

# 東国の大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—

青木 弘

**要旨** 本稿では、はじめに東国の大横穴式石室に関する近年の研究を整理した。この研究は、ここ数年で多くの成果が上がっている。とくに行政・旧国・河川単位における事例の分布、分類、編年等の基礎研究が進展し、各地域の特徴が明らかにされた。これらの研究成果をもとに、特定の大横穴式石室型式や石材の流通を題材とした地域間交流論も活発である。しかし、古墳築造に関する技術論や集団論といった、古墳の造営に直接関わる研究は、未だ主体的に取り扱われておらず、今後の課題として残る。このような状況下にある横穴式石室の研究を、より高い水準に引き上げるための一つの視点として、調査記録技術の向上が挙げられる。そこで、横穴式石室における三次元計測とSfMの導入例に注目した。三次元計測とSfMは、対象物を立体的に把握できる利点をもつ。古墳研究ではこれを用いて、技術論や規格論における新たな分析手法を開拓できる可能性が高い。

## はじめに

東国（関東地方）における横穴式石室の研究は、その目的と視点に応じて、様々な分析が行われている。なかでも、横穴式石室の分類、編年、分布に関する分析は、基礎研究として長らく継続され、一定の成果を上げてきた。言うまでもなく、基礎研究は重要で、その成果の蓄積と検討は継続していく必要がある。

しかし、研究の展望としては、横穴式石室が造られ、各地に分布し、時期とともに変容するという背景について、歴史的に考察することが、個々の研究が目指すべき課題だろう。ただし、横穴式石室（古墳）の造営背景と一口に述べても、政治的階層性、地域間交流、技術伝播等々、想定される背景、追究すべき歴史もまた多様である。

本稿では、まず、近年発表された小林孝秀氏、市橋一郎氏、小森哲也氏、草野潤平氏らの著作を取り上げて、東国の大横穴式石室研究の到達点と課題を確認する。そのうえで、新たな調査手法として、各地で導入され始めている三次元計測とSfMに注目し、今後の展望を示したい。

## 1. 東国の大横穴式石室に関する近年の研究

東国における横穴式石室の先行研究は、近年では、本章で取り上げる各氏の著作を始め、すでに多くの研究者によってまとめられている。そのまとめ方や、そこから導き出される課題は、人により様々だが、今回は2010年以降発表された研究成果のうち、小林孝秀氏、市橋一郎氏、小森哲也氏、草野潤平氏が刊行した著作について取り上げる（小林2014、市橋2014、小森2015、草野2016）。各氏の著作は、東国の後期・終末期古墳を対象とする点で共通している。これらを整理することで、本分野における現在の研究の到達点を捉えたい。なお、各氏の研究量と成果は膨大であるため、以下では個別事例を取り上げるよりも、各氏が掲げる研究の課題や目的、分析の視点、結論に注目したい。筆者の理解が至らぬ部分もあるだろうが、ご寛恕いただければ幸いである。

まず、小林孝秀氏による『横穴式石室と東国社会の原像』は、2014年5月に刊行された。章立ては序章と終章を含め、全6章からなる。

小林氏は序章で、横穴式石室を以下のように捉

えている。すなわち、横穴式石室は、「古代国家成立の前段階に相当する後・終末期古墳における古墳構築行為の中核的要素であり、当時の古墳被葬者のもつ活動領域や地域圏・流通圏の存在、被葬者間の人的交流、地域間の交流関係などを窺うことができる」とする(p.11)。それに対する東国の横穴式石室研究における問題は、「各地域の微細な差異の抽出を中心を置くものの、系譜関係や史的意義にまで踏み込んだ見解」が少ないことがあるとする(p.19)。そのうえで、地域社会の在り方から、古代国家の形成・成立過程に関する評価との対比、畿内による「東国経営」に対する評価の再考と再構築を目的に掲げる。

分析では、主に対象地域における横穴式石室の動向や各事例の系譜関係、地域間交流に注目する。とくに、関東地方各地の横穴式石室について、山陰や九州、日本海沿岸(新潟県や福井県)、太平洋沿岸地域、韓半島といった、遠隔地や海上交通を視野に入れた分析が特色である。また、古墳と横穴式石室の構造のみならず、葬送儀礼に関わる土器群の構成、配置等についても注目し、ハード面とソフト面双方の分析のバランスをとる姿勢が窺われる。

小林氏が注目する事例の一つに、茨城県高崎山2号墳の横穴式石室がある。これは、東国における数少ない九州系石室として、小林氏の一連の研究のなかでも、初期に検討された古墳である(小林2005)。小林氏は高崎山2号墳の検討を始め、畿内を介さない遠隔地との結びつきを重点的に評価している。

例えば古墳時代後期前半には、韓半島系文物の移入経路と、新来墓制である横穴式石室の伝播経路が密接に関わり、それが畿内を淵源としない、畿内を介さない交流の可能性を指摘した。

古墳時代後期後半には、横穴式石室の様相が、「畿内系」(上野)と「非畿内系」(武藏・上総北東部・常陸南部・下野など)の二相に分かれると

いう。それとともに、横穴式石室とその石材、釘付木棺、馬具、埴輪、土器等の一連の研究から、地域間交流には畿内との交流と、在地地域間の交流があり、各地域が主導して、これらの交流を活発に行ったと考察している。この「畿内系」と「非畿内系」の二相については、後述する草野潤平氏の著作ではより詳細な検討から追認されている。

終末期に関しては、大型方墳と横口式石槨(千葉県割見塚古墳)、双室墳と博榔式石室(千葉県龍角寺岩屋古墳)、茨城県宮中野古墳群(大塚古墳、99-1号墳)、そして変則的古墳について検討している。分析に千葉県、茨城県の事例が中心を占めるのは、太平洋沿岸地域の海上交通を重視したためであろうか。いずれの事例も、終末期における畿内の影響と在地性に注目したものである。これらの古墳については、草野氏も検討しており、なかでも宮中野大塚古墳の位置づけは、小林氏とやや異なる。小林氏は宮中野大塚古墳の埋葬主体部が、釘付木棺を収めた「横口式石槨」の可能性から、ここに畿内の影響をみる。一方で、草野氏はこの埋葬主体部が、築造後まもなく徹底的に破壊されたことを、被葬者の「社会的死」とみなし、その後に築造された宮中野99-1号墳の墳丘構造(双室墳)と出土遺物(毛彫杏葉等)を畿内からの影響が色濃いと評価している。両者の意見を踏まえて、慎重に評価すべきだろう。

このように、本書では、各章で東国に対する遠隔地の事例を取り上げ、系譜関係や交流を大胆に論じる。ただし、論中に「慎重に」というフレーズが数多く見受けられる点に、著者の謙虚な研究姿勢が窺われる。

小林氏の研究は、東国を中心に分析しつつも、日本列島と韓半島の広範な資料をもとに、「畿内一地方」という図式よりも、地方における非畿内的要素の存在を注意深く検討し、その結果、横穴式石室からみた東国の各地の様相を、より具体的、かつ明解に論じたことが大きな成果といえよう。

市橋一郎氏による『北関東の横穴式石室』は、2014年10月に刊行された。全5章からなる。主な対象資料は栃木県内の横穴式石室だが、群集墳や横穴墓も扱っている。市橋氏は横穴式石室を取り上げる理由として、古墳時代後期から終末期を通じて造られる点、構造や規模が階層性を表出しやすい側面をもつ点を挙げる(p.3)。栃木県を対象とするにあたり、「日本列島における国家形成段階のワンステップである畿内による東北の制覇という政治的目的が、栃木県の諸地方に与えた影響を調べる」(p.4)という視点を加える。

市橋氏は第1章で先行研究の整理、第2章で用語の整理を行った上で、問題の一つに、蓄積された膨大な資料の分析の必要性を挙げる。これらを踏まえ、研究の目的を「ヤマト政権が東北経営のために栃木県の首長層に働きかけた形跡を「横穴式石室の受容と展開」から追究する」(p.11)としている。

分析方法に関する説明はみられないが、各章の内容から、次の点に注目していることがわかる。それは、横穴式石室の一属性(「腰石」)や大分類(「初期横穴式石室」、「切石石室」、「無袖石室」)といった、横穴式石室の諸特徴をはじめ、「須恵器の供献」という遺物出土状況、そしてこうした遺構・遺物を総合した古墳群・群集墳についてである。古墳群・群集墳の分析では、足利市常見古墳群、同市足利公園古墳群、矢板市番匠峰古墳群を取り上げ、栃木県の中でも、足利地域を重視していることが窺われる。こうした広範な資料を横断した分析は、栃木県下の古墳時代を長らく研究してきた市橋氏だからこそなせる手法といえる。

結論として、古墳時代の東国における陸路の「原東山道」(群馬県—足利地域—宇都宮—福島県白河市域)、「原武蔵路」(東京都府中市—埼玉県—足利地域)の開拓が進む過程で、新たな情報(技術)や文物の到来が盛んになる一方で、栃木県域における「在地性」も残り、下野としての地域性

を育んだとする。

市橋氏が当初の目的に据えた、「東北経営」に関しては、足利地域の検討が多く、切石石室や横穴墓の検討の際に、白河地域への言及があるに留まる。この点に関しては、東北地方の資料を主体的に取り上げ、両地域の比較を通して、畿内からの影響と他地方からの影響が、栃木県下のみならず東北地方に、どのように表れるのか説明があるとわかりやすいように思われる。

また、諸々の影響関係を考察する上で、奈良時代の官道の前身として、「原東山道」と「原武蔵路」を想定し、陸路を重視した。これは栃木県が内陸部に位置するという地理的特徴と、古墳時代における各資料の分布、および奈良時代以降の東山道・寺院等の造営状況から論を進めたと推定する。

しかし、「畿内による東北経営」を重視するならば、陸路に加えて、太平洋・日本海を介した海路も視野に入れるべきではないだろうか。たしかに栃木県下を対象とすると、陸路を重視することとなるが、海路の状況も比較すると、下野の特徴がより明瞭になるのではなかろうか。

小森哲也氏による『東国における古墳の動向からみた律令国家成立過程の研究』は、2015年2月に刊行された。序章と終章を含め、全7章からなる。対象資料は、「しもつけ古墳群」を中心に、古墳群、横穴式石室、横穴式木室、石棺式石室、低位置突堤埴輪、半島系遺物などと多様である。対象地域は、しもつけ古墳群が分布する栃木県を中心とするが、分析対象に応じて、全国に視野を広げて検討している。対象時期は、古墳時代後期・終末期が中心だが、一部、中期後半の事例も扱っている。

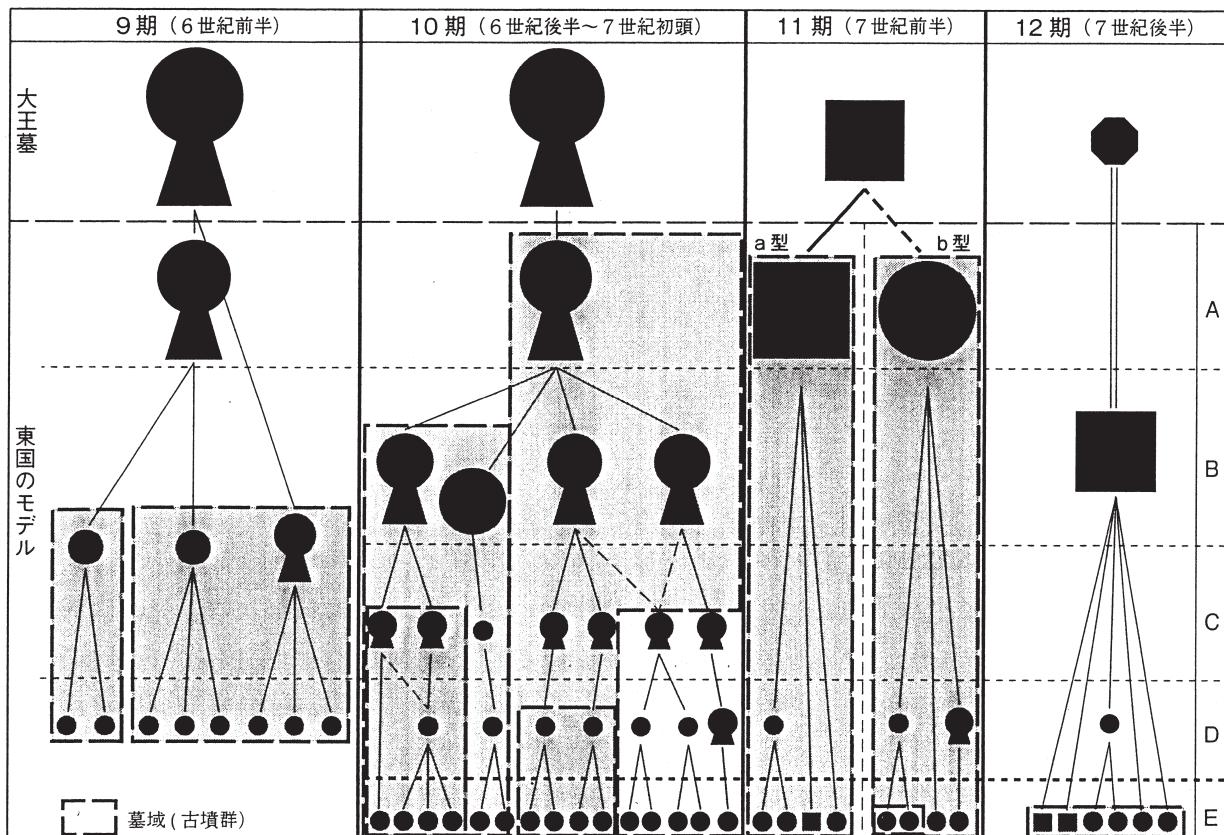
小森氏は、研究の目的に、「古墳の終末とその史的背景、律令国家成立への道程の追究」、および「古墳の動向からみた東国の6～7世紀史を構築すること」(p.2)を挙げている。それに対する

問題の所在としては、第1章の先行研究で、「古代国家形成論」、「評の成立」、「擬制的同祖同族関係」の3点を挙げていることから、「国家とは何か?」という素朴だが難解な課題を重視していることが窺われる。なお、本章では、表を駆使して膨大、多岐にわたる先行研究の論点を整理している。古墳時代後・終末期に限らず、古墳時代研究全体に寄与する取り組みといえよう。

分析は、まず、しもつけ古墳群を軸とした諸要素（凝灰岩切石積石室、低位置突堤埴輪、群集墳、集落等）の検討を進める。次に、律令国家に至る過程として、真岡市神宮寺塚古墳の埴敷横穴式石室や、破壊された石室、那須国造碑文、新羅（系）土器、上三川町西下谷田遺跡と下野薬師寺といった栃木県下の特徴的な資料を扱う。そして、地域間交流を軸に据えて、栃木県下では特色ある埋葬施設の石棺式石室や横穴式木室、地下式横穴墓に

ついて、全国に視野を広げて検討する。

こうした分析を通じ、小森氏は総括の一つとして、古墳時代後期・終末期の社会構成モデルを構築した（第1図）。モデルの構築にあたり、和田晴吾氏、C. ギアツ氏、M.D. サーリングス氏の研究を取り上げている。その上で、東国各地の主要古墳群の展開にみられる、共通性と独自性に注目し、「古墳からみた社会構成の変遷モデル」を提示した。第1図では、社会構成が古墳時代後期の9期から10期にかけて「複雑化」する一方で、終末期の11期から12期にかけて「単純化」する特徴に注目している。終末期における「単純化」の背景に、中央（畿内）の意向が直接末端まで行き届くような段階になったと推測する。また、このモデルの10期段階が、サーリングスの首長制社会論における円錐形クランとよく対応する点から、当該期には同様の社会を構成していた可能性



第1図 小森哲也氏による古墳群の類型化と社会構成の変遷モデル

を説く。ただし、この点は、著者自身が古墳時代の経済構造（互酬性と再分配）を明らかにした上で、再検討すべきとする。

この第1図は、東国各地の主要古墳群の変遷をモデル化したものである。このようなモデルは、これまで積極的に提示されてこなかった。そして、このモデルを通して、各地の「地域性」をより鮮明に指摘できることは、古墳時代後期・終末期を検討する上で、重要な分析である。

このモデルの前提となる各古墳の年代的位置づけは、著者の認識のもとに修正した箇所もみられるが、基本的には、各地域の研究者の論旨に沿う点を留意する必要がある。あえて、重箱の隅をつくような問題提起をすると、このモデルは、小森氏自身も取り上げた古墳群の範囲設定方法と古墳の年代観によって、修正が必要となる。

たとえば、埼玉古墳群の変遷についても、近年の調査により、鉄砲山古墳は將軍山古墳に後続する可能性が高くなった（山田2016など）。そして、各資料の型式編年研究に対する実年代観は、現状でも確定したとは言い難い。この点は、研究者が単独で解決できる課題ではないが、常に検証を重ねつつ、それに応じて修正していくなければならないだろう。

さて、小森氏はこうした社会構成を検討するとともに、古墳時代の古代国家形成論について10点の考え方を提示している。

主な論点を挙げると、1. 古墳と集落、親族構造の研究から、5世紀後半を国家形成過程における古墳時代の大きな画期と捉える、2. 1の点から、古墳時代全体を「初期国家（＝前方後円墳体制）」とみなす都出比呂志氏の論、および「前方後円墳国家」と位置づける廣瀬和雄氏の論には全面的な賛同はしかねる、3. 2の国家論の対案として、鈴木靖民氏や白石太一郎氏を代表とする首長制社会論が該当し、この概念が古墳時代の社会を的確に表現する、4. 和田晴吾氏は5世紀後半

以降を国家段階とみなし、それ以前を首長制段階の初期国家と位置づけており、この論に賛同する、5. 律令国家成立の過程では、各地の地域間交流、新来技術の導入、交通網の整備が重要な要素であるといった点である。

これに基づき、小森氏は古墳時代後期から終末期にかけて、最終的に5つの画期（第1の画期～第5の画期）を設定した（註1）。古墳に加えて、集落の動向にも焦点を当てた点に特徴がある。これらの画期を経て古墳時代から律令国家の形成に至るとする。

小森氏の一連の研究は、国家形成論を筆頭に、膨大な研究史をまとめ上げ、かつ東国を中心につつも全国的な視野で分析を進め、著者自身の社会構成モデルと国家論の提示を成し遂げた。今後、東国の後期・終末期研究を進めるうえで、指標となる研究と言えよう。それでも最後に、小森氏は今後の研究を進めるにあたり、6つの課題を提示している。これらは、同じ分野に携わる者に投げかけられたものとみなしたい（註2）。

草野潤平氏による『東国古墳の終焉と横穴式石室』は、2016年2月に刊行された。序章と終章を合わせ、全7章からなる。東国一帯の横穴式石室を対象としている。そのため、市橋氏と小森氏に比べ、小林氏の研究と同様の事例を多く扱う。ただし、草野氏は古墳時代から律令制への移行過程の解明を目的に据え、終末期古墳を中心に検討する点に、小林氏との違いがある。加えて、第3章で東国各地を万遍なく扱った点も異なる。

草野氏は分析を始めるにあたり、用語の整理を注意深く行っている。とくに「首長」「系譜」「系統」「系列」への問題意識は、著者が下垣仁志氏の研究を引き合いに出しつつ整理している（下垣2012）。また、この問題に対して、直接引用されてはいないが、太田宏明氏による横穴式石室の概念整理とも通じるところがある（太田2010）（註3）。

そして横穴式石室の用語では、「切石」につい

て、畿内の硬質石材と東国の軟質石材の加工の違いを取り上げ、両者が「切石」と表現されるものの、その性質は異なることを注意している。加えて、群馬県下の横穴式石室に認められる「削石」と「截石」の技術体系が、基本的には変わらないことも指摘している。これは石材加工技術における、形態分類と技術分類の差異に注目した重要な指摘である。このような分類概念については、鈴木勉氏が金工技術を例として論じており参考になる（鈴木 1998、鈴木 2008）。どのような技術を検討する場合でも、必ずしも形態分類＝技術分類になるわけではないことを注意すべきだろう。横穴式石室の研究では、学史的に通有となっている用語に加え、地域、研究者間で解釈の異なる用語もあるため、草野氏のように、用語・概念の整理は非常に重要な作業である。

草野氏は横穴式石室の資料的特性として、主に以下の2点を挙げる。すなわち「石室の立体的な構造や構築方法のような複雑な情報については、その構築技術を熟知した人間(集団)の移動によってはじめて伝播が成り立つ」ことと、横穴式石室にみられる地域間の関係性は、「限定的な条件（作業時には閉鎖空間となる横穴式石室の構築を見ることができた者が技術を取得し、移動する。 筆者補足）を前提に成立する」ことである（pp.21-22）。横穴式石室の構築に必要な技術や人間の移動、構築の状況を意識した見解といえよう。

その上で、研究視点として、以下の3点を挙げる。「畿内地域からもたらされる新来要素は何か」、「新来要素の受容・展開にあたって、在地の主体的・能動的な働きかけはないか」、「畿内地域からの影響に伴って在地の枠組みのなかで改変される部分はないか。また逆に改変されることなく温存される部分は何か」といった点である(p.38)。「畿内地域」を意識している点は、非畿内的要素や遠隔地を意識した小林氏と異なる。

さて、草野氏の研究の展開は、後期古墳の動向

として、片袖石室と複室構造の石室に注目したのち、各地の終末期古墳を扱っている。

片袖石室については、埼玉県将軍山古墳と千葉県城山1号墳、同法皇塚古墳を取り上げている。結論として、将軍山古墳を城山1号墳と法皇塚古墳の祖形とみなし、北武藏と上総の関係に注目している。これについては、将軍山古墳と法皇塚古墳の横穴式石室の遺存状況が悪く、その構造の詳細な比較ができないため、横穴式石室のみでは系譜の追究に限界があるのではないだろうか。将軍山古墳と法皇塚古墳については、使用石材が房州石（礫石）という共通点はある。ただし、埼玉古墳群では、将軍山古墳以前の古墳である、奥の山古墳や二子山古墳が豊穴系埋葬施設と推定され、横穴式石室の築造にあたる技術的基盤に乏しい。こうした状況下における、将軍山古墳横穴式石室の成立について、関義則氏は「東京湾岸で石室構築に携わっていた工人集団が招来されたと捉えている（関 2013、p.51）。こうした見解の相違を解消するためには、出土埴輪や土器、副葬品による編年観の整理が必要不可欠である。このような再検討を、草野氏が挙げた3古墳、そして小林氏が片袖石室と認識し、北武藏とも関わりがあるとされる千葉県金鈴塚古墳といった事例を対象として、墳丘、横穴式石室、出土遺物など多面的に分析し、影響関係を見直すべきではないだろうか（註4）。

第4章では、無袖石室を取り上げている。第3章で扱った地域に加えて、相模地域の事例も検討し、無袖石室における東海地域からの影響と、吉東山道を介した影響の二者を明解に論じている。ここでは、無袖石室が様々な階層の被葬者に採用されるという推定から、「上・中・下位層」や「有力者」といった被葬者像とその階層性に関する見解も述べている。ただし、階層性に関しては、古墳群や群集墳からモデルを提示した小森氏の研究に比べて、草野氏の考える各地域の階層性のあり方に、やや不明瞭な点が残る。

続いて、草野氏は「類似石室」について検討し

ている。「類似石室」とは、「平面形態に関して特定の古墳同士の有意な関係性を示唆するような特徴的な類似点をもつ石室の組み合わせ」とする(p.211)。これについては、筆者もこうした事例に注目したが、例えば土生田純之氏が長野県飯田古墳群の3古墳を対象に検討した「同工石室」とどのように違うのか、そして草野氏自身が冒頭で説明した「系列」や「系統」とどう整合する概念なのか、もう少し踏み込んだ説明が必要だろう(註5)(土生田 2013、青木 2015a)。

第5章では東国各地の終末期古墳と初期寺院を対象に、終末期における大型古墳の築造と初期寺院の造営に関して、両技術の影響関係、および畿内と在地の影響関係を検討した上で、古墳の被葬者像について、著者の見解を提示している。終末期古墳と初期寺院の造営という、7世紀史研究上、重要なテーマに対して、技術と地域の影響関係や被葬者像に踏み込んだ解釈を提示したことは、成果を発展的に継承し、検証していくべきだろう。草野氏は先行研究において、7世紀に関する文献史学的研究成果も整理している。終章では、これも加味した考察を、地域ごとに行っている。結論として、東国という地方においても、7世紀中葉という時期が大きな画期であり、この時期を再評価している。

## 2. 先行研究の成果と課題

前章で取り上げた四氏の研究は、東国における後・終末期古墳、および横穴式石室を対象とする点で共通する。ただし、各氏の研究の視点と成果、および今後に託された課題は多岐にわたる。

各氏の研究視点は、小林氏が横穴式石室の系譜関係と地域間交流、畿内による「東国経営」と地方独自の交流、市橋氏が畿内による「東北支配」における下野の様相、小森氏が古墳からみた国家形成と社会構成、草野氏が古墳時代から律令期に至る過程の地域相に重点を置く。

それに対する分析は、主に、特定地域における横穴式石室の変遷(地域的特徴の抽出、編年作業と画期の設定)、横穴式石室のある特定要素(刳り抜き玄門、切石積石室など)への注目、古墳群・群集墳の構成と変遷の検討といった手法をとる。

結果として、各氏の分析は、後・終末期古墳と横穴式石室における、対象地域の動向や特徴を浮き彫りにした。とくに地域間交流という側面については、畿内と地方という二項対立的な関係よりも、遠隔地・近接地ともに複雑に絡み合った地域間関係が、段階的に存在することを各氏が共通して指摘しており、改めて再認識すべき重要な点である。各氏の研究は、現時点における東国の横穴式石室研究のひとつの到達点とみなせるだろう。

それでは、こうした成果をもとに、今後、どのような研究を進めていくべきだろうか。

まず、言うまでもなく各地の事例報告と基礎的研究(分類・編年・分布論)は、検討を続けていく必要がある。各地には、未調査・未報告資料も数多く残る。その上、膨大な数に上る集落遺跡や生産遺跡、各種遺物といった同時代資料も看過できない。

各氏が進めた研究は、古墳群や群集墳、横穴式石室を対象としたため、政治史的側面や墓制を中心とした歴史像が描かれている。古墳時代の研究では、資料も研究も膨大な蓄積があるため、どのような研究視点に基づくかは、三者三様だが、古墳時代後期・終末期の社会構成を論じるためにには、小森氏が指摘したように、今後、上述した古墳以外の資料も扱う必要がある。

一方、横穴式石室を対象とする上では、古墳の造営と築造技術の実態も注目すべき分野である。

なかでも古墳の築造技術集団は未だ不明瞭な点が多い。

古墳と横穴式石室を対象に、これまでに明らかにされてきた社会構成、交流、地域性などといった事象は、その背景に、それを成立させるための

体系的な仕組みがあったことを窺わせる。

つまり、古墳時代を国家形成論のどこに位置づけるかという問題はさておき、古墳の階層性が成立する背景には、古墳を完成させるための技術と、それを保有する集団、および労働力、そしてこれらをまとめる造営体制が想定される。

この問題は、以前から注目されてきた。とくに古墳築造技術について、土生田純之氏や右島和夫氏、青木敬氏らを中心に進められている（土生田・右島編 2003、青木敬 2004 など）。ただし、現状では、古墳単体の分析は進展しているものの、技術の集団や体制については、十分に検討されているとは言い難い。その理由としては、集団の分析は、古墳に加えて、集落や生産跡、自然素材の産地等の関係も考慮し、各資料の同時期性も視野に入れる必要があることにある。また、未だ実態不明な要素が多い点が挙げられる（註6）。

これに関連して、横穴式石室の技術について、草野氏が石材加工の用語を問題提起したように、石材の加工痕も重要な分析要素である。石材加工の用語は、和田晴吾氏の研究から、「チョウナ削り」「ノミ小叩き」といった加工痕から推定した道具による分類名称が通有となっている（和田 2014）。筆者も埼玉県内の事例を対象に、石材加工痕の検証を行った（青木 2015b）。その検討は和田氏の分類に基づいたが、この分類も「道具の種類」＝「加工痕の種類」となるのか再検証を要する。特に古墳時代の石材加工については、横穴式石室の数に対して、加工道具の出土点数が極めて少ない。和田氏はこの状況から、文献史料を解釈に援用したが、実験考古学や民俗学といった関連分野も取り入れつつ、検討を進めていく必要がある。

何よりもまず、このような古墳と横穴式石室の技術について、より高度な水準で分析し、研究を深め、歴史的解釈をするためには、遺構の記録に詳細、かつ多角的な手法が求められる。

こうした視点から、次章では、その一つとして注目されている三次元計測と SfM について取り上げたい。

### 3. 横穴式石室の記録手法について

#### (1) 三次元計測の概要

三次元計測は 2000 年以降、実践例も徐々に増えてきた。その背景には、先駆者の地道な事例紹介、手法の解説といった活動に加えて、各種機器類の急速な進歩によるところが大きい（文化庁文化財部記念物課 2010、金田ほか 2010、金田・塚本 2014、栃木県立博物館 2014、ニュースイエンス社 2015 など）。最近では、本技術をテーマとしたシンポジウムも開催された（城倉・平原・渡辺編 2016）。

その結果、三次元計測は、文化財の調査や研究、活用において、考古学的手法の一つとして認知され、注目を集めるようになってきたといえよう。

一口に三次元計測といっても、その手法は、計測機器のタイプで異なり、航空機から計測する手法も加えると様々である。その最大の特徴は、計測が短時間で済み、非破壊・非接触で定量的なデータを詳細に得られる点にある。反面、専用の機器やソフトが必要で、デジタルデータのバックアップ環境の整備と、それを扱う技術の習得も求められる点は、常に課題として挙げられる。

文化財の三次元計測調査は、世界各地で実施されている。日本人研究者が関わる例では、カンボジアのアンコール遺跡バイヨン寺院のデジタルアーカイブ化プロジェクトが著名である（池内・大石 2010）。

日本国内では、史跡整備に伴う調査や学術調査で利用される例が多い。

近年では、行政の調査でも、時間的制約の厳しい東日本大震災の震災復興調査で、下記の SfM とともに導入事例が増えている。

さて、古墳時代の資料で、これまでに実施され

た主な三次元計測の事例を挙げると、遺物では青銅鏡や甲冑、埴輪などがある。

銅鏡は、樋原考古学研究所を中心とする集成作業と、計測結果を用いた鏡の製作技術に関する分析研究が進展している（樋原考古学研究所 2005、水野 2010、水野 2016 など）。

甲冑は、吉村和昭氏による計測事例がある（吉村 2014）。ここでは甲冑製作の設計から製作工程に焦点をあて、計測した事例から、製作に平面的設計図として「型紙」の使用を推定した。また、破片化した資料を計測し、三次元データ上で接合するといった作業も行っている。

埴輪は、城倉正祥氏による計測事例があり、三次元計測が刷毛目同定などの詳細な分析にも有効な手法であることに注目している（城倉 2016、平原・伝田・城倉編 2016）。

土器は、事例は少ないが、他時代の事例として、縄文土器や弥生時代の甕棺などの計測例がある（註7）。

また、骨については、奈良文化財研究所が、「3D Bone Atlas Database」という骨の三次元データの公開を 2015 年から開始した（奈良文化財研究所 HP）。ここでは動物骨から人骨まで、3D データを閲覧することができる。

次に、遺構の事例では、今回取り上げる古墳と埋葬施設が挙げられる。これについては横穴式石室を中心に後述したい。

## （2）SfM とは

SfM (Structure from Motion) は、写真測量の一種である。これは、「移動するカメラから外部の三次元構造 (Structure) を推定する手法」である（織田 2016）。具体的には、デジタルカメラで撮影した写真から、パソコンのソフトウェアを利用して、三次元モデルを作成する。

三次元計測との大きな違いは、三次元計測がレーザーの照射によって、物理的に対象を計測す

るのに対し、SfM はデジタルカメラの撮影データから、対象物の位置を捉えて、三次元モデルを構築する点にある。

これが技術的に大きく発達した背景には、デジタルカメラと小型 UAV (ドローン)、およびパソコン等関連機器の急速な機能向上が挙げられる。

考古学の分野では、三次元計測と同様に、東日本大震災の震災復興調査で注目を集めた。SfM には、デジタルカメラと専用ソフト (AgisoftPhotoScan など) が用意できれば、短時間、かつ簡便に実施できるという利点があるためである。

SfM の特徴は、対象がカメラで撮影できる物であれば、撮影条件を整えて撮影することで、モデルの構築が可能であることである。

ただし、SfM で構築したモデルの精度は、現状では単独で検証することが難しい。そのため、写真に座標点や尺度を写しこむ作業や、三次元計測と併用することなどが必要となる。

なお、SfM に関連する機材にドローンがある。

小型 UAV (Unmanned aerial vehicle)、いわゆるドローンは、ここ数年で様々な社会的話題を巻き起こしつつ、普及・発達している。これは地理学や防災学、ひいては映画・テレビ撮影といった様々な分野での活用が試みられている。考古学では遺跡の写真撮影に採用され始めている。

ドローンで撮影した写真は、それ自体が記録として有効なだけでなく、SfM や GIS の基礎データとして利用できることが大きな特徴である（内山・井上・鈴木 2014）。もちろん、これを有効活用するため、整えるべき環境や遵守すべき事項は多くある（一般社団法人全国測量設計業教会連合会技術委員会・MicroUAS 利活用研究部会 2016）。

もう一つ、SfM に関連する技術には GIS がある。GIS では、地理情報を各種データから取り扱うことができる。SfM との関連では、撮影写真や構築したモデルに対して、座標を与える作業

を GIS 上で行うことができる（金田 2016、岡本 2016a/b など）。

### （3）横穴系埋葬施設の三次元計測事例

ここでは三次元計測と SfM を実施した横穴系埋葬施設（横穴式石室・横口式石槨・横穴墓）の調査例を取り上げる。そのうえで両者が、横穴式石室の調査研究、および普及活用でどのような役目を果たすかを考えてみたい。

さて、2016 年 11 月段階で、横穴系埋葬施設の三次元計測・SfM を実施した事例のうち、横穴式石室は 41 例、横口式石槨は 5 例、横穴墓は 36 例を確認できた（第 1 表・第 2 表）（註 8）。

青銅鏡のように、三次元計測が盛んに実施され、それを用いた分析や研究も開拓されている分野に比べると、横穴式石室はまだ実施事例が少なく、今後に期すところが大きい。SfM についても同様である。

このような状況下ではあるが、代表的な調査事例から、成果や課題を取り上げてみたい。

まず、第 1 表と第 2 表の調査事例を一瞥すると、調査の性格は、学術調査と史跡整備に伴う調査が多く、行政の緊急調査は少ない。ただし、横穴式石室以外の調査に目を向けると、行政機関であっても三次元計測や SfM を取り入れた調査は進められているため、一概に行政の実践例が少ないと判断できない。

次に計測は、調査主体である大学・行政・研究所単独の実施よりも、測量会社との共同作業（委託）が多い。これは、技術や機器類の取扱いに関する専門性が高く、機器類の価格等も決して安価ではないことから、単独導入が難しい現状を示しているのだろう。

調査体制とともに、使用機器の記載がある例をみると、市販の機器を用いる例が大半を占める。その意味では、事例の多くは一般的な計測手法を採用しているといえよう。しかし、装飾古墳や奈

良県高松塚古墳、キトラ古墳のように、計測対象資料が、特に貴重、かつ特殊な保存環境にある事例では、既存の機器類を改良し、独自に開発した装置を用いる例もみられる。

調査手法では、三次元レーザー計測や SfM を単独で実施した例もあれば、両者を併用した例も認められる。近年では、SfM が横穴式石室の調査で効果的であるという意見もみられる（金田 2016、岡本 2016a/b）。

次に実施年度に注目すると、初期の調査事例は、兵庫県勝福寺古墳（2001 年実施）や群馬県前二子古墳（2002 年～2004 年実施）である。勝福寺古墳の調査では、従来の実測に加えて、三次元計測が行われ、一連の成果は紙媒体の報告書とインターネット上で公開されている（勝福寺古墳デジタル歴史講座 HP）。調査から公開までを視野に入れた先駆的な事例といえよう。

横穴式石室の計測事例は、その後、2000 年代後半から増加する。これは、装飾古墳の計測プロジェクトやキトラ古墳と高松塚古墳の調査など、西日本における重要古墳の調査が、三次元計測の認知を深めるきっかけになったと推定している。

ここで装飾古墳の計測調査に目を向けてみよう。これは、九州国立博物館と東京大学池内克史研究室、および古墳の所在する自治体が、「装飾古墳データベース」の構築を目的に進めた調査である。これら一連の調査は、調査から公開に至るまで、最も体系的に進められ、大きな成果を上げたプロジェクトである（河野 2012、池内編 2015、河野 2016 など）。九州の装飾古墳として著名な福岡県桂川大塚古墳をはじめ、30 基ほどの古墳と横穴墓を計測している。さらに、インターネット上では「装飾古墳データベース」を公開し、九州国立博物館では桂川大塚古墳の VR 展示なども実施されている。

装飾古墳に関する一連の計測調査は、横穴式石室の計測事例の中でも早い段階から、継続的に進

第1表 横穴式石室と横口式石槨の三次元計測事例（2016年11月段階）

横穴式石室

| No. | 遺跡名      | 所在  | 手法    | 理由 | 実施年       | 出典                  |
|-----|----------|-----|-------|----|-----------|---------------------|
| 1   | 北目3号墳    | 山形県 | レ     | 学  | 2009      | (北野ほか 2010)         |
| 2   | 北目5号墳    | 山形県 | レ     | 学  | 2008      | (北野ほか 2009)         |
| 3   | 北目6号墳    | 山形県 | レ     | 学  | 2008      | (北野ほか 2009)         |
| 4   | 前二子古墳    | 群馬県 | レ・写   | 史  | 2002～2004 | (前橋市教育委員会 2005)     |
| 5   | 築瀬二子塚古墳  | 群馬県 | SfM   | 史  | 2013      | (割田 2016)           |
| 6   | 若宮八幡古墳   | 埼玉県 | レ・SfM | 学  | 2016      | (青木・ナワビ 2016)       |
| 7   | 鉄砲山古墳    | 埼玉県 | レ・SfM | 史  | 2016      | (青木・ナワビ 2016)       |
| 8   | 豊田大塚古墳   | 愛知県 | レ     | 史  | 2013？     | (森ほか 2016)          |
| 9   | 甲塚古墳     | 京都府 | SfM   | 学  | 2015？     | (岡本 2016b)          |
| 10  | 岩屋山古墳    | 奈良県 | レ・SfM | 学  | 2011～2014 | (金田・高橋 2015)        |
| 11  | 弁天塚古墳    | 奈良県 | SfM   | 学  | 2015？     | (金田 2016)           |
| 12  | 牧野古墳     | 奈良県 | レ     | 学  | 2010      | (大阪市立大学日本史研究室 2010) |
| 13  | 勝福寺古墳    | 兵庫県 | レ     | 学  | 2001      | (勝福寺古墳デジタル歴史講座 HP)  |
| 14  | 旭塚古墳     | 兵庫県 | SfM   | 累  | 2007      | (森岡・坂田 2009)        |
| 15  | 白鳥塚古墳    | 兵庫県 | SfM   | 学  | 2015      | (岡本 2016a)          |
| 16  | 千足古墳     | 岡山県 | レ     | 史  | 2009      | (新納 2012)           |
| 17  | 椀賀塚古墳    | 香川県 | レ     | 史  | 2009      | (久保田 2014)          |
| 18  | 平塚古墳     | 香川県 | レ     | 史  | 2010      | (久保田 2014)          |
| 19  | 角塚古墳     | 香川県 | レ     | 史  | 2012      | (久保田 2014)          |
| 20  | 小蓮古墳     | 高知県 | レ     | 学  | 2005      | (清家 2006)           |
| 21  | 日岡古墳     | 福岡県 | レ・写・分 | 学  | 2005～2014 | (池内編 2015)          |
| 22  | 珍敷塚古墳    | 福岡県 | レ・写・分 | 学  | 2005～2014 | (池内編 2015)          |
| 23  | 塚花塚古墳    | 福岡県 | SfM   | 学  | 2007      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 24  | 重定古墳     | 福岡県 | SfM   | 学  | 2007      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 25  | 桂川王塚古墳   | 福岡県 | レ・写・分 | 学  | 2004～2005 | (池内編 2015)          |
| 26  | 弘化谷古墳    | 福岡県 | レ・写・分 | 学  | 2005～2014 | (池内編 2015)          |
| 27  | 乗場古墳     | 福岡県 | レ・写・分 | 学  | 2005～2014 | (池内編 2015)          |
| 28  | 桜京古墳     | 福岡県 | レ・写・分 | 学  | 2009      | (池内編 2015)          |
| 29  | 下馬場古墳    | 福岡県 | SfM   | 学  | 2007      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 30  | 前畠古墳     | 福岡県 | SfM   | 学  | 2007      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 31  | 中原孤塚古墳   | 福岡県 | SfM   | 史  | 2002～2003 | (丸林 2004)           |
| 32  | 五郎山古墳    | 福岡県 | SfM   | 学  | 2007      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 33  | 皆見大塚古墳   | 福岡県 | SfM   | 学  | 2009      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 34  | 田代太田古墳   | 佐賀県 | レ・写・分 | 学  | 2005～2014 | (池内編 2015)          |
| 35  | 龍王崎6号墳   | 佐賀県 | SfM   | 学  | 2009      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 36  | 西隈古墳     | 佐賀県 | SfM   | 学  | 2009      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 37  | 勇猛寺古墳    | 佐賀県 | SfM   | 学  | 2009      | (装飾古墳データベース HP)     |
| 38  | 千金甲1号墳   | 熊本県 | レ・写・分 | 学  | 2005～2014 | (池内編 2015)          |
| 39  | 弁慶ヶ穴古墳   | 熊本県 | レ・写・分 | 学  | 2005～2014 | (池内編 2015)          |
| 40  | ガランドヤ1号墳 | 大分県 | SfM   | 学  | 2008～2009 | (矢羽田 2010)          |
| 41  | ガランドヤ2号墳 | 大分県 | SfM   | 学  | 2008～2009 | (矢羽田 2010)          |

横口式石槨

| No. | 遺跡名        |     | 手法  | 理由 | 実施年         | 出典                  |
|-----|------------|-----|-----|----|-------------|---------------------|
| 1   | 平野塚穴山古墳    | 奈良県 | レ   | 学  | 2011        | (廣瀬 2015)           |
| 2   | 牽牛子塚古墳     | 奈良県 | レ   | 学  | 2014        | (廣瀬 2015)           |
| 3   | 高松塚古墳      | 奈良県 | レ・フ | 史  | 2004～2006～7 | (松村編 2006、井上編 2009) |
| 4   | キトヲ古墳      | 奈良県 | レ・フ | 史  | 2004～2007   | (玉田編 2008、井上編 2011) |
| 5   | ヒチンジョヨ池西古墳 | 大阪府 | レ   | 学  | 2013        | (廣瀬 2015)           |

凡例

【手法】レ…レーザー測量、分…分光分布測定、写…写真撮影、SfM…写真測量(SfM)、フ…フォトマップ撮影

【理由】学…学術調査、史…史跡整備に伴う調査、緊…緊急調査

められている。また、関係市町村・研究室・博物館が連携して、調査から公開まで取り組んでいる。公開の方法は、博物館展示と関連書籍の刊行を始め、インターネット上で各計測成果を閲覧できるシステムを採用している(装飾古墳データベースHP)。こうした取り組みは、対象事例の良好な記

録を得るという当初の目的に加えて、文化財の保存と活用に、三次元計測をどう活かすかを考える上で、一つのモデルケースとなる。

今回収集した事例を通じて、横穴式石室の三次元計測は、主に西日本における実施例が多いが、それに比べて東日本では、まだ実施例は多くない

第2表 横穴墓の三次元計測事例（2016年11月段階）

| No. | 遺跡名             |     | 手法    | 理由 | 実施年  | 出典              |
|-----|-----------------|-----|-------|----|------|-----------------|
| 1   | 泉崎横穴墓           | 福島県 | SfM   | 学  | 2009 | (装飾古墳データベース HP) |
| 2   | 羽山横穴墓           | 福島県 | SfM   | 学  | 2009 | (装飾古墳データベース HP) |
| 3   | 十五郎穴館出支群I区35号墓  | 茨城県 | レ・SfM | 学  | 2011 | (稲田 2016)       |
| 4   | 十五郎穴館出支群I区32号墓  | 茨城県 | SfM   | 学  | 2014 | (稲田 2016)       |
| 5   | 十五郎穴館出支群I区33号墓  | 茨城県 | SfM   | 学  | 2014 | (稲田 2016)       |
| 6   | 十五郎穴館出支群III区5号墓 | 茨城県 | SfM   | 学  | 2014 | (稲田 2016)       |
| 7   | 十五郎穴館出支群VII区3号墓 | 茨城県 | SfM   | 学  | 2014 | (稲田 2016)       |
| 8   | 十五郎穴笠谷支群V区13号墓  | 茨城県 | SfM   | 学  | 2014 | (稲田 2016)       |
| 9   | 十五郎穴笠谷支群VI区1号墓  | 茨城県 | SfM   | 学  | 2014 | (稲田 2016)       |
| 10  | 長柄第1小支群第1号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 11  | 長柄第1小支群第2号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 12  | 長柄第1小支群第3号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 13  | 長柄第1小支群第4号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 14  | 長柄第2小支群第5号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 15  | 長柄第2小支群第6号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 16  | 長柄第2小支群第7号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 17  | 長柄第2小支群第8号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 18  | 長柄第2小支群第9号墓     | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 19  | 長柄第2小支群第10号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 20  | 長柄第2小支群第11号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 21  | 長柄第2小支群第12号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 22  | 長柄第3小支群第13号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 23  | 長柄第3小支群第14号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 24  | 長柄第3小支群第15号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 25  | 長柄第3小支群第16号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 26  | 長柄第3小支群第17号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 27  | 長柄第4小支群第18号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 28  | 長柄第4小支群第19号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 29  | 長柄第4小支群第20号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 30  | 長柄第4小支群第21号墓    | 千葉県 | レ     | 史  | 2002 | (長柄町教育委員会 2013) |
| 31  | 山王横穴墓           | 東京都 | レ・SfM | 緊  | 2015 | (ナワビ 2016)      |
| 32  | 高井田第3支群5号墓      | 大阪府 | SfM   | 学  | 2010 | (装飾古墳データベース HP) |
| 33  | 高井田第3支群10号墓     | 大阪府 | SfM   | 学  | 2010 | (装飾古墳データベース HP) |
| 34  | 高井田第3支群13号墓     | 大阪府 | SfM   | 学  | 2010 | (装飾古墳データベース HP) |
| 35  | 小原大塚横穴墓群        | 熊本県 | SfM   | 学  | 2008 | (装飾古墳データベース HP) |
| 36  | 小原浦田横穴墓群        | 熊本県 | SfM   | 学  | 2008 | (装飾古墳データベース HP) |

凡 例

【手法】 レ…レーザー測量、SfM…写真測量 (SfM)

【理由】 学…学術調査、史…史跡整備に伴う調査、緊…緊急調査

ことがわかった。

関東地方は、全国的に多くの横穴式石室と横穴墓が分布するため、今後、計測が盛んになることが期待される。ここでは、卑近な例として、筆者も関わった埼玉県の事例を取り上げたい。

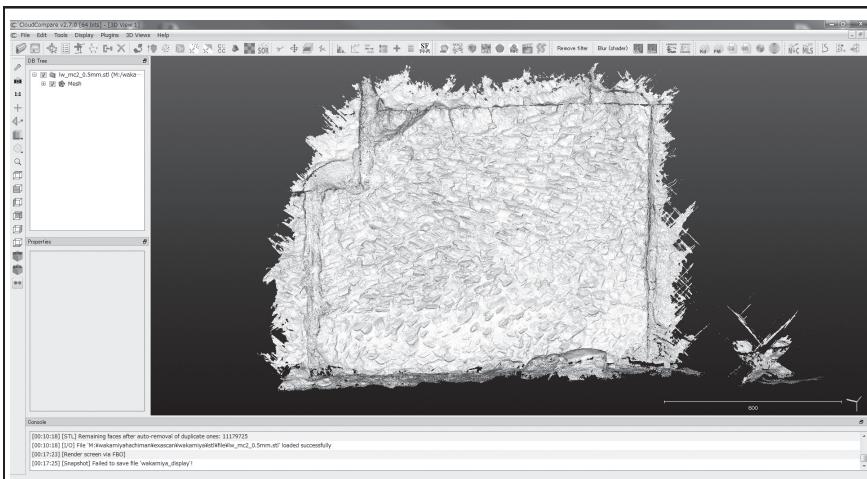
筆者は、早稲田大学考古学研究室が進めている三次元計測の調査に携わる機会を得、東松山市若宮八幡古墳と行田市鉄砲山古墳の調査に参加した。両古墳の調査成果は、現在整理中だが、その成果の一端は、すでに公表した（青木・ナワビ 2016）。

その繰り返しになるが、一例として、第2図に三次元計測とSfMで作成したモデルの操作画面を示した。ここでは三次元計測のデータは、PCソフトのCloudCompareで表示し

ている。SfMに関するPCソフトは、最近ではAgisoftPhotoScanが、文化財の計測事例で頻繁に用いられている。

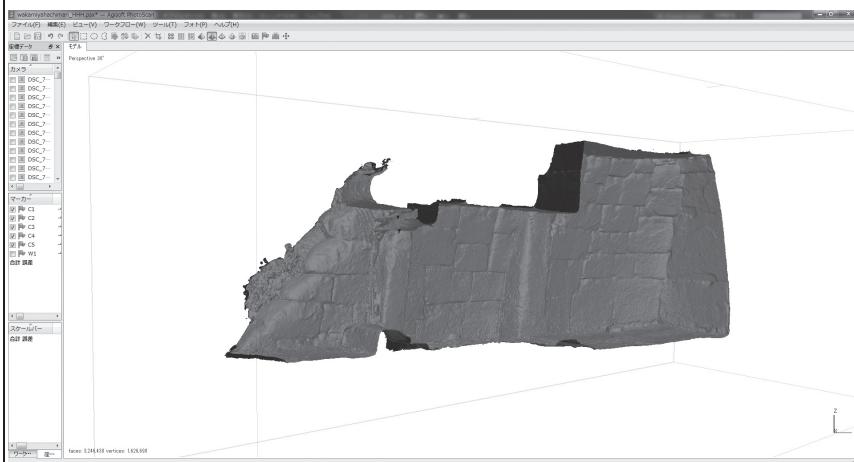
次に、第3図には、若宮八幡古墳横穴式石室の計測結果のうち、左側壁（入口側からみた方向）を示した。上段は比較例として従来の実測図、中段は三次元計測データをPEAKIT処理した図（株式会社 LANGによる）、下段はSfMによる写真画像の正射投影図である（註9）。

この横穴式石室は、後世、玄室内で火を焚かれたことによって、内部が黒く変色している。そのため、SfMの図は全体的に黒く表現されている。ただし、SfMでは、このような図像以外にも、対象物の色情報を捨象したモデルを作ることもできる。



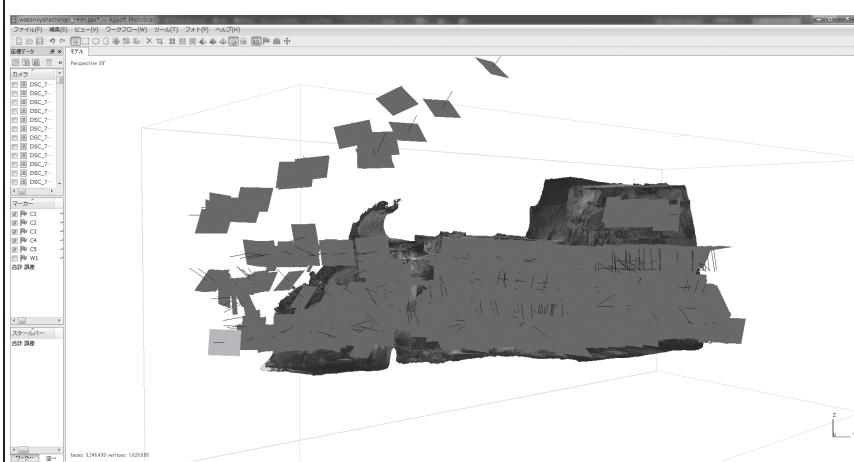
※①のCloudCompareは、オープンソースのソフトウェアで、HPからダウンロードできる。画面上の操作で、任意の方向・縮尺で閲覧ができる。表示方法も多様である。それ以外にも点群の編集や計測等の分析作業も可能である

① 三次元計測：CloudCompareによるデータの閲覧と編集例（若宮八幡古墳横穴式石室石材）



※SfMには、様々なソフトウェアがある。なかでもAGIPhotoscanはその代表的なソフトウェア（有償）である。②には写真撮影から作成したモデルを表示した。モデルは任意の方向・角度・縮尺で閲覧と編集ができる。

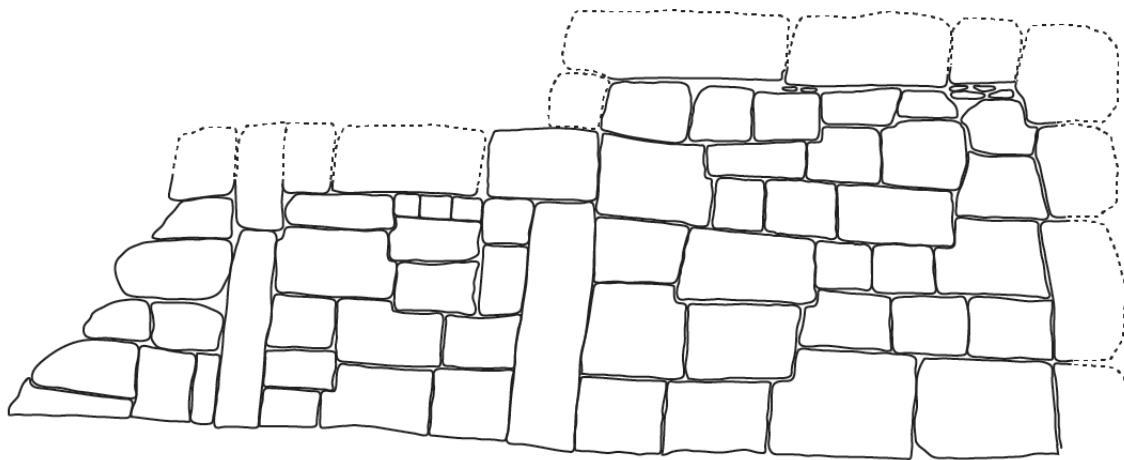
② SfM：AGIsoftPhotoscanによるデータの閲覧と編集例（若宮八幡古墳横穴式石室）



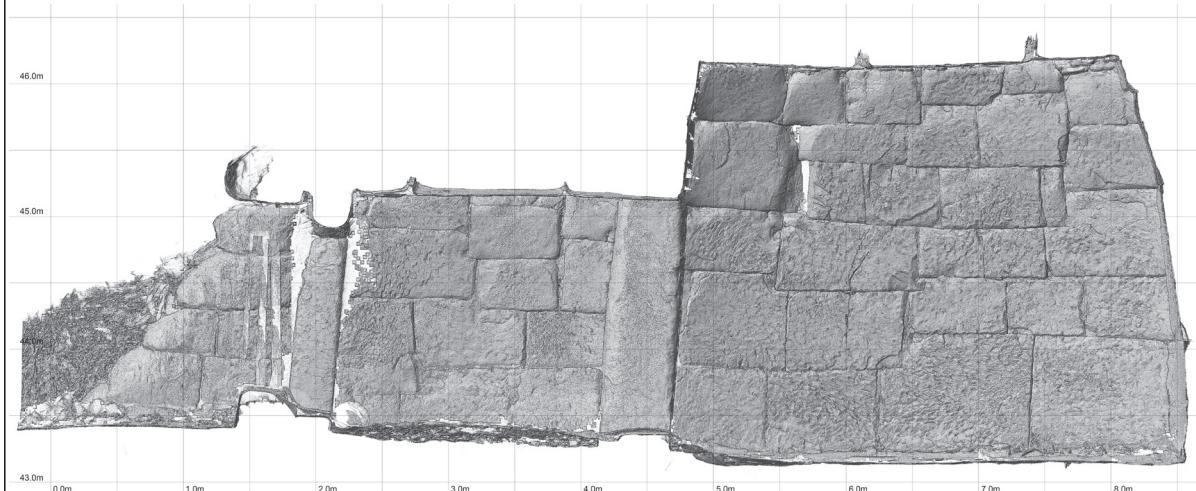
※③には、②と同じ方向で、モデルの作成に用いた写真の枚数、撮影方向を示した。作業過程上、あるいは仕上げの図としても、様々な表示ができる。

③ モデルに使用した写真の撮影方向の表示

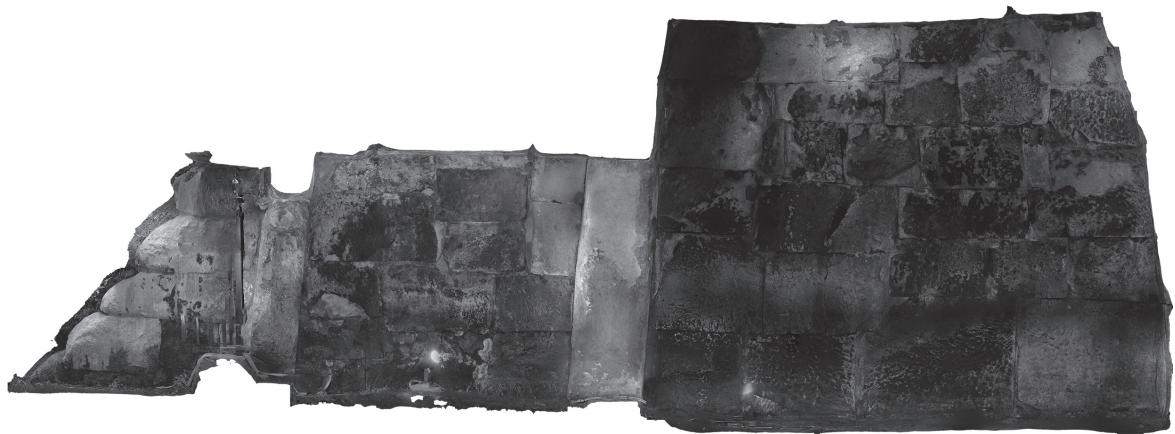
第2図 三次元計測とSfMの作業



① 実測図



② 三次元計測：PEAKIT 表示



③ SfM : AGIPhotoscan による正射投影図像

第3図 横穴式石室の三次元計測とSfMの事例（若宮八幡古墳 S=1/60）

三次元計測では、様々な形でモデルを表示することができる。今回示した図は、代表的な図像だが、先だって発表したように、これまでの実測図とは異なる表現も可能である（青木・ナワビ 2016）。

SfM や三次元計測を用いることで、横穴式石室全体の構造や、石材表面の加工痕も立体的に確認できることは、大きな利点といえよう。

一方、これらの計測では、後世の改変や剥落、虫なども一括して記録するため、現地での肉眼観察と検討は欠かせない。

こうした状況を踏まえ、三次元計測と横穴式石室研究に関して、筆者が現在考える課題と展望を次節で示したい。

#### (4) 横穴式石室研究と三次元計測への展望

レーザー計測に代表される三次元計測は、計測した点群一つ一つに、三次元情報（XYZ）が記録されている。

このような三次元情報を二次元の図面に加工するにあたり、選択可能な表現方法は、「陰影像」「メッシュ」「写真的正射投影画像」など様々である。その上、これを作成するソフトもいくつか存在する。そのため、三次元計測では、目的とする「表現方法」と、それを達成するための「使用ソフト」により、多様な図像を作成することが可能となる。これが三次元計測の大きなメリットだが、データの再現性や検証可能な資料の提供という点では、デメリットにもなりうる。

この点については、近年では墳丘測量の調査成果に基づき、城倉正祥氏や寺村裕史氏が問題提起している（城倉ほか 2015、寺村 2016）。

つまり、従来の手実測による作図では、対象物の計測方法（実測）と図面の編集方法（トレース・版組）に、一定の統一を図っていた。そのため、成果として出来上がる図面は、対象物が残っている限り、理論上再現することが可能であり、その作成過程を知ることもできた。そして、表現の統

一された図があることで、同一条件下での図面の比較検討もできる。

一方、三次元計測の場合は、現地での調査方法（使用機種、機械の設定等）から、データの処理方法まで、多様な行程を経るため、こうした図面作成過程と同じ手法によって再現できるかどうかが重要となる。

成果の再現性、あるいは検証という点を重視するならば、成果の大元となる三次元の座標データを公開・共有できることが望まれる。むしろ、この座標データの公開こそ、今後、各地で三次元計測が普及し、それを用いた研究が進展する第一歩となるとも思われる。

現状では、計測手法も報告の記載方法も様々であるため、将来的に統一した環境下での取扱いが難しくなる恐れも予想される。そのため、こうした三次元計測を実施した際に、成果の取り扱いを慎重に進める上で、報告の事実記載として挙げるべき点、将来的に公開すべき資料について、筆者が現在考える点をいくつか挙げてみたい。

1つ目は調査の基本事項（三次元計測の実施主体・実施年月日・使用計測機器・使用ソフト・計測方法等）である。

2点目はデータ処理の方法（使用 PC の構成・使用ソフト・処理過程のあらまし等）である。

3点目は従来の掲載方法に即した成果図面（展開図・断面図等）と三次元計測独自の図面を示すことである。

三次元計測の成果は、陰影図や正射投影画像等、数種類を掲載できるとよいが、紙幅の都合上、掲載が難しい場合は、そのような図像表現を閲覧できるデータの公開を試みることが望まれる。

4点目は、調査に使用した座標と計測した点群データの公開である。

要約すると、将来参考可能な情報を開示する。研究や普及などの活用面でも、データを公開していくことが、いまだ特殊な手法と認識されている

三次元計測では、重要なところとなる。

またデータの公開という側面では、インターネット上の公開方法の検討も必要だろう。

三次元計測を用いた新たな研究は、まだ始まつたばかりである。横穴式石室に関しては、計測事例と検討に耐えうる図面を増やすことが第一である。ただし、三次元計測成果の表現方法が確立していないことから、既往の実測図的表現方法を基調としつつ、併行して、それを超えた表現方法の模索も必要だろう。一方で、全国に残る未調査(未図化)古墳の数と考古学的手法の特徴を鑑みると、手計りによる実測図の作成は、なお重要な役割を担う（註 10）。

三次元計測や SfM など、新しい機器類の登場によって、本来の立体的な構造を記録することが可能になりつつある。しかし、これらの手法も、計測から報告、公開まで、地道な作業の積み重ねである。その蓄積が、新たな調査、研究、公開方法の構築の基本となる。それとともに、従来の手法や先行研究に対する理解を深めていくことも欠かせない。現在、両者をうまく組み合わせる姿勢が求められている。

## おわりに

本稿を執筆するきっかけは、ここ数年間に、当該分野に関する四冊もの大著が刊行されたことによる。そして三次元計測をはじめとした新たな調査手法も増え、筆者もその機会を得られた。こうした研究と調査の状況を整理し、研究史上に取り上げるだけでも重要な作業と考えた。なぜなら、この四冊の著書を読むことで、改めてそれ以前の研究を再確認したうえで、私自身の研究視点を見直す必要があったためである。このような経緯もあり、ここでは先行研究をまとめ、展望として三次元計測について、筆者の考えるところを提示したに過ぎない。本稿を踏まえて、今後も地道に研究を進めていきたい。

## 謝辞

東松山市若宮八幡古墳の調査と一連の成果は、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所（所長 早稲田大学准教授 城倉正祥）の研究成果の一部です。

調査にあたり、東松山市教育委員会の宮島秀夫氏、佐藤幸恵氏、矢口翔馬氏、ならびに地元の皆様には、多大なる御支援と御協力を賜りました。

第2図と第3図における、横穴式石室の三次元計測データは、株式会社 LANG（横山真氏・千葉史氏）と早稲田大学考古学研究室（ナワビ矢麻氏・根本佑氏）による処理結果を、東松山市教育委員会、株式会社 LANG、および城倉正祥先生に掲載許可をいただきました。

そして、本稿を草するにあたり、以下の方々に御指導と御協力を賜りました。御芳名を記し、皆様に感謝申し上げます（敬称略）。

大谷徹、福田聖、藤野一之、草野潤平、小林孝秀、伝田郁夫、若杉智宏、松吉祐希

## 註

註 1 第1の画期は7期と8期の間付近（5世紀後半）におく。首長権継承システムの確立、初期群集墳の築造、集落変遷の画期と対応すること含め、最大の画期。本期以降を初期国家段階と位置づける。第2の画期は9期と10a期の間付近（6世紀後半）におく。社会構成の「複雑化」、後期群集墳と小規模前方後円墳の築造数が増加、地域間交流を背景とした、広域の首長連合による政治的ネットワークの確立。第3の画期は10b期と11期の間（7世紀初頭）におく。前方後円墳の終焉と大型円・方墳への墳形転換、埴輪祭祀の終焉。第4の画期は11期と12期の間付近（7世紀中葉）におく。社会構成の「単純化」、集落の画期に対応、横口式石槨の採用、小規模前方後円墳の終焉。第5の画期は12期の中（7世紀第Ⅲ四半期後半）におく。社会構成の「単純化」が進み、評衡の設置と寺の創建、群集墳

築造数の激減とする。

註2 1点目は河川交通の検討、2点目は生産活動について、国家成立過程における技術革新を含む鉄製品の生産と流通を追究すること、3点目は国家成立過程について、常備軍を含む軍事組織や武器保有に関わる軍事面を追究すること、4点目は群集墳の変遷と類型化、集落の検討を通して、民衆レベルにおける国家成立過程を追究すること、5点目は朝鮮半島や中国など東アジアの視点から国家成立過程を追究すること、6点目は首長制社会の経済構造について、「互酬性」と「再分配」を考古学的に追究することを挙げた。

小森氏が課題の一つに挙げた「群集墳の変遷と類型化」については、2016年2月に、東北・関東前方後円墳研究会で『群集墳展開の共通性と地域性—王権・地域首長と群集墳被葬者—』と題したシンポジウムが開催された。東日本各地の事例が扱われ、筆者も埼玉県の事例について取り上げたが、私自身、小森氏の提起する課題の解消には至っていない（青木2016a）。引き続き検討を続けていきたい。

註3 太田宏明氏の一連の研究は、2016年10月に『横穴式石室と古墳時代社会』が刊行された（太田2016）。本稿では取り上げることはできなかったが、横穴式石室の概念・分類・分布（領域）を考える上で重要な見解が数多く提示されている。

註4 折しもここで上げた4古墳については、近年、検討が進められている。主な成果として、将軍山古墳（埼玉県立さきたま史跡の博物館2013、さきたま魅力アップ実行委員会2014など）、城山1号墳（日本考古学協会編2015）、法皇塚古墳（谷畑・宮代ほか2016）、金鈴塚古墳（国立歴史民俗博物館編2016など）がみられる。こ

れらの研究成果も踏まえて、慎重に検討する必要がある。

註5 土生田氏の「同工石室」は、横穴式石室の石積みにおける目地や休止部に注目し、その技術的斂一性を評価したものである。筆者も埼玉県内の事例を対象に取り上げたが、工人の癖や技法の細かな共通性にまで踏み込めず、土生田氏とはやや異なる概念既定のまま、分析を進めてしまった（青木2015a）。この点は土生田氏からご教示いただいた点であり、今後、再検討していきたい。

註6 例えば、古墳の材料となる大量の土砂や石材を、どのように獲得し、運搬したのか、どのような道具を築造に使用していたのか、「工人集団」という專業集団はどのように存在したのかといった点である。

註7 繩文土器に関しては、近年、新潟県笛山遺跡の調査報告書で、三次元計測とPEAKIT処理による図が公開された（阿部ほか2016）。弥生土器に関しては、九州地方の土器や甕棺について、分析事例が増えている（黒木・太郎良2015など）。

註8 第1表・第2表掲載事例は、2つの理由により、不十分な表となっている。1点目は、事例の集成作業が、全国の文献を涉獵できていないこと、2点目は、把握できた計測事例のうち、口頭やWEB上でのみ確認し、概報や報告として活字化されていない事例は除外したことによる。今後、隨時追加していきたい。

註9 PEAKIT処理に関する詳細は（横山・千葉2016）を参照していただきたい。

註10 手計り実測は、図化以外にも、対象物の観察眼を養い、計測作業を有効に活用する上でも重要な作業と指摘されている（杉井2015）。

## 引用・参考文献

- 青木 敬 2003 『古墳築造の研究 墳丘から見た古墳の地域性』 六一書房  
青木 弘 2015a 「埼玉県における後・終末期古墳の築造技術—築造工程と「同工石室」の検証—」『埼玉考古』50 pp.55-100 埼玉考古学会  
青木 弘 2015b 「埼玉県における横穴式石室の石材加工について」『研究紀要』第29号 pp.51-80 埼玉県埋蔵

文化財調査事業団

- 青木 弘 2016 「埼玉県における群集墳の展開」『群集墳展開の共通性と地域性—王権・地域首長と群集墳被葬者—』 第21回東北・関東前方後円墳研究会発表要旨 pp.95-114 東北・関東前方後円墳研究会
- 青木 弘・ナワビ矢麻 2016 「横穴式石室の三次元計測と分析—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—』 pp.80-84 早稲田大学総合人文科学研究中心
- 阿部 敬ほか編 2016 『笛山遺跡発掘調査報告書—第8~10次調査—』十日町市埋蔵文化財発掘調査報告書第55集 十日町市教育委員会
- 池内克史 2015 『最新技術でよみがえる九州装飾古墳のすべて』 東京書籍
- 池内克史・大石岳史 2010 『3次元デジタルアーカイブ』 東京大学出版会
- 市橋一郎 2014 『北関東の横穴式石室』 同成社
- 稻田健一 2016 『十五郎穴横穴墓群—東日本最大級の横穴墓群の調査—』ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社 文化財調査報告第42集 ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社
- 井上直夫編 2009 『高松塚古墳壁画フォトマップ資料』奈良文化財研究所史料第81冊 奈良文化財研究所
- 井上直夫 2011 『キトラ古墳壁画フォトマップ資料』奈良文化財研究所史料第86冊 奈良文化財研究所
- 一般社団法人全国測量設計業教会連合会技術委員会・MicroUAS利活用研究部会 2016 『平成27年度UAS導入ガイド』
- 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』第81号 pp.37-60 防災科学技術研究所
- 大阪市立大学日本史研究室 2010 『奈良県広陵町牧野古墳の石室』
- 太田宏明 2010 「考古資料の分類単位と過去の社会組織—横穴式石室の分類・整理を通じたモデルの提唱」『考古学雑誌』第94巻第2号 pp.1-29 日本考古学会
- 太田宏明 2016 『横穴式石室と古墳時代社会—遺構分析の方法と実践—』 雄山閣
- 岡本篤志 2016a 「SfMを用いた多視点デジタル写真測量による白鳥塚古墳三次元計測」『ゴーランド・コレクション総合研究の新知見に基づく日本古墳時代像・研究史の再構築』ニュースレター1号 pp.20-23 ゴーランド・コレクション調査プロジェクト
- 岡本篤志 2016b 「多視点デジタル写真測量による甲塚古墳三次元計測」『ゴーランド・コレクション総合研究の新知見に基づく日本古墳時代像・研究史の再構築』ニュースレター2号 pp.14-17 ゴーランド・コレクション調査プロジェクト
- 織田和夫 2016 「1.4.4 Structure from Motion」『三次元画像計測の基礎 バンドル調整の理論と実践』 p.20 日本写真測量学会編、東京電機大学出版局
- 榎原考古学研究所 2005 『三次元デジタル・アーカイブを活用した古鏡の総合的研究』
- 金田明大 2016 「弁天塚古墳の石室計測」『文化財の壺 特集研究するモノに三次元を』Vol.4 pp.6-7 文化財方法論研究会
- 金田明大ほか 2010 『文化財のための三次元計測』 岩田書院
- 金田明大・塙本敏夫 2014 「39 測量機材の進化は発掘に何をもたらしたか」『考古学研究60の論点』 pp.165-168 考古学研究会
- 金田明大・高橋幸治 2015 「岩屋山古墳の三次元計測から—作業の概要と課題—」『明日香村文化財調査研究紀要』14 pp.57-62 明日香村教育委員会
- 河野一隆 2012 「④考古資料のためのデジタルアーカイブ」『隣接科学と古墳時代研究』古墳時代の考古学8 pp.214-223 同成社
- 河野一隆 2016 「九州国立博物館と三次元文化財データの活用」『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』 pp.28-32 早稲田大学総合人文科学研究中心

- 北野博司ほか 2009 『置賜地域の終末期古墳2』東北芸術工科大学考古学研究報告第8冊 東北芸術工科大学考古学研究室
- 北野博司ほか 2010 『置賜地域の終末期古墳3』東北芸術工科大学考古学研究報告第9冊 東北芸術工科大学考古学研究室
- 草野潤平 2016 『東国古墳の終焉と横穴式石室』 雄山閣
- 久保田昇三 2014 『大野原古墳群I（椀貸塚古墳・平塚古墳・角塚古墳）』観音寺市内遺跡発掘調査事業報告書 15 観音寺市教育委員会
- 黒木梨絵・太郎良真妃 2015 「弥生土器の形態比較—三次元的検討を含む北部九州～南九州の比較—」『日本情報考古学会講演論文集（第35回大会）』Vol.15（通巻35号） pp.23-26 日本情報考古学会
- 国立歴史民俗博物館編 2016 『金鈴塚古墳のかがやき』第103回歴博フォーラム
- 小林孝秀 2005 「常陸高崎山西2号墳の横穴式石室に関する再検討—関東における横穴式石室導入の評価をめぐって—」『茨城県考古学協会誌』第17号 pp.113-126 茨城県考古学協会
- 小林孝秀 2014 『横穴式石室と東国社会の原像』 雄山閣
- 小森哲也 2015 『東国における古墳の動向からみた律令国家成立過程の研究』 六一書房
- 埼玉県立さきたま史跡の博物館編 2013 『古代の豪族～將軍山古墳とその時代～』平成25年度企画展図録さきたま魅力アップ実行委員会編 2014 『埼玉古墳群の謎～東国を治めた古代豪族～』
- 下垣仁志 2012 『古墳時代首長墓系譜論の系譜』『考古学研究』59-2 pp.56-70 考古学研究会
- 城倉正祥ほか 2015 『千葉県栄町龍角寺50号墳のデジタル三次元測量・GPR調査』『Waseda Rilas Journal』No.3 早稲田大学
- 城倉正祥 2016 『人物埴輪の三次元計測における研究の現状と課題』『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—』 pp.18-22 早稲田大学総合人文科学研究センター
- 城倉正祥・平原信崇・渡邊 玲 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
- 鈴木 勉 1998 「古代史における技術移転試論I—技術評価のための基礎概念と技術移転形態の分類—」『樞原考古学研究所論集』第十三創立六十周年記念 pp.507-530 吉川弘文館
- 鈴木 勉 2008 「古代史における技術移転試論II—文化と技術の時空図で捉える四次元的技術移転の実相—」『樞原考古学研究所論集』第十五 創立七十周年記念論文集 pp.671-687 八木書店
- 杉井 健 2015 「みずからの体を動かして測ることの大切さ」『考古学ジャーナル（特集 最新考古学技術の最前線）』No.672（2015年7月号）
- 清家 章 2006 『南国市における大型後期古墳の調査』高知大学考古学調査研究報告第3冊 高知大学人文学部考古学研究室
- 関 義則 2013 『埼玉古墳群の構造変遷』『埼玉県立史跡の博物館紀要』第7号 pp.37-64 埼玉県立さきたま史跡の博物館
- 高橋正男ほか 2005 『大室古墳群 史跡前二子古墳・中二子古墳・後二子古墳ならびに小古墳 保存整備事業報告書』 前橋市教育委員会
- 谷畑美帆・宮代栄一・米田 稔・内山敏行 2016 「(15) 千葉県市川市法皇塚古墳の被葬者の検討—出土人骨と遺物から—」『日本考古学協会第82回総会研究発表要旨』 pp.48-49 日本考古学協会
- 玉田芳英編 2008 『特別史跡キトラ古墳発掘調査報告』 文化庁・奈良文化財研究所・樞原考古学研究所・明日香村教育委員会
- 栃木県立博物館編 2014 『県内文化財の三次元計測』栃木県立博物館調査研究報告書
- 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 アハマッド 矢麻 2016 「多手法を用いた横穴墓の調査—大田区山王の事例—」『文化財の壺』Vol.4

pp.26-27 文化財方法論研究会

新納 泉 2012 「7. 千足古墳の三次元計測」『岡山市造山古墳群の調査概報』 岡山大学

日本考古学協会編 2015 「古墳時代後期首長墓における被葬者像の検討—千葉県城山1号墳を中心に—」『日本考古学協会第81回総会研究発表要旨』 pp.130-141

ニューサイエンス社 2015 「最新考古学技術の最前線」『月刊考古学ジャーナル』 No.672

土生田純之 2013 「伊那谷における横穴式石室の一考察」『飯田古墳群—論考編一』 pp.9-30 飯田市教育委員会

土生田純之・右島和夫編 2003 『古墳構築の復元的研究』 雄山閣

平原信崇・伝田郁夫・城倉正祥 2016 『甦る九十九里の埴輪群像 - 3D考古学の挑戦-』 芝山町立芝山古墳・はにわ博物館

廣瀬 覚 2015 『三次元計測による飛鳥時代の石工技術の復元的研究』 平成23~26年度科学研究費（学術研究助成金（若手研究B））研究成果報告書 奈良文化財研究所

文化庁文化財部記念物課 2010 「三次元レーザー測量」『発掘調査のてびき—集落遺跡発掘編一』 pp.239-240

松村恵司編 2006 『高松塚古墳の調査』 奈良文化財研究所

丸林禎彦 2004 『中原狐塚古墳』田主丸町文化財調査報告書第26集 田主丸町教育委員会

水野敏典 2010 『考古資料における三次元デジタルアーカイブの活用と展開』 日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究A 研究成果報告

美濃口紀子・甲斐由香里 2014 『四十八塚古墳群から出土した装飾古墳家形石棺の記録作業について（報告）』『熊本博物館館報』No.26（2013年度報告） pp.117-148 熊本博物館

森 泰通他 2016 『豊田大塚古墳II』 豊田市埋蔵文化財発掘調査報告書第70集 豊田市教育委員会

森岡秀人・坂田典彦 2009 『旭塚古墳 城山古墳群発掘調査報告書』芦屋市文化財調査報告第77集 芦屋市教育委員会

山田琴子 2016 「7. 行田市埼玉古墳群（鉄砲山古墳）の調査」『第49回遺跡発掘調査報告会発表要旨』 pp.28-29 埼玉考古学会・埼玉県埋蔵文化財調査事業団・さきたま史跡の博物館

横山 真・千葉 史 2016 「PEAKIT画像処理による三次元情報の視覚化」『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—』 pp.38-43 早稲田大学総合人文科学研究センター

吉村和昭 2014 『三次元レーザー計測を利用した古墳時代甲冑製作の復元的研究』平成23年度～25年度科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）基盤研究(C) 研究成果報告書 権原考古学研究所

和田晴吾 2015 『古墳時代の生産と流通』 吉川弘文館

割田博之 2016 「築瀬二子塚古墳の保存整備事業に伴う現況3D測量について」『安中市指定史跡築瀬二子塚古墳整備事業報告書』 pp.75-84 安中市教育委員会

## HP

勝福寺古墳デジタル歴史講座 (<http://www.let.osaka-u.ac.jp/kouko/2007/syofukuziCDVer1.0/index.html>)

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

奈良文化財研究所 3D Bone Atlas Database (<https://www.nabunken.go.jp/research/environmental/gaiyo.html>)

## 図版出典

第1図（小森2015）より引用、第2図 上段のCloudCompareで表示したデータは筆者作成。下段のPhotoscanで表示したデータは、ナワビ矢麻氏ご協力のもと筆者作成。第3図 上段の実測図は（東松山市教育委員会2012）掲載図を引用・改変、中段の三次元計測図は株式会社 LANGによるPEAKIT処理（横山・千葉2016、青木・ナワビ2016）、下段SfM図はナワビ矢麻氏ご協力のもとPhotoscanで作成。第1表・第2表 筆者作成