

高精度物理探査手法による鞠智城広域遺構配置の把握

金田明大・山口欧志・中村亜希子・石松智子

はじめに

本研究は論者らが研究テーマのひとつとして進めている物理探査手法による広域遺構配置の把握を主眼として、鞠智城における手法の有効性を検証したものである。

地下に埋没している遺跡の調査手法として、直接的に土を除去し、その存在を確認する発掘調査がおこなわれてきた。この手法は過去の人類の活動痕跡とその後の遺跡化の過程を遺構・遺物ともに直接的に観察することが可能であり、有効な手法である。

その反面、発掘調査は遺跡の現況を大きく変化させる行為であり、また多くのコストがかかることから、十分な検討を経て本来おこなわれるべきものである。他に有効な手法がない段階においては、開発などの改変に際して地中の状況を知る唯一の方法として実施され、数多くの実践の中で洗練されてきた。しかし、土中の状況を掘削するまで把握することの困難さが引き起こす学術的、社会的な課題は解決されていない。遺構の密度の偏在や調査面数の増加、想定外の発見に起因する計画の変更や下層遺構の見落としといった多くの問題点をたやすく指摘することが可能である。

そこで、これを補助することを目的として、地中を伝搬する振動や電磁波を用いたり、地中の埋蔵物の影響を観測し、非破壊的な手法で地中を可視化する技術が試みられてきた。これらを探査と総称

する。直接遺構や遺物を観察できないなどの限界はあるものの、遺跡を改変することなく、比較的低コストで地中の情報を取得することが可能である。

論者らは現在、探査の手法を緊急的な発掘調査における遺構の把握による支援や史跡など発掘が難しい箇所での詳細な地中情報の取得を目的として活用することを試みている。既に発掘調査の事前調査として探査手法の利用が定着し、より適切かつ的確な発掘調査を実施するための方法として利用が進んでいる国も存在するが、日本における手法の定着にはまだ至っていない。迅速かつ高精度な情報の取得方法を洗練し、有効性と限界に対する事例の蓄積をはかる必要があると考える。

九州地方は火山灰地帯であることから、研究の黎明期より良好な成果例が多い地域である。中でも、下高橋官衙遺跡および筑後国府の地中レーダー探査による掘立柱建物の柱穴の確認は、日本における多様な遺構への利用の有効性を証明した画期的な成果である（西村二〇〇七）。論者は地中に埋没して存在が不明確な対象である官衙・集落遺跡については、遺構の存在や埋没状況を迅速に把握が可能とする探査手法は今後重要になっていくと考えている。古代山城の内部施設についても、同様であろう。鞠智城の所在する熊本県においても、良好な成果が期待できると考えた。

一・本研究の目的と手法

これらの観点から、今回の鞠智城の調査においては、次の点を目的とした。

(一) 詳細・高密度な遺構形状の把握

海外における遺跡探査では、対象が石造、あるいは煉瓦などによる構築物であることも多く、詳細な形状情報などを比較的簡便に取得が可能である。反面、日本においては、主な遺構が土と土の差の比較を通じて認識されるものが多い。また、遺構も小規模なものが多い。このため、より詳細・高密度な地中情報の取得が必要となる。

この目的を達成するため、探査機材として多チャンネル地中レーダーを用いることとした。

機材はIDS社製Stream-X200MHzを用いた。これは、同時に〇・一二m間隔で七チャンネルあるいは十五チャンネルの測線の計測を可能とする機器である。また、従来手法との比較としてMala社X3Mおよび500MHzアンテナを用いた探査も必要に応じて実施した。解析はGPR-Slice7.0 (Dean Goodman氏作成)を用いた。座標はUTM座標 (Zone52) を使用している。

(二) 広範囲における遺構の迅速な把握

鞠智城をはじめ、古代の山城・官衙・寺院・集落などの調査では、その全容を知るために広範囲の探査が必要となる。このため、効率的かつ迅速に情報を取得できる手段が必要となる。複数のセンサー・アンテナを同時計測可能な多チャンネル機器の利用や、測定位置の計測をGPSや自動追尾式トータルステーションなどによって高速かつ高精度におこなうことを通じて、これらの課題にこたえることが可能である。

今回、位置決定の機器としてはLeicaGeosystems社のGPS-1200を用いた。計測された位置情報はNMEA0183フォーマットによりシリアル通信で地中レーダーの位置に関する情報を計測ソフトウェアに入力した。

(三) 鞠智城の遺構の把握

鞠智城は長年にわたる調査研究の蓄積によりその様相が明らかになってきている。しかし、遺跡保存のために下層の遺構の確認ができていないことや、未発掘地の遺構の把握など更なる検討の必要性も存在している。また、探査成果の成否の評価については、既に発掘調査で明らかにされている地点での探査成果と発掘調査成果の比較も有効である。このため、本研究では既発掘調査地点との比較として宮野礎石周辺地区、未発掘地点として米原地区、発掘調査隣接地点として深迫門地区を選定し、それぞれにおいて探査を実施した。

(四) 作業手法の確立

探査の普及のためには、簡便に利用が可能である必要がある。探査機器は建設・土木分野で幅広く使用が浸透しつつあり、機器も一般的になりつつある。今後の利用をはかっていくためにも、作業過程の標準化が必要と考える。また、探査は対象物に応じた運用方法や機材の確立が不可欠である。日本の遺跡においては、比較的起伏に富んだ地形に所在すること、水田など小範囲の地割や森林内に遺跡が存在することが多いことから、海外で利用されている大型の探査機器を自動車などの動力を用いて探査を実施することには向いていない。このため、人力で無理なく運用が可能な機材や、それに応じた作業工程を考える必要がある。



第1図 今回の探査対象調査区（熊本県教育委員会 2009 より一部改変）

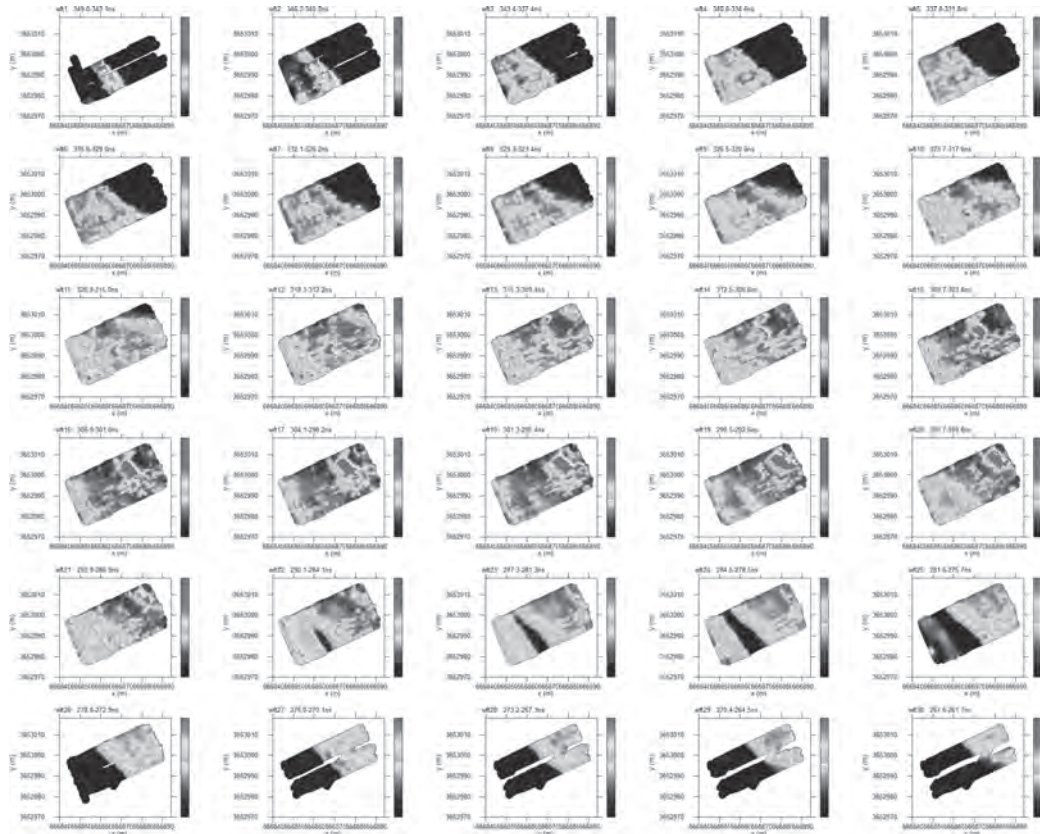
二. 調査の成果

(一) 宮野礎石周辺地区

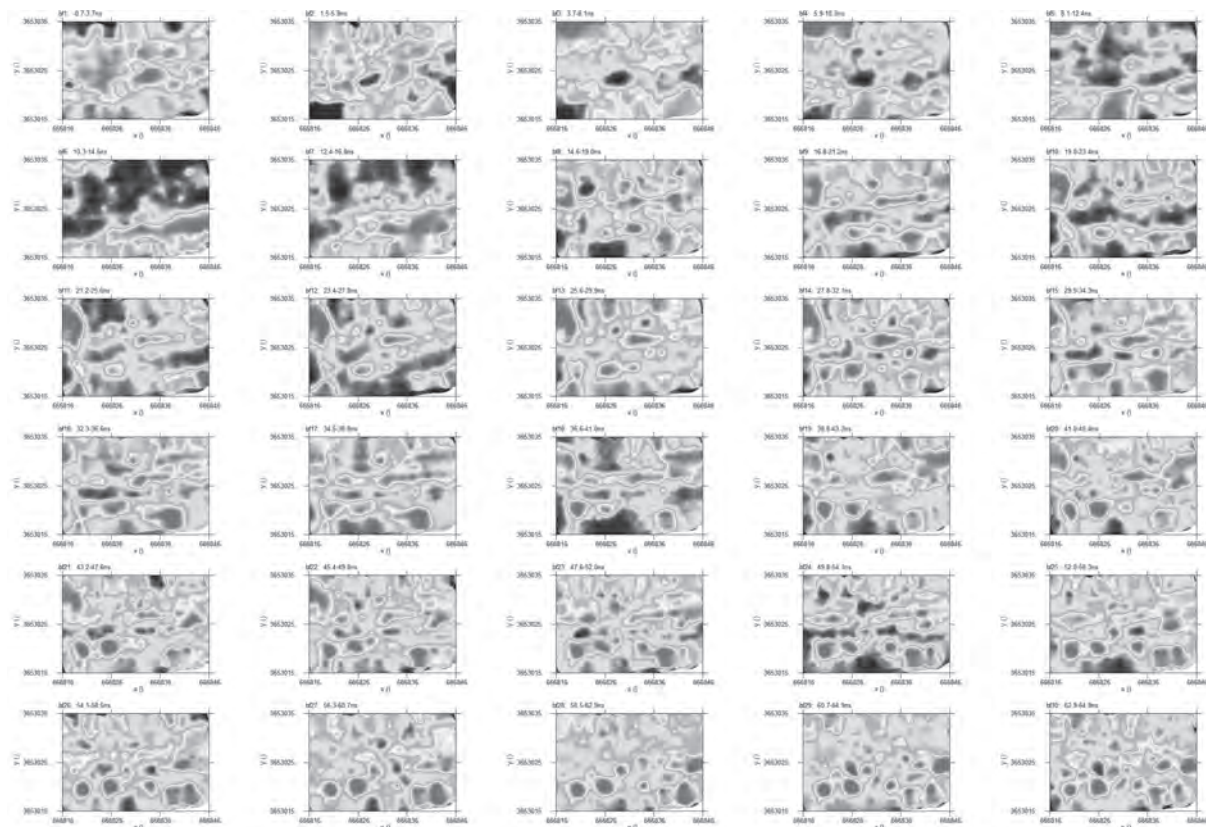
宮野礎石は、礎石が現況のまままで保存されており、発掘調査成果との比較などの点で調査成果との比較検討をおこなう上で好適な地点である。このため、多チャンネルのGPRによる探査と、比較用に従来の探査法による探査をおこなった。礎石の間を探査するため、同時計測のチャンネル数は七とした。また、比較用に通常のチャンネル数一のアンテナを用いた計測も実施した。

探査成果は各側線の深さ方向の反射強度による断面表示(B-Scan)を用いて作成したタイムスライス法による平面表示(第2・3・5図)として示す。地形の起伏の影響が無視できない場所については、地形補正をおこなっている。

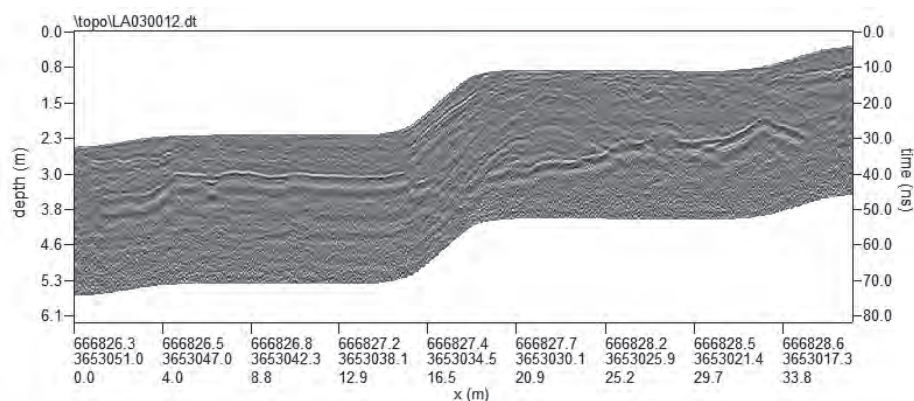
(第2図)は宮野礎石の現在露出表示されている箇所を西側(画面左)にした地点で、多チャンネルGPRを用いた成果である。礎石は露出しており、その上部をアンテナが通ることができないが、10nsより下部で礎石に対応する反射をみることができる。礎石群の東側は長方形の建物がかつて存在しており、現況でもやや小高い状況であるが、その部分にあたる付近にも建物の向きとは異なる点状の反射がいくつか存在する。例えば24.0-29.9nsのY=3652995付近の反射などが候補となる。調査区北東隅の長方形の反射は旧発掘調査区の影響と考える(90-V・90-IV区)。これらの下部にわずかにみられる反射は発掘調査で確認された柱穴にあたる可能性があるが、これは既に調査成果が判明しているゆえのことであり、それなしでは遺構の存在を積極的に言える状況ではない。既発掘地の探査例では、調査による土の性状の改変の影響を受けることが多く、



第2図 宮野礎石地区の地中レーダー探査成果(その1)



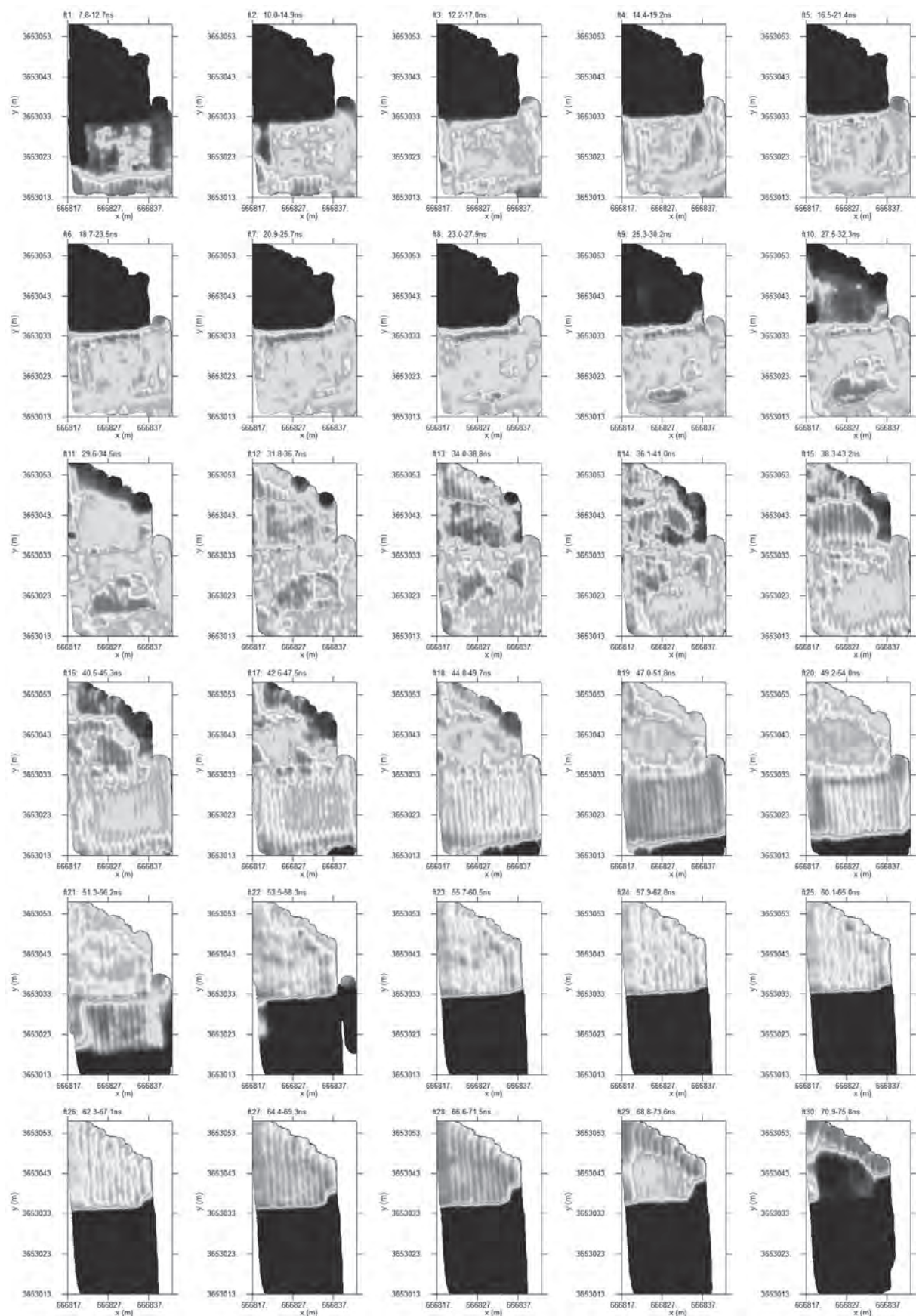
第3図 宮野礎石地区の地中レーダー探査成果（その2）



第4図 断面 Profile の補正

今回も同様に成果の検討をする上で慎重な検討が必要である。
 （第3図）は単独のアンテナで礎石部分のみの探査をおこなった。
 多チャンネル時の探査同様礎石の上部は探査できないが、礎石部分
 とその周辺の下層の状況を示している。

（第5図）は宮野礎石の北側に位置する二面の平坦面を対象とし
 た探査成果である。発掘調査において既に五棟の掘立柱および礎石
 建物跡が確認されている（90-
 VIII区）。既に埋め戻されてお
 り、地中の遺構を把握する検
 討例として好適と思われる。
 ただし、かつての建物跡の部
 分に対応するような形で土の
 変色が見られ、探査において
 はこれらの影響がどのくらい
 あるかが課題となった。
 南北2つの平坦面は一・五
 mほどの比高差があり、地形
 補正をかけて解析をおこなっ
 た（第4図）。この結果、一二
 号建築址（南側（画像下部）
 7.8-27.9m）および一三号建
 築址（北側（画像上部）27.5-
 38.8m）と考えられる反射を確
 認することができた。



第5図 宮野礎石地区の地中レーダー探査成果（その3）

(二) 米原地区

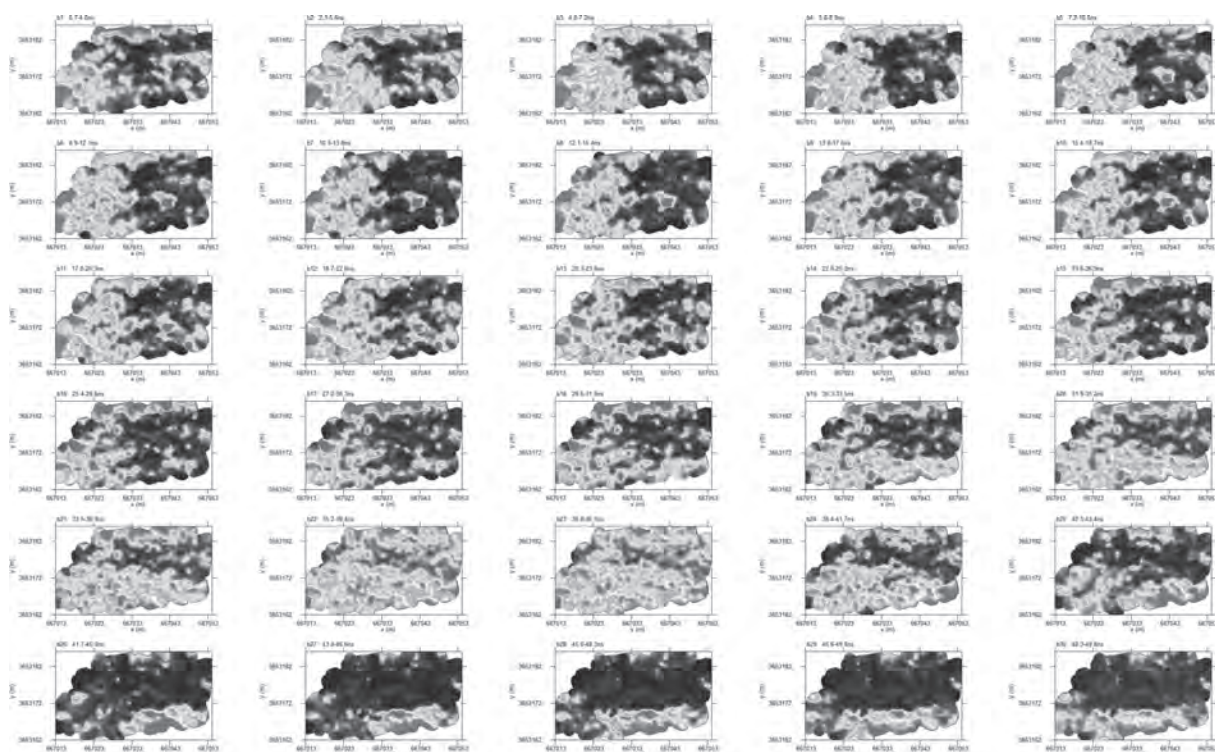
米原地区は近年公有地化された箇所であり、地中の状況は明瞭でない。以前には民家が立っていたところであり、井戸の痕跡や地割を反映した石列、コンクリートなどが残存しており、探査の環境としては良好ではない。

多チャンネルのGPRによる探査をおこなった。平坦地のため、同時計測のチャンネル数は十五とした。空閑地として作業を始めたが、地表に様々な障害物が残存しており、走査に苦労した。

探査成果は各側線の深さ方向の反射強度による断面表示(B-Scan)に基づき、これを用いて作成したタイムスライス法による平面表示(第6図)として示す。

結果として、強く点状の反射を示す部分が複数観察できる。12.1-15.4nsの深さのX=667018-667033付近でみられる点状の反射は等間隔で西北方向にやや軸を曲げた方形とみることが可能であり、建物になる可能性が指摘できる。他にも明瞭な点状の反射を確認できるが、これらがいつの時代に属するものかは明瞭ではない。最終的には試掘などによる確認が必要であろう。X=667043,Y=3657172に存在する反射は上部に石などが集積している場所に存在する。後世のものか。

調査区西側および南側の縁辺部分は道路に面しており(画像左および下部)、深い部分で表示される反射の多くは道およびその反対側にある民家などの影響による疑似反射である。



第6図 米原地区の地中レーダー探査成果

(三) 深迫門地区

深迫門においては現在露出して確認できる礎石の周辺を中心として発掘調査が実施され、登城道や柱穴列などが確認されている。今回はその西側にあたる部分において、発掘調査で明らかとなった登城道や土塁などの状態の確認を目的に探査をおこなった。

同時計測のチャンネル数は七である。

探査成果は各側線の深さ方向の反射強度による断面表示(B-Scan)を用いて作成したタイムスライス法による平面表示(第7図)として示す。

探査は主に一段目、二段目と呼称される部分とその南側の平坦面を中心におこなった。この結果、浅い部分より線状の強い反射部分が存在し、これらが土塁などにあたる可能性がある。

南側平坦面にはやや深い位置に点状の反応が複数あり、礎石建物が存在する可能性がある。

11.5ms の深さの X=667175, Y=3652664-3652674 付近に存在する点状の反射なども注目されるが、発掘調査では桑の植栽に関連するものの存在も指摘されており(熊本県教委一九九五)、さらなる検討が必要であろう。

三. 探査の課題と成果

今回の探査は新しい機材の試験的な探査の色彩が強く、既に確立している探査手法と比べ、以下の点で問題が生じている。まず、位置決定手法の課題として、使用したRTK-GPSの動作や取り付け方に問題が生じていることがあげられる。これは、使用したGPS機器がアンテナと処理部分が一体型のものであることから、レーダー

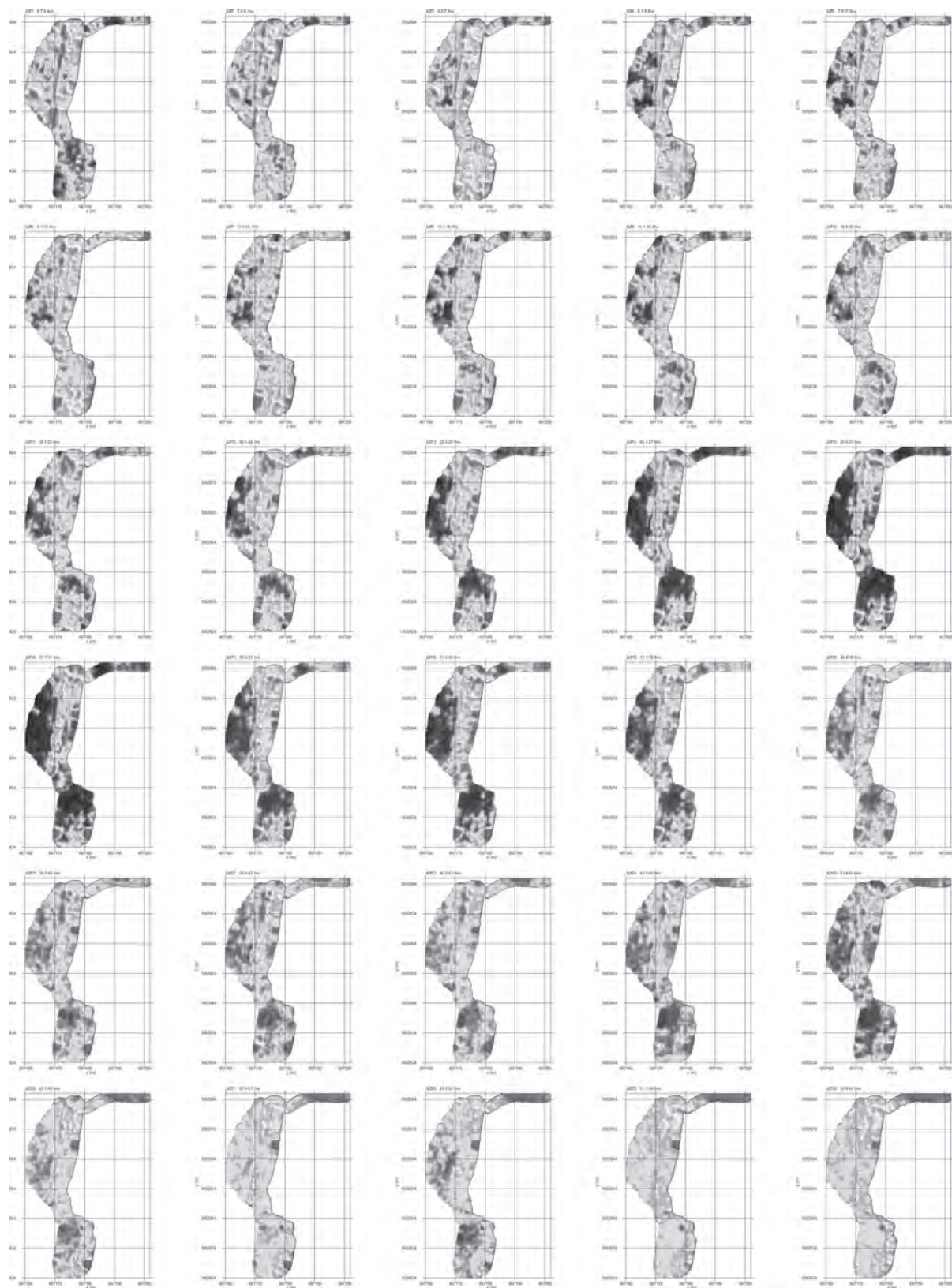
アンテナの上部に取り付けた部分が重くなり、アンテナの取り付けのための治具が改良できていないことで、探査の途中で走査方向に大きく揺れる問題が生じた。、重心を低くするためにアンテナの高さを低くして解決を図ったが、GPSの精度が大きく低下することになった。このため、想定されていた樹木に近接した部分以外においてもデータの劣化がみられた。これらは、その後の治具の改良により、大きく改善がみられている。また、機器自体もより廉価で軽量な同等の機能を有する機器の試験を進めており、本研究で得られた課題を発端にして実用的な手法への洗練を達成している。

また、レーダーのチャンネル間で信号の強度が異なり、タイムスライスの段階で筋状の反射の強弱がみえることで、成果の読み取りがしにくいという問題もある。これについても現地での走査方法の改良や計測後の処理方法を検討することを通じて改善を図る必要がある。

多チャンネルの機器は従来のシステムに比べて重量と大きさが増加し、全体の作業量を考えると大きく作業時間や手間は減少するが、従来一名でおこなってきたアンテナの牽引を二名とするなど、個別の作業では負担が増える場面や、作業に手間取る部分もあった。これら運用面も更に改善を図りたい。

既存の発掘調査データとの比較などは座標変換などの問題もあり、検討するための十分な時間が無くなってしまったため、本報告では扱えなかった。今後の課題としたい。

反面、当初の目的は不十分ながらも達成できたことが特筆できる。特に、探査の時間については従来見晴らしの良い畑などにおいては三千平米程度の面積の作業を作業員四名でおこなう場合、測量



第7図 深迫門地区の地中レーダー探査成果

と測線の設定に三時間、探査に二時間程度、前後の準備に一時間程度と合計約六時間程度を必要としていたが、位置決定手法に測量機器を用いたことで計測前の準備が大きく省略できたこと、多チャンネル機器の利用により、従来〇・五m間隔でおこなうことが多い走査が〇・一二m間隔と四倍以上に高密度化できることで、より詳細な地中のデータ取得が可能になり、かつ一回の操作で従来の二分の一の効率化が達成できた。今回の調査区でも多チャンネルでの探査においては宮野礎石で三時間、米原で二時間、深迫門で二時間と極めて短期間での作業が可能になり、官衙、寺院、山城、集落といった遺跡において極めて短期間で広域の探査が可能となることを示すことができた。発掘調査は遺跡の現状を大きく変化させる行為であり、その実施には最善を期する必要があるが、事前調査としての探査の活用を通じてより適切で効果的な発掘調査や、史跡などにおける保護と地中の情報取得を両立させつつ研究を進めることが可能になると考える。

おわりに

本研究において、鞠智城における地中レーダー探査の有効性と課題を検討することができた。試験的な色彩が強く、利用にはまだ改善の余地が大きいが、機会があれば再び探査を試みたい。また、断面プロファイルをはじめ、基礎的なデータを紙数の関係ですべてあげることができなかった。今後の研究の基礎データとして共有をはかっていきたいと考える。

最後に、研究を進める上で熊本県の矢野裕介、宮田武志、木村龍生、池田朋生各氏をはじめ多くの職員の皆様から実施に際してご助

言と実施に際してのご協力を頂いた。木崎康弘、石松直、久保伸洋、永見秀徳各氏には現地でご指導・ご協力いただいた。文末ではあるが記して謝意を表したい。

参考文献

- 西村康 二〇〇七 「下高橋遺跡」・「筑後国府跡」『遺跡探査の実際』埋蔵文化財ニュース一二七
- 熊本県教育委員会 一九九五 『鞠智城跡―第16次調査報告―』（熊本県文化財調査報告第152集）
- 熊本県教育委員会 二〇〇九 『鞠智城跡―総括報告書―』（熊本県文化財調査報告第152集）
- 歴史公園鞠智城・温故創生館 二〇〇七 『鞠智城跡―第28次調査報告―』

挿図出典

- 第1図 熊本県教育委員会 二〇〇九より一部改変