

B-15 ミリ波帯地表設置型合成開口レーダによる野外変動検出の検討

山城弘臣*, 森山敏文*

(*長崎大学大学院総合生産科学研究科)

1. はじめに

衛星搭載センサーの分野では、合成開口レーダを用いて宇宙から地球の表面の微小変動を検出し、地殻変動や地盤沈下の計測に利用されている。近年は、その技術を17GHz帯の地上設置型合成開口レーダ(GB-SAR)に利用し、土砂崩れの兆候検出などに応用されている。しかし、近年値段の安価なミリ波レーダが車載や産業用に使われるようになり、これらのレーダもGB-SARとして利用可能である。

今回は、野外でFM-CWレーダを用いて合成開口処理をすることによりターゲットの画像を作成し、微小変動を検出することを検討した。本報告では、その実験結果を示す。

2. 原理

FM-CWレーダは、送信波に線形に周波数変調した連続波 $S_t(t)$ を用いる。

$$S_t(t) = A \exp \left[j2\pi \left(f_0 t + \frac{\Delta f}{2\Delta t} t^2 \right) \right], \quad \left(-\frac{\Delta t}{2} \leq t \leq \frac{\Delta t}{2} \right) \quad (1)$$

ここで、 A は信号の振幅、 f_0 は中心周波数、 Δf は掃引周波数、 Δt は掃引時間を表す。送信波と距離 R_0 にあるターゲットからの受信波で二乗検波を行うと、ビート信号は

$$S_b(t) = g \exp \left[j2\pi \left(f_0 \tau + \frac{\Delta f R_0}{\Delta t c} t \right) \right] \quad (2)$$

と近似できる。ここで、 τ はターゲットとレーダ間の往復時間、 g はターゲットの反射係数で、 c は光速である。次に、式(2)をフーリエ変換してパルス圧縮を行うと次式を得る。

$$S_b(f) = g \Delta t \exp(j2\pi f_0 \tau) \frac{\sin[\pi(f - f_0)\Delta t]}{\pi(f - f_0)\Delta t} \quad (3)$$

さらに計測をx軸上で反復して行うと仮定すると、パルス圧縮後の信号は、次のように積分表示で表せる。

$$S_b(x, z) = \iint g(x_0, z_0) p(x, x_0, z, z_0) dx_0 dz_0 \quad (4a)$$

$$p(x, x_0, z, z_0) = \exp \left[j \frac{4\pi f_0}{c} \sqrt{(x - x_0)^2 + z_0^2} \right] \cdot \text{sinc} \left[\frac{2\pi \Delta f}{c} \left(z - \sqrt{(x - x_0)^2 + z_0^2} \right) \right] \quad (4b)$$

但し、レンジ方向を z とする。この信号に対してアジマス方向に合成処理を行うと、ターゲットの反射係数分布 $g(x_0, z_0)$ を得る。また、この分布は複素数で与えられ、ターゲット上 (x_0, z_0) では、 $\exp \left(j \frac{4\pi f_0}{c} z_0 \right)$ の位相成分を持つ。

3. 実験

レーダには、中心周波数が79GHzのFM-CWレーダを利用した。観測偏波は、VVである。アンテナをスライダにより0.98 mm間隔で移動させ、1024点の観測を行った。

観測場所は長崎大学の敷地内である。観測の様子を図1、図2に示す。なお、ターゲットはコーナーリフレクタとした。計測した画像を合成開口処理した結果、図3のように砂利やターゲットの様子が確認でき、そのあと砂利の状態に変化を与えもう一度計測を行った。砂利に変化を与える前後の合成開口画像を比較した相関画像(位相)を図4に示す。図4の相関画像(位相)から、砂利に変化を与えた部分(三つの領域)の位相が変化していることと、その他の部分では位相が一定であることが確認できた。

4. まとめ

この報告では、野外でFM-CWレーダを用いて合成開口処理により画像を作成し、物体の状態に変化を与える前後で画像の変化が検出できることを示した。今後は上記の観測システムから変化を検知することにより、人が通った際の地面や植物などの微小な変化を検出することを検討する。

参考文献

- [1] 飯坂壤二 監修/日本写真測量学会 編, “合成開口レーダ画像ハンドブック”, 朝倉書店, 1998
[2] 泉 佑太・佐藤源之(東北大), “GB-SAR(地上設置型合成開口レーダ)を用いた変位計測における大気屈折率変化の影響と補正手法”, 2020



図1 観測状況1(機器)

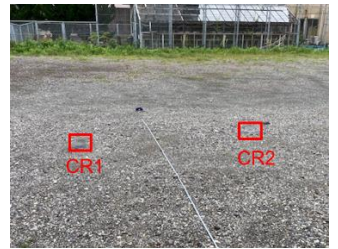


図2 観測状況2(正面)

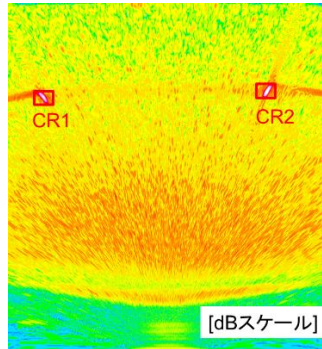


図3 合成開口画像

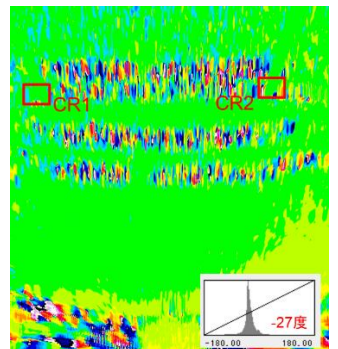


図4 相関画像(位相)