

静岡県埋蔵文化財センター

研究紀要

第6号

2017

研究ノート

- 遠江の無袖横穴式石室と埋葬に関する検討 (1)
田村 隆太郎

- 鉄製品を考える —その1 鉄の基本物性について— (13)
大森 優宏

資料紹介

- 磐田市上神増E 2号墳出土三葉環頭大刀について (19)
大谷 宏治 大森 優宏

序

静岡県埋蔵文化財センターは、昨年10月に静岡市駿河区谷田から静岡市清水区蒲原へ移転し、1年が経過しました。

県民の歴史的・文化的資産である文化財を保護し【守る】、地域固有の文化に対する誇りと愛着をもつ県民意識を醸成し【育てる】、文化財の価値を未来へ継承する【つなげる】、この「守る・育てる・つなげる」をコンセプトとして、県内各地に所在する埋蔵文化財の発掘調査、出土品の保存処理、出土品と調査記録の管理、埋蔵文化財と歴史文化に関わる普及公開に取り組んでおります。

新しいセンターでは、分散保管していた出土文化財の保管庫を集約して管理の向上に努め、新設した展示室での常設展示並びに巡回展での活用を図っています。また、講座（「考古学セミナー」「遺跡調査報告会」「歴史講演会」）、古代体験（「体験授業・出前授業」「フェスティバル」）の普及活動も実施しており、県民の皆様に親しんでいただける施設にしていく所存です。

さて、研究紀要も第6号を刊行することができました。研究紀要是、当センター職員の専門分野における研究活動の一端を発表するものであり、当センターの情報発信の一つの柱です。発掘調査の結果を、調査報告書とは視点を変えて考察することで、皆様に新たな埋蔵文化財の情報を提供できるのではないかと考えております。今後も、発掘調査成果を県民の皆様に広くお伝えできるよう努力してまいります。

日頃の発掘調査業務をはじめ、今回の研究活動に御理解・御協力いただいた方々に厚くお礼申し上げますとともに、本書が広く活用され、歴史、文化に関わる研究に資することができれば幸いです。

平成29年12月

静岡県埋蔵文化財センター所長 酒井 敏明

目 次

序 酒井 敏明

研究ノート

◇遠江の無袖横穴式石室と埋葬に関する検討 田村 隆太郎 (1)

◇鉄製品を考える —その1 鉄の基本物性について— 大森 信宏 (13)

資料紹介

◇磐田市上神増E 2号墳出土三葉環頭大刀について 大谷宏治・大森信宏 (19)

【研究ノート】

遠江の無袖横穴式石室と埋葬に関する検討

田村 隆太郎

要旨 筆者は前号（田村2016b）において、駿河東部の6世紀代の横穴式石室を対象として、床面や副葬品等の出土状況を分析し、石室内における埋葬等の利用状況について検討した。駿河東部の横穴式石室は無袖の形態に限られるが、間仕切石や縦敷きの違いによって奥側と前側を区分している場合が多く認められ、利用状況も異なることがあるから、埋葬上の機能と関連した石室空間の区別が広く普及していた可能性を考えた。また、2体が隣接して埋葬されている場合があること、頭頂を前に向ける場合があることなどを確認した。

本稿では、遠江の6世紀代の無袖の横穴式石室を対象として、同様の検討を行った。残存の良い資料が少なく課題も多く残したが、埋葬主体や副葬品の配置に駿河東部と共通した状況が指摘できる一方、空間区分の表示が不明瞭であり、土器群の副葬に影響している可能性などを示すことができた。

キーワード：古墳時代後期 遠江 無袖の横穴式石室 墓葬 評議 碑文 石室空間の区分

1 はじめに

無袖の横穴式石室 遠江では、6世紀前葉（註1）に横穴式石室の導入が認められ、その後、多様な形態の横穴式石室が展開する。そのなかには無袖の横穴式石室もあり、定形化したものは6世紀後葉以降の群集墳に多く導入されている。無袖の横穴式石室は比較的下位の階層に評価されるが、豊穴系横口式石室などの系譜関係のほか、三河の影響による擬似両袖式石室との連動性、玄門立柱石や石室外の石積み入り構造にみる他形態との融合などの評価が注目される。

以上は、鈴木敏則の形態分類と変遷の研究（鈴木敏1988）、鈴木一有の各形態の系譜と展開を示した研究（鈴木一2000）によるところが大きい。また、各地域の検討や無袖の横穴式石室に関する検討も進められてきた（静岡県考古学会2003、田村2010）。

埋葬に関する検討 筆者は、無袖のみが展開する特徴的な駿河東部の横穴式石室について、床面や副葬品等の出土状況から、石室空間内における埋葬等の利用状況について検討した(田村2016b)。

その結果、石室の奥から2~3mまでを間仕切石や礎敷きの違いによって区分し、奥側は埋葬主体とそれに近い品々の配置、前側は奥への出入りと被葬者から離れた土器等の配置に利用する傾向がうかがえた(註2)。また、1~2人目のお葬主体が隔壁する場合や頭位を前方に向ける場合があることも

確認した(図1)。

駿河東部においては、横穴式石室の導入当初から埋葬機能に関連した空間区分があり、広く普及していた可能性が指摘できる。ただし、その系譜や導入経緯については、他地域との比較検討なども必要になる。

2 目的と方法

前述の諸経緯から、本稿では遠江に分布する無袖の横穴式石室を対象として、埋葬方法と石室空間の構造、埋葬時の空間利用の状況について確認したい。

検討の方法は、駿河東部における検討（田村2016b）と同様に、横穴式石室が出現してから広く群集墳に導入される6世紀代を対象として、主に石室内の区分と埋葬主体の位置、副葬品の配置に注目する。ただし、遠江では石室床面および副葬品等の状況が良好に把握

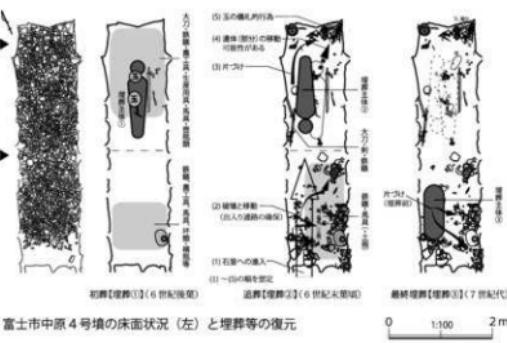


図1 駿河東部の横穴式石室と埋葬等に関する例

できる古墳が少ないとから、残存の悪い古墳も含めて概観することとする。なお、地形および古墳分布の違いから牧之原台地以東（大井川流域）は除く（図2）。

3 各古墳の状況

（1）6世紀前葉～中葉

遠江において、6世紀前葉～中葉は横穴式石室が出現する時期にある。無袖の横穴式石室は、横穴群地帯である東遠江を除く範囲に分布するが、点としており、石室形態もそれぞれ異なる特徴をもつ。これらは、群集場において定形化する前の段階として把握することができ、その中には積石塚との関連が考慮される古墳もある。

天神山3号墳（図3、湖西市1983） 径約10mの円墳であり、盛土中に多くの割石が混在する。約4.6×0.8m（註3）の横穴式石室を埋葬施設とし、前寄りに竪穴系横口式石室の特徴である段構造を備える。床面について、奥寄りは盜掘により失われているようであるが、その他は概ね全面に礫床が認められる。石室内の区分を示すような礫の違いなどは把握できない。一方、側壁の基底石の置き方に奥半部と前半部の違いを認めることができる。

副葬品等の残存は非常に悪く、埋葬主体の位置や姿勢、副葬品配置は復元できない。一方、段構造に面した範囲に須恵器の壺類6点と高壺、壺が検出されてお

り、石室前寄りにおける壺類主体の副葬土器群を認めることができる。なお、石室外からも須恵器の壺類14点を含む土器が出土している。

辺田平12号墳（図3、浜北市2000） 径約7mの円墳であり、約3.3×0.7mの埋葬施設をもつ。この一帯には5世紀から続く積石塚群があり、12号墳の埋葬施設も円礫を多用した竪穴系埋葬施設と同じ系譜にあると判断できるが、一方の小口に横口の構造を指摘することができる。床面は、閉塞部分を除く全体に礫床が認められる。

石室内から玉類と鉄刀、鐵鏃、刀子が出土しているが、撲乱からの出土である。土器は、須恵器の壺類3点が石室外から出土している。埋葬施設の規模からみても土器の副葬は認め難い。

上神増E古墳群（図3、静岡県埋2010） 7号墳と10号墳について、いずれも径10m強の円墳であり、埋葬施設は横口構造を伴う石室の可能性が指摘できる。ただし、両古墳の埋葬施設の特徴は異にしている。残存状態が悪く、礫床などの状況は把握し難い。

7号墳では、石室奥寄りに玉類、中央前寄りに鐵鏃の出土があり、頭位を奥に向けた埋葬主体が推測できる。石室覆土から須恵器の壺の破片が出土しているが、副葬されたものかは判断できない。石室外では須恵器の壺類8点と短頸壺、提瓶2点が出土している。10号墳では、石室覆土から玉類と須恵器の壺蓋1点、高壺

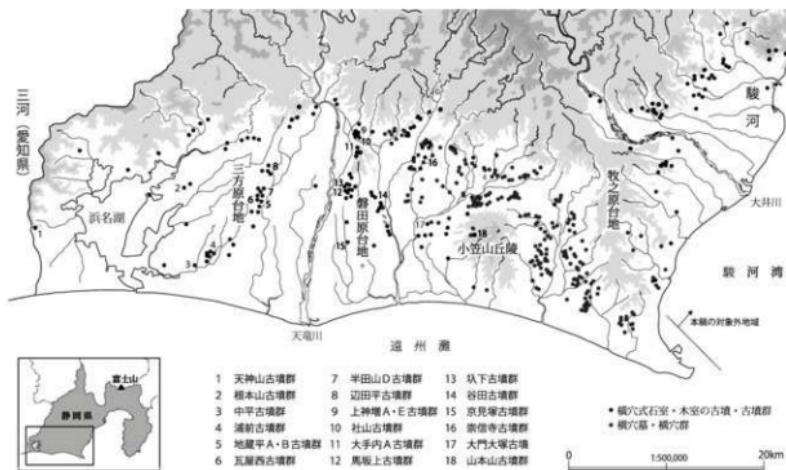


図2 対象古墳の位置

1点が出土しているが、埋葬主体の姿勢や副葬状況は復元できない。石室外から須恵器の环類7点と高环、鉢の出土がある。

崇信寺10号墳（図3、森町1996） 径22mの円墳であり、約5.0×1.2mの横穴式石室を埋葬施設とする。短小の入口構造が左片袖の位置に付き、段構造を伴う。礫床は、奥から約3.5mまでの範囲に検出され、前寄り約1.5mは疊らになるが、境界は不明瞭である。礫床内における区分等は把握できない。

礫床範囲の中央部において、右側に刀剣があり、切

先を前方に向けていることから、頭位を奥に向かた埋葬主体があった可能性が指摘できる。調査報告では盗掘の可能性も指摘されているが、鐵劍や金銅装馬具、玉類が礫床前寄りを中心に散在した状態で出土している。土器は、石室上からの破片の出土に限られる。

大門大塚古墳（図3、袋井市1987） 径26mの円墳であり、約3.8×1.6mの横穴式石室を埋葬施設とする。河原石を多用した赤彩のある石室であり、無袖で床面が開口方向に上がる可能性も指摘されている。しかし、破壊などが著しく、形態や構造の詳細は判断し難い部

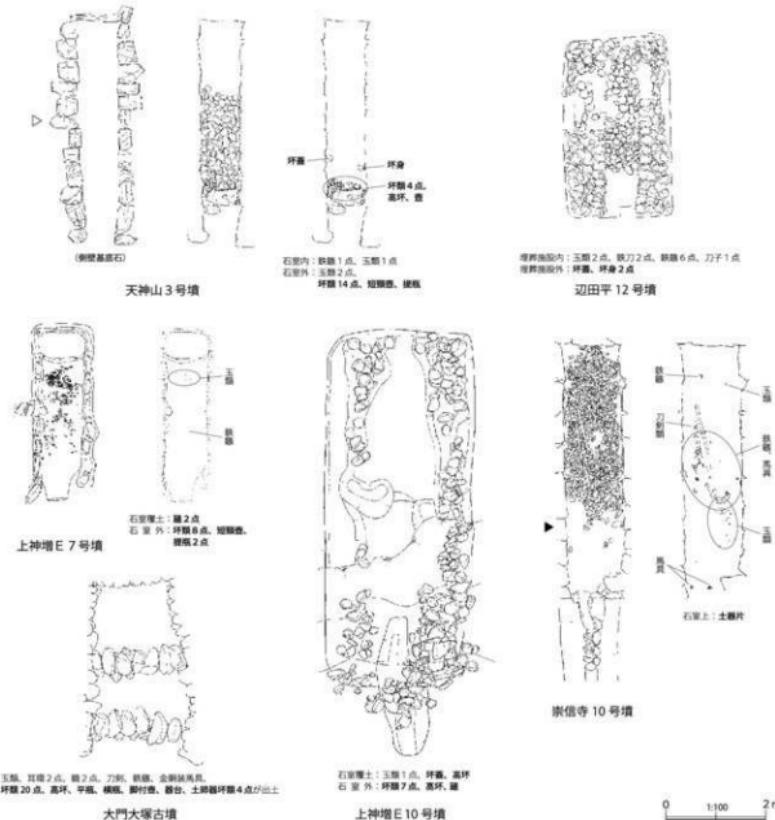


図3 各古墳の状況1

分が多い。

金銅装馬具や刀剣、空玉やトンボ玉などの玉類のほか、器台を含む多くの土器が出土している。しかし、出土位置の詳細は不明である。

(2) 6世紀後葉～末葉

遠江において6世紀後葉～末葉は、群集墳の形成が認められ、横穴式石室が広く採用される時期にあたる。片袖式、両袖式、擬似両袖式のほかに無袖式の横穴式石室があるが、無袖式は規模が小さく、墳丘や副葬品の内容からみても比較的下位の階層に位置づけられる傾向にある。ただし、群集墳内の位置において、常に他形態の古墳に從属するものとして存在したわけではなく、単位群ごとに採用される石室形態の一つとして無袖式の系譜が存在していたことがわかる。

なお、平面形が胴張りになるものや玄門に立柱石を設けたものなど、擬似両袖式との関係がうかがえる石室があるほか、差道とは異なる幅狭短小の入口構造（天井のない石積み入口構造）をもつ石室もある。

ア 浜名湖東岸・佐鳴湖西岸

根本山A 4号墳（図4、静岡県教1968） 径約12mの円墳であり、約7.9×1.6mの横穴式石室を埋葬施設とする。ただし、閉塞部分（前寄り約2m分）の側壁は底面が高くなり、小さな石が用いられていることから、石室に付属する入口構造である可能性も考慮される。床面について、礫床は奥から約3.8mまでを範囲とし、その前方に閉塞石まで約1.3mの間がある。さらに、礫床内において、前寄り0.9m付近を境にした礫の大小の違いを把握することができる。なお、礫床前端付近の左側壁において、2段目の石が縦に積み置かれている。

礫床の奥寄りから鉄刀片、刀子、鐵鎌と玉類の出土がある一方、中央よりやや前寄りに耳環2点が出土している。耳環の出土位置から、初葬もしくは追葬において頭位を前にした埋葬が行われた可能性も考慮される。ただし、副葬品の出土状況は散在的であり、後世の擾乱が把握できることから、埋葬時から大きく移動している可能性も否定はできない。

土器については、前端部右肩に須恵器の壺蓋2点、壺1点、提瓶1点が副葬されている。礫床のある奥側に埋葬主体等を配置し、礫床のない前端部には儀礼に用いた土器を配置した可能性が指摘できる。

根本山E 3号墳（図4、浜松市文1988） 径約12m

の円墳であり、約5.0×1.4mの横穴式石室を埋葬施設とする。礫床は奥から約4.3mまでを範囲とし、その前方に閉塞石まで約0.7mの間がある。礫床内における区分は把握できない。

副葬品の出土は後世の擾乱を受けた散在的なものであり、埋葬主体の姿勢や副葬品配置の詳細を復元することは難しい。土器について、石室内では壺の小破片が出土しただけである。周溝などの石室外からは、須恵器の壺類7点以上と高杯、壺などのほか、土師器の高杯や甕が出土している。

中平古墳群（図4、浜松市教1982） 6号墳と7号墳をあげることができるが、いずれも墳丘は残存せず、埋葬施設の残りも悪い。6号墳の横穴式石室は、約6.5×1.7mと長大である。側壁がほとんど残っていないために判断し難いが、擬似両袖式の可能性も指摘できる。7号墳は約4.5×1.6mの横穴式石室を埋葬施設とする。いずれの石室も礫床が検出されており、前寄り1m前後の範囲を除いて施した可能性が指摘できる。

玉類や鉄製品は、石室覆土中から散在した状態で出土している。出土位置の詳細も不明のため、埋葬主体の姿勢や副葬品配置は復元できない。土器について、6号墳の石室覆土や7号墳の墓道覆土から須恵器片や土師器片が出土しているが、石室内に副葬されていたかは不明である。いずれの古墳においても、周溝などの石室外から須恵器の壺類多数と壺瓶類などが出土している。

浦前III 1号墳（図4、浜松市文1992a） 径約10mの円墳であり、約5.0×1.3mの横穴式石室を埋葬施設とする。規模は大きくないが、側壁の残存がなく、擬似両袖式であった可能性も考慮する必要がある。礫床は主に石室奥半の約2.5mの範囲に検出されているが、前半部でも若干の検出があり、本来の礫床範囲を断定することは難しい。

礫床が残る奥半部において、奥寄りに玉類、奥から中央部に耳環4点、前寄り左右それぞれに刀子、両頭金具が出土している。鐵鎌は各所に散在し、鉄刀は破片の出土である。耳環や刀子の出土状況から左右に隣接する埋葬主体があった可能性も考慮されるが、後世の擾乱が大きいことから評価し難い。土器は、石室内では小破片のみの出土であり、石室外から壺類と壺が出土している。

イ 三方原台地東縁部

地蔵平A・B古墳群（図5、浜松市文1992b） A 11

号墳とB1号墳が該当し、A62号墳も無袖の可能性がある。いずれも径10m前後の円墳である。A11号墳は約4.0×1.1m、B1号墳は約2.9×1.0mの横穴式石室を埋葬施設とする。残存状態は良くないが、床面の大半に碌床が施されたことがわかる。A62号墳も径約12mの円墳であるが、約5.0×1.3mの長い横穴式石室

を埋葬施設とする。床面は中央奥寄りが大きく失われているが、その他は全体に碌床が検出されている。

玉類や鉄製品の出土は搅乱された状態であり、出土位置の詳細も不明のため、埋葬主体の姿勢や副葬品配置の復元は難しい。B1号墳とA62号墳の石室内からは土器も出土しているが、状況は同様である。一方、

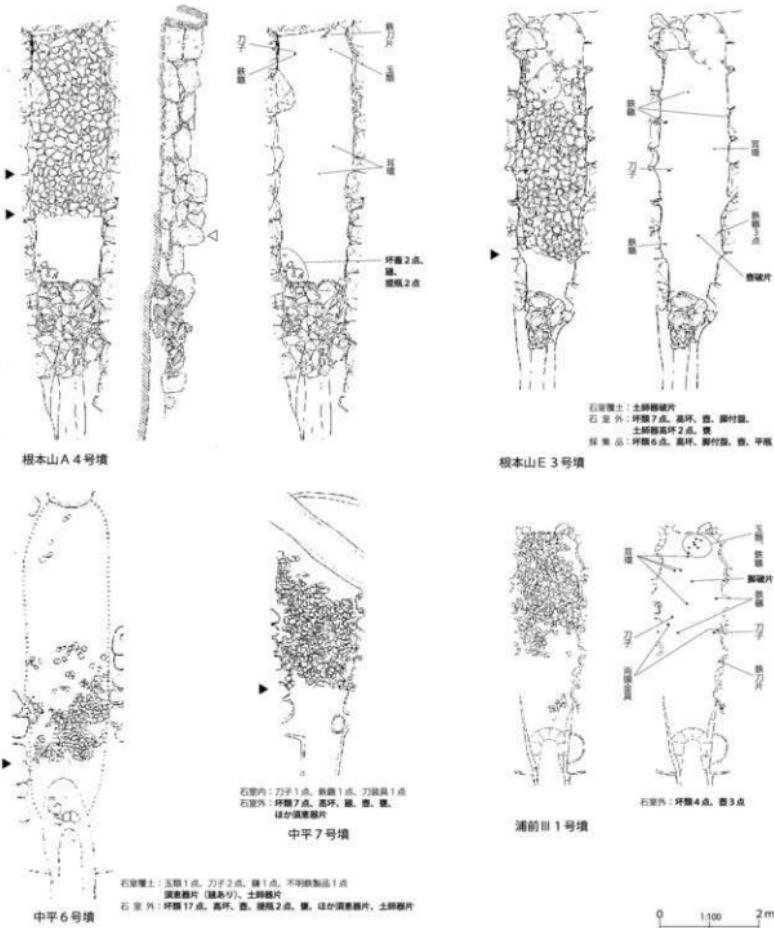


図4 各古墳の状況2

各古墳の墓道や周溝からは、須恵器の坏類多数と壺などが出土している。

瓦屋西B 4号墳（図5、浜松市教1991） 径約9mの円墳であり、約4.1×1.3mの横穴式石室を埋葬施設とする。残存は良くないが、礎床が全体に施された状況が把握できる。礎床内の区分は把握できない。

石室奥部に玉類が分布し、前寄り左右両側に鉄鎌や刀装具などが出土している。鉄製品を中心に搅乱などによる乱れも指摘できるが、玉類の出土分布から頭位を奥に向かって埋葬主体があった可能性が考慮される。

さらに、石室前端の左側に須恵器の坏身1点と坏蓋1点が出土しており、土器の副葬状態を確認することができる。なお、墓道や周溝などの石室外からは、坏類や高坏などと土師器の甕が出土している。

瓦屋西C 6号墳（図5、浜松市文1991） 径約10mの円墳であり、約4.6×1.0mの横穴式石室を埋葬施設とする。胴張りが明確な平面形と玄門立柱石の存在が特徴的である。しかし、全体的に石室の残存は悪い。礎床はほとんど検出されていない。

石室前端部から鉄刀片や鎌、鉄鎌、馬具が出土して

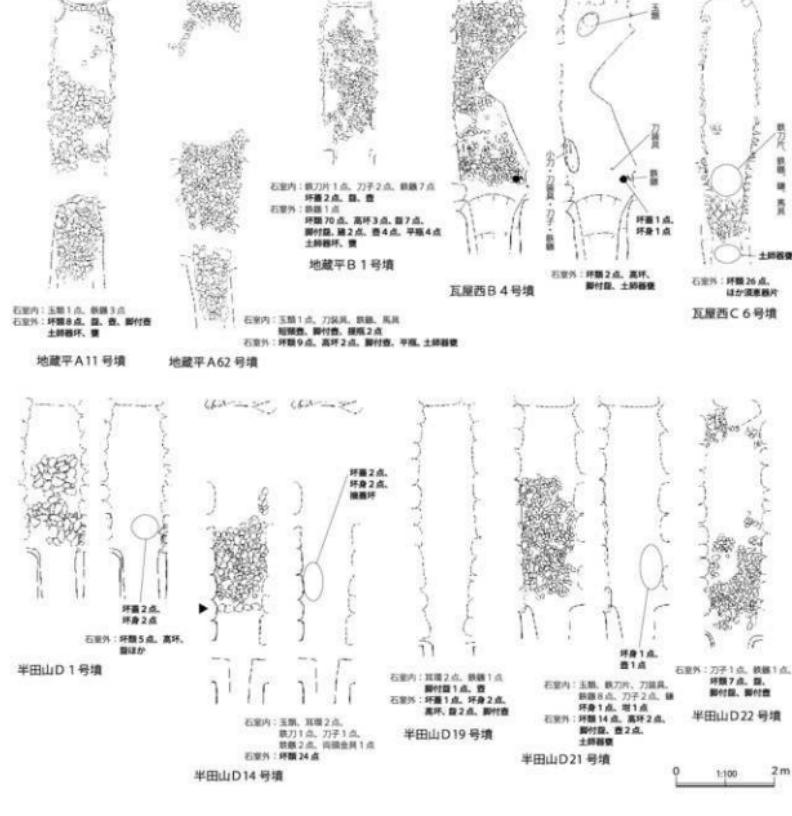


図5 各古墳の状況3

いる。土器は、閉塞石の外側から土師器の甕、墓道や周溝から須恵器の壺類26点などが出土している。

半田山D古墳群（図5、浜松市教1988） 1号墳、14号墳、19号墳、21号墳、22号墳が該当する。径10～12mの円墳であり、長さ3～5m、幅1m強の横穴式石室を埋葬施設とする。いずれの石室も床面を含めて撹乱が著しい。14号墳では、前寄り1m付近に大きめの礫が並び、その奥側に礫床を施した状況が指摘できる。一方、1号墳や21号墳、22号墳では、石室前端部付近にまで礫床が及んでいる。

副葬品の出土は撹乱された状態であり、出土位置の詳細も不明のため、埋葬主体の姿勢や副葬品配置の復元は難しい。1号墳や14号墳、21号墳の石室前寄りからは、須恵器の壺類などが出土している。ただし、14

号墳と21号墳については、追葬に伴う可能性が指摘できる。19号墳の石室内からも土器の出土があるが、出土位置の詳細は不明である。一方、各古墳の石室外からは、須恵器の壺類多数などが出土している。

ウ 磐田原台地北部

上神増A 5号墳（図6、静岡県埋2010） 中期古墳である径14mの円墳の墳丘に、約4.5×1.4mの横穴式石室が構築されている。残存状態が非常に悪いが、後述の大手内A 6号墳に類似した形態であった可能性が指摘できる。床面は、概ね全体に板石を敷いていた状況が把握できる。奥から約2.4mを境にして、板石の大きさが異なっているが、明確な区分であったかは判断し難い。

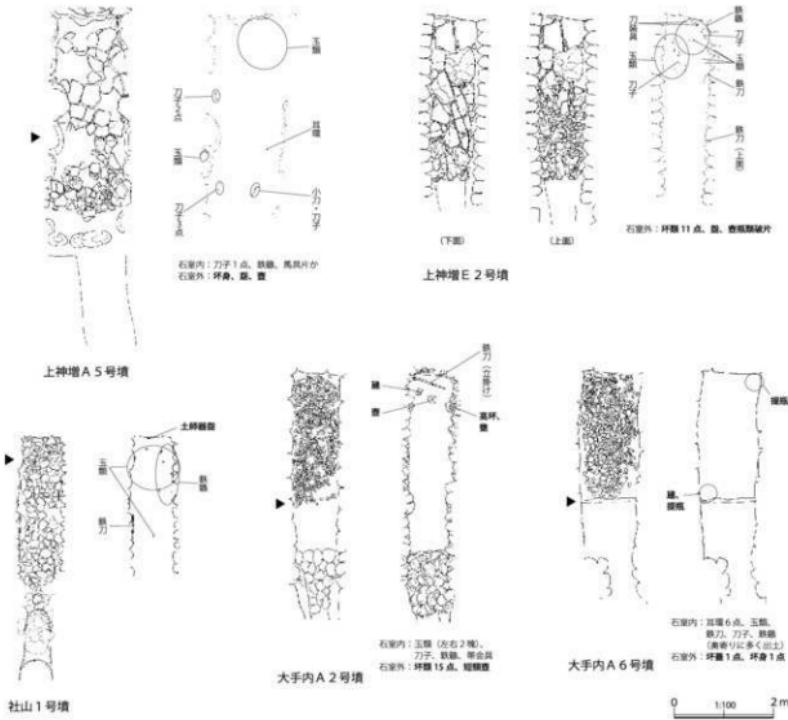


図6 各古墳の状況4

副葬品の多くは、搅乱により散在した状態で出土している。しかし、石室奥寄りの玉類の分布については、埋葬時の位置を反映している可能性もあり、石室奥半部に頭位を奥に向けた埋葬主体があったと推測できる。土器については、墓道から須恵器の壺身や壺などの破片が出土しているのみである。

上神増E 2号墳（図6、静岡県理2010） 径約12mの円墳であり、約3.8×1.0mの横穴式石室を埋葬施設とする。地割れによって石室が大きく崩壊していたが、盗掘や人為的な破壊は認められなかった。床面は2面あり、下面是閉塞部分を除く全体に板石が敷かれ、上面は石室中央から前半部に疊床が施されている。板石について、前寄りに比べて奥寄りの方が大きい石を用いている。上神増A 5号墳と共に通する特徴ではあるが、その境界は明確なものではない。

下面では、奥半部に多くの副葬品が出土している。左奥隅付近を中心に多くの鉄鏃や刀装具、刀子、その前方右側を中心多くは玉類と刀子が出土している。左側には切先を前に向けた鉄刀があり、石室奥半部に頭位を奥に向けた埋葬主体を推測することができる。また、副葬品は全体的に乱されたような出土状況にあり、追葬時の片づけなどの影響も考慮される。下面において複数の埋葬があった可能性も否定はできない。

上面においては、石室前寄りの左側に切先を奥に向けた鉄刀が出土している。刀剣類は被葬者の傍らに置かれることが多いことから、石室前半部に追葬の埋葬主体があり、頭位を前方に向けていた可能性が指摘できる。

土器は石室内からの出土ではなく、墓道などから須恵器の壺類11点や壺瓶類などが出土している。

社山1号墳（図6、豊岡村1983） 径約9mの円墳であり、約3.9×0.9mの横穴式石室を埋葬施設とする。床面は全体に疊床が検出されているが、奥から約0.5mまでの範囲には小さい砾が用いられている。

石室奥部には土師器の盤、その前方に玉類の分布、中央部の右側には切先を前方に向けた鉄刀、左右両側などに鉄鏃が出土している。埋葬主体の数は判断し難いが、頭位を奥に向けた埋葬主体の存在を指摘することができる。

大手内A 2号墳（図6、豊岡村2000） 径約11mの円墳であり、約4.2×0.9mの横穴式石室を埋葬施設とする。床面は、奥から約2.6mまでの範囲に疊床があり、疊床範囲の前方には閉塞石まで約1mの間がある。疊床内の区分は把握できない。

石室奥部に鉄刀が立て掛けられており、その前方に須恵器の高杯、巣、壺、甕が出土している。鉄鏃や刀子の出土もある。玉類が左右2箇所にかたまって分布することが報告されており、左右2つの埋葬主体があった可能性を指摘することもできる。なお、周溝等の石室外からは、須恵器の壺類15点と短頸壺が出土している。

大手内A 6号墳（図6、豊岡村2000） 中期古墳である一辺約19mの方墳の埴心中に、約3.8×1.2mの横穴式石室が構築されている。この石室には、右片袖の状態に幅狭短小の入口構造が付く。床面は、奥から約2.6mまでの範囲に疊床があり、その前方には約1.2mの間がある。なお、左側壁の基底石の高さも同じ位置で変化している。疊床内に明確な区分は把握できないが、前寄りに大きな砾が比較的多い。

石室内から耳環6点や玉類、鉄刀、刀子、鉄鏃が出土しているが、出土位置の詳細は明らかではない。疊床範囲の左奥隅から須恵器の提瓶1点、右前隅から須恵器の壺1点と提瓶1点が出土している。右前隅の土器については、追葬に伴う可能性が指摘できる。耳環の数からみても複数の埋葬があったことは明らかであるが、埋葬主体の姿勢や副葬品配置の詳細は復元し難しい。なお、墓道からは須恵器の壺蓋1点と壺身1点が出土している。

二 磐田原台地中南部

馬坂上16号墳（図7、磐田市1998） 径約11mの円墳であり、約5.0×1.2mの横穴式石室を埋葬施設する。この石室には、右片袖の状態に幅狭短小の入口構造が付く。床面について、掲載した図は昭和45年の第2次調査の状況であり、昭和35年の第1次調査では全体に疊床が認められている。疊床内の区分は把握できない。

石室奥寄りから、玉類や鉄製品が出土している。土器は、石室奥部から須恵器の提瓶2点、中央付近から須恵器の壺類7点や壺など、前端部から須恵器の壺蓋1点、壺身1点、提瓶1点が出土している。玉類などの出土分布によって、少なくとも奥半部に埋葬主体があった可能性が考えられる。なお、石室中央の土器群がある位置の両側壁において、基底石の大きさに変化が認められる。推測の域を出ないが、側壁構築において奥半部と前半部の別が意識されていた可能性も考慮される。なお、石室外からは須恵器の壺蓋1点、壺身1点と甕が出土している。

杣下1号墳（図7、磐田市1979） 径約10mの円墳であり、約4.9×1.1mの横穴式石室を埋葬施設とする。床面は、奥部と中央部に疊床が検出されているが、空白域との境界は明確ではない。

耳環4点や玉類、刀装具、鉄鎌が出土しているが、石室内に散在した状態であり、埋葬主体の姿勢や副葬品配置の復元は困難である。土器は、石室中央奥寄りの左半部に須恵器の环頸11点と高环1点、盃1点、平瓶2点、石室右前の閉塞石と接する位置に須恵器の环が出土している。前者については、まとまった土器群

の副葬として把握できる。なお、石室外からは須恵器の环頸4点と高环、甕2点、提瓶が出土している。

谷田4号墳（図7、磐田市1973） 径15mの円墳であり、約5.0×1.2mの横穴式石室を埋葬施設とする。床面は、全体に疊床が施されている。明確な区分とまではいえないが、奥から1.5～3mの範囲に大きめの疊の使用を把握することができる。

鉄刀や刀子、鉄鎌が出土しているが、石室内に散在した状態であり、埋葬主体の姿勢や副葬品配置の復元は困難である。石室前寄りの右側に須恵器の环身、高环、甕、提瓶、平瓶

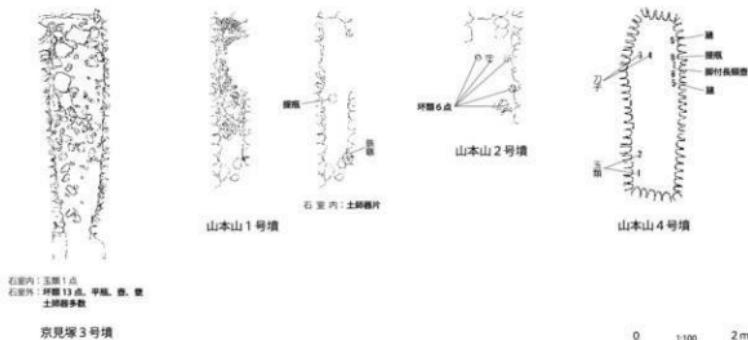
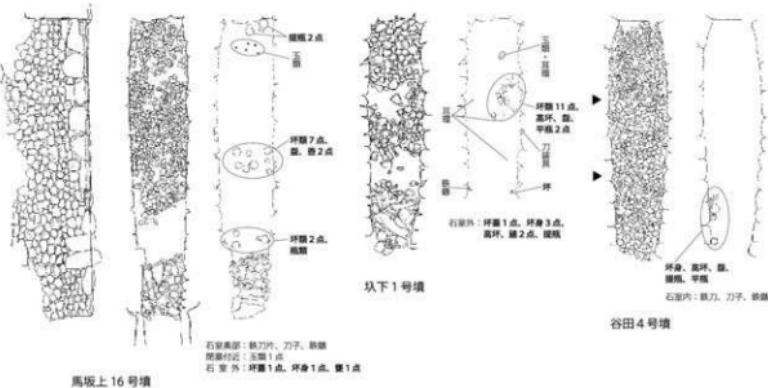


図7 各古墳の状況5

壺、盤、提瓶、平瓶が各1点検出されており、土器群の副葬を把握することができる。

京見塚3号墳（図7、磐田市2001）径約12mの円墳であり、約4.5×1.1mの横穴式石室を埋葬施設とする。石室奥半部に板石敷きが検出されているが、残存の良い状態であるとはいはず、本来の板石敷きの範囲とは異なる可能性も考慮する必要がある。

副葬品の出土は勾玉1点だけである。石室外では、須恵器の壺類13点と平瓶、壺、甕のほか、多くの土師器も出土しているが、追葬以降のものが大半である。

オ 小笠山丘陵

山本山古墳群（図7、袋井市1978）1号墳、2号墳、4号墳をあげることができる。1号墳は径約10mの円墳、その他の墳丘は不明である。

1号墳は、約3.5×0.5mの横穴式石室を埋葬施設とする。石室の奥から2.5mまでの範囲に礫床が施されている。礫床中央の長さ約1.7mの範囲において、埋葬主体の配置を推測させる石の並びが検出されており、その前端部には須恵器の提瓶1点が出土している。石室前端の左側には鉄器群が出土している。

2号墳は、石室の残りが悪い。礫床の検出はないが、須恵器の壺蓋3点と壺身3点が出土している。

4号墳は、約3.8×1.0mの横穴式石室を埋葬施設とする。石室奥寄りから刀子、前寄りから玉類が出土している。頭位を前に向けた埋葬主体の可能性が考慮されるが、それ以上の詳細を復元することは難しい。石室奥寄りの左側において、須恵器の壺2点、提瓶1点と脚付長甕1点が出土しており、土器群の副葬とし把握することができる。

4 特徴と課題

遠江における6世紀代の無袖の横穴式石室について、主に床面の状況と副葬品等の出土状況について概観してきた。駿河東部において得た所見に沿って、埋葬等に関する状況を確認したい。

埋葬主体と副葬品の配置 人骨の残存が確認できる古墳はなく、副葬品も搅乱を受けている場合が多いため、埋葬主体と副葬品配置の詳細を復元できる古墳は非常に少ない。

山本山1号墳では、床面の礫の状況から石室奥寄りに埋葬主体を安置したことが把握できる。ただし、頭位は明確にできない。6世紀中葉以前の崇信寺10号墳では、刀剣の配置から石室奥寄りに頭位を奥に向か

埋葬主体を復元することができる。6世紀後葉以降の浦前III1号墳、瓦屋西B4号墳、上神増A5号墳、上神増E2号墳、社山1号墳、馬坂上16号墳においても、玉類や耳環、鉄刀の配置によって、奥半部に頭位を奥に向かう埋葬主体があった可能性が指摘できる。

一方、根本山A4号墳では礫床範囲の前寄りに耳環の出土があり、上神増E2号墳では石室前寄りの追葬面において、切先を奥に向かう鉄刀が出土している。また、崇信寺10号墳や山本山4号墳では、石室前寄りに玉類の分布がある。以上から、頭位を前に向けた場合も少数あったことが推測でき、石室前半部への追葬に多い可能性もうかがえる。なお、切先を奥に向かう刀剣の副葬については、静岡県内の後・終末期古墳例を田村2016aにおいて集成し、遠江にも少数存在することを確認している。無袖の横穴式石室に限らず頭位を前に向けた埋葬が一定数あったと推測できる。

以上を積極的に評価するならば、石室奥半部に頭位を奥にする埋葬主体が多い一方、追葬を中心に頭位を前に向ける場合もあった可能性を指摘することができる。この特徴は、駿河東部と大きく異なるものではない。ただし、玉類は儀礼的に用いる場合もあり、その分布のみで頭位の根拠とするには注意が必要である（富士市2016）。刀剣類などの配置が乱されている古墳も多いため、ここでは可能性を指摘するにとどめたい。

駿河東部の富士市中原4号墳などで認められた2人の被葬者が隣接する埋葬方法については、さらに検討できる古墳が少ない。浦前III1号墳などにその可能性を考えることができるが、断定は難しい。一方、縦列的な配置の可能性が指摘できる場合（上神増E2号墳など）もある。

土器の副葬 土器の副葬配置については、比較的良好に把握することができる。

石室奥部に配置する土器について、壺瓶類を主体とする傾向は駿河東部と同様である。また、石室前寄りの土器群については、須恵器の壺類を含む傾向が指摘できる。一方、駿河東部のように土師器の壺1～2点が特徴的に副葬されるという状況は認められない。

石室奥部の土器群が確認できた古墳は、天竜川以東に限られている。また、須恵器壺類を含む土器群について、天竜川以西では石室前端部に認められるが、天竜川以東の磐田原台地北部では壺類の副葬がほとんど認められず、一方で磐田原台地中南部では石室中央部に確認できる場合がある。残存状態の影響も考慮する必要があるが、土器群の副葬に関する地域的な違いを

指摘することもできる。

床面構造との関係 床面については、礫床を施す場合が多く認められるが、天竜川以東の一部には板石敷きがある。また、前寄り 1 m 前後を空ける場合が中平古墳群や根本山古墳群、大手内 A 古墳群において特徴的に確認することができ、小地域や古墳群単位の展開を指摘することができる。

一方、礫床内の区分については、礫の大きさの違いが認められる場合が少数あるが、それぞれ単発的なものとして把握することができる。すなわち、駿河東部において広く認められたような、奥寄り 2 ~ 3 m を区画する造作は普及していないようである。先述のとおり、埋葬主体や土器の配置には駿河東部との共通点も指摘できるが、その空間区分の表示は明瞭ではなかつたといえる。

土器の副葬について、磐田原台地中南部に認められた石室中央への环類主体の土器群の配置は、この空間区分の不明瞭さと関係している可能性も考えられる。すなわち、横穴式石室の空間区分のあり方と埋葬等の諸行為は関連し、もしくは影響し合いながら、地域的傾向をもって普及、展開している状況を示していると評価することもできる。

5 まとめ

駿河東部における検討に統けて、遠江の無袖の横穴式石室について埋葬等の利用状況と石室空間の区分に関する特徴を検討した。残存状態の良い資料が少ないなか、ある程度の特徴を確認し、駿河東部との比較によって注目できる点を抽出することもできた。他の形態の横穴系埋葬施設についても確認し、より確実で具体的な評価につなげていきたい。

註

- 1 時期については、田辺 1966・1981 や鈴木敏 2004などを参考にして、陶邑編年 MT15 型式併行期を 6 世紀前葉、陶邑編年 TK10 型式併行期を 6 世紀中葉、TK43 型式併行期を 6 世紀後葉、陶邑編年 TK209 型式併行期の古相を 6 世紀末葉頃、同新相を 7 世紀前葉に概ねあたるものとする。
- 2 埋葬された被葬者そのものを「埋葬主体」と呼称する。また、石室の方向については、奥壁側を「奥」、出入口側を「前」とし、「左」と「右」については、奥から前を見たときの方向とする。
- 3 石室規模の記載は、内法の全長と最大幅による。全長は主に側壁によって測り、閉塞石の範囲は考慮していない。一方、幅狭短小の入口構造（天井のない石積み入口

構造）と判断される部分は含まない。

引用・参考文献

- 磐田市教育委員会 1973 「磐田市竹之内原古墳群調査記録報告書」
磐田市教育委員会 1979 「磐田市下古墳群第1号墳発掘調査報告書」
磐田市教育委員会 1998 「馬坂 馬坂遺跡・馬坂上古墳群発掘調査報告書」
磐田市教育委員会 2001 「京見塚古墳群発掘調査報告書」
湖西市教育委員会 1983 「天神山古墳群発掘調査報告書」
静岡県教育委員会 1968 「東名高速道路（静岡県内工事）関係埋蔵文化財発掘調査報告書」
静岡考古学会 2000 「東海の横穴墓」
静岡考古学会 2003 「静岡県の横穴式石室」
静岡県埋蔵文化財調査研究所 2010 「合代鳥丘陵の古墳群」
鈴木一有 2000 「遠江における横穴式石室の系譜」「浜松市博物館報」第13号 浜松市博物館
鈴木敏則 1988 「遠江の横穴式石室」「転機」2号
鈴木敏則 2004 「有玉古窯」浜松市教育委員会
田辺昭三 1966 「陶邑古窯址群！」平安学園考古クラブ
田辺昭三 1981 「須恵器大成」角川書店
田村隆太郎 2010 「遠江」土生田純之編「東日本の無袖横穴式石室」雄山閣
田村隆太郎 2016a 「中原4号墳の埋葬と儀礼」「伝法 中原古墳群」富士市教育委員会
田村隆太郎 2016b 「駿河東部の横穴式石室と埋葬に関する検討」「研究紀要」第5号 静岡県埋蔵文化財センター
豊岡村教育委員会 1983 「押越・社山古墳群調査報告書」
豊岡村教育委員会 2000 「大手内古墳群」
土生田純之編 2010 「東日本の無袖横穴式石室」雄山閣
浜北市教育委員会 2000 「内野古墳群」
浜松市教育委員会 1982 「西鶴江 中平遺跡」
浜松市教育委員会 1988 「浜松市半田山古墳群（IV中支群 - 浜松医科大学内 - ）」
浜松市教育委員会 1991 「瓦屋西古墳群」
浜松市文化協会 1988 「根本山古墳群II」
浜松市文化協会 1991 「有玉西土地区画整理事業に伴う埋蔵文化財調査報告書」上巻
浜松市文化協会 1992a 「佐鳴湖西岸遺跡群」
浜松市文化協会 1992b 「有玉西土地区画整理事業に伴う埋蔵文化財調査報告書」下巻
富士市教育委員会 2016 「伝法 中原古墳群」
森町教育委員会 1996 「静岡県森町 飯田の遺跡」
袋井市教育委員会 1987 「大門大塚古墳」
袋井市教育委員会 1978 「山本山古墳群」
- 図の出典
- 国1 富士市 2016 および田村 2016b を使用
国2 静岡県考 2000・2003 より作成
国3 天神山3号墳は湖西市1983、田辺平12号墳は浜北市2000、上神増E7・10号墳は静岡県理2010、崇信寺10

- 号墳は森町1996、大門大塚古墳は袋井市1987を使用
図4 根本山A 4号墳は静岡県教1968、根本山E 3号墳は
浜松市文1988、中平6・7号墳は浜松市教1982、浦前Ⅲ
1号墳は浜松市文1992aを使用
図5 地蔵平A・B古墳群は浜松市文1992b、瓦屋西B 4
号墳は浜松市教1991、瓦屋西C 6号墳は浜松市文1991、
半田山D古墳群は浜松市教1988を使用
図6 上神増A 5号墳・E 2号墳は静岡県埋2010、社山1
号墳は豊岡村1983、大手内A古墳群は豊岡村2000を使
用
図7 馬坂上16号墳は磐田市1998、下1号墳は磐田市
1979、谷田4号墳は磐田市1973、京見塚3号墳は磐田市
2001、山本山古墳群は1978を使用

鉄製品を考える

—その1 鉄の基本物性について—

大森 信宏

要旨 ヒトはさまざまな道具をすることで、自然界を生き抜き、生活域を広げてきた。の中でも金属の使用、特に鉄の導入は人類の歴史を長足に進歩させ、文明を発展させる原動力となった。人類の発展にとって、最も重要な素材は鉄であると言っても過言はないのだろう。日本では、弥生時代以降の遺跡から鉄製品が出土するようになり、古墳時代には副葬品として比較的多く出土するが、その大部分がサビきった状態であるから、鉄としてどのような素材を、どのように加工して、どのような状態で使用していたのか、実際にはほとんど分からず。本稿では、鉄及び鉄製品を基礎から考えることを提起し、鉄という素材と人類の関係、さらに貴重な出土鉄製品を保存していく方法を根本から探ってみたい。

キーワード：鉄、炭素鋼、フェライト、オーステナイト、デルタフェライト、セメンタイト、パラサイト、マルテンサイト

1はじめに

鉄を加工し製品として使用するということには、どのような物性的背景があるのだろうか。一口に鉄と言っても、純鉄、鋼鉄、鉄鉱、鍛鉄、錬鉄などさまざまな様態の鉄がある。これらの違いは、炭素の含有率による性状の違いに基づいている。鉄は炭素と結びつくことで性状が変化する金属であり、私たちはその特性を生かすことによって鉄を加工し、製品として使用しているのである。本稿では鉄の物性、特に炭素との関係について自然科学的な基本事項をまとめて、鉄及び鉄製品を知るために一助としたい。

2鉄の基本物性

金属は、結晶を構成する原子全体に電子が共有され、電子は結晶全体を自由に動き回って（自由電子）原子同士を結び付けている。これを金属結合と呼ぶ。また、金属原子はすべて等価であるため、外力が加わったときに原子が自由にすべることができる（転位）、延びてもそこで再結合できるので変形する（塑性変形）こともたやすい。したがって、金属はさまざまな形状に整形加工することが容易で、一度形作られた製品を再度整形加工することも可能である。金属結合では、原子同士が特に方向性を持たず自由につながる傾向をもつため、結晶構造は効率的な配置となる。こうした結合には面心立方格子、六方最密充填格子、体心立方格子の3つの形態がある（矢島ほか2017）。

純鉄の基本物性は、原子番号26、元素記号Fe、原子量51.15、遷移元素であり、灰白色の金属光沢を有して

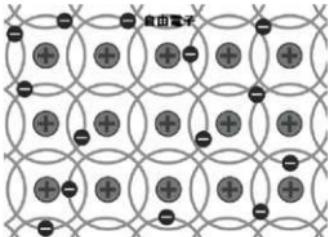


図1 金属結合モデル図

いる。固体の純鉄は、フェライト、オーステナイト、デルタフェライトの3つの相がある。911°C以下ではフェライト（ α 鉄）、911–1392°Cではオーステナイト（ γ 鉄）、1392–1536°Cではデルタフェライト（ δ 鉄）、1536°C以上では液体となる（岩波1998）。

① フェライト (ferrite)

フェライトは、純鉄では911°C以下の温度領域にある鉄の相（組織）であり、 α 鉄（アルファてつ）ともいう。この領域において、鉄は体心立方格子構造（bcc構造）をとり、体心立方格子の原子の充填率は68%である。

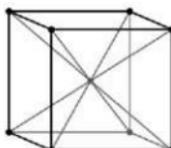


図2 体心立方格子構造（bcc構造）模式図

フェライトは、728°Cで最大溶解量0.0218%までの炭素を体心立方格子内に固溶できる（注1）。この炭素の最大溶解量0.0218%以上を鋼と呼んでいる。

② オーステナイト（austenite）

オーステナイトは、純鉄では911°C～1392°Cの温度領域にある鉄の相（組織）であり、γ鉄（ガンマてつ）ともいう。この領域において、鉄は面心立方格子構造（fcc構造）をとり、面心立方格子の原子の充填率は74%である。したがって、面心立方格子の方が原子の充填率が高く、原子間のすき間が少ないため、フェライトとオーステナイトの変態に際しては、加熱する時は体積が減少し、冷却する時は体積が増加する。

オーステナイトは、1147°Cで最大溶解量2.14%までの炭素を面心立方格子内に固溶できる。この炭素の最大溶解量2.14%以下を鋼、この値を超えると鉄鉱と呼ぶ。

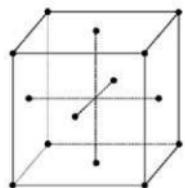


図3 面心立方格子構造（fcc構造）模式図

③ デルタフェライト（delta ferrite）

デルタフェライトは、純鉄では1392°C～1536°C（磁点）の温度領域にある鉄の相（組織）であり、δ鉄（デルタてつ）ともいう。体心立方格子構造（bcc構造）をとるが、1536°Cを超えると液体になる。

デルタフェライトは、1494°Cで最大溶解量0.08%までの炭素を体心立方格子内に固溶できる。超高温での相であるため、デルタフェライト自体の性質が鉄及び鉄製品の物性に及ぼす影響はほぼ無い。

固体状態でありながら温度変化で格子構造を変える金属は少ないので、鉄のように格子構造が2度も変化する金属はさらに少ない。このような格子構造の変化、すなわち相の転移現象のことを変態といふ（矢島ほか2017）。

3 炭素鋼の基本物性

フェライトは体心立方格子内に728°Cで最大溶解量0.0218%、オーステナイトは面心立方格子内に1147°Cで最大溶解量2.14%、デルタフェライトは体心立方格子内に1494°Cで最大溶解量0.08%の炭素をそれぞれ固

溶できる。体心立方格子の原子の充填率は68%、面心立方格子の原子の充填率は74%であるため、充填率だけを比較すると体心立方格子の方が原子間のすき間が大きいように思えるが、実際は、面心立方格子の方が炭素を固溶しやすい。面心立方格子は、すき間の総量は少ないが形状的に原子間の空間が広く等方的で、原子の直径の約40%までの大きさの原子を入れることができる。一方、体心立方格子は、すき間の総量が多いものの原子間のすき間は極端に潰された円盤状で、その厚さは原子直径の約15%にすぎないため、炭素などの小さな原子でも均等に入れない（伊藤2006）。

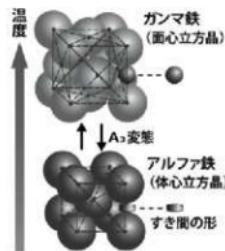


図4 面心立方と体心立方のすき間模式図（伊藤2006より）

フェライト（デルタフェライト）とオーステナイトの炭素固溶量の差は、このような鉄原子の格子構造の違いによっており、一方でこの変化は温度によって生じるため、温度変化に伴う炭素の移動が炭素鋼の物性に大きく関わっている。

付言すると、金属結合による鉄原子の転位は、炭素原子が鉄原子間に侵入して固溶することで、鉄原子の自由な移動を妨げるため起こりにくくなる。これは当然ながら炭素原子の固溶量が多くなければそれだけ増幅される。鉄原子の転位が起こりにくいということは、塑性変形も起こりにくい。つまり鉄は、炭素を多く固溶することで硬くなるのである。炭素鋼は含有されている炭素量が多くなると、引っ張り強さ・硬さが増す半面、伸び・絞りが減少し、被削性・被研削性が悪くなる。

炭素鋼のうち、炭素含有量が約0.3%以下を低炭素鋼、約0.3～0.7%を中炭素鋼、約0.7%以上を高炭素鋼と呼んでいる（矢島ほか2017）。

4 温度変化に伴う炭素鋼の相変化（1）

フェライトでもオーステナイトでも、結晶格子内に固溶できる炭素量には上限がある。では、上限値の炭

素を固溶した状態で、この上限値の炭素を固溶できる温度、フェライトで728°C、オーステナイトで1147°Cを下回ったならば、固溶しきれなくなった炭素はどうなるのだろうか。この場合、炭素は結晶格子内から外部に拡散移動して、新たに鉄原子と結合して、セメントタイトと呼ぶ化合物を形成する。セメントタイトは金属と非金属の化合物であり、化学式は Fe_3C 、結晶構造は斜方晶で、単位格子中に12個のFe原子と4個のC原子を含んでいる。セメントタイトは非常に硬くて脆い白色の炭化物である（註2）。セメントタイトの炭素量は6.67%であり、Fe-C系2元合金においてFeとCが結合できる範囲は、この6.67%までである。それ以上は炭素がグラファイトとして分離する（矢島ほか2017）。

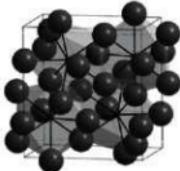


図5 セメントタイト結晶模式図

炭素量4.32%の鉄（鉄鋳）について、温度変化に伴う相の変化及び炭素の移動について考えてみる。

この炭素含有量は鉄の融点が最も低くなる条件であり1147°C以上では液体である。1147°Cを下回ると固体となるが、この温度帯での鉄の固相であるオーステナイトは2.14%までしか炭素を固溶できない。オーステナ

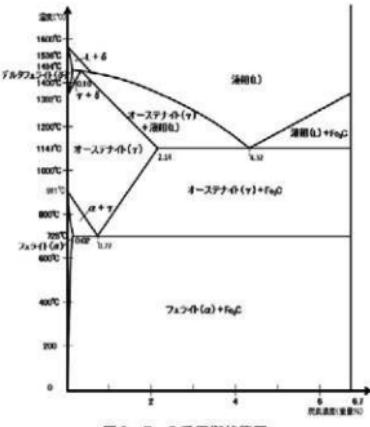


図6 Fe-C系平衡状態図

ナイトに固溶しきれない炭素はオーステナイトの粒界に網目状のセメントタイトとして析出し、これを初折セメントタイトと呼ぶ。この1147°Cを共晶温度及び共晶点と呼び、1147°Cから温度をゆっくり下げるとき、その温度での固溶限上限の炭素を固溶したオーステナイトと、そこから拡散移動した炭素が化合したセメントタイトが析出してくる。そして728°Cまで下がると4.32%分の炭素は、炭素量6.67%のセメントタイトと炭素量0.77%のオーステナイトに分かれた状態となる。さらに温度をゆっくり下げるとオーステナイトはフェライトに変態するが、フェライトに固溶しきれない炭素はやはりセメントタイトとして析出する。ここでできるフェライトとセメントタイトは、互いに薄い層状の組織が重なり合う構造になり（共析組織）、これをバーライトと呼ぶ。光沢が真珠に似るためにバーライトと呼ばれ、非常に薄い板状のフェライトとセメントタイトが交互に積層する。バーライトは、柔らかいフェライトと硬質のセメントタイトの複合材料であり、粘り強い材質である。この728°Cはバーライトが生じたり、消滅する共析反応が起こる温度で共析温度及び共析点、そしてこの変態を共析変態及びバーライト変態ともいう（山方2016）。

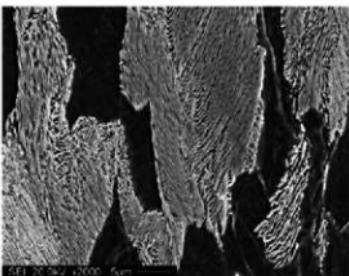


写真1 バーライト組織

次に、温度変化に伴う炭素鋼の物性変化を3パターン詳述する。

① 炭素量 C% < 0.77% の場合

炭素量0.4%の炭素鋼を900°Cから徐々に冷却した場合の相変化について考えてみる。

900°Cではオーステナイト（γ）であるが、温度が低下して図7のG-S線と交差するところ（約800°C）でフェライト（α）の析出が始まる。ここで析出するフェライトを初折フェライトと呼んでいる。728°Cまではフェライトとオーステナイトの2相状態であり、温度低下と共にフェライトの量が増加するが、フェライト

は0.02%の炭素しか固溶できないので、未変態のオーステナイトの炭素濃度がGS線に沿って増加する。728°Cまで温度が低下するとオーステナイトの炭素濃度は0.77%に達し、共析変態を起こしてパーライトが生成される。共析変態完了後は、初析フェライト+パーライトの相となり、さらに温度が低下すると、わずかずつフェライトが減少しセメンタイトが増加するが、ほとんど無視できる変化であり、共析変態完了後の相が維持されると考えてよい。炭素量0.77%未満の炭素鋼を亜共析鋼と呼ぶ。

②炭素量C% = 0.77%（約0.8%）の場合

炭素量0.77%の炭素鋼を900°Cから徐々に冷却した場合の相変化について考えてみる。

900°Cではオーステナイト（γ）であるが、温度が低下して図7のS（共析点）で共析変態を起こしてパーライトが生成される。この炭素濃度では、オーステナイトはすべてパーライトに変態し、共析温度以下では上の場合と同様に変化ではなく、常温ではパーライトのみの組織となる。炭素量0.77%の炭素鋼を共析鋼と呼ぶ。

③炭素量C% > 0.77%の場合

炭素量1.2%の炭素鋼を900°Cから徐々に冷却した場合の相変化について考えてみる。これは先に述べた炭素量4.32%の鉄鉱冷却パターンとほぼ重複する。

900°Cではオーステナイト（γ）であるが、温度が低下して図7のES線と交差するところ（約800°C）で初析セメンタイトの析出が始まる。728°Cまではオーステナイトとセメンタイトの2相状態であり、温度低下と共にセメンタイトの量が増加し、未変態のオーステナイトの炭素濃度はES線に沿って低下する。728°Cまで温度が低下するとオーステナイトの炭素濃度は

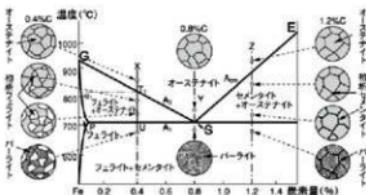


図7 炭素鋼の相変化図（山方2016より）

0.77%に達し、共析変態を起こしてパーライトが生成される。共析変態完了後は、初析セメンタイト+パーライトの相となる。セメンタイトは6.67%の炭素が必要なため、1.2%の炭素鋼では初析セメンタイトはあまり多く析出しない。炭素量0.77%超の炭素鋼を過共析鋼と呼ぶ（矢島ほか2017）。

5 温度変化に伴う炭素鋼の相変化（2）

ここまで鉄と炭素の関係について、炭素鋼の温度変化に伴う相変化をまとめてきたが、これらは時間をかけての最も基本的な変化である。共晶点や共析点での相変化では、炭素の移動（拡散）に一定の時間を要するからである。ここからは加熱した炭素鋼を急冷した場合、すなわち焼き入れを行った場合に、鉄はどのような物性の変化を起こすのか考えてみる。

① マルテンサイトの生成

焼き入れを行うことによって生じる組織をマルテンサイトと呼ぶ。一般的に、鋼に焼き入れを行うと硬度が増すと考えられているが、これがマルテンサイトを生じさせる工程に他ならない。では、どういう条件で冷却を行うとマルテンサイトは生じるのだろうか。

炭素量0.77%の共析鋼を例にとってマルテンサイトの生成について考えてみる。900°Cのオーステナイトを徐冷した場合には、オーステナイトに固溶している炭素は、フェライトとセメンタイトに拡散してパーライトを生成する。この通常の相変化が起るよりも早い速度で冷却すると、パーライトに変態する時間が足りず、マルテンサイトと呼ばれる平衡状態図には示されない相が現れる。この変態をマルテンサイト変態と呼ぶ。

マルテンサイトを生成させるのに必要な冷却速度は、大体160°C/秒以上とされる。冷却速度を遅くすると、マルテンサイト変態の前にパーライト変態が発生するようになり、冷却後の組織にマルテンサイト以外の組織が混入する。この他の組織が発生するようになる限

表1 Fe-C系の相

相の名称	記号等	性質・状態等
フェライト	α	体心立方格子、Cを727°Cで最大固溶限0.0216wt%、純鉄では912°Cで安定
オーステナイト	γ	面心立方格子、Cを1147°Cで最大固溶限0.21wt%、純鉄では912~1391°Cで安定
デルタフェライト	δ	体心立方格子、Cを1490°Cで最大固溶限0.08wt%、純鉄では1391~1536°Cで安定
パーライト	$\alpha + Fe_3C$	α 相と Fe_3C が積層された共析組成で、硬り強い材質
セメンタイト	$\alpha + Fe_3C$	Fe とCの化合物で、Cを6.67wt%含み、硬くて脆い

界の冷却速度を上部臨界冷却速度と呼び、完全焼入れになる限界速度でもある。上部臨界冷却速度からさらに冷却速度を遅くすると、他の変態が多くなりマルテンサイト変態の比率が下がっていき、遂にはマルテンサイト変態が発生しなくなる。この限界の冷却速度を下部臨界冷却速度と呼び、不完全焼入れになる下限速度となる。また、焼き入れを行う鋼は、すべてオーステナイト化しておかなければならぬ。加温が足りなければ焼き入れを行う前からパーライトが存在してしまう不完全焼入れとなる。

図8の連続冷却変態線図(CCT線図)を例にすると、Msの線がマルテンサイト変態開始線で、冷却曲線がこの線に掛かるとマルテンサイトの生成が始まり、Mfの線がマルテンサイト変態終了線で冷却曲線がこの線に掛かるとマルテンサイトの生成が終了する。また、この手前のPsの線がパーライト変態開始線、Pfの線が100%パーライト変態線で、これらの線に冷却曲線が掛かると完全なマルテンサイト変態が起こらないことを表している。

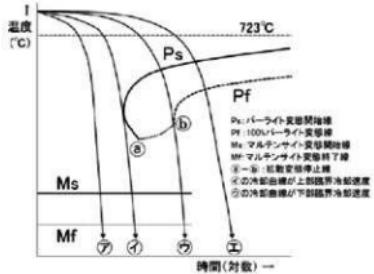


図8 連続冷却変態線図（CCT線図）

④の冷却曲線は、Psのパーライト変態開始線をかずめるが、Pfの100%パーライト変態線には掛からないので、上部臨界冷却速度であることを示している。オーステナイトの一部はパーライト変態を起こすが、大部分はMs線でマルテンサイト変態を開始し、Mf線でマルテンサイト変態を終了する。この場合の冷却速度はおよそ140°C/秒とされる。

⑤の冷却曲線は、Psのパーライト変態開始線及びPfの100%パーライト変態線に掛かるので、下部臨界冷却速度であることを示している。この冷却速度では、オーステナイトの大部分がパーライト変態を起こしてしまい、完全な焼き入れにはならない。この場合の冷却速度は約35°C/秒とされる。

⑥と⑦の中間（約90°C/秒）で冷却した場合には、Ps線に掛かった時点でのパーライト変態を開始するが、⑧～⑩の拡散変態停止線でパーライト変態を停止し、そのまま冷却されてMs・Mf線を通過してマルテンサイトを生成する。この場合の常温での組織はマルテンサイトとパーライトの混合組織となる。

⑨の冷却速度（約500°C/秒）では、Ps線に掛かることなくMs・Mf線を通過するため、オーステナイトはマルテンサイト変態を起こし完全焼入れとなる。

一方、⑩の冷却速度（⑨の冷却速度より遅い場合）では下部臨界冷却速度以下であり、オーステナイトに固溶している炭素は通常に拡散して100%パーライト変態を起こす。

炭素量0.77%の共析鋼を例にとってマルテンサイト生成の冷却速度について解説したが、炭素含有量の多い過共析鋼では、パーライト変態時に、より多くの炭素を拡散させる必要があるため、パーライト変態開始線は全体的に右へ移動（より時間がかかる）する。パーライト変態が起こるまでに時間的余裕が生じるので、マルテンサイト変態はより容易になる（山方2016）。

② マルテンサイトの相構造

オーステナイトからパーライト変態が起きる際には、面心立方格子のオーステナイトから体心立方格子のフェライトに変態し、フェライト組織に固溶しきれない炭素は追い出されてセメントタイトを生じ、さらにフェライトと積層してパーライトが形成される。この炭素の拡散が間に合わない速度で冷却した場合、炭素が体心立方格子のすき間へ無拡散で強制的に侵入固溶し（炭素原子がフェライト中に過飽和に閉じ込められた状態）、準安定状態だが格子欠陥を多数含む結晶構造となる。炭素原子が鉄原子の結晶格子を抵抗するため体積も膨張する。このようにして生成するのがマルテンサイトであり、組織形状が針状の微細組織となる。

マルテンサイト変態によって以下の変化が生じる。

⑦ 結晶構造中に炭素が強制的に侵入するため、格子にひずみが生じて体積が膨張する。

⑧ 針状の微細組織となるため、組織微細化によって強度が向上する。

⑨ 格子欠陥を多数含む結晶構造となるため、軸位が起これにくくなり硬度が増す。

⑩ 格子のひずみ、格子欠陥などで硬度や耐摩耗性は向上するが、一方で韌性が低下しもろい状態となる（山方2016）。

日本刀の焼き入れでは、焼刃土を刃の部分には薄く

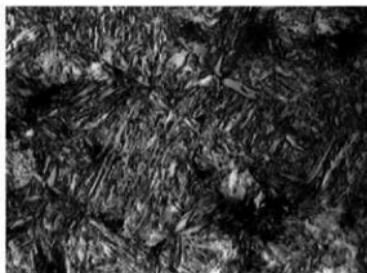


写真2 マルテンサイト針状組織

塗り、他の部分は厚めに塗って加熱し、水に漬けて一気に冷却する。そうすることで薄く土を塗った刃部は急速されてマルテンサイト化して硬化するが、土を厚めに塗った部分はマルテンサイト化しきれずに韌性が残る。日本刀は低炭素鋼と中炭素鋼を組み合わせることで、硬軟合せを持った、鋭くて折れない刀身を実現させているが、焼き入れ時に焼刃土の塗り方を工夫することで、この特徴をさらに補強させている。また、この操作で刃側は体積が膨張し、押されて側面には反りが生じる。日本刀の特徴的な反った形状は、鍛造段階で作り出されるだけではなく、焼き入れによっても付加されるのである（八十2006）。

鉄製品の生産に際しては、炭素鋼の選択、昇温の加減、冷却のさせ方など、鋼の科学的特性が最大限に生かされている。そしてそれらが、すべて積み上げられた経験と技術によることは驚嘆に値することである。

6 おわりに

鉄はすぐれた強度、硬度、加工性などを備えた高性能な材料であるが、温度と炭素の関係だけでこれだけ物性を変化させる金属なのである。人類の鉄製品生産の歴史は、さまざまな失敗を繰り返しながら、経験と知識を積み上げる歴史でもあったのだろう。本稿を通じて、鉄製品の生産にはどのような科学的背景があるのか、鉄と炭素が温度変化によってどのように関係し、炭素鋼の基本物性が決まつてくるのか、多少とも理解いただけたろうか。鉄製品を科学的に理解する上で、これらは基礎的な知識なのである。

なお、本稿は既定の先行研究から必要事項をまとめた研究ノートであり、筆者の独自研究が含まれるものではないことを付記する。

註

- 1 1つの固体の中に他の固体が完全に解け合って全体一樣な固体を形成することを固溶体と呼び、鉄と炭素のように大きさの異なる原子の場合、炭素原子が鉄原子の間に侵入する形をとるため侵入型固溶体という。
- 2 セメンタイト(Fe₃C)は化合物であり、固溶体とは異なる。鉄と炭素の固溶体では温度によって炭素の固溶量に変化が生じるが、化合物であるセメンタイトは炭素量6.67%で一定である。

引用・参考文献

- 矢島悦三郎・市川理衡・古沢浩一・宮崎亨・小坂井孝生・西野洋一 2017 「若い技術者のための機械・金属材料」 第3版 丸善出版
岩波『理化学辞典』第5版 1998 岩波書店
山方三郎 2016 「図解入門 よくわかる最新熱処理技術 の基本と仕組み」第3版 秀和システム
伊藤徹 2006 「金属の中の鉄（2）」「モノづくりの原点科学の世界VOL.31」新日本製鉄
八十道雄 2006 「たら製鉄と和鋼と日本刀－傾斜機能材料の視点からみた日本刀－」傾斜機能材料論文集vol.2

図・写真の出典及び使用条件

- 図1・6・8：筆者作成
図2：BSD
図3・図5：CC表示-羅承3.0
写真1・2：パブリック・ドメイン

【資料紹介】

磐田市上神増E 2号墳出土三葉環頭大刀について

大谷 宏治・大森 信宏

要旨 磐田市上神増E 2号墳から出土した鉄製三葉環頭柄頭について報告作成時のX線写真で無象嵌と判断し報告した。報告書刊行後、複数の研究者から掲載されたX線写真を観察すると、内外線に象嵌のように見える線があるが象嵌ではないかとの指摘があり、再確認の要望があった。このためX線撮影し象嵌の有無について再確認を行ったところ、象嵌は施されていないことを確認した。

キーワード：上神増E 2号墳 三葉環頭大刀 X線写真 象嵌 古墳時代後期

1はじめに

(財)静岡県埋蔵文化財調査研究所(以下、静岡県埋文研)が免振調査を実施した磐田市上神増E 2号墳から鉄製三葉環頭大刀(図1)が出土し、2010年に報告書を刊行した(静岡県埋文研2010)。報告書刊行から6年を経過した2016年3月に古墳時代の刀剣類の研究者の方から、報告書作成担当の大谷(当時静岡県埋蔵文化財センター、以下センター)に、①報告書に掲載された三葉環頭大刀柄頭のX線写真を観察すると、環の縁や三葉部分に象嵌が施されている可能性がある、②象嵌があった場合、大刀の位置づけだけではなく古墳の評価について再検討する必要がある、ことから象嵌の有無について再度確認していただけないかとの要請があった。そこで大谷が実物を再度確認したものの表面は鋭化しているため象嵌は観察できず、また報告書作成時のX線写真フィルムを確認したが、象嵌の有無は判別できなかった。そこでX線で再撮影を行い、象嵌の有無を確認する必要を感じた。ただし、要請のあった2016年3月はセンター移転の準備期間に当たっ

ており撮影を実施するのは困難であったこと、またX線装置が更新される予定になっていたため、センター移転終了後、X線装置が設置された段階で大森が再撮影を行うこととし、その撮影写真で象嵌の有無を判断することとした。

(大谷・大森)

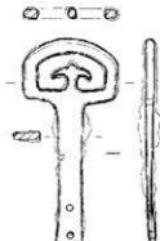


図1 上神増E 2号墳出土
三葉環頭大刀柄頭(1:3)

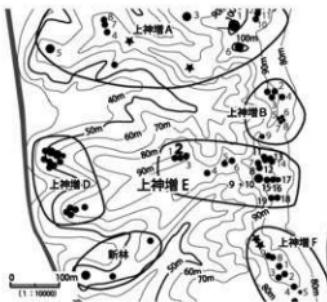


図2 上神増E 2号墳の位置

2上神増E 2号墳の概要

三葉環頭柄頭のX線再撮影結果の前に、それが出土した上神増E 2号墳について簡単にみておきたい。

磐田市上神増E 2号墳(以下、E 2号墳)は、磐田市上神増に所在し、磐田原台地と赤石山系の南に向かって延びる丘陵との間にあり、いわゆる「合代島丘陵」に築造された上神増E古墳群のうちの1基であり、天竜川へ向かって延びる尾根上に築造されている(図2)。E 2号墳は、西側(尾根の先端側)に木棺直葬墳であるE 1号墳(古墳時代中期後葉～後期前半、5世紀後半～6世紀前半)、東側に横穴式木室墳であるE 3号墳(鈴木敏則氏編年遠江国期中葉～後葉、6世紀後半～末、鈴木2001)に隣接する。

E 2号墳(図3)は、12.4mのやや不整形な円墳で、川原石を用いた全長3.8mの無袖形横穴式石室を埋葬施設とする。出土遺物は、石室内から今回報告する鉄製三葉環頭大刀柄頭をはじめ、大刀2点、小刀1点、刀子2点、鉄鎌5点以上が出土した。土器は石室内か

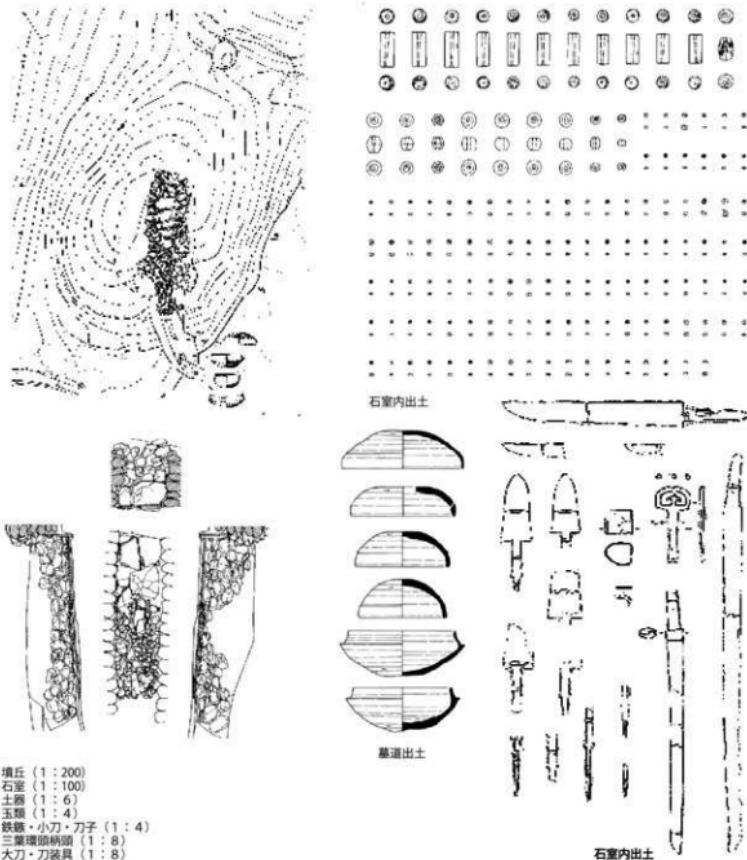


図3 上神増E 2号墳の概要

ら出土せず、須恵器15点（杯蓋6、杯身5、短頸壺1、平瓶1、長頸壺1片、壺?1片）が墓道から出土した。

E 2号墳の築造時期は出土した遺物相から遠江III期中葉、陶邑田辺編年TK43型式期に該当し、遠江III期後葉（TK209型式期）、遠江III期末葉～IV期前半（TK217型式期）に追葬が行われた可能性が高い（静岡県埋文研2010）。

（大谷）

3 上神増E 2号墳の三葉環頭大刀について

E 2号墳の三葉環頭大刀柄頭は鉄製で、金銅装・銀

装などの装飾は施されていない（図1）。象嵌の有無については後述する。柄頭は蒲鉾形（上円下方形、主頭形）の環内に三葉文を表現する。柄頭茎は柄頭と一体造りで長い。茎を含めた残存長は12.6cm、環長4.0cm、環幅5.8cm、厚さ6mm、茎残存長8.6cm、茎幅1.4cm、厚さ4mmである。茎下部に目釘孔が2孔穿たれる。刀身2点は柄頭と離れた位置から出土しているためどちらの刀身に伴うか不明である。また、別の大刀に付属したもので刀身が副葬後、持ち出された（失われた）可能性を排除できない。

（大谷）

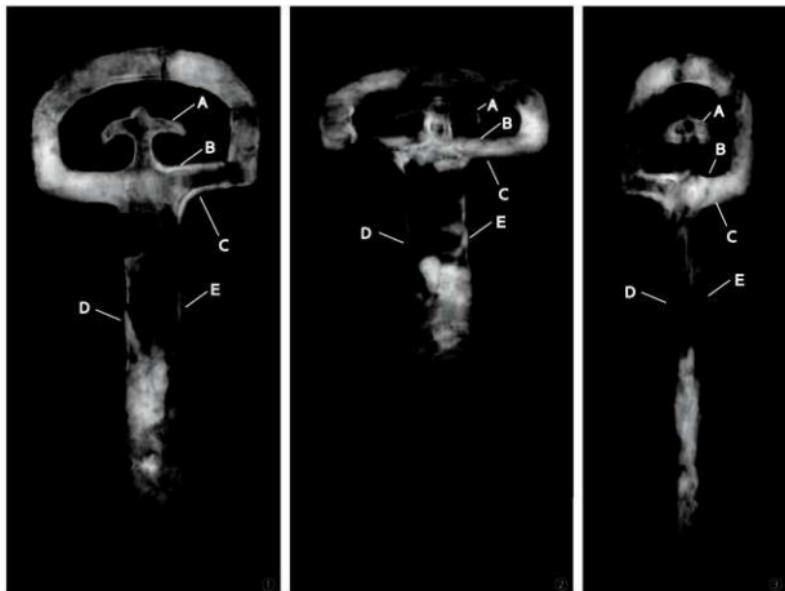


写真1 上神増E 2号墳出土三葉環頭大刀柄頭X線写真

4 上神増E 2号墳出土三葉環頭大刀柄頭のX線撮影の結果について

(1) 撮影機材と撮影の方法

今回撮影に使用した機材は、X線装置がYXLON製 MG165/4.5（最大管電圧160kV）、受像器はRF製デジタル受像器NAOMI NX-02Sである。撮影の設定は、被写体と管球の距離100cm、管電圧100kV、管電流1.5mA、X線照射時間2秒である。（大森）

(2) 象嵌の有無の判別

報告書（静岡県埋文研2010）のX線写真において、環の内縁・外縁、三葉文の外縁に象嵌が施されている可能性が指摘された（写真1-①のA・B・C）。

今回の撮影では、報告書と同じ正面（写真1-①）と報告書には掲載しなかった（撮影していなかった）斜め2方向（写真1-②・③）からX線撮影し、詳細に観察したが、正面のX線写真で線状にみえるもの（写真1-①のA/B/C）、斜め方向から撮影した2写真（②・③）では同一箇所（A/B/C）に象嵌らしい線は確認することができない。また、通常象嵌が

施されることのない茎にもA/B/Cと同じように見える箇所があり、この部分（写真1-D/E）も写真

②・③では確認できない。

X線透過撮影では、X線を物体に透過させた際の材質や密度の違いがX線吸収の差となって結像する。したがって鉄地に金や銀で象嵌が施されていれば、金や銀は鉄に比べてはるかにX線が吸収される（透過しない）ため、はっきりと象嵌が観察される。また、象嵌は線として施されているため、象嵌のX線透過像は、ある一定方向からだけではなく、他の方向からも線として写る。今回及び報告書所収の写真では、正面から撮影したものには線状のラインが見えるが、撮影方向を変えると線らしきものは見えなくなっている。

したがって、象嵌が行われた可能性があるとの指摘を受けた三葉文や環の内縁・外縁で象嵌のように見えた部分は柄頭の本来の外形ラインで、その部分が濃く写っているため象嵌のように見えている可能性が高く、象嵌は施されていないと判断した。（大谷・大森）

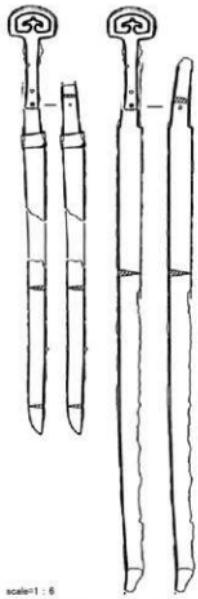


図4 上神増E 2号墳出土三葉環頭
大刀柄頭と刀身の関係（1:6）

れるものであることや、柄頭茎が長く直接刀身茎と装着される点は韓半島でみられる技法であることなど、E 2号墳の铸造時期の日本列島ではあまり確認されない特徴であることがわかった。

三葉環頭大刀は、日本列島では單鳳、双鳳環頭大刀が環頭大刀の主体であるなかで、数は少ないものの、日本列島43例、韓半島28例、総数71例出土している（大谷2010）。三葉環頭大刀は柄頭の外形で分類されており、円形環と蒲鉾形環の2種類がある。韓半島では蒲鉾形は新羅地域で主に出土し、円形環は主に百濟・伽耶地域で出土している。日本列島では円形が多く、蒲鉾形は7例のみと少ない。また大部分が金銅製であるが、E 2号墳のように鉄製のものが若干存在する。齊藤大輔氏のご教授によれば、鉄製であっても日本列島で生産された可能性は低く、「舶載品ラッシュ」（内山2012）とされる時期に三葉環頭大刀などとともにたらされた可能性が高いとのことであり、同様の経緯により合代島丘陵の古墳群を経営した集団が入手した可能性が高いと考える。

また、合代島丘陵の古墳群では、「合代島古墳」から三葉環頭大刀が出土している。この装飾付大刀も新羅

5 三葉環頭大刀

柄頭について

今回の再撮影により、E 2号墳の三葉柄頭には象嵌が施されていないことを再確認できた。これによって、E 2号墳の柄頭が鉄製無象嵌であることが明確になった。改めてE 2号墳から出土した大刀に装着された可能性を考慮し、想定復元図を示した（図4）。報告作成時は検討しなかったが、齊藤大輔氏のご教授によれば大刀2点は両闘である点がTK43型式期のものとしては日本列島では一般的ではなく、韓半島系の装飾付大刀にみら

系とされるもので、日本から出土するものの生産地はすべて新羅製とする意見と一部後製を含むとする意見があるが、いずれにしても新羅との関係を示すような遺物である可能性が高い（大谷2010）。

さらに、磐田市神田古墳群（森下ほか2000）では唐代の鏡が出土している。新羅や唐との関係を示唆するような特殊な副葬品を含む古墳が合代島丘陵とその近くの古墳の3基で確認され、上神増D古墳群など横穴式石室が遠江の中では特異な石室でもあることから、合代島丘陵周辺は遠江の中で特異な地域として考えることができ、韓半島など交易や外交に從事した集団がこの地域に住んでいた可能性を想定したい（大谷2010）。

（大谷）

最後に、今回のX線再撮影の結果を今後装飾付大刀の研究にご利用いただければ幸いです。（大谷・大森）

謝辞

X線撮影にあたり田村隆太郎氏にご協力いただいた。三葉環頭大刀の位置づけに関して穴沢味光氏、齊藤大輔氏にご教示いただいた。明記して深謝します。

参考文献

- 穴沢味光・馬目順一 1989 「会津大塚山古墳出土の鉄製三葉環頭大刀について」『福島考古』30
- 内山敏行 2012 「装飾付武器・馬具の受容と展開」『馬越長次歴古墳』1 豊橋市教育委員会
- 大谷晃二 2006 「龍鳳文環頭大刀研究の覚え書き」『2004年度共同研究成果報告会』 大阪府文化財センター
- 大谷宏治 2010 「上神増E 2号墳出土の三葉環頭大刀について」（静岡県埋文財2010所収）
- 齊藤大輔 2017 「古墳時代刀劍研究史」『土曜考古』39 土曜考古学研究会
- 静岡県埋蔵文化財調査研究所 2010 「合代島丘陵の古墳群」
- 鈴木敏則 2001 「瀬西窓古墳時代須恵器編年」『須恵器生産の出現から消滅・補遺・論考編』東海土器研究会
- 持田大輔 2006 「龍鳳文環頭大刀の日本列島内製作開始時期と系譜」『早稲田大学大学院文学研究科紀要』4号 早稲田大学
- 森下章司・鈴木敏則・鈴木一有 2000 「磐田郡豊岡村神田古墳」『浜松市博物館報』13 浜松市博物館

図の出典

- 図1・4 （静岡県埋文研2010）より引用
- 図2 （静岡県埋文研2010）より改変してトレース
- 図3 （静岡県埋文研2010）より改変して引用写真1 筆者撮影

静岡県埋蔵文化財センター
研究紀要 第6号

2017年12月22日

編集・発行 静岡県埋蔵文化財センター
〒421-3203
静岡県静岡市清水区蒲原5300-5
TEL 054-385-5500

印 刷 みどり美術印刷株式会社
〒410-0058
静岡県沼津市沼北町2-16-19
TEL 055-921-1839

