

近畿地方より出土した土器の物理的・化学的諸性質

大阪大学 教養部 田 窪 宏
 奈良教育大学 梅 田 甲子郎

有史以前の人類の文化の研究にとって、土器は最も重要な出土品である。当然、土器に関する考古学的な研究は、非常に綿密に行われている。また、最近では、土器の熱ルミネッセンスその他を利用した年代測定法が開発されつつある。しかし、土器そのものの物理的・化学的性質に関する研究はそれほど行われていないようである。その理由は、土器は土を焼き固めたにすぎないから、その性質に大差のある筈はなく、研究してもそれほどの成果があがらないであろうという先入感が強いためかも知れない。筆者らも、実は同じ先入感を持っているものの、あえて、土器研究の第一段階として、いくつかの実験・研究を試みた。その結果をとりまとめ、要点を御報告させて頂くが、もし各位の忌憚のない御批判・御指導が頂ければ、筆者らの望外の喜びとする所である。

A. 土器の産地と年代

試料として利用した土器は、京大考古学教室より提供して頂いた。それらの土器21ヶは主として近畿地方より出土したものであって、第1表は、その戸籍抄本である。

第1表 各種の土器の産地と時代

№	産地	時代
1	縄文式土器 香川県三豊郡仁尾町小高島貝塚	縄文 早期 前7000年頃
2	" 滋賀県大津市石山寺辺町石山貝塚	" 前6000年頃
3	" "	" "
4	" 京都市左京区北白川別当町	" 前4000年頃
5	" 和歌山県田辺市芳養町	縄文 中期 前3000年頃
6	" 京都市左京区北白川農学部構内	縄文 後期 前2000年頃
7	" 滋賀県大津市滋賀里町立村	縄文 晩期 前1000年頃
8	弥生式土器 大阪府中垣内	弥生 前期 前1世紀
9	" 京都府乙訓郡神足	" 前2世紀
10	" 大阪府高槻市天神山	弥生 中期 後1世紀
11	" 奈良市佐紀町平城宮城	弥生 後期 後3世紀

№	産地	時代
12	植輪 三重県名賀郡依那古村浪石山口墳	古墳 400年頃
13	" 大阪府堺市浜寺 経塚古墳	" 500年頃
14	土師器 奈良県北葛城郡当麻村当麻寺蔓陀羅堂	
15	瓦 奈良県高市郡明日香村飛鳥寺出土	
16	須恵器 大阪府堺市陶器山	450~500年
17	" "	500~550年
18	" "	550~600年
19	" "	700年
20	" "	800年
21	" "	"

B. 化学組成

前述の各時代の土器について行った化学分析の結果は、第2表の通りである。いずれも土壌の成分に似通った数字の羅列に過ぎないように見えるが、さらにいろいろの角度からこの化学組成をながめてみよう。

まず、第1図では、 RO_2 ($SiO_2 + TiO_2$) の分子数を R_2O_3 { $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ (FeO も換算して入れる) } の分子数で割った値を横軸にとり、 RO ($CaO + MgO + MnO$) + R_2O ($K_2O + Na_2O$) の分子数を同じく R_2O_3 のそれで割った値を縦軸にとって、その図式に縄文式土器・弥生式土器・須恵器の成分をそれぞれ別々に表示した。この表示方法は、化学成分のほとんどが織り込まれていること、 R_2O_3 は粘土を、 RO_2 は石英を、 R_2O はアルカリを、 RO はアルカリ土を代表していることから、土器およびその原料の化学組成を最も有効に表現するものと考えられる。

第1図で、まづ気がつくのは、縄文式から弥生式さらに須恵器に至るに従って、次第に土器の成分の分布範囲を示す円が小さくなり、時代と共に、化学組成のパラッキが小さくなって行くのがよく表現されている。ただし、特に須恵器のパラッキが小さいのは同一地点の出土品であるためであって、その点は充分割引きして考えなければならない。

次にいえることは、多少の時代差があっても出土地点が近いと化学組成も近似してくるということである。たとえば、縄文式の4と6はともに北白川産であり、弥生式の9と10とはともに淀川沿岸であるが、多少時代がずれていても、化学組成は類似している。

このように、化学組成の地域による差の方は認められるが、時代差を反映するような化学成分は、

第 2 表 土 器 の 化 学 組 成

№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ign, Loss	計	H ₂ O ⁺	C
1	63.52	17.55	4.74	1.08	0.64	2.04	1.53	3.35	2.37	tr	0.01	3.97	100.80	3.23	0.18
2	47.52	19.39	4.96	8.45	4.02	4.84	0.48	0.62	1.25	0.34	0.04	8.96	100.87	9.78	0.38
3	59.86	19.29	tr	2.74	0.53	1.83	2.02	1.35	0.36	0.11	0.06	1.212	100.27	5.27	5.56 ⁽¹⁾
4	60.98	22.67	3.00	1.70	0.42	0.65	0.45	2.33	0.51	tr	0.41	7.48	100.60	3.87	0.86
5	68.02	16.92	5.23	0.65	0.74	1.04	0.94	1.11	0.72	0.01	0.07	5.41	100.86	4.19	0.18
6	62.12	25.06	1.28	0.72	0.21	0.96	1.05	2.66	0.68	0.01	0.43	5.62	100.80	4.36	0.79
7	55.06	24.82	5.14	1.44	0.48	1.90	1.08	2.07	0.54	0.01	0.44	7.91	100.89	5.27	0.27
8	53.30	24.62	5.73	1.43	0.78	1.56	1.43	2.11	0.39	0.08	1.26 ⁽²⁾	8.09	100.78	6.54	tr
9	65.84	21.29	3.01	0.30	0.40	0.68	0.47	2.60	0.63	tr	0.23	5.35	100.80	4.80	0.15
9A	61.34	22.60	3.83	0.46	0.40	0.99	0.53	2.25	0.64	0.01	0.18	7.54	100.77	5.96	0.10
10	70.04	21.07	3.54	0.58	0.50	0.42	0.66	1.98	0.63	tr	0.03	1.43	100.88	1.06	0.02
11	63.92	20.82	4.70	0.65	0.81	1.13	0.98	2.11	0.62	0.04	0.04	5.06	100.88	3.86	0.08
12	62.16	21.50	2.81	0.94	0.32	0.62	0.52	2.48	0.36	0.02	0.01	9.13	100.87	6.54	0.19
13	67.46	21.11	4.18	1.30	0.54	0.62	0.83	1.42	0.48	tr	0.02	2.90	100.86	1.68	0.14
14	58.26	22.12	6.23	0.62	1.19	2.20	1.81	1.95	1.85	0.06	0.03	4.37	100.69	3.06	0.07 ⁽³⁾
15	56.64	23.92	8.84	1.45	2.17	3.44	1.08	1.18	0.85	0.05	0.01	1.15	100.79	0.76	tr
16	67.46	23.12	4.65	0.72	0.36	0.51	0.40	1.76	0.50	tr	0.01	0.95	100.44	0.81	tr
16A	67.40	22.98	3.84	1.52	0.40	0.58	0.35	1.59	0.53	0.01	0.01	1.40	100.61	1.03	tr
17	65.02	24.06	1.13	5.50	0.70	0.48	0.42	1.92	0.67	0.01	0.02	0.61	100.54	0.51	tr
18 ⁽⁴⁾	66.59	22.89	3.91	1.78	0.61	0.33	0.86	2.02	0.40	tr	0.02	1.10	100.51	0.46	0.04
19	65.28	23.77	4.66	0.77	0.71	0.48	0.92	2.88	0.36	tr	0.01	0.76	100.60	0.68	0.03
20	67.12	23.34	1.00	3.57	0.52	0.55	1.28	2.28	0.44	0.04	0.05	0.16	100.35	0.22	0.23
21	66.42	23.30	4.99	0.29	0.43	0.40	1.05	2.31	0.47	tr	0.01	0.92	100.59	0.82	tr
22	62.04	25.20	4.93	0.71	0.54	0.45	1.71	2.30	0.44	0.01	-	2.36	100.78	-	-

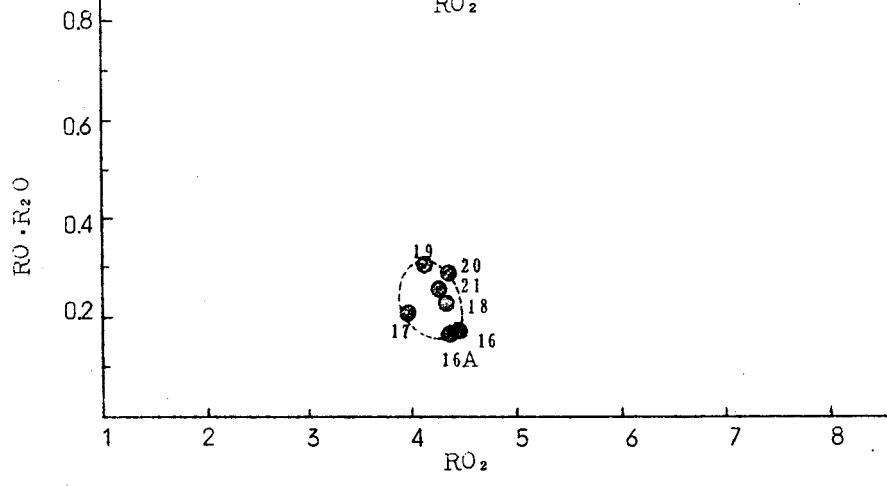
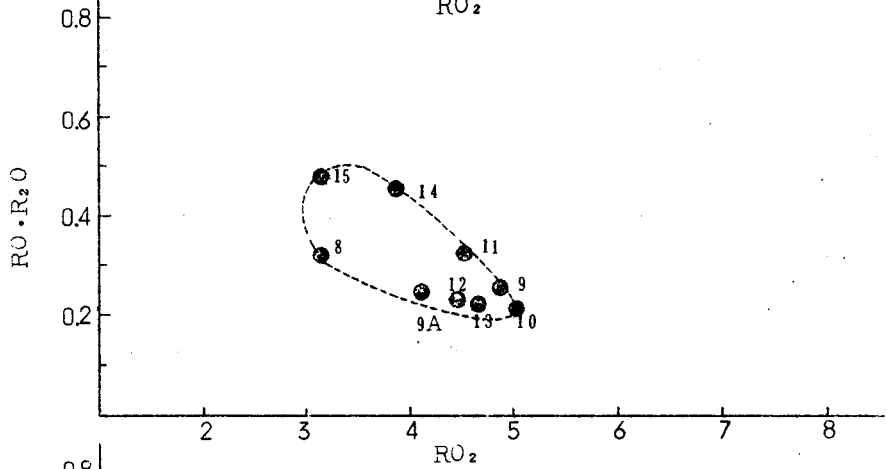
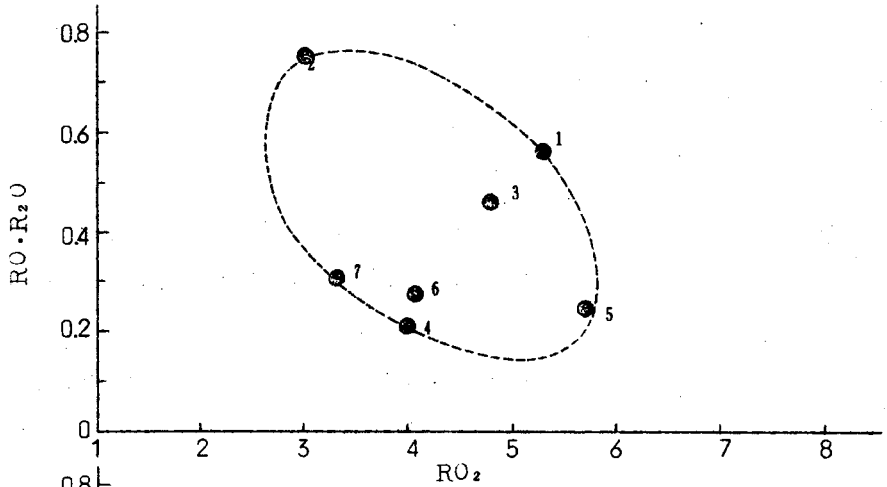
(1) コロイド状有機物

(2) P %

(3) その他S=0.72 %

(4) 18の外表面ではFe₂O₃ 3.17 % FeO 2.02 %

第 1 図

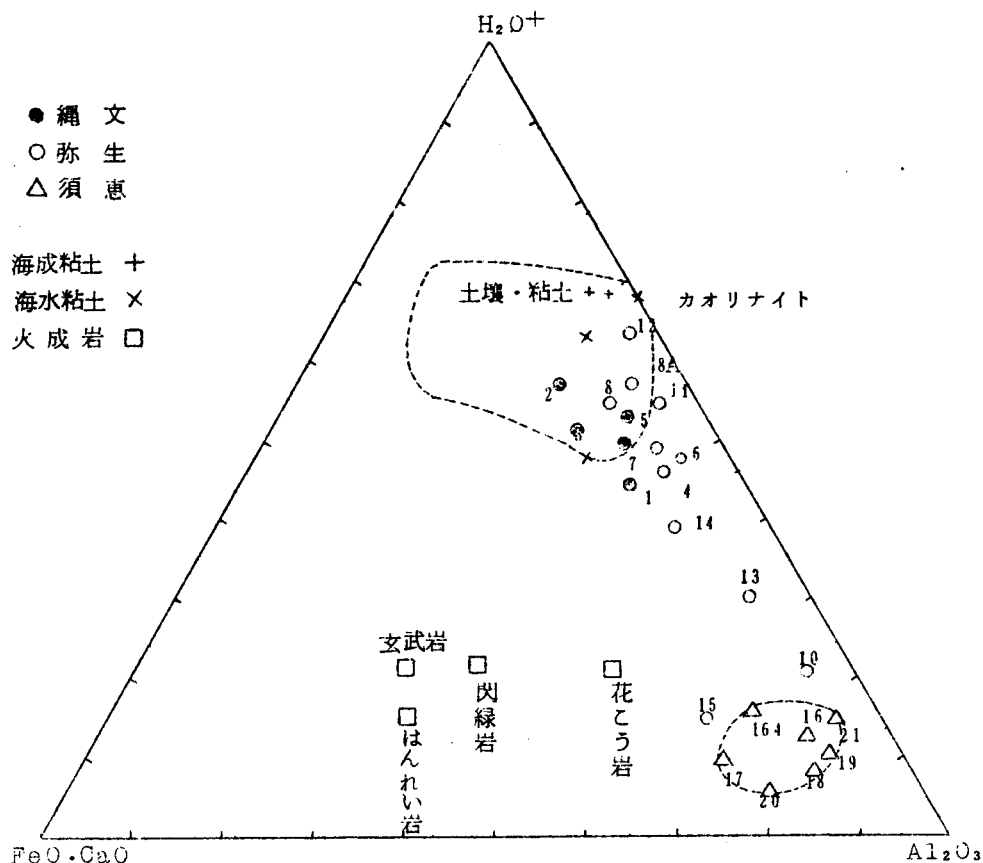


水分を除いては認められない。

また、第2表の9と9Aは、それぞれ同一土器の砂質部と粘土質部、16と16Aはそれぞれ同一須恵器の外部と内部の分析値を示したものである。しかし、前者の場合は SiO_2 にのみ差があって石英の量の多少を表わし、後者は FeO の量にのみ差があって、土器の内外の焼成環境の差を示しているが、土器の原料は、まづ均質であるといえる。

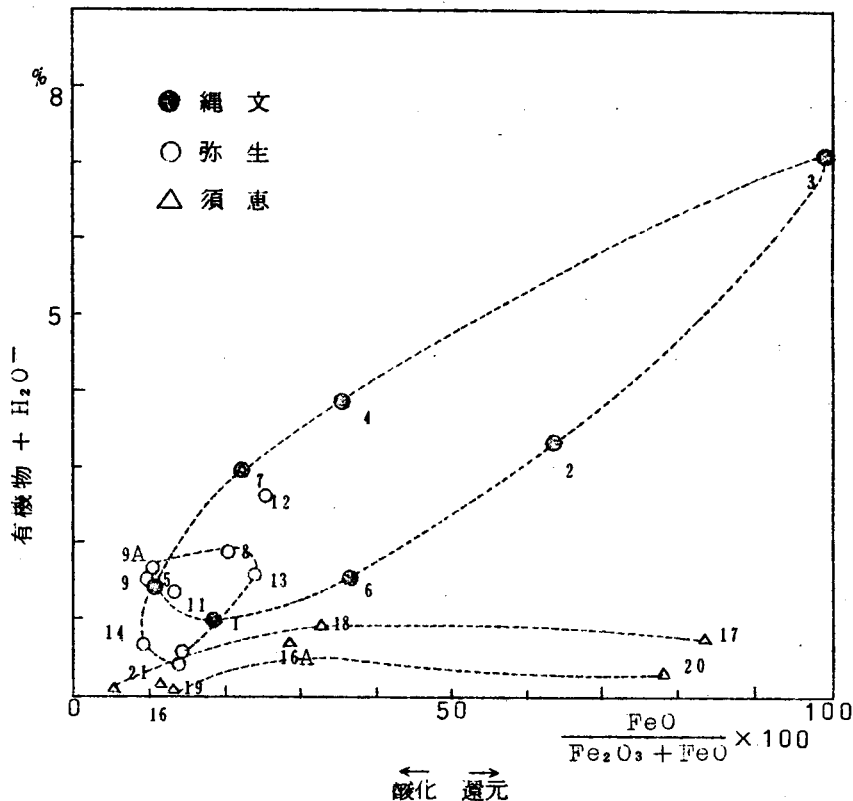
つづいて、 H_2O^+ (130° より高温で脱水する結晶水・吸着水)、 Al_2O_3 、 $\text{FeO} + \text{CaO}$ の三つを端成分とする三角ダイアグラムを第2図に示す。 H_2O^+ が多いということは、低温焼成で脱水不充分を表わすもので、 Al_2O_3 が多いことは粘土鉱物の多いことを示し、 $\text{FeO} + \text{CaO}$ は原料の塩基度と酸化還元状態の目安となる。各時代の土器は、それぞれある範囲内に落ちる。参考のため、土壌・粘土や岩石の位置を記入したが、縄文式と弥生式土器は、土壌粘土類を低温で焼いたもの、須恵器はそれより高温で焼いたものということが、この図式で認められる。

第 2 図



最後に、酸化還元の状態を知るために、酸化鉄総量中の酸化第一鉄の重量パーセント $\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3} \times 100$ を横軸に、焼成雰囲気の状態を知るために H_2O^- (110°~130°で放出される水) と有機物の土器中の重量比を縦軸にとった図式を第3図に示す。この図より判るように、弥生式土器は、全般に酸化状態で焼かれたものであり、縄文式土器は、酸化状態のものから著しく還元状態のものまであるが、両者を通じて、有機物 + H_2O^- の量と酸化還元状態との間には、相関関係が認められる。須恵器は酸化状態のものとは還元状態のものがある。また、同じ土器でも外部の16は酸化状態、内部の16Aはそれより大分還元状況にある。

第 3 図



C. 鉱物組成

鉱物組成を調べるために、顕微鏡観察とX線回折を試みた。

(a) 顕微鏡観察

顕微鏡下における土器は、鉱物の結晶とそれを取りかこむ粘土質物またはガラス質物の雑然たる

混合物である。全般的にみて、組成鉱物とその集合状況は、縄文式と弥生式は類似し、須恵器はやや異なる。

結晶の粒度は、縄文式は径1~2 μ mの結晶が最も多く、弥生式はやゝ小さく、須恵器になると0.2 μ m以上の結晶はまれである。淘汰度も時代とともに良好となり、次第に良質な原料を利用している。

縄文式および弥生式土器で認められる主な鉱物は、石英・正長石・角閃石・黒雲母・白雲母・酸化鉄などである。縄文式土器の μ 2はとくに角閃石の量が多く、塩基性の土壌を利用したものであって、化学組成の点でも例外に属する。この例外を除くと、他の土器は、すべて石英が最も多く、斜長石がこれにつぐ。

須恵器では、 μ 18で見られる径1 μ mに及ぶ角閃石の分解した酸化鉄の暗黒物などは特異な例で、大部分は0.1 μ m前後の石英の微晶である。

結晶をとりまくマトリックスは、縄文式、弥生式はほとんど結晶質であるが、須恵器は非晶質またはガラス質である。

(b) X線回折

土器の粉末をX線回折にかけ、主要な構成鉱物を確認し、それらの各鉱物の代表的な網面間隔の呈示するピークの強度の比を第3表に掲げる。勿論、相対強度であって、絶対量ではないが、ある程度の目安にはなる。

第3表によって得られる推論を列記すると、

- ① 石英は普遍的に存在する。
- ② 長石の量は、縄文式にはとくに多量に存在し、弥生式ではやゝ少なくなり、須恵器にはほとんどない。
- ③ 粘土鉱物・雲母類は、縄文式・弥生式には存在するが、須恵器にはない。
- ④ クリストバライト・トリディマイトは、須恵器には必ず存在するが、弥生式にも少し含まれ、縄文式にも存在の疑いがある。
- ⑤ 須恵器には、必ずムライトがある。

表3表 各種鉱物のピークの相対強度

№	石英	長石A	長石B	粘土鉱物A	粘土鉱物B	雲母	角内石	クリストパライト	トリディマイト	ムライト
1	21	54	40	5	-	2	-	-	-	-
2	7	14	10	2	-	4	36	-	-	-
3	9	14	19	4	3	3	6	-	-	-
4	23	22	10	9	-	5	2	-	-	-
5	26	13	16	10	-	-	2	3?	4?	2?
6	17	41	17	8	4	4	-	2?	-	-
7	25	70	117	8	-	16	-	4?	4?	-
8	7	12	18	5	-	9	3	-	4?	-
9	28	12	6	9	-	6	3	-	-	2?
9A	26	12	7	12	4	3	-	5?	3	-
10	33	12	12	5	2	-	-	?5	-	4?
11	18	16	11	9	-	9	6	5	4	-
12	24	14	10	5	-	8	5	1	2	-
13	23	28	30	5	3	3	-	1	1	-
14	11	31	50	6	-	9	7	-	5	-
15	13	15	37	2	-	-	-	7	6	-
16	25	-	-	-	-	-	-	-	4	9
16A	30	-	-	-	-	-	-	-	7	8
17	17	2	-	-	-	-	-	-	31	4
18	11	-	3	-	-	-	4	-	-	9
19	18	-	-	-	-	-	2	14	-	7
20	17	-	-	-	-	-	-	18	12	8
21	17	6	-	-	-	-	4	6	22	4

長石A：灰長石に近い長石類 長石B：曹長石に近い長石類 粘土鉱物A：Kaolinite, Halloysite などの二層構造の粘土鉱物 粘土鉱物B：Montmorillonite, Pyrophyllite などの三層構造の粘土鉱物

D. 硬度と比重

硬度は縄文式と弥生式は1.0～2.5である。№15の3.5は例外的に高い。また軟い上にもろいものもある。須恵器は3.5～6.5であり、前二者に比すると格段に硬い。

縄文式は比重1.94～2.29、弥生式は1.99～2.25、須恵器は2.16～2.26であり、須恵器の比重のパラッキが特に小さいがこれは前述のように、原料が似ているからでもある。また、前二者には、空隙の多いものがあり、比重が小さく出るものもある。

第 4 表 硬度と比重

№	硬 度	比 重
1	2.5	2.07
2	2.0	2.29
4	2.0	1.94
5	1.5	2.16
6	2.5	2.22
7	2.5	2.20
9	1.0	2.21
10	1.5	2.25
11	1.0	2.25
12	2.0	2.04
13	2.0	1.99
14	2.0	2.19
15	3.5	2.25
16	3.5	2.21
17	6.5	2.16
18	4.5	2.26
19	5.0	2.22
20	3.5	2.19

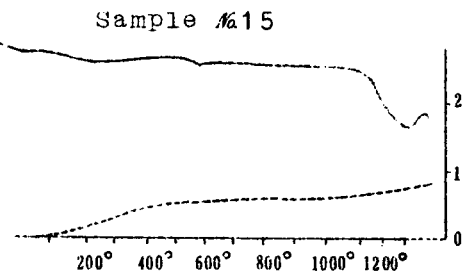
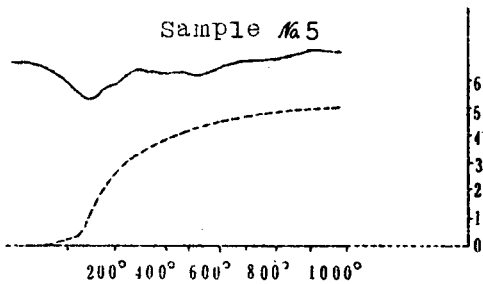
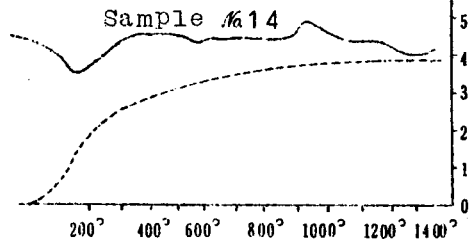
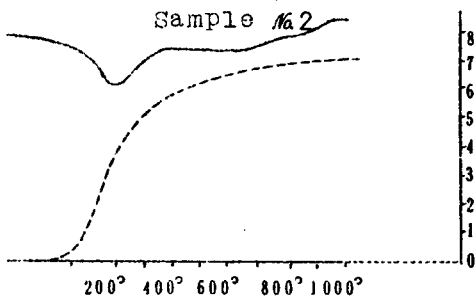
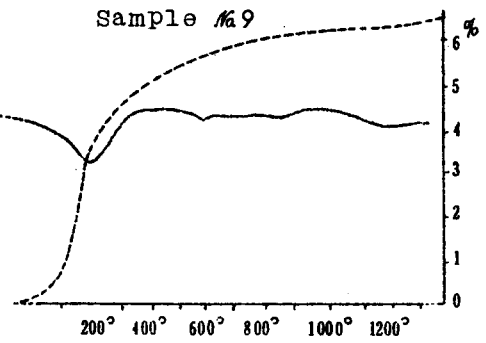
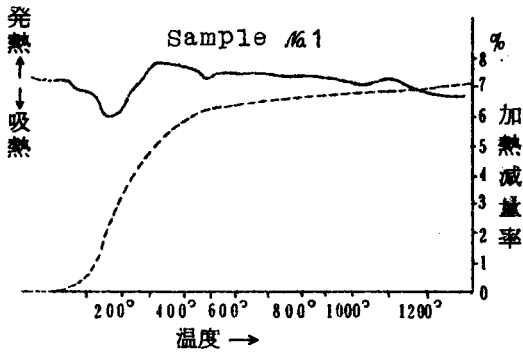
E. 示差熱分析曲線と加熱減量曲線

土器が温度の上昇とともに示す吸熱・発熱・減量をまとめた示差熱曲線（実線）と加熱減量曲線を第4図～第6図に示す。

縄文式の曲線は、吸着水の放出による200°付近の吸熱が特に目立ち、加熱減量もその付近で極めて大きい。その他の吸熱・発熱はそれほど目立たない。減量は1000°で5～7%である。

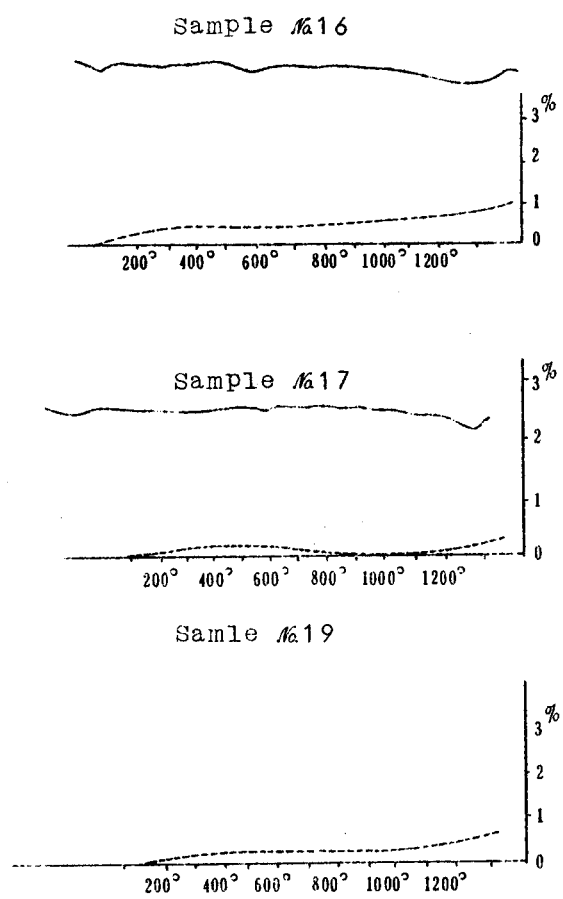
弥生式土器も縄文式に似ている。200°における吸熱、560°付近の石英の転移熱による吸熱、1000°付近の新鉱物生成の反応熱による発熱が認められ、加熱減量も200°付近を中心にして数%に及ぶ。ただし、№15は200°の吸熱がなく、次の須恵器に似ている。

須恵器は、560°付近の石英の転移による吸熱以外は、直線的である。1100°をすぎると吸熱・発熱が認められる。ムライト・クリストパライトの増加のためであろう。減量は1200°をすぎても1%以内で問題にならない。



第4図 縄文式土器の示差熱分析曲線と加熱減量曲線

第5図 弥生式土器の示差熱分析曲線と加熱減量曲線



第6図 須恵器の示差熱分析曲線と加熱減量曲線

F. 熱膨張収縮

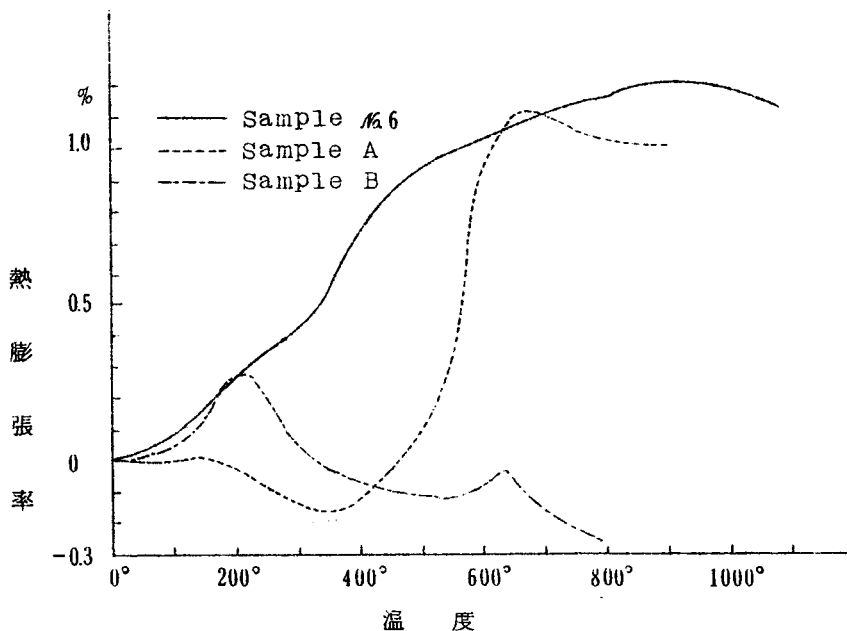
土器の膨張は、主として、各組成鉱物の熱膨張および転移によるものである。また、収縮の原因として考えられるものには、可塑性水分である付着水・吸着水などの放出による収縮、すなわち乾燥収縮といわれているものと、結晶水の放出による収縮・ガラス化による収縮および新鉱物生成による収縮などの焼成収縮と称されるものがある。しかし、それらのうち、吸着水の放出と結晶水の放出は、それらの水分の脱出の際に、組織を押し拡げるため、収縮の前に、かなりの膨張を示すことが多い。土器の膨縮は、これらの組成鉱物の膨張収縮の総和である。

乾燥収縮を示す土器は、原料の脱水が不十分な低温焼成のものであるが、低温焼成の土器がすべ

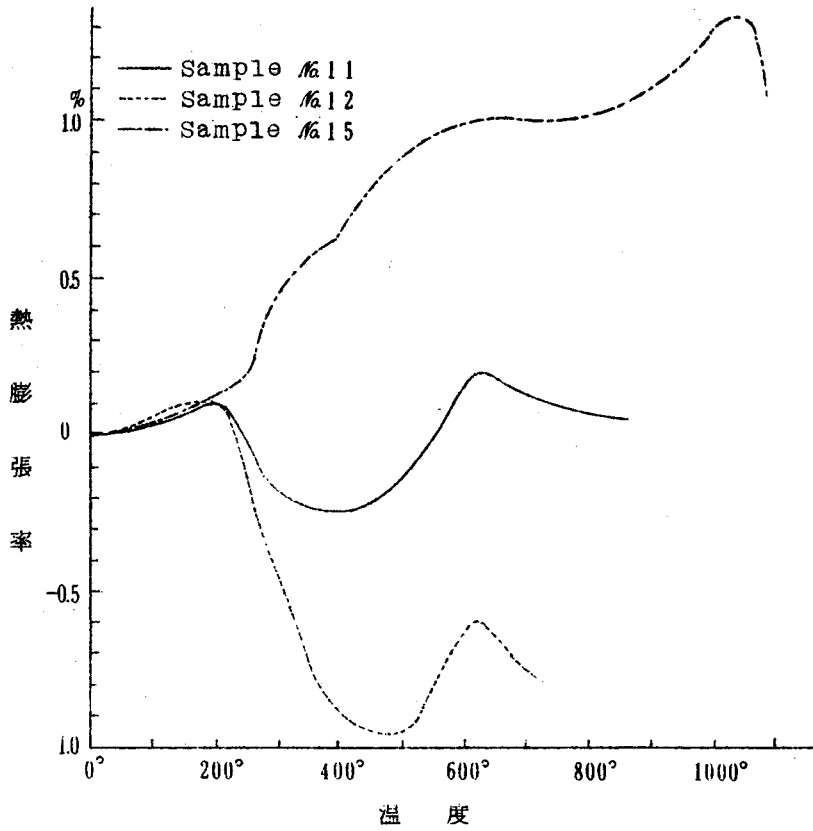
て乾燥収縮を示すとは限らない。また、焼成温度までの可逆的熱膨張曲線は漸増であるべきであり、焼成収縮をすでに土器の焼成時に完了しているものは、その温度での収縮はない筈であるから、熱膨張収縮測定の際に焼成収縮を示す土器は、その温度下で焼成されたものである。

各時代の土器が上昇温度15分毎に100°の条件で示す膨縮を第7図～第9図に示す。

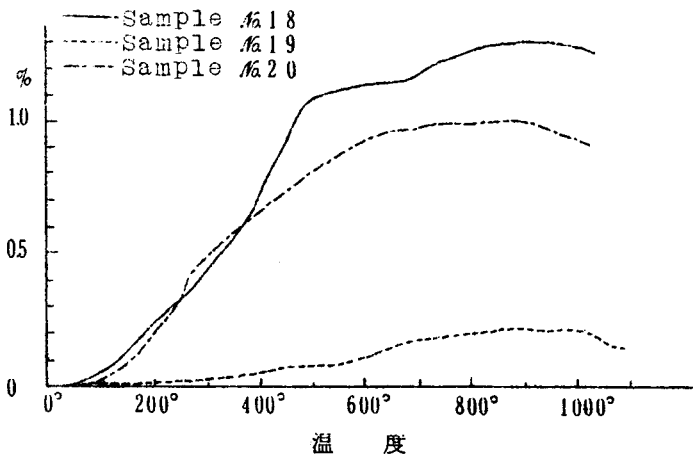
縄文式土器のサンプルAの350°までの収縮とサンプルBの200°～500°の収縮は、いづれも吸着水の放出による乾燥収縮であり、それぞれ660°、620°を頂点とした膨張につづく収縮は、結晶水の放出による焼成収縮である。弥生式土器の№11と№12も同型であって、いづれも200°を頂点とする膨縮とそれぞれ620°および640°を頂点とする膨縮を示す。縄文式と弥生式土器は、低温焼成であって、吸着水・結晶水を保有したままの粘土鉱物が残存しているため、上記のように200°付近と650°付近に、それぞれ吸着水の放出および結晶水の放出に起因する膨縮のピークを持つ曲線が多い。650°より低温で焼成されたものであるということでもある。たゞし、縄文式の№6は吸着水が少ないためか、乾燥収縮が認められず、漸増型で890°より焼成収縮する。したがって890°より低温で焼成されたものであるが、この890°は焼成温度の上限を示すものにすぎないから必ずしも、焼成収縮点の低いサンプルAおよびBより高温で焼成されたという意味ではない。弥生式の№15は漸増型で1035°まで膨張するが、もともと№15は、須恵器に近い性質を呈し、かなり高温焼成と考えられる。須恵器の№18、19、



第7図 縄文式土器の熱膨張収縮曲線



第 8 図 弥生式土器の熱膨張収縮曲線



第 9 図 須恵器の熱膨張収縮曲線

20は同型である。焼成収縮は μ 18と20が 900° 、 μ 19が 1000° であり、膨張率を併せ考えると、 μ 19が比較的高温で焼成されたものと考えられる。

土器の物理的・化学的性質とは、具体的には上記の如きものである。勿論、不充分不完全であって、単純そうに見えて複雑な混合物焼成物を明らかにするには、まだまだ地味な努力の蓄積が必要であろう。また、土器より、原料・焼成環境を推定することも大切であるが、我々が原始人にかえて、昔と同じ方法で土を練り、焼いて縄文式または弥生式土器を作るなどの実験も効果があるかも知れない。

文 献

- (1) 周仁・張福康・鄧永圃(1964) 我国黄河流域新石器時代和殷周時代制陶工藝科學考古學報 1964年第1期。
- (2) 桜川貞雄(1962) 陶磁器読本 春秋社。
- (3) 吉木文平(1959) 鈹物工学 技報社。
- (4) 梅田甲子郎(1957) 日本古代土器の熱的性質について(その1) 奈良教育大學紀要 15巻。
- (5) 梅田甲子郎(1958) 日本古代土器の熱的性質について(その2) 奈良教育大學紀要 16巻。
- (6) 田窪宏(未発表) 近畿地方出土の古代土器に関する鈹物的化學的研究。