

# 科学分析はじめてガイド：サンプリングから解釈まで

著者	神谷 嘉美, 渋谷 綾子, 南 武志, 石田 智子, 飯塚 義之
著者別表示	Kamiya Yoshimi, Shibutani Ayako, Minami Takeshi, Ishida Tomoko, Iizuka Yoshiyuki
雑誌名	科学分析はじめてガイド：サンプリングから解釈まで
巻	(編) 渋谷 綾子・横田 あゆみ
発行年	2022-08-31
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00067126">http://doi.org/10.24517/00067126</a>



科学分析

はじ め て ガイド

.....  
サンプリングから解釈まで  
.....

学術変革領域研究 (A) 「考古遺物の材料分析と産地推定」  
(領域番号 20H05817)

研究代表者 神谷嘉美



# 目次

はじめに	3
------	---

有機物・無機物の分析	5
------------	---

デンプン粒.....	5
------------	---

漆.....	6
--------	---

赤色顔料.....	7
-----------	---

土器胎土.....	8
-----------	---

石材・玉器.....	9
------------	---

サンプリングから解釈まで	10
--------------	----

デンプン粒.....	10
------------	----

漆.....	14
--------	----

赤色顔料.....	18
-----------	----

土器胎土.....	22
-----------	----

石材・玉器.....	26
------------	----

分析のポイント	30
---------	----

参考文献	31
------	----

# はじめに

「科学分析はじめてガイドーサンプリングから解釈まで」は、発掘調査に携わっている方、収蔵庫で遺物の整理に向き合っている方、そして考古学を学ぶ学生の方に向けてお届けする科学分析の入門書です。

考古学は、人間の生活の痕跡と向き合う学問です。そこに暮らしていた人間そのものや、動植物を含むあらゆるモノ（遺物）から情報を読み解いて、当時の生活や文化の実態を考察していきます。その手助けとなるのが、遺物の科学的な分析です。可能な限りの情報を得るために、あるいは次世代へと引き継ぐ保存や修復のために、発掘調査の現場から出土した遺物は細心の注意を払って取り扱う必要があります。そして、科学的な分析が可能な遺物はしかるべき手続きと手順を踏んで対処することが大切です。

本書では、科学分析の対象となるいくつかの遺物の中から、有機物の「デンプン粒」、「漆」、無機物の「赤色顔料」、「土器胎土」、「石材・玉器」について、分析の概要を紹介します。本書前半では、それぞれの遺物分析の目的をまとめました。後半では、分析前の試料（サンプル）をどう取り扱い、保管しておくべきか、また実際にどのようにサンプルを処理し、どんな機器・装置を使って分析をし、どのような情報（データ）を取り出しているのか、を解説しています。

発掘現場で使用する機材や発掘の方法が進歩しているのと同じように、科学的な分析方法も専門家によって検証され、改良が繰り返されています。かつては遺物を破壊して大量のサンプルを必要とした分析（destructive analysis）も、機器や技術の発達により、微量での分析が可能になってきました。非破壊（non-destructive）、あるいは完全非破壊（non-invasive）による分析例も増えています。本書でご紹介する分析方法は、現時点では最新のものですが、決して完成形ではありません。必要に応じて、どうか専門家に相談をしてください。

本書は、科学研究費助成事業学術変革領域研究（A）「中国文明起源解明の新・考古学イニシアティブ」の計画研究 A02「考古遺物の材料分析と産地推定」の活動の一環として作成しました。本研究が始まった 2020 年 12 月は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が拡大していた時期であり、その後、2022 年現在まで、調査地への渡航は困難なものになっています。研究対象となる遺物なくして、科学的な分析を始めることはできません。しかし、実験室で行う分析手法の開発やデータベースの構築も研究の重要な一部です。私たちは目的の分析を行うことのできないこの期間をむしろ好機ととらえ、これまでの分析手順の見直しや新しい分析方法の開発を進めています。また一方で、考古学の現場のみなさんに科学分析の基礎知識を共有するきっかけを、との思いを込めて本書を作成しました。本書を書くにあたっては、科学分析の知識がなくても理解の助けになるように、難解な用語はできるかぎり避けるように心がけました。しかし、はじめて目にする専門用語や分析方法もあることでしょう。本書をきっかけに、関連する文献や論文をぜひ読んでみてください。本書に登場する用語は、検索の手助けになるものと考えています。そして、本書が考古遺物分析の理解の一助になることを希望しています。

渋谷 綾子 (デンブン粒)

神谷 嘉美 (漆)

南 武志 (赤色顔料)

石田 智子 (土器胎土)

飯塚 義之 (石材・玉器)

(執筆順)

# 有機物・無機物の分析

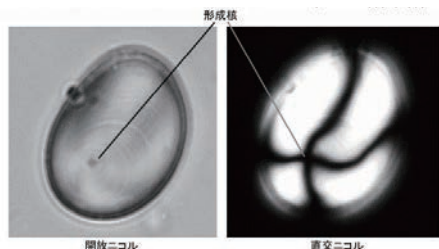
## デンプン粒

渋谷 綾子

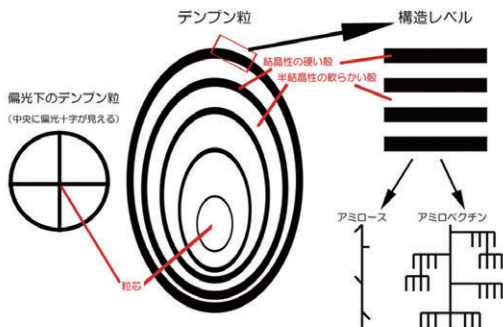
デンプン粒

デンプンは、太陽光のエネルギーを使って植物が空気中の二酸化炭素と水から作り出す物質であり、高等植物の種子や果実、茎（幹）、葉、根などにたくわえられ、植物のエネルギー源として機能しています。デンプンは非常に安定した化学構造をもつため、熱を受けない限り、酸にもアルカリにも強く、どのような環境でも、長期間土壌に埋没しても、何千年の間残っています。さらに、植物の種類によってデンプンの粒子（デンプン粒）の大きさや形、偏光十字（十字状の暗線）の形状、形成核（粒芯の中央部で偏光十字が交差する箇所）の位置が異なりますが、同じ種であれば植物のどの部位においても同じ形態を示します。この特質を活かして考古学では、昔の人の食べ物や環境の変化を示すマイクロな証拠として研究され、世界各地の遺跡から発見されています。

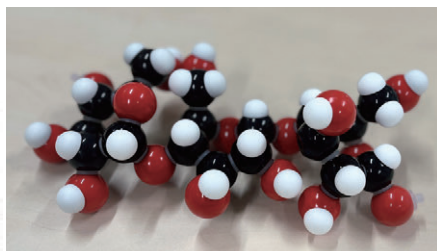
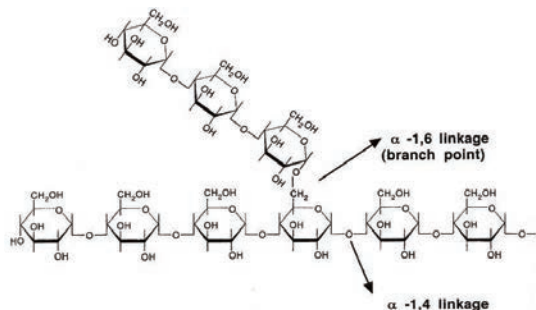
### デンプンの画像と模式図



\* 開放／直交ニコルは顕微鏡による撮影方法



### デンプンの化学式



デンプンの分子模型

(Sivak & Preiss 1998 より転載)

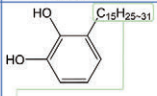
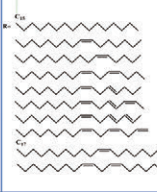
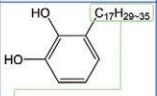
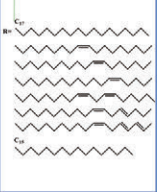
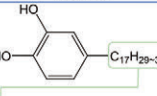

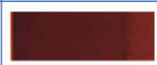

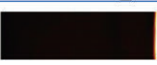
漆は、漆樹から採取した樹液を原料とします。漆器とは、漆液が使用された多種多様な「材料と技術」の集合体です。「漆を塗った」と言っても、どの漆樹の樹液を使い、どのように加工した漆液を何回塗ったのかなどの要素があります。なお、塗料として樹液を利用できる樹種はわずか3種類とされており、主成分を調べることで原材料をめぐる交易・製作地などを推定していきます。この3種は東アジア地域にのみ生育するため「漆文化はアジアの文化」と言われます。

天然物ゆえに成分は一定ではなく、樹木の生育環境や採取時期、採取・保管方法、塗料への加工法などが影響して、各成分の含有率が変わります。例えば、ハゼノキの樹液はウルシノキよりゴム質〔多糖類〕を多く含むので、漆膜の断面を透過光で観察するとやや濁って見えます。ただ添加物があれば膜の構成成分は変わりますし、添加物がなくても劣化の進行度合いによって断面の見え方は変化しますので、複数の分析法で確認します。

漆液を膜にする方法には2種類あり、1つは一般的に用いられる方法です。ラッカーゼ酵素が空気中の水分から酸素を取り込める高湿度の環境下で、半日以上かけてゆっくり膜を形成する硬化反応を利用します。もう1つは、武具など金属製品への着色に使用される方法で、塗装後に熱をかけて短時間で塗膜にする硬化反応を用います。

樹液は年中採取できません。つまり大量の漆器をつくるには、時間管理が必須です。漆器の分析を行えば、遺物の製作技術や当時の社会構造の実態をさぐる材料が得られるのです。

## 樹液を利用できる3種類

	ウルシノキ	ハゼノキ	ブラックツリー
学名	<i>Toxicodendron vernicifluum</i>	<i>Toxicodendron succedaneum</i>	<i>Gluta usitata</i>
旧表記	<i>Rhus verniciflua</i>	<i>Rhus succedanea</i>	<i>Melanorrhoea ushitata</i>
主な生育地	日本、中国、韓国	ベトナム、台湾	タイ、ミャンマー
主成分	Urushiol	Laccol	Thitsiol
脂質分の構造	 	 	 
生漆の膜色 <sup>注</sup>			

〔註〕採取した樹液から樹皮の欠片・塵埃を取り除いた樹液を「生漆（きうるし）」と呼ぶ。

ウルシノキの成分

ウルシオールを酸化  
↑  
乳剤

**酵素とゴム質の水球**

含窒素物:  
分散剤的役割

【主成分】  
**ウルシオール**  
塗膜形成要素

【油中水滴型】

↑ 写真は生漆の液体を、実体顕微鏡(透過光)で観察

ウルシオール	…60~65%
水	…20~30%
ゴム質〔多糖〕	…2~3%
含窒素物〔糖蛋白〕	…5~7%
ラッカーゼ酵素	…微量(0.2%)



# 赤色顔料

南 武志

赤色顔料である朱（硫化水銀）は、墳墓内に散布されたり、土器や石器に塗布されていました。

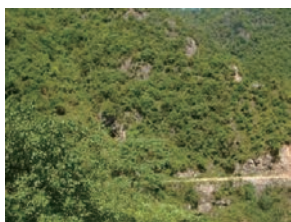
辰砂鉍山<sup>しんしゃ</sup>から集められた辰砂鉍石は砕かれたのちに赤色部分を集め、さらに微粉末化したものが朱と呼ばれ、その精製過程で化学的処理は行われていないことから、遺跡で使用されるまで同位体分別効果を受けていないと考えられます。また、超微量硫黄同位体分析システム（後述）では、分析試料の朱から直接硫黄同位体比を測定するので、分析操作段階での同位体分別効果も引き起こされません。

遺跡から出土した朱の硫黄同位体比を調べて辰砂鉍山鉍石の硫黄同位体比と比較することで、朱を採取した鉍山を推定することができます。しかし、日本でも中国でも辰砂鉍山は100箇所以上存在します。その中から次の条件を考え、古代に朱を採取したであろう鉍山を選びました。

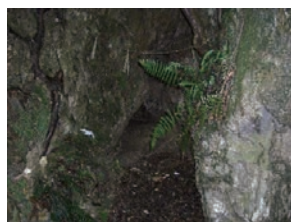
1. 古文書や周辺遺跡の特徴から、朱を収集したと推定できる鉍山
2. 多量の辰砂鉍石が露頭付近に存在する鉍山



中国貴州省万山鉍山坑道入口



中国陝西省青銅溝鉍山周辺の古い採掘跡



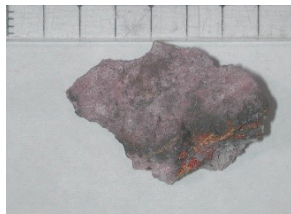
三重県丹生鉍山の古い採掘跡



万山鉍山から採取された辰砂鉍石



青銅溝鉍山の坑道内辰砂鉍石



三重県丹生鉍山から採取された鶏冠石（四硫化四砷）を伴う辰砂鉍石

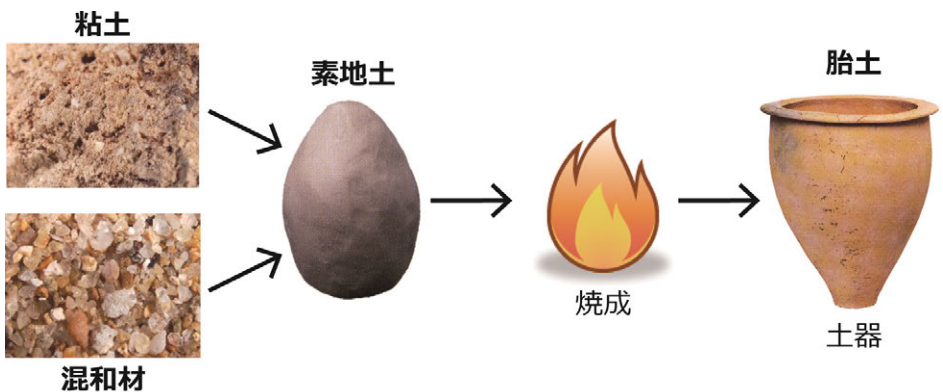
# 土器胎土

石田 智子

土器とは粘土を火で焼き固めることで作られた容器であり、人類が化学変化を自覚して利用した最初の道具です。土器をはじめとするやきものは、先史時代から現代まで日常生活に最も密接な道具として機能し続けています。

土器は、原材料の採取から製作・使用・廃棄を経て、現代人に発掘され考古資料となるまでのすべての履歴を内包し、行為の蓄積が痕跡として残る「プラスの道具」です。肉眼で観察できる形態や文様・塗彩、製作痕跡や使用痕跡などの多様な土器属性を研究することで、編年や地域性を把握して時空間の詳細なものさしを設定し、土器にまつわる過去の人間活動や集団関係、自然環境との関係、社会背景の検討へと展開していきます。

土器を形づくる物質にアプローチする方法が胎土分析です。土器は、粘土の状態に応じて混和材や複数粘土を加えて調整した複合体であり、焼成して完成します。焼成を終えた物質を胎土と呼びます。土器のモノとしての物的存在を構成する原材料はすべて地球由来の物質に還元されます。地球科学の分析手法を考古資料に適用することで、肉眼で見えない痕跡に残る過去の人間活動を明らかにします。



# 石材・玉器

飯塚 義之

岩石は人類が古くから利用してきた素材の一つです。岩石は風化や変質に強く、風雨にさらされても、長い年月地中に埋没していても朽ちることがありません。そのことから出土した石器のほとんどは制作時や使用時の姿、形を保っていると考えられています。したがって石器の用途や形状を調べることで、当時の人々の生活様式や文化を知る手がかりを得ることができます。

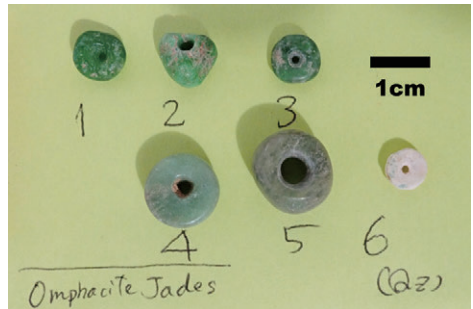
岩石は利器（道具）として使われていただけでなく、権力の象徴や信仰の対象としても用いられ、さらにはペンダントや腕輪、耳飾りなど装身具の材料としても使われています。石材はその種類によって、色、硬さ、頑丈さ（もろさ）が違うため、特徴に応じて異なる用途に使われています。また地域や時代によっても石材が変化しています。特徴的な石材は、産地を特定することもでき、同一の石材を利用した石器から、文化やその地理的な広がり、さらには石材の供給経路などを知ることができます。特に、「玉器(Jade)」の材料である「ヒスイ岩（硬玉、輝玉）」と「ネフライト（軟玉、閃玉）」、石刃の材料として用いられていた火山ガラスの「黒曜石」は、その代表と言えるでしょう。

石材（岩石や鉱物）の正しい理解と記載（記録）はとても重要です。しかしながら、きれいに成形され、表面研磨が施されている石器の石材を肉眼観察だけで判別（同定）することは、岩石学を専門とする研究者にとってたいへん難しく、また埋蔵文化財たる石器を破壊して分析することは保存科学にそぐわない手法でもあります。そのため、石材に関する報告書には「不明」という記述や不適切な岩石名の記載が見られることも少なくありません。近年、化学分析技術の進歩で、石器の非破壊化学分析が可能になってきました。可搬型（ポータブル）蛍光X線分析装置は、現場での化学分析に使用でき、実験室でも非破壊化学分析が盛んに行われるようになってきました。しかし一方で、測定された数値を読み解くには地質学や化学分析の知識が必要となります。こうした背景を踏まえ、次章では石器石材、特に装身具に用いられている石材の判別法を解説します。

## 石器石材の代表例



縄文時代の装身具  
1滑石岩製 2ネフライト製 3ヒスイ岩製  
(東北大学考古学教室所蔵)



マヤ文明ラ・コロナ遺跡出土遺物  
1-5 ヒスイ岩製 6石英製  
(グアテマラ・デルバジェ大学所蔵)

# サンプリングから解釈まで

## デンプン粒

デンプン粒を用いた分析「残存デンプン粒分析」は、過去の植生や人間の植物利用などを復元する分析です。分析で扱うものは、遺跡の土壌、石器や土器、貝製や木製の道具の表面に残る付着物、人骨や動物骨の歯石・歯垢です。これら进行分析することによって、当時どんな気候で、何の植物があり、それが人間とどう関係したか。何の植物をどのように加工し、何に使ったのか。何の植物をどのように加工し、どう食べたのか。これらの問いに答えることができます。

### 環境



どんな気候で  
何の植物があり  
人間とどう関係した

### 食



何の植物を（選択）  
どのように（加工）  
どう食べた（結果）

### 道具



何の植物を（選択）  
どのように（方法）  
何に使った（結果）

## 土器の試料採取

土器を対象とする場合、土器の内面や外面にあるこげや吹きこぼれなどの付着物を試料として採取します。デンプン粒は水分を含んだ状態で熱を受けた場合に変成しやすく、粒子の膨張や偏光十字の消失が見られますが、デンプン粒の存在可否を確認することが可能です。

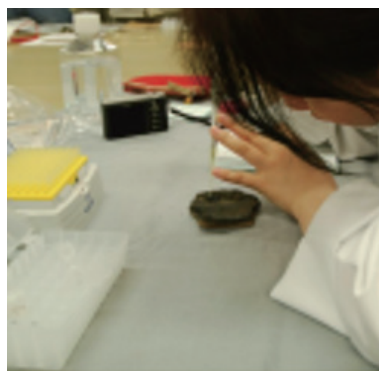


精製水、ピペットチップ、  
マイクロピペット、チューブ



資料の観察，採取箇所を選択

水で浸してマイクロピペットで回収(液体試料)  
剥片を採取(剥片試料)



付着物入りの水をチューブに入れる(液体試料)  
剥片に精製水を添加(剥片試料)



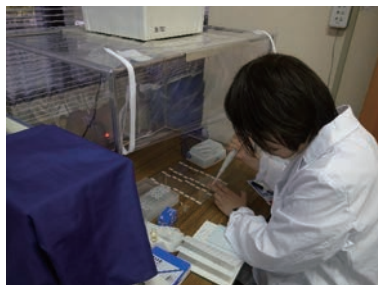
一般的に、発掘調査で遺構から取り上げられた土器は、写真記録や整理作業の中で水道水で洗浄されることが多いですが、洗浄によって付着物に含まれるデンプン粒が失われてしまうことは極めてまれです。付着物の確認できる土器は出土直後から慎重に保存されることが多いため、残存デンプン粒分析の試料採取を出土直後、即座に行う必要もありません。ただし、付着物の中に含まれたデンプン粒に対する薬剤の影響はまだ解明されていません。そのため、分析を行う際は薬剤を用いた処理がほどこされていない土器を選ぶ必要があります。

残存デンプン粒分析では、精製水を付着物に含ませて吸い上げた水と、5mg程度の微細な剥片の両方を試料として採取し、プレパラートを作製、偏光装置を付けた光学顕微鏡で観察します。デンプン粒が見つければ、現生植物を利用して作製した参照標本と比較して、見つかったデンプン粒の由来する植物を検討し、植物種の同定を行います。

## プレパラート作製



遠心分離機で 13000rpm × 1 分遠心



グリセロール・ゼラチン（屈折率 1.46-1.48）で封入

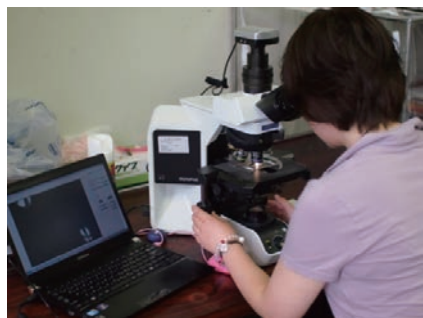


(試料 8 μl + 封入剤 8 μl) × 2 枚

試料を入れない・封入剤のみのブランクスライドを作製（汚染の有無の確認）  
 試薬による着色はおこなわない（経年変化の確認）



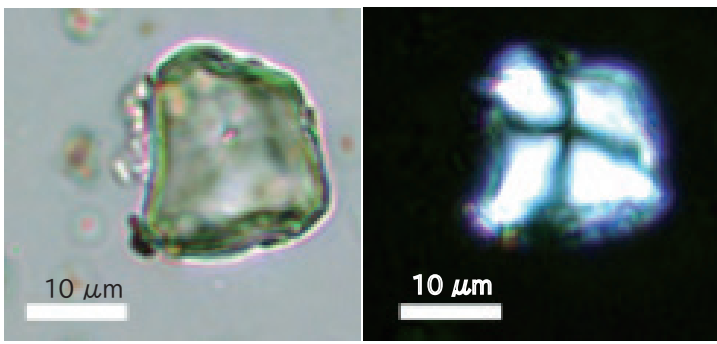
## 顕微鏡観察



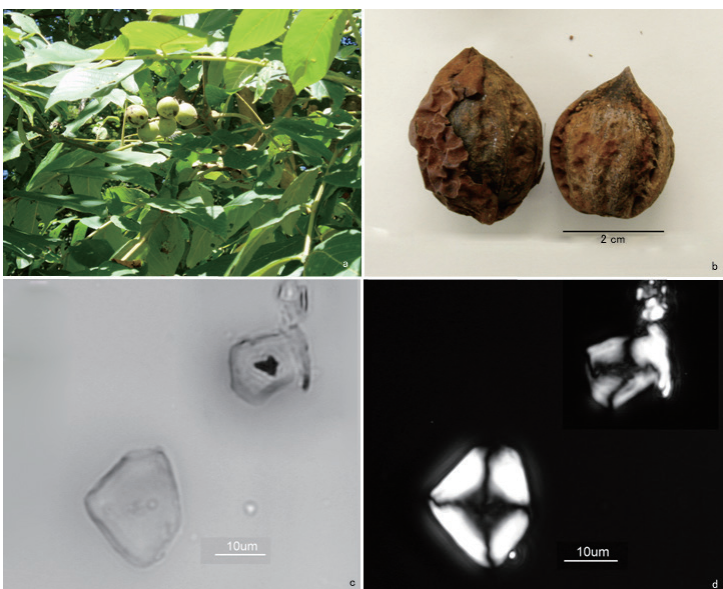
偏光・位相差装置

顕微鏡：Olympus BX53-33Z（オリンパス社製、偏光・位相差装置付、100-1000倍）  
 カメラ：WRAYCAM-NF500（レイマー社製）

検出されたデンプン粒の植物同定は、粒子の外形、サイズ、偏光十字の形状、形成核の位置を現生植物の参照標本の特徴と比較して行います。ただし、加熱によって粒子の膨張や外縁部の損傷が起きたもの、偏光十字が消失したものは原形をとどめていないことが多く、このようなデンプン粒の同定は非常に困難です。つまり、残存デンプン粒分析単体で結論づけるのではなく、他の科学分析と併用することによって、利用された植物を検討することが重要なのです。



土器に付着した炭化物から見つかったデンプン粒



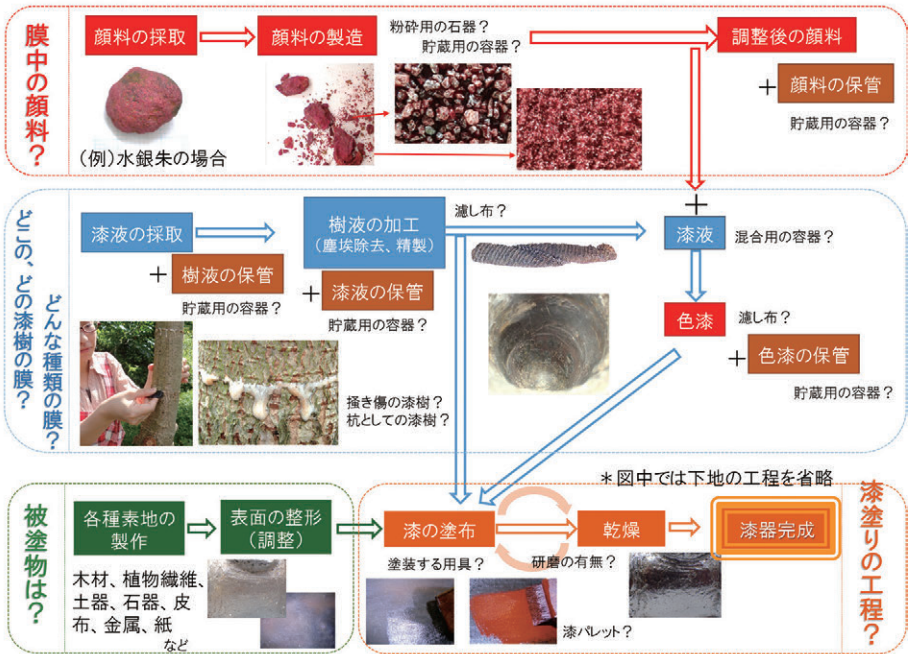
現生のオニグルミとデンプン粒

(渋谷 綾子)

# 漆

## 漆からみた複合的なものづくり技術

近年、自然科学の手法を取り入れた漆遺物の分析事例が増え、外観の観察では知り得なかった複雑な漆塗装の実態がわかってきています。漆器は被塗物（素地）の上に漆液を1度塗布しただけで仕上がるものではありません。一般的には被塗物の上に下地層、その上に塗膜層が重なり、場合によって加飾層がさらに形成された複層構造をしています。結果として漆器は、土や顔料や金属など多種類の材料が漆と混在します。最表面を観察するだけでは、その下に存在している様々な情報は隠れたままです。

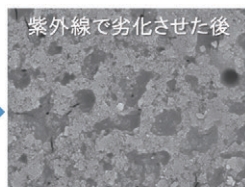
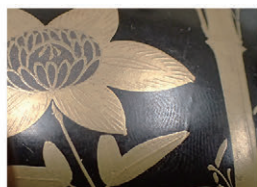


漆器の製作では、①顔料の原料を調達して製造を行う、②漆液を漆樹から採取して集める、③被塗物を作って表面を調整する、④集めた漆液を塗料に加工し、空気に触れないように保管する、といったさまざまな工程があります。顔料の有無や種類や利用方法を見たいのか、漆成分そのものを議論したいのか、塗装工程を知りたいのか、といった点を明確にした上で分析法を決めていくことが大事です。

塗膜と素地の密着が弱い遺物もあり、発掘現場の土壤中に散乱する細かな漆膜に気付かないこともあります。労力はかかりますが、漆器周辺の土壌から抽出された微小な剥落片こそ、破壊分析で有効に活用できます。また、塗膜の劣化によって脆弱化して粉っぽくなっていたりすると、土器などの洗浄作業で失われることもあります。



何か表面に塗られたようなモノと向き合う場合、表面をよく観察しましょう。劣化膜には手油も入り込みやすいので、分析を考えるなら手袋の着用が安全ですし、素手で取り扱うならアルコールでよく手を拭くようにします。



劣化した漆膜に浸み込んだ手油が指紋として残っている(黒色の地部分がわかりやすい)。溶剤を使用したクリーニング作業をしても除去できなかった事例。

塗膜の表面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した様子。漆膜が劣化していると、汚れや手油などが付着しやすくなり、内部に浸み込んでしまうと容易には除去しにくい。Py-GC/MSで油由来の熱分解生成物が検出されてしまうこともある。油が添加された漆液が塗布されていたのか、後世の手油か迷う場合も。

さらに塗膜層の上に加飾があれば、装飾技法の種類、併用された材料(金属、貝、顔料、陶片など)の把握、表現された意匠もそれぞれ調査する必要があります。異種材料を塗膜の「上」にのせる技法は漆絵、箔絵、蒔絵、螺鈿、平文などです。螺鈿技法については、異なる厚さの貝を使用する場合、接着剤の種類も気になります。加えて、塗膜層を「下に彫り込む」技法(沈金・鎏金、堆朱・堆黒などの彫漆、蒟醬・填漆)もあります。



1つの分析を1回やっただけですべてが解明できるわけではありません。また文化財は原則として非破壊調査が求められますが、漆器の分析では、非破壊調査だけですべてまかなうことができていません。複数の分析手法を組み合わせることで調査してはじめて、情報を取り出すことができます。加えて、漆工技法の詳細を知るためには層ごとのデータが必要になり、サンプリングや分析をどう行うのが重要です。

まずは漆器に対して薬剤による保存処置がなされているかどうかを確認し、表面の観察から始めます。石油由来の処理材料が混在していると、熱分解-ガスクロマトグラフィー/質量分析法[Py-GC/MS]での検証が困難となりますし、放射性炭素年代[C<sup>14</sup>年代]測定は行うことができません。保管状況をよく確認しておいても、使用していないはずの合成樹脂がデータを阻害して、議論したい漆のピークが取り出せないこともあります。ただ、保存処置がなされていても漆塗りの工程を断面観察から読み解くことはできます。

漆塗り遺物の分析法は「漆器の何をどの程度知りたいか」とつながっています。溶剤に溶けない有機物の漆は、破壊分析の実施が可能かどうかで得られる情報量が大きく変わります。さらに、必要最低限の試料量をどれだけ確保できるかによって、分析精度が変わります。微量での分析を実施する場合、塗膜中に顔料などの混入材料が存在していたり、劣化によって漆成分が試料中に少なくなっていたりすると、見たい情報が検出されにくくなります。表面観察や断面観察を最初に行い、対象とする漆器の基本的な情報を把握してから、サンプリング法を考えるほうが安全です。同時に、どれほどの量のサンプリングが可能かどうかについても各分析で検討しなくてはなりません。

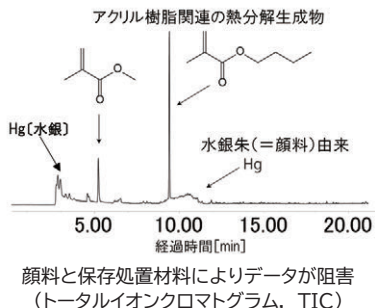
## 漆塗り遺物に対する各種の分析法

非破壊分析	<b>表面観察</b>	完全非破壊。目視、ルーペ、マイクروسコープ、卓上型顕微鏡などを使用。
	<b>蛍光X線分析</b>	(ハンディ型) 大気環境下で測定。測定径はあまり絞れないので解釈の際に注意。 (大型) 真空下で測定。非破壊だと、測定可能な試料サイズに制約。
	<b>X線CT</b>	内部構造、木胎の亀裂・虫食い、過去の修理痕跡など三次元情報から色々と把握。樹種同定に使用する研究も進む一方で、使用装置や試料サイズの制約が大きい。
破壊分析	1 mg	<b>断面観察</b> 実体顕微鏡、偏光顕微鏡、マイクروسコープを使用して観察。 薄片の厚さによって、反射光調査と透過光調査ができる。
	1 mg	<b>熱分解-GC/MS</b> 漆の識別に最も適しており、漆樹の種類を同定できる。水銀朱、油などの添加物の分析も可能だが、添加物量や漆の劣化に検出感度は影響。 誘導体化試薬を用いた方法により、0.2mg程度でも高感度に検出できる。
	1 mm角	<b>SEM観察</b> どう製造された金属粉か、消粉か、箔か明確に識別できる。 最表面の汚染層や塗膜層があると、形状の観察がしにくい場合も。
	1 mm角以下	<b>SEM-EDS</b> 顔料、金属粉、金属箔などの種類を検出元素から推定する。断面の分析をすれば、各層にどのような元素が存在するかまで区別できる。
	20 mg	<b>樹種同定</b> 一般法では、被塗物(木胎)を異なる3方向から切片採取する必要あり。
	20 mg	<b>Sr同位体比</b> 熱分解-GC/MSで主成分を識別し、同じ漆樹だと結果を得た塗膜について、同じ漆樹でも生育場所の情報を知る(日本か中国か、など)。
	30 mg	<b>C<sup>14</sup>年代</b> 化学薬剤での処置後は測定不可。被塗物の木材含むと、測定結果は古くなる傾向になるので、できれば塗膜と素地でわけて測定したい。

(注) 破壊分析の試料量はあくまでも目安で、状態や添加材料の有無などによって変わります。

有機物の分析法には赤外分光法があり、漆膜分析でも利用されていました。ただし、アスファルトと類似する赤外吸収〔IR〕スペクトルを示す事例があり、対象物の劣化状態や混合材料の有無や種類などによって結果が読みにくくなったりします。得られる化学構造の情報についても大まかなので、現在、漆の同定法としてはおすすめしません。この30年で、漆か否かの識別で最も採用されている分析は熱分解分析です。なお報告事例は多くありませんが、誘導体化試薬による反応熱分解-GC/MS法〔THM-Py-GC/MS〕は微量分析として優れ、文化財分野で使用されるようになってきています。

Py-GC/MSは漆器分析の強力なツールです。ただし、分析データは非常に複雑なため、その解釈は困難なことが多いです。データベースづくりが重要となってきます。添加物の同時分析もできる一方で、多種類の混合材料が分析の対象物に入っていると、データを獲得したい漆の熱分解生成物は見つけにくくなります。最表面の汚れを除去した後、漆成分が多く含まれるように工夫してサンプリングします。下地層や素地が含まれると漆を識別するための情報を得ることが難しく、合成樹脂を用いた保存処理がされた遺物は分析にはあまり向きません。さらに、わずかな手の脂も検出されますし、ポリエチレン (PE)・ポリプロピレン (PP)・ポリ塩化ビニル (PVC) と遺物が直に接触していると、可塑剤のフタル酸エステル類由来のピークが強く検出することがあります。遺物保管の際は、ビニール袋やラップの使用に注意してください。



漆塗りの工程?

表面観察

欠片採取:可

断面観察

透過光観察



ひたすら研磨して薄片にする。手で触れてあるかどうかくらいまで薄くすると、光を透過させてより細かく観察できる。

反射光で観察

真ん中に置いて再度、エポキシ樹脂で埋め込む

顔料の種類?

表面観察

+

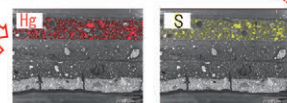
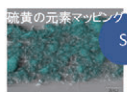
蛍光X線分析

塗膜の劣化により、複数層の情報が合わさって出てくるので、データ解釈では注意が必要

断面観察

+ SEM-EDS

どの層に何の顔料があるかを確認できる



HgS(水銀朱)ではと判断  
各元素から顔料の可能性を推察

サンプリングツール

\* 手袋(パウダーフリー)を装着して、サンプリング。採取した測定試料は、アルミ箔あるいは薬包紙で保管。



使い捨てメス



顕微鏡で拡大しながら少しずつ切削したり層ごとに採取したり、欲しい情報によって工夫する



マイクロナ이프(手持ち可)

(神谷 嘉美)

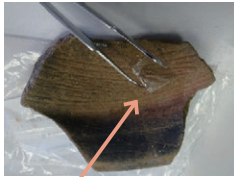
# 赤色顔料

## 測定試料の採取

遺跡から出土する土器や石器に付着する朱を測定試料とするとき、非破壊での分析を求められることがあります。しかし、同位体分析は破壊分析の1つであり、資料提供を断られることが多々ありました。そこで、我々が開発した超微量硫黄同位体分析システムのサンプリングでは、硫黄を含まない粘着テープを軽く採取部分に押し当てただけで測定が可能となり、対象資料にほぼ損傷を与えることなく分析できるようになりました。



試料採取に使う粘着テープ



土器の凹部分に付着している朱に粘着テープを押し当てて試料を採取

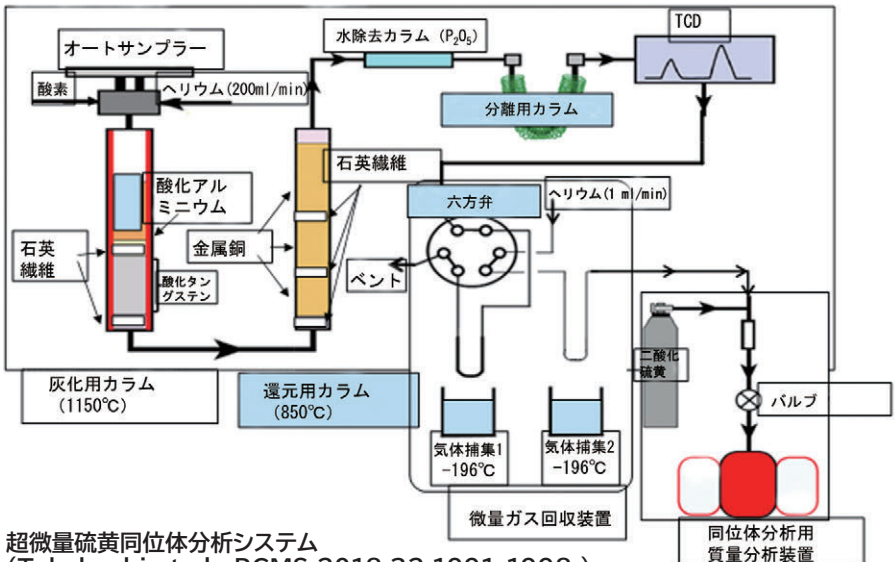


\*朱1粒は、肉眼ではかろうじて朱と認められるくらいの大きさ  
\*以前の分析方法では約10mgの朱が必要だった

わずか1粒の朱を粘着テープで採取し、分析可能

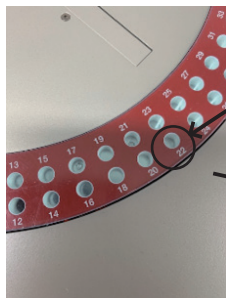
## 超微量硫黄同位体分析システム

本システムは、元素分析装置、微量ガストラップ装置、同位体分析用質量分析装置から構成されています。

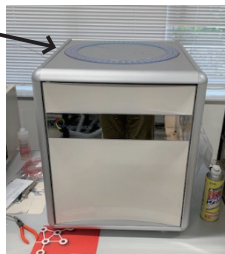


超微量硫黄同位体分析システム  
(Takahashi et al., RCMS 2018,32:1991-1998.)

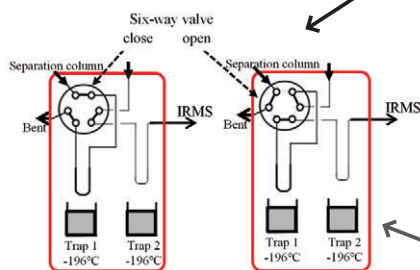
粘着テープに採取した朱試料をテープごと切り取り、アルミニウムポットに入れる



これを小さく丸め、元素分析装置のオートサンプラーに投入する



元素分析装置で朱から二酸化硫黄ガスを発生させ、他の成分と分離する



二酸化硫黄ガスをヘリウムガスで一気に同位体分析用質量分析装置に導入する

液体窒素

- ① 分離した二酸化硫黄ガスをガストラップ装置に導入し、液体窒素で固化する
- ② これを2度繰り返して濃縮する

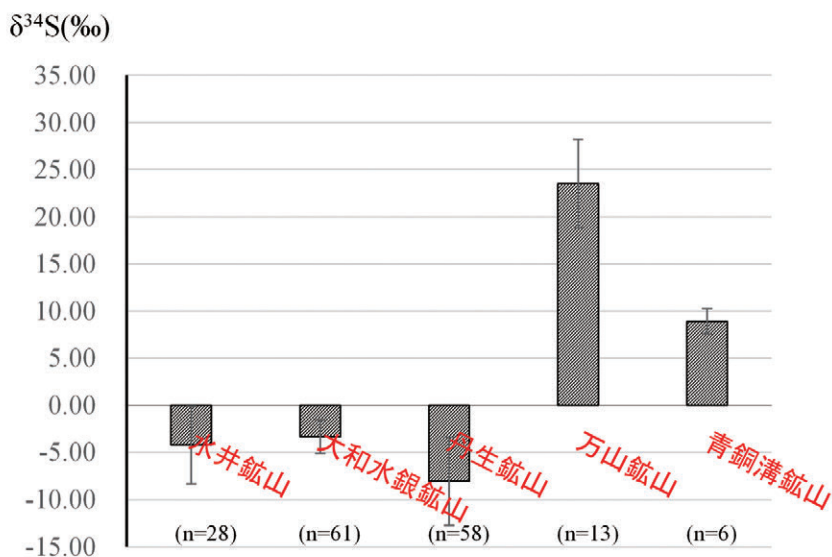
## 遺跡出土朱の硫黄同位体比を調べると、なぜ産地が推定できる？

硫黄は質量数が異なる  $^{32}\text{S}$ ,  $^{33}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{36}\text{S}$  の4つの安定同位元素を自然界に有し、その存在割合は 95.02%, 0.75%, 4.21%, 0.02% です。硫黄同位体比分析は、 $^{32}\text{S}$  に対する  $^{34}\text{S}$  の割合を標準物質であるキャニオン・ディアブロ隕石の同位体比と比較して  $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$  値で表します。例えば、 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$  値がマイナスの値なら標準物質より  $^{32}\text{S}$  の割合が多いことを示し、プラスの値なら  $^{34}\text{S}$  が多いことを示します。

$$\delta^{34}\text{S} (\text{‰}) = \left[ \frac{\left[ \frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right]_{\text{sample}}}{\left[ \frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right]_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000$$

自然界の硫黄同位体は、蒸発や拡散、あるいは化学反応や生物への取り込みなどでその割合が変動することが知られています。さらに、その比は辰砂（硫化水銀）や鶏冠石（四硫化四ヒ素）のように鉱物ごとに異なるのではなく、地域に依存することが知られています。

そこで、古代の日本と中国で、朱を採掘したであろうと思われる鉱山の硫黄同位体比を調べたところ、図のように日本（徳島県水井鉱山、奈良県大和水銀鉱山、三重県丹生鉱山）と中国（貴州省万山鉱山、陝西省青銅溝鉱山）で全く異なる値が得られました。



日本と中国の主な辰砂鉱山鉱石硫黄同位体比

さらに、遺跡から出土した朱の硫黄同位体比を測定したところ、北部九州から日本海沿岸における弥生時代後期の墓（権力者の埋葬が推定）から、プラスのδ<sup>34</sup>S‰値を示す朱が検出されました。この結果から、中国産の朱がこの時期に日本へ持ち込まれ使用された可能性が示唆されます。

## 硫黄同位体分析から朱の産地推定は可能か

硫黄同位体分析は朱の産地推定のための有効な手法ですが、鉱脈が異なれば、近隣の鉱山であっても硫黄同位体比が異なる場合もあります。極端な場合、 $\delta^{34}\text{S}\%$ 値がプラスの値を示す鉱山の横に、マイナスの値を示す鉱山が存在する可能性があります。

また、産地の異なる朱を混合して同じ遺跡で使用する例も考えられるでしょう。この場合、測定する検体の数を増やし、類似の値がでるなら1つの産地の朱を使用したと推測することができます。

このように、硫黄同位体分析で産地推定する限界を知っていることが重要です。鉛同位体分析法や水銀同位体分析法などの他の手法の併用や、副葬品など遺跡自体の情報も加え産地推定を行う柔軟性が求められます。

### こぼればなし



超微量硫黄同位体分析システムを開発する前は、約10mgの朱が分析に必要でした。そこで遺物に付着している朱を分析するため、ナイフなどを使って遺物から朱をそぎ落として集めました。できるだけ遺物に傷をつけないように気をつけていてもやはり無理な場合が多く、サンプリングを断念したことも多々ありました。ある時、ヨーロッパのある国立博物館で朱が付着している石棺や石像があるので分析してみないかという誘いがありました。収蔵室でのサンプリングに加え、展示室に展示されている石棺や石像からも、その場でナイフを用いて朱をそぎ落としてサンプリングさせてもらったのです。日本ではあり得ないことですが、おそらく今でも展示品に傷が残っているでしょう。日本との考え方の違いを実感した瞬間でした。

(南 武志)

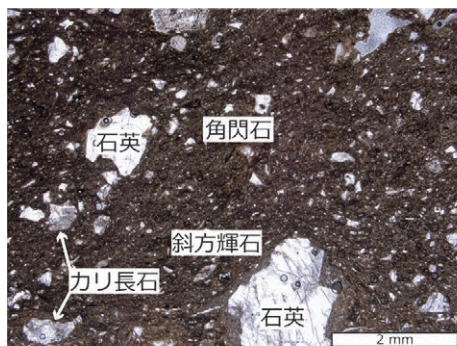
# 土器胎土

## 胎土分析の方法

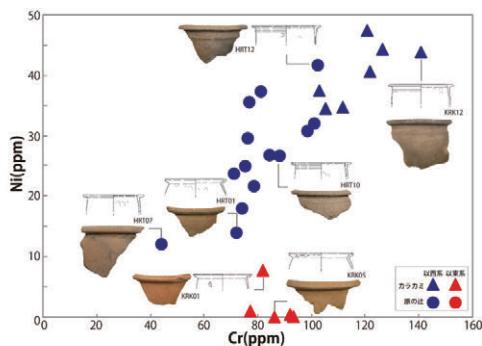
胎土分析とは、土器を形づくる物質を分析し、産地推定、製作技法、年代測定、古環境復元、資源利用などのさまざまな問題にアプローチする方法です。胎土分析の方法は大きく2つに分けられます。

1つ目は、土器に含まれる混和物や組織構造に着目する方法です。土器をよく観察すると、様々な鉱物が含まれています。粘土に元来含まれていた鉱物があれば、意図的に混ぜた鉱物もあります。有機物（植物など）や微化石（骨針化石、珪化石など）が含まれることもあります。肉眼観察やルーペ、実体顕微鏡による観察では、混和物の量・種類・組成で胎土を定性的にグルーピングします。薄片プレパラートを作成して、偏光顕微鏡で含有鉱物を観察したり含有量を定量的に把握したりすることで、岩石学的観点から正確に鉱物を同定します。X線回折法（XRD）による同定や、電子線プローブマイクロアナライザー（EPMA）による鉱物化学組成の分析も試みられています。

2つ目は、土器胎土を構成する物質の化学組成を測定する元素分析です。三辻利一は蛍光X線分析（XRF）で測定した6元素（Rb, Sr, K, Ca, Na, Fe）を基準に日本全国の資料を分析し、「土器の元素組成に地域差がある」ことを指摘しました。近年は、中性子放射化分析（NAA）、レーザー溶出型誘導結合プラズマ質量分析（LA-ICP-MS）などによる多元素の測定事例が増加し、微量元素や希土類元素を活用した分析方法が開発されています。同位体分析（Sr, Pb, Be）も進められています。



薄片観察の事例





元素分析を実施する際は、埋没環境の影響を受けやすい元素（元素付加 [Ca, P, Ba など]、元素溶脱 [Ca, K, Na など]）の取り扱いに注意が必要です。ただし、影響の定量評価は困難なため、埋没環境の影響で変化しにくい元素に着目することが有効です。

胎土分析は多様な方法がありますが、完全非破壊で高精度分析ができる方法は存在しません。分析方法に応じて、必要な試料量、分析にかかる費用、時間や労力、得られるデータも異なります。それぞれの分析方法の特徴を理解し、目的や研究環境を踏まえて選択してください。

## 土器の物質特性

分析の前提として、まずは土器の物質特性を理解することが大切です。

土器の原材料（粘土、混和材、顔料）は、土器づくりの民族事例を参照すると、居住域から約 2km 以内の身近な場所で採取することが多いです。原材料の粘土の特徴として、可塑性、粘性、焼結、耐火性があげられます。粘土の状態に応じて、混和材や複数粘土を調合します。そのため、原材料の粘土と完成した土器胎土は同質ではなく、土器製作過程で素材改変されたものであり、物理的・化学的に変化した物質といえます。

また、焼成方法に応じて物質特性が異なるため、適した胎土分析方法も異なります。特に、先史時代の土器は多孔質なため、埋没環境からの影響にも注意が必要です。



**弥生土器**

**須恵器**

均質度	不均質	均質
状態	多孔質	堅緻
焼成方法	野焼き	窯
焼成温度	低火度焼成（約 600 ~ 800℃）	高火度焼成（約 1000 ~ 1200℃）
燃焼状態	酸化焰焼成	還元焰焼成
胎土分析	元素分析、薄片観察	元素分析

## 胎土分析の実践

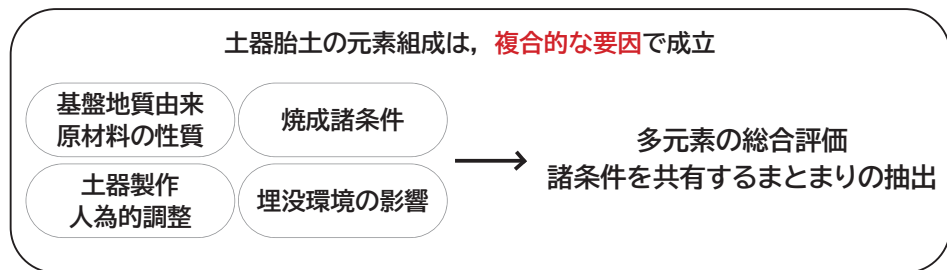
事前の計画段階では、なぜ胎土分析をするのか、目的意識を明確にしてください。目的に応じて胎土分析の方法を選択し、必要な試料を採取します。

土器を対象とする場合は、整理作業のタイミングが網羅的に検討できるよい機会です。土器胎土や色調をよく観察して全体のバリエーションを把握し、グループに分けてから試料を選定します。その際には、器種・部位・時期・型式・出土位置が不明確な小破片ではなく、考古学的検討が可能なものを選定してください。考古学的情報をもたない試料の分析データは研究で活用できません。なお、接着剤・補修剤が付着した土器は分析に適しません。そのため、事前に胎土分析を予定しているのであれば、最初から分析試料をはずして、接合や復元をするといいでしょう。発掘調査現場で粘土を採取する時は、コンタミネーションに注意してブロック状に取り上げ、コアの試料を分析に使います。

考古学に必要な情報を記録したら、土器の一部を切断して分析試料を作成します。元素分析では、試料を洗浄・乾燥してから粉碎し、ガラスビードを作成して、機器で測定します。混和物や組織構造を検討する時は、薄片プレパラートを作成して、顕微鏡で観察します。

分析データの解釈にあたっては、対象地域の基盤地質を参照します。地質図や地球化学図を利用し、必要に応じて地質試料を採取・分析することでより細かな空間の基盤地質データを把握します。これによって、土器の在地製作、搬入土器の判断、搬出元の地域の絞り込みなど、土器の動きにともなう人間活動や社会背景を検討します。

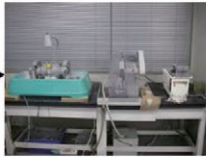
胎土分析においては、分析プロセスも合わせて総合的に評価した上で、分析結果と考古学的情報を統合することが重要です。分析に使用した資料の基礎情報(実測図、写真、分析データ、測定条件など)を公開し、分析データや解釈の再検証や二次活用を促す取り組みも大事です。そのためには、単発的な分析で終えるのではなく、長期にわたる体系的分析計画と協力体制の整備が必要です。議論の継続が新たな展開につながります。



考古学的記録作成  
(実測図・写真)

## 《試料作成》

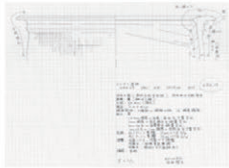
切断



洗浄&乾燥

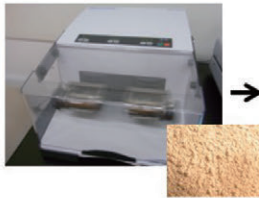


粗粉碎

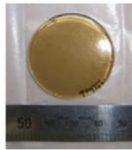


## 《元素測定》

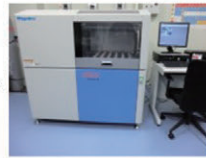
細粉碎



ガラスビード



XRF



主要元素・微量元素

LA-ICP-MS



希土類元素

こぼればなし



胎土分析をしていると悩ましい問題と直面します。それは「土器の一部を試料として採取すること」です。考古資料は唯一無二の存在なので、非破壊分析が原則です。しかし、土器胎土は不均質な組成で、土器表面の状態（凹凸、風化、摩滅など）が多様なため、試料を採取して精密に分析しなければ分からないことも多いです。

ここで重要な役割を果たすのが、各地域の収蔵機関で保管されている破片資料です。発掘調査で出土しても、発掘調査報告書に掲載されず、収蔵庫で保管され続ける資料は膨大にあります。たとえ破片資料であっても、新たな研究方法や技術を導入することで、地域の歴史を物語る大切な文化資源になります。分析できる資料を使ってその時々で可能なレベルの研究をすることで、データの蓄積や分析方法の改善が進み、大切な資料を未来でさらに有効活用できるでしょう。

(石田 智子)

# 石材・玉器

## 岩石の化学分析

岩石はその成因によって大きく火成岩、変成岩、堆積岩、炭酸塩岩などに種別され、さらに岩石を構成する鉱物の種類やその組み合わせによって細かく分類されています。人々は数多の岩石の中から用途に見合った石材を選択し、道具、装身具、建築材料などに利用してきました。石材（岩石）の正しい理解は、その用途、地域や時代間の比較、石器の製作技術の理解、さらには産地の推定をする上でとても重要です。

岩石や鉱物の判別や同定には、分析対象の表面を研磨するか、岩石を薄くした薄片試料を作成し、偏光顕微鏡や電子顕微鏡を用いた観察、蛍光 X 線などを利用した化学分析や X 線回折法やラマン分光法による結晶解析などが必要です。多種多様な出土品を扱う考古の発掘現場において、肉眼観察や経験に頼る定性的な石材の記載には限界があります。岩石学的に誤った記載報告がなされている例も少なくありません。

大量に出土する石斧、石刃、石鏃など道具としての石器や建築材料に用いられていた石材は、比較的簡単に採集できる岩石を利用していることが多いため、上述のような岩石学的な分析手法によって、当該岩石（天然）試料と代表的な石製遺物との比較検討が可能です。しかし考古学的にも地質学的にも希少で、かつ出土数がわずかな遺物について、破壊分析を行うことは困難と考えるのが当然でしょう。そこで遺物を損傷することなく、発掘の現場や収蔵施設内で活用できるポータブル蛍光 X 線分析装置（以下、「*p*-XRF」）による石材判別が進んでいます。

## ポータブル蛍光 X 線分析装置による完全非破壊分析

実験室に設置する電子顕微鏡（SEM）や電子線プローブマイクロアナライザー（EPMA）、蛍光 X 線分析装置（XRF）などに比べ、*p*-XRF は“比較的”安価で難しい操作は不要です。また分析に際して、対象物に対する大きさの制約がなく、破壊や研磨、薬品処理などの事前の処理を行う必要もありません。僅か数分の作業で「その場 (*in situ*)」で化学分析値を得ることができます。文化財の搬送が困難な場所、特に海外調査では利用価値が高いと言えます。

現在、筆者が運用している *p*-XRF は、分析対象に照射する X 線ビームの有効径が 9mm で、表面から励起されるマグネシウムからウランまでの X 線エネルギースペクトル（EDS）が測定可能です。測定時間を 60 秒とし、分析結果は酸化物の重量パーセント（wt.%）として出力させています。

簡便な操作が可能一方で、大気暴露下で操作をするため、大気中でのエネルギーの減衰が著しいナトリウムより軽い元素の分析はできません。また、分析対象表面に凹凸や汚れ、不純物があると、出力されるデータに誤りが含まれることがあります。このため、できるだけ平滑な面を選び、1対象について複数個所での測定を行い、均質性あるいは異相の確認を行います。単鉱岩の場合は、測定値から元素比を再計算し分析の確からしさを検討します。

石材は、色や比重、モース硬度、韌性（しなやかさ、もろさ）など物性的な違いがあるだけでなく、上述した化学式に示されている主要元素組成にも違いがあります。特にケイ素(Si)、アルミニウム(Al)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、カリウム(K)、鉄(Fe)の6元素の有無とその比によって、大まかに石材を判別することができます。孔雀石とトルコ石は銅(Cu)を含む鉱物で、銅やリンが検出されることで他と明瞭に区別することができます。p-XRF分析では検出できないナトリウム(Na)が含まれる「ヒスイ岩」も、ケイ素やアルミニウムの比や他の元素の存在の有無で他の鉱物と区別することができます。

## 主要な石材

装身具や小型の祭具は、数種の鉱物の集合体である岩石で製作されているよりは、多くの場合、単一の鉱物から構成される岩石、すわなち「単鉱岩」で作られています。次表に磨製石斧や装身具に使われている代表的な単鉱岩を示します。例えば、ヒスイ輝石（鉱物）から成る岩石は、ヒスイ輝石岩（以降「ヒスイ岩」とする）、蛇紋石から成る岩石は、蛇紋岩と呼ばれています。

### 鉱物リスト

#### \*珪酸塩鉱物

(無水鉱物)

#**ヒスイ岩** Jadeitite 白色～緑色

構成鉱物:ヒスイ輝石～オンファス輝石(jadeite-omphacite:  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \sim [\text{Ca,Na}][\text{Mg,Fe,Al}]\text{Si}_2\text{O}_6$ )  
白色～緑色 (モース硬度 H:6.5～7、比重:3.2～3.4)

石英質緑色岩類、碧玉、玉髓など(quartz, chalcedony:  $\text{SiO}_2$ ) 透明・白色～薄緑色 (H:7、比重:2.8)

灰長石(anorthite:  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) 白色～緑色 (H:6～6.5、比重:2.8)

正長石、カリ長石、アマゾナイト(orthoclase:  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) 白色～青緑色 (H:6～6.5、比重:2.6)

単斜輝石(clinopyroxene:  $\text{Ca}[\text{Mg,Fe}]\text{Si}_2\text{O}_6$ ) 緑色 (H:5.5～6.5、比重:3.2～3.6)

灰クロムザクロ石(uvarovite:  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ) 緑色 (H:6.5～7、比重:3.8)

(含水鉱物)

#**ネフライト** Nephrite 白色～緑色

構成鉱物:透閃石～緑閃石(tremolite-actinolite:  $\text{Ca}_2[\text{Mg,Fe}]\text{Si}_8\text{O}_{22}[\text{OH}]_2$ )

白色～緑色 (H:5.5～6、比重:3.0)

滑石(talc:  $[\text{Mg,Fe}]_6[\text{Si}_8\text{O}_{20}][\text{OH}]_4$ ) 白色～緑色 (H:1、比重:2.6～2.8)

蛇紋石(serpentine:  $[\text{Mg,Fe}]_3[\text{Si}_2\text{O}_5][\text{OH}]_4$ ) 暗緑色～緑色 (H:3.5～4、比重:2.5～2.6)

緑泥石(chlorite:  $[\text{Mg,Fe,Al}]_{12}[(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}][\text{OH}]_{16}$ ) 暗緑色～緑色 (H:2～2.5、比重:2.6～3.3)

白雲母(muscovite:  $\text{K}_2\text{Al}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}][\text{OH}]_4$ ) 白色～まれに緑色 (H:2.5～3、比重:2.7～2.9)

葉ろう石(pyrophyllite:  $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}[\text{OH}]_2$ ) 白色 (H:1～2、比重:2.6～2.9)

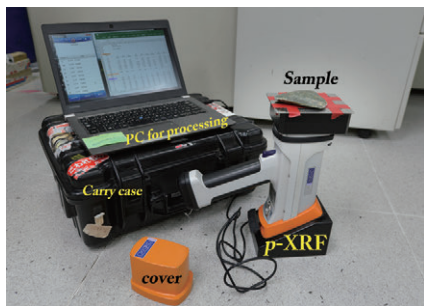
#### \*炭酸塩鉱物

孔雀石(malachite:  $\text{Cu}_2[\text{OH}]_2\text{CO}_3$ ) 緑色 (H:3.5～4、比重:3.6～4)

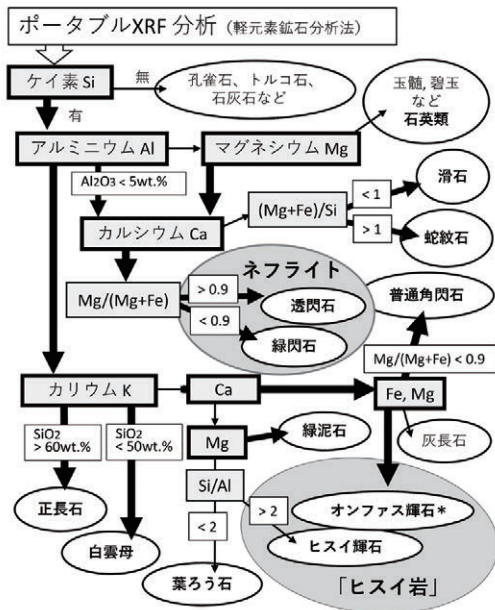
#### \*リン酸塩鉱物

トルコ石(turquoise:  $\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4[\text{OH}]_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) 青緑色 (H:5～6、比重:2.6～2.9)

(#印は**岩石名**、その他は鉱物名、比重は参考値)



p-XRF (英国・オックスフォード・インストルメンツ社製 X-Met7500) による分析の様子。実際には分析対象物は X 線防護カバーで覆って人体への被ばくを避ける。



### 鉱物を判別するためのフローチャート

太矢印と細矢印で存在元素の有無を示す。あくまで Na が分析できないことに注意が必要である。※単斜輝石を含むこともある。判別は Al や Ca などの含有量で判断する。

## 玉 (Jade) について

玉は古くから人々が珍重してきた石材です。

「ヒスイ岩」は、ヒスイ輝石が 90% 以上を占める単鉱岩で、岩石学では「ヒスイ輝石岩：jadeitite」と称します。化学的に純粋なヒスイ輝石は白色ですが、「固溶体」であるオンファス輝石成分の割合が増えると緑色を帯びようになります。一般に「ヒスイ (翡翠)」と称されているものは、ヒスイ輝石からオンファス輝石で構成されています。日本では新潟県西部の糸魚川 - 青海地域に産地と製作遺跡があることから、この地域の「ヒスイ岩」が多く利用されてきた、と考えられています。

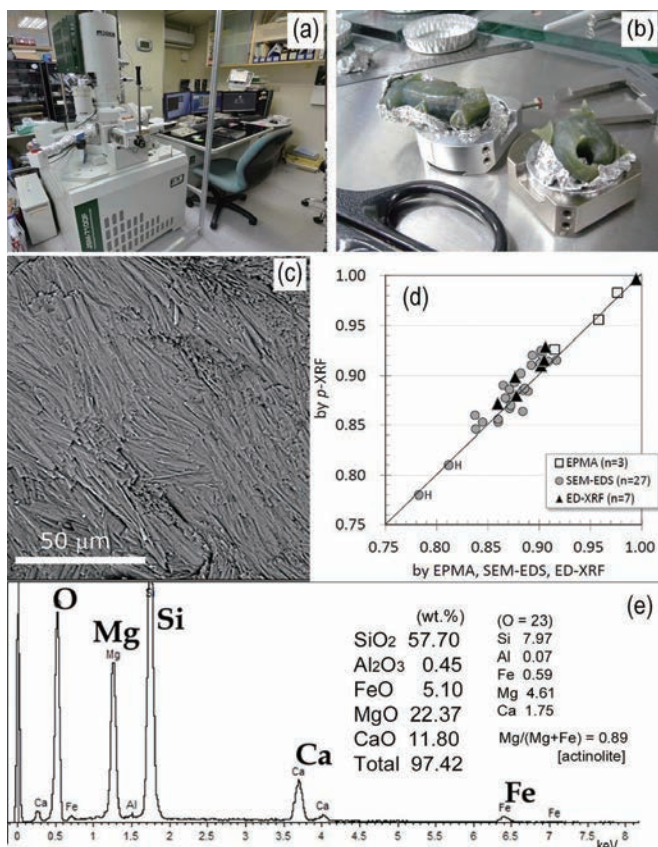
ネフライト(岩石名)はカルシウム角閃石が 90% 以上を占め、緻密な繊維構造を持つ単鉱岩です。カルシウム角閃石は、含まれるマグネシウム (Mg) と鉄 (Fe) の比によって透閃石 (tremolite) と緑閃石 (actinolite) とに区分され、鉱物学では便宜的に  $Mg/(Mg+Fe)$  値が 0.9 以上を透閃石、0.9 以下かつ 0.5 以上を緑閃石と定義されています。透閃石を主体とするネフライトは白色から透明感のある明灰色を呈し、 $Mg/(Mg+Fe)$  値は概ね  $1 \sim 0.98$ 、鉄を含まない炭酸塩岩が変成した岩石です。一方、緑閃石を主体とするネフライトは蛇紋岩が変成してできた変成岩で、 $Mg/(Mg+Fe)$  値は透閃石から緑閃石の定義の境界を挟んだ概ね  $0.93 \sim 0.85$  の範囲を示します。ネフライトは「ヒスイ岩」よりも強靱で、石斧や石鑿せきざくに利用するのに適しているため、ユーラシア大陸東部では新石器時代から珍重されてきました。

日本における蛇紋岩起源の緑色のネフライトは、新潟県西部の糸魚川、長野県北部の白馬八方尾根、岩手県早池峰山地に産地があります。日本では、近年、その存在が確認されるようになってきましたが、これまでは蛇紋岩と混同され記載されていることが多かったようです。

## 実験室での完全非破壊分析

$p$ -XRF で判別した分析対象の一部は表面微細組織の観察とエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) を用いた定量化学分析を行うことで、現場での分析の再検証や天然の岩石との比較を行います。借用許可を得た石製遺物に限られますが、台北・中央研究院地球科学研究所の SEM-EDS を使用して完全非破壊分析を行っています。これと並行して、EPMA を用いた天然の岩石・鉱物の定量分析を進め、現地調査のためのデータベースを作成しています。一部の石材についてはその来源を調べる指標となっています。

### SEM-EDS による石製遺物の完全非破壊化学分析の実例



- (a) 低真空フィールドエミッション走査型電子顕微鏡 (日本電子 FE-SEM JSM-7100F 台北・中央研究院地球科学研究所)  
 (b) ネフライト製装身具 (フィリピン国立博物館所蔵: このまま SEM 内に導入する) (c) ネフライト遺物表面の反射電子像 (典型的な繊維状組織が観察できる) (d)  $p$ -XRF と他の装置による分析値比較。カルシウム角閃石中のマグネシウムと鉄の比で比較している (e) ネフライト遺物表面から測定されたエネルギー分散 X 線スペクトル (EDS) と定量分析値 (重量%と元素比)。

(飯塚 義之)



# 分析のポイント



分析の対象となるものは、遺跡の土壌、石器や土器、木器、人骨や動物骨の歯に付着した歯石です。どれを対象にするかで、分析の手順や用いる器具・薬品が異なります。さらに知りたいときは、関係の書籍・論文をご覧ください。

漆は、木器、植物繊維、土器、石器、布、皮、紙、金属、磁器、プラスチックなど様々なモノに塗ることができます。さらに木材、植物繊維、土、顔料、金属、添加剤（油など）といった多種多様な材料を組み合わせられて作られています。複層構造の複合体ですから「どこの層の、何を見ているのか」を考えながら、データ解釈する必要があります。



朱は無機水銀化合物で水に溶け難く化学的に安定しているが、口に入ると腎障害を引き起こす可能性があります。また、土壌中の微生物で脳障害を引き起こす金属水銀を生じます。**現場では手袋とマスクを準備する事。**遺跡内の朱は文化財であり、水銀廃棄物の規制対象外ですが、手袋や刷毛に付着した朱や、朱が付着した遺物や土壌を持ち帰って取り扱う場合は、**県や市町村の水銀廃棄物ガイドラインに則って処理**してください。

土器から情報を引き出す方法は多様です。胎土分析の研究方法は近年著しく発展していますが、分析結果を活用するためには、基礎的な土器研究を踏まえた考古学の研究成果との統合が不可欠です。まずは土器の丹念な観察からはじめましょう。



「玉 (Jade)」は、俗に「翡翠 (ひすい)」と総称されることもありますが、学術的には「ヒスイ岩 (jadeitite)」と「ネフライト (nephrite)」の2種類の岩石を示します。日本では「ネフライト」の存在が注目されていませんでしたが、近年、化学分析によってユーラシア大陸東部の先史文化と同様に「ネフライト」製の遺物が多く存在していることがわかってきました。



# 参考文献

## デンプン粒

- Henry, A. G. (ed.): Handbook for the analysis of micro-particles in archaeological samples, 304p. Springer Nature Switzerland AG, 2020.
- 渋谷綾子：縄文土器付着植物遺体と石器の残存デンプン粒分析からみた東京都下宅部遺跡の植物利用。国立歴史民俗博物館研究報告, 187, pp. 357-386, 2014. <https://doi.org/10.15024/00000296>
- Torrence, R. and Barton, H. (eds.): Ancient Starch Research, 256p. Left Coast Press, INC., 2006.
- 山本直人・渋谷綾子・上條信彦：残存デンプン粒分析からみた縄文時代の植物質食料—石川県の遺跡を対象として—。名古屋大学文学部研究論集(史学), pp. 51-82, 2016. <https://doi.org/10.18999/jouflh.62.51>

## 漆

- 神谷嘉美・宮腰哲雄：江戸時代における「だまし」のコーティング技術。塗装工学, 45, pp.374-381, 2010.
- 神谷嘉美：南蛮漆器を中心とした平蒔絵技法と材料に関する検討—走査型電子顕微鏡を利用した金属材料形状の分析—。美術研究, 429, pp.43-64, 2020. <http://doi.org/10.18953/00008965>
- 吉田邦夫編：アルケオメトリア 考古遺物と美術工芸品を科学の眼を透かし見る。東京大学総合研究博物館, 2012.
- Tamburini, D.: Analytical pyrolysis applied to the characterisation and identification of Asian lacquers in cultural heritage samples—A review. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 157, 105202, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105202>

## 赤色顔料

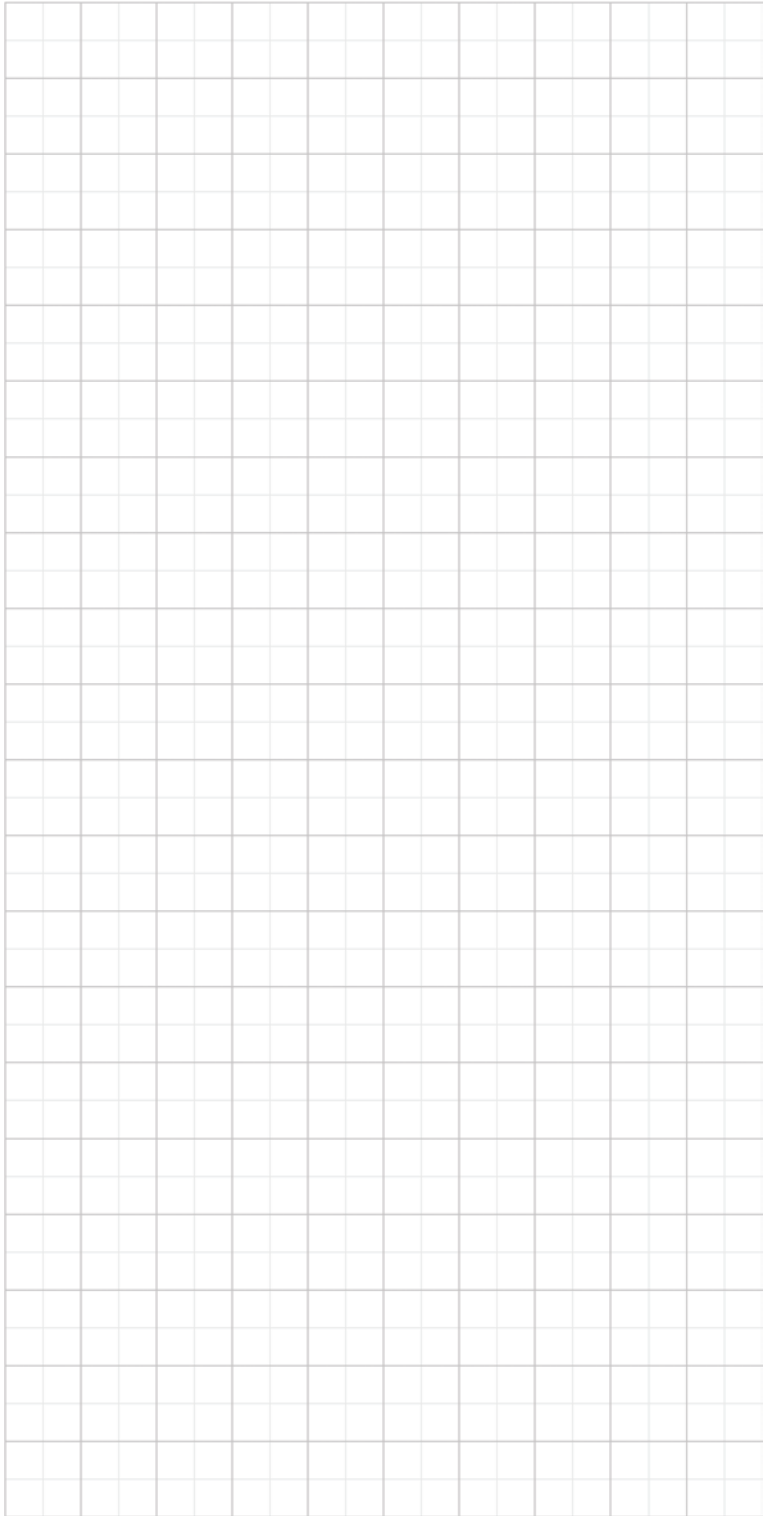
- Minami, T., Imai, A., Bunno, M., Kawakami, K., Imazu, S. : Using sulfur isotopes to determine the sources of vermilion in ancient burial mounds in Japan. Geoarchaeology, 20, pp. 79-84, 2005.
- 南武志・楊主明・豊逢秋・島崎英彦：中国における辰砂が産出された古代鉱山の探索。考古学と自然科学, 58, pp. 25-29, 2009.
- Minami, T., Takeuchi, A., Imazu, S., Okuyama, M., Higashikage, Y., Mizuno, T., Okabayashi, K., Takahashi, K.: Identification of source mine using sulfur, mercury, and lead isotope analyses of vermilion used in three representative tombs from Kofun period in Japan. Journal of Archaeological Science: Reports, 37, 102970, 2021.
- Takahashi, K., Nakai, Y., Motizuki, Y., Ino, T., et al.: High-sensitivity sulfur isotopic measurements for Antarctic ice core analyses. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 32, pp. 1991-1998, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102970>

## 土器胎土

- 石田智子：南九州弥生土器の胎土分析の現状と展望。鹿児島考古, 45, pp. 3-13, 2015.
- Hunt, A. M. W. (ed.): The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis, 768p. Oxford University Press, 2017.
- 鐘ヶ江賢二：胎土分析からみた九州弥生土器文化の研究, 239p. 九州大学出版会, 2007.
- 清水芳裕：古代窯業技術の研究, 258p. 柳原出版, 2010.
- 樋口わかな：やきものの科学：粘土・焼成・釉薬の基礎と化学的メカニズムを知る, 240p. 誠文堂新光社, 2021.
- 三辻利一：新しい土器の考古学, 224p. 同成社, 2013.
- Rice, P. M.: Pottery analysis: A sourcebook. Second Edition, 561p. The University of Chicago Press, 2015.

## 石材・玉器

- 地学団体研究会編：新版 地学事典, 1840p. 平凡社, 1996.
- Turner, D. and Groat, L. A.: Geology and mineralogy of gemstones. Advanced Textbook 4, 228p. American Geophysical Union, Wiley, 2022.



# 元素周期表 (第13版)

<b>H</b> 1 水素	<b>He</b> 2 ヘリウム				
<b>Li</b> 3 リチウム	<b>Be</b> 4 ベリリウム				
<b>Na</b> 11 ナトリウム	<b>Mg</b> 12 マグネシウム				
<b>K</b> 19 カリウム	<b>Ca</b> 20 カルシウム				
<b>Rb</b> 37 ルビジウム	<b>Sr</b> 38 ストロンチウム				
<b>Cs</b> 55 セシウム	<b>Ba</b> 56 バリウム				
<b>Fr</b> 87 フランシウム	<b>Ra</b> 88 ラジウム				
<b>B</b> 5 ホウ素	<b>C</b> 6 炭素	<b>N</b> 7 窒素	<b>O</b> 8 酸素	<b>F</b> 9 フッ素	<b>Ne</b> 10 ネオン
<b>Al</b> 13 アルミニウム	<b>Si</b> 14 ケイ素	<b>P</b> 15 リン	<b>S</b> 16 硫黄	<b>Cl</b> 17 塩素	<b>Ar</b> 18 アルゴン
<b>Ga</b> 31 ガリウム	<b>Ge</b> 32 ゲルマニウム	<b>As</b> 33 ヒ素	<b>Se</b> 34 セレン	<b>Br</b> 35 臭素	<b>Kr</b> 36 クリプトン
<b>In</b> 49 インジウム	<b>Cd</b> 48 カドミウム	<b>Ag</b> 47 銀	<b>Pd</b> 46 パラジウム	<b>Rh</b> 45 ロジウム	<b>Pt</b> 78 白金
<b>Hg</b> 80 水銀	<b>Tl</b> 81 タリウム	<b>Pb</b> 82 鉛	<b>Bi</b> 83 ヒスマス	<b>Po</b> 84 ポロニウム	<b>At</b> 85 アスタチン
<b>Cn</b> 112 コペルニシウム	<b>Nh</b> 113 ニホニウム	<b>Fl</b> 114 フルロビウム	<b>Mc</b> 115 モスコビウム	<b>Lv</b> 116 リバモリウム	<b>Ts</b> 117 テネシン
<b>Og</b> 118 オガネソン	<b>Lu</b> 71 ルテチウム	<b>Yb</b> 70 イットルビウム	<b>Tm</b> 69 ツリウム	<b>Er</b> 68 エルビウム	<b>Ho</b> 67 ホルミウム
<b>Lr</b> 103 ローレンシウム	<b>No</b> 102 ノーベリウム	<b>Md</b> 101 メンテビウム	<b>Fm</b> 100 フェルミウム	<b>Es</b> 99 アインスタイニウム	<b>Cf</b> 98 カリホルニウム
	<b>Bk</b> 97 バークリウム	<b>Cm</b> 96 キュリウム	<b>Am</b> 95 アメリシウム	<b>Pu</b> 94 プルトニウム	<b>Np</b> 93 ネプツニウム
	<b>U</b> 92 ウラン	<b>Pa</b> 91 プロトアクチニウム	<b>Th</b> 90 トリウム	<b>Ac</b> 89 アクチニウム	
	<b>Sc</b> 21 スカンジウム	<b>Ti</b> 22 チタン	<b>V</b> 23 バナジウム	<b>Cr</b> 24 クロム	<b>Mn</b> 25 マンガン
	<b>Y</b> 39 イットリウム	<b>Zr</b> 40 ジルコニウム	<b>Nb</b> 41 ニオブ	<b>Mo</b> 42 モリブデン	<b>Tc</b> 43 テクネチウム
	<b>Ru</b> 44 ルテチウム	<b>Rh</b> 45 ロジウム	<b>Pd</b> 46 パラジウム	<b>Ag</b> 47 銀	<b>Cd</b> 48 カドミウム
	<b>Os</b> 77 オスマシウム	<b>Ir</b> 78 イリジウム	<b>Pt</b> 79 白金	<b>Au</b> 80 金	<b>Hg</b> 81 水銀
	<b>W</b> 74 タングステン	<b>Re</b> 75 レニウム	<b>Os</b> 76 オスマシウム	<b>Ir</b> 77 イリジウム	<b>Pt</b> 78 白金
	<b>Hf</b> 72 ハフニウム	<b>Ta</b> 73 タンタル	<b>W</b> 74 タングステン	<b>Re</b> 75 レニウム	<b>Os</b> 76 オスマシウム
	<b>Rf</b> 104 ラファエルシウム	<b>Db</b> 105 ドブニウム	<b>Sg</b> 106 シーボークウム	<b>Bh</b> 107 ボヘリウム	<b>Hs</b> 108 ハッソリウム
	<b>La</b> 57 ランタン	<b>Ce</b> 58 セリウム	<b>Pr</b> 59 プラセオジム	<b>Nd</b> 60 ネオジム	<b>Pm</b> 61 プロメチウム
	<b>Sm</b> 62 サマリウム	<b>Eu</b> 63 ユウロピウム	<b>Gd</b> 64 ガドリニウム	<b>Tb</b> 65 テルビウム	<b>Dy</b> 66 ジズプロシウム
	<b>Ho</b> 67 ホルミウム	<b>Er</b> 68 エルビウム	<b>Tm</b> 69 ツリウム	<b>Yb</b> 70 イットルビウム	<b>Lu</b> 71 ルテチウム

凡例

**H** 1.008

— 元素記号  
— 元素番号  
— 元素量  
— 元素名

水素

学術変革領域研究 (A)「中国文明起源解明の新・考古学イニシアティブ」  
(領域代表者 中村慎一, 領域番号 20A103)



計画研究 A02  
「考古遺物の材料分析と産地推定」



In Search of the Origins...



### 執筆者一覧

- 渋谷 綾子 (東京大学史料編纂所) : 考古科学, 文化財科学
- 神谷 嘉美 (金沢大学) : 漆工芸, 文化財科学
- 南 武志 (奈良県立医科大学) : 分析化学
- 石田 智子 (鹿児島大学) : 考古学, 文化財科学
- 飯塚 義之 (中央研究院地球科学研究所・金沢大学) : 地球科学

---

## 科学分析はじめてガイドーサンプリングから解釈まで

2022年8月31日発行

編集 渋谷綾子・横田あゆみ

発行・印刷 勝美印刷株式会社

〒113-0001 東京都文京区白山 1-13-7 アクア白山ビル 5F

TEL 03-3812-5203

Starting Guidebook for  
Scientific Analysis  
: From Sampling to Interpretation

科学分析的入门指南：从取样到解释