

■第1話 研磨加工のルーツ

埼玉大学名誉教授
(株)河西研磨技術特別研究室 代表取締役
河西 敏雄

我々は、現在、研磨技術応用の最先端に位置するCMP技術の渦中において様々な機関に所属して活躍している。そこで進められているCMP技術の研磨やこれまで一般に行われてきた研磨では、研磨条件を選択することによって砥粒や研磨液の作用規模を調整し、粗面、準鏡面、鏡面、無擾乱鏡面と種々のレベルの表面に仕上げることが可能である。ここでは、最初にこの研磨のルーツに触れることにしたい。なお、一部に砥粒加工学会誌、Vol.52、No.1（2008）pp.7-10「砥粒加工技術のルーツに関する総論（筆者執筆）」より抜粋掲載があることをお許しいただきたい。

ものごとの歴史的発展のステップには、黎明期～萌芽期～成長期～成熟期のような流れがある。研磨におけるこれらの境界はそれほど明確ではないので、人類の歴史と合わせて話題にしてみる。

研磨は工作物と工具を擦り合わせることで行われ、それによって必要とする加工品質と精度を得ている。このものを擦り合わせるといった基本動作に注目すると、初期の人類の日常生活の何気ない行動のなかに幾つもあると思う。肉類などを素手で持って食べたあとの手のぬめりを周囲に擦り付け、また、乾いた砂や土を両手に付けて擦るという動作は当時も日常茶飯事のことであったであろう。これらが研磨の芽吹きになったものと考えられる。人間は他の動物と比べると高度に働く脳を持ち、手指を器用に使うことができたので、擦る動作は初期のものづくりに取り入れられたとしても納得がいくと思う。獲物を捕るための木の棒の握り部分を石片で削り、石面に擦り付け、また、砂を付けて擦って滑らかにしたことも想像できる。木の実や穀物の種子を粉末にするのに硬い磨石と磨臼ですり潰すことを覚え、回数を重ねていくと双方とも磨り減って滑らかになることにも気付いたのである。

日常生活のなかから生まれたこのような黎明期に該当する原始的な研磨は、狩猟生活の時代や石器時代において道具や装飾品作りといった必要性に応えつつ順次引き継がれた。その後、萌芽期を経て成長期、成熟期へと展開していく間に技能・技術に発展したものと言える。

ここで研磨やものづくりと人類の歴史を対比してみる。人類は500～600万年前に他の動物から枝分かれしてアフリカに誕生し、猿人、原人、旧人、新人と順次進化してきた。最近では、放射性炭素崩壊にもとづく年代測定だけでなくミトコンドリアDNAの検討から、人類の地上移動経路に新たな説が提唱されている。

これまで各所で見つかった原人や旧人は全てアフリカから移動・分散したものであり、彼らはその場所で死滅したか、あるいは原人は旧人に、旧人は新人に順次吸収されていったと考えられている。新人は、アフリカで20～15万年前に誕生しており、当然、人類の特徴であるものづくりを原人、旧人より引き継ぐことになる。その新人は、幾つかのグループに分かれ、年代を異にしてアフリカより出ていく。現世の新人は、8.5万年前あるいは7～5万年前にアフリカを出てアラビア半島南部からインド方面に移動したグループである。彼らより少し前の12.5万年前にエジプト、イスラエルに向かったグループは、9万年前に死滅したことも判明している。アフリカを出た現世の新人グループは西に向かってヨーロッパへ、海岸沿いを東進して東南アジアへ、北進して中国へ、さらに北米、南米へと移動した。新人は、各所に集落を作って定着し、狩猟生活から農耕生活に移行する。アフリカに近くて住みやすいところや移動ルート上の主要拠点がいわゆる四大文明が栄えたところである。シュメール文明がBC4000年頃、エジプト文明がBC3500年頃、インダス文明がBC2500年頃、黄河流域彩陶文化がBC2200年頃から始まっている。

人類が金属材料を入手したのはBC4000年頃であり、農耕生活が始まった。ユーラシア大陸の東端の島国である我が国には、BC200年頃になってようやく稲作と金属器が伝わる。農耕社会では、金属材料を用いた農具や大工道具、狩猟具や外敵から身を守る武器などを作る必要があり、専門職が生まれ、現代につながる鉄器時代へと続く。

ところで出土品の石器、土器、金属器などから当時の生活やものづくりのレベルが推察できる。原人、旧人の打製石器の多くは身近な石材を用いている。なかには河川の流れによって角の取れた石片もある。直ちに研磨や砥石研磨に結び付かなくても手

ごろの大きさや丸みを帯びたものを選ぶなど多少の材料選別を行っていた。これが新人になると打製石器も緻密な作業で作られ、そこでは明確な素材選択が行われた。例えば矢尻やナイフの素材に黒曜石が選ばれた。価値観、美観を満足させた首飾りの貝ビーズになると、穴あけに先の尖った細めの棒と砂を用いた揉み付けラッピングを行っており、最古のものが13.5~10万年前の遺跡から出土している。

古代の人にとって手に入れることができた鏡面は、身近では水面であり、水晶や黒曜石の破面なども数少ない光沢面のひとつであった。研磨や砥石研磨によって鏡面を手に入れることができなかつたときでも、貝、牙齒、骨片、模様や着色のある石片などの首飾りの角部分の凹凸が摩滅すると光沢を持つことは見て感じ取ることができたと思う。かなり長い年月、数多い世代交代を要したかも知れないが、硬脆材料の粗面を細かい微粉を付けた手で擦り、また、軟質な木片や皮などで擦ると光沢が出ることに気づき、光沢をもつ瑪瑙の勾玉や管玉などの装飾品を製作するまでになった。この研磨は金属材料にも適用され、刃物の砥石研磨や青銅鏡の鏡面仕上げにも応用されることになる。現代の研磨資材である微細砥粒と軟質パッドを用いるポリシングと大きな違いがなくなってくる。

BC1400年頃のエジプトのピラミッド壁画には、ノミやチョウナによる木材加工、鑿による彫像、小鎌による麦刈りなどが描かれており、いずれも金属工具・農具を使用している刃付けに研磨行われたと思われる。

古典的な研磨は、表面を滑らかにする、次いで光沢を出すという萌芽期を通過し、穴明けや刃付けに用いるなど知恵を絞って順次適用分野を拡げてきた。単純機能から複数次な高級機能を充足していく研磨の成長期へと順次展開する。透明水晶を鏡面で、かつ、凸状に研磨された天日とり用レンズと思われるものは、BC1600年~BC1200年の地層から見出されている。ガラスの起源を辿るとBC2000年~BC1000年のエジプトやメソポタミアなどの文明に遡ることになる。当時は着色、不透明のものや結晶化したガラスが普通であり、彫り物などもあって加工法も研磨に限らなかった。

品質のよい透明ガラスが入手できるようになったのは、ルネサンス時代の14世紀になってからになる。ポリシングによる鏡面研磨が行われ、眼鏡が作製されている。さらにGalileiやNewtonらによって天体望遠鏡が提案・製作されるようになる。天体望遠鏡の光学系の口径の大きさに注目することによって研磨技術のレベルの進展を推し測ることができる。Newtonが最初に製作した1668年の反射鏡は青銅製で口径が僅かに3cmであった。それから約120年後の1789年にはHerschelが口径1.2mの反射望遠鏡を製作した。さらに現在に至る約200年の間に、重量の問題を避けるためにガラス製やアルミニウム合金製などになり、口径が4m、6mと大型化が進み、すばる望遠鏡は8m級を代表するものである。近年の大口径天体望遠鏡の製作でも、最終的な鏡面化と形状精度の仕上げにおいて研磨が必要である。小形のレンズやプリズムの研磨技術を応用しているだけでなく、大型研磨機の製作や計測法など様々な周辺技術にも支えられている。

我が国では、古いものでBC35000年の出土品の石斧があり、その表面の一部に砥石で研磨した痕跡が観察されている。またBC10000年(前縄文時代)のものには、研磨された黒曜石がある。それらの研磨の様子や条件などは明確ではない。その後、奈良時代に至るまでの間の勾玉、水晶玉、玉杯などは外観からみて研磨の高度化が進んでいることがわかり、しかも研磨工人による天然砥粒の金剛砂を用いる高能率研磨も可能になっている。

古代の青銅製の鏡や武具・道具の類の研磨は、これら玉石類の研磨がもとになったと思う。中国では、青銅鏡はBC1500-BC1200頃に既に存在していたようである。我が国では、BC300-AC300(弥生時代)頃から輸入が始まっており、鏡面研磨は、それらの鏡の裏面の文様を母型にして鑄造した倣製鏡に対して行われた。

正倉院文書のなかに東大寺鑄鏡用度文案(762年)が見つかり、青銅鏡の製作に必要な素材から研磨資材、食費、賃金に至る記録が明らかになった。研磨条件に関しては、研磨砥粒に鉄精($Fe_2O_3+Fe_3O_4$?), 工具には2種類の絹織物、真綿、麻布のほか、荒砥、仕上砥なども計上されている。当時、我が国にはまだ綿や綿布がない。研磨液には水を用いたと思うが、研磨資材のなかに使用不明の胡麻油があった。この青銅鏡の銅と錫の重量比が8:1であり、この場合、色合いが銅色寄り軟質側にある。ここで幾つか疑問点を解明するため、倣製鏡に相当する鑄込みを行って鏡面研磨の再現実験を試みる機会をもった。

金属組織の検鏡のため、現代の琢磨条件で完全鏡面にすることはさほど難しいことではなかつた。この青銅鏡の鑄肌を荒砥、仕上砥等で平滑にし、麻布と真綿によるタ

ンポン状の軟質工具に細かい砥粒を用いて準鏡面にし、絹織物を用いるタンポンでさらに細かい砥粒を用いて鏡面に仕上げることもできた。ただし研磨に長時間を要することは確かであった。なお胡麻油については、砥粒に粗粒から細粒に至るまで分散させた研磨剤で研磨を試みたが、油の粘度が高いために全く研磨できない。ただ、麻布や絹織物のタンポンは、水に砥粒等を分散させた研磨剤を用いた場合に直ぐに擦り切れ、多層にしても長時間もたない。そこで用途が明確でなかった胡麻油の少量を麻布や薄い絹織物にしみ込ませたタンポンを作って研磨したところ、短時間で擦り切れることがなくなった。当時の胡麻油の利用に関するひとつの提案である。その後、このことがもとになって和紙に油をしみ込ませた油紙をポリシングパッドにし、1枚のままでも破けることなく、ガラスや金属の鏡面研磨に利用できることを示してきた。

なお、他機関でも再現実験を試みており、我が国の銅と錫の重量比だと青銅色で傷が付きやすく顔を映すほどの鏡面が得られないといった発表があった。既に上記の検討を済ませて精密工学会学術講演会で鏡面化が可能ということを発表していることを伝えた。特に意見を交わすことなくそのまま終わっている。

その後の研磨に関しては江戸時代に至るまで発展を遂げている。なかには刀剣類、漆器類などのように、伝統工芸の技能・技術として伝承されているものもある。また、大工道具などはユーザである大工の手で、手鏡などは町の専門職が手掛けるようになっていく。

ヨーロッパで研磨技法に急速な進歩を遂げたのはルネサンス時代になってからである。Copernicus (1473-1543)の地動説が発端になり、多くの物理学者が天体観察のために望遠鏡の作製を、また構造が類似する顕微鏡の作製を行い、またそれらに關係する光学ガラスの開発を進めてきた。Hans Lippershey (1570-1619)、Galilei(1564-1642)、Kepler(1571-1630)、Scheiner(1575-1650)、Huygens(1629-1695)、Cassini (1625-1712)、Descartes (1596-1650)、Torricelli (1608-1647)、Leeuwenhoek(1632-1723)、Zucchi(1616)、Mersenne(1588-1648)、Gregory(1638-75)、Newton (1642-1727)、Hadley(1656-1742)、Cassegrain(1672)、Herschel(1738-1822)、Foucault(1819-68)、Hall(1703-71)、Euler(1707-83)、Dollond(1706-61)、Guinand(1748-1824)、Fraunhofer(1787-1826)、Schott(1851-1935)、Abbe(1840-1905)等はこれらに關係した人々であり、多くは著名な物理学者でもある。

なお望遠鏡のほかに、15世紀のGutenbergの印刷機、18世紀末のMaudslayの旋盤、19世紀前半のWhitworthの三面ずりによる平面定盤、19世紀末のJohanssonによるゲージブロックなどがあり、いずれも研磨や砥石研磨が高精度化で直接のおよび間接的に寄与してきたことは確かである。

20世紀になってからの研磨加工の成長期については、次回のVoice of CMPに譲ることにしたい。

Voice of CMP(目次予定)

1. 研磨加工のルーツ
2. 研磨加工の20世紀後の技術展開
3. 研磨加工に携わって50数年
4. 高品質研磨
5. 高精度研磨

@@@

