

5. 3D-GIS・AI・InSARを利活用した地盤防災監視DX管理システムの構築・試行

愛知工業大学 中村吉男・仲石健一郎・中島虹太
仲村友希・西田虎次郎・防村悠斗
UGS 宇津木慎司 秋田大学 吉永龍生

1. はじめに

急峻な地形・複雑な地質構造を呈する日本においては、近年、異常気象による大規模な土砂災害が散見されるようになった。これらの事象は、地質年代を考慮した時間軸で幾度となく発生していることではあるが、それが今、生活の営みのある場所で起こると災害になる。

土砂災害は、がけ崩れ・土石流・地すべりに区分されており、豊田市東部の山間部でも多く想定されている。このうち地すべりは、図-1¹⁾に示すように、ゆるい傾斜角のすべり面に沿って大きな土塊が一体となって崩れる事象であり、一旦発生すると被害規模が大きくなる。

2024年1月に発生した令和6年能登半島地震においては、図-2²⁾に示すような震源断層に近い北部の海岸沿いの道路沿いで地すべりが多く発生するとともに、図-3³⁾に示すような最大4mにもなる断層沿いの隆起が確認された。これらの事象については、種々の検討による予測や監視などが実施されているが、広範囲にわたる状況把握が困難であることが課題とされている。

これに対して、これらの被害状況の把握にInSARと呼ばれる人工衛星を利活用した高精度地盤変位計測が適用されており、図-4⁴⁾に示すような能登半島地震に伴う隆起変位分布図が発災翌日に観測された。本報告では、昨年度実施した、この独特な地すべりの形状を人工知能の画像認識技術によって特定するAI自動評価システムに加え、このInSAR技術による広範囲における高精度の地盤変位状況を併せて3D-GIS地形図に表示することにより、地すべりや断層の活動を見える化し見守る地盤防災監視DX管理システムについて述べる。

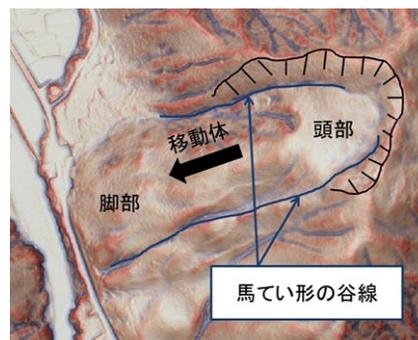


図-1 典型的な地すべり地形¹⁾



図-2 能登半島地震に伴う地すべり²⁾



図-3 能登半島地震に伴う地盤隆起³⁾

2. 地すべりと断層の活動評価に関する課題

2.1 地すべりの活動評価に関する課題

地すべり (land-slide) とは、特別な地質状態にある土地の一部が移動する現象であるが、図-1¹⁾に示すように、急峻なすべり面に沿って斜面が崩落するがけ崩れと区別して、ゆるい勾配のすべり面に沿って広範囲にわたり土地が動くものと定義されている。このため常時には、すべり面に摩擦力が大きく作用し軽微な動きに留まるが、地震発生時や豪雨・雪解けに伴う地下水位上昇時などにゆるく大きく移動すると

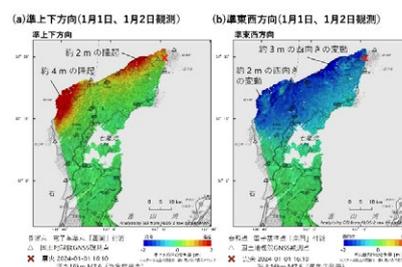


図-4 能登半島地震に伴う地盤変位⁴⁾

ともに、上部に急峻な滑落崖が形成される。また、一度移動した不安定な土塊が何度も小規模な地すべりを繰り返すこともあり、その代表的な地形が棚田である。

上述した地すべりの状況を考慮すると、地形図から地すべり地形を読み取る際に、図-5に示すような、等高線の特徴を読み取ることが重要となる。

- ①周りの地形に比べ、等高線が著しく乱れている。
- ②等高線の向きが斜面上部と下部で逆になっている。
- ③斜面上部から最急→最緩→緩→急と変わっている。
- ④急斜面と緩斜面との多段の地形をつくっている。

この地すべり地形の判定については、空中写真判読などにより専門技術者が地形判読評価を実施し、現地踏査結果などの確認作業を得て設定されてきたが、日本全体の評価に数か月以上かかるとともに、地域によっては十年以上前の評価が更新されていない事例も多く、地震や豪雨に伴う変状後の最新の状況を示すものではない。

また、このような地すべりが多く分布する日本において、個々の挙動を確認する仕組みの運用がインフラや住宅地近傍の一部などにとどまっており、地震や豪雨の前に活動状況や危険度を評価することはむずかしい。

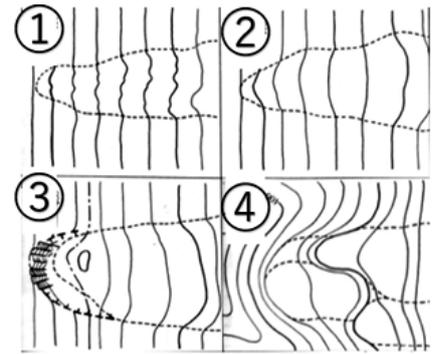


図-5 典型的な地すべり地形

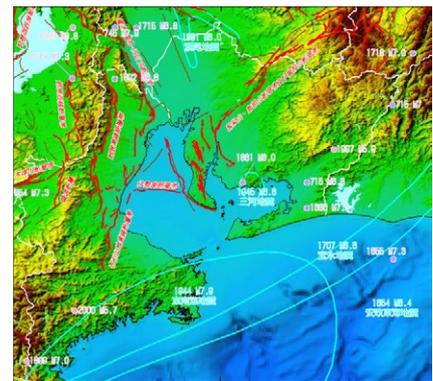


図-6 愛知県における活断層分布図⁵⁾

2.2 断層の活動評価に関する課題

地震が発生する活断層については、文献や地盤調査により位置や活動履歴が国の研究機関などにより整理されている(図-6⁵⁾)。しかしながら、直接詳細な確認が実施できない地中の事象であり、図-7⁶⁾に示すGPSを活用した地表面の変位状況から地中のプレートや断層の動きを捉える手法が適用されているものの、より高精度かつ詳細に状況を把握する仕組みの構築が望まれている。

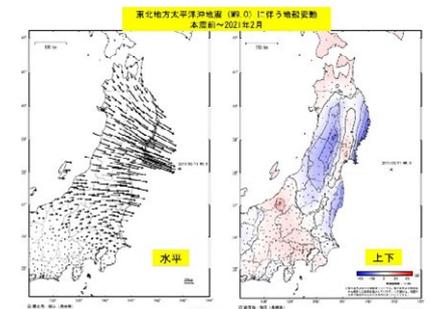


図-7 GPSによる地震活動調査⁶⁾

3. 地盤防災監視DX管理システムの概要および要素技術の詳細

3.1 地盤防災監視DX管理システムの概要

上述した地すべりや地震活動に関する状況把握の課題に対して、人工衛星から取得された最新の地形情報、地盤変位状況からDX技術を用いてリアルタイムに広範囲の様子を見える化し見守る仕組みを構築した。これにより、年に数回、地形の変化や具体的な地盤変位状況を確認することができ、平時における地すべり・断層活動を見守るとともに、豪雨や地震発生直後において即時に状況を確認することができる。ここで、構成要素技術の詳細について述べる。

(1) 地すべり地形AI自動評価システム

AIの画像認識技術は、図-9⁷⁾に示す顔認証システムなどに広く実

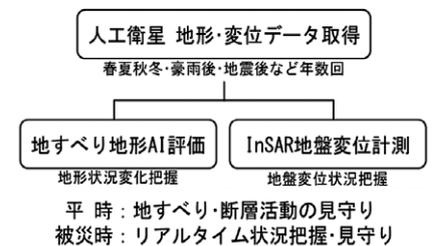


図-8 斜面防災監視DX管理システム

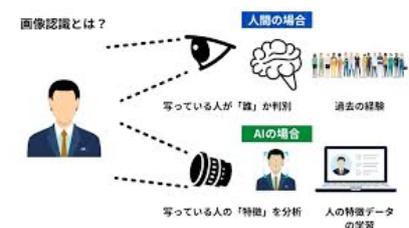


図-9 AI画像認識技術の一例⁷⁾

用化されている技術であり、画像の特徴をAIが学習し種々の自動評価を実施する仕組みである。昨年度、この技術を活用して、図-1、5に示した地すべり地形を学習したAIを用いて図-10に示す範囲の地形図を分析したところ、図-11に示すように、専門技術者が目視で認定した地すべり地形をAIも評価できることを確認した。現在、日々変化している地形情報が航空測量や人工衛星などによる様々な手法で取得されており、このAI分析が数時間～数日で専門技術者評価よりも安価かつ高精度に完了できることから、年に数回、定期的に最新の状況分析を実施するとともに、豪雨や地震後に広範の状況をリアルタイムに確認できる環境にある。

(2) 人工衛星InSAR計測技術

SARは、人工衛星や航空機などに搭載したアンテナから電波を地表に向けて照射し、地表からの反射波を捉えることで、地表の形状や性質についての画像情報を取得する手法である。SARの観測データには衛星と地表間の距離を知るための電波の位相情報が含まれているが、InSARは図-12⁸⁾に示すように、同じ地域を2回観測しそれらの受信データを干渉させて位相差を算出することで、この期間に生じた地表の動きを衛星-地表間の距離の変化として捉える。

本研究で使用したSentinel-1は、欧州連合 (EU) とヨーロッパ宇宙機関 (ESA) の地球観測プログラム「コペルニクス計画」による地球観測衛星であり、2014年から現在まで運用され、周波数帯は、6GHz帯のセンチメートル波(SHF)であるCバンドを利用している。Cバンドは、地表面形状、陸域画像取得、海面画像取得、海上風、海面の流速、波高、海水の分布・タイプの観測が可能である。

4. 地盤防災監視DX管理システムの試行結果

4.1 地すべり活動DX評価結果

今回のシステム試行においては、図-10に示した、昨年度実施した地すべりAI検討箇所と同じ範囲でInSAR解析を実施した。その結果得られた地盤変位計測結果を3D表示するとともに、地すべり地形や断層の分布状況と変位状況とを比較することにより、現状、危険度の高い斜面の特定、断層活動の有無などの評価を行った。

ここで図-13に、図-10で示した範囲におけるInSAR地盤変位計測結果を示す。これを見ると、赤斜線より西側に分布する花崗岩地帯においては緑色主体の沈降、東側の地すべりの多い堆積岩・変成岩分布地域においては赤色主体の隆起が確認できた。いずれも年間数cm程度の変位であり、既往研究の地すべり変位実績とも一致している。

ここで着目したのは、図-13の赤丸で示した、古い地形図で専門技術者が評価した国の地すべり地形指定がない場所で変位量が大きな箇

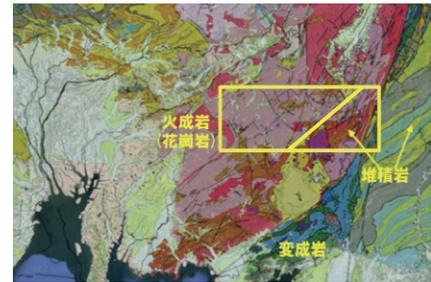


図-10 地すべりAI検討範囲

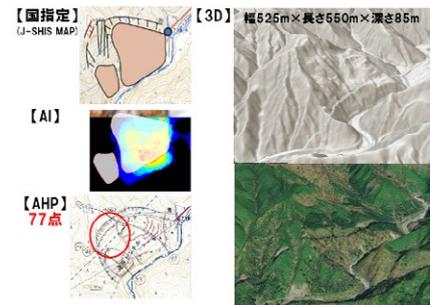


図-11 地すべりAI判定結果

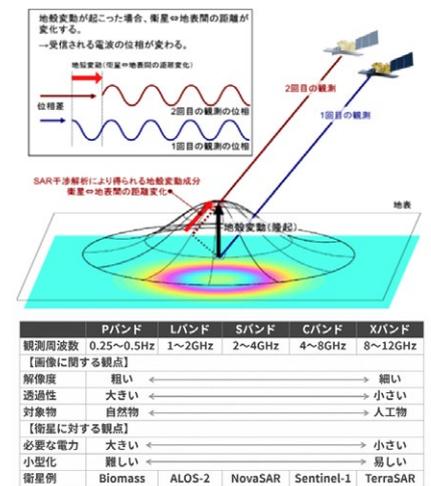


図-12 InSARの概要⁸⁾

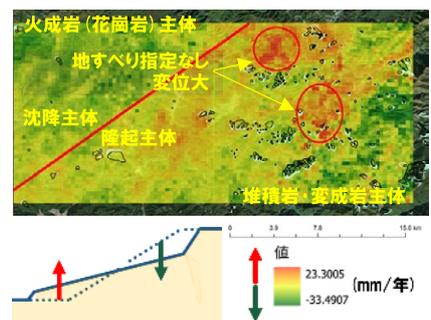


図-13 InSAR地盤変位分布図

所である。この地点でInSAR変位結果と地すべりAIの結果を3D表示した図-14を参照すると、変位の大きな暖色系の箇所がAIが地すべり地形判定している箇所が認められた。これは、図-5①②に示した地すべり活動過程における初期段階の箇所、AIが軽微な地形変化を認識し、InSAR地盤変位計測でやや大きく変動している状況を特定できた可能性がある。

4.2 断層活動DX評価結果

図-14は豊田市内で確認されている断層沿いにおけるInSAR地盤変位計測結果を示したものである。これを見ると、黒斜線で示した断層の南側で暖色系の隆起、北側で寒色系の沈降が確認できており、年間数cm程度の断層活動を捉えられている可能性がある。

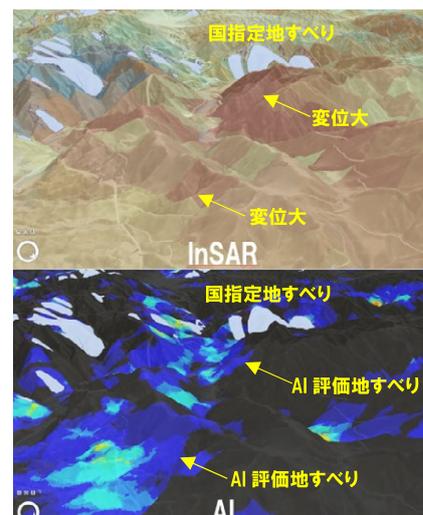


図-14 3D評価図の一例

5. おわりに

本研究では、愛知県東部周辺で実施したAIによる地すべり地形判読結果および人工衛星を活用したInSAR地盤変位計測結果を用いて、地すべりや断層の活動をリアルタイムに確認する、地盤防災監視DX管理システムの試行結果を示した。今後、このような検討事例を増やしていくとともに、現在、100mメッシュで実施しているInSAR地盤変位評価をより高精細にするなどして、即時性のあるより高度な評価システムを検討していく所存である。

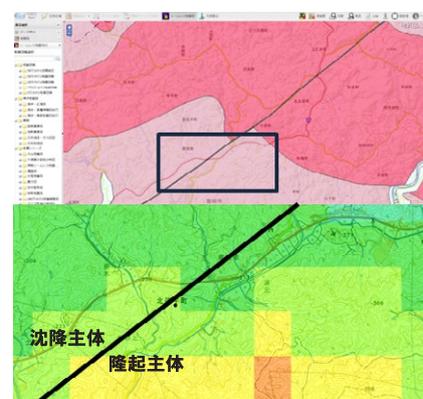


図-15 断層沿いInSAR地盤変位分布図

参考文献

- 1) 岐阜県森林研究所：崩壊危険地がわかりやすい地図を道づくりに活用する（その3）～CS立体図から見えてくる崩壊危険地～
<https://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/rd/shigen/mori180501.html>
- 2) 東京新聞：日本海側の活断層は今後「迅速に公表」 <https://www.tokyo-np.co.jp/article/310452>
- 3) 産総研：第四報 2024年能登半島地震の緊急調査報告(海岸の隆起調査)
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/ното2024/ното2024-04.html>
- 4) 国土地理院：「だいち2号」観測データの解析による令和6年能登半島地震に伴う地殻変動
https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101noto_insar.html
- 5) 地震本部：愛知県の地震活動の特徴 https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_chubu/p23_aichi/
- 6) 国土地理院：GPS連続観測から得られた地殻変動
<https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>
- 7) AIsmily：画像認識とは https://aismily.co.jp/ai_news/what-is-image-recognition/
- 8) 国土地理院：干渉SAR https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/gsi_sar.html