

SB-1-2

L-band 3-D Full Polarimetric FM-CW SAR
の雪中埋没物体検出への応用

L-band 3-D Full Polarimetric FM-CW SAR Applied to the Detection of Targets Buried in Snowpack

森山 敏文 山口 芳雄 山田 寛喜
Toshifumi Moriyama Yoshio Yamaguchi Hiroyoshi Yamada
新潟大学 工学部
Niigata University

1. まえがき

埋設物探査の対象として雪中や地中などがあり、多くの成果が報告されている。我々は、雪中探査において偏波を利用することの有効性について示してきた[1]。今回の報告では、従来行ってきたアンテナの1次元走査を2次元走査とし、雪中の3次元イメージを行った。測定で使用した周波数は、湿った雪に適したL-bandを使用し[2]、不均質な媒質である雪中内部にあるターゲットを明瞭にイメージングすることができた。また、偏波フィルタリング処理が3次元の場合にも有効に働くことを確認できた。

2. 3次元合成開口FM-CWレーダの原理

FM-CWレーダは、線形に周波数変調した連続波を送信し、その送信波とターゲットからの受信波を二乗検波して得られるビート信号の周波数により、ターゲットの位置を測定する。3次元合成開口レーダでは、アンテナを2次元に走査する。そして、得られるビート信号のスペクトラムは以下のように表現される。

$$S_b(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x_0, y_0, z_0) p(x - x_0, y - y_0, z_0) \text{sinc}[\alpha(z - r_b)] dx_0 dy_0 dz_0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} g(x_0, y_0, z_0) p(x - x_0, y - y_0, z_0) &= \exp[j \frac{4\pi f_0}{c} r_b] \\ \text{但し, } r_b &= \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + z_0^2} \end{aligned}$$

ここで g は物体関数、 p は伝搬関数を表す。 $z = z_0$ のとき $\text{sinc} = 1$ となることを仮定し、逆畳み込み演算を行い $g(x_0, y_0, z_0)$ を得る。このように、FM-CWレーダにおける合成開口処理は、ホログラムの取り扱いと同じになる。また、偏波を考慮して測定を行った場合、散乱マトリクスは次のように物体関数と関連付けられる。

$$[S(HV)] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} g_{HH} & g_{HV} \\ g_{VH} & g_{VV} \end{bmatrix} \quad (2)$$

g_{pq} の p は受信アンテナ、 q は送信アンテナの偏波状態を表す。

3. 偏波フィルタリング

レーダで探査する場合、検出したい物体に対してクラッタなどを識別することが重要な問題となる。偏波を利用する場合、その問題を解決する一つの手法として偏波フィルタリングがある。これは、ターゲット間のコントラストを電力で以下のように定義し行う。

$$C = \frac{P_1}{P_2} \quad (3)$$

P_1 を強調したいターゲット、 P_2 をクラッタの電力とする。クラッタに対してターゲットのコントラストを最大にするためには $P_2 = 0$ とすればよい。レーダポーラリメトリを用いれば $P_2 = 0$ は、クラッタ成分の null イメージに対応し、容易にターゲットのコントラストを最大にしたイメージを構成できる。

4. 実験結果

実験は、1997年2月1,2日にかけて新潟県古志郡山古志村で行った。この場所は、1月から2月にかけて積雪が2mを超す豪雪地帯である。また、雪質は北陸地方特有の湿った雪である。積雪高は約2.8mあり、内部にざらめ状の層が存在する。雪の比誘電率は、平均で約1.5程度である。測定諸元と測定状況を表1、図1に示す。使用した周波数は、文献[2]等により雪質の影響を考慮しL-bandを使用している。送受信アンテナの偏波は、HH, HV, VVの三つで測定を行った。

各偏波の合成開口処理結果を図2(a), (b), (c)に示す。この結果は、ターゲットがある距離 z_0 でのスライスイメージである。地上から約190cmに配置したL字金具が各偏波とも明瞭に、また同じようにイメージングされている。これは、ワイヤー状のターゲットを45度傾けて配置したため、送受信アンテナの偏波の影響が少ないためである。しかし、積雪中の不均質性のため、ターゲットは一様な強度になっていない。

測定状況2では、埋設位置の違う二つのターゲットの検出を行った。図4の3次元イメージは、HH偏波での検出結果である。ターゲットが、直交するように配置されているのが確認できる。また、積雪中にざらめ状の雪の層が存在するが、それらの影響をあまり受けていない結果となっている。偏波フィルタリングを用い、上部に配置したアルミパイプを抑圧したCo-pol nullイメージが図5である。アルミパイプだけが無くなり、3次元の場合でも偏波フィルタリングの有効性が確認できた。

5. あとがき

この報告では、L-bandを使用した偏波FM-CWレーダで雪中内部の3次元イメージを試みた。その結果、不均質媒質である雪中において、クラッタの影響を少なくターゲットを明瞭にイメージングすることができた。また、3次元の場合においても偏波フィルタリングが有効に働き、ターゲットの強調や抑圧に利用できることが確認できた。

この研究の一部は文部省科研費の援助によるものであり感謝致します。

参考文献

- [1] Y. Yamaguchi, T. Moriyama, "Polarimetric Detection of Objects Buried in Snowpack by a Synthetic Aperture FM-CW Radar," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* vol.34, no.1, pp.45-51, Jan. 1996.
- [2] T. Abe, Y. Yamaguchi and M. Sengoku, "Experimental Study of Microwave Transmission in Snowpack," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol.28, no.5, pp.915-921, Sept. 1990.

表1 測定諸元

レーダ方式	:FM-CW
アンテナ	:角すいホーン
使用周波数	:1.1-2.2GHz
掃引時間	:5.1msec
走査間隔	:2.0cm
走査点数	:64x64
ターゲット1	:L字金具 (H:4cm×W:4cm×L:180cm)
ターゲット2	:アルミパイプ (φ:3cm×L:180cm)

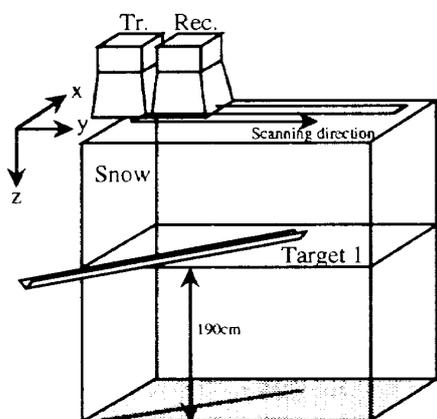


図1 測定状況1

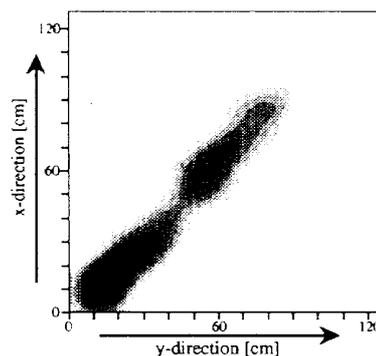
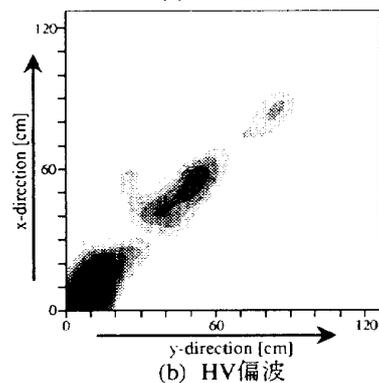
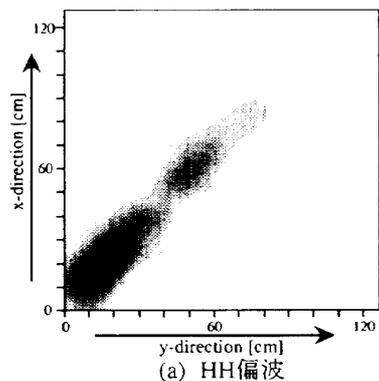


図2 測定結果

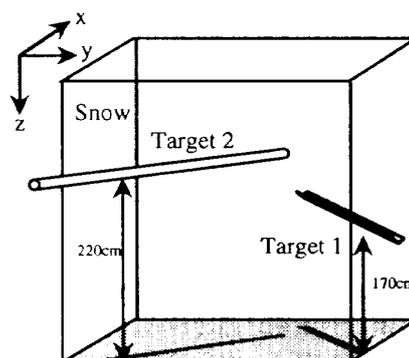


図3 測定状況2

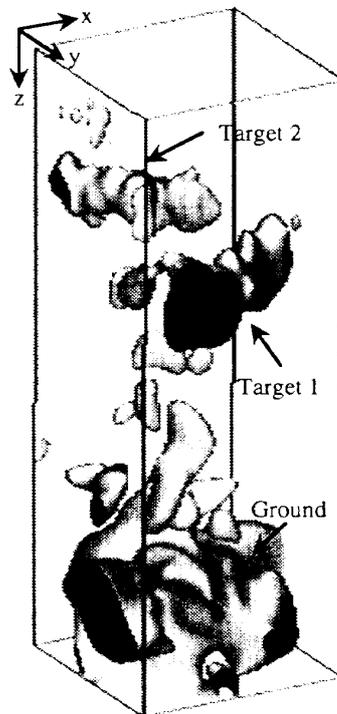


図4 HH偏波

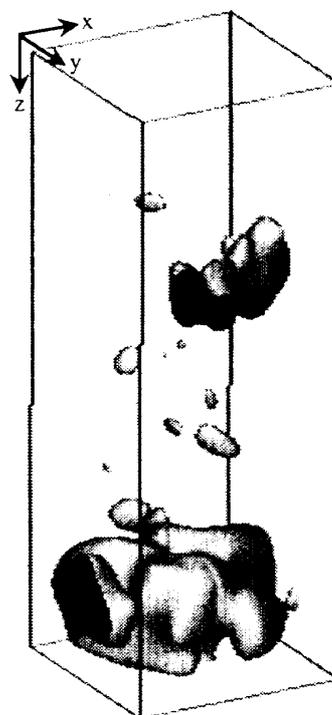


図5 Co-pol null イメージ (target 2)