

図2 X線回折図

E 考察

a 遺構的年代観

放射性炭素年代測定の結果、SK2から採取された各試料の暦年校正結果（測定誤差を 2σ として計算させた結果）は、いずれも11世紀中頃～13世紀前半頃を示す。一方、土5については、測定に十分な炭素の回収が不可能であったことから、年代観について言及することはできない。

b 古植生

花粉化石及び植物珪酸体の保存状態はいずれも不良であり、全体的に検出数が少なかった。細胞内に沈着する珪酸に由来する植物珪酸体は、土壌中での分解過程に関しては不明点が多いが、土壌化の過程の中で分解すること（近藤1988など）や、乾湿を繰り返すような場所では分解されやすい（江口1994, 1996）こと等が指摘されている。花粉化石についても、好気的な環境化では風化・消失すると考えられている（中村1967など）。本分析で対象とした試料は、旧表土或はこれらを母材とする盛土であることから、好気的環境化にあったことが推測され、上記した要因等により分解・消失した可能性がある。

ところで、土壌中から抽出した微化石の各分類群の検出率を求める場合、出現率の測定誤差は二項分布に従うと考えられる。このことから、検出数が100個体を下回ると、その測定誤差が $\pm 10\%$ の範囲に収まらなくなり（信頼度 2σ として計算）、結果の信頼度が低くなる。なお、花粉化石は、種類数が少なく、シダ類孢子や針葉樹花粉が多く認められたが、シダ類孢子や針葉樹花粉は、広葉樹花粉に比べて風化に対する耐性が強いとされる（徳永・山内1971, 三宅・中越1998など）ことから、これは風化に対する耐性の差に起因すると考えられる。また、植物珪酸体も種類により風化による耐性に差異がある（Takachi et al. 2001）とされている。したがって、保存状態が不良の試料では、計測数を増やし固化した場合、風化に耐性のある種類が高率となる結果となり、周辺植生を反映する情報は得られない。本報告では、以上の点及び分析結果を考慮して、各分類の割合を図示することを差し控えている。

ところで、これまで射水平野では低地を中心とした古植生の推定を目的とした分析調査が実施されてきたが、近年では丘陵縁辺部に関する情報も蓄積されつつある。低地縁辺部に立地する福岡町（現高岡市）の上野A遺跡の縄文時代末頃の泥炭層を中心とした分析調査では、オニグルミ、イヌシダ、ブナ属、コナラ属、ニレ属-ケヤキ属、トチノキ属、カエデ属、エゴノキ属等の花粉化石や種実遺体が検出されている（パリオ・サーヴェイ株式会社2003）。また、本遺跡近隣の古墳時代-古代の泥炭層を分析調査では、当該期の遺跡周辺に生育していたと考えられる種類として、スギ、ヤナギ属、オニグルミ、サワグルミ、シデ類（イヌシダなど）、コナラ属アカガシ亜属、ブナ属、ニレ属-ケヤキ属、ヤマグワ、カジノキ属、サクラ属、キハダ、マタタビ属、イイギリ、トチノキ、ミツバウツギ、ツツジ科、ムラサキシキブ属、ニワトコ、ガマズミ属が挙げられている（パリオ・サーヴェイ株式会社、未公表試料）。これらのうちの大部分は中-低木の落葉樹であることから、遺跡周辺の低地と丘陵との境界では、このような種類が林分を構成していたと推測される。植物珪酸体分析ではタケ亜科が比較的多く検出されたが、タケ亜科は、現在でも二上山地に多く分布する。タケ亜科は、林床に生育したり、開けた場所で群落を形成する種類であり、植物珪酸体の生産量が多いことや風化に対する耐性が強いことから、土壤中に残りやすいとされている。したがって、遺跡周辺にタケ亜科が高い密度で生育していたと言及することはできないが、丘陵地の開けた場所や林床等に普通に生育したと考えられる。

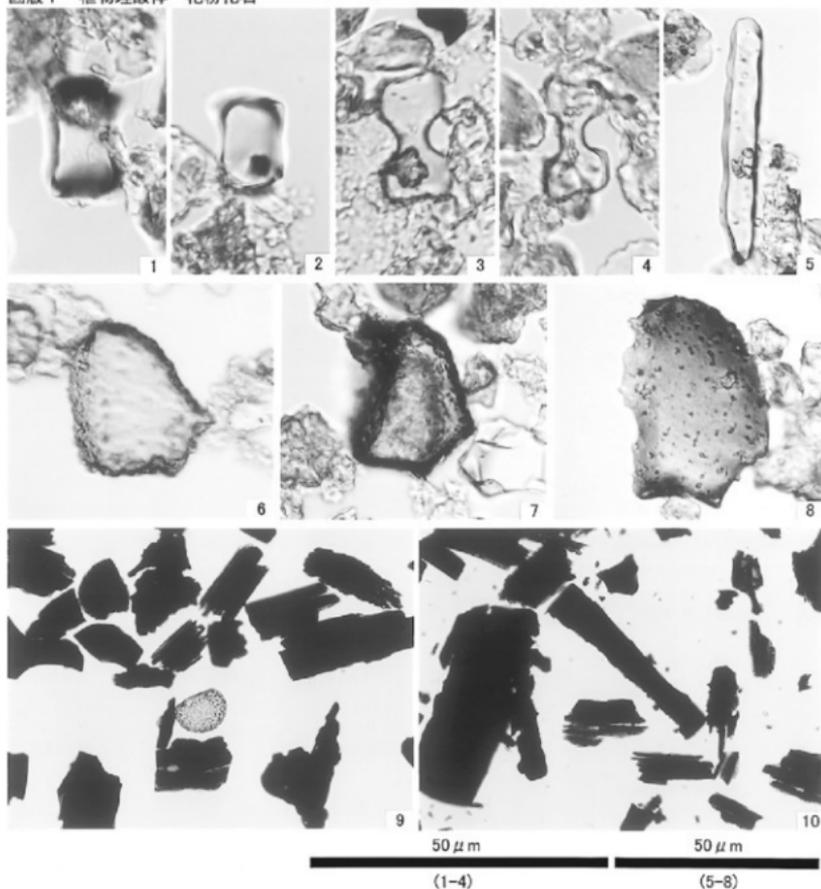
c 赤色土の由来

赤色土を対象としたX線回折分析結果では、赤色顔料としては水銀朱とベンガラ（赤鉄鉱）が存在する可能性がある。ただし、蛍光X線分析結果における水銀の存在量や、X線回折分析結果における赤鉄鉱の回折強度を見る限り、両者ともに微量含まれる程度と想定される。したがって、今後は赤色土中に含有される赤色顔料を特定するためには、対照試料を伴った水銀濃度の調査、あるいは顔料粒子の直接的な計測により顔料同定を行うことが望まれる。

引用文献

- 江口誠一, 1994, 沿岸域における植物珪酸体の分布 千葉県小櫃川河口域を例にして, 植生誌研究, 2, 19-27.
 江口誠一, 1996, 沿岸域における植物珪酸体の風化と堆積物のpH値, ベドロジスト, 40, 81-84.
 近藤純三, 1988, 植物珪酸体 (Opal Phytolith) からみた土壌と年代, ベドロジスト, 32, 189-202.
 近藤純三, 2004, 植物ケイ酸体研究ベドロジスト, 48, 46-64.
 三宅 尚・中庭信和, 1998, 森林土壌に堆積した花粉・胞子の保存状態, 植生史研究, 6 (1), 15-30.
 中村 純, 1967, 花粉分析, 古今書院, 232p.
 パリオ・サーヴェイ株式会社, 2003, 上野A遺跡の自然科学分析, 富山県福岡町 上野A遺跡発掘調査報告Ⅱ, 福岡町教育委員会, 31-62
 Takachi Celia Yoshimi・Kondo Renzo・Tsutsuki Kiyoshi, 2001, Opal Phytolith Assemblage and Its Relation with Plant Biomass, Quaternary Research, 40, 337-344.
 徳永重元・山内輝子, 1971, 花粉・胞子, 化石の研究法, 共立出版株式会社, 50-73.

図版1 植物珪酸体・花粉化石



1. クマザサ属短細胞珪酸体 (C1 9層 盛土: 土7)
2. クマザサ属短細胞珪酸体 (C2 32層 盛土: 土11)
3. ススキ属短細胞珪酸体 (C1 9層 盛土: 土7)
4. ススキ属短細胞珪酸体 (C1 9層 盛土: 土7)
5. イチゴツナギ亜科単細胞珪酸体 (C4 13層 埋葬施設付近 盛土: 土12)
6. クマザサ属機動細胞珪酸体 (C1 8層 盛土: 土6)
7. クマザサ属機動細胞珪酸体 (C2 32層 盛土: 土11)
8. クマザサ属機動細胞珪酸体 (C4 28層 旧表土: 土13)
9. 顕微鏡下状況写真 (C1 9層 盛土: 土7)
10. 顕微鏡下状況写真 (C2 32層 盛土: 土11)

(2) ガラス玉の成分分析

株式会社パレオ・ラボ 竹原弘展

A はじめに

板屋谷内B・C古墳群より出土したガラス製品について、蛍光X線分析による元素分析を行い、材質の検討を行った。

B 遺物と分析方法

分析対象遺物は、板屋谷内B・C古墳群のC古墳群のC1号墳より出土したガラス玉1点と、C6号墳より出土したガラス玉16点である(表1、図版1)。

分析装置は㈱堀場製作所製XGT-5000 Type IIを使用した。装置の仕様は、X線管が最大50kV・1mAのRhターゲット、X線ビーム径が100 μ mまたは10 μ m、検出器

は高純度Si検出器(Xerophy)で、試料室の大きさは350×400×40mmである。検出可能元素はNa～Uであるが、Na、Mgといった軽元素は蛍光X線分析装置の性質上検出感度が悪いので、試料中に少量含む程度ではピークを検出し難く、検出できてもその定量値はかなり誤差が大きい。本分析での測定条件は、50kV、0.08～0.46mA、ビーム径100 μ m、測定時間1000～2000s、パルス処理時間P4に設定した。定量分析は、標準試料を用いないファンダメンタル・パラメーター法による半定量分析を装置付属ソフトで行った。そのため、定量値は誤差を大きめに見積もっておく必要がある。

分析は非破壊で行った。なお、ガラス製品の材質分析においては新たに露出させた完全な新鮮面が無い限り、一見透明で風化がないように見える箇所でも、実際分析してみると風化は進んでおり、化学組成には変化があるため(肥塚1997)、解釈に注意しなければならない。

表1 分析対象遺物一覧

試料No	器種	出土地区	遺構	出土地点	遺物番号
1	小玉	C6	SK4	A2 3層	203
2	小玉	C6	SK4	A3 4層	204
3	小玉	C6	SK4	A3	205
4	小玉	C6		12T-2	206
5	小玉	C6		12T	207
6	小玉	C6		12T	208
7	小玉	C6		12T	209
8	小玉	C6		12T(埋砂施設付近)	210
9	小玉	C6		X46Y33 12T	211
10	小玉	C6	SK4	A2 1層	212
11	小玉	C6	SK4	A2 3層	213
12	管玉	C6	SK4	A2 3層	202
13	小玉	C1	SK5		16
14	小玉	C6		X46Y32 12T	214
15	小玉	C6		X46Y32 12T	215
16	小玉	C6		X46Y33 12T	216
17	小玉	C6		12T	217

表2 半定量分析結果一覧

試料No・色	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Ni	Zn	Br	Rb	Sr	Zr	Mo	Sb	Sn	Ba	Pb	Bi	
1 青緑色	-	*	26	85.8	0.2	0.4	0.4	1.6	0.2	2.31	2.33	0.16	0.01	0.03	*	*	0.01	0.01	*	*	-	0.02	0.13	-	1	
2 青緑色	-	-	21	87.7	0.2	0.3	3.4	1.6	0.2	1.95	2.23	0.09	0.01	0.02	*	*	0.01	0.01	*	*	-	*	0.12	-	2	
3 青緑色	-	*	18	88.3	0.2	0.3	4.8	1.5	0.1	1.29	1.51	0.07	0.01	0.02	*	*	0.01	0.01	*	*	-	*	0.10	-	3	
4 青緑色	-	*	14	92.4	0.1	0.4	2.3	1.0	0.1	1.23	0.90	0.06	0.01	0.02	*	*	0.02	0.01	*	*	-	*	0.07	-	4	
5 青緑色	-	-	18	87.6	0.2	0.2	5.3	1.2	0.1	1.90	1.42	0.07	0.01	0.02	*	*	0.01	0.01	*	*	-	*	0.09	-	5	
6 青緑色	-	-	10	88.7	0.2	0.2	6.0	1.1	0.1	1.29	1.13	0.11	0.01	0.02	*	*	0.01	0.01	*	*	-	*	0.07	-	6	
7 青緑色	-	-	22	86.6	0.2	0.4	5.3	1.5	0.2	1.91	1.53	0.05	*	0.02	*	*	0.02	0.01	*	*	-	*	0.02	-	7	
8 青緑色	-	*	09	85.9	0.1	0.3	8.0	0.9	0.2	2.03	1.44	0.09	0.01	0.03	*	*	0.01	0.01	*	*	-	0.02	0.11	-	8	
9 青緑色	-	*	91.2	*	0.4	1.5	1.6	0.3	2.44	2.28	0.11	*	0.03	*	-	0.02	*	*	*	*	-	-	0.15	-	9	
10 青緑色	-	-	11	89.4	*	-	4.5	0.8	0.3	0.63	0.82	-	-	2.04	-	-	0.08	-	0.03	-	0.09	0.03	-	0.78	10	
11 青緑色	-	*	33	87.8	-	-	3.9	0.7	0.3	0.63	0.91	-	-	2.08	-	-	0.08	-	0.03	-	0.13	*	-	0.77	11	
12 青緑色	-	-	36	82.1	-	-	9.7	0.4	0.3	0.62	0.81	-	*	2.21	-	-	0.06	*	0.03	-	0.12	0.03	-	0.56	12	
13 青緑色	-	*	38	81.8	*	-	9.0	0.7	0.5	0.63	0.81	-	-	2.49	-	-	0.07	*	0.03	-	0.13	0.03	-	0.63	13	
14 青緑色	-	-	07	92.5	0.1	0.3	2.4	1.0	0.1	1.70	1.04	0.06	0.01	0.02	-	-	0.01	0.01	*	*	-	*	*	-	14	
15 青緑色	-	*	15	84.4	0.1	0.3	9.3	0.8	0.1	1.78	1.40	0.05	*	0.02	*	*	0.01	0.01	0.01	*	-	*	*	0.17	-	15
16 青緑色	-	*	18	84.3	0.2	0.5	6.3	1.8	0.2	2.18	2.47	0.10	0.01	0.03	*	*	0.02	0.01	*	*	-	*	0.02	0.12	-	16
17 青緑色	-	*	12	85.9	0.2	0.4	5.8	1.2	0.2	2.56	2.25	0.11	0.01	0.03	*	*	0.01	0.01	*	*	-	*	0.02	0.16	-	17

- : 検出できず * : 検出したが定量できず 数字は重量%

C 分析結果

各遺物の検出元素と半定量分析結果一覧を表2に示す。これらは全てアルカリ珪酸塩ガラスに分類することができる。検出できた元素はMgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO, TiO₂, MnO₂, Fe₂O₃, CoO, NiO, CuO, ZnO, Br, Rb₂O, SrO, ZrO₂, MoO₃, SnO₂, Sb₂O₃, BaO, PbOの計23元素であった。

D 考察

まず分析結果の解釈における重要な注意点として、上述の通り、本分析は完全非破壊で測定しているという点がある。肥塚隆保は、ガラスの風化によって起こる成分の変動について調査し、出土ガラスの表層部分は本来の組成を示さない事を明らかにしている(肥塚1997)。参考として、その際に示されたカリガラス、ソーダ石灰ガラスの風化による成分の変動を表3～5に示す。

今回の分析結果を見ると、いずれもPbOがほとんど検出されない事から、鉛珪酸塩ガラスの類ではなく、アルカリ珪酸塩ガラスであるのは間違いない。このことは、C1号墳(古墳時代前期後半)、C6号墳(古墳時代前期末～中期)の時期を考えても妥当であるといえる。さらに、その内K₂Oが多く検出された遺物については、表面の風化の影響を考慮してもカリガラス(K₂O-SiO₂系)と見て問題ないと思われる。

問題となるのは、その他K₂Oが多くは検出されなかった遺物で、まず考えられるのは、カリガラスが風化によってK₂Oが少なく検出されているケースである。表3の資料-Bのように風化が進むとカリガラスの表面や破断面ではK₂Oが著しく減少する傾向が見られる事が示されている。ここで、別のケース、すなわちソーダ石灰ガラス(Na₂O-CaO-SiO₂系、或いはNa₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂系)である可能性も考慮してみる必要があろう。表4・5を見ると、ソーダ石灰ガラスは風化が進むとNa₂Oが著しく減少する傾向が見られ、さらに、K₂Oはやや増加する傾向が見られる。今回の分析では検出感度の悪いNa₂Oはほとんど検出できておらず、少量であるにしてもどれ位含まれているか不明であったが、ソーダ石灰ガラスの風化した表面から4%前後程度のK₂Oが検出される可能性は十分に考えられる。しかしながら、ソーダ石灰ガラスの風化面ではCaOも増加傾向にあるにもかかわらず、今回の分析結果ではCaOが2%未満とそれほど多く検出されていない。この事から表4のようなNa₂O-CaO-SiO₂系のソーダ石灰ガラスではない可能性が高いといえる。また、表5のNa₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂系のソーダ石灰ガラスの場合は、風化面のCaOは少ない方(A-25)で2.3%程度だが、このタイプのガラスの場合、Al₂O₃の含有量がかかなり多い事を合わせて考えると、Na₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂系のソーダ石灰ガラスである可能性も低い。

以上より、今回の分析対象の遺物は、おそらく全てK₂O-SiO₂系のカリガラスであると推定される。ただし、その根拠となる表3～5に示した風化による成分の変動傾向は、各種2点ずつ紹介されているに過ぎないため、多少流動的である事も十分予想され、完全非破壊での測定である以上、今回の分析対象遺物がカリガラス以外である可能性も一応視野に入れておく必要はあろう。これ以上、主成分について詳細な材質分析をするには、完全非破壊では難しい。なお、非破壊でのカリガラスとソーダ石灰ガラスの単純な判別方法としては、AR法(Auto-Radiography; 肥塚他2002, 肥塚・脇谷2003)もある。

ガラスの色という観点からは、今回の分析遺物は大きく2種類に分けることが出来る。一つは青紺色系の遺物(試料№10～13以外の全て)と、もう一つは青緑色系の遺物(試料№10～13)である。分析結果も主に遷移元素において、両者の間に明確に差異が認められた。

表3 (参考) カリガラス (K₂O-SiO₂系) の風化による成分の変動

[wt%]

京都府左京区藤原出土資料、B,Cは同一個体である。

酸化物	資料-A		資料-B		資料-C
	表面 (風化)	内部 (新鮮)	表面 (風化)	内部 (新鮮)	
Na ₂ O	0.4	0.6	0.4	0.5	0.3
MgO	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4
Al ₂ O ₃	2.1	1.8	7.3	2.7	4.2
SiO ₂	79.3	76.6	85.8	72.2	88.6
K ₂ O	13.5	16.3	3.5	21.6	4.3
CaO	0.7	0.7	0.3	0.8	0.3
TiO ₂	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MnO ₂	1.91	1.81	tr	tr	tr
Fe ₂ O ₃	1.5	1.6	0.7	0.5	0.6
CoO	tr	0.06	-	-	-
CuO	tr	tr	1.36	1.15	1.2
PbO	-	-	0.1	0.1	0.1

[-:検出限界以下 tr:定量限界以下]

肥塚(1997)より引用

表4 (参考) Na₂O-CaO-SiO₂系のソーダ石灰ガラスの風化による成分の変動

[wt%]

資料は兵庫県真由美上3号墳出土 (6世紀中～後半) 青緑色透明ガラス小玉。

酸化物	資料SN3-07		資料SN3-24	
	表面 (風化)	内部 (新鮮)	表面 (風化)	内部 (新鮮)
Na ₂ O	2.8	17.9	6.5	19.2
MgO	1.5	1.6	2.9	3.0
Al ₂ O ₃	4.6	2.9	5.1	2.9
SiO ₂	74.8	64.1	70.7	62.9
K ₂ O	2.0	1.6	3.8	2.9
CaO	10.0	8.0	8.0	6.8
TiO ₂	0.3	0.2	0.2	0.2
MnO ₂	0.6	0.5	0.14	0.12
Fe ₂ O ₃	3.0	2.6	2.1	1.7
CoO	0.1	tr	tr	tr
CuO	0.28	0.25	0.16	0.13
PbO	0.23	0.21	0.15	0.13

[tr:定量限界以下]

肥塚(1997)より引用

表5 (参考) Na₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂系のソーダ石灰ガラスの風化による成分の変動

[wt%]

熊本県鹿井町道郷1号墳出土の黄緑色半透明小玉、緑色透明小玉。

酸化物	A-25 (黄緑小玉)		A-28 (緑小玉)	
	表面 (風化)	内部 (新鮮)	表面 (風化)	内部 (新鮮)
Na ₂ O	2.6	18.3	13.4	16.2
MgO	1.1	0.2	1.0	0.2
Al ₂ O ₃	13.0	12.4	15.0	9.1
SiO ₂	74.3	58.9	60.9	66.7
K ₂ O	2.1	2.2	2.7	2.1
CaO	2.3	2.6	3.3	2.9
TiO ₂	0.3	0.4	0.5	0.4
MnO ₂	0.1	0.1	0.1	0.1
Fe ₂ O ₃	1.2	1.5	2.1	1.6
CuO	0.6	0.6	0.7	0.5
PbO	2.3	2.8	-	0.1

[-:検出限界以下 tr:定量限界以下]

肥塚(1997)より引用

青紺色系の遺物については、 CoO が検出されている。また、 MnO_2 、 Fe_2O_3 が特徴的に多く検出されており、これらが青紺色の着色に影響を与えていると思われる。また、他にも微量成分として ZnO 、 Br 、 SrO 、 MoO_3 、 BaO 等がこの色の資料のみに検出された。

青緑色系の遺物については、 CuO が特に多く検出されており、着色に関与していると思われる。微量成分としては、 Rb_2O 、 ZrO_2 、 SnO_2 、 PbO 等が特徴的に検出された。

蛍光X線分析装置は、X線を照射して試料表面で発生する特性X線（蛍光X線）を検出する方法であるため、例えばガラス玉の孔の内側等、内側に潜っている箇所をサンプリング無しに測定することはできない。しかし、今回分析した遺物の内試料No9～11は破片となっており、孔の内側も測定できる状況であった。そこでこれら3点については、遺物外面と破断面、そして孔の内側の3ヶ所を測定した。その結果を表6に示す。

表6 破断面・孔内側半定量分析結果一覧

試料No・位置	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	Br	Rb ₂ O	SrO	ZrO ₂	SnO ₂	SeO ₃	Sb ₂ O ₃	PbO	PbO	%		
9 外面	-	-	*	91.2	*	0.4	1.5	1.6	0.3	2.44	2.28	0.11	*	0.03	*	-	0.02	*	*	*	-	-	-	0.13	-		
9 破断面	-	*	1.0	91.3	0.3	0.4	2.0	1.1	0.2	1.99	1.50	0.07	*	0.02	*	*	0.01	0.01	*	*	*	*	-	0.02	0.09	-	9
9 孔内側	-	-	*	79.1	*	0.7	1.38	1.6	0.2	2.41	1.88	0.11	-	0.03	*	-	0.02	0.02	0.01	*	-	*	0.18	-	-		
10 外面	-	-	1.1	89.4	*	-	4.5	0.8	0.3	0.03	0.82	-	-	2.04	-	-	0.08	-	0.03	-	0.09	0.03	-	0.78	-		
10 破断面	-	-	3.0	89.9	0.1	-	3.3	0.5	0.2	0.02	0.64	-	-	1.53	-	-	0.05	-	0.02	-	0.05	0.02	-	0.54	-	10	
10 孔内側	-	*	3.8	80.2	*	-	1.28	0.4	0.2	*	0.58	-	-	1.39	-	-	0.06	*	0.02	-	0.05	0.03	-	0.54	-		
11 外面	-	*	3.3	87.8	-	-	3.9	0.7	0.3	0.03	0.91	-	-	2.08	-	-	0.08	-	0.03	-	0.13	*	-	0.77	-		
11 破断面	-	-	*	89.8	-	-	4.6	0.7	0.4	0.03	0.87	-	-	2.26	-	-	0.10	-	0.04	-	0.13	*	-	0.96	-	11	
11 孔内側	-	-	2.3	76.4	-	-	16.8	0.6	-	0.03	0.03	0.83	-	*	1.83	-	-	0.08	-	0.04	-	0.09	*	-	0.77		

- : 検出できず * : 検出したが定量できず 数字は重量%

まず、遺物外面と破断面を比較してみる。これら遺物が破片となったのは、埋蔵前なのか、それとも出土後なのかは不明であるが、出土後に割れてしまった場合であれば破断面は新鮮な面と考えられそうなのだが、実際にはそうとは限らない場合も多い。肥塚(1997)によると、破断面の成分も、外面の風化している面と同じ傾向を示しており、出土後に自然に割れてしまうような断面は、埋蔵中にすでにひび割れが発生していて、水分が染み込んで割れた断面の表面より K^+ イオンの溶出が起こることが考えられるとしている(表3の資料-C)。今回の分析対象遺物も実体顕微鏡下で観察すると無数のひびが入っている遺物が多い事がわかり、また、破断面の分析結果においても、成分に多少の違いはあるが値に大きな差は見受けられず、遺物外面と同じような結果を示している。

次に、これら遺物外面、破断面と、孔の内側の測定結果について比較してみる。孔の内側の場合も、埋蔵中は当然他の面と同じように水分の影響を受け風化しているはずであるから、同じような傾向が見られることが予想されたが、意外にも青紺色(Na9)、青緑色(Na10・11)関係なく K_2O がいずれも10%を超え、試料Na11は16.8%にも達していた。そこで元素マッピング分析を行ったところ、いずれの遺物も、 K 以外のマッピング図は特徴的な図は得られなかったが、 K において孔の内側のみで強いピークを検出した(図版2)。この原因については今後の課題としたいが、同じ表面状態であれば孔の内側だけ風化しにくいといった現象が起こるとは考え難い。ところで、山崎一雄は正倉院の孔のあいたガラス玉の成形方法について、銅線に捲けたガラスを巻きつけたものと推定している(山崎1987)。その根拠は、玉の孔内に黒色の酸化銅が付着していたためであるが、今回の現象についても、例えば芯あるいはその離型剤として植物を使用するなど、製作技法に起因する可能性が考えられる。

日本古代ガラスの材質及びその歴史的変遷については、山崎(例えば1987等)や肥塚(例えば1997等)らが精力的に研究を行っている。肥塚はかつて、古墳時代はソーダ石灰ガラスが $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-$

SiO₂系, Na₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂系ともに最も多く流通し, カリガラス (K₂O-SiO₂系) は3 C後半以降大きく衰退するとしていた(肥塚1997)。しかし, 近年, 古墳時代の青紺色ガラスにはカリガラスがかなりの量が流通していたことが明らかになりつつあり(肥塚・脇谷2003), 今回の分析においても多くは青紺色のガラスであり, これを裏付ける結果であるといえよう。

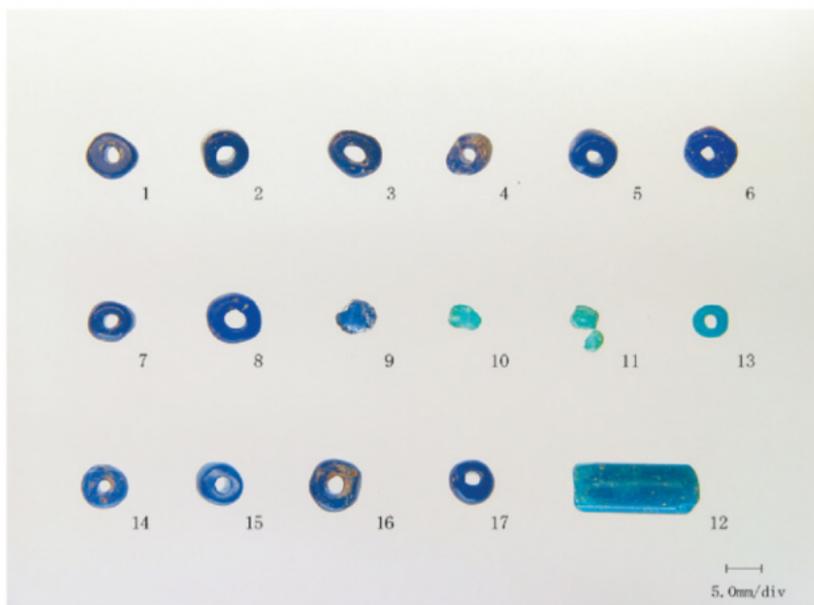
E 終わりに

板屋谷内B・C古墳群より出土したガラス玉17点について, 蛍光X線分析による元素分析を行った結果, 以下のことが指摘できる。

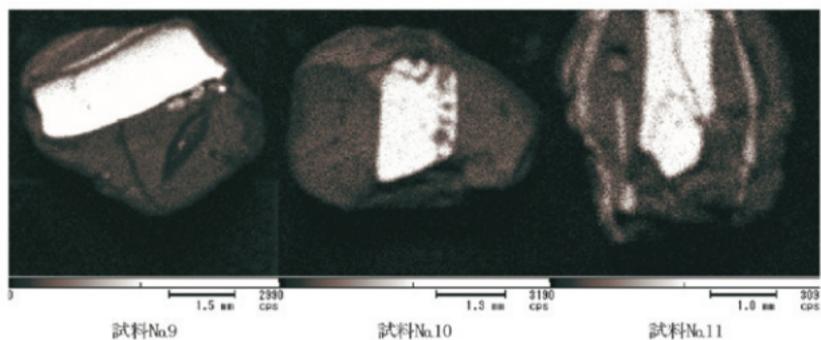
- 1) 17点全てがアルカリ珪酸塩ガラスであり, さらにK₂O-SiO₂系のカリガラスであると推定される。(但し, 完全非破壊分析であるため, カリガラス以外の材質である可能性も否定はしきれない。)
- 2) 青紺色のガラスからは, MnO₂, Fe₂O₃, CoO, ZnO, Br, SrO, MoO₃, BaO等が, 青緑色のガラスからは, CuO, Rb₂O, ZrO₂, SnO₂, PbO等が特徴的に検出された。
- 3) 試料No 9~11について孔の内側表面の分析を行ったところ, いずれもK₂Oが10%を超える高い値で検出された。その原因究明については今後の課題である。

引用・参考文献

- 肥塚隆保 (1997) 日本で出土した古代ガラスの歴史の変遷に関する科学的研究。東京藝術大学博士学位論文。
- 肥塚隆保・大賀克彦・比佐陽一郎・高妻洋成 (2002) 弥生・古墳時代の *Mutisalah* に関する考古学研究所。日本文化財科学会第19回大会研究発表要旨集, 64-65。
- 肥塚隆保・脇谷草一郎 (2003) CR・AR法を用いた非破壊材質調査の開発研究—古代のガラスの材質判別—。日本文化財科学会第20回大会研究発表要旨集, 38-39。
- 山崎一雄 (1987) 古文化財の科学, 244-300, 恵文閣出版。



図版1 材質分析対象ガラス玉



図版2 各遺物のKマッピング図

(3) 琥珀玉の科学分析

財団法人元興寺文化財研究所

A 試料

分析を行った板屋谷内B・C古墳群出土琥珀は、試料No1がほぼ完全な形で出土したが、残り2点はNo2は7片に分かれ、No3の全形は不明であった。今回分析した3点はNo3を除き同一の遺構から出土した。それぞれの試料の検出位置や時代などを表1に記し、以後の報告は表に記された試料番号であらわす。No1、2とも比較的劣化は進んでいない状態であった。また、No3は肉眼観察および触感や重量感などから琥珀ではない可能性も考えられた。

表1 板屋谷内B・C古墳群出土琥珀の特徴

試料番号	遺物番号	出土古墳	遺構	出土地点	時代	種類
No.1	301	C 6	S K 4	A 3 3層	古墳時代前期～中期	丸玉
No.2	-	C 6	S K 4	A 3 4層	古墳時代前期～中期	丸玉
No.3	3	B 13		北 表土	古墳時代前期～中期	勾玉

B 目的

板屋谷内B・C古墳群出土琥珀が、琥珀であるかどうかの確認と、得られた分析結果を標準資料のデータと比較することにより産地同定を行う。

C 使用機器および原理

測定はフーリエ変換型赤外分光光度計（以後FT-IRとする）（日本電子製 JIR-6000）と熱分析装置（以後DTA・TGAとする）（株式会社製作所製 DTG-60）を使用した。

FT-IRによる分析は、試料に赤外線を照射し、その結果得られる分子の構造に応じた固有の周波数の吸収を解析し、化合物の種類を同定することができる。主に有機物の構造を解析する手段として用いられることが多く、琥珀を形成する樹脂の種類すなわち植物の種類によって分子構造が異なると考えられるため産地によってスペクトルに差が生じ、それを利用して産地同定に応用されてきた¹⁾。

また、DTA・TGA分析は試料に熱を加え、得られる質量変化から蒸発・気化温度、酸化・熱分解などの化学変化を知ることができる熱重量測定（TGA）と、試料の融解などの状態の変化や化学反応の温度を知ることができる示差熱分析（DTA）があり、これらから試料の熱に対する挙動を調べることができる。熱分析とFT-IR分析による分析結果と併用することでさらに精度の高い分析が行える。

当初、使用予定にはなかったが、試料No3が上記2種類の分析結果より有機物でないことが判明した。そのため、材質の調査に蛍光X線分析（XRF）装置（エスアイアイ・ナノテクノロジー製 SEA5230）を使用し元素分析を行った。XRFは試料の微小領域にX線を照射し、その際に試料から放出される各元素に固有の蛍光X線を検出し、元素を同定することができる。



写真1 分析試料の採取箇所（矢印の部分）

D 分析方法および条件

分析試料はそれぞれ写真1に示した位置および破片から数ミリグラムを採取し、FT-IR分析とDTA・TGA分析に用いた。これらを乳鉢で細かくすりつぶし、以下の分析に用いた。

FT-IR分析は試料を臭化カリウム（KBr）と混合、圧縮し錠剤を作製して行うKBr錠剤法により測定を行った。測定条件は分解能 2 cm^{-1} 、検出器としてTGSを用いた。

DTA・TGA分析は試料を粉状に粉碎したものの約1mgを白金セルに入れ、毎分100mlの空気を流しながら毎分20℃で昇温させ、その時の重量変化と熱量変化を測定した。

XRF分析はNo3のみ行った。試料の破断面を非破壊で大気圧下および真空下で分析した。条件は測定時間300秒、モリブデン管球を使用、コリメータ $\phi 1.8\text{ mm}$ 、15kV（真空下）・45kV（大気圧下）で分析を行った。

E 結果および考察

今回分析に使用した破片は、肉眼による観察では、比較的健全な状態であった。その中でもできるだけ堅くて健全な部分を選んでFT-IR分析を行った。この分析方法では劣化していない部分が分析できれば産地同定は可能である。しかし、出土琥珀のほとんどは程度に差はあるが劣化している。特に劣化が激しいと、全体的にピークはブロードになり特徴的な吸収が消失し、新たに異なった位置にピークが表れることがある²⁾。そのためできるだけ健全な部分から試料を採取し分析を行った。

その結果、 $3500\sim 2800$ 、 1710 、 $1500\sim 800\text{ cm}^{-1}$ 付近の吸収から、琥珀であることが確認できた（図1）。次に、 $1800\sim 800\text{ cm}^{-1}$ 付近の吸収位置および強度をもとに、産地の判明している標準となる琥珀から得られたスペクトルと比較し、産地同定を試みた（図3）。その結果、 $1300\sim 800\text{ cm}^{-1}$ の吸収位置および強度が久慈市産およびいわき市産の琥珀に近い吸収位置・強度を示した（図1・3）。

琥珀の国内の主産地についてのFT-IR分析はすでに報告されている。しかし、出土琥珀は劣化状態が様々で吸収位置や強度が変化することがある。そのため、劣化が進行したものはそのスペクトルが変化し産地同定が不可能になる場合がある。そのため熱分析を併用し、両者の分析結果を比較検討することで、産地限定の可能性は高くなる。

そこで、熱分析によりそれぞれの琥珀の成分の違いを検討した（図4・5）。TGA分析結果からNo2は国内の主な琥珀産地の標準資料と比較すると久慈市やいわき市産の琥珀とほぼ同じピーク位置および強度を示した（図6）³⁾。このことはFT-IRの結果と一致した。また、No1はほぼ完形であったため熱分析に使用する量が採取できなかった。そこでFT-IRに使用したKBr錠剤で熱分析を行った（図5）。条件が異なるためNo2の粉末試料の結果と比較することが出来ない。そこで、No2も同様な条件で分析し両者を比較した。同一の結果が得られたことより標準資料と比較したNo2と同様No1も久慈市およびいわき市産の可能性が高いことがわかった。

一方、No.3はこれら標準資料(図3)と比較すると、どれにも当てはまらない結果となった。特に2800~3000cm⁻¹に吸収が見られないことより無機物の可能性が高いことがわかった(図2)。そこでXRFによる元素分析を行った結果、土壌成分に由来する元素が検出された(図7・8)。これらの結果よりNo.3は鉱物由来か土壌由来の材料で製作されている可能性が高く、XRF分析や肉眼観察よりNo.3は鉱物よりは土製の勾玉の可能性が高いと考えられた。しかし、古墳時代の勾玉の材料は鉱物やガラス製の報告例がほとんどである。そのため、この試料が勾玉であるかどうかの確認と土製である確認は、より詳細な分析を実施する必要があると考えられる。

以上の結果より、今回分析した試料No.1およびNo.2は両者とも久慈市かいわき市産琥珀を使用した可能性が高いことがわかった。しかし、久慈市といわき市産の琥珀は生成年代がほぼ同じであり、また由来する植物が同じである可能性が高いため、どちらであるかを科学分析から決定することは現時点では不可能であった。

参考文献

1. 室賀照子, 赤外吸収スペクトルによる琥珀の産地分析, 考古学と自然科学, 第9号, 59, (1976)
2. 植田直見, 琥珀の劣化, こはく, 第3号, 7 (2001)
3. 植田直見, いわき地方産琥珀の科学分析, こはく, 第5号, 13 (2004)

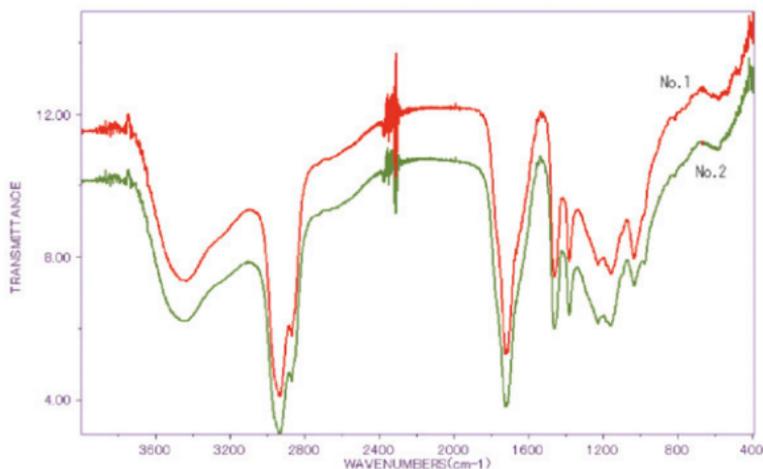


図1 出土琥珀No.1, 2の赤外吸収スペクトル

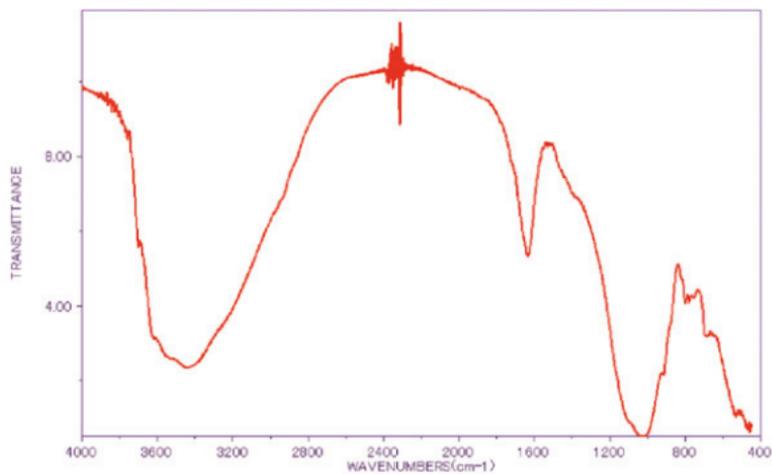


図2 試料No.3の赤外吸収スペクトル

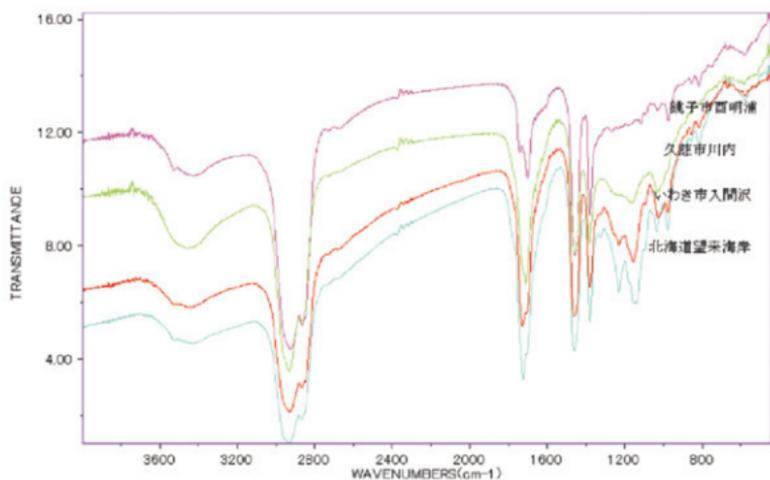


図3 日本の主産地から産出した琥珀の赤外吸収スペクトル

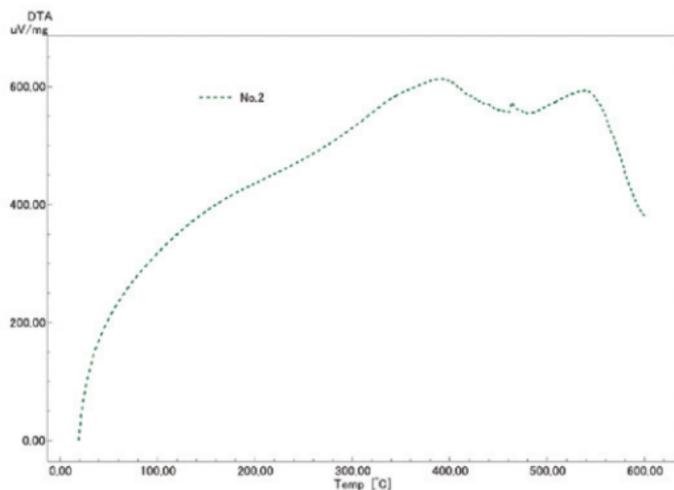


図4 出土琥珀 (No.2) の熱分析

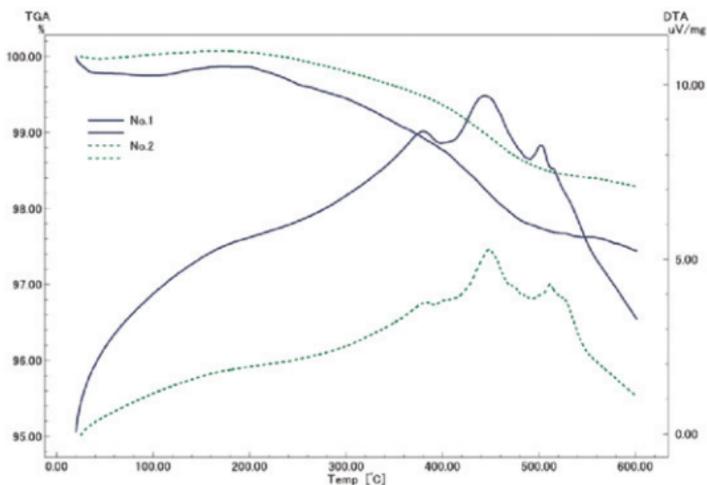


図5 出土琥珀の熱分析 (KB r 錠剤を使用)

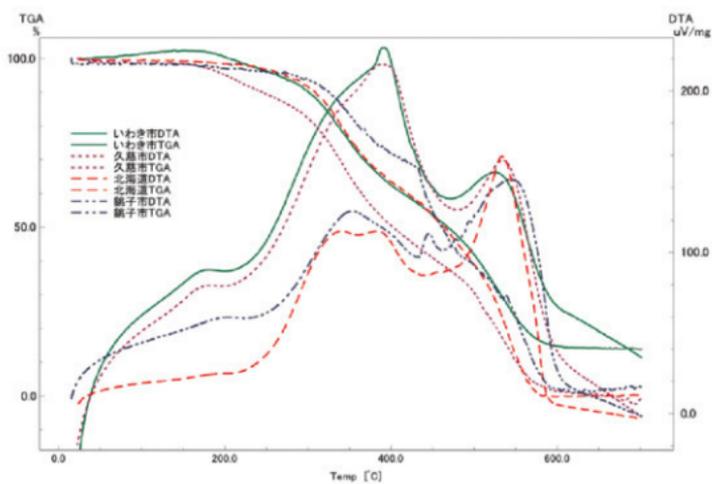
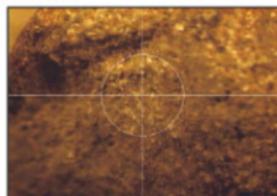


図6 日本の主産地から産出した琥珀の熱分析

[測定条件]

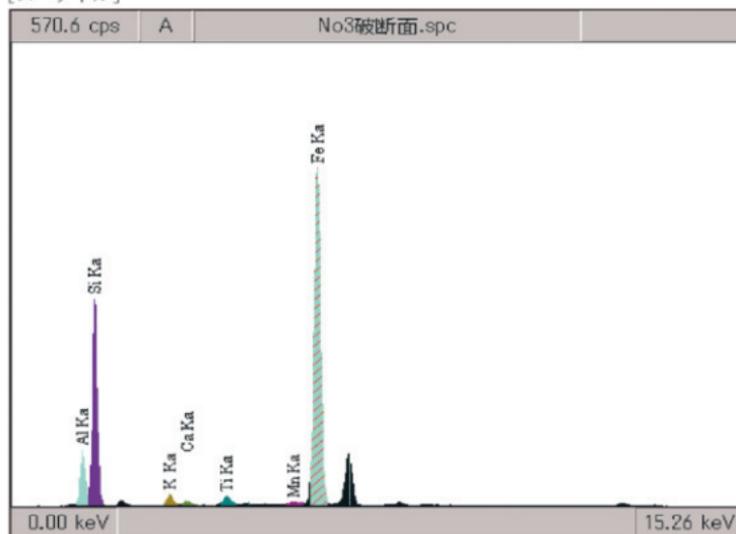
測定装置	SEA5230
測定時間 (秒)	300
有効時間 (秒)	139
試料室雰囲気	真空
コリメータ	φ1.8 mm
励起電圧 (kV)	15
管電流 (μA)	1000
コメント	

[試料像]



視野: [X Y] 6.60 4.95 (mm)

[スペクトル]



[結果]

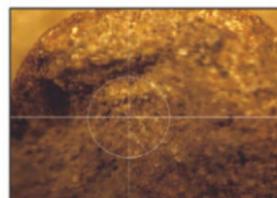
Z	元素	元素名	ライン	A (cps)	ROI (keV)
13	Al	アルミニウム	K α	423.450	1.36- 1.61
14	Si	ケイ素	K α	1556.348	1.61- 1.87
19	K	カリウム	K α	103.692	3.17- 3.46
20	Ca	カルシウム	K α	52.543	3.54- 3.84
22	Ti	チタン	K α	109.212	4.35- 4.66
25	Mn	マンガン	K α	62.133	5.73- 6.06
26	Fe	鉄	K α	3452.382	6.23- 6.57

図7 No3のXRFスペクトル (真空下)

[測定条件]

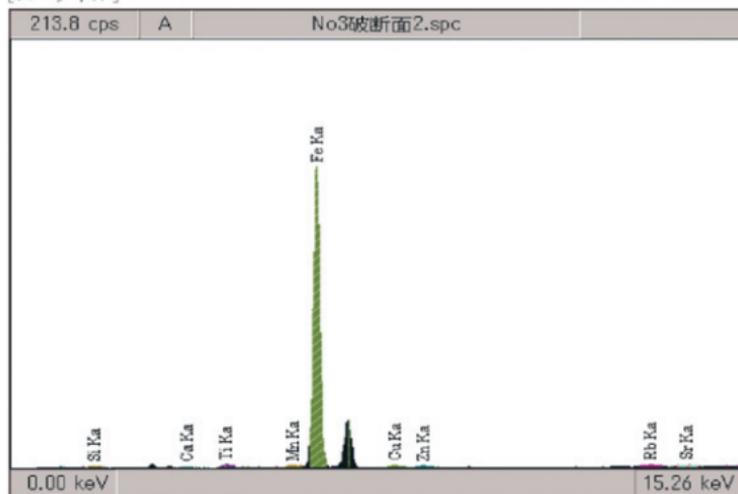
測定装置	SEA5230
測定時間 (秒)	300
有効時間 (秒)	216
試料室雰囲気	大気
コリメータ	φ 1.8 mm
励起電圧 (kV)	45
管電流 (μA)	56
コメント	

[試料像]



視野: [X Y] 6.60 4.95 (mm)

[スペクトル]



[結果]

Z	元素	元素名	ライン	A (cps)	ROI (keV)
14	Si	ケイ素	K α	5.745	1.61- 1.87
20	Ca	カルシウム	K α	6.276	3.54- 3.84
22	Ti	チタン	K α	16.208	4.35- 4.66
25	Mn	マンガン	K α	14.289	5.73- 6.06
26	Fe	鉄	K α	1252.368	6.23- 6.57
29	Cu	銅	K α	12.804	7.86- 8.22
30	Zn	亜鉛	K α	12.433	8.45- 8.82
37	Rb	ルビジウム	K α	23.350	13.16-13.59
38	Sr	ストロンチウム	K α	23.574	13.92-14.36
56	Ba	バリウム	K α	22.550	31.76-32.37

図8 No.3のXRFスペクトル (大気圧下)

(4) 須恵器の蛍光X線分析

胎土分析研究会 三辻利一

A はじめに

古墳時代には和泉陶邑に100基を越える須恵器窯跡が発見されているにもかかわらず、地方には、限られた地域に精々数基程度の須恵器窯跡が発見されているに過ぎない。須恵器生産における畿内と地方のこのような大きな落差は古墳時代における須恵器生産とは何かを問いかける重要な問題に対する解答の鍵を握っているものと思われる。この問題に対する解答は各地の古墳から出土する須恵器の生産地が何処であるかを実験データで示すことによって、その方向性が与えられると考えられる。

このような考え方から、全国各地の古墳出土須恵器の産地問題の研究が推進されてきた。この研究に先立って、各地の地方窯跡から出土する須恵器片を大量に分析し、陶邑産須恵器との相互識別が検討されてきた。その結果、ほとんどの地域の地方窯の製品はK, Ca, Rb, Srの4因子を使った2群間判別分析で陶邑産の製品とは相互識別できることが判明した。

このようなこれまでの研究成果を踏まえて、高岡市にある板屋谷内B・C古墳群から出土した古式須恵器の蛍光X線分析が試みられた。水見市の園カンテ窯跡出土須恵器の分析データとともに、その結果について報告する。

B 分析法とデータ解読法

すべての須恵器片は表面を手動式研磨機で研磨し、表面付着物を除去したのち、タンクステンカーバイド製乳鉢の中で100メッシュ以下に粉砕された。粉末試料は塩化ビニル製リングを枠にして10トンの圧力を加えてプレスし、内径20mm、厚さ5mmの錠剤試料を作成した。

蛍光X線分析には理学電機製RI X2100(波長分散型)を使用した。この装置には50試料が同時に搭載できる自動試料交換機が連結されている。したがって、試料の出し入れから、データの打ち出しまで、すべての分析過程が自動化されている完全自動式分析装置である。

測定元素はNa, K, Ca, Fe, Rb, Srの6元素である。分光結晶として、NaにはTAPが、K, CaにはGeが、Fe, RbとSrにはLiFが使用された。また、軽元素の蛍光X線強度の測定には比例計数管が、Fe, Rb, Srの中重元素の蛍光X線強度の測定にはシンチレーションカウンタが使用された。上記6元素のK(アルファ)線の正味の蛍光X線強度が測定された。

定量分析の標準試料としては、岩石標準試料JG-1が使用された。JG-1は定量分析のための標準試料であるとともに、毎日、測定されており、各元素の蛍光X線強度の恒常性から分析装置の安定性をチェックするためのモニターとしても役立っている。各元素の蛍光X線強度のばらつきは変動係数にして、年間数%以下である。これに対して、窯跡または窯跡群の試料を50点程度分析すると、通常、10~20%程度のばらつきを示す。したがって、この分析装置の精度はこの研究を推進するうえには十分であると判断された。

得られた分析データはまず、K-Ca, Rb-Srの両分布図上にプロットされ、分析試料の化学的特徴が把握された。まず、水見群と陶邑群の相互識別の可能性が目でみえる形で検討された。ついで、より正確に相互識別するために、K, Ca, Rb, Srの4元素を使った2群間判別分析が試みられた。この結果、判別図上で、陶邑領域と水見領域が設定された。最後に、板屋谷内B・C古墳群出土須恵器の分析データをこの判別図上にプロットし、陶邑領域に分布するか、水見領域に分布するかが検討された。

C 分析結果

表1には地元、氷見市の6世紀代と推定される園カンデ窯跡から出土した須恵器の分析データが示されている。このデータにもとづいて作成された両分布図を図1に示す。全ての試料を包含するようにして氷見領域を長方形で描いた。比較のために、陶邑領域も描いてある。長方形で描いたのはとくに理由はない。描き易いためである。したがって、これらの領域は定性的な意味しかもない。ただし、他の母集団（窯または窯群）の領域と比較する上には大変便利である。図1から陶邑群と氷見群の相互識別は十分可能であることが予測できる。ここで、陶邑群と氷見群間の2群間判別分析を試みた。その結果は図3に示されている。5%危険率をかけたホテリングのT²検定に合格する条件から、陶邑群と氷見群に帰属するための必要条件としてそれぞれ、 D^2 (陶邑) < 10, D^2 (氷見) < 10が得られた。図3をみると、陶邑群の試料のほとんどは D^2 (陶邑) < 10の領域に分布していることが分かる。同様に、氷見群の試料もすべてが D^2 (氷見) < 10の領域に分布していることが分かる。しかし、陶邑群の領域にも氷見群の領域にも、広い空白の空間があることが分かる。この空白空間は互いに相手群からの距離を使って除去することができる。陶邑群の試料が分布しているのは D^2 (氷見) = 5~150であり、氷見群の試料は D^2 (陶邑) 5~100の領域内に分布することが分かる。この結果、陶邑領域は D^2 (陶邑) < 10, D^2 (氷見) = 5~150であり、氷見領域は D^2 (氷見) < 10, D^2 (陶邑) 5~100であることがわかった。小さな重複領域があるものの、両群の試料はほぼ完全に分離しており、相互識別は十分可能であることが分かった。この判別図を活用すれば、富山県内の古墳出土須恵器が地元窯の製品であるか、それとも、陶邑からの搬入品であるかが判断できるはずである。すなわち、もし、地元産の須恵器があれば、氷見領域に分布するはずであるし、陶邑からの搬入品があれば、陶邑領域に分布するはずである。

高岡市の板屋谷内B・C古墳群出土古式須恵器の分析結果を判別図にプロットした結果は図4に示す。4点の試料はすべて、氷見群の製品ではないことは明白である。4点のうち3点は陶邑領域に分布しており、陶邑産の須恵器と推定された。No1の試料は陶邑領域をほんの少しずれた。そこで、古墳群出土須恵器の4点の試料の両分布図での分布を点検してみた。その結果を図2に示す。K-Ca分布図では4点とも陶邑領域に分布した。他方、Rb-Sr分布図では4点とも陶邑領域に分布するが、No1の試料のみは陶邑領域の端に分布することが分かる。これがNo1の試料がK, Ca, Rb, Sr因子を使った判別図では D^2 (陶邑) < 10を少しずれた理由である。しかし、No1は氷見群の製品ではないことは明白である。No1の試料の帰属が少し曖昧になったので、ここで、使用因子を入れ替えて、微量元素Rb, Srの代わりに主成分元素NaとFeを入れ、K, Ca, Fe, Naの4因子を使用して判別分析を行った。その結果を図5に示す。図3の場合と同様にして、陶邑群への帰属条件は D^2 (陶邑) < 10, D^2 (氷見) = 15~250であり、氷見領域は D^2 (氷見) < 10, D^2 (陶邑) = 10~60が得られた。両群の試料は完全に分離しており、相互識別はできることがわかる。この図には板屋谷内B・C古墳群の須恵器もプロットしてある。4点とも陶邑領域に分布しており、陶邑産の須恵器と推定された。板屋谷内B・C古墳群の須恵器の分析データは表2にまとめられている。この表で D^2 (陶邑), D^2 (氷見) はそれぞれ、K, Ca, Rb, Srの4因子を使って計算した陶邑群、氷見群の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値であり、 d^2 (陶邑), d^2 (氷見) はそれぞれ、K, Ca, Fe, Naの4因子を使って計算した陶邑群、氷見群の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値である。4点の試料の D^2 (陶邑) の値を点検すると、K, Ca, Rb, Sr因子を使用した場合、No2, 3, 4の3点の試料の値は10以下であり、陶邑への帰属条件を満足するのに対して、No1は14.4で帰属条件を少し越え

る。そのため、産地推定は保留された。しかし、K, Ca, Fe, Naの主成分元素の4因子を使用した場合、4点ともD²(陶邑)の値は10以下であり、陶邑への帰属条件を満足した。両者を総合して、No1の試料も陶邑産である可能性が高いと判断された。

以上の結果、板屋谷内B・C古墳群出土の4点の須恵器は6元素からみて、陶邑産の須恵器である可能性が高いと推定された。

D 考察

これまでに分析された各地の古墳出土須恵器の試料数はすでに1000点を越える。地方ではその殆どが地元産の須恵器と陶邑からの搬入品で占められていた。これらのデータから地元産の須恵器は地元窯周辺の古墳からは出土しているが、遠くはなれた地域の古墳へは供給されていないことが分かった。これに対して、陶邑産の須恵器は畿内の古墳はもちろんのこと、陶邑を中心として直線距離にして500~600kmも離れた地域の古墳からも大量に出土しており、その伝播は東北地方南部から九州南部地域にまで及ぶことが明らかにされている。今回分析した高岡市の板屋谷内B・C古墳群から出土した須恵器も陶邑からの搬入品であることが明らかになった。

地元、氷見市の園カンテ窯の製品も窯周辺の古墳へ供給されたものと予想されるが、目下のところ、何処へ供給されたのかは不明である。窯跡から出土する破片も量的に少なければ、園カンテ窯での須恵器の生産量は少ないと考えられる。しかし、それらを供給した古墳は地元には必ずあるはずである。生産量が少なければ、その供給先を見付けることも困難であるかもしれない。

隣接する石川県内の古墳からも陶邑産の須恵器は検出されており、陶邑産の須恵器は日本海沿いに北陸地方へも供給されていたことはほぼ確実になった。北限が富山県なのか、それとも、新潟県内からも陶邑産の須恵器が検出されるのかは不明である。目下のところ、筆者の手元にはデータはない。しかし、太平洋沿いでは福島県、宮城県や岩手県南部地域の遺跡からも陶邑産の須恵器は検出されており、陶邑産須恵器の北限は東北地方南部地域であることもほぼ確実である。

このようなデータが集積されると、陶邑産須恵器の伝播の理由が今後、古墳時代を読む一つの鍵として考察されることとなる。

分析No	器種	K	Ca	Fe	Rb	Sr	Na	D ² (陶邑)	D ² (氷見)	d ² (陶邑)	d ² (氷見)
1	杯(1)	0.664	0.314	3.02	0.656	0.627	0.311	16.2	3.0	39.0	1.3
2	壺(1)	0.640	0.296	2.40	0.685	0.598	0.379	12.4	4.3	18.7	5.2
3	壺(2)	0.636	0.196	3.00	0.638	0.501	0.302	7.3	1.9	15.6	3.0
4	杯(2)	0.624	0.229	2.55	0.665	0.524	0.316	6.5	2.6	12.0	3.1
5	杯(3)	0.592	0.204	3.39	0.607	0.466	0.273	3.4	2.4	18.4	3.9
6	杯(4)	0.655	0.311	3.25	0.668	0.466	0.244	27.3	4.5	51.1	3.0
7	壺(3)	0.643	0.284	3.05	0.631	0.575	0.318	13.1	0.78	28.6	1.0
8	壺(4)	0.605	0.263	3.11	0.583	0.534	0.279	10.8	2.3	26.1	1.9
9	壺(5)	0.661	0.302	3.25	0.599	0.581	0.318	19.1	4.0	38.2	3.6
10	壺(6)	0.576	0.218	3.67	0.544	0.445	0.185	9.0	5.5	32.7	6.1
11	壺(7)	0.689	0.295	3.15	0.633	0.498	0.250	30.6	5.4	49.4	4.7
12	壺(8)	0.633	0.135	2.87	0.599	0.552	0.237	18.6	7.0	15.4	6.8

表1 園カンテ窯(氷見市)出土須恵器の分析データ

分析No	出土地点	器種	遺物番号	時期	K	Ca	Fe	Rb	Sr	Na	D ² (陶邑)	D ² (氷見)	d ² (陶邑)	d ² (氷見)	想定産地
1	C2号墳SD5	杯			0.460	0.100	1.58	0.738	0.447	0.108	14.4	96.3	4.6	186	陶邑
2	C2号墳SD5	杯	29		0.416	0.090	1.63	0.668	0.363	0.088	7.2	96.1	4.8	234	陶邑
3	B13号墳2T南	杯?			0.375	0.035	2.02	0.616	0.180	0.074	4.3	117.0	3.8	201	陶邑
4	B13号墳2T南	高杯	?	TK308-23	0.413	0.036	2.01	0.635	0.237	0.090	4.7	100.0	3.3	162	陶邑

表2 板屋谷内B・C古墳群(高岡市)出土須恵器の分析データ

図1
園カンテ窯跡（氷見市）
出土須恵器の両分布図

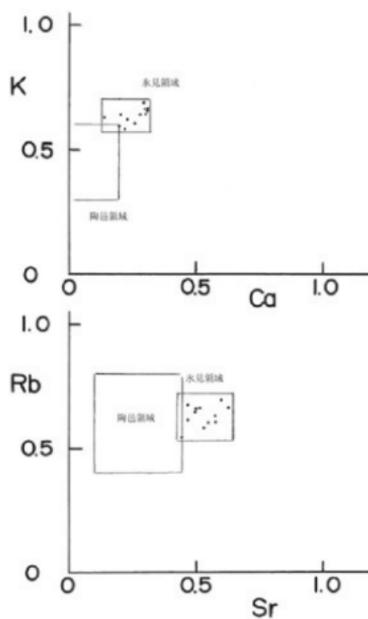


図2
板屋谷内B・C古墳群
出土須恵器の両分布図

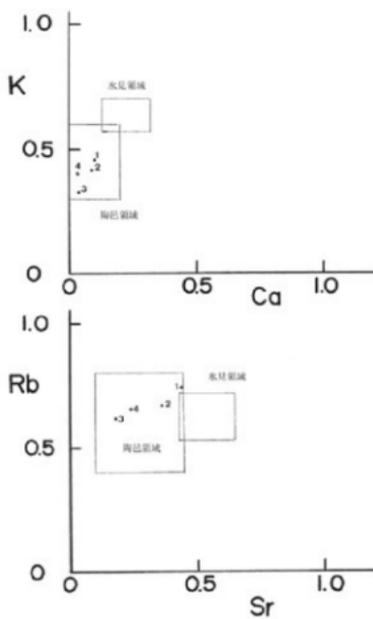


図3
氷見群と陶邑群の
相互識別
(K,Ca,Rb,Sr)

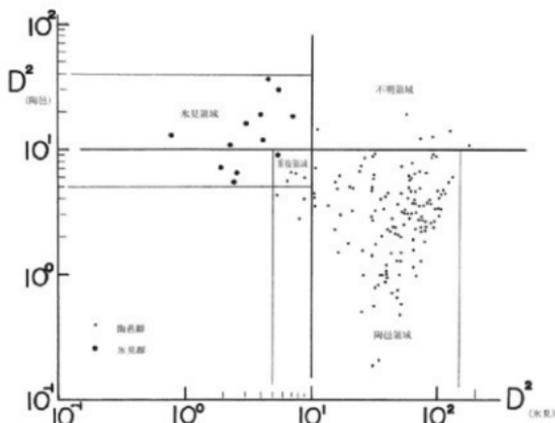


図4
板屋谷内B・C古墳群
出土須恵器の産地推定
(K,Ca,Rb,Sr因子)

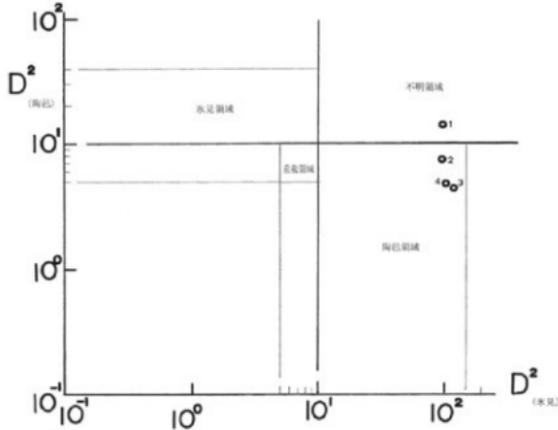
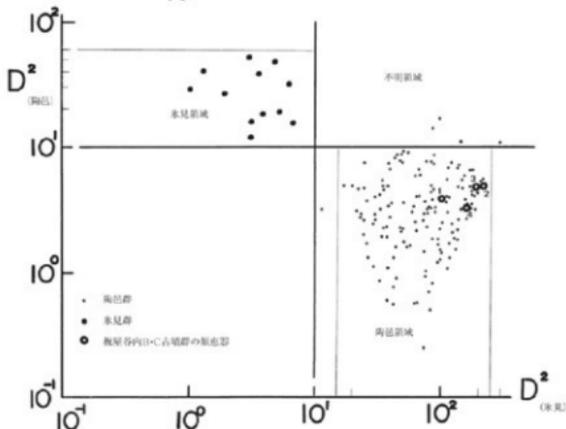


図5
陶邑群と氷見群の
相互識別
(K,Ca,Fe,Na因子)



(5) 鏡の分析

A 珠文鏡および付着顔料の成分分析

財団法人元興寺文化財研究所

a 分析対象資料

珠文鏡1点

b 分析手順

珠文鏡に含まれる成分や付着顔料の調査および鉛同位体比測定に必要な鉛の有無の確認のため、ケイ光X線分析（以下XRF）による表面からの非破壊分析を行った。分析箇所は写真1に示した部位①～④の表面である。②～④については顕微鏡写真撮影も行った。

c 使用機器及び測定条件

・エネルギー分散型ケイ光X線分析装置（エスアイアイ・ナノテクノロジー㈱製SE A5230）

試料の微小領域にX線を照射し、その際に試料から放出される各元素に固有のケイ光X線を検出することにより元素を同定する。

モリブデン管球使用、大気圧条件下、

①、②：コリメータ1.8mm、管電圧45kV

③、④：コリメータ0.1mm、管電圧50kV

d 分析結果および考察

鈕部分①、および鋸歯文の淡青緑色部分②から検出したのは、銅（Cu）、スズ（Sn）、鉛（Pb）、ヒ素（As）、アンチモン（Sb）、銀（Ag）、鉄（Fe）であった（図1・2）。主に銅、スズ、鉛で構成されるとみられ、青銅製の鏡である。アンチモン、ヒ素、銀は素材中に含まれると考えられ、鉄は土壌成分およびベンガラ（後述）に由来するものとする。②は主に鏡の腐食生成物であるとみられる。

鋸歯文の赤色部分を顕微鏡で観察したところ、濃赤色部分③と赤橙色部分④とが確認できた。それぞれのXRFスペクトルを図3・4に示す。鏡に含まれる成分とともに、③では水銀（Hg）が、④では鉄（Fe）のピークが相対的に強く検出された。色調と検出元素とから推測すると、③は水銀朱（硫化水銀：HgS）、④はベンガラ（酸化第二鉄：Fe₂O₃）が付着しているとみられる。鏡全体の赤色部分はほとんどが④のように黄味が強い色調を呈しており、③のように赤味が強い部位はわずかである。



写真1 珠文鏡の分析部位

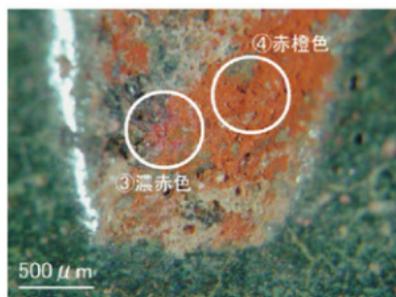
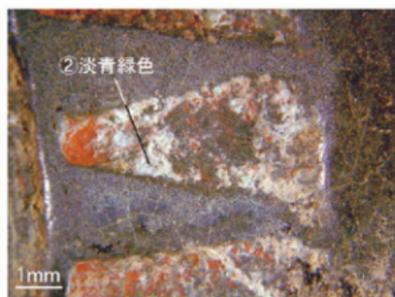
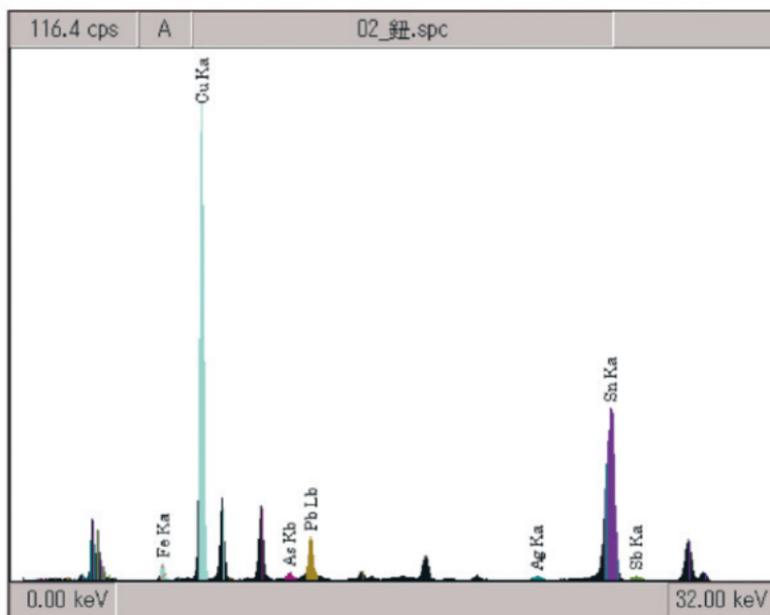
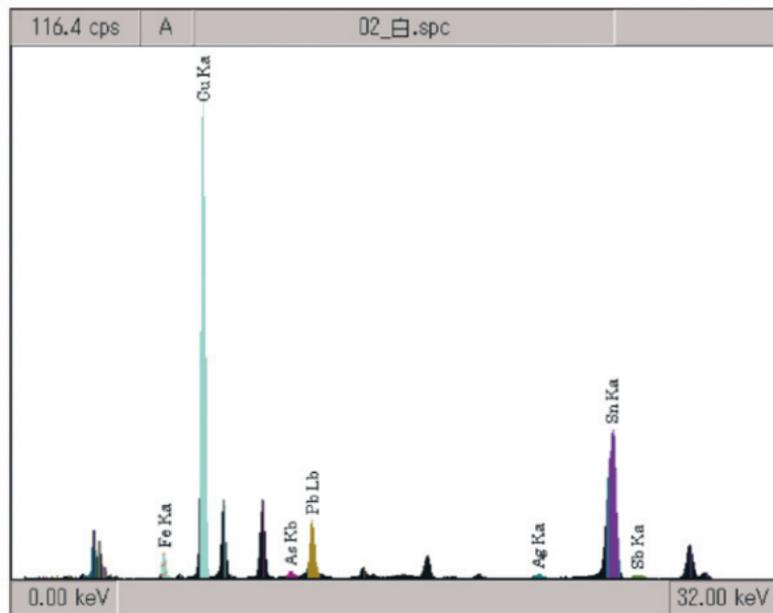


写真2 分析部位②～④の顕微鏡写真



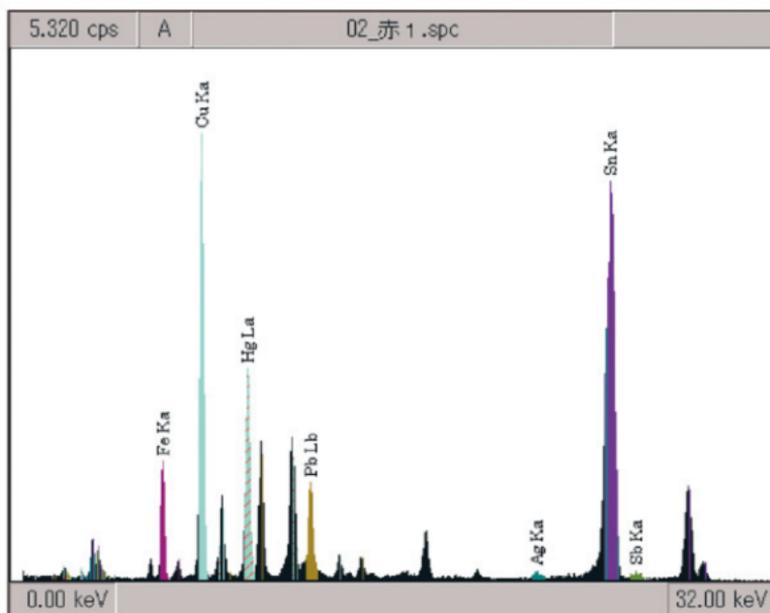
Z	元素	元素名	ライン	A(cps)	ROI(keV)
29	Cu	銅	K α	964.277	7.86- 8.22
50	Sn	スズ	K α	709.387	24.92-25.47
82	Pb	鉛	L β	113.394	12.42-12.84
51	Sb	アンチモン	K α	15.612	25.99-26.55
47	Ag	銀	K α	15.477	21.84-22.36
33	As	ヒ素	K β	22.199	11.52-11.93
26	Fe	鉄	K α	33.898	6.23- 6.57

図1 珠文鏡 ①鈕部分のXRFスペクトル



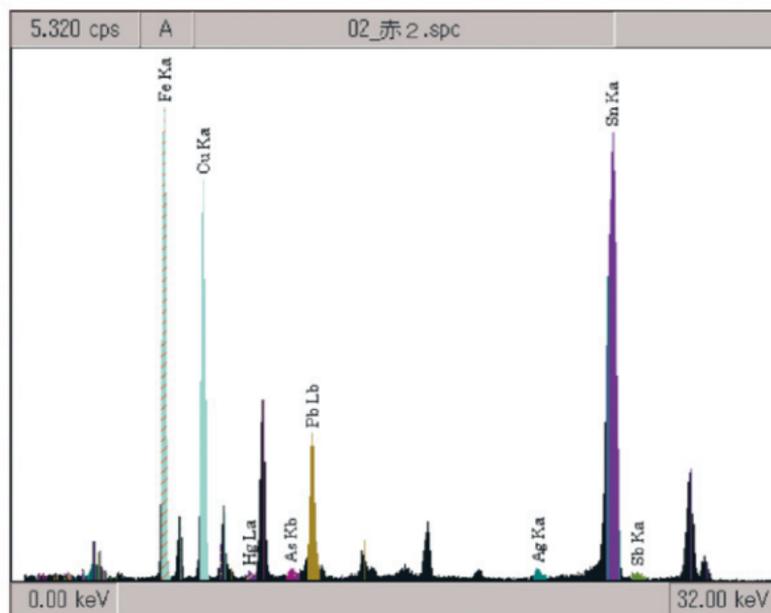
Z	元素	元素名	ライン	A(cps)	ROI(keV)
29	Cu	銅	K α	984.144	7.86- 8.22
50	Sn	スズ	K α	611.773	24.92-25.47
82	Pb	鉛	L β	146.726	12.42-12.84
51	Sb	アンチモン	K α	12.569	25.99-26.55
47	Ag	銀	K α	14.550	21.84-22.36
33	As	ヒ素	K β	19.522	11.52-11.93
26	Fe	鉄	K α	47.264	6.23- 6.57

図2 珠文鏡 ②淡青緑色部分のXRFスペクトル



Z	元素	元素名	ライン	A(cps)	ROI(keV)
29	Cu	銅	K α	39.474	7.86- 8.22
50	Sn	スズ	K α	73.535	24.92-25.47
82	Pb	鉛	L β	11.534	12.42-12.84
51	Sb	アンチモン	K α	1.296	25.99-26.55
47	Ag	銀	K α	1.358	21.84-22.36
26	Fe	鉄	K α	10.043	6.23- 6.57
80	Hg	水銀	L α	21.443	9.79-10.17

図3 珠文鏡 ③濃赤色部分のXRFスペクトル



Z	元素	元素名	ライン	A(cps)	ROI(keV)
29	Cu	銅	K α	35.264	7.86- 8.22
50	Sn	スズ	K α	84.105	24.92-25.47
82	Pb	鉛	L β	16.879	12.42-12.84
51	Sb	アンチモン	K α	1.416	25.99-26.55
47	Ag	銀	K α	1.683	21.84-22.36
33	As	ヒ素	K β	1.687	11.52-11.93
26	Fe	鉄	K α	38.605	6.23- 6.57
80	Hg	水銀	L α	1.033	9.79-10.17

図4 珠文鏡 ④赤橙色部分のXRFスペクトル

B 珠文鏡の鉛同位体比

別府大学 平尾 良光

財団法人元興寺文化財研究所

a はじめに

財団法人富山県文化振興財団埋蔵文化財調査事務所から、(財)元興寺文化財研究所を通して、富山県高岡市板屋谷内B・C古墳群から出土した珠文鏡1面に関して鉛同位体比測定依頼があった。本調査は当研究室における「古墳時代青銅器の産地推定」という研究の一環として、研究協力する価値が充分あった。そこで、鉛同位体比法で遺物の材料となった青銅に含まれる鉛の産地推定を行った。

b 資料

資料である珠文鏡は、富山県高岡市五十里の小矢部川西岸流域に位置する板屋谷内C古墳群のC6号墳から出土した。このC古墳群は古墳時代前期から中期段階までに作られたと推定されている。これら古墳の形式は円墳、方墳などで、直径15m~24mの墳丘を持っている。C6号墳は直径約17mの円墳で、盛土は大半が削平されている。共存遺物は埋葬施設から玉類(勾玉、管玉、聚玉、琥珀丸玉、ガラス玉)、そして珠文鏡の他に内行花文鏡があった。

この珠文鏡の写真を写真1として示し、鉛同位体比測定用試料の採取位置を印した。なお鉛同位体比測定用の試料の採取は元興寺文化財研究所で珠文鏡の修復処理の過程で行われた。試料は精密ドリルを用いて縁の部分より採取し、採取孔は顕微鏡写真(写真2)撮影の後、エポキシ樹脂で補填し、復元した。

c 鉛同位体比法

1) 鉛同位体比法による青銅材料の産地推定

産地推定のために鉛同位体比法を利用した^{*)}。一般的に、鉛の同位体比は鉛鉱山の岩体が違えばそれぞれの鉱山毎に異なった値となることが知られており、産地によって特徴ある同位体比を示すことが今までの研究でわかっている。そこで、鉛の産地の違いが鉛同位体比に現れるならば、文化財資料に含まれる鉛の同位体比の違いは材料の産地を示すと推定される。古代の銅鏡には鉛が主成分の一つとして5~20%含まれている。鉛同位体比の測定に用いられる鉛量は測定器の感度が非常に良いため、1マイクログラムの鉛があれば十分である。また試料は青銅の金属部分でも鍍部分でも、同位体比は原則的に変わらないと示されている。しかしながら、鍍の場合には外部からの混入の可能性を否定しきれない場合がある。今回の試料は鍍試料ではあるが、かなり内面の鍍であるように見受けられた。この試料に関して蛍光X線測定法で鉛量をだまかに調べた後、電気分解法で鉛を化学的に単離した。その後、鉛の同位体比を二重収斂形ICP質量分析計で測定した。

2) 鉛分離と鉛同位体比測定

採取した鍍試料を石英製のピーカーに入れ、硝酸を加えて溶解した。この溶液を白金電極を用いて2Vで電気分解し、鉛を二酸化鉛として陽極に集めた。析出した鉛を硝酸と過酸化水素水で溶解し、源試料溶液として保存した。

ICP質量分析計を用いた測定では、測定機器の安定性のために鉛濃度が「0.2 μ g鉛/1g」程度の溶液が必要である。そこで電気分解して鉛を集めた源試料溶液の鉛濃度を測定し、適宜希釈し、同位体比測定用の溶液を用意した。同位体比測定には0.2 μ g鉛/1gの溶液が2g以上必要なので、3~10gの溶液が得られるように適宜希釈した。利用したICP質量分析計は高知大学海洋コア総合研究センターに所属しているサーモエレクトロン社製二重収斂型多重検出器型誘導結合プラズマ質量分析計

(通称名 ネブチューン)である。なおこの機器の精度や再現性に関する詳細な記載は省略する。

実験に先立ち、鉛同位体比を測定するに足るだけの充分安定した状態であることを確認した。また同時に、NBS-981標準鉛溶液を測定し、機器の安定性を確かめた。

d 鉛同位体比の結果と考察

1) 鉛同位体比測定値

測定した鉛同位体比を表1で示した。

表1 板屋谷内B・C古墳群から出土した珠文鏡の鉛同位体比

測定番号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
BP0013	18.274	15.66	38.767	0.857	2.1214
誤差(σ)	± 0.010	± 0.010	± 0.030	± 0.0003	± 0.0006

この値を今までに得られている資料と比較するために鉛同位体比を図1および図2で示した。図1では縦軸が $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値、横軸が $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ の値として示す。この図で鉛同位体比に関して今までに得られている結果を模式的に表わし、今回の結果をこのなかにプロットした²²⁻²⁴。日本の弥生時代に相当する頃の東アジア地域において、Aは中国前漢鏡が主として分布する領域で、後の結果からすると中国華北産の鉛のグループである。Bは中国後漢鏡および三国時代の銅鏡が分布する領域で、華南産の鉛のグループである。Cは現代日本産の鉛鉱石が示す領域である。またDは朝鮮半島産の多鈕細文鏡が分布する領域として示される。図2では縦軸が $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値、横軸が $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値としてプロットした。この中でA'、B'、C'、D'はそれぞれ中国華北、華南、日本、朝鮮半島を意味する。これらの図の中に、測定値を(■)で示した。

2) 結果と考察

表1、図1と図2から理解できることをまとめる。

珠文鏡は図1と図2で華南産材料領域(B、B')に位置した。それ故、この材料は直接的には華南産材料である可能性が高い。この領域に含まれる資料は後漢・三国時代になってからの漢式鏡である。今までに銅鏡の鉛同位体比測定はかなりの数が進んでおり、後漢・三国時代の銅鏡で中国で生産されたと推定される資料のほとんどは、B、B'領域に分布する。それ故、この珠文鏡は古墳時代の鏡として典型的な華南産材料を利用していると推定される。

当研究室で今までに測定した珠文鏡は全部で12面ある。そこで本研究における資料の板屋谷内B・C古墳群出土鏡と他の遺跡から出土した資料と比較検討するために、それらの値を表2で示し、図3と図4で示した。なおこれらの中には「仿製」と推定されている資料もあるが、これらも一緒に載せた。図から珠文鏡のほとんどがBおよびB'領域に分布していることが判った。また「仿製」鏡と推定される2面のうち1面はA、A'領域内に位置した。他の形式の銅鏡でも仿製鏡とされる資料ではA、A'に位置することが多いので、それらの例に含まれると考えることができる。

またAとB領域の間に位置する鏡が2面あった。これはこのような鉛同位体比を示す鉱山があるとも考えられるし、また、AおよびB領域の材料を混合した場合とも考えられるので、製作時の問題として十分留意しなければならない。珠文鏡全体が仿製鏡であるかどうかは別として、AとB(A'とB')領域の中間の値を示す試料は今までの測定ではかなり少ないので、これら2面に関しては材料となったA領域の鉛とB領域の鉛を混合したという観点を持って仿製鏡の可能性を検討する必要がある。しかしながら、今回の板屋谷内B・C古墳群出土の珠文鏡については典型的な中国華南産材料を利用した鏡と理解できる。

引用文献

- (1) 平尾良光：鉛同位体比の測定と分析，『考古資料大観』，森田稔・井上洋一編，小学館（東京），p345-368（2003）
- (2) 馬淵久夫，平尾良光：福岡県出土青銅器の鉛同位体比；考古学雑誌75，385-404（1990）
- (3) 平尾良光編：古代青銅の流通と製造；難山堂（1999）
- (4) 馬淵久夫，平尾良光：鉛同位体比法による漢式鏡の研究；MUSEUM No.370，4-10（1982a）
- (5) 馬淵久夫，平尾良光：鉛同位体比から見た銅鐸の原料；考古学雑誌68，42-62（1982b）
- (6) 馬淵久夫，平尾良光：鉛同位体比法による漢式鏡の研究（二）；MUSEUM No.382，16-26（1983）
- (7) 平尾良光：『古墳時代青銅器の鉛同位体比』，学術振興会科学研究費成果報告書（2004）

表2 今までに測定された珠文鏡の鉛同位体比

県名	遺跡名	鉛同位体比					測定番号	備考
		$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{209}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{209}\text{Pb}$		
東京都	田塚不動取道跡	18.132	15.633	38.656	0.8622	2.1320	KP2117	4世紀後半
新潟県	藏王遺跡	18.217	15.652	38.651	0.8592	2.1217	HS438	
島根県	御崎山古墳	18.184	15.631	38.612	0.8596	2.1234	M6	月刊文化財No.251
岡山県	光坊寺1号墳	17.995	15.611	38.592	0.8675	2.1446	CP0878	
岡山県	斎宮遺跡	18.271	15.666	38.716	0.8574	2.1190	CP0468	R145
岡山県	殿山10号墳	18.131	15.643	38.697	0.8628	2.1343	CP0881	
岡山県	横田遺跡	17.923	15.595	38.549	0.8701	2.1508	CP0877	
福岡県	南方平石埴墓	18.099	15.612	38.581	0.8626	2.1317	HS204	
福岡県	向谷1号墳	18.145	15.616	38.594	0.8606	2.1270	R88	(仿製)
福岡県	立山25号墳	17.866	15.608	38.599	0.8736	2.1605	R88	(仿製)
福岡県	三国ノ花1号墳	18.206	15.666	38.704	0.8605	2.1250	R88	
佐賀県	中岡山遺跡	18.168	15.643	38.691	0.8610	2.1296	HS563	
誤差		±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006		



写真1 珠文鏡試料採取位置

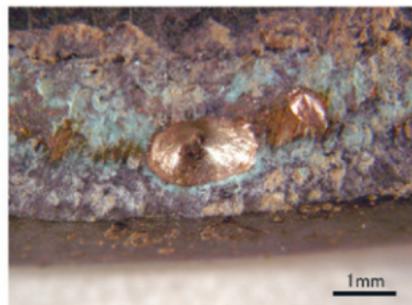


写真2 試料採取箇所の顕微鏡写真

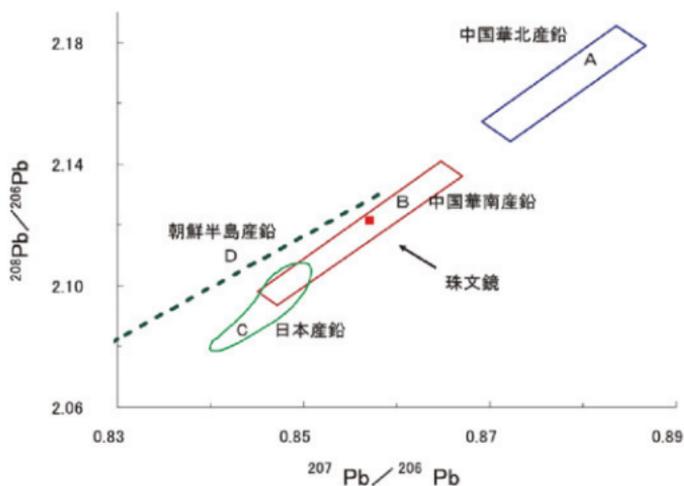


図1 板屋谷内B・C古墳群出土珠文鏡の鉛同位体比図 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

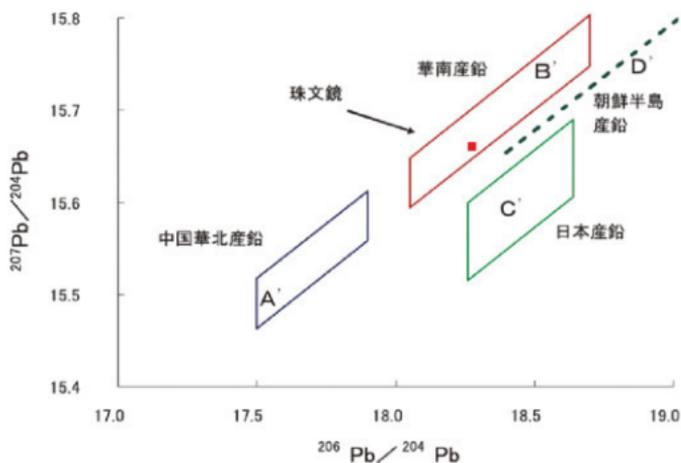


図2 板屋谷内B・C古墳群出土珠文鏡の鉛同位体比図 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

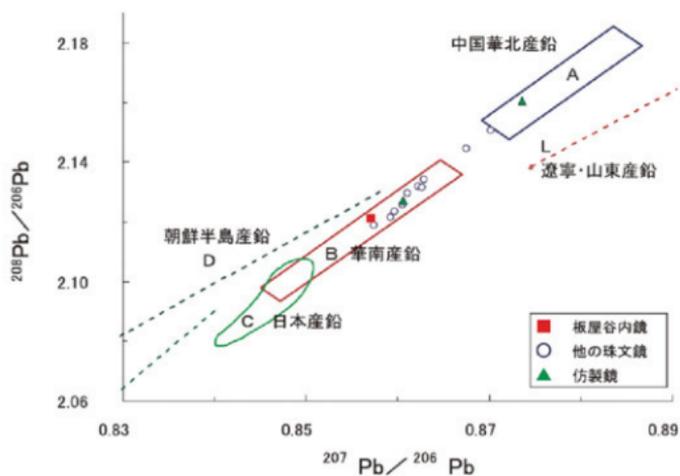


図3 今までに測定された珠文鏡の鉛同位体比分布 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

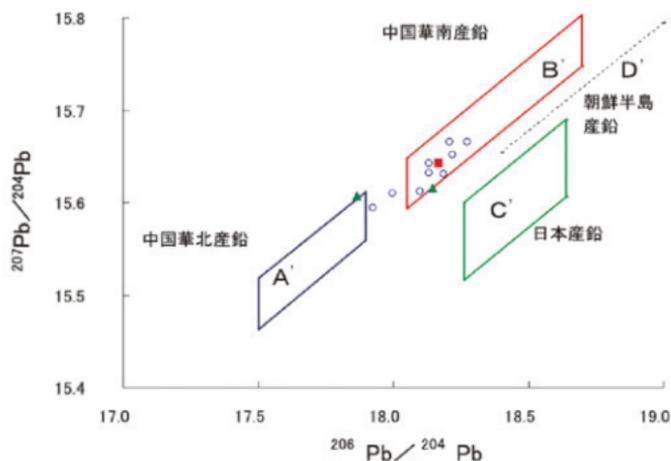


図4 今までに測定された珠文鏡の鉛同位体比分布 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

C 内行花文鏡および付着顔料の成分分析

財団法人元興寺文化財研究所

a 分析対象

内行花文鏡1点

b 分析内容

1) 成分・鉛同位体比分析

含まれる成分の調査及び鉛同位体比測定に必要な鉛の有無の確認のため、鏡本体および落下破片の蛍光X線分析装置（以下XRF）による表面からの非破壊分析を行った。

2) 赤色顔料の成分分析

鏡背に部分的に存在する赤色部と素地部分の成分をXRFで分析することによって比較し、赤色を示す顔料を検出することとした。

c XRFによる分析

1) 使用機器及び測定条件

・エネルギー分散型蛍光X線分析装置（XRF）（セイコーインスツルメンツSEA5230）

試料の微小領域にX線を照射し、その際に試料から放出される各元素に固有の蛍光X線を検出することにより元素を同定する。

鉛同位体比分析のためのXRF分析には、モリブデン管球、大気条件下、測定時間300秒、管電圧45kV（コリメータφ1.8mm）にて、赤色顔料の成分分析のためのXRF分析には、同様に、管電圧50kV（コリメータφ0.1mm）にて測定を行った。

2) 分析結果

①鉛同位体比分析のためのXRF分析結果

鏡本体（図1）および落下破片（図3）を分析したところ、どちらもほぼ同様の分析結果を示し、この遺物は銅、スズ、鉛を主成分とする青銅製で、ヒ素、銀を含むことがわかった（図2・図4）。

表1に2箇所の分析結果を示す。

表1 板屋谷内B・C古墳群出土鏡のXRF分析結果

Z	元素	元素名	ライン	鏡本体(cps)	落下破片(cps)	ROI(keV)
20	Ca	カルシウム	Kα	54.538	220.300	3.54-3.84
26	Fe	鉄	Kα	57.020	23.286	6.23-6.57
29	Cu	銅	Kα	1482.418	267.268	7.86-8.22
33	As	ヒ素	Kα	230.696	181.504	10.33-10.73
47	Ag	銀	Kα	21.049	26.345	21.84-22.36
50	Sn	スズ	Kα	403.573	195.150	24.92-25.47
82	Pb	鉛	Lβ	194.587	147.074	12.42-12.84

②赤色顔料の成分分析のためのXRF分析結果

鏡背の隣接した赤色部・素地部（図5）を分析して比較したところ、検出元素とその強度ともに大きな差異が無く（図6）、赤色を示す顔料の存在や成分を特定することはできなかった。ただし、赤色顔料が存在すると仮定すると、少なくとも水銀朱の存在は否定できる。

表2に分析結果を示す。

表2 板屋谷内B・C古墳群出土鏡のXRF分析結果

Z	元素	元素名	ライン	鏡赤色部(cps)	鏡素地(cps)	ROI(keV)
26	Fe	鉄	K α	2.840	1.977	6.23-6.57
29	Cu	銅	K α	179.412	202.948	7.86-8.22
33	As	ヒ素	K α	15.891	10.500	10.33-10.73
47	Ag	銀	K α	1.727	1.480	21.84-22.36
50	Sn	スズ	K α	40.412	38.927	24.92-25.47
51	Sb	アンチモン	K α	1.458	1.267	25.99-26.55
82	Pb	鉛	L β	14.159	10.624	12.42-12.84

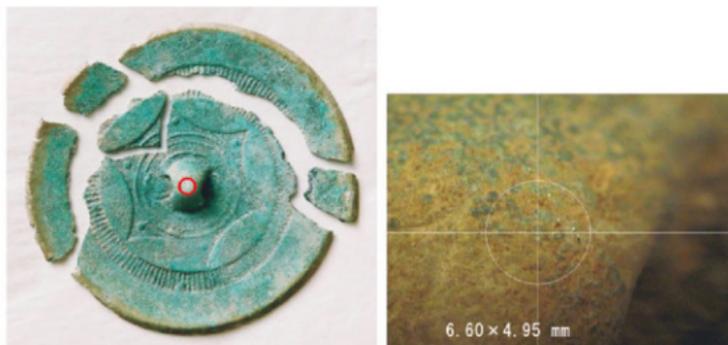


図1 鏡本体のXRF分析箇所

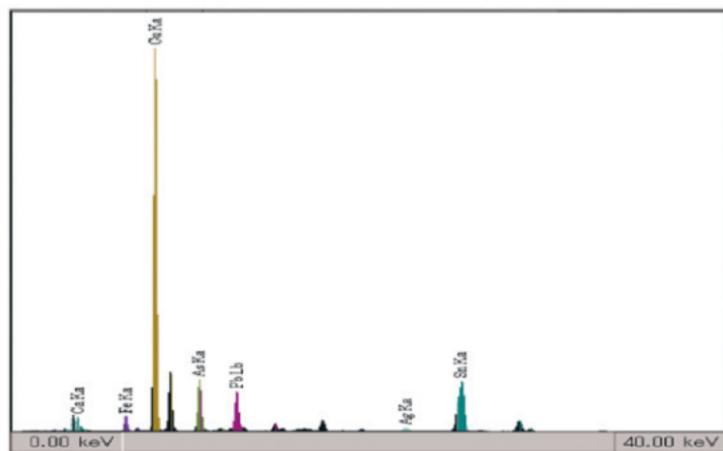


図2 鏡本体のXRFスペクトル

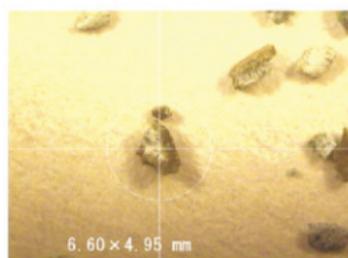


図3 鏡落下破片のXRF分析箇所

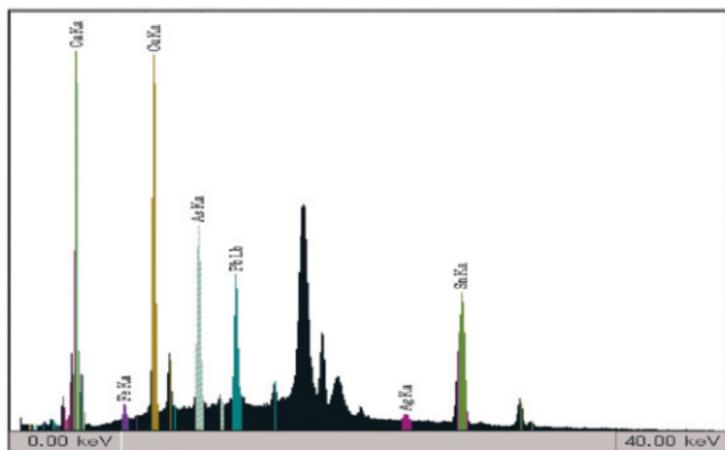


図4 鏡落下破片のXRFスペクトル

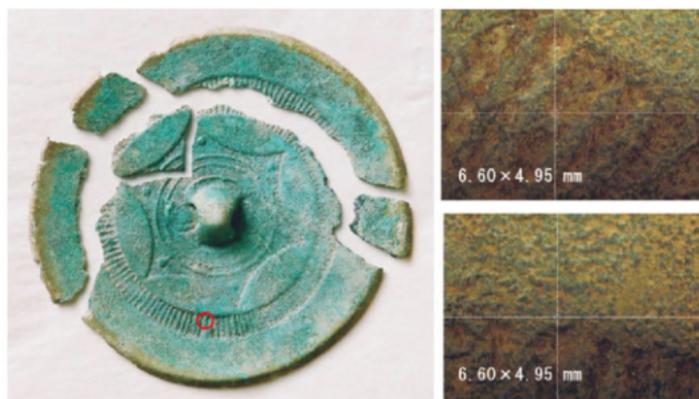


図5 XRF分析箇所(右上, 赤色部分, 右下, 素地部分)

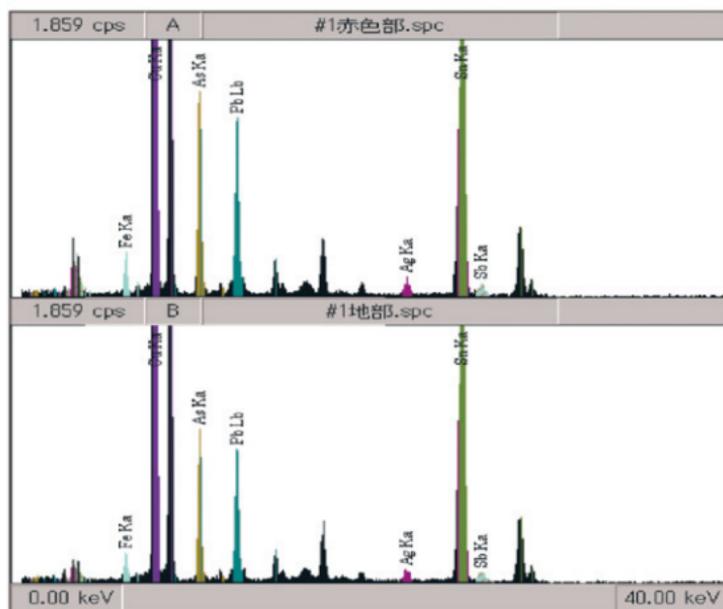


図6 鏡落下破片のXRFスペクトル

D 内行花文鏡の鉛同位体比

別府大学大学院 文学研究科 魯 鏡 瑛・平尾良光
財団法人元興寺文化財研究所

a はじめに

板屋谷内B・C古墳群は富山県小矢部川左岸の西山丘陵の東端に位置している。その周辺の一帯には古墳群が形成されている。板屋谷内B・C古墳群は古墳時代前期～中期に造られ、C古墳群が先行すると考えられる。C古墳群からは古墳時代前期～中期段階の土師器、玉、鏡、剣などが出土しており、B古墳群からは鉄製品、土器などが出土している。墳形は円墳・方墳であり、直径約15m～26mの大きさを持っており、一部は削平されている。この古墳群の中、C6号墳からは内行花文鏡が出土している。この鏡に関して、富山県文化振興財団埋蔵文化財調査事務所から、元興寺文化財研究所を通して、鏡に含まれる鉛の同位体比を測定することから、材料あるいは製品の交流や移動などに関して調査する依頼を受けた。それ故、下記のような方法で鉛同位体比を測定し、考察した。

b 資料

資料は板屋谷内B・C古墳群の中、C6号墳で出土した内行花文鏡1面である。古墳の盛土の大半が削平を受けており、遺物の元位置は確定できない。内行花文鏡はほぼ後漢代に製作されたといわれ、中国の各地の古墳、朝鮮半島の楽浪古墳、日本の前期古墳などから多く出土している。中国鏡の場合、花文の数が8個に対して、日本の場合は4～9個があり、一定していない。今回の資料の花文の数は6個である。

分析用試料は粉末状となった落下破片を採取した。

c 鉛同位体比の原理⁽¹⁾

地球が誕生したのは45.6億年前とされている。そしてこの時にすべての元素の同位体組成は地球上である値になっていて、それは地球のどこでも同じであったとされている。ほとんどの元素の同位体比は時間が経っても変化しないが、例外的なくつかの元素は変化した。鉛はその例外的な元素の一つである。

鉛には²⁰⁸Pb、²⁰⁹Pb、²¹⁰Pb、²¹¹Pbの同位体があり、地球が誕生した時にできた岩石中に他の元素と一緒に含まれていた。時間が経つと岩石中に含まれていた²³⁸Uは²⁰⁶Pbに、²³⁵Uは²⁰⁷Pbに、²³²Thは²⁰⁸Pbに変化する。U（ウラン）とTh（トリウム）が減少した量だけ鉛の量は増えてくる。

各鉛同位体の量は岩石中のU、Th、Pb（鉛）の量あるいは、岩石中でPbとU、Thが共存していた時間の長さによってそれぞれの増加量が異なるため、鉛同位体比の違いとして表わすことができる。

それ故、同位体の量が地球の誕生から変わっていない²⁰⁶Pb量と²⁰⁹Pb、²¹⁰Pb、²¹¹Pb量との比を調査し、世界の鉱山の鉛同位体比と比べることで鉛の産地がわかることになる。

d 分析方法

採取した破片試料に関して鉛同位体比を次のように測定した。試料をアルコールで洗浄し、石英製ビーカーに入れ、硝酸で溶解した。これを蒸留水で約5mlに希釈し、直流2V（ボルト）で電気分解した。約1日の時間をかけて電気分解を続け、析出した二酸化鉛を硝酸と過酸化水素水で溶解した。この溶液から0.2μgの鉛を分離し、リン酸とシリカゲルを加えてレニウムフィラメント上にのせた。準備したフィラメントを質量分析計（本学に設置されているサーモエレクトロン社の表面電離型質量分析計MAT262）の中にセットし、条件を整え、鉛同位体比を1200℃で測定した。同一条件で標準鉛試料NBS-SRM981を測定し、規格化した。

e 測定値の表し方^{*2)}

鉛同位体比測定の結果を理解するために材料の同位体比を次のように示した。鉛には²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pbの独立した4つの同位体があり、同位体比は²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁸Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁸Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁷Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁸Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁸Pbという12の方法で表現される。この方法の中で一番きれいな図で表現でき、4種類の同位体を含む²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb—²⁰⁷Pb/²⁰⁸Pbと²⁰⁶Pb/²⁰⁸Pb—²⁰⁷Pb/²⁰⁸Pbという2つの図(図1と図2)を用いた表現方法を利用して測定結果を図化した。中国の前漢時代、後漢時代、三国時代の銅鏡を分析してこれらを図中にプロットすると、前漢時代の銅鏡と後漢・三国時代の銅鏡の材料がはっきり区分されて分布した。

前漢時代の銅鏡が分布した領域を他の出土資料と比較して華北産材料の領域と表し、後漢時代・三国時代の銅鏡が分布する領域を華南産材料の領域と表した。

日本産材料の領域を設定する場合、西暦6世紀頃までの遺物で日本産の材料を用いたと断定できる資料は今のところわからないので、8世紀以降に作られた銭貨と現代の鉛鉱山が示す分布を日本産材料の領域とした。

朝鮮半島の場合、朝鮮半島で製作されたと考えられる多鈕細文鏡を用い、それらが示す分布を朝鮮半島産材料の領域とした。

f 結果

測定結果として得られた鉛同位体比を表1で示した。

表1 板屋谷内B・C古墳群から出土した内行花文鏡の鉛同位体比値

資料名	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁸ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁸ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	測定番号
内行花文鏡	17.856	15.568	38.487	0.8719	2.1555	BP1067
誤差	±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006	

測定した結果を図1と図2に図化した。図で判断すると本資料である内行花文鏡は中国の華北産材料の領域に分布した。

資料である内行花文鏡の測定結果を理解しやすくするため、この資料の値と今までに測定された古墳時代の内行花文鏡の値とを比較した^{*3)}。これまでの資料の鉛同位体比値を表2で示し、図3と図4で図化した。図で判断すると古墳時代の内行花文鏡はほとんどが中国の華南産材料の領域に位置した。ただし、いくつかの内行花文鏡は今回の資料と同じく華北産材料の領域に分布した。

g 考察

内行花文鏡が出土した板屋谷内B・C古墳群のC6号墳は古墳時代前期～中期に造られたといわれる。

これまでの研究成果によると青銅製品が導入され始めた時期は弥生時代前期末から中期初頃と考えられており、これまでの青銅資料の鉛同位体比から判断して、朝鮮半島産材料を利用していた。それが弥生時代中期中葉以降になると華北産の材料に変化した。この変化に伴い、朝鮮半島産材料は使われなくなる。その後、弥生時代後期後半～終末期には華北産材料でも図中'a'として表現される特定領域の材料へと変化した。古墳時代になると前期から朝鮮半島産材料も日本に導入される。しかし、この時期には中国の華南産材料が主として利用されていた。ただし、日本で作った青銅鏡には華北産材料を利用した場合もある。このように時代の変化と鉛同位体比の変化が対応しているように示され

ている。

今までに発見された古墳時代の内行花文鏡はこれらを反映するように、その材料のほとんどが華南産である。しかし、図3と図4で示したようにいくつかの内行花文鏡は華北産材料で作られていることも事実である。

本資料が考古学的な形態の判断から中国製であるとすれば、この分析結果を今までの研究成果から判断するとこの鏡は前漢末頃に作られ、板屋谷内B・C古墳群に埋蔵されるまでに伝世された可能性があるとみることができる。鏡は実用品よりも象徴的あるいは儀礼的な用品であるため、長い期間伝世されてもおかしくはない。しかし、本資料が仿製鏡であるならば、古墳時代前期～中期に日本のどこかで作られ、この地まで運ばれた資料と判断することができる。この場合、あまり一般的ではない華北産材料を利用している点、他資料との比較で違った意味を示唆している。結果として、本資料が古墳から出土した点を考えると仿製鏡である可能性が高い。

引用文献

- (1) 平尾良光編, 1999「古代青銅の流通と鑄造」鶴山堂(東京), p31~p33
- (2) 平尾良光編, 1999「古代青銅の流通と鑄造」鶴山堂(東京), p35~p39
- (3) 平尾良光, 2004「古墳時代青銅器の鉛同位体比」基礎研究C成果報告書(研究課題番号14580174)

表2 古墳時代の内行花文鏡の鉛同位体比値

番号	出土地	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{209}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{209}\text{Pb}$	測定番号	
1	新潟 蔵王遺跡	17.881	15.563	38.400	0.8704	2.1476	HS439	
2	京都 橋井大塚山古墳	17.851	15.589	38.539	0.8733	2.1589	CP670	
3	奈良 天神山古墳3-1	18.512	15.711	38.943	0.8487	2.1037	KP2028	
4		天神山古墳3-2	18.498	15.709	38.935	0.8492	2.1048	KP2029
5		天神山古墳3-3	18.226	15.678	38.745	0.8602	2.1258	KP2030
6		天神山古墳4-2	18.206	15.662	38.689	0.8603	2.1251	KP2031
7		天神山古墳17	18.147	15.642	38.676	0.8620	2.1313	KP2048
8		天神山古墳20-1	18.629	15.732	39.031	0.8445	2.0952	KP2051
9		天神山古墳20-2	18.624	15.726	39.016	0.8444	2.0949	KP2052
10		島根 釜代1号墳	18.163	15.637	38.567	0.8609	2.1234	CP0552
11	岡山 鶴山丸山古墳	18.173	15.647	38.593	0.8610	2.1237	KP1960	
12		鶴山丸山古墳	18.220	15.657	38.683	0.8593	2.1231	KP1961
13		鶴山丸山古墳	18.143	15.639	38.622	0.8620	2.1288	KP1962
14		鶴山丸山古墳	18.411	15.670	38.858	0.8511	2.1106	KP1963
15		鶴山丸山古墳	18.127	15.637	38.589	0.8626	2.1288	KP1977
16		備前車塚古墳	18.273	15.671	38.792	0.8576	2.1229	AO2483
17	佐賀 平原遺跡	18.316	15.685	38.824	0.8564	2.1197	HS585	
誤差		±0.010	±0.010	±0.010	±0.0003	±0.0006		

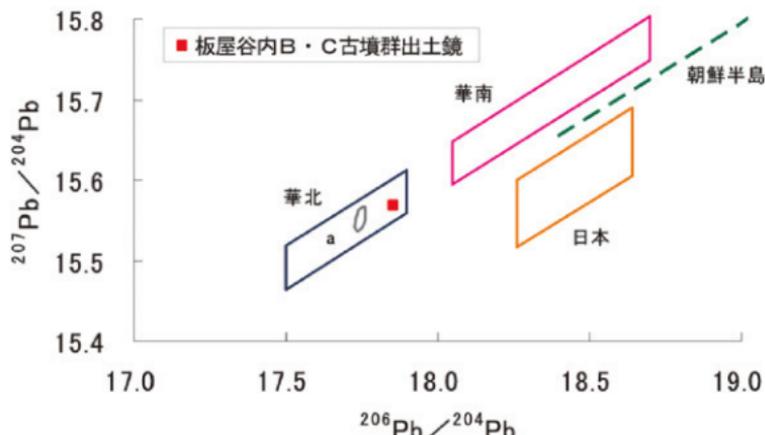


図1 板屋谷内B・C古墳群から出土した内行花文鏡の鉛同位体比 ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

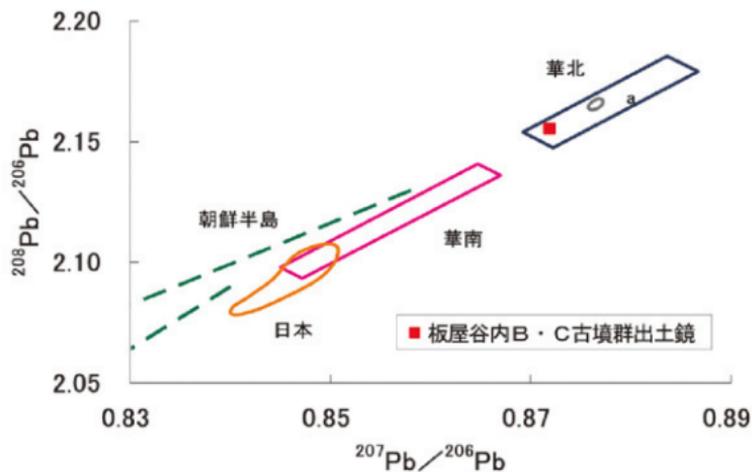


図2 板屋谷内B・C古墳群から出土した内行花文鏡の鉛同位体比 ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

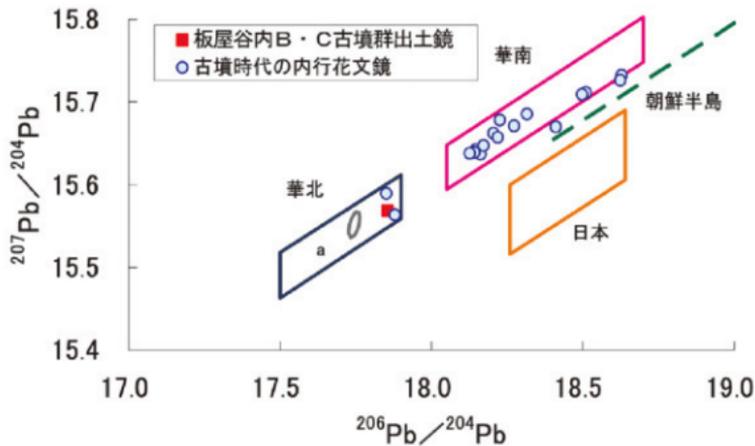


図3 板屋谷内B・C古墳群から出土した内行花文鏡とこれまでに分析された内行花文鏡の鉛同位体比 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

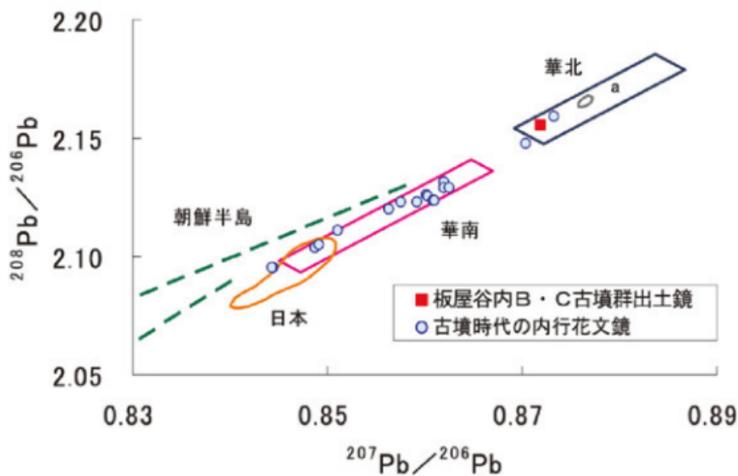


図4 板屋谷内B・C古墳群から出土した内行花文鏡とこれまでに分析された内行花文鏡の鉛同位体比 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

(6) 鉄製品の金属学的調査

九州テクノロジーサーチ・TACセンター 大澤正己・鈴木瑞穂
財団法人元興寺文化財研究所

A いきさつ

板屋谷内B・C古墳群は高岡市に所在する。能越自動車道建設に伴い、古墳時代前期中頃から中期後半の古墳7基の調査が実施されている。これら古墳出土鉄製品の始発原料の性状や、鉄器製作技術の検討するため、金属学的調査を実施する運びとなった。

B 調査方法

a 供試材

Table. 1 に示す。鉄製品14点の調査を行った。

b 調査項目

<1>肉眼観察

遺物の外観上の所見を記載した。

<2>マクロ組織

本来は肉眼またはルーペで観察した組織であるが、本稿では顕微鏡埋込み試料の断面全体像を低倍率で撮影したものを指す。当調査は顕微鏡検査によるよりも、広い範囲にわたって、組織の分布状態、形状、大きさなどの観察ができる利点がある。

<3>顕微鏡組織

鉍滓の鉍物組成、金属部の組織観察や非金属介在物の調査などを目的とする。

試料観察面を設定・切り出し後、試験片は樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000、及びダイヤモンド粒子の3 μ と1 μ で鏡面研磨した。

また観察には金属反射顕微鏡を用い、特徴的・代表的な視野を選択して、写真撮影を行った。なお金属鉄の調査では5%ナイトル(硝酸アルコール液)を腐食(Etching)に用いた。

<4>ピッカース断面硬度

ピッカース断面硬度計(Vickers Hardness Tester)を用いて、滓中の晶出物および金属鉄部の硬さ測定を実施した。

試験は鏡面研磨した試料に136°の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた窪みの面積をもって、その荷重を除いた商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用し、荷重は200gfで測定した。

<5>EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) 調査

鉄中非金属介在物の組成調査を目的とする。

試料面(顕微鏡試料併用)に真空中で電子線を照射し、発生する特性X線を分光後に画像化し定性的な結果を得る。更に標準試料とX線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理してデータ解析を行う方法である。

反射電子像(COMP)は、調査面の組成の違いを明度で表示するものである。重い元素で構成される物質ほど明るく、軽い元素で構成される物質ほど暗い色調で示される。これを利用して組成の違いを確認後、定量分析を実施している。

C 調査結果

No.6: 鑿 【遺物番号19】

〈1〉肉眼観察：現存長8.6cm程の鑿である。頭部はやや幅広く、前方に短い凸部が観察される。やや扁平で、横断面は長方形状を呈する。また錆化に伴い先端部は欠損しており、表面は黄褐色の土砂に覆われる。

〈2〉マクロ組織：Photo.1①に示す。観察位置は側面頭部寄りの横断面（約1/2）で、右側が側面表層部にあたる。展伸状の大型非金属介在物が多数分布する鍛造品である。また金属鉄部は5%ナイトルで腐食している。ほぼ全面フェライト単相の組織が確認された。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.1②～⑥に示す。②中央は鍛打に伴い展伸した非金属介在物である。介在物の鉱物組成に関しては、E PMA調査の項で詳述する。③～⑥はマクロ写真右側の拡大である。ほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織の軟鉄製品であった。

〈4〉ピッカース断面硬度：Photo.1④～⑥の金属鉄部の硬度を測定した。④118Hv, ⑤102Hv, ⑥114Hvであった。フェライト結晶の粒度に対応して、若干硬度差が生じている。また全体にフェライト単相の組織としてはやや硬質であり、燐(P)など硬度を上昇させる元素を若干固溶している可能性が考えられる。

〈5〉E PMA調査：Photo.13の1段目に非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。15の白色粒状結晶の定量分析値は101.0%FeOであった。ウスタイト（Wustite: FeO）に同定される。また16の淡灰色微小結晶の定量分析値は66.2%FeO-3.5%CaO-2.1%MgO-31.0%SiO₂であった。ファイヤライト（Fayalite: 2FeO·SiO₂）に同定される。さらに17の青灰色部の定量分析値は83.0%FeO-4.9%SiO₂-1.2%Al₂O₃であった。介在物の素地部分ではなく、錆化鉄と推定される。

以上の調査の結果、当資料はほとんど炭素を含まない軟鉄材の鍛錬製品と判断される。実際に使用された鋼であれば、先端には刃金（鋼）を鍛接していた可能性が高いと考えられるが、今回の調査位置からはそうした判断はできない。また大型の非金属介在物は、主に鉄材の酸化物と鍛接材の溶融物からなり、熱間での鍛打加工で生じたものと推定される。

No.7: ヤリ 【遺物番号17】

〈1〉肉眼観察：ヤリと推定される鉄製品である。先端部は欠損しており、現存長は21.8cmである。また刃部は錆化の進行に伴い芯部が空洞化している。基部には一部木質と漆が付着している。

〈2〉マクロ組織：Photo.2①に示す。写真下側が刃部先端にあたる。全体に錆化が進んでおり、観察面では金属鉄部は確認されなかった。また芯部は錆化に伴い層状剥離を起こしており、多数の空隙が観察される。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.2②～⑥に示す。②の写真上側の細長い形状の黒色部は、非金属介在物が剥落した痕跡の可能性が高い。また③～⑥は錆化鉄部の拡大である。全体に金属組織の痕跡は不明瞭であった。

当資料は層状剥離を起こしていることや、介在物の剥落痕跡が展伸状を呈することから、折り返し鍛錬が施された鍛造品と推測される。また全体に金属組織の痕跡は不明瞭で、炭素含有量等を推定する手がかりは得られなかった。

No.8: 方形板鍛・鋤先 【遺物番号20】

〈1〉肉眼観察：方形板鍛（鋤）先と推定される。幅広い板状の鉄材の両端を折り曲げて装着部を作り出している。現状では大きく2片に割れているが、ほぼ完形品である。刃先部より供試材は採取さ

れている。

〈2〉マクロ組織：Photo.3①に示す。写真下側が刃部先端にあたる。全体に錆化が進行しており、金属鉄部は残存していない。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.3②～⑥に示す。②～⑤はマクロ写真中央や下寄りの表層部の拡大である。微かに層状のパーライト組織痕跡が残存しており、炭素含有量が0.1～0.2%程度の軟鉄と推定される。⑥は刃部先端の拡大であるが、この個所の金属組織痕跡は不明瞭であった。

上述のような部分的に残存する金属組織痕跡から、当資料は比較的炭素量含有量の低い軟鉄材を鍛打成形して作られた鍛造品と推定される。型を使った曲げ加工も軟鉄充当で抵抗は小さかろう。刃先の金属組織は不明瞭で、浸炭等の硬化処理を施したか否かの情報は得られなかった。

No.9：剣 【遺物番号32】

〈1〉肉眼観察：ほぼ完形の鉄剣である。全長は21.6cmで、刃部は比較的薄手である。また表面全体は黄褐色の土砂で覆われ、先端に一部木質が固着する。

〈2〉マクロ組織：Photo.4①に示す。写真下側が刃部先端にあたる。全体に錆化が進んでおり、観察面では金属鉄部は確認されなかった。また芯部には、錆化に伴い多数の空隙が観察される。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.4②～⑦に示す。②の写真上側の細長い形状の黒色部は、非金属介在物が剥落した痕跡の可能性が高い。また③～⑥は錆化鉄部の拡大である。全体に金属組織の痕跡は不明瞭であった。

当資料は介在物の剥落痕跡が展伸状を呈することから、折り返し鍛錬が施された鍛造品と推測される。ただし金属組織痕跡は不明瞭で、炭素含有量等を推定する手がかりは得られなかった。

No.10：刀子 【遺物番号33】

〈1〉肉眼観察：刃部から中茎にかけての刀子破片と推定される。両端は破面である。また全体に薄手で、茎部との間には段を設けていない。全体に錆化による割れや表層剥離が著しい。

〈2〉マクロ組織：Photo.5①に示す。刃部棟側の横断面を観察した。写真上側が棟部表層側にあたる。明白色部が残存金属鉄である。5%ナイトルで腐食したところ、全面フェライト単相の組織が確認された。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.5②～⑧に示す。②中央は鍛打に伴い展伸した非金属介在物である。介在物の鉱物組成に関しては、E PMA調査の項で詳述する。また③～⑥はマクロ写真上側、⑦⑧はマクロ写真下側の金属鉄部の拡大である。どちらもほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織を呈する。

〈4〉ピッカース断面硬度：Photo.5⑤⑥の金属鉄部の硬度を測定した。⑤の硬度値は116Hv、⑥の硬度値は128Hvであった。共にフェライト単相の組織としては硬質で、燐(P)など硬度を上昇させる元素を若干固溶している可能性がある。または細かい非金属介在物が多数散在するため、その影響を受けた可能性も考えられる。

〈5〉E PMA調査：Photo.13の2段目に非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。18の白色粒状結晶の定量分析値は104.8%FeOであった。ウスタイト(Wustite: FeO)に同定される。また19の淡灰色結晶の定量分析値は73.0%FeO-5.0%P₂O₅-25.7%SiO₂であった。ファイヤライト(Fayalite: 2FeO·SiO₂)に同定される。ただし珪酸(SiO₂)の一部を燐酸(PO₄)が置換した組成となっている。

以上の調査結果から、当資料は軟鉄材を鍛打成形した鍛造品と推定される。刀子であれば、棟から茎を軟鉄材で成形し刃部により硬質の刃金(鋼)を配するのは、ごく一般的な製作技法といえる。錆化が進行していたため、刃部の調査は断念し棟側を観察面としたので、地金部分のみを確認したもの

と考えられる。刃先により炭素量の高い刃金（鋼）を配している可能性が高い。

No.11：鑿 【遺物番号319】

〈1〉肉眼観察：鑿と推定される、やや扁平な板状の鉄製品である。上側が若干幅広で、先端は資料本来の側面が残存しているか、破面か定かでない。表面は黄褐色の土砂や茶褐色錆化物で覆われており、表面は錆化割れが著しい。

〈2〉マクロ組織：Photo. 6①は側面やや中央寄りの横断面（1/2）である。5%ナイタルで腐食した組織である。横断面では高炭素域（黒色部）と低炭素域（白色部）が斜めに互層を成しており、炭素含有量の異なる異材を折り返し鍛錬した鍛造品と推定される。またPhoto. 7①には資料左側面表層部の縦断面を示した。5%ナイタルで腐食したところ、写真左半部及び右上端に高炭素域（黒色部）、右半部に低炭素域（白色部）が観察される。

〈3〉顕微鏡組織：Photo. 6②～⑥は横断面の金属組織の拡大である。高炭素域（黒色部）と低炭素域（白色部）が互層をなしている。高炭素域はパーライト素地に針状フェライトが析出する亜共析組織、低炭素域はフェライト主体を呈する。Photo. 7②～⑥には縦断面の写真を示す。②中央は鍛打に伴い展伸した非金属介在物である。介在物の鉱物組成に関しては、E P M A調査の項で詳述する。また③④はマクロ写真左側の高炭素域の拡大。⑤⑥はマクロ写真右上端の低炭素域から高炭素域にかけての拡大である。以上の横・縦断面の金属組織から、高炭素域の炭素含有量は0.6%程度、低炭素域の炭素含有量は0.1%以下と推定される。

〈4〉ビッカース断面硬度：Photo. 6③～⑥横断面金属鉄部の硬度を測定した。高炭素域の③は186Hv、⑤は235Hvであった。これに対して低炭素域の④は135Hv、⑥は138Hvであった。またPhoto. 7④⑥の縦断面金属鉄部の硬度を測定した。④の高炭素域の硬度値は219Hv、⑥の低炭素域の硬度値は137Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

〈5〉E P M A調査：Photo.13の3段目に非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。25の淡灰色微小結晶の定量分析値は59.1%FeO-32.9%SiO₂であった。ファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）に同定される。また26の白色粒状結晶の定量分析値は100.8%FeOであった。ウスタイト（Wustite：FeO）に同定される。さらにもう1個所、鉄中非金属介在物の調査を実施した。Photo.13の4段目に反射電子像を示す。27のガラス質部分の定量分析値は56.0%FeO-32.6%SiO₂-7.1%Al₂O₃であった。鉄分の割合が高く、ファイヤライトに近い組成であった。

以上の調査の結果、当資料は炭素量の異なる鉄素材を鍛錬して作られた合せ鍛えが明らかとなった。こうした製法を取ることで、硬さと靱性を兼ね備えた製品を志向したものと推測される。

No.12：刀 【遺物番号 8】

〈1〉肉眼観察：鉄刀の刃部破片と推定される。両端は破面で、現存長は11.8cmである。錆化の進行に伴い、表層部の剥離が進んでいる。また広い範囲が黄褐色の土砂に覆われる。

〈2〉マクロ組織：Photo. 8①に示す。刃部棟側の横断面を観察した。写真右側が棟部表層側にあたる。明白色部が残存金属鉄である。展伸状の介在物が層状に分布しており、折返し鍛錬が施された鍛造品と推定される。また5%ナイタルで腐食したところ、フェライト主体の亜共析組織が確認された。

〈3〉顕微鏡組織：Photo. 8②～⑥に示す。②中央は鍛打に伴い展伸した非金属介在物である。介在物の鉱物組成に関しては、E P M A調査の項で詳述する。③～⑥は写真右側の拡大である。フェライト主体の亜共析組織を呈する。炭素含有量は0.3%程度の軟鉄と推定される。またパーライトが分解して、不完全球状セメンタイト化しているところから、焼鈍された可能性が考えられる。微細フェラ

イト結晶粒は鍛造比の高いことを示す。

〈4〉ピッカース断面硬度：Photo.8④～⑥の金属鉄部の硬度を測定した。硬度値は④が116Hv、⑤が129Hv、⑥は153Hvであった。これらの硬度差は、フェライト結晶粒の大きさと不全球状セメントタイトの割合の違いに対応したものと見える。

〈5〉E P M A調査：Photo.13の5段目に非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。28の白色粒状結晶の定量分析値は99.2%FeO-3.9%MgOであった。ウスタイト（Wustite：FeO）と推定される。なおマグネシウム（Mg）を微量固溶する、また29のガラス質部分の硬度値は37.5%SiO₂-13.9%Al₂O₃-15.9%CaO-4.3%MgO-4.0%K₂O-23.7%FeOであった。さらにもう1視野、鉄中非金属介在物の調査を実施した。Photo.14の1段目に反射電子像を示す。30の定量分析値は53.7%SiO₂-10.0%Al₂O₃-15.5%CaO-3.1%MgO-5.9%K₂O-11.3%FeOであった。珪酸塩系の介在物である。

当資料は軟鉄材を折り返し鍛錬していることが明らかになった。棟部の芯金のみが確認できたものと判断される。また今回、錆化が進行していたため刃部の調査は断念したが、刃先にはより炭素量の高い刃金（鋼）を配している可能性は高いと考えられる。

No.13：刀子 【遺物番号4】

〈1〉肉眼観察：刀子の基部破片と推定される。両端は破面で、横断面は長方形を呈する。表面は黄褐色の土砂で覆われる。また錆化の進行に伴い芯部が空洞化している。

〈2〉マクロ組織：Photo.9①に示す。写真左側が資料側面にあたる。全体に錆化が進んでおり、金属鉄部は残存していない。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.9②③に示す。表層錆化鉄部の拡大である。金属組織の痕跡は不明瞭で、炭素含有量を推定するのは困難な状態であった。

No.14：鉄斧 【遺物番号6】

〈1〉肉眼観察：ほぼ完形の有肩鉄斧である。袋部は横断面が楕円状を呈する。錆化割れが顕著で、一部表層剥離も生じている。

〈2〉マクロ組織：Photo.9④に示す。袋部（肩部寄り）側面を観察面とした。展伸状の非金属介在物が多数層状に分布しており、多数回折り返し鍛錬を施した鍛造品である。また5%ナイタルで腐食したところ、フェライトの面積率の高い亜共析組織が主体であるが、一部帯状により炭素量の高い領域（黒色部）が確認される。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.9⑤～⑦、Photo.10①～⑤に示す。Photo.9⑤中央の暗色部は鍛打に伴い展伸した非金属介在物である。介在物の鉱物組成に関しては、E P M A調査の項で詳述する。またPhoto.9⑥⑦は、マクロ写真右下の高炭素域の拡大である。黒色層状のパーライト素地に、白色針状のフェライトが析出する亜共析組織を呈する。以上の組織から、炭素含有量は最大0.5%程度と推測される。さらにPhoto.10①～⑤はマクロ写真左側の拡大である。②③は表層部低炭素域の拡大で、フェライト素地に少量黒色層状のパーライトが析出する、亜共析組織を呈する。炭素含有量は0.1%程度と推定される。また④⑤は中央付近の帯状高炭素域の拡大で、①②よりパーライトの面積率がやや高い。炭素含有量は0.3%程度と推定される。

〈4〉ピッカース断面硬度：Photo.9⑦、Photo.10③⑤の金属鉄部の硬度を測定した。Photo.9⑦の硬度値は163Hv、またPhoto.10③の硬度値は108Hv、⑤は130Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

〈5〉E P M A調査：Photo.14の2段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。33のガ

ラス質部分の定量分析値は39.8%SiO₂-6.9%Al₂O₃-11.8%CaO-5.9%K₂O-34.7%FeOであった。また34の白色粒状結晶の定量分析値は100.0%FeOであった。ウスタイト (Wustite : FeO) に同定される。さらにもう1箇所、非金属介在物の調査を実施した。Photo.14の3段目に鉄中非金属介在物の反射電子像を示す。35のガラス質部分の定量分析値は62.0%SiO₂-15.5%Al₂O₃-2.0%CaO-2.5%MgO-3.4%K₂O-14.4%FeOであった。

当資料は多数回の折り返し鍛錬が施された鍛造品である。また炭素含有量は部位によりばらつきがある。最大で0.5%程度と推定されるが、全体的には0.1%前後の軟鉄が主体であった。袋部および芯部も基部側は、加工性が高く靱性のある低炭素鋼を主体として製作されたものと判断される。また、今回錆化が進行していたため刃部の調査は断念したが、刃先にはより炭素量の高い刃金(鋼)を配している可能性が考えられる。

No.15: 鎌 【遺物番号32J】

〈1〉肉眼観察: 「へ」の字状に屈曲した有茎の鉄鎌である。両端部は錆化に伴い欠損している。表面は黄褐色の土砂で覆われる。

〈2〉マクロ組織: Photo.11①に示す。刃部棟側横断面を観察した。表層の錆化鉄(明灰色部)は層状剥離を起こしており、鍛造品と推定される。また芯部には明白色の金属鉄が残存する。5%ナイトルで腐食したところ、フェライト主体の亜共析組織が確認された。

〈3〉顕微鏡組織: Photo.11②③に示す。白色多角形状のフェライト素地に、少量黒色層状のパーライトが析出する亜共析組織を呈する。

〈4〉ピッカース断面硬度: Photo.11③の金属鉄部の硬度を測定した。硬度値は104Hvであった。組織に見合った値といえる。

〈5〉E P M A調査: Photo.14の4段目に非金属介在物反射電子像 (COMP) を示す。31の微小黄褐色異物の定量分析値73.2%MnO-4.8%FeO-33.9%Sであった。硫化マンガン (MnS) と推定される。また32の暗色部の定量分析値は33.8%MnO-5.3%FeO-59.7%Al₂O₃であった。ガラス質の酸化物系多相介在物 [(Mn, Fe) O·Al₂O₃] と推定される。

当資料は古墳時代の出土遺物としては、介在物の鉱物組成が特異である。マンガン (Mn)、アルミナ (Al) を脱酸剤とする、近代以降の製法で造られた鉄製品の特徴を有しており、後代の混入品の可能性が極めて高いと考えられる。

No.16: 蓋状鉄製品 【遺物番号25】

〈1〉肉眼観察: 直径10cm程の円板状鉄製品の1/2弱破片である。本体部の厚みは2.5mm程で、縁辺部に断面半円状の段がめぐっている。経筒の蓋の可能性が考えられる。表面は黄褐色の土砂で覆われる。

〈2〉マクロ組織: Photo.11⑤に示す。5%ナイトルで腐食している。全面斑錆組織を呈する鑄造製品であった。また内部には0.1mm程の気孔が散在するが、その数はごく僅かで、鑄込み時の湯流れは良好であったと判断される。

〈3〉顕微鏡組織: Photo.11④および⑥⑦に示す。④は金属鉄部を腐食なしの状態で示したものである。中央やや右寄りの微小黄褐色異物は硫化鉄と推定される。また周囲の針状黒色部は片状黒鉛で、その周辺から錆化が始まる。⑥⑦は金属鉄部を5%ナイトルで腐食した組織の拡大である。白色板状のセメントイト (Cementite : Fe₃C)、蜂の巣状のレデブライト (ledeburite)、さらに片状黒鉛の周囲に黒色層状のパーライトが析出する斑錆組織が確認された。

〈4〉ピッカース断面硬度: Photo.11⑥⑦の金属鉄部の硬度を測定した。⑥のパーライト部分硬度値

は233Hv、⑦のレデライト部分の硬度値は644Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

〈5〉EPMA調査：Photo.14の5段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。1の微小黄褐色異物の定量分析値は54.2%Fe-14.6%Ti-21.2%Sであった。硫化鉄（FeS）であるが、チタン（Ti）をかなり固溶する。始発原料が砂鉄であった可能性が高いと考えられる。

当資料は段のつくりから、鎌倉時代以降の鉄製品の可能性が指摘されている。中世以降の製品である場合、国内の火山岩起源の中～高チタン砂鉄を製鉄原料とした鑄造品の可能性が高いと考えられる。

No.17：剣 【遺物番号320】

〈1〉肉眼観察：鉄剣の刃部破片と推定される。錆化に伴って複数の細片に割れており、各破片を接合した現存長は20.2cm程である。両端部は欠損している。表面は黄褐色の土砂に覆われ、錆化割れも著しい。

〈2〉マクロ組織：Photo.12①に示す。写真下側が刃先部である。全体に錆化が進んでおり、金属鉄部は残存していない。また芯部には層状の空隙が複数生じている。折り返し鍛錬が施された鍛造品と推定される。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.12②③に示す。資料表層錆化鉄部の拡大である。金属組織痕跡は不明瞭で、炭素含有量等を推定する手がかりは得られなかった。

No.18：刀 【遺物番号7】

〈1〉肉眼観察：鉄刀の刃部小破片と推定される。現存長は6.0cmほどである。表面は黄褐色の土砂が付着しており、全体に錆化割れが著しい。

〈2〉マクロ組織：Photo.12④に示す。棟部側横断面を観察した。全体に錆化が進んでおり、金属鉄は残存していない。なお断面形状から棟金部（写真上側）は別造りであった可能性が考えられる。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.12⑤に示す。資料表層錆化鉄部の拡大である。金属組織痕跡は不明瞭で、炭素含有量等を推定する手がかりは得られなかった。

No.19：刀 【遺物番号9】

〈1〉肉眼観察：現存長さ42.2cm、身幅3.6cmの鉄刀と推測される。造りは僅かに内彎気味で、刃は片側が明瞭で直角に近い斜めで幅広茎をもつ。刃先側は破面らしく、また、茎尻の日釘孔の2個目からの欠損品らしい。全体に腐食が進み、錆化目減りも激しくて、原状を保てていないようである。

〈2〉マクロ組織：Photo.17に示す。先端よりの刃部横断面の観察を実施した。中央の芯金相当部に金属鉄を残し、密着した丁寧な折り返した鍛接線が観察される。金属組織は微細なフェライト結晶粒で、鍛接の合せ鍛えが想定される。ただし皮金部分は錆化しており、情報は読み取れない。

〈3〉顕微鏡組織：Photo.15、16に示す。Photo.15①②は、鍛打に伴い展伸状を呈する鉄中非金属介在物である。なかには白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色柱状結晶ファイヤライトが晶出するものと、非晶質珪酸塩系の介在物が確認される。Photo.15③～⑤は刃先側の組織である。素地は微細なフェライトで、表層側に水冷により析出した針状組織のマartenサイト（Martensite）、内部でパーライト分解の粒状パーライト（Granular Pearlite）が観察される。また、⑥は棟側の組織であって、こちらも微細フェライトであった。Photo.16①もPhoto.15⑥に隣接した箇所の組織である。こちらは表層側でもパーライトが分解した粒状セメントライトが認められた。②はその拡大である。

〈4〉ピッカース断面硬度：Photo.15⑦は比較的粒径の大きいフェライト単相の組織箇所である。硬度値は137Hvと軟質である。⑧は刃先側で観察された針状組織で、硬度値は234Hvと他の箇所より硬質であった。⑨は微細フェライトで179Hvと硬質である。またPhoto.16⑤は表層部の針状組織で

194Hv, ⑥は微細フェライト部分で155Hvであった。

〈5〉E PMA調査: Photo.18の上段に鉄中非金属介在物の反射電子像 (COMP) と定量分析結果を示す。上側の非金属介在物は、10の素地部分の定量分析値は46.0%SiO₂-5.0%Al₂O₃-9.4%CaO-6.5%K₂O-25.4%FeOであった。素地部分でもかなり鉄分を固溶する。11の淡灰色柱状結晶の定量分析値は66.3%FeO-32.4%SiO₂であった。ファイヤライト (Fayalite: 2FeO・SiO₂) に同定される。もう1視野、非金属介在物の組成調査を実施した。Photo.18の下段に反射電子像 (COMP) に示す。12の白色粒状結晶の定量分析値は103.1%FeOであった。ウスタイト (Wustite: FeO) に同定される。13の素地部分の定量分析値は37.2%SiO₂-6.7%Al₂O₃-16.9%CaO-1.2%MgO-3.0%K₂O-33.8%FeO-1.8%P₂O₅であった。ここでもかなり鉄分を固溶している。さらに燐 (P) もやや高めであった。

当資料は炭素含有量のきわめて低い軟鉄 (極低炭素鋼) を、折り返し鍛錬した鍛造品である。また刃先や表層に一部みられる針状組織は、現代鋼の水焼き入れ後高温で焼き戻した金属組織と近似するが、こうした熱処理が行われたか断定することは難しい。

D まとめ

板屋谷内B・C古墳群から出土した鉄製品14点を分析した結果、次の点が明らかとなった。

a 板屋谷内B・C古墳群 (前期中頃~中期後半) 出土遺物

古墳時代と推定される鉄器群12点のうち、鑿 (No11) は炭素含有量の異なる鉄素材を粗く折り返し鍛錬した鉄製品であった。強度と韌性を兼ね備えた製品を作るため、地金 (軟鉄) と刃金 (鋼) 双方を用いたものと推定される。

鉄斧 (No14) は、多数回折り返し鍛錬を施した鍛造品であった。炭素含有量は部位によりばらつきがあり、最大で0.5%程度と推定されるが、全体的には0.1%前後の軟鉄が主体であった。袋部および芯部も基部側は、加工性が高く韌性のある低炭素鋼を主体として製作されたものと判断される。

刀 (No19) は、炭素含有量のきわめて低い軟鉄 (極低炭素鋼) を、折り返し鍛錬した鍛造品である。刃先や表層の針状組織は、現代鋼の水焼き入れ後高温で焼き戻した金属組織と近似するが、こうした熱処理が行われたかを判断することは難しい。鉄材中の不純物に起因する可能性なども考えられるため、こうした金属組織が現れる要因について、今後検討が必要である。

なお鑿 (No6)、鍛先 (No8)、刀子 (No10)、刀 (No12) では、軟鉄部のみが確認された。鉄器体部や棟部は柔らかく加工性のよい軟鉄材で作られたと推定される。なおこれら鉄器は特殊金属探知機を用いて金属鉄の残存状態を検討した結果、刃先の分析調査を断念したのも多い。このため刃部の製法を確認することが出来なかったが、強度を要求される刃部には、より炭素含有量の高い鋼を配していた可能性が高いと考えられる。

ヤリ (No7)、剣 (No9)、刀子 (No13)、剣 (No17)、刀 (No18) は錆化の進行が著しく、金属鉄が残存していなかった。錆化鉄部が層状剥離を起こしていることや、展伸状介在物の剥落痕跡などから、折り返し鍛錬が施された鍛造品と推定される。しかし金属組織痕跡は不明瞭で、鉄中炭素含有量を推測する手がかりが得られなかった。

金属鉄部が残存する鉄製品 (No6, 10, 12, 14, 19) 中には、鍛打により展伸した形状の大型非金属介在物が確認された。これらは主に鉄素材の酸化物と鍛接剤 (粘土汁・薬灰など) の溶融物で構成され、熱間での鍛冶加工時の反応副生物と推測される。製鉄原料が砂鉄であることを示唆する、チタン (TiO₂) の影響はみられなかった。国内での砂鉄製錬開始期 (6世紀後半以前) 以前の鉄器群と