

地中レーダー探査と発掘調査検出遺構の比較検討 —都城市山之口町上平（うえんでら）遺跡の事例から—

東 憲章・吉行 真人
(宮崎県埋蔵文化財センター)

1 はじめに

地中レーダー（Ground Penetrating Radar）は、非破壊的かつ物理的に地中の状況を把握するための手段の一つである。日本においては、1980年代以降に電気や磁気を利用する手法とともに遺跡探査に応用されるようになった。宮崎県においては1990年代から、特別史跡西都原古墳群をはじめとする県内の遺跡、特に古墳群や地下式横穴墓群でその有効性の検証が行われてきた。地上に顕著な構造を持たず、地中に穿った空洞に死者を埋葬する地下式横穴墓は、南九州に特徴的な古墳時代の墓制であり、偶然の陥没による発見よりも前にその存在を把握することは、最も重要な地域的課題の一つであった。

近年では探査機材や解析ソフトウェアの改良に加え、データ収集や解析の経験や実績の蓄積もあり、高い精度で遺跡の状況を捉えるなど大きな成果を上げている。

本稿は、縄文時代早期の集石遺構や炉穴（連穴土坑）などの存在が予想された都城市山之口町上平所在の上平遺跡における地中レーダー探査と、その後に実施された発掘調査の成果を比較し、その精度の検証と今後の課題を明確にし、地中レーダー探査の遺跡発掘調査への更なる活用を図ることを目的とする。

2 上平遺跡の概要と調査結果

上平遺跡は、都城盆地の北東部、宮崎県都城市山之口町山之口に所在する。遺跡は、河岸段丘上にある山之口運動公園の北側に位置し、運動公園一帯を最高地点に南北側へ傾斜する尾根上地形の北側緩斜面（標高約183m）に立地する。2027年に宮崎県で開催される国民スポーツ大会の陸上競技場整備事業に伴い、2020年3月から12月にかけて宮崎県埋蔵文化財センターが発掘調査を実施した。調査面積は6,000㎡である。

調査は、2020年3月4日に着手した。重機にて表土を除去し、地表下約30～60cmの御池ボラ（Kr-M）層上面で遺構の確認を行ったが、調査以前に存在した大型倉庫の基礎等による攪乱の影響もあり、検出されたのは縄文時代後期の竪穴住居跡1軒のみで、丸尾式期の縄文土器が出土した。

その後、縄文時代早期の遺物が確認されていた試掘調査の結果に従い、御池ボラ層から鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）層までを重機にて除去した（地表下約100～230cm）。この段階で遺跡の状況を把握することを目的に、5月12、13日に地中レーダー探査を実施した。

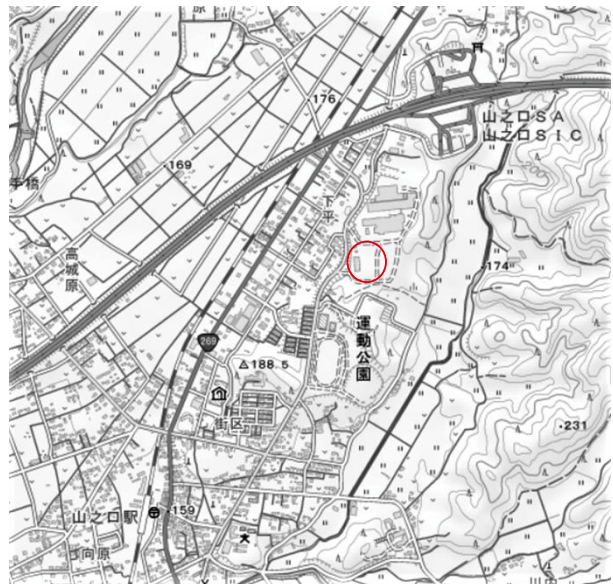


図1 上平遺跡位置図

地中レーダー探査後は、人力による掘り下げなど通常の発掘調査を実施した。その結果、古墳時代後期と縄文時代早期の遺構・遺物を検出した。

古墳時代後期の遺構は、木棺墓1基と地下式横穴墓1基を検出した。木棺墓からは鉄剣1点、刀子1点、鉄鏃3点が、地下式横穴墓からは人骨1体と鉄刀1点が出土した。本来、古墳時代の遺構は、御池ボラ層よりも上位の黒色土から掘削されたものであるが、調査着手直前に撤去された大型倉庫の基礎等による攪乱の影響で確認することができず、アカホヤ火山灰層よりも下位の縄文時代早期包含層掘削中に検出した。

縄文時代早期については、第1文化層と第2文化層の2つの文化層を確認した。調査区は南西部を最高地点として北東部に向けて傾斜しており、二つの文化層の深度差も、調査区西半では約15～20 cm程度、調査区東半では約20～30 cm程度と異なっていた。遺構や遺物の出土状況も、傾斜が強くなる調査区東部では少なく、調査区西部から中央部に多く分布していた。

第1文化層では、集石遺構30基、平地式住居2基、土坑30基を検出した。遺物は、手向山式と平栢式を中心とした縄文土器や、桑ノ木津留産の黒曜石製の石鏃や剥片及び石斧や磨石などの石器類が出土した。

第2文化層では、集石遺構71基、炉穴4基、平地式住居3基、陥し穴8基、貯蔵穴2基、土坑54基を検出した。遺物は、押型文や貝殻条痕文（前平式）を中心とする縄文土器や黒曜石製の石鏃や剥片、台石や敲石などの石器類が出土した。

遺構の検出と掘削、遺物の取り上げ、図面や写真などの記録を取り、12月23日に調査を終了した。現在は次年度以降の報告書刊行に向けた整理作業を行っている。

3 地中レーダー探査

上平遺跡の地中レーダー探査は、以下のとおりに実施した。

探 査 日：2020年5月12日、13日

使用機材：GSSI社製 SIR-3000 デジタルパルスレーダーシステム、500MHz アンテナ

（宮崎県立西都原考古博物館所有機材）

探査深度：80 ナノ秒（NS） 地表下約2.4 mまでのデータを記録

探査方法：現場に設定した任意の杭（50 mグリッド）を基準に、2 m間隔に設置したメジャーテープに沿ってアンテナを手引きにより走査し、50 cm毎に平行移動した。

現場の南西隅の杭を仮の基点（X, Y = 0, 0）として、X軸方向とY軸方向の両方向にアンテナを走査してデータを収集した。

総アンテナ走査距離 12,496 m（図2）

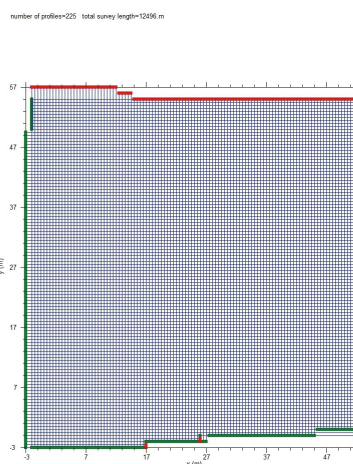


図2 アンテナ走査図

地中レーダー探査は、地表に置かれたアンテナから地中に向けて発せられた電磁波が、地中の物質に反射してアンテナに戻る状況を記録するものであり、その往復の時間により電磁波の到達深度、すなわち探査深度を限定することができる。

記録されるレーダーグラムプロファイルは見かけ上の断面図であり、人による手引きの速度補

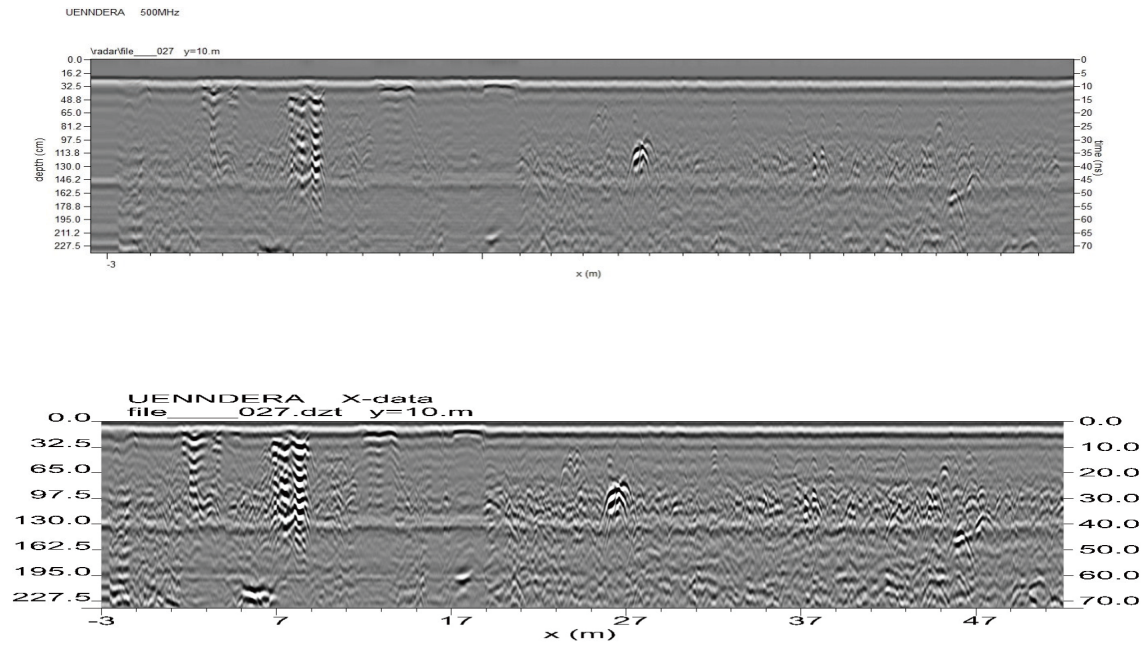


図3 レーダーグラム プロファイル (上: Raw データ 下: Resample データ)
Raw データに距離補正等のリサンプル処理を行った

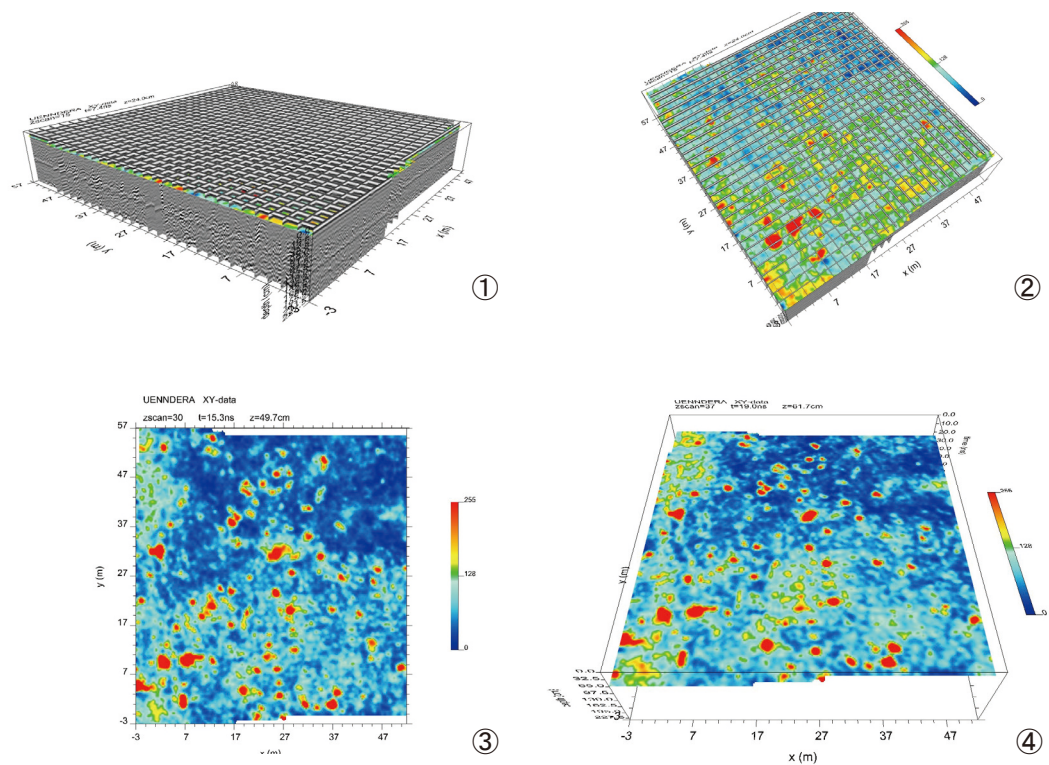


図4 レーダーグラムプロファイルからタイムスライス（平面図）を作成するイメージ
①レーダーグラムプロファイルを位置情報に従って整理させる
②一定の時間帯のデータをビットマップ化する
③作成されたタイムスライス（2D）
④三次元タイムスライス（3D）

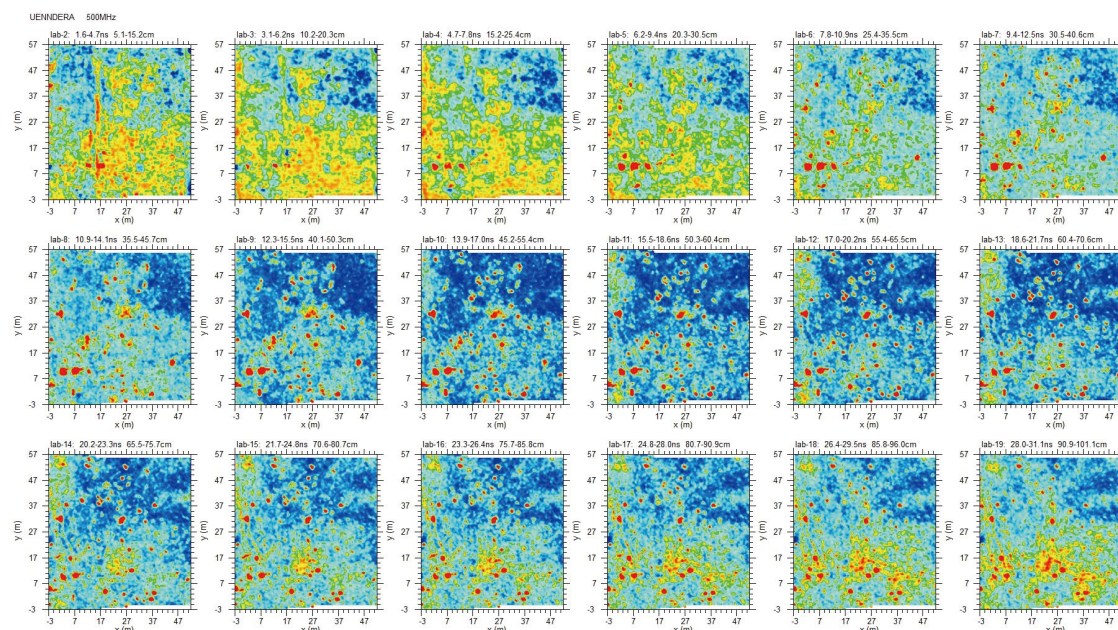


図5 上平遺跡 タイムスライス

正をすることでアンテナの移動距離の補正ができる(図3)。これをアンテナ走査の位置情報(インフォメーションファイル)に従って整列させ、特定の時間帯(深度)の状況を表示したものがタイムスライスであり平面図である。これを時間毎に積層することで三次元化することもできる(図4)。

探査の結果を図5に示す。これは3.1ナノ秒(NS)毎の状況を表示しており、隣り合うデータとは50%のオーバーラップを行っている。地表から約5cm毎に水平にスライスして地中の状況を表示していることになる。

電磁波の反射の強弱は、地中の構造(土、石、空洞など)の物性の差であり、その差を色の違いで表現している。強い反射を赤、弱い反射を青で段階的に振り分けている。これは、一枚の画像の中で相対的に配色しているため、異なる画像の同色部分が同じ強さを示している訳ではない。また、強い反射が多い画像では、相対的に弱い反射が認識しづらくなる傾向があるため注意が必要である。

図5を見ると、7.8～10.9NS(25.4～35.5cm)の画像から次の9.4～12.5NS(30.5～40.6cm)の画像に、強い赤色の点状の反射が数多く認められる。更に、約50cm以上の深度を示す各画像には、浅い深度の画像には見られなかった位置に強い赤色の点状の反射が数多く認められる。これは、発掘調査で確認された第1文化層と第2文化層に相当するものと考えられる。

4 検出遺構との比較検討

発掘調査で検出された遺構の分布状況を、第1文化層と第2文化層に分けて示す(図6、図7)。集石遺構は●で、土坑は▲で、それ以外の遺構は線画によって示している。第1文化層、第2文化層ともに、調査範囲の西側から中央にかけて遺構が分布しており、地形的に低くなる北東側にむけて分布が希薄となっている。

この遺構分布図と地中レーダー探査の結果を重ねて示したものが図8と図9である。

図8は第1文化層で、地中レーダー探査の結果は6～10NS(約20～32cm)の状況を積層して表現したものである。検出遺構のほとんどが、地中レーダー探査の結果にも赤や黄色の強い反

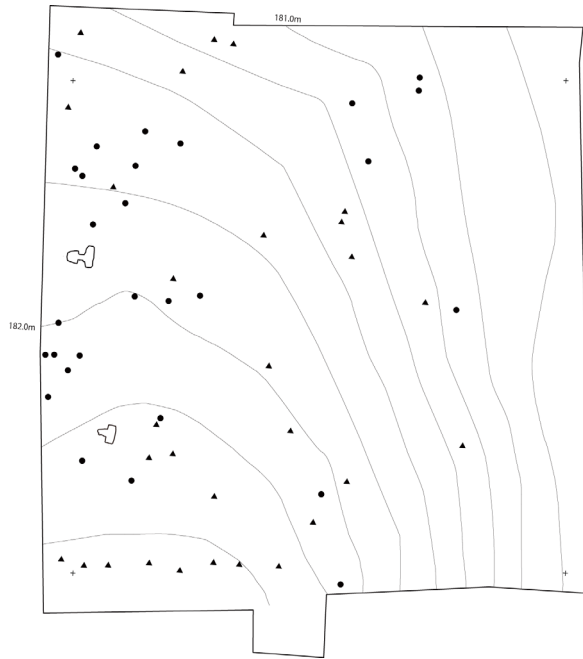


図6 第1文化層遺構分布図

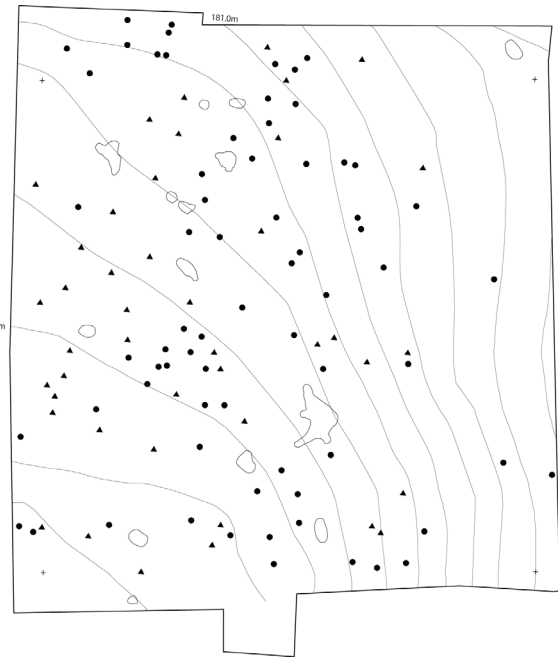


図7 第2文化層遺構分布図

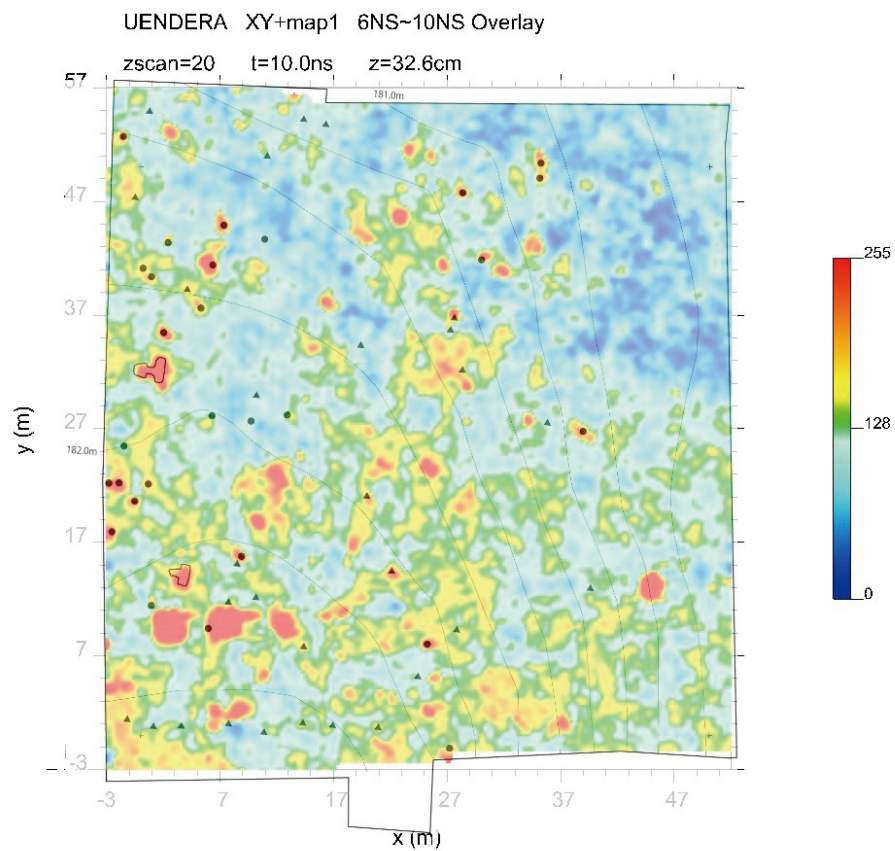


図8 遺構分布図（第1文化層）と地中レーダー探査結果（6～10NS 約20～32cm）

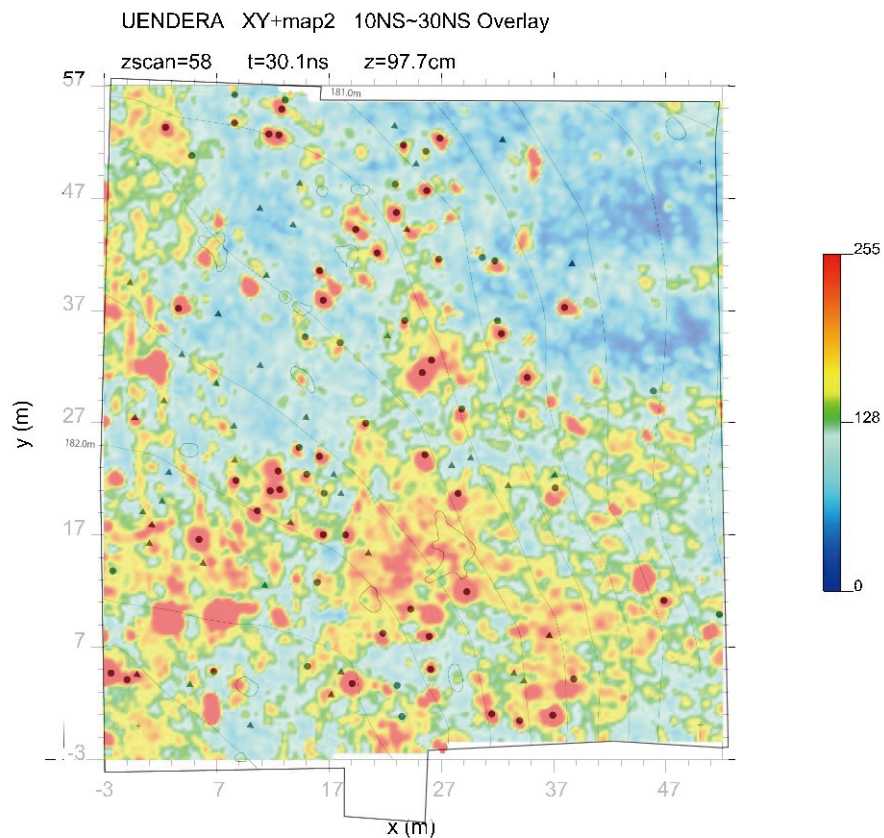


図9 遺構分布図（第2文化層）と地中レーダー探査結果（10～30NS 約32～98cm）

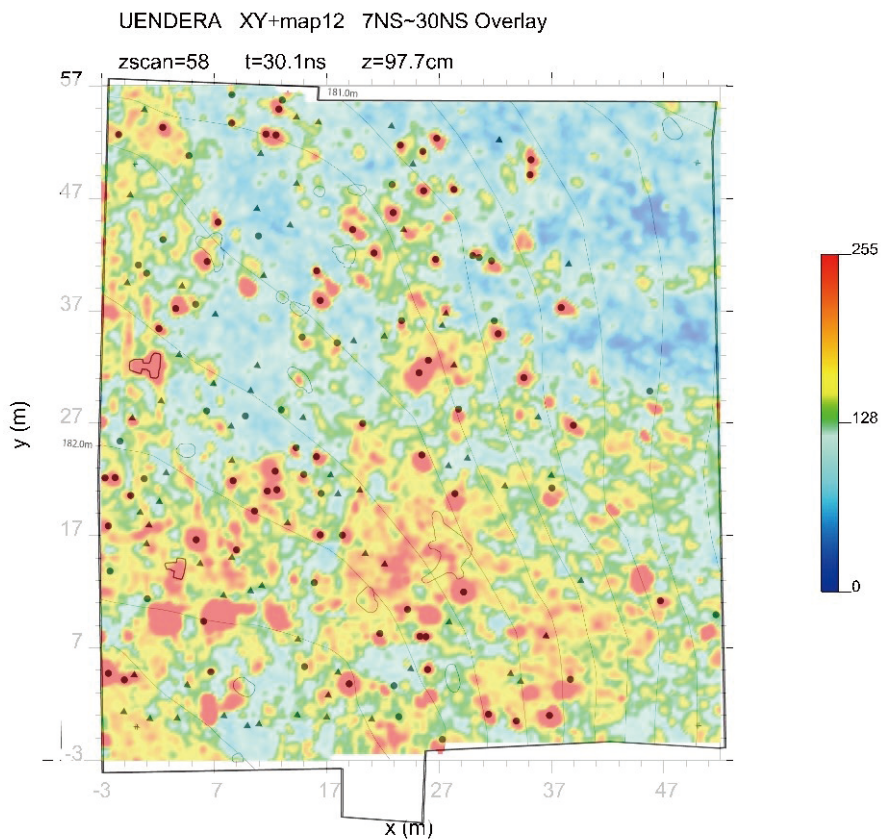


図10 遺構分布図（第1+第2文化層）と地中レーダー探査結果（7～30NS 約23～98cm）

射として捉えられている。天井部が崩落して遺構内に土が充満した状態の木棺墓や地下式横穴墓も明瞭にその位置と形状を捉えている。

図9は第2文化層で、地中レーダー探査の結果は10～30NS（約32～98cm）の状況を積層して表現したものである。こちらにも検出された遺構と地中レーダー探査結果の赤や黄色の反射の多くが重なっていることが分かる。

図10は、第1文化層と第2文化層を合わせて表示したもので、地中レーダー探査の結果は7～30NS（約23～98cm）の状況を積層して示したものである。約9割以上の遺構が地中レーダーで捉えられていることが分かる。

より詳細に比較すると、●で示している集石遺構はほぼ例外なく地中レーダーが捉えているが、▲で示している土坑については、地中レーダーの結果と一致していないものも認められる。発掘担当者の所見によると、検出面から底面までの掘りこみが浅い土坑で、遺物も出土していないものが多いとのことであった。また、土坑の埋土が周囲と同質で様に固く締まっている場合も、電磁波反射の相対的差異で異常箇所を認識する地中レーダー探査の特質から、識別が困難となる場合も考えられる。

5 おわりに

都城市山之口町の上平遺跡において、アカホヤ火山灰下層の集石遺構や炉穴といった縄文時代早期の遺構を対象として地中レーダー探査を実施し、その結果を発掘調査で検出された遺構分布状況と比較検証した。

これまで宮崎県内における地中レーダー探査は、古墳や地下式横穴墓などを対象としたものがほとんどで、古代の集落や官衙、近世城郭の石垣などを対象とした事例も数例あった。その多くは、比較的軟質の黒ボク土やアカホヤ火山灰層が主なターゲット層となり、非常に良好な成果が得られている。

しかし、火山灰やスコリアなど火山噴出物の多い宮崎県においては、縄文時代早期以前の遺構検出面が地表面から2～3m以上も下層となることもあり、遺構の有無や分布状況の把握が困難となる場合もある。

今回は、アカホヤ火山灰層下の固く締まった硬質な土層中で、縄文時代早期以前の集石遺構や土坑、炉穴など空隙がない状態で埋まった遺構をターゲットとしたが、事前に重機によりアカホヤ火山灰層までを除去した状態で探査を行うことで、高周波数のアンテナを使用することが可能となり、より詳細なデータを収集することが可能となった。その結果、多数の遺構の平面的・垂直的分布状況を捉えることができた。このことは、縄文時代早期以前の遺跡の調査においても、地中レーダー探査が有効であることを証明するものである。

遺跡の立地や環境にもよるが、可能な限りターゲットとなる層に近いレベルで探査を実施する条件を整えることで、縄文時代早期以前の硬質土層に埋まる集石遺構や土坑など径1m未満の比較的小さな遺構も捉え、遺跡の状況を把握することができよう。今後の確認調査や発掘調査における地中レーダー探査の更なる活用を望む。

本稿は、2上平遺跡の概要と調査結果を吉行が、その他を東が執筆した。上平遺跡における地中レーダー探査は、東、吉行の他、橋本英俊、伊東浩二、石塚啓祐、江藤建輔が実施した。データ解析は東が行い、遺構分布図の作成は平井祥蔵、伊東の協力を得た。

参考文献

- 東憲章 2007 「非破壊的手法による遺跡情報の収集―宮崎県立西都原考古博物館における地中レーダー探査の実践―」『宮崎県立西都原考古博物館研究紀要』第3号
- 東憲章 2012 「西都原古墳群の探査と地下マップ」『月刊考古学ジャーナル』629 ニューサイエンス社
- 東憲章 2017 「近世城郭の石垣に対する地中レーダー探査～延岡市延岡城跡～」『宮崎県立西都原考古博物館研究紀要』第13号
- 東憲章 2019 『地下を探る 日本のGPRはどこまで到達したのか』宮崎県立西都原考古博物館
- 東憲章 2020 「第Ⅵ章 日向国府跡の地中レーダー探査」『日向国府跡』平成23～30年度国庁確認調査総括報告書 西都市埋蔵文化財発掘調査報告書第74集
- 宮崎県教育委員会 2007 『西都原古墳群 男狭穂塚女狭穂塚陵墓参考地地中探査事業報告書』
- 宮崎県教育委員会 2012 『特別史跡西都原古墳群 地中探査・地下マップ制作事業報告書』(1)



写真1 上平遺跡から霧島連山を望む



写真2 地中レーダー探査実施状況



写真3 木棺墓 完掘状況



写真4 地下式横穴墓 完掘状況

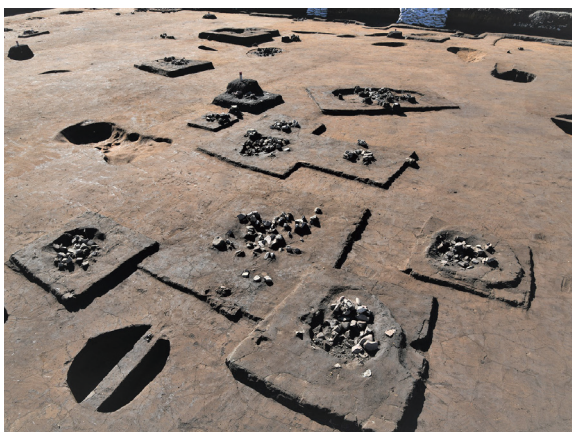


写真5 集石遺構群 (第2文化層)



写真6 炉穴 完掘状況 (第2文化層)