

愛媛大学 東アジア古代鉄文化センター アジア歴史研究会

金属時代の黎明—価値と技術—

「世界最古の製鉄技術の解明」トルコ・カマンカレホユック遺跡出土資料に基づいて
「製鉄の起源と展開に関するフィードバックに基づいた実証的研究」

【研究成果報告会】

2015.2.14. 松山 愛媛大学にて



鉄もおそらくは自然産と同等、色の異なる金属として、地表での採集からはじまったのであろう。





西アジアにおける初期鉄器関連地図

ウラルトゥの最大領域(前750年頃)

アッシリアの最大領域(前630年頃)

第18回東アジア古代鉄文化研究センターアジア歴史講演会

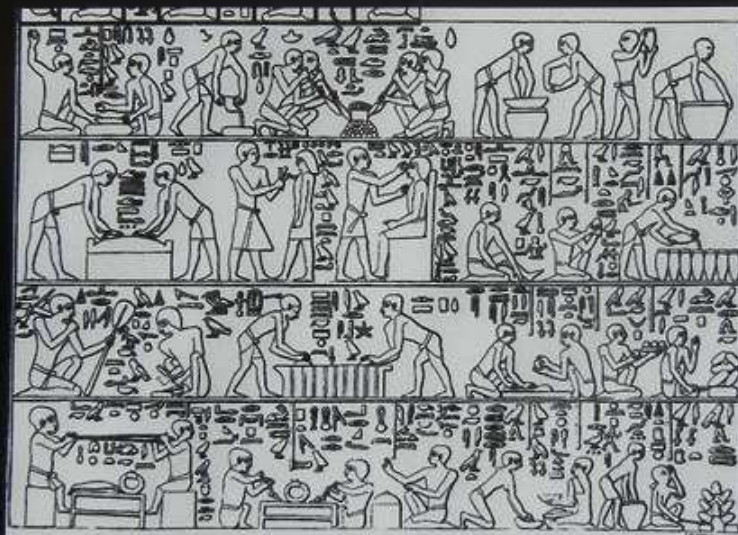
愛媛大学研究活性化事業「世界最古の製鉄技術の解明—トルコ・カマンカレホック遺跡出土資料に基づいて—」

基礎研究A（海外学術調査）「製鉄の起源と展開に関するフィールドワークに基づいた実証的研究」

研究成果報告会

金属時代の黎明

—価値と技術—



Wp-m-nfrt Tomb (Old Kingdom 5th Dynasty)

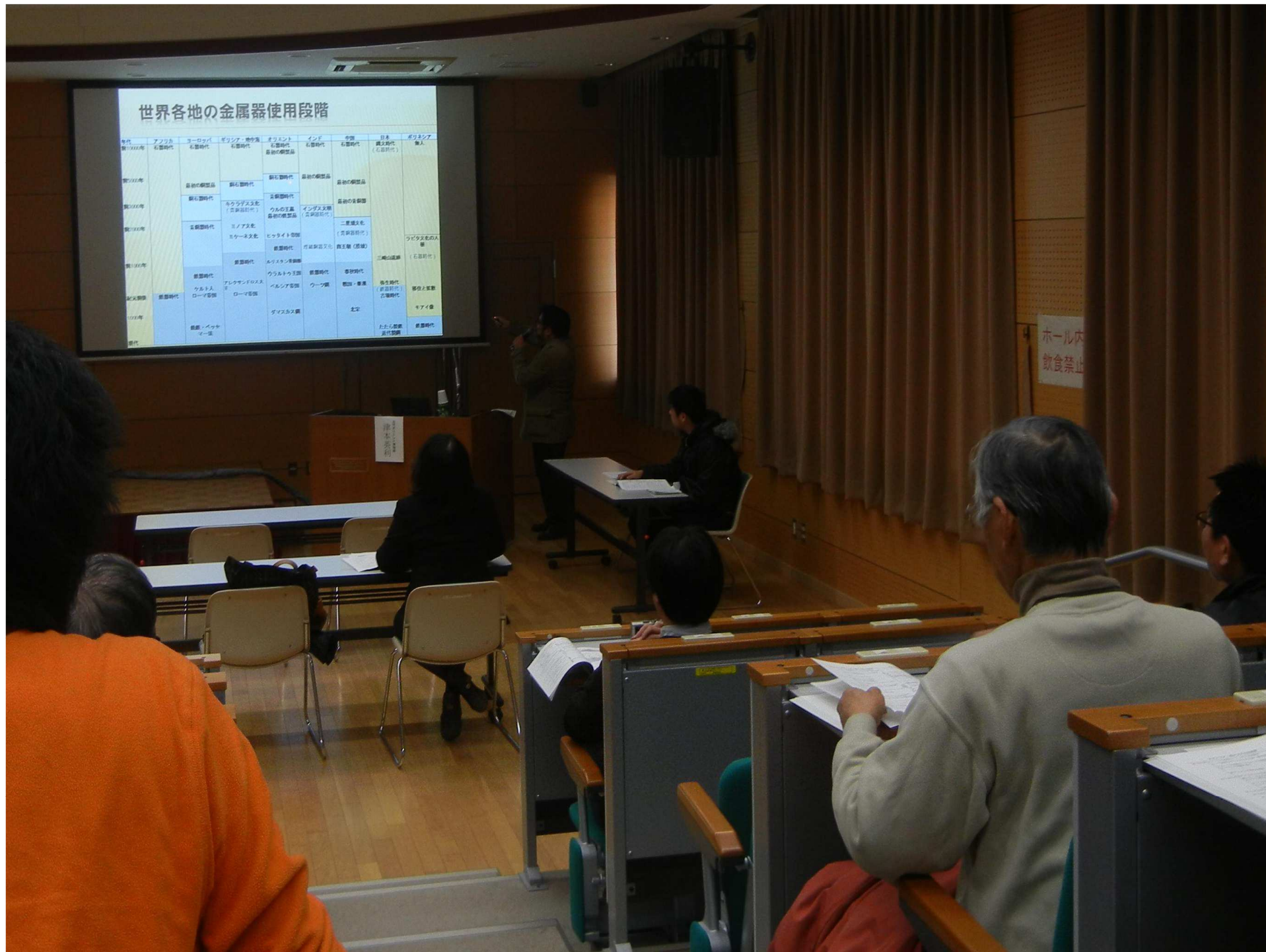
2015年2月14日

愛媛大学東アジア古代鉄文化研究センター

	アナトリア・西アジアの出来事	製鉄技術関連
前 750 年	アナトリア西部にフリギア王国繁栄 エーゲ海岸にギリシア人が入植・都市建設 アナトリア東部にウラルトゥ王国建国 アッシリア帝国の拡大 新アッシリア時代の開始	ウラルトゥ?の製鉄遺跡（トルコ東部） テル・ペイト・シェメシュ（イスラエル） 出土鍛冶工房址 鉄器 イラン高原・欧州への鉄器の拡散 テル・ハンメー（ヨルダン）出土「製鉄址」 利器が専ら鉄で作られるようになる グルジアの製鉄遺跡
前 1000 年	古代イスラエル王国建設 続ミケーネ文化の終焉 エジプト第三中間期開始 手づくね土器（バルカン半島からの移住?） トロイア戦争? 「海の民」・ペリシテ人・続ミケーネ文化 ヒッタイト帝国やミケーネ文明が滅亡	アナトリア東部での鉄器大量出土 バイメタル（鉄+銅）製品 テル・サビ・アビヤド（シリア）出土鉄器 フォチャ（トルコ）出土鍛冶址 利器と装身具への鉄使用
前 1190 年頃	（新王国時代） ヒッタイト帝国やミケーネ文明が滅亡	テル・シェイク・ハマド（シリア）文書 ハットゥシリ3世書簡（「一振の鉄剣」） 帝国期文書：利器への鉄利用、言及数増加
前 1250 年	（帝国期） エジプトとヒッタイトのカデシュの戦い	後期 ツタンカーメン王墓出土鉄剣（隕鉄）
前 1274 年	ツタンカーメン王 中期アッシリア時代開始	中期青銅 ウガリット（シリア）出土装飾鉄斧 中期ヒッタイト文書：斧や儀器への鉄使用
前 1500 年	ミタンニ王国（北シリア）の最盛期 ギリシアでミケーネ文明始まる ティムナ（イスラエル）の銅山が再興 エジプト第18王朝（新王国時代開始）	器 ミケーネ文明墓地からの鉄製指環出土
前 1595/31 年	（古ヒッタイト） ムルシリ1世によるバビロン攻撃 ハットゥシリ1世即位（ヒッタイト建国） ヒクソスによる下エジプト支配	代 古ヒッタイト文書：貴金属としての鉄利用
前 1750 年	カールムが放棄される アニッタ王による中央アナトリア征服? ハンムラビ法典 エジプト第二中間期の開始	中期青銅器時代 カールム出土文書に鉄?の交易記録
前 2000 年	アッシリア商人の交易居留地（カールム） ミノア文明（ギリシア）	前期青銅器時代 カマン・カレホック出土鉄製品（銅?） 銅製錬の副産物としての鉄?（鉄の発見?）
前 2500 年	印欧語族のアナトリア進入?	アラジャホック出土鉄剣（隕鉄??）

	年代	アフリカ 新石器時代	ヨーロッパ 旧石器時代	ロシア・地中海 旧石器時代	オリエント 旧石器時代 最初の銅製品	インド 旧石器時代	中国 旧石器時代	日本 縄文時代 (古銅器時代)	ポリアニア 古人
第10万年前					最初の銅製品				
第7万年前			最初の銅製品	銅の石器時代	銅の石器時代	最初の銅製品	最初の銅製品		
第6万年前			銅の石器時代		新銅器時代		最初の銅製品		
第5万年前				ネウラリス文化 (新銅器時代)	ウルの王墓 最初の銅製品	インダス文明 新銅器時代			
第4万年前			新銅器時代	エノアヌ文化 ニケータン文化	ヒッタイト帝国 新銅器時代	二重城文化 (新銅器時代)			
第3万年前				新銅器時代	バビロニア文化 新銅器時代	青銅器時代	良玉類 (翡翠)	ツピタネモ人の人骨 (石器時代)	
第2万年前				新銅器時代	メソポタミア新銅器 ウル・ウル王墓	新銅器時代	三浦山銅器		
紀元前800年	新銅器時代	クルトス ローマ帝国	クルトス ローマ帝国	アレクサンドロス文化 ローマ帝国	ベルリン文化	青銅器時代 クワン湖	青銅器時代 青銅器・青銅	弥生時代 新銅器時代 古銅器時代	弥生と支那
紀元前500年					デリス文化		土金		キアイ島
紀元前400年								たたら製鉄 近代製鉄	新銅器時代

年代	アメリカ 新大陸 新石器時代	ヨーロッパ 新石器時代	メソポタミア・中央 新石器時代	オリエント 新石器時代 最初の農産品	インド 新石器時代	中国 新石器時代	日本 新石器時代 (縄文時代)	ポリネシア 無人
前10,000年		最初の農産品	新石器時代	新石器時代	最初の農産品	最初の農産品		
前8,000年		新石器時代		新石器時代	最初の農産品	最初の農産品		
前7,000年			メソポタミア文化 (農業革命)	ウルの王墓 最初の農産品	インダス文化 (文明革命)	最初の農産品		
前5,000年		新石器時代	メソポタミア文化 ヒエログリフ	ヒッタイト帝国	メソポタミア文化 (農業革命)	二重城を有 (青銅器時代)		ラピタ文化の人 (古銅器時代)
前4,000年			新石器時代	ウル・タラント王墓	新石器時代	新石器時代		三城の城跡 (古銅器時代)
前3,000年		新石器時代	アレクサンドリアのメソ ポタミア文化	メソポタミア王墓	新石器時代	新石器時代		
紀元前2,000年	新石器時代	メソポタミア文化	メソポタミア文化	メソポタミア王墓	メソポタミア王墓	メソポタミア王墓		
紀元前1,000年								
紀元前500年								
紀元前200年								
紀元前100年								
紀元0年								
紀元100年								
紀元200年								
紀元300年								
紀元400年								
紀元500年								
紀元600年								
紀元700年								
紀元800年								
紀元900年								
紀元1,000年								
紀元1,100年								
紀元1,200年								
紀元1,300年								
紀元1,400年								
紀元1,500年								
紀元1,600年								
紀元1,700年								
紀元1,800年								
紀元1,900年								
紀元2,000年								
紀元2,100年								
紀元2,200年								
紀元2,300年								
紀元2,400年								
紀元2,500年								
紀元2,600年								
紀元2,700年								
紀元2,800年								
紀元2,900年								
紀元3,000年								
紀元3,100年								
紀元3,200年								
紀元3,300年								
紀元3,400年								
紀元3,500年								
紀元3,600年								
紀元3,700年								
紀元3,800年								
紀元3,900年								
紀元4,000年								
紀元4,100年								
紀元4,200年								
紀元4,300年								
紀元4,400年								
紀元4,500年								
紀元4,600年								
紀元4,700年								
紀元4,800年								
紀元4,900年								
紀元5,000年								
紀元5,100年								
紀元5,200年								
紀元5,300年								
紀元5,400年								
紀元5,500年								
紀元5,600年								
紀元5,700年								
紀元5,800年								
紀元5,900年								
紀元6,000年								
紀元6,100年								
紀元6,200年								
紀元6,300年								
紀元6,400年								
紀元6,500年								
紀元6,600年								
紀元6,700年								
紀元6,800年								
紀元6,900年								
紀元7,000年								
紀元7,100年								
紀元7,200年								
紀元7,300年								
紀元7,400年								
紀元7,500年								
紀元7,600年								
紀元7,700年								
紀元7,800年								
紀元7,900年								
紀元8,000年								
紀元8,100年								
紀元8,200年								
紀元8,300年								
紀元8,400年								
紀元8,500年								
紀元8,600年								
紀元8,700年								
紀元8,800年								
紀元8,900年								
紀元9,000年								
紀元9,100年								
紀元9,200年								
紀元9,300年								
紀元9,400年								
紀元9,500年								
紀元9,600年								
紀元9,700年								
紀元9,800年								
紀元9,900年								
紀元10,000年								
紀元10,100年								
紀元10,200年								
紀元10,300年								
紀元10,400年								
紀元10,500年								
紀元10,600年								
紀元10,700年								
紀元10,800年								
紀元10,900年								
紀元11,000年								
紀元11,100年								
紀元11,200年								
紀元11,300年								
紀元11,400年								
紀元11,500年								
紀元11,600年								
紀元11,700年								
紀元11,800年								
紀元11,900年								
紀元12,000年								
紀元12,100年								
紀元12,200年								
紀元12,300年								
紀元12,400年								
紀元12,500年								
紀元12,600年								
紀元12,700年								
紀元12,800年								
紀元12,900年								
紀元13,000年								
紀元13,100年								
紀元13,200年								
紀元13,300年								
紀元13,400年								
紀元13,500年								
紀元13,600年								
紀元13,700年								
紀元13,800年								
紀元13,900年								
紀元14,000年								
紀元14,100年								
紀元14,200年								
紀元14,300年								
紀元14,400年								
紀元14,500年								
紀元14,600年								
紀元14,700年								
紀元14,800年								
紀元14,900年								
紀元15,000年								
紀元15,100年								
紀元15,200年								
紀元15,300年								
紀元15,400年								
紀元15,500年								
紀元15,600年								
紀元15,700年								
紀元15,800年								
紀元15,900年								
紀元16,000年								
紀元16,100年								
紀元16,200年								
紀元16,300年								
紀元16,400年								
紀元16,500年								
紀元16,600年								
紀元16,700年								
紀元16,800年								
紀元16,900年								
紀元17,000年								
紀元17,100年								
紀元17,200年								
紀元17,300年								
紀元17,400年								
紀元17,500年								
紀元17,600年								
紀元17,700年								
紀元17,800年								
紀元17,900年								
紀元18,000年								
紀元18,100年								
紀元18,200年								
紀元18,300年								
紀元18,400年								
紀元18,500年								
紀元18,600年								
紀元18,700年								
紀元18,800年								
紀元18,900年								
紀元19,000年								
紀元19,100年								
紀元19,200年								
紀元19,300年								
紀元19,400年								
紀元19,500年								
紀元19,600年								
紀元19,700年								
紀元19,800年								
紀元19,900年								
紀元20,000年								
紀元20,100年								
紀元20,200年								
紀元20,300年								
紀元20,400年								
紀元20,500年								
紀元20,600年								
紀元20,700年								
紀元20,800年								
紀元20,900年								
紀元21,000年								
紀元21,100年								
紀元21,200年								
紀元21,300年								
紀元21,400年								
紀元21,500年								
紀元21,600年								
紀元21,700年								
紀元21,800年								
紀元21,900年								
紀元22,000年								
紀元22,100年								
紀元22,200年								
紀元22,300年								
紀元22,400年								
紀元22,500年								
紀元22,600年								
紀元22,700年								
紀元22,800年								
紀元22,900年								
紀元23,000年								
紀元23,100年								



ヒッタイト以前に遡る人工鉄が西アジア・地中海沿岸域でぞくぞく発見されている

この最古の製錬で生産された人工鉄をどう考えるか……

従来の定説

BC15世紀頃 トルコアナトリア高原に王国を築いたヒッタイトが鉄製錬による人工鉄を製造。その製造法の流出を堅く禁止し、独占。BC12世紀頃 ヒッタイトの滅亡により、この製鉄技術が四方に流出し、鉄器時代が拡散していった。

青銅器時代の人工鉄

トルコ カマンカレホック遺跡で発掘された
ヒッタイト以前の世界最古の「鉄滓」と「鉄塊」

「この鉄滓と鉄塊は鉄を含む銅鉱石の鉱滓から抽出されたのでは？」との仮説報告



青銅器時代にどんな方法で作られたのか？
注目の的であったこの鉄滓と鉄塊

2014.7.19. 大阪府立弥生博物館で開催された
愛媛大学 東アジア古代鉄文化研究センター
研究報告会「古代ユーラシア大陸のアイアン・
ロード」で「この鉄滓・鉄塊は鉄を含む銅鉱石
の鉱滓から抽出された可能性が、一番近い」との
報告があった

最近の西アジアの発掘調査から、

ヒッタイトと同時代もしくはヒッタイト以前の時代に アナトリア高原ばかりでなく、
地中海に面した西アジアのパレスチナや地中海のキプロスなど、青銅器交易の
中心地から続々人工鉄が出土

ヒッタイト王国滅亡前：西アジア出土鉄器分布

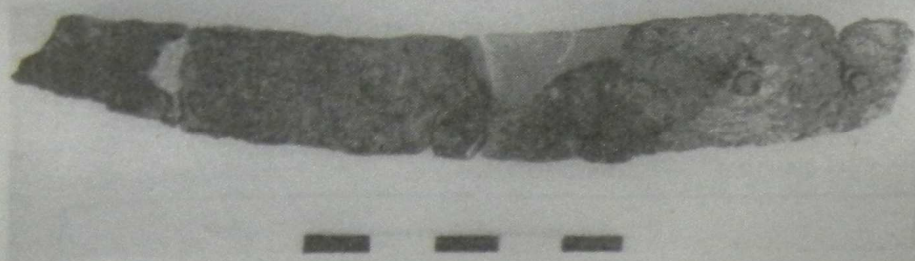


後期青銅器時代(紀元前16~13世紀)の西アジアにおける出土鉄器の分布

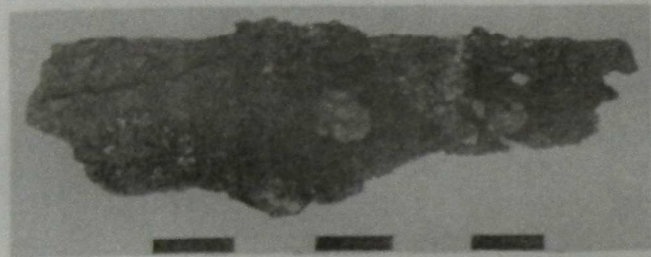
ヒッタイト王国滅亡後：西アジア出土鉄器分布



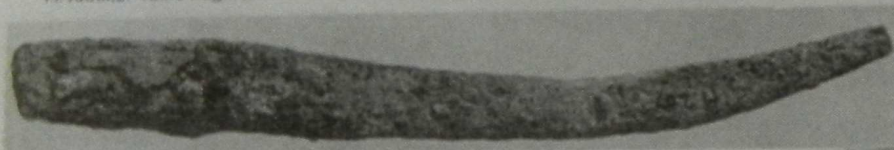
紀元前11世紀の西アジアにおける出土鉄器の分布



Pl. XXXII, 1. Knife no. 16. Bamboula B 1382 (M15). Episcopi Museum.



Pl. XXXII, 2. Knife fragment no. 18. Bamboula Tomb 16:20, B 1365 (M219). Episcopi Museum.



Pl. XXXII, 3. Knives nos. 19 (bottom), 20 (center), 23 (top), Kaloriziki Tomb 19:32, K 1106 (M1059); Kaloriziki Tomb 39:31, K1101(M8); Bamboula Tomb 2-3, B 1364 (M207). Philadelphia. Photo courtesy The University Museum, University of Pennsylvania.

↑キプロス島で出土した紀元前 12 ~ 11 世紀の鉄器
いずれも鋼で、ナイフがほとんど

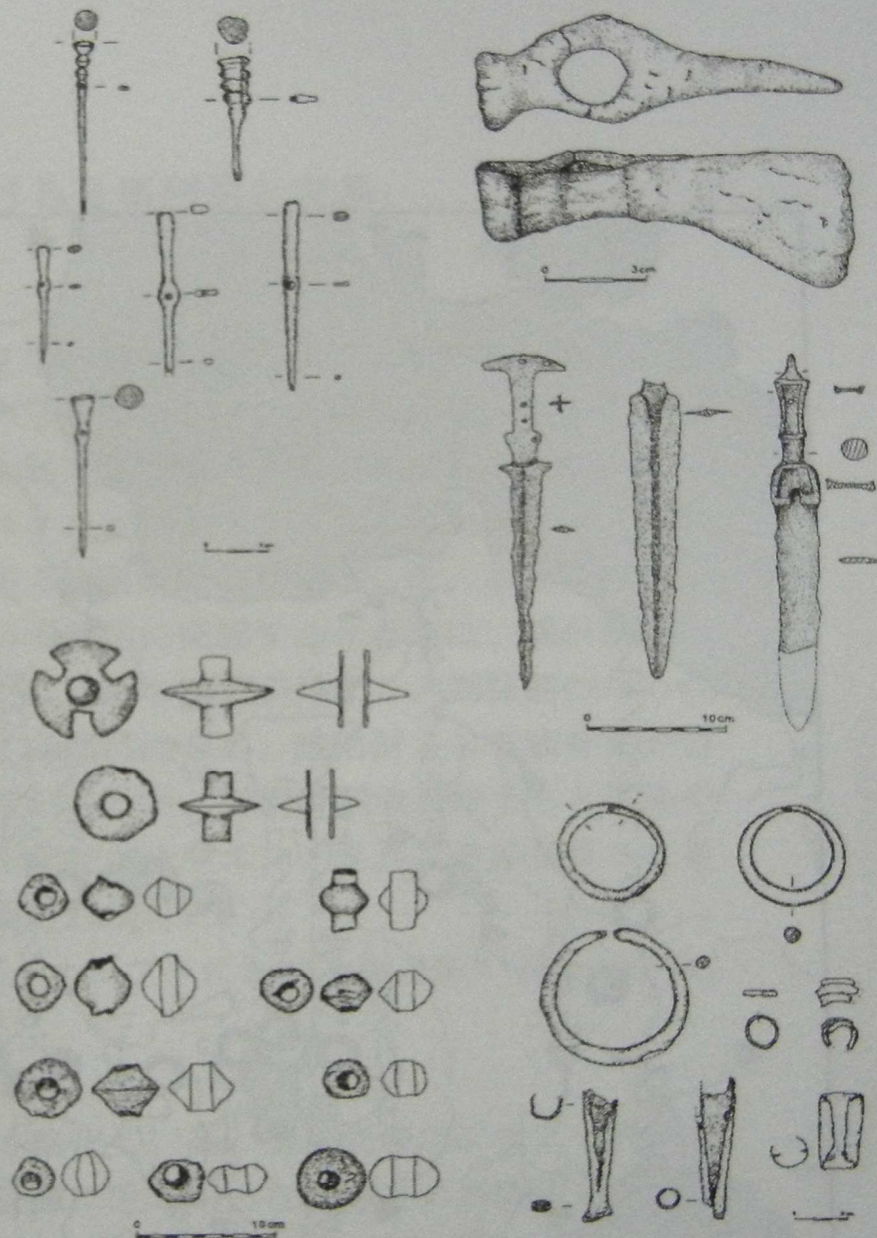
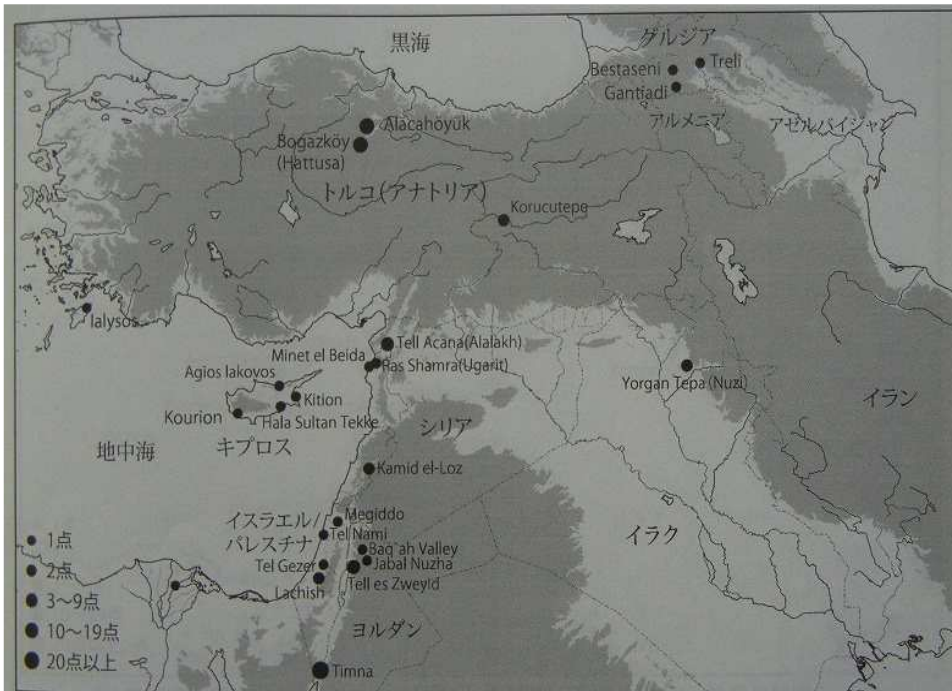


Abb. 30: Eisenfunde der Nekropole Ernis Evditepe. Nach Belli / Konyar 2003, 48-51.

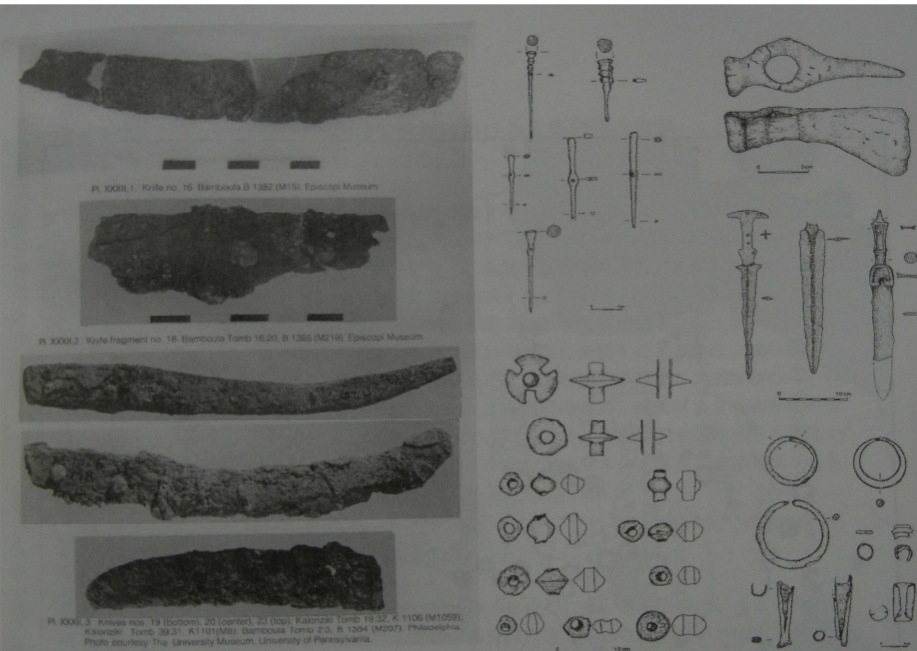
東アナトリアの初期鉄器 (前 2 千年紀末)



後期青銅器時代(紀元前16～13世紀)の西アジアにおける出土鉄器の分布



紀元前11世紀の西アジアにおける出土鉄器の分布



↑キプロス島で出土した紀元前12～11世紀の鉄器
いずれも銅で、ナイフがほとんど

Abb. 30: Eisenfunde der Nekropole Ernis Eviditepe, nach Belli / Konyar 2003, 48-51.

東アナトリアの初期鉄器 (前2千年紀末)

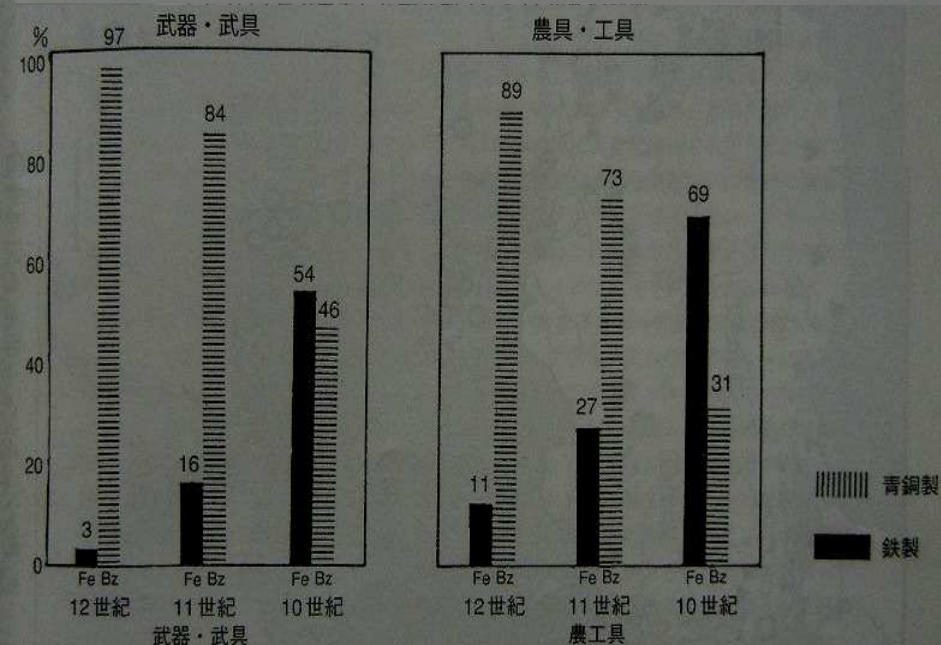


図2 東地中海地域における青銅器から鉄器への移行状況 (Waldbaum 1978 を転載・加筆)

自然銅の採取から銅製錬の開始へ **銅製錬過程での鉄器製錬技術の萌芽**

村上恭通愛媛大東アジア古代鉄研究所長報告より 抜粋



鉄の起源論 「銅製錬の副産物として製錬鉄が得られた」との仮説

村上恭通愛媛大東アジア古代鉄研究所長ら

鉄器出現プロセスの仮説: 隕鉄を利用した鉄器生産

→人工鉄と鉄器の生産へ

人工鉄はどのようにして生まれたのか?



人工鉄を利用した鉄器出現プロセスの仮説:

銅あるいは鉛生産の副産物としての人工鉄

鉄を含む銅鉱石の鉱滓から鉄を抽出

中近東: 隕鉄の使用→人工鉄の使用

トルコ・アラジャ・ホユクK墓出土
金柄鉄剣(隕鉄を使用)

世界最古の複合鉄器 (bi-metallic dagger)



11790014

12

ヒツタイト以前の鉄滓・鉄塊



自然銅の採取から銅製錬の開始へ 銅製錬過程での鉄器製錬技術の萌芽

村上恭通愛媛大東アジア古代鉄研究所長報告より 抜粋

アナトリア高原でヒッタイトが栄える時代やそれ以前に地中海に面したパレス
シナや地中海のキプロスなど銅の中心地(銅器生産・交易)で小鉄塊・鉄滓・
鉄製装身具が出土している BC2000～BC13000

- ◎ BC5000～BC3000年 ヨルダンのシクミムなど地中海に面した西アジアで銅製錬 が始まり、
その後、銅製錬技術は中近東・黒海南岸地域を介して東ヨーロッパへ拡散
- ◎ その拡散過程でブルガリアのバルナ文化のような鍛造銅器文化も生まれる
- ◎ これらの地域で出土する鉄器は装身具・ナイフがほとんどで 実用鉄器はみられない

銅器文化の拡大化

ー紀元前5千年紀～4千年紀ー

黒海西岸における高度な銅器文化
バルナ遺跡、アイ・ブナル遺跡
<ブルガリア>

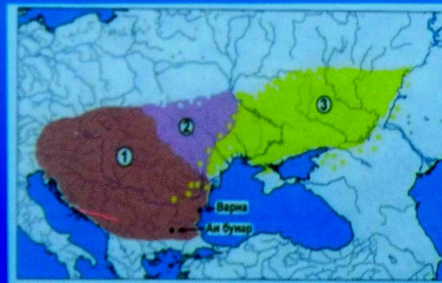


Рис. 9.2. Ареал Балкано-Карпатской металлургической провинции:
1 — центральная группа оседло-земледельческих культур, 2 — периферийная группа оседло-земледельческих культур, 3 — степные скотоводческие общности

初期銅器文化の展開：黒海西岸へ

バルナ遺跡(ブルガリア：紀元前5000～4000年)



鞆羽口（直管）の使用法



エジプト第5王朝Tiの墳墓壁画（紀元前2400年頃）



エジプト第6王朝メレルカの墳墓壁画（紀元前2345～2333年）



Figure 6 (a) Crushing azurite nodules and preparing the ore and fuel balls for the furnace, near Engine Vein, Alderley Edge (1997).
(b) communal blowpipe smelt of a malachite/azurite ball within a small pit, Alderley Edge (1998). (Photos: P.T. Craddock.)

鉄の登場 副産物から主役へ

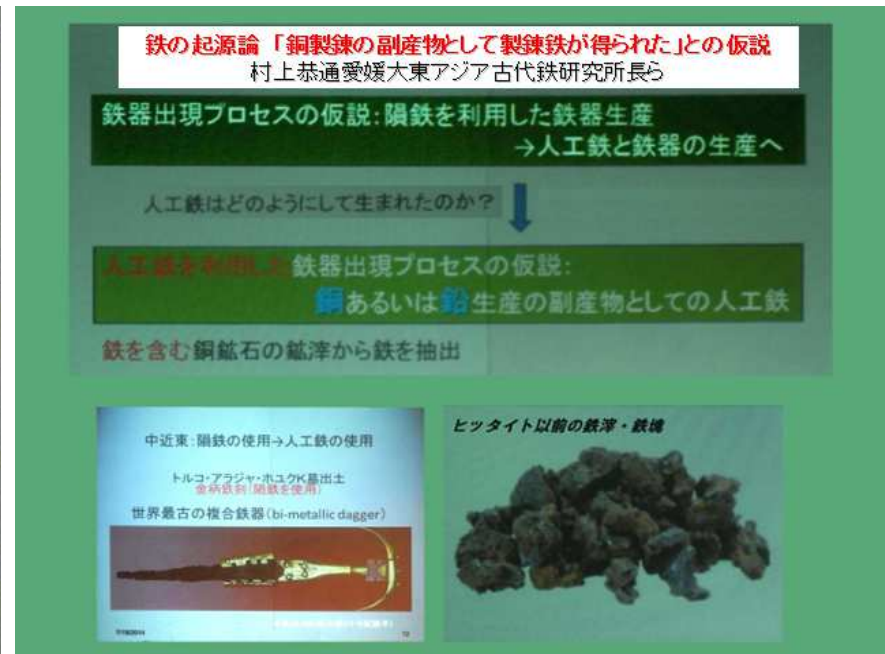
銅で最初自然銅が利用されたのと同様に鉄の利用も最初は隕鉄であるが、隕鉄の枯渇とともに 紀元前3000年頃から鉄製錬が始まったと見られるが、その内容は複雑である。

BC3000年以降増加する人工鉄(製錬鉄)は意識的に鉱石から製錬されたものなのか???

これら西アジアで初期出土する人工鉄(製錬鉄)の出土地は銅生産の中心地と重なっている。
これが意味するもの「**銅製錬の副産物として製錬鉄が得られた**」との仮説を村上恭通愛媛大東アジア古代鉄研究所長らは提案する



後期青銅器時代(紀元前16~13世紀)の西アジアにおける出土鉄器の分布



また、古代オリエント博物館研究員 津本英利氏も「西アジアにおける初期鉄器研究史」報告で、「最近の西アジアでの初期人工鉄の出現状況から、人工鉄の出現・伝播はヒッタイトによるというより、むしろ青銅器の普及・伝播に何らかの不都合が生じたことによると考えるべき」と報告された。

含鉄銅鉱石から取り出された鉄・鉄滓はこんなプロセスか???

鉄を含む銅鉱石を無酸素状態で溶融すると比重の大きい溶銅相と比重の小さい溶鉄相に二層分離することができる。しかし、溶鉄相・溶銅層にはそれぞれ、数パーセントの銅濃度や鉄濃度があり、例えば、溶鉄相中の銅含有量を4%以下にはできない。しかし、ここに炭素(や鉛)と共に溶融すると、各々溶相中の鉄・銅濃度を著しく低減でき、ほぼ鉄・銅分離ができることが知られている。

酸化雰囲気中では、上層分離された鉄は酸化され、鉄滓となって溶銅の上に浮くことになる。

製銅プロセスを考えると原料である銅鉱石は通常 自然銅のほか、鉄を含む鉱石が主であり、木炭を加えた含鉄銅鉱石の

溶融酸化反応であり、鉄分はカラミとしてスラグ排出される。ただし、部分的に高温還元雰囲気が形成されている場所では、鉄は酸化されずに鉄粒などとなって、滓中に取り込まれることになる。

この細かい鉄粒を集めて、それを鍛冶技術で不純物を排除して、鉄素材に仕上げることは可能と考えられる。

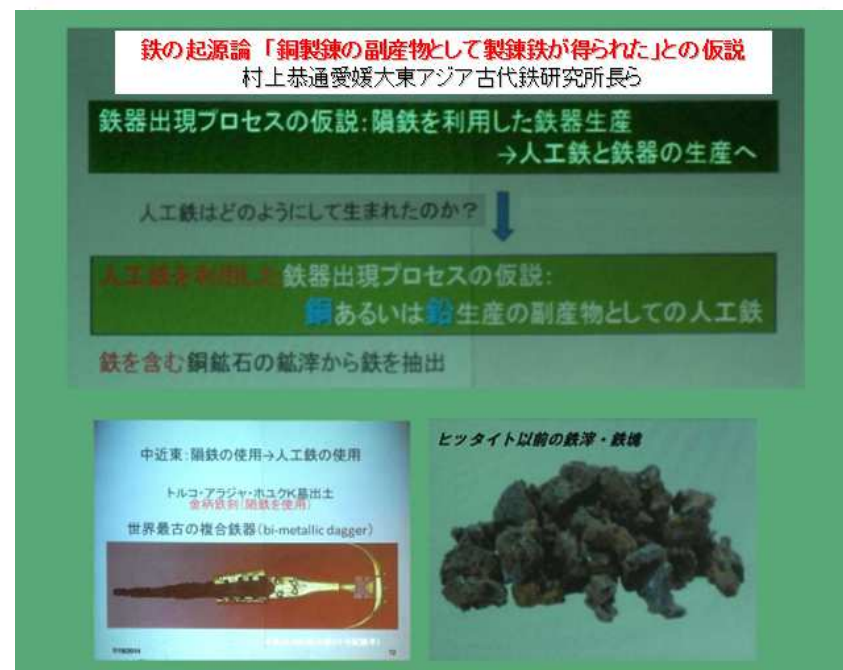
最初の人工鉄 アナトリア高原 カマンカレホユック遺跡で出土した最古の鉄滓・鉄塊はそんなプロセスの中で青銅器時代の中に出現したのであろうか……。

また、現在都市鉱山として スクラップからの有用金属取り出し法として、この二層分離技術は先端技術として躍進をつづけている。

【和鉄の道・Iron Road】

金属にも「水」と「油」がある 「銅」と「鉄」の二相分離 2014.8.1. By Mutsu Nakanishi より

<http://www.infokkna.com/ironroad/2014htm/2014iron/14iron09.pdf>



◆ 現代の先端技術 銅と鉄の溶解分離技術 <<1>>

銅と鉄の溶解分離技術 岩手大学工学部材料物性工学科 材料学助教授 山口勉功

http://www.ccrd.iwate-u.ac.jp/pc/event/041101/pdf/ma_16.pdf

開発の背景

銅品位の高い含銅鉄スクラップは、銅製錬工程に戻し処理されて、銅が回収されているが、低品位の銅スクラップは本来の銅製錬の効率を低下させる等の問題を生じるため、銅品位が約30%Cu 以上のスクラップしか処理できない。

一方、ごみ処理施設やシュレッダーダスト焼却施設から出る焼却灰中の金属残渣等の低品位銅スクラップも今後はかなり発生することが予想され、低品位の銅スクラップをそのまま処理することは効率が悪いので、スクラップの銅品位を高める方法の開発が望まれている。



図1 銅相と鉄相の二相分離

内容

ごみ処理施設やシュレッダーダスト焼却施設等から出る焼却灰中の金属残渣等の低品位銅スクラップから、銅を濃縮分離し銅を回収する。

炭素飽和下で、Cu-Fe-C 3元系融体は 鉄が富化した溶鉄相と銅が富化した溶銅相の2液相に分離する

【和鉄の道・Iron Road】

金属にも「水」と「油」がある 「銅」と「鉄」の二相分離 2014.8.1. By Mutsu Nakanishi より

<http://www.infokkna.com/ironroad/2014htm/2014iron/14iron09.pdf>



西アジアにおける初期鉄器関連地図

ウラルトゥの最大領域(前750年頃)

アッシリアの最大領域(前630年頃)

旧約聖書に「ヒッタイトの鉄」についての記述があると聞く

「製鉄技術を編み出したヒッタイトが製鉄技術を独占

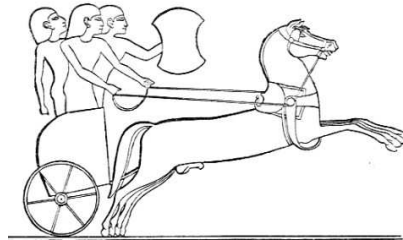
ヒッタイトの滅亡により、伝播が始まった」

と広く流布されるようになった一つの記述???

旧約聖書 サムエル記 13章19節

さて、イスラエルにはどこにも鍛冶屋がいなかった。
ヘブライ人に剣や槍を作らせてはいけないとペリシテ人が考えたからである。
それで、イスラエルの人が鋤や鍬や斧や鎌を研いでもらうためには、ペリシテ人のところへ下るほかなかった。鋤や鍬や三つまたの矛や斧の研ぎ料、突き棒の修理料は一ピムであった。
こうゆうわけで、戦いの日にも、サウルとヨナタンの指揮下の兵士はだれも剣や槍を手にしていなかった。持っているのはサウルと その子ヨナタンだけだった。

注 ペリシテ人はヒッタイトを滅ぼした海の民といわれる。鉄器を持ち、その後 パレスチナに住み、イスラエル民族を圧迫したといわれる。



ヒッタイトの戦車



赤:ヒッタイト帝国の最大勢力圏
緑:古代エジプトの勢力圏



2015.2.14. 松山城



2015.2.14. 松山城

愛媛大学 東アジア古代鉄文化センター アジア歴史研究会

金属時代の黎明—価値と技術—

「世界最古の製鉄技術の解明」-トルコ・カマンカレホック遺跡出土資料に基づいて

「製鉄の起源と展開に関するフィールドワークに基づいた実証的研究」

【研究成果報告会】

2015.2.14. 松山 愛媛大学にて

