

## II-32

## 地中レーダーの特性に関する研究

北海道大学 正 員 藤田 睦博  
北海道大学工学部 学生員 市原 裕之  
北海道開発局 正 員 許士 達広

## 1. はじめに

従来、地中探査レーダーは、土木工事の際、既設埋設物の調査など、地中に埋設された人工構造物の位置の調査等に用いられてきた。最近では、考古学の遺跡発掘の事前調査に用いられたり、その応用の範囲が広がっている。また、地下電磁計測に一分野として研究結果が報告されている。

本研究は、3種類の規模の送信アンテナを用いて、より高精度の地中探査技術の開発を目的にしている。室内実験の段階であるが、地中を進む電磁波は、その進行速度が透過する物体の持つ誘電率によるため、土中の含水状態を推定できる可能性のあることがわかった。

## 2. 地中探査レーダーの基本構成

本研究で用いた地中探査レーダーは、表-1に示す日本無線(株)製のレーダーアンテナである。地中探査レーダーの構成は、図-1に示す通り本体装置と送信アンテナよりなっている。送信アンテナとして、中型、小型、超小型の3種類があり、それぞれ、中深度用(深度0.5~2.0m)、低深度用(同0.15~1m)などと性格付けられている。免許を必要としない微弱電波機器程度の電波しか放射しない。

レーダー測定の方法には大別して2通りある。1つは、"ある区間を調査したい場合に、使われる方法で、調査区間上で送信アンテナを移動させて情報を得るもので『移動測定』と呼ぶことにする"。2つ目は、"ある地点の、土中の時間的な変化を調べるために、レーダーを観測地点に固定しある周期でパルスを送り測定するもので『定点測定』と呼ぶことにする"

送信アンテナより得られた情報の本体装置からの表示法にもAモードとBモードと呼ばれる二つの表示法がある。Aモードは、送信波と反射波の往復に要する時間を縦軸に、横軸に波の強度を表したものである。Bモードとは、Aモードにおける波の強さを8または4種類に区分し色分けして表示するものである。物体中の電波速度はその物体の誘電率によるため誘電率を入力しなければ対象物の深度を測定することができない。本装置は、9種類誘電率を設定できる。AモードとBモードの出力例は、後述するように図-8、写真-1で示される。

出力データはデータレコーダ(TEAC R-61)、モニターのカメラ撮影による保存の他にデータレコーダよりRS232Cケーブルを介してパソコンに入力し、データ処理を容易にした。この際Aモード、Bモードのいずれのの情報も入力可能である。

Study on the characteristic of Grand penetrating Radar  
by Mutuhiro FUJITA, Tatuhiro KYOSI and Nobuyuki ICHIHARA

表-1 実験に用いた機種

| アンテナの種類<br>名称 形名 |        | 寸 法<br>W H D | 周波数帯域<br>(MHZ) | パルス幅電圧  |
|------------------|--------|--------------|----------------|---------|
| 中 型              | NJJ-34 | 668x260x881  | 50~400         | 2ns・80V |
| 小 型              | NJJ-33 | 558x260x731  | 100~600        | 2ns・80V |
| 超小型              | NJJ-42 | 270x236x320  | 200~850        | 2ns・80V |

(a) アンテナ

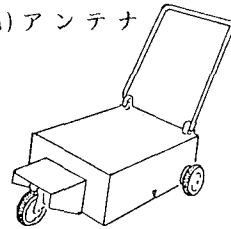
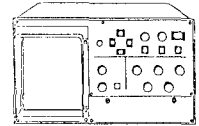
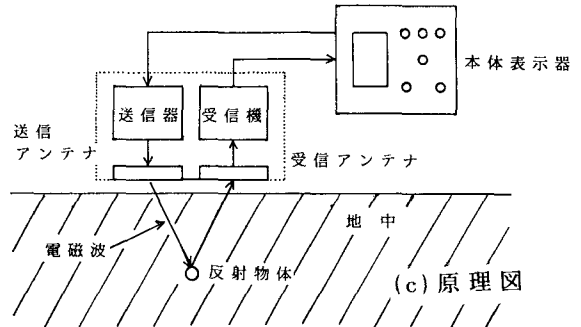


図-1 レーダーの構成



(b) 本体表示器



### 3. 実験の概要

#### 3.1.1. 実験1〈中型、小型、超小型レーダーの比較〉

中型、小型、超小型レーダー各々の特性を調べるため、図-2のような砂場で図-3に示すように鉄板とコンクリート塊を埋設した。この場合、実験は『移動測定』で行い、同一の埋設物を二次元で捉えるため図のような測定法を採用した。これは、埋設物のエコーを消去する手法も考えているためである。

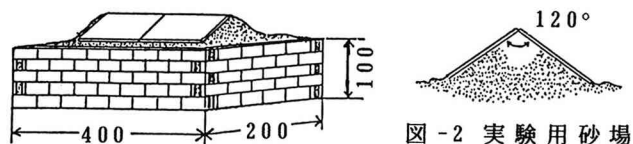


図-2 実験用砂場

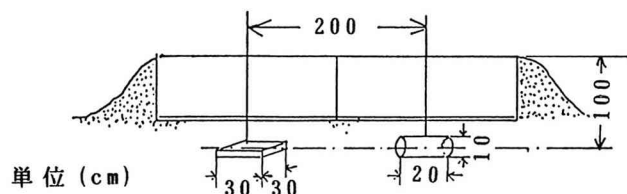
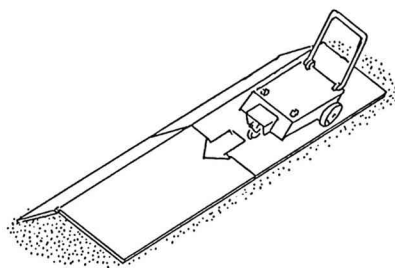


図-3 実験条件

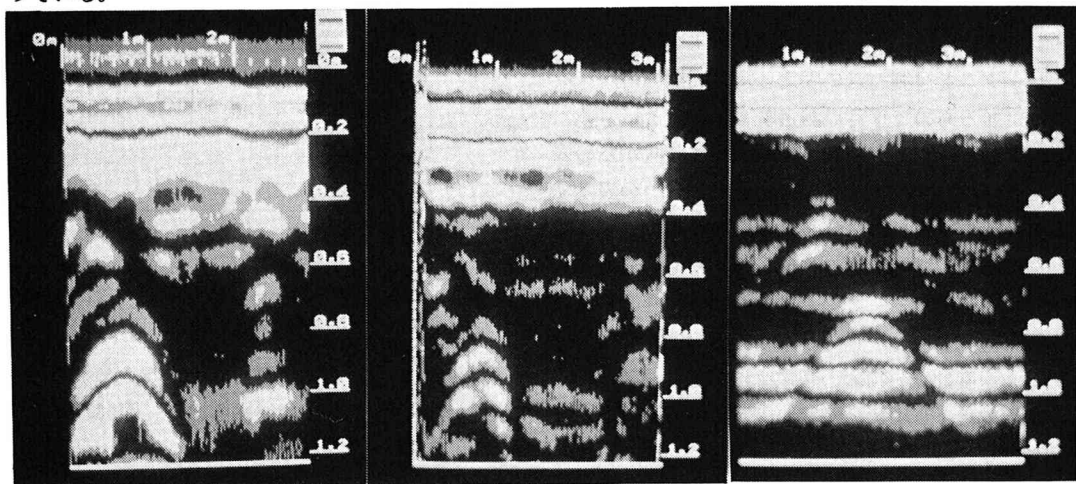


#### 3.1.2. 結果

Bモードによる測定結果を写真-1に示す。中型、小型、超小型レーダーとなるに従い、砂表面の影響によるエコーが小さくなるのが分かる。鉄板とコンクリート塊と比較すると、鉄板の反射のほうがはっきりと写しだされているが、これは埋設物の形状、レーダーにたいする向きなど、埋設物の性質以外の要素が、大きく影響している。

写真内右側に示されている深度は、本体装置に内蔵されている数種の誘電率の内から選んだものである。実験で用いた砂場が小規模なものであるためか、鉄板で激しくエコーが発生し、画面の見方によって深度の値が実測値と目盛りとでは中型では40 cm以上も食い違う事がある。レーダーによる深度判定が問題になっている。

砂表面のエコー



↑ 中型 ↑ 小型 ↑ 超小型  
鉄板のエコー コンクリートのエコー

写真-1

### 3.2.1.実験2〈浸透水の探査〉

レーダーが捕えられた土中の帯水層がどう映し出されるかを以下に示すような実験をおこなって調べてみた。手順は図-4に示すようにレーダーをセットして、予めポリバケツに用意しておいた飽和砂を埋設し、その上に普通砂（飽和前）をかぶせた。計測は、『定点測定』で行い45分間計測を行った。

### 3.2.2.結果

結果を写真-2と図-5で示す。図-5は写真-2を見やすくするために写真-6をイラストで示した物である。今回は中型レーダー

による実験であるが、これによると含水比の変化の影響による誘電率の時間変化が見る事が出来る。しかし、この実験からはエコーの存在のため反射波の強弱から、含水比や飽和砂との境界面は確認できないが、レーダーにより土中水の存在をとらえられる事はできた。

含水比：初め 普通砂 0.07

飽和砂 0.29

終了時 1 m地点0.13

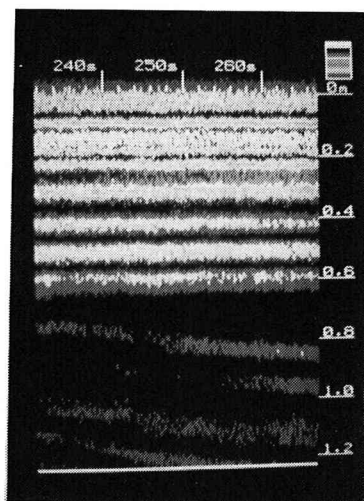
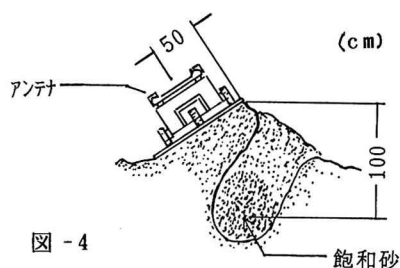


写真-2

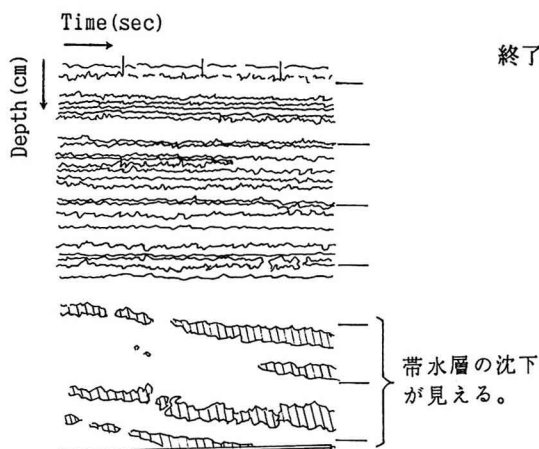


図 - 5

## 4. パソコンによるデータ処理

### 4.1.概要

前述した実験やそのほかに行った数種の実験により分かった問題点は、レーダーによって得られた情報はある程度経験をつまないと判別が難しい、ということである。従ってここでは、得られたレーダー情報のパソコン処理の方法について考察した。ただし、波形から埋設物の種類を、決定することはまだ現在の研究段階では無理である。

### 4.2.処理方法

次の2種の方法を試みた。

1) 何も埋設していない状態で、レーダー測定を行い、そのとき得られたデータを基準とし、土中に物体を埋めたときに得られたデータと比較することにより、差し引く事により埋設物のみのデータを取り出すものである。この方法は、通常グランドクラッターを取り除く手法と同じである。

2) 中型、小型、超小型レーダーの波長の違いのため生じる、反射エコーの形状の違いを利用して埋設物の反射波を取り出す。

これらの手法について長所、短所を記すと、1) では例えば、含水率の変化を調査する場合などを考えると、

予め初期状態のデーターを入力してやれば、その後『定点測定』を行った結果を差し引けば、その土中の時間変化を知る事が出来る。しかし、地中にある一定の深さで物体が埋設されている場合、その情報を取り出すことが難しい。一方、2)の方法では、基準となるレーダー情報がない場合でも、埋設物の情報を得ることが期待できる。

### 4.3.実験

#### 4.3.1.概要

データ処理のための実験は前述の砂場を用い図-6に示すような状態でを行った。

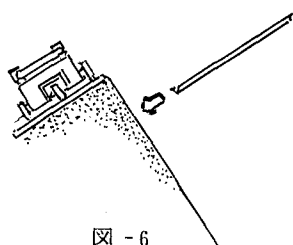


図 - 6

レーダーのアンテナを図-6の位置に置き、埋設物として、図のような鉄の棒を10cmおきに1mの深さまで差込み『定点計測』を行った。中型、小型、超小型レーダー各々について同様の実験を行った

埋設物の影響を、本体装置内蔵モニターのAモード表示で調べると、鉄の棒がV字型をしているため、レーダーに対する向きにより反射波の強弱が変化する。実験を行う際はその点を注意して、反射強度が最大になるようにした。

### 4.4.データ処理

#### 4.4.1.ノイズの扱いについて

データを本体表示器内蔵のモニター上でAモード表示で再生すると、地中の状態が変化していなくても、表示される波はノイズの影響で微妙に振動している。そのため、1)の手法を行うには、波に含まれるノイズを予め取り除かなければならない。図-7は深度によるノイズを示している。このずから、深さによりノイズの幅に違いがあるのが分かる。深さ地点ごとの時間平均をとることによりこれらのノイズを消去した。

#### 4.4.2.1)の方法

計算結果の代表例を図-8に示す。まず、Depth(cm) 中型 小型 超小型  
 中型レーダーに表面波エコーの影響がかなり大きく埋設物裏のエコーと作用しあい、埋設物の表裏からかなりのエコーが消されずに残ることがわかった。小型、超小型レーダーについての結果よりいえることは、中型、小型レーダーになるに従い、表面波エコーの影響が、(中型レーダーと比較して)小さくなるのが図より分かる。しかし埋設物体による影響によるエコーが依然として残り、そのために、(小型と比べて)高深度用の中型レーダーではエコー波の比較的大きいのでこのような低深度の実験では都合が悪い。超小型レーダーについても同じ様なことが言えるが、測定深度の範囲が超小型レーダーにとって最も適していたためか、明度は一番良かった。

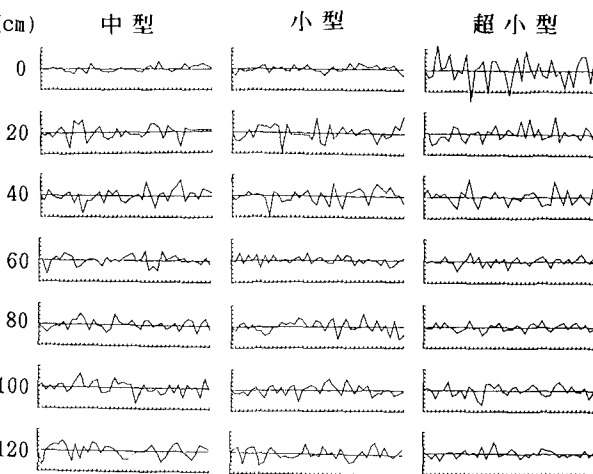
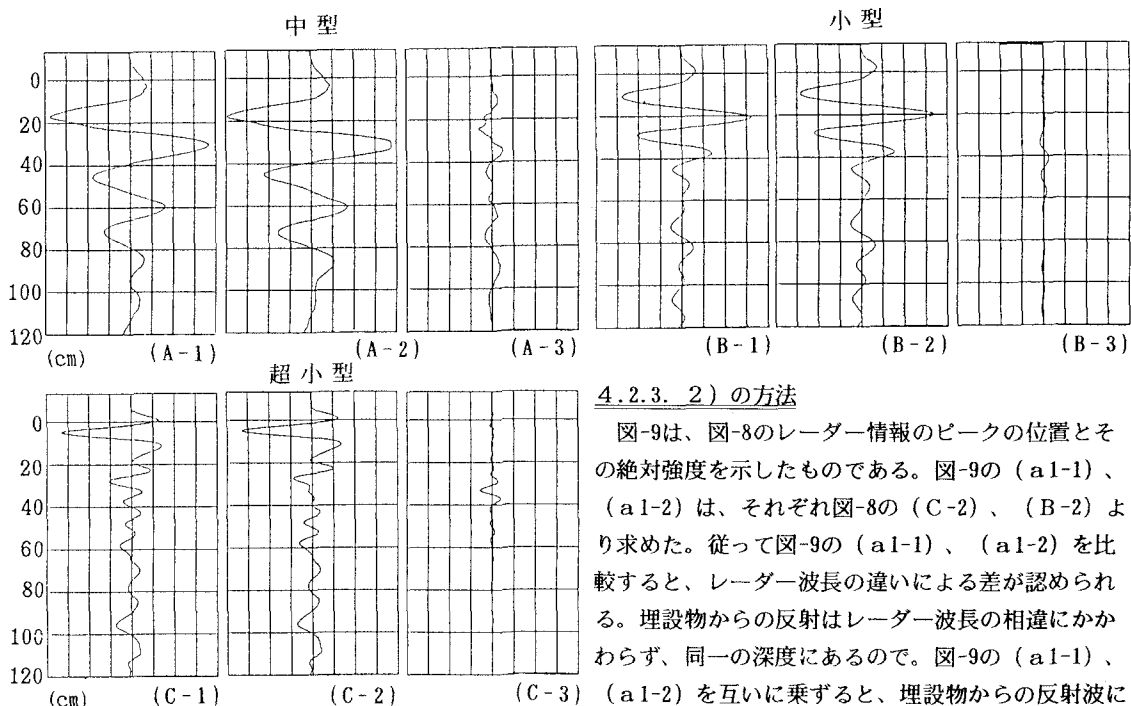


図 - 7

以上の事から1)の方法で測定結果を処理する場合、埋設物の深度に応じたアンテナを使用することが必要である。

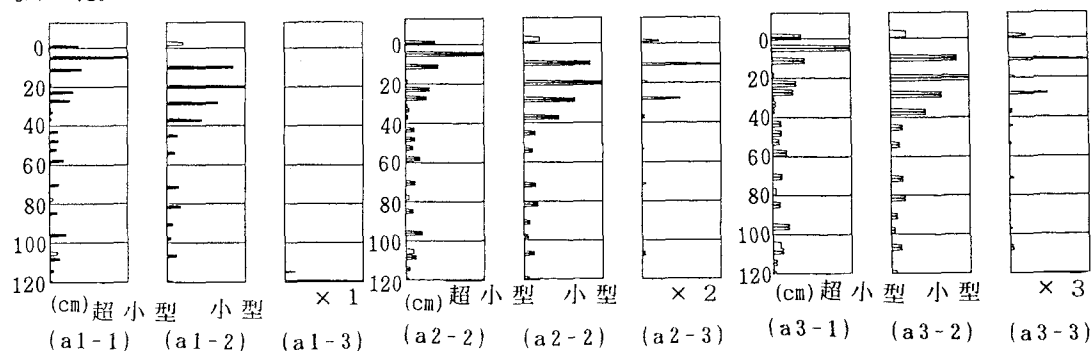


#### 4.2.3. 2) の方法

図-9は、図-8のレーダー情報のピークの位置とその絶対強度を示したものである。図-9の (a1-1)、(a1-2) は、それぞれ図-8の (C-2)、(B-2) より求めた。従って図-9の (a1-1)、(a1-2) を比較すると、レーダー波長の違いによる差が認められる。埋設物からの反射はレーダー波長の相違にかかわらず、同一の深度にあるので、図-9の (a1-1)、(a1-2) を互いに乗ずると、埋設物からの反射波による情報のみが残るはずである。図-9の (a1-3) は、

図-8 深さ30cmに埋設した状態

この結果を示している。実際は、レーダーによる深度測定には誤差が含まれているので上述の操作で得られるピークの位置をインパルス的に表示するには無理があり、ピークの位置を若干幅のあるパルスで近似した。図中のパルス幅はこれに相当している。図-9 (b) に示す実験に対し、最適のパルス幅は、1であった。他の実験で、地表面近傍が(約40cm)に埋設物がある場合には、砂層表面のエコーのため十分に処理できなかった。



パルス幅が大きくなるほど判別が難しくなる。——

図-9 (a) 深さ30cmに埋設

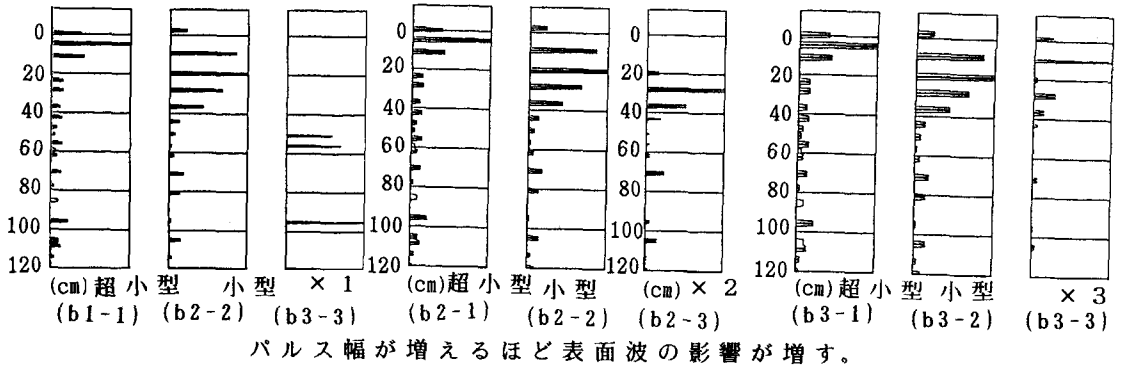


図-9 (b) 深さ50cmに埋設

## 5. おわりに

地中探査レーダーによる調査の目的は、本来”何が”、”どこに”有るかを正確に見つけることにある。本論文では”どこに”に重点をおいて一次元解析のみを示したが、レーダーの波長を変化させても十分な結果が得られないことがわかった。今後、図-3の様な斜面を用いて二次元的にレーダー情報を解析する予定である。

## 謝辞

本研究は文部省科学研究費（試験研究）の補助を受けた。関係者各位に謝意を表する

## 参考文献

- 1) 地下電磁計測ワークショップ論文集－地中探査レーダー、ポアホールレーダー現状と展望－、1989