遺跡の物理探査*

西村 康**

Geophysical Prospecting in Archaeology

Yasushi NISHIMURA

1. はじめに

考古学の調査研究では、いうまでもなく遺跡、遺構、遺物を主たる研究対象とする。ところが、それらは地下に埋もれているので、発掘調査という手段をとらないと「見る」ことができない。発掘調査では遺構などが埋もれた過程すなわち時間を逆にたどりながら、それらの空間的な広がりをおかめながら掘る。掘るという作業は、地下から歴史情報を取り出す手段である、というように言い表すこともできる。

発掘は地表面から順番に掘り進み遺跡を解剖する。その特徴は土を取り除くという点にある。一度動かした土は二度ともとへは戻せないのも、もし掘り間違えてもやり直すことはできない。したがって、発掘する際にはその作業を誤りなくおこない、遺跡のもつ情報を十分に汲み取る必要がある。発掘調査のもつ重要性和困難さ、あるいは使命が理解できるであろう。

掘ることを誤りなく実施するためには、あらかじめ地下の様子をみておく、つまりどこにどのような遺構や遺物が埋まっているかを知ることができれば、掘る作業を誤りなくおこなえることになる。遺跡探査が目される最大の理由はこの点にある。地下のどの場所に遺構や遺物があるか判った上で発掘できれば、まず、壊すという危険を避けられるし情報収集の幅も広がり、発掘の計画や掘る手順もえらべる。

人体でいえば、CT スキャンとかレントゲンなどの予備的診断なしに、いきなり解剖することはないのと同様、遺跡でも予察の一方法である探査をした後に掘れば、誤りなく遺跡が解剖できるはずである。つまり、精度良く掘れることになるはずである。

遺跡探査が果たす役割の第1点は、このような発掘調査に先立つ事前情報の収集にある。つぎには、遺跡が史跡として保存されていたり種々の理由から、掘るという手段が執れない場合があるが、そのときには探査が唯一の地下情報収集方法となる。第3番目としては、遺跡保存を目的とした範囲確認調査のような場合、遺跡の範囲をくまなく掘って調査したのでは、保存しているのか破壊しているのか判らなくなる。このような場合にも、一部判明している遺構をもとに、その広がりを調査する際に役立つことになる。

現在わが国で遺跡調査に応用されている探査方法には各種あるが、電気探査、磁気探査、地中レーダー探査が採用される機会の多いものである。それらのほとんどは諸外国から装置を輸入して応用したり、方法を学んだものといっても過言ではない。そして、水田に見るような日本固有の土壌条件や自然環境下では、必ずしも十分な成果をあげている状況にはない。このような状況を克服するため、新たな装置や方法の開発研究に取り組まれているところである。

ここでは、遺跡探査の現状を示す一例として千葉県印西市・松崎第Ⅱ遺跡において実施した調査を取り上げて、測定方法について説明した後、測定の結果を紹介することにする。この調査は文化

* 原稿受付 1994年2月3日

**奈良国立文化財研究所

庁が遺跡調査の方法を検討する一環として、千葉県への委託事業として行われたものである。

本遺跡の周辺では、すでに試掘調査による遺跡分布確認がおこなわれており、地下約 30~80cm の深さにかけて、古墳時代の堅穴住居が存在していることが判明していたので、探査対象として設定した範囲にも、同様の遺構が存在する可能性が大きいと推定されていた。このように、深さに関する情報があると測定手段の選択にも役立つことになる。

測定した範囲は東西30、南北 40m である。このなかには、すでに遺構確認のための試掘溝が、ほぼ東西方向に2条掘られており、堅穴住居跡1基が確認されていた。探査では同じ範囲を測定原理の異なる電気、磁気、地中レーダーの3種類の方法で測定して、得られた結果を照合することにより、探査方法の有効性や限界を知るのが目的であった。測定後には対象範囲内の一部分を選び、成果を確認するための発掘調査がおこなわれた。

2. 電気探査

2.1 測定方法

一般におこなわれている地盤探査では、探るべき深さも深く範囲も広いのが普通である。しかし、通常の遺跡探査では特別な場合を除くと地下約 2m 程度までを探れば目的を達することができ、狭い範囲を精密に測定して遺構の形態、規模などの詳細を求めることが要求される。形態や規模が判れば、遺構の種類などを推定することも可能となる。そこで、電気探査にあっても最近はある見かけの深さにおける比抵抗の平面分布を求める測定が、おこなわれてきている。

使用する装置も短時間内の迅速な測定を目的に、考古学専用の装置が10年ほど前から普及している。それはもっぱら2極法による測定を前提に英国 Geoscan Research 社で開発されたもので、初期の RM 4 型ではブースターを付けても供給できる電流は 40 Volt, 1mA であったが、改良型の RM 15 になると 100 Volt, 10mA までの能力をもつようになっている。

この装置を用いた2極法の測定(写真1)は、鳥居形の枠の下面に移動電極(C_1 , P_1)を固定し

写真1 電気探査風景(2極法, 移動電極間隔 50cm)

て、枠上には装置を載せ、それらを一体のものとして移動させる。遠電極(C_2 , P_2)は一軸のケーブルで装置まで導いてある。

これにより、測点ごとに電極を突き刺し、抜いて次の測点へ移動するという作業は飛躍的に速くなった。突き刺す、すなわち地面と電極が接して電流が流れると、その1秒程度後にはデータが自動的に記録される。この遺跡で探査した範囲30×40mでは、タテ、ヨコともに1m間隔の格子点で測定したので、総測定点数は1,200点余りとなるが、それに要したのは約1時間半であった。

測定で採用した移動電極の間隔は1mである。これでは、探っている見かけの深さも1mということになるが、実際に得られている土壌の情報としては、その半分の50cm程度といわれている。ここでは堅穴住居跡の存在する深さが、30~80cmであることが事前に判明していたので1mの間隔を選んだが、もし判らない場合には異なる深さを探る必要が生じ、それだけ測定に時間がかかる。

2.2 測定の結果

結果は測定値の最大、最小値の間をある段階に区切り、比抵抗の平面分布としてコンターで表すか、16色に区分した色を用いて比抵抗の高い部分を暖色、低いものを寒色で表現することが多い。最大、最小値の差が大きい場合には、16色の区分では十分に表現できない場合もある。ここでは、

コンター図を示した。表示の値は $\text{ohm} \cdot \text{m}$ を10倍したものを用いている。外郭線上の1目盛りは1mである。

結果を見ると比抵抗の高い所と低い部分で、それぞれ堅穴住居跡を示す程度の完結した範囲のあることに気がつく。もし、事前に遺構に関する情報がない場合には、それらのどちらが堅穴住居かを決めることはできない。内部に埋もれた土が判らないからである。しかし、この場合には試掘がなされており、そのなかで発見されていた住居部分は、測定の結果と照合すると比抵抗の低い部分にあたっていると判断できた(図1中のA)。

そこで、同様の堅穴住居程度の規模を示す比抵抗の低い箇所を探すと、他にも4箇所をあげることができた(図1中のB, C, D, E)。これらを、堅穴住居である可能性の大きい場所と推定したが、東北のもの(C)は形態が不整形である点から、他の遺構の重複も考えた。

3. 磁気探査

3.1 測定方法

考古学における磁気探査では、まず、全磁力を測るプロトン磁力計を使用する方法が始まり普及したが、最近では鉛直成分の差分を求めるフラッ

クスゲート型磁力計が出現している。どちらも遺跡での測定を前提としているのでポータブルで軽量である。

わが国でもプロトン型による測定から応用が始まったが、それによって得られる探査成果としては、熱残留磁気を帯びた窯跡とか炉跡を特定できるとどまっていた。その後、やはり考古学専用として開発されたフラックスゲート型装置が導入されると、これらのような遺構以外を対象とした探査も、徐々にではあるが試みられるようになってきている。しかし、熱残留磁気遺構以外の探査では、依然として有効な成果をあげるには至っていない。

鉛直成分の差分を求める方式のフラックスゲート型装置も、電気探査装置と同じく Geoscan Research 社製で、FM 9, FM 18, FM 36のシリーズがある(写真2)。FM 9にはデータ記録部がないが、FM 18は4,000点、FM 36は16,000点の記録能力がある。これらには上下50cm離れた位置にそれぞれセンサーが固定してあり、それらの差分を出力する。センサー間隔が50cmなので探査深度は浅く、約1m強と言われている。

出力としては0.1, 1, 10nT(ナノテスラ)の単位が選べ、上下センサーの傾斜を補正する目的

図1 電気探査の結果

写真2 磁気探査風景（フラックスゲート型 FM18）

のデータ平均機能も持っていて、16～128回までの4段階に設定できる。また、測定に際しては 10×10 、 20×20 、 30×30 の点数グリッドを選択できるようになっている。実際の測定ではこれを手で携行して、測点ごとにスイッチを押してログする。重量は2.4 kgなので重さでは苦痛を感じることなく作業ができる。

このように測定の手続きは速いが、プロトン型と比較すると探査深度で劣るので、窯跡などの探査でも、それが広範囲にわたっている場合には、まずフラックスゲート型で遺跡の概要をつかみ、そ

の後にプロトン型で精査するというような併用法が考えられている。

松崎第Ⅱ遺跡における磁気探査は、FM18を用いて1m間隔の格子点で測定した。したがって、採取したデータの密度は電気探査と同じである。所用時間も電気探査とほぼ同じ程度であった。読みとりの単位は0.1 nTで、各測定点では32回の自動平均モードを採用した。

3.2 測定の結果

磁気探査でもコンター図として表した。磁気傾斜のプラス側に大きい部分は実線で、マイナスは点線で表示している。表示単位の10は1 nTを表す。また、外郭線上の1目盛りが1mであるのは電気探査と同じである。

磁気探査で注目されるのは、電気探査では明瞭でなかった試掘溝のうち、南のものは位置や方向が明瞭に判ることである（図2中のf）。しかし、その中で発見されていた住居跡の位置は、指摘することができない。したがって、もしかすると電気探査と同一の地点で異常（Anomaly）を示す2箇所は（図2中のB、D）、堅穴住居以外の土壌変化である可能性が大きいと、推定しなくてはならないだろう。また、プラスの異常である地点（図2中のE）も遺構ではない可能性が大きい。

MATSUZAKI FM18

図2 磁気探査の結果

4. 地中レーダー探査

4.1 測定方法

地中レーダー探査ではアンテナから電波を放射、受信した地中からの反射信号に、色を付けたり白黒の濃淡として表現するのが基本である。そうすると、あたかも土層の「断面」のような画像が得られる。遺跡調査では土層理解が重要であるので、擬似的ではあるが断面を知ることのできる本方法は注目される。

現在、遺跡探査で使用される装置はパルスレーダーの方式で、使用アンテナには大体 300 MHz 程度の周波数のものが多い（写真3）。これによる探査深度としては2 m 未満が普通で、湿潤な水田では1 m よりも浅い層位しか探れないこともある。しかし、乾燥した砂や粗い軽石からなる火山灰などでは、3 m 以上深い探査ができた例もある。いずれにしても、電波の減衰が大きい地層では十分な探査はできない。

また、電気探査や磁気探査と比較した場合、アンテナを走査する必要があるので、地面が平坦でなかったり木の根など障害物があると、自由に走行できないという弱点もある。そのようなときには、無理して測定しても採取データにノイズが多くなり、後の解析などを困難にする。

ところがデータ採取という観点から考えると、レーダーは電気探査や磁気探査などとは比較にならないほど濃い密度の情報を得るという特徴がある。本遺跡における電気や磁気の測定が1 m 間隔

の格子点にとどまったのと比べると、レーダーはほとんど線状データといえることができる。電気や磁気でも測定間隔を密にすることは可能だが、1 m を 50 cm 格子点にした場合、測定すべき点数は4 倍になり、時間と労力を考えるとあまり実用的なものとは言えなくなる。

地中レーダー探査では得られるのは擬似的な断面であるので、もし遺構などの形態や規模を知りたい場合には、測定した各結果の断面画像から特定の構造を抽出して、それらを平面に置くという作業が必要になる。通常はこれを手作業でおこなうが、最近では計算機を利用してレーダーによる「平面」を作成する方法も開発されている。

平面図を作成するには、現地では走査する測線間隔を規則的にとり、対象範囲をくまなく測定する。そして、それで得た断面を計算機の中であれば、電波が地中を往復した全時間の中から、ある一定の時間幅を取り出して、それを電波の反射強弱として平面に置くという方法をとる。これを Time Slice と呼ぶ（図4）。

本遺跡における測定では東西方向 1 m の間隔で、並行な測線でアンテナを走査した。測定に要した時間は約1 時間である。

4.2 測定の結果

「断面」画像では上が地表面で、下になるほど下層であることを示している。タテすなわち深さ方向の記録時間は 70 ns（ナノ秒）であるので、ここでの電波の土中進行速度を $4c$ m と仮定すると、全体では約 1.4 m ($70 \times 4 \div 2 =$ 往復) の深さを探ったことになる。画像上端の目盛り間隔は 1 m で左側が南である（図3）。

住居跡らしい反射を示す構造を探すと、西から 8 m とか 9 m めの測線に幅 7 m 程の広がりをも

写真3 地中レーダー探査風景 (G. S. S. I. 社製 SIR-8 型, 300MHz アンテナを使用)

図3 地中レーダー探査「断面」画像

図4 地中レーダー探査「平面」図作成の要領

つ、連続する面のあることに気がつく。これを堅穴住居の床面と推定した(図3中のA)。

Time Slice (図4) によるレーダー「平面」図をみると、上層の21~28 ns すなわち深さにすると約40~55 cm 程度の土層の平均では、斜行する2条の試掘の溝が明瞭であるが、まだ住居跡は見えていない(図5中のA, B)。なお、試掘溝と直行するようにある南北方向の構造は(図5中のC)、調査者によれば古い時代に属する、土地区画の施設の可能性があるとのことであった。

28~35 ns の55~70 cm 程度に対応する深さでは、南側の試掘溝は依然明瞭であるが、北側のものは判然としなくなる。ところが、南側の試掘溝の中ですでに確認されていた住居跡(図6中のA)やそれ以外の住居跡が、少しずつ見えてくる。さらに深い35~42 ns の70~85 cm 位の深さになると、試掘溝は見えなくなり、住居跡らしい異常が際だってくる(図7中のB, C, D)。住居跡の床面で電波が強かつ多く反射した結果と考えられる。

5. おわりに

これら3種類の探査の方法による結果を総合すると、いま地中レーダー探査でみた地点に住居跡がある可能性が大きいといえるが、電気探査や磁気探査と照合すると、もしかすると測定区のほぼ中央や西北隅にある異常(B, D)は、住居ではなく他種類の遺構である可能性を指摘できる。そのような推定の後に、レーダー探査の断面画像を

図5 地中レーダー探査「平面」図(21~28ns)

図6 地中レーダー探査「平面」図(28~35ns)

図7 地中レーダー探査「平面」図(35~42ns)

再度見ると、その異常は地表面近くから始まっており、現代など新しい時期の土壌改変であることに気がつく。

総合的な判断としては、測定した範囲には3ないし4基程度の堅穴住居が、存在すると推定されたのである。なお、地中レーダー探査の資料は石川県鹿島郡中島町のUMGAL中島(マイアミ大

学考古地質研究所・中島分室)から提供いただいたものである。

松崎第Ⅱ遺跡における探査は以上のものであった。測定の実際などは現在わが国でおこなわれている標準ではないかも知れないが、遺跡探査の現段階についておおよそ理解する目安になると考えている。探査の結果と発掘調査の所見を照合すると、ここでは遺構をよく捉えていると評価できよう。

しかしながら、遺構が比較的浅い位置にあったこと、あるいは遺構の内外は火山灰起源の土壌で構成されているため、両者の差が大きくコントラ

ストがつきやすかった、という点を考慮する必要があるであろう。すなわち、ここで採用した方法や解析の方法で、例えば近畿地方を探査しても同等の成果が得られるかどうかは疑問なのである。

このような現状から、より有効な探査装置あるいは方法を開発するために、文部省科学研究費補助金による重点領域研究『遺跡探査』が平成4年度より発足して、取り組まれているところである。5年間の研究が終了する段階にはわが国のみならず、広く世界的に採用され役立つ成果を生み出すことを目標としている。大方のご協力をお願いする次第である。

口絵 5

千葉県・松崎第Ⅱ遺跡における地中レーダー探査「平面」の一例。約40～55cm (Time slice 21～28ns)程度の土層

斜行する2条の試掘溝が明瞭である。しかしA, Bには住居跡は見えないがCには土地区画の施設の可能性がある

口絵 6

同遺跡の地中レーダー探査「平面」の一例。約55～70cm (Time slice 28～35ns)程度の深さ

南側の試掘溝は明瞭だが、北側のものは判然としない。すでに確認されていたAの住居跡やそれ以外の住居も見えてくる

口絵 7

同遺跡の地中レーダー探査「平面」の一例。約70～85cm (Time slice 35～42ns)程度の深さ

試掘溝は見えなくなるが、住居跡が明瞭になる(B, D)