

研究論文

等長対数比変換と化学組成の公開データベースを用いた 黒曜岩の原産地推定（1）：隠岐地区のデータ補完

上峯篤史

要 旨

化学組成にもとづく石器石材の原産地推定法において、蛍光 X 線分析装置による非破壊測定は汎用性や効率と精密さのバランスに優れている。可搬型装置をふくむ、操作性や価格が「こなれた」装置の登場も、大いなる福音と見なせる。一方で、この方法の採用にあたって、機器導入コストに次ぐ課題となっているのが、産地推定のためのリファレンス・データの確保である。分析機器一般の例に漏れず、蛍光 X 線分析法による測定値は機器依存であるため、同一の機器と測定条件において、産地未知試料（遺物）と産地既知試料（原礫）との化学組成的マッチングを試みなければならない。また従来の石材原産地推定では、化学組成をふくむ組成データに通有の性質（定数和制約）が考慮されておらず、数値の扱いにおいて致命的な欠陥が潜んでいる。これらの解消のため、筆者はすでに、自身の機器から得られた測定値を既往の公開データベースに載せて原産地推定するための手順、定数和制約を回避するための手順を整え、公表した。その試みでは産地推定結果の約 94% を再現できたが、参照先（東京航業作成の TAS2020 データベース）では一部の原産地の試料が乏しく、データの追加が必要と見ていた。この作業に着手し、隠岐地区のデータを追加・整備したのが、本研究である。まず、隠岐地区の地質環境と TAS2020 における黒曜岩の化学組成との関係、判別群（化学組成のクラスター）間の区別の妥当性を検討し、いくつかの判別群を統廃合した。次に、装置や測定環境、試料調製の違いからくる精度（繰り返し測定時の誤差）の違いをならすため、適切な測定時間（X 線照射時間）を算出し、リファレンス・データの補完を果たした。これらの手順で整えたデータセット（TAS2020+AU ver.1）を用いて、隠岐島後の加茂サスカ遺跡の採集資料、日本海沿岸地域の後期旧石器時代前半期の資料（上野遺跡、鳥ヶ崎遺跡）を原産地推定し、有効性を確認した。可搬型蛍光 X 線分析装置による分析でも、隠岐地区に複数ある判別群をいくらか区別でき、それをもとに石器群の成り立ちを論じることが可能である。

キーワード：対象時代 後期旧石器時代前半期

対象地域 山陰地方

研究対象 蛍光 X 線分析法

1. 研究の背景と課題

（1）DIY 分析者の憂鬱

考古遺物の材料産地を推定する研究は、考古学・文化財科学において確たる位置をもった、さかんな研究分野である。石器研究では、岩石の資料特性によく適合したライフヒストリーの視野のもと、石材原産地、製作技術、使用法がそれぞれの方法を模索しつつ探究されている。前二者は物理学の応用分野である点で近い距離にあるとも言える。しかしながら、もはや従来科学となった破壊力学の原理の一部を飼い慣らし、石器観察に応用する製作技術研究に照らしてみれば、原産地推定研究が学際領域に安住している感は拭えない。分析化学に関わる知識はもちろん、何よりも機器の導入と維持のコストが、原産地推定研究への参入を

阻む。実際、筆者が矢野健一先生の指導下で卒業論文研究に着手した際も、原産地推定研究は研究テーマの候補に考えなかった。機器も遺物も自身の手の届くところのない身上で原産地推定研究に関心をもって、つまるところ、文献研究に甘んじるしかない。研究の核を他者の動きに委ねた状態で、研究者としての歩みを始めたくない。そのように考えたものである。

転じて近年では、少なくとも機器の導入に関しては、好転の兆しが見える。外部資金による大型共同研究が浸透し、潤沢な資金を手にして分析機器を導入する研究室が出てきた。行政機関でも分析機器の導入が進み、もはや分析会社委託がルーチンではなくなってきた。購入が現実的な価格と、使いやすさを備えた機器も登場し、考古学の研究者が見よう見まねで操作できるも

のようになってきた。筆者が運営する小さな研究室でも、2017年から可搬型蛍光X線分析装置の運用が続いている。さらに工業試験場や民間会社の機器レンタルサービスが拡大し、ある程度の資金（機器の購入・維持に比べればはるかに低額）を用意すれば、学生でも分析機器を操作して、自分の研究に活用できる状況が生まれてきた。高額な機器を有する一部の分析者からの託宣を待たずして、遺物観察から立ち上がった動機にもとづいて、機器分析にあたれる状況ができあがってきたわけである。

石材原産地推定で多用される蛍光X線分析法に関して、分析値のラボ間、機器間での非互換性がさかんにリマインドされている（大屋 2009、金井ほか 2022 など）。高い精確さと引き換えに、試料の粉碎・融解・規格化が前提となる波長分散型蛍光X線分析法（WDXRF）はともかくとして、やや大まかに、そのかわり非破壊で分析を実施するエネルギー分散型蛍光X線分析法（EDXRF）では、これらの声に耳を塞ぐわけにはいかない。使用機器が異なれば、同じ試料を測定しても得られる値は異なる。同じ試料を同じ機器で測定しても、複数回測れば毎回違った値が得られる。測定時間や測定環境、機器の設定も測定値に影響する。誤差にどうやって折り合いをつけ、機器間の違いをどうやってクリアするか。やや背伸びして機器を使っている筆者以上に、レンタル機器を運用する分析者にとってはいっそう深刻だ。分析の要となる機器が自身の管理下にないため、確認・制御できる部分は限られよう。

一方、機器導入さえ果たせば、石材原産地研究が始められるわけではない。原産地推定は総じて、産地既知試料と産地未知試料との比較に依拠している。産地既知試料（原産地で採取した原礫等）の化学組成データがなければ、遺物を測定しても比べるものがない。分析値の機器間での非互換性が災いして、他者が公開する産地既知試料の分析値データベースは、自分が測定した遺物の原産地推定には使えない。自分でデータベースを整えざるを得ないわけだが、日本列島では黒曜岩の産出地は約 200、ガラス質安山岩の原産地は少なくとも 150 以上が計上される（杉原ほか 2006）。しかも、原産地は有害動物が息する山中、離島、海中、神域、米軍等管理地、私有地にもおよび、すでに絶産状態となった産地もある。原礫の悉皆的収集は容易ではない。機器がもつ測定誤差を考慮しつつ、機器間の互換性とリファレンス・データを確保する。これは分析者が林立する昨今の状況のコントロールに必要なだけでなく、DIY 分析者にとって悩みの種なのである。

（2）等長対数比（ilr）変換を用いた判別分析法

自身の測定環境から得られた分析値と既存のデータベースとをマッチングさせる。筆者が試みた無精な方策が、TAS2020 を使用した判別分析法である。TAS2020 とは東京航業研究所地球化学分析室（2020）が整備・公開する、日本列島の黒曜岩分析値データベースである。測定試料の借り出しや測定値の提供依頼にも応じて頂けるため、すでにいくつかの利用実績がある（青木ほか 2023 など）。筆者は自身が現有する黒曜岩原礫のうち、TAS2020 収録のものと同じの地質学的起源に由来すると考えられる 13 判別群を橋渡しに、検量線法によって、自身の分析値を TAS2020 に載せることを試みた（上峯 2024）。

加えて筆者が注意を払ったのが、組成データ（総和が 100% になるように規格化されたデータ）がもつ定数和制約（constant-sum constraint）という制約条件である。蛍光X線分析法においては、各元素の濃度、原産地推定で用いられる元素比¹⁾は組成データである。太田（2023）が丁寧に説明するように、組成データは絶対量変動の情報を記録していない、回帰分析や相関分析などの統計分析の多くが使用できない、項目の抽出や統合をすべきでない等、科学の判断材料として致命的な欠陥をもつ（Aitchison 1986）。当然、石材原産地推定に深刻な影響を与えているはずだが、金井（2019）の指摘にも拘わらず、これに対応した研究はきわめて少ない。

定数和制約の回避には対数比変換が有効で、とりわけ太田（2023）は等長対数比（isometric logratio; ilr）変換を推奨する。どの組み合わせで分母・分子を選択してもデータ構造、サンプル間距離、角度が変わらない対数比変換で、金井（2019）が採用する加法対数比変換（additive logratio; alr）に比べて、分母・分子の選択に悩まなくてよい点が優れている。筆者は以下の手順で、自身の測定環境（Bruker 社製可搬型蛍光X線分析装置 Tracer 5i）による測定値を、黒曜岩の原産地推定に用いた（上峯 2024）。

まず Tracer 5i から出力されたデータに対し、0 値や欠損値を各元素の検出限界値で置換し、合計が 100% になるように再計算した（乗法置換）。これを組成データの対数変換ソフト CoDaPack (ver.2.03.01) で ilr 変換した。Mn、Fe、Rb、Sr、Y、Zr、Nb の 7 元素と、残余の元素の和を加えた 8 項目から、変換によって ilr.1 ~ 7 までの変数が得られた。次に、筆者が現有する原礫のうち、TAS2020 掲載の判別群（化学組成のクラスター、系）との対応が明確な 13 産地の測定結果を、同

様に乗法置換、ilr 変換した。これによって、Tracer 5i による測定値を TAS2020 の測定値に適合させる検量線を作成し、Tracer 5i で測定した考古遺物の化学組成データを TAS2020 と直接比較できるようにした。IBM SPSS Statistics ver.15.01J による判別分析で、両者の統計学的マッチングを試みた。

同方法による TAS2020 の再現度（交差確認済の判別の中率）は、日本全国の産地を一括解析した場合で 93.9% に達する。原産地によっては TAS2020 掲載試料が少なく、また判別群（系）の統合が必要なものも散見される。これらの課題をのこしつつも、本稿執筆直前（2024 年 6 月）では、各地の考古遺物の分析では 94% 程度と見ていた。

（3）リファレンス・データの不足

この方法の運用において懸念されるのは、TAS2020 収録データの不足である。TAS2020 では 124 もの判別群が整理され、各判別群で原則 10～12 点の基準試料が掲載されている。ただし測定の結果、基準試料から除外されたものもあるし、絶産状態の原産地は掲載試料数が極端に少ない。これらの判別群ではデータの分布範囲が正しくとらえられておらず、原産地推定に影響すると予想される。すなわち、TAS2020 に新規測定データを加えて補強する必要がある。本稿では、TAS2020 に新規測定データを加える際の測定条件や留意点、妥当性を論じる。

TAS2020 では、隠岐地区の黒曜岩として、14 の判別群が設定されていて、すべて島後で産出する（図 1-a）。それぞれの岩質および基準試料の点数は図 1-b のとおりである。藁科哲男ら（1988）は隠岐地区の黒曜岩を久見、加茂、津井に三大別するが、向井正幸（2014）は「久見Ⅰ」「久見Ⅱ」「南方」「加茂」「津井Ⅰ」「津井Ⅱ」に、隅田祥光ら（2016）は「1-1～5」、「2-1～3」「3」に区分する。基準試料の採取地と化学組成から、TAS2020 判別群との対応関係は図 1-b のように推定される。

隠岐地区では「久見林道 A」「代湾 A」「代湾 B」「福浦隧道 A」「福浦隧道 B」「加茂」「男池 B」の基準試料が少なく、判別群の範囲が正確にとらえられていない可能性がある。このうち「久見林道 A」「代湾 B」「福浦隧道 A」は石器石材として不適と見積もれるから、差し当たり重要ではない。一方で、のこりの判別群については、基準試料の追加をふくめた再検討が必要である。

2. リファレンス・データを補完する

（1）TAS2020 判別群の再検討

黒曜岩を産出する重栖層は、島後では北東部をのぞくほぼ全域に分布する新第三紀層である（図 1-a）。重栖層は流紋岩と粗面岩の溶岩からなり、同質の火砕岩を挟む。12 に細分される火砕岩の産出層準のうち、黒曜岩を含むのは島北西部では下部の火砕岩 Op2～3、中部の Op4～5、上部の Op8、12、島南部では下部の Op2b、3、中部の Op5～6 である（村上 2018）。分布範囲から火砕岩と各判別群との対応関係は、図 1-b のように推定される。

石質不良な「久見林道 A」「代湾 B」「福浦隧道 A」をのぞいて考えると、「福浦隧道 B」と「福浦湾」が Op3 から、「加茂」の一部と「箕浦海岸」「岸浜今津」が Op5 から、「愛宕山」「男池 A」「男池 B」が Op2b から産出していると見なせる。TAS2020 の掲載値をみると、「福浦隧道 B」と「福浦湾」、「箕浦海岸」と「岸浜今津」の化学組成はそれぞれよく一致しており、両者を区別する地質的・化学組成的な根拠が見当たらない。「加茂」は「箕浦海岸」「岸浜今津」と同じく Op5 の分布範囲で産出し、隅田ほか（2016）でもこれらを区別していない。一方で TAS2020 に収録された「加茂」の基準試料は 5 点と少ないものの、Sr が隠岐産黒曜岩のなかではやや多く、「箕浦海岸」と「岸浜今津」とは異なり、むしろ「愛宕山」と近似する。また筆者が加茂地区で採取した原礫でも、「加茂」と同様の化学組成を示すものは稀であった。これらは Op6 に由来する可能性があるが、加茂地区の黒曜岩の量的主体ではないと考えられる。「愛宕山」「男池 A」「男池 B」は Al、P、Ca、Ti、Mn、Sr、Nb の値に違いがある。

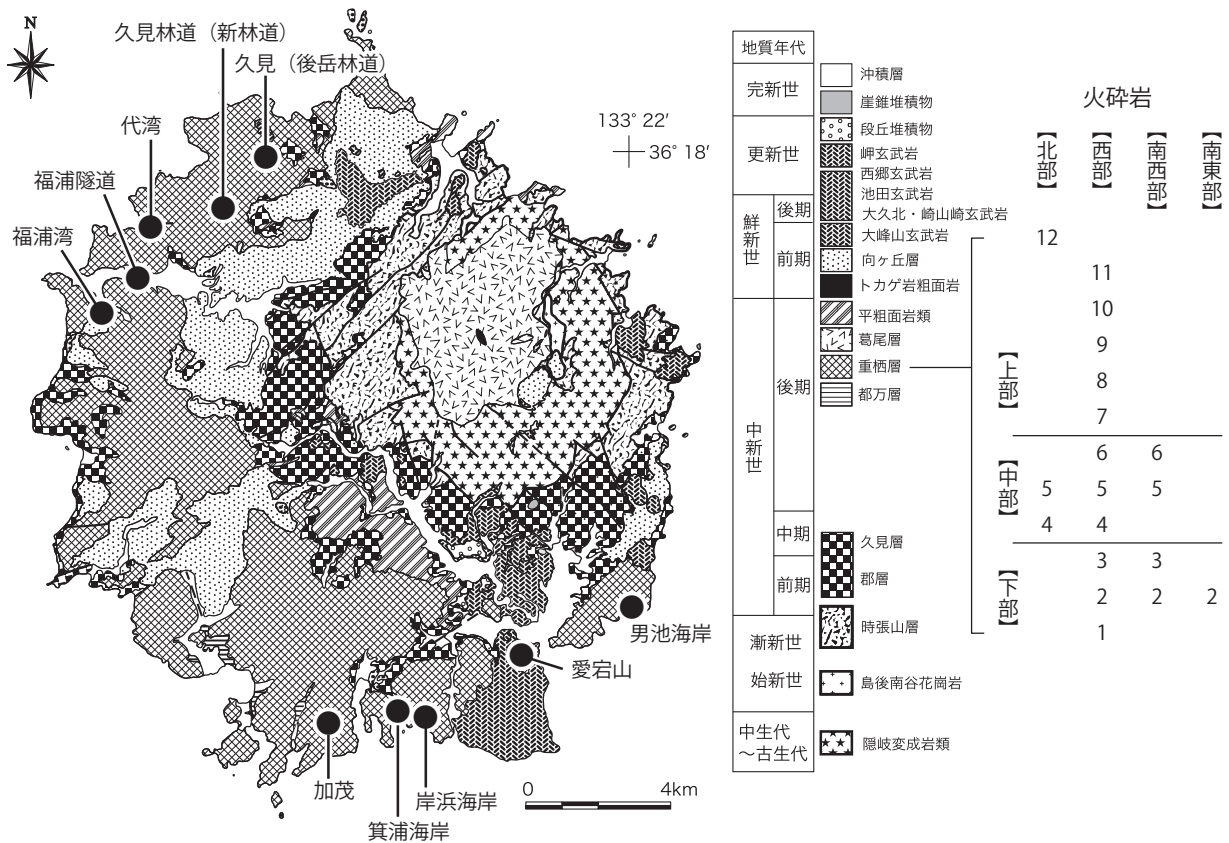
以上の検討から、判別群を次のように変更する。

- ・「久見林道 A」「代湾 B」「福浦隧道 A」は石器石材として不適と考えられるため、判別群から除外する。
- ・「福浦隧道 B」「福浦湾」は区別できないため、「福浦隧道 B・福浦湾」判別群とする。
- ・「箕浦海岸」「岸浜今津」は区別できず、加茂地区で産出する黒曜岩の主要なものとも区別できない。これらを「加茂・箕浦海岸・岸浜今津」判別群とする。

（2）測定条件と測定誤差

筆者が採取した試料を測定し、TAS2020 の基準試料を補う。筆者は Bruker 社製の可搬型蛍光 X 線分析装置 Tracer 5i (#900F4669) を使用しているが、TAS2020 ではリガク製据置型蛍光 X 線分析装置 NEX-DE が使われている。また TAS2020 では基準試料の測

a. 隠岐島後の地質と黒曜岩産出層（重栖層）の分布（沢田ほか（2008）、村上（2018）をもとに作成）



b. 隠岐地区の黒曜岩判別群と先行研究・本研究の認識

火砕岩分布 (村上2018)	藁科ほか（1988）		向井（2014）		隅田ほか（2016）		TAS2020			本研究	
	判別群	試料数	判別群	試料数	判別群	試料数	判別群	試料数	石質	判別群	試料数
Op4	久見	28	久見I	2	Gr. 1-1	11	久見	12	良	久見	12
Op5					Gr. 1-4	1	久見林道A	4	不良	—	—
Op5					Gr. 1-5	1	久見林道B	11	良	久見林道B	11
Op2			久見II	6			代湾A	8	良	代湾A	14
Op2							代湾B	3	不良	—	—
Op3							福浦隧道A	5	不良		
Op3			南方	3			福浦隧道B	6	良	福浦隧道B・福浦湾	18
Op3							福浦湾	12	良		
Op5, Op6	加茂	17	加茂	6	Gr. 1-2		加茂	5	良	加茂・箕浦海岸・ 岸浜今津	26
Op5					Gr. 1-2	2	箕浦海岸	12	良		
Op5					Gr. 1-2	5	岸浜今津	12	良		
Op2b					Gr. 1-3	1	愛宕山	11	良	愛宕山	11
Op2b	津井	22	津井II	1	Gr. 2-2? Gr. 2-3	8	男池A	15	良	男池A	15
Op2b			津井I	3	Gr. 3	1	男池B	3	良	男池B	9

* 隅田ほか（2016）では Gr. 2-1 として神尾西海岸の試料をアツカウ

図 1 隠岐地区の黒曜岩と判別群

定面を研磨している。これら測定条件の違いに関して、測定値の違いは旧稿（2024）で示した補正式で変換できるが、測定誤差の違いを考慮する必要がある。

TAS2020 の条件下での測定誤差（変動係数）は、掲載されたドリフト値（東京航業研究所地球化学分析室編 2020：347-353）から Fe/K 比で約 3%、微量元素（Rb・Sr・Y・Zr）に占める Rb の割合（Rb 分率）で約 1%、Sr の割合（Sr 分率）で約 2% と計算できる。ただしこれらの値は、複数の元素の比をとったもので、定数和制約の影響も鑑みれば、数値のとおりにとらえることには躊躇する。目安として、変動係数を 1% 以下にすれば TAS2020 に比肩できる、と見なしておく。

図 2-a・b には、和田峠の黒曜岩 5 点を対象に、剥片状試料（未研磨資料）と研磨済試料で測定時間（X 線照射時間）を変化させた結果を示す。Mn と Nb では研磨済試料の有意は明らかだが、他の元素では剥片状試料の方が変動係数が小さくなっている。得られた測定値からすれば、剥片状試料でも 400 秒測定すれば、TAS2020 の測定誤差の目安である 1% を全元素で下回ると判断できる（図 2-c）。したがって、TAS2020 の補完のための測定条件は、以下の通りとなる。

・剥片状試料を研磨せず、Tracer 5i で 400 秒測定する。

（3）測定値の装置間互換性

測定には Bruker 社製可搬型蛍光 X 線分析装置 Tracer 5i を使用しているが、本研究の遂行途中、筆者が使用してきた正規機（#900F4669）が故障し、同一機種種の代替機（#900F4452）に切りかえることとなった²⁾。両機の測定結果の互換性を、同一試料の測定結果をもとに確認しておく。

地球化学標準試料 JG-1（花崗閃緑岩）、JA-2（安山岩）、JR-1（黒曜岩）、JR-2（黒曜岩）の粉末状試料を、油圧プレスで成形したものを測定に供した。管電圧・管電流の設定は、黒曜岩の成分分析に最適化された測定アプリケーションによる自動設定とし、スポット径 8mm の絞りを装着して、大気雰囲気にて 60 秒間測定した。フィルターは 100 μm Cu / 25 μm Ti / 300 μm Al が自動設定された。得られたスペクトルは内蔵アプリケーション（Obsidian 工場検量線）で解析され、元素の種類と濃度が出力された。10 回測定（単純繰り返し測定）によって得られた測定値から平均値を算出し、分析値とした。両機の分析値を元素ごとに比較した結果を、図 3 に示す。分析値そのものは若干異なるものの、直線性は高く（総体的な高低は再現度が高く）、単純な計算式によって互換性を担保できることがわかる。

（4）隠岐産黒曜岩の追加測定

TAS2020 に収録された隠岐地区の黒曜岩のうち、基準試料の不足が懸念されるのは「代湾 A」「加茂」「男池 B」である。これらを、以下の試料によって補完する³⁾。代湾海浜礫のうち、良質な黒曜岩 6 点で「代湾 A」を、加茂サスカ周辺の切り通し土層から採取した礫 2 点で「加茂」を補う。犬来男池付近で採取した海浜礫 101 点のうち、Sr が多い 6 点を「男池 B」としてあつかう。

これらの試料の測定時間は 400 秒、剥片状試料の剥離面を研磨せずに測定した。得られたスペクトルは内蔵アプリケーション（Obsidian 工場検量線）で解析され、元素の種類と濃度が出力された。これを上述した手順で処理し、Tracer 5i による測定値と TAS2020 の測定値をそれぞれ ilr 変換して比較できるように整えた。ただし上述した使用機器の変更にともない、旧稿（2024）と同じ試料の測定をもとに代替機用の補正式を作成し、測定値を TAS2020 と互換性のある値に変換している⁴⁾。図 3 の結果に照らせば、使用機器の変更にともなう差も、この補正式によって補正されていると考えられる。

「代湾 A」「加茂」「男池 B」を補った TAS2020 を IBM SPSS Statistics ver.15.01J による判別分析にかけて、判別群の再現度（交差確認済の判別率）をもとめた。日本全国の産地を一括解析した場合で 94.7% となり、旧稿（2024）から若干向上した。今回作成したデータセットを、TAS2020+AU ver.1 としておく。

3. 新規データセットの信頼性

（1）隠岐地区出土遺物による検証

隠岐地区の黒曜岩のリファレンス・データを補強できたので、遺物の原産地推定に運用する場合の判別確度を確認しておこう。加茂サスカ遺跡の範囲内で採取した遺物（図 4-a-1～12）を、測定時間 60 秒、その他は同一条件で分析した。加茂サスカ遺跡は火砕岩 Op5 の分布範囲内に立地し、堆積物中にも黒曜岩原礫をふくむ原産地遺跡である⁵⁾。

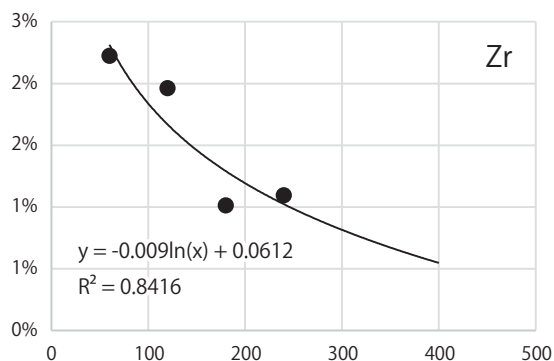
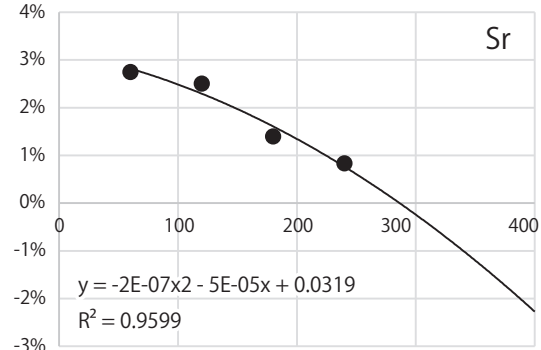
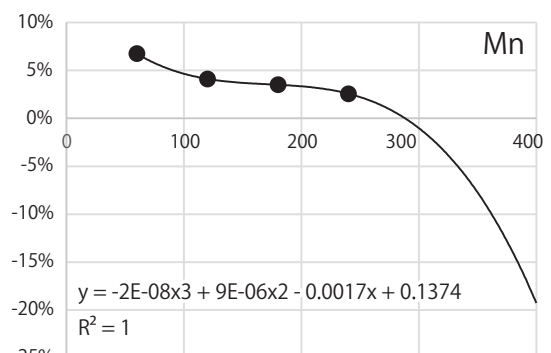
原産地推定の結果を図 4-b に示す。12 点中 10 点が「加茂・箕浦海岸・岸浜今津」系に判別され、本研究におけるデータの追加が首尾よく達成できたことがうかがえる。「久美」系に判別された 2 と 8 は、角礫由来で、原礫面の残存部も大きい。他の資料とは異なる特徴をもつため、搬入品と考えても差し支えない。

a. 剥片状試料（未研磨試料）における変動係数

測定秒数	Mn	Fe	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
60	7%	2%	2%	3%	5%	2%	27%
120	4%	2%	2%	3%	4%	2%	24%
180	4%	1%	1%	1%	3%	1%	16%
240	3%	1%	1%	1%	2%	1%	13%

b. 研磨済試料における変動係数

測定秒数	Mn	Fe	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
60	3%	30%	8%	6%	53%	8%	2%
120	2%	25%	7%	6%	49%	6%	2%
180	3%	16%	6%	4%	37%	4%	2%
240	2%	12%	4%	0%	25%	3%	1%



c. 未研磨試料における変動係数の回帰分析

X 軸＝測定時間（秒）

Y 軸＝変動係数

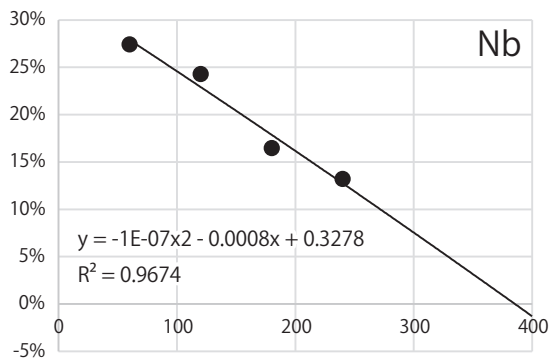
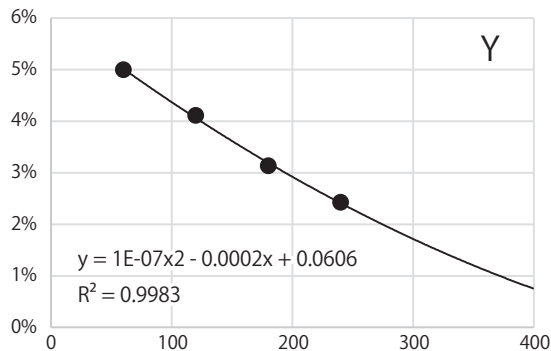
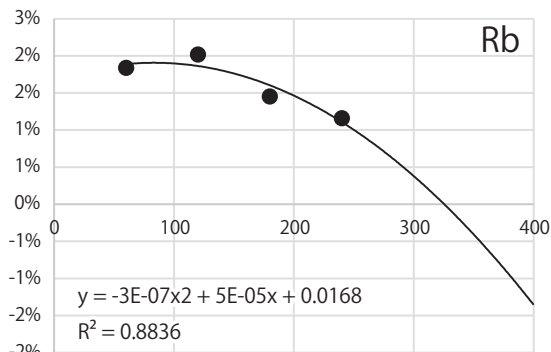
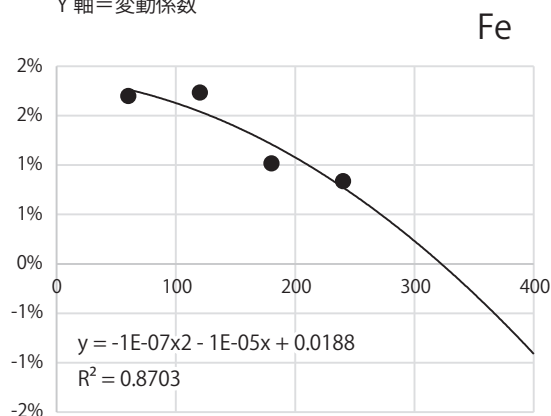


図2 Bruker Tracer 5i における試料状態と測定時間および測定値の変動係数（長野県和田峠の黒曜岩）

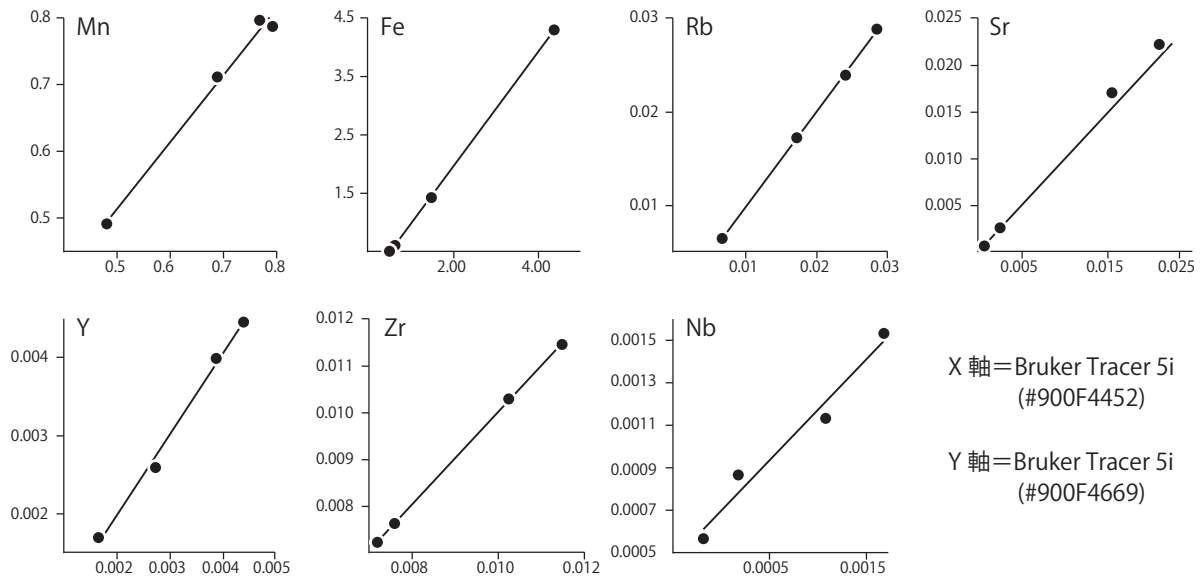


図3 Bruker Tracer 5i における測定値の装置間互換性

(2) 旧石器時代遺物の原産地推定

次に、日本海沿岸地域の旧石器時代遺跡出土石器の分析を試みておこう。図4-a-13~14は京都府京丹後市上野遺跡で、筆者らが実施した2020年度発掘調査で得られた資料である。筆者らの発掘区では褐色ローム質土層中に石器の包含層準があり、周辺の露頭との対比から、石器の包含層準はAT火山灰層より下位に位置づけられる(上峯ほか2021)。13は打面の一部のみに原礫面をとどめる剥片、14は打面の一部と背面に原礫面をもつ剥片である。

これらに加え、筆者らの発掘区に北接する京都府埋蔵文化財調査研究センターの発掘区で出土した黒曜岩製遺物が5点ある(面ほか2024)。扁平小礫が1点含まれるが、のこる4点は剥片ないしは碎片である。

図4-a-15~17は島根県松江市鳥ヶ崎遺跡で、筆者らが実施した2019年度発掘調査で、地表面直下に堆積する褐色ローム質土層から出土した。この地層の堆積年代は不明である。15は複剥離面を打面として剥離された剥片の末端に、alternating retouchを施す。とりわけ背面側からの二次加工は急角度で施されており、剥片の末端部を切断するかのようである。尖頭部を作出した石器と推定する。16は原礫面を取りこんだ剥片の末端部から二次加工を施し、片側縁を背面側に向けて切断する。基部を備えた石器と推定する。17は剥片で、先鋭な打撃具で時計回りに打ち割りを進める過程で割取られている。

原産地推定の結果を図4-bに示す。図中の「距離」はマハラノビスの平方距離で、左欄に示した「判別群」と、測定値との距離を示す値である。この値が小さい

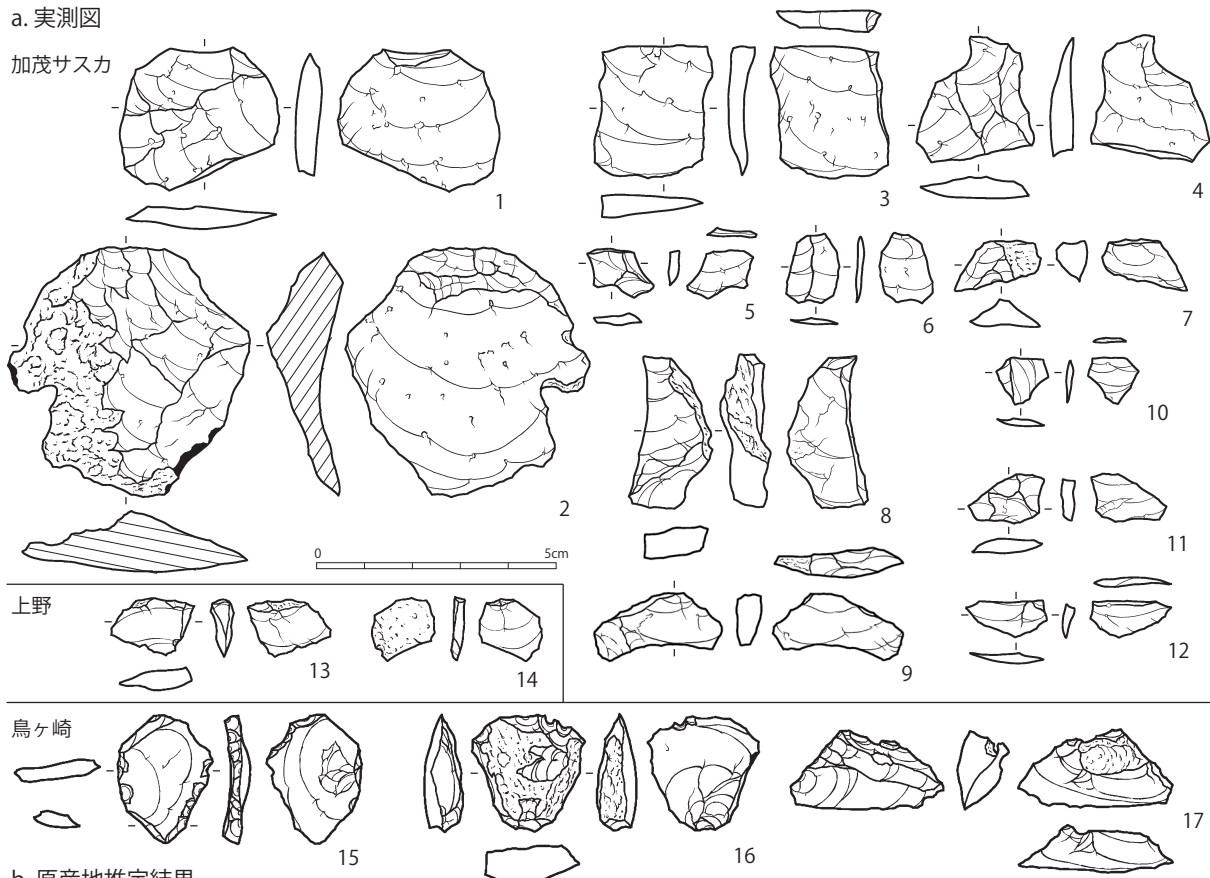
順に「判別群」を2位まで掲載している。すべての試料が隠岐地区の判別群のどれかに同定されており、黒曜岩が隠岐地区に由来することは疑いない。一方で、距離1と距離2の差が小さく、厳密な同定に躊躇する試料もある。

そのうえで注視されるのは、鳥ヶ崎遺跡と上野遺跡(上峯研調査区)はそれぞれで判別群がまとまる一方で、上野遺跡(京埋セ調査区)では複数の判別群が混在することである。上野遺跡(京埋セ調査区)では三つの石製遺物集中部と、散漫に石製遺物が分布する場所が視認される。それらに隣接する上峯研調査区(緩斜面の上部)において散漫に分布する石製遺物群に、異なる判別群に分類される黒曜岩製遺物がふくまれる。

上野遺跡においては、上峯研調査区の出土遺物が異地性の頁岩や流紋岩を使用した大形かつ定形性の高い石器と、遺跡周辺の海浜礫を原材料とした、加工程度や定形性が低い小形石器の二者で構成されることを確認している。一方で、京埋セ調査区の出土遺物には、遺跡周辺で採取可能な石材を素材としながらも、比較的大きな石核や剥片がふくまれ、石器群の成り立ちが上峯研調査区とは異なると予想される(上峯ほか2024)。黒曜岩原産地推定の結果も、この推定を補強するものと見なせる。構造の異なる石器群が近接して布置される状況からは、環状ブロック群から示唆されるような、異なる集団の一時的な集合が推定されるところである。

a. 実測図

加茂サスカ



上野

鳥ヶ崎

b. 原産地推定結果

番号	遺跡名	資料番号	測定番号	器種	判別群1	距離1	判別群2	距離2
1	加茂サスカ	3	JMC1460	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	12.55	久見系	13.38
2	加茂サスカ	1	JMC1456	剥片	久見系	12.79	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	14.54
3	加茂サスカ	4	JMC1463	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	10.30	久見系	11.28
4	加茂サスカ	5	JMC1466	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	3.77	久見系	19.45
5	加茂サスカ	11	JMC1486	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	11.01	久見系	41.04
6	加茂サスカ	8	JMC1477	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	5.80	久見系	19.49
7	加茂サスカ	2	JMC1457	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	5.08	代湾A系	18.00
8	加茂サスカ	6	JMC1471	剥片	久見系	39.13	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	52.02
9	加茂サスカ	7	JMC1472	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	10.24	代湾A系	29.97
10	加茂サスカ	10	JMC1482	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	7.04	代湾A系	12.81
11	加茂サスカ	9	JMC1480	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	7.79	久見系	18.89
12	加茂サスカ	12	JMC1489	剥片	久見系	11.01	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	13.07
13	上野（上峯研）	1017	NUC6155	剥片	愛宕山系	57.49	男池A系	139.95
14	上野（上峯研）	1015	NUC6154	剥片	愛宕山系	55.80	男池A系	130.18
	上野（京埋セ）		NUC5175	剥片	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	20.85	久美系	25.71
	上野（京埋セ）		NUC5176	剥片	久見系	36.26	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	37.45
	上野（京埋セ）		NUC5177	剥片	久見系	41.18	代湾A系	45.97
	上野（京埋セ）		NUC5178	原礫	代湾A系	34.94	愛宕山系	46.77
	上野（京埋セ）		NUC5179	剥片	久見系	74.09	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	82.53
15	鳥ヶ崎	5052	NUC6152	台形様石器？	久見系	53.56	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	60.43
16	鳥ヶ崎	5039	NUC6150	台形様石器？	久見系	12.04	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	26.41
17	鳥ヶ崎	5048	NUC6151	剥片	久見系	27.47	加茂・箕浦海岸・岸浜今津系	36.70

図4 黒曜岩製遺物の原産地推定

4. 結論

以下、本稿で明らかにし得たことを整理する。

- ① 筆者が旧稿（2024）で提案した、既存の公開データベースを活用した黒曜岩原産地推定において、不安材料であったデータベース収録試料の不足は、それぞれの環境における試料の追加測定によって補うことが可能である。追加データの獲得のためには、測定時間（X線照射時間）を長くとる必要があり、その長さは測定環境によって異なるものの、算出可能である。
- ② 本稿で隠岐地区の黒曜岩の化学組成データを補完できたことで、隠岐地区の黒曜岩を利用していることが予想される日本海沿岸地域の石器群の解析における不安材料が払拭できた。可搬型蛍光X線分析装置による分析でも、隠岐地区に複数ある判別群（ないしは黒曜岩産出地）を区別でき、それをもとに石器群の成り立ち（構造や来歴）を論じることが可能である。

TAS2020においてデータの補完が必要な原産地はほかにも多数ある。北海道地区、東北地区、北陸地区、九州地区に基準試料が乏しい判別群があるほか、いくらかの脱漏もある。それらの補完は別稿にて果たす。

謝辞

本研究の遂行にあたっては、Tracer 5i 代替機の使用においてジャパンマシナリー社および亀山誠さんからご厚情を賜った。本研究は、2024 年度南山大学バツへ研究奨励金 I-A-2 の研究成果の一部である。

矢野健一先生が長年の勤務を無事に終えられることを、教え子として心よりお祝い申し上げます。私が立命館大学に入学した 2001 年は、日本考古学にとっても立命館考古学にとっても試練の時期であったと述懐しますが、当時、矢野先生が着任されると聞きつけて、期待に胸を膨らませたことを思い出します。いまでも、過去の世界に論理で立ち向かうたびに、矢野先生の鮮やかな論理展開や資料操作、仮定法を思い描きます。

註

- 1) 石器石材の原産地推定では、 $Mn*100/Fe$ 、 $\log (Fe/K)$ 、Rb 分率 ($Rb/Rb+Sr+Y+Zr$)、Sr 分率 ($Sr/Rb+Sr+Y+Zr$)、Zr 分率 ($Zr/Rb+Sr+Y+Zr$) が計算され、比較基準として用いられる。いわゆる望月・池谷方式（望月ほか 1994）である。あつかつている数値が強度でなく元素濃度であれば、組成データである。微量元素の分率は、強度か元素濃度かに関わらず、組成データである。これらは定数と

制約の影響を受けている。

- 2) 代替機（#900F4452）は、ジャパンマシナリー社の管理品で、使用に際して同社および亀山誠さんのご高配を賜った。本機は Tracer 5i の筐体でありつつも、X線検出器が $8\mu m$ のベリリウム・ウィンドウ（Tracer 5i に装着されているもの）から $1\mu m$ のグラフェン・ウィンドウ（Tracer 5g に装着されているもの）に交換されている。これによって軽元素の検出や定量可能範囲が拡大しているものの、本研究に使用する元素（Mn 以降の原子番号）については影響がない。
- 3) 本研究で追加測定した隠岐産黒曜岩は、2015 年に渡邊貴亮さん、朝井琢也さんとともに採集したものである。
- 4) 代替機における測定値と、それと対応する TAS2020 収録データとの相関係数は、以下の通りである。

$$\begin{array}{lll} \text{ilr.1: } 0.991 & \text{ilr.2: } 0.991 & \text{ilr.3: } 0.976 \\ \text{ilr.4: } 0.992 & \text{ilr.5: } 0.992 & \text{ilr.6: } 0.987 \\ \text{ilr.7: } 0.984 \end{array}$$
- 5) 加茂サスカ遺跡の発掘調査では、検出された黒曜岩製石器群に後期旧石器時代ナイフ形石器文化期と後期旧石器時代終末期～縄文時代草創期の 2 時期が想定されている（竹広 2009）。図 4-a の 2～7 は、他の資料にくらべて水和が進んでおり、表面が灰黒色を呈する。これらは後期旧石器時代ナイフ形石器文化期に、水和が進んでいない資料群を旧石器時代終末期～縄文時代草創期に年代づけるのが妥当かもしれない。

引用文献

- 青木要祐・佐々木繁喜・傍島健太 2023「本州における白滝型細石刃石器群の石材獲得・消費戦略」『旧石器研究』19、pp.39–58。
- 上峯篤史 2024「石材原産地判別群の同定・細分・統合——国際黒曜石会議（IOC）2023 遠軽大会を方法論的に振り返る——」『旧石器考古学』88、pp.73–90。
- 上峯篤史・村井咲月・岡 智康 2021「帯磁率測定による地層対比と旧石器包含層の年代決定」『日本文化財科学会第 39 回大会 研究発表資料集』、pp.98–99。
- 上峯篤史・村井咲月・吉田真優 2024「海辺のくらし：後期旧石器時代前半期の人類—資源環境系」『日本文化財科学会第 41 回大会 研究発表資料集』、pp.88–89。

- 大屋道則 2009「最新の分析手法」『月刊考古学ジャーナル』585、pp.5-8。
- 太田 亨 2023『組成データ解析入門』朝倉書店。
- 金井拓人・池谷信之・保坂康夫 2019「化学組成データの対数比解析を利用した黒曜石の原産地推定」『文化財科学』78、pp.37-51。
- 面 将道・加藤雄太・中川和哉 2024「上野遺跡（第1～4次調査）」『京都府遺跡調査報告集』194、京都府埋蔵文化財調査研究センター、pp.1-107。
- 金井拓人・池谷信之・隅田祥光 2022「エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を用いた非破壊かつ装置非依存式の黒曜石原産地推定」『文化財科学』85、pp.1-14。
- 沢田順弘・Al-Jairani, A., 山崎博史・長尾敬介 2008「隠岐島後、油井―長尾田地域における郡層と重栖層の火山岩類の岩石記載と全岩 KA 年代」『島根大学地球資源環境学研究報告』27、pp.1-9。
- 杉原重夫・小林三郎 2006「文化財の自然科学的分析による文化圏の研究 ― ガラス質安山岩産地データベース ―」『明治大学人文科学研究所紀要』59、pp.43-94。
- 隅田祥光・稲田陽介・亀井淳志・及川 穰 2016「島根県隠岐島後における黒曜石の全岩化学組成～黒曜石製石器の原産地解析システムの構築に向けて～」『資源環境と人類』6、pp.73-86。
- 竹広文明 2009「隠岐産黒曜石原産地をめぐる諸問題」『旧石器考古学』71、pp.87-97。
- 東京航業研究所地球化学分析室（編）2020「日本の黒曜石」『研究紀要』創刊号、pp.1-328。
- 向井正幸 2014「島根県隠岐の島から産出する黒曜石ガラスの化学組成」『旭川市博物科学館研究報告』6、pp.1-16。
- 村上 久 2018「隠岐の地質と黒曜石」『隠岐産黒曜石の獲得と利用の研究』、pp.5-28。
- 望月明彦・池谷信之・小林克次・武藤由里 1994「遺跡内における黒曜石製石器の原産地別分布について ― 沼津市土手上遺跡 BB V 層の原産地推定から ―」『静岡県考古学研究』26、pp.1-24。
- 藁科哲男・東村武信 1988「石器原材の産地分析」『考古学と関連科学』鎌木義昌先生古稀記念論文集刊行会、pp.447-491。
- Aitchison, J. 1986 *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Chapman and Hall.