

千葉県栄町龍角寺 50 号墳の デジタル三次元測量・GPR 調査

城 倉 正 祥 ・ 青 笹 基 史

Digital 3D Measurement Survey and GPR Research at Ryukakuji Tumulus No.50

Masayoshi JOKURA ・ Motofumi AOSASA

Abstract

Ryukakuji Tumulus No. 50 (Sakae-machi, Imba-gun, Chiba-Pref.) is a keyhole-shaped tumulus within the Ryukakuji Tumuli. After Ken Amakasu investigated the Ryukakuji Tumuli in 1964, many research studies have taken place at this site. It is vital to research the Sengenyama tumulus, which is the mound of the chief tumulus. In addition, it is essential to perform a detailed comparison of Ryukakuji Tumuli No. 50 and No. 57, whose shapes are similar to the Sengenyama tumulus, as characterized by Amakasu.

In our research, the shape of Ryukakuji Tumulus No. 50 was analyzed based on accurate terrain information, with the goal performing a detailed comparison to the Sengenyama tumulus. To achieve this, we used a digital 3D survey and a GPR (Ground Penetrating Radar) survey, from which we acquired objective and accurate terrain information. Based on this information, we used GIS (Geographic Information System) to create a highly accurate 2D and 3D diagram of a restoration of Ryukakuji Tumulus No. 50. GPR is a geophysical survey method intended for understanding the position and shape of remains in a non-destructive way. In this survey, we presumed the position and structure of the burial facility.

Based on these results, we reconfirmed the distinguished research conducted by Amakasu who revealed that the shape of Ryukakuji Tumulus No. 50 was quite similar to that of the Sengenyama tumulus. Moreover, we presumed that Ryukakuji Tumulus No. 50 had been planned using basic unit “Bu”. Henceforth, we need to reconfirm previous research results. Furthermore, we will research the structure of the Ryukakuji Tumuli through re-measurements and GPR surveys of Ryukakuji Tumuli No. 21, 57, 70 and the Sengenyama tumulus.

はじめに（城倉）

本稿は、2014 年度の高梨学術奨励基金の採択を受けて 2014 年 12 月 13 日～27 日に実施した千葉県印旛郡栄町龍角寺 50 号墳⁽¹⁾のデジタル三次元測量・GPR（Ground Penetrating Rader：地中レーダー探査）調査の成果報告である。調査に際しては、GIS（Geographic Information System）を用いたデジタル三次元測量と、地中レーダー探査という最新の非破壊的手法を採用した。結果として、従来の測量図の分析では難しかった墳丘の立体構造の把握に

成功し、終末期の大型前方後円墳である浅間山古墳との系譜関係を明らかにした。GIS と GPR を組み合わせた考古学の非破壊的手法は、今後、国内外を問わず普遍化していく重要な調査方法と考える。

なお、本稿の図版は GIS を城倉正祥・渡辺玲、GPR を青笹基史が中心となって作成し、全体の修正・統一を城倉が行った。また、文章は第 6 節と英文アブストラクトを青笹が執筆し、それ以外は城倉が執筆した。

1. 調査の経緯と課題（城倉）

早稲田大学文学部考古学コースでは、下総龍角寺の過去の調査成果を再評価すると同時に、新しい視点での測量・発掘・整理などの調査研究を進めている（城倉 2015 など）。飛鳥山田寺と同型式の三重圈文縁八葉単弁蓮華文軒丸瓦・三重弧文軒平瓦を葺き、白鳳期の薬師如来坐像を本尊とした龍角寺は、東国最古級の寺院として著名である。一方、周辺の遺跡に目を向けると、龍角寺の東方には殯施設とされる尾上遺跡、西南には埴生郡衙跡とされる大畑Ⅰ遺跡や古墳～奈良平安期の集落である向台・酒直遺跡が所在する。さらに、埴生郡衙東南側には、大小 113 基以上で構成される龍角寺古墳群が存在し、龍角寺を造営した氏族の奥津城と考えられている。龍角寺周辺は、古墳時代から古代への地域社会の動態を研究する上で、稀有なフィールドである。

龍角寺出現の歴史的意義を考究するには、地域社会を多角的に分析する必要がある。中でも龍角寺の造営に関わった勢力の遡源を追求する作業が重要になる。川尻秋生は、平城京二条大路木簡の「左兵衛下総国埴生郡大生直野上養布十段」の記載を手がかりとして、埴生郡司を大生直氏と推定した。そして、『国造本紀』にみえる印波国造のもともとの本拠地が律令制下の印旛郡（印旛郡司は丈部直）にあったものから、古墳時代の終わり頃に律令制下の埴生郡にいた国造一族、あるいは新興勢力が拡大して印波国造になったと考えた（川尻 2003・2009）。一方、杉山晋作も印波国造は印旛沼全体から利根川下流域まで勢力を持っていたが、大化の建評の際に、埴生と印旛に分割され、龍角寺の造営後に再び埴生の東の香取が分割された説を提唱している（杉山 1995）。これらの議論の背景には、公津原古墳群と龍角寺古墳群の盛行時期の差異、龍角寺周辺集落遺跡の動向、集落出土の墨書土器や龍角寺の文字瓦の解釈、埴生郡衙関連遺跡の掘立柱建物の存在など、考古学的調査に基づく認識の進展がある。特に、龍角寺を造営した氏族の奥津城とされる龍角寺古墳群の群構造とその動態、年代をどう把握するかにより、龍角寺の歴史的位置付けは大きく変わる。終末期の前方後円墳とされる浅間山古墳、日本最大級の方墳である岩屋古墳、両者の位置付けが最大の課題である。

浅間山古墳は、発掘調査の正式な報告（千葉県史

料研究財団 2002）が刊行されており、岩屋古墳も近年、栄町教育委員会・印旛都市文化財センターによる発掘と整理が行われている。一方で、龍角寺古墳群の中小規模墳は、近年、目立った研究が蓄積されておらず、新たな視点での基礎的な調査研究が必要である。特に、浅間山古墳の墳丘の遡源を追求する作業は、龍角寺古墳群の構造・動態・年代を考える上で必須の作業である。以上の問題点を踏まえ、城倉は龍角寺古墳群中三番目の規模を誇る前方後円墳である 50 号墳のデジタル測量・GPR 調査を計画し、千葉県教育委員会・栄町教育委員会の許可を得た後に、平成 26 度の公益財団法人高梨学術奨励基金（若手研究助成）に申請した。幸い、研究課題が採択され 40 万円の交付を受けることができたため、2014 年 12 月、及び 2015 年 2 月～3 月に調査を実施した⁽²⁾。以上が龍角寺 50 号墳調査の経緯である。

次には、龍角寺古墳群の研究史を概観し、本調査の課題と目的を整理する。龍角寺古墳群の研究史については、「千葉県立房総風土記の丘」の学芸員による整理（高木 1978・1996、根本 1988・深澤 1988 など）や浅間山古墳での整理（千葉県史料研究財団 2002）があるため、ここでは前方後円墳を基礎とした古墳群の動態と墳丘に関する調査・分析成果を中心に論点を整理する。

まず、龍角寺古墳群を初めて体系的に調査・分析したのは甘粕健である。甘粕を中心とした東京大学のグループは、龍角寺古墳群の分布・測量調査を踏まえて、畿内の大型前方後円墳との比較及び古墳群内における墳丘形態の分析を行い、群構成の把握と年代の整理を行った（甘粕 1964）。甘粕の分析精度は極めて高く、その後の研究の方向性を大きく決定付けた。特に、墳丘の分析では龍角寺古墳群内の主要な前方後円墳について、くびれ部の位置を中心とした分類を行い、21 号墳（本文では現在の古墳番号に統一）を B 型【 $DC + \alpha$ 型】、70 号墳を D 型【 $DC + 2\alpha$ 型】、浅間山・50・57 号墳を E 型【 $(CD + \alpha) \times (R + \alpha)$ 型】とした。そして、B 型を前期型式、D・E 型を後期型式とした上で、特に E 型の浅間山古墳と同型の古墳として正円寺二子山・築瀬二子塚古墳、50 号墳と同型の古墳として後二子古墳・天川二子塚古墳を挙げている。さらに、浅間山・57・50 号墳を一系列の古墳とし、CP の数値が小さくなる方向性から前後関係を浅間山→57→50

号と想定した。以上、墳丘の分析を踏まえた上で、甘粕は大型前方後円墳を中心として前方部の方位を同じくするグルーピングを行い、大型前方後円墳の被葬者を「龍角寺古墳群を形成する小集団の連合体の首長であるとともに、それが属している小集団の長としての属性も兼ね備える」と規定した。一方で、浅間山古墳や岩屋古墳、公津原古墳群の船塚古墳・天王塚古墳などを超大型古墳とし、印旛地方全体の統一的首長墓の系列と考えた。そして、浅間山古墳の被葬者は印旛地方の統一的首長であると同時に、57・50 号墳に繋がる系譜から龍角寺における集団の首長の系譜に連なるものと想定した。すなわち、小型前方後円墳：各支群、大型前方後円墳：龍角寺古墳群、超大型前方後円墳：印旛地方、被葬者はそれぞれの集団の首長としての性格を持つという階層構造を考えたのである。

以上、甘粕の研究は墳丘の精度の高い分析により、龍角寺古墳群の階層構造を明らかにしている。その後の測量調査の成果（千葉県教育庁文化課 1982）や、大畑遺跡（石田 1985、千葉県教育委員会 1986・1987、小林 1985、米田・小牧 1994 など）・向台遺跡（石田 1985）・酒直遺跡（福岡 1986）などの集落の動向を踏まえた研究（原田 1984、萩原・原田 1985、深澤 1988）によって古墳の基数や方位などが実情に合わない点が指摘され、支群のグルーピングに対する変更はあったものの、基本的な論理構造自体は今なお有効だと考える。

甘粕の分析後、龍角寺古墳群の前方後円墳の研究が飛躍的に進んだのは、浅間山古墳の測量（白石ほか 1996）と発掘（千葉県史料研究財団 1998・2002）調査の成果が大きい。発掘報告書によると、浅間山古墳は墳丘長 77.6～78.0m、後円部径 52.0m、くびれ部幅 37.0m、前方部幅 58.0m、前方部長 32.5m の前方後円墳で、相似形の周溝がめぐる。第 1・2 段が低く、3 段目が高い 3 段築成とされる。筑波石を用いた複室構造の横穴式石室は、旧表土下に構築され、後円部南側の下段テラスに開口する。報告書では、石室の構築年代を 7 世紀第 1 四半期と想定する。一方、墳丘に関しては、沼澤豊の分析手法を沿用した萩原恭一が、後円部径の 12 等分値を基準とし、主軸長 18・後円部径 12・前方部幅 13.5・前方部長 6 という分析値を出した上で、50・57・70 号墳の外形が一致する点を指摘した。この点は、甘粕の研究成果を踏襲するものだが、そ

の年代観については外表施設としての埴輪の有無から、57・70 → 50・浅間山の順序を想定した。さらに、浅間山古墳の外形に類似する古墳として、群馬県の二ツ山 1 号墳、及び栃木県の壬生茶臼山古墳・壬生長塚古墳を挙げている。

なお、栃木県の事例は、思川・田川水系に集中する「基壇」を持つ古墳とされている事例である（進藤 2002）⁽³⁾。これら「基壇」古墳を分析した沼澤豊は、テラス幅 3 単位でテラス面が古墳外平坦面より高い 1 型（壬生茶臼山古墳・壬生愛宕塚古墳）、テラス面が古墳外平坦面とほぼ同じ 2 型（第 1 段斜面が高い 2a と低い 2b に細分。2a：吾妻岩屋古墳・国分寺愛宕塚古墳、2b：壬生長塚古墳）に分類し、1 → 2a → 2b と第 1 段の低平化が進む点を明らかにした（沼澤 2004）。さらに、前橋大室古墳群の中二子古墳・前二子古墳が壬生茶臼山古墳（1a）に、後二子古墳が吾妻岩屋古墳（2a）に、小二子古墳が壬生長塚古墳（2b）に共通すると指摘した。

沼澤の研究成果を引用しつつ、浅間山古墳と群馬・栃木県のテラス面が広い前方後円墳との類似性を指摘した萩原の分析は、やはり群馬県の墳丘との類似性を指摘していた甘粕健の成果に通じる。香取海南岸に位置する龍角寺古墳群は、西側に鬼怒川の河口を望み、水上ネットワークを通じて下毛野、あるいは上毛野東部に繋がりうる立地にあり、浅間山古墳の地域での系譜を踏まえた上で、広域的なネットワークを墳丘を通じて分析する必要がある。

以上の研究史を踏まえれば、龍角寺古墳群の研究において、浅間山古墳の墳丘の位置付けが非常に重要な意味を持つことが分かる。甘粕・萩原が浅間山古墳と外形が同じだと指摘する 50・57 号墳との高精度な比較が必要だが、現状では 1982 年段階の測量図（千葉県教育庁文化課 1982）しか存在していないため、まずは緻密なデジタル三次元測量、及び GPR という非破壊の基礎的調査を進める必要がある。そのため、今回は遺存状況に恵まれた 50 号墳を選び、高精度な調査を実施することにした。なお、50 号墳は、萩原・原田のボーリング調査によって、南側くびれ部のテラス上に横穴式石室の可能性が指摘される埋葬施設が確認された（萩原・原田 1985）。1982～86 年に実施された龍角寺古墳群の発掘調査（千葉県教育委員会 1982・1984・1988）の成果では、墳丘長 27m の前方後円墳である 24 号墳の後円部に粘土槨、くびれ部に時期の下がる箱式石

棺が確認され、径 24m の円墳である 101 号墳に 4 つの埋葬施設が確認されるなど、龍角寺古墳群の埋葬施設は強い地域性を示すため注意が必要だが、50 号墳の埋葬施設の位置がすでに推定されている点は調査の際に重要である。また、甘粕による精度の高い測量図と分析成果（甘粕 1964）もあるため、浅間山古墳との比較対象とするには最も適した古墳であると判断した。

以上を踏まえ、今回の 50 号墳の調査では以下の 4 つの課題を設定した。

- ①デジタル三次元測量・GPR という最新の調査方法で、50 号墳の墳丘に関する客観的で正確な情報を取得する。
- ②デジタル三次元測量の成果を踏まえ、GIS を用いて 50 号墳の立体構造を明らかにする。
- ③GPR の成果から墳丘の構造、及び埋葬施設の位置を推定する。
- ④龍角寺浅間山古墳と墳丘構造の比較を行い、浅間山古墳の系譜を考究する。

この 4 つの課題を設定した。本稿ではその調査・分析成果を報告する。なお、今回は 50 号墳の分析と浅間山古墳との比較を中心とし、群中のその他の前方後円墳、及び他地域の前方後円墳との比較についてはデジタル測量・GPR などの基礎作業を進めた上で議論したいと思う。

2. 調査の体制と経過（城倉）

調査体制は、以下の通りである。

【対象】 龍角寺 50 号墳

【所在地】 千葉県印旛郡栄町龍角寺字池下 1601 番外 232 筆

【期間】 2014 年 12 月 13 日～27 日：測量作業

※ GPR 作業は、2015 年 2 月 23 日～3 月 24 日の龍角寺発掘（Ⅱ期 3 次）調査と並行して行った。

【面積】 約 1920m²（タテ 48m、ヨコ 40m）

【主体】 早稲田大学文学部考古学コース

【担当】 城倉正祥（准教授）

【指導】 近藤二郎・高橋龍三郎・長崎潤一・寺崎秀一郎（教授）、田畑幸嗣（准教授）

【学生代表】 青笹基史（早稲田大学履修生）

【参加者】 山田綾乃・福岡佑斗・松永修平・渡辺玲（早稲田大学学生）、小野寺洋介（明治大学学生）、伝田郁夫（大田区教育委員会）

※龍角寺の発掘（Ⅱ期 3 次）調査時に、50 号墳

の GPR 作業に従事した学生は以下である。

中村憲司・福岡佑斗・青笹基史・根本祐・石井友菜・井上早季・木村結香・小林和樹・呉心怡・谷川遼（早稲田大学学生）

【協力者】 荒井信司・喜多裕明（栄町教育委員会）、上守秀明・白井久美子・萩原恭一・渡辺修一（千葉県教育委員会）、折原繁・野口行雄（房総のむら）、ナワビ矢麻・今城未知（早稲田大学）、金田明大（奈良文化財研究所）、董新林（中国社会科学院考古研究所）、後藤健（鎌倉市教育委員会）【敬称略・所属は 2014 年 3 月当時】

調査経過は、以下の通りである。

【2014.12.13】 機材搬入・宿舎整備・墳丘清掃。

【12.14】 墳丘清掃。墳丘周囲の 3 か所に落葉を集積する。野口氏（房総のむら）が現地確認。

【12.15】 世界測地系の測量。水準測量。

【12.16】 区内トラバース測量。

【12.17】 区内・墳丘トラバース測量と水準測量。墳丘の地区設定。

【12.18】 午前に水準測量。午後より測量（TS を用いた測距作業）開始。

【12.19】 測量作業（A 区終了）。

【12.20】 測量作業。

【12.21】 測量作業（B 区終了）。折原氏（房総のむら）が現地確認。宿舎で、ArcGIS を用いた作図作業を開始。

【12.22】 測量作業（D 区終了）。E 区の座標に不具合を確認したため、取り直して修正終了。

【12.23】 測量作業（C 区終了）。

【12.24】 測量作業（E 区終了）。董氏（社会院）が現場を視察。博物館と周辺遺跡も見学。

【12.25】 測量作業。

【12.26】 測量作業（F 区終了）。午後に機材撤収・宿舎清掃を行って、夜大学に帰着。

【12.27】 朝から再度、調査現場へ。A 区の補足測量。芝山基地への機材の撤収。夜大学に帰着。

※ 2014 年 12 月に測量作業は終了したが、GPR 作業が終了せず、2015 年 2～3 月の龍角寺の発掘（Ⅱ期 3 次）調査と並行して補足作業を進めた。

【2015.2.24】 墳丘の清掃作業。GPR 大地区を設定。

【2.25】 大地区の GPR 作業を開始したところで、機械故障のトラブル（スウェーデンの MALA

本社に送って修理。アンテナ上部のヒューズが破損していたことが判明) で中断した。

【2.28】急遽、連携研究を締結している奈文研金田氏より GPR アンテナ上部および PC をお借りし、ナワビ氏 (早大) の協力を得て大地区を GPR 作業。

【3.1】GPR 小地区、10 区分を設定。

【3.2】GPR 地区杭の座標を測量。

【3.12】小地区の GPR 作業。R1～R6 区、R8～R9 区終了。

【3.13】小地区の GPR 作業終了。R7 区、R10 区終了。

【3.18】杭・スズランの回収。現状復帰。

3. トラバース・水準測量 (城倉)

本調査では ArcGIS を用いたデジタル測量⁽⁴⁾が目的であったため、世界測地系に基づく基準点設置を行った。龍角寺古墳群内では、龍角寺岩屋古墳の発掘の際に印旛郡市文化財センター・三葉測量株式会社が設置した基準点が岩屋古墳の南側にあり (図 1)、この基準点を栄町教育委員会の許可を得て利用することにした。平成 25 年 10 月に設置された以下の 3 点である。

PT11 (X:-19810.000m.Y:40065.000m.Z:28.967m)

PT13 (X:-19790.000m.Y:40100.000m.Z:29.995m)

PT16 (X:-19795.000m.Y:40115.000m.Z:29.635m)

この基準点には、TS (トータルステーション) を設置して誤差がない点を確認した上で、本調査での採用を決めた。岩屋古墳から 50 号墳までは、直線距離で約 1km あり、まずは 50 号墳付近の道路に恒久的な基準点を移動した。その後、プラスチック杭を古墳に設置して、測量を行った。最終的には、以下の合計 3 回のトラバース測量を行った。

①世界測地系のトラバース測量：岩屋古墳の基準点から、50 号墳北東側の駐車場前の道路杭 3 点までのトラバース路線。

②調査区内トラバース測量：駐車場前の道路杭 3 点から、50 号墳の後円部・前方部中心の基準点までのトラバース路線。

③墳丘トラバース測量：50 号墳の周囲に設置した調査範囲を明示する基準杭のトラバース路線。

まずは以上 3 つのトラバース測量について詳述する。なお、トラバース測量には Leica TCR805、およびプリズム GPR1 を使用し、座標は多角測量

座標計算簿を用いて手計算で算出した。

【世界測地系トラバース】既知点 PT11 を始点とし、50 号墳北東の駐車場前に設けた道路杭 (RK4・RK3・RK2) を経由して、既知点 PT16 を終点とする結合トラバース路線 (PT13：後視→PT11→節点 1～7→RK4→RK3→RK2→節点 8～16→PT16→PT13：前視) (図 1) である。夾角の観測誤差は +14 秒で、均等補正を行った。夾角補正後の水平距離の誤差は X 方向 +53mm、Y 方向 +24mm で、観測距離に応じた補正を行った。このトラバースによって、RK2・RK3・RK4 の基準点に世界測地系の座標を設定できた。

【区内トラバース】既知点 RK2 を始点とし、50 号墳の推定主軸上に設定した後円部の RK0 及び前方部の RK1 を経由して、既知点 RK4 を終点とする結合トラバース路線 (RK3：後視→RK2→S1→S2→S3→RK0→RK1→S4→S5→節 1→RK4→RK3：前視) (図 2) である。夾角の観測誤差は -7 秒で、均等補正を行った。夾角補正後の誤差は、X 方向 +2mm、Y 方向 -2mm で、観測距離に応じた補正を行った。このトラバースによって、墳丘測量の最初の基準となる RK0・RK1・S3・S4 の座標を設定できた。

【墳丘トラバース】既知点 S3 を始点とし、墳丘周囲に設置した基準点 A～I を経由して、既知点 S4 を終点とする結合トラバース路線 (RK0：後視→S3→B→C→D→E→F→G→H→I→A→S4→RK1：前視) (図 3) である。夾角の観測誤差は -50 秒で、均等補正を行った。夾角補正後の誤差は、X 方向 +3mm、Y 方向 +3mm で、観測距離に応じた補正を行った。

以上の 3 回の結合トラバースによって、50 号墳の測量の基準となる座標が設定できた。しかし、本調査では TS を用いたデジタル測量を目的とするため、地形や樹木の死角がなくなるように選点し、K1～14 の基準点を開放で設定した。そのため、墳丘測量に使用する基準点としては、RK0・RK1・S3・S4・A～I・K1～14 の都合 27 点の基準点を設置したことになる。なお、以上の 27 点に加えて、デジタル測量に際して大地区の設定に用いた DS1～6、およびレーダー区の座標点を含めると、合計 86 点の基準点になるが、そのデータについては表 1 に示した。従来、早稲田大学が実施してきた等高線測量 (城倉ほか 2012・2014 など) に比べて、TS

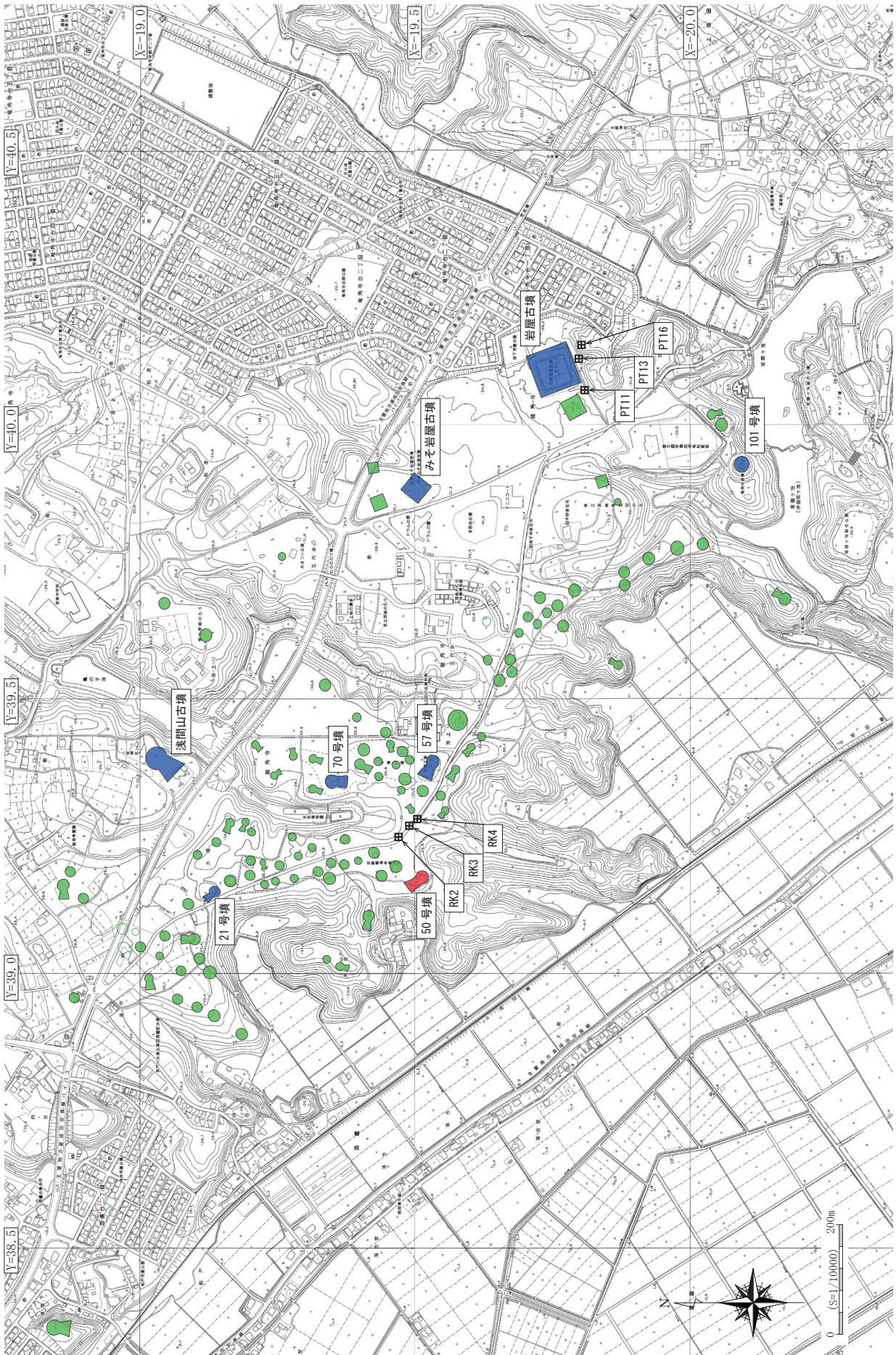


図1 龍角寺古墳群の分布と測量基準点の位置

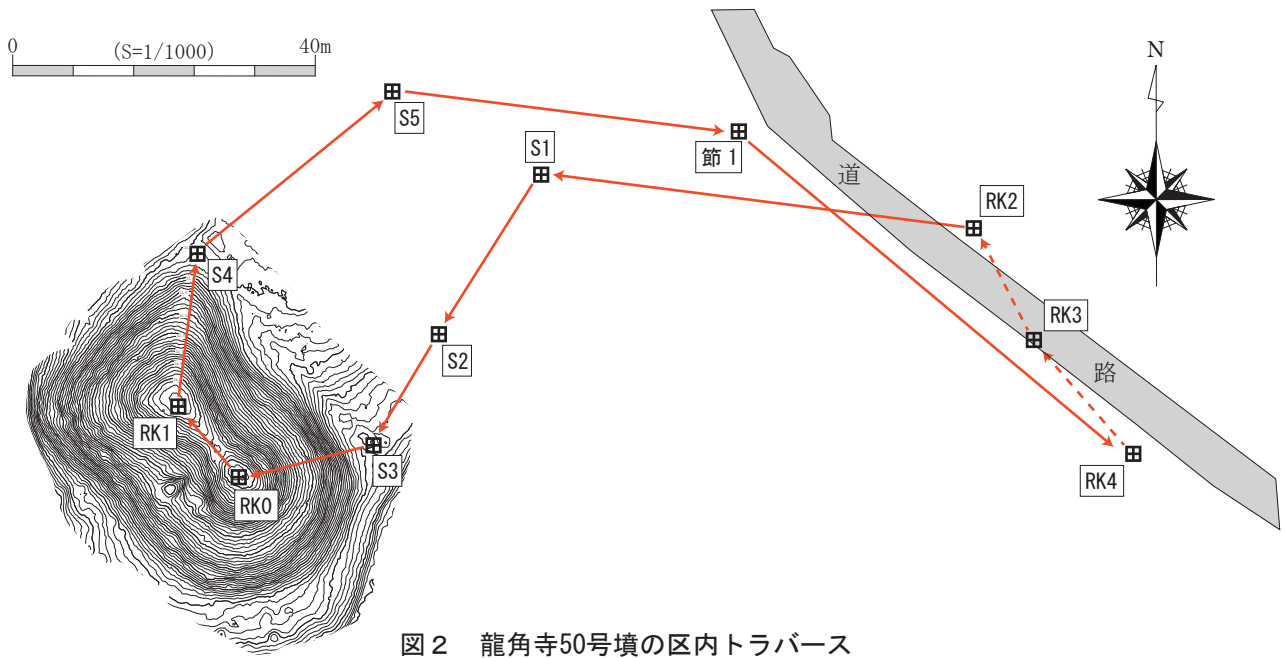


図 2 龍角寺50号墳の区内トラバース

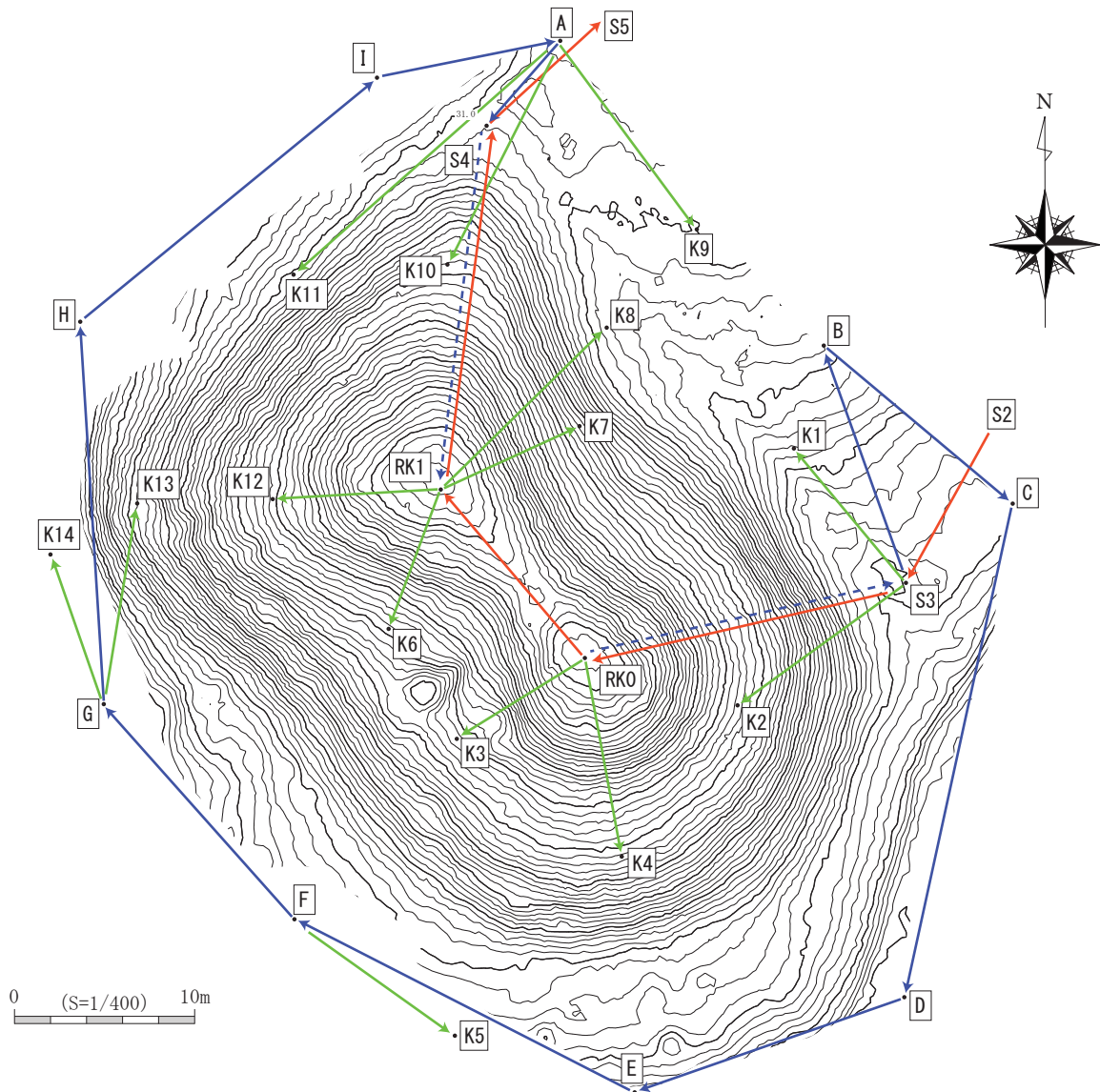


図 3 龍角寺50号墳の墳丘トラバース

表 1 龍角寺50号墳の基準点成果①

杭	路線名	点名	X	Y	Z	備考
1	岩屋基準点	PT11	-19810.000	40065.000	28.967	
2		PT13	-19790.000	40100.000	29.995	
3		PT16	-19795.000	40115.000	29.635	
4	50号基幹路線	RK0	-19513.533	39169.799	34.771	
5		RK1	-19504.187	39161.803	34.893	
6		RK2	-19480.621	39257.002	31.048	道路杭
7		RK3	-19495.790	39274.953	31.234	道路杭
8		RK4	-19510.557	39288.100	31.393	道路杭
9	50号S路線	S1	-19474.525	39209.796	-	
10		S2	-19494.631	39196.267	-	
11		S3	-19509.365	39187.616	29.579	
12		S4	-19483.992	39164.340	31.187	
13		S5	-19462.528	39190.111	-	
14	50号外枠路線	A	-19479.281	39168.432	31.364	
15		B	-19496.197	39183.057	30.723	
16		C	-19504.970	39193.540	29.646	
17		D	-19532.361	39187.527	28.483	
18		E	-19537.645	39172.557	29.222	
19		F	-19528.036	39153.679	29.689	
20		G	-19516.098	39143.098	28.933	
21		H	-19494.874	39141.796	29.552	
22		I	-19481.326	39158.264	30.396	
23	50号開放路線	K1	-19501.904	39181.396	30.267	
24		K2	-19516.161	39178.268	32.299	
25		K3	-19518.020	39162.689	32.440	
26		K4	-19524.558	39171.844	31.940	
27		K5	-19534.498	39162.583	29.675	
28		K6	-19511.917	39158.907	32.614	
29		K7	-19500.662	39169.498	32.246	
30		K8	-19495.201	39171.009	30.915	
31		K9	-19489.747	39176.009	31.077	
32		K10	-19491.694	39162.171	32.507	
33		K11	-19492.258	39153.631	31.112	
34		K12	-19504.717	39152.473	33.021	
35		K13	-19504.954	39144.956	30.672	
36		K14	-19507.790	39140.142	29.251	
37	大地区設定	DS1	-19501.362	39189.399	-	
38		DS2	-19529.018	39188.266	-	
39		DS3	-19526.696	39152.541	-	
40		DS4	-19520.864	39147.573	-	
41		DS5	-19492.718	39144.355	-	
42		DS6	-19486.816	39174.952	-	

表 1 龍角寺50号墳の基準点成果②

杭	路線名	点名	X	Y	Z	備考
43	レーダー全体区	A1	-19478.516	39168.292	31.362	
44		A2	-19508.394	39195.723	29.110	
45		A3	-19531.284	39169.338	29.965	
46		A4	-19502.008	39142.468	29.641	
47	R1区	R1-1	-19487.424	39170.288	31.191	
48		R1-2	-19481.590	39166.327	31.300	
49		R1-3	-19491.853	39163.729	32.514	
50		R1-4	-19486.127	39159.715	31.148	
51	R2区	R2-1	-19495.234	39175.749	30.859	
52		R2-2	-19493.507	39174.765	30.919	
53		R2-3	-19502.127	39162.957	34.684	
54		R2-4	-19500.420	39161.997	34.523	
55	R3区	R3-1	-19509.365	39187.619	29.579	
56		R3-2	-19494.857	39177.066	30.829	
57		R3-3	-19519.036	39175.277	32.587	
58		R3-4	-19504.824	39164.854	34.538	
59	R4区	R4-1	-19529.069	39183.869	29.351	
60		R4-2	-19527.622	39185.257	29.167	
61		R4-3	-19518.772	39173.610	33.128	
62		R4-4	-19517.406	39175.049	33.050	
63	R5区	R5-1	-19534.672	39170.880	29.771	
64		R5-2	-19534.566	39172.749	29.763	
65		R5-3	-19523.962	39170.266	32.171	
66		R5-4	-19523.796	39172.249	32.108	
67	R6区	R6-1	-19530.016	39158.980	29.936	
68		R6-2	-19531.540	39160.245	29.869	
69		R6-3	-19520.709	39170.389	32.809	
70		R6-4	-19522.186	39171.707	32.433	
71	R7区	R7-1	-19521.432	39151.182	29.702	
72		R7-2	-19529.383	39160.177	30.087	
73		R7-3	-19516.317	39155.642	31.143	
74		R7-4	-19524.312	39164.550	31.638	
75	R8区	R8-1	-19515.329	39146.971	29.388	
76		R8-2	-19516.937	39148.137	29.615	
77		R8-3	-19504.686	39160.428	34.774	
78		R8-4	-19506.198	39161.715	34.544	
79	R9区	R9-1	-19490.310	39151.943	30.631	
80		R9-2	-19491.581	39150.390	30.611	
81		R9-3	-19502.127	39161.839	34.812	
82		R9-4	-19503.419	39160.293	34.828	
83	R10区	R10-1	-19514.977	39156.457	31.698	
84		R10-2	-19520.139	39161.095	31.815	
85		R10-3	-19510.348	39161.443	33.289	
86		R10-4	-19515.612	39166.132	33.554	

が直接測距できる点を確保するため、基準点の数が増えた点の特徴である。

トラバース測量に並行して、水準測量も行った。まず、岩屋古墳に設置された PT11 (28.967m) から RK0 へ原点移動を行った。往復の観測で 2mm の観測誤差が生じ、比高 + 5.804 を採用し、RK0 の標高を 34.771m に設定した。その後、RK0 を基準として、RK1~4・S1~5・A~I の各点を経由する環状・結合路線で水準を観測し、標高を設定した。なお、K1~K14 については TS での開放設定の際に、SMP222 で直接観測して設定した。

4. デジタル測量の方法 (城倉)

早稲田大学文学部考古学コースの城倉ゼミでは、千葉県の高田 2 号墳 (城倉ほか 2012)、殿塚・姫塚古墳 (城倉ほか 2014)、及び龍角寺 (城倉 2015) の測量・GPR 調査を実施してきた。測量の基本的な方法としては、遺跡・遺構の主軸を重視した局地座標を設定した上で、オートレベルを用いて 10cm もしくは 20cm 毎の等高線を 20~30cm 間隔のカラーピンポールで明示し、その地点を TS で測距して座標を記録した上で方眼紙にプロットし結線する方式を採用してきた。この方式の最大の利点は、考古学を学ぶ学生たちが墳丘をよく観察しながら、現地で視覚化された等高線を図面に表現できる点である。「作図をする楽しさ」により学生もモチベーションが維持でき、墳丘を子細に観察する目を養うことができるなど教育上の利点は非常に大きい。この方式は、城倉が学生の頃に参加した測量調査 (御前鬼塚古墳・桜井茶臼山古墳・メスリ山古墳・檀場山古墳・釜の上古墳など) で実践されていた方法で、機材が平板から TS に代わっても等高線を追いかけて方眼紙上に作図する点は同じである。

一方、近年では 3D レーザースキャナーを用いた古墳のデジタル測量 (犬山市教育委員会 2009・寺村 2014 など) や、天皇陵の航空レーザー測量 (大阪府立近つ飛鳥博物館 2013・桜井市立埋蔵文化財センター 2014 など) といった新しい方法が実践されている。解析に高額な機材やソフトウェアの知識が要求されるものの、計測作業そのものは短時間で精度の高い測量図を作成することが可能である。しかし、この方法は専門業者への委託という形で行われるため、大学の学術調査に必ずしも適的な方法ではない。

注目されるのは、岡山大学が中心となって行った造山古墳のデジタル測量の方法である。墳丘をある程度の範囲に区分けし、TS を用いて座標を無作為に測距し、集積した座標を GIS ソフトの IDRISI にインポートして、TIN → DEM → Contour を作成する手法である (新納編 2008)。墳丘のデジタル測量の利点は、墳丘表面を実際に測距した正確な座標から墳丘の三次元化が行える点である。レーザースキャンや航空レーザーに比べて、墳丘の正確な Surface 情報を取得できる。さらに、従来は平面測量図から作成したエレベーション図などで立体的な復原を行っていたが、デジタル測量では点群の集合、あるいは TIN・DEM によって墳丘を立体化できる点が最大の強みである。この特性を利用して、墳丘の側面観を点群データで立体的に示すと同時に、段築の基本単位を抽出して、平面図の分析と合わせて設計原理を追求した新納泉の研究は画期的である (新納 2011)。等高線自体は、GIS ソフトによって任意の Contour で描出できるため、立体的な墳丘を等高線という「輪切りの情報」で提示してきた従来の測量図と全く異なり、墳丘地表面の点群データ、あるいは TIN・DEM などの Surface データの重要性を新納のデジタル測量の方法は示している。

以上の研究状況を踏まえた上で、本調査では従来の等高線測量に基づく作図の有効性を認識しつつも、新しい方法での墳丘の情報化を試行するため、GIS を用いたデジタル三次元測量を採用した。なお、デジタル測量の方法論については、寺村裕史が造山古墳の事例を基に詳述している (寺村 2014)。寺村は墳丘測量データの空間内挿における TIN モデルの有効性を示し、合わせて様々なデータ処理の方法を試行している。50 号墳の調査に際しては、特に岡山大学の造山古墳の測量方法を参考とし、概報や論文で公開されているデータを読み込んで検討し、調査方法を決定した。以下では、本測量調査の方法について説明しておく。

まず、従来は遺跡・遺構の軸線を重視して局地座標で測量を行った上で、世界測地系に変換する方法を採用していたが、今回は世界測地系で全ての座標を管理することにした。世界測地系に基づく XYZ を古墳の基準杭に設定した上で、測量作業の利便性から古墳を大きく地区割した。すなわち、後円部墳頂の RK0、前方部墳頂の RK1 を結んだ線を仮想主軸とし、主軸に直行し RK0 と RK1 を通る南北ライ

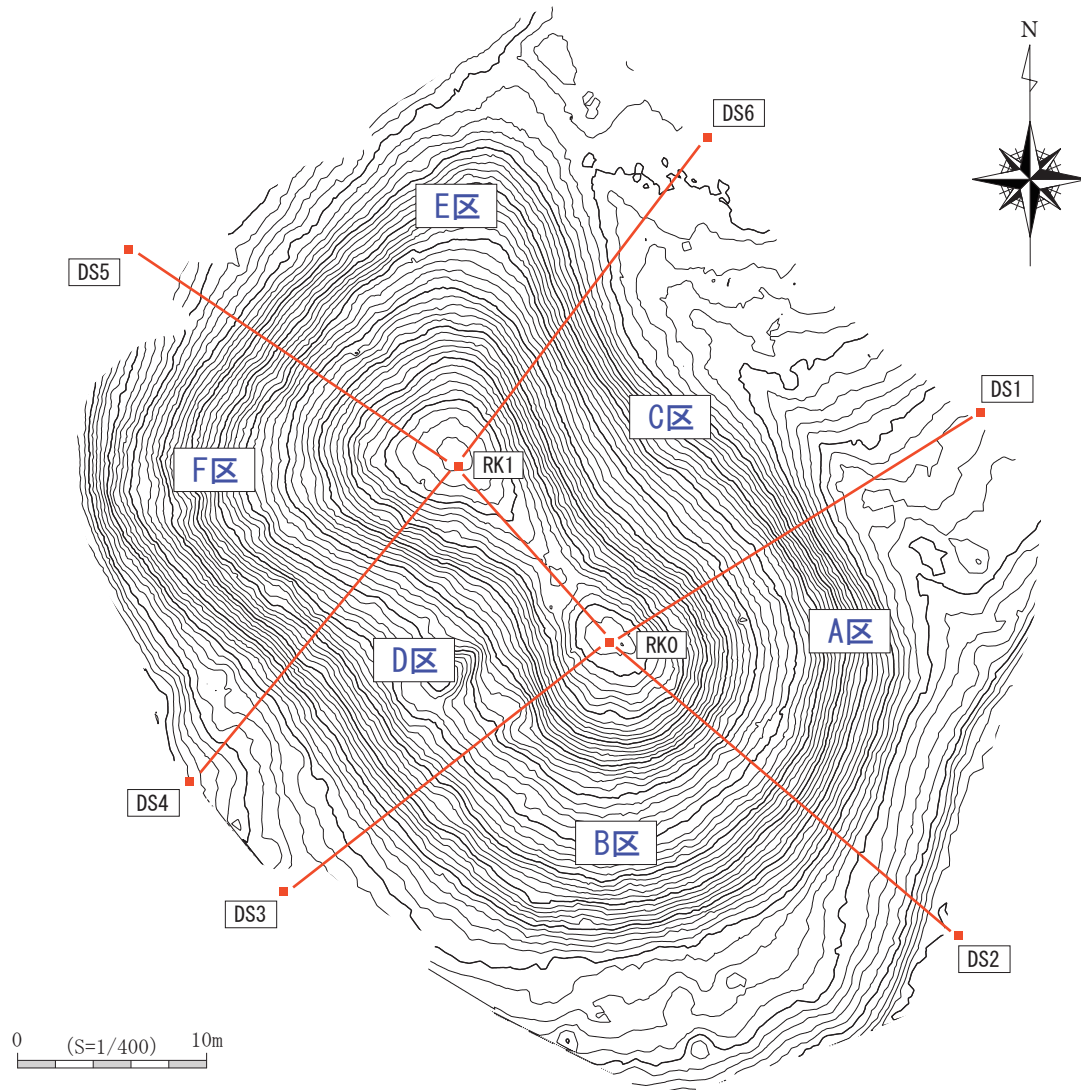


図 4 龍角寺50号墳の測量地区割図

ンを2本引いた。実際には樹木などの視界の問題もあるため、RK0とRK1から見える直線が調査範囲を明示するA～Iを結んだ外周と接する点にDS1～DS6を設定し、墳丘を大きく6地区に分けた(図4)。各地区はA～F区と呼称し、それぞれを任意の3～6の小地区に分け、A1、A2、A3、、、という具合に設定した。その上で、各小地区単位を視認できる場所にそれぞれ開放でK1～14の基準杭を設定し、樹木の死角が完全になくなるようにした。

次に、設定した大地区・小地区をスズランテープで現地に明示した後、TS3台(LeicaTCR805・SokkiaSET20KS・SokkiaFX105)を基準点に設置して、小地区単位での測距作業を開始した。測距に際しては、20～30cm間隔で無作為に選点したが、各点が不規則三角形網(TIN: Triangulated Irregular Network)を描くように心がけた。測距が終わった地

点は、割箸の一方にガムテープを巻いたカラーピンポールを設置して座標の取得範囲の重複が起これないようにした。小地区毎に全面がカラーピンポールで埋まるように作業を進め、各大地区が終わった段階で全てのカラーピンポールを抜いて、次の大地区に移動した(図5)。

座標はTSの機能を使用して内部メモリに記憶し、作業終了後、宿舎でPCにエクスポート、バックアップして毎晩整理した。本調査中に測距した座標は、合計27,452点である(測量作業は8日間なので、1日平均3,500点弱)。今回の調査は1日平均4名と人数が少なく、使用機材が古いという限界があったものの、最新のFXを2人1組で作業した場合、1台で1日2,000点を越えるほどの作業が可能である。

以上、本調査におけるデジタル測量の方法について



図5 測量作業（地区割・測距・カラーピンポール）の様子

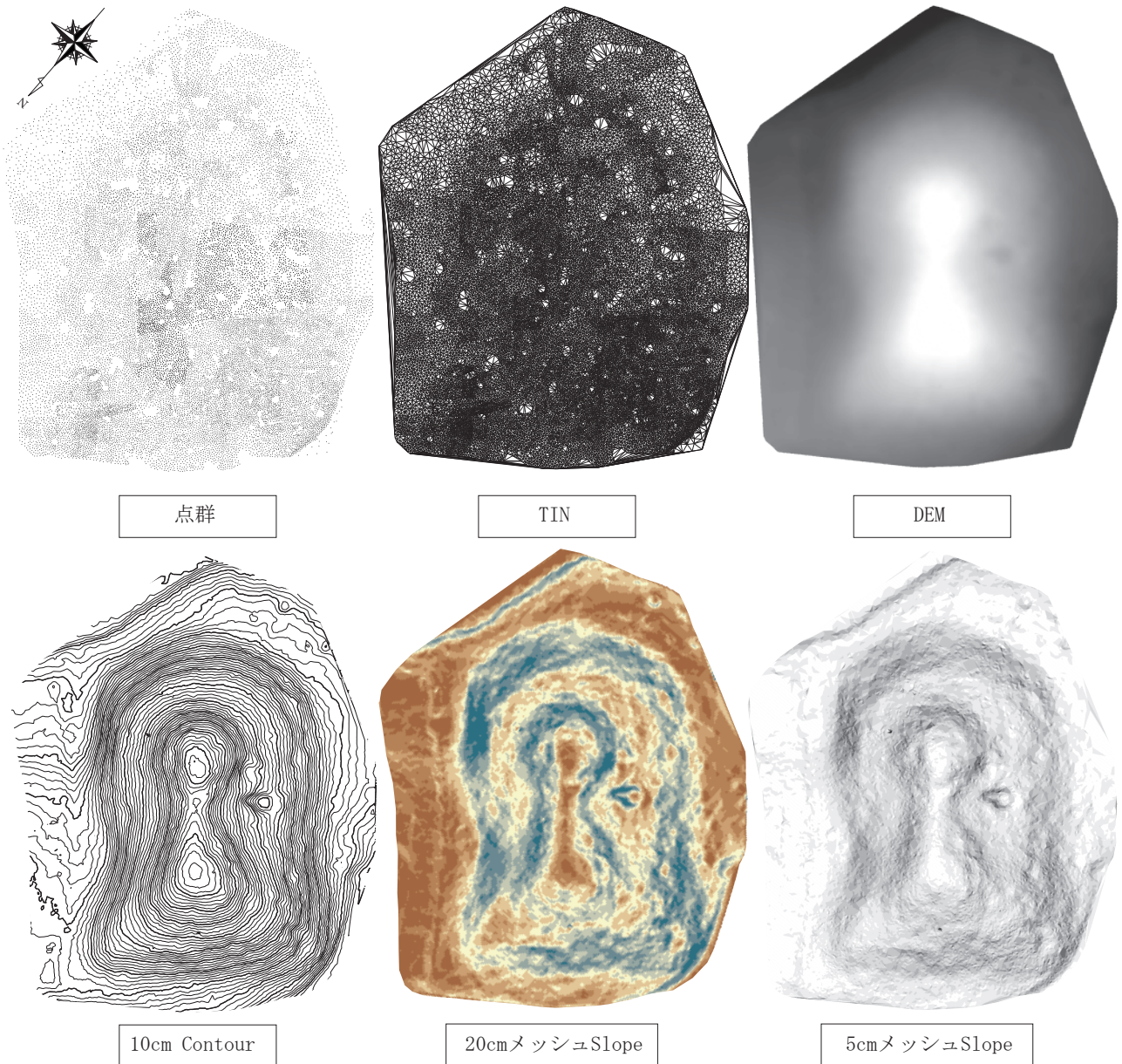


図6 GISを利用した墳丘の分析過程 (S=1/800)

て説明した。デジタル測量の問題点としては、①紙を用いた作図を一切行わないため、調査者の観察に基づく知見を図面に反映できない点、②作業が非常に単調で、参加学生のモチベーションを維持するのが難しい点が挙げられる。

①については、デジタル測量によるデータが、従来の等高線測量とは全く異なる特性を持つ点を考慮する必要がある。等高線で墳丘を輪切りにするのが等高線測量だとすれば、GIS を用いた三次元デジタル測量は墳丘の Surface データを点群情報として取得する根本的に異なる方法である。デジタル測量は客観的な情報の取得に主眼があり、取得した座標データを PC を用いて解析することで様々な角度から墳丘を分析できる点に、この方法の最大の利点がある。GIS で作図した測量図に観察者が現地で記録した「傾斜変換線」などを合成する方法（寺村 2014）もあるかもしれないが、客観的な Surface 情報を重視するならば DEM データからの Slope 解析などで変換点を把握すべきで、もし必要であれば等高線測量・デジタル測量の両方で完全に別の作図をすべきだと思う。なお、大量の Surface データを素早く取得できる点では 3D スキャナーの利用が適しているとも言えるが、実際には樹木や腐葉土で覆われる古墳の地表面を正確に把握していくには、TS を用いた測距に基づく人力でのデジタル測量が必要になる。この方法は、墳丘の立体構造を把握できる点が圧倒的に有利で、PC を用いた多角的解析ができる点も考えれば、今後は GIS を用いたデジタル三次元測量が主流になっていく可能性が高いと考えている。

②については、大学の学術調査では非常に大きな問題点である。平板や TS を使用した等高線測量の作図では、参加学生が墳丘を観察しながら等高線を結線し、測量図が出来上がっていく喜びを実感することができる。私自身も、大学 4 年生の頃、桜井茶臼山古墳の測量に参加し、巨大な古墳の全体像が徐々に浮かび上がっていく過程に感動したことをよく覚えている。一方で、デジタル測量では区画された範囲内を、ひたすらに測距してカラーピンボールを立てる単純作業が毎日続く。もちろん、この作業自体を変えることはできないが、①毎晩宿舎で GIS を用いた現状の作図を行い、各班・各人の作業が調査全体の中でどのような位置にあるかを把握できる機会を設ける、②作業途中の図面を毎日配布し、現

地で墳丘の観察時間を設けて最終的な分析に反映できるようにする、など参加者のモチベーションを維持しながら、機材やソフトに習熟し、墳丘の観察眼を養える工夫を考える必要がある。

以上、等高線測量・デジタル測量、それぞれメリットとデメリットは存在するが、遺物の三次元計測技術なども普遍化する中で、考古学の測量方法が前者から後者へと主軸が移る点は確かだと考える。早稲田大学考古学研究室としては、研究・教育両面から最善の方法論の模索を継続したいと考えている。

5. GIS の解析作業と測量成果（城倉）

前節で詳述した方法によって集積した座標データは、合計 27,452 点だった。なお、座標データの中には、TS 設置時に基準点を後視するため、基準点上の点を誤って測距しているデータ、あるいはノンプリモードでミニプリズム以外を測距した点などイレギュラーなデータが若干含まれている。これらの座標については、GIS の 3D 画像上で座標を特定しデータを消去した。消去した座標は 77 点で、GIS の分析に用いた最終的な座標は 27,375 点である。この座標を基礎として、GIS（Geographic Information System）を用いた作図、及び解析を行った。早稲田大学文学部考古学コース（城倉ゼミ）では、2012 年に Esri 社の ArcGIS を導入し、毎年ライセンス契約をしている。以下の分析は、基本的には ArcGIS のソフトウェアを用いた解析成果である。

まず、TS で収集した座標データは、Excel から CSV データに変換した上で、ArcMap にインポートし点群データを表示する。更に、3D Analyst で TIN を作成した後、TIN からラスターデータ、すなわち DEM（Digital Elevation Model）を作成する。DEM からは任意の Contour が作成できるので、0.1m、あるいは 0.05m で等高線を描出した。なお、ArcGIS では、TIN からラスター化する際に、サンプリング距離の設定ができるため、Cellsize を 0.05m、0.2m の 2 種類に分けてラスター化した。空間内挿のメソッドは Natural Neighbors を選択している。

今回の調査では、約 1920m² の調査範囲に 27,375 点の計測点なので、単純計算で 1m² あたり 15 点弱の計測点がある。非常に細かい精度なので、10cm の等高線を描出するため、0.05m のサンプリング距離、つまり 5cm メッシュに設定している。等高線

が若干ギザギザになるものの、正確な情報の提示を重視した。また、後述する傾斜角 (Slope) 解析の画像も Cellsize の設定によって精度が変わる。墳丘全体を把握するには 20cm メッシュ、細部表示の際には 5cm メッシュを使用して Slope 解析を行った。なお、傾斜角の色設定については Arc のデフォルトで設定している。ArcGIS で描出した Contour とラスターサーフェスから傾斜角 (Slope) 解析した画像を合成すると、墳丘の傾斜度の違いをビジュアルに把握できる。従来は調査現場での観察で「傾斜変換線」とした作業だが、墳丘の段築構造や墳裾の位置を反映する傾斜変換を測量図に表現するのは非常に難しく、観察する人間によって位置が変わってしまう問題点があった。しかし、この手法であれば、客観的なデータとして変換点を認識できる。

また、今回は提示をしていないが、地形と墳丘構造を立体的に示すには 3 次元表示が効果的である。ArcInfo を使えば、点群から三次元の TIN・Contour・Slope を作成することが可能である。ただし、三次元画像の研究への応用は今後の課題である。なお、GIS では座標を正確に表示できるので、トラバース路線図・レーダー区配置図、地区設定図なども作成が非常に簡単になった。さらに、Adobe Illustrator にレイヤー構造でエクスポート可能で概報・論文作成の利便性は高い。従来の調査では作図した測量図のトレースの際にかなりの誤差が生じていたが、GIS を導入したことで誤差は限りなく少なくなった。調査成果としても、① PDF 化した日誌、② 調査風景のデジタル写真、③ 基準点と計測点の Excel データ、すべてがデジタルデータで管理できるのも利点である。さらに、最終的な座標データを数メガの Excel データとして HP で公表すれば、第 3 者も客観的な分析が可能になる。現在、城倉が所長を務める「早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所」の HP でデータ公表の整備を進めている。各機関の調査座標の公表が進めば、墳丘研究は新しい段階に入っていくと思われる。

さて、以上の GIS の解析作業の過程を示したのが、図 6 である。また、本調査の成果として提示したのが、図 7 の 10cm-Contour による平面図、および図 8 の 10cm-Contour + 20cm メッシュ Slope 合成図である。次には、この両図をもとに測量成果をまとめる。

50 号墳は浅間山古墳、57 号墳に次ぐ規模を持つ

前方後円墳で残りの良い古墳である。龍角寺古墳群が存在する台地の西縁辺に立地し、墳丘北東まで続く平坦な台地が北西・西南・南東で落ち込んでいく傾斜地に前方部を北西に向けて所在する。以上の立地のため、墳丘の西側の土の流出が激しく、前方部北西隅から南側くびれ部にかけてだらだらと外側に広がる形状を呈する。また、墳丘南東側から反時計周りに遊歩道が続き、前方部北西隅角をかすめて北側へ抜けている。なお、甘粕の 1964 年の図面でも表現されているように、墳丘北側に沿って旧農道と思われる小道の痕跡が南東から北西に向けて続いている。調査開始当初は、周溝の可能性も考えたが、墳丘主軸とは平行せず、弓なり状を呈する点、墳丘南側に対応する痕跡が見いだせない点、GPR に顕著な反応がない点などから近現代の農道と判断した。現状では、周溝の有無は不明である。

墳丘は 2 段築成で、前方部北西隅角から南側くびれ部にかけて崩れている以外は、よく残存する。図 8 の Slope 解析で明瞭なように、テラス面が幅広な点の特徴である。墳丘南側テラスのくびれ部付近に大きな盗掘坑が確認できるが、萩原・原田のボーリング調査では、この部分で石材を確認し、横穴式石室が想定されている (萩原・原田 1985)。今回の測量調査中も前方部前面の斜面で、雲母片岩の板石の破片を確認しており、片岩系の埋葬施設が想定できる。しかし、後述するように GPR の反応からする限り、箱式石棺の可能性が高いと考えている。

6. GPR の方法 (青笹)

GPR は、物理探査の一種である。Ground Penetrating Radar の略称で「地中レーダー探査」と訳される。送信アンテナから発信された電波は、地中の埋蔵物や層の境目など誘電率の異なる境界に反射して受信アンテナに記録される。GPR は反射した電波の強弱と所要時間から地中の構造を把握する。

アンテナの周波数は、低いと波長がゆっくりとなるため深い反応を探ることができる。逆に周波数が高いと波長が早くなるため浅い反応しか探れない。しかし、波長が早い分得られる情報はより鮮明となる。つまり、電波が届く深さと得られる情報はアンテナの選択で決まる。今回の調査では 250MHz と 500MHz のアンテナを使用した。それぞれ約 5m と 3m までの反応を探ることができる。

次に現場の作業を説明する。まず、探査の前に遭

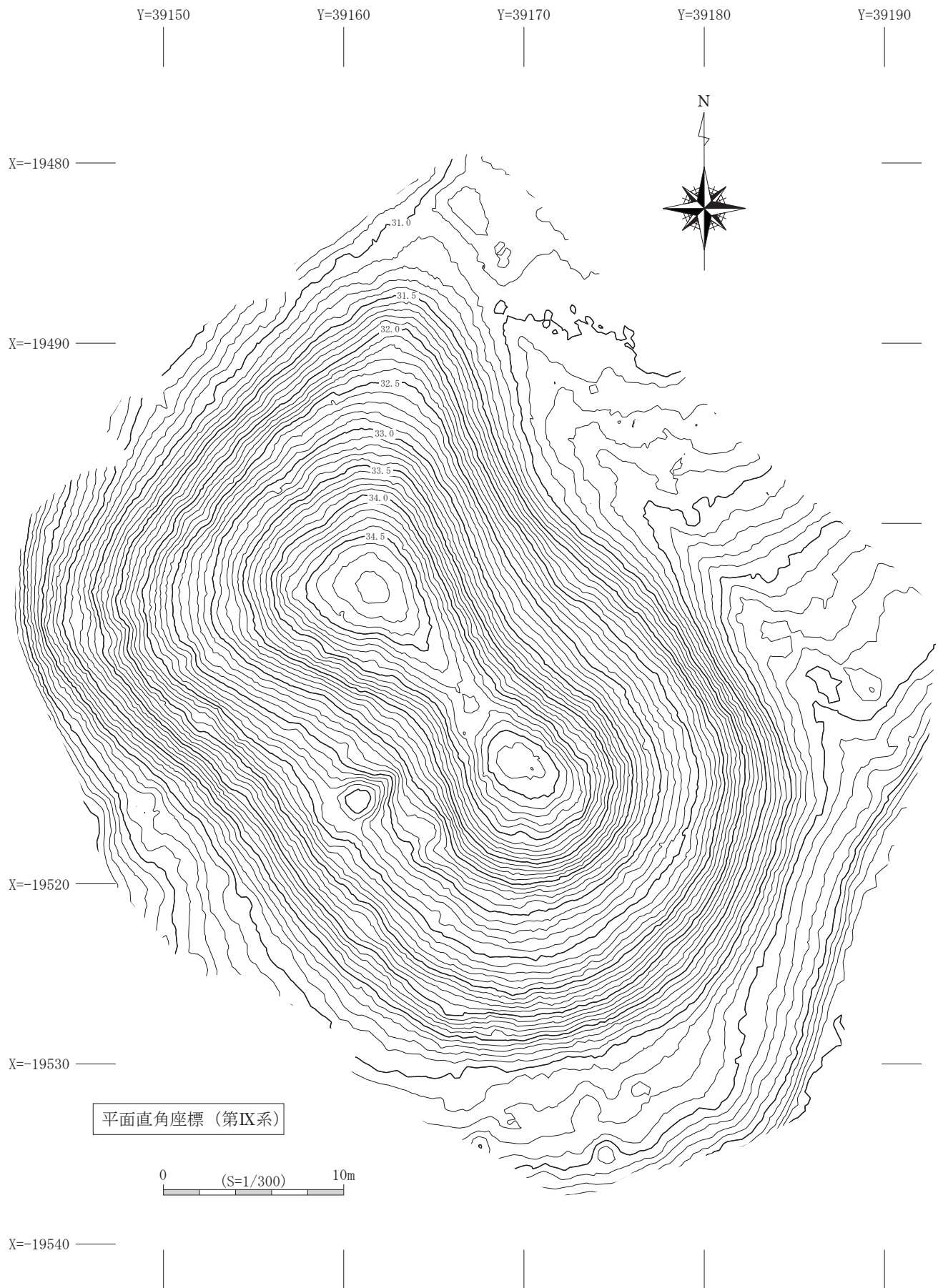


図 7 龍角寺50号墳の測量図（10cm Contour）

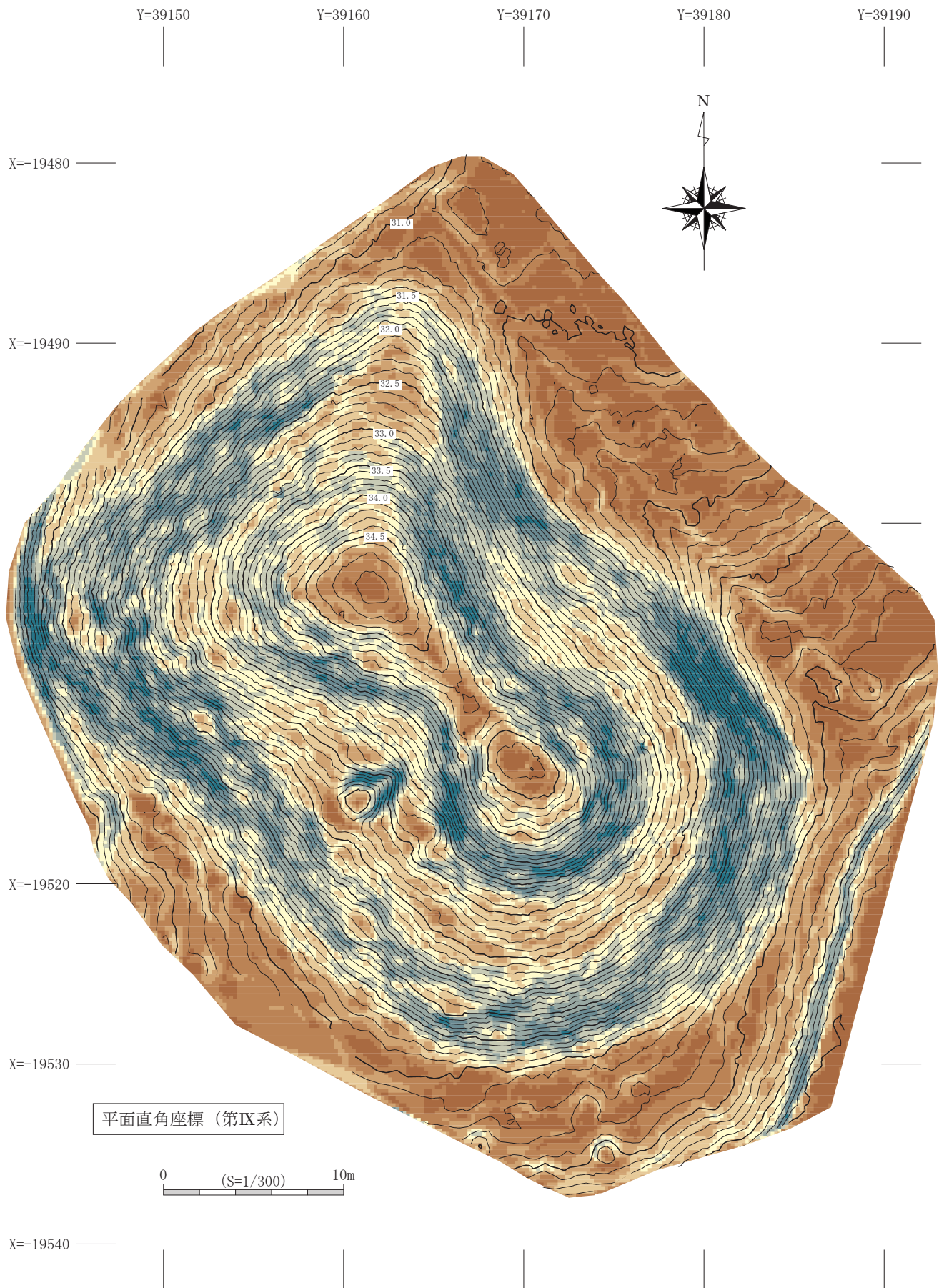


図8 龍角寺50号墳の傾斜角解析図 (10cm Contour+20cmメッシュSlope)



図9 GPR作業の様子

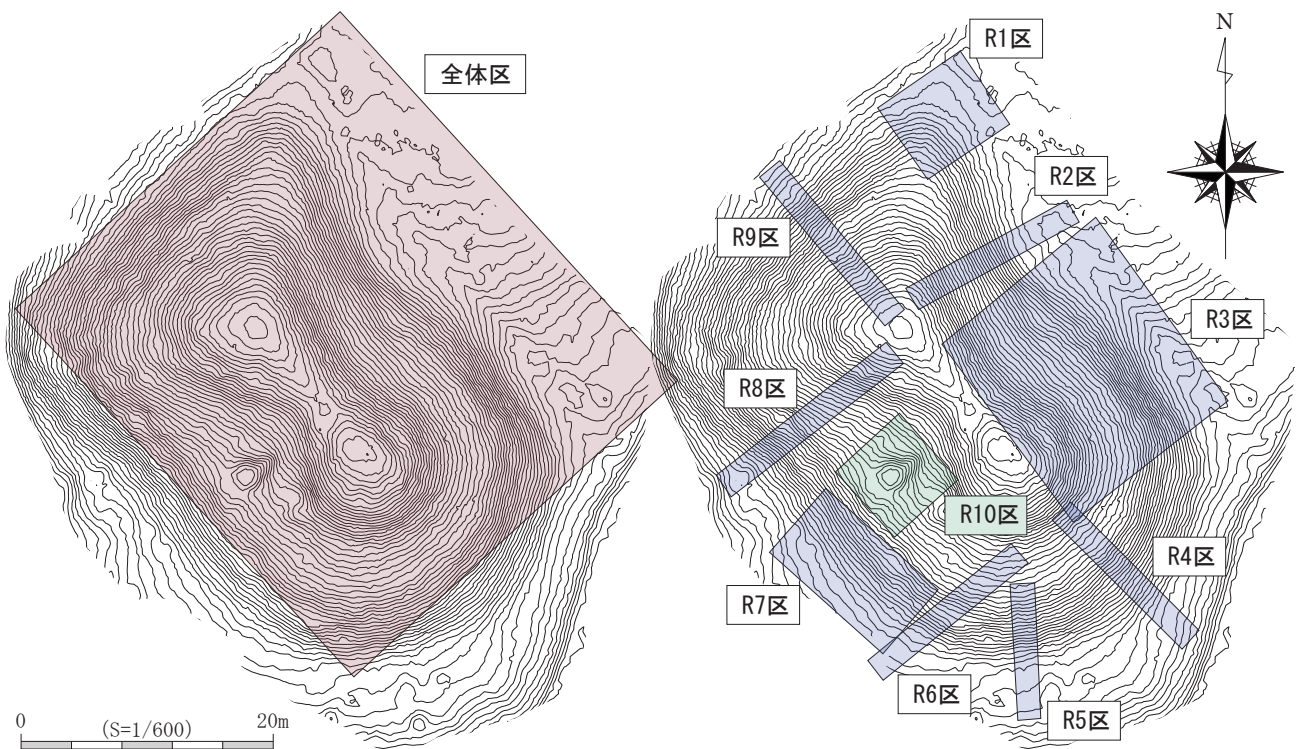


図10 龍角寺50号墳のGPR調査区

構を観察し、測量図から探査の範囲を決めた。その後、探査区の四隅にレーダー探査用の杭を打ち込み、探査地区を設定した。この際、原点を墳丘に向かって左下にあたる点に設定し、測線のX方向とY方向が混乱しないようにした。レーダー杭はTSで全て座標を測距している。レーダー区には、測線のガイドとなるエスロン・スズランを張り、作業を実施した。エスロンの設置方法だが、外枠は原点を0としてそれぞれX方向とY方向に向かうエスロンを張る。つまり、墳丘の左下は必ず0、そこから2mごとにエスロンとスズランテープを交互に設置している。これは線が極力直線になるための工夫で

ある。一測線あたり50cmの範囲を探査するので、往復すると設定した2m幅の中で往路は小数点以下が.0mの測線、復路は小数点以下が.5mの測線となる。また、探査の際には、浮き上がりや急な速度変更などでノイズが入らないよう一定の速度で測定している。作業の実際の様子については図9に提示した。

機材は、文科省の私立大学等研究設備整備費等補助金に採択されて早稲田大学文学部考古学コースで2014年度に導入したMALA社製ProEXを使用した。しかし、調査開始すぐにアンテナ上部のヒューズの故障があったため、連携研究の協定を締結して

いる奈良文化財研究所の金田明大氏より MALA 社製 X3M とアンテナ上部をお借りして、探査を実施することとなった。探査中は X3M で得た情報を逐一確認しつつ、MALA 社製 250MHz・500MHz のアンテナを用いた。今回は、埋葬施設の存在が想定される R10 区のみ 250MHz のアンテナを使用した。

レーダー区は、全体区と R1～R10 の小地区を設定した（図 10）。小地区は、広い範囲を対象にした大地区に比べ、遺構に直交する反応を表現しやすい利点がある。また、短い時間で反応の強い箇所を把握でき、かつ地中の情報をより詳細に得られる。測量の成果と合わせると、発掘のトレンチ調査に近い反応を得られ、確認調査に適している。以下、各地区の設定範囲と対象遺構について述べる。

【全体区】35×40m。墳丘全体と埋葬施設の位置。

【R1 区】7×8m。前方部北東隅角の墳裾。

【R2 区】2×15m。前方部北側の墳裾とテラス。

【R3 区】18×16m。北側くびれ部の墳裾とテラス。

【R4 区】2×15m。後円部南東側の墳裾とテラス。

【R5 区】2×11m。後円部南側の墳裾とテラス。

【R6 区】2×15m。後円部南側の墳裾とテラス。

【R7 区】12×7m。南側くびれ部の墳裾とテラス。

【R8 区】2×18m。前方部南側の墳裾とテラス。

【R9 区】2×16m。前方部前面の墳裾とテラス。

【R10 区】7×7m。テラスの埋葬施設。

取得したデータは調査終了後に大学で GPR-Slice v.7.0 のソフトウェアを使用して解析を行った。

さて、今回実施した解析方法だが、取得してきた .rd3 という拡張子のデータを元に Time Slice と Profile を作成した。Time Slice は一定の深さにおける平面図で、Profile は測線毎の断面図である。これらは gain を調節することで、深い反応を強く見せたり、あるいは浅いところのノイズを弱く見せたりすることが可能である。また、filter 補正をかけることで、反応の相対的な強弱を把握できる。filter 補正の具体的な手順だが、まず bandpass という操作で無線等のノイズを除去する。続いて background という操作で地上の最上面における強い反応を除去する。最上面はアンテナと接している最初の境界であるため、強い反応が生じる。この反応を除去することで、相対的な強弱がより明瞭に表示できる。

7. GPR の成果（城倉）

本調査では全体区、小地区に分けて GPR 作業を行った。まず、埋葬施設の検出を目的として全体区の作業を行った。当該地域の古墳時代後期～終末期では「変則的古墳」と呼ばれるテラス・墳裾・周溝などに複数の埋葬施設を持つ古墳がある。そのため、全体区で反応を確認した。結果、萩原・原田が報告した南側テラスくびれ部付近に強い反応を認めたが、後円部墳頂・前方部墳頂においては顕著な反応が認められなかった。

次に、墳丘の各部位に直行するような形で設定した R1～R10 の調査区では、段築・墳裾・周溝などの範囲確認を目的として作業を行った。図 11 には、各区の反応を測量図と合わせた Time Slice 平面図を提示した。なお、GPR の断面図である Profile 図については、紙幅の都合から割愛したが、現在まで行ってきた GPR 調査をまとめて別に報告を予定している。図 11 を見ると、R1～R9 区においては墳裾や段築と思われる反応が確認できる。しかし、墳丘外においては周溝と思われる反応は認識できなかった。なお、R10 区のみは、埋葬施設の存在が予想されたため、250MHz のアンテナで作業したが、結果的にはテラス内におさまる範囲で反応が認められたため、横穴式石室ではなく縦穴系の箱式石棺の可能性が高いと判断した。

8. 50 号墳の墳丘復原とその意義（城倉）

最後に、デジタル測量・GPR 探査を踏まえた上で、50 号墳の復原を行い、浅間山古墳と比較する。まず、50 号墳については甘粕健による分析成果がある（甘粕 1964）。甘粕は 50 号墳の測量成果から、全長 43.6m・後円部径 28.7m・前方部幅 30.0m・くびれ部幅 24.8m・後円部高 4.9m・前方部高 4.7m と推定した。また、後円部の 6 等分値＝ a を、全長 9：後円部径 6：前方部幅 7 の比率で各計測点を割った平均から算出している。甘粕の表では、 $aa=4.8$ 、 $ab=4.85$ 、 $ac=4.85$ で平均 4.83m となっているが、これは誤植と思われる、前述の計測値を各比率で割ると、 $aa=4.84$ 、 $ab=4.78$ 、 $ac=4.29$ で平均 4.64m となる。さらに、龍角寺古墳群の 21・70・50 号の平面形を分析し、くびれ部の決定原理を指摘した。すなわち、21 号→くびれは D を中心として DC に a を加えた半径の円弧と後円部の交点になる（「DC + a

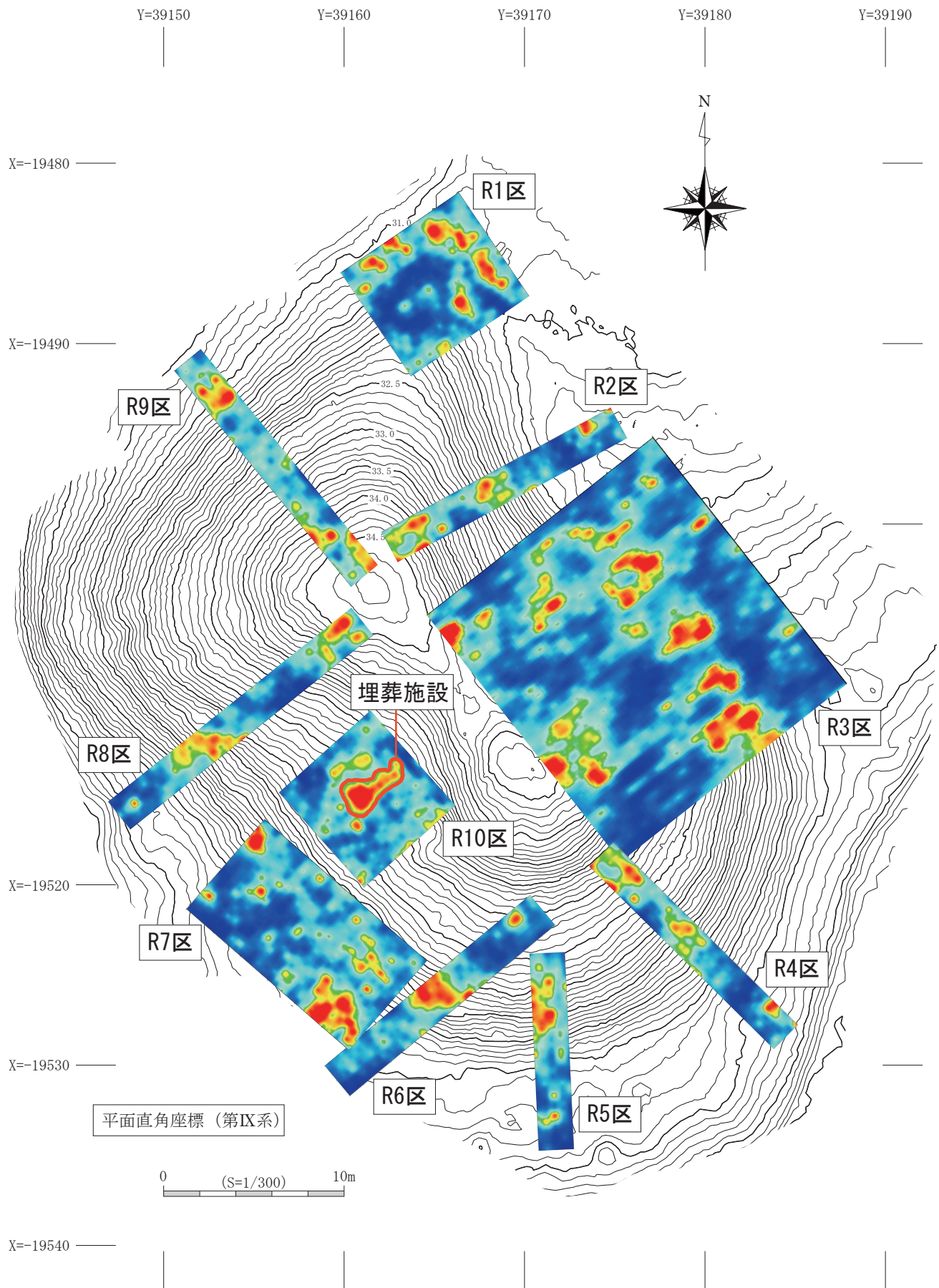


図11 龍角寺50号墳のGPR成果 (Time Slice平面図)

型)」、70号→DCに 2α を加えた半径と後円部の交点になる(「DC+ 2α 型」)、50号→Dから4単位の円弧とOから4単位の円弧の交点となる(「(CD+ α)×(R+ α)型」原文ママ)に分類した(図12)。さらに、前方部幅QQ'は、Dから半径4単位とDを通過して主軸と直行する線の交点とする。本来の用語としては、50号墳は「[DC+ α]×[OC+ α]型」となるべきで、甘粕の第3図と第4図に示された50号墳の復原にも齟齬やQとRの混同があるなど若干の混乱はあるものの、BC:CP:PD:くびれ部型の表記で、浅間山古墳(6:1:2.5:7)、57号墳(6:0.5:3.5:7)、50号墳(6:0:3:8)の比率を示し、これら3古墳を一系列の古墳とした上で、CPが短くなる(=前方部前面の斜面の水平距離が大きくなり、前方部頂が後側に移動する)方向性を示した点が注目される。すなわち、浅間山古墳→57号墳→50号墳の築造順序を推定したのである。

一方、古墳のデジタル測量とその分析方法については、新納の画期的な研究がある(新納2011)。新納は造山古墳のデジタル測量の成果を踏まえ、墳丘中軸線より西側の全計測点を側面からプロットした側面観をGISで作成し、定量分析を行っている。すなわち、後円部・造り出し・前方部の各20m幅の点群を抽出し、各段の高さの比率(1):1:3、及び6.25mという基本単位を抽出した。基本単位を27尺、4.5歩と推定すると、1尺長は0.231mとなる。新納によると、後円部半径は1単位の16倍、テラス幅は1単位など計測点に合致するという。

50号墳のデジタル測量では、計測した座標を用いて新納の方法論を応用してみることにした。まず、点群のCSVデータをArcGISにインポートして、TIN・DEM・Contourを作成する。このマップをAIに出力して、Illustrator上で主軸を回転、世界測地系での墳丘の方位角を割り出した。再び、GISでShapeファイル化した点群、およびベクターデータに方位角を入力して回転し、主軸をGIS上の真北に設定した。回転したShapeファイルの属性フィールドに作成される新しいX、Y座標をテキストデータで出力、CSVに変換した。再度、座標をインポートし、残存度の高い北側を分析対象とするため、主軸を境界として南側の点群、および周辺地形を画面上で選択して除去、最終的な点群データをエクスポートした。この座標のYをXフィールド

に、ZをZフィールドにインポートすると、主軸を境界として北側の点群をオルソ化した側面観が出来上がる(図13上)。同じ作業をして、O点を通り主軸と直交する線より北西の計測点および周辺地形を除去した後円部後面観が図13上から2番目である。

以上の側面観・後面観を用いて、側面観の後円部中心の2m幅(A)、及び後面観の後円部中心2m幅(B)の点群を抽出し、標高10cm毎の分布状況(ヒストグラム)を作成したのが図14下である。このヒストグラムを見ると、AとBのピークはほぼ一致しており、29.8m・32.0m・34.6mにピークがある。3点の比高が第1段、第2段高を反映しているとするれば、第1段が2.2m、第2段が2.6mになる。しかし、墳頂部からは土が流出し、墳裾には土が堆積しているので、現状の高さを古墳本来の高さと考えすることはできない。理想的には、新納が試行しているように三段築成の巨大古墳における2段目の分析から高さを算出するべきだが、50号墳のような比較的小規模な前方後円墳であれば、復元的に高さを考慮する必要がある。今、図8の10cmContour+20cmメッシュSlope合成図で、A・Bの当該箇所を観察すると、A・Bともに標高31.9~32.6mが茶色=傾斜角が緩くなっている点が見える。つまり、ヒストグラムから導き出した標高32.0mという数字は、本来のテラス面が想定される31.9~32.6mの範囲でも、低い位置を示していることになる。もちろん、置土や化粧土によってテラス自体が外側に向けて低くなる傾斜を持っている可能性もあり、その正確な高さの確定は困難であるが、仮に31.9~32.6mの中間と仮定すると、32.25mほど。すなわち、ヒストグラムから導き出した32.0mよりも0.25mほど高い位置にテラス面を想定することができる。今、ヒストグラムから導き出した第1段(2.2m)、第2段(2.6m)にSlope解析図から想定した0.25mという数字を土の流出・堆積値として機械的に増減するとどうなるだろうか。第1段はテラス面が0.25m高くなり、墳裾への堆積を0.25mと仮定すると、2.7mになる。第2段は、テラス面が0.25m高くなる数字と墳頂の流出を同じに仮定すれば±0で、2.6mになる。以上の推定から、本来の後円部の上下段は1:1に近い比率になる可能性がある。

試みに上述した上下段の高さを1:1、2.6~2.7m

甘粕 健1964「前方後円墳の性格に関する一考察」『日本考古学の諸問題』河出書房新 P179第3図を改変して作成。

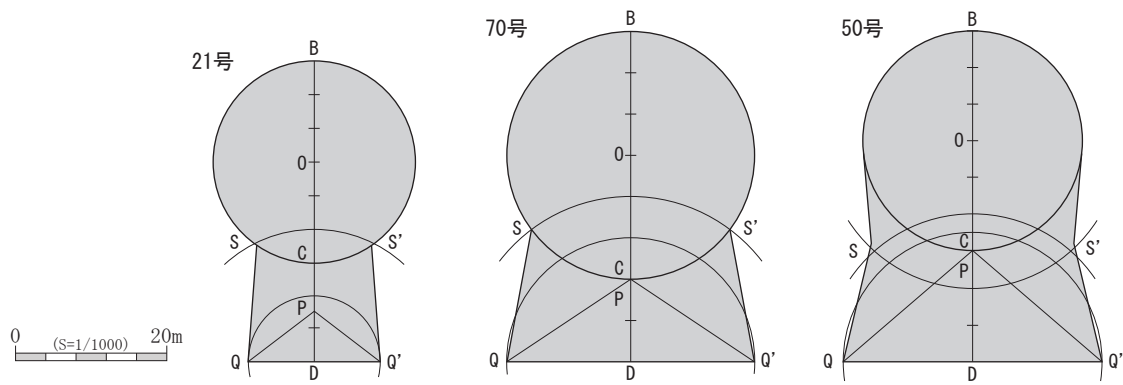


図12 甘粕健による龍角寺古墳群の主要前方後円墳の分析

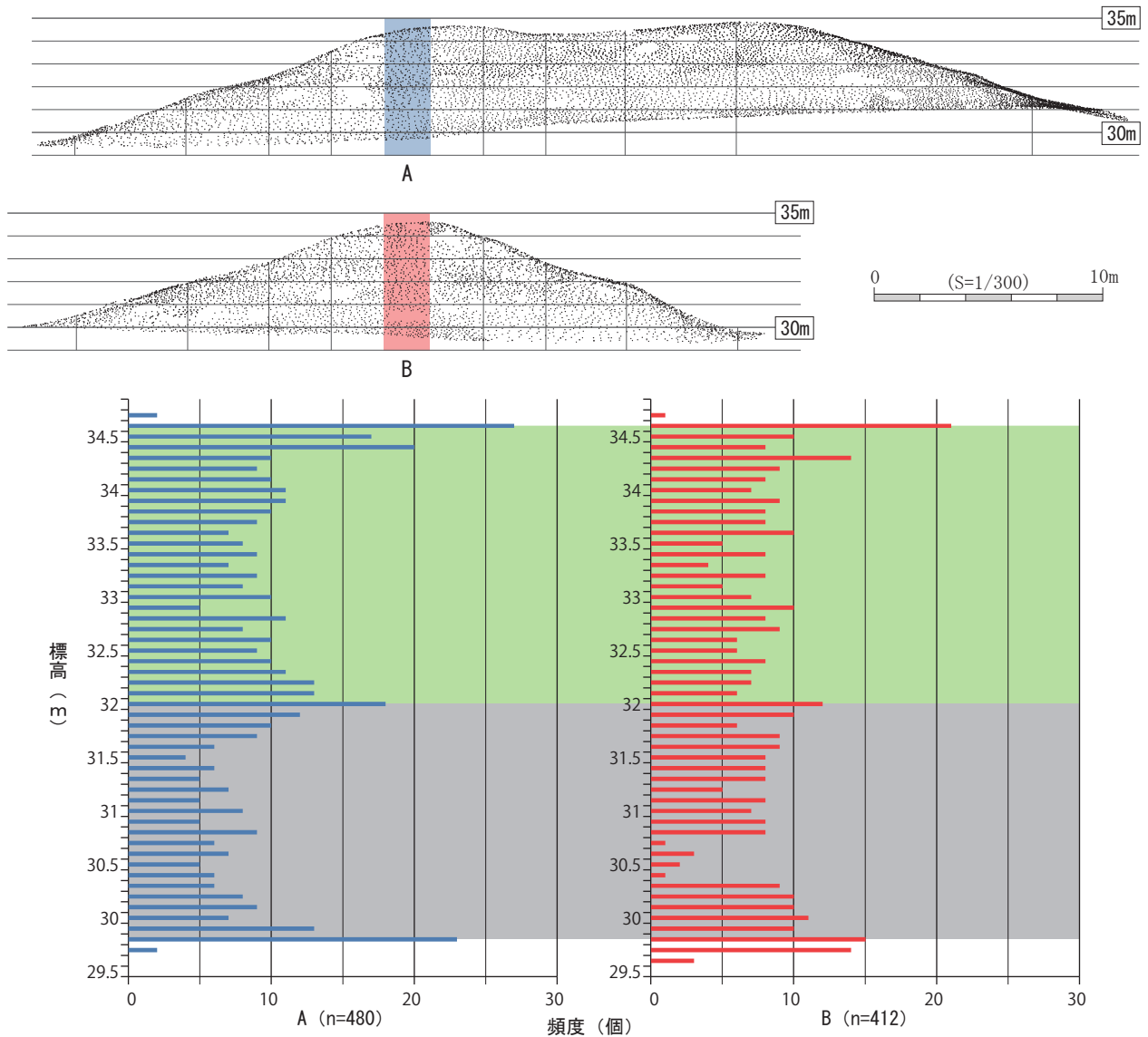


図13 龍角寺50号墳の側面観・後面観（上）と標高ヒストグラム（下）

が1段の高さであると仮定し、甘粕が想定するこの時期の尺度（東魏尺：高麗尺のもととなったとされる尺、1尺＝34.3cm）（甘粕1965）で割ってみると、7.5尺の近似値が得られる。逆に2.6～2.7mを7.5で割ると、1尺長は34.6～36cmとなる。『令集解』の高麗尺5尺が今尺6尺に相当するという記述と、和銅6年（713年）以降に6尺1歩の令小尺に統一されたという説から考えると、7.5尺は1.5歩と想定できる（大宝令「雜令」〈凡度十分為寸十寸為尺一尺二寸為大尺一尺十寸為丈〉〈凡度地五尺為歩三百歩為里〉など）。ひとまずこれを基準に考えると1尺34.6～36cmであれば、1歩は1.73～1.8mになる。この平均値は、1.765mである。この数値を基本単位と考えることはできないだろうか。

さて、ここで基本単位の議論を一旦置いて、次にはGIS・GPRのデータを踏まえて、50号墳の復原に基づく正確な計測値を示してみる。図14下には、600分の1スケールで10cmContour +5cmメッシュSlope図を提示し、その上にレーダーのTimeSlice平面図を合成した図を示した。GISのSlope図とGPRに見られる反応の強弱の境界で復原線を描き、側面観・後面観を対応させてみた。そこから計測値を示すと、墳丘長41.9m・後円部径28.9m、前方部幅28.8m・くびれ部幅19.2mとなる。甘粕が示した計測値は、墳丘長43.6m・後円部径28.7m・前方部幅30m・くびれ部幅24.8mである。くびれ部幅以外は近い数字である。くびれ部に関しては、甘粕が後円部円周ではなく前方部側に認識し、さらに古墳南西側の広がりをもとに形状と見ているため、大きな違いが生じている。今回の調査では、墳丘北東側の残存度が高い部分を重視し、主軸を中心に反転して復原しているため、甘粕復原とはくびれ部幅が大きく異なる結果になった。

1964年の甘粕の復原（第4図）を見ると、後円部の円弧に関しては今回の復原と近いものの、主軸をかなり南側に偏った部分に設定していることがわかる。これは、前方部北西隅角～南くびれ部にかけての墳丘の広がりを最大限に拾うための処置と思われる。実際に、甘粕は前方部幅をかなり広く捉えており、前方部が肥大化した前方後円墳に復原されている。今回の検討でも前方部の復原は非常に難しく、様々な可能性を考慮したが、墳丘北側の残存度が非常に高い点、GPRの反応で前方部北東部隅角と思われる反応が明瞭に確認できた点から、北側を

重視した復原を最終的に採用した。主軸と前方部北東隅角、およびPQの隅角ラインは、図14下を見ても分かるように、現状の測量図およびGPR成果と適合的である。もちろん、現状の復原では後円部テラスに比べて、前方部テラスが著しく幅が狭くなる点や、前方部南側の現状と復原が著しく乖離するなどの問題点も残る。しかし、前方部北側と南側では現状の見かけ上の墳裾の傾斜変換点で比較しても、1.5～2m近い比高があり、南側は本来の墳裾からかなり土が流出している可能性が高いと判断する。あるいは、墳丘の片側が斜面に位置するため前方部南北で外形が非対称な施工がなされている可能性も残る（南側テラスに埋葬施設が存在する点から、テラス幅の南北非対称の可能性もある）。以上の状況から、今回の復原では前方部北側に本来の形状（あるいは設計）が反映されていると考えた復原案を提示しておく。

今、問題となるくびれ部幅を除外して、墳丘長41.9m・後円部径28.9m・前方部幅28.8m・後円部テラス幅3.53mを前述した1.765mで割ると、24歩・16歩・16歩・2歩の近似値が得られる。想定した基本単位の偶数倍になる点は注目でき、24・16を割り切れる後円部8等分値、その倍数である24等分値でも当然、適合的な数値が得られることになる。以上は50号墳の段築を復元的に考えた数字を用いた試論で、尺長や基本単位を結論付けるにはまだ分析事例が不足している。しかし、少なくとも新納が指摘するように、高さや平面形に共通する基本単位（時代・地域で異なり、古墳毎に異なる可能性もある）が存在し、歩を介在させた墳丘の設計が行われている可能性は十分にあると思う。一方で、後円部径が段築の高さから想定した基本単位の16倍となるため、前述した8等分値・24等分値でも適合的な数値が得られるわけだが、これに関しては基本単位の偶数倍で墳丘各部が設計されている点に起因する可能性も残る。

仮に今回想定した35cm前後という1尺長が誤っていたとしても、後円部テラス幅の2分の1、段築高の3分の2が50号墳の設計の基本単位になっている可能性は高い。前方後円墳の設計全てに適用できる後円部等分値の設計原理の追及よりも、時代や地域によって尺度や設計の指向が異なる可能性を模索し、さらに地形の制約や埋葬施設・外表施設の状況などによって現場レベルで設計が柔軟に変更され

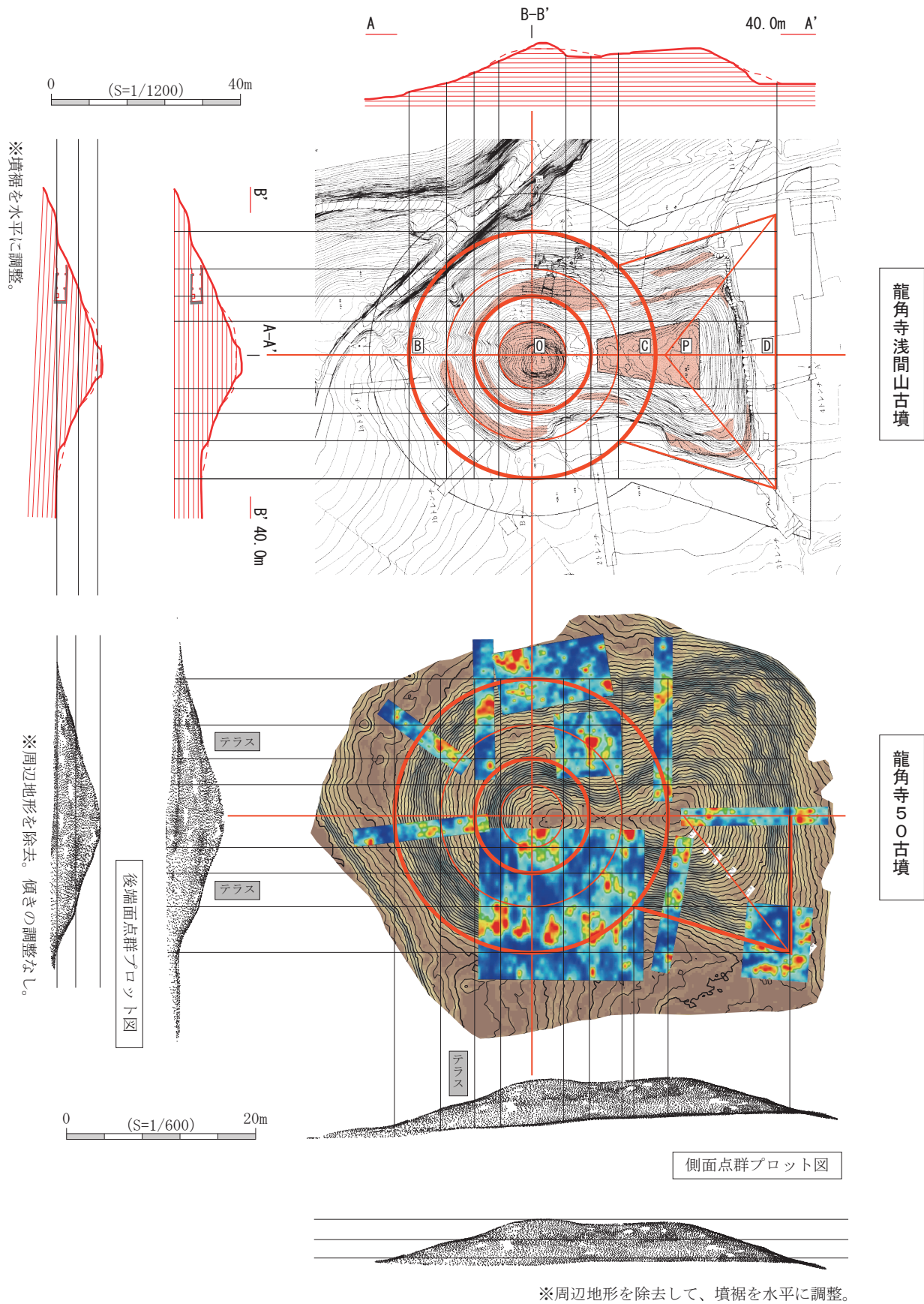


図14 龍角寺50号墳と浅間山古墳の比較

ている可能性も考慮しながら、1 古墳 1 古墳を精度の高い測量や発掘によって精密に分析する姿勢が重要なのではないかと考える。

最後に、50 号墳と浅間山古墳の比較を行い、本調査の総括とする。まず、浅間山古墳の報告書では、墳丘長 77.6m・後円部径 52m・前方部幅 58m・くびれ部幅 37m・後円部の高さ 6.7m・前方部の高さ 7m の復原値が示されている。三段築成とされるが、1～2 段目のテラスについては、図面に提示されている復原線に基づいて円弧を描くと、後円部の南北で対応関係が矛盾する。また、テラスと横穴式石室の関係も報告書の記載・図面では十分に把握することが難しい。浅間山古墳は後世の改変が著しいため、平坦面を誤認しているかもしれない、2 段築成の可能性も捨てずに再考する必要があると考える。また、2 トレンチは後世の攪乱が激しかったため、主にレーダーの成果から前方後円形の周溝が復原されている。しかし、西側周辺の地形に見られる等高線は、かなり明確な盾形を呈しており、この点も確定は難しい。以上の状況からすると、現状で 50 号墳と精度の高い比較をすることは難しいものの、外形に関しては共通性が高い点が指摘できる。

50 号墳と浅間山古墳については、甘粕が BC : CP : PD : くびれ部型で、浅間山 (6 : 1 : 2.5 : 7)、50 号墳 (6 : 0 : 3 : 8) の比率を示している。一方、萩原恭一は後円部 12 等分値で墳丘長 : 後円部径 : 前方部幅 : 前方部長を、浅間山 (18 : 12 : 13.5 : 6)、50 号墳 (17.5 : 12 : 12.25 : 5.5) の比率を示した。これらの数字による限り、両古墳は極めて近い外形を有することになる。図 14 上には、浅間山古墳と 50 号墳を比較するため、前者を 1200 分の 1、後者を 600 分の 1 にした図面を提示した。千葉県横芝光町の殿塚・姫塚古墳の調査では、墳丘長において 3 : 2 の関係性が認められたため (城倉ほか 2014)、前方後円墳の墳丘長に格差が明示された可能性が高いと考えるが、浅間山古墳と 50 号墳は 2 : 1 に近い比率が認められる。前述した歩数で言えば、50 号墳は 24 歩、浅間山古墳は 44 歩 (= 77.66m) が計測値に近い。なお、両古墳には墳丘片側が斜面地となる地形条件や、南側くびれ部の後円部寄りテラス下層 (つまり下段) に埋葬施設を構築する点も共通する。CP の比率も現状の復原からは酷似するため、甘粕が想定したように墳丘から前後関係を決定するのは難しい。57 号墳・70 号墳など外形が近く、

埴輪を樹立する古墳との比較が必要だが、現状では 50 号墳と浅間山古墳が埴輪樹立終焉後の近い時期に、極めて共通性の高い規格で構築されていると考える。

以上、本調査では、1964 年に発表された甘粕の優れた研究をほぼ追認することになった。今回、GIS・GPR を用いた非破壊調査によって、墳丘の本来の形を推定したわけだが、尺度など推論に推論を重ねた部分もあり、墳丘研究の難しさを改めて感じた。墳丘の設計を論じるには、大型で残りの良い古墳をデジタル測量など定量的に分析しなければならないのはもちろんだが、発掘された中小規模墳を対象として設計と実際の施工の乖離を埋める分析が必要である。それには、地域社会における同系統の古墳に関して、高い精度のデジタル測量や発掘を蓄積し、比較していかなければならない。測量や発掘調査の精度を常に高めつつ、1 基 1 基の古墳の復原を積み重ねていくことこそが、迂遠に見えても、前方後円墳の設計原理を読み解くための最も近道だと考える。

おわりに (城倉)

本稿は、高梨学術奨励基金を受けて実施した龍角寺 50 号墳のデジタル測量・GPR 調査の成果である。早稲田大学文学部考古学コースでは、千葉県の古代印波および武射の地域をフィールドとして、デジタル非破壊調査や発掘、遺物の整理を進めている。今後も基礎作業を進め、古墳時代～古代の地域社会のダイナミックな変容過程を広い視野で歴史的に位置付けていきたいと考えている。

なお、本稿では甘粕健と新納泉の前方後円墳の墳丘に関する優れた研究に大きな影響を受けて、議論を進めてきたが、最後に第 1 節で設定した 4 つの課題の結果を整理してまとめとしたい。

- ①～③ 50 号墳のデジタル測量を行い、GIS を用いた平面形・立面形の精度の高い復原を行うことができた。また、GPR 調査によって、埋葬施設の位置と構造を推定した。なお、50 号墳の墳丘の分析では、歩による設計の基本単位が存在する可能性を考えた。
- ④ 50 号墳と浅間山古墳の比較によって、両者の外形に極めて高い共通性が認められる点を再確認した。

今後は龍角寺 21・57・70 号、および浅間山古

墳の再測量・GPR 調査を行い、龍角寺古墳群の構造について議論を進めたい。その作業によって、龍角寺造営の歴史的背景を探る点が、大きな目標である。

※本報告入稿直前に、(新納泉 2015「菅田御廟山古墳の設計原理」『日本考古学』第 39 号) が刊行された。前方後円墳の設計原理に関する示唆の多い内容であり、今後参考に研究を進めたい。

※本報告は、平成 26 年度公益財団法人高梨学術奨励基金(若手研究助成)『龍角寺浅間山古墳の系譜に関する基礎的研究—龍角寺 50 号墳の三次元測量・レーダー調査を中心に—』(代表:城倉正祥)の研究成果である。

註

- (1) 「龍角寺古墳群」は、もともと「竜角寺古墳群」(昭和 16 年 1 月 27 日国指定)と呼称していたが、平成 21 年 2 月 12 日の追加指定・名称変更で「龍角寺古墳群」に改められた。本稿では、現在の正式な指定名称である「龍角寺古墳群」に統一する。
- (2) 50 号墳の測量・GPR 調査に際しては、文化庁、千葉県教育委員会(教文指令第 810 号)、および栄町教育委員会(栄教生第 162 号)より「史跡龍角寺古墳群・岩屋古墳」の現状変更に関する許可を得て作業を実施した。調査終了後には速やかに現状復旧を行い、終了報告書を千葉県と栄町に提出した。
なお、GPR については、早稲田大学と奈良文化財研究所の連携研究『デジタル技術・非破壊的手法を用いた文化財の多角的調査研究』(代表:城倉正祥・金田明大)に基づいて、共同で実施した。なお、デジタル測量の方法や GIS の使用方法、浅間山古墳との比較などについては、今城未知氏(現総合研究大学院大学)に調査前にご教示いただいた。また、ArcGIS の操作については、渡辺玲氏(早稲田大学大学院)の力に拠る部分が大きかった。
- (3) 「基壇」とは、建造物の基礎となる土壇を意味する概念である。沼澤豊が指摘するように、古墳の墳丘構築の必然性から設けられたテラスが、埴輪などの外表施設や石室・石棺などの埋葬施設の設置を目的として幅広く設定される事例があることからしても、栃木県の事例は「基壇」というより、第 1 段と呼ぶべき性質の遺構である。「基壇」と呼び、上下段構造を分離させるよりも、「テラス幅

に特異性のある墳丘」に関する立体的な構造把握が必要である。

- (4) 考古学の測量には、①平板や TS を用いて等高線を追いかけて方眼紙に作図する方法、及び② TS や 3D スキャナーを用いて地表面の座標を不規則に収集し CAD や GIS の計算により等高線を描出する方法、の 2 種類がある。本稿では、(新納 2011) の用語に従い、前者を「等高線測量」、後者を「デジタル測量」と呼び分ける。

図表出典一覧

- 図 1 栄町作成の都市計画図(1/2500)の 16・17・19・20、(千葉県史料研究財団 2002)の P5・図 2、および栄町教育委員会喜多裕明氏が作成した内部資料をもとに作成。
- 図 2・3・4・5・6・7・8・13 測量成果、および ArcGIS の解析成果をもとに作成。
- 図 9・10・11 測量成果、および GPRslice の解析成果をもとに作成。
- 図 12 (甘粕 1964)の P179・第 3 図を改変して作成。
- 図 14 測量・GPR 成果、及び(千葉県史料研究財団 2002)の P9・図 3、P22・図 8 をもとに作成。
- 表 1 測量成果をもとに作成。

引用文献

- 甘粕 健 1964「前方後円墳の性格に関する一考察」『日本考古学の諸問題』河出書房新社
- 甘粕 健 1965「前方後円墳の研究—その形態と尺度について—」『東京大学東洋文化研究所紀要』37
- 石田広美 1985「主要地方道成田安食線道路改良工事(住宅地関連事業)地内埋蔵文化財調査報告書」千葉県文化センター
- 犬山市教育委員会 2009『史跡東之宮古墳』犬山市埋蔵文化財調査報告書第 6 集
- 大阪府立近つ飛鳥博物館 2013『歴史発掘おおさか 2012』平成 24 年度冬季特別展図録
- 川尻秋生 2003「大生直と印波国造」『古代東国史の基礎的研究』塙書房
- 川尻秋生 2009「古代房総の国造と在地—印波国造と武射国造を中心に—」『房総と古代王権』高志書院
- 小林清隆 1985『栄町大畑 I—2 遺跡—県単道路成田安食線埋蔵文化財調査報告書—』千葉県文化財センター
- 桜井市立埋蔵文化財センター 2014『HASHIHAKA』平成 25 年度特別展図録
- 城倉正祥・久保田慎二・青木 弘・金田明夫 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』第 57 輯

城倉正祥・ナワビ矢麻・今城未知・鈴木徳彦 2014「千葉県横芝光町殿塚・姫塚古墳の測量・GPR 調査」『古代』第 132 号

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』勉強出版
白石太一郎・亀井宏行・白井久美子・萩 悦久 1996「印旛郡栄町浅間山古墳測量調査報告」『千葉県史研究』第 4 号

進藤敏雄 2002「〔栃木県〕の後期古墳の地域性」『前方後円墳の地域色』第 7 回東北関東前方後円墳研究会

杉山晋作 1995「古代印波の分割」『王朝の考古学』雄山閣出版

高木博彦 1978「竜角寺古墳群研究小史」『房総風土記の丘年報 2』千葉県立房総風土記の丘

高木博彦 1996「竜角寺古墳群研究小史—その 2—」『房総風土記の丘年報 17』千葉県立房総風土記の丘

千葉県教育委員会 1982『竜角寺古墳群発掘調査報告書—第 1 次（昭和 57 年度）—』

千葉県教育委員会 1984『竜角寺古墳群発掘調査報告書—第 2 次（昭和 58 年度）—』

千葉県教育委員会 1986『栄町埴生郡衙跡確認調査報告書』

千葉県教育委員会 1987『栄町埴生郡衙跡確認調査報告書Ⅱ』

千葉県教育委員会 1988『竜角寺古墳群 101 号古墳発掘調査報告書』

千葉県教育庁文化課 1982『竜角寺古墳群測量調査報告書』
千葉県風土記の丘友の会

千葉県史料研究財団 1998『竜角寺古墳群からみた古代の東国—栄町浅間山古墳の調査成果をもとに—』

千葉県史料研究財団 2002『印旛郡栄町浅間山古墳発掘調査報告書』千葉県

寺村裕史 2014『景観考古学の方法と実践』同成社

新納 泉編 2008『岡山市造山古墳測量調査概報』岡山大学
大学院社会文化科学研究科

新納 泉 2011「前方後円墳の設計原理試論」『考古学研究』
第 58 巻第 1 号

沼澤 豊 2004「古墳築造企画の普遍性と地域色」『古代』第 114 号

根本 弘 1988「龍角寺・竜角寺古墳群関係文献目録」『房総風土記の丘年報 11』千葉県立房総風土記の丘

萩原恭一・原田昌幸 1985「最近の踏査成果から見た竜角寺古墳群」『MUSEUM ちば』第 16 号

原田昌幸 1984「千葉県立房総風土記の丘周辺の歴史的環境とその変貌」『房総風土記の丘年報 7』千葉県立房総風

土記の丘

深澤克友 1988「竜角寺古墳群研究の変遷と意義」『房総風土記の丘年報 11』千葉県立房総風土記の丘

福岡 元 1986『千葉県印旛郡栄町酒直遺跡発掘調査報告書』
酒直遺跡発掘調査会

米田幸雄・小牧美知枝 1994『千葉県印旛郡栄町大畑Ⅰ—3 遺跡—栄町ガソリンスタンド建設予定地内埋蔵文化財調査報告書』印旛都市文化財センター