

遺跡の磁気探査

田中 琢*・西村康*・岩本圭輔*

はじめに

磁気探査は、地下遺構が地磁気に与えている極地的磁気異常を探知し、遺構の存在や規模を知るものである。その探査方法について、探査の障害となるノイズや、地磁気の日変化が及ぼす影響の基礎的実験データ及び、遺構の具体的探査例を報告したことがある。その後われわれは実験を重ね、¹⁾ 器機の開発と探査法の改良をはかってきた。以下に現在までの成果を紹介したい。

1. ノイズの除去

a) 二台連動法

磁気探査における最大の障害は、ノイズの存在である。すなわち遺跡の周辺に強い磁気を発生させる電車線路、自動車道路、人家、高圧送電線などがあると、そこでは不規則かつ強い磁気変動があるため、遺構の示す程度の弱い磁気異常は探知できない。しかしながら、このようなノイズのない遺跡は限られており、ノイズに影響されない方法を開発しない限り、磁気探査を探査法として確立できない。この方法が開発できれば、微細な磁気異常しか示さない住居跡などの探査も可能となるのである。

そこでわれわれは、磁力計を二台連動する方法で実験を試みた。実験をおこなったのは、三重県多紀郡明和町の水池遺跡である。ここは電車線路から約400 m離れた場所で、最大80ガンマ程度のノイズがある地点であった。また探査対象の遺構は、土師器焼成坑で周囲より約20~40ガンマ位しか磁気異常の強さを示さないものであった。したがって、通常の方法では遺構探査は不可能と思われる状況にあったといえる。

磁気測定の方法は、二台の磁力計を用い、一台を定点として固定しておき、他は測定区内を移動させるものである。この二台の磁力計は同時に差動させて、各々の磁気の強さを読みとり、二点間の磁力差を各移動点の磁気の強さとするのである。

この方法は、定点と移動点の受けるノイズは同時で、かつ等量であることを前提にしている。したがって、実験はまずこの前提が正しいかどうかを確かめることと、ノイズが同時、等量の範囲を知ること、磁気の日変化の影響があるかどうかの検討を目的とした。またこのように弱い磁気しか

*奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター，奈良市佐紀町

示さない遺構を探索する場合における、磁力計のセンサーの高さや、測定間隔の検討もあわせておこなった。

測定したのは遺跡内の二地区で、合計 700 m²ほどの面積である。この二ヶ所の測定には、一地区は 1.5 m 間隔、他は 2 m 間隔のグリッドを設定した。総測定点数は約 300 点である。

まず定点と移動点の受けるノイズについては、すべての移動点において、三回の測定をおこない、その差を検討した。そうすると、各測定における定点と移動点との磁力差は、三回の読みとりがいずれも ±1 ガンマ内にあることがわかった。これは測定に使用した磁力計の、最大誤差が ±1 ガンマであることを考慮すると、測定は正常で磁気変動、すなわちノイズがあっても、定点と移動点と（第 1 表）の磁力差は一定であることを示すものである。この遺跡における測定区は、主ノイズ源とみられる電車線路から約 400 m 離れていて、移動点はこれに対して最大 50 m 程の遠近差があるにもかかわらず、ノイズ幅に差のないこともわかった。したがって、少なくともこの程度の範囲内であれば、ノイズは同時でかつ等量であることも確かめられた。また、測定は 3 日間にわたって実施したが、地磁気の日変化については影響を受けないことを確めた。地磁気変動は、いわば広範なノイズとみることができる。これが大規模な形で起るものであることを考えれば、この方法による小面積の測定への影響は、当然問題にならないと考えた。

測点	定 点	移動点	差
F 4	46046	042	-4
	035	031	-4
	043	039	-4
F 5	025	023	-2
	035	031	-4
	019	017	-2
F 6	036	032	-4
	042	038	-4
	045	041	-4
F 7	033	033	0
	042	041	-1
	032	031	-1
F 8	045	043	-2
	073	070	-3
	047	045	-2
F 9	052	047	-5
	036	032	-4
	045	040	-5
F10	022	021	-1
	017	016	-1
	032	031	-1

(表 1)

探査した土師器焼成抔は、約 6 × 2 m ほどの長円形の平面形をしており、周囲より約 20~40 ガンマ程強い磁気を示す遺構であったが、測定間隔の問題を探索結果から検討すると、次のようなことがわかった。まず、1.5 m 間隔のグリッドでは、遺構の存在する地点は明瞭であるが、その形態までは十分推定することはできない。また 2 m 間隔では個々の遺構の位置を正確に決定するには若干の問題があり、推定地点がずれる可能性もあることが考えられた。したがって、遺構の詳細な形態・規模まで知りたい場合には、グリッドの間隔を狭くする必要があるであろう。センサーの高さは、遺構の示す磁気の強さに規定されるのだが、あまり低く設定して地表面に近くなると、表土層の持つ磁気の影響を受ける。またわずかな地表の凹凸が、センサーと地表面との距離変化となってあらわれるため、正常な測定を妨げる原因にもなる。しかしながら磁気の強さは、発生源からの距離の 3 乗に比例して弱くなり、測定値の強弱幅が少なくなるので、センサーの高さは、地表面の影響を受けない程度で、できるだけ低い位置にあるのが望ましい。本遺跡では、土師器焼成抔は 20~40 ガンマ程度の磁気差でとらえることができ、その存在が明

らかになったのであるから、センサーの高さを0.6 mに設定したのは有効であったといえる。この程度の磁気の強さが予想される遺構の探査では、このセンサーの高さが一応の目安になるとみられる。

以上のようにして、80ガンマに及ぶノイズのある状態のなかでも、20～40ガンマ程度の磁気異常をとらえることができた。そこでわれわれは、このノイズ除去法の有効性を確かめるため、次に微細な磁気異常しか示さないとされる住居跡の探査を試みた。

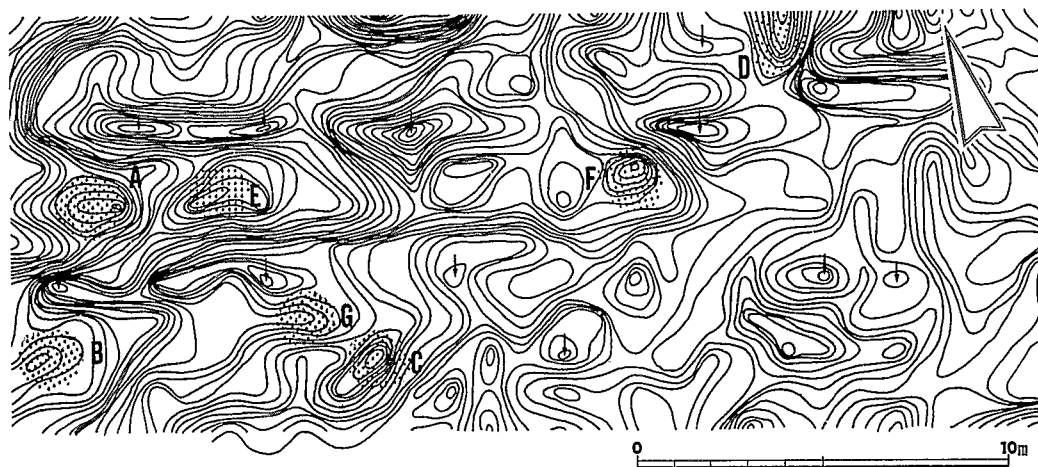
b) 住居跡の探査

探査の実験をおこなったのは、新潟県長岡市にある三十稲場遺跡である。ここでは縄文時代住居跡の存在がボーリング調査によって確かめられており、探査結果をこれと照合できるため選んだものである。またこの住居跡には石組みの炉を持つものがあり、たとえ住居跡の探査が不確かでも、最低炉跡だけは探知できると思われ、これを手がかりとすれば住居跡の位置や規模を推定できるとみたからである。

探査地点は国道から南へ約200 m離れた場所で、測定前に確かめたところでは、約10～20ガンマ程のノイズがあった。測定区は国道とほぼ平行する形に、長さ66m、幅11mの長方形に設定し、測定間隔1 mのグリッドを設けた。センサーの高さは0.6 mである。定点はこの地区の中央で、約4 m北へ離れた場所とした。測定は2日間に及んだため、定点の位置に変更がないように注意した。もし位置が異ると、測定日毎に移動点との磁力差に差が生じることになる。この点検には、測定開始時に定点とある移動点の1点との磁力差を10回読みとり、差が等しいかどうかを調べた。われわれの点検では、当初3～4 ガンマの差が認められたので、これが等しくなるように定点位置を操作して、測定を開始した。測定が数日にわたるような場合には、必ずこのような手続きを経る必要があるのである。

探査地域の表面は現在芝生になっており、地表の凹凸はない。しかし東西に長い測定区の、両端に近い部分は地形が低くなっており、この高低差が測定値に影響を与えている。低い部分は全体にやや強い磁気を示すのである。これは低い部分には厚い表土層、すなわち土壤帯磁率の大きい腐食土層が形成されているために生じた現象とみられた。

探査結果は第1図のコンターマップに表わしたもので、A～Gの7個所に小規模な磁気異常がある。これらは炉跡と推定した。磁気異常の強さは10～20ガンマ程度である。住居跡の輪郭は、この炉跡を中心とした周囲にあるはずだが、コンターマップの検討では明瞭ではない。炉跡は火を受けているため、強い磁気を示すはずだが、10ガンマ程度の強さでしか表われないとすると、わずかな埋土の差によって生じる住居跡の土壤帯磁は、非常に弱いものと予想される。これが住居跡における一般的反応とは考えていないが、住居跡が地下深い場合や、表土層の厚い場合には検出は一層困難であろう。このような条件のなかでの住居跡の探査は、探査器機の検討や探査方法の開発も含め



第 1 図

て、今後研究していく課題が多いと考えている。

2. 広域遺跡の調査

磁気探査をおこなう場合、ノイズや日変化についての検討が重要なことは今迄に述べたとおりであるが、これが広面積の探査の場合、技術的にどのようなことに留意して実施したか、またどのような結果が得られたかを、次の寒風窯跡の探査例で紹介してみたい。この探査例は、探査の直後に発掘が実施されて、探査結果と遺構とが照合できた例でもある。

寒風窯跡は岡山県邑久郡牛窓町にある須恵器窯跡で、土器が散布していたり、窯体の一部が露出していて、窯跡のおよその位置は推定されていたが、窯体の正確な位置が不明なものの位置確認と、散布地における窯跡存在の有無を探査したものである。

探査地区は3区に大別した。このうちの一地区は東西南北幅とも100mをこえる広さである。測定にはまず全域にグリッドを設定した。これは地形にあわせて、等高線にそった測点になるようにした。したがって、3つの測定区のグリッドは各々独立したものである。測定間隔は2mである。須恵器の窯跡は、普通幅2m、長さ10m前後とみられるので、この程度の間隔で十分探知できると考えたからである。また作業能率からみると、たとえばこの測点間隔を半分の1mとした場合、測点数は等比級数的に増加し、作業時間や労力の問題となり、探査経費にも関係してくる。

センサーの高さは1.2mとした。窯跡のように強い磁気を持つ遺構は、センサーを低くしなくても探査は容易であり、地表面のノイズはできるだけ避ける意味で決めた高さである。センサー位置が高いと、測定時に地表面との距離に多少の変動があっても、測定値には影響がない。これは住居跡で例でみたような、低いセンサーによる探査と大きく異なる点である。しかしながら、探査地の地

形変化が極端で、崖面があるような場合、センサーの位置は地上1.2mであっても、崖面に接近しているとこの影響をうけ、正常な測定値が得られない。探査の実際における留意点であろう。

探査は延6日間にわたっておこない、測定点数は4,700点をこえた。このうち最も広い地区では3,400弱の測点があり、この1地区だけで測定に4日間を要した。このように時間がかかることは事前に予想できたため、探査には2台の磁力計を使用して、2班にわかれて測定した。この遺跡ではノイズがまったく無く、2台連動法による必要がなかったのである。

測定開始にあたっては、使用する2台の磁力計のクロスチェックをおこなった。これには、同一地点において、センサー高を同じになるようにおき、それぞれ10回ずつの読みとりをおこなった。そうすると、両者に2～3ガンマの差があることがわかった。同原理・同性能の磁力計（米国ジオメトリクス社製、プロトンマグネットメーターG-816型、G-826型）でも、このような違いがおこるのである。したがって、正確な磁力値が問題になるような測定において、複数の磁力計を使用する場合には、このような手続きが必要となるのである。

次に、各測定日毎の地磁気差のレベルをそろえるためには、固定点を設け、この点において毎日測定開始時に10回の読みとりをおこなった。4日間では最大30ガンマの差があり、（第2表）これも全体のレベルをそろえるためには、補正しなければならない要素であった。また磁気の変化の補正には、各日毎の測定区内において定点を決め、約1時間毎にこの点で5回の読みとりをした。1時間毎の磁気変動は、おおむね10ガンマ以内であったが、ときには1時間半の間に40ガンマをこえる急激な変動もあり（第3表）、2台連動法でない探査では、このような点検を常にする必要があることを改めて教えられた。もしこのような操作をしないと、ある特定の地域や部分の磁気が強かったり弱かったりする結果をひきおこす恐れがあり、探査としては不十分なものとなる。

探査の結果、三個所において合計4基の窯体位置を推定した。そのうちの1個所では2基の窯体が並行して存在するとみたが、これは周囲より10ガンマ程強い磁気を示すものとしてしか認識できなかった。この磁気の強さは、われわれの予想していた強さの1/3以下であった。窯体推定位置は、のちにこれを確認するために発掘が実施され、探査結果と合致する位置に窯体が発見された。磁気探査の正確さが実証されたのである。また、窯体は地表下1.1mの深さにあることがわかったが、探査結果にみる磁気反応の弱さは、この深さが原因となったものと考えられた。つまり遺構が深い位置にあると、センサーからの距離が遠くなり、またその間には厚い堆積層と表土層が存在することになり、これらが地表面に達する磁力を弱める作用をしたものとみられるのである。したがって、磁気測定結果が弱い磁気しか示さなくても、遺構の残存状態を単純には推定できないことがわかる。このような状況のあることを考慮すると、窯跡のように強い磁気を示す遺構でも、センサーを低くして探査しなければならない場合のあることが明らかになったといえよう。

第 2 表

CA 100 POINT

1978.1.29	1.30	1.31	2.01
46859	46865	46836	46841
859	865	835	841
860	866	836	842
857	867	836	843
857	866	835	842

第 3 表

CA 100 POINT 1978.1.30

START 10:05 46865 865 866 867 866	START 14:47 46855 855 856 858 858
11:02 46859 859 860 859 862	15:30 46848 848 850 850 850
END 11:45 46864 863 864 862 864	END 16:47 46808 806 807 805 805

3. データ処理法

探査データを処理していくうえでの問題は、探査現場における測定値の記録方法と、後のデータ分析とに区分できると思われる。

記録方法としては、われわれの現在までの探査方法が、測定区にグリッドや測線を設定し、これにそって測定するもので、測定点数もそれ程多くないものであるから、方眼紙に各点の測定値を記入している。これは最も単純な方法であるが、将来測定値を現場で自動的に記録する方法、たとえば磁気テープ、穿孔テープ等を利用する器材を採用した場合でも、基本的にはこのグリッド方式にもとづいた記録方法が有効ではないかと考えている。つまり測定間隔に粗密があると、探査地区全体としては、均一な測定データを得たとはいえず、各点毎の持つ重みが変わってくるのである。ただし、

測定データをコンターマップとして整理する場合には、任意の測点で測定する方法は可能である。それは、平板測定と同じ原理によって、原点からある磁気測点までの距離と方向を測り、この点を平板上にプロットして、同時に磁気の強さも記入するもので、プロットした各測点の磁気の均しい点を、間接平板測量と同じ要領で結ぶのである。

いずれにしても、データの記録手段は、後の分析法に直結するものであり、これに対応した方法が選ばれるべきであろう。

次にデータの分析法であるが、これは簡単にいえば、探査結果をいかに理解しやすい形に整理す

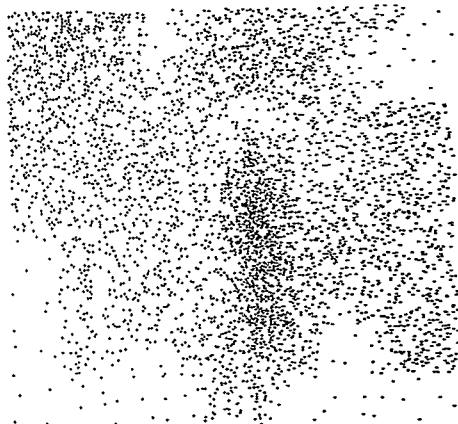
るかということであろう。われわれの探査は、現在までのところ、それ程多い測定点数のものではない。しかしこの点数が尨大になった場合には、データの記録法が問題になることは当然だが、何よりもデータ整理とその分析法が大きな問題になるであろう。日変化や時間単位の補正、探査区全体の磁気レベルの統一など、今や手計算に頼る段階ではないであろう。またこれとは別に、先に述べた住居跡の探査のような場合には、磁気の強弱幅が少なく、従来多く試みたコンターマップによる表現法だけでは十分な結果が得られないことがある。データ分析法も含めて、有効な図形表現法を開発するのも大きな課題である。

そこでわれわれは、計算機を用いて各種の図形に表現することを試みることにした。使用している計算機は Sony Tektronix の 4051 型グラフゼネレーターで、計算結果をブラウン管上でみせたり、プロッターによって書くこともできる。その 1 例が第 2 図に示したものである。これは兵庫県氷上郡春日町にある大路焼窯の探査結果で、比較的強い磁気が記録されたものであった。図中の A はコンターマップで、窯体は周囲より約 80 ガンマ程強い磁気を示している。B は各測点毎の磁気の強さを、強さに比例したドット数によって表わしたものであり、磁気が強い窯体位置の部分は、ドットが密になっているのがわかる。C は測点毎の磁気の強さを、横方向の折線グラフとして表わしたものである。ただしこれは、単純に測定値を縦軸にとったものではなく、隣接する測点の測定値を互に平均したものである。

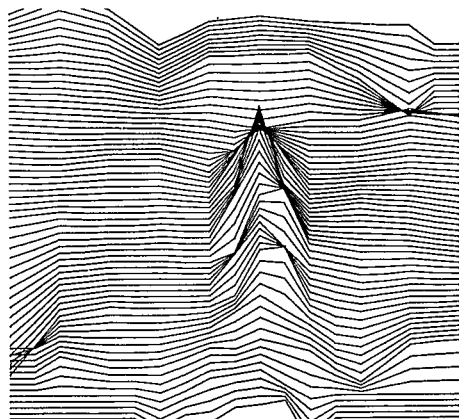


第 2 図, A

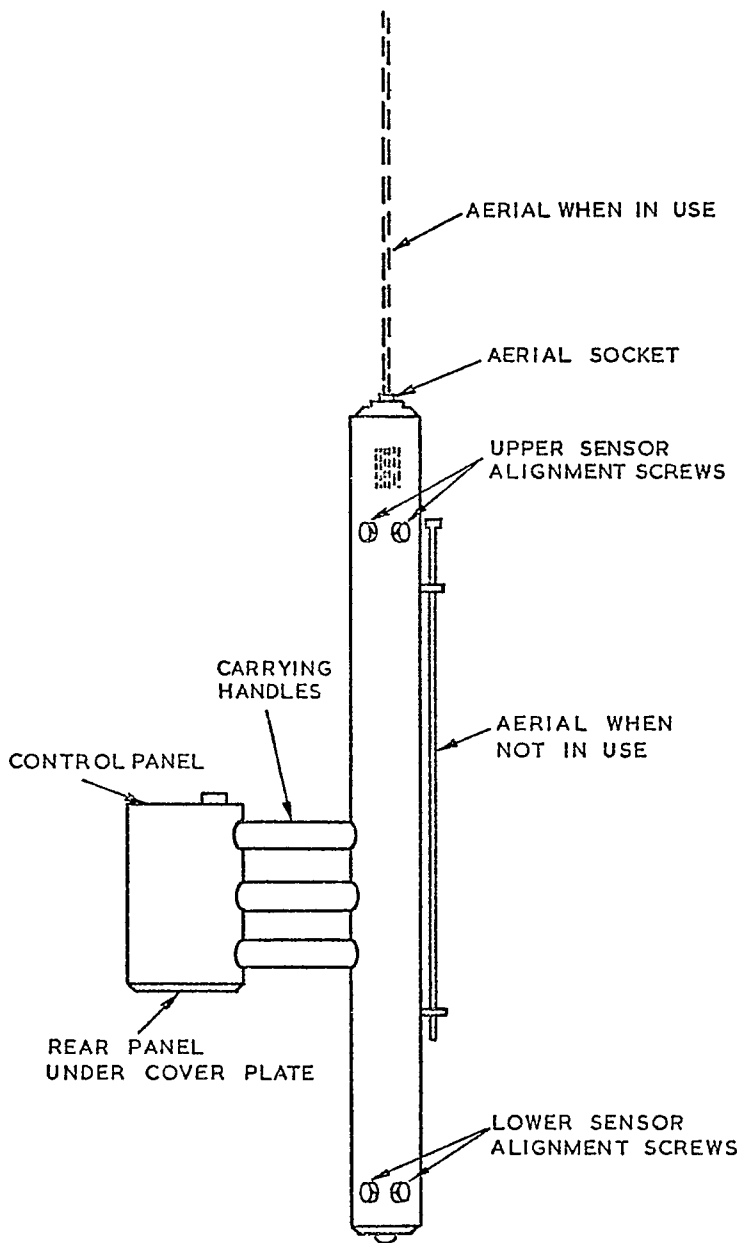
以上のような表現方法は、ごく初歩的なもので



第 2 図, B



第 2 図, C



第 3 図

第3図に示すものである。長さ約1.2m、重さ4 Kgあり、6 Vのバッテリーを使用する。これには同一軸の上下約1 m離れた部分に、それぞれセンサーが組みこんであり、両者の感じた磁気差が表示されるようになっている。この差動式の原理は、われわれがノイズ除去法として試みた2台連動法

あり、データの分析法については、今後もくり返し検討しなければならないと考えている。例えば先に見た住居跡の探査例でも、コンターマップでは炉の位置しか明らかでないが、データの処理法によっては、われわれの目標としている住居跡の輪郭を明らかにすることも可能ではないかと考えているのである。

4. おわりに

以上のようにして、われわれはノイズの除去法を考え、住居跡の探査も試みた。探査データの処理については、まだ研究を開始したばかりである。ここでは、われわれが最近保有した、磁気測定器を紹介して、おわりにかえたい。これは今後の探査において、新たな磁気測定方法を開発する有効な器材と考えている。

その磁力計は、英国 Plesey Rader 社製の P 10 型 Fluxgate Gradiometer で、

と同じ考え方である。上下のセンサーは同時に等量のノイズを受けるが、もし地下に磁気異常のある場合には、下部のセンサーがこれを感知する。両センサーの磁気差を各測定点の磁気の強さに読みとる方法だけでなく、これを持って移動すれば、線状に連続して測定することもできる。この際には、測定値は表示されるものを読むだけでなく、磁気の強さがある一定差に達した場合に音響を発するように設定することも可能である。したがって実際の探査では、これを持って遺構内を移動すれば、磁気異常の個所を容易に発見でき、従来の測定点による方法と比較した場合、測定時間は大幅に短縮することになるであろう。

しかしながら、これを使用した実験では、次のような問題点のあることもわかっている。例えば測定時にはこれを持って歩くわけだが、上下センサーが垂直に保持されずに、約10度程傾くと、正常な測定値が得られない。地形変化に富んだ場所では、十分な注意をしてこれを保持しなければならない。

また実際の探査では、上下センサーの感度のバランスをとりながら移動し、このバランスのくずれる地点、すなわち磁気異常の場所を探知する方法をとるが、地質構造の違いによる磁気差でも、同様の反応を示すため、遺構との判別がむづかしい場合がある。

われわれは、この磁力計を使用する実験に着手したばかりで、まだ十分有効な利用法を確立したわけではない。しかし、広域遺跡の探査の場合には、まずこの Gradiometer を使用して概要をつかみ、次に従来使用しているプロトンマグネットメーターによって遺構の詳細をつかむという、両者を併用する方法を考えており、この実験を続けていくつもりである。

参 考 文 献

- 1) 岩本圭輔 (1974) 窯跡の磁気探査。考古学と自然科学, 7 : 31—41

Site Location by Magnetometer

Migaku TANAKA *, Yasushi NISHIMURA* and Keisuke IYAMOTO*

*Nara National Research Institute of Cultural Properties, Nara

Various methods of geomagnetic prospecting for buried objects are widely known and used in several countries, and they have been effectively applied to archaeological surveys for years. However, in Japan, the geological setting and environmental conditions of sites

do not favor the easy application of such methods. The object of this experimental research is to establish a reliable system for application of these methods to sites in Japan.

As Japan is narrow and rather congested with roads and buildings, magnetic noise is comparatively great and in many cases exceeds the anomalies to be detected, so a magnetometer unaffected by considerable noise is needed. A pair of proton magnetometers connected electrically to work as a sort of differential type magnetometer, satisfied our basic requirements. We are planning to improve this systems because easy operation and portability of the magnetometer are very important for extensive field surveys.

Accumulation of geomagnetic data from various sites, supported by test excavations, has been the main focus of our project. This work is fundamental for precise interpretation of the magnetic anomalies of archaeological features, especially in Japan where the condition of the soil and strata are complicated and vary within a small area.