

鍛冶滓、最初の一滴

神 野 信

目 次

1	はじめに	475
2	遺跡出土「発砲滓」のあり方	475
	（1）「発砲滓」の出土事例	475
	（2）遺跡出土「発砲滓」の特徴	482
3	鉄器生産における「発砲滓」	484
	（1）「発砲滓」の民族事例	484
	（2）ガラス質発砲滓の生成環境	488
4	遺跡出土「発砲滓」の生成要因	489
5	「発砲滓」のその後	491
6	おわりに	491

1 はじめに

房総半島では、弥生時代終末から古墳時代初頭にかけて鉄器生産の痕跡が明瞭になる。それは旭市岩井安町遺跡から出土した表面が溶解・流動化した炉の破片と、八千代市沖塚遺跡の鉄滓・鍛造剥片（酸化皮膜片）等多量の廃棄物を伴う炉跡である。特に後者はその炉構造及び廃棄物・鉄片の金属学的分析により、鉄素材から炭素を含む不純物を除去する精錬鍛冶が行われていた可能性が指摘されている（大鷹1994）。

日本列島における鉄器生産は、西日本における弥生時代中期の鑄造鉄器の破片の再利用に始まり（野島1992・村上1992）、弥生時代中期後半以降の鋼製品の切断・打ち延ばしによる製作技術段階をへて、古墳時代初頭の北部九州で精錬鍛冶技術が確認されるようになる（村上2007）。つまり、房総半島最初の鉄器生産の痕跡はその前段階が未確認でありながら、西日本での精錬鍛冶出現とほぼ同時に本格的な鍛冶装置を伴うことが注目されている。

その一方で房総半島では、これと並行して異なる鉄器生産の痕跡の可能性のある資料群が確認されており、近年その類例が増えつつある。それは表面が溶解して流動したような面に覆われ、断面が多孔の発泡ガラス質の小さく軽い塊で、「発泡滓」「ガラス質滓」などと呼称されている。ただし、それらが生成した場所・遺構や他の関連遺物は確認されておらず、金属学的分析でも高温で粘土等が溶解したものということ以外はつきりしないため、これまで鉄器生産関係資料として積極的に評価されてこなかった。

本論ではこれらが鉄器生産の中で生成されるのか、生成されるとした場合、どのような環境・状況下で生成するのかを再検討し、そこから具体的な鉄器製作技術の復元を試みるものである。

2 遺跡出土「発泡滓」のあり方

(1) 「発泡滓」の出土事例

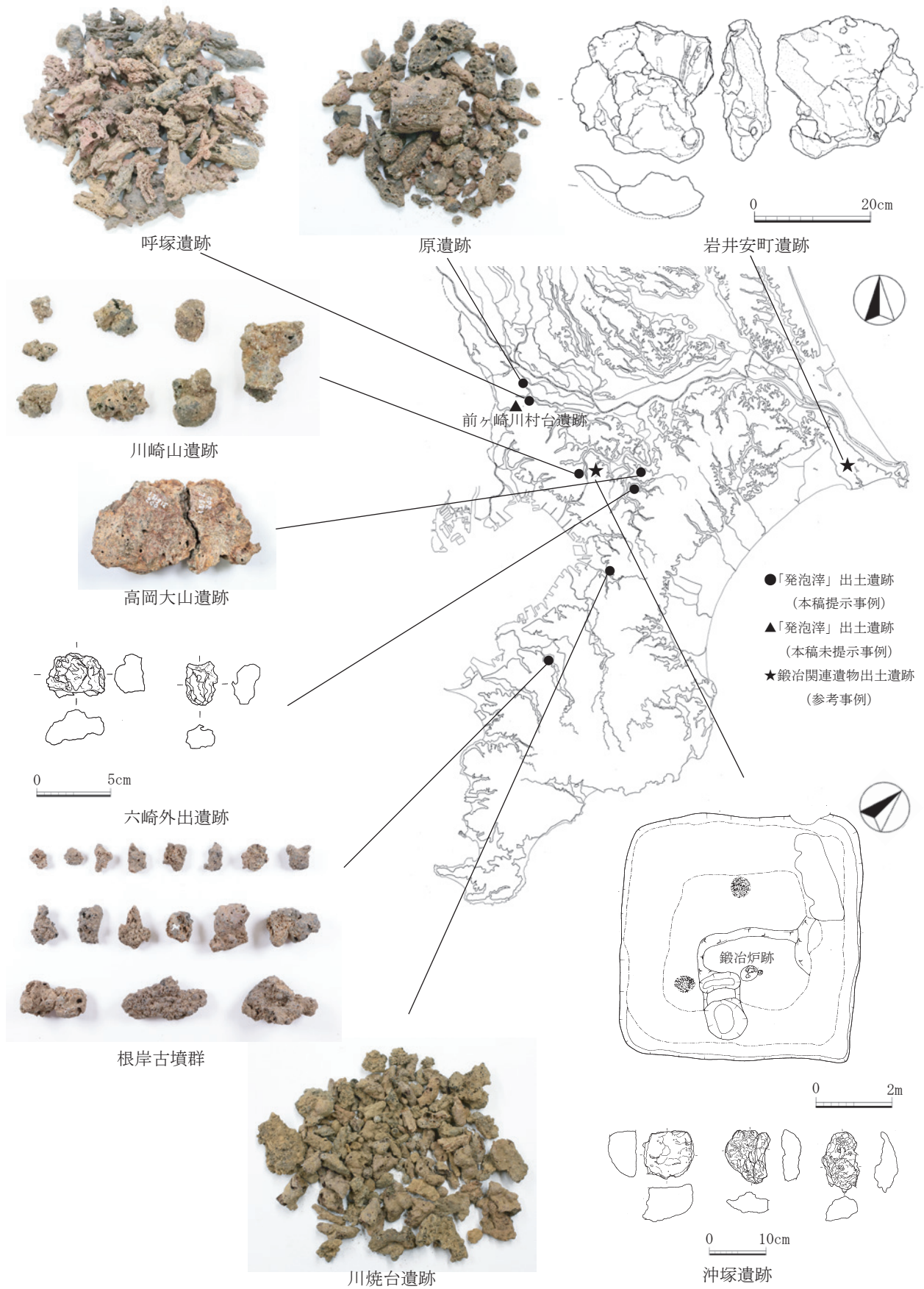
房総半島における「発泡滓」の報告例は7遺跡8例を確認しており、その分布は手賀沼西岸域から東京湾岸域に広がる。これまでのところ、出土例が手賀沼西岸～印旛沼南岸地域に集中する傾向は看取されるものの報告例数が少ないため、この分布が有意であるかは直ちに評価できない（第1図）。

①千葉市川焼台遺跡（第2図）

川焼台遺跡は東京湾に流下する村田川を望む西岸台地上に立地し、弥生時代後期～飛鳥時代を中心とする集落遺跡である。集落跡は尾根稜線上の狭い平坦面に形成されており、鍛冶炉跡などの遺構は未確認であるが、各時期の遺構内から多数の鍛冶滓・羽口片が出土している。これらの鍛冶滓の出土状況を検討した結果、その多くが古墳時代後期後半以降のもと考えられるが、それらと明らかに異なる特徴の資料が弥生時代後期後半の竪穴建物跡645から出土している（神野2016）。

竪穴建物跡645は、古墳～飛鳥時代竪穴建物跡が密集する平坦面から東にのびる尾根稜線上に所在する長軸5.6m、短軸5.4mの隅丸方形で、対角線上に4本の支柱穴、北壁寄りの支柱穴間に炉跡を配する。本竪穴建物跡からはその出土状況の詳細は明らかでないが、溶解して発泡した様態の遺物が全84gまとめて出土している。これらは径4mmの粒状、10mm大の豆粒・大豆形、それらが溶結したものや長軸27mmの板状のものとその破片からなる。表面は暗灰色の皮膜状で、大きい個体には流動状の皺が見られ、破口からはその内部が多孔ガラス質であることが看取される。

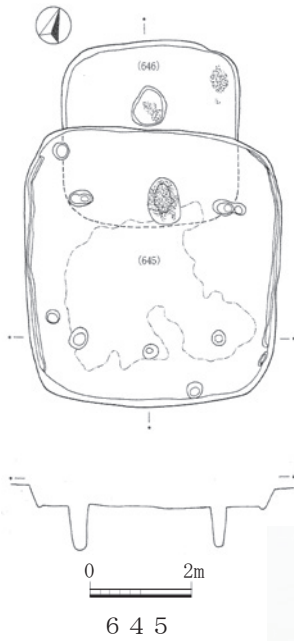
なお、前述のとおり本遺跡からは多数の鉄滓・羽口片が多数出土するが、その多くは645が位置する



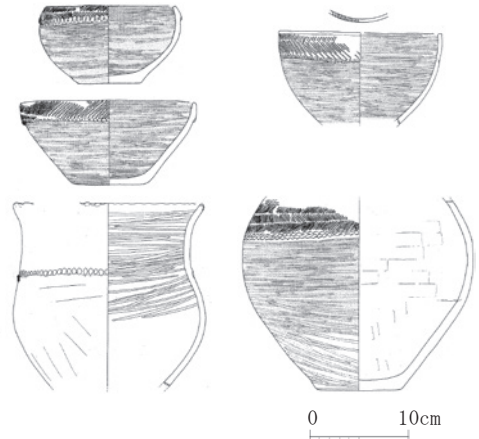
第1図 弥生時代終末期～古墳時代「発泡滓」出土遺跡位置図



遺構配置図



6.4.5



6.4.5 出土土器



(参考) 4.8.1 出土粒状滓

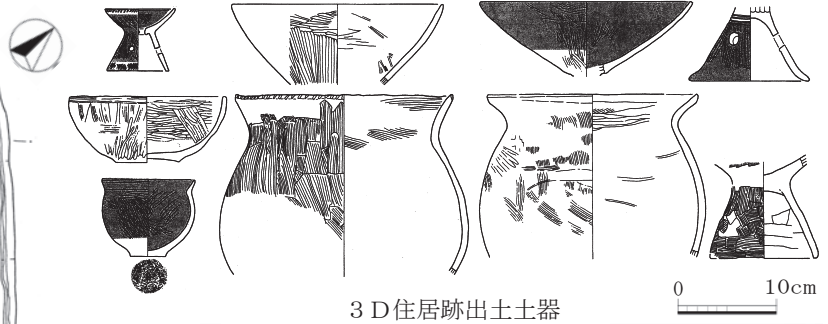


6.4.5 出土「発泡滓」

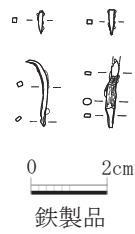
第2図 川焼台遺跡出土「発泡滓」



3D住居跡



3D住居跡出土土器



鉄製品



3D住居跡出土「発泡滓」

第3図 川崎山遺跡d地点出土「発泡滓」

稜線上より西に広がる平坦面の竪穴建物跡集中域で出土しているほか、645出土「発泡滓」の外観上の特徴とは異なる緻密な暗灰色鍛冶炉内滓を主体としている。

②八千代市川崎山遺跡 d 地点 (第3図)

川崎山遺跡は印旛沼西端に流下する新川西岸の台地上に立地し、弥生時代後期～古墳時代中期を主体とする集落遺跡である。新川を隔てた対岸の台地上には、古墳時代初頭の精錬鍛冶炉を伴う竪穴建物跡が検出された沖塚遺跡が所在する。

川崎山遺跡 d 地点は台地の南縁辺に位置しており、弥生時代後期後半～古墳時代前期の竪穴建物跡25棟が検出されている。弥生時代終末期～古墳時代初頭の竪穴建物跡3D住居跡は長軸9m、短軸7.7mの隅丸長方形で、竪穴対角線上に支柱穴、竪穴中央から北西壁寄りに浅い楕円形の炉跡を配し、竪穴南隅及び西支柱穴の周囲から「鉄滓」がまとまって出土している(常松ほか2003)。なお、竪穴南東壁下に位置する貯蔵穴の横からは軽石がまとまって出土しているが、筆者が実見した当該資料は径5～10mmほどの軽石円礫であった。

「鉄滓」は長軸6～10mmの粒状が複数溶結したような個体(1・2)、より大粒な大豆形あるいはその大豆形が複数溶結したような個体(3～7)からなる。最大個体は大ぶりの大豆形が溶結してさらに溶解が進行したような長軸23mmほどの個体であり、表面に径1mmほどの小粒が付着したような凸がみられるほか、白色砂礫状物が付着する(8)。表面は明灰～灰色の皮膜状あるいは流動面をなし、気孔が散在する。剥がれた表皮や小さな破口からは内部が発泡による多孔質であることが看取され、重量も軽く、最大個体でも1gを超えない。なお、大形個体の一部の表面に鉄錆状の酸化物が付着する(5・8)。

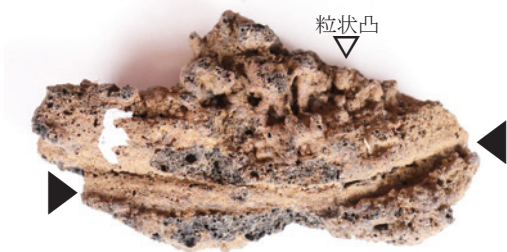
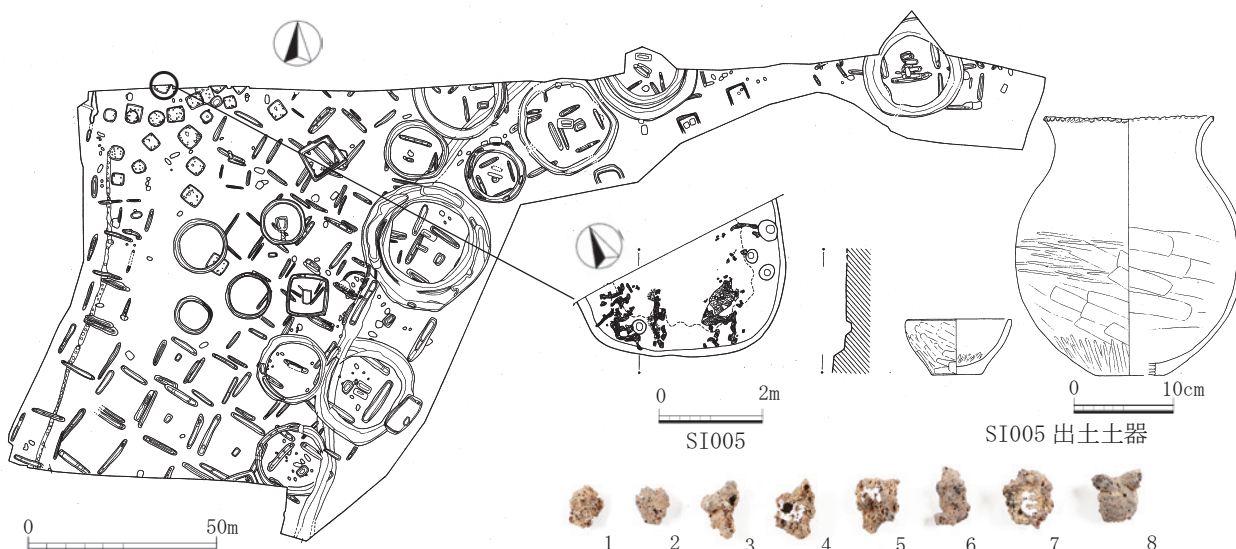
③木更津市根岸古墳群 (第4図)

根岸古墳群は小櫃川中流域の南西岸の台地上に立地し、小櫃川を望む台地縁辺に沿って弥生時代中期方形周溝墓群と古墳時代後期後半～飛鳥時代の古墳群が並び、その後背の狭い台地平坦面に弥生時代後期後半～古墳時代中期の竪穴建物跡が散在する。集落跡は盛土が残る周溝墓群を避けるように台地先端部に展開しているとみられ、小規模な竪穴建物跡群が跛行的に営まれたと考えられる(加納ほか2011)。

古墳時代初頭の竪穴建物跡SI005はその半分が調査範囲外であるが、長軸約4.3mの隅丸方形とみられ、明確な柱穴や炉跡は確認されていない。床面上からは炭化材が放射状に出土しており、上屋が火災で焼失したと考えられる。当該竪穴建物跡から川崎山遺跡 d 地点で出土した「鉄滓」に類似した発泡質塊が17点6g出土している。これらは径3～5mmの気孔による凹に覆われる粒状(1・2)、径5～12mmほどの大豆形に小粒が付着した個体や粒状がブドウ房状に複数溶結したような15～20mm以上の個体(3～7)、大豆形が複数溶結したような個体(8～15)を主体とする。最大個体は長軸28～33mmの板状で、幅2mmの筋状の圧痕が認められる(16・17)。いずれも表面は灰～暗灰色の皮膜状あるいは流動状面で、小形品ほど気孔による凹が多く認められるほか、大豆形が連結した個体や板状の個体の表面の一部が赤紫色を呈している。剥がれた表皮の下は多孔質で、最大個体でも重量は2gを超えない。

④柏市原遺跡 (第5図)

原遺跡は利根川南岸の台地上に立地する集落遺跡であり、その台地北縁辺に位置する古墳時代前期末葉の竪穴建物跡SI1から微細な「ガラス質滓」が出土している。SI1は長軸5m、短軸4.24mの支柱穴のない長方形で、竪穴中央からやや南西壁寄りで浅い不整形の炉跡が検出されており、その竪穴西隅で「ガラス質滓」がまとまって出土している。

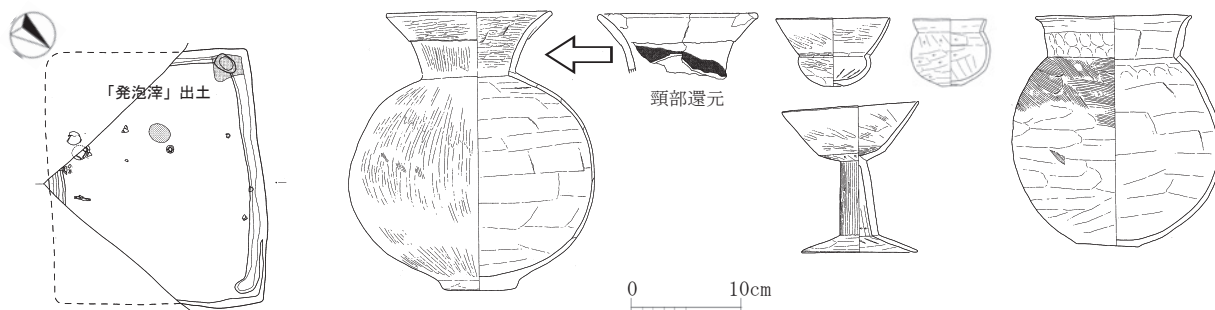


筋状压痕 (▶)



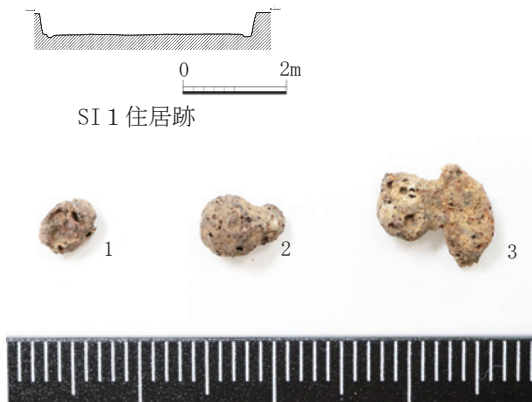
SI005 出土「発泡滓」

第4図 根岸古墳群出土「発泡滓」

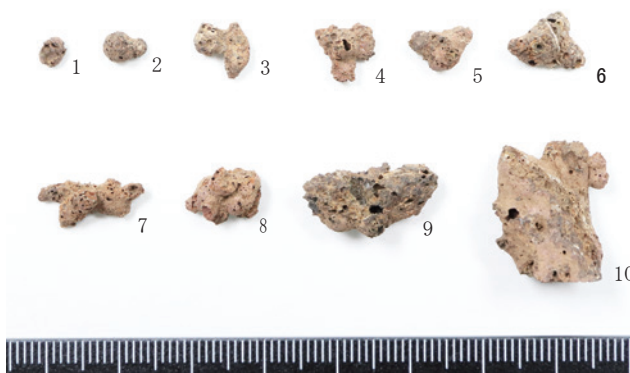


SI1 住居跡

SI1 出土土器



SI1 出土粒状「発泡滓」拡大



SI1 出土「発泡滓」

第5図 原遺跡出土「発泡滓」

この「ガラス質滓」は、最小個体が径4mmの粒状の個体（1）で、このような粒が複数溶結した個体（図5-2～8）、さらに大きな大豆形が溶結したような長軸20mmの個体（9）や板状に粒状が溶結した個体（図5-10）が認められる。表面は灰色の皮膜状あるいは流動状面で、径1mm以下の微小な気孔が散在するほか、大豆形以上の大きさの個体には気泡が破裂した後のクレーター状の凹がある。剥がれた表皮の下は多孔質となっており、重量は最大個体でも1gを超えない。

なお、SI1では炉跡に隣接して壺形土器の口辺～頸部が逆位で出土しており、その破口の一端が灰青色に還元している。また、SI3でも一部還元色を帯びた土製支脚片が出土しており、報告者は「発泡滓」の出土と併せて鍛冶に関連した可能性に注意を向けている（白崎ほか2010）。

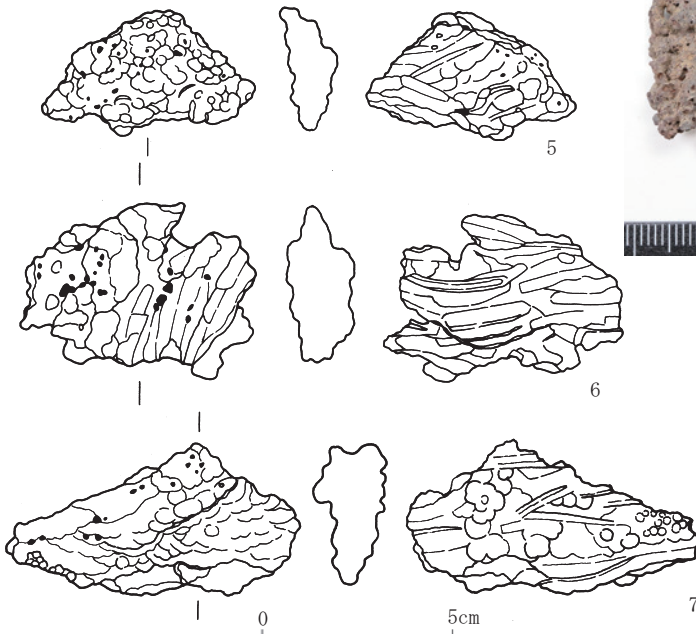
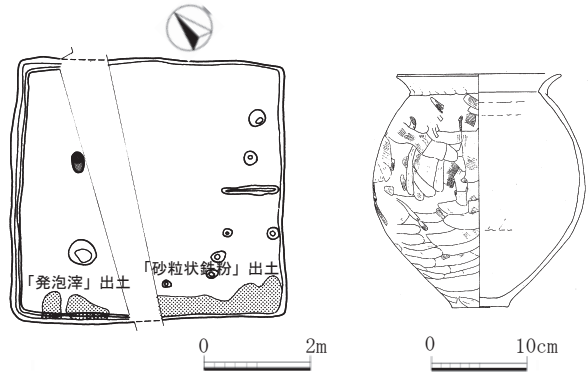
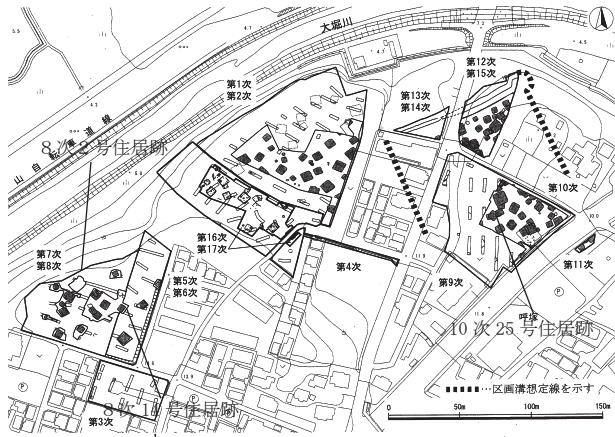
⑤柏市呼塚遺跡（第6図）

呼塚遺跡は、手賀沼の西端に流下する大堀川南岸の台地上に立地する古墳時代前期～中期を中心とする集落遺跡で、堀による方形区画の存在が確認されている。当該遺跡は弥生時代後期にその形成がはじまり、古墳時代前期初頭に方形区画の濠が現れ、それが廃絶する前期後半以降、方形区画の西側に集落域が拡大していく。この集落域が拡大した方形区画外の大堀川を望む台地縁辺（6次・8次調査区）に位置する竪穴建物跡から、多数の「発泡滓」が出土している。

6次調査区3号住居跡と8次調査区14号住居跡は調査区をまたいだ同一の竪穴建物跡であり（以下、8次14号住居跡に統一）、長軸5.8m、短軸5～5.5mの方形で、竪穴対角線上に主柱穴、北西壁寄りに浅い炉跡が配されるとみられる。床上からは炭化材と焼土が検出されており、焼失した可能性がある。当該竪穴建物跡の出土土器は乏しいが古墳時代前期後半～中期初頭のものともみられ、6次調査区内で「砂粒状鉄粉」、8次調査区内で「発泡滓」16gが南壁沿いで焼土に混じって出土している（井上2003、齋藤ほか2010）。

「発泡滓」は、長軸20～30mmの樹根状あるいは板状の個体はあるが、表面にくびれるような瘤状の凸がみられることから複数の大豆形が溶結してさらに溶融が進行したものとみられる（1～4）。表面は灰～暗灰色の皮膜あるいは流動状面で、径1mm以下の小粒が密集して付着する部分があり、一部が赤紫色を呈する（2・3）。表皮の気孔は少ないが軽量で、内部が多孔質であると予想される。他方、「砂粒状鉄粉」の詳しい実態は不明であるが、それに伴って比較的大きな板状「発泡滓」が出土している。これらは長軸60～80mm、短軸38～43mmの三角形・台形を呈し、厚さ20～28mmの板状で、表面は1mm以下の気孔が散る明灰青～灰色の皮膜状流動面に覆われる。上面に滴状の凸や一部に微細な粒が密集して付着する部分があり、下面に棒状のものによる押圧痕のような幅3mmほどの筋が並行する。破口や剥がれた流動状の表面の下は多孔質であり、重量5～8gと大きさに比べて軽い。また、小形の「発泡滓」と同じく表面の一部が赤紫色を帯びる（5～7）。

8次調査区2号住居跡は長軸8m、短軸6.7mの長方形で、竪穴対角線上に主柱穴、北西壁寄りの主柱穴間に浅い炉跡を配する古墳時代前期後半の竪穴建物跡である。その南西壁中央下で「発泡滓」約41gが出土している（齋藤ほか2010）。「発泡滓」は径3mmの粒状（8～13）、さらに成長した豆粒形（14・15）、それらが複数溶結したブドウ房形（16～20）、筋を束ねたような植物根状の個体があり（21・22）、大豆形が複数溶結して棒状になった長軸42mm、重量3gのものが最大個体である（23）。これらの外観上の特徴は、8次14号住居跡出土の「発泡滓」と類似しており、一部に表面が赤紫色を呈する個体（14～23）がみられる。



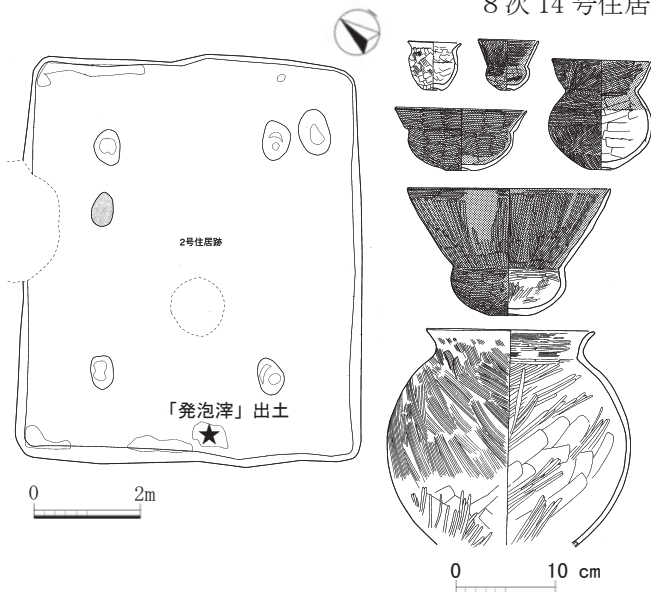
「砂粒状鉄粉」中出土板状「発泡滓」
8次14号住居跡（6次3号住居跡）



「発泡滓」



筋状圧痕



「発泡滓」

8次2号住居跡

第6図 呼塚遺跡出土「発泡滓」

⑥佐倉市六崎外出遺跡（第7図）

六崎外出遺跡は、房総半島の分水界から印旛沼に流下する高崎川南岸の台地上に立地する集落遺跡で、古墳時代～飛鳥時代にひとつの遺跡形成のピークが見受けられ、古墳時代中期には滑石製品を製作する工房跡が確認されている。当該遺跡の第6次調査において竪穴建物跡2棟と遺構外から前述5遺跡の「ガラス質滓」「発泡滓」等に類似した「鉍滓」が出土している。

S I 3は長軸 6.8m以上の北壁中央にカマドを有する古墳時代中期末の方形竪穴建物跡で、「鉍滓」2点が出土している。1点は長軸 4.2cm・厚さ 2cmの半円形（1）、もう1点が長軸 3.1cm・厚さ 1.6cmの台形を呈するもので（2）、いずれも白灰色の多孔質で気孔・気泡による細かい凹凸に覆われて軽い。

S I 1は長軸 5m・短軸 4.6m、竪穴対角線上に4本の支柱穴と北壁中央にカマドを配する飛鳥時代前半の方形竪穴建物跡であり、縁辺が弧状の長軸 3.2cm・厚さ 1.4cmの扇形を呈する「鉍滓」1点が出土している。上面は灰～暗灰色のガラス状溶解面で、下面には気孔や気泡が破裂した後のクレーター状の凹が激しく、中央には木炭圧痕のような窪みがあり、軽石の様な質感をみせている（3）。なお、遺構外からもこれらと類似するものが3点出土している。

⑦佐倉市高岡大山遺跡（第8図）

高岡大山遺跡は、印旛沼東端に流下する高崎川北岸の台地上に立地する弥生時代後期～平安時代を主体とする集落遺跡である。古墳時代前期には不整形円形周溝による区画を伴い、古墳時代中期・後期と断続的に集落が営まれた後、飛鳥時代以降は集落規模を拡大しながら継続し、奈良時代に入ると規格的な配置の掘立柱建物跡群が現れる。鉄器生産遺構は検出されていないが、各時期の遺構から鉄滓が多く出土しており、その中に白灰色軽石様の多孔質滓が認められる。

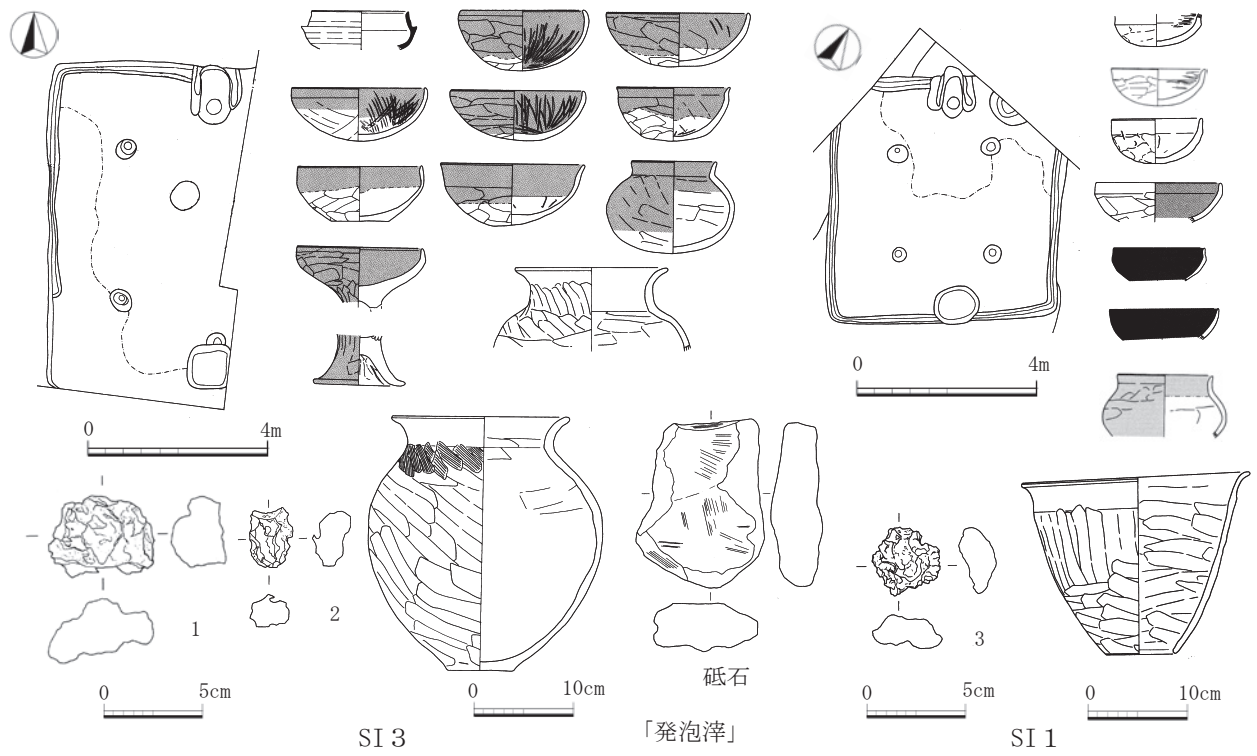
白灰色多孔質滓は古墳時代前期竪穴建物跡3棟から3点、古墳時代後期竪穴建物跡1棟から2点、奈良時代後半竪穴建物跡2棟から3点出土している。これらは長軸 2～6cm・厚さ 1～3cmの三角形～弧形で表面は皮膜状、破口は気孔が密集したガラス質である。出土遺構が古墳時代前期～奈良時代後半と時間幅が広く、その所属時期は特定できないが、全時期を通じて古墳時代に白灰色多孔質滓が出土する割合が高い傾向が認められる（神野2024・2025）。

上記の7遺跡以外に、流山市前ヶ崎川村台遺跡の古墳時代前半の竪穴建物跡 S I 21から出土した「鉄滓」が、これらと共通するものと考えられる（小川将之ほか2022）。

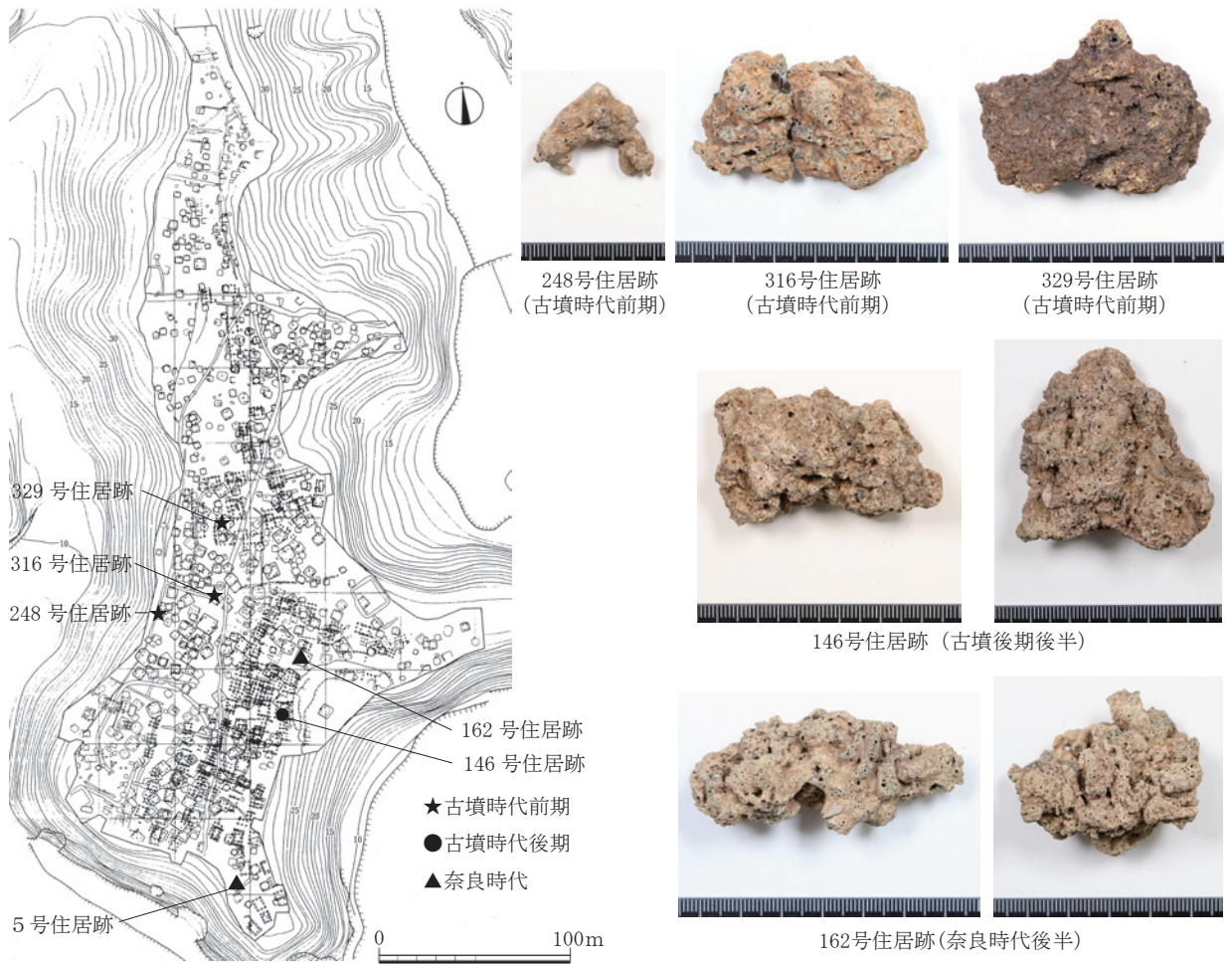
（2）遺跡出土「発泡滓」の特徴

これまで取り上げた「ガラス質滓」「発泡滓」「鉄滓」「鉍滓」などとされた資料については、その出土状況と外観に共通した特徴が認められる（以下、「発泡滓」とする）。共通点は、①竪穴建物内にまとめて廃棄されたような状態で出土すること、②粒状・豆粒・大豆形、それらが溶結・連結したような形状を呈すること、③皮膜状流動面に覆われ、内部が軽石のように多孔質で軽量であること、④大きな個体に筋状の圧痕がみられることである。

なお、原遺跡の「発泡滓」に対してEPMA調査による成分比分析とマクロ組織観察の金属学的分析が加えられている。その結果によると微細な金属鉄粒を含むガラス質であり、ガラス質部分では主に50%以上の二酸化ケイ素（SiO₂）と10～20%のアルミナ（Al₂O₃）、10%以上の酸化鉄（Fe₂O₃）からなり、金属鉄部分ではリン（P）に強い反応が認められている。特にアルミナは粘土鉍物由来であることから、ガラ



第7図 六崎外出遺跡(6次)出土「発泡滓」



第8図 高岡大山遺跡出土「発泡滓」

ス質部分は粘土が溶解したものと考えられている。他方、微小な金属鉄粒についてはその生成要因の評価はむずかしく、分析者の大澤正己らは遺跡内で高温を扱った痕跡がないこと、羽口、鍛冶滓、粒状滓、鍛造剥片などの明瞭な鍛冶関連遺物が相伴していないことから、この粘土質溶解物を鍛冶関連遺物と断定するのは困難とする。そのうえで敢えて鍛冶に伴うものとするならば、鉄素材を熱間で加工する際に加熱酸化に伴う目減りを防ぐため表面に塗布した粘土汁・藁灰などが溶解して生じた微細遺物の可能性はあるとしつつも、それだけで多数の「発泡滓」が生成したとするには説得力に欠けると考えたためか、積極的に評価はしていない（大澤・鈴木2010）。

これらの「発泡滓」の特徴からは、粘土等の鉱物などが高温の気体中で溶解したため高温ガスを吸収しながら界面張力によって粒状になったこと、粒状の溶解物が凝集してブドウ房形・豆粒・大豆形へと成長していったと推測することはできるが、現状での出土状況・遺物だけでは「発泡滓」が鍛冶の場でどのように生成し、排出されるのか、具体的にイメージできないこともその評価を慎重にせざるをえなくしたと思われる¹⁾。

鉄器生産、鍛冶において「発泡滓」のような生成物が形成されるのか、どのような作業工程・作業方法で生成するのか、それを知るには鉄器生産にかかる実験と民俗・民族事例を参照する方法があろう。大澤らが酸化防止用粘土汁を「発泡滓」の素材の候補にあげたのも、また鉄器生産関連とすることに慎重になったのも明示されていないが既知の民俗事例の知識に基づいていると思われる。それに対して筆者は2000年以降、ラオス北部を中心とした東南アジア大陸部における鉄器生産を考古学的手法により記録をとってきた。そして、その考古学的民族誌の中に遺跡出土の「発泡滓」と類似した生成物の事例が見出され、そこからは粘土汁・藁灰使用に限らない「発泡滓」生成の可能性、そしてその生成環境を知ることができた。

3 鉄器生産における「発泡滓」

(1) 「発泡滓」の民族事例

ラオス北部では、在地の鍛冶工人が板バネや鉄筋など鋼材のスクラップを素材にナタや斧、鋏、ナイフなどの鋼製農具を製作し、流通させている²⁾。製作方法はいわゆる丸鍛えで、鋼素材を切断、打ち延ばして目的の器形に成形し、刃先の作り出しなど整形の後に刃先のみを硬化する焼入れ処理を行う。当該地域の鍛冶は、鉄素材からの新たな鉄器製作だけでなく、摩耗・欠損した刃先の打ち直し、それをくりかえした結果、変形した鉄器を他の器種につくりかえる役割を担うことによって地域の鉄器需要を支えてきた（神野2009）。

当該地域の鍛冶炉は通常、送風する側とその対面に炉壁を置いて両端を開く構造であり、炉床から炉壁まで粘土を貼るもの、地面を浅く掘り窪め、その側縁に粘土あるいは礫を積んで炉壁を設けるもの、炉床に燃焼済み木炭を敷いて炉壁として礫を並べるものなどがある。鍛冶炉内への送風は、土製・石製、砲弾先端部などを転用した金属製の送風管＝羽口を通すもの、粘土製炉壁に孔をあけるもの、礫やレンガを並べた炉壁の隙間によるものがある。

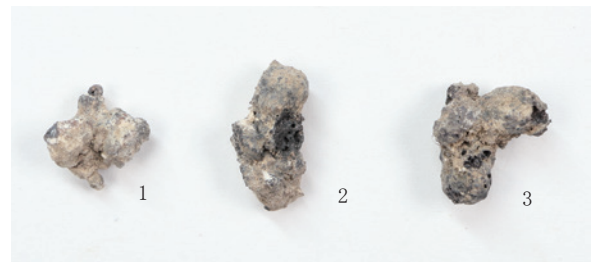
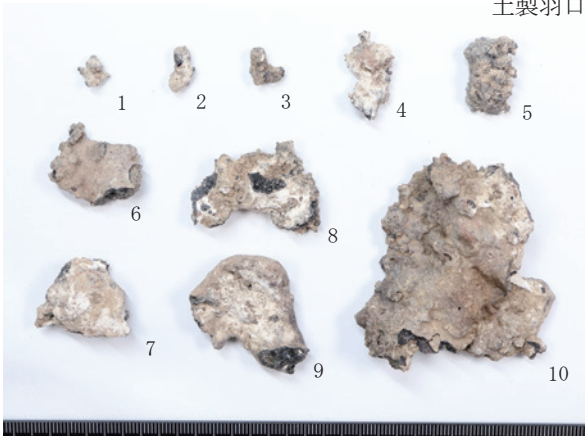
①Nw例（写真1）

Nw例は、焼畑作を生産基盤とする集落内の住宅軒下に設けられた鍛冶専用空間であり、基本的に自家用の鉄器の製作・修理を行う。

鍛冶炉は地面を掘り下げて粘土を貼った基盤を約20cm掘り下げて炉底とし、その側縁に炉壁として礫を



土製羽口使用鍛冶炉

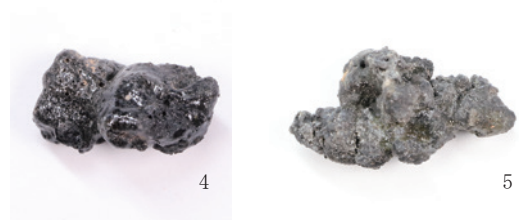
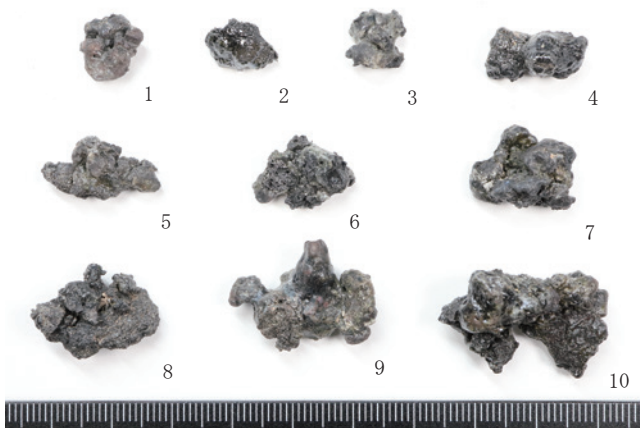


1～3 拡大

写真1 ガラス質発泡滓の民族事例 (Nw例)



土製炉壁鍛冶炉



4・5 拡大

写真2 ガラス質発泡滓の民族事例 (Nn例)

並べ、礫の間に土製送風管・羽口を挟む。炉内生成物には含鉄系を含む緻密質炉内滓のほか、小さな灰白色～灰色の内部が発泡した多孔質のガラス質発泡滓が多数認められる。これらは粒・大豆形が溶結した個体（1～3）、大豆形が複数溶結した個体（4・5）からそれらがさらに熔融が進んで板状になったとみられる個体（6～9）であり、それらより大形の舌状滓（10）の表面には大豆形凸が認められる。表面は皮膜状で一部光沢のある流動状面を呈するほか、破裂した気泡による浅い凹が散在しており、破面には灰色の多孔質発泡ガラスがみられる。

③N n例（写真2）

N n例は、水稻作を生産基盤とする集落内の住宅前の樹木下に置かれた鍛冶装置であり、自家用の小規模な鉄器製作と修理を行う。N nには本例以外に鍛冶専用独立工房が2棟以上あり、それぞれを所有・管理する鍛冶工人が自家用だけでなく集落内の鉄器の製作・修理を行っている。

本例の鍛冶炉は、4本脚のある木枠内に詰めたシルトの基盤上に粘土を積んだ炉壁を立て、その炉壁に孔をあけて送風孔を通す構造である。この炉に伴って排出された鍛冶滓の多数は、小さな灰～暗灰色ガラス質滓である。これらは粒状が金平糖のように複数溶結した個体（1～3）や大豆形が複数溶着した個体（4～10）である。表面は一部が黒色ガラス化した熔融ガラス状で、破面には発泡した多孔質発泡ガラスがみえる。

④H h例（写真3）

H h例は、都市近郊に所在する鉄器生産集落内の鍛冶専用独立工房である。現在、H hで生産された鉄器は近傍都市の商人に卸されているが、ラオス内戦時まではベトナム国境地域まで流通していた。

本例の鍛冶炉は、地面を掘り下げた内面に粘土を貼って炉底とし、その側縁にレンガ・粘土を積み上げて炉壁を構築する。送風機側の炉壁中央が窪み、そこに土製羽口を設置して炉内に空気を送り込む。本例のように商品としての鉄器を大量生産する場合、製作工程ごとにまとまった数量を製作していくことが多く、その工程単位に合わせて多様な様態の鍛冶滓が排出される。この中に径5mm前後の粒が溶結した個体（1・2）、その粒がブドウ房状に溶結した個体（3・4）、長軸1cm前後の大豆形を核に複数の粒などが溶結した個体（5～9）、大豆形が複数溶結した個体（10～12）がみられる。表面は灰～暗灰色の皮膜状流動面で、一部黒色ガラス化するものが認められる。破口や表皮が剥離した面からは内部は発泡した多孔質のガラス質滓で、重量も軽い。なお、表面の一部に赤紫色を帯びる個体が認められる。

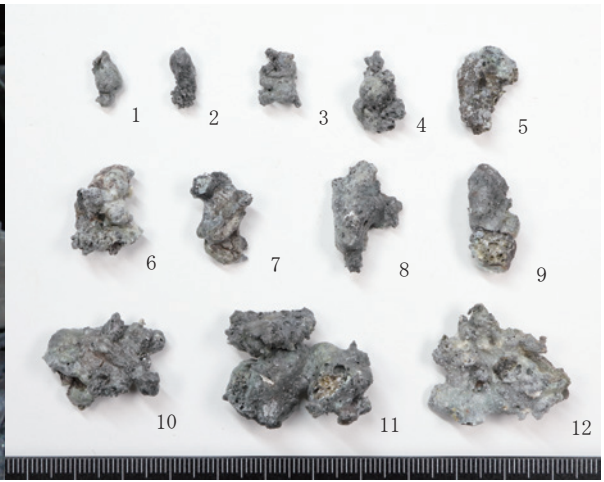
⑤L l例（写真4）

L l例は、焼畑作を生産基盤とする山稜上に展開する集落における鍛冶専用独立工房である。鍛冶炉は斜面を削り出した段の上に設置され、その段上を掘り下げた長楕円形炉の側縁に砂岩ブロックと自然礫を置いて炉壁とする。砂岩ブロックには送風孔が穿孔されており、羽口と炉壁を兼ねる構造をなす。この集落では本工房において2人の鍛冶工人が中心となって集落全体の鉄器製作と修理を行う。

本例の鍛冶操業では、灰～暗灰色の緻密質鍛冶滓のほか、粒状が複数溶結した長軸1cm前後の個体（1・2）、大豆形・水滴形の個体（3）、それらが複数溶結しさらに熔融が進行した個体（4～6）が認められるほか、粒状・大豆形の集合体の様相を呈する3cmを超える塊状個体（7～9）が排出される。これらの表面は明灰白色～暗灰色のガラス熔融状をなし、破口は多孔質で内部が発泡したガラス質である。大豆形が多数溶結して塊状になった個体の中には、大豆形ガラス質塊と共に軽石様な白灰色多孔質塊が見受けられる（8・9）。



土製羽口使用鍛冶炉



ガラス質発泡滓

写真3 ガラス質発泡滓の民族事例 (H h 例)



石製羽口使用鍛冶炉



ガラス質発泡滓

写真4 ガラス質発泡滓の民族事例 (L I 例)



土製炉壁鍛冶炉



角礫付着部分拡大

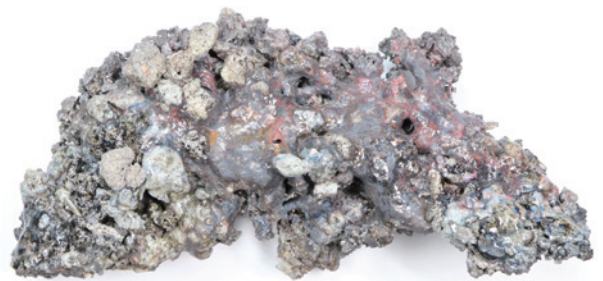


写真5 白灰色角礫付着鍛冶炉内滓

(2) ガラス質発泡滓の生成環境

以上のようにラオス北部における鉄器生産の民族事例では、鍛冶炉構造及び生産規模にかかわらず遺跡出土「発泡滓」に類似したガラス質発泡滓が排出される。相違点としては、遺跡出土「発泡滓」に比べて表面のガラス化が顕著にみえることであろう。他方、粒状から大豆形、それらが溶結連結しながら成長し、三角・半円形の塊にまとまっていく姿が認められる点は共通している。さらにL1例のようにこれらが送風孔下の炉底付近で蓄積して溶結しながら成長していく姿が確認されており³⁾、その過程で内部のガスが抜けて緻密化して最終的に鍛冶炉底滓、いわゆる椀形滓が形成されるものと考えられる。そうであるならば、「発泡滓」は炉底付近で鍛冶滓になる前の滓であり、炉底で形成される滓に至らない小規模な鉄器製作に伴う生成物という推測に至るが、商品として大規模に鉄器を生産する事例でも多数の「発泡滓」に類似した生成物が排出されていることから、そのような単純な図式で説明するのは誤解を招く恐れがある。

民族事例では、このような生成物が鍛冶炉内の高温域のつくり方、使い方と関連した炉内生成物の排出方法を反映している可能性が認められる。当該地域の鉄器製作では板バネ等の鉄素材の切断、全体成形の鍛打、装柄部・刃部整形の鍛打、焼入れと工程が進む。前半の切断・成形鍛打段階では、幅20～25cmの鍛冶炉内に送風孔前から対面の炉壁まで広く高温域をつくろうとするのに対して、後半の整形鍛打、特に焼入れ段階では送風孔前面に木炭を寄せるなどして相対的に高い温度の高温域を送風孔前につくろうとする。このような限定した高温域の形成とその利用においては、木炭層中の滓や燃焼済み木炭片がそれを阻害するものとなるため、その除去に気が配られる。これらの除去は一時的に炉内温度の低下を招くが、阻害要素の排除の方を優先させるため、高温域で生成した初期の滓、つまり「発泡滓」は炉底に降下して成長する前、あるいは降下しても大きな炉内滓に成長する前に排出されることになる。他方、高温域を広く設ける成形鍛冶の段階では継続的な温度維持を優先するため、炉底に滓や燃焼済みの木炭灰が集積されやすい環境となる。このように、鍛冶工人は製作工程・目的に合わせて送風機の送風能力と燃料の効率的な消費のバランスによって経験的にこの高温域のつくり方・使い方を変えている。このことは、多くの鍛冶工人が鍛冶滓は「炉内を清浄にしない、手間を惜しんだ時にできる」として、鍛冶滓の形成を「手抜き、なまけた結果」とするネガティブな言説にも表れている。

それでは、このような小形のガラス質発泡滓の素材は何であろうか。残念ながらその成分分析を行っていないため特定することはできていない⁴⁾。原遺跡出土「発泡滓」と同様に粘土が溶解したものと推測した場合、その素は土製羽口あるいは炉壁粘土となる。当該地域では袋状装柄部や口金の引き合わせ部の鍛接に粘土汁が使われるが、1例を除いて鉄素材の加熱酸化による目減りを防ぐための粘土汁等の塗布の事例は確認しておらず、前述の諸事例でも行われていない。土製羽口の先端が溶解、炉内に滴下したものが「発泡滓」になったことは容易に想像できる。また、土製羽口を用いず送風孔を粘土製炉壁に穿孔する事例でも孔を中心に半径約10cmがガラス状に溶解する。ただし、その溶損状態はそれが大きく流れ出して炉壁を浸食している状況ではなく、多数排出されるガラス質発泡滓の素を粘土製炉壁の溶解物のみ限定できない。さらに注目すべきは、L1例の様な石製羽口・礫を炉壁に用いる事例でも同じように小形のガラス質発泡滓が生成されていることであろう。

粘土製炉壁に送風孔を穿孔した鍛冶炉を用いるPk例において、送風孔直下で形成した長軸11.9cm・短軸6.1cm・厚さ2.8cmの扇形の炉内滓を採集している。本資料は炉壁沿いで多数の粒状・大豆形が溶結し、さらに溶解が進行して一体化しつつある滓とみられ、表面は灰色皮膜状流動面に覆われ、上面中央が灰色

ガラス化している。その上面には5～8mm大の白灰色軽石状角礫が付着し、一部は溶解によって角がとれて大豆形になりつつある様相が看取される（写真5）。粘土製炉壁には角礫状に剥落した痕跡はなく、炉壁が白灰色角礫の供給源とは考えられない。ここで考えられる白灰色角礫の素材の候補としては、燃焼済み木炭片が崩れて灰粉になる前に固体のまま溶解・ガラス化したものがあげられ、粘土だけでなく木炭も粒状・大豆形のガラス質発泡滓の素のひとつになる可能性が高い⁵⁾。土製羽口ほど粘土溶解物を供給しないものの粘土製炉壁、そして石製羽口でも送風孔の周りはずかであっても溶解しており、微小な鉱物の溶解物が送風によって炉内に吹き込まれることで、須恵器・陶器の自然釉のように粘土鉱物と木炭灰分と反応し、「発泡滓」に類似した生成物が形成された可能性についても留意しておきたい。

4 遺跡出土「発泡滓」の生成要因

原遺跡出土「発泡滓」の金属学的分析結果におけるその主成分、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ の化合物の融点は1,165～1,260℃であることと微小な金属鉄粒が存在することは、「発泡滓」生成が高温の還元的環境下で進行したことを示唆する。このような還元的環境をもたらし維持するためには、熱源として安定して高温で燃焼する燃料が必要となろう。一般的に薪の燃焼は一時的に900℃に達することはあるが、水分や揮発成分などの不純物の影響で不安定に燃焼し、その影響がなくなる熾火状態に達すると安定して700～800℃で燃焼して灰になる。この木質の不純物をあらかじめ除去した木炭では着火後短時間で安定した高温で燃焼し、さらに強制送風による酸素供給を行うことによって1,000℃超が達成できる。つまり、鉱物が溶融して「発泡滓」が生成するような安定した高温環境を維持するには、燃料に木炭とその燃焼を促進する強制送風が必要と推測される。呼塚遺跡や根岸古墳群出土「発泡滓」の一部に表面が赤紫色を帯びている部分が認められることは、高温・還元環境下の炉内にあって酸素に触れる機会があったことを示唆しており、そこにも強制送風の存在を窺わせる。

「発泡滓」の出土が確認されるようになる弥生時代～古墳時代に木炭と強制送風を必要とする活動としては、鉄や銅などの金属やガラスの加工が想定されよう。特に銅（青銅）鑄造の場合、「発泡滓」が溶銅上に浮いた不純物による滓の可能性も考えられようが、その生成場所(遺構)や「発泡滓」以外の坩堝等関連遺物が未確認である現状ではそれを特定することはむずかしい。しかし、1例に過ぎないが金属学的分析で微小金属鉄粒が検出され、外観で酸化鉄状の付着物が見受けられる個体があるほか、呼塚遺跡のようないわゆる「拠点集落」跡だけでなく、根岸古墳群や川焼台遺跡のような台地・丘陵上に堅穴建物跡が散在する小規模な集落跡からも出土する状況証拠からは、ここであげた候補の中で当時最も生産活動に密着した手工業生産であろう、鉄器生産・鍛冶を最有力候補としてあげたい。今後、微小金属鉄粒や酸化鉄状付着物の具体的な由来を明らかにしていくことが必要となろう。

さらに、木炭と強制送風を用いる鉄器生産の場で「発泡滓」に類似した生成物が形成され、多数排出されることは民族事例で確認される。もっとも、民族事例では粘土よりも燃焼済み木炭灰分がその生成に大きく関与している可能性があり、このような違いがあるにもかかわらず単に外形が類似することを理由に考古資料と民族事例を比較することに対して批判的な見方もあろう。鉄器生産の民族事例では、粘土鉱物・木炭灰分のいずれも、あるいは両者が液化して界面張力で粒になり、さらに溶解が進むにつれて豆粒形、ブドウ房状・大豆形、さらに粒状・大豆形が溶結しながら「発泡滓」が生成する環境を具体的に提示することができた点は参照に値すると考える。そして、そこでは酸化防止用の粘土汁・藁灰の使用以外にも「発

泡滓」が生成しうる状況があることを明らかにしたうえで、それらがどのような操業方法で生成・排出されたのか、工人の行動までを類推した。

この仮定に基づいた場合、これまでは炉壁・羽口使用の形跡が認められていないが、粘土を耐火用に送風孔の周りに貼るなどした鍛冶炉が出土地点周辺に存在した可能性が出てこよう⁶⁾。民族事例においてもNw近傍の焼畑内出作小屋前での鍛冶操業で、礫を並べた炉壁の隙間に粘土を詰めて送風孔とした事例に遭遇している(写真6-1)。このような構造の炉で多数の「発泡滓」を生成し排出されたのは、その粘土の耐火温度が低かったこと、高温域が狭いために細かい「発泡滓」は生成するものの送風孔下に降下して炉底付近にまとまった炉内滓を形成するに至らずに送風孔周辺で滞留し、木炭の入れ替えによって排出されたと推測しておく。民族事例との違いは、狭い高温域が意図的・選択的につくられたものではなく、送風孔構造や送風機・燃料の性能などによる技術的限界によるものではなかろうか。このような狭い高温域の鍛冶炉での操業では、小形鉄器の製作あるいはピンポイントの加熱による焼入れを伴う修理が想定されよう。川崎山遺跡d地点3D住居跡から出土した針状の鉄器はそのような鍛冶操業による最終製品であったかもしれない。ただし、呼塚遺跡8次14号住居跡(6次3号住居跡)出土の三角～台形の板状「発泡滓」は、小形「発泡滓」が送風孔下で蓄積・溶結して形成されたものであり、微小な「発泡滓」生成環境と比べて相対的に高温でより広い高温域をつくっていた可能性を示すなど、「発泡滓」出土頻度の高さとあわせて当該遺跡の特異性を示すものかもしれない。

なお、念のために鉄鍛冶において薪を燃料とする民族事例を複数確認していることを付言しておく(写真6-2・3)。板バネや鉄筋など低炭素の鋼材の鍛打による変形(成形)だけであれば、強制送風によ



1 炉壁として並べた礫の間から送風する構造の鍛冶炉



3 薪と吹き筒による加熱で小鉄片に刃を付ける



2 薪の燃焼によるナタ成形段階の鍛冶



写真6 鍛冶操業の民族事例

る薪の燃焼でも可能であり、高価な木炭を節約するためしばしば用いられている。ただし、そのような操業でガラス質発泡滓などの炉内生成物が形成される事例は確認していない。また、薪による操業を行う鍛冶工人たちは、それを道具として使用するためには刃先など作業面を強化する焼入れ処理が必要であり、それは薪の燃焼ではできず良質な木炭による高温燃焼が不可欠であると認識している。

5 「発泡滓」のその後

冒頭で述べたとおり、房総半島では「発泡滓」が現れる弥生時代終末～古墳時代初頭には岩井安町遺跡・沖塚遺跡で精錬鍛冶が行われた痕跡が認められている。これらは炉内が高温で熔融するだけでなく、特に後者では炉内を充填するような大形炉内滓が形成されるなど炉内全体が高温化しており、木炭使用と強制送風の技術があったことを示している。しかし、このような大きな高温域をつくる精錬鍛冶技術と、その対極といえる「発泡滓」を生成するような狭い高温域を操作する鍛冶技術の関係については明らかでない。なお、房総半島では精錬鍛冶技術がその後、引き継がれた形跡は認められていない。

鍛錬鍛冶において鍛冶炉底付近で形成される緻密な炉内滓が房総半島で出土ようになるのは、高杯形土器の中空脚部を転用して羽口に用いるようになる古墳時代前期末～中期前半以降である（第8図）。このような鍛冶生成物の変化の要因は、転用といえども羽口の使用による炉中心への安定した送風、木炭性能、粘土の耐火温度などにかかる知識・経験の蓄積によって鍛冶炉内の高温域が前段階に比べて相対的に拡大、高温化が達成されるようになったことを反映していると推測する。精錬鍛冶滓を含む炉内滓を伴う沖塚遺跡では羽口本体は出土していないが、それを炉に固定したとみられる粘土塊が確認されている。また、古墳時代前期後半に羽口使用による鍛錬鍛冶を行った埼玉県山崎山遺跡の鍛冶工房跡から炉内滓が出土していることも、その相関性を窺わせる（青木ほか2010）。ただし、房総半島では羽口が使用されるようになる時期以降も六崎外出遺跡のように「発泡滓」が存続するとみられるが、高岡大山遺跡では緻密な鍛冶炉内滓の出土数量の増加に伴ってその出土数量は減少していく傾向が窺える。高岡大山遺跡のように「発泡滓」と緻密質鍛冶炉内滓が併存しながら入れかわるようなあり方もまた、「発泡滓」が鍛冶生成物である可能性を高めるものと考えられる。

川焼台遺跡では、弥生時代後期堅穴建物跡出土「発泡滓」以外に、古墳時代後期後半～飛鳥時代の遺構から多数の鍛冶炉内滓と土製羽口片が出土している。その中の堅穴建物跡481覆土中からまとまって出土した微小な粒状滓を含む38点の滓は注目される。この一群の滓は径2mmの灰色粒状滓から径5mmの豆粒状、それが溶結して長軸2～3cm大の金属的光沢をもつ滓に成長する過程が看取される（神野2016）。これは「発泡滓」と類似した滓の一連の成長過程をみせているのであるが、粒状滓の表面は金属的な光沢面に覆われ、破口に気孔・発泡がみられない緻密な質感を呈しており、「発泡滓」に比べてより高温環境下で鍛冶滓に成長していく姿であろう（第2図）。

6 おわりに

今回、鉄器生産の民族事例から「発泡滓」に類似する生成物が鍛冶炉内で形成されること、遺跡出土「発泡滓」の主成分の特徴により木炭と強制送風が使われた可能性が高いことから、遺跡出土「発泡滓」が鉄器生産・鍛冶にかかわること、その操業方法は狭い高温域を使う小形鉄器製作あるいは限定的な加熱による加工、そして特に焼入れが行われていたとして、従来よりも踏み込んで評価を試みた。

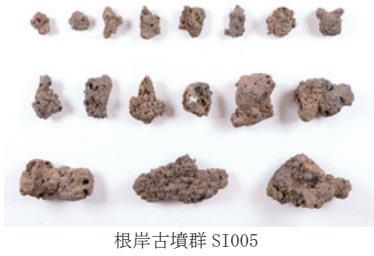
弥生時代終末期



古墳時代初頭



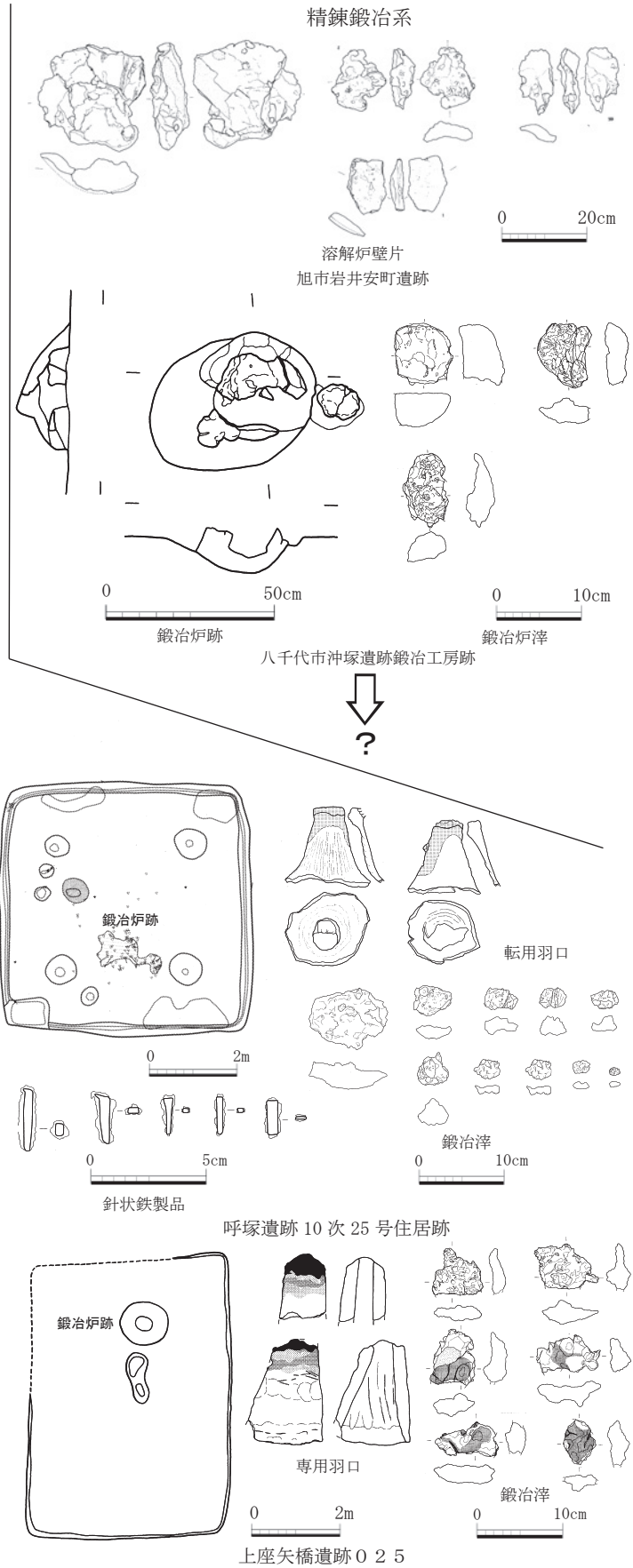
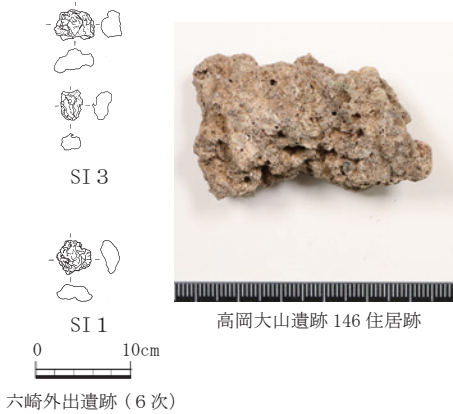
古墳時代前期前半



古墳時代前期後半～中期



古墳時代後期～飛鳥時代



第9図 房総半島における鍛冶痕跡変遷

現状において、これは単なる机上での推論にすぎない。例えば、本稿では一言で木炭の使用としたが、樹種や不純物除去のための炭化温度等製炭方法によってその性能は大きく異なり、それが「発泡滓」生成にどのように影響するか考慮していない。呼塚遺跡や根岸古墳群出土「発泡滓」に付く棒状圧痕が燃料の痕跡である可能性は高いが、その後の典型的な鍛冶炉内滓にみられる木炭痕に比べると細長すぎる点に疑問が残る。また、強制送風についても何ら具体的な方法・能力に言及できる状況になく、簡易な炉構造といえども炉壁・送風孔由来の遺物を伴わず、「発泡滓」のみまとまって出土する理由も説明できていない。さらに木炭の使用や強制送風の存在が想定されない縄文時代晩期の遺跡から「発泡滓」に類似した溶解物が出土していることも看過できない。市原市能満上小貝塚12号住居址の覆土及び柱穴の中から「不明発泡体」39点が出土しているほか⁷⁾、表面が高温で発泡・変形する土器片が出土している（忍澤1995）。これらの生成要因・環境は不明だが、木炭使用と強制送風がなくとも「発泡滓」が生成されうることを意味しているのであろうか⁸⁾。

「発泡滓」の評価は、生成場所や付随する遺物が確認されるまで待つべきという考え方もあろうが、偶然の賜物を期待してただ待つだけではもはや不十分と考える。本稿で取り上げた「発泡滓」の出土例はまとまって出土したため、発掘調査においてその存在が認識されたとみることができよう。まとまって出土することが「発泡滓」の特徴であるかは、まだわからない。それに対して遺跡内でこのような微小な「発泡滓」が単発的に生成され、少数が散布するように廃棄された場合、発掘調査でそれを認識し、サンプリングすることはむずかしくなろう。むしろ、呼塚遺跡のように複数の遺構から多数の「発泡滓」が集中して出土することの方が特異であり、そこに呼塚遺跡の特殊性のひとつが表れているのかもしれない。このような課題に対して本論のような状況証拠の積み上げによる推論は、今後の遺跡調査においてより積極的に類例を探索し、新たな視点で評価されるようになるためのひとつの契機とすることを目的としている。

「発泡滓」を鉄鍛冶関連遺物とした場合、このような明確な痕跡をみせない鍛冶は、炉跡と多種多様な生成物を残す鍛冶に比べて技術レベルのきわめて低い、ごく小さな「自給自足的」活動とする評価もあろう。しかし、筆者は当時の鉄器の供給・流通・使用の根元を支えたのはこのような「痕跡のみえにくい鍛冶」であり、鉄器普及の初期段階を論じる上でその実態解明が必要不可欠と考える立場である。ここで示した推論の検証を通じて⁹⁾、いくらかでもその解明に向けて進むことを期待しており、その結果、本推論が的はずれと批判されたとしてもそれを甘受するものである。

本稿の執筆に伴う資料実見・撮影等に当たり、柏市教育委員会、佐倉市教育委員会、千葉県教育委員会、八千代市教育委員会、高城大輔氏、高梨俊夫氏、松田富美子氏、宮澤久史氏、宮下聡史氏より多くの御協力をいただきましたことを記して感謝申し上げます。

註

- 1 古墳時代の鉄器生産体制を小規模で自給的なタイプと大規模で組織的なタイプに大別した古瀬清秀は、前者では滓が「ほとんど生成されないか、あってもごくわずかで鉄分の少ない軽いガラス質」と重要な指摘をしているが（古瀬1991：41）、残念ながらその具体像は示されていない。なお、ここでは明示されてはいないものの、これは古瀬自身が伝統的鍛冶の観察を通して認識したものであろう。
- 2 近年は工業製品の鋼製鉄器が普及し、新品鉄器供給における在地鍛冶の役割は低下しているが、その修理等鉄器の維持・管理において現在も一定の役割を担っている（神野2009ほか）。
- 3 送風孔前に狭い高温域をつくる鍛冶操業では、送風孔直下に小形の三角形・舌状・弧状の滓が形成されることがあり、筆者は便宜的に「小三角滓」と呼称している（神野2023）。これは刃先修理・焼入れを連続して行う時に生成される場合

が多く、滓が炉底で大きく成長する前に排出されたものであることを民族事例で確認している（別稿準備中）。

- 4 1963年以降途絶していたラオス北部の鉄製錬技術が2014年に再現され（神野2011）、その生成物の一部を対象に金属学的分析を行った。その中で燃焼済み木炭層中から採取した粒状滓のX線回析分析を実施したところ、主成分はカルシウム（Ca）48.6%・ケイ素（Si）21.6%・鉄（Fe）14.5%であり、主な素材は木炭灰分の可能性がある（平成23年度科学研究助成（奨励研究）23905009）。
- 5 民族事例の「発泡滓」が遺跡出土「発泡滓」よりも表面のガラス化が顕著にみえるのは、炉内温度だけでなく木炭灰分の影響の違いによるものの可能性がある。
- 6 呼塚遺跡8次14号住居跡（6次3号住居跡）に隣接する6次4号住居跡からは、火災によって焼結したと思われる掌で握った痕跡のある粘土塊がまとまって出土している（筆者が現物確認）。このような粘土が何のために用意されていたのか、鍛冶炉構築材の可能性も視野に入れておきたい。
- 6 資料は実見していないが、報告書掲載図版を見る限り「発泡滓」に類似する粒状溶解物である。
- 7 原遺跡以外の「発泡滓」出土遺構は火災で上屋が焼失した形跡は認められるが、炭化材が灰化することなく残存するなど、同時期の他の上屋焼失遺構に比べて特に高温・長時間燃焼した状況は見受けられない。
- 8 検証手段のひとつとしては実験があり、これまでも鍛冶操業の実験において「発泡滓」に似た生成物の報告例が見受けられるが（交野市教育委員会2002）、それらの実験は炉底滓が形成される段階の炉構造・操業方法を対象としている。今後、「発泡滓」生成の環境復元を目的とした実験が行われることが期待される。

引用・参考文献

- 青木秀雄ほか 2010『山崎遺跡・山崎山遺跡』宮代町教育委員会
- 井上文男 2003『呼塚遺跡』柏市教育委員会
- 大賀健ほか 2008『千葉県柏市呼塚遺跡第10次調査報告書』有限会社勾玉工房Mogi
- 大鷹依子 1994『八千代市沖塚遺跡・上の台遺跡他』財団法人文化財センター
- 小川将之ほか 2022『前ヶ崎川村台遺跡』（株）地域文化財研究所
- 大澤正己・鈴木瑞穂 2010「原遺跡出土微細ガラス質滓の分析調査」『原遺跡（第1次・2次）』柏市教育委員会
- 忍澤成規 1995『市原市能満上小貝塚』財団法人市原市文化財センター
- 交野市教育委員会 2002『古墳時代の鉄製錬・鍛冶再現実験記録』（真鍋成史編著）
- 加納実ほか 2011『首都圏中央連絡自動車道埋蔵文化財調査報告書12』財団法人千葉県教育振興財団
- 神野信 2009「鉄器文化の交わる場所」『タイ文化圏の中のラオス』慶友社
- 2011「ラオス北部における伝統的鉄製錬技術の再現」『東邦考古』35 東邦考古学研究会
- 2016「房総における古墳時代鉄器生産関連資料について」『東邦考古』40 東邦考古学研究会
- 2023「市原市今富遺跡出土鉄器生産関連資料について」『研究連絡誌』第89号 公益財団法人千葉県教育振興財団
- 2024「佐倉市高岡遺跡群の鉄器生産関連資料（1）－高岡大山遺跡における出土状況の検討－」『研究連絡誌』第91号 公益財団法人千葉県教育振興財団
- 2025「佐倉市高岡遺跡群の鉄器生産関連資料（2）－高岡大山遺跡における鉄器生産の復元－」『研究連絡誌』第93号 公益財団法人千葉県教育振興財団
- 齋藤武士ほか 2008『呼塚遺跡8次調査報告書』柏市教育委員会・有限会社勾玉工房Mogi
- 白崎智隆ほか 2010『原遺跡（第1次・2次）』柏市教育委員会
- 末武直則 1989『上座矢橋遺跡』財団法人印旛郡市文化財センター
- 常松成人ほか 2003『川崎山遺跡d地点』八千代市遺跡調査団
- 野島永 1992「破碎した鑄造鉄斧」『たたら研究』32・33号 たたら研究会
- 古瀬清秀 1991「鉄器の生産」『古墳時代の研究5生産と流通Ⅱ』雄山閣出版
- 松田富美子ほか 2024『千葉県佐倉市六崎外出遺跡（第6次）発掘調査報告書』佐倉市教育委員会
- 村上恭通 1992「吉野ヶ里遺跡における弥生時代の鉄製品」『吉野ヶ里』佐賀県教育委員会
- 2007『古代国家成立過程と鉄器生産』青木書店