

# 日本刀にみる匠の世界

～前編～

Produced by Working Group 0

「日本刀にみる匠の世界」と題し、2回にわたって日本刀の材料から、鍛錬、研ぎに至るまでと日本刀の製造方法について、学生主体でお届けしようというこの記事。今回はその第1回で材料、鍛錬の部分についてお届けします。知られているようであまり知られていない日本刀の世界について興味を持っていただければ幸いです。

## はじめに

皆さんは日本刀をご存知かと思いますが、その日本刀がどのように作られているのかを知る人は少ないかと思いません。日本刀は武器として非常に優れた機能を持っているといわれます。特に「折れず、曲がらず、よく切れる」といわれるように、折れずに曲がらないという相反することを可能にしており、材料工学の見地からも非常に優れたものだといえるでしょう。しかし、このすばらしい作品は職人たちの経験と勘によるもので、科学的見地からはまだ多くの部分がなぞに包まれています。ここではそんな日本刀の素晴らしさを製造方法を通して紹介したいと思います。

## 日本刀の材料

日本刀が美術品としての域にまで高められた理由には、日本刀独自の折り返し鍛錬技術、高度な焼き入れ技術、ほかの刀剣に比類をみない研磨技術など、多くの要因が挙げられます。しかしもっとも重要なことは、和鉄を材料として用いて日本刀を製作するという点にあります。

和鉄とは「たたら」によって生産された鉄であり、その化学組成についてみた場合、極めて純度の高い鋼であるといえます。この中でも炭素含有量が一般の鋼材よりも多く、割った時の破面が均質なものは玉鋼と呼ばれ、日本刀に用いられます。はじめに、この玉鋼がいかんして生成されるかを説明いたします。

### ★砂鉄について★

良質の玉鋼を得るためには、その原材料である砂鉄そのものの性質が重要となってきます。羽内谷鉱山で採取される砂鉄の成分の特徴を示すと次のようになります。

- ・  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  が少ない
- ・ P、S の含有量がともに微量である

$\text{TiO}_2$  は、強熱すると強い光を発生して燃焼し、ほとんどすべての非金属元素と化合し、酸にも溶解されます。また、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  は一度熔融したものは耐火性が高い性質があり、これらの含有量が少ないということは、たたら炉で砂鉄を低温精錬するうえで重要なことです。

P は単体で天然に産することはなく、 $\text{PO}_3$ 、特に  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$  となって鉱物に存在するもので、S とともに日本刀の鍛錬において最も悪影響を及ぼす成分として敬遠される成分となります。

両成分ともに極めて低いということは、良質な玉鋼の原料として非常に有効性が高いといえます。

### ★たたら製鉄★

では、この砂鉄から実際に玉鋼を製作していく手法について説明いたします。製鉄は日本古来より行われてきた「たたら」により行います。たたら製鉄は、江戸時代から明治時代の始めまでが最盛期で全国の80%以上を中国地方で生産していました。明治時代に鉄鉱石利用の近代的製鉄法が海外から導入されると、生産能率の低い「たたら製鉄」は次第に衰え大正時代には姿を消してしまいます。現在では、日本刀の素材である玉鋼を生産するために、(財)日本美術刀剣保存協会により「日刀保たたら」として再興されています。たたら製鉄では、投入した砂鉄のすべてが玉鋼となるわけではなく、鋳(けら)と呼ばれる鉄塊として取り出されます。この中には、鋼以外にも炭素量の多い鉄である銑(ずく)や不完全還元物なども含まれます。図1にたたら製鉄の模式図を示します。砂鉄中の鉄酸化物は木炭より発生するCOと木炭のCにより還元され、また浸炭の度合いにより鋳や銑などに分かれ、鉄滓(てっさい)や炭素濃度の高い銑は融点が低く炉下部から炉外へ排出さ

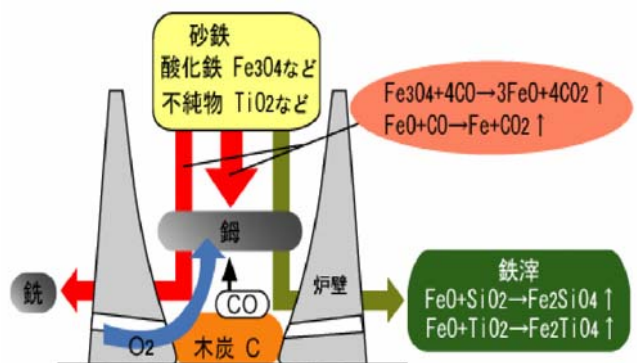


図1 たたら製鉄の模式図 (文献[2])

れます。こうしてできた鋳は木炭を使っているために鉄へのPやSといった不純物の混入を抑制でき、炉内温度が低いため鉄の結晶粒が粗大にならない、また炉内の酸素分圧が高いため珪酸化物が還元されづらく鋳へのSiの混入を抑制できるなどの特長があります。得られた鋳は破碎され、銑や不完全還元物を除去し玉鋼として選別されます。こうして選別された玉鋼は、刀鍛冶により鍛錬され刀へと形を変えていきます。

★現代の鉄との比較★

先ほどから玉鋼は純度が高いことを説明してきましたが、現代の鋼と比べてどの程度優れているのでしょうか。現在、日立金属(株)安来工場で生産されている鋼材は、純度の高い砂鉄を原料とした極めて良質な和鋼の製法を受け継いでおり、高級特殊鋼「安来鋼」として生産されています。様々な分野で使用されており、一般の鋼材よりもはるかに厳しい性能を要求される場面で用いられています。たとえば、カミソリの刃は世界シェア40%以上を占めており、ジレットやシックといった有名ブランドの刃材はいずれも安来鋼が用いられています。ここで鋼の成分についてたたら製鉄により作られた玉鋼と安来鋼を比較してみましょう。Fe以外の炭素鋼の含有成分としては主に5つ、C、

Si, Mn, P, Sがまず挙げられ、これらはそれぞれ鋼の機械的性質に大きく関与しています。表1に玉鋼一級YSS高級刃物鋼、そして機械構造用炭素鋼鋼材(JIS G4051)で定められる鋼材(S45C)の組成を示します。玉鋼や安来鋼はJISにより規定されている炭素鋼材に比べ非常に純度が高いことが分かります。特にSやPといった機械的性質に悪影響を及ぼす元素が少なく良質な鋼であることが分かります。また玉鋼はSiの含有量が低く、刀鍛冶が刀を鍛錬、鍛接しやすいことも考えられます。安来鋼は、Cr, WやMo, Vを利用して硬さ、韌性を強化しています。

★匠の技

たたら職人は音で炉内の様子を探っている。砂鉄の溶ける音、炎の上がる音……。炉内で砂鉄を溶かし鋳に成長させることを「しじる」という。よく鋳が育っている時は「ジ・ジ・ジ」と音がすることからこう呼ばれる。これが聞こえない時は鋳の成長が不調な時である。また、しじる音が高いときは炎の上がりも良く、「ゴー・ゴー」というリズムカルな音をたてる。このように職人は、これらの状態を改善するために五感を研ぎ澄まし総合的な判断を下している。

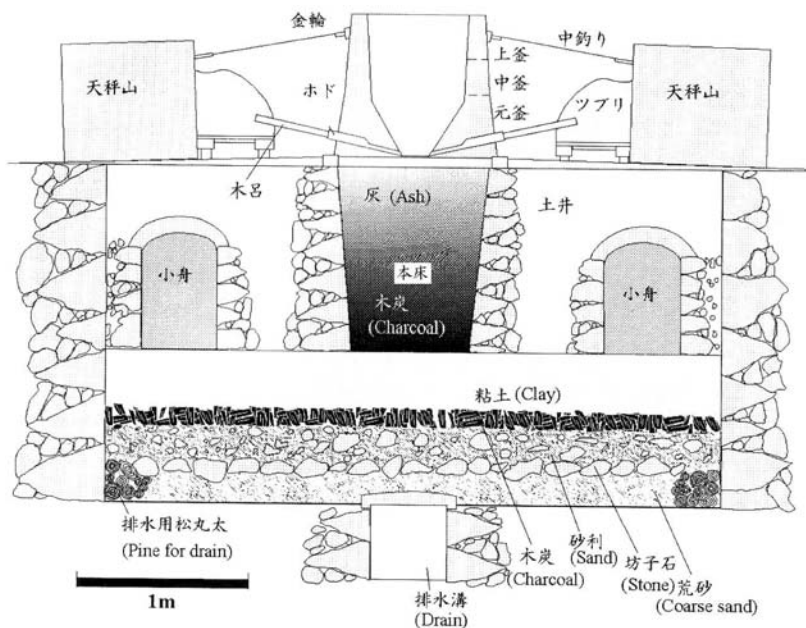


図2 たたら製鉄の概略図 (文献[5])

表1 各鋼の組成 (文献[3])

種類	C	Si	Mn	P	S	Cr	W	Mo	V	Cu
安来鋼	1.0-1.4	0.1-0.2	0.2-0.3	0.025以下	0.004以下	0.3-0.5	2.0-2.5	0.3-0.5	0.3-0.5	—
青紙スーパー	1.42	0.01	0.01以下	0.025	0.004	0.02	—	0.03	0.01	0.01
玉鋼一級	0.42-0.48	0.15-0.35	0.6-0.9	0.030以下	0.035以下	—	—	—	—	—

## 鍛 錬

次に、ここでは日本刀がいかに鍛錬されるのかを説明します。その工程は職人たちの長年の経験から生まれた技が多く存在し、工学を学ぶ私たちにとっても興味深いものです。そこで、私たちは刀鍛冶である新井先生の仕事場(埼玉県岩槻市)を取材し、作業工程の一部を見学させていただきました。鍛錬の工程の流れ(図3)をおって順に紹介したいと思います。

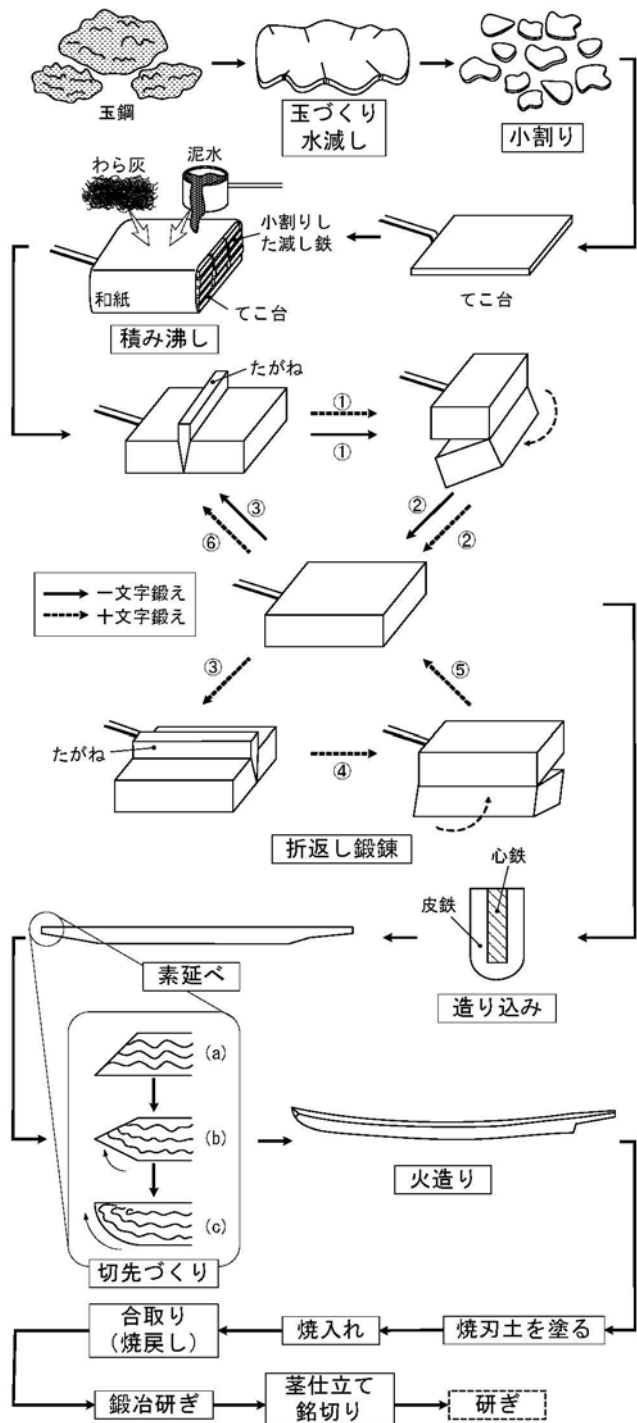


図3 鍛錬の工程

### ★玉づくり★

玉づくりとは玉鋼の純度をさらに高める刀作りの最初の工程にあたり、地味ではありますが、玉鋼の質の良し悪しを決める非常に大切な作業です。まずはじめに、この工程を新井先生により実演して頂きました。形が整っていない玉鋼に藁灰と泥をまぶし、これを松炭により熱された炉の中へと投入します。藁灰と泥をまぶすことによって、玉鋼の温度が上がりすぎるのを防ぎ、不純物を取り除きやすくします。これは泥に含まれるSiO<sub>2</sub>が鋼に含まれた不純物である鉄滓を抜き取る効果があるからだと考えられています。炉の中へ投入されたこの玉鋼は始め低温で熱されます(玉鋼や刀を熱することを職人達は「赤める」といいます)。はじめから高温で赤めないのは、高温で赤めると玉鋼の内部に割れが生じ、この割れが後々の工程に悪影響を及ぼす可能性があるからです。図5に示すように、ある程度赤めたら玉鋼を炉から取り出し、ハンマーで軽く叩き形を整えていきます。この段階ではまだ玉鋼は芯から沸いていない



図4 玉鋼を炉で赤めている様子

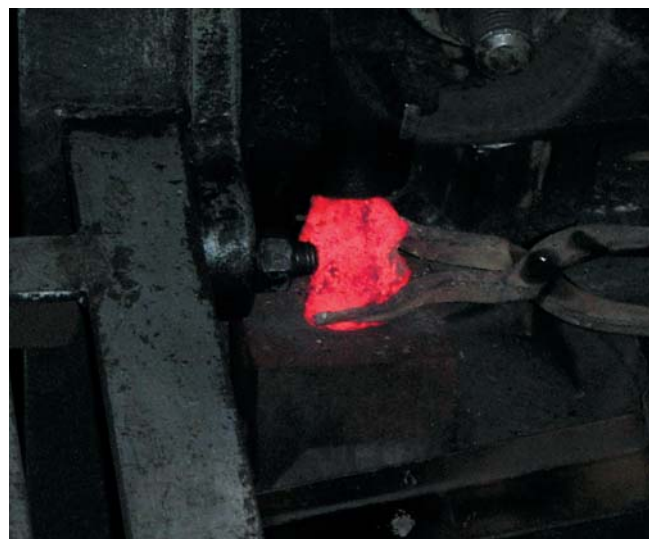


図5 赤めた玉鋼

ため、強く叩くと玉鋼が分断してしまう恐れがあります(「沸く」とは鋼が融点近くの高温状態になることをいいます)。「赤めては叩く」を繰り返していくうちに不純物が取り除かれ玉鋼が形を整えていくと同時に芯から沸いてくるようになります。芯から沸いてきたら高温で熱しても、強くハンマリングしても割れる心配がなくなります。玉鋼が芯から沸いてきたかどうかは、「炎の色」で判断します。玉鋼が芯から沸いてくると炎の色が紫色から黄色へと変化します。また、この変化のほかに芯から玉鋼が沸いてくると線香花火のような火花と「ジー」という音が生じます。これらの変化は非常に小さいので、もちろん素人には判断することが不可能であり、職人ならではの感覚と経験に頼らざるをえない部分です。玉鋼の形が薄く板状に整ったら再度、炉で熱し、ある程度熱したら一気に水で急冷します。こうすることにより、玉鋼から不純物がはがれ落ちより純度の高い玉鋼が精製されます。玉鋼は、この時点で初期重量の1/3程度となり、より純粋な玉鋼になります。

実際に精製された玉鋼は、組成にバラツキがあります。そこで板状の玉鋼をハンマリングし、小片化することで、硬さ別に分類します。このとき炭素量が十分に多い部分は高硬度であるため簡単に割ることができるのですが、炭素量が少ない部分は軟らかく割れずに曲がります。実際に割った玉鋼の断面を見せていただいたところ、高硬度である玉鋼は目が細かく、軟らかい玉鋼は目が粗いといった違いを確認することができました。このほかに、鋼をグラインダーにかけ飛び散る火花で炭素量を判断する方法もあります。炭素量が適当で硬い鋼の場合は火花がよく飛び散り、炭素量が少なく軟らかいものはあまり火花が飛びません。新井鍛冶屋では硬・中・軟の3種類の玉鋼に分類し作品や用途に応じて使う玉鋼を選定していました。一般的に硬い部分は良い鋼として刀の皮鉄(かわがね)に使われ、軟らかい部分は心鉄(しんがね)に使われています。

#### ★積み沸かし★

積み沸かしとは、玉づくりで小割りした鉄(減し鉄)をてこ台に積み、これを炉で沸かす工程です。てこ台は、普通品の玉鋼を赤めて数回折り返し、薄く打ち延ばしてつくり、これをてこ棒の先へつけて完成します。てこ台へ小割りにした減し鉄をピラミッド状に積み重ねます。小さなかけらも無駄にすることなく、隙間を埋めるために利用します。積み重ねた鋼を、崩れないように和紙で包み、泥水をかけ、藁灰をまぶします。泥水はムラなく熱するためであり、藁灰は加熱の際の酸化を防ぐために使用されます。準備ができたなら、これを炉の中でじっくり時間をかけて加熱し、鋼を芯から沸かします。玉鋼の段階では、完全に精錬されておらず、沸かしから鍛錬を経て精錬されていくため、積み沸かしは非常に重要な工程の1つです。

#### ★折り返し鍛錬★

沸いた鋼を取り出し、大槌で叩きます。初めは、てこ台の上に積み重ねられている鋼は充分馴染んでいないため、軽く叩き、しっかり固定されたのを確認して、再び藁灰を



図6 火造りの様子

まぶして炉で沸かします。十分に鋼が沸かされると、大槌で長方形に打ち延ばし、さらにたがねを入れて2枚に折り返します。これを折り返し鍛錬といい、この作業を皮鉄では13～14回、心鉄では6～7回程度行われます。図3のように、折り返し鍛錬には一文字鍛えと十文字鍛えに分けられます。鍛えては沸かし、また鍛えるということを繰り返します。このようにして折り返された鋼は、約33000枚の層を重ねた状態となり、「強く粘りのある日本刀」といわれる由縁がここにあります。

#### ★造り込み★

心鉄を皮鉄で包むことを造り込みといいます。ここで示す造り込みは甲伏と呼ばれるもので、焼きそばをパンで包んだ焼きそばパンのように、心鉄をU字型の皮鉄で包んだ形状のものです。心鉄には皮鉄よりも炭素量の少ない軟らかい鋼が用いられます。この軟らかい心鉄を硬い皮鉄で包むことによって、曲がらず折れないという日本刀独特の特徴が生み出されます。

#### ★素延べ★

造り込み工程が終わると、素延べ工程です。素延べとは、刀の長さまで細長く打ち延ばす工程です。素延べが終わると、切先づくりを行います。図3の切先づくりに示す(a)で棟側を切り落とし、(b)のように打ち出していき、(c)で完成です。(a)の段階で刃ができているように見えますが、図の波線で示した鍛えの層が真っ直ぐ伸びて抜けてしまっているのがわかります。これでは、切先の強度が低いいため、切先の鍛えの層を(c)のように打ち出すのです。

#### ★火造り★

切先づくりが終わると火造りを行います。火造りは、刃の部分の叩いて反りを付け、刃を打ち出していく工程です。この工程により、刀の姿が決まるため刀鍛冶の腕の見せ所です。図6は火造りの様子です。

#### ★焼き入れ★

日本刀の形状ができあがると焼入れを行います。この工程は「折れず・曲がらず・良く切れる」という日本刀の特

徴を生み出し、また刃文と呼ばれる模様をつけることによって美術的価値を付与するもので、いわば日本刀に命を吹き込む工程です。今回の見学では焼刃土(やきばつち)を塗る工程と炉で熱した日本刀を水中に浸して急冷する工程を実演していただきました。

まず泥・砥石の粉・炭粉をベースに混ぜ合わせた焼刃土というペースト状のものを塗布します。この焼刃土にはさらに秘伝の成分が配合されているようなのですが、あくまで秘伝ということで教えていただくことはできませんでした。焼刃土を塗布する際にヘラで微妙な厚薄をつけることで、焼きの入り方に変化をつけ、刃文の形状を決定します。またこれにより部位によって鋼の硬さに微妙な変化をつけることができます。炉で熱した後、水で急冷すると焼刃土を薄く塗った箇所は冷却速度が速いのでマルテンサイトという非常に硬い組織に変態するのに対して、焼刃土を厚く塗った箇所は冷却速度が遅いのでトールスタイトというやや軟らかい組織に変態します。マルテンサイトは非常に硬く刃に向いており、トールスタイトはマルテンサイトよりは韌性が高いので棟側に向いています。従って刃側には焼刃土を薄く塗り、棟側には焼刃土を厚く塗るのが基本です。

ところで、日本刀を見たときに棟側の方に反っていることに気づいたことはあるでしょうか。これは日本刀の大きな特徴で、実はこの形状にも焼入れが関係しています。マルテンサイトに変態するときには体積が膨張します。焼き入れのときに心鉄部分も多少膨張しますがマルテンサイトの膨張率の方が高いために、結果的に棟側が反ることになります。刀鍛冶はこのことを考慮に入れつつ形状を決める必要があるわけです。

また、マルテンサイトとトールスタイトは色が若干異なります。従って焼入れすると焼刃土の厚薄の境界には模様が浮かび上がってきます。これを刃文といい、現代では刃文の出来が美術的価値に大きく影響します。

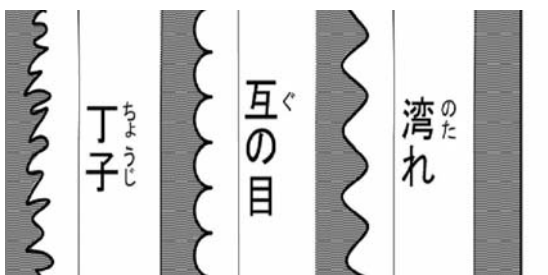


図7 刃文の種類 (右側が刃)

代表的な刃文には直線模様の「直刃」、正弦曲線状の「湾れ」、サイクロイド状の「互の目」、ランダムな「丁子」などがあります。また刃側であっても所々焼刃土を厚く塗る「足入れ」という技法もあります。焼刃土を塗る新井先

生はさながら絵画を描く画家の様でした。

実際に焼刃土を塗布するのは大変な作業です。新井先生が手がける「丁子」を長刀につける場合で片面を塗り終わるのに2時間半かかるそうです。焼刃土の厚薄は素人には判別が非常に難しく焼刃土の乾く速さでやっと分かる程度でした。私達も焼刃土塗りを体験させていただきましたが、やはりすぐに真似できるほど甘いものではありませんでした。

焼刃土を塗り終わるといよいよ焼入れ最大の見せ場(?)です。見学ではあらかじめ焼刃土を塗り終えた短刀を用意していただき、それを用いて焼入れを行いました。マルテンサイトに変態させるためには約760℃に熱してから急冷する必要がありますが、刀鍛冶はこの温度を経験と炎の色で見極めるそうです。そのため外光の影響を受けにくい18時から19時の間に部屋を真っ暗にして焼入れを行います。温度の見極めを失敗すると、刃文が現れなかったり傷が生じたりしてしまいます。新井先生によれば、焼入れは一発勝負であるがために日本刀の製作工程において最も困難な工程だそうです。



図8 焼刃土塗り (学生編集委員)

この後、鍛冶研ぎ(刀鍛冶による荒い研ぎ)を行い、焼きの入り具合を確認します。焼入れによって生じた反りなどを修正して、茎(なかご)を仕立てて銘を切って仕上げます。ここまでの、鍛錬工程の流れであり、この後、研師や白銀師の手に渡り、一口(ひとつり)の日本刀ができあがりません。

最後に研ぎまで終わった日本刀を見せていただきました。光輝くその刀身にくっきりと浮かび上がった刃文は、まさに美術品といった感じでした。刀鍛冶は技術者でもあり芸術家でもなければならぬ、ということが鍛錬の工程を通して実感できました。

### ★インタビュー★

ここでは、刀鍛冶の新井先生に刀鍛冶にまつわるいろいろなお話を聞かせていただき、私たちの抱いた疑問について答えていただきました。

<新井先生に質問>

**Q** 刀鍛冶を始めたきっかけは？

**A** 代々受け継がれてきたという環境がいちばん大きいですよ。江戸末期から始めて自分は5代目、日本刀をやるようになったのは3代目の祖父からです。親の苦労を見てきていたので正直あまりいいものとは思わなくて、嫌でした。しかし、もの作りなど何かを表現することが好きだったので始めました。

**Q** 修行期間は？

**A** まず5年間先生について修行した後に文化庁の試験を受けます。それに合格したら資格を得てようやく独立できるのですが、ここからは全てを一人でやることになりますから、まずそれに慣れるのに2～3年くらい、そして自分の刀が一人前に作れるようになるのにさらに2～3年。結局10年前後はかかりますかね、もちろん個人差はありますけど。

**Q** 完成までにかかり鋼の量が減りますが、一体どこに？

**A** そういえばそうですね。まず玉づくりの段階で100～200gは減りますね。また、焼いているうちにだいたい70%くらいは燃えてしまいます。さらに、鍛えの段階で【のろ】(泥に混ざった酸化鉄)やかすとして出てしまいます。それでもゴミはあまり出ていないですね、いったいどこに消えているのでしょうか？

**Q** 1本作るのにどのくらいの時間を要するのですか？

**A** 県から認可されているのは1ヶ月に2本までです。今は1ヶ月に1本半くらいですね。需要があればもっと作ると思います。集中して作業できるのは1日のうちの3分の1くらいで、あとは下準備や研究をします。神経を使う仕事なので息抜きも大事ですね。

**Q** 刀作りに現代の機器は使えますか？

**A** サーモグラフィで鉄の温度を見るなどの使い方は良いと思います。もしかすると実際に使っている人がいるのかもしれませんが。ただ、高額な設備費がかかってしまいますから実際に導入するのは難しいですね。それに、機械と人の感覚では微妙な違いがありますね。

**Q** 季節によって変わることはありますか？

**A** 刀作りは季節の影響を大きく受けます。やはりとうか過ごしやすい春や秋が鉄にとっても良いようです。また、同じ温度の水でも夏と冬で性質が違います。その

ような数字で見えてこない部分も考慮しなければいけないのですよ。

**Q** 日本刀の需要は？

**A** 主に美術品としての需要が多いので、美術品コレクターがほとんどです。しかし、あまり安いものではないので、購入する方に若い方はあまりおらず、年配の方が多いです。最近では外国人がよく興味を示してくれますよ。

**Q** 刀にまつわる裏話がありますか？

**A** 妖刀村正などは有名ですね。徳川家に忌み嫌われていましたが、そのような伝説でなくても実際刀には感じるものがありますよ。持ってみて嫌な感じのする刀や、逆に落ち着くようなものもありますから。「刀には魂がある」と思います。刀は武士の魂ともいいますし、振り所ですからね。

### おわりに

今回は日本刀作りのうち製鉄から焼入れまでをお送りしました。日本刀がいかに多くの工程を経てできあがっているのかがおわかりいただけたかと思います。しかし、なぜ原料は和鉄の玉鋼でなければいけないのか、折り返し鍛錬にはどのような効果があるのかなど日本刀にはまだまだたくさん謎が隠されています。それらがこれからの研究によって解明されていくことを期待します。

さて、『日本刀にみる匠の世界』後編は、いよいよ日本刀作りの最終段階「研ぎ」をお伝えします。日本刀の美しさは研ぎ師の腕にかかっていると言っても過言ではありません。機械には真似できない職人の素晴らしい技術によって日本刀は完成するのです。

最後になりましたが、今回取材をさせていただいた刀鍛冶の新井先生に感謝の意を表します。

添付のCD-ROMに見学した際の鍛錬の様子を収めたムービーが収録されています。

ボタンをクリックすると動画が見られます 

### 【参考文献】

- [1] 鈴木卓夫：「たたら製鉄と日本刀の科学」(1990)，雄山閣。
- [2] 村上義行：「和鋼と日本刀の科学」，精密工秋季大会2004，先端技術フォーラム資料集。
- [3] <http://www.hitachi-metals.co.jp/>。
- [4] 永田和宏：「小型タタラ炉による鋼製錬機構と新しい製鉄法」，平成9～10年度科学研究費補助金(基盤研究B)研究成果報告書。
- [5] 永田和宏：「たたら製鉄の炉内反応機構と操業技術」鉄と鋼，**86**，1(別冊)，(2000)。
- [6] 永田和宏：「熱力学的に見た製鉄の歴史」，Inorganic Materials，**4**，Nov.(1997) 575-585。