衛星を活用した鉄道沿線斜面上における対象物検知に関する検討

東海旅客鉄道株式会社　正会員　○小島　瑛太郎　正会員　舟橋　秀麿　正会員　今井　賢一

１．はじめに

当社在来線では、未然に災害要因箇所を抽出・点検し、防災管理の一助とすることを目的に、2 年に１回、専門技術者による斜面・渓流調査を実施している。しかしながら、広範囲を人が目視中心で調査する手法には、労力やコスト、技術者の確保等で課題がある。そこで、斜面管理上、定期的に調査・監視が必要となる対象物として、落石の原因となる浮石や転石（以下、浮石等）、環境変化を把握する上で重要な植生（枯れ）や周辺の人工構造物等を衛星リモートセンシングにより検知する手法について検討を行ったので報告する。

２．衛星リモートセンシングにより得られるデータ

本検討では、日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）が打上げた陸域観測技術衛星だいち（ALOS）で取得した光学衛星画像データ（以下、光学データ（空間分解能：2.5m））と合成開口レーダ（以下、SAR）データ（空間分解能：10m）、及びだいち 2 号（ALOS-2）で取得した SAR データ（空間分解能：3m）を主に使用した。光学データは、光学センサを搭載した衛星により取得され、観測には光源（通常は太陽光）が必要となる。地上からの太陽光の反射を記録する際、種々の波長帯（例えば青、緑、赤の波長）に分けて受信することで、地上対象物を捉えている。一方、SAR データは、衛星から地上に向けてマイクロ波を発射し、地上対象物からの散乱強度と位相を受信、数値化し画像に応用するもので、光源が不要なため全天候型かつ昼夜観測が可能である。なお、現在運用中のだいち 2 号は、標準的な観測モードでの観測幅が 50km と、高分解能でありながら観測幅が広いところが大きな特徴である。

３．検討内容

斜面調査により浮石等の分布状況を事前に把握している鉄道沿線斜面 1 箇所を検討対象とした。この斜面は年間を通して植生密度が高く、斜面には大小様々の浮石等が確認されている。斜面管理上の主な調査・監視対象物のうち、①浮石等、②植生（枯れ）、③人口構造物等について、光学データ、SAR データによる検知可否や検知精度の検証を行った。以下、対象物ごとに検討結果を述べる。

３．１　浮石等

SAR データを活用し、後方散乱係数による浮石等の抽出を試みた。後方散乱係数とは、SAR から得られる物理量の一つで、衛星から発したマイクロ波が地上で反射した時の強度をデシベル変換したものである。浮石等を抽出するため、後方散乱係数と物体の大きさとの関係（理論値）に基づき、後方散乱係数が一定値以上の画素を抽出し、大きさを推定した。図-1 に後方散乱係数から推定した浮石等の分布（図の赤丸）と、実際の浮石等の分布（図の黄色丸）を重ね合わせた結果を示す。一部一致する箇所は見られるが、半分程度は一致していないことが分かった。浮石等の大きさによらず後方散乱係数はほぼ一定値となっており、後方散乱係数の大小で浮石の大きさを推定することは困難であった。植生密度が高く、浮石等からの後方散乱を十分に捉えられていないことが考えられた。

そこで、観測日の異なる 2 つの SAR データを用いてコヒーレンス解析を実施し、コヒーレンス値を変化させて検知能力の調査を行った。2 時期の SAR データの位相値の複素相関をコヒーレンスと呼び、0～1 の値を有し、1 に近いほど 2 時期の位相状態が似通っていることを示す。つまり、コヒーレンスが 2 時期以上で高い値にあれば、植生以外からの後方散乱が得られている可能性が非常に高く、浮石等からの後方散乱を検知可能と考えた。解析の結果、図-2 に示すように、コヒーレンスが 0.7

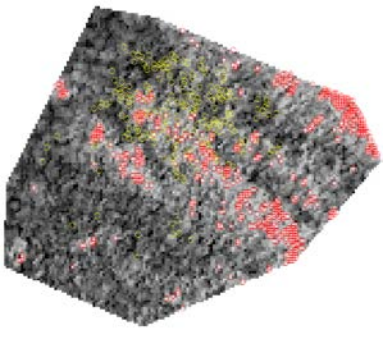


図-1 浮石等の分布

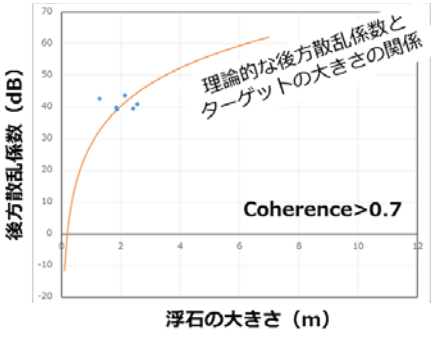


図-2 コヒーレンスによる絞込み

キーワード　地球観測衛星，リモートセンシング，斜面，維持管理，鉄道
連絡先　〒485-0801　愛知県小牧市大山 1545-33　総合技術本部技術開発部　Tel.(0568)47-5380

を超えると、後方散乱係数と物体の大きさとの関係（理論値）にほぼ一致する地点が 6 点検出された。また、検出した浮石等の大きさを推定すると 1～3m であった。推定した浮石等の大きさと実際の浮石等の大きさとを比較したところ、その値はほぼ一致しており、コヒーレンスによる絞込み効果により一定の検知精度向上が確認された。

３．２　植生（枯れ）

植生の状態把握の可能性について検討を行った。植生の状態把握には、直感的な理解がしやすい光学データを用いることとした。データを目視することで、植生の枯れ、樹種の違いの確認に利用可能なことは言うまでもないが、植生指標を適用した植生活性度の評価によって、植生の枯れの把握にも利用可能性がある。これは、植物が光合成色素の働きで可視域の光を効率的に吸収するとともに、近赤外の光を反射する特徴を利用したもので、植物の有無や量、さらには活性度の指標として広く用いられている。解析結果として、対象斜面の植生指標の画像を図-3 に示す。図中黄色の箇所は、緑色の箇所に比べて植生活性度が低いことを示しており、植生の枯れに近い状態であることが推察できる。

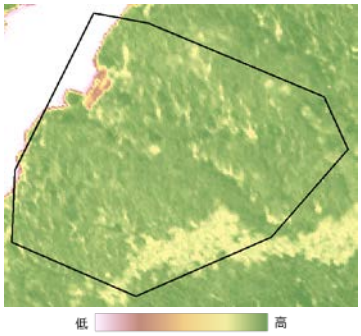
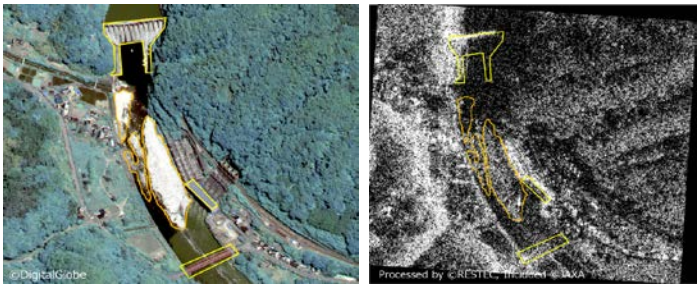


図-3 植生活性度

３．３　人口構造物等

光学データと SAR データとにおける人工構造物の視認性の比較検証を行った。また、対象範囲に存在する河川において河道内堆砂が確認されたため、河道内堆砂についても同様に比較対象とした。検証には、最新の光学データとして、米国 Digital Globe 社が運用中の WorldView-3 により取得されたデータ（空間分解能：0.5m）を使用した。SAR データについては、だいち 2 号により取得されたデータを使用した。

図-4 に光学データと SAR データとの視認性の比較を示す。光学データでは、直感的に人工構造物の視認が可能で、斜面付近にあるダム堤体、水力発電所、橋りょう、図右下から中央に向かって伸びる線路が視認できる。住居を含む小型の建物も視認可能で、植生に覆われていない限り対象物の視認性は高い。一方、SAR データでは、ダム堤体そのものは確認できないが、ダム天端からの後方散乱が確認できる。同様に建物についてもエッジまたは点像として視認できるが、やや不明瞭である。橋りょうはレーダ照射方向や上部トラス構造の影響で複雑な後方散乱を示し、像がぼやけている。河道内堆砂については、SAR データにおいて一部の河道内堆砂がレーダシャドウ（影）の影響を受けて視認出来ていないが、光学データと比較しても大差なく視認が出来ている。



(a) 光学データ　　(b) SAR データ
図-4 人工構造物等の視認性比較

４．まとめ

斜面の維持管理に衛星リモートセンシングを活用する際には、光学データと SAR データの特徴を踏まえた上で、各衛星の対象物検知に対する適用性を見極める必要があることが分かった。光学データの場合、直感的な理解のしやすさから、植生や人工構造物等の状態把握に適していると考えられる。ただし、植生密度が高ければ、地表面の視認は困難であり、浮石等の検知には不向きである。また、晴天時観測データであっても、気象・日照条件によっては視認性が低下することに留意が必要である。一方、SAR データの場合、光学データでは判読困難な地表面の状況把握に適しているが、浮石等の検出においては、光学データと同様に植生密度が強く影響することが明らかとなった。植生透過能力が高いとされる L バンドの SAR データを用いたが、単純な地表面からの後方散乱係数による検出は困難であること、時系列データに対してコヒーレンスを利用することで検出精度が向上する可能性が見出された。浮石等の更なる検知精度向上には、地表面からの後方散乱とそれ以外とを正しく分離する手法の確立が必要であり、今後の研究課題である。

謝辞：本検討にあたり一般財団法人リモート・センシング技術センター古田竜一氏にご協力頂きました。紙面にて謝意を示します。

参考文献

1) JAXA（宇宙航空研究開発機構）HP〈http://www.jaxa.jp/〉（アクセス日：2017/3/14）
2) 一般財団法人リモート・センシング技術センターHP〈https://www.restec.or.jp/〉（アクセス日：2017/3/14）