

斜面災害の発生源を空から探る

長谷川 淳
防災技術研究部
(地質 副主任研究員)

太田 岳洋
同
(同 研究室長)



はせがわ あつし



おおた たけひろ

はじめに

山あいを縫うように走る列車。その車窓から見える美しい山々や清流は、私達の目を楽しませてくれます。日本各地には山間部を走る風光明媚な路線がいくつもあり、昨今の鉄道ブームも手伝ってか、多くの乗客で賑わっています。春の新緑や秋の紅葉など、四季折々の穏やかで美しい表情を見せる山々も、大雨や大地震等があると状況は一変します。斜面では崩壊(土砂崩れ)、地すべり、落石等が発生し、私達の生活に大きな影響をおよぼすことがあります(図1)。

鉄道では、運転規制のほか、日々の点検や防災対策工事を行い、列車の安全・安定輸送の確保に努めています。しかし、沿線に無数に存在する自然の斜面を等しく点検し、どの斜面で災害が発生する危険性があるのかを調査することは、多大な時間と労力がかかる大変な作業です。広範囲を一度に調査し、危険な斜面を絞り込むことができれば…そんな時に役立つのが、「リモートセンシング」という技術です。



図1 山腹斜面の崩壊

リモートセンシング

リモートセンシングとは、非接触で(リモート)、検知する(センシング)技術を指します。地上の物質は、太陽光などの電磁波を受けるとその一部を吸収し、残りを反射または熱として放射します。この吸収、反射、放射される電磁波の波長や強度は物質によって異なるため、これらを調べることで物質に関する情報を得ることができます。電磁波は、波長の短い方からガンマ線、X線、紫外線、可視光線、赤外線、電波(マイクロ波とラジオ波)に区分されます。このうちリモートセンシングでは、紫外線の一部、可視光線、赤外線の一部、マイクロ波の一部を利用します。これらの電磁波を観測するためのセンサは、ヘリコプター、航空機、人工衛星等に搭載され、様々な高度から地表を観測します。

本稿では、レーザーにより地表を測量して得られた数値標高モデルと、近赤外線および可視光線を観測して得られた衛星画像の2種類のデータを用いて、斜面災害の発生源を探る手法について紹介します。

落石の発生源を探る

落石はどのようなところで発生するのでしょうか。落石は、その発生形態によって大きくふたつのタイプに区分されます。ひとつは、地表面に露出した岩盤から岩塊が剥がれ落ちるタイプで、もうひとつは、斜面上に停止していた岩塊が転がり落ちるタイプです。前者を剥落型落石、後者を転落型落石と呼びます。いずれのタイプも、落石の発生源は「地表面から岩石が突出しているところ」と言い換えることができます。この周囲よりも突出している箇所を探すために有効であると考えられるのが、数値標高モデル(Digital Elevation Model: DEM)です。DEMは格子状に標高値が配列されたデータであり、任意の一点について周囲の点との関係(例えば、周囲の点より標高が高いか低いかなど)を計算することができるので、周囲よりも突出し

ている箇所を探すのに適していると考えられます。ここでは、標高値が5m間隔で並んでいる細密なDEMを用いて検討した例を示します。

まず、現地である範囲を調査し、その斜面を剥落型落石の発生源となり得る岩盤が露出している箇所（露岩）、転落型落石の発生源となり得る転石が多数堆積している場所（岩屑斜面）、露岩や転石がほとんど見られない場所（非発生源）に区分しました。この区分と、DEMを統計的に解析して得られた斜面の傾斜や起伏を表す指標とを比較すると、露岩は傾斜が急で起伏も大きい場所であり、岩屑斜面や非発生源とは明瞭に区別されることが分かりました（図2）。この結果をもとに広い範囲についてDEMを解析し、露岩が分布する箇所の抽出を試みました（図3）。その結果、

幅および高さが数m～数十mの露岩をほぼ抽出できることが確認されました。

植生と災害の関係

では、DEMで崩壊や土石流が発生する危険性のある場所を抽出することはできるのでしょうか。図4に、地形の起伏を表す表面積比と、崩壊、溪床堆積物の増加（崩壊が多発する流域では谷底に堆積した土砂：溪床堆積物も増加すると考えられます）の関係を示します。これを見ると、表面積比の大きい流域A、Dでは崩壊箇所が多く、溪床堆積物も多いことから、起伏の大きい流域では崩壊や土石流が起こりやすいと言えます。一方流域Bでは、起伏が小さいにもかかわらず崩壊が多発し、溪床堆積物の増加が

認められます。このことから、DEMから得られる地形条件だけで崩壊や土石流が発生する危険性のある流域を抽出するのは難しいことが分かります。これは、斜面の安定性に地形（斜面の形状）以外の要素が関わっているためであると考えられます。その要素のひとつとして考えられるのが植生です。

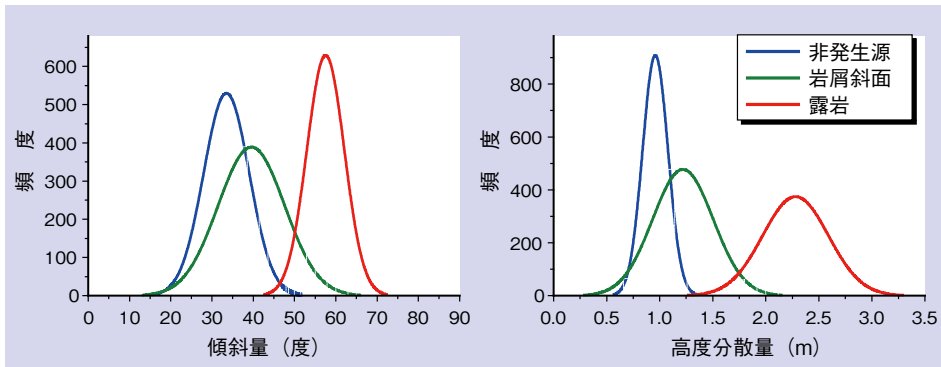


図2 斜面区分ごとの頻度分布

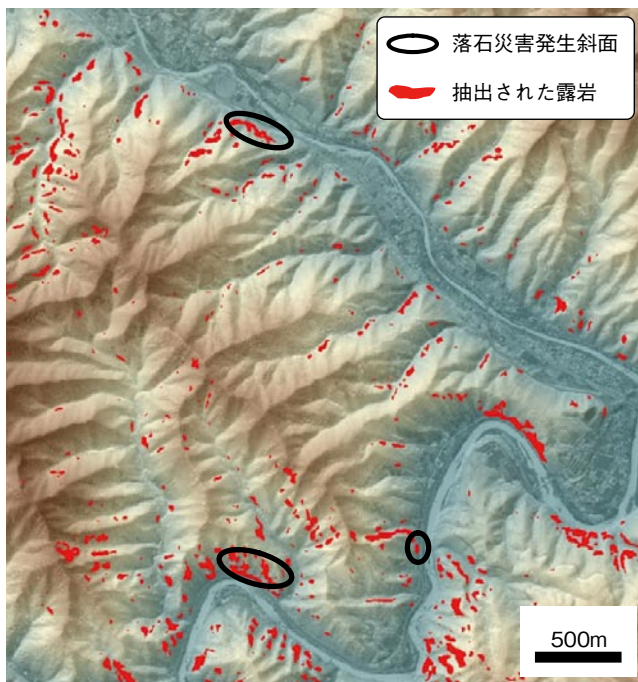


図3 露岩抽出結果

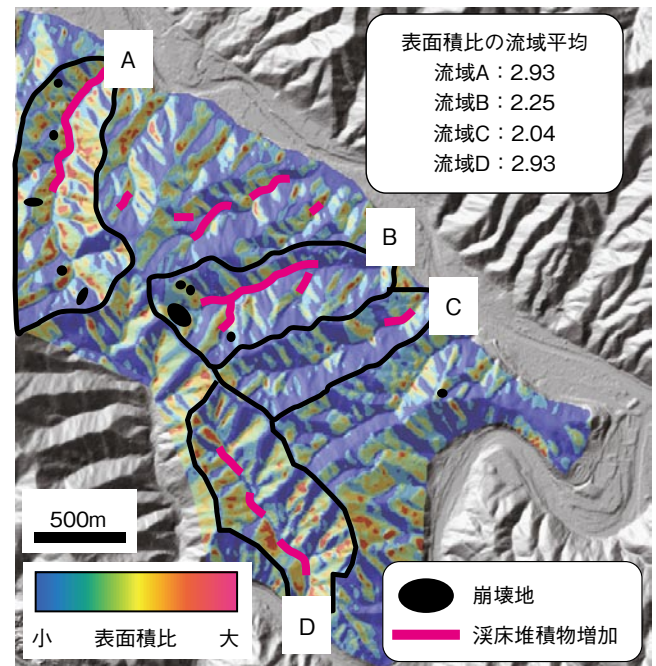


図4 流域の表面積比と災害に関する地形の分布

一般に、植生は斜面の浸食に対する抵抗力や、斜面の保水力に関係するため、斜面の安定性にも影響をおよぼすと考えられます。そこで、植生の変化と崩壊箇所数の変化の関係を検討すると、流域によっては植生の分布率の変化と崩壊箇所数の増減が明瞭に対応することが分かりました

(図5)。つまり、植生を定量的に評価し、DEMから得られる地形条件と組み合わせることで、崩壊や土石流が発生しやすい不安定な斜面や渓流を抽出できる可能性があります。では、植生の状態や変化はリモートセンシングではどのように観測できるのでしょうか。

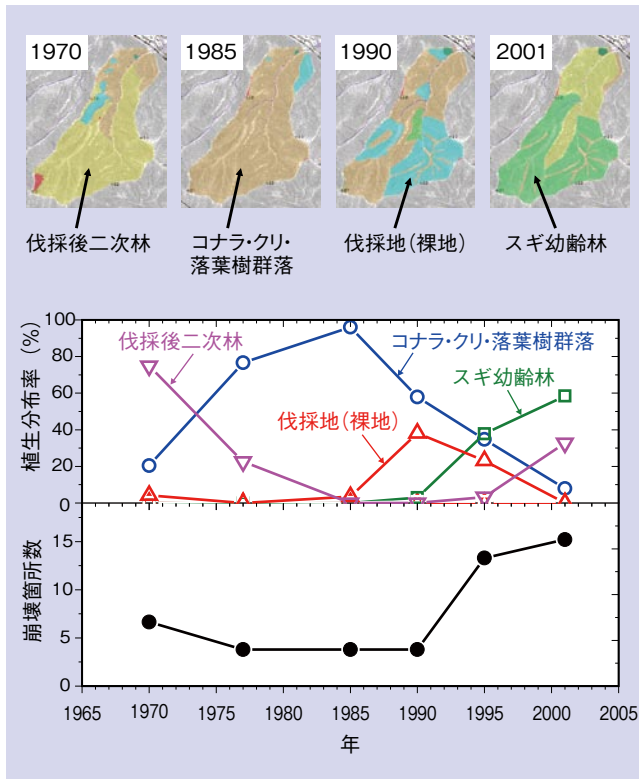


図5 植生分布率の変化と崩壊箇所数との関係

宇宙から森を見る

植生の状態や変化を観測するのに適しているもののひとつとして、衛星画像が挙げられます。これは人工衛星に搭載されたセンサで地上を撮影した画像のことです。近年では地表にある数十cm～1m程度の物体まで判別できるほどの高分解能な画像も取得できるようになりました。また様々な波長帯の電磁波を観測できるため、農業、林業、漁業、資源、都市環境、防災など多くの分野で利用されています。

本検討で使用した衛星画像は、アメリカのIKONOSという衛星によって撮影された画像です。これは近赤外線の波長帯と、可視光線のうち赤、緑、青の3つの波長帯を観測し画像化したもので、地上にある数m程度の大きさの物体を判別することが可能なくらい、高い分解能を有するという特徴があります。観測された各波長帯の画像を合成することで、人の見た目に近い画像(トゥルーカラー画像)や、植生が赤く表示される画像(フォールスカラー画像)を作成し、これらを用いて地表の詳細な部分を観察することができます(図6)。

衛星画像から植生の繁茂状況を知るための指標として、式(1)で表される正規化植生指数(Normalized Difference



図6 IKONOS衛星画像(左:トゥルーカラー画像, 右:フォールスカラー画像)
(c) 日本スペースイメージング株式会社

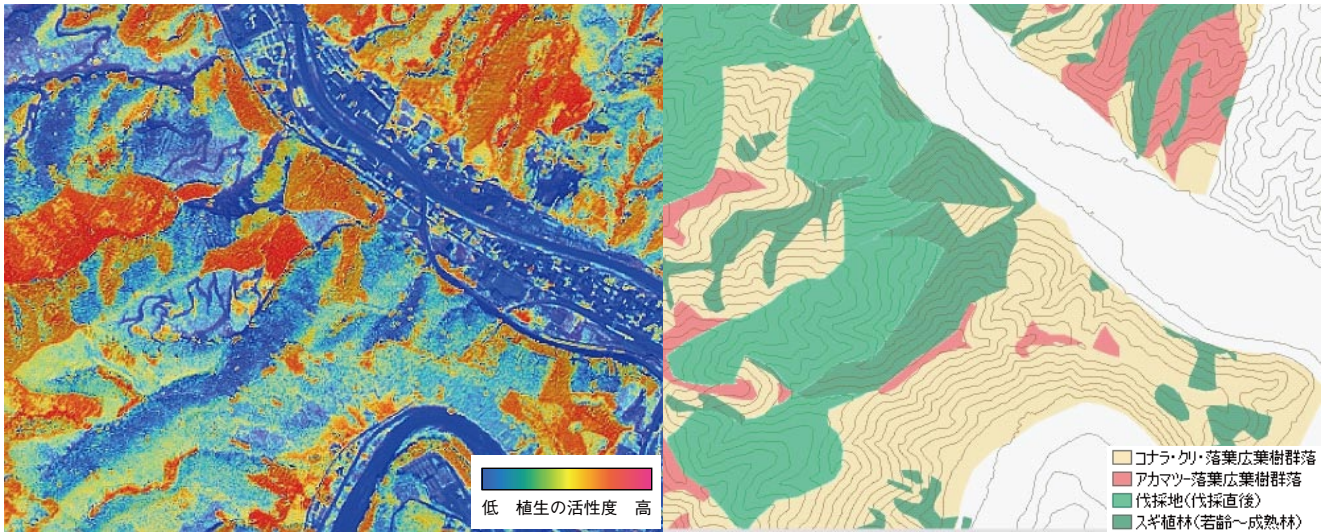


図7 NDVI画像(左)と実際の植生分布(右)

Vegetation Index : NDVI) がよく利用されます。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots\dots\dots (1)$$

NIR : 近赤外線の波長帯域の反射強度

RED : 赤色の波長帯域の反射強度

これは植生が近赤外の波長帯域を反射し、赤の波長帯域を吸収する特性を利用したもので、この値が大きいほど植生の活性度が高い(よく繁茂している)ことを示します。図7にNDVI画像と実際の植生の分布図を示します。二つの図を比べると、NDVI画像は概ね植生の状況を表していることがわかります。このように、衛星画像は植生の状態や変化を知るために有効であると言えます。

崩壊や土石流の発生源を探る

地形の状態をDEMから、植生の状況を衛星画像から観測することができました。この二つの結果を組み合わせると、地形の起伏が大きく、植生があまり活発でない箇所や流域で、崩壊の発生、溪床堆積物の増加が顕著であることが明らかとなりました(図8)。つまり、この結果により災害が発生する危険性の高い、不安定な斜面や流域を抽出できたこととなります。このように複数のリモートセンシングデータを組み合わせることで、斜面災害の発生する危険性がある箇所や流域をある程度絞り込むことが可能です。

おわりに

災害を未然に防ぐためには、あらかじめ災害が発生する

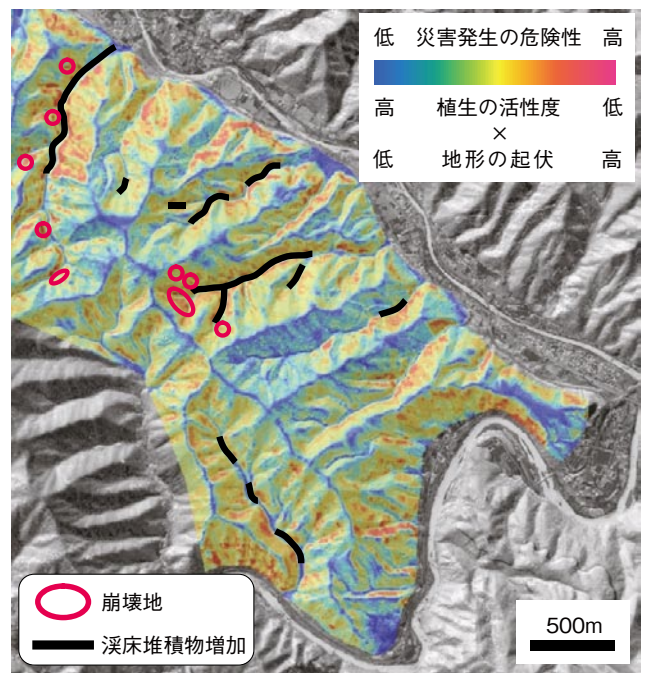


図8 地形と植生の状態の組み合わせと崩壊地などの分布

危険性のある箇所を特定し、適切な対策を行うことが重要です。本稿で紹介した技術は災害の発生が懸念される斜面や溪流を特定する際に有効な手法です。今後抽出精度の向上やシミュレーションとの融合を図り、最終的にはハザードマップとして利用可能なツールにしていきたいと考えています。[RRR]