

多チャネル合成開口レーダ

若山俊夫*
諏訪 啓**
土田正芳*

Multichannel Synthetic Aperture Radar

Toshio Wakayama, Kei Suwa, Masayoshi Tsuchida

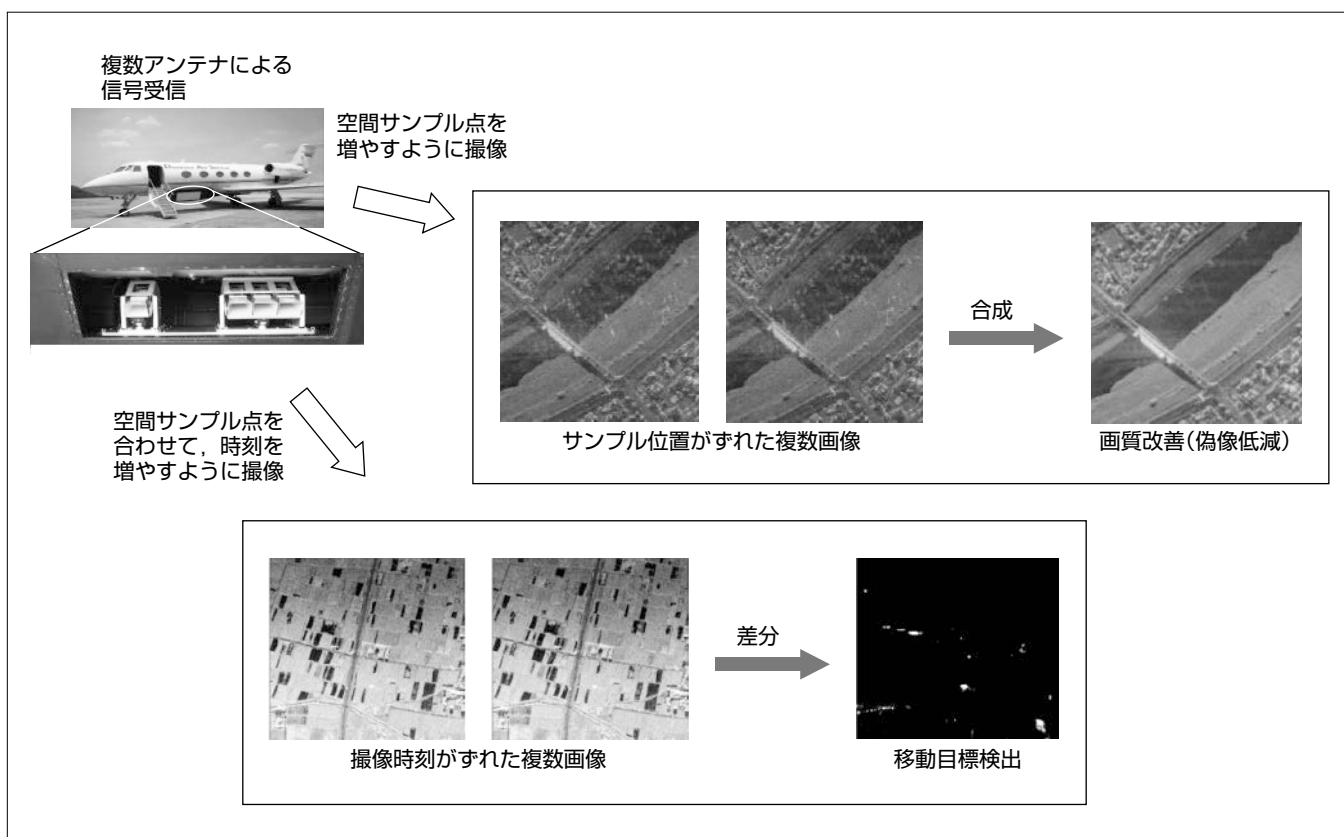
要 旨

合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar : SAR)は人工衛星や航空機から地表面を電波で撮像する装置である。光学カメラと異なり、雲や雨があっても地表面を観測すること、レーダ自体が電波を放射して地表面を照らすため、夜間でも撮像可能であることなどの利点があり、災害監視を始めとする様々な目的での利用が期待されている。

SARは単一の送信アンテナ、単一の受信アンテナを用いても画像を撮像することができるが、近年では複数のアンテナを用いた高性能、高機能なSARの開発も進められている。

本稿では、軌道に沿う方向に複数の受信アンテナを配置し、各アンテナに受信機を接続した多チャネルSARを用

いた観測手法について述べる。2つのアンテナによって、軌道上の観測位置の密度(空間サンプリング周波数)を上げるように観測すると、ゴースト状の偽像を低減する効果が得られる。マルチビームSARと呼ばれるこの手法は、広域化と高解像化を両立させる際の偽像低減手法として有効である。一方、複数のアンテナによって、同じ観測位置をわずかに異なる時刻で観測するような撮像を行い、得られた複数の画像の差分を取ることによって、移動目標検出を行うことが可能となる。航空機搭載SARを用いた実験によって、マルチビームSAR及び移動目標検出の機能を検証した結果を示す。



複数の受信アンテナを用いた多チャネル合成開口レーダ

複数のアンテナを軌道に並行な方向に配置し、それぞれのアンテナで受信した信号からレーダ画像が得られる。アンテナ間で受信位置がずれるように観測すれば、空間サンプリング周波数の向上によって画質改善が可能となる。アンテナ間で受信位置が一致するように観測すれば、異なる時刻のレーダ画像が得られるため、画像間の差分によって移動目標を抽出することが可能となる。

1. ま え が き

合成開口レーダ(SAR)は、上空から地表面の状況を撮像するレーダである。人工衛星又は航空機などの移動体に搭載したレーダによって、移動しながら空間的に広い範囲で受信データを収集する。そのデータを合成することによって仮想的に大開口アンテナを構成し(合成開口)、高分解能な地表面画像を得る。近年では衛星搭載で解像度1m、航空機搭載で解像度10cm級の地表面画像を得ることが可能となっている⁽¹⁾⁽²⁾。

光学カメラと比較すると、電波は雲を透過する性質を持つため、雲や雨があっても地表面を観測することができること、レーダ自体が電波を放射して地表面を照らすため、夜間でも撮像可能なことが合成開口レーダの利点である。昼夜・天候を問わず観測できる特性を活用して、災害監視などへの利用が期待されている。

合成開口レーダを高機能化、高機能化する方法として、複数のアンテナを用いた多チャンネル合成開口レーダが近年注目されている。

本稿では、広域かつ高解像度な撮像、又は移動目標の検出を目的とした多チャンネルSAR技術について述べる。

2. 多チャンネルSAR

2.1 単チャンネルSARの原理

多チャンネルSARを述べる前に、従来の単チャンネルSARについて述べる。SARでは移動体の側方から電波を放射し、観測領域となる地表面を斜め上方から電波照射する。照射した電波の一部は地表面で反射してSARへ戻するため、その反射波を受信することによって、地表面画像を得る。観測領域内の画像を高解像に得る方法として、アンテナビームを十分細くすることも考えられる。しかし、アンテナビームを細くするには、巨大なアンテナが必要となり、移動体への搭載が困難である。そこでSARでは信号処理によって画像化に必要な分解能を得る。

距離(レンジ)の軸とそれに直交する方位角(アジマス)の軸で照射領域内の画素を分離し、地表面画像を得る。アンテナビーム幅で決まる分解能では近接する2点を分離できないが、移動しながら空間的に広い範囲で信号を収集し、計算機上で信号を合成する。あたかも大きなレンズで電波を集束させたようになり、アジマスが高解像化される。

レンジ軸については、電波を送信してから受信するまでの送受の時間差によって画素を分離する。パルス状に送信される電波の幅が狭いほど、近接する2目標を分離しやすい。実際には送信電力を高めるため、周波数変調を施した長いパルスを送信し、受信後に計算機上でパルス幅を細くするパルス圧縮の手法が利用される。

2.2 多チャンネルSARの種類

複数チャンネルを用いてSAR観測を行う手法は、図1に示すように、アンテナ配置によって次の2つに分類することができる。

- (1) 高さ方向にアンテナを配置
- (2) 横方向、すなわちプラットフォーム軌道と同じ方向にアンテナを配置

(1)については、地表高を計測する技術として、従来知られている⁽³⁾。異なる高さにアンテナを配置することによって、アンテナ間で地表高に応じた信号位相差が生じるため、その情報を利用して地形計測が可能となる。

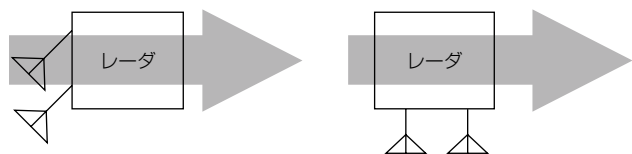
(2)については、次の2つに更に分類される。

- ①軌道上の異なる位置で受信信号を得る。
- ②軌道上の同じ位置で異なる時刻の受信信号を得る。

①は空間サンプリング周波数を上げることによって、高域かつ高解像な撮像が可能となるマルチビームSAR方式⁽⁴⁾に利用され、②は移動目標を検出するMTI(Moving Target Indication)に利用される。

2.3 マルチビームSAR：広域・高解像の両立

図2は2つのアンテナを用いてマルチビームSAR観測を行う場合の、各アンテナの時刻と位置の関係を模式的に示したものである。SARはパルスドップラーレーダの一種であることから、パルス状の電波の送信と、反射波の受信を時間的に交互に繰り返す。そのため、受信信号は離散的に行われる。図2は、アンテナ1によるデータ取得を○で示す時刻・位置で行い、アンテナ2では□の時刻・位置で行うことを表している。○又は□を結ぶ直線の傾きはプラットフォームの速度となる。ある時刻にパルス状の電波が送信され、地表面で反射した電波が、時刻1でアンテナ1とアンテナ2で同時に受信される。このとき、衛星上のアンテナ設置間隔に対応する位置の差(位置B-位置A)で信号が受信される。1回の送信で、位置Aと位置Bの異なる位置で受信信号が得られることになる。2つのアンテナの間隔を適切に定めると、図2の右端に示すように、軌道上で○と□の受信位置が等間隔に並ぶ。その間隔は、1つのアンテナを用いて2倍のパルス繰り返し周波数で観測したのと同様となる。逆に言えば、2つの受信アンテナを用いれば、同じ空間サンプリング周期を低いパルス繰り返し



- ・ 俯角方向の測角 → 地表の高さ計測
- ①空間サンプリング位置の増加 → 広域観測と高解像観測の両立
- ②同じ位置から時間差をつけて観測 → 移動目標検出

(a) 高さ方向にアンテナ配置 (b) 横方向にアンテナ配置

図1. アンテナ配置による多チャンネルSARの分類

周波数で観測したのと同等になる。画像解像度を上げるためには、ドップラー周波数帯域を向上させるために、高い空間サンプリング周波数が必要となる。一方、パルス繰り返し周波数が高くなると、観測距離の幅を狭くする必要がある。このようなトレードオフの関係を緩和することが可能となるため、高解像度でかつ広い観測幅での撮像が可能となる。

なおこの撮像方式は、近く打ち上げ予定の陸域観測技術衛星2号機(ALOS-2)搭載のSARでも実施される予定である⁽⁵⁾。

2.4 移動目標検出

図3はMTIにおける各アンテナの時刻と位置の関係を表す模式図である。アンテナ1とアンテナ2とで、時刻は異なるが同じ位置で受信する信号の組合せが得られる。例えば、図3では、時刻1にアンテナ1で観測する軌道上位置と、時刻2にアンテナ2で受信する軌道上位置が、ともに位置Bである。そのため、アンテナ1で受信した信号から合成した画像と、アンテナ2で受信した信号から合成した画像とでは、時刻のみが異なる画像となる。観測対象が静止している場合には、両画像は同一となる。一方、観測対象が動いている場合には、その時間差の間に対象が移動した分だけ、画素が変化する。そこで、両画像の差分画像

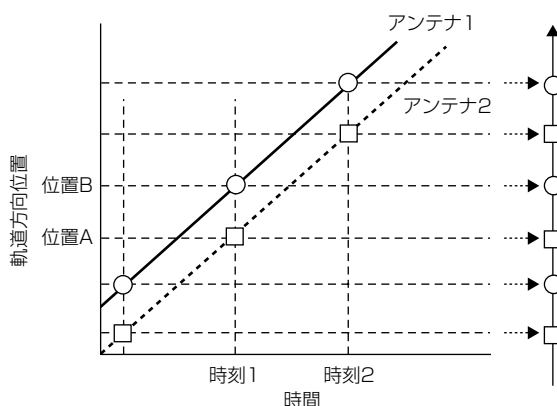


図2. 複数アンテナ間の観測位置の関係(マルチビームSARの場合)

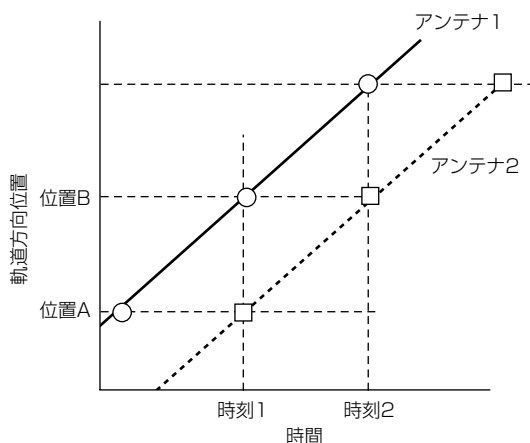


図3. 複数アンテナ間の観測位置の関係(移動目標検出の場合)

を算出すれば、静止する背景が消え、移動目標のみを抽出することが可能となる。

実際には、航空機の飛行速度が想定からずれることなどによって、アンテナ間で受信位置がずれることがある。その場合、一方のアンテナの受信信号に補間処理を適用することによって、信号処理で位置ずれの補正を行う。ただし、これはドップラー周波数が帯域制限されていることを前提とする処理となる。実際には、アンテナサイドローブによって観測対象範囲外の広角から反射信号がある場合、補間処理の精度が劣化する。これを解決する手法の1つとして、3つ目のアンテナを用いて、観測対象範囲外の広角から混入した信号成分を抑圧する偽像抑圧型の移動目標検出手法を新たに開発している⁽⁶⁾。この手法は、原理的には2.3節で述べたマルチビーム処理をMTI処理に組み込んだものとみなすことができる。

3. 航空機搭載実験による検証

3.1 実験の概要

先に述べたマルチビームSAR及びMTIの機能を航空機搭載SARによって検証する実験を行った。表1に実験の諸元を、図4に使用した航空機とアンテナの外観を、図5

表1. 航空機SAR実験の諸元

送信中心周波数	16.45GHz
送信帯域幅	250MHz
パルス繰り返し周波数	~4,000Hz
偏波	垂直送信, 垂直受信
オフナディア角	60°
観測方式	ストリップマップ
航空機	Gulfstream II



図4. 実験に使用した航空機とアンテナ

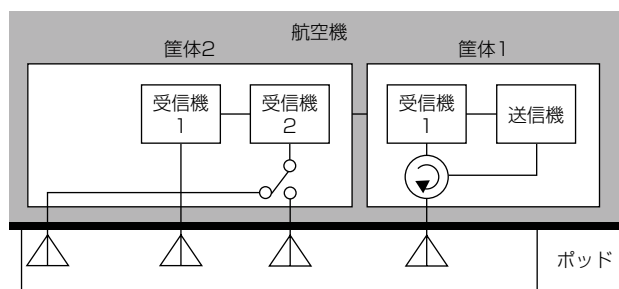


図5. 実験に用いたレーダ装置の概略構成

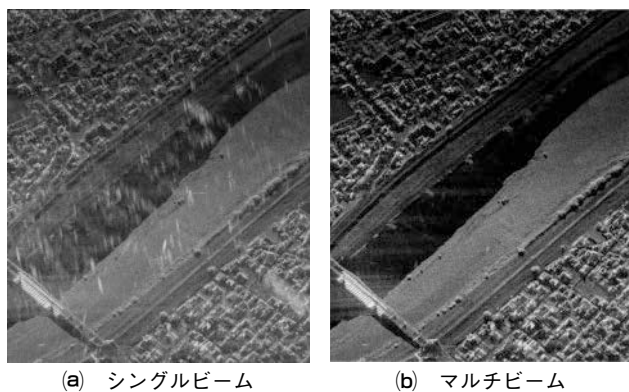
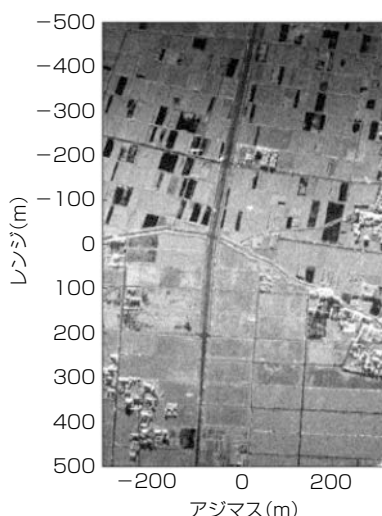
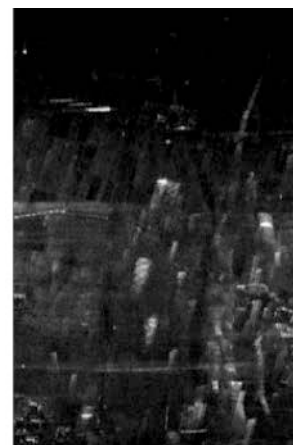


図6. マルチビームSAR観測例(偽像低減効果の確認)



(a) 原画像(移動目標検出前)



(b) 従来のMTI



(c) 偽像抑圧型MTI

図7. 移動目標検出観測例

に搭載したレーダ装置の概略構成をそれぞれ示す。搭載した4つのアンテナのうち、実際には2つ又は3つのアンテナを用いた撮像を行った。

3.2 実験結果例

3.2.1 マルチビームSAR

図6にマルチビーム観測の例を示す。同図(a)はパルス繰り返し周波数2kHzの場合に、単一の受信アンテナで撮像した結果である。画像全体にゴースト状の偽像が生じている。特に反射率の低い河川上で偽像が目立っている。パルス繰り返し周波数2kHzでは空間サンプリング周波数が不足しているためである。一方、同図(b)は同じ2kHzのパルス繰り返し周波数で、2つの受信アンテナを用いた場合の撮像結果である。パルス繰り返し周波数4kHzと同等の空間サンプリング周波数が得られるため、ゴースト状の偽像がなくなり、画質が改善されていることが分かる。

3.2.2 移動目標検出

図7に移動目標検出の実験結果例を示す。同図(a)は移動目標検出処理前のSAR画像である。静止している背景と移動する物体の両方が画像内に含まれている。同図(b)は偽像抑圧処理を付加しない従来の移動目標検出を行った結果である。面的に広がった画像が多く含まれているが、これらの多くはアンテナサイドローブで受信された反射波によって生じたゴースト状の偽像である。そこで、先に述べた偽像抑圧型移動目標検出を行った結果、同図(c)のように、偽像が低減され、車両などの移動物のみが抽出されるようになった。

4. む す び

複数の受信アンテナと受信機を用いた多チャンネルSARについて述べ、航空機搭載SARを用いた実験による検証例を示した。今回検証した手法は、将来の衛星搭載SARでの活用も期待できる。

参 考 文 献

- (1) 若山俊夫, ほか: 高分解能合成開口レーダの信号処理技術, 三菱電機技報, **84**, No.11, 613~616 (2010)
- (2) 若山俊夫: 合成開口レーダの技術動向, 電子情報通信学会誌, **95**, No.2, 142~144 (2012)
- (3) 岡田 祐, ほか: 干渉型合成開口レーダによる三次元地図作成, 三菱電機技報, **81**, No.8, 521~524 (2007)
- (4) 山岡智也, ほか: 航空機搭載マルチビーム合成開口レーダによるアジマスアンビギュイティ低減, 電子情報通信学会2011年総合大会, B-2-40 (2011)
- (5) Kankaku Y., et al.: The overview of the L-band SAR onboard ALOS-2, Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, 735~738 (2009)
- (6) 諏訪 啓, ほか: アジマスアンビギュイティを抑圧する複数開口SAR-MTI方式とその性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告, **112**, No.41, SANE2012-12, 7~12 (2012)