

実体顕微鏡によるガラス小玉の観察

村田 裕一

報告本編で述べられているように、グランド照明施設新設に伴う発掘調査では、Bトレンチの2棟の住居跡から合計37個という多数のガラス小玉が出土した。今回は、出土したガラス小玉について、実体顕微鏡による観察を行った。ガラス小玉の諸属性をより細かに観察し、製作上の特徴を抽出することが目的であった。本稿では、まずガラス小玉の製作工程について整理し観察の要点を確認し、次に実体顕微鏡を用いた観察により明らかとなったガラス小玉の細部の特徴について述べる。

1. ガラス小玉の製作工程と観察の要点

ガラス小玉の製作に関しては、これまで小瀬康行氏¹⁾、藤田等氏²⁾、富樫雅彦氏・徳澤啓一氏³⁾らにより具体的に研究されてきた。これらの研究では、ガラス小玉の製作技法として管切り法、鋳造法、巻き付け法などが挙げられており、それぞれの技法の内容が詳しく解説されている。これらの解説に照らし合わせると、本稿で取り扱うガラス小玉は、全て管切り法により製作されたものであることがわかる。

管切り法は、はじめに細長いガラス管を作り、これを短く切断してガラス小玉の原形を作り、これに調整を加えることでガラス小玉を作り出す方法である。実体顕微鏡を使用した精緻な観察を基にした論考として富樫雅彦氏・徳澤啓一氏⁴⁾のものがある。ここでは管切り法が5つの製作工程として捉えられている。それぞれの工程と、そこで行われる作業内容は論文中の各所に分散して記述されているが、以下のように整理することができる。

ガラスの素材化…ガラス小玉製作のために原料を調合して素材ガラスを製造する工程

素材管成形…素材ガラスを用いてガラス管(素材管)を製作する工程

素材管整形…素材管を引き伸ばして細長いガラス管を製作する工程

原管成形…細長いガラス管を短く切断してガラス小玉の原形(原管)を得る工程

原管整形…原管に調整を加えてガラス小玉として完成する工程

以上の5工程により、ガラス小玉製作のそれぞれの段階で行われる作業内容が遺漏なく収録されている。しかし富樫・徳澤氏のいうところの「整形」の指し示す作業内容が、筆者には必ずしも「整形」即ち形を整えるにとどまらないと考えられること。「成形」と「整形」は音韻上の紛らわしさを持っていることの2点から、「成形」と「整形」の両方を用語として使用することは適切ではないと考える。また、両氏の定義する素材管成形の工程で製作される細長いガラス管を指し示す名称が設定されていないのにも不都合がある。したがって、本稿では、両氏が定義している工程とそこでの作業内容を踏襲しながら、以下のように用語を変更して解説したい。

- ガラスの素材化→第1工程(素地製造工程)… ガラス小玉を製作するために成分を調合して
ガラスの素地(熔解ガラス)を製造する工程
- 素材管成形→第2工程(原材管成形工程)… 熔解ガラスを用いてガラス管(原材管)を
製作する工程
- 素材管整形→第3工程(素材管成形工程)… 原材管を引き伸ばして細長いガラス管(素
材管)を製作する工程
- 原管成形→第4工程(小玉原形成形工程)… 素材管を短く切断してガラス小玉の原形と
なるガラス管(小玉原形)を製作する工程
- 原管整形→第5工程(小玉原形調整工程)… 小玉原形に調整を加えてガラス小玉として
完成する工程

このように整理すると、管切り法によるガラス小玉製作工程には、二つの特徴があることがわかる。一つは、全製作工程が前後二つの段階に大別できることである。前半の工程は、素材管を獲得するための第3工程までの工程で、後半の工程は素材管に調整を加えガラス小玉に仕上げるための第4工程以後の工程となる。

もう一つの特徴は、管切り法によるガラス小玉製作工程の最大の特徴と考えられるものである。それは、第5工程以外の各工程にはそれぞれで目的とされる生産物があり、各工程がそれを生産(成形)するために完結した工程であるという点である。特に、前半の工程に位置付けられる第3工程以前では、各工程で目的とされる生産物は、ガラス小玉製作の中間生産物というよりはその時点での完成品としての性格が強い。したがって、各工程では、加工対象であるガラスの外部形態のみならず内部状態が著しく変化するのである。

これは、例えば石器の製作工程のように、一連の製作工程のなかで素材に徐々に調整を加えて、最終生産物の形態に近付けて行くような製作工程とは全く異質であることがわかる。

このようなガラス小玉製作工程の特徴は、完成したガラス小玉から製作工程の復元を試みても自ずと限界が生じ、仮にガラス小玉の製作途中の生産物を観察できたとしても製作工程の作業内容は限定的にしか解明できないことを意味する。完成したガラス小玉に残された製作上の直接的な痕跡は、主に第4工程・第5工程のものであり、それ以前の工程の痕跡となると、第3工程において引き伸ばしが行われた事実を知るのみである。

したがって問題点として、第2工程で成形される原材管とその製作方法については全く不明であることが先ず挙げられる。次に、第4工程における素材管の切断方法は、折り取り、挟み切りなどの方法が推定されているものの実際の出土遺物から確定されていない点が挙げられる⁵⁾。最後は第5工程に関連する点である。第5工程における小玉原形の切断面の処理とガラス小玉の形態を整えるための調整を目的とする作業の具体的内容として、これまでの研究において検証または想定されているのは、小玉原形を再加熱してガラスを半熔融状態にして表面張力を利用する方法(加熱調整⁶⁾)、この表面張力に加えて小口部に押圧を加える方法(加熱押圧調整⁷⁾)、冷却後にさらに研磨調整を加える方法(研磨調整⁸⁾)の3種類である。しかし、加熱調整の具体的な作業内容は不明である。研磨調整の有無も個々のガラス小玉について、必ずしも確認されているわけではない。

このように細かい点では問題を残すが、管切り法が引き伸ばし→切断→調整という工程を経ることについては、これまでの研究での統一の見解となっている。何故なら、ガラス小玉内の気泡の観察から極めて合理的に説明することができるからである。ガラス小玉を顕微鏡で拡大観察すると、通常ガラス内部に多数の気泡を見ることができる。この気泡の生成は、小瀬氏の実験的研究により解明されており⁹⁾、管切り法により製作されたことを反映するものとして重要視されている。すなわち小瀬氏は製作工程にしたがって気泡の状態が変化することを示したのである。第3工程の引き伸ばしで生じる細長い空洞である「気泡筋」は、第5工程の加熱調整のうちに分断されて「気泡列」を生じる。気泡列ははじめは極小さい気泡である「微泡」で構成されているが、加熱時間が長くなると接近した気泡同士が結合し、より大きな気泡を形成し「点在した気泡」となるとしている。小瀬氏はこのような気泡の形状変化を「気泡の3態」としてまとめた。この他に気泡がガラス小玉の表面に表れてあばた状を呈する場合がある。これを気孔と呼ぶ。これからわかるように気泡はガラス小玉観察の重要な項目である。

以上に整理した製作工程とガラス小玉の気泡と気孔の状態に注目しながら、第3工程での引き伸ばしの痕跡、第4工程での切断方法に関わる痕跡、第5工程での調整方法に関わる痕跡に注意して観察を行った。以下に特徴的な事例について解説する。

2. 観察（ガラス小玉製作上の特徴）

直列する気泡 (PL.91 (1))

ガラス小玉の側部を観察すると、内部に紐孔と同方向の多数の筋を見ることができる。顕微鏡の倍率を上げると、無数の小さな気泡が整然と直列していることがわかる。微泡による気泡列である。小口径と側部長が1/1程度の円柱状で透明度の高いガラス小玉の場合は、良好に観察できる場合が多く、写真の221は特にわかりやすい例である。

表裏貫通した気泡 (PL.91 (2))

紐孔と同方向に小口部の表裏を貫通している気孔である。気孔管と呼ぶことにする。写真は219のものである。この気孔管は、小玉表裏の器面に近い部分で最大径を持ち中心部では細くなっている。気孔管は226・233の各1例とあわせて3例ほど確認した。226・233の例では気孔内に不純物が詰まっており219のような空洞状を呈してはいない。219のような気孔管は、第3工程で生じる気泡筋が、第5工程以後も残存しているものである。第5工程の加熱調整による半熔融状態とこのときの表面張力を考えると、空洞状であれば潰れてしまうであろうし、また気孔が直線的に貫通していることにも疑問が残る。226・233のように異物が詰まっていなければ、このような小さな気孔が加熱調整後も残存することは考えがたい。加熱調整時のガラス小玉の状態を考える上で重要である。

楕円形の気孔 (PL.91 (3))

通常みられる気孔は平面円形のものが一般的である。ところが写真の221の例では平面楕円形になっている。気泡筋の形態が残存したと考えられる。気孔の縁部（気孔の孔の縁）が鋭く角張っているのは、第5工程で研磨調整が行われたことを示すと考えられる。写真の気孔の右下側はアクシデンタルな剥離を起こしている。

表面の状態①（あばた状） (PL.91 (4))

表面が半熔融したような状態に鈍くなった気孔が、ガラス小玉の表面全体に渡って分布しており全体として鈍いあばた状を呈す。濃紺色のガラス小玉に比較的多く見ることができる。写真は227の例である。第5工程の加熱調整による半熔融状態により、表面近くの気泡が気孔化したことにより生じたと考えられる。

表面の状態②（条痕）（PL.91 (5)）

表面に何条も並行する条痕がみられる場合がある。写真は250の例である。ガラスが冷えるときに表面と内部での冷え方の違いにより生じたものか、あるいは気泡列の有無など内部構造の違いによる冷え方の違いにより生じたものか、または表面の腐食により生じたものか、形成要因には3つの可能性が考えられる。顕微鏡で観察する限り、ガラス小玉表面の色調や光沢は条痕が見られないものと変わりはないことから、腐食に関わるものではない可能性が高いと考えられる。

表面の状態③（光沢・稜・つぶれた突起）（PL.91 (6)）

写真は257の小口部から側部にかけてである。表面は平滑で小口部には平坦面が形成され、側部にかけての曲面との境が明瞭で稜を形成している。小口部の平坦面は第5工程の研磨調整により形成されたものであろう。あるいは加熱押圧調整と研磨調整が組み合わされた可能性もある。さらにこの稜の近くには、イボ状の小さい突起が2ヶ所で見られる。注目すべきはこの突起が全体的に磨滅していることである。第5工程の研磨調整が行われたことを示すと考えられる。このガラス小玉は全体的にたいへん丁寧に研磨されている。

放射状に並ぶ気泡（PL.91 (7)）

小口部を観察すると、紐孔から放射状に気泡列がみられる場合がある。紐孔と同方向の気泡列が小口から側部にかけての器面にそってカーブした結果として放射状を呈しているのか、それともガラス小玉の内部で複数の気泡列が本来的に放射状に配置するのか判断が困難である。写真は221の例である。

不純物の入った気孔①（縁部が鋭い）（PL.91 (8)）

ガラスに含まれる不純物が表出し気孔を形成したものである。写真は221の例で、気孔の縁部が鋭くなっている。第5工程で研磨調整が行われたことを示すと考えられる。

不純物の入った気孔②（縁部が丸く外縁部がやや盛り上がる）（PL.91 (9)）

前出のものと同様に、ガラスに含まれる不純物が表出し気孔を形成したものである。写真は221の例で、この不純物は径約0.3mmでかなり大きい。注目すべきは、この気孔の縁部は丸く、外縁部（気孔の縁の外側）はやや盛り上がることである。気孔の縁部及び外縁部のこのような特徴は、研磨調整が行われなかったことを示していると考えられる場合がある¹⁰⁾。ところが、221のガラス小玉には先に挙げたように細長い気孔と不純物の入った気孔①が見られ、これらの気孔は縁部が鋭く研磨調整を行ったことの証拠と考えた。不純物の入った気孔②の縁部の状態と細長い気孔及び不純物の入った気孔①の縁部の状態は、同

一のガラス小玉にみられるものでありながら全く反対の作業内容を示すことになり矛盾を生じる。そこで、221のガラス小玉を全体的に見ると、表面は滑らかで気孔の縁部は鋭いものが多い。総合的に判断して、研磨調整が行われた可能性が高いと考えられる。したがって、不純物の入った気孔②は不純物が大きいため気孔縁部の研磨の妨げとなったこと、または気孔が小口曲面部にあるために研磨がかかりにくかったことが影響して盛り上がったままになっていると考えられる。一つの気孔の外縁部の盛り上がりだけでは研磨調整の有無を判断できないことを示す例である。

3. まとめ

以上、実体顕微鏡による観察に基づいて個別のガラス小玉の特徴について解説してきた。ここでは、これらの特徴をもう一度概観して、ガラス小玉製作との関わりから再編成してまとめとしたい。

第3工程での引き伸ばしを反映するものとして、直列する気泡、気孔管、細長い気孔、表面の状態②（条痕）等が挙げられる。いずれも紐孔と平行する方向に痕跡が残る。

第4工程での素材管の切断方法を反映するものは今のところ確実な例を指摘できない。かつて気泡が小口から側部にかけての器面の丸味に沿ってカーブすることを挟み切りの痕跡であるという指摘がなされたことがあった¹¹⁾。今回観察した放射状に並ぶ気泡でも気泡列が同様にカーブしていると見ることもできる。しかし、それらは概ね360°に渡り整然とした放射状を呈しており、挟み切りを反映したものであれば、挟み切られた方向に偏在するはずであり切断方法とは無関係と考えられる。拡大写真には挙げていないが、226は全体的に角張っており、第5工程の調整作業があまり入念に行われていないと見て取れる。小口部には剥離面を多数残しており、素材管からの切断作業で折り取りの方法が採用された可能性を指摘できる。

第5工程前半の加熱調整による半熔融状態を反映するものとして、表面の状態①（あばた状）がある。このような表面あばた状のガラス小玉は、小口径と側部長が1/0.6以下の環状のガラス小玉において良好に観察できる傾向がある。環状のガラス小玉は、半熔融状態の時間が長かった可能性が考えられる。気孔管は、加熱調整される際のガラス小玉に行われる前処理を示すものとして注目できる。ガラス小玉を半熔融状態にする場合、どのようにして紐孔を潰れないように確保しておくのかという点は興味深い問題である。気孔管はこれに手がかりを与える。気孔管は紐孔と比べるとはるかに孔径が小さい。半熔融状態に

あつては、当然のことながら、このような小さな気孔は閉塞してしまうはずである。にもかかわらずこのような気孔管がみられるということは、一つにはこの小玉が半熔融状態を経過しなかった可能性を考慮しなくてはならない。しかし、この小玉の外形の丸みを考えると、半熔融状態での表面張力を利用した調整作業を確実に行ったことを示す。したがって、半熔融状態にあつてもこの気孔が閉塞しない状態が形成されていたということである。

ガラス小玉の紐孔を観察すると、ほとんどの場合、紐孔の内壁は歪みのない円筒状を呈している。したがって、ガラス小玉の縦断面形を見ると、紐孔の内壁は直線的となり、また小玉外形は丸味を帯びるため、D字を向かい合わせた形を呈することになる。ガラス小玉の外形が、第5工程の加熱調整で表面張力を利用して丸く整えられることを考えると、紐孔内壁側だけが直線的になるのは力学上理解し難いことである。内壁側にはガラスの膨張を許さない何らかの工夫がなされていたということが考えられる。

それではその工夫とはいったいどのようなものであったのだろうか。推測の域を出ないが、紐孔内には加熱調整時に紐孔の閉塞を防ぐことを目的とした真土が充填されていたと考える。小さなガラス小玉に行う作業であるから、そのとき一緒に気孔管にも真土が充填され、結果的に閉塞することなく残存したということは十分に起こりうることであろう。このような点を考慮して観察すると、小口側には不純物の詰まった気孔が多くみられる。

この処理の後に、軸に通したいわゆる串刺し団子のような状態ではなく、バラバラの状態で再加熱を行うのであろう。ガラス小玉の表面に熔着の痕跡が見られたり(223)、ガラス小玉同士が熔着したものが出土することがあるのはこのためであろう。

第5工程後半の調整作業として研磨調整が考えられている。細長い気孔、表面の状態③(光沢)、不純物が入った気孔①(縁部が鋭い)等は研磨調整が行われたことを示す例である。これに対して、不純物が入った気孔②(周辺部が丸く外縁部が盛り上がる)は研磨調整を行っていても、行っていないように誤解する可能性がある例として挙げた。研磨調整の有無の判断はこのように微妙であるが、気孔の他にもガラス小玉表面の状態を手がかりとして、ある程度判断することができる。ガラス小玉の表面が磨りガラスのようにきめの細かい艶消し状を呈している場合は研磨調整を行ったと考えても良さそうである。反対に、表面の状態①(あばた状)や表面の状態②(すじ)のように第5工程での半熔融状態や第3工程での引き伸ばしに起因すると考えられる痕跡をガラス小玉の表面に残している場合は第5工程で研磨調整を行っていないことを示していると言える。総じて研磨調整を行っている場合はガラス小玉の表面が整って平滑であり、行ってない場合はガラスが冷却して

固まったときの痕跡をそのままに残し鉛が固まったような光沢をしている。いずれにせよ、研磨調整の有無は複数の特徴によって総合的に判断することが必要である。

以上が今回ガラス小玉の観察により抽出した製作上の痕跡である。これらの痕跡は、主に第3工程と第5工程に関わる痕跡である。第3工程に関わる痕跡は、これまで既に論考されてきており、小瀬氏により体系化されているものである¹²⁾。一方、第5工程に関する痕跡は、従来より具体的に事例を提示することができたと考える。ただし、加熱押圧調整については確実な例を見出すことができなかった。

実体顕微鏡を使うことで初めて見ることでできるガラス小玉の表面と内部に残る様々な痕跡は、第3工程や第5工程での作業を考える具体的な手がかりになることは明らかである。特に第5工程における加熱調整の特徴や研磨調整の有無は、個々のガラス小玉で様々であり、製作地の系譜と関わる可能性もあり興味深い。今回は観察例の報告にとどまるが今後諸属性を加えて総合的に分析したい。

[注]

- 1) 小瀬康行「管切り法によるガラス小玉の成形」(『考古学雑誌』第73巻第2号、1987年)
- 2) 藤田等『弥生時代ガラスの研究』、名著出版、1994年
- 3) 富樫雅彦・徳澤啓一「弥生時代におけるガラス小玉の研究－板橋区四葉地区出土の極小ガラス小玉の検討－」『東京考古』13、東京考古談話会、1995年
- 4) 富樫雅彦・徳澤啓一前掲注3文献
- 5) 小瀬康行(前掲注1文献)により研究略史として詳しく紹介されている。
- 6) 小瀬康行(前掲注1文献)による実験で確かめられている。
- 7) 富樫雅彦・徳澤啓一(前掲注3文献)により提示されている。
- 8) 藤田等(前掲注2文献)、富樫・徳澤(前掲注3文献)により提示されている。
- 9) 小瀬康行(前掲注1文献)
- 10) 藤田等は「気孔の周囲にめくれた状態の有無で推測することができる」としている。(前掲注2文献、P.124)
- 11) 柳田康雄「ガラス玉類の観察」(『山陽新幹線関係埋蔵文化財調査報告』第9集、福岡県教育委員会編、1978年)
- 12) 小瀬康行(前掲注1文献)