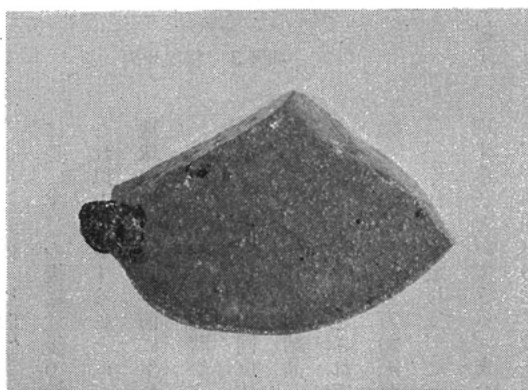


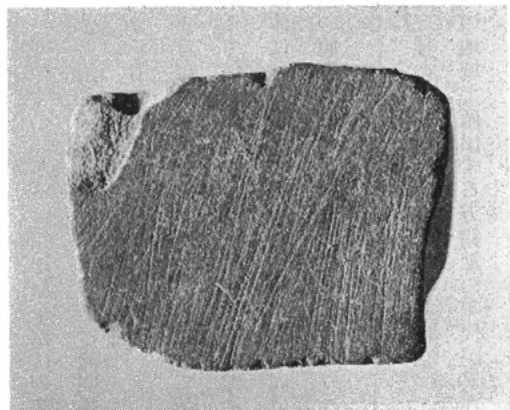
正倉院のガラス玉はどこでつくられたか

一ま え が き

正倉院宝物の中に白瑠璃碗をはじめ紺瑠璃杯など計六点のガラス器があることは有名であるが、その他に数万にのぼるガラス玉類があることはあまり知られていない。これらのガラス器、魚形などのガラス諸具、ガラス玉類は昭和三四年から三六年にわたる特別調査でくわしく調査研究されて報告書にまとめられた⁽¹⁾。その中で玉類は日本製として取り扱われていたが、その証拠としては、(一)造佛所作物帳中の記事から予想されるガラスの組成と実際の玉の分析値とが近いこと、(二)金属鉛の小片が附着したガラスがあること(挿図1)、(三)ガラス塊を研磨したと見られる緑泥片岩の小塊があること(挿図2、3)、などがあげられ



挿図1 黄瑠璃玉原料 鉛附着部分 2倍拡大



挿図2 緑泥片岩(砥石) 2倍拡大

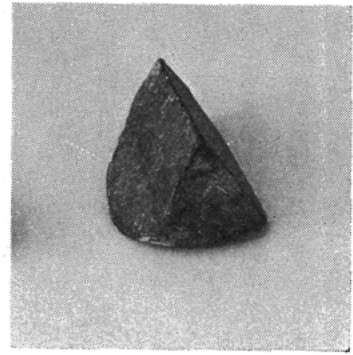
山
崎
一
雄

た。これらは間接的な証拠であるが、その後もっと直接に日本製であることを証明することができた。それはガラスの中に含まれる鉛の同位体比を測定する方法であって、それを次に説明する。

二 鉛の同位体比の測定

ウランに質量数二三五と二三八の同位体があり、前者は核分裂を起すため、これを二三八から分けて濃縮すれば原子爆弾がつくられることを知っている人は多いであろう。同位体というのは原子の中心にある原子核の重さなどがちがうが、中心をとりまく電子の数には差がなく、したがって化学的性質は全く同じ原子の種類を指す。ウランのほか各種の元素の原子に同位体があり、鉛には二〇四、二〇六、二〇七、二〇八という四種の同位体がある。鉛の場合が他が元素とちがうのは、この四種の中三種が放射性元素の崩壊によってできる点である。

ウラン二三五↓・・・↓鉛二〇七
ウラン二三八↓・・・↓鉛二〇六
トリウム二三二↓・・・↓鉛二〇八

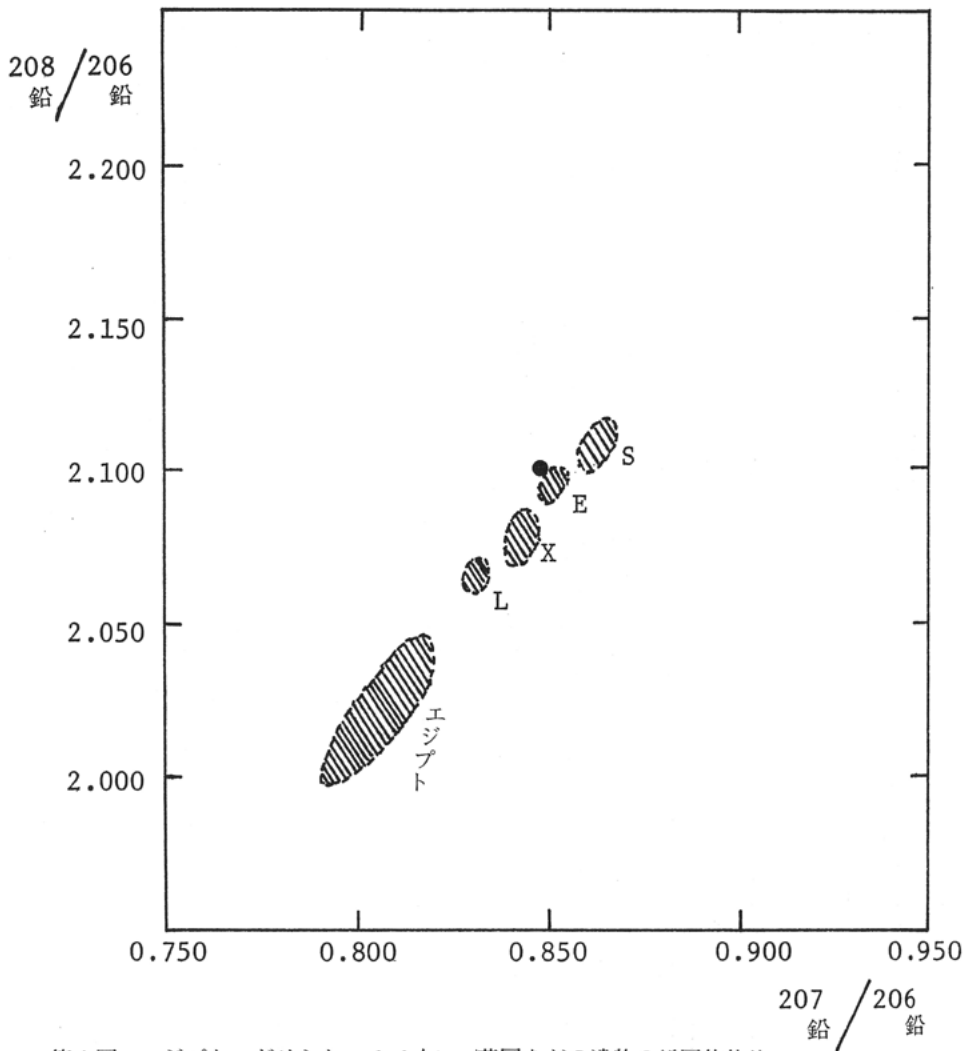


挿図3 緑泥片岩 原寸

これら三種の放射性元素はそれぞれ原子核の崩壊をくり返して、非常に長い年月の後に最後の鉛にたどりつくのである。鉛の原子核は安定でこれ以上崩壊することはない。また鉛二〇四は放射性元素とは無関係で地球が約四五億年前に生れた時から存在している同位体である。⁽²⁾

さて地球が生れた時から右のようにウランとトリウムは崩壊して減少し続け、鉛の三種の同位体は増えているが、長い地質年代の途中で鉛の鉱石である方鉛鉱が結晶して固体になると、その中の鉛の四種の同位体の割合はその時固定されて一定の値を示す。この同位体比は元のウラン、鉛などの存在比と方鉛鉱が結晶した年代によってある一定の値を示すから、それを測定して、たとえば二種の方鉛鉱を生成年代の差によって区別することができる。また二つの地域で産出する方鉛鉱の年代が異なれば、その同位体比には差があるから、逆にそれによって鉛鉱石の産地の異同を知ることができる。この後の考え方を鉛を含む考古遺物に應用して遺物の製作地を区別しようというのが米国のコーニングガラス博物館のブリル (R. H. Brill) の考えであった。⁽³⁾

ブリルは化学者であるが、一九六五年、ボストン美術館で開かれた「美術品研究のための科学の應用」という討論会でこのことを発表した。⁽³⁾彼は古代ギリシアの鉛鉱山ラウリオンをはじめ英国などの鉱山跡を調べて鉛鉱石を採取するとともに、ギリシア、英国などでつくられた鉛を含んだ考古遺物を採し、両方の鉛の同位体比を測定して比較した。測定は質量分析計という精密な装置が必要なので、ワシントンにある米国標準局の



第1図 エジプト、ギリシヤ、スペイン、英国などの遺物の鉛同位体比

横軸には鉛の同位体206と207の存在比、縦軸には206と208の存在比を目盛るのがブリルが提案した方式である。Sはスペインなど、Eは英国、Xはイタリアなどの遺物と鉛鉱石、Lはギリシヤの遺物とラウリオン鉱山の鉛の値を示す。各地の鉛の値は重なることがある。“エジプト”という範囲は古代エジプトのガラス、釉および鉱石などを示す。黒い丸は正倉院ガラス玉を含む奈良グループを示す。鉛鉱山の地質年代が近いと点が接近する。

実験室が使用されたのである。ブリルの発表した結果は第一図のように、ギリシア、英国、スペインなどの鉛がそれぞれ別の場所に集まり、同位体比の測定によってこれらを区別できることが判った。したがって、これらの国の鉛を使った青銅器、ガラス、釉薬などがあればそれらを区別し、産地の推定が可能になったのである。

この討論会に参加出席していた筆者はこの方法を日本の青銅器に応用すれば、たとえば三角縁神獣鏡が日本製か否か判別することが可能であろうと考えた。帰国後直ちに質量分析計を持っている実験室を探したが、当時はこの精密な実験のできる場所が無く、空しく数年が経過した。その間にかねてから友人であったブリルから中国、日本のガラスの鉛同位体比を

測定する協同研究の申出があり、それを受諾して研究が始まったのである。実際は米国でも研究費が得られるまでに数年かかり、測定結果が出はじめたのは一九七〇年代の半ばであった。⁽⁴⁾

鉛の同位体比を測定するには、青銅やガラスの遺物を化学薬品で分解し、鉛を他の金属から分け、精製して質量分析計の中に入れ、真空の中で実験するのである。実際に必要な分析試料の重量は数ミリグラムで十分である。ただし重要なのは使う薬品、蒸溜水をはじめ、実験室の空気などから他の鉛が入って汚染されないようにすることである。自動車のガソリンの中には鉛が含まれており、これが排気に入って空気を汚している。したがって水や薬品を精製して鉛を除くとともに、空気も濾過して清浄にした実験室が必要である。

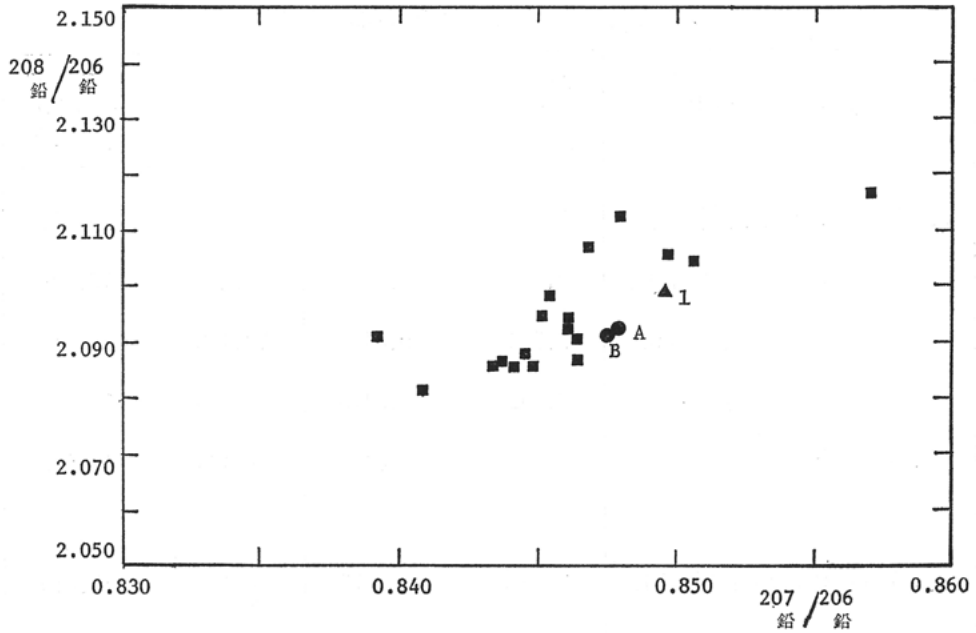
先に説明したように同位体は原子核の性質がちがうだけで、外側の電子の数は同じであるから、化学的性質には全く差がない。したがって青銅器が錆びても、錆の中の鉛の同位体比は金属の中の鉛のと変らない。鉛を含んだガラスの中の鉛同位体比は風化物の中のものと同じである。それ故、錆か風化物の数ミリグラムという微量があれば測定できるといふ便利な点がある。現在のところ鉛の同位体比だけが産地推定の研究に使われている。

三 正倉院ガラス玉の鉛同位体比

昭和三四年から三六年にわたるガラスの特別調査の時、正倉院のいわゆる「塵芥」、すなわち古裂の断片などが入っている櫃を整理する際の残渣中に見出されたガラス玉の破片十一種の化学分析が筆者によって行われた。⁽¹⁾ その結果は『正倉院のガラス』中に記載されているが、この時化学分析に供したガラス玉の粉末の残りの微量を米国ワシントン標準局の質量分析室に送って、鉛同位体比を測定した。また同時に中国と日本の方鉛鉱の同位体比も測定したが、両国の鉛の同位体比は全く異なっていて、区別をすることができた。その上、正倉院の玉の同位体比は日本の鉛と一致し、日本製であることが明らかになった。⁽⁴⁾ 次にくわしくその結果を説明する。

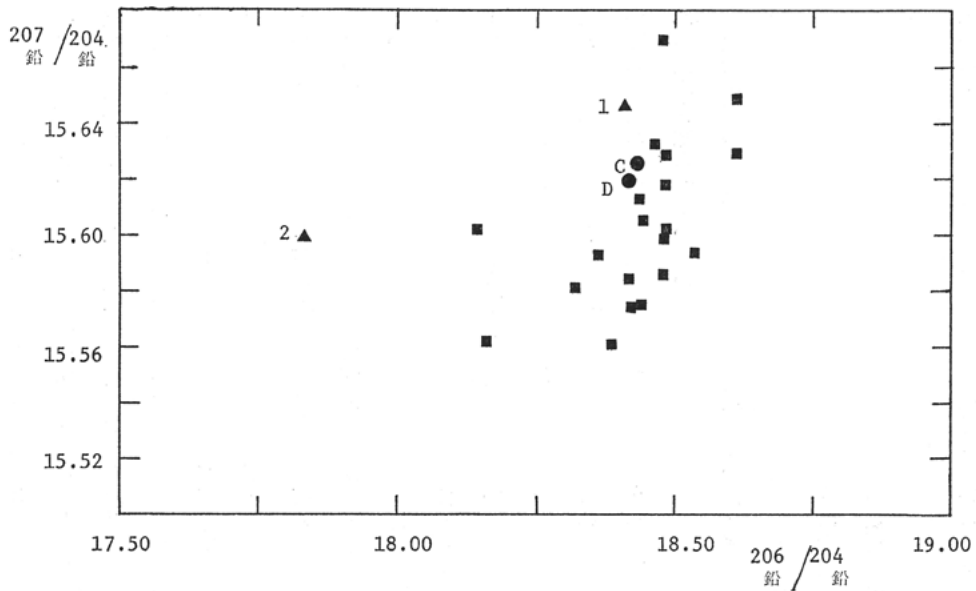
第一図で説明したように鉛の同位体は四種あるが、それらの同位体比を表現するのにブリルは二〇六対二〇七の比と二〇六対二〇八の比とを直角座標の両軸に目盛って図を描いている。この方式によると日本産の方鉛鉱の鉛の同位体は第二図の黒い四角の位置になる。米国で測定した日本の鉛鉱石は数が少なかったため、第二図には日本の東京文化財研究所での測定値を示した。⁽⁵⁾ 中国の鉛鉱石は二、三種しか入手できなかったが、華北の鉛の値は大きくて第二図の右外側に出る。華南の水口山鉱山の鉛は第二図の黒い三角で、この図では日本の鉛に近いが、別の第三図では区別することができる。

さて正倉院のガラス玉などの鉛の測定値は第一表の通りであって、これを第二図に書き入れるとほとんど同じ点に重なってしまうが、強い



第2図 正倉院ガラス玉と日本の方鉛鉱の鉛同位体比

両軸の目盛は第1図と同じである。黒い四角■は日本産の鉛鉱石の値。黒い三角▲1は中国水口山鉱山の鉛鉱石の値。黒丸●A, Bは正倉院ガラス玉と鉛丹の値で、日本の鉛鉱石にかこまれ、日本の鉛が用いられたことを示している(本文参照)。



第3図 正倉院ガラス玉と日本、中国の方鉛鉱の鉛同位体比

横軸は同位体204と206、縦軸は204と207の存在比を目盛ってある。この方式によると第2図の方式では接近していた点を区別することができる。第2図と同様に■は日本産の鉛、▲は中国産の鉛(1は水口山、2は安東青城子鉱山)である。●CとDは正倉院ガラス玉の値である(本文参照)。中国産の鉛は日本産の鉛と場所が離れているが、正倉院のガラス玉は日本産の鉛の範囲に入っている。

第1表 正倉院ガラス玉などの鉛同位体比

ガラス玉の種類	$\frac{208}{\text{鉛}} / \frac{206}{\text{鉛}}$	$\frac{207}{\text{鉛}} / \frac{206}{\text{鉛}}$	$\frac{206}{\text{鉛}} / \frac{204}{\text{鉛}}$	$\frac{207}{\text{鉛}} / \frac{204}{\text{鉛}}$
1. 正倉院ガラス玉 2 (褐色)	2.0915	0.8476	18.430	15.621
2. " 3 (赤褐色)	2.0923	0.8478	18.433	15.628
3. " 4 (濃緑色)	2.0920	0.8478	18.423	15.619
4. " 7' (白色)	2.0921	0.8475	18.440	15.628
5. 正倉院上丹	2.0922	0.8478	18.423	15.619
6. 薬師寺本尊台座中の緑色玉	2.0915	0.8473	18.426	15.619

注. ガラス玉の番号は『正倉院のガラス』のp.55 (第三表) の番号と同じである。
鉛の含有量 (PbOとして) は、2 (72.6%), 3 (73.6%), 4 (71.9%), 7' (同種の7は66.0%),
上丹はPb₃O₄として26.2%、薬師寺の玉はPbOとして70%である。ガラス玉7' は7と同種で
あるが、別の玉の破片である。

分けると図の黒丸AとBとなる。ガラス玉3、4、7'と上丹は丸Aの中に入り、玉2は僅かながら値が異なり丸Bで表わされる。次に鉛の同位体比二〇四対二〇六と二〇四対二〇七とを両軸に目盛ると第三図のようになる。日本産の鉛はやはり黒い四角で表わされている。中国の鉛の中、水口山鉱山は三角1で、東北の遼寧省安東青城子鉱山の鉛の値は三角2で表わされる。正倉院の玉は3と7'がほとんど一致し、玉2、4と上丹はこれらと僅かながら異なる。図上では前者は丸Cで、後者の3個は丸Dで表わされる。このように両図ともガラス玉と上丹の値は一致していると言ってよく、同じ鉱山の鉱石、しかも日本の鉛鉱石を使ったものと見られる。正倉院の玉の鉛の同位体比は日本の鉱山の鉛の値でかこまれており、日本の鉛と判断してまちがいない。残念ながら正倉院の鉛とぴったり重なる鉱石を産出する鉱山は今のところ発見されていない。これは鉱石の方は現在採掘されている鉱山のものであり、正倉院の玉がつくられた八世紀には他にも小さな鉱山が存在していたかもしれず、それらは現在知られていないためであろう。

なお第二図で日本の鉱山の値と接近していた華南の水口山の値は、第三図ではやや離れており、馬淵らの意見⁵⁾ではこの差は日本と中国との鉛の差を示しているとのことである。以上のように米国での測定は玉2、3、4、7'だけであったが、これらが日本の鉛鉱石を用いたことを明らかにすることができた。その後筆者は室蘭工業大学の室住正世教授の協力を得て、『正倉院のガラス』に記載されている化学分析が行われたガ

ラス玉全部、番号1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11について鉛同位体比の測定を行い、それら全部が近接した数値を示し、同一の日本の鉛鉱石を用いたと見てよいことを確めた。⁽⁶⁾特に玉11、青色ソーダガラスの玉に含まれている微量の鉛が、他の鉛ガラスの玉と同じ同位体比を示すことはこのソーダガラスの玉も日本製であり、奈良時代にソーダガラスもつくられていたことを明らかにした重要な結果である。また正倉院の玉のほか薬師寺本尊台座の中から発見された緑色の鉛ガラスの玉の同位体比もほとんど正倉院の玉と一致した値を示す。⁽⁴⁾これらのグループをブリル、筆者らは奈良グループと仮によんでいるが、将来研究の進展によって他にもこのグループの例が増えるであろう。

右に述べたように奈良時代には日本の鉛鉱石でガラス玉がつくられたことが明らかになったが、奈良時代より以前、またそれ以後ではどうであろうか、弥生時代の九州の遺跡、飯塚市立岩、春日市須玖岡本、唐津市宇木汲田などのかめ棺から出土した管玉は中国戦国時代の璧と同一の鉛同位体比を示す。⁽⁴⁾さらにこれらは鉛のほかにも多量のバリウムという特別の元素を含み、化学組成の点でも管玉と璧とは類似している。⁽⁴⁾また同じくバリウムと鉛とを含むガラス勾玉が春日市で出土しているから、中国から素材が輸入され、日本で管玉、勾玉などに加工されたと見ることが出来る。すなわち戦国時代の中国と弥生時代の日本との間のガラスの交流が証明されたことになる。

古墳時代の玉については鉛同位体比の測定が少数であるが、九州宮地

嶽古墳出土の緑色のガラス玉、板の破片など、名古屋高蔵古墳出土の緑色ガラス玉などは日本の鉛鉱石ではない。⁽⁴⁾今までのところ正倉院の玉以外では薬師寺本尊台座中の玉と法隆寺金堂土壇出土の玉の一部が日本の鉛とみられる。⁽⁶⁾

正倉院以後のガラス玉の研究例はさらに少なく明らかでないが、江戸時代の長崎の傘鉾のガラスの装飾は日本の鉛である。⁽⁶⁾日本の鉛の使用例は今後の研究課題の一つであろう。

本報告に記載した測定結果の中、室蘭工大における研究は文部省科学研究費、特定研究「古文化財」によるものであり測定を担当された室住正世教授をはじめ同研究室員に対して謝意を表する。

註と参考文献

- (1) 正倉院事務所編集『正倉院のガラス』、日本経済新聞社、昭和四〇(執筆者、原田淑人、岡田譲、山崎一雄、各務鏡三)。
- (2) 鉛同位体比については、たとえば馬淵久夫、富永健編、考古学のための化学十章、東大出版会(昭五六)を参照。
- (3) Robert H. Brill and J. M. Wampler, "Application of Science in Examination of Art, Proceedings of the Seminar, Sept. 7-16, 1965", *Museum of Fine Arts, Boston*, p. 155-166, 1967.
- (4) R. H. Brill, K. Yamasaki, I. L. Barnes, K. J. R. Rosman, M. Diaz, *Arts Orientals*, 11, 87-109 (1979). 薬師寺の玉は第二図のB、第三図のDと重なる。
- (5) 馬淵久夫、平尾良光、ミュージアム、三七〇号、四(一九八二)。日本の鉛の同位体比は室蘭工大で一九七八年に測定したが当時の測定値の精度がやや劣っていたため、現在再測定中である。そのためここでは米国での測定値と

同程度の精度で測定された東京国立文化財研究所の馬淵らの数値を使用して第二、第三図を描いた。個々の数値は省略して示さない。

(6) 山崎一雄、室住正世、中村精次、湯浅光秋、渡会素彦、日本化学会誌、一九八〇年、八二二頁。この報文に記載されているガラスの同位体比の数値の精度は(4)の文献のものよりやや劣るため第二、第三図には加えられていない。

(名古屋大学名誉教授)