

科学の
峰々

81

取材日：2014年9月29日
日本科学機器協会会議室

東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻 教授

亀井 宏行 先生 に聞く

遺跡探査の技術開発と
考古情報学 上

聞き手：南	明則	日本科学機器協会	広報副委員長
佐藤	文俊	同	広報委員
山口	美奈子	同	広報委員
鈴木	裕之	同	広報委員
藏満	邦弘	同	専務理事
岡田	康弘	同	事務局長

(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

亀井 宏行先生のプロフィール

1976年 東京工業大学工学部電子工学科卒業
 1981年 東京工業大学大学院総合理工学研究科電子システム専攻博士課程修了
 1981年 東京工業大学精密工学研究所 助手
 1985年 東京工業大学工学部電気電子工学科 助手
 1989年 千葉大学工学部情報工学科 助教授
 1994年 東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻 助教授
 2002年 東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻 教授
 2005年 東京工業大学百年記念館(現博物館)副館長
 2013年 東京工業大学博物館 教授
 現在 東京工業大学博物館 教授・副館長
 東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻(兼任)
 東京工業大学大学院社会理工学研究科人間行動システム専攻(兼任)

〈研究テーマ〉

遺跡探査

地下に埋没する考古遺跡を発掘せずに調査する手法の研究。地中レーダ、電気探査(直流電流法・電磁誘導法)、磁気探査から、航空機レーザ測量、衛星画像の利用など。文化財の非破壊検査も含む。

考古情報学

遺跡の発掘報告書や遺跡のデータベース化、GISを用いた解析、RFIDを用いた遺物管理、遺跡や遺物の3Dデジタルアーカイブ、インターネットを利用した文化財保護や管理システムの開発等。



遺跡探査の始まりは 第2次大戦後のイギリス

— 亀井先生の研究テーマは遺跡探査と考古情報学とお聞きしていますが、まずは、東京工業大学で現在の研究テーマを選択した動機や背景などをお聞かせいただけますか。

亀井 私の出身は東工大の電子工学科で、大学院では電気で学位を取りました。東工大の助手をしていたとき、文系と理系の先生方が一緒になって、電気技術を使い、遺跡を発掘せずに探し出そうというプロジェクトが立ち上がりました。

そのとき若い研究者にも声がかかり、そのプロジェクトに参加することになりました。それが遺跡探査の研究をはじめたきっかけです。

— 先生が取り組まれてきた遺跡探査の研究は、いつごろ、どこで始まったものなののでしょうか。

亀井 遺跡探査の技術開発は、

第2次世界大戦後のイギリスで始まりました。ケンブリッジ大学やオックスフォード大学の物理学の教授たちが、戦争中、物理学を戦争のために使ったことを後悔し、平和のために物理学を使いたいと始めたのが、電気と磁気による遺跡探査でした。

電気探査は、地面の中に電流を流し、地表面に現れる電位を測って、その分布から地下構造を推定して、遺跡の分布を探るというものです。遺跡探査では、これが一番単純な方法です。

もう1つは磁気探査で、潜水艦を探査する技術を利用したものです。今でも、潜水艦を探査する対潜哨戒機は磁力計を積んでいて、巨大な鉄のかたまりである潜水艦が引き起こす地磁気の異常を検出して、潜水艦の位置を割り出します。

もとは軍事のために開発されたものですが、磁力計を地面の上で走査すると、地下に鉄の塊などがあるかどうか分かります。鉄は磁石を近づけると、自らが磁石になり、磁場を発生します。地球は巨大な磁石ですから、その地

磁気によって鉄は磁石になっているのです。鉄があると分かりやすいのですが、ほかにも炉跡、窯跡など一度高温にさらされた遺構も見つかります。土の中の磁性鉱物はランダムな方向に磁化していますが、高温にさらされて自由に動ける状態から温度が下がっていく段階で、地磁気の方向に向きが揃って永久磁石の状態になるからです。この技術は埴輪や須恵器を焼いた窯跡を探すのにも使われますし、さらには、たき火跡なども分かるのではないかと考えています。

残念ながら、金や銀は磁気探査では見つかりません。

遺跡探査はこのような電気探査と磁気探査で始まりましたが、その後、地中レーダをはじめ、様々な技術が開発されてきました。

そして最近では、探査で得た考古学情報や文化財情報をどう扱うかというテーマに移ってきています。

— 遺跡の発掘報告書や遺物の管理は、どのようにされているのでしょうか。



地中レーダ探査の様子



磁気探査の様子

亀井 現在、遺跡の発掘報告書は各自治体の教育委員会等が発行しています。日本では年間1万件ぐらいの発掘が行われていますが、各々の遺跡の報告書の発行部数は少量で、多くの人が閲覧できるようになっていません。そこで発掘報告をデータベース化して、多くの人が見られるようにしよう、というプロジェクトを始めました。

このデータベースは文字情報と写真、図面なども検索できるようにし、さらに、遺跡の調査者が新たに発見した写真などを投稿すれば、それも加えられる機能をもたせています。一部は完成しているのですが、著作権の問題が持ち上がり、このデータベースは公開には至っていません。

また、考古情報学としては、物流で用いられるRFID、つまりICタグを使って、遺物の管理をしようと考えています。

これまでは遺物が発掘されると、

遺物表面に小さな文字列を書き込み、その文字列に対応したカードを作って、しまっておくというやり方をしていました。その代わりに遺物にICタグを付け、データベースを作ろうというものです。これならICタグを読み、直にデータベースにアクセスすることができます。

ICタグにはいろいろな使い方があります。例えば、エジプトの発掘現場で泥レンガを修復したときなど、時間が経つと古いものなのか、新しく修復したものなのか分からないことがあります。そんなとき、修復した泥レンガの中にICタグを埋めておき、それを読み取れば、いつ修復したものか分かります。

実際、2008年から2009年にかけてエジプトのアル・ザヤーンという神殿遺跡の発掘現場で行ったのですが、2011年に「アラブの春」革命が起こり、この4年間、エジプトには行けず、タグを埋めたままになっています。

日本の考古学に必要なのは理系のサイエンス

—日本の考古学の現状を教えてくださいませんか。

亀井 私は、考古学とは理系のサイエンスだと考えています。現在の日本の考古学は文献史学の末端に組み込まれています。そのため、遺跡の発掘を行っている人たちも、文系出身で、史学科の人たちや文献学を学んだ人たちが中心です。

しかし、こういう日本の現状は変わるべきだと思います。文献情報がない場合、過去の人々がどう暮らしていたのかを探り出すのは、まるで科学捜査そのものです。

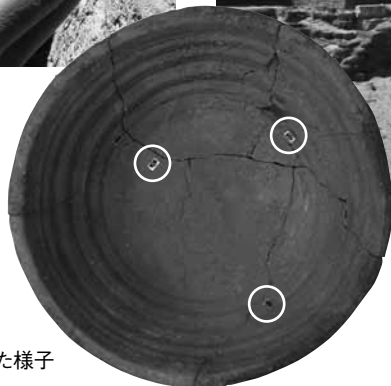
例えば、欧米では考古科学という分野があり、出てきた遺物を科学的に分析し、情報を取り出す学問が確立していて、大学に



ICタグを現場記録の装置
(温湿度計)に付けた様子



アル・ザヤーン神殿遺跡（エジプト）



ICタグを土器に貼り付けた様子

産学官との連携

はその学部や学科もあります。

そういう教育体制を作った上で、考古学をやりたいと思っているのですが、なかなか思うようにはいきません。そもそも日本では文系と理系に分けてしまうため、サイエンスとして考古学に取り組むことが難しいのです。

——日本には、イギリスにあるような考古科学科という学部や学科はないのでしょうか。

亀井 奈良大学には文化財学科という学科があり、科学的な方法で文化財の調査を行っています。ただし、この学科も文系のため、受験の段階で理系の学生は入ってきません。

また、東京芸術大学には文化財の保存修復に関する大学院があり、文化財の修復には多くの人が携わっています。

**計測学のためには
オールマイティな知識が必要**

——考古学や遺跡に興味を持たれた亀井先生は電子工学科のご出身ですが、考古学に必要な知識や学問はなんと思われませんか。

亀井 それは計測学だと思います。

対象とする物のことを知るための手段としての計測学です。自分の専門が電気だから電気技術を使おうというのではなく、あらゆる理工学分野のテクニックを使って測ろうとするわけです。つまり、

計測とは総合サイエンスの分野だと思うのです。

そうすると、計測のためには様々な分野を学ぶ必要が出てきます。計測学が面白いのは、様々な分野を集めてこられることです。そのためにもオールマイティな研究者を育てていきたいのです。

実を言うと、私は子どもの頃は博物学者になりたかったのです。小さい頃から遺跡や化石などが好きで、中学生のときには、考古学雑誌のバックナンバーを全巻買ってほしいと親に頼んで怒られたこともありました(笑)。

しかし大学受験のとき、文系と理系に分けられ、潰しがきく学科は電気だと言われ、電気へ進みました。日本では博物学者になる道はなかなかないのですが、工学の中で何が博物学に代わるかと言えば、それは計測学になると思うのです。

**欧州では開発の前に
遺跡探査を義務づける国も**

——先生の研究室のホームページには、先生が探査をされた遺跡が数多く紹介されていますが、遺跡探査を行うときは、依頼を受けて現地赶赴のでしょうか。

亀井 そうです。日本では主に教育委員会の依頼を受けて探査を行います。考古学の専門家であれば専門とする時代がありますが、私は、旧石器から近現代まで、エジプトでもイタリアでも、時代と

地域にこだわりはありません。

エジプトで遺跡探査を行ったのも、エジプト政府からの依頼があったためです。砂漠の中で開発を行う前に、地下に遺跡があるとまずいので調査をしてほしいということでした。

探査してみると、何かありそうだったということになり、日本学術振興会から資金を出してもらい、発掘が始まりました。

——日本では開発の前に探査を行うという話はあまり聞きませんね。

亀井 日本の場合、ほとんどが緊急発掘といって、開発中に遺跡が出てきたので調査を行うというものです。その間、工事がストップしてしまうので嫌がられることが多いのです。

これに対して、ヨーロッパでは遺跡を守ろうという意識が高いです。例えばオランダでは、法律によって、大規模開発を行うときは探査をかけ、遺跡があるか、ないかを確認しないといけません。そのため探査の業界が成り立ち、教育機関も成立するのです。

未探査発掘の一番の問題は、遺跡を破壊してしまうことです。掘る前に探査をし、そこに何かがあると分かってから掘り始めれば、注意深く発掘が行えます。そして一つの時代の地層を掘ったあとに、また探査をかけ、何かあるかを調べる。それを繰り返して行っていけば、失われる情報も少なくなっていくのです。

**計測結果を処理し
解釈することも重要な作業**

——話は探査技術に戻りますが、電気探査は地中何mぐらいまでの様子が分かるものなのでしょうか。

亀井 電気探査の場合、私たちが日本で対象としているのは、地下5mぐらいまでです。

電気探査はもともと石油を探す技術からスタートしていますから、地下何百mといった深いところまで探査することもできます。しかし、深くなるほど分解能力が悪くなります。ピラミッドのような巨大な石造りのものなら、それが地下100mのところにあっても分かりますが、日本の竪穴式住居が地下10mのところにあったら電気探査では分かりません。

——簡単に電気探査のやり方を教えていただけますか。

亀井 まず地面に等間隔に4本の電極を刺し、外側の2本の電極に直流電流を流して、内側に刺した2本の電極間の電位を測ります。電流と電圧の比から地面の抵抗率が求められます。地面の中に何もなければ、抵抗率は均一ですが、何かがあれば抵抗率に現れます。

この4本の電極組で地面をスキャンすると、2次元の抵抗率の分布が求められます。さらに電極間隔を広げれば、深さ方向の分布

が求められ、3次元分布が得られます。これが電気探査の直流電流法です。

——電気探査の電磁誘導法というのはどのようなものでしょうか。

亀井 例えば、アスファルトには電極は刺さりませんから、そういうときは電磁誘導法を使います。

電磁誘導法は、コイルに交流電流を流し、磁場を発生させます。その磁場が地面の中に入ると、渦電流が流れ、それにより二次磁場が発生します。二次磁場をコイルで検出すると、地面の中の抵抗率が分かります。

——地中レーダは、どのような探査方法なのでしょうか。

亀井 地中レーダ探査は、1本のダイポールアンテナを使います。魚の骨のような形をしたテレビアンテナ（八木アンテナ）がありますが、電波を受信しているのは、何組もある骨のうち、一組だけです。それがダイポールアンテナです。た

だし、地中レーダに使うときは、帯域を広げるため、丸い棒を扁平にして三角の形にした、蝶ネクタイ形アンテナとして使います。

普通、空中で使うレーダは、ギガヘルツという高い周波数の連続波を断続的に（変調をかけて）空へ向けて出しています。

それに対し、地中では高い周波数は通らないので、低い周波数の電波を出します。私たちが今、地中レーダで使っているのは、テレビのVHFやUHFと同じくらいの20MHz～500MHzの帯域の電波です。低い周波数を受けるためにアンテナは大きくなっています。

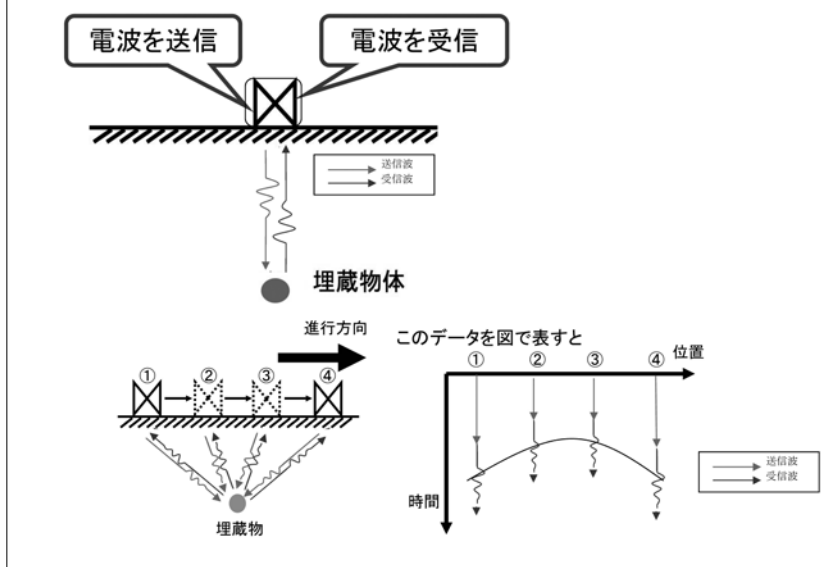
そのくらいの周波数になると、連続波で測ろうとすると、1つの波の周期が長いので、変調をかける方法では、時間分解能が上げられず、小さい物体の識別ができなくなります。そのため連続波ではなく、パルスを使います。

パルスには周波数や波という概念がないので、指向性のコントロールができません。そのため地面の真下に物体がなくても、ほかからも反射が返ってきてしまいます。



電磁誘導法による探査の様子

地中レーダで地下の断面を画像化する原理



地中レーダの原理

地面の上をアンテナをスキャンし、戻ってきた信号を真下から来たものとして画像化すると、解釈が大変になります。それを処理してあげるのも、計測屋である我々の仕事になるわけです。

——地中レーダは、どのくらいの深さを測っているのでしょうか。

亀井 私たちが通常見ている深さは2mぐらいまで、状態のよいところだと3mあたりも探査できます。しかし、地中の水分量が多いとあまり届かず、探査できるのは50cmぐらいになってしまいます。

さらに、農薬や塩分などでイオン濃度が高い場合は、もっと減衰が激しくなります。そのため、学校の校庭など塩をまいて硬くしている所は不向きです。

こうした問題があり、イギリスではこれまで地中レーダはあまり使われてきませんでした。しかし、多湿な日本で地中レーダが使われ、多くの成果があがってきたので、今では世界中で採用されるようになってきました。

発掘前の遺跡探査によって分かること

——これまでに行った遺跡探査をいくつか具体的にご紹介いただけますか。

亀井 兵庫県にある弥生時代中期の新宮宮内遺跡の話をししましょう。電気探査の結果、地中に埋まっているのは円形周溝墓という墓だと私は判断しました。円形周溝墓とは環状の堀に囲まれた墓

で、前方後円墳の起源とされているものです。

そう私は確信したのですが、発掘をする人たちは信じてはくれませんでした。その時代には、これほど大きい円形周溝墓はないと言われていたからです。しかし、掘った結果、現れたのは、円形周溝墓でした。

次に、群馬県の現・渋川市にある田尻遺跡で行った地中レーダの探査があります。そこには2mほどの軽石に埋もれた村がありました。地中レーダ探査の結果から、コンピュータ内で軽石の堆積を取り除いて古代の地形を復元すると、四角い墳丘と堀があることが分かりました。

そこから出てきたのは弥生時代の方形周溝墓でした。6世紀の中頃、たぶん520年あたりに榛名山が爆発したとき埋もれたものです。つまり、6世紀に火山の爆発で埋もれた3世紀の墓ということになります。

この遺跡で面白いのは、人が歩いていたところが、へこんだ道になっていて、まっすぐ続いていることです。6世紀の人たちは、3世紀の墓の上を自分たちの祖先の墓とは認識しないで歩いていたのです。遺跡を掘らなくても、探査によってそんなことまで分かってしまうのです。

次号「科学の峰々」では
亀井宏行先生
遺跡探査の技術開発と
考古情報学（下）において
続きをお話いただきます。