

機関番号：11401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500881

研究課題名（和文） ループコイルを用いた地下埋蔵物探査システムの開発

研究課題名（英文） Development of the buried cultural property inquiry system using loop coils

研究代表者

西谷 忠師 (NISHITANI Tadashi)

秋田大学・工学資源学研究科・教授

研究者番号：10134082

研究成果の概要（和文）：

ループコイルを用いた遺跡探査手法の基礎を確立し、実用化に向けた問題点を明らかにすることを目的とした。このために、ループコイル法の検証、野外実験によるループコイル法による探査装置の設計、地下埋蔵物検出のための具体的解析手法の開発、を行った。信号発生装置と受信装置に独自の工夫を加え、処理方法でも効率的な方法を提案した。ループコイル法は遺跡探査に有利であり、分解能の高い効率的な探査法となることを示した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to establish the basics of cultural property inquiry techniques using the loop coils. This study intends to clarify problems for the practical use of this method. I performed the inspection of the loop coil method, the design of the surveying instruments on the field, and the development of the concrete analytical techniques for the buried cultural property survey. I added an original device to a signal generator loop and receiving loop equipment. I also suggested the effective way in a data processing. The loop coil method is advantageous to the buried cultural property survey and it has a high resolving power and efficiency.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：遺跡探査

科研費の分科・細目：文化財科学・文化財科学

キーワード：ループコイル、遺跡探査、地下構造、周波数特性、信号対雑音比、異方性

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初には、遺跡探査の方法として電気探査、磁気探査、地下レーダが主に用いられており、電磁法探査はほとんど用いられていなかった。電磁法探査は非破壊かつ地面と非接触な測定が可能で、分解能の高いデー

タを取得可能である。当時はループ・ループ法とよばれる探査法があったが、この方法では送信コイルと受信コイルを同時にかつ同じ向きで移動させ、コイル間の距離を正確に合わせる必要があった。また、測定時間も長く、効率が非常に悪かった。この欠点を克服するため、送信コイル部分を固定とし、受信

コイルを移動させる新しい探査方法を開発する着想に至った。地面と非接触で分解能の高い構造が期待できるループコイルを用いた遺跡探査に適用できる探査法を開発したいとの願いがこの研究の動機である。

2. 研究の目的

ループコイルを用いた遺跡探査手法の基礎を確立し、実用化に向けた問題点を明らかにすることが目的である。このために、

- (1) 既存の装置を使ったループコイル法の検証、
 - (2) 野外実験によるループコイル法による探査装置の設計、
 - (3) 地下埋蔵物検出のための具体的手法の開発、
- を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 既存の装置を使ったループコイル法の検証

ここでは、ループコイルによる信号発生装置と、受信装置を設計するための基礎事項を検討することを目的として、検証を行う。

- ① 既存のループ・ループ探査装置の送信機を利用して、地下構造がある程度把握できている場所で磁場信号を発生させる。
- ② 直径 12cm 程度の自作ループコイルで磁場信号を受信する。
- ③ 送信ループ位置を中心として磁場を受信する。
- ④ 受信した磁場信号のマッピングを行い、地下構造との対比を行う。

(2) 野外実験によるループコイル法による探査装置の設計

先に行った検証をもとに、探査装置を組み立て、野外実験による検討を行う。

- ① 既存の送信ループを利用した検証の結果から、送信部に供給する波の周波数は可聴周波数領域とし、異なる周波数の波形を直交する三成分コイルにそれぞれ供給できるように電気系統を設計する。
- ② ループコイル法で信号を受信するために、直交する三成分の受信コイルを自作し、出力をプリアンプ、増幅器を経由してデータレコーダに記録する。
- ③ 三成分の送信ループと三成分受信ループを用いて、様々な条件で野外実験を行う。

(3) 地下埋蔵物検出のための具体的手法の開発

実用化を目指した装置の設計と構造物検出手法の開発を行う。

- ① これまでの検証結果を基に探査用の送信

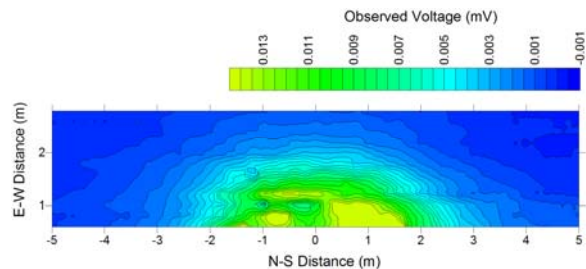
ループコイルと受信ループコイルを製作する。

- ② 直交する三つのコイルから異なる周波数を送信し、直交する三つの受信ループコイルで信号を検知する。
- ③ 増幅器、フィルターの周波数特性を調べ、ループコイルの観測電圧から磁場の値を算出する。
- ④ 地下埋蔵物を検出するための具体的手法を開発する。

4. 研究成果

(1) 既存の装置を使ったループコイル法の検証

実験の結果、ループコイル法で地下の特徴的な変化を捉えることが可能であることがわかった。下の図はループコイルで受信した磁場信号のマッピングである。送信信号はN-Sの0m、E-Wの0mの位置に設置した。地下には比抵抗の高い物体が埋まっており、この物体の位置を明快に示している。



観測値を詳細に検討した結果、次のことがわかった。

- ① ループコイル法で地下の特徴的な変化を捉えることが可能である。
- ② ループコイル法で用いる周波数は0.2kHz～20kHzの可聴周波数領域が適切である。

しかし、問題点も明らかになった。それは、

- ③ 送信ループから離れるに従って受信信号強度が急激に減少し、解像度が低下すること、
- ④ 広範囲に観測するためには、フィルターを介して信号対雑音比を改善する必要があること、
- ⑤ 正しい地下構造を得るためには雑音に隠された信号を抽出する方法を工夫することが求められること、

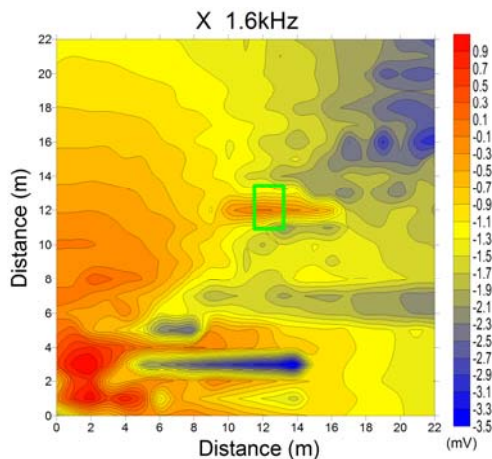
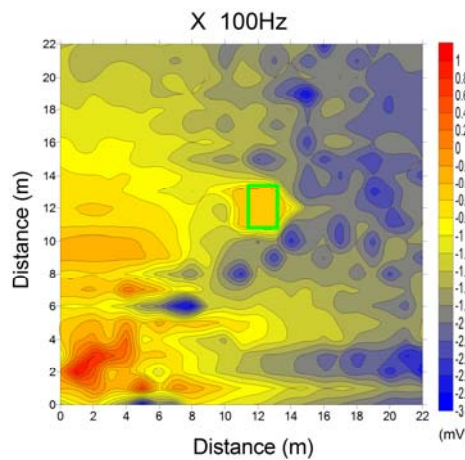
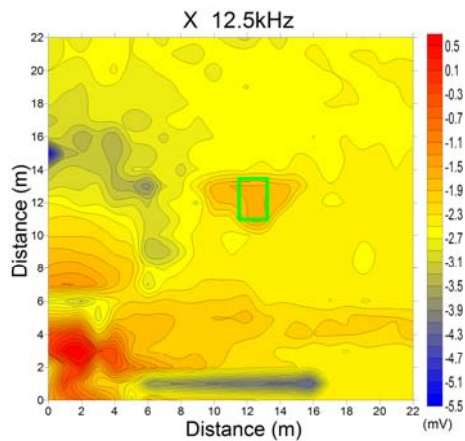
である。

(2) 野外実験によるループコイル法による探査装置の設計

実験の結果、探査装置を設計する場合、次のように、設計すると良いことがわかった。

- ① 送信ループコイルから発する信号は三成分とも周波数の異なる信号とすること、
 - ② 送信ループと受信ループが同じ向きになるように設置すること、
- が最も効率よく信号を受信できることがわかった。

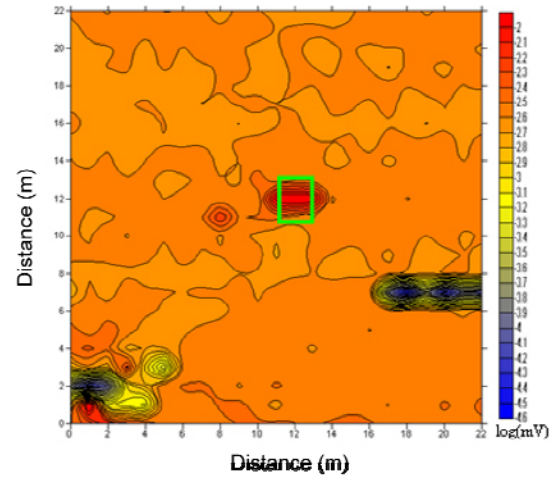
下の図は三成分とも周波数の異なる信号を送信し、送信ループと受信ループを同じ向きに設定して観測した場合の測定値である。四角で囲んだ部分には地下 50cm の位置に上面がある人工構造物の位置を示す。構造物の位置に大きな変化が現れ、構造物の位置が特定できることがわかる。示す図は X 方向で周波数の異なる信号を用いた場合である。



- ③ 送信ループと受信ループで向きの異なる組み合わせでも、地下のモデル物体の位置推定が可能であることがわかった。

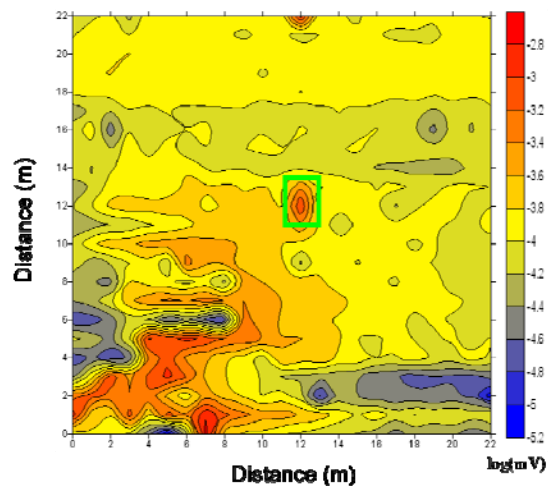
下の図は X 方向の送信ループから 12.5kHz で信号を発生させた場合、Z 方向のループによる観測結果である。送信ループと同じ方向 X 方向で受信した場合地下埋蔵物が検出出来ることは②で示したが、Z 方向に設置したループでも地下埋蔵物の位置で反応が得られている。

**X 方向 12.5kHz で送信
Z 方向で受信**



下の図は Z 方向の送信ループから 12.5kHz で信号を発生させた場合、X 方向のループによる観測結果である。

**Z 方向 12.5kHz で送信
X 方向で受信**



このように、X と Z を入れ替えても同じように地下埋蔵物の影響を検出出来ることがわかった。送信信号と同じ向きでない方向で観測できるのは、地下の異方性を検知していると考えられる。従来の方では得られなかった成果と言えるだろう。

(3) 地下埋蔵物検出のための具体的手法の開発

実験の結果、現場で地下埋蔵物を検出するためには、従来通り測線を格子状に設定して測定を行い、磁場強度の減衰傾向から地下構造物の位置を明らかにできることを示した。

増幅器の倍率、フィルターの鋭さを調整して信号をより良く検知出来るように設計した。処理で効果的であったのは、

① 観測波形を周波数解析によって周波数毎の振幅に分解し、重ね合わせることで雑音を減少できた、ことである。

さらに効率的な地下構造の解釈のために次の手法が有効であることを明らかにした。

② 受信ループで観測した信号から一次磁場成分を除去した二次磁場成分を用いれば、今まで見えなかった地下埋蔵物の情報が明確に見えることを示した。

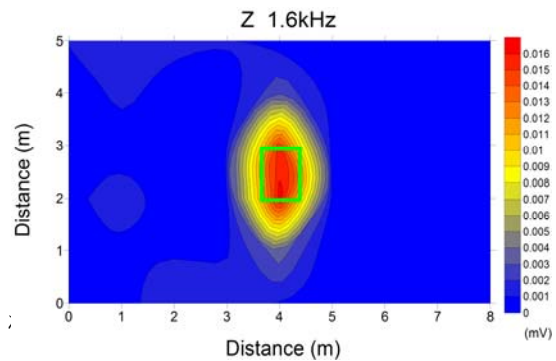
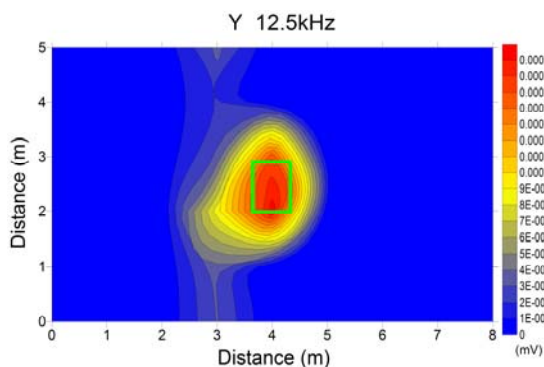
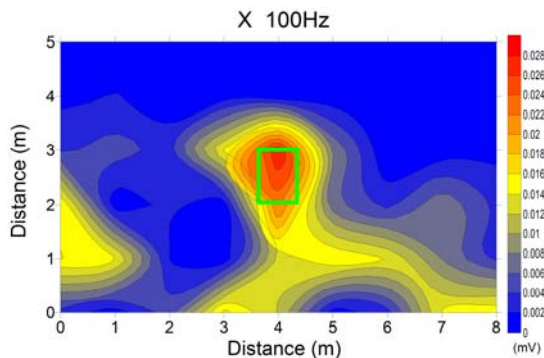
③ 一次磁場成分を除去するためには距離による減衰を補正する

$$y = a + \frac{b}{r^{2.5}}$$

の近似式が有効であった。

下の図は測定値から距離による減衰を補正する近似式により一次磁場成分を除去した二次磁場成分を描いた図である。

示す図は 100Hz の X 成分、12.5kHz の Y 成分、1.6kHz の Z 成分である。



実際に現場で測定して問題点も明らかになった。探査用に製作した装置は性能を重視したため、重さは送信機 10.3kg、受信器 16.9kg と重く、移動して測定するときにやや困難さが伴った。そのため、考慮すべき点として次の点を指摘しておく必要がある。

④ 効率的な探査のためには装置の重量も重要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 8 件)

① 西谷忠師、庄内昭男、河野輝樹、大本将行、白岩焼窯跡の磁気探査と電気探査による調査、文化財と探査、査読有、Vol. 11, NO. 3、2010、43-50

② 西谷忠師、赤羽根万里江磁気探査による焚き火加熱の影響調査、文化財と探査、査読有、Vol. 11, NO. 3、2010、33-41

③ 西谷忠師、赤羽根万里江、残留磁気特性に及ぼす焚き火加熱の効果、文化財と探査、査読有、Vol. 11, NO. 3、2010、25-32

④ 筒井智樹、西谷忠師、坂中伸也、秋田大学体験学習教室の理念と物理探査学習教材の開発、物理探査、査読有、第 63 巻、第 2 号、2010、141-152

⑤ 市原寛、上嶋誠、西谷忠師 (他 9 名、7 番目)、日本海東縁ひずみ集中帯 (庄内 - 新庄地域) の比抵抗イメージング、月刊地球、査読無、2010

⑥ Yoshimura, R.、N. Oshiman、T. Nishitani 他 23 名、Magnetotelluric transect across the Niigata-Kobe Tectonic Zone, central Japan: A clear correlation between strain accumulation and resistivity structure、*Geophys. Res. Lett.*、査読有、36, 2009, L20311

⑦ 坂中伸也、西谷忠師(他 9 名)、2008 年岩手・宮城内陸地震(Mj7.2)震源域周辺の 2 次元比抵抗構造、東北地域災害科学研究、査読無、第 45 巻、2009、41-46

⑧ 西谷忠師、佐々木大介、佐藤正良、金田明大、大阪府高槻市今城塚古墳の電磁気探査、Conductivity Anomaly 研究会論文集、査読無、2008、1-6

〔学会発表〕(計 6 件)

① 西谷忠師、古墳や窯跡調査に適用した物理探査の手法、日本文化財科学会、関西大学、2010.6.27、100 周年記念会館(大阪)

② 西谷忠師、庄内昭男、河野輝樹、大本将行、白岩焼窯跡の調査、日本文化財探査学会、立命館大学、2009.6.14、敬学館(京都)

③ 市原寛、上嶋誠、西谷忠師(他 9 名)、日本海東縁ひずみ集中帯(庄内-新庄地域)の比抵抗イメージング、日本地球惑星科学連合大会、2009.5.26、幕張メッセ国際会議場(千葉)

④ 坂中伸也、ハンディ GPS を用いたプロトン磁力計による磁気サーベイ、地球電磁気・地球惑星圏学会、2009.9.28、金沢大学 自然科学本館(金沢)

⑤ 西谷忠師、河野輝樹、磁気異常の三次元モデル計算と実測値との比較、日本文化財探査学会、兵庫県立考古博物館、2008.6.22、講堂(兵庫)

⑥ 田中佑奈、坂中伸也、松島喜雄、石戸経士、西谷忠師、筒井智樹、秋田焼山の自然電位—1983 年からの電位変化、日本地球惑星科学連合大会、2008.5.26、幕張メッセ国際会議場(千葉)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西谷 忠師 (NISHITANI TADASHI)
秋田大学・工学資源学研究科・教授
研究者番号：10134082

(2) 研究分担者

坂中 伸也 (SAKANAKA SHINYA)
秋田大学・工学資源学研究科・助教
研究者番号：20323131