

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25370891

研究課題名(和文) 西アジア銅石器時代における土器の焼成温度と彩文顔料の通時的研究

研究課題名(英文) The pyrotechnological study on firing temperatures and paint pigments for pottery during the Chalcolithic periods in West Asia

研究代表者

小泉 龍人 (Koizumi, Tatsundo)

国土舘大学・イラク古代文化研究所・共同研究員

研究者番号：80257237

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は西アジア銅石器時代(約7～6千年前)の工芸技術の解明を目指した。成果として、銅石器時代中頃(ウバイド期)の彩文土器の顔料は鉄を主体としてカリウム(植物灰)も含むことがわかった。また、後期銅石器時代(ウルク期)の粗製無文土器は低温(約450℃以上)、ウバイド彩文土器は高温(約900℃以上)、ハラフ・ウバイド過渡期の彩文土器や後期銅石器時代の灰色磨研土器は比較的低温帯(約800～900℃)で焼かれていたことを明らかにした。さらに、土器焼成実験により日干しレンガと牛糞糞燃料の組み合わせが窯の保温に効果的であることも確かめた。本成果は現代につながる古代の工芸技術の解明に貢献するものと予想される。

研究成果の概要(英文)：This study presents the pyrotechnological analyses of pottery of the Ubaid to Uruk periods in the 5th to 4th millennium BC. The results from XRF, μ XRF, SEM-EDS, XRD and TG-DTA analyses of sun-dried brick and sherd samples from Salat Tepe in the Upper Tigris region, southeastern Turkey indicate that firing temperatures for pottery during the Halaf-Ubaid Transitional to Late Chalcolithic periods may be separated into at least three groups. The first group is coarse plain pottery of the Late Chalcolithic period, that appears to have been fired at a little more than ca. 450°C. The second is painted pottery of the Ubaid period, fired at a high temperature ranging between 900 and 1000°C. The third is HUT painted pottery and gray burnished pottery from the earlier stage of the Late Chalcolithic period, the Early Uruk-related period, which seems to have been fired at a temperature higher than the coarse plain pottery, but lower than the Ubaid painted pottery: ca. 800 to 900°C.

研究分野：西アジア考古学

キーワード：実験考古学 土器焼成技術 元素分析 鉱物組成 焼成温度 彩文顔料 都市化

1. 研究開始当初の背景

(1) 西アジアでは多様な工芸技術がいち早く開発され、とくに都市形成期に相当する銅石器時代後半(ウバイド～ウルク期)に著しく土器製作技術が進展していった。7千年以上前に都市化の始まったウバイド期では、彩文土器は非常に硬質に焼上り、文様はかなり薄く器面に密着している。ウバイド彩文土器は、本格的な昇焰式土器焼成窯において相当の高温で酸化焰焼成されたと推定される。

(2) これまで、西アジア銅石器時代の都市形成期の土器焼成温度に関してはおおまかに想定され、彩文顔料についても成分分析がされてきたが、実験による検証はほとんどされてこなかった。こうした先行研究の背景のもとで、研究代表者は自身の実験考古学的な研究成果として、ウバイド土器に特徴的な硬質な焼上りを復元するには、焼成室の温度を約900℃前後で最低1時間維持する操業が必要であり、顔料成分として酸化第二鉄(赤鉄鉱)は定着しにくいという問題点を確かめた(<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-19520663/>)。

(3) 同時に、研究代表者はサラット・テペ遺跡(トルコ、ティグリス川上流域)で発掘した銅石器時代の土器片などを茨城県工業技術センター(茨城県笠間市、以下センターと略称)に持込み、蛍光X線分析(XRF)・X線回折(XRD)・電子線マイクロ分析(EPMA)を試験的に依頼した。分析成果として、1.ウバイド彩文土器はかなりの高温で焼成、2.後期銅石器時代(ウルク期併行)初頭の還元焰焼成された灰色磨研土器は彩文土器よりも低温で焼成、3.ハラフ・ウバイド過渡期(銅石器時代前半)の彩文土器も低めの温度で焼成、という大まかな見通しを得られた(<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-22520772/>)。

(4) これらの研究成果を踏まえて、西アジア都市形成期の銅石器時代後半だけでなく、都市化の前段階の銅石器時代前半までも含めて、通時的に土器焼成技術の発展プロセスを検証する必要が出てきた。つまり、ハラフ期からウバイド期にかけて、胎土中の混和物や彩文顔料の鉱物の選択・配合、土器焼成に投入した燃料の組合せ、焼成温度の調整といった総合的な焼成技術がどのように導入されていき、そしてウバイド期からウルク期にかけて、焼成技術がどのように改良されていったのか、といった点が課題となった。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、上述した実験考古学と理化学的分析の研究成果・課題を出発点として、西アジア銅石器時代における焼成技術の導入と展開について実験考古学的に解明することを目指した。まず、サラット・テペ遺跡で採取した日干しレンガ・土器片などの理化学的分析を上記センターに依頼して、各種理化学的分析を行い、土器の焼成温度と彩文顔

料の成分について通時的に解明することを目的とした。

(2) 同時に、こうした理化学的分析成果にもとづいて、早稲田大学本庄キャンパス(埼玉県本庄市)において復元土器の焼成実験を継続していきながら、実験考古学的に復元土器の焼成温度と顔料吸着の関連性を検証することも目指した。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、以下の研究方法を計画した。

(1) サラット・テペ遺跡で採取した銅石器時代の日干しレンガ5点・土器片41点を上記センターに持込み、XRF、XRD、微少蛍光X線分析(μ XRF)、走査型電子顕微鏡・エネルギー分散型X線分析(SEM-EDS)、熱重量測定・示差熱分析(TG-DTA)を依頼する。まず、彩文土器片の胎土と彩文顔料部の元素組成分析(XRF、 μ XRF)および顔料部マッピング分析(SEM-EDS)により、胎土と顔料部における元素の違いから、顔料成分を推定する。また、彩文土器と無文土器の胎土の鉱物組成分析(XRD)により、焼成により生成される鉱物を同定して焼成温度を推定する(図1)。



図1 分析試料(一部)

(2) つぎに、土器が在地生産されたかどうかは、同じ遺跡の建築遺構の建材との比較が鍵になる。在地で製作された土器であれば、日干しレンガと同質の粘土を用いた可能性が極めて高く、土器胎土の化学組成はレンガの化学組成に近似してくる。これまで分析してきたサラット・テペ出土土器の胎土組成はすべて日干しレンガの組成に近いことから、土器は在地産であったと想定している(図2)。



図2 日干しレンガ採取遺構

そこで、在地産土器の焼成温度を別角度から推定する画期的な手法として、日干しレンガの焼成実験を実施する。レンガ試料を800~1000の温度帯で50間隔に焼成しながら、XRF・XRDにより化学組成の変化を分析す

る。各温度におけるレンガ試料の化学組成を指標として、土器試料の化学組成と比較する。同時に、TG-DTAにより、50 間隔で焼成した日乾レンガと土器胎土の発熱・吸熱反応も比較検証する。

(3) さらに、上述の分析成果を活かしながら、早大本庄キャンパスに築寮してある小型土器焼成窯を改築して、より効果的な復元彩文土器の焼成実験を継続していく。これまでの研究における課題も踏まえて、窯構造と送風をさらに工夫して酸化第二鉄の安定的な定着を目指す。あわせて、ムギの切り藁(スサ)と乾燥牛糞を捏ね合わせた牛糞藁燃料を十分に乾燥した後、タイミングと分量を試行錯誤しながら窯に投入していく。

4. 研究成果

(1) 彩文土器片の胎土と彩文顔料部の元素組成分析(XRF, μ -XRF)および顔料部のマッピング分析(SEM-EDS)により、胎土と顔料部のカルシウム/ケイ素比、カリウム/ケイ素比、含鉄有量などを比較した(表1, 2)。分析の結果、全体的に胎土よりも顔料部の方が鉄分が多く見られることから、彩文顔料の原料として鉄が含まれていたと推定される。また、胎土よりも顔料部の方がカルシウムとカリウムの多い傾向が認められ、石灰・植物灰などのカルシウムを多く含むものも顔料の原料に用いられていたことが示唆された。この分析結果は、含鉄鉱物を主体として、植物灰由来のカリウムが意図的に含まれていたというこれまでの所見を補強する結果となった(小泉 2014: 17-18)。

表1 ウバイド土器元素分析一覧

分析要素	2011										2013									
	ST2010																			
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78	4.07	5.78	6.35	4.52	5.67	5.08	5.63	5.89	6.14	5.66	6.01	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89
CaO	0.73	0.79	0.81	0.81	0.78	0.83	0.80	0.79	0.83	0.81	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
K ₂ O	0.80	0.58	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Na ₂ O	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MgO	0.97	2.29	2.57	4.05	4.07	2.26	3.93	3.12	4.52	4.54	3.11	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78	4.07	5.78	6.35	4.52	5.67	5.08	5.63	5.89	6.14	5.66	6.01	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89
CaO	0.73	0.79	0.81	0.81	0.78	0.83	0.80	0.79	0.83	0.81	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
K ₂ O	0.80	0.58	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Na ₂ O	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MgO	0.97	2.29	2.57	4.05	4.07	2.26	3.93	3.12	4.52	4.54	3.11	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78	4.07	5.78	6.35	4.52	5.67	5.08	5.63	5.89	6.14	5.66	6.01	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89
CaO	0.73	0.79	0.81	0.81	0.78	0.83	0.80	0.79	0.83	0.81	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
K ₂ O	0.80	0.58	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Na ₂ O	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MgO	0.97	2.29	2.57	4.05	4.07	2.26	3.93	3.12	4.52	4.54	3.11	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78	4.07	5.78	6.35	4.52	5.67	5.08	5.63	5.89	6.14	5.66	6.01	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89
CaO	0.73	0.79	0.81	0.81	0.78	0.83	0.80	0.79	0.83	0.81	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
K ₂ O	0.80	0.58	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Na ₂ O	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MgO	0.97	2.29	2.57	4.05	4.07	2.26	3.93	3.12	4.52	4.54	3.11	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78	4.07	5.78	6.35	4.52	5.67	5.08	5.63	5.89	6.14	5.66	6.01	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89
CaO	0.73	0.79	0.81	0.81	0.78	0.83	0.80	0.79	0.83	0.81	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
K ₂ O	0.80	0.58	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Na ₂ O	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MgO	0.97	2.29	2.57	4.05	4.07	2.26	3.93	3.12	4.52	4.54	3.11	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78	4.07	5.78	6.35	4.52	5.67	5.08	5.63	5.89	6.14	5.66	6.01	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89
CaO	0.73	0.79	0.81	0.81	0.78	0.83	0.80	0.79	0.83	0.81	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
K ₂ O	0.80	0.58	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Na ₂ O	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MgO	0.97	2.29	2.57	4.05	4.07	2.26	3.93	3.12	4.52	4.54	3.11	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78	4.07	5.78	6.35	4.52	5.67	5.08	5.63	5.89	6.14	5.66	6.01	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89	5.26	5.89
CaO	0.73	0.79	0.81	0.81	0.78	0.83	0.80	0.79	0.83	0.81	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
K ₂ O	0.80	0.58	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Na ₂ O	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MgO	0.97	2.29	2.57	4.05	4.07	2.26	3.93	3.12	4.52	4.54	3.11	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93	3.72	3.93
SiO ₂	51.1	50.2	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3
Al ₂ O ₃	17.85	14.24	16.30	18.81	15.38	16.77	15.60	16.27	17.00	16.75	16.54	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78	16.37	16.78
Fe ₂ O ₃	6.78																			

表 4 土器胎土鋳物組成（平成 25 年度）

試料種別	試料番号	成分																			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	ZnO	As ₂ O ₃	SnO ₂	PbO	Bi ₂ O ₃	MoO ₃	CoO	NiO	Cr ₂ O ₃	その他	
焼成土器	石英																				
	方解石	X	X																		
	イソバシロ群	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	粘土	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
復元粘土	方解石	X	X																		
	イソバシロ群	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	粘土	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	その他	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

(2) レンガ試料とその復元粘土に関して、熱重量測定・示差熱分析、焼成実験、元素組成分析・化合物同定を実施した。まず、サラット・テペ遺跡で採取された日干しレンガの元素組成を参考にして、日本国内で入手できる原料で同様の元素組成を示す粘土（復元粘土）を調整した。レンガ試料と復元粘土の元素組成の比較のため、元素分析値から算出した重量比およびモル比を三角座標（二酸化ケイ素 / 酸化アルミニウム / 酸化カルシウム）上にそれぞれプロットしたところ、復元粘土はレンガや土器試料とほぼ同様の組成であることを確認した。とくに、復元粘土の元素成分（図中）は、ウバイド後期前半の住居址レンガ（H12-268-A01）やネガティブ彩文土器（G12-155-3）に近似している（図 3）。

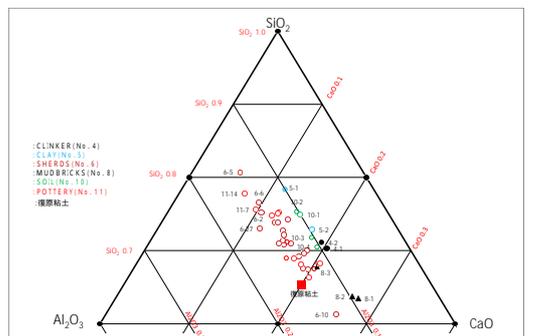


図 3 分析試料主要元素モル比

つぎに、レンガ試料（8-1: F12-113-A01, 8-2: G12-194-A01, 8-3: H12-268-A01）と復元粘土の熱重量・示差熱分析（TG-DTA）をおこなった結果、室温から重量減少がはじまり約 730~740 で一定になるまで約 16~19% の重量減少となり、ほぼ同様の熱的挙動を観察した（図 4）。各吸熱ピークが約 700 でほぼ同様であるのは、試料中の炭酸カルシウムの脱炭酸によると推定される。ただし、復元粘土では約 560 にマグネサイトの脱炭酸による重量減・吸熱ピークも観察された（図 5）。

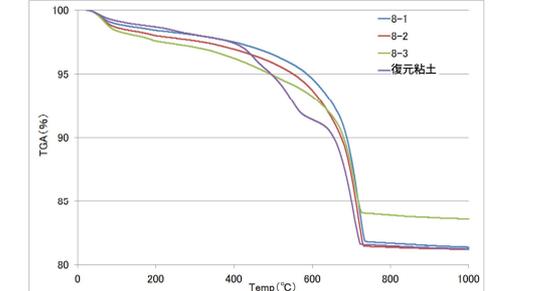


図 4 レンガ試料・復元粘土 TG

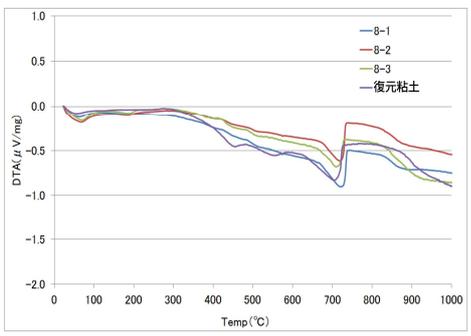


図 5 レンガ試料・復元粘土 DTA

さらに、レンガ試料と復元粘土を 400 から 100 単位で 800 まで、以降 50 単位で 1100 まで焼成して、鋳物組成の変化を XRD で分析した。全試料では各温度において石英と長石の回折線が観察された。レンガ試料は 700 まで方解石の回折線が観察されて 800 で消失したが、復元粘土では方解石の回折線は 850 で消失した。全試料もイライトあるいは白雲母の回折線は 700~800 まで観察されたが、レンガ試料は 850~950、復元粘土は 1000 で回折線が消失した。焼成により生成された鋳物として、ゲーレン石と輝石類はほぼ同様の挙動を示すことがわかった。レンガ試料ではほぼ 850 で両者の回折線が現れはじめ、950 でゲーレン石、1000 で輝石類の回折線強度が増加し、復元粘土では 900 でゲーレン石、950 で輝石類の回折線強度が増加することを観察した。これは 850~950 でゲーレン石と輝石類の結晶化が進行していたことによると推察される。ほかに目立つ鋳物として、レンガ試料（8-1, 8-2）では 1000 で珪灰石（wollastonite）を同定し、復元粘土では 1100 でそれを同定した（図 6, 7）。

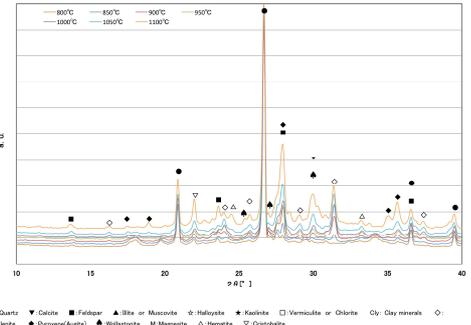


図 6 復元粘土焼成後の鋳物組成

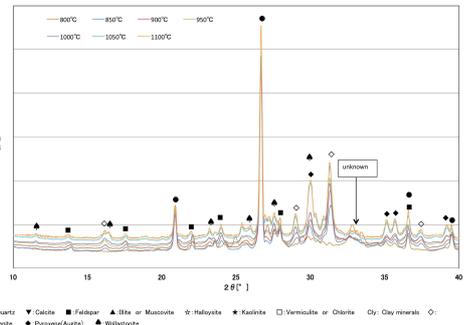


図 7 レンガ試料 8-1 焼成後の鋳物組成

(3) 実験考古学

本研究では、上記(1)(2)の分析結果を実験考古学的研究にも反映させていった。

平成 25 年度、本庄キャンパスにて、すでに築窯してあった小型土器焼成窯を解体して、西アジア都市形成期（銅石器時代）のサラット・テペ遺跡（トルコ）やタル・イ・バクーン A 遺跡（イラン）などで検出された平面鍵穴型プランの昇焔式土器焼成窯をモデルとして新たに築窯した。焼成室（下の部屋）は半地下式ピットにして、地下部分に火床の支持壁を設けた。レンガを短軸方向に渡して通焔用の隙間をもつ火床として、同床の上に作品を詰める焼成室（上の部屋）を設けた。

改築後の焼成実験では、復元土器 37 点を牛糞糞燃料（約 10kg）、藁玉（1kg）、藁 3 束、薪 5 束をほぼ 3 時間かけて投入して、焼成室温度を 900 台で約 20 分間維持した。彩文の色落ちの弱いもしくは定着した個体は計 19 点（19/37 51%）となった。焚口の北側（風上）配置、広めの焼成室といった窯構造の改良とともに、素地と同じ粘土塊をすり鉢で 1 時間以上かけて細粒化したものに酸化第二鉄を溶いた顔料を用いたことで、顔料定着が比較的良好であったと推定される。

平成 26 年度の実験では、前年度の平面鍵穴型プランの土器焼成窯を改築して、西アジア銅石器時代の土器焼成窯と同様に、なるべく多くの部分を日干しレンガで築窯した。前回構築した焼成室地上部分の基底面は活かして、ピットを掛矢で突き固めた（図 8）。焼成室底面からロストル支持壁用の日干しレンガを積み上げて、ピット内面に耐火モルタルと粉末粘土を配合して薄く塗り、焼成室地上部分を日干しレンガで積み上げた後、同室最上面に長二丁・長三丁耐火レンガを短軸方向に渡した。その上に粘土製通焔孔付火床を乗せてロストルとし、空焚きを行った。



図 8 平面鍵穴型プラン土器焼成窯
焼成室地下部分（ピット）

翌朝、ロストルに復元土器を保護用に敷き、復元土器 40 個体を 2 段に窯詰めしていき、焼成室を日干しレンガで積上げた。焼成室と焼成室に温度計とオルトンコーンを設置した。牛糞糞燃料（約 24kg）、薪 19 束をほぼ 6 時間かけて投入したところ、焼成室温度を 900 台で 45 分以上維持できた。焼成室のオルトンコーン 012 は全溶倒していたことより、同室は 150 /h の加熱速度で 882 を超えていたと推定される。010 がやや溶倒したものの、08 はほとんど変化していないことから、土器の被熱温度はおよそ 891～915 と推定

される（Temperature Equivalents for Orton Pyrometric Cones (°C): Cone Numbers 022-14 <https://www.ortonceramic.com/files/2676/File/Orton-Cone-Chart-C-022-14-2016.pdf>）。彩文の色落ちが弱いもしくは定着した個体は合計 30 点（30/40=75%）となった。

平成 27 年度の実験では、半地下式の焼成室、地下部分（ピット）の火床支持壁はそのままにして、地上部分もほぼすべて日干しレンガとモルタル（耐火モルタル+粉末粘土）で築窯した。前年度に構築した焼成室地上部分の基底面（長軸 210cm、短軸 126cm）を活かして、ロストル部から上方を再構築した。まず、焼成室の地上基底面より 7 段目のロストル下段に長二丁・長三丁耐火レンガを短軸方向に設定し直した。つぎに、別途製作しておいた粘土製通焔孔付火床を乗せてロストル上段として、焚口と反対側に観察窓を設置した。ロストル部より焼成室を 1 段積み上げて空焚きを行った。

翌朝、ロストル直上に復元土器 40 個体を 3 段に重ねながら窯詰めしていき、焼成室を日干しレンガで 7 段積み上げた。観察窓には施文したテストピース 8 個を置いた。焼成室、焼成室、観察窓にそれぞれ温度計を設置して、焼成室の焚口側と観察窓にオルトンコーンを配置した（図 9）。

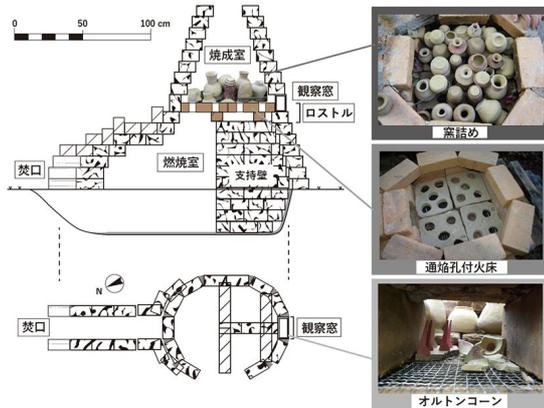


図 9 平面鍵穴型プラン土器焼成窯

焼成室には、新たに試みた板状の牛糞糞燃料 40 個（約 6kg）と雑木 2 束をロストル支持壁の両側に敷き詰めた。焚口から雑木 49 束と牛糞糞燃料 182 個（約 21kg）を約 7 時間半かけて投入した。途中、昇温のため断続的に薪 5 束を投入した。焼成室温度を 900 台で 38 分維持することができ、ほとんどの土器が煤切れしていることを確認した（図 10）。

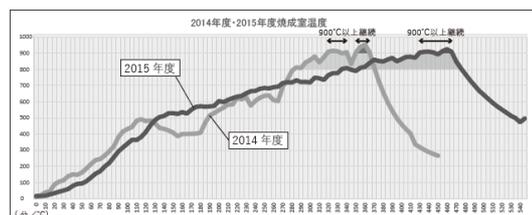


図 10 平成 26・27 年度焼成室温度推移

焚口側のオルトンコーン 012 と観察窓側の 012 は全溶倒していたことから、焼成室は 150 /h の加熱速度で 882 を超えていたとみられる。一方、観察窓側の 010 はやや溶倒したものの、オルトンコーン 08 と 06 はほとんど変化していないことから、前年度同様に土器の被熱温度は 891~915 と推定される(図 11)。顔料定着を検証した結果、彩文の色落ちが弱いもしくは定着した個体は合計 29 点 (29/40=72.5%) だった(図 12)。



図 11 焼成後のオルトンコーン
(左から 06/010/08/014/012)



図 12 復元土器の顔料定着検証

主な成果として、焼成室および支持壁にすべて日干しレンガを用いたことにより、焼成室の温度上昇は良好で、燃焼室に牛糞燃料を敷き詰めたことで保温・昇温ともに効果的であった。また、通焰孔付火床は土器と異なる素地に珪砂を一定の割合で配合し製作したところ、前回のように破損するものはなかった。さらに、主要な投入燃料を雑木にしたことで、昇温がゆるやかになり、薪を多用しなくても焼成室が 900 台に達した。

(4) まとめと課題

ウバイド期の彩文土器の顔料は含鉄鉱物を主体として、植物灰由来のカリウムが意図的に含まれていたことを追認した。一部の彩文土器には、微量のマンガンを含む鉄化合物が通時的に用いられていたことを確かめた。

ウバイド彩文土器には 900 以上の焼成を示唆するゲーレン石の含まれるものが多く、後期銅石器時代の無文土器にはイライトや白雲母、灰色磨研土器にはゲーレン石と雲母類が共存していることを再確認した。概して、ウバイド期は高温焼成であったのに対して、後期銅石器時代には比較的低温で焼成される傾向が認められた。

レンガ試料の焼成実験により、彩文土器には認められない珪灰石がレンガ焼成物では 1000 で同定された。よって、これまでの見解通り、ウバイド彩文土器は約 900~1000 で焼成されていた可能性がより強まった。

同焼成実験の結果、調合した復元粘土は、日干しレンガ試料とほぼ同様の熱的挙動と焼成による鉱物組成変化を示しているため、土器復元実験に有用であることを確かめた。

土器焼成実験において、日干しレンガと牛糞燃料の組み合わせの相性が良く、窯の保温効果を高めてくれることを確認できた。

今後の課題として、土器胎土中に粘土鉱物や方解石が同定された試料に関して、土器の厚みなどを考慮した検証が必要と考えられる。また、1100 を超える温度での土器試料の再焼成実験や、復元顔料に含める石灰分の調合の割合なども再検討する必要がある。さらに、復元土器焼成実験において、なるべく薪に依存しない雑木・牛糞燃料を主体とする焼成方法を極めていきたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者は下線)

[雑誌論文](計 4 件)

Tuba ÖKSE, Tatsundo KOIZUMI, et al., Iisu Baraji-Salat Tepe 2012 Kazısı, *Directorate General of Cultural Heritage and Museum Publications*, 査読無, 163-1, 2014, 113-124

小泉龍人、西アジア都市形成期の土器焼成技術-分析方法の提案と焼成温度・彩文顔料の考察-、西アジア考古学、査読有、15 号、2014、1-21

[学会発表](計 13 件)

小泉龍人、齋藤正憲、西野吉論 他、彩文定着に向けた施文法と燃料選択-2014 年の焼成実験-、日本考古学協会第 81 回総会、2015 年 5 月 24 日、帝京大学(東京都・八王子市)

Tatsundo KOIZUMI, Preliminary Results of the 2011-2013 Excavations on Salat Tepe in the Upper Tigris: the Ubaid and Late Chalcolithic periods, *9th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East*, 2014 年 6 月 13 日, Basel (Switzerland)

小泉龍人、齋藤正憲、西野吉論 他、彩文土器の復元実験-古代西アジアの昇焰式土器焼成窯-、日本考古学協会第 80 回総会、2014 年 5 月 18 日、日本大学(東京都・世田谷区)

[図書](計 5 件)

Tatsundo KOIZUMI, Marco Iamoni, et al., Harrassowitz (Wiesbaden), *Trajectories of complexity in Upper Mesopotamia: processes and dynamics of social complexity and their origin in the Halaf period.* (査読有)(印刷中)

小泉龍人、講談社、都市の起源 古代の先進地域-西アジアを掘る、2016、254

佐々木幹雄、小泉龍人 他、シンポジウム「アジアの土と炎」実行委員会、アジアの土と炎-民族誌と実験考古学の最前線-、2014、94

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小泉 龍人 (KOIZUMI TATSUNDO)

国士館大学・イラク古代文化研究所・共同研究員

研究者番号：80257237