

〔 研究紹介 〕

土器の胎土分析の方法とその応用

—加曽利貝塚を中心とした遺跡出土土器の放射化分析—

富沢 威^{*}、庄司 克^{**}、葉袋佳孝^{***}、富永 健^{***}

は じ め に

国指定史跡・加曽利貝塚は縄文時代早期～晩期に亘る全国最大の貝塚集落遺跡であり、現在北貝塚・南貝塚を含めた127,800㎡が買収・保存されている。加曽利貝塚における発掘調査の歴史は古く、明治20年上田英吉の「下総国千葉郡貝塚記」（東京人類学雑誌19号）によって学界に紹介されて以来、何度となく行われ、発見された遺構や遺物は莫大な量にのぼっている。

考古学界では、従来まで、これらの遺物類は、加曽利貝塚をはじめとする各集落内で製作・使用され、当時のむらびとたちはそれぞれ自給自足の生活を送っていたと考えられていた。しかし最近では、土偶・装身具などの特殊遺物をはじめ、生産および生活用具類も、特定の集落で製作され、各地へ運ばれたとするみかたも強く、その製作地と消費地との交流経路をめぐる問題がにわかにクローズアップされてきている。

中でも加曽利貝塚から出土した石器類は、千葉市立加曽利貝塚博物館の調査研究事業として埼玉大学の新井重三教授（地質学）らによって、その材質の鑑定および産地同定が行なわれ、多大の成果が得られている。すなわち、加曽利貝塚出土の磨製石斧などに使用された輝緑岩は北関東の秩父山地から、また「やじり」に使われた黒曜石は、主に中部地方の和田峠付近のものが使用されていることなどが判明した。これによって加曽利貝塚人は、千葉県下では産出しない「石」を手に入れるため、おそらく東京湾で採集し、集落内で加工した「干貝」などの海の幸を満載した丸木舟を操って、東京湾沿岸を頻繁に行き来していたと考えられる。

一方、縄文土器についても、最近では、特定の集団が専門的につくり、他の集落と物々交換をしていた可能性が強いといわれている。縄文時代の土器づくりについては、加曽利貝塚博物館における土器製作研究によって、当時の専門集団の存否や、土器の成形および焼成時の技術的な面の究明という、学界を瞠目させる成果が得られたものの、土器づくりに使用された粘土の産地については明確な回答が出ていない。しかしこれは考古学独自の方法ではとうてい無理で、自然科学的な方法による分析研究が必要である。たとえば縄文土器は関東ローム層下の白粘土を主に、砂、関東ロームなどの混入物を含んでいると考えられるが、これらは別々に採集されて人意的に混入されたものか、もともとこれらが混入した「土」を選定・採集したものか

* 東京国立文化財研究所保存科学部 ** 千葉市立加曽利貝塚博物館 *** 東京大学理学部

定かでない。また縄文土器の製作遺跡は現在まで未発見であり、おそらく、土器製作遺跡の近くには粘土場があったと考えられるものの、その粘土採集坑も縄文時代の遺跡およびその周辺からは発見されていないため、現状では考古学の成果から粘土採集地と土器製作遺跡の関係を証明するのは難しい。

従来まで考古学的方法でも、縄文土器の流通経路については、ごく大まかな流れは把握されていた。たとえば東北地方の縄文晩期亀ヶ岡式土器が太平洋岸沿いに関東地方以西にまで運ばれていたり、あるいは日本海沿岸では新潟を経由して北陸地方にまで達していたことは古くから知られている。このように文様表出法や成形時の器面処理などに極めて特長のある土器型式の場合は、その土器の分布を追跡することによって、その土器文化の本拠地で作られた土器がどこまで運搬されたかを知ることが可能である。

しかしこのような考古学独自の方法では、土器の生産地を小範囲に限定するには限界があるため、千葉市立加曽利貝塚博物館では自然科学の手法によって、加曽利貝塚および周辺遺跡出土の土器片および遺跡周辺採集の粘土の分析を行い、両者の異同識別を比較検討して、生産地推定の核心に迫りたい。考えてみれば、最近の考古学による調査研究においては、自然科学的分野の研究成果や技術援助によって進められていることも事実であり、考古学の成果を補足し、深めていく上でその果たす役割は少なくない。

自然科学の手法を用いて考古資料を研究する分野には、考古化学 (Archaeological Chemistry) や、保存科学 (Conservation Science) がある。考古化学や保存科学の研究目的は、年代測定や産地推定および材質、技法に関する情報に要約される。

筆者らのグループは、縄文土器の産地推定のための基礎的研究として、加曽利遺跡をはじめとする縄文遺跡で出土する土器の化学組成の特徴を把握することを目的に、中性子放射化分析を行った。

分析に用いた試料は、縄文時代中期～後期に属する千葉市桜木町・加曽利遺跡、千葉市小倉町・滑橋遺跡、千葉市土気町・文六第1遺跡出土の土器片である。本報では、異なる遺跡間での土器の化学組成のちがいや、分析試料の均質性を知るための同一土器片中の元素濃度の変動、および土器製塩を行った際に土器に濃集する元素についても併せて検討した。

ここでは核的手法の1つである中性子放射化分析の土器試料への応用について紹介する。

1. 中性子放射化分析とは

放射化分析は、分析元素を核反応によって放射性核種に変え、その放射性核種からの放射線の種類やエネルギー、半減期および強度を測定し元素の同定や定量を行う分析法である。放射化分析では、原子炉で熱中性子照射し(n, γ)反応で生成する γ 線スペクトルをGe(Li)半導体検出器とマルチチャンネル波高分析器で測定する中性子放射化分析が最も多く利用されている。

中性子放射化分析は、一般の化学分析法に比していくつかのすぐれた特徴がある。その特徴とは、検出感度が高いことや、核の特性を用いることから希土類元素をはじめ化学的性質が類似した元素を化学分離せずに測定できるなどの点である。検出感度が高い放射化分析法は、主成分から微量元素までの多元素の同時定量が化学分離を行わないで非破壊で可能である点で、考古遺物の材質分析では有力な手法である。非破壊法の中性子放射化分析は、測定試料の形状を損なわないことから、貴重な考古資料や美術資料の分析に応用されている。

2. 中性子放射化分析の方法

ここでは、加曽利遺跡で出土する縄文土器の中性子放射化分析を例として、実際の方法を簡単にのべておこう。

(1) 分析試料

加曽利遺跡で出土する縄文土器は、次の7つの型式に編年分類されている。その分類を示すと茅山式(紀元前5000年)、関山式(紀元前3500年)、黒浜式(紀元前3500年)、加曽利E式(紀元前2700年)、加曽利B式(紀元前1700年)、安行Ⅱ式(紀元前1000年)、安行Ⅲ式(紀元前1000年)である。

分析試料は、縄文土器片と縄文土器を模して再現した土器や再現土器胎土の原材料である赤粘土や白粘土、砂および腐植土などである。土器試料には、加曽利遺跡や加曽利遺跡のおよそ500 m北東部に位置する滑橋遺跡、および加曽利遺跡の東方4 kmに位置する土気地区文第六1遺跡の土器片を用いた。赤粘土や白粘土などは滑橋遺跡付近で産出する粘土で、加曽利貝塚博物館で実施している縄文土器の復元実験の再現土器胎土の原材料として用いられているものである。

(2) 実験の方法

土器試料の分析には、土器片の内部層を用いた。分析試料は、土器片からおよそ2 cm角の試料を採取し内表面と外表面の両表面層を除去して乳鉢で粉末にし風乾した後、100 mgを秤取しポリエチレンシートに封入した。試料を調製する際に注意することは、封入した試料の汚染である。検出感度が高い放射化分析では、試料調製時の汚染は微量元素の定量に思わぬ誤差を生じる原因となる。熱中性子の照射は、武蔵工業大学原子力研究所および立教大学原子力研究所

原子炉の照射孔を用いた。武蔵工業大学原子力研究所のTRIGA-II型原子炉では、気送管（熱中性子束 $1 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）と照射溝（熱中性子束 $4 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）の照射孔を用いた。短寿命核種は、土器試料を気送管で1分間照射し、7分冷却後、Ge(Li)半導体検出器と4096チャンネル波高分析器を用い、5分間 γ 線スペクトルの測定を行った。長寿命核種は、試料を照射溝で15時間照射し、7日間冷却後、Ge(Li)半導体検出器と4096チャンネル波高分析器で3000秒間 γ 線スペクトルの測定を行い、1ヶ月冷却後、Ge(Li)半導体検出器と4096チャンネル波高分析器で30000秒間 γ 線スペクトルの測定を行った。立教大学原子力研究所のTRIGA-II型原子炉では、回転試料棚（熱中性子束 $5 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）とF-21孔（熱中性子束 $1.5 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）の照射孔を用いた。短寿命核種、長寿命核種の測定は、前出の方法に準じて行った。

短寿命核種、長寿命核種の定量は、G-2、JB-1、JG-1を標準試料に用いた。定量値の算出はピーク面積にフラックス補正、不感時間補正、半減期補正、重量補正を行い、標準試料との相対定量法により求めた。短寿命核種の測定により、アルミニウムAl、バナジウムV、チタンTi、カルシウムCa、マンガンMnなど、長寿命核種の測定では、鉄Fe、コバルトCo、スカンジウムSc、希土類元素など、20数元素を定量した。定量に用いた核種の半減期とエネルギーの一部を表1に示す。

3. 土器試料への中性子放射化分析の応用

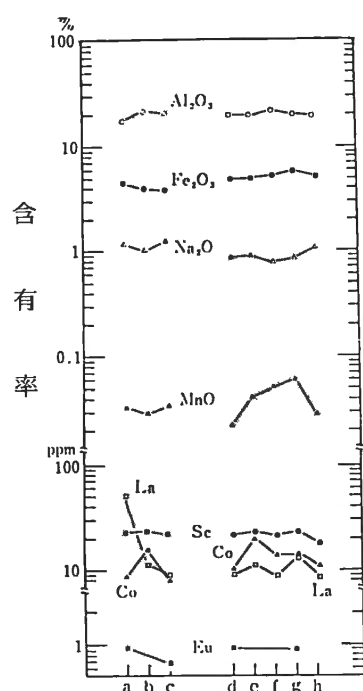
(1) 土器試料の元素濃度の変動

遺跡で出土する縄文土器片と縄文土器を模して作製した再現土器個体中の元素濃度の変動について検討した。

縄文土器片や再現土器個体中の異なる部位で採取した試料間の元素濃度の変動に関する知見は、分析値を取り扱ううえで分取試料が分析試料の化学組成を代表しているかという試料の均質性やサンプリングの問題として重要である。第1図は、加曽利遺跡出土の縄文土器片中の異なる部位間での元素濃度の変動である。分析に用いた試料は、加曽利E式土器の口縁部と加曽利B式土器の胴部からの2つの土器片である。土器片の形状は、6～7cm角の大きさで厚さ7mm程度である。加曽利E式土器の口縁部の土器片では厚さ方向については考慮せずに右上部、中央部、左下部の位置から3点の試料を分取し分析した。加曽利B式土器の胴部の土器片では、器壁からの深さ方向でとった外表面、表層、中心層、内表面の4点の試料と各層を含めた層全体の試料計5点を分析した。分取部位が異なると濃度変動を示す元素には、ナトリウムNa、マンガンMn、鉄Fe、コバルトCoなどがあり、その他の元素は測定誤差の範囲で均質である。第2図には、再現土器の器体での高さ位置と器壁表面からの深さ位置のちがいによる元素濃度の変動を示す。再現土器とは、加曽利貝塚博物館の復元実験で縄文土器を模して作製された

表1 定量に用いた核種の γ 線エネルギー

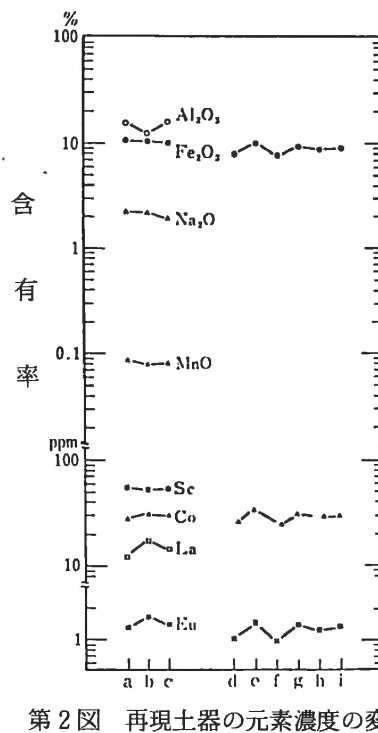
元 素	核 種	半 減 期		γ 線エネルギー (KeV)
Al	^{26}Al	2.3	min	1779
V	^{52}V	3.76	min	1434
Ti	^{51}Ti	5.8	min	320
Ca	^{49}Ca	8.8	min	3084
Mg	^{26}Mg	9.5	min	1014
Mn	^{56}Mn	2.58	hr	847
Na	^{24}Na	15.0	hr	1369
La	^{140}La	40.2	hr	1596
Sm	^{153}Sm	47	hr	103
Lu	^{177}Lu	6.7	day	208
Ba	^{131}Ba	12	day	496
Th	^{232}Pa	27.0	day	312
Yb	^{169}Yb	32	day	198
Ce	^{141}Ce	33	day	145
Hf	^{181}Hf	42.3	day	482
Fe	^{59}Fe	45.0	day	1292
Sc	^{46}Sc	83.8	day	1121
Cs	^{134}Cs	2.05	yr	796
Co	^{60}Co	5.26	yr	1333
Eu	^{152}Eu	12	yr	1408



第1図 縄文土器の元素濃度の変動

a～cおよびd～hは、それぞれ同一土器破片からの分取試料である。

試料名
加曽利E式土器・II縁部
a: 右上部
b: 中央部
c: 左下部
加曽利B式土器・胴部
d: 層全体
e: 外表面
f: 表層
g: 中心層
h: 内表面



第2図 再現土器の元素濃度の変動

a～cおよびd～iは、それぞれ同一土器個体からの分取試料である。

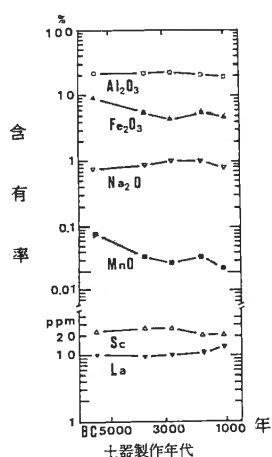
試料名
再現土器I
a, c: 胴部
b: 底部
再現土器II
胴部
d: 層全体
e: 外表面
f: 中心層
g: 内表面
底部
h: 内表面
i: 外表面

土器のことである。器体での高さ位置では3試料を、器壁表面からの深さ位置の元素濃度の検討では胴部からは外表面、中心層、内表面および各層全体を含む試料の4試料、底部からは内表面と外表面の2試料の計9試料を分析した。再現土器では、試料の分取位置によらず元素濃度の変動は小さくて均質である。再現土器に比して縄文土器の元素濃度の変動は大きい、これは土器胎土を調合する際の技術的な差異や埋蔵時に受けた変化や汚染による影響と推察される。

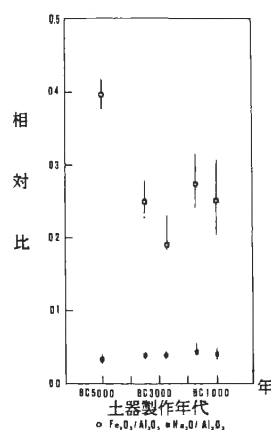
(2) 土器の製作年代と元素濃度の関係

紀元前5000年から紀元前1000年までの加曽利遺跡で出土した縄文土器片について製作年代と元素濃度の関係を検討した。その結果を第3図に示す。図の縦軸は対数表示した元素濃度を示し、横軸は土器の製作年代を示している。図中の点は、2～5点の土器の化学組成を算術平均した値である。紀元前5000年ごろに製作された早期の茅山式土器は鉄FeやマンガンMnに富み、製作年代が下がる紀元前2700年ごろの中期の加曽利E式土器や紀元前1700年ごろの後期の加曽利B式土器は、ナトリウムNaに富む傾向がある。

製作年代が異なる土器間での元素濃度の変動に関する知見は、土器胎土の原材料の推移や製作技術の変遷を知るうえで重要である。縄文土器の元素濃度の推移を、土器の主な原材料である粘土の種類のちがいという観点から検討してみよう。後に示すが、滑橋遺跡附近で産出する粘土には、鉄Fe、マンガンMn、コバルトCo、スカンジウムScに富む赤粘土と、ナトリウムNaに富む白粘土の2種類がある。赤粘土と白粘土のちがいを、アルミニウムAlで規格化した鉄Feの含有比とナトリウムNaの含有比を用いて表した。縄文土器の組成をこの含有比でみると、第4図に示すように、早期の茅山式土器は赤粘土の含有比が高くて年代が下がるにつれて赤粘土の含有比が減少する傾向がある。これは、縄文土器の原料粘土の種類が変化し



第3図 土器の製作年代の
元素濃度の関係



第4図 縄文土器胎土の原材料の
種類の変動

たことを示しているものと思われる。

(3) 縄文土器の化学組成

土器の主成分は、酸素O、ケイ素Si、ナトリウムNa、カリウムK、カルシウムCa、マグネシウムMg、アルミニウムAl、チタンTi、鉄Fe、マンガンMnの10元素である。土器の化学組成は慣習として酸化物で表現される。表2に、異なる遺跡で出土した縄文土器の化学組成の平均値を示す。分析試料は、加曽利遺跡の北貝塚と東傾斜面、滑橋遺跡と土気地区文六第1遺跡出土の土器片である。これらの試料は、主に縄文中期に属する加曽利EⅡ式に型式分類される土器片である。土器の主成分をみると、酸化アルミニウム Al_2O_3 が15～20%であり、酸化第二鉄 Fe_2O_3 4～8%、酸化ナトリウム Na_2O ～1%、酸化カルシウムCaO～2%、酸化マグネシウム MgO ～2%および酸化マンガンMnOを～0.06%含有している。縄文土器の化学組成は、アルミニウムAlや鉄Feに富む高い粘土化率の複雑な化学組成であることがわかる。

第5図に、加曽利遺跡の東傾斜面と北貝塚遺跡で出土した加曽利EⅡ式土器の微量元素の含有比を示す。横軸は北貝塚出土の縄文土器20点の微量元素の平均濃度を示し、縦軸は東傾斜面出土の縄文土器10点の微量元素の平均濃度を示す。コバルトCoやランタンLaの濃度はほぼ等しく、ルビジウムRbやセリウムCeの濃度は北貝塚遺跡の縄文土器が高く、バナジウムVは東傾斜面の縄文土器の方が濃度が高いことを示している。しかしながら、その濃度差は小さくて、概して類似した値である。

加曽利貝塚博物館で行っている縄文土器の復元実験では、再現土器の原材料として滑橋遺跡附近で産出する赤粘土や白粘土が用いられている。また土器の胎土などの原材料には、土器を

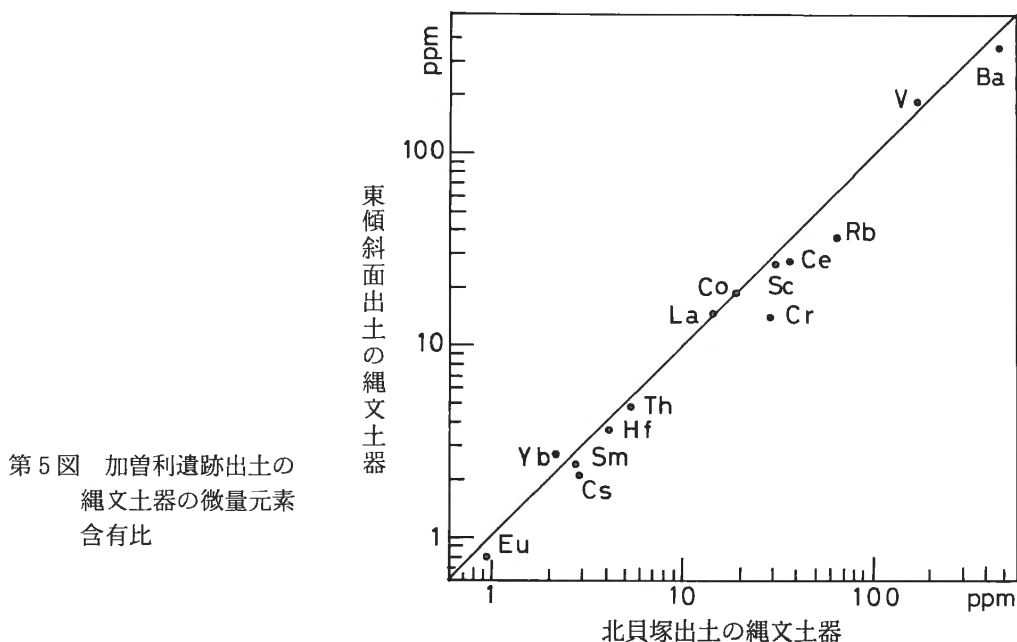
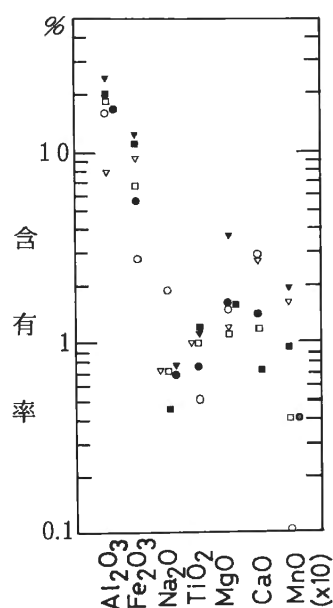


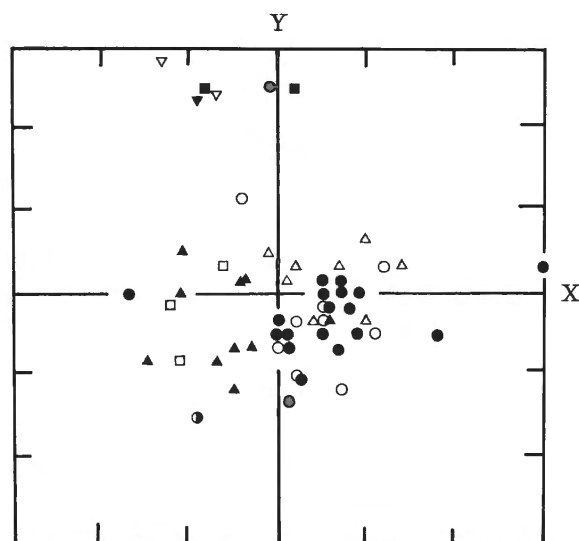
表2 縄文土器の化学組成

出土地	北貝塚	東傾斜面	滑橋遺跡	土気文六第一遺跡
試料数	20	10	8	10
Al_2O_3 (%)	17.0	19.4	20.4	20.9
Na_2O	0.69	0.97	0.68	0.74
TiO_2	0.7	1.3	1.5	1.4
MgO	1.6	0.3	1.8	0.9
CaO	1.4	1.5	0.7	1.4
MnO	0.03	0.04	0.03	0.04
Fe_2O_3	5.6	6.3	5.6	6.4
Sc (ppm)	31	26	29	39
V	170	180	270	310
Co	18	19	18	17
Cs	2.8	2.1	2.6	2.7
Ba	460	350	370	350
La	14	15	12	15
Ce	35	28	26	26
Sm	2.7	2.4	2.6	3.0
Eu	0.92	0.80	0.93	1.04
Yb	2.1	1.7	1.4	1.1
Lu	0.29	0.24	0.25	0.30
Hf	4.0	3.6	3.8	4.2
Th	5.2	4.8	5.4	4.8



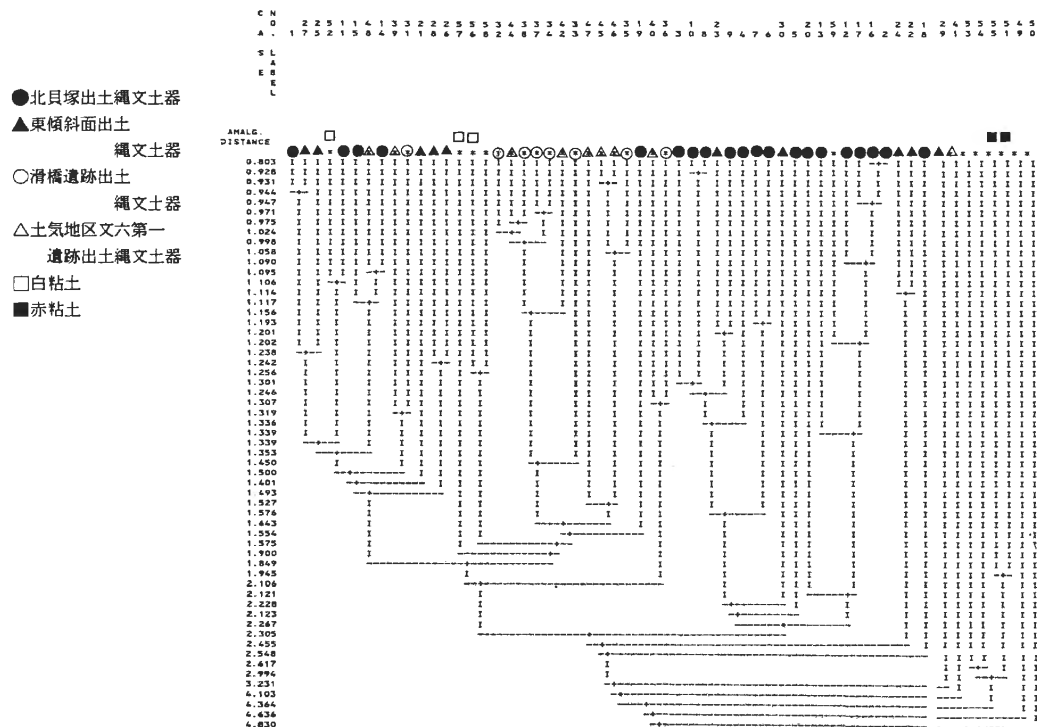
- 北貝塚出土縄文土器
- 白粘土 ○砂
- 赤粘土 ▼腐植土
- ▽関東ローム

第6図 再現土器胎土の
原材料の元素濃度



- 北貝塚出土縄文土器
- ▲東傾斜面出土縄文土器
- 滑橋遺跡出土縄文土器
- △土気地区文六第一遺跡出土縄文土器
- 白粘土 ▼腐植土
- 赤粘土 ▽関東ローム
- 砂

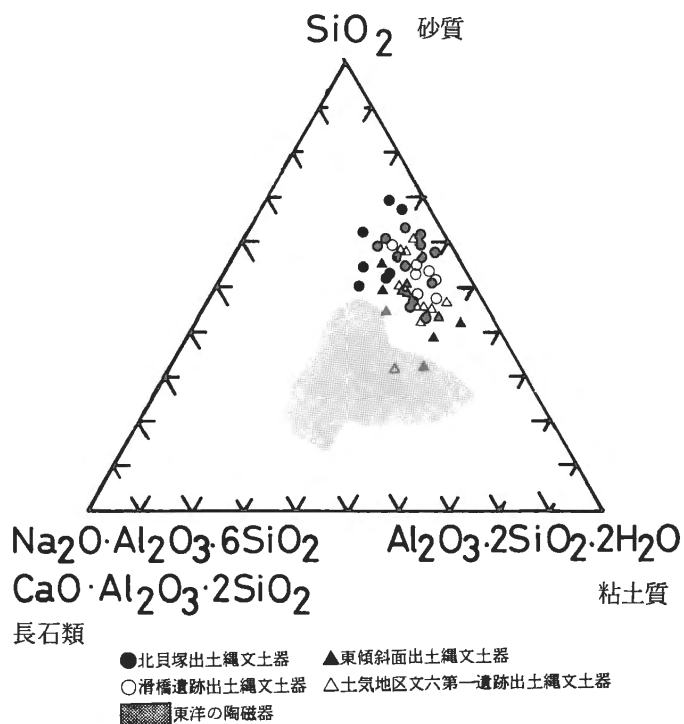
第7図 因子分析



第8図 主成分のクラスター分析

出土する遺跡の附近で産出する粘土を用いたとする説もある。

そこで、縄文土器の胎土に再現土器胎土の原材料が用いられていた可能性を検討する目的で、加曽利博物館で行っている縄文土器の再現実験の土器胎土の原材料である赤粘土や白粘土、砂、関東ローム、腐植土の中性子放射化分析を行った。第6図に、結果の一部を示す。図の縦軸は対数単位で表した元素濃度を、横軸は試料の化学組成を示している。酸化マンガン MnO は、定量値を10倍してプロットした。縄文土器の代表例として、加曽利遺跡北貝塚出土の定量値を示した。図は、北貝塚出土の縄文土



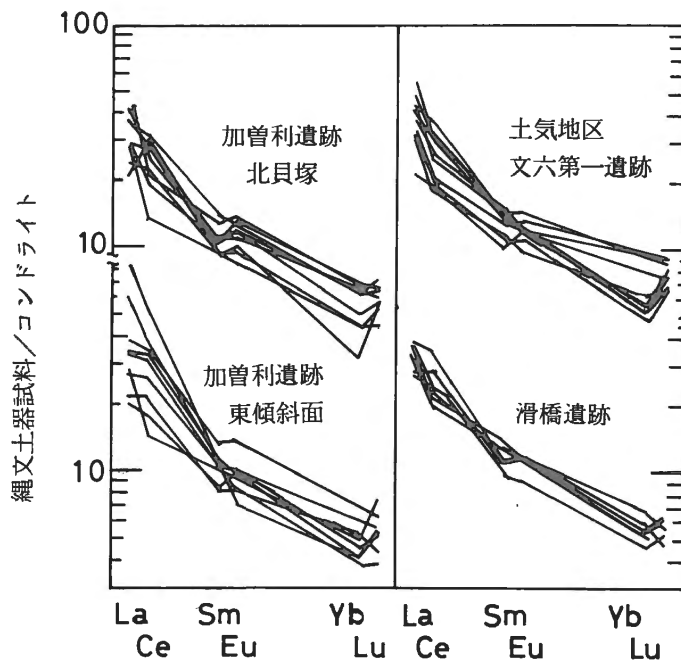
第9図 長石—石英—カオリンの三角図

器は20点、白粘土は3点、赤粘土は2点を算術平均した値で、他の試料は1点の分析値である。土器試料は、アルミニウム Al、鉄 Fe およびカルシウム Ca に富んでいる。赤粘土や腐植土は鉄 Fe、マンガン Mn に富み、砂はカルシウム Ca やナトリウム Na に富む傾向がある。試料間で元素濃度の変動が大きい元素は、マンガン Mn、カルシウム Ca、ナトリウム Na、鉄 Fe である。

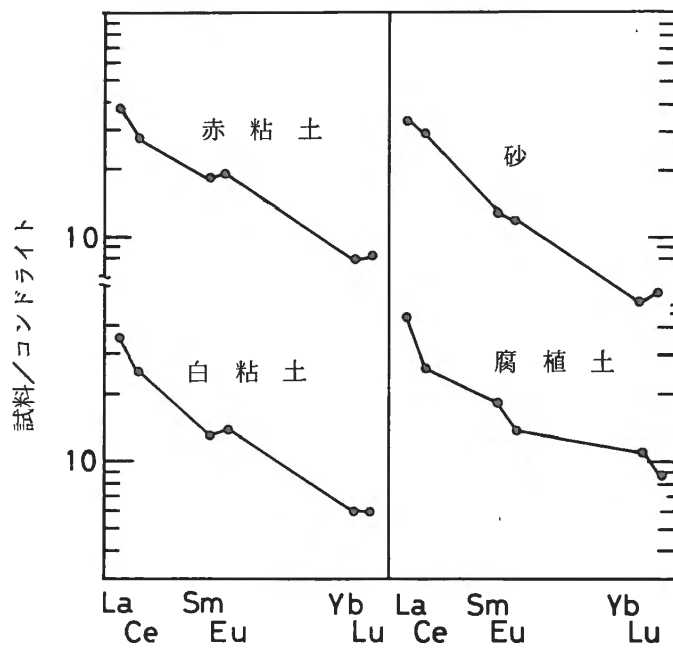
分析試料の化学組成の特徴を知る有効な統計手法に、因子分析やクラスター分析がある。統計計算は、東京大学大型計算機センターの V O S 3 拡張プログラムパッケージ B M D P の 2 M と 4 M を用いて行った。因子分析は、土器の複雑な化学組成を主要な新変量に要約して特徴づけを行う手法である。因子分析で合成された新変量を共通因子とよぶが、その共通因子についてみると第1因子はルビジウム Rb やセシウム Cs などのアルカリ元素の濃度差に関する情報であり、第2因子は鉄 Fe の濃度差、第3因子はサマリウム Sm やランタン La などの希土類元素の濃度差、第4因子はアルミニウム Al の濃度差についての情報である。第1因子から第4因子までの累積寄与率は80%を示し、従って土器の化学組成の特徴の大半を反映しているものと考えることができる。いいかえれば、縄文土器試料を特徴づけている主な元素は、アルカリ金属や鉄 Fe、希土類元素やアルミニウム Al である。こうした結果は、縄文土器の原材料のちがいとして解釈できる。赤粘土や白粘土に高い含有率を示すアルミニウム Al は土器の胎土の粘土化の程度を示す指標として、赤粘土に富み白粘土に乏しい鉄 Fe は粘土の種類のちがいを示す指標とみなすことができる。一例として、第7図に因子得点の散布図を示す。図の X 軸は第1因子であるルビジウム Rb やセシウム Cs の濃度差を示し、Y 軸は鉄 Fe の濃度差を示している。X 軸では右方に Y 軸では上方に位置する試料は各元素の濃度が高いことを表わしている。散布図では、縄文土器試料は赤粘土や関東ロームなどとは異なり白粘土の附近に分布している。縄文土器試料と白粘土のルビジウム Rb、セシウム Cs および鉄 Fe の濃度は類似していることがわかる。

土器の産地の識別に有効であるとされているクラスター分析図を、第8図に示す。北貝塚出土の土器片は、一群のクラスターをつくる傾向がある。

X線回析分析の結果から、土器の鉱物組成は石英や長石、粘土鉱物および鉄の酸化物が主であることが知られている。陶磁器の種類の識別に有効な手法に、石英—長石—カオリンの三角図がある。陶磁器の組成を陶石分としての長石、砂質として石英、粘土質としてカオリンの3成分で代表させて、その3成分の分配率から組成の特徴を知ろうとする試みである。ここでは、縄文土器にこの方法を応用してみよう。土器の場合では、長石、石英、カオリンは礫、砂、粘土という堆積岩の種類のちがいとしてみることであり、仮に礫、砂、粘土の種類の相違とみるなら三角図は土器胎土中の調合率を表わすものと考えることができる。第9図に、縄文土器の石英—長石—カオリン成分の三角図を示す。縄文土器はほぼ一群をなして分布している。東洋の



第10図 縄文土器の希土類元素分布パターン



第11図 滑橋遺跡附近で産出する再現土器の
原材料の希土類元素分布パターン

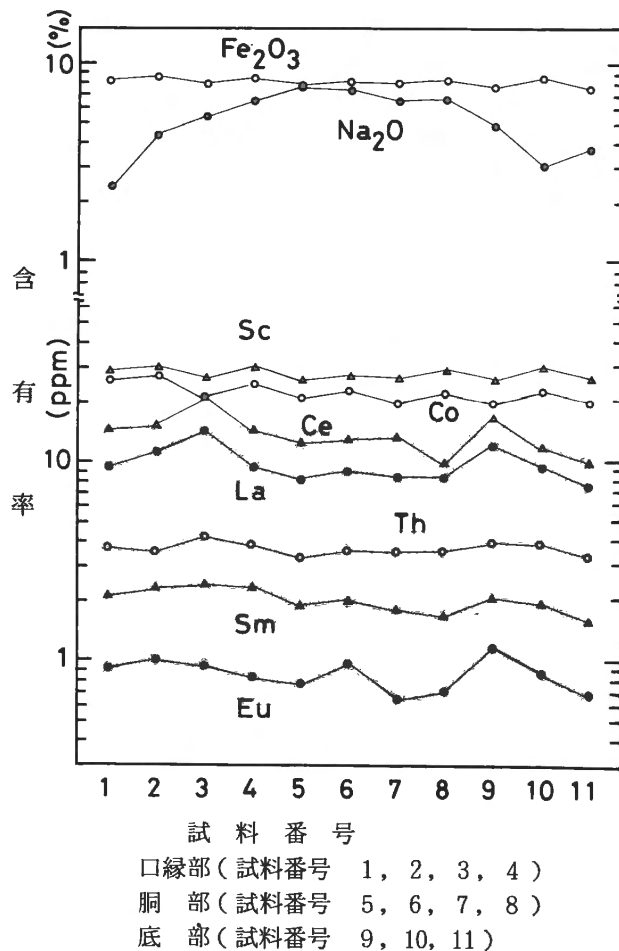
陶磁器の平均的な値と比較すると、縄文土器は長石分は少なくて石英分が多い組成を示している。縄文土器と原材料との関係では、縄文土器は砂や関東ロームおよび腐植土とは異なった白粘土や赤粘土の附近に分布し、この結果では縄文土器の石英、長石、カオリンの分配率は粘土類に類似した割合であることを示した。

中性子放射化分析で精度よく定量できる微量元素に希土類元素がある。隕石であるコンドライトで規格化した希土類元素の分布パターンは、物質の起源を推定するのに有効な手法であると考えられており、地球化学の分野ではその応用例も多い。ここでは、人工遺物である縄文土器についてこの手法を応用して

みよう。縄文土器では、土器胎土の原材料である粘土の産地のちがいを反映して特徴的な分布を示す場合があり、土器を出土した遺跡の識別や原料粘土の産地の推定に有用な情報を与えるものと期待されている。第10図に、加曽利遺跡の北貝塚と東傾斜面および滑橋遺跡と土気地区文六第1遺跡の縄文土器の希土類元素の分布パターンを示す。縄文土器の希土類元素分布パターンは、ランタン La やセリウム Ce の軽希土が濃集した分布型を示している。第11図に、滑橋遺跡付近で産出する赤粘土や白粘土の希土類元素分布パターンを示す。白粘土の希土類元素の分布パターンは、縄文土器の分布に類似している。

近年、考古学の分野で起った重要な課題に、土器の産地推定という問題がある。土器の産地の推定とは、その土器がどの場所で作られたのかという製造地の起源を特定しようとする試みである。土器の産地推定の手法を大別すると、土器の化学組成のちがいに基づく識別と同位体比に基づく識別の2つがある。

ここでは産地推定についての基本的な考え方を眺めてみよう。まず、同位体比に基づく産地



第12図 土器製塩した再現土器中の元素濃度の変動
(未発表、富沢威、小沢清男、富永健)

の推定の考え方を紹介しよう。元素の同位体比は、地球上できわめてよく一致しているが、軽元素や天然での放射壊変で生成する核種を安定同位体を持つ元素には、同位体変動が観測される。この同位体変動が産地の推定に利用されている。古文化財の産地推定に用いられた同位体には、炭素C、酸素O、ルビジウムRb、鉛Pbなどがある。次に、化学組成のちがいにに基づく産地推定の方法をのべてみよう。土器の胎土は粘土や砂を原材料としてつくられている。そこで土器の化学組成は、胎土の原材料である粘土や砂の地域特性を反映している可能性があり、比較対照とする遺跡の土器間に組成の有意な鉱物特性の差異があればその特性に基づいた土器群の識別が可能である。土器が出土した遺跡を化学組成の差異に基づいて特定するには、同一遺跡の土器群では均質であるが異なる遺跡の土器間で有意な濃度差を示す元素の存在が必要である。こうした土器が出土した遺跡を特定するのに有効な finger print となる元素を指標元素とよぶ。従って、遺跡ごとの指標元素を見出すことができれば、産地の推定は可能となる。これが、化学組成に基づく産地推定の考え方である。

ところが、現実には、産地の推定を困難にしている2、3の問題がある。それは、土器が人工遺物であることによる。仮に縄文土器は粘土や砂を調合した胎土を用いていたものとする、縄文土器の化学組成は原材料の地域特性だけでなく技術的な差異とでもいふべき土器胎土の調合率のちがいを反映することになる。胎土の原材料に調合率のばらつきがあれば、土器の化学組成は異なってくる。これが、元素濃度の差異に基づく土器の産地の推定を困難にしている理由の1つである。さらに土器の産地を議論するには、従来は曖昧に用いられている産地という言葉の意味を厳密に定義しておく必要がある。産地推定で用いる産地という言葉は、必ずしも土器を出土した遺跡を示すものではなく本来は土器胎土の原材料を採集した地域を意味するものである。従って、土器胎土の原材料を採取した場所が異なれば、同一遺跡で出土する土器群でもその化学組成は異なってくる。そこで、化学組成のちがいによる土器の産地の推定にあたっては、土器製品が移動したのか、あるいは製造技術が伝播したのかという交易や文化圏に関する考古学の知見に基づく検討はきわめて重要になる。

(4) 土器製塩による元素の濃集

海水を煮沸する容器に土器を用いて海水を濃縮し塩を得る方法を土器製塩という。海水を煮沸し塩を得るのに用いられた製塩土器は、一般の縄文土器に比して無文で薄手という特殊な様式をもつ土器群である。考古学の知見によれば、岩塩などの資源を持たないわが国では、縄文時代の後期末には土器製塩がすでに行われていたことが判明している。

再現土器を用いて海水を煮沸し塩を得る土器製塩の実験を行い、土器製塩の過程で土器に濃集する元素について検討した。土器を使用した際に濃集する痕跡元素の検討は、土器の用途を知るうえで重要である。第12図に、結果の一部を示す。土器製塩に用いた再現土器は、高さが18 cmで、底部の直径が6.7 cm、胴部の器壁の厚さが6 mmの形状である。分析試料は、再現土器を

中央で2分割し1 cm幅で土器を切り取った。切り取った土器片は、口縁部から底部までを2 cm ずつ11点に分割した。試料番号が1～4は口縁部、5～8は胴部、9～11は底部の試料である。番号が若い試料は器体の上部に位置する試料である。

製塩実験に用いた再現土器に濃集する典型的な元素には、ナトリウム Na と臭素 Br がある。ナトリウム Na は、日本の各地で出土する縄文土器の平均値のおよそ5～10倍の2.4～7.6%の含有量を示す。製塩土器個体中の部位と元素濃度との関係をみると、海水を煮沸すると海水濃度が高くなる胴部（試料番号5～8）にはナトリウム Na の濃集する割合が多いことがわかる。海水中的の濃度が高いナトリウム Na は、土器製塩の過程で土器に濃集する傾向があるが、希土類元素やスカンジウム Sc などは土器使用によらずに概して個体中で均質である。

茨城県稲敷郡美浦町大山の法堂遺跡で出土した縄文時代後期末から晩期前葉に属する製塩土器10点の中性子放射化分析を行った。その結果、臭素 Br は製塩土器を識別するのに有効な元素であった。

お わ り に

加曽利遺跡出土の縄文土器の基礎的研究として、中性子放射化分析を応用して製作年代が異なる土器間や出土遺跡が異なる土器間での元素濃度の変動について検討した。測定結果を要約すると、土器群の識別には鉄 Fe、コバルト Co、マンガン Mn、ナトリウム Na などの元素が有効であることや、滑橋遺跡附近で産出する白粘土は縄文土器に類似した化学組成であることなどとなる。

最後に、資料について終始お世話下さり適切な御指導を賜った千葉市加曽利貝塚博物館 片岡茂房氏、また製塩土器や再現土器の製作に御尽力を賜った早川行一氏、山口正治氏に厚く御礼申し上げる。

<参考文献>

- 1) 富沢 威、佐藤春雄、富永 健：古文化財の科学、27、29（1982）
- 2) 富沢 威、葉袋佳孝、富永 健：第29回放射化学討論会講演（1985年10月、津田沼）
- 3) 富沢 威、富永 健：第28回放射化学討論会講演（1984年10月、神戸）