写真 12　山王横穴墓群１号墓　検出状況

写真 13　山王横穴墓群１号墓　羨門（手前）と墓室

写真 14　山王横穴墓群１号墓　羨門付近俯瞰状況

写真 15　山王横穴墓群１号墓　礫床と奥壁
（大田区教育委員会提供）

写真 16　山王横穴墓群１号墓　人骨出土状況

写真 17　山王横穴墓群１号墓　礫床敷設状況

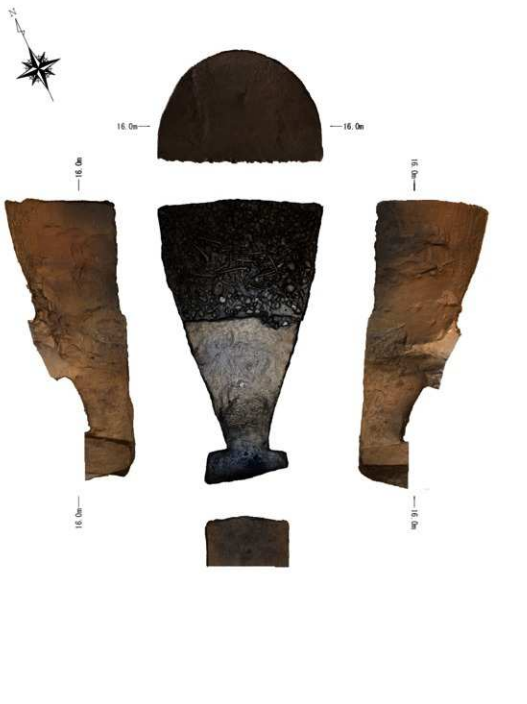

図 13　山王横穴墓群 1 号墓展開図

※床面・両側壁・奥壁・手前壁は SfM を使用して作成した Ortho 画像と DEM の合成図（Ortho は 30% 透過、DEM は QGIS 上で陰影図処理をかけた）。床面の礫の敷設範囲のみ三次元スキャンで取得したデータを元に作成した DEM を重ね合わせている。

い部分では羨門の 0.59m である。なお、図 13 の両側壁の天井部に確認できる穴は、地上での住宅解体工事に伴う掘削で天井の一部が崩落したものである。

床面は２段に造られており、羨門から 1.73m、横幅 1.55m の地点に 5cm 程の段差を設けていることから、羨道と１段高い玄室を区画しているとも考えられる。礫床は奥壁付近のみに施され、５～ 15cm 程の河原石を敷き詰めている。

奥壁は天井形と対応してカマボコ形を呈し、床面から天井まで垂直に立ち上がる。また、発掘調査の対象外であったが、手前壁はローム層に溝状に掘り込まれた墓道の一部で、幅 1.07m を測る。なお、閉塞石（もしくは土）は確認されていない。

１号墓出土人骨の三次元計測　１号墓内からは人骨が出土しているが、その他の副葬品や伴出土器などは確認されていない。人骨は計３体分が検出されており、いずれも墓室の礫床上に約 1.5 × 0.95m 四方の範囲で安置されていた。３体とも横穴墓主軸に直交して配置され、仰向けの伸展葬で南東に頭を向けている。図 13 では墓室左側に３体の頭骨、中心から右側にかけて腕骨や大腿骨などの太い骨が直線状に並んでいる状況が確認できる。三次元計測を利用することにより、人骨の位置を正確に記録できるが、この三次元データの活用によって解剖学的な人骨の位置関係についても明らかにすることが可能となる。

横穴墓内における人骨の配置に関しては、遺体の埋葬後も自然状態のまま安置される伸展葬と、人為的な人骨の移動を伴う改葬とに分けられる。改葬はさらに、人骨を１箇所にかき集めるないしは積み上げる集積、一見したところ伸展葬のように並べられているが解剖学的な位置をとどめていない疑伸展の２種類に分類される。柏木善治は以上の人骨出土状況から、神奈川県内の横穴墓における埋葬パターンを７種類に分類し、その分布から神奈川県内でも地域ごとに葬制の独自性

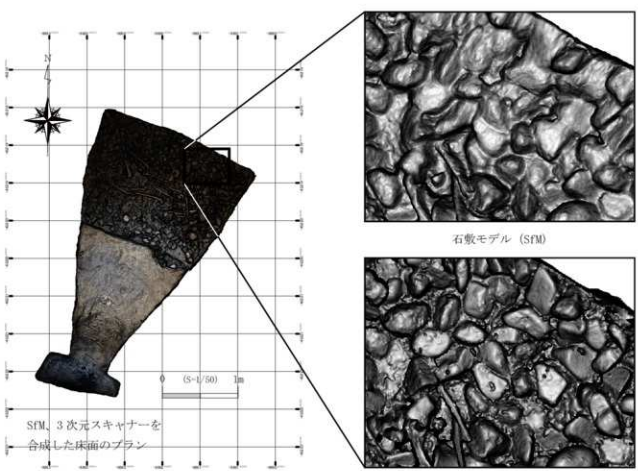

図 14　SfM 生成モデルと三次元スキャン計測データの比較

写真 18　山王横穴墓群 1 号墓　墓室床面
（大田区教育委員会提供）

写真 19　山王横穴墓群 1 号墓　墓室壁面
（大田区教育委員会提供）

が見て取れるとした（柏木 2013）。

横穴墓においては、密封性や温湿度などといった環境次第では、人骨が良好な状態で遺存していることがある。さらに、追葬に伴って複数人が埋葬されている横穴墓の場合には、きわめて多量の部位の人骨が検出される。横穴墓の墓内は一般的に狭く、そのような床面の実測図を作成するには、ある程度の水準の技術と時間が求められる。一方、三次元計測であれば技術を必要とせず、短時間で三次元データを作成することができる。その上で、三次元データを活用した人骨出土状況の分析を通して、従来の実測図のみでは必ずしも明確には観察できなかった人骨の配置を明らかにすることが可能となり、ひいてはその背景にある造営当時の墓制、ならびに死生観の一端についても明らかにし得る可能性も有している。

横穴墓における三次元計測の課題　図 14 では 1 号墓の床面について、SfM で生成したモデル、および三次元スキャナーを使用した計測データのモデルの両者を比較している。いずれも礫床部分の同じ箇所を計測したものであるが、三次元スキャナーの場合では人骨・礫を含め細部まで計測されているのに対して、SfM の場合は計測されたデータが比較的粗く、とりわけ礫と床面の接触部分が滑らかで、不明瞭となってしまっている。

今回の計測でも使用している SfM は、写真データから遺構の色情報を取得できる利点がある反面、三次元スキャンと比較すると細部まで計測することができない。写真 19 は左側壁の奥壁近くに残されていた壁面調整の際の工具痕であるが、図 13 からも分かるように、SfM による計測では工具痕は明瞭に記録されていない。

このように、肉眼でもある程度の観察が可能である人為的な痕跡が壁面に存在する場合であっても、計測の手法によっては情報として記録されないことが起こり得る。三次元計測を実施するにあたっては、十分な遺構の観察を行い表面に残る痕跡を把握した上で、それぞれ特性と利点の異なる三次元計測の手法の中から適切なものを選択し、それらを組み合わせながら必要な情報を最大限に記録できるよう努めることが重要である。

また、三次元計測で得られたデータは正確かつ客観的であり、この点こそが三次元計測の大きな強みの一つではあるが、反面として壁面の崩落箇所などといった、不必要である情報も含め全て計測してしまう。特に三次元計測では、礫や人骨の上に落ちた土や、計測時の不具合により発生したノイズなど、多くの余分な情報が入り込む場合がある。それゆえ、三次元データの利用に際しては、遺構の考古学的な観察を通して、情報の取捨選択を適切に行うことが不可欠となるだろう。

5－3　山王横穴墓群 2 号墓

遺構の概要（写真 20 ～ 25）　2 号墓は、1 号墓の西北西約 11m、調査区の西端で検出された（図 12）。主軸方位は N―12° ―W であり、円弧状の谷地形に沿って、開口方向が南東に振れている。発見のきっかけは、

写真 20　山王横穴墓群２号墓　発見地点（右端）

写真 21　山王横穴墓群２号墓　検出状況

写真 22　山王横穴墓群２号墓　羨門俯瞰状況

写真 23　山王横穴墓群２号墓　奥壁

写真 24　山王横穴墓群２号墓　礫床と人骨

写真 25　山王横穴墓群２号墓　壁面加工痕

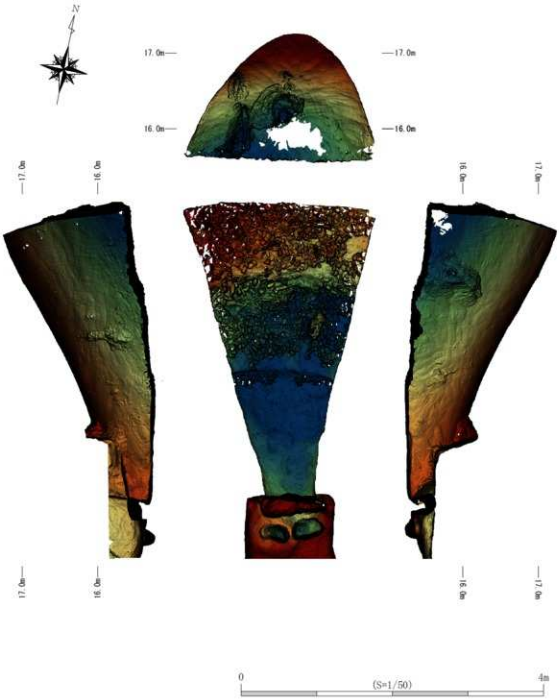

図 15　山王横穴墓群２号墓展開図

図 16　山王横穴墓群２号墓 SfM と三次元計測の合成図

新規擁壁を設置するための土留め掘削工事中に、重機が南側の墓室から墓道にかけての一部を損壊して開口したことによるが、墓室の遺存状態は比較的良好であった。

墓室全長 4.46m、奥壁幅 2.53m、奥壁高 1.72m を測り、山王地区周辺においては標準的な大きさの横穴墓である。墓室の平面形態はいわゆる撥形（半裁徳利形）であるが、両側壁部は直線的となっている。また、天井部はアーチ状であるが、奥壁の頂部は尖り気味である。全体的な形態や規模は、隣接する 1 号墓とはやや異なる様相を呈する。

墓室の床面部分は 3 段にわたる段差が認められ、奥壁から墓道に向かってわずかに低くなっている。排水溝や界石などによる仕切りは認められないが、段差の存在から棺床（棺座）を意識したもの考えられ、礫床が奥壁から 2 段にわたって敷設されていた。埋葬人骨は遺存状態が悪く、個体数の正確な把握は難しい。追葬の有無も不明である。また、副葬品や伴出土器も認められない。

SfM および三次元計測の概要　2 号墓では、遺構全体の SfM および三次元スキャナーによる三次元計測を実施した。使用した機材は 1 号墓と同じであるが、三次元スキャナーについては、遺構全体を計測するため、Surface の解像度をやや低めの 3.0 mm に設定した。今回報告する 3 基の横穴墓のうち、SfM と三次元計測という異なる 2 手法で、同一遺構のほぼ全体を計測した唯一の事例である。SfM に半日、三次元計測に 1 日半、合計 2 日間かけて、計測作業を実施した。

計測の成果　三次元スキャナーによる計測結果を、墓室床面を中心に展開して表示した（図 15）。表示の方法としては、赤色立体地図などもあるが、ここでは、横穴式石室でも試行されたように（青木・ナワビ 2016）、アーチ状を呈する壁面の湾曲構造を再現するために、色調による距離段彩を採用した。

横穴式石室のような多面構造の内部空間を持たない横穴墓は、従来の実測図の表現方法としては、平面図に加えて主軸とそれを横断する方向の断面図や奥壁の見通し図でその形態を復元するのが一般的である。そのため、明確な面や稜を持たず、天井まで連続する横穴墓の側壁部を、二次元の実測図で表現することは難しい。横穴墓の調査において、SfM や三次元計測の手法を用いることは、欠落しがちな側面情報を取得する上で有効である。

大田区内で発見される横穴墓には、羨門や閉塞石に凝灰岩などの石材を使用するものもあるが、関東ローム層を掘り込んで内部空間を構築し、被葬者が安置される床面付近に川原石を敷設するだけのシンプルな構造のものが大半を占める。したがって、横穴墓を構築する際にもっとも明瞭な痕跡として残るのは、墓室内部の床面から天井まで一体となった壁面に残る工具痕である。恐らくは大まかに地山を掘削した後、内部の形状を整えるための細部調整を行っており、表面に残る痕跡のほとんどは、後者のような整形に伴う最終調整であると考えられる。

工具痕は、調整が大雑把で粗いほど、壁面を掻き取った際の工具の単位や方向が顕著に現れる。2 号墓では、整形が比較的丁寧に行われており、工具の単位を見出すことは難しかったが、大まかな調整方向を可視化できた。横穴式石室の石材にみられる加工痕の判別などと同様、横穴墓の構築に伴う地山掘削などの技術の復元が、造営集団の追究に不可欠であると考えられる。図 16 には、SfM と三次元計測それぞれの平面図、および両者を合成した平面図を提示した。今回の計測で使用したハンディタイプの三次元スキャナーは、色彩の情報を取得できないため、デジタルカメラでカラー撮影した画像を基に三次元モデルを生成するまで SfM と合成することで、暗所となる地下遺構においても、墓室内部の関東ローム層、礫床（川原石）、人骨など、色調の異なる遺物や遺構の構築要素を明瞭に峻別することができた。

2 号墓では、異なる複数の計測方法を併用しながら、横穴墓の微細な形態の記録と構築技術の再現を試みた。三次元スキャナーによる正確な三次元計測と SfM による色彩情報の取得によって、遺構の立体構造をより詳細かつ明瞭に復元できたことは、主に墓室の平面形態の比較から論じられてきた横穴墓研究の今後を考える上でも重要であり、同様の調査事例を蓄積していく必要があろう。

5－4　GPR 探査の成果

山王横穴墓群の GPR 探査　1 号墓の発見後、三次元計測に先立って、①調査区内における他の横穴墓の存否確認、②1 号墓（地下空洞）の反応のデータ取得を目的として、GPR 探査を実施している。調査は 2015 年 10 月 3 日、降雨後数日を経た快晴の日に行った。準備段階として、南西隅を原点とし、最初の測線を崖面に沿うように設定した。探査区の四隅はトータルステーションを用いて測距し、横穴墓の位置を正確に合

わせられるようにした。

本調査で用いたアンテナは250MHz で、地表下約３～４m の状況の把握に適した中心周波数をもつアンテナである。レーダー探査では、走査した測線ごとの深さに応じた反応データを断面図的に取得する。これをProfile と呼ぶ。Profile を各測線に並べ、地表からの同じ深さで平面的に切り取ったものをTime-Slice と呼ぶ。調査区図面に横穴墓位置を当てはめ、探査区の四隅の座標からTime-Slice を当てはめたものが図17である（反応が最も明瞭なTime-Slice=75ns を選択した）。図18は一定の深さごとのTime-Slice を並べたものである。左上から横方向に向かって、深さ5ns（約15cm）間隔で地中の反応を切り出している（左上が0ns＝地表下0cm）。提示したTime-Slice では、強い反射波ほど赤く表示され、弱い反射波は青く表示される。ただし、反応の表示は相対的なものであるため、解釈の際にはProfile との比較が必要である。

以下、探査区の反応について、考察を加えながら解釈していく。

空洞の反応の把握　GPR 探査は、１号墓が発見された後、余り時間を置かず実施した。横穴墓のような地下空洞の、GPR 探査における反射波としての記録のされ方を把握するため、１号墓直上を通過するように測線を設定した。結果、１号墓が重なる地点、x=0m～1m、y=3m、地表下70ns 付近（約2m）より強い反射波が確認できる。この反射波はProfile（図19）上でも放物線のような形で確認できる。特に、x=0m～1m では放物線が明瞭であり、この位置は開口している１号墓の位置や深さと一致している。地中における空洞はProfile において同様な反応をとして現われるケースも報告されているため、この放物線は１号墓に反応したものであると考えてよい（Conyers2013a）。今後、地下に空洞状遺構の存在が想定される遺跡において、探査を実施する際、貴重な比較材料となり得るデータである。

他の横穴墓の反応　横穴墓は同じ標高に並んで築造され、斜面地の一定の範囲にまとまって横穴墓群を形成する事例が多い。探査を実施する際も、１号墓に近接して横穴墓が存在する可能性が大いに考えられた。実際、GPR 探査実施後に調査区の端より２号墓が検出されている。しかし探査の解析結果からは２号墓の存在の可能性を指摘するに至らなかった。本横穴墓群のGPR 探査において、２号墓を把握できなかった原因は次の２点に集約されると考えている。１つ目は、設定した探査区の範囲が２号墓全体をカバーできなかった点である。隣地境界まで建物が迫り擁壁が存在していたため、探査区を十分に拡げることができず、地下空洞の検出には至らなかったと考えられる。２つ目は、建物自体に反応してしまい、明瞭な反応を把握できなかった点である。建物や擁壁などの現代の構築物には多くの金属やコンクリートが使用されており、探査区の端に向かうにつれ、ノイズとして拾ってしまっている状況がProfile からもわかる。既存建物や高圧線などは致し方ないが、探査結果に直接影響するノイズは極力避けるべきである。

まとめ　ここまで山王横穴墓群に関してGPR 探査の成果を提示し、若干の考察を行った。GPR 探査を実施することによって、地下空洞の反応データとともに、効果的に遺跡の情報を取得することに成功した。GPR 探査によって、地中の状況の全てを理解できるわけではないが、測量・発掘の結果と合わせることによって、反応の性格を位置付けることが可能である。

GPR などの探査の実施において、遺構そのものを実見できるケースは稀であり、データのみによる地下状況の解釈には限界がある。一つの反応について、反射の深さや強さはわかるが、その性格まで判断することは困難である。探査結果を最大限に活かすためには、発掘調査との比較や層序の断面との刷り合せが重要になるが、今回のように遺構の性格に応じた反応データを蓄積することで、GPR 探査の精度は向上すると考えられる。

５－５　小結

第３部では、開発行為に伴う記録保存調査を実施した横穴墓におけるSfM と三次元計測、およびGPR 探査の成果を報告した。

大田区内でこれまでに280 基を超える確認・調査事例を有する横穴墓は、基盤層となる関東ローム層を掘り込んで築造されているが、高低差のある斜面地では、地表下約２～３m、時には５m前後の深度から発見されることも珍しくない。しかし、掘削が擁壁工事などに限定される場合、必要以上に地盤の強度を弱める可能性の高い試掘調査を実施することは難しく、大田区教育委員会では、既存擁壁や建物の解体工事に際して立会い調査を実施し、遺構が確認され次第、本発掘調査へ移行するという対応をとっている。

そのため、横穴墓が発見された時点では、すでに工事は進捗していることが大半で、発掘調査期間の確保

に苦慮しているのが現状である。また、これまでの区内の横穴墓の分布状況（図３）からみても明らかなとおり、地域を問わず、崖面や斜面地に広く展開することから、周知の埋蔵文化財包蔵地外からも不時発見される可能性は高く、緊急性に照らして十分な精度の調査を実施できないこともある。今回報告した横穴墓の調査では、一定度の精度を保ちつつ、上記の条件に即応する迅速さで計測を行ったことによって、調査期間の短縮を実現しており、このことは大きな成果として挙げられよう。

また、従来の手実測による記録では、作図者の観察視点によって情報の取捨選択が為されるため、抜け落ちた情報は、記録保存調査では遺構の消滅に伴い再確認が困難である場合が多かった。SFM や三次元計測に基づく 3D モデルの生成は、微細な形状を呈する遺構の記録に優れており、記録写真などとともに、情報の欠落を補完する役割を果たしている。特に横穴墓や横穴式石室の場合、観察者が主軸を再設定することで、展開図や断面図を新たに作成することができる。三次元計測の手法を取り入れることで、現地で遺構を確認できない消滅遺跡に対して、可能な限り客観性や再現性を担保しながら、追証の機会を与えることができた事例であると考える。

GPR 探査に関しては、個人住宅などの限られた敷地範囲内における反応の違いから遺構の存否や性格を位置付けるには、まだ課題が多いものの、反応データの蓄積と、周辺地形の観察や発掘調査成果を複合的に分析することで探査精度を高めていくことが可能になると考える。GPR 探査は、第３章でも述べたとおり、すでに三鷹市では実践されているが、斜面地が多い地形的特徴を有する当該地域においても、試掘調査の代替として活用の対象となり得る点を指摘しておきたい。

引用文献

青木　弘 2017「東国の横穴式石室に関する近年の研究について　―研究史と三次元計測の利用動向―」『研究紀要』第 31 号、埼玉県埋蔵文化財調査事業団

青木　弘・ナワビ矢麻 2016「横穴式石室の三次元計測と分析

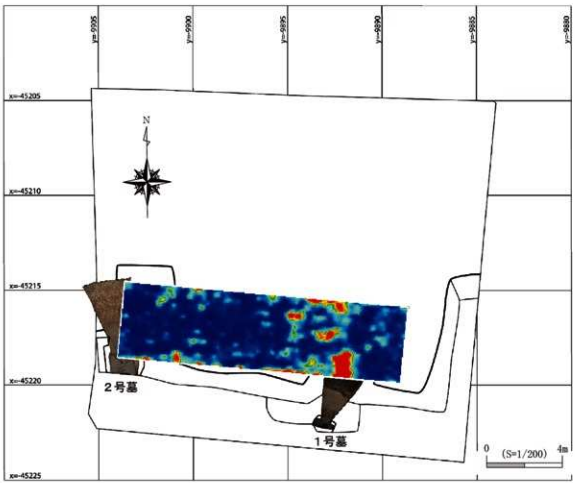

図 17　GPR 探査区と成果（山王横穴墓群）

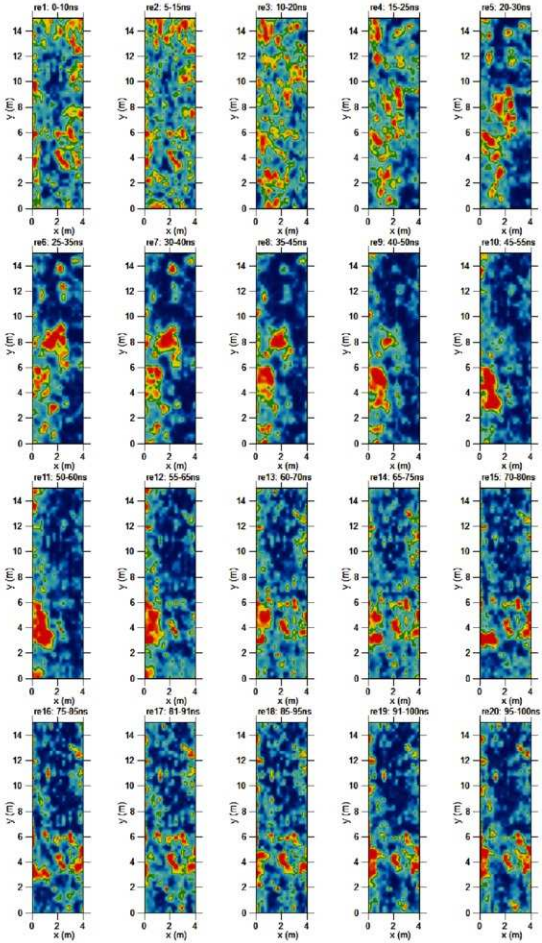

図 18　GPR 探査成果（Time-Slice）

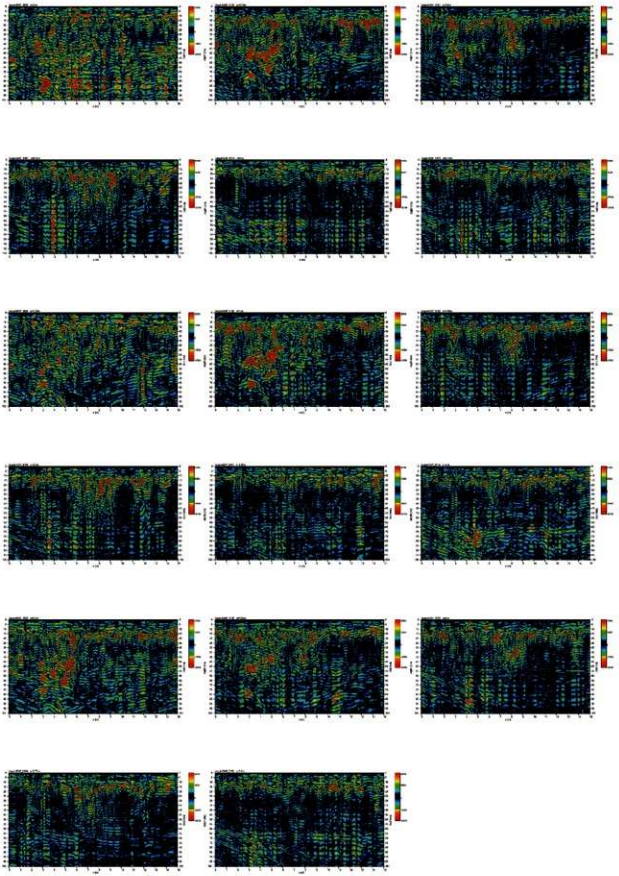

図 19　GPR 探査成果（Profile）

―若宮八幡古墳・埼玉鉄砲山古墳を事例として―』『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―』早稲田文化芸術週間 2016 シンポジウム予稿集、早稲田大学総合人文科学研究センター

内山庄一郎・井上　公・鈴木比奈子 2014「SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究」『防災科学技術研究所研究報告』81

大田区教育委員会編 2017『大田区遺跡地図』大田区教育委員会

加藤　修 1978「大田区山王１丁目 28 番地の横穴墓」『都内横穴墓緊急調査集録』東京都教育委員会

柏木善治 2013「古墳時代後・終末期の喪葬観念―相模・南武蔵地域における横穴墓の様相を中心として―」『考古学研究』第 60 巻第１号、考古学研究会

菊池義次 1974「第Ⅳ章　古墳時代文化」『大田区史（資料編）考古』Ⅰ、大田区

小林義典 2003「Ⅷ　山王横穴墓群（山王一丁目 26 番山王小学校地点の調査）」『大田区内横穴墓発掘調査報告　平成５年度～平成 13 年度緊急発掘調査概要』(『大田区の埋蔵文化財』第 16 集)、大田区教育委員会

城倉正祥ほか 2012「千葉県芝山町高田２号墳の測量調査」『早稲田大学大学院文学研究科紀要』57

城倉正祥ほか 2014「千葉県横芝光町殿塚・姫塚古墳の測量・GPR 調査」『古代』132

城倉正祥 2015「下総龍角寺の測量・GPR（Ⅱ期１・２次）調査とその意義」『仏教文明の転回と表現』勉誠出版

城倉正祥編 2016『山宝姫塚古墳の研究―デジタル三次元測量・GPR 調査報告書―』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所調査研究報告第１冊

城倉正祥編 2017『殿塚・姫塚古墳の研究　人物埴輪の三次元計測調査報告書』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所調査研究報告第３冊、六一書房

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所 2013『奈良文化財研究所創立 60 周年記念講演　遺跡をさぐり、しらべ、いかす―奈文研 60 年の軌跡と展望―』

長柄町教育委員会 2013『史跡長柄横穴群保存整備報告書』

ナワビ矢麻 2015「多手法を用いた横穴墓の調査―大田区山王の事例―」『文化財の盾』Vol.4、文化財方法論研究会

野本孝明 2003「Ⅳ　新井宿横穴墓群（山王四丁目２番地点の調査）」『大田区内横穴墓発掘調査報告　平成５年度～平成 13 年度緊急発掘調査概要』(『大田区の埋蔵文化財』第 16 集)、大田区教育委員会

野本孝明・深澤靖幸ほか 1986「Ⅰ　山王四丁目１番所在遺跡」『昭和 59 年度　遺跡発掘調査報告』(『大田区の埋蔵文化財』第６集)、大田区教育委員会

松崎元樹・深澤靖幸ほか 1994『考古学からみた大田区―横穴墓・古代・中世　資料編―』(『大田区の文化財』第 30 集)、大田区教育委員会

三鷹市教育委員会 1990『三鷹市域の遺跡―東京都三鷹市における遺跡詳細分布調査報告書―』

三鷹市教育委員会・三鷹市遺跡調査会 1996『羽根沢台遺跡．２』

三鷹市教育委員会・三鷹市遺跡調査会 1997『東京都指定史跡出山横穴墓群８号墓Ⅱ』

三鷹市史編纂委員会 2000『三鷹市史　補・資料編』

三井　猛 2016「十五郎穴横穴墓群の測量調査」『十五郎穴横穴墓群―東日本最大級の横穴墓群の調査―』ひたちなか市教育委員会・公益財団法人ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社

和田千吉 1905「武蔵国荏原郡入新井宿発見の横穴を見る」『考古界』第５篇第２号、日本考古学会

L.B.Conyers 2013a Interpreting Ground-Penetrating Radar for Archaeology left Coast Press, Walnut Creek, California.

L.B.Conyers 2013b Ground-Penetrating Radar for Archaeology 3rd Edition Alta Mira Press, Latham, Maryland.

Nawabi Yama 2016 A Non-Destructive Method for Archaeological Research using Ground Penetrating Radar: A Case Study in Chiba Prefecture, Japan. WASEDA RILAS JOURNAL NO.4

HP

装飾古墳データベース（https://kyuhaku.jmc.or.jp/）

「東名ジャンクション（仮称）」殿山横穴墓群に関する活用検討会とりまとめ（http://www.city.setagaya.lg.jp/kurashi/102/124/379/382/d00151038_d/fil/torimatome.pdf）

図表出典一覧

図１　国土地理院提供の基盤地図情報および国土交通省国土政策局国土情報課提供の国土数値情報を基に、QGIS を用いて小林作成。

図２　計測成果を基に、渡邊・伝田作成。

図３　国土地理院提供の情報基盤地図および（大田区教育委員会 2017）を基に、QGIS を用いて小林作成。

図４　（長柄町教育委員会 1993）を引用し、小林作成。

図５　（三井 2016）を引用し、小林作成。

図６　（三鷹市教育委員会 2000）より引用し、小林作成。

図7　ナワビ作成。
図8・12　大田区教育委員会の調査成果に、SfMで作成した3Dモデルを合成してナワビ作成。
図9～11　SfMの成果を基に、ナワビ作成。
図13・14　SfMとEXAscanの計測成果を基に、ナワビ作成。
図15　EXAscanの計測成果を基に、渡邊・小林作成。
図16　SfMとEXAscanの計測成果を基に、渡邊・伝田作成。
図17　図12に探査成果を合成し、ナワビ作成。
図18・19　探査成果を基に、ナワビ作成。
表1　大田区教育委員会の測量成果より、伝田作成。

結言―本書の成果と今後の課題―

古墳の墳丘、横穴式石室、および横穴墓に関して、GIS・GPR・三次元計測といったデジタル技術を用いた非破壊調査の事例を提示し、その可能性を考究した。急速に発展するデジタル技術を用いた考古学における調査研究は、今後の考古学研究の方法論を大きく変質させていく可能性がある。もちろん、デジタルは万能ではなく、技術面・費用面の課題も多い。また、大学教育の場においては、自分自身の手や体、五感を使った伝統的な考古学の技術が重要である点も事実である。アナログ・デジタルの方法を組み合わせつつ、より有効な考古学の方法論を模索する必要がある。

ここでは技術的な側面に注目して、本書の成果と今後の課題を整理しておく。

第１部の成果　埼玉県東松山市の野本将軍塚古墳のデジタル三次元測量・GPR 調査の成果を示した。北武蔵最大級の前方後円墳である野本将軍塚古墳に関しては、前期、中期、後期説が乱立し、年代が確定していない。その年代を墳丘の非破壊調査から考究するため、今回は TS・LN を利用した間接測量を実施した。一カ月弱の調査で合計 187,617 点を観測し、墳丘の精密なサーフェス情報を取得した。取得した点群から、TIN・DEM を作成し、10cm 等高線測量図や Slope 解析図を提示できた。また、早稲田大学と東京工業大学で GPR を共同で実施し、それぞれ異なる観点から埋葬施設や墳丘構造、周溝の有無に関して分析を行った。さらに、UAS を用いた航空測量、写真撮影なども実施し、様々な角度から古墳を非破壊的に分析した。

分析の結果、後円部３段、前方部２段の典型的な前期古墳の立体構造を有する点を確認した。金井塚良一が指摘した、前方部墳頂 5m の削平は、1800 年代初頭の絵画資料や、現地形からも否定できる。また、金井塚が想定していた長方形二重周溝も、GPR の成果からすれば存在しない可能性が高い。尺度や設計などの分析は別稿で論じる予定だが、甘粕健が想定した前期後葉～中期初頭の年代を再確認する成果となった。

第２部の成果　埼玉県東松山市若宮八幡古墳、同附川１号墳、同行田市地蔵塚古墳の横穴式石室について、3D スキャナーと SfM・MVS による三次元計測調査の成果を示した。若宮八幡古墳の調査では、石室の立体構造の把握に加え、石材表面に残存する加工痕を精確に記録できた。一方、附川１号墳と地蔵塚古墳の従来の実測図では、石室の一部が図化されたのみだったが、今回の調査によって石室の補修も含めた全体構造と石材の加工痕跡を記録できた。

3D スキャナーや SfM・MVS を用いた三次元計測は、従来の実測方法よりも短期間に精確な情報を取得できる非常に有効な方法である点を確認できた。さらに、取得したデータを PEAKIT 処理することで、石積みの目地や石材の加工痕をビジュアルに提示できる。特に、距離段彩図は、従来の二次元の実測図では表現できなかった石材のカーブや奥行きを表現し、石室の立体構造を定量的に把握できる非常に有効な手段である。

デジタル技術を用いた横穴式石室の三次元計測は、研究、保存、活用の各分野での利用と更なる展開が期待できる。

第３部の成果　東京都大田区に所在する新井宿横穴墓群・山王横穴墓群について、ハンディタイプ 3D スキャナーと SfM・MVS を用いた三次元計測調査の成果を示した。なお、山王横穴墓群では、GPR 調査も実施した。

新井宿横穴墓群では SfM・MVS、山王横穴墓群では EXAscan と SfM・MVS の三次元計測および GPR 調査を実施した。遺構によって複数の計測手法を実施したことで、取得した三次元情報のそれぞれの特性が明らかになった。遺構全体の立体構造や壁面加工痕などは、SfM・MVS で精確に情報化できた。一方、継床や人骨の検出状況などは、SfM・MVS などでは不十分で、ハンディタイプの 3D スキャナーを計測に用いることでビジュアルな情報を取得できる。

地下に存在する閉鎖空間としての横穴墓の記録に関しては、既存の実測方法ではその立体構造を表現する点で限界があり、模式的に示されることも多かった。また、工事中の不時発見が多い横穴墓は、調査期間の確保も難しく、記録の迅速化の点においても三次元計測は有効な手段である点を示すことができた。

今後の課題　デジタル技術を用いた墳丘、横穴式石室、横穴墓の調査成果は、前述した通りである。調査対象の６遺跡が置かれている状況は多様だが、記録・情報化という過程におけるデジタル技術の有効性は十分に示せたと考える。デジタル情報の特性をよく理解し、考古学の伝統的な方法論の中に組み込んでいけば、教育・研究・保存活用など多方面において学問としての考古学の可能性が広がる点は疑いない。もちろん、デ

ジタルへの過度な信頼や期待には慎重になるべきだが、考古学の伝統を受け継ぎつつ、柔軟に、そして創造的に方法論を展開させていく必要がある。

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所では、遺物の三次元計測調査として、九十九里の埴輪の事例を報告し（城倉 2017・城倉編 2017）、遺跡・遺構の衛星画像を用いた分析事例としては、中国・シルクロードの調査成果を報告した（城倉・ナワビ編 2017）。本書では墳丘のデジタル三次元測量・GPR 調査（城倉ほか編 2016）を発展させて、石室・横穴墓の三次元計測を加えた成果を報告した。最後に、今後の課題に関して簡単にまとめておきたい。

墳丘のデジタル三次元測量・GPR 調査に関しては、樹木や落葉に覆われる古墳の精確な情報化という点において、TS や LN を使用した間接測量が最も有効である点は疑いない。岡山大学の新納泉が示した画期的法方法論で、墳丘の設計研究はこの方法論の登場によって大きく進展した。また、早稲田大学が実施しているデジタル三次元測量と GPR を組み合わせた方法論の有効性に関しては、本書でも十分に示せたと考える。しかし、TS や LN を数台稼働して人力で数万点、あるいは数十万点の点群を取得する作業は、労力や費用、安全面、教育面で課題が多いのも事実である。

一方で、航空レーザー測量、Drone の航空撮影による SfM・MVS を用いた測量、あるいは 3D スキャナーを用いた計測も急速に普及しつつある。短時間で墳丘に立ち入ることなく測量できる方法の開発は、今後の研究の展開を考えても非常に重要である。しかし、これらの方法では膨大な点群データの取り回しとノイズの除去が大きな問題となる。今後は、Lidar（Light detection and ranging）システムなどを TS、あるいは Drone と組み合わせた測量・計測方法を模索していく必要があると考えている。

横穴式石室・横穴墓の三次元計測に関しては、ハンディタイプスキャナーの EXAscan と据え置き型スキャナーの FARO を用いた計測、及び SfM・MVS を用いた計測を行った。横穴式石室の計測に関しては、FARO の計測は非常に有効で、全体の立体構造を精確に情報化できる。一方で、横穴墓の調査で認められた礫床や人骨の検出状況などの記録では、EXA スキャンが力を発揮した。据え置き型で全体を計測し、細部に関してはハンディタイプで計測するなど、異なる装置を組み合わせた手法が最も有効な計測方法である。

一方、SfM・MVS を用いた手法は、非常に早くある程度、精確な情報化を行う際には有効な手段である。時間的制約がある調査、不時発見の発掘現場や海外調査などでは威力を発揮する方法といえる。安価に計測が実施できる点も、大きな特徴である。しかし、写真から三次元モデルを構築する SfM・MVS は、TS や LN あるいはレーザーなどの「測る」行為ではなく、その精度もソフトの自動作業に頼っている点は、認識が必要である。あくまでも測量作業を並行して実施し、SfM・MVS 以外の方法で、その精度を確認出来るようにする必要がある。「写真撮影だけで三次元モデルを取得できる便利な方法」として採用するのではなく、あくまでも通常の計測作業の補助的な手段として SfM や MVS を活用する姿勢が求められよう。

墳丘・横穴式石室・横穴墓の計測から、今後の課題を簡単に整理した。デジタルの手法は、決して万能でもなければ、導入が簡単な便利な方法でもない。技術面、費用面の課題に加えて、従来の観察・計測手法との併用が原則なので、実労働の点からいえば負担は確実に増える。今回の調査に関しては、デジタルの手法に特化して作業を行なったが、その場合においても作業量が減ったわけではない。墳丘測量は、従来の数倍の時間を観測作業に費やし、横穴式石室・横穴墓は現地での計測時間は少ないとしてもそれに倍する多くの時間を解析に費やしている。さらに、膨大なデータの取り回しや処理、保存、分析などのテクニカルな課題にも直面するため、簡単な作業ではない。

デジタルのビジュアル性や利便性だけに注目し、そのメリット・デメリットを安易に論じるのではなく、今後の考古学が数十年、あるいは数百年にわたって必要とされる情報化と分析精度を追及する姿勢こそが重要である。デジタル時代の今だからこそ、方法論の新古に過敏に反応するのではなく、学問としての考古学の普遍的な方法論を模索する必要がある。

引用文献

城倉正祥ほか編 2016『山室姫塚古墳の研究』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所
城倉正祥 2017『デジタル技術でせまる人物埴輪』吉川弘文館
城倉正祥編 2017『殿塚・姫塚古墳の研究』六一書房
城倉正祥・ナワビ矢麻編 2017『中国都城・シルクロード都市遺跡の考古学的研究』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所

編著者・執筆者一覧

【編著者】
城倉正祥　（早稲田大学文学学術院　准教授／東アジア都城・シルクロード考古学研究所　所長）
青木　弘　（埼玉県埋蔵文化財調査事業団　主事）
伝田郁夫　（早稲田大学大学院文学研究科　博士後期課程２年）

【執筆者】※機関の五十音順に記載。
横山　真　（株式会社ラング　代表取締役）
千葉　史　（株式会社ラング　常務取締役）
木口裕史　（千葉市教育委員会　主任主事）
亀井宏行　（東京工業大学　教授）
阿児雄之　（東京工業大学博物館　特任講師）
宮前知佐子　（東京工業大学社会理工学研究科　博士後期課程３年）
沖原高志　（東京工業大学情報理工学院　修士課程２年）
小林雅明　（東京工業大学環境・社会理工学院　修士課程２年）
竹澤一輝　（東京工業大学情報理工学院　修士課程１年）
早川裕弋　（東京大学空間情報科学研究センター　准教授）
ナワビ矢麻　（早稲田大学會津八一記念博物館　助手）
石井友菜　（早稲田大学大学院文学研究科　修士課程２年）
川村悠太　（早稲田大学大学院文学研究科　修士課程２年）
小林和樹　（早稲田大学大学院文学研究科　修士課程２年）
根本　佑　（早稲田大学大学院文学研究科　修士課程２年）
谷川　遼　（早稲田大学大学院文学研究科　修士課程１年）

謝辞

本書の作成に際しては、多くの方のご指導・ご教示をいただきました。
末筆ながら、ご芳名を記して感謝申し上げます。

赤熊浩一・池尻　篤・石下翔子・石坂俊郎・今城未知・岩崎孝平・魚水　環・内田富之・江越絢可・大谷　徹・小川典子・小野本　敦・角道亮介・加藤　茂・加藤静子・金田明大・兼森帆乃加・川畑隼人・黒坂禎二・小坂延仁・小原俊行・小林孝秀・斎木　誠・酒井清治・坂下貴則・佐藤康二・佐藤幸恵・柴生田　実・篠田泰輔・島根登美子・島野秀夫・鈴木英里香・鈴木広樹・田中淳子・寺前直人・富田和夫・中井　歩・中島洋一・中村一郎・西川修一・久永雅宏・福田　聖・藤野一之・前原利雄・松木武彦・右島和夫・水口由紀子・水野華菜・宮島秀夫・宮村誠二・矢口翔馬・屋代孝則・屋代　徹・屋代芳明・山口欧志・山崎太郎

※個人の協力者のみ記載。五十音順。所属機関・敬称は省略させていただきました。
※早稲田大学の学生は、内部協力者として１～３部の調査体制の部分で掲載させていただきました。

報告書抄録

【シリーズ名】
早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所　調査研究報告　第4冊

【タイトル】
デジタル技術を用いた古墳の非破壊調査研究
―墳丘のデジタル三次元測量・GPR、横穴式石室・横穴墓の三次元計測を中心に―
①埼玉県東松山市野本将軍塚古墳
②埼玉県東松山市若宮八幡古墳
③埼玉県東松山市附川1号墳
④埼玉県行田市地蔵塚古墳
⑤東京都大田区新井宿横穴墓群
⑥東京都大田区山王横穴墓群

【刊行年月日】
2017年10月21日

【編著者】
城倉正祥・青木　弘・伝田郁夫

【執筆者】
横山　真・千葉　史・木口裕史・亀井宏行・阿児雄之・宮前知佐子・沖原高志・小林雅明・竹澤一輝
早川裕弐・ナワビ矢麻・石井友菜・川村悠太・小林和樹・根本　佑・谷川　遼

【表紙・章扉デザイン】
渡邊　玲

【発行機関】
①早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所
②早稲田大学文学部考古学コース
〒162-8644　東京都新宿区戸山1-24-1　早稲田大学文学学術院（考古学コース）

【印刷】
株式会社　正文社
〒260-0001　千葉県千葉市中央区都町1-10-6

WASEDA University
Institute of East Asia Archaeology
for **Walled City** and **Silk Road**

S=1/20
Sannoh Tunnel Tombs
Slope + DEM