

陶磁器薄片分析から何が分かるか

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 酒井, 中 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/9772

陶磁器薄片分析から何が分かるか

酒井 中

はじめに

考古学における研究テーマの一つに、「生産と流通」がある。本稿では、遺跡から大量に出土する土器・陶磁器の生産と流通はいかにして考古学的に検証されるのか。陶磁器の生産と流通にまつわる問題を解決するために必要な理論体系とはいかなるものか。考古遺物を地域や時代に基づいて位置づけるための操作概念として「様式」や「型式」があるが、これらは肉眼観察によって理解される形状や文様、製作技法といった属性にとどまらず、胎土分析により明らかにされる自然科学的な情報も型式を構成する属性のひとつである。本稿では顕微鏡を用いた観察行為を通じて明らかにされる事柄・記録の採り方・観察結果の解析手法を整理し、胎土分析を通じて生産と流通の復元に如何にしてアプローチするかを論じる。

なお、本稿では肉眼観察時に於ける遺物を「資料」と呼称し、自然科学手法のために切断・破碎・溶解などの加工を行なったものを「試料」と呼称する。

1. (生) 産地同定(推定)における前提

日本における土器・陶磁器類の胎土分析研究は1970年代ごろから本格化し、計測・同定の手法としては機器分析(蛍光X線分析・中性子放射化分析・ICP発光分析など)と顕微鏡観察(偏光顕微鏡・電子顕微鏡・実体顕微鏡)に大別される。これら自然科学的方法が土器・陶磁器の産地同定(推定)に用いられる前提として

- 1 自然科学的差異が観測・計測可能である
 - 2 比較する地域毎に固有の特徴が認められる
 - 3 胎土中に原料の特徴が良好に残存している
- が前提にある。

しかしながら、時間的・経済的なコスト要因により全ての資料を分析するのは現実的でないといった問題も存在する。そのため、遺跡から出る大量の遺物を分類する際には肉眼観察に頼るのが常であり、分析に供されるのはその中のごく一部である。比較対象となるのは分析に供された対象資料群から同様・類似の手法を用いて計測・同定作業を行なった先行研究の一次データを抽出した資料群までである。従って、比較対象と

して抽出された資料群の内容が分析結果を大きく左右する。

大家道則氏は、考古学者と自然学者の協働が不完全な事による方法上の不備、理論的な整備が不十分なことによる概念操作の混乱、基礎データの開示不足のために、現在まで十分な成果が得られていないと日本考古学における胎土分析研究のあり方を批判し、分析の枠組み・操作概念の整理を試みている(大家2005)。

自然科学的手法による分析は、肉眼観察を基軸とした考古学的観察に科学的根拠を与るために用いられて然るべきであるが、現実には大家氏が指摘するように考古学者と自然学者の協働が不完全なために、十分なすり合わせが行なわれていない場合も多く、考古学者の所見と分析者の所見が矛盾した発掘調査報告書も見られる。その背景にはコスト的な要因以外にも、分析データによる自然科学的特徴が肉眼で観察されるどのような特徴を反映しているのかが分かりづらい、分析者が資料の持つ歴史的背景を十分に理解していない、あるいは理解していても抽出した資料群の分析結果からは資料の持つ歴史的背景を見出すことが不可能な条件下におかれているといった事例もあるものと思われる。

2. 分析資料の作成

分析手法によって非破壊である場合と、粉末や薄片あるいは液体に溶かし込む場合がある。

非破壊分析は、代えのきかない考古資料においては望ましい条件を備えていると言えるが、二次的に付着・混入する莢雜物の影響によるバラツキも大きい。原料である粘土中に含まれる、または胎土の可塑性を調節するために添加した混和材が同様にバラツキの要因となりうる。したがって、非破壊分析で得られたデータは、粘土本来の地質学的特性を定量的に扱うのに不向きである。

後者においては、ダイヤモンドカッターで資料を切断、乳鉢などで粉末状に破碎、薬剤やカッターを用いて表面の莢雜物を除去するなどの手続きを経て試料の平均化を行なう。さらには遠心分離による含有物の分離処理を加えることもある。

偏光顕微鏡観察においては、観察するプレパラート試料を作成するためにダイヤモンドカッターで資料を切断あるいは粉末状にし、接着剤でスライドガラスに

固定し、0.03mmの厚さにまで研磨する工程が加わる。

3. 計測・観察作業

3.1 機器分析

胎土分析で用いられる機器分析には定性・定量分析のいずれかに特化したものから複合的なものまで存在するが、観測された元素の組み合わせ、あるいは元素定量値が試料同士の比較・産地同定（推定）に用いられる。使用する機器の種類によって観測できる元素の種類や感度が異なる。分析機器の種類や原理に関しては、本稿の主題からはずれるので、詳述はしない。

3.2 顕微鏡観察

試料を画像として認識・観察できるので、機器分析の場合に比べ、肉眼観察結果との対比が容易である。肉眼観察との対比あるいは肉眼観察を補う手法として用いるならば、一般的には低倍率のほうが対比しやすく、含有物の計測にも向いている場合が多い。

・実体顕微鏡写真

実体顕微鏡は資料の表面観察に用いる。レンズ倍率も2倍程度の低倍率から高倍率まで普及しており、肉眼観察で捉えきれない微細な含有物を非破壊で観察することが可能である。数ある観察機器の中で最も肉眼観察に近い。ただし顕微鏡は携行することを念頭にしてはいないので、各地で出土した考古資料を観察するためには、資料を研究室に集積する必要がある。博物館や埋蔵文化財調査機関に赴いて資料調査を行なうことが多い筆者らは可搬性に優れたUSBでPCに接続可能なマイクロスコープ（以下、USBマイクロスコープと呼称）を代替機器として使用している。USBマイクロスコープは実体顕微鏡画像と同様の画像を取得することが出来る上に、顕微鏡と比べて被写体深度も深いので、凹凸の激しい土器の観察にも用いることが出来る。実例として、バヌアツ国立文化センター所蔵資料の調査の際に記録した土器資料のマイクロスコープ画像（写真2～5）を挙げておく。

・偏光顕微鏡

光学顕微鏡の一種であるが、実体顕微鏡と異なり、資料をそのまま偏光顕微鏡で観察することはできない。資料をダイヤモンドカッター、グラインダー、研磨板などの機材を用いて0.03mm前後の厚さまで研磨し、プレパラート試料を作成する。

薄片の元となる陶磁器片は（1）焼き物の構造把握を

重視して縦断面で裁断する方法、（2）ポイントカウンティングを重視して、できるだけ大きな薄片となるよう裁断する方法、（3）できるだけ破壊面積を減らすべくダイヤモンドカッターなどで搔き出して採取された粉末資料から薄片を作成する方法がある。佐々木達夫教授を中心とする金沢大学の研究グループでは（1）を採用している。

プレパラート試料に偏光を照射することで偏光特性および複屈折特性を観察することが可能である。偏光顕微鏡を用いた場合、試料の偏光特性を輝度または色の変化として観察が可能となり、胎土中の鉱物の同定に適している。同定した鉱物はポイントカウンティングや画像計測などの手法を用いて、含有物の計測をすることができる。この同定・計測作業を迅速化することを可能とした複屈折イメージング偏光顕微鏡も近年登場している。偏光顕微鏡のステージにエンコーダなどを組み込み、CCDカメラで像を観測し、これをソフトウェア制御することで自動計測を行なうシステムである。システム自体が非常に高価なこともあり、このシステムを運用して行なわれた胎土分析研究は筆者の知る限りでは皆無である。

実際に観察する際のレンズ倍率にもよるが、水簸することによって莢雑物を除去した素地（胎土）を用いている陶磁器を観察する場合、含有鉱物の粒径が非常に微細であり、ポイントカウンティングによる計測用のメッシュにかかりづらい場合も多々見られる。画像計測はポイントカウンティングでは計測できない微細な含有物の計測にも使用できる。

・偏光スキャン

顕微鏡ではなく、市販されている透可原稿ユニットを備えたフラッドヘッドスキャナと変更フィルムを用いることで、偏光顕微鏡使用時におけるクロスニコル状態でのプレパラート資料の断面の全体画像を安価かつ容易に取得することができる（図2）。顕微鏡視野よりも広範囲の画像を一度に取得できるため、鉱物粒子の分布状況や土器断面の構造を把握するのに適している。顕微鏡では困難な低倍率（当倍～10倍未満）観察も可能である。肉眼観察を補うのに適した観察像の取得方法といえる。

実例として、ミクロネシアのパラオ共和国バベルダオブ島内アイメリーク州エレウイ地区内のケズと呼ばれるひな壇状遺構群より出土した土器から作成したプ

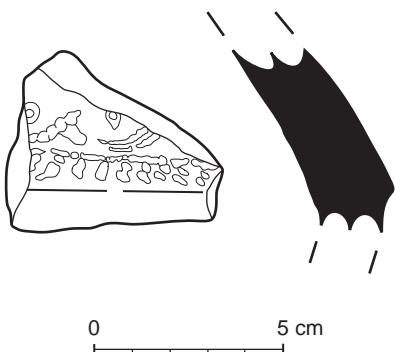


図1 サント島ビッグベイ出土ラピタ土器実測図



テオウマ遺跡（エファテ島）出土資料

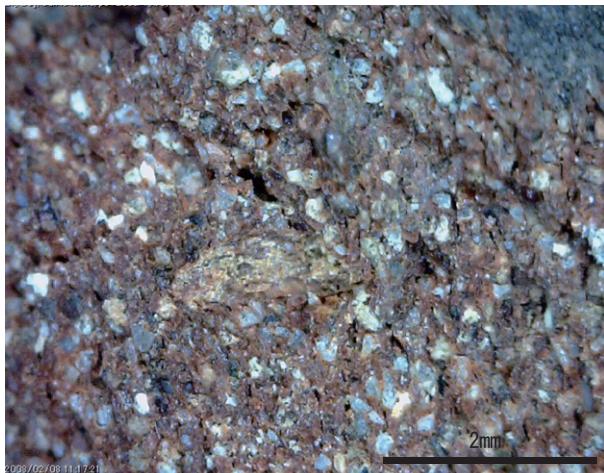


写真2 サント島ビッグベイ出土 (x50)

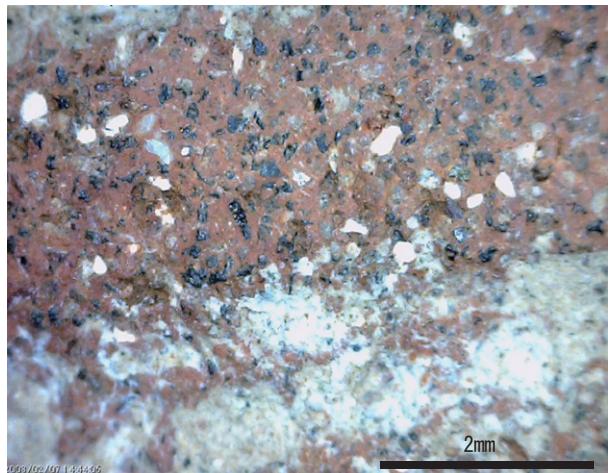


写真3 エファテ島テオウマ遺跡出土 (x50)

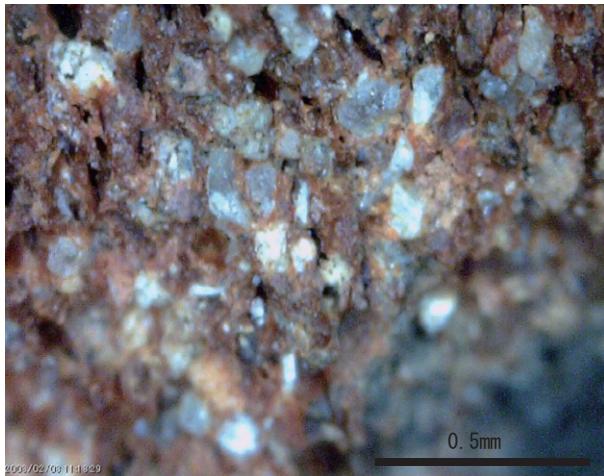


写真4 サント島ビッグベイ出土 (x200)

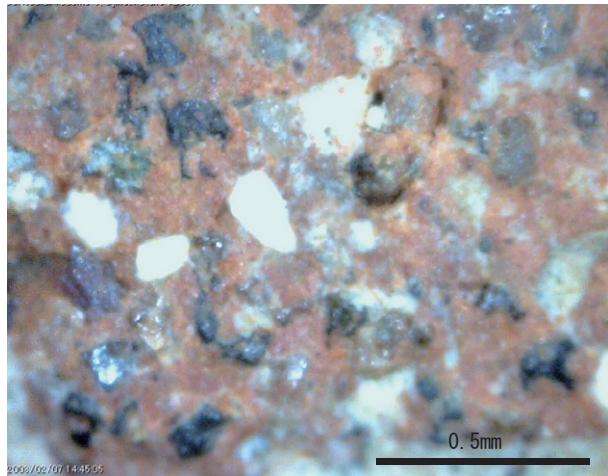


写真5 エファテ島テオウマ遺跡出土 (x200)

写真2～5：ニュー・ヘブリディズ諸島にて出土した土器をUSBマイクロスコープにて撮影。

ビッグベイ出土資料は土器の破断面、テオウマ遺跡出土資料は土器の外面を撮影している。非破壊での観察なので土器表面にカビや石灰分が付着していると適切な記録が取れないので観察箇所を一定条件に保つのが困難である。また両資料はニュー・ヘブリディズ諸島内の遺跡から出土したラピタ土器であるが、ビッグベイ出土資料はやや角張った石英や長石が混和材の主体であるのに対し、テオウマ遺跡出土資料は丸みを帯びた輝石を主体としスコリアやサンゴ砂が含まれているなど、含有鉱物に違いが見られる。

両資料ともに、ヴァヌアツ国立文化センター所蔵（筆者撮影）

レパラート試料を偏光スキャンしたものを挙げておく(写真6)。

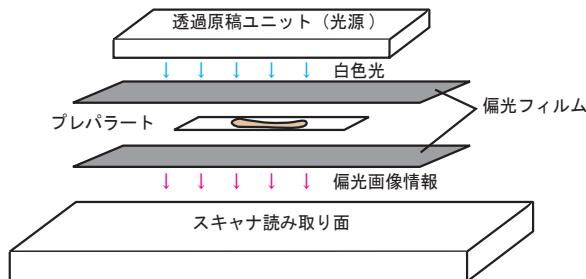


図2 偏光スキャンにおける機材の設置状況

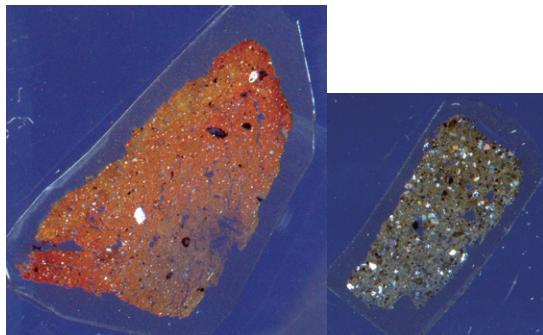


写真6 偏光スキャン画像 (S=200%)

2点ともにパラオ共和国アイメリーケ州エレウェイ地区出土
(画像はスキャン後に輝度調整を行なっている)

・電子顕微鏡

光学顕微鏡と異なり、光の代わりに電子(電子線)をあてて拡大する顕微鏡である。光学顕微鏡では見ることのできない微細な対象を観測できること、光学顕微鏡よりも分解能が高いため観測対象の細部を鮮明に見ることが出来という利点をもつ。機器自体が非常に高価で大掛かりなため誰もが運用できる方法ではない。

3.3 小結

いずれの顕微鏡を用いるにせよ、顕微鏡観察では含有物の同定・計測を行なうのが目的となる。鉱物や有機物・空隙・粘土基質の粒度分析や組成比を計測することで、定量的な比較が可能となる。含有物の同定以外にも定量化しづらい属性(流理性・色調・鉱物結晶の特徴など)も記載することにより肉眼観察で得た知見との対比が可能となる場合もある。

4. 分析・観察結果の解析

機器分析・顕微鏡観察を通じて得られ渦定量データの分析は、容易かつ得られた結果の信頼性が高いだけ

でなく、複雑な操作を含まない解析手法が望ましい。その意味では、視覚的に把握しやすい分布図を用いたグループング推定は極めて平易で確実な方法といえる。しかし、この方法では胎土中の含有成分分析データを生のままでプロットする為に、相互に類似したデータの裏に隠された性質の違いを区別することができないという場合さえある。こうした場合多変量解析を補助的手段として用いることで分布図上に表われない土器胎土の隠れた自然科学的特性が明らかになることもある。これらの手続きを踏んで数学的に裏付けられた定量値は(生)産地を推定(同定)する際の指標とされるが、「どのような数理統計が良いかは、まだ結論が得られていない(東村1979)」のが実情である。主成分分析のほか、多変量分析によるクラスター分析や判別分析を用いる例が多いが、判別の指標となる属性の選択条件については明確な指標はなく、研究者が個々の判断で有効な指標を探している。

定量分析は、大量のデータの比較と蓄積がしやすいメリットを持つが、定量データは単体では生産地の同定もできなければ、地質構造と直接的に対比することも出来ない。

一方、定性分析は地質構造との直接的な対比が可能であり、解釈の融通性をもたらすため、莢雜物を多く含むためバラツキの多い土器・陶磁器のデータを標準化するのに向いていると言えるが、相対的な評価であるためにデータの蓄積を生かしづらい状況を生じさせるという欠点も抱えている。

消費地出土資料の生産地を同定するためには、生産遺構である窯跡あるいは焼成遺構出土資料との対比が必須であるが、常にそのような条件が揃うわけではない。従って、窯跡ないし焼成遺構が見つからない条件下では地質学的な特性によるグループング、あるいは地質データとの対比によりもたらされる産地推定にどまらざるを得ない。

また、(生)産地推定(同定)を目的とした研究では、個別の資料に対して産地の判定を行なうことが多い。しかしながら、「個別判定はその時々での解釈の融通性をもたらすとともに、データの累積が生かされにくい状況(大家2005)」を生じさせるという批判もなされており、データの標準化・蓄積が絶えず要求される状況が繰り返されている。

しかしながら、考古資料の場合、調査研究の進展と

とともに新たな問題・資料が増えるのは避けられない。分析に供するデータセットの内容が産地判別に十分な質・量を備えているかが重要である。管見する限りでは、そのような議論を十分にした上で資料の選別・分析を実施した例はほとんど見当たらない。

5. ケーススタディ

日本国内の機器分析を用いた胎土分析研究の状況については、佐原眞氏（佐原 1972 など）、二宮修二氏（二ノ宮 1990）、大屋氏（大家 2005）など数多くの先学諸氏が紹介・整理しており、ここでは詳述しない。ここでは、南太平洋ラピタ土器研究における胎土分析と、佐々木達夫を中心とする陶磁器の研究グループによるアジア各地域の陶磁器の産地推定研究を概観し、胎土分析によって何が明らかにされたのかを述べる。

5.1 ラピタ土器土器

当地域における胎土分析の対象資料は大半がラピタ土器あるいは後続するポリネシア無文土器である。遺跡が分布する島々の間には広大な海が存在し、島毎の地質環境も一様ではなく、火山島以外にも隆起サンゴ島や環礁があり、鉱物資源も豊富な島・そうでない島など様々である。従って、ある島で製作された土器が他の島へ搬入された場合、もしくは同じ島嶼内でも地質環境が異なる地域へ土器が搬入された場合、その胎土は地質学・岩石学的に識別可能である場合も十分に予想される。メラネシア・西ポリネシアで本格的な考古学調査が始まって間もない 1951 年にはカーチス氏によってフィジー・ビティレブ島で出土した土器の岩石学的研究が行なわれている (Curtis 1951)。以後、ディンキンソン (Dickinson, W.R.) 氏が偏光顕微鏡観察による混和材の鉱物同定作業を精力的に行なってきた。その結果、出土した土器の大部分が材地産であるものの、僅かながら搬入品が存在することが明らかとなっている。残念ながら、観察結果の一次データ引用元には未刊行のリポートが数多く含まれている。そのため別の研究者が比較資料として使うのが難しい。

カーチスはトンガ王国北端に位置するニウアトプタプ島内の 3 地点より出土した土器片を対象資料として電子顕微鏡観察（観察倍率は 10 倍）を実施している。粘土基質の組織について記載し、3 タイプに分類した (Kirch 1988)。

サマーへイ砲氏は電子マイクロプローブ虜電子顕微鏡、PIXE - PIGME（粒子励起 X 線・ガンマ線分光機）を併用し、遺跡出土の土器と島内の河川や砂浜より採取した砂と対比を通じて産地推定を行なっている (Summerhayes 2000)。しかしながら元素分析の一次的な定量データは報告されておらず、分析結果に基づいた分類による土器の破片数に基づいて島嶼内における土器の流通圏が 50 ~ 100 キロに及んだと推定している。

松本直子氏・中園聰氏を中心とする研究グループはフィジー・ビティレブ島内遺跡出土および現代の土器について蛍光 X 線分析を行なっている（中園ほか 2007；松本ほか 2007）。こちらも計測した 1 次データが明らかにされていない。現代土器の分析では、製作者ごとの土器胎土を比較した場合、同一製作者の作品がまとまりを見せる傾向があるものの、同一製作者の作品でも元素濃度がかけ離れる場合が見られた。遺跡出土の土器の分析ではビティレブ島内の土器にも地域ごとの違いが認められ、ボウレワ遺跡で採集された土器の中にはビティレブ島の外から搬入された可能性が高い土器を含んでいると結論付けている。

以上、ラピタ土器研究における胎土分析研究は偏光顕微鏡観察が分析手法の主軸であり、機器分析は行なわれているものの、体系的に実施していると言える状況にはない。産地の推定については遺物が出土した島の地質状況と土器の混和材の分析結果を対比することで搬入品であるか否かの判定を行なう方法が主流であり、数こそ多くはないが島外が持ち込まれた可能性が高い土器が存在することが知られている。

5.2 アジア各地域の窯業生産品

佐々木達夫を中心とした研究グループではアジア各地域の陶磁器および日本国内の近世陶磁器について、主に偏光顕微鏡を用いて消費地遺跡・窯跡出土の陶磁器の分析を行なっている。いずれの地域・時代の陶磁器でも石英・長石が含有鉱物の大部分を占めている。石英・長石の含有量比や粒径分布、雲母やジルコンといった石英・長石以外鉱物の組成、鉱物・空隙・粘土基質の組成比など、分類の鍵となる指標は分析対象となる遺物群の種類以外にも、地域や時代といった考古学的背景によっても異なるが、いずれの事例でも石英・長石を主体とした、「あまりにも単純な鉱物組成は自然界に普遍的に見られるものではないと考えられ

(楠 1996)」、この様な鉱物組成を示す理由として、製作時における人為的作用（陶土の選択と水簸）を想定する。

6. 考察

以上、各種の顕微鏡・および代替技術の使い方・メリット及びデメリットを解説し、観察結果から得られた情報を如何にして産地推定あるいは生産地同定に結びつけるのかを述べてきた。いずれの方法を選択するにせよ、素材となる粘土の加工が行なわれる陶磁器では、製作者の素地加工技術が反映されているのであり、地質をダイレクトに反映しているというわけではない。言い換えると、含有する鉱物の種類の違いによって、産地あるいは生産地が容易に特定できるわけではないのである。原料の加工技術の違いは石英や長石など一般的に見られる含有鉱物の粒径や形状、性状に現れているといえる。

一方、粘土の加工度合いが陶磁器に較べて低い土器の場合、水簸のように採取した粘土から不純物を取り除く工程がなく、混和材として用いる素材も製作地からさほど離れていないところで入手可能なものが用いられていることが多いため、陶磁器と較べれば地質条件を反映しやすいといえる。

機器分析・顕微鏡観察のいずれを用いるにせよ、結論を導き出す指標や解析手法において、あらゆる土器・陶磁器に万能なものはない。分析に供する資料群が持つ考古学的背景を十分に理解して分析にあたらねば、解析結果が何を示しているのか理解できない。分布図を用いた直感的なグルーピングは極めて平易で確実な方法といえるが、多変量解析を用いることで分布図上に表われない、隠れた自然科学的特性が明らかになることもある。

おわりに

本稿は、平成19年12月5日に金沢大学考古学研究室・古大学協会北陸支部共催研究会「遺跡出土陶磁器の多様性」で発表した内容を加筆・修正したものである。

参考文献

大家道則 2005 「土器類の産地推定についての基礎的検討—理論的背景の整備と研究史的課題の明確化—」『研究紀要』第20号 pp. 1-56 財団法人埼玉県埋蔵文化財調査事業団

- 楠 寛輝 1997 「東南アジア陶磁器の偏光顕微鏡を通した胎土分析」金沢大学文学部卒業論文
- 佐々木達夫・酒寄淳史・酒井中・楠 寛輝 1998 「画像処理法による陶磁器素地の定量化と産地推定」『金沢大学考古学紀要』24号 pp. 209-223
- 佐々木達夫・酒寄淳史・水上和則・楠 寛輝・酒井中 1998 「陶磁器素地成分は部位により違いがあるか」『金沢大学考古学紀要』24号 pp. 204-20
- 佐々木達夫・向井亘・楠 寛輝 2000 「北部タイ窯跡出土陶磁器の偏光顕微鏡観察」『金沢大学考古学紀要』24号 pp. 74-117
- 佐原 真 1972 「考古学から見た土器の岩石学的研究」『考古学と自然科学』第5号 pp. 101-107
- 長谷順司 2001 「Julfar 出土白釉陶器の計量と分析」金沢大学大学院文学研究科修士論文
- 西森正晃 2004 「スーサ出土のイスラーム陶器の岩石学的研究」金沢大学大学院文学研究科修士論文
- 二宮 修二 1990 「古文化財の分析」『ぶんせき』vol. 8 pp. 611-616
- 東村武信 1979 「材質・産地・技法」『考古学と自然科学』第12号 pp. 118-123
- 松本直子・中園聰・川宿田好見・黒木梨絵 2007 「フィジーにおける土器製作と胎土分析」『日本考古学協会発表要旨集』PP. 76-77
- 中園聰・松本直子・川宿田好見・黒木梨絵 2007 「フィジーにおける土器および関連資料の胎土分析」『日本文化財科学会第24回大会研究発表要旨集』pp. 220-221
- 吉田和則 1998 「ハレイラ島出土陶磁器研究」金沢大学大学院文学研究科修士論文
- Kirch,P.V.1988 Niuatoputapu: The Prehistory of Polynesian Chiefdoms.Thomas Burke Memorial Wasigton State Museum. Monograph (5).
- Dickinson,W.R. and Shutler Jr,R.2000 Implications of Petrographic Temper Analysis for Oceanian Prehistory. Journal of World Prehistory, Vol14, No.3
- Wickler, S.2001 Prehistory of Buka: A stepping stone island in the Northern Solomons. Terra Australis 16.Canberra: Department of Prehistory, Australian National University.

(e-mail : lapita13@msn.com)