

特別論説



情報処理最前線

考古学における情報処理

—遺跡探査の現場から†—

亀井 宏 行††

1. はじめに

情報処理と考古学のつながりは、最初はクラスタリングや分散分析といった統計処理からはじまり、近年ではそのデータベース化という形で進んでおり、ヨーロッパでは数理統計学者らの参加も盛んで¹⁾、行列図表の並べ換えなどの先駆の仕事もなされている。しかし、この種の連携は、考古学サイドから提供される情報を、情報処理を専門とする者が処理をするという形態をとっており、考古学に対する補助者としての役割を負っているにすぎなかった。最近では情報科学の分野からの考古学分野への積極的な関わりもみられるようになってきており、画像処理技術を応用して考古学遺物のX線像や赤外線映像から新たな考古学的知見を発見するという事例も増えてきている^{2),3)}。

さらにすすんで、発掘せずに考古遺跡を調査する遺跡の物理探査は、地下から情報を取り出してそれを考古学者に提供するというもので、探査法の開発からデータ処理まですべてに理工学に関わるものが本腰を入れて関わらなければならないもので、従来の考古学と情報学の立場を逆転したものである。

本稿では、その遺跡探査法について紹介する。航空写真や衛星画像からの判読も遺跡探査の一手法であるが、画像処理技術の応用例として捕らえることができるので、本稿では触れない。

日本では、大規模古墳の横穴式石室などを除けば、ほとんどすべての遺跡は地下約 2m 以内の浅い所に存在す

る。物理探査技術は、元来石油や鉱山資源の開発のために発達してきたもので、地下数十m以深、時には千mを越える深さまでを対象としたものである。それより浅い所を対象としている土木建設関連でも、表層 2m などというのではないも同じというような状況で、浅い所を見る技術は物理探査の空白域であった。さすがにヨーロッパは考古学先進国で遺跡の物理探査では 40 年以上の歴史があり、考古探査専用の機器も開発されている。日本では昭和 50 年代半ばからそうした機器の利用が活発化してきたが、最近まで理工学者の関心はほとんど注がれなかった。しかし、年間 1 万件を越える発掘が行われている現状ではその重要性も認識されるようになり、文部省科学研究費補助金重点領域研究「遺跡探査法の開発研究」も平成 4 年度からスタートした。

現在用いられている考古遺跡の物理探査法には、表-1 に示したような手法がある。その中で最も多く使われ成果も上がっている、地中レーダ探査、電気探査、磁気探査について、筆者が関わってきた事例、特に古墳探査を中心に紹介しながら、現状及び今後の技術開発の方向などについて述べる。

表-1 考古遺跡の物理探査手法

探 査 法	被 測 定 量	測定装置, 測定法など
地中レーダ探査	電気インピーダンス差	パルスレーダ, FM-CW レーダ
電気探査	抵 抗 率	2極法, ウェンナー法, シュランベルジャー法など
電磁誘導探査	導電率(抵抗率)	渦電流探査
	透磁率(磁化率)	帯磁率計など
磁気探査	残留磁化(熱, 堆積) 誘導磁化(磁化率差)	全磁力探査(プロトン磁力計), 磁気勾配探査(グラジオメータ)
音響探査	音響インピーダンス差	実体波探査法, 表面波探査法, 超音波探査(水中音響探査)
そ の 他		重力探査法, 宇宙線探査法など

† Information Sciences for Archaeology—on Archaeological Propection—by Hiroyuki KAMEI (Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology).

†† 東京工業大学工学部情報工学科

2. 地中レーダ探査

2.1 パルスレーダ

地中レーダは、地中に電波を放射し物体からの反射波を受信することにより、地下情報を得ようとするもので、パルス状電波を用いるタイプと、連続波 (CW) を用いるタイプがあるが、パルスレーダが一般に使用されている。国内ではもっぱら地下埋設管探査や路面下空洞調査に使われている。

パルスレーダは、1 nsec から数 nsec の幅のモノパルスあるいはモノサイクルパルスをアンテナに給電し、地中からの反射波を受信しそのまま表示するもので、図-1 に示すような形でアンテナを地面の上を移動させることによりその地下断面をリアルタイムで観察することができる。パルスを送受するためには広帯域のアンテナが必要となるが、そのためにアンテナの指向性が犠牲になりブロードな特性になってしまう。そのため、図-1 に示すように点物体のレーダ像は双曲線パターンとなる。また、アンテナの共振特性から、モノパルスを給電したとしても、アンテナから放射される波形は 1.5~2 周期波形となり (これをリングングと言う)、それがゴーストとなる。

図-2 に、実験的に埋設した中空木箱と凝灰岩

ブロックのパルスレーダ像を示す。使用したレーダは光電製作所製 KSD-3 AM 型である。レーダ像の横軸はアンテナ移動距離であるが、本レーダは 4cm 移動するごとに 1 パルスを放射する。縦軸は電波の往復伝搬時間で、真空中の光速を C 、土の比誘電率を ϵ とすれば、往復伝搬時間 T と埋設深度 D との関係は、(1)式で与えられる。

$$T = \frac{2D}{C\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

この実験では、土と木箱 (空洞) では誘電率は木箱のほうが小さい、土と凝灰岩では凝灰岩の誘電率が大きいという設定になっており、土と木箱の境界での反射波と、土と凝灰岩の境界面での反射波の位相がまったく逆相になっていることが読み取れる (木箱では白、凝灰岩では黒で表示されている)。また木箱内では電波速度が速く、凝灰岩内では遅くなっているということも読み取れる。図-1 で示した点像分布関数の影響のみならず、境界面とアンテナ間や境界面同士の間での多重反射も重なり、複雑なパターンとなっている。

土中の電波の伝搬損失の少ない周波数帯域は、数十 MHz から 1GHz であり、アンテナの中心周波数もこの帯域内で設計されているものがほとんどである。探査深度限界は、周波数が低いほど深くなるが、国内の土壌では通常 1.5~4m 程度である。ちなみに土壌の比誘電率 ϵ は、乾燥状態の砂で 3~5、水分量が多くなるにつれ増加し通常の土壌で 10~30 程度である。

図-3 の写真は、大阪府岸和田市貝吹山古墳のレーダ探査風景であるが、使われているレーダが

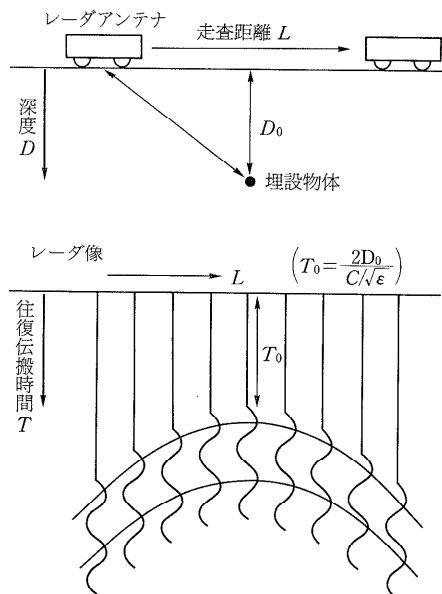


図-1 パルス地中レーダの原理

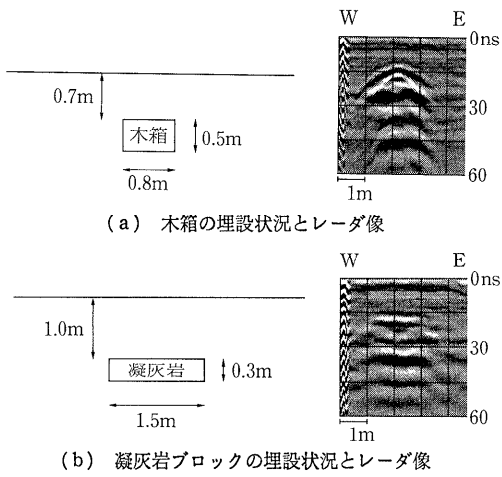


図-2 地下に埋設した中空木箱と凝灰岩ブロックの地中レーダ像



図-3 岸和田市貝吹山古墳の地中レーダ探査風景

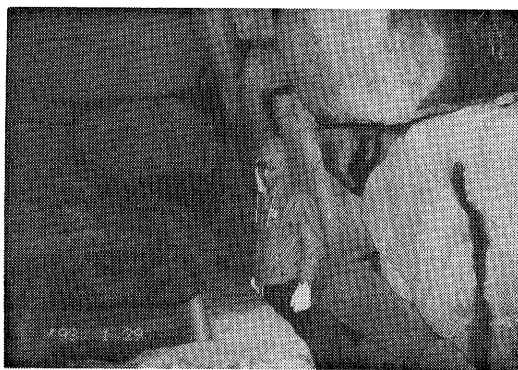


図-4 奈良県明日香村都塚古墳石室内部

す。図-4 に示す写真は、奈良県明日香村にある都塚古墳の横穴式石室内部のもので、天井までの高さは約 3m であり、石棺も存在する。図-5 に地形概略図を示すが⁵⁾、墳丘地表面から石室天井面までは約 1m しかない。図-5 中の測線 AB 及び測線 CD に沿ってレーダを走査した結果を図-6 に示す。レーダは墳丘表面を地形に沿って移動するが、レーダ像では地表面が水平に表示される。地形補正を施すべきであるが、覆土の誘電率が未知であり、またアンテナが傾けば電波の放射方向も変動してしまうのでその取扱いは簡単では

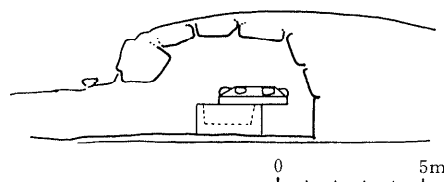
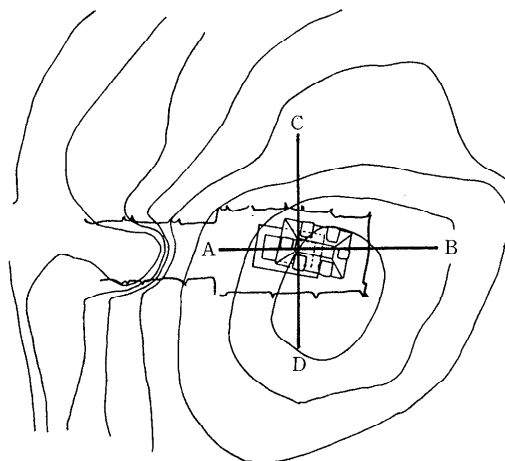


図-5 都塚古墳地形概略図（都塚古墳発掘調査報告⁵⁾より作成）

KSD-3 AM 型で、アンテナの中心周波数は 166 MHz であり、筐体も大きく不整地での取扱いは不便である。

2.2 古墳探査の実例

古墳の調査では、最大の関心は埋葬施設にある。レーダ探査が行われた最近の有名な例では、平成 4 年に石室から豪華な副葬品が発掘された大阪府羽曳野市峯ヶ塚古墳がある。峯ヶ塚古墳では、平成元年に行われた地中レーダによる事前調査では、横穴式石室が確認されたと報告されたにもかかわらず、発掘では竪穴式石室が発見され、別に横穴式石室があるのか、また発掘されたのが竪穴式なのか横穴式なのか曖昧な形で報告書がまとめられており⁴⁾、探査の有効性に疑問を投げかける形となってしまったことは残念である。そこで本節では、古墳の埋葬施設の地中レーダ像のいくつかの例を示す。使用したレーダは、KSD-3 AM 型である。

まず構造の既知である古墳について示

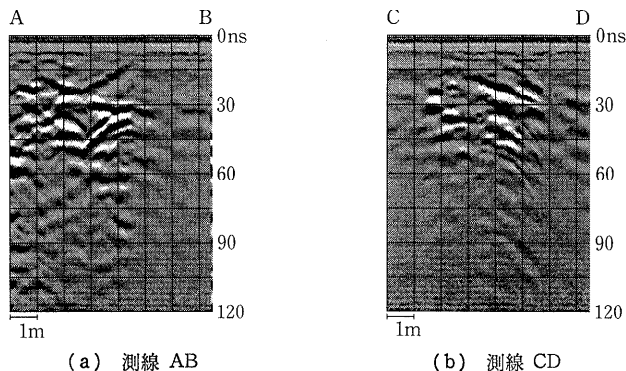


図-6 都塚古墳地中レーダ像

ない。

さて図-6 のレーダ像だけから、図-5 に描かれた横穴式石室の存在が判定でき石棺の存在や石室の石組まで判読できるであろうか。これだけの情報では明らかに無理である。

図-7 は、奈良県高取町にある市尾墓山古墳の、石棺をともなう横穴式石室のレーダ像である。石室を横断する形で走査したものである。図中地表面 W (西) 端から 2m から始まり 5m 地点でピークを示し 7m 付近で地表へ現れる V 字形の構造は、盗掘坑と思われる。この古墳の後円部墳頂は平坦であるので、50cm 間隔で測線を多数配置し、それらのデータから反応箇所が分かるような水平断面図を作成し、墳丘測量図にマッピングしたのが図-8 である。図-8 からは、長方形の構造が古墳の主軸より南にはずれていることから、考古学の常識から南面に開口する横穴式石室と判断できる。

このように大きさや広がりを持定できれば、考古学の知識と併せてやっと縦穴式か横穴式か程度

の判定が可能となる。しかし、墳頂が広く立木も障害物もなく数多くの測線をとることが必要となるので、すべての古墳で可能なわけではない。

以下、いくつかの古墳の埋葬施設のレーダ像を示す。図-9 は、兵庫県日高町の馬塚古墳のもので、横穴式石室である。図-10 は、兵庫県加古川市行者塚古墳のもので、縦穴式石室と推定されている。図-11 は、岸和田市貝吹山古墳のもので縦穴式石室と推定されている。石室の構造もさまざま

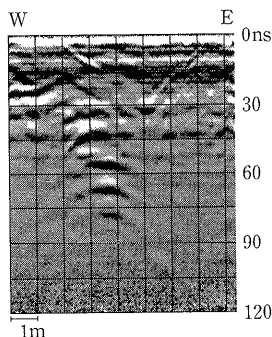


図-7 奈良県高取町市尾墓山古墳地中レーダ像 (横穴式石室, 石棺あり)

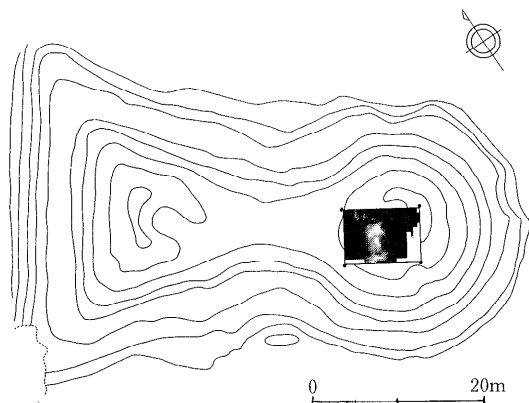


図-8 市尾墓山古墳地中レーダ水平断面像

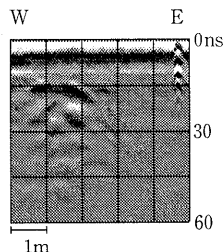


図-9 兵庫県日高町馬塚古墳地中レーダ像 (横穴式石室)

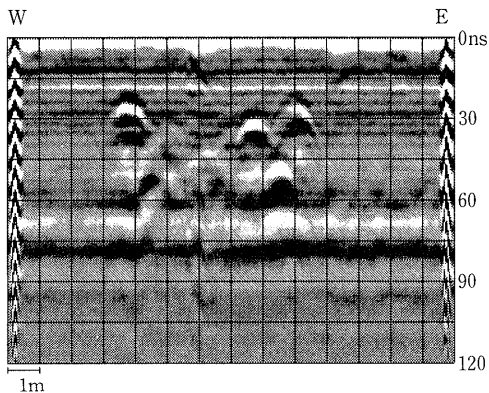


図-10 加古川市行者塚古墳地中レーダ像 (縦穴式石室 (推定))

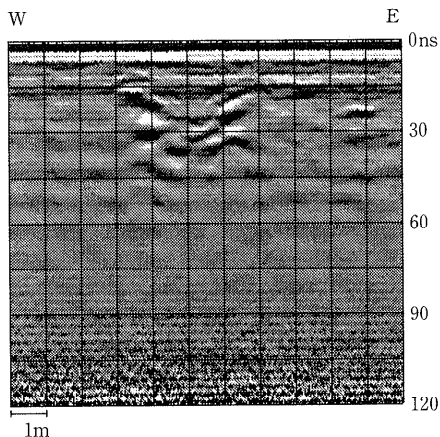


図-11 岸和田市貝吹山古墳地中レーダ像 (縦穴式石室 (推定))

まで、盗掘・崩落などで保存状態もまちまちであり、他に石棺直葬、木棺直葬、粘土椁、石椁などの埋葬法もあり、埋葬施設の探查結果の判読は簡単ではない。

2.3 レーダ探査の課題

レーダ画像の点像分布関数は図-1 に示した多重双曲線パターンとなるので、これをデコンボリューションすれば良いと考えられる。リングングを除去しパルス波形を得る処理をパルス圧縮処理、双曲線から点像を得る処理を合成開口処理あるいはマイグレーション処理と言う²⁾。合成開口処理では土中の電波速度、つまり土の比誘電率が既知でなければならないが、発掘を前提としない遺跡では土壌の比誘電率を知ることは難しい。また媒質が均一であることが望ましいが、遺跡探査では、土中の不均一性こそが遺跡の包含を意味しているので、その困難さは埋設管探査とは比べものにならない。さらに、構造が複雑になればなるほど、境界面での反射・屈折及びそれらの境界面同士間での相互反射も加わるので解析を複雑なものにしている。

図-12 は、石棺直葬のシミュレーションレーダ像である²⁾。図中右下の図は、Wavetype 別に表示したもので、Wavetype とは電波の伝搬経路を

境界面での反射 (R) と透過 (T) の組合せで分類したものである。合成開口処理の対象となるのは1回の反射のみで戻って来る波 (Wavetype R, TRT, TTRTT etc.) だけであるが、2回以上反射を繰り返している波もかなり優勢な像を形成しているのが分かる。もしデコンボリューションが成功したとしても、それだけで地下構造を再構成することは不可能となる。

そこで新たな解析法が必要となる。純粋な逆問題として扱うのではなく、モデリングなど順方向解析も利用した知識蓄積型の解釈アルゴリズムなどが有望ではないかと考えられる。

ハードウェアにも課題はある。図-13 は、静岡県袋井市石ノ形古墳の墳頂上の同一測線を異なる周波数のアンテナで走査した像である。使用されたレーダは、米国 GSSI 社製 SIR-8 レーダシステムで、図-13(a) は 500 MHz、図-13(b) は 900 MHz のアンテナが使用された。図-13(a) の E (東) 端から 1 m 弱の地点深さ 10 nsec に強い反射が捕らえられているのに対し、図-13(b) では何も捕らえていない。発掘の結果この場所からは図-14 の写真のように直径 20 cm ほどの銅鏡が出土した。この銅鏡は測線直下を少しはずれやや傾いて埋納されていたため、鏡面反射した電波は開口面

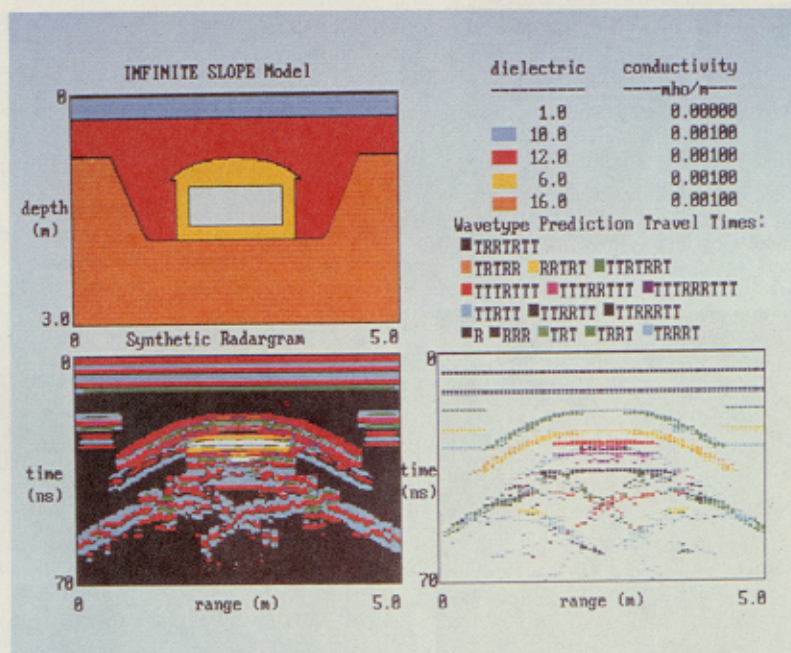


図-12 石棺直葬の地中レーダ像シミュレーション (マイアミ大学地質音響研究所 中島分室 (UM/GAL 中島) Dean Goodman 助教授提供)

積が小さい 900 MHz のアンテナでは捕らえられなかったのである。周波数が高いほど分解能が高く細かい構造が分かるはずであるが、このようにかえって逆効果になることもある。また偏波による異方性もあり、アンテナの選択は難しい。

パルスレーダは振幅をそのまま取り扱うため S/N 性能も悪く、電波法などの関係から瞬時電力を大きくできず、探査深度も浅くなる。そこで連続性信号を用いるチャープレーダ⁹⁾や FM-CW レーダ^{9),10)}、Step-Frequency レーダ¹¹⁾などの利用も試みられている。

3. 電気探査

最も歴史のある探査法が電気探査で、基本的に

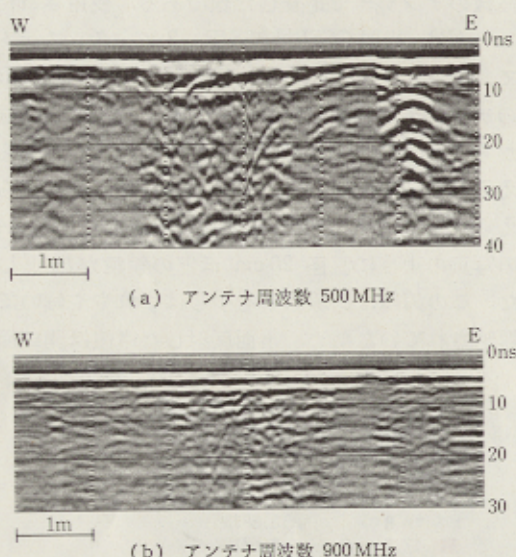


図-13 袋井市石ノ形古墳墳頂同一測線の地中レーダ像。アンテナ周波数による違い (UM/GAL 中島 Dean Goodman 助教授提供)



図-14 石ノ形古墳東主体部発掘状況。銅鏡、鉄刀、菅玉が出土している

は 4 端子法による電気抵抗測定である。遺跡探査によく用いられる電極配置を表-2 に示す。測定される抵抗率は、大地 (半無限空間) の加重平均値であるが、電極間隔に等しい深さまでの寄与が大きく、その感度分布は電極配置により異なる¹²⁾。使用される電波の周波数は百数十 Hz のものが多い。

地下の深度方向の抵抗率分布を求めるために、1本の測線上の各点で電極間隔を順次広げて測定し、地中レーダ像のような垂直断面図を得る手法を、垂直探査という。一方、電極間隔を固定し、探査域全面のある深度での抵抗率分布を得る手法を、水平探査という。図-15 は、電極間隔 50 cm のウェンナー法による水平探査風景で、たとえば 1 m 間隔のグリッドを設定しその格子点ごとに 4本の電極の付いたこの枠を持って移動測定を行う。

図-16 に、岐阜県大垣市の長塚古墳の水平電気

表-2 電気探査における電極配置

電極配置	配置図と抵抗率算出式
ウェンナー法 (Wenner)	$\frac{C_1 \quad P_1 \quad P_2 \quad C_2}{\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow}$ $\frac{a \quad a \quad a \quad a}{\leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow}$ $\rho = 2\pi a \frac{V}{I}$
シュランベル ジャー法 (Schulumberger)	$\frac{C_1 \quad P_1 \quad P_2 \quad C_2}{\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow}$ $\frac{a \quad na \quad a \quad a}{\leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow}$ $\rho = \pi a \frac{(n+1)}{n} \frac{V}{I}$
2 極法	$\frac{C_2 \quad C_1 \quad P_1 \quad P_2}{\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow}$ $\frac{\infty \quad a \quad \infty}{\leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow}$ $\rho = 2\pi a \frac{V}{I}$

注) C_1, C_2 : 電流電極 I : 注入電流 ρ : 見かけの抵抗率
 P_1, P_2 : 電位電極 V : P_1, P_2 間電位差



図-15 50 cm 電極間隔のウェンナー法による電気探査風景

探査結果を示す。長塚古墳は前方後円墳であったものが、後円部が削平され現在は前方部のみ墳丘が残存している。電極間隔 50cm のウェンナー法により 1m 間隔のグリッドで測定されたもので、抵抗率 $55 \Omega\text{m} \sim 10 \Omega\text{m}$ を図では白～黒の階調で表示した。後円部が高抵抗の部分として捕らえられている。また、前方部北側に、北へ延びる幅約 7m ほどの高抵抗の構造が読み取れ、その構造が道路際の高抵抗の構造に接続しているのが分かる。この構造は、周濠をわたる陸橋(渡り土手)と周濠堤であり、黒っぽく見える低抵抗部分は周濠内部と考えられる。

電気探査の問題として、まず労力がかかる点にある。電極間隔を広げていけば、図-15 の写真のように 1 人ではできなくなる。また垂直探査では、1 点を測定するのに、何回も電極を刺し替えなければならない。この点を解決するために、多数の電極を一気に刺しておいて、その中の任意の 4 本の電極を電流・電位電極として選択できるようにしておき、コンピュータを用いて自動測定を行うようなシステムの開発も進められている。

地下構造の推定は、これも逆問題であり、医用

などで考えられているインピーダンス CT と原理的にはまったく同じである。

4. 磁気探査

地磁気の異常を検出して遺跡を探査するのが磁気探査である。探査装置として代表的なものは、プロトン磁力計とフラックスゲート型グラジオメータがある。

プロトン磁力計は、核磁気共鳴におけるプロトンの歳差運動の周波数が外部磁界の大きさに比例することを利用したもので、磁界の絶対値(全磁力)が測定できる。プロトン磁力計は最終的には周波数計測となるので感度は優れているが、絶対値計測なので探査分解能(空間分解能)は劣る。

フラックスゲート型磁力計は、強磁性体の磁気飽和特性を利用した磁力計で、方向性を有するのでベクトル計測が行える。グラジオメータとは磁気勾配を計測する装置で、直線上に配置された 2 台の磁力計の差分を出力する。差分をとることで背景磁界である地磁気の時間変動を取り除くことができる。市販のフラックスゲート型グラジオメータでは 1 方向成分のみしか測定できな



図-16 大垣市長塚古墳水平電気探査結果 (抵抗率 $55 \Omega\text{m} \sim 10 \Omega\text{m}$)

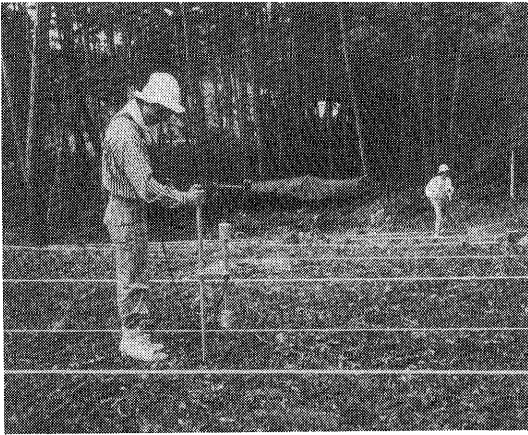


図-17 3軸グラジオメータによる磁気探査風景

った。

ベクトル場では3成分すべての測定が後の逆問題解析の精度向上につながるので、筆者らはベクトル計測のできるフラックスゲート型3軸グラジオメータを開発した¹³⁾。図-17に、3軸グラジオメータによる探査風景を示す。3軸グラジオメータは、3軸磁力計を垂直軸上に50cmの間隔で正確に軸合わせを行って配置したもので、垂直方向と水平面内東西方向及び南北方向の3方向の磁気勾配を1nTの分解能で計測することができる。

磁気異常を発生させる原因は、熱残留磁化や堆積残留磁化などの永久磁石によるものと、鉄や火山灰などの磁化率の大きい物質が地磁気により誘導磁化され生じるものの2種類がある。前者では熱残留磁化が磁化の強さも大きく、窯跡や炉跡などの被熱遺構の探査に多くの成果を上げている。後者では、鉄製品が最も大きな磁気異常を生じる。古墳には鉄製の武具や農具が副葬されていることが多い。そのような古墳を磁気探査すれば、鉄製品の副葬を確認できるばかりでなく、その分布から埋葬主体部の大きさや位置をも推定できる。

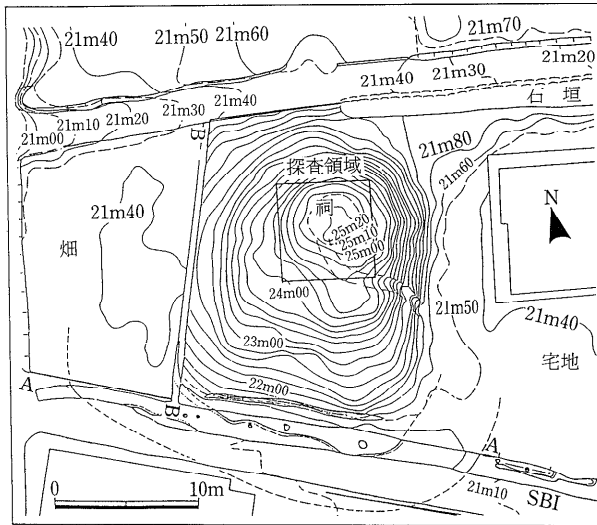


図-18 袋井市石ノ形古墳地形概略図

図-18は、先に触れた石ノ形古墳の地形概略図で、墳頂部を3軸グラジオメータで25cm間隔のグリッドで探査した。図-19は、磁気勾配探査結果水平面内南北方向成分であるが、図中A, B, C, Dの4地点を誘導磁化による磁気異常点と判定し、それ

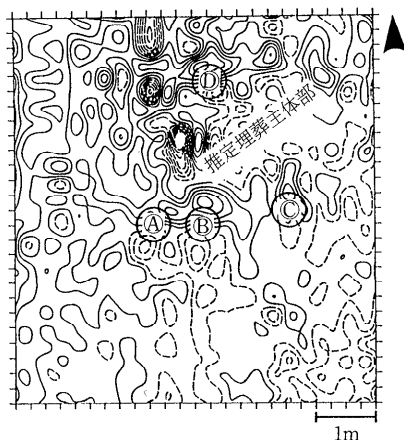


図-19 石ノ形古墳磁気勾配探査結果(水平面内南北方向成分, 等値線間隔 30nT)

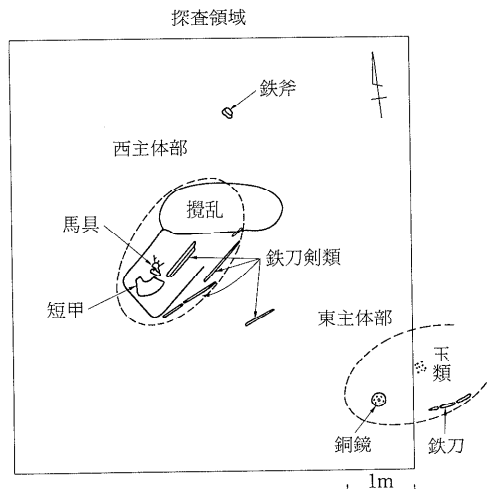


図-20 石ノ形古墳発掘結果概略図



図-21 石ノ形古墳での短甲・馬具出土状況

らによって囲まれた領域を埋葬主体部と推定した。磁気異常点はダイポールパターンとして捕らえられるが、3成分各図から、地磁気による誘導磁化として整合する点のみを抽出する。

発掘の結果を図-20に示すが、D地点からは2丁の鉄斧が、A・B両地点からは図-21に示す鉄製の短甲・馬具や鉄刀が折り重なって出土した。

磁気探査の一番の問題点は、環境の問題である。鉄塔や鉄筋鉄骨構造の建築物、さらには空き缶などの鉄製品のゴミ、道路に近ければ自動車や自転車の通過など、磁気探査の障害となるものが多い。

古墳の墳丘探査の場合、脳磁計測との類似性がうかがわれるが、構造の複雑さ、先情報情報の少なさ、測定環境の悪さなどあり、脳磁計測と同様の逆問題解析手法が使える保証はない。

5. むすび

考古遺跡の物理探査法に関し、古墳探査を例にして、地中レーダ・電気・磁気各探査法を概説した。紹介した探査結果は、測定したデータをほとんどそのまま表示しただけのもので、地下構造の

推定にまでは至っていない。現状ではデータをどう採取するか、センシングデバイス、システム、アルゴリズムなどについて開発が進められている段階である。測定されたデータから地下構造を推定する問題は逆問題¹⁴⁾であるが、浅深度地下探査では媒質の不均質さと対象物体の大きさが似通ったスケールになってしまう場合も多いので、単純ではない。探査例を集め、モデリングやシミュレーションなどを含め知識を集約して、知識工学的手法を導入した逆問題解析法が必要となるのではないかと考えられる。

さらに探査精度を上げるためには、いくつかの探査法を組み合わせる必要がある。地中レーダでは誘電率分布、電気探査では抵抗率分布、磁気探査では磁化率分布とそれぞれ異なる物理量の分布が測定される。たとえば、地中レーダや電気探査で金属遺物の埋納が確認された場合、磁気探査を行えば、それが鉄製品なのか他の金属（銅、青銅、金、銀）製品なのか区別できる。複数の探査を行えば、それだけ労力・時間・経費もかかるので、効率の良い探査法の確立が望まれる。

考古探査は、ソフト・ハードともに未熟な分野であり、対象のパラエティさもあり、不可視情報の可視化という技術的興味ばかりでなく、過去を探るというロマンもある分野なので、多くの情報科学者の参加を期待する。

謝辞 探査実験の機会ならびに貴重な資料を提供いただいた、奈良国立文化財研究所、奈良県立橿原考古学研究所、兵庫県、岸和田市、明日香村、大垣市、袋井市の各教育委員会、立命館大学考古学研究室、UM/GAL 中島、桜小路電機(有)の諸氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) クリーブ・オルトン (小沢、及川訳): 数理解考古学入門, p. 302, 雄山閣, 東京 (1987).
- 2) 坂田俊文: ハイテク考古学, p. 163, 丸善, 東京 (1991).
- 3) 新技術コミュニケーションズ編: 文化財・考古学における光・画像技術, Oplus E, No. 166, pp. 69-129 (1993).
- 4) 羽曳野市教育委員会: 河内古市古墳群峯ヶ塚古墳概報, p. 87, 吉川弘文館, 東京 (1993).
- 5) 関西大学考古学研究会: 都塚古墳発掘調査報告, 関西大学考古研究年報, Vol. 2, pp. 26-44 (1968).
- 6) 関根松夫: レーダ信号処理技術, p. 311, 電子情報通信学会, 東京 (1991).

- 7) Goodman, D. et al.: Computer Simulation of Ground Radar Images with Applications from Engineering to Archaeology, 信学会宇宙航空エレクトロニクス研究会資料, SANE 92-89 (1992).
- 8) 荒井郁男他: 遅延相関を用いたパルス圧縮地中レーダ, 信学会宇宙航空エレクトロニクス研究会資料, SANE 92-26 (1992).
- 9) 高橋幸一他: スロットアンテナを用いた考古探査用 UHF 帯 FM-CW 地中レーダの試作, 信学会宇宙航空エレクトロニクス研究会資料, SANE 92-71 (1992).
- 10) 山口芳雄他: FM-CW レーダによる埋設物体の検出について, 信学会宇宙航空エレクトロニクス研究会資料, SANE 92-78 (1992).
- 11) Iizuka, K. et al.: Step-Frequency Radar, J. Appl. Phys., Vol. 56, No. 9, pp. 2572-2583 (1984).
- 12) 物理探査学会: 土地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, 物理探査, Vol. 35, No. 1, pp. 45-64 (1982).
- 13) Kamei, H. et al.: A New Instrument—A Three-Component Fluxgate Gradiometer, The 28th

International Symposium on Archaeometry (ARCHAEOLOGY '92), p. 171 (1992).

- 14) 例えば岡本良夫: 逆問題とその解き方, p. 243, オーム社, 東京 (1992).

(平成6年1月10日受付)



亀井 宏行

1954年生。1976年東京工業大学工学部電子工学科卒業。1981年同大学院博士課程修了。工学博士。東京工業大学助手、千葉大学工学部情報工学科助教授を経て、1994年より東京工業大学工学部情報工学科助教授。音声認識、画像計測に関する研究を経て、現在は遺跡探査をはじめとする文化財科学における計測・信号処理・情報処理の研究に従事。電気学会、電子情報通信学会、日本文化財科学会、日本音響学会、日本 ME 学会、AVIRG 各会員。

