



Title	黒曜石水和層法が示す年代と考古学的事象との関係：鹿児島県桐木耳取遺跡の検討から
Author(s)	中沢, 祐一
Citation	北海道大学考古学研究室研究紀要, 4, 45-62
Issue Date	2025-03-31
DOI	https://doi.org/10.14943/112863
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94438
Type	departmental bulletin paper
File Information	04_4_nakazawa_45-62.pdf



黒曜石水和層法が示す年代と考古学的事象との関係

—鹿児島県桐木耳取遺跡の検討から—

中沢祐一

要旨：小論は、黒曜石水和層法によって得られる年代が、考古学的事象に関する様々な時間的枠組みとどの程度対応付けられるのかという課題を考察した。考古学的事象に関する時間的枠組みを4つのモデル（点モデル、線モデル、ブリックモデル、頻度モデル）に整理し、黒曜石水和層年代がどのモデルと整合的となるかを、多層遺跡である鹿児島県・桐木耳取遺跡の5つの文化層ごとの水和層計測値の分布から吟味した。計測値は、層序関係（地層累重の法則）に沿うように、下層から上層へかけて薄くなる傾向を示すが、相互に上下関係をもつ文化層間では重複分布する。標準偏差が大きな第Ⅲ文化層（細石器/草創期）の計測データを除くと、第Ⅱ文化層（後期旧石器）と縄文時代の文化層に時間的境界がみられることから、ブリックモデルが示す文化的違いを反映している可能性がある。一方で、相対的に下層の2文化層間（後期旧石器、細石器/草創期）と上層の3文化層間（縄文早期以降の3文化層）における計測値分布は、それぞれ頻度モデルと対応付けられる漸移的な変化を示す。さらに、水和層計測値の変異（水和層年代の幅）が生じる要因を考察した結果は、元素組成の異なる様々な産地の黒曜石が用いられたこと、産地ごとに異なる黒曜石含水量が水和速度へ影響したことを示唆している。

はじめに

年代測定法で得られた年代、とくに絶対年代は数値で与えられる。年代値はしばしば考古学的事象の生起や存続を示す根拠となる。年代値を用いる考古学者は、たいいていの考古学的事象が過去から現在までの不可逆的な時間経過の中で生じたこと、事象として抽出される単位は数値という「点」、もしくは期間を限った「枠」と対応付けられると考えている。この対応関係を確立するためには、事象と関連付けられる年代値の利用が不可欠である。そして、対応関係の確立には、特定の年代値がその事象を適切に示しているのか否かといった妥当性や、抽出した考古学的事象そのものが意味する点も問われる必要がある。すなわち、年代値の利用によって、特定の事象のどのような面が明確となりえるのかについて考えることは、事象そのものの性質を再定義もしくは解体することへもつながる。

小論は、黒曜石水和層法によって与えられる年代が、様々な考古学的事象のどの範囲の時間を示すことが妥当であるのかについて考察することを目的とする。考古学的事象に関わる時間的枠組みを、4つのモデルに区分する。そして、区分された考古学的事象の時間的枠組みが水和層計測値からも支持されるか否かの検討を行い、モデルとの整合性を議論する。具体例として、南九州の多層遺跡である桐木耳取遺跡で区分された文化層ごとに抽出した黒曜石サンプルに観察される水和層計測値を用いる。

I. 黒曜石水和層法の原理的特徴

黒曜石水和層法は、遺跡から得られた黒曜石石器に形成される水和層の厚さが時間に比例して厚くなるという性質を利用した年代測定法である。水和層の形成速度（水和速度）が一定とみなせる場合、 $X^2=kt$ の公式に、水和速度（ k ）、厚さ（ X ）に適用し、年代（ t ）を算出する方法である。年代値の算出には、水和速度（ k ）の推測が不可欠であるが、水和速度には外在的要因と内在的要因が影響する。外在的要因として、遺跡における黒曜石サンプルを取りまいていた温度（効果水和温度）がある。水和とはガラスへの水の浸透であり、その進行速度は温度に依存する（Doremus 1994）。そのため温度（効果水和温度）の正確な推定が重要となる（中沢 2015、2023、Hull 2001, Rogers 2007）。一方の内在的要因としては、黒曜石の含水量がある。含水量は、マグマが噴火口を抜ける過程で放出しきれずに残された水（OH⁻）に由来し、黒曜石のガラス部分を構成するシリカ（Si）やアルミニウム（Al）と結合している。含水量（重量%）は0.08-1.3%程度（Stevenson et al. 2000）あるいは2.5%未満（Rogers and Stevenson 2023）などに見積もられ、概して比重は小さい^{注1}。水和速度の推定には、高温高圧環境で行う促進水と実験があり、そこでも効果水和温度と含水量が主たる変数となる（渡辺・鈴木 2006、Rogers and Duke 2011, 2014, Stevenson et al. 1998）。

黒曜石水和層法のもう一つの特徴は、サンプルそのものが考古資料である点にもある。つまり、サンプルが石器そのものとなる。当然ながら、石器は遺跡を残した人々が実際に用いた道具から由来する。これは放射性炭素年代のサンプルとしてよく利用される炭化物が、遺跡の活動とは無関係な山火事などの非人為的な要因によってももたらされること、そのためサンプルの由来が完全に非人為でないと判断できる場合が常ではない状況と対照的である。さらに、水和層は空気中に新鮮な黒曜石ガラス面が露出してから形成され始めるため、剥離面が形成される時点、つまり黒曜石の剥片が剥離された時点から水和層形成が始まる。遺跡から発掘された黒曜石の剥片石器が、その遺跡で製作されたのであれば^{注2}、遺跡から得た黒曜石石器はその遺跡が過去に活動場所となっていた時期、すなわち「遺跡の年代」を示すことになる。こうした原理的性質から、黒曜石水和層による年代値は遺跡の年代や石器群の年代へと敷衍可能となる。

以下、考古学が対象とする過去の時間、とくに年代値が関連付けられる様々な考古学的事象の範囲とそれらの時間的枠組みの特徴を整理する。

II. 年代に関わる考古学的事象

考古学における年代は、第一には遺物（文化遺物と自然遺物）やそれを包含する堆積物に対して与えられる。黒曜石水和層法の場合、年代値は石器という文化遺物に基づく年代である。したがって、文化遺物を通じて型式学（田中 1988、横山 1985）とも関連する。一般に、1点の遺物に与えられる単一の年代値もしくは複数の遺物へ与えられる年代値の集合は、上記したように遺跡の年代へと敷衍される。遺跡 a、遺跡 b、遺跡 c があるとすると、それぞれの遺跡の遺物（黒曜石石器）から年代値が得られた場合、それらの新旧関係がわかる。新旧関係の中では、個々の遺跡は点となる。新旧の序列が成立することによって、時間的属性をもたずに存在していた遺跡は、時間軸に沿った線的な関係へと配列される（図 1-1）。このような軸上に位置づけられる時間的枠組みを「線モデル」と仮称しておく。

第二は、考古資料から抽出される特定の事象を示す年代である。特定の事象とは、例えば、縄文土器の文様や施文のパターンに基づき設定される型式や様式、湧別技法など特定の石器（細石刃）を製作するための手順、前方後円墳などの墳丘形状などがある。これらは特定の遺物や遺構のマクロな観察から

抽出されたパターンであり、その変化を序列化することはやはり型式学と関連する。黒曜石水和層法については、年代サンプルとなった石器が特定の形態を呈する石核（例：札滑型細石刃核）や、特定の石器製作の手順（例：湧別技法）によっているならば、算出された水和層年代値は特定の製作技術が用いられた時間的な古さを示すとみなすのが通常である。例えば、遺跡 a、遺跡 b、遺跡 c にて互いに異なる技術から石器が製作されていた状況を考えてみる。「線モデル」と同様に遺跡間に新旧関係が認められる場合、遺跡に残された石器製作技術という考古学的な事象は、しばしば年代値が得られた遺跡を超えた広がりをもつことになる。例えば、遺跡 a で確認された特徴的な技法と類似する技法をもつ遺跡 aa が確認されれば、それらの遺跡は同一の時間面に属すると仮定され、時間軸に対して直交するような空間的広がりをもつ単位が仮構される。遺跡 b についても、遺跡 b を超えて同じ技法をもつ遺跡 bb や遺跡 bbb が確認されれば同じ面となる。そして、遺跡 c についても同様の関係が成り立つ（図 1-2）。「交差年代決定法」（田中 1988 : 20）に他ならないが、このようにしてとらえられる時間的枠組みを「面モデル」と仮称する。

それぞれの面を代表する年代値が 1 遺跡のみから得られている場合は、面としてのとらえ方ができる。やがて、遅かれ早かれ、同じ面を構成する遺跡から新たな年代値が得られ、年代値の分布にヴァリエーションが生まれることによって、問題となる考古学的事象の範囲は「二次元」の面から厚みのある「三次元」へ変化する。この単位はしばしば考古学的な文化と対応する。円筒系や亀ヶ岡系などと呼ばれる縄文土器の様式（我孫子 1988）や器種セットとして把握されるオホーツク土器の様式（種石 2023）などは典型例であろう^{注3}。実際には、一定程度の年代値が蓄積されることで〇〇文化（例えば、オホーツク文化のトビニタイ期など）の時間的・空間的範囲に根拠が生まれ、同時に特徴的な技術や石器器種の存在から固有の時間枠が仮定される石器群が抽出される（例えば、北方系削片系細石刃石器群など）。こうした時間的な厚みをもった単位は、あたかもレンガのように積み重ねたり並列させたりすることによって、考古学的文化の時空間的変化をとらえようとする（図 1-3）。これを「ブリックモデル」と仮称する。

ブリックモデルが示すそれぞれの単位は、ある特徴的な考古学的パターン（石器製作の手順やその組み合わせなど）が一定の地域的範囲と期間の中で均質な広がりをもつことを仮定する。しかし、常に考古学的事象の時間的・空間的な境界がレンガの面のように明確となる訳ではない。例えば、墓碑装飾の出現頻度などの文化的な要素は、時間の経過とともに種類が消長することが知られている（横山 1985、Deetz and Dethlefsen 1967）。欧米の考古学ではセリエーションとして知られるパターンであり、形状からはバトルシップカーブと呼称される（Deetz and Dethlefsen 1967, Shennan 2000）。文化はある程度存続すれば伝統とみなされるように、文化情報（習慣・価値観・帰属などとそれらを示す物質的要素）が世代を超えて伝達される性質を考えると、文化も遺伝と同様に自然選択に類似した過程を経て拡大・消失することがあり（Leonard 2001, Leonard and Jones 1987, Richardson and Boyd 2006, Shennan 2000 など）、その背景には環境のみならず人口動態といった社会的要因が示唆される（Powell et al. 2009, Shennan 2000）。文化が維持・拡大されれば、それを支える物づくりの知識やノウハウ（石器・土器づくりの技術や石材・胎土獲得場所など）も世代を超えて伝達されたことになり、それらの情報は共同体の内部に累積する。時間軸上でみれば、頻度分布として表れる^{注4}（図 1-4）。ここではこれを「頻度モデル」と仮称する。

時間に関わる考古学的な事象は、これらの 4 つのモデルのどれかもしくは複数と関連付けることができ、指し示す事象の範囲も異なることがうかがえる。年代値をもたないモデルは時間面についてはまだ

仮説の域を出ず、年代値を外挿することによってモデルは補正・補強される。適用できる遺物の古さが100万年前から100年前に満たない時間的深度に及ぶことから（中沢 2022）、黒曜石水和層法の年代値は中期更新世以降のほとんどの考古学的事象と接続できる。それでは、実際に推定される年代値は、どのモデルと親和的であろうか（もしくは、どのモデルと適合しないのか）。以下では、考古学的な証拠（層序、石器群における示準的な石器の存在、土器型式など）から時間的な枠組みが設定された事象を対象とし、黒曜石水和層法によってわかる時間的推移がどのモデルに適合的かを検討し、考古学的事象との整合性を評価する。具体的には、「文化層」や「文化期」といった単位が得られた鹿児島県・桐木耳取遺跡について、各文化層の黒曜石水和層厚（年代算出に用いる計測値）を上記のモデルと照合する。

Ⅲ. 桐木耳取遺跡出土黒曜石の水和層

(1) 桐木耳取遺跡の概要

桐木耳取遺跡は、南九州の後期旧石器時代後半から、縄文時代、古墳時代、古代・中世にかけての多層遺跡である。東九州自動車道の建設に先立つ分布・試掘調査によって確認され、1996～2000年に鹿児島県立埋蔵文化財センターが発掘調査を実施した。以下、発掘調査報告書（鹿児島県立埋蔵文化財センター2004、2005）を参考として遺跡の概要をまとめる。遺跡は大隅半島の北部に位置し、行政区分では鹿児島県曾於市の財部町と末吉町にまたがる。地形的にはシラス台地の上の標高 200～360m の段丘に立地する。段丘は四万十層を基盤とし、その上に堆積した入戸火砕流堆積物（非溶結のシラスが主体）が河川に侵食されたことで形成された。この火砕流（AT に対比）の上面にローム層が堆積しており、平坦面では3～4mの厚さとなる。ローム中には喜界アカホヤや桜島給源の多数のテフラを挟み、褐色～黒褐色土層に遺物が包含される。調査によって、更新世から完新世にかけて6つの文化層が確認されている。テフラ堆積物との上下関係も明瞭であり、旧石器時代に相当する更新世は、下から第Ⅰ文化層（XVI・XVII層相当、

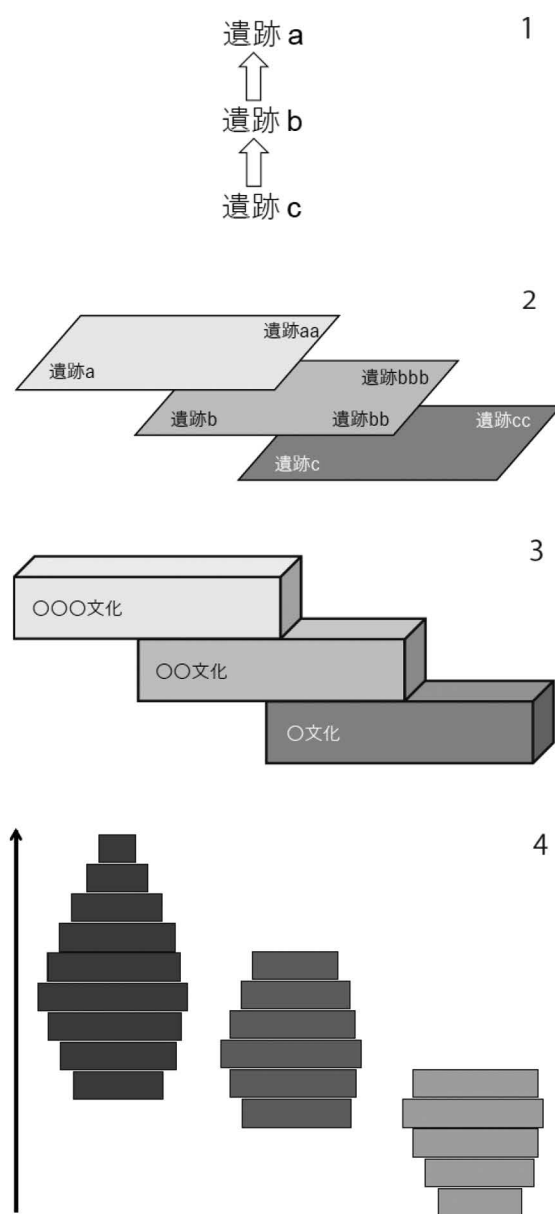


図1 年代が関わる考古学的事象のモデル

ナイフ形石器・剥片尖頭器・台形様石器・角錐状石器をもつ石器群)、第Ⅱ文化層(XIII層相当、台形石器と小型のナイフ形石器を主体とする石器群)、第Ⅲ文化層(XII~X層、細石刃や石鏃を含む細石器文化期~縄文草創期の石器群)の3つの文化層が区分されている。第Ⅲ文化層の上には桜島給源の薩摩火山灰(IX層)の堆積、さらに上位に、縄文早期の文化層(VIII~VIa層)、縄文前期・中期・後期に相当する文化層(Va層~IV層上部)、縄文晩期の文化層(IV~IIIb層)、古墳時代および古代~中世の文化層(IIIa層)が確認されている。

(2)水和層厚に関する予測

遺跡が多層である場合、地層累重の法則に従い、地層の上下関係に対応して遺物の年代の新旧が生じるはずである(Harris 1979)。出土した黒曜石石器についても、上層と下層の間では水和層の厚さに差が生じる(Michels 1969)、という予測が成り立つ。加えて、桐木耳取遺跡ではすでに文化層が区分されており、文化層は一定の時間的単位を示すことが仮定されることから、上記のブリックモデルが該当する。

(3)サンプリング

筆者は黒曜石水和層法の研究に着手して日の浅い 2015 年に、赤井文人(北海道教育委員会)とともに、鹿児島県立埋蔵文化財センターにて資料調査を実施した^{注5}。黒曜石のサンプルを選ぶ際、広大な遺跡の範囲からランダムに採取するのではなく、場所の違いによる温度の変化を最小限にするため、なるべく限定された場所を選定する方針をとった。赤井と検討した結果、旧石器時代から縄文時代まで遺物集中が連続する桐木耳取遺跡の北側区画に含まれるグリッド(D~K-6~7)をサンプリング・ユニットとした。これらのグリッドは調査区北側の南北 80m、東西 40m の範囲に収まる(図 2)。遺跡の総発掘面積が 24,000m²(鹿児島県立埋蔵文化財センター前掲)のため、サンプリング・ユニットは全調査面積の約 4%となる。地図の等高線からは、この地区の現標高は約 296m と推定できる。

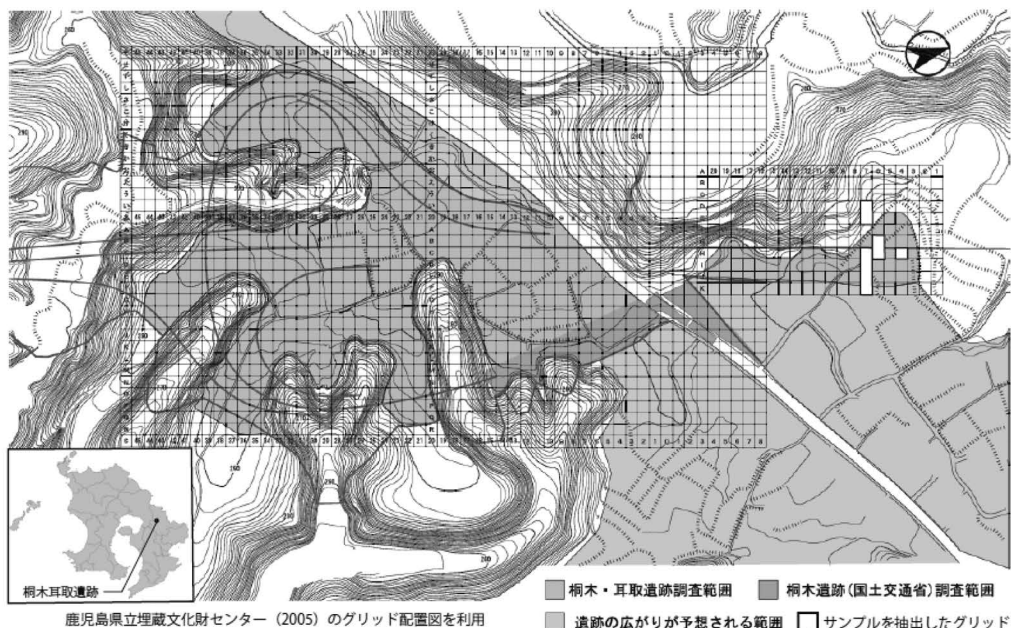


図 2 桐木耳取遺跡のサンプルを採取したグリッド配置図

分析のために抽出したサンプル総数は 46 点である。サンプルを得た文化層は、下位から第Ⅱ文化層（XIII 層相当、ナイフ形石器文化期）、第Ⅲ文化層（XII～X 層、細石器文化期・縄文草創期）、縄文早期（VIII～VIa 層）、縄文前・中・後期（Va 層～IV 層上部）、縄文晩期の文化層（IIIa/IIIb 層）の 5 文化層である。

主として、7 列グリッド出土の黒曜石の剥片を抽出した。それらを文化層ごとに区分し、黒曜石石器の点数を集計した。結果、第Ⅰ文化層は黒曜石の点数が少なくサンプルが得られなかった。第Ⅱ文化層が 43 点、第Ⅲ文化層が 37 点、縄文早期文化層が 63 点、縄文前・中・後期文化層が 264 点、縄文晩期文化層が 30 点であった。文化層ごとに一定量のサンプルを得るため、文化層間で統一的なサンプル率を設定した。点数の多い縄文前期～後期文化層のみ 5%サンプリングを行い、残りの 4 つの文化層については 33%のサンプリング率を設定し、5 点以上のサンプルを確保した。その後、肉眼で判別される石質のヴァリエーションが顕著であるため、石質別にサンプリング率を適用し、サンプルを抽出することとした^{注6}。その結果、「石質不明」の剥片がサンプル対象外となったため、抽出したサンプルは、第Ⅱ文化層が 7 点、第Ⅲ文化層が 8 点、縄文早期文化層が 16 点、縄文前期・中期・後期の文化層が 9 点、縄文晩期文化層が 6 点となった（表 1）。

表 1 文化層・グリッドごとにみた桐木耳取遺跡から抽出した黒曜石サンプル

	調査グリッド									サンプルを採取した範囲(m ²)	サンプル数
文化層	D-7	E-7	G-6	G-7	H-4	H-7	I-7	J-7	K-7		
縄文時代晩期							2	4		20	6
縄文時代前・中・後期						1	1	6	1	40	9
縄文時代早期		3		2	1	2	3	4	1	70	16
第Ⅲ文化層	3		1				2	2		40	8
第Ⅱ文化層						5	2			20	7

(4)水和層の観察と計測法

サンプルとした黒曜石剥片を縁辺との直交方向へ切断することで、岩石薄片を作成した。薄片の製作は、北海道大学理学部薄片技術室の野村秀彦氏が実施した。それらの薄片について、筆者が偏光顕微鏡（メイジテクノ製 MT9300）を用いて水和層の観察と計測を行った。観察の倍率 200-500 倍であり、計測は 500 倍で統一した。水和層の計測は、各サンプルについて背面と腹面側に位置する水和層について行った。2016 年に実施した最初の観察では、二次元計測ソフト（アートレイ社 Art Measure）を用いて背面 3 点、腹面 3 点（合計 6 点）の計測値を得た。その後、計測システムを刷新し、2024 年に再計測を行った。偏光顕微鏡下の画像を液晶ディスプレイへ表示させ、その画面上で計測ソフト（メイジテクノ製 Capture 2.4）を用いて、背面 1 カ所、腹面 1 カ所の計 2 カ所の計測値を各サンプルから得た。計測はソフトに組み込まれている機能を用いた。サンプルの表面もしくは水和前線であるベッケ線が明瞭な箇所を探し、パソコンのマウスを用いて表面かベッケ線のいずれかを直線でなぞり、対する線上の 1 点（黒曜石表面をなぞった場合は、ベッケ線上の任意の点）を指定することで、2 本の平行線が自動設定され、その垂線の距離、すなわち水和層厚(μm)が得られる（図 3）。6 点の計測値を採る方法に対する本方法の利点は、平行線で囲まれた範囲を適切に設定することで、その間の距離が正確に計測できる点にある。また、複数の計測値が得にくいような、水和層が表面の一部にしか残らないサンプルでも有効となる。

背面・腹面に加え、内部の割れに沿って発達した水和層（内部水和層）が観察された場合、それらも計測した。

計測値はサンプルごとに評価した。まず、背面・腹面・内部の水和層計測値のばらつきを評価した。次に、計測値の最大差を検討した。便宜的であるが、補正変動係数が15%以上となるサンプルで、最大差が1 μ m以上となるサンプルは計測値の信頼性が低いと判断し、計測値を採用しないこととした。

(5)効果水和温度の推定

年代値を推定するためには、基準となる水和速度の決定が重要である。上記したように、水和速度は温度と黒曜石含水量に代表される外在的・内在的要因の影響を受ける。しかし現状では、後者の内在的要因に関するデータが不十分である。計測された黒曜石水和層厚のばらつきに内在的要因が潜在することが予想されるが、ここでは一端棚上げにし、外在的要因である温度について検討する。

効果水和温度の算出は、Rogers(2007)が提示した温度の年較差・日較差を組み入れた伝熱モデルを利用する。気温データは、遺跡近傍に位置する牧之原（霧島市）に位置するアメダスが記録した気象庁のデータを用いる。牧之原アメダスは、北緯31度39.7分、東経130度50.6分、標高387mに位置し、桐木耳取遺跡からは西へ10kmの距離にある。用いた気温データは1977年2月～2024年1月までに月別にみた各種の気温（平均気温、平均最高気温、平均最低気温）である。深さ方向への補正をゼロとみなすと^{注7}、効果水和温度は21.7℃となる。この効果水和温度は、例えば北海道旧白滝3遺跡の8℃（中沢ほか2017）と比較すると、13℃以上も高い。南北方向の地理的勾配による気候差が大きく影響していると考えられる。

(6)結果:文化層ごとにみた水和層厚

サンプルを観察した結果、46点中41点の黒曜石石器に水和層を認めた（図3）。5点の石器には水和層が確認できなかった。この5点には第III文化層（D-7グリッド）から出土した3点、縄文早期文化層（E-7グリッド）から出土した1点、縄文前期～後期文化層（I-7グリッド）の1点を含む^{注8}。いくつかのサンプルには片側のみしか水和層がないサンプルや、背面・腹面・内部の3か所に水和層が発達するサンプルもあった。よって、1点当たり1～3点の計測値を得ている。水和層を認めた41点のサンプルについて計測した水和層厚（ μ m）を検討した結果を、表2にまとめた。背面と腹面の水和層厚の違いが、1 μ m以上あるサンプル、および内部計測値の補正変動係数が高いサンプル4点のサンプルを除く計37点のサンプル（計82点の計測値）が妥当であると判断した。これらの計測値は、右に歪んだ分布となり、最頻値は4.5～5.5 μ mである（図4）。中には、8～12.5 μ mの厚い水和層も一定数あり、正規分布とはならない（シャピロ-ウィルク検定：W=0.86701, p<0.001）。

図5は文化層ごとに抽出したサンプル計測値の分布である。文化層はa～eに記号化しており、a(左)から順に第II文化層、第III文化層、縄文時代早期、縄文時代前・中・後期、縄文時代晩期となる。図5の計測値を文化層ごとに比べてみる。箱の範囲（中央値を挟む上下50%の値が入る）に着目すると、水平方向に隣り合う箱（上下の文化層）の計測値は重複する。計測値（黒丸）のばらつきは、第II文化層(a)から縄文時代早期(c)では大きい、縄文時代前・中・後期(d)、晩期(e)は小さい。

一方で視覚的には、おおむね古い文化層(a)から新規の文化層(e)にかけて計測値が小さくなる傾向がある。統計的には、計測値のばらつきが文化層内よりも文化層間で大きな場合は、各層の計測値は異なる

ことになる。実際、グループ間の計測値の分布には有意差（有意水準 1%未満）が認められる（クラスカル・ウォリス検定： $\chi^2=17.623, df=4, p=0.0014$ ）ため、桐木耳取遺跡における水和層厚は文化層間で異なると言える。

表3にあらためて表2に示した文化層ごとの計測値（平均値、標準偏差、95%信頼区間）をまとめる。平均値をみると第Ⅱ文化層から縄文晩期まで徐々に水和層厚が薄くなる一方で、中央値は増減し、一定方向へ変化しない。95%信頼区間をみると、上下で近接する文化層間では計測値の範囲が重複する。とくに第Ⅲ文化層の計測値の95%信頼区間（ $4.6\sim 8.16\mu m$ ）は、縄文時代晩期までの計測値の信頼区間を含む。一方、第Ⅱ文化層の計測値の信頼区間は、縄文時代とは重複しない。計測値の標準偏差が大きな第Ⅲ文化層の計測値を除いて全体をとらえると、第Ⅱ文化層と縄文時代早期とそれ以降の文化層の数値は重複しない。縄文時代文化層の計測値に限ると、早期から、前・中・後期、晩期と一部重複しながらも、相対的に新しい文化層へ向けて水和層厚が薄くなる傾向がわかる。

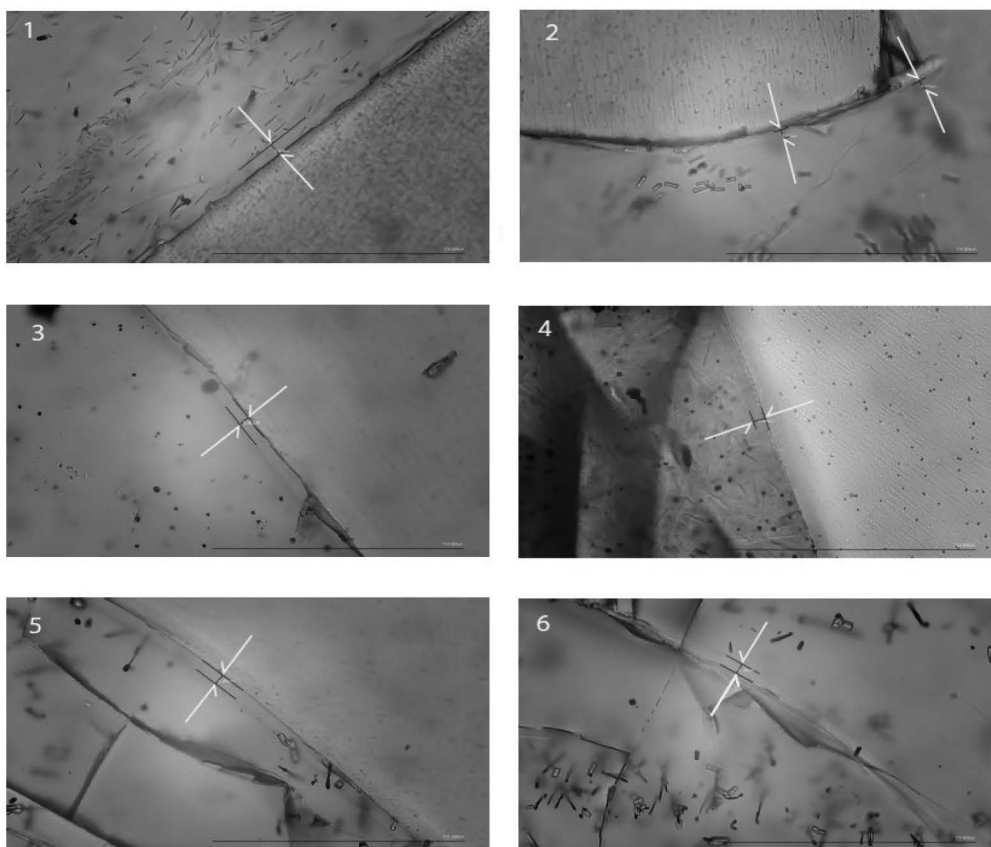


図3 桐木耳取遺跡出土黒曜石の水和層画像

500倍、写真横幅220mm。矢印は水和層の範囲を示す。水和層の厚さは線分と垂線の箇所で行った。1: #16673 2: #20251（腹面の水和層が亀裂に沿って内部へ連続する）3: #60819 4: #2909 5: #562 6: #562 内部亀裂に沿った水和層。1: 第Ⅱ文化層 2: 第Ⅲ文化層 3: 縄文早期 4: 縄文前・中・後期 5, 6: 縄文晩期

表2 桐木耳取遺跡出土黒曜石サンプルの水和層計測値

遺物番号	文化層	グリッド	層位	計測値(μm)						計測値の可否	備考
				背面	腹面	内部	平均	最大差 (背面・腹面・内部)	補正変動係数		
13554	II	H-7	XIII	5.9	5.2	-	5.6	0.7	9.45	○	
16445	II	I-7	XIIIa	10.8	12.3	-	11.6	1.5	9.75	○	
16558	II	H-7	XIIIa	9	10	-	9.5	1	7.95	○	
16612	II	I-7	XIIIa	7.3	7.4	-	7.4	0.1	1.05	○	
16673	II	H-7	XIIIa	6.6	5.9	-	6.3	0.7	8.4	○	
16740	II	H-7	XIIIa	7.6	8.3	-	8	0.7	6.6	○	
20099	II	H-7	XIIIa	11.2	9.9	-	10.6	1.3	9.3	○	
16312	III	I-7	XII	8.7	6.1	-	7.4	2.6	26.4	×	
16317	III	I-7	XII下	12	12.3	-	12.2	0.3	1.8	○	ベッケ線不明瞭につき、黒曜石表面のラインを決定し、水和の前線とみられる部分を通る平行線を引いた。
18231	III	J-7	X下	4.061	4.213	-	4.1	0.152	2.7	○	
20251	III	J-7	X下	4.223	4.31	4.36	4.3	0.137	2.275	○	内部水和層あり。ただし腹面の水和層から連続的
99999	III	G-6	XII下	5.429	4.46	-	4.9	0.969	14.7	○	
59132	縄文早期	E-7	VIII	4.763	6.481	-	5.6	1.718	22.95	×	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。
58115	縄文早期	E-7	VIa	4.961	4.58	-	4.8	0.381	6	○	
60819	縄文早期	G-7	VIII	4.858	4.992	-	4.9	0.134	2.1	○	
12992	縄文早期	H-4	VII	8.197	8.453	-	8.3	0.256	2.25	○	
12959	縄文早期	H-7	VII	5.039	5.222	6.477	5.6	1.438	20.125	×	表面に凹凸あり。内部水和層が外側より厚い。表面浸食の可能性高い。
9353	縄文早期	H-7	VIb	10.951	9.331	-	10.1	1.62	12	○	
10412	縄文早期	I-7	VII	-	11.481	-	11.5	-	-	○	背面は水和前線が不明瞭。腹面はやや不明瞭だが計測可能。被熱の可能性あり。
12971	縄文早期	I-7	VIII下	9.581	9.243	-	9.4	0.338	2.7	○	
5471	縄文早期	I-7	VII	3.792	3.563	-	3.7	0.229	4.65	○	量子多数入る。
18112	縄文早期	J-7	VII	5.615	6.077	-	5.8	0.462	6	○	
17914	縄文早期	J-7	VII	6.099	6.563	-	6.3	0.464	5.55	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。表面がギザギザ。
5521	縄文早期	J-7	VII	4.066	4.707	-	4.4	0.641	10.95	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。
2906	縄文早期	J-7	VI	5.592	5.293	-	5.4	0.299	4.05	○	
16188	縄文早期	K-7	VIa	3.779	3.943	-	3.9	0.164	3.15	○	
60495	縄文早期	G-7	VIII	3.083	3.323	-	3.2	0.24	5.55	○	
2909	縄文前・中・後期	J-7	IV	5.649	5.584	-	5.6	0.065	0.9	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。
5535	縄文前・中・後期	J-7	Va	5.739	6.073	-	5.9	0.334	4.2	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。
2959	縄文前・中・後期	J-7	Va	5.205	4.616	-	4.9	0.589	9	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。
2480	縄文前・中・後期	H-7	V下	3.89	4.316	-	4.1	0.426	7.8	○	透明。
2924	縄文前・中・後期	K-7	IV下	4.917	5.39	-	5.2	0.473	6.9	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。表面に凹凸あり。
3139	縄文前・中・後期	J-7	Va	-	5.44	-	5.4	-	-	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。
3122	縄文前・中・後期	J-7	Va	6.116	5.78	-	5.9	0.336	4.2	○	
2785	縄文前・中・後期	J-7	IV	5.763	6.264	8.015	6.7	8.737	25.375	×	表面に凹凸あり。内部水和層が外側より厚い。表面浸食の可能性高い。
562	縄文晩期	J-7	IIIb	5.293	5.911	5.184	5.5	0.727	10.325	○	内部にヒビ多くあるが、水和層が形成されていないのがほとんどのため、発掘後の損傷か。
484	縄文晩期	J-7	IIIb	5.192	5.287	-	5.2	0.095	1.35	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。内部にヒビある。表面にpitあり。
578	縄文晩期	J-7	IIIb	-	5.278	-	5.3	-	-	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。内部にヒビある。
580	縄文晩期	J-7	IIIb	4.721	4.546	-	4.6	0.175	2.85	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。内部にヒビある。
1584	縄文晩期	I-7	IIIa	4.65	4.537	-	4.6	0.113	1.8	○	内部にヒビある。
1591	縄文晩期	I-7	IIIa	-	3.995	-	4	-	-	○	ガラスに鉱物（斜長石）多く含む。内部にヒビある。

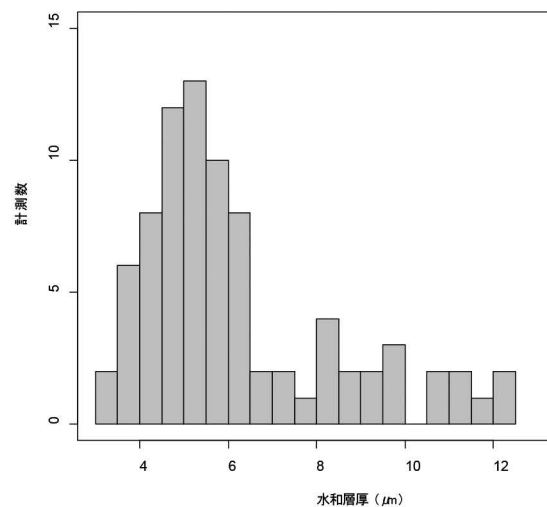


図4 水和層全計測値の分布（文化層区別なし）

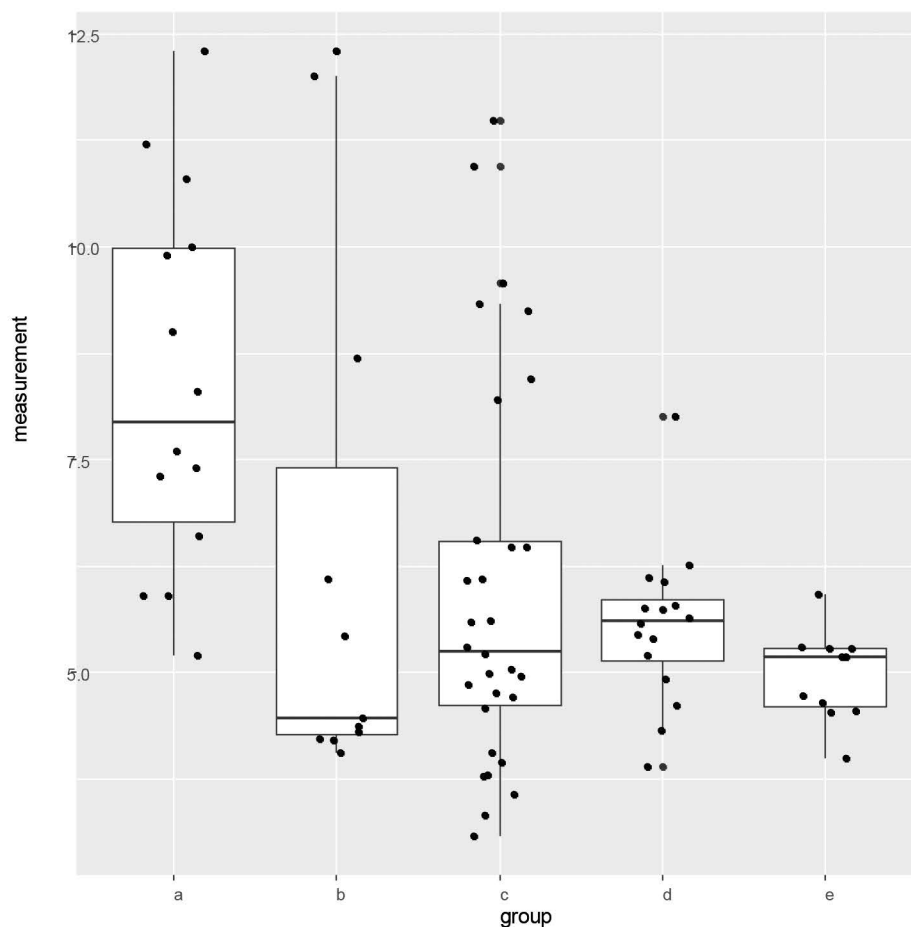


図5 文化層ごとにみた水和層計測値の分布

縦軸は μm 、横軸は文化層。a：第II文化層、b：第III文化層、c：縄文時代早期、d：縄文時代前・中・後期、e：縄文時代晚期

(7)年代推定の試み

文化層ごとの計測値はある程度のばらつきをもつことがわかったが、各層の平均値はおおむね層序に準じて、下層から上層にかけて薄くなる。一方で、計測値は正規分布をなさず、中央値も文化層の相対的新旧と対応しない。とくに第III文化層の水和層計測値は大きくばらつき、層序関係に沿わない。文化層別に計測値を比較すると、最もタイトな分布を示すのは標準偏差（0.5011）が最も小さい縄文時代晚期である。

最後に、参考までにこの縄文晩期の計測値を基準とし、桐木耳取遺跡の水和速度を算出し、各層の黒曜石水和層年代を推定する。無論、黒曜石水和層による年代値の算出には、効果水和温度、既知の水和速度、黒曜石の活性化エネルギーなどの変数を、アレニウス式（化学反応速度を推定する公式）へ代入し算出する方法が標準となってきた（Liritzis and Andronache 2024）。日本列島の黒曜石については、産地別に実施した黒曜石の促進水和実験から導出した産地別の諸変数が公表されている（渡辺・鈴木 2006）。しかし、筆者がサンプルとした桐木耳取遺跡出土の黒曜石の産地推定が未実施であり、含水量なども含めた元素組成や南九州産黒曜石の化学反応速度に関する基礎データも不足しているため、ここ

では縄文晩期の文化層から得られた放射性炭素年代値を参照し、水和速度を便宜的に推定する。報告書（鹿児島県立埋蔵文化財センター2005:439）では、縄文晩期の IIIb 層から AMS による放射性炭素年代値が報告されている。それらは、 $3,010 \pm 45$ $^{14}\text{CBP(PLD-3007)}$ 、 $3,010 \pm 45$ $^{14}\text{CBP(PLD-3008)}$ 、 $2,950 \pm 50$ $^{14}\text{CBP(PLD-3009)}$ 、 $2,970 \pm 45$ $^{14}\text{CBP(PLD-3010)}$ である。前二者は全く同じ年代値を示すように、非常に近接した年代値である。中央の値となる $2,970 \pm 45$ ^{14}CBP を OxCal 4.4 によって較正すると、 $3,295 \sim 2,969$ cal BP (95.4% 確率) となる。この中央値である $3,132$ cal BP を採用し、縄文晩期の計測値（中央値）である $4.963 \mu\text{m}$ を用いると、水和速度は $k=X^2/t$ によって $0.0078849=7.885 \times 10^{-3}$ となる^{注9}。

暫定的な水和速度を用いた黒曜石水和層年代を表 3 の右側にまとめた。計測値の 95% 信頼区間から算出した年代値の下限と上限からみると、それぞれの層が 3000 年～10,000 年間の年代幅を示す。結果、縄文時代の信頼区間は後期更新世の年代を含む著しく長いスパンをとる。また、後期旧石器時代（第 III・IV 文化層）の上限年代は A T 年代を遡るほどずれてはいないものの、第 III 文化層の下限年代は上位の薩摩火山灰の年代(12,800 年前)を超えて中期完新世まで新しくなっている。

表 3 桐木耳取遺跡の水和層計測値のまとめと水和層年代

文化層	計測数	水和層計測値				水和層年代		
		平均値	標準偏差	95%信頼区間	中央値	中央値	95%上限	95%下限
縄文晩期	11	4.963	0.5011	4.67～5.26	5.184	-	-	-
縄文前・中・後期	16	5.547	0.9025	5.105～5.99	5.617	10048	11423.8	8299
縄文早期	30	6.004	2.2434	5.2～6.8	5.258	8804.6	14755.5	8615.1
第III文化層	11	6.378	3.0117	4.6～8.16	4.46	6334.9	21194.2	6733.6
第II文化層	14	8.386	2.1182	7.28～9.50	7.95	20128.2	28715.3	16861.9

(8)水和層形成へ与える要因について

このように一部を除き、黒曜石水和層の計測値と放射性炭素年代の対応から求めた水和速度を用いて推定した水和層年代は、全体的に現在の年代観よりも古い年代値を示している。背景には様々な要因が関与していると考えられる。第一は、水和層厚のばらつきである。当然ばらつきが大きい程、推定年代の信頼区間も広がる。サンプル内の水和層厚のばらつき評価（背面と腹面の水和層厚の差異、補正変動係数）に基づきサンプルを選んだが、桐木耳取遺跡出土の黒曜石には同一サンプル内の水和層厚の差が $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ に及ぶサンプルが一定量ある。断面を示すプレパラートを観察すると、しばしば表面に凹凸がみられるように、表面の浸食があったことがうかがえる。一方で、同一文化層に含まれるサンプルには異なる居住時期に残された黒曜石が含まれている可能性がある。とくに、桜島を給源とする薩摩火山灰と下位の A T に挟まれた堆積物からは 2 枚の文化層が分離されており、これら 2 枚の文化層間の水和層計測値は 5% の有意水準で違いがあることから（U 検定: $W=115.5, p=0.03499$ ）、第 II 文化層が第 III 文化層に先行する層序関係とは矛盾しない。ただし、水和層計測値の 95% 信頼区間を用いると、第 II 文化層は 11,800 年間、第 III 文化層は 6,100 年間のスパンをもつ。第 III 文化層からは細石器石器群および縄文時代草創期相当の遺物群（隆起線文が施された土器、石鏃）が出土しているため、複数の居住期間が含まれている可能性がある。しかし現状では、仮に時間的に離散した居住活動が遺物の垂直分布パターンからも区別できない状態で包含されていたとしても、本稿で示した黒曜石水和層年代値から文化層内部の居住時期を定めることには限界がある。加えて、文化的要因も水和層厚のばらつきに影響を与える

可能性がある。生活面からの掘り込みによって下層に埋没していた石器が露出することや再利用される可能性である。遺物の再利用については、生活面が地中へ埋没するまでに至る期間が長い程生じやすいだろう。例えば、縄文時代草創期の土器を携えた人々が居住した際、その場に落ちていた先住者らが廃棄した石器を再利用するという行動も想定できる。

第二に、水和速度に影響を与える因子の存在である。黒曜石の含水量（OH⁻の含有%）は産地によって変異をもつこと(Rogers 2008, Stevenson et al. 2019)や、桐木耳取遺跡を含めた鹿児島県の石器群には10種類以上もの肉眼的に質の異なる黒曜石が認められ、南九州では旧石器時代～縄文時代に用いられた黒曜石は様々な産地からもたらされたことがうかがえる。もしそうならば、産地ごとにばらつく含水量が水和速度の変異へ影響し、計測値のばらつきを生んでいる可能性がある。

では、効果水和温度はどうであろうか。効果水和温度が直接影響するのはアレニウス式を用いた水和層年代測定であるが、本稿で推定した水和速度は縄文時代晩期の水和層計測値と放射性炭素年代を基準とした。これは、縄文晩期から現在までの数千年間にわたる古気候変動を平準化した気温下における水和速度とみなすことができる。本稿ではそれを更新世（後期旧石器相当の文化層）のサンプルまで敷衍した。しかし、更新世の方が完新世よりも寒冷であったことを考慮すると、更新世における水和速度はここで用いた水和速度よりも遅いと考えられる。水和速度が遅くなることは、同じ厚さの水和層厚の計測値を用いたとしても遅くなった分だけ水和層年代が古くなることへつながる。しかし本稿で推定した水和層年代は現在の年代観に比してやや古い傾向をもつ。更新世の古気温を考慮した遅めの水和速度を適用したとしても、年代値の古さは助長されるだろう。

このように、多くの潜在要因が考えられる。中でも桐木耳取遺跡の黒曜石水和層形成には、黒曜石の内在的要因、すなわち産地の違いなどによる黒曜石含水量の変異が、水和速度に影響している可能性が高いだろう^{注10}。

IV. まとめと課題

多層遺跡である桐木耳取遺跡の後期旧石器時代から縄文時代までの5つの文化層を対象とし、文化層ごとに抽出した黒曜石石器の水和層計測値の検討を行った。その結果、文化層の変遷に沿った年代差を示唆する観察点をえた。大まかではあるが、古層から新層まで水和層は緩やかに薄くなる。後期旧石器時代については、第Ⅱ文化層と第Ⅲ文化層の計測値には統計的な違いがみられるが、95%信頼区間は大きく重複する。縄文時代の文化層についても重複が大きく、95%信頼区間からは文化層の時間的範囲を相互排他的に決定することはできない。他方で、縄文時代早期から前・中・後期、晩期へと時間を経るにしたがって、95%信頼区間の幅が小さくなっていく点は注目したい。さらに、第Ⅲ文化層の計測値データを除いてみると、第Ⅱ文化層（後期旧石器時代）と、それ以降の縄文時代の文化層の水和層厚（推定年代）の信頼区間は排他的である。

冒頭のモデルを参照すると、桐木耳取遺跡については第Ⅱ文化層が相当する後期旧石器時代後半前葉と縄文時代の時間的開きは、ブリックモデルに示されるような文化的な差を反映している可能性がある。一方で、後期旧石器・縄文時代草創期の2つの文化層や縄文時代の3つの文化層は、ブリックモデルのように時期差を仮定した個々の文化期として完全分離することは難しく、むしろ頻度モデルが示すような漸移的变化を示している可能性がある。

桐木耳取遺跡の第 I 文化層（後期旧石器）については、居住活動の時間差（剥片尖頭器を伴う石器群と基部加工および今峠型ナイフ形石器を伴う石器群）や、同一層内の分布域の偏り（台形石器を伴う石器群と基部加工および今峠型ナイフ形石器を伴う石器群）が指摘されている（宮田 2006）。こうした文化層内に表れる石器群の多様性は、石器群間多様性の理解という旧石器考古学における課題と関連する。多様性（観察される技術的な変異）が、おしなべて特定の時間的範囲と対応するのか、あるいは時間的に限定できないと結論付けられるのか、といった命題は過去の文化・社会に関する諸課題を浮き彫りにするはずであり、年代値の体系的な検討が欠かせない。例えば、北海道・旧白滝 3 遺跡では母岩別資料ごとに黒曜石サンプルを抽出することによって、水和層計測値のばらつきを抑え、石器群間の比較が可能だった（Nakazawa et al. 2019）。同様に、桐木耳取遺跡についても、元素組成に基づく産地推定と母岩別資料分類を組み合わせることで石器群に帰属する剥片類を限定し、黒曜石サンプルを選別することができれば、石器群形成の背景にある居住活動の重複や並列を評価できるような黒曜石水和層年代を得ることにつながるだろう。

AT や薩摩火山灰（加えて黒色帯）に挟まって石器群が重層的に検出される九州は、テフクロロジーが考古遺跡へ適用できる利点がある（奥野 2002、橘・萩原 1983 など）。テフラ層序を参照しつつ、石器群の年代決定を行うことの意義は少なくない。その上で、石器群間多様性のような考古学的事象を理解するためには、石器群の存続期間や居住期間の重複といった課題への取り組みがいる。そのために、黒曜石水和層法を年代測定法の選択肢のひとつとするならば、変数となる外在的要因（温度）と内在的要因（黒曜石含水量）のパラメーター値の推定という基礎作業が必要となる。鹿児島県に限ったとしても、桐木耳取遺跡が位置する大隅半島と指宿市などが位置する薩摩半島では温度条件・履歴も異なるはずであり、用いられる黒曜石の産地別構成も地域差・時期差をもつと思われる。検討した黒曜石サンプルは肉眼でも多種類あり、顕微鏡下でもガラス石基の状態は様々である。近年、西北九州を中心として黒曜石の元素組成分析と産出地の地質踏査に基づく産地の特定が進んでいる（川道・片多 2018、芝 2024、隅田ほか 2023 など）。今回は果たせなかったが、本サンプルについてスタンダードな産地推定や含水量測定を実施し、判別された産地ごとに水和層厚を検討することによって、より確からしい文化層の年代範囲や石器群の時間的関係を明らかにすることができるだろう。

謝辞

鹿児島県における調査に際し、関係者の皆様からご便宜を頂戴した。桐木耳取遺跡については、鹿児島県立埋蔵文化財センターからサンプル利用の許可を頂戴した。以下、芳名を記して深く御礼申し上げるとともに、報告が遅延したことをお詫びしたい。

有川孝行、井ノ上秀文、岩本康成、大久保浩二、鎌田洋昭、川道 寛、関 明恵、堂込秀人、長野眞一、長野陽介、中村友昭、深野信之、藤井大祐、前迫亮一、眞邊 彩、宮田栄二（五十音順、敬称略）

遺跡・石器群の選定からサンプリングに至るまで、赤井文人氏から全面的なご協力をいただいた。本稿 IV-3 は赤井氏との共同作業の成果である。野村秀彦氏（北海道大学理学部薄片技術室）には水和層観察用の岩石プレパラートの作成をいただいた。あわせて御礼申し上げる。内容に誤認があるとすれば責任は筆者にある。なお本稿は、令和 6 年度科学研究費助成事業（課題番号 23K00942）の成果の一部を含む。

注

- (1) 内在的な要因である含水量は、フーリエ変換赤外分光法や二次イオン質量分析などの方法によって計量する (Karsten et al. 1982, Stevenson et al. 2013 など)。含水量は噴出・固結したマグマの組成と関連するため、産出地が同じであれば一定の範囲に収まると予想されるが、実際には原産地内部の変異も報告されている (Stevenson et al. 1993)。日本列島については、渡辺・鈴木 (2006) 以来、産出地ごとの平均値や偏差などの基礎データはほとんど収集されていないようである。
- (2) 遠距離から持ち運ばれて来た石器の場合、遺跡の形成時期よりも前に石器が作られたことになるため、厳密には遺跡よりも古い年代となる。もし、こうした製作時間と廃棄時間のズレが、黒曜石水和層年代の推定誤差よりも大きい場合は、寿命の長い石器の年代は遺跡の年代よりも古くなる傾向が予想される。ただし、その石器が製作されてから廃棄されるまでの使用期間を算出することは、二重パティナをもつ石器のパティナの差が水和層の厚さの差、すなわち計量可能な時間差として表れているような稀有な例を除いては困難であろう。
- (3) 考古学的文化は年代値を根拠とせず成立することが多い。例えば、中部高地にみられる「尖頭器文化」(戸沢 1965) は、石器の形態、製作技術の特徴、石器組成などにみられる共通性をもつ単位でもある (織笠 1989)。ローム層が厚く堆積する相模野台地 (鈴木・矢島 1988、諏訪間 1988) や武蔵野台地 (伊藤 2018) における後期旧石器の時期区分も、出土する石器群の層序 (考古学的に分層されたローム層) からある程度の時間的範囲が与えられるものの、特定の文化期やそこに含まれる石器群の存続期間を限定するために年代値の参照を必要条件とはしていないようである (長沼 2010)。
- (4) 同様な視点は、土器群の文様や器形にみられる変化が「漸移的变化の集積」(大井 1982: 487) と評価した議論にある。石器群では、相模野台地の旧石器時代石器群の主要器種 (細石刃、尖頭器、ナイフ形石器など) の出現比率を層序別に示したグラフ (松藤 1998) が該当する。また、ベイズ推定による放射性炭素年代値の評価で用いられるシグマ境界 (年代値分布の開始と終末が漸減的となる) による年代幅のとらえ方 (Lulewicz 2017) とも共通する。
- (5) 鹿児島県の遺跡を選択した理由は、2010 年頃に佐藤宏之先生と鎌田洋昭氏のご厚誼により、指宿市教育委員会が調査した旧石器時代の遺跡および石器群を瞥見させていただく機会に恵まれたことに発する。その後、黒曜石水和層法にとりくむ中で、鹿児島県の考古遺跡では黒曜石が多用されていること、南九州地域が日本列島の中でも温暖な気候条件下にあることから黒曜石水和層の発達期待できること、テフラ堆積物による石器群の層序関係がわかることを想起し、報告された埋蔵文化財の利用を検討した。
- (6) 赤井と筆者が区別した黒曜石の石質グループは、12 種類である。これらは、(a)黒色・透明・良質、(b)不純物多い、(c)透明・球か (小) 入る、(d)透明・球か入る、(e)漆黒、(f)灰色の霜降り、(g)透明で黒の流離が発達、(h)灰色、(i)風化・ケシズミ、(j)青味のある黒色 (針尾産?)、(k)不純物多い (透明度高い)、(l)不純物多い (透明度低い)、である。サンプリングを実施した鹿児島県の複数遺跡に共通するグループであり、桐木耳取遺跡では(f)と(g)は認められなかった。石質グループの区分は、資料を肉眼で観察した際の特徴によっており、観察者間に潜在する観察バイアスを免れえない。調査期間の制約もあり、接合資料や原石との比較などを経ているわけでもなく、元素組成分析による産地との対応関係も把握できていない。注 8 のような、黒曜石とは呼び難いガラス質岩石が含まれる可能性がある。

- (7) 深さ方法への変異を考慮すると、年較差の自乗と日較差の自乗の和によって与えられるヴァリエーション・ファクター（さらに $-1.32 \times$ 深さ分を乗すること）によって補正することが適切とされている（中沢 2015, Rogers 2007）。すなわち、遺物の埋没深度が深いほど温度は低くなり、効果水和温度も低くなる傾向にある。しかし、遺物が当時の地表面に露出していた期間ならびに埋没してから期間や、埋没する速度に応じた地表面からの深さの変化などが考慮される。極端な場合、生活面が1回のイベントで現地表面まで埋没した場合と、徐々に時間をかけて火山灰や土壌へ埋没した場合では、埋没時の温度履歴に違いがあるはずであり、深さ方向への補正も異なると考えられる。おそらく、地表面近辺に埋没した遺跡（テフラや植生の被覆が少ないアメリカ合衆国南西部など）では埋没深度変化は大きくないと考えられるが、日本列島の中でも厚いテフラ堆積物に埋没した更新世の遺跡を扱う場合には、深度による効果水和温度の補正が必要な場合もあるだろう。当地域に特有の複数の厚いテフラが挟在する桐木耳取遺跡では、堆積過程も複雑と考えられる。遺跡形成過程の検討を経ていないため、ここでは深さ方向への温度補正は留保した。
- (8) これらの黒曜石を顕微鏡下で観察すると、石基が通常の黒曜石ガラスのように透明ではない点に共通性をもつ。茶褐色の流動物質が凝固したようなサンプルや、長石や斜長石？などの鉱物が濃集するサンプルもある。流紋岩質黒曜石とは異なる種類のガラス質の火山岩や、通常の黒曜石とは成因や元素組成が異なる石材が利用された可能性もあるだろう。
- (9) この水和速度は理論的には推定した 21.7°C の効果水和温度と対応付けられることになる。以下、アレニウス式と推定した水和速度 $k=7.885 \times 10^{-3}$ を用いて、効果水和温度の水和速度への影響を推定する。アレニウス式から、黒曜石の水和速度(k)は、 $k=A \times e^{(-E_a/RT)}$ となる。 A は頻度因子、 E_a は活性化エネルギー(J/mol)で、黒曜石の産地に固有な数値をとる（渡辺・鈴木 2006）。 R は気体定数で一定 (8.314 J/K mol)、 T は遺跡における効果水和温度 (K) となる。 A と E_a は扱った黒曜石サンプルの産地が不明であることから具体的な数値が得られないが、効果水和温度の変化によって k がどれくらい変わるかをみってみる。今より気温の低い最終氷期を想定し、効果水和温度 k よりも 6°C 低い効果水和温度 $T'=15.7^{\circ}\text{C}$ を想定する。その温度下の水和速度を k' とすると、水和速度の変化は、 $k'/k = e^{(-E_a/RT' - E_a/RT)} = e^{E_a/R \times (1/T - 1/T')} = 0.999$ である。便宜的に推定した 7.885×10^{-3} という水和速度は、桐木耳取遺跡における最適な水和速度ではない可能性はあるが、更新世の気温条件へ適用するには大きな誤差はないようだ。
- (10) 含水量の影響は、定塚遺跡（曾於市）における黒曜石水和層の検討結果からも指摘できる。縄文時代早期とその下のナイフ形石器や台形石器に代表される後期旧石器（AT 上位）の文化層間で水和層厚に差が認められたものの、水和層厚と文化層の既知年代から推定される水和速度が上層と下層でずれることから、産出地の違いによる黒曜石元素組成や含水量の違いが影響したことが推測できる（Nakazawa et al. 2020）。

引用文献

- 我孫子昭二 1988「縄文土器の型式と編年」『日本考古学を学ぶ（1）[新版]』（大塚初重・戸沢充則・佐原 眞編）:183-202、有斐閣・東京
- 伊藤 健 2018「後期旧石器時代『武蔵野編年』の新地平—槌状剥離を有する尖頭器石器群をめぐって—」『東京都埋蔵文化財センター 研究論集』XXXII : 27-55
- 大井晴男 1982「土器群の型式論的変遷について（下）—型式論再考—」『考古学雑誌』67-4 : 482-501

- 奥野 充 2002「南九州に分布する最近約3万年間のテフラの年代学的研究」『第四紀研究』41:225-236
- 織笠 昭 1989「尖頭器文化とは何か—文化・考古学的文化・石器文化—」『長野県考古学会誌』59・60:315-321
- 鹿児島県立埋蔵文化財センター（中原一成編） 2004『桐木遺跡 鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘報告書(75)』
- 鹿児島県立埋蔵文化財センター（長野眞一ほか編） 2005『桐木耳取遺跡 鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘報告書(91)』
- 川道 寛・片多雅樹 2018「長崎県における黒曜石原産地研究の進展（2）」『長崎県埋蔵文化財センター研究紀要』8:1-13
- 芝康次郎 2024「腰岳黒曜石原産地をめぐる近年の研究動向」『日本旧石器学会ニュースレター』56:1-4
- 鈴木次郎・矢島国雄 1988「先土器時代の石器群とその編年」『日本考古学を学ぶ（1）[新版]』（大塚初重・戸沢充則・佐原 眞編）:154-182、有斐閣・東京
- 隅田祥光・川道 寛・中村彩野・坂本 桜・岩佐朋樹・角縁 進 2023「西北九州長崎県西海市に産する亀岳系黒曜石をもたらした流紋岩質マグマ活動の特定」『資源環境と人類』13:17-33
- 諏訪間 順 1988「相野野台地における石器群の変遷について—層位的出土例の検討による石器群の段階的把握—」『神奈川考古』24:1-30
- 橘 昌信・萩原博文 1983「九州における火山灰層序と旧石器時代石器群」『第四紀研究』22:165-176
- 田中 琢 1988「型式学の問題」『日本考古学を学ぶ（1）[新版]』（大塚初重・戸沢充則・佐原 眞編）:14-26、有斐閣・東京
- 種石 悠 2023『オホーツク文化の考古学 辺境から眺める古代日本』銀河書籍・大阪
- 戸沢充則 1965「尖頭器文化」『日本の考古学I 先土器時代』（杉原莊介編）:145-160、河出書房新社・東京
- 中沢祐一 2015「黒曜石水和層法における温度因子の重要性」『論集忍路子』IV:1-16
- 中沢祐一 2022「黒曜石水和層法の時間的適用範囲について」『北海道大学考古学研究室研究紀要』2:55-63
- 中沢祐一 2023「黒曜石水和層法：現状と課題」『季刊考古学』別冊42:20-23
- 中沢祐一・直江康雄・坂本尚史 2017「黒曜石水和層法による北海道最終氷期の石器群の時間的關係：旧白滝3遺跡の検討」、北海道旧石器文化研究会（口頭発表）
- 長沼正樹 2010「いわゆる『ナイフ形石器文化』をめぐる学説史と方法論的展望—関東平野南部の台地別層位編年に着目して—」『論集忍路子』III:37-58
- 松藤和人 1998『西日本後期旧石器文化の研究』学生社・東京
- 宮田栄二 2006「剥片尖頭器石器群とその前後の石器群について—南九州における最新の調査成果から—」『縄文の森から：研究紀要』4:27-36
- 横山浩一 1985「型式論」『岩波講座日本考古学1 研究の方法』（近藤義郎ほか編）:43-78、岩波書店・東京
- 渡辺圭太・鈴木正男 2006「黒曜石の水和速度と化学組成の關係について」『考古学と自然科学』54:1-12
- Deetz J. and E.S. Dethlefsen 1967. The Plymouth colony archive project. *Natural History* 76: 29-37.
- Doremus, R.H. 1994. *Glass Science, Second Edition*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Harris, E.C. 1979. The laws of archaeological stratigraphy. *World Archaeology* 11: 111-117.
- Hull, K.L. 2001. Reasserting the utility of obsidian hydration dating: a temperature-dependent empirical approach to practical temporal resolution with archaeological obsidians. *Journal of Archaeological Science* 28: 1025-1040.
- Karsten, J.L., Holloway, J.R., and J.R. Delaney 1982. Ion microprobe studies of water in silicate melts: temperature-dependent water diffusion obsidian. *Earth and Planetary Science Letters* 59: 420-428.

- Leonard, R.D. 2001. Evolutionary archaeology. In *Archaeological Theory Today*, edited by I. Hodder, pp. 65-97. Polity Press, Cambridge.
- Leonard, R.D., and G.T. Jones 1987. Elements of an inclusive evolutionary model for archaeology. *Journal of Anthropological Archaeology* 6: 199-219.
- Liritzis, I. and I. Andronache 2024. A first use of the power law and growth rate of experimentally aged obsidian hydration for dating purposes: part I. *Scientific Culture* 10, 101-134.
- Lulewicz, J. 2017. Radiocarbon data, Bayesian modeling, and alternative historical frameworks: a case study from the US southeast. *Advances in Archaeological Practice* 6(1): 58-71.
- Michels, J.W., 1969. Testing stratigraphy and artifact reuse through obsidian hydration dating. *American Antiquity* 34: 15–22.
- Nakazawa, Y., Kobayashi, S., Yurimoto, H., Akai, F., and H. Nomura 2020. A systematic comparison of obsidian hydration measurements: the first application of micro-image with secondary ion mass spectrometry to the prehistoric obsidian. *Quaternary International* 535: 3-12.
- Nakazawa, Y., Sano, K., Naoe, Y., Sakamoto, N., and M. Izuho 2019. Role of minimum analytical nodules in obsidian hydration measurement: insight from Kyu-Shirataki 3 in Hokkaido, Japan. *IAOS Bulletin* 62: 8-15.
- Powell, A., Shennan, S.J., and M.G. Thomas 2009. Late Pleistocene demography and the appearance of modern human behavior. *Science* 324: 1298-301.
- Richarson, P.J. and R. Boyd 2006. *Not by Genes Alone: How Culture Transformed Human Evolution*. University of Chicago Press, Chicago.
- Rogers, A.K. 2007. Effective hydration temperature of obsidian: a diffusion theory analysis of time-dependent hydration rates. *Journal of Archaeological Science* 34: 656-665.
- Rogers, A.K. 2008. Obsidian hydration dating: accuracy and resolution limitations imposed by intrinsic water variability. *Journal of Archaeological Science* 35: 2009-2016.
- Rogers, A.K. and D. Duke 2011. An archaeologically validated protocol for computing obsidian hydration rates from laboratory data. *Journal of Archaeological Science* 38: 1340-1345.
- Rogers, A.K. and D. Duke 2014. Unreliability of the induced obsidian hydration method with abbreviated hot-soak protocols. *Journal of Archaeological Science* 52: 428-435.
- Rogers, A.K. and C.M. Stevenson 2023. Can obsidian-radiocarbon pairing data be used to determine the obsidian hydration age model? *IAOS Bulletin* 71: 5-19.
- Shennan, S. 2000. Population, culture history, and the dynamics of culture change. *Current Anthropology* 41: 811-835.
- Stevenson, C.M., Gottesman, M., and M. Macko 2000. Redefining the working assumptions of obsidian hydration dating. *Journal of California and Great Basin Anthropology* 22: 223-236.
- Stevenson, C.M., Knaus, E., Mazer, J.J., and J.K. Bates 1993. Homogeneity of water content in obsidian from the Coso Volcanic Field: implications for obsidian hydration dating. *Geoarchaeology* 8: 371–384.
- Stevenson, C.M., Ladefoged, T.N., and S.W. Novak 2013. Prehistoric settlement chronology on Rapa Nui, Chile: obsidian hydration dating using infrared photoacoustic spectroscopy. *Journal of Archaeological Science* 40: 3021–3030.
- Stevenson, C.M., Mazer, J.J., and B.E. Scheetz 1998. Laboratory obsidian hydration rates: theory, method, and application. In: Shackley, M.S. (Ed.), *Archaeological Obsidian Studies*. Plenum Press, New York, pp. 181–204.

Stevenson, C.M., Rogers, A.K., and M.D. Glascock 2019. Variability in obsidian structural water content and its importance in the hydration dating of cultural artifacts. *Journal of Archaeological Science: Reports*: 231-242.

On the relationship between obsidian hydration dates and
archaeological entities:
a case study of the Kiriki-Mimitori site, Kagoshima Prefecture, Japan

NAKAZAWA Yuichi

Abstract: This paper argues the extent to which obsidian hydration dates are comparable to various temporal frameworks of archaeological entities. Among four models of temporal frameworks that describe aspects of archaeological entities (i.e., point model, linear model, brick model, and frequency model), to specify a model that appropriately explains the variation in obsidian hydration dates, I examine systematically collected optical measurements of hydration rims on the obsidian flakes from five cultural units of a stratified open-air site of Kiriki-Mimitori, Kagoshima Prefecture, Japan. A statistical analysis reveals that the rim measurements decrease from the lower to upper cultural layers, while the confidence intervals of measurements between every pair of two consecutive cultural layers overlap. Having excluded the measurements of Cultural Layer III that have the largest standard deviation, a temporal boundary between the lower Cultural Layer II (Upper Paleolithic unit later than the eruption of AT tephra) and the upper three Jomon Layers emerges. This boundary may reflect the cultural difference between the Holocene Jomon and the Pleistocene Upper Paleolithic, comparable to the brick model. Contrary, a gradual change in the distributions of measurements from the lower two cultural layers (i.e., Cultural Layers II and III) and upper three cultural layers (i.e., Initial Jomon, Early/Middle/Late Jomon, and Terminal Jomon) is likely comparable to the frequency model. Moreover, among the factors that potentially create variations in hydration rim measurements, intrinsic water content likely varied depending on obsidian geochemistry is the most plausible source of variation among the obsidian flakes of Kiriki-Mimitori.