しては，妥当な結果といえる。

b　板屋谷内Ｂ・Ｃ古墳群（時期不詳）出土遺物

鎌（№15）は分析調査を実施した他の出土鉄製品と比較すると，介在物の鉱物組成が特異であった。マンガン（Mn），アルミナ（Al）を脱炭剤とする，近代以降の製法で造られた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。

蓋状鉄製品（№16）は斑鋳鉄組織を呈する鋳造品であった。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が，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，鋳造品の可能性が高いと考えられる。

Table. 1　供試材の履歴と調査項目

分析No.	地区	出土地点	遺物名称	遺物番号	推定年代	計測値		メタル度	調査項目							
						大きさ(mm)	重量(g)		マクロ組織	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	X線回折	EPMA	化学分析	耐火度	カロリー
6	C1	SD1	鏃	*19*	古墳時代(前期中頃～中期後半)	86×19×10	55.50	特L(☆)	○	○	○		○	○		
7	C1	SK5	ヤリ	*17*		218×30×4	117.78	錆化(△)	○	○						
8	C4	E3　I層	方形板鍬・鋤先	*29*		53×113×3	106.17	錆化(△)	○	○						
9	C6	X46Y53　SK4　B3	剣	*32*		216×28×4	79.79	錆化(△)	○	○						
10	C6	X47Y48　SD1 1下層	刀子	*33*		76×13×3	10.40	L(●)	○	○	○		○			
11	C7	X39Y64　II上層	鏃	*319*	時期不明	65×19×6	34.04	特L(☆)	○	○	○		○			
12	B13	南　表土	刀	*8*	古墳時代(前期中頃～中期後半)	118×26×7	77.13	特L(☆)	○	○	○		○			
13	B13	X105Y106　I層	刀子	*4*		64×12×4	12.94	錆化(△)	○	○						
14	B13	X105Y106　I層	斧	*6*		107×66×27	348.22	特L(☆)	○	○	○		○			
15	B14	X114Y80　I層	鎌	*321*	時期不明	107×24×6	57.23	L(●)	○	○	○		○			
16	C2	X38Y25　I層	蓋状鉄製品	*25*		98×43×6	63.37	特L(☆)	○	○	○		○			
17	尾根	X86Y40　I層	剣	*320*	古墳時代(前期中頃～中期後半)	202×32×5	106.28	錆化(△)	○	○						
18	B13	1T西	刀	*7*		60×23×6	30.63	錆化(△)	○	○						
19	B13	2T	刀	*9*		422×36×15	278.84	L(●)	○	○	○		○			

*供試材の測定結果

Table. 2　出土遺物の調査結果のまとめ

分析№	地区	出土地点	遺物名称	遺物番号	推定年代	顕微鏡組織	所見
6	C1	SD1	鏨	*19*	古墳時代（前期中頃～中期後半）	介在物:W+F,金属鉄部:フェライト単相	ほとんど炭素を含まない極軟鉄を鍛打成形した鍛造品
7	C1	SK5	ヤリ	*17*		展伸状介在物剥落痕跡,銹化鉄部:金属組織痕跡不明瞭	折り返し鍛錬が施された鍛造品（銹化の進行により,炭素含有量等を推定する情報は得られなかった）
8	C4	E3　Ⅰ層	方形板鍬・鋤先	*29*		銹化鉄部:亜共析組織痕跡	軟鉄を鍛打成形した鍛造品
9	C6	X46Y53 SK4　B3	剣	*32*		展伸状介在物剥落痕跡,銹化鉄部:金属組織痕跡不明瞭	折り返し鍛錬が施された鍛造品（銹化の進行により,炭素含有量等を推定する情報は得られなかった）
10	C6	X47Y48 SD1　1下層	刀子	*33*		介在物:W+F,金属鉄部:フェライト単相	棟部（芯金）には極軟鋼を用いている（銹化のため刃部の調査は断念）
11	C7	X39Y64　Ⅱ上層	鏨	*319*		介在物:W+F,非晶質珪酸塩,金属鉄部:フェライト単相～亜共析組織	炭素含有量の異なる複数の鉄素材を折り返し鍛錬した鍛造品（C:0.1以下～0.6%,層状偏析）
12	B13	南 表土	刀	*8*		介在物:W,非晶質珪酸塩,金属鉄部:亜共析組織, 不完全球状セメンタイト	棟部（芯金）は軟鋼（C:0.3%前後）を折り返し鍛錬した鉄材を用いている（銹化のため刃部の調査は断念）,鍛打成形後焼鈍した可能性あり
13	B13	X105Y106　Ⅰ層	刀子	*4*		銹化鉄部:金属組織痕跡不明瞭	鍛造製品（銹化の進行により,炭素含有量等を推定する情報は得られなかった）
14	B13	X105Y106　Ⅰ層	斧	*6*		介在物:W,非晶質珪酸塩,金属鉄部:亜共析組織	軟鉄主体の鍛造製品（局部的にやや炭素量の高い領域あり,C:0.1以下～0.5%）,多数回折り返し鍛錬痕跡残存
15	B14	X114Y80　Ⅰ層	鎌	*321*	時期不明	介在物:MnS,酸化物系多相介在物〔(Mn,Fe)O・Al_2O_3〕, 金属鉄部:亜共析組織	マンガン（Mn）,アルミナ（Al）を脱酸剤とする近代以降の鉄製品,後代の混入品の可能性が高い
16	C2	X38Y25　Ⅰ層	蓋状鉄製品	*25*		介在物:FeS（Ti固溶）,金属鉄部:斑鋳鉄	鋳造製品,始発（製鉄）原料:砂鉄の可能性が高い
17	尾根	X86Y40　Ⅰ層	剣	*320*	古墳時代（前期中頃～中期後半）	銹化鉄部:金属組織痕跡不明瞭	折り返し鍛錬が施された鍛造品（銹化の進行により,炭素含有量等を推定する情報は得られなかった）
18	B13	1T西	刀	*7*		銹化鉄部:金属組織痕跡不明瞭	鍛造製品,棟金は別づくりの可能性が高い（銹化の進行により,炭素含有量等を推定する情報は得られなかった）
19	B13	2T	刀	*9*		介在物:W+F,金属鉄部:フェライト,少量パーライト（分解）, 刃先・表層針状組織（マルテンサイト?）	炭素量の低い軟鉄材（極低炭素鋼）を折り返し鍛錬した鍛造品（一部現代鋼の水焼入れ後,高温焼き戻し材に類似した組織がみられる）

W:Wustite（FeO）,　F:Fayalite（$2FeO \cdot SiO_2$）

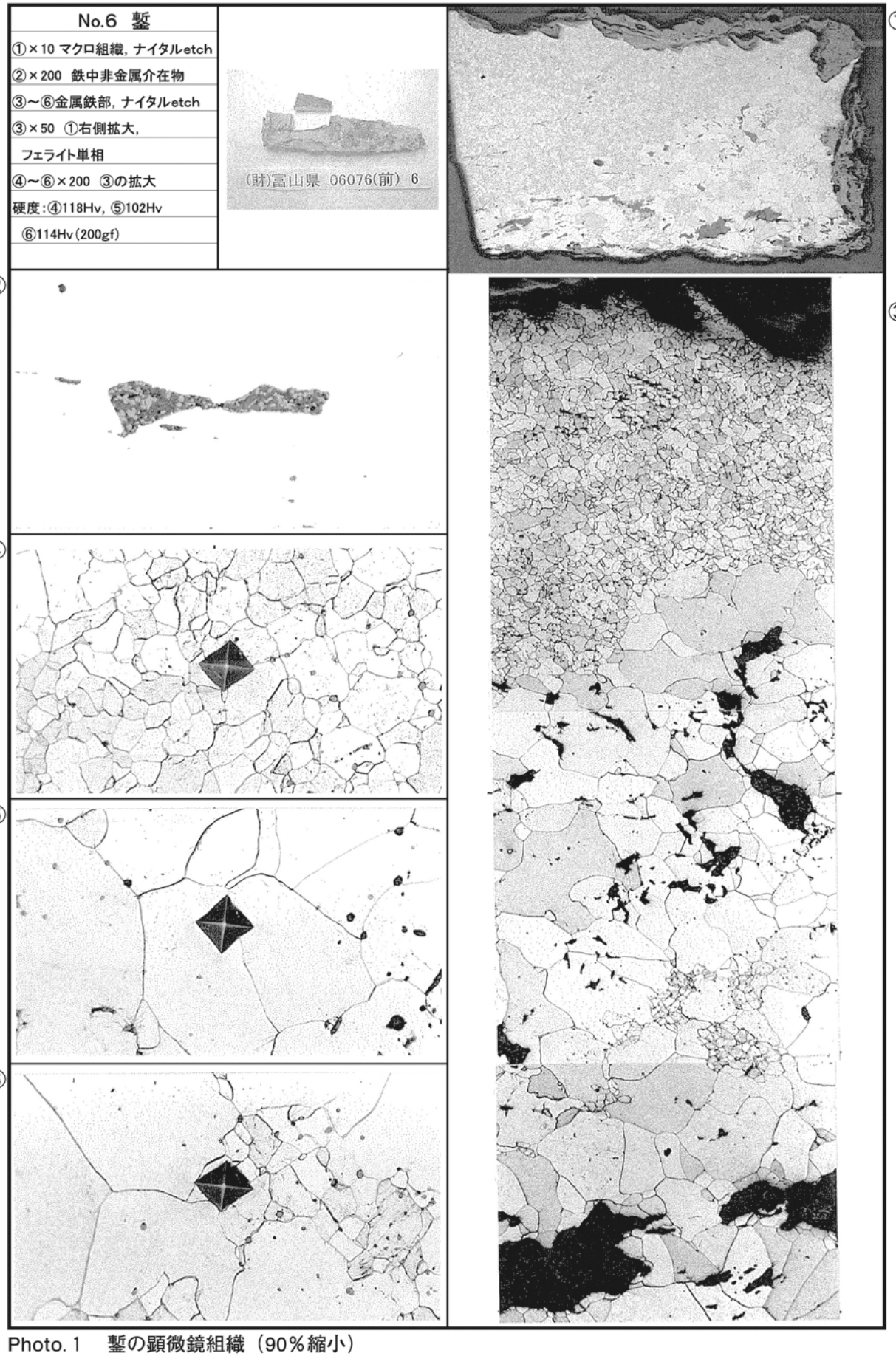


Photo. 1　鏨の顕微鏡組織（90％縮小）

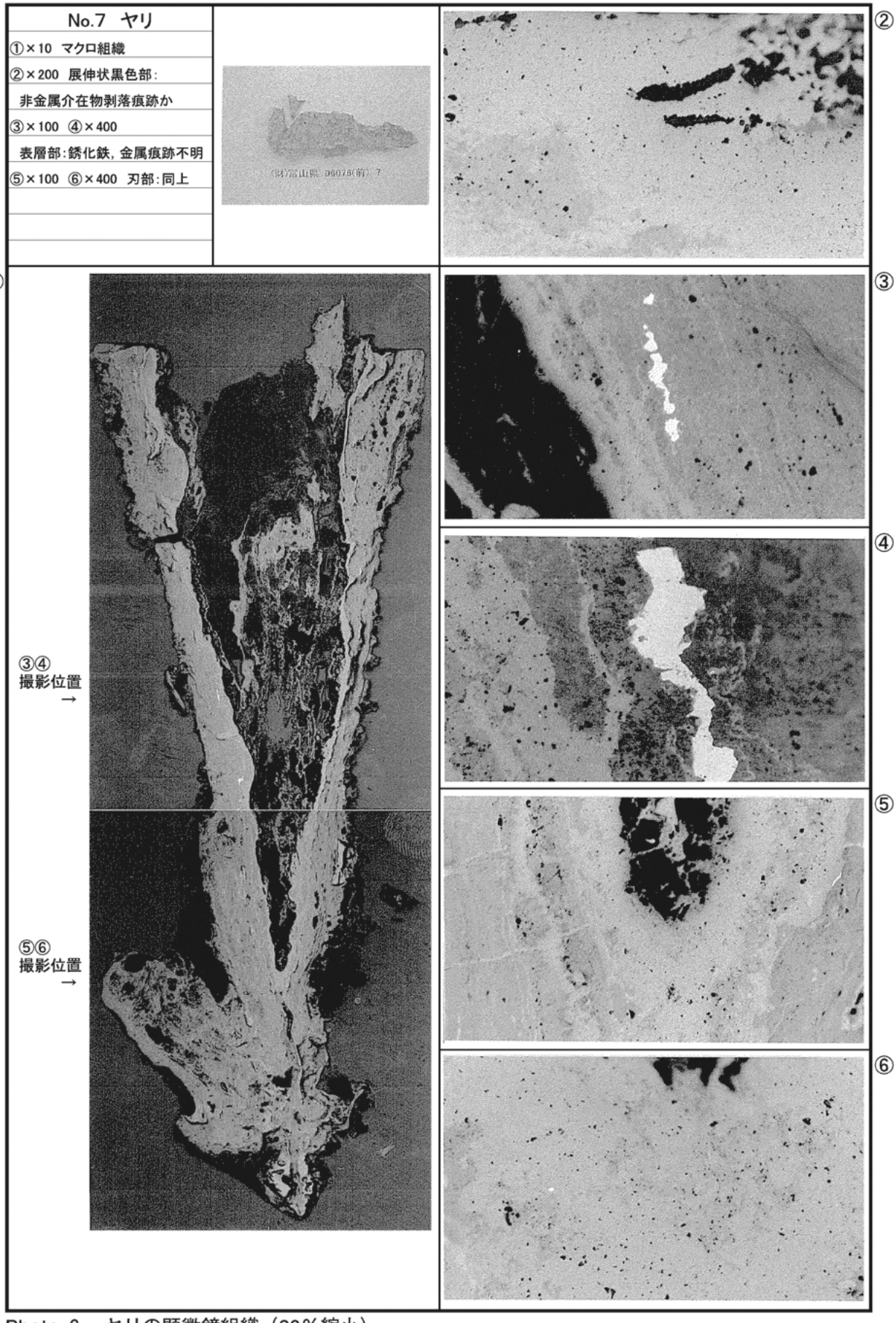
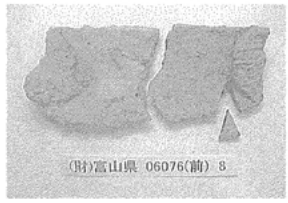
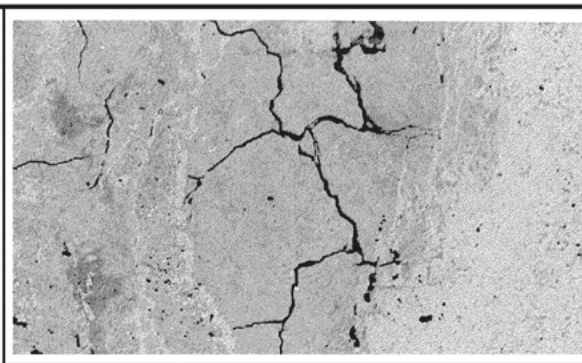


Photo. 2　ヤリの顕微鏡組織（90％縮小）

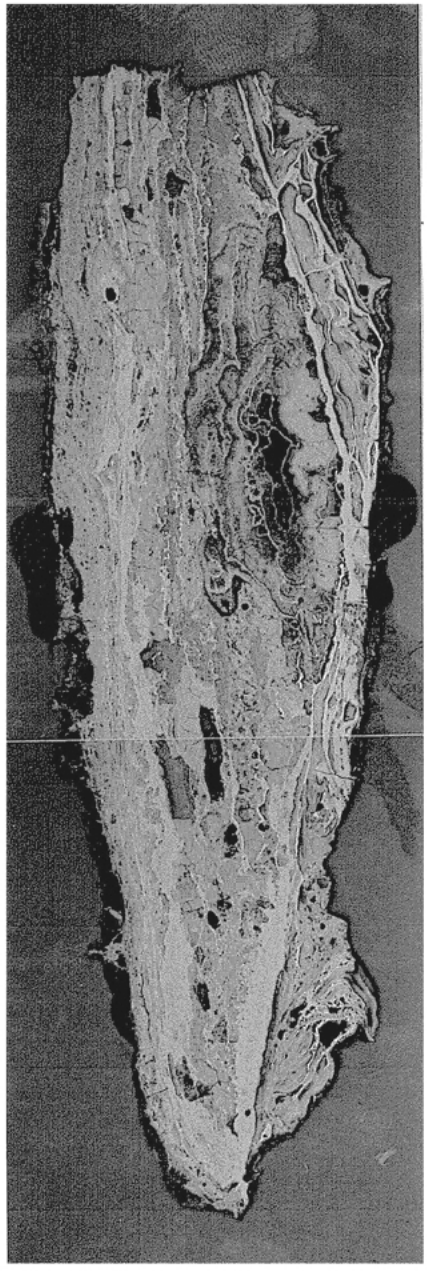
No.8　方形板鍬・鋤先
①×10　マクロ組織
②×100　③×400　銹化鉄
亜共析組織痕跡
（パーライト）組織痕跡残存
④×100　⑤×400　同上
⑥×100　刃部：銹化鉄
金属組織痕跡不明瞭





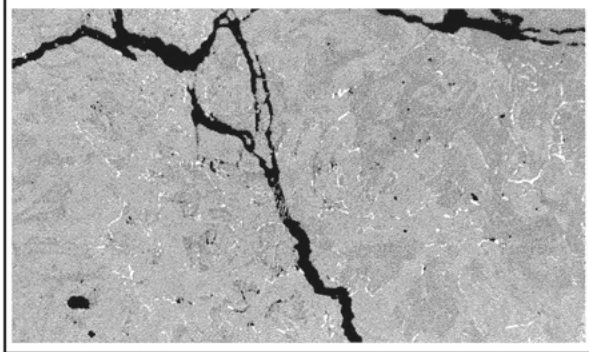
②

①

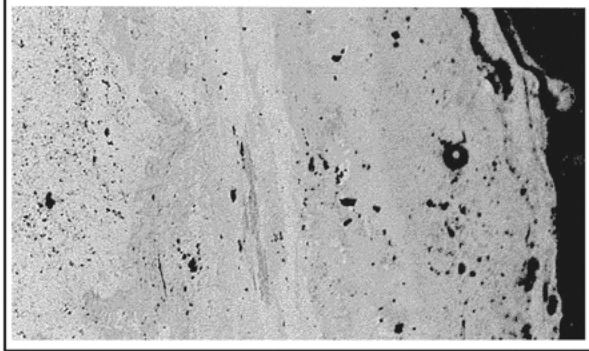


②～⑤
撮影位置
→

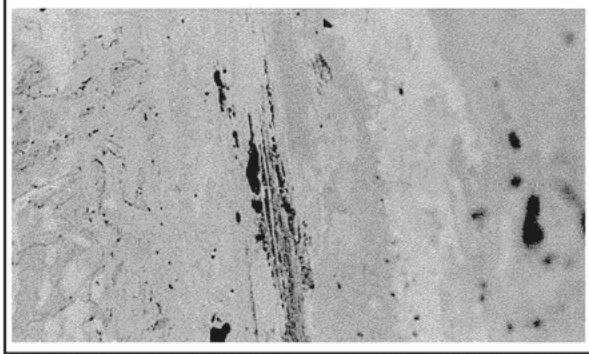
⑥
撮影位置
→



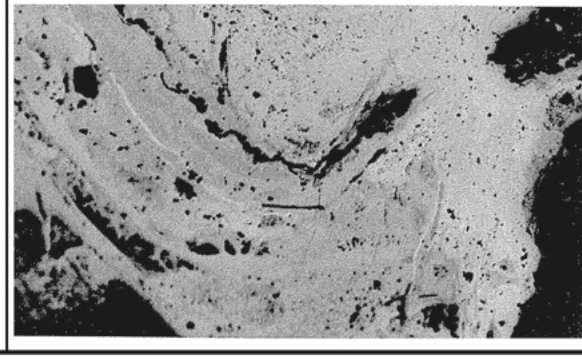
③



④



⑤



⑥

Photo. 3　方形板鍬・鋤先の顕微鏡組織（90％縮小）

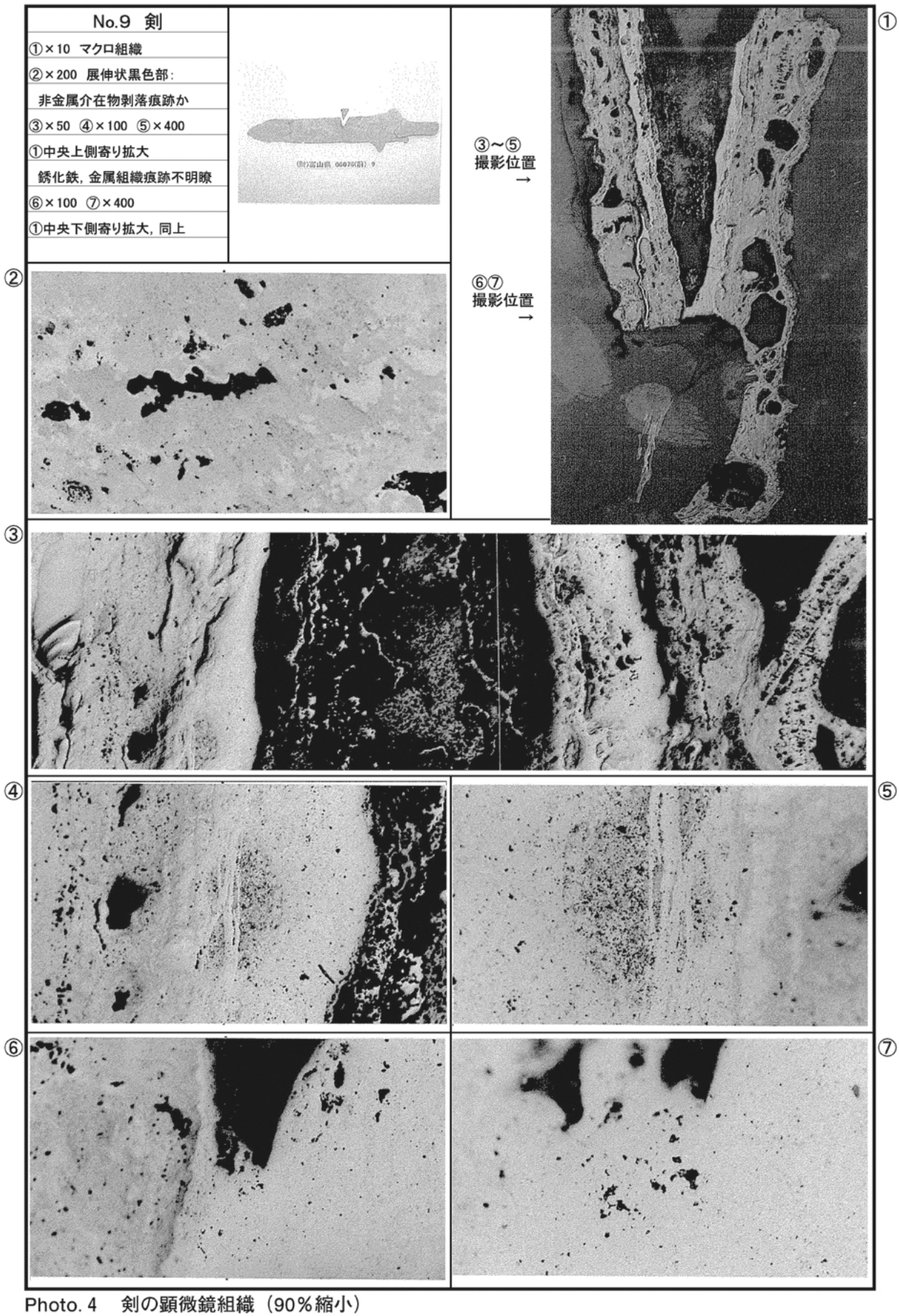


Photo. 4　剣の顕微鏡組織（90％縮小）

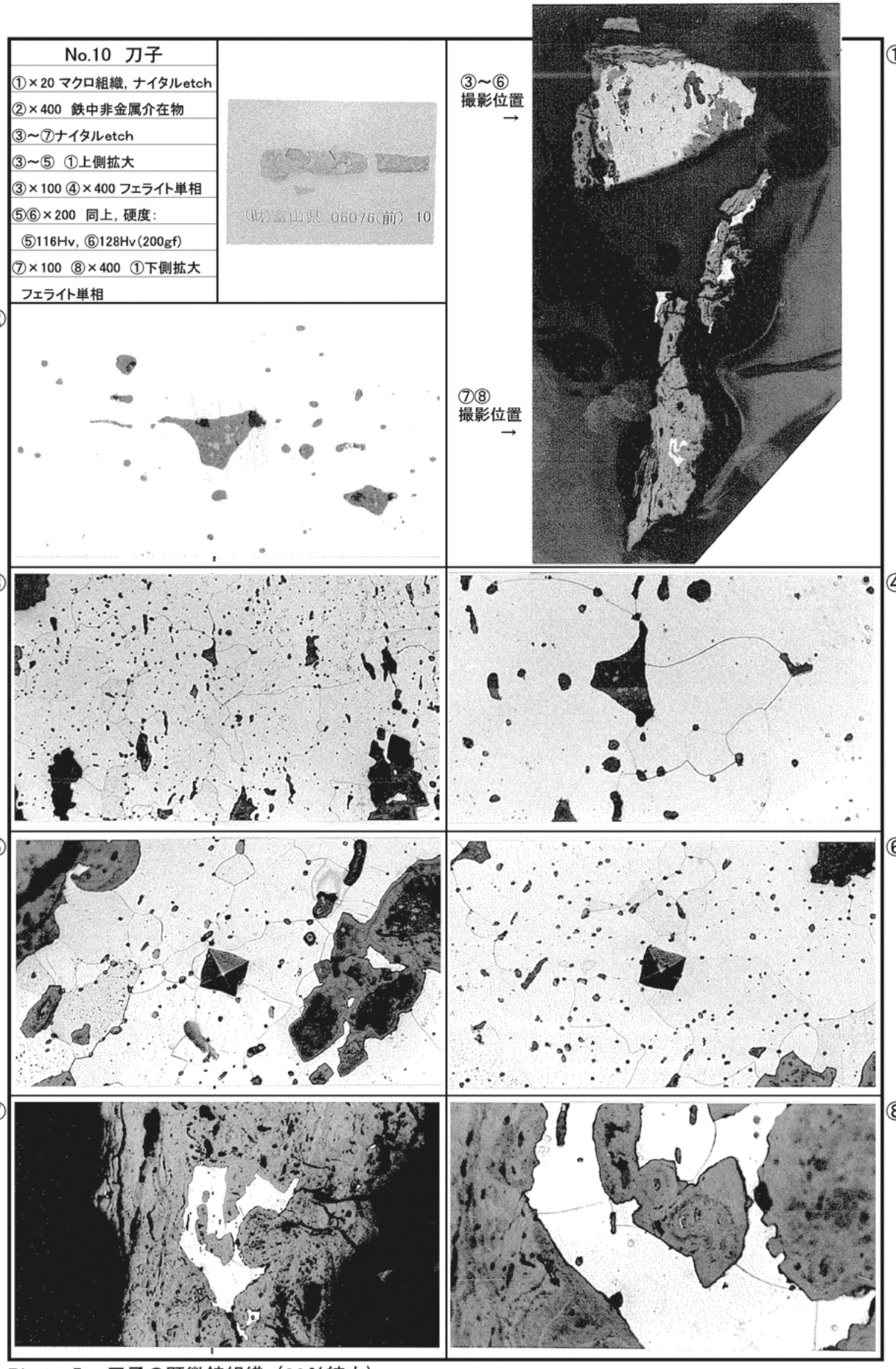


Photo. 5　刀子の顕微鏡組織（90％縮小）

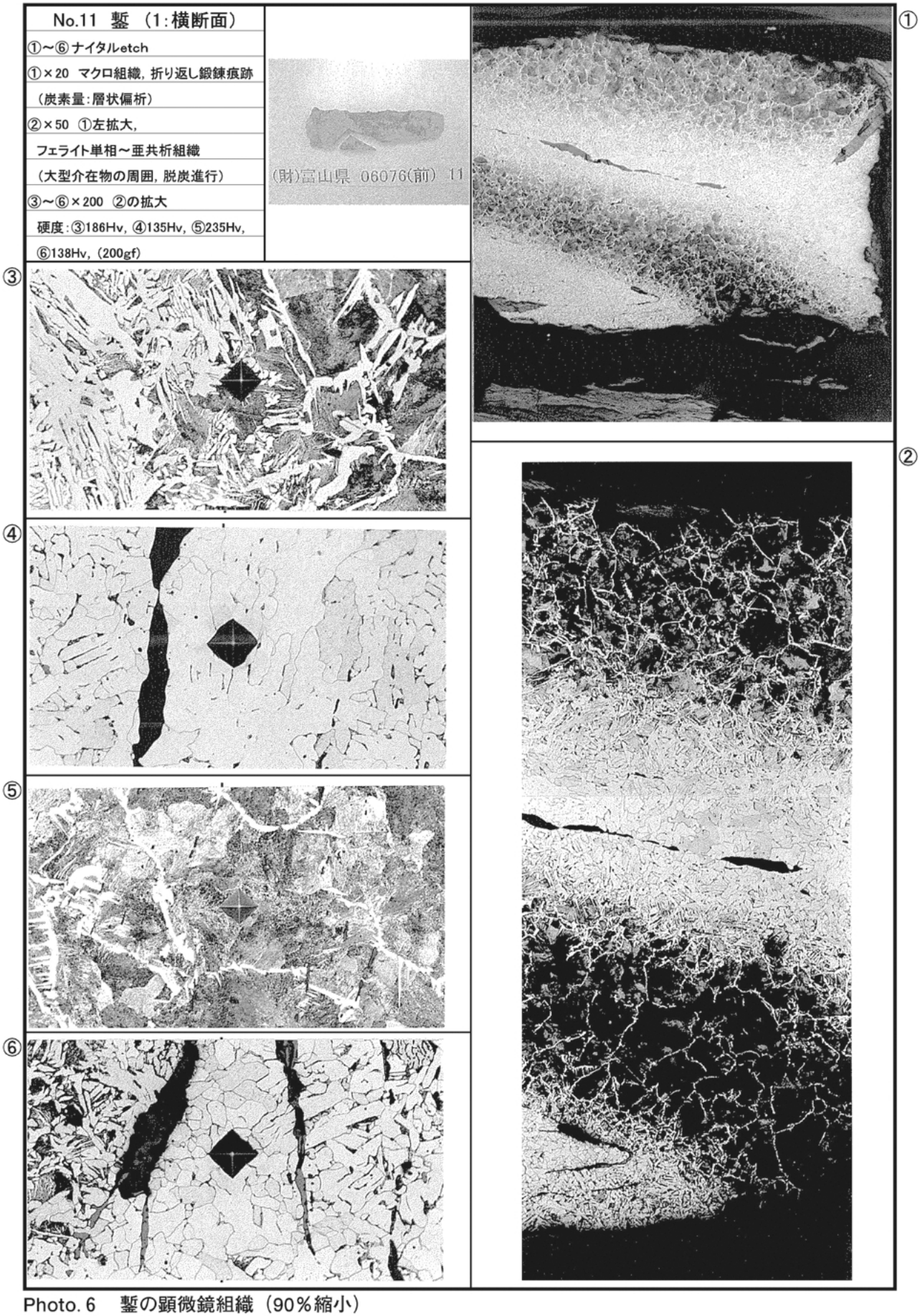
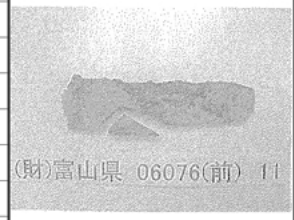
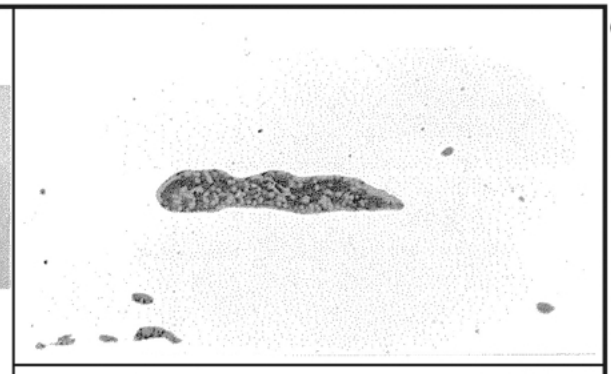
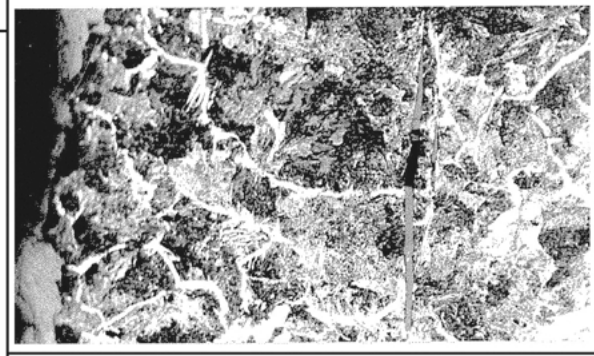


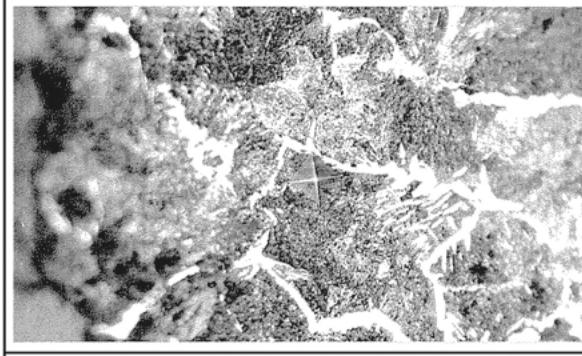
Photo. 6　鏨の顕微鏡組織（90％縮小）

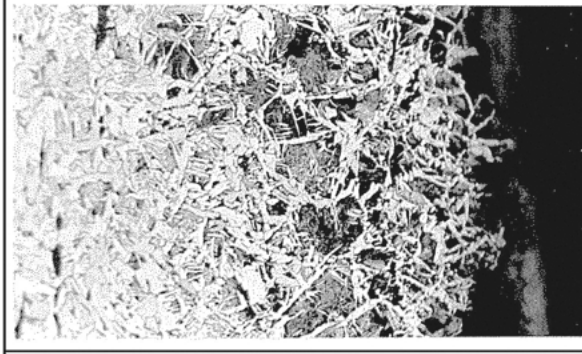
No.11　鏨　(2:縦断面)
①×400　鉄中非金属介在物
②～⑥ナイタルetch
②×20　側面表層側，マクロ組織
黒色部:高炭素域，白色部:低炭素域
③×100　④×200　②左側表層拡大
高炭素域，亜共析組織，
硬度:219Hv(200gf)
⑤×100　⑥×200　②右側表層拡大
内側:低炭素域，硬度:137Hv(200gf)～
表層側:高炭素域，亜共析組織

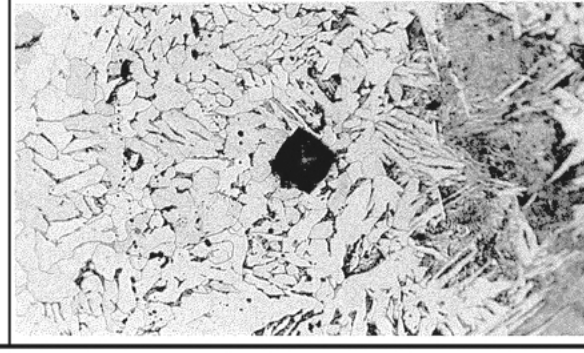






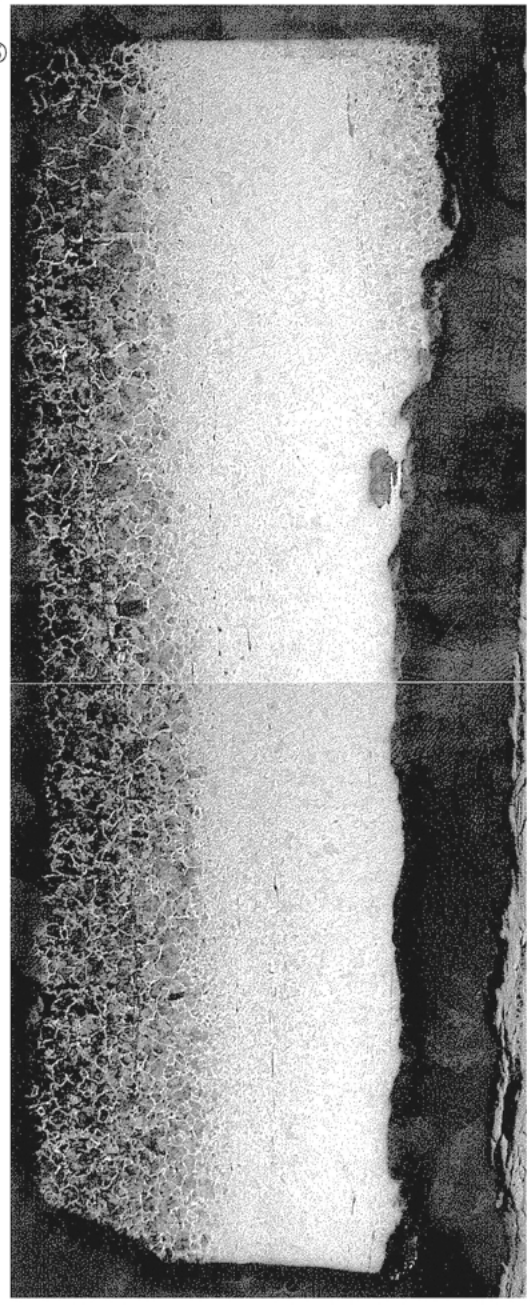






①

③～⑤
撮影
位置
→



②

③

④

⑤

⑥

Photo. 7　鏨の顕微鏡組織（90％縮小）

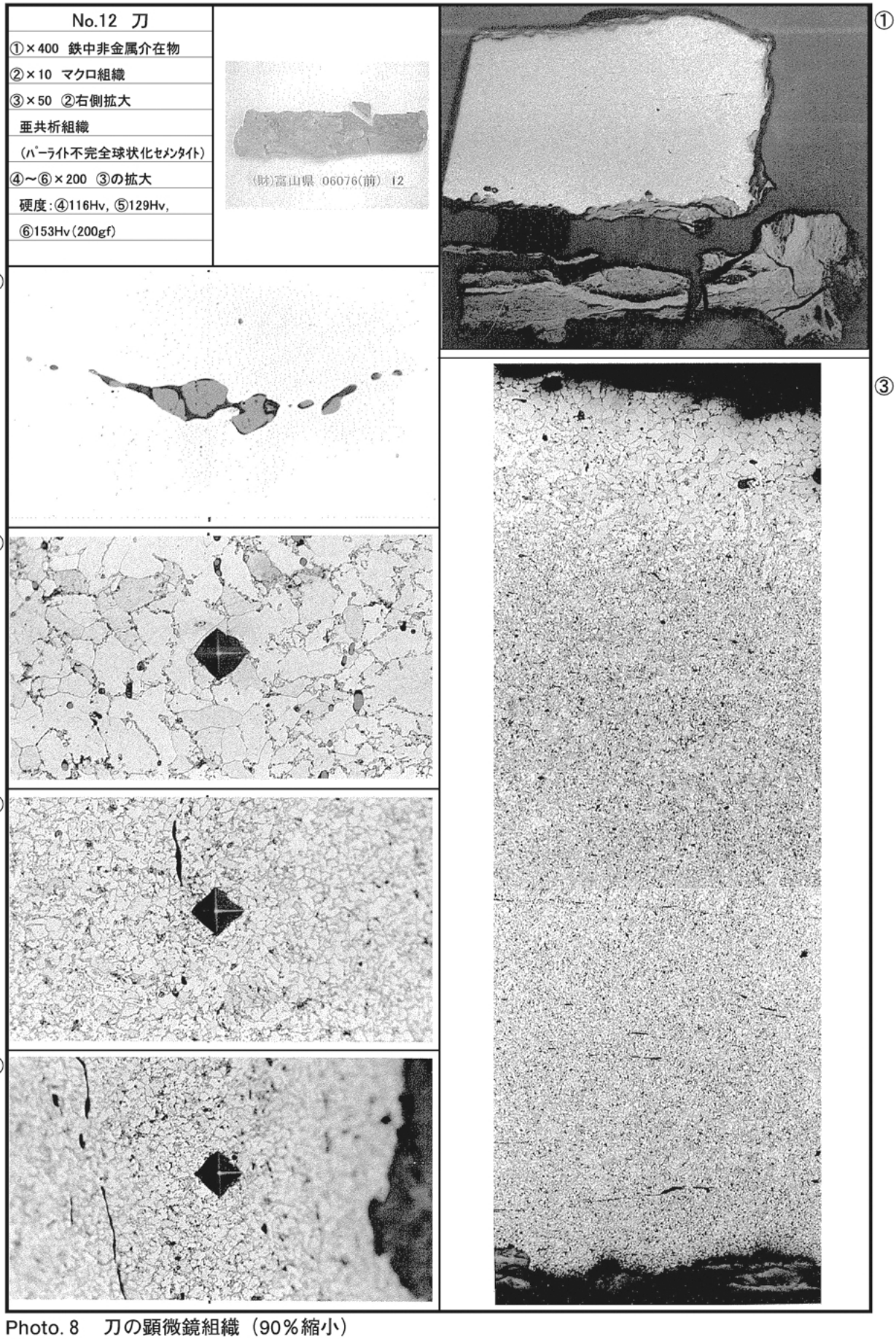


Photo. 8　刀の顕微鏡組織（90％縮小）

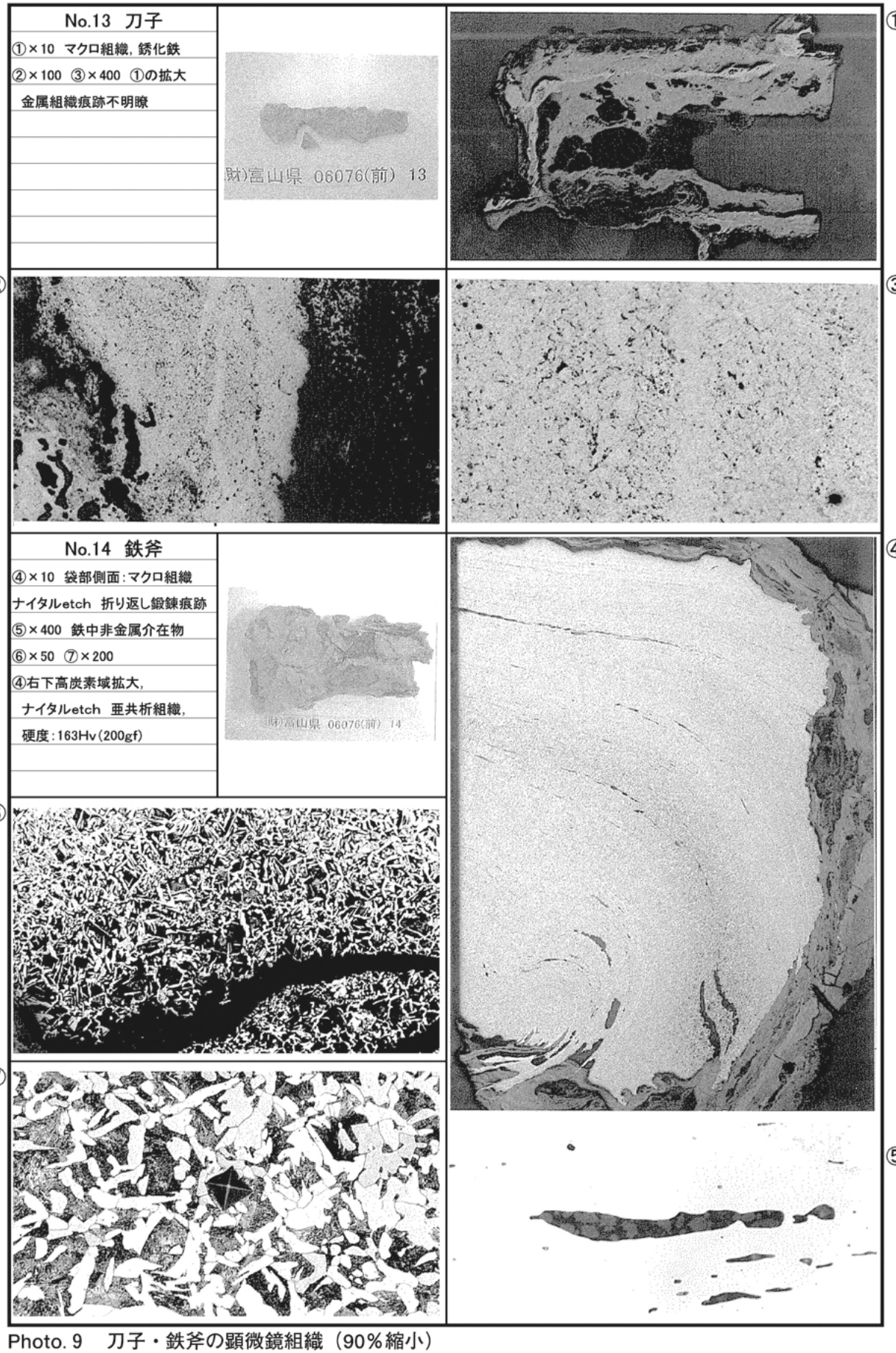


Photo. 9　刀子・鉄斧の顕微鏡組織（90％縮小）

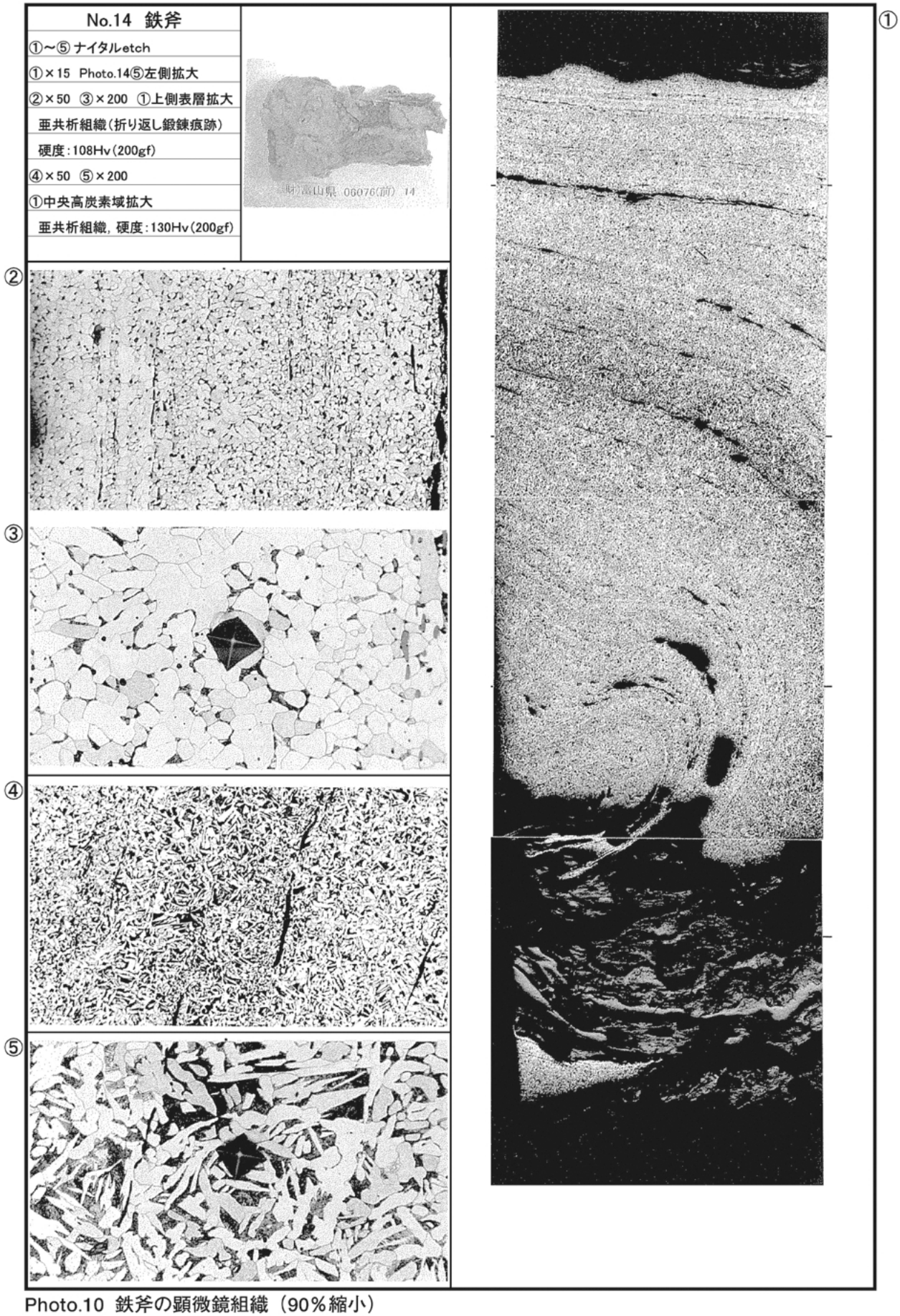


Photo.10　鉄斧の顕微鏡組織（90％縮小）

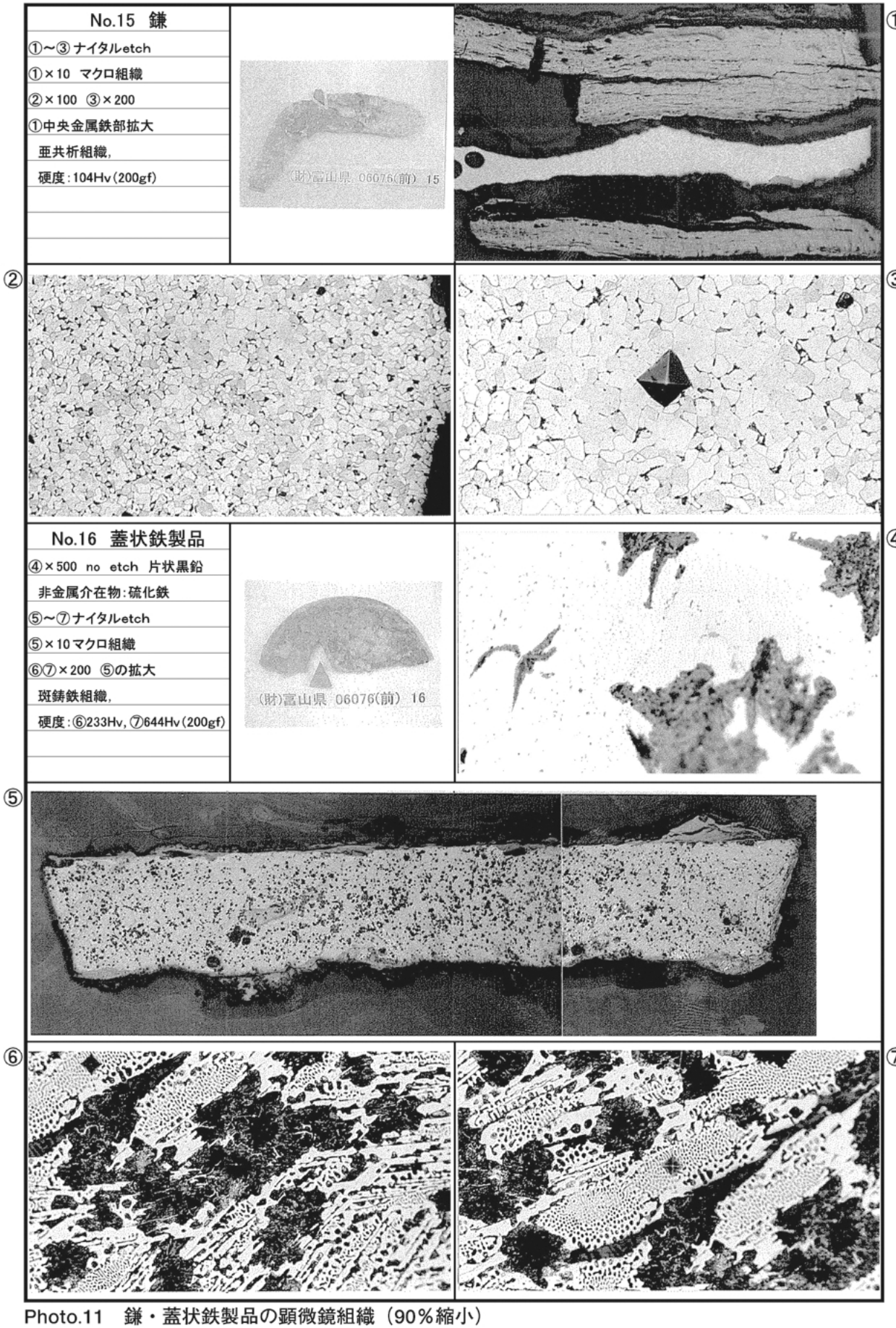


Photo.11　鎌・蓋状鉄製品の顕微鏡組織（90％縮小）

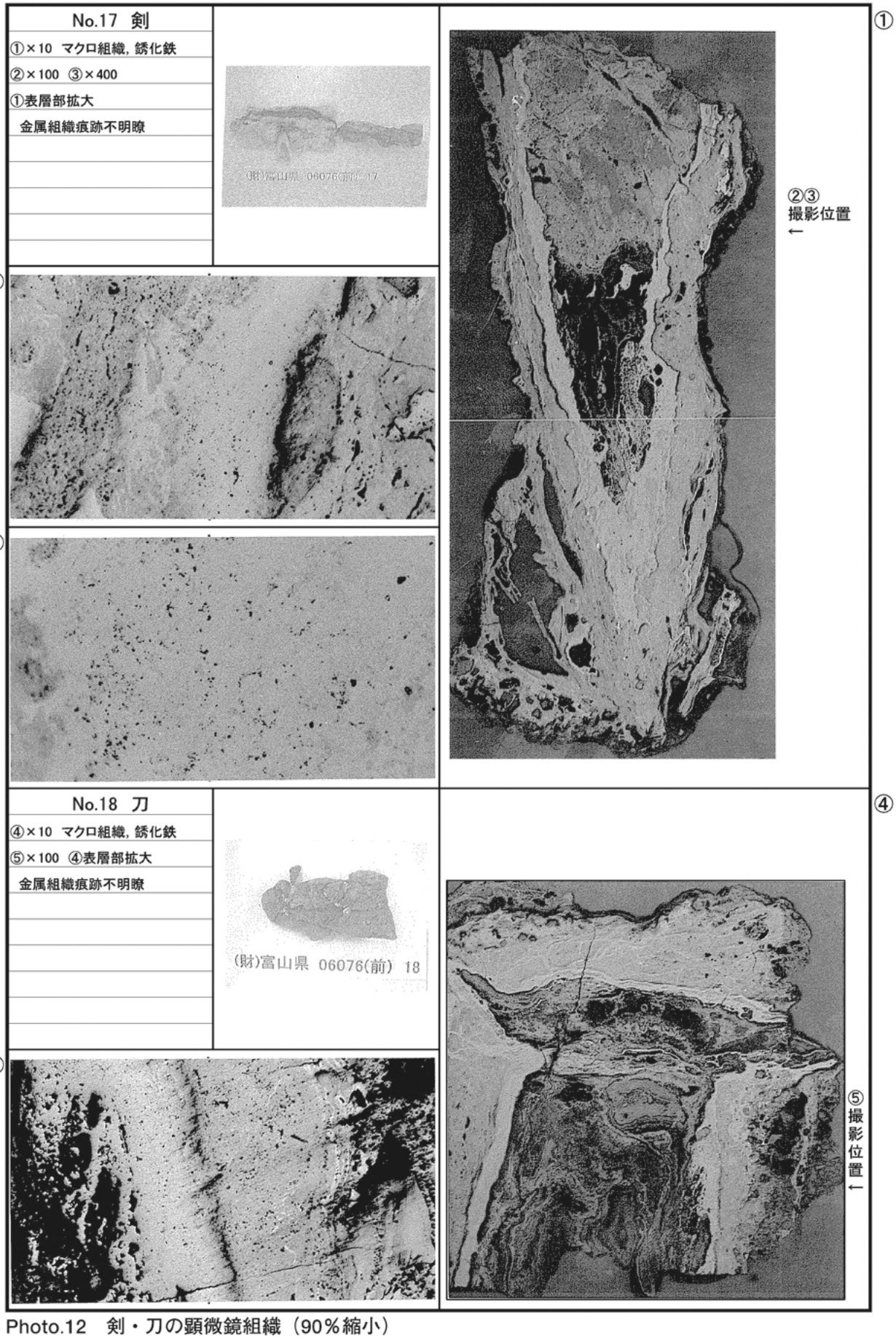
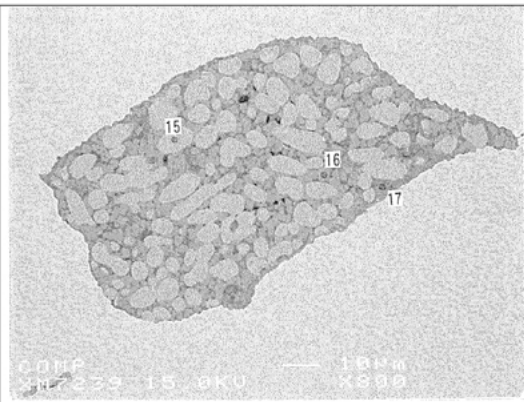


Photo.12　剣・刀の顕微鏡組織（90％縮小）

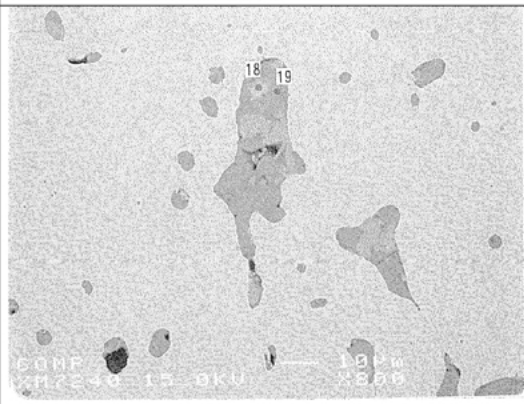
COMP
×800



No.6

Element	15	16	17
F	–	–	–
Na_2O	0.097	–	0.031
MgO	0.175	2.076	0.212
Al_2O_3	0.683	0.361	1.159
SiO_2	0.247	31.009	4.882
K_2O	–	0.020	0.094
CaO	0.034	3.533	1.242
S	0.009	0.051	0.240
P_2O_5	0.065	0.545	0.351
TiO_2	0.093	–	–
Cr_2O_3	0.009	–	0.071
MnO	0.039	0.219	–
FeO	101.011	66.222	83.042
ZrO_2	–	0.024	–
CuO	–	0.002	0.042
V_2O_3	0.012	–	0.030
As_2O_5	0.047	–	0.031
Total	102.519	104.049	91.367

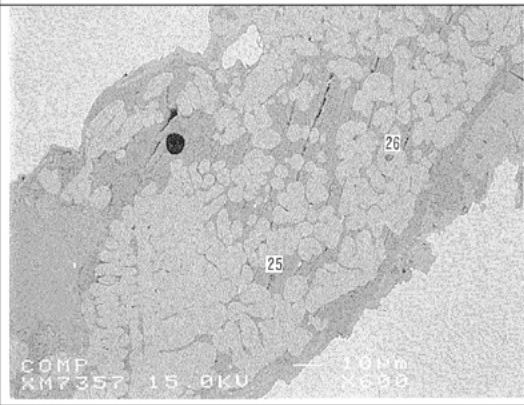
COMP
×800



No.10

Element	18	19
F	–	–
Na_2O	–	–
MgO	0.023	0.441
Al_2O_3	0.227	0.396
SiO_2	0.342	25.700
K_2O	–	–
CaO	–	–
S	–	0.004
P_2O_5	0.074	5.019
TiO_2	0.074	0.020
Cr_2O_3	0.302	–
MnO	0.030	0.271
FeO	104.772	72.991
ZrO_2	0.078	0.105
CuO	–	0.001
V_2O_3	0.208	–
As_2O_5	–	–
Total	106.130	104.947

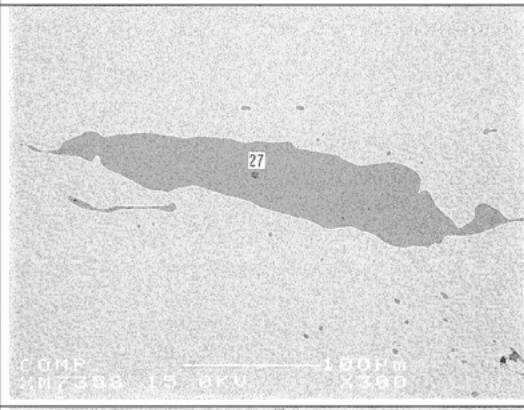
COMP
×600



No.11-1

Element	25	26
F	–	–
Na_2O	0.775	0.388
MgO	0.333	0.113
Al_2O_3	4.237	0.439
SiO_2	32.902	0.158
K_2O	2.885	–
CaO	2.000	–
S	0.064	0.009
P_2O_5	0.406	–
TiO_2	–	0.124
Cr_2O_3	–	0.052
MnO	0.109	0.010
FeO	59.135	100.801
ZrO_2	0.095	0.056
CuO	–	0.026
V_2O_3	0.019	–
As_2O_5	–	–
Total	102.944	102.174

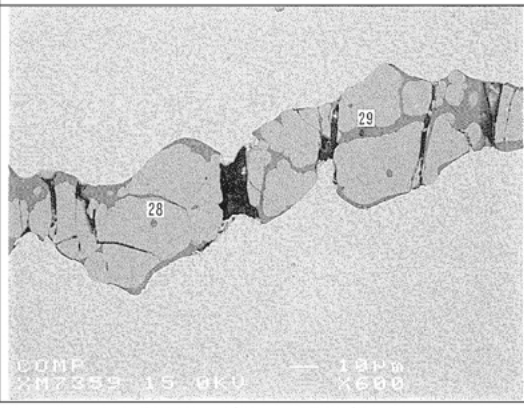
COMP
×300



NO.11-2

Element	27
F	–
Na_2O	1.137
MgO	0.392
Al_2O_3	7.065
SiO_2	32.610
K_2O	2.768
CaO	1.276
S	0.035
P_2O_5	0.121
TiO_2	1.323
Cr_2O_3	0.020
MnO	0.409
FeO	55.960
ZrO_2	0.261
CuO	–
V_2O_3	0.215
As_2O_5	–
Total	103.583

COMP
×600

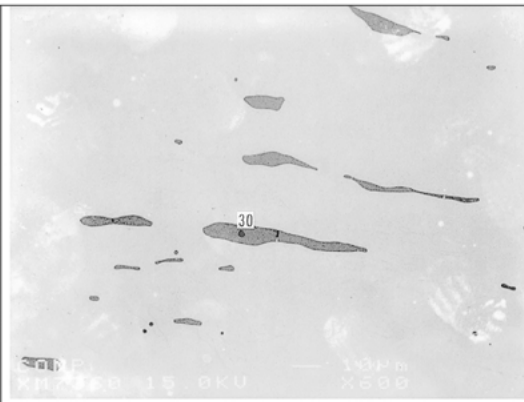


NO.12-1

Element	28	29
F	–	–
Na_2O	–	–
MgO	3.856	4.275
Al_2O_3	0.656	13.870
SiO_2	0.124	37.486
K_2O	–	3.983
CaO	–	15.907
S	0.012	0.146
P_2O_5	–	0.673
TiO_2	0.135	0.126
Cr_2O_3	0.078	0.011
MnO	0.166	0.169
FeO	99.222	23.701
ZrO_2	0.067	0.143
CuO	0.072	–
V_2O_3	–	–
As_2O_5	0.028	0.065
Total	104.413	100.444

Photo.13　EPMA調査結果（70％縮小）

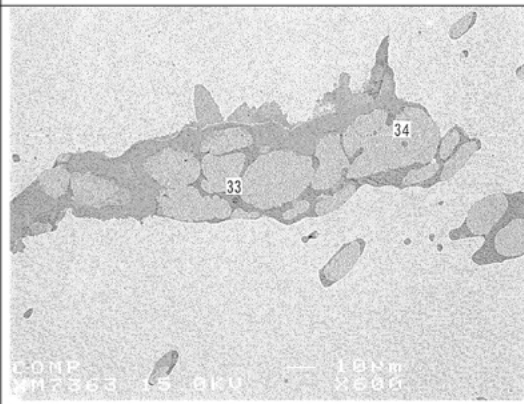
COMP ×600



No.12-2

Element	30
F	–
Na_2O	0.881
MgO	3.063
Al_2O_3	10.018
SiO_2	53.718
K_2O	5.902
CaO	15.461
S	0.019
P_2O_5	0.065
TiO_2	0.379
Cr_2O_3	–
MnO	0.179
FeO	11.326
ZrO_2	–
CuO	–
V_2O_3	0.051
As_2O_5	–
Total	101.057

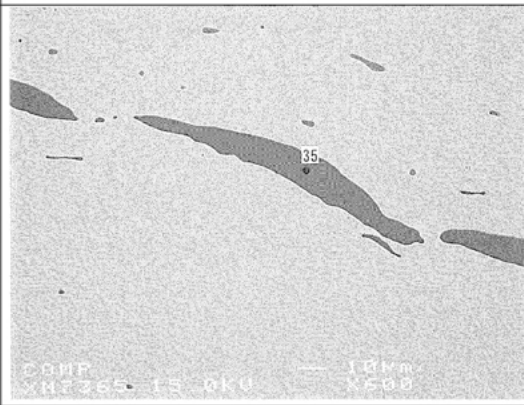
COMP ×600



No.14-1

Element	33	34
F	–	–
Na_2O	0.905	–
MgO	0.369	0.156
Al_2O_3	6.946	0.220
SiO_2	39.823	0.179
K_2O	5.878	–
CaO	11.799	–
S	0.044	0.024
P_2O_5	0.595	0.050
TiO_2	0.030	0.020
Cr_2O_3	0.017	–
MnO	0.150	0.042
FeO	34.749	100.009
ZrO_2	0.095	–
CuO	0.007	0.015
V_2O_3	0.049	–
As_2O_5	–	–
Total	101.403	100.709

COMP ×600



No.14-2

Element	35
F	–
Na_2O	0.377
MgO	2.488
Al_2O_3	15.533
SiO_2	61.991
K_2O	3.432
CaO	2.047
S	0.004
P_2O_5	0.157
TiO_2	0.881
Cr_2O_3	0.058
MnO	0.414
FeO	14.397
ZrO_2	–
CuO	0.047
V_2O_3	–
As_2O_5	–
Total	101.825

COMP ×1200

NO.15

Element	31	32
F	–	–
Na_2O	0.312	0.206
MgO	–	0.019
Al_2O_3	–	59.671
SiO_2	0.007	0.065
K_2O	0.004	–
CaO	–	–
S	33.918	0.020
P_2O_5	–	–
TiO_2	0.021	0.170
Cr_2O_3	0.055	0.604
MnO	73.155	33.832
FeO	4.775	5.332
ZrO_2	0.030	–
CuO	0.162	0.020
V_2O_3	–	0.026
As_2O_5	–	–
Total	103.975	99.960

COMP ×1500

NO.16

Element	1
O	–
P	0.101
S	21.231
Fe	54.247
Mn	0.234
Ti	14.647
Cu	1.080
Total	91.540

Photo.14　EPMA調査結果（70％縮小）

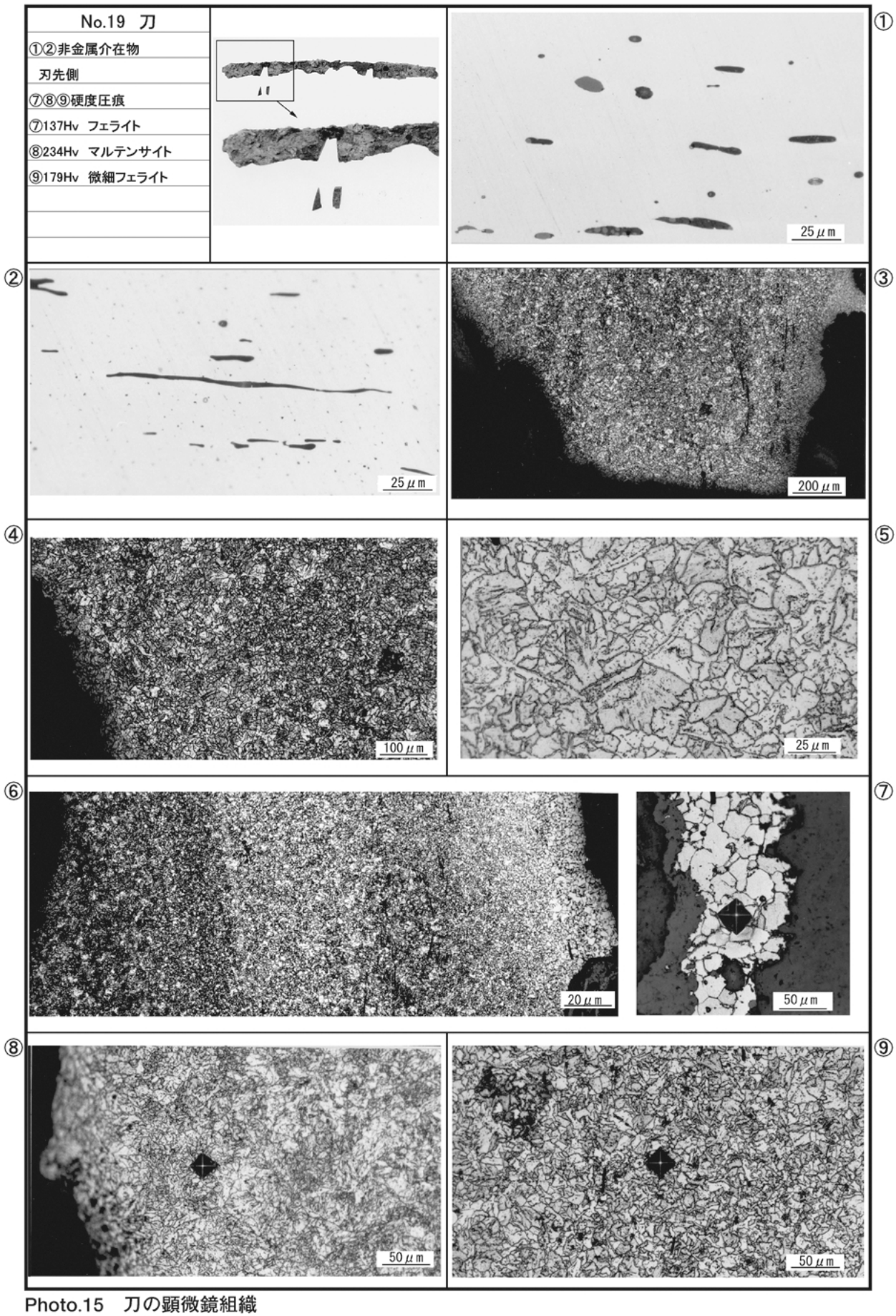


Photo.15　刀の顕微鏡組織

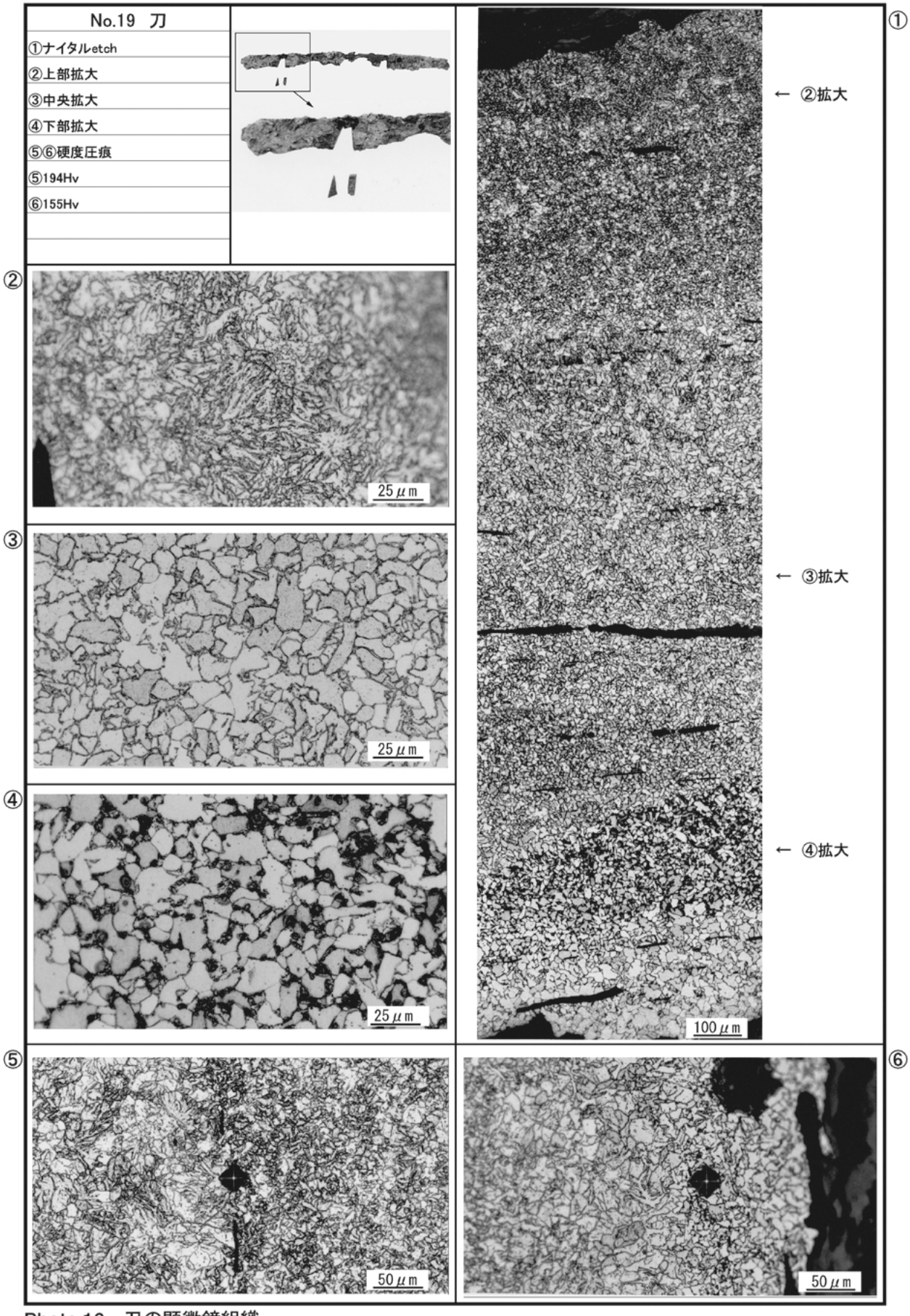


Photo.16　刀の顕微鏡組織

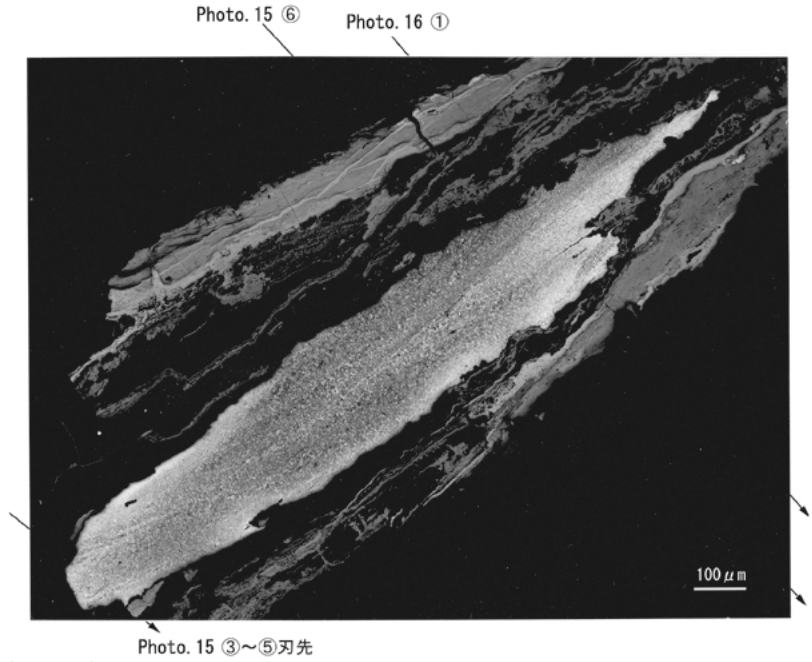
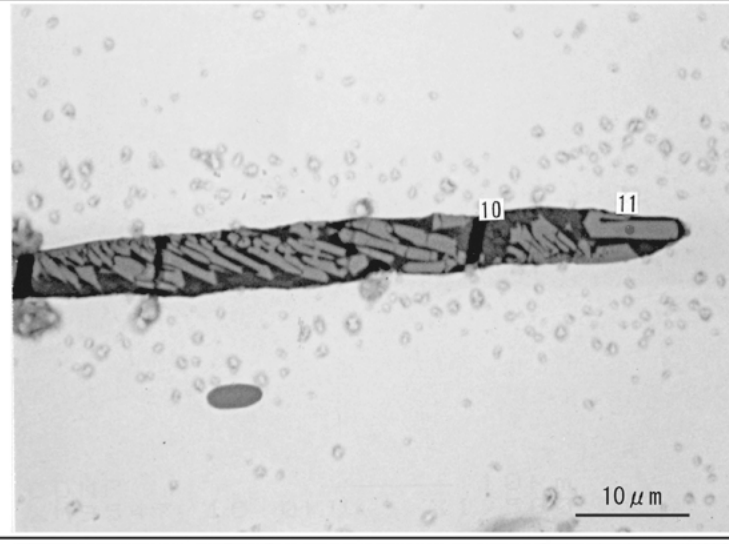
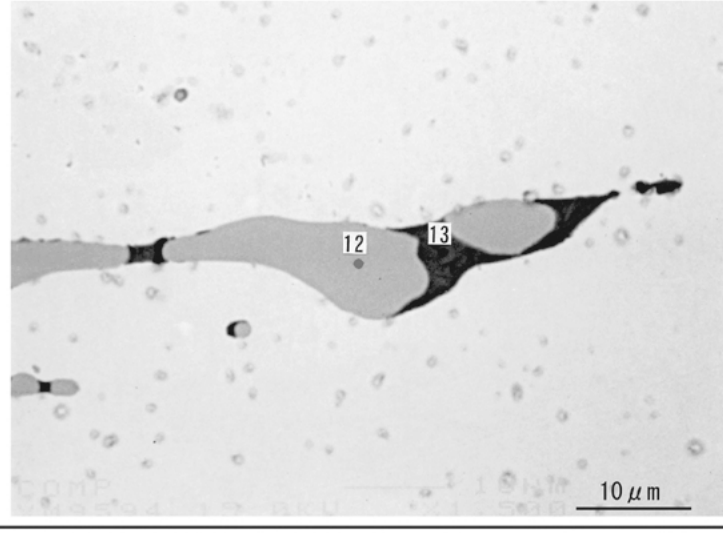


Photo.17　刀（No.19）のマクロ組織



Element	10	11
MgO	0.047	0.826
Al_2O_3	5.017	0.428
SiO_2	45.977	32.402
P_2O_5	0.465	0.123
S	0.050	0.013
K_2O	6.477	0.564
CaO	9.402	2.402
TiO_2	0.362	–
MnO	0.015	0.269
FeO	25.393	66.255
ZrO_2	–	–
CuO	0.018	0.074
V_2O_3	–	0.010
As_2O_5	–	–
Total	93.111	103.363



Element	12	13
MgO	0.762	1.240
Al_2O_3	0.274	6.665
SiO_2	0.111	37.211
P_2O_5	–	1.772
S	0.003	0.055
K_2O	0.010	3.025
CaO	–	16.863
TiO_2	–	0.029
MnO	0.060	0.130
FeO	103.091	33.809
ZrO_2	0.010	0.080
CuO	–	–
V_2O_3	–	–
As_2O_5	0.030	–
Total	104.350	100.865

Photo.18　鉄中非金属介在物のEPMA調査結果

（７）　金属製品の放射性炭素年代測定

名古屋大学年代測定総合研究センター　中村俊夫
財団法人元興寺文化財研究所保存科学センター

Ａ　はじめに

能越自動車道建設に伴う発掘調査において出土した富山県高岡市所在，板屋谷内Ｂ・Ｃ古墳群から出土した鉄製品７点について，名古屋大学に設置されているタンデトロン加速器質量分析計（２号機）を用いて放射性炭素（^{14}Ｃ）年代測定を行ったので報告する。

Ｂ　放射性炭素年代測定

年代測定に供した試料は，㈶元興寺文化財研究所にてメタルチェッカー及びＸ線写真撮影によって金属鉄部分を確認の上，小型グラインダー等を用いて，鉄製品より切り出した金属鉄部分である。

鉄試料の調整とグラファイトの合成は，名古屋大学年代測定総合研究センターにおいて行い，年代測定は名古屋大学年代測定総合研究センターに設置されているタンデトロン加速器質量分析計２号機（オランダのＨＶＥＥ社製のタンデトロンＡＭＳ）で放射性炭素（^{14}Ｃ）年代測定を実施した。

名古屋大学年代測定総合研究センターのタンデトロン２号機では，^{14}Ｃと^{12}Ｃの存在比（^{14}Ｃ/^{12}Ｃ比（＝Ｒ））が未知試料（R_{sample}）と^{14}Ｃ濃度が既知の標準体（R_{AD1950}）とについて測定され，R_{sample}/R_{AD1950}比が得られる。また，タンデトロン２号機では^{13}Ｃ/^{12}Ｃ比も同時に測定できる。測定されたR_{sample}/R_{AD1950}比について，タンデトロン２号機で測定されたδ^{13}Ｃを用いて炭素同位体分別の補正を行ったのち，試料の^{14}Ｃ年代値（同位体分別補正^{14}Ｃ年代）を算出した。^{14}Ｃの半減期としては，国際的な慣例に従って，Libbyの半減期5568年を用いた。^{14}Ｃ年代値は，西暦1950年から遡った年数として与えられる。

また，得られた同位体分別補正^{14}Ｃ年代を^{14}Ｃ年代－暦年代較正データセット（IntCal04，Reimer et al, 2004）および較正プログラムCALIB Rev5.01（M. Stuiver, P. J. Reimer, and R. Reimer, 2005）を用いて暦年代に換算した。^{14}Ｃ年代値［yr BP］に対応する年代値の誤差はone sigma（±１σ：１標準偏差）で示した。

Ｃ　測定結果

板屋谷内Ｂ・Ｃ古墳群のδ^{13}Ｃおよび^{14}Ｃ年代（同位体分別補正^{14}Ｃ年代），較正年代（１標準偏差の範囲）をTable.１に示す。

Ｂ13号墳出土鉄刀の^{14}Ｃ年代は1676±19BP，Ｂ13号墳出土斧の^{14}Ｃ年代は1670±22 BPと測定された。これを^{14}Ｃ年代―暦年代較正データ（INTCAL04）を用いて較正すると，較正年代は，１標準偏差（one sigma）の誤差範囲で，鉄刀349～406 cal AD，斧349～412 cal ADと両者ともに４世紀後半の時期であることを示し，同一時期の遺物であると考えられる。

Ｃ７号墳出土鏨は16世紀中葉から17世紀中頃の時期を，蓋状金属製品は18世紀から20世紀の時期を示したため，後代の混入品の可能性が高いと考えられる。

Ｃ１号墳出土鏨については，金属鉄部分から炭素を抽出することがほとんど出来ず，^{14}Ｃ年代測定を実施することが不可能であったため，炭素含有量が極端に低い軟鉄材の鍛錬製品と考えられる。Ｃ４号墳出土方形板鍬・鋤先とＢ14号墳出土鎌については，金属製品の錆化の進行が著しく，グラファイトを合成するための十分な炭素を抽出することが出来なかったために^{14}Ｃ年代測定を実施することが不可能であった。

参考文献

Libby,W.F. 1955「Radiocarbon dating」Chicago University Press, pp.175.

中村俊夫　2001「放射性炭素年代測定とその高精度化」『第4紀研究』40（6）445－459

Kitagawa,H., Masuzawa,T., Nakamura,T., and Matsumoto,E. 1993「A batch preparation method of graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements」『Radiocarbon』35 295－300

Reimer et al. 2004「IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0－26cal kyr BP」『Radiocarbon』46 1029－1058

Stuiver,M.and Reimer,P.J. 1993「Extended ^{14}C data base and revised CALIB3.0 ^{14}C age calibration program」『Radiocarbon』35 215－230

Table. 1　板屋谷内B・C古墳群出土金属製品の^{14}C年代と較正年代

遺物番号	遺構名	試料の種類	$\delta^{13}C_{PDB}$ (permil)＊	^{14}C age (BP)	^{14}C年代を較正した年代 (Reimer et al. 2004) ＊＊(cal BC) ±1σの較正年代範囲(可能性の確率)	測定番号 (NUTA2-)
19	C1号墳	鏃	－	測定不可	－	－
29	C4号墳	方形板鍬・鋤先	－	測定不可	－	－
319	C7号墳	鏃	−24.1	297±23	CalAD1523－1559 (62.8%) CalAD1562－1571 (8.8%) CalAD1630－1646 (28.4%)	11389
6	B13号墳	斧	−16.3	1670±22	CalAD349－369 (31.2%) CalAD378－412 (68.8%)	11392
321	B14号墳	鎌	－	測定不可	－	－
25		蓋状	−23.4	91±21	CalAD1698－1724 (32.7%) CalAD1815－1834 (23.3%) CalAD1878－1916 (43.4%)	11393
9	B13号墳	刀	−20±1	1676±19	CalAD349－369 (37.0%) CalAD378－406 (63.0%)	8762

＊）$\delta^{13}C_{PDB}$は次式で定義される。

$\delta^{13}C_{PDB}$（‰）＝［（$^{13}C/^{12}C$）$_{sample}$/（$^{13}C/^{12}C$）$_{PDB}$－1.0）x1000

ここで，（$^{13}C/^{12}C$）sampleは試料の$^{13}C/^{12}C$比，（$^{13}C/^{12}C$）$_{PDB}$はPeed de belemnite標準物質（炭酸カルシウム）の$^{13}C/^{12}C$比である。

注意事項

・^{14}Ｃ年代値はBPの単位で，西暦1950年から過去へ遡った年代値で示される。
^{14}Ｃの半減期として，国際的に用いられているLibbyの半減期5568年を用いて^{14}Ｃ年代値を算出した。

・年代値の誤差はone sigma（±１σ；１標準偏差）を示した。これは，同じ条件で測定を100回繰り返したとすると，測定結果が誤差範囲内に入る割合が68回である事を意味する。誤差を表示の２倍（±２σ；２標準偏差）にとると，誤差範囲に入る割合は95回になる。

・$\delta^{13}C_{PDB}$を用いて炭素同位体分別の補正を行った。すなわち，Conventional ^{14}C age（同位体分別補正^{14}Ｃ年代）である。

・＊＊）^{14}Ｃ年代値から暦年代への較正は，樹木年輪についての^{14}Ｃ濃度測定から得られた較正データを用いる。ここでは，IntCal04 較正データ（Reimer et al, 2004, Radiocarbon, 46, p. 1029－1058）と較正プログラムCALIB Rev 5.01（M. Stuiver, P.J. Reimer, and R. Reimer, 2005）を用いて較正を行った。

・＊＊）暦年代は，^{14}Ｃ年代値が，^{14}Ｃ年代値-暦年代較正曲線で真の年代が入る可能性が高い暦年代範囲で示される。また，真の年代が，表示されたすべての範囲のどれかに入る確率が68％（１σ）である。年代範囲の後に示された確率は，68％のうちで，さらに特定の年代範囲に入る確率を示す。

（８） 金属製品の蛍光Ｘ線分析

財団法人元興寺文化財研究所　井上美知子

Ａ　分析対象

金具状金属製品１点

Ｂ　分析内容

部位の異なる２箇所の元素分析を行った。

Ｃ　使用機器および分析条件

・エネルギー分散型蛍光Ｘ線分析装置（以下，ＸＲＦ）（エスアイアイ・ナノテクノロジー㈱製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。測定が大気圧下ではカリウムより重い元素が検出可能である。

測定条件---モリブデン管球使用，大気圧，管電圧45kV，測定時間180秒

Ｄ　方法および結果

ＸＲＦを用いて元素分析を行った結果，金具状金属製品からは，主に銅（Cu），亜鉛（Zn）が検出された。真鍮製と考えられる。微量元素としてチタン（Ti），鉄（Fe），鉛（Pb）が検出された。微量元素は銅，亜鉛に含まれる微量成分や土壌由来の元素と考えられる（表１，図１・２）。

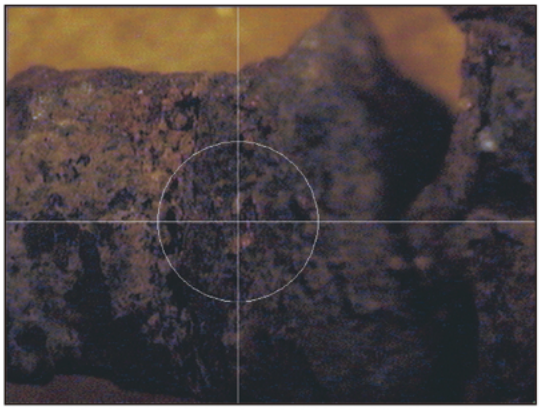
板屋谷内Ｂ・Ｃ古墳群出土の金属製品のXRF分析結果

試料番号	遺物番号	遺構名	遺物名	主要元素	微量元素	備考
9	*18*	Ｃ１号墳	金具状金属製品	Cu・Zn	Ti・Fe・Pb	真鍮

表１　No. 9 金具状金属製品のXRF分析結果

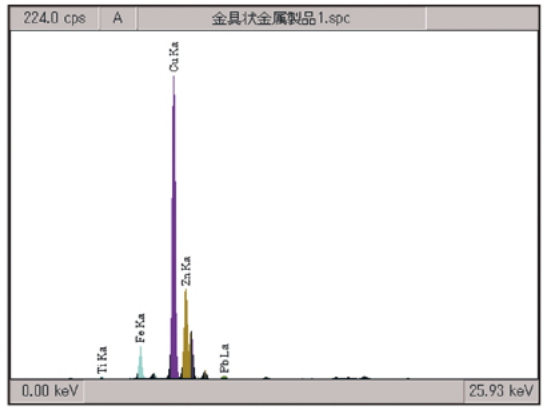
Z	元素	元素名	ライン	ROI（keV）	①（cps）	②（cps）
22	Ti	チタン	Ｋα	4.35－4.66	3.664	5.154
26	Fe	鉄	Ｋα	6.23－6.57	176.629	492.600
29	Cu	銅	Ｋα	7.86－8.22	1744.721	1731.115
30	Zn	亜鉛	Ｋα	8.45－8.82	585.940	227.129
82	Pb	鉛	Ｌα	10.34－10.74	11.218	13.412

写真１　No. 9 金具状金属製品のXRF分析箇所



視野：［X Y］6.60　4.95（mm）

①の試料像

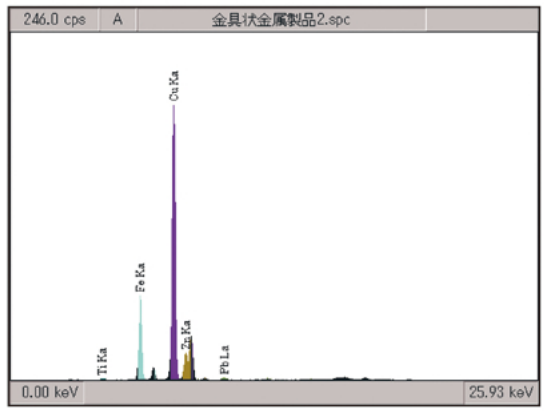


①のXREスペクトル

図１　①の分析結果

視野：［X Y］6.60　4.95（mm）

②の試料像



②のXREスペクトル

図２　②の分析結果

2　堂前遺跡

（1）堂前遺跡・岩坪岡田島遺跡出土須恵器の蛍光X線分析

胎土分析研究会　三辻利一

A　はじめに

これまでに筆者が産地推定を試みた須恵器の殆どは古墳時代，平安時代のものであり，７世紀代の須恵器の産地推定の例は殆どない。７世紀代には依然として，和泉陶邑には100基以上の須恵器窯跡があったが，地方でも，次第に須恵器窯の数が増えている。各地の７世紀代の消費地遺跡からは地元産の須恵器が多数出土するのか，それとも，依然として，陶邑産の須恵器が供給されていたのかは不明であり，これから検討しなければならない問題である。富山県内には７世紀代と推定される須恵器窯跡は20基程度見つけられている。これらの窯で生産された須恵器が県内の消費地遺跡にどのように供給されていたのかは興味深い問題である。今回は高岡市の堂前遺跡，岩坪岡田島遺跡から出土した，７世紀代と推定される須恵器の産地推定を蛍光X線分析で試みた結果について報告する。

B　分析結果

表１には８点の試料の分析データを示してある。全分析値は岩石標準試料，JG－１による標準化値で表示してある。今回採用した母集団は下条川右岸窯群の天池Ｃ窯，射水丘陵東端窯群の平岡窯，婦負窯群のセンガリ窯と古沢窯Ａ地点，下条川左岸窯群の流団No.７－１号，３号窯，砺波松永窯群の西蓮沼窯，山王奥提窯と蓮沼新提窯の須恵器である。いずれも７世紀代の須恵器窯跡である。

はじめに，K－Ca，Rb－Sr両分布図を使って定性的に窯間の地域差を比較した。図１には天池Ｃ窯跡出土須恵器の両分布図を示す。地域差を比較するためには，両分布図上に基準となる領域を設定しておくと便利である。天池Ｃ窯，平岡窯，センガリ窯，古沢窯Ａ地点から出土した須恵器の両分布図における分布がほぼ重複したので，これらをまとめて３群領域を設定し，基準領域とした。図１をみると，天池Ｃ窯の須恵器試料のほとんどは３群領域内に分布することが分かる。図２には，平岡窯の須恵器試料の両分布図を示す。平岡窯の須恵器も３群領域内に分布することがわかる。図３には，センガリ窯，古沢窯Ａ地点出土の須恵器試料の両分布図を示す。婦負窯群のこれらの須恵器も３群領域内に分布するが，Rb－Sr分布図では３群領域の上方部分に偏って分布することがわかる。しかし，これらの図において，これら３群の須恵器試料は３群領域内に重複して分布しており，その化学特性が互いに類似することが分かった。

次に，どの程度類似しているかをみるために，判別分析を試みた。図５には下条川右岸群（天池Ｃ窯）と射水丘陵東端群（平岡窯）間の２群間判別の結果を示す。中央に引かれた斜線は両群の理想境界線である。もし，両群の試料が全く同じ化学特性をもっていれば，理想境界線に沿って，混在して分布するはずである。図５をみると，必ずしも，両群の試料は理想境界線に沿って分布はしていない。むしろ，理想境界線を境に，両側に別れて分布していることがわかる。このことは両群の化学特性は必ずしも一致している訳ではないことを示している。しかし，両群の試料の半数は両群の領域が重なる重複領域に分布しており，その相互識別は困難であることを示している。

図６には射水丘陵東端群（平岡窯）と婦負群（センガリ窯と古沢窯Ａ地点）の２群間判別の結果を示す。図５と同様，重複領域に両群の試料の半数が分布しており，その相互識別は困難であることを示している。図７には下条川右岸群（天池Ｃ窯）と婦負群（センガリ窯と古沢窯Ａ地点）の２群間判

別の結果を示す。必ずしも，その化学特性は一致しないが，両者の相互識別も困難であるとみられる。

こうして，下条川右岸群，射水丘陵東端群，婦負群の須恵器の化学特性は互いに類似しており，その相互識別は困難であることがわかった。これら窯跡群は地理的にも近接していることから，当然の結果であると理解される。このようなデータに基づいて，これら３群を一括してまとめることにした。

図４には下条川左岸群（流団№７－１号，３号窯）の須恵器試料の両分布図を示す。両分布図とも，半数以上の試料が３群領域の右側にはみだして分布していることが分かる。このことはその化学特性が３群の須恵器とは若干異なることを示している。そこで，３群の須恵器と下条川左岸群の須恵器の２群間判別を試みた。その結果を図８に示す。両群の大部分の試料は理想境界線の両側にわかれて分布しており，重複領域があるものの，その相互識別の可能性は十分あることを示している。下条川左岸窯跡群の地理的分布位置は下条川右岸窯跡群に近いにも関わらず，化学特性には微妙な差違があることが分かった。

図９には砺波松永窯群（西蓮沼窯，山王奥提窯，蓮沼新提窯）の須恵器試料の両分布図を示す。大部分の試料が３群領域をずれて分布しており，その化学特性は３群の須恵器とは少し異なることを示している。砺波松永群と３群の相互識別の結果は図10に示してある。殆どの試料は理想境界線を挟んで分離しており，その相互識別は十分可能であることを示している。砺波松永窯跡群は下条川右岸窯跡群，射水丘陵東端窯跡群，婦負窯跡群，下条川左岸窯跡群から地理的に最も遠く離れており，その結果は当然であると考えられる。

富山県西部では同じ地質の上に，いくつかの須恵器窯跡群が発見されている。これらの窯跡群から出土する須恵器の化学特性には大きな差違はないが，微妙な差違があることが今回の分析データで分かった。同じようなデータは全国各地の窯跡群で観測されている。全国各地で，各窯跡群を構成する個々の窯跡から出土する須恵器の化学特性を比較すると，その化学特性は必ずしも一致せず，微妙な差違があることが観測されている。このことをどう理解すればよいのだろうか。もし，同じ岩石が同じルツボの中で風化するとすれば，同じ化学特性をもつ粘土が生成するはずである。粘土の化学特性が微妙に異なるということは粘土化のルツボが異なることを意味する。もし，直径が数10キロメートル四方といった巨大なルツボの中で風化が進行すれば，生成する粘土は数10キロメートル四方で同じ化学特性をもつはずである。その結果，同じ窯跡群の全ての窯跡から出土する須恵器は同じ化学特性をもつはずである。しかし，そのような例は全国どこの窯跡群でも一例も観測されていない。もし，大自然特有の不均質性が現れるとすれば，粘土化のルツボの大きさは数100メートルとか，数10メートルといったもっと小さなルツボの中で，個々に粘土化が進行したと考えることによって理解されよう。富山県西部の各窯群間の地域差は粘土化のルツボの違いによる差違であると考えられる。

この結果を使って，堂前遺跡と岩坪岡田島遺跡から出土した須恵器の産地推定を試みた。その際，土器の胎土観察によってすべて地元産と考えられているので，上記の地元窯跡群間の判別分析を行った。

まず，３群と下条川左岸群間の２群間判別図上に，両遺跡の須恵器の分析結果をプロットしたのが図11である。№８は下条川左岸群の領域に分布するものの，他の試料は３群領域に分布することがわかる。多くの試料は下条川右岸窯跡群，射水丘陵東端窯跡群，婦負窯跡群のいずれかが産地であることを示している。この中で№５の須恵器は他の試料から少し離れて分布しており，№１，２，３，４，６，７とは産地が異なる可能性もある。

図12には３群と松永群間の判別図上に堂前遺跡，岩坪岡田島遺跡の須恵器をプロットしてある。砺

波松永領域に分布するものは１点もないことがわかる。そして，№８の試料のみが，３群領域を明確にずれて，不明領域に分布することがわかる。№３は不明領域に分布するものの，他の６点の試料とともに，同じ産地の製品である可能性が高い。

以上の結果，高岡市の堂前遺跡，岩坪岡田島遺跡へは距離的にも近い，射水平野の窯群の製品が庄川をわたって供給された可能性が高いことがわかった。また，３群の中のどの窯群の製品であるかは今回は結論を下さずにおく。

今後，このようなデータを集積することによって，富山県内の７世紀代の須恵器窯の製品の供給の様相が明らかになるであろう。

遺跡名	分析№	遺物番号	器種	時期	K	Ca	Fe	Rb	Sr	Na	D^2(3群)	D^2(左岸)	D^2(松永)	推定産地
堂前遺跡	1	*89*	杯G蓋	7C第4四半期	0.532	0.111	1.67	0.641	0.357	0.133	2.0	11.7	30.0	３群
	2	*90*	杯G蓋	7C第4四半期	0.439	0.073	1.60	0.530	0.272	0.111	3.0	22.4	23.9	３群
	3	*92*	杯G蓋	7C第4四半期	0.562	0.128	2.55	0.589	0.411	0.168	10.9	18.2	18.3	３群
岩坪岡田島遺跡	4	*34*	杯H身	7C第1四半期	0.576	0.130	1.86	0.731	0.369	0.104	5.3	14.4	58.7	３群
	5	*465*	杯H身	7C第1四半期	0.535	0.117	1.60	0.666	0.443	0.180	2.7	2.7	30.5	３群
	6	*61*	高杯	7C後半	0.575	0.127	1.52	0.657	0.375	0.163	8.1	18.9	25.8	３群
	7	*133*	杯G蓋	7C第4四半期	0.362	0.087	2.34	0.468	0.297	0.109	6.2	24.6	10.1	３群
	8	*52*	甕	7C	0.476	0.165	2.03	0.676	0.476	0.268	14.3	4.5	54.1	左岸

表１　堂前遺跡・岩坪岡田島遺跡出土須恵器の分析データ

注　岩坪岡田島遺跡出土須恵器の遺物番号は，財団法人富山県文化振興財団2007「第Ⅲ章　岩坪岡田島遺跡」『岩坪岡田島遺跡・手洗野赤浦遺跡・近世北陸道遺跡発掘調査報告』の遺物番号に対応する。

図１　下条川右岸群（天池Ｃ窯）
出土須恵器の両分布図

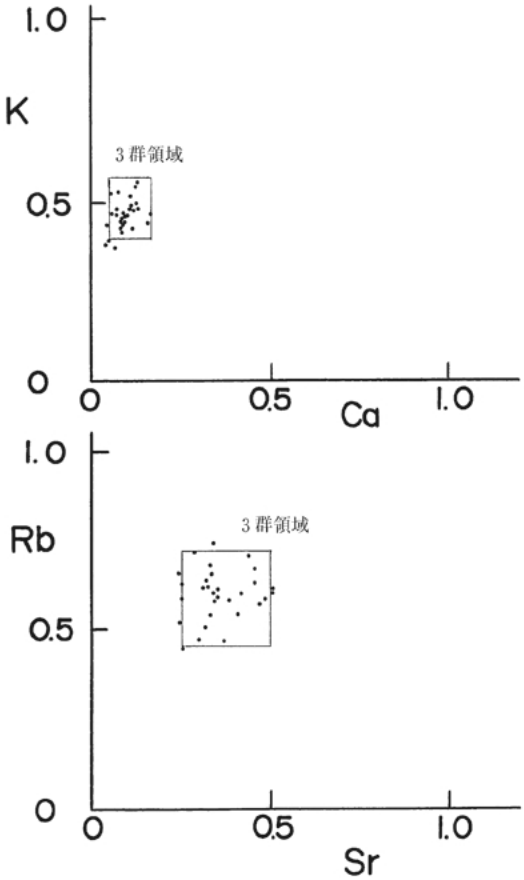


図２　射水丘陵東端群（平岡窯）
出土須恵器の両分布図

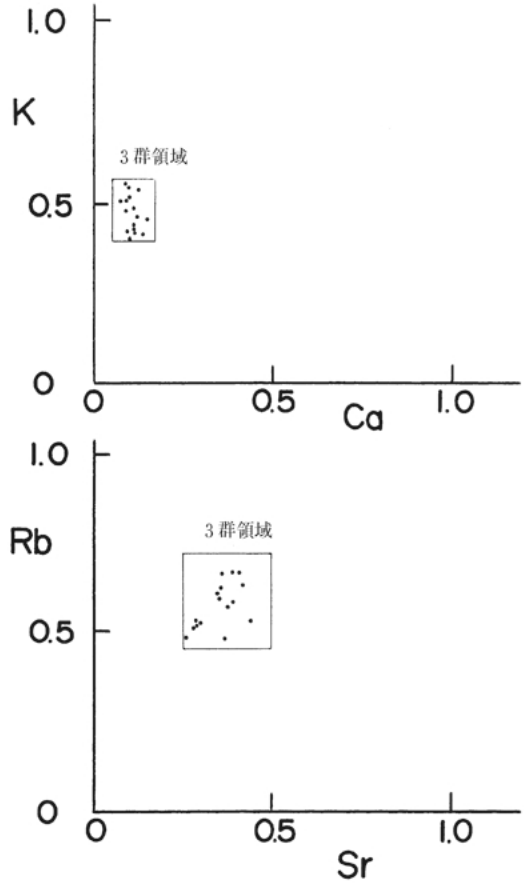


図３　婦負群（センガリ窯，古沢窯Ａ地点）
出土須恵器の両分布図

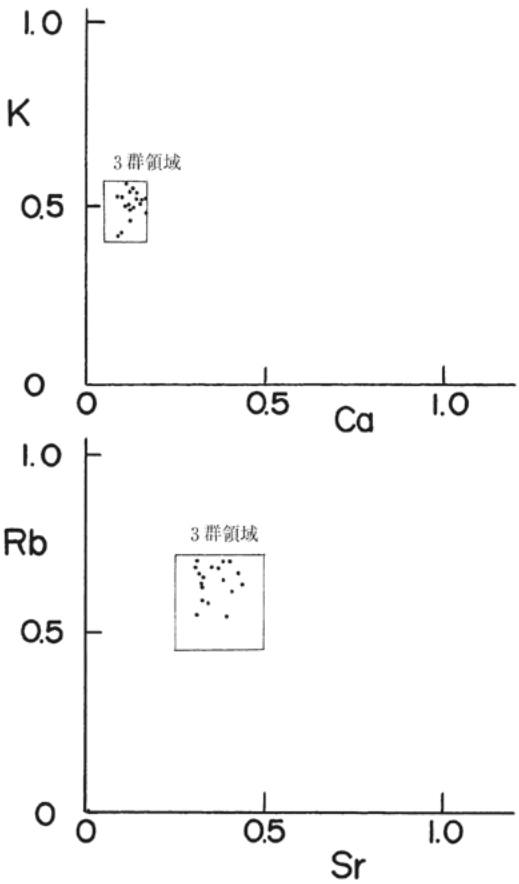


図４　下条川左岸群（流団 No. 7　１号，３号窯）
出土須恵器の両分布図

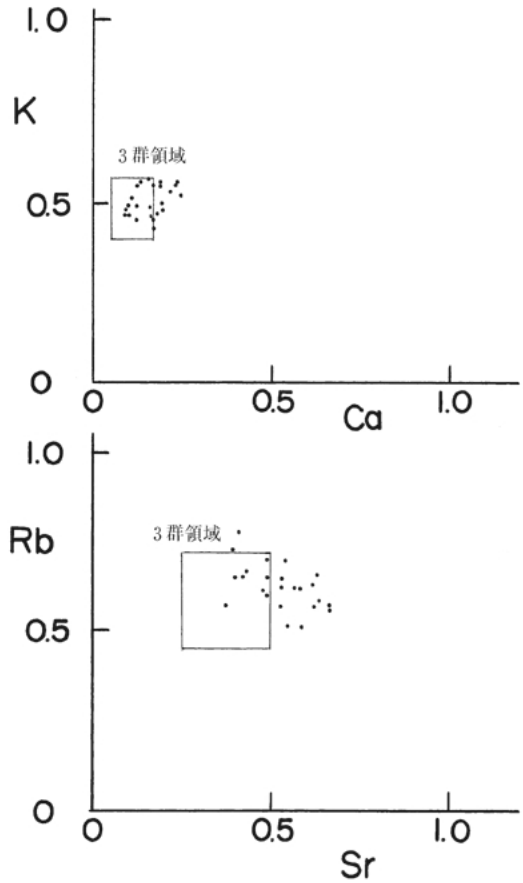


図５　下条川右岸群と射水丘陵東端群の相互識別（K，Ca，Rb，Sr）

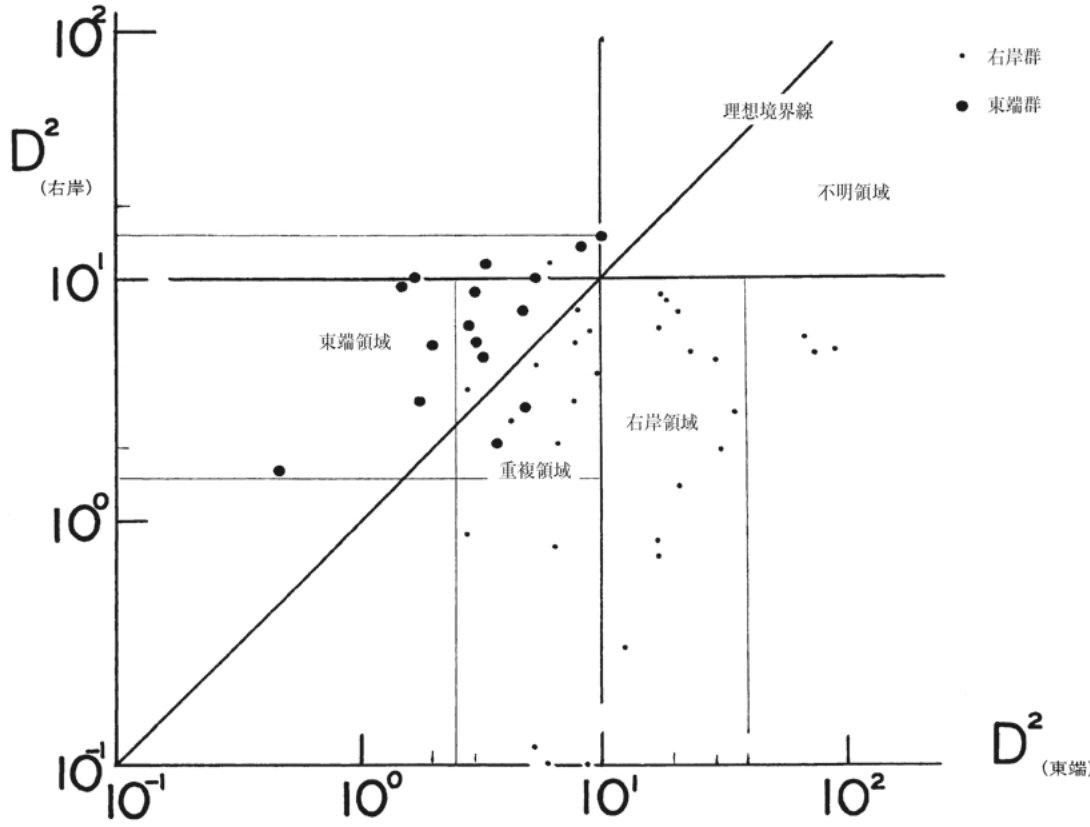


図６　射水丘陵東端群と婦負群の相互識別（K，Ca，Rb，Sr）

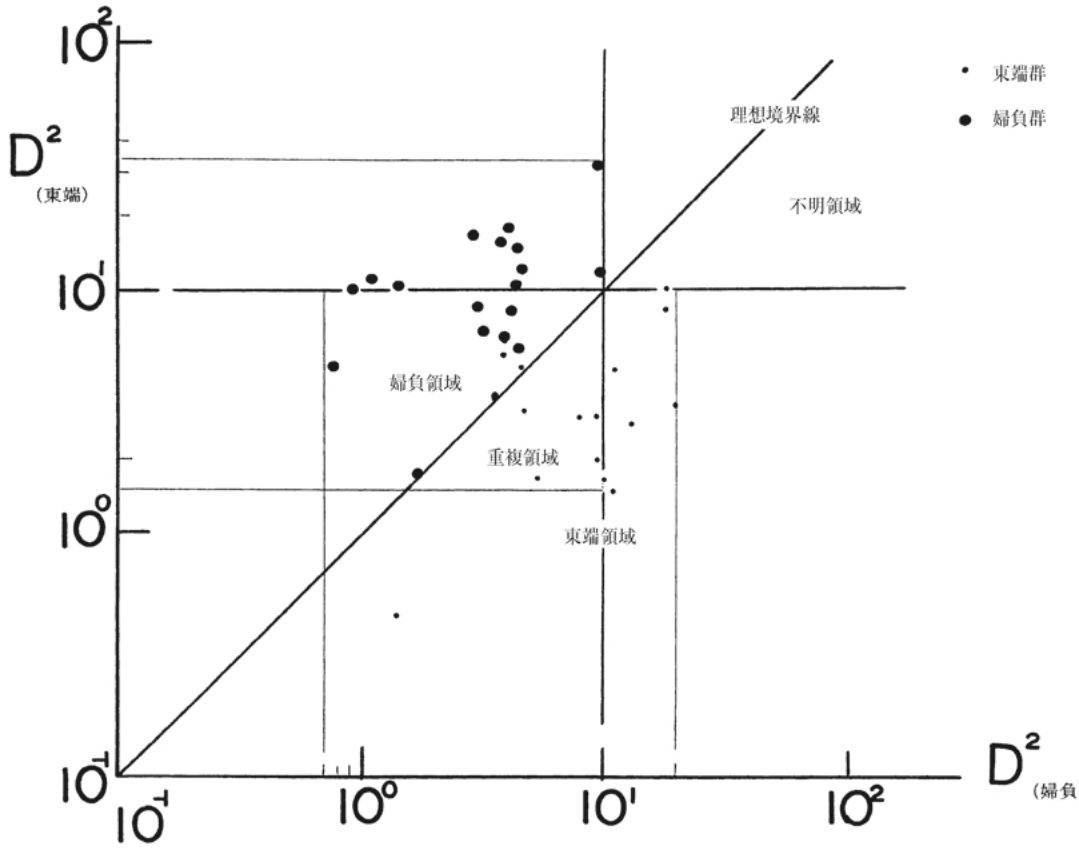


図７　下条川右岸群と婦負群の相互識別（K，Ca，Rb，Sr）

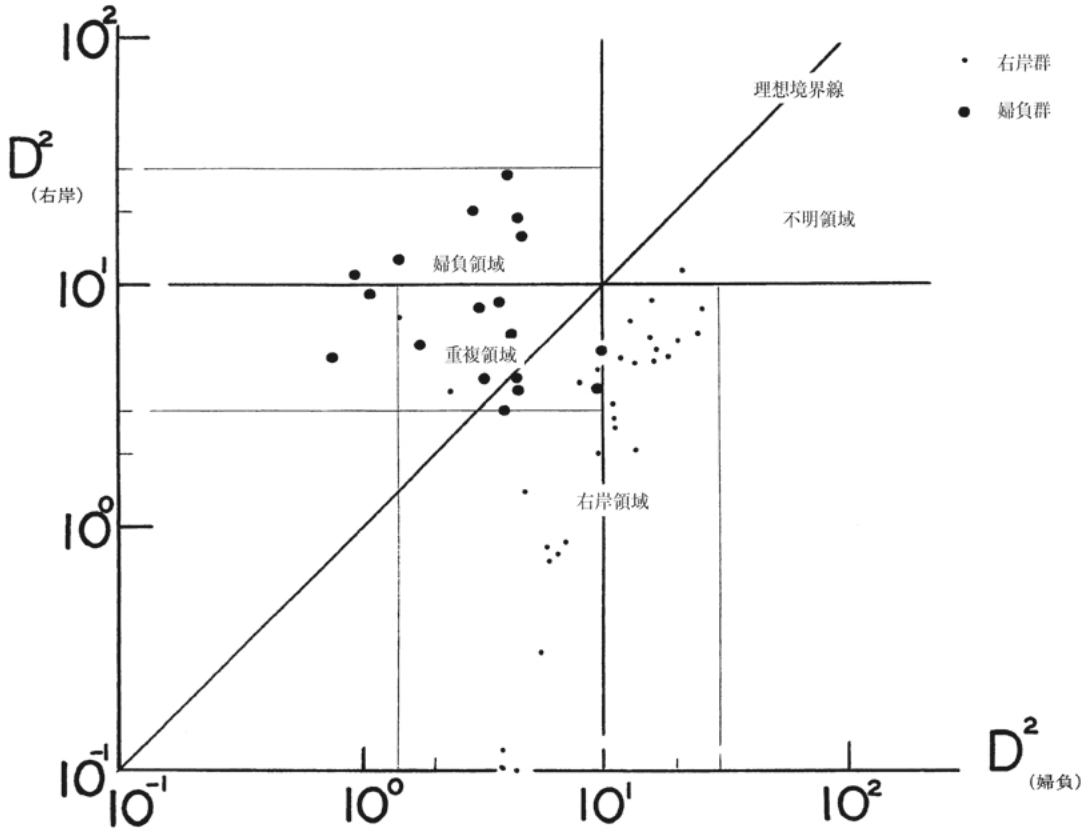


図８　３群と下条川左岸群の相互識別（K，Ca，Rb，Sr）

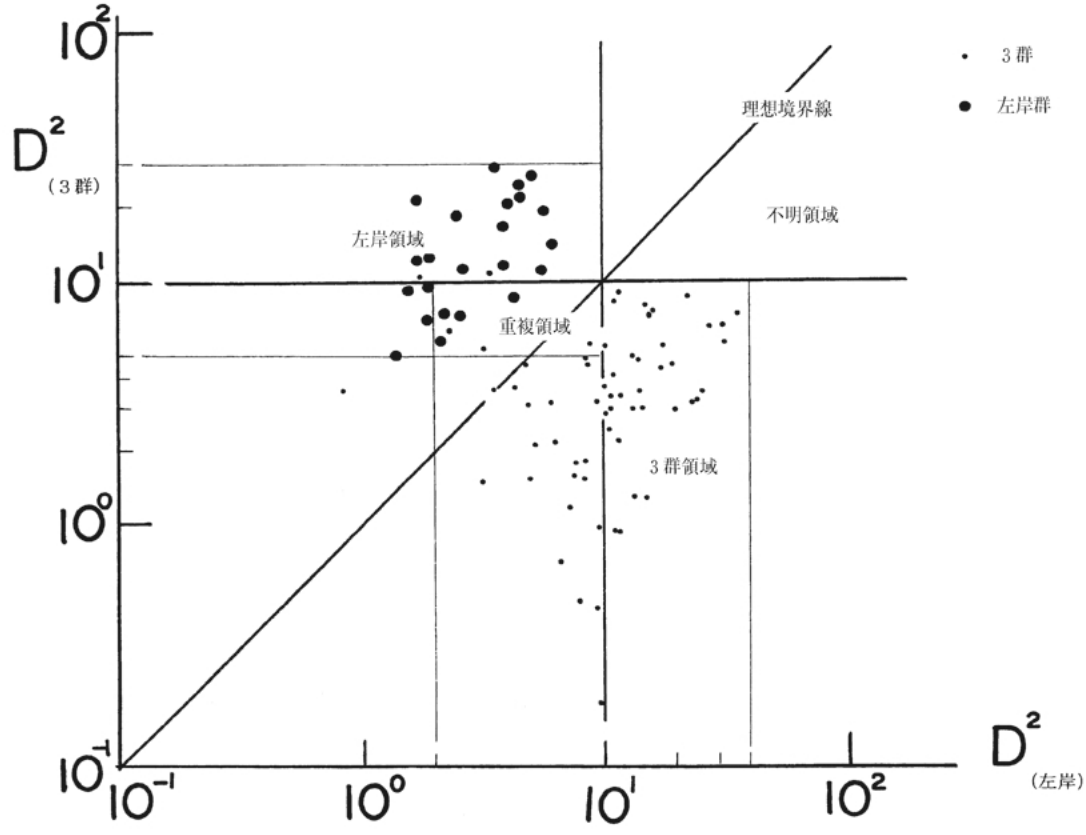


図９　砺波松永群（西蓮沼窯，山王奥堤窯，蓮沼新堤窯）出土須恵器の両分布図

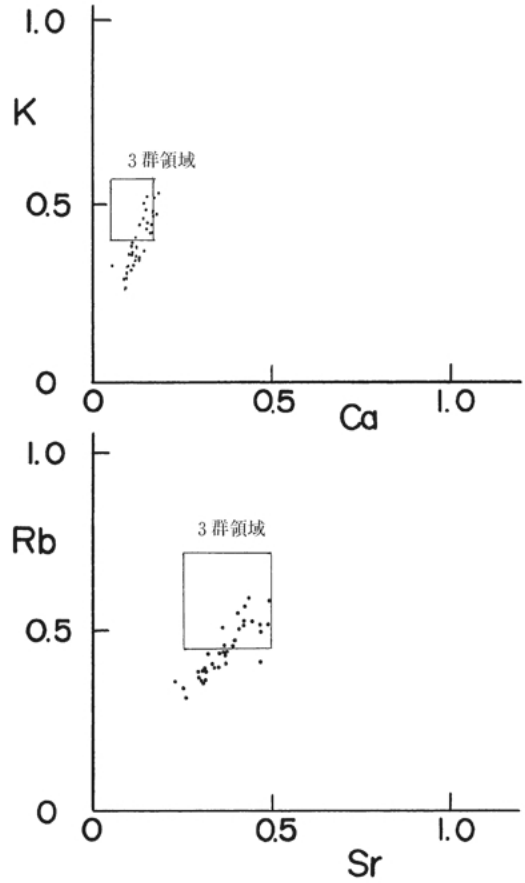


図10　３群と松永群の相互識別（K，Ca，Rb，Sr）

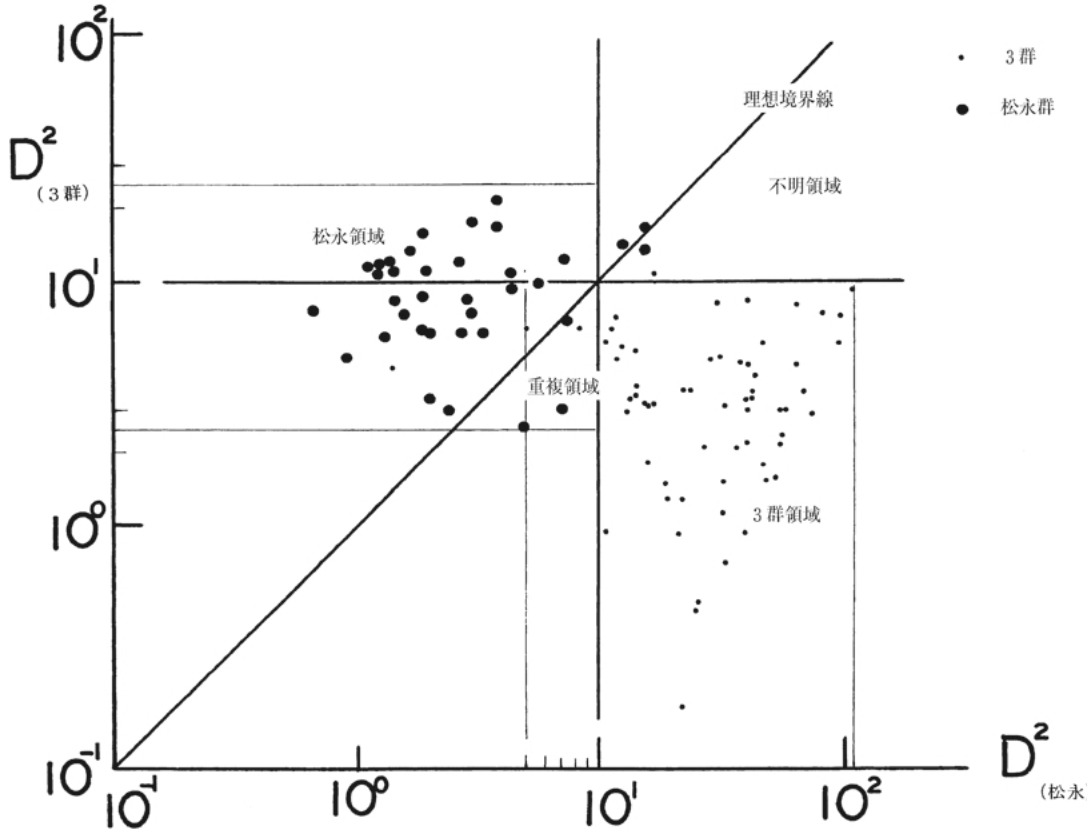


図11　堂前遺跡（高岡市）出土須恵器の産地推定（K，Ca，Rb，Sr）（その１）

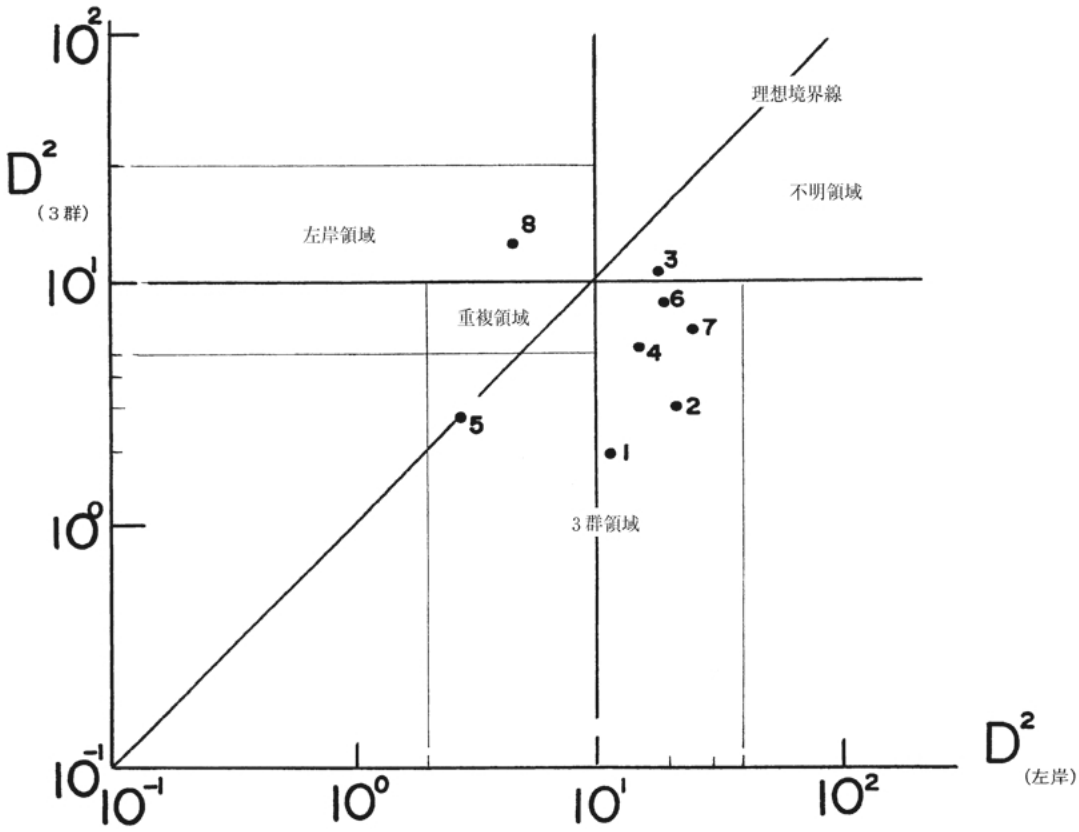
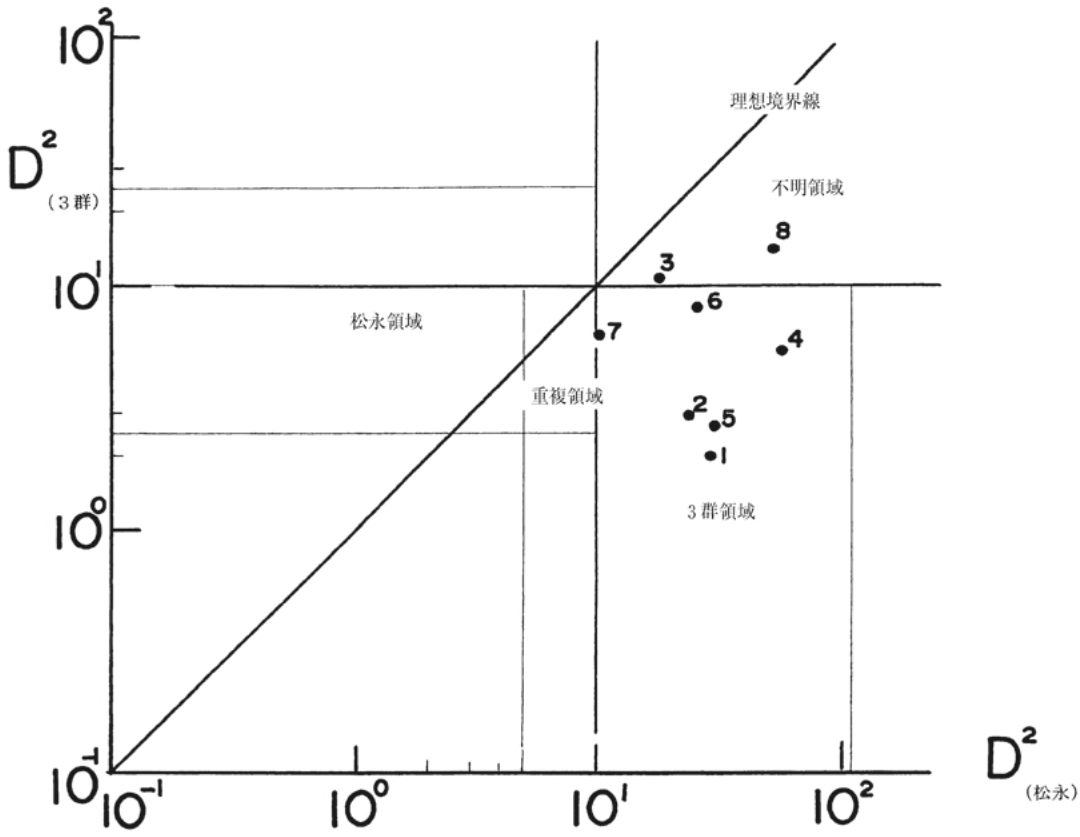


図12　堂前遺跡（高岡市）出土須恵器の産地推定（K，Ca，Rb，Sr）（その２）



（２） 袋状鉄斧の金属学的調査

九州テクノリサーチ・TACセンター　大澤正己
財団法人元興寺文化財研究所

A　概　要

堂前遺跡の包含層出土の袋状鉄斧を調査して，次のことが明らかになった。鉄斧は低温還元直接製鋼法にもとづく塊煉鉄（C：＜0.10％）を素材とし，鉄中の非金属介在物はウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）を内蔵するので，製鉄原料は砂鉄もしくはチタン磁鉄鉱が想定される。鉄斧の製作技法は縦鍛接合せ鍛えであった。熱処理は水焼入れ製品であり，産地は国産でもおかしくはないがチタン磁鉄鉱原料ならば朝鮮半島側に求められる。

B　いきさつ

堂前遺跡は高岡市西部に所在し能越自動車道建設に際して調査された。包含層から袋状鉄斧が出土しており，年代測定（加速器質量分析）と成分組成の調査の運びとなった。調査は一種の破壊調査なのでサンプル採取から復元・保存処理と一貫作業が必要なため，㈶元興寺文化財研究所で行われた。供試材は0.6ｇ強に切出されたものを対象とした。

C　調査方法

a　供試材

Table. 1 に示す。

b　調査項目

〈１〉肉眼観察

遺物の肉眼観察所見。これらの所見を基に分析試料採取位置を決定する。

〈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，投影機の10倍もしくは20倍でいずれか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

切り出した試料をベークライト樹脂に埋込み，エメリー研磨紙の＃150，＃240，＃320，＃600，＃1000と順を追って研磨し，最後は被研磨面をダイヤモンド粒子の３μと１μで仕上げて光学顕微鏡観察を行った。なお，金属鉄の炭化物は，ピクラル（ピクリン酸飽和アルコール液）で，フェライト結晶粒は５％ナイタル（硝酸アルコール液）で，腐食（Etching）している。

〈４〉ビッカース断面硬度

金属鉄の組織同定を目的として，ビッカース断面硬度計（Vickers Hardness tester）を用いて硬さの測定を行った。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，その荷重を除した商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用した。

〈５〉ＥＰＭＡ（Electron Probe Micro Analyzer）調査

分析の原理は，真空中で試料面（顕微鏡試料併用）に電子線を照射し，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。化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定が可能である。

D　調査結果

〈１〉肉眼観察：現存長さ8.7㎝，基部幅3.4㎝に対して刃部側がやや幅広となり，刃部幅4.0㎝を測る。袋部断面は隅丸長方形で，折り返し隙間を２㎜程度残す。全体に銹膨れが激しくて外観観察が困難であるが，Ｘ線透過からの実測図をみると端正な造りである。供試材は該品も刃部側は銹化するので，胴部から採取してある。

〈２〉マクロ組織：Photo.３に示す。金属鉄は芯金相当部にのみ遺存して，皮金部が銹化剥落して情報が採れぬ。鉄素材は，極軟鋼充当で繰返し折り曲げ鍛接の合せ鍛えの造りが想定できる。組織はフェライトと粗大オーステナイト粒が顕著に目立つ。

〈３〉顕微鏡組織：Photo.１，２に示す。鉄中の非金属介在物はPhoto.１の②である。非金属介在物の鉱物相は，暗黒色ガラス質スラグ中に淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネル，白色粒状結晶のウスタイト，淡灰色不定形結晶のファイヤライトなどが一括晶出する。低温還元直接製鋼法にもとづく塊錬鉄からなる素材である。次にナイタル腐食（etching）後の金属鉄について述べる。Photo.１の①，③～⑤，Photo.２の①に示す。いずれもフェライト部分と粗大オーステナイト部分，針状組織のベイナイト部分から構成される。炭素含有量は，0.01～0.1％の範囲内に収まる極軟鋼であり，1000℃前後の温度からの水冷が想定できる。

〈４〉ビッカース断面硬度：Photo.１の⑥に粗大オーステナイト内の針状ベイナイト組織の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は236Hvを呈する。次にPhoto.２の②～⑤に針状結晶のベイナイトからフェライト・パーライト，フェライトへと組織の推移と硬度値の変化を探った。硬度値は169Hvから90Hvと変動して，それぞれの組織に対応した値が得られた。

〈５〉ＥＰＭＡ調査：Photo.４に非金属介在物の反射電子像（COMP）と定量分析値を示す。顕微鏡組織のPhoto.１②と同一視野である。６の番号のつく暗黒色ガラス質スラグ部分の定量分析値は，34.5％SiO_2－11.2％Al_2O_3－11.0％CaO－6.3％K_2O組成が得られた。珪酸塩である。これには，26.4％FeOが固溶するところから，ファイヤライトの晶出があるのだろう。また，他には砂鉄特有成分の1.5％TiO_2 - 2.8％ZrO_2の検出があった。７の番号は淡茶褐色多角形結晶である。定量分析値は，67.3％FeO－26.5％TiO_2組成でウルボスピネルが同定される。８の番号の白色粒状結晶は92.7％FeO－2.8％TiO_2組成でウスタイト，９の番号は淡灰色不定形結晶で，定量分析値は63.4％FeO－29.2％SiO_2組成でファイヤライトが同定される。この結晶には4.3％MgO－1.3％P_2O_5－1.1％ZrO_2－2.3％CaOなどが固溶する。該品は砂鉄もしくはチタン磁鉄鉱を始発原料とするが，ジルコン濃度が僅かながら検出されている。

E　まとめ

堂前遺跡から出土した袋状鉄斧は，低温還元直接製鋼法にもとづく塊煉鉄（C：＜0.1％）が想定された。鉄中の非金属介在物にウスタイトやファイヤライトの共晶組成を内蔵するからである[注1]。

更に介在物には砂鉄もしくはチタン磁鉄鉱由来のウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）が検出された。これに副組成にジルコニウム（ZrO_2）の組合せであった。

注

注１　韓汝玢　「中国における早期鉄器の冶金学的特徴」『東アジアの古代鉄文化～その起源と伝播～』（1993年たたら研究会国際シンポジウム予稿集）たたら研究会

Table. 1　供試材の履歴と調査項目

遺跡名	出土位置	遺物名称	遺物番号	推定年代	計測値		磁着度	メタル度	調査項目							
					大きさ(mm)	重量(g)			マクロ組織	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	X線回折	EPMA	化学分析	耐火度	カロリー
堂前遺跡	X18Y19包含層	袋状鉄斧	*100*		87×40×18	0.62		L(●)	○	○	○		○			

Table. 2　出土遺物の調査結果のまとめ

遺跡名	出土位置	遺物名称	遺物番号	推定年代	顕微鏡組織	所見
堂前遺跡	X18Y19包含層	袋状鉄斧	*100*		非金属介在物：U，W，F，ジルコニウム固溶，金属鉄，Fe，B，鍛接線をもつ	低温還元直接製鋼法にもとづく砂鉄，もしくはチタン磁鉄鉱系塊錬鉄原料，縦鍛接合せ鍛え，水焼入れ製品

W：Wustite（FeO），F：Fayalite（$2FeO \cdot SiO_2$），Fe：Ferrite（純鉄または α 鉄），Ma：martensite（針状組織：硬くて脆い）
U：Ulvospinel（$2FeO \cdot TiO_2$），B：bainite（フェライト地に分散した微細なセメンタイトで構成される）

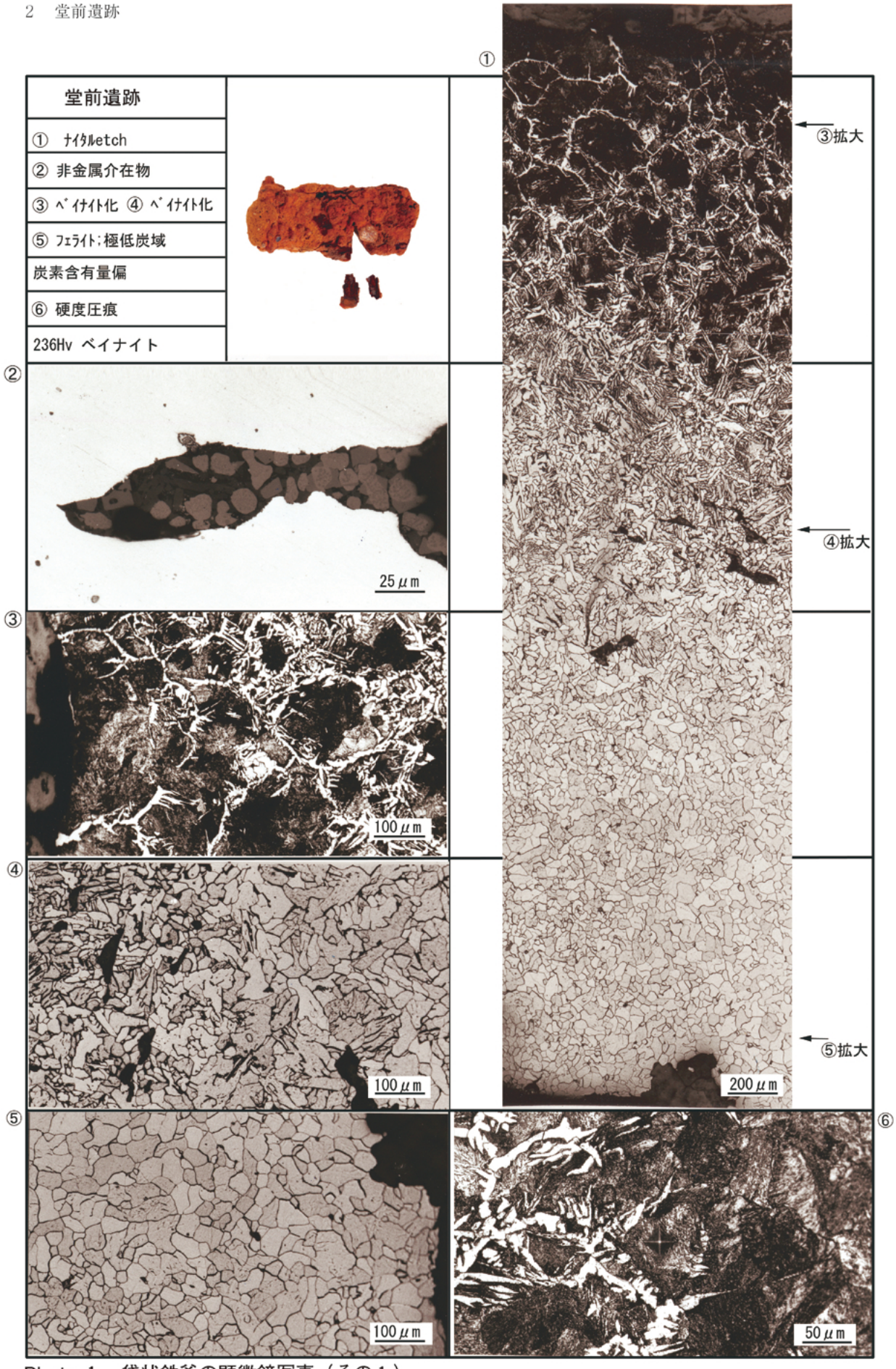


Photo. 1　袋状鉄斧の顕微鏡写真（その１）

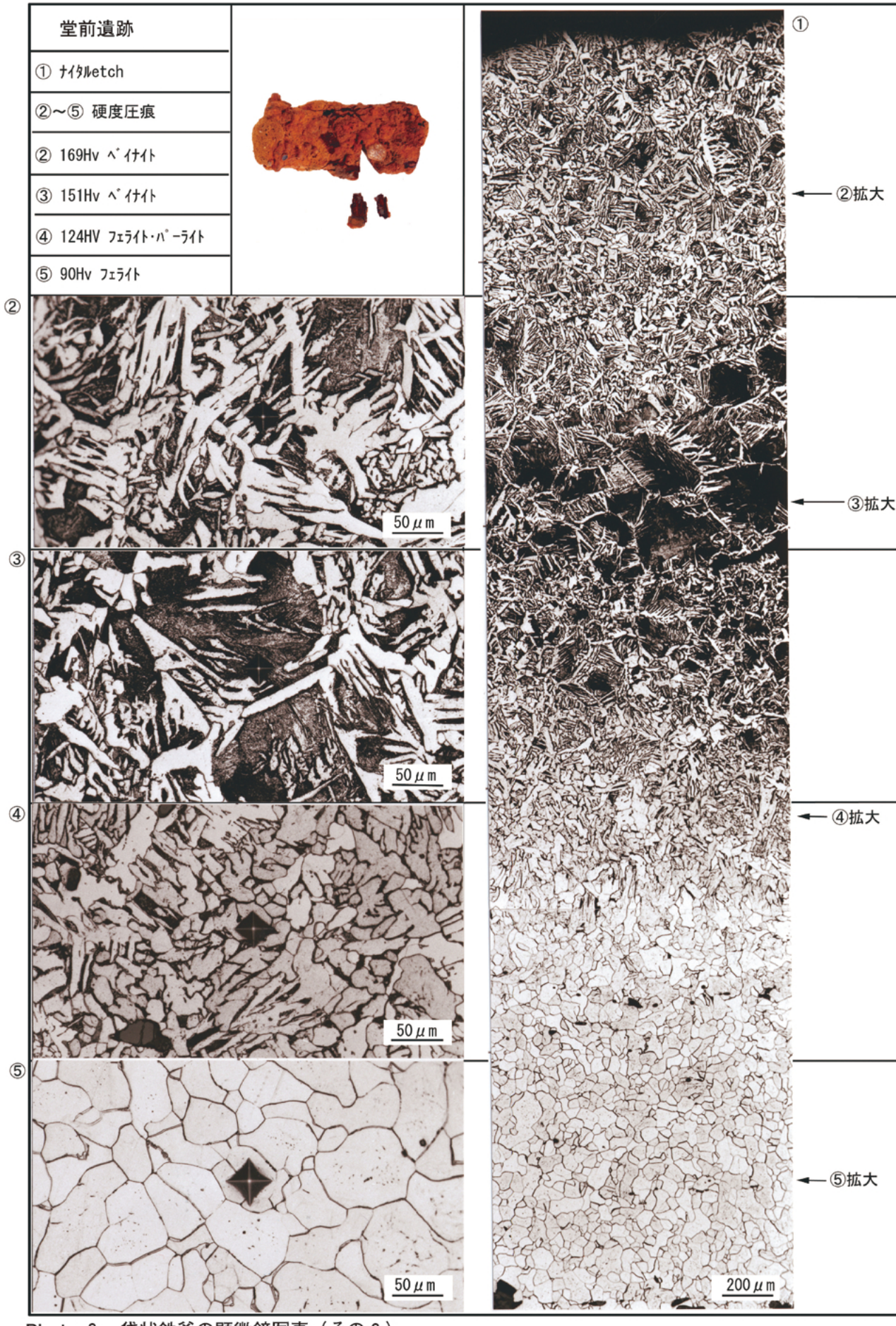


Photo. 2　袋状鉄斧の顕微鏡写真（その２）

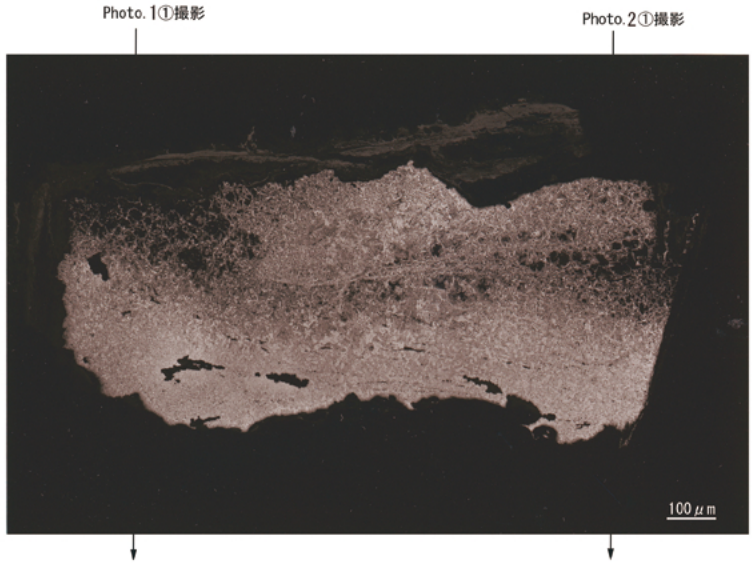
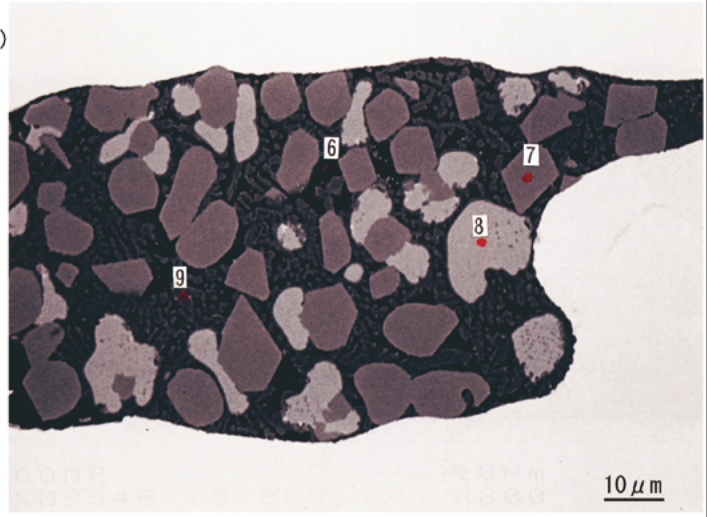


Photo. 3　袋状鉄斧（堂前遺跡）のマクロ組織

COMP
（堂前遺跡）



Element	6	7	8	9
MgO	0.159	1.611	0.644	4.277
Al_2O_3	11.152	4.552	0.510	0.517
SiO_2	34.531	0.129	0.342	29.180
P_2O_5	3.429	–	0.020	1.299
S	0.679	0.022	0.040	0.028
K_2O	6.257	0.017	0.033	0.188
CaO	10.969	0.031	0.016	2.250
TiO_2	1.464	26.475	2.842	0.943
MnO	0.279	0.385	0.159	0.692
FeO	26.402	67.270	92.674	63.399
ZrO_2	2.822	0.752	0.916	1.089
CuO	–	–	–	0.021
V_2O_3	0.038	0.197	0.009	–
As_2O_5	–	–	0.023	0.075
Total	98.012	101.436	98.218	103.951

Photo. 4　鉄中非金属介在物のEPMA調査結果

図　版

図版 1

航空写真（1953年撮影）