 回石器文化研究交流会、2014 年 1 月 26 日、神奈川県立歴史博物館。
- ② Iwase, A., and Y. Nakazawa, A functional analysis of chipped stone tools from the LGM microblade assemblages in Hokkaido, northern Japan. *Paper presented at the International Workshop of "Changes in Behavioral and Technological Adaptation around the LGM in Eurasia"*, November 29th 2013, Tokyo Metropolitan University
- ③ Akai, F., and Y. Nakazawa, Production of the LGM microblades: an examination of the refitted microblade/blade cores from the Kashiwada 1, Hokkaido. *Paper presented at the International Workshop of "Changes in Behavioral and Technological Adaptation around the LGM in Eurasia"*, November 29th 2013, Tokyo Metropolitan University
- ④ Hayashi, K., Nakazawa, Y., and M. Izuho, On the spatial patterns of artifact scatters at the LGM site of Kashiwada 1, Hokkaido. *Paper presented at the International Workshop of "Changes in Behavioral and Technological Adaptation around the LGM in Eurasia"*, November 29th 2013, Tokyo Metropolitan University

- 1, Hokkaido. *Paper presented at the International Workshop of "Changes in Behavioral and Technological Adaptation around the LGM in Eurasia"*, November 29th 2013, Tokyo Metropolitan University
- ⑤ 中沢祐一、黒曜石水和層法における計測値の評価、日本第四紀学会 2013 年大会、2013 年 8 月 22-23 日、弘前大学
- ⑥ 中沢祐一・岩瀬 彬・出穂雅実、二次加工部の形態変異について：北海道 LGM 石器群の分析から、日本旧石器学会第 11 回大会、2013 年 6 月 15-16 日、東海大学湘南キャンパス
- ⑦ 中沢祐一、黒曜石水和層法の新しい方向、北海道旧石器文化研究会、2013 年 5 月 18 日、北海道大学
- ⑧ Iwase, A. and Y. Nakazawa, Use-wear analysis of the portable blade tools: organization of technology among the Upper Paleolithic foragers in Hokkaido. *Poster presented at the 78th Annual Meeting of the Society for American Archaeology*, April 5th 2013, Hawaii Convention Center
- ⑨ Nakazawa, Y., Iwase, A., Izuho, M., Yamahara, T., and M. Kitazawa, An evaluation of site occupation intensity: hearth-centered spatial organization at the Upper Paleolithic open-air site of Kawanishi C, Hokkaido, Japan. *Poster presented at the 78th Annual Meeting of the Society for American Archaeology*, April 5th 2013, Hawaii Convention Center
- ⑩ Nakazawa, Y. Toward a reexamination of the Last Glacial Maximum occupation of Kashiwada 1. *Paper presented at the International Workshop of "Upper Paleolithic Geochronology around the LGM in Northeast Asia"*, December 3rd 2012, Tokyo Metropolitan University
- ⑪ 中沢祐一、アメリカ合衆国における文化資源管理—南西部ニューメキシコ州の例—、第 66 回日本人類学会大会、2012 年 11 月 2 日、慶応大学日吉キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中沢 祐一 (NAKAZAWA, Yuichi)
北海道大学・大学院医学研究科 博士研究員
研究者番号：70637420