文化財研究の特徴とナノ構造 —ナノスケールで見た文化財—

北 田 正 弘*

1. はじめに

わが国の文化財あるいは広く文化資源を研究的側面から考えるとき、狭い日本だけではなく、世界に累積された知の一部として捕らえなければならない。文化はその民族・国の知的水準の高さを示し、これによって世界的に評価される。先進国と後進国の違いは工業および経済水準だけではなく、「如何に高い文化的な知的財産をもち、知的生産を継続できるか」にある。現代は遠くギリシャの思想を源泉とし、その伝統につながる西欧近代科学を基本にしている。わが国独自の伝統文化の水準が如何に高くても、世界の総合的な科学基準で高い評価を得なければ、外国から畏敬の念をもたれない。伝統と文化を守り、その中に潜む知を明らかにして世界に発信し、将来に向かって高い文化的創造を行うことである。わが国は既に世界の先進国の仲間入りを果たした、とする見方もあるが、西欧近代科学の面から総合的に眺めると、残念ながら、まだまだ及ばないところがある。

歴史が語るように、文化は単独で歩むものではなく、先端の知とともに歩み創造を行う。従来の知識や技を超える自然科学の開発の一部は破壊的創造といわれるが、芸術は破壊の少ない永久的創造である。わが国発展の柱である技術立国は文化資源による立国と合わせてこそ大きな効果を生む。

文化資源の自然科学的研究は、その保存・修復だけではなく、そこに内在する科学的知の探求にもある。得られた知は国民の財産としては勿論、世界に誇れる人類の知とすることである。文化財を眺めて楽しむとともに、そこに内在する歴史的な知を求め、それを現代に価値付けて蓄積し、さらに新たな知を生み出す糧とするのが望ましい。

2. 文化財と材料科学

文化財と言いつても、その中身は多種多様である。時間軸で整理すれば、有史以前の発掘品や洞窟画などがあり、

歴史が残されるようになってからは、文字、絵画、彫刻、建築および装飾・調度品などの文化財が残され、時代を追ってこれらの文化財の数は増え、高度化し多様化する。これらの文化財は、そのまま放置されれば物質的な破壊が進み、長い時間をかけて蓄積された知の形が崩壊する。記号・記録社会は急速に変化しているが、物質を伴わない文化はありえない。

文化財の研究は、人文、社会および自然科学的手法に分けられる。これらがそれぞれ力を発揮して、バランスのとれた成果としなければならない。しかし、現状は自然科学の貢献が少なく、人文科学に重心が置かれている。このため、自然科学的な知が不足して文化財の総合的な知が偏り、これを必要とする保存・修復技術の開発が遅れている。文化財の自然科学的研究を進めるには、芸術文化等の知識を併せもつ自然科学者の育成が必要で、かつ、研究に必要な試料の入手等の困難さを乗り越えなければならない。ただし、研究手法の大部分は理工学の研究によって開発された方法および機器であり、感性などが含まれる領域を除けば研究に大きな障害はない。

文化財の領域では、現代の先端科学・工学・工業とは一線を画し、これらとは文化の違う領域の学問であるという意識が強い。しかし、学問の根本にはそれほど大きな差異はなく、思考方法にも共通部分は多い。したがって、先端科学との交流を積極化すべきである。特に保存・修復分野では、大切な文化財の急激な劣化による逸失などは材料科学からの支援でかなりの部分が防止可能である。

現代の科学技術を遡ると、美術工芸をルーツとするものが多い。たとえば、半導体産業で使われているリソグラフィ技術は衣服などに紋様を染める型紙の技術がルーツであり、高度な鉄鋼材料は日本刀などの鍛冶がルーツである。ところが、18世紀からの科学技術の急速な発展により、芸術(人文科学)と自然科学は乖離し始めた。しかし、昔に手作りされたものの中には現代の科学技術をもってしても再現できないような高度な製品がある。その中には、先端の材料科学が参考にできる技術も秘められている。

* 東京芸術大学教授；大学院美術研究科文化財保存学専攻(〒110-8714 東京都台東区上野公園12-8)
Research on Cultural-assets and Their Structures from a Viewpoint of Nano-scale; Masahiro Kitada (Graduate School of Arts, Tokyo University of the Arts, Tokyo)
Keywords: cultural assets, arts, crafts, conservation, intelligence, materials science, nano-structures
2008年4月30日受理

以上のような視点から、文化財分野と材料科学分野を太いパイプで繋ぐことが必要である。これには、両者を融合する新しいプラットフォームの創成が必要であり、著者の提言は、芸術(人文科学)と材料科学(自然科学)のふたつの向きへ情報を発信する新領域の創成である⁽¹⁾。物質・材料の解明にはナノ構造まで知ることが必要ことは今や常識で、文化財も例外ではない。しかしながら、文化財のナノ研究は世界的にみても殆んど手付かずの状態にある。これは、この分野で世界をリードするチャンスでもあり、筆者の文化財に関するナノ研究が世界的に注目される所以である。

3. 文化財研究の特徴

文化財を材料科学的に研究する場合の最も難しいところは、試料の入手である。国宝や重要美術品などはもちろんのこと、博物館あるいは美術館に収蔵されている一般文化財でも原則として破壊できない。個人の収蔵品でも同様である。したがって、比較的マクロな非破壊分析が主な研究手法になる。この場合、試料の採取ができないので、内部の微細構造を知ることが不可能である。非破壊分析技術も発展しているが、それが及ばない破壊分析をするにはどうしたらよいか。現在は文化財の損傷を最小限に留める微量の試料を採取する方法が採られているが、損傷と分析精度との狭間で「どっちつかず」の結果になることが多い。

文化財は国宝を頂点として、重要文化財、上級文化財、中級文化財、大衆・風俗・産業文化財などがピラミッド構造をなしている⁽¹⁾。これらは作者あるいは文化財の出来栄え、使っている材料、時代、誰が所蔵したか、どこで使われていたか、などによって価値づけされる。これらを材料面からみると、下位に価値づけられていても、材料・プロセス等の似通っている場合がある。したがって、必ずしも上位の文化財を分析しなくても、材料科学的に十分な情報を得ることが可能であり、上位の文化財の保存・修復には、これらのデータが使用できる。ただし、これを判断するには、美術品等の豊富な知識と鑑識能力が必要である。

次に、理工学研究の多くは、研究の目的に沿って元素を選び、組成を決め、プロセス等も決定する。試料は新たに作製されたものである。したがって、例外を除き分析対象が明確であり、研究手法も決められる。すなわち、予め測定すべき項目が決定され、その特性の予測も可能である。これに対して、文化財は材料科学的研究を目的として作られたものではなく、構成する元素あるいは成分、組成、加工、熱処理などのプロセスが不明で、ここを出発点として研究を進める。現在の状態を調べ、遡って成分、構造、プロセス等の未知の事柄を明らかにする。物質・材料の凡そが判別できても、その不純物効果、加工方法、熱処理などの詳細までたどり着くのは大変である。また、素材の産地、工匠の技術などの違いによって材質は一律ではない。劣化は長い時間を経ており、環境なども一定ではない。場合によっては、当初の物質・材料の形態あるいは性質が殆んど失われている場合もある。変化した終点から始点の状態を推定するには、極めて高い能力を必要とする。筆者はかつて民間の研究所で機能材料とデバイスの開発研究に従事していたが、本格的な文化財の自然科学

的研究はこれら以上に難しい。

したがって、文化財では、多くの材料科学的情報が不足していることを前提に研究を進めなければならない。ここが文化財研究の挑戦しがいのある面白いところでもある。一方、文化財に関する材料科学的研究がしばしば中途半端になり、あるいは研究の入り口で止まり本格的な研究に進めない原因にもなる。このような事情を知らない一般の材料研究者からみると、文化財の研究は材料科学的に不十分であると思うに違いない。しかし、このような見方を改め、より高度な研究が推進できるような人材の育成と環境づくりをしないと、文化財の材料科学的研究の発展は望めない。

もうひとつ重要な事柄は、文化財の多くが美意識などの人のもつ感性と結びついていることである。材料が人と物質との間で、どのような役割を果たしているのか。材料と感性が相互に働きかけるメカニズム、すなわち、人と物質のインターフェースの中身を知ることだが、まだ体系的学問に至っていない。

それでは、このような不十分さをどのように解決すべきか。試料入手の難しさの解決法のひとつは、文化財所蔵者に研究を理解してもらい、研究に参加してもらうことである。また、欧米の博物館などでは、下級品を積極的に破壊分析しているところもあり、文化財保存の考え方を変えてゆくことも重要である。何れにしても、研究者の力量が問われる。

実験精度あるいは研究水準の高さは用いる試料を存分に実験に供せるかどうかにある。マクロな場合はよいが、ナノ構造の場合、非破壊分析では限界がある。微量の試料を切り取ることが許される場合でも、分析方法の選択が重要である。文化財の分析にとって、ごく微量で多くの情報を得る方法の開発が重要である。たとえば、試料に関しては、FIBのように数10 μm の寸法で人の目の分解能以下の試料採取法は文化財の保存の上で非常に有効である。現在はFIB装置の試料室の大きさに限界があるが、これは大型化ができるし、将来の技術開発で大気中での採取も不可能ではない。また、データの信頼性を高めるためのソフト開発も非常に重要である。

美意識と自然科学的側面のつながりでは、最近、急速に発展している脳科学などとの連携が必要である。たとえば、五感への刺激と脳の活性化およびその場所等の測定・解析が進んでいる。脳科学分野などの支援により、ものを愛でる心の機構も少しずつ解かれてゆこう。これは新しい分野を拓く、やりがいのある仕事である。現在はその緒に就いたばかりだが、これを将来の研究者に委ねたい。家電品、情報通信機器などでは、機能のほかに、デザイン、色彩などが人をひきつける重要な要素になっており、工学と共通する場は多い。

4. ナノスケールで見た文化財

物質および材料を目的に沿って知ろうとするとき、ある場合は肉眼でマクロな観察をすれば十分であり、また、あるときは原子・分子のナノレベルまで調べなければならない。これは、何を求めるかによって異なり、一般の材料であっても、文化財であっても同様である。何が何でも、文化財のナノ構造を調べればよい、ということではない。たとえば、均

一な物質の組成を調べて、製作年代や産地を同定しようという場合には、蛍光X線などの結果で十分である。不均一な物質で、蛍光X線などでは限界がある場合には、微細構造を調べて結論を得なければならない。また、文化財の成り立ちの本質を物質面から明らかにするには、ナノ構造研究が欠かせない。さらに、文化財に潜む未知の現象あるいは新しい発見に繋がる微細構造を知るには、ナノ構造研究が必要である。

次に、筆者がナノスケールで見た文化財をいくつか紹介する。わが国最初の磁器である約400年前の伊万里焼の青色顔料はCoを含むもので、蛍光X線で求めた顔料に含まれる不純物の量で時代判定ができる⁽²⁾。蛍光X線のデータは平均的な値だが、それ以上に興味を湧くのは青色釉の微細構造である。そのナノ構造を観察すると、図1で示すようにガラス地の中に結晶とCoを含む球形のアモルファス・ナノ粒子が存在する。ナノ粒子の分布の特徴を考えると、アモルファスからアモルファス粒子が析出したとみなされる。この玉手箱を開けてみたような現象の発見は、筆者の知る限り知られておらず、これは新しい分野を開く端緒になるかも知れない。

図2は赤銅(しゃくどう)と呼ばれる装飾用合金の着色皮膜中にみられるナノ構造で、Auナノ粒子が観察される⁽³⁾。赤銅は標準的組成がCu-4 mass% Auで、硫酸銅などを含む溶液中で煮ると表面に美しい紫黒色の皮膜が形成されるが、着色の原因は謎であった。透過電子顕微鏡で観察した結果、皮膜の主成分はCu₂Oで、その中に数nmのAuナノ粒子が分散していた。Au粒子の光学的な振舞いが美しさの原因である。

絵画材料では、多くの美術品で複雑な劣化現象が起こり、原因不明な場合が多い。そのひとつの例として、鉛丹(えんたん)がある。鉛丹は奈良時代から使われているが、黒く変

色することが知られている。しかし、Pb化合物は種類が多く、かつ結晶構造の対称性が低く、X線回折では多くのピークが重なり、劣化要因となる物質の同定が長年できなかった。図3は明治初期の黒化した鉛丹試料の透過電子顕微鏡像で、鉛丹の主成分であるPb₃O₄(赤色)およびPbO(橙色)のほかに、繊維の外側がナノスケールの微細な粒子で覆れている。これを解析すると黒色のPbS粒子であり、黒化の原因が明確になった。

鉛丹および辰砂(硫化水銀: HgSで朱色顔料)はPbあるいはHg化合物を昇華させて作るもので、非常に微細な粒子である⁽⁴⁾。これらを塗料あるいは絵の具として使うと、表面が非常に滑らかな仕上がりとなる。化粧に使った鉛白も微粒子なので化粧の「のり」が良くなる。現在のナノ化粧品品の光学機能と共通し、文化財の中には、先端技術の先取りもみられる。

図4は室町時代から明治初期まで輸入された高価な綿織物の唐棧(とうざん)で使われている黄色染料の木綿繊維中の透過電子顕微鏡像で、クロム酸鉛(PbCrO₄)のナノ結晶が分散している。唐棧には、当初天然染料が使われていたが、江戸末期になると西欧で発明された合成染料が使われるようになった。木綿繊維の中に形成された黄色のクロム酸鉛のナノ結晶は、繊維中にCrとPbが浸入し、反応生成したものである。繊維中のナノ結晶の生成は鉛丹の研究でも観察されており⁽⁵⁾、有機物である繊維中の無機ナノ結晶の観察は世界初のことである。繊維の中を金属元素がどのようにして移動(拡散)するのか。難しい課題だが、夢が膨らむ。

筆者は鎌倉時代から江戸時代末期までの日本刀の研究も行っており、日本刀を鉄鋼の世界遺産と呼んでいる。日本刀は優れた鉄鋼材料といわれるにもかかわらず、その材料科学的研究がない。その中で、日本刀の一部に数μmの微細な結晶粒(パーライト)組織が観察された。手作りの刀に微細な結晶粒が存在するのは驚くべきことであり、超鉄鋼組織を得るのに多様な手法が存在することを示唆している⁽⁶⁾。

図5(a)は330年ほど前に作られた柿右衛門様式の元禄濁手(げんろくにごしで)と呼ばれる伊万里焼きの赤色釉、(b)は古九谷焼の赤色釉にみられたナノ構造で、それぞれ酸化鉄のナノ結晶が観察され、マトリックスの透明釉にはPbが含

図1 初期伊万里焼の青色釉薬部における透過電子顕微鏡像。ガラス地から析出したCoを含むアモルファス粒子(北田正弘)。

図2 赤銅(しゃくどう)の表面皮膜(Cu₂O)中にみられるAu微粒子(北田正弘)。