

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—

2023年3月

熊本大学文学部

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—

2023年3月

熊本大学文学部

例 言

1. 本書は、科学研究費補助金基盤研究 B (2021-2024, 21H00596) および基盤研究 A (2020-2024, 20H00019) の助成を受けて実施した四ツ塚古墳群の 3 次元測量調査についてまとめたものである。
2. 四ツ塚古墳群は、熊本県球磨郡錦町木上南に所在する。
3. 調査期間は、2021 年 11 月 18 日～21 日の計 4 日間である。
4. 調査は熊本大学文学部を主体とし、錦町教育振興課、錦町企画観光課の協力を得て実施した。
5. 調査担当者は、杉井健（熊本大学大学院人文社会科学部准教授）である。
6. 調査時の駐車場および休憩場所、ドローンの発着場所では、味岡ホールディングスにご協力をいただいた。
7. 調査の実施にあたっては、以下の方々からご協力とご援助を賜った。
手柴智晴・桑原裕（錦町）、味岡和國・北川浩一朗（味岡ホールディングス）、福岡末雄（錦町第 19 区長）、民宿のなかだ
8. 四ツ塚古墳群 3 号墳採集埴輪の借用では、出合宏光氏（相良村役場）にご配慮をいただいた。また、その調査・分析では、前田（木庭）真由子氏（熊本県教育庁文化課）にお力添えをいただいた。
9. 空撮写真から等高線図を作成するまでの各種パソコンソフトの操作に関し、村上浩明氏（株式会社とっぺん）から多くのご教示をいただいた。
10. 調査参加者は以下の通りである。
杉井 健（熊本大学教員）、西 貴史（同文学部 4 年生）、岡本久遠・田中 敦（同文学部 2 年生）
11. 図 2 は国土地理院発行の 20 万分の 1 地形図（八代および延岡）を、図 3 は同 5 万分の 1 地形図（人吉）を複製のうえ作成したものである。また、図 4 は国土地理院ホームページ電子国土 Web の標準地図、図 39 は同傾斜量図を用いて作成したものである。
12. 付録の DVD には、Metashape で出力したオルソモザイク、DEM、等高線、マーカーのデータ、AutoCAD で作成した DWG 形式および DXF 形式のデータ、Illustrator で作成した等高線図のデータ（AI 形式）を収めた。なお、Metashape での解析に用いた空撮写真はデータ容量がきわめて大きいため付録 DVD に収めることはできなかったが、提供することは可能なので、ご希望の場合はまずは相談していただければ幸いである。
13. 本書の編集・執筆は、杉井健が担当した。ただし、第 II 章第 5 節に記した家形埴輪片の所見は、前田（木庭）真由子氏によるものである。

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—

目 次

例 言

I はじめに—本書の目的—	1
II 四ツ塚古墳群の現状	3
1 古墳群の立地	3
2 各古墳の個別名称	3
3 かつての記録との比較	3
4 各古墳の概要	6
5 3号墳で採集された家形埴輪片	18
6 古墳群の時期	18
III ドローンによる空撮写真を用いた四ツ塚古墳群測量手順覚え	23
1 使用した器材およびソフトウェア	23
(1) 現地作業	23
(2) 室内作業	23
2 現地作業	23
(1) 現地作業に費やした時間・人数	23
(2) 基準点の設置・測量	23
(3) 各古墳の最高点測量	23
(4) ドローンによる空撮	26
3 室内作業	27
(1) Metashape での作業—空撮写真の解析、平面オルソ画像の作成、等高線の作成—	27
(2) AutoCAD での作業—平面オルソ画像・等高線・マーカーの位置合わせ—	35
(3) Illustrator での作業—等高線の修正、人工物（畦畔・道路等）の書き込み—	37
IV おわりに—3次元デジタルデータをどのように活用すればいいのか—	39
1 3次元デジタルデータの提供、共有、保存・管理	39
2 3次元デジタルデータを調査現場で利用するうえでの1つの課題	40

挿図・表出典

挿 図 目 次

図 1 南から望んだ四ツ塚古墳群と球磨川（もともと手前の円丘が1号墳）（2021/11/19）	1
図 2 人吉盆地における四ツ塚古墳群の位置（赤丸）	4
図 3 錦町における四ツ塚古墳群の位置（赤丸）	4
図 4 四ツ塚古墳群1～3号墳の位置	5
図 5 熊本県立球磨工業高等学校郷土研究部により作成された四ツ塚古墳群測量図（1/3,000）	6
図 6 北からみた四ツ塚古墳群の3基（2022/2/15）	7

図 7	四ツ塚古墳群 1 号墳俯瞰（上が北）（2022/2/15）	7
図 8	四ツ塚古墳群 2 号墳俯瞰（上が北）（2022/2/15）	7
図 9	四ツ塚古墳群 3 号墳俯瞰（上が北）（2022/2/15）	7
図 10	四ツ塚古墳群俯瞰（上が北）（2022/2/15）	8
図 11	四ツ塚古墳群測量図	9
図 12	四ツ塚古墳群 1 号墳(1)（北東から）（2021/11/19）	10
図 13	四ツ塚古墳群 1 号墳(2)（東から）（2021/11/19）	10
図 14	四ツ塚古墳群 1 号墳(3)（南東から）（2021/11/19）	10
図 15	四ツ塚古墳群 1 号墳(4)（南西から）（2021/11/19）	10
図 16	四ツ塚古墳群 1 号墳(5)（北西から）（2021/11/19）	10
図 17	四ツ塚古墳群 1 号墳測量図	11
図 18	四ツ塚古墳群 2 号墳(1)（東から）（2021/11/19）	12
図 19	四ツ塚古墳群 2 号墳(2)（南東から）（2021/11/19）	12
図 20	四ツ塚古墳群 2 号墳(3)（北西から）（2021/11/19）	12
図 21	四ツ塚古墳群 2 号墳(4)（北から）（2021/11/19）	12
図 22	2 号墳墳丘に散乱するやや大きな石材（2021/11/21）	12
図 23	四ツ塚古墳群 2 号墳測量図	13
図 24	四ツ塚古墳群 3 号墳(1)（東から）（2021/11/19）	14
図 25	四ツ塚古墳群 3 号墳(2)（南東から）（2021/11/19）	14
図 26	四ツ塚古墳群 3 号墳(3)（南西から）（2021/11/19）	14
図 27	四ツ塚古墳群 3 号墳(4)（西から）（2021/11/19）	14
図 28	四ツ塚古墳群 3 号墳(5)（北東から）（2021/11/21）	14
図 29	四ツ塚古墳群 3 号墳測量図	15
図 30	南から望んだ四ツ塚古墳群とその周辺（2021/11/19）	16
図 31	北から望んだ四ツ塚古墳群とその周辺（2021/11/19）	16
図 32	四ツ塚古墳群と球磨川（2022/2/15）	17
図 33	家形埴輪片採集時の状況（2018/11/11）	18
図 34	四ツ塚古墳群 3 号墳採集家形埴輪片実測図	19
図 35	四ツ塚古墳群 3 号墳採集家形埴輪片（外面）	19
図 36	四ツ塚古墳群 3 号墳採集家形埴輪片（内面）	19
図 37	本目遺跡（左下の空き地）の上空から四ツ塚古墳群方面（北方向）を望む（2022/2/15）	20
図 38	四ツ塚古墳群の上空から人吉市方面（西方向）を望む（2022/2/15）	20
図 39	人吉盆地における古墳の分布	21-22
図 40	基準点（標定点）等の位置	24
図 41	DJI GS Pro で設定したドローンの自動飛行ルートおよび飛行・撮影条件	26
図 42	品質「高」の高密度クラウドから作成した等高線	30
図 43	品質「中」の高密度クラウドから作成した等高線	31
図 44	品質「低」の高密度クラウドから作成した等高線	32
図 45	品質「低」の高密度クラウドから作成したオルソモザイク（平面オルソ画像）	33

表 目 次

表 1	基準点（標定点）等の国土座標	25
-----	----------------	----

I はじめに —本書の目的—

本書は、ドローン（UAV）で撮影した写真を使って古墳の測量図を作成した際の作業過程を記録したものである。測量対象古墳は、熊本県球磨郡錦町所在の四ツ塚古墳群に残る3つの円墳（図1）である。

古墳の測量に3次元デジタルデータが用いられるようになって久しい。1980年代後半の学生時代に平板測量を習い、いくつかの古墳の測量図を平板での手測りで描いてきた私であるが、別府大学からの教えを受けて〔下村・吉田・玉川 2003〕、電子平板での測量を試みたことがあった〔安田編 2013, 與嶺・入江編 2015〕。また、岡山大学の研究グループが実践されていた古墳の3次元測量の手法について〔新納編 2008・2012〕、みずからも行うことができないか、費用の面を含め検討したこともあった。しかし、従来の平板測量にまで戻ることはなかったが、いまはレベルで等高線を探したあと、その位置の座標をトータルステーションで計測して方眼紙上にドットを落とし、鉛筆でドット同士を結んで等高線を描くという、いわば平板測量の測距をデジタル計測に置き換えた手法を採用している。

その理由は、この手法では、平板測量にはつきものの距離誤差の影響を心配する必要がなく、それでいて、地形を観察しながら同じ高さを探していくというアナログな手順を含むため、作業者の地形を読む力の向上に役立つと考えるからである。大学という教育機関に身を置くものとして、とくに後者の教育効果を重視している。

とはいえ、3次元計測によって得られた3次元デジタルデータの重要性は理解しているつもりである。平成28年（2016年）熊本地震では、地上に残された多くの文化財が被災したが、その被災状況調査や復旧作業にかかわるなかで、3次元デジタルデータの重要性を痛感した〔杉井 2017・2021〕。

さて、2019年12月に中国武漢市ではじめて確認された新型コロナウイルス感染症への警戒が日本でも強く意識されはじめたのは2020年2月下旬であった。それ以降、人と人との濃厚な接触を避けることが強く求められ、それは大学教育・研究においても同様であった。そうした状況下において、現地作業に費やす時間を大幅に短縮できる3次元



図1 南から望んだ四ツ塚古墳群と球磨川（もっとも手前の円丘が1号墳）（2021/11/19）

測量にあらためて注目することとなった。

熊本県球磨郡錦町に所在する四ツ塚古墳群は、熊本市中央区にある熊本大学から毎日通える距離にない。したがって、それを上述のレベルとトータルステーション併用の手法で測量するとなれば、多くの学生たちとの長期間の合宿生活が必須となる。しかし、2021年になっても新型コロナウイルス感染症の蔓延が収束することはなく、それでも古墳測量による研究と教育を継続するとすれば、短期間かつ少人数での現地作業が可能な測量手法を採用する必要があった。そこで、ドローンによる空撮写真から平面オルソ画像（オルソモザイク）を作成し、パソコン上で等高線を描くという手法を用いることにしたのである。

このときの私は、SfMソフトやGISソフトを利用すればパソコン上で等高線を描けることは承知していた。とはいえ、実際の現場でそれを試したことがなかったため、今回の測量調査は熟練した方からの教えを受けつつ試行錯誤を繰り返すものとなった。3次元測量に詳しい方にとっては至極当然であろうことにも、おそらく相当頭を悩ませていたに違いない。何につまずいているのかさえよくわかっていないことも多かった。そのため、はたして私がたどった作業手順が適切なものであったのかどうかはわからない。しかし、私自身の覚えとすするためにも、なるべく再現可能なかたちで、以下に今回の作業過程を書き残しておくことにした。また、わずかではあるが、3次元デジタルデータの活用や保管のありかたなどについて考えたことも記しておきたい。

引用・参考文献

- 下村 智・吉田和彦・玉川剛司 2003「古墳におけるデジタル測量の研究—大分県下の古墳を事例として—」『九州考古学』第78号、九州考古学会：pp.80-98
- 城倉正祥・青木 弘・伝田郁夫編 2017『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調査研究報告第4冊、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
- 杉井 健 2017「文化財保護と考古学—平成28年（2016年）熊本地震によせて—」『平成28年熊本地震による被災古墳の現状と課題』九州前方後円墳研究会第20回熊本大会資料、九州前方後円墳研究会：pp.1-18
- 杉井 健 2021「被災文化財復旧の現状と今後への展望」『日本考古学協会平成28年熊本地震対策特別委員会報告書』日本考古学協会：pp.121-125
- 新納 泉編 2008『岡山市造山古墳測量調査概報』科学研究費補助金基盤研究（B）研究成果報告書、岡山大学大学院社会文化科学研究科
- 新納 泉編 2012『岡山市造山古墳群の調査概報』科学研究費補助金基盤研究（A）研究成果報告書、岡山大学大学院社会文化科学研究科
- 安田未来編 2013「平原古墳群調査報告1」『考古学研究室報告』第48集、熊本大学文学部考古学研究室：pp.1-38
- 與嶺友紀也・入江由真編 2015「平原古墳群調査報告3」『考古学研究室報告』第50集、熊本大学文学部考古学研究室：pp.1-66

II 四ツ塚古墳群の現状

上述したように、本書の主たる目的は、私が四ツ塚古墳群で行った3次元測量の作業手順を記録することである。したがって、四ツ塚古墳群の歴史的意義の考察は別稿ではたすこととし、ここでは古墳群の現状について記しておくことにしたい。

1 古墳群の立地

四ツ塚古墳群は、熊本県球磨郡錦町木上南に所在する。そこは、人吉盆地（球磨盆地）のほぼ中央、球磨川南側に広がる台地上である（図2・3）。人吉盆地は熊本県の南部にあり、盆地南側に連なる山地を越えると宮崎県のえびの盆地（加久藤盆地）に至る。

人吉盆地を西流する球磨川の南側には、扇状地堆積物が広く分布しており、それは球磨川に流れ込む複数の支流によって開析され、いくつかの北に向かってのびる台地を形成している。四ツ塚古墳群が立地する台地は、西側を水無川、東側を免田川に画されていて、古墳群はそうした台地の北縁近くに営まれている（図39-13）。

四ツ塚古墳群の南西約4km、水無川をはさんだ1つ西側の台地上には、熊本県最南端の前方後円墳が築かれた亀塚古墳群が立地している（図39-1）。九州島の西側において、亀塚古墳群や四ツ塚古墳群が営まれた人吉盆地は、前方後円墳築造域の南西端の一角に相当する。

2 各古墳の個別名称

四ツ塚古墳群には、現在3基の古墳が存在する（図4）。いずれも円墳である。しかし、これまでこれら3基の古墳には確定した個別名称が与えられておらず、九州古墳時代研究会による見学会資料において、南から順に「仮1号墳」「仮2号墳」「仮3号墳」と仮称されたにとどまる〔九州古墳時代研究会2018：p.30〕。こうした個別名称が確定しない状況では、今後遺跡を保存・活用するうえでもさまざまな支障が生じるおそれがある。そこで、今後は、九州古墳時代研究会が付与した仮称から「仮」を削除し、たんに南から「1号墳」「2号墳」「3号墳」と呼ぶことを提案しておきたい。

3 かつての記録との比較

ところで、坂本経堯が1935年（昭和10年）8月19日に四ツ塚古墳群を踏査したときの記録には、次のように記されている〔坂本1983：pp.215-216〕。

道路ニ添エル・一五一、一二ノ北△一五一、六八即チ円墳ニテ径十三mニ及ブ。其ノ西南四十mニ一円墳アリ、頂上凹ミ北側ヨリ深ク掘開セル跡アリ。盛土ニシテ古墳ニ相違ナシ。南方松林中ニ小円墳ニ基合計四基。人塚、馬塚、鏡塚、力塚。

また、1941年発行の『球磨郡誌』にも次のような記述がある〔角田監修1941：p.874〕。

字平野にある。高塚古墳で其の名の示す如く、四個の塚があり、何れも圓墳で高さ五米位周囲五十米位である。其の周囲は開墾されて畑地となり、其の畑地には、土器の破片が無数に散亂し、此の地が極めて多数の土器を埋蔵してゐた事を示してゐる。

これらの記述からうかがえるように、かつての四ツ塚古墳群では4基の円墳の存在が認められたようである。しかし現状では、上述のように3基しか確認できない。

後掲の墳丘測量図を参照していただきたいが（図17・23・29）、現状の1～3号墳にみられる特徴と坂本経堯の記述とを比較すれば、坂本が2番目に記す円墳の「頂上凹ミ北側ヨリ深ク掘開セル跡アリ」という特徴は、いまの2号墳の特徴と完全に一致する。とすれば、坂本記述の1番目の円墳は、2番目記述の円墳よりも北東側に位置するのであるから、現在の3号墳と判断できる。坂本はその墳頂部の標高を151.68mと記していて、その数値は3号墳墳頂最高点の標高151.783mや三等三角点三ツ塚の標高151.56mに近似している。以上をもとに考えれば、坂本が3番目に記述する「南方松林中ニ小円墳ニ基」のうちの1基が現在の3号墳であり、もう1基が失われたと推測できる。なお、坂本が記す古墳の規模は現状よりも相当に小さいが、坂本がそのように評価した理由はわからない。

その後、1965年（昭和40年）には、熊本県立球磨工業高等学校郷土研究部により、四ツ塚古墳群の測量図が作成された〔脇坂編1966：付図2〕（図5）。しかし、その報告書には測量図が示されているだけで、古墳それぞれの様子は記されていない。ただし、部員の生徒による調査参加記のなかに、「四塚のうち三つの塚しか確認できず、もう一つの塚はどうしてもわかりませんでした」とあるので〔脇坂編1966：p.12の税所誠一による参加記〕、このときにはすでに、古墳群は現在と同様、3基の円墳のみが認められる状況にあったことがうかがえる。

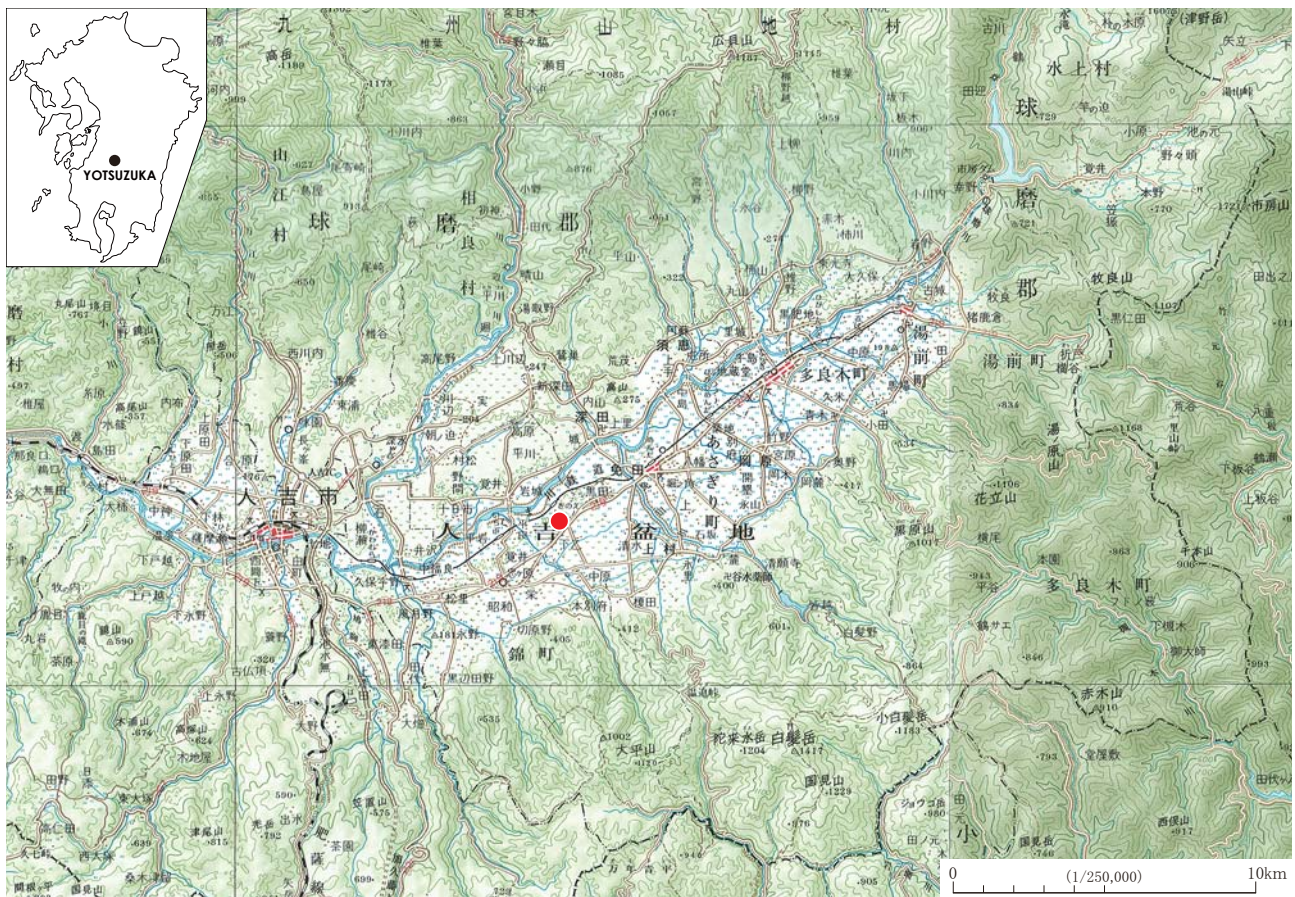


図2 人吉盆地における四ツ塚古墳群の位置 (赤丸)

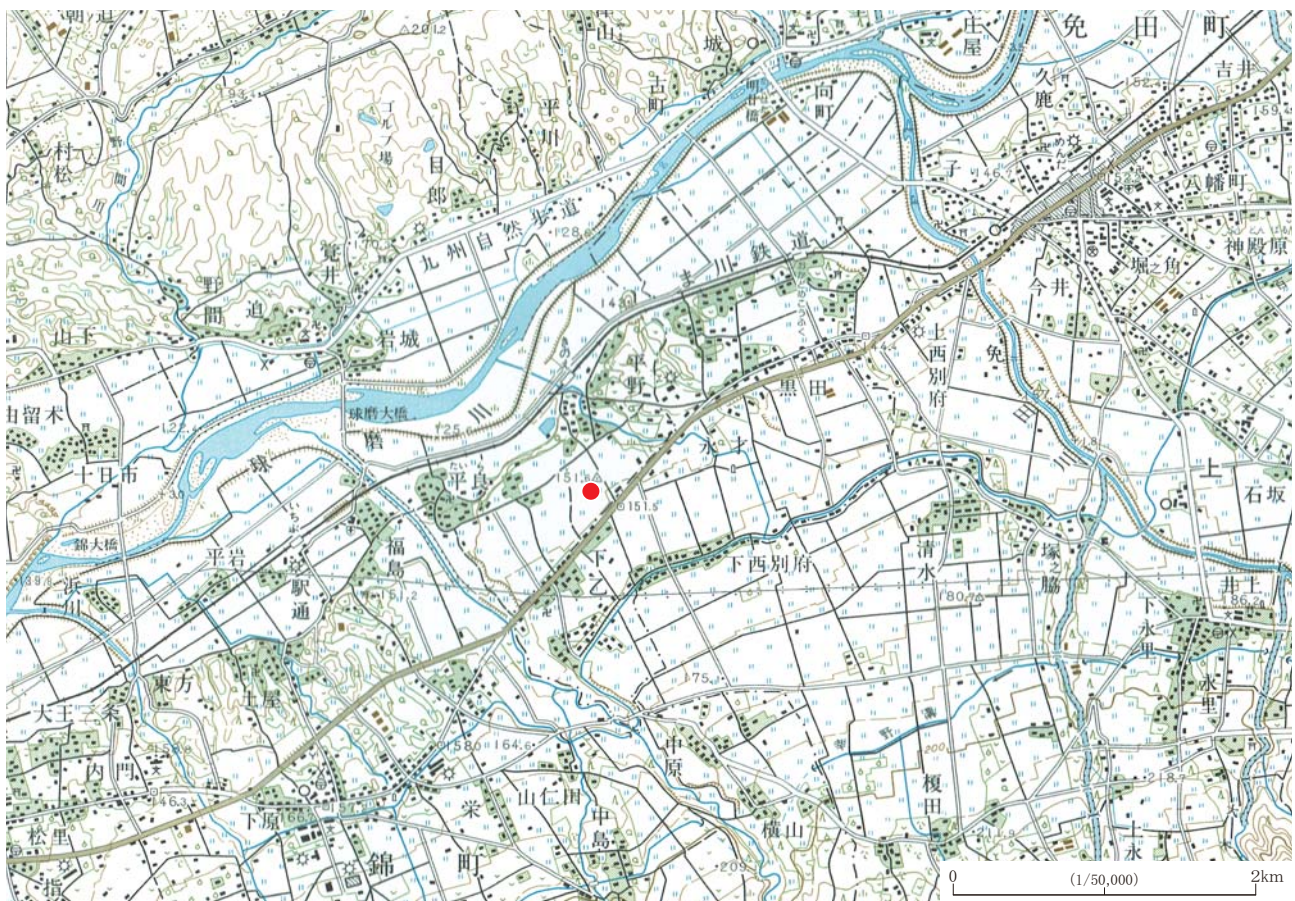


図3 錦町における四ツ塚古墳群の位置 (赤丸)



図4 四ツ塚古墳群 1～3号墳の位置

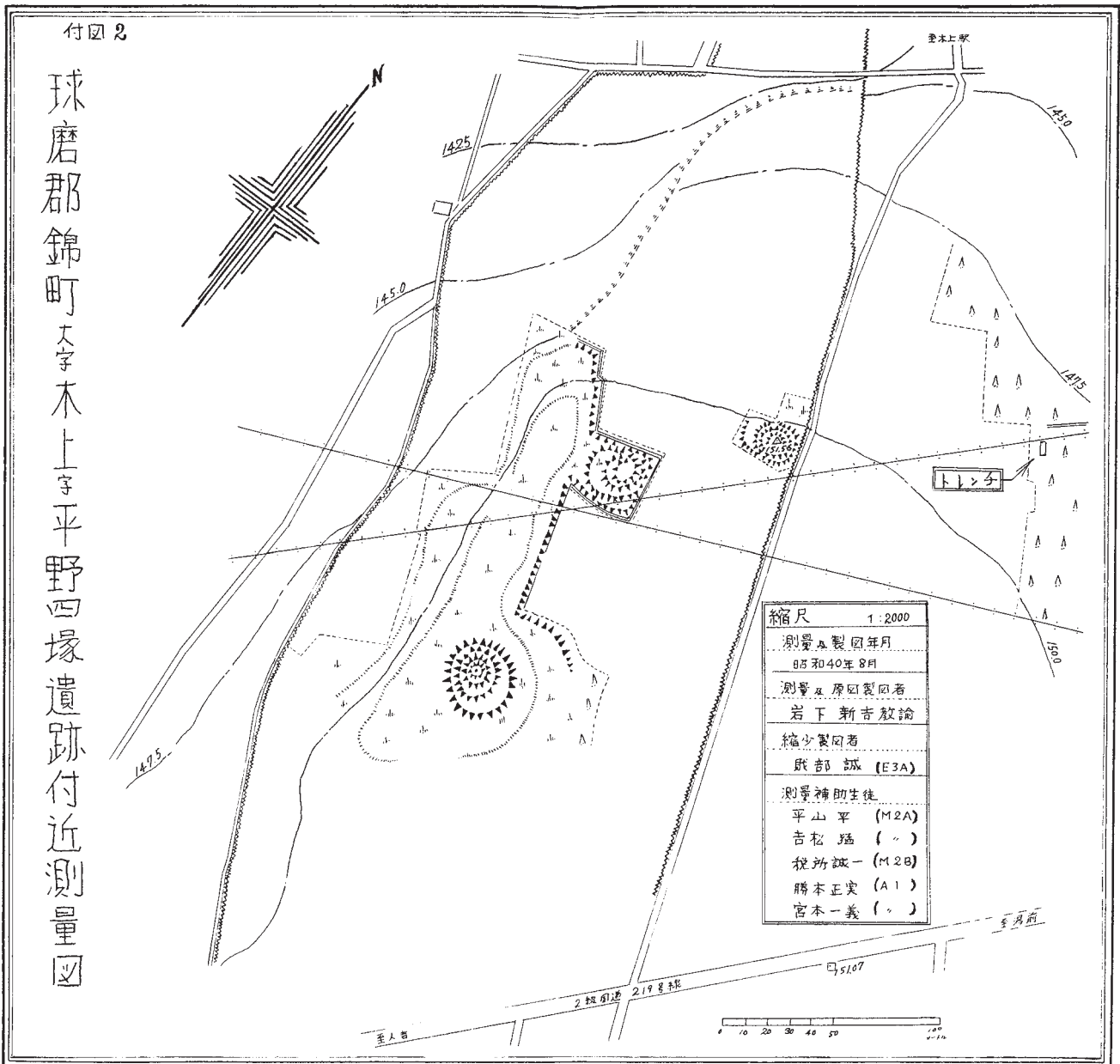


図 5 熊本県立球磨工業高等学校郷土研究部により作成された四ツ塚古墳群測量図 (1/3,000)

4 各古墳の概要

それでは、今回作成の測量図(図11・17・23・29)を参考にしながら、1～3号墳の様子をみておこう。

四ツ塚古墳群が位置する錦町大字木上南は、錦町の東に接するあさぎり町との町境にごく近い場所である。そこは、人吉盆地を南西―北東方向に走る国道219号のすぐ北側であり(図4)、国道を行く車の窓からは墳丘の高まりを間近にみることができる。当地一帯にはほ場整備後の整然とした耕地が広がっていて、そのなかに3基の古墳が取り残されたように点在している(図10・11)。

1号墳 国道にもっとも近いところ、古墳群のもっとも南に位置するのが1号墳である(図7・12～17)。墳形は円墳で、墳丘最高点は標高153.525m、周囲の耕作面からの高さは

約5.5mである。墳頂部から北側の斜面は、円墳本来の墳丘傾斜をよく残している。一方、墳頂部から南側には浅い幅広の窪みがみられる。その窪みは盗掘の痕跡である可能性がある。墳端のうち北・西・南の三方向は大きく削平され、とくに北側と南側は垂直近くになるまで削られていて、なかでも南側では盛土の土層が観察できるほどの状態となっている。東側の墳端にも削平がおよんでいるが、ここは比較的本来の墳丘傾斜を残していると思われる。現在残る墳丘部を計測すると、東西約35m、南北約33mであるが、墳丘西側にとりつく畦との接点から墳丘南東のコーナー部までを測ると約40mの距離がある。したがって、墳端が大きく削平されていることを考慮すれば、本来の墳丘規模は直径40mを越えるものであった可能性がある。現状の墳丘では、段築と推測できるような明瞭な平坦部は確認できない。墳丘

各所に拳大から人頭大の川原石が多く散布するため、葺石を有していると推測できる。

2号墳 1号墳の北約110m（墳頂間距離）のところに位置するのが2号墳である（図8・18～23）。墳丘南側から西側にかけての等高線のカーブをみれば、墳形は円墳であると判断できる。しかし、墳丘北側や東側は、等高線がほぼ直線をなすほどまでに改変されている。また、西側は用水路建設によって大規模に改変、削平されている。墳頂部の北側、南側にはそれぞれ窪みが存在する。南側は浅く幅広に窪み、それに対し北側は大きく落ち込むように窪んでいる。いずれも盗掘の痕跡であると考えられるが、なかでも北側の窪みが墳丘側面の下方にまで大きくおよぶものであることから、それは横穴式石室が盗掘された痕跡の可能性はある。ただし、その場合、横穴式石室の開口方向が北になる点に若干の疑問がないわけではない。なお、南側の窪みの西側に、やや大きな石材が散乱しているが（図22）、あるいはそれらは破壊された石室石材であるのかもしれない。なお、墳丘最高点は南側の窪みの東辺部にあり、標高151.018m、北側の耕作面からの高さ約3.6m、南側の耕作面からの高さ約3mである。現状の墳丘規模は、南北約22m、東西約25mである。現状の墳丘において、段築と推測できるような明瞭な平坦部は確認できない。川原石

の散布から、葺石を有していると推測できる。

3号墳 2号墳の北東約70mに位置するのが3号墳である（図9・24～29）。墳形は円墳で、墳丘最高点は標高151.783m（のちに第三章第2節第3項「各古墳の最高点測量」のところで述べるように、手測りによる最高点位置の標高とデジタル生成による等高線とのあいだには若干の誤差が生じている）、北側の耕作面からの高さ約5m、南側の耕作面からの高さ約4.7mである。墳頂部には三等三角点三ツ塚が設置されている。三角点の西側および南側には浅い窪みがあり、また、墳丘東側から北側、あるいは南西側の等高線にやや乱れがみられるが、墳丘上半部は本来の形状を比較的良好に残していると思われる。ただし、墳端は大きく削平され、とくに北側と西側の下端部は等高線がほぼ直線をなすほどまでに改変されている。また、北側と南側は垂直面に近い墳端となっている。東側の墳端は、舗装道路に接しており、その標高は北・西・南の墳端よりも1mほど高い。現状の墳丘規模は、南北約26m、東西約30mである。墳丘東側の標高149.0～149.3mのあたりに若干の平坦面がみられ、それは段築の反映である可能性がある。川原石が多く散布することから、葺石を有していると推測できる。なお、3号墳では家形埴輪の破片が採集されているが、その詳細については次に述べる。



図6 北からみた四ツ塚古墳群の3基（2022/2/15）



図7 四ツ塚古墳群1号墳俯瞰（上が北）（2022/2/15）



図8 四ツ塚古墳群2号墳俯瞰（上が北）（2022/2/15）



図9 四ツ塚古墳群3号墳俯瞰（上が北）（2022/2/15）



図 10 四ツ塚古墳群俯瞰（上が北）（2022/2/15）



图 11 四ツ塚古墳群測量図



図 12 四ツ塚古墳群 1 号墳 (1) (北東から) (2021/11/19)



図 13 四ツ塚古墳群 1 号墳 (2) (東から) (2021/11/19)



図 14 四ツ塚古墳群 1 号墳 (3) (南東から) (2021/11/19)



図 15 四ツ塚古墳群 1 号墳 (4) (南西から) (2021/11/19)



図 16 四ツ塚古墳群 1 号墳 (5) (北西から) (2021/11/19)

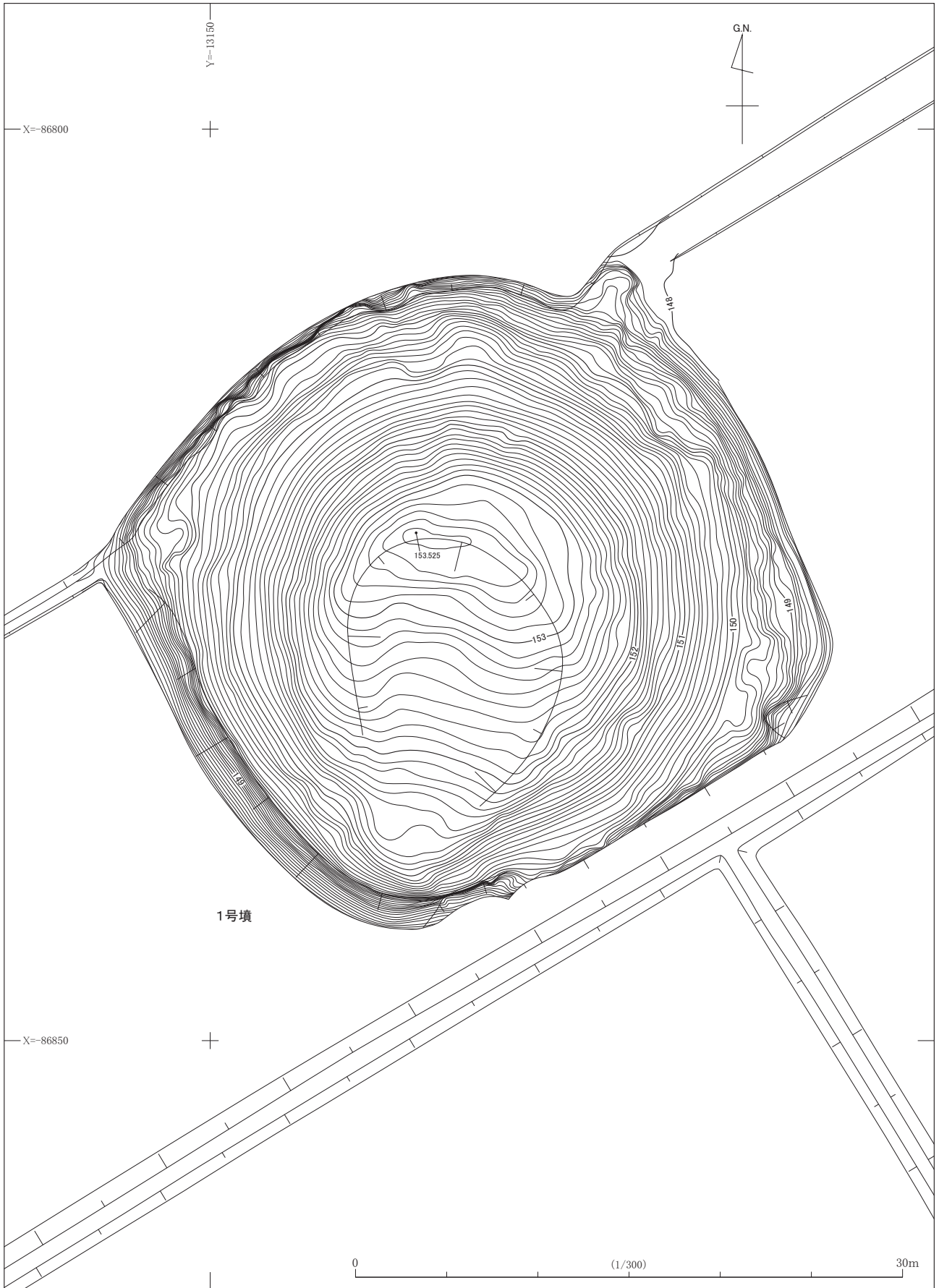


図 17 四ツ塚古墳群 1号墳測量図



図 18 四ツ塚古墳群 2号墳(1) (東から) (2021/11/19)



図 19 四ツ塚古墳群 2号墳(2) (南東から) (2021/11/19)



図 20 四ツ塚古墳群 2号墳(3) (北西から) (2021/11/19)



図 21 四ツ塚古墳群 2号墳(4) (北から) (2021/11/19)



図 22 2号墳墳丘に散乱するやや大きな石材 (2021/11/21)

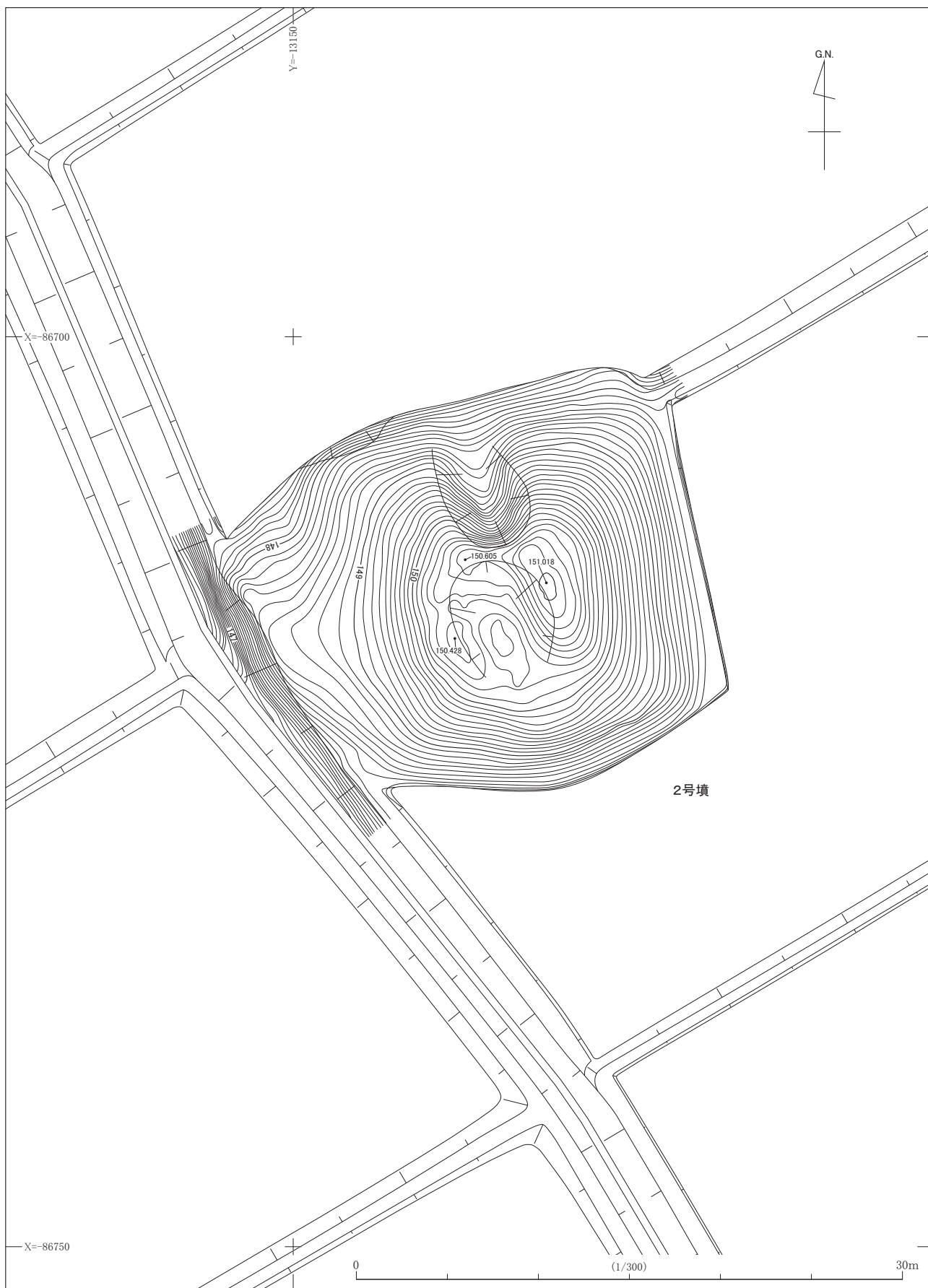


図 23 四ツ塚古墳群 2号墳測量図



図 24 四ツ塚古墳群 3号墳(1) (東から) (2021/11/19)



図 25 四ツ塚古墳群 3号墳(2) (南東から) (2021/11/19)



図 26 四ツ塚古墳群 3号墳(3) (南西から) (2021/11/19)



図 27 四ツ塚古墳群 3号墳(4) (西から) (2021/11/19)



図 28 四ツ塚古墳群 3号墳(5) (北東から) (2021/11/21)

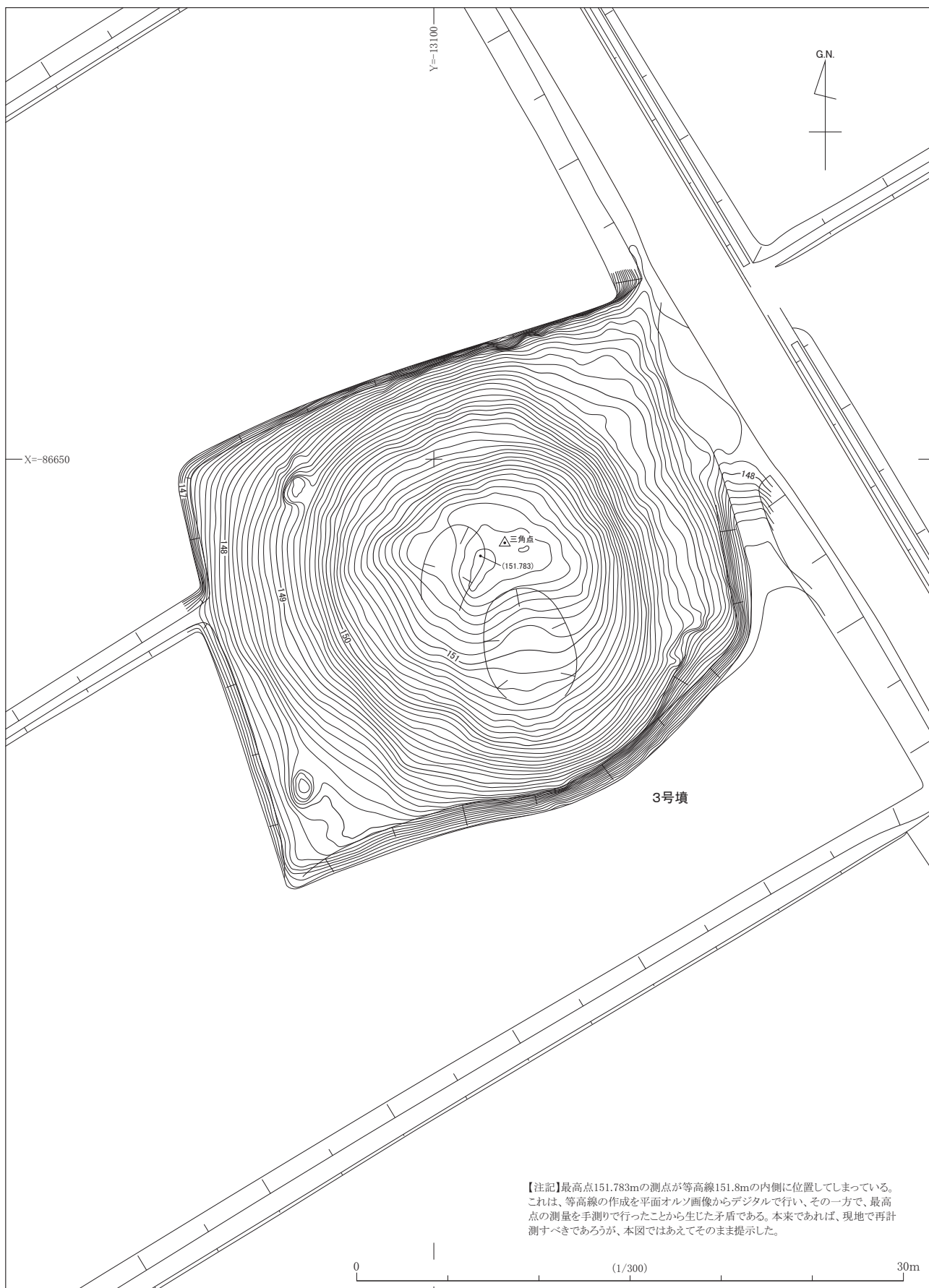


図 29 四ツ塚古墳群 3号墳測量図



図 30 南から望んだ四ツ塚古墳群とその周辺 (2021/11/19)



図 31 北から望んだ四ツ塚古墳群とその周辺 (2021/11/19)



図 32 四ツ塚古墳群と球磨川 (2022/2/15)

5 3号墳で採集された家形埴輪片

採集されたときの状況 3号墳で家形埴輪の破片が採集されたのは、2018年11月11日の早朝、第44回九州古墳時代研究会の古墳見学会で四ツ塚古墳群を訪れたときのことである。私もその場に居合わせたのでよく記憶しているが、見学会参加者により、3号墳東側の舗装道路に接する箇所付近で採集された。家形埴輪片以外に、外面に粗いタタキ目をもつ弥生時代後期の土器片も採集されたが、それら採集遺物は、すべて墳頂の三角点標石のうえに集め、写真を撮影した(図33)。なお、このとき採集された遺物は、古墳見学会の実行委員会事務局を担当してくださった出合宏光氏(相良村役場)により保管されることとなった。

家形埴輪片の特徴 今回、家形埴輪片の実測および観察所見の執筆を前田(木庭)真由子氏(熊本県教育庁文化課)に依頼した。その実測図および写真を図34～36に示す。また、前田氏による所見を、以下に記す。

四ツ塚古墳群3号墳で表採された形象埴輪片は、いずれも家形埴輪壁体部の破片である。

1は、壁体部上部、屋根との接合部近くの破片である。器壁には方形の開口部が確認でき、この開口部は家形埴輪の入口又は窓を表現していると考えられる。また、壁面には開口部上辺と重なるところに水平方向の沈線が一条施されている。これは開口部を切り出す際の割付線と考えられることから、同一面には複数の開口部があった可能性がある。2は、壁体部下部の破片である。開口部や裾廻突帯の痕跡は確認できない。

1・2ともに隅角のコーナー部をもっており、壁体部は幅10cm程度の幅広粘土帯を用いて成形されたと考えられる。調整は、両片とも外面にはタテハケ後ナデが施されており、内面にはコーナー部にユビオサエが確認できる。いずれの破片も丁寧な調整が施されており、全体的に直線的な印象を受ける。一方で、コーナー



図33 家形埴輪片採集時の状況(2018/11/11)

部は鈍角で壁面中央に向けてやや開き気味になっていることから、上からみた壁体部の形は壁面中央部が膨らんだやや丸みを帯びた方形を呈していたと考えられる。

これら丁寧な調整と隅角のコーナー部をもちながらもやや丸みを帯びた方形を呈するという特徴から、四ツ塚古墳群3号墳出土家形埴輪は、古墳時代中期後半、5世紀後半頃に製作されたと考えられる。(前田)

6 古墳群の時期

四ツ塚古墳群の造営時期を考える材料は数少ない。

遺物では、上述した3号墳採集の家形埴輪片が唯一の資料である。前田真由子氏の年代観によれば、それは古墳時代中期後半頃に位置付けられる。

墳丘で重要なのは、2号墳の盗掘坑のありかたから、その埋葬施設が横穴式石室である可能性が考えられる点である。人吉盆地における横穴式石室墳の動向をみると、銚留短甲片が出土した人吉市鬼塚古墳〔鶴嶋・和田1995〕など、古墳時代中期後葉にはその築造が開始され、その後、後期から終末期へと継続する〔鶴嶋1995, 出合2013〕。

明確に述べることは難しいが、以上のような状況から、四ツ塚古墳群は古墳時代中期後葉から後期頃に営まれた古墳群であると考えられる。

引用・参考文献

- 木崎康弘 2017「坂元経堯の昭和10年球磨調査と高田素次『肥後と球磨 その原史世界に魅せられし人々ー肥後と球磨の考古学史ー』人吉中央出版社：pp.489-494
- 九州古墳時代研究会 2018「四ツ塚古墳」『人吉・球磨の古墳』第44回九州古墳時代研究会資料集：p.30
- 坂本経堯 1983「球磨・人吉地方の調査」『肥後上代文化資料集成』肥後上代文化研究会：pp.210-218
- 角田政治監修 1941『球磨郡誌』球磨郡教育支会(名著出版より1973年複製、引用・参考は複製版による)
- 高田素次編 1961『木上村史』木上村史編纂委員会
- 鶴嶋俊彦 1995「古墳時代」『須恵村誌』須恵村教育委員会：pp.628-697
- 鶴嶋俊彦・和田好史 1995『上ノ寺遺跡群ー鬼塚古墳・上ノ寺A遺跡・石清水遺跡ー』人吉市文化財調査報告書、人吉市教育委員会
- 出合宏光 2013「古墳時代の水上」『水上村誌』歴史編第1巻、原始・古代、水上村教育委員会：pp.67-129
- 錦町教育委員会 2016「四ツ塚古墳群」『錦町合併60周年記念 錦町の文化財』：p.92
- 西嶋剛広 2012「熊本地域出土銚留短甲の検討ー編年的位置付けと配布の背景ー」『共同研究』マロ塚古墳出土品を中心にした古墳時代中期武器武具の研究』国立歴史

民俗博物館研究報告第173集、国立歴史民俗博物館：
pp.381-410
脇坂公康編 1966『木上平野・安前遺跡試掘報告』昭和40

年度研究集録（通巻第2号）、球磨工業高等学校郷土研究部

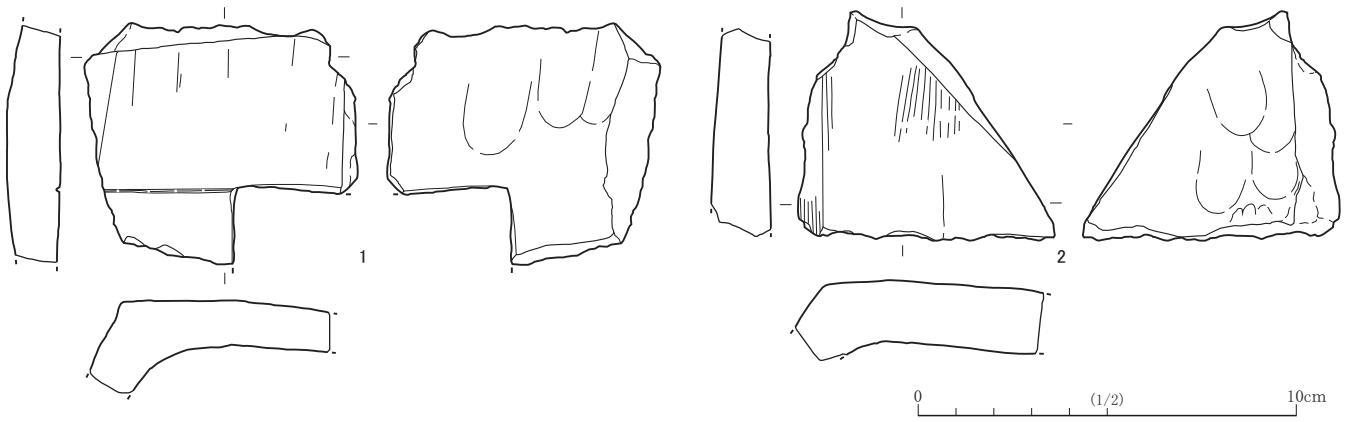


図34 四ツ塚古墳群3号墳採集家形埴輪片実測図



図35 四ツ塚古墳群3号墳採集家形埴輪片（外面）



図36 四ツ塚古墳群3号墳採集家形埴輪片（内面）



図 37 本目遺跡（左下の空き地）の上空から四ツ塚古墳群方面（北方向）を望む（2022/2/15）



図 38 四ツ塚古墳群の上空から人吉市方面（西方向）を望む（2022/2/15）

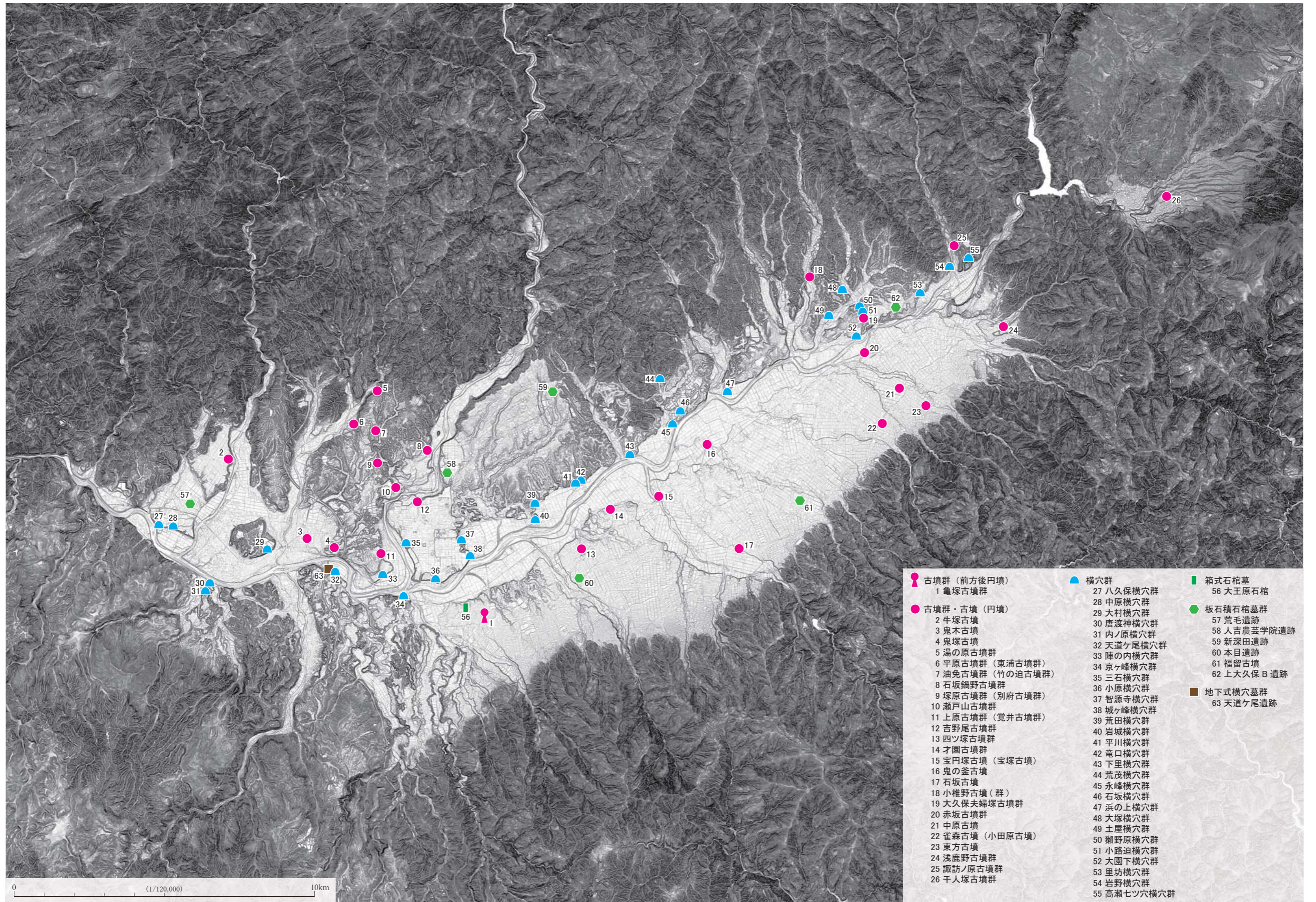


図 39 人吉盆地における古墳の分布

Ⅲ ドローンによる空撮写真を用いた四ツ塚古墳群測量手順覚え

ドローンによる空撮写真を使って熊本県球磨郡錦町四ツ塚古墳群に残る3つの円墳の測量図を作成した。こうした測量方法を試したのははじめてであり、そのため、はたして私の作業手順が適切なものであったのかどうかはわからないが、今後の参考のために、なるべく再現可能なかたちでその作業過程を書き残しておきたい。

なお、この手法を試してみようと思った背景には、3基の円墳いずれにおいても、ごく背の低い草木がまばらに生えているだけで、樹高の高い樹木がまったく存在しなかったことがある。また、調査を実施した2021年度は新型コロナウイルス感染症の蔓延2年目で、厳しい警戒の目が解かれるまでにはほど遠く、そのため多くの学生たちとの長期間の合宿や現地作業は避けるべきであると判断されたこと、しかし、ドローンによる空撮がおもな現地作業であるなら少人数かつ短期間での調査実施が可能であると思われたことも、この手法採用の後押しとなった。

1 使用した器材およびソフトウェア

(1) 現地作業

- ・トータルステーション：Nikon NST-405C
- ・レベル：TOPCON オートレベル AT-M3
- ・ドローン：DJI Phantom 3 Standard (バッテリー3個)
DJI Mini 2 (バッテリー10個)
- ・ドローン送信機用モニター：Apple iPad Pro 9.7インチ
- ・ドローン自動操縦・撮影ソフト：DJI GS Pro (DJI Phantom 3 Standard は対応、DJI Mini 2 は未対応)

(2) 室内作業

- ・パソコン：マウスコンピューター DAIV X10-QR4 (メモリ128GB, グラフィックス NVIDIA Quadro RTX 5000)
- ・液晶タブレット：XP Pen Artist 24
- ・SfMソフト：Agisoft Metashape Professional 1.7.4
- ・CADソフト：Autodesk AutoCAD 2022
- ・描画ソフト：Adobe Illustrator CC

2 現地作業

(1) 現地作業に費やした時間・人数

現地調査は、2021年11月18日～21日の計4日間で実施した。ただし、うち1日は、四ツ塚古墳群の立地環境を確認するための周辺遺跡巡検に当てた。また、熊本大学のある熊本市内と古墳群が立地する錦町との往復にかか

る時間を差し引くと、現地作業に費やした実質時間はほぼ2日間である。

作業従事者は、熊本大学教員の杉井健と学生3名(学部4年生1名、2年生2名)の計4名である。

(2) 基準点の設置・測量

基準点設置 四ツ塚古墳群は熊本県球磨郡錦町大字木上南にあり、人吉盆地を南西-北東方向に走る国道219号のすぐ北側に位置している(図4)。幸いなことに、古墳群を間近に視認できる国道219号上り車線側水路脇に一等水準点2842(基準点コード:L010000002842, 保護石4個に囲まれた金属標)が、また、水準点の北約65m、水準点から視認可能な国道219号下り車線側歩道脇に2級基準点No.097(成果ID:8233504, 金属標)があったことから、これら2点をもとに古墳群周囲の舗装道路や各古墳の墳丘とその周辺に測量に用いるための基準点(標定点)を設置した。

設置した基準点(標定点)は、古墳群周囲の舗装道路に6箇所(Y1~Y6)、墳丘およびその周辺に27箇所(T1~T27)の計33箇所である(図40, 表1)。舗装道路ではコノエ鋳(コノエダブルは白色)の打設により、一方、墳丘およびその周辺では手製の対空標識(円形, 直径20cm)を五寸釘で固定することにより、基準点(標定点)設置を行った。現地作業終了後、手製の対空標識はすべて撤去したが、舗装道路打設のコノエ鋳は将来の再測量などに備えて現地に残した。

なお、3号墳墳頂には三等三角点三ツ塚(基準点コード:TR34830266802, 冠字選点番号:羅17)が設置されているが、これは後述するMetashape作業時のマーカーによる誤差確認には用いていない。

基準点測量 基準点測量は、一等水準点2842を器械点、2級基準点No.097を後視点として開始し、トータルステーションを用いてすべて開放により各基準点のX・Y・Z座標を記録した。

(3) 各古墳の最高点測量

手測りによる測量の採用 従来の手測りによる古墳測量では、墳丘の最高点の位置およびその標高値を示すことが一般的である。しかし、Metashapeによる等高線作成では最高点の位置が表されないと考えたため、今回はレベルとスタッフ(箱尺)を用いて人の手により最高点の位置を探し、トータルステーションでその位置のX・Y座標を記録した。

しかし、のちに教えられたのだが、墳頂部周辺の地表面

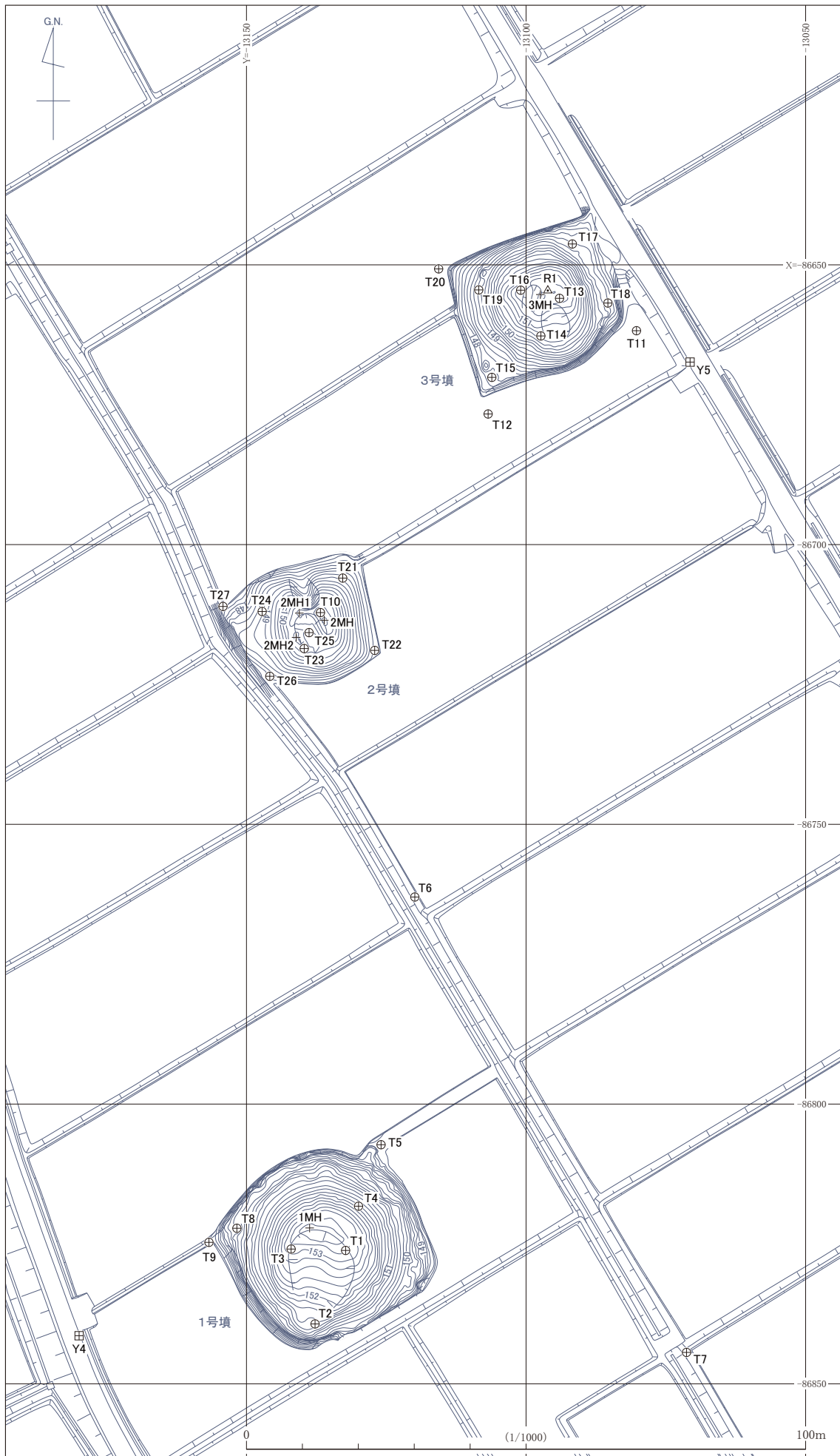


図 40 基準点（標定点）等の位置

表 1 基準点（標定点）等の国土座標

既知点						
名称	X	Y	Z	ルート	備考	位置
S1	-86841.542	-12953.796	151.728		一等水準点 2842	R219 上り車線側水路脇、農道の対面
K1	-86782.738	-12927.208	151.445		2級基準点 No.097	R219 下り車線側歩道脇、車検センター前
R1	-86654.747	-13096.132	151.560		三等三角点三ツ塚 羅 17	3号墳墳頂

新設点						
名称	X	Y	Z	ルート	備考	位置
Y1	-86829.954	-12975.043	151.465	S1 → Y1	コノエ鋏大	農道コーナー部
Y2	-86880.148	-13051.211	150.525	Y1 → Y2	コノエ鋏大	味岡ホールディングス駐車場前の農道
Y3	-86748.643	-13018.840	150.482	Y1 → Y3	コノエ鋏大	1号墳東方の農道
Y4	-86841.419	-13179.960	148.376	Y2 → Y4	コノエ鋏小	1号墳西方の農道
Y5	-86667.376	-13070.682	148.696	Y3 → Y5	コノエ鋏大	3号墳付近の農道
Y6	-86731.743	-13202.376	147.469	Y4 → Y6	コノエ鋏大	2号墳西方の農道
T1	-86826.157	-13132.273	153.232	Y2 → T1	対空標識、撤去	1号墳墳頂東側
T2	-86839.302	-13137.734	151.309	T1 → T2	対空標識、撤去	1号墳墳丘上南側
T3	-86825.907	-13142.022	153.097	T1 → T3	対空標識、撤去	1号墳墳頂西側
T4	-86818.243	-13129.955	151.860	T1 → T4	対空標識、撤去	1号墳墳丘上北側
T5	-86807.267	-13125.927	148.072	T1 → T5	対空標識、撤去	1号墳墳裾北側
T6	-86762.974	-13119.888	148.460	T1 → T6	対空標識、撤去	1・2号墳間の畦道
T7	-86844.404	-13071.290	149.933	T1 → T7	対空標識、撤去	1号墳・駐車場間の畦道
T8	-86822.184	-13151.718	149.681	T3 → T8	対空標識、撤去	1号墳墳丘上西側
T9	-86824.702	-13156.721	148.202	T3 → T9	対空標識、撤去	1号墳墳裾西側
T10	-86712.155	-13136.776	150.985	Y5 → T10	対空標識、撤去	2号墳墳頂中央
T11	-86661.772	-13080.257	147.085	Y5 → T11	対空標識、撤去	3号墳墳裾南東側
T12	-86676.650	-13106.772	147.103	Y5 → T12	対空標識、撤去	3号墳墳裾南西側
T13	-86655.981	-13094.013	151.707	Y5 → T13	対空標識、撤去	3号墳墳頂中央
T14	-86662.711	-13097.349	150.705	T13 → T14	対空標識、撤去	3号墳墳頂南西側
T15	-86670.111	-13106.109	147.861	T13 → T15	対空標識、撤去	3号墳墳丘上南西側
T16	-86654.527	-13100.962	151.517	T13 → T16	対空標識、撤去	3号墳墳頂北西側
T17	-86646.278	-13091.718	149.032	T13 → T17	対空標識、撤去	3号墳墳裾北東側
T18	-86656.823	-13085.367	149.049	T13 → T18	対空標識、撤去	3号墳墳丘上南東側
T19	-86654.485	-13108.454	149.021	T16 → T19	対空標識、撤去	3号墳墳丘上北西側
T20	-86650.727	-13115.622	146.532	T16 → T20	対空標識、撤去	3号墳墳裾北西側
T21	-86705.986	-13132.796	148.862	T10 → T21	対空標識、撤去	2号墳墳丘上北東側
T22	-86718.906	-13127.072	148.141	T10 → T22	対空標識、撤去	2号墳墳丘上南東側
T23	-86718.589	-13139.672	150.312	T10 → T23	対空標識、撤去	2号墳墳頂南西側
T24	-86711.968	-13147.200	148.722	T10 → T24	対空標識、撤去	2号墳墳丘上北西側
T25	-86715.730	-13138.804	150.064	T10 → T25	対空標識、撤去	2号墳墳頂盗掘坑内
T26	-86723.549	-13145.825	148.256	T23 → T26	対空標識、撤去	2号墳墳裾南西側
T27	-86711.070	-13154.198	147.459	T23 → T27	対空標識、撤去	2号墳墳裾北西側

墳頂最高点など						
名称	X	Y	Z	ルート	備考	位置
1MH	-86822.145	-13138.706	153.525		ピンボール、撤去	1号墳墳頂最高点
2MH	-86713.523	-13136.093	151.018		ピンボール、撤去	2号墳墳頂最高点
2MH1	-86712.251	-13140.549	150.605		ピンボール、撤去	2号墳墳頂窪み北側
2MH2	-86716.580	-13141.120	150.428		ピンボール、撤去	2号墳墳頂窪み西側
3MH	-86655.309	-13097.443	151.783		ピンボール、撤去	3号墳墳頂最高点

の高さを示すと思われる点群のなかからもっとも Z 値の大きい 1 点を選び出せば、その 1 点の位置が墳丘の最高点の位置とみなすことが可能である。とはいえ、多数の点群のなかから、草木に影響されない点群を探し出し、さらにそのなかからもっとも標高の高い 1 点を選び出すことは、相当に手間のかかることのようにも思われる。実際にこの手法を試していないので確かなことはいえないが、今回実施したような現地で人の手により最高点の位置を探した方が、作業としてはより簡単のように思われる。

手測りによる測量と 3 次元測量の併用から生じた問題 ただし、3 次元計測にもとづく等高線作成と手測りによる最高点位置測量の併用に問題がないわけではない。実際、今回の測量では 3 号墳において問題が生じた。

図 29 をみていただきたいが、デジタルで生成された

151.8m の等高線の内側に、手測りによって得られた最高点、標高 151.783m の測点が位置してしまったのである。ここに数値のうえでの矛盾が生じている。

このような矛盾が生じた理由はよくわからないが、平面オルソ画像には下草も写っており、デジタルでの等高線生成のうえではそうした下草のわずかな高さも反映されるはずであるから、それが影響した可能性がある。後述するように、Illustrator での等高線修正の際、可能な限り素直な曲線（カーブ）になるよう心がけた。しかし、生成された等高線全体が下草のわずかな高さを反映したものであったとしたら、そのわずかな高さを補正して本来の地面の高さにもどすことはほぼ不可能である。

今回生じた計測誤差はおそらく数 cm 程度にしか過ぎないと思われるが、図 29 のように図示すると、その矛盾が明瞭

になる。今回は、ドローンによる空撮写真を用いての測量図作成の試行も調査目的の1つであったから、数値に矛盾が生じていることは承知のうえで、図11・29には計測数値を括弧に入れてそのまま示した。しかし、本来であれば、現地での再計測を実施すべきであるだろう。

(4) ドローンによる空撮

上述したように、ドローンによる空撮写真から測量図を作成しようと考えたのは、四ツ塚古墳群に残る3基の円墳に大きな樹木が生えていなかったためである。また、古墳群の周辺にドローン飛行の障害となるものがまったく存在しなかったことも、ドローンによる空撮には好都合であった。

そこで、古墳群全体の俯瞰写真撮影はDJI GS Proを使用したドローンの自動操縦・撮影によることとした。また、3基の古墳それぞれの細部写真撮影をドローンの手動操縦・撮影によって行い、墳丘の細部地形の描出に対応できるようにした。なお、写真のファイル形式は、オルソ画像から等高線を描くことが主目的であり、データが重くなりすぎない方が扱いやすいため、ファイルサイズの小さいJPEGとした。

自動撮影 DJI GS ProはDJIが提供するドローンの自動操縦・撮影用iPadアプリである。しかし、このアプリはDJIが発売するドローンのすべてに対応しているわけではない。今回の使用器材では、DJI Mini 2には対応していない。そこで、以前から熊本大学文学部考古学研究室に備わっていたアプリ対応のDJI Phantom 3 Standardを自動操縦することにより、古墳群全体の俯瞰写真を撮影した。なお、2022年5月、DJI GS Proの更新停止が発表された。今後、DJI製の新機種ドローンで自動操縦・撮影をする場合、DJI GS Proに代わるアプリを用いなければならない。

さて、DJI GS Proで新規ミッションを設定する場合、「計測撮影領域モード」を選択し、次に「地図上指定」を選択すると航空写真が表示され、その航空写真上の任意の場所をタップすると、撮影領域の指定ができるようになる。今回の撮影領域の大きさや形、おもな飛行・撮影条件は以下の通りである(図41)。

- ・ 撮影領域の大きさ、形：東西 154m × 南北 282m、矩形
- ・ 飛行速度：5.0 m/秒
- ・ 飛行高度：30.0m
- ・ 航路上（隣り合う写真同士）のオーバーラップ率：80%
- ・ 航路間（隣り合うコース同士）のオーバーラップ率：60%
- ・ 撮影モード：ホバリング撮影
- ・ シンバルピッチ（カメラの角度）：-90°（真俯瞰）

アプリ上では、この条件において撮影領域内の飛行コー

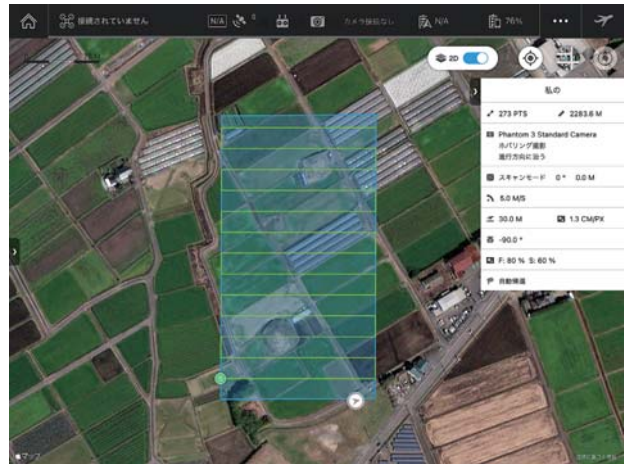


図41 DJI GS Proで設定したドローンの自動飛行ルートおよび飛行・撮影条件

スは13ライン、撮影ポイントは273点が設定された。しかし、実際に撮影された写真枚数は276枚であった。設定枚数との誤差が生じた理由はよくわからない。

なお、1つの飛行ミッションに99点以上の撮影ポイントがあると、ドローンは99枚目の写真を撮影したところでいったん停止しホバリング状態に入る。調査開始前に行った飛行実験においても、また調査初日の飛行に際しても、この99枚目撮影後のホバリングからどのように脱却しその後の撮影に移行するのかがよく理解できていなかった。ドローンに慣れていないこともあり、墜落を恐れるあまり、あわてて帰還させたりしていた。そのため、調査初日に俯瞰写真撮影を終えることができなかった。DJI GS Proは設定が容易なアプリであると思うが、実際の飛行においてはここで戸惑う場合が多いのではないだろうか。

調査2日目、やはり99枚目撮影後にホバリング状態になったのだが、「最後に停止したポイントから再開」をクリックしてしばらく待つと、ドローンはその地点からの撮影を再開した。待っている時間は相当に長く、不安な気持ちが高まるのだが、あわてず、辛抱強く待つことが大切なのだろう。しかし、今回はこれでうまく事が運んだが、はたしてこれが正解なのかどうかはいまだによくわかっていない。

自動撮影による俯瞰写真撮影が無事終了したのち、現場ですぐにMetashapeでの仮解析を実施すると、精度「低」にて276枚すべての写真のアラインメントに成功した。

手動撮影 自動撮影による俯瞰写真だけでも等高線を描くには十分なかもしれないが、ほぼ垂直に削平された墳端部もあることから、古墳それぞれについて、俯瞰、斜め方向、横方向の近接写真も撮影することにした。撮影はDJI Mini 2を手動で操作することによって行い、撮影枚数は1号墳で104枚、2号墳で152枚、3号墳で125枚の計381枚となった。

3 室内作業

(1) Metashape での作業－空撮写真の解析、平面オルソ画像の作成、等高線の作成－

Agisoft Metashape Professional では、空撮写真の解析、平面オルソ画像（オルソモザイク）および等高線の作成までを行った。以下に、私がたどった作業手順を箇条書きのかたちで記録する。

①写真の追加およびアラインメント

- ・〈操作手順〉ワークフロー>写真を追加
俯瞰写真 276 枚と古墳近接写真 381 枚の計 657 枚の写真（ファイル形式 JPEG）を追加。
- ・〈操作手順〉ワークフロー>写真のアラインメント
アラインメントを精度「中」「高」「最高」で試すと、それぞれ順に 652 枚、654 枚、645 枚が成功。したがって、写真のアラインメントを精度「高」で実施し、失敗した 3 枚の写真を削除した。

②信頼度の低いタイポイントの削除

- ・〈操作手順〉モデル>段階的選択>基準：画素数、レベル：2 > OK
これによりレベル 2 のタイポイントがピンク色となって選択されるので、それを削除した。

③基準点にマーカーを設置

- ・写真に写った基準点の上で右クリック→「マーカーを追加」でマーカーの旗が設置される。
- ・追加したマーカーの位置で右クリック→「マーカーで写真をフィルタリング」でマーカーが設置された写真のみが選択される。なお、選択を解除する場合は、写真メニュー画面上辺の左から 6 つ目のアイコン「フィルターをリセット」をクリックする。
マーカーが設置された写真において、マーカー位置が正しいかどうかを確認し、位置にズレが認められるものについては修正する。精度があまりにも劣っているものは右クリックし「マーカーを削除」する。
位置を修正したマーカーの旗は青色から緑色に、削除したマーカーの旗は灰色に変化する。
- ・この手順で、写真に写る基準点のすべて、すなわち舗装道路上の 4 箇所（Y2・Y4～Y6）および墳丘とその周辺の 27 箇所（T1～T27）の計 31 箇所にマーカーを設置した。

④座標データを「十進法度単位」表示から「国土座標（平面直角座標）」表示に変更

- ・メニュー画面（左側）に座標データが表示されていない場合：〈操作手順〉ビュー>座標データ
- ・座標データメニュー画面上辺にあるアイコンのうち、左から 4 つ目のアイコン「変換」をクリック。
ダイアログボックス「座標変換」で座標系を設定する。
九州の場合、座標系は「JGD2011/Japan Plane Rectangular CS II (EPSG:6670)」とする。回転角度は「Taw,Pitch,Roll/ヨー,ピッチ,ロール」のまま OK。

⑤設置したマーカーの座標を CSV ファイルからインポート

- ・前もって、設置したマーカーの東経・北緯・高度の国土座標数値を Excel の CSV ファイルにまとめておく。
- ・座標データメニュー画面上辺の左端アイコン「座標をインポート」をクリック→インポートする CSV ファイルを選択する。
- ・ダイアログボックス「CSV をインポート」が開くので、次の設定を行ったのち、「OK」をクリックする。
座標系→国土座標（九州）の場合は「JGD2011/Japan Plane Rectangular CS II (EPSG:6670)」。なお、現場座標の場合は「Local Cpprdinates(m)」。
区切り、列は、CSV ファイルの設定にしたがって選択する。
CSV ファイルの 1 行目にラベルがある場合は、「列のインポートを開始」の数字を「2」にする。
以上の設定ののち「OK」をクリックすると、各マーカーに座標値が挿入される。
念のため、各マーカーに挿入された座標値が正しいかどうかをすべて確認する。
- ・座標データメニュー画面の「カメラ」にはドローン写真の座標が、「マーカー」にはいま挿入したマーカーの座標が表示されているが、今後、解析に用いるのはマーカーの座標のみなので、「カメラ」のチェックをすべて外し、「マーカー」にのみチェックがなされている状態にする。

⑥マーカーの誤差確認とカメラの最適化によるマーカー誤差の調整

- ・座標データメニュー画面上辺の左から 6 つ目のアイコン「トランスフォーム（変換）を更新」をクリックすると、チェックしたマーカーの誤差が計算され、「誤差 (m)」のところに各マーカーの誤差が示される。
今回の場合、「合計誤差」の「基準点」誤差 (m) が 0.174696m となり、10cm 台の大きな誤差があることがわかる。それぞれの基準点の誤差を確認すると、0.459576m の誤差が示されている基準点も存在した。
- ・次に、座標データメニュー画面上辺の左から 5 つ目のア

アイコン「カメラを最適化」をクリックすると、「カメラアラインメントを最適化」のダイアログボックスが開く。

今回の場合、当初から「一般」の「fを調整」「k1を調整」「k2を調整」「k3を調整」「ex cyを調整」「p1を調整」「p2を調整」にチェックが入っていたが、そのまま「OK」をクリックした。

すると、「合計誤差」の「基準点」誤差(m)が0.015779 mとなり、また0.459576 mの誤差が示されていた基準点の誤差も0.037848 mとなった。このほかの基準点の誤差は、ほぼ1cm台以下に収まった。

等高線を描くことが目的の今回の地形測量では、1cm台以下の誤差に収まっていれば十分な精度が保たれると判断して誤差調整はここで終了し、以降の解析に進むことにした。

- ただし、マーカーの誤差調整については、本当に以上の手順で正解なのかどうかはよくわかっていない。

⑦表示をオルソグラフィックにし、バウンディングボックス(領域)を設定

- 〈操作手順〉モデル>ビューモード>パースペクティブ/オルソグラフィック

これにより、モデル表示画面左上の文字が「Perspective」から「Orthographic」に変わり、オルソ画像表示に切り替わる。オルソ画像は正投影状態の画像であるから、画像上での位置や距離などの確認を直感的かつ容易に行うことができる。

- ツールバーの左から8つ目のアイコンにより、バウンディングボックス(領域)の大きさや方向、角度を、今回解析したい(等高線を描きたい)範囲に設定する。以後の解析は、バウンディングボックスの範囲内に対してのみ行われる。

⑧高密度クラウドの構築とその複製

- 〈操作手順〉ワークフロー>高密度クラウド構築>一般の品質「高」、詳細の深度フィルタ「弱」、頂点カラーを計算 および「ポイントの信頼性を計算」にチェック>OK
- これにより、今回は166,526,896点の高密度クラウド(密な点群)が生成された。

※Metashapeでの作業において、品質「最高」ではデータが重すぎたので、「高」を採用することにした。

※しかし、のちにわかるのだが、Adobe Illustrator CCでの作業においては、品質「高」の高密度クラウドから構築したオルソモザイクではデータが重すぎ、Illustratorでファイルをなかなか開くことができず、また開くことができたとしても動作がとて遅くて使用に耐えなかった。そのため、あらためて品質「中」およ

び「低」の高密度クラウドからオルソモザイクを構築し、Illustratorでの作業に適したデータの大きさを探すこととなった(図45に示したのは品質「低」の高密度クラウドから作成したオルソモザイク)。

この副産物として、高密度クラウドの品質「高」、「中」、「低」それぞれから等高線を作成し(順に図42, 43, 44)、高密度クラウド(点群)の密度差によって作成される等高線にどの程度の違いが生じるのかを比較することができた。

- 次に、この高密度クラウドから信頼性の低い点群(ノイズ)を削除するのだが、作業を元に戻す場合のことを考慮して、生成された高密度クラウドの複製を作成しておく。

〈操作手順〉ワークスペースにある「高密度クラウド」のうえで右クリック>複製>OK

複製された高密度クラウドがワークスペースに新たに追加され、複製元高密度クラウドの点群数を示す数字がイタリック表示となる。

以後の作業は、複製された高密度クラウドにおいて行う。

⑨信頼性の低い点群(ノイズ)の削除

- 〈操作手順〉ツール>高密度クラウド>信頼度でフィルタリング

→まず、「最小」の値を変えて信頼性の低い点群がどの程度あるのかを調べる。

→そして、今度は「最大」の値を変えて信頼性の低い点群のみを表示させる。

→今回は、最大「2」、最小「0」としたときに表示された信頼性の低い点群をすべて選択して削除した。

削除後、〈操作手順〉ツール>高密度クラウド>フィルターをリセット、によりモデルを表示させる。

※今回の場合、最大「3」としたときに選択された信頼性の低い点群をすべて削除すると、モデル右上隅などが完全に削除されてしまったので、「2」までの信頼性の低い点群を削除することとした。

⑩DEM(数値標高モデル)の構築とその複製

- 〈操作手順〉ワークフロー>DEM構築>今回の場合、プロジェクションのタイプ「ジオグラフィック」「JGD2011/Japan Plane Rectangular CS II (EPSG:6670)」、パラメーターのソースデータ「高密度クラウド」、内挿補間「有効(標準)」とし、ほかのところの設定は当初のままとしてOKをクリックすると、すぐにDEMが構築された。

今回はこれでうまくいったが、実のところ、パラメーター以下の設定がはたしてこれで正しいのかどうかはよくわかっていない。

- 作業を元に戻す場合のことを考慮して、生成されたDEM

の複製を作成する。

(操作手順) ワークスペースにある「DEM」のうえで右クリック>複製>OK

⑪ 10cm 間隔の等高線の作成

・(操作手順) ツール>等高線を作成

→今回の場合、パラメーターの最低高度 (m) は「144」(当初表示は 144.733)、最高高度 (m) は「157」(当初表示は 156.072) に設定。当初表示よりも高低域に若干の余裕をもたせた数値とした。

→また、間隔 (m) は「0.1」に設定。そして、「交差を防止」のチェックを外した。

※「交差を防止」にチェックをすると、「Contours simplification without intersections failed」(交差点のないコンターの単純化に失敗しました) との表示が出て、等高線が作成されなかった。間隔「0.2」にしても同様であった。理由はよくわからない。

・作成された等高線を表示する：(操作手順) ツールバーの「シェイプを表示」アイコンをクリック、または、モデル>項目を表示/非表示>シェイプを表示

等高線の標高値を表示する：(操作手順) モデル>項目を表示/非表示>ラベルを表示

※「⑧高密度クラウドの構築とその複製」の箇所述べたように、高密度クラウドの品質「高」、「中」、「低」のそれぞれから等高線を作成し(順に図 42, 43, 44)、その精度を比較した。

⑫メッシュの構築およびテクスチャーの構築：品質「中」および品質「高」

・品質「中」：(操作手順) ワークフロー>メッシュ構築

→一般の品質「中」、これ以外の一般および詳細の設定は当初のままとして OK をクリック。5,999,519 面のメッシュが構築された。

：(操作手順) ワークフロー>テクスチャー構築

→一般のテクスチャーサイズ/個数「4096 × 1」、これ以外の一般および詳細の設定は当初のままとして OK をクリック。

→3D モデル (5,999,519 面, 高品質) が作成され、その複製を作成。

・品質「高」：(操作手順) ワークフロー>メッシュ構築

→一般の品質「高」、これ以外の一般および詳細の設定は当初のままとして OK をクリック。17,998,556 面のメッシュが構築された。

：(操作手順) ワークフロー>テクスチャー構築

→一般のテクスチャーサイズ/個数「4096 × 1」、これ以外の一般および詳細の設定は当初のままとして OK をクリック。

→3D モデル (17,998,556 面, 高品質) が作成された。

⑬オルソモザイクの構築

・(操作手順) ワークフロー>オルソモザイク構築

→ダイアログボックスにある各項目の設定がよくわからなかったため、ひとまずパラメーターのサーフェイスのみを変更してオルソモザイクの構築を行うこととした。

→パラメーターのサーフェイス「DEM」の場合および「メッシュ」の場合の 2 種類を作成。

「DEM」の場合：「オルソモザイク DEM より (16722 × 28532, 9.33mm/pix)」が作成された。

「メッシュ」の場合：「オルソモザイク メッシュより (16720 × 28537, 9.33mm/pix)」が作成された。

※縦横の数字がわずかに異なるが、これら 2 つのオルソモザイクの見た目の相違は、人の目ではまったく認識できない。どちらを用いても大丈夫であると判断した。

⑭各古墳の最高点到にマーカーを設置

・座標データメニュー画面のマーカーの表示のところから右クリックし、次に「マーカーを追加」をクリックすると、新たに「point1」(座標値の欄は空白) が追加される。

・「point1」を右クリックし、「修正」をクリックすると、ダイアログボックス「座標を修正」が表示されるので、その Column の「東経 (m)」 「北緯 (m)」 「高度 (m)」 に、各古墳最高点の国土座標および標高の数値を入力する。すると、オルソ画像などの上にマーカー位置を示す旗が挿入される。

・この手順で、1 号墳の最高点 1MH、2 号墳の最高点 2MH および墳頂窪みの両肩 2MH1 と 2MH2、3 号墳の最高点 3MH および三角点 R1 にマーカーを設置した。

→この結果、三角点について、座標にもとづき設置したマーカー R1 の位置とオルソ画像に写る三角点標石の位置とのあいだに若干のズレが生じたため、マーカー R1 に関しては手動による位置調整を実施した。

※三角点において、その座標による位置とオルソ画像に写る標石の位置にズレが生じた理由はよくわからない。ただ、今回の測量に用いた 2 級基準点は平成 28 年 (2016 年) 熊本地震後に観測が行われており、また一等水準点は 1970 年以降観測が継続されていて熊本地震後にも正常が確認されているのに対し、三角点は 1974 年以降観測がなされていないとされる。このことを勘案すると、三角点は設置当初の国



図 42 品質「高」の高密度クラウドから作成した等高線



図 43 品質「中」の高密度クラウドから作成した等高線



図 44 品質「低」の高密度クラウドから作成した等高線

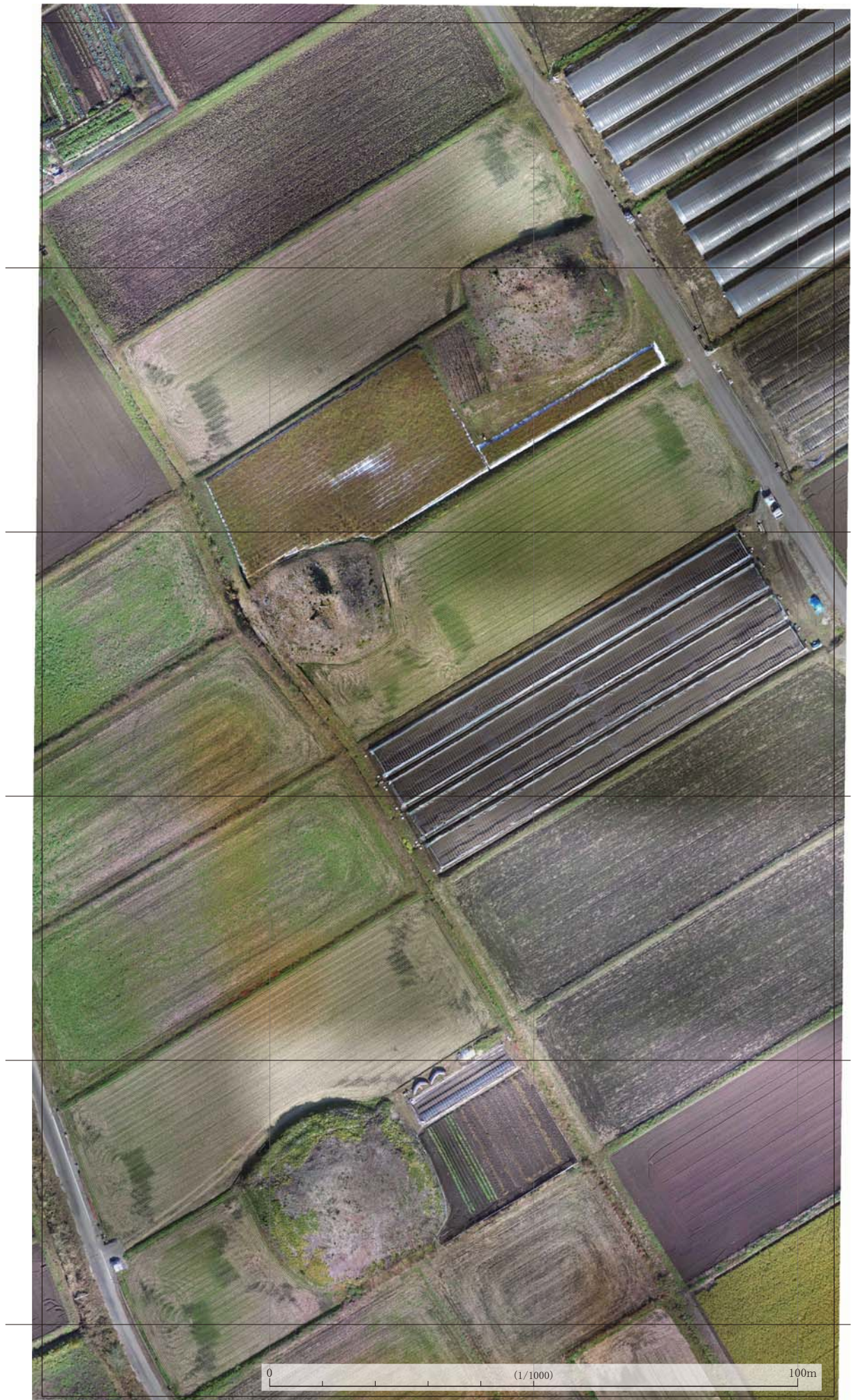


図 45 品質「低」の高密度クラウドから作成したオルソモザイク（平面オルソ画像）

土座標位置から、熊本地震などの影響により若干動いている可能性が想定される。

⑮各データの出力

- ・今回の場合、オルソモザイク、DEM、等高線、マーカーの4つを出力したが、AutoCAD や Illustrator での等高線処理に用いたのは、オルソモザイク、等高線、マーカーの3つであった。

【オルソモザイク（平面オルソ画像）】

- ・〈操作手順〉ファイル>エクスポート>オルソモザイクをエクスポート

→「名前を付けて保存」が表示されるので、ファイル名、ファイルの種類を指定して「保存」をクリック。

今回の場合、ファイルの種類をJPEGとした。

→ダイアログボックス「オルソモザイクをエクスポート」で次の設定を行った。

座標系 JGD2011/Japan Plane Rectangular CS II (EPSG:6670)

ラスタ 画素サイズ (m)

X : 0.01 (元表示 0.00933122 を 0.01 に変更)

Y : 0.01 (元表示 0.00933122 を 0.01 に変更)

領域 範囲設定

X : -13195 (元表示は -13195.767) -
-13040 (元表示は -13039.749)

Y : -86865 (元表示は -86865.680) -
-86600 (元表示は -86599.489)

※ピクセルサイズを0.01とし、範囲設定も上記のように整数にそろえると、領域の合計サイズ (pix) も 15500 × 26500 という整数値となった。

※すなわち、X 軸 155m、Y 軸 265m の範囲が設定されたことになる。また、出力される画像の左下隅の座標は (-13195, -86865) という整数値となる。このように整数値にそろえておくと、CAD ソフトの AutoCAD での位置合わせが容易になる。

圧縮 JPEG 品質 : 90

以上のほか、「World ファイルを書き込む」「タイルスキームを書き込む」「アルファチャンネルを書き込む」にチェックを入れたが、正直なところ、それらの意味するところはよくわかっていない。

→この設定で「エクスポート」をクリックすると、2021年12月作業時ではファイルサイズ 264,189KB の平面オルソ画像が出力された。しかし、同じ作業を 2022年8月に行くと、ファイルサイズは 113,634KB となった。このファイルサイズ差が生じた理由はよくわからないが、この間に Metashape が 1.7 から 1.8 にバージョンアップ

しているため、その影響である可能性が考えられる。

【DEM（数値標高モデル）】

- ・〈操作手順〉ファイル>エクスポート>DEM をエクスポート

→「名前を付けて保存」が表示されるので、ファイル名、ファイルの種類を指定して「保存」をクリック。

今回の場合、ファイルの種類を TIFF/GeoTIFF とした。

→ダイアログボックス「DEM をエクスポート」で次の設定を行った。

座標系 JGD2011/Japan Plane Rectangular CS II (EPSG:6670)

ラスタ 画素サイズ (m) 元表示のまま

※今回の場合、のちの等高線描画において DEM を用いないと思われたため、エクスポート時にピクセルサイズや範囲設定の数値をキリのいい数字としなかったが、本来は、「オルソモザイクをエクスポート」で行った設定と同じにそろえるべきなのかもしれない。

【等高線】

- ・〈操作手順〉ファイル>エクスポート>シェイプをエクスポート

→「名前を付けて保存」が表示されるので、ファイル名、ファイルの種類を指定して「保存」をクリック。

AutoCAD に読み込ませる場合、ファイルの種類を DXF files にする。

→ダイアログボックス「シェイプをエクスポート」で次の設定を行った。

座標系 JGD2011/Japan Plane Rectangular CS II (EPSG:6670)

シフト 元表示のまま

レイヤー 「Contours」にチェックする。

パラメーターをエクスポート 「シェイプのラベル」および「シェイプの属性」にチェックしない。

※これにより等高線のみが出力される。

【マーカー】

- ・〈操作手順〉ファイル>エクスポート>マーカーをエクスポート

→「名前を付けて保存」が表示されるので、ファイル名、ファイルの種類を指定して「保存」をクリック。

AutoCAD に読み込ませる場合、ファイルの種類を DXF files にする。

→ダイアログボックス「プロジェクション選択」で次の設定を行った。

座標系 JGD2011/Japan Plane Rectangular CS II (EPSG:6670)

(2) AutoCAD での作業－平面オルソ画像・等高線・マーカーの位置合わせ－

今回の作業において、CADソフトがはたす主要な役割は、座標や寸法の管理である。すなわち、Autodesk AutoCAD では、Metashape で出力した平面オルソ画像（オルソモザイク）、等高線、マーカーの位置合わせを行った。さらに、これに加えて、のちの Illustrator での作業を容易にするため、座標による位置合わせが必要な国土座標ラインやマーカー位置への十字記号の挿入のほか、報告書使用範囲を示す図枠の書き込みも行った。

ところで、CADソフトにもいろいろあり、フリーの Jw_cad なども試したが、今回の場合、Jw_cad ではファイルサイズの大きい平面オルソ画像を開くことができなかった。しかし、AutoCAD ではそれほどのストレスを感じることなく、作業を進めることが可能であった。AutoCAD はかなり高価なサブスクリプション制のソフトであるが、教育機関であれば無償の限定ライセンスを利用できる。

さて、以下に、私がつどった作業手順を箇条書きのかたちで記録する。

①等高線図（DXF 形式ファイル）の読み込み

- ・〈操作手順〉 AutoCAD 起動→開く＞ Metashape で出力した DXF 形式の等高線ファイルを選択しクリック
 - X 軸 Y 軸の交点を (0, 0) とした国土座標の位置に等高線図が展開される。
 - このとき、気になったのは展開された等高線図の縮尺である。これは、縮尺を考えながら図の作成を行う習慣が身につけている考古学研究者にとっては、よくある疑問なのではないかと思う。でも、CAD では常識のようだが、AutoCAD の場合も対象物を原寸で作図することである。しかし、今回の場合（あるいは Metashape で出力したデータの場合？）、表示された等高線図をそのまま印刷してみると、縮尺 1000 分の 1 になっているようであった。つまり、単位が mm となっており、本来であれば m で表される国土座標の一桁目は mm にて表されている。例えば、本来の国土座標 (-86800m, -13100m) は、(-86800mm, -13100mm) となっているということである。
 - AutoCAD で単位設定を行うには、アプリケーションメニュー（左上隅の A）＞図面ユーティリティ＞単位設定、の順に進むと、ダイアログボックス「単位管理」が表示され、そこにおいて単位の設定を行うことができるようだ。しかし、今回の場合、ダイアログボックス「単位管理」の挿入尺度には「単位なし」と表示されていて、それを変更することはしなかった。
 - なお、AutoCAD の場合、横軸が X 軸、縦軸が Y 軸となっ

ていて、国土座標とは縦横が入れ替わっていることには注意を要する。つまり、AutoCAD の表示画面をクリックすると、そのクリック位置の座標が画面に表示されるのだが、国土座標の Y 軸、X 軸の順に数字が表示されている。

- ・画層の整理：画層とはレイヤーのことで、読み込んだ等高線図や平面オルソ画像などは、それぞれ別の画層で管理される。
 - 〈操作手順〉ホーム＞画層プロパティ管理→ダイアログボックス「現在の画層」が表示される
 - 読み込んだ等高線図は「Contours」という名前の画層となっているので、適当な名前に変更する。なお、「Contours」画層の上に「0」という画層がはじめから存在しているが、「0」画層は名前の変更などができないので、以後、平面オルソ画像などを読み込む際は、新規作成した画層に読み込む方が、以後の画層管理が容易になる。

②平面オルソ画像（JPEG 形式画像）の読み込み

- ・画層の準備：ダイアログボックス「現在の画層」の上で右クリック→画層を新規作成で「画層 1」という新たな画層が追加されるので、適当な名前に変更する。
- ・〈操作手順〉新規作成した画層を選択した状態（「現在の画層」にする→挿入＞アタッチ→ダイアログボックス「参照ファイルを選択」が開くので、Metashape で出力した平面オルソ画像ファイルを選択＞開く
 - ダイアログボックス「イメージをアタッチ」が表示されるので、平面オルソ画像出力時の領域範囲設定に合わせて、挿入位置や尺度などを指定する。
 - 今回の場合、
 - 挿入位置：X = -13195、Y=-86865、Z=0（出力画像の左下隅の国土座標値）
 - 尺度：155（X 軸方向の実際の距離）
 - 回転：角度 = 0
 - 以上を指定したうえで OK をクリック→正しい国土座標位置に画像が挿入される。すなわち、①で先に読み込んだ等高線図との位置合わせが完了しているということである。
 - 平面オルソ画像と等高線図との重なり具合を確認したい場合は、平面オルソ画像の透過性を変更する。透過性の変更はダイアログボックス「現在の画層」において行うことができる。

③マーカー（DXF 形式ファイル）の読み込み

- ・いったん AutoCAD にマーカーの DXF 形式ファイルを単体で読み込む。

〈操作手順〉開く> Metashape で出力した DXF 形式のマーカーファイルを選択しクリック→ファイルが開いたら「名前をつけて保存」→ AutoCAD のファイル形式 (DWG 形式) で保存

- ・等高線図・平面オルソ画像を読み込んだファイルにマーカーのファイルを挿入する。

〈操作手順〉等高線図・平面オルソ画像を読み込んだファイルにおいて、挿入>挿入>ライブラリのブロック→ダイアログボックス「ブロック」が開く→タブ「ライブラリ」において、先に保存したマーカーの DWG 形式ファイルを選択→下に表示の「オプション」にある「挿入位置」のチェックを外す→すると、「挿入位置」の右に X、Y、Z が表示されるが、その数字を 0、0、0 のままとする→マーカーの DWG 形式ファイルを選択して右クリック→「挿入」→すると、等高線図・平面オルソ画像を読み込んだファイルに、正しい位置でマーカーのドットおよびマーカー名が挿入される。

→画層では、マーカーのドットは「Unknown_Point_feature」、マーカー名は「FeatureAttribs」の名前で管理されている。これらを適当な名前に変更する。

④さらに、高密度クラウドの別品質から作成した等高線図 (DXF 形式ファイル) を読み込ませる場合

- ・〈操作手順〉③のマーカー (DXF 形式ファイル) の読み込みと同じ手順→いったん AutoCAD に単体で読み込んで DWG 形式で保存したのち、それを挿入する。

⑤整数座標点の配置 (国土座標における整数の座標点を配置する)

- ・〈操作手順〉ホーム>作成▼>複数点→カーソル位置に「点を指定:」と表示され、X 座標および Y 座標の入力窓が開くので、そこに座標値を入力すると、その座標位置に点が配置される。

⑥整数座標線の配置 (国土座標における整数の座標点を通る直線=国土座標ラインを配置する)

- ・〈操作手順〉ホーム>作成の線分→カーソル位置に「1 点目を指定:」と表示され、X 座標および Y 座標の入力窓が開くので、そこに線分の始点となる座標値を入力して Enter →カーソル位置に「次の点を指定または↓」と表示され、線分の長さおよび角度の入力窓が開くので、そこに数値を入力して Enter →指定した長さ、角度で線分が配置され、カーソル位置にまた「次の点を指定または↓」が表示される→最初の線分配置のみで終える場合、すなわち次の点を指定しないで終える場合は、esc (あるいは右クリックして Enter)。

⑦マーカー位置への図形 (マーカー記号) の配置

- ・今回の場合、③で挿入されたマーカーのドットのままでは、Illustrator で開いた場合、ドットはアンカーポイント 1 点のみで表されていて加工が難しかったことから、AutoCAD の段階でマーカー位置へ線分で表示される図形 (マーカー記号) を配置することにした。

- ・すべてのマーカー位置に一斉に配置する方法
〈操作手順〉ホーム>ユーティリティ▼>点スタイル管理→ダイアログボックス「点スタイル管理」が開く→マーカー位置へ挿入したい点記号を選択する。点サイズは、「絶対単位のサイズ」にチェックすると指定した大きさの記号が挿入されるようだが、サイズが「mm」などではなく「単位」で示されていて、大きさのイメージが直感的につかみにくい→OK をクリックすると、③で挿入したすべてのマーカーのドットが指定した点記号に一斉に変換される。

- ・大きさを指定した記号 (今回の場合、1.4mm の十字記号) を作図して 1 点ずつ配置する方法

〈操作手順〉

作図: ホーム>作成の線分→長さ 1.4mm の縦線と横線を作成 (この段階では縦横の線分が十字に合わさってなくてもよい)。

次に、縦線あるいは横線のいずれかを移動させて十字を作るのであるが、その際、線分の中点で交差させたいので、移動において中点にスナップされるように、前もって、右下にある「オブジェクトスナップ設定」において「中点」や「交点」にチェックを入れておく。

縦線あるいは横線のいずれかをクリックし選択→修正の移動>選択した線分の上へカーソルを移動させると移動の起点として「中点」が選択できる (△が表示される) →クリック→次に移動先のもう 1 つの線分へカーソルを移動させると、移動先の線分の中点を選択できる (△が表示される) ので、そこでクリック→すると、最初に選択した線分が移動し、中点同士で交差した十字記号が作図される。

移動: 作図した十字記号を選択→ホーム>修正の移動>十字記号の中心を移動の基点として選択→③で挿入したマーカーのドット上に十字記号を移動させる。これで、マーカーのドットの 1 つに十字記号が配置される。次に、この十字記号をほかのマーカーのドット上に次々と複製していく。

複製: 1 つのマーカー上に移動させた十字記号を選択→ホーム>修正の複製>十字記号の中心を複製の基点として、ほかのマーカーのドットを次々にクリックしていくと、連続して十字記号が複製される。

⑧マーカー名の文字の配置

・今回の場合、③で挿入されたマーカー名の文字が大きすぎて、どのドットのマーカー名なのかを認識しにくかったため、マーカー位置の近くに適度な大きさの文字でマーカー名を書き込んだ。

・〈操作手順〉

ホーム>注釈▼>文字スタイル管理→フォントを選択する。また、サイズの「異尺度対応」のチェックを外して「高さ」を指定。ただし、この高さの単位についてもよく理解できていない→「新規作成」で文字スタイルを記憶させることが可能。次に、実際に文字を入力し配置していく。

ホーム>文字>マルチテキスト→文字入力窓の位置を指定→テキストエディタが表示されるのでマーカー名を入力する。

⑨報告書使用範囲を示す図枠の配置

・今回の場合、A4判縦の用紙に四ツ塚古墳群の円墳3基とその周辺地形を表すこととしたが、それにふさわしい縮尺は1000分の1であった。そして、その図枠の大きさを縦260mm、横150mmとした。

・〈操作手順〉ホーム>作成の長方形→左下隅の座標：X = -13193.1, Y = -86863.6、左下隅からの距離：縦 = 260, 横 = 150と指定

⑩Illustratorで読み込むことのできるファイル形式（DXF形式）で保存

・〈操作手順〉名前をつけて保存→ファイルの種類「AutoCAD 2018 DXF (*.dxf)」

(3) Illustratorでの作業—等高線の修正、人工物（畦畔・道路等）の書き込み—

Adobe Illustratorでは、Metashapeで作成した等高線の修正、および畦畔や水路、道路などの人工物の書き込みを行った。CADソフトでも作図は可能だが、使い慣れていることもあって私にとってはIllustratorのほうが作図作業は容易である。なお、作図作業では液晶タブレットを使用した。

Illustratorは、昨今の考古学研究者にとってはおなじみの描画ソフトである。したがって、ソフトの操作手順を逐一記すことはせず、作業中に気付いた点などを中心にまとめておきたい。

DXF形式ファイルの読み込み さて、AutoCADで作成したDXF形式のファイルをIllustratorで読み込むと、ファイルが展開される前にダイアログボックス「DXF/DWGオプション」が開く。ここでは「アートワークの倍率」が選択で

きるようだが、今回の場合、「元のサイズ」を選択した。ファイルが開くと、AutoCADの画層はそれぞれIllustratorのレイヤーとして展開される。レイヤーの順番は、画層の作成順となっているようだ。また、線の太さはすべて0.25mmとなっていた。展開されたファイルを、Illustratorのファイル形式（AI形式）で保存すると、DXF形式時と比べてファイルサイズが約2倍となった。

作業の手順 Metashapeで等高線を作成する際、構築された高密度クラウドの点群をほぼそのまま使用した。信頼性の低い点群（ノイズ）を削除したとはいえ、水田にある稲刈り後の株跡や畑にある畝、ビニールハウスなど、Metashapeが古墳の等高線を描くうえでは不要と思われる箇所点群さえ削除しなかった。これは、畦畔や水路、道路などの輪郭の目安となる等高線は描いて欲しかったから、そうした部分の等高線を描くうえが必要となる点群まで削除してしまうことを恐れたためである。そのため、Metashape作成の等高線図には、水田や畑の耕作面に、明らかに不要な等高線が密に描き出されていた（図42～44）。そこで、Illustratorでの作業は、①明らかに不要だと判断される等高線の削除からはじめ、その後、②畦畔や水路、道路などの輪郭線の書き込み、③古墳の墳丘部の等高線の修正、の順で行うこととした。

畦畔・水路・道路等の輪郭判断の困難さ 平面オルソ画像とその上に重ねた等高線図を参照しながら、畦畔や水路、道路などの輪郭線を書き込んでいったのだが、判断に迷う箇所や不明な箇所が相当にあった。平面オルソ画像を大きく拡大したり、あるいはドローンによる空撮写真を参照したりするなどしたのだが、室内作業だけでは限界があった。そこで、判断できる限りの輪郭線などを書き込んだ画像を大きく拡大して印刷し、それをもって現地での確認作業を実施した。（2022年2月13・15日）

その結果、背の高い雑草が水路を覆うように生えていた箇所において、水路の暗渠部分を見逃していたことが明らかとなった。また、畦畔同士や畦畔と道路との接続部分のわずかな傾斜を認識できておらず、正しい線表現となっていない箇所も多かった。下草が多く茂っている畦畔では、上端の位置に誤りがみられた。

このように、平面オルソ画像などを用いた室内作業だけではすべての地形を正しく書き込むことができず、現地での確認作業の重要性をあらためて痛感することとなった。

墳丘部等高線のすべてを修正 今回の測量では、古墳の墳丘部にのみ等高線を描くこととしたが、Metashapeでの解析をはじめると、Metashapeが描いた等高線を一定程度そのまま使うことができるのではないかと考えていた。しかし、結局のところ、すべての等高線をあらためて書き直すこととなった。

その理由は、Metashape 作成の等高線図では、ごくわずかな微地形までも反映した等高線が描き出されていたことである。墳丘部に背の低い草木があることは現地作業時に認識しており、そうした箇所については等高線の修正が必要になると考えていた。しかし、高密度クラウドの点群をもとに描き出された等高線の微地形反映度は想像以上のもので、素直な曲線（カーブ）をなしている箇所はほぼなかった。地形測量を平板測量で学んだ私にとっては、あまりにもくねくねと曲がりすぎているように思われた。また、その等高線の屈曲部が曲線（カーブ）ではなく折れ線となっている点も、等高線としてはふさわしくないと感じられた。そのため、相当の手間ではあったが、すべての等高線をあらためて描き直すことにしたのである。

なお、高密度クラウドの品質「高」で生成された点群から描き出された等高線図（図 42）と品質「低」の点群からの等高線図（図 44）を見比べてみると、品質「低」の点群をもとにした等高線の方が素直なラインを描いているように見える。しかし、それでも、等高線の屈曲部が折れ線となっていることには変わりがない。したがって、今回の作業においては、すべてを描き直すのであれば、品質「高」の点群を

もとに作成された等高線図（図 42）を下図にした方が、より精度の高い等高線を描くことができると判断した。

そのようにして作成した四ツ塚古墳群測量図が図 11 である。また、図 17・23・29 は、四ツ塚古墳群に残る 3 基の円墳それぞれの測量図である。図 11 の等高線間隔は 20cm、図 17・23・29 は 10cm 間隔としている。

引用・参考文献

- 石塚直樹・岩崎亘典・坂本利弘・森下瑞貴 2021『ドローンを用いたほ場計測マニュアル（不陸（凹凸）編改訂版＋（応用事例編））』農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター
- 小林裕之 2020『ドローンによる空撮と画像解析のやり方ー施業計画の立案や資源量把握のためにー』富山県農林水産総合技術センター森林研究所
- 中村亜希子『中村による、考古学徒のためのフォトグラメトリを使った遺物の三次元計測講座』第 1 回～第 7 回、YouTube チャンネル：<https://www.youtube.com/@Gatousai>（2023 年 1 月 25 日アクセス可能）
- 芳賀百合 2021『AutoCAD パーフェクトガイド』改訂 2 版、技術評論社

IV おわりに

－ 3次元デジタルデータをどのように活用すればいいのか－

1 3次元デジタルデータの提供、共有、保管・管理

上記第Ⅲ章で示した作業手順によって、四ツ塚古墳群の測量図(図11・17・23・29)を作成した。しかし、その作成作業途中から、はたしてこれでいいのだろうかと考えていたことがある。それは、3次元デジタルデータから生成された等高線になめらかさがないからといって、そのすべてを描き直すことがはたして正しいのかという点である。せっかく3次元デジタルデータが得られたのであるから、またそれをもとにして書き出された等高線なのであるから、それをそのまま提示することの方が正しいデータの提示の仕方なのではないか。人の判断にもとづいてすべてをあらためて書き直したら、何のためにパソコンソフトに描出させたのかわからないではないか。客観性が損なわれないか。そのような思いから逃れられなかった。

しかし、そうはいつでも、自然地形においては鋭い角をなすような地形は滅多にないから、等高線が折れ線となり、しかもくねくねと曲がりすぎていることはどうみても不自然で、描き直さずにはいられなかった。

ここで考えなければいけないのは、調査によって得られた生データの提示の仕方である。

紙に描かれた従来の手測りによる現場図面であっても、それを報告書に掲載するときは、調査者が現場図面に書き込まれた情報を整理したうえで製図し、線面に仕上げるといった過程を経る。したがって、生のデータ、すなわち紙に描かれた現場図面そのものが提示されることはない。しかし、この場合の生のデータ、すなわち現場図面も、そして報告書に掲載される線面も2次元のデータであるから、たとえ元の生データの情報に取舍選択、加筆修正がなされていたとしても、生データ(現場図面)が報告書掲載図面になる過程でのデータの劣化はほとんど気にされなかったといえる。むしろ、調査者によって生のデータが整理されるので、生データそのものが提示されるよりはるかにわかりやすいかたちに変換されているといえる。

今回のように、3次元デジタルデータを2次元の等高線図に変換し、さらに等高線をなめらかな線に描き直すことも、生データをわかりやすくしている点では同じである。人間の認識能力には限界があるから、デジタルデータのまま3次元データが提供されたとしても、遺跡や遺構、遺物の情報をすぐに知りたい人はおそらく困惑するだけだろう。3次元

の生データのままで情報は情報量が多すぎるのである。したがって、人がすぐに認識できる程度、すなわち2次元のかたちにデータの圧縮がなされることの意義が失われることは決してない。

しかし、遺跡や遺構、遺物の保護・活用という観点に立つとき、やはり気になるのは、3次元デジタルデータを2次元の線面にする過程におけるデータの劣化である。ここにおいて、3次元デジタルデータがもつ情報の相当程度が失われている。これでは、何のために3次元計測をしているのかわからないではないか。

考古学調査・研究において、今後ますます3次元計測が用いられるようになることは確実である。その際、考えるべきことは、そうして得られた3次元デジタルデータをどのように提供、共有、保管・管理するのかである。文化財の経年劣化を確認する際、あるいは災害後の文化財被災状況を調べる際、すぐに利用できる3次元デジタルデータの有用性ははかりしれない。

デジタルデータの提供、共有においては、従来もなされているように、データを格納したDVDなどを報告書に添付することはもっとも手軽な方法の1つである。しかしその場合、格納することのできるデータの大きさには限界があるので、たとえばSfMの解析に用いたデジタル写真データなどをすべて提供することはきわめて困難である。その対策としては、希望する方には生データの提供が可能である旨を報告書に記しておくことも一案であろう。

デジタルデータの保管・管理は、もっとも頭を悩ませている問題の1つである。大学では、教員個人の裁量で調査・研究活動が行われる傾向が強いため、調査・研究で得られた資料やデータの保管・管理も個人に任せられることが一般的である。それでも、実習として実施する発掘調査や報告書作成作業の場合、従来の紙に描かれた図面あるいは写真フィルムなど、モノとして存在している資料(データ)であれば、教員が退職した後でも、研究室共有のキャビネットなどに収納しておきさえすれば、人を介さずとも次の世代に確実に引き継がれる。しかし、デジタルデータの場合、その更新は人の手によって定期的に行われなければならない。そのため、教員個人の裁量権が強い、そして学生をはじめ人の入れ替わりの激しい大学では、デジタルデータの次世代への継承はそれほど容易な作業ではない。

いま私は、複数のハードディスクに加えて、個人で契約しているクラウドサービスのオンラインストレージにもデジタル

データを保管している。しかし、3次元計測を行うようになって以来、デジタルデータの増加速度が加速度的に増している、現状の保管システムだけでは近い将来破綻することは確実である。文化財保存の見地からすれば、少なくとも発掘調査や測量調査にかかわるデータだけでも、私の手を離れても次の世代へ長く伝わるようにする必要がある。そのためには大容量のサーバーで管理することがもっともふさわしいようにも思うのだが、その実現はそう簡単なことではない。デジタルデータの将来への継承問題は、頭の痛い、しかし放置してはおけない喫緊の課題であると思っている。

さて、本書には、今回の調査にかかわるデジタルデータのうち、Metashape で出力したオルソモザイク、DEM、等高線、マーカーのデータ、AutoCAD で作成した DWG 形式のデータおよび Illustrator で読み込み可能な DXF 形式のデータ、Illustrator で作成した等高線図のデータ (AI 形式) を格納した DVD を添付した。AutoCAD での作業以降のみであるが私がたどった手順を確認することもできると思うので、ご関心に応じてさまざまにデータを利用していただければ幸いである。

2 3次元デジタルデータを調査現場で利用するうえでの1つの課題

2022年夏、横穴式石室を対象にした発掘調査実習を実施した [田中編 2023]。このときの調査参加学生は、石室調査のみならず発掘調査でさえほとんど経験のない学部生ばかりであった。そのため、石室内埋土の掘り下げにも手間取ったが、それ以上に調査区の設定や石室の割り付けなどの測量に苦労した。

石室実測の時間は、石室構造をじっくりと観察する時間である。手測りで寸法を計測し、その数値をもとに図を仕上げていくという作業は、モノをみる目を鍛えることに通じる。そのため、本来であれば、学生たちには手測りによる石室実測作業を経験してほしいところであったが、調査期間が限られていたため、線引きの下図として3次元計測によるオルソ画像を用いることにした。ただし、この場合、オルソ画像に

みえる石材の輪郭や稜線をなぞるだけとはいっても、現場で実際の石室を観察する作業は欠かせない。とはいえ、学生たちは皆、はじめての遺構実測であったにもかかわらず、すべてを手測りで行うことに比べて、おそらく4～5倍のスピードで実測図を仕上げてくれた。しかも、オルソ画像をもとにしているから、計測誤差の心配をする必要がない。発掘調査現場で3次元計測を利用することの効用ははかりれない。

しかし、今回の場合、3次元デジタルデータを処理し、石室実測の下図に仕上げるまでの作業は、すべて私が担うこととなった。調査現場で撮影した写真をその日のうちに解析・処理し、翌日の実測作業に間に合わせなければならない。そのためには、高性能のパソコンが必要であり、そもそもデータ処理に慣れていなければならない。そうした一連の作業をすべて任せることのできる学生がいなかったのである。私にのしかかる負担は、相当に大きかった。

ここに、3次元デジタルデータを調査現場で効率よく利用するうえでの課題の1つがあると感じる。すなわち、データ処理を担う人材の確保である。

調査現場で得られたデータをデジタル回線で整理作業室に転送し、専属のデータ処理担当者が即解析にとりかかる。データ処理が終われば、すぐに調査現場に送り返す。こうしたデータ取得とデータ処理の分業体制が確立できれば、きわめて効率的に作業が進むはずである。3次元デジタルデータがいくらすばらしくても、それを的確に扱うことのできる人材と体制が整えられなければ、その利用はなかなか前には進まない。

人員が少なく、かつ次々と学生の入替わる我が大学でこれを達成することはきわめて難しいと思うのだが、少しずつでも必要器材をそろえ、また3次元デジタルデータの扱いに慣れた学生を育てていきたいと思っている。

引用・参考文献

田中 敦編 2023 「立山山南麓古墳(上)調査報告2」『考古学研究室報告』第58集、熊本大学文学部考古学研究室：pp.1-26

挿図・表出典

図 2：国土地理院発行の 20 万分の 1 地形図（八代および延岡）を複製のうえ杉井健作成

図 3：国土地理院発行の 5 万分の 1 地形図（人吉）を複製のうえ杉井健作成

図 4：国土地理院ホームページ電子国土 Web の標準地図を用いて杉井健作成

図 5：脇坂公康編 1966 の付図 2 を転載

図 11・17・23・29：杉井健作成

図 34：前田（木庭）真由子実測・製図

図 39：国土地理院ホームページ電子国土 Web の傾斜量図を用いて杉井健作成

図 40～45：杉井健作成

表 1：杉井健作成

なお、本書に用いた写真はすべて杉井健の撮影による。

報告書抄録

ふりがな	どろんによるくさつしゃしんをもちいたくまもとけんくまぐんにしまちよつづかこふんぐんのそくりようちようさ ーそのせい、てじゆん、かだいー
書名	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 ーその成果、手順、課題ー
副書名	
巻次	
シリーズ名	
シリーズ番号	
編著者名	杉井 健（編著）、第II章第5節の家形埴輪片の所見は前田（木庭）真由子
発行機関	熊本大学文学部
所在地	〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目40-1 TEL.096-344-2111（代表）
発行年月日	2023年3月31日

ふりがな 所収遺跡名	所在地	コード		北緯	東経	調査期間	調査面積	調査原因
		市町村	遺跡番号					
よつづかこふんぐん 四ツ塚古墳群	熊本県 球磨郡 錦町 木上南	43501	501-050	(1号墳) 32° 13' 01"	(1号墳) 130° 51' 38"	2021/11/18 ～ 2021/11/21	43,428 m ²	学術調査
				(2号墳) 32° 13' 05"	(2号墳) 130° 51' 38"			
				(3号墳) 32° 13' 06"	(3号墳) 130° 51' 40"			
備考	北緯と東経は1～3号墳それぞれの墳頂最高点（順に1MH,2MH,3MH）の位置による。							

所収遺跡	種別	主な時代	主な遺構	主な遺物	特記事項
四ツ塚古墳群	古墳	古墳時代中期後半～ 後期	墳丘（すべて円墳）	3号墳：家形埴輪片	空撮写真からの測量図作成

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
ーその成果、手順、課題ー

発行年月日 2023年3月31日

編集著作 杉井 健

発行 熊本大学文学部

〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-40-1

電話：096-344-2111（代表）

096-342-2421（杉井研究室）

印刷 シモダ印刷株式会社

〒862-0951 熊本市中央区水前寺2-16-16

電話：096-383-5512

YOTSUZUKA TUMULUS GROUP



March 2023

Faculty of Letters
University of Kumamoto