

遺跡探査法の再検討

浜島多加志¹⁾・西村 康²⁾・川野邊涉³⁾

1. はじめに

わが国で、現在採用されている遺跡探査の方法は、大半が一般の地盤探査に採用されている器材を応用したり、外国で開発された測定器を使用するものである。考古学の専用機として開発された機器であっても、必ずしも日本の土壌や、自然環境に適合したものとはいえない。そこでわれわれは、現在日本で採用されている遺跡探査の方法を、再検討することにした。この再検討の中には、現在の測定機やそれら測定方法の、改良という意味も含んでおり、さらには、将来、新たな方法を開発する手がかりを、得ることも目的としている。

再検討の一つは、まず各種方法の有効性と限界を、明らかにすることにある。すなわち、現状では、探査する対象の種類に応じて、採用する方法を選択しているが、ある一方法のみによる測定対象範囲が広がれば、複数の器材を用意する必要はなく、経済的效果もあるであろう。また逆に、ある方法の限界が明確になれば、より注意深い測定がなされるようになるだろう。

各種方法の測定実験では、測定の作業能率をできるだけ高めることに留意した。そのためには、測定データの自動記録と、そのデータの現場でのコンピュータへの転送などは、最も基礎的なことであった。現場でハンドヘルドコンピュータを使用することにより、測定結果を逐次点検しながら作業を進めれば、さらに測定が必要な区域を知ることができるという、有利さが生まれる。

測定の後には、そのデータの解析が必要であるが、この点については、以下に述べるように、若干の前進があったものと考えている。データ処理において、われわれが最も注意したのは、大型機を使用するのではなく、一般に普及しているパソコン程度のものを、使用することである。将来、われわれの成果が活かされるとした場合、大型計算機を前提にしたのでは、汎用性があるとはいえない。

再検討をした探査方法は、磁気探査・電気探査・電磁誘導探査 (E. M.)、地中レーダー探査である。実験は各地方において、各種遺跡を選びおこなったが、4種の方法を同一の遺跡で実施したものとしては、会津若松市の大戸古窯跡群の例がある。窯跡を選んだのは、検討対象の一つである磁気探査がわが国では窯跡以外の遺構での実績が、極端に少ないからである。以下に述べる検討は、この大戸古窯跡群の測定結果を中心にしている。

1) 東京工業大学工学部人文社会群：152 東京都目黒区大岡山 2-12-1

2) 奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター：630 奈良市二条町 2-9-1

3) 東京国立文化財研究所：110 東京都台東区上野公園 13-27

2. 探査の方法

(1) 磁気探査 この方法は、わが国では10年以上前から実用化の段階にあるが（岩本：1974，鳥居他：1974，田中他：1978），探査可能な対象としては，熱残留磁気を帯びた窯跡や炉跡に限られているとあってよい。その主たる原因は，一般に表土層の帯磁率が高く，住居跡や溝などの示す微弱な磁気強度の差は，地表へ反映されにくいいためと考えられる。また諸外国，特にヨーロッパなどと比較すると，磁気傾斜 (gradient) が小さいことも原因となっている。

現在一般に行なわれている全磁力測定法は，2台のプロトン磁力計を使用するもので，1台は定点として固定しておき，他が測定区内を移動する。両者はケーブルで連結し，同時に測定するのが普通であるが，ノイズによる磁場変化が小さい場所では，ケーブルによる厳密なトリガーの方法に依らず，定点は一定の時間間隔で観測する場合もある。今回の実験では前者の方法を用いて測定を行なった。どちらも，同時刻における定点と移動点との全磁力測定値の差を取ることで，磁場の時間変化による影響をほぼとり除くことができる。ただし，この方法では2台の磁力計に及ぼすノイズの影響は常に等しいと仮定している。そのため，交通量の多い道路際での測定などでは，車によるノイズの影響が道路からの距離によって大きく変化するために，上述の方法を用いても必ずしも有効であるとは言えない。

実験に使用した装置は，全磁力測定にはアメリカ Geometrics 社製の G-856 型2台で，測定精度は 0.1γ である。これはメモリーを内蔵しており，約1000点の観測値を自動記録できる。移動センサーの高さは約 80 cm で測定を行なった。磁気探査で試みたいま一つの方法は，磁気傾斜を測定するフラックス・ゲート型の装置で，イギリス Geoscan Research 社製 FM-18 である。

携帯用のフラックス・ゲート型の装置は，遺跡探査では1974年頃に試みられたことがあるが（鳥居他：1974），十分に成果が上がらず，わが国では普及していなかった。その原因としては，測定時にセンサーを垂直に保持するのが必須で，作業性の悪さがあげられるだろう。FM-18（または FM-9，FM-36）は，コイル間隔が 50 cm であるが，コイルの垂直方向のズレによる誤測定を小さくするために，測定値を平均したものを1データとして表示する機能がある。平均化に用いる測定回数は，初期設定により 16，32，64，128 の4種類を選べる。この機能により，測定中に瞬間的な強風が吹きセンサーが傾いてしまうような事があっても，その影響をある程度抑えることができる。FM-18 の測定精度は 0.1 nT である。これもメモリーを内蔵していて，4000点のデータを記憶できる。

(2) 電気探査 遺跡探査に使用されている電極配置の方法には，Wenner, Dipole-Dipole などがあるが，近年では測定作業が簡便なこと，解析が比較的単純であることから，2極法が採用されることが多くなっている。われわれも，2極法による測定で実験を行なった。

測定は，従来から採用されている電極棒を使用したか，われわれは作業能率の向上を図るために，4本または5本の電極棒を等間隔に並べて木枠で固定したものを移動用電極として用いた。4本の電極棒を並べたものは 50 cm 間隔に，5本のは 30 cm 間隔に並べてあり，いずれも一方の端の

電極を電流電極とし、他を電位電極とした。これらの電位電極をスイッチによって順次切り換えることにより、電極間隔が 0.5, 1.0, 1.5m あるいは、0.3, 0.6, 0.9, 1.2m での抵抗値を短時間で測定できる。遠電極は、移動用電極との干渉を起こさないようにするため、測定区から 30~50m 離れた場所に設置した。

使用した抵抗計はイギリス Geoscan Research 社製 RM-4 である。供給電流は 1mA と小さいために、電極間隔を 5m 以上長くすることはできないが、遺跡探査を目的とする場合には充分であろう。精度は測定レンジにより異なり、最高 0.01 ohm であるが、今回は実験場所の土壌の抵抗が比較的高かったため、1 ohm の精度で測定を行なった。この装置には別売の DATA-LOGGER を接続でき、最大 1000 点までのデータを記憶できる。

(3) 電磁誘導探査 わが国では、この方法による遺跡探査としては、島根県荒神谷遺跡の例にみるように、金属探知機として使用されることが多い(利岡：1987)。この例でも明らかにされたように、含水率の高い土質では、電気探査を採用したのと遜色のない成果が上がっていて、土質の違いを検出できる可能性が示唆されていた。そこで我々は、これの応用可能な範囲、すなわち土質や土層が、どれだけ捉えられるかを、測定の方法や解析法の点検も含めて、検討することとした。

使用した装置は、荒神谷遺跡の例と同じ装置で、カナダの Geonics 社製 EM38 である。これは、送信コイルからの時間変化をする磁場により、土中に誘導電流を発生させ、この電流による二次磁場を、受信コイルで測定する。一般に、測定される二次磁場 H_s は、送信コイルでの一次磁場 H_p の周波数 f 、及び送受信コイルの間隔 s の複雑な関数となるが、 s が表皮深度 δ に比べて充分小さい場合には、 H_s/H_p が見掛導電率 σ_a に比例する (McNEILL：1980)。EM38 では、このような関係を満足するために、コイル間隔 s を 1m、周波数 f を 13.2 kHz に設定しており、見掛導電率をアナログ・メーターで表示する。測定レンジは 0~30, 100, 300, 1000 millimho/m の 4 段階があり、測定精度はフルスケールの $\pm 3\%$ となっている。メモリーは内蔵されていない。

この装置は主として地表面上に置いて測定を行なうが、送受信コイルの軸方向を、地表面に対して垂直に向ける場合と、平行に向ける場合の 2 通りの測定法がある。それぞれ、深さ方向に対する見掛導電率への相対的な寄与が異なり、水平モードでは地表面での影響を最も強く受け、地表下 1m にある物質の影響は地表面での物質に対して 10% 程度の寄与となる。垂直モードでは地表下 0.4m 付近の物質の影響を最も強く受け、深さ 2m においてようやくピークに対して 10% 程度の寄与となる。つまり、水平モードでは深さ 1m 程度までの浅い部分を、垂直モードでは 2m 程度までのより深い部分の電気伝導度を反映する。

(4) 地中レーダー探査 この方法は、測定結果が即時現場で見られるという特異さから、最近急速に普及したものである。わが国でも装置を製作・市販する会社が 3 社ほどある。そして、各々は独自の機能を備えていて、装置の構成は異なる。大別すると、電波の送受を 1 アンテナでする一体型と、送信と受信が別個のアンテナの、別体型とがある。いずれもアンテナは、できるだけ地面に密着した

形で、移動させることを、前提にしているために、平坦面を期待することが困難な遺跡探査では、問題となる点である。

実験に使用した装置は、光電製作所製 KSD-3SM 型で、アンテナは送受一体型である。

以上に述べた装置の内、考古学専用の探査機として開発されたものは、電気探査の RM-4 と磁気探査の FM-18 のみである。他は一般の地盤探査を目的として、製作されたものである。これを考古学に応用したのである。

3. 会津大戸窯跡群における探査例

今回は、会津若松市の大戸古窯跡群の中にある上雨屋 6 号窯跡、及び南原 33 号窯跡において探査を行なった。熱残留磁化をもつ窯跡に対しては、磁気探査が非常に有効であることは、これまでに数多くの報告がある。しかし、窯跡に対して電気探査や電磁誘導探査がどのような結果がえられるかについては、あまり報告例がない。ここでは、上述の探査装置全てについて探査を行なった南原 33 号窯跡の結果について報告する。

この窯は、北北東に向いた沢沿いの斜面に位置しており(写真)、周囲に人家はなく、自動車道からも直線距離で約 0.8 km ほど離れている。人工的なノイズはほとんどないと言ってよいだろう。測定は地中レーダーを除き全て 1m メッシュの格子点上で行なった。

第 1 図にプロトン磁力計による探査結果を示す。図は、2 台のプロトン磁力計で同時刻に測定した全磁力値の差を格子点上での測定値とし、等磁力線図を描いたものである。相対的に値の大きい部分を実線で、小さい部分を点線で示してある。図中に A と示した位置に、大きな負の異常と、その右上



写真 探査を行なった南原 33 号窯跡 (会津若松市)

Plate The Kiln at Ooto (Aizuwakamatu city) where prospecting methods were applied.

図 2. フラックス・ゲート磁力計による磁場垂直差分の等高線図 unit 1 nT
Fig. 2. Contour map of vertical gradient of geomagnetic field measured by flux-gate gradiometer

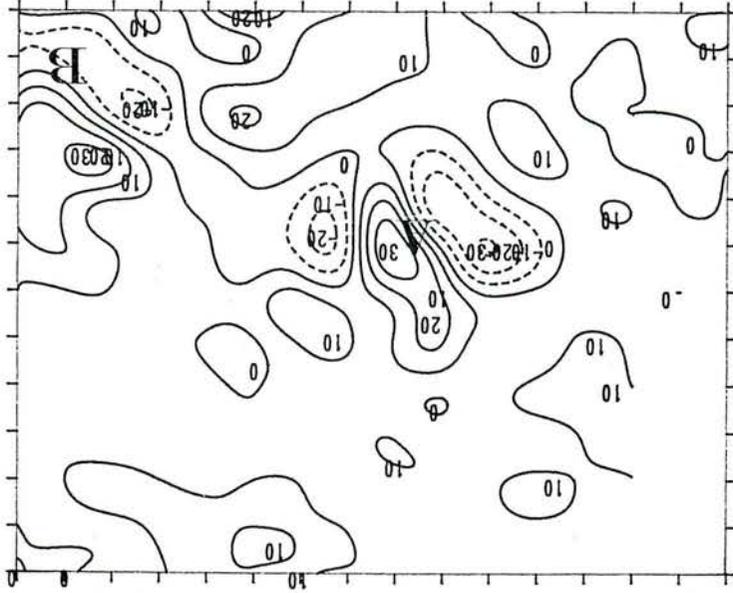
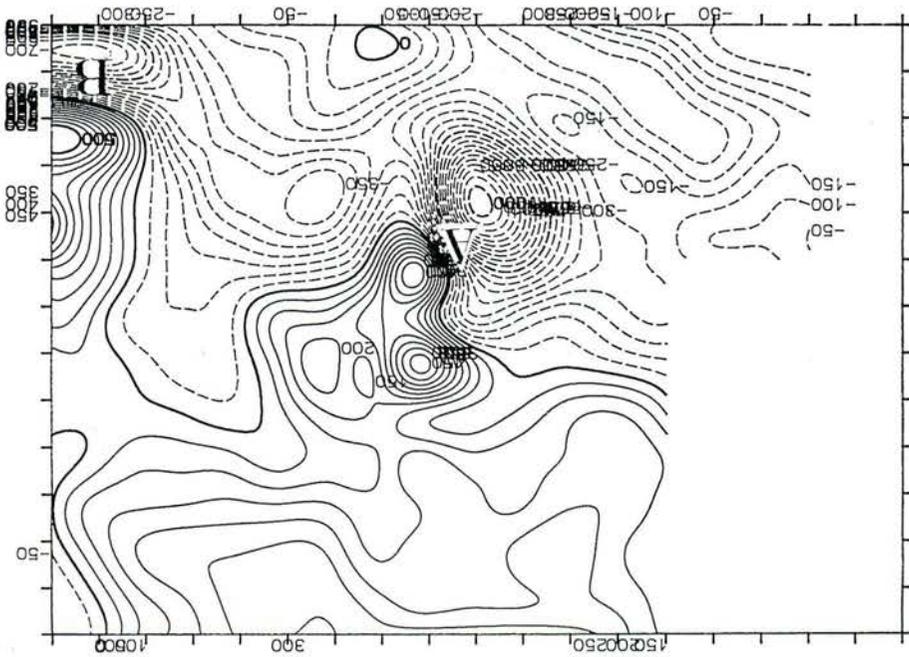


図 1. プロトン磁力計による全磁力等高線図 unit 0.1 nT
Fig. 1. Contour map of total magnetic intensity measured by proton magnetometer



にやや小さめの正の異常が2つ認められる。異常の中心を結ぶ線はほぼ磁北を向いており、窯跡の存在を示唆する。正の異常が2つに分かれているが、第2図のフラックス・ゲート磁力計の結果と比較すると、一つの窯体と見るべきであろう。また、図の右下にBと示した位置にも異常がみられる。プロトン磁力計の探査結果ではダイボールの方向はやや磁北から傾いているが、フラックス・ゲート磁力計ではほぼ磁北を向いている。磁力探査の結果からは、この2カ所に窯跡があると推定するのが妥当であろう。測定区の地形は、図の下側に沢が流れ、上側に行くにつれて斜面が急勾配になっているが、プロトン磁力計の結果には、この地形の影響がはっきりあらわれている。窯跡のように大きな磁気異常がある場合には問題はないが、溝、堀などの微弱な異常を捉えたい場合には、地形補正が必要となる場合もあるだろう。一方、磁場の垂直成分の差分を計るフラックス・ゲート磁力計では、第2図を見る限りこのような傾向は見られない。局所的な磁気異常だけを捉えたいのであればフラックス・ゲート磁力計は有効であると言えよう。しかし、磁気傾斜の大きい高緯度地方に比べて、測定値の変化が小さくなるという欠点もある。実際、図のA地点の磁気異常を見ると、プロトン磁力計では±70 nT の磁力差があるが、フラックス・ゲート磁力計では±30 nT 程度の差しかあらわれていない。このことから、フラックス・ゲート磁力計では、微弱な磁気異常を検出することは難しいと予想される。

第3図には電気探査による結果を示す。これは、電流電極と電位電極の間隔を0.9mとした場合の見掛比抵抗を等高線図であらわしたものである。この図も見掛比抵抗の高い部分を実験で、低い部分を点線で示してある。磁気探査において異常がみられたAの位置には、比抵抗値に関してほとんど変

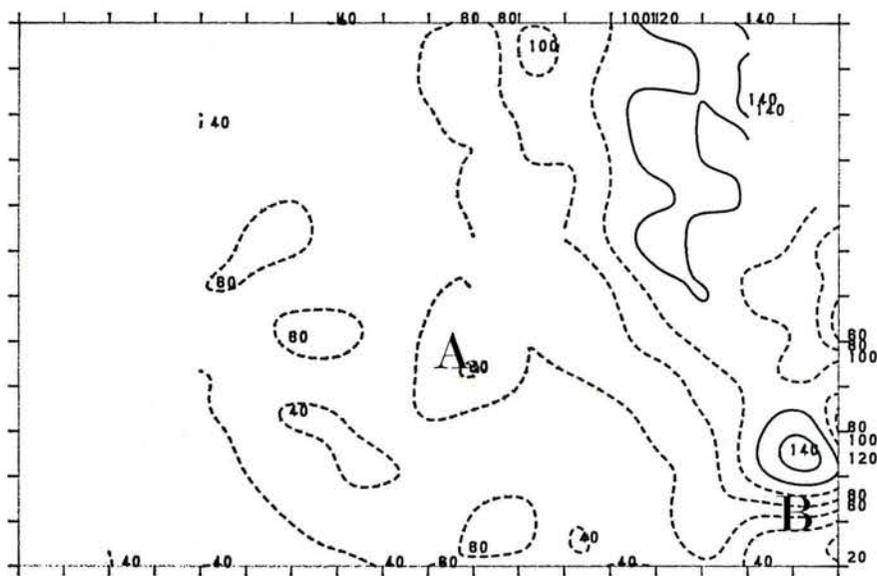


図 3. 電気探査による等見掛比抵抗線図 (電極間隔 0.9m) unit Ωm
 Fig. 3. Equi-apparent resistivity map using electrical prospecting
 (Electrode spacing 0.9m)

化が認められない。しかし、Bの位置での異常については、比抵抗値においても局所的に高い部分と低い部分のペアをつくり、磁気探査の結果と似たパターンを呈している。電極間隔を0.3mとした第4図も同様な傾向を示している。このことから、磁力探査によって認められた2カ所の異常は、電気的には性質の異なるものであり、磁力計では識別のできないものでも電気探査によって識別できる可能性を示唆している。また、第3図、第4図で、右上に向かって比抵抗が高くなっており、図の中央から左側と右側では土質が異なっていると考えられる。

第5図には、EM探査による垂直モードの結果を示す。Aの異常はやはりみられないが、Bの位置

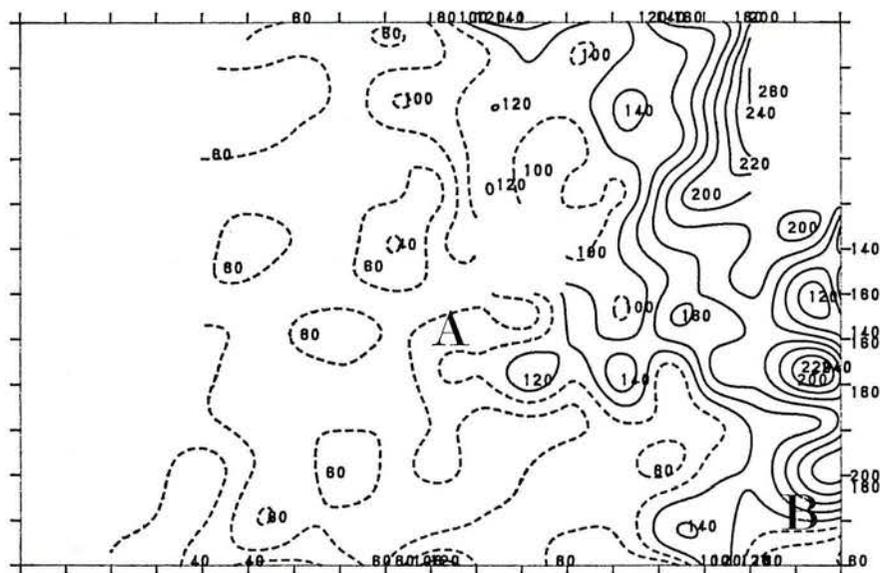


図4. 電気探査による等見掛比抵抗線図 (電極間隔 0.3m) unit Ωm

Fig. 4. Equi-apparent resistivity map using electrical prospecting (Electrode spacing 0.3m)

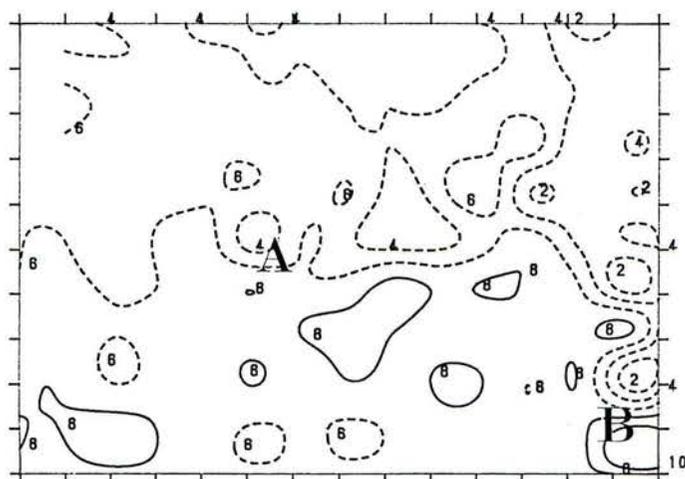


図5. 電磁誘導法による見掛導電率等高線図 (垂直モード)
unit millimho/m

Fig. 5. Equi-apparent conductivity map using electromagnetic induction method (vertical mode)

には電気探査と同様なパターンがみられる。しかも、見掛導電率は上側が低く、下側が高くなっており、電気探査の結果と定性的に一致する。一方、水平モードによる結果は、第6図に示すように、Bの位置には垂直モードや電気探査にみられたパターンが認められない。異常を担う媒体が1 m以上深いところに位置しているものと考えられる。Aの位置の見掛導電率は局所的に高くなっているように見えるが、Aから右側で得られた測定値と大きな差はない。

最後に地中レーダーによる結果を示す。測線を第7図に、また各測線についての測定結果を第8～10図に示す。図は、測線を横軸にとり、反射波の到達時間を縦軸にとってある。今回の実験では、残念ながら、Bの上を通過する測線を設定しなかったため、他の探査法には現われている異常をレーダーの結果と比較することはできなかった。ただ、第8図から第10図までの右側の部分で、岩盤が盛り上がっているように見える。これは第3図、第4図で右上にあらわれている高比抵抗域と一致する。Bの異常はこの区域の終端に位置しているため、岩盤による影響と考えることもできる。Aについては第9図の測線が近くを通っている。しかし、はっきりと窯跡であると認識されるような変化は第9図からは認められない。

4. まとめ

各測定法による結果の比較を通して次のような事が明らかになった。まず、磁気探査により強い磁気異常を示す場所が2カ所あるが、電気探査、及びEM探査によると、図中のBの位置では異常を示すもののAの位置では顕著な異常を認められず、構造上異なるものである可能性を示唆している。

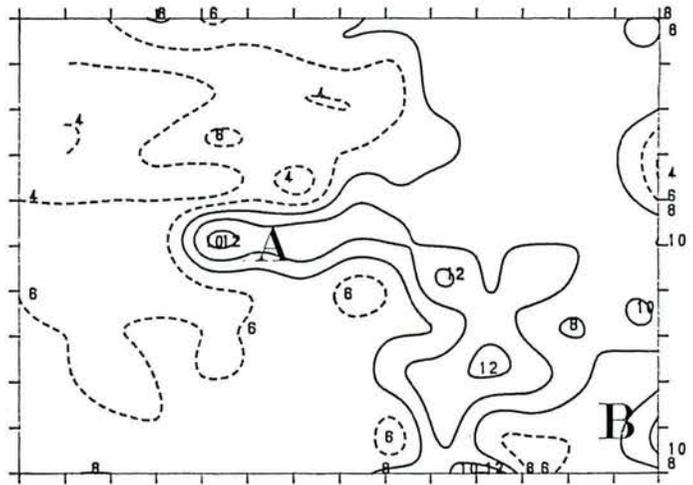


図6. 電磁誘導法による見掛導電率等高線図 (水平モード)
unit millimho/m

Fig. 6. Equi-apparent conductivity map using electromagnetic induction method (horizontal mode)

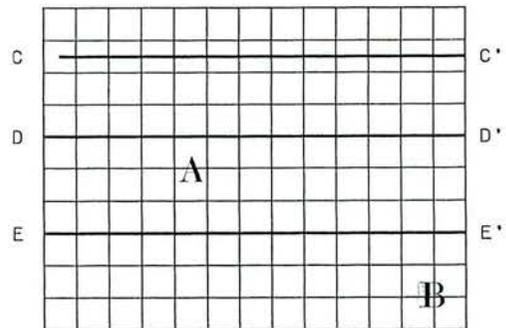


図7. 地中レーダー探査の測線図

Fig. 7. Survey lines of underground radar survey

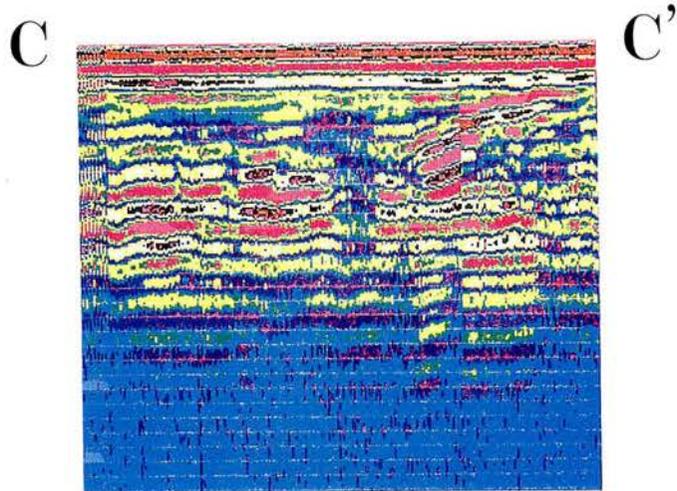


図 8

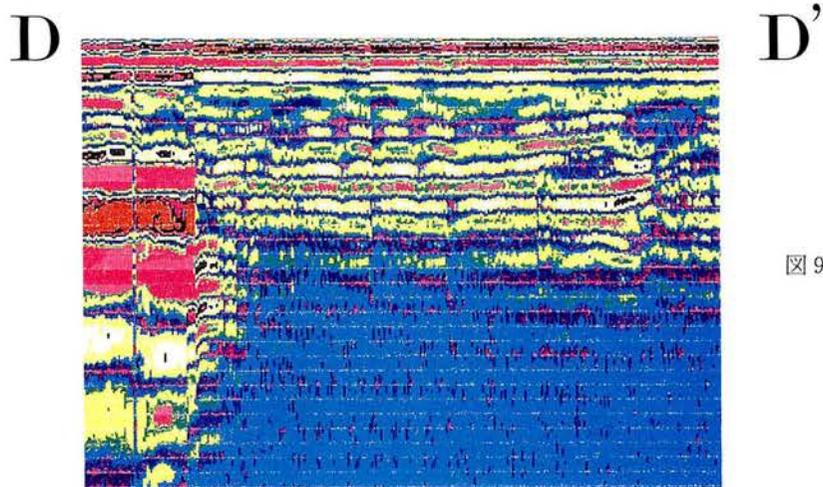


図 9

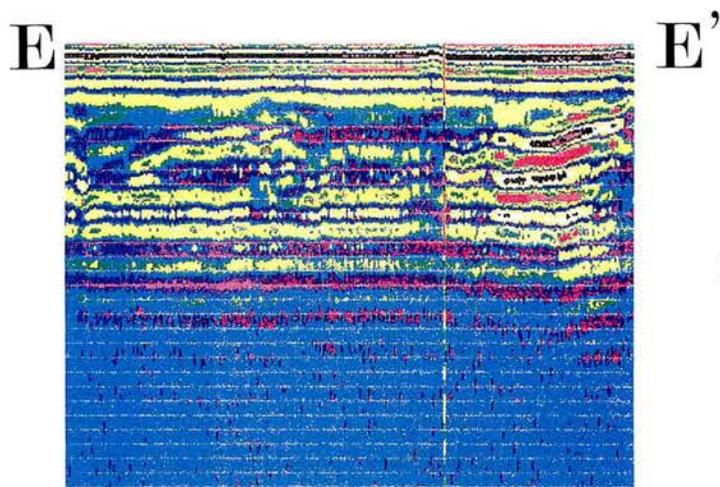


図 10

図 8-10. 地中レーダーによるプロファイル測定記録
Figs. 8-10. Records of profile measurement using underground radar

さらに地中レーダーの結果を考慮すると、Bは岩盤による影響と言うことも考えられる。

原稿執筆中の現時点ではまだ発掘の途中のため、探査結果と発掘結果を詳しく比較検討することはできないが、A地点では比較的浅いところで窯が発見されたものの、B地点では窯は発見されなかったという情報が入っている。

最初に述べたように、今回の検討では窯跡を主たる対象に選んだ。検討対象とした方法のうち、磁気探査が現状では熱残留磁化を持つ遺構のみにしか有効でないことから選択したものである。しかしこれは、結果的にみれば、電気探査やレーダー探査の有効性を点検する上では良好な対象とはいえ、細部にわたる検討の際には、不十分な情報しか扱うことができなかった。次回の実験では、磁気探査にこだわることなく、住居跡などにおいて、各種方法を採用する必要があると考えている。

この研究は、昭和63年度文部省科学研究費補助金総合研究(A)「考古学調査における物理探査技術の改良と評価」(代表：道家達将)による。

参 考 文 献

- 岩本圭輔(1974) 窯跡の磁気探査 考古学と自然科学 第7号:31-41.
田中琢・西村康・岩本圭輔(1978) 遺跡の磁気探査 考古学と自然科学 第11号:85-94.
利岡徹馬(1987) 青銅器探査—電磁法による詳細調査— 荒神谷遺跡発掘調査概報(3).
鳥居雅之・尾谷雅彦・中村浩(1974) 遺跡の磁気探査 考古学と自然科学 第7号:43-57.
McNEILL, J.D. (1980) Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical note TN-6, Geonics Ltd.

Reexamination of Prospecting Method in Archaeological Site

Takashi HAMAJIMA¹⁾, Yasushi NISHIMURA²⁾,
and Wataru KAWANOBE³⁾

- 1) Tokyo Institute of Technology, Oookayama, Meguro-ku, Tokyo 152, Japan
- 2) Nara National Cultural Properties Research Institute, Nijo-cho, Nara 630, Japan
- 3) Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, Uenokoen Taitou-ku, Tokyo 110, Japan

Several prospecting methods, such as geomagnetic measurement, resistivity, electromagnetic induction, current sonic prospecting, prospecting using underground radar stsyem, have been applied to archaeological surveys. However, these methods do not always effectively detect the location of archaeological remains.

In order to confirm the effectiveness and limitation of each method, we applied all of them except for current sonic prospecting to the kiln at Ooto in Aizuwakamatu city. The result obtained from geomagnetic measurement shows that there are magnetic anomalies in two locations. The geomagnetic survey results suggest that there are possibly two kilns. However, the resistivity results suggest that the one anomaly is a natural feature. The underground radar suggests that this anomaly in the resistivity corresponds with interface between the natural soil layers. Consequently, geomagnetic measurement is the only effective method for prospecting the kiln.