

遺 跡 の 磁 気 探 査

— 須恵器古窯跡に於ける一例 —

大阪大学基礎工学部 鳥 居 雅 之
泉北丘陵遺跡調査員 尾 谷 雅 彦
大阪府教育委員会 中 村 浩

1. 緒 言

地中に埋蔵されている考古学上、貴重な遺構、遺物の位置や形態を、本格的な発掘調査以前に正確に知ることが出来ればというのは、おそらく多くの考古学研究者の希望するところであろう。

この目的実現の為、考古学者、自然科学者は協力して、電気探査、磁気探査等による、所謂遠隔的な遺跡探査法の開発を進めてきた。就中、プロトン磁力計を用いた磁気探査は、他の方法に比較して、その正確さと、実行の簡便さの故に、1950年代欧米に於て始められて以来、着実に実績を重ねて来ている。¹⁾

一方、我国では、プロトン磁力計を用いた地磁気観測や、磁気探査は、地球科学の諸分野で盛んに行なわれているにもかかわらず、考古学の分野では、殆んど行なわれていないといって過言ではない。³⁾

筆者等は、昨年大阪府教育委員会によってプロトン磁力計が入手されて以来、考古学上の埋蔵物に対して、これを用いる機会を得、試行錯誤しながらではあるが、何回かの探査を実施して来た。本稿では、それらの中で典型的な一例を報告し、今後の一資料としたいと思う。

2. プロトン磁力計による磁気探査

埋蔵遺跡を磁氣的に探査するという事は、それらに由来している地磁気異常を検出する事によって可能となる。

この為には、ある範囲にわたって地磁気観測を行う事が必要である。その方法としては、地球磁場の強度(全磁力)そのものを観測するか、あるいは地球磁場の勾配を観測するか等がある。

プロトン磁力計は、全磁力を、陽子の自由歳差運動の周期が、外部磁場に正確に比例するという性質を用いて計測するものであり、前者の方法に属する。なお、プロトン磁力計そのものについては、詳しい記述が他にあるので、本稿では省略に従いたい。^{1,2)} 一方、プロトン磁力計の利点は、扱いが簡単で、その為の習熟を要さず、計測も迅速に行なえ、他のフラックスゲート型や、GSI型

等の如く、水平を出したり、わずらわしい補正を施さずに、全磁力の絶対値を直読出来る事である。短所としては、原理的に完全な連続観測が出来ない事や、精度が目下のところ 17 (全磁力は数万 γ) 程度である点が挙げられるが、いずれも考古学上の使用には、とくに問題になるとは考え難い。

既述の如く、プロトン磁力計は、全磁力を計測する装置であり、これによる埋蔵遺跡等の探査は、地中の物に起因した何らかの局所的な全磁力の異常を検出する事である。全磁力の局所的な異常をもたらす物体としては、大は火山等から、小は釘に至るまでであるが、考古学上の対象は、いずれも小さい方である。

また、考古学上の遺跡、遺物のすべてが局所的異常をもたらす訳ではなく、窯跡等の如く熱残留磁化を有するもの、あるいは鉄器等の、それ自体が強い磁氣的性質を示すもの、さらに後述する溝等の凹地形などが異常の原因となる。窯跡、炉跡等の熱残留磁化は、それらを構成している土、石の中に含まれる若干の強磁性鉱物が、地球磁場の影響下に、数百度を越えて加熱、冷却された時に獲得されるものであり、冷却当時の地球磁場の方向を向いた、強く安定な残留磁化である。⁴⁾ これは一般に周囲の地層に対して、数百ないし千倍以上の大きな磁化を示し、さらに須恵器窯跡の場合、その磁化方向が現在の地球磁場とほぼ平行な為、正の強い磁気異常を生じ、磁気探査の良い対象となる。一方、地中に埋蔵されている溝、柱穴、あるいは壁等の地形的な凹(凸)地は、それを充填している埋土が、周囲の地層に対して異った磁化を有する時に磁気異常を示すことになる。この場合多くは、含まれている腐蝕質の作用による化学残留磁化が寄与している様である。⁵⁾ しかし窯跡による異常が 100 γ 前後であるのに対して、溝等によるものは約 1 桁小さく、さほど顕著ではない為、検出は容易でない事が多い。同時に、磁気探査による予備調査の成否が、この様な調査対象の場合、発掘調査の作業能率に大きな影響を与え、あるいは遺跡保存に対しても有効な方法となる事が予想される。

3. 雑音について

磁気探査の大きな弱点は、地磁気の短周期の変動や、磁氣的な雑音によって強い影響を被る点である。仮りに遺構が十分検出可能なだけ磁化していても、変動や雑音が大きい時は、磁気異常の値が覆われてしまい、有意な異常として検出出来なくなってしまう。

従って、実際の探査上の問題として、これらの雑音の扱いが非常に重要になってくる。

地磁気そのものの短周期の変動の中、影響が大きいと考えられるものは、地磁気日変化(Sq)と磁気嵐である。Sq は、日本の如く中緯度地域では、昼間全磁力で 20 γ 程度の減少を見るが、これは測定値の補正を注意深く行なうか、あるいは、探査を夜間に行なえば、一応影響を抑えることが出来る。今回の探査地点で 9 時より 15 時までの連続観測を行なったところ図示した如くで、最大

変化幅約40rで、予想より大きな値となった。(第6図)

磁気嵐の方は、変化が大きく急であるので、探査を中断するしか対策はないだろう。ただし磁気嵐は、頻繁に発生するものではない事はいうまでもない。

一方、磁氣的雑音の方は、程度は様々であり、雑音源との距離が近い時には探査が著しく妨害される。高圧送電線、人家、鉄橋などの建築物、火山岩類等は、それらを除去出来ない限り、近くでの探査は困難である。また、電車、自動車等の発生させる雑音も耐え難いものではあるが、それらに対しては、深夜に探査を行なう事によって影響を避ける事が出来ると考えられる。

参考までに自動車による雑音の例を示す。⁶⁾ これは頻繁に車が往来する道路の横で、センサーと道路の距離を変えながら、夫々約400秒間プロトン磁力計によって観測し、その値の標準偏差を求めたものである。これによると、道路とセンサーの距離が40mの時、標準偏差は6.6r、30mの時6.9r、10mの時9.1r、2mの時91.8rであった。

従って、この結果の示すところは、道路から40m離れても、10r程度の異常値を有意とみるのは、やや困難であるという事であり、また自動車の顕著な影響が出てくるのは10m程度からである。

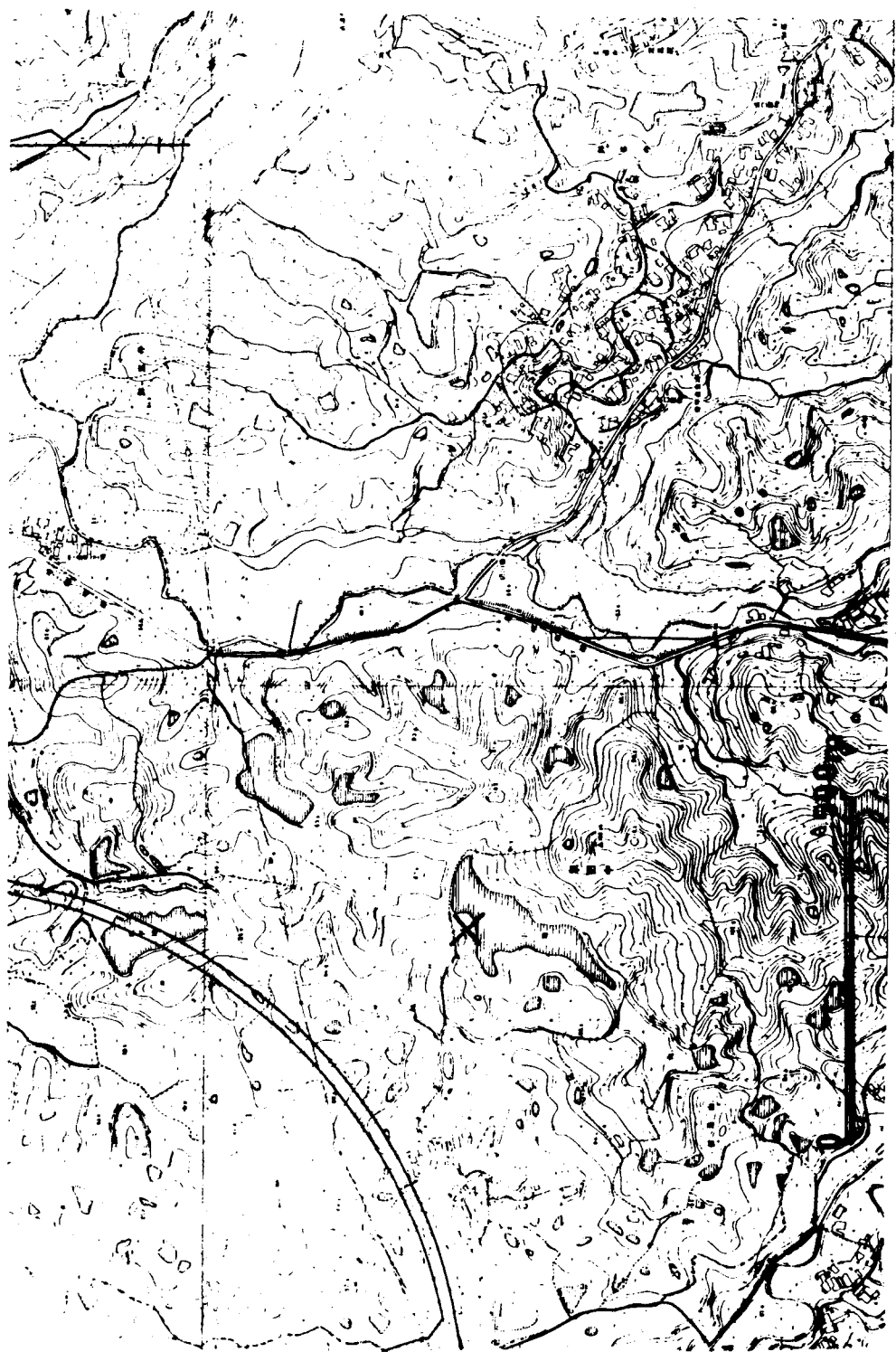
その他、注意しなければならないのは、探査地域内にある様々な金属製品である。これらを事前に排除する必要があるのは言を俟たない。いずれにしても、我国の現状では、考古学上の探査地域が、上記の雑音源から隔絶されて存在する事は、むしろ期待し難い。従って、探査方法なり、磁力計の改良なりを行なう事によって、雑音を克服する事が、磁気探査の今後にとって一つの試金石となるだろう。

4. TG-217号窯に於ける探査例

今回、泉北地域(堺市)の樽丘陵にあるTG217と呼称する須恵器古窯跡(東経135°30'22", 北緯34°27'46")で探査を実施した。これは昨年行なった堺市長峯丘陵での磁気探査⁷⁾に先だって、すでに実施したものであるが、今回発掘調査が行なわれる事になったのを機会に、改めて精査したものである。

この窯は、事前の踏査では赤やけの一部が確認されていたが、その焼けが窯となるか否かについては不明であった。地形的には、なだらかな斜面で、探査の妨害となる雑音源からは、夫々直線距離で、電車軌道より2.5km、自動車道路0.5km、高圧線0.3km、人家0.3kmと一応離れている。これは現在まで行なった探査の中で、最も条件の良い地点の1つである。(第1図)

使用したプロトン磁力計は、測機舎製PPM-739Aで、半導体化された携帯型である。センサーは、90φ×120mmで1.8kg、増幅器は140×230×270mmで4.2kg、電源は140×250×185mmで6.5kgで総重量12.5kgである。(写真1)



第1図 樽丘陵南部地域の地形図（×は調査地点）

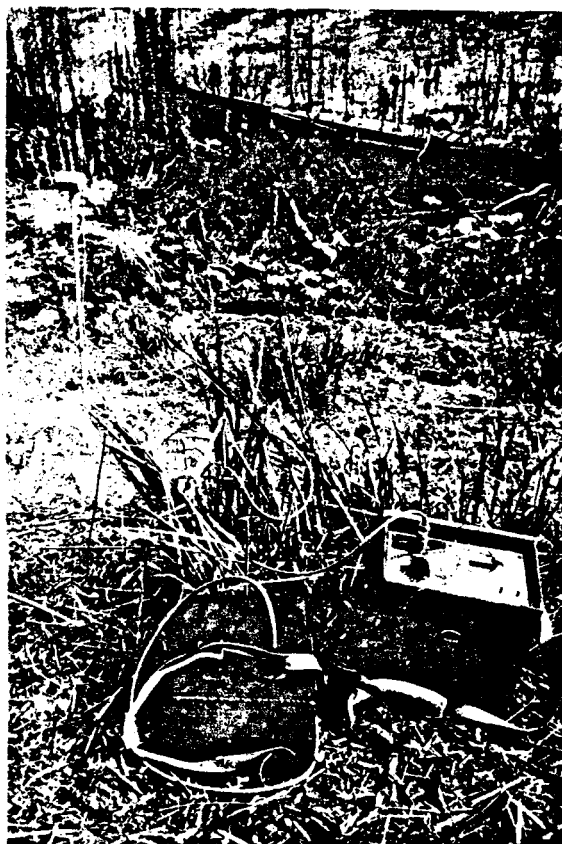


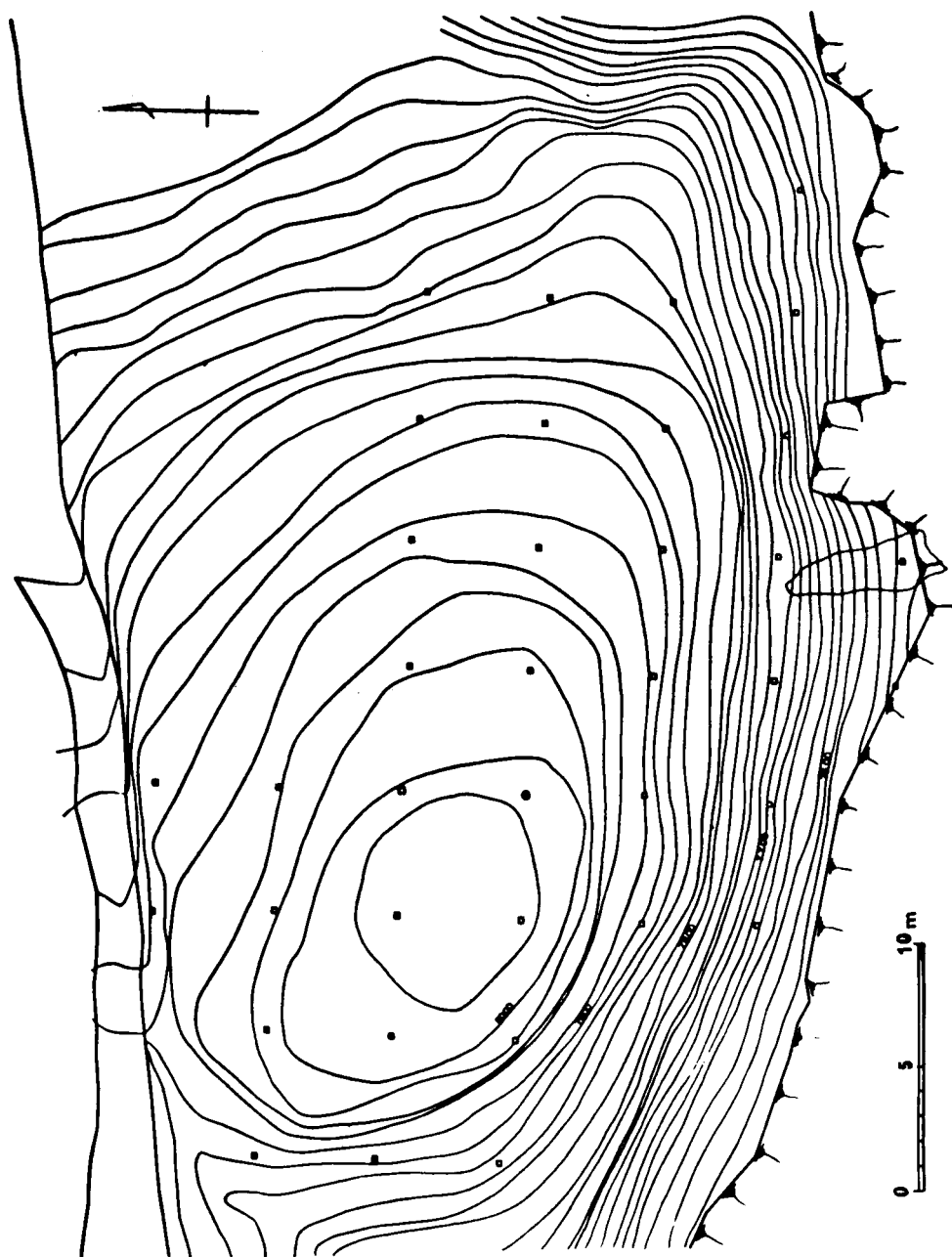
写真1 プロトン磁力計

センサーの地表よりの高さは、200、130、60 cm の三段階に調節可能であり、50 m の同軸ケーブルを使用する事が出来る。測定精度は $\pm 1\gamma$ で、10 秒に1 回、全磁力の絶対値を自動的に直読することが可能である。

探査の手順は、まず探査範囲を決めた後、藪刈を行ない、次に地形測量を行なって地形図（1：100）を作製するとともに、5 m 間隔（水平距離）のグリッドを設定し、それぞれ明示杭を配した。（第2図）地形測量は、観測と、その後の整理に正確を期す為には、出来るだけ実施した方が望ましいであろう。

観測は、基準点を決め、次に非磁性のスケールに従って、1 m の方眼を設定し、東西および南北方向の測線毎に行なった。とくに今回は慎重を期して、同一測点で何回か観測し、異常の大きい範囲については、50 cm の間隔で行なった。

なお、センサーの地表よりの距離は、130 cm で固定したが、これが最適であったかどうかは若干問題が残っている。一つの測点では100～150 秒間観測を行ない、平均値と標準偏差を求め、一つ



第2図 探査地点地形測量図

の測線での観測の前後に基準点で150～200秒間の観測を行なった。すなわち、この前後の基準点での観測の間、地磁気の変化は直線的であったと仮定して、各測点での観測値より比例配分して引いて異常値とした。標準偏差は、2～10 γ であり、殆んどは5 γ 以下である。従って、10 γ 程度以上の異常に対しては、十分有意であると判断出来る。

観測には、延べ8時間余りを費したが、これは将来的には、大幅に短縮することが可能であると考えている。

以上の結果は、各測線については第3図、それらをまとめて異常値のコンターマップにしたものは第4図に夫々示してある。磁気異常の最大値は50 γ 程度であり、決して大きいものではない。

負の異常値は、せいぜい10 γ 程度であり、そのパターンも不規則で、窯体との関係は明らかではない。しかし、第4図のコンターマップから判断して、西へ20～30°傾いた軸を有する、あまり大きくない窯体が存在すると考えられる。

探査終了後、ただちに発掘調査を開始し、第5図、写真2に示される如くの、比較的小さな須恵器窯が確認された。両者の結果を比較するならば、窯体の実質上の中央部は磁気異常の山より北へ1mのところにあり、その軸は西へ20°傾いている。地表より窯跡床面までの距離は1.2mである。埋蔵されていた還元焼成された床、壁は、他のものに比較して少ない方であった。これらの結果は今回実施した磁気探査の結果と、よく一致するものと考えて大過ないだろう。

発掘調査作業の完了後、窯体床面より13ヶの定方位試料を得て、自然残留磁化の測定を行なつたところ、平均の磁化は 1.0×10^{-3} cgsemu/gr, 偏角10°W, 伏角60°であった。(磁北に対して)

残留磁化の強度及び方向と、磁気異常の形との正確な相関関係は、窯体が不規則な形を呈している為に求めるのは困難であり、現在のところ詳しい検討を行なうには至っていない。

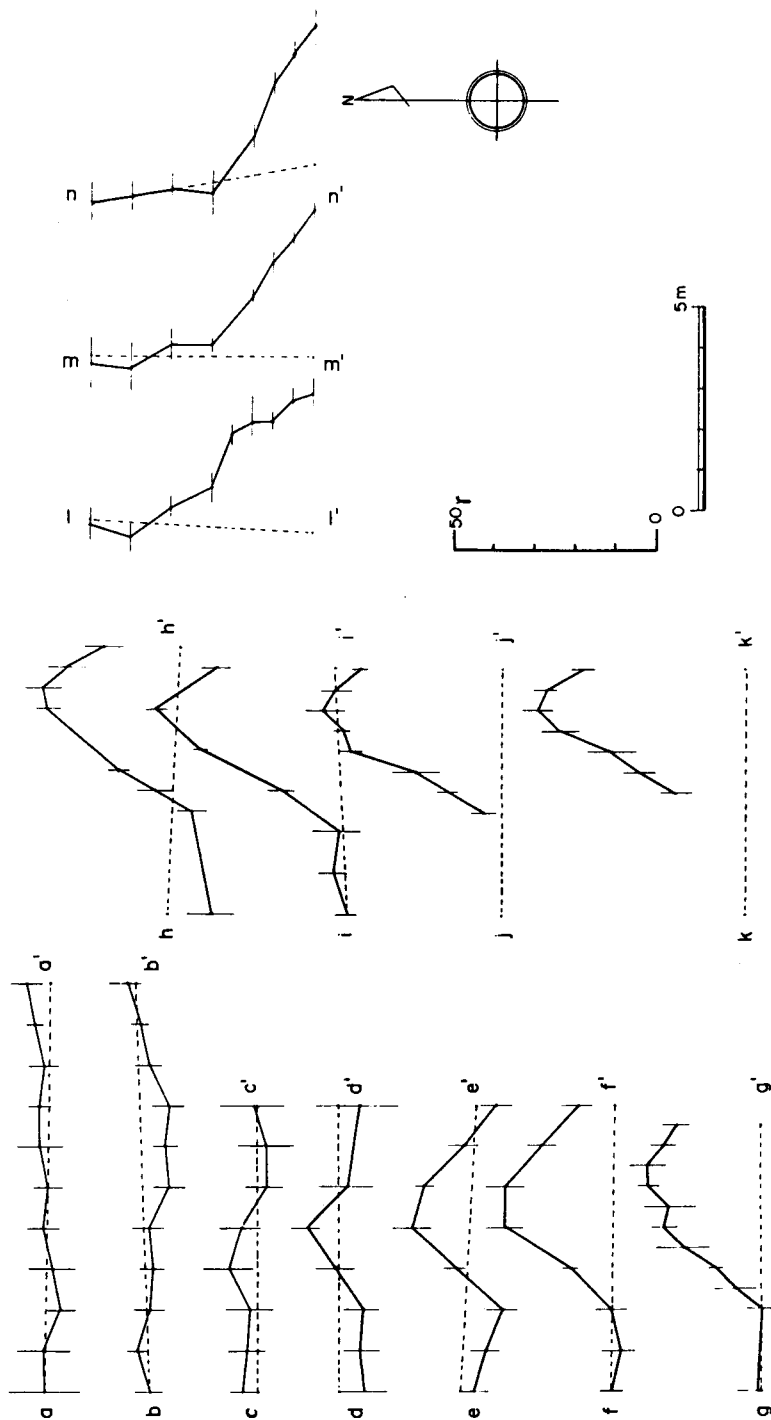
5. おわりに

今回の探査は、地中の須恵器古窯跡による地磁気異常のパターンと、実際に発掘された窯体の位置や形態等との関係を正確に把握することを主眼として行なったものであり、これらの点に関しては、一応、満足すべき結果が得られたと考えられる。

しかし、探査方法の多くの部分については、いまだに暗中模索の段階のものが多い。

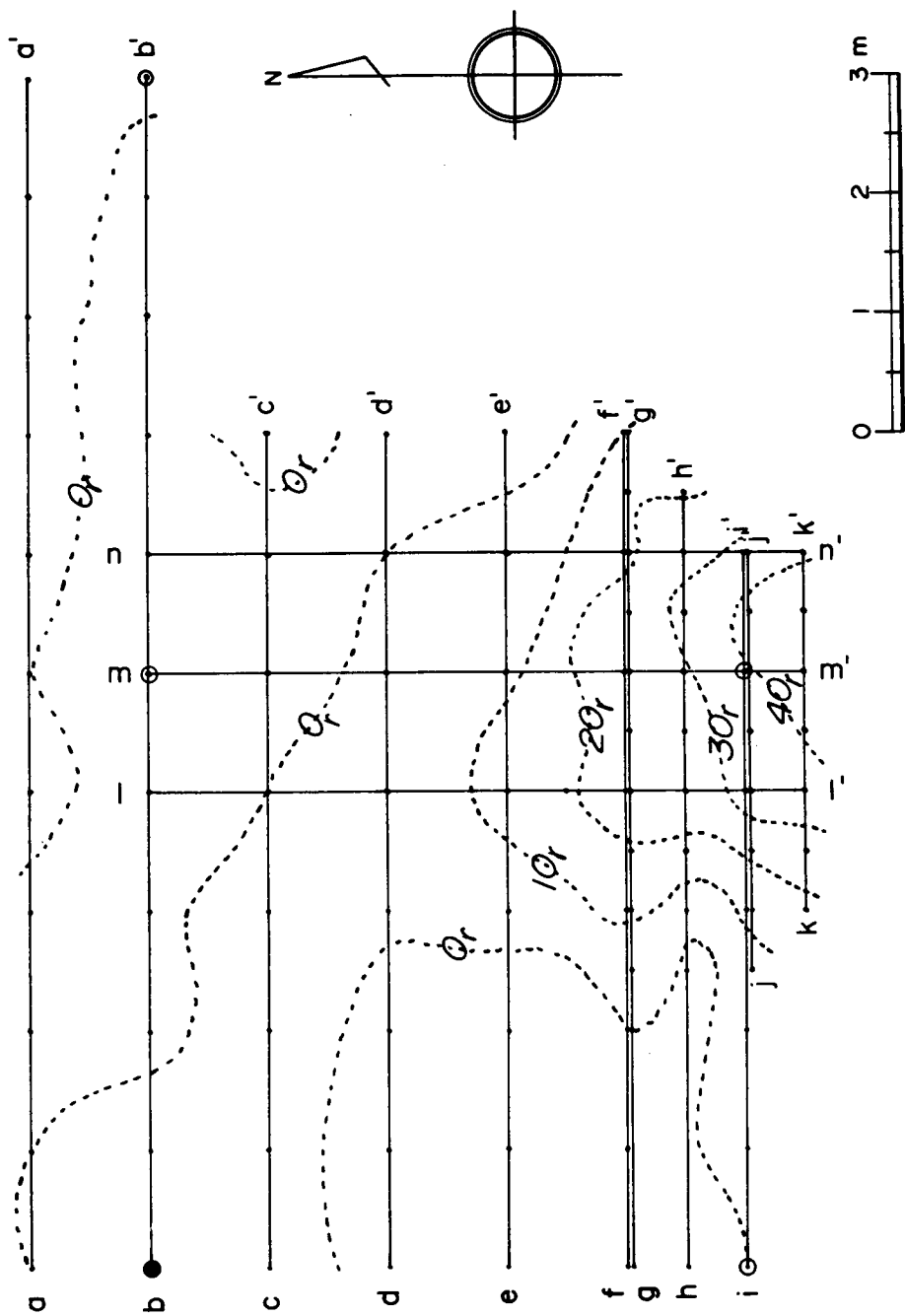
まず問題となる点としては、測点の広がり、密度の問題であり、如何なる設定が、正確で、かつ経済的な探査にとって最適かという事は、まだ十分に捉えたとは言えない。同時に、センサーの地表よりの高さの選択も重要な問題であるが、今回は時間の関係から、検討する余裕が十分ではなかった。

しかし、最大の問題は、3で述べた短周期の地磁気変動と、雑音を如何に排除するかという点で

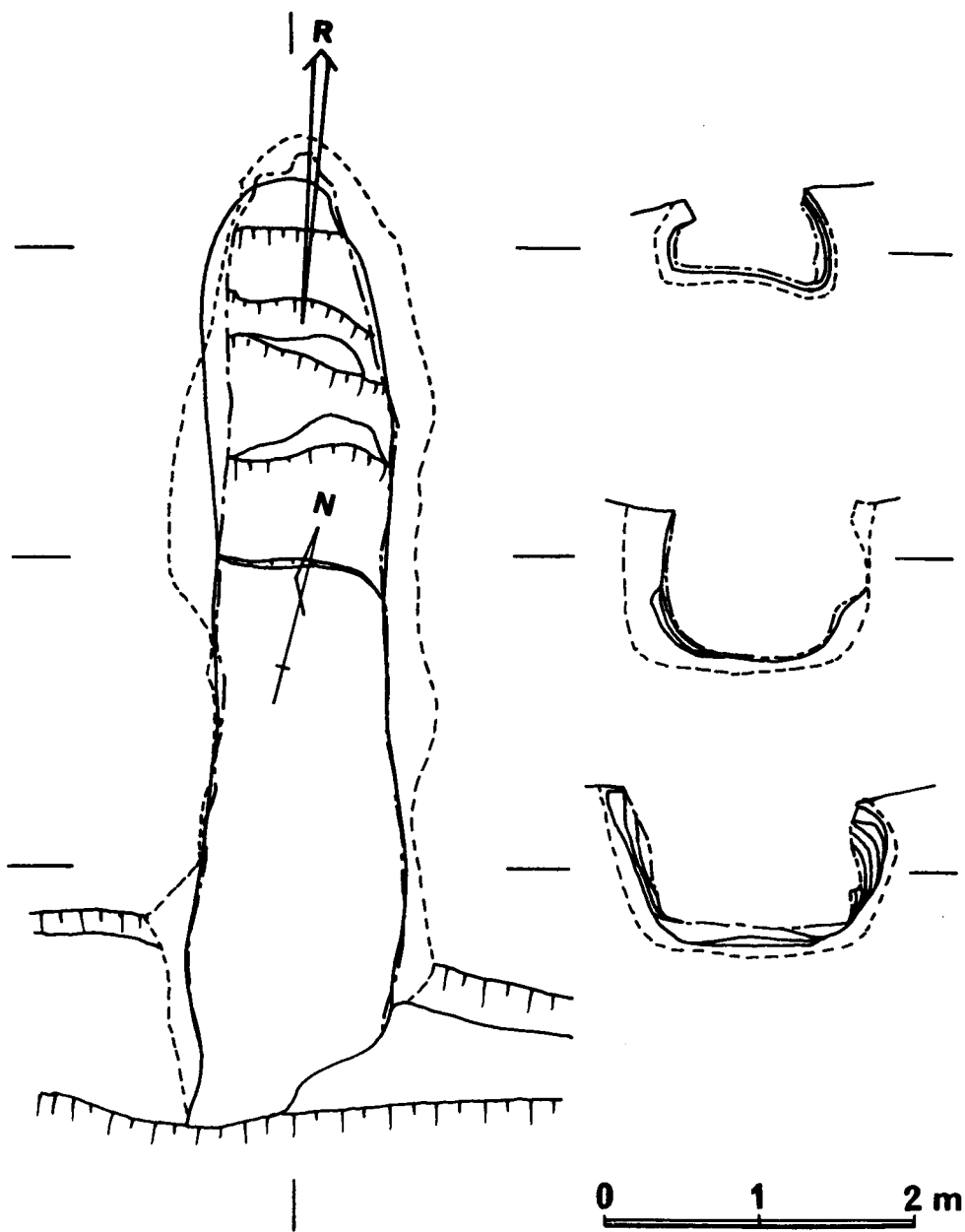


第3図 各測線毎の磁気異常

a-a'からk-k'までは東西方向, l-l'からは南北方向
破線は計測前後の基準点の値を結んだものであり, これによって異常値を求めている
各測点毎の垂直な細線は標準偏差の2倍の値を示している。



第4図 磁気異常のコンターマップ
a-a'等の実線は夫々第3図の測線と対応している。●は基準点、○は方眼の標識を示す。



第 5 図 TG 217 窯体実験図

破線は赤やけ部分，点鎖線は青灰色環元部，実線は基底部を各々示す。
Rは残留磁化の水平面内での磁比に対する方向を示す。

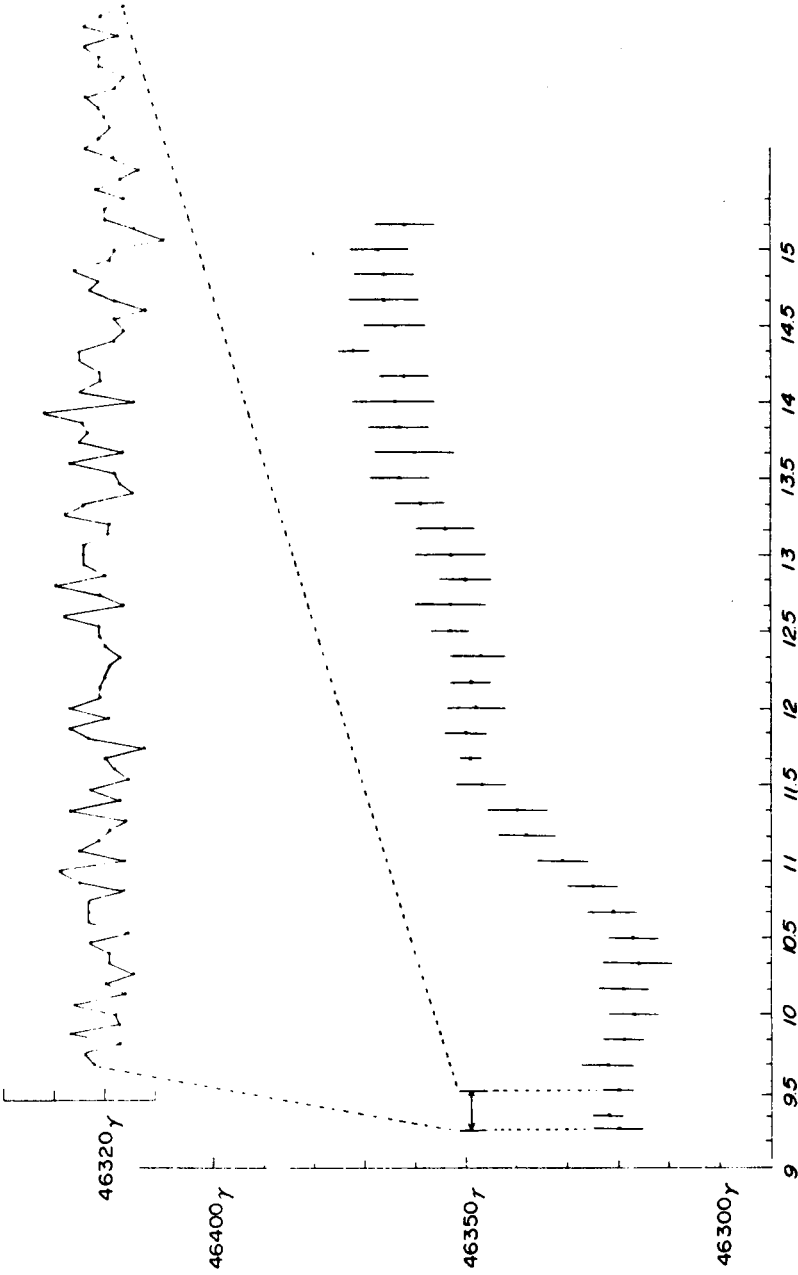


写真 2 a 表土除去後（中央に黒くみえるのが露跡）



写真 2 b 窯体全景（杭は 5 m 方眼の基準杭）

あろう。短周期の地磁気変動に関しては、今回は既述の如く、一つの測線に沿っての探査の前後に基準点で観測して、補正値を求めるという方式で排除に努めたが、これは、その間の変動があくまでも直線的であるという仮定の上に成り立っているものであって、実際には、その保障の限りではない。(第6図)



第6図 探査地点での地磁気日変化(9時～15時)と雑音の一例
横軸は時刻、縦軸は全磁力を示す。10分毎に100秒間計測し、その平地値を点、標準偏差の2倍の幅を縦の細線で夫々示している。図の上部は9時15分から約1000秒間の連続計測の結果を直接示している。

また雑音に関しては、地の利と、一つの測点での計測値を15ヶ前後得ることにより、分散の大きい時は排除するという方法しか採れなかった。

それでも平均5 τ 前後の標準偏差がある為、窯跡以外の微妙な異常の検出は、おそらくは困難であろう。

事実一部の測線にみられる小さなピークの意味づけは、現段階では不可能である。

この様な点を解決する為の一つの方法として、今回、地磁気の垂直成分の差分のみを測る目的で、携帯型のフラックスゲート磁力計の併用を試みたが、残念ながら、感度不良（最小読値10 τ ）のため満足ゆく結果は得られなかった。

フラックスゲート磁力計の使用は、今後検討の必要性は、かなり大きいと思われるが、1 τ 程度の感度を得ようとすれば、機体の水平を出す点等で、何処まで実用的になるか不明である。

従って、最も望ましい解決方法は、差動型のプロトン磁力計を開発することであろう。⁸⁾しかし、これは、直ちに実現するという事は不可能である為、当面考えられる方法として、二台のプロトン磁力計を併用して、一台は常に基準点に固定して変動や雑音の監視用にするか、あるいは、センサーのみ二ヶ揃えて、簡単に切り替えられる様にする事によって、交互に基準点と測点との値を読み、差を求める様にするかである。

いずれも、アナログ型のプリンターを活用すれば、より能率的であろう。

また、二台の磁力計を用いる方法は魅力的ではあるが、相互間の干渉が起こるおそれもあり、加えて、費用の点でも問題があるので、今後センサー2ヶ用いる方法を試みたいと目下計画している。

末筆ではあるが、本探査に際して、泉北丘陵遺跡調査の調査員、補助員諸氏、および大阪大学基礎工学部岩石磁気研究室の諸氏には多大なご助力をいただいた事を記して謝意を表したいと思う。

補 註

- 1) M. J. Aitken : Physics and Archaeology, Interscience Publisher Inc., New York (1961).

(邦訳: 浜田達二, (1965), みすず書房)

- 2) 力武常次: 地球電磁気学, 岩波書店, (1972)
- 3) 帝塚山大学考古学研究室で最も早く採用されたが詳しい内容については不明である。最近, 国立奈良文化財研究所でも入手されたと聞く。
- 4) T. Nagata : Rockmagnetism, Maruzen, Tokyo (1961).
- 5) G. Haigh : The Process of Magnetization by Chemical Change, Phil. Mag.,

3, 267 (1958).

- 6) 大阪府南河内郡美原町平尾所在平尾遺跡で実施した。道路は国道309号線(通称富田林街道)で当該地域では最も交通量の多い地点である。
- 7) 中村 浩, 近藤利由, 鳥居雅之他: 長峯丘陵遺跡分布調査概要, 大阪府教育委員会, (1974)
- 8) J. D. Mudie: A Digital Differential Proton Magnetometer, *Archaeometry*, 5, 135, (1962).

