秋吉台周辺の古代銅製錬のカラミと年代に関する研究

北風　嵐（山口大学工学部付属学術資料展示館）
小松隆一（山口大学大学院創成科学研究科）

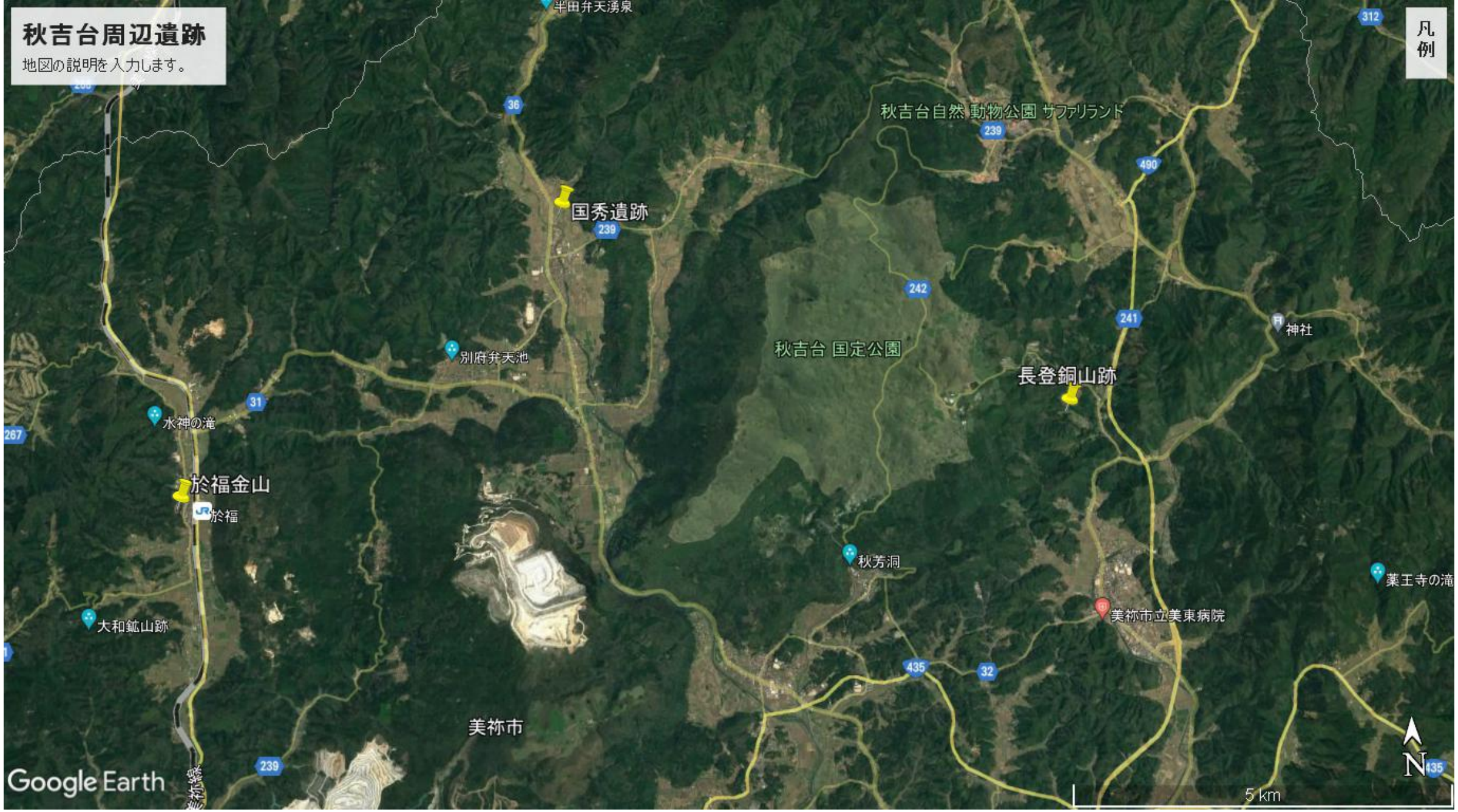
初めに

本研究は秋吉台周辺に分布する古代銅製錬の時代、製錬に用いた銅鉱石、添加材、製錬の物理・化学的環境（温度、酸素分圧、硫黄分圧）などを明らかにする目的で行っている。

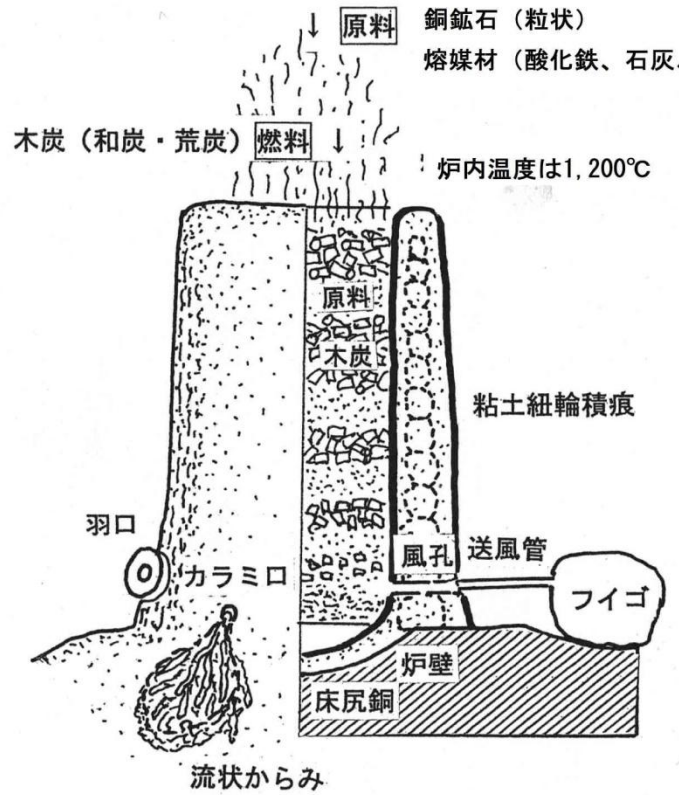
手始めに長登銅山跡の出土品に関して研究を開始し、実験に関してほぼ終了し、結果の一部は公表しており（資料館のＨＰ）、随時公表の予定である。

これらの結果を踏まえ、ほぼ同時代に行われたと推定される国秀遺跡と於福金山遺跡出土品に関して研究を行っています。

今回は時間の関係で主に国秀遺跡（銅精錬跡？）および於福金山遺跡（銅製錬跡）の出土品の研究結果について発表します。



研究対象とした長登銅山跡、国秀遺跡、於福金山遺跡の位置関係



古代銅製錬炉想定図
（池田；2015の一部変更）

奈良時代中期の粒状カラミ
（長登銅山跡出土）

飛鳥時代末期の木炭片を含む
塊状カラミ（長登銅山跡出土）

奈良時代前期のカラミに伴って出土した木炭片（長登銅山跡）

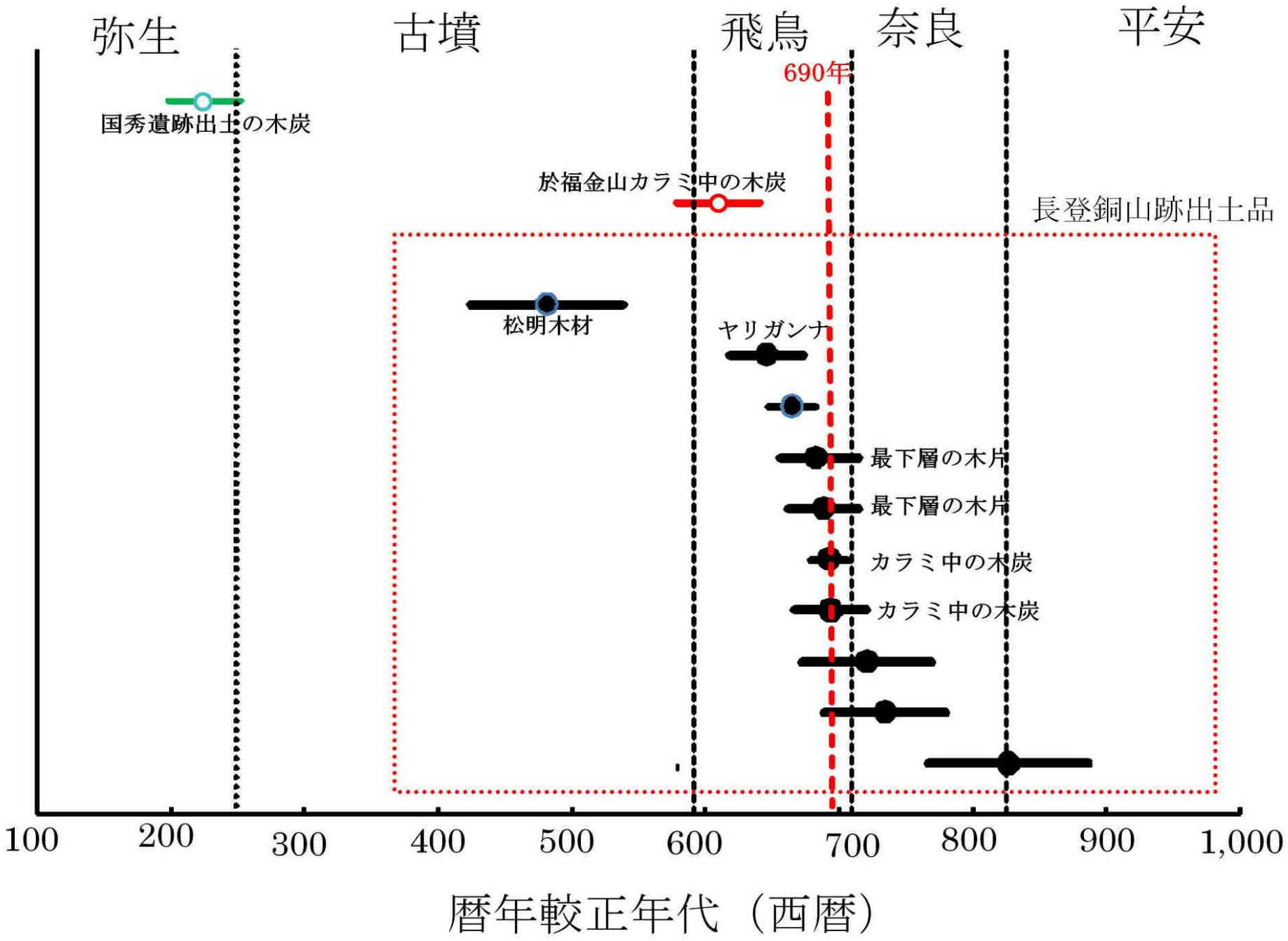
於福金山遺跡出土の大量のカラミ

長登銅山跡出土の木炭の^{14}C年代測定結果

試料番号 測定番号	出土場所、遺構番号、層位	測定試料	試料の種類と性状	測定（推定）年代
No.NG-8 PLD-37790	調査区：大切ⅢC区 遺構：2T② 層位：第33～36層	松明木材の炭化部	種類：炭化材 試料の性状：辺材部	482±58
No.NG-9 PLD-37791	調査区：大切ⅢC区 遺構：2T② 層位：第34層	ヤリガンナ削片	種類：生試材 試料の性状：最終形成年輪以外　部位不明	646±28
NG-10 PLD-42258	調査区：大切ⅢC区 遺構：４T 層位：36層下	炭化木材片	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪以外　部位不明	665±18
No.NG-3 PLD-36577	調査区:大切ⅢC区 遺構:2T② 層位:36層	塊状カラミ中の木炭片	種類：炭化材（コナラ属アカガシ亜属） 試料の性状：辺材部	683±27
No.NG-2 PLD-36576	調査区:大切ⅢC区 遺構:2T② 層位:36層	塊状カラミ中の木炭片	種類：炭化材（コナラ属アカガシ亜属） 試料の性状：最終形成年輪	689±27
NG-11 PLD-42259	調査区：大切ⅢC区 遺構：４T 層位：36層下	木材片	種類：木材 試料の性状：最終形成年輪	693±14
No.NG-4 PLD-37033	調査区:大切ⅢC区 遺構:3T 層位:24層	木材片	種類：生材 試料の性状：最終形成年輪	694±27
No.NG-5 PLD-37034	調査区:大切ⅢC区 遺構:3T 層位:地山直上	炭化木材片	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪以外 部位不明	721±49
No.NG-6 PLD-37788	調査区：大切ⅡD区 遺構：3T-S1 層位：地山直上 赤褐色粘土中	炭化木材片	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪以外　部位不明	735±46
NG-7 PLD-37789	調査区：大切ⅡD区 遺構：3T 層位：炭化物堆積物 赤褐色ブロック上層	炭化木材片	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪以外　部位不明	827±60

国指定“長登銅山跡”以外の遺跡（国秀遺跡、於福金山遺跡、銭屋遺跡および東吹屋遺跡）出土の木炭の^{14}C年代測定結果

試料番号 測定番号	出土場所、遺構番号、層位	測定試料	試料の種類と性状	測定年代(確率)
SB-2 PLD-45892	国秀遺跡SB-21区	木炭	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪以外　部位不明	226±27(76.1%)
OFKY-1 PLD-45593	於福金山遺跡	流状カラミ中の木炭片	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪以外　部位不明	610±31(93.8%)
ZN-1 PLD-42260	銭屋遺跡D3地区カラミ	塊状カラミ中の木炭片	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪以外　部位不明	1465±26(94.5%)
HFK-1 PLD-42501	長登地区 東吹屋遺跡(世良宅裏)	流状カラミ中の木炭片	種類：炭化材 試料の性状：最終形成年輪	1644±16(48.7%)


弥生
古墳
飛鳥
奈良
平安
690年
国秀遺跡出土の木炭
於福金山カラミ中の木炭
長登銅山跡出土品
松明木材
ヤリガンナ
最下層の木片
最下層の木片
カラミ中の木炭
カラミ中の木炭
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1,000
暦年較正年代（西暦）

カラミの分析法

カラミの切断

樹枝に埋め込み（3cmφ）

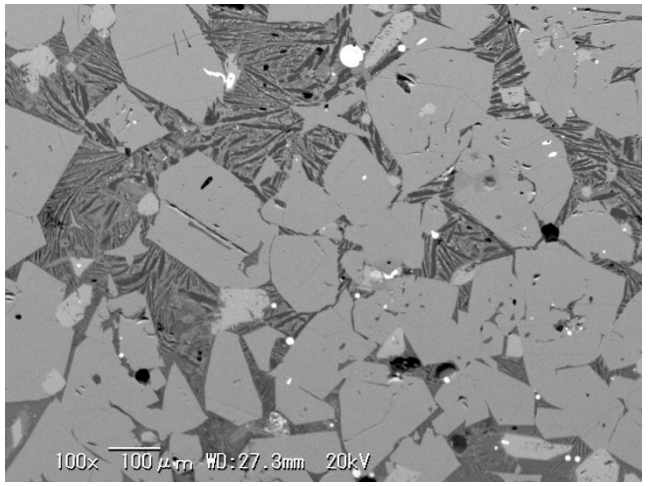
表面研磨

表面の琢磨（鏡面仕上げ）

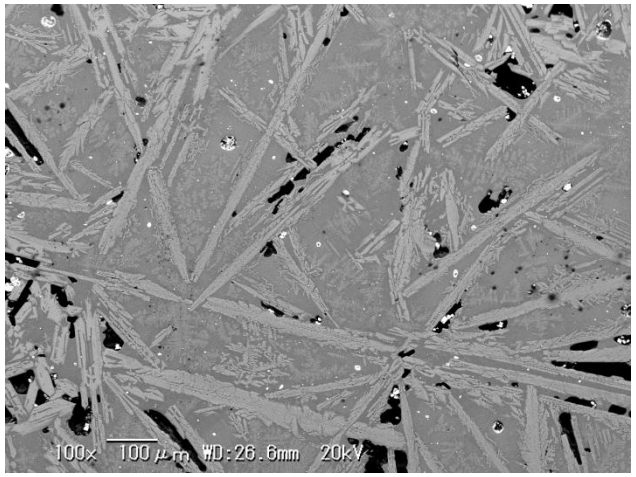
カーボン蒸着

EPMA（EDX)でバルク分析
（1.0ｘ1.2mm、10～15ヶ所）
の面分析

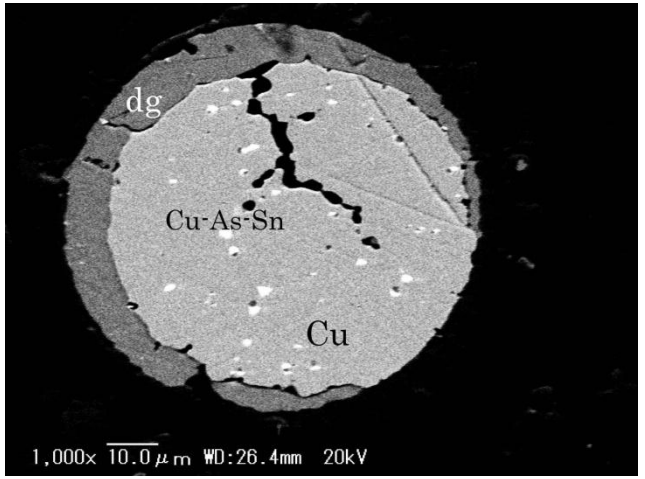
カラミ中の銅金属の点分析
（普通20点、組成変化の
大きい場合50～100点）

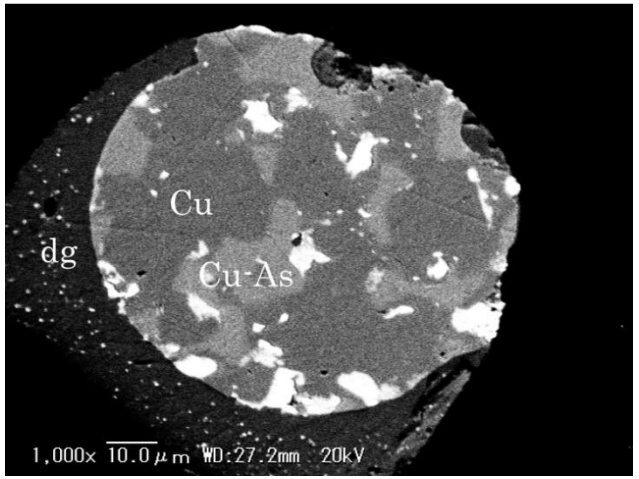


カラミの反射電子線像
FeO＞SiO_2（於福金山遺跡）



カラミの反射電子線像
FeO＜SiO_2（於福金山遺跡）

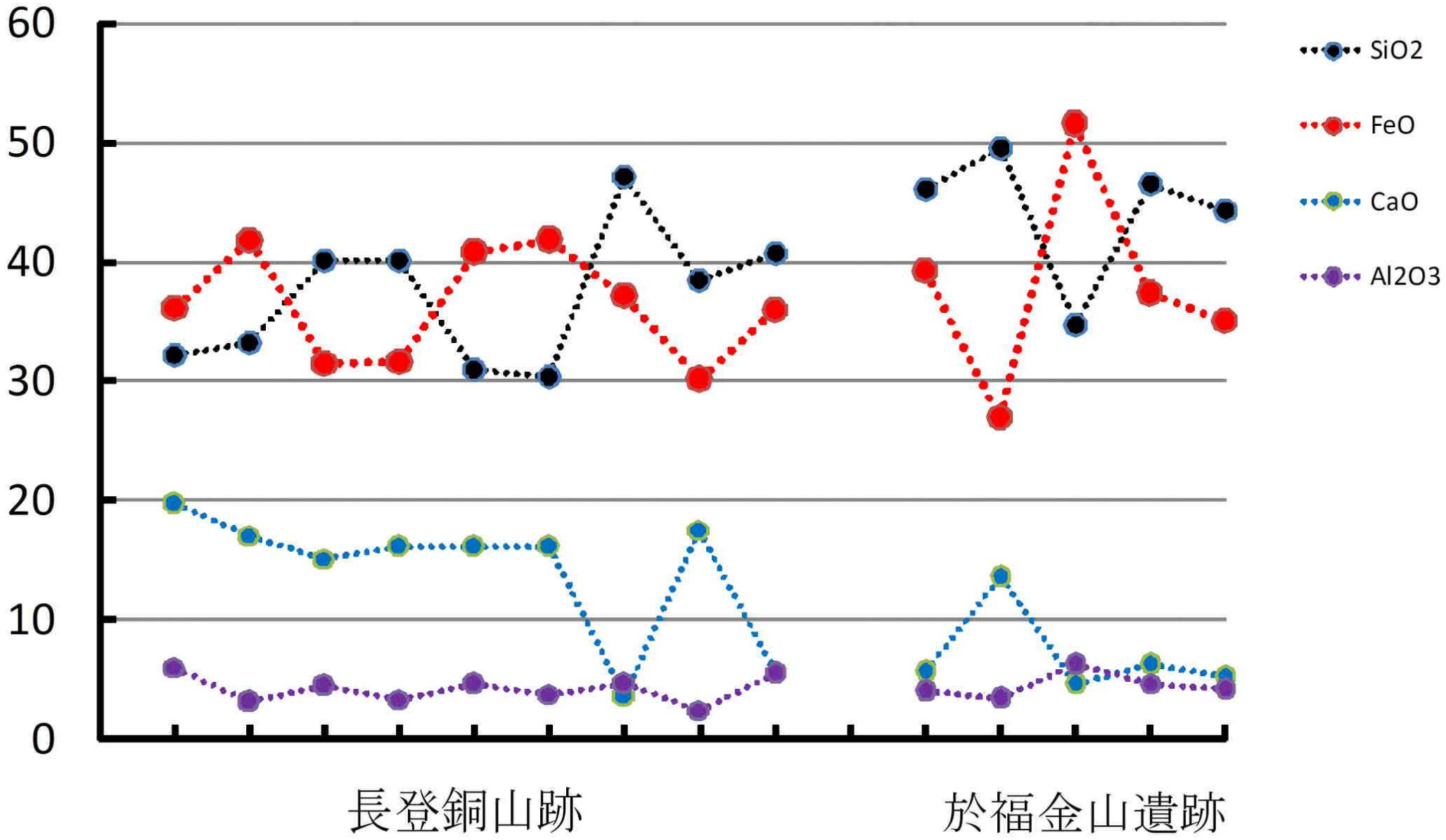




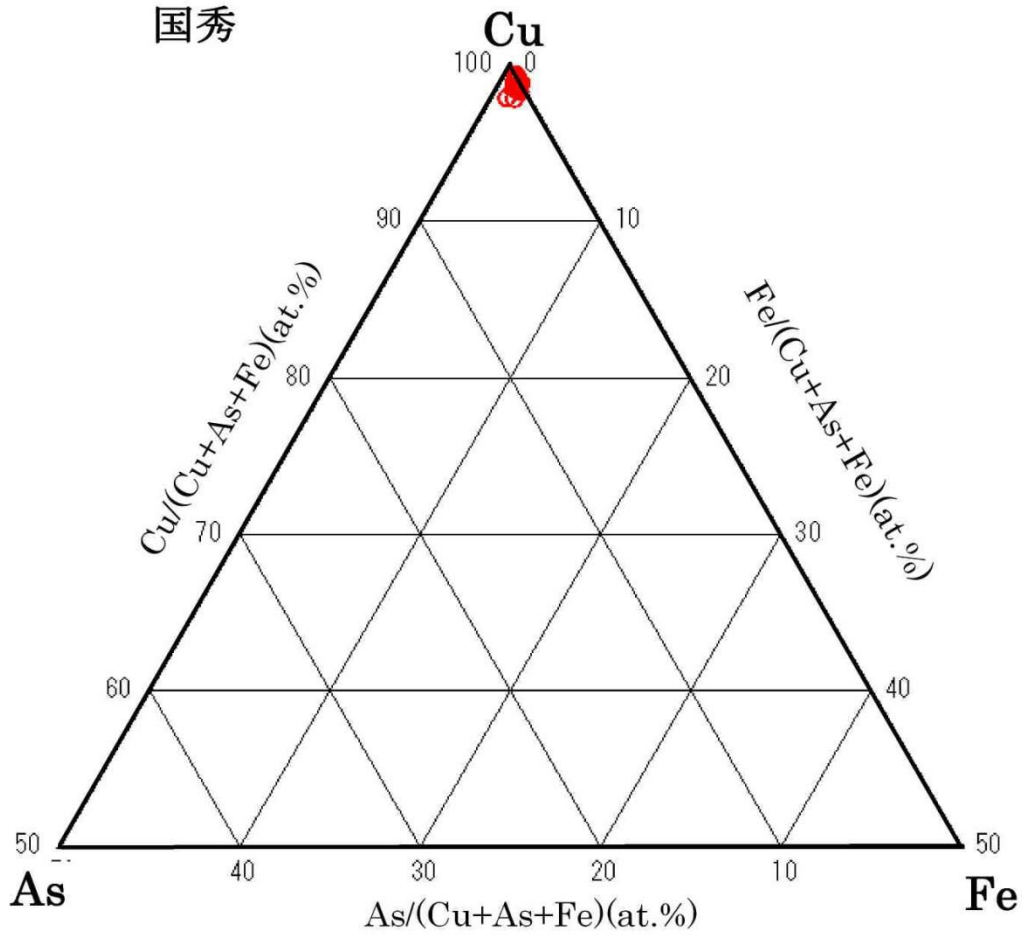
カラミ中の銅球の反射電子線線像

長登銅山跡および於福金山遺跡出土のカラミのバルク分析値

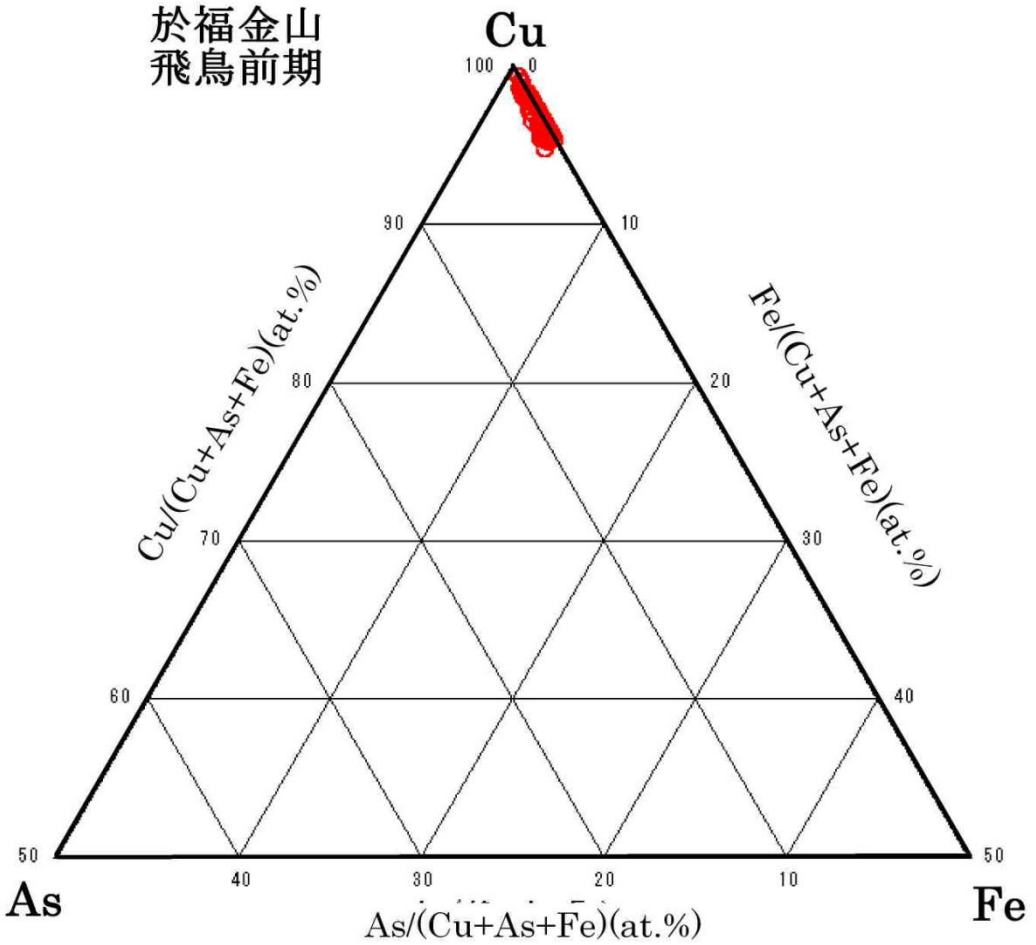
No	飛鳥末期	奈良前期	奈良中期	奈良～平安	平安前期	平安前期（山神）	平安中期	室町（花の山）	江戸前期（東吹屋）	於福金山	於福金山	於福金山	於福金山	於福金山
	①	②	③	⑬	⑧⑨	⑫	⑩	⑭	⑮	7C	8C-1	8C-3	9C	10C
SiO_2	32.24	33.16	40.12	40.08	31.00	30.31	47.09	38.42	40.65	46.08	49.54	34.77	46.44	44.28
TiO_2	0.23	0.17	0.22	0.34	0.37	0.00	0.48	0.00	0.00	0.22	0.31	0.19	0.27	0.22
Al_2O_3	6.06	3.19	4.45	3.36	4.65	3.80	4.66	2.48	5.57	4.06	3.41	6.27	4.69	4.20
FeO	36.07	41.78	31.46	31.63	40.81	41.84	37.08	30.17	35.97	39.25	26.91	51.55	37.34	35.05
MnO	0.83	0.92	0.79	0.80	1.03	1.40	1.00	0.91	2.75	0.65	0.81	0.46	1.33	3.22
MgO	0.97	0.66	1.25	1.79	1.57	1.54	2.32	2.37	1.73	1.90	1.43	0.40	1.46	0.27
CaO	19.72	17.11	15.16	16.16	16.10	16.18	3.62	17.59	5.58	5.71	13.57	4.67	6.31	5.20
Na_2O	0.61	0.07	1.59	2.93	0.97	1.65	0.00	4.84	3.90	0.07	0.01	0.13	0.00	0.73
K_2O	1.49	0.91	0.81	0.77	1.30	1.14	0.76	0.91	1.53	0.48	0.59	0.44	0.78	0.79
P_2O_5	0.13	0.14	0.10	0.17	0.15	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.33	0.03	0.08
Cu	0.40	0.83	2.15	1.03	0.70	0.67	1.62	1.19	0.49	1.08	2.74	0.46	0.88	0.75
ZnO	0.61	0.57	1.18	0.59	0.51	0.66	0.73	0.58	0.66	0.26	0.12	0.11	0.23	0.20
As	0.29	0.00	0.33	0.20	0.46	0.00	0.54	0.00	0.00	0.15	0.53	0.11	0.15	0.05
S	0.35	0.49	0.39	0.15	0.43	0.77	0.05	0.50	1.14	0.06	0.02	0.10	0.10	0.04
WO_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.93
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.05	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	99.99	100.01	100.01



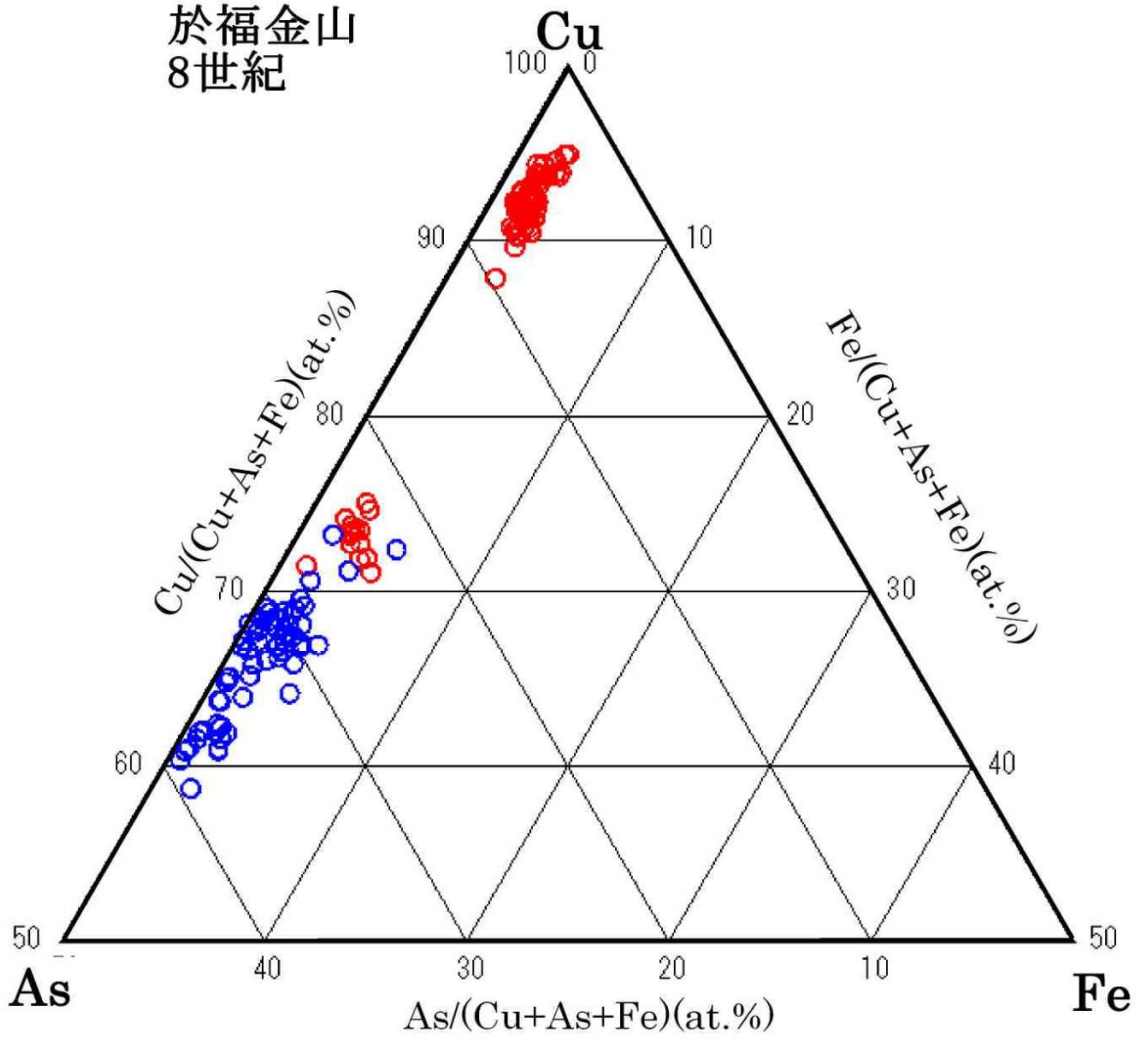
長登銅山跡および於福金山遺跡出土のカラミのバルク組成の時代的変化



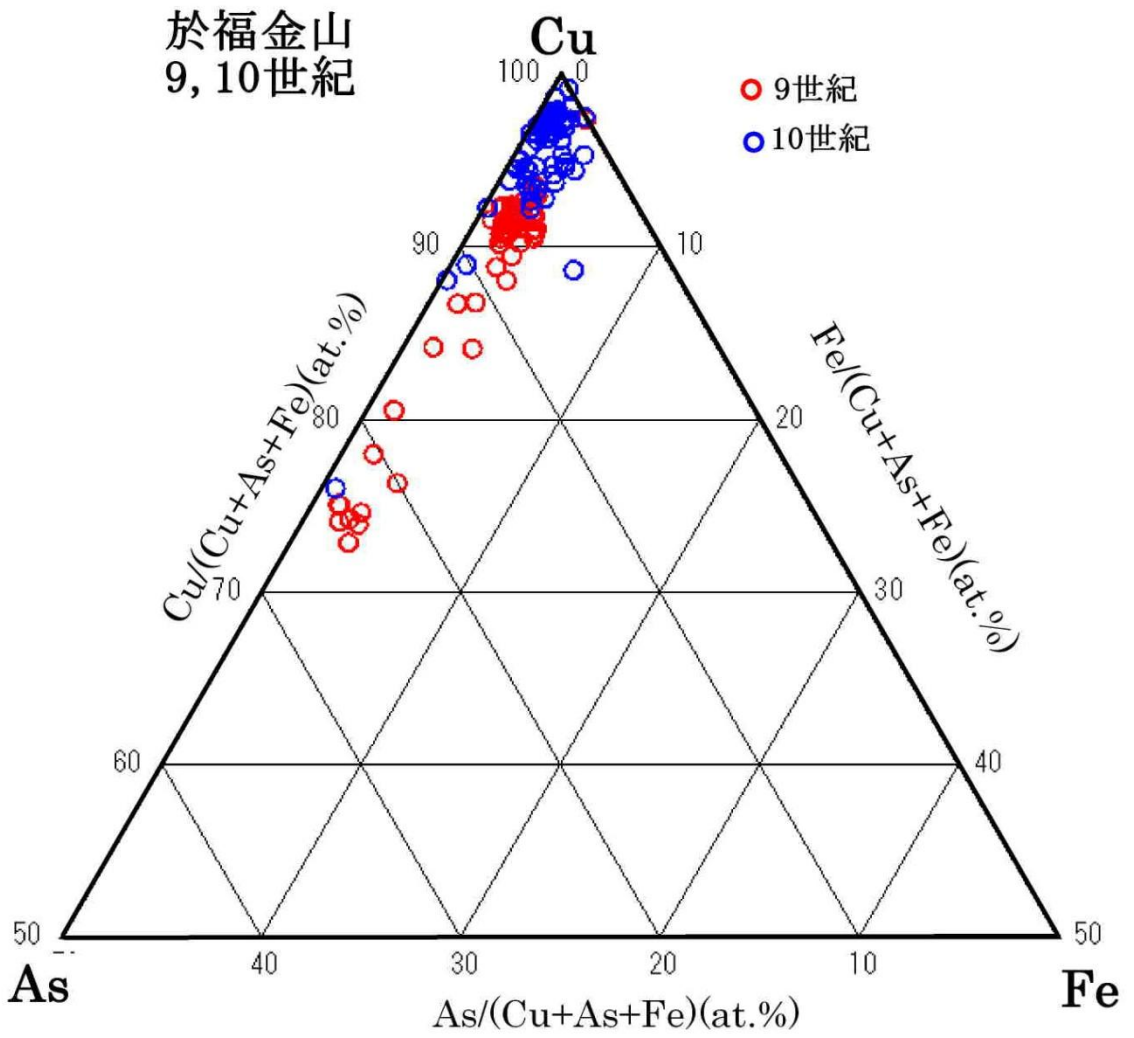
国秀遺跡出土の銅塊の組成（7世紀後半）



於福金山遺跡出土の銅球の組成
（7世紀前半；610±31年、飛鳥時代前期）



於福金山遺跡スラグ中の銅球の組成（8世紀）



於福金山遺跡スラグ中の銅球の組成（9、10世紀）

年代測定結果について

国秀遺跡SB21区出土の木炭の年代値は226±27年と弥生時代末～古墳時代初期に相当する年代値が得られた。この年代は出土土器から推定された時代感とほぼ一致する。残念ながら銅生産活動の行われた堆積物から木炭（木片）は発見されていないので、その年代を明らかにできなかった。

於福金山遺跡出土のカラミ中の木炭の年代値は610±31年と飛鳥時代初期に相当する年代値が得られた。まだ発掘調査が終わった段階なので、今後更に情報が得られると期待され、今後の課題である。

長登銅山での銅製錬のカラミ中あるいは同一堆積層の年代値は590±30年と飛鳥時代末期に相当する年代値が得られた。従来奈良時代初期から銅製錬が行われたと考えられていた年代より約20年遡る年代であった。これらの堆積層には古墳時代中期あるいは飛鳥時代中期の年代を示す木炭も発見され、少なくともこれらの時代には何らかの生産活動があったものと推定される。とくに松明の木片は古墳時代中期の年代値であり、この時代には既に銅山での採掘作業が行われていたと推定される。

秋吉台周辺には多くの古代での銅生産活動が行われた遺跡が知られているが、まだ年代測定が行われていないものが多く、これらの年代測定を行う必要である。今後の課題である。

まとめ

7世紀後半に属する国秀遺跡出土の小銅塊は純度96%以上の純銅に近い組成であった。この値は近くの中村遺跡の純度94%の銅に近い組成であった。

７世紀前半（610±27年）に属する於福金山遺跡出土のカラミ中の銅球は純度92%以上であり、その時代以降の銅球が砒素を相当量含むこととは、全く異なる組成であった。銅球に鉄や砒素を殆ど含まないことから、銅鉱石は砒素を含まない酸化銅を主体とするものであったと推定される。

長登銅山跡出土のカラミのバルク組成で平安中期以降はSiO_2＞FeOで比較的SiO_2に富む。一方、於福金山遺跡出土のカラミは全体的にSiO_2に富み、長登銅山跡のものに比較してもSiO_2に富む傾向であった。またFeOの含有量は製錬の時代により、その変化量は大きい。

長登銅山跡および於福金山遺跡出土の銅製錬カラミ中に認められる銅球の組成は普通相当量の砒素や少量の鉄を含有している（鉱石中の鉄は製錬過程で珪酸と反応し、鉄珪酸塩鉱物として熔融銅から除かれている）。時代が下がるに従い砒素、アンチモン、錫、銀を含む複雑な合金が含まれるように変化している。これは、製錬の原料となる銅鉱石の変化によるものと推定される（砒素、アンチモン、錫などの成分は冶金学的に見てこれらを銅熔融物から除去するのは相当の技術を要し、古代の製錬法では困難である）。

今回は特に言及していませんが、７世紀初頭には銅鉱石が酸化銅を主体とするものであったが次第に硫化銅主体とするものに変化したものと推定される。

終わりに

本研究に要した研究費の一部は秋吉台アカデミックセンターにより補助頂きました。研究試料の一部は美祢市文化財保護課及び県埋蔵文化財センターに提供して下さいました。また、貴重なご意見を池田善文氏に頂きました。関係者の皆様にお礼申し上げます。

本日の研究発表は皆様のご意見を取り入れて修正し、近日中に山口大学工学部学術展示資料館のHPで公開予定ですが、未公表資料に付きましてはご配慮下さい。

長登銅山関係の研究結果は専門的ですが既に学術論文として公表しています。また、山口大学工学部学術展示資料館のHPでも公開していますので興味のある方はそちらをご参照下さい。

山口大学工学部学術資料館（ www.msoc.eng.yamaguchi-u.ac.jp ）
研究成果→山口県の文化財に関する理化学的研究→目的論文です。