

## (54) 既存DEMを用いた SARデータ選定支援情報の生成

井上 雄太<sup>1</sup>・関根 大樹<sup>2</sup>・三尾 有年<sup>3</sup>・桑原 祐史<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市成沢町4-12-1)  
E-mail:15nm805h@vc.ibaraki.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市成沢町4-12-1)  
E-mail:14nm812n@vc.ibaraki.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 NTTデータCCS (〒140-0002 東京都品川区東品川4-12-1 品川シーサイドサウスタワー)  
E-mail:amio@nttdata-ccs.co.jp

<sup>4</sup>正会員 茨城大学 広域水圏環境教育研究センター (〒316-8511 茨城県日立市成沢町4-12-1)  
E-mail:kuwahara@mx.ibaraki.ac.jp

合成開口レーダ (SAR) データは地表面観測において天候や時間帯による影響が小さいため、自然災害時の地球観測に非常に有効である。現在、SARの解析データは主に垂直基線長や大気中の水蒸気量を考慮して選択される。しかし、マイクロ波照射方向と地形条件によってはマイクロ波が遮蔽される領域が存在し、その領域において解析精度が低下する。そこで、既存DEMより生成された斜面方位図と陰影起伏図を用いて、軌道方向と起伏の影響を示すSARデータ選定支援情報を生成することを目的とした。結論として、斜面方位図と陰影起伏図を用いてマイクロ波が反射する領域・遮蔽される領域が生成できた。また、マイクロ波を反射する領域では、公称標高値の範囲内で観測することができ、マイクロ波が遮蔽される領域では公称標高値の範囲で観測できない領域が存在した。

**Key Words :** DEM, SAR data selection support information, reflection region, shielded region

### 1. 研究の背景および目的

リモートセンシング技術は人の出入りが困難な領域を広域かつ継続的に観測を行うことができる。中でも、可視・近赤外波長帯を用いる光学センサデータとは異なり、マイクロ波波長帯を用いる合成開口レーダ (以下、SAR) データは、天候、時間帯による影響が小さいため、自然災害時の地表面観測に非常に有効である。また、SARを用いた研究においては、2時期のSARデータを干渉させ、マイクロ波の位相差を検出するInSARが多く行われており、現在、InSARを用いて地震や火山の噴火などの災害に起因する地盤変動の検出・解析<sup>1,2)</sup>や、津波湛水域、建物被害などの被害箇所の検出<sup>3,4)</sup>が多く行われている。

SARは反射波の左右の区別を分けるため、軌道方向に対して左もしくは右斜め下方にマイクロ波を照射する。このため、急峻な山岳地を対象とした場合、斜面方位や傾斜勾配、マイクロ波の照射方向、照射角度によってレイオーバや、レーダシャドウが生じ、SARを用いた地表面解析手法の1つであるInSARの精度に大きく影響する

ため、実務での問題となっている<sup>5)</sup>。

ここで、地球観測衛星の軌道特性を利用する。地球観測衛星は太陽同期準回帰軌道で周回しており、衛星が地球を一周するたびに、観測する地域が少しずつずれていくため、北行軌道 (Ascending) 及び南行軌道 (Descending) の2方向の観測データが存在する。レイオーバやレーダシャドウはSARデータの軌道方向を適切に選択することでInSARの精度向上が期待できる。しかし、現在、SARデータに関して軌道方向と起伏による影響を示すデータの生成手法は報告されておらず、SARデータの選定画面に軌道方向と起伏の影響は示されていない。

本研究では、既存の地形データを用いてSARのセンサから照射されるマイクロ波が反射される領域・遮蔽される領域 (以下、反射域・遮蔽域) を軌道ごとに生成し、この領域がレイオーバやレーダシャドウが生じない領域・生じる領域として、軌道方向と起伏による影響を示すSARデータ選定支援情報として用いることができるか否かを検証することを目的とする。

## 2. 対象領域および使用データ

### (1) 対象領域

対象領域は、茨城県日立市と日立市周辺市町村の高萩市、常陸太田市、那珂市、東海村とした。この領域には、阿武隈山地の南端、久慈山地、八光山地の山々が連なる。また、阿武隈山地と太平洋に挟まれている地域では住宅地や商業地工場などに利用されており、様々な土地利用と地形起伏が混在している。このような地形状況から、山間部に囲まれた領域では、マイクロ波が遮蔽される領域が存在し、軌道方向と起伏の影響を示すSARデータ選定支援情報の適用是非を判断することができると考え、対象領域を選定した。

### (2) 使用データ

本研究では、SARデータ選定支援情報の生成に用いる既存地形データとして国土地理院より公開されている基盤地図情報（数値標高モデル）10mメッシュ（以下、GSI\_DEM）を用いた。また、適用評価に用いるSARデータとしてALOS/PALSARのデータを用いた。ALOS/PALSARデータの諸元を表-1に示す。

## 3. SARデータ選定支援情報の生成

ここでは、軌道方向と起伏の影響による誤差が大きい領域、小さい領域を示すSARデータ選定支援情報の生成方法を説明する。SARデータ選定支援情報の生成に用いる既知パラメータを表-2に示す。

### (1) ナディア推定

SARセンサから照射されるマイクロ波の照射方位角を算出するため、SARセンサのナディア座標を推定した。まず、地球を平面と見立て、衛星高度 $H$ とオフナディア角 $\theta$ を用いて式(1)よりグラウンドレンジ $D$ を推定する。

$$D = H \tan \theta \quad (1)$$

次に、対象前後シーンの中心座標を端点とした線分を作成する。PALSARはアジマス方向の右側90°方向にマイクロ波を照射するため、作成した線分をアジマス方向の左側90°方向に、推定したグラウンドレンジの距離分を平行移動する。本研究では、平行移動した線分の中点をナディア座標として判読した。

### (2) 陰影起伏図生成

マイクロ波の反射域・遮蔽域を生成するため、既存DEMからPALSARのセンサ位置を光源とした陰影起伏図を生成した。陰影起伏図を生成するためには光源方位角と光源高度の2つのパラメータが必要である。光源方位角は国土地理院にて公開されている測量計算サイト内の「距離と方位角の計算」を用いた。入力値には、出発点に推定したナディア座標、到着点に対象シーン中心座標を入力した。また、光源高度は水平方向を0°としているため、90°から鉛直方向を0°としているオフナディア角を差し引いた値を用いた。

### (3) 反射域・遮蔽域の境界陰影起伏値算出

生成された陰影起伏図は明暗の領域が0~255に量子化されており、0が最も暗い領域、254が最も明るい領域、255がNo Dataということしか判別できず、陰影起伏図のみで反射域、遮蔽域の境界陰影起伏値を判別するのは困難である。そこで既存DEMから斜面方位図を生成し、

表-1 ALOS/PALSAR データ諸元

昇降ノード	画像種	観測日時 (JST)		衛星/センサ	分解能	観測モード	偏波	オフナディア角
Ascending	Master	2009/12/15	22:03:40	ALOS/PALSAR	10 m	FBS	HH	34.3
	Slave	2010/12/18	22:02:44					
Descending	Master	2009/07/19	10:08:45					
	Slave	2010/07/22	10:07:52					

表-2 SAR データ選定支援情報生成時の既知パラメータ <sup>78)</sup>

昇降ノード	衛星高度	オフナディア角	対象前シーン		対象シーン		対象後シーン	
			経度	緯度	経度	緯度	経度	緯度
Ascending	692 km	34.3 °	140.572 °	36.151 °	140.464 °	36.646 °	140.355 °	37.140 °
Descending	692 km	34.3 °	140.485 °	37.140 °	140.377 °	36.646 °	140.269 °	36.151 °

斜面方位図と陰影起伏図を用いて反射域・遮蔽域の境界陰影起伏値を算出した。まず、反射域・遮蔽域の境界斜面方位角をマイクロ波照射方位角 $\pm 90^\circ$ の方位角として算出した。次に、斜面方位図の中から境界斜面方位角のピクセルを抽出した。そして、抽出したピクセルと同位置の陰影起伏値を抽出し、平均値を算出した。また、この平均値を反射域・遮蔽域の境界陰影起伏値とした。

#### (4) 2値化陰影起伏図生成

算出した境界陰影起伏値を閾値とし、境界陰影起伏値よりも大きい値を反射域、小さい値を遮蔽域とした2値化陰影起伏図を生成した。また、この図を軌道方向と起伏の影響を示すSARデータ選定支援情報とした。

### 4. SARデータ選定支援情報の適用評価

SARデータ選定支援情報の適用評価は、実際に生成されたSARデータ選定支援情報を用いてSARデータの選定を行った場合、そのデータでは反射域・遮蔽域ごとにどのくらいの精度を持つのかを評価する。具体的には、

まず、選定したSARデータから生成されたDSM（以下、SAR\_DSM）からGSI\_DEMを差し引いた標高残差を反射域・遮蔽域ごとに抽出した。次に、それぞれ抽出した領域ごとに標高残差の平均値、標準偏差値を算出した。この算出した平均値、標準偏差値がPALSARの公称標高値 $\pm 17.00\text{m}$ の範囲内で観測できるか否かを判定した。また、Ascending反射域を用いて抽出した標高残差画像とDescending遮蔽域を用いて抽出した標高残差画像、Ascending遮蔽域を用いて抽出した標高残差画像とDescending反射域を用いて抽出した標高残差画像を比較し、それぞれの遮蔽域で公称標高値の範囲内で観測できなかった範囲が反射域では公称標高値の範囲内で観測できるのか否かを目視評価した。算出した領域ごとの標高残差を表-3に示す。また、領域ごとの標高残差画像を図-1に示す。

表-3、図-1より、Ascending方向ではどちらの領域の標準偏差値も公称標高値の範囲内に収まったが、平均値、標準偏差値ともに反射域より遮蔽域が大きい値であった。領域ごとに見ると、反射域は部分的に公称標高値の範囲に収まらない領域が存在するが、ほとんどの領域が $0.00 \sim 17.00\text{m}$ の公称標高値の範囲内に収束した。一方、遮蔽域は全体的に $17.00\text{m}$ 以上の公称標高値を正の値で上回る

表-3 抽出した領域ごとの標高残差

項目	Ascending			Descending		
	領域全体	反射域	遮蔽域	領域全体	反射域	遮蔽域
最小値 (m)	-111.29	-101.75	-111.29	-194.57	-191.33	-194.57
最大値 (m)	113.88	110.25	111.24	139.75	136.40	139.75
平均値 (m)	3.16	1.96	4.89	-7.73	-5.64	-11.93
標準偏差値 (m)	12.76	10.32	16.36	27.71	23.22	35.14

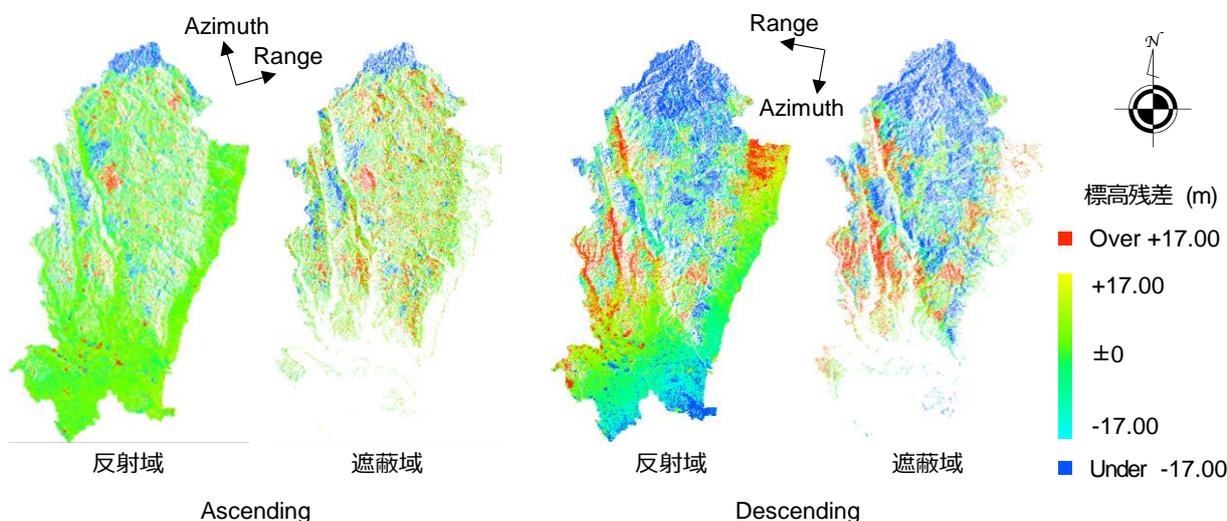


図-1 抽出した領域ごとの標高残差画像

結果であった。これは遮蔽域が斜面によるレーダの影となり、その領域において標高が高く現れた結果となったと考えられる。このことから、軌道方向と起伏による影響は存在し、生成されたSARデータ選定支援情報の反射域は公称標高値の範囲内の精度で観測でき、遮蔽域には公称標高値の範囲内の精度で観測できない領域を含む可能性があることがいえる。

Descending方向では、反射域、遮蔽域ともに標高残差の平均値は小さいが、標準偏差値は公称標高値を大きく上回る結果であった。また、反射域に関して領域内の南部は標高残差が-17.00~17.00mの公称標高値の範囲内に収まる領域が広く分布しているが、領域内の西側は標高残差が公称標高値を超える正の値が広く分布され、領域内の北部は標高残差が公称標高値を超える負の値が広く分布される結果であった。この原因として、選定されたSARデータは7月に観測されたデータであり、大気中の水蒸気が多い時期であったため<sup>10)</sup>、水蒸気による位相遅延が発生した。これによって部分的に干渉の高い領域、低い領域が現れたと考えられる。このことから、大気中の水蒸気が多い時期では衛星軌道と地形起伏による影響を示すSARデータ選定支援情報に加えて、水蒸気の成分を示す別のSARデータ選定支援情報があることにより、より高度なデータ選定支援ができるといえる。

また、Ascending反射域とDescending遮蔽域を比較し、目視評価を行うと、Descending方向の遮蔽域内において公称標高値の範囲内で観測できない領域は、Ascending方向の反射域内ではほぼ公称標高値の範囲内で観測できる結果となった。一方、Ascending遮蔽域とDescending反射域を比較し、目視評価を行うと、Ascending方向の遮蔽域内において公称標高値の範囲内で観測できない領域は、Descending方向の反射域内において公称標高値の範囲内で観測できる領域はほとんど確認できなかった。このことから、水蒸気が多い時期において、生成された軌道方向と起伏の影響を示すSARデータ選定支援情報の適用は、InSAR処理中に大気補正を行うこと、もしくは水蒸気の影響によってマイクロ波伝播遅延が発生した領域を示す別のSARデータ選定支援情報が必要であることがいえる。

## 5. 結論

現在の一般的な SAR データの選定条件は軌道間距離の垂直成分が短いこと、観測時期が乾季であることが主に重要視される条件であり、これを基に選定されたSARデータから生成された DSM には、レイオーバやレーダシャドウによって誤差が生じる領域をあらかじめ判別することは困難であった。しかし、本研究で提案した手法によって既存の地形データから軌道方向ごとにマイクロ

波が反射される領域・遮蔽される領域を生成することができ、軌道方向と起伏の影響によって誤差が生じる領域をあらかじめ判別できるようになった。

また、衛星位置と地形起伏による影響は存在し、生成された SAR データ選定支援情報の反射域は公称標高値の範囲内でデータを観測することができ、遮蔽域には公称標高値の範囲内で観測できない領域を含む可能性があることがわかった。

そして、大気の水蒸気が多い時期では、軌道方向と起伏の影響を示す SAR データ選定支援情報に加えて大気成分の影響を受ける領域を示す別の SAR データ選定支援情報があることで、より高度なデータ選定を行うことが期待できる。

## 参考文献

- 1) 石塚師也, 辻健, 松岡俊文, 水野敏実: 干渉 SAR 解析を用いた 2011 年東北太平洋沖地震で発生した東京湾臨海域の液状化に伴う広域地表変動量の推定, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.68, No.1, pp.175-182, 2012.
- 2) リュウ・ウエン, 山崎文雄, 松岡昌志, 野中崇志, 笹川正: TerraSAR-X 強度画像を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震における 3 次元地殻変動の検出, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.34, No.3, pp.166-176, 2014.
- 3) 越村俊一, 松岡昌志: 合成開口レーダーを利用した津波被害の面的把握, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1426-1430, 2010.
- 4) 堺友里, 越村俊一, 松岡昌志: TerraSAR-X 強度画像の変化に着目した津波被災地の建物被害程度の把握, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.69, No.2, pp.1456-1460, 2013.
- 5) 岩崎洋志, 山崎文雄, リュウ・ウエン, 野中崇志, 笹川正: 高解像度衛星 SAR 画像を用いた建物側面の被害把握, 日本地震工学会論文集, Vol.13, No.5, pp.18-32, 2013.
- 6) 松尾優: 合成開口レーダ映像法における前方圧縮とレイオーバ現象の一検証, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.13, No.3, pp.53-59, 1993.
- 7) RESTEC: CROSS-EX, <[https://cross-ex.info/cross-ex/topControl\\_crossex?language=ja-JP](https://cross-ex.info/cross-ex/topControl_crossex?language=ja-JP)> (入手 2015.6.23) .
- 8) (財)宇宙システム開発利用推進機構: PALSAR データ利用ガイド第 6 版, 同法人, p.3-1, 2012.
- 9) 大澤右二, 島田政信: 陸域観測技術衛星「だいち」の定常観測運用での成果について, 宇宙航空研究開発機構, 2007.
- 10) 糟谷司, 河村隆一: 日本における GPS 可降水量の季節変化の特徴, 天気, 社団法人日本気象学会, Vol.59, No.10, pp.917-925, 2012.