

ききたま
埼玉古墳からの出土品(金錯銘鉄剣)の再現加工に関する研究*

土肥俊郎*¹, 河西敏雄*²
中島利治*³, 左光大和*⁴

Reproduction Processing Based on Ancient-Style Processing
of Articles (Iron Sword with Golden Letters) Unearthed
from the Sakitama Ancient Tombs

Toshiroh KARAKI-DOY, Toshio KASAI,
Toshiharu NAKAJIMA and Yamato SAMITU

We investigate the iron sword with 115 golden letters unearthed from the Inariyama Tomb at the Sakitama Ancient Tombs site, and how the ancient engineer processed the iron sword at that time. For this purpose, wrought iron bars with the same components as the iron sword were manufactured and were used as samples in the experiments. We attempted to simulate ancient-style processing, using charcoal powders or ancient mud gathered from the Sakitama Tomb for the polishing slurry and natural stones (grindstones), wood, hemp fabric, or deerskins for the polisher. It was confirmed that wrought iron samples with a mirrorlike surface can be obtained by this ancient-style processing method. The quality of the surface is equivalent to that of a surface polished by the present diamond polishing method. Accordingly, it is assumed that the processing techniques used in ancient times were of high degree in skills.

Key Words: Iron Sword, Ancient-Style Processing, Mirrorlike Surface, Ancient Materials, Polishing

1. はじめに

埼玉県の名国発祥の地に築かれた行田市埼玉に「さきたま(国指定史跡)古墳群」がある。ここには、前方後円墳8基と大型円墳1基のほかに、確認された小円墳群を含めると、この地域には少なくとも40以上の古墳があったといわれている。このさきたま古墳群の造られた時期は、さまざまな出土品から推察して、古墳時代の5世紀後半から7世紀初めとされ、^{ひさしのくにのみやっこ}武蔵国造の笠原直使主一族の基という説もある¹⁾。

「さきたま古墳群」は、多くの大型前方後円墳が南

北に1000m、東西500mの狭い地域に、集中していることが特徴の一つである。この古墳の中で、わが国最大の円墳の丸墓山古墳(直径500m)の東端にある前方後円墳の稲荷山古墳は、昭和43年に発掘調査が実施され、鏡、勾玉、帯金具、武具、工具、馬具などの多くの副葬品が発見された¹⁾。そして、鉄製品の保存処理を行っている過程で、昭和53年に長さ735mm、幅31.5mmのさびた鉄剣に115文字の金で象嵌された銘文があることが発見された。これが昭和58年に国宝に指定された金錯銘鉄剣*辛亥銘鉄剣*である²⁾。この鉄剣は、金象嵌された115文字の銘文は、日本最古の文といわれ、日本の古代国家の成立を解明する上で極めて重要なもので、古代史研究者をはじめ各界からとくに注目されている²⁾。

この115文字の銘文の解釈については現在も研究が進められているところであるが、有力な説は次のように解釈されている。すなわち、「私(乎獲居臣)の先祖は、代々、大王の親征隊の長を務めてきた。私は

* 原稿受付 1994年12月26日。

*¹ 正員, 埼玉大学教育学部 (〒338 浦和市下大久保 255)。

*² 正員, 埼玉大学工学部。

*³ 埼玉県さきたま資料館 (〒361 行田市埼玉 4834)。

*⁴ 正員, 新日鉄製鉄(株) (〒211 川崎市中原区井田 1618)。

ワカタケル大王（雄略天皇）に仕え、大王が天下を治めるのを補佐した。そこで辛亥の年（471年）、この剣を作らせ、大王家に仕えた由来を記す。」という内容である²⁾。しかし、なぜこの鉄剣が埼玉にあるのか、材料はどこのものか、どのように加工・製作されたのか、そしてどのような手法で金象嵌されたのか、等々不明な点が多い。

本研究は、さきたま古墳群の稲荷山古墳からの出土磨製文化財のうち上記「辛亥銘鉄剣」を取り上げ、鉄剣がどのような材料で、そして加工・製作されたのかを明らかにし、古代史の研究に資することを目標に展開するものである。

具体的には、これまでの研究調査結果を参考にして出土鉄剣と同一成分の鍛鉄をモデル試料として製作し、さきたま古墳から収集した「古代土」、木炭粉などのほか、古代に存在したであろう「もの」を使用して再現加工実験を試みた。

2. 出土鉄剣のモデル試料の製作と古代土の化学分析

最近、さきたま古墳群の石室の一部には、約120 Kmも離れた千葉県富津市の東京湾で産出する房州石が組み込まれていることが確認された。水運を使った房州～武蔵国間の石材運搬ルートの存在を裏付けるものである³⁾。この例は、古代の地方豪族間のつながりを示唆するものである。

また、4世紀後半のものといわれる山崎山遺蹟（埼玉県宮代町）から鍛冶工房跡が発掘され、鍛冶炉、台石、羽口（ふいご）、鉄製品各種が出土されている⁴⁾。

さて、「辛亥銘鉄剣」に注目してみると、この鉄剣は含銅の磁鉄鉱であることから、中国江南地方の原料磁石が使用されたものと思われる⁵⁾。しかし、前述の山崎山遺蹟の出土事実から埼玉県内辺りで精練・鍛造し、硬さを増すために熱処理を施したことも考えられる。熱処理の有無は不明ではあるが、研磨で鏡面仕上げ加工した後、115文字をたがね彫りして金象嵌したものと推測される。金象嵌を確実かつ美しくするためには、当然最高の技術を結集して、当時の超精密研磨を施したにちがいない。

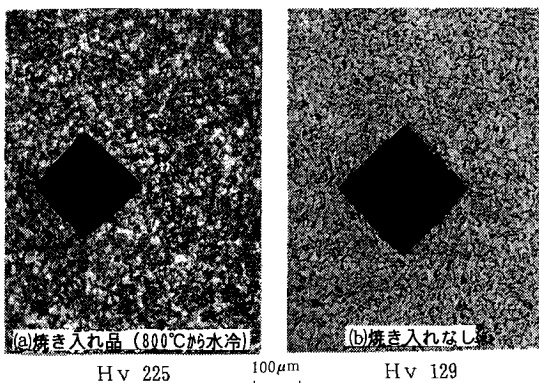
そこで、まず出土鉄剣と同一化学組成成分をねらってモデル試料の鍛鉄を製作し、どの程度の鏡面仕上げができる材料であるか実験的に試すことにした。出土さ

れた辛亥銘鉄剣の化学分析によれば、カーボン(C)が0.2~0.3%、Cuが0.35%含まれているのが特徴的なことである。表1は、製作したモデル試料の化学分析結果である。並記した佐々木らによる「辛亥銘鉄剣」の組成分析⁶⁾と比較すると、ほぼ同等に製作されていることがわかる。

表1 製作したモデル試料(鍛造・圧延)の化学分析結果

化学種(%)	C	Cu	Al	Mn	Ti	Fe
鍛造品	0.2	0.43	0.078	<0.01	0.007	残り
圧延品	0.23	0.62	0.05	<0.01	0.02	残り
鉄剣の組成 ⁶⁾	0.2~0.3	0.35	—	0.18	<0.01	残り

試料には、焼き入れした(800°Cから焼)ものと、焼き入れなしのもの、2種類を準備した。このモデル試料の熱処理については、当時の熱処理の技法はかなり初歩的なものであったであろうから、焼き入れのさいには完全な組織としないように心掛けた。辛亥銘鉄剣は、熱処理(焼き入れ)をしたか否か、議論のあるところである。鉄剣の峰(刀の刃の背)にある115文字をたがね彫りしていることから、この部分には焼き入れをしていないと考えるのが妥当である⁶⁾。一方、銘文の内容から判断してこの鉄剣は、埼玉の豪族が家系を誇り後世に残すべく製作されたものであるから、保存を考えて部分的に焼き入れをしたともいえる。しかし、すでに弥生時代当時でも部分的に熱処理をすることができた⁶⁾ことから類推して、辛亥銘鉄剣には両者の目的



白い部分：フェライト
黒い部分：パーライトとマルテンサイトが共存
硬さ試験荷重：49N

図1 作製した出土鉄剣成分模倣の鍛鉄試料の組織と硬さ試験時の圧痕

表2 埼玉古墳から採集した古代土の化学分析結果

化学成分 (%)	Si	Al	Ca	Mg	Fe	Mn	有機物	Ti	S	Cr, Cu, Ni, V, Pb, Zn, Zr, Ba, Pほか
古代土	24.3	10.5	0.74	1.30	4.67	0.12	13.6	0.53	0.032	各々<0.1
非古代土	20.6	11.7	0.73	1.49	7.57	0.15	12.2	0.53	0.067	各々<0.1

表3 モデル試料と加工条件

モデル試料	出土鉄剣成分模倣鍛鉄の焼き入れ品と非焼き入れ品(□10×t5mm)	
加工機	修正輪型研磨機(定盤: φ180mm)	
工程条件	粗加工 [ラッピング]	仕上げ加工 [ポリシング]
工具皿	天然石 (大村砥石)	檜 (木口面)、麻布、鹿革
加工剤	水、古代土の水溶液	古代土、木炭粉の純水懸濁液
圧力	~800g/cm ²	200~500g/cm ²
回転数	60rpm (平均相対速度: 1.8m/min)	

を達成し得たのではなかろうか。このような考えから、モデル試料には、焼き入れ無しの鍛鉄と焼き入れた鍛鉄を対象とした。

図1に、(b)焼き入れ無しの鍛鉄ならびに(a)焼き入れを施した鍛鉄の組織と硬さ試験時の圧痕の写真を示す。(b)の空冷の鍛鉄はフェライト・パーライトの組織になっているのに対して、(a)の焼き入れをしたモデル試料はフェライト・パーライトが残ったマルテンサイト気味の不完全組織である。これらの非焼き入れ品ならびに焼き入れ品のモデル試料のピッカース硬さ(Hv)は、圧痕からそれぞれHv=129、Hv=225であり、後者は前者に比べかなり硬いといえる。

一方、表2は、埼玉古墳群の中の瓦塚古墳の発掘調査現場から実際に採集した「古代土」の化学分析結果である。古代土と非古代土では、Si、Al、Mg、Feの比率に相異がみられるが、両者ともSiとAlが3割以上を占めていることから、砥粒としての役目を果たすものと考えた。また、その他有機物が14%を占め、この中には炭素も多く含まれていよう。したがって、木炭の粉末の懸濁液も加工剤にして確かめる必要がある。ここでは、当時に近い状態を醸し出す観点から、古代土、および木炭粉を分散した懸濁液をポリシングに適用することを考えた。

3. 実験方法ならびに加工条件

加工の再現実験では、粗加工と仕上げ加工の二段階工程を設定した。表3に、使用したモデル試料と各工程別の加工条件を示す。試料には、上述のように「辛亥銘鉄剣」と同一化学組成成分をねらって焼き入れ処理

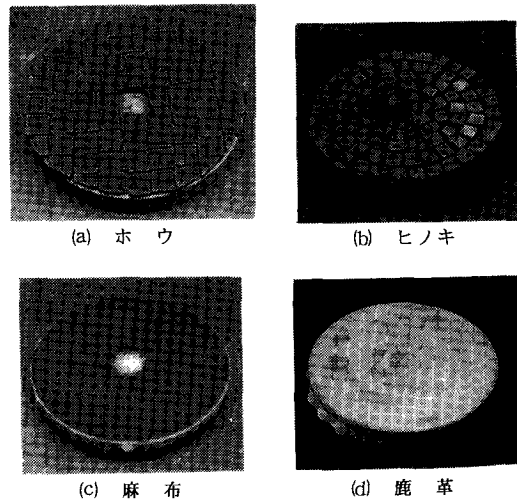


図2 再現実験に使用した各種工具（ポリシャ）の概観写真

もしくはしない鍛鉄を作製し、それを口10×t5mmに切りだして使用した。

粗加工では、砂岩に類する天然石(大村砥石)を約15mm(t3mm)のペレット状に切りだして、調密に定盤に貼りつけたものをラップ皿にして、水道水のみを加工液とした。仕上げ加工では、木材(木口面)を粗加工と同様にペレット状に切りだしてポリシャとした。木材の樹種は、比較的均質のホウと、出土鉄剣の鞘木と鑑定されたヒノキ⁷⁾を選択した。また、古代に存在したであろう麻布、鹿革などもポリシャとしてとりあげた。図2に、使用した工具(ポリシャ)の外観写真を示す。

ポリシャ剤には古代土ならびに粉碎した広葉樹の木炭をそれぞれを細かい篩で分けた後、純粋に分散させて晒木綿で濾すことを数回繰り返して分級したものを用いた。なかには、純水に分散させた後、その上澄み液を加工剤とし本加工条件による最高級の平滑な表面粗さを追求した。

加工装置は、修正輪形の研磨機(定盤径φ180mm)を適用した。

4. 実験結果ならびに考察

4.1 天然石/水によるラッピング(粗加工)

図3に、熱処理なしの鍛鉄のモデル試料を用いて、加工時間と加工面の表面粗さの関係を示す。出発時点(GC#800ラップ面)の表面粗さR_{max}6.5μmは、加工時間とともに表面粗さが小さくなり、40分前後でR_{max}1.5μmの表面粗さが得られる。図4はその加工面の顕

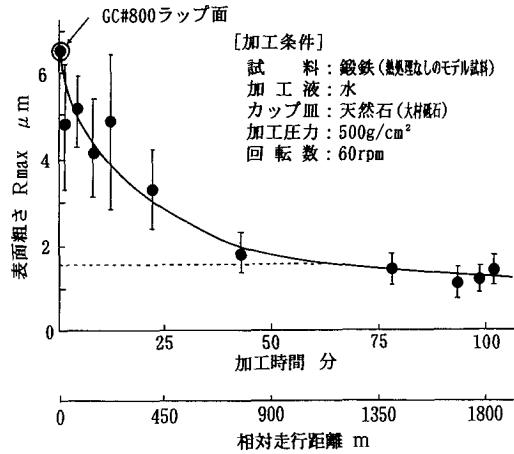


図3 天然石と水によるラッピングにおける加工時間と表面粗さの関係

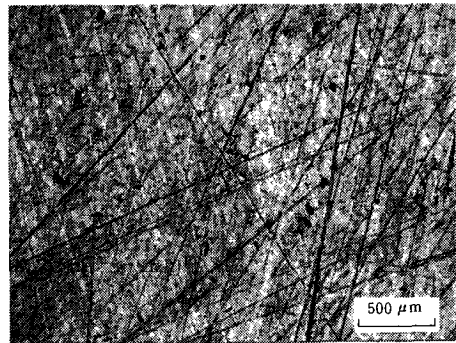


図4 天然石(大村砥石)と水による試料(熱処理なしの鍛鉄)の加工面の顕微鏡写真(40分加工後、R_{max}15μm)

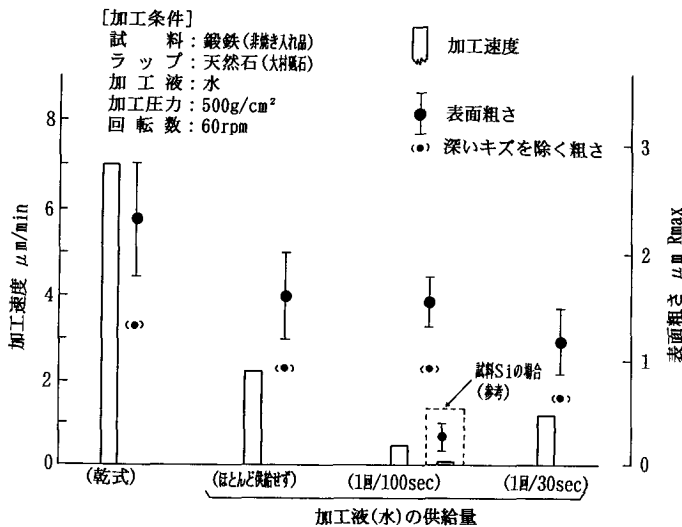


図5 天然石に供給する水(加工液)の量による加工速度と表面粗さの比較

顕微鏡写真の一例であり、天然石から生じる粒子による引っかきと破砕が混じった面になっている。加工速度と加工面状態は、供給する水(加工液)の量によって大きく異なる。図5は、その一例を示すものである。加工液を全く与えない乾式の場合、加工速度は大きいですが表面粗さは大きくそのバラツキも大きい。しかし、適度に加工液を供給することによって、加工速度は低下するものの比較的安定した加工面が得られる。これらのことは、加工液が含まれることにより、天然石から出てくる粒子による一種の遊離砥粒加工的な作用があるためであろう。

一方、熱処理をした硬質なモデル試料の場合、加工速度は0.7 $\mu\text{m}/\text{h}$ と低く、焼き入れをしてない軟質の先の試料に比べ加工速度が半減した。図6(a)(b)は、工具として加工に使用した前後の天然石の電顕写真である。使用後の(b)面では100 μm 前後の粒子(砥粒に相当)は摩滅しており、試料が硬い場合には喰いつきが悪いと推測される。ただし、大きなスクラッチがあるものの、光沢がある加工面(表面粗さ: $R_{\text{max}}0.15\sim0.3\mu\text{m}$)となっている。これらは、焼き入れなしの軟質試料では見られなかったことである。図7は、加工面の表面粗さの一例である。

さらに、加工液に古代土を混合させるところ、加工速度は約10倍増加し、表面粗さは2倍程度大きくなった。これは、古代土粒子が試料の加工に直接作用するというよりも、加工面と天然石表面の観察から、天然石の粒子を遊離状態にさせて常に加工面に供給し、所謂ラッピングに近い状態になったためと考えられる。恐らく、古代人もこの種の手法で、表面状態はそれ程よくないが能率をあげることを、経験的に試みていたであろう。

4.2 古代土、木炭粉の懸濁液と木材、麻布、鹿布のポリシャによる鏡面加工(ポリシング)

図8に、ホウとヒノキをポリシャとした場合について、熱処理なしの軟質試料の加工速度と表面粗さを示す。ホウをポリシャにしたとき、粗粒子(分粒回数1回)のポリシ剤では加工速度が比較的大きいが、中粒子(分粒回数2回)のポリシ剤ではほとんど加工速度がゼロに等しい。他方、ヒノキをポリシャにすると、中粒子でも細粒子(分粒回数4回)でも加工することができ、表面粗さもそれぞれ $R_{\text{max}}0.3\mu\text{m}$ 、ならびに $0.1\mu\text{m}$ が得られる。ホウは年輪の部分も比較的軟質で均質な組織であるのに対して、ヒノキはきわめて硬い年輪の部分と軟質の部分からなる。したがって、前者の場合、軟質過ぎて粒子が埋もれてしまい、引っかきによる除去作用がきわめて小さくなるためであろう。その点、ヒノ

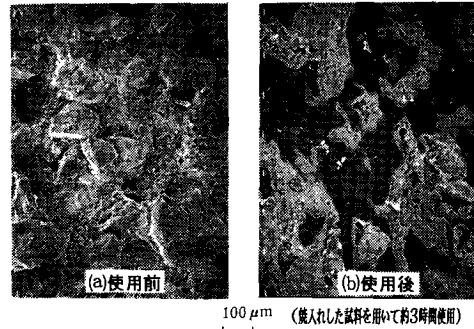


図6 粗加工に工具として使用した天然石(大村砥石)の表面の電顕写真

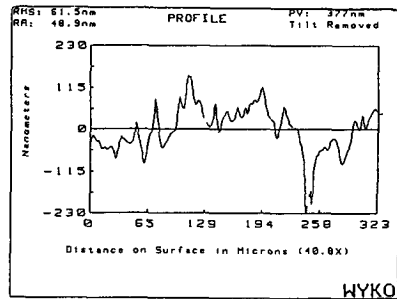


図7 天然石と水によるモデル試料面の表面粗さ(焼入れした試料を約2時間加工後)

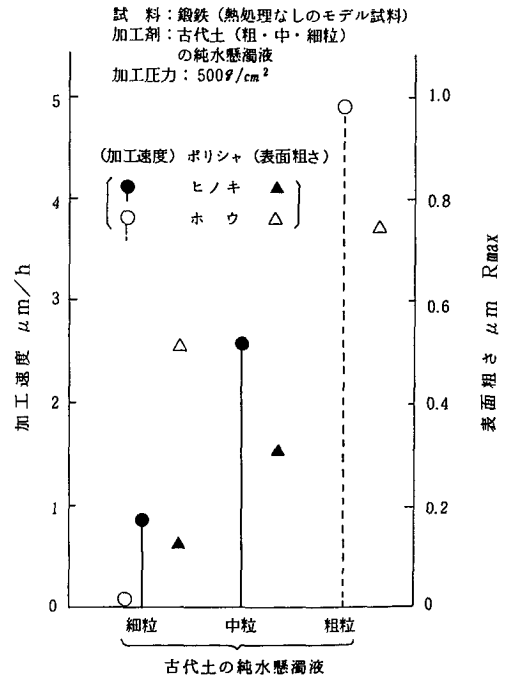


図8 古代土の分粒水懸濁液と木材ポリシャ(新鹿風)によるポリシング特性

表4 各種条件による鏡面加工結果（試料：熱処理（焼入れ品））

加工剤	ポリシヤ		
	檜の木口面	鹿の革	麻布
古代土の懸濁液 （上澄み液）	750 Å Rmax 0.5 μm/h	130~180 Å Rmax 0.1 μm/h	130~280 Å Rmax 0.1 μm/h 以下
木炭粉の懸濁液 （上澄み液）	160~270 Å Rmax 0.3 μm/h	320~440 Å Rmax 0.5 μm/h	300~600 Å Rmax 2.1 μm/h
参考	加工剤：ダイヤモンド粒子 （2~6 μm）水溶液	ポリシヤ：ポリエステル 不織布	240~270 Å Rmax 11.6 μm/h

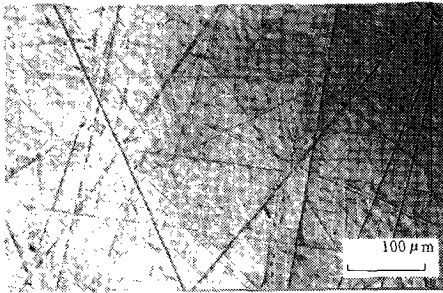
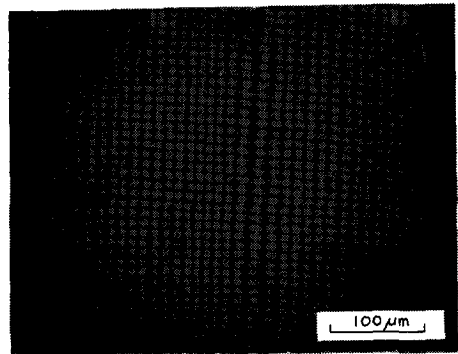


図9 ヒノキ・ポリシヤと細粒の古代土懸濁液による鏡鉄（熱処理なし）の加工面の顕微鏡写真（60分加工後）

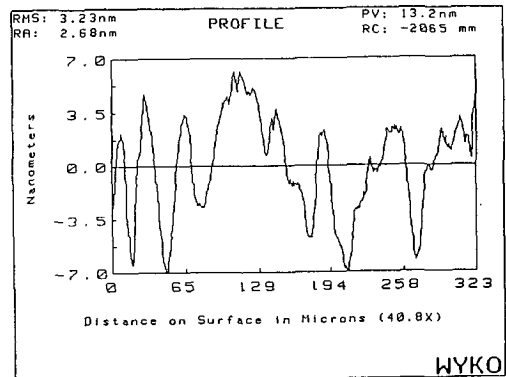
キは適度な硬い部分と軟らかい部分とから構成されているので、結果的に微粒子の保持と作用しやすい機能を兼備しているポリシヤといえる。図9は、ヒノキをポリシヤとしたときの鉄のポリシヤ面の顕微鏡写真である。分粒しきれなかった粗もしくは中粒子によるスクラッチを除けば、古代土によっても鏡面に近い加工面を得られることを示すものである。

古代土ならびに木炭粉の水溶液から採集した上澄み液は、どの位の粒径になっているか確認していないが、長時間放置してもほとんど沈殿しない懸濁液となっている。最高級の平滑鏡面を期待し、これらの超微粒子懸濁液を加工剤にしてポリシングを試みた。表4に、両者の懸濁液と各種ポリシヤを組み合わせ加工した結果を示す。試料は熱処理した硬質のものである。比較のために、現在一般的に使用されているダイヤモンド（2~6 μm）粒子によるポリシング結果も併記した。古代土の懸濁液によれば、加工速度は低いものの、ダイヤモンド・ポリシヤよりもむしろ良好な、表面粗さ Rmax 200 Å 前後の鏡面が得られる。ただし、硬い檜をポリシヤにした場合は、大きなスクラッチが見られた。

図10は、本実験で得られた最もファインな鏡面の顕



(a) 加工面の顕微鏡写真



(b) 加工面の表面粗さ

 図10 鏡面加工したモデル試料の顕微鏡写真と表面粗さの一例
 【焼入れ試料を120分加工後】
 （加工条件 ポリシヤ：鹿革、加工剤：古代土の懸濁液）

微鏡写真とその表面粗さの一例である。鹿革ポリシヤと古代土懸濁液の加工剤による組合せでポリシヤした加工面に、スポットライトを当てると、細かいスクラッチが認められるが、かなり光沢度の高い鏡面である。他方、木炭粉の懸濁液を加工剤とした場合でも、表面

粗さは前者の場合に比べて若干劣るものの、光沢のある鏡面加工が実現できることを確認している。加工能率は、古代土の懸濁液よりも2倍以上である。さらに、ここでの特徴的なことは、櫛ポリシヤでも表面粗さが小さくなっていること、麻布ポリシヤで加工速度が他の条件の場合に比べて1桁ほど高いことである。これらについては、今後、実験結果の再現性を確かめながら考察していく。

以上のように当時の時代に存在したと思われる「もの」を使用することによって、鉄剣模倣の焼き入れた硬い鉄試料をも鏡面加工できることを検証した。しかしながら、「辛亥銘鉄剣」が当時どの程度の光沢度・表面粗さに研磨されたものか不明であるので、さらに調査をしつつ詳細な検討をしていく必要がある。

5. むすび

さきたま古墳群の中の稲荷山古墳から鏡、勾玉、武器、工具、馬具などの多くの副葬品が発掘されている。この中で、とくに金錯銘鉄剣「辛亥銘鉄剣」は、115文字の銘文が金象嵌されており、古代史研究者をはじめ各界から注目をあびている。しかし、この鉄剣について、その材料、加工・製作法など詳細は不明である。

本研究は、さきたま古墳からの出土磨製文化財の中なら「辛亥銘鉄剣」に着目し、その鉄剣がどのような材料に加工・製作されたかを明らかにして古代史の研究に資することを目標に着手した。具体的には、まず、これまでの辛亥銘鉄剣に関する調査結果を参考にして、その鉄剣と同一成分の鍛鉄をモデル試料として製作した。そのさい、鉄剣が部分焼き入れをしているものと想定して、モデル試料は焼き入れ品と非焼き入れ品の二種類を準備し、加工対象とした。そして、さきたま古墳から収集した「古代土」、木炭粉などを水に懸濁させたものを加工剤とする一方、古代に存在したであろう天然石（大村砥石）、麻布、木材（ヒノキ、ホウ）、動物

皮（鹿革）などを工具として、古式の再現加工実験を行なった。

本研究によって、古式加工法でモデル試料の鍛鉄の表面を現在のダイヤモンドポリシング法に匹敵する鏡面が得られることを明らかにした。

本研究で得た知見を基に、今後、さらに古式法による研磨実験を検討し、加工技術の観点から国宝・辛亥銘鉄剣の由来等について研究・考察していく。

[謝 辞]

本研究を遂行するに当たり、さきたま古墳に関する資料・情報を提供して下さった埼玉県教育委員会文化財保護課をはじめ、HiMEP研究所・小林昭博士（元埼玉大学教授）、都立太田高等職業技術専門校・鈴木勉氏、マミヤ光機株式会社・延島治夫氏の方々にお礼申し上げます。

最後に、本研究に対して、三島海雲記念財団からの学術研究奨励金の御援助を賜りましたことを、心から御礼申し上げます。

文 献

- (1) 原島礼二ら：さきたま古墳群、埼玉新聞社編（1986年3月発行）
- (2) 埼玉県教育委員会：稲荷山古墳出土鉄剣金象嵌銘概報、一五刷（昭和63年7月）
- (3) 毎日新聞（1992年9月14日）
- (4) 読売新聞（1990年11月）
- (5) 埼玉新聞社：稲荷山古墳－鉄剣が秘めた古代の謎－埼玉新聞社発行、1978年
- (6) 新日本製鉄株式会社広報企画室編：鉄の文化史（第4版）p.148、1985年、東洋経済新報社
- (7) 埼玉県教育委員会：埼玉稲荷山古墳－辛亥銘鉄剣修理報告書－（昭和57年3月）