

6. 赤坂遺跡第2次調査出土微細金属片のX線CT分析・元素分析

森 貴教（新潟大学研究推進機構超域学術院）

五十嵐 文子（新潟大学研究推進機構共用設備基盤センター）

村田 友輝（新潟大学研究推進機構共用設備基盤センター）

はじめに

赤坂遺跡第2次調査では、フローテーションによる遺物選別の過程で、溝SD01の埋土下層（7～10層）から植物遺体のほかに微細な金属片が計18点出土した。本稿では、これらの微細金属片を評価するために実施した、マイクロフォーカスX線CT装置によるコンピュータ断層撮影および電子線マイクロアナライザ（EPMA）による元素分析の結果を報告する。

1. 対象資料

分析対象とした資料は、表1に示したRI1～18の計18点である。これらは、遺物選別において、BOSCH製マルチ探知機GMD120を用いて検出した。なお、磁着度はすべての資料で認められない。18点すべてに対してX線CT分析をおこない、11点について元素分析をおこなった。

2. X線CT分析による観察

(1) 分析方法と測定条件

X線CT分析は、新潟県工業技術総合研究所下越技術支援センター設置のNikon製計測用CTシステムMCT225により実施した。

測定は、試料を装置内のX線源とフラットパネル型のX線検出器の間の試料回転ステージに置いておこなう。X線源から放射状に照射され、試料を透過したX線は検出器上で光電変換され二次元画像となる。この二次元画像は、試料の材質（密度・質量）や形状に応

表1 赤坂遺跡第2次調査出土微細金属片

遺物番号	試料番号	形状	遺構	層位	長さ(cm)	幅(cm)	厚さ(cm)	重量(g)	磁着度	X線CT分析	EPMA分析
36	RI1	薄板状	SD01	7層	2.216	1.534	0.450	1.03	なし	○	○
37	RI2	薄板状	SD01	7層	1.837	0.991	0.536	0.79	なし	○	○
38	RI3	薄板状	SD01	9層	1.586	0.683	0.279	0.26	なし	○	○
39	RI4	薄板状	SD01	8層	1.183	0.696	0.211	0.16	なし	○	○
40	RI5	薄板状	SD01	8層	0.950	0.813	0.233	0.18	なし	○	○
41	RI6	棒状	SD01	10層	1.448	0.847	0.503	0.65	なし	○	○
42	RI7	小塊状	SD01	8層	1.007	0.758	0.538	0.30	なし	○	-
-	RI8	スラグ状	SD01	9層	0.997	0.676	0.370	0.20	なし	○	○
-	RI9	スラグ状	SD01	7層	1.158	0.798	0.625	0.52	なし	○	○
-	RI10	スラグ状	SD01	9層	1.511	0.758	0.548	0.57	なし	○	○
-	RI11	スラグ状	SD01	8層	1.497	0.818	0.738	0.70	なし	○	-
-	RI12	スラグ状	SD01	8層	1.577	1.067	0.613	0.98	なし	○	-
-	RI13	スラグ状	SD01	8層	1.749	1.399	0.813	1.59	なし	○	○
-	RI14	板状	SD01	10層	2.100	2.064	0.625	2.11	なし	○	○
-	RI15	小塊状	SD01	8層	0.966	0.793	0.549	0.33	なし	○	-
-	RI16	薄板状	SD01	8層	0.813	0.601	0.321	0.15	なし	○	-
-	RI17	薄板状	SD01	10層	1.058	0.666	0.386	0.21	なし	○	-
-	RI18	薄板状	SD01	10層	0.689	0.553	0.274	0.09	なし	○	-

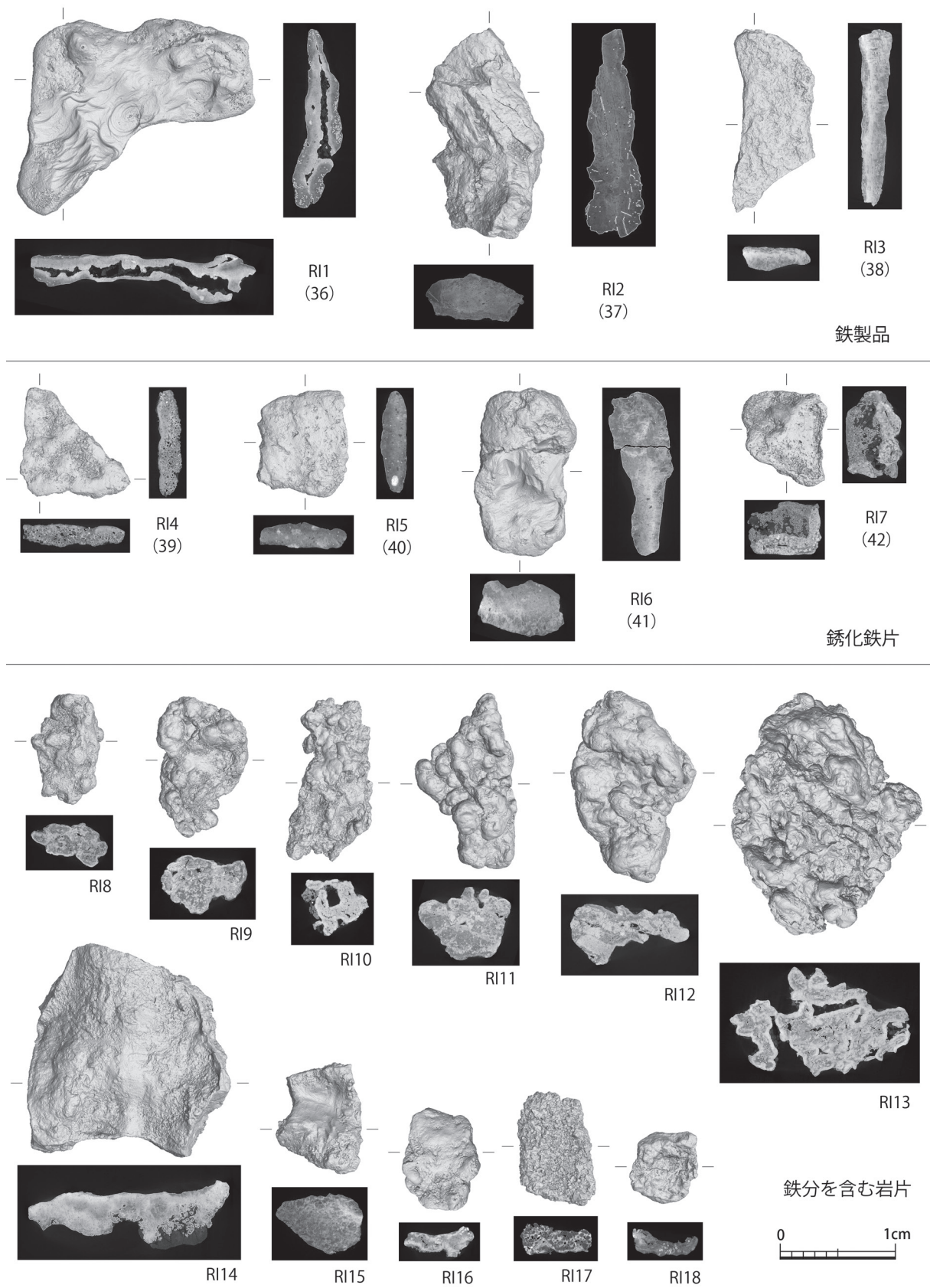


図1 赤坂遺跡第2次調査出土微細金属片のX線CT画像（×2、括弧内の数字は遺物番号）

じて、コントラスト（明暗）の差で表示される。試料を回転ステージ上で360°回転させながら二次元のX線画像を連続して撮影し、この撮影画像をCTデータ解析ソフトウェア（Volume Graphics製VGStudio）で処理して三次元CTデータを再構成する。画像の画素値ヒストグラムの閾値を用いたセグメンテーションやシェーピング補正、座標軸の設定など、基本的な画像処理は新潟県工業技術総合研究所下越技術支援センターにて中部昇氏にご教示を頂き実施した。

測定の場合は、管電圧150kV、管電流150 μ A、露光時間708ms、撮影枚数計1,800枚である。各資料は、発泡スチロールブロックに直径約5mm、深さ約5mmの穴をあけ、その中に立てかけるように静置し、装置内の試料回転ステージに固定した。なお、条件において発泡スチロールはCTデータに影響しない。

（2）CT画像にもとづく微細金属片の分類

CTデータビューアソフトウェア（Volume Graphics製myVGL3.5）を用いて、得られたCTデータを展開し、三次元画像を詳細に観察した。また、ビューアソフトウェアの測定機能を用いて、各資料の寸法の測定をおこなった。このCT画像には縮尺を表示させることができるため、これをもとに画像編集ソフトウェア上で縮尺を合わせた。

図1は各資料のCT画像および表面形状の三次元オブジェクトモデルを示したものである。RI1～7は横断面および縦断面、RI8～18は横断面のCT画像を示した。各断面の位置は三次元オブジェクトモデル上に線で示している。以下、CT画像をもとに、田中ほか（1977）を参照して微細金属片の分類を試みる。

RI1～3は薄板状をなし、表層と断面中央部のコントラストの明確な差が層状（境界線）をなして認められる。CT画像の白色部を錆化や腐食がさほど進んでいない金属の部分と判断し、金属製品の破片と考える。

RI4・5は薄板状、RI6・7は棒状・小塊状の形態を呈する。RI4は断面長方形の白色部が認められるため本来は薄板状の金属片であったとみられる。ただし内部まで約0.2mmの空隙が多数みられ、孔食（ピット状の腐食）が顕著に進行したものと考える。RI5も表層と断面中央部のコントラストの差が比較的明瞭であるが、層状をなす部分とは別に約0.5mmの大きさの白色部が複数あり、微細な非金属介在物を含むものとみられる。RI6は表層と断面中央部のコントラストの差が明瞭な部分とやや漸移的な部分がある。RI7は横断面において逆「L」字形に屈曲した白色部があり、薄板状の金属片の一部が折り曲げられたものとみられる。RI4と同様に内部まで約0.2mmの空隙が多数みられる。以上から、RI4～7は錆化した金属片と判断する。

RI8～13は表面が気泡状をなして複雑に隆起し、「スラグ状」を呈するものである。横断面では特に表層部分で膜を張ったように白色部がみられる。RI14～16は板状もしくは小塊状を呈する。横断面で白色部はただらにみられ、明確な層状をなしていない。RI17・18は板状を呈する。横断面で白色部はパッチ状もしくはアメーバ状に複雑に広がる。横

断面の白色部が金属成分を多く含む箇所だとすれば、RI8～18は少なくとも金属製品ではなく、自然由来の岩片などの可能性が高いものと判断される。

3. 元素分析

(1) 分析方法と測定条件

新潟大学共用設備基盤センター設置の島津製作所製 EPMA-1720HT を用いて測定した。測定条件は加速電圧 15 kV、ビーム電流 100nA、ビームサイズ 10 μm、測定時間 12 分で、定量の補正方法は ZAF4 である。各資料に対し、錆や表面の風化の影響が小さいと考えられ、比較的平坦な部分を測定位置として、2箇所ずつ測定した。元素の定量にあたり、含有率 0.1wt. %未満の元素は除外した。

なお、分析に用いた資料は、水道水を用いたフローテーションにより回収されたものであるため、水道水に含まれるナトリウム (Na)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、カリウム (K) などの影響が少なからずあるものと思われる。

(2) 測定結果

表2に測定結果を示す。分析したすべての資料において平均約 40.0wt. %の含有率で鉄 (Fe) が検出され、ケイ素 (Si)、アルミニウム (Al) などからなる酸化化合物であることが確認された。したがって、分析した金属片は鉄片もしくは鉄分を含有する化合物であると判断できる。RI4・5・8は鉄の含有量が他に比べて少なかった。特にRI4は微細な孔食が内部まで非常に多くみられ、鉄分が抜けたことが検出量に影響したと考えられる。RI2はマンガン (Mn)、RI3①やRI8①は炭素 (C) が多く認められたが、こうした微量元素の含有量の差が何に由来するかの特定には至っていない。

表2 赤坂遺跡第2次調査出土微細金属片の元素分析結果

試料 番号	測定 箇所	元素 (wt. %)																
		Fe	O	Si	Ti	Al	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	V	C	Cl	Co	Zn
RI1	①	35.79	34.69	22.75	0.33	4.99	0.15	0.16	0.11	-	0.37	0.21	-	-	0.44	-	-	-
	②	45.47	40.19	6.44	1.54	4.34	0.31	0.48	0.21	-	0.17	0.16	-	-	0.69	-	-	-
RI2	①	50.85	27.03	12.53	0.15	6.06	1.67	0.20	-	-	0.23	0.11	0.45	-	0.71	-	-	-
	②	50.51	31.06	5.74	-	5.18	3.92	-	-	-	0.17	0.17	0.68	-	2.57	-	-	-
RI3	①	53.42	32.02	5.19	-	4.03	-	0.16	0.19	0.49	0.41	0.25	0.25	-	3.20	0.28	-	0.13
	②	48.87	38.96	5.23	-	5.93	-	-	-	0.26	0.14	-	0.12	-	0.50	-	-	-
RI4	①	7.83	52.08	27.46	0.29	9.81	0.12	0.50	-	-	1.29	0.12	-	-	0.50	-	-	-
	②	10.21	47.07	29.04	0.72	10.89	0.11	0.50	-	-	0.64	0.16	-	-	0.65	-	-	-
RI5	①	33.83	44.86	12.47	0.30	6.03	0.31	0.53	-	-	0.91	0.45	0.15	0.14	-	-	-	-
	②	14.20	67.66	1.76	0.11	11.18	0.13	0.19	-	0.31	4.14	-	-	-	0.34	-	-	-
RI6	①	83.32	1.63	12.53	0.18	0.80	0.19	-	-	-	0.30	0.36	0.23	-	0.46	-	-	-
	②	46.10	36.57	10.91	-	5.51	0.13	0.16	-	-	0.12	0.10	0.11	-	0.29	-	-	-
RI8	①	8.74	43.50	24.23	0.18	9.96	0.12	0.57	0.22	0.74	2.35	0.14	-	-	8.40	0.69	-	0.17
	②	12.78	45.85	24.57	1.09	11.79	0.16	0.67	0.10	0.13	1.55	0.11	-	-	1.19	-	-	-
RI9	①	37.50	48.46	6.60	-	5.93	-	-	-	-	0.23	0.78	0.51	-	-	-	-	-
	②	62.27	32.60	1.18	0.10	3.59	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26	-	-	-
RI10	①	56.80	21.82	16.39	0.19	3.52	0.35	0.11	-	-	0.21	0.34	0.15	0.11	-	-	-	-
	②	19.91	54.14	18.73	0.19	5.72	0.14	0.36	-	-	0.57	0.11	-	0.13	-	-	-	-
RI13	①	50.79	38.80	5.48	0.18	3.35	0.22	-	-	-	-	0.72	0.20	0.12	-	-	0.14	-
	②	49.76	37.66	7.52	0.23	3.90	0.28	-	-	-	-	0.40	0.15	0.11	-	-	-	-
RI14	①	53.77	39.03	3.33	-	3.10	0.13	-	-	-	-	0.32	0.22	0.10	-	-	-	-
	②	47.90	38.31	5.25	0.22	7.51	-	-	-	-	0.12	0.36	0.20	0.13	-	-	-	-

上位1位
上位5位

おわりに

赤坂遺跡第2次調査出土の微細金属片についてX線CT分析による断面観察と元素分析をおこない、RI1～3の3点は薄板状の鉄製品の破片、RI4～7の4点は錆化鉄片と判断した¹⁾。RI8～18の11点は鉄分を含有する岩片など、自然由来の鉄化合物である可能性が高いものと判断した。

EPMAによる元素分析では、分析対象とした資料のすべてで鉄を検出し、主にケイ素、アルミニウムからなる酸化化合物であることが確認されたが、上述したX線CT分析による断面観察にもとづく分類ごとに含有元素の傾向の違いを見出すことはできない。

今回の元素分析では資料表層の密度が低く、微細な空隙も多い部分を測定したものであるため、元素化合物としての定量化はできなかった。また、資料の回収過程における様々な汚染の影響も排除できないため、測定結果の解釈が難しい。今後、「スラグ状」の形状を呈するRI8～13などが鉄器製作に伴う微細派生物²⁾である可能性がないかも含め、資料全般について金属学的分析による検証が課題である。

なお本稿は森が全体を執筆し、3について五十嵐、村田が補訂した。

注

- 1) 以上の分析結果をふまえ、Ⅲ章3節ではRI1～7を鉄製品（遺物番号36～42）として報告した。
- 2) 操業温度が低い鍛錬鍛冶の最終工程である、鑿切り・研磨・加熱曲げ加工では、焼土と鍛造剥片しか生成されない可能性がある（真鍋2003、笹田2013）。微細遺物の意識的な回収に加え、送風のない焚火状態もしくは火吹筒を使用した「原始鍛冶」による復元実験（真鍋2022）での微細派生物との対照なども課題である。

参考文献

- 笹田朋孝 2013『北海道における鉄文化の考古学的研究—鉄ならびに鉄器の生産と普及を中心として—』北海道出版企画センター。
- 田中良平・栗原利喜雄・大和久重雄 1977「マクロ組織試験方法」日本熱処理技術協会（編）『入門 金属材料と組織』大河出版、97-136頁。
- 真鍋成史 2003「鍛冶関連遺物」千賀久・村上恭通（編）『弥生・古墳時代 鉄・金銅製品』（考古資料大観第7巻）、小学館、274-280頁。
- 真鍋成史 2022「鍛冶実験の成果と理化学分析・田辺天神山遺跡出土例との比較」『近畿地方における弥生時代～古墳時代初頭の金属器生産と社会』（国立歴史民俗博物館共同研究公開セミナー発表要旨集）、国立歴史民俗博物館、49-68頁。

赤坂遺跡 2

島崎川流域遺跡調査団報告 第3集
新潟大学考古学研究室調査研究報告 22

令和5(2023)年3月23日

発行 島崎川流域遺跡調査団
新潟市西区五十嵐2の町8050番地

印刷 有限会社平電子印刷所
福島県いわき市平北白土字西ノ内13
