

### 第92回

# 鉄道の斜面防災における リモートセンシング技術の利用

## はじめに

毎年のように発生する豪雨や台風、地震によって、斜面崩壊、落石、土石流などが発生し、これにより鉄道もしばしば被災しています。このような斜面災害を防止するためには、斜面崩壊などが発生する可能性が高い場所がどこにあるのかを調査し、必要に応じて対策を行うことが重要です。しかし、

鉄道沿線には多数の自然斜面や溪流が隣接しており、用地外を含む広範囲をすべて調査・点検することは容易ではありません。このため、自然斜面や溪流の調査は、まず全体の概略調査により災害の要因を抽出して詳細調査が必要な範囲を絞り込み、現地踏査などを実施します。このうち、全体の概略調査を行う際に有効な手法がリモートセンシングです。ここでは、鉄道の斜面

防災におけるリモートセンシング技術の利用について紹介します。

## リモートセンシング

リモートセンシングとは、その名のとおり対象物に直接接触することなく (remote), 対象物の情報を取得する (sensing) 技術を指します。地上の物体は、太陽光などの電磁波を受けると、その一部を吸収・反射・放射しますが、その特性は物体によって異なります。リモートセンシングではこの性質を利用し、物体から反射・放射される電磁波を観測します。その際、電磁波を感知する装置を「センサー (たとえばデジタルカメラなど)」, センサーを搭載するものを「プラットフォーム (たとえば人工衛星や航空機など)」とよびます (図1)。センサーによって観測できる電磁波が異なり、またプラットフォームによって搭載できるセンサーや、一度に観測できる範囲が変わるため、取得したい情報にあったプラットフォームとセンサーを選択する必要があります。

リモートセンシングにより得られる情報のうち代表的なものとしては、空中写真、衛星画像、数値標高モデルなどがあります。このうち空中写真は、鉄道においても古くから用いられています。

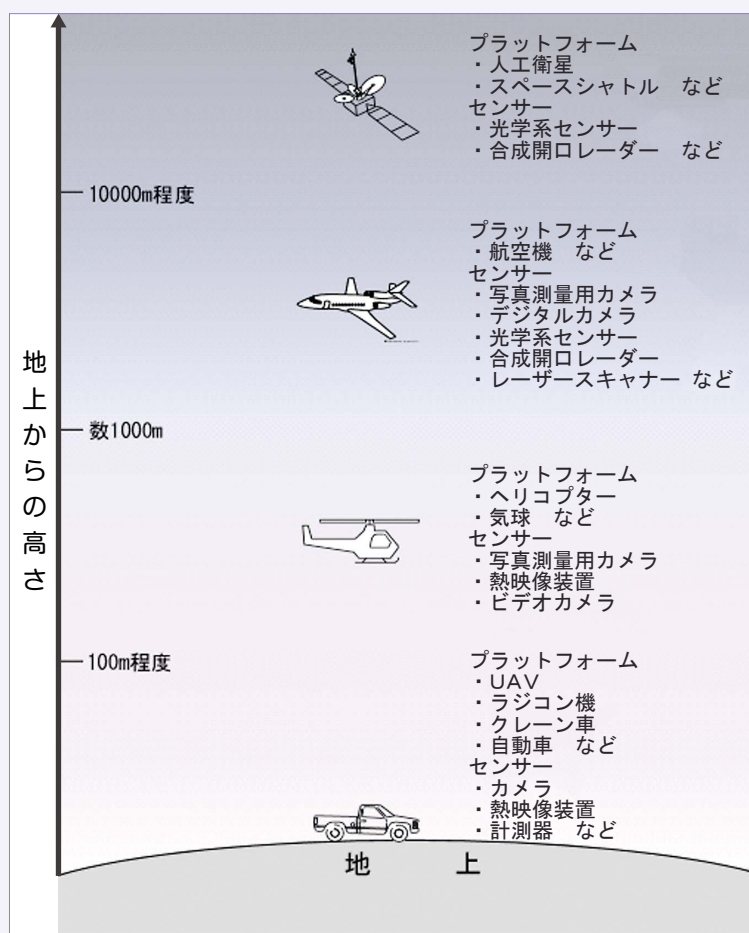


図1 リモートセンシングのプラットフォーム文献<sup>1)</sup>に加筆



図2 実体視鏡を使用した空中写真判読

## 空中写真判読

空中写真とは上空から地表面を撮影した写真のことで、撮影時期などによってモノクロやカラーの写真があり、撮影範囲や撮影縮尺も異なります。空中写真は、通常、同じ飛行コースの隣り合う2枚の写真が約60%オーバーラップ（隣り合う写真の重複度が約60%）するように撮影されます。この隣り合う写真を用いることで、地表面の形状を立体的に見ることができるようになります。これを空中写真の実体視（または立体視）といいます（図2）。空中写真を実体視すると地形の高さが強調されるため（過高感）、地形のわずかな凹凸も見分けやすくなります。この、空中写真を用いてさまざまな地形や植生を読み取る技術を「空中写真判読」とよびます。

## 斜面防災への応用

鉄道において空中写真判読が斜面防災に応用された経緯は櫻井<sup>2)</sup>によってまとめられています。

まだ日本国有鉄道（旧国鉄）だった時代の昭和52年に、当時の航空写真判読法の研究委員会において、鉄道防災のための空中写真の利用が検討さ

れ、その有用性が認められました。その翌年には災害予測のための航空写真利用手法の研究委員会が組織され、判読結果を図示した「環境マップ」の作成が検討されましたが、用いた図面の縮尺が1/10,000で防災に使用するには大縮尺であったため、十分な成果は得られなかったようです。これと同時期の昭和53～55年度には、鉄道土木構造物の耐震強化研究委員会において、沿線斜面の耐震強化のための要注意斜面の抽出に空中写真判読が利用され、その判読結果を1/2,500線路図に記入した図面は「地震災害地形地質図」と称されました。

そして、それまでの経緯をふまえ、昭和58～59年度にかけて、旧国鉄の本社技術課題「鉄道線路の広域災害防止に関する研究」の一環として、「斜面管理基図」の作成マニュアルとその利用法が検討され、昭和58年度に旧国鉄施設局土木課により「空中写真判読基準カード・斜面管理基図マニュアル」が作成されました。

## 空中写真判読基準カード・斜面管理基図マニュアル

空中写真判読基準カード・斜面管理

表1 空中写真判読基準カードに記載されている判読項目<sup>3)</sup>

分類	判読項目	
一般地形地質	段丘	段丘面 段丘崖
	侵食地形 扇状地 尾根 遷急線 遷緩線 リニアメント 活断層	
人工地形	切取のり面 盛土のり面 人口造成地	
崩壊斜面地形	崩壊地 崩積地 旧崩壊地	
落石斜面地形	露岩地 急崖	
地すべり地形	地すべり地	
侵食地形	谷頭 スプーン ガリー 攻撃斜面	(浅い碗状の谷) <small>わん</small>
堆積地形	荒廃溪床 溪床堆積地 崖錐 土石流堆積地（土石流堆）	

基図マニュアルは、鉄道沿線の斜面における防災管理に空中写真を有効に活用することを目的として作成されました。このうち、空中写真判読基準カードとは、鉄道沿線に影響をおよぼす多様な地形・地質およびその他のもののうち空中写真判読により把握できるものの（表1）について、空中写真の実体視による判読図、判読のための要領、着眼点および表記方法の基準を示したものです。また、斜面管理基図マニュアルとは、空中写真判読基準カードにより示された判読基準に基づいて、斜面管理基図の1例を示しながらその作成要領を記述したものです。斜面管理基図は、1/2,500地形図などに、空中写真から判読した斜面の各種災害発生要因を図示し、その他斜面分類、分類された斜面の諸元、地形、地質などを記述したもので、これをもとに発生が予測される災害形態を概略推定します（図3）。

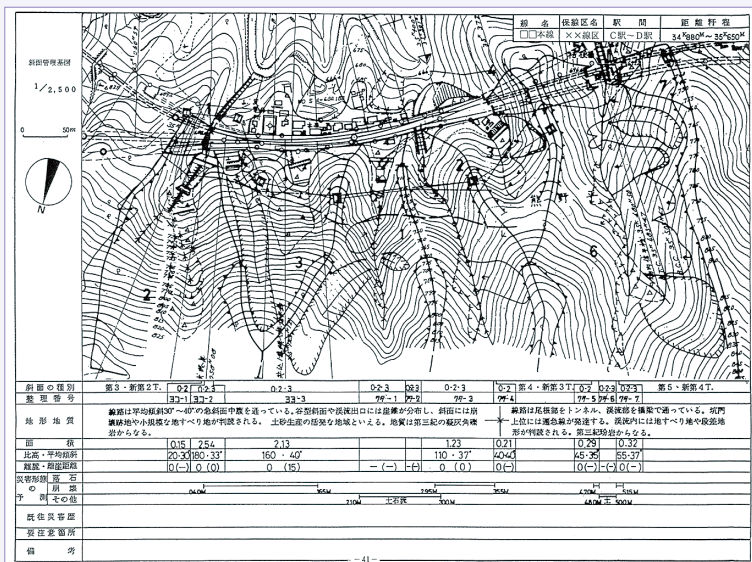


図3 斜面管理基図(斜面管理図)の例<sup>3)</sup>

このカードとマニュアルは、その後、カラー写真の判読が多くなってきたこと、著しい環境変化があり実体に合わない状況が出てきたことなどから、平成8年度に鉄道総研により全面的な改訂が行われ、「空中写真判読基準カード・斜面管理図作成マニュアル」<sup>3)</sup>として再整備され、今日まで使用されています。本マニュアルによって作成された斜面管理図は、新幹線建設時の斜面防災対策を行う際の基礎資料として活用されています<sup>4)</sup>。

## 近年の動向

近年のリモートセンシング技術の発達のうち代表的なものとしては、人工衛星に搭載されるセンサーの多様化と高性能化、レーザー測量技術の発達があげられます。

### ①衛星リモートセンシング

衛星リモートセンシングは、人工衛星をプラットフォームとし、衛星に搭載されたセンサーで地球を観測する技術を指します。このような人工衛星を「地球観測衛星」とよびます。私達にとってなじみ深い気象衛星の「ひまわり」もそのひとつです。衛星リモートセンシングの歴史は古く、1960年にNASAが気象観測を目的として打ち上げた実験衛星が世界初の地球観測衛星であり、その後、1970年代以降、アメリカのLANDSAT(ランドサット)をはじめ、多くの地球観測衛星により観測が行われてきました。

地球観測衛星に搭載されるセンサーには、対象物による太陽光の反射・放射を観測する「光学センサー」と、対象物が反射するマイクロ波を観測する「マイクロ波センサー」があり、光学センサーは受動型、マイクロ波センサーの多くは能動型です。光学センサーは太陽光の反射を観測するため夜

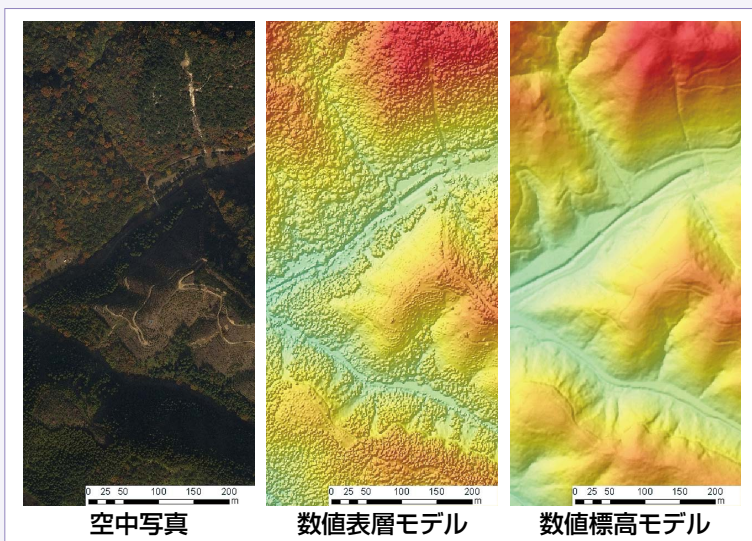


図4 数値表層モデルと数値標高モデルの例<sup>6)</sup>  
(地形が立体的に見える陰影起伏図と標高ごとに色付けした標高段彩図の組み合わせ)

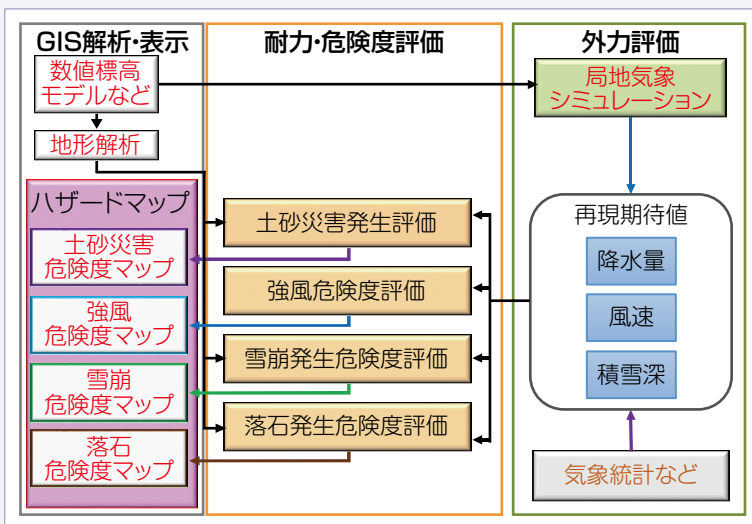


図5 ハザードマッピングシステムのデータ処理の流れ<sup>8)</sup>

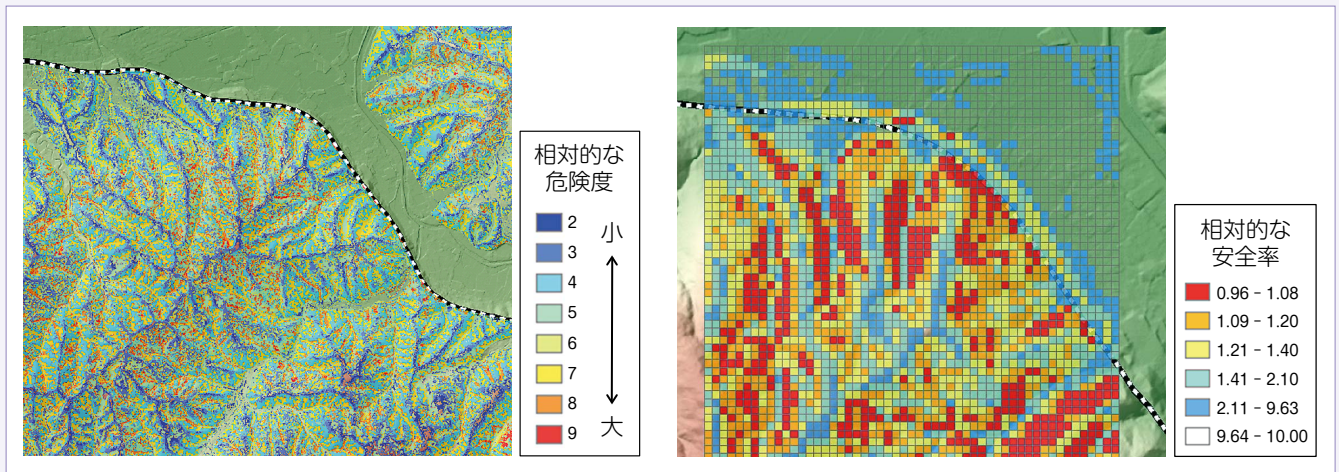


図6 ハザードマッピングシステムにより作成したハザードマップの例  
(左：土砂災害危険度の広域評価の例、右：土砂災害危険度の詳細評価の例)<sup>8)</sup>

間や雲がある場合は観測ができませんが、雲や雨を回折するマイクロ波を用いるマイクロ波センサーは昼夜・天候を問わず観測が可能です。現在では、これらのセンサーを搭載した人工衛星が多数稼働しており、大規模な災害が発生した際には迅速に被害を把握することなどに役立っています。鉄道総研では、日本の地球観測衛星であるだいち1号 (ALOS) や、アメリカ合衆国の民間の商用衛星であるIKONOSの光学センサーにより撮影された衛星画像を用いて斜面防災に活かす方法について検討を行ってきました<sup>5)</sup>。最近は、とくに能動型マイクロ波センサーのひとつである合成開口レーダー (SAR) の利活用についてさまざまな分野で検討が進められており、今後、鉄道における衛星リモートセンシングの利用がますます進むことが期待されます。

## ②レーザー測量

ここ20年ほどで急速に発達したりリモートセンシング技術に、レーザー測量があります。レーザー測量のプラットフォームとしては航空機や自動車などがありますが、ここでは航空機をプラットフォームとした航空レーザー測量について紹介します。航空レーザー測量では、航空機に搭載したレーザースキャナーで地表を計測し、地表面の

標高値のメッシュデータ (数値標高モデル) や、地上の物体の標高値のメッシュデータ (数値表層モデル) を作成します (図4)。数値標高モデルはデジタルデータですので、斜面の傾斜などを容易に計算することができます。近年ではメッシュ間隔が1m以下の細密な数値標高モデルが得られるようになり、これを用いることにより、比高数10cm程度の小規模な地形であっても判読することが可能になりました。テレビ番組で赤色立体地図<sup>7)</sup>などの立体的に見える地形図を見たことがある方も多いと思いますが、これらも数値標高モデルを解析して作成された地図で、通常陰影起伏図 (地表面の北西側が白く、南東側が黒くなるよう作成された地図で地形が立体的に見える) よりも地形の凹凸などが強調されるため、地形判読に有効です。このような利点があるため、数値標高モデルの利用を進めている鉄道事業者もあります。鉄道総研では、この数値標高モデルを用いて斜面崩壊や落石、雪崩の危険度を評価するハザードマッピングシステムを作成しています<sup>8)</sup> (図5, 図6)。運用にはまだ課題もありますが、鉄道沿線の広範囲を実務的な時間で解析可能であることから、調査が必要な箇所の絞り込みなどを行う際に有用であると考えています。

## おわりに

リモートセンシング技術は日進月歩であり、今後もセンサーの高性能化や新規のプラットフォーム (超小型衛星など) の開発が期待されます。これらの新技術を鉄道の斜面防災に活かせるよう、引き続き検討してまいります。

(長谷川淳/防災技術研究部  
地質研究室)

## 文献

- 1) 長谷川淳：衛星画像を用いた災害発生危険斜面の抽出, RRR, Vol. 61, No. 10, pp. 18-21, 2004
- 2) 櫻井孝：空中写真判読の斜面防災への応用, 鉄道技術, Vol. 44, No. 3, pp. 78-81, 1987
- 3) 鉄道総合技術研究所：空中写真判読基準カード・斜面管理図作成マニュアル, 1996
- 4) 外山真：新幹線建設時における斜面管理図の活用, RRR, Vol. 76, No. 10, p. 32, 2019
- 5) 長谷川淳, 太田岳洋：斜面災害の発生源を空から探る, RRR, Vol. 65, No. 12, pp. 36-39, 2008
- 6) 長谷川淳, 太田岳洋：斜面災害の要注意箇所を空から見つける, RRR, Vol. 69, No. 11, pp. 4-7, 2012
- 7) アジア航測：赤色立体地図, <https://www.ajiko.co.jp/products/detail/?id=14449> (入手日：2019年8月22日)
- 8) 長谷川淳, 布川修, 福原隆彰, 佐藤亮太：災害のハザードを一元的にマッピングする, RRR, Vol. 75, No. 10, pp. 8-11, 2018