〔シリーズ〕岩鉄の製錬法と合金の可能性を探る

菅原総合武道研究所「日本刀研究講座」③

トルコからインド、中国へ伝わったルツボ製鉄

〝古刀の再現〟の見果てぬ夢をつむぐ製鉄探究の旅は、韓国からインド、そして中東アジアの地へ……。長い歴史を持つ土地〝トルコ〟で出会った、古代の「ルツボ製錬法」にそのカギを見出される日本刀研究講座、第3弾。

資料協力・文◎菅原鉄孝　構成◎本誌編集部

菅原 鉄孝　Sugawara Tetsutaka

菅原総合武道研究所代表、日本・中国武術健身協会副会長。1960年、合気道開祖・植芝盛平翁に入門し、翌年内弟子となる（合気道七段）。1975年、天真正伝香取神道流に入門、1986年に教師を授かる。1992年、宮城安一師から沖縄剛柔流空手道の教師を授かる。1989年から邢雁灵老師の中国武術指導を受ける。中国など、海外に赴き合気道と香取神道流を指導。現在、東京都町田市の道場で後進の指導をしている。

一、コバルト色の名刀

昨年10月、韓国中央博物館を訪ねてみました。博物館では9月26日～11月26日の期間『金属・鉄・鋼、鉄の文化歴史』という催しものがあり、館内にはトルコを始発とする鉄の伝播ルートや原料の岩状鉄鉱石、鉄器、刀剣などが掲示されていました。

館内の刀剣でひときわ目を引いたのは、「御刀」といわれる濃紺の深みのある刀でした（写真①）。長さが1メートル以上あり、王の所持品にふさわしい品格があります。見る者の心を惹きつけ、これが韓国の名刀なのかと思わず覗き込んでしまいました。心を揺さぶるという点で、日本の古刀に一脈通ずるものを感じました。

通常、砂鉄だけを原料とした日本刀は地金が明るく白色系（チタン系介在物）に見えるのですが、それに比べると古刀は落ち着いた黒色系に見えるからかもしれません。

「御刀」の表面全体はコバルト色で、金属のコバルトが合金されているか、あるいは表面に塗布されているように見えたのです。鉄質は非常に澄んでいて吸い込まれそうになりますが、それは不純物の少ない高品位の岩状鉄鉱石を始発原料としていることを想起させ、製錬時に故意に酸化コバルトなどを混ぜた可能性が考えられました。

写真① 名刀と思われる朝鮮刀「御刀」（韓国中央博物館にて。2017／10月、著者撮影）。

二、新羅時代のガラス製品

そこでコバルトの入手先について、韓国在住の音楽指揮者ジョン・ビクトリン兪氏（筆者の門人）に調べていただくと、韓国と、コバルトを産する中東アジアとの5世紀から始まる1500年の歴史的関係が浮かび上がってきました。

新羅（Silla）（紀元前57～紀元935年）は約1000年間続いた王国ですが、「金の国」としても有名でした。新羅（Silla）という国名はモスリムの意味があり、五世紀にイスラム商人により中東からシルクロードを経由して直接、文化が新羅に入ってきていたのでした。

慶州の古墳から出土したガラス製品（写真②）は、5世紀以前のもっと古いローマ時代に輸入された物で、アメリカのメトロポリタン美術博物館が2013年と2014年にコレクターの所蔵品と共に展示した物です。写真のガラス製品の中でコバルト色をした物は、中東のコバルト製品が韓国にもたらされていることを示しているよう

です。単に製品を輸入しただけではなく、原料としてコバルトが次第に使われるようになったと推考されます。

しかし、「御刀」にコバルトがどのように合金されたのか、確証を得ることはできませんでした。

三、日本のコバルト

そこで日本の《製陶窯（かま）メーカー》「（株）シンリュウ」代表取締役の小澤忠氏に連絡を取り、コバルトで色付けされる陶器の歴史について尋ねてみました。筆者が鉄のことでわからない時にいつも尋ねることにしている方です。

小澤社長のご教示によると、コバルトを陶器に用いる技術は中東から日本に伝わり、8世紀頃から色が見られるようです。10世紀、11世紀には盛んに使われるようになったそうです。武器にもコバルトが合金として使われたことを同氏は知っておられました。それについて尋ねてみると、出土鉄器の分析値からだそうです。10世紀、11世紀といえば、日本刀が形成された年代に当たります。

おそらく新羅（あるいは中国）を通じてコバルトが日本に移入され、陶磁器に使われるようになったのでしょう。残念ながら筆者の所蔵する文献には、コバルトを刀剣に用いた論文や分析値は見当たりませんでした。

『みちのくの鉄』という文献の中で注目されるのは、コバルトではなくバナジウムを含んだ天然の鉄鉱石（一関市舞川白山鉱山）を使って作刀した京都三条の小鍛冶宗親（近）（西暦987年頃）の作刀集団の例がありました（田口勇、尾崎保博編『みちのくの鉄』35頁「舞草の鉄鉱石」参照）。昭和20年に東北鉱山局において白山鉱山の鉱石を分析した結果、「バナジウム」が2・7％程度含有し、非常に良質の鉄鉱石であることが判明したのでした（『岩手県鉱山誌』所収）。

京都の鍛冶師がわざわざ東北に赴いたのには、《良質な岩鉄鉱石を求める》という理由があったことがうかがわれ、結果的にバナジウムを含んだ鉄鉱石を採掘して使ったようです。筆者もこの遺跡を見学したことがありますが、鉄鉱石はありませんでした。

『原料鉱石図鑑』という文献では、コバルトを含んだ鉄鉱石「藍鉄鉱（らんてつこう）（Vivianite, Fe2P2O8・8H2O）」（写真③）が栃木県足尾鉱山で産出されることがわかりました。製錬時に少量を混ぜて使用すれば不可能ではないと考えられます。しかし、酸化コバルトが日本の古墳時代から平安時代に移入されて盛んに使われたとすれば、当時試験的に製錬時に混入させた可能性も考えられるので、今後の実験が必要です。

次に考えられることは、コバルトを含んだ鉄挺（てってい）を輸入して使った可能性です。

岩手県立博物館は2018年3月に研究報告第35号『前近代の北方社会における鉄器流通実態の解明（4）～列島内鉄生産関連遺跡出土資料との比較検討～』を公開発表していますが、この中で14～19世紀の鉄鍋、6～13世紀の鉄斧、9～10世紀の鍬先、8～12世紀の鎌、9～10世紀の釘を取り上げ、三成分比（Cu, Ni, Co）を比較することによって鉄器の流通を解明しているのが興味を引きます。

例えば調査した茨城県の鹿の子C遺跡出土鉄器のほとんどがコバルトCoが1・52～2・45、銅Cuが0・32～0・96の値をとり、関東地方の太平洋に面した地域から出土した鎌や釘に近似している。しかし、鹿の子C遺跡5号墳の金具はコバルトCoは3・333、銅Cuは3・50で、他の鉄器とは明らかに三成分比が異なっている。このような場合は大陸から（原料鉱石あるいは鉄が）持ち込まれた可能性が高いことを指摘しています。

もう一つ分からない点があります。刀剣研磨に使われる酸化コバルトはいつから使用されるようになったのか、という点です。

研磨は単に刀の表面を平坦にするのみならず、折り返しの線を際立たせるために、酸化鉄や酸化コバルトを油に混ぜて刀身全体に塗り、刃文部分の油だけをぬぐい取ってコントラストをつけています。酸化コバルトを使うようになった理由とは何なのでしょうか。

四、中東トルコでの調査

2017年10月の韓国訪問のおり、

写真② 新羅時代にローマ帝国から入って来たガラス製品（上写真：韓国・慶州の新羅時代のものと見られる天馬塚。中写真・下写真：メトロポリタン美術館展示）。

写真③ 藍鉄鉱（原色鉱石図鑑，保育社，平成６年）。

中東トルコにいくチャンスが訪れました。大韓合気道連盟会長の尹大玄氏からイスタンブールでの指導をお願いされ、息子の尹ジュナン君を伴って12月にトルコで筆者の武道セミナーを行うことになったからです。この機会を利用し、中東アジアの刀剣界の現況を調査することにしました。その状況を簡単に説明しておきます。

トルコ訪問前に、門人のアシム（Asım Ertürk）に「イスラム刀の地金の研究をしたいので、現在、作刀している刀匠が居れば、ぜひ面会して直接話を聞きたいので、どなたか紹介してもらえないだろうか」と相談してみました。トルコに関する筆者の知識は、全くゼロの状態でした。

トルコに到着した翌日、アシムは筆者をミリタリー博物館（Military Museum and Cultural Site Command）に案内してくれました。館長のオマール・ファルック・アースラン（Omer Faruk ARSLAN）という大佐（Lt. Colonel）に筆者を紹介してくれました。「イスラム刀の地金について詳しく知りたいので、是非ご協力をお願いしたい」と頭を下げると、館長は数冊の図録を持って来て「これでわかりますか？」とおっしゃっりました。筆者が目を通すと、それは博物館が発行した図録で、確かに水面紋様などはわかるものの、印刷物ではどのような材料を使い、どのように作るのか分かりません。

そこで、「どなたか刀匠を紹介してもらえないでしょうか？」と丁寧に頼み込みました。しかし、館長からは「現在、作刀している人はいません」という返事だったのです。残念ながら、これがトルコの現状でした。これでは古代の方法を調査することは到底おぼつかないと思われ、落胆してしまいました。

ところが、そんな筆者に対してオマール館長は「非常に興味深い研究者がいるので、ご希望なら紹介しましょう」と言ってくれました。「ぜひ、お願いします」というと、その場で電話をして面会時間を作ってくれました。2時間後の彼の昼食時間に、昼食を取りながら話し合うことにしてくれたのです。我々は館長にお礼を申し上げて席を立ち、レストランに向かいました。

途中でブルガリアから「今、着きました」と言って、香取（神道流）の指導者ザハリ・ゲオルギエフが合流しました。ブルガリアはトルコに接する隣りの国ですが、戦争の歴史があるので、筆者は国際親善のために彼をトルコに招待し、トルコで香取神道流の指導をさせることにしたかったのです。

ついでに申し上げておきますが、現在のブルガリアの首都ソフィアは、トラキアン帝国、東ローマ帝国、イスラムによる侵略時代の首都だった歴史があり、トルコのコバルト、新羅のガラス製品をもたらしたローマ時代と非常に関係が深かった国なのです。

レストランに着いた我々は、トルコ人のアシム、ブルガリア人のザハリ、韓国人のジュナン、日本人の筆者で、トルコを始発とするブルガリア、韓国（新羅）、日本への鉄の伝播ルートの代表者が何かの縁で集まったような勉強会になりました。

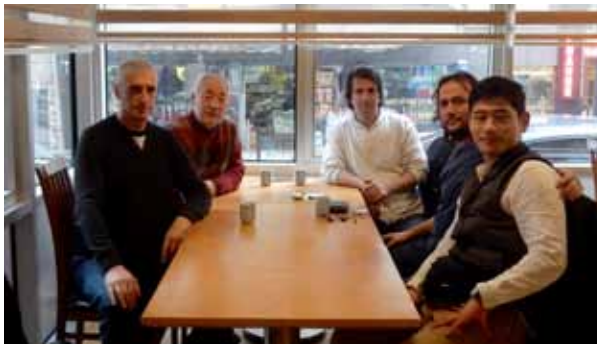
五、ルツボ製錬はトルコで始まった

やがて現れたのは、カヤハン・ホロズ（Kayahan Horoz）という男性でした。彼はコンピューター技術者であり、製鉄や作刀を本業にしているわけではありませんが、実際に自分で鉄を作り、作刀に挑戦しようとしているので、話に現実味があり、筆者は次第に信頼するようになりました。

筆者が当初予想していたのは、トルコのボアズキョイなどから出土した製錬滓（スラグ）にはカルシウム分が多く含まれているので、何かの理由で動物の骨などを入れたタタラ製鉄と推定していたのです。しかし、彼の製鉄法はタタラ法（鍛押し法、銑押し法）ではなく、坩堝法だったのです。イスラム刀が坩堝（以下、「ルツボ」とする）で製錬されたウーツ（ウーツ鋼＝ダマスカス鋼）で作られることは予想だにしていませんでした。筆者の頭は少し混乱しました。

カヤハン・ホロズ氏の説明に対する最初の質問は、「ウーツはインドで始まりトルコに伝搬したのですか」ということでした。しかし、これも事実は逆だったのです。彼の説明では、ルツボ製錬はトルコ領ウズベキスタンからインドへ伝わったというのです。彼は筆者の質問に答えながら、ルツボを使った製鋼法やイスラム刀のつくり方を詳細に説明してくれました。

筆者は確認しながらメモを取りましたが、従来の謎が次第に解けはじめ、心が躍りました。彼が言うには、インターネットでもルツボ法の歴史は確認できるということでした。筆者の頭はルツボ製錬の夢で一杯になりました。



写真④ 左からザハリ、筆者、カヤハーン・ホロズ、アシム、尹ジュンホワン。

六、ルツボ製錬の歴史

〝ルツボ〟製鋼は、5世紀にトルコ領だったウズベキスタンのファルゴナ（Fargona City）とトルクメニスタンのメルブ（マーブ、マルグ）（Merv City）という街で使われた、という調

査研究が人類学者 Anna Feuerbach によって発表されています[注1]。

筆者は「Anna Feuerbach」で検索し、ホームページ[注2]で彼女の説明を聞きましたが、「坩堝法で得た鉄で製作したヤタガン（刀剣）は90度に曲げても折れず、元に戻る」と述べ、この技術が「インドや中国などにも伝わった」と英語で説明していました。

メルブは紀元前6世紀からアケメネス朝ペルシャのシルクロードのオアシス都市として繁栄し始めたので、シルクロードを経て中国へも伝わった」と述べていました。中国から朝鮮半島、そして日本に伝わり、その技術によって日本刀が形成された可能性がでてきました。

日本刀では、現在一回の土取り焼き入れが主流ですが、古代には数回のズブ焼きによる熱処理が行われたであろうと筆者は推定しました。日本刀を切断して調査した俵国一博士は「三段業法」という言葉で、古い時代の作刀において数回の焼き入れが行われた可能性を指摘しているからです。

筆者はカヤハン・ホロズ氏からこの熱処理の方法も学ぶことができました。砂鉄製錬炉の方法が理解できればルツボ製錬はもっと簡単にできるので、失われた古刀の地金再現は現実味を帯びてきました。しかし、この段階ではコバルトとルツボ製錬の関係については全く思いつかなかったのです。

西暦5世紀に考え出されたルツボ製錬法は、経験を繰り返す中で数回の焼き入れでカーボンナノチューブ（炭素形の一種）のような「折れず、曲がらず、よく切れる」ようにする熱処理技術を生み出したと考えられます。その技術が各地に伝承される過程で、更に方法が枝分かれしていったことが考えられます。

七、ルツボの作り方と製錬方法

カヤハン・ホロズ氏が筆者に説明した製錬とは、概ね次のとおりです（次頁のイラストを参照）。

①山に入って、まず粘土でルツボを作る。トルコでは粘土の中に干し草を入れるが、インドではカオリンを入れる（カオリンについてシンリュウ株式会社の小澤社長に尋ねると、「カオリンは珪酸と酸化アルミから成り、高温で燃料灰として出るソーダやナトリウムと化合物を作り、製錬かすとしてガラスができます。ソーダは簡単に言うとナトリウムです。岩塩が使われたと思います」という説明をいただきました）。

ルツボの寸法は定かではないが、インドで発掘されたルツボを参考にすると凡そ内径8センチ、厚さ1・5センチ、高さ13センチ（写真⑤）。くっつきあわないようにするために、外側半分に小粒の砕石をつける。数量は窯に入る数量にし、できたら自然乾燥させる。

②ルツボの中に純度の高い鉄鉱石を入れ、その上に干し草を入れて密封し、乾燥させる。

③加熱する窯を粘土で作る。煙突を上部に取り付ける。大きさは、木材と坩堝を数段に重ねて積み上げる大きさにする。自然乾燥させる。

④、できたルツボを木材の上に乗せる。その上にまた木材を載せ、数段重ねる（図①）。

⑤窯の上に土をかぶせる。

⑥下から着火し、時間をかけて徐々に温度を上げる。

⑦送風して1500～1600℃まで上げる。約2時間かけて製錬する。

⑧一日かけて空冷。

⑨翌日、穴窯を壊してルツボを取り出す。

⑩ルツボを割って中の鉄塊を取り出す（実験では2時間で純度の高い1・6％鋼が出来上がったそうです）。

⑪複数の鉄塊を拳サイズ（1～2キロ）の一塊にまとめる（一纏めにすることによって、高炭素部分と低炭素部分が微妙に混じりあい、地金にいろいろな働きが現れると推定されます）。

⑫鉄塊を800度で二時間加熱する（最初の熱処理。筆者はこの熱処理を〝焼きなまし〟と考えましたが、ホロズ氏は否定）。

八、作刀と熱処理

⑬伝統的には1～2週間かけて素延べする。折り返しは行わない。

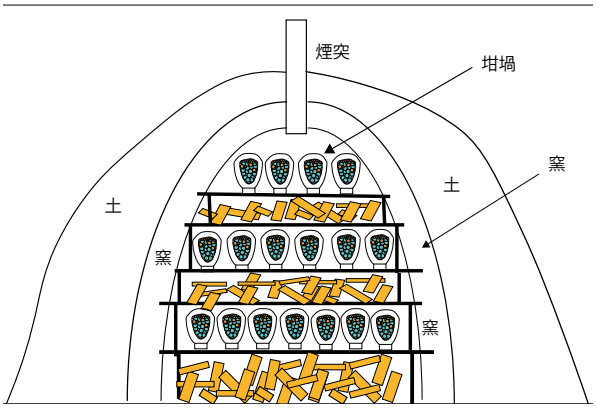
⑭素延べしながら熱処理（水に入れるズブ焼入れ）を5～6回行う。

⑮この鉄を加熱し平たくし、素延べだけで鍛造する。

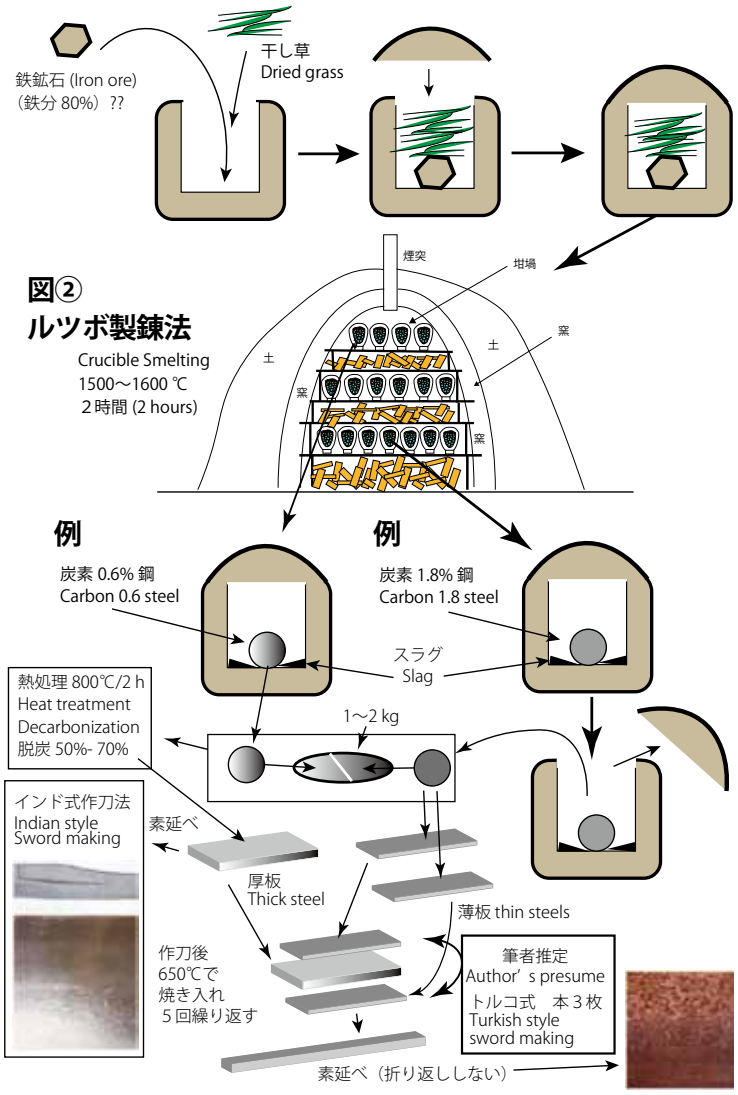
⑯刀剣ができたら650℃で焼入れする。地肌が現れる（刀身の焼き入れは、650℃で刀身全体に焼き入れするとのことでした）。

以上がカヤハーン・ホロズ氏の説明です。

写真⑤ インドで発掘した坩堝の複製（ウィスコンシン大学マーク・ケノイヤー教授作成）。



図① 坩堝製錬する釜のイメージ（筆者作成）。



図②
ルツボ製錬法
Crucible Smelting
1500～1600 ℃
２時間 (2 hours)

九、坩堝を使った合金の可能性

本稿では、品質を左右する要因としての非鉄金属と鋼との合金を、ルツボ製錬で行えるという可能性について考察しました。

つまり鋼とそれ以外の非鉄金属との合金です。鋼と酸化コバルトを坩堝法で合金できれば、韓国中央博物館で見た「御刀」の再現は可能だと考えます。坩堝なら合金しやすいからです。

ルツボ製錬では、出来上がる鉄の純度は鉄鉱石を選ぶことで決まってしまいます。現在の日本でそのような鉄分含有率の高いものを探すことは非常に難しくなっています。戦時中に鉄が使い果たされたからでしょう。しかし、「餅鉄（べんてつ）」と言われる鉄鉱石が今でも岩手県で少量入手できます。筆者は漬物の重しに使われていた餅鉄を入手し、実験する予定です。

十、トプカプ宮殿博物館の刀剣

トプカプ宮殿博物館を訪ねると、伝統的なトルコ刀に水面文様などの美しさがあることがよくわかりますが、水面文様はバナジウム鋼だから現れるという考えもあるようです。筆者には、まだ確認できません。

イスラム刀の強靭性は、この坩堝製錬と焼き入れによるものと思われます。以前に実際に膝に当てて90度以上に折り曲げたことがあるのでよく分かります。

十一、今後の実験課題

今後の課題を挙げて本稿のまとめとさせていただきます。

①純度の高い鉄鉱石を日本で探すこと。
②非鉄金属の合金（バナジウム、コバルト、カルシウム、カオリン、ナトリウム等）を使ったルツボ製錬実験。
③重ねの薄い太刀の形成。
④作刀してからの熱処理実験。
⑤鉄鉱石が得られない場合、砂鉄鋼を代替えとして使用できるかの実験。

以上、トルコで学んだルツボ製錬によって、最高の美術刀剣を再現する方法を想定してみました。ただ、「御刀」のような名刀は、数千本あるいは数万本の中の一刀であることを肝に銘じておかねばならないでしょう。■

写真⑦ 低炭素による砂流しのように見える地鉄（トプカプ宮殿博物館にて筆者撮影）。

《追記》
刀剣の非鉄金属介在物と非金属介在物

参考までに非鉄金属の分類を掲載しておきます。
○軽金属：アルミニウム、、マグネシウム、ナトリウム、カリウム、カルシウム、リチウム、チタン。
○ベースメタル：銅、スズ、亜鉛、鉛。
○レアメタル：ニッケル、クロム、マンガン、モリブデン、タングステン、ビスマス、カドミウム、コバルト。
○レアアース：セリウム、ネオジム、プラセオジム。
この他にバナジウムや非金属介在物のリン（P）、硫黄（S）、その他。の含有率などによって、刀剣の品質が左右されると考えられています。しかし、鉱滓にも良性と悪性があります。
何れにしても、古代の日本刀の合金については文献が少ないようです。

◎菅原総合武道研究所（菅原鉄孝）　http://www.sugawarabudo.com/