

# 隕鉄製鉄器の自然科学的研究

田 口 勇

- 
- |          |             |
|----------|-------------|
| 1. 序 言   | 4. 隕鉄製鉄器の試作 |
| 2. 隕 鉄   | 5. 結 言      |
| 3. 隕鉄製鉄器 |             |
- 

## 論文要旨

人類の鉄使用のスタートは隕鉄から造った鉄器に始まったと現在考えられているが、これまでこの隕鉄製鉄器について自然科学的見地からの総括的な研究調査は行われていなかった。これらの隕鉄製鉄器を総括的に調査し、鉄の歴史のスタート時点を明らかにすることを目的として本研究を実施した。すなわち、隕鉄について隕鉄起源説、隕鉄の成因、隕鉄の分類、南極隕鉄、隕鉄の特徴などを詳細に調査した。さらにこれまでに発見された隕鉄製鉄器を国外と国内に分けて調査した。国外では古代エジプトの鉄環首飾り、古代トルコの黄金装鉄剣、古代中国の鉄刃戈と鉄刃鉞などを、国内では榎本武揚が造った流星刀などを調べた。さらに代表的な隕鉄であるギボン隕鉄（ナミビア出土）から古代でも可能な条件下でナイフを試作した。以上から、人類が鉄鉱石を還元して鉄を得た時期より、はるかに古くから人類は隕鉄から装飾品、武器などを造っていたことがわかった。隕鉄は不純物が少ない場合、低温度（1,100°C以下）でも加熱鍛造性はよいが、不純物が多い場合、加熱鍛造性はわるい。隕鉄の加熱鍛造性を支配している、主な元素としては、硫黄とりんが挙げられる。なお、造ったナイフは隕鉄固有の表面文様（変形したウィドマンステッテン組織による）を有したが、もともとの孔が黒い‘すじ’として残った。

## 1. 序 言

隕鉄は「宇宙からの便り」などと呼ばれ、手に取って調べることができる宇宙物質として、太陽系の起源などの研究に用いられ、地球の年代決定などに役立っているが、人類の歴史の研究の上からも大きな意義をもつ。現在、人類の鉄使用のスタートは隕鉄に始まったと考えられるからである。一方、最近宇宙への関心から、宇宙物質である隕鉄・隕石は脚光を浴び、さらにごく最近では日本の南極観測隊によって多数の隕鉄・隕石が発見され、その研究が大きく進展した。その進展は、隕鉄そのものの特性を明確化するとともに、鉄の歴史をスタートさせた隕鉄製鉄器についても多くを明らかにした。人類が隕鉄から造った鉄器について、これまでは総括的に研究調査されたことがなかったので、本報では自然科学的見地から隕鉄製鉄器を研究調査した。

なお、人類が隕鉄ではなく、鉄鉱石を還元して人工的に鉄を得た最初については諸説があるが、BC約13世紀のヒッタイト（現在、トルコ）という説が一番強い。中国では、BC約8世紀と言われている。国内に、鉄はBC約4世紀、中国から朝鮮半島を経て、北九州へと渡来したとされている<sup>(1)</sup>。

## 2. 隕 鉄

### (1) 隕鉄起源説

周知のごとく、鉄は地上において、通常の場合、酸化鉄としてしか存在せず、自然金、自然銀、自然銅に相当する自然鉄はない。ただスミソニアン博物館（自然科学史）には、写真1に示す自然鉄が展示されている。写真1の自然鉄はグリーンランドの玄武岩から採取されたと説明されているが、極めて稀な例で、通常は自然鉄の存在は否定して論じられる。

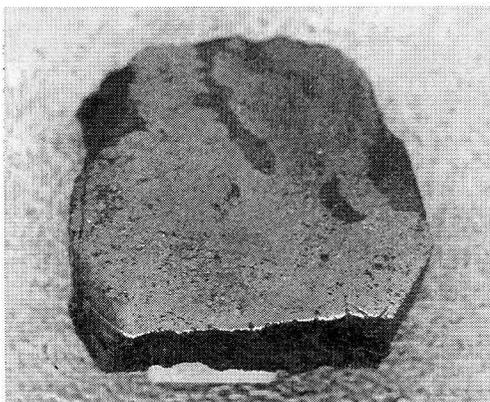


写真1 自然鉄（グリーンランド、スミソニアン自然科学史博物館、齊藤努氏提供）

人類の初めての鉄使用については、古くから隕鉄起源説と自然冶金説があった。隕鉄起源説とは、隕鉄を採取して使用したのが、人類と鉄との触れ合いの始まりである

とする説である。一方、自然冶金説とは、人類がたまたま鉄鉱石の上で焚火をしたり、その上で山火事があったりして、自然に還元された鉄が得られ、それを使用したのが始まりであるとする説である。これまでの鉄の歴史では、この2つの説を単に並列して紹介しているにすぎず、本格的に論じられたことはなかった。

## (2) 隕鉄の成因

隕鉄は別に天降鉄、天鉄、鉄隕石、鉄質隕石、星鉄、隕星などと呼ばれている。太陽系の火星と木星との間の小惑星帯から飛来し、地球の大気中でも燃え尽きずに地上に落下した小惑星の‘かけら’をいう。なお、石質のものは隕石、天降石、天石、星石などと呼ばれ、同様に小惑星の‘かけら’である。地球のような天体が崩壊して‘かけら’となる場合、外側は隕石となり、芯は隕鉄となる。当然、その中間も存在するが、その数は少ない。

近年まで、隕鉄・隕石の飛来先は不明で、風で舞いあげられたものであるとか、魔性の物体であるとか言われていた。隕鉄・隕石の英語（メテオライト、meteorite）は「空中の物体」を示す古代ギリシャ語の「メテオラ」に由来する。地球外から飛来することがわかったのは18世紀末であった。隕鉄・隕石の飛来先を小惑星帯と特定することができたのは、隕鉄・隕石の落下を観察し、軌道計算した結果である。隕石は比較的小さく、数多いが、隕鉄は数少ないが大きいものがあり、世界最大のは南西アフリカで発見されたホバ隕鉄で、重量60 tである。隕鉄・隕石は地球上に均一に落下するのではなく、南極、メキシコ、アフリカなどに多数落下している。また、隕鉄・隕石は何tもあるものが塊のまま落下する場合もあるが、多くは、大気突入時に割れるか、または地表に激突時に割れて小片となる、米国アリゾナ州の大隕鉄孔の周辺においては、現在でも1～3 cmの隕鉄小片を多数見つけることができる。

国内でも、1年に1度ぐらい落下するが、隕石が多い〔日本で最大の隕石は気仙隕石（陸前高田市、106kg）〕。これまでに記録されている、国内に落下した隕鉄は、福江（長崎）、田上（滋賀）、白萩（富山、下記参照）、早乙女（富山）、在所（高知）、岡野（兵庫）、坂内（岐阜）、玖

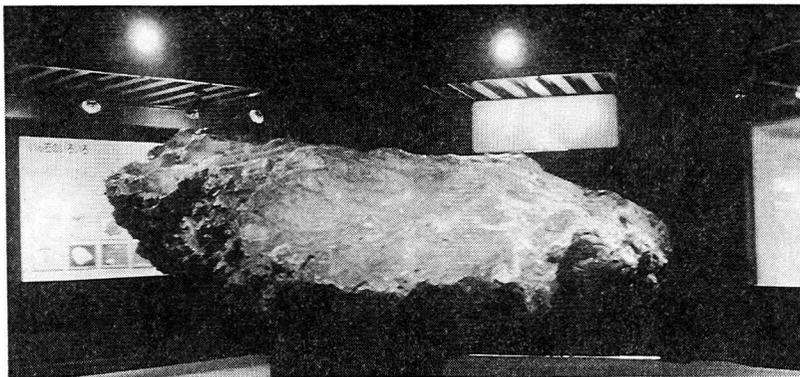


写真2 チュパデロス隕鉄（メキシコ、14.1 t）

珂(山口), 天童(山形)の9個(在所は隕鉄と隕石との中間)<sup>(2)</sup>である。なお、白萩隕鉄をはじめ、国内に落下した隕鉄・隕石の多くは現在、国立科学博物館に集められ、展示されている。なお、1989年横浜博覧会に隕石館が設けられ、14.1 tのチュパデロス隕鉄(写真2, メキシコ)が展示され、また、1990年488.9 kgのギボン隕鉄(ナミビア)が横浜こども科学館に展示された。

### (3) 隕鉄の分類

隕鉄は通常ニッケル含有率によって、つぎの3つに分類される。

- ①ヘキサヘドライト Ni, 約6%以下
- ②オクタヘドライト Ni, 約6~約13%
- ③アタキサイト Ni, 約13%以上

以上の分類は隕鉄の特徴である大模様のウィドマンステッテン組織(研磨し、希硝酸などでエッチングして観察)の程度による分類でもある。オクタヘドライトは特にウィドマンステッテン組織が発達している。同組織の例として、写真3と4のギボン隕鉄(ナミビア)とトルカ

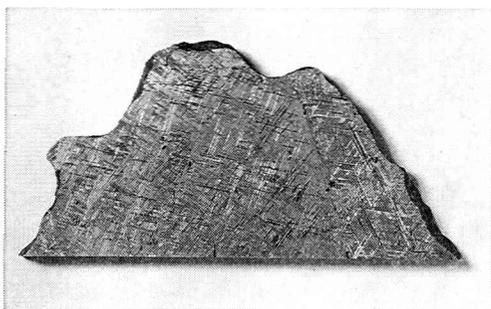


写真3 ギボン隕鉄(ナミビア)の研磨断面(線状: ウィドマンステッテン組織)

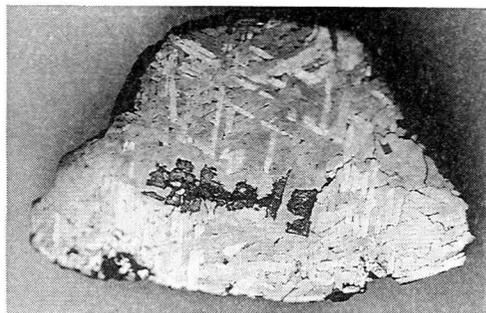


写真4 トルカ隕鉄(メキシコ)の研磨断面(線状: ウィドマンステッテン組織)

隕鉄(メキシコ)のウィドマンステッテン組織を示す。ニッケル含有率が約6%以下のヘキサヘドライトにおいては、ウィドマンステッテン組織の代わりに、平行で細い線であるノイマン線が現れる。またニッケル含有率が約13%以上のアタキサイトにおいても、ウィドマンステッテン組織は明瞭でなくなる。このウィドマンステッテン組織の模様の大きさはニッケル含有率や隕鉄が冷却される速度に関係している。宇宙空間において、隕鉄は100万年に1°C程度で冷却されるので、大模様になる。地上では大模様のウィドマンステッテン組織はできない。

### (4) 南極隕鉄<sup>(3)</sup>

1912年に、オーストラリア隊が南極のアデリーランドで隕石を発見して以来、1986年までに

7,500個の隕石（隕鉄48個，石質隕鉄16個，未区分971個，他は隕石）が南極で発見された。これらの隕鉄・隕石のうち，日本隊が発見したり，共同調査後に配分されたりして，日本が現在保管している隕鉄・隕石は1986年までに5,618個である。現在，南極以外で発見されている隕鉄・隕石は約2,500個（隕鉄約600個，日本では隕鉄・隕石は1988年まで34個）なので，いかに多数であるかがわかる。現在，日本は世界一の隕鉄・隕石保有国である。日本の探検隊のみが南極大陸で多くの隕鉄・隕石を採取することができたのは，隕鉄・隕石は偏在しており，ほとんどが日本の南極探検の主要基地である昭和基地の近くのやまと山脈やセールロンダーネ山脈付近に発見されているからである（やまと山脈で発見されたもの：やまと隕石，セールロンダーネ山脈で発見されたもの：あすか隕石）。一部は米国のマクマード基地付近のアランヒルズに発見されている。いずれの場所も山脈のふもとで，南極の氷がアブレーションされる裸氷帯（青氷帯）で隕鉄・隕石が見いだされている。

南極隕鉄・隕石の発見は日本の南極探検隊の大きな成果である。南極隕鉄・隕石の特徴は，平均して小さいが，数が多いこと，珍しいものが多いこと，冷凍保存され，汚染されておらず，研究資料として極めて貴重であることなどである。この南極隕鉄・隕石は国立極地研究所によって，学術研究に供され，毎年1回（6月ごろ，国立極地研究所），南極隕石シンポジウムが開催されて，成果が発表されている。南極の隕鉄・隕石が学術目的に供された意義は大きく，隕鉄・隕石の研究を大幅に推進している。

1979年に発見されたやまと隕鉄（Yamato 790724）を写真5のaに示した。この隕鉄を

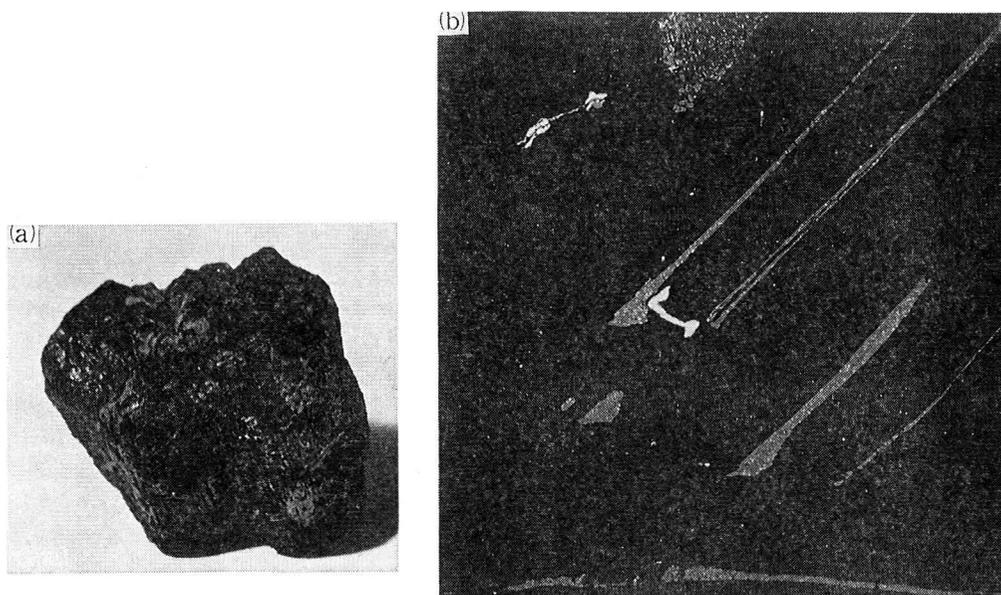


写真5 南極隕鉄（a：Yamato 790724）とCMA分析結果（b，緑：Ni，黄：りん化物，分析面積：3.6×3.6 mm，分析スポット：10×10 $\mu$ m）

(4)  
CMA で分析した結果を写真5のbに示した。この隕鉄の分析結果はつぎのとおりであった。  
Ni : 7.47%, Co : 0.45%, P : 0.12%, Ga : 16ppm, Ge : 49ppm, In : 10ppm。写真5のb  
では緑でニッケルを、赤でリンを示す(各色は元素濃度に従い、16段階に濃淡がつけてある)。  
したがって写真5のbでは隕鉄特有のウィドマンステッテン組織は緑で、隕鉄に特徴的なリン  
化合物〔シュライバーサイト、 $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$ 〕は黄(緑と赤の中間色)で示される。リン化合物は  
大型のものがカーマサイト相中に、小型のものがウィドマンステッテン組織内に多数見いださ  
れた。

### (5) 隕鉄の特徴

南極隕鉄などの研究結果から隕鉄の特徴をまとめると、つぎの3つである。

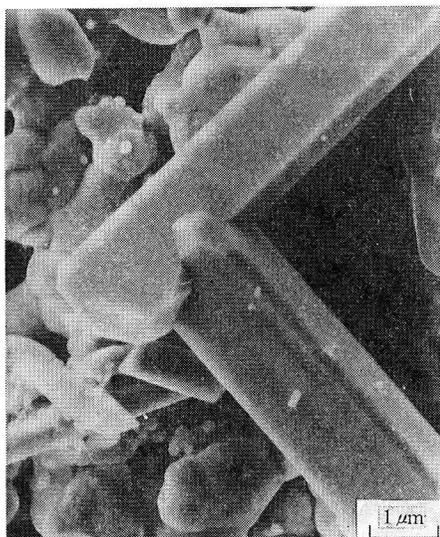


写真6 隕鉄特有のリン化合物〔シュライバーサイト、 $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$ 〕

- ①ニッケルの含有率が高いこと
- ②大模様のウィドマンステッテン組織が存在すること
- ③シュライバーサイトが存在すること

以上は隕鉄製鉄器の判定方法にもなる。①で錆びた試料ではニッケルが選択的に溶出しており、ニッケル含有率が減少している場合がある。②のウィドマンステッテン組織の形は、試料が鍛造などの機械加工を受けている場合には変形している。③のシュライバーサイトは化学的に不安定なので、エッチング処理時などに注意を要する。なお、シュライバーサイト〔鉄ニッケルリン化合物、 $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$ 〕の特異的な棒状体で、地球上の化合物には見当たらない。

## 3. 隕鉄製鉄器

天空から落ちてきた隕鉄は霊力あるものとして、また鋭利な道具となる素材として注目され、武器、装飾品などが古くから世界各地で造られた。

(1) 国 外

a. 古代エジプトの鉄環首飾り

1911年、エジプトのギーザのピラミッドの中で、ペトリーらによって発見され、紀元前3000年とされている。写真7のように二連の首飾りで、7つの鉄環と多数の貴石とからなる。この

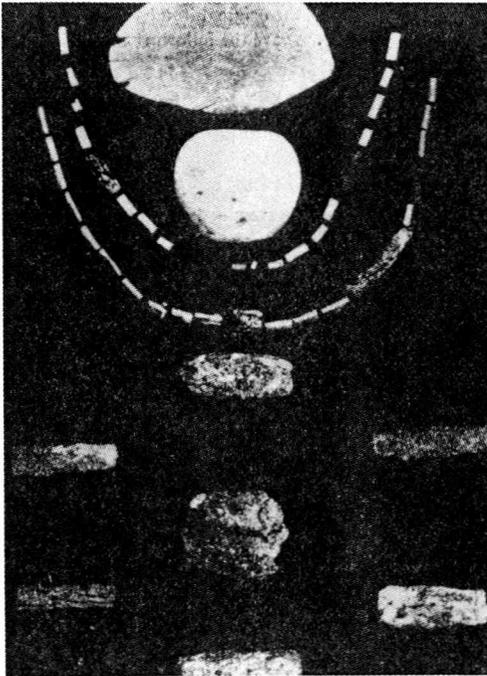


写真7 古代エジプトの隕鉄製首飾り<sup>(5)</sup> (BC約3000年, 下は鉄環の, 上は貴石のそれぞれ拡大写真)

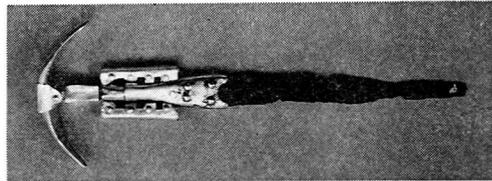


写真8 ヒッタイト(古代トルコ)の黄金装隕鉄製短剣 (BC約2300年, 窪田蔵郎氏提供)

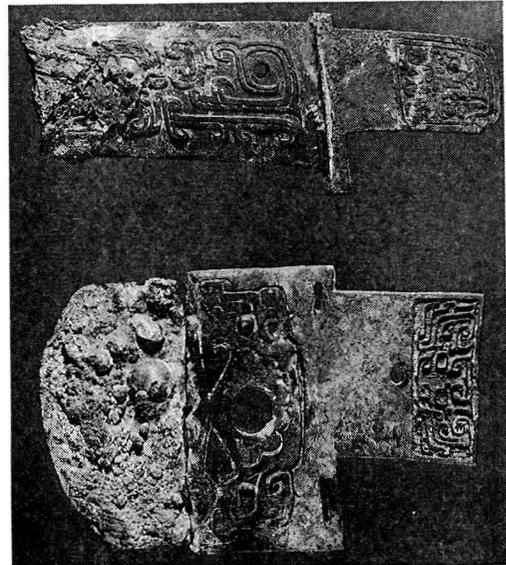
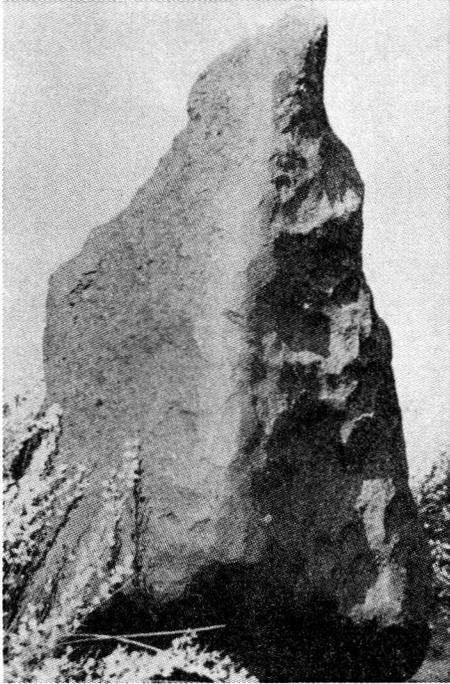


写真9 古代中国の隕鉄製(刃部のみ)の戈と鉞 (BC約14世紀)<sup>(7)</sup>

鉄環の重量は約1gくらいであり、最大のもので、長さ15mm、径12mmであった。これらは全体に錆がはげしく、黒い粉状であったが、保存状態は良好であった。弱い磁性は認められるが、金属部分は確認されていない。これらの鉄環はまず叩いて板にされ、続いて環に加工されたと考えられる。この鉄環のニッケルの分析値は7.5%と報告されている。隕鉄研究の権威者である Buchwald<sup>(5)</sup> は、この鉄器を世界最古の隕鉄製鉄器と述べている。

b. 古代トルコの黄金装鉄剣

アラジャホヌク遺跡(トルコの首都アンカラ市の東約150km)の13王墓のK号墳から、写真



a



b

写真10 ケープヨーク隕鉄(a)から造った斧(b)の記念切手(グリーンランド, 1978年発行)

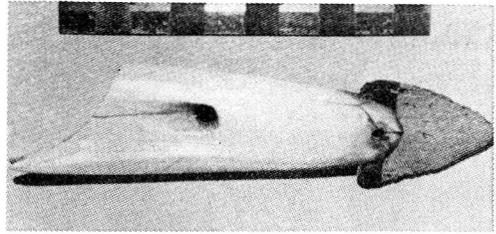


写真11 隕鉄製のもり先<sup>(5)</sup>(セイウチの骨についている, デンマーク)

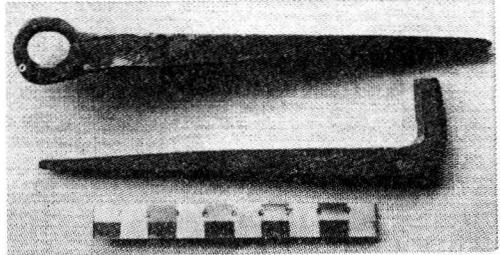


写真12 ケスターヴィレ隕鉄から造った釘<sup>(5)</sup>(米国)

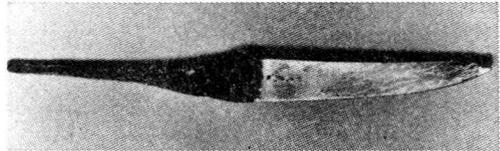


写真13 エルボーゲン隕鉄から造ったナイフ<sup>(5)</sup>(チェコスロバキア, 8.3cm)

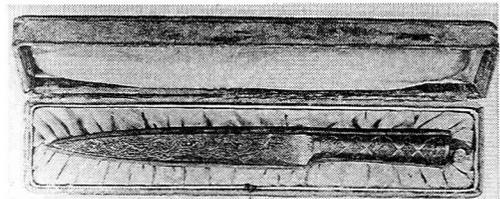


写真14 ジャランダール隕鉄から造ったナイフ<sup>(5)</sup>(インド, フーリア美術館蔵)

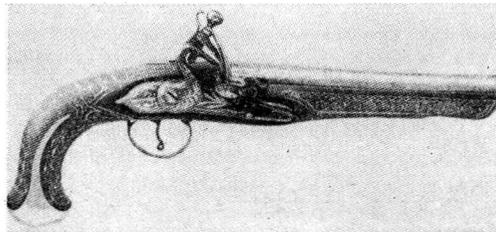


写真15 キャンボ・デル・シーロ隕鉄から造ったピストル<sup>(5)</sup>(アルゼンチン, 米国モンロー記念館蔵)

8の黄金装鉄剣<sup>(6)</sup>が出土した。この13王墓はアンカラ大学のF. クナル教授によって、紀元前2500～2200年と推定され、この黄金装鉄剣は紀元前2300年とされている。この13王墓からは種類の鉄製品が出土している。K号墳の黄金装鉄剣以外に、A号墳からは鉄製のピンが、C号墳からは三日月形の鉄製飾板が出土した。この黄金装鉄短剣は全長約35cmで、鉄剣は鍛造で製作されている。金の薄板を使用しており、柄や鞘などを巻くように包みこんでいる。この鉄剣は儀装用で、実戦用ではない。この鉄剣は、直接分析はされていないが、上記のピンと飾板が分析されており、ピンについてはFe: 94.92%, Ni: 5.08%, 飾板についてはFe: 95.7%, Ni: 4.3%であった。したがって、同時に出土した黄金装鉄剣も隕鉄製鉄器であるとされている。なお、つくば万博(1986年)の鉄鋼館には、この黄金装鉄剣のレプリカが展示された。

### c. 古代中国の鉄刃戈と鉄刃鉞

中国河南省の衛輝府で出土した鉄刃青銅製戈(短剣, 全長18.3cm, 米国フーリア美術館蔵)と鉄刃青銅製鉞(まさかり, 全長17.1cm, 同蔵)を写真9に示す。いずれも紀元前約14世紀とされて、儀式用のものであって、実用を目的としたものではない。またいずれも本体は青銅製で、刃の部分が鉄製である。当時、これらの出土から、古代中国では紀14世紀に鉄鉱石を還元して鉄を造ったとされた。しかし、米国の隕鉄研究の第一人者であるスミソニアン博物館(自然科学史)のR. S. Clarke, Jr. や同館のW. T. Chase<sup>(7)</sup>らが約20年前に実施した研究の結果、隕鉄製であることが明らかとなり、上記は否定された。この調査は古代の隕鉄製鉄器に対する、初めての本格的な自然科学的研究とされる。なお、中国ではその後も河北省台西村遺跡などで同種の鉄刃青銅製鉞が出土している。

### d. 他の例(国外)

古くから世界各地で隕鉄から道具、武器、装飾品などが造られている。ケープヨーク隕鉄(写真10のa)から造った斧(写真10のb)はグリーンランド発行(1978年)の切手となっている。隕鉄の先がついている‘セイウチの骨’製‘もり’(デンマーク)を写真11に、ケスターヴィレ隕鉄から造った釘(米国)を写真12に、エルボーゲン隕鉄から造ったナイフ(チェコスロバキア, 8.3cm)を写真13に、ジャランダール隕鉄から造ったナイフ(インド, フーリア美術館蔵)を写真14にそれぞれ示した。また珍しい例として、写真15に1816年ごろ、アルゼンチン共和国がその当時、アルゼンチンのグランチャコグエンヤパで発見されたキャンボ・デル・シエロ隕鉄で造り、アメリカの大統領のジェームス・モンローに献上したスペイン風の飾りがついた火打ち石式ピストルを示した。献上されたピストルは現在、米国ヴァージニア州のモンロー記念館に展示されている。また、朝鮮半島においては隕鉄の落下(例: 1938年, Shohaku, 101g)<sup>(8)</sup>はあるが、隕鉄製鉄器はこれまで発見されていない。

## (2) 国内

### a. 榎本武揚が造った流星刀

隕鉄・隕石は日本では落下の記録は多い〔直方隕石（直方市）は落下記録がある隕鉄としては世界最古である〕がご神体として祭られたり、秘蔵されたりして、隕鉄製鉄器の記録はなかった。明治時代中期に、榎本武揚が白萩隕鉄から隕鉄刀を造らせ、流星刀と名付け、当時の皇太子、後の大正天皇に献上した。榎本武揚<sup>(9)</sup>（1836～1908年、通称釜次郎、字梁川）は旧幕臣、政治家、外交官として知られるが、万能な科学者でもあった。鉱物学、地質学、地理学、気象学、化学、冶金学、機械工学、植物学、民俗学、人類学、言語学、経済学などに長じていた。武揚の科学者としての業績をまとめると、次のとおりである。①流星刀作製と流星刀記事、②北海道の地質、鉱物、物産などの調査、③ロシアの地質、鉱物、物産などの調査、④気象観測所の設置、⑤電信機の導入、⑥養鶏。

武揚は上記の中でも、特に鉱物学、冶金学に関心をもっていたことが知られ、特命全権大使として露都サンクト・ペテルブルグ（現在のレニングラード）に滞在中（1874～1875年）に隕鉄刀に強い関心を持った（後述）。1895年農商務大臣在任中、同省地質調査所に持ち込まれた白萩隕鉄（富山県上新川郡白萩村で発見、写真16の左）を購入し、大臣辞任の翌年（1898年）、5振りの隕鉄刀（長刀2振り、短刀3振り、写真16の右に短刀）を、刀工岡吉國宗に命じて作製

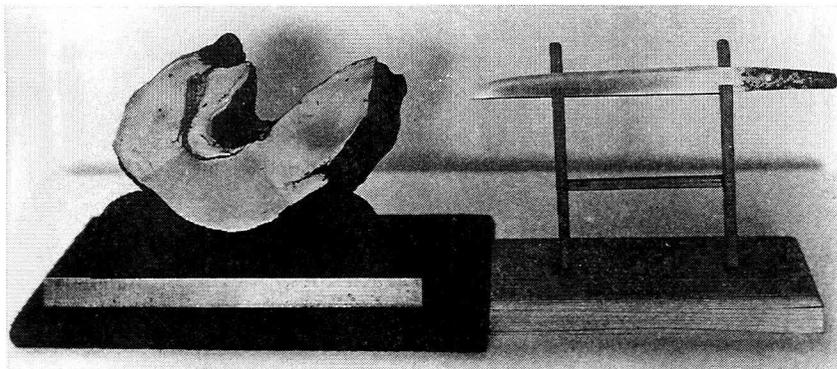


写真16 白萩隕鉄（左）と流星刀（短刀，右）（村山定男氏提供）

させた。武揚はこの隕鉄刀を「流星刀」と命名し、そのうちの長刀を当時皇太子であった大正天皇に献上した。同時に、日本ではじめての隕鉄に関する科学論文である「流星刀記事」を執筆した。この流星刀記事は存命中には公表されず、死後その存在が発見されたが、これまで一部しか明らかにされていなかった。なお、流星刀記事によれば、まず、長刀2振りと短刀2振りを造り、「星鉄残片1、中国玉鋼2ノ割合ニ混合シ」、短刀1振りを造った。

<sup>(10)</sup>  
流星刀記事の原本の始めと終わりの部分を写真17に示す。原本は和紙（B4版）に縦書きで



ラシメ、以テ我カ皇太子殿下御丁年ノ御祝儀トシテ献上シ奉ラント発念セシハ偶然ノ事ニアラス。予カ往年全権公使ノ職ヲ以テ露京聖彼得堡府ニ在リシ時、「ツァルコエ・セロー」ノ離宮ニ於テ露帝亜歴山得第一世ノ珍藏セラレシ星鉄刀ヲ親シク見テ一種ノ感ヲ起シタルニ基ケリ。当時予ニ付添ヒシ宮内官吏ノ語ル所ニ拠ハ、該剣ハ亜歴山得第一世帝カ「ナポレオン」第一世ヲ大ニ「モスコウ」ニ於テ破リシ功ニ対シ、独逸国ヨリ献セシナリト。「献上ノ流星刀々身ニ関スル特質」については鍛錬、刃金、鑢削及鏝削、強力、鍛合ノ困難などに分けられて、次のように記述されている。

『鍛錬 長刀及短刀各二振ノ内、甲ノ一振ハ星鉄ヲ十六回折返シ鍛錬シタルモノヲ用ヒ、乙ノ一振ハ二十四回折返シ鍛錬シタルモノヲ用ヒテ造レリ。四刀二振共ニ刀身ノ表面ニ恰モ槻ノ如輪木理ニ似タル斑紋アルハ即チ星鉄ノ特質ニシテ、就中此斑紋ノ稍大ニシテ、鮮明ニ且ツ無瑕ニ出来上リタル者ハ即チ献上ノ一刀ナリ。

刃金 前記ノ如ク数回鍛錬シタル星鉄ノ中間ニ挟ミタル刃金ハ中国砂鉄ノ玉鋼ニシテ、其配分ハ星鉄七分玉鋼三分ノ者切味最モ鋭利ナルヲ以テ、甲乙各一振トモ此ノ割合ヲ採レリ。

鑢削及鏝削 鑢削又ハ鏝削ヲ施スニ粘靱ニシテ稍硬ク、恰モ鑢又ハ鏝ヲ吸引スルカ如キ感アリ

強力 誠ニ鎚延シタル星鉄ノ一片ヲ截リテ之ヲ折ルニ、屢ハ屈曲スルモ容易ニ切断セス。以テ其強力ノ大ナルヲ知ル。

鍛合ノ困難 星鉄ノ鍛合ハ通常ノ鍊鉄又ハ玉鋼ノ鍛合ニ比シテ頗ル困難ナリ。而シテ之ヲ鍛合スルニハ充分ナル白熱ヲ与フルヲ宜シトス。始メ刀工國宗カ星鉄ヲ鍛錬スルニ方リ、鍛合頗ル困難ニシテ意ノ如クナラス。依テ其氏神タル氷川神社ニ祈誓シ三週間精進潔齋シテ鍛合ノ方法ヲ工夫シ、漸ク其目的ヲ達シタリト陳セリ。』

## b. その他

1987年、筆者はトルカ隕鉄（メキシコ、269g）からペーパーナイフ（11cm）を製造した。吉原義人氏はキャニオン・デアプロ隕鉄（米国）から、写真18に示すペーパーナイフなどを製作した。

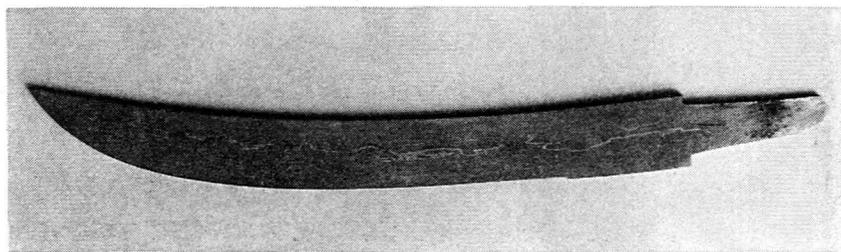


写真18 キャニオン・デアプロ隕鉄製ナイフ（吉原義人氏蔵、全長12cm）

## 4. 隕鉄製鉄器の試作

これまでは隕鉄から武器などを造ることは容易であると考えられ、自然科学的に研究されたことがなかった。しかし、表1に示す、隕鉄の成分元素を冶金科学的に考察すると、隕鉄の加

表1 隕鉄の成分元素分析値(%)

| 成分元素         | 白萩<br>(日本)           | ギボン<br>(ナミビア) | トルカ<br>(メキシコ) | オデッサ<br>(アメリカ) | キャニオン<br>・デアプロ<br>(アメリカ) | マンドラビラ<br>(オーストラ<br>リア) | ヘンバリー<br>(オーストラ<br>リア) |
|--------------|----------------------|---------------|---------------|----------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| ニッケル<br>(Ni) | 7.86 <sup>(11)</sup> | 7.82          | 7.79          | 7.30           | 7.33                     | 7.72                    | 7.62                   |
| コバルト<br>(Co) | 0.46 <sup>(11)</sup> | 0.44          | 0.50          | 0.47           | 0.51                     | 0.64                    | 0.47                   |
| 硫黄<br>(S)    | 0.001 <sup>(9)</sup> | 0.001         | 0.003         | 0.03           | 0.009                    | 0.04                    | 0.01                   |
| りん<br>(P)    | 0.064 <sup>(9)</sup> | 0.040         | 0.215         | 0.17           | 0.26                     | 0.31                    | 0.09                   |
| 炭素<br>(C)    | 0.219 <sup>(9)</sup> | 0.010         | 0.009         | 0.005          | 0.138                    | 0.021                   | 0.007                  |

熱鍛造性は悪いことが予測されたので、その加熱鍛造性を新しく調べることにした。隕鉄製鉄器を目的に合わせて加工するには、研磨などだけでは不十分なのでどうしても加熱鍛造が必要となる。隕鉄の成分元素が問題となる。隕鉄を加工する方法としては次が考えられる。

- ①溶解して鑄造する
- ②溶解直前までの高温で加熱して、鍛造する
- ③高温で加熱して、鍛造する
- ④道具の形に切り取る
- ⑤一般の鉄などを混ぜる

表1に成分元素を示した6種の隕鉄(白萩隕鉄を除く)について、それぞれ15×15×15各mmの試料を作製し、松炭で約1,100°Cとして加熱鍛造実験を実施した。その結果によれば、ギボンとヘンバリーは比較的容易に鍛造できたが、トルカとキャニオン・デアプロは困難であり、オデッサとマンドラビラの場合は割れてしまって、鍛造できなかった。この結果を、りんと硫黄の含有率を縦軸と横軸としてプロットした。プロットした結果を図1に示した。図1の結果によれば、加熱鍛造については、硫黄含有率が問題で0.02%以上では割れてしまう。リン含有率は硫黄ほどは影響がないが、0.2%以上では加熱鍛造性を悪くする。硫黄とりんはそれぞれ硫化物(トロイライト, FeS) やりん化合物[シュライバーサイト, (Fe, Ni)<sub>3</sub>P]を形成し、割れの起点となる。電子顕微鏡観察によれば、割れは上記の不純物の偏析部分やウィドマンズ

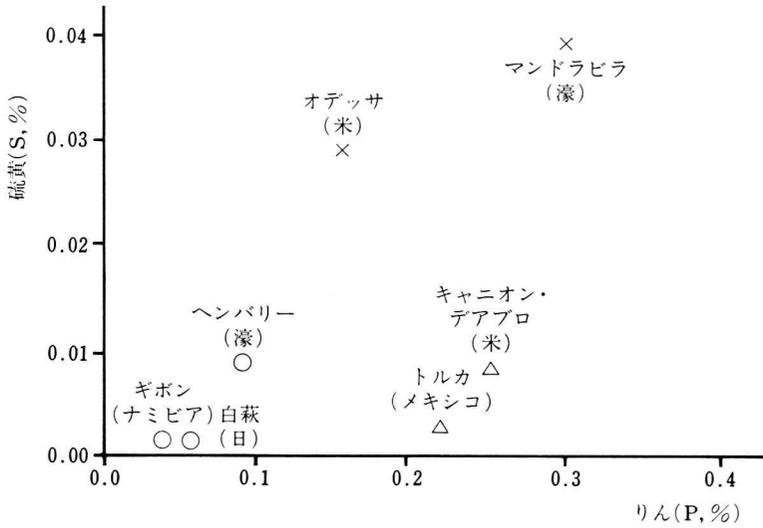


図1 隕鉄試料の加熱鍛造結果 (試料サイズ: 15×15×15mm, 加熱温度: 1100°C, 白萩は参考)



写真19 ギボン隕鉄からナイフを造る実験

テッテン組織に沿って伝播する。なお、ニッケルやコバルトも加熱鍛造にはマイナスである。しかし、これらの元素は刀を硬化させ、炭素が非常に低いにもかかわらず、刀の切れを良くする。

白萩隕鉄は表1のように、硫黄とりんの含有率は低い。武揚の流星刀製造はこの硫黄とりんの含有率の低さに助けられ、比較的容易に実施されたと考えられる。さらに製造法としては流星刀記事の「刀工國宗ヨリ予ニ差出セル書」に、「鍛フル度毎ニ、其色白ク冴ユル迄充分に鎔カシ<sup>(10)</sup>込ミシニ、遂ニ無事出来上リ申候」とあるように、上記の②のように溶解寸前までの高温で加熱

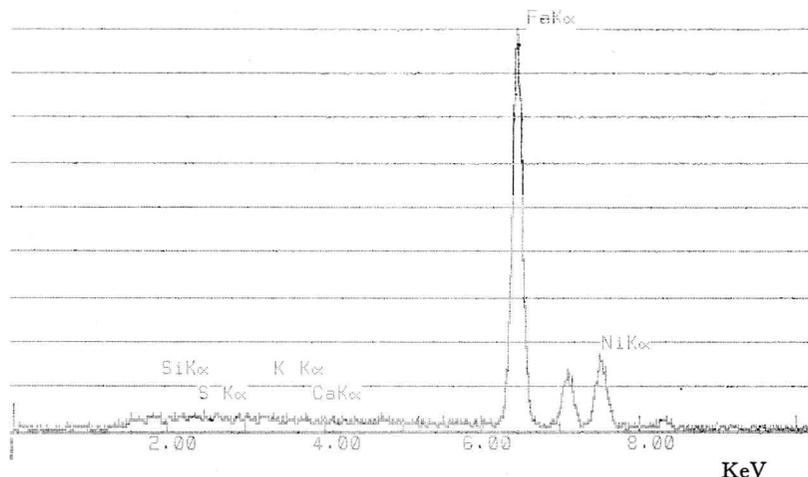


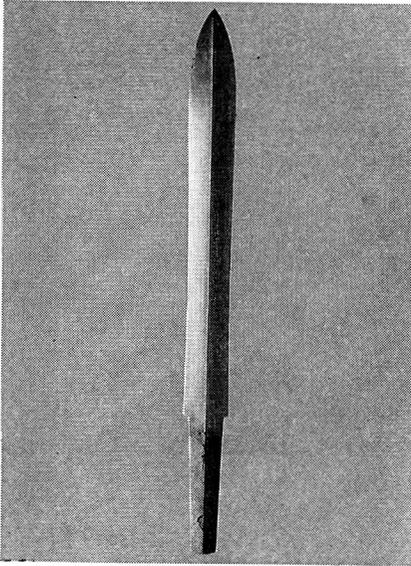
図2 X線マイクロアナライザー付電子顕微鏡によるギボン隕鉄製ナイフ先端部の表面文様の分析（白色文様部）

して、鍛造したとされる。松炭でもふいご送風では1,350~1,400°Cまでの高温は得られる。

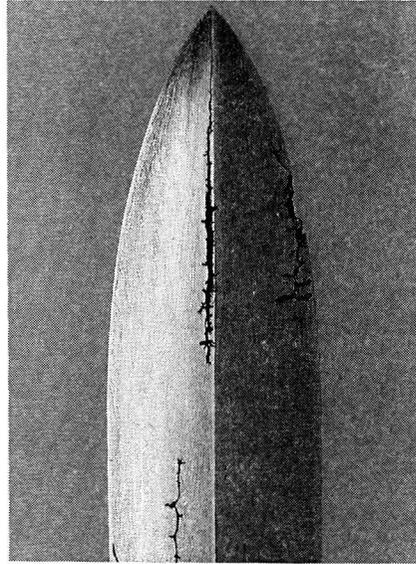
以上に対して、超古代においては③の高温で加熱して、鍛造するしか方法の可能性はない。この場合の高温としてはまず1,100°Cを想定する。この加熱鍛造において、上記の実験結果から隕鉄中の成分元素が最大の問題となる。図1の実験結果からギボン隕鉄とヘンバリー隕鉄に可能性を見いだしたので、ギボン隕鉄を選び、ナイフを造ることを試みた。

ギボン隕鉄（写真3 2,638g）から、試料185×75×14各mmを切り出し、吉原義人刀匠（東京）に製作を依頼した。松炭を使用し、ふいごで加熱温度を約1,100°Cとして加熱鍛造した。製作時の様子を写真19に示した。製作した隕鉄製ナイフの全体と先端部を写真20に示した。同ナイフの表面文様を電子顕微鏡で観察して、写真21と22に示した。また、表面文様の白色部分を、電子顕微鏡についたエネルギー分散型X線マイクロアナライザーで分析した。結果を図2に示したが、表面文様の白色部分にはニッケルが高く、表面文様は加工時に変形したウィドマンステッテン組織によるものであることがわかった。

写真20からわかるように、このナイフには上下方向に伸びた多数の黒い‘すじ’ができてい。この黒い‘すじ’は隕鉄そのものに存在する黒い多数の孔によるものである。同X線マイクロアナライザー分析結果によれば、この孔の内部は硫化鉄の膜（隕鉄生成時にできる）で覆われている。この硫化鉄膜はこの隕鉄を鍛合させる場合に、表面に出て妨害する。強いて鍛合させるには溶解寸前までの高温に加熱して硫化鉄を溶解する必要があるが、本実験では1,100°Cで止めた。

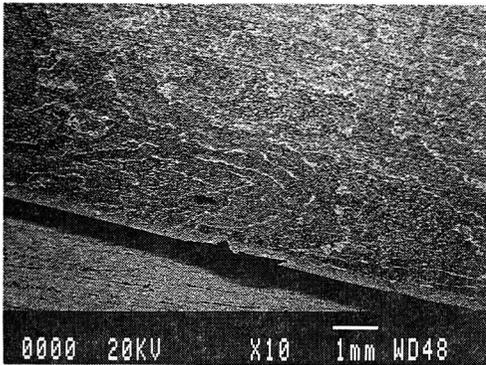


a

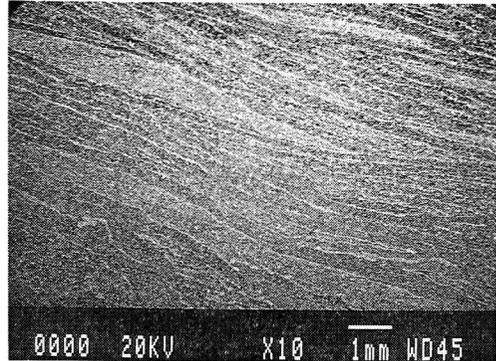


b

写真20 ギボン隕鉄から造ったナイフ (a : 全体, b : 先端部)



a



b

写真21 X線マイクロアナライザー付電子顕微鏡によるギボン隕鉄製ナイフ先端部の表面文様の分析 (その1, 反射電子像)

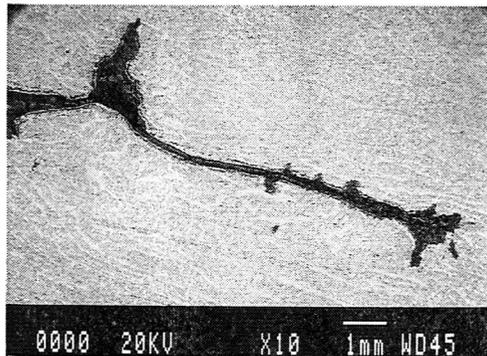


写真22 X線マイクロアナライザー付電子顕微鏡によるギボン隕鉄製ナイフ先端部の表面文様の分析 (その2, 黒い 'すじ' 部の反射電子像)

## 5. 結 言

人類の鉄使用のスタートをきった、隕鉄製鉄器について自然科学的見地から総括的な研究調査を行った。すなわち、最新の研究結果から隕鉄の成因、物性などを明らかにし、これまでに発見された隕鉄製鉄器を調査し、さらに古代でも可能な条件下で、隕鉄からナイフを試作した。以上から、人類が鉄鉱石を還元して鉄を得た時期より、はるかに古くから人類は隕鉄から首飾り、剣、鉞などを造っていたことがわかった。隕鉄は不純物が少ない場合、低温度（1,100°C以下）でも加熱鍛造性がよいが、不純物が多い場合、加熱鍛造性はわるい。なお、隕鉄の加熱鍛造性を支配している、主な元素としては、硫黄とりんが挙げられる。

### 文 献

- (1) 田口 勇：鉄の歴史と化学，（裳華房，1988）
- (2) 村上定男：自然科学と博物館27（3—4）43（1960）
- (3) 矢内桂三：別冊サイエンス，彗星と隕石129（1981，日本経済新聞社）
- (4) 永田 武，田口 勇：南極の科学6，89（1987，古今書院）
- (5) V. F. Buchwald：Handbook of Iron Meteorites（1975，Univ. of Calif. Press）
- (6) 窪田蔵郎：鉄の話題 53,19（1986，新日本製鉄（株））
- (7) R. J. Gettens, R. S. Clarke, Jr., W. T. Chase：Two Early Chinese Bronze Weapons With Meteoritic Iron Blades（1971，Freer Gallery of Art, Washington, D. C.）
- (8) 尹東錫私信
- (9) 加茂儀一：榎本武揚，中央公論社（1988）
- (10) 早川和夫：榎本武揚の流星刀と流星刀記事，東亜天文学会大阪大会（1987）
- (11) M. Shima, S. Yabuki, T. Kimura, H. Yabuki：Bulletin of the National Science Museum Series E 4, 19（1981）

（国立歴史民俗博物館 情報資料研究部）

## Natural Scientific Research of Meteoritic Iron

TAGUCHI Isamu

Utilization of iron by man is thought to have started with ironware created from meteoritic iron, but no systematic study has been made on the meteoritic ironwares from the viewpoint of natural science. This study aims to clarify the starting point of the history of iron. In other words, it examines the following subjects : Meteoritic iron origin theory, origin of meteoritic iron itself, classification of meteoritic iron, meteoritic iron in Antarctica and characteristics of meteoritic iron. Then, samples of meteoritic ironware so far discovered were examined after dividing them into those of foreign origin and those of domestic origin.

As examples of ironware of foreign origin, an iron-ring necklace from Ancient Egypt, a iron sword covered with gold plate from Ancient Turkey, and an iron-bladed halberd and an ironbladed palstave from Ancient China were described. Examples of Japanese origin include a meteoritic iron sword made by ENOMOTO Takeaki. Furthermore, a knife was made from Gibeon meteoritic iron (Nambia), which is a typical meteoritic iron, under the conditions available in the ancient age. From the above, it is known that man was making ornaments, weapons and so on, from meteoritic iron much earlier than the time when they obtained iron by deoxidizing iron ore. when only a small amount of impurities is included in the meteoritic iron, it can be forged easily by heating at a low temperature (1,100°C or less). But when a large amount of impurities is included, it cannot be forged easily by heating. Sulfur and phosphorus can be mentioned as elements which determine how easily meteoritic iron can be heat-forged. The knife made in our experiment had patterns unique to meteoritic iron on its surface (due to deformation of Widmanstätten structure), but the original holes remained as black "stripes".