

光学衛星データを用いた糸魚川市来海沢地区の融雪期土砂災害監視手法の検討

砂防エンジニアリング株式会社 前海 眞司 ○福井 健太郎
株式会社エア・グラフ 兼富 宗成
長岡技術科学大学 力丸 厚

1. はじめに

衛星リモートセンシング技術の進展により、広域かつ高頻度の観測が可能となった。特に光学衛星データは地表面変化の検出に有効であり、土砂災害の前兆把握手法として期待される。

本研究では、光学衛星画像の近赤外反射率を時系列解析し、融雪期の雪面湿潤化を捉えることで、土砂災害監視手法の有効性を検討した。

近赤外反射率は、衛星観測による地表反射率の一種であり、雪氷や植生、水分量の識別に用いられる。乾燥した雪は高反射率を示し、湿潤化が進むと低反射率を示す(図1)。

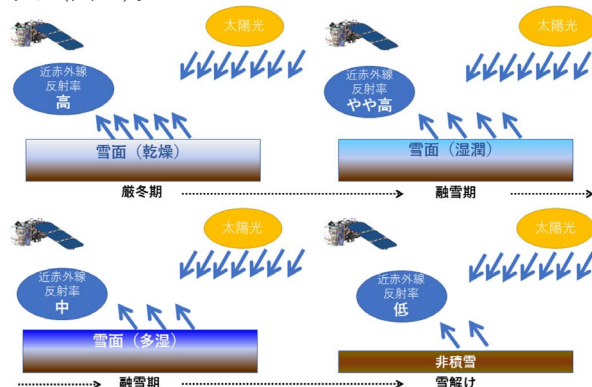


図1 光学衛星による雪面湿潤度の近赤外反射イメージ

2. 対象箇所および使用したデータ

(1) 解析対象地域：糸魚川市来海沢地区および周辺

本地区では、2021年3月4日に長さ約1km、幅約100mの地すべりが発生した。融雪に伴う地盤の緩みが原因と推察される。本地すべりでは、住宅や倉庫を含む13棟が被害を受け、23世帯37名に避難勧告が発令された。

(2) 使用データ

- ・ 4時期(表1)の Sentinel-2 光学衛星データ(可視、近赤外)
- ・ 基盤地図情報数値標高モデル(DEM 5m メッシュ)
- ・ 気象データ(気象庁アメダス「糸魚川」「能生」観測所)

表1 使用した衛星データ

	衛星	観測日	使用画像	解像度	価格
災害前	Sentinel-2A	2021年1月20日	・ 近赤外 ・ 可視	・ 10m	オープンソース
	Sentinel-2B	2021年2月14日	・ 近赤外 ・ 可視	・ 10m	オープンソース
	Sentinel-2A	2021年3月1日	・ 近赤外 ・ 可視	・ 10m	オープンソース
2021年3月4日 地すべり発生					
災害後	Sentinel-2B	2021年3月11日	・ 近赤外 ・ 可視	・ 10m	オープンソース

3. 雪面分光反射率に着目した画像解析

(1) 近赤外反射率画像

光学衛星画像は、センサが計測した太陽光の反射量に基づいて生成される。観測時の太陽高度を考慮し、大気上面の入射光量を算出後、雪面の分光反射率を補正する。この補正により、雪面の反射特性を時期ごとに比較可能な普遍パラメータとして扱うことができる。

各時期の近赤外画像から、画素単位で近赤外反射率を算出し、解析用画像を作成した。

(2) 雪面分光反射指標画像

各時期の近赤外反射率画像データを用いて融雪期の湿潤状態を解析するため、反射率を強調した雪面分光反射指標画像(図2)を生成した。また、地すべり発生前後の2月14日および3月1日の雪面分光反射指標画像を比較し、湿雪状態の変化を視覚化する比較分布画像(図3)を作成した。

(3) 時系列解析

比較分布画像(図3)の解析により、地すべり地点では谷筋を中心に指標値4(赤色)の湿潤状態が持続し、斜面上方向に向かって指標値5~7の高湿潤域が維持されていることが確認された。

地すべり領域の雪面における近赤外反射率の推移を図4に示す。厳冬期(1月20日)における平均反射率は96.3%であり、比較期間(2月14日~3月1日)にかけて73.8%から68.4%へ約5ポイント低下した。湿潤化の進行に伴い、3月4日に地すべりが発生した。特に、反射率が70%を下回る時点で、地すべりリスクが顕在化した可能性が高い。さらに、当時最大積雪深を記録した1月10日を起点とした積算暖度は、2月14日時点で83.3°C・day、3月1日時点で139.3°C・day、3月4日には149.2°C・dayへ急上昇している。期間中の降水量は約170mm、平均日照時間は4.4時間であり、期間中の15日のうち6日は日照時間が7時間以上であった。これらの気象条件が相互に作用し、地盤の不安定化を促進し、地すべり発生の要因となった可能性がある。

雪面分光 反射指標	近赤外線 反射率 (%)
1	80-100
2	70-80
3	65-70
4	60-65
5	55-60
6	50-55
7	40-50
非積雪	0-40

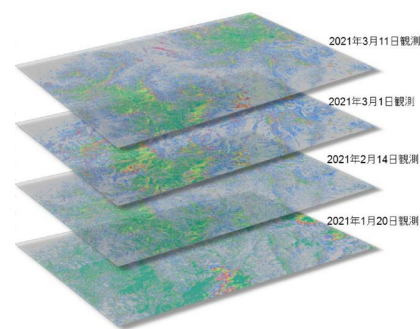


図2 雪面分光反射指標画像

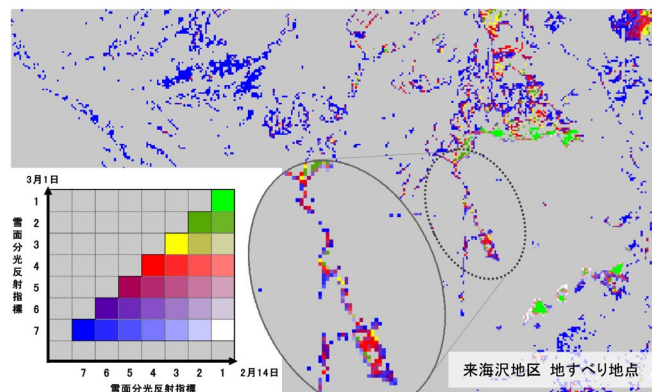


図3 雪面分光反射指標画像の2時期比較

分類した(表2)。

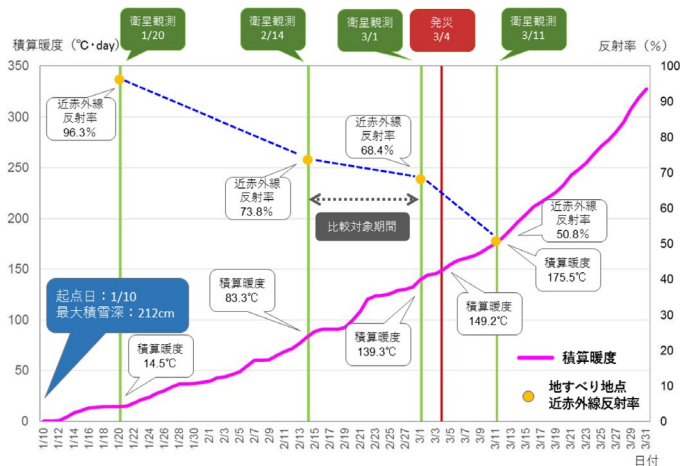


図4 地すべり地点の雪面の近赤外反射率の推移

4. 対象地すべり地点との湿雪類似度分析

(1) 積雪状態と地形情報を考慮したプロットの設定

地すべり地点の雪面湿潤状態との類似性を把握するため、積雪状態と地形情報を考慮し、15 地点の雪面プロットを選定した(図5)。選定にあたっては、衛星画像から地すべり地点と類似する微地形を抽出し、検証のために平地および山岳地の雪面も含めた。また、「新潟県土砂災害警戒情報システム」の土砂災害危険箇所を参照し、適切にプロットを設定した。

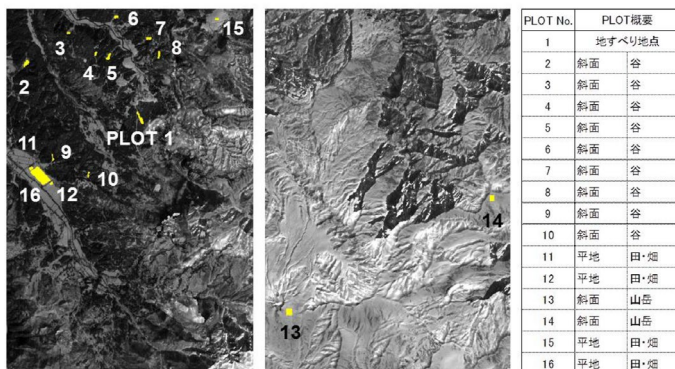


図5 雪面プロットの設定

設定した各プロットにおける時期別の反射率平均値に着目し、それらを並列表示したグラフを図6に示す。この図から、厳冬期(1月20日)から融雪期の発災直前(3月1日)までの反射率は低下傾向を示している。

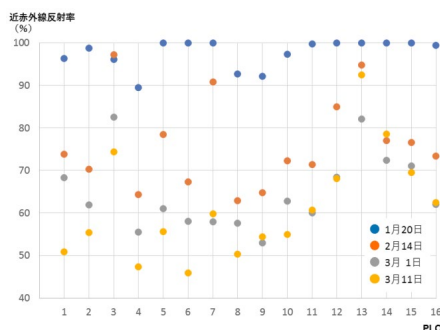


図6 雪面プロットにおける時期別統計値

(2) 類似度分析

発災した地すべり地点と類似する雪質領域を特定するため、15箇所のプロットを対象に類似度分析を実施した。近赤外反射率の時系列データを基に、ユークリッド距離を指標とした類似度評価を行い、ランク別に

PLOT	PLOT概要	類似ランク	4時期の近赤外線反射率 ユークリッド統計距離	斜度ランク	平均斜度	近赤外線類似 ユークリッド統計距離	4時期の近赤外線反射率 ユークリッド統計距離
1	地すべり地点	-	0	2	22.3	1	0~0.5σ
10	斜面 谷	1	717	2	23.4	2	0.5σ~1σ
2	斜面 谷		897	3	12.2	3	1σ~1.5σ
5	斜面 谷		1055	2	21.8	4	1.5σ~2σ
11	平地 田・畑		1350	4	0.2	5	2σ~2.5σ
16	平地 田・畑	2	1363	4	2.4	6	2.5σ~
6	斜面 谷		1363	2	24.3		
8	斜面 谷		1572	3	18.2		
4	斜面 谷		1768	2	26.9		
9	斜面 谷	3	1864	4	9.0		
15	平地 田・畑		1943	4	3.4		
12	平地 田・畑		2084	4	0.6		
7	斜面 谷		2221	2	28.6		
14	斜面 山岳	4	2844	-	情報なし	1	30度~
3	斜面 谷	5	3615	3	18.6	2	20度~30度
13	斜面 山岳	6	4874	1	30.7	3	10度~20度
						4	0~20度

5. まとめ

本研究では、土砂災害監視の高度化を目的に、Sentinel-2 の近赤外反射率を用いて雪面状態の定量評価を行った。糸魚川市の地すべり発生地点および周辺地域における時系列解析の結果、融雪期には反射率が一貫して低下し、雪面の湿潤化と対応する傾向が確認された。この変化は、水分を含む物質に特有の分光特性と一致し、近赤外反射率により雪面の含水量変化を把握可能であることを示している。

さらに、地すべり発生地点の近赤外反射率の時系列変動を教師データとし、類似の変動を示す周辺領域を抽出した。地形・地質が類似する箇所では、湿潤化に伴う地すべりリスクの増加が確認された。以上より、本手法は近赤外反射率の時系列解析に基づく高リスク領域の抽出に有効であることが確認された。

今後は、SAR データや地上観測との統合、機械学習による異常検知の導入により、監視精度と早期警戒体制の向上を図る。

参照サイト

- 1) 宇宙航空研究開発機構(JAXA)：陸域観測技術衛星 2号(ALOS-2), <https://www.jaxa.jp/projects/sat/alos2/>
- 2) European Space Agency(ESA)：ESA official website, <https://www.esa.int/>
- 3) 気象庁：気象庁ホームページ, <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 4) 国土地理院：基盤地図情報サイト, <https://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>
- 5) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部：新潟県糸魚川地域振興局地域整備部ウェブサイト, <https://www.pref.niigata.lg.jp/site/itoigawa-seibi/>
- 6) 新潟県治山課：糸魚川市来海沢地区の地すべり災害について, <https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/chisan/chisanka-kurumisawa-jisuberi.html>
- 7) 新潟県：土砂災害警戒情報システム, http://doboku-bousai.pref.niigata.jp/sabou/index_top.html