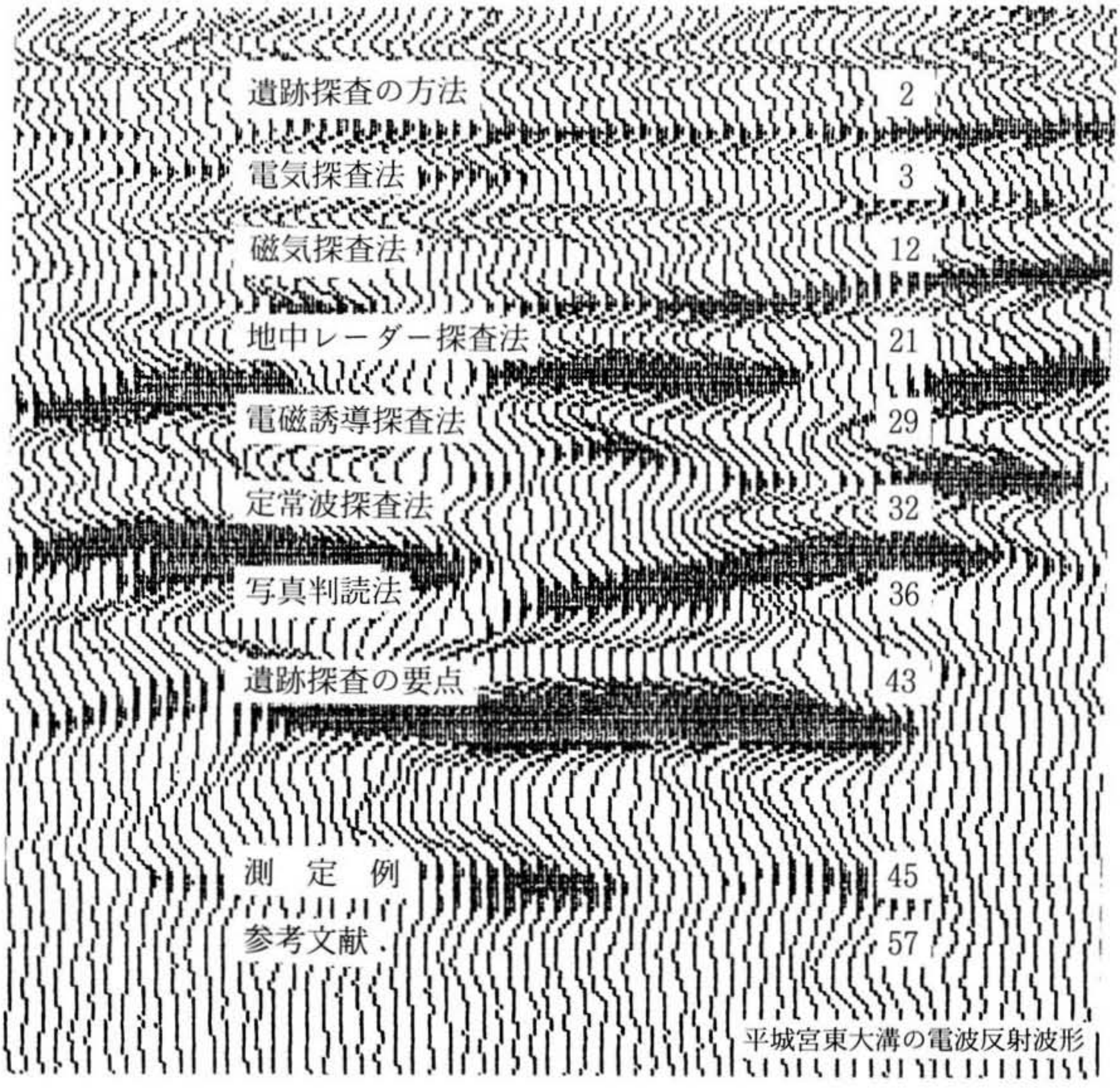
埋蔵文化財ニュース

ISSN 0389-3731
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
☎ 0742 − 34 − 3931

1991. 3. 27　71

CAO NEWS　Centre for Archaeological Operations

遺跡の探査法



遺跡探査の方法　2
電気探査法　3
磁気探査法　12
地中レーダー探査法　21
電磁誘導探査法　29
定常波探査法　32
写真判読法　36
遺跡探査の要点　43
測　定　例　45
参考文献　57

平城宮東大溝の電波反射波形

遺跡探査の方法

地下に埋没している遺構は、周囲と比較すると何等かの形で、物理化学的に異なる部分として存在している。発掘調査では人間がこの差異を肉眼で識別することにより、遺構を検出する。遺跡探査では各種の物理機器を応用して、地下遺構や遺物が示す他と違う性質を、地上から推定しようとする。地上からおこなう遺跡探査では、調査者自身の目と手で、遺構や遺物を確認できる発掘調査と比較すれば、それらを認定するための情報量は少なく、不確かな部分が多いことを知っておく必要がある。探査の結果をもって、発掘調査の代替とすることなどは、とうてい不可能なのである。

それから、探査で得られる成果は、地下における土の物理化学的に異なる部分、すなわち一定の広がりをもった土の規模や形態あるいはそれの位置の限定であり、ときには「異物」の存在する可能性の指摘である。探査は遺構・遺物の種類や性格までは教えてくれない。したがって、探査結果の判定や活用については、遺跡調査をするもの自身の判断に任される部分が大きい。それにはまず、われわれが探査方法についての、基礎的知識を持つことが要求される。

そして、遺跡調査をおこなうもの自らが、探査に携わる努力をすることも必要である。調査者自身が探査をなす場合には、遺跡についての予備知識が当然あるはずであり、探査結果の解析にはそれを十分に活かせ、結果の解釈を深めることができるからである。たとえ探査を外部に委託する場合でも、測定とその結果の解析にはできる限り参加して、考古学の側からの個々の遺跡に対する理解を活用すべきである。その点では、事前の現地形の観察や遺物の分布状況の把握など、遺跡の現状認識は最低要求される事柄である。

現在では考古学的目的にかなった各種の探査方法が試みられ、実績も増加してきている。また、考古学専用の装置も開発されている。適切な探査方法と応用手法を選べば、遺跡認識に必要な情報が得られるのも、確かな段階にあるといえる。

ところがわが国の場合には、土壌条件を含めた自然環境が諸外国に比べると複雑であり、探査条件としては悪い。それだけに、探査を目的とする対象の種類やそれのおかれている環境を、十分に見極めた上で、探査をおこなうことが要求される。後に述べるように、周囲の環境によっては、適用できない探査方法もある。また、探査を目的とする対象に対して、適切でない方法を選んだ場合には、当然ながら有効な成果はえられない。

ここで紹介するのは、現在、実用化されている探査法である。それぞれの方法には特徴があり、限界もあるところから、今のところでは探査する対象の種類によって方法を選択している。あらゆる探査対象に対して有効な、万能探査方法はまだ無いといえる。そこで探査に際しては、複数の方法を採用することが要求される。原理の異なる方法によって、同じ様な結果がえられたときには、探査の成果としては、より信頼度の高いものといえるからである。

電気探査法

電気探査では地中へ電流を流すことにより、遺構が示す他と異なる土質を、電気抵抗の差として判別しようとする。土はその性質や状態、すなわち粒度や密度あるいは含水率によって、また化学的性質によって、電気抵抗が異なるからである。

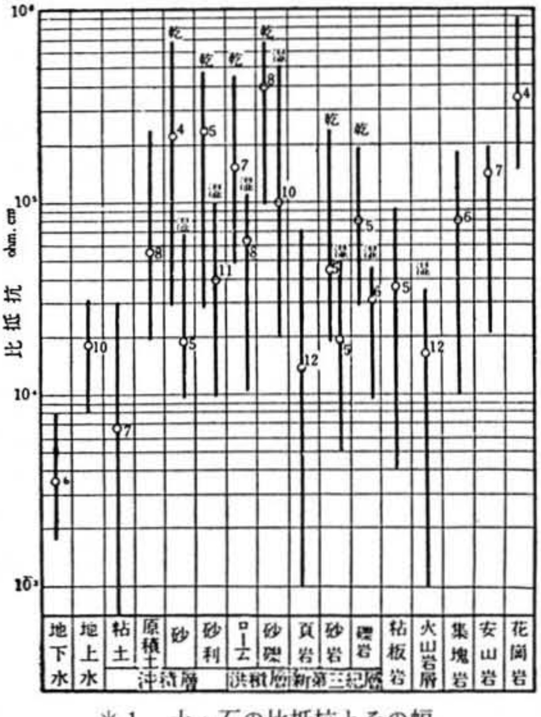
しかし、注意しておかねばならないのは、遺構が示す電気的な差異の度合は、われわれが想像するほど大きくはない点である。たとえば、窯跡は高熱を受けた結果、そこだけは明らかに変色しており、顕著な色調の違いとして、認めることができる。ところがその部分を、電気抵抗で周囲と区別しようとしたとき、露出した窯体上面から測定した場合でも、ごく僅かな差としてしか判別できない。このような困難さは窯体だけではなく、周囲との土質の差が電気的に少なければ、どの様な種類の遺構でも同様であり、これを地表から探る本探査法の困難さが判るであろう。

本測定方法で最も探査困難な対象としては、住居跡があげられる。住居跡の中に充満する土は、普通は、周囲から徐々にもたらされたものが多く、住居の内部と外部との土には、大きな差が現われないからである。もし差があるとしても、土の粒度の僅かな違いや、遺物などの混入物の有無が考えられる程度である。

したがって、僅かな電気的な差としか判別できない遺構を、探査の対象とする場合には、十分な用意が必要となる。後に述べるような電極配列の選択や、測定時の地表面の吟味が重要なのである。特に地表面の状況は、本測定法にあっては注意する必要がある。多量の降雨の後で、地表面が余りにも湿った状態では、良好な測定結果を期待する方がおかしい。遺跡調査のスケジュールから、時間的な余裕が無い場合でも、降雨中の測定などは避けるべきであろう。しかし、余りにも地表面が乾燥していると、電極の接地抵抗が高く、正確な測定ができないこともあり、電極を刺した位置に、注水するなどの対応が必要なこともある。

原理的には如何なる条件下でも、電流は地中へ十分に流れると思われがちであるが、実際には、地表面が湿潤な状態下でなくても、電気的なエネルギーの大部分は、地表面を伝播してしまう。

地表面から電流を流したり電位を測るこの方法では、地下遺構の影響ができるだけ地上へ反映されている状態を捉えて、測定することが望ましい。降雨が何日にもわたって続いた直後や、日照りに見舞われているときには、測定条件としては良くないといえよう。



＊1　土・石の比抵抗とその幅

測定の方法

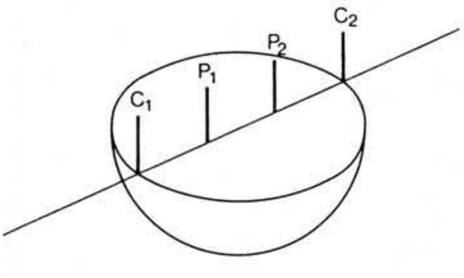
電極配列　電気は導体の中では自由に進めるが、不良導体である土などでは流れにくい。地中へ電流を送り込み、土層の電気抵抗を求めるために、各種の方法が考案されているのは、効率よく電流を流すことと、正確に電位を求めるためである。現在、一般に採用されている方法では、いずれも４本の電極を使用する。４本の内２が電流を流して（C_1、C_2=Current)、他の２で電位を測定するが（P_1、P_2=Potential)、これらの配列の仕方には各種あり、感度の鋭敏なものや鈍いものがある。特殊な測定条件を除いて、考古学探査には適当でないと思われる方法もあり、選択には注意をする必要がある。

地中へ送られた電流は、単純な層すなわち単一の媒体では、理論的に予想されるような形と経路で伝わるが、複数の層位があるところでは歪められる。したがって、ある種の電極配列を選び、一定の電極間隔による測定をおこなっても、実際に測定している深度は知ることができない。常に「見かけの深さ」の情報をえていることになる。また、電流は複数の土層を経由するので、個々の土層個有の抵抗も知ることはできず、「見かけの比抵抗」となる。

地下に複数の土層があり、これらの固有の比抵抗値を知りたいときには、標準・補助曲線を用いて、別途計算することになるが、考古学探査の場合には、このような処理を省略することが多い。それは、この計算法がもともと深い層位の解析を目的としているために、考古学で扱うような浅い部分の計算結果が、労力の大きい割にそれほど正確でないことによる。また、遺跡探査では試掘をして深さ等を確認できるので、目安程度の深さが判っておれば良い、という考え方による。最近では深さを正確に求めることよりも、比抵抗の分布傾向から、遺構の範囲や規模を特定することに、重点をおいた探査の方が増えてきている。

本方法では如何なる配列においても、地面に電圧を加えて、地下に等電位の領域を作る。これは地表面によって分断された、半円球状の領域と考えることができる。複数の層があるときには、これが歪められることは、上に述べた通りであるが、遺構も他と異なる土質部分として存在している訳であるから、そこは何等かの変化した比抵抗分布を示すはずである。電気探査では、実は、この歪められた部分を見いだすことにより、遺構を推定するのである。

なお、電気探査に限らず物理探査の方法は、無限大の平面を仮想して成立しているので、古墳墳丘のような高まりや、一方が崖となるような地形においては、これらの条件が探査結果に影響する可能性を、考慮しておく必要がある。また、電気探査では求まる土質は、電極間の平均であるので、小さな対象を目的とする場合には、電極間隔を狭めたり、移動電極を設置する際の起点間隔を、細かくとるような工夫が必要となる。しかし、あくまで平均であることには変わりなく、深い層位にある小さな対象は、探査できないことに注意しておく必要があろう。



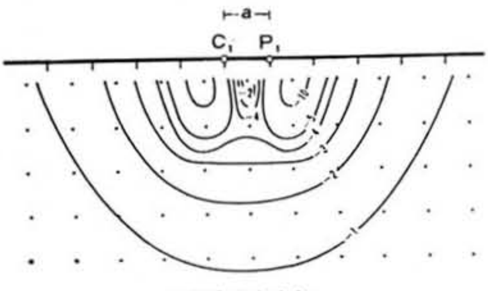
＊２　ウェンナー法の場合の想定等電位領域

2極法（Twin Electrode）　最も単純な方法である。それだけに対象物を捉える際の感度としては、鋭敏さに欠ける側面がある。しかし、測定方法が単純で作業能率がよいので、最近考古学における探査で、採用される機会が増えてきている。

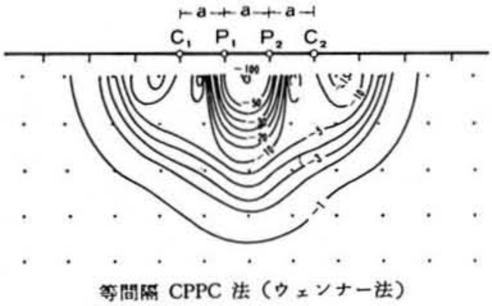
4本の電極の内、電流と電位の各1（C_1、P_1）を、半無限大の遠い位置に固定して、他の2（C_2、P_2）が測定区内を移動して、測点毎に電位を測る。遠電極を設置する位置は、測定区の端から移動電極間隔の30倍以上の距離を隔てれば、良いことになっている。もしこの距離が近い場合には、電流を流して作る等電位面が不均一になり、その結果えられる測定値が不正確になる、という恐れがあるので注意を要する。

本方法では測定しているのは、移動電極の中間位置で、2本の間隔(a)と等しい距離の深さまでの、半円球状の領域の土の状態と、見なされている（＊3上）。えられる見かけの比抵抗値（ρ_a）は、測定値（R）に$2\pi a$を乗じて求める。Rは出力した電流の電圧（V）と電流の強さ（I）を読み取るので、R＝V／Iの計算から求める。しかし、最近の装置ではRを直読できるものが多いので、この計算はする必要がない。

移動させる電極が2本なので、測定作業は速い。特に、後述するように、専用の測定装置を採用した測定では、電気探査では従来見られなかった程の、画期的速度でおこなうことが可能である。やや感度が鈍いという、電極配列の特性を考慮して、対象や測定密度を選べば、応用範囲の広い方法ということができる。しかし、低出力の装置の場合には、比抵抗が低くかつ周囲との電気的な差に乏しい対象には、適当ではないといわれてる。



2極法感度分布



等間隔 CPPC 法（ウェンナー法）感度分布

＊3　2極法とウェンナー法の感度分布

ウェンナー法(Wenner)　4本の電極を等間隔(a)かつ一直線に、C_1、P_1、P_2、C_2 の順で配列する。一般の地盤探査に、最もよく使われる方法で、応用範囲も広い。しかし、4本全てを移動させるので、2極法に比べれば、やや測定に労力を要する。また、探査地によっては、4本の間隔が大きくなり、配列を十分に展開できないことがある。

この方法では、外側の2本（C_1、C_2）が電流を流して、内側の2本（P_1、P_2）で電位を測る。得られる土の性質としては、測定されるの中央に配置した電位電極P_1、P_2 の中間で、電極間隔（a）の 1.2〜1.5 倍程度の深さまでの領域と、考えられている。見かけの比抵抗値（ρ_a）は、2極法と同様に測定値Rに$2\pi a$を乗じて求める。

この方法の特徴は、2極法よりは感度特性としてはやや鋭敏で、高比抵抗と低比抵抗の対象を問わず、応用できる点といえよう。

ダイポール・ダイポール法（Dipole Dipole）　電極をC_1、C_2、P_1、P_2 の順に配列する。C_1、C_2 と P_1、P_2 の間はそれぞれ等距離とするが、これら2対の電極同志の間隔、すなわちC_2 とP_1 の間隔は、C_1、C_2 やP_1、P_2 間距離の整数倍とする方法である。もし、C_1、C_2 およびP_1、P_2 の間隔をそれぞれ1ｍ、C_2 とP_1 間を3ｍにしたとすると、このとき捉えている土層としてはC_2 とP_1 の中間において、2ｍまでの深さの土層のこととなり、えられる見かけの比抵抗（ρ_a）は、$2\pi a\times n(n+1)(n+2)\times 60$となる。

この方法における注意点は、測定時の読み値が非常に小さくなるので、感度のよい測定装置が必要であること。また、感度が極めて敏感な方法であるので、測定対象地域が湿潤で低比抵抗と予想されるような場所で、周囲と僅かな差としてのみ、判別できると思われるような遺構を、目的とした場合にのみ採用することであろう。そうでないときには、測定値の変動幅が大きすぎて、後のデータ整理において処理できない危険がある。

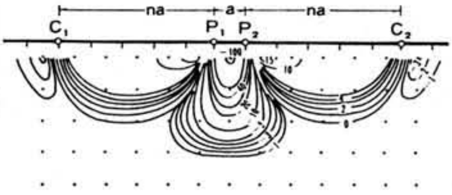
なお、C_1、C_2、P_1、P_2 の距離を等しくとった場合には、特にエルトラン(Eltran)法と呼ばれる。

シュランベルジャー法（Schlumberger）　C_1、P_1、P_2、C_2 の順で一列に配列するのはウェンナー法と同じであるが、中央に配した一対のP_1、P_2 の間隔を狭く、これの外側に離れて設置するC_1 とC_2 との間隔を広くとる配列法である。C_1およびC_2 とP_1、P_2 との距離は、P_1、P_2 の間隔(a)の、少なくとも7倍の距離(7a)を隔てることになっている。つまり、電流電極と電位電極との距離が、常に1：7以上になる関係を保つ必要がある。

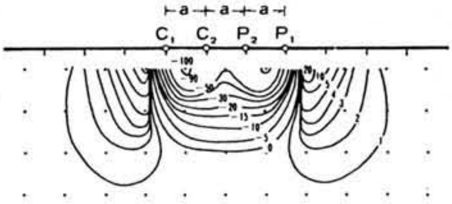
このように遠電極を遠い位置に設置するので、見かけの上では電流が地表面と平行に流れると想定され、移動電極ではその間隔の4倍までの深さの、地層の情報がえられるといわれている。しかしながら、この配列による遺跡測定の例は少ないので、実地に採用するには、遺跡の種類とそれの深さに対する、十分な予備知識が必要である。

本方法における測定方法の難点は、通常4本の電極を移動させねばならないことである。もし便法として、遠電極（C_1、C_2）を固定して、移動電極（P_1、P_2）のみが測定区内を移動する場合には、地点毎に両者の距離に差が生じ、距離の補正をせねばならない。これを避けるためには、全ての電極を枠に固定すれば、全体の距離間隔に差は生じず、補正計算は不要となるが、PP間を25㎝に取ったときでも、枠全体の長さが3.75mにもなり実用的でない。

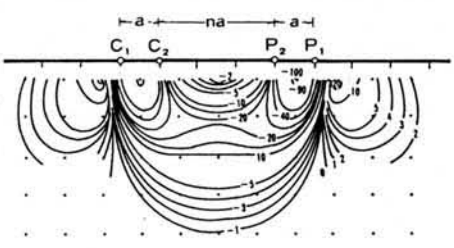
なお、見かけ比抵抗は$\rho a=2\pi a\times(n+1)/2n$で求まる。



シュランベルジャー法感度分布



等間隔 CCPP 法（エルトラン法）感度分布

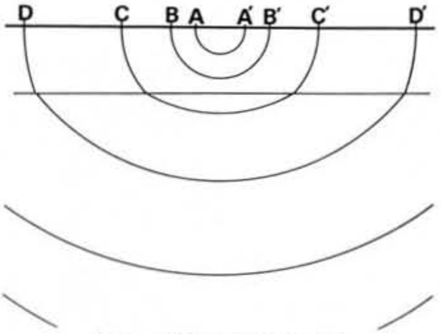


ダイポール・ダイポール法感度分布

＊4　感度分布の違い

垂直探査　ある一点において、浅い層位から深い位置までの土層変化を求める方法である。

例えばウェンナーの配列を採用したとき、ある点を中心にして、電極間隔を１、２、５、10ｍのように逐次広げていくと、それぞれの間隔に対応した、見かけの深さまでの比抵抗測定ができる。しかしこれは見かけの深さであり、その深さに層の変わり目があるわけではない。また、真の比抵抗値は知ることができない。そこで、先にも触れたように、標準曲線・補助曲線を用いて、何層かに分層すると同時に、それぞれの層固有の「真」の比抵抗値を計算する。

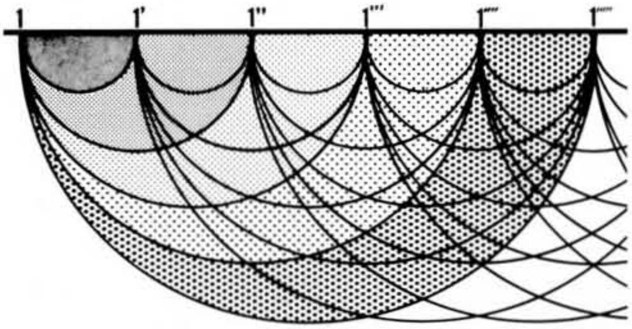


＊５　電極間隔を広げる

このように、ある１点における土層を、浅い部分から深い層位まで知ることは、考古学の探査では、遺跡内の特定の場所を選び、そこでの一般的な地質構造を知るために、参考データ採取を目的に実施することが多い。

水平探査　垂直探査にみたような、ある一点における深い層位までの測定を、横方向に連ねることにより、いわば断面を求める方法である。しかしこれも、たびたび述べているように、真の深さや比抵抗を求めるのは困難なため、疑似的な断面となることに、注意しておかなければならない。むろん１測点毎に垂直探査の要領で計算することは可能であるが、測点が多い場合には、非常な労力を要することを、承知しておいた方がよいだろう。

遺跡探査の場合には、水平探査によって断面を求めるよりも、見かけの比抵抗のままで、個々の遺跡における旧地形などを知る目的で、使用することが多い。しかし、池や濠など規模の大きい対象の時には、この水平探査によってそれらの深さや形態を、求めておくことは重要であろう。



＊６　電極間隔を広げながら横へつらねる

平面探査　測定対象地域全体を、ある見かけの深さにおいて、つまり特定の電極間隔によって測定して、比抵抗の平面的な分布傾向を知る方法である。地下にある遺構は、周囲とは異なる土質部分として、存在している訳であるから、当然そこは比抵抗の分布において、何らかの変化を示す範囲として、区別できると考えるのである。上の２方法が断層及び断面探査とすれば、この方法は平面探査ということができる。なお、これを比抵抗マッピングと呼ぶこともある。

採用する電極間隔は、もし遺構の存在する深さが知られておれば、それに合わせて選ぶことができるが、未知の場合には、周辺地域にある同種の遺跡を参考にしたり、遺跡の周囲の状況から、考えなければならない。そして一つの間隔だけでなく、複数の間隔によって測定しておけば、もし遺構の深さが予想と多少異なっても、測定全体が無駄になることはない。

測定装置

＊7　第二世代の汎用装置

測定装置　地下に電流を流して電位を測る装置には各種あるが、従来は一般の地盤探査に使用するものを、考古学探査に応用していた。それらは、深い層位までを目的とした測定をするために出力が大きく、場合によっては危険が伴うことがあった。

ハンドルを回転させることにより、発電する一昔前の形式のものでは、数百ボルトでしかも高いアンペアで、出力する装置もあった。これを第一世代とすると、第二世代では手回しの発電の代わりに、電池を使用するようになったという変化がある。しかし、汎用の装置では電池を使用していても、昇圧するので瞬間的には、高電圧がかかることには変わりない。第三世代といえる現在では、測定能力や精度が向上したうえに、測定値がデジタルで表示されたり、内部に測定データを記録できる部分が備わってきている。

遺跡の探査でもこのような装置を応用する訳であるが、特別な場合を除いて、深い層位まで測定する必要がないので、できれば低出力におさえて使用する方が良いであろう。電極を移動させる作業者の電気的なショックへ対する配慮を、しなくて済むからである。

遺跡を対象とする電気探査では、電極を移動させる労力が大きく、測定に時間がかかるため、有効なことは判っていても、なかなか普及しなかったという側面がある。しかし、数年前に測定時間の短縮を目的にして、考古学専用の装置がイギリスで開発されている。この装置は2極法による測定を前提として設計してあるので、周辺の機材もそれに合わせて製作してある。低出力であるので、経験的にいえば2極法の場合では、5m以上の深さの測定には適用できないが、これを承知したうえで応用すれば、小型かつ軽量で測定精度も高いので、十分有効な成果がえられる。汎用器の場合ような、高電圧は出力しないので、取扱に特別な配慮は必要ない。

＊8　RM 4 とオリジナル50cm枠

測定には上に述べたような、汎用器と専用機の2種類を選ぶことができるが、実際には低比抵抗の場所や、深い層までを目的とした場合には汎用器を、1m前後の浅い層までの比抵抗分布を、短時間の内に求める場合には専用器、というような使い分けをしても良いであろう。

以下に専用器の RM 4 Resistance Meter と、汎用器の一例として McOHM Resistivity Meter を紹介する。

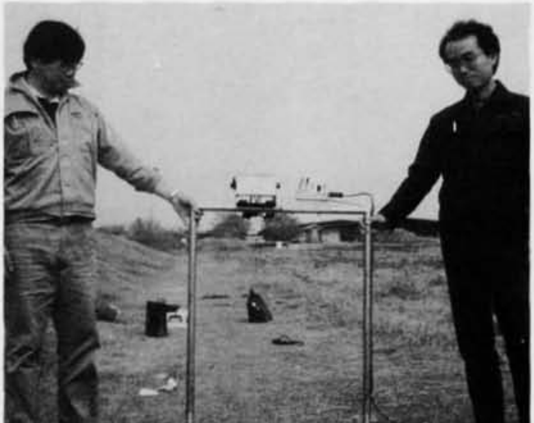
RM 4　先にもふれたように２極法による測定を目的に、考古学探査の専用器として開発された装置である。２極法では遠電極（C_2P_2）を半無限大の距離に固定して、移動電極（C_1P_1）が測定に際して決めた、測点密度にしたがって測定するが、RM 4では２本の移動電極が枠に固定してある。その間隔は 50cmであるので、見かけの深さ 50cmまでの測定をすることになる。しかし、一般的にいえば、実際には 50cmまでの深さの土の、情報をえられることもあるが、そうで無いこともある。逆に、50cmよりも深い位置でも、他と比抵抗が大きく異なる対象物がある場合には、これが浅い部分へ影響を与えているので、結果として探査できる、ということも十分有りえる。

＊9　RM 4 とDL10（手前）

電極枠の上にはRM 4本体と、これの専用データ記録装置であるDL10 Data Loggerを載せる。RM 4が 890ｇ、DL10が 790ｇなので、2.9kgの専用電極枠との合計重量は4.5kg程となるが、測点毎にこれを突き刺し、引き抜いて次へ刺す作業では、重量の上での移動困難はない。DL10と併用して自動記録に設定した場合には、データ収録間隔を 0.6～1.7 秒の中で、５段階の長さが選べる。つまり、ある測点から次へ移動して突き刺してから、１秒とか 1.2秒の後に、DL10が自動的にデータを記録する。このように、電極の移動と同時に、測定値が記録されるので、この装置によれば測定作業を非常に速く達成できるのである。

枠に設置してある電極は、移動するC_1、P_1 であるが、これと遠電極C2、P2との間はケーブルによって連結する。遠電極との距離は、先にも述べたように、移動電極間隔の30倍以上にとることになっている。遠電極と連結するケーブルは、C_2、P_2 用ともに一本にまとめてあるので、移動枠には一本のみを結ぶことになるが、実際の作業ではこれが移動の障害にならないようにする、補助者が介添する必要がある。

RM 4の場合、電極枠の電極間隔が 50cmで、見かけの深さもほぼこの程度までが探査できるが、実際にはわが国の場合、このように浅い層位に遺構があることは少ない。そこで同じように電極枠を使用ながら、深い層位までも探査可能とするため、より電極間隔を広くとることが考案されている。例えば、枠に30cm間隔で５本とか、50cm間隔で４本の電極を設置する方法である。いずれもある一方の端を電流電極（C_1）として、他とスウィッチ切り換えによって順次組み合わせると、0.3, 0.6, 0.9, 1.2ｍとか 0.5, 1.0, 1.5ｍの間隔が選べ、それぞれの見かけの深さを測定できる。



＊10　30cm等間隔枠

＊11　50㎝等間隔枠

このような複数電極の枠を利用すると、一度の枠の移動で、ある見かけの深さに、いわば分層したような、効果を持った測定が可能となる。しかし、これはあくまで便宜的に、異なる見かけの深さを、求めているのであって、実際に存在する地層の数は反映しておらず、何層あるかは判らないことに、注意しておかねばならない。

また、複数の比抵抗の異なる地層が存在する場合には、電流は経路を歪められているはずなので、比抵抗の平面分布を求めても、探査対象物の実際の規模を、反映していないこともありえる。しかし、いくつかの見かけの深さにおける結果を、比較対照すれば、特定の対象が浅い部分にあるのか地山が浅いのか、あるいは表土層の影響が下部まで及んでいるとか、何等かの情報を読み取れることも確かである。

RM 4 はいま述べたように、予め遺構の深さが知られている場合に、ある特定の見かけの深さの平面探査を目標として、2 極法の感度特性を承知した上で採用すれば、測定速度が速いので能率的な装置といえよう。しかしこの装置も、当然ながら 2 極法以外の測定にも応用できる。本体の背後にある、コネクターピンの配列が明かであるので、これに直接結線すれば良いのである。ただし、出力が最大でも 1 ma と小さいので、電極間隔を広げ過ぎないように、注意する必要がある。経験的にいえば、ウェンナー法の場合においては、外側のC_1、C_2 間は 5 m程度の距離が限界であろう。

このような低出力装置では、探査の目的が達成できないような場合、すなわちより深い層位や、浅い層位にあっても、非常に低比抵抗と予想される対象を探査するときには、高出力の汎用装置を使用した方がよい。それの一例が McOHM である。

McOHM　本体だけでも約10kgの重量があるので、携帯しながら測定することはできない。通常は DC12V の自動車用のバッテリーを使用するので、装置はこれと共に測定の対象とした範囲の外に固定して、ここからそれぞれの電極に結ぶ電線を、配線することになる。出力する電圧は最大200V で、電流は 1 ～200mA までの間で、8 段階に選ぶことができる。また測定時には、4, 16, 64回のスタッキングをして、重合したデータを表示したり、データを自動記録する能力もある。

＊12　McOHM汎用地盤探査装置

測定の実際

電気的な性質から、地層や対象物を判別しようとするこの方法では、当然ながら土の示す比抵抗の高低という要素から、区別できる遺構の探査に適用される。一般的にいえば、古墳の石室や周濠、池、溝、横穴のような空洞、石敷などは、周囲と比較すると低比抵抗または高比抵抗の部分として存在しているので、探査対象として適当と思われる。しかし実際には、結果の良否は探査地の自然環境によって、左右されることが多い。

事前調査　良好な結果をえるためには、探査を計画した段階で遺跡のおかれている環境を、調べておく必要がある。対象地が水田であるのか、山地であるのかなどの地目の確認は、最初におこなうことで、伐採の必要の有無など準備の程度を知ることができる。また、探査地に電極を十分に展開できるだけの面積が、あるかどうかの確認も必要である。十分に展開できず、崖面などが存在して制限のある場合には、それが測定に大きな影響を与える。探査の方法は半無限大の地面を想定して、成り立っているからである。

もし対象地に試掘トレンチなどが既に掘削されていると、これがたとえ埋め戻してあっても、測定に大きな影響を与える。新たに掘られた結果、そこのみは異なる土質部分として存在している訳で、最も大きな比抵抗変化の箇所として現れる。結果の判定に障害を与えるので、できるだけこのような事前の調査はひかえておき、探査結果確認の試掘とするべきである。

地面の乾湿の度合を見ておくことも必要である。余りにも乾燥しているような時には、電極と地面との接触が不安定になる。そのために電流が地中へ十分に流れず、電位も正確に測れなくなる。このように接地抵抗が大きな場合には、水を用意して電極棒と土の間に注水する。作業としては、通常ならば不必要なものが加わることになる。

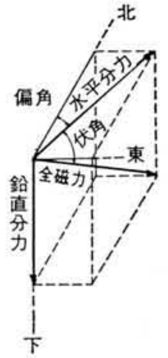
湿潤な地面では接地抵抗の問題はない。しかしながら、電気は良導体の部分を流れるので、電気的なエネルギーの伝播は地表面にとどまり、地下の様子が反映され難くなる。そしてこのような条件下では、如何なる電極配列を採用しても測定値全体のレベルが低く、幅が狭くなる。つまりコントラストがつきにくい。このような場合の対応策としては、供給電力を高める測定が良いといわれているが、実際の効果はそれほど期待できない。

予備測定　探査地の土の状態は、地表面からの観察では判らないこともある。また、探査の対象がどの程度の抵抗を示すもので、どの電極配列を採用すると有効かは、遺跡によって異なる。そして、埋没している深さも不明なことがある。したがって、広範囲の遺跡を本方法によって探査するときには、ある一部分をとりあげて、深さと有効な電極配列を知るための、実験的な測定を予めおこなうという、手続きをとることが望まれる。

実験測定には、少なくとも2種類以上の異なる電極配列を、使用することが要求されるが、その中に2極法とウェンナー法は、含めておいた方がよいであろう。

採用する電極配列が決まり、どの程度の深さを目的に探査すれば良いかも判ると、平面探査もある一定の見かけの深さのみを目的として、実施することが可能となる。つまり電極間隔を固定した状態で、測定することができる。もし事前に深さの情報がないままに平面探査をしようとすれば、いく通りかの異なる深さを探ることが必要であろう。

磁気探査法



＊13　地磁気の三要素

地下にある遺構が、何等かの形で周囲と異なる土質にあることは、たびたび触れた通りである。その違いとしては、含水率や物理化学的な性質の差が大きい。これらのなかでも、土壌中に含まれる磁性体に着目すると、それの含有量の多寡から、判別することも可能である。特に、土中に最も普遍的に存在している鉄は、強い磁性を帯びているので、遺構の内外で存在量が異なれば、遺構と他とを磁気の強弱という要素から、区別できることになる。このような要素をもとに、遺構を推定しようとするのが、磁気探査法である。

地球自身が一個の磁石で、磁場によって取り巻かれていることは、良く知られている。磁針をこの磁場の中におくと、北を指すと同時に先端が水平面よりも下へ傾く。北を指す性質である水平成分を偏角（D＝Declination）、水平面との角度の鉛直成分は伏角（I＝Inclination）と呼ぶ。また、これとは別に、鉛直方向の成分も区別できる。それから、それら全てを合成した磁場の強さは、全磁力（Total Intensity）という。偏角と伏角は時代によって変化するところから、古地磁気年代測定に利用されるが、磁気探査では一定範囲の全磁力の大きさや、磁気傾斜を測ることにより遺構を推定する。

一般的にある物体の示す磁気の強さは、それから離れるにしたがって、距離の３乗に比例して減衰する。つまり、もし地下に20という単位で、他と異なる大きさの磁気を帯びたものがあったとした場合に、これを２m離れた位置である地表から観測すると、約2.5という単位でしか求められない。３m離れていれば約 0.7 となるのである。したがって、住居跡や溝のように、僅かな土壌帯磁率の差としてしか、判別できないような対象は、探査が難しいのである。磁気探査ではこのことを、知っておく必要がある。

特に水田土壌の場合には、耕作土と床土のみで 50cm前後の厚さがあるが、これらは鉄分が沈着しているので、強い磁気を帯びている。普通、遺構は床土の直下にあることは希で、さらに何層かの異なる層の下にあることが多い。そうすると、上層をいわば磁気を通さない膜に覆われた状態で、深い位置つまり距離の遠い場所の対象を、探査することになる。このような場合には、本方法によって住居跡や溝などを検出することは、困難なのである。

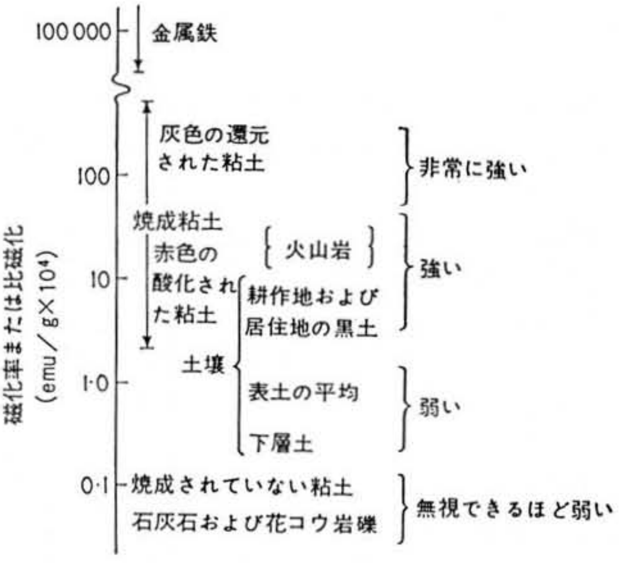
しかし、遺構の中でも、熱残留磁気を帯びた炉や窯跡は、強い磁気を示していて、地磁気の異常(Anomaly）の地点として存在しているので、自然条件が良ければ検出しやすい。熱残留磁気とは、鉄などの強磁性物質がある一定温度（キューリー温度：鉄＝770℃）以上に熱せられると磁性を失い、冷却する過程で再び磁性を獲得するが、この熱効果によって得た磁気のことをいう。獲得する際には外部磁場、すなわち地球磁場の方向にしたがって帯磁する。方向を揃えて帯磁した結果、その部分は周囲と比較すると、相対的に磁気の強い箇所として存在することになるので、探査が比較的容易なのである。

熱残留磁気を帯びた対象ではなくても、探査地が水田土壌ではない場合には、本方法によって遺構が、探査できる可能性がまったく無い訳ではない。事実、火山灰起源の土壌地域では、浅い位置に埋

没していた住居跡などの遺構ではあるが、良好な測定結果をえた例もある。少なくとも地山変化を捉えた例は、いくつか知られており、今後の実験や測定方法の改良、あるいはデータ処理などが進展すれば、成果があがるものと思われる。

このように、磁気探査では微細な磁気強度やその変化を読み取り、遺構部分を特定する必要があるが、地磁気測定をする際に障害となるものがある。それをノイズと呼んでいる。

ノイズには自然現象によるものと、人工的なものとがある。自然現象で大きなものとしては、地磁気を攪乱する磁気嵐があり、それ以外にも変動周期の短い日変化や時間変化もある。これらは、発生することを事前に予測できない。自然現象による地球磁場の変動は、太陽の黒点の活動など、もっぱら地球外部からもたらされる。

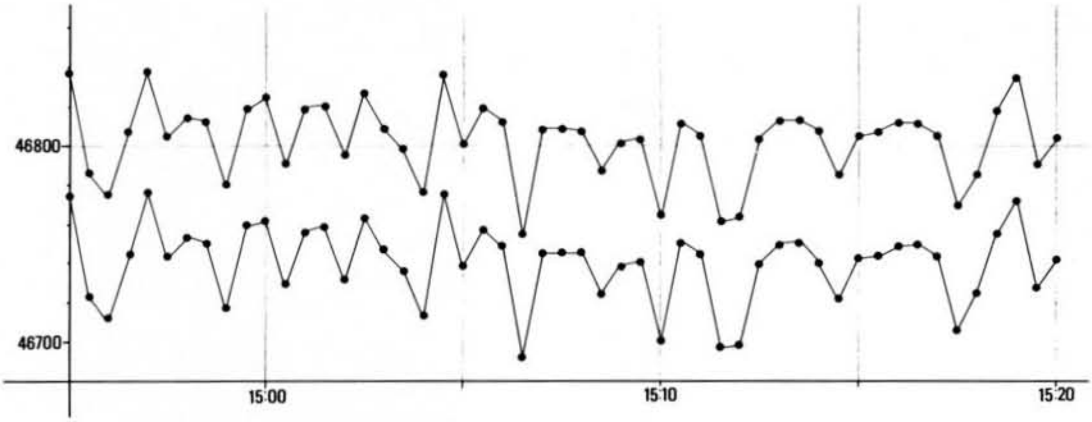


＊14　遺構などが示す磁気の強さ

これ以外のノイズは人工的なものと見なして良く、存在や発生を予測することは可能で、対策をたてられる。人工ノイズ源の典型的なものとしては、電車、自動車など強い磁気を発生させながら移動するものや、動かないが周囲に強い磁場を形成している、高圧線、鉄製フェンス、ガードレール、人家などがあげられる。磁気探査ではこの中でも特に、時間変化とともに変化するノイズが問題となる。

ノイズに対処する方法については、以下の項で述べる通りである。

なお、磁気の強さを表す単位には、ガウス（G）、エルステッド（Oe）、ガンマ（γ）やテスラ（T）などがあるが、遺跡探査に使用される装置では、ガンマやテスラの単位で表示するものが多い。



＊15　1990年12月７日14時55分から13時20分の間の平城宮における磁気変動。
G856型を２台使用。センサー高1.8m（上）と1.2m（下）。単位ガンマ

測定の方法

地磁気を測定して遺構を特定する方法には二種類ある。全磁力（Total Intensity）を測る方法と、磁気傾斜（Gradient）を測るものとである。そしてそれらを測る装置の原理にも、プロトン(Proton)型とフラックスゲート（Fluxgate）型がある。

全磁力測定　地球磁場の全磁力の強さを求めることにより、遺構を推定しようという方法である。実際の測定に際しては、通常プロトン型の2台の磁力計を使用する。これを2台連動法と呼んでいる。1台は定点として測定対象範囲の外に固定して、他の1台が測点毎に地磁気を観測する。測定するときには、2台をケーブルによって連結しておき、移動点で読み取り動作のためにスウィッチを押すと、定点も同時に読み取る。このように、有線トリガーの方法によれば、2台ともに厳密なタイミングで同時に測定できる。

厳密なタイミングで同時測定を目的に、2台の磁力計を使用するのは、ノイズに影響されないためで、特に電車、自動車などのように時間経過と共に移動するノイズ源が問題となる。例えば、測定中に自動車が近づき遠ざかると、地磁気は変動することになるが、その量は自動車と測定地との距離によって異なる。すなわち、及ぶノイズの量が違う。そうすると、もし測定を実施して、測点毎に地磁気の強さを求めて、何らかの変化量を認めても、これが地下遺構に起因するものか、ノイズによるものかの、判別ができないことになる。そこで、2台連動法による測定をするのである。

2台連動法による測定では、定点と移動点ともに、同時に等しい量のノイズの影響を、受けることを前提としている。ノイズ量が同じであれば、定点と移動点の測定値同志を、引算することにより、測点における相対的な、磁気強度を知ることができる。しかしながらこの方法でも、ノイズ源が定点と移動点の、どちらか一方のみに近ずいた場合には、当然、影響するノイズの量は異なり、正確な測定はできない。一般的にいえば、電車線路や交通量の多い道路からは、100m 程度は離れる必要があると考えられる。

なお、2台を使用する測定には、いま述べたような有線トリガーの方式ではなく、定点と移動点が、別個の読み取りをする方法もある。この場合には、定点は数十秒または数分間隔で自動的に読定をして、その間隔の間での地磁気変化は一定の勾配と見なす。定点と移動点との差を求めるときには、両者の読定時刻が判っている必要があるので、装置は時計機能を備えていなければならない。

＊16　プロトン磁力計
G826センサーと本体

磁気傾斜測定　いま述べた2台連動法は、測定装置を離して別個に測定して、2者の差を求めるものであった。これらを近づけて、一軸の両側や上下に、同じ原理で測定する部分を設けて差をとると、2台を離した方法と同様の効果を持って、測定することができる（Differential Style）。これにはプロトン型で、上下に磁気を観測するセンサーを備えた方式の装置もあるが、フラックスゲート型を採用するものの方が多い。

しかし、遺跡探査に使用するような携帯形のフラックスゲート型では、プロトン型のように全磁力を測れるセンサーを備えた装置はなく、地磁気の三要素の内の一要素のみを、上下に組み込んだ2基のセンサーが測り、それの差をとるという方式が多いようである。上下で差をとるところから、グラヂオメーター（Gradiometer）または成分計と呼ぶこともできよう。

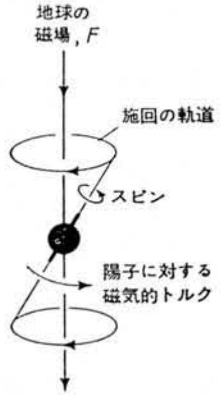
この方式の装置では2台連動法と違い、地磁気の変動は常に2基のセンサー間で打ち消される。したがって、もし測定中に地磁気の強度が変化したとき、つまり全体のレベルが変化したときにも、両センサーが等しくその影響を受けるので、ノイズへ対する考慮はしなくてもよい。しかし、後に述べるFMシリーズの装置の場合を例にとると、測定開始の時点と終了時では装置のそのものの測定レベルが変化（Drift）してしまう。温度変化などの影響である。

そこでこれに対処するために、実際の測定では定点を設けておき、ある測定区の測定開始時と終了時や別の測定区へ移る場合には、定点で読み取りをおこなう。定点での読み取り値が、例えば測定開始時と終わりで違えば、その間の変化は平均勾配と見なして、補正するという方法をとることになる。

＊17　2台連動法による測定風景

測定装置

さきに述べたように、磁気探査では全磁力測定と磁気傾斜測定の、２種類の方法がある。使用する装置も、これらに合わせて選択することになるが、一般的にいえば、全磁力測定ではプロトン型が、磁気傾斜測定ではフラックスゲート型を、使うことが多いようである。



＊18　プロトン磁力計の原理

プロトン磁力計（Proton Magnetometer）　プロトンすなわち、水素原子核の核磁気モーメントを、利用するところから、このように呼ばれる装置である。磁気を感じる部分であるセンサーには、通常水やアルコールまたはケロシンなどの液体入れたものを使う。液体を入れたボトルの周囲にはコイルが巻いてある。このコイルに電流を流して励磁すると、つまり強制的に磁場を発生させると、液体中の水素原子の原子核（プロトン）は、磁場にしたがってコマのように自転運動することになる。

そして、電流を切って強制磁場を取り除くと、外部の磁場の強さにしたがって、歳差すなわち首振り運動をする。そうすると、今度は外側に巻いたコイルに、首振りの周波数に応じた電流が生じる。この電流信号を取り出して、周波数を測ると外部磁場の大きさが判る。つまり地磁気の強さが求まるのである。この形式の装置を使用した測定では、センサー部分を支持棒によって固定する必要がある。固定しておく時間は、機種によって異なるが、ほぼ３秒以内と考えればよい。したがって、２台連動法によって測定するときには、移動点は測点毎に棒を突き刺したのち、数秒間待って読み取りをすることになる。センサーを静止させている間は、測定者はこれから離れておく。人体自身も僅かながら磁気を帯びているからである。この装置に限らず磁気探査では、測定者は鉄製品を携行するのは望ましくない。測定開始前には必ず鉄製品の有無を、点検しておかなければならない。

センサー支持棒の高さ、すなわち地表面との距離は、定点はできるだけ高くして、表土層の影響を受けないようにする。一般的にいえば、２ｍ前後の高さは必要であろう。移動点では地面のノイズを受けない範囲で、低くするのが理想であるが、30㎝よりも低く設定した場合には、表土層の厚さや地表の凹凸が、そのまま測定値に反映されるため、正確な測定ができない可能性があることに、注意しておく必要がある。

現在使用されることの多い装置には、読み取り精度が１及び 0.1 ガンマ（γ）単位のものがあり、測定値を自動記録できるものもある。センサー部には取り付け方向がヨコ位置とタテ位置のものがあるが、いずれも支持棒の先端に固定する。測点毎にこれを設置する際には、地面に対して垂直になるように注意する。なお、センサーを設置する方向、すなわち磁北との関係は、個々の装置の使用指示に従うが、厳密な方向は地球上でも高・低緯度の地域で要求されるものであり、わが国の場合には基本的には、無視しても良いであろう。もし無視できれば、多少なりともセンサー設定の速度が速くなり、測定全体も速くできることになる。

プロトン型の装置を採用した遺跡探査の特徴は、上に述べたように測点毎にセンサー部を突き刺して、励磁する必要があるので、連続測定ができない点にある。

プロトン型の装置で、わが国で使用されることの多い全磁力を測定する機種には、以下のようなものがある。

GSM－8　カナダGEMシステム社製の装置で、測定精度は±1ガンマである。センサー部は横向きに設置する形式で、これをアルミ製棒で支持する。棒は45cm単位であるので、接合すれば90、135cmなどと、高さを変化させることが可能である。

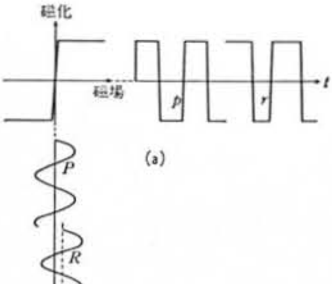
充電式のバッテリーを備えた本体は15×8×15cmと小さく、センサーを含めた全体重量も2.7kgで軽い。野外作業に適した大きさと重量といえよう。一度充電すると、約3,000点の測定が可能である。一回の測定に要する時間は1.85秒で速い。ノイズがあり磁気傾斜が大きい場合には、警告の表示が出て読み値の適不適を指示するようになっている。

なお、1.85秒の間隔で自動的に読み取りをする機能があるが、本体には記録をする部分が無いので、自動記録をしたいときには、別途なんらかの装置を用意する必要がある。

G856　アメリカジオメトリクス社製の装置で、0.1ガンマの測定精度を求めることが可能である。センサー部はタテだけではなく、ヨコにも設置可能なようになっているが、通常はタテに設定する。信号強度が極端に弱い場合のみに、ヨコにすることがある。支持する棒は60cm単位なので、目的に応じて何本を接続するかを選ぶ。

測定部本体は単一の乾電池8個で作動するのでやや重い。標準的な乾電池を使用した場合には、約1,500点の測定ができる。測定間隔は1～3秒の間で選べるが、短いほど測定精度は落ちる。一定の時間間隔で自動的に測定をする機能があり、また、データの自動記録も可能である。内部に時計を備えているので、ジュリアン・デイ(元日から起算した日数)と測定時刻を知ることができ、ケーブル連結によらない2台連動法にも使用できる。

フラックスゲート磁力計（Fluxgate Magnetometer）　飽和鉄芯型といわれることからも判るように、合金であるパーマロイなど強磁性体を芯にして、それにコイルを巻き電流を流して、磁場を発生させる方式の装置である。通常は鉄芯2個を一次コイルと二次コイルとして平行におき、一次コイルに交流を流して、互いを逆向きに励磁する。このとき二次コイルにも誘導磁界が生じているが、もし、外部の磁界が無い場合には、一次と二次のコイルの釣合の取れた状態にあるが、磁界のある場合にはそれがくずれる。このくずれた量を知ることにより、磁気強度を測ろうとするのが、この形式の磁力計なのである。



＊19　フラックスゲート型磁力計の原理

プロトン型と違うのは、センサー部分を常に励磁していて、出力を得ることができるので、連続測定が可能な点である。したがって、この方式の装置による測定は、スピードが速い。しかしながら一般的にいえば、この原理に基づく装置は、プロトン型と比較すると探査深度に制限があり、深い層位を目的とした探査には適用できない。

この方式を採用したものには、考古学探査を目的に開発された装置がある。イギリス Geoscan 社製の FM 9, FM18, FM36である。このなかで、FM 9 はデータの自動記録部が無い形式であるが、他の FM18は 4,000 点の FM36は 16,000 点の記録能力がある。

FM18・36 約60cmの長さの細長い箱型のチューブの上下に、2個のセンサー部が50cm隔てて組み込まれていて、これらの感じた磁気強度の差を求める形式である。すなわち、鉛直成分(Z)の差分のみを測る。測定精度としては0.1、1、10nT(ナノテスラ)の単位が選べる。測定データは自動記録するが、測定時に装置が傾斜して読定が不正確になることへの対策として、測定値を平均する機能があり、16、32、64、128回を選ぶことが可能である。作動は内蔵の充電式バッテリーを使い、最大12時間の連続測定ができる。

この装置の特異な点は、測定の点数を予め10×10とか30×30のように設定することができて、それにしたがって測定するため、どのラインの何番目のポイントを測定しているかを、パネル表示で常に確認できる点にある。データを自動記録する場合には、ときには測定を忘れたり、同一地点で2回読定したりする可能性があるが、このような誤りは避けることができる。

これらFMシリーズの装置では、データ平均機能もあるために、測定速度は速い。地表面の状況が良ければ、ほとんど歩く速度で測定をすることが可能である。プロトン型ではセンサー部を地面に突き刺す作業や、励磁する時間を必要とするので、一点当り最低4〜5秒かかるが、この装置ではそれが無いのである。

*20 フラックスゲート型磁力計(FM18)による測定風景

測定の実際

磁気探査においては、測定を実施しようとする対象地と、その付近にノイズを発生させるようなものが無いかどうかを、まず確認することが必要である。先にあげたように、時間経過と共に移動する自動車や電車は、最も深刻なノイズをもたらすので、道路や線路と探査地との距離は、事前に特に注意をして調べる必要がある。

従来の例では、交通量の多い一級国道や電車線路から、100m程度離れた場所での測定で、有効な結果を得たこともあるが、距離としてはこれが限界であろう。しかし、このようにノイズの大きい場所で探査する際には、測定精度の向上を図るために、一点あたり複数回の読定をして平均値を求める、というような工夫も必要である。

測定方法の内、2台連動法では通常、定点と移動点の磁力計を、ケーブルによって連結して作業するので、探査地の表面に立木などの障害物があると、移動点が自由に歩行できず、作業能率が悪くなる。本測定法でもやはり、伐採などが終了した後に、実施した方がよいであろう。なお、些細なことではあるが、伐採した木材や雑草を探査対象地内で処理する場合、焼却する様なことが無いように、注意しておくことも忘れてはならない。そこの地点に熱残留磁化がもたらされるからである。

磁気傾斜を測る装置の場合には、それを携行して測点毎に読み取りをするだけなので、歩行には困難さはない。しかし、測定はメジャーなどを頼りに、系統だてておこなうので、地表面に灌木や伐採した木などがあるときには、メジャーが水平に張れず、距離が不正確になる恐れが生じる。いかなる探査においても、測線は水平距離で求めた杭を基準とする。そうした方が、のちに探査範囲を地図中に明示する際に、便利であるからである。

測定の速度としては、経験的には、地表面に障害物がなく水田のように平坦な場合には、プロトン型なら約700点、フラックスゲート型の場合なら、それの約3倍の点数を1日で測定することが可能である。探査計画を立てる場合には、これが一応の目安となるが、地表面の状況によっては、所要時間の程度は大幅に変化する。

なお、FMシリーズのようなフラックスゲート型を使用する場合には、それを携行して測定する。したがって、測定者は金属、特に鉄製品を身につけることの無いように注意する必要がある。靴の金具やベルトバックルなどは当然であるが、着衣の金属ボタンなどの存在にも、十分注意しなくてはならない。また、測定位置を知るためにはメジャーを利用するが、これがスチール製でないことの確認や、先端部分の金属を避けるなどの工夫も必要である。

本方法による測定結果は、コンターマップとして整理することが多い。地下遺構が存在するときには、そこの部分が双極子磁場（Dipole）を形成するためで、特に窯跡のような場合に顕著である。したがって、遺構の有無の判定には、この現象を示している箇所にまず着目する。また、別の目安としては、数百ガンマを越える様な値を示す地点は、鉄に起因するものと見なして良く、遺構の可能性を除外して良い。

先にも述べたように、磁気探査の装置の内、プロトン型は測定速度は遅いが、より深い遺構も探査できるに対して、フラックスゲート型では速く測定できても、探査深度としては浅い。そこで、本方法によって探査する場合には、2種類の測定器を能力に応じて使い分けるという方式を考える。

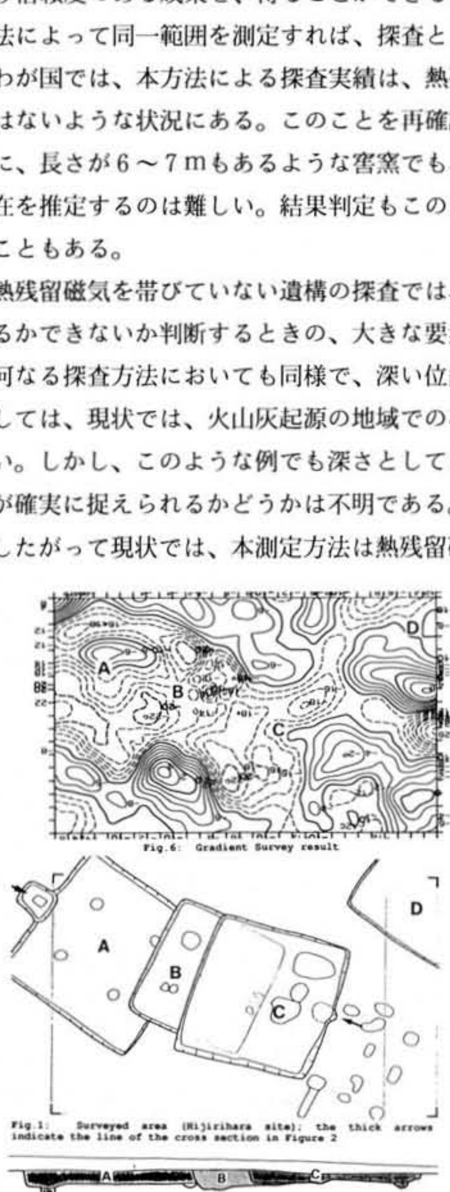
すなわち、広範囲を対象に探査をする場合には、測定速度の速いFMシリーズの装置をまず使って、遺構の存在する可能性のある地点を限定し、のちにプロトン型を採用して、詳細測定をするという、2段階の測定を採用するのである。ただし、この際に注意しなくてはいけない点は、両測定器では測定原理が異なるために、当然ながら同じ対象がもたらす磁気異常でも、その現れる形に違いがあることである。

このように、同じ磁気探査でも測定原理の異なる装置を用いて測定して、両者の結果を照合すればより信頼度のある成果を、得ることができるといえよう。さらに、これに電気探査などの、別の測定方法によって同一範囲を測定すれば、探査としては理想的なものといえる。

わが国では、本方法による探査実績は、熱残留磁気を帯びた対象に限られていると言っても、過言ではないような状況にある。このことを再確認しておきたい。しかしながら、須恵器や瓦の窯跡のように、長さが6～7ｍもあるような窖窯でも、床面が地下2ｍを越えるような深さにある場合には、存在を推定するのは難しい。結果判定もこのような場合のあることを、理解していないと誤りをおかすこともある。

熱残留磁気を帯びていない遺構の探査では、対象地を構成する土壌と埋没深度が、本方法を適用できるかできないか判断するときの、大きな要素となる。もちろん対象の規模も問題となるが、それは如何なる探査方法においても同様で、深い位置にある小さな対象ほど、探査は困難になる。土壌の質としては、現状では、火山灰起源の地域でのみ有効な結果を得た例のあることを、紹介できるに過ぎない。しかし、このような例でも深さとしては、地表下50cmが遺構面という浅いときでも、住居跡や溝が確実に捉えられるかどうかは不明である。

したがって現状では、本測定方法は熱残留磁気を帯びた対象以外を、目的とした探査には推薦できない。たとえば、住居跡などを探査する場合には、電気探査の方に主眼をおき、磁気探査はそれの補助的な測定にとどめて、異なる性質のデータを得る、というような考え方で採用する方がよいであろう。



＊21　住居跡の磁気探査例

ところが逆に、窯跡のような対象を電気探査によって探査するのは困難である。窯体と周辺の土とは、電気的な要素では差が少ないからである。熱残留磁気を帯びた対象の検出には、磁気探査がはるかに優れている。電気探査の方が補助的な役割となるのである。何れにしても探査を行う場合には、それがたとえ有効性において劣ることが明かな方法でも、採用することを心がけ、複数の探査法による測定を実施した方がよいであろう。

地中レーダー探査法

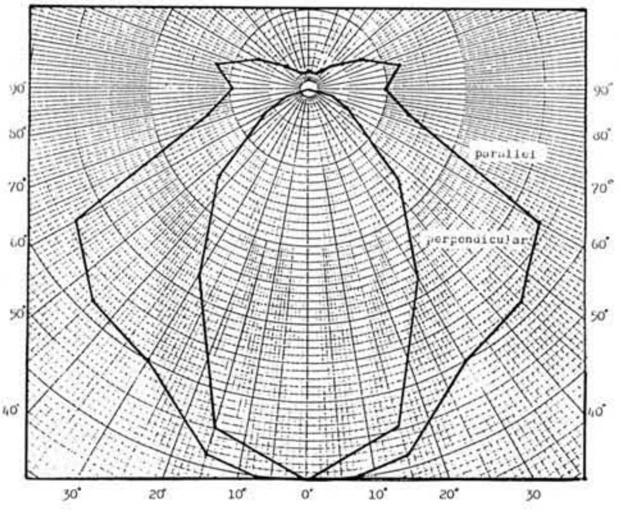
本方法では、電波を地中へ送り込み、それの反射強度や形態から、地層を見分けたり「異物」の存在を推定する。地表から発射された電波の内40%ほどは、地表面で反射されてしまうが、残りの60%は地中へ入り、媒質の異なる境界面から多く反射され、再び地表へ戻ってくる。地中へ送り込んだ電波を、戻ってきた順に信号の強弱として置き直し、白黒の濃淡や色を使い画面表示すると、あたかも土層断面のような画像が得られる。しかし、この画像はあくまで疑似的な層表現であり、層序の実際を表現するものではない点に、注意しておく必要がある。

媒質境界面を作る要素としては、電波の伝播速度の異なる二つの地層境界、すなわち土の空隙率や含水率の変化する面があげられる。空洞や金属あるいは孤立した石など、周囲と質が大きく異なる物体が存在していれば、これらも電波を多く反射する原因となる。地中に入った電波の到達深度は、主として土層の含水状態で決まる。乾燥した砂などでは、空隙率も大きいので、地下４～５ｍまでも到達可能なことがあるが、湿潤な場合には電波の減衰が激しく、１ｍ前後しか透過しない例も多い。

電波の進行速度もまた土質によって左右される。乾燥した土では速く、湿った状態では遅い。そうすると、もし地中に水平に横たわっている対象物があった場合でも、その上層にある土の質が極部的に異なると、電波の進行速度に差が生じる。つまり、地下の同じ地層や物体までの往復の時間が異なる。そうすると、実際には水平にあるものも、歪んだ物として表現される。住居跡の床面が水平で無かったり、鉄剣が折れ曲がって見えたりすることが、有りえるのである。レーダー探査における注意点の一つである。

電波の送信と受信には、アンテナを使う。アンテナから発生する電波は、点や線状の絞られた形ではなく、幅広い広がりを持っている。その形はほぼ長円錐形と、理解して良いだろう。したがって、受信信号が画面として表示されるときには、単にアンテナ直下から戻ってきた電波の反射だけではなく、離れた位置にある対象物からの反射も表現されることになる。

例えば、円錐の角度が60°あるとすると、地下１ｍに埋もれている物体は、アンテナ位置よりも約60㎝離れた地点から、捉えられ始めることになる。ところが60°の角度といっても、その範囲内のみに電波が発射されているのではなく、実際にはもっと広がりを持っている。60°の主要領域を外れた部分でも、反射電波の強度は微弱であるが、それでも何等かの信号をもたらすには、十分な程大きいのである。



＊22　アンテナから出る電波の形
想定図（GSSI社　SIR　500MHz）

測定の方法

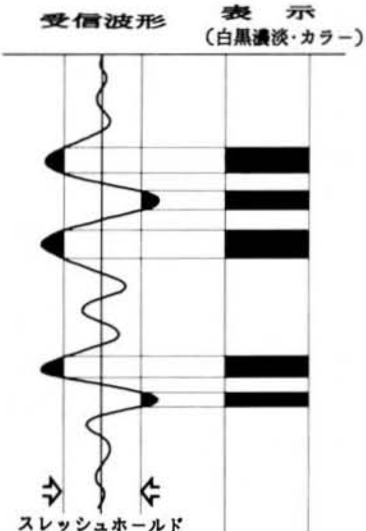
測定の方法　地中へ電波を送り込み、その反射を受信するにはアンテナを使用する。連続的に電波を出しながら、アンテナを測線にしたがって移動させて、反射電波を受信すれば、その測線のあたかも断面のような画像が得られる。しかしながらこの結果は、実際にある地層の堆積状態を示すものではなく、疑似的な断面であることは、先に述べた通りである。

また、測定によって得られる映像画面では、地表面が常に水平に表現されることにも、注意しておく必要がある。例えば、円形に盛り上がった古墳墳丘を、地形に沿ったままで横断したとすると、現実には水平にある石室そのものや墓坑の掘り方の線は、下方に湾曲した曲線として、表現されることになるのである。

アンテナから発射する電波は、現在実用化されている装置では、通常、モノ・パルスまたはモノサイクル・パルスの形をとる。この電波は発射直後は単純な形であっても、地中を伝わり反射する過程で、変形をうけ「波動」を生じる。これが一見、土層の実際を表したように誤解する、横方向の帯状のパターンを発生させる原因である。

帯状パターンは、電波の波形振幅を考えると分かりやすい。縦軸に時間をとり、横に振幅の大きさを表すと、地上から入った電波は、地層境界面で多く反射すると同時に、深く進行するにしたがって減衰する。画像表示をする際には、通常、受信した電波の振幅波形の全体を、そのまま表示するのではなく、全体の中に「しきい値」を設けて、その幅の部分のみを取り出す。この幅のことをスレッシュホールド・レベル（Threshold Level）と呼ぶ（＊23)。

そして、波形全体の範囲の中で、振幅の中心を０として、左右にプラスとマイナスの値があるとすると、白黒の濃淡や色を使い画面として表現する際には、マイナス側もプラス側に折り返して、同じ性質の信号として扱う。つまり絶対値をとって、同じ信号強度として表すのが普通である。これもまた、帯状パターンを強調する原因となっている。



＊23　受信波形とそれの表示

もし横方向に連続する帯状の表現、すなわち上下方向に一定の幅をもって、繰り返す電波の反射があった場合には、そこには地層境界面や物体があるわけで、電波が反射した結果、「波動」が生じたものと考えてよい。これを多重反射と呼ぶ。したがって、実際の層位あるいは物体の上端位置は、帯状表現の最上部にあると理解することになる。

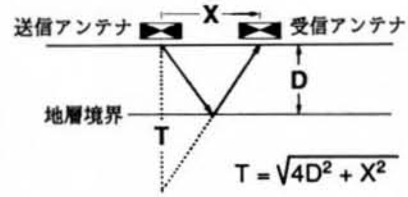
電波の速度は光の速度と同じで、真空中では１秒間に地球を７回り半周する。これを１ナノ（nano）秒、すなわち10億分の１秒に換算すると、約30㎝になる。しかし土中では、ほとんどの場合６～９㎝程度しか進行しない。電波進行速度は先にも述べたように、主として土の含水状態によって決まる。乾いた土では速く、湿った状態では遅い。

これはまた電波の到達深度に関係していて、湿った状態では減衰が大きく、深い層位からの反射はえにくい。

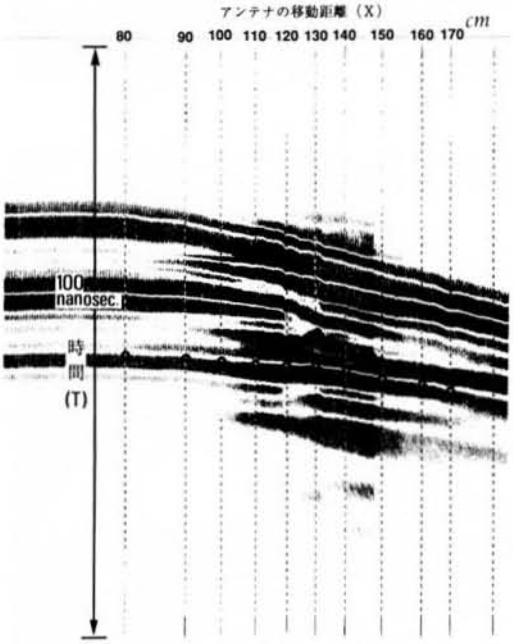
地中レーダー探査では、基本的には、ある地層境界面や物体までの、電波の往復の時間が測定できるだけであるので、地表面からの実際の深さを知るには、探査を実施する地点固有の、電波の伝播速度を知る必要がある。その方法については、次に述べるとうりである。

ワイドアングル測定　送・受信のアンテナの内、送信アンテナを固定しておき、受信アンテナのみを移動させる。つまり、送信アンテナから遠ざける。そうすると、もし地層境界のような反射面があると、電波はそこから反射するが、受信アンテナが遠ざかるため、電波の伝播する距離は長くなる。その結果、画面記録の上では地層境界面は、徐々に深くなるように表現される。時間がかかった分だけ、画像での表示としては、下の方に記録されるからである。

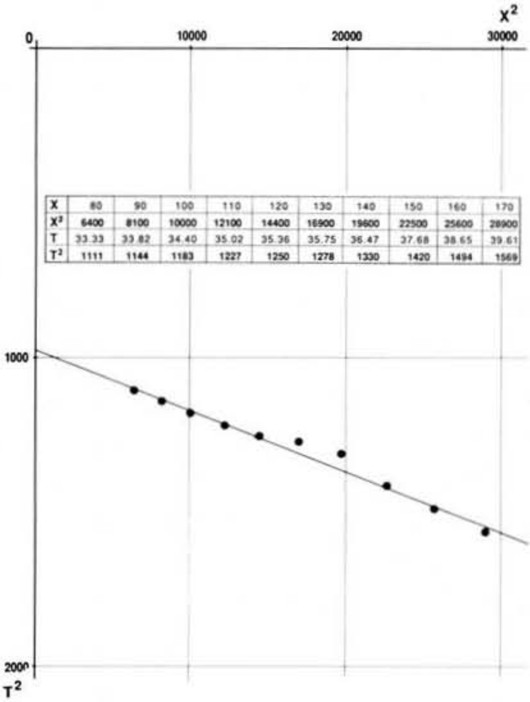
このとき、受信アンテナの移動距離(X)は、たとえば10cmおきにマークを入れ、送・受の間の距離を厳密に記録する。記録紙上での時間設定は、通常100とか150 n.sec. を最大の時間幅に決める。ここでの計算要素としては、移動距離は既知であり、ある反射面までの往復に要した時間(T)は、記録紙の上で比例配分によって求めたものを使う。計算の基本は、ピタゴラスの定理による。



下に示した例では、受信アンテナの移動距離にしたがって速さをグラフにプロットして(＊25)、平均的な速度すなわち図上では直線の勾配を求めている。速度Vは$X^2 \div T^2$ (22400／450＝49.78) でその平方根7.06cm／n.sec.となる。



＊24　測定記録



X	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
X^2	6400	8100	10000	12100	14400	16900	19600	22500	25600	28900
T	33.33	33.82	34.40	35.02	35.36	35.75	36.47	37.68	38.65	39.61
T^2	1111	1144	1183	1227	1250	1278	1330	1420	1494	1569

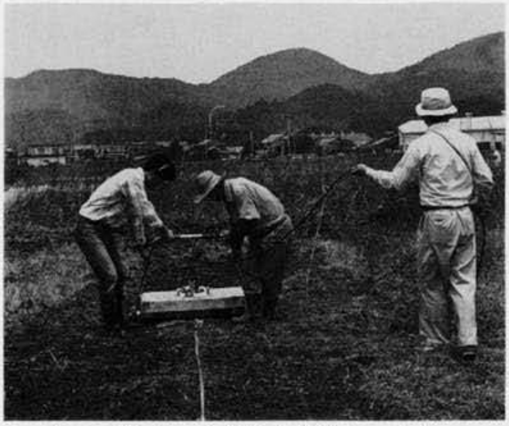
＊25　プロットして平均勾配を求める

測定装置

装置の基本 レーダー探査に使用する装置は、野外において実際の測定をする部分と、室内でデータ処理をする際に使用するものとに大別できる。野外では、1）電波を直接地面に向けて送信、これを受信するアンテナ、2）アンテナに電波信号を増幅して送ったり、受信信号を増幅あるいはフィルター処理などをする制御部、3）測定結果を表示する表示部、4）測定データを記録する記録部から成っている。データ記録は通常テープ・レコーダーやハードコピー、またはカメラを使用する。室内での作業は、データのコンピューター処理や結果の表示、すなわちプリントアウトなど、解析作業が主体である。

これらの内、アンテナでは電波の送・受信の方法の違い、あるいは走行方法の違いから、表示部では採用する方法の違いなどから、わが国で使用されている装置は、3種類に区分することができる。これはまた、装置を生産する会社の違い、と言うこともできる。

現在、使用されるアンテナは、測定方式の違いから、大きく二種類に区別することができる。すなわち、電波を発射・受信する際に1アンテナを使う「送受一体型」と、送受のアンテナが別々である「送受別体型」である。別体型では、送・受のアンテナを別個にして使うことができるが、一体型ではそれができない。これらとは違い、アンテナの送受は別々ではあるが、一個の部分として組み込まれた、折衷型とも呼ぶべき方式もある。



＊26 Koden KSD-3AMアンテナ

送受一体型 光電製作所製のアンテナがこの方式である。電波は同一部分を使い、送・受信される。そのために、前頁で述べたようなワイドアングル測定ができない。したがって、電波の進行速度を知るためには、別途方策を構じる必要がある。測定では、ある地層や物体までの、電波の往復時間が判るだけであるので、地中での電波の進行速度が判明しないと、真の深さを知ることができないのである。

＊27 J.R.C. JEJ-51A型アンテナ

光電製作所製で、現在使用されている装置では、170 MHz 程度の周波数を採用するものが多い。アンテナの特徴としては、電波の漏洩を防ぐために、丁寧なシールドが施されている点があげられる。そのために、KSD－3 AM 型ではアンテナ重量が60kgにも達して、平地以外での使用に困難な場合がある。

＊28 OYO Geo-Radar II アンテナ

送受別体型　応用地質株式会社が生産している装置で、アンテナは送・受が別個で2基を使う。

実際の測定で測線に沿った「断面」測定をする場合には、この2基のアンテナをソリのような台に載せて、固定した状態で使用する。送受別体のアンテナでは先に述べたように、ワイドアングル測定が可能であるので、電波の伝播速度すなわち、真の土層の深さや厚さを求める計算ができる。ソリの上に固定した移動ではあるが、地面が平坦でない場所での操作は、他の車輪式アンテナと比較しても大差なく、困難さは変わらないといえる。応用地質社では、各種周波数のアンテナを生産しており、100 MHz 程度から1,000 MHz までの間で、目的に応じて使い分けているが、現在、主として使用する Geo－Radar II では、350 MHz を基本としている。アンテナの総重量は、光電製作所製と比較すると軽い。

折 衷 型　日本無線(J.R.C.)やG.S.S.I.社が提供する装置で、アンテナは送・受が別の部分から成り立っているが、両者は一個の構成部分として組み立てられているため、別々に使用することはできない。したがってこの方式でも、電波の正確な伝播速度は、求めることができない。

J. R. C. 社製のアンテナにも各種周波数のものがあるが、400 MHz のものが基本となっている。アンテナ重量はいま述べた3社の内では最も軽い。測定の際のアンテナ移動速度も、本装置では速い速度に対応できる。測定時にアンテナが傾斜した場合に、電波漏洩を防ぐため、電波の発射を止めるという機能を備えている。この機能は他社に見られない。

電波漏洩につては、法律によってきびしく規制されている。すなわち、レーダーが使用する周波数帯が、家庭用テレビに近い UHF または VHS の領域にあるため、これらに障害を与えないようにする必要があるのである。装置の生産にあたっては、各社共に注意を払っているところであるが、実際に運用をする者も、測定中に不必要にアンテナを持ち上げないなど、留意することが大切である。

いま述べたように、現在採用されている装置の周波数には、150～350 MHz 周辺が多い。一般的に言えば、周波数の低いものは深い層位まで達するが、高いと浅い層位にとどまる。ところが、対象を弁別する能力である分解能は、周波数の高い方が優れている。しかしながら、これらの装置の探査能力の差は、周波数をもって問題にするほどには大きくない。特に注意するとすれば、500 あるいは 1,000 MHz など、非常に高い周波数を使用する場合だけであろう。

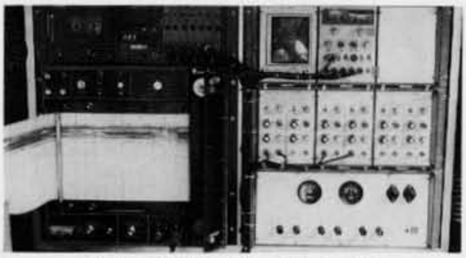
移動方式　アンテナを移動させる方法にも違いがある。車輪によってアンテナを支えて、走行をするもの（光電製作所・日本無線）と、ソリの上にアンテナを固定して引く（応用地質）、という2種類の方式である。車輪を使用する方法では、移動距離は車輪の回転数から換算する。したがって、地表面に凹凸があったりして、車輪が空転した際には、実際の距離よりも短い測定結果となることがある。

ソリを使う場合は、測定距離を知るためには、測線に沿って設置したメジャーを利用して、一定間隔でマークを入れ記録する。マークの間隔は1mを採用することが多いが、アンテナの走行速度が一定でないと、同じ1mであっても記録の上では、長さに差が生じる。この場合には、後のデータ処理の段階で、等間隔にする必要がある。

なお、車輪を使用する方式でも、一定間隔でマークをいれることは可能であるが、テープ・レコーダーにこの信号が転送できないため、記録としては不十分であるといわれている。

＊29　Koden　KSD-3AM

＊30　J.R.C.　JEJ-51A


＊31　OYO　Geo-Radar II

表示方式　測定の結果を、現場で即時見る方式にも2種類ある。ブラウン管にカラー画面として表示するもの（光電製作所・日本無線）と、ファックス・ペーパーに白黒の濃淡としてプリントする（応用地質K. K. やGSSI社）方法である。日本無線のカラー表示の場合には、長い測線であっても、画面全体が制御部本体に記憶されているので、1画面に表示できない範囲も、左右にずらせて見ることが可能である。また、現場でカラーのハードコピーをとることも、できるようになっている。

なお、日本無線の装置では、「断面」画面の中を左右に区切って、電波の反射波形を見る機能も備えている。これをB'モードと呼んでいる。反射波形を確認するためには、応用地質の場合には制御部にモニターを備えているが、光電社製にはない。オシロスコープなどを、別途用意する必要がある。

反射波形を観察するのは、送りだしている電波エネルギーが、適当であるかどうかを確認するためで、レーダー探査を実施するときの、最も重要かつ基礎的な事柄である。すなわち、もし信号が余りにも過大な場合には、受信波形に歪を生じたり、装置の能力を越えた飽和状態になる(saturation)。そして目的とする対象からの信号は、その中に埋没してしまう。また、多重反射が強調されることになり、これも結果判定の障害となる。このような状態で採取されたデータは、後の計算機による処理においても、扱いが困難となり十分な成果が期待できない。

いずれの装置ともに、測定したデータはすべてテープレコーダーに記録するが、現状では一般に使用される音響用の装置を、採用しているようである。したがって、もし計算機によるデータ処理をしたい場合には、A／D変換をして計算機へ転送する必要がある。最近ではデジタル式のテープレコーダーも、徐々に使われ始めているが、これは従来の方式に比べると、データの再現性もよく、今後は採用される機会が増えるであろう。

測定の実際

本方法では、アンテナが移動した軌跡における疑似的「断面」を得る。電波は角度をもって発射されるので、線状の断面ではなく、ある幅の範囲内にある情報すべてを採取する。そして角度があるため、浅い位置と深い部分を比較すると、当然ながら、深い部分の方が幅広い範囲を含み込んでいる。探査の計画を立てる際には、このことに留意しておく必要がある。層位を求めるのではなく、対象物の有無を問題にするような場合には、浅い位置にある小さいものは、探知しにくいのである。それは、地表面に近い部分では、電波の反射エネルギーが大きいので、表現としてはそこの反射を抑えるという工夫を、どの方式の装置でも採用していることにもよる。測線の密度を考える際には、このことを念頭において決める必要があろう。

断面探査　如何なる探査目的であっても、通常は、平行に設定した測線を基本にして、これにしたがってアンテナを移動させる。そうすると「断面」の画像が得られる。これは発掘調査における、トレンチ調査に似ているであろう。すなわち、ある一定の幅をもった土層の情報である。したがって、もし溝、濠、道路、築地など線状の遺構を探査する場合には、それらと直交する測線を一定間隔で設定して、順次断面を求めて追跡すれば、位置や方向は求めることができる。

このとき注意しなくてはならないのは、アンテナを移動させる方向である。同じ測線を往復して結果を比較すると、対象物によって、特に住居跡の壁のように垂直、または垂直に近い形に立ち上がっているものの場合、結果が異なることがある。どちらか一方の壁のみが明確で、他方が不明瞭なである。これは理論的には十分に説明できず、経験的な側面が大きい。しかし、実際にこのような現象があるとすれば、測定に際してはアンテナを一方向からのみ移動させるのではなく、交互の方向をとることが望ましいであろう。ジグザグ方向にアンテナを移動させるのである。いちいち同じ側の始点にアンテナを戻すよりは、その方が作業能率も良い。

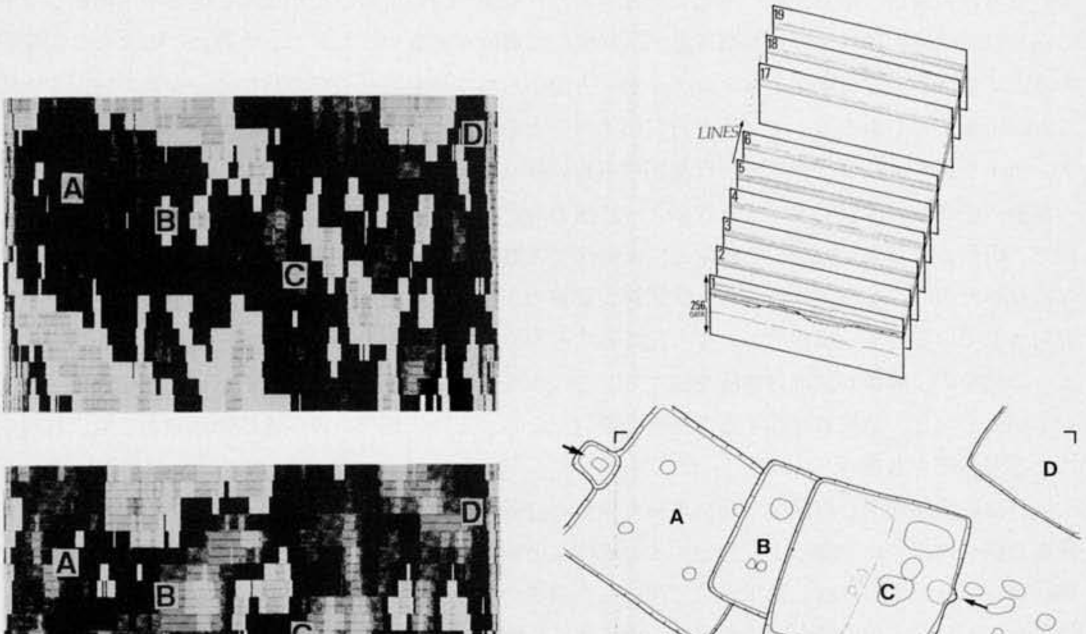
測線の密度は、探査対象の大きさによって決める。例えば、住居跡などのように４～５m内外の規模で、円形または方形の遺構を対象とする場合であれば、測線の間隔も４m程度を基本にしなくてはならないだろう。そうすれば、もし住居跡が測線の丁度中間にあったとしても、電波は角度を持って発射されているので、僅かであっても捉えることができる。しかし、住居跡の一部をかすかに捉えたような結果の、画像判読には熟練を要する。このような困難さを改善するためには、測線間隔を半分の２mにしたり、遺構の存在する可能性を発見したら、そこの部分のみ別途細部測定をして、補足することが必要であろう。

平行な測線を利用した測定では、求めた対象の位置や規模は、平面図に記入して整理する。それは、発掘遺構を方眼紙に実測して、記録するのと同じ要領である。測線上で遺構の存在する部分と規模を、順次プロットしていけば、結果として連続した遺構の全体が明かとなる。平行な測線を設定しない場合、たとえば、古墳周濠の探査を目的とするような際には、墳丘側から周濠を直角に横断するように、いわば放射状に測線を設けた方が良いからである。このようなときには、方眼紙を利用するよりは、大縮尺の地形図の中に測線を直接書き入れて、整理する方がよいであろう。いずれにしても、各測線毎の測定結果を判定して、これを平面に描き起こす手作業が必要なのである。

平面探査　今述べたような手作業で、「断面」から「平面」を求める煩雑さを解消するため、コンピューターを使って機械的に、平面図が作成できないかという要求がある。平面形が判れば遺構の規模のみならず、種類を推定することも可能となるからである。遺跡探査としては当然の考え方であろう。このような要求に応えられる地中レーダーの装置が一機種だけある。J.R.C. 社製の装置がそれで、測定の現場で即時平面形を作れる。

平面形を作る際には、多数のタテ方向の断面データを並べておき、その中からある時間帯のみを取り出して、ヨコに並べ直すことを想像すれば良いだろう。たとえば、タテのデータが反射の全時間でいえば 60 n.sec. にあたり、それらがコンピューター上では 256 個のデータに置き換えてあったとした場合、256 個の内の 43～45 とか 52～54 番目のデータを使って、横に並べるのである（＊32右上）。

しかしながら、このようにして平面図を作っても、遺構の実際の形を得るのは容易ではない。その最も大きな理由は、土中での電波の進行が一様でないことによる。先にも述べたように、もしある対象の上層に局部的に質の異なる土が分布していると、電波の反射に要する時間はまちまちとなり、水平であるべき対象も歪みをもって、表現されることになる。また、目的とする遺構が、水平に存在していなければ、データを機械的にヨコ方向に並べてみても、遺構を斜めにスライスしたことになり、平面形全体を表現できない。地中レーダー探査において、平面形を求めれば、結果の判定に有効であることが判っていても、実際に試みられることの少ないのは、このような理由による。



＊32　レーダー探査による住居跡の平面図例

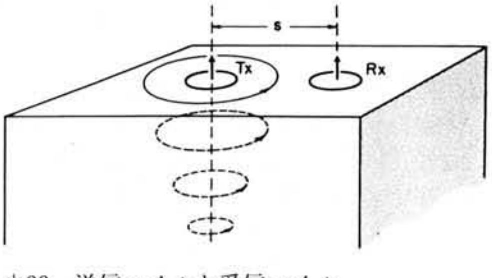
電磁誘導探査法

人工的に発生させた磁場を、地中へ及ぼすと渦電流が生じる。これを一次磁界という。そしてこの渦電流のために二次磁界が発生するが、その大きさは土の持つ導電率（Conductivity）すなわち電流を通す能力に応じて異なる。このことを利用して磁界を作り、電気伝導度を測定することにより、土などの比抵抗を知る方法を電磁誘導探査法と呼んでいる。

この測定方法では土など物質の比電気伝導度を求める。測定単位としては比抵抗を表すオーム（Ω＝ohm）の逆数（mho＝1／mho）である。このことからも判るように、本測定方法でも電気探査と同じように、土を電気的な要素から判別しようとする。その意味では本測定法も、電気探査の中に含めることができる。

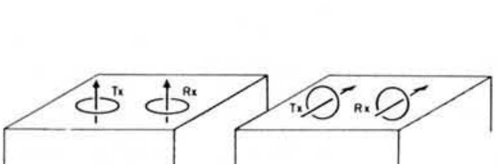
一般には電磁探査という場合は、接地式で電流を流すものと、非接触で磁界を誘導する方法も含めているが、ここでは非接触の方法について述べる。

磁界を発生させるこの測定方法では、発生させた以上の強い磁界が測定器へ及ぶと、これがノイズとなって正確な測定ができない。磁気探査と同じ様な弱点があると考えてよい。したがって、都市部などでは応用できず、使用する機会は限られる。しかしながら、金属遺物のように高い導電率を示す対象には、非常に敏感に反応をするところから、考古学探査では金属探知を目的に採用されることが多い。一般によく知られている簡便な金属探知器は、探査可能な深度が極端に浅く、正確な探査が期待できないからである。電磁誘導探査ももちろん電気探査と同様に、土の電気抵抗を求める探査にも応用できるし、本来の目的もそれにある。しかし、いま述べたようにノイズに弱いことや、比抵抗の高い土の探査には適当でないこと、考古学探査に使用するような小規模な装置では、深い層位まで探査できないという点などから、土の電気的な性質を求めることを目的にした場合には、最初から電気探査専用の装置の方を選ぶことになる。



＊33　送信コイルと受信コイル

金属の中でも鉄製遺物の探査を目的としたときには、磁気探査も応用できる。しかし、磁気探査では鉄以外の対象は捉えられない。それに対して電磁誘導探査は、すべての質の金属を探知することができる。そこで実際の探査では、磁気探査と電磁誘導探査の両方を採用した測定をおこない、結果を検討することが望ましい。もし同じ位置で二方法ともに異常を示せば、それは鉄製品と推定でき、そうでなければ鉄以外の金属の可能性が指摘できるからである。



＊34タテのモードとヨコのモード

装置と測定方法

＊35　EM38による測定
タテのモード

考古学探査に使う小型で軽量の装置としては、カナダGeonics社製のEM31、34、38型などが考えられる。これらは、送・受信用のコイルやループ間隔、出力周波数がそれぞれ違うので、探査可能深度と分解能が異なる。原理的にいえば、周波数の低いものは深い位置まで探れるが分解能は落ち、小さな対象物の弁別は困難となる。

EM38　この型は全長1.03m、高さ12cm、厚さが2.5cmで、偏平な板のような形をしている。両端に送・受のコイルが固定してあり、その間隔は丁度1mである。総重量が1.4kgと軽く取扱も簡単であるところから、わが国では考古学探査に使用されることの多い器種である。出力周波数は13.2KHzで、9ボルトの乾電池で作動する。探査能力としては、1.5mといわれているが、実際には測定するモードによって異なる。

すなわち、測定モードには装置をタテとヨコに置く2通りがあり、それぞれ測定の有効深度が異なる。タテ（Vertical Mode）に置いた場合には、コイルもタテにすなわち下を向いた状態になり、深さ1.5mまでが探知でき、ヨコ（Horizontal Mode）にした場合には丁度タテの半分の0.75mまでが、測定可能と言われる。

ここではこのEM38を使用した測定について述べることにする。

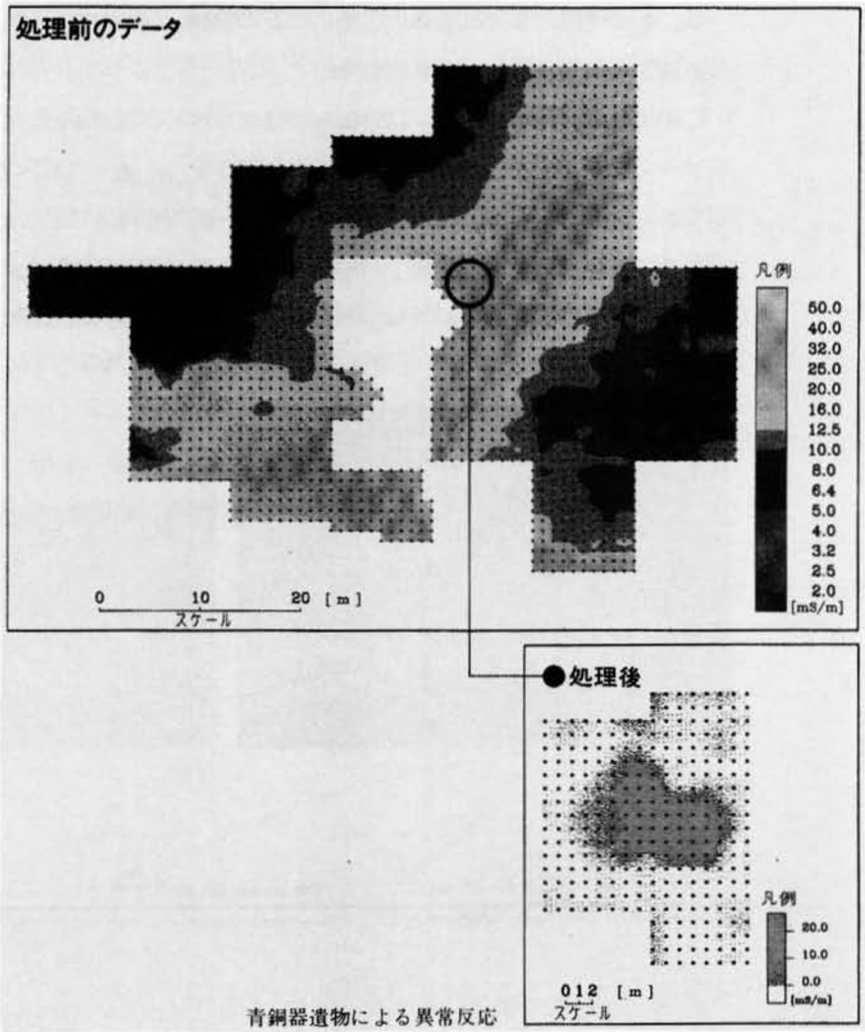
測定方法　EM38は軽いので片手で、持ち運ぶことができる。ところが磁界を発生させるこの装置では、測定者が金属を身につけていると、それがノイズ源になる。ベルトバックル、時計、靴の金具、眼鏡、小銭、テレホンカードなどは、代表的なノイズ源である。また、衣服の金属ボタンなどは、現地で取り除くことのできないので、最初からこのような種類の服装は、避けるようにすることが必要であろう。

さきに述べたように、この方法は金属探知を目的に採用することが多い。測定に際しては探査対象の大きさや、予想できる深さに応じて、測定密度を決める。たとえ大きな金属塊であっても、それが深い位置にある時には、磁界を乱す程度が小さいために探知できず、小さくとも浅ければ知ることができるからである。

一般的にいえば測定の密度は、他の探査方法でも採用することの多い、1m間隔程度の密度を基本にして、何らかの異常を認めた場合に、そこを精密に補足測定する、という方法をとると良いだろう。たとえば高さ50cm程度の銅鐸が、60〜70cmよりも浅い位置に埋まっている場合には、この程度の間隔でも探知できるものと思われる。

実際の測定は他の探査方法と同じように、設定した測線に沿っておこなう訳であるが、読み取りデータを手書きによって記録する場合には、記録者は装置から5m程度は離れていることが望ましいであろう。自動記録する場合には、装置本体に記録する部分を備えていないため、データ転送用のコードを取り付けたり、記録装置を用意する必要があるが、ノイズ源として影響しない程度に離れる必要があろう。なお、自動記録する際には、装置を地上すれすれに手でぶら下げたり、ソリの上に載せて移動する方法がとられる。

本測定方法では、磁界を発生させるので、もし周辺にそれよりも大きな磁界、すなわちノイズがあると、正確な測定はできない。これは磁気探査と同じである。したがって、この方法を応用する場合には、事前に磁気探査でみたような、対象とする現地の自然条件確認が必要となる。ノイズ源となるようなものの、存在の有無を知る予備調査である。



＊36　EM法による電気伝導度探査（島根県:荒神谷遺跡）

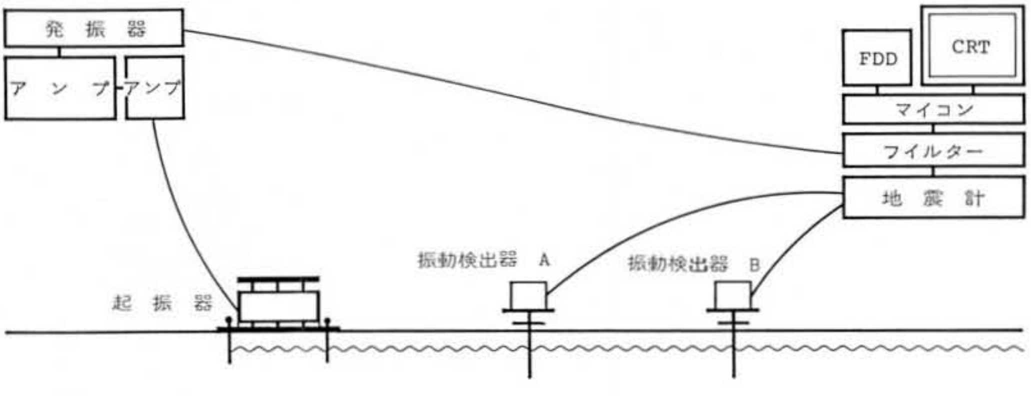
定常波探査法

土と土を区別するときの要素としては、それの硬さ軟らかさに着目することもできる。石材によって構成される遺構をあげるまでもなく、如何なる遺構も周囲と比較したとき、硬軟の違う部分として存在していると考えれば、この要素によって判別できるはずである。土や岩石をこのような視点から識別する方法では、振動波を利用する方法があげられる。

一般に振動波は、硬い媒体では速く伝わり、軟らかな場合には遅い。また、振動の振幅の小さい波、すなわち周波数の高いものは浅い層を伝わり、周波数の低い波は深くまで達する。ここに紹介する定常波探査法も、基本的にはこの原理にもとづいているが、ある一定の振動を発生させ、それのみを受信しようとする点が、普通おこなわれる振動波探査とは異なる。

ある一定の振動波を発生させ、受信するところから定常振動法すなわち定常波探査と呼ぶこの方法では、レイリー波（Rayleigh）として区別される表面波を利用する。その特徴は、一般におこなわれるタテ波（P）やヨコ波（S）などを使う振動探査の反射法とは異なり、振動のエネルギーの60～70%は、地表面と平行に1波長の領域を通して進行すると考える。そして、このとき捉えている土の平均的性質としては、近似的に波長の 1／2 の深さの土に等しいと見なす。このように、土の性質を地表面と平行に、いわば分層しながら探査するこの方法は、発掘調査における層位識別に類似しており、考古学調査に馴染みやすいといえよう。

本探査法では振動波を利用するところから、周辺に発生させた以外の振動があるような環境下では、それがノイズとなり正確な測定ができないことがある。また、地表面が軟らかかったり密度が粗いために、地中へ振動エネルギーが十分に伝達できない場合にも、測定は制限を受ける。地中に傾斜したような地層があるときには、振動の伝達経路が歪められたり、あるいは硬い層があれば、それより下層の情報が取りにくいなど、実際の測定では困難な部分もある。



＊37 定常波探査の装置概念図

定常波探査の方法

測定の方法　本方法では振動波の伝播速度から、地層の硬軟を見分けるが、実際の測定では振動検出器の間にある土の、平均的な性質を求めることになる。したがって、もし検出器を１ｍの間隔においた場合には、１ｍの間すべての土の平均となり、この間隔よりも小さな対象物は判別できないことに注意する必要がある。

検出器の間隔は目的とする対象の大きさによって決定することになるが、余り狭くすると波長が長くなったとき、すなわち深い層位を探ろうとしたときには、分解能が悪くなり対象の規模などを判定する際に不都合が生じる。一般的にいえば、５ｍの深さを探査する場合であれば、１ｍ程度の間隔を保つことが望ましいであろう。

深い層位を目的とするときには、間隔を広げる方がよいわけであるが、余りにも広くすると発生させた振動のエネルギーが、遠い方の検出器へ十分に伝わらなくなる。これに対処するためには、規模の大きな起振器を用意するなど、加振能力を高める工夫が必要となる。しかし、余りにも高めると波形に歪を生じ、正確な測定ができなくなる。

測定を開始するときには、測定地におけるノイズの大きさを確認する。電車や自動車が近くを通れば不必要な振動発生源となるが、これらから隔絶した山中でも、立木が風によって動けば何らかの振動が生まれる。そこで、まず探査地におけるノイズの大きさを求めておくのである。そうすれば振動を観測する地震計の、最低感度域の設定が的確にできる。

次には、発生させた振動波が正確に振動検出器のＡ、Ｂへ、伝わっているかどうかを確認する。そうすることにより、加振器が必要とする電気エネルギーの程度が判る。確認には検出器のＡ，Ｂが受けている波形を観察すればよい。正確な受信を目的に波には変調が加えてあり、いくつかの通常の波の間には、拡大したピークが発生させてあるので、このピーク同志が相互に識別できれば、正常に受信できていることになり計算も可能となる。

振動検出器の近い方に設置したものＡと、遠い方のＢとの間をどれだけの時間がかかったか、すなわち伝播時間は、これらピークとピークの到達時間の差を比較すれば判る。もし、検出器の間隔がｄｍで、そこを通過するにｔsec. の時間がかかり、発生させた波の周波数がＮであったとすると、平均の速度（$\overline{V}$）はｄ／ｔ（ｍ／sec.）となり、このとき捉えている土層の深さは$\overline{V}$／Ｎの１／２ということになる。

このようにして、浅い層から深い層まで順次伝播速度を求めていくが、実際の測定では地下には複数の異なる土層が存在していて、振動波もこれら全部を経由する。したがって、もし上層に硬い層があり下層が軟らかい場合には、見かけの上では下の層も実際よりは硬い、つまり伝播速度が速いというように捉えられる。これを補正するために、各々の層固有の速度を求める必要がある。このような固有の速度を部分速度または瞬時値ともいう。

なお、実用化されている装置（GR　System）では、演算はこのようなピーク・ピークの方法ではなく、受信波形の相関をとるという形式を採用している。また、目的とする対象の深度に応じて、振動を発生させる起振器も各種用意されており、振動検出器も地表面の状況に応じたものが開発されている。

測定装置

この方法による測定装置の構成は、次のような2部分に大別できる。振動波を作り送り込む部分である、発信器、アンプ、起振器と、受信計測部の振動検出器、地震計、フィルター、計算機、などであるが、実用化されている装置にはそれぞれ若干の差があるので、以下では奈良国立文化財研究所が保有する形式を中心にして述べることにする。

測定装置　1）発信器　発生させる振動の周波数を設定する部分で、1〜7,999.99Hzまでを設定できる。また、100、10、1、0.1、0.01の周波数間隔をもって、自動的にスイープさせる能力も備えている。スイープは連続して150ステップまで可能である。

ここではまた、発生させた振動波を正確に受信するために、波形に変調を加える。すなわち、連続する同じ波形の中にピークを作り、その大きさも変化させる。さらにピークとピークの間には、通常の振幅波形を複数設定する。

2）アンプ　起振器に電力を供給する部分である。発信器からの信号を受けこれに応じて出力する。

3）起振器　地面に設置して振動を地中へ送り込む部分で、鉄製の円盤を電磁石によって鉛直方向に運動させる。発生させる振動の力は、円盤の重量によって異なるが、40kgのモデルの場合には、最大50kg−Gの加振力を得ることができ、ノイズがなければ約10mの深さまでの測定が可能である。

4）振動検出器　地面を伝わる振動波の速度を計測する部分で、2基を使う。1（A）は起振器に近い方に設置し、他（B）は通常それよりも約1m程度離れた位置におく。検出器は直径10cmの小円盤の上におく。円盤には地面に差し込むための棒が接続してあり、側面形はT字状である。棒の長さは通常20cmである。この2基の検出基の間を、どれだけの時間かかって、振動が伝わったかを感知すれば、土の持つ固有の伝播速度が判ることになる。

5）地震計　2基の振動検出器で感知した振動の電気信号は、それぞれ地震計に送られる。ここではそれぞれの信号を、適切な電圧の信号に調整して、フィルター部へ転送する。有効測定範囲は0.3〜250Hzまでである。ここの部分は、ロウ・パスフィルターの機能も備えており、測定している周波数帯によっては、それぞれ250、50、10Hz以上の周波数を、手動によって削除することも可能である。

6）フィルター　発生させている周波数を知り、それのみを受信するために、発信器にも接続させてある。その同調信号を受けることにより、バンドパス機能を働かせて、発生させた周波数の振動波の信号みを、計算機へ転送する。

7）計算機　振動検出器によって得て、フィルター部を通過してきたA，Bの振動検出器よりの信号から、AB間の伝播速度をまず求める。次に周波数と検出器間の距離から波の到達した深さ（Depth）と伝播速度（Velocity）を計算する。

*38　振動検出器（手前）と起振器

測定の実際

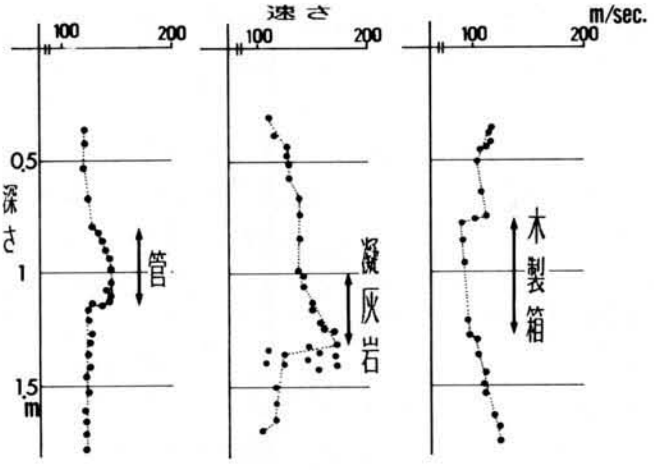
本測定方法では常にある一定間隔の土の平均を求める。それは電気探査に似ているといえよう。しかし、正確に土層の深さや厚さを求められる点が大きく違う。他の方法にみられない特異な点である。そこで遺跡調査に応用する場合には、他の探査方法によって遺構の位置や範囲が限定できた後に、それの埋まっている深さや厚みを求めるという、補助的な情報を得ることを目的に測定することが多い。そのときには「点」情報を、得るというように理解できよう。

もちろん本測定方法のみで、「面」的な探査ができないわけではない。事実、広い範囲の旧地形を求めた測定例もある。しかし、測定に使用する装置全体は、多数の部分から構成されており、個々の部分は非常に重い。実用化されている探査装置が、車載型になっているのはこのためで、自動車が進入できない場所では、原則的には使用できない。これが本測定法における弱点といえよう。

面的な探査を目的にするときには、ある一定間隔で測定をする。これが旧地形の復原のように、細部にわたるデータをそれほど要求しない場合には、測定の間隔も粗くて済む。ところがもし小さな対象物の規模などを求める際には、測定間隔を密にとる必要がある。そうすると、測定に要する時間が長くなる。この方法でもし10mまでの深さを、5㎝単位程度に分層しながら探った場合、1日の測定点数は15～20点程度にとどまると言われている。

このように機動性に欠けることや測定速度が遅いという点で、この測定方法は遺跡探査に応用することは少ない。しかし、深い位置の小さな対象物も探査できるという、特異な能力があるので、そのことを念頭におき活用することを考えていけばよい。

例えば、電気探査では深い層を探れば探るほど得られる情報は大まかになる。電磁誘導探査も同じである。磁気探査では熱残留磁気を帯びた窯跡でも、2ｍを越える深さでは探知は難しい。地中レーダーはよほど条件が良くても5ｍの深さを目標に探査はできない。しかし、定常波探査では地下10mの深さにある、1～2ｍの立方体を探知できる可能性があり、またそれまでの距離を正確に読みとれるのである。



＊39　埋設したサンプルを使用した測定実験の結果

写真判読法

われわれが遺跡を地表観察によって認定する場合、最も初歩的手がかりとしては遺物の散布する場所を見つけ出すことがある。また、古墳墳丘のように、現地形として明確に残っているものを発見したり、自然地形の人工的改変に着目して推定するなど、地表にとどめられた何等かの痕跡を手がかりとする。このように、比較的容易に肉眼で観察できる状態の他に、遺構が地下に埋没しているために、通常は目視できないような条件のものもある。

しかし、それら遺構は地下にあっては、なんらかの土の差がある部分として存在している。なかでも乾湿の度合が異なる箇所としてある場合には、その状況が地表面にまで及び、観察できることがある。また、土の変化が植生の違いとなって現れることもある。このような現象や、上に述べたような自然地形の人工的改変を捉えることを目的に、写真を利用して遺構を推定する方法が写真判読である。写真という媒体に映像化することと、一度に広い範囲を観察できる、という点が特徴といえる。

写真判読を目的に映像を記録する媒体には、白黒のみならずカラー写真も使われることが増えてきている。また、人工衛星にみられるように、肉眼では感知できない電磁波の領域の、熱映像や赤外線のバンドの記録を目的とした方法や、マルチ・スペクトル撮影のように、従来の写真にはない方式も採用されるようになり、それの記録媒体も進歩している。

映像を得るためのプラットフォームは、現代では、人工衛星、飛行機やヘリコプター、あるいは山の上や櫓など、多様である。それぞれは、対象物までの距離が違いえられる映像の縮尺が異なる。したがって、いわゆる分解能にも違いがあり、目的に応じて使い分けられている。

以下では、地下遺構を写真判読によって見いだす場合の基本的な指標を、諸外国の例を参考にしながら紹介することにする。外国の例に依存するのは、この方法による探査が外国において発達したことと、わが国における実績が非常に少ないことによる。

1）**ソイル・マーク**（Soil　Mark）　地表面が裸地の場合、地下に埋没している遺構の示す乾湿の度合が、白黒の濃淡となって現れることがある。これをソイル・マークと呼ぶ。一般的には、地下にあっても水分が多い状態にある溝や濠のような遺構は、その直上の地表面も湿った状態にあるので黒く、石や道路などは乾燥しているので白く、写ると考えられているが、実際にはそれほど規則的ではない。

ソイル・マークの現れ方には色々あるが、耕作などの地表面の改変が、遺構面まで及んだ場合と、遺構面には至らない場合によっても異なる。もし耕作が遺構面にまで及んでいる、すなわち遺構面を破壊しているときには、遺構と周囲の土の違いはそのまま地上に現れことが多いため、土の色調の違いとして見ることができる。遺構面が破壊されていない場合には、土の違いは上に述べたように、水分の多寡が反映された状態の現れ方が主体となる。

2）**クロップ・マーク**（Crop　Mark）　地下遺構が原因となって、地表面の乾湿の状態に影響が及んでいる場合、それが植物の生育に作用することがある。ソイル・マークが生じるような地面での乾湿の差が、植物の成長に作用することを想定すれば良い。湿ったところでは生育が良く、乾燥した状態にあれば悪い。またこれは、生育の良否を基準にして、良いのはポジ（正）悪いのはネガ（負）というように、同じ指標でも区別できる。

このような正負の差は、正のマークであれば溝や住居跡のような地山を掘り込んだネガ的遺構によって、負のマークは石敷や道路または築地などポジ的遺構によって生じることが多い。それは、前者の場合には水分があり植物の根も張りやすい、という状態にあるためで、後者はその逆であるからといわれる。

クロップ・マークが表れる植物としては、稲・陸稲や麦あるいは牧草などのように、広範囲に一様に栽培される種類の植物があげられる。遺構部分が生育の良否の差がある部分として、周囲と異なる状態を示すのは、播種の直後よりも収穫時に近い時点の方が多い。稔りの頃には稲であれば、生育の度合は色調の違いとなって現れ、黄色の濃い部分とまだ緑が濃く残る部分に、分かれるのが普通である。しかし、稲では田植の後1ケ月を経過した頃に、色調は同じであるが、成長の度合すなわち高さの差となって現れることもある。

なおこの指標は、プラント・マーク（Plant Mark）と呼ばれることもある。

ソイル・マークとクロップ・マークの違いは、次のように整理することができる。すなわち、ソイル・マークは基本的には、耕作など人工的改変が及んだ土の変化を反映するため、深い位置にある遺構は現れないのに対して、クロップ・マークでは条件さえ良ければ、異なる深にある遺構や、傾斜した遺構面であっても反映する可能性のある点である。しかしながら、いずれの指標においても、深い層位に埋没している遺構は、地表までその影響を及ぼすことは希で、探知できないことの方がはるかに多い。

3）**シャドウ・マーク**（Shadow Mark）　ある高さを持って存在していた遺構が、後世に削平された後にも、僅かながら周囲よりも高く残っていたり、もともと低い構造物として構築された遺構が、埋まった後にも周囲よりは低い部分として存在しているとき、太陽光線が斜めからあたると、これらが陰影として写真に写る。

4）**雪・霜マーク**（Frozen Mark）　地下遺構の部分が他と異なる土で構成されていれば、その部分はまた地熱の蓄積や放射温度の違う箇所として、存在していると考えられる。事実、降雪の後雪が溶ける過程で、遺構部分のみが融雪の度合において、他と違うことがある。また、霜柱が発生するときに、地下に水分の分布が違う箇所があれば、霜の生成状況に差が生じ、溶ける過程でも違いが生まれる。

以上のような指標の他に、動物の活動によって生じるマークや、洪水なども例としてあげられている。動物の活動ではモグラやウサギなどが、軟らかい土からなる遺構の部分のみを掘削して、その活動の結果が遺構の存在を示唆することをいう。しかし、わが国ではそのような実例は知られていない。これと同様に洪水時に地形的に低いところのみが土砂に覆われ、結果として遺構の存在を示すような現象も、遺跡判読の例としては日本にはない。なお、洪水も古い時代に起きて埋没してしまったものと、現代のものとに区別できる。

*40　ソイルマークの例　長者曲輪

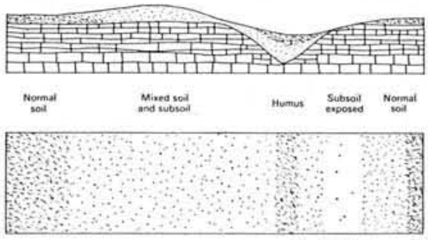
写真判読の方法

写真判読という場合には、一般的には航空写真を利用することをいい、垂直写真を指すことが多い。しかし、写真によって広範囲を撮すことは、櫓の上からでも可能であり、丘や山の頂に立てば、斜め写真ではあるが撮ることができる。これには航空機の場合のように費用はかからない。わが国のように写真判読の実績の乏しい状況では、いきなり高価な航空機の利用を考えるよりは、その土地における土壌条件などを確認したり、手軽にできる撮影を試みて、判読の効果を見定めることがまず重要である。

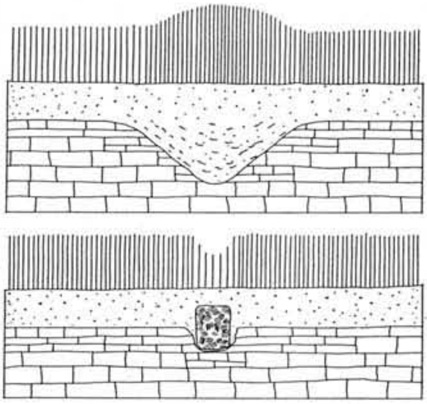
写真を利用して地下遺構を推定するためには、当然ながら写真に撮すこと、写真上で目的とする対象を見つけ出す、という作業が必要となる。ときには逆に、ある現象を捉えてそれを記録する、ということもあるだろう。いずれにしても、撮る方法・季節・時間・感光材などを、適切に選択することが要求される。

以下では、われわれ個人で可能な撮影や、観察項目を主体に考えて述べることにする。

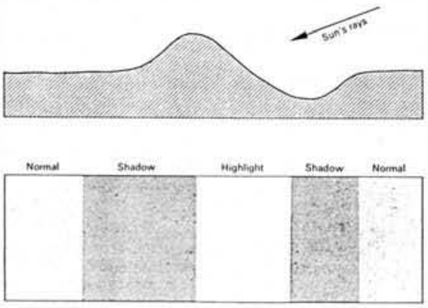
撮影方法　現在われわれが容易に入手できる写真としては、(財)日本地図センターから販売される1 :10, 000または1 :20, 000の縮尺で23×23cmの大きさのパンクロ(白黒)、または1 :8, 000、1 :10, 000～15, 000のカラーの航空写真がある。これらはいずれも垂直写真で、基本的には地図作りを目的としているので、地物などに影ができないような、時間帯を選んで撮影されている。したがって、シャドウ・マークなどを観察するには適当でない。また、遺構を推定するには、やや縮尺が小さい。もちろん、部分的に拡大して焼き付けることも可能だが、もとの縮尺が小さいので、良好な画質と分解能を期待するのは無理であろう。



ソイルマーク



クロップマーク



＊41　判読の指標　シャドウマーク

このような既製の写真を利用しようとした場合、目標とする地域が今までに撮影されてないことも有りうる。市販の適当な写真が無いときには、撮影することになる訳だが、費用の点などから容易ではない。上に述べたような、手軽なプラットフォームからの撮影を試みるか、地上からの観察を普段から心がけておくことが、まず必要であろう。そして、判読によって成果が上がる可能性を見つけた段階で、航空機などの利用を考慮すれば良い。

しかしながら撮影を試みれば、いつでも効果的な写真が得られるかといえばそうではない。

撮影時期　今述べたように、市販の航空写真は影の無い正午頃に撮られるものが多い。季節としては特に集中するようなことはない。しかし、判読の有効性を確認するために、ある特定の地域の四季それぞれの写真を、入手するのは困難である。また、同じ季節でも希望する日時や時間の写真を、既製品の中から見つけ出すのも不可能であろう。したがって、対象地域の観察や写真撮影を、条件を違えて検討したい場合には、目的とするマークの種類を明確にしておき、それに応じた方策を構じることが必要となる。それには、以下のような点に注意しておく必要があろう。

ソイル・マークを目的にする場合には、畑や水田を問わず土が耕された直後が、最も適当な時期と言われている。耕作が遺構面にまで及んでいる状態の場合には、それは土の色の違いとして表れる。地表面観察や撮影は、最低このような時期を選ぶことから始めるべきであろう。日照りが続くような年には、その直後の雨の量によっては、遺構が乾湿の異なる部分として表れることがある。降雨のどれくらい後が適当な状態かは、土質によって異なり吸水性や保水能力によって決まる。降雨のあった後少なくとも２〜３日間くらいは、継続的に観察することが要求される。

このマークを撮影するときには、できる限り雲の無い日を選ぶべきである。地表に写った雲の陰とマークとが、判別できない場合があるからである。また、撮影角度によっては、全くマークを観察できないことが、この指標ではある点も注意しておく必要があろう。連続して撮影された航空写真の中で、明瞭なマークが観察できるものと、全く見えない写真とが、隣接して撮られた例があるのである。このようなことの起こるのは、主として地表面における光の反射角度の違いが原因といわれる。

乾湿の度合を記録する場合、通常のパンクロやカラーフィルムなどの感光材の他に、赤外線の領域の撮影が有効である。それは、赤外線が可視光線よりも波長が長く屈折率も小さいので、透過率が大きいことによる。赤外写真によって地下水の分布が、明確になった例が多いことからも判るように、特に水に対する独特の反応を利用するのである。

クロップ・マークの観察を目的としたとき、生育の度合から適切な時期を選ぼうとすれば、やはり普段から探査を目的とする地域に、注意を払っておくことが必要である。水田地帯の場合であれば、先にも述べたように田植が終わって１ヶ月ほど経過した時点や、収穫に近い頃に特に注意をする必要があろう。特に稲の場合には、生育に差が生じる可能性のあるのは、夏前と収穫時に近い頃と、非常に限られた時間帯である。そしてこのマークは長くは続かず、１週間程度しか観察できないと言われている。また、クロップ・マークは毎年観察できるものではなく、気候によっては見られない年もある。それは特に根の深さと、そこの土の保水能力が関係していて、植物の種類によっても異なる。

＊42　稲のクロップマークの例　長野県:更埴市

水田を対象に観察する場合、単一の水田内のような狭い範囲で完結する「異常」な箇所は、土の耕耘の度合の違いや、肥料の不均一な散布によって、生じた現象である可能性があり、注意する必

要がある。複数の水田にまたがって認められる指標の方が、遺構を反映している可能性が大きい。なお、水田でない丘陵地における麦や牧草などでは、地形そのものが生育に影響する場合があるといわれている。

色調の違いとして現れているクロップ・マークを記録するには、一般的には、斜めから撮影するのは適当でなく、垂直写真の方がよいといわれている。高さの差として現れるマークは、ひとつには陰（シャドウ・マーク）を利用することもあるが、太陽光線の方向によっては観察が困難なこともありえる。逆光による撮影効果を利用した方がよいであろう。色の違いで見えるものを撮るには、順光が望ましいともいわれている。

シャドウ・マークを記録するには、当然ながら斜め光線の射す朝夕を選ぶが、霜マークを目的とする場合も、明け方が適している。しかしこれも、その日の天候がどうであるかによって、溶け方は違うわけで、一概には決められない。僅かな雪が降ったときにも、それが溶ける状態を観察すれば、霜マークと同様の成果が期待できるが、一日の内でいつが適当かは、やはり空気の温度や日照の強さによって異なる。

感光材料　写真を撮るために使用する材料、すなわちフィルムや乾板などには種類が多い。その中でどのような材料を選択するかは、今までに様々に検討されている。一般的には、カラー写真のような高価な材料を使わなくても、白黒の写真で十分な記録がえられるといえる。しかしながら、白黒の感光材にも各種あり、目的とする対象の表れ方、すなわち色調については十分な知識が必要である。

たとえば、ソイル・マークが周囲の黒い中で、白く乾燥した状態で見える場合は、現在市販されるどの様なフィルムを使用しても問題はないであろうが、赤色や橙色が主体のような土では、赤系統の色を十分に記録できるフィルムを使用しなくてはならない。また、黄色や緑色などが問題となるクロップ・マークを写す場合にも、それに適当な感光材が要求される。しかし、これらの要素にとらわれず手軽に使用するとすれば、幅広い色の範囲に対応できるネオパンSSを選ぶのが無難であろう。

一般的注意　写真を利用して探査するとき、各種の指標観察における留意点は以上のような事柄であるが、それ以外にも注意しておく必要のあることがある。

それは、ある遺跡の写真判読による探査で、一度あるいは一枚の写真を観察したのみでは、希望するような成果は挙がらない、ということである。同じ地域を数年にわたって季節・時間・感光材などを違えて撮影して、それらの結果を比較検討した段階で、初めてそこの場所での適合性を論じることができる。

また、先に述べたように、いきなり高価な航空機などの利用を考えるよりは、遺跡毎の土壌条件を確認すること、それに応じた有効と思われる判読方法を考えること、既成の写真を収集したり、肉眼による地上からの観察を日頃から心がけること、などがまず必要であろう。その後に、改めて記録方法を選択すればよい。

既成の写真としては、先には日本地図センターからの入手をあげたが、地方公共団体が発注する市街地、道路、住宅、農地、森林などの、地図製作の過程に撮られた垂直写真や、コマーシャルや報道関係による斜め写真なども収集することを心がけると、以外に有効な写真が発見できることもある。最近では遺跡のおかれている環境を示すことを目的に、発掘報告書に航空写真を利用することも多くなっているが、この場合には探査を目的とした目で、写真を観察することが要求される。目的意識的

に観察しないと、写真に写っていても気が付かなかった、という例は以外にある。

このように、既成の写真の収集や地上からの観察を重視して、写真判読を直ちに探査方法として採用しない理由は、わが国においては、写真判読の成功例は非常に僅かであり、地図作りの過程で、偶然に発見されたものばかりであることによる。このような状況にあるのは、一つにはわが国の自然条件、特に水田土壌を対象とした場合にみられる困難さがある。水田地帯では写真判読のみならず、物理探査も困難なのである。

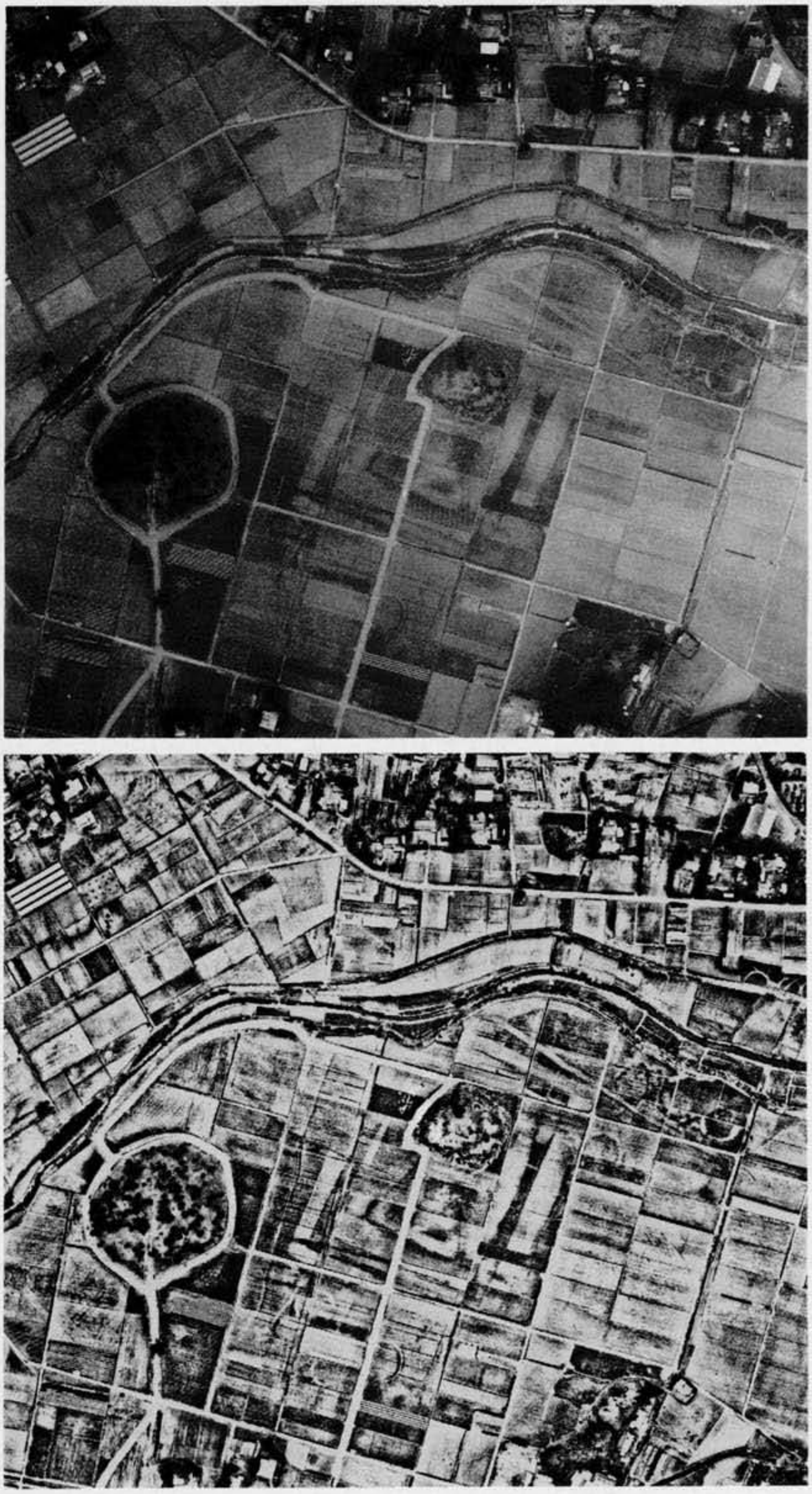
水田にはまず耕作土があり、その下には保水のための床土がある。これら2層はいずれも鉄やマンガンの沈着した非常に均質な層である。遺構は通常この層の直下にあることは希で、さらに2～3層の別な土層が介在した下に存在する。遺構が深い位置にあるために、その存在が地表面にはなかなか影響しないこと、その上層にある均質な層が遺構の示す土の差などを、地表まで及ぶのを妨げていることが原因といえる。また、水田の中にあっても、近年の圃場整備のように重機を使用した土の移動は、深い層位まで撹拌されていたり、さまざまな質の土が広範囲に入り交じるため、地下の状態が地表まで反映されることを妨げ、判読のみならず物理探査も極めて困難である。

しかし、火山灰を起源とする土壌地帯では、たとえ水田であっても遺構が発見されている例がある。それは遺構面までの土が薄い、つまり浅い層位に遺構があることと、地表面までの土層が均質なことが、理由と考えられる。現在までに知られる判読例が、関東地方や東北、北海道に多いのは、偶然ではないのである。

火山灰起源の地帯だけでなく、日本の場合には様々な指標以外に、次のような方法も有効と言われている。それは、地物などのパターンを読むこと、実体視によって3次元の像をえながら、写真を観察する方法である。パターンとして読む場合、例えば平城京などの都城や地方官衙では、条坊のように整然とした土地の区割りがあると、それが後世に水田や畑地化される際に、道路面やその側溝部分は細長い地割を踏襲してそのまま水田化されるため、形態や連続性から遺構を読み取れることをいう。

実体視によって三次元の立体像を得るには、普通は航空写真でも垂直写真を使う。立体的な像を得ながら観察すると、いま述べたような水田地割りでも、溝部分が低い水田であったり、築地の跡が周囲よりは高い畑や田であることがある。また、地割りらしきものを発見したときに、その範囲に注意すると、明らかに人工的に造成されていてることが、読み取れる例などがある。自然地形と人工的な部分とを、判別するのである。このような目的の場合には、写真の縮尺はできるだけ大きいものが望ましく、最低8,000とか6,000分の一程度はほしい。

写真判読によって遺構を発見したり記録できたら、それの位置を記録することが必要になる。イギリスなどの例では、斜め写真でも地形図の中に記入できるこの用途専用の簡便な用具があるが、わが国では普及していない。今までに写真判読の実例が少なく、したがって、必要がなかったのが原因と思われる。その方法は原理的には斜線法と同じであり、必要な際にはこれを応用すれば良いであろう。



＊43
埼玉県:稲荷山古墳
周辺のソイルマーク
（下:画像処理後）

遺跡探査の要点

現在実用化されている遺跡探査法は、以上のような方法である。何れも長所と欠点をもっている。しかし、これらを探査対象や遺跡のおかれている自然環境に応じて、適切に選択して応用すれば、有効な情報がえられることも確かである。有効な情報とは、すなわち基本的には土と土の区別である。ときには土中にある「異物」の存在の指摘である。ところが探査自体はそれらが何であるかは教えてくれない。探査の成果を活かすためには、われわれ考古学に携わるものが、関与しなくてはいけない、重要な部分があることを、確認しておく必要がある。

以下に実際の探査をおこなう場合の留意点を、物理探査を中心にして整理しておきたい。

探査計画　探査を実施する前に、まず「何を」対象にして「どこまで」明らかにするかを考えておく。例えば、発掘調査で明かとなった溝や濠などを、調査区外へ追跡する場合、方向と延長のみを問題とするならば、一定間隔に設定した横断測線での「線」的な測定でも成果はあがるだろう。あるいは、遺構の存否やそれの位置のみを知ることが目的であれば、粗いグリッド測定でも十分な場合がある。

しかし、遺構の規模や平面形の詳細が知りたい時には、より細かな間隔を採用する必要があるだろう。「面」的測定が要求されるのである。ところが、詳細を求めれば求めるほど、測定すべき点数は増加する。同時に労力と日数がかかり、それはすなわち経費に反映することになる。

測定を実施する際には、測線やグリッドを設定して、これを利用しておこなう。すなわち、なんらかの基準となる点に依拠して実施する。探査場所や範囲は、正確に記録されなければ、せっかくの成果を活かすことができない。記録のための基準の設定である。それは発掘調査における実測などの記録も同じであり、探査を実施する前に確認したり、設置する必要がある。

探査予定地の地表面の現状を調べておくことも、事前の準備として大切である。雑木が繁茂していたり、雑草が密集していれば、人間が歩行することも困難である。このような状況では測定も制限を受けたり、ときには不可能となる。また、基準点や測線の設置もできない。したがって、探査を実施する時期や期間は、遺跡の調査計画全体の中で考えることが必要となる。伐採や清掃が終わった後などに、探査期間を設定する例は多いのである。

方法の選択　次に、探査をする対象が何であるかを、整理しておく。それによって採用すべき、あるいは採用できる探査方法が決まる。遺跡のおかれている自然環境によっては、有効な成果が期待できない方法があるからである。なかでも、ノイズに影響されることの多い方法を予定した場合には、事前に探査地の環境を調査しておくことが重要である。地図に載っていない高圧線やガードレールなどは、現地へ行かないと判らないこともある。

現地の状況を知るためには、航空写真も役立つ。地図に表現されていないものを確認できるだけではなく、写真判読に使用できるからである。

採用する方法は基本的には、対象とする遺構の種類や、埋まっている深さによって決める。電気探査では土の乾湿の度合で区別できる溝や濠、または石室、石敷、空洞など。磁気探査は熱残留磁気を帯びた窯跡や炉跡、あるいは磁性体の多寡で周囲と区別できる、浅い位置にある住居跡。地中レーダー探査では、土と土が乾湿の度合や密度の差として存在するため、反射面を作っている層序、あるいは周囲と質が大きく異なる金属や石または空洞など。定常波探査は、対象の存在を土の硬軟の識別によ

り、推定が可能な溝、濠、石敷など。電磁誘導探査では、導電率差から識別できる対象、特に金属。というように要約できるであろう。

しかし、最も肝心な点は、如何なる目的で探査を実施する場合にも、単に一種類のみの方法で終わるのではなく、複数の方法を採用して、結果を照合することである。特に電気探査とレーダー探査では、土の持つ電気抵抗の高低は、電波の進行や到達深度を推し量るに有効であり、両者を同時に応用することは必須ともいえる。あるいは、電磁誘導探査を金属の発見を目的に採用する場合、磁気探査も併せて実施すれば、金属の中でも鉄かそれ以外のものかが、判別できる可能性がある。

実施計画　具体的な測定にとりかかる際には、次のような準備も必要である。それは、探査する対象が「既知」であるか、「未知」であるかによって異なる。

既知の場合、すなわち発掘調査などで遺構の一部が既に知られており、これを追跡探査するときには、発掘区に隣接した箇所の未発掘部分を利用して、『サンプル・データ』を作成しておく。サンプルがどの様な「反応」として現れるかを、確認しておくのである。そうすれば、探査結果はこのサンプル・データと照合でき、目的とした対象であるか否かを、より精度良く推定できる。

事前に遺構のサンプル・データを採取できない場合には、発見を予想する対象の種類に応じた、『仮想モデル』を設定しておく。すなわち、どの測定方法を採用して、どの様な遺構を対象とすると、この土質では如何なる反応となるかを、推定しておくのである。この場合には、測定の結果えられた反応は、形態やその大きさまたは程度に基づいて、類型化する。そして、類型化できた何種類かの反応の中から、それが何に起因するのかを確認するために、いくつかの地点を選び試掘をする。試掘によって遺構の種類が確認できれば、同一類型に含まれる他の地点にも、同じ種類の遺構が存在しているという推定が可能となる。

探査の意義　遺跡探査について語るとき、「掘った方が早い」という言葉を聞くことがある。はたしてそうだろうか。遺跡調査は早さを問題にするものなのだろうか。掘る、すなわち遺跡を発掘する意味は何か。それは、遺跡・遺構および遺物の包含する歴史情報を、正確かつ多量に取り出す手段である。また発掘調査は、遺跡を破壊するところから、一度かぎりの繰り返すことのできない、実験と言い換えることもできる。

発掘調査は外科手術、遺跡探査は内科的な予察と例えられることもある。近ごろよく耳にするCTスキャンやX線撮影などで、予め十分な患部の調査がなされた後に、はじめて外科的な手段はとられる。遺跡に対しても探査による予察をおこなった上で、外科的手法である発掘調査の具体的計画を立案すれば、いきなり掘るという方法とは、当然得られる結果に差が生じるはずである。

遺跡・遺構を再び掘り直すことができないならば、発掘調査を実施するためには、十全の備えをもって取り組まねばならない。地形の観察や記録あるいは遺物の散布状況の確認などは、発掘手段を下す以前に、調査しておくべき最低の事柄である。すなわち、現状における地表面からの予察である。この予察段階で遺跡探査の果たす役割は、小さくないと考える。限界と有効性を熟知した上で、応用する機会を増やすべきであろう。

遺 跡 探 査

— 測 定 例 —

＊44　秋田県:大湯環状列石付近

電気探査の例

小山古墳　　　兵庫県西脇市

探査目的：地物や地割り痕跡などから、前方後円形または帆立貝形と推定される古墳において、電気探査とレーダー探査を採用して周濠位置と規模を求め、墳形と全体規模を推定すること。

探査の方法：円丘部側では先年の試掘調査によって幅約10mの周濠が確認されていたので、ここでは電気探査によって、どのような結果として周濠が捉えられるかの「サンプル・データ」を採取した。

サンプル・データを採るためには、試掘調査の結果を参考にしながら、現地形から推定できる円丘部の裾部より、周濠外方におよぶ幅10m，長さ25mの長方形の測定区を設定して測定した。測定はこの同じ範囲を対象に、2極法、ウェンナー法、エルトラン法、シュランベルジャー法の4方法を採用して実施したものである。本遺跡においては、どの電極配列が最も有効かを、比較検討するためである。以下にはそれら方法別の、測定結果を紹介する。なお、測定の間隔は何れの方法においても1mである。

測定の結果　　2 極 法 ：　移動電極（C_1P_1）の幅は50㎝である。遠電極は50m離れた位置までは同軸で導き、その先を30mの間隔に分岐して設置した（C_2 P_2）。

測定の結果を見ると、比抵抗の高い部分が測定区の西と東側にあり、中央部の東より幅10mほどは比抵抗が低くなっていることが判る。この低い部分が周濠であることは明確である。しかし、濠と思われる範囲は西側では西北方向に広がっており、整然とした形態としては捉えられていない。

墳丘裾にあたる東北隅部では比抵抗が高いが、南ではそれが途切れ、濠が東南方向に広がっているように見える点が注目される。比抵抗の最も高い箇所は測定区の西側にあるが、抵抗の分布状態を見ると、いくつかの単位に分散していて、それらはほぼ南北方向に連なる。濠の外側の何らかの利用状況を反映している可能性を、考えることも可能である。

ウェンナー法：　50㎝間隔に電極を4本設置した電極枠を使用した（$C_1P_1P_2C_2$）。

本測定法では、比抵抗のもっとも高い部分は測定区の西側にはなく、墳丘裾にあたる箇所として表れている。また、墳丘部分は2極法で見たよりも南まで広がっている。この点は実際に遺構を探査する上では重要で、ここでは、ウェンナー法によって測定した方がよいことを示唆している。

しかし、周濠部分の比抵抗分布では、2極法で見たよりも東側すなわち濠の内側に、抵抗の高い部分が張り出しており、もし本方法のみの測定結果によるときには、濠の一部が崩壊または変形していると解釈しそうである。

西半部は2極法と同様に比抵抗の高い範囲として捉えられているが、分布の傾向が東南から西北方向にある点は大きく異なる。一定間隔に変化するように見えるこの形態は、もしかすると新しい時代における耕作など、地表面の改変が影響しているのかも知れない。2極法とは違う解釈も成り立つのである。

エルトラン法：　この方法でもウェンナー法と同じく、50cm間隔に4電極が設置してある電極枠を使用した（$C_1C_2P_1P_2$）。

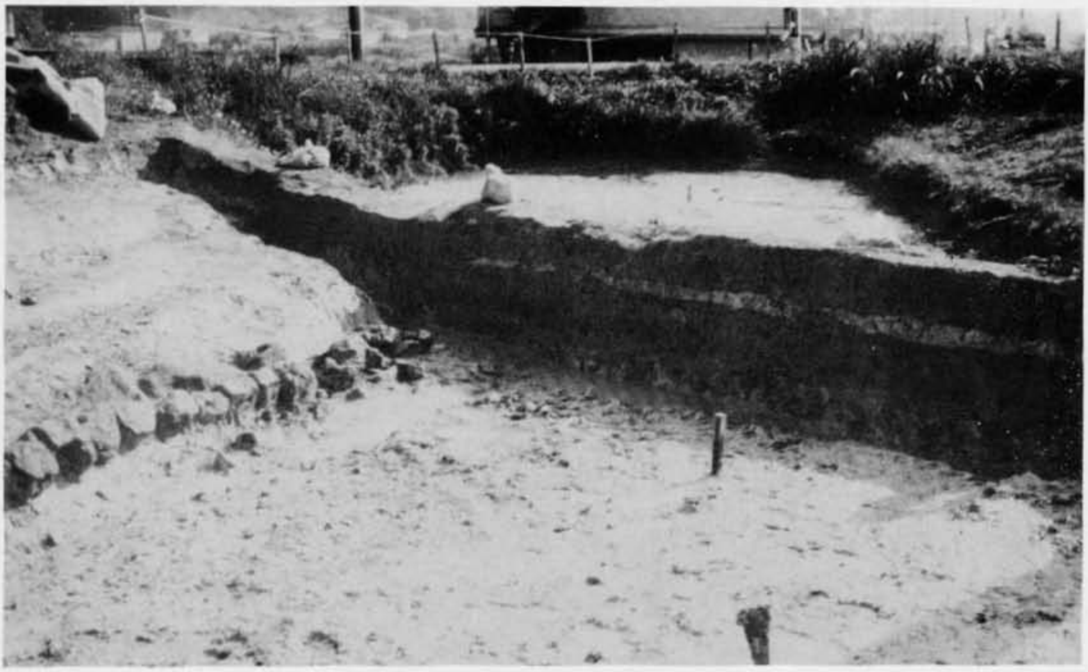
測定の結果を見てまず気が付くことは、比抵抗の局部的変化の多いことである。特に濠の内部においても小範囲の比抵抗分布がある点は、他の測定結果と大きく違う。しかし、墳丘裾部の位置に注目すると、抵抗の高い部分の分布形態が、2極法の結果に類似していることが判る。また、周濠内で比抵抗の高い部分が示す変化は、ウェンナー法の結果に近い。

しかしながら、濠の西側にみる高い比抵抗の分布では、高い箇所の位置は異なり分布形態も違う。電極配列が異なるのであるから、比抵抗分布の表れ方に相違のあるのは当然としても、このように分布する場所に差が生じるのは問題で、誤った結果を導き出すことになりかねない点に、注意しておく必要があろう。したがって、本測定方法は測定現場がよほど湿潤なような場合に限り、十分な予備測定をした後に採用するようにした方がよいだろう。

シュランベルジャー法：　CPPCの4電極すべてが一定間隔で移動する測定方法ではなく、C_1C_2を測定区外に固定しておき、P_1P_2までの距離は計算によって補正するという、便宜的な測定方法を採った。

この測定結果は、今までに述べた何れの結果とも大きく異なる。すなわち、比抵抗の低い範囲が測定区の中央全体を占め、その両側の高い部分は面積的にも狭く、分布の形態も違う。この結果は実際の遺構を反映しているとはいいがたく、本方法はここでの探査目的には適当でないことが判る。

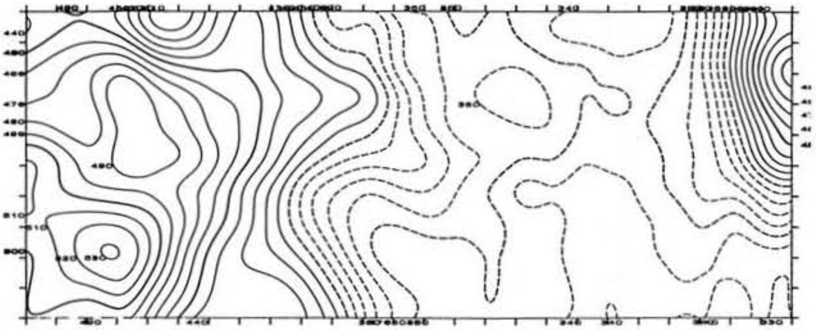
このように周濠部分が広く、周辺の比抵抗変化も緩やかな結果となったのは、この測定法がPPの距離の4倍の深さまでの、土の性質を捉えるという特性を持っているためと思われる。つまり、現実に存在する遺構の深さよりも、はるかに深い層位までの土の性質を平均してしまったものと、考えられるのである。



＊45　測定位置付近の墳丘裾と濠内の堆積

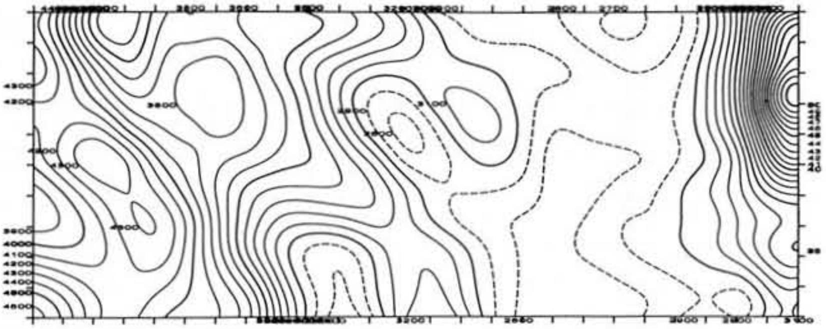
測定結果

WEST TWO5



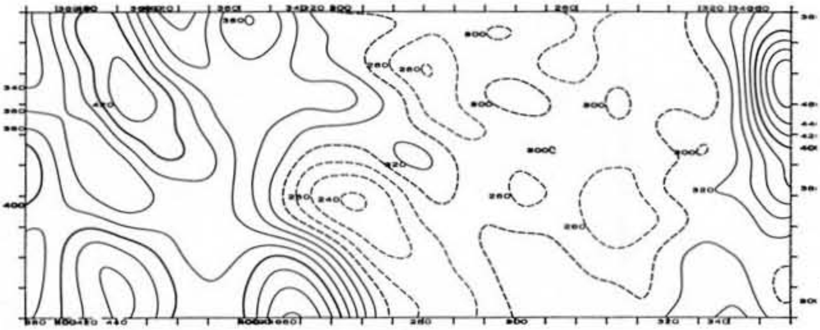
2 極法

Wenner



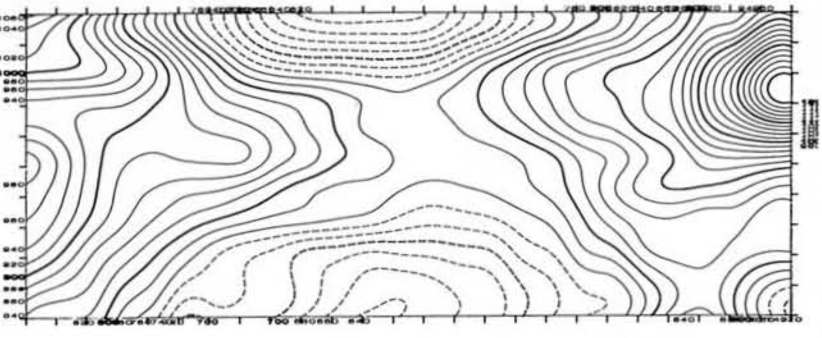
ウェンナー法

WEST ELT



エルトラン法

Schlumberger



シュランベルジャー法

＊46

磁気探査の例

南原33号窯跡　　会津若松市大戸古窯跡群

探査目的：　丘陵北斜面に須恵器が散布していて、窯跡であることは明かであったが、窯体の位置や基数は不明なので、発掘調査に先立ってそれらに関する情報を求めること。

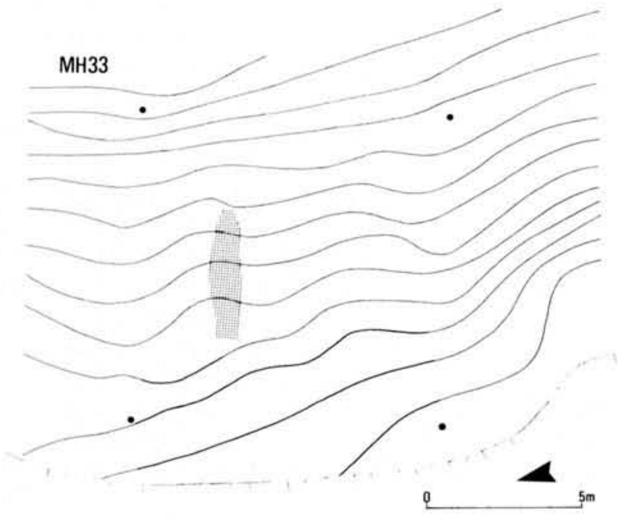
またここでは、磁気探査以外の電気、電磁誘導、地中レーダー探査の方法も併せて実施して、測定結果を比較検討することにより、それぞれについて探査方法としての有効性と限界を、確認することも目的とした実験であった。

探査の方法：　磁気探査では全磁力測定と磁気傾斜測定を実施した。同じ対象を探査したときに、結果にどの様な違いがあるかを確認するためである。測定範囲は斜面に設けた16×13m の大きさで、測定の密度は両測定法ともに１ｍ間隔。

測定の結果：　全磁力測定　G－856型を２台使用した。測定はケーブルを利用した有線トリガーを採用した２台連動法によった。

結果を見ると測定区の中央に双極子磁場を形成する、大きな磁気異常のあることがまず判る。この箇所が窯体の位置にあたっていることは、遺物の散布状態からみてほぼ確実と考えた（A）。プラスの磁気異常に注目すると、窯体は等高線と直角にあり、長さ約４～５ｍ程度と推定できる。なお、窯体の位置は双極子磁場が形成される際の原理から考えると、埋没深度によって異なるわけであるが、丁度プラスとマイナスの異常との接点を中心にして、あるものと見なされる。

ところがここでは、測定区の西南隅にいま見たのと同様の磁気異常のあることが注意される（B）。異常の範囲が測定区の外側に広がっていて、全体の規模は不明であるが、同じように双極子磁場を示す点から、ここにも窯体が存在すると推定できるのである。



＊47　測定範囲（四隅の黒丸）

磁気傾斜測定：　FM18を使用した測定である。全磁力測定でみたと同じように、測定区の中央（A）と東南隅（B）に大きな磁気異常がある。しかし、磁気異常の表れ方には大きな違いがある。すなわち、中央の地点では窯体を示すと思われるプラスの磁気異常の位置の両側には、マイナスの異常が伴っている。

全磁力測定とは測定している磁気の成分が違う訳であるから、結果の現れ方も違って当然であるが、この原理の装置を応用する測定では、違いを十分に理解しておく必要があろう。また、有効測定深度にも違いのあることも、記憶しておかねばならない。

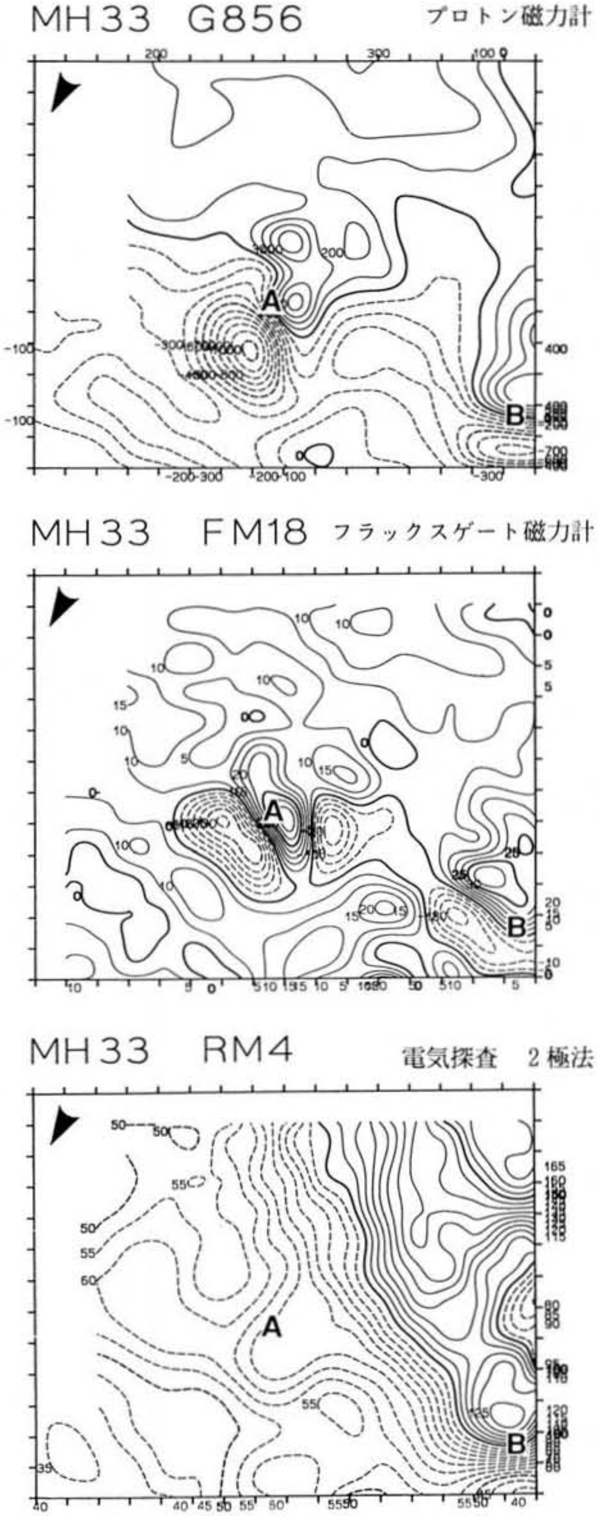
以上のように、磁気探査では２箇所に磁気異常の地点が指摘できる。つまり磁気探査のみの測定結果としては、２箇所に窯体の存在する可能性があると判断できる。しかし、これに電気探査の結果をさらに加えると、次のような点が明かとなる。

電気探査の結果　電気探査は２極法によって多数電極の枠を使った測定である。ここでは、電極間隔90cmの結果を示す。

結果を見ると、両磁気探査で指摘できたＡ、Ｂの２箇所の磁気異常の地点の内、Ａの箇所では磁気探査でみるような完結した範囲はないものの、比抵抗の低い部分にあたっていることは判る。一方、Ｂの地点では磁気探査にみるのと同様の、局部的な異常部分すなわち比抵抗の高いものと低いものとが対になっている。

同じ様な磁気異常を示すＡ、Ｂの２箇所は、電気探査では高低異なる抵抗を示す部分であった。このことは、これら磁気異常の地点の内、どちらか１箇所は窯体ではない可能性の大きいことを物語る。探査結果のみではこのどちらが窯体かは決められない。そこで、われわれの考古学的視点からの判断が要求される。遺物の散布状況や地形の観察である。

この窯跡の場合では、地表面に見られる遺物の散布状況を見ると、Ａ地点の下方に多いこと、Ｂ地点の下方は小崖で崖面が観察でき、そこには遺物や窯壁などが見られないことから、Ａ地点が窯体である可能性が、大きいと推定できた。



＊48　南原33号窯の探査

地中レーダー探査の例

平城宮跡　東大溝

探査目的：　平城宮のいわゆる第二次朝堂院地区の東側を、南北に走る宮の根幹排水路である東大溝は、数次にわたる発掘調査によって延長約200m が明らかになっているが、南では何処まで及んでいるかが明かでない。そこで、発掘によって知られた大溝の位置より約100m南において、その存在と規模などを確かめるために測定したものである。

また、この遺構は地中レーダー探査のみでなく、電気探査によって探査するに適当な対象であるところから、当センターがおこなう『専門研修：遺跡探査』の実習場所として、毎年測定を実施している所でもある。以下で紹介するレーダー探査結果の一部は、研修に参加された人々の成果である。

探査の方法：　地中レーダー探査　Geo－Radar Ⅱ（応用地質）とKSD－３AM（光電製作所）の２機種による測定である。周波数はそれぞれ250MHz と170MHz である。２種類の装置で測定したのは、採用する測定方式や周波数の違いによって、同じ遺構がどの様に捉えられるかを比較することが目的である。

しかしながら、各々が測定を実施した日にちや時刻、あるいは天候など自然条件、さらには測線を設定した場所などが異なるので、厳密な意味での比較はできない点に、注意する必要があろう。もし正確な比較を期したい場合には、同じ日の同じ時刻に同一の測線において測定をする必要がある。

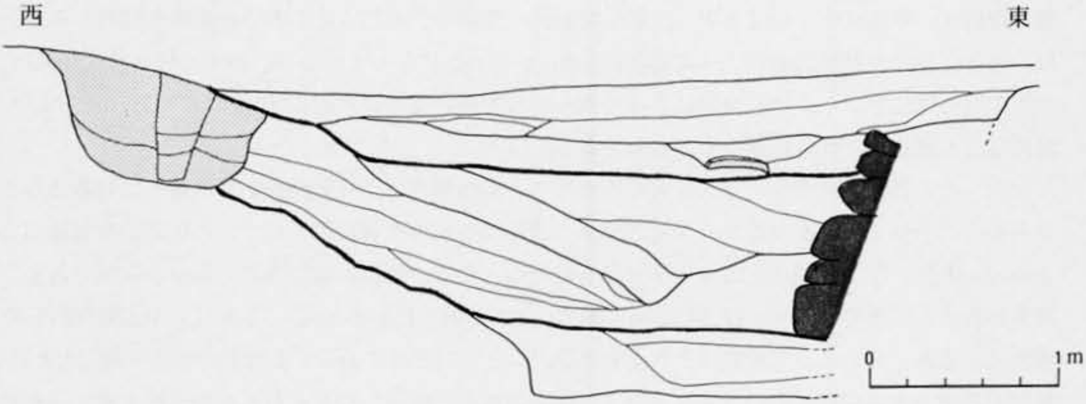
探査の結果：　上に述べたように、ここに於ける探査の地点は、発掘調査によって知られた溝よりは、約100m南である。したがって、探査した位置に於いても、今まで発掘調査で得た結果と、同じような「断面」で存在しているかどうかは、不明である点に注意しておく必要がある。

東大溝では、上層は平安時代の幅広い堆積があり、その下に奈良時代の石組溝がある。測定した地点よりも100m北では、護岸の石は東側のみに残存していた。しかし、以下に述べる実験した地点では、探査結果からは溝の両岸に石が存在しているようである。

KSD－３AM（光電製）の結果をみると、この機種では周波数が低く、したがって細かい地層変化を捉えるには、不十分ではないかと推測されるにも関わらず、堆積や地層の状況を詳細に見ることができる。また周波数の低いことの有利さから、深い層位における地層変化を知ることができる。

ここであげるGeo－Radar Ⅱ の測定結果では、現地におけるほとんど生のデータであることに注意しながら見る必要がある。このシステムでは、測定データを計算機によって処理して、表現をより明瞭にする操作をするのが普通であるからである。これにおいても、上層の平安時代堆積は明瞭である。また、東大溝の本来の形である下層の状況も、よく捉えられていると言える。しかしながら、大溝の西側に於ける下層の地層変化は、KSD－３AMと比較すると、やや明瞭さに欠ける。これは多分、周波数の違いから生じる差であろう。

平城宮　東大溝断面図



Koden　KSD-3 AM

OYO　Geo-Radar II

＊49　東大溝の地中レーダー探査結果

電磁誘導探査の例

滝ノ内経塚　　　兵庫県一宮町

探査目的：　本遺跡では、先年偶然に経筒とそれの外容器および副葬品である鉄刀が発見されたが、それら以外にも遺物が遺存している可能性があるため、特に金属製品を目的に発見地点の周辺を、探査したものである。また、隣接した場所にも経塚らしき高まりが存在するので、これも併せて探査することとした。

探査の方法：　採用したのはE. M. 法と磁気探査である。それぞれの特徴は本文で述べた通りである。前者の測定方法では金属製品全般を、後者では金属の中でも鉄製品を探ることを目的としものであり、両者の測定結果を照合することにより、より信頼度の高い成果を期待したのである。

ここでは両測定方法共に採用した、経塚らしき未確認の高まりを中心とした測定区の探査結果を、紹介することにする。既に知られていた経塚部分では、磁気探査のみしか実施していないからである。測定したのは南北9m, 東西3mの細長い範囲で、測定間隔はどちらの方法も50cmである。

なお、探査の対象としたここの場所は、非常に急な崖面の上端部に当たっており、地表面も小礫によって覆われていたので、E. M. 法と磁気探査以外の方法は応用できなかった。

測定の方法：　E. M. 法　　測定に使用した装置は、カナダGeonics社製のEM38型である。この装置では測定開始にあたって、その場所に応じた装置の同期補償、すなわちゼロ設定をする必要がある。また、適切な感度を選ぶ必要もある。

ゼロ設定は探査をする場所によって、その都度おこなう。ということは、絶対的なゼロではなく、相対的なものといえる。したがって、設定の決め方によっては、測定値がマイナスとして、観測されるようなことも生じる。しかし、このEM38型ではすべての測定値が、プラスになるように設定することは困難で、測定レンジによっては不可能なことがある。そこで通常は、同期補償の手順にしたがって決めた設定を、採用することになる。ここでは30millimhoのレンジを採用した。

磁気探査の方法：　カナダGEM社製のGSM－8型2台を使用した、2台連動法による測定である。探査場所は人家等から離れた山中で、人工的ノイズによる障害は少ないと思われたが、ノイズには自然現象として発生するものもあり、この測定方法を採用することにした。

E. M. 法の結果　Vertical Mode　このモードの結果を見ると、測定区の中央やや北よりに、導電率の大きな地点（A）のあることに気が付く。それはほぼ1m程度の四角い範囲を示すが、東側へも若干広がるように見える。この地点以外には、特に際だった異常点はない。しかし、測定区の南端に近い部分で、やや不整形ながらいま見た地点と同程度の、導電度の値を示す箇所（B）がある。これも注意をしておいた方がよい地点で、磁気探査の結果を待って、その評価は決めることとした。

Horizontal Mode　このモードでは、Vertical Modeを参考にすると、そのモードで指摘できたほど顕著ではないが、やはり測定区の中央付近の同じ部分に、注目した方がよいと思われる箇所がある。また、南端部も意識的にみればVertical Modeに似通った結果に見えないこともない。しかし、全体的にいえば積極的に遺物の存在を、指摘できるほどの変化ではない。

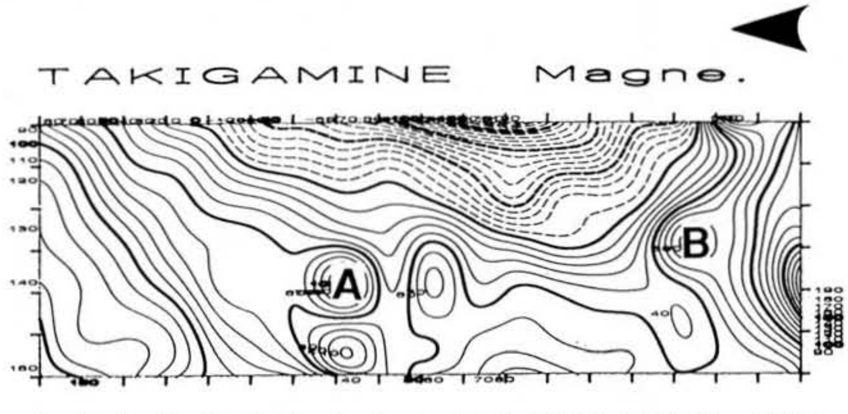
このことは、一つの可能性としては、Vertical Mode程には明確ではない点から、遺物が存在する

とすれば、それが浅い位置にはないことを表しているのであろう。いずれにしても、EM 法探査の結果は、磁気探査の結果と照合した後に、検討した方がよいと思われた。

磁気探査の結果　結果を見ると、測定区の東辺から西辺にかけて、磁気分布が徐々に変化することにまず気が付く。地形の影響か地質変化を反映するものと理解できよう。この変化の中にあって、磁気分布として完結していて、小規模な範囲の磁気異常を示す地点（A）を、測定区の中央やや北より指摘できる。この地点は丁度 EM 法のVertical Modeで指摘できた地点（A）と合致する。

その地点の約 4 ～ 5 m南にも、小規模かつ僅かな磁気異常の地点が指摘できる。これも EM 法でみた、やや広がりを持つ範囲（B）の中に含まれる。

以上のように、今あげた AB の両地点で両方法共に異常を認めた。このことは、ここに金属の内でも鉄製遺物が存在する可能性が大きく、また、それらは浅い位置には無さそうである、ということが推定できたのである。



磁気探査

EM
Vertical Mode

EM
Horizntal Mode

＊50　磁気探査と電磁誘導探査の結果

定常波探査の例

小田原城跡　　神奈川県小田原市

探査目的：　小田原城の二の丸区域内にある城米曲輪において、旧地形を知ることであった。ここは、最も新しくは野球場として利用されているが、それまでに城として幾度もの造成や改修がなされたことが判っている。そこで、本来の地形を知ることと、現在にいたる造成すなわち堆積の状況を探ることを目的とした。

探査の方法：　ここでは先に発掘調査がなされていて、地山が場所によっては10mを越える深さにあることが知られていた。また、地山に至るまでには盛土による、多数の異なる層位の存在することも判っていた。探るべき層が深いこと、また、層位を詳細に知るためには、現状では定常波探査が有効と考え実施することとした。

測定対象としたのは現野球場の全面であるので、一辺がほぼ100m近い隅丸の三角となる。しかし、短時間の内に全体を密度濃く探査することは困難であるので、測定地点は原則として5m間隔として、それらの間で変化の少ない部分は省略することとした。省略した部分は、周囲の測定結果を参考にした。

測定に際しては、予め設定したあった調査用の20mグリッドを使用した。

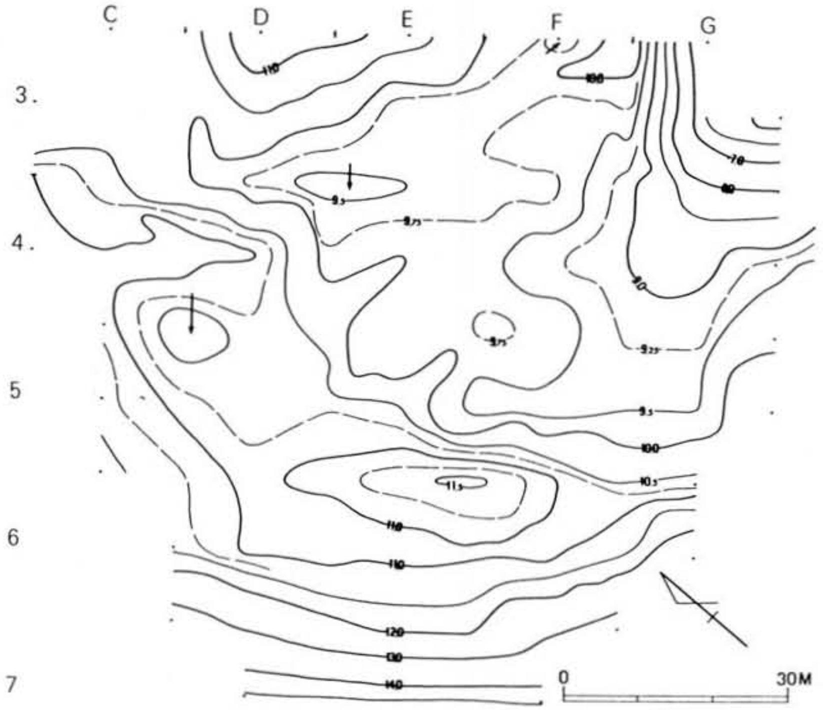
測定の結果：　本測定では、得られる成果はある「点」における地層の状況である。そこでまず点と点を結んで、測定線毎の連続したタテとヨコ方向の断面図をつくった。断面の例として3ラインとEラインを示す。3ラインの図面では合計10の、Eラインでは9の測定点における結果を連続させていて、ヨコ軸は速さをタテ軸は深さを表している。速さは1秒あたり何m（m／sec.）の伝播速度であるかを示す。

プロットした1個の点は、ある深さに於ける速度を表していて、図上で右になるほど速度は、速いということになる。そして、それらが直線で結べる範囲が、伝播速度の異なる一つの層として区別される。3ラインでは最も速度変化の大きいところに着目して、地山の高さをのみを表現することにしたが、Eラインでは発掘の成果を参考にして、地山よりも上層にある層位も、できるだけ区分することを試みている。

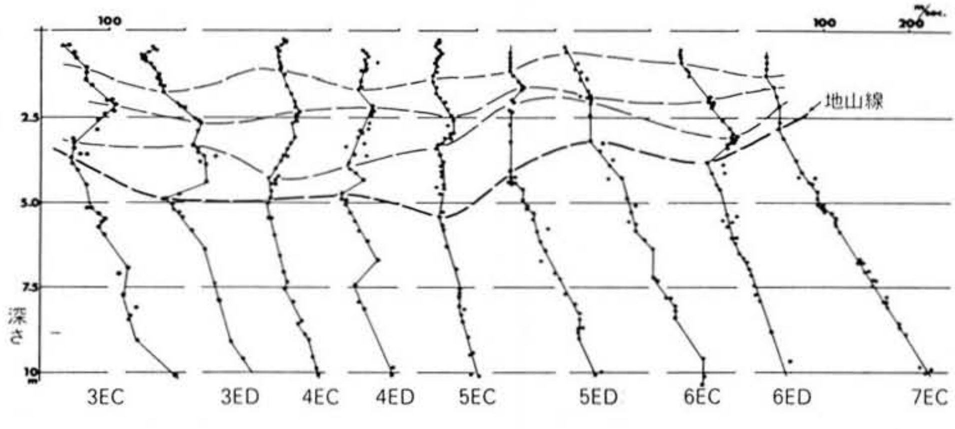
このようにして各測線における地山の高さを求め、それの高さを海抜高に換算して、最終的には平面図として整理することにした。つまり、われわれが通常見るような地図として、地山面における地形を表したのである。それによると、最も高い部分は天守閣に近い付近で、低いところは東側の野球場でいえばレフト側にあたる方向であることが判った。

低い範囲は西側に入り込んでおり、小さな谷のような地形にあったことや、これとは別に小範囲で独立した低い箇所が、測定区のほぼ中央付近と、北側にもあることも推定できた。

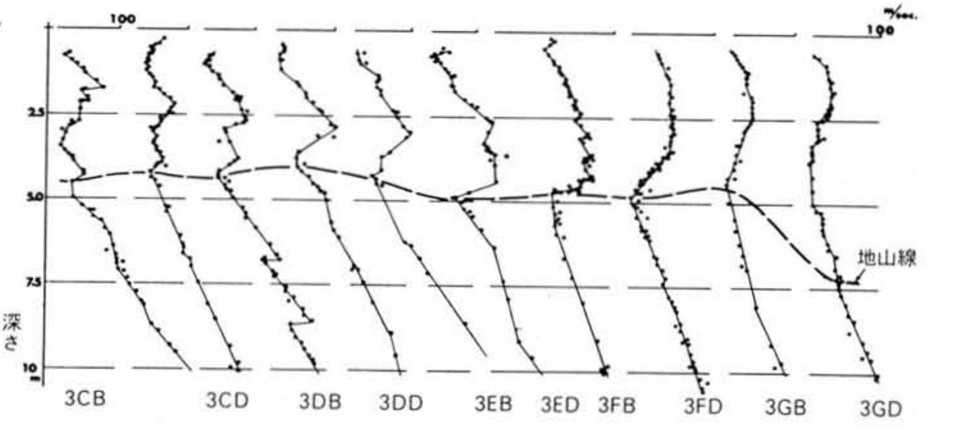
＊51　平面図



Eライン



3ライン



遺跡探査参考文献（抄）

探査全般

1987	坂山利彦 長田正樹 島　裕雅	「遺跡調査への物理探査の適用」	『応用地質年報』No.8 p.73～93	応用地質株式会社
1987	西村　康	「考古学と自然科学研究の動向」	『日本考古学年報』38 （1985年度版） p.46～50	日本考古学協会
1988	西村　康	「遺跡探査の現状と課題」	『考古学と自然科学』 第20号　p.23～26	日本文化財科学会
1988	西村　康	「遺跡探査の方法」	『古墳を科学する』p.17～27 （飛鳥資料館図録第19冊）	奈良国立文化財研究所
1989	浜島多加志 西村　康 川野辺渉	「遺跡探査法の再検討」	『考古学と自然科学』 第21号　p.45～53	日本文化財科学会
1989	西村　康	「発掘しないで遺跡を知る」	『科学朝日』第49巻３号 p.106～110	朝日新聞社
1989	長田正樹 田村晃一 坂山利彦	「史跡整備事業の保存計画段階における探査」	『応用地質年報』 No.10　p.49～67	応用地質株式会社
1989	西村　康	「発掘しないで遺跡を知る」	『新しい研究法は考古学になにをもたらしたか』 p.72～82 （第３回「大学と科学」公開シンポジウム講演収録集）	クバプロ

電気探査

1948	中島壽雄 岩津　潤 中林一孝	「遺跡遺物の電氣探査豫報」	『資源科學研究所彙報』 第12号　p.59～62	資源科學研究所
1954	岩津　潤	「難波宮跡の電気探査」	『大阪城の研究』p.８、 PL.１～５ （研究豫察報告第弐）	大阪市立大学・大阪城址研究會
1963	牛川喜幸		『平城宮発掘調査報告』Ⅲ p.10～13 （奈良国立文化財研究所学報 第16冊）	奈良国立文化財研究所

1966			『発掘調査の手びき』 文化財保護委員会 p.32〜34 国土地理協会
1972			『史跡白水阿弥陀堂境域復元 いわき市・ 整備第1次調査報告書』 史跡白水阿弥 p.18〜19, Tab. 3〜5, Fig. 5 陀堂境域復元調査団
1974			『帝塚山大学考古学実習室 帝塚山大学 だより』5・6合併号
1976	岩本義雄 杉山 武	「電気探査」	『むつ小川原開発予定地域内埋蔵文化財試 掘調査概報』昭和50年度 p.52〜53 青森県文化財調査報告 第28集 青森県教育委員会
1976	杉本安弘	「塚原古墳群の位置決定について」	『塚原』 p.341〜348 熊本県 熊本県下益城郡城南町 教育委員会・ 所在塚原古墳群の調査 熊本県文化財 熊本県文化財調査報告 第16集 保護協会
1980	遠藤源助	「電気探査比抵抗法による 有勝寺北裏遺跡調査」	『有勝寺北裏遺跡』p.30〜39 有勝寺北裏遺跡調査会
1981	田中秀文 本蔵義守	「製鉄遺跡における 磁気探査及び電気探査」	『尾崎前山』 p.57〜60 八千代町 —茨城県結城郡八千代町尾崎前山— 教育委員会
1987	西村 康	「遺跡の電気探査」	『奈良国立文化財研究所年報』1987 p.60〜61 奈良国立文化財研究所
1987	川野辺渉 西村 康	「製鉄遺跡の探査」	『比良ゴルフ倶楽部 志賀町教育委員会 造成工事に伴う p.23〜28 埋蔵文化財発掘調査報告書』
1988	西村 康	「庭園跡の探査」	『大内氏築山跡Ⅱ』 山口市教育委員会 p.38〜42
1989	西村 康	「庭園跡の探査(2)」	『大内氏築山跡Ⅲ』 山口市教育委員会 p.31〜34
1990	西村 康	「船宮古墳の探査」 —古墳周濠の電気探査—	『船宮古墳』 p.74〜83 朝来町 朝来町文化財調査報告書第2集 教育委員会
1990	西村 康	「鳥居前古墳の探査」	『鳥居前古墳』 p.39〜42 大阪大学文学部 —総括編— 考古学研究室

磁気探査

1961 M.J.Aitken 『Physics and Archaeology』 Oxford Univ. Press Second Edition 1974

1965 浜田達二 『考古学と自然科学』訳本 みすず書房

1968 堅田 直 「日本で初めて輸入された差動プロトン磁力計」 『考古学ジャーナル』13 p.13 ニューサイエンス社

1974 岩本圭輔 「窯跡の磁気探査」 『考古学と自然科学』第7号 p.31〜41

1974 鳥居雅之 尾谷雅彦 中村 浩 「遺跡の磁気探査」 『考古学と自然科学』第7号 p.43〜57

1977 西村 康 岩本圭輔 「遺跡探査法の開発」 『奈良国立文化財研究所年報』1977 p.62〜63 奈良国立文化財研究所

1978 田中 琢 西村 康 岩本圭輔 「遺跡の磁気探査」 『考古学と自然科学』第11号 p.85〜94

1980 東村武信 「遺跡の探査」 『考古学と物理化学』 p.155〜159 学生社

1984 西村 康 「磁気探査」 『丹波周山窯址』 p.31〜32・図版六五 京都大学文学部考古学研究室

1982 荒木伸介 「調査方法」 『開陽丸』 海底遺跡の発掘調査報告Ⅰ p.70〜80 江差町教育委員会・開陽丸引揚促進期成会

1983 西村 康 「磁気探査」 『隼上り瓦窯発掘調査概報』 宇治市埋蔵文化財発掘調査概報 第3集 p.72〜73 宇治市教育委員会

1985 西村 康 「磁気探査の結果」 『伊藤田城山窯跡群』—大分県中津市大字伊藤田4095番地所在遺跡の調査— p.108〜114 中津市教育委員会

1988 西村 康 「下坂窯跡の磁気探査」 『下坂窯跡群』 郡家町文化財報告書 10 p.9〜12、第4〜5図 郡家町教育委員会

1989 西村 康 「大戸窯跡群の探査」 『会津 大戸窯跡群発掘調査概報Ⅰ』 会津若松市文化財調査報告書 第14号 p.32〜33 会津若松市教育委員会

1990　西村　康　「鬼神谷窯跡の磁気探査」　『鬼神谷窯跡発掘調査報告』 兵庫県城崎郡
p.33〜36 図版三五　竹野町教育委員会

地中レーダー探査

1984　「地中レーダー探査」　『熊倉遺跡』　p.12〜13　六合村
—山棲み集落の探究—　教育委員会

1985　能登　健　「成果と問題点」　『黒井峯遺跡Ｉ』 p.46〜51
—軽石下の古墳時代集落の調査—　群馬県
北群馬郡子持村教育委員会

1987　笠井敏光　『地中レーダー探査報告』　羽曳野市
—史跡 野中寺—　教育委員会

1987　坂山利彦　「物理探査の方法と結果」　『史跡加曽利南貝塚予備調査概報』 千葉市
昭和61年度史跡整備に伴う物理探査及び試掘調査報告　教育委員会

1988　渡辺広勝　「地中レーダーによる調査」　『塚原古墳群』p.19〜20　多摩市
—５号墳の調査（昭和62年度）—　教育委員会

1988　長田正樹・田村晃一　「地下レーダーによる遺構分布調査」 p.22〜23　日本文化財
坂山利彦・石井克己　—群馬県子持村西組遺跡—　科学会
『日本文化財科学会研究発表要旨』昭和63年度

1989　渡辺広勝　「地中レーダー探査」　『国府遺跡　Ｉ』p.10〜11　山梨県春日居市
国府遺跡第１次発掘調査概報　教育委員会

1990　笠井敏光　「史跡 峯ヶ塚古墳地中レーダー探査」『日本文化財科学会会報』第19号
p.17〜20　日本文化財科学会

1990　坂山利彦・長田正樹　「地下レーダーによる軽石下の遺構分布調査」　『考古学と自然科学』第22号
田村晃一・石井克己　p.43〜57　日本文化財科学会
—群馬県子持村:黒井峯遺跡、西組遺跡ほか—

電磁誘導探査

1987　利岡徹馬　「青銅器探査」　『荒神谷遺跡発掘調査概報（３）』 島根県
—電磁法による詳細調査—　p.７〜16　教育委員会

定常波探査

1981	田中　琢	「地下遺構探査の新技法の開発」	『古文化財に関する保存科学と人文・自然科学』昭和55年度　年次報告書 p. 2 〜13　文部省科学研究費 特定研究「古文化財」総括班
1982	田中　琢	「地下遺構探査の新技法の開発」	『古文化財に関する保存科学と人文・自然科学』昭和56年度　年次報告書 p. 1 〜12　文部省科学研究費 特定研究「古文化財」総括班
1984	西村　康	「地下遺構探査の新技法の開発」	『古文化財に関する保存科学と人文・自然科学』―総括報告書― p.675〜684　文部省科学研究費 特定研究「古文化財」総括班
1984	西村　康	「定常波探査の結果」	『史跡小田原城 城米曲輪』―史跡小田原城跡整備に伴う予備調査概要報告書― p.51〜53　小田原市教育委員会 小田原市文化財調査報告書 第15集
1984	西村　康	「赤田横穴群の定常波探査」	『奈良市埋蔵文化財調査報告書』昭和58年度 p.89〜90　奈良市教育委員会

写真判読

1931	森本六爾	「空からの考古學」 「飛行機と日本考古學」	『考古學』第二巻 第二號　東京考古學會 (O.G.S.Crawford 「考古學的航空寫眞」)
1969	西尾元充		『空中写真の世界』 p.81〜85 中央公論社 中公新書 186
1974	黒崎　直	「航空写真による朱雀大路の調査」	『平城京朱雀大路発掘調査報告』 p.45　奈良国立文化財研究所
1975	三浦三千子 亀井熙人	「埋蔵文化財調査に伴うマルチスペクトル写真撮影・解析」	『因幡国府遺跡発掘調査報告書』Ⅲ 鳥取県 p.31〜39
1976	木全敬蔵	「遺跡判読のための空中写真の撮影条件について」	『奈良国立文化財研究所年報』 1976 p.58〜59　奈良国立文化財研究所
1983	玉利　勲		『発掘への執念』 p.131〜135　新潮社 大森貝塚から高松塚まで

1975 Ed. D. R. Wilson 『Aerial reconnaissance for archaeology』 The Council for British Archaeology
CBA Research Report No. 12

1983 Ed. G. S. Maxwel 『The Impact of Airial Reconnaissance on Archaeology』
CBA Research Report No. 49 The Concil for British Archaeology

1982 D. R. Wilson 『Air Photo Interpretation for archaeologists』 BT Batsford Ltd

注

＊1　山口久之助　『電気式地下探査法』　p.27　第8図　古今書院　1952

＊2　Anthony Clark　『Seeing Beneath The Soil』　p.30　Fig.19　B. T. Batsford, London　1990

＊3・4　『土木地質調査における比抵抗法電気探査の調査計画に関する要綱』　p.47　物理探査学会　1982

＊13　力武常次　『なぜ磁石は北をさす』　p.54　Fig.17　ブルーバックス　講談社　1970

＊14　エイトケン（浜田達二 訳）『物理学と考古学』　p.43 図 2.15　みすず書房　1965
＊18　〃　p.21 図 2.3

＊19　『物理探査用語辞典』　p.317　物理探鉱技術協会　1979

＊21・32　『ARCHAEOMETRY'90』　p.757～765 より　Birkhäuser Verlag　1991

＊33・34　『Technical Note TN－6』　Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement At Low Induction Numbers　GEONICS LIMITED　1980
p.5 Fig.1・p.14 Fig.AI

＊36・43　『古墳を科学する』　p.23　飛鳥資料館図録第19冊　1988
p.26　奈良国立文化財研究所

＊37・39　『古文化財に関する保存科学と人文・自然科学』　p.676・679　1984
―総括報告書―　文部省科学研究費　特定研究「古文化財」総括班

＊40　西尾元充　『空中写真の世界』　p.81　写真14　中公新書　186　中央公論社　1969

＊41　Leo Duel　『Flights into Yesterday』　p.60～66　Pelican Book　1969

＊42　１９７０年１０月撮影

＊47・48　浜島多加志・西村　康・川野辺渉「遺跡探査法の再検討」　1989
『考古学と自然科学』第21号　p.45～54　日本文化財科学会

＊51　西村　康　「定常波探査の結果」『史跡小田原城 城米曲輪』p.51～53　1984
―史跡小田原城跡整備に伴う予備発掘調査概要報告書―
小田原市文化財調査報告書 第15集
小田原市教育委員会