

熊本市八ノ坪遺跡から採集した石製鋳型の検討

林 田 和 人*
下 村 智**
玉 川 剛 司***

1. はじめに

熊本市八ノ坪遺跡は、熊本平野で初めて青銅器鋳造関連遺物がまとまって発見された遺跡である。2004（平成16）年度、東西屋敷地区経営体育成基盤整備事業に伴う熊本市教育委員会文化財保護課の発掘調査で、小銅鐸の鋳型、銅戈の鋳型、送風管、青銅片、銅滓など遺跡内で青銅器鋳造を示す遺物群が発見された。

2016（平成28）年2月、熊本市文化振興課埋蔵文化財調査室によって上代町遺跡群第5次調査が行われていた。同遺跡を見学の後、熊本市文化振興課の案内で近くに所在する八ノ坪遺跡を訪れた。その際、城ノ越式土器、挟入柱状片刃石斧、砥石、青銅器鋳型などを採集することができた。青銅器鋳型は大きく割れており、黒変などは認められなかった。製作途中の様相を呈しており、半円形の掘り込みが確認できた。

本学では平成28年度、文部科学省の大学研究ブランディング事業「九州における文化遺産保護研究の拠点形成のための基盤整備事業」に採択され、補助金によって非接触で撮影計測できる3Dレーザースキャナーと3Dプリンターを導入した。

そこで、採集した鋳型を3Dレーザースキャナーで計測し、3Dプリンターによって3Dモデルを作成し検討を試みた。

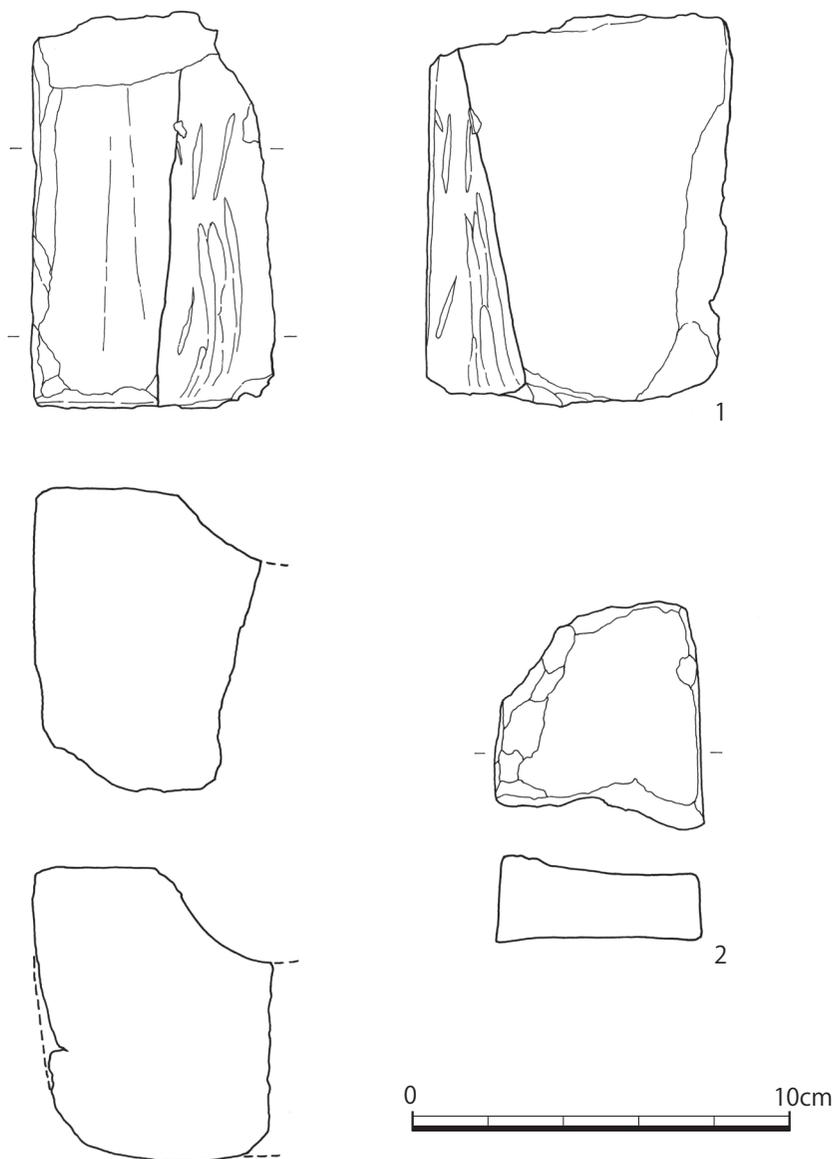
2. 採集石製鋳型の現状と採集遺物

まずは、採集した石製鋳型について説明を行いたい。第1図の1は、採集した鋳型の破片である。石英長石斑岩製で乳白色を呈し、残存長10.5cm、残存幅6.5cm、残存高8.0cmを測る。厚みのある断面は略方形で、平面形は長方形と推察される。上面（鋳型合せ面）はタテ方向の擦痕が観察され、ほぼ平坦に仕上げられている。下端部にはヨコ方向の擦り切り痕（面取）が残る。範面は上部で半径2cm強、下部で半径3cm程度、長さ9.2cmの半円形の彫り込みになっている。範面の彫り込み部分には新しいタテ方向のキズ（後世についたもの）と下半部にタテ方向の粗い加工痕が観察さ

* 熊本市文化振興課埋蔵文化財調査室

** 別府大学文学部史学・文化財学科 教授

*** 別府大学文化財研究所 研究員



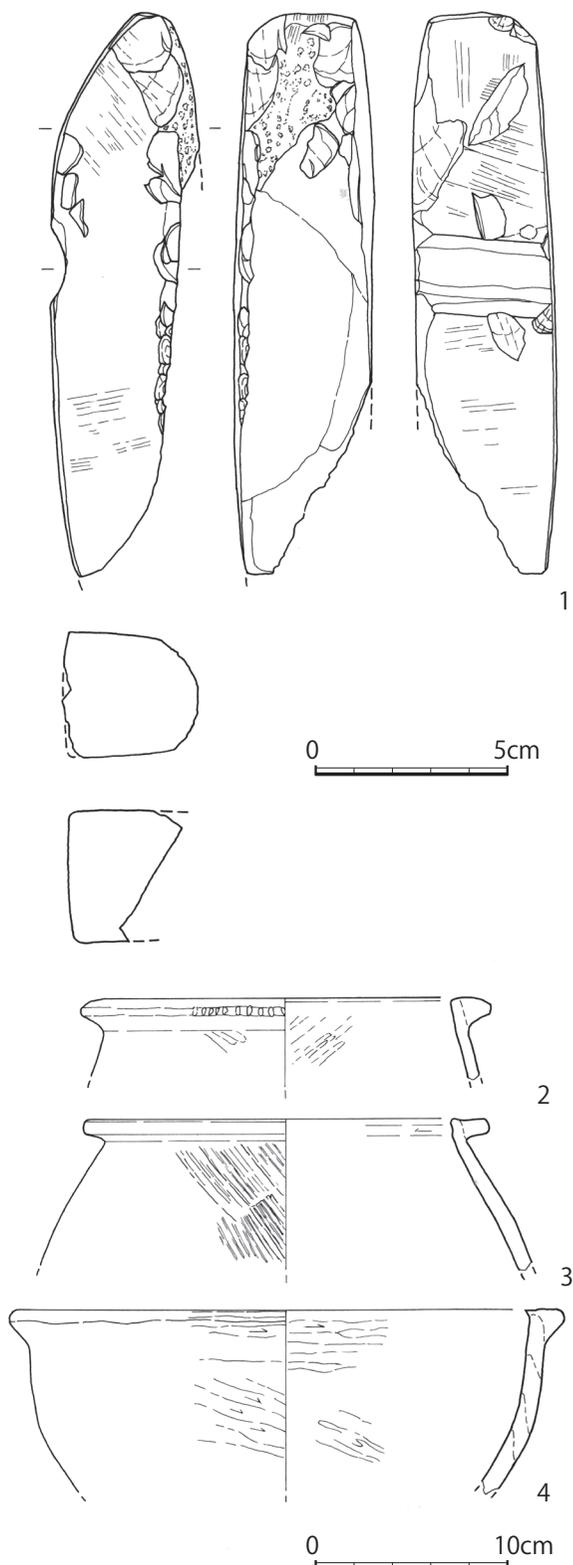
第 1 図 採集鋳型と砥石実測図 (1/2)

れる。加工痕は彫り込みを大きく加工するためのケズリ痕であろうか。また、鋳型の左側面は 8 mm 前後の工具によってほぼ平坦に粗く加工され、底面は調整剥離によって平坦に近い加工がなされている。上端部および右側面部は大きな破損面となっている。ほぼ完成間際まで加工成型されているが途中で破損したため放棄されたものであろう。砥石等への転用の痕跡は認められなかった。

次に、鋳型と同時に採集した遺物について簡単に述べておきたい。必ずしも鋳型と共伴していたとはいえないが、発掘調査で出土しているものほとんど时期的に差がないのであえて紹介しておきたい。なお、採集した遺物は、砥石、挟入柱状片刃石斧、土器などである。

第1図の2は砥石である。最大幅5.5cm、残存長6.0cm、最大厚2.3cmを測る。左上辺には新しい破損がみられ、下半部は古い時期に折損したものとみられる。上・下面、両側面の4面とも砥面として使用されている。灰白色を呈し、1～2mm大の石英粒子の散在が観察される。対馬島の石英斑岩に良く似ており、今後の検討が必要であろう。全体に黒変などは認められない。

第2図の1は抉入柱状片刃石斧である。頁岩製で灰黒色を呈し、残存長14.7cm、残存幅3.5cm、残存厚3.8cmである。全体に丁寧な作りで、製作時の調整剥離痕が残るものの細かな研磨で仕上げられている。背面には敲打痕が残り、下半部は大きく破損している。破損部に細かな剥離が加えられているが再加工までには至っていない。第2図2～4は甕および鉢である。2は復元口径21.4cmの甕で、口縁部に粘土を厚く貼付け、端部に刻目を施す。胎土は精良で、1mm以下の白色粒子と1～1.5mm大の金雲母が目立つ。灰褐色を呈し、内外面には軽いヘラミガキが見られる。3は胴の張った甕である。復元口径21.2cmを測り、上面がやや窪んだ平坦口縁となっている。胎土には1～2mm大の砂粒が含まれ金雲母が目立つ。淡い灰黒色を呈し、外面はハケメ調整、内面は軽いヘラナデが施される。4は平坦口縁の鉢形土器である。復元口径29.0cmを測る。黒灰色から明褐色を呈し、1mm以下の胎土には黒っぽい砂粒が目立つ。内外面とも横方向の粗いヘラミガキが認められる。これらの土器群は城ノ越式土器の範疇におさまるものであろう。



第2図 採集遺物実測図（1/2・1/4）

3. 3Dデータの計測と3Dモデル作成の方法と機材

採集した石製鋳型について、3D計測を実施した。その内容については、以下のとおりである。

本研究で使用した機器は3D SYSTEMS社のGeomagic Capture® Mini^(註1)で、ソフトは同社のGeomagic Capture® Wrap®である。この機器は、0.034mmという精度でスキャンできるため、詳細な計測が可能で、ソフトは機器の操作及びデータ合成をするためのものである。本機器とソフトを使用した計測方法及び遺物の3Dデータ作成までの過程は以下のとおりである。

(1) 計測方法(写真1・2)

遺物を回転台の中心にくるように乗せ^(註2)、遺物から20cm程度離し、対象物に対し斜め45°程度になるように機材を設置する(写真1)。計測は、PCで操作する。1回の計測で測れる範囲が限られるため、計測終了ごとに回転台に乗せた遺物を30°程度回転させ、計測を行い360°分が計測できるまで繰り返すという作業(写真2)である。上記作業を繰り返すことにより、計測データが複数になるため、1スキャン毎のデータを合成する必要がある。そのため、遺物を設置する際に、遺物の周りに硬貨またはマーカーとなるものを置き、データの合成が容易となるように工夫をした。計測面が終了した後は、遺物の裏面も同じように計測する。

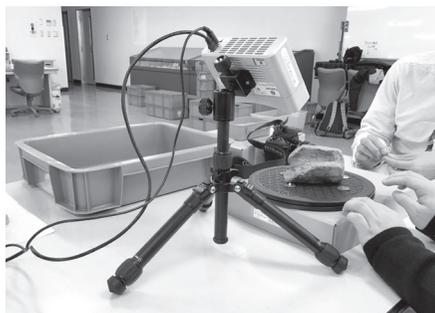


写真1 機材の設置



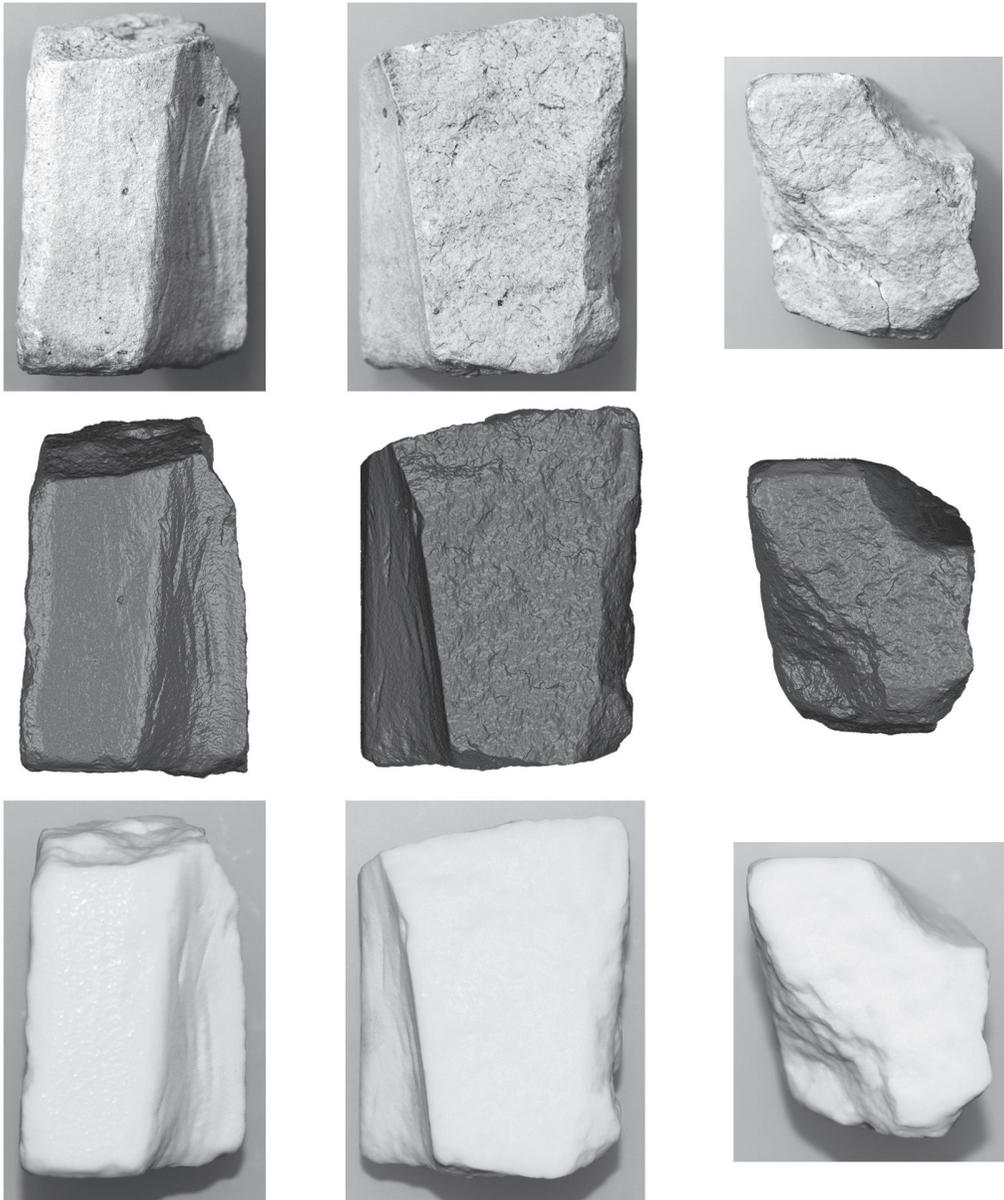
写真2 計測画面

(2) 3Dデータの作成

計測した複数のスキャンデータを合成するため、ソフト上で遺物の周りに置いた硬貨の刻印や遺物の特徴点(文様、尖り、傷)をマーカーとして各スキャンデータを合成し、一つのデータとして作成する。なお、作成した表裏面の3Dデータをさらに合成し、遺物の全方位の3Dデータを作成していくという手順である。

(3) 鋳型・3Dデータ・3Dモデルの作成及び比較(第3図)

次の段階として、作成した3Dデータを基に3Dプリンター^(註3)で打ち出し、遺物と3Dデータ及び打ち出した3Dモデルとの比較を試みた。その結果、第3図のとおり遺物にみられる鋳型面の傷及び工具痕や、鋳型面の状態についても、3Dデータ及び3Dモデルともに表現できていることが確認でき、一連の研究について有用性を確認した。

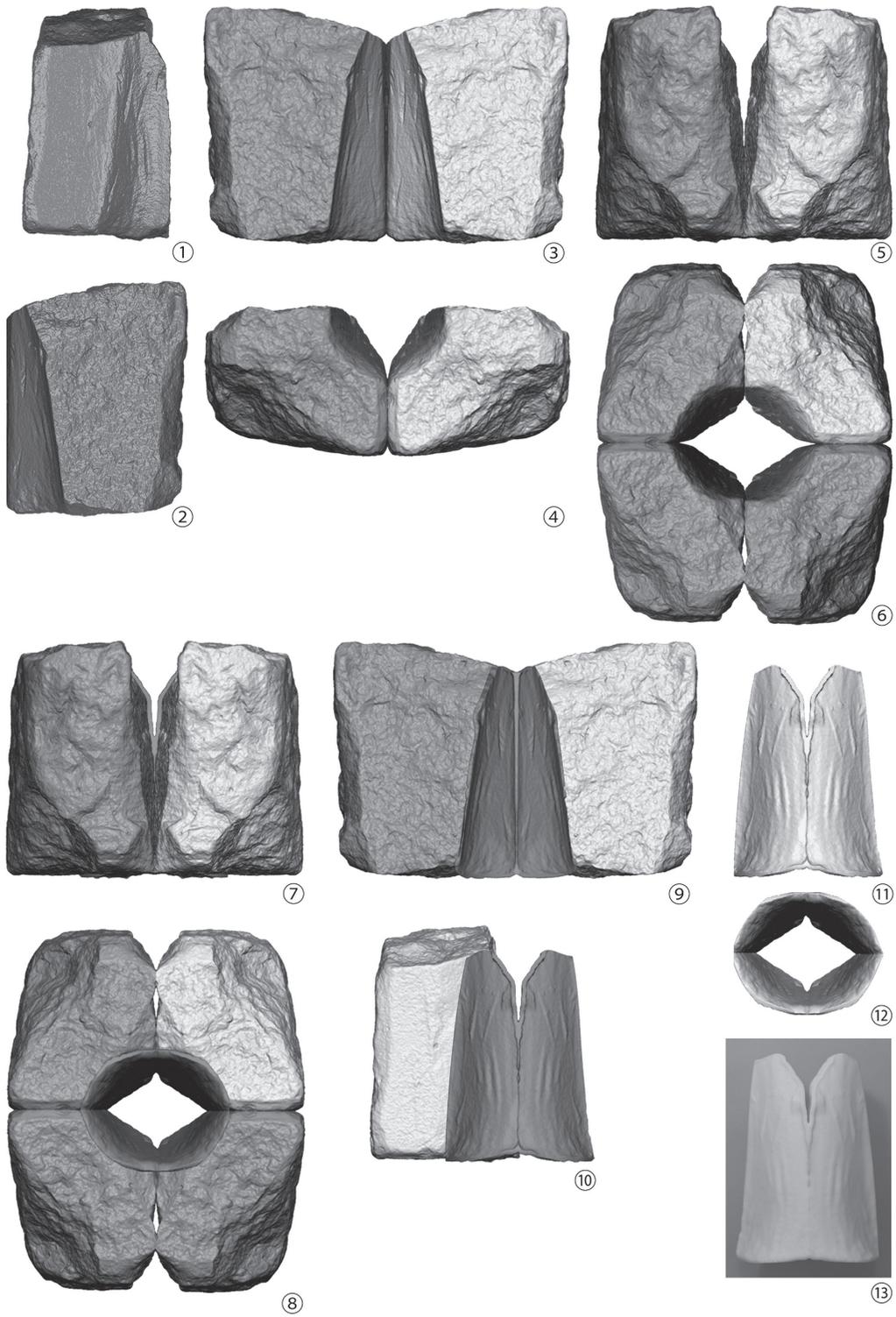


第3図 採集鋳型・3Dデータ・3Dモデルの比較
(上段：鋳型写真、中段：3Dデータ、下段：3Dモデル)

4. 鋳型から製品の3Dモデルの作成

(1) 3Dデータと3Dモデルとの検証 (第4図)

本鋳型については、先述したとおり製作途中と考えられるもので、粗彫りではあるものの鋳型面の一部が残存している。そこで、この残存している鋳型面を基に、実際の製品の作成を試みた。そ



第 4 図 製品3Dモデル作成過程

①原版3Dデータ（鋳型面）、②原版3Dデータ（横方向から）、③原版と複製モデルの鋳型面同士を合わせた3Dデータ（鋳型面）、④原版と複製モデルの鋳型面同士を合わせた3Dデータ（下側から）、⑤③で作成した鋳型データを複製し欠損部分を合わせた3Dデータ（正位置）、⑥⑤と同じ（下側から）、⑦⑤で作成した3Dデータの空間に別の3Dデータを押し当てた状況、⑧⑦と同じ（下側から）、⑨③と製品3Dデータ、⑩原版と製品3Dデータ、⑪製品3Dデータ（複製鋳型面から）、⑫製品3Dデータ（下側から）、⑬3Dプリンターで打出した3Dモデル（複製鋳型面から）

の方法は以下のとおりである

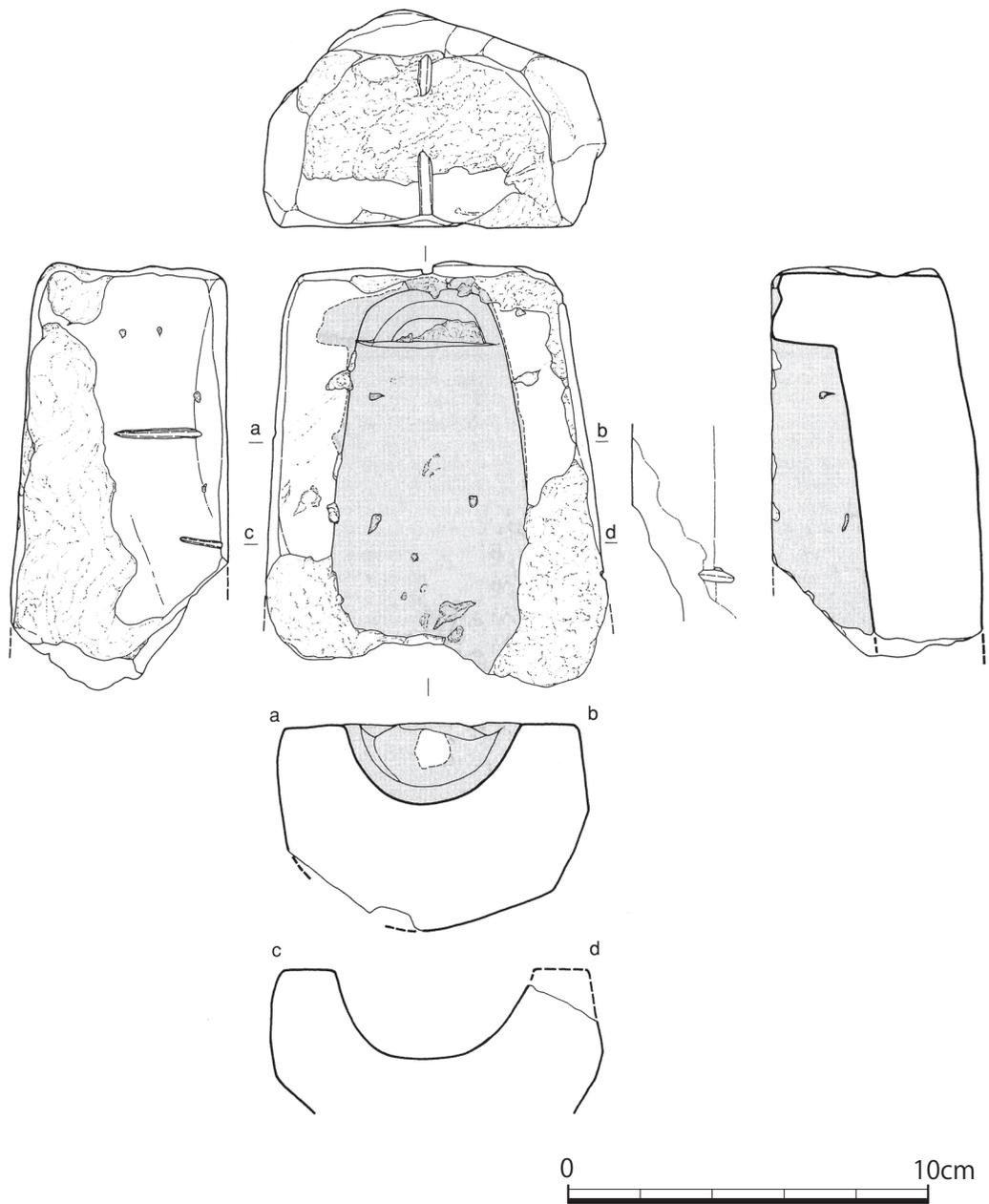
まず本鋳型の特徴をみると、鋳型面の外側では鋳型の合わせ面が形成されている。また、鋳型下部については、粗彫りではあるが面取りが施され、楕円形を呈することから、およそ1/4が残存しているものと考えられる。これらの特徴を考慮して製品モデルを作成した。まず鋳型（原版3Dデータ）から反転復元した鋳型（複製3Dデータ）をソフト^(註4)上で作成する。次に、原版データと複製データの合わせ面同士を接するように配置する。さらに、この合わせた鋳型面同士をさらに複製し、原版3Dデータと合わせ計4つの3Dデータを合わせ、一つの3Dデータを作成する。作成した4つの3データ間の空間に別の3Dデータを押し当て、製品を作成した。

（2）3Dモデルからみる本来の製品について（第4図）

これらの方法で作成した3Dモデルから、本来この鋳型で製作する予定であった製品について考えてみたい。作成した製品の3Dモデルは、残存高9.2cm、復元最大幅6.4cm、復元最小幅4.8cmを測り、上部にかけて窄まる円錐形を呈している。また、合わせ面同士を接合した段階で、身の長径の下端幅が最大値に達し、楕円形を呈していることも考慮すると、本来作成しようとしていた製品は、形状から小銅鐸である可能性が高いと考えられる。そこで、同遺跡の発掘調査で出土した小銅鐸の石製鋳型について既に3D計測を行っていたため、この鋳型の製品3Dモデルを作成し、採集鋳型の製品3Dモデルと比較検証した。

5. 発掘調査出土の小銅鐸鋳型の3Dモデル

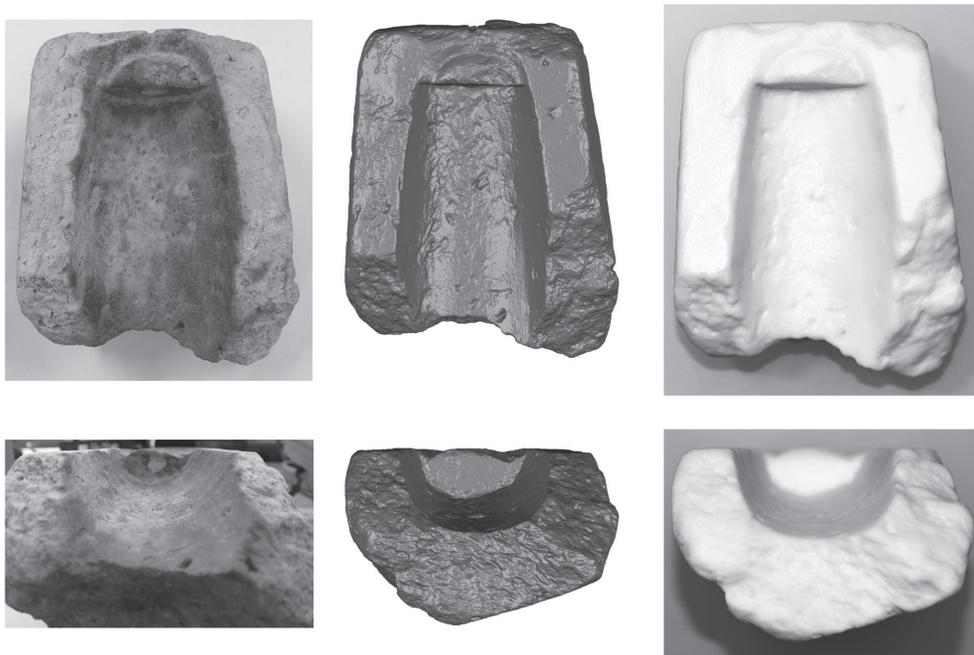
八ノ坪遺跡のSK171から出土した小銅鐸の石製鋳型（第5図）は、「黄白色を呈する石英長石斑岩？で、キメがやや粗い。鋳型は裾部分を欠き、現存高11.8cm、最大幅9.5cm、厚さ6.0cmである。裾部へ向かうにつれ幅・厚さが増している。彫り込まれた型は、現存長10.6cm、最大幅5.4cm、厚さ2.8cm、鈕部分の高さ1.5cm、幅4.1cmである。鋳型の側面および裏面は多面体に仕上げられ、縦方向の明瞭な稜線が数条存在し、横断面形は多角形をなす。合印は上面および両側面に刻まれている。型の内部と縁辺部は黒変し、使用の痕跡を留めている。舞部分には径1cmほどの黒変が認められない部分があり、これを型持の痕跡とみると鋳出された製品の舞孔は二つであったと推定される。型の横断面はやや歪んでいる。また鈕部分の断面形は三角形であることから、製品は菱形となる」と報告されている（林田2005）。この小銅鐸鋳型について3D計測を実施し、製品の3Dモデル作成をした。3D計測およびその3Dデータの作成方法については、先に述べているため割愛する。



第 5 図 出土小銅鐸鑄型実測図 (林田2005より引用) (1/2)

(1) 3D計測及び3Dデータの作成 (第6図)

採集鑄型と同様の方法で、出土鑄型についても3Dモデルの作成を行った。その結果、計測した出土鑄型の3Dデータと3Dプリンターで打出した3Dモデルを比較すると、鈕の傷、舞の形状、鑄型面の凹凸、割れ面の形状とも十分に表現できていることが確認できた。



第6図 出土小銅鐸鋳型・3Dデータ・3Dモデルの比較
（左：鋳型写真、中：3Dデータ、右：3Dモデル）

（2）出土鋳型から製品3Dモデルの作成（第7図）

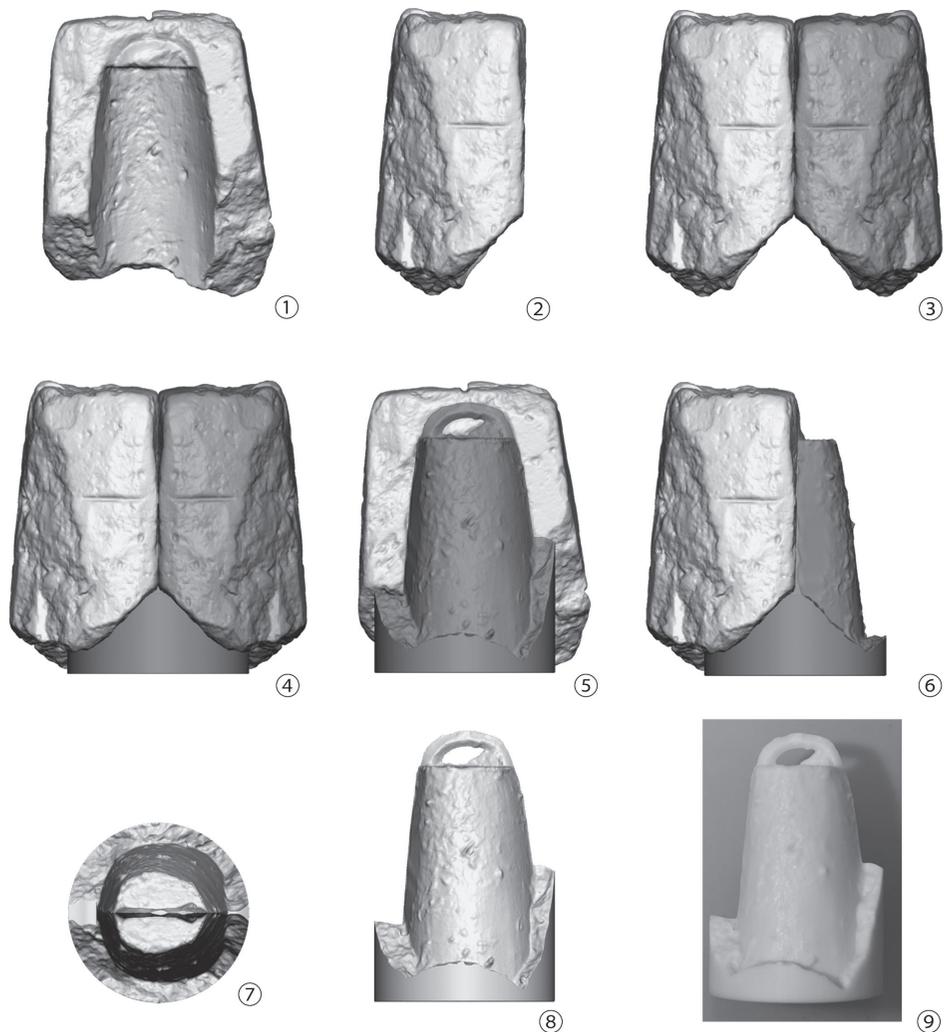
次に3Dデータから製品3Dデータの作成、3Dプリンターによる3Dモデルの作成を試みた。まず、3D計測した3Dデータ（原版3Dデータ）から、反転複製した鋳型データを作成する（複製3Dデータ）。次に、原版の3Dデータと複製の鋳型3Dデータを側面の合印を参考に合わせる。さらに、原版3Dデータと複製3Dデータとの間に生じた空間に別の3Dデータを押しあて、製品3Dデータを作成した。

作成した製品3Dモデルについてみると、鈕については、最大幅0.8cmを測り、報告でもあったとおり断面形が菱形を呈している。鈕孔の左側は鋳型が欠損していたため不整形であるが、本来きれいな半円形であったものと考えられる。舞部は、横幅3.8cm、縦最大幅3.25cmで楕円形を呈し、報告であった舞孔と同じ位置に若干の方形のくぼみが確認できるが舞孔であるかは不明である。また、身の部分については、ほぼ円形で残存部分の最大径は5.6cm、最大残存高9cmを測る。

以上の製品3Dモデルの特徴から、先に作成した採集鋳型の製品3Dモデルと比較検証したい。

（3）採集鋳型の製品と出土小銅鐸の製品との比較（第8図）

それぞれの製品3Dモデルをみると、採集鋳型の製品3Dモデル（以後「採集鋳型モデル」と称す）は、舞と鈕を含む上部が欠損しており、未製品であることから全体的に彫りこみが浅いため、断面形が若干扁平となっている。また、裾と考えられる底部から上部までの鋳型面の境では面取り状の彫り込みが見られる。一方、小銅鐸鋳型の製品3Dモデル（以後「出土鋳型モデル」と称す）

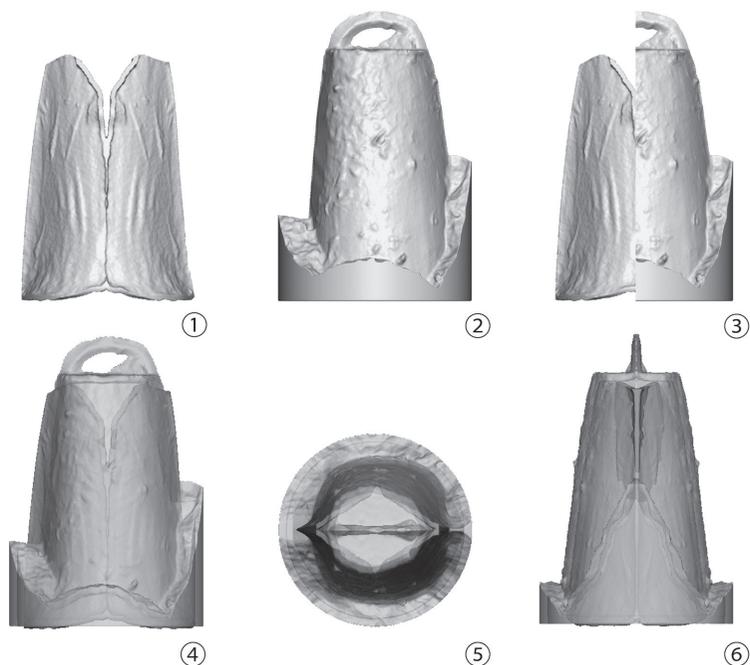


①原版3Dデータ（鑄型面）、②原版3Dデータ（横方向から）、③原版と複製モデルの鑄型面同士を合わせた3Dデータ（鑄型面）、④③で作成した3Dデータの空間に別の3Dデータを押し当てた状況、⑤原版3Dデータと製品3Dデータ（鑄型面）、⑥⑤と同じ（側面から）、⑦製品3Dデータ（鈕方向から）、⑧製品3Dデータ（正面：複製鑄型面から）、⑨3Dプリンターで打出した3Dモデル（複製鑄型面から）

第7図 製品3Dモデル作成過程

は、裾部が欠損している。これらの特徴から、採集鑄型モデルの裾と考えられる底部を基に、両モデルの身の形状から出土鑄型モデルの位置を合わせ、平面的な側面及び立体的な側面から検証した。

その結果、身については、採集鑄型モデルの方が全体的に若干大きく、裾から舞部にかけて若干幅が小さいものの、断面形状はほぼ同じである。また、身の高さについてみると、出土鑄型モデルの身の高さは、採集鑄型モデル裾を基に出土鑄型モデルの裾を復元すると9.4cmほどとなる。次に、



- ①採集鋳型モデル、②出土鋳型モデル、③採集・出土鋳型モデルの平面比較、
 ④採集・出土鋳型モデルの立体比較（正面）、⑤採集・出土鋳型モデルの立体比較（鈕方向）、
 ⑥採集・出土鋳型モデルの立体比較（側面）

第8図 製品3Dモデル比較過程

出土鋳型モデルの身から舞へと続く形状を基に、採集鋳型モデルの本来の高さについて考えると、採集鋳型モデルの側縁が外側で平行していることから、若干高くなると想定される。つまり、出土鋳型モデルの鈕と身を合わせた高さは、10.8cm程度になると推定でき、採集鋳型で本来製作しようとしていた製品については、それよりも少し大きなものを想定していたと考えられる。

裾の形状についてみると、出土鋳型モデルの身の最大残存幅での断面形状がほぼ円形であることから、裾の形状も円形であったものと考えられる。これに対し、採集鋳型モデルの裾の形状は楕円形となっている。採集鋳型モデル本来の製作予定の製品の裾形状は、円形にする予定であったが製作途中であったため、彫込みが浅くなり楕円形となったのか、そもそも楕円形で作成する予定であったものかは不明である。しかし、採集鋳型モデルの表面の彫込みの工具痕と面取り部分まで彫り込んだとしても楕円形となることから、楕円形となるような設計として鋳型を彫り込んだ可能性がある。

以上のことから採集した鋳型は、出土した小銅鐸の鋳型よりも若干大きく、裾は楕円形の小銅鐸を想定し作製していたが、彫り込みの途中で上部及び反対側の合わせ面が壊れ、遺棄されたものと考えられる。

5. おわりに

以上のように、採集した石製鋳型については3Dモデルを作成し、同遺跡から出土した小銅鐸の3Dモデル等との比較検討の結果から、この石製鋳型は小銅鐸の鋳型の未成品と判断された。鋳型面には製作途中の削り痕跡が残り製作段階であること、鋳型面に黒変が観察されないことなどから未成品であるとみてよいだろう。

すでに、八ノ坪遺跡では出土品に、明らかに鋳造を行った小銅鐸鋳型が存在するので、複数の鋳型の製作と小銅鐸の鋳造が行われていたと見られる。型持孔の位置が確認できないことから、確実に朝鮮小銅鐸とはいえないが、11cm程度の小銅鐸が製作されていたのは間違いない。現在、明らかに朝鮮小銅鐸といえるのは大分県宇佐市の別府遺跡^(註5)(井上2003)しかないが、国内でほぼそれに匹敵する大きさの小銅鐸が作られていたことは確実である。時期的には発掘調査の成果(林田2005)から中期初頭から前半代に収まるものであろう。今後、別府遺跡出土の朝鮮小銅鐸についても再検討していきたいと考えている。

なお、採集した遺物は、現在熊本市文化振興課埋蔵文化財調査室に収蔵、保管されている。

註

1. (カタログスペック) スキャン速度: 985,000点/スキャン (0.3秒/スキャン)、解像度: 0.080mm (近距離)、0.100mm (遠距離)、精度: 0.034mm、スキャン範囲: 87×68mm (近距離)、88×87mm (遠距離)
2. 遺物の材質やその現状に合わせ、計測できるように支持材で安全に回転できるように遺物を設置した。
3. ProJet® MJP 2500 (カタログスペック) 造形: UV硬化プラスチック、積層ピッチ: 32ミクロン、解像度: 800×900×790dpi、精度: ±0.004インチあたり (±0.1016mm/24.5mm)
4. Geomagic® Freeform®
5. 『考古資料大観6』の「銅鐸」の頁に「朝鮮小銅鐸」-朝鮮半島産の小銅鐸、「朝鮮系小銅鐸」-朝鮮小銅鐸の系譜下にある小銅鐸、「小銅鐸」-わが国の銅鐸の模倣品とされ、「これらの小ぶりの銅鐸は20遺跡50例以上が発見されているが「朝鮮小銅鐸」の確実な例は大分県宇佐市「別府」遺跡出土しかない。」とされている。

引用・参考文献

- 井上洋一 2003 「銅鐸」『考古資料大観6 弥生・古墳時代 青銅・ガラス製品』小学館
- 城倉正祥・平原信崇・渡邊玲編 2016 『3D考古学の挑戦—考古遺物・遺構の三次元計測における研究の現状と課題—』早稲田大学総合人文科学研究センター
- 中園聡編 2017 『特集3D技術と考古学』季刊考古学140号 雄山閣
- 林田和人編 2005 『八ノ坪遺跡I』本文編 熊本市教育委員会
- 林田和人編 2006 『八ノ坪遺跡I』分析・考察・図版編 熊本市教育委員会