



UDC 672.711(520) : 669.1

# 日本刀の冶金学的研究

—日本刀は複合的金属材料の精粹である—

谷 村 瀬\*

## Development of the Japanese Sword

Hiromu TANIMURA

### 1. 緒論 日本刀の特徴と価値

日本刀は明治維新廃刀令により实用価値を失った。十二世紀後期鎌倉幕府が開かれて以来数百年間武士が政治を支配した時代には日本刀は彼等の重要な武器であり戦場はもちろん平時にも護身用更に権威のシンボルとして佩用されて来た。

彼等は刀として使いやすさのためよい姿を求め、またよい切れ味を重視した。更に進んで研磨された刀に現れる刃文の美しさを尊重した。また刀の外装品である鞘、鐔、目貫、縁頭にも芸術的豊かさを求めその製作には金銭を惜しまなかつた。明治以後になつても日本刀は芸術品として識者により尊重されその歴史的研究や鑑定法が進んだ。日本刀に対し海外で装刀品に評価が高いのに比べ国内では刀身そのものの価値が重んじられ、現在、古名刀の価格が非常に暴騰している。

日本刀の評価がこのように芸術的に高まつたのは刀の及ぼす精神的影響が大きかつたためと考えられる。すなわち忠誠、勇気、責任感の高いことは武士の誇りでありそれが、腰の刀で護られるという観念があつた。例えば、武士が責任をとつて死を選ぶに当たり切腹という方法を採用したのはそのあらわれである。

今後われわれ科学者が日本刀の研究を進めるに当たつて刀の強さ、切れ味など物理的性質というハードな面のほかに日本刀の持つ美術的というソフトの方面を考えるのが大切である。

### 2. 日本刀に関する私の研究経過

私は大正7年東京帝国大学に入り俄国一教授の教えを受けたが先生はあの有名な日本刀研究に没頭されていた。その数々の研究は「鉄と鋼」誌などに次々発表され、それが後に「日本刀の科学研究」<sup>1)</sup>にまとめられて

いる。日本刀の原料を製造したたたら炉に関する先生の著書と共に不朽の貴重な文書である。私は卒業後九州帝国大学に奉職したが当時九大医学部の高山正雄(法医学)教授は愛刀家であり、日本刀の鑑定においては第一人者である本阿弥光遜と親交があつた。本阿弥氏がしばしば名刀を持参し鑑賞する機会を得てから名刀の持つ美の魅力を感じ鑑定法を教わり後に同氏から奥伝の免許を受けた。私は俵先生の門弟として日本刀に対する関心が深いのがそれが趣味的のものであつた。日本刀に関しては俵先生以上の研究はでき難いと考えており研究の主力を鋳鉄に向けていた。

海外留学から帰国し九大教授になつた頃、宮下格之助博士の紹介で、当時木炭鋳鉄をつくる帝国製鉄株式会社の社長野島国次郎氏に知己を得たが、同氏は私に日本刀の研究を希望せられ、九州帝国大学に日本刀鍛錬所を寄贈された。

昭和11年の夏に鍛錬所が完成したので各地の刀工をここに招き、日本刀鍛錬のプロセスを冶金学的に追及した。この研究で得た結論として最も重要な点は、日本刀の地鉄と近代式製鉄法による鋼との根本的の差は、前者は複合材料であること、そして名刀とは炭素含量を異にする硬軟の鉄を巧みに組み合わせた結果でできることをまず報告した<sup>2)</sup>。この複合組織により折れず曲がらずよく切れる刀ができるし、独特の熱処理を行うことで焼刃境に硬軟の差のある組織ができるので、研磨された刀身には美しい刃文が出現するという原理を確認した。この考えのもとに現代でも古名刀に近い刀を作りたいという希望を抱くに至つた。

昭和15年頃から戦時色濃厚となり冶金学的研究もその関係で忙しく、日本刀の研究が中絶した。その頃小倉陸軍造兵廠では将校用軍刀の需要に必ずべく、昔と同質の日本刀製作を始めた。同工廠の太田宰治技術少佐は九

Journal of Metals, Vol. 32 No. 2 に一部発表 昭和55年10月2日受付  
(Received Oct. 2, 1980) (依頼解説)

\* 九州大学名誉教授 (Professor Emeritus of Kyushu University, 1-26-6 Imagawa Chuo-ku Fukuoka 810)

大の鍛錬所で得た鍛錬手法を参考とし、原料にはたたらかきの玉鋼を用い、鍛錬には機械ハンマーを使つて本質的日本刀の量産の目的を果たし、比較的コストで将校軍刀ができた<sup>5)</sup>。この昭和新刀は実用的性能は古来の日本刀には劣らないと考えられるが、芸術的には遙かに及ばない。

一昨年 1979 年 2 月に New Orleans で AIME の第 108 回年次大会が開催され、"Metallurgy of Historic Materials" の Symposium があつた。これに日本刀の講演を出すよう日本鉄鋼協会から要請があつた。私は約 40 年も前の研究資料を基として日本刀の特性、すなわち複合組織から得られる日本刀の実用的性質および美術的価値を解説し、また日本古来のたたらかきでつくられた、極めて純度の高い鉄鋼が鉄の最高芸術品を生んだ要因であることを報告した<sup>6)</sup>。それが予想外に海外の学者の興味を惹いた。

### 3. 日本刀の美

日本刀を手につつてみて何が美しいかという、各種の要因がある。まず名刀は姿が良い。反つた刀の曲線美は見る人の目に訴えるものがあり、言葉では言いあらわせない。古い太刀には鳥居反り、腰反りなどと称する曲り方がある。刀身の下から切先に至る身幅の変化により踏張りと呼び安定感を与える姿がある。このように姿をくふうしたことにより刀の重心が適当な位置にあるので、古名刀は軽く感じられる。

刀身にはしばしば彫刻があり、鎗地に鍔と称する溝をつくることがあり、古刀にそれが多く、鍔は刀を軽くする効果があり、また美しさを加える。昔から有名な刀工で刀身に仏像を刻したものが多くある。火災を背にした不動明王、あるいは剣または剣巻き龍（俱利伽羅）が好んで彫られる。刀の彫刻は美のほか宗教的の意味をもつ。更に簡単に刀身に梵字や独鈷（仏具）を彫刻した刀が多い。このことは日本刀の彫刻は単に装飾的の目的以外に、所持者に精神的影響を与えていたことが明らかである。

日本刀の美に最も重要なものは刃文である。刀の刃と切先は焼入れによりできるだけ硬くする。刀身や棟には焼刃土をつけて冷却をおそくしたのは、この部分に適当な硬さと強靱性を要求したからである。この焼刃境に主として刃文が現れ、それが研ぎにより鮮明となる。そして沸、匂と称する模様が出る。図 1 がそれを示す。古人は沸とは刀の表に銀の砂子を撒きたるが如しという。これは研磨により浮き上がった小さい凸起である。大きいものは肉眼でよく見えるが、小沸は虫眼鏡で見るとよい。古人は匂とは春霞がたなびくように見える一種の輝きと表現している。弱い反射光線で視るとよく分かる。俵先生の科学的研究により沸、匂の出る理由が初めて明らかにされた。すなわち焼刃境にはちょうどマルテンサ

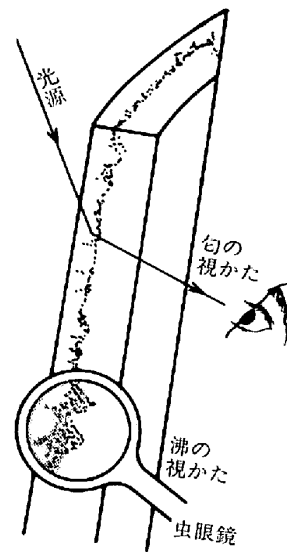


図 1 刃文と沸、匂

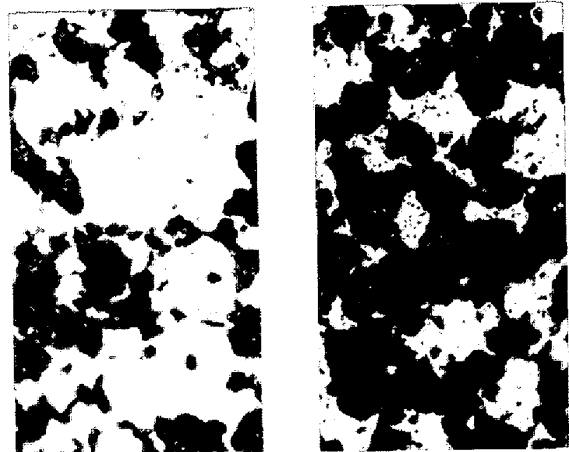


写真 1 沸と匂の顕微鏡組織、共にマルテンサイトとトルースタイトの混合であり、沸ではマルテンサイト部の凸出部が粗いのでそれを肉眼で見ることができる。

イトとトルースタイトとが混在するから、軟らかい組織中にマルテンサイトが浮き上がって見えるのが沸である。匂の出現も同じ原理によるが、それが細かいだけが異なる点である。写真 1 には沸のある部分と匂のよく見える部分との顕微鏡組織の一例を示す。日本刀は C 量を異にする硬軟の鉄を巧みに合わせた独特の複合組織をもつが故に沸匂がよく現れる。刃境に限らず刃中でも刀身の地にも沸匂が見られる。組織をトルースタイトとマルテンサイトと限定せずとも、組織内に硬軟の差があれば沸匂が現れると考えてよい。刃境近くに浮き上がった部分、すなわち沸が鍛錬の方法により点々と列んだり、細長い形で現れる場合も多い。それが砂流し、金筋、稲妻等と称せられる。図 2 にそれを示す。

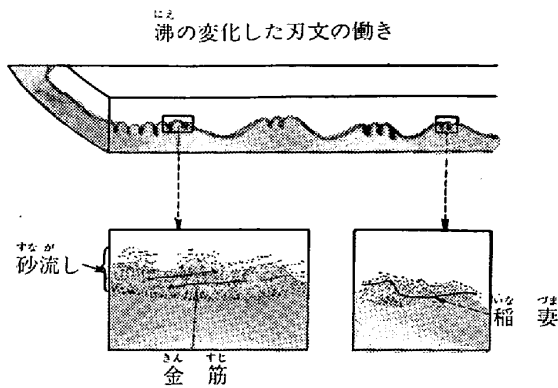


図2 沸の変形とその名称

表1 外国と比較した日本刀の特徴

日本刀	外国刀剣
切断力を重視する。 軽快鋭利である。 切れ味が重要である。 刃先が非常に硬い。 焼入れの熱処理がよく工夫されその技術が進んでいる。 鋭利であるため切損対策がとられている。	突き又は打撃力を重視する。 肉厚が大きく重い。 切れ味を重視しない。 日本刀に比べて一般に硬度が低い。 水焼入れをしたと思われるものも日本刀のように硬くない。 折損の心配が少ない。

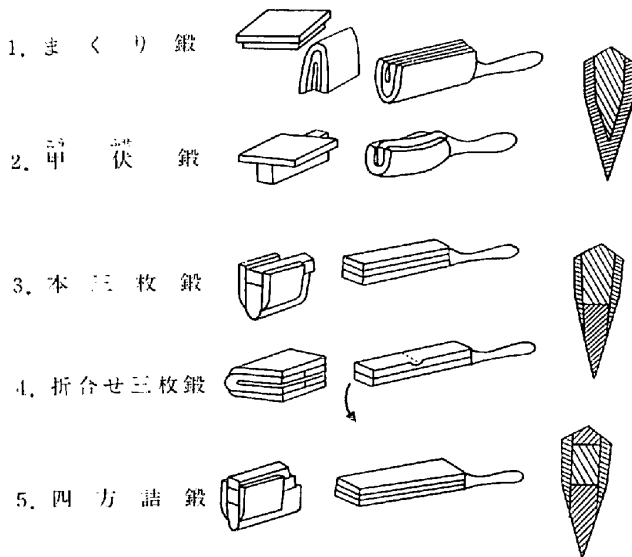


図3 合せ鍛えの各種

4. 武器としての日本刀の特徴

日本刀は軽くて使いやすくそして切れることが最も大きな特徴である。表1に外国刀剣との比較を示す。

切れるためには刃先が鋭く、しかもできるだけ硬くする必要があるのである。そのためなるべくC量の高い鋼を選ぶこ

とになる。しかし刀全体を硬くすれば折損のおそれが多い。その対策として日本刀では千年の昔に焼刃づくりと合せ鍛え法が考案されている。

合せ鍛えとは刃先の部分にだけC量の高い鋼を選び、他の軟らかい部分を接合するもので、図3に各種の方法を示す。実用的からいけばまくり鍛と甲伏せ(かぶせる)鍛が簡単でよい。もし刃先部を特に硬くし、刀身部には沸匂の美しい変化を持たせたいならば、それに最も適する複合組織の鋼を選ぶのが合理的である。そこで昔の名工は本三枚、折り合せ三枚、四方詰等の鍛えを使つたといわれている。一般に刀に対してはCの低い心鉄を入れて折損を防ぐのが原則である。しかし丸鍛、一枚鍛と称し心鉄を入れない場合もある。短刀ならば複合組織がよくできてさえおれば丸鍛でも差し支えがない。

5. 日本刀の熱処理と研磨

合せ鍛えを終えた刀の素塊は鍔打ち作業で所定の長さ、幅、肉厚の刀に延ばされ、更に鑢をかけて仕上げられる。そこで焼入れ作業に入るが、まず焼刃土取りが行われる。この焼刃土の原料の選択、配合から、その厚さ、刃境の土取り方法等は刀工の流派や経験により様々である。古来秘伝といわれる。

次に焼入作業になるが、あの狭い火床の木炭中に長い刀を往復移動させ、ふいごで適当に送風しながら均一の焼入温度にする。適当な温度に達した時、水槽に刃先を下にして水平の位置で焼入れる。この温度の判定は彼等の長い経験によるものであり、刀工にとり焼入行程は最大の緊張を要する仕事である。図4に九大の鍛錬所で刀工の使つた水槽を示す。またこの図に示すように焼刃づくりの結果、刃先部がマルテンサイト化のため膨張し反りが増大する。焼入れによる刀の残留応力は低い焼もどし温度で緩和する。またこれと共にこの応力を利用して鑢部を軽く鍔打ちして、反りを修正することができる。

熱処理後刀工は荒目の砥石にかける。この時刃文の輪郭が予想できる。刃文の美しさを出現させるのは研ぎ師なる専門職の仕事である。金属組織の検査で、われわれは各段階の粗さのエメリー紙で磨き、最後には水を含んだ粉末で条痕を消し、腐蝕液により組織を現している。

研ぎ師の研磨方法は粗から細の各段階の砥石にかけて

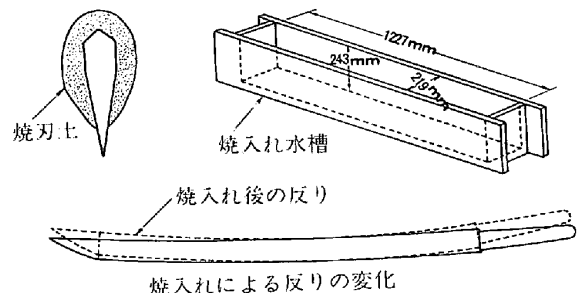


図4 焼入れに関する図解

から、最も目の細かい砥石\*の薄片を指先で動かして条痕を消し、最後には刃光沢、地光沢と称し、細かい砥石の粉末や彼等秘伝の細粉末に水を含ませ、指先で研磨をする。これは硬軟の複合組織を浮き上がらせて沸匂などの美を発揮せしめる重要な作業である。昔大名の持った名刀においては、研ぎ師として一流の技倆が必要であった。伏見桃山時代、芸術家として有名な人材を出した本阿弥家がそれを担当していた。

日本刀においては硬軟各種の鉄の複合組織、焼刃土のとり方により各種の刃文が現れ、また、冷却速度に影響されて沸、匂が千変万化することによつてあの美しさが倍加するのである。図5には各種の刃文のうちで代表的ともいべき数例を示した。山城伝の刀工に直刃が多く、備前伝では五の目、丁子という乱れ刃が多く、相州伝の刀工には皆焼と称する華やかな刃文が多く見られる。

各種の鉄の組み合わせ方も、刀工の流派により異なり、それは焼きの入っていない地肌でも見ることが出来る。図6にその4例を示す。柾目肌は大和伝に多く、この流派の影響を受けた美濃伝の刀には、一部に柾目が見られる。山城伝備前伝は空目肌が主である。相州伝は刃文が派手である関係上、板目肌が多い。この肌になると

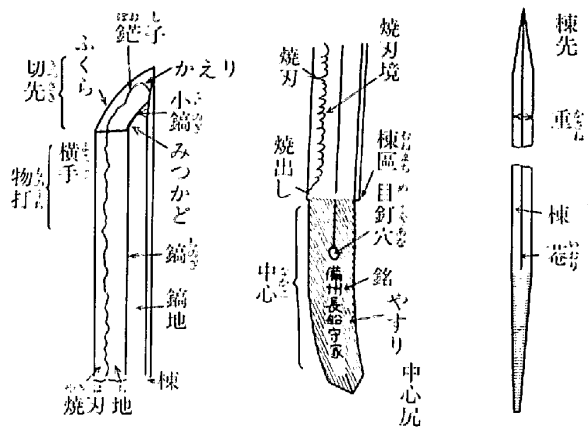


図7 標準型(鑄造り)日本刀の刀身における各部の名称

部分的に柾目が混ざる。綾杉肌は柾目鍛の一種の変わり型である。

図7には日本刀の各部の名称を示した。後章の説明の参考のため本造りあるいは鑄造りという標準刀における名称を示してある。

### 6. 日本刀の複合組織について

九大の日本刀鍛錬所で各流派の刀工の鍛錬法を視察した。彼等は日本古来の和鉄、和鋼を使わなければ満足すべき刀を作れない。その当時には鳥取、島根両県にたたら炉が残っており、また市場に庖丁鉄、玉鋼の在庫があり、これらを容易に入手できた。刀工の中には古い寺や神社の改築のときに出る古釘を利用したり、また和銃を利用する人もいた。しかし現代製鉄でできた原料を使つてはよい刀ができない。その理由は日本刀は何回も折返し鍛錬により作られるのであるから weldability (鍛接性) の良いことが必要条件である。現代の軟鋼でも低Cであれば flux を使つて容易に鍛接ができる。しかし日本刀の重要部分である刃先のC量が高く、共析成分に近い鋼としては、現代鋼は激しい折返し鍛錬に耐えられない。この weldability に関して砂鉄から還元してできた和鉄和鋼はC量の高低にかかわらず非常によいことが分かった。

その理由は、この原料鉄にはC以外の元素は非常に低いことである。表2にその化学成分を例示した。現代鋼に比べて最も著しい差は Si, Mn が trace に近い。P, S も非常に低く、とくに Fe よりも酸化しやすい tramp elements が無い。日本刀の鍛錬では鋼片の中央に notch を入れて何回も折返される。その時表面にできた酸化鉄は、鋼片のもつCと反応するので鋤打ちですぐ除去される。Si その他の酸化しやすい元素が無いから、介在物が鋼片に残らない。刀工は鍛錬中灰汁を使うが、これは砂や粘土の介入を flux 化する対策と考えてよい。顕微鏡組織で検すると庖丁鉄はCが低いいため酸化物の介在が見

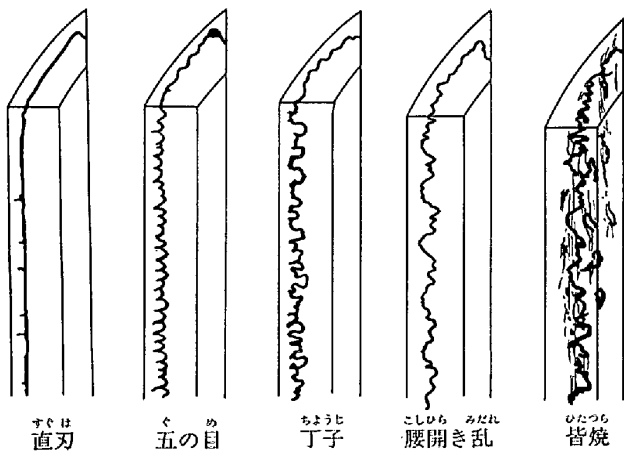


図5 代表的刃文の例

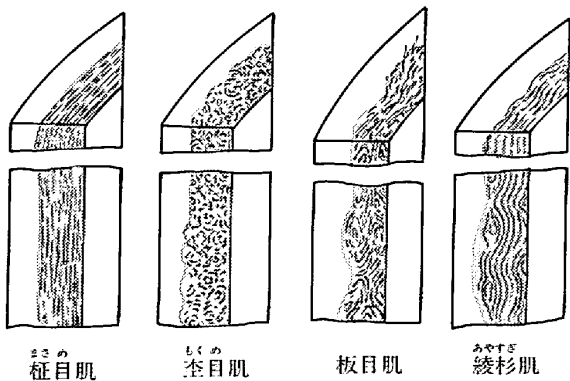


図6 刀身に見られる各種の地肌

\* この砥石は内袋り鳴籠と称する特産品である。

表 2 日本刀に使われた和鉄，和鋼の化学成分

種類	成分 %						分析者
	C	Si	Mn	P	S	その他	
玉鋼	1.33	0.04	tr.	0.014	0.006	—	俵八幡製鉄所 谷村
	1.77	0.017	0.09	0.016	0.003	—	
	1.31	0.010	tr.	0.007	0.0003	—	
庖丁鉄	0.15	0.10	tr.	0.018	0.069	Cu 0.06	俵谷村
	0.12	0.05	tr.	0.013	0.013	—	
たたら炉の銑鉄	3.70	0.02	0	0.051	0.015	Cu 0.01	俵

られるが、玉鋼にはそれが無い。玉鋼は C 1.5% 前後の C を含み、たたら炉内ではちょうど固相線直下の温度で半熔融に近い状態で生成する。炉内で割合に早期に還元される部分は吸炭されて銑鉄となり、たたら炉内の温度でも溶けて落下する。炉内では玉鋼の Solidus と銑鉄の Liquidus とが共存した後に玉鋼が凝固する。つまり zone melting が行われるわけで、玉鋼の純度は抜群に高く、介在物が無いから室内では錆びない。現在の刀工は玉鋼が最も使いよいとして好んで使用する。しかし和鉄のように tramp element の少ない原料さえあれば卸し鉄法により刀に必要な複合組織をつくることのできる。図 8 は九大鍛錬所で刀工の使った火床を示す。火床に木炭を満たして送風する場合に風の先端の近く (A) では酸化雰囲気である。ふいごの風量をうまく調節して和鉄のごとき高 C の鉄を装入すると、下降中に脱炭される。また羽口の下方 (B) では還元雰囲気であり、白熱状木炭に接触すれば庖丁鉄もよく加炭される。このようにして火床を降下した鉄塊を、卸し鉄と称す。卸し鉄は加炭部分と脱炭部分が入り混じり、図 8 に示すような半熔融の塊である。

### 7. 刀工の鍛錬作業と複合組織の変化

写真 2 に示した九州帝国大学鍛錬所では多くの刀工を招きその製作法を調査した。以下彼等にはほぼ共通する鍛錬法と複合組織ができる原理を説明したい。

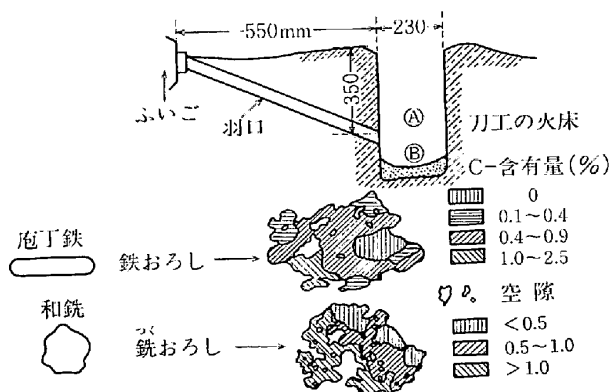


図 8 おろし鉄法の図解

図 9 は和鉄，和鋼から出発して刀の刃部や皮鉄部の鋼のできるまでの行程を示す。刀工は高 C の玉鋼と低 C の庖丁鉄をまず卸し鉄にする。ある刀工は和銑を卸し鉄に加える。形状が不整であっても卸し鉄は前述のように weldability がよいから、白熱状態ではよく鍛接されて平板 (へし鉄) となる。これを水焼入れすると小片に割ることができる。この小片の破面でその硬軟すなわち C 量が推測できる。

次に重ね鍛え作業に入る。まず刀の刃鋼と同じ材料を平らにした挺をつくり、取り扱いに便利なハンドルを付ける。挺金の上にへし鉄を何段にも積み重ねる。この小片の間の隙間をふさぐため、和鉄の釘を入れたり、和銑の小片を入れたりする。この積み重ね鉄の選び方は、刀工の流派によりそれぞれ異なる。積み重ねができると丈夫な和紙でそれを包み、灰汁 (蒿灰と粘土水) をかける。この flux に硼酸を使う刀工もあつた。

次にそれを火床に入れ白熱に近い温度に加熱してから取り出して、軽い鎚打ちによりへし鉄を圧着させる。再び加熱して鎚打ちを強くし、また横面にも鎚打ちを加えてから平打ちを続けて延ばす。次に切り込みをつけて折返し鍛錬をする。この折返し回数は刀工により異なり、数回から 12 回に及ぶ。各種の地肌を出すためにある刀工は積み重ねで得た鋼片のいくつかを更に合わせて複合組織とする。図 10 は単純な折返しのほか十文字鍛え、木の葉鍛え、短冊鍛え、あるいは折子木鍛え等の方法を示したものである。

写真 3 は折返し鍛錬を 3 回行つた鋼片の低倍率組織を

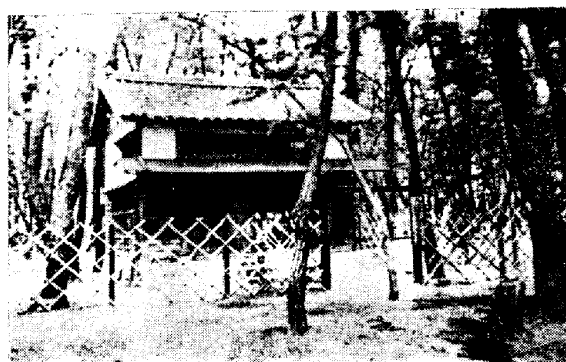


写真 2 九州帝国大学日本刀鍛錬所 (1936~40)。

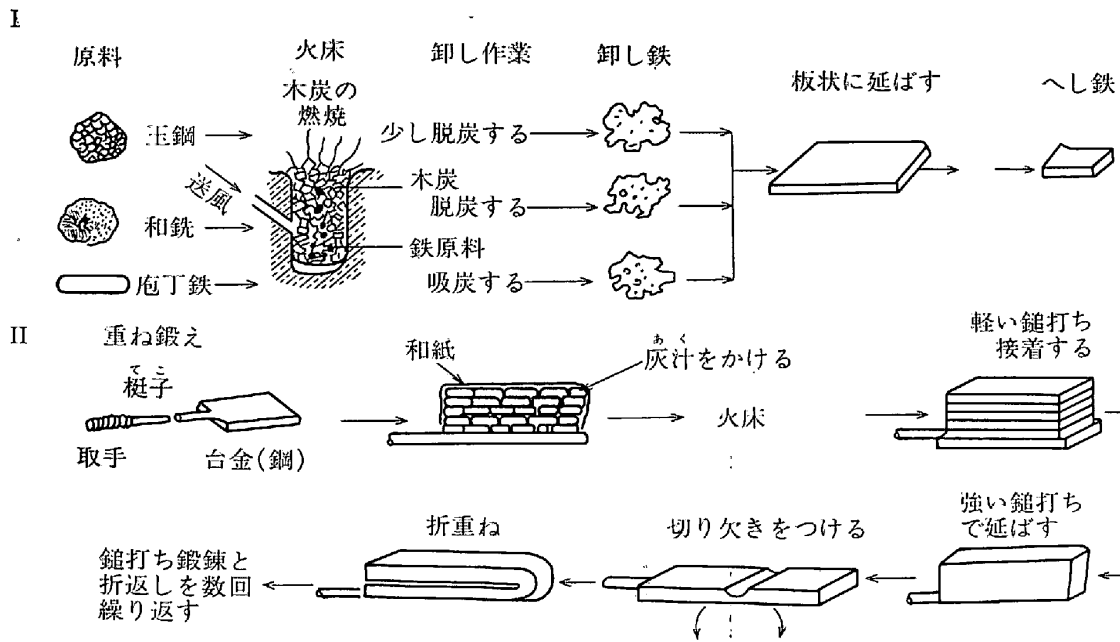


図9 複合組織をもつ日本刀の鋼をつくる折返し鍛錬法 (九州大学鍛錬所で行った各刀工の作業法図解)

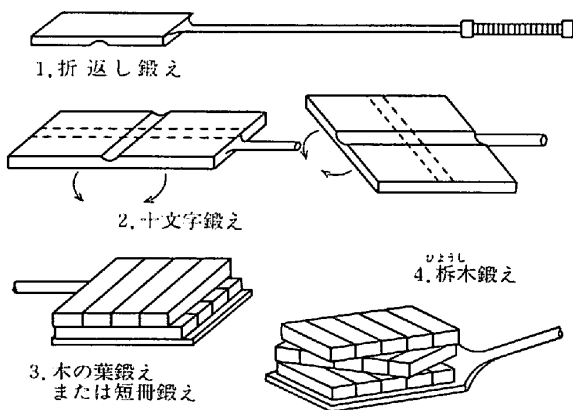
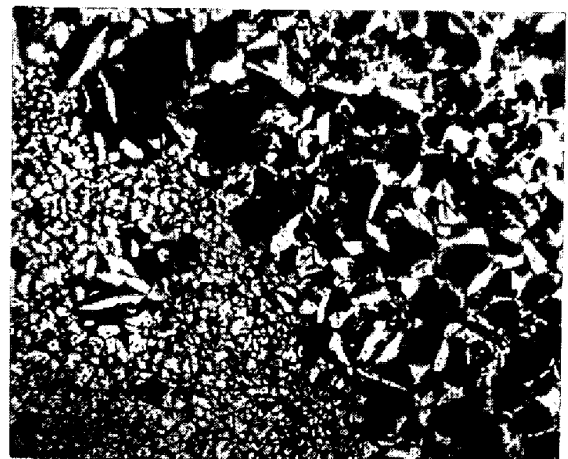
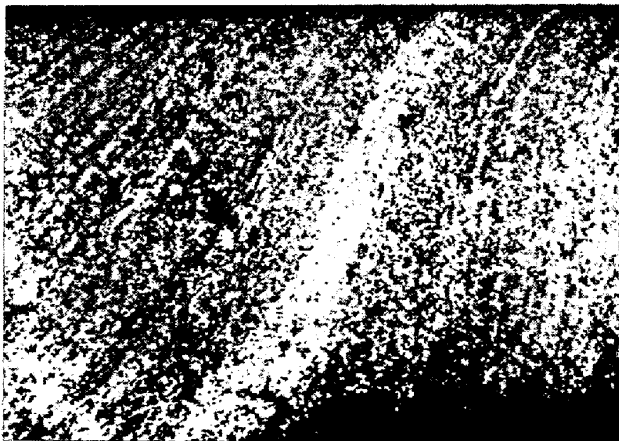


図10 各種の複雑な鍛錬法



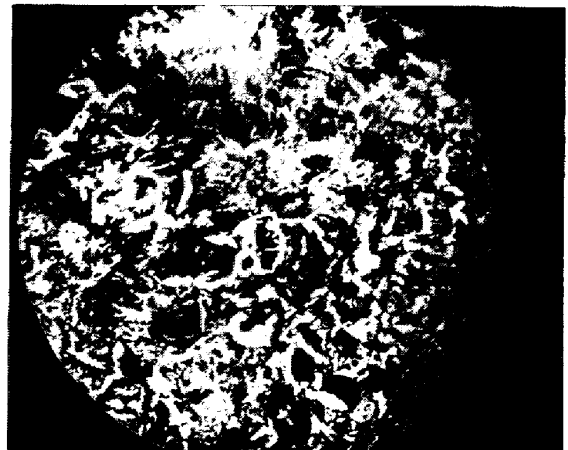
×125×1/2

写真4 折返し3回鍛錬後の組織(高倍率)



×11×1/3

写真3 折返し3回鍛錬後における鋼の組織(低倍率).



×125×1/2

写真5 折返し12回鍛錬後における鋼の組織

示し、写真4は倍率を高くした組織である。C量の異なる組織がよく鍛接されているが、介在物があまり見られない。

写真5は折返しを12回行つた鋼片の組織であり回数が多くても複合組織はそれほど変わらない。

### 8. 日本刀の焼入組織と性質

貴重な昔の刀を切断することは遠慮し、九州大学の鍛錬所では刀工に依頼してその目的に大小の刀を作ってもらつた。刀工は小倉在住の紀政次氏である。一つは長さ250mmの短刀、他は387mmの脇差である。原料は玉鋼と庖丁鉄であり、その卸し鉄を積み重ね鍛えの後、12回の折返しで刃鋼をつくつた。両刀とも一枚鍛えて軟らかい心鉄を入れずに所定の形に仕上げ、土取りをして焼入れを行つた。刃鋼の炭素含量は短刀の方は平均で0.5%弱と低く、脇差の方は0.8%近くに高きした。

図11にはA刀(脇差)とB刀(短刀)の寸法と切断箇所を示し、また切断面を軽く腐蝕したマクロ組織をも示した。

図12にはA刀の各部から採つた試料の化学分析値を示す。また切断面内の各部分で顕微鏡組織を撮つた部分をここに明示してある。

図13は短刀Bのそれである。

これら組織のうち6例を写真6から写真11に示した。写真6はA刀の刃先から5mm入つた表面の組織である。十分に焼の入つたマルテンサイトが見られる。写

真7はB刀の刃先に近い部分の組織である。マルテンサイトの中に黒く点々としてトルースタイトが介在している。Cが低いために完全な焼入組織となり得なかつた。写真8はA刀の焼刃境すなわち刃先から12mm表面から1mm入つた部分の組織である。俵先生が初めて明らかにされた沸のある部分の写真に似ている。

A刀の化学成分

Position	%	C	Si	Mn	P	S
a		0.83	0.03	0.11	0.020	0.006
b		0.81	0.03	0.11	0.021	0.006
c		0.79	0.03	0.10	0.020	0.005
d		0.80	0.03	0.11	0.021	0.006

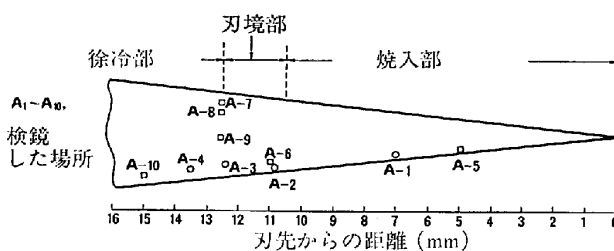
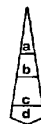


図12 A刀の断面と検鏡部

B刀の化学成分

Position	%	C	Si	Mn	P	S
a		0.47	0.07	0.005	0.019	0.002
b		0.43	0.03	0.004	0.032	0.002
c		0.47	0.04	0.006	0.030	0.003

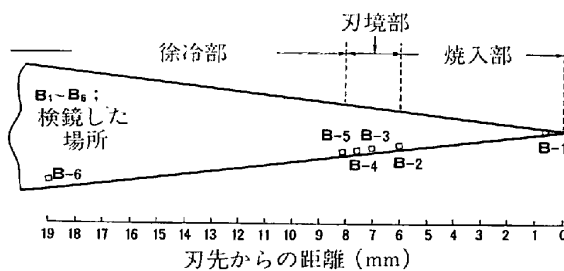
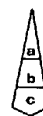
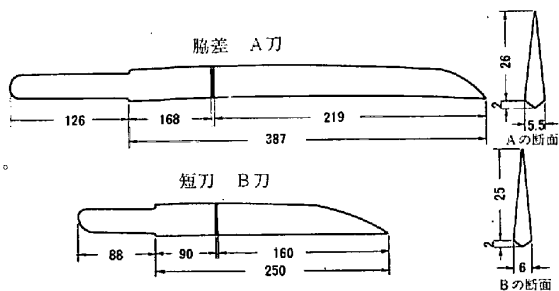


図13 B刀の断面と検鏡部



A刀断面のマクロ写真



B刀断面のマクロ写真

図11 九州大学鍛錬所で鍛えた脇差Aと短刀B  
A刀のC量は高く、B刀の方が低い。



刃先から5mmの表面部 ×1000×11/26  
写真6 A-5部の組織

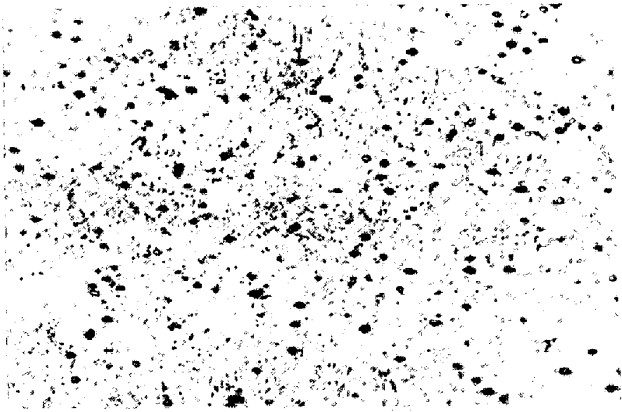


写真 7 刃先から 5 mm の部分  $\times 1000 \times 11/26$   
B-1 部の組織  
B 刀は C 量が低いためマルテンサイト中に  
トルースタイトが点在している。

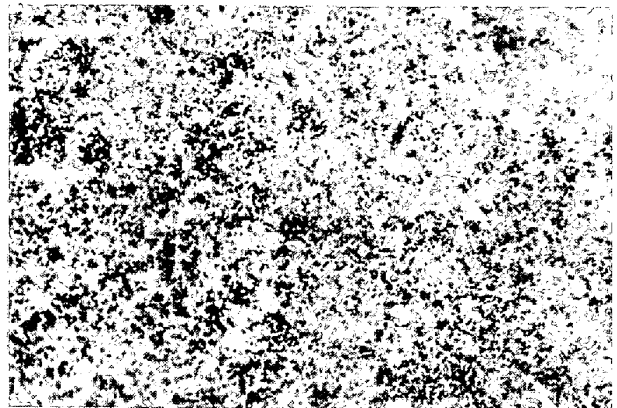


写真 10 刃先から 15 mm の表面に近い部分  
A 刀の焼刃土で被われた A-10 部の組織-  
ソルバイト  $\times 1000 \times 11/26$

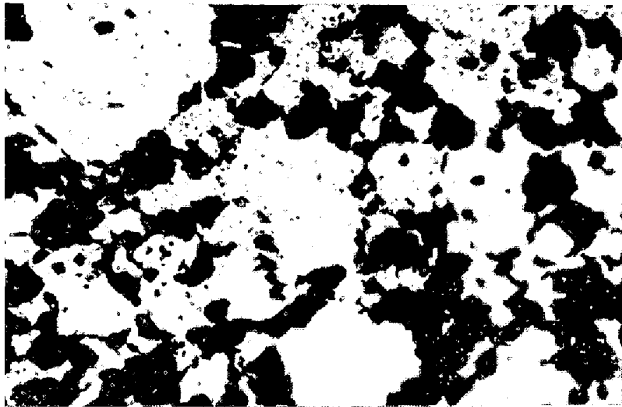


写真 8 刃先から 12 mm, 表面から 1 mm の部分  
A-7 部の組織, マルテンサイトとトルース  
タイトが混在する。  $\times 1000 \times 11/26$

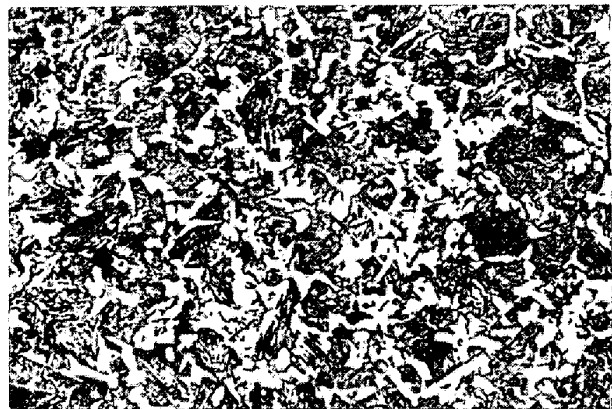


写真 11 刃先から 19 mm の表面に近い部分  
B 刀の焼刃土で被われた B-6 の組織, パー  
ライト, フェライトが混在する。  $\times 1000 \times 11/26$

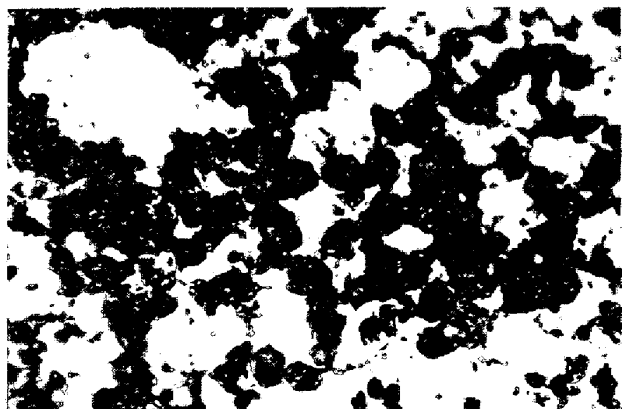


写真 9 刃先から 12 mm, 表面から 10 mm の部分  
A-9 の組織  $\times 1000 \times 11/26$

写真 9 は A 刀の焼刃境でも棟よりの部分の組織である。ここではトルースタイトの割合が多くなりマルテンサイトの粒が小さく匂の組織に相当すると見てよい。

写真 10 は A 刀の刃先から 15 mm 棟よりで完全に焼

刃土で被われた部分で標準的なソルバイト組織を示す。写真 11 は B 刀の刃先から 19 mm 棟よりの組織で、それは初析フェライトとパーライトから成る Normal Structure である。B 刀は短刀だからこれでもよいが、刀の目的から考えて刀身は曲がりやすくしかも靱性が要求されるので、少なくとも写真 10 に示される組織が必要であろう。

次に、A, B, 両刀における刃先から棟に至る各部のかたさを Micro-Vickers 硬度計により測った。その結果を図 14 に示す。それを見るに両刀とも焼刃境で平均硬度が急激に下がる。刀身部のかたさは A 刀は Hv 300 以上であるのに、B 刀は軟らかい部分は Hv 200 に近い。両刀とも棟の近くなるとやや硬度が高くなる。

焼入部のかたさは A 刀と B 刀で平均して Hv 100 以上の差があり、硬度に対する C 量の影響が明らかに分かる。

図 14 で最も著しい特徴は焼刃内の硬度分布にジグザグの変化のあることである。十分に焼が入った A 刀の刃



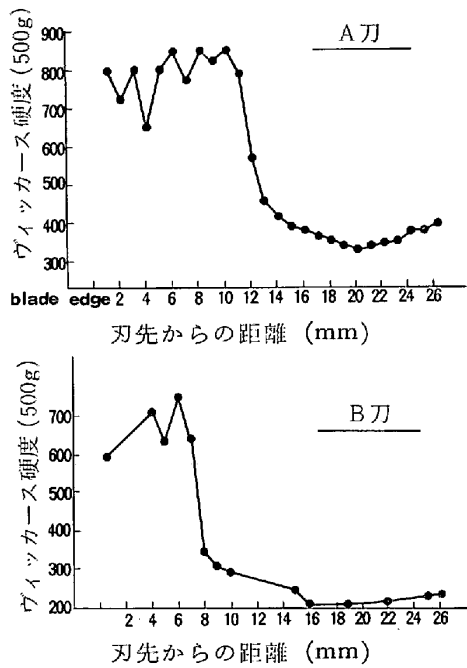


図14 焼入れした刀の刃先から棟までの硬度変化

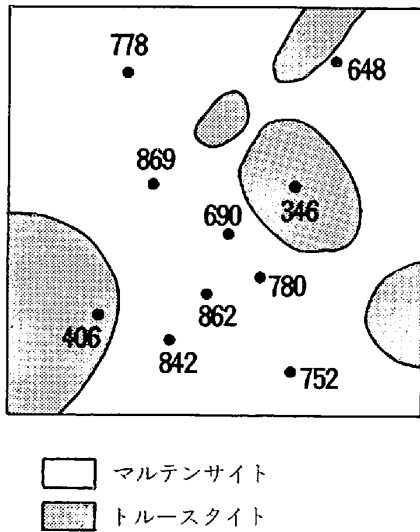


図15 折返し鍛錬した鋼片を焼入れした後の硬度の分布例

先の組織（写真6）が完全にマルテンサイトと見られるのにこのような硬度変化を示すことは日本刀の複合組織として注目すべき点である。さきの写真7で低CのB刀の刃先の組織にマルテンサイト中にトルースタイトの微小の介在が覗かれた。この場合ならば焼入組織の硬度分布にジグザグが出ることは当然である。

また別に刀工が折り返し鍛錬した鋼片の端部を採取して水焼入れをした試験片の組織を調べ、Vickers 硬度を測った。その結果を図15に示した。これで見るとトルースタイトとマルテンサイト両組織の硬度差が判然と示されている。しかし、検鏡下でマルテンサイトと見られる組織内にかなり大きい硬度差が見られることが興味の

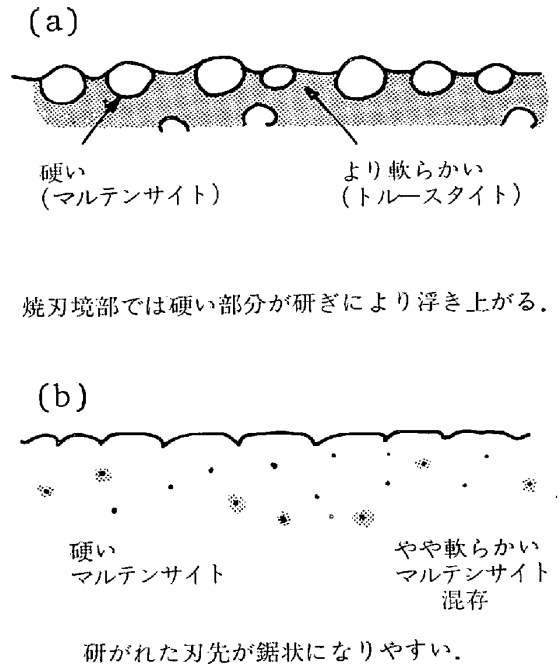


図16 複合組織をもつ鋼の特徴

ある点である。

ここで本研究結果から日本刀に及ぼす複合組織の影響を考察して見たい。日本刀の刃境は図16-aに示すように軟らかいトルースタイトの地にマルテンサイトが介在するため、それが研磨により浮上り沸匂の美が發揮されることは当然である。更に一步進めてマルテンサイト化した刃先にも複合組織による硬度差が出る。刃境のみならず焼刃の中でも沸匂の美が發揮される。鑑定家は古名刀ではこれらの沸は、とくに強く出ているという。それは硬度差が大きいためかと想像される。焼刃の中で硬度差があるならば研ぎにかかった刃先が平滑で無く細かい鋸刃を呈し、図16-bの状態が予想せられる。このことが日本刀の切れ味と関係があると考えられる。工具や刃物の切れ味の試験にはいろいろあるが、日本刀に関しては本多光太郎博士らの研究が最も興味を惹く<sup>7)</sup>。その方法では多数の紙を重ねた束の上に刃物を一定の圧で押しつけながら動かし、切れる紙の枚数を比較する。刀を使う姿勢は引き切りであるので、本多式は日本刀には適した方法であろう。この研究では最もよく切れるといわれたヘンケル社（双子印）の剃刀、パレーの安全剃刀、庖丁等8種と日本刀10種が試験に供されている。この研究で私が最も注目した点は次の結果である。高Cである程切れ味がよい（切れた紙数が多い）。引き切り回数を重ねるに従いいずれの刃物でも切れ味が低下する。ヘンケル剃刀と多くの日本刀を比較すると第1回目ではドイツの剃刀がよく切れるが、回数と共に切れ味が低下する。その低下曲線を各刃物で求めると  $N = N_0 e^{-kn}$  式であらわされる。 $N_0$ は始めの切れ味、 $N$ は $n$ 回目の切れ味である。 $k$ は刃物の性質による恒数である。この式から耐久

度を比較すると日本刀の多くは西洋剃刀よりすぐれており、日本刀のうちでは相州の正宗が最もよく、有名な伊勢の村正がそれに次いでいた。この研究で正宗の刀が最も優れた素質を持つものであると述べているが、その理由は明らかにされていない。私はこの理由を複合組織の見地から解明できると考えるが、今後の研究が望まれる。

次に刀の強度の面から考察すると非常に硬い（弾性限が大）材質の各部に、ある硬度の低い部分が介在する複合組織があるとす。破壊靱性の原理によればその軟らかい部分が塑性変形を許せば crack の伝播が止められるので靱性が向上する。日本刀の刃先の粘り強さに関してはいまだ研究資料が少ない。この点に関しては今後の深い研究を要望している。

## 9. 日本刀の歴史

これから冶金学者としてどのような方向に研究を向けるか参考のために日本刀の発達史につき解説する。

日本刀鑑定者はその時代を推定する便宜のため日本刀の歴史を 8 期に分ける。古い刀剣書に大和国に天国が大正時代（七世期末）に初めて刀を作つたと伝えられるが、これは科学的に見て疑問である。ただし大宝の頃には仏教を始め大陸の文物が入つた。それと共に世界の鉄の歴史で最も進んでいたインド、ペルシャの製鉄、鍛錬

表 3 日本刀発達の歴史

時代別の名称	時期	年代(西暦)	備 考
古 刀	No. 1	700-1181	平城(奈良)から平安(京都) 宮廷政治時代
	No. 2	1182-1285	政権武士に移る。 鎌倉幕府の前期。
	No. 3	1286-1385	蒙古来襲あり(1262-76)。 鎌倉幕府後期から南北朝時代に作風の変化がある。
	No. 4	1386-1460	足利氏が京都に幕府を開く この時代から太刀から刀に変化し脇差が作られる。
	No. 5	1465-1593	戦国時代 実用刀の需要が多い。 美術的に劣る。
新 刀	No. 6	1594-1800	江戸幕府の前期、実用と美と兼備した刀の需要が旺盛
新々刀	No. 7	1801-1866	幕末の頃多くの刀工が古刀第 3 期以前の刀を作る努力をした。
現代刀	No. 8	1807-1980	明治維新廃刀令により実用性終焉、美術刀としての鑑賞研究が進む、刀工の技術保存奨励の要あり。

の技術が、シルクロードを経て中国、朝鮮から我国に入つたと解するのが妥当であろう。私はかつて正倉院を拝観しその御物の刀剣が美しい複合組織を持つているので感心した。後にこの御物の刀剣の調査書が「正倉院の刀剣」として刊行されている。故岩崎航介氏はその代表刀の組織を顕微鏡で検査し、C 0.1% から 0.75% に及ぶことを報告している。この美しい鉄は大陸の技術を参考にして砂鉄から作られたものと考えられる。しかし奈良朝時代にはまだ反りある代表的の日本刀ができていない。

日本刀は平安期初期に発達したと書かれた本があるが、これは冶金学的に見て正しい。すなわち正倉院の時代にはすでに良質の鉄があつたが、焼刃土をつけて刃先だけを焼入れする技術が無かったと考えられる。すなわち焼入れにより反りのある刀が初めて出たのが永延年間(10 世紀)という説が正しいと思われる。平安朝前期に在銘の刀工として伯耆の安綱、備前の友成、山城の宗近が知られており、その刀が現存して国宝となつている。当時の刀は宮廷の祭事に使われ、衛士や地方の豪族の佩刀として作られた。その頃戦闘は馬上で行われ、刀の寸法が長く横に吊して所持された。これを太刀という。正倉院の刀をも含み平安朝末までを刀の歴史で第 1 期とする。

源頼朝が幕府を開いてから約 100 年間は第 2 期である。政権が武士の手に移り刀の需要が増す。その頃後鳥羽天皇が愛刀家であり各地の名工を宮中に召され、鍛刀を奨励された。御番鍛冶に選ばれた者は山城備前備中、とくに備前刀工に多い。第二期の刀は品位のある姿の太刀か短刀である。その地鉄が美しく、沸匂が精細であり美術的評価が高い。国宝や重要文化財に指定された刀はこの期のものに最も多い。

蒙古来襲の後から南北朝時代の終わる頃までを第 3 期という。外国軍と戦闘した経験によるためかこの時代の刀に長身で刀幅が広く、また切先の大きいものも多く見られる。第二期の時代に鎌倉へ山城伝及備前伝の名工が移住して来た結果、山城伝の精細な地金と備前伝の刃文の乱れをつくる技術が合わされた相州伝なる作風が発達した。それを能くする刀工の代表として、正宗と子(弟子ともいう)貞宗が挙げられている。この作り方は相州のみならず全国各地の刀工に及んだ。その優れた刀工を正宗十哲、貞宗三哲等という。相州伝の刀の特徴は、複雑な刃文をもち、沸匂が強く現れる。沸匂の働きが焼刀の中はもちろんのこと刀身の中に及ぶ。後者を鑑定家は地景と称す。豊臣秀吉の伏見桃山時代には正宗や十哲の作刀が非常に賞美され、諸大名や高官が黄金を数十、百枚に替えてもこれらを取得せんとした。

足利氏が京都に幕府を開いた頃から 1460 年頃までを第 4 期とする。この時代に古来の馬上戦から徒歩戦法に変化した。古来の太刀は主として儀礼的に使われるのみ

で、実戦には腰に差す刀が作られた。それと共に予備のやや短い脇差も必要となり多く作られるに至つた。

十五世紀の後半から幕府の威令が衰え、各地に群雄割拠し、いわゆる戦国時代となる。当然刀の需要が多い上に、貿易も盛んとなつたため海外に出る刀が増加した。この時代には全国各地に刀工が居たが、とくに備前と美濃（関が中心）に多く出た。当時の刀は実用的需要が主であり、美的に視るとどうしても見劣りがする。美濃には昔大和から移住した刀工の子孫が多く居た。その刀は奎目肌に柘目肌を交え、小沸で匂勝ちであり美濃伝として一派をなす。美濃伝の力は切れ味がよいといわれている。関の孫六（兼元銘）は大業刀として有名である。美濃の刀が果たして切れ味が良いのか否か、またその理由は何ぞかという問題は、今後の冶金学的研究で解明できらるであらう。

次に家康が江戸幕府を開いた慶長年間から 19 世紀の初め頃までを第 6 期とする。これ以後の刀を新刀という。この時代には将軍が中央に政権を握り各地に大名を封じ武士による政治が行われた。そのため刀の需要が旺盛であつた。各大名は昔の名刀を重んじ、それが最高の贈答品となつた。当時の刀工にも美と実を兼備する刀の製作が要求された。新刀時代になると昔のようにある流派に固定せず自らの鍛錬法を開発せんとする刀工が多くなつた。新刀特伝という。その優れた刀は古刀に負けない高い評価を得た。二三の刀工の例を挙げると新刀の先駆者として堀川国広が居る。彼は日向の出身であるが、京に移住し、埋忠明寿に学び大成した。刀の質が優れているのみならず彫刻の達人である。国広の門弟には名工が多く出た。その一派は大阪に移つた。大阪新刀の中でも和泉守国貞子の真改は相伝風の刀が巧みで新刀の、正宗といわれた。

新刀時代の初期に越前から江戸に移つた康継はその技倆が将軍家に認められ銘に葵の紋を切ることを許された。しかし江戸刀工中最も評価の高いのは虎徹（興里）である。近江の出身であるが越前で甲冑などを作り、江戸に出て刀を作り出したという。彼の鍛錬法は独特で、地鉄が良く沸匂が力強く出ており、切れ味が非常によいという。彫刻の上手なことも抜群である。

新刀の名人として肥前忠吉が居る。彼も一時京で埋忠明寿の門に入り肥前に帰つて多くの名刀を作っている。忠吉の二代、三代も名工でありその子孫及門弟が幕末まで繁栄した。忠吉も独特の鍛錬法を開発し直刃を主とするが、米糟肌と称する複合組織が見られ、沸匂の働が見事である。新刀初期に比べ後期には名作が少なくなつた。幕末に近く武家出身で文筆もよくする刀工水心子正秀は新刀に飽き足らず、鎌倉時代の古刀に似た刀とか相州伝に近い刀をつくるべく努力を重ね、多くの弟子がそれに追随した。これを鑑定家は復古刀という。それは十九世紀の初めから明治維新までであり、これらの刀を新

々刀と称す。新々刀の中には沸匂の豊富なものがあるが、鑑定家はやはり古雅な古刀や江戸時代初期の新刀を賞美している。

明治維新になつて廃刀令が出された結果、日本刀の実用性がなくなつた。多くの刀工は一般の鍛冶に転職せざるを得なかつた。しかし明治時代になつても一部の刀工は宮内庁の庇護で技術を保存した。また製鉄界では室蘭の日本製鋼所でも刀工技術保存を助けた。

戦後では財団法人日本美術刀剣保存協会ができて古い刀剣の審査と保存に努めている。また現代刀工の出品を奨励し、その名作を表彰している。文化庁では技倆のすぐれた刀工を文化財保持者（人間国宝）に指定して日本刀の技術保存に努めている。かくして明治維新以後を刀剣史の第 8 期とする。

## 10. 結 言

日本刀は折れず曲らずよく切れるという武器であると共に、研ぎすました表面の美妙的な美しさは鉄の最高芸術品となつている。

筆者は日本刀の鍛錬法を研究した結果、日本刀のこの特性はその刃鋼に炭素量を異にする巧妙な複合組織を利用し、加えて焼刃土による独特の進んだ熱処理の結果により得られたものであると考える。

このためには必ず和鉄を必要としたのは、和鉄は炭素以外の tramp elements が極めて低いために weldability が良いからである。これを満足する材料は現在の鉄鋼技術で得られるはずである。刀工やすぐれた工具の製作者のために、今では非常に高価なたたら炉による和鉄、和鋼に代わつて、上記の条件を満足する原料鉄の製造を希望して本文の結びとする。

## 文 献

- 1) 倭 国一：日本刀の科学的研究（昭和 28 年）  
[日立評論社]
- 3) 倭 国一：古来の砂鉄製錬法（たたら吹製鉄法）  
（昭和 7 年）[丸善]
- 3) 谷村 瀬：日本刀鍛錬の研究（第 1 報）  
九州帝国大学工学彙報，4（昭和 14 年）6
- 4) 谷村 瀬：日本刀の組織に就て  
甲寅会誌（昭和 11 年）22
- 5) 将校用軍刀製作に関する研究，小倉陸軍造兵廠  
造兵彙報，18，6  
この内容は「工学と工業」9，（昭和 16 年 4 月）4  
にも転載
- 6) H. TANIMURA : "Development of the  
Japanese Sword, J. Metals, 32 (1980), 2
- 7) 本多光太郎，高橋金之助，奈良七三郎：「刃物の  
切れ味に就て」金属の研究，3（昭和 15）10
- 8) 正倉院の刀剣（昭和 39 年 3 月発行）[日本経済  
新聞社]