

第4節 合戦原遺跡横穴墓出土ガラス玉の分析

東北大学総合学術博物館 藤沢敦

1 整理作業の方法

(1) 整理作業の枠組み

合戦原遺跡の調査では、横穴墓から合計 238 点という、比較的まとまった量のガラス玉が出土した。ガラス玉は、製作技法と材質で分類することが必要となる¹⁾。製作技法の判断には、実体顕微鏡での観察が不可欠で、材質の判別には理化学分析が必要となる。また資料提示のための写真撮影では、接写による拡大撮影を行う必要がある。そのため、これらが可能な東北大学総合学術博物館の藤沢が担当者となって、2018 年度に受託研究として委託を受け、整理作業と分析を行った。

以下、整理・分析作業の概略を記載したうえで、2～4において得られた知見を詳述し、5で本遺跡出土ガラス玉の特徴についてまとめることとする。

(2) 出土点数

出土したガラス玉は、丸玉か臼玉状の形状を呈するもので占められる。管玉や勾玉などは含まれていない。直径は、3mm 弱のものから、15mm 程度のものまで差が大きく、やや大きなものも含まれるが、まとめてガラス小玉としておきたい。このようなガラス玉は、丸玉や小玉と呼ばれることも多いが、その区分に明確な共通理解は得られていない。あるいはトンボ玉など特殊なものは、その特徴をもとに呼称されることも多い。観察表では、調査担当者によって記載された名称をそのまま記載しているが、整理・分析作業では一括して行っている。以下の記述では、一括してガラス玉として記載し、まとめて同じ表に記載する。

ガラス玉には1点ずつ、Q-001～Q-233の番号が付されていた。これ以外に、仮1から仮4までの番号が付けられたものがある。仮番号が付けられたものは、破損していたことから、接合を試み、個体識別を行った。仮1は、半分程度が残るものであった。仮2・3は、接合しない破片が残ったが、欠損部分に相当すると考えても矛盾しないことから、同一個体と考えた。仮4については、2つの破片が別個体のものと判断されたため、2個体に分けた。したがって、Q-233に続けて、仮番号が付けられていた5点を、Q-234～238として追加した。

この仮番号が付けられていた資料も含め、割れていたガラス玉については、アクリル樹脂であるパラロイド B-72 をアセトン溶液（重量濃度 5%）としたものを使用して接合した。接合後、表面に付着した樹脂成分は、デザインカッターなどを用いて除去している。

各遺構からの出土点数は、表1のとおりである。出土点数は、遺構によって違いが大きい。1～数点の出土にとどまる横穴墓もある一方で、ST36の82点、ST12の77点、ST48の39点の3遺構からの出土が突出して多い。これに続くのはST14の14点で、それ以外は10点以下となる。表1は、鋳型法で製作されたガラス玉と、それ以外の方法で製作されたガラス玉に大別して点数を掲載しているが、出土量が多い横穴墓では、鋳型によるガラス玉が多くを占める傾向がある。

表1 ガラス玉の遺構ごとの出土点数

遺構名	出土点数	鋳型以外	鋳型
ST06	1	1	0
ST09	4	3	1
ST10	4	1	3
ST12	77	11	66
ST14	14	5	9
ST19	2	2	0
ST21	6	1	5
ST30	2	1	1
ST36	82	22	60
ST45	1	0	1
ST46	6	1	5
ST48	39	2	37
合計	238	50	188

（2）実体顕微鏡での観察と観察表の記載

ガラス玉の特徴を把握するためには、肉眼での観察では限界があり、倍率10倍程度の実体顕微鏡での観察が有効である。この観察結果を、観察表に記載するとともに、製作方法を推定した。製作方法の判断基準と結果は2で詳述する。

観察した特徴は、形態、気泡、その他に分けて記載した。

形態で、「非対称」としたものは、変則的な引き伸ばし法によるガラス玉に特徴的な、端面の片側が平坦で、もう一端が丸みを帯びた形態のものである。「小突起」としたものは、鋳型法によるガラス玉に良く見られる、素材のガラス破片の形状を残した、小さな突起が確認できるものである。

気泡は、大きく3つに分けて記載した。引き伸ばし法によるガラス玉に見られる、孔に平行する方向に気泡が並ぶものや、孔に平行する方向に気泡が筋状に伸びるものを「孔平行」とした。孔のまわりを回るように気泡が並ぶものを「同心円方向」、らせん状に見えるものは「らせん状」とした。特に方向性を持たずに、気泡が散在するものを「散在」とした。

その他では、透明度の低いものや、孔内が平滑にならずに表面が荒れているものなどを記載した。また、ガラスとは考え難い夾雑物が観察できるものを不純物として記載した。

色調は、おおよその色調を記載した。特に、カラーチャートなどとは照合していない。紺・青などと複数の色を記載したものは、部分によって異なる色調を呈することを示す。モザイク状としたものは、異なる色調の部分が、ランダムに混在するものである。同心円状ムラとしたものは、孔を中心として同心円状に、色の濃い部分が観察できるものである。

これらの特徴をもとに、製作方法を推定し、「引き伸ばし」「巻き付け」「鋳型」「融着」の4種類に分けて記載した。各技法の判断基準は、2で詳述する。

材質は、蛍光X線分析結果をもとに、「鉛」「ソーダ」「カリ」の大別を記載した。鋳型法のものは、異なる材質のガラスが混在する場合が多いことから、材質分析は行っていないため、「―」を記載している。カリガラスやソーダガラスの中で、さらに細かな種類が判るものは、3において述べることとする。

直径と長さは、ノギスで計測した。ひずんでいるものも多く、鋳型で製作されたものには、一部が大きく突出するものもある。そのため直径については、平均的な部分で計測するようにした。Q-002については、ひずみが大きいため、長径と短径の二つの値を掲載している。長さは、孔と平行な方向での最大値を計測した。重量は、電子天秤で計測した2)。重量の値に括弧を付けたものは、破損により一部が欠損しているものを示す。

（3）資料提示の方法

発掘調査報告書で出土遺物を報告する場合、実測図を提示するとともに、写真を示すことが通常である。ガラス玉についても、実測図を作成して掲載されている場合も多い。しかし、ガラス玉の多くは、直径が1cm以下で、今回の資料では5mm以下のものが多くを占めている。そのため等倍であっても、実測図に特徴を示すことは、ほとんど不可能である。実測図は、遺物の特徴を示すことが目的であるが、ガラス玉の製作方法などに関わる特徴は微細なものがほとんどである。微細な形状、気泡の入り方、色合いに見られるムラ、表面の平滑さなどが、製作方法を判断する上では重要となる。これらの特徴を、実測図で示すことは不可能である。多大な労力をつぎ込んで実測図を作成しても、必要な情報を伝えることはできない。それより、拡大撮影した写真の方が、はるかに必要な情報を示すことができる。そのため写真図版において、拡大写真を掲載することで、資料提示を行うこととした。他の遺物が実測図で示されている部分には、端面を撮影した等倍の写真を掲載することによって、ガラス玉のおおよその特徴と、それらの点数が判るようにした。

写真は、接写して撮影する場合、焦点が合う範囲が限定され、焦点が合わない部分が多くなるという問題がある。焦点を少しずつずらして撮影した写真を合成する、多焦点合成写真が有効である。今回は、オリンパス社のタフシリーズを使用して、多焦点合成写真を撮影することとした。タフシリーズは、小型のコンパクトデジタルカメラでありながら、顕微鏡モードとして接写を手軽に行うことができる上、自動で多焦点合成写真を撮影できる機能がある。今回は、TG-4を使用した。

掲載する写真は、4倍を基本とした。理想的には、5倍以上の大きさが望ましいが、紙幅との関係もあり、4倍とした。一部の大きなものは、2～3倍で掲載したものもある。写真図版の遺物番号の下に、(×4)などと示したのが、写真の倍率である。

写真の撮影では、通常の反射光での撮影と、透過光での撮影の両方を行った。

反射光での撮影では、端面・逆端面・側面・端面（逆端面）斜めの、4方向から撮影した。孔に直交する方向を、端面と逆端面とした。ガラス玉の表裏を決めることはできないので、任意に端面と逆端面とした。孔と平行の方向は、側面とした。端面・逆端面・側面は、ガラス玉の形状を示すことが主な目的である。ガラス玉は、孔の内面についても、表面が平滑か、荒れているかが重要な情報となる。端面あるいは逆端面を、斜めから撮影した写真で、孔の内面を示すようにした。端面の斜め写真は、ガラス製の湾曲した試料皿である、「目皿」を用いて撮影した。

ガラス玉のほとんどは、表面の風化や表面反射で、気泡などの内部の特徴が、反射光での撮影では判りにくい。小型のシャーレの中でエチルアルコールに浸し、下から光をあてた透過光で撮影すると、内部の様子を比較的明瞭に示すことができる。透過と記した写真が、液浸透過光での撮影である。方向だけを示したものは、反射光での撮影である。

次に述べるが、ガラス玉の製作方法は、鋳型で作られたものと、それ以外の方法で作られたもので大きく異なる。そのため写真の提示方法は、鋳型で製作されたものとそれ以外のものに大別した。鋳型以外のガラス玉を、大きいものから小さいものという順番で並べ、その後ろに鋳型で製作されたガラス玉を、遺物番号順に配列した。なお、破損している資料などは、掲載した写真の数が少ないものもある。

鋳型以外の方法で製作されたものは、合計6カットを掲載することを基本とした。反射光の写真は、端面・側面・逆端面に、どちらかの端面を斜めから撮影したもの、4カットを掲載した。液浸透過光の写真は、端面と側面の2カットを示した。

鋳型で製作されたガラス玉は、端面・側面・端面透過の3カットを掲載することを基本とした。端面と側面を通常の反射光で撮影し形状を示すとともに、端面を液浸透過光で撮影し内部の状態を示した。

（４）蛍光X線分析による材質分析とX線CT撮影

ガラスの材質分析のためには、蛍光X線分析によって化学成分を測定する必要がある。その際、鋳型法によって製作されたガラス玉は、複数種類の素材が混在している場合もある。鋳型法によるガラス玉は、モザイク状に色調が異なっている場合もあり、異なる材質のガラスが混在していると推定される。中には、明らかに全く異なる色調のガラス片が混じっている場合もある。後述するX線CT分析の結果からも、異なる素材が混在していると考えられる。そのため鋳型法によるガラス玉は、測定する場所によって、もとの素材が異なっている場合も想定される。あるいは、異なる素材が溶け合わさっている場合も想定できる。測定結果が素材の材質を反映しているとは限らず、詳細な比較検討は難しい。そのため鋳型法によるガラス玉は、材質分析の対象からは除外した。鋳型法以外の方法で製作されたもの50点について、蛍光X線分析を実施した。

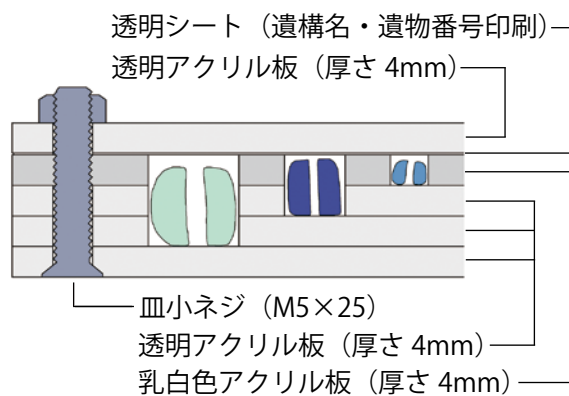
近年、文化財の調査研究に、X線CT撮影が利用されることが増加してきている。X線CT撮影では、

資料の内部構造を立体的に観察することが目的に行われることが通常である。内部構造が判ることは、X線CTの利点であるが、それに加えて、表面の3次元形状を観察できることが重要である。撮影条件によっては、微細な3次元形状を拡大して観察することができる。ガラス玉では、トンボ玉などの特殊なものについて、X線CT撮影が行われた事例はあるが、通常のガラス玉を分析した事例は少ない。鋳型法のガラス玉に見られる、微細な突起の形状や、孔内表面の荒れなどの表面の微細構造なども、X線CT画像で観察することも有効と思われる。まだ知見が蓄積されていない段階のため、様々な種類のガラス玉を対象に、どのような知見が得られるかを試すためにX線CT撮影を行った。種類の異なるガラス玉を対象に、19点を撮影して観察を試みた。

(5) 収納ケースの作成

ガラス玉は注記が難しいため、注記がなされない場合も多い。無理に注記を行うと、資料の特質を観察することが難しくなってしまうこともある。1点ずつ、カードなどと共に袋やケースなどに収納されている場合は、個体の識別ができる。しかし、展示に給される際に取り出されると、対応関係が判らなくなってしまうことがある。その場合には、報告書で示された図・写真やデータとの、対応関係が判らなくなることがある。個体が識別できなくなると、分析データ等があったとしても、そのデータが活用できなくなるという問題がある。展示する場合も、個体が識別できる方法をとることが望ましい。

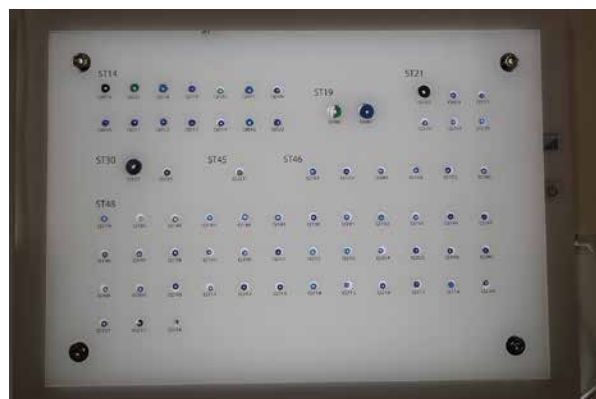
ガラス玉を含む玉類は、糸に通して、一連の飾りのようにして展示されている場合も多いが、このような展示手法には問題が多い。鋳型で製作されたガラス玉は、破損しやすいことが経験的に判っている。ガラス小片を鋳型で再加熱する際、加熱による溶融が不十分な場合が多いことが原因と推定される。関東地方や東北地方の7世紀以降の出土事例では、小さな鋳型製のガラス玉が多数を占め、巻き付け技法などによる大型



収納展示ケース断面模式図



ケース1 収納状況



ケース2 収納状況



ケース3 収納状況

図1 ガラス玉の収納展示ケース

のガラス玉が少数伴う場合が多い。それらを一連の飾りとして糸に通して展示すると、資料を動かす際などに、鋳型製のガラス玉が、大きな玉の重さを受けて、破損してしまう危険性が高い。

以上の点からガラス玉については、一点ずつ個体が識別できるように分けた形で収納し、そのまま展示に供することが可能なケースを製作しておくことが望ましいと考えられる。あわせて、ガラス玉の特徴が見やすいことも考慮する必要がある。今回、アクリル板を重ねることで、比較的簡便な方法で製作できるケースを考案して製作した。アクリル板に円孔を開けガラス玉を収納するが、玉の厚さに応じて、孔を開けるアクリル板の枚数を調整した。図1に示した、断面模式図のような構造である。ボルトと、台の最上面の乳白色アクリル板に切ったネジによって、台の4枚のアクリル板が固定されている。この状態で資料の出し入れなどの作業を行う。資料を入れた後は、番号を示した透明シートをはさんで、カバーの透明アクリル板を重ね、ナットで締める構造である。

製作にあたっては、厚さ4mmの、透明と乳白色の市販のアクリル板を、300mm×210mmに切断するように発注した。これが収納ケースの大きさとなるが、A4版とほぼ同じ大きさである。A4版用のトレース台の上にケースを置き、下から光をあて、透過光でガラス玉を展示し観察できるように考えたためである。このケースでは、端面側からガラスを見る形となるが、透過光で観察できるようにして、色調や構造が判り易くなることを意図した。

ケースの製作にあたっては、ガラス玉の端面の等倍写真を利用して配置図を作成し、孔開けのガイドとなる中心線を記入した。この配置図をプリントしたものを、台となるアクリル板に貼り付け、ドリルで所定の大きさの孔を開けた。ガラス玉の厚さに応じて、孔を開けるアクリル板の枚数を調整した。厚みに余裕が大きすぎる場合は、透明なプラ板などでスペーサーを作成して調整した。資料の番号は、透明なOHPシートに印刷し、台とカバーの間にはさみ込んだ。

資料は、出土した遺構ごとにまとめ、報告の写真図版と同じように配列した。すなわち、鋳型以外のガラス玉を、大きいものから小さいものという順番で並べ、その後ろに鋳型で製作されたガラス玉を、遺物番号順に配列した。遺構は番号順に並べることを基本としたが、ST36からの出土点数が多いため、これだけをケース3にまとめた。各ケースへの収納は、次のようになっている。

ケース1（86点）：ST06、ST09、ST10、ST12

ケース2（70点）：ST14、ST19、ST21、ST30、ST45、ST46、ST48

ケース3（82点）：ST36

収納・展示ケース3台と、それぞれで使用するトレース台を3台、委託費で準備した。資料を返却する際には、このケースに収納した状態で返却している。

2 観察による製作方法の検討

ガラス玉については、内部の気泡のあり方に注目し、製作方法が検討されてきた。中でも、もっとも数が多いものが、孔と同じ方向に、列状に並ぶ気泡や、気泡がつながって筋となったガラス玉である。これらは、軟化したガラスを、管状に引き伸ばして製作した際に、孔と同じ方向に気泡が並んだと推定されてきた。引き伸ばされたガラス管は分割され、再加熱などの加工が加えられてガラス玉となる。まれに、破断面の形状を残すものもあるが、多くは端が丸みを帯びることから、分割後に再加熱がなされたと考えられる。引き伸ばし法のガラス玉の特徴は、孔表面が平滑で、孔と平行方向に並ぶ気泡列や、両端までつながる気泡筋が認められることである。孔と平行方向に、色むらが認められる場合もある。

近年、引き伸ばし法のガラス玉も、詳細に検討すると、3種類に分類が可能であることを田村朋美氏が指摘している（田村2015）。以下、田村氏の指摘によって、3分類を概観しておく。

a 類とされたものは、球形の気泡が孔と平行方向に並び、大きな気泡を含むことが多いものである。色む



図2 製作方法の違いによる気泡の入り方

らは、端面で同心円状を呈さないなどの特徴が指摘されている。直径6mmを越えない、インド・パシフィックビーズのほとんどが相当するとされている。このa類は、軟化したガラスに鉄棒を差し込んでできた管状のガラスを、フックで引き伸ばすという特殊な「ラダ技法」で製作されたと推定されている。

b類は、両端面までつながる、孔と平行方向の気泡筋が特徴で、孔内面は特に平滑となる。端面から見ると、同心円状の色むらが認められるものがある。風化が進んだものは、端面に同心円状の蝕像が認められることが指摘されている。直径6mmを越えるものが多く、色調は紺色にほぼ限られる。b類は、吹竿の先に軟化したガラスを巻き付け、膨らました後に細長く引き延ばした、吹き技法によって製作されたと推定されている。吹竿に巻き付けた際の質のバラツキが、同心円状のムラや蝕像となって現れた可能性が指摘されている。

c類は、一方の端が丸みをおび、反対側は比較的平坦な、非対称な形状を示すものである。孔表面が荒れて、白っぽく見えるものがほとんどである。気泡筋や同心円状のムラや蝕像は、b類と共通する。c類は、b類と同様の吹き技法によって製作したガラス管から作られていると推定されるが、分割後の再加熱の方法が異なると考えられている。孔表面が荒れていることから、孔に芯棒を通した状態で加熱された可能性が指摘されているが、具体的な方法は明確にはなっていない。このように、b類の通常の引き伸ばし法とは異なる製作方法が想定されることから、変則的な引き伸ばし法と呼ばれている。

以上の3種類は、典型的な場合には分類は容易であるが、特に小型のガラス玉の場合は、a類とb類の区分が難しい場合もある。非対称な形状や孔内面の荒れが明瞭な場合は、c類の認識は容易であるが、不明瞭な場合はb類との区別は難しい場合もある。今回の観察表では、気泡が孔と平行なものを、その旨記載したほか、非対称な形状や孔表面の荒れが観察できるものを記載した。図2に示した3点の引き伸ばし法のガラス玉は、左から右に、田村分類の、a類・b類・c類に相当する。

図2に示した左端のものは、孔のまわりをめぐるように、らせん状に気泡が並んでいる。同心円状に気泡が観察できる場合もある。これらは、軟化したガラスを、芯棒に巻き付けて製作した、巻き付け法によるガラス玉と考えられている。芯棒に接する孔表面は、荒れているものもあるが、平滑なものもある。

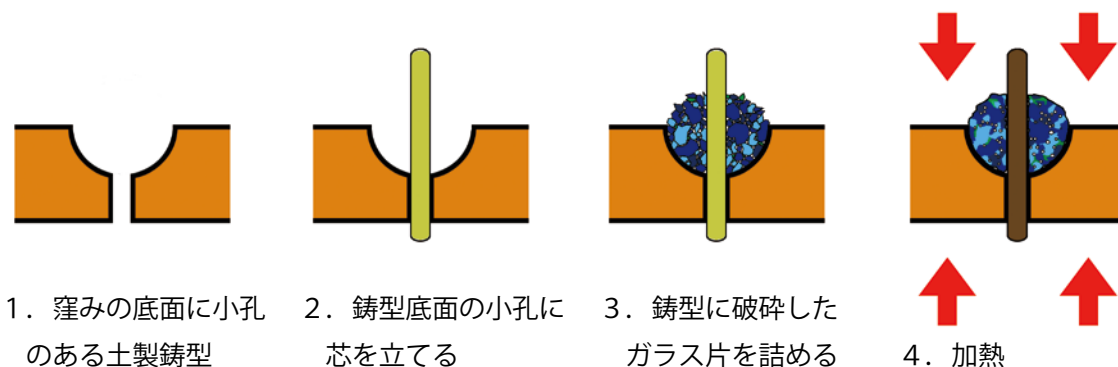


図3 鋳型によるガラス玉製作方法の推定

鋳型法によるガラス玉は、今回の資料では、最も数が多いものである。土製の鋳型の出土事例が知られており、半球状に窪ませた型の中央底面に、小孔が開いたものである。小孔は芯棒を立てるためのもので、芯には泥などの剥離剤を塗った可能性が考えられている。この鋳型の特徴と、鋳型で製作されたと推定されているガラス玉の特徴から、細かく砕いたガラス破片を鋳型に詰め、鋳型ごと加熱して、破片を溶着させて玉を作ったものと考えられている。図3に、推定される製作方法の模式図を示した。鋳型法のガラス玉の材料となるガラスは、その時点で流通していたガラス玉やそれらの破損品を利用したものと考えられる。今回の資料では、鋳型法によるガラス玉は、全て青色から紺色を呈する。類似した青～紺色系のガラス玉を使用して、素材としたものと推定される。

鋳型法によるガラス玉は、孔表面が荒れているものが多く、不規則なモザイク状の色むら、溶解しきらなかったガラス片と推定される小突起が観察されることが多い。気泡が多いのが一般的で、志向性を持たずに散在する。このような観点から観察することで、鋳型法によって製作されたガラス玉は、比較的容易に識別が可能である。

鋳型法によるガラス玉の、特徴的なものを図4に示した。今回の資料では、直径3mm弱から5mm未満のものがほとんどで、大きさは比較的そろっている。しかし形状には変位が大きい。比較的整った形状(Q-136)のものから、薄いもの(Q-141)も厚いもの(Q-011)もある。片端が狭い形状(Q-054)もある。端面が研磨されるもの(Q-175)は極めて少ない。端面から見た形状が、いびつなものもある(Q-046)。角状に突起があるもの(Q-163)がまれに見られる他、材料のガラス破片の形状を残したと推定される小突起は、多くの資料に認められる(Q-141・213など)。透過光で観察すると、色調の違いが、モザイク状に観察できるものも多い。明らかに、異なる色調のガラス片が含まれていることが観察できるものもある(Q-140)。ガラスとは考え難い、黒色の夾雑物が入っているものも多い(Q-140・092)。



図4 鋳型法によるガラス玉の特徴

上記以外の方法で製作されたものとしては、融着法と考えられるもの(Q-002)が1点ある。これについては、資料を実見された大賀氏によって、「トンボ玉」と考えられることが指摘されていたものである。後述するX線CT画像から、ブロック状のガラスが組み合わさっている状況や、ブロックの境界に沿って気泡が並んでいる状況が観察された。この点から、複数のガラス素材を積み上げて融着した、融着法によるものと推定される。

以上の観察結果をまとめると、今回の出土資料は、製作方法では次のように分けられる。

鋳型法：188 点、引き伸ばし法：44 点、巻き付け法：5 点、融着法：1 点

3 蛍光X線分析結果とガラス玉の分類

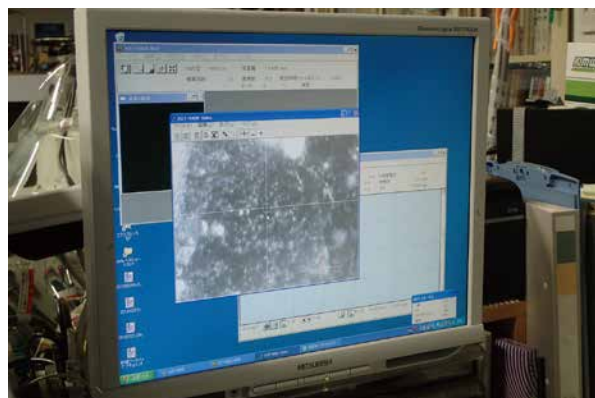
成分分析には、蛍光X線分析を適用した。学内共同利用機器となっている、東北大学工学部・工学研究科技術部合同計測分析班の機器分析サテライト1（マテリアル・開発系）に備え付けられている、HORIBA 製X線分析顕微鏡 XGT-5000 を使用した³⁾。同装置は、径 10 μ m もしくは径 100 μ m のX線導管によりX線ビームを絞って、大気中で測定できる。図5に、装置と計測状況などの写真を示した。ディスプレイで、分析場所を確認しながら操作することができる。文化財関係では、愛知県埋蔵文化財センターに導入され利用された実績がある（堀木 2005）。



1. 分析装置全景



2. 分析資料をセットした状態



3. ディスプレイでの分析場所の表示



4. 分析資料の固定用ケース

図5 蛍光X線分析装置

上記したように、鋳型法によって製作されたガラス玉は、複数種類の素材が混在している可能性が高く、測定結果が素材の材質を反映しているとは限らず、詳細な比較検討は難しい。そのため鋳型法による青～紺色のガラス玉は材質分析の対象から除外し、鋳型法以外の方法で製作された50点について、蛍光X線分析を実施した。

測定にあたっては、一つの資料につき、できるだけ平坦で風化や夾雑物の影響がない場所を選んで、3ヶ所以上測定することとした。直径が10mm前後の比較的大きな資料は、プラスチックトレイに、粘着力の弱いテープで固定して計測した。それ以外は、10cm四方のプラスチック板に、資料が入る大きさの孔を開け、そ

表2 蛍光X線分析結果(1)

化学式		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	CoO	CuO	Rb2O	SrO	ZrO2	SnO2	PbO	質量濃度(%)
001	P1 灰色一番内側	0.588	2.323	2.674	83.842	2.679	5.243	0.136	0.077	1.473	0.122	0.203	0.002	0.082	0.003	0.000	0.553	
	P3 灰色一番内側	0.002	2.317	3.079	83.169	2.899	5.795	0.134	0.079	1.500	0.119	0.215	0.002	0.105	0.019	0.000	0.568	
	P2 青っぽい少し外側	2.031	2.144	2.973	81.422	3.105	5.448	0.140	0.071	1.487	0.115	0.200	0.002	0.081	0.010	0.273	0.499	
	P4 青っぽい少し外側	0.408	2.017	3.158	82.813	3.094	5.382	0.148	0.079	1.518	0.121	0.214	0.002	0.082	0.008	0.375	0.580	
	平均	0.76	2.20	2.97	82.81	2.94	5.47	0.14	0.08	1.49	0.12	0.21	0.00	0.09	0.01	0.16	0.55	
002	P1 黒	1.103	2.992	3.181	81.239	2.550	6.113	0.189	0.255	1.699	0.065	0.121	0.003	0.081	0.019	0.269	0.119	
	P2 黒	0.000	2.861	3.051	82.140	2.488	6.315	0.192	0.286	2.044	0.099	0.143	0.004	0.103	0.033	0.054	0.186	
	P3 黒	0.000	2.241	4.441	84.211	2.029	4.650	0.174	0.088	1.513	0.063	0.116	0.002	0.102	0.023	0.181	0.164	
	P4 黒	0.021	3.354	2.696	81.713	2.856	6.266	0.191	0.294	2.043	0.108	0.163	0.005	0.088	0.026	0.000	0.180	
	P5 水色	3.379	2.348	2.888	81.101	2.239	5.777	0.163	0.246	1.471	0.064	0.110	0.001	0.067	0.019	0.000	0.126	
003	P6 白	0.000	0.812	18.667	72.266	1.746	1.629	0.543	0.095	3.912	0.035	0.042	0.005	0.070	0.021	0.079	0.077	
	平均	0.75	2.43	5.82	80.45	2.32	5.13	0.24	0.21	2.11	0.07	0.12	0.00	0.09	0.02	0.10	0.14	
	P1 灰色	0.782	2.132	3.017	84.254	1.302	5.201	0.131	0.064	1.915	0.114	0.354	0.003	0.095	0.020	0.014	0.603	
	P2 灰色	0.000	1.578	2.909	85.075	1.359	5.596	0.134	0.058	1.965	0.119	0.374	0.002	0.103	0.010	0.104	0.615	
	P3 灰色	0.000	1.969	2.885	84.691	1.423	5.636	0.137	0.066	1.964	0.122	0.369	0.001	0.099	0.011	0.000	0.627	
004	P4 水色	2.718	1.599	2.806	82.902	1.268	5.422	0.133	0.065	1.916	0.119	0.357	0.001	0.092	0.021	0.000	0.582	
	平均	0.88	1.82	2.90	84.23	1.34	5.46	0.13	0.06	1.94	0.12	0.36	0.00	0.10	0.02	0.03	0.61	
	004P01.SPX	2.279	3.254	3.871	79.920	1.694	5.918	0.164	0.207	1.333	0.058	0.157	0.002	0.081	0.010	0.094	0.959	
	004P02.SPX	0.000	3.074	3.878	82.410	1.632	5.983	0.145	0.220	1.359	0.052	0.151	0.003	0.100	0.021	0.000	0.973	
	004P03.SPX	1.238	3.405	4.097	80.684	1.664	6.029	0.158	0.205	1.354	0.053	0.150	0.003	0.089	0.011	0.000	0.860	
005	平均	1.17	3.24	3.95	81.00	1.66	5.98	0.16	0.21	1.35	0.05	0.15	0.00	0.09	0.01	0.03	0.93	
	005P1.SPX	7.164	4.401	2.456	73.906	2.306	8.188	0.139	0.054	1.274	0.004	0.006	0.002	0.083	0.011	0.004	0.002	
	005P2.SPX	1.680	3.879	2.526	80.205	2.189	7.859	0.157	0.055	1.333	0.005	0.004	0.001	0.085	0.018	0.000	0.004	
	005P3.SPX	4.032	2.780	3.392	79.241	1.935	7.117	0.147	0.045	1.173	0.000	0.002	0.001	0.080	0.014	0.040	0.001	
	平均	4.29	3.69	2.79	77.78	2.14	7.72	0.15	0.05	1.26	0.00	0.00	0.00	0.08	0.01	0.01	0.00	
006	P1 断面外側	0.000	0.905	0.473	38.832	0.152	0.019	0.006	0.002	0.039	0.004	0.288	0.005	0.000	0.181	0.065	59.029	
	P2 断面外側	0.000	1.280	0.698	24.624	0.153	0.003	0.005	0.001	0.047	0.009	0.341	0.000	0.000	0.140	0.188	72.511	
	P3 黒断面内側	0.000	1.259	0.320	25.132	0.104	0.018	0.000	0.008	0.047	0.002	0.351	0.053	0.000	0.211	0.040	72.454	
	平均	0.00	1.15	0.50	29.53	0.14	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.33	0.02	0.00	0.18	0.10	68.00	
	P1 黒	6.282	3.405	2.832	76.359	2.294	5.884	0.228	0.334	1.907	0.073	0.123	0.001	0.074	0.026	0.042	0.134	
007	P2 黒	6.456	3.293	2.748	76.465	2.356	5.725	0.250	0.310	1.808	0.063	0.119	0.004	0.074	0.029	0.162	0.139	
	P3 黒	4.577	4.338	2.675	77.204	2.249	6.096	0.231	0.306	1.907	0.073	0.126	0.001	0.074	0.015	0.000	0.126	
	P4 白斑点	3.772	3.494	2.942	78.136	2.514	6.107	0.253	0.293	1.926	0.065	0.129	0.002	0.076	0.024	0.136	0.129	
	平均	5.27	3.63	2.80	77.04	2.35	5.95	0.24	0.31	1.89	0.07	0.12	0.00	0.07	0.02	0.09	0.13	
	015P01.SPX	7.314	3.266	2.587	74.029	2.518	7.133	0.168	0.092	1.354	0.092	0.151	0.002	0.079	0.014	0.000	1.201	
015	015P02.SPX	6.560	2.832	2.524	74.464	2.620	7.460	0.180	0.099	1.377	0.094	0.144	0.001	0.119	0.045	0.000	1.481	
	015P03.SPX	6.388	2.891	2.847	74.697	2.551	7.419	0.169	0.095	1.357	0.098	0.145	0.002	0.077	0.023	0.000	1.242	
	平均	6.75	3.00	2.65	74.40	2.56	7.34	0.17	0.10	1.36	0.09	0.15	0.00	0.09	0.03	0.00	1.31	
	018P01.SPX	0.000	1.836	4.475	83.773	2.556	4.414	0.189	0.072	1.593	0.052	0.106	0.001	0.068	0.014	0.217	0.634	
	018P02.SPX	1.441	2.220	3.931	82.643	2.577	4.419	0.178	0.100	1.618	0.047	0.105	0.001	0.066	0.016	0.021	0.615	
018	018P03.SPX	0.000	1.870	4.120	85.245	2.169	4.050	0.186	0.064	1.493	0.045	0.093	0.003	0.060	0.019	0.020	0.562	
	平均	0.48	1.98	4.18	83.89	2.43	4.29	0.18	0.08	1.57	0.05	0.10	0.00	0.06	0.02	0.09	0.60	
	019P01.SPX	0.000	0.200	0.884	88.900	4.245	1.508	0.218	2.346	1.587	0.053	0.020	0.018	0.012	0.007	0.000	0.002	
	019P02.SPX	0.000	0.525	1.459	88.501	3.818	1.455	0.179	2.246	1.530	0.050	0.020	0.013	0.013	0.002	0.183	0.003	
	019P03.SPX	0.000	0.670	1.371	88.376	3.885	1.472	0.165	2.268	1.502	0.054	0.021	0.012	0.013	0.000	0.188	0.002	
019	平均	0.00	0.47	1.24	88.59	3.98	1.48	0.19	2.29	1.54	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00	
	020P01.SPX	2.262	0.268	7.927	80.482	3.097	2.639	0.620	0.050	1.533	0.002	0.776	0.006	0.077	0.122	0.131	0.009	
	020P02.SPX	0.000	0.000	7.816	82.985	3.013	2.777	0.624	0.055	1.589	0.007	0.775	0.004	0.074	0.113	0.167	0.001	
	020P03.SPX	0.000	0.190	8.193	82.047	3.373	2.700	0.662	0.053	1.632	0.008	0.786	0.006	0.078	0.100	0.170	0.001	
	平均	0.75	0.15	7.98	81.84	3.16	2.71	0.64	0.05	1.58	0.01	0.78	0.01	0.08	0.11	0.16	0.00	
021	021P01.SPX	4.766	2.824	2.987	72.536	1.940	7.213	0.188	0.171	1.453	0.015	2.571	0.006	0.103	0.021	0.479	2.726	
	021P02.SPX	2.607	3.137	3.060	73.745	1.959	7.501	0.193	0.140	1.469	0.007	2.738	0.003	0.098	0.020	0.499	2.824	
	021P03.SPX	6.980	2.856	2.774	70.674	1.878	7.273	0.181	0.120	1.381	0.012	2.436	0.003	0.096	0.023	0.590	2.724	
	平均	4.78	2.94	2.94	72.32	1.93	7.33	0.19	0.14	1.43	0.01	2.58	0.00	0.10	0.02	0.52	2.76	
	025P1.SPX	7.304	3.044	2.427	74.020	1.930	6.949	0.182	0.230	1.600	0.074	0.174	0.001	0.084	0.031	0.128	1.819	
025	025P2.SPX	4.850	3.352	3.172	75.270	1.846	7.100	0.177	0.234	1.667	0.074	0.165	0.001	0.078	0.014	0.166	1.833	
	025P3.SPX	7.268	3.114	2.645	73.688	1.839	6.773	0.185	0.263	1.633	0.069	0.204	0.003	0.081	0.027	0.209	1.998	
	平均	6.47	3.17	2.75	74.33	1.87	6.94	0.18	0.24									

表3 蛍光X線分析結果(2)

化学式		質量濃度(%)															
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	CoO	CuO	Rb2O	SrO	ZrO2	SnO2	PbO
108	108P01.SPX	5.858	3.320	2.418	78.562	2.204	5.353	0.199	0.162	1.523	0.052	0.120	0.002	0.086	0.027	0.000	0.113
	108P02.SPX	5.357	3.906	2.432	78.339	2.233	5.385	0.205	0.166	1.496	0.048	0.117	0.001	0.079	0.028	0.086	0.124
	108P03.SPX	1.677	3.269	2.408	81.726	2.458	5.949	0.214	0.178	1.674	0.063	0.132	0.001	0.095	0.031	0.000	0.126
	平均	4.30	3.50	2.42	79.54	2.30	5.56	0.21	0.17	1.56	0.05	0.12	0.00	0.09	0.03	0.03	0.12
109	109P01.SPX	3.663	2.733	2.949	81.156	2.029	5.069	0.152	0.077	1.434	0.061	0.102	0.003	0.094	0.020	0.310	0.148
	109P02.SPX	1.954	2.845	2.860	83.332	2.079	4.859	0.146	0.081	1.410	0.062	0.102	0.001	0.092	0.019	0.001	0.157
	109P03.SPX	0.001	3.035	2.705	84.815	2.130	5.070	0.164	0.081	1.531	0.071	0.106	0.002	0.097	0.020	0.000	0.171
	平均	1.87	2.87	2.84	83.10	2.08	5.00	0.15	0.08	1.46	0.06	0.10	0.00	0.09	0.02	0.10	0.16
110	P1 黒	3.335	3.538	2.636	80.654	1.682	5.368	0.179	0.205	1.700	0.088	0.149	0.002	0.090	0.019	0.150	0.204
	P2 黒	0.000	3.826	3.075	82.915	1.779	5.545	0.194	0.219	1.790	0.099	0.160	0.003	0.092	0.020	0.062	0.220
	P3 黒	4.779	3.482	2.594	79.735	1.609	5.217	0.175	0.203	1.651	0.096	0.145	0.002	0.086	0.032	0.000	0.195
	P4 白	0.000	1.761	9.336	79.361	1.919	4.857	0.236	0.186	1.884	0.078	0.123	0.002	0.073	0.026	0.000	0.159
	P5 白	3.007	3.570	2.801	81.334	1.747	4.883	0.185	0.193	1.710	0.096	0.155	0.002	0.091	0.028	0.000	0.198
	P6 白	0.000	1.712	9.073	80.742	1.673	2.812	0.271	0.112	3.135	0.050	0.084	0.003	0.081	0.030	0.048	0.173
	P7 白	0.000	1.790	7.298	81.752	1.759	3.626	0.453	0.144	2.682	0.067	0.112	0.004	0.096	0.035	0.000	0.181
	平均	1.59	2.81	5.26	80.93	1.74	4.62	0.24	0.18	2.08	0.08	0.13	0.00	0.09	0.03	0.04	0.19
111	111P01.SPX	7.039	4.631	3.366	73.737	2.194	6.593	0.162	0.082	1.489	0.039	0.098	0.003	0.083	0.022	0.000	0.463
	111P02.SPX	7.151	3.744	3.423	74.244	2.390	6.238	0.147	0.091	1.389	0.053	0.158	0.002	0.079	0.011	0.271	0.607
	111P03.SPX	7.268	3.598	3.514	73.673	2.221	7.158	0.184	0.074	1.531	0.036	0.082	0.001	0.103	0.020	0.115	0.422
	平均	7.15	3.99	3.43	73.88	2.27	6.66	0.16	0.08	1.47	0.04	0.11	0.00	0.09	0.02	0.13	0.50
112	112P01.SPX	4.775	3.588	3.353	77.054	2.619	6.406	0.128	0.083	1.270	0.044	0.103	0.002	0.091	0.017	0.017	0.452
	112P02.SPX	4.511	3.261	3.719	77.227	2.552	6.368	0.144	0.096	1.284	0.045	0.114	0.001	0.089	0.018	0.079	0.491
	112P03.SPX	2.747	2.892	3.515	78.789	2.733	6.795	0.149	0.103	1.368	0.051	0.124	0.001	0.106	0.020	0.105	0.502
	平均	4.01	3.25	3.53	77.69	2.63	6.52	0.14	0.09	1.31	0.05	0.11	0.00	0.10	0.02	0.07	0.48
113	113P01.SPX	3.803	2.174	4.332	79.043	2.269	5.819	0.189	0.258	1.446	0.030	0.106	0.002	0.081	0.018	0.000	0.431
	113P02.SPX	0.000	2.449	4.129	80.652	2.382	6.588	0.205	0.405	1.876	0.057	0.205	0.004	0.095	0.020	0.079	0.855
	113P03.SPX	3.850	2.708	3.614	78.284	2.206	6.112	0.176	0.365	1.615	0.044	0.165	0.001	0.077	0.017	0.081	0.683
	平均	2.55	2.44	4.03	79.33	2.29	6.17	0.19	0.34	1.65	0.04	0.16	0.00	0.08	0.02	0.05	0.66
114	114P01	6.837	4.426	3.267	71.597	1.898	7.349	0.209	0.147	1.893	0.110	0.256	0.002	0.098	0.027	0.001	1.883
	114P02	6.925	3.644	3.184	71.563	2.025	7.361	0.215	0.171	1.973	0.122	0.340	0.004	0.094	0.019	0.057	2.303
	114P03	6.772	4.627	3.499	71.150	1.955	7.348	0.217	0.145	1.925	0.096	0.256	0.003	0.106	0.027	0.065	1.811
	平均	6.84	4.23	3.32	71.44	1.96	7.35	0.21	0.15	1.93	0.11	0.28	0.00	0.10	0.02	0.04	2.00
115	115P01.SPX	2.827	3.886	2.874	78.086	2.374	6.350	0.129	0.215	1.206	0.040	0.135	0.001	0.099	0.016	0.114	1.648
	115P02.SPX	2.777	4.019	2.792	77.866	2.484	6.226	0.129	0.216	1.195	0.041	0.147	0.002	0.097	0.020	0.303	1.688
	115P03.SPX	5.038	3.999	2.429	76.839	2.293	5.950	0.123	0.190	1.139	0.044	0.132	0.002	0.073	0.015	0.242	1.493
	平均	3.55	3.97	2.70	77.60	2.38	6.18	0.13	0.21	1.18	0.04	0.14	0.00	0.09	0.02	0.22	1.61
116	116P01.SPX	7.218	3.213	2.949	73.751	2.265	7.337	0.160	0.072	1.566	0.090	0.183	0.002	0.069	0.025	0.000	1.101
	116P02.SPX	7.246	3.489	2.416	74.046	2.384	7.177	0.171	0.074	1.541	0.086	0.183	0.003	0.072	0.020	0.000	1.092
	116P03.SPX	7.090	4.155	2.634	72.828	2.350	7.531	0.169	0.078	1.644	0.090	0.173	0.001	0.069	0.024	0.000	1.164
	平均	7.18	3.62	2.67	73.54	2.33	7.35	0.17	0.07	1.58	0.09	0.18	0.00	0.07	0.02	0.00	1.12
118	118P01.SPX	4.405	3.297	3.321	76.980	3.487	5.771	0.188	0.076	1.608	0.038	0.121	0.002	0.065	0.014	0.000	0.628
	118P02.SPX	4.821	3.220	3.796	76.251	3.445	5.644	0.170	0.084	1.552	0.041	0.112	0.002	0.053	0.019	0.193	0.598
	118P03.SPX	4.698	3.622	3.680	75.878	3.415	5.826	0.187	0.083	1.657	0.036	0.125	0.003	0.053	0.015	0.130	0.591
	平均	4.64	3.38	3.60	76.37	3.45	5.75	0.18	0.08	1.61	0.04	0.12	0.00	0.06	0.02	0.11	0.61
119	119P01.SPX	2.739	3.516	2.416	77.936	2.192	7.721	0.160	0.072	1.849	0.093	0.190	0.002	0.086	0.005	0.123	0.901
	119P02.SPX	4.795	3.837	2.202	76.593	2.099	7.224	0.145	0.075	1.745	0.089	0.166	0.001	0.086	0.019	0.070	0.853
	119P03.SPX	7.334	3.635	2.423	74.157	2.065	7.200	0.150	0.067	1.646	0.086	0.173	0.002	0.077	0.016	0.151	0.818
	平均	4.96	3.66	2.35	76.23	2.12	7.38	0.15	0.07	1.75	0.09	0.18	0.00	0.08	0.01	0.11	0.86
120	120P01.SPX	0.000	0.000	8.452	82.328	2.312	2.516	0.672	0.389	1.809	0.005	1.009	0.008	0.077	0.163	0.101	0.161
	120P02.SPX	0.000	0.222	8.289	82.194	2.375	2.454	0.678	0.391	1.778	0.009	1.101	0.009	0.061	0.135	0.147	0.157
	120P03.SPX	0.000	0.000	8.633	82.337	2.289	2.439	0.625	0.368	1.745	0.010	1.032	0.004	0.067	0.139	0.175	0.135
	平均	0.00	0.07	8.46	82.29	2.33	2.47	0.66	0.38	1.78	0.01	1.05	0.01	0.07	0.15	0.14	0.15
121	121P01.SPX	0.032	2.151	2.964	82.472	1.382	7.544	0.247	0.509	1.929	0.138	0.176	0.002	0.117	0.049	0.000	0.287
	121P02.SPX	0.000	1.674	2.683	83.291	1.434	7.550	0.243	0.471	1.872	0.131	0.171	0.004	0.141	0.060	0.000	0.275
	121P03.SPX	3.737	2.416	2.960	79.316	1.482	7.066	0.228	0.456	1.684	0.119	0.147	0.003	0.106	0.042	0.000	0.237
	平均	1.26	2.08	2.87	81.69	1.43	7.39	0.24	0.48	1.83	0.13	0.16	0.00	0.12	0.05	0.00	0.27
122	12201.SPX	6.984	3.923	3.767	72.442	3.609	6.075	0.198	0.083	1.918	0.059	0.119	0.002	0.063	0.014	0.000	0.745
	12202.SPX	5.266	3.256	4.178	73.908	3.748	6.428	0.200	0.082	1.973	0.055	0.126	0.001	0.063	0.013	0.000	0.701
	12203.SPX	1.332	3.401	4.003	76.945	3.894	6.717	0.212	0.0								

表4 蛍光X線分析結果(3)

番号	材質	特徴	分類	製作方法	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	CaO	CuO	Rb2O	SrO	ZrO2	SnO2	PbO
平均値のみ・種類ごとに並べ直し																				
質量濃度(%)																				
006	鉛			巻き付け	0.00	1.15	0.50	29.53	0.14	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.33	0.02	0.00	0.18	0.10	68.00
019	カリ	中アルミナ	PI	引き伸ばし	0.00	0.47	1.24	88.59	3.98	1.48	0.19	2.29	1.54	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00
053	カリ	中アルミナ	PI	引き伸ばし	0.05	0.52	1.71	86.35	5.87	1.33	0.23	1.72	1.97	0.07	0.04	0.03	0.01	0.00	0.08	0.00
183	カリ	高アルミナ	PII	引き伸ばし	0.00	0.00	4.37	82.58	9.19	0.26	0.18	0.01	0.66	0.00	1.71	0.08	0.00	0.03	0.31	0.62
020	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	0.75	0.15	7.98	81.84	3.16	2.71	0.64	0.05	1.58	0.01	0.78	0.01	0.08	0.11	0.16	0.00
075	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	1.37	0.34	7.51	82.46	2.48	2.44	0.68	0.06	1.69	0.01	0.67	0.01	0.07	0.15	0.07	0.00
120	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	0.00	0.07	8.46	82.29	2.33	2.47	0.66	0.38	1.78	0.01	1.05	0.01	0.07	0.15	0.14	0.15
134	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	0.97	0.18	7.71	78.53	2.58	5.67	0.60	0.19	2.06	0.01	1.03	0.01	0.07	0.16	0.15	0.07
182	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	6.70	0.18	8.56	71.83	1.96	2.66	0.64	0.08	2.29	0.01	1.09	0.01	0.08	0.21	0.47	3.22
184	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	0.86	0.18	8.02	82.88	1.69	2.81	0.65	0.05	1.62	0.01	0.92	0.01	0.08	0.16	0.06	0.00
185	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	1.11	0.46	10.60	78.98	3.15	2.32	0.67	0.10	1.80	0.01	0.43	0.01	0.08	0.17	0.10	0.01
235	ソーダ	高アルミナ	SII	引き伸ばし	0.37	0.86	4.93	84.44	1.78	1.54	0.65	0.81	2.21	0.01	2.09	0.01	0.04	0.17	0.08	0.01
003	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	0.88	1.82	2.90	84.23	1.34	5.46	0.13	0.06	1.94	0.12	0.36	0.00	0.10	0.02	0.03	0.61
004	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	1.17	3.24	3.95	81.00	1.66	5.98	0.16	0.21	1.35	0.05	0.15	0.00	0.09	0.01	0.03	0.93
007	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	5.27	3.63	2.80	77.04	2.35	5.95	0.24	0.31	1.89	0.07	0.12	0.00	0.07	0.02	0.09	0.13
015	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	6.75	3.00	2.65	74.40	2.56	7.34	0.17	0.10	1.36	0.09	0.15	0.00	0.09	0.03	0.00	1.31
027	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	6.17	3.45	2.35	76.20	2.07	6.89	0.16	0.27	1.48	0.06	0.12	0.00	0.08	0.02	0.06	0.62
041	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	0.88	2.62	4.02	82.00	2.87	4.91	0.16	0.09	1.49	0.03	0.12	0.00	0.06	0.01	0.25	0.50
098	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	0.65	1.02	2.75	83.96	0.84	7.28	0.32	0.35	1.62	0.06	0.17	0.00	0.11	0.05	0.05	0.77
101	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	7.11	3.83	2.05	75.24	2.48	6.32	0.12	0.16	1.38	0.06	0.28	0.00	0.07	0.01	0.01	0.89
107	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	0.37	1.90	2.70	84.58	2.37	5.44	0.15	0.11	1.72	0.09	0.17	0.00	0.08	0.02	0.09	0.21
108	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	4.30	3.50	2.42	79.54	2.30	5.56	0.21	0.17	1.56	0.05	0.12	0.00	0.09	0.03	0.03	0.12
109	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	1.87	2.87	2.84	83.10	2.08	5.00	0.15	0.08	1.46	0.06	0.10	0.00	0.09	0.02	0.10	0.16
110	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	1.59	2.81	5.26	80.93	1.74	4.62	0.24	0.18	2.08	0.08	0.13	0.00	0.09	0.03	0.04	0.19
112	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	4.01	3.25	3.53	77.69	2.63	6.52	0.14	0.09	1.31	0.05	0.11	0.00	0.10	0.02	0.07	0.48
121	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	1.26	2.08	2.87	81.69	1.43	7.39	0.24	0.48	1.83	0.13	0.16	0.00	0.12	0.05	0.00	0.27
122	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	4.53	3.53	3.98	74.43	3.75	6.41	0.20	0.09	2.02	0.06	0.13	0.00	0.06	0.02	0.06	0.74
125	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	0.00	1.43	2.51	84.51	1.61	6.51	0.21	0.38	2.04	0.12	0.23	0.00	0.09	0.03	0.07	0.25
219	ソーダ		SIIIB	引き伸ばし	6.88	3.70	3.80	71.20	3.26	7.41	0.22	0.19	1.95	0.06	0.13	0.00	0.08	0.02	0.06	1.03
018	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	0.48	1.98	4.18	83.89	2.43	4.29	0.18	0.08	1.57	0.05	0.10	0.00	0.06	0.02	0.09	0.60
021	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	4.78	2.94	2.94	72.32	1.93	7.33	0.19	0.14	1.43	0.01	2.58	0.00	0.10	0.02	0.52	2.76
025	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	6.47	3.17	2.75	74.33	1.87	6.94	0.18	0.24	1.63	0.07	0.18	0.00	0.08	0.02	0.17	1.88
040	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	3.02	3.80	2.63	79.93	1.97	5.94	0.13	0.10	1.21	0.05	0.14	0.00	0.09	0.02	0.20	0.78
061	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	5.19	3.22	3.25	76.63	2.54	6.03	0.19	0.15	1.48	0.06	0.14	0.00	0.09	0.03	0.00	1.01
074	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	6.34	3.88	3.71	73.28	2.06	7.69	0.18	0.25	1.82	0.06	0.11	0.00	0.09	0.02	0.00	0.50
076	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	2.46	2.93	3.23	73.81	2.07	6.49	0.17	0.10	1.40	0.01	2.15	0.00	0.10	0.02	0.60	4.46
099	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	3.32	3.82	2.54	79.03	2.46	5.83	0.14	0.08	1.32	0.05	0.17	0.00	0.09	0.02	0.04	1.09
111	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	7.15	3.99	3.43	73.88	2.27	6.66	0.16	0.08	1.47	0.04	0.11	0.00	0.09	0.02	0.13	0.50
113	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	2.55	2.44	4.03	79.33	2.29	6.17	0.19	0.34	1.65	0.04	0.16	0.00	0.08	0.02	0.05	0.66
114	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	6.84	4.23	3.32	71.44	1.96	7.35	0.21	0.15	1.93	0.11	0.28	0.00	0.10	0.02	0.04	2.00
115	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	3.55	3.97	2.70	77.60	2.38	6.18	0.13	0.21	1.18	0.04	0.14	0.00	0.09	0.02	0.22	1.61
116	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	7.18	3.62	2.67	73.54	2.33	7.35	0.17	0.07	1.58	0.09	0.18	0.00	0.07	0.02	0.00	1.12
118	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	4.64	3.38	3.60	76.37	3.45	5.75	0.18	0.08	1.61	0.04	0.12	0.00	0.06	0.02	0.11	0.61
119	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	4.96	3.66	2.35	76.23	2.12	7.38	0.15	0.07	1.75	0.09	0.18	0.00	0.08	0.01	0.11	0.86
126	ソーダ		SIIIC	変則的引き伸ばし	7.13	3.79	3.21	73.08	2.46	6.95	0.19	0.14	1.55	0.08	0.15	0.00	0.11	0.03	0.06	1.06
001	ソーダ			巻き付け	0.76	2.20	2.97	82.81	2.94	5.47	0.14	0.08	1.49	0.12	0.21	0.00	0.09	0.01	0.16	0.55
005	ソーダ			巻き付け	4.29	3.69	2.79	77.78	2.14	7.72	0.15	0.05	1.26	0.00	0.00	0.00	0.08	0.01	0.01	0.00
227	ソーダ			巻き付け	0.00	2.99	2.72	85.76	1.77	4.33	0.21	0.14	1.59	0.08	0.11	0.00	0.08	0.04	0.00	0.18
232	ソーダ			巻き付け	0.00	1.66	3.72	82.74	2.90	5.89	0.17	0.09	1.71	0.14	0.21	0.00	0.10	0.02	0.10	0.56
002	ソーダ	トンボ玉		融着	0.75	2.43	5.82	80.45	2.32	5.13	0.24	0.21	2.11	0.07	0.12	0.00	0.09	0.02	0.10	0.14

の中に資料を固定して、計測が行い易いように固定した。計測条件は、X線管電圧 30kV、管電流 1mA、X線照射径 100 μ m、測定時間 300 秒とし、大気中で計測した。定量は、同措置に備え付けのソフトによる、スタンダードレス法による。

同装置の自動定量では、一定数値以下のものは、非検出と判断される場合があった。そのため、微量成分の検討が可能となるよう、飛鳥寺塔心礎出土ガラス玉の検討（田村編 2016）などで示されている 16 元素について、定量することとした。16 元素について、酸化物の濃度として算出している。同装置は大気中で測定するため、真空中での測定結果とは、測定精度が異なる。今回は、ガラスの標準試料を準備して測定することができなかったため、既存の計測データと、測定数値を細かく比較することは難しい。今回計測した資料間での比較検討を基本とし、既往の研究成果を参考として、基礎ガラスの材質を中心に検討したい。

蛍光X線分析の結果を、表2・表3に示す。表の左端の欄が資料番号で、その右の欄は計測場所のメモである。分析ポイントの番号に加えて、分析時のディスプレイ上で認識された特徴が記されている。そのため、「白」や「黒」などの記載は、実際の色を示すものではなく、白っぽく見える部分という意味である。表2・表3では、測定ポイントごとの計測データと、それらの平均値を示している。測定場所の違いによる計測値は、資料によって変位が大きいものもあるが、その傾向や要因を明確に示すことは難しい。表面の風化程度の違い、ガラス内部の部位による違いなど、様々な要因が重なっているものと思われる。そのため、数値の厳密性には課題が残るが、おおむね傾向を示していると考え、平均値で代表させることとしたい。表4は、平均値だけを取り出し、判り易いように、推定される種類ごとに並べ直したものである。

測定値を見ると、Q-006 の PbO の数値だけが飛び抜けて大きく、鉛ガラスと判断できる。Q-006 はほぼ半分のところまで割れており、孔内面の観察が容易である。孔内面には付着物が残っており、鋳型法か巻き付け法による製作時の芯棒の剥離剤の可能性がある。気泡が並ぶ状態が明確には観察できず、比較的散在するように観察されたため鋳型法の可能性も考慮したが、直径が 8.9mm とやや大型であることから、巻き付け法の可能性が高いと推定した。これ以下の検討では本資料は除外し、残る 49 点について検討する。これら 49 点の測定値を比較するために、3 種類のグラフを作成し、図6に示した。

MgO-K2O のグラフを見ると、Q-183 と Q-053 が、他より大きく外れていることが判る。MgO が少なく、K2O が多いもので、この点からカリガラスと考えられる（大賀・田村 2016）。Q-019 も K2O の数値がやや高いが判別が難しい。他の数値を見ると、Q-019 と Q-053 は全体に類似するため、Q-019 もカリガラスと判断した。3 点とも、引き伸ばし法の a 類である。カリガラスはこれまで大賀・田村による研究で、Al₂O₃ と CaO の含有量から二種類に大別され、Group P I と Group P II とされている。Group P I は、Al₂O₃ と CaO の含有量がともに中程度、コバルトで着色された紺色透明を呈する。Group P II は、Al₂O₃ の含有量が比較的多く CaO の含有量が少ないもので、銅で着色された淡青色～淡青緑色透明を呈する。Al₂O₃-CaO のグラフを見ると、Q-019・Q-053 は Al₂O₃ の数値が小さいが、Q-183 はやや高い。Q-019・Q-053 が Group P I に相当し、Q-183 が Group P II に相当すると考えられる。Q-183 は、淡青色透明で CuO の数値が高いことも対応する。

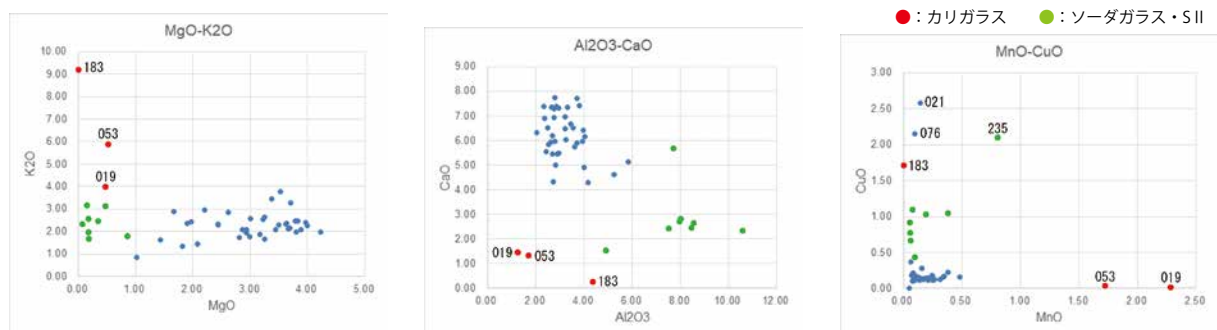


図6 材質の比較

これら鉛ガラスとカリガラスを除く 46 点は、巻き付け法の 4 点と融着法の 1 点を含めて、いずれもソーダガラスと考えられる。次に、ソーダガラスの中での細かな種類について見ていきたい。

再び MgO-K₂O のグラフを見ると、緑色で示した 8 点が、MgO の値が小さいものでまとまっている。Al₂O₃-CaO のグラフでも、Al₂O₃ の数値が高く、CaO が低いところにまとまっている。これら 8 点は、この特徴から、大賀・田村による研究で Group SⅡとされたものに相当する。従来、高アルミナタイプのソーダガラスと呼ばれてきたものである。一部がまとまりから少し離れたところに位置しているが、TiO₂ の数値を見ると、これら 8 点だけが 0.6% を越えており、明確に他のものと異なる。Group SⅡは TiO₂ の含有量が他のものより相対的に多いことが指摘されており、この点からみても対応している。Group SⅡは、着色剤と流通時期から Group SⅡA と Group SⅡB に分けられている。この 8 点は、CoO がほとんど含有されていないことから、コバルト着色による Group SⅡA ではなく、さまざまな着色剤が使用され色調の多様性が大きい Group SⅡB に相当する可能性が高いと考えられる。この 8 点は引き伸ばし法の a 類で製作されており、直径が 6mm を越えるものは含まれておらず、小型のもので占められている。淡青色、紺色、緑色がある。CuO の数値が全般にやや高く、青色系のものの着色剤として銅が使用された可能性が考えられる。Q-235 は、特に CuO の数値が高く、MnO も高い。Q-182 は、SnO₂ と PbO の数値が大きい。X線CT画像でも特徴的な画像が得られており、着色剤との関係で、更なる検討が必要な資料である。

残る 38 点は、ソーダガラスの中でも、低アルミナ・高カルシウムを特徴とする、Group SⅢとされてきたものに相当すると判断した。図 6 のグラフで、青色で示したものである。巻き付け法のものが 4 点、融着法のものが 1 点含まれているが、これらの素材に、Group SⅢのガラス玉が、二次的に使用されていた可能性もある。

Group SⅢは、A・B・C に細分されている。Group SⅢA は、特殊な製作方法によるものなので、今回の資料には該当しない。Group SⅢB は、引き伸ばし法の b 類とされた、吹き技法によって製作されたものである。Group SⅢC は、引き伸ばし法の c 類とされている、変則的な引き伸ばし法で製作されたものである。一方の端が丸みをおび、反対側は比較的平坦な、非対称な形状を示すことや、孔表面が荒れていることが特徴である。

Group SⅢB と Group SⅢC の区分は、この製作方法の違い、すなわち引き伸ばし法の b 類と c 類の違いによって行った。b 類は、典型的な形状を示す際は、認識は容易である。非対称な形状や孔内面の荒れが明瞭な場合は、c 類の認識は容易である。しかし、これらの特徴が不明瞭な場合は、b 類と c 類の区別は難しい場合もある。判断に迷ったものもあるが、表 4 に示したように、Group SⅢB が 17 点、Group SⅢC が 16 点と判断した。

Group SⅢB は、紺色のもので占められており、直径 6mm を越える、やや大きなものが主体となる。これらは、両端面までつながる気泡筋が、明瞭に観察されるものが多い。直径が 6mm 以下の小型のものもあるが、これらの中には気泡筋があまり明瞭でないものもある。両端面が平坦に研磨されているものが多く、特に大きなものはほとんどが端面を研磨する。

Group SⅢC は、色調が多彩であることが指摘されているが、今回の資料では、紺色のものに加えて、緑色を呈するものが含まれていた。Group SⅢC は、Group SⅢB と比べると MgO の値が高くなることが指摘されている。今回の資料の分析値を見ると、MgO の値が高いものは、Group SⅢC に多く、Group SⅢB では少ない傾向はあるが、両者で明確に分かれることはない。Group SⅢC の紺色のもものは、PbO の含有量が Group SⅢB よりも多いことが指摘されている。PbO の数値を見ると、Group SⅢC の値は、Group SⅢB より高いものが多いことは間違いがないが、両者で明確に分かれることはない。Q-021 と Q-076 は、CuO の数値が高く、PbO の数値も高い。この 2 点は濃い緑色を呈するもので、着色剤の違いを反映したのと考えられる。

材質	分類	
鉛	巻付け	 Q006
カリ	P I	  Q019 Q053
	P II	 Q183
ソーダ	S II	        Q020 Q075 Q120 Q134 Q182 Q184 Q185 Q235
	S III b	         Q003 Q004 Q007 Q015 Q027 Q041 Q098 Q101 Q107         Q108 Q109 Q110 Q112 Q121 Q122 Q125 Q219
	S III c	        Q018 Q021 Q025 Q040 Q061 Q074 Q076 Q099         Q111 Q113 Q114 Q115 Q116 Q118 Q119 Q126
	巻付け	    Q001 Q005 Q227 Q232
	トンボ玉	 Q002

図7 ガラス玉の分類

以上の所見を踏まえて、鋳型法以外の50点の分類を示したのが図7である。種類ごとの点数と割合を以下に記す。また引き伸ばし法によるガラスについては、これまでの研究によって、生産地と日本列島への流入時期が検討されているので、合わせてそれらも記すと次のようになる。なお、Group P I・P II・S IIは、南アジアを起源とし東南アジアに広がっていった、インド・パシフィックビーズと呼ばれるものである。

鉛ガラス・巻き付け：1点（0.42%）

カリガラス・Group P I：2点（0.84%）：南アジア：B. C. 3c～（A. D. 5c）

カリガラス・Group P II：1点（0.42%）：ベトナム北半～中国南部：B. C. 1c～（A. D. 3c）

ソーダガラス・Group S II：8点（3.36%）：南アジア、東南アジア：A. D. 4c～6c

ソーダガラス・Group S III B：17点（7.14%）：中央アジア～西アジア：latter A. D. 5c～6c

ソーダガラス・Group S III C：16点（6.72%）：中央アジア～西アジア：early A. D. 7c

ソーダガラス・巻き付け：4点（1.68%）

ソーダガラス・融着（トンボ玉）：1点（0.42%）

鋳型：188点（78.99%）

4 X線CTで得られた知見

上記したように、X線CTは、内部の状態を観察できると同時に、3次元形状を詳細に観察する点でも有効な方法である。ガラス玉については、まだ知見が蓄積されていない段階であるため、今回は様々な種類のガラス玉を対象に、どのような知見が得られるかを試すためにX線CT撮影を行うこととした。想定した主な目的は、1) 各種技法のガラス玉の気泡の状態を3次的に観察すること、2) 非対称タイプの、孔内面の荒れた状態を詳細に観察すること、3) 鋳型で製作されたガラス玉の小突起などの詳細な表面形状や不均質な材質を観察すること、などである。これまでに行われてきた製作方法での分類に代わるものではないが、それを補強する材料が得られるのではないかという期待から、試みたものである。したがって悉皆的に撮影するのではなく、各タイプからサンプルとして、数点ずつ抽出して撮影し検討することとし、次の19点を撮影し観察を試みた。

鋳型：Q-163・Q-165・Q-167・Q-171・Q-173・Q-175・Q-181・Q-213（8点）

カリガラス・Group P I：Q-019・Q-053（2点）

ソーダガラス・Group S II：Q-020・Q-120・Q-182（3点）

ソーダガラス・Group S III B：Q-007・Q-109（2点）

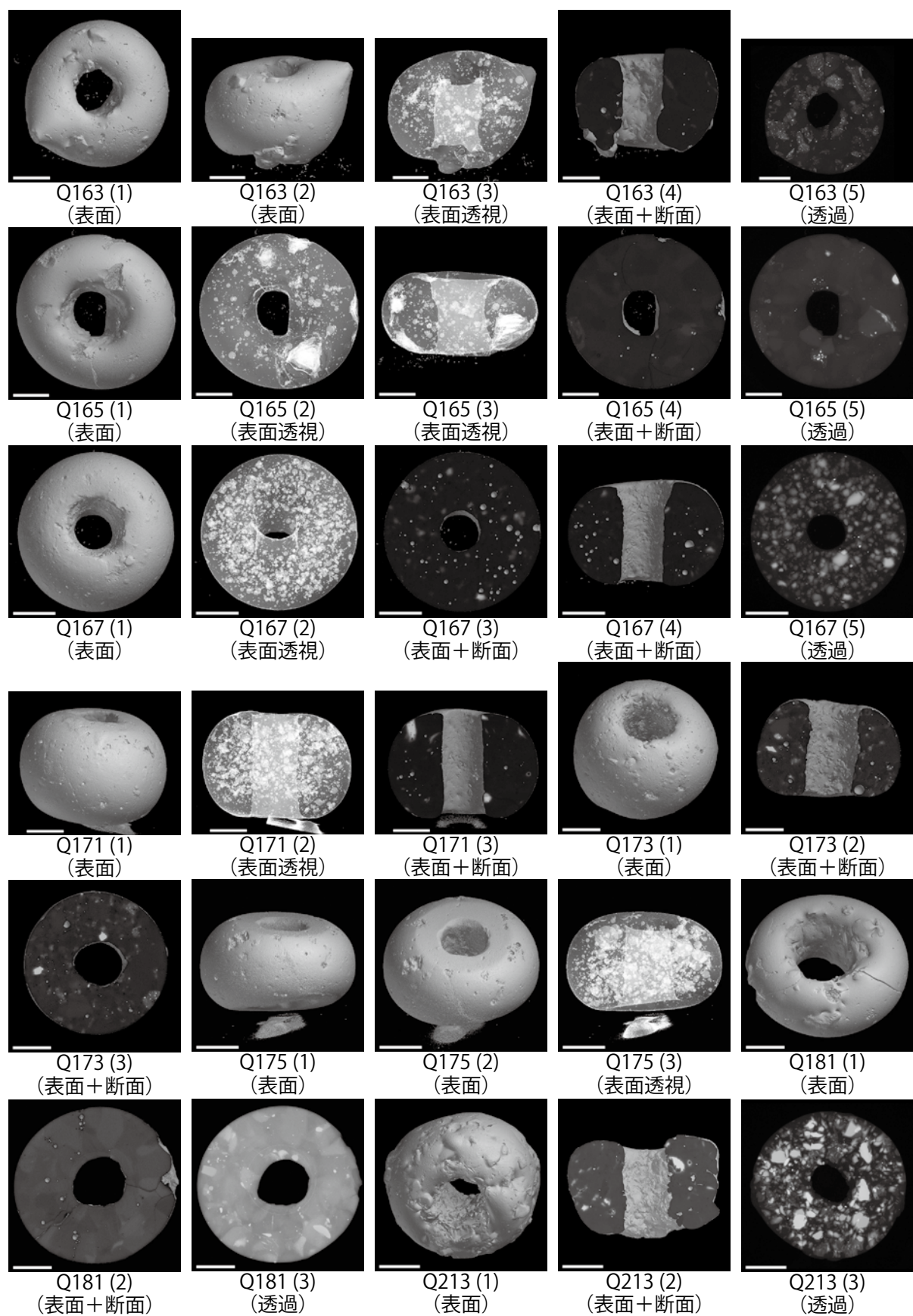
ソーダガラス・Group S III C：Q-021・Q-115（2点）

ソーダガラス・巻き付け：Q-005（1点）

ソーダガラス・融着（トンボ玉）：Q-002（1点）

東北大学総合学術博物館には、X線CT撮影装置が2台設置されており、学内共同利用施設として運用されている。その内の、コムスキャンテクノ製の高出力大型標本用装置ScanXmate-D180RSS270を使用した4)。管電圧は比較的大きなQ-002・005・007・109・115の5点は90kV、これら以外の小さなものは80kV、管電流はいずれも200μA、投影数を360°あたり2000として撮影した。conCTexpress（コムスキャンテクノ、日本）を用いて、断層像を等倍で再構成した。これらの断層像からMolcerPlus（White Rabbit、日本）を用いて3次元モデルを作成し可視化した。拡大撮影の程度によって解像度は変化するため、次のように解像度は異なっている。

Q-002・Q-005：10.310μm、Q-007：7.112μm、Q-109：5.787μm、Q-019・Q-115：5.408μm、これら以外は3.894μm。



(スケールバーの長さ 1 mm)

図8 鋳型法のガラス玉のX線CT画像

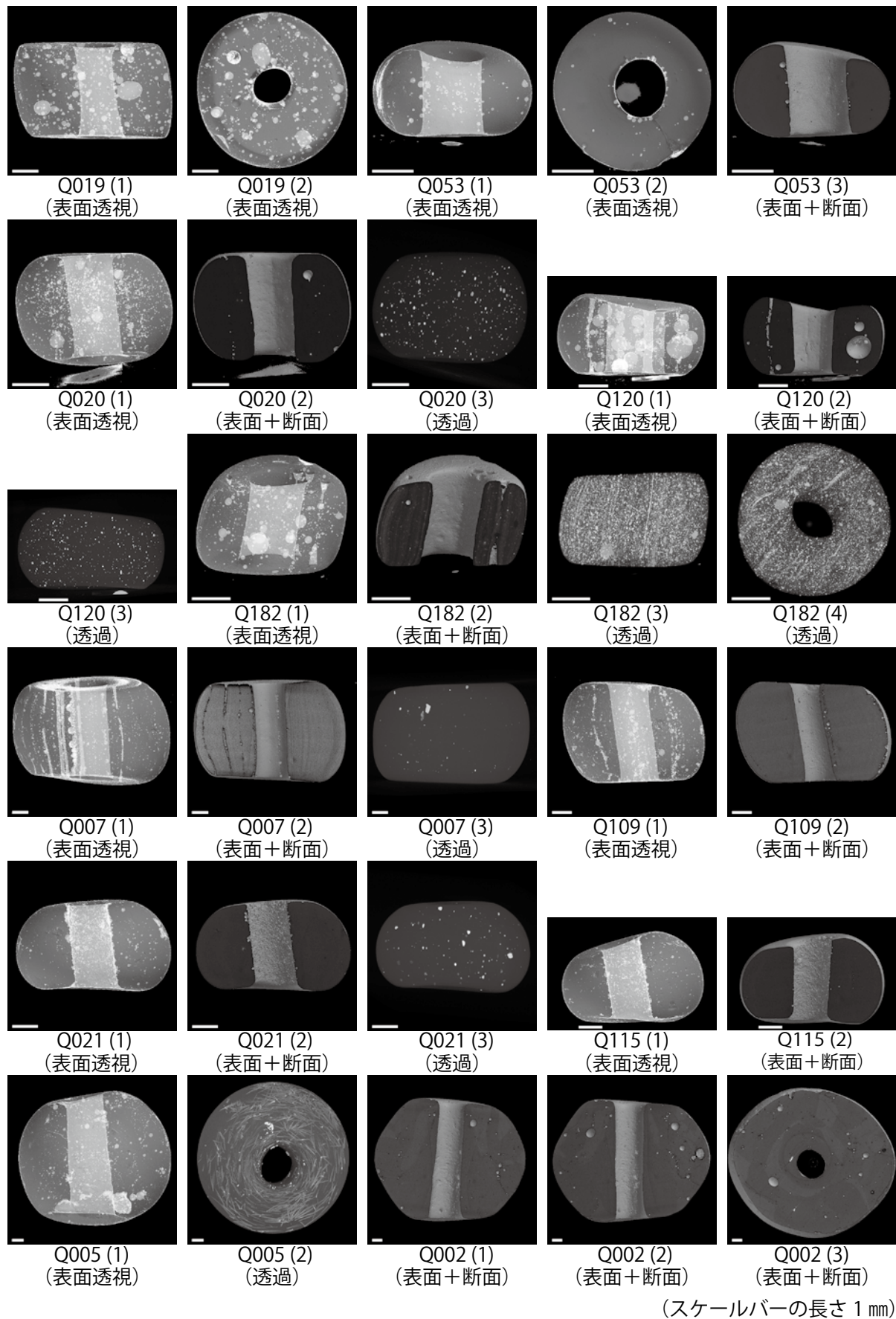


図9 鋳型法以外のガラス玉のX線CT画像

鋳型法で製作されたガラス玉のCT画像を図8に、鋳型法以外の方法で製作されたもののCT画像を図9に示した。最初に、図8を用いて、X線CT画像について説明する。

Q-175の画像の下部に、一部見えている球状のものは、撮影の際の回転中のずれ等をチェックし補正するための標識とした金属の小球が一部映り込んでいるものである。小球の周囲に見える白い影状のものはノイズである。図8のQ-171、図9のQ-020などにも見える、ガラス玉の外側に見える影状のものもノイズである。

資料番号の次に括弧書きしたものが、画像の種類である。基本となる画像はX線透過画像であるため、X線の透過率の違いが表現される。物質の密度によって透過率は変わるため、物質の密度の違いを観察していることとなる。違いを見やすくするために、任意のカラーで示すこともできるが、ここではモノクロ画像で示した。白いものほどX線の透過率が悪く、密度が高いことを示す。「透過」としたのは、資料全体の透過画像である。

一方、任意の閾値を設定することで、その閾値による等値面を表面(surface)として描くことができる。このようにして表面を示したものが「表面」とした画像である。資料の存在する部分とない部分では数値が大きく異なるため、資料の表面を描くこととなり、表面形状を3次元的に観察することができる。ただし、この方法で描いた表面は、任意の等値面であることに注意が必要である。ガラス玉表面の風化した部分などは、他より密度が低くなっているため、閾値によっては、表面に含まれて描画される場合も、欠落する場合もある。ガラス玉の中には、拡大した観察でも気泡とは認識できない、薄い色の筋として見える部分もある。これらは微細な気泡が集まっている可能性が考えられるが、閾値によっては、描かれ方は変わる。

表面を描かせた上で、その表面を透視できるようにしたものが、「表面透視」である。ガラス玉の場合、気泡も表面で描くことができるが、透視画像にすると、気泡全てを透視することができる。全体的な気泡の入り方を見る際には判り易い。

任意の場所で断面を表示することもできる。表面を描画した上で断面を表示すると、その断面の部分の内部の状態を表示することができ、「表面+断面」として示した。Q-165の(4)に表面+断面を、(5)に透過の画像を、同じ方向で作成して示した。特定の断面を示す場合には前者が、全体の内部の状況を把握するには後者が適していることが判るであろう。

以下、X線CT撮影で観察できた内容を、図8に示した鋳型によって製作されたものと、図9に示した鋳型以外の方法で製作されたものに大別して見ていきたい。

鋳型で製作されたものについては、全てに表面画像を掲載した。素材となったガラス破片に由来すると考えられる、小突起の状態が明瞭に観察できる。Q-167やQ-171のように、外面が整った資料でも、微細な突起が観察できる。鋳型から取り外した後に、表面を整えるために再度加熱する方法が取られている可能性が考えられるが、更に検討が必要であろう。Q-175は、両端面が研磨されているものと考えられる。鋳型法によるガラス玉で、端面の研磨が観察できるものはほとんどなく珍しい。孔内面は、細かな凹凸が激しいものが多い。表面透視の画像や、表面+断面の画像を見ると、気泡は多く、散在する状態が判る。断面や透過画像をみると、異なる素材がモザイク状に混ざっていることが良く判る。中には、白に近い、特に密度が高い部分が認められるものもある。Q-167やQ-213で、白い密度の高い部分が顕著であるが、これらは素材となったガラスに、鉛ガラスや、鉛を多く含むガラス破片が使用されていた可能性を示す。Q-163・Q-165・Q-173には、細かな白い粒子が多数含まれる部分が観察できる。Q-163で顕著である。これは、次に示すGroup SⅡBのガラス玉に特徴的に認められるものであり、この種類のガラスが、素材に含まれていることを示している。

鋳型以外のものの中で、引き伸ばし法の a 類が、カリガラス・Group P I の Q-019・Q-053 と、ソーダガラス・Group S II の Q-020・Q-120・Q-182 である。大きな気泡が目立つものが多いが、Q-053 は気泡が少なく、孔の周囲に多い傾向がある。気泡が孔と平行に並んでいる状態が、実体顕微鏡などでの観察より明瞭に観察できることを期待したが、Q-019・Q-053・Q-020 では、あまり明瞭でなかった。Q-120・Q-182 では、気泡筋も観察できた。孔内面は、微細な凹凸が観察できるものがある。引き伸ばし法の b 類は、ソーダガラス・Group S III B の Q-007・Q-109 である。これらは、気泡筋がきわめて明瞭で、両端面までつながる状態がはっきり確認できる。孔内面は平滑である。引き伸ばし法の c 類は、ソーダガラス・Group S III C の Q-021・Q-115 である。この 2 点は、気泡が少なく、孔内面の周囲に集中する。孔内面は、これらの気泡と重なり、細かな凹凸が顕著である。

引き伸ばし法で製作されたガラス玉でも Group S II の 3 点以外は、透過画像を見た際に、均質なものがほとんどで、密度の高い不純物などが認められる場合も、わずかなものが多い。Group S III C の Q-021 (3) は白い粒子がやや多く見えるため問題が残るが、Group S III B の Q-007 (3) に見える密度の高い白い部分は、偏在することから不純物と考えて良いと思われる。ところが、Group S II の Q-020・Q-120・Q-182 の 3 点は、白く密度の高い微細な粒子が全体に含まれている。その量は、Q-020・Q-120 ではさほど多くないが、Q-182 には多量に含まれている。白い粒子は、孔と平行方向に少し長い楕円形状を呈している。実体顕微鏡を用いた観察では、このような粒子は確認できなかった。多量に含まれている Q-182 は、SnO₂ と PbO の数値がほかより大きいことから、この密度が高い粒子は着色剤に由来する可能性もあるが、現状ではこれ以上の分析は行っていないため不明である。

Q-005 は、(1)の表面透視画像を見ると、気泡は少ないが、らせん状に並ぶところがあり、巻き付け法であることが裏付けられた。(2)の透過画像では、白い密度の高い部分が直線状に、全体に観察される。表面を中心に、白く密度の高い不純物の可能性が考えられるものが観察されるが、この不純物から放射状に、密度の高い白い筋が伸びている場合が多いように見える。ガラスで、このような構造が観察されることは全く想定していなかった。冷却して固まる段階で、密度が変わる構造が形成され可能性を考えているが、その成因は不明である。

Q-002 の断面画像では、素材がブロック状に異なっている状態を観察できるとともに、ブロックの境界に気泡が並んでいる場合があることが判る。孔内面には、細かな凹凸が観察できる。これらの点から、複数のガラス素材を積み上げて融着した、融着法によって製作されたと考えられる。

今回は、X線CT撮影の有効性を検討することが主な目的であったので、限定された資料の撮影に留まった。内部構造の観察だけでなく、表面の微細形状の観察においても有効であることが明らかとなったと考える。また、Group S II に認められた全体に含まれる密度の高い粒子や、巻き付け法のガラスに認められた直線状の構造など、さらなる検討が必要な新たな知見も得られた。

5 合戦原遺跡出土ガラス玉の特徴

合戦原遺跡の横穴墓群から出土したガラス玉の特徴を、あらためてまとめてみたい。色調については、青～紺色系統のものが圧倒的多数を占めている。種類としては、鋳型によって製作されたものがほぼ 8 割を占めることが大きな特徴である。それ以外のものは、7 世紀初頭を中心に日本列島へ流入するソーダガラス・Group S III C と、前段階の 6 世紀に大量に流通したソーダガラス・Group S III B が、6～7%ある。流入開始時期が遡るソーダガラス・Group S II が 8 点 (3.36%) と続き、さらに流通時期が遡るカリガラス・Group P I と Group P II は、1～2 点となる。鋳型によるものに、同時期か近接する時期の引き伸ばし法のガラスが加わり、それより古くに流通したものは数がより少なくなっていくという傾向が見てとれる。こ

れら以外には、巻き付け法や融着法による、大型のガラス玉が合計5点あるが、全体から見ると少数に留まる。

以前に、東北北部の7世紀から8世紀に築造された小型円墳群である「末期古墳」から出土するガラス玉について、その特徴を検討したことがある（藤沢他 2005）。合戦原遺跡出土のガラス玉は、東北北部の末期古墳出土のガラス玉と基本的に共通する特徴をもっており、それは東海・関東から東北南部の7世紀の事例に共通するものである。東北南部では、古墳時代のガラス玉の出土量は、後期までは多くない。しかし7世紀の終末期の古墳や横穴墓からは、多数のガラス玉の出土事例がある。それらの内訳が詳細に検討された事例は少ないが、一見しただけで、青～紺色系の色調が大多数で、8割前後を鋳型法のガラス玉で占められていることが判る。合戦原遺跡の横穴墓群から出土したガラス玉も、このような終末期の東日本で一般的なガラス玉の構成をとっていると評価することができるであろう。

註

- 1) 日本の遺跡から出土したガラス玉については、肥塚隆保氏、大賀克彦氏、田村朋美氏によって、体系的な検討が進められてきた。本稿では、これらの研究成果に依拠して検討している。全体的な様相については、肥塚 1995、肥塚ほか 2010、大賀 2002、大賀 2010、Qga and Tamura 2013、田村編 2016 などにまとめられている。これまでに知られているガラス玉の特徴については、これら文献を参照している。種類ごとの細かな検討については、それぞれの場所で関係する文献を示す。今回の整理分析作業でも、大賀克彦氏と田村朋美氏には、様々なご教示をいただいた。記して感謝する次第である。ご教示を活かしきれていない部分もあるかと思われるが、その責は藤沢にある。
- 2) 重量の計測では、東北大学総合学術博物館の電子天秤を使用した。計測にあたっては、同博物館の黒柳あずみ氏のご協力をいただいた。
- 3) 蛍光X線分析では、東北大学工学部・工学研究科技術部合同計測分析班の機器分析サテライト1（マテリアル・開発系）の大比良由紀絵・赤尾昇の両氏に、分析作業と分析データの整理をご担当いただき、多大なご協力をいただいた。記して深く感謝申し上げる。
- 4) X線CT撮影は、東北大学総合学術博物館の佐々木理氏に担当していただき、あわせて多くのご教示をいただいた。鹿納晴尚氏にも、多くのご教示をいただいた。

引用・参考文献

- 大賀克彦 2002 「日本列島におけるガラス小玉の変遷」『小羽山古墳群』清水町埋蔵文化財発掘調査報告書V、127～145 頁、福井県清水町教育委員会
- 大賀克彦 2010 「日本列島におけるガラスおよびガラス玉生産の成立と展開」『月刊文化財』第566号、27～35 頁
- 大賀克彦・田村朋美 2016 「日本列島出土カリガラスの考古科学的研究」『古代学』第8号、11～23 頁、奈良女子大学古代学学術研究センター
- 肥塚隆保 1995 「古代珪酸塩ガラスの研究—弥生～奈良時代のガラス材質の変遷—」『奈良国立文化財研究所創立40周年記念論文集 文化財論叢Ⅱ』929～967 頁
- 肥塚隆保・田村朋美・大賀克彦 2010 「材質とその歴史的変遷」『月刊文化財』第566号、13～25 頁
- Qga, K., Tamura, T 2013. Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Composition, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in Yayoi-Kofun Period (3rd Century BCE–7th Century CE) *Journal of Indian Ocean Archaeology*, 9
- 田村朋美 2015 「引き出し法によるガラス小玉の系譜と伝播」『物質文化』95、19～32 頁
- 田村朋美編 2016 『飛鳥寺出土遺物の研究ガラス玉類の考古科学的研究』飛鳥資料館研究図録第19冊
- 田村朋美 2018 「日本出土ガラス小玉の産地と流通に関する研究」『同位体分析と産地推定に関する最近の動向』保存科学研究集会、20～27 頁
- 藤沢敦・大賀克彦・田村朋美・肥塚隆保 2005 「CR法・AR法を活用した東北北部出土ガラス玉の考古科学的研究」『日本文化財科学会第22回大会研究発表要旨集』74～75 頁
- 堀木真美子 2005 「蛍光X線分析装置XGT-5000による基本データ収集—その1—」『愛知県埋蔵文化財センター研究紀要』第6号、12～17 頁