

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501255

研究課題名(和文)人工信号源を用いた地下埋蔵物探査

研究課題名(英文) Investigation of the buried cultural property under the ground using artificial signal sources

研究代表者

西谷 忠師(Nishitani, Tadashi)

秋田大学・国際資源学部・教授

研究者番号：10134082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：地下埋蔵物を検知する新しい装置を開発するための手法を確立し、実用化に向けた問題点を明らかにすることを目的として研究を行った。取扱いが容易で地下の様子を高い分解能で得られる探査装置を目指し、人工的な磁場と電流を送信部から発生させ、これらの信号を観測点で測定する方法を用いた。この手法は簡便な測定を行うには有利であり、送信と受信のタイミングを合わせることで精度の良いデータを得ることが可能であることを示した。また、信号の減衰程度から地下構造を精度良く検出することが可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a new device which can detect a buried cultural property under the ground, and to establish the basic technology and to clarify the problems for the practical use. I attached great importance to the easy handling and to the high resolving power. An artificial magnetic field and electric current were sent from the source point, and signals were received at the observation point. This technique is advantageous to perform the simple and easy measurement. High precision data can be obtained by matching a timing of the reception with the transmission. Underground structures can be obtained by the attenuation of the signals.

研究分野：遺跡探査

キーワード：地下埋蔵物 人工信号 信号応答 同期 位置決定 構造探査

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 探査効率と探査深度

研究開始当初、地下埋蔵物を探査する方法はいくつか存在した。良く用いられるレーダー探査は探査効率は良いが、探査深度が1～2 mと浅く、探査結果を解釈するにはかなりの経験と訓練が必要であった。また、磁気探査はある程度の深さ(～20 m)までの情報を得られるが、地表付近の金属物や障害物の影響を直接受け、ノイズ除去の処理が必須であり、構造解析の手法も複雑であった。電気探査は探査深度も30 m程度まで可能で、かつ、信頼性の高い探査手法であるが、探査効率をあげることは非常に困難であった。電磁気探査の手法は60 m程度までの探査には適切な手法であるが、測定に多大の時間を必要とする欠点があった。従って、地下構造探査で重要な20 m程度までの探査が可能で、探査効率の良い手法が求められていた。

### (2) 位置決定精度

測定場所の緯度・経度を正確に把握すること、深さ情報を正確に知ることは非常に重要な項目である。研究開始当初、地図上で測定場所を特定することはかなり難しく、正確さを期す場合には、トータルステーションを用いることが主流であった。GPSを用いた位置決定も行われていたが、専用の装置が必要で一般的ではなかった。そのため、位置決定を如何に効率的にかつ、高精度で行うかは常に問題となっていた。

### (3) 測定結果の解釈

研究開始当初、単一手法の探査がほとんどであった。ある探査手法でこのような結果が得られたということを示す事が多く、複数の手法が用いられても、一つの手法で得られた結果の確認程度に使われることが多かった。複数の測定結果を積極的に活用して解釈することはあまり行われていなかった。また、処理方法も測定されたデータのみで議論することが大部分であった。

## 2. 研究の目的

遺跡の範囲確認調査や、それに続く発掘調査には多大の時間と労力を必要とする。本研究は、効率的にかつ短時間で広範囲の領域を調べることが可能で、地下構造や地下埋蔵物の状況を高い分解能で把握し、発掘調査の方針決定に資するデータを提供できる新しい装置を開発するための手法を確立し、実用化に向けた問題点を明らかにすることを目的とする。本研究では、従来課題とされていた点を解決するため、調査地域の現状を維持したまま、送信部から人工の磁場と電流の二種類の信号を発生させ、観測点でこの信号を観測する方式を採用する。20 m程度までの地下埋蔵物の位置や深さの情報を正確に導き出す方法を編み出すこと、そして、誰でも使える実用的な装置にするための問題点を明

らかにすることが目標である。

## 3. 研究の方法

### (1) 信号源・測定器の製作

人工信号源の磁場波形を発生させるためのコントローラーを自作し、波形発生装置を経由してパワーアンプに導き、その出力をコイルに接続して磁場発生装置を完成させた。同様に、人工信号源の電流波形を発生させるコントローラーを自作し、波形発生装置を経由してパワーアンプに導き、その出力を地表に設置した電極に接続した。磁場信号を受信するために、コイルを自作し、得られた出力を増幅して記録計にデータを保存した。電流信号は設置した2本の電極間隔の電圧を測定することにより行った。

観測用測定器の設計・試作と野外調査による検証を繰り返し行い、取り扱いが容易な装置を完成させた。人工的に発生させた磁場と電流に同期して信号を記録するため、GPS信号の1秒パルスを送信と受信の際に利用した。しかし、GPS信号の受信状態が悪い場合には不都合が生じたため、GPS信号の受信状態が悪い場合には、内部で発生させる1秒パルスを利用できるように工夫した。この処理により、安定して測定が可能となり、現場で取得したデータを重ね合わせて、ノイズを低減させることができた。また、GPSを用いることで正確な位置情報を得ることが可能になった。

### (2) 野外調査による検証

実際に測定装置を野外で使用して、地下埋蔵物の検知能力をテストした。人工の構造物として地表から2.5 mの穴を掘り、1 m × 0.5 m × 0.5 mの直方体を横倒しに設置した。直方体は木枠の中に発泡スチロールを詰めて作成した。この構造は地中の空洞あるいは構造物と見なせる。この構造物を中心として測線を設定して測定を行った。

野外調査では、信号送信部を固定して、測定器を移動させて観測する方法と、信号送信部と測定器を同時に移動させて観測する方法を用いた。後者の測定方法は手間がかかるが、取得したデータの比較が容易で、距離による換算を行う必要が無く、地下の状態を迅速に把握するには有効な方法であることがわかった。前者の測定方法は測定器を移動するだけなので観測効率が良い。

### (3) 地下埋蔵物の検出

得られたデータから地下埋蔵物を推定するための解析を行った。人工的に作成した地下構造の上で探査を行ったデータを用いて、設定した構造が見えるような処理方法を検討した。送信部と受信部の距離を一定に保ったまま移動させて測定した磁場と電流のデータでは、人工構造物の上およびその周辺で明確な反応が見られた。送信部を固定して受信部を移動させて取得した磁場と電流のデ

ータは、送信部からの距離が離れるにつれて信号が急速に減衰した。この減衰程度を距離に応じた関数で近似して、この近似曲線からのずれとして地下埋蔵物の反応を調べた。また、観測した磁場と電流の比をとって反応を検討した。

#### (4) 問題点の抽出

使い勝手と実用性に重点を置いて、現場で使用に耐える装置としての必要な事項を検討した。予備知識の無い人に実際に探査装置を使ってもらってデータを取得した。

### 4. 研究成果

#### (1) 信号の同期

最初の測定では、送信信号と受信信号は独立して観測していた。送信信号は信号発生器を用いてパワーアンプに導きこれを出力していた。周波数を固定しているため、受信信号のみで重ね合わせてノイズを除去する方法を用いた。しかし、送信信号は微妙に変化し、受信信号のみではノイズを効果的に除去することはできなかった。そのため、送信する信号と受信する信号のタイミングを合わせるようにした。具体的にはGPSの信号に同期して信号を発生させ、これをパワーアンプで増幅して出力する方式にした。受信部でもGPS信号に同期してデータを取得するようにした。これで観測される信号の雑音を大きく低減させることが可能となり、分解能の高い構造解析に効果的であった。しかし、GPSの信号を用いて同期が有効になったが、衛星の受信状態によって不都合が生じた。そのため、高精度の発信回路を用意して、GPS信号を受信しない場合には内部信号と同期するように工夫を加えた。この対策によって安定した信号の同期を可能とした。信号を同期させることで、受信信号のスタッキングが可能となり、大幅なノイズ低減を実現できた。また、GPSを用いることで位置決定精度が向上した。

#### (2) 検知能力の向上

本研究が目指した人工の磁場と電流の二種類の信号を同時に発生させ、両者の信号を測定・観測することは単一の信号を用いる探査手法に比べて、地下埋蔵物を検知する能力が高いことがわかった。これは地下埋蔵物が異なる物理量に対して反応の程度が異なるためであると考えられる。

磁場信号は比較的大きな構造に対する反応が得られ、比較的小さな構造に対しては感度が低かった。そのため、地表付近の擾乱にはそれほど影響を受けなかった。これは地下埋蔵物を推定する上では有利である。これに対して、電流信号は地表付近の擾乱に対して敏感で、かなり複雑な反応を示した。磁場だけの信号、あるいは、電流だけの信号でも送信部と受信部の距離が近ければ地下埋蔵物の影響を検出することが可能であった。送信

部と受信部の距離を一定にして同時に移動して測定する場合には単一の信号でも地下埋蔵物の検知は可能と思われる。しかし、送信部と受信部の距離を一定にして同時に移動するのはかなり困難を伴う。そのため、送信部を固定して、受信部のみ移動させて測定するのは効率の上では有利である。効率は向上するが受信する信号の強度が減衰するため得られたデータにはノイズが多く含まれるようになった。また、信号を同期して観測し、スタッキング数を多くすることにより微弱な信号も安定して取得できるようになった。

本研究で新しく採用した磁場と電流の比をとってこの値を用いてマッピングを行ったところ、ノイズの多いデータからでも地下埋蔵物の反応を得ることが可能であった。磁場あるいは電流だけでは得られなかった反応も両者の比を用いることで地下埋蔵物の検知が可能であることを明らかにした。そのため、送信部を固定して、受信部のみ移動させて測定を行う方式は効率的であり、磁場と電流の比を用いると効率的な探査が可能になると思われる。

#### (3) 地下埋蔵物の推定

地下埋蔵物を推定するには、磁場と電流それぞれの信号を調べることで、そして、両者の比を取った値を用いることが地下埋蔵物の検出に効果的であることを示した。

さらに、埋蔵物検出の感度を上げることを検討した。発信部を固定して受信部を移動させて測定する場合、発信部から距離が離れるにつれて信号が減衰する。減衰を距離の関数として近似し、この近似曲線からのずれとして信号を抽出する。近似曲線を求める場合には、地下埋蔵物の無い場所で観測を行い、曲線をあらかじめ決定しておいた。近似曲線からのずれを用いれば測定データだけでは見つけることが困難なデータからでも地下埋蔵物の反応を得ることが可能であることを示した。

#### (4) 実用化に向けて

送信部と受信部の距離を一定に保って測定すれば磁場のみ、あるいは電流のみで地下埋蔵物を検出することが可能であるが、探査効率を考えれば、送信部は固定して、受信部を移動させた観測が効率的である。効率は上がるが、信号が減衰するため、減衰を近似した曲線からのずれを調べ、磁場と電流の比を用いれば地下埋蔵物の検知が可能と思われる。フィールドでの実証試験を行ったところ、試作段階では考慮しなかった点も重要であることがわかってきた。例えば、コイルの重さ、パワーアンプの重さ、バッテリーの重さなど、移動する場合に重量が探査効率に影響することがわかった。実用化には、装置の軽量化が必須である。また、予備知識の無い人に測定をお願いしたところ、コイルの方向を

間違えるミスや、電流の測定する場所を間違えることが多発した。これを防止するには、どのような方向に設置しても測定が可能なようにセンサーを付けて対処するか、あるいは解析するソフトウェアで対処する必要があるだろう。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

西谷 忠師, 坂中 伸也, 山口 大輔, 武田 裕介, 秋田県由利本荘市二古亀田地すべり地における電磁気探査、Conductivity Anomaly 研究会論文集、査読無、Vol.2015、2015、91-96.

西谷 忠師, 坂中 伸也, 山口 大輔, 大本 将行, 河野 輝樹, 間杉 香織, 秋田県仙北市白岩焼窯跡の調査、Conductivity Anomaly 研究会論文集、査読無、Vol.2013、2013、117-121.

〔学会発表〕(計3件)

Selepeng Ame Thato, 坂中 伸也, 西谷 忠師, 3D Numerical Modeling of Loop-Loop Negative Apparent Conductivity Anomalies, 物理探査学会、2014年10月21日~2014年10月23日、清水テルサ(静岡県静岡市清水区島崎町223)

西谷 忠師, 坂中 伸也, 山口 大輔, 高橋 綾子, 武田 裕介, 河野 輝樹, 大本 将行, 秋田県仙北市角館町白岩における登り窯の調査、日本文化財科学会、2013年07月07日、弘前大学総合教育棟(弘前市文京町)

西谷 忠師, 坂中 伸也, 山口 大輔, 大本 将行, 河野 輝樹, 間杉 香織, 秋田県仙北市白岩焼窯跡の調査、平成24年度CA研究会、2013年01月11日、石岡市中央公民館(茨城県石岡市)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

西谷 忠師 (NISHITANI, Tadashi)

秋田大学・国際資源学部・教授

研究者番号: 10134082