

日本刀の作刀で、加熱した玉鋼を叩き伸ばし、折り返すことを繰り返す「下鍛え」の工程。不純物を取り除き、成分の均一化を図る。

(写真提供：河内一平氏)

日本刀の美を科学で解明する

日本刀は古代から、単なる武器としてだけでなく、美術品や守り刀などの魔除け、権威の象徴などとして用いられてきた。その伝統と美、技巧は現在、約290名の日本の刀匠により脈々と受け継がれ、日本を代表する伝統工芸品となっている。



日本刀の「美」を科学的手法で探る

日本刀は、日本のものづくりのルーツともいえる存在だ。その中でも日本刀は、たたらで作られた玉鋼を鍛錬することによって、不純物を取り除かれ、1～1.5%といわれる炭素が均一化される。さらに火造りと呼ばれる鍛造工程、焼入れ、研磨など複雑な工程を経て、一振りの日本刀になる。日本刀は日本の鉄づくりの技術の原点ともいえる存在である。

これまでも、金属材料工学や機械力学的な視点から日本刀を解析する試みはあったが、日本刀の美しさや機能性について科学的に解析する取り組みは少なかった。

輪島塗や金沢箔など、さまざまな伝統工芸が現在に伝承される石川県にあって、金沢工業大学では日本刀における「匠の技」をテーマとした地域志向教育研究プロジェクトが、機械工学科の畛田道雄教授をリーダーとして実施された。

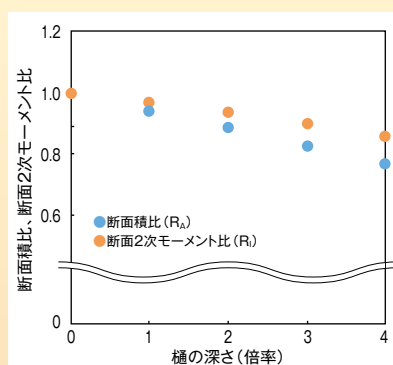
プロジェクトには同大学の機械工学科に加え、心理情報学科、メディア情報学科が加わり、多角的な取り組みが行われた。具体的には、日本刀の美を構成する要素として、刀身の姿や刃文に代表される美しさである「形状美」、戦場で戦うために創意工夫された「機能美」、鑑賞者の心理に訴えかける「官能美」の3つを取り上げ、それぞれの「美」を科学的に解明、評価する研究が行われた。3つのアプローチの成果の概要を紹介していく。

● 樋と曲げ剛性の関係(図1)

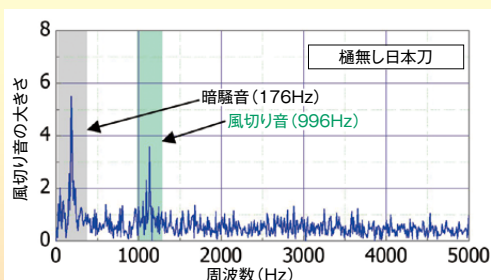
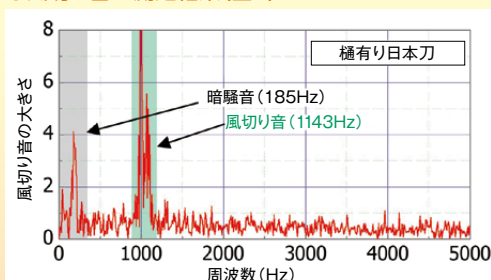
		0	1	2	3	4
樋の深さ(倍率)		0	1	2	3	4
断面積比(R_A)	1	0.9414	0.8866	0.8278	0.7687	
断面2次モーメント比(R_I)	1	0.9697	0.9384	0.9006	0.8575	
R_A/R_I	1	1.0301	1.0584	1.0879	1.1155	

模擬刀を基準として、簡易的に樋をモデル化し、樋の深さを0倍、1～4倍にしてモデル化し、各数値を計算した。

(日本刀における「樋」に関する科学的考察、畛田ら、精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、2015を元に作成)



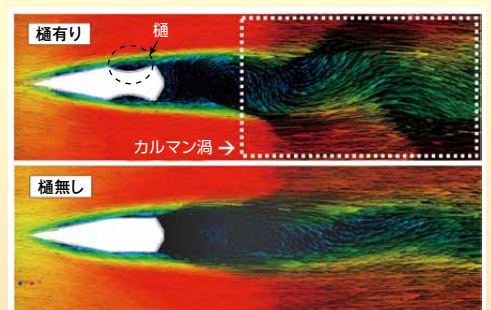
●風切り音の測定結果(図2)



樋のある日本刀では、樋のないものよりも大きな風切り音が測定された。これは樋があることにより、カルマン渦が発生するためと推測される。

(資料提供:金沢工業大学)

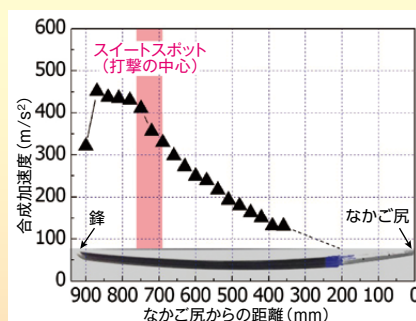
●刀身断面の風洞シミュレーション結果(図3)



樋がある場合には、刀身の棟側(風下側)にカルマン渦が発生することがわかる。

(資料提供:金沢工業大学)

●打撃における打撃対象物に伝わる衝撃の工学的計測結果(図4)



合成加速度は鋒付近で最大になっており、対象物に効果的に打撃力を伝えることができる「スイートスポット」となっている。

(資料提供:金沢工業大学)



機能美——「樋」の謎に挑む

機能美では、日本刀の「樋」に注目した。

樋とは、刀身の長さ方向に伸びる浅い溝を指し(4ページ図5を参照)、刀身の裏表に設けられることが多い。樋を加工することを「樋を掻く」といい、樋を掻いた日本刀が増えたのは鎌倉時代以降のことといわれる。樋を掻く理由には諸説があり、質量を軽くするため、あるいは宗教的な理由などといわれている。また、樋を掻くことにより、形状的な美しさを高めるという、装飾的な理由も挙げられる。

プロジェクトではまず、強度面の役割について解析を行った。樋の溝が深くなれば刀身の質量を軽減でき、また曲げ剛性の過度な低下を抑える効果があるといわれる樋の役割について刀身形状を簡易的にモデル化して解析を行った(図1)。樋のある模擬刀の断面積を計測し、それを基準として樋の深さを変化させたモデルの断面積比(R_A)と、断面形状による曲がりにくさを表す断面2次モーメントの比(R_I)の比(R_A/R_I)を計算した。その結果、樋による質量軽減効果は、剛性の低下よりも大きなことがわかった。つまり、樋が剛性の低下を少なく抑えながら、軽量化を実現する合理的な方法であることが明らかにされた。

また、樋と風切り音との関係についても注目した。日本刀を振ったとき、独特の風切り音が生じることが知られているが、

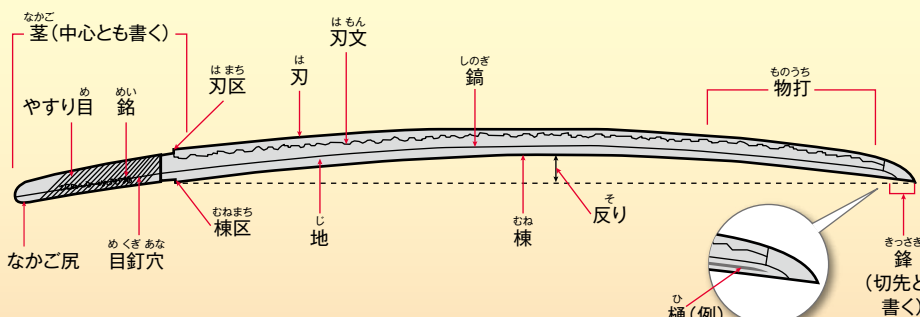
これは樋の形状がもたらす現象だといわれている。そこで、風洞実験装置を用いて、風速や刀身に加わる抵抗、角度などにより、どのような風切り音が発生するかを調査した(図2)。風洞実験による騒音測定の結果では、樋のある日本刀の方が、樋のない日本刀よりも大きな風切り音を生じることがわかった。また、シミュレーションによって、樋のある日本刀では、日本刀の棟*側にカルマン渦が発生することがわかり、これが風切り音の発生要因と考えられた(図3)。さらに、日本刀を振り下ろすときの速度との関係では低速で振り下ろしても、樋のある日本刀の方が、大きい風切り音が発生することが明らかになった。

風切り音は戦闘時の威嚇効果や、演舞の際の演出効果が期待できるとされている。樋があることで、より容易に風切り音を発生させることが可能になると考えられる。

このプロジェクトでは日本刀のいわゆる「スイートスポット」についても解析を試みている。スイートスポットはもっとも有効な打撃点であり、ゴルフクラブやテニスラケットなどにも存在する。日本刀のスイートスポットは「鋒三寸」とか「鋒七寸」のようにいわれる。固有周期の測定により、日本刀のスイートスポットは鋒から90~200mmの位置にあり、これが刀身の「物打」と呼ばれ切るときに最も使用頻度の高い箇所^{ものうち}に相当することから、科学的な合理性があることを確認することができた(図4、図5)。

*棟とは、刀の刃のついていない側のこと。峰などと表記する場合もある。

●刀剣の各部の名称(図5)



日本刀の美しさを評価するポイントとして、姿、時代性、切れ味、刃文、刃長、地肌、光沢度、身幅、質量、品位、反り、鋼、鋒、刀身長さなど、さまざまなものがある。これらの多くは数値化することが難しく、数値化できる項目もそれだけで評価することはできず、全体のバランスも考慮する必要がある。刀剣の姿や刃文などを詳細に記録した「押形（おしがた）」は刀剣鑑定などに用いられた。

（坂城町鉄の展示館の資料を元に作成）



形状美——工学の視点で刃文を見る

形状美では、日本刀の姿（外観）に着目し、美しさを構築する要素の定量分析を試みている。

その一つが、刀身の3次元形状の計測である。3次元形状は、ステレオ方式DIC（デジタル画像相関: digital image correlation）法によって行われた。通常のステレオDIC法では、計測対象物に何らかの塗料を塗布することで計測精度を向上させるが、美術工芸品である日本刀に塗料を塗布することは好ましくない。そこで、塗料を塗布することなく、かつ完全非接触計測が可能

なステレオDIC法の撮影条件が検討された結果、背景色やシャッタースピードなどを最適化することで、測定エラー個所の割合を抑え、3次元アーカイブに成功した。

また、刃文にはさまざまな種類がある(図6)。刃文の定量化として、刃文の波長解析を試みた結果、典型的な刃文である「湾れ刃」は大きな波のスペクトルが観察され、「丁子刃」では細かい波のスペクトルが見られるなど、それぞれ特徴的な波長分布を示すことがわかった。



官能美——「審美眼」の見える化を目指す

このプロジェクトが開始されたきっかけの一つは、刀剣展覧会の審査員や刀匠などの専門家と一般人との間で、「日本刀」についての認識が一致しているかどうかという素朴な疑問があったことである。そこで、専門家と一般人がそれぞれどのように日本刀の美しさを捉えているか、詳細に調査した。

ある事象に対して好意的か敵対的かを測定するための尺度を作成するサーストン法による調査では、専門家は細かい目の「丁子刃」も含めて、多様な視点から日本刀を評価していることに対し、一般人の多くは大きな波が寄せるような「湾れ刃」を好む傾向にあることなどが明らかになった。

このような違いを可視化していくことで、一般人に対してより効果的な展示方法やより分かりやすい説明方法を開発するヒントになることが期待されている。

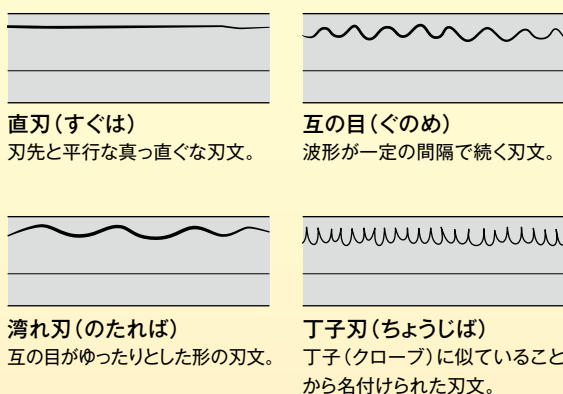


伝統の美しさに科学はどこまで近づけるか

プロジェクトリーダーの畝田教授は、現在、科学的に美しいと考えられるポイントを集大成してデザインした日本刀の設計に取り組んでいる。

そのために、展覧会に出展された刀剣の寸評に含まれている単語を分析し、テキストマイニングにより刀剣の特徴を見

●刃文の例(図6)



刃文は、火造りと荒仕上げによって形を整えられた刀身に、粘土や砥石粉などを配合した焼き刃土を置く「土置き」という工程とその後の焼入れによる加熱と急冷によって生み出される。焼き刃土が少ない部分は急冷され、多い部分はゆっくり冷えることによって、金属組織を制御している。温度管理は目視で行うため、焼入れは外光の入ってこない暗闇で行われる。

刃文に現れる輝きは、大きいものを「沸(にえ)」、細かなものを「匂い(におい)」と呼び、金属組織の細かさに由来する。刃文はその形状により細かく分類されている。刃文は、流派や各刀工の個性が特に強く表れる部分である。

（坂城町鉄の展示館提供の資料を元に作成）

INTERVIEW

「日本刀の美」を理解するために

今回のプロジェクトのリーダーを務めた金沢工業大学の畛田道雄教授に、プロジェクトを始めたときの思いや今後の展開への期待について、お話をうかがった。



金沢工業大学工学部機械工学科
畛田道雄 教授

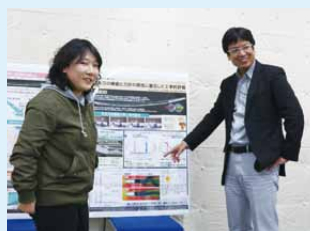
—— どのようなきっかけで、プロジェクトを始めたのでしょうか。

金沢には伝統的な匠の技が数多く伝えられています。しかし、その良さをより多くの人に理解してもらえなければ、匠の技を後世により広く伝えていくことは難しいかもしれません。その根底には、日本刀の専門家に説明を受けた際に、当時はその内容を十分に理解できなかったという私自身の体験があります。日本刀の美しさやその魅力を理解したい、その素朴な想いが日本刀の研究を始めたきっかけです。

今回行われた、金沢工業大学の「地域志向『教育改革』による人材育成イノベーションの実践」でのプロジェクトは、日本刀の美しさを理解し、より多くの人に伝えるための、良い機会だと思いました。

—— プロジェクトには金沢工業大学の3つの学科が参画していますね。

機械工学科が担当したのは、形状の3次元アーカイブ手法、日本刀の機能美、刃文の波長解析。心理情報学科は、専門家の深層心理の可視化や一般人の評価の可視化など。そしてメディア情報学科は、「機能」「感性」を交えた新しい展示手法についてです。さまざまな分野から多角的に分析し、最終的に融合することで、これまでにない成果が出ることを期待しました。多彩な学部・学科を有する理工系総合大学である本学らしい取り組みだと自負しています。



畛田教授と卒業研究（金沢工業大学ではプロジェクトデザインIII）で日本刀の研究を担当した学生。一般の人にも分かりやすいパネルの作成にあたっては、学会で発表するポスターとは趣旨や目的が異なるため、何度もディスカッションが繰り返された。

出すという試みを行っている。これらの情報は刀剣の設計図である「押形」^{おしがた}としてまとめられ、実際に刀匠によって作刀され、専門家による第三者評価を受ける予定である。

刀剣の各部の美しさをどのようにバランスよく配置するのか、

—— これまでの成果や、今後の活動への期待をお聞かせください。

機械工学的な成果は「日本刀における『樋』に関する科学的考察」として講演論文にまとめ、（公社）精密工学会が主催する学術講演会で発表しています。また、「マイクロ・ナノ加工」という授業で、刀匠と刀剣研師による実演を行いました。学生にとっては、超精密加工技術の原点ともいえる「研ぎ」の技術に触れる良い機会になりました。

このほか、心理情報学科と協力した研究成果は「感性評価による日本刀の美しさに関する研究」として、（公社）精密工学会が発刊する学術機関誌（精密工学会誌）で論文発表しました。メディア情報学科では、擬似ホログラフィを用いて、日本刀を擬似的に操ることができる装置を試作しています。今後、改良を加えれば、日本刀の新しい展示方法として提案できると期待しています。

これらの成果の一部はパネルにまとめ、長野県にある「坂城町鉄の展示館」で常設展示しています。パネルは学生が作成しましたが、一般の人に分かるような表現で説明するのは苦労したようです。自分の研究成果を継続的に一般の人に見て貰える貴重な機会になり、学生にも大きな刺激になり、生きた工学教育・研究の実践に近づいたと、大きな手応えを感じています。

今回のプロジェクトは、大学内の多彩な専門家、学生、地元の匠たちなどが協力して、最新のサイエンスで伝統の技に隠された経験知や暗黙知を定量化していく取り組みでした。このような伝統技術を継承する取り組みは大学だからこそできるものであり、今後も継続していく必要があると強く感じています。

受け継がれてきた刀匠の審美眼に、科学がどこまで近づき、再現できるのか、期待が持たれる。

●取材協力 金沢工業大学、坂城町鉄の展示館
●文 石田 亮一

INTERVIEW

ものづくりとは、自分の心の中を旅すること

空気が澄んでいて、雨が少なく乾燥した気候の長野県には、精密加工を生かしたものづくり産業が古くから発達してきた。なかでも長野県北部の坂城町は、人間国宝の宮入行平刀匠が「宮入鍛刀道場」を構え、多くの刀匠を輩出したことから、「刀匠の町」と呼ばれている。宮入一門の若き匠で金沢工業大学のプロジェクトにも協力した、河内一平刀匠に刀匠を志したきっかけや修業、作刀の心構えなどについてうかがった。



刀鍛冶
河内一平氏

—— どのようなきっかけで、刀匠の道を歩み始めたのでしょうか。

大学を卒業後はワーキングホリデーで海外に行ったり、旅をする生活をしていました。25歳の時に宮入小左衛門行平師の個展を見に行ったのですが、そのときに渡された図録に「ものを作ることと、旅することは同じである」という一文があり、その言葉が心に残りました。「ものを作ることで自分の内面を旅することができるのだ」と。入門したのはその2年後の27歳でした。

刀匠の修業をする場合、多くの人は高校卒業後や大学卒業後すぐに入門します。中には大学で材料工学を学んでから入門した人もいます。日本刀を作るためには、文化庁から作刀承認を取得する必要がある、そのためには最低5年間の修業が義務付けられています。27歳で入門すると作刀承認を取得できるのは最短で32歳です。独り立ちするまでに10年かかるとすると、ぎりぎりの年齢だったかもしれません。

—— 刀匠の修業では、具体的に何をするのですか。

「炭切り3年」といって、一通りの仕事を理解するまで3年かかるといわれています。実際に最初の1年間は、毎日毎日、炭を切り続けます。炭を切りながら、親方の作業の順序を見て覚えるのです。2、3年目には炭切りのほかにも、不純物を叩き出し、鉄を均質で粘りのある素材にするための「下鍛え」や、親方が作刀した刀に「樋」を掻いたり、「鍛冶押し」と呼ばれる研ぎ師に出す前に刀身全体を荒砥で研ぐ工程の一部を担当したりして、作刀の基本を学んでいきます。その日の親方の作業が終わった後や親方が外出するときは、自分の勉強の時間なので、自分で使う道具を作ったり、兄弟子に作刀を教わったりします。そうして、文化庁の試験に臨むわけです。

2000年 宮入小左衛門行平に入門。

2005年 文化庁より作刀承認を取得。

新作刀展覧会に初出品、努力賞・新人賞を受賞。

2018年 新作日本刀 研磨 外装 刀職技術展覧会

経済産業大臣賞(最高賞)を受賞。

その他、お守り刀展覧会、新作日本刀刀職技術展覧会などに出品、受賞多数。

—— 刀匠にふさわしい適性とはどのようなものなのでしょうか。

私が入門してから約20年で平均して毎年約1名の入門者がいましたが、現在続けているのは4名です。修業は厳しく、日本刀が好き、伝統工芸を学びたいという安易な動機では、長く続かないと感じています。「日本刀を作りたい」という強い思いが、厳しい修業を乗り越える原動力なのだと思います。自ら勉強する意欲の強い人が、後継者として入門してくれれば、と思っています。

—— 今後、どのような日本刀を作りたいと思いますか。

私が入門した宮入一門は、大和伝、山城伝、備前伝、美濃伝とともに日本刀の5大流派の一つで、最も著名な刀匠のひとり正宗で知られる相州伝です。地鉄や沸出来の刃文が「明るく冴え」ていることが特徴といわれていますが、相州伝の古い名刀に迫る作品、それを超える作品をつくりたいと思っています。日本刀の地鉄は一振り一振り、微妙に異なっています。同じ手順で作刀しても、必ずしも同じ日本刀にはなりません。思い描いた日本刀を実現するために、毎回、最善と思われる方法を尽くしていますが、正解はないのかも知れません。

樋を掻くための
道具も刀匠が
自作する。



刀匠の修業で最初に行う「炭切り」の作業



手槌で刃を薄く打ち出し、刀の形をつくる「火造り」の工程