

## 埋蔵文化財の分析化学

武庫川女子大学薬学部 安田博幸

### 1. はじめに

分析化学の考古学への寄与については、京都大学の重松教授が本誌第3号に、分析法の種類、対象、分析限界、精度、必要試料量にわたる広汎な概説<sup>1)</sup>をされ、有益な示唆を与えられた。

考古学の研究において、埋蔵文化財を適当な方法により分析することは、材質の確認、埋蔵中にうけた変質過程の推定、材質の変化と埋蔵年代の関係の追求、さらには古代の技術水準や風習の推測などの研究面に欠かせない手順であると思われる。けれども従来は、化学者側の協力不足のせいもあって、分析化学的なデータはごく一部の報告書にしか掲載されていなかった。

筆者はこの10年間、考古学と分析化学の両分野に等分の関心を示せる環境にめぐまれてきた。そこで数年来、化学分析面から協力ができそうな考古学上の二、三の問題をとり上げ、考古学界の好意を得て埋蔵文化財の化学分析をすすめ、次第にデータも集まりつつある。

今回の稿を依頼されたのを機会に、ひとまず筆者の観点とデータをとりまとめて発表することにした。同学各位の御叱正が得られれば幸いである。

筆者が扱ってきたのは、“ペーパークロマトグラフィーによる古代顔料(とくに水銀朱とベニガラ)の判別”、“化学分析による土器生産地同定の試み((付)土師器の色調と鉄含量の関係)”、“埋蔵石灰質遺物中のフッ素含量の検討”、“古代青銅製品分析における数種の分析方法の比較検討”であり、前三者については筆者の研究室で常設装置があって、常時依頼分析に応じている。

以下それらの前三者の諸法について概説する。

### 2 ペーパークロマトグラフィと呈色試薬による水銀朱とベニガラの判別<sup>2)</sup>

埋蔵文化財、出土人骨、古墳石室、粘土床、石棺・木棺、石造物、土器の朱彩あるいは丹彩の記載は調査報告書にしばしば見られるところである。これらの事象は古代人が朱やベニガラに対してみとめた何らかの観念の表現にちがいないのであるが、それらが、それぞれ如何なる観念に対応しているかを研究するうえには、各検出例について顔料の材質が正確に確認されなければ

ばならない。これまでの報告書にみられる朱彩あるいは丹彩の記載は、調査者の肉眼所見によるものであって化学的確認ではなく、なかには誤記なきにしもあらずと思われる。

筆者はペーパークロマトグラフィーと呈色試薬による検出反応を併用して微量の朱彩試料から簡単かつ確実に水銀朱かベニガラかを判別する方法をルーチン化したので紹介する。斯界の利用を期待し報告書の記載に正確を期されるよう望むものである。

なお、本法は朱色に染まってみえる土壌試料の少量からでも、その中に浸みこんでいる朱色成分の確認が可能である。

方法<sup>2)3)</sup>: ペーパークロマトグラフ法は微量の試料液をろ紙上の所定の一点に点じ、このろ紙の一端を、密閉ガラス容器中で所定の組成の溶媒(これを展開溶媒という)に浸し、溶媒が漸次ろ紙中を浸透して上昇してゆく(これを展開という)ときに、それにつれて移動する試料成分の移動位置を検出試薬を噴霧したり紫外線を照射したりすることにより肉眼で検出し、標準物質について同条件で行なった結果との比較から同定確認する方法で、その際移動位置や呈色が特徴的になるように展開溶媒や検出試薬を選択すれば、他物質が共存しても目的とする微量成分の検出確認が極めて容易にできるのである。

試料の微量赤色顔料が水銀朱( $\text{HgS}$ )かベニガラ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )かを判別するには、結局試料を酸に溶解して得た少量の試料液中の $\text{Hg}^{2+}$ や $\text{Fe}^{3+}$ を検出することに帰する。この目的のためには試料液をガラス毛细管で東洋ろ紙No 50( $2 \times 40 \text{ cm}$ )の一端近くに数回点じ、ブタノール硝塩酸<sup>3)</sup>を展開溶媒として展開したのち取出す。乾燥してから、呈色試薬のジフェニルカルバジド試液をろ紙上に噴霧しさらにアンモニアの蒸気にさらすときは、 $\text{Hg}^{2+}$ はRf値(試料スポットの移動距離/展開溶媒の移動距離)0.8~0.9の位置に紫色のスポットとして、 $\text{Fe}^{3+}$ はRf値0.08~0.1の位置に紫褐色のスポットとして検出される。この二つのスポットは確然と離れているので誤認は絶対にあり得ず、判定は極めて容易である。

また、時代が降って赤色顔料として鉛丹( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )が使用されている可能性のある試料では $\text{Pb}^{2+}$ の検出も試みてみる必要がある。ブタノール硝塩酸を展開溶媒とすると $\text{Pb}^{2+}$ のスポットも $\text{Fe}^{3+}$ に近いRf値0.1の辺りに移動するので、この場合は $\text{Fe}^{3+}$ との誤認がおこらないかという懸念がおこる。しかしこの問題は呈色試薬としてジフェニルカルバジドかジチゾン<sup>4)</sup>を噴霧すれば解決される。すなわち、ジフェニルカルバジドでは $\text{Fe}^{3+}$ のみが紫褐色に呈色して $\text{Pb}^{2+}$ は呈色せず、ジチゾンでは $\text{Pb}^{2+}$ のみが紫色に呈色し $\text{Fe}^{3+}$ は呈色しないので支障なく検索の目的を達することができる。

なお、試料液作製のための試料量は、筆者の経験では粉末試料で1~3 mg、顔料の浸みこんだ土壌試料なら300 mgぐらいあればまず充分で、ガラス尖形管中で適当少量の王水を加えて

加熱したのち蒸留水適量を加えて希釈し、不溶成分を遠心分離で除いてから、少液量にまで加熱濃縮して試料液としている。

分析例：筆者らの行なった分析例のいくつかを Table 1 として一括表示する、備考欄に考古学上での知見を付記した。

### 3 化学分析による土器生産地同定の試み<sup>4)</sup>

(付：土師器の色調と鉄含量の関係<sup>5)</sup>)

型式も同じ文様も同じで、さらに焼成状態の点まできわめて類似した土器が出土地を異にして発見される場合がある。その場合、その両土器がともに同じ場所で製作されたのちに、そのうちの一方が他所へ運ばれたり分与されたりしたものであるのか、それとも土器製作のデザイン上の知識のみがたまたま伝わっただけのことであるのかという土器の生産地の同定の問題は古代の交易圏を考えるうえで重要である。この問題に化学分析が傍証を与えるのではないかと考え、試案にもとづく実験を行なった。その結果、外見および破砕面の観察から、土質、焼成状態、仕上がりの点で酷似する土器どうしは分析値においても似てくることがわかった。また土師器における色調は鉄含量と関係あることもわかった。筆者が手がけた実験例はまだ数件であるので、本分析は現在試論の域にとどまっているが考古学界からの適当な試料の供与が豊富になれば、きっと有用なデータが集まるものと考えている。

方法：土器の成分分析としては、微量構成成分までを克明に分析する方法もあるが、原料粘土と焼成状態の2点の異同を判定する目的のためならば、土器を構成する主要3成分すなわち酸に不溶性の成分(主としてケイ酸塩類)、酸に可溶のアルミニウム成分( $Al_2O_3$ として算出)、酸に可溶の鉄成分( $Fe_2O_3$ )の3者の含量の値をもって比較すれば充分目的を達しうるものと考ええる。それは、すでに焼成という一種の化学反応の反応生成物と考えられる土器にさらに一定の分析操作をほどこしてなお上記の3分析値に一致がみられるときは、3点を共有する平面が一つに限定されるように、2土器の原料粘土と焼成状態の同一性をほぼ推定してよいのではなかろうか。

つぎにその分析操作を略記する。

操作<sup>5)</sup>：土器片を乳鉢で破砕粉末化して得られる試料粉末約1gを秤量して硬質ビーカーに移し、40mlの濃塩酸を加え時計皿でふたをしてゆるやかに1時間煮沸する。最後に少量の濃硝酸を加えて数分間加熱してからガラスフィルターで濾しわけ、フィルター上にのこった不溶性

第1表 ベーバクロマトグラフィーによる古代赤色顔料の分析

試料	試料外観使用量 (ミリグラム: mg)	ペーバクロマトグラフィー 結果(+:存, -:否)		判定	備考・考察	掲載報文
		Hg <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>			
尼崎市山能遺跡16号棺 人骨頭蓋骨	朱赤色物質(3)	+	-	水銀朱	弥生墳墓人骨への水銀朱 塗布例として注目	古代学研究 49号(1967)
尼崎市山能遺跡17号棺下 土壘14検体(Na.1~Na.14)	各試料土壘 (3.50)	Na.6~Na.8 のみ+	すべてに+	Na.6~Na.8の サンプル部分に 水銀朱	調査概報記事「上半身に 朱」に該当	古代学研究 53号(1968)
岡山県高松町千冠表飾古墳 石室側壁石の赤色顔料	朱赤色物質(3)	-	+	ベニガラ	5世紀後半の前方後円墳	
岡山県総社市こもり塚 石室内側壁の赤色顔料	赤色物質(3)	-	+	ベニガラ	6世紀前半の前方後円墳	
岡山県真備町常田人塚 石室内側壁の赤色顔料	赤色物質(3)	-	+	ベニガラ	6世紀前半の前方後円墳	
徳島市徳島山9号墳内石棺 蓋裏赤色顔料	赤褐色物質(3) 同上(3)	-	+	ベニガラ	石棺にベニガラ塗布、遺 体に水銀朱をおく。遺 向顔料の明らかな使いわ けの好例	紀淡・鳴門海峡地帯に おける考古学調査報告 (同志社大1968)
同 上 石棺内人骨 下顎骨下赤色物質	赤色土壘(100)	いづれも-	いづれも+	ベニガラ	5世紀末~6世紀初頭の 円墳	中村古墳群発掘調査 報告(兵庫県1968)
神戸市垂水区中村5号墳主 体直葬木棺内赤色土壘(3 ヶ所)	赤色物質(3)	-	+	ベニガラ	日本古文化研究所報告 (近畿地方古墳墓の調査 に朱の遊属と記載)	武庫川女子大学紀要 19集人文科学編 (1970)
宝塚市万籟山古墳竪穴石室 粘土床内薄朱層	赤色物質(3)	-	+	ベニガラ	注目	
大阪府柏原市太平寺古墳 石室奥壁上壁面人物顔料	赤色物質(3)	-	+	ベニガラ	注目	
兵庫県和山町城ノ山古墳 木棺底部、頭蓋骨・管玉 赤色顔料	赤色物質(3)	+	+	すべてに水銀朱 Fe <sup>3+</sup> は土壘か ら由来	但馬地方最古の古墳の性 格を裏付け	発掘調査報告刊行予定 (1972)
姫路市八代山古墳群中4基 の8主体部の赤色土壘	土壘を付けた赤色 顔料(30)	5主体部+ 3主体部-	すべての 試料に+	5主体部に水銀 朱 3主体部は ベニガラ		発掘調査報告刊行予定 (1972)

残渣を水で洗浄し乾燥後秤量する（秤量値からケイ酸塩を主とする酸不溶性成分の含量が算出される）。ろ液と洗浄液を合し蒸留水を加えて正確に250 mlとし検液とする。

まず、その中の200 mlをとりわけ。これにアンモニア水をリトマスアルカリ性になるまで加え、生じる沈殿を定量用ろ紙で濾しわけ、ろ紙ごと乾燥後、あらかじめ秤量したルツボ内へ焼き落し、そのルツボを1時間強熱したあと秤量し、ルツボ内に残存する $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の合計含量を算出する。

また、さきの250 mlの中の残液50 mlから20 mlの検液をとりわけ、これに窒素ガスをゆるやかに通導してから、ただちに50%のヨードカリ試液5 mlを加えて密栓し、ときどき揺り動かして10分後、反応によって生成したヨウ素を0.1規定チオ硫酸ナトリウム液で滴定する（指示薬：デンプン溶液）。その消費量から液中に含まれる鉄分量を算出し $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 量に換算を求め、さらにさきの $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の総合含量から $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量をさしひくことにより $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量も知る。

#### 分析例：

この分析法により、土器の土質の異同の判定、鉄分の多い黄色粘土を焼成して製造されたペニガラ製の質の調査、また粘土中の鉄分の差による土器の着色との関係の調査を行なった結果を数例ずつしめす。

なお、これら三成分の含量%を3成分系の三角座標を用いて表現し、土器の土質上の特徴や異同が三角座標の点の位置で比較できるような表示法については目下検討している。

#### 4 埋蔵石灰質遺物中のフッ素含量測定<sup>6)</sup>

一般に、地下に埋蔵された骨は、地中で地下水と長期間接触する間に徐々にフッ素カルシウムを形成してフッ素を蓄積する。埋蔵期間の長いものほど骨中のフッ素含量は多くなるものと推定され、骨中のフッ素含量によって骨の古さ（年代）が推測できるとされている。<sup>7)</sup> その有名な適用例が Piltown 人の顎骨や頭蓋骨が後世の骨に作為した偽物であることを看破したケースである。

たしかに、“フッ素含量による骨の年代測定”<sup>7)</sup>の有用性は理解できるものの、年代だけが骨のフッ素量を規定する一義的な因子とは考え難く、埋蔵地の土地条件（地味、地下水の pH や含フッ素量、地質の特徴）なども大きく影響するものと考えられる。むしろこうした面を積極的に考慮して骨のフッ素含量値を観察したほうが遺物、遺跡の研究に役立つ関係が抽出されるかもし

第2表 古代土器およびベニガラの化学分析

分析目的	分析対象	試料	実験番号	分析結果			備考
				不溶性成分(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	
化学分析による土器の生産地同定の基礎実験4)	弥生式土器	恩智 No.1	1	59.87	14.12	6.92	破砕面が明かるい茶褐色で、外觀でも土質の類似はわかる。  破砕面はやや黒褐色  破砕面やや黒褐色 恩智No.1,2よりNo.3によく似る
			2	60.29	14.50	7.16	
		恩智 No.2	1	61.09	13.67	6.87	
			2	61.80	14.29	6.88	
		恩智 No.3	1	65.47	12.68	5.12	
			2	65.56	11.76	5.15	
		田能	1	67.61	12.37	5.48	
			2	67.41	12.40	5.52	
古代ベニガラの鉄含量調査5)	弥生時代 ベニガラ	田能遺跡出土 小壺内ベニガラ	1	75.51	7.61	10.49	特殊な粘土が使用されたとされる。
			2	75.54	7.61	10.62	
			3	79.34	7.87	10.09	
土師器の色調と鉄含量の関係調査5)	弥生式土器	田能出土 黄赤色土器No.1 (赤味つよし) 同上 No.2 (黄味強し) 田能遺跡出土	1	79.35	10.82	2.71	
			1	78.88	7.91	2.33	
			1	95.66	0.42	0.86	
			2	96.74	1.09	0.89	
胎土調査	弥生式土器 同上	石見遺跡 出土祭祀土器 和泉市観音寺山 遺跡西小溝 出土 No.1 同上 No.2	1	96.24	0.32	1.44	青灰色で厚手、一見須恵器のようない硬い焼き上り 淡黄褐色、小石まじりの経質でもろい粗製の土器 同上 No.1と焼きがやや異なる
			2	97.15	0.33	1.44	
			1	78.60	5.17	6.29	
			2	78.91	5.16	5.77	
			4回の平均	81.32	5.81	3.75	

れない。そこで筆者は、人骨だけでなく広く各種生物の埋蔵石灰質遺物のフッ素含量を全国各地の遺跡から出土した多種、多数のものについて調べ、データーを現生のものと比較するとともに種類別、出土地別にも比較整理することを計画した。

幸いにコンパクトなフッ素蒸留装置<sup>8)</sup>とフッ素定量のために有用なアルフッソ試薬<sup>9)</sup>が開発されたので、少量の試料で確かな結果が得られる。まだデーターは豊富とはいえないが、それでもすでに一般的ないくつかの傾向が見出されている。

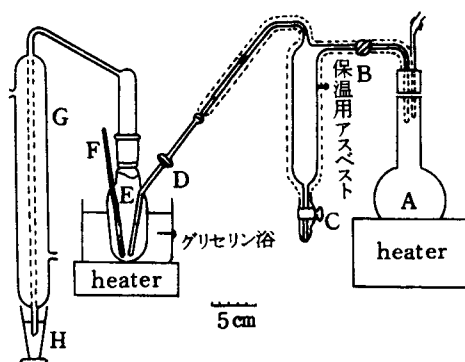
#### フッ素分析用の装置と定量法：

埋蔵石灰質遺物からのフッ素の定量にあたっては、フッ素を妨害物質より分離する必要があり、この目的のためには、A. D. Horton らが考案<sup>8)</sup>したフッ素をケイフッ化水素酸として蒸留する装置を若干改変したものを製作して使用<sup>6)</sup>している。

#### 石灰質遺物よりのケイフッ化水素酸の蒸留：<sup>6)</sup>

図はケイフッ化水素酸の蒸留装置であって硬質ガラスで作る。

B, C のコックを開放した状態で A の水蒸気発生フラスコを加熱沸騰させ、また留出液受器のメスシリンダー H には 1% NaOH 溶液 5 ml をいれ、フェノールフタレイン試液 1 滴を加えて冷却器 G の先端を浸漬する。試料石灰質遺物粉末約 0.05 g (現生生物のものや含量の小さいものでは 1 g ~ 0.5 g) を正確にはかりとり、できるだけ少量の蒸留水で蒸留フラスコ E に移す。



ケイフッ化水素酸蒸留装置

Eにはあらかじめガラス細粒1gを入れておく。H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(比重1.6)約15mlをEに一気に加えてからEをグリセリン浴で加熱する。Eの内温が温度計Fで約105°になったとき、それまで閉じておいた水蒸気導入コックDを開き、コックCは閉じて蒸気を導入するとEの内温は130~140°Cに上るから、そのままの温度を維持しながら水蒸気蒸留を行なう。留出液が20mlでるごとに(従ってメスシリンダーの内溶液が25mlになるごとに)メスシリンダーをかえ合計140mlあるいは160mlの留出液をとる。

ドータイト・アルフッソン試薬によるフッ素の吸光光度定量<sup>6)</sup>と含量計算:

上記の蒸留操作で得たそれぞれの受器中の留出液を30%塩酸で中和し、その各々の溶液5mlを正確にとり25mlのメスフラスコ中に移し、新たに調製した1%ドータイトアルフッソン試液5ml、アセトン(特級)10mlを加えて精製水で全量25mlとし1時間後に分光光度計で波長620mμで吸光度を測定し、別にNaFを用いて作製したF<sup>-</sup>濃度10~20μg/mlの検量線と対照してF<sup>-</sup>の濃度を求め、希釈倍数を乗じ総液量についての積算を行なって留出全量中のフッ素量を出し、回収率実験から得た回収率90%に対する補正を行なって試料中のフッ素含量(%)を算出する。

分析例:

上述の方法によって、現在までに得てきた埋蔵石灰質遺物中のフッ素含量を、一括してTable 3に示す。なお現生物についての値および、かつて浜口ら<sup>10)</sup>が得た値も併載して比較に供する。

Table 3 から観察される二、三の示唆については備考欄に略記する。



第3表 埋蔵石灰質遺物および現生物のフッ素含量

試		料		備 考		
分 類	産 地 ( 出 土 地 )	年 代	フッ素含 量 (%)			
人 骨	国 府 貝 塚	縄 文 前 期	0.11	▲分析者：浜口博ら  ▲分析方法：硝酸トリウム 滴定法 ( 指示薬：アリザ リンスルホン酸ナトリウム )  ▲試料部位：脛骨		
	轟 貝 塚	同 上	0.26			
	矢 作 貝 塚	縄 文 後 期	0.25			
	余 山 貝 塚	同 上	0.27			
	津 雲 貝 塚	縄 文 晩 期	0.21			
	稲 荷 山 貝 塚	同 上	0.22			
	興 津 貝 塚	古 墳 時 代	0.24			
	多 賀 郡 横 穴	古 墳 時 代 後 期	0.21			
	余 子 山 横 穴	同 上	0.22			
		昭 和 2 4 年	0.07			
人 骨	尼崎市田能遺跡 16号棺頭蓋骨	弥 生 後 期	0.42	▲人骨での平均的な含 量は分析方法が異っ ても同じになる  ▲フッ素の多い猪名川 畔の田能でのフッ素 量の多いのは注目さ れる  ▲分析値からみて田能 第2トレの人骨(?) は獣骨(鹿)の可能性大		
	田能遺跡第2トレンチ(人骨?)	同 上	0.70			
	大阪府陶器千塚窯塚	古 墳 時 代 後 期	0.23			
	京都府愛宕山古墳石棺内	古 墳 時 代	0.24			
	京都府堀切横穴石棺内	同 上	0.20			
	芦屋市朝日ヶ丘2号墳	同 上	0.06			
	兵庫和田山町城ノ山古墳	同 上	0.34			
	現生人骨(60才代女性)	昭 和 4 4 年	0.066			
現生人火葬骨(90才男性)	昭 和 4 3 年	0.21	分 析 者 : 安 田 ら			
人 歯	シナ明時代墳墓出土犬歯	シナ明時代 (1368~1644)		0.10	▲歯でも地下埋蔵中の フッ素の蓄積はおこ るようである。	
	京都府坊主山2号墳出土	古 墳 時 代		0.080		
	現生人(30才代, 犬歯)	昭 和 4 4 年		0.02		
	現生人(40才代, 犬歯)	同 上		0.02		
陸 生 ほ 乳 類	瀬戸内海底発見原始象臼歯	10 <sup>5</sup> ~10 <sup>6</sup> 年前		1.7	▲動物の種類による フッ素結合性の差 があるらしい	
	田能遺跡鹿骨 No.1	弥 生 後 期		0.83		
	田能遺跡第8溝延長トレンチ (鹿骨?)	同 上		0.68		

試		料		備 考	
分 類	産 地(出土地)	年 代	フッ素含 量(%)		
陸 生 哺 乳 類	現生鹿骨(兵庫県宍粟郡産)	昭 和 4 5 年	0.012	▲ここでも田能遺跡 の立地の特殊性が 明らかにでている	分 析 者 : 安 田 ら
	兵庫県小苗谷古墳鹿角装刀子の 残存鹿角	古 墳 時 代	0.050		
	田能遺跡(猪または鹿骨)	弥 生 時 代	1.30		
	田能遺跡 猪歯	同 上	0.38		
	現生猪骨(岡山県新見産, 顎骨)	昭 和 4 5 年	0.068		
	現生猪歯(同 上)	同 上	0.056		
	奈良 平城宮跡 馬骨	奈 良 時 代	0.015		
同 上 馬歯	同 上	0.032			
貝 殻	千葉市こて橋貝塚ミルクイ	縄 文 後 期	0.008	▲貝殻も長期の埋蔵 でフッ素の蓄積が おこる。 ▲貝塚で上層と下層 との差はどうか。 ▲分析に供する貝殻 は遺跡での表面採 集のものでは表層 のCaF が剝落し て結果が低く出る らしい。	
	大津市石山貝塚(S・43年表探 )しじみ	縄 文 早 期	0.02		
	和歌山市鳴神貝塚(S・46年 表探)しじみ	縄文中・晩期	0.0038		
	同 上 はまぐり	同 上	0.0029		
	同 上 はいがい	同 上	0.0065		
	和歌山市薬勝寺遺跡(発掘時採 集)はまぐり	弥 生 時 代	0.011		
	同 上 はいがい	同 上	0.011		
	現生しじみ	昭 和 4 4 年	0.006		
	現生あさり	同 上	0.005		
現生はまぐり	同 上	0.002			
その他	現生 蝸牛 殻	同 上	0.002		

## 5. おわりに

以上考古学と分析化学との境界領域で筆者が試みている三つの仕事について紹介した。筆者は、これらの方法が、何らかの形で考古学界の方々のお役に立つものと思っているので御利用下されば幸いである。そして、学界からの要望や助言協力があって我々の研究にも新生面が開けてゆくことを期待している。

なお、今回は“古代青銅製品の分析における数種の分析方法の比較”については触れることができなかった。つぎの機会にゆずりたい。

最後に、無精な私を督励鞭撻して本稿をまとめる機会を与えて下さった長友東村武信氏に厚く御礼申し上げる。

## 引用文献

- 1) 重松恒信：考古学と自然科学第3号，29（1970）
- 2) 安田博幸，鶴崎暁子：古代学研究第49号，9（1967），古代学研究第53号，27（1968）
- 3) 石館守三：“微量定性分析”（南江堂）p 319～344（1966）
- 4) 安田博幸：古代学研究第54号36（1969）
- 5) 安田博幸，鶴崎暁子：武庫川女子大学紀要〔自然科学編〕第14集S・279（1966）
- 6) 安田博幸：武庫川女子大学紀要〔自然科学編〕第16集S・227（1968），同第17集S・353（1969），同第18集S・325（1970）
- 7) エイトケン，浜田達二訳：“物理学と考古学”（みすず書房）p. 100（1965）  
浅野清ら編“世界考古学大系第16巻，（平凡社）p・106（1962），D. Brothwell，E. Higgs（Ed.）：“Science in Archaeology”（Thames and Hudson）p. 24（1963）
- 8) A.D.Horton, P.F.Thomason, F.J.Miller：Anal.Chem., 24, 549（1952）
- 9) 同仁薬化学研究所編：ドータイトニュースレターNo 49，同仁薬化研究所（1966）
- 10) 浜口 博，立本光信：人類学雑誌61，1（1950）

