

SAR シミュレータを用いた 3 次元地盤変動の推定精度向上に関する研究

石 井 順 恵*

Study of the Accuracy Improvement of Three-dimensional Ground Deformation Estimation Using SAR Simulator

Yoshie ISHII*

SAR can measure land deformation along line-of-sight direction, and we can estimate three-dimensional surface deformation, using SAR images acquired on ascending and descending orbits, and GNSS observations. However, there is a case that both orbits of SAR images can't be available because SAR images are expensive and even if both orbits of SAR images are acquired, it is not necessarily interfering. Therefore, it is valuable to consider how to effectively use one side orbit SAR images for three-dimensional surface deformation estimation. To use effectively one side orbit SAR images in the future, we evaluate the behavior of the error caused by one side orbit SAR images to both side orbit SAR images using SAR simulator.

1. 背景と目的

合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR) はリモートセンシング技術の 1 つで、天候や昼夜に左右されず、レーダによる地球観測を行うことのできる技術であり、土砂災害や地震、火山活動などの状況把握、橋梁、ダムなどの構造物のモニタリングなどに利用される。SAR 技術の 1 つに干渉 SAR 解析という手法がある。これは、2 時期以上の SAR 画像の位相変化から地盤変動を推定する手法で、センチメートルオーダーで広範囲の変動を観測することが可能である。ただし、観測可能な変動は人工衛星の視線方向の 1 次元のみに限定されるため、水平方向の変動か鉛直方向の変動かの区別がつかない。したがって、干渉 SAR 技術を用いて 3 次元の変動を推定するには 3 つ以上の異なる方向から観測した SAR 画像が必要となる。そのような中、測量データと SAR 画像を組み合わせることで南北方向も含めて 3 次元変動推定を精度良く行う研究も行われている。その 1 つに、GNSS を面的に内挿したものと上昇軌道・下降軌道の SAR 画像両方を組み合わせることで GNSS のみの結果よりも精度良く 3 次元の変動を推定できる手法を開発した研究がある(1)。しかし、上昇軌道と下降軌道の両軌道の SAR 画像が必ずしも使えるとは限らず、片軌道のみの SAR 画像と GNSS を用いた精度は、両軌道の SAR 画像と GNSS を用いた場合より低下するという課題もある。本研究の目的は、片軌道しか SAR 画像が得られない場合と両軌道の SAR 画像が得られる場合とで、3 次元変動量を推定した際に、どの程度の差があるかを定量的に評価することである。

2. 手法

本研究では、図 1 に示すように、SAR シミュレータ上で、片軌道の衛星画像のみが得られた場合の 3 次元変動推定結果と、両軌道の衛星画像が得られた場合の 3 次元変動推定結果を比較する。3 次元変動推定を行うために、どちらの条件でも、電子基準点における GNSS の 3 次元変動推定結果を面的に内挿した結果を使用できる場合を想定している。

シミュレータの構成は、最初に真値となる地形と変動を与える。次に、Single look complex (SLC) 画像を 10 枚生成する。次に、これら 10 枚の SLC 画像を用いて Permanent Scatterers Interferometry SAR (PSInSAR) 解析を行うことで、ノイズの影響の少ない安定的な点のみを取り出す。最後に、片軌道のみ

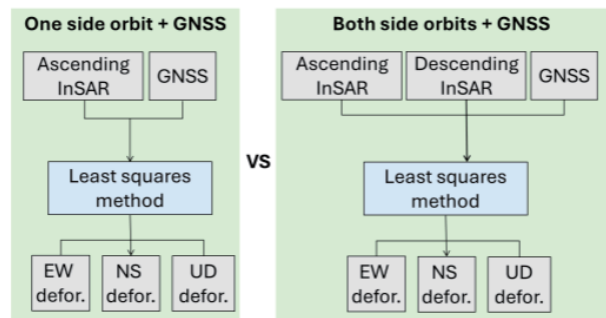


図 1 片軌道 SAR 画像を用いた場合と両軌道 SAR 画像を用いた場合の 3 次元変動量の比較の概念図。

2025 年 3 月 16 日 受理

* 豊田理研スカラー

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

の PSInSAR 解析結果と GNSS 内挿結果を用いた場合の 3 次元変動量の推定結果と、上昇軌道と下降軌道の両軌道の PSInSAR 解析結果と GNSS 内挿結果を用いた場合の 3 次元変動の推定結果を出力する。

シミュレータに入力する地形の条件として、平坦な地形と山地のような斜面を含む地形の 2 パターンを検討した。また、0.1 m/year の速度で隆起する方向に局所的な変動として与えた。局所的な変動に対して、GNSS の地点が、その局所的な変動の点の上にある場合と、変動が生じていない地点にある場合の 2 パターンを検討した。

3. 結果と考察

表 1 に、精度評価の結果を示す。1 列目 1 段目が両軌道 SAR 画像を用いた場合と上昇軌道 SAR 画像のみを用いた場合の比較、2 段目が両軌道 SAR 画像を用いた場合と下降軌道 SAR 画像のみを用いた場合の比較を示す。2 列目は、使用した GNSS の地点に変動を含んでいるかいないかを示している。3 列目以降は、3 次元変動の鉛直、東西、南北で、各方向の変動成分が両軌道と片軌道でどの程度異なるかの差分の最大値、最小値及び RMSE を算出した結果を示しており、Subtraction は、GNSS 地点が変動を含む場合と含まない場合で最大値、最小値、RMSE などの差分を撮った結果を示す。

本研究では、真値として隆起する方向に 0.1 m/year の変動を与えているが、SAR で観測できるのは視線方向の変動であり、それを分解すると一部東西方向の変動として現れるのは妥当な結果である。一方で、東西方向は感度が低いという性質から南北方向には変動が現れないため、軌道の違いによる差分もすべて 0 m/year であることも妥当である。

これらの結果から、真値として与えた 0.1 m/year と同じ程度で、両軌道と片軌道の違いによる差が生じることが示された。また、GNSS 地点に変動を含む場合と含まない場合とを比較すると、0.01 程度の差すなわち、与えた変動の 10 分の 1 程度の差が生じることが明らかになった。

図 2 には、地形の違いによる両軌道と片軌道の差を比較したグラフを示す。この結果は、平坦な地形よりも斜面を含む地形で片軌道と両軌道で推定した変動量の差が大きくなることを示す。こ

れは、変単な場所では、上昇軌道と下降軌道から見える変動量が一致しやすいのに対し、斜面を含む場所では、上昇軌道から観測可能な変動量と下降軌道から観測可能な変動量が異なりやすいためであると考えられる。

4. 結論

本研究では、SAR シミュレータを用いて、片軌道 SAR 画像のみから 3 次元変動推定を行う場合と両軌道 SAR 画像を用いて 3 次元変動推定した場合にどの程度変動量が異なるかを定量的に評価した。その結果、変動量と同じオーダーでの差が生じることが示された。また、平坦な地形と傾斜を含む地形とでは、傾斜を含む地形の方が軌道の違いによる影響が大きいことが示された。これより、平坦な地形では片軌道のみの SAR 画像でも比較的両軌道 SAR 画像による推定に近い変動量推定が行えるといえる。今回は、限定的な地形や変動のみでの検証だったため、今後はより複雑な地形、変動などでも検証し、片軌道のみの変動量から両軌道の変動量を推定するような手法の開発に取り組む。

REFERENCE

- 1) 伊藤大生, 須崎純一, 穴原琢磨, 写真測量とリモートセンシング, **58.4** (2019) 174-183.

表 1 平坦な地形における両軌道と片軌道の変動量推定結果の比較 (鉛直方向の変動について)。

Comparison data	GNSS	Up-Down			East-West			North-South		
		Max	Min	RMSE	Max	Min	RMSE	Max	Min	RMSE
ASC+DES +GNSS vs ASC +GNSS	No deformation (Fig.3)	0.128	-0.073	0.009	0.052	-0.091	0.006	0.000	0.000	0.000
	Include deformation (Fig.4)	0.118	-0.080	0.009	0.058	-0.085	0.006	0.000	0.000	0.000
	Subtraction	0.010	0.008	0.000	-0.005	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
ASC+DES +GNSS vs DES+GNSS	No deformation (Fig.3)	0.076	-0.083	0.009	0.059	-0.055	0.007	0.000	0.000	0.000
	Include deformation (Fig.4)	0.066	-0.090	0.012	0.064	-0.047	0.008	0.000	0.000	0.000
	Subtraction	0.010	0.007	-0.003	-0.005	-0.007	-0.002	0.000	0.000	0.000

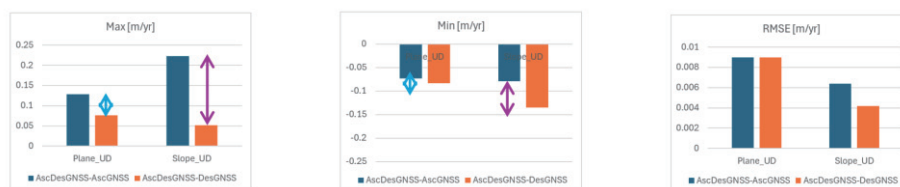


図 2 平坦な地形と斜面を含む地形における両軌道と片軌道の変動量推定結果の比較 (鉛直方向の変動について)。