

## 最近の技術から

# マイクロ波ホログラフィの雪中レーダーへの応用

青木 由直

北海道大学工学部情報工学科 〒060 札幌市北区北13条西8丁目

### 1. ま え が き

従来レーダー技術は遠距離、広視野、波長に比べて大きな標的を対象にしたものであった。しかし、近距離、狭視野、波長の数倍の標的を対象にしたレーダー技術の開発研究が盛んになりつつある。たとえば地中に埋設された通信・電力ケーブル、水道・ガス管等の位置同定、遺跡の発見、雪崩の遭難者救助や積雪中の遺留品物探査、海水の厚み計測等において実用的なレーダー装置の開発が期待されており、そのための研究成果が発表されてきている<sup>1-5)</sup>。本稿ではそのうちホログラフィ技術に基づく雪中レーダーについて最近の研究成果をとりあげながら述べていく。

### 2. 雪中レーダーシステム

レーダーは標的からの反射波の信号を処理してレーダー像として可視化する技術であり、大きく二つの原理に分けられる。一つは従来のパルスエコー技術であり、これは時間軸でのレーダー信号処理技術が主体となっている。これに対して開口合成による SAR (side-looking airborne radar) に代表されるホログラフィックレーダー<sup>1)</sup>では反射波の空間的位相信号を処理することによりレーダー像を得ており、原理的には空間軸での信号処理である。

パルスエコー法によるレーダーでは距離方向の分解能は送・受信パルスの時間軸での分離能力に依存し、方位方向の分解能はビームの指向性の鋭さによっている。したがって地中とか雪中の数mの距離にある標的のレーダー像をパルスエコー法で得るのは困難である。ただし、地中レーダーでは地中に電波を侵入させるためピーク電力の高いパルス状電波を用いる必要もあり、パルスエコー法<sup>2)</sup>と合成開口法を組み合わせる方式<sup>3)</sup>も研究されている。

合成開口法の原理はホログラフィの原理と同じであり、二次元平面でホログラムデータを記録すれば、これから三次元的レーダー像が再生されることになる。しかし、実際にはホログラフィ法では方位方向の分解能に比べて距離方向の分解能はかなり悪いもので、三次元的レ

ーダー像を得るような映像レーダーをホログラフィ法で実現しようとすれば距離方向の分解能向上の方法を考えなければならない。

ここで紹介する著者らの方式<sup>4)</sup>では、周波数を掃引し標的からの反射波を参照波とともに時間的に記録して、標的の距離方向の位置情報を時間変数軸上で記録波形の周波数に変換している<sup>1)</sup>。したがって標的の距離方向の位置は時間変数軸上の記録波形を一度フーリエ変換することにより求めることができる。

一方、標的の方位方向の位置情報は、距離方向の処理が終わったデータに二次元のフレネル変換を施すことにより得られ、これは光学的ホログラムからの像再生をコンピュータを利用して数値的に行なう技術にはかならない。後述の実験例では周波数を8~10GHzの範囲で掃引し、ホーンアンテナより積雪の表面から積雪内部に連続波のマイクロ波を照射し、積雪内部にある標的からの反射波を同じホーンアンテナで受信し、発振器からの参照波と加えた信号を検波してレーダー信号として像処理を行なっている。このとき送受信アンテナは積雪表面の二次元面を機械的に走査しており、走査途中の各サンプル点で上記の周波数掃引を行ない深さ方向の標的の位置情報を得ている。

### 3. 三次元レーダー像診断

地中・雪中レーダーのような映像レーダーでは、使用する電波の波長の数倍程度の大きさの標的の形状の映像化も要求されてきて、分解能が十分でないレーダーシステムではレーダー像診断技術の開発が必要となる。このような像診断のための技術として筆者らは三次元レーダー像表示システムを開発している<sup>5)</sup>。

この表示システムでは周波数掃引ホログラフィ法で得たデータを数値処理後三次元の像データとしてコンピュータのメモリ装置に記録し、これを二値化する。二値化後のデータは三次元像空間をサンプル点で離散化した各ボクセル (voxel) に像があるか(値が1)、ないか(値が0)になるので強度表示を距離表示に転用する。つまり、深さ方向には明暗のレベル差をつけ観察者から見て近い所にある像点は明るく、遠い場所にある像点は暗く表示し

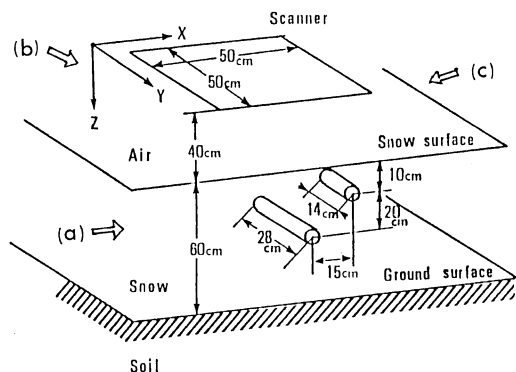


図 1 積雪中の物体の配置 (矢印(a)~(c)は図 3 (a)~(c)に対応した視点方向を示す)



図 2 金属物体

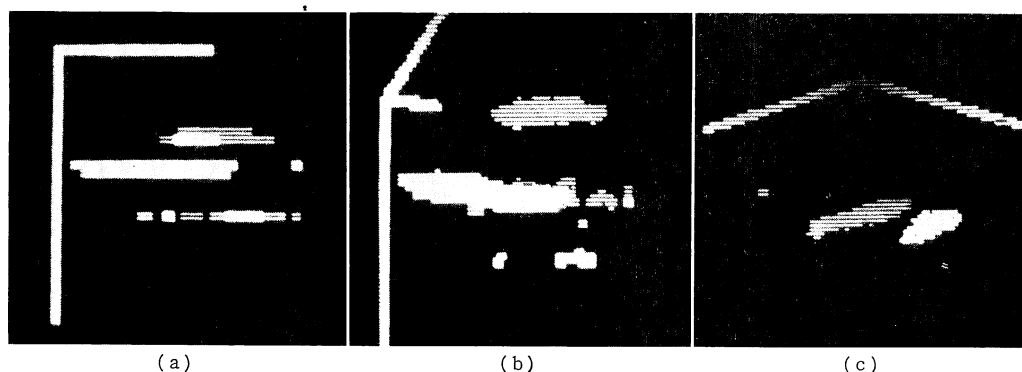


図 3 三次元表示雪中レーダー像

て, CRT の二次元画面上に三次元表示を行なう<sup>6)</sup>。

元の像データは三次元像なので, 観察者の視点を変えることによりそれに対応した三次元像が上記の方法で表示されるので, いろいろな方向からレーダー像を三次元的に観察でき像の診断が行なえる. このとき視点を変えた場合のレーダー像が短時間で切り替わって表示されなければ像診断には不便であり, このため特別の IC メモリ装置が開発され実験に用いられている.

北海道の1月~2月の冬期に前述の雪中レーダーの実験システムで得られた実験結果の一例を示す. この期間の北海道の雪はいわゆる“乾いた雪”といわれるように含水率が低く, 10 GHz 帯のマイクロ波でも積雪中をよく透過する. したがって, 1~2m 程度の積雪中に埋設された不凍液をつめた容器, コンクリートブロック, 金属パイプ, アルミ箔を貼ったマネキン等の標的の映像化に成功している.

標的の形状の認識という点では実験システムの分解能は良いとはいえず不十分である. しかし, 前述の三次元像表示による診断システムが有効なことは実験例からも確かめられている. たとえば図 1 に示した配置で積雪中に埋めた図 2 に示す長短 2 本の金属パイプと空間の座標軸も表示されたレーダー像が図 3 (a)~(c)である.

図 3 (a) は雪表面に平行な視点から見ており一番下の線状の像は積雪と地面の境界である. 図 3 (c) では斜め方向から見ており, ここでは地面の像を消して表示しており, 長いパイプが奥の方に位置しているのがわかる.

本システムは装置小型化, 高機能化, 実時間性や可搬性を向上させれば将来は雪崩による遭難者救助, 除雪自動化のための雪中物体探査等への利用が期待できるものである.

## 文 献

- 1) 青木由直: 波動信号処理 (森北出版, 東京, 1986) pp.210-217.
- 2) 荒井郁男, 鈴木 務: “地中レーダシステム”, 電子通信学会論文誌 B, **J 66-B** (1983) 713-720.
- 3) 大隅規由, 上野圭一: “パルスレーダホログラフィによる地下埋設物の画像化”, 信学技報, **AP 84-22** (1984) 65-72.
- 4) 坂本雄児, ほか: “多波長ホログラフィを用いた雪中レーダ”, 電子通信学会論文誌 B, **J 68-B** (1985) 602-608.
- 5) Y. Aoki, et al.: “Diagnosis of under-snow radar images by three-dimensional displaying technique in holographic imaging radar,” *Proc. of IGARSS '87*, Ann Arbor, Michigan (1987) pp. 1571-576.
- 6) J. K. Udupa: “Display of 3D information in discrete 3D scenes produced by computerized tomography,” *Proc. IEEE*, **71** (1983) 420-431.

(1987年2月23日受理)