

土器における粘土帯接合痕の可視化と観察

—蛍光樹脂含浸法と画像処理を用いて—

中園 聡・平川ひろみ・黒木梨絵・中村有希

1. はじめに

土器の製作技法を研究する上で、粘土帯(粘土紐を含む)の接合法についての関心は高く、実測図の断面に接合を表現する線を描くことは既に定着している。考古学において粘土帯接合法への着目は、弥生時代開始期における内傾接合・外傾接合の評価に代表されるように、土器製作者の系統とも結びつく議論になりうる点からも重要である(家根1984)。また、筆者らのように土器製作者の個人同定を行おうとする立場にとっても(中園・池平2010;ほか)、接合法は製作者の身体技法やクセの復元などの手がかりとなりうるだけに、それを明確にすることは重要といえる。

しかしながら、破片の肉眼観察だけで判断がなされるのが通常である。したがって、破片に接合痕が見える場合にのみ記録・記述されるという制約があり、常に観察されるとは限らないという問題がある。また、断面で観察されるのは空隙やシワのほかマーブル状の色調の違いなどがあるが、それらが接合痕と誤認される場合も少なからずあるようである。その結果、実際にはあり得ないような接合が図示されたり、観察者によって違いが生じたりするなど、接合法研究の進展の障害となっていると思われる。このように、根拠に乏しいと思われる接合痕の表示が散見されるのが現状である。そこで、擬口縁のように接合面で外れた資料でなければ、接合痕を図示するのは避けるべき、との慎重な意見も聞かれる。不確かな線は無批判に図示するくらいなら、疑問の余地のないものしか図示しないという立場は確かに傾聴に値する。

ただし、不確かなものを表現するのは問題であるが、上述のように接合痕を見出すことが重要であることは疑いない。したがって、接合痕の見えにくい資料でもそれを積極的に可視化する技術の開発・発展が求められるのである。これまでに土器を切断して断面を観察する試みも見られるが(e.g. 緒方1978)、接合痕の観察という点では困難が多い。土器の断面を研磨し、胎土の組織(空隙の配列やノジュール等の構造など)から製作技法に迫ろうとする優れた研究もあるが(高橋1988)、そうした組織から間接的に接合箇所とその断面形を推測することはできても、接合痕を断面で直接観察することは極めて困難とされる(高橋1993)。確かに接合部

キーワード：接合痕、土器製作技法、土器製作者、蛍光エポキシ樹脂含浸法、個人、考古学

は、相対的に外れやすいとはいっても、相互にぴったりと密着しているため、その面を断面から観察することが容易ではないことは了解しておかなければならない。

しかし一方で、擬口縁等、粘土帯の接合部で外れた破片が存在することに加え、その接合面に、稀に埋没土壌成分に由来するとみられる鉄錆様の膜が薄く広がっていたり、土器表面に塗られた赤色顔料等が面的にしみ込んだりしたものがあることに気付いたことのある考古学関係者は少なくないと思われる。そのような経験からも、実際には肉眼観察が困難な微細な連続的空隙として接合痕があることを期待するのは的外れとはいえないであろう。接合面にあると思われるその微細な空隙を積極的に可視化し、観察することができれば、そのことが考古学に果たす役割は小さくないと思われる。つまり、接合箇所を外れたものなど条件の良い資料で、たまたま見られるものを記録・観察するのではなく、見たい部分の接合法を可視化するという積極的方法が必要なのである。

我々は、近年、岩石学、土木工学など様々な分野で応用され実績のある蛍光樹脂含浸法を採用し（廣野ほか2003；岩城ほか2004；Shiotani et al. 2003；手塚ほか2005；Van Mier 1997；与語ほか2001；ほか）、土器に適用することで接合痕の積極的な可視化と観察を試みることにした¹。

2. 試料と方法

可視化のために蛍光樹脂含浸を行い、切断面を観察する方法を基本とした。本研究においては、考古学的方法の普及の観点から、できるだけ簡便な方法で実施できることを目指した。

試料は以下のとおりである。①実験製作による円筒形試料（陶芸用粘土に砂を混ぜた素地で粘土紐を作り、巻き上げ法によって棒に巻きつけ、外面をナデ仕上げした円筒）を乾燥後、焼成した。②実験製作による小型の鉢（①と同じ素地を使用）2個も同様に乾燥後、焼成した。③伝統的製作技法による民族資料（タイの現代土器等）、④考古資料（土器片）を使用した。

①～③は製作法が既知であり、実際の接合法と断面との対応について確認することを主目的とした。未知試料として、実際の考古資料である④に適用することとした。

試料はいずれも縦に切断後、樹脂含浸させた。それは一連の実験において、含浸後にも含浸前の状態を保存しておきたいという意図からである。使用した樹脂は低粘度エポキシ樹脂であり、含浸を容易にするために特に低粘度のものを選択した。それにエポキシ樹脂混合用の粉末

¹ 本稿の基となった研究発表（中園ほか2011）と奇しくも同時に発表されたものとして、小林ほか（2011）がある。両者は蛍光エポキシ樹脂を含浸させる点で共通しているが、小林らは薄片にして観察している点、紫外線照射を行わずに観察を行っている点が異なっている。小林らも断面薄片における粘土粒子の配向性の検討だけでなく、接合痕の抽出に成功している。断面内部で観察される接合痕（本稿の接合線）が器表面（とくに外表面）で見えないという筆者らの研究結果と同様の所見が得られていることは注目できる。

蛍光染料（色：イエロー）を、主剤1mlに対して約5mgの割合で混合し、使用した。真空ポンプ（到達真空度約2Pa）を使用した簡易型の真空含浸装置を用いて、真空（減圧）脱泡により蛍光エポキシ樹脂を含浸した。樹脂含浸硬化後、切断面を平滑に研磨した（仕上げは#1000の研磨粉を使用）。超音波洗浄器で短時間洗浄した後、研磨面の観察・撮影等を実施した。紫外線蛍光灯（ブラックライト、波長370nm）で紫外線を照射し、デジタル一眼レフカメラでマクロレンズを使用して接写する簡便な方法をとった。また、それ以外の記録法との比較や画像処理に供するため、市販のイメージスキャナでの画像取得や、必要に応じて実体顕微鏡等を使用した観察を行うなどしたが、これらは含浸前にも適宜実施した。

なお、考古資料としての土器片では、実測図作成と写真撮影に加え、三次元レーザースキャナを用いて三次元形状計測を実施してから実験に供した。

3. 結果と考察

いずれの試料も、含浸前の断面では接合痕がほとんど、あるいは全く見えなかったが、上記処理を施した結果、顕微鏡レベルでは明瞭に見えるようになった。デジタルカメラでの撮影にも概ね堪えることがわかった。以下では試料ごとについて詳しく述べる。伝統的製作技法による民族資料については紙幅の都合で省略するが、既知の接合部が検出された。

(1) 実験製作による円筒形試料

Pl. 1は、実験製作した円筒形試料の一部分である。この試料は、内面側は粘土紐を棒に巻きつけた際の接合部が明瞭であるのに対し、外面側はナデで平滑に仕上げられている。Pl. 1aは、含浸、研磨した断面をイメージスキャナで画像取得したものである。この断面で蛍光エポキシ樹脂が浸み込んだところが黄緑色に見えるが、仔細に見ると内面の接合部のくぼみからさらに器壁の中心部に向かって黄緑色の線が延びているのがわかる。しかし、それ以上詳細な観察は困難である。Pl. 1bは、紫外線照射した拡大写真であるが、照射前と比べると、接合を示すと思われる線状のものが明瞭に見える（スケールの最小目盛は0.5mm。以下、「接合線」と呼ぶ。接合線とは、断面において互いに接する面がネガ・ポジの関係にある狭い線状の面と定義する）。内面の接合部のくぼみから連続して線が延びていることは、接合線である可能性が高いことを示すが、さらに研磨して1mmほど研いだところでも、同位置のいずれの線も明瞭であった。このように連続して出現することからも、接合線と判断してよい。

なお、それらの接合線が内面の粘土紐接合部に連続することは当然であるが、外面までは到達していないことが注目される。各接合部位で外面まで接合線が到達したところの一つもなく、これは、外面のナデによって粘土紐の凹凸を平滑にならされることで、接合線が消失したか、本来存在しないことを示すと考えられる。エポキシ樹脂が内面側から浸透したために外面

まで到達しきれなかったように見えるかもしれないが、切断後に試料を樹脂中に浸け込んで含浸作業を行っていることや、外面側の微細な空隙にも樹脂が浸透していることが確認されるため、接合線が存在すれば浸透したと思われる。

本試料のような実験から、明らかに接合線といえるものが抽出できることや、ナデ等のかきならしによって接合線が消失することがわかる。このことは、本法によって成形・調整法の詳細がわかる可能性があることも示唆している。

なお、この試料は、粘土紐の接合部を強く接着しようとの意図はとくに持たずに製作されたものであり、内面の接合部から接合線にあたる空隙が連続していることから、エポキシ樹脂が浸透しやすい条件にあったと考えられる。

(2) 実験製作による小型の鉢

より実際の土器に近い条件のものとして、実験製作による2個体の小型鉢で実験を行った。

鉢 A

鋤先状の口縁部を持つ小型の鉢である（鉢 A とする）。未含浸の断面では接合線は見えなかった (Pl. 2a)。含浸、研磨を経て、紫外線照射した (Pl. 2b, 3)。数度の研磨後も繰り返し出現する接合線が確認された。

まず、Pl. 2b の口縁部を見ると、三叉状に接合線が見える。体部最上部と外側に張り出した口縁部との間には接合線が見える。これにより、口縁部外側は、体部最上部に半ば載せつつ、その外面側にも被せるようにして接合されていることがわかる。また、口縁部内側の張り出しについても、口縁部外側のそれと同様に、別の粘土紐を接合したものであることが明瞭である。つまり、口縁部は内面と外面に分けて貼り付けられたものであることがわかる。なお、口縁部内側の付け根である口縁部と体部の境のくぼみには、接合線がほぼ表面まで到達しているのに対し (Pl. 3)、口縁部の外面側と内面側の粘土紐の境にあたる接合線は、口縁部上面までは達していない (Pl. 2b)。これは、円筒形試料の実験で示されたように、口縁部のヨコナデの影響により接合線が消失したものと考えるのが妥当であろう。口縁部外側と体部との境でも接合線が表面近くで消えているように見えるが、顕微鏡で確認したところ、エポキシ樹脂による接合線の延長にも樹脂の浸透がみられない細かい溝が見られたことから、ほとんど表面近くまで接合線がある可能性が高いと思われる。この部分はエポキシ樹脂の含浸が不十分であったとみられ、含浸作業中にエポキシ樹脂の一部が容器の周囲に漏れ出してしまったことが原因の一つと思われる。さらに経験を積むことで改善できると考える。

Pl. 2b には、胴部（体部）に器壁を外傾して横切る2か所の接合線（粘土帯接合痕）も見られる。これらは長く連続しており、周囲の空隙に入り込んだ樹脂の配列とは明らかに異質であることや、研磨を繰り返しても同様に出現することから、接合線と判断できる。仔細に見ると、2本とも内外面には接しておらず、やはり表面調整の効果によるものと考えられる。Pl. 3は、

さらに接写したものである。

なお、口縁部は、体部成形後、半乾燥の間を置かず、体部の粘土帯積み上げと同様すぐに積み上げたものである。半乾燥で擬口縁状に外れやすい状況にあるわけではない場合でも、接合痕の把握が可能であることがわかる。いずれの接合線も、製作時の接合箇所と、推定される断面に現れる形とが調和している。

本試料の接合線の幅は、さきの円筒形試料よりも格段に狭く、広い部分で85 μm 、平均的な部分で20~40 μm 、狭い部分では8~6 μm であった。微小な隙間にまでエポキシ樹脂の含浸が見られたことになる。

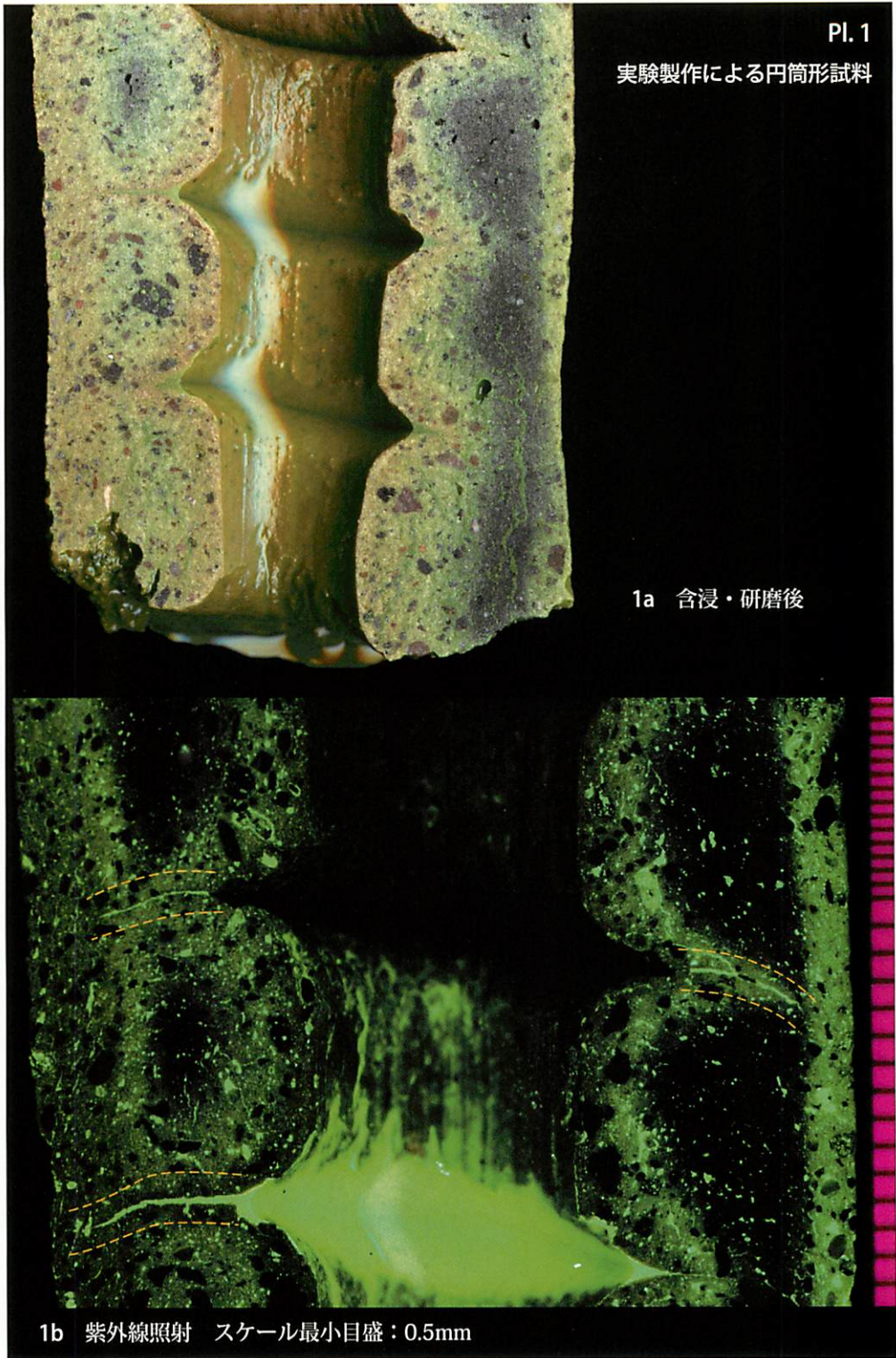
鉢 B

断面三角形の口縁部を持つ鉢である（鉢 B とする）。Pl. 4a は、未含浸の断面であり、鉢 A の場合と同様、接合線らしきものは見あたらない。含浸、研磨を経て紫外線照射した（Pl. 4b, 4c）。なお、含浸中にエポキシ樹脂がやや不足してしまい、部分的に浮き出るところが出てしまった。したがってあまり良い条件ではないが、まずまずの成果をあげることができた。

口縁部と体部の境に接合線が見える（Pl. 4b）。体部上端が直口状に作られた後、その外面に口縁部となる粘土紐が貼り付けられるとともに、その粘土紐は体部上端まで覆い被さっていることがわかる。この接合線は途中が不鮮明だが、接合線の下端は外面に接触しているのに対し、その逆側（上端）は内面側に大きくカーブを描きながら内面の器表付近で消失している。これは口縁部のヨコナデと関係していると考えられる。口縁部の下面から内面にかけてはヨコナデがよく施されているが、口縁部外面の付け根付近（体部との境）にはヨコナデがほとんど及んでいないからである。つまり、調整法と接合線の状況とは調和していることになる。

この試料は基本的に内傾接合で製作されており、粘土帯に見られるシワ状の空隙の配列が内傾しているのが注意されるが、不明瞭であった。含浸不十分が一つの原因と思われるが、粘土帯接合部の密着度が強い場合、含浸が困難な場合がある可能性もあり、検証が必要である。幸い、切断した残り半分が未含浸のまま残っているため、今後その検証に供したい。

底部付近については、明らかに含浸が不十分であり、空隙のまま残ってしまった箇所が比較的多く見られる。しかし、円盤の周囲に粘土帯を巻いた接合箇所については、接合線が確認できた（Pl. 4c）。接合線は底面まで及んでおらず、その直前で消失しているが、底面のナデの影響と考えられる。この接合線は上方へ伸びるが、器壁の厚さの半ばで途切れている。顕微鏡観察ではその延長にも空隙が多少伸びていることから、含浸不十分のせいといえよう。ただし、この部分の内面側は成形時に盛んになでつけているため、この接合線はもともとさほど伸びることなく途中で切れると思われる。



Pl. 2

実験製作による小型鉢（鉢A）



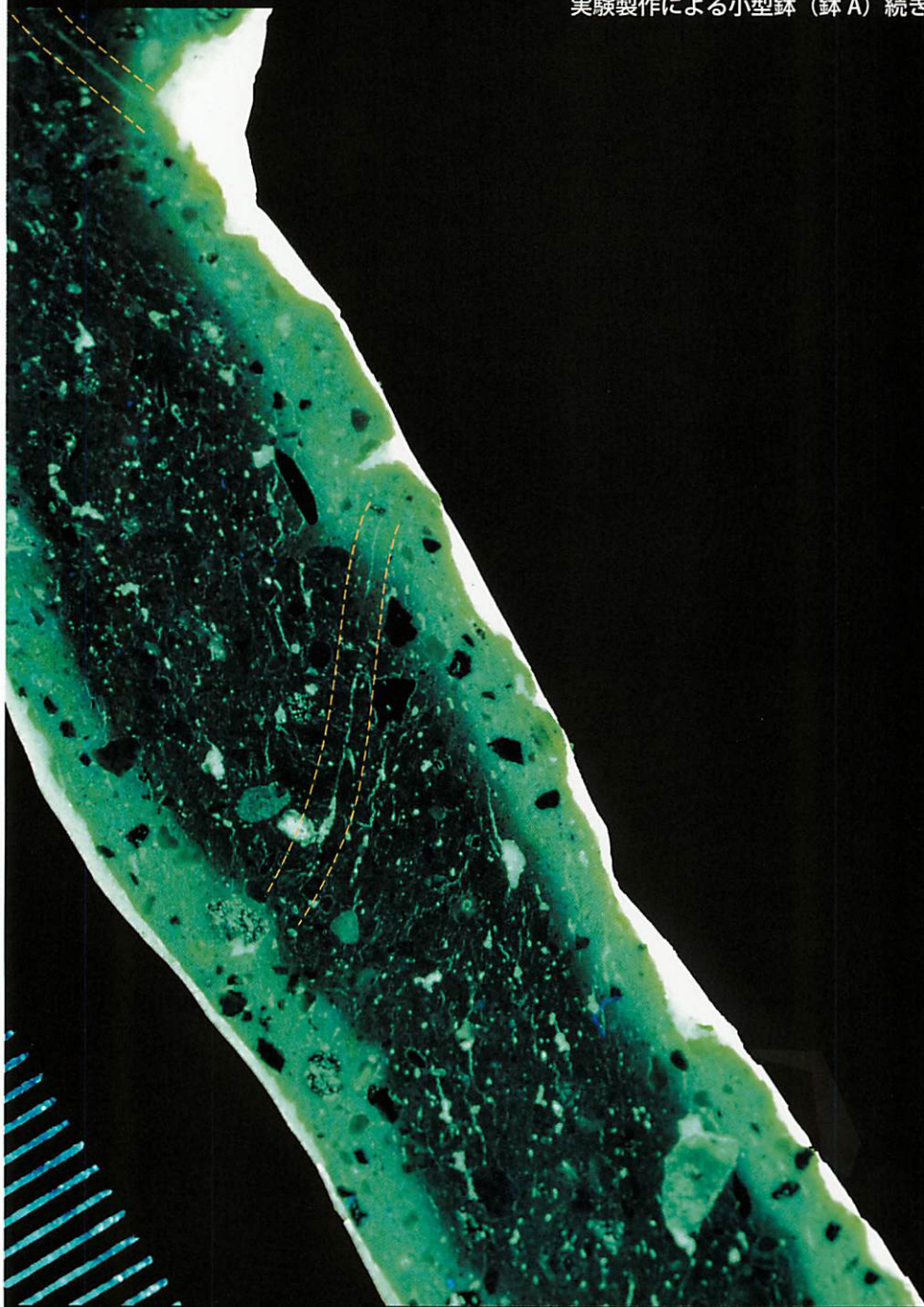
2a 未含浸



2b 紫外線照射 スケール最小目盛：0.5mm

Pl. 3

実験製作による小型鉢 (鉢 A) 続き



紫外線照射 (拡大) スケール目盛: 0.5mm

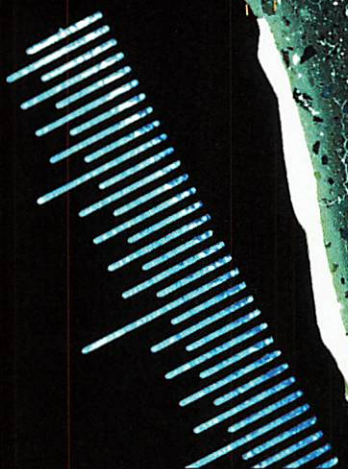
Pl. 4

実験製作による小型鉢（鉢B）

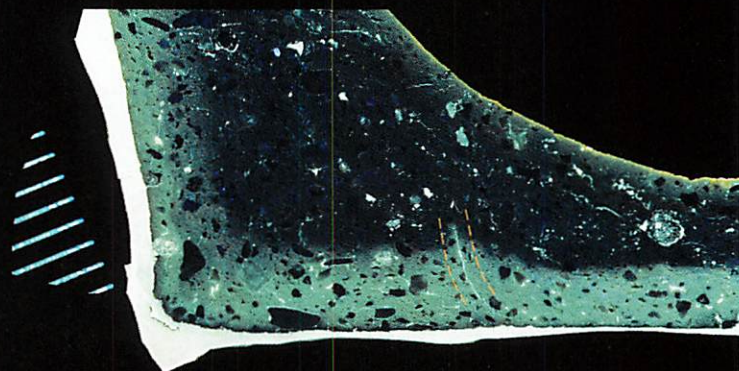
4a 未含浸



4b 紫外線照射 スケール最小目盛：0.5mm

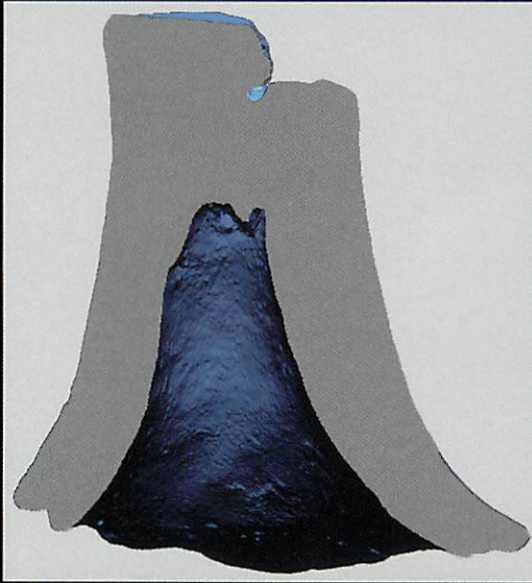


4c 紫外線照射 スケール最小目盛：1.0mm

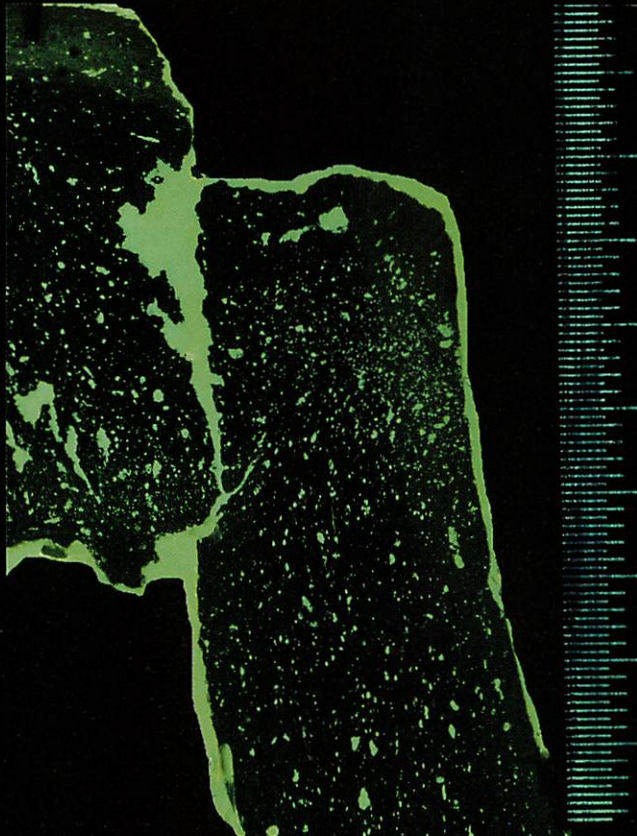


Pl. 5

古墳時代の高坏脚部



5a 3D 画像による断面と見通し



5b 紫外線照射 スケール最小目盛：0.5mm

Pl. 6

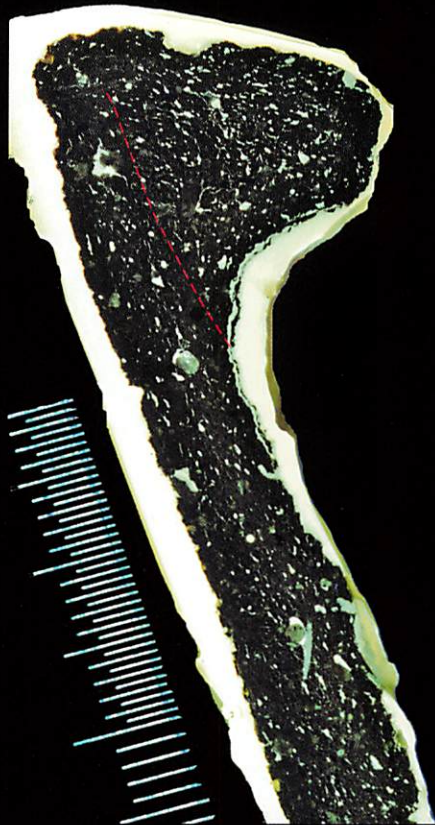
弥生時代の甕



6a 未含浸



6b 画像処理 (輪郭検出)



6c 紫外線照射 スケール最小目盛：0.5mm

(3) 考古資料 (土器片)

以上のような成果を踏まえて、実際の土器に適用した。

古墳時代の高坏

南九州古墳時代中期～後期、いわゆる成川式土器の後半期に属する高坏の脚部破片である。杯部は欠損しているが、観察により、杯部と脚部を接合するに際して脚部上部に素地土の棒状塊を押しこんだものと推測された。

Pl. 5a は、実測図で脚部内面を正確に表すのは難しいため、あらかじめ計測していた3D 画像を用いて該当部分の断面と見通しを自動表示したものである。Pl. 5b は、含浸、研磨後、紫外線照射したものである。棒状塊は予想通り存在し、切断した時点で肉眼でも十分確認できるほどの隙間(空洞)が脚部上部との間にあった。したがって、本試料では普通の狭い接合線ではなく、格段に幅広であったことになる。また、接合線は、さきに定義したように、相互に接する面がネガ・ポジの関係でなければならないが、脚部上部の内面が概ね直線状を呈するのに対し、その面に対する棒状塊は不整形をなしている。このセクションにおいては、しいて言えば下方の一部が接合線となっているに過ぎない。このことから、棒状塊が差し込まれるソケットとしての脚部内面は整った形である一方、棒状塊はその全面にぴったりと貼り付けられることは、結果としてなかったことになる。棒状塊を上方から押し込み、その先端や周囲の一部が脚部内面に接触し、その摩擦で軟らかい棒状塊は途中で皺を生じつつ曲ったという機序が推定できる。

その他、脚部の製作法を知る手掛かりを探したが、脚部自体の断面には接合線らしきものは見当たらなかった。今後さらに検討が必要だが、粘土帯等を用いず素地土の円筒から上半の絞りと下半の拡張で製作されたことを示唆するかもしれない。

弥生時代の甕

南九州弥生時代中期前半の入来Ⅱ式に属する甕の口縁部～胴部上位の破片である。Pl. 6a は、未含浸の断面で、口縁部を拡大したものである。接合線は見えない。含浸、研磨を経て紫外線照射した(Pl. 6c)。この種の甕は、外側から粘土紐を貼付して口縁部とするのが普通と考えられるが、その部分に接合線は確認されなかった。しかしながら、仔細に見ると、体部(胴部上位)と口縁部とは空隙の配列・組織が明らかに異なっていることがわかる。口縁部の空隙は概ね横倒しの馬蹄形を呈するのに対し、体部は概ね器壁に平行するように並んでいる。体部は、発達程度は弱いですが、高橋(1988)の「圧展構造」に近いと思われる。この体部に対して、口縁部の空隙は不整合を生じており、両者の境目(不整合面)は体部外面の延長上にあることから、そこが接合部であると理解してよからう。

そこで、含浸前のスキャン画像(24bit 6400dpiで取得)に画像処理を施してみた。Adobe Photoshop ver.10を使用し、「輪郭検出」を行ったものである。その結果、Pl. 6bに示すように上記の推定に適った位置に、体部外面の延長上に薄い色調のラインが出現した。この「輪郭検

出」はピクセル間の変化が激しいところを検出するものといえるが、体部と口縁部との空隙の配列の違いや、両者が接する部分は比較的緻密で空隙が少ないなどの要因によって出現したものでないかと考えられる。

本試料では、遺跡で行われる土層の分層にも似た基準で接合線を描くことができたが、接合線そのものを検出できなかったことは問題である。これは接合線の密着度が高いためエポキシ樹脂の浸透を許さないのか、エポキシ樹脂の粘性や減圧時の真空度のせいであるのか、あるいはその両者であるのか、一連の含浸方法に問題があるのかなど、検討する必要がある。しかし、さきに述べた実験製作による鉢Bの口縁部断面でも、本試料と類似した空隙の横倒しの馬蹄形構造が見られ、接合線まででそれが止まっており、接合と空隙の配向性との間には関連があるといえる。高橋（1993）は、こうした胎土の組織構造から接合箇所とその形を推定することを可能にしており、本研究では組織構造と接合痕自体の関係の一部をつかむことができたといえよう。接合線として把握できなかったものが上述のように実際にあり、今後もその抽出が困難であるとすれば、接合痕を直接観察できないとしても高橋の方法は有用と考えられる。しかしながら、接合部の詳細な形を把握したり、器表に到達しているか否かを確認したりするなど、接合痕を直接観察することの魅力は捨てがたい。したがって、高橋のいう組織構造の観察と本研の接合線の可視化・観察の努力とは、今のところ、併用するのが良策であろう。

以上のように、蛍光エポキシ樹脂含浸と紫外線照射による方法は、接合箇所・接合法が既知である実験製作した試料や現代の民族調査で得られた試料において、調和する結果が得られた。また、空隙の構造（配向性など）の観察に役立つだけでなく、接合線そのものを可視化することが可能であることが確認できたことになる。したがって、土器においてこのような可視化の方法は有効性があるといえる。

ただし、必ずしも接合線が出現しなかったものもあり、その原因については更なる追及と方法の改善が必要といえる。また、空隙部分には概ね一様に浸透するため、胎土中のクラックなどあらゆる空隙が顕在化してしまう。そのこと自体は、製作技法を明らかにしたり、接合線との関係を明らかにしたりすることができるため、接合線と区別できるかぎり歓迎すべきことである。本研究では接合線であることを明確にするために観察面の研磨を進めて観察した。接合痕の場合、連続して出現すると期待されるからである。その結果、確かに接合痕は連続して観察され、誤認を排除することができた。

なお、ここで用いた方法以外に、マクロには紫外線イメージスキャナの使用、よりミクロには蛍光顕微鏡の使用が有効と思われる。しかし、筆者らは簡便な方法を使用することを旨としており、一眼レフデジタルカメラでの撮影で通常は十分といえよう。そして、より詳細な観察・撮影においては顕微鏡を用いることが有効であった。より高度な機器の使用については、格段に大きな成果が得られるなどの利点があれば実施することとし、今後の課題としたい。

空隙の配向性や接合線などから、製作時の手の動きなど具体的な製作者の情報を得ることが可能である。この方法は比較的簡便であるため、技術的には多くの土器に適用できるだけでなく、製作法や製作者の身体の動きなどに関する様々な情報を、正確に得ることが期待できるようになった。以上より、この方法は考古学的考察に足る詳細な情報を得ることが可能との確信が得られた。

4. おわりに

かなり微細な空隙へもエポキシ樹脂が浸透することが確認され、通常の土器接合法の評価については、今回使用した方法で基本的には十分と思われる。ただし、主剤となるエポキシ樹脂には様々な種類があり、温度・粘度・硬化速度などの特性が異なるため、より適切な樹脂・方法となるよう、さらに工夫する必要がある。また、今回は問題にならなかったが、煮炊きに使用された土器では、調理等に使用された素材に由来する物質の空隙への浸潤・固着があると予想される。それはそれで使用法の評価などにもつながると思われるが、本法への影響なども確認しておく必要がある。

謝辞

本稿は、2011年6月11・12日に筑波大学で開催された日本文化財科学会第28回大会での発表に基づき（中園ほか2011）、書き改めたものである。会場で有益なご意見・ご教示をいただいた方々、とりわけ河西学、小林正史、田畑直彦の各氏に感謝いたします。実験にあたって川宿田好見、花田寛典、新屋敷久美子、太郎良真妃、江神めぐみ、宮田大之、福留衣里の各氏にご協力いただいた。記して感謝いたします。

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）「三次元的パターンマッチング法の応用による土器製作者個人の高精度同定法の確立と展開」（研究代表者 中園聡 課題番号：21320150）の成果の一部である。

追記

欧米における考古科学の脈絡では、蛍光エポキシ樹脂含浸による土器断面の観察を積極的に行った例があることを知った。例えば、Lindahl and Pikirayi (2010) では接合線の積極的な抽出ではないが、粒子（空隙）の配向性に着目されている。土器製作技法の本格的な研究のためには必要な方法といえよう。

文献

廣野哲朗・高橋学・林為人（2003）「岩石における間隙部の可視化手法」『資源と素材』119: 603-607.

- 岩城圭介・加藤淳司・平間昭信・塩谷智基 (2004)「微視的断面観察による酸劣化したコンクリートの微細構造の評価」『コンクリート工学年次論文集』26(1): 999-1004.
- 小林正史・鐘ヶ江賢二・田畑直彦・河西学・山崎頼人 (2011)「弥生前期・遠賀川式土器の成形方法：粘土帯外傾接合と頸部折り曲げ手法の機能的意味」『日本文化財科学会第28回大会研究発表要旨集』, pp.124-125.
- Lindahl, A. and I. Pikirayi (2010) Ceramics and change: an overview of pottery production techniques in northern South Africa and eastern Zimbabwe during the first and second millennium AD. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 3: 133-149.
- 中園聡・平川ひろみ・黒木梨絵・中村有希 (2011)「土器における粘土帯接合痕の可視化と観察」『日本文化財科学会第28回大会研究発表要旨集』, pp.56-57.
- 中園聡・池平壮峻 (2010)「土器製作者個人の高精度同定法の開発」『国際文化学部論集』10(4): 131-153.
- 緒方勉 (1978)「黒髪式土器雑考—整形土器の底部変化をもとにして—」『谷頭遺跡』, pp.70-84. 熊本：谷頭遺跡調査団.
- Shiotani, T., J. Bisschop and J. G. M. van Mire (2003) Temporal and spatial development of drying shrinkage cracking in cement-based materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 70(12): 1509-1525.
- 高橋護 (1988)「弥生土器の製作に関する基礎的考察」『鎌木義昌先生古稀記念論集 考古学と関連科学』, pp.125-148. 岡山：鎌木義昌先生古稀記念論文集刊行会.
- 高橋護 (1993)「器壁中の接合痕跡について」『論苑考古学』, pp.415-436. 東京：天山舎.
- 手塚喜勝・朝倉啓仁・中村真一・佐々木元茂 (2005)「蛍光エポキシ樹脂含浸法によるコンクリートコアサンプルの微細ひび割れの可視化手法」『平成16年度土木学会北海道支部論文報告書』61: V-10.
- Van Mire, J. G. M. (ed.) (1997) *Fracture Processes of Concrete: Assessment of Fracture Models*. Boca Raton: CRC-Press.
- 家根祥多 (1984)「縄文土器から弥生土器へ」『縄文から弥生へ』, pp.49-78. 奈良：帝塚山考古学研究所.
- 与語節生・吉田英一・山本鋼志 (2001)「染色法による岩石中微小空隙構造の同定とその特徴」『名古屋大学博物館報告』17: 7-13.