

熊本県大村横穴群の SfM 法による 3 次元計測

3-D measurement of Omura tunnel tomb group in Kumamoto Prefecture using SfM method

藤沢 敦*・鹿納 晴尚*・杉井 健**

* 東北大学総合学術博物館 ** 熊本大学大学院人文社会科学研究部

○ *Atsushi Fujisawa**, *Harumasa Kano**, and *Takeshi Sugii***

**The Tohoku University Museum. **Faculty of Humanities and Social Sciences, Kumamoto University*

Abstract: Omura tunnel tomb group is located in Hitoyoshi City, Kumamoto Prefecture, and 26 tombs have been identified. In some of tunnel tombs, the walls next to the entrances show various designs in relief. They are estimated to have been built roughly in the 6th century. This site has always been in danger of cliff face collapse. It is important to conduct detailed 3D measurements to prepare for damage to this site caused by disasters. 3D measurements using the SfM method were conducted in FY2021 and FY2022 for the main part of the Omura tunnel tomb group, the area where seven tombs were built.

1. はじめに

近年相次ぐ地震や水害で文化財の被害が続いているが、3次元計測データがあると、被害状況の把握、被災後の修復・復元の際に、大きな威力を発揮する。被害が集中している石材で構築された文化財を対象に、保全を目的とした3次元計測の標準を確立することを目的として、藤沢が研究代表者となり、2020年度から文部科学省科学研究費助成事業（基盤研究（A）・2020-2024年度）「石材構築文化財の保全のための3次元デジタルアーカイブの標準化の研究」を実施している¹⁾。この科研費による研究の一環として、2021年度と2022年度に計測を実施した、熊本県大村市に所在する大村横穴群の計測成果を報告する²⁾。当該科研費での研究で計測を実施した遺跡の報告は、準備が整ったものから、順次行うこととしている³⁾。

なお本論は、1. 3. 6. 7. を藤沢、2. を杉井、4. 5. を鹿納・藤沢が分担して執筆した。

2. 大村横穴群について

横穴群の概要

大村横穴群は、熊本県人吉市城本町に所在する国史跡の横穴群である。そこは、JR 肥薩線人吉駅のすぐ北側、人吉盆地西端の球磨川の右岸である（図 1、図 2）。

大村横穴群は、横穴羨門外側の外壁面に装飾文様が浮き彫りされていることで全国的に著名である。当横穴群の装飾文様が広く知られるようになったのは、1917 年（大正 6）に発行された京都帝國大學文學部考古學研究報告第 1 冊『肥後に於ける装飾ある古墳及横穴』（濱田 1917）（以下、京大報告）で報告されたことがきっかけであり、1921 年（大正



図1 大村横穴群の位置
(国土地理院電子地形図を加工して作成)

10) 3 月、「凝灰岩質ヨリ成レル丘陵ノ南側ニ穿タレタルモノニシテ現存セルモノ約二十餘個アリ横穴ノ外壁ニ各種ノ装飾模様ヲ彫リ出セリ」の説明を付して国史跡に指定された。

大村横穴群が営まれているのは、村山台地と呼ばれる独立丘陵の南側崖面である。村山台地を構成するのは、約 9 万年前の阿蘇 4 火砕流によって堆積した阿蘇溶結凝灰岩で、その下位には湖沼堆積物である人吉層が存在する。横穴が穿たれているのは、ほぼ垂直をなす阿蘇溶結凝灰岩の崖面の下位である。現在、東西にのびるこの南側崖面の長さ約 800 m の範囲に、東西 2 群に分かれて 26 基の横穴の存在が確認されている。横穴は、ほぼ同じ高さに横一列に並ぶ(図 3)。古くに開口し、出土遺物がわずかであることから、横穴群が築かれた時期には不明な点が多いが、古墳時代後期、6 世紀代を中心とした時期の築造であると推定されている。

横穴の数え方は京大報告のままとされ、東側から順に番号が付されている。そのため、連続する番号が付された隣接する横穴のあいだに新たな横穴の存在が確認された場合には a、b の枝番が付される。西端のさらに西側に新たな横穴が発見された場合は、続きの番号が付される。このようにして号数の整理がなされており、現在確認できる 26 基には 4 号から 27 号までの番号が与えられている(図 3)。これらのうち、東群は 4 号から 14 号までの 12 基、西群は 15a 号から 27 号までの 14 基である。なお、かつて東端部に存在したと伝えられる 1～3 号は現在確認できない。

26 基の横穴のうち装飾文様の存在が確認されているのは、東群の 4・5・6b・7・11・13・14 号の 7 基と西群の 15b 号の 1 基のあわせて 8 基である(人吉市教委編 2018)。羨門外側の外壁面に文様が刻まれることが特徴で、武器(刀剣・弓・鞆)、武具(鞆・盾)、工具(刀子)、動物(馬)、幾何学文(円文・三角文)が浮き彫りによって表現されている。なお、15b 号のみ、外壁面の鞆・弓以外に、玄室奥壁や飾り縁にも円文が刻まれている。

崖面崩落との戦い

阿蘇溶結凝灰岩は、軽石や火山灰などを含む火砕流堆積物が高温のうちに溶けて結合し形成される。冷却の過程で固化して形成されるため、火砕流が堆積する以前の地面や堆積後の空気に触れる下位、上位よりも中位の方が高温を維持しやすい。したがって、阿蘇溶結凝灰岩から成る台地は、一般に下位から上位に向かって、非溶結部、低溶結部、強溶結部、低溶結部、非溶結部と変化する。また、岩石は冷却時に収縮するため、節理が発達する。大村横穴群が築かれた村山台地の阿蘇溶結凝灰岩も同様の性質を有しており、横穴群のある南側崖面は節理面からの崩落をたびたび起こしてきた。

大村横穴群に関わる毀損履歴は、人吉市教育委員会によって整理されている(人吉市教委編 2018:pp.77-81)。そこでは、

平成 28 年(2016 年)熊本地震による崩落までがまとめられているが、それ以降でも、令和元年(2019 年)7 月の豪雨の影響で 7 月 3 日には東群の東端部で大規模な崩落が、同 13 日には東群と西群の中間地点で落石が発生した。さらに、球磨川の氾濫を引き起こした令和 2 年(2020 年)7 月豪雨の際には、東群の 5 号横穴と 6a 号横穴のあいだの法面が大規模に崩壊し、流れ出た土砂が JR 肥薩線の線路にまで達した。

近年の毀損のなかで、1996 年 6 月発生の事案は、装飾横穴の 11 号の下部が大規模に崩壊したもので(図 4)、装飾文様という大村横穴群におけるもっとも重要な本質的価値を損ねるおそれがあるものであった。これに関しては、速乾性固化剤を混ぜた碎石とセメントを積み上げて横穴を下方から支えるという崩落防止工事が行われた。

このように、豪雨などによりたびたび崖面の崩落が発生し、横穴および装飾文様にまで被害がおよぶ可能性が高くなっていた。そこで、1994 年度から、有識者による委員会が設置され、文化庁や熊本県文化課からも指導を受けながら、計画的に保存修理事業が実施されるようになった。事業は、装飾横穴が集中する東群から着手され、1994～2004 年度において崖面に長尺のアンカーを打設するなどの壁面保存工事が実施された。くわえて見学者用の築堤の構築が行われた。そして、2012 年度からは西群において事業が開始され、それは現在も継続中である。

平成 28 年(2016 年)熊本地震や令和 2 年(2020 年)7 月豪雨などの大規模災害時、大村横穴群では少なからぬ被害を受けた。そうした大規模災害時でなくても、近年の集中豪雨は、大なり小なりの崖面崩落を引き起こしている。東群では一通りの保存修理事業が完了したとはいえ、地球の大地を相手にしているという点で、人の手による崩落防止工事が万全であるとは誰も保証できない。自然はけっして人為の及ぶところではない。

そのため、万一の事態に備えて、横穴や装飾文様の現状を詳細な三次元データで記録しておくことの重要性は明らかである。また、遺跡活用のうえでも三次元データはきわめて有用なものとなる。たとえば、現在の見学者用の築堤から横穴や装飾文様までは若干の距離があり、見学者がそれらを間近に観察することは難しい状況にあるが、作成された三次元データを利用すれば見学者の携帯端末(スマートフォンなど)に横穴や装飾文様の三次元画像や動画を映し出すことが可能になる。また、安全上の観点から立ち入りが制限されている区域の横穴についても、携帯端末上でその様子をみることができるようになる。こうした工夫は、市民が遺跡を知り、身近に感じることに直結する。大村横穴群全体の三次元計測の実施は、急がれるべき重要な課題であるといえるだろう。



図3 大村横穴群における横穴の配置（人吉市教委編 2018 の第6図を改変）



(人吉市教委編 2018 の 84 頁掲載写真)

図4 1996年6月に発生した11号横穴下部の崖面崩落状況

3. 調査の目的

本科研費では、計測方法の検討を目的として、各年度に数ヶ所の計測を実施している。計測対象遺跡の選定は、計測方法の検討に合致することを基本としている。それに加えて、近年の自然災害によって被害を受けた遺跡や、今後の保全が懸念される遺跡を優先するとともに、被災した自治体を支援することも目的として、対象を選択してきた。

近年、梅雨期をはじめとする集中豪雨で、毎年のように各地で被害が発生している。2020年（令和2）の7月3日から7月31日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響から各地で大雨となり、人的被害や物的被害が発生した。気象庁は、この一連の大雨について、「令和2年7月豪雨」と名称を定めた。中でも7月3日から4日にかけて降り続いた豪雨は、球磨川水系に大規模な被害をもたらした⁴⁾。この豪雨による熊本県内の犠牲者65名の中で、50名が球磨川流域の氾濫によると推測されている。人吉市では、球磨川の25名に次ぐ、20名の犠牲者が出ている。球磨川は、各所で氾濫が発生したが、人吉市の市街地でも、約518ha、4,681戸が浸水した。球磨川右岸側は、丘陵近くにある人吉駅付近まで浸水域が広がった。本殿や拝殿などが国宝に指定されている青井阿蘇神社も、4mを越える浸水高となっ

た。人吉城石垣にも被害が及ぶなど、文化財も多くの被害を受けた。上述のように、この豪雨によって、大村横穴群東群の5号横穴と6a号横穴のあいだの法面が大規模に崩壊し、流れ出た土砂がJR肥薩線の線路にまで達した。

崖面崩壊の危機にさらされてきた大村横穴群の3次元計測の必用性は、上述のように明確であり、直近の水害被害に対する支援の意味も含めて、本科研費で取り組むべき課題と考え、計測を実施することとした。将来の崩壊の危険性を考慮し、横穴だけでなく、崖面を広く計測することが必要と考え、そのための方法的検討を兼ねることとした。

4. 調査の方法と経緯

現地視察と計測方法の検討

新型コロナウイルス感染症が比較的落ち着いた2021年の10月18日に、藤沢・鹿納・杉井の3名で、大村横穴群の現地視察と打合せを行った⁵⁾。人吉市教育委員会歴史文化課の担当者の方々に立ち合っていただくとともに、九州での3次元計測の実績が豊富な株式会社とっぺんの担当者にも同行いただき、現地の状況を踏まえ計測方法などを検討した。

大村横穴群は広い範囲に分布していることから、今回の計測は中心となる東群の、6a号から12号横穴が分布する

範囲を計測対象とすることとした（図 5-1）。ただし、6b 号は入口が閉鎖されているため、内部の計測は行っていない。そのため、7 基の横穴を計測したこととなる。

横穴が分布する範囲より上部の崖面も、あわせて計測することが必要と判断した。当初は、横穴と上部の崖面を一度に計測することを想定していた。しかし、2020 年の水害後、例年実施されてきた高所作業車を用いた除草作業が中断しており、上部の崖面の計測には着手できない状態であった。そのため 2021 年度の計測は、横穴の分布する区域について実施し、それより上部の崖面は、高所作業車による除草作業が実施された後に、計測を行うこととした。SfM 法による計測の有効性を検証することも兼ねて、株式会社とつぺんに SfM 法での計測を委託すると同時に、ハンディ 3D スキャナでの計測を行い、比較検討することとした。

2021 年度の計測

2021 年度の計測作業は、同年 12 月に実施した。SfM 法による計測を委託した株式会社とつぺんによって、12 月 6 日から 8 日に、計測対象区域の草の除去などの清掃作業と、基準点と標定点の設置と観測作業、SfM 用の撮影作業がなされた（図 5-2）。基準点は横穴南側の道路などに設置された既知点を使用し、見学用広場からトータルステーションを使用して、各横穴に設定した標定点を計測した（表 1）。撮影した写真によるデータ解析、各横穴のデータの合成まで、同社に委託した。

13 日には、科研費関係者の藤沢・鹿納・杉井・田尻が合流し、ハンディ 3D スキャナは東北大学から Artec Eva（図 5-3）、九州大学から Artec Space Spider（図 5-4）を持ち込み、装飾部分を計測して比較データを取得した。Space Spider での計測にあたっては、九州大学の大学院生・学生諸氏の多大なご協力を得た⁹⁾。

現地での作業は 14 日にほぼ終了し、同日夕方には、東北大学から持参したヘッドマウントディスプレイ Oculus を使用して、福島県清戸迫横穴のデータで VR 体験を参加者で行い、意見交換を行った。翌日の 15 日には、以前に作成され保管されていたレプリカの計測も、九州大学チームで試みた。

Artec 社の 2 種類の 3D スキャナでの計測を試みたが、データの質を問題にする以前に、屋外作業での操作性に課題があることが明確になった。機器と PC を接続する同社のケーブルに由来すると考えられるが、接続が度々不安定となり、円滑に作業を進めることが困難であった。機器の開発目的にも関わるものと推測されるが、屋外での作業には適合性が低いと評価せざるを得なかった。なお Artec Eva で計測したデータをもとに、11 号横穴の装飾部分を、縮尺 5 分の 1 で、3D プリンターで造形することも、2021 年度事業で試みた。

2022 年度の計測

横穴墓群より上部の崖面については、2022 年度に追加計測を実施した。水害後中断していた、人吉市教育委員会による高所作業車を用いた除草作業が、2022 年度に再開されたことから、作業実施時期に合わせて計測を行った。

計測の実施に先立って、除草作業が始まった 1 月 10 日に藤沢が現地に赴き、人吉市教育委員会の担当者の方々と、除草作業の進捗予定を踏まえ、計測方法や実施時期などについて協議した（図 5-5）。2021 年度の計測では、SfM 法による計測を委託したため、今回も同様に行うこととした。SfM 法で使用する写真の撮影にあたっては、高い崖面の撮影が必要となるため、ドローンを用いることとした。2021 年度に計測を委託した株式会社とつぺんで、これらの作業に対応できることから、同社に委託することとした。

計測作業は、2 月 17 日と 18 日の 2 日間で実施した。基準となる評定点の観測（表 1）と、ドローン（DJI Mavic3 Classic）による写真撮影を行っていただき（図 5-6）、データ解析、2021 年度計測成果との合成も委託した。作業の実施の際には、人吉市教育委員会の方に立ち会っていただき、安全確保に努めた。

5. 計測データの加工

計測で取得したデータ

2021 年度の横穴分布範囲の計測にあたっては、できるだけ横穴表面の情報を得るため、細かく写真を撮影していただいたことから、撮影して使用した写真の枚数 3,428 枚、解析後の総数点は約 11.5 億点となった。

2022 年度の崖面部分は、ドローンを用いた撮影のため写真の数が限定されることと、自然の岩盤のため、人工的な加工が施された横穴部分ほどの解像度を必要としないことから、新たに撮影し使用した写真の枚数は 260 枚となった。2021 年度の撮影枚数と合わせて 3,678 枚の写真を使用し、解像度を落として合成し約 2.9 億点のデータとなった。

正射投影図の作成

東北大学総合学術博物館では、特定のソフトウェアに依存しない形で 3 次元データを保存するために、X・Y・Z の座標値と RGB データによる、色付き点群データとして保存し利用する方法を採用している。一方、考古学的データとして、学術的検討に供する方法は、本報告を含めて、2 次元の図面として調査報告を作成することが一般的である。そのため、3 次元データをもとに、正射投影画像を作成する必要がある。

2022 年度で計測作業が完了したため、2023 年度に報告用の正射投影図の作成を委託する計画であった。しかし全体の経費との関係で、次に示す全体の正射投影図の作成のみを、2024 年度に株式会社とつぺんに委託することとした。



1. 大村横穴群東群の現状（2021 年 12 月 13 日・横穴周囲の除草実施後の状況）



2. 標定点用の新設基準点 TP1 設置状況



3. ハンディ 3D スキャナ（Artec Eva）での 7 号横穴の計測状況



4. ハンディ 3D スキャナ（Artec Space Spider）での 11 号横穴の計測状況



5. クレーン車を用いた除草作業（2023 年 1 月 10 日）



6. 撮影用ドローンの準備作業

図 5 大村横穴群の現状と作業状況

表1 大村横穴群基準点・標定点一覧

世界測地系・第II座標系

場所	点名	X	Y	Z	備考
2021 年度事業 基準点・標定点					
道路	TO-1	-86830.875	-23156.623	107.370	既知点
道路	TO-2	-86816.529	-23131.672	107.691	既知点
	TS-2	-86790.201	-23082.026	107.230	既知点
見学場所	TP1	-86818.481	-23172.773	110.607	新設点
外(9号付近)	target 8	-86801.576	-23187.603	115.503	標定点
7号	target 23	-86798.875	-23182.812	116.357	標定点
外(7号付近)	target 24	-86800.396	-23182.847	113.934	標定点
10号	target 25	-86807.184	-23198.678	115.137	標定点
外(12号付近)	target 26	-86813.357	-23205.904	116.338	標定点
11号	target 33	-86807.319	-23202.45	115.516	標定点
6a	target 41	-86794.363	-23175.767	117.570	標定点
11号	target 47	-86808.191	-23200.299	115.370	標定点
9号	target 54	-86800.305	-23188.917	116.049	標定点
9号	target 55	-86801.256	-23190.713	116.000	標定点
外(10号付近)	target 61	-86807.248	-23197.202	116.655	標定点
10号	target 68	-86805.125	-23199.228	189.714	標定点
外(6a号先)	target 76	-86793.793	-23171.808	115.336	標定点
外(6a号付近)	target 77	-86795.738	-23175.042	115.133	標定点
外(6a号付近)	target 78	-86792.822	-23175.838	118.227	標定点
7号	target 83	-86797.515	-23182.878	117.200	標定点
外(9号付近)	target 84	-86803.226	-23189.211	113.626	標定点
8号	target 85	-86800.691	-23185.398	115.526	標定点
外(6a号先)	target 86	-86793.595	-23171.787	117.259	標定点
8号	target 87	-86798.649	-23186.973	116.373	標定点
外(9-10号)	target 120	-86805.784	-23194.314	114.177	標定点
外(6a-7号)	target 167	-86796.464	-23177.5	116.697	標定点
外(12号付近)	target 180	-86809.733	-23202.444	116.993	標定点
外(8号付近)	target 223	-86801.621	-23184.985	113.576	標定点
外(6a号先)	target 232	-86791.444	-23166.307	117.052	標定点
外(6a号先)	target 240	-86791.886	-23166.208	115.614	標定点
外(12号付近)	target 265	-86811.135	-23203.855	114.742	標定点
外(6a-7号)	target 269	-86797.744	-23178.674	114.510	標定点
2022 年度事業 標定点 (基準点は2021年度と同じ)					
外壁下部(マーカー)	tagret 290	-86815.591	-23208.826	116.679	標定点
外壁下部(マーカー)	tagret 238	-86810.326	-23202.714	117.100	標定点
外壁下部(マーカー)	tagret 209	-86807.053	-23196.778	116.727	標定点
外壁下部(マーカー)	tagret 281	-86803.323	-23191.160	116.236	標定点
外壁下部(マーカー)	tagret 270	-86794.270	-23174.876	117.574	標定点
外壁下部(マーカー)	tagret 102	-86792.152	-23168.621	117.727	標定点
外壁下部(マーカー)	tagret 279	-86787.762	-23161.948	118.373	標定点
外壁上部(特徴点)	P1	-86815.331	-23208.142	123.144	標定点
外壁上部(特徴点)	P2	-86809.943	-23200.929	125.918	標定点
外壁上部(特徴点)	P3	-86805.921	-23196.236	124.152	標定点
外壁上部(特徴点)	P4	-86802.087	-23191.967	124.101	標定点
外壁上部(特徴点)	P5	-86795.691	-23179.566	127.085	標定点
外壁上部(特徴点)	P6	-86791.150	-23170.069	125.411	標定点
外壁上部(特徴点)	P7	-86786.561	-23161.546	124.598	標定点
外壁上部(特徴点)	P8	-86797.744	-23185.625	127.127	標定点

全体投影図の作成にあたっては、計測範囲の両端に投影基準点を設定し、側面と平面の投影図を作成した。側面は、基準点を結んだ面に投影することで作成できる（図 6）。平面は、どの高さから投影するかによって、形状などは異なっていく。横穴の構築された位置は、高低差があり一定ではない。崖面の形状も、標高によって変化していく。各横穴の形状を示せるように、それぞれ抽出してつなぎ合わせる作業を行って示すこととした（図 7）。

一方、横穴ごとの正射投影図は、鹿納が担当して作成した。フリーソフトウェアの Blender 4.1（以下 Blender）を使用して書き出しを行った⁷⁾。Blender を用いた作業手順などは、別に詳述する予定のため、ここでは詳細は省略し、作業の要点のみを述べる。

最初に、各横穴の平面形状から軸線を設定する。軸線を基準面に、左側と右側を投影した画像を作成した⁸⁾。入口を外側から見た画像は、軸線に沿って投影し、内側に見える奥壁は消去している。玄室の中ほどを基準に、横断面面を示す面を、軸線に直角に交差する方向で設定し、そこから奥壁側の投影図と入口側の投影図を作成した。床面と天井を見上げた投影図は、玄室内の構造や羨道が入る高さで投影面を設定した。

床面の正射投影図に顕著に現れているが、断面のラインの外側に、後ろの部分の壁の裏面が見える場合がある。通常は、断面ラインと内側の投影部分の関係が判りづらくなるため、断面ラインの外側は、全て消去して示すことが多い。しかし今回は、外側に見える裏面を、あえて消去しないで示した。

3 次元計測データから床面の正射投影図を作成する際、ある一定の高さで切断し、そこから下側を投影した図を作成することが、もっとも簡単である。その際、床面や羨道などの一番高い所に、切断面を合わせる必要がある。切断面と床面の低い部分との高低差が大きいと、切断面とのずれが大きくなることもある。壁面の傾斜がある場合は、床面の輪郭が切断面の断面ラインより外側まで出てしまい、その部分は示せないこととなる。この問題を解消するには、切断する高さを細かく変化させて作成するか、床面のラインを手作業で拾うなどの作業が必要となり、非常に多くの手間を有することとなる。大村横穴は、床面から直立せずに傾斜して壁が立ち上がるため、影響が大きくなる。今回は時間的制約もあり、投影面は一定の高さのままとし、投影面の断面より外側に見える裏面を、あえて消去しないで示し、床面の広がり判るようにした。軸線に沿った投影図でも、一部が断面から外側にでるため、同じように外側に見える裏面を、あえて消去しないで示した。断面のラインは、わかりやすいように、陰影図にカラー情報を加えたものは白線で、陰影図のものは黒線で示した。

陰影画像の作成

陰影画像も、Blender を用いて書き出した。3 次元データから 2 次元画像とする際に、凹凸を表現する方法は、様々な方法がある。今回は、仲林篤史が遺物を対象に提案した、Blender を用いて陰影を強調する方法（仲林 2023）を参考にし、より簡略化した方法で作成した。

Blender で頂点色付きメッシュデータから画像出力（レンダリング）する際に使用したレンダーエンジンは Workbench である。レンダリングプロパティは以下のとおりである。照明は MatCap を選択し、投影面に平行する面は明るく、そこから傾斜が強くなるほど暗く表現する方法を選択する。特定の方向から光をあて陰影を付ける表現方法ではないため、カメラから見た傾きを同じように表現することができる。カラーの選択は、マテリアルにすると傾斜がグレースケールで表示され、属性にすると色情報に傾斜の明暗を乗算した表示となる。同じカメラでカラーをマテリアルと属性で切り替えると、2 種類の画像を簡単に出力することができる。次にオプションでキャビティにチェックを入れ、タイプは両方（ワールドとスクリーン）を選ぶ。ワールドとスクリーンで尾根と谷の係数を設定できるようにするので、それぞれを最大値に設定した。カラーマネジメントで露出とガンマを調整して、強調したい特徴が出るような設定にする。このような設定でレンダリングすることで、横穴の切削痕などの特徴を表現できる。

6. 計測成果について

上記のような作業を行って作成した各横穴の正射投影画像を、Adobe Illustrator へ埋め込み配置し、床面、天井面には座標値を、各種展開面は標高値の入力を行った。図 8 から図 23 に、各横穴の展開図として配置したものを示す。天井を見上げた図面は、公共座標値が裏返った状態となるので、ご留意いただきたい。縮尺は 40 分の 1 に統一し、カラー情報を入れたものと、陰影画像だけのものの 2 種類をそれぞれ示した。壁面の凹凸などを示すためには、本来は 20 分の 1 より大きな縮尺の方が望ましいが、紙幅の関係で、やむを得ず 40 分の 1 とした。

各横穴を示す展開図とは別に、7 号と 11 号については、外側の装飾部分を拡大した、縮尺 20 分の 1 の正射投影図を示した。カラー情報を入れたものと、陰影画像だけのものの 2 種類をそれぞれ示した（図 22 ～ 24）。

今回試みた陰影の表現は、投影面に平行な面は明るく表現され、そこからの傾斜に応じて、暗く表現される。大村横穴の装飾は、浮き彫り状に掘り出されたものであり、表現されるモチーフは、平坦な面として作られている。そのため、今回の陰影画像の表現方法は、適したものであると評価できると考えられる。

WP1

EP1

•
H=130m

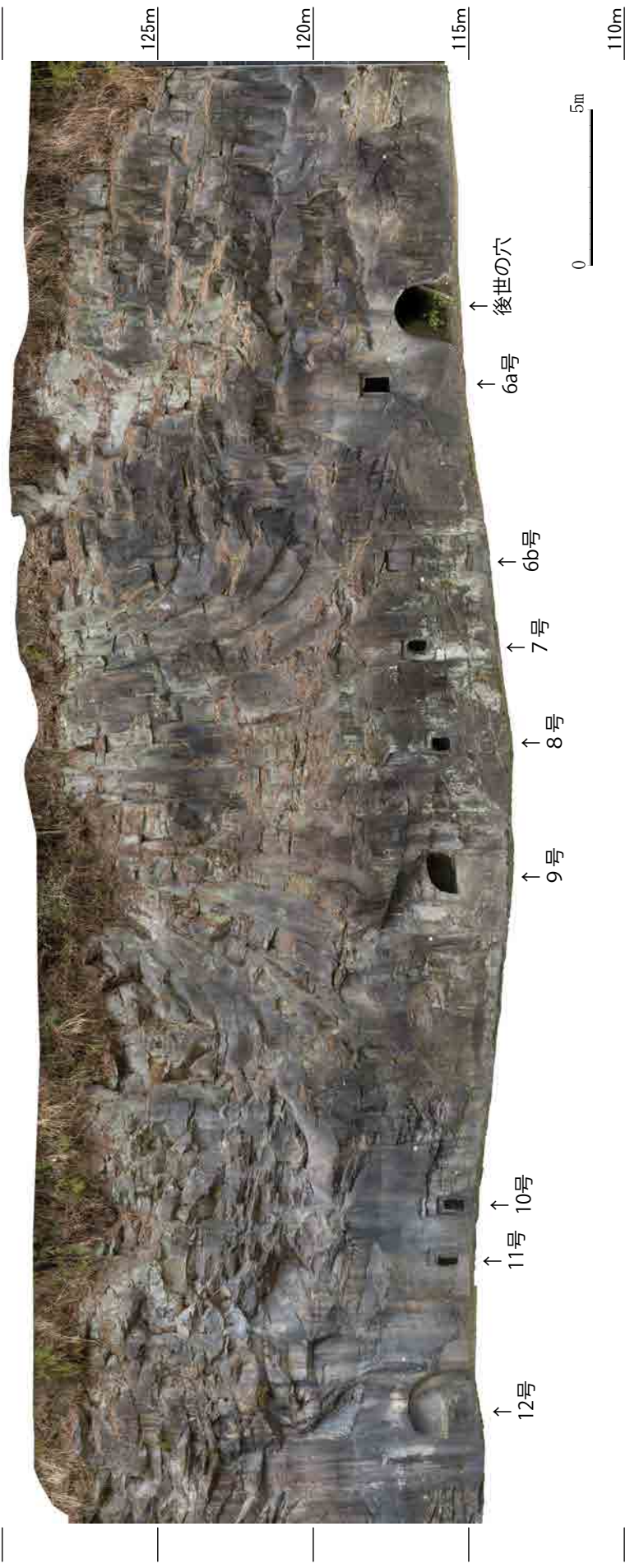


図6 大村横穴群東群側面正射投影図



図7 大村横穴群東群平面正射投影図

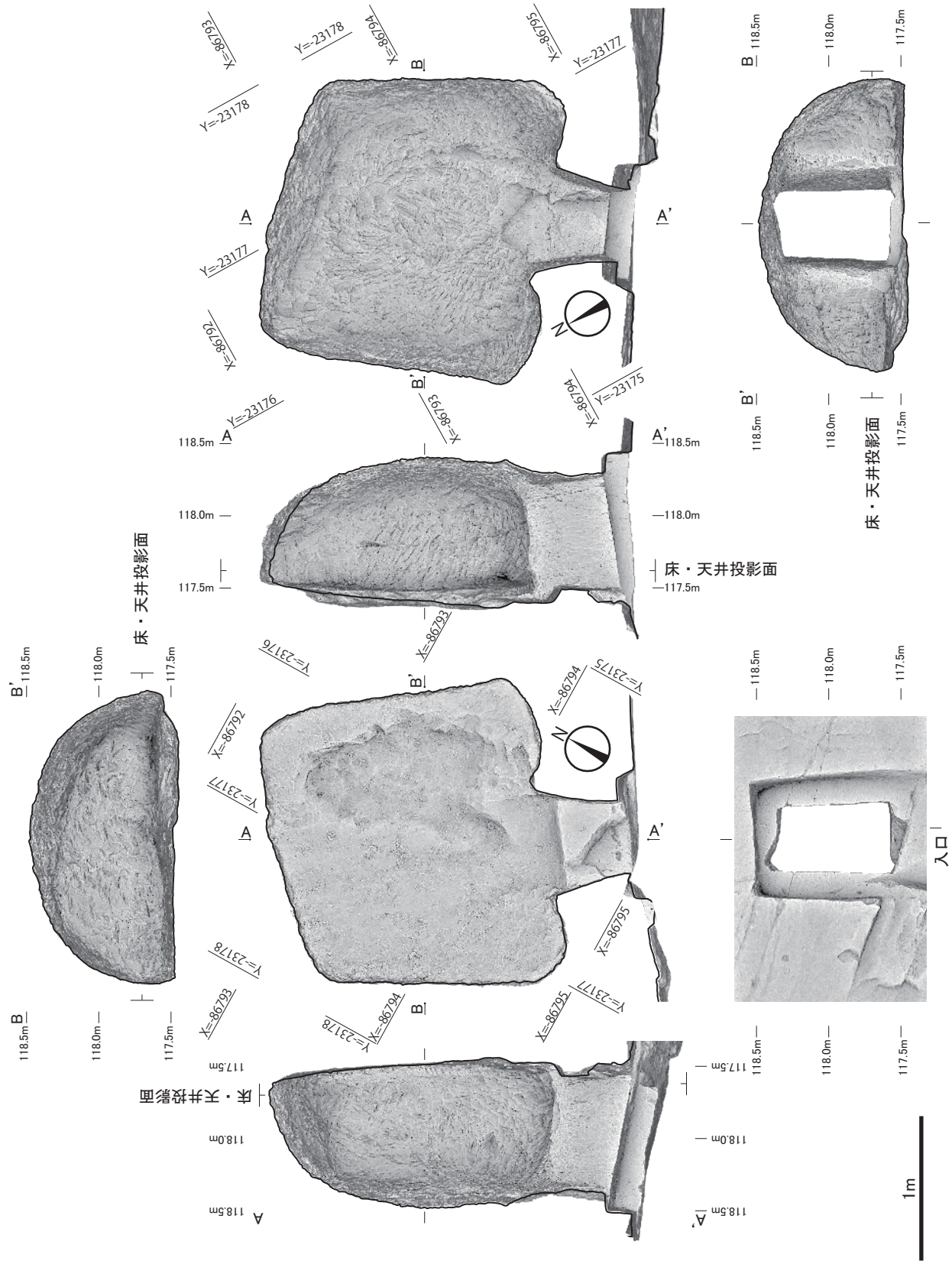


図 9 大村横穴群 6a 号横穴展開図 (陰影図)

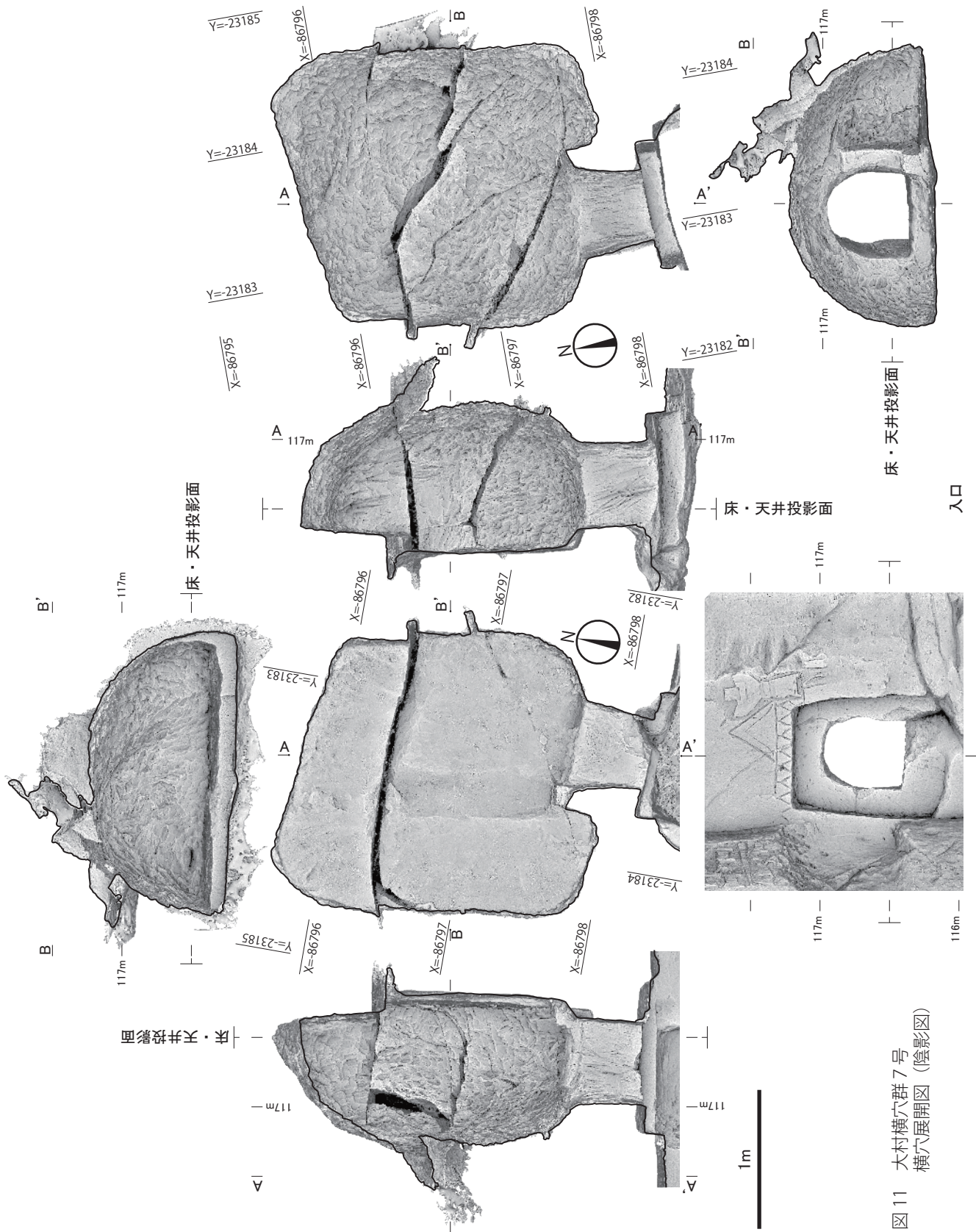


図 11 大村横穴群 7 号
横穴展開図 (陰影図)

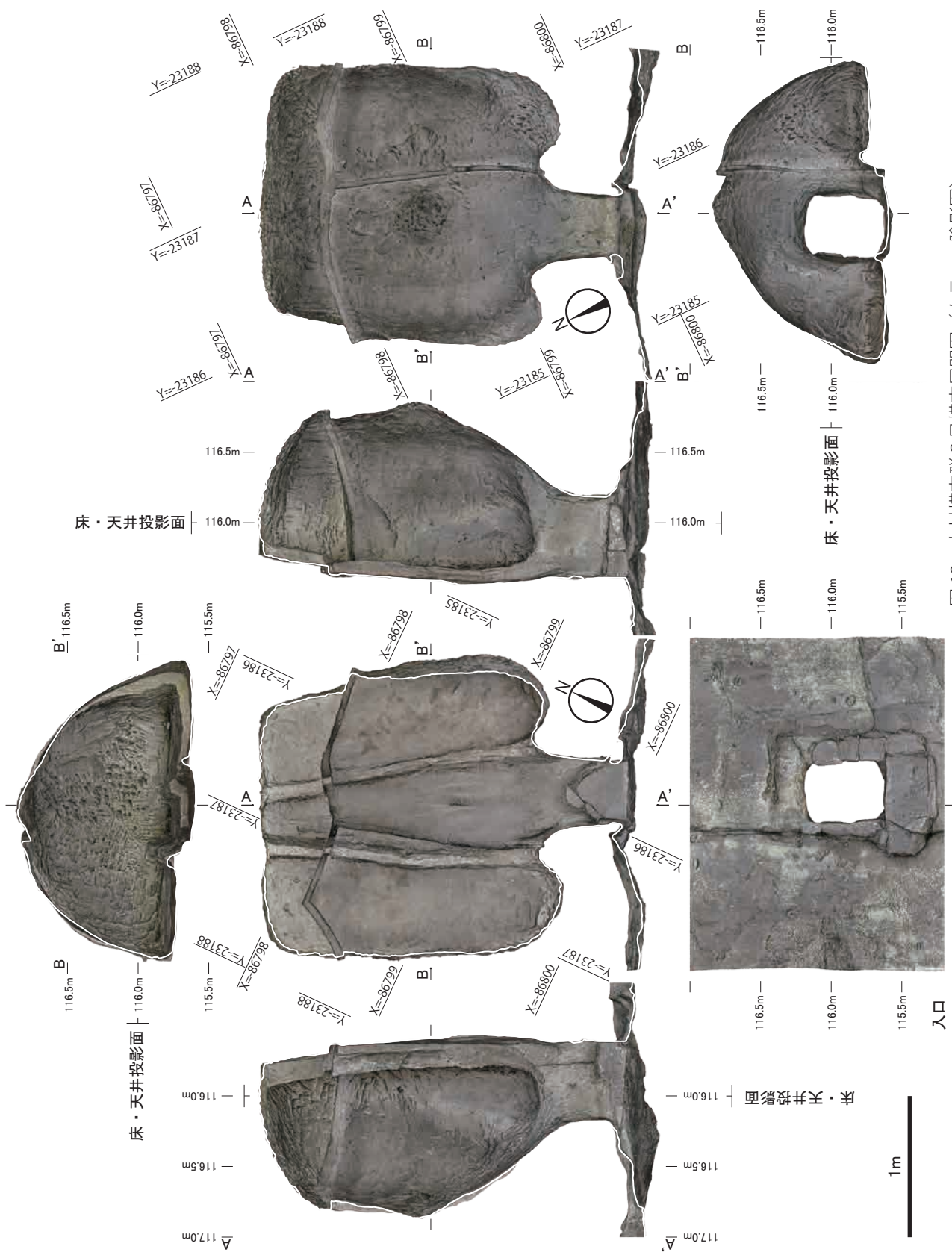


図 12 大村横穴群 8号横穴展開図 (カラー・陰影図)

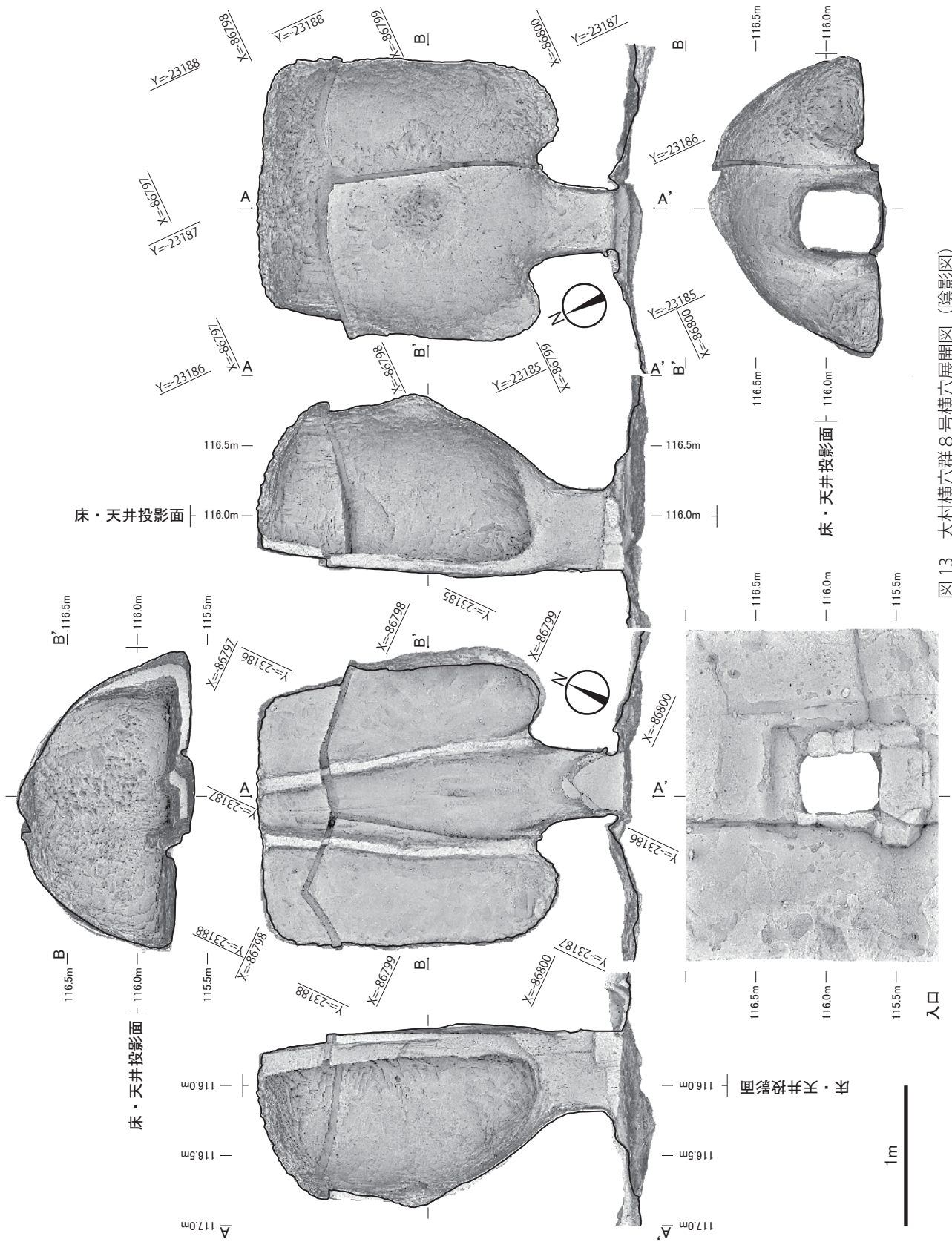


図 13 大村横穴群 8 号横穴展開図 (陰影図)

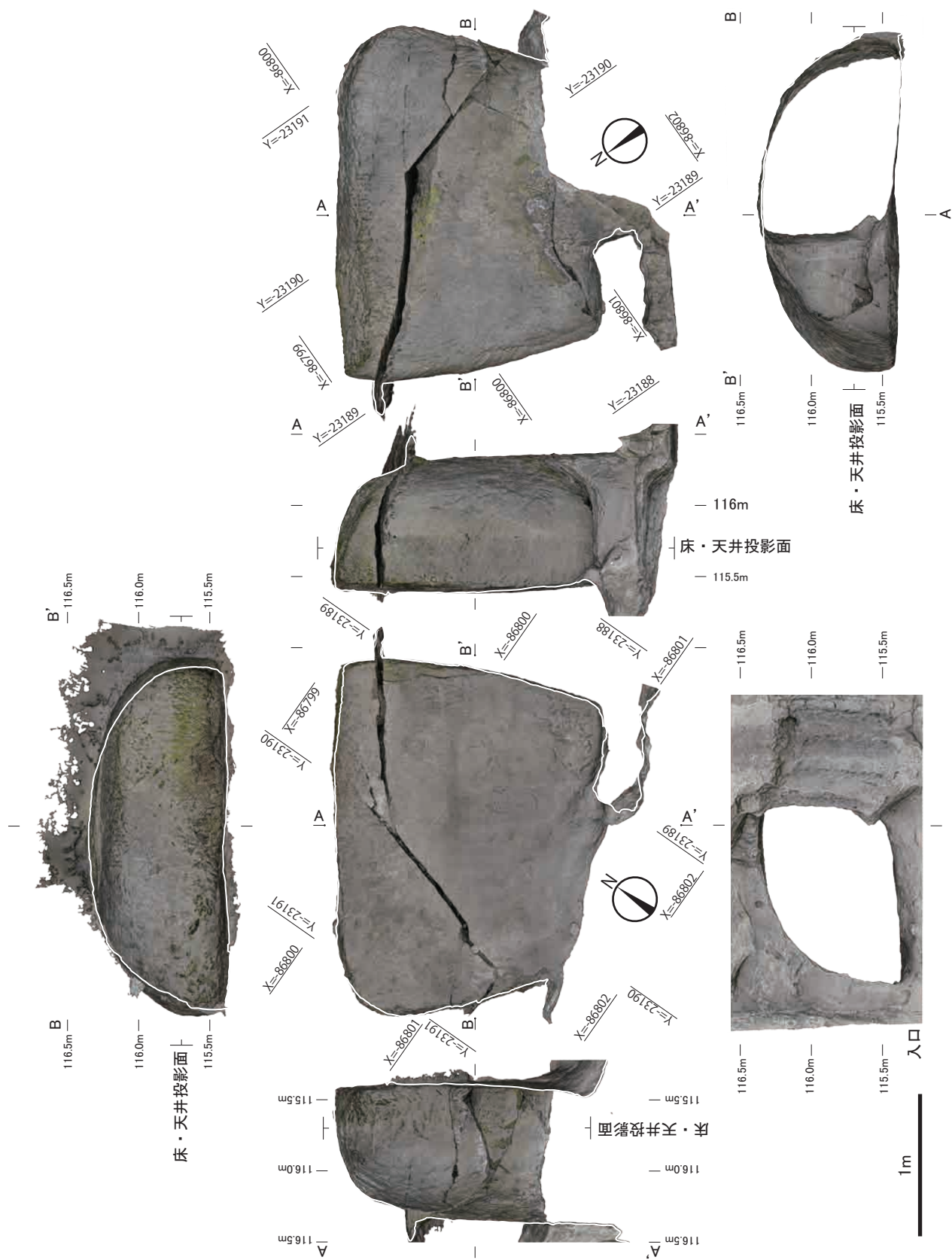
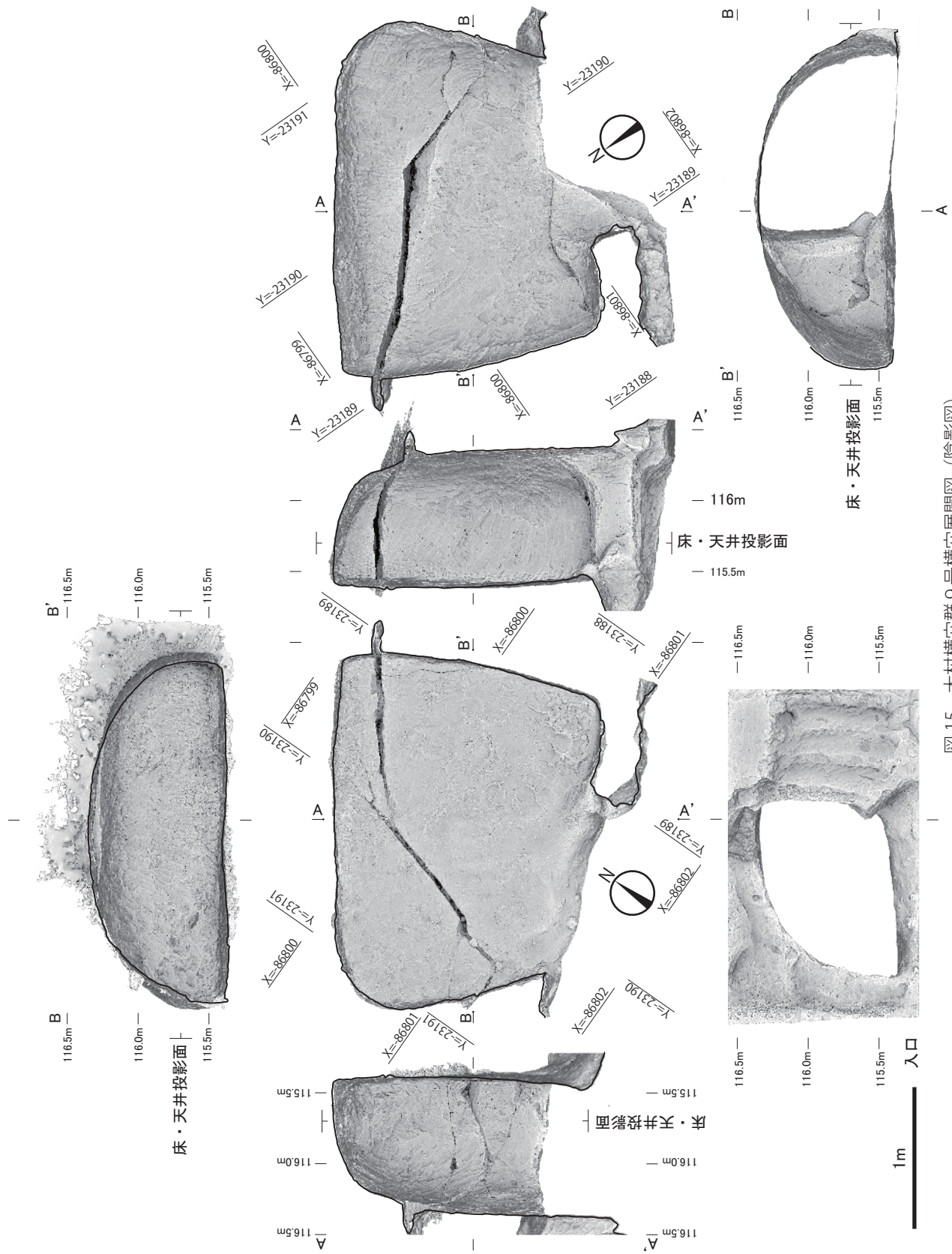


図14 大村横穴群9号横穴展開図(カラー・陰影図)



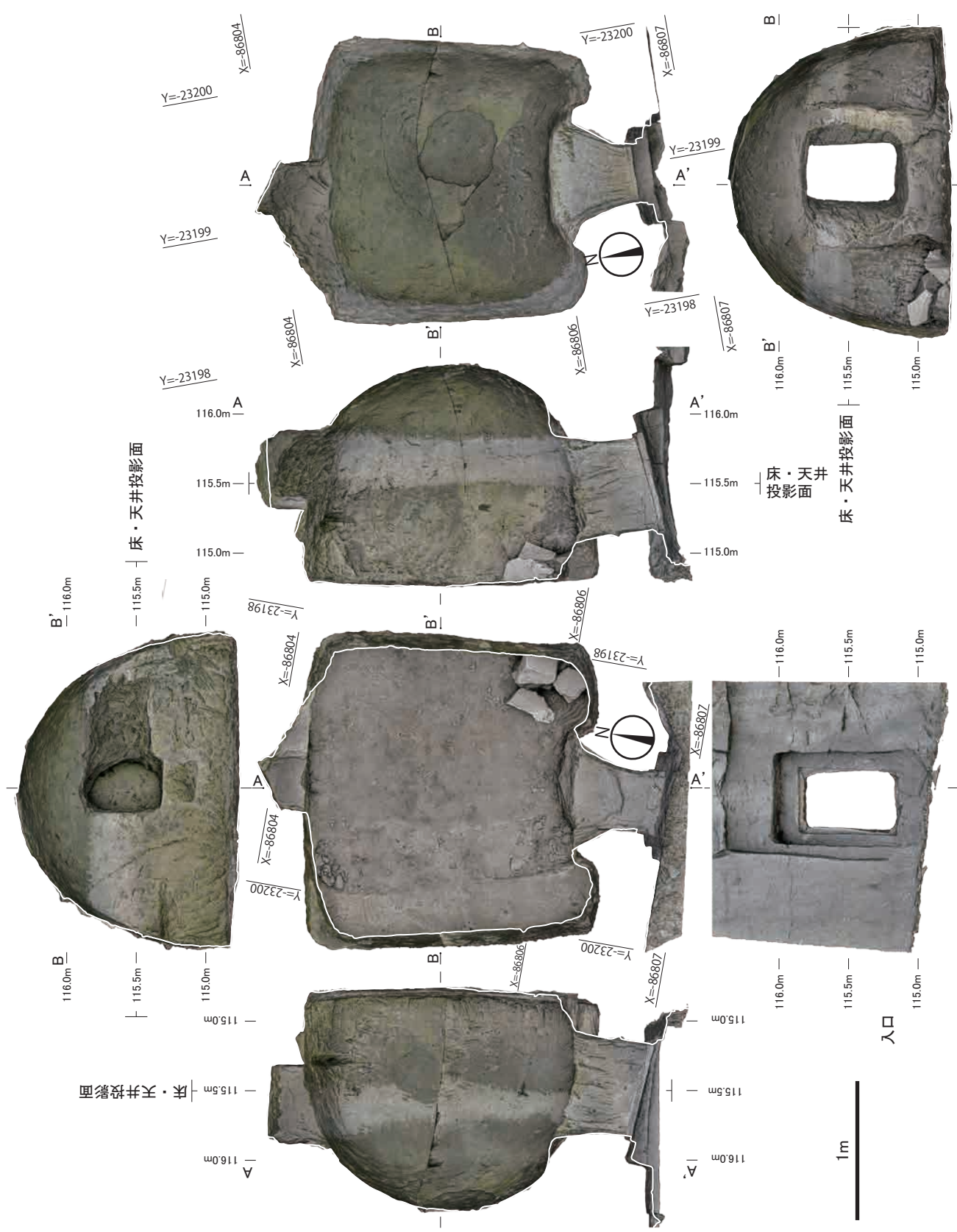


図 16 大村横穴群 10 号横穴展開図 (カラー・陰影図)

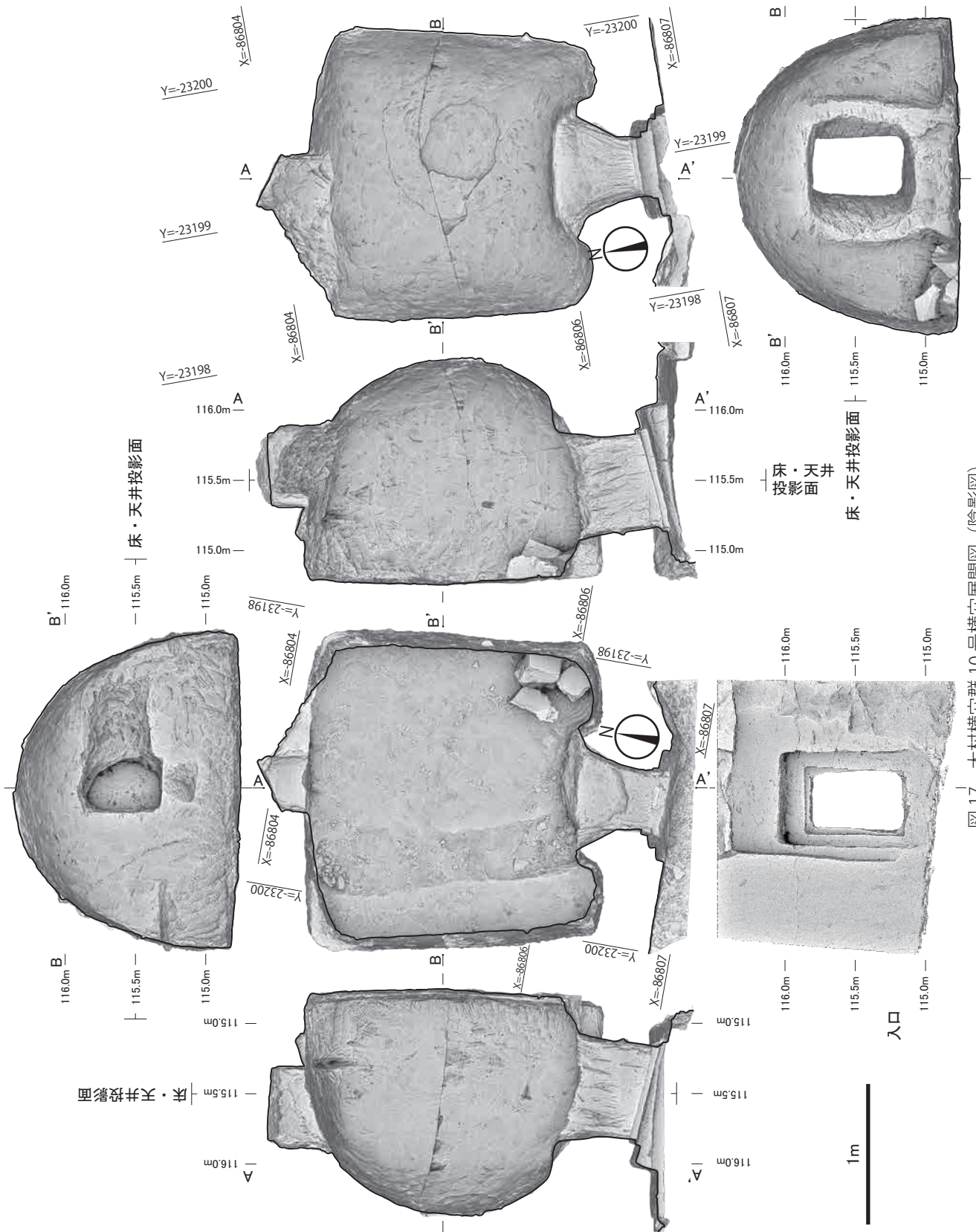


図 17 大村横穴群 10 号横穴展開図 (陰影図)

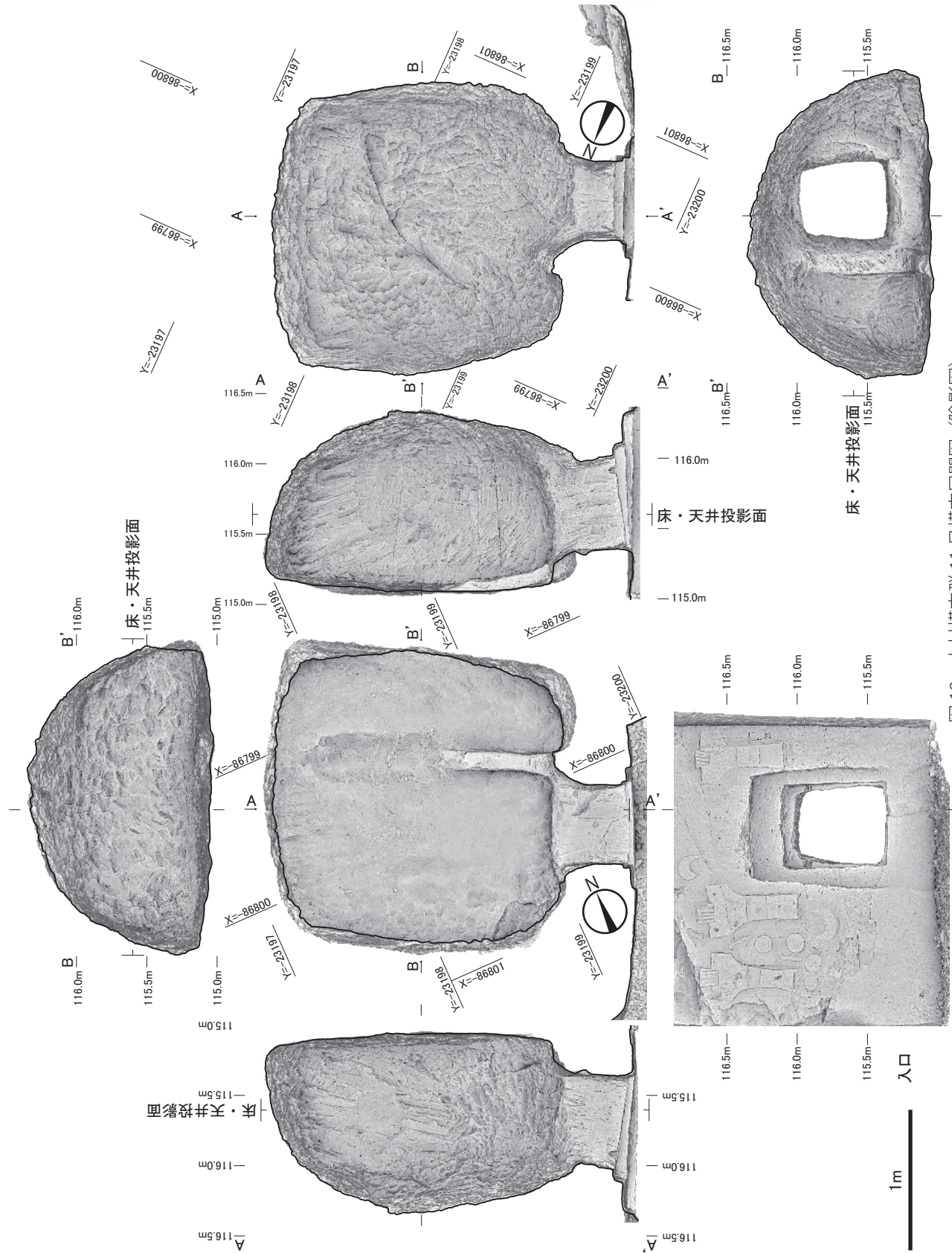


図 19 大村横穴群 11 号横穴展開図 (陰影図)

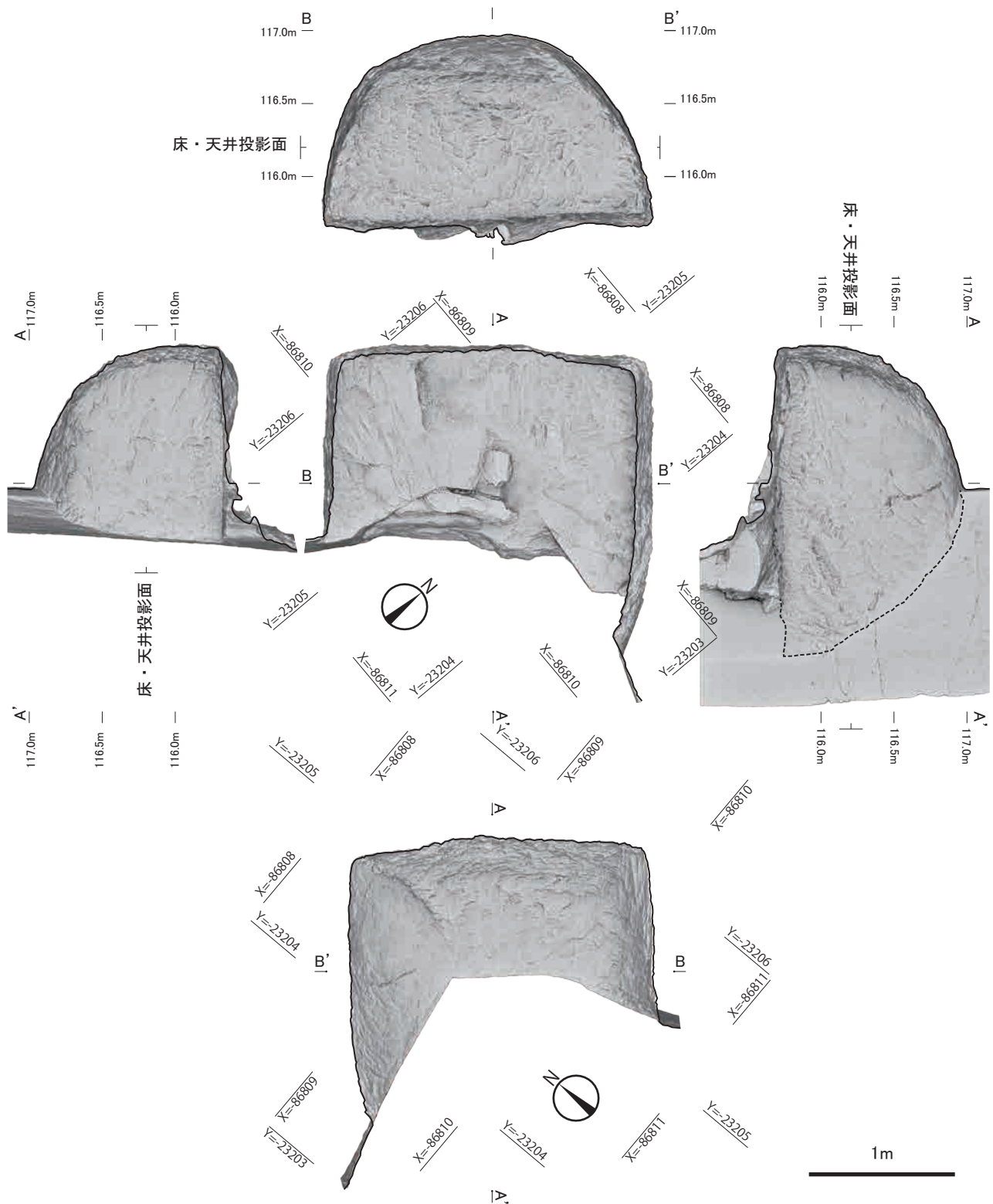


図 21 大村横穴群 12 号横穴展開図 (陰影図)



図 22 大村横穴群 7 号横穴装飾詳細図 (カラー・陰影図)

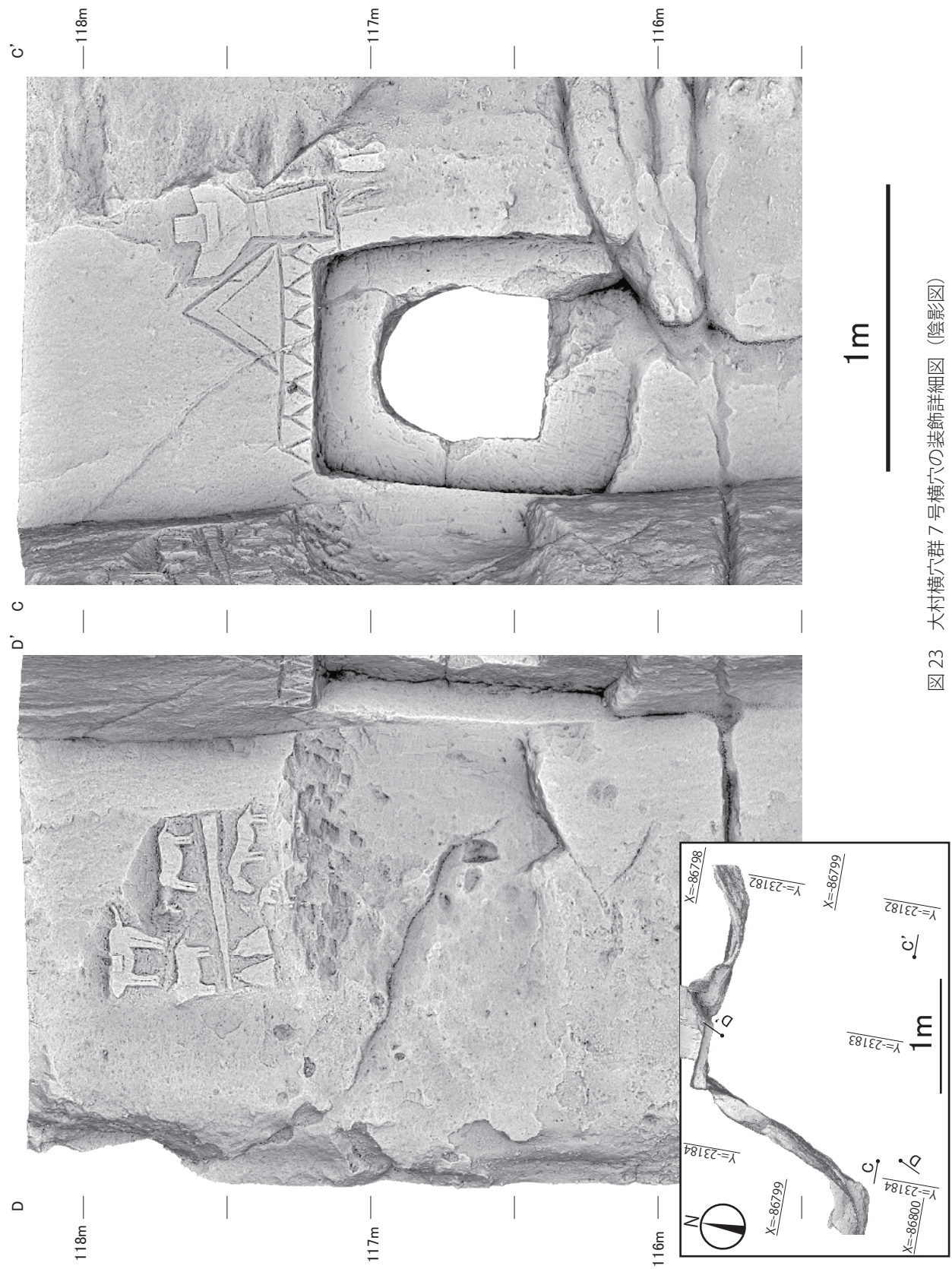


図 23 大村横穴群 7 号横穴の装飾詳細図 (陰影図)



図 24 大村横穴群 11 号横穴の装飾詳細図

1m

7. まとめ

今回の計測では、横穴群の広範囲を対象として、SfM 法で計測することを試行した。委託をした株式会社とっぺんの担当者が、詳細な部分まで図化できるように、撮影を工夫してくださったことによって、解像度も充分高い 3 次元データを得ることができたと言える。特に、横穴内に見える亀裂については、想定していた以上に、深い部分まで図化することができた。亀裂の深い部分まで図化するためには、撮影方向や枚数、照明方法をかなり工夫する必要がある。担当者の努力によるところが大きいことを明記しておきたい。

図 25 は、2021 年度データをもとに、裏面から見た状態を示したものである⁹⁾。崖のなかから見た状態を示しており、現実には見ることができない、3 次元計測データだけで見ることができる画像となっている。9 号横穴から 7 号横穴にかけて、亀裂が一連の位置でつながっていく様子が見て取れるであろう。亀裂を深くまで図化できたことによって、このような画像を得ることができた。この画像を見ると、大村横穴群の亀裂が連続した大規模なものであり、崩壊の危険が極めて高い、深刻な問題であることが一目瞭然である。1994～2004 年度に実施された長尺アンカー打設をはじめとする保存工事が、いかに重要であったことが理解できる。このような危険性を示すためにも、3 次元計測が有効であることが示せたと言えるであろう。

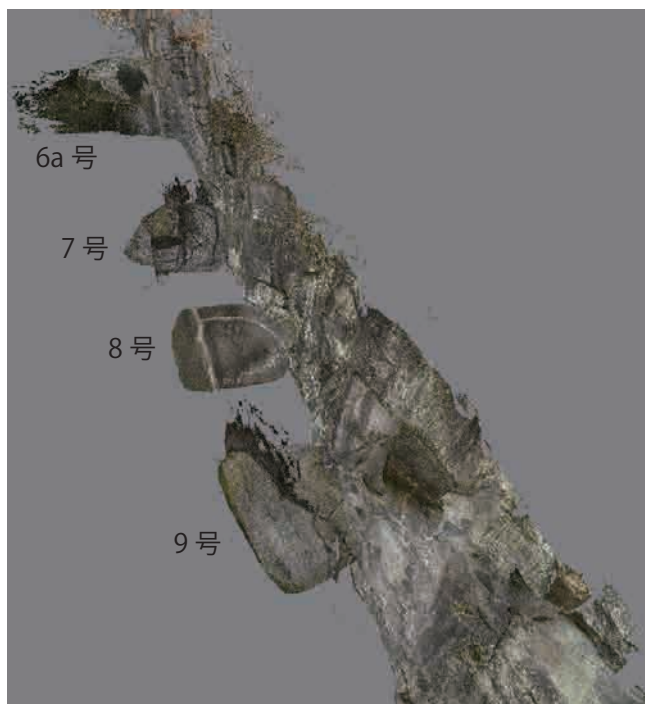


図 25 6a 号～9 号を背面から見た画像

これは、万一の事態に備えたデータ取得という主要な目的に加えて、さまざまな利点があることの一端を示すものと言えよう。今回は、計測成果の報告を中心としたため、装飾や横穴壁面の加工痕跡の検討、亀裂の問題など、詳細な分析までは行えていない。遺跡の活用にあたっての 3 次元データ利用も重要な課題である。今後、多方面で、このデータが活用されることを期待したい。

※本論には、日本学術振興会（JSPS）科研費 20H00019「石材構築文化財の保全のための 3 次元デジタルアーカイブの標準化の研究」（基盤研究 A・2020～2024 年度・研究代表者藤沢敦）による研究成果を含みます。

謝辞

今回の計測では、人吉市教育委員会歴史文化課の各氏には、多大なご協力をいただいた。現地での計測作業と、計測データの加工を担当いただいた株式会社とっぺんには、様々な面倒な依頼にも丁寧な対応をしていただいた。ここにあらためて感謝したい。

註

- 1) 本科研費での研究については、WEB ページを作成し、その概要を紹介しているので参照されたい。
<https://webdb1.museum.tohoku.ac.jp/index.html>
- 2) 横穴の呼称には、横穴や横穴墓など複数がある。ここでは、史跡指定名称である「大村横穴群」を使用する。
- 3) 本科研費で計測した成果で、これまでに報告しているのは、次のとおりである。
 - ・福島県双葉町清戸迫横穴：東北大学総長裁量経費を利用して 2016 年度に計測。光学式非接触ハイエンド 3D スキャナである SmartSCAN-HE を使用。計測成果の整理等に本科研費を利用。藤沢・鹿納・吉野・小池 2023。
 - ・東北大学正門・小川記念園：2020 年度に SfM 法で計測。鹿納・藤沢 2021。
 - ・宮城県名取市経の塚古墳出土長持形石棺：2021 年度シン技術コンサルの協力で計測。藤沢・大橋 2023。
 - ・福島県須賀川市前田川大塚古墳石室：2022 年度計測の成果を菊地ほか 2023 で報告。2023 年度に SfM 法で再計測。再計測成果は、菊地ほか 2024 で報告。
 - ・福岡県朝倉市湯の隈古墳石室：2022 年度に SfM 法で計測。藤沢・鹿納・田尻・志村 2024
- 4) 2020 年 7 月の球磨川水害については、国土交通省九州整備局八代河川国道事務所による WEB ページ『令和 2 年 7 月豪雨球磨川水害伝承記～後代に残す記録～』を参照した。
<https://kumariver-r0207archive.jp/>

- 5) 10月18日の現地での検討の際には、熊本県教育委員会で3次元計測を進めておられる方も現地にお越し頂き、有益な意見交換ができた。大村横穴群の視察後は、水害による人吉城跡の石垣などの被害状況の視察を行うことができた。また人吉市に伺う前には、熊本市の塚原古墳群において、熊本地震での被害状況を視察し、熊本市の担当者の方々にご説明いただいた。いずれにおいても、文化財の保全のために3次元計測が有効であることを、あらためて知る機会となった。ご協力いただいた方々に、深く感謝する次第である。
- 6) 調査中には、熊本県教育委員会の有志の方々や、熊本市内の文化財保護行政関係者の方も現地にお越し頂き、有益な意見交換ができた。ご協力いただいた方々に、深く感謝したい。
- 7) The Blender Foundation, <https://www.blender.org/>
- 8) 横穴式石室などでは、奥から玄門側を見て、左右を示すことが一般的である。一方、入口側から奥壁側を見た際の方向で表現した方が記載しやすい場合もある。今回は、奥壁側を見た方向を基準に、左壁、右壁とする。
- 9) 東北大学総合学術博物館では、大量の色付き点群データを取り扱うために、エリジオン社の大規模点群加工ソフトであるInfPointsを導入し、合成処理、ノイズ処理、軽量化処理などの各種加工を行っている。図25に示した画像は、InfPointsのビューワーで2021年度データを表示させた画像を、キャプチャーし加工したものである。

引用・参考文献

- 鹿納晴尚・藤沢敦 2021「小型ドローンを利用した SfM 法による屋外構造物の3次元計測」『Bulletin of the Tohoku University Museum』No. 20、67～78頁、東北大学総合学術博物館
- 菊地芳朗ほか 2023『前田川大塚古墳1・大仏古墳群1』福島大学考古学研究報告第16集
- 菊地芳朗ほか 2024『前田川大塚古墳2・大仏古墳群2』福島大学考古学研究報告第17集
- 小林行雄編 1964『装飾古墳』平凡社
- 杉井健編 2023『ドローンによる空撮写真を用いた熊本県球磨郡錦町四ツ塚古墳群の測量調査—その成果、手順、課題—』熊本大学文学部
- 高木正文 1984「大村横穴墓群」『熊本県装飾古墳総合調査報告』熊本県文化財調査報告第68集、344～355頁、熊本県教育委員会
- 仲林篤史 2023「古代瓦の三次元データを用いたシェーディング処理の検討」『デジタル技術による文化財情報の記録と活用5』奈良文化財研究所研究報告37、75～90頁、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所
- 濱田耕作 1917「球磨郡大村城ヶ下横穴群」『肥後に於ける装飾ある古墳及横穴』京都帝國大學文學部考古學研究報告第1冊、48～54頁、京都帝國大學
- 人吉市教育委員会編 2018『史跡大村横穴群保存活用計画書』人吉市教育委員会
- 藤沢敦・鹿納晴尚・吉野高光・小池雄利垂 2023「福島県清戸迫横穴の高精細3次元計測」『Bulletin of the Tohoku University Museum』No. 22、7～38頁、東北大学総合学術博物館
- 藤沢敦・大橋葵 2023「経の塚古墳と東北の埴輪」『国家形成期におけるヤマト政権と地域権力の相互関係の再定義 - 東北地方を中心に -』科研費報告書、35～44頁、福島大学行政政策学類
- 藤沢敦・鹿納晴尚・田尻義了・志村将直 2024「福岡県湯の隈古墳の高精細3次元計測」『Bulletin of the Tohoku University Museum』No. 23、7～38頁、東北大学総合学術博物館