

光学センサによる令和6年能登半島地震の復興過程の評価

日大生産工(院) ○黒田 伊万利 日大生産工 朝香 智仁
日大生産工 野中 崇志 日大生産工 杉村 俊郎

1. はじめに

発災時における被災地域を対象とした復旧・復興状況の継続的な把握は、都市インフラの機能回復および新たに更新された都市機能を評価する上で重要である。市町村における災害復旧事業の円滑な実施のためのガイドライン¹⁾では、地方公共団体自らが管理するインフラの復旧に主体的に取り組むことが求められている。復興状況の把握には、周期性と広域性に優れた衛星リモートセンシングが有用であり、地物を判読できることから復興状況の把握には光学センサが有効である²⁾。

本研究では2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震で被災し、市街地の広範囲が焼失した輪島市朝市通り周辺について、公費解体が完了した範囲の定量評価による抽出を試みた。朝市通りの火災跡地では2024年6月より公費解体が行われ、2025年4月に焼失範囲一帯の瓦礫の撤去が完了している³⁾。被災前後とその後の復興過程における地物の状態を判断する正規化指標を作成し、未抽出範囲を補完するために、別途閾値を設けて追加の範囲抽出を行った。被災地の復旧・復興状況の継続的かつ定量的な把握を目的とし、Sentinel-2およびLandsat-8/9の衛星画像に作成した正規化指標を適用、公費解体の完了した場所を抽出する手法を検討し、その有用性を評価した。

2. 研究手法

Sentinel-2は、ESA(欧州宇宙機関)が運用する地球観測衛星で、13の観測波長帯を持つ光学センサが搭載されている。Landsatは、NASA(アメリカ航空宇宙局)が運用する地球観測衛星で、8号には9の観測波長帯、9号には11の観測波長帯を持つ光学センサが搭載されている。本研究で使用したSentinel-2およびLandsat-8の観測日とバンドの諸元を表1と表2にそれぞれ示す。表1のLandsatについて、2025年のみ9号の画像を用いている。また、Landsatの9号は8号と性能がほぼ同等であるため、諸元は割愛する。2023年のデータを用いて宅地の範囲を絞り込み、

表1：使用衛星の観測日

	被災前	被災後 (公費解体前)	復興過程 (公費解体後)
	2023-04-10	2024-04-14	2025-04-21
Sentinel-2			
Landsat-8/9	2023-04-04	2024-04-13	2025-04-17

表2：使用衛星の観測バンドの諸元

	可視光域			近赤外波長域	短波長赤外域	
	Blue	Green	Red	NIR	SWIR-short	SWIR-middle
Sentinel-2	Band1	Band2	Band3	Band4	Band8	Band11
	波長域(nm) 461-525	542-577	650-680	774-892	1570-1658	2113-2292
Landsat-8	Band	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6
	波長域(nm) 450-515	525-600	630-680	845-885	1560-1660	2100-2300
		解像度(m)	30	30	30	30



図1：研究対象地

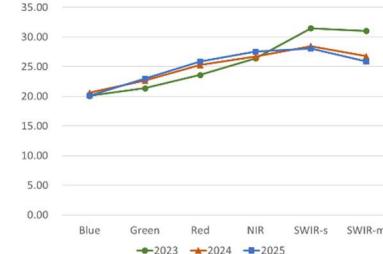


図2：未抽出地点における地表面反射率の平均値 (Sentinel-2)

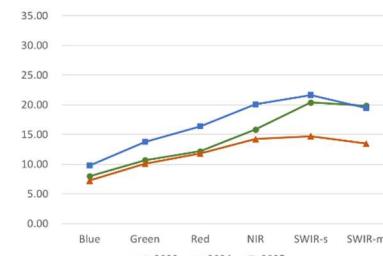


図3：未抽出地点における地表面反射率の平均値 (Landsat-8/9)

2024年のデータから被災により建物が倒壊しているかを判定、2025年のデータにて公費解体が完了した範囲を特定した。

Monitoring Post-Disaster Recovery of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Using Optical Satellite Remote Sensing

Imari KURODA, Tomohito ASAKA, Takashi NONAKA and Toshiro SUGIMURA

研究対象地は、図1に示す範囲である。(A)は国土交通省が公開している焼失推定範囲⁴⁾である。朝市通りの焼失推定範囲を正解データとし、地震による火災で焼失した朝市通り周辺の地表面反射率を Sentinel-2 および Landsat-8/9 から取得、分光反射特性を分析することで、焼失推定範囲を抽出する指標の開発を試みた。

3. 結果と考察

本研究では、焼失推定範囲内の分光反射特性を分析し、以下の正規化地物指標(NDLI)を(1)式から導出した。

$$NDLI = \frac{(SWIR_{middle} - SWIR_{short})}{(SWIR_{middle} + SWIR_{short})} \quad (1)$$

ここで、 $SWIR_{middle}$ および $SWIR_{short}$ は、衛星が観測したバンドの地表面反射率である。焼失推定範囲内の各波長帯のサンプリングした地表面反射率を解析したところ、建物が健全な2023年は $SWIR_{short} < SWIR_{middle}$ となり、建物が倒壊して瓦礫となっている2024年と更地にされた2025年は $SWIR_{short} > SWIR_{middle}$ となる結果が得られたため、この二つの波長帯で正規化を行い、作成した指標であるNDLIについて、被災前は正を被災後は負を示すという条件で抽出を行った。この特性を利用して、被災後に公費解体の完了した場所を抽出することができる。また、再現率を100%に近づけるために追加の範囲抽出を行い、焼失推定範囲内でNDLIによる抽出ができなかった地点の分光反射特性(図2および図3)を分析し、別途閾値を設定することとした。2024年のデータは、焼失跡の地表面反射率がどのバンドも隣り合うバンドとの差が5%以下であることから、(2)式を導入し、 $5\% > \Delta\rho$ となる場所を追加で抽出することとした。

$$\Delta\rho = |\rho_i - \rho_{i+1}| \quad (2)$$

ここで、 ρ_i : i バンドの地表面反射率、 ρ_{i+1} : $i+1$ バンドの地表面反射率である。

NDLIによる範囲抽出とNDLIに $5\% > \Delta\rho$ 抽出を加えた範囲(NDLI+cover)について、NDLIの精度検証と、 $\Delta\rho$ 補完による再現率の上昇幅、水域排除による過剰抽出面積の減少幅を確認するために、Sentinel-2 および Landsat-8/9 の正解データの再現率と、研究対象地に占める過剰抽出面積をそれぞれ表3と表4に示す。NDLIのみで抽出を行った結果、再現率は両衛星共に80%を超えており、過剰抽出範囲は主に家屋で、河川や道路面の

表3 : Sentinel-2の再現率と過剰抽出面積

	再現率	過剰抽出面積
NDLI	89.52 %	0.29 km ²
NDLI+cover	99.33 %	0.80 km ²
水域排除済 NDLI	87.77 %	0.28 km ²
水域排除済 NDLI+cover	97.56 %	0.75 km ²

表4 : Landsat-8/9の再現率と過剰抽出面積

	再現率	過剰抽出面積
NDLI	80.12 %	0.26 km ²
NDLI+cover	100.00 %	0.93 km ²
水域排除済 NDLI	80.08 %	0.25 km ²
水域排除済 NDLI+cover	99.95 %	0.90 km ²

抽出も一部見受けられた。NDLIに $\Delta\rho$ 補完を行った結果、再現率は両衛星共に99%を超えているが、過剰抽出範囲が大幅に増加した。主に駐車場や幅の広い道路といったアスファルト面や、河川等の水域の過剰抽出が目立つた。上記の抽出から水域を排除した範囲は、再現率をほぼ同等に保ったまま過剰抽出範囲を縮小させることができた。

4. おわりに

本研究では、NDLIによる公費解体完了範囲の抽出ができた一方で、過剰抽出が目立つ結果となった。また、再現率を100%に近づけるために行なった $\Delta\rho$ 補完では過剰抽出が大幅に増えた。焼失推定範囲内の未抽出箇所は、アスファルト面等の市街地の宅地ではない場所と分光反射特性が近似している、且つ、センサ性能の違いにより Sentinel-2 と Landsat-8/9 の分光反射特性が必ずしも一致しているわけではないことから、一律の閾値をもって未抽出箇所を補完するためには、他の指標も含め検討する必要がある。

今後も引き続き詳細な分光反射特性の解析を行い、閾値を検討することにより精度の高い抽出を目指す。

参考文献

- 1) 市町村における災害復旧事業の円滑な実施のためのガイドライン
https://www.mlit.go.jp/river/bousai/hukkyu/pdf/saigaihukkyu_guideline.pdf
- 2) JAXA Earth-graphy
<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2021/03/10/1719/>
- 3) 読売新聞オンライン
<https://www.yomiuri.co.jp/national/20250425-OYT1T50127/>
- 4) 令和6年(2024年)能登半島地震に関する情報
https://www.gsi.go.jp/BOUSAII/20240101_noto_earthquake.html