

群馬県岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物の非破壊分析

杳名貴彦¹・吉田智哉²

¹ 国立科学博物館理工学研究部研究主幹
〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1

² 東吾妻町教育委員会
〒377-0892 群馬県吾妻郡東吾妻町大字原町1046

Non-destructive Analysis of Artifacts Utilized for Non-ferrous Metalworking from Iwabitsu Castle Ruins in Gunma Prefecture

Takahiko KUTSUNA^{1*} and Tomoya YOSHIDA²

¹ Department of Science and Engineering, National Museum of Nature and Science
4-1-1 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305-0005, Japan

² Higashiagatsuma Town Board of Education
1046 Haramachi, Higashi-Agatsuma-machi, Agatsuma-gun, Gunma 377-0892, Japan

*e-mail: kutsuna@kahaku.go.jp

Abstract Iwabitsu Castle Ruins in Higashi-Agatsuma-machi, Agatsuma-gun, Gunma Prefecture, is famous as mountaintop castle built by the Sanada clan in the Sengoku period, Japan. Two crucibles and four copper ingots excavated from the main bailey were investigated by non-destructive analysis using X-ray Radiography and X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF).

As a result, we were found that one of the two crucibles was used for melting gold and another for melting bronze. As there were no impurities around the gold particle that could have been derived from gold ore, this consequence indicates that at placer gold was used. And, ingot's materials were showed that three were bronze and one was pure copper by XRF. Also, adhesion of zinc was detected on all crucibles and one bronze ingot. In the crucible, zinc was attached in dots, and copper was not strongly detected in the same point. On the other hand, bronze ingot was showed that zinc was diffusely adhered. These results are suggested that brass was made from zinc metal or zinc mineral at the metal workshop where crucibles and copper ingots were used at that time.

Therefore, we reveal that the existence of metal workshop utilizing gold and copper alloys such as bronze and brass in the main bailey of a mountaintop castle in the Sengoku period, for the first time in Japan.

Key words: gold, brass, metalworking, non-destructive analysis, Iwabitsu Castle Ruins

1. はじめに

群馬県吾妻郡東吾妻町に所在する岩櫃城跡は、戦国大名真田家が築いた堅固な山城として著名である。また、2016年のNHK大河ドラマ「真田丸」で重要な舞台として取り上げられたことは記憶に

新しい。岩櫃城跡は、戦国期の山城跡としての重要性から2019年に国指定史跡に登録されている。その登録に向けた発掘調査において、本丸跡から金属生産の道具である坩堝片が2点出土した。また、生産時の半製品（銅塊）4点も出土している。

本論文では、岩櫃城本丸跡から出土した非鉄金属生産関連遺物に非破壊調査を行い、その生産技術について検討を行った。その結果、戦国期の東

日本における非鉄金属生産技術に関する新たな知見を得ることができたので報告する。

2. 岩櫃城跡と発掘調査について¹⁾

岩櫃城跡は群馬県北西部の中山間地域に所在する岩櫃山(標高802m)の中腹に位置し、山より東方へ延びる尾根上に占地する(図1)。武田氏及び真田氏の深く関わる山城として名高いが、その歴史は未だ不明確で、文献史料上の初見は永禄7年(1564年)比定の北条氏康書状(「岩櫃」)に始まり、武田氏滅亡の天正10年(1582年)を挟み、城代屋敷が城内から城外へと移された慶長20年(1615年)までのおよそ50年の情勢が把握されているのみである。

城の持つ歴史の解明や実態の検討は今後の大きな課題だが、現況で広大な範囲に多くの防御施設(竪堀・曲輪など)が存在する群馬県内においても最大級と目されている山城であり、その中心と考えられているのが「本丸」である。本丸は標高593mの尾根上にあり、城内の中心的曲輪でも最高所に位置する。東西140m×南北35mを測り、北側に土塁と櫓台、北西及び南西に2か所の虎口を設ける。2013年より行われた総合調査の一環により、2014年に本丸の全域を対象にトレンチ調査が実施された。その結果、本丸中央部に南北を軸とする区画と思しき溝が検出され、本丸中央部より東西で曲輪の機能が分化する可能性が想定されたが、そのうち本丸東端部に設定されたトレンチより金属加工に伴う遺構が検出された(図2,3)。金属加工(工房)遺構と称したが、炉跡及びその周囲の柱穴(掘立柱建物)で構成され、さらに周辺では鍛造剥片が集中的に出土する場所が認めら

れたほか、被熱により熔けたとみられる銅銭が出土する状況などもあることから、金属を加工する作業場的な場所を想定した。また、遺構は最終的に40~100cmほどの盛土によって人為的に埋没させられていたが、その盛土内からは、埴塙(金属生産)のほか、鉄滓・銅塊(金属原料)、鉄砲玉・銅鋌・鉄鎌・鉄釘・刀子(金属製品)といった金属関連遺物が集中的に出土した。特に埴塙や鉄滓・銅塊といった金属生産に伴う遺物は、炉跡等に直接伴った出土は認められなかったため、全てを本遺構で利用された遺物とする根拠は少ないが、出土位置・遺構との距離から本遺構で利用されたのちに廃棄されたものと推定している。

本丸では東端部において遺構のほか、金属関連遺物が集中し、より西側の調査区では金属製品の出土は見られたものの(小札・銅銭)、金属加工に関する遺構及び遺物の出土は認められなかったため本丸東端部において加工行為が集中的に行われた時期があり、その後本丸の機能が変化、もしくは城内の改修などの理由により本丸自体が改変されたことに伴って作業場の利用が停止されたと考えられる。このほか、本丸北側の志摩小屋や東に位置する城下町地区において鉄滓の出土や表採が認められているため、本丸に限らず城内の複数箇所でも金属の加工行為が行われていた可能性があるが、特に本丸という城内最高所に位置する中心的な曲輪において、どのような金属を用いてどのような目的で加工し、利用していたのか、本丸検出の金属加工遺構と関連遺物は本丸の機能とともに、城内で活動していた人間の行動を検討するに大きな示唆を得るものといえよう。

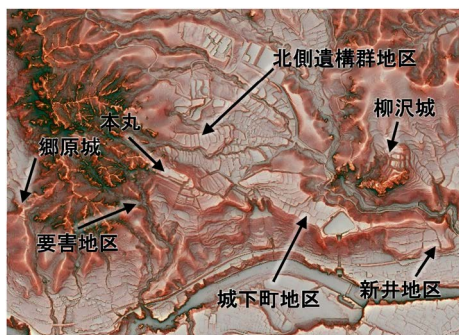


図1 岩櫃城跡周辺の赤色立体地図

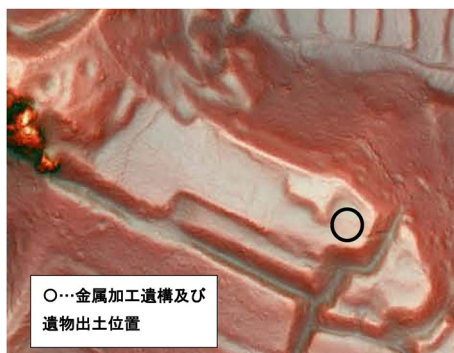


図2 岩櫃城跡本丸拡大

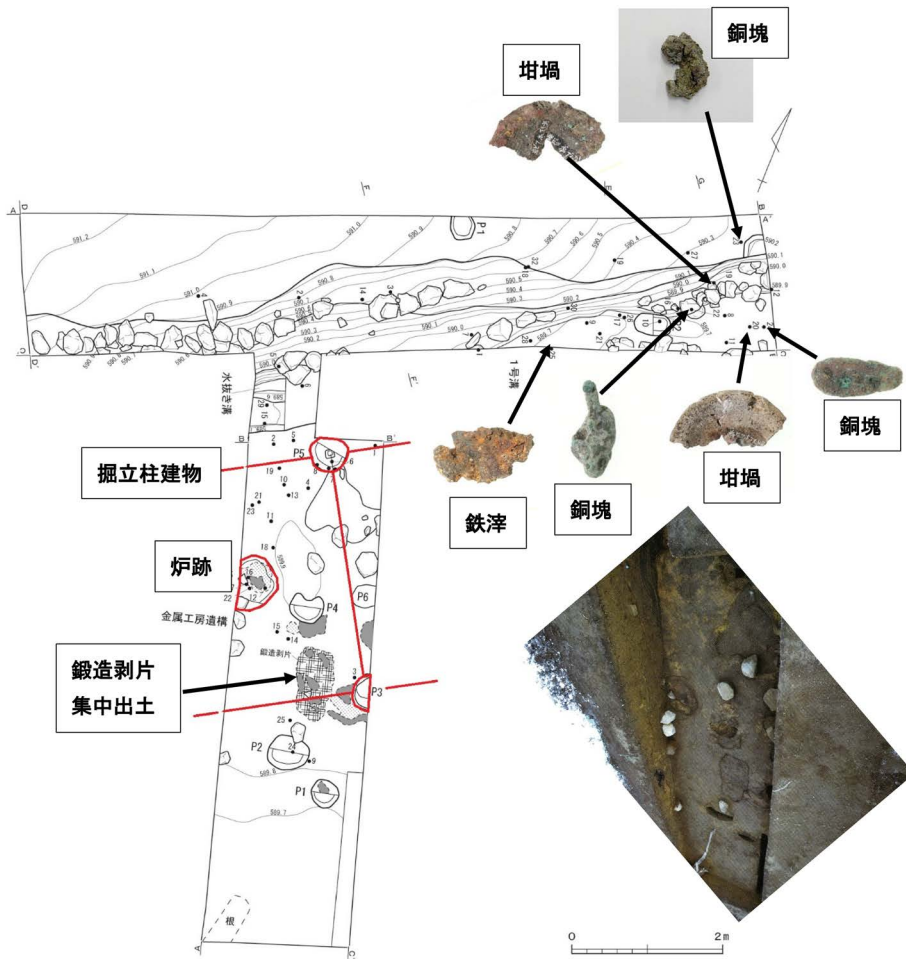


図3 岩櫃城本丸金属加工遺構周辺

3. 非鉄金属生産関連遺物の分析方法

非鉄金属生産関連遺物のいずれも、形状を損なうことなく用途などの知見を得るため、エックス線を中心とする非破壊分析を実施した。その方法を、以下に述べる。

3.1 エックス線透過撮影による状態調査

エックス線は透過力が強く、元素番号や密度の大きいものほど透過能力は落ちる。坩堝片では金属などの付着状況の可視化、銅塊では内部状態の調査のため、エックス線透過撮影を行った。

調査機器はデジタルエックス線透過撮影装置（エクスロン・インターナショナル製）を使用し、管電圧160kV、管電流4.0 mAの条件で撮影した。

3.2 実体顕微鏡による詳細観察

坩堝片表面には、エックス線透過撮影により金属粒子類の付着がみられたため、実体顕微鏡を用いて詳細観察を行った。実体顕微鏡は、Stemi508（カールツァイス製）を用いた。

3.3 蛍光エックス線分析による詳細分析

各遺物の表面に存在する元素確認のため、蛍光エックス線分析（XRF）を行った。用いた装置はORBIS PC（アメテック製）である。

分析箇所は、坩堝片は金属粒子を中心に、銅塊は表面形状が均一に近い部位を選択し、直径2mmと直径0.03mmの両範囲で実施している。分析条件は、管電圧50kV、管電流200 μ A、大気下、測定時間100secである。

一部の資料は、元素の付着状態を可視化するた

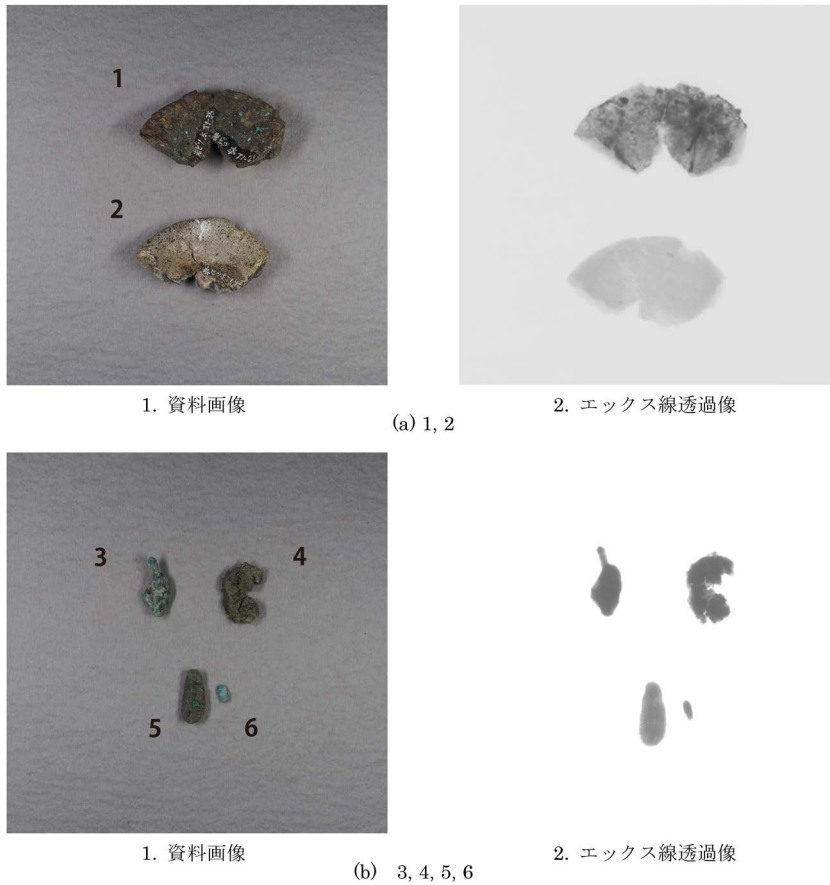


図4 岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物のエックス線透過撮影

表1 生産関連遺物のXRFによる分析結果

資料No.	資料名	確認元素
1	坩堝片	Cu, Pb, Sn, Zn
2	坩堝片	Au, (Cu, Ag), Zn, Pb
3	銅塊	Cu, Pb, Sn
4	銅塊	Cu, Pb, Sn, Zn
5	銅塊 (大)	Cu, (As)
6	銅塊 (小)	Cu, Pb, Sn

め、XRFマッピング分析を実施した。分析条件は、直径0.03mmで管電圧50kV、管電流200 μ A、真空下であった。

4. 結果及び考察

調査対象となった非鉄金属生産関連遺物は、坩堝片2点と銅塊4点である。いずれも本丸跡から出土した。各遺物は、図4や表1のように、資料番

号として1から6を付した。

エックス線透過撮影による撮影結果を、図4に示す。金や銀、銅といった金属をはじめとする重元素はエックス線を透過しにくいので、遺物に存在する場合にエックス線透過撮影を行うと暗い影となる。資料1では、全体に何らかの重元素の付着によって灰色となり、亀裂などに金属が入る様子を確認した。資料2にみられる黒点は、金属粒子の付着と推定される(図4(a))。一方銅塊4点(図4(b))は、いずれも空洞などなくある程度均一な状態であった。

実体顕微鏡による詳細観察では、資料1では後述のXRFと本詳細観察によって、銅系の緑青と、亜鉛を主とする化合物の付着を確認した。また資料2では、資料1と同様に金粒子と亜鉛や鉛を主とする化合物の付着がみられた(図5)。

エックス線透過撮影と実体顕微鏡観察により金属粒子などを確認したため、その部分を中心に

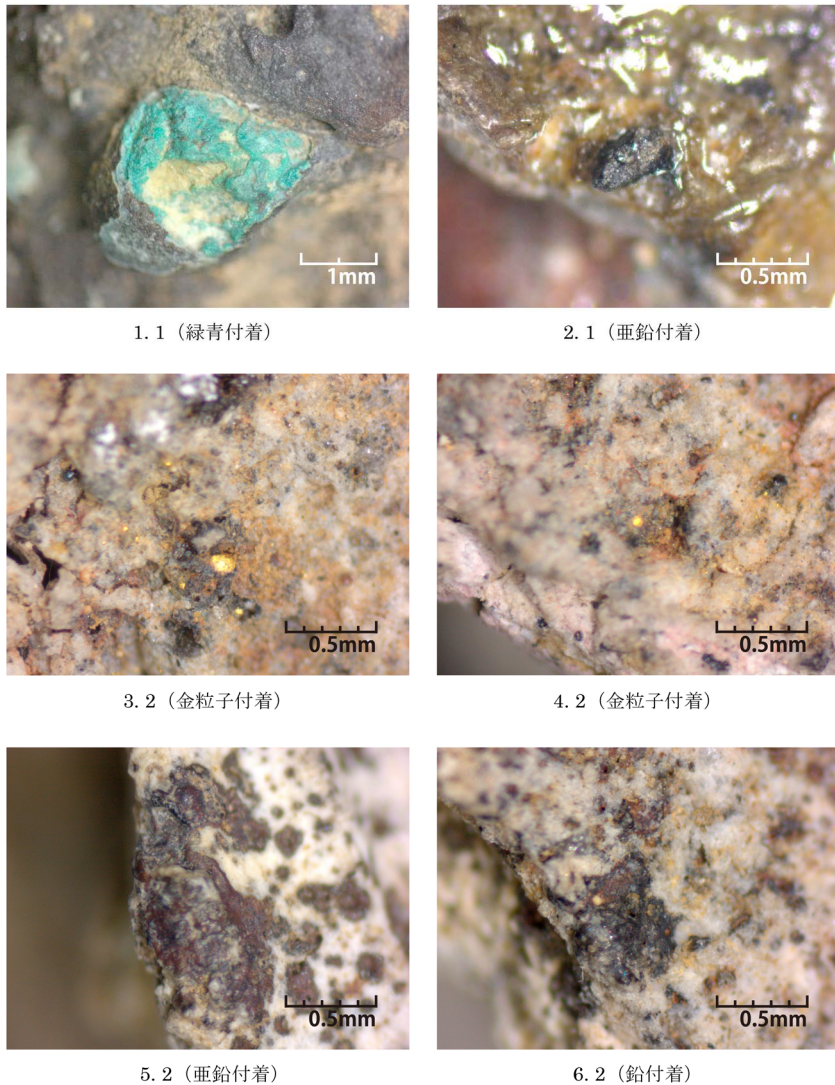


図5 岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物の顕微鏡画像

XRFによる定性分析を行った。

表1には、XRFによるスポットの定性分析で確認した非鉄金属生産に起因するとみられる元素を示し、主なXRFスペクトルを図6に示す。また、坩堝片2点と銅塊1点は、全体や一部にマッピング分析を実施した。

資料1の緑青部のスペクトルを図6-1に示すが、Cu、Pb、Snが検出されており、青銅が主体とみられた。資料1の他部位（図6-2）からはZnが強く検出され、他にSnやPbも存在していた。資料2は金粒子が確認されており、その部分のスペクトルが図6-3である。元素としてはAu、Cuのほか、Feが

検出された。しかし、他の黒色部を分析した結果、図6-4や図6-5で示すようにFe以外にZnとPbを検出した場所が存在した。

銅塊は、表1にみえるように資料3はCu、Pb、Snから成る青銅、資料4では青銅に加えZnが確認され、資料5は純銅、6は青銅であった。それらのスペクトルを図6-6、6-7、6-8に示すが、表に基づく各元素をみることができる。

さらに前述のとおり、坩堝片である資料1と資料2は全体とZnを確認した局部について、銅塊である資料4はZnを検出した全体に対してXRFマッピング分析を行った。その結果を図7に示す。

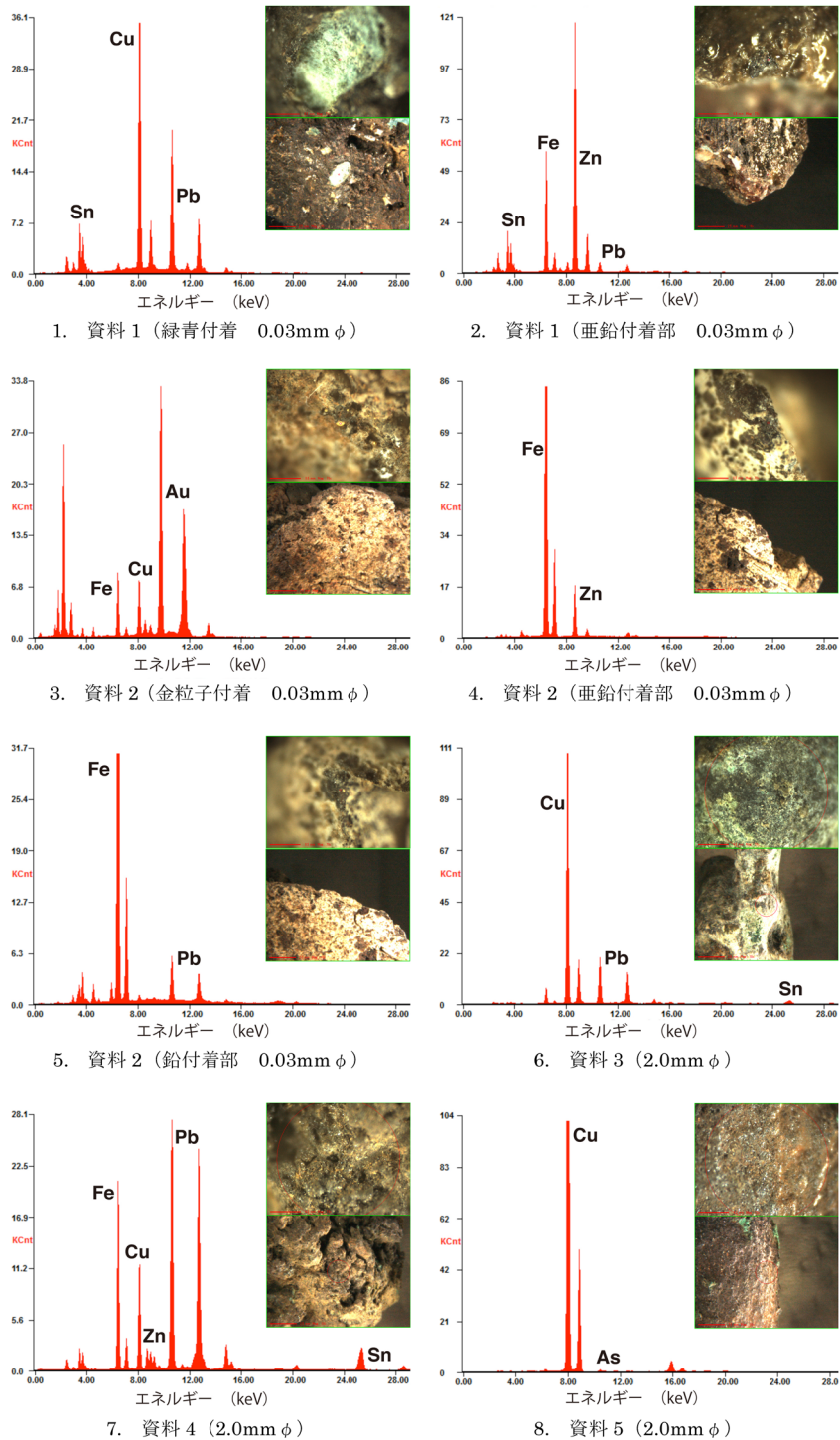


図6 岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物の蛍光エックス線スペクトル

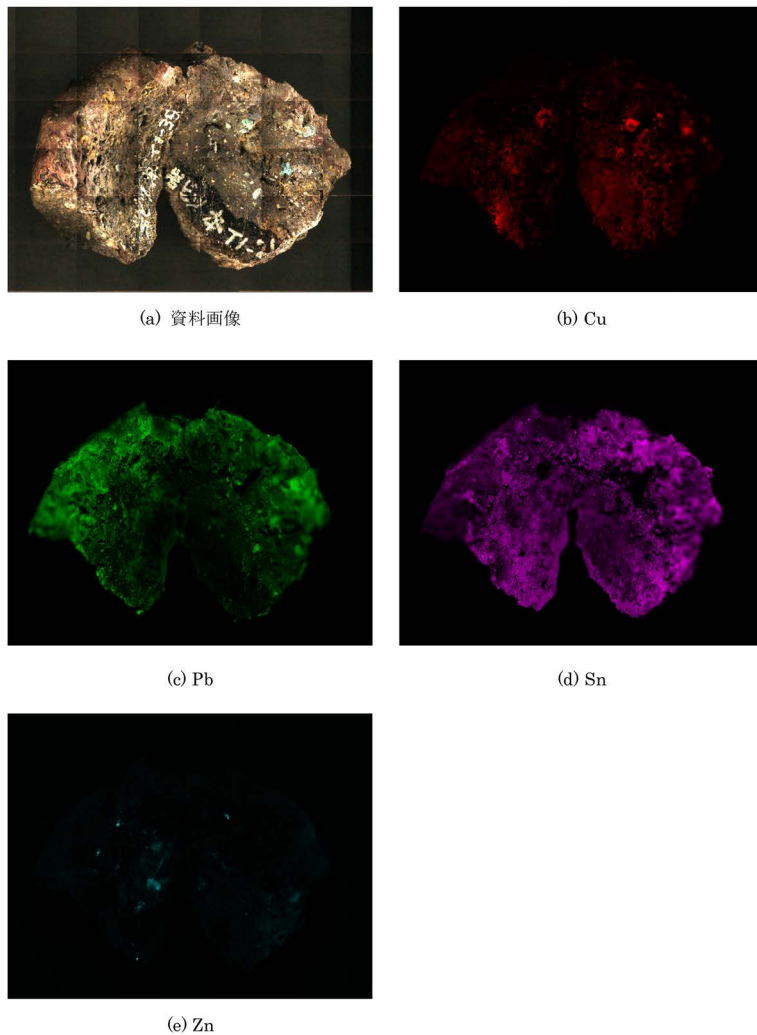


図7-1 岩櫃城跡出土土非鉄金属生産関連遺物1（全体）の蛍光エックス線マッピング分析

資料1は青銅系の坩堝片であり、マッピング分析ではCu, Pb, Snが内面全体に広がる様子が確認された（図7-1）。この坩堝片ではZn化合物が点状に付着する様子がみられたため、その一部の拡大分析結果を図7-2に示す。資料2は金粒子の付着を確認しており、内面全体のマッピング分析結果が図7-3である。微小な金粒子（Au）が内面に付着する様子がみられ、Cu, Zn, Pb, Snが別の位置で点状に確認された。資料1と同様にZnが点状に確認された部分の拡大マッピング分析結果が図7-4である。坩堝片1と同様に、Zn化合物が点状に付着する結果が得られた。

銅塊4全体のマッピング分析結果が図7-5であ

る。Cu, Sn, Pbが全体で検出する中で、Znが一部に拡散して付着する状況を確認した。

上記の結果に基づき、今回の調査について考察する。

坩堝片2点について考える。資料1は前述の通りXRFでCu, Sn, Pbを検出し、マッピングで内面全体に付着がみられることから、青銅の熔解に用いた坩堝と考えられる（図7-1）。併せて検出したZnはマッピング分析により内面で点状に付着することが確認されており（図7-1(e)、図7-2(e)）、青銅に含有する不純物とは考えにくく、外部から付着した可能性が高い。さらにZnがCuと一緒に検出されずZnのみの点から、真鍮の熔解による

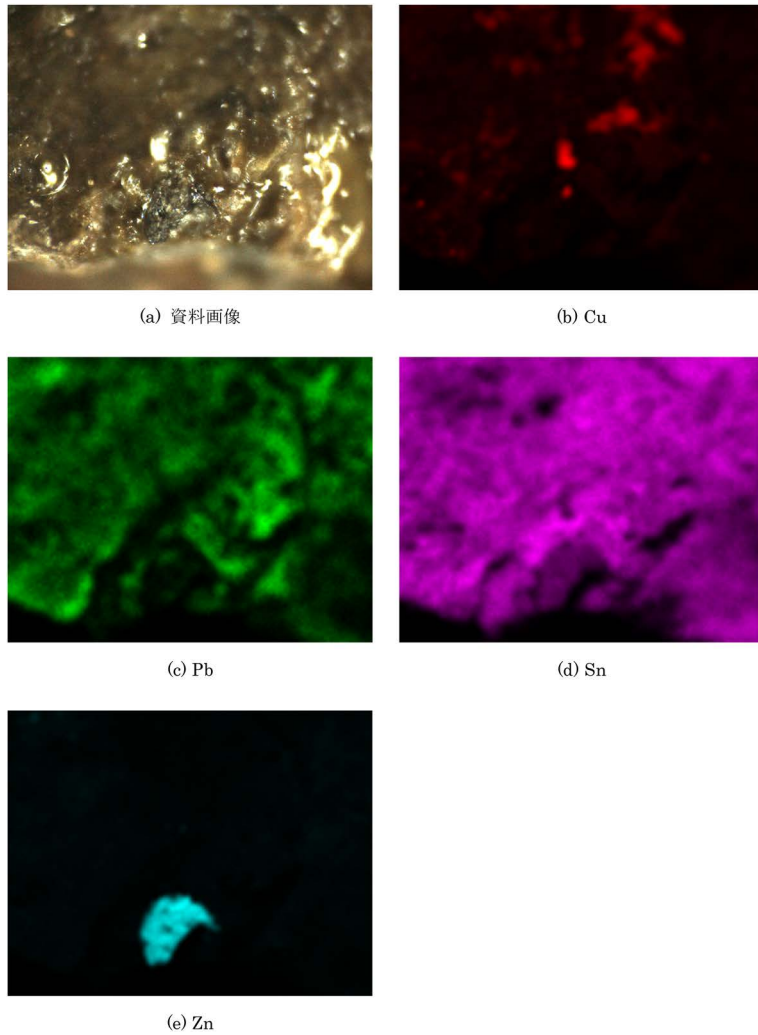


図7-2 岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物1（亜鉛付着部）の蛍光エックス線マッピング分析

付着とは考えにくく、金属亜鉛もしくは亜鉛鉱物のいずれかは不明だが、亜鉛類と銅を用いる真鍮生産が周囲で行われていたことが示唆され、その際に飛び散った亜鉛化合物が点状に付着した可能性が考えられた²⁾。Znが確認された箇所では僅かにPbやSnが亜鉛付着部のマッピング（図7-2）で確認できるが、亜鉛化合物の下に存在する坩堝の主目的である青銅の熔解によるものと考えられる。資料2では金粒子の付着を確認し、分析でAu以外にCuが含まれるものの、周辺には鉱石由来の不純物などを確認しないため、砂金由来の金の熔解に用いられたと考えられる³⁻⁵⁾。さらに資料1と同様資料2でもZnの点状付着が検出されている（図7-3(f)、図7-4(e)）。この場合も前述同様Zn

がCuと同位置で確認されずZnのみのため、前述の資料1と同じ状況と考えられた。またPbとSnが点状に同一箇所を検出しており（図7-7(d)、(e)）、青銅生産に関連する証拠と考えられた。

以上から、坩堝2点の主な利用目的は、砂金の熔解と青銅の熔解と考えられる。またマッピング分析から両坩堝で点状に付着するZnにより、周囲では亜鉛類と銅を用いる真鍮生産が行われた可能性が示唆された。

次に、銅塊について考える。表1の確認元素から銅塊の材質は、前述の通り資料3、資料4は青銅、資料5は純銅、資料6は青銅と考えられる。図6の各スペクトルからも各元素のピークがみえる。また、図4のエックス線透過像でみえるよう

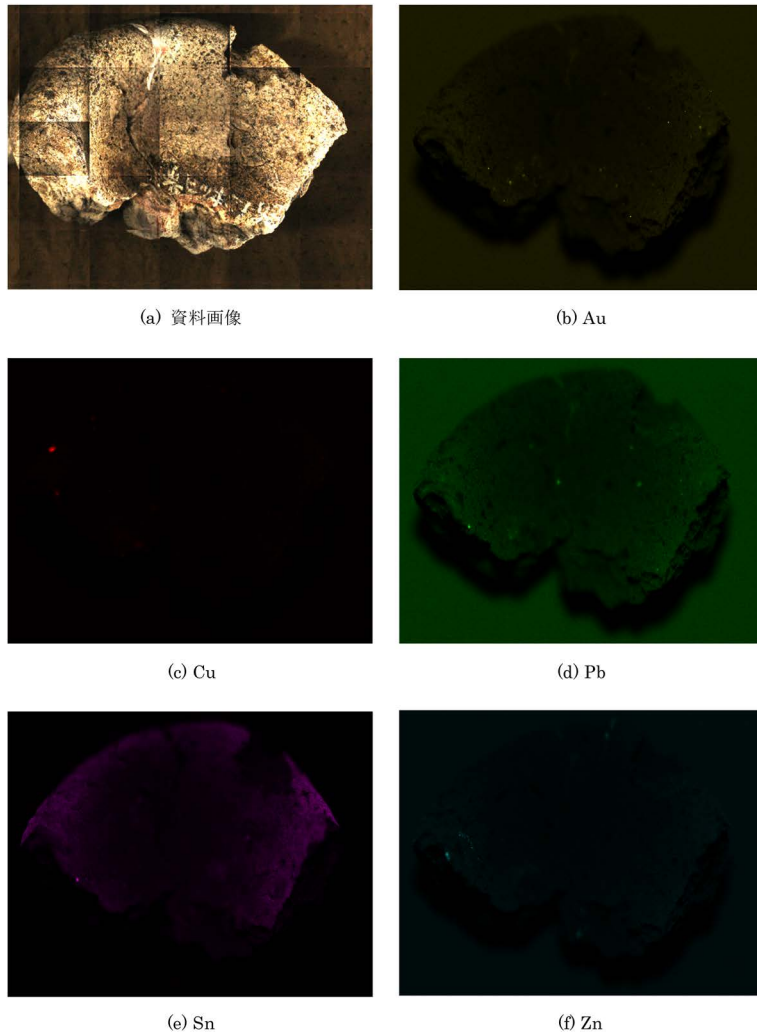


図7-3 岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物2（全体）の蛍光엑ス線マッピング分析

にいずれの銅塊も内部まである程度均一とみられるが、銅合金インゴットには形状から考えにくく、生産工程で生じた半製品とみられる。中でも、資料4は表1や図6-7でみられるように、Znを検出する。そこでマッピング分析を資料4全体に行った結果（図7-5）では、一部表面にZnの存在が明らかとなった。これは、坩堝と同様に周囲の真鍮生産において亜鉛蒸気が発生し、資料4表面に亜鉛化合物となって一部に拡散付着したと考えられた。このような付着状況は、亜鉛鉱物や金属亜鉛と銅から真鍮を生産する際、真鍮を熔解した際に生じる亜鉛蒸気によって坩堝表面に付着する場合にみられる⁵⁻⁷⁾。

以上から、銅塊類の主な材質は、青銅や純銅で

あり真鍮は確認されなかったものの、銅塊表面に付着する亜鉛から、周囲での真鍮利用の可能性が推測された。特に銅塊表面の亜鉛付着状況は、マッピング分析データで一部に拡散する状況から、真鍮熔解で生じた亜鉛蒸気や亜鉛鉱物や金属亜鉛と銅から真鍮を生産する際に生じた亜鉛蒸気によるものと考えられた。

おわりに

今回、坩堝片と銅塊の非破壊分析によって、岩櫃城本丸跡において金や様々な銅合金を用いた非鉄金属生産活動を確認した。山城の本丸における非鉄金属生産活動の確認事例は全国初であり、そ

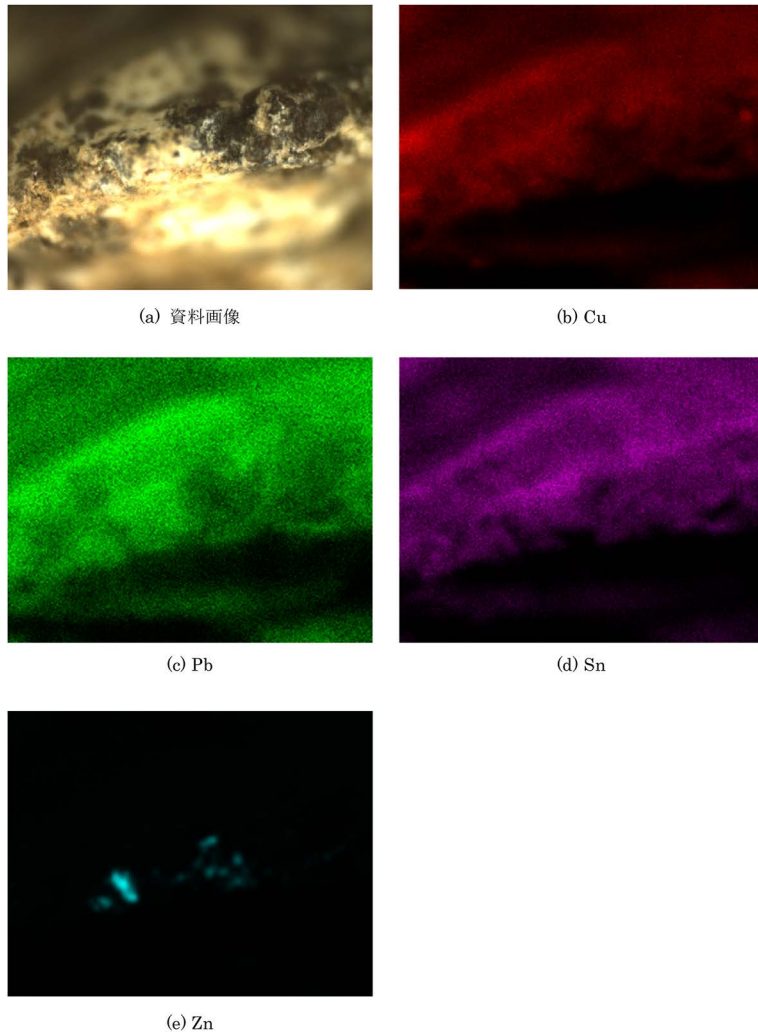


図7-4 岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物2（亜鉛付着部）の蛍光エックス線マッピング分析

の意義は非常に大きい。

金は、全国で散見される分析成果に基づき、砂金由来と考えられた。銅塊は、青銅や純銅と当時よく利用された材質であった。また、坩堝片と銅塊の一部には亜鉛が検出され、工房内で真鍮を用いた生産活動の可能性が推測された。状況証拠ではあるが坩堝表面の亜鉛の点状付着から、亜鉛鉱物もしくは金属亜鉛から真鍮生産が行われた可能性が示唆された。同様に銅塊への亜鉛の拡散付着状況から、真鍮の熔解や真鍮生産に伴う亜鉛蒸気が付着したと考えられた。

戦国期の城館や城下町における金銀の生産活動は、全国各地で事例が増加しているものの、真鍮の生産活動事例は西日本に偏っており、東日本で

は4例が知られるのみであったため、本事例は重要である⁵⁻⁹⁾。

今回、遺物合計6点の限られた調査から、多くのことが明らかとなった。特に亜鉛の取扱は推測を超える検討を俎上に載せており、議論が充分尽くされていない面もある。今後の調査から、一層新たな面が明らかとなると考えている。

謝 辞

今回の調査で使用したエックス線透過撮影装置は、山梨県立博物館が所蔵する機器を利用した。付してお礼申し上げる。

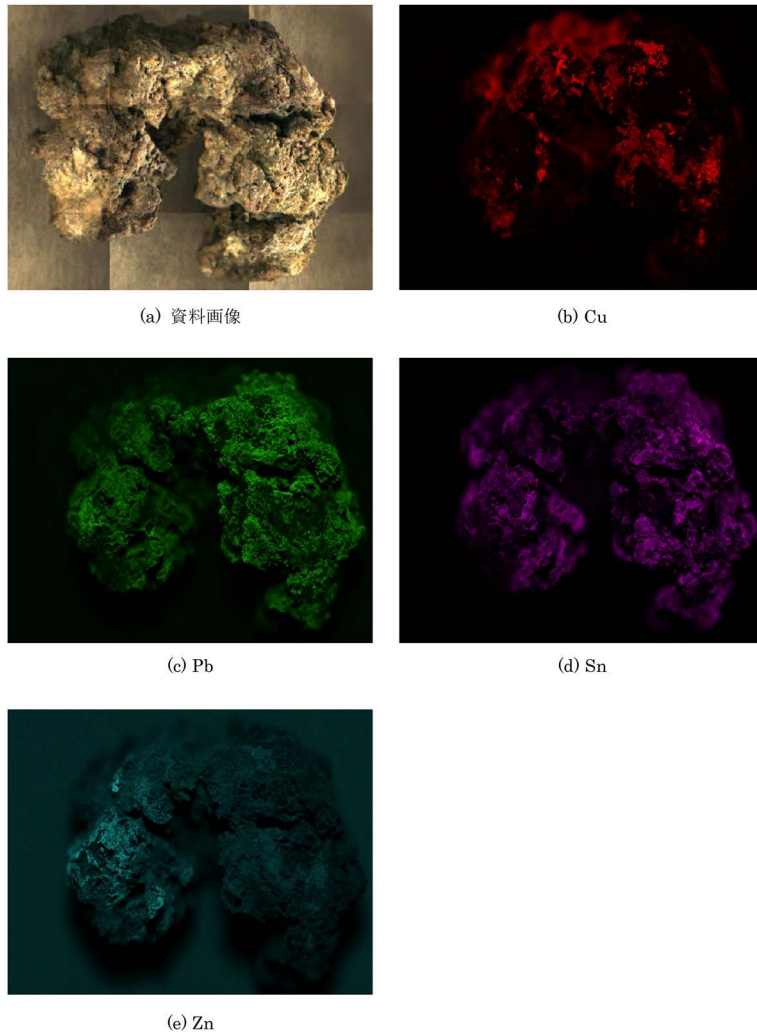


図7-5 岩櫃城跡出土非鉄金属生産関連遺物4（全体）の蛍光エックス線マッピング分析

参考文献

- 群馬県吾妻郡東吾妻町教育委員会, 2018. 『東吾妻町指定史跡 岩櫃城跡 総合調査報告書』.
- 島尾永康, 1995. 『中国化学史』朝倉書店.
- 山梨県立博物館, 2011. 山梨県立博物館調査・研究報告5 『甲斐金山における金生産に関する自然科学的研究』.
- 沓名貴彦, 2014. 中世大友府内町跡出土金属加工関連遺物の非破壊分析, 国立科学博物館研究報告E類(理工学), 37, 43-50.
- 沓名貴彦, 2021. 騎西武家屋敷跡出土金属生産関連遺物と金属製品の科学調査, 加須市埋蔵文化財調査報告書 第14集 『騎西城跡・騎西城武家屋敷跡KB14区調査—中近世編—, 『騎西城跡』遺物概観(ほうろく)』, 121-126.
- 沓名貴彦, 2019. 城下町を彩った金・銀・銅, 令和元年度考古学セミナー『あいちの考古学2019』資料集, 1-6.
- 沓名貴彦, 2021. るつぼ内面に付着する金属の非破壊分析からみえること, 八戸市博物館根城跡史跡指定80年記念特別展『乱世の終焉—根城南部氏と城—』展示図録, 59.
- 西願麻以, 2020. 津久井城跡出土金属資料の自然科学調査, 相模原市立博物館考古資料調査報告書3 『津久井城跡資料調査報告書—御屋敷曲輪の再評価—』, 67-76.
- PRTIMES 発表資料, 2021.7.14. 青森県聖寿寺館跡ではじめて確認された貴金属製品の生産について—東日本初の把手付き真鍮坩堝や金・銀・銅坩堝の確認—, <https://prt-times.jp/main/html/rd/p/000000281.000047048.html> [2021年9月1日閲覧]