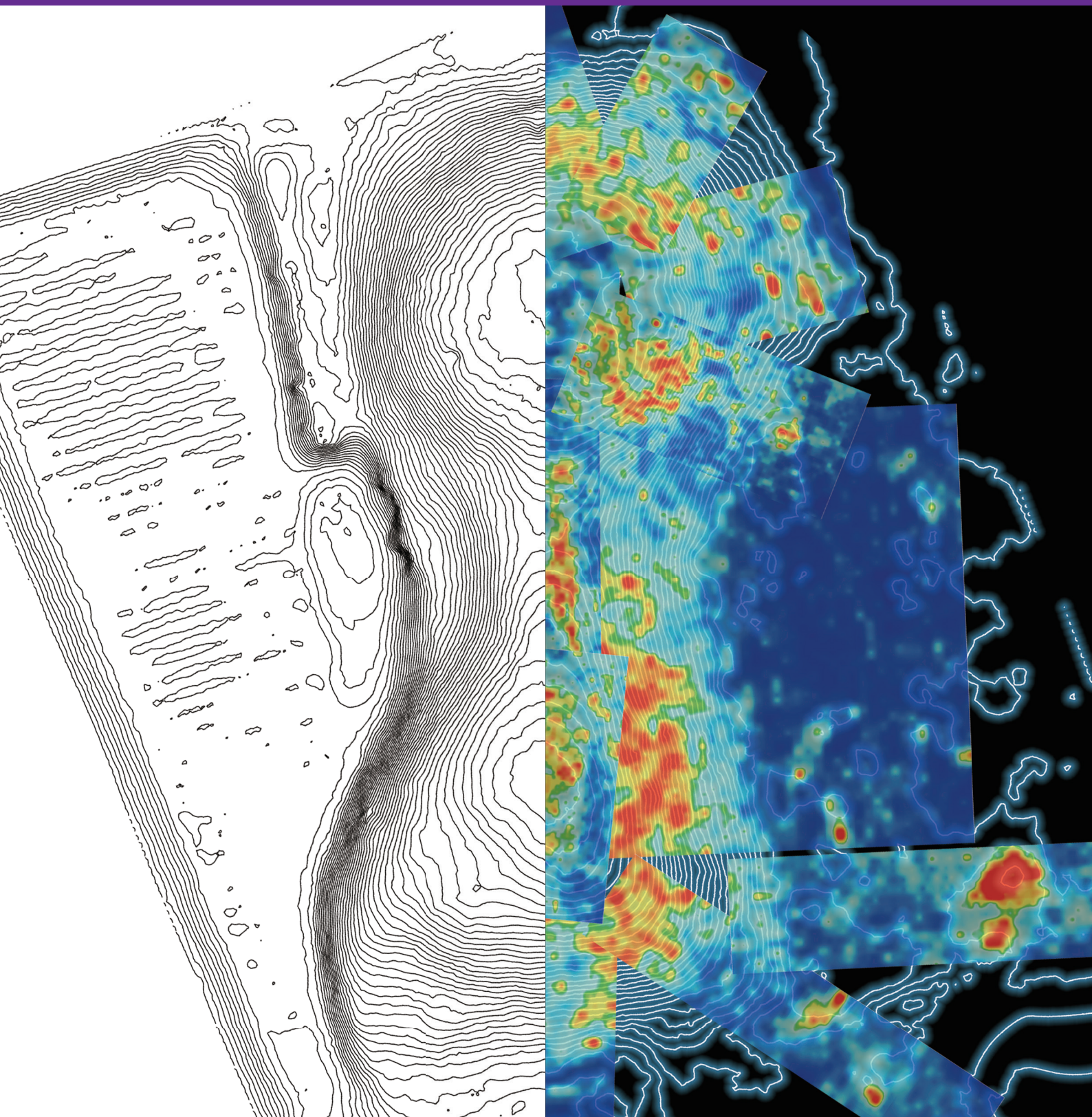


埼玉県行田市 埼玉愛宕山古墳の測量・GPR調査



本文目次

本文目次・図版目次・例言

はじめに（城倉）	1
1. 調査の経緯・体制・経過（城倉）	1
1-1 調査の経緯	1
1-2 調査の体制	1
1-3 調査の経過	2
2. 埼玉愛宕山古墳の調査研究史（杉崎・ナワビ・田邊えり）	2
2-1 立地と環境・現況	2
2-2 既往の調査	2
2-3 築造後の自然環境	4
2-4 出土遺物	4
2-5 築造時期	4
2-6 今後の課題	7
3. トラバース・水準・地形測量の成果（城倉）	7
3-1 調査方法	7
3-2 トラバース・水準測量	7
3-3 地形測量	12
4. 地中レーダー（GPR）探査の成果	12
4-1 調査方法とレーダー区の設定（城倉）	12
4-2 墳丘・周溝のGPR成果（呉・田邊凌基・高橋）	18
4-3 墳頂および後円部東南斜面のGPR成果（横溝・岸田・李）	22
4-4 東北大学のGPR成果（佐藤・齋藤）	22
4-5 東京工業大学のGPR解析（亀井・宮前）	24
5. 調査成果の総括（城倉）	31
おわりに（城倉）	31
引用文献・図表出典一覧・執筆者一覧・出版シリーズ・報告書抄録・奥付	

図版目次

図 1	埼玉古墳群の構成と愛宕山古墳の位置	3
図 2	愛宕山古墳の既往調査区	5
図 3	愛宕山古墳出土遺物（円筒埴輪・形象埴輪・須恵器）	6
図 4	トラバース路線	8
図 5	愛宕山古墳の調査写真	10
図 6	愛宕山古墳の現況写真	11
図 7	点群測量の範囲（48,088 点）	13
図 8	愛宕山古墳の測量成果（0.1m Contour）	14
図 9	愛宕山古墳の測量成果（0.1m Contour + 0.2m Slope）	15
図 10	既存測量図との比較①（黒：行田市公図／赤：0.1m Contour）	16
図 10	既存測量図との比較②（黒：埼玉県教育委員会 2018 p82 図 42／赤：0.1m Contour）	17
図 11	レーダー区の配置（0.1m Contour）	19
図 12	愛宕山古墳のレーダー探査成果（0.1m Contour）	20
図 13	埋葬施設の可能性がある GPR 反応（R2・R3・R4）	21
図 14	RTK-GNSS の計測概念（左）と実際の計測（右）	23
図 15	GPR-C スキャン（上：深度 0mm／下：深度 506mm）	23
図 16	GPR の立体イメージ	25
図 17	R3 区：Time window の周期を変えた Time Slice	26
図 18	R3 区：東西方向（a）と南北方向（b）走査の比較	28
図 19	R3 区：Time slice のマッピング（上）と Y=2.5m の Profile（下）	29
図 20	愛宕山古墳における調査成果の総括	30
表 1	愛宕山古墳の基準点・レーダー区座標一覧	9
表 2	愛宕山古墳のレーダー区属性一覧	18

例言

1. 本報告は、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所、埼玉県立さきたま史跡の博物館が共同で実施した埼玉県行田市埼玉愛宕山古墳の測量・GPR 調査の概要報告書である。本書は、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所の「デジタル調査概報」シリーズの第 4 冊として刊行した。紙媒体による印刷はせず、早稲田大学リポジトリ、および全国遺跡報告総覧に PDF を公開する方法による出版とした。
2. 調査は、2021 年 9 月 2 日～7 日（補足：10 月 5・6 日）に実施した。
3. 本書の執筆・作成分担は、本文目次・図表出典一覧に明記した。編集は、Adobe Indesign を用いて城倉が行った。また、表紙デザインは高橋が担当した。なお、報告書抄録は、巻末に記載した。
4. 調査に際しては、下記の方々にご指導・ご協力を賜った。記して感謝を申し上げたい。
青笹基史・篠田泰輔・土屋隆史・馬場匡浩。
（五十音順、敬称略）

はじめに

古墳時代後期の東国を代表する古墳群である埼玉古墳群は、2018年に総括報告書（[埼玉県教育委員会 2018](#)）が刊行され、2020年3月、特別史跡に指定された。その後も、鉄砲山古墳の発掘報告書（[埼玉県教育委員会 2020](#)）が刊行され、二子山古墳の発掘報告書も刊行準備が進んでいる。2021年秋季からは、愛宕山古墳の発掘調査が開始された。

愛宕山古墳は、墳丘長 54.7m、後円部径 26.4m、前方部幅 31.4m、二重の台形周溝を持つ古墳と報告されており、埴輪の分析から埼玉古墳群Ⅲ期前半（生出塚Ⅱ期後半）、將軍山古墳と同時期に位置付けられている（[城倉 2011](#)）。副系列墓に位置付けられる小型の前方後円墳ではあるが、前方部が発達した優美な平面形と2段築成の立体構造、台形二重周溝など、埼玉古墳群内での「首長墓」として十分な風格を備えている。生出塚 21・22号窯で製作された3条4段のDE9A類の円筒埴輪が愛宕山古墳に、4条5段のDE9B類の円筒埴輪が將軍山古墳に供給されているように、両古墳の深い関係性も注目出来る。

しかし、愛宕山古墳は墳丘西側が菖蒲畑に利用されるなど、大きく削平されており、造り出しの有無が不明で、正確な段築の位置も不明瞭である。また、現状では埋葬施設の情報も全く確認されていない。これらの点は、今後の発掘調査で明らかになる点が期待されるものの、その前に詳細な地形情報や地中レーダー（GPR）探査などの非破壊的手法による地中情報の取得が急務である。以上の問題意識に立ち、2021年9月に埼玉県立さきたま史跡の博物館の依頼を受けて、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所が、三次元測量・GPR調査を実施した。本書は、その成果に関する概要報告である。

1. 調査の経緯・体制・経過

1-1 調査の経緯

調査の経緯は、以下の通りである。

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所は、国内外で遺跡・遺構の非破壊調査を進めてきた。特に、古墳の調査では、三次元測量・GPR調査の方法論確立に力を入れてきた（[城倉編 2020a・2020b](#)）。埼玉古墳群でも、2018年度に二子山古墳、2019年度に丸墓山・瓦塚・鉄砲山古墳の測量・GPR調査を実施し、報告書作成に向けて準備を進めている。一方、埼玉県立さきたま史跡の博物館が2021年度秋季から愛宕山古墳の発掘調査を開始することになり、発掘前の測量・GPR調査に関して早稲田大学に依頼があった。そのため、2021年4月7日に現地で打ち合わせを実施し、2021年5月22日～25日、5月29日～31日に調査を計画したが、コロナの流行に伴う緊急事態宣言の発出を受けて、調査が延期となった。その後、大学の研究出張に対する基準が緩和されたため、大学院生のみでの調査とし、改めて研究出張届を提出し、許可を得ることができた。調査は2021年9月2日～7日（6日間）に実施し、雨のため水没した西側区画の補足調査を10月5・6日に実施した。

調査費用に関しては、埼玉県立さきたま史跡の博物館より報償費の支給を受け、それ以外は教員・学生で自己負担した。また、GPR調査に関しては、東北大学の佐藤源之氏、元東京工業大学の亀井宏行氏らにご協力いただいたが、この費用に関しても各自でご負担をいただいた。調査成果に関しては、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所のデジタル調査概報で報告することとし、早稲田大学・埼玉県立さきたま史跡の博物館の共同での成果発表とした。執筆は、調査参加者を中心に行った。なお、調査に際しては、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所と埼玉県立さきたま史跡の博物館の間で、「特別史跡埼玉古墳群の学術調査に関する協定書」（令和3年4月20日）を締結した。

1-2 調査の体制

調査の体制は、以下の通りである。

【対象】特別史跡：埼玉古墳群（愛宕山古墳）。／【所在地】埼玉県行田市埼玉 5206 番イほか。／【調査期間】2021年9月2日～7日、10月5・6日。／【調査機関】早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所、埼玉県立さきたま史跡の博物館。／【調査担当】城倉正祥・田畑幸嗣（早稲田大学文学学術院・教授）。／【調査指導】近藤二郎・高橋龍三郎・長崎潤一・寺崎秀一郎（早稲田大学文学学術院・教授）。／【参加者】佐藤源之（東

北大学・教授)、亀井宏行(東京工業大学・名誉教授)、宮前知佐子(東京工業大学博物館・学芸員)、齋藤龍真・Tsogtbaatar Amarsaikhan(東北大学・ポストドクター)、ナワビ矢麻・田邊えり(埼玉県立さきたま史跡の博物館・学芸員)、呉心怡(早稲田大学文学学術院・助手)、伝田郁夫・杉崎茂樹(早稲田大学大学院文学研究科博士後期課程)、田邊凌基・高橋亘・李承叡・横溝優・岸田彩(早稲田大学大学院文学研究科修士課程)。※以上の肩書は、調査実施当時。

1-3 調査の経過

調査の経過は、以下の通りである。

【2021.4.7】愛宕山古墳で現地打ち合わせ。【2021.9.2】AMに博物館で挨拶と打ち合わせ。PMよりW1-3路線のトラバース測量、水準測量。R1-R3のレーダー区を設定。【2021.9.3】開放トラバースでWK1-WK4を設定、区内水準測量。LN5台で点群測量。R4-R7を設定。【2021.9.4】LN5台で点群測量。R8-R13を設定。【2021.9.5】LN5台で点群測量。R1-R9(450MHz・0.5m間隔)を走査。午後から東北大学チームが合流。東北大学がR1・R3を走査。【2021.9.6】R1・R3(160MHz)、R3(450MHz・0.2m間隔)、R8(450MHz)を走査。東北大学がR2・R4を走査。【2021.9.7】W4-W5のトラバース測量、水準測量。LN5台で点群測量。R14・R15を設定し、450MHzで走査。夕方に博物館で挨拶をして、21時に大学帰着。

なお、9月2日～7日に予定の作業が終了しなかったため、以下の通り、2日間の補足調査を実施した。

【2021.10.5】R2・R3・R4(450MHz・0.25m間隔)を走査。【2021.10.6】R10・R11・R12・R13(450MHz・0.5m間隔)を走査。PMに撤収作業をして、18時に大学帰着。

また、調査終了後に早稲田大学、東北大学、東京工業大学のメンバーで、対面・オンライン併用のハイフレックス方式により、10月1・15日にGPR検討会を開催した。

2. 埼玉愛宕山古墳の調査研究史

2-1 立地と環境・現況

愛宕山古墳は埼玉県行田市埼玉に位置する埼玉古墳群内の前方後円墳で、古墳群中に現存する8基の前方後円墳のうち最も小型である(図1)。その名前が文献に最初に登場するのは、高木豊三郎が昭和11(1936)年に記した『史蹟埼玉』で、「大字埼玉二子山の西方約一七〇米の地にあり、是亦前方後圓墳で、もと愛宕神社奉祀せられしよりこの名がある。」(高木 1936)とあり、かつて後円部墳頂にあった愛宕社が名前の由来とされる。

埼玉古墳群は、周辺沖積地との比高がほとんどない南北に長いローム台地上にある。愛宕山古墳は、埼玉古墳群の中で西側に位置する。県内最大の前方後円墳である二子山古墳の西側に、近接して築かれる。墳丘の規模は、主軸長54.7m、後円部径26.4m、前方部幅31.4mとされるが、後述するように墳丘の調査箇所が限定的であるため推定部分が多い。現況での後円部高は3.6m、前方部高は3.7mである。前方部を南西に向け、主軸方向角はN-50.5°-Eである(埼玉県教育委員会 2018)。古墳には民家や道路が隣接しており、部分的に削平を受けている可能性がある。特に、墳丘西側面は後円部くびれ部付近から前方部前端にかけて土取りにより崖状を呈する。墳丘西側は一段低い菖蒲田となっており、原地形の復元を困難にしている。墳丘西側の一帯は、季節により滞水する場合もある。

2-2 既往の調査

昭和43(1968)年の『さきたま風土記の丘』構想に基づく整備開始時に、古墳群内最小の前方後円墳という理由から、愛宕山古墳が発掘調査の候補に挙げられた。しかし、最終的には愛宕山古墳ではなく、稲荷山古墳が発掘されることとなった経緯がある。この経緯については、稲荷山古墳の報告書(埼玉県教育委員会 1980)のp2に、以下の記述がある。

このようにして「さきたま風土記の丘」建設事業は昭和42年～43年の2年継続事業として国庫補助を得て実施することに決定したのである。当初案では各古墳の伐開工事、二子山古墳の周溝復原、愛宕山古墳の発掘、

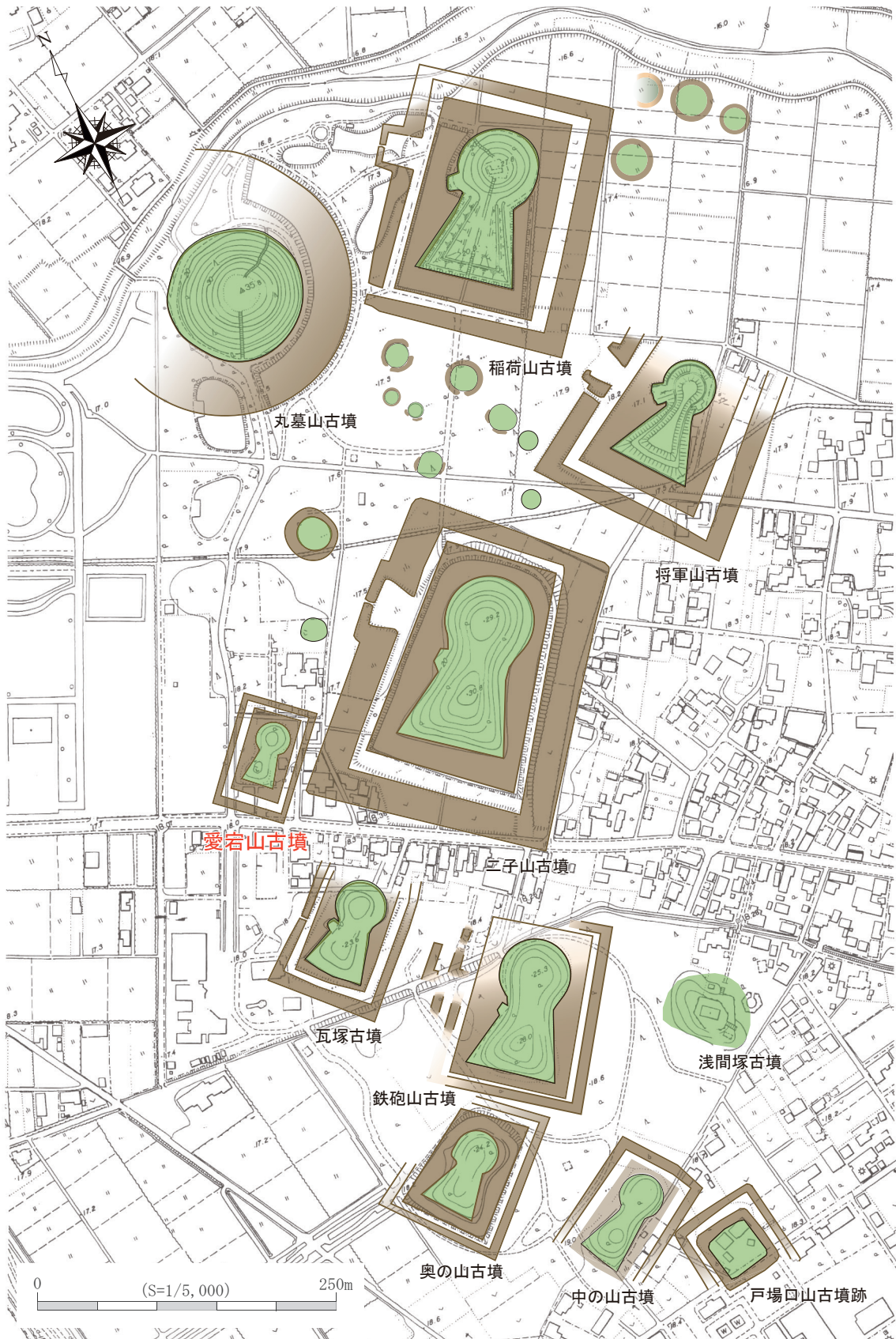


図1 埼玉古墳群の構成と愛宕山古墳の位置

石室整備、資料館の建設、民家の移築、園路造成、園地工事などが主なもので、民家には民俗資料を展示することになっていた。愛宕山古墳を発掘の対象としたのは最も規模の小さい前方後円墳で、容易に発掘できるであろうし、石室の内部を見学者にみせるためにも手ごろであろうという理由からであった。とにかく、一基だけは発掘調査し古墳の形だけでなく、内部の状態も知ってもらうことと、出土品は資料館に展示公開しようという計画

であった。43年になり事業も順調に進み、夏季に発掘調査ということになり、慎重に検討した結果、稲荷山古墳が選ばれた。理由は前方部が破壊され、後円部のみとなっている。大型の古墳であるから石室も大きいであろう、ということであった。

愛宕山古墳はその後、2次にわたり周堀の発掘調査が行われた（図2）。最初の発掘調査は、昭和56（1981）年7～9月に、埼玉県教育委員会によって実施された。古墳整備のための周堀の範囲確認を目的とした調査で、前方部南側（約560㎡）および後円部東側（約140㎡）で発掘が行われた。前方部調査区で内堀・中堤・外堀を検出し、二重周堀をもつ古墳であることが確認された。また、内堀の深さが50～70cmである点も確認された。後円部調査区では、後円部墳裾と内堀の外側立ち上がりの一部を検出した。

同年10～12月には、東側に隣接する市道の改修工事に伴い、行田市遺跡調査会が記録保存の発掘調査を行った。埼玉県教育委員会が同年に実施した調査の延長的な内容で、内堀・中堤・外堀の検出を目的として行われた。調査の結果、内堀の北側の一部を検出し、周堀が二重で長方形を呈することがわかった。

なお、埋葬施設は未調査のため、現段階でも不明である。墳丘上に盗掘の痕跡を示すような大きな凹みは認められず、石材や副葬品が発見された等の知見もない。造り出しの有無についても、未調査であるため不明である。埼玉古墳群内の他の前方後円墳の造り出しは、いずれも西側に存在するが、愛宕山古墳の西側の地形は大きく改変を受けており、現地形では確認できない。ただし、後円部西側には土取りや菖蒲田の造成に伴うと思われる方形の地形が確認でき、今後の調査によって造り出しが検出される可能性もある。

2-3 築造後の自然環境

埼玉県教育委員会の発掘調査では、自然環境の復元を目的として、内堀・外堀の覆土の花粉分析と珪藻分析を行っている。花粉分析の結果、キク科・イネ科などの草本主体の植生が示され、樹木花粉は非常に少ない点が判明した。一方、珪藻分析の結果は、湿地的な環境：池沼の存在を示す堆積物が確認された。水の停滞期の存在、河川の流入など、ある程度水の影響を受ける草地という環境だったと考えられている。

2-4 出土遺物

昭和56（1981）年の調査で、円筒埴輪・形象埴輪・須恵器・土師器が出土している（図3）。埴輪は原位置での出土例はなく、周堀に転落した状態で発見された。出土位置から、中堤上に樹立されていたと考えられる。全体を復元できる円筒埴輪は全て3条4段で、器高は約40cm程度が多いものの、89のように60cmを超える個体もある。透孔は2・3段に90°位置をずらして円形に穿孔され、底面に籐状圧痕をもつ個体が多い。少量だが、方形透孔の個体、多条突帯の可能性のある個体、朝顔形埴輪も出土している（埼玉県教育委員会1985）。

形象埴輪は、人物・家・馬のほか、大刀・蓋・盾などの器財埴輪が出土している。人物埴輪は外堀から出土しており、東側中堤上に形象埴輪が並べられていた可能性があるものの、調査範囲が限定的であるため、詳細は不明である。行田市の調査では眉庇付冑を被った武人頭部や、振り分け髪の人物頭部、双脚人物の脚部、首飾りを付けた人物の体部などが出土している。器財埴輪では、大刀の柄頭や蓋の立飾り部などの破片が確認されているが、全形がわかる個体は出土していない。なお、蓋形埴輪の立飾り部の破片は鹿角状を呈しており、鴻巣市生出塚埴輪窯で製作された可能性が高く、二子山・鉄砲山古墳でも類似する資料が発掘されている（埼玉県教育委員会2020）。至近に位置する瓦塚古墳では、墳丘西側の外堀から多数の形象埴輪が出土しており、西側中堤上に樹立されていた可能性が高い。一方、愛宕山古墳では墳丘東側の外堀から形象埴輪が出土している。今後の調査の進展により、形象埴輪の樹立状況の解明が期待される。

2-5 築造時期

愛宕山古墳から出土した土師器・須恵器はいずれも小破片であり、時期判定は困難である。出土した須恵器は、甕の胴部である。埋葬施設が未確認である点、土師器・須恵器の出土が破片に限られる点から、現状では円筒埴輪から年代が想定されている。従来は、方形透孔をもつ円筒埴輪の存在から、二子山古墳と同時期と考えられて

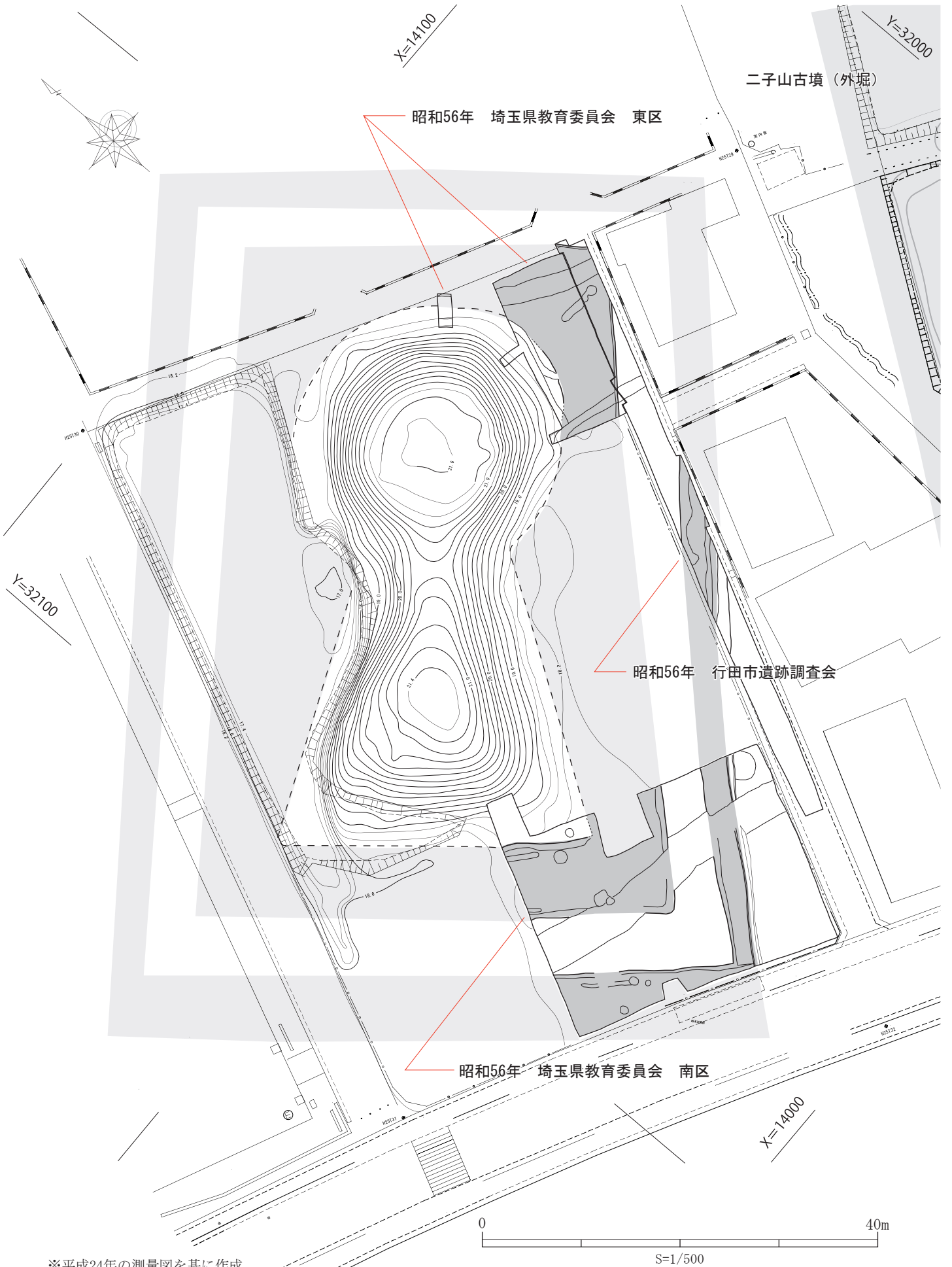


図2 愛宕山古墳の既往調査区

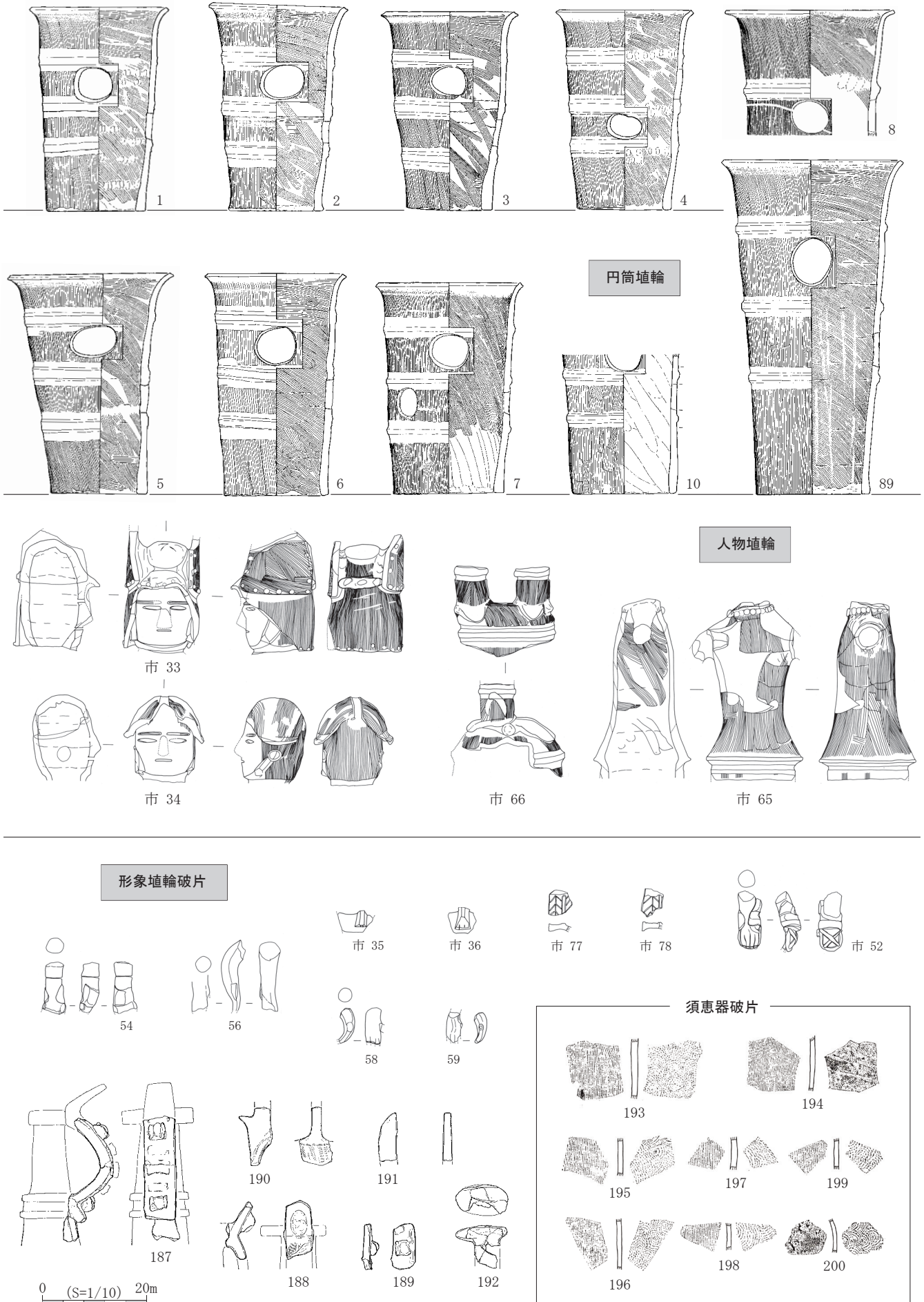


図3 愛宕山古墳出土遺物（円筒埴輪・形象埴輪・須恵器）

いた（埼玉県教育委員会 1985）が、現在は將軍山古墳の円筒埴輪と刷毛目が一致する点が指摘されており（城倉 2011）、6 世紀後半の可能性が高まった。今後の調査で新たな資料が増加し、年代に関する情報が追加されることが望まれる。

2-6 今後の課題

既往の発掘調査により墳丘東側の様相はある程度把握されたものの、調査範囲は限定的で、墳丘およびその西側に関する情報は少ない。最後に、今後の課題を整理しておく。

【埋葬施設の位置と構造】

愛宕山古墳では墳丘の面的な発掘が行われておらず、埋葬施設は未確認である。盗掘を受けた明瞭な痕跡や記録、副葬品や石材などの出土も報告されていない。主体的な埋葬施設が、堅穴系であるのか、横穴系であるのか、その位置・形状・構築方法などを明らかにする必要がある。また、埋葬施設が墳丘の複数箇所が存在する可能性もあるため、それを考慮した調査が必要である。

【墳丘・周堀の規模と形状】

墳丘は後円部・前方部の規模、周堀は平面形態を確定する必要がある。周囲が駐車場・宅地・道路となっているため、発掘できる範囲は限定されるが、GPR の成果に基づき効率的に発掘する必要がある。

【造り出しの存否と形状】

現存する埼玉古墳群内の 8 基の前方後円墳は、愛宕山古墳と中の山古墳を除いて、全て造り出しの存在を確認している。愛宕山古墳でも、西側に存在する可能性がある。後円部の西側には、長方形の土壇状に張り出している箇所があるものの、現地形からは明確に造り出しの存否を確定できない。今後の発掘で把握する必要がある。

【出土資料の増加による築造時期の把握】

土器（土師器・須恵器）や副葬品など、年代の指標となる遺物の出土が限られており、現在は埴輪が時期決定の資料となっている。今後の発掘で資料数が増加し、年代決定の根拠が増えることが期待される。

3. トラバース・水準・地形測量の成果

3-1 調査方法

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所の三次元測量・GPR 非破壊調査の方法論に関しては、既に刊行した報告書（城倉編 2020a・2020b）で詳述している。ここでは、埼玉愛宕山古墳の調査方法の概略を簡単にまとめておく。

本調査の目的は、埼玉県立さきたま史跡の博物館が 2021 年度秋季から開始する発掘調査の事前情報を取得することにあつた。愛宕山古墳に関しては、1981 年の埼玉県教育委員会の発掘調査（埼玉県教育委員会 1985）、行田市教育委員会の発掘調査（行田市教育委員会 1994）で、後円部北東側、および前方部東南側の内溝・外溝が検出されており、二重周溝に復原されている。また、2012 年に測量会社が実施した 3D スキャナーによる測量図と発掘成果の合成図面（図 2・10②）が、埼玉県教育委員会の総括報告書（埼玉県教育委員会 2018 p82 図 42）に掲載されている。しかし、公表されている測量図の精度には限界もあるため、本調査では点群測量による高精度な測量図の作成を課題とした。また、墳丘の段築構造、埋葬施設の位置・規模・性格、周溝の範囲を確認するため、出来るだけ広い範囲の GPR 作業も実施することにした。

測量は Layout Navigator を 5 台用いて、地表面をランダムに計測する間接測量（点群測量）を採用した。GPR では、墳丘各部に Total Station を用いて長方形のレーダー区を設定して 450MHz（場所によって走査間隔を 0.2m・0.25m・0.5m に調整）のアンテナを使用して走査を行った。なお、埋葬施設の可能性が考えられるレーダー区では、160MHz のアンテナを使用して深い場所の反応も確認した。

3-2 トラバース・水準測量（図 4・表 1）

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所が実施した 2018 年度の二子山古墳、2019 年度の丸墓山・瓦塚・鉄砲山古墳の測量・GPR 調査においては、二子山古墳周辺の 3 級基準点（NO. 4、NO. 5、501）を用い

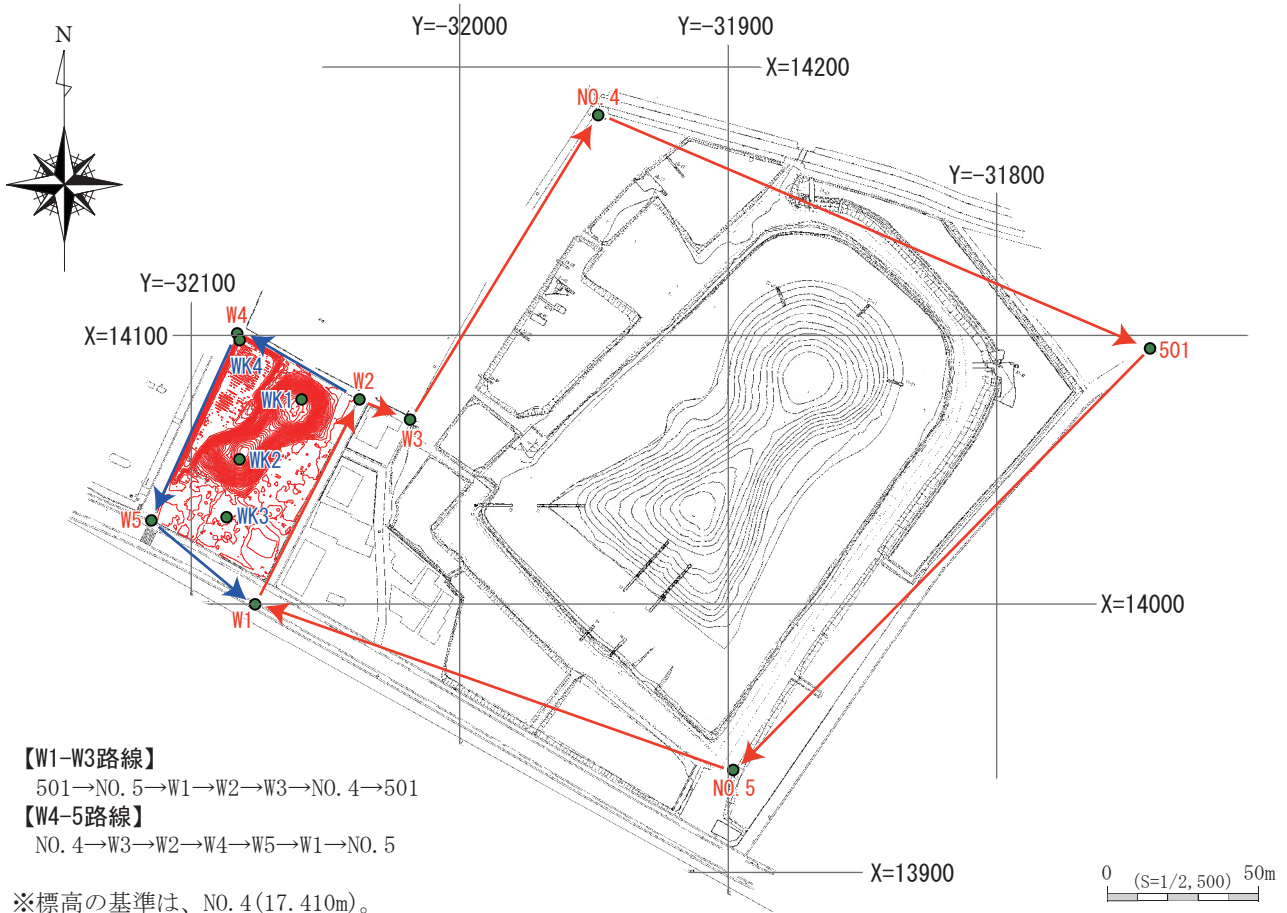


図4 トラバース路線

てトラバース測量を実施した。そのため、本調査においても同じ基準点を利用することにした。まず、W1-3の結合トラバース路線（501: 後視→NO. 5→W1→W2→W3→NO. 4→501: 前視）を観測した。夾角の誤差は11秒で均等補正し、Xは+24mm・Yは-3mmの誤差があったため、距離に応じた補正を行った。次にW4-5の結合トラバース（NO. 4: 後視→W3→W2→W4→W5→W1→NO. 5: 前視）も行った。夾角の誤差は20秒で均等補正、Xは-3mm・Yは-10mmの誤差で距離に応じた補正を行った。なお、埼玉県立さきたま史跡の博物館提供の基準点（NO. 4、NO. 5、501）に関しては、それぞれ視準出来る点間の距離を観測すると、501-NO. 5が220.784m（座標逆計算による理論値は220.767m）、NO. 4-501が223.158m（理論値223.136m）となる。TSによる「実際の観測値」と「座標計算による理論値」に、それぞれ17mm、22mmの誤差があるため、これらの誤差と観測による誤差を合わせて、補正を行っている。

愛宕山古墳の周辺に存在していた道路杭を再利用して、W1-W5の基準点を設定した後に、機械点W2（後視W1・確認W3）から墳丘にWK1-WK4の測量杭を開放トラバースで設定した。点群測量用のWK1-WK4はW2から設定した基準点のため、愛宕山古墳内での測量の誤差は調査中全て5mm以内に収まっていた。また、標高に関しては、埼玉県立さきたま史跡の博物館によってNO. 4が何度か改測されているが、2018・2019年度の早稲田大学の調査で使用した17.410mを基準として、W2-W3・WK1-WK4の水準測量を行い、標高を設定した。

これらの基準点、レーダー区4隅の座標、LNでの取得点群は、ArcGISにCSVデータでインポートして解析を行った。なお、図4の埼玉県立さきたま史跡の博物館提供図面については、NO. 4・NO. 5・501の3点、図10②の総括報告書図面（埼玉県教育委員会2018 p82 図42）については、2点のジオレファレンスポイント（GP1: X14100・Y-32100）（GP2: X14000・Y-32050）を設定してArcGIS上でジオレファレンスした。図10②を見てわかるように、既存図面とは高い精度で合成に成功しており、過去の発掘成果との位置関係も判明している。

表 1 愛宕山古墳の基準点・レーダー区座標一覧

点名	X	Y	Z	点名	X	Y	Z		
No.4 (3級)	14182.044	-31948.424	17.410	Radar R6	C	14084.345	-32048.744	18.279	
No.5 (3級)	13938.183	-31898.135			D	14088.168	-32055.753	18.344	
501 (3級)	14095.155	-31742.900		Radar R7	A	14051.898	-32081.467	21.315	
W1	13999.872	-32076.193			B	14037.702	-32067.447	18.252	
W2	14076.166	-32037.323	18.093		C	14053.816	-32051.078	18.194	
W3	14068.652	-32018.483	17.988		D	14068.044	-32065.112	21.426	
W4	14100.751	-32082.859		Radar R8	A	14037.959	-32110.613	18.207	
W5	14031.100	-32114.811			B	14030.400	-32104.030	18.180	
WK1	14076.152	-32058.898	21.560		C	14049.416	-32082.126	20.882	
WK2	14053.874	-32082.004	21.418		D	14056.974	-32088.694	20.599	
WK3	14098.280	-32081.942	17.783	Radar R9	A	14049.605	-32084.716	20.498	
WK4	14032.309	-32086.831	18.331		B	14026.890	-32081.248	18.410	
※W1-5・WK1-4は、本調査での設置基準点。					C	14027.652	-32076.226	18.518	
GP1	14100.000	-32100.000			D	14050.381	-32079.752	20.732	
GP2	14000.000	-32050.000		Radar R10	A	14091.771	-32081.301	17.548	
※GPは旧図面とのジオリファレンスポイント。					B	14072.818	-32068.329	21.049	
Radar R1	A	14073.403	-32067.726		21.311	C	14076.771	-32062.539	21.510
	B	14067.316	-32062.507		21.592	D	14095.739	-32075.509	17.672
	C	14073.190	-32055.642	21.431	Radar R11	A	14076.841	-32092.140	17.716
	D	14079.277	-32060.858	20.993		B	14068.020	-32075.330	19.054
Radar R2	A	14053.992	-32087.160	20.831		C	14085.720	-32066.015	18.372
	B	14049.199	-32083.585	20.681		D	14094.574	-32082.817	17.530
	C	14057.562	-32072.354	20.048	Radar R12	A	14075.938	-32092.186	17.620
	D	14062.357	-32075.944	20.908		B	14060.126	-32085.935	20.605
Radar R3	A	14067.201	-32064.795	21.311		C	14064.537	-32074.790	20.426
	B	14055.001	-32060.323	18.327		D	14080.345	-32081.072	17.479
	C	14057.405	-32053.755	18.290	Radar R13	A	14054.093	-32103.489	17.945
	D	14069.603	-32058.213	21.466		B	14048.960	-32098.761	18.005
Radar R4	A	14061.342	-32077.758	21.041		C	14058.463	-32088.476	20.563
	B	14057.649	-32074.367	20.766		D	14063.587	-32093.248	17.444
	C	14068.471	-32062.575	21.664	Radar R14	A	14042.428	-32081.008	18.939
	D	14072.159	-32065.970	21.546		B	14027.541	-32066.214	18.409
Radar R5	A	14066.992	-32060.631	21.351		C	14031.772	-32061.964	18.278
	B	14060.352	-32050.651	18.261		D	14046.671	-32076.771	19.016
	C	14067.009	-32046.181	18.097	Radar R15	A	14076.254	-32056.949	21.410
	D	14073.659	-32056.188	21.461		B	14070.375	-32055.673	21.277
Radar R6	A	14075.870	-32062.456	21.678		C	14072.731	-32044.876	18.150
	B	14072.048	-32055.464	21.308		D	14078.603	-32046.181	18.170



写真1 Layout Navigator 5台での計測準備



写真2 墳丘西側の水没状況とLNの準備



写真3 後円部墳頂のGPR作業 (東北大学)



写真4 解析作業 (亀井宏行氏・佐藤源之氏)



写真5 後円部墳頂のGPR作業



写真6 後円部東南斜面のGPR作業



写真7 前方部前面のGPR作業



写真8 調査参加メンバー

図5 愛宕山古墳の調査写真



写真9 墳丘全景（南東から）



写真10 墳丘全景（北西から）



写真11 墳丘全景（南西から）



写真12 前方部前面（南から）



写真13 墳丘西側の削平状況（南から）



写真14 前方部前面（北から）



写真15 後円部（北東から）



写真16 後円部から見た前方部（北から）

図6 愛宕山古墳の現況写真

3-3 地形測量

本調査の作業写真は図5、墳丘の現況写真は図6に示した。今回の調査で取得した点群は、図7に示したように48,088点で、道路に囲まれた愛宕山古墳の全体を計測している。過去に発掘調査が行われた墳丘東南側の平坦面には、「行田市はにわの館」の埴輪作りのための粘土が置かれて「小山」となっているため、この部分は点群取得対象から除外している。取得した点群は、ArcGISにCSVでインポートし、TIN→DEMを作成した。DEMから描出した0.1m等高線の測量図を示したのが図8、0.1m等高線に0.2mメッシュのSlopeを合成したのが図9である。また、図10①②には、行田市公図と総括報告書図面の上に0.1m等高線を赤色で合成した図を提示した。ここでは、以上の情報を基に、地形測量の成果を簡単にまとめておく。なお、今回の測量調査は、今後の発掘調査の基礎情報を取得する点に目的があるため、墳丘構造の復原などには踏み込まず、基本的な観察結果のみを記載する。なお、愛宕山古墳は主軸を北東-南西に向けているが、本報告では記載の便宜上、主軸を南北として記述を進める。

まず、図9でわかるように、最近まで菖蒲畑となっていた西側が大きく削平されている点を除けば、前方後円墳の墳丘全体は比較的よく残存している。現在、後円部の北側・東側が道路・駐車場になっているが、前方部東側・南側は比較的オリジナルな埴裾位置を保っていると推察される。図10①の行田市公図によると、「林」と表示されている墳丘を除くと、道路位置は現在とほぼ変わらず、それ以外は畑地として利用されていたことがわかる。道路や畑地によって、墳丘周囲が徐々に削平されていた点が伺える。なお、行田市公図では、西側に広がる畑地と墳丘との間に南北方向の「水路(排水溝)」(道路の場合は黒塗りで表現されるが、白抜きとなっている。田・畑・宅などの用途・面積の記載もない。GPRで確認できる反応が、菖蒲畑の面に近いほど深い点から、水路・排水溝の可能性がある。しかし、北端が東に屈曲して墳丘にぶつかる点から、農業用道路の可能性もある。)らしき存在が確認でき、後述するようにR8・13などGPRでもその反応が認められる。一方、後円部墳頂の西寄りには、愛宕社の社殿が東面しており、参道の位置も特定できる。参道部分は測量図で見ても埴裾部分が突出しており、R5のGPRでも反応が確認できる。以上、墳丘周囲の後世の削平状況は、行田市公図によって把握できる。

後世の削平状況を踏まえた上で、墳丘の立体構造を図9から観察してみる。前方後円墳としては、円弧が小さく、前方部が細く長い平面形を呈する。墳丘西側は、菖蒲畑により大きく削平されるが、東側については比較的本来の形状を残している。特に図9のカラーSlopeから、前方部東側面のテラスが明瞭に確認できる。くびれから後円部にかけてやや不明瞭にはなるものの、墳丘が二段築成である点は明らかである。後述するGPRのR3で検出した横穴式石室の可能性が高い反応部分は、斜面上段に凹みが認められ、石室が盗掘を受けたか、天井石が崩落している可能性が考えられる。その位置から、テラス面に開口し、主軸が後円部0点に向かう横穴式石室である可能性は極めて高い。また、前方部西南隅から前方部墳頂に時計方向に回りながらアクセスする道と思われる痕跡が存在する点、あるいは東南隅角が削られている点など、前方部前面に関しては東側面ほど残りはよくないものの、基本的な平面形は測量図から把握できる。なお、本調査は墳丘を中心にGPR調査をしたため、内溝・中堤・外溝に関してはR14で部分的に検出できたただけだが、図10②の発掘成果とのジオリファレンス図から、中堤部分に関してはわずかな微高地として残存していることがわかる。

4. 地中レーダー (GPR) 探査の成果

4-1 調査方法とレーダー区の設定

本調査では、愛宕山古墳における墳丘の立体構造、埋葬施設の位置・規模・性格、周溝の範囲を明らかにするため、R1-15のレーダー区を設定した。レーダー区は、TSを用いて切りの良い水平距離の数値で正確な長方形区画を設定し、一測線の中で比高を最大限抑える方向(等高線と並行する方向)で走査を行った。埋葬施設の存在が想定されるR1・R3のみは、160MHzのアンテナを使用した。その他は450MHzのアンテナで走査を実施した。各レーダー区の基本情報は、表2にまとめ、レーダー区の配置は、図11に明示した。

取得したデータは、GPR-SLICEを用いて解析を行い、図12に想定される遺構面の深度に応じたTime Sliceを選択して配置した測量図を示した。以下、4-2では墳丘・周溝のGPR成果(R5-15)、4-3では埋葬施設の可能性が考えられる墳頂および後円部東南斜面のGPR成果(R1-4)に分けて記載し、後者のみTime Slice・

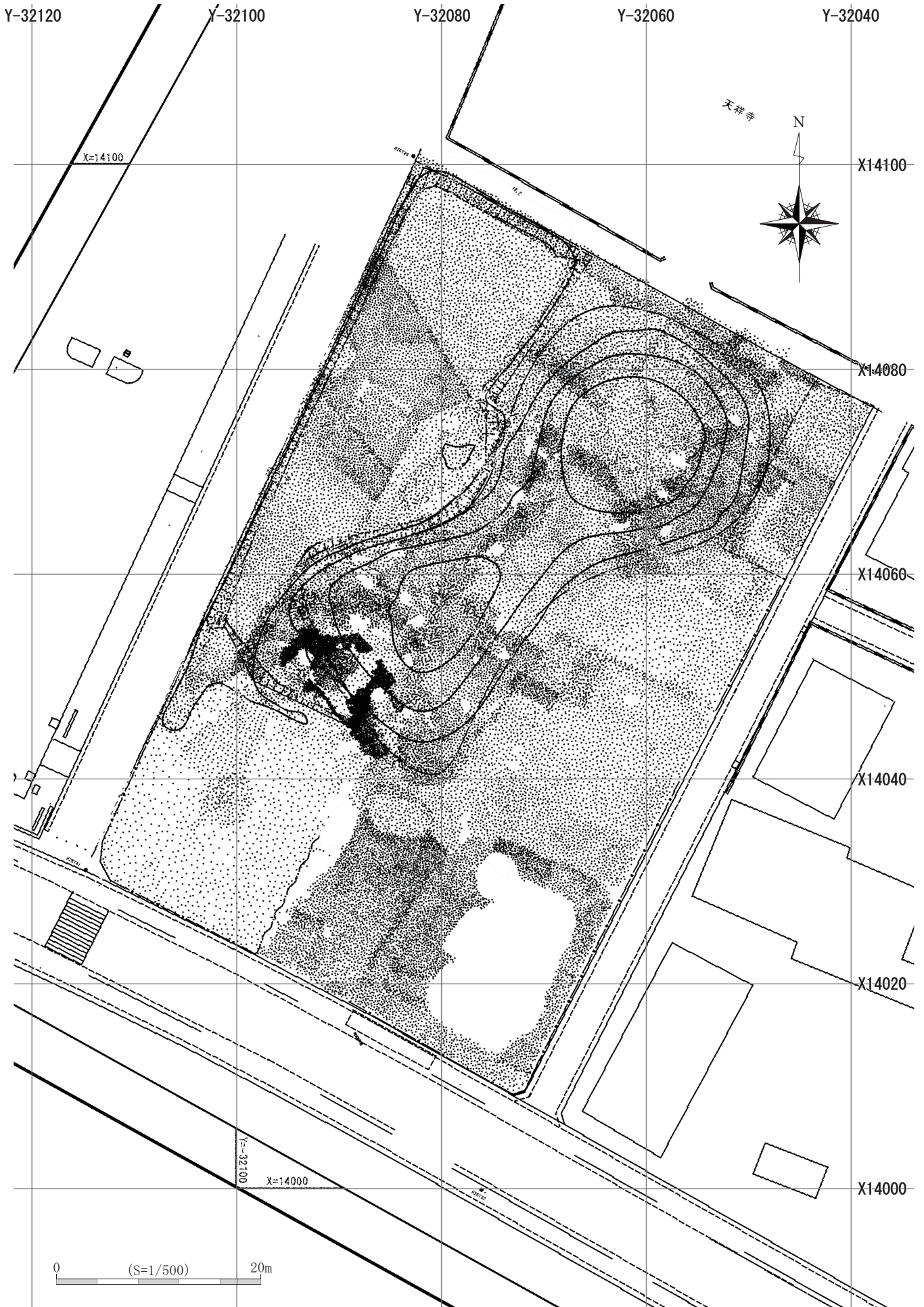


図7 点群測量の範囲 (48,088点)

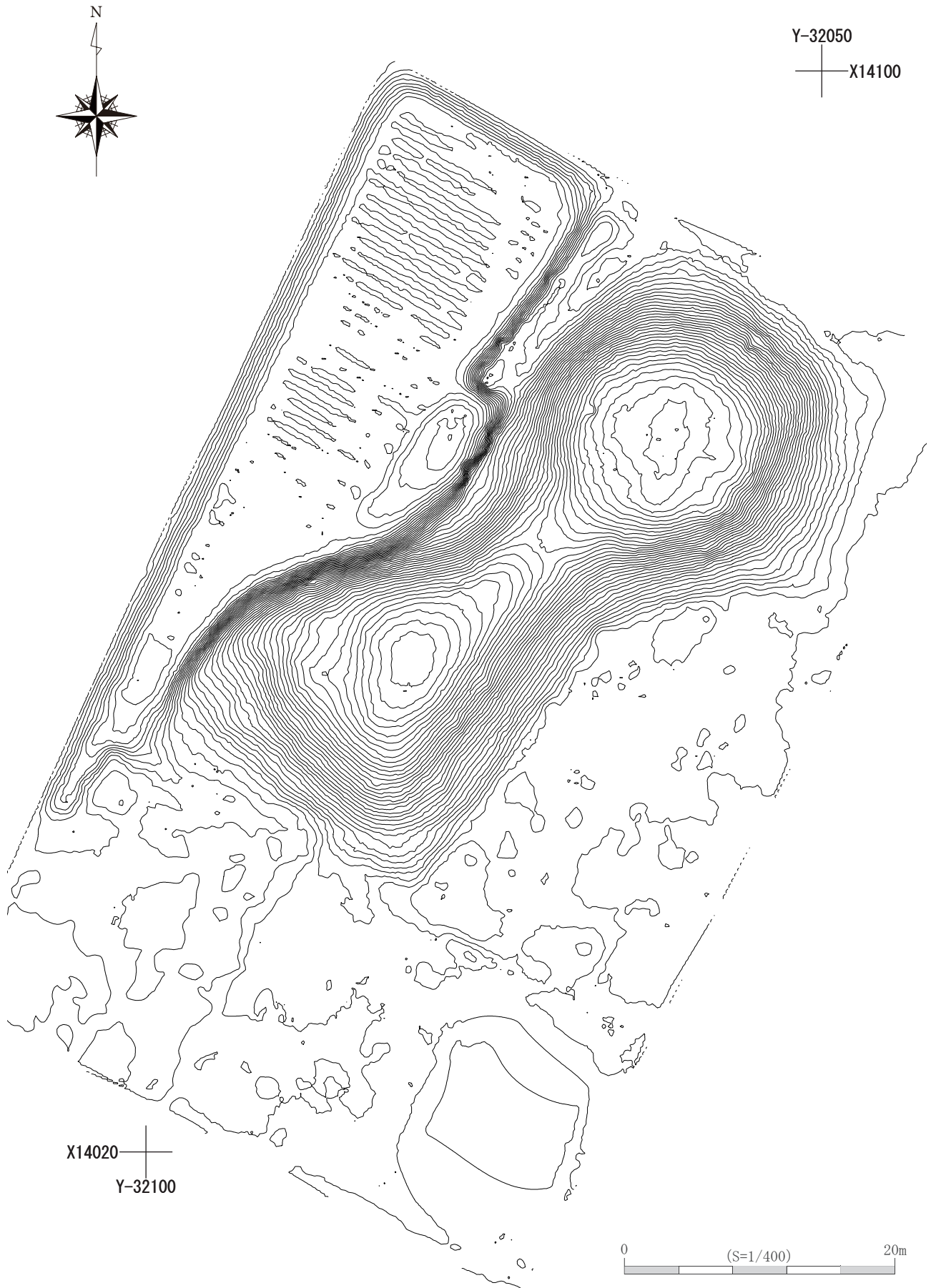


図8 愛宕山古墳の測量成果 (0.1m Contour)

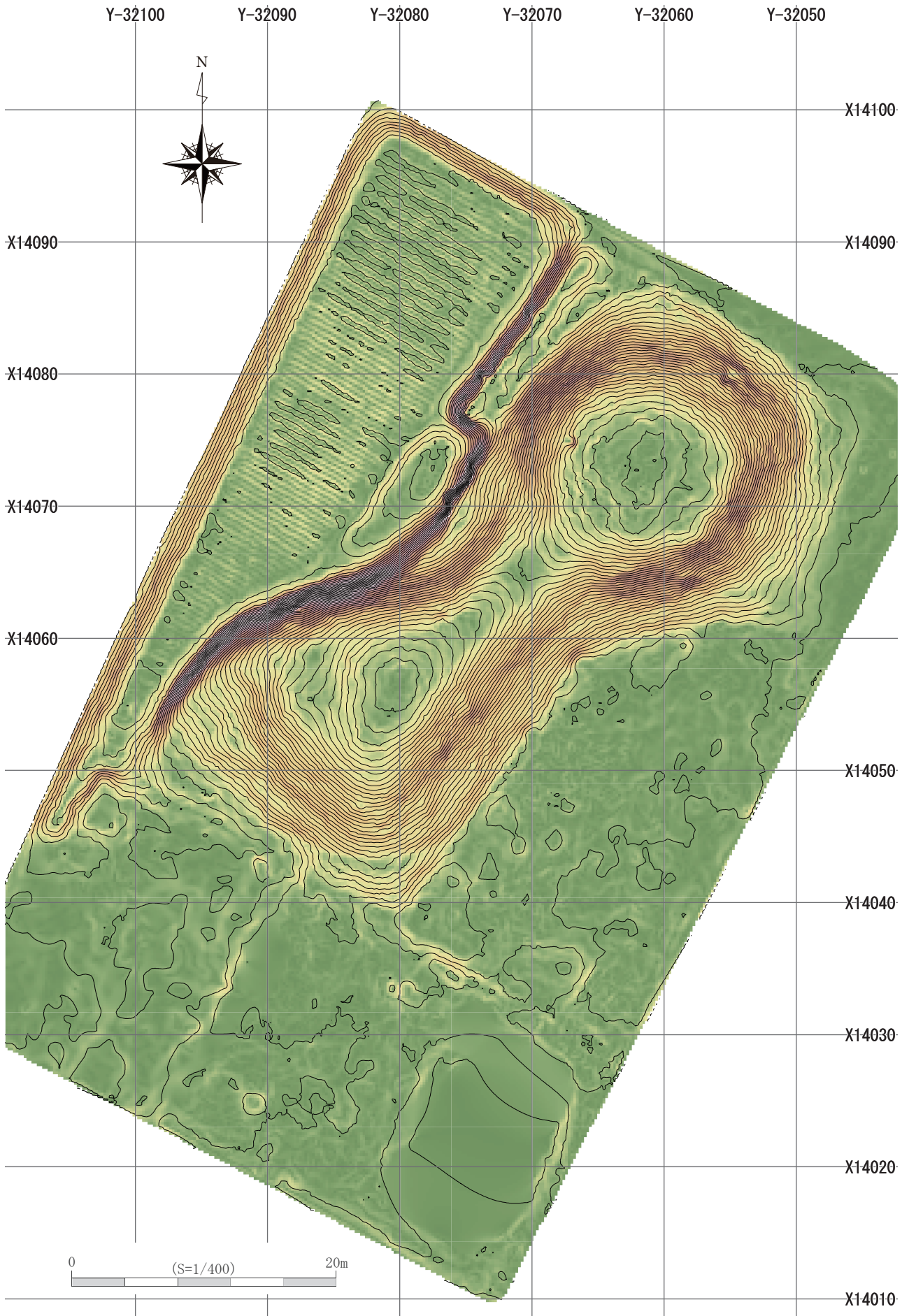


図9 愛宕山古墳の測量成果 (0.1m Contour + 0.2m Slope)

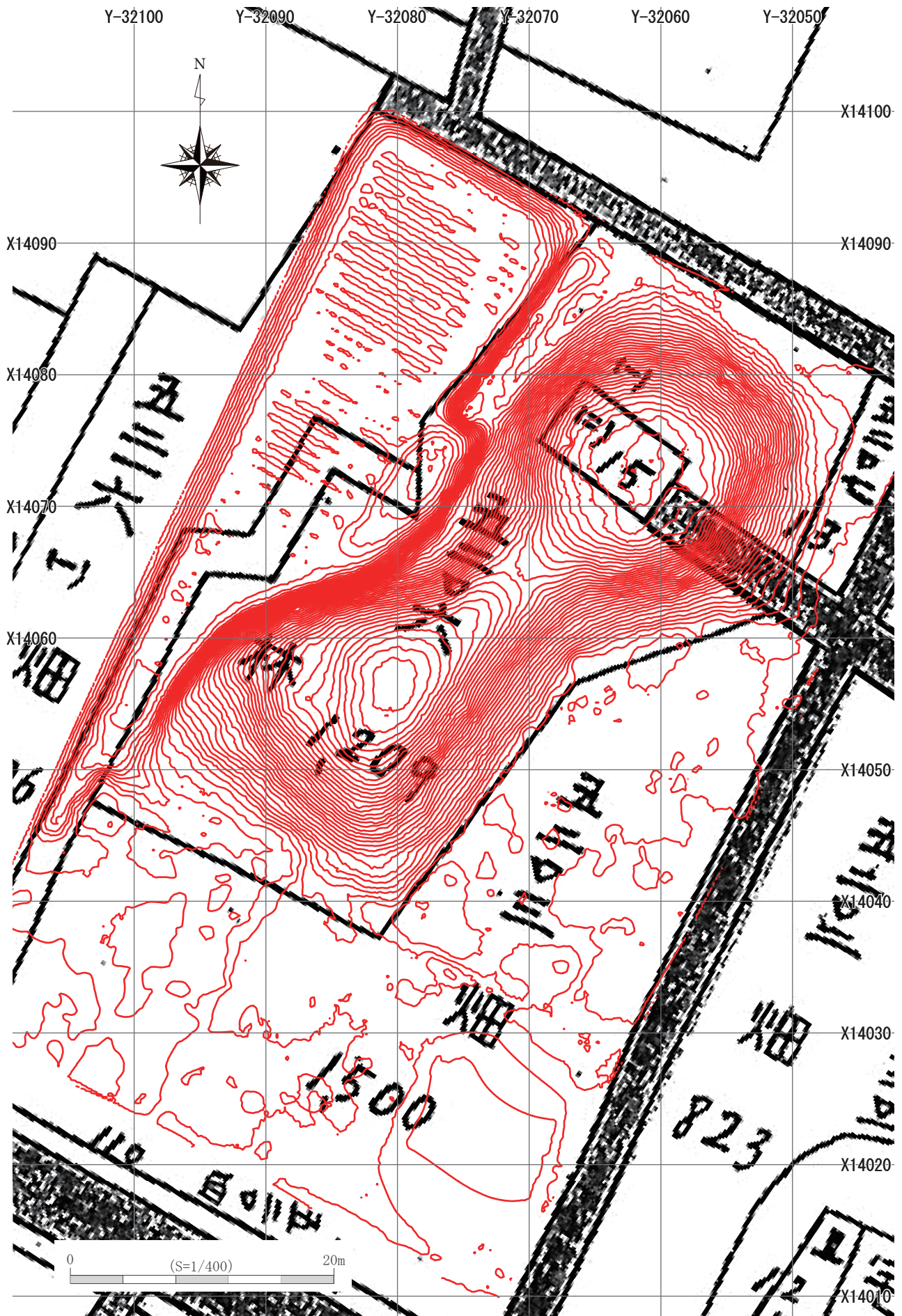


図10 既存測量図との比較① (黒：行田市公図／赤：0.1m Contour)

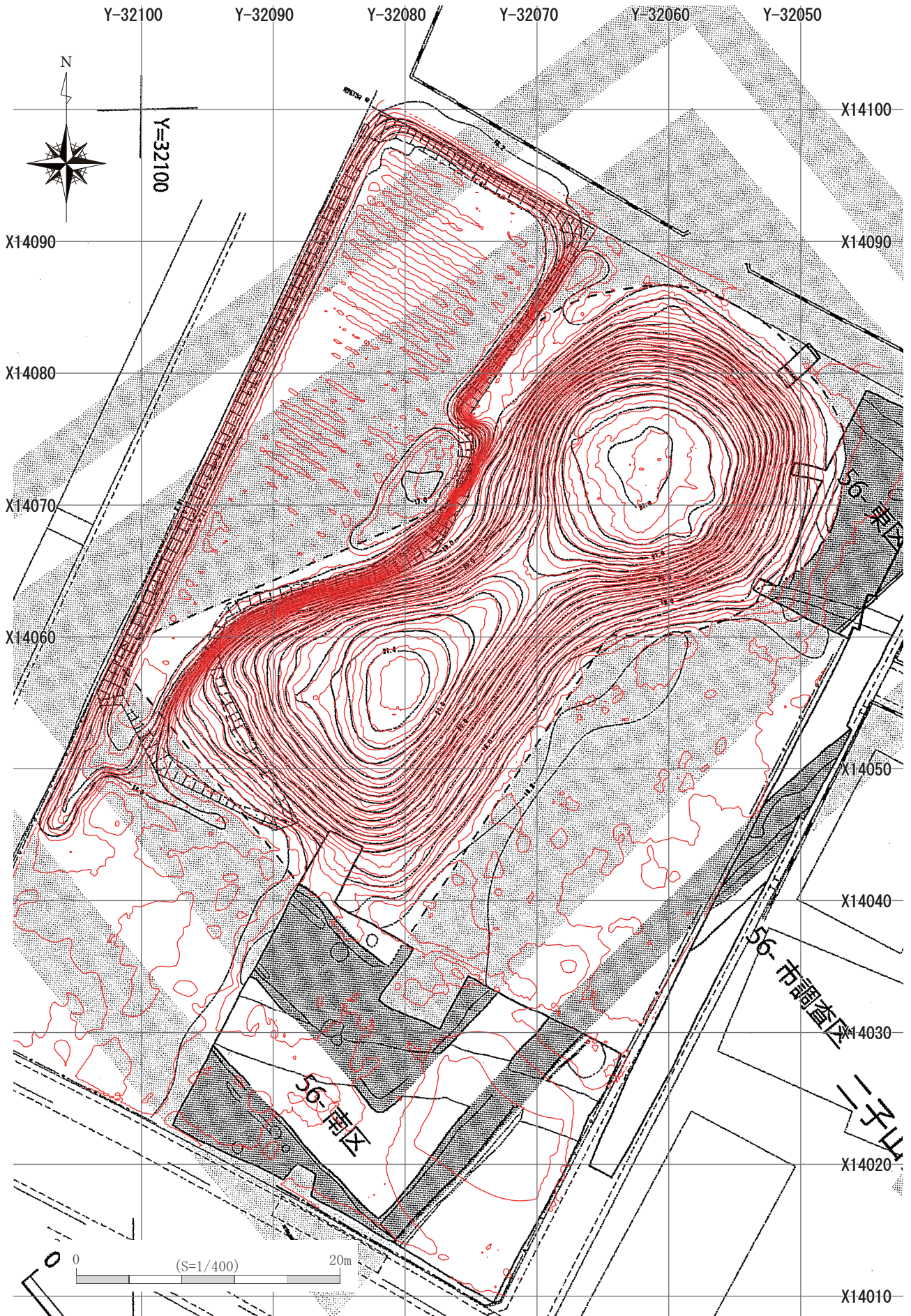


図 10 既存測量図との比較② (黒：埼玉県教育委員会 2018 p82 図 42 / 赤：0.1m Contour)

表2 愛宕山古墳のレーダー区属性一覧

区名	アンテナ	測線間隔	原点 (走査方向)	設定規模 (東西×南北)	Time Slice 深度	位置	Profile
R1	450MHz	0.5m	D (西→東)	8m×9m	27.7-37.3ns	後円部墳頂	—
	160MHz	0.5m	D (西→東)	8m×9m	(19.6-39.3ns)		—
R2	450MHz	0.5m	D (西→東)	6m×14m	(25.8-34.4ns)	前方部墳頂	図13右上
		0.25m	C (北→南)	8m×14m 西側2m拡幅	14.1-23.6ns		
R3	450MHz	0.5m	A (南→北)	13m×7m	(18.9-28.3ns)	東くびれ部	—
		0.2m			(14.3-23.8ns)		図13左上
	160MHz	0.5m	(21.0-42.0ns)	—			
	450MHz	0.25m	B (東→西) 走査方向固定	15m×7m 西側2m延長	9.4-18.8ns		—
R4	450MHz	0.5m	D (西→東)	5m×16m	12.9-17.2ns	前方部墳頂	図13右下
		0.25m	C (北→南)		27.1-35.7ns		
R5	450MHz	0.5m	A (南→北)	12m×8m	14.1-23.4ns	後円部東側	—
R6	450MHz	0.5m	B (東→西)	8m×14m	14.3-23.8ns	後円部後端	—
R7	450MHz	0.5m	A (南→北)	20m×23m	12.9-17.2ns	前方部東側面	—
R8	450MHz	0.5m	D (西→東)	10m×29m	17.2-21.5ns	前方部前面	—
R9	450MHz	0.5m	A (南→北)	23m×5m	8.6-17.2ns	前方部東南隅	—
R10	450MHz	0.5m	C (北→南)	23m×7m	22.5-31.4ns	後円部北西側	—
R11	450MHz	0.5m	C (北→南)	19m×20m 未走査部あり	22.3-31.1ns	後円部西側	—
R12	450MHz	0.5m	C (北→南)	17m×12m 未走査部あり	22.5-31.4ns	前方部西側面	—
R13	450MHz	0.5m	C (北→南)	7m×14m	13.3-22.1ns	前方部西南隅	—
R14	450MHz	0.5m	D (西→東)	21m×6m	10.9-13.1ns	前方部東側	—
R15	450MHz	0.5m	B (東→西)	6m×11m	8.6-17.2ns	後円部北東側	—

※Velocity:67、Point Interval(0.01m)。

※方位の記載は、墳丘の軸線を南北と仮定した際の東西南北を示す。

※Time Slice深度は、図12に採用した深度 (nsec表示) を示す。() 内は、報告書に掲載していないデータ。

※Profileは、図13に採用したデータを示す。位置は、図13に明示した。

Profile を図13に明示して説明を加えた。なお、4-4では東北大学チームの分析成果、4-5では東京工業大学チームの分析成果をそれぞれ示した。

4-2 墳丘・周溝のGPR成果 (図11・12)

【墳丘東側 (R5・R6・R7・R15)】

後円部、および前方部東側面にかけての段築構造を把握するため、残存状況が比較的良好な墳丘東側にR5・R6・R15(後円部)、R7(くびれ部～前方部)を設定した。なお、後円部東南斜面の埋葬施設の可能性が高いR3の反応については、4-3で後述する。

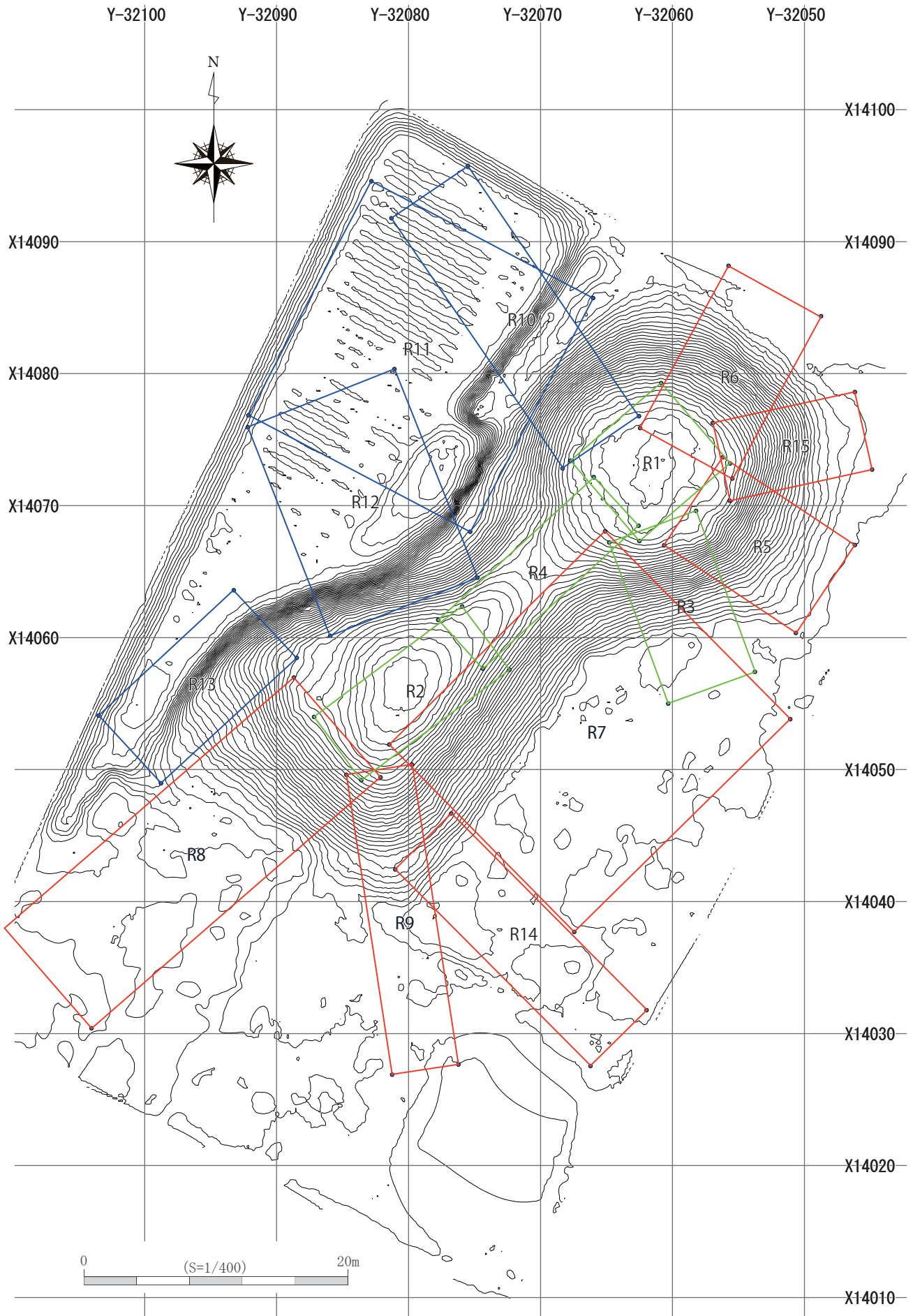


図 11 レーダー区の配置 (0.1m Contour)

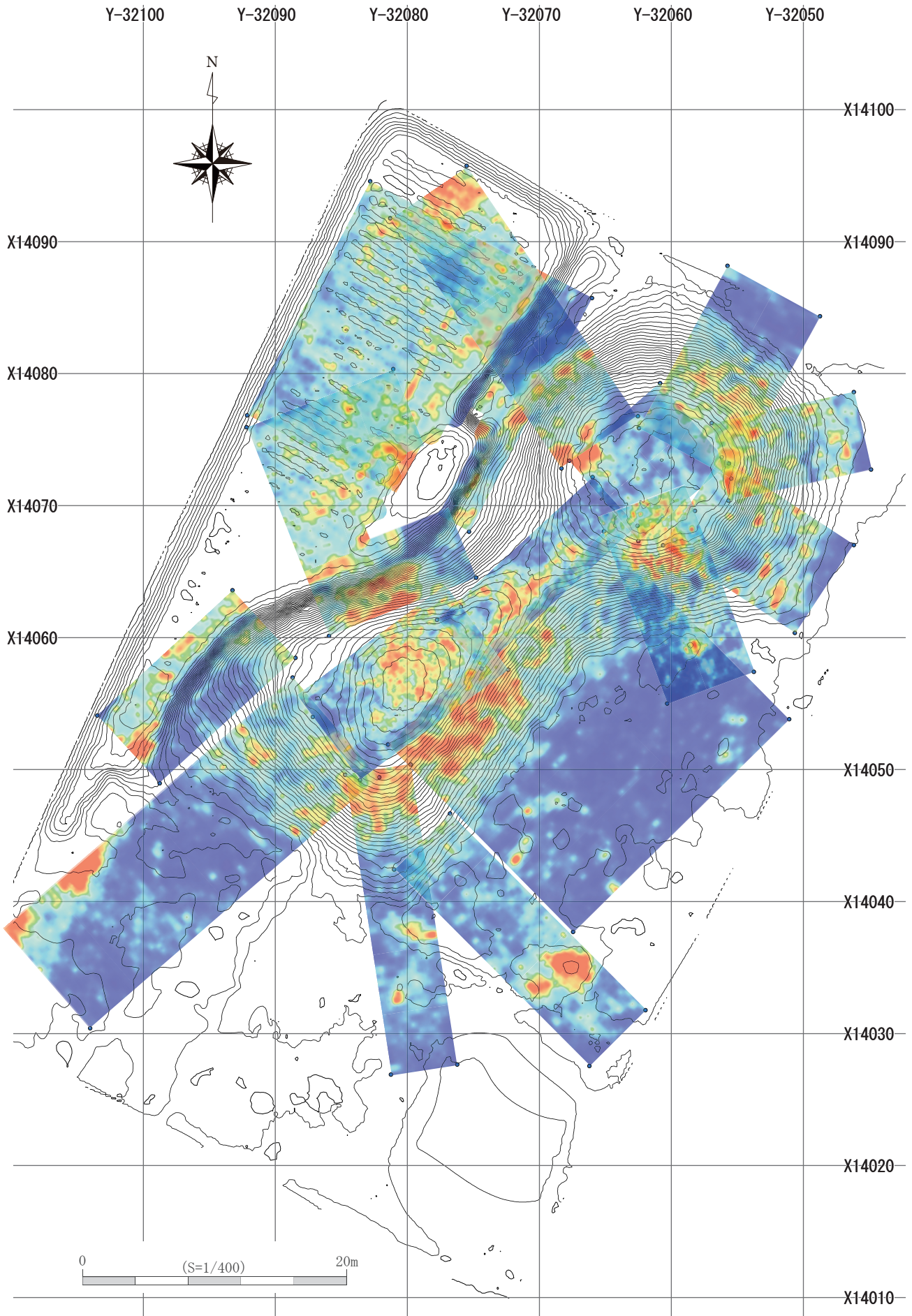


図12 愛宕山古墳のレーダー探査成果 (0.1m Contour)

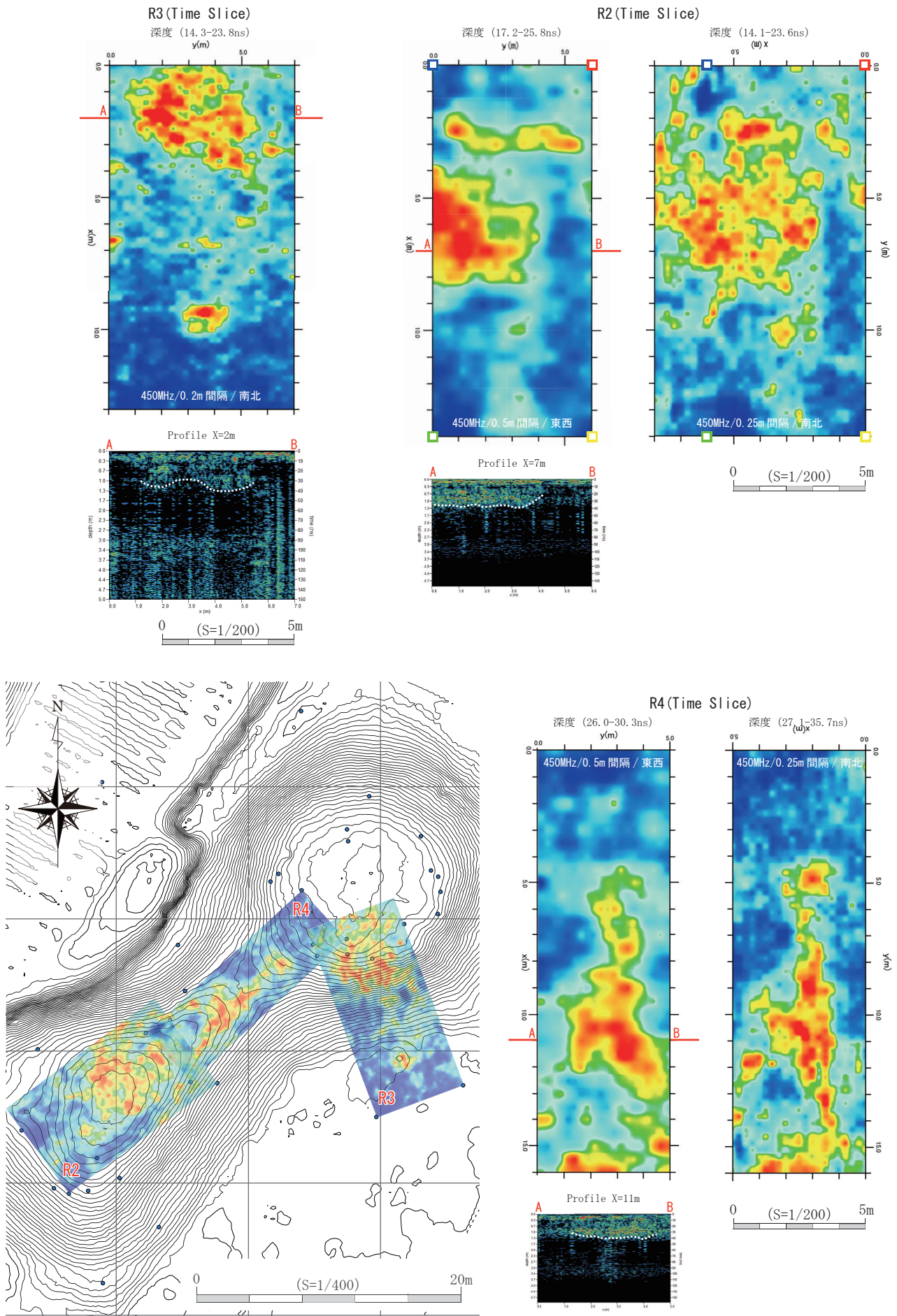


図 13 埋葬施設の可能性がある GPR 反応 (R2・R3・R4)

後円部北側・東側は、道路や駐車場によって削られており、R6のTime Sliceからも墳丘裾部が一部凹状になっている点が観察できる。R5・R6・R7・R15と連続する水色部分と青色部分の境が、等高線の墳裾変換点と対応しており、墳裾の位置を示していると思われる。また、R5区では反応が一部、墳裾外に突出しているように見えるが、**図10①**の行田市公図から愛宕社参道の場所だった点が見える。

【墳丘西側 (R10・R11・R12・R13)】

墳丘西側の段築構造、および造り出しの有無を確認するため、R10・R11・R12・R13を設定した。なお、西側くびれ部付近は滞水により走査ができなかったため、R11・R12は測線毎に測線長を変えながら走査した。

探査の結果、墳丘の段築構造に関する明確な反応は確認できなかった。現地形でも確認できる通り、墳丘西側は菖蒲畑によって遺構面まで大きく削平されていると考える。

【墳丘南側 (R8・R9・R14)】

前方部前面の段築構造、および墳丘南側の周溝・中堤の位置を確認するため、R8・R9・R14を設定した。

探査の結果、前方部前面や前方部東南隅角の墳丘斜面に強い反応が確認できた。また、それらの反応が途切れる位置が、等高線の墳裾変換点よりも若干内側に位置する点が確認できる。一方、R14では墳丘の南東に中堤の残存部分と思われる強い反応が認められる。テラス面など墳丘の段築構造は明瞭には把握できなかったが、墳丘西側に比べて東側・南側の残存状況が良好である点が想定できる。なお、R8の南西部に見られる強い反応は、R13とも連続しており、**図10①**の行田市公図に見られる墳丘西側の南北「水路（排水溝）」と推定できる。

4-3 墳頂および後円部東南斜面のGPR成果 (図11・12・13)

埋葬施設の位置と規模を把握するため、墳頂部にR1(後円部墳頂)・R2・R4(前方部墳頂)を設定した。後述するように、後円部墳頂のR1では中央部分に反応が認められず、後円部東南側斜面に向けた反応が認められたため、R3区を設定した。

まず、R1の探査の結果、後円部墳頂では竪穴系の埋葬施設の反応が認められず、東南側、西南側に強い反応が認められた。西南側は深度の浅い反応で愛宕社に伴う新しい痕跡と思われたため、東南側の深度の深い反応が横穴式石室の可能性が高いと判断した。そのため、R3区を設定した上で、450MHz・160MHzのアンテナを使用し、東西・南北、0.2m・0.25m・0.5m間隔で4回走査を行った(表2)。探査の結果、R1東南部からR3斜面上部にかけて、横穴式石室の可能性が高い強い反応を検出した。**図13左上**にあるように、断面を示したProfileでも40nsの深度まで壁体のような南北対になる反応が認められる。斜面地のGPRのため、正確な深度や平面構造は不明だが、テラス面から墳頂変換点にかけて反応が確認できる。形状は方形に近く、軸線は後円部中心の0点に向かっている。裏込めも含めた横穴式石室の平面プランは、方形に近い可能性が考えられる。

なお、埴輪から同時期の造営と考えられている將軍山古墳では、後円部東側のくびれ部付近の同じ位置に横穴式石室が確認されているが、前方部墳頂にも木棺直葬の埋葬施設が検出されているため、愛宕山古墳でも前方部墳頂にR2・鞍部付近にR4を設定して走査を行った。R2(**図13右上**)、R4(**図13右下**)で、やはり深度40nsまで続く強い反応が認められる。それぞれの区で、0.5m間隔東西引き(左)、0.25m間隔南北引き(右)のTime Sliceと当該反応の東西断面であるProfileを示した。R2の反応は主軸よりも西寄り、R4は東よりのため、埋葬施設と確定できないが、木棺直葬など竪穴系の埋葬施設の可能性がある反応として把握しておく。

4-4 東北大学のGPR成果

2021年9月5・6日、埼玉古墳群の愛宕山古墳において、GPR計測を行った。三次元構造をもつ古墳に対して、RTK-GNSSを利用した高精度位置計測をGPRに適用することで、立体的な探査が行えることを示す。

【RTK-GNSSを併用したGPR計測】

地中レーダー計測は水平面で行われることが多く、長方形に設置した区域内に巻尺や水糸などを利用して直交するグリッドを構成することで測線を設置することが多かった。アンテナ位置はレーダー装置に取り付けられた車輪の回転から一方向の距離を利用して決めている。

一方、古墳の地中レーダー計測では、立体的な地表面にいかに対応した計測を行うかが重要である。比較的

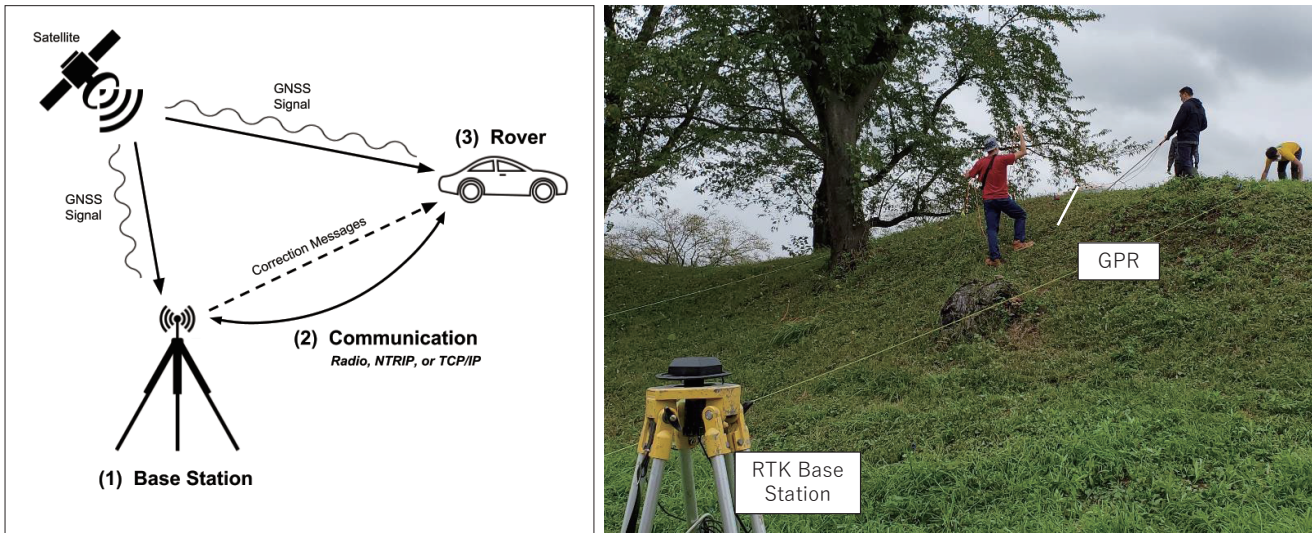


図 14 RTK-GNSS の計測概念 (左) と実際の計測 (右)

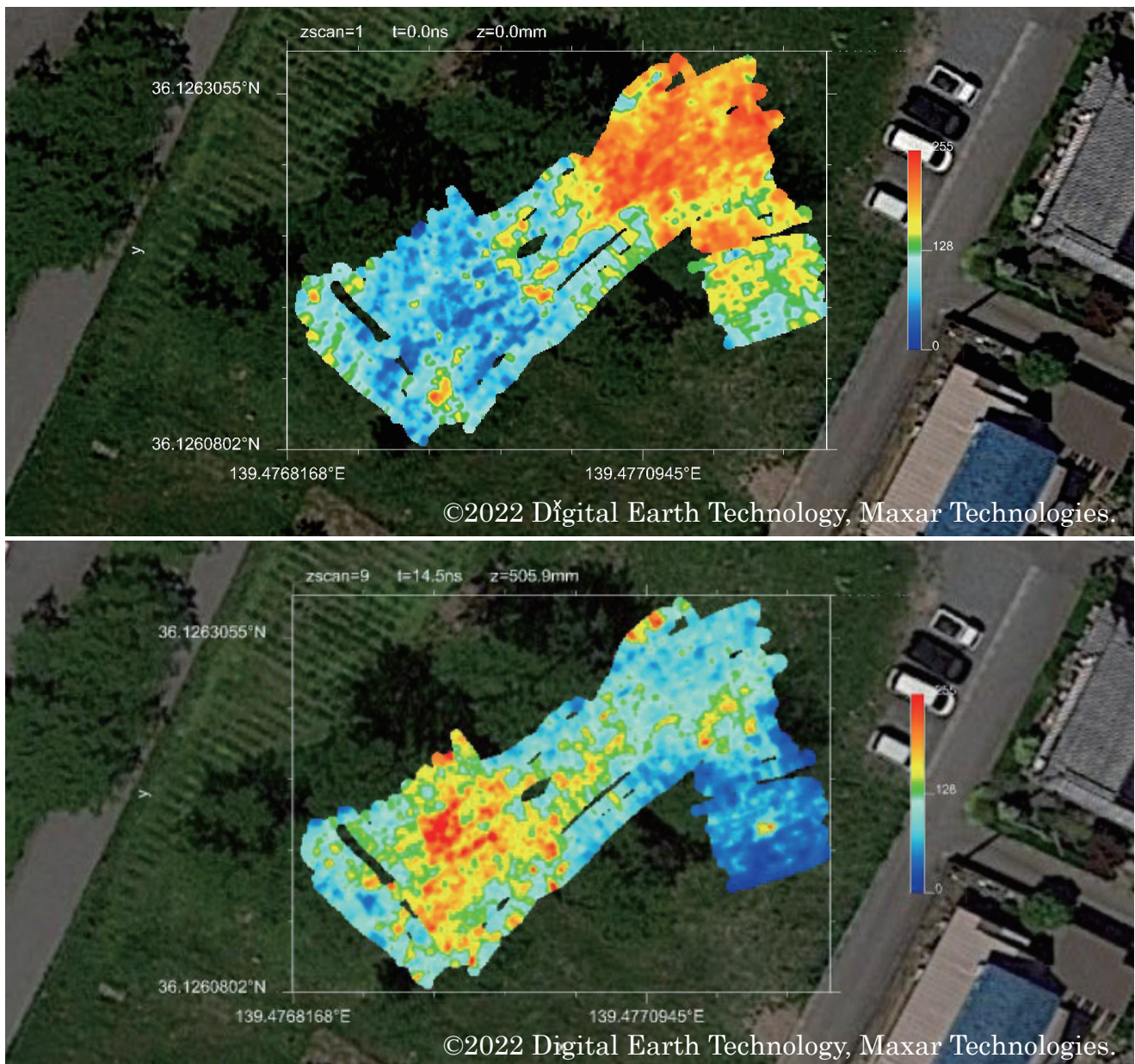


図 15 GPR-C スキャン (上 : 深度 0mm / 下 : 深度 506mm)

大型の古墳の場合、墳頂部はある程度平坦であるし、側面の斜面も区域を区切れば傾斜した一平面と見做すことができる。しかし小型の古墳ではこうした疑似平面をとることができる面積が小さく、従来手法での計測は著しく効率が落ちる。

東北大学は愛宕山古墳の計測にあたり、RTK-GNSSによる位置測定を併用した地中レーダー計測を行った。従来測位システムとしてGPSが広く知られている。GPSはアメリカ政府が開発した衛星測位システムであるが、GNSS (Global Navigation Satellite System) はGPSに加え、日本の準天頂衛星システム「みちびき」、ロシアのGLONASS (グロナス)、ヨーロッパのGalileo (ガリレオ) などの衛星からの情報を総合して利用している。

RTK-GNSS (リアルタイムキネマティック GNSS) 測位は、GPR装置にGNSS受信アンテナを移動局として設置するほか、地上に固定した基準局としてGNSSアンテナを設置し、基準局と移動局の受信データを無線でリアルタイムに照合し、移動局の正確な位置を求める手法であり、従来のGPS利用では数mの誤差があったのに対し、数cmの誤差で位置のリアルタイム計測が可能になっている。更にRTK-GNSSでは、水平位置に加え垂直位置も計測できるため、立体的な地表面を持つ遺跡・遺構においても計測が可能であり、更にデータ処理において地表面の高さを考慮した解析が可能となる。

なお、RTK-GNSSによる位置情報を取得するGPR計測と処理の作業手順は、以下の通りである。

-
- ① GNSS 基地局を設置する。
 - ② GNSS アンテナをGPR装置の上に装着する。
 - ③ 正確な測線の設定は必要なく、大まかな測線 (例えば2m 間隔) を設定し、これと平行に25cm 間隔でGPRを動かして計測する。
 - ④ GPR データはGPR位置と無関係に、一定時間間隔 (0.1 秒間隔など) で取得する。
 - ⑤ GPRに装着したGNSSで取得した位置情報は、RAMACが標準装備するGNSS (GPS) データ (25ピンDINコネクタ) へ入力し、GPRデータと共に保存する。
 - ⑥ GPR-Sliceで処理する。
-

【計測と結果】

計測は数m程度と予想される対象深度を考慮し、RAMAC 250MHzアンテナを主として利用した。図14にRTK基地局と、GNSSを搭載したGPR装置で計測を行っている様子を示す。GNSSはより多くの衛星からの電波信号を、同時に受信できる状況で、位置精度が向上する。このため、樹木の下などでは受信できる信号数に制限が出るため、計測精度が落ちることが懸念される。今回、愛宕山古墳の後円部墳頂付近ではほぼ問題なくGNSS計測は行えたが、前方部では樹木のため位置精度の劣化が見られた。

GPRは早稲田大学が設定したレーダー区を基本に、RTK-GNSS計測の特色を活かし、三次元的な計測を行った。計測結果はGPR-Sliceを利用して、画像化した。この結果、横穴式石室の可能性のある反応を後円部、くびれ付近に確認した。図15に地表面からの深度0mmと506mmにおける水平断面図 (Cスキャン) を示す。この場合の深度は同一平面ではなく、地表面からの深度を表すため、位置によって絶対深度は変化している。深度506mmでは、後円部の南側にコの字形の構造が見える。石室入り口のようにも見えるが、ここに桜の木が生えているため、虚像の可能性を排除しなければならないと考える。深度0mで既に地下構造が見えているのは、レーダー波形の時間的な広がりのためであり、非常に浅い深度に構造体のあることを示している。図16に古墳の立体構造とコの字形の構造が見える周囲の垂直、水平断面図を示す。コの字構造は墳丘の表面付近に存在するが、その下部には別の反射構造が確認できる。

4-5 東京工業大学のGPR解析

GPR-Sliceをはじめとする市販ソフトは、Time Sliceの作成など、GPR探査の結果を視覚的に理解しやすく表現するのに便利であるが、意図せぬ補間や過度の平滑化などにより虚像が生成されてしまい、誤読を招くことが多い。そのため、東京工業大学では、できるだけ取得されたデータに手を加えずにTime Sliceを作成し、判読

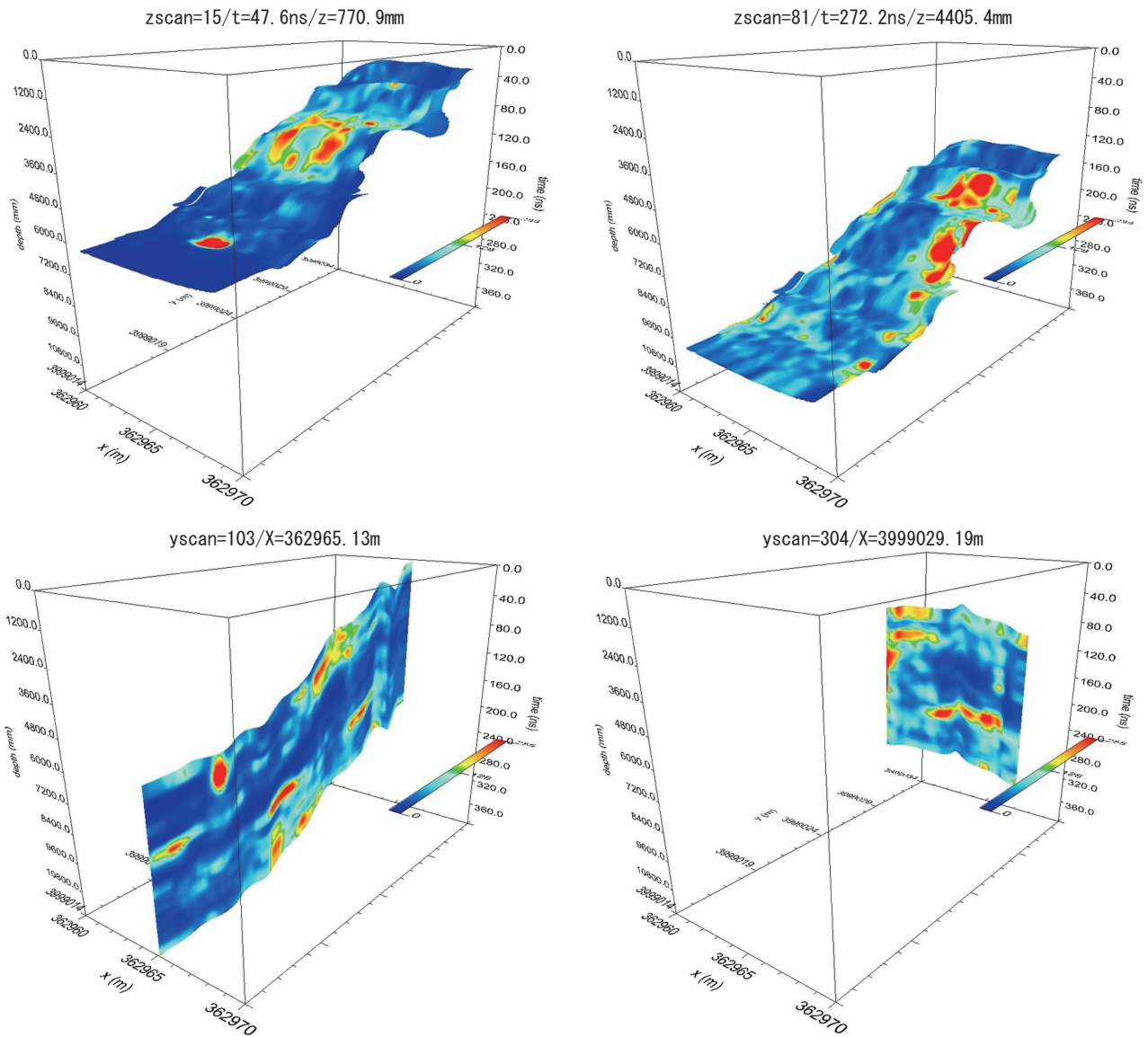


図 16 GPR の立体イメージ

を進めていくという方針を採用している。本節では、横穴式石室の存在を想定して設定された R3 区のデータ解析について報告する。

R3 区は傾斜地であるので、取得されたデータに地形補正や 3D マイグレーション処理を施すことが望ましいが、これらの処理には正確な地中の電波伝播速度が必要となる。不正確な値を用いた処理も誤読の一因になるため、地形補正やマイグレーション処理も施さないデータから直接、Time Slice を作成することにした。

解析に使用するデータを取得した GPR 機器は、早稲田大学が所有する MALA 社の GX450 で、アンテナの中心周波数は 450MHz である。サンプリング周波数は、5.120GHz (サンプリング間隔は 0.1953125ns) なので、450MHz の 1 周期 2.222ns あたり、11.38 個のデータが取得されていることになる。アンテナ走査測線に沿った計測点の間隔 (.rad ファイル内の記載は Distance interval) は、南北方向走査 (表 2 / R3:450MHz、0.2m 間隔) では 0.041937m (この数値は .rad ファイル内の記載の値)、東西方向走査 (表 2 / R3:450MHz、0.25m 間隔) では、0.007602m (同) である。測線間隔は、南北方向では 0.2m、東西方向では 0.25m である。

今回、東京工業大学が行った Time Slice の作成手順を以下に示す。

- ① Time Slice 作成には、通常レーダー受信波の一定時間内の波を切り出し、その平均振幅値を求め表示する。切り出す Time window 内のレーダー受信波の平均振幅を求めるために、市販ソフトでは Hilbert 変換を用いて振幅成分を求め、時間窓内の平均を算出するものがある。今回は単純に、直流成分を除去した後のデータの二

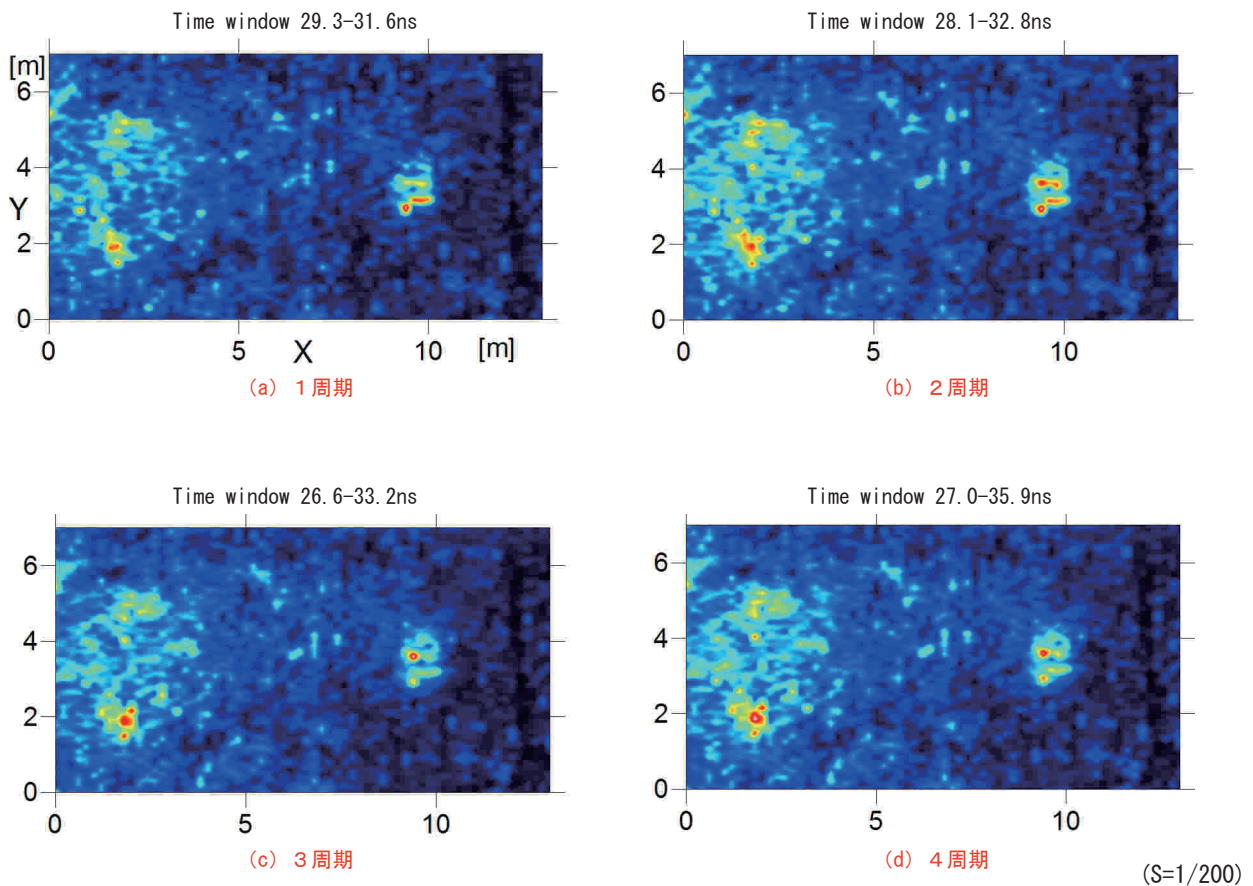


図 17 R3 区 : Time window の周期を変えた Time Slice

乗平均を求め、その値の平方根を平均振幅値とした。

- ② Time window の設定は、1 周期を基本単位とする。上述の通り、450MHz では 1 周期 11.38 個のサンプルとなるが、Time window (時間窓) のシフト幅を窓幅の 2 分の 1 とするので、1 周期の Time window は 12 個とし、Time window のシフトは半周期の 6 個とする。Time window を 2 周期に設定した場合は、2 周期 22.76 個なので近傍は 23 個なのだが、偶数個でないと半周期が整数値にならないため、窓幅 24 個・シフト 12 個とした。同様の考え方で、3 周期の場合は、窓幅 34 個・シフト 17 個、4 周期の場合は、窓幅 46 個・シフト 23 個とした。
- ③ 上記の手順で作成した Time Slice のデータは、南北走査では $0.2\text{m} \times 0.041937\text{m}$ 、東西走査では $0.25\text{m} \times 0.007602\text{m}$ の格子の上に与えられる。このデータを、二次元平面上にマッピングする際、図化ソフト Surfer で、Kriging という内挿法を用い、南北走査では $0.2\text{m} \times 0.05\text{m}$ 、東西走査では $0.125\text{m} \times 0.05\text{m}$ の格子上のデータに変換して図化した。なお、通常受信波の最初の立ち上がりを地表面とし、その時点を時間軸の 0 として Time Slice を作成するが、全データの .rad ファイルで、SIGNAL POSITION:2.734375 (サンプル数 14 個に対応) と同じ値であったので、Time Slice は、記録されたデータの先頭から作成することとした。

まず適切な Time window の幅について検討する。この R3 区が墳丘斜面にあり、地形補正を行わないで Time Slice を作成する場合は、斜面に平行にスライスするので、実際に水平に分布する構造物を斜めに切り取ることになり、窓幅が狭ければ全体の構造が捉えられない可能性がある。逆に窓幅を広く取れば、構造物の全体を捉えやすくなるかもしれないが、広過ぎれば詳細な構造の把握が困難になる。図 17 には、南北走査データ (表 2 / R3:450MHz、0.2m 間隔) を基にして、30ns を挟むように Time window を 1~4 周期まで変えて作成した Time Slice を示した。(a) 1 周期、(b) 2 周期、(c) 3 周期、(d) 4 周期である。地中の比誘電率を関東ロームの平均的な土壌の値 20 と仮定すると、地中の電波伝播速度は 0.067m/ns となる。GPR の受信波の時間軸は、電波の往復伝播時間なので、時間軸から実深度に変換するには、伝播速度の 2 分の 1、つまり 1ns あたり 0.0335m の値を乗ればよい。よって 450MHz の 1 周期の Time window では、切り出し幅 0.074m 、4 周期では約 0.3m となる。

図 17 のいずれの Time Slice でも、後円部墳頂側（左側）におよそ $4 \times 3\text{m}$ の方形の反射のまとまりが見られる。窓幅 1 周期 (a) よりも、窓幅 2 周期 (b) の Time Slice の方が、輪郭がしっかりと捉えられている。さらに窓幅を拡張してもそれほど変化がないので、窓幅 2 周期で切り出すこととした。

次に、全体像を推定するため、いくつかの深度で切り出した複数枚の Time Slice を分析していく。図 17 では、前述のように直線的な輪郭が捉えられているので、明らかに人工物の存在が疑われる。位置から古墳の構造物としては、横穴式石室が考えられる。深度を変えて作成した複数枚の Time Slice を図 18 に示す。Time window は 2 周期とし、順次 1 周期ごと深度を増やしたものである。図 18 の左列 (a) は、東西走査データ（表 2 / R3:450MHz、0.25m 間隔）、右列 (b) は南北走査データ（表 2 / R3:450MHz、0.2m 間隔）から作成したものである。図 18 の最上段、Time window 28.1-32.8ns の Time Slice では傾いた逆「コ」の字形の輪郭の反射像が、深度を深めるにつれ傾きが弱くなり、(a) 列 4 段目の Time window 35.2-39.8ns では、逆「コ」の字形に近づいている。「コ」の字の内部には、明確な境界を示すわけではないが、幅 1.5m、長さが 2m ほどの反射の弱い部分が観察できる。

この反応を横穴式石室と仮定すると、 $1.5\text{m} \times 2\text{m}$ の長方形の反射の弱い部分が玄室にあたり、向きはほぼ後円部中央に向かってるように見える。墳丘との関係を示すために、(a) 列の Time window 35.2-39.8ns の Time Slice を地形測量図に重ねた（図 19 上）。斜面での GPR 探査で地形補正を行わず Time Slice を作成した場合、反射像の平面位置は実位置とは必ずズレる。概ね反射像は、傾斜面の下り方向にズレて表示される。R3 区の傾斜を地形測量図で見て位置のズレを考慮すると、もう少し後円部よりに近づいた位置に石室は存在するものと思われる。玄室部については、玄室の中にも石材が落ち込んでいることも想定されるので、実際の玄室のサイズや形状がこのレーダーの反射分布に一致するかどうかは明らかではない。また 3D マイグレーション処理を行っていないため、こうした Time Slice から位置、形状およびサイズを判断するのは早計といえる。

浅深度の Time Slice で、逆「コ」の字形の輪郭と玄室の向きが異なる理由について考察してみる。水平に置かれた直方体を、平面で切断する状況を想定してみればイメージしやすい。切断面の輪郭線の角が直方体の上面の頂点の間にくる場合がある。今回の Time Slice は、ちょうどこのような状況に一致するようにも見える。しかし、GPR では電波は一方向からしか放射されず、直方体の裏面は観測することはできない。中空であれば、裏面の内側からの反射は捕らえられる。石室の構造で考えれば、玄室部分は空洞でないにしても、大きな崩落もなく、かなり均質な土砂で埋もれているのかもしれない。また、上面も存在する必要がある。しかし、GPR Profile を観察しても、石室の天井石が残っているような反射像は得られていない。Time Slice では明瞭な輪郭が描かれているので、天井石が残存していないとしても、かなり厚めの裏込め石がしっかりと積み上げられて残っているのであろうか。

横穴式石室が存在していたとして、どの程度残存しているか検討してみる。図 19 下には、 $Y=2.5\text{m}$ を通る東西測線の Profile を示した。Profile を観察すると、天井石からの明瞭な反射は見られず、空洞反射も見られないので、石室の空洞は残っていないと推測される。図 19 下の Profile は、上下 2 段（上段＝①・下段＝②）に分かれているが、深度が大きくなると減衰が大きくなるので、浅深度（①）・大深度（②）を表示する場合の 2 つの Profile をグレースケールの最大階調値を変えて（増幅率は変えずに、表示上の階調のみを変更）作成したものである。上段は深度 50ns まで、下段は 100ns まで表示し、上段の最大階調値は下段の最大階調値の 300 倍としてある。市販ソフトでは、時間とともに増幅率を大きくするという非線形な処理を施して Profile を表示するのが一般的だが、全体の変化を把握しやすくなる一方、振幅の大小関係が把握しにくくなるという欠点もある。図 19 ①で、 $X=1-4\text{m}$ にかけて穴のような反射が見える。盗掘坑（天井石の抜き取り跡）かもしれない。この穴の底は 15-16ns あたりにある。図 19 ②では、この穴の直下 40ns あたりを頂点とする大きな山状の反射が見える。この山状の反射の頂点あたりが少し乱れているが、ここから大きく掘り込まれたような反射もないことから、石室の底部はおそらく 40ns あたりと想定できるだろう。盗掘坑の底部 15ns あたりと、この山状反射の頂点 40ns の間に石室の残存部分があると考えれば、25ns の時間差は厚さで約 0.84m（石材が多く電波伝播速度がもう少し早いとすれば約 0.9m 程度）となる。盗掘坑の底 15ns は地表から約 0.5m の深さに対応する。墳丘測量図では、この場所は大きく削られたところであり斜面も急である。推定値も斜距離であり、最大に見積もった値であることも理解しておく必要がある。さらに時間軸の 0 は、データの先頭としたので、受信波の立ち上がり（地表面反射）からの時間を表し

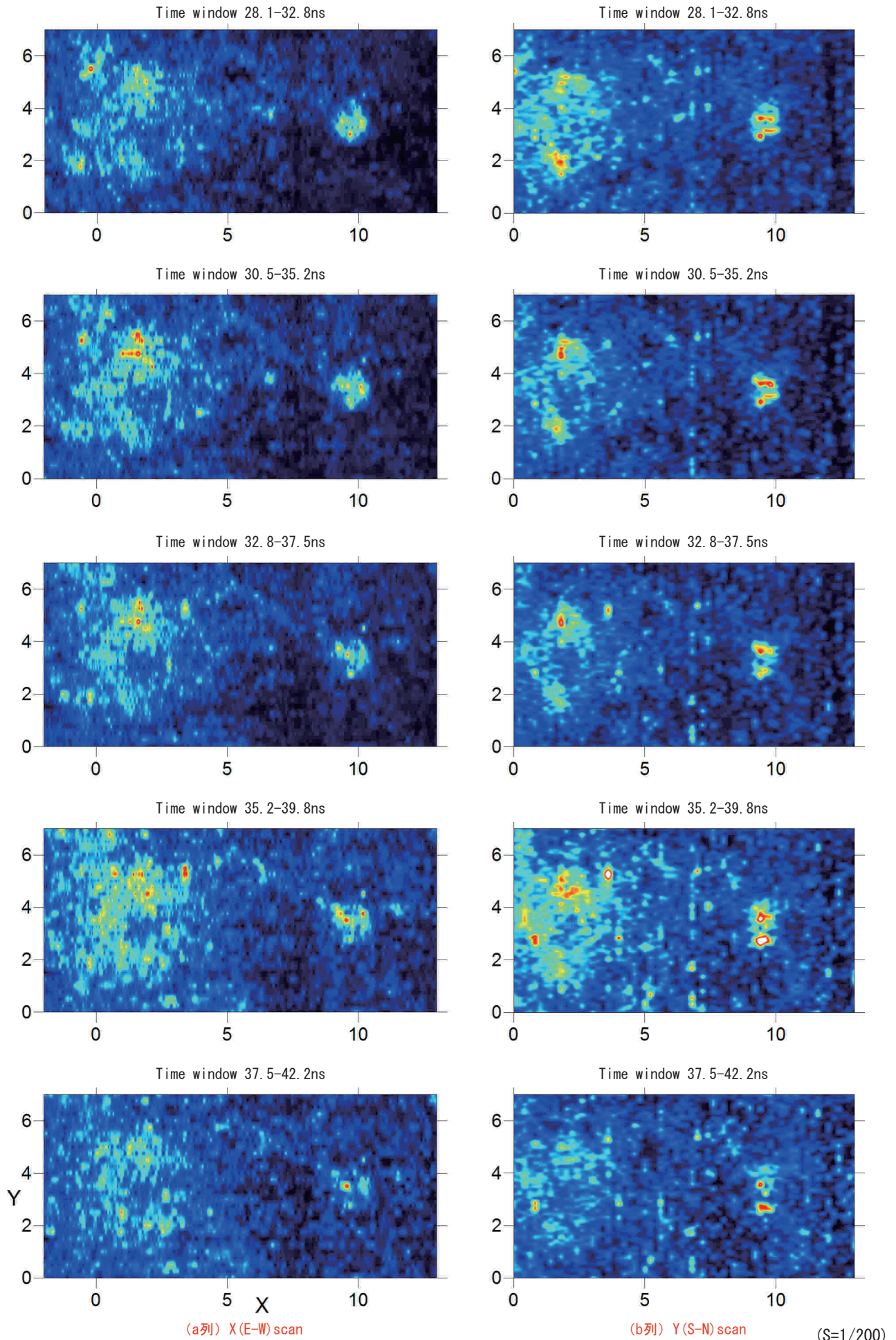


図 18 R3区：東西方向 (a) と南北方向 (b) 走査の比較

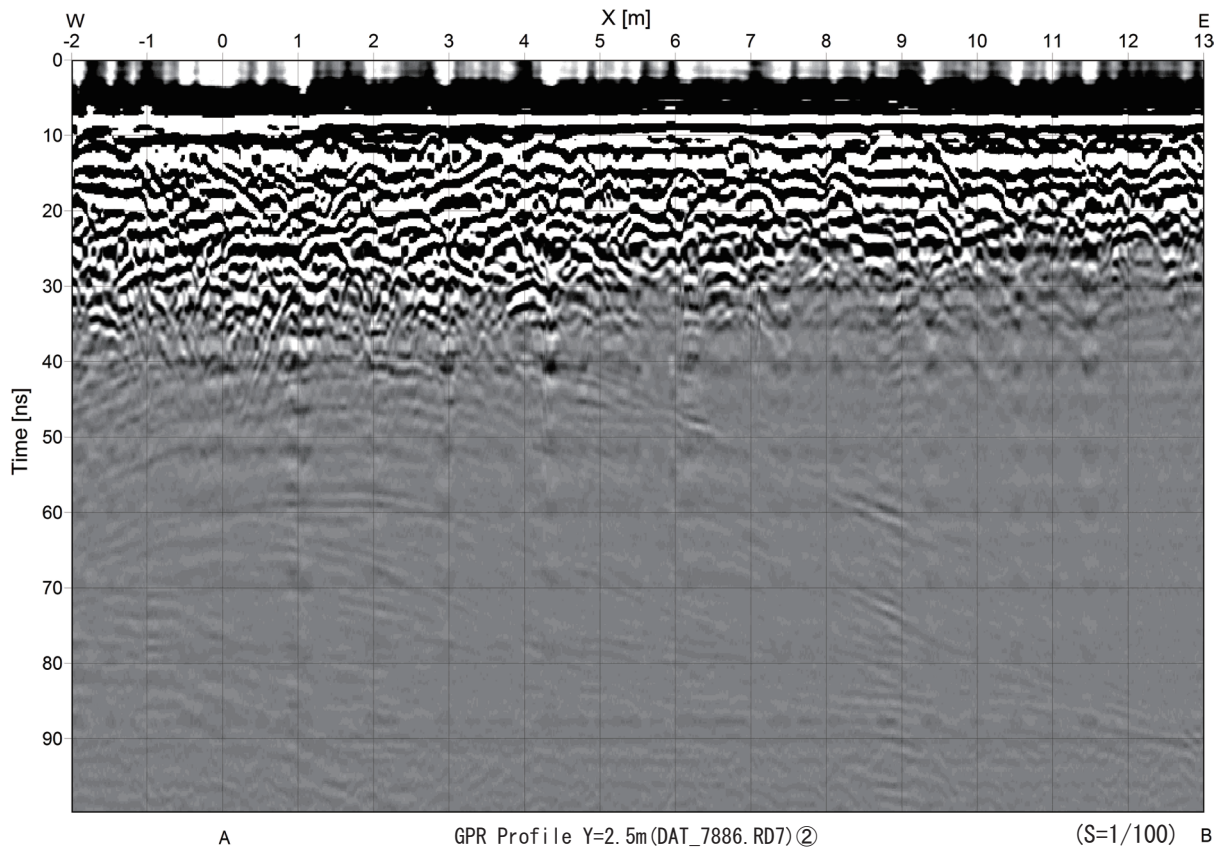
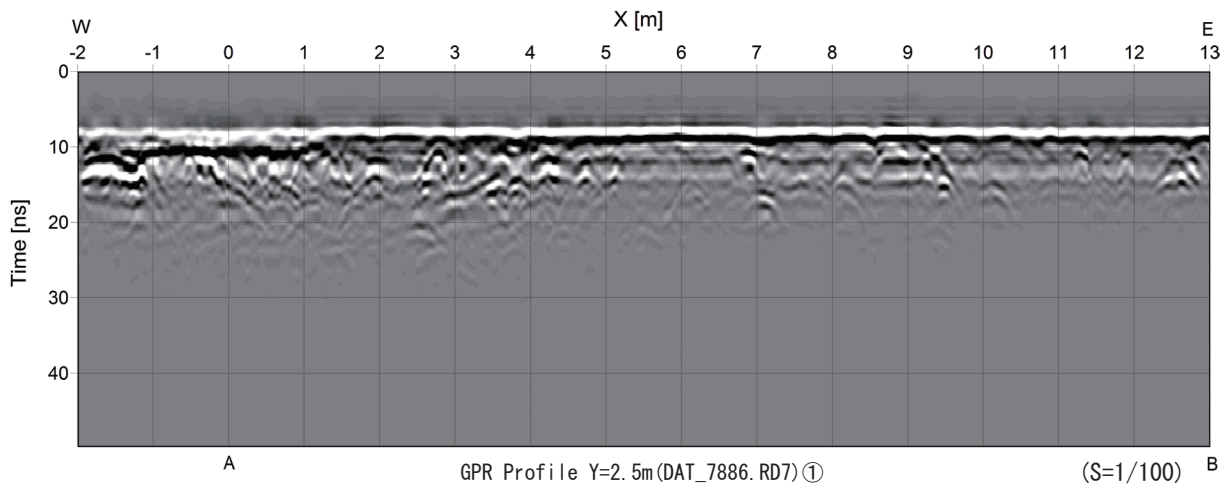
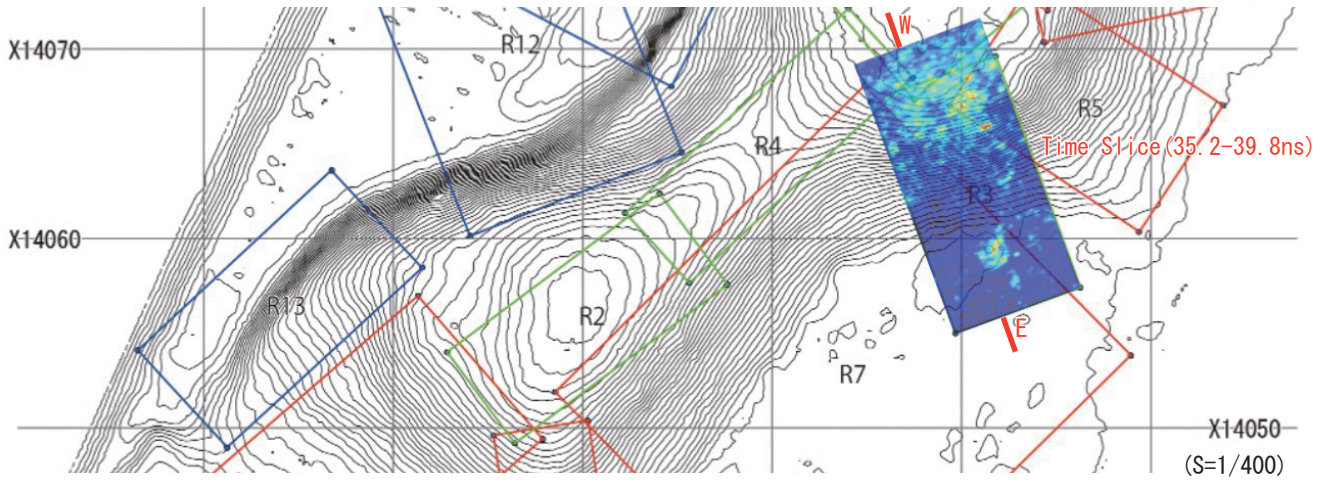


図 19 R3 区 : Time Slice のマッピング (上) と Y=2.5m の Profile (下)

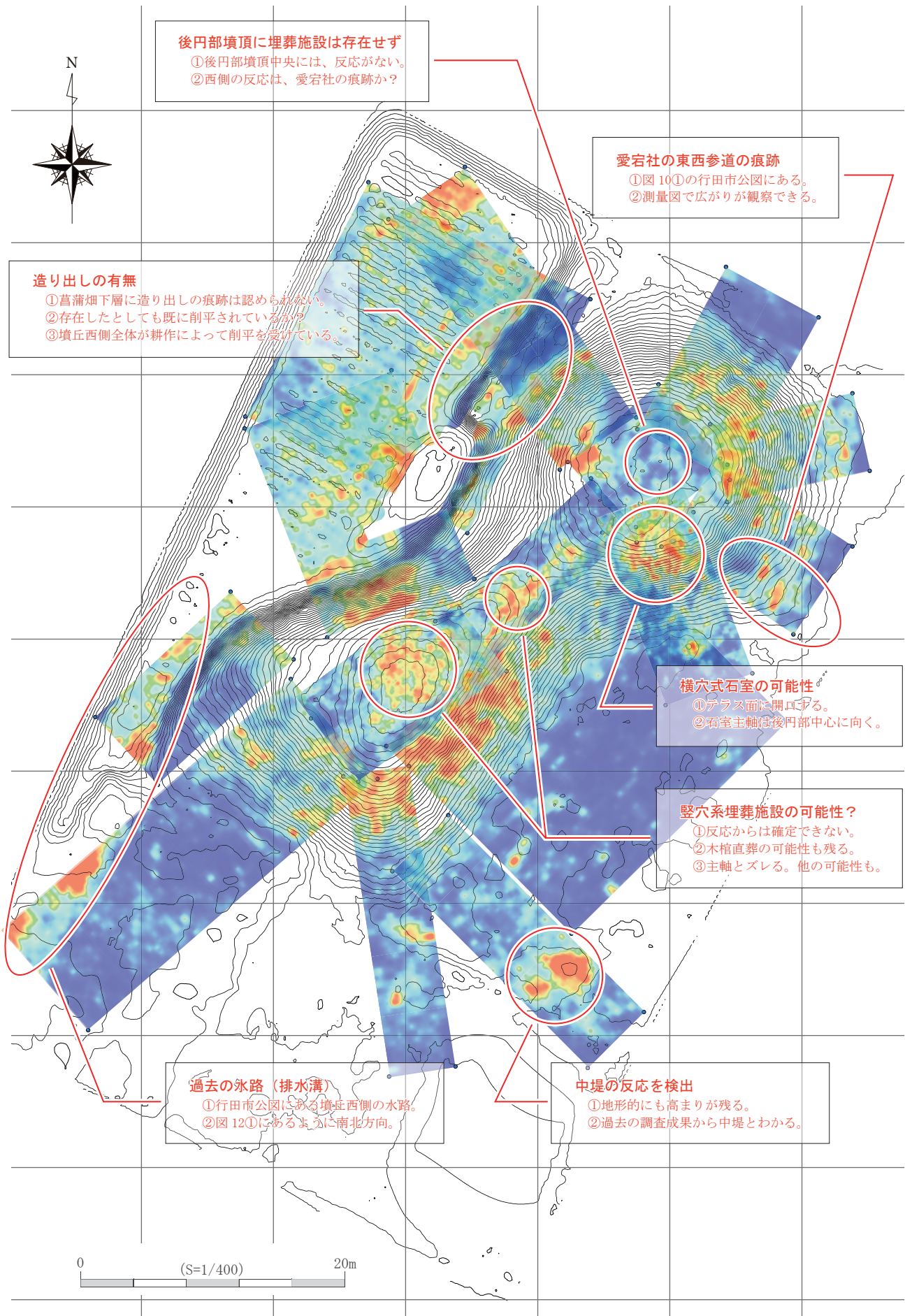


図20 愛宕山古墳における調査成果の総括

てはいない。 .rad ファイルに記録されている SIGNAL POSITION:2.734375 という数値を信用すれば、地表面からの深さは 0.1m ほど差し引いた値となる。

以上の解析結果をまとめると、くびれ部から後円部中心に向かって横穴式石室が存在した可能性は極めて高く、その規模は裏込め部分も含め 4m 強四方、玄室部は最低でも 1.5 × 2m、天井石はなく、残存部分は基底部から最大 0.8m ほどということになる。3D マイグレーション処理などの地形補正を施していないので、位置や規模などは不確かな部分も多いが、横穴式石室の存在は、ほぼ間違いないと推定される。

5. 調査成果の総括

愛宕山古墳における三次元測量・GPR 非破壊調査の成果に関しては、[図 20](#) に総括図面を提示した。成果は、以下の 7 点にまとめることができる。

【測量】

- ① 墳丘西側が菖蒲畑で大きく削平されているのを除けば、畑地・宅地・道路・駐車場により墳裾は削られているものの、墳丘全体はよく残存している。
- ② 墳丘は二段築成で、特に前方部東側面のテラス面が測量図から明瞭に観察できる。
- ③ 後円部東側には、行田市公図にある愛宕社参道によって墳裾よりも突出した地形が確認できる。しかし、愛宕社の社殿・参道などが墳丘に与えた影響は、それほど大きくない点が見える。

【GPR】

- ④ 後円部墳頂に埋葬施設の反応は確認できず、後円部東南斜面のテラス面に開口し、主軸が後円部 0 点に向かう横穴式石室と推定できる反応を検出した。横穴式石室の位置は、二子山古墳（[城倉ほか 2018](#)）、将軍山古墳（[埼玉県教育委員会 1997](#)）、鉄砲山古墳（[埼玉県教育委員会 2020](#)）と一致する。
- ⑤ 前方部墳頂、鞍部付近に木棺直葬など竪穴系の埋葬施設の可能性がある反応が認められるものの、主軸上には位置しておらず、範囲も明瞭ではない。そのため、埋葬施設とは確定できなかった。
- ⑥ 墳丘西側は、最近まで存在した菖蒲畑によって大きく削平されており、その下層にも造り出しなどの反応は認められなかった。造り出しは本来存在していた可能性もあるが、既に遺構は削平されている可能性が高い。
- ⑦ 前方部東南側で、中堤の一部を検出した。

おわりに

本書では、埼玉古墳群中の小型前方後円墳：愛宕山古墳の測量・GPR 調査の成果を示した。LN を用いた点群測量によって、従来の測量図よりも精密な地形情報を取得することができ、墳丘の立体構造の復原に向けた基礎情報を提示することができた。特に、墳丘東側の残存度が非常に高い点を確認した点が、大きな成果といえる。また、地中レーダー探査を用いた非破壊調査によって、後円部東南斜面に横穴式石室の可能性がある反応を確認するとともに、前方部墳頂・鞍部にも木棺直葬などの竪穴系埋葬施設の可能性がある反応を確認できた。GPR 反応は、あくまでも可能性を提示するデータではあるものの、今後の発掘ではこれらの情報を踏まえて効率的な調査が実施可能と考える。

以上、発掘前の測量・GPR 非破壊調査は、発掘による遺構の破壊を最小限に抑えながら、効率的な調査計画を立てる重要な情報になる点を強調しておきたい。現在、このような調査方法は全国的に見れば主流ではないが、今後の考古学調査のスタンダードになる点を確認している。今回の非破壊調査の成果を踏まえて愛宕山古墳の発掘調査が進み、成果のフィードバックによって GPR 反応の解釈に関する精度が高まる点にも期待したい。

引用文献

- 行田市教育委員会 1994 『行田市文化財調査報告書 第 31 集 愛宕山古墳・天祥寺裏古墳・二子山古墳・中の山古墳・陣場遺跡（6 次・7 次）』
- 埼玉県教育委員会 1980 『埼玉稲荷山古墳』
- 埼玉県教育委員会 1985 『埼玉古墳群発掘調査報告書 第 3 集 愛宕山古墳』

埼玉県教育委員会 1997『将軍山古墳』

埼玉県教育委員会 2018『史跡埼玉古墳群総括報告書Ⅰ』

埼玉県教育委員会 2020『特別史跡埼玉古墳群 鉄砲山古墳 発掘調査報告書』

城倉正祥 2011『北武蔵の埴輪生産と埼玉古墳群』奈良文化財研究所

城倉正祥ほか 2018「埼玉二子山古墳のGPR調査2017」『溯航』第36号

城倉正祥編 2020a『栃木県小山市 摩利支天塚古墳の測量・GPR調査』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所

城倉正祥編 2020b『群馬県藤岡市 七輿山古墳の測量・GPR調査』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所

高木豊三郎 1936『史蹟埼玉』埼玉村教育會

図表出典一覧

図1・2 (埼玉県教育委員会 2018) を基に、ナワビ作成。

図3 (埼玉県教育委員会 1985・行田市教育委員会 1994) を基に、ナワビ作成。

図4・7・8・9・10・11・12 測量・GPR 成果に基づき、ArcGIS を用いて城倉作成。

図5・6 早稲田大学所蔵データを基に、城倉作成。

図13 GPR 成果に基づき、横溝・岸田作成。

図14・15・16 東北大学取得 GPR データに基づき、佐藤・斎藤作成。

図17・18・19 早稲田大学取得 GPR データに基づき、亀井作成。

図20 調査成果に基づいて、城倉作成。

表1・2 測量成果を基に、城倉作成。

執筆者一覧

城倉正祥（早稲田大学文学学術院／教授）
呉心怡（早稲田大学文学学術院／助手）
杉崎茂樹（早稲田大学大学院文学研究科／博士後期課程）
高橋 亘（早稲田大学大学院文学研究科／修士課程）
李承叡（早稲田大学大学院文学研究科／修士課程）
横溝 優（早稲田大学大学院文学研究科／修士課程）
岸田 彩（早稲田大学大学院文学研究科／修士課程）
ナワビ矢麻（埼玉県立さきたま史跡の博物館）
田邊えり（土浦市教育委員会）（～2022年3月／埼玉県立さきたま史跡の博物館）
田邊凌基（市原市教育委員会）
佐藤源之（東北大学大学院環境科学研究科／教授）
齋藤龍真（東北大学大学院環境科学研究科／ポストドクター）
亀井宏行（東京工業大学／名誉教授）
宮前知佐子（国立民族学博物館／助教）
※所属・肩書は、報告書刊行時の2022年4月現在。

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所 出版シリーズ

【調査研究報告】

- 第1冊『山室姫塚古墳の研究』
- 第2冊『中国都城・シルクロード都市遺跡の考古学的研究』
- 第3冊『殿塚・姫塚古墳の研究』
- 第4冊『デジタル技術を用いた古墳の非破壊調査研究』
- 第5冊『唐代都城の空間構造とその展開』

【研究論集】

- 第1冊『野本將軍塚古墳と東国の前期古墳』

【デジタル調査概報】

- 第1冊『栃木県小山市 摩利支天塚古墳の測量・GPR調査』
- 第2冊『群馬県藤岡市 七輿山古墳の測量・GPR調査』
- 第3冊『上総国分僧寺の測量・GPR（第1次）調査』
- 第4冊『埼玉県行田市 埼玉愛宕山古墳の測量・GPR調査』

※早稲田大学リポジトリ、および全国遺跡報告総覧でPDFを公開中。

報告書抄録

ふりがな	さいたまけんぎょうだし さきたまあたごやまこふんのそくりょうじーびーあーるちょうさ				
書名	埼玉県行田市 埼玉愛宕山古墳の測量・GPR調査				
副書名	早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所 デジタル調査概報 第4冊				
編著者名	城倉正祥（編）・呉心怡・杉崎茂樹・高橋 亘・横溝 優・岸田 彩・李承叡 ナワビ矢麻・田邊えり・田邊凌基・佐藤源之・齋藤龍真・亀井宏行・宮前知佐子				
編集機関	早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所				
所在地	〒162-8644 東京都新宿区戸山1-24-1 早稲田大学文学学術院（城倉研究室）				
遺跡名	所在地		コード		
愛宕山古墳	埼玉県行田市埼玉5206番イほか		市町村	遺跡番号	
			11206	68-059	
北緯	東経	調査期間		調査面積	調査原因
36度07分34秒	139度28分37秒	2021. 9. 2-9. 7/10. 5-10. 6		7000㎡	学術調査
調査機関	種別	時代	遺構	備考	
早稲田大学	古墳	古墳後期	前方後円墳	測量・GPR調査	
埼玉県立 さきたま史跡の博物館					

埼玉県行田市 埼玉愛宕山古墳の測量・GPR調査

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所 デジタル調査概報 第4冊

2022年4月30日刊行（早稲田大学リポジトリで発刊）

編集／発行 早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所

〒162-8644 東京都新宿区戸山1-24-1 早稲田大学文学学術院（城倉研究室）