

栃木県小山市
摩利支天塚古墳の測量・GPR調査

2020年8月

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所

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	1
2. 摩利支天塚古墳の研究史(石井・田邊)	2
2-1 下毛野の古墳と摩利支天塚古墳	2
2-2 摩利支天塚古墳の既往調査	5
2-3 今後の課題	5
3. 基準点測量と地形測量・GPRの方法(城倉)	8
3-1 トラバースと水準測量	8
3-2 地形測量の方法	8
3-3 GPRの方法	9
4. 地形測量の成果(城倉)	9
4-1 既往図面と点群測量図の差異	9
4-2 GISを用いた測量図の作成	15
4-3 測量成果	15
5. 地中レーダー(GPR)探査の成果	15
5-1 レーダー区の設定(城倉)	15
5-2 各レーダー区の反応(谷川・高橋・横溝)	15
5-3 レーダー反応と発掘成果との整合性(城倉)	20
6. 調査成果の総括と今後の課題(城倉)	29
おわりに(城倉)	29
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	栃木県南部地域の主要古墳	3
図 2	摩利支天塚古墳と周辺遺跡	4
図 3	摩利支天塚古墳の発掘成果（平面図）	6
図 4	摩利支天塚古墳の発掘成果（墳丘断面図）	7
図 5	トラバース路線（上：琵琶塚古墳、下：摩利支天塚古墳）	12
図 6	摩利支天塚古墳の既存測量図（株式会社パスコ作成：2013 年）	13
図 7	摩利支天塚古墳における点群測量の範囲（112, 123 点）	14
図 8	摩利支天塚古墳の測量成果（10cm 等高線）	16
図 9	摩利支天塚古墳の測量成果（10cm 等高線 + Slope）	17
図 10	レーダー区の配置（20cm 等高線）	18
図 11	各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図①	21
図 11	各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図②	22
図 11	各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図③	23
図 11	各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図④	24
図 11	各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図⑤	25
図 12	レーダー反応（上層）と既往発掘トレンチの位置	26
図 13	レーダー探査の成果（20cm 等高線）	27
図 14	摩利支天塚古墳の既存復原案（鈴木一男 1983）	28
表 1	摩利支天塚古墳の基準点・レーダー区座標一覧①	10
表 1	摩利支天塚古墳の基準点・レーダー区座標一覧②	11

例言

1. 本報告は、栃木県小山市からの受託研究として、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所が実施した栃木県小山市摩利支天塚古墳の測量・GPR 調査の概要報告書である。
2. 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の「デジタル調査概報」シリーズの第 1 冊として刊行した。紙媒体による印刷はせず、PDF を早稲田大学リポジトリ上で公開する方法による出版とした。なお、全国遺跡報告総覧の HP 上でも PDF を公開する。
3. 栃木県小山市から早稲田大学総合研究機構が受託した経費を用いて、2019 年 1 月 7 日～1 月 14 日に調査を実施した。
4. 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。なお、報告書抄録は、巻末に記載した。
5. 調査に際しては、下記の方々に、ご指導を賜った。感謝を申し上げたい（五十音順、敬称略）。
青笹基史・秋元陽光・井沢加奈子・大橋泰夫・賀来孝代・小森哲也・鈴木一男・鈴木俊幸・徳江秀夫
根本佑・長谷川陽・樋口典昭・堀川洸太郎・昼間孝志・右島和夫。

はじめに

栃木県小山市は、国指定史跡：摩利支天塚古墳、琵琶塚古墳の調査成果を発信するため、「国史跡 摩利支天塚・琵琶塚古墳資料館」を2018年4月にオープンした。また、小山市が国庫補助事業として進めてきた琵琶塚古墳の発掘調査（秋山 2015・2016a・2018a）が一段落し、新たな体制で摩利支天塚古墳の発掘調査が開始されることになり、小山市教育委員会より早稲田大学に三次元測量・GPR 調査に関する依頼があった。そのため、2018年度に小山市教育委員会と早稲田大学総合研究機構が受託契約を締結した上で、2019年1月に東アジア都城・シルクロード考古学研究所が調査を実施することになった。

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所では、デジタル技術を駆使した三次元測量や地中レーダー（Ground Penetrating Radar :GPR）探査を関東各地で継続しており（城倉ほか 2015、城倉編 2016・2018 など）、その方法論を用いて摩利支天塚古墳の調査を実施することになった。摩利支天塚古墳に関しては、2019年度より新たな体制での発掘調査も開始されており、測量・GPR と発掘成果を比較しながら研究を進めることが出来るため、今後の墳丘研究の重要なモデルケースとなる可能性がある。その基礎作業として、本文では墳丘を中心とした測量・GPR 調査の成果を報告する。

1. 調査の経緯・体制・経過

1-1 調査の経緯

2018年4月、栃木県小山市教育委員会より、早稲田大学に摩利支天塚古墳の発掘前の基本情報を取得するための測量・GPR 調査に関する依頼があった。そのため、2018年10月1日～2019年3月20日の期間で、「国史跡 摩利支天塚古墳レーダー探査」を研究題目とする「受託研究契約書」を小山市教育委員会と早稲田大学総合研究機構との間で締結した。本協定に基づき、小山市教育委員会が予算化した125万円を用いて、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所が摩利支天塚古墳の三次元測量・GPR 調査を実施した。本デジタル概報は、その調査成果報告である。

1-2 調査の体制

本調査の体制は、以下の通りである。

【対象】国指定史跡：摩利支天塚古墳。／【所在地】栃木県小山市大字飯塚字樋ノ口362番地ほか15筆。／【期間】2019年1月7日～1月14日（8日間）。／【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。／【調査担当】城倉正祥（早稲田大学文学学術院・准教授）。／【調査参加者】田畑幸嗣（早稲田大学文学学術院・准教授）、ナワビ矢麻・伝田郁夫・石井友菜（早稲田大学大学院文学研究科・博士後期課程）、谷川遼・隈元道厚・岡本樹（早稲田大学大学院文学研究科・修士課程）、高橋亘・横溝優（早稲田大学文学部）、田邊凌基（早稲田大学文化構想学部）。所属・肩書は2019年1月当時。

1-3 調査の経過

本調査の経過は、以下の通りである。

【2019.1.7】AM：大学で機材を積み込み、栃木県小山市へ移動。教育委員会の鈴木一男氏、長谷川陽氏と調査の相談。PM：①トラバース測量、②水準測量、③測量の大地区設定、④RA区の設定。／【1.8】①開放トラバースによる基準点設置、②LNによる地形測量、③RA区の走査、RB区の設定。／【1.9】①地形測量、②RB区の走査、RC・RD区の設定と走査。／【1.10】①地形測量、②RE・RF・RG区の設定と走査。RH・RI区の設定。／【1.11】①地形測量、②RH・RI区の走査、RJ・RK区の設定と走査。／【1.12】①地形測量、②RL・RM・RP・RQ区の設定と走査、RN・RO・RR区の設定。／【1.13】①地形測量、②RN・RO・RRの走査、RS・RT・RU区の設定と走査。／【1.14】①地形測量、②RV・RW・RX・RY・RZ・Ra区の設定と走査、③夕方に機材を撤収して、夜に大学に帰着。

2. 摩利支天塚古墳の研究史

2-1 下毛野の古墳と摩利支天塚古墳

(1) 下毛野の古墳 (図1)

栃木県は、東部に八溝山地、北西部に那須山地や足尾山地が連なり、やや東に寄る中央部から南部にかけて平野が広がる。県東部では那珂川、県中部では鬼怒川や田川、南部では姿川や渡良瀬川が流れ、平野部を走る各河川流域には古墳をはじめとする各時代の遺跡が分布している。

県内の前期古墳は、大型前方後方墳である上侍塚古墳や下侍塚古墳が築かれた那須地域の他、宇都宮市南部の田川流域に集中が見られる。いずれも山王山地域の山王山南塚2号墳や茂原地域の大日塚古墳・茂原愛宕塚古墳などの前方後方墳を特徴としている。中期に入ると4世紀代には古墳が作られなかった地域にも古墳が出現するようになり、「下毛野」と呼ばれる概ね現在の栃木県域南半部にあたる地域での古墳築造が盛んになる。

中期前葉より大型古墳が出現するようになると、茂原古墳群に後続する上神主浅間神社古墳などの円墳が築かれる。続いて中期中葉になると、田川上流域に墳丘長102mの大型前方後円墳である笹塚古墳が現れ、周囲の円墳や前方後方墳を含む東谷古墳群を形成した。田川と姿川の台地上には墳丘長98mの大型前方後円墳である塚山古墳が出現する。思川流域の一带にも中期以降古墳が連続して出現し、思川と支流の巴波川に挟まれた沖積地には円墳の鶴巻山古墳と前方後円墳の茶臼塚古墳・毘沙門山古墳・三味線塚古墳を中心とした寒川古墳群が形成された。笹塚古墳・塚山古墳に後続する大型前方後円墳は当該地域には見られず、5世紀後半には帆立貝形古墳が県内各所に築かれるようになった。

6世紀に入ると、それまで古墳造営の中心地であった田川上流域から南下した思川・田川中下流域に、大型前方後円墳を含む多数の古墳が造営された。分布状況から、羽生田・壬生(壬生町)、石橋・薬師寺(現下野市)、上三川(上三川町)、国分寺・飯塚(現下野市・小山市北部)などいくつかの単位に細分される。小山市北部地域では桑57号墳の出現を契機として、5世紀末～6世紀前半に栃木県下最大級の大型前方後円墳である摩利支天塚古墳・琵琶塚古墳が築造され、以降も7世紀に至るまで古墳造営がみられる。

中期末から後期にかけて起こった首長墳の移動現象については、首長権の交替や同系統首長の造墓地の移動、地域間の連合政権の成立などの解釈がなされているが、下毛野の南部で広域の政治権が形成されていたことが伺える(内山2011)。7世紀以降まで思川・田川流域に造営されたこれらの古墳を、墓制を共有する首長層によって形成された一群である下野古墳群として捉える見方もある(秋元・大橋1988、広瀬2011)。

(2) 摩利支天塚古墳周辺の地理・歴史的環境 (図2)

摩利支天塚古墳のある小山市は、関東平野の北縁部をなす県南部の平野部に位置する。市中央部を足尾山地から南へ向かう思川が走り、小山市はこの思川を境に大きく台地と低地に区分される。台地は思川東側の小山・間々田・野木にわたる地域で、鬼怒川と思川の間に広がる宝木台地面の一部に相当し、思川西部では広く沖積平野が形成されている。摩利支天塚古墳は支流の姿川が思川に合流する地点から北に約1kmの、舌状台地の先端部に所在する。摩利支天塚古墳から北西300m程の場所には、琵琶塚古墳が造られた。西側の開折谷を隔てた思川沿いの台地上には飯塚古墳群が築かれた。飯塚古墳群の中でも1・2号墳は50mを超す前方後円墳であり、全体では100基を超す小規模古墳が集中していたと推測されている。思川に面した崖線上では埴輪窯跡が確認されており、1978・79年度の調査において3基の埴輪窯が検出されている。円筒埴輪の技法が北方の吾妻古墳出土埴輪と共通しており、本窯の供給先と推測されている。

同じ宇都宮台地上の国分寺地域には後期後半から終末期にかけて築かれた古墳が帯状に分布しており、凝灰岩切石造の横穴式石室をもつ帆立貝形古墳の甲塚古墳や、墳丘長127.85mの大型前方後円墳である吾妻古墳、大型円墳の壬生車塚古墳などがある。また古代には摩利支天塚古墳から北の台地上に下野国分僧寺・国分尼寺などの中枢施設が置かれており、古墳時代後期以降も政治的に重要な地域であったことが伺える。

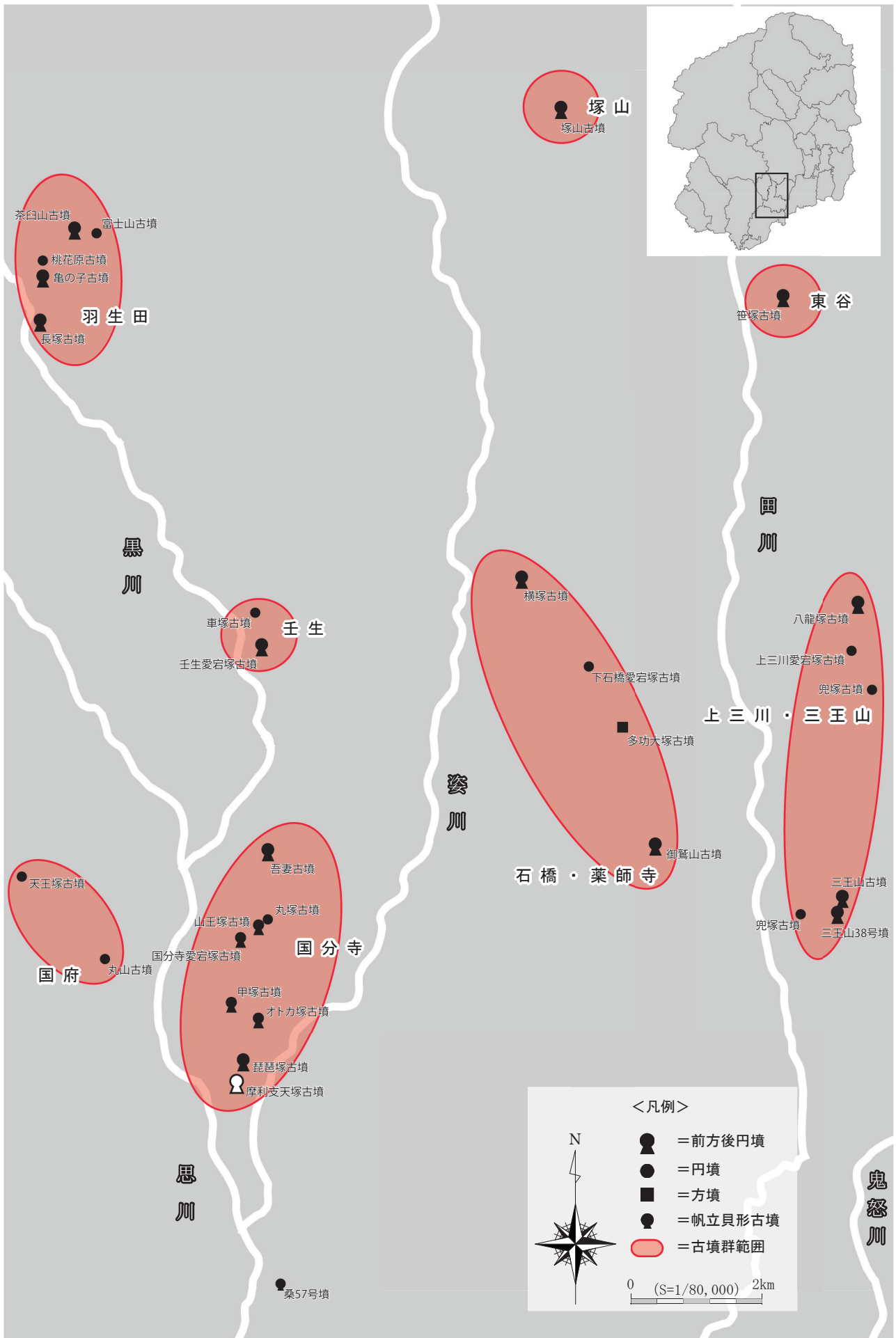


図1 栃木県南部地域の主要古墳



図2 摩利支天塚古墳と周辺遺跡

2-2 摩利支天塚古墳の既往調査

『栃木県史蹟名勝天然記念物調査報告』では墳丘の簡易な図面が示され、墳丘規模については「長約四百八尺、前方ノ高サ約二十四尺、後圓高サ約三十六尺、又前方ノ幅二百四十六尺」との記述がある。また墳丘の現況については、前方部・後円部ともに墳頂部が大きく削平をうけていることが記載されている（[栃木県編 1926](#)）。内務省による史蹟調査報告でも摩利支天塚古墳への言及があり、古墳の東側・南側が後世の改変をうけていることが記載されている（[内務大臣官房地理課編 1926](#)）。この他、一部削平をうけているものの墳丘はほぼ原形を留め、墳丘長約 120m を呈する「中期型」の古墳であることを述べた大和久震平・埴静夫らの論考（[大和久・埴 1972](#)）や、墳丘長約 114.5m とした山越茂の論考（[山越 1979](#)）などから、発掘調査前の摩利支天塚古墳の認識を知ることができる。

1978 年度に国史跡指定をうけた後、環境整備事業に伴い 1980～1982 年度に摩利支天塚古墳の発掘調査が行われた。1980 年度の調査時点では、墳丘長約 116.8m（周溝を含めた全長約 200m）を測ること、盾形の二重周溝をもつこと、立地や出土埴輪の年代観から琵琶塚古墳に先行することなどが明らかになり、6 世紀前葉の築造と推定された（[岩崎 1981](#)）。

1980～1982 年度の 3 年間に及ぶ測量・発掘調査により、測量図の作成、および A～X までの 26 本のトレンチ調査が実施された（[図 3・4](#)）。この結果、墳丘長 115.455m を測る 2 段築成の古墳であること、地山を削り出した基礎の上に黄褐色盛土によって墳丘を形成していることが明らかになった。さらに平面企画の復原・使用尺度の推定などが行われたほか、前方部前面が特異な剣菱形を呈する可能性が指摘された（前方部前面が剣菱形の場合は、墳丘長が 120.55m となる）。これらの成果から、摩利支天塚古墳の年代観は 5 世紀末ないし 6 世紀初め、西暦 500 年を前後する時期と想定された（[鈴木 1983](#)）。以降、摩利支天塚古墳の研究は、この発掘調査の成果をもとに進められてきた。

1996・97 年度には補足調査が行われ、この成果をうけて 2002 年度には中堤や外堀が史跡に追加指定された。また、2011 年度に史跡指定範囲内の民有地が公有地化され、2012 年度から小山市による史跡整備事業が開始された。さらに、2013 年度より開始された琵琶塚古墳の発掘に先立って周辺地形も含めた測量調査が行われ、摩利支天塚古墳の測量図も作成された（[秋山 2015・2018a・2018b](#)）。2019 年度からは、史跡整備事業に伴う摩利支天塚古墳の発掘調査が実施されている。

2-3 今後の課題

(1) 摩利支天塚古墳の重要性

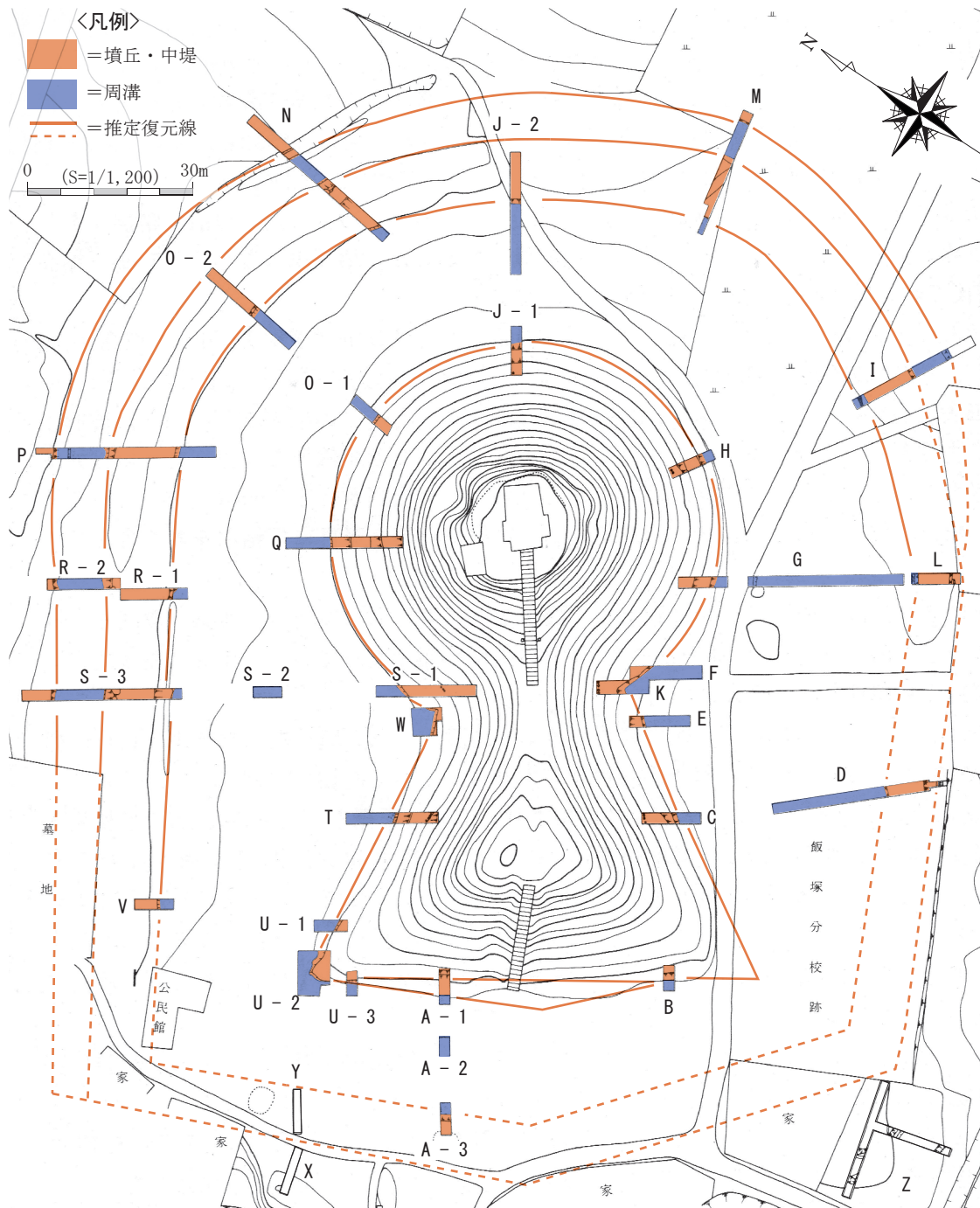
中期後半に田川上流域から思川・田川中下流域に大型前方後円墳の造営地が移動することは当該期における大きな社会変動とみなされ、摩利支天塚古墳の出現を中期群集墳の築造停止（[中村・内山 2005](#)）や毛野国の分割（[岩崎 1981・小森 1990](#)）と結びつける見解もある。

6 世紀から 7 世紀にかけて思川・田川流域には大型の古墳が集中して造営される。これらは「基壇」と呼ばれる特異な基礎を有する墳丘形態や凝灰岩切石造の横穴式石室を前方部に設けるといった要素を共有することから一連の首長墓系列と考えられ、摩利支天塚古墳はこうした首長墓の嚆矢とみなされてきた（[秋元・大橋 1988](#)、[秋元・斎藤 2001](#)、[小森 2016](#) など）。

さらに、当地域には下野国府・下野国分僧寺など、古代下野国の中枢機関が存在する。すなわち、当地域は古墳時代中期から後期、古代にかけて有力な政治勢力が存在し続け、摩利支天塚古墳はその先駆的な存在として位置付けられる。こうした重要性から、主に墳丘と埴輪の 2 つの視点から研究が進められてきた。しかし、発掘調査範囲が限定的なこともあり、墳丘構造については未解決の課題が多く残されている状況である。

(2) 測量・GPR 調査の課題

まず、埋葬施設については、摩利支天塚古墳は縦穴系、琵琶塚古墳は縦穴系あるいは横穴式石室との推定があるものの（[三沢 1994・秋山 2015・2018a](#)）、どちらも詳細は明らかでない。なお、摩利支天塚古墳・琵琶塚古墳の近隣に展開し、両古墳との強い関係性が指摘される飯塚古墳群（[鈴木 1999](#)）には「飯塚型」と



トレンチ名	検出遺構	出土遺物
A(1~3)	填丘裾、第1周溝、中堤立ち上がりと思われる高まり	埴輪片
B	填丘裾	埴輪片
C	填丘裾	埴形土器、埴輪列
D	中堤立ち上がりと思われる高まり(明瞭さを欠く)	—
E	填丘裾	埴輪片
F	填丘裾	—
G	填丘裾、第1周溝	埴輪片
H	填丘裾	埴輪列
I	中堤、第2周溝、外堤立ち上がり	埴輪片
J(1~2)	填丘裾、第1周溝、中堤	埴輪列
K	填丘裾(くびれ部)	埴輪列(原位置を保つ)
L	第1周溝、中堤	—
M	第1周溝、中堤、第2周溝	—
N	中堤、第2周溝	—
O(1・2)	填丘裾、旧表土上の黄褐色盛り土、第1周溝、中堤	埴輪片
P	第1周溝、中堤、第2周溝、外堤立ち上がり	埴輪片
Q	第2段築面、第1段築面、填丘裾	埴輪片
R(1・2)	第1周溝、中堤、第2周溝、外堤立ち上がり	埴輪片
S(1~3)	第2段築面、第1段築面、填丘裾(くびれ部は確認されず)、第1周溝、中堤、第2周溝、外堤立ち上がり	埴輪列
T	填丘裾、第2段築面、第1段築面	埴輪列
U(1~3)	填丘裾	形象埴輪(人物)、埴輪片(馬形を含む)
V	第1周溝、中堤	—
W	填丘裾(くびれ部)	埴輪片
X	—	—
Y	—	—
Z	4本の溝状遺構(性格不明)	埴輪片

図3 摩利支天塚古墳の発掘成果(平面図)

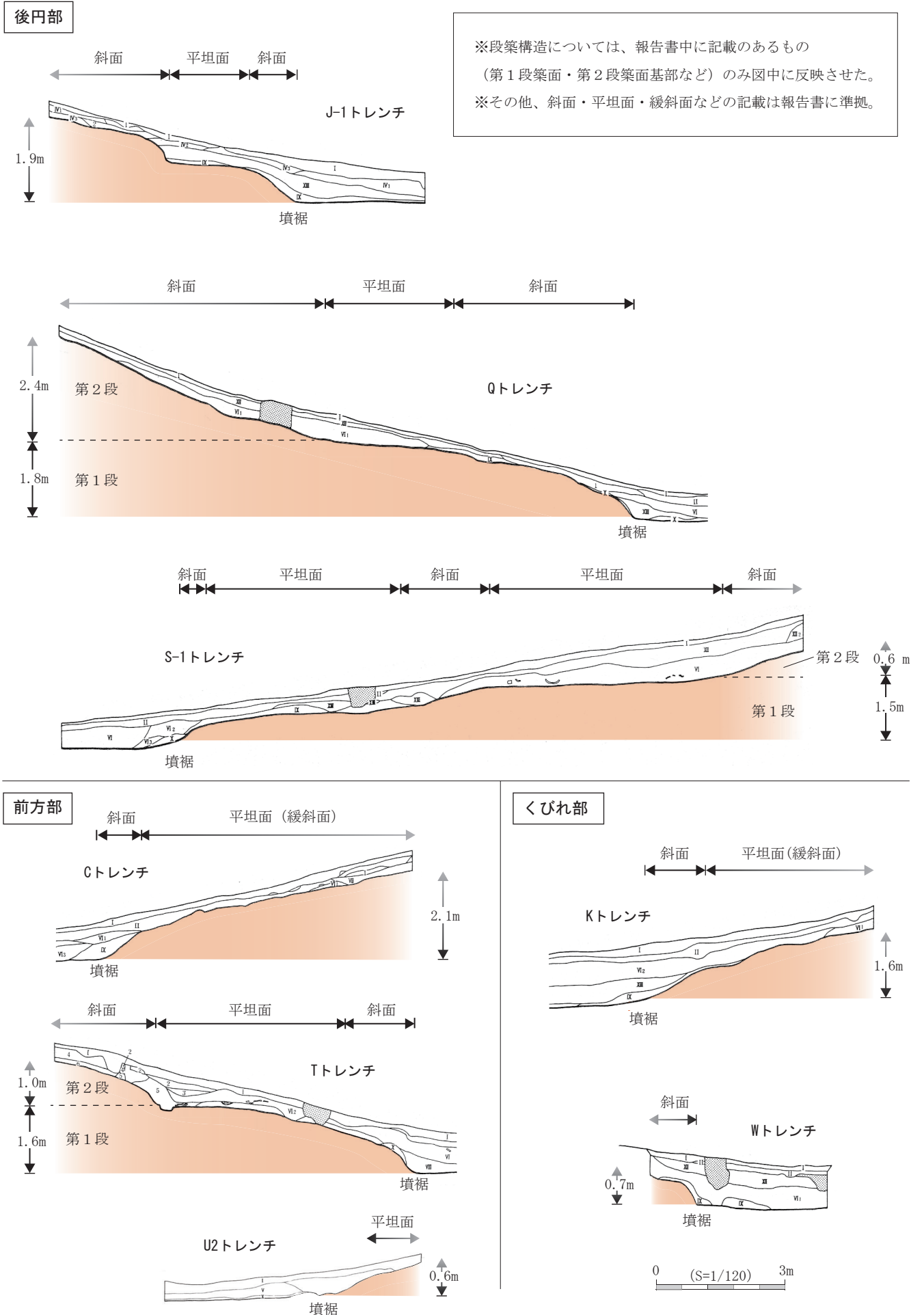


図4 摩利支天塚古墳の発掘成果 (墳丘断面図)

呼ばれる特徴的な横穴式石室がみられ、その系譜を九州や東海に求める考えがあるものの、未だ具体的な出現過程は不明である（池上 1988、土生田 1996、中村・内山 2005、鈴木 2013、内山 2016）。こうした古墳群や、後続する「下野型古墳」との系譜関係を捉える上でも、両古墳の埋葬主体部の実態解明が必要である。

また摩利支天塚古墳の前方部の形態については、石部正志らの論考（石部ほか 1979）中にある河内大塚山古墳や今城塚古墳との形態的共通性から「剣菱形」の可能性が指摘された（鈴木 1983）。のちに石部・宮川らの分析によっても、本墳の前方部が「明瞭な剣菱形を呈する」との評価がなされ（石部・宮川 1999）、この認識は現在まで踏襲されている（鈴木 2013、秋山 2016b・2018a）。しかし、剣菱形前方部をもつとされる古墳はいくつか存在するものの、発掘調査によって詳細が明らかなものは少ない。摩利支天塚古墳の剣菱形前方部の復原も部分的な発掘成果をもとに行われており、更なる検証が不可欠である。

さらに、摩利支天塚古墳の墳丘形態については、主に平面企画の分析が進められてきた（鈴木 1984、東北・関東前方後円墳研究会 1999）。近年では、沼澤豊による基壇をもつ古墳の形成過程の研究中で摩利支天塚古墳の分析も行われ（沼澤 2004）、通常の2段築成古墳と基壇古墳との中間的特徴をもつ構築手法と評価された。しかし、沼澤の論考中でも触れられている通り、本墳の立体的な構造は不明瞭な部分もあり、特に第2段築面の構造は発掘調査では明らかでない。

上記の課題は、摩利支天塚古墳・琵琶塚古墳がどのような歴史的背景のもとに出現したのか、また後続する古墳群とどのような関係性を有するのかといった問題と密接に関わる。つまり、摩利支天塚古墳の歴史的な位置づけのためには、精密な測量・発掘調査に基づく墳丘構造の解明や非破壊的手法に基づく埋葬施設の確認などの基礎作業が重要だと考える。

3. 基準点測量と地形測量・GPRの方法

3-1 トラバースと水準測量

本調査に際しては、小山市教育委員会より琵琶塚古墳・摩利支天塚古墳の調査で使用している基準点（oyama3-1・3-2・3-3・3-4）情報の提供を受けた。また、小山市教育委員会の受託を受けて株式会社パスコが実施した測量調査の成果に関しても、データでの提供を受けた。以上のデータを基に基準点測量を実施した。なお、本調査で使用した基準点、及びレーダー区の座標一覧を表1に示した。

まず、震災後に設置された基準点（3-1・3-2:2013年設置）（3-3・3-4:2018年設置）同士を結合するトラバースを組んだ。図5に示したように、oyama3-3（後視）→oyama3-4（始点）→W1→W2→W3→W4→W5→W6→oyama3-2（終点）→oyama3-1（前視）の観測で、夾角の誤差が-18秒、距離の誤差が $X + 10\text{mm} \cdot Y + 10\text{mm}$ 出た。夾角は均等補正、距離は長さに応じた補正を行った。以上の基幹トラバース路線から派生する形で、開放杭W7～W16を設置した。さらに、3-3（標高41.735m）・各基準点・3-4（標高40.535m）を結ぶ往復の結合水準測量によって、全ての測量杭に標高を設定した。

3-2 地形測量の方法

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所では、国内外の遺跡調査において、測量・GPRに基づく非破壊調査に力を入れている。当初は、オートレベルを使って墳丘上に明示した等高線（カラーピンポール）をトータルステーション（TS）で測距し、XYZを直接ドットした方眼紙上に測量図を表現する方法を採用していた（城倉ほか 2012・2014、城倉 2015 など）。しかし、この方法では古墳の立体構造で最も重要な「平坦面」の情報が少なくなる欠点があり、墳丘の定量的な分析も難しいことから、TSでランダムに墳丘面を測距する「間接測量」（城倉ほか 2015、城倉編 2016・2017・2018）を導入した。その後、群馬県藤岡市七輿山古墳・白石稲荷山古墳、埼玉県行田市埼玉古墳群の調査で、後方交会の自動追尾機器であるレイアウトナビゲーター（LN）による全面測量に切り替えると同時に、墳丘全面の地中レーダー（GPR）探査の実施をするようになった。本報告は、①LN全面測量、②全面GPR探査、の方法を導入以後、最初の報告事例である。なお、国外調査では、様々な制約から、3Dスキャナー（Topcon社GLS-2000）を用いた地形測量も実施している（城倉ほか 2020）が、国内調査では①②の方法を用いるのがベストだと考える。

以上を踏まえ、本調査での地形測量の方法を説明する。摩利支天塚古墳に関しては、2013年に株式会社パスコが25cm等高線による測量図(図6)を作成しており、周辺地形を含めて十分な精度で表現されている。しかし、墳丘の立体構造の研究においては、定量的な分析が不可欠になっており、今回はノイズを含まない全体の点群データの取得を目指した。まず、作業上の利便性のために、墳丘をいくつかの区画(大地区)に分け、各自の分担箇所を確認する。その後、任意の場所にLNを設置し、基準点を2点後視する。あとは、スマートフォンを操作しながら、任意の間隔でランダムに点群を取得する作業となる。慣れた作業であれば、1台のLNで1日5000~1万点の取得が可能で、4台稼働すれば1日2万点以上の情報化ができる。取得したデータは、毎晩、GISに読み込んでノイズがないかを確認する。

野外調査で取得するのは、XYZのテキストデータで、墳丘全体のデータを合わせてもわずか5MBほどである。今回の調査で取得した点群は、合計112,123点で、これらをPoint CloudとしてEsri社のArc-GISに読み込んで解析を行った。図7には、株式会社パスコ作成図面上に取得した点群を表示した図を示した。本調査は、小山市教育委員会との打ち合わせにより、墳丘部分に集中して測量・GPR調査を実施することになったため、墳丘全域をほぼ点群でカバーした。なお、二重周溝を有する摩利支天塚古墳では、周辺地形も重要な分析対象であるが、今回は分析対象外とした。以上で取得した点群より、TIN→DEM→Contour→Slopeの順番で解析を進め、最終的にはGPRデータをジオリファレンスして解析を行った。

3-3 GPRの方法

早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所が実施している地中レーダー探査(Ground Penetrating Radar:GPR)の方法については、何度も報告を重ねてきている(城倉ほか2018など)ので、ここでは簡単に方法を概略しておく。

野外調査の際には、MALA社のGXを使用した。関東ローム層では、450MHzのアンテナを使用すれば、3m強の深度まで探査が可能である。そのため、埋葬施設で160MHzを使用した以外は、すべての区画で450MHzのアンテナを使用した。Velocity67の設定以外は、基本的にMALA-GXの初期設定で走査をしている。なお、現状のGPR解析ソフトでは、正確な地形補正をかけることが難しいため、1つの測線内での比高を最小限に抑えるように地区を設定した。また、GPRは「相対的」な反応を示すデータであるため、1つの区画毎に墳丘の立体構造を解明しながら、全体像を復原していく必要がある。上記の理由から、早稲田大学の調査では、墳丘にトレンチを設定するようにレーダー区を設定し、等高線に沿った形でアンテナを走査する「特殊な」方法を採用(「トレンチ引き」と呼称)している。

以上の野外調査で取得したデータは、GPR-Sliceを用いて区毎に解析を行う。地形補正やMigration処理はかけずに、Time Slice平面図、Profile断面図を描出し、地形に当てはめて遺構の反応を解釈している。

4. 地形測量の成果

4-1 既往図面と点群測量図の差異

古墳の研究史上、墳丘の情報化においては、常に等高線が絶対視されてきた。地形観察に基づいて作図された滑らかな等高線は、現在の墳丘測量図でも一般的な表現方法である。しかし、墳丘の定量分析が重要となっている現在、等高線ではなく墳丘全体のサーフェス情報をいかに多く情報化するかが課題となっている。等高線は、点群からTIN・DEMを作成して描出する1つの表現方法に過ぎず、植物などのノイズがない地表面の点群データをどれだけ精密に取得するか、が重要である。図6(株式会社パスコ2013年作成)に示す典型的な測量図に比べて、本論が示す測量図(図8・9)では、等高線のノイズが多いように感じられるかもしれないが、微細な地形を点群測量によって情報化した結果である。等高線はGIS上で滑らかになる操作も可能だが、精密な地形情報を示すことが重要であり、点群の定量的な分析こそが現在の研究段階で求められている情報である点を強調しておきたい。

なお、早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所が測量した古墳に関しては、点群情報に基づく定量的な分析結果を示し、その立体構造を復原してきた(城倉ほか2015、城倉編2016・2018など)。しかし、

表1 摩利支天塚古墳の基準点・レーダー区座標一覧①

点名	X	Y	Z	点名	X	Y	Z		
oyama3-1	41586.581	-2251.953	—	RD	RD1	41299.354	-2429.097	46.488	
oyama3-2	41448.093	-2378.866	—		RD2	41287.734	-2411.592	41.472	
oyama3-3	41318.698	-2549.287	41.735		RD3	41296.039	-2406.083	41.483	
oyama3-4	41192.364	-2500.022	40.535		RD4	41307.732	-2423.510	47.286	
W1	41220.814	-2449.214	40.803	RE	RE1	41304.630	-2500.411	41.208	
W2	41271.570	-2484.349	48.063		RE2	41285.233	-2495.597	46.948	
W3	41295.353	-2464.118	46.635		RE3	41292.433	-2466.471	46.772	
W4	41297.486	-2427.637	45.506		RE4	41311.856	-2471.293	43.027	
W5	41315.468	-2400.017	41.321	RF	RF1	41279.109	-2490.994	48.388	
W6	41381.676	-2420.853	42.701		RF2	—	—	—	
W7	41250.435	-2484.586	42.960		RF3	41281.117	-2472.190	46.827	
W8	41273.156	-2465.129	43.320		RF4	41288.983	-2478.360	46.410	
W9	41303.451	-2443.193	49.399	RG	RG1	41295.762	-2531.663	41.269	
W10	41314.057	-2422.949	47.573		RG2	41272.934	-2521.533	41.105	
W11	41311.397	-2433.842	52.016		RG3	41281.435	-2502.363	45.310	
W12	41324.004	-2437.894	51.581		RG4	41304.291	-2512.503	41.211	
W13	41331.961	-2446.016	47.207	RH	RH1	41271.407	-2520.276	41.111	
W14	41320.786	-2456.309	48.253		RH2	41261.070	-2514.201	41.205	
W15	41314.028	-2450.388	51.994		RH3	41275.139	-2490.039	48.174	
W16	41307.407	-2486.388	41.502		RH4	41285.567	-2496.106	46.736	
RA	RA1	41328.943	-2436.934	48.796	RI	RI1	41258.585	-2512.656	41.168
	RA2	41320.417	-2428.432	49.205		RI2	41248.310	-2506.537	41.075
	RA3	41357.207	-2391.620	41.842		RI3	41262.158	-2483.325	45.900
	RA4	41365.614	-2400.080	42.451		RI4	41272.409	-2489.458	48.008
RB	RB1	41340.102	-2473.296	41.295	RJ	RJ1	41243.356	-2501.463	41.129
	RB2	41321.344	-2455.312	48.582		RJ2	41231.795	-2493.550	41.026
	RB3	41328.171	-2448.140	48.875		RJ3	41247.614	-2470.440	41.743
	RB4	41347.023	-2466.048	41.404		RJ4	41259.167	-2478.352	44.867
RC	RC1	41302.315	-2481.941	42.223	RK	RK1	41271.879	-2475.590	46.648
	RC2	41301.495	-2460.972	46.481		RK2	41255.131	-2459.861	41.220
	RC3	41318.464	-2460.304	46.597		RK3	41269.502	-2444.556	41.242
	RC4	41319.278	-2481.279	41.250		RK4	41286.279	-2460.302	44.454

【トラバース基準点の凡例】

※oyamaは、小山市教育委員会が測量業者に委託して設置した世界測地系に基づく基準点。

※oyama3-1/3-2 (2013.9.25設置)、3-3/3-4 (2018.12.25設置)、ともに震災後、GNSSによって観測・設置している。

※W(WASEDA)路線は、2019年1月7日～14日の測量調査中に設置したトラバース基準点。調査終了後に撤去。

※座標は、世界測地系(JGD2000)第IX系に基づく。

表 1 摩利支天塚古墳の基準点・レーダー区座標一覧②

点名		X	Y	Z	点名		X	Y	Z
RL	RL1	41292.494	-2462.166	46.640	RT	RT1	41269.283	-2488.872	46.772
	RL2	41275.566	-2455.780	41.819		RT2	41260.166	-2481.016	45.410
	RL3	41282.685	-2437.090	42.031		RT3	41269.307	-2470.400	44.289
	RL4	41299.551	-2443.462	47.545		RT4	41278.444	-2478.231	47.966
RM	RM1	41325.350	-2453.303	48.355	RU	RU1	41302.393	-2512.197	41.183
	RM2	41317.407	-2444.300	52.076		RU2	41279.997	-2506.869	43.608
	RM3	41320.402	-2441.648	51.857		RU3	41283.521	-2492.241	47.916
	RM4	41328.334	-2450.616	48.166		RU4	41305.888	-2497.608	41.255
RN	RN1	41330.300	-2447.742	47.856	RV	RV1	41316.608	-2482.496	41.400
	RN2	41330.117	-2437.755	48.123		RV2	41308.363	-2462.121	45.861
	RN3	41364.136	-2437.197	41.467		RV3	41332.458	-2452.352	45.599
	RN4	41364.302	-2447.194	41.356		RV4	41340.703	-2472.736	41.240
RO	RO1	41298.159	-2439.310	46.935	RW	RW1	41346.179	-2466.348	41.336
	RO2	41277.809	-2431.006	41.285		RW2	41327.833	-2454.242	47.116
	RO3	41283.087	-2418.028	41.306		RW3	41339.343	-2436.735	44.274
	RO4	41303.452	-2426.354	47.204		RW4	41357.746	-2448.813	41.382
RP	RP1	41314.164	-2451.596	51.536	RX	RX1	41334.631	-2445.535	46.047
	RP2	41305.959	-2442.835	51.275		RX2	41327.489	-2420.641	44.627
	RP3	41315.365	-2433.930	51.559		RX3	41352.475	-2413.425	41.330
	RP4	41323.632	-2442.665	51.811		RX4	41359.639	-2438.407	41.359
RQ	RQ1	41309.620	-2439.425	51.956	RY	RY1	41283.919	-2487.647	48.110
	RQ2	41307.120	-2436.207	51.415		RY2	41269.056	-2474.242	45.523
	RQ3	41315.024	-2430.181	51.442		RY3	41292.378	-2448.267	44.605
	RQ4	—	—	—		RY4	41307.285	-2461.636	45.979
RR	RR1	41324.249	-2422.191	45.838	RZ	RZ1	41249.324	-2506.832	41.112
	RR2	41312.237	-2423.138	47.511		RZ2	41240.690	-2501.685	41.543
	RR3	41310.478	-2400.214	41.409		RZ3	41255.013	-2477.620	43.823
	RR4	41322.470	-2399.268	41.335		RZ4	41263.609	-2482.740	46.435
RS	RS1	41259.504	-2481.866	45.222	Ra	Ra1	41280.517	-2452.859	42.073
	RS2	—	—	—		Ra2	41268.753	-2445.273	41.258
	RS3	—	—	—		Ra3	41278.485	-2430.140	41.300
	RS4	41271.618	-2471.379	44.881		Ra4	41290.246	-2437.732	43.858

【レーダー区座標の凡例】

※2019年1月調査で設定したレーダー区4隅（杭上）を観測した座標データ。R=Radars、A=A区。

※レーダー区は、西南隅を1とし半時計周りに2、3、4の番号（例：RA1～RA4）を付している。

※レーダー区は、長さ30cmのプラスチック杭を4隅に敷設して設定した。調査終了後に全ての杭を撤去している。

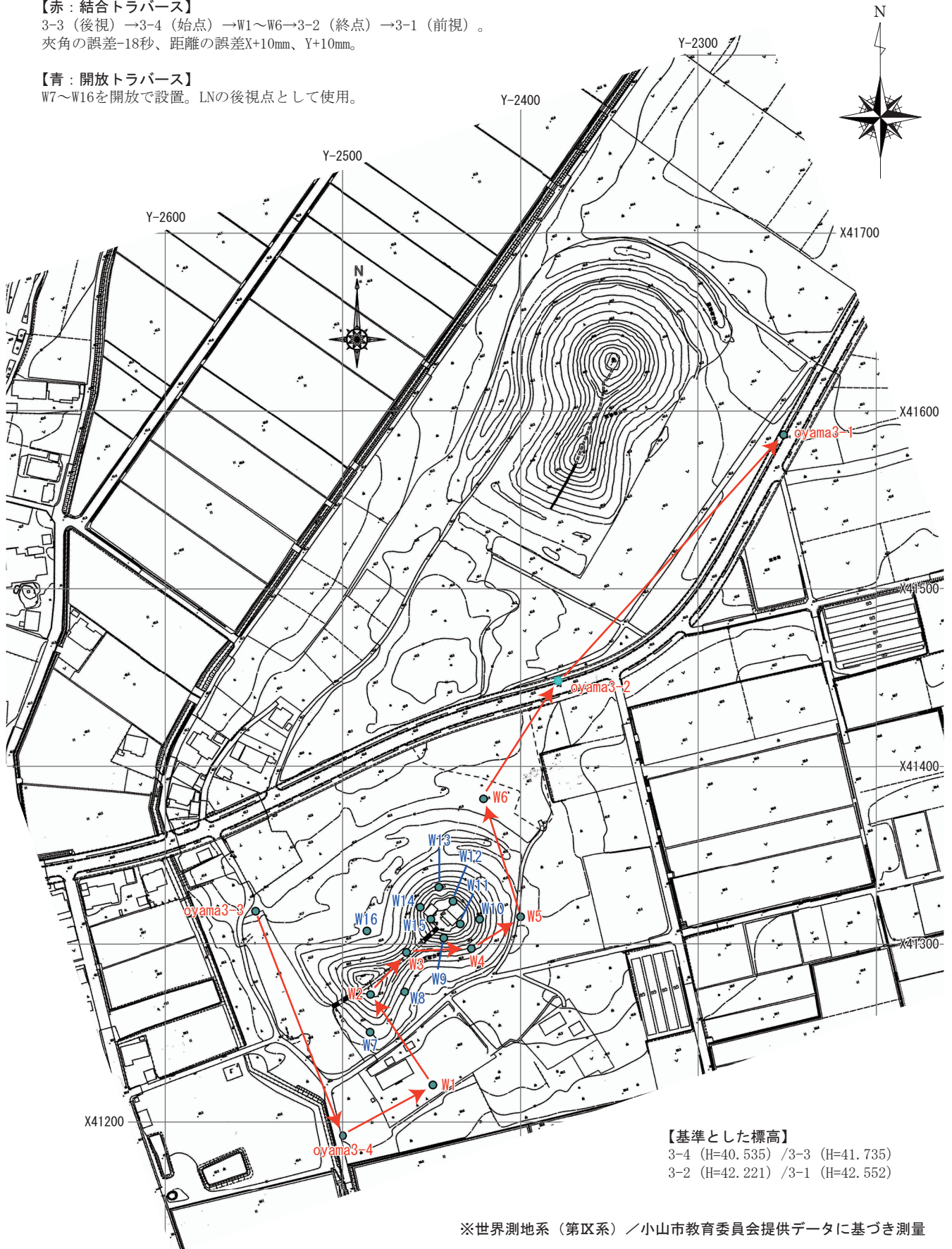
※座標は、世界測地系（JGD2000）第IX系に基づく。

【赤：結合トラバース】

3-3（後視）→3-4（始点）→W1～W6→3-2（終点）→3-1（前視）。
 夾角の誤差-18秒、距離の誤差X+10mm、Y+10mm。

【青：開放トラバース】

W7～W16を開放で設置。LNの後視点として使用。



【基準とした標高】

3-4 (H=40.535) / 3-3 (H=41.735)
 3-2 (H=42.221) / 3-1 (H=42.552)

※世界測地系（第Ⅱ区系）／小山市教育委員会提供データに基づき測量

0 (S=1/3,000) 100m

図5 トラバース路線（上：琵琶塚古墳、下：摩利支天塚古墳）

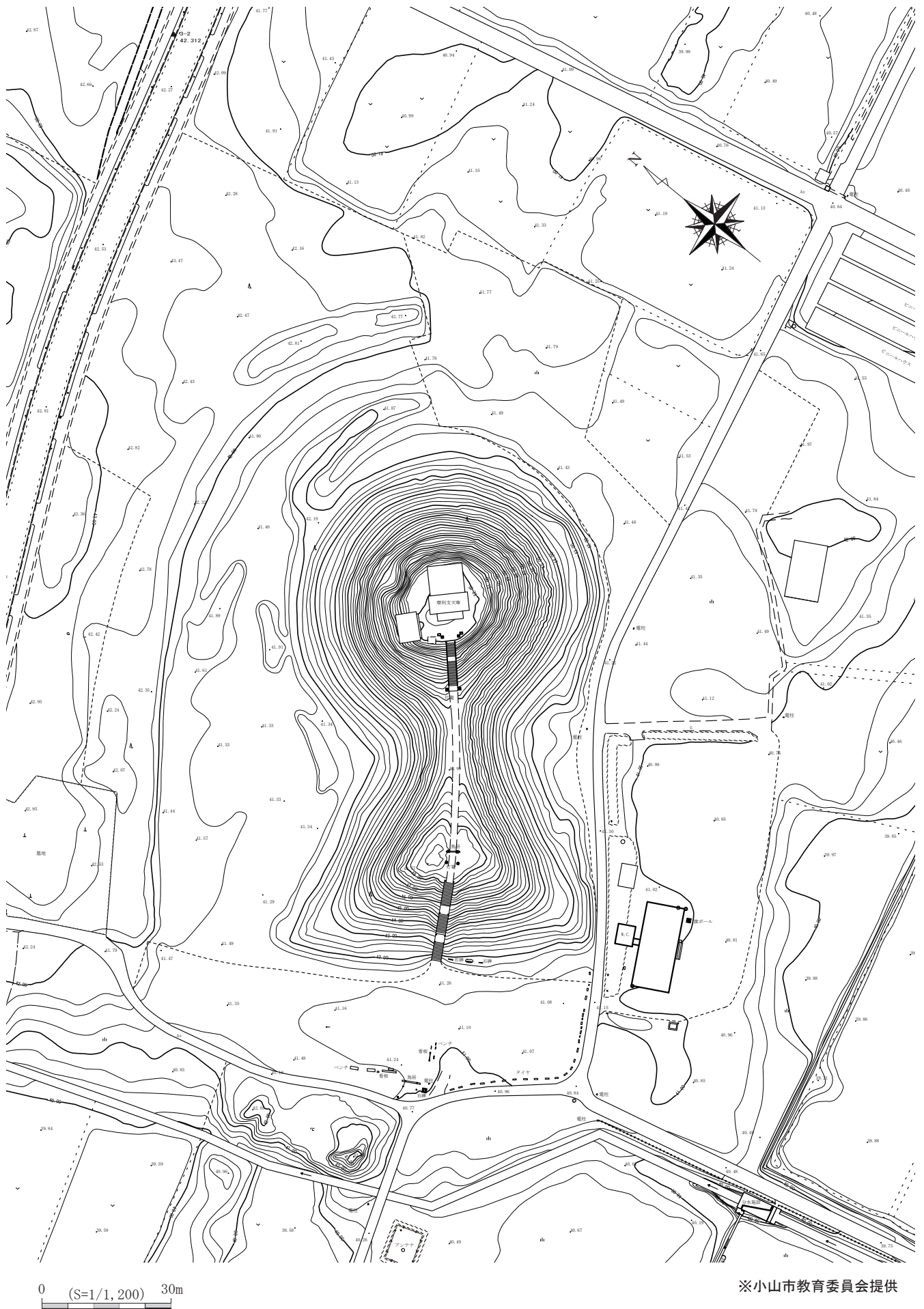


図6 摩利支天塚古墳の既存測量図（株式会社パスコ作成：2013年）

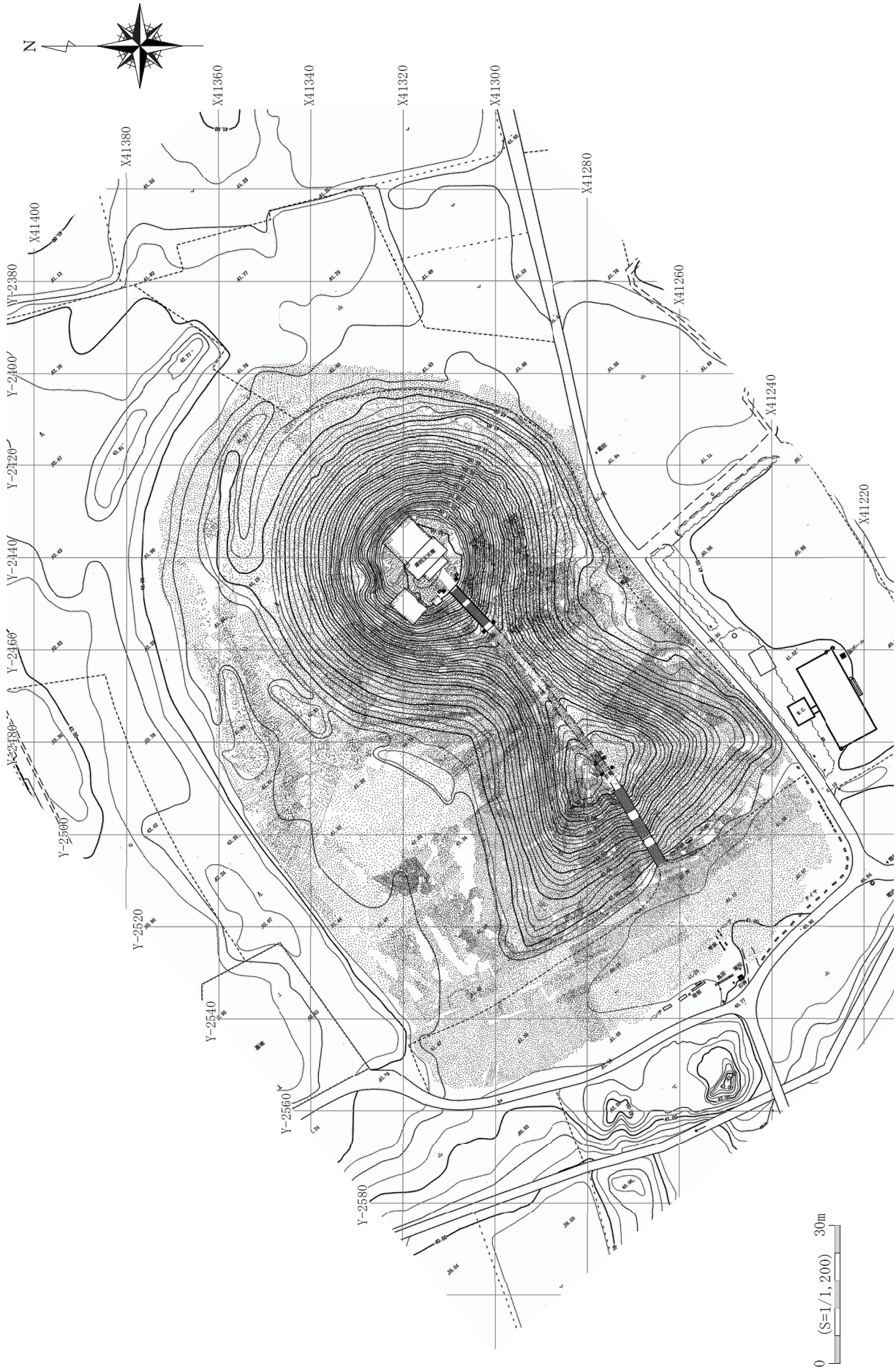


図7 摩利支天塚古墳における点群測量の範囲 (112, 123点)

摩利支天塚古墳に関しては、本調査のGPR成果に基づいて設定されたトレンチ発掘が2020年度現在、進行中であるため、詳細な分析については発掘調査の成果を踏まえた上で、改めて議論する予定である。

4-2 GISを用いた測量図の作成

ここでは、具体的な地形測量図の作成過程を整理しておく。

まず、本調査で取得した112, 123点の点群は、Excelで整理した後、CSV(カンマ区切りのデータ)に変換した。CSVデータは、Esri社のArc-GIS(早稲田大学文学部考古学コースがライセンス契約)に、XYポイントデータとして読み込み、座標系を平面投影座標系(JGD2000_IX)に設定した。その後、インポートした点群から、TIN(Triangulated Irregular Network)を作成し、空間内挿Natural Neighbor(セルサイズ0.2m)でDEM(Digital Elevation Model)化し、Contour(1m・0.2m・0.1m)、Slope(傾斜角解析図)を描出した。また、基準点・レーダー区座標もCSVでインポートし、小山市教育委員会から提供をうけた既往測量図を画像データとして読み込みジオリファレンスした。

以上の基礎作業を経て、本概報での図面を作成した。Arc-GISのマップ上で作成したデータは、A4用紙にレイアウトして格子線を表示した上で、600dpiのtiff画像データとしてエクスポートし、Adobe Illustratorで配置して図版を作成した。

4-3 測量成果

前述したように、今回の測量・GPR調査の成果に基づいて、小山市が発掘調査を継続している段階なので、立体構造の復原など具体的な考察は省略する。また、測量・レーダー成果の総括は、「6. 調査成果の総括と今後の課題」でまとめるので、ここでは、簡単に測量成果を整理しておく。

本調査では、墳丘部分に集中して図7に示した点群範囲を測量した。点群からTIN・DEMを生成した後に、10cm等高線を描出し、図8に提示した。さらに、セルサイズ0.2mのDEMからSlope(傾斜角解析)図を作成し、10cm等高線と合成して図9に示した。Slopeは平坦面を緑、傾斜面を茶色に表現しているため、地形の視覚的認識が可能である。

図6と比べれば明らかだが、既存の測量図よりもはるかに細かい地形情報が取得できている点が見える。特に従来は不明瞭だった、墳裾や墳丘中段テラスなどがクリアに表現できた。後述するレーダー探査の成果を組み合わせば、非破壊で墳丘の立体構造の復原に必要な多くの情報を取得可能である。

5. 地中レーダー(GPR)探査の成果

5-1 レーダー区の設定

3-3で記述した方法論に基づき、RA～RZ・Ra区、合計27区を設定した。各走査線内での比高を抑えて、等高線に沿ったGPR走査が出来るように地形を観察しながら、TSで直角と距離を計測しながら長方形のレーダー区を設定した。図10のように、後円部北東側のRA・RR・RDの間部分を除き、ほぼ全面でレーダー走査を実施できた。各レーダー区がかなり重複して見にくいいため、図中では赤、青、緑に色分けして表示した。なお、各区の規模は、図10右下に示した。

5-2 各レーダー区の反応

本古墳は主軸が北東-南西に傾いているため、方位の記述が難しい。そのため、以下の記述では、主軸の後円部方向を便宜的に北として説明を行う。

【RA区】 12×52m。図11①・Time Slice(45-52ns)。後円部北側に設定した。X=11-14m付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=14-21mは下段斜面と想定される。X=21mより北側が周溝だが、中堤の反応は明瞭には確認できなかった。

【RB区】 10×26m。図11①・Time Slice(45-52ns)。後円部西側に設定した。X=11-13m付近に中段テラスと思われる強い反応がある。また、X=21mより西側に周溝と思われる強い反応を確認できる。

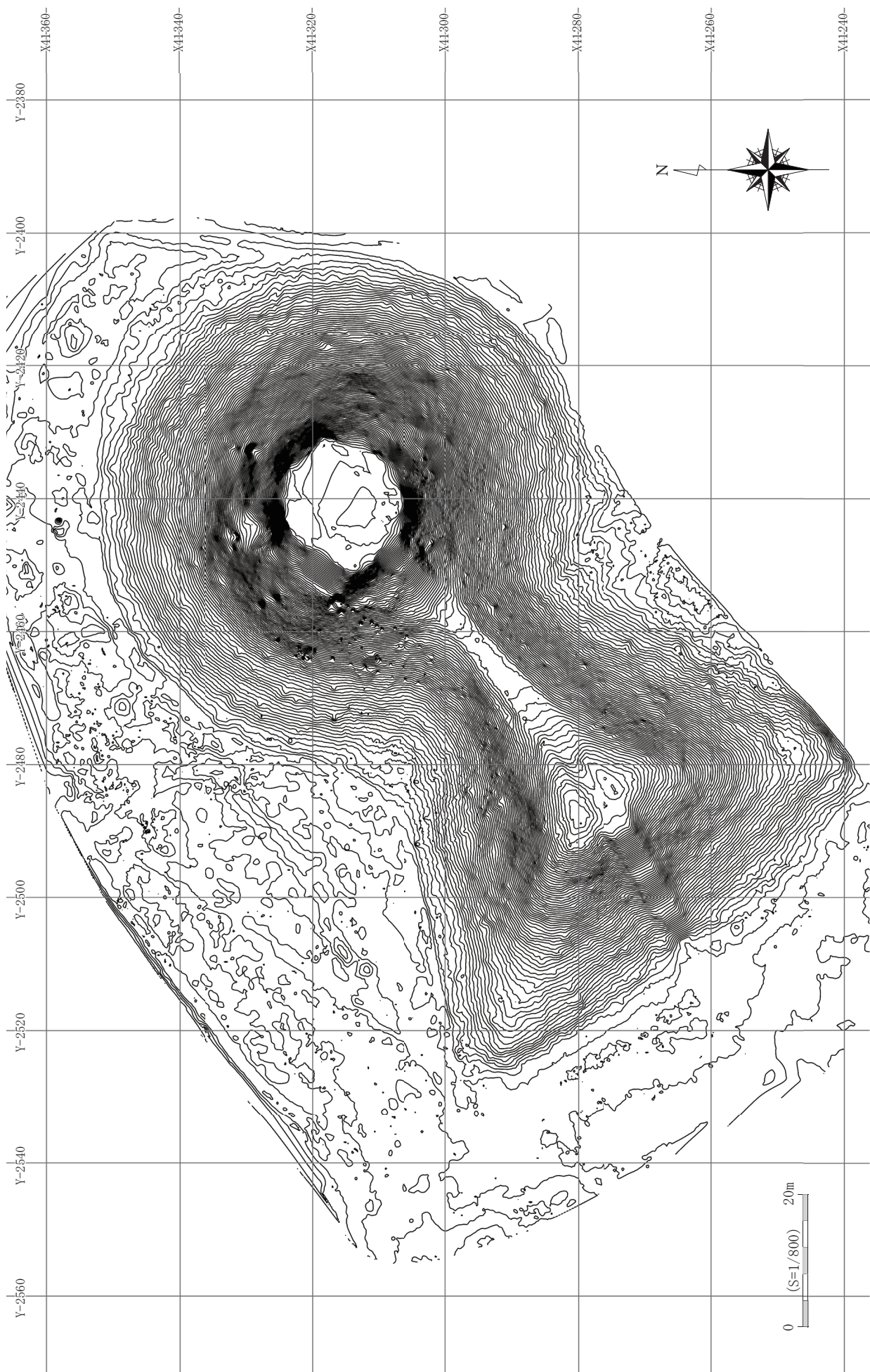


図8 摩利支天塚古墳の測量成果 (10cm 等高線)

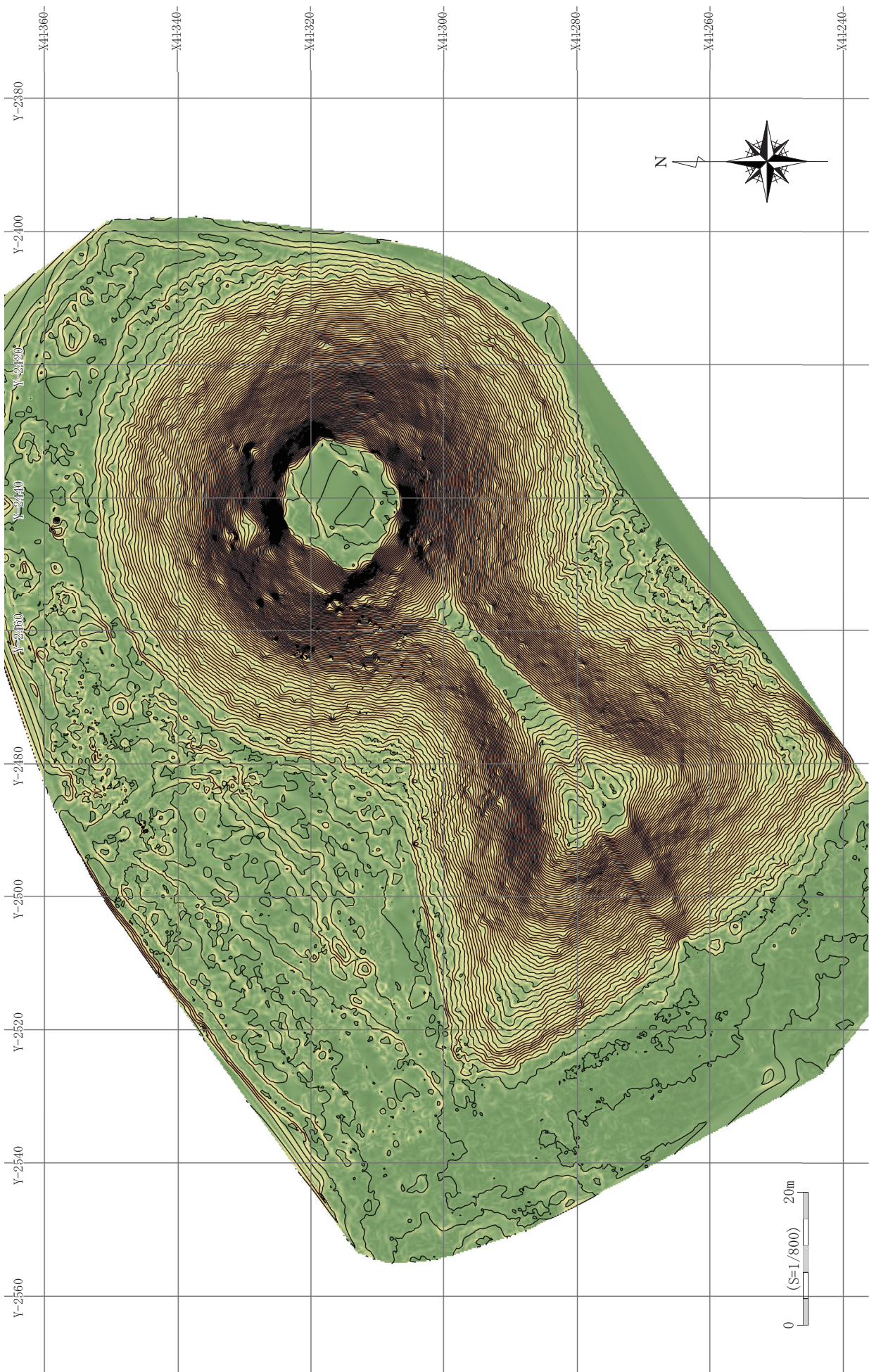
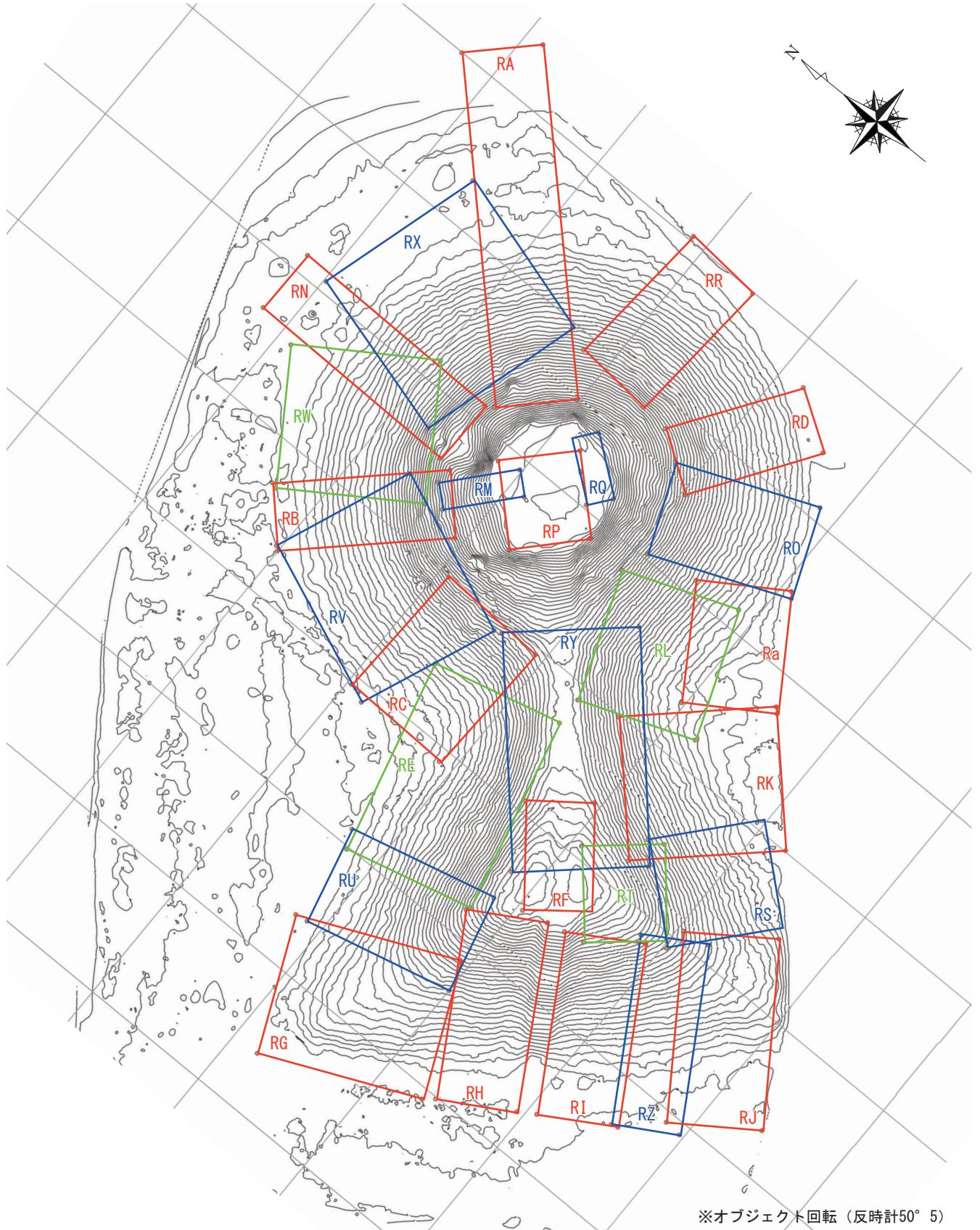


図9 摩利支天塚古墳の測量成果 (10cm 等高線 + Slope)



※オブジェクト回転（反時計50° 5）

【各区の規模】				
(RA) 12m×52m	(RB) 10m×26m	(RC) 17m×21m	(RD) 10m×21m	(RE) 20m×30m
(RF) 10m×16m	(RG) 21m×25m	(RH) 12m×28m	(RI) 12m×27m	(RJ) 14m×28m
(RK) 21m×23m	(RL) 18m×20m	(RM) 4m×12m	(RN) 10m×34m	(RO) 14m×22m
(RP) 14m×13m	(RQ) 4m×10m	(RR) 12m×23m	(RS) 16m×17m	(RT) 12m×14m
(RU) 15m×23m	(RV) 22m×26m	(RW) 21m×22m	(RX) 26m×26m	(RY) 20m×35m
(RZ) 10m×28m	(Ra) 14m×18m			

0 (S=1/800) 20m

図10 レーダー区の配置（20cm 等高線）

【RC 区】 17 × 21m。図 11 ①・Time Slice (43-48ns)。後円部の南西くびれ部付近に設定した。X=4-8m 付近に中段テラスと思われる反応を確認できるが、明瞭ではない。X=16m より西側に周溝の反応を確認できる。また、X=17m、Y=14m 付近に屈曲した反応があり、墳裾のくびれ部と思われる。

【RD 区】 10 × 21m。図 11 ①・Time Slice (45-52ns)。後円部東側に設定した。X=7-10m 付近に中段テラスと思われる反応がある。X=18m より東側に周溝と思われる強い反応を確認できる。

【RE 区】 20 × 30m。図 11 ①・Time Slice (54-61ns)。西側くびれ部から前方部西側にかけて設定した。X=6m、Y=7m 付近を変換点とする幅 2m 程度の反応を確認でき、中段テラスおよびくびれ部の反応だと考えられる。また X=8-15m の屈曲した青く抜けた反応はくびれ部をとまなう下段斜面である。X=16m より西側の強い反応は周溝と考えられる。

【RF 区】 10 × 16m。図 11 ①・Time Slice (12-27ns)・Profile (X=12m)。前方部墳頂に設定した。Y=5-10m に人工物と推測される反応がある。該当箇所の Profile には地表から深さ 60ns まで連続した反応が見られる。神社に関連する後世の遺構と考えられる。

【RG 区】 21 × 25m。図 11 ②・Time Slice (34-42ns)。前方部南西側隅角に設定した。X=8m、Y=10m に中段テラス面の隅角が確認でき、X=6-8m に帯状の強い反応が東へ続く。この反応は、前方部前面の中段テラスと思われる。墳裾は、X=18m、Y=3m に隅角変換点を確認でき、Y=2m より西側、Y=18m より南側に周溝の強い反応が見られる。

【RH 区】 12 × 28m。図 11 ②・Time Slice (41-48ns)。前方部前面に設定した。X=11-17m に幅 2m ほどの屈曲した反応を確認でき、中段テラスの反応と思われる。また X=21m より南側の強い反応は周溝と考えられる。

【RI 区】 12 × 27m。図 11 ②・Time Slice (45-52ns)。前方部前面、RH 区の東側に設定した。X=8-10m 付近に中段テラスと思われる反応がある。X=21m より南側は周溝の反応だと考えられる。

【RJ 区】 14 × 28m。図 11 ②・Time Slice (37-45ns)。前方部南東隅角に設定した。X=5m、Y=6m 付近を変換点とする幅約 2m の強い反応を確認でき、東側隅角だと考えられる。X=20m より南側は周溝の反応である。

【RK 区】 21 × 23m。図 11 ②・Time Slice (45-52ns)。前方部の東側面に設定した。Y=0m における X=0-8m 付近から Y=21m における X=0-3m 付近にかけて中段テラスと思われる強い反応がある。Y=0m における X=8-17m 付近から Y=21m における X=3-10m 付近にかけては下段斜面と想定される。Y=0m における X=17m および Y=23m における X=10m より東側に周溝と思われる強い反応がある。

【RL 区】 18 × 20m。図 11 ②・Time Slice (41-56ns)。後円部南東側から東側くびれ部にかけて設定した。X=0-9m 付近に強い上段斜面と中段テラスを示す強い反応が認められ、X=7m、Y=12m 付近にくびれ部と思われる変換点を確認できる。中央の青く抜けた部分が下段斜面で、X=14m、Y=6m 付近が墳裾くびれ部と思われ、それより東側の強い反応が周溝と考えられる。

【RM 区】 4 × 12m。図 11 ③・Time Slice (29-37ns)・Profile (X=2m)。後円部西側、墳頂付近に設定した。X=1-3m 付近には、社殿の基礎と思われる強い反応が見られる。該当箇所の Profile には深さ 45ns 付近に強い反応が見られる。X=3-12m は上段斜面と推定される。

【RN 区】 10 × 34m。図 11 ③・Time Slice (45-52ns)。後円部北西側に設定した。X=8-12m 付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=12-19m 付近は下段斜面と想定される。X=19-26m 付近に墳裾と思われる強い反応がある。

【RO 区】 14 × 22m。図 11 ④・Time Slice (48-56ns)。後円部東側に設定した。X=6-10m 付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=10-16m は下段斜面と推定される。X=16-22m の反応は周溝と想定される。

【RP 区】 14 × 13m。図 11 ③・Time Slice (80-94ns)・Profile (X=8m)。後円部墳頂に設定した。区全体に社殿の基礎と思われる強い反応がある。Profile には地表から深さ 210ns まで連続した反応が見られる。埋葬施設と考えられる反応は確認できなかった。

【RQ 区】 4 × 10m。図 11 ③・Time Slice (102-117ns)・Profile (X=3m)。後円部東側、墳頂付近に設定した。X=0-8m に古い時期の社殿の基礎と思われる強い反応がある。Profile には地表から深さ 160ns まで連続した反応が見られる。

- 【RR区】12×23m。図11④・Time Slice (26-33ns)。後円部北東側に設定した。X=8-10m付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=10-18mは下段斜面、X=18-23mは周溝の反応と推定される。
- 【RS区】16×17m。図11④・Time Slice (45-52ns)。前方部東側面に設定した。X=2-8m付近に中段テラスと思われる反応がある。X=8-16mは下段斜面と推定される。
- 【RT区】12×14m。図11④・Time Slice (30-37ns)・Profile (X=7m)。前方部東側面に設定した。X=3-10m付近に新しい時期の人工物と思われる反応がある。該当箇所のProfileには地表から深さ60nsまで連続した反応が見られる。
- 【RU区】15×23m。図11④・Time Slice (48-56ns)。前方部西側面に設定した。X=9-11m付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=11-18m付近は下段斜面と想定される。X=18mより西側に周溝と思われる強い反応がある。
- 【RV区】22×26m。図11④・Time Slice (37-45ns)。後円部南西側に設定した。X=8-10m付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=10-18m付近は下段斜面と想定される。X=18mより西側に周溝と思われる強い反応がある。
- 【RW区】21×22m。図11④・Time Slice (37-45ns)。後円部北西側に設定した。Y=0mにおけるX=1-3m付近からY=21mにおけるX=8-10m付近にかけて中段テラスと思われる強い反応がある。Y=0mにおけるX=3-15m付近からY=21mにおけるX=10-20m付近にかけては下段斜面と想定される。Y=0mにおけるX=15m付近およびY=21mにおけるX=20m付近より西側に周溝と思われる強い反応がある。
- 【RX区】26×26m。図11⑤・Time Slice (26-33ns)。後円部北側に設定した。X=8-11m付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=11-18m付近は下段斜面と想定される。X=18mより北側に周溝と思われる強い反応がある。
- 【RY区】20×35m。図11⑤・Time Slice (45-52ns)・Profile (X=8m)。前方部墳頂平坦面に設定した。X=7-19mに人工物と思われる反応がある。該当箇所のProfileには10-50nsに強い反応が見られる。前述したRF・RT区の人工作と思われる反応と一連のものと考えられる。後円部墳頂に位置する社殿に向かう前方部墳頂軸線上に位置するため、参道、あるいはそれに付随する建造物の基礎の可能性が高い。
- 【RZ区】10×28m。図11⑤・Time Slice (37-45ns)。前方部南側に設定した。X=5-9m付近に中段テラスと思われる強い反応がある。X=9-23m付近は下段斜面と想定される。X=23mより南側は周溝と思われる強い反応がある。
- 【Ra区】14×18m。図11⑤・Time Slice (41-48ns)。後円部南東側から東側くびれ部にかけて設定した。X=7m、X=8m付近を変換点とする墳裾くびれ部が確認でき、その東側に周溝と思われる強い反応がある。

5-3 レーダー反応と発掘成果との整合性

GPRは、地中の誘電率の違いを把握可能だが、各レーダー区の反応で示した通り、中段テラス・周溝に堆積する水分の多い土に強く反応している。そのため、中段テラスと墳裾の位置をかなり正確に把握することが可能である。また、後円部墳頂・前方部墳頂に存在する神社関連の人工埋設物の存在も、ある程度把握できる。墳丘の立体構造の詳細については、今後の発掘成果も踏まえて論じる予定なので、ここではレーダー反応と過去の発掘トレンチとの関係を整理しておく。

図12には、各レーダー区の上層の反応を測量図上に配置して示した。また、レーダー反応の上には、1983年度報告の発掘トレンチをジオリファレンスした。C・E・F・Q・S・W・T・Uの各トレンチでは、発掘埋め戻し土が水分を多く含むため、非常に強い反応を示している点が見える。一方、前方部前面のA・B、後円部東側のG・H、後円部北側のJ・Oトレンチでは反応が明瞭には確認できない。これらの場所は、いずれも墳丘上の樹木が伐採されて見通しが良くなっている部分であり、土中の水分が少なくなっている点が影響しているものと思われる。

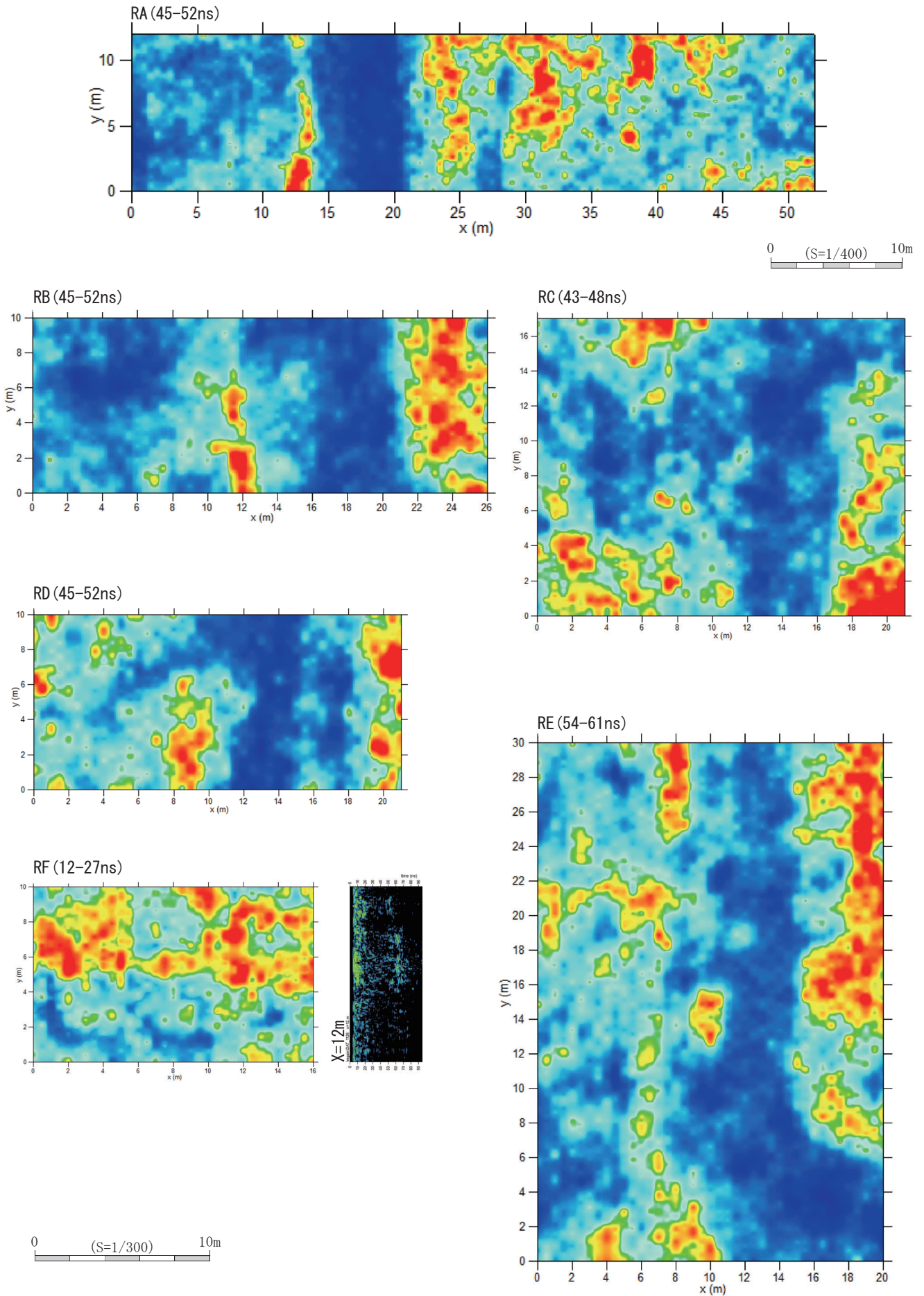


図 11 各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図①

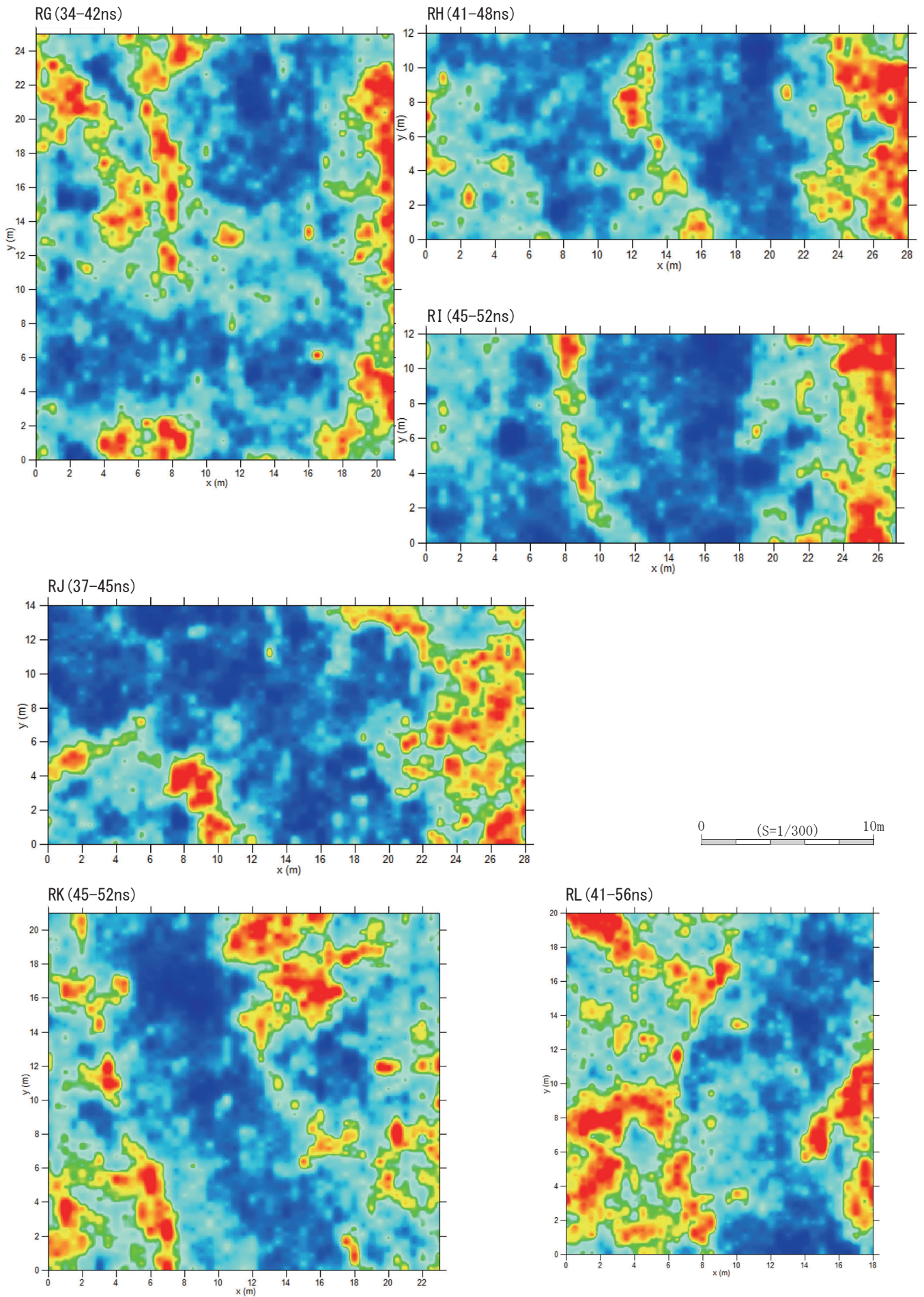


図11 各レーダー区のTime Slice平面図・Profile断面図②

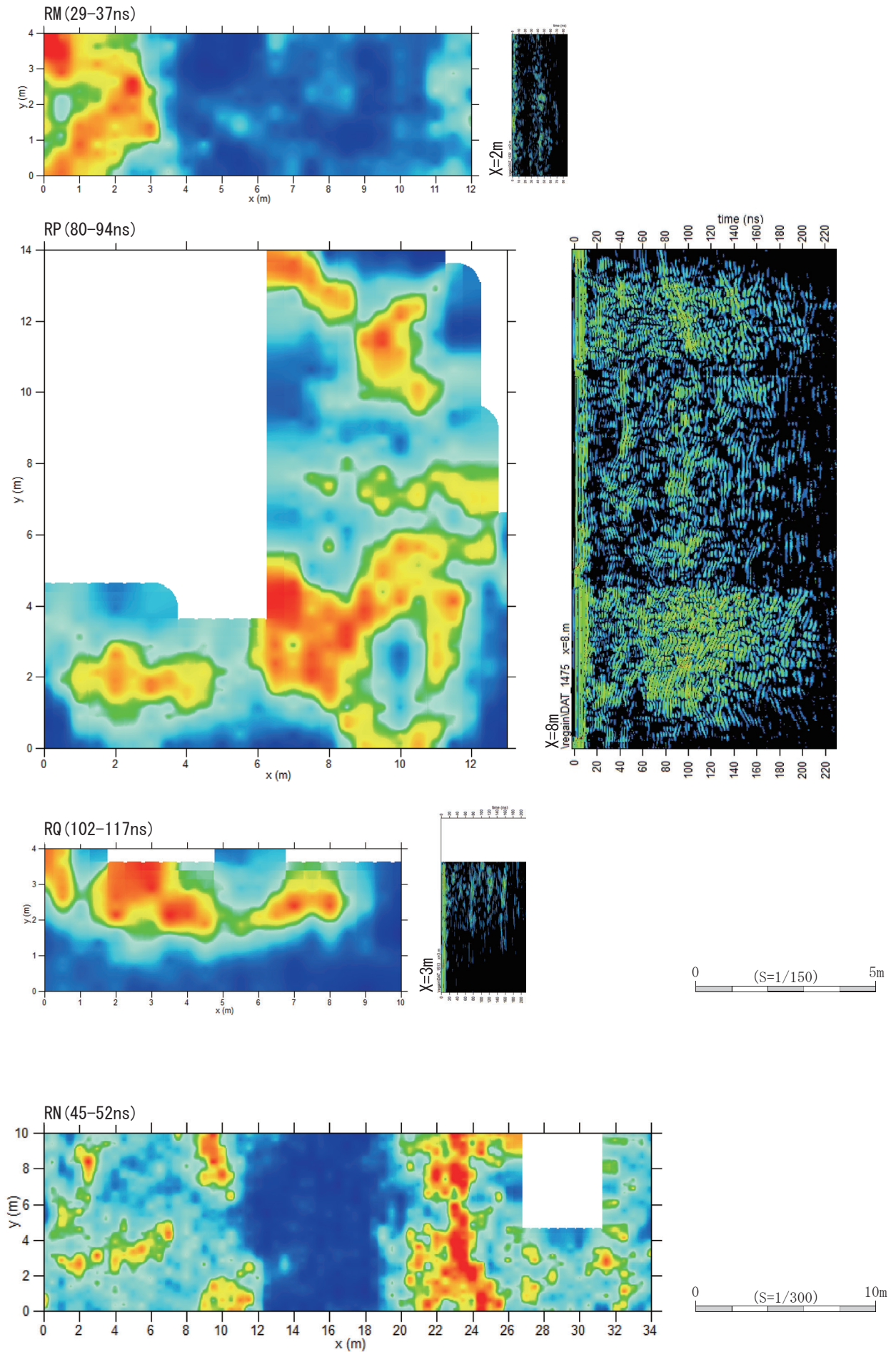


図 11 各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図③

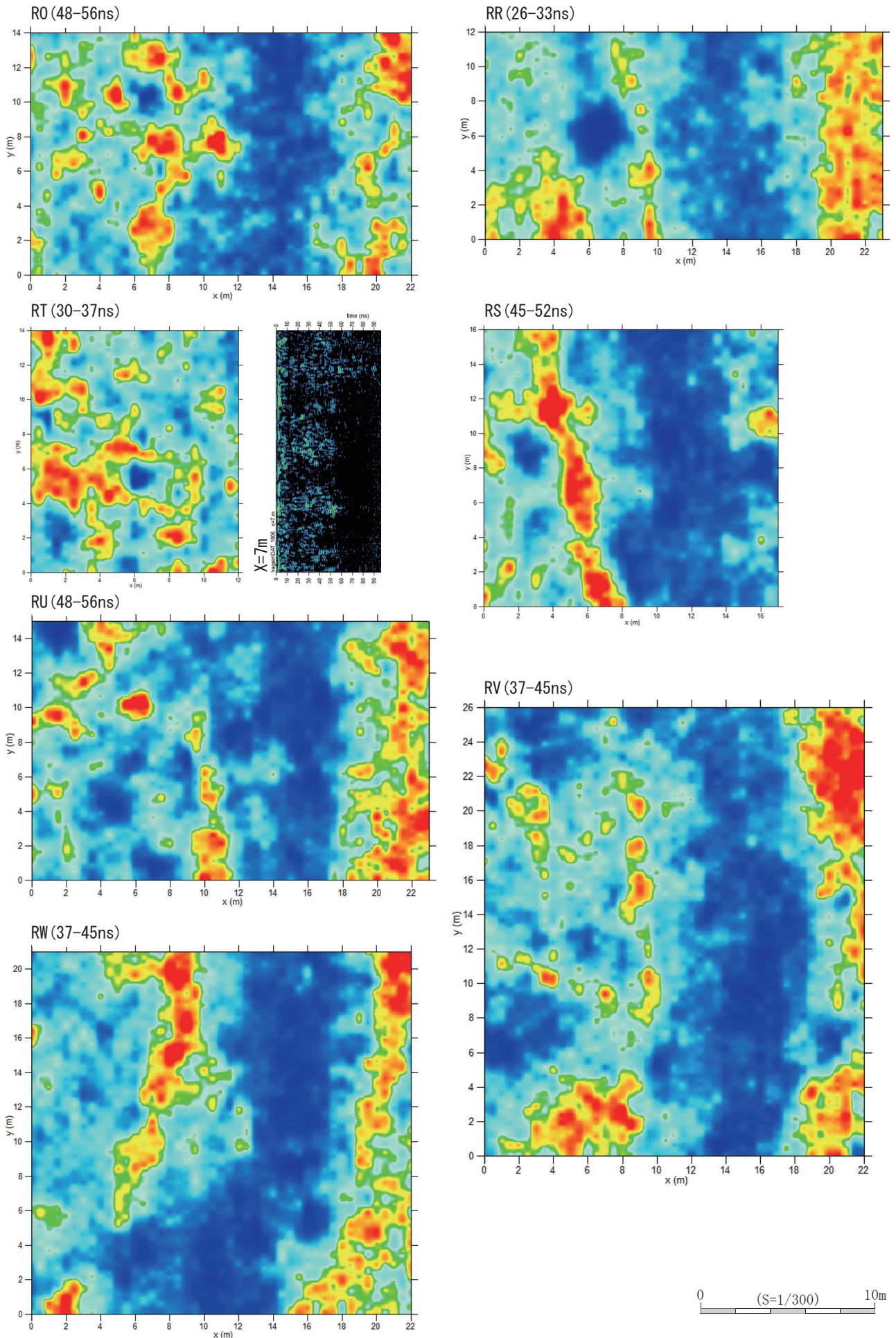


図11 各レーダー区のTime Slice 平面図・Profile 断面図④

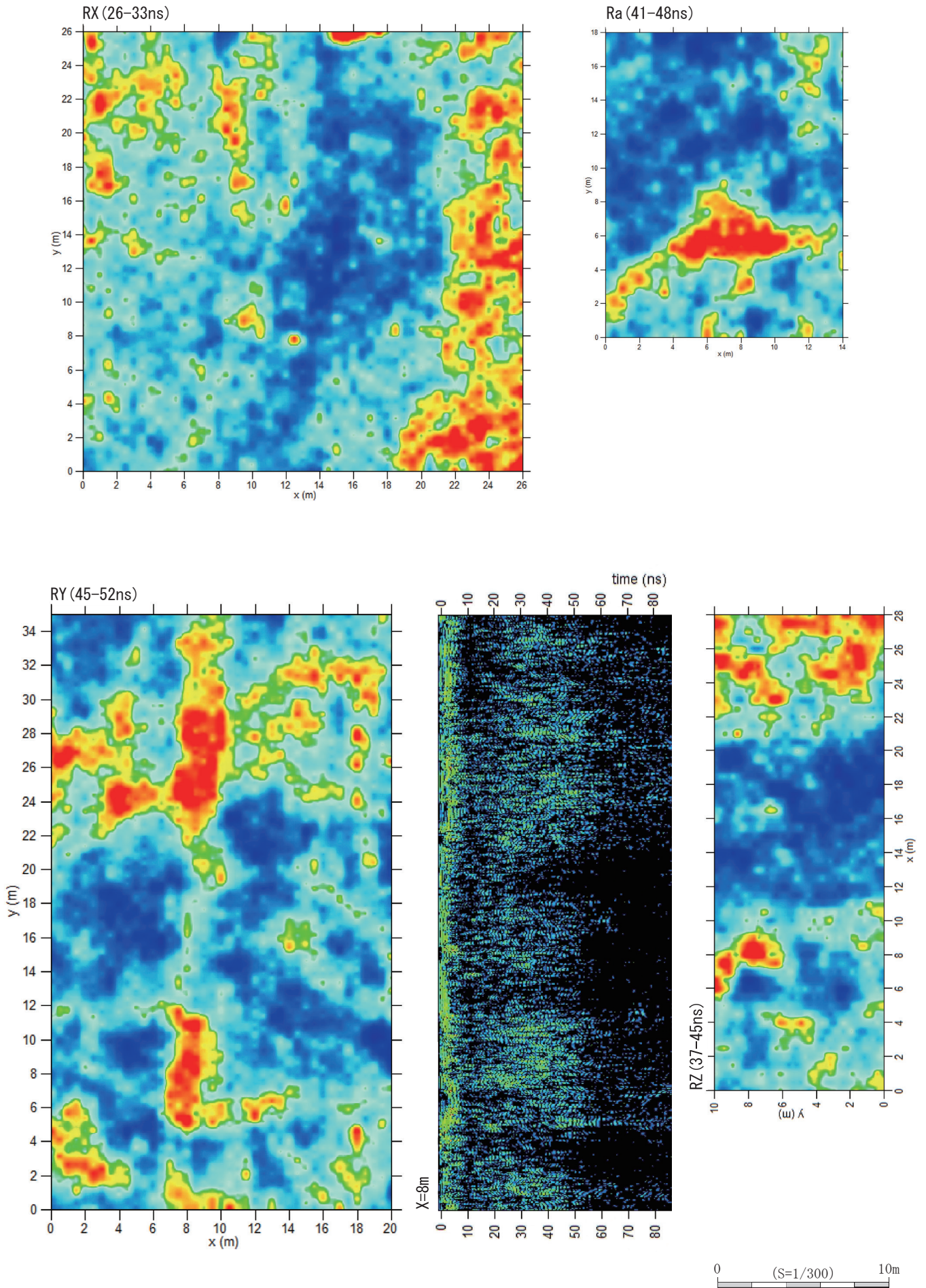
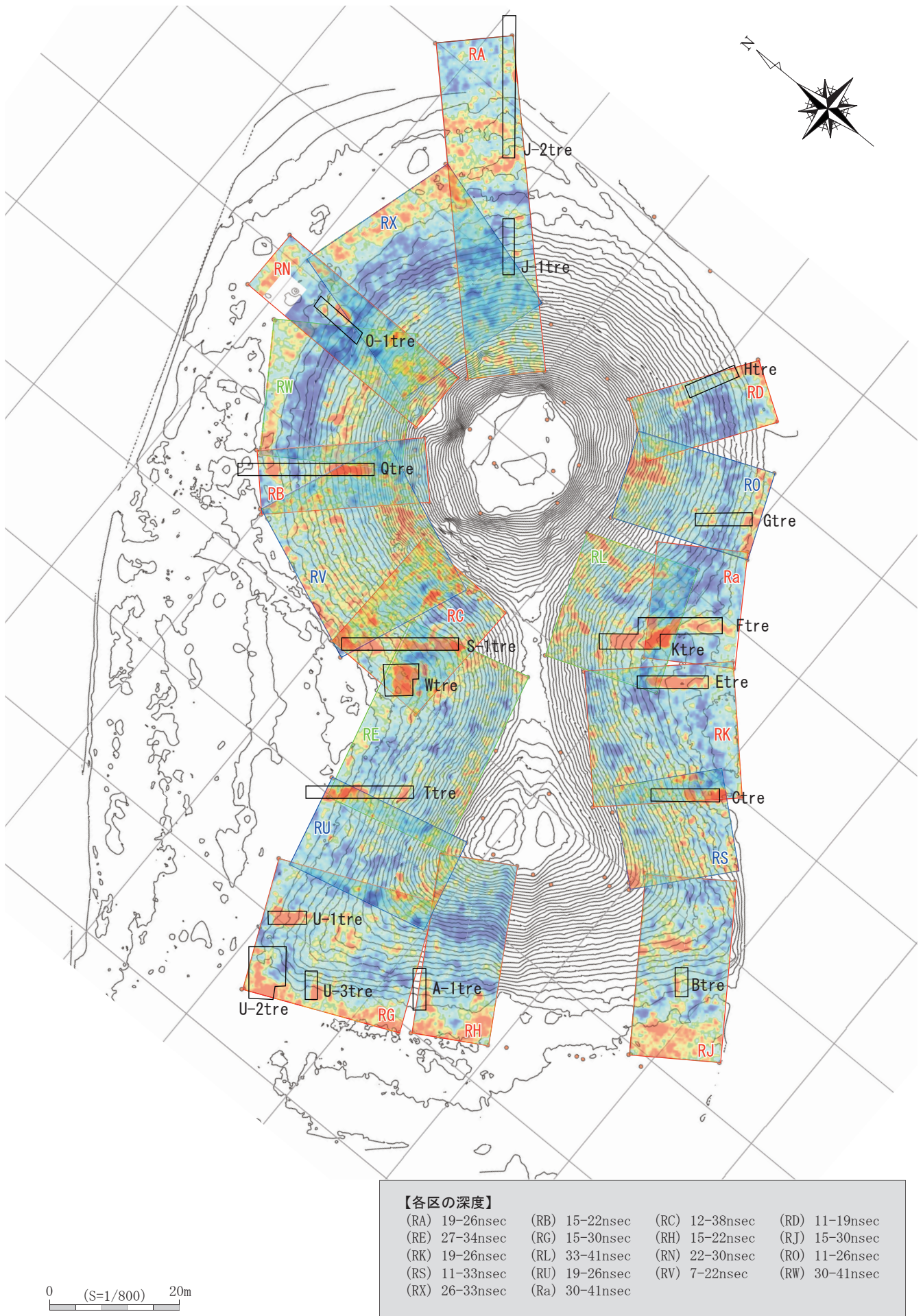
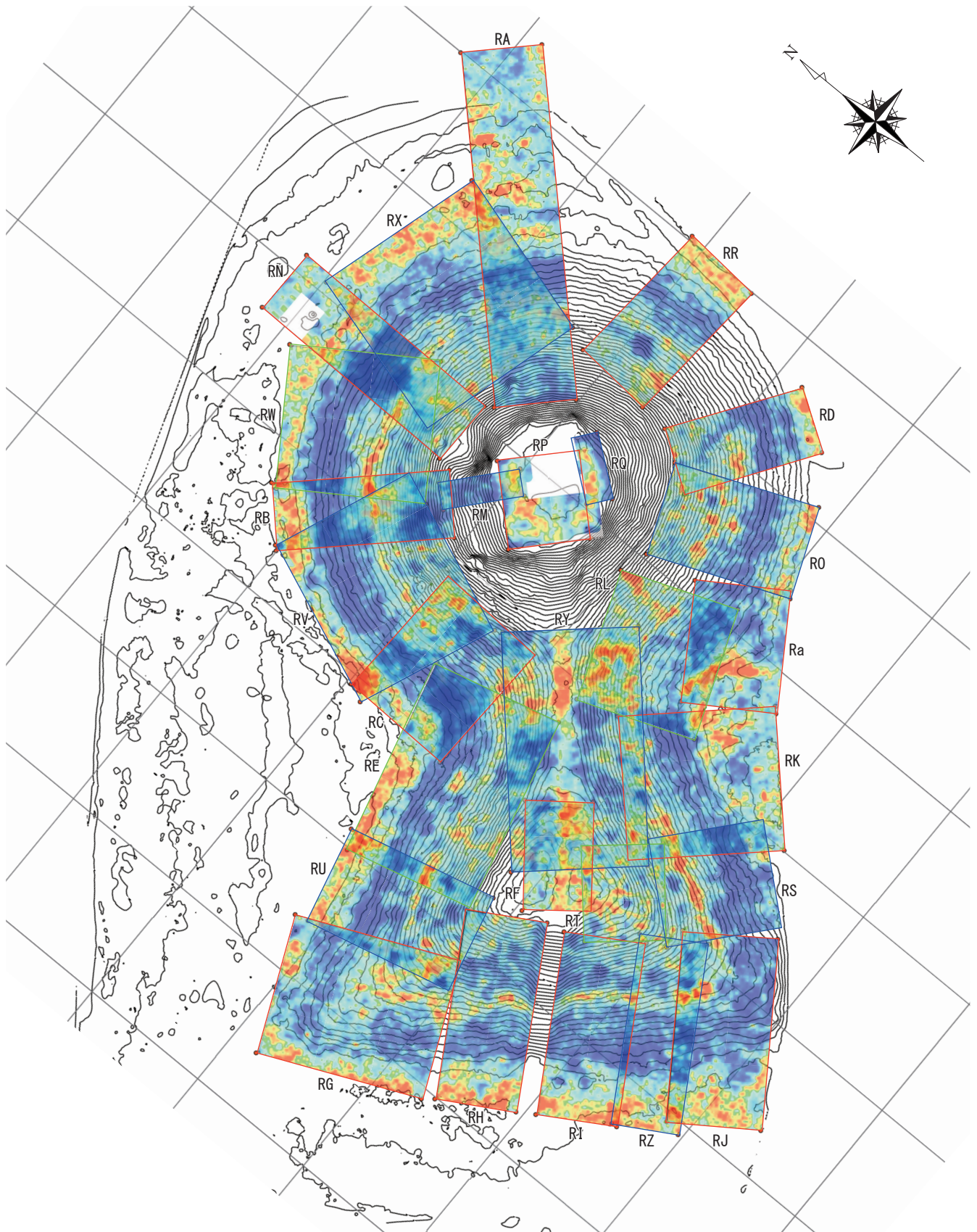


図 11 各レーダー区の Time Slice 平面図・Profile 断面図⑤



【各区の深度】			
(RA) 19-26nsec	(RB) 15-22nsec	(RC) 12-38nsec	(RD) 11-19nsec
(RE) 27-34nsec	(RG) 15-30nsec	(RH) 15-22nsec	(RJ) 15-30nsec
(RK) 19-26nsec	(RL) 33-41nsec	(RN) 22-30nsec	(RO) 11-26nsec
(RS) 11-33nsec	(RU) 19-26nsec	(RV) 7-22nsec	(RW) 30-41nsec
(RX) 26-33nsec	(Ra) 30-41nsec		

図12 レーダー反応（上層）と既往発掘トレンチの位置



【各区の深度】※PQのみ160MHz。それ以外は450MHz。区番号は図10参照。

(RA) 45-52nsec	(RB) 45-52nsec	(RC) 43-48nsec	(RD) 45-52nsec	(RE) 54-61nsec
(RF) 12-27nsec	(RG) 34-42nsec	(RH) 41-48nsec	(RI) 45-52nsec	(RJ) 37-45nsec
(RK) 45-52nsec	(RL) 41-56nsec	(RM) 29-37nsec	(RN) 45-52nsec	(RO) 48-56nsec
(RP) 80-94nsec	(RQ) 102-117ns	(RR) 26-33nsec	(RS) 45-52nsec	(RT) 30-37nsec
(RU) 48-56nsec	(RV) 37-45nsec	(RW) 37-45nsec	(RX) 26-33nsec	(RY) 45-52nsec
(RZ) 37-45nsec	(Ra) 41-48nsec			

図 13 レーダー探査の成果 (20cm 等高線)

	図上計測値	晋尺 (1尺24cm)	復原尺(晋尺)	復原尺(m)
主軸長	115.455m	481尺	500尺	120m
主軸長(剣菱型)	120.55m	502尺		
後円部径	71.088m	296尺	300尺	72m
くびれ部幅	34.493m	144尺	150尺	36m
前方部幅	82.5m	344尺	350尺	84m
後円部高	10.9m	45尺	50尺	12m
くびれ部高	5.4m	23尺	25尺	6m
前方部高	7.9m	33尺	35尺	8.4m

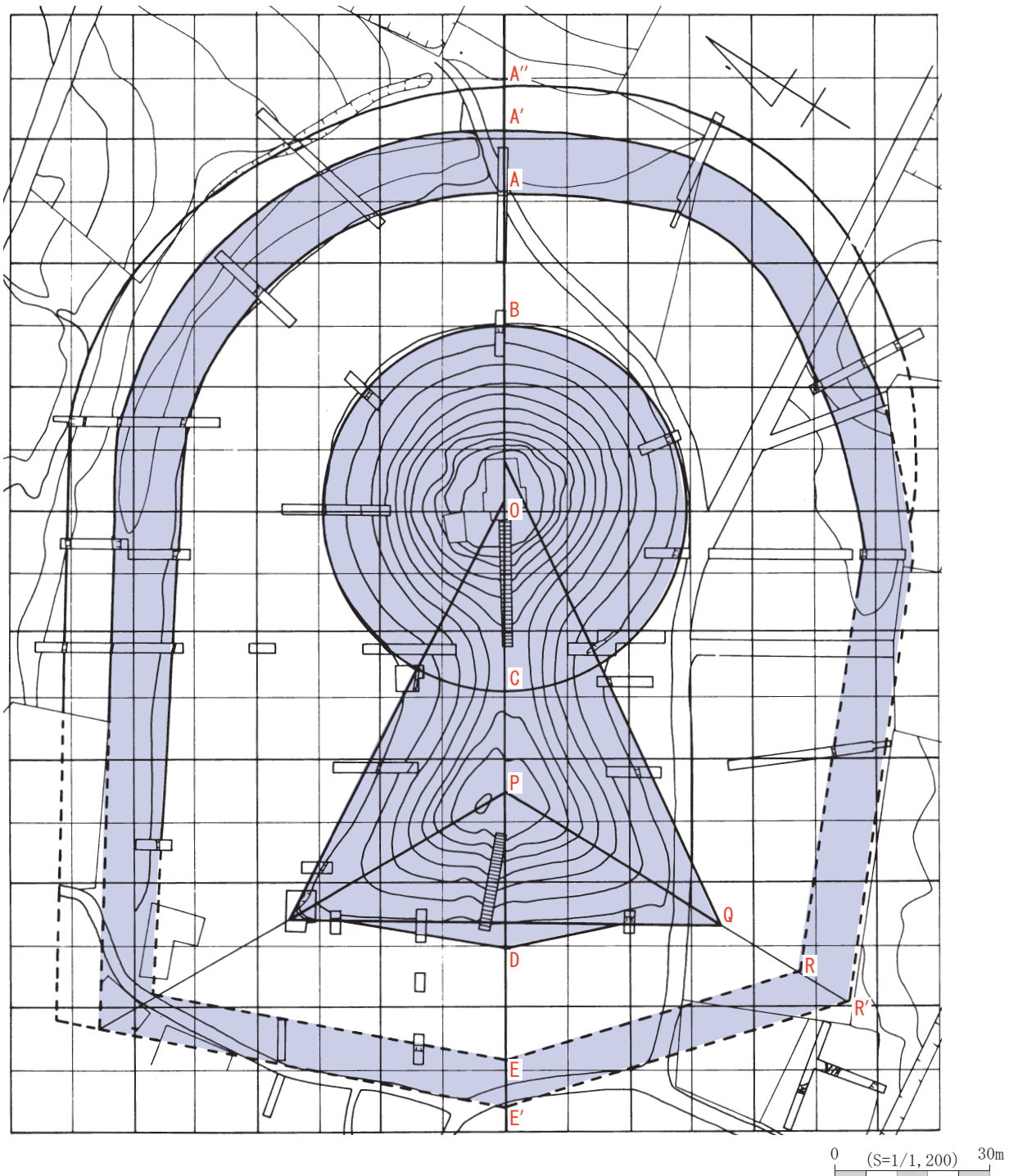


図 14 摩利支天塚古墳の既存復原案 (鈴木一男 1983)

6. 調査成果の総括と今後の課題

最後に、今回の測量・GPR 調査の成果をまとめて、今後の課題を整理しておく。

図 13 には、Illustrator のオブジェクト回転（半時計方向「50° 5」）した 20cm 等高線に遺構の反応を示す深度のレーダー区を配置し、レーダー反応を「不透明度 65%」にしたものを提示した。中段テラス、周溝に堆積する水分量の多い土にレーダーが反応し、墳丘の平面構造が明瞭に浮かび上がっている点が見られる。テラス・墳裾が描く前方後円形はほぼ正確に認識することが可能である。

摩利支天塚古墳に関しては、1983 年度に発掘報告書が刊行されており、墳丘外形（墳裾）、中堤と二重周溝の規模が報告されている（鈴木 1983）。図 14 には、鈴木一男の復原案を提示した。鈴木は、墳丘長 115.5m（「剣菱型」の場合は、120.5m）、後円部径 71.0m、くびれ部幅 34.5m、前方部幅 82.5m、後円部高 10.9m、くびれ部高 5.4m、前方部高 7.9m という図上計測値を示し、晋尺（1 尺=24cm）の使用を想定する。さらに、上田説（BC:CP:PD=6:1.6:2.1）および櫛説（AB:CD:EF=80:37:57）に従い、「日葉酢媛陵（佐紀陵山）型」と認識し、関東では 5 世紀中葉頃まで存続する型式とする。その上で、摩利支天塚古墳は、前方部幅が後円部径を凌ぐなど新しい要素も認められることから、5 世紀後半に位置付けた。なお、前方部前面中央が三角形に突出する「剣菱型前方部」を想定している点も重要である。

具体的な立体構造に関しては、継続している発掘調査の成果報告を待って改めて論じる予定だが、現段階でわかる点もいくつかある。例えば、後円部の円弧に関して言えば、中段テラス、墳裾、両円弧が比較的正円を描き、0 点の移動などの現象も認められないが、前方部については不規則な要素が認められる。前方部トップの中心軸は後円部の 0 点とずれていると思われるのに加えて、前方部の両側面の中段テラス、墳裾ラインは左右対称ではない。また、前方部前面の中段テラス、墳裾ラインも平行ではない。レーダー反応を見る限り、前方部前面の墳裾ラインは、西側ほど下段斜面が狭く、東側に行くほど広い。すなわち、前方部は西隅角部分が突出する左右非対称な構造となっており、中段テラスも西隅角部分が広い平坦面となっている。この点は、1980～82 年度の発掘において前方部西隅角部分で墳丘外に落ち込んだ人物埴輪が発見されている現象とも符合する。摩利支天塚古墳では、前方部西隅角中段テラス部分に形象埴輪を集中的に配列する空間などが整備されており、そのために前方部が左右非対称に設計されている可能性がある。なお、このように前方部前面のテラス面と墳裾が平行ではないため、発掘の際に「剣菱形」と誤認した可能性が高いと考える。現状のレーダー反応を見る限り、平行ではなくても両ラインは明らかに直線であり、「剣菱形前方部」である可能性は限りなく低いと判断できる。

以上のように摩利支天塚古墳は、前方部の平面形が左右非対称でその中心軸が後円部の 0 点とずれている可能性が想定できる。この現象は、前方部西隅角テラス部分に形象埴輪の配列空間を設けるための意図的な設計と考えるが、今後の発掘で後円部・前方部の中段テラスの位置を確定する必要がある。

おわりに

2019 年 1 月に実施した栃木県小山市：摩利支天塚古墳の測量・GPR 調査の成果を報告した。非破壊的方法で、墳丘の立体構造に関する重要な情報を取得することが出来た。本調査の成果に基づいて、2019 年度から小山市教育委員会・小山市による継続的な発掘調査が開始されている。非破壊的手法による墳丘構造の推定→構造把握のための部分的なトレンチ発掘、という考古学的過程は、国庫補助を用いた国指定史跡の調査研究においても非常に重要なモデルケースになると考える。

本報告では、1980～82 年度に行われた発掘調査（鈴木 1983）との整合性の確認に留まったが、今後は新しい発掘成果と GPR の反応を比較し、さらに非破壊調査の精度を高めていきたいと思う。

引用文献

秋元陽光・大橋泰夫 1988 「栃木県南部の古墳時代後期の首長墓の動向 思川・田川水系を中心として」『栃木県考古学会誌』 9

- 秋元陽光・斎藤恒夫 2001「基調報告 栃木県」『中期古墳から後期古墳へ』第4回東北・関東前方後円墳研究会大会シンポジウム発表用旨資料
- 秋山隆雄 2015『国史跡 琵琶塚古墳 発掘調査概報Ⅰ』栃木県小山市教育委員会
- 秋山隆雄 2016a『国史跡 琵琶塚古墳 発掘調査概報Ⅱ』栃木県小山市教育委員会
- 秋山隆雄 2016b「琵琶塚古墳と摩利支天塚古墳 姿を現した大型古墳」『とちぎを掘る 栃木の考古学の到達点』栃木県考古学会
- 秋山隆雄 2018a『国史跡 琵琶塚古墳 史跡整備に伴う発掘報告書Ⅰ－遺構編－』栃木県小山市教育委員会
- 秋山隆雄 2018b「遺跡速報 栃木県小山市 琵琶塚古墳」『考古学ジャーナル』717
- 池上 悟 1988「野州石室考」『立正大学文学部論叢』88
- 石部正志・田中英夫・宮川徭・堀田啓一 1979「畿内大型前方後円墳の築造企画について」『古代学研究』89
- 石部正志・宮川徭 1999「東北・関東の前方後円墳の築造企画試案」『前方後円墳の築造企画』第4回東北・関東前方後円墳研究会大会シンポジウム発表要旨資料
- 岩崎卓也 1981「摩利支天塚古墳」『小山市史 史料編』原始・古代 小山市史編さん委員会
- 内山敏行 2011「中期後半から後期前半の下毛野」『季刊考古学 古墳時代毛野の実像』別冊17
- 内山敏行 2016「古墳時代中期の下毛野地域と東谷・中島地区遺跡群」『とちぎを掘る 栃木の考古学の到達点』栃木県考古学会
- 大和久震平・埴 静夫 1972「古墳文化」『栃木県の考古学』吉川弘文館
- 小森哲也 1990「下野の首長墓」『峰考古』8
- 小森哲也 2016「横穴式石室と地域首長連合 古墳からみた古墳時代後期の社会」『とちぎを掘る 栃木の考古学の到達点』栃木県考古学会
- 城倉正祥ほか 2012「千葉県芝山町高田2号墳の測量調査」『早稲田大学大学院文学研究科紀要』57
- 城倉正祥ほか 2014「千葉県横芝光町殿塚・姫塚古墳の測量・GPR調査」『古代』132
- 城倉正祥 2015「下総龍角寺の測量・GPR(Ⅱ期1・2次)調査とその意義」『仏教文明の転回と表現』勉誠出版
- 城倉正祥ほか 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 Rilias Journal』3
- 城倉正祥編 2016『山室姫塚古墳の研究』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所
- 城倉正祥編 2017『デジタル技術を用いた古墳の非破壊調査研究』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所
- 城倉正祥編 2018『野本將軍塚古墳と東国の前期古墳』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所
- 城倉正祥ほか 2018「埼玉二子山古墳のGPR調査2017」『溯航』36
- 城倉正祥ほか 2020「キルギス共和国アク・ベシム遺跡の測量・GPR調査」『Waseda Rilias Journal』NO.8
- 鈴木一男 1983『摩利支天塚古墳』栃木県小山市教育委員会
- 鈴木一男 1984「前方後円墳の型式分類」『小山市史 通史編』Ⅰ 史料補遺編 小山市史編さん委員会
- 鈴木一男 1999『飯塚古墳群Ⅲ 遺構編』小山市教育委員会
- 鈴木一男 2013「摩利支天塚・琵琶塚古墳と飯塚古墳群の調査」『摩利支天塚古墳・琵琶塚古墳と飯塚古墳群』栃木県教育委員会
- 東北・関東前方後円墳研究会編 1999『前方後円墳の築造企画』第4回東北・関東前方後円墳研究会大会シンポジウム発表用旨資料
- 栃木県編 1926「琵琶塚古墳 附摩利支天塚古墳」『栃木県史蹟名勝天然記念物調査報告』1
- 土生田純之 1996「葬送墓制の伝来をめぐって—北関東における事例を中心に—」『古代文化』48-1
- 内務大臣官房地理課編 1926「琵琶塚古墳」『史蹟調査報告』1
- 中村享史・内山敏行 2005「下毛野の古墳埋葬施設」『考古学ジャーナル』535
- 沼澤 豊 2004「古墳築造企画の普遍性と地域色—栃木県における基壇を有するとされる古墳をめぐって—」『古代』114
- 広瀬和雄 2011「下野地域の後・終末期古墳の歴史的意義」『国立歴史民俗博物館研究報告』163

三沢正善 1994 『琵琶塚古墳発掘調査報告書』栃木県小山市教育委員会

山越 茂 1979 「摩利支天塚古墳」『栃木県史 資料編』考古 2

図表出典一覧

- 図 1 国土地理院基盤地図情報基本項目データを用いて、QGIS で田邊作成。
- 図 2 国土地理院基盤地図情報数値標高モデル (5m メッシュ) を用いて、QGIS で田邊作成。
- 図 3 (鈴木 1983) p13 第 2 図、p49 第 23 図を基に、石井作成。
- 図 4 (鈴木 1983) p19 第 4 図、p20 第 5 図を基に、石井作成。
- 図 5 (秋山 2015) p4 第 2 図の測量図を、本調査データ上に Arc-GIS でジオリファレンスして城倉作成。
- 図 6 小山市提供データに基づいて、城倉作成。
- 図 7 小山市提供データを、本調査データ上に Arc-GIS でジオリファレンスして城倉作成。
- 図 8・9・10 本調査の測量データに基づき、Arc-GIS で城倉作成。
- 図 11 高橋が GPR-Slice で作成した Time Slice、Profile データをイラレで配置して城倉作成。
- 図 12 高橋が GPR-Slice で作成した Radar データ、及び (鈴木 1983) p13 第 2 図のトレンチ配置図を Arc-GIS でジオリファレンスして城倉作成。
- 図 13 高橋が GPR-Slice で作成した Radar データを、Arc-GIS で測量図と合成して城倉作成。
- 図 14 (鈴木 1983) p47 第 3 表、p49 第 23 図を改変して、城倉作成。
- 表 1 測量データに基づき、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）
石井友菜（早稲田大学會津八一記念博物館／助手）
谷川 遼（早稲田大学大学院文学研究科 博士後期課程1年）
田邊凌基（早稲田大学大学院文学研究科 修士課程2年）
高橋 亘（早稲田大学大学院文学研究科 修士課程1年）
横溝 優（早稲田大学文学部 4年）

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』

【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』

※調査研究報告第3冊は六一書房より販売。それ以外は、早稲田大学リポジトリ、および全国遺跡報告総覧のHP上でPDFを公開している。

報告書抄録

ふりがな	とちぎけんおやまし まりしてんづかこふんのそくりょうじーぴーあーるちょうさ				
書名	栃木県小山市 摩利支天塚古墳の測量・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1冊				
編著者名	城倉正祥（編）・石井友菜・谷川 遼・田邊凌基・高橋 亘・横溝 優				
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		
摩利支天塚古墳	栃木県小山市大字飯塚字樋ノ口362番地ほか15筆		市町村	遺跡番号	
			09208	5875	
北緯	東経	調査期間		調査面積	調査原因
36度22分20秒	139度48分22秒	2018.1.7-1.14		約16,000㎡	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	三次元測量・GPR調査	

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 デジタル調査概報 第1冊

2020年8月刊行（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）
