

考古学への自然科学的方法の応用の現状

— 産地分析を中心にして —

京都大学原子炉実験所 東 村 武 信

1. まえがき

自然科学におけるいろいろな測定法あるいは技術——たとえば、放射能の測定とか、化学分析、植物生態学の知識——などが考古学上の方法としてとり入れられたのはかなり古くからその例が見られる。とりわけ、層位学との結びつきなどは、あまりにも常用されているために、いまさら、指摘されるまでもない一例である。しかし、こういった自然科学のいろいろの分野との結びつきは、十分に掘りおこされているとはとうてい言いたい。それどころか、この20年間ほど、徐々にひろがって行っているに過ぎない。

著しい成果をあげた例は、言うまでもなく、Radio-carbon Dating である。この成功に刺激されて、年代測定は他のいろいろな方法が考案され、研究されつづけている。もちろん、他の方法の中で完成の域に達しているものはまだ見られていないが。

年代測定を別にすれば、他の研究は数もいたって少なくて、著しい成果をあげたと言えるものは皆無に近い。とりわけ目にたつ点は、殆んどが断片的な研究であって、特殊な方法を特殊な目的に利用したのみに終っているものが多いことである。しかし、産地分析の試みは比較的頻繁に行われていて、中には、かなり確定的な結果を得ているものがある。

以下、この例を紹介して、将来性を批判する資料したい。

2. 産 地 分 析

金属器などの場合、その産地が異なれば中の成分に差異があることは当然、予想される。このことを利用して、我が国でも、古鏡の研究が行われて成果をあげたことは有名である。この研究では、鏡を鋳なおしたときに Sn (錫) の含有量が減少する事実を利用して、Sn の化学分析を行って再鋳したか否かを決め、和製の鏡か否かを判定した。

これと同じく、金属の再鋳が行われる時に成分変化がおこる、または人為的に成分を変化さすという事実を利用した研究は、今も行われ、England での金、銀貨幣についてしらべられて¹⁾いる。

しかし、もっと考えを拡張すれば、土器や石器でも、産地によって成分の違うことが予想される。それらは、主成分は産地によって変動することはないであろうが、わずかに入っている元素の量は、産地によって変るであろう。

考古学的遺物を分析する場合は、ふつうのものの化学分析とは違って、いろいろな制限条件が加わってくる。第一に、試料の量は限られていて、そり大量を使うことができない。第二に、できるだけ簡単な操作であることが望ましい。でないと、多數の遺物を分析することが事実上、困難になり、この方法の利用価値が半減する。第三に、できるだけ遺物をそこなわずに分析できることが必要である。この点では非破壊分析が理想的で、破壊せねばならないときにはできるだけ少量の試料ですませる方法であることが望ましい。

元素分析の技術は最近非常に発達し、とりわけ、いわゆる機器分析が進歩してきて、少量の試料を用いてその中の微量元素を、簡単に分析できるようになってきた。そのため、産地決定への応用も実行しやすくなり、この数年、精緻な論文が発表されはじめている。機器分析といつてもいろいろな方法があり、²⁾発光分析、螢光X線分析、放射化分析その他一長一短があって、対象とする遺物の種類によって使いわけすべきであろうが、今の段階では方法はまだ、そこまでは確定していない。

次に二つの例を紹介する。

3) 4) 5)

3. 発光分析による土器の産地決定

1400 B.C. ~ 1250 B.C. の頃のものと思われるエーゲ海地方の採色土器 Minoan and Michenaean pottery は、ギリシャ本土、ペロボネソス半島、地中海の島々（クレタ島など）を始めとして、シリア北部からエジプトにわたって出土する。様式上でもいろいろと分類されるようであるが、これらが、どこで生産されて交易されていったかをよりはっきりと決定することは、古代交通の問題の上で大切なことがらと言える。二つの地点で出土したものが、様式上は一致していても、それが一方から他方へ交易されたものとは決定しがたい。工人が移住して、両処で生産していた可能性が消えないからである。

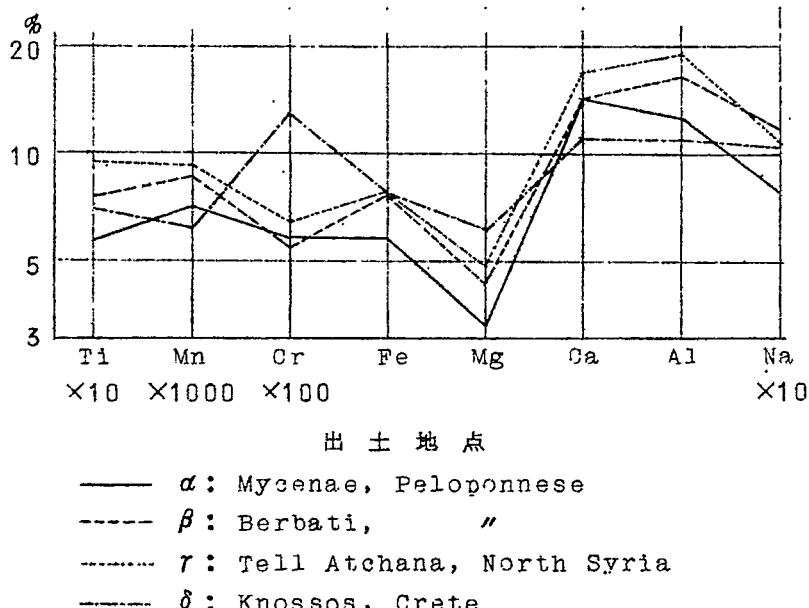
そこで、Oxford の Ashmolean Museum の人々は、これらの土器の元素分析を行い、含有成分によって分類することを試みた。彼等が採用したのは、発光分析の方法であった。

土器のごく小さい破片をとり（豆粒くらい）、その表面から、うわぐすりを注意して剥がして取り除く。下地だけを瑪瑙の乳鉢でつぶし、細かい粉にする。発光分光器の電極（直径6mmくらいの純炭素棒が2本、対向している）の一方に小さい穴を開け、この中へ試料粉をつめてか

ら直流アークをつけ、試料の発光スペクトルの分光写真を撮影する。

土器試料の場合にはこのスペクトルから、Al, Ca など19種の元素が測定できた。このうち、Mg, Ca, Fe, Al, Ti, Cr, Mn, Na の8元素が、土器を分類する上で役に立っている。

おののおのの試料につき、この8成分の含有量を、第1図のようにまとめて描いてみる。ここで、曲線 α と β とは、よく似た形をしている。つまり、同じ材質粘土によって作られたものと考えられる。出土地点は両方とも、ペロボネソス半島内で、10kmほどしか離れていないから、一致するのも当然であろう。曲線 γ は α と β との間にはさまれていって、これも、 α , β と同じものとみなさざるを得ない。 γ 試料は、遙かに遠くの北シリアで出土したものであるが、成分上で区別は全くできない。したがってこの土器は、ペロボネソス半島から1200kmをはるばる運ばれてきたものと考えるのが自然である。ところで、曲線 δ はだいぶに違った形をしていて、 α 等とは別種のものであることが判る。これは、クレタ島出土のものである。クレタ島は、ペロボネソスに比較的近いにかかわらず、独自の生産地をもっていたことが推論される。



第1図 土器の発光分析

分析した試料の 土器種の 数	出 土 地 点	型 式												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
4 0	Mycenae	40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Barbati	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Ayios Stephanos	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Aegira	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1 0	Korakou	8	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1
2 0	Megara, Minoe	16	3+1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1 2	Pirati	x	5	14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 2	Thebas	x	5	14	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x
1 6	Amarinthos	x	75	x	11	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Vilos	x	x	x	13	7	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Marmariani	x	x	x	x	20	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Argyropoulis	x	x	4	x	16	x	x	x	x	x	x	x	x
4 0	Knossos	x	40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1 0	Tylissos	x	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1 0	Ayia Triada	x	9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1 0	Gournia	x	9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1 0	Zakro	x	4	x	x	x	x	5	x	x	x	x	x	x
1 0	Palaiokastro	3	1	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x
4 2	Phylakopi	22	3	x	x	x	x	1	x	5	10	x	x	x
4 1	Ialyssos	23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10	x	x
2 0	Arpera Chiflik	9+1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Enkomi	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Hala Sultan Tekke	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2 0	Tell el Amarna	19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1 0	Tell Atchana	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
503	Tctas	246	104	11	14	27	7	3	5	10	10	11	10	8

第1表 発光分析による土器の分類(4)

このようなことを合計200ヶの土器について行うと、13型式に別れることができた（第1表）。そしてその分布状態からひき出せた結論は、次のようなものである。

第一型式A型は、かなり広い範囲にわたって、しかも多量に出るものである。とりわけ、ペロボネソス半島で出土するものでは、99%までがこの型に属している。おそらく、生産地は半島内に何ヶ所かあったろうが、素材粘土が同成分で、これ以上分別することができないのであろう。ギリシャ本土でも、ペロボネソスに近い地点では試料の大半はA型に属し、テーベになると25%で、残りがB型になる。キプロス島では、分析した試料の約半数がA型であるが、残りは、出土地点固有の型（L型、M型）を示す。こゝことは、キプロスでは土器がペロボネソスから輸入されていたと同時に、ここへペロボネソスの工人が住みついて、土器を製作していたことを示す。はるか遠くに遙れたエジプトで Minoan 土器や Minoan 土器が出土するが、これが何処から入ったものかは長い間、判らなかった。しかし、分析結果は A型であって、ペロボネソスとの交易が盛んであったことを示した。

B型は、前記のテーベ近辺と、クレタ島とで出土する。クレタ島ではA型は皆無に近く、土器に関する限りペロボネソスからは輸入されていない。しかし、クレタ島とギリシャ本土といった風に、ペロボネソス半島をはさんで両側にのみ分布していることは、非常に理解しがたいことであって、両方ともそれぞれの生産地があったが、用いた粘土がたまたま同質のものであったため、分光分析法では類別できなかったと考えざるを得ない。

残りの11型式は、それぞれ、出土点に殆んど固有のものであった。このうち、メロス島出土品のうちの10%を占めるH型は、眼で見ただころは全くA型と区別がつかず、分光分析により始めて、分別できたものである。

以上、分析によって判明した結果をまとめてみると、次のようになる。

ペロボネソス半島のどこかに、この土器の大生産地があつて、半島内、ギリシャ本土はもちろん、エーゲ海の島々、キプロス島、シリア、エジプトまでも船で運ばれて輸出されていた。クレタ島には中規模の生産地があつて、ここからもエーゲ海の小島に渡って行っている。生産地はこのほか、ギリシャ本土、ロード島にも存在したが、いづれも小規模で、輸出はされていない。

発光分析法は、ごくわずかの試料（～30mg）を用いるだけで、多くの種類の元素が分析できる点で、非常に有利である。測定の手間もわずかであつて、上にあげた研究グループは、その後200ヶに及ぶ試料を分析している（未発表）。しかし、定量の確かさには少し問題があつて、あまり精度の良い方法とは言えない。ただ、測定する試料の数を大きくして精度の不足を補うという考え方からすれば、大へん魅力に富んだ研究である。また分光分析の技術も、まだまだ

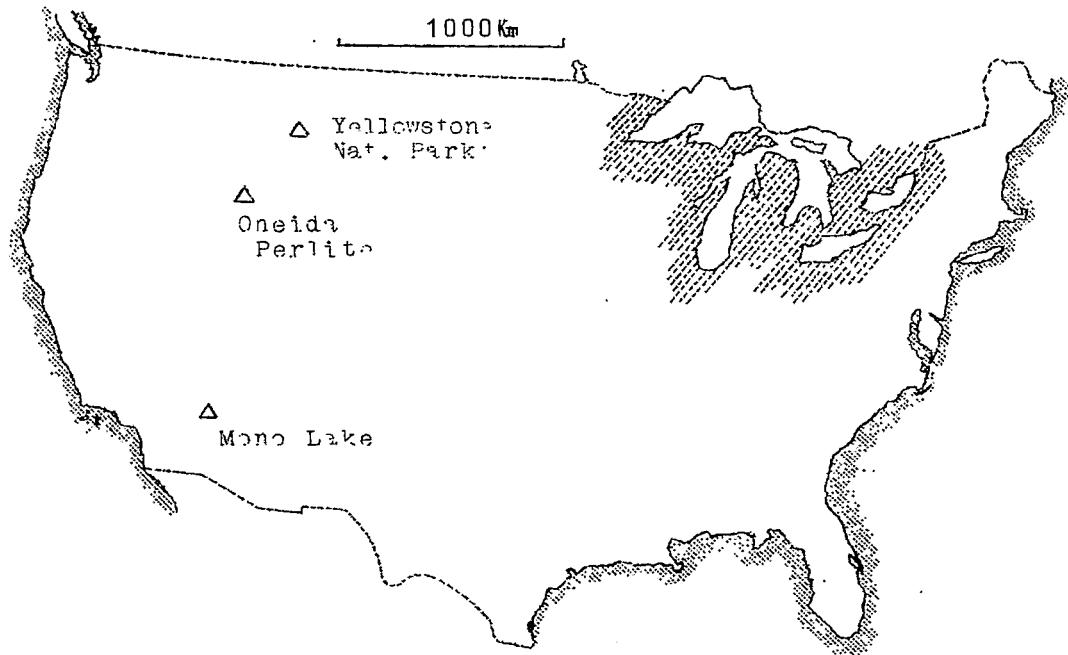
進歩しつつあって、精度のよい器械が市販されるようになる筈のこととも、この方法の価値をいっそう高めている。

4. 黒曜石の放射化分析⁶⁾

何かの物体を原子炉の中へ入れると、成分元素のうちである種のものは、原子炉からの中性子を吸収して放射能を帯びる。この試料物体をとり出して放射線を測ると、どんな元素が含まれていたかを定量的に知ることができる。この放射化分析の特徴は、極めて微量にしか含まれていない成分をも分析できることである。また、非破壊で分析することができ、測定も、最近では比較的簡単にできるようになっている。

ここで紹介するのは、黒曜石尖頭器 (Projectile Point) の放射化分析を行ってその産出地を確定したものであって、鮮やかな成功を見た例の一つである。

北米の Ohio, Indiana, Illinois, Michigan, Wisconsin といった五大湖南縁の地方に 300 B.C. ~ 500 A.D.頃に居住した Hopewell Indians (第2図の地図参照) の遺物として、塚から、黒曜石尖頭器がたくさん手に入る。黒曜石は、米国西部、メキシコ、アラスカで産出するが、尖頭器が、このうちどこから運ばれかは、100 年來の問題であった。そこで、これらの試料の中の Na, Mg を放射化分析する。手続きは次のようである。



第2図 Hopewell Indians の居住区 (斜線) と黒曜石产地

黒曜石試料を、原子炉内で短時間（数秒ないし数分）照射する。取出すと ^{28}Al が大量に生じている。このものは、半減期 2, 3 分で崩壊してなくなるので、少し待って ^{28}Al がなくなってしまった後に、Well 型 NaI シンチレーション計数器で測る。このときのカウントは、 ^{24}Na と ^{56}Mn とが殆んどを占める。この後、2 時間おきに同じ試料の計数をとると、 ^{24}Na の半減期は 1.5 時間、 ^{56}Mn のは 2.6 時間の故に、計数値の減り方（減衰曲線）からそれぞれの元素の量が計算できる。

黒曜石の尖頭器を、多くの産地からとってきて、上の操作で分析してみると、第3図の上側の図のような結果が得られた。明らかに、右と左との2つの群に分れていて、2ヶの産地があることがわかる。次に北米のいろいろの産出地からの黒曜石片をとってさて同様の分析をすると、下側の図のような結果が得られた。両方を対照すると、尖頭器のうち左側の群は、Wyoming 州 Yellowstone National Park, California 州 Mono Lake, Idaho 州 Oneida Perlite のうちのどれかからの産出物であることがわかる。右側の群に一致する産地は、もっと多くのものがあるが、図には省略してある。

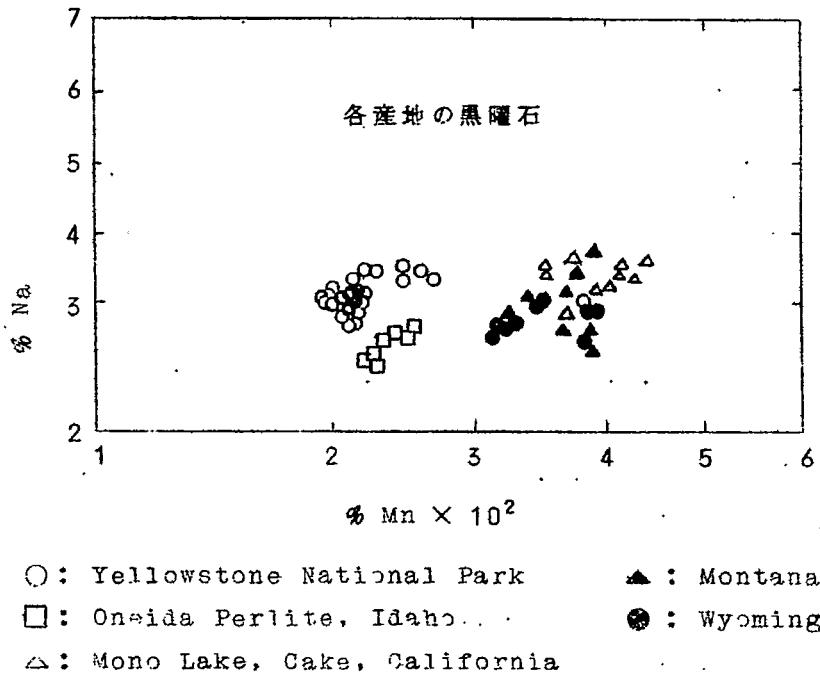
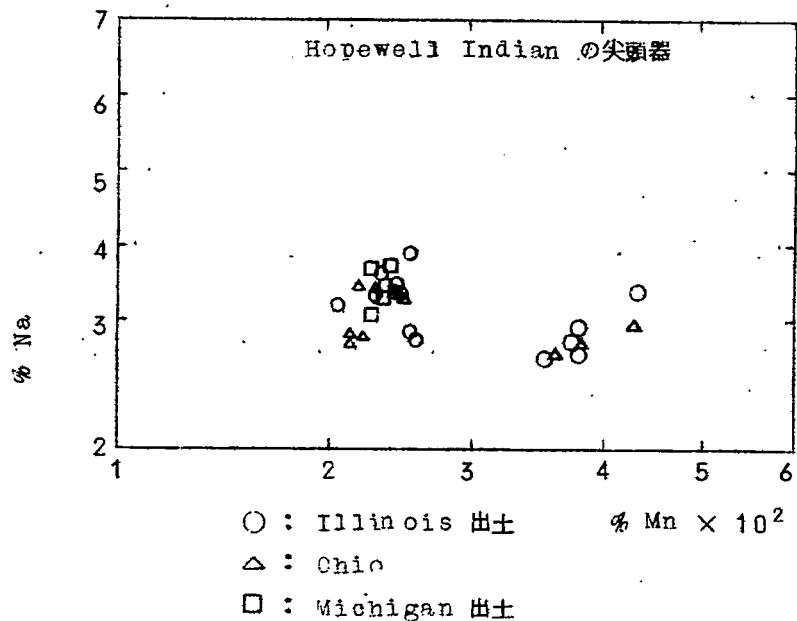
左群に一致するこの3ヶ所のうち、どれが本当の産出地かということは、Na, Mg の分析だけでは判定できない。そこで、もっと他の元素の含有量を測定してみる。黒曜石尖頭器を、原子炉の中へもっと長く、24 時間ほど入れて照射をつづけておくと、Na, Mg 以外の元素までも強く放射化される。これを取出してから測定する。測定には、今度は、半導体検出器を用いる。すると、いろんな種類の元素からのガンマ線が区別して測れ、一挙に、それらの元素の含有量が測定できる。この結果 ^{59}Fe , ^{153}Sm , ^{140}La , ^{46}Sc , ^{86}Rb , などが分析できた。また、上の3産地の黒曜石試料も同様にして分析し、結果を比較すると、尖頭器の黒曜石は Yellowstone National Park のものであることが判明した。

右群についても同様の測定を行なうと、やはり Yellowstone National Park 内で、左群のものとは別の岩流のものであることが判明した。

結局、Hopewell Indian が用いた尖頭器はすべて Yellowstone National Park 産であって、当時そこから 2000 Km を隔てた地点まで運ばれて使用されていたことがわかる。

5. 元素分析による産地分析の限界

前の2つの節のような例、すなわち、天然の鉱物を用いた遺物について元素分析を行って産地を決めようとする方法の基になる考え方は、一つの地点から産出したものは同じ組成（微量元素成分



第3図 尖頭器と黒曜石との Na, Mn 量

について) であると決伏することである。この決伏はどのていど厳密に成立つものであろうか。

第3図のそれぞれの群でも、Na, Mg の含有量は、同じ地点からとってきた試料でもわりありにはらついている。実験によると、同一地点からの試料の間では、Na, Mg ともに、1.35倍以上の変動(偏差)はなかった。これに対して、地点が異なると、Na は2倍、Mg は、最大の10倍に達する差がある。

このように、産地分析が可能か否かは、分析する成分元素について、(産地が異なった試料間での差違) ÷ (同一産地のものの中での差違) の値が大きいか否かによって決まる。この値は、もちろん、試料鉱物の種類や、とりあげる元素の種類によって進ってくる。たとえば、燧石(Flint)では、同一地点から産出したものの間での偏差は黒曜石の場合に比べると遙かに大きくて、異地点間の差違を越える場合がある、Na と Mg だけの分析では産地が決まらない。

しかし、この方法——元素分析による産地分析——はじゅうぶんに見込みのある手段と考えられる。今まで、これに関する報文はあまり多くなく、恐らく、10篇内外と思われるが、方法の可能性は確定したと言つてよい。今後必要なのは、どんな種類の試料についてはどのていど精確なことが判るかを調査すること、言いかえれば、上述の比の値を、いろいろな試料について測定していくことが第一の問題である。そして同時に、どの種の元素に着目すれば、この比の値が大きくなるかをしらべることである。筆者は、数種類の稀土類元素の含有量比というものが、良い指標になるのではないかと考えている。

金属器についての分析は一切、触れなかつたが、報告はむしろ、そちらの方が多いようである。ヨーロッパではとりわけ、金貨などの分析がさかんであり、わが国でも、鉄その他についての仕事がある。

(文 献)

- 1) A.Wyttensbach and H.Hermann : Archaeometry 9 139 (1966)
- 2) S.C.Hawkes, J.M.Merrick and D.M.Metcalf : Archaeometry 9 98 (1966)
- 3) E.E.Richard and K.F.Hartley : Nature 185 194 (1960) ;
E.E.Richard : Archaeometry 3 25 (1960)
- 4) H.W.Catling, A.E.Blin-Stoyle and E.E.Richard :
Archaeometry 4 1 (1961)
- 5) H.W.Catling : Archaeometry 6 1 (1963) ;

6) A.A.Gordus, W.C.Fink, M.E.Hill, J.C.Purdy and
T.R.wilcox : Archaeometry 10 87 (1967)

あとがき

この小文は、第2回目の報告会の最後に紹介した話である。考古学への自然科学の応用は、今後は、年代測定以外の分野でとりわけ発展しうるものと考え、あえて年代測定特集の中へつけ加えてもらった。

