

4. 合成開口レーダによる地球観測において 航空機観測に求められること

浦 塚 清 峰*

近年、合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) を搭載した衛星が複数運用され、地球表面を観測する手段として、SAR データが利用されるようになってきた。そうした中で、全球観測という点では衛星に並ぶことのできない航空機搭載 SAR にどんな役割が期待できるのか、あるいは衛星とどのように連携利用できるのかを考察する。

1. はじめに

航空機や人工衛星に搭載して観測を行うリモートセンシングの対象は、大気のほか海洋表面や森林植生、火山などの地球表面の現象や状況がある。

こうした地球表面の状況を広域に把握するためには、航空機や人工衛星などの高い高度からの観測が有効であるが、通常の光学的なセンサーでは十分な日射があることと雲がないことが必須である。

SAR も、航空機や人工衛星から地上を航空写真のように撮影できるセンサーの一つであるが、電波 (マイクロ波) を自ら放射して散乱して戻ってきた電波を利用する「レーダ」技術を応用したものである。電波を利用することから、画像全体で雲等に遮られることがない。また、夜間でも昼間でも全く同様な画像を取得できる。これが SAR の最大のメリットであり、のちに述べるように災害時の現況把握に大きな威力を発揮する。

1990年代から実用的な SAR のデータの提供が行われるようになり、現在では商用の人工衛星のデータを誰でも入手することができることから、地球表面の現象や状況を解析するために有効なセンサーとなってきた

ている。

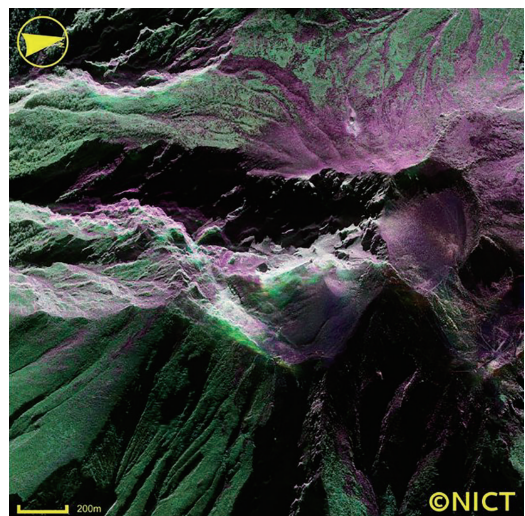
本講演では、SAR について概要を解説し、地球表面の観測にどのように利用できるのかを紹介する。さらに、衛星搭載 SAR が利用可能な中で、航空機に搭載する SAR の有効性や課題について考察する。

2. SAR とはどんなセンサーか

航空機 SAR の有効性について考える前に、SAR の観測原理の概要も含めて、SAR 特有のデータの特徴に沿って簡単に解説する。

(1) 斜め横 (オフナディア) の観測

SAR による画像の例を第 1 図に示す。一見して航空写真のような画像であるが、撮影方法は、かなり異なっている。SAR の画像は航空機や衛星の直下ではなく、航空機等の進行方向に対して斜め横を観測する



第 1 図 SAR による画像例 (Pi-SAR2 による御嶽山の頂上付近; 2014.10.2.)

* 情報通信研究機構。

pata@nict.go.jp

© 2018 日本気象学会

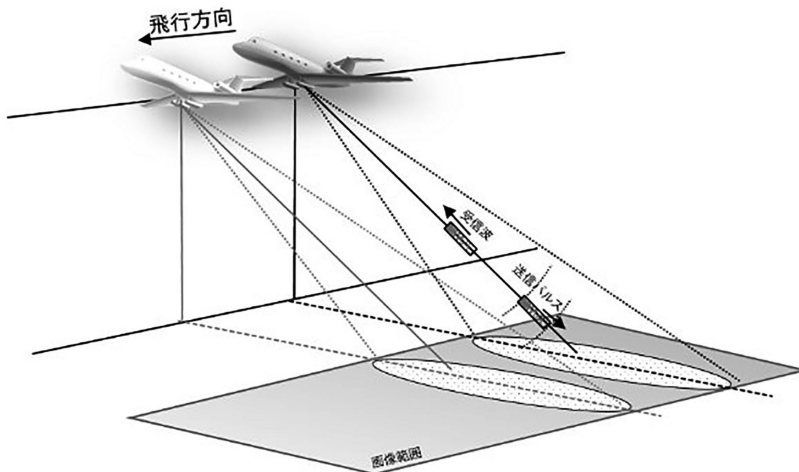
(第2図)。

レーダを積んだ衛星や航空機(両方を含めてプラットフォームと呼ぶことにする)の進行方向に対して横(この図では左側)下方にパルス状の電波を送ると、地表面のレーダに近い部分から順に遠い部分にかけて反射(散乱)して戻ってくる。これにより横方向の情報が得られる。さらにプラットフォームは移動するので、パルスを続けて送信することにより2次元の画像情報を得られる。SARはこの情報を特殊な信号処理を行うこと(合成開口処理という)により(2)に示すような高分解能を得る。

横斜め下を観測することから、画像には地形による影(シャドウイング)が生じる。また、周りより高い地面はレーダとの距離が短くなるため、実際の地理的位置よりもずれた位置に投影される(フォアショートニング)など特有のひずみを生じる。この影や画像ひずみは、山岳地域を観測した場合に鳥瞰図的に感じる効果もあり、判読の役に立つ場合もある。画像の明暗は地表面での後方散乱の強さを意味するが、これはどれくらい斜めな方向(オフナディア角)で観測したかによって地表面からの散乱の条件が変化するため、解析上重要になる場合がある。

(2) 高分解能

第1図は、高さ約8,600 mを飛行する航空機から観測したものである。この図では紙面内に縮小するために解像度を落としてあるが、画像を拡大していったときに事物を識別できる限界の大きさ(分解能)は30 cmである。航空写真でこの分解能を得ようとするれば、



第2図 SARによる地表面の画像化の仕組み。

1,000 m程度まで高度を落とす必要があり、当然、観測領域は狭くなる。高い高度からも高い分解能で広い領域を一度に観測できることがSARの最大の特徴である。さらに、この分解能は先に述べた「合成開口処理」により実現する。このとき、分解能は原理的にプラットフォームの高さに依存しない。

(3) 周波数(波長)

SARによく使われる電波の周波数は、低いほうから、約1 GHz(Lバンド)、約5 GHz(Cバンド)、約9 GHz(Xバンド)であり、それぞれの波長が違うことから、地表面での散乱の特性が異なる。たとえば周波数が低いほど、植生等の下部(地面や木の幹の部分等)からの情報が卓越的になるのに対し、高いほど木の枝の先や葉などの表面の状況を強く反映する。技術的には周波数の高いほうが高分解能を実現しやすいという側面があるものの、もっと高い周波数では雲・降水粒子の影響を受けるため、SARの最大のメリットである全天候性を失う。これらの理由から目的に沿ってSARの周波数が選択されているが、例えばバイオマス観測などの目的には多周波のデータが有効である。

さらにSARには以下に述べる機能を付加することができる。

(4) ポラリメトリ

電波は、電場と磁場がともに振動しながら伝搬する波である。電場の振動方向を偏波と呼ぶ。地上の物体は、任意の偏波に対し固有の偏波を反射(散乱)する。SARからは垂直偏波(V)と水平偏波(H)の直交した2つの偏波の電波を地表面に当て、散乱してSARに戻ってきた受信信号の各偏波成分を取り出す。こうして対象の偏波特性を計測し識別する機能をポラリメトリ(polarimetry)と呼んでいる。

第1図はポラリメトリによるカラー画像化を行っている。偏波面の変化する散乱を緑色に割り当てていると、植生部分はほぼこの性質を示す。この図でマゼンタ(赤+青)の部分は植生がもともと無い火山灰に

より覆われた状況を示している。

(5) インターフェロメトリ

SARの信号の入り口であるアンテナを2つ用意して、その位置を少しずらすと、同じ地表面からでも、わずかな伝搬距離の差により、2つのアンテナの信号間に位相差が現れる(干渉)。この手法をインターフェロメトリ(interferometry)と呼んでおり、この位相差から地表面の高さを計測することができる。

航空機の場合には、2つのアンテナを同時に装備して計測する(シングルパス)ことが可能である。衛星の場合には観測時期の違うデータを組み合わせて2つのアンテナを模擬する(リピートパス)。

シングルパスの場合は、2つの信号の計測時刻が同じなので、その時点での地表面の高い精度での計測が可能である。リピートパスの場合には、適切な位置関係となるデータの観測時期が離れてしまう場合が多く、その間に地表面が変化することもあり、2つのデータだけでは、正確に高さ情報のみを抽出することは難しい。しかし、さらに別のパスのデータを追加し、既知の高さ情報を利用することにより、2つの観測時期の間での地表面の変動を知ることができる(差分インターフェロメトリ)。この差分インターフェロメトリを航空機で実現しようとする、航空機の軌道を安定に制御することが難しいため、適切な条件のデータを揃えることが難しい。

3. SARによる地球観測

SARの性能や機能の特徴づける要素について5点について述べてきた。これらの性能や機能をうまく利用することにより、地球表面の状況や現象を把握することができる。ここでは、実際にどのようにSARが活用できるのか、航空機と衛星を比較しながら例を示す。

先に掲げた第1図は2014年9月に噴火し多くの人的な被害が生じた御嶽山のSAR画像である。これは情

報通信研究機構(NICT)が開発した航空機搭載SAR(Pi-SAR2)による。Pi-SAR2は9.6GHzの周波数で30cmの分解能を有し、ポラリメトリとシングルパスのインターフェロメトリにより地面の高さを約2mの精度で計測する機能を有している。

図のように火山観測においては、噴煙があっても、その下の火口の状況を知ることができる。また、ポラリメトリを利用すれば、火山灰の広がり状況の把握が可能である。インターフェロメトリによる高さ計測を行うことにより、火山の状況によっては地下マグマによる隆起・沈降の状況を知ることにも可能である。航空機の場合には、噴煙のために光学観測に適した運航自体が困難になるのに対し、SARを用いた高高度からの斜め観測では、安全な観測を行うことができる。

衛星SARの場合には、差分インターフェロメトリにより数10cmの隆起・沈降の状況を解析することができ、これは実運用が行われている。一方で、衛星は全球観測を目的としてほぼ南北に向かって飛行する極軌道を採用するため、観測の向きが固定される。このことは、起伏の多い火山においては、影が大きくなり観測に制約を受ける場合も多い。

一般的にも、航空機SARと衛星SARのそれぞれの得意な部分がある。グローバルという点においては、航空機は衛星には及ばないが、機動的な観測を行うという点では、航空機が有利であり、Pi-SAR2の開発のコンセプトの一つはこの点である。また、高性能、高機能を搭載できる点では航空機が有利である。

4. おわりに

衛星SARと航空機SARは相補的に活用できると考えられる。特に、災害時のようにリージョナルな事象については、即時から経時と役割分担が可能である。また、新規の機能の導入や画像からの解析のアルゴリズムの開発には航空機の利用は欠かせないと考えられる。