

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月3日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22520772

研究課題名（和文） 西アジア都市形成期の土器製作における顔料定着と還元焰焼成

研究課題名（英文） A study of pigment and reductive firing on the pottery production in the urbanized period of West Asia

研究代表者

小泉 龍人 (KOIZUMI TATSUNDO)

国士舘大学イラク古代文化研究所・共同研究員

研究者番号：80257237

研究成果の概要（和文）：前5～4千年紀の西アジア都市形成期における彩文土器の顔料について、精製粘土に石灰石と酸化鉄を配合して煨焼したものを準備してから顔料などに用いたという入念な作業工程を作業仮説的に示すことができた。また、都市形成期前半（ウバイド期）よりも同後半（後期銅石器時代／ウルク期前半併行）の土器焼成温度は比較的低温で実施されていたことも推定できた。とくに、還元焰状態で焼成された灰色磨研土器は、比較的低温で焼かれており、同時代の土器焼成窯のクリンカーもウバイド期に比べて比較的低温の火力にさらされていたことも明らかにできた。

研究成果の概要（英文）： This study has hypothetically revealed a couple of remarkable observations on the pottery production in the West Asian urbanization, the Ubaid to Uruk periods, by using XRF, XRF and DSC analyses. A careful preparation of pigments through the manufacturing process might indicate tentative firing, ca. 500 to 800 °C, of a lump of levigated clay mixed with limestone and hematite before painting. Both the temperature of reduction firing for Gray Burnished Ware and of the keyhole-shaped pottery kiln in the first stage of the Late Chalcolithic era, Early Uruk-related period, could be lower than that of the painted pottery and related firing equipment in the Ubaid period.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：史学・考古学

キーワード：実験考古学、西アジア、都市化、土器製作技術、彩文、顔料、還元焰焼成

1. 研究開始当初の背景

(1) 西アジアの都市形成期では、土器製作技術が試行錯誤のすえ改良されていった。とくにウバイド土器の彩文吸着は本格的な窯で高温かつ酸化焰焼成され、非常に硬質な仕上がりとなっており、ウルク期には還元焰焼成という高度な焼成技術が確立されるに至った。

これまで西アジア都市形成期の土器焼成技術に限定した研究は限られてきたため、研究代表者は、基盤研究(C)「西アジアの都市化における土器製作技術の多角的研究」(平成19～21年度)により、小型土器焼成窯を構築して、ウバイド彩文土器などの焼成技術の実験考古学的な研究に取り組んできた。

(2) 昇焰式の同窯で焼成実験を重ねてきた結果、ウバイド土器に限らずいわゆる彩文土器の顔料を定着させるには、焼成室（作品を置く上室）の温度を約 800℃前後で1時間は維持する必要があることを確かめた。また、西アジア都市形成期のウバイド土器に特徴的な硬質な焼上りを復原するには、同室の温度を約 900℃前後で最低1時間維持する操窯が肝心であることも検証できた。

さらに、褐色系顔料（酸化第二鉄）の定着には、安定した操窯技術が必要であるという作業仮説も得た。そして、ウバイド期の操窯技術を基盤として、ウルク期初頭の灰色磨研土器を生む還元焰焼成という高度な操窯技術への発展過程が検討課題となった。

2. 研究の目的

本研究は、こうした土器焼成実験の研究結果と課題を出発点として、西アジア都市形成期のウバイド土器に特徴的な褐色系の彩文顔料（酸化第二鉄）の定着と、都市化の本格化するウルク期初頭に灰色磨研土器を生み出した還元焰焼成について、理化学的かつ実験考古学的な解明を目指した。

そこで、本研究では以下の諸点を目的とした。まず、西アジア都市形成期のウバイド～ウルク期の土器片を分析試料として入手する。つぎに、日本に持ち帰った土器試料をしかるべき研究機関に成分分析を依頼する。そして、分析成果をフィードバックしながら、褐色系彩文の吸着と還元焰焼成を目指して復原実験する。

3. 研究の方法

本研究課題の目的を達成するために、以下の研究方法を計画した。

(1) まず、トルコのティグリス川流域に立地するサラット・テペ遺跡に出向き、都市形成期の土器試料などを入手する。現地の当該博物館などで土器試料を持ち出す許可を申請して、許可を取得してから日本に持帰る。

(2) つぎに、日本に持ち帰った試料を国内の研究機関で理化学的分析を依頼する。粉末に破壊した土器試料を蛍光X線分析（XRF）やX線回折（XRD）により、胎土・顔料の元素組成や鉱物組成を分析する。そして、同試料を熱分析（DSC）により焼成温度と熱量の関係を調べて、発熱・吸熱反応における変化を分析して、特定の温度領域における結晶構造の変化を追究する。

(3) 郊外（早稲田大学本庄キャンパス）に築窯してある小型土器焼成窯を継続利用していく。具体的には、耐火レンガ・モルタルを追加して同焼成窯の構造を改良し、燃焼室へ

の送風状態を向上させる。同時に、還元焰焼成を復原するために、窯構造のさらなる改良や燃料などを試行していく。

同時に、これまでウバイド土器の焼成技術で活用されたと推定されてきたムギの切り藁（スサ）や獣糞などを燃料として用いる。具体的には、乾燥牛糞を入手して、切り藁を混ぜて牛糞藁燃料を試作する。

4. 研究成果

(1) 平成 22～24 年度、毎夏トルコのサラット・テペ遺跡を発掘調査して、都市形成期（前 5～4 千年紀）の遺構・遺物を複数の区画で確認した。おもに、還元焰焼成技術の初期段階を示す、後期銅石器時代初頭の灰色磨研土器を複数の建物床面で確認し、ウバイド期に特有の三列構成プランの住居址を検出した。

I-12 区では、すでに検出されていた土器焼成窯 20/F を伴う部屋 84/M の床面 81/T から、灰色磨研土器のほかに赤色系顔料も見つかったことから、この一連の建物は後期銅石器時代初頭の土器工房址であると推定できた。土器焼成窯 20/F の窯壁からクリンカー、床面 81/T から赤色顔料をそれぞれ採取した。

また H-12 区では、住居址の部屋 53/M などからは、ウバイド後期に特有の彩文土器や体部下半がケズリ調整された鉢（flint-scraped bowls）が見つかることより、同建物はウバイド後期後半の段階に帰属すると推定された。同床下から赤色系顔料などを検出した。

これらの日乾レンガ片、土器片、窯壁クリンカー、顔料などについて、現地のディヤルバクル博物館で焼成実験・分析用の持ち出し許可を申請・取得した。

また、同博物館ならびにトルコのコジャエリ大学考古学研究室に収蔵・保管されているサラット・テペ遺跡出土の土器資料を観察調査して、ティグリス川上流域における都市形成期の土器製作技術の変遷についての比較分析研究に着手した。

(2) 平成 23 年度、上記サラット・テペ遺跡で採取した試料を茨城県工業技術センター・窯業指導所（茨城県笠間市）に持ち込み、ウバイド期から銅石器時代後期にかけての土器片と日乾レンガ片の計 8 点について、胎土と彩文顔料の成分分析を依頼した。依頼した分析項目は、蛍光X線分析とX線回折、ならびに電子線マイクロ分析（EPMA）である。前 2 者の分析について、試料は微粉碎後に煨焼されて、ガラスビード法により波長分散型の蛍光X線分析装置で元素分析が行なわれた。また、微粉碎された試料は、粉末法によりX線回折装置で鉱物組成が測定された。EPMA では、彩文の元素マッピングが分析された。結果は以下の通りである。

① 胎土に含まれる元素に関して、LOI（強熱減量）を考慮した分析結果によると、いずれの土器片も日乾レンガ（生粘土）の粘土成分と大まかな傾向が一致していることから、今回分析した土器は在地生産された可能性が高いことが推定された（表1）。また、いずれの土器にもカルシウムが大量に含まれてマグネシウムも目立つことから、基本的に石灰質粘土を素地としていたこともわかった。さらに、粗製無文土器（図1）は、LOI値が日乾レンガに近いことより、かなり低温で焼成された一方、ウバイド後期の彩文土器（図2）のLOI値は最も低いことから、かなりの高温で焼成されたと推測された。



図1 粗製無文土器



図2 ウバイド彩文土器



図3 ハラフ・ウバイド過渡期彩文土器



図4 灰色磨研土器

表1 レンガ・土器元素組成一覧

試料名	LOIを考慮した元素分析結果					
	ST2011 I12-144-0 (生粘土)	ST2010 I12-113-4	ST2010 I12-117-6	ST2010 I12-121-1	ST2010 I12-184-3	ST2010 I12-185-39
ピード番号	3455	3456	3457	3458	3459	3460
LOI	13.9	6.1	12.6	3.0	4.5	3.2
SiO ₂	48.2	50.5	46.0	51.1	51.6	59.5
CaO	13.3	13.6	10.3	8.9	11.9	11.0
Al ₂ O ₃	12.4	15.7	16.2	17.6	17.2	14.2
MgO	3.8	4.7	5.0	8.1	5.2	3.3
Fe ₂ O ₃	3.7	5.0	4.9	6.8	5.3	4.1
K ₂ O	2.5	2.2	3.2	2.5	2.3	1.9
Na ₂ O	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	1.2
TiO ₂	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8
P ₂ O ₅	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.6
SO ₃	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cr ₂ O ₃	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
SrO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NiO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZrO ₂	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CuO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	100	100	100	100	100	100

② 胎土中の化合物に関して、X線回折による試料のピークリストから判別したところ、日乾レンガに含まれているカオリンや雲母系鉱物は粗製無文土器にも認められることから、ここでも同土器はかなり低温で焼成されていたことが確かめられた。また、ウバイド後期の彩文土器には、ゲーレン石、透輝石、磁赤鉄鉱などが同定されることから、比較的高温で焼成されたと推定された。さらに、ハラフ・ウバイド過渡期の彩文土器（図3）と後期銅石器時代初頭の灰色磨研土器（図4）には、雲母系鉱物と併せてゲーレン石や透輝石なども認められることから、粗製無文土器よりも高い温度で、かつウバイド後期彩文土器よりも低い温度で焼成されていたと推測された。

③ 彩文土器の元素マッピング分析によると、ウバイド後期の彩文土器（図5）の胎土には、日乾レンガに含まれている成分と大まかな傾向が一致し、同顔料には大量の鉄と微量のマンガンが含まれていることが分かった（図6）。比較のために、前3千年紀の前期青銅器時代の二重彩文土器もマッピング分析したところ、ウバイド後期彩文土器に比べて、



図5 ウバイド彩文土器

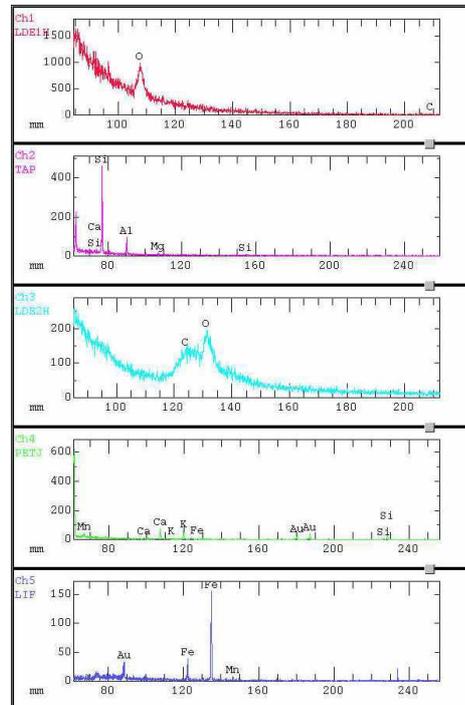


図6 ウバイド彩文土器の元素マッピング

胎土・顔料ともに元素の分布が均一で、器面が滑らかであることが明らかになった。これは青銅器時代の土器がロクロにより水挽き成形されていたことを示している。顔料成分としては、鉄とマンガンが含まれていたが、ウバイド後期彩文土器ほど両元素の含有量の差は見られなかった。

平成 24 年度には、窯壁クリンカーや顔料など 9 点の試料について、上記窯業指導所にて蛍光 X 線分析と X 線回折による試験分析を依頼した。前年度と同様の方法で蛍光 X 線分析により元素分析が行なわれ、X 線回折により鉱物組成が測定された。

後期銅石器時代初頭の土器焼成窯 20/F から得たクリンカー A を分析試料とした。同窯は半地下式の焼成施設であり、燃焼室の壁体より分析試料を採取した (図 7)。同試料の色調はオリーブ黄 (5Y6/3) である。比較検証のために、別区画の堆積層よりクリンカー B も採取した (図 8)。クリンカー B は、ウバイド終末期の地下式横穴墓 64/G とほぼ同じ層位で出土しており、同期の焼成施設の窯壁片であったと推定される。色調はにぶい黄 (2.5Y6/3) である。クリンカー A・B の X 線回折試験の結果は以下の通りである。

④ いずれにも粘土に由来する石英 (quartz)、方解石 (calcite)、長石 (feldspar) が同定された。また、どちらにも焼成による生成物と想定される普通輝石 (augite)、磁鉄鉱 (magnetite) が認められたが、クリンカー B ではほかに白



図 7 土器焼成窯と同窯壁クリンカー A (後期銅石器時代初頭)



図 8 クリンカー B (ウバイド終末期)

榴石 (leucite) と珪灰石 (wollastonite) も同定された。さらに、クリンカー A は、ガラス相の存在の目安となる 10~35°C 間のバックグラウンドがクリンカー B よりも低く、白榴石が認められなかった。

クリンカーの分析結果として、サラット・テペの後期銅石器時代の土器焼成窯 20/F は、ウバイド期の類似施設に比べて相対的に低い温度で焼かれていたようである。回折線グラフにおいて、ガラス相の存在の目安となる 10~35°C 間のバックグラウンドの高さをみると、クリンカー A・B ともに比較的高温 (900°C 以上) に曝されていたと推定される。

しかし、クリンカー A のバックグラウンドがクリンカー B のものより低く、白榴石が存在しないことから、前者は相対的に低い温度で焼成されていたと想定される。この分析結果は、後期銅石器時代初頭の灰色磨研土器はウバイド後期の彩文土器よりも低い温度で焼成されていた、という 2011 年度の分析成果と符合する。

同時に、後期銅石器時代の部屋 84/M の床面 81/T で検出された赤色系顔料 C を分析試料とした (図 9)。同試料の色調は赤褐 (10R5/4) である。比較検証のために、ウバイド後期の住居址床面 57/T 直下から見つかった赤色系顔料 D も採取した (図 10)。色調はにぶい橙 (2.5YR6/4) である。同住居址は三列構成プラン建物で、中央に位置する部屋 53/M の建物基礎層から分析試料を取り上げた。顔料 C・D の X 線回折ならびに蛍光 X 線分析の結果は以下の通りである。

⑤ いずれも回折線グラフにおいて方解石が最強ピーク、元素組成では酸化カルシウム (CaO) が最大値約 38% を示した (表 2)。また、いずれもカオリナイトとハロイサイトの回折線が見られず、イライト (illite) が観察された。元素組成において、顔料 C では酸化鉄 (Fe₂O₃) が顔料 D の 2 倍も認められた。

顔料に関しては、いずれも粘土に方解石を主成分とする石灰石 (limestone) を配合していたと推測される。どちらにもカオリナイトやハロイサイトが認められないことから、450°C 以上に加熱され、またイライトが同定されたため、粘土中の結晶水が抜け切れる程度の温度までは焼かれていなかったと考えられる。



図 9 赤色系顔料 C (後期銅石器時代初頭)

図 10 赤色系顔料 D (ウバイド後期)

表2 クリンカー・顔料元素組成一覧

	クリンカー		顔料	
	クリンカーA	クリンカーB	顔料C	顔料D
Li ₂ O	1.41	5.97	31.79	32.50
SiO ₂	57.35	52.97	19.67	21.40
Al ₂ O ₃	13.09	11.98	3.94	3.27
Fe ₂ O ₃	3.79	3.67	3.53	1.56
TiO ₂	0.65	0.60	0.12	0.17
MnO	0.08	0.08	0.40	0.22
CaO	14.57	14.33	37.84	37.84
MgO	4.10	4.00	1.47	2.02
K ₂ O	2.70	4.06	0.31	0.46
Na ₂ O	1.17	1.30	0.61	0.28
P ₂ O ₅	1.02	0.96	0.22	0.14
ZnO	0.01		0.01	
SnO	0.04	0.04	0.07	0.05
ZrO ₂	0.01			
NiO	0.02	0.02	0.01	0.01
CuO	0.01	0.01	0.01	0.01
Cr ₂ O ₃	0.04	0.04	0.02	0.02
SO ₃	0.04	0.08	0.09	0.06
total	100.00	100.00	100.00	100.00

よって、顔料 C・D は約 500～800℃で「煨焼」されていたと推定される。今まで、酸化鉄などの砕粒を粘土と水で溶いて彩文顔料にしていたと想像されてきたが、今回の分析により、精製粘土に石灰石と酸化鉄を配合して「煨焼」したものを準備してから各種顔料に用いた、という入念な作業工程の可能性も出てきた。これは本研究による重要な成果の一つである。

他方、顔料 D には酸化鉄の量がわずかであり、こうした成分の差は作業工程の詳細も含めて今後の検討課題として残された。

(3) こうした理化学的な分析成果は、焼成実験にフィードバックした。平成 22～24 年度、早稲田大学本庄キャンパスに設置してある小型土器焼成窯にて、研究協力者 4 名の協力により土器焼成実験を実施した。

① 平成 22 年度の焼成実験では、これまでの実験で窯の焚口から焰が逆流していたため、この状況を改善するために焚口部分を拡張した(図 11)。焚口から約 1 時間送風を行ったところ、焼成室(作品を焼く上の空間)の温度が燃焼室(燃料を焚く下の空間)の温度よりも 200℃前後も高い状態を維持できた。復原土器は硬質の焼上りで焼成斑が観察されたが、酸化第二鉄の顔料(褐色系)は吸着しなかった(図 12)。

② 平成 23 年度の実験では、焚口をさらに拡張して天井を閉塞したところ(図 13)、作品は硬質の焼上りとなった。しかし、雨天のなかで焼成を強行したため、計 25 点の復原土器すべてに黒斑が認められ、酸化第二鉄の顔料で色落ちが弱かったものはわずか 2 点に留まり、全体的に顔料の色落ちが目立った(図 14)。また、当該地域の燃料として一般的な



図 11 土器焼成実験(平成 22 年度)



図 12 復原土器 No. 10



図 13 土器焼成実験(平成 23 年度)



図 14 復原土器 Nos. 33, 34

麦藁や牛糞に注目して、乾燥牛糞に細断した麦藁を捏ね併せて牛糞藁を試作した。麦藁、乾燥牛糞、牛糞藁を燃料として併用したところ、麦藁はすぐに着火するが、焼成室温度は 500℃前後までしか上がらないことがわかった。牛糞藁は十分に乾燥させておかないと役に立たないことも確かめられた。

③ 平成 24 年度には、作品の素地に石灰とマグネシウムを配合して、酸化第二鉄に微量の二酸化マンガン混せて、オリエント都市形成期の彩文土器に近い粘土組成と顔料組成に調整してみた。

窯の焚口は前年度よりもさらに手前に延長して、天井に煙道を増設した(図 15)。燃料として、十分に乾燥させた牛糞糞燃料を併用した(図 16)。かなり緩やかな昇温ペースで焼成した結果(図 17)、計 33 点の作品は焼成斑が目立たないやや軟質の焼上りとなった。彩文の吸着に関しては、酸化第二鉄の色落ちが弱いものは 5 点となり、前年度よりも若干の向上が見られた(図 18)。



図 15 土器焼成実験(平成 24 年度)



図 16 牛糞糞燃料乾燥風景



図 17 土器焼成実験温度変化(平成 24 年)



図 18 復原土器 Nos. 58, 67

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

① 小泉龍人、彩文土器の焼成実験－西アジア都市形成期の土器製作技術－、技術と交流の考古学、2013 年、121-132 頁。(査読無)

② Ökse, A.T., A. Görmüş, T. Koizumi, D. Yaşin, N. Soyukaya, Iısu Barajı-Salat Tepe 2010 Kazısı (Iısu Dam – 2010 Excavations at Salat Tepe), Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Yayın (Directorate General of Cultural Heritage and Museum Publications), No. 155-1, 2012, pp. 173-187. (査読無)

[学会発表](計 8 件)

① 小泉龍人、トゥーバ・オクセ、アフメット・ギョルムシュ、ティグリス川上流域の都市化を探る－トルコ、サラット・テペ遺跡発掘調査(2010～2012 年)－、第 20 回西アジア発掘調査報告会、2013 年 3 月 24 日、古代オリエント博物館

② 小泉龍人・齋藤正憲、オリエント都市形成期の土器製作復原－小型土器焼成窯の改良と牛糞糞の燃料化－、日本オリエント学会第 54 回大会、2012 年 11 月 25 日、東海大学

③ 小泉龍人、メソポタミア都市形成期の彩文土器－ウバイド土器の理化学的分析と焼成実験－、日本西アジア考古学会第 17 回総会・大会、2012 年 6 月 10 日、筑波大学

④ A. Tuba ÖKSE, Ahmet GÖRMÜŞ, Tatsundo KOIZUMI, Deniz YAŞIN MEIER, Nevin SOYUKAYA, Iısu Barajı-Salat Tepe 2011 Kazısı. 34th International Symposium of Excavations, Surveys and Archaeometry. Republic of Turkey, General Directorate for Cultural Heritage and Museums of Ministry of Culture and Tourism. 2012 年 5 月 30 日、Hittite University in Çorum, Turkey.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小泉 龍人 (KOIZUMI TATSUNDO)

国士舘大学・イラク古代文化研究所・共同研究員

研究者番号：80257237