

三次元モデルによる古代山城比較研究試論

—佐賀県武雄市おつぼ山神籠石と福岡県久留米市高良山神籠石—*

堀江 潔**, 眞部 広紀***, 岡本 渉****

A Comparative Study Preliminary Essay of Ancient Fortresses by the Three-Dimensional Model —The Otsuboyama Fortress, Takeo City, Saga Prefecture and The Korasan Fortress, Kurume City, Fukuoka Prefecture—

Kiyoshi HORIE**, Hiroki MANABE***, Wataru OKAMOTO****

1. はじめに

7～8世紀に朝廷主導で北部九州・瀬戸内海沿岸地域に築造された古代山城は、日本の古代国家形成史の解明を目指すにあたり、最重要な大規模遺跡である。しかし古代山城の70%を占める神籠石系山城（史書に出てこないが、山頂部や丘陵斜面の周囲に土塁・石塁を巡らせ、水門を造設し谷部を塞いだ施設を持つ古代山城）は、発掘調査をしても遺構・遺物が城内からほとんど発見されていない。したがって築城年・築城経緯などが明らかになっておらず、古代国家形成史上の「最大の謎」と言ってよい。

築城経緯に関しては、古来より提唱されている「対唐・新羅戦争の拠点」とする説に加え、近年「天武朝の地方支配関係施設」とする説が盛んに唱えられているが、文献史学・考古学ともに決定的な論拠が不足しており、古代山城、特に神籠石系山城には、今後の研究課題が多く残されている¹⁾。しかしこの時期の文献史料は極めて少なく、かつ近年の厳しい文化財行政を考え合わせると、今後の発掘調査の飛躍的増加も期待できない。従来の考古学や文献史学の手法では、古代山城研究の飛躍的進展は難しい状況にある²⁾。

このような研究の閉塞状況を打開するためには、新しい研究手法の提示が求められる。本研究グループは、ドローンを用いて各古代山城の空中撮影を行い（写真1）、撮影した多数の計測画像をSfM/MVSソフトウェアを用いて三

次元モデル化し、それらを活用した「古代山城の三次元モデルの比較研究」を提唱する（図1）。



写真1 佐賀県武雄市「おつぼ山神籠石」全景（ドローンによる空中撮影）

対外戦争の拠点か？ 地方支配施設か？

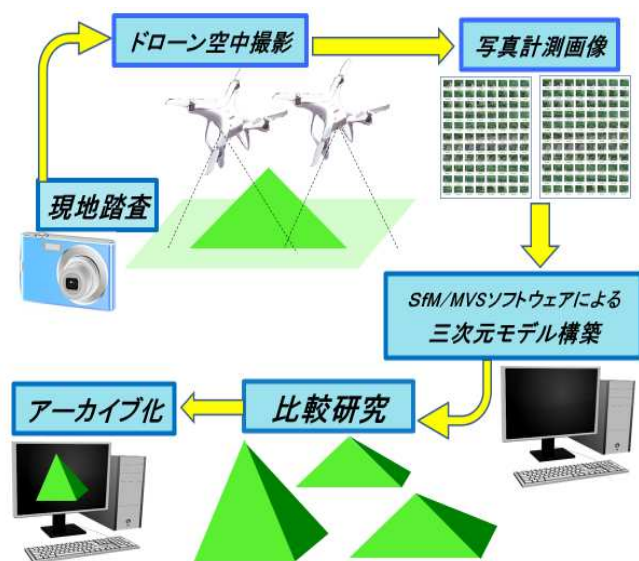


図1 今後進める予定の研究の流れ 概念図

* 原稿受付 平成30年10月31日

** 佐世保工業高等専門学校 一般科目歴史科

*** 佐世保工業高等専門学校 一般科目数学科

**** 名古屋大学宇宙地球環境研究所



写真2 離陸するドローン

この手法は、本報告筆頭執筆者・堀江がこれまで蓄積してきた西北九州地域の古代史に対する文献史学からのアプローチを土台とし³⁾、眞部が蓄積してきたドローン空中撮影やレーザー計測、三次元モデル化のノウハウ⁴⁾、及び様々な分野にわたる研究者ネットワークを活用して⁵⁾、古代山城全23城の三次元モデルによる比較研究を行い、それを通じた日本古代国家形成史の解明を目指す、多分野融合研究の手法をとるものである。

既に本研究グループは、この試行的研究として、いくつかの古代山城を取り上げ、ドローンによる空中撮影(写真1, 2)と、測量用画像(図2)を用いた簡易な三次元モデル化を実施済みである(図5, 6)²⁾。本報告では、「古代山城の三次元モデルの比較研究」の準備・試行的研究として2つの古代山城、佐賀県武雄市おつぼ山神籠石と福岡県久留米市高良山神籠石を取り上げ、今後予定している研究方法と研究方針を提示する。

2. 古代山城研究の課題

古代日本において、7世紀代、すなわち推古・厩戸王らによる冠位十二階などの政治改革開始から、唐に倣った体系的法典(飛鳥浄御原令[694年]・大宝律令[701年])の完成に至るまでの時期は、「古代国家形成期」として古代史上最重要な時期と言っても過言ではない。本報告で取り上げる古代山城は、この「古代国家形成期」に、朝廷の主導で多大な労働力を動員して、北部九州から瀬戸内海沿岸の各地に造営された大規模遺跡である。

さて、古代山城は、文献に記載があるが所在地が明

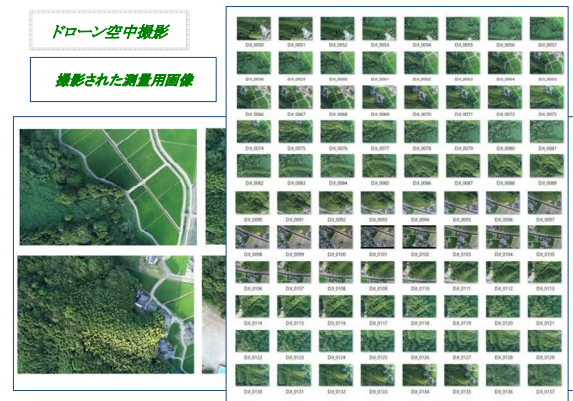


図2 撮影された測量用画像(抜粋)

らかでない5城(茨城、常城、長門城、三野城、稲積城)を除くと計23城あり、(A)朝鮮式山城=6城、(B)中国系山城=1城、8世紀に築城、(C)神籠石系山城=16城]に分類される。このうち(A)(B)は『日本書紀』等の史書に築城年などの記事があるが、古代山城の70%を占める(C)神籠石系山城は、歴史書に記事がなく、発掘調査でも城内から遺構・遺物がほとんど発見されないため、築城年・築城経緯について定説がない。築城経緯に関する有力な学説は、①対唐・新羅戦争の拠点、②天武朝の地方支配関係施設、の2説があるが、古代国家形成時期に、朝廷が莫大な資金と労力をかけて造営した古代山城の70%を占める神籠石系山城の評価が学界で定まっていないことは、日本古代国家形成史の致命的欠陥であり、解明すべき最重要の研究課題である。

堀江は文献史学(日本古代史)を専門分野とし、これまで壱岐・対馬の古代史研究を進めてきたが³⁾、その過程で古代山城研究に文献史学の立場から切り込み、一定の成果を上げた⁶⁾。しかし、この時期について記した文献史料は、山城関係に限らず極めて少ない。今後、例えば、新たな歴史書が発見される、あるいはある山城の広域の発掘調査が行われ大量の木簡出土により出土文字資料が急増する、といった「異例の事態」でも発生しない限りは、文献史学の立場から古代山城研究の進展に寄与できる機会は決して多くない。

一方、近年の埋蔵文化財行政の趨勢を考えると、発掘調査の飛躍的増加も期待できない²⁾。今後も、従来の文献史学や考古学の手法による粘り強い研究が重要であることは言うまでもないが、従来の手法では研

究の飛躍的進展は難しく、このような状況を打開する新たな研究手法が求められていることも、また確かなことである。

3. 新たな研究方法の提示

2018年3月、堀江は、佐賀県有田町の中世山城・唐船城の築城800年を記念して開かれた、城郭考古学の大家、奈良大学・千田嘉博教授（城郭考古学）を講師とする講演会⁷⁾を聴講する機会を得、それをきっかけに縄張研究に基づく中世山城に関するいくつかの論考⁸⁾を読破した。中世山城研究では、現地踏査に基づく細密な縄張図をもとにした山城の軍事・軍略的機能の追究が進展している。それに比べると、従来の古代山城研究は、山城の細密な構造把握とそれに基づく軍事・軍略的機能の追究が圧倒的に不足している。しかしながら、大名やその家臣レベルが築城した中世山城と比べると、古代山城の多くは周囲2~3kmと大規模で、最大規模の大野城は大野城市・太宰府市・宇美町の3市町に跨がり、周囲は6kmを超える。古代山城全23城について、中世山城研究に用いるような緻密な縄張図を作成することは、想像を超える人力と財力、時間が必要で、事実上困難である。

そこで本研究グループは、近年、日本情報考古学会などを中心に盛んに提唱されている「三次元考古学」⁹⁾の手法を古代山城研究に導入し、隣接分野・異分野の研究者との連携・共同研究により、各古代山城の構造の精密な測量、それに基づく細密な構造把握と山城相互の比較研究を進める研究に踏み出すこととした。洞窟などの様々な自然地形に関するドローン空中撮影やレーザー計測、三次元モデル化の研究実績を蓄積し⁴⁾、多分野にわたる研究者ネットワークを構築中⁵⁾の同僚・眞部、及び世界各国でドローンを用いた科学調査に取り組む名古屋大学の岡本の協力を得て、ドローン空中撮影と SfM/MVS ソフトウェアを用いて古代山城の三次元モデルを構築し、古代山城の比較研究を進めたい（図1）。

精密な測量地図という点では、世界各地の様々な地形を比較的容易に三次元化できる「カシミール3D」も有用である（図3、4）。しかし、使用している標高データは5mメッシュで、粗さが目立つ。山城の形状把握を細密に行うため、0.5mメッシュ以上の精密さを持った標高データを入手したい。



図3 おつぼ山神籠石の三次元モデル
(カシミール3Dを利用して作成)



図4 高良山神籠石の三次元モデル
(カシミール3Dを利用して作成)

これまでの研究では、山城（例えば奈良県高取町高取城¹⁰⁾、同県平群町椿井城¹¹⁾など）や巨大古墳（大阪府堺市百舌鳥古墳群¹²⁾、奈良県奈良市コナベ古墳¹⁰⁾、同県桜井市箸墓古墳¹⁰⁾、西殿塚古墳¹⁰⁾、岡山県岡山市造山古墳群¹³⁾など）のような大規模遺跡の計測・三次元モデル構築を行うには、有人航空機によるレーザー計測が活用されてきた。しかし、この手法では1回のフライトと測量で巨額の費用が必要である。有人航空機を用いて古代山城のレーザー計測を実施した例としては、管見の限り大野城、基肆城の2城が知られるのみである¹⁴⁾。

本研究グループは、近年安価に提供されるようになった、飛行安定性に優れ空中停止機能を持つマルチローター式小型ドローンを用い、人工衛星や有人航空機よりもはるかに短時間、少人数、低予算で¹⁵⁾、従来よりも低空での空中撮影により精密な写真画像を多数

取得して三次元モデル構築を行うことを計画している。この手法を用いれば、従来の縄張図や発掘調査報告書といった二次元資料よりも視覚的・データ処理能力的に優れた三次元データを用いて、低予算で、かつより精密な三次元モデルが構築でき、各古代山城の構造把握と相互比較が可能となる。

ドローンを活用した大規模遺跡の三次元計測については、世界ではエジプトのピラミッドの調査¹⁶⁾やグアテマラのマヤ文明関係遺跡の調査¹⁷⁾など多くの事例が知られるが、日本では早稲田大学による埼玉県東松山市野本將軍塚古墳の調査¹⁸⁾など、いくつかの事例が知られる程度で、調査事例が非常に少ない。日本は国土が狭く人口集中地区(ドローン飛行禁止)が多いこと、需要が少ないため調査費用が高額であることが原因と考えられる。

古代の大規模遺跡に関して言えば、古墳は先述した通りいくつかドローンを用いた計測が進みつつあるが、古墳よりもさらに大規模な古代山城の三次元モデル化は、まだ80%以上が未実施である。ドローン空中撮影により写真計測画像を多数入手し、古代山城全23城の三次元モデル構築が実現すれば、画期的な研究成果となる。

さらに、将来的にはデジタルアーカイブ化にも取り組みたい。文化財のデジタルアーカイブ化も諸外国に比して立ち後れが目立ち¹⁹⁾、重いデータをどのように保存・管理・共有できるかなど難しい問題がまだ多い現状だが⁹⁾、実現できれば、全世界の諸分野の研究者、一般市民への研究成果還元が可能で、計り知れない学問的貢献となることは間違いない。

表 おつぼ山神籠石と高良山神籠石の比較

	おつぼ山神籠石	高良山神籠石
面積	266,463㎡	778,550㎡
列石線長	1,280m	1,517m
推定列石線長	1,866m	2,500m以上
最高所標高	66m	251m
最低所標高	10m	65m
比高差	56m	186m
列石の大きさ(平均)	60~70cm	70~80cm
列石材	安山岩(城外から搬入)	片岩(母岩)
城門	2ヶ所	—
水門	4ヶ所	2ヶ所
他の神籠石への視界	無	有
海への視界	無	有



写真3 おつぼ山神籠石 遠望

4. おつぼ山神籠石と高良山神籠石の比較研究の課題

ここで「三次元モデルによる古代山城の比較研究」の試行的研究として、佐賀県武雄市おつぼ山神籠石と福岡県久留米市高良山神籠石の2城を取り上げる。

山城の特徴を示す諸項目を比較した表を、左下に示す。

4. 1 おつぼ山神籠石の特徴

まず最初に立地について。高良山神籠石をはじめ、福岡県筑紫野市阿志岐城、同県みやま市女山神籠石、佐賀県佐賀市帯隈山神籠石など、有明海側に造営された古代山城4城は、相互に見通すことができる位置関係にあり、有明海側からの外敵侵入に備えた防衛ラインを形成していたとされる²⁰⁾。最も西側に築造された古代山城・おつぼ山神籠石のすぐ東隣には標高345mの杵島山が屹立しており、最高所66.1mのおつぼ山神籠石から、東方にある他の古代山城は全く見通せない。地理的・軍略的視点から見て、有明海側の他の古代山城から見通せないこの地に、なぜおつぼ山神籠石は築城されたのであろうか。なお、有明海側にある古代山城と互に見通すことができない点につ

いては、熊本県山鹿市・菊池市鞠智城も同様である²⁰⁾。おつぼ山神籠石と鞠智城の比較研究は、別稿に譲りたい。

次に山城の規模について。西側の列石想定線も含めての列石線長1,866m余は²¹⁾、他の古代山城と比較しても最小規模クラスである(最小は兵庫県たつの市播磨城山城で約1.7km¹⁾)。また、最高所の標高66.1mも、全神籠石系山城中で最も低い。現地で見ても、周囲を取り囲む武雄盆地内の山々よりも標高が低い(写真3)。このような標高が低く小規模な山に、小規模な山城を築いたのは、な

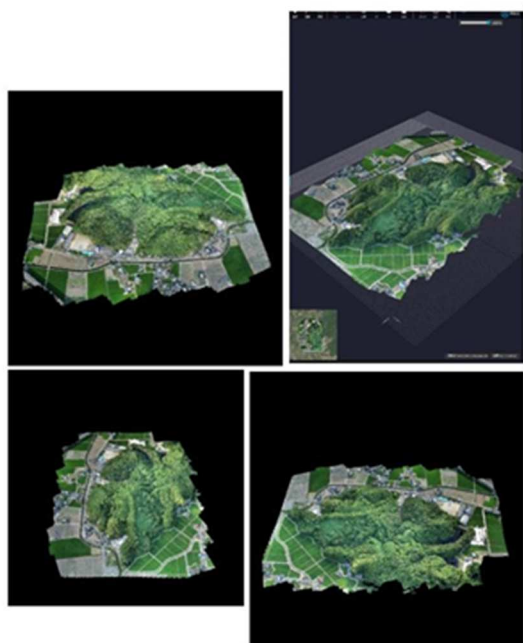


図5 おつぼ山神籠石の三次元モデル

ぜであろうか。先述した地理的位置の問題も含め、おつぼ山神籠石の特殊性の追究のためには、まず最初に、山城の地形を精密に測量し、その構造を詳細に把握することが必要で、この結果に基づく軍事的機能の解明が必要である。本研究グループは、ドローンを用いた空中撮影により精密な三次元モデルを構築することで、この問題にアプローチしたい。

図5は、SfM/MVS処理のため、テラドローン株式会社の「Terra Mapper」クラウド版サービスを利用し、ドローン空中撮影による測量用画像を重複部分を



写真4 おつぼ山神籠石 東門付近の列石

貼り合わせ／立体視させて3次元モデルを出力したものである。今回の試行的研究では、各山城の数値表層モデル(DSM)を用いている。今後はこれにフィルタリング処理を行い、数値標高モデル(DEM)を取得し、列石や城門・水門の位置を表示したい。これを実施すれば、山城の構造を詳細に把握することが可能である。

最後に列石に用いた切石について(写真4)。他の神籠石系山城がその山の母岩を利用するのと異なり、母岩ではなく近隣の立岩付近の安山岩を用いている²¹⁾。労働力の面から言えば、母岩を使用した方が明らかに少なく済む。小規模な山城とは言え、なぜ労力のかかる外部の石材を運び込んで並べたのであろうか。

以上のように、おつぼ山神籠石は、他の神籠石系山城と異なる特徴を多く持つことが明らかである。規模の小ささや周囲の山々よりも標高が低いことは特徴的で、他の古代山城と同列に扱ってよいか、といった観点からも、検討が必要であろう。おつぼ山神籠石の歴史的意義を明確にするためには、なぜ他の有明海側の山城と連絡の取りづら地理的位置に築城されたのか、鞠智城との共通性・類似性はあるのか、標高の低い小規模の山城だが軍事的・軍略的機能はどこにあるのか、等々解明すべき課題が多く存する。これらの課題を解き明かすための有効な研究手法として、築城当時のおつぼ山神籠石周辺の地形形状を歴史地理学、古地理学など隣接諸科学の成果を活用しながら復元すること、さらにはドローンによる空中撮影で獲得した多数の写真画像をもとに精緻な三次元モデルを構築して、他の山城との比較を交えて軍事的・軍略的機能を明確にすることを提示したい。

4.2 高良山神籠石の特徴

次に、高良山神籠石であるが、広大な筑紫平野に突き出すように伸びた耳納山地の西端、標高312.3mの高良山の西側斜面に建造され、列石は高良大社背後の本宮山(標高253m)を最高所とし鷲ノ尾山・勢至堂山・虚空蔵山・吉見岳の5峰を取り込むように築造されている²²⁾。高良山からは筑紫平野を一望でき(写真5)、帯限山神籠石、女山神籠石、杷木神籠石、阿志岐城なども可視の範囲内で、地政学的に重要度の高い地点に位置している²³⁾。中世に毘沙門岳城・杉ノ城・吉



写真5 高良山より筑紫平野を望む



写真6 高良山神籠石の列石

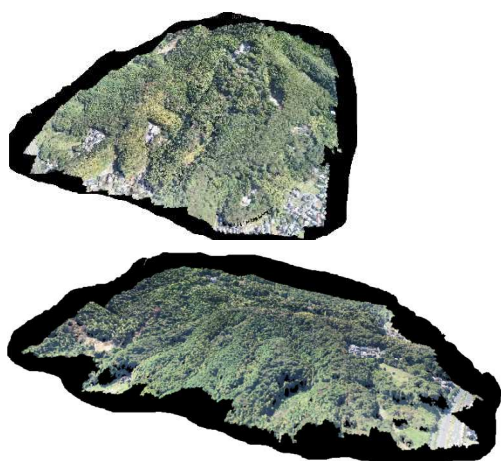


図6 高良山神籠石の三次元モデル

見岳城などの山城が山内に造営されたことから²⁴⁾、高良山の軍事的役割の大きさが分かる。高良山神籠石を、有明海側の古代山城を結ぶ拠点的山城と評価する見解もある²⁰⁾。

このように、高良山神籠石は軍事的機能を持つ古代山城の典型と言ってよい。面積・列石線長など山城の規模を示す数値を見ても、古代山城の標準的なサイズである。全面的な発掘調査を行えば、古代山城の典型例として、他の山城の構造研究の基準となる。しかしながら、これまで発掘調査はほとんど行われていない。高良大社内への進入路新設に伴う小規模な調査²⁵⁾や水害で被害を受けた列石復旧工事に伴う調査が行われた程度で²⁶⁾、本格的な発掘調査が実施されておらず²⁷⁾、今後も発掘調査の計画はなく現状の保存を基本とするとのことである²⁸⁾。

このように発掘調査が進まない山城こそ、ドローンを用いた空中撮影により精密な三次元モデルを構築することで、山城の機能を明確にしたい。図6は、図5と同様の方法で3次元モデルを出力したものである。図と同様、今後はフィルタリング処理を行い数

値標高モデル (DEM) を取得し、さらに列石や城門・水門の位置を表示できれば、山城の構造を詳細に把握することが可能である。

なお、列石を見ると、おつぼ山神籠石ではおおよそ60~80 cmの大きさに切り揃えられているのに対し、高良山神籠石では幅約15~320 cm、奥行き約20~120 cmと列石の大きさの差異が大きい²⁵⁾。高良山神籠石の列石の一部は、明らかに他の古代山城よりも巨大である(写真6)。

また、列石石材を外部から搬入したおつぼ山神籠石と違い、高良山神籠石では母岩の片岩を列石に加工して用いており、加工した切石ではなく自然露頭を表面調整した部分も見られる²⁷⁾。高良山神籠石の規模から言えば、列石には運搬に労力のかからない母岩を利用した方がよいため、このような特徴が現れるのかもしれない。この点については、列石に母岩を用いて築城された他の古代山城との比較研究が必要である。

加えて、高良山神籠石の列石には、後世に積み直された箇所があることが指摘されている²⁷⁾。写真7,8は虚空蔵堂東側の列石を写したものだが、高さ2.2~3.6mの明治期と推定される石積みの上に、幅15~80 cmの小型~中型の切石を立てて並べている²⁵⁾。明らかに他の箇所、他の古代山城の列石の並び方とは大きく異なっている。この他にも、本宮山東側の列石線は、平安時代末から鎌倉時代初期以降の杉ノ城の堀切造成時に改変されたと考えられている²⁵⁾。

また、高良山神籠石の北側にあたる、虚空蔵山から高良大社社務所北側までの列石は未確認である。この部分の列石に関して、地元の伝承として、篠山城(久留米城)の築城に用いた、あるいは明治期に搬出、売



写真7 高良山神籠石 虚空蔵堂東側の列石

写真8 高良山神籠石 虚空蔵堂東側の列石
(拡大)

却したなど、様々な説が知られる一方²⁹⁾、耳納山地の北麓沿いには水縄活断層があり、天武天皇7年(678)の筑紫国の大地震の地震動に伴い、土石流が発生して流失した可能性が指摘されている³⁰⁾。

このように、高良山神籠石の現状の列石は、築城以後の地震等の自然災害、中世山城の築城、廃仏毀釈後の御井寺再興工事などにより、大きく改変を受けたようである。このような山城こそ、精密な三次元モデルを構築することができれば、不自然な方角への列石の並び、不自然な列石の積み方、さらには地震による高良山の地形変化、列石崩落の有無などが解明できる可能性がある。三次元モデルの画像処理によって、築城当時の高良山神籠石の形状復元も期待できるであろう。

5. 今後の課題

今回の準備・試行的研究は、写真測量用のGPS対応のデジタルカメラや SfM/MVS 処理に適したハイ

スペックなパソコンを所持しないまま、進めざるを得なかった。また、現状ではいくつかの山城の数値表層モデル(DSM)を入手したにとどまっている。不十分な点はまだ多いが、今後はDSMに適切なフィルタリング処理を行う方法を模索しつつ、数値標高モデル(DEM)の獲得を目指し、さらにそれに基づく詳細な三次元モデルを用いた比較研究に漕ぎ出した。そのためには、円滑な研究遂行に必要な設備の整備を進めることが喫緊の課題である。

参考文献

- 1) 向井一雄, よみがえる古代山城—国際戦争と防衛ライン—, 吉川弘文館, pp.10-72, 2017
- 2) 堀江潔, 眞部広紀, 岡本渉, ドローンによる西北九州地域の古墳・山城の空中撮影—3D化によるアーカイブ構築を目指して—, 日本情報考古学会講演論文集, VOL.21 (通巻41号), pp.98-103, 2018
- 3) 堀江潔, 伊吉史氏と古代杵岐島, 古代文化第61巻第4号, pp.21-36, 2010, 堀江潔, 杵岐島の国造について—『先代旧事本紀』国造本紀伊吉嶋造条の評価と解釈をめぐって—, 細井浩志編『古代杵岐島の世界』, 高志書院, pp.104-121, 2012, 堀江潔, 「杵岐直の祖, 眞根子」考—武内宿禰伝承にみえる杵岐直氏の祖先伝承—, 高野晋司氏追悼論文集, 高野晋司氏追悼論文集刊行会, pp.179-188, 2015, など
- 4) 眞部広紀, 前田貴信, 久間英樹, 新部一太郎, 浦田健作, 染谷孝, 春山純一, 洞窟探査のためのレーザー計測と3次元モデルについて, 佐世保工業高等専門学校研究報告第52号, pp.16-21, 2016, 眞部広紀, 前田貴信, 溝ノ口洞穴におけるレーザー計測とロボット探査の予備実験, 佐世保工業高等専門学校研究報告第54号, pp.15-20, 2018 など
- 5) 高専機構研究プロジェクト経費(新規)研究ネットワーク形成支援事業に「洞窟計測探査シミュレーションプログラム」を申請, 2018年9月採択
- 6) 堀江潔, 百済滅亡後における倭国の防衛体制—斉明紀「繕修城柵」再考—, 日本歴史第818号, pp.1-16, 2016
- 7) 千田嘉博, (講演) 中世城郭と唐船城, 唐船城築城800年記念事業記念講演会, 焱の博記念堂文化ホー

- ル, 2018
- 8) 西股総生, 「城取り」の軍事学—築城者の視点から考える戦国の城—, 学研, 2013, 松岡進, 城を極める 中世城郭の縄張と空間—土の城が語るもの—, 吉川弘文館, 2015 など
 - 9) 中園聡, 三次元考古学の新天地, 中園聡編集, 季刊考古学第 140 号特集「3D技術と考古学」, pp.14-17, 2017 など
 - 10) 西藤清秀, 3次元航空レーザー測量とその成果, 注9)前掲書, pp.54-57, 2017
 - 11) 正司哲朗, 葛本隆将, 椿井城のデジタルアーカイブとその応用, 奈良大学紀要第 46 号, pp.197-207, 2018
 - 12) 三木弘, 堺市・羽曳野市・藤井寺市 百舌鳥・古市古墳群航空レーザ測量図, 大阪府立近つ飛鳥博物館平成 24 年度冬季特別展 歴史発掘おおさか2012—大阪府発掘調査最新情報—, 近つ飛鳥博物館, pp.30-40, 2013
 - 13) 新納泉, 前方後円墳の設計原理試論, 考古学研究第 58 巻第 1 号, pp.16-36, 2011, 新納泉編, 岡山市造山古墳群の調査概報, 2012 など
 - 14) 赤司善彦, 大野城を GIS で読み解く, 月刊地図中心第 450 号, pp.32-35, 2010, 赤司善彦, 古代山城の景観—数値標高モデルからの眺め—, 月刊地図中心第 453 号, pp.7-11, 2010 など
 - 15) 早川裕弐, 小花和宏之, 小型無人航空機を用いた SfM 多視点ステレオ写真測量による地形情報の空中計測, 物理探査第 69 巻第 4 号, pp.297-309, 2016, 早川裕弐, 小花和宏之, 齋藤仁, 内山庄一郎, SfM 多視点ステレオ写真測量の地形学的応用, 地形第 37 巻第 3 号, pp.321-343, 2016
 - 16) 河江肖剰, ピラミッド—最新科学で古代遺跡の謎を解く—, 新潮社, pp.348-353, 2018
 - 17) Marcello A. Canuto, Francisco Estrada-Belli, Thomas G. Garrison, Stephen D. Houston, et al., Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala, Science 28 Sep 2018 : Vol. 361, Issue 6409, eaau0137, DOI:10.1126/science.aau0137
 - 18) 城倉正祥, 青木弘, 伝田郁夫編, 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 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—, 早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所, 早稲田大学文学部考古学コース, pp.20-23, 2017
 - 19) 平川ひろみ, 普及する三次元記録とその応用—日本と海外—, 注9)前掲書, pp.64-67, 2017
 - 20) 矢野裕介, 有明海沿岸における古代山城の年代論, 九州国立博物館「大宰府学研究」事業 熊本県「古代山城に関する研究会」事業合同シンポジウム, 徹底追究! 大宰府と古代山城の誕生—発表資料集—, 九州国立博物館, 熊本県教育委員会, pp.124-125, 2017
 - 21) おつぼ山神籠石 佐賀県武雄市史跡調査報告, 武雄市, 1965
 - 22) 樋口一成, 高良山神籠石, 久留米市史第 1 巻, 久留米市, pp.463-510, 1981, 松村一良, 高良山神籠石, 久留米市史第 12 巻資料編(考古), 久留米市, pp.555-560, 1994
 - 23) 狭川真一, 古代山城からの可視範囲, 元興寺文化財研究所 研究報告 2005, pp.70-71, 2006
 - 24) 小澤太郎, 高良山城における列石の改変と水門構造, 環有明海歴史考古学研究所 新・筑紫潟の風, pp.1-10, 2009
 - 25) 波多野暁三, 高良山神籠石, 久留米市文化財調査報告書第 7 集, 久留米市教育委員会, pp.16-18, 1974
 - 26) 史跡高良山神籠石保存管理計画策定報告書, 久留米市文化財調査報告書第 15 集, 久留米市教育委員会, 1977
 - 27) 小澤太郎, 古代山城・高良山神籠石を考える, 能登原孝道編著, 鞠智城とその時代 2—平成 14~21 年度「館長講座」の記録—, 熊本県立装飾古墳館分館 歴史公園鞠智城・温故創生館, pp.101-120, 2014
 - 28) 小澤太郎, (講演録) 古代山城・高良山神籠石の構造を考える—古代山城遺跡の名称起源—, 環有明海歴史考古学研究所 新・筑紫潟の風, 2007
 - 29) 武藤直治, 石野義助, 高良山神籠石, 史蹟名勝天然記念物調査報告書第 5 輯, 福岡県, pp.1-15, 1930
 - 30) 松村一良, 『日本書紀』天武七年条にみえる地震と上津土壘跡について, 九州史学第 98 号, pp.1-23, 1990, 寒川旭, 地震考古学—遺跡が語る地震の歴史—, 中央公論社, pp.232-235, 1992