

テキスト【地形判読編】

要 約

- ・「地形」ができた理由？ →その場所で過去に発生した現象 →将来の崩壊危険度
- ・「地形量」と「地形種」
- ・CS 立体図は、「標高」、「傾斜」、「曲率」から作成 → だから、地形判読が容易
- ・CS 立体図作成に用いる数値標高モデル（DEM）を用いる。
（航空レーザ測量の 0.5m～1 mメッシュ DEM を使用すると微地形判読に適）
- ・自動作成ツールにより、誰でも作成可能。
- ・平面曲率の標準偏差 地形の複雑さ（崩壊履歴）を表現
- ・長野県、静岡県、岐阜県は詳細な CS 立体図を全県作成済み
- ・全国 CS 立体図（10mメッシュ）作成済
→G 空間情報センター (https://www.geospatial.jp/gp_front/) で公開中
- ・ひなた GIS (<https://hgis.pref.miyazaki.lg.jp/hinata/hinata.html>)
- ・崩壊危険地形の判読
（0次谷、湧水、表層崩壊、地すべり、深層崩壊、土石流、河床堆積、扇状地、地質境界）
- ・地図アプリの活用
 - ① スマホ（Android, iOS）で「AvenzaMaps」と検索。→アプリインストール
 - ② 地図ファイルをダウンロードまたはコピー
 - ③ 「地図をダウンロード、またはインポート」で地図ファイルを指定（3枚まで無料）
- ・ **全ての答えは現地にある。**（地形図を持って、現場に出かけましょう！）

本研修資料は、(株)ジオ・フォレスト社ホームページ (<https://gf17v.com/>) に掲載しております。必要に応じてダウンロードしてご活用ください。



(株)ジオ・フォレスト

地形判読を容易にする「CS 立体図」

1. はじめに

私たちの多くは地面の上で生活している。その地面には必ず形がある。傾斜地か平坦地か、凹地か凸地か、またそれらの組み合わせにより、様々な「地形」を成している。では、なぜ地形ができたのだろうか？ それは、過去に発生した火山活動や地殻変動、豪雨や地震による斜面崩壊、水や風などの力により土砂が移動したことが原因であり、我々が見ている地形は過去の土砂移動の痕跡と言える。これらの土砂移動により、地形が大規模に変化するとき、そこで暮らす人間にとっては災害となる。そして、災害は同じ場所で、同じ様な現象が繰り返し発生する可能性が高いことが知られている。つまり、地形について学び、注意深く地形を判読することで、その場所で過去に発生した災害を知り、将来発生する災害のリスクを知ることができる。筆者は、このような考えに基づき、森林・林業における地形判読の活用に取り組んできた。例えば、森林内に道路を建設するときには、どこを避け、どこに線形を通すべきかを考慮してルート選定を行う。どこに治山ダムを設置すればより効果的かを検討する。木材生産のために樹木を伐採して良いか、または伐採を避けるべき場所かを判断する。伐採後に植栽する樹種を、地形や土壌に応じて適地適木の観点から選定するなど、様々な場面で地形判読の技術が活用できる。

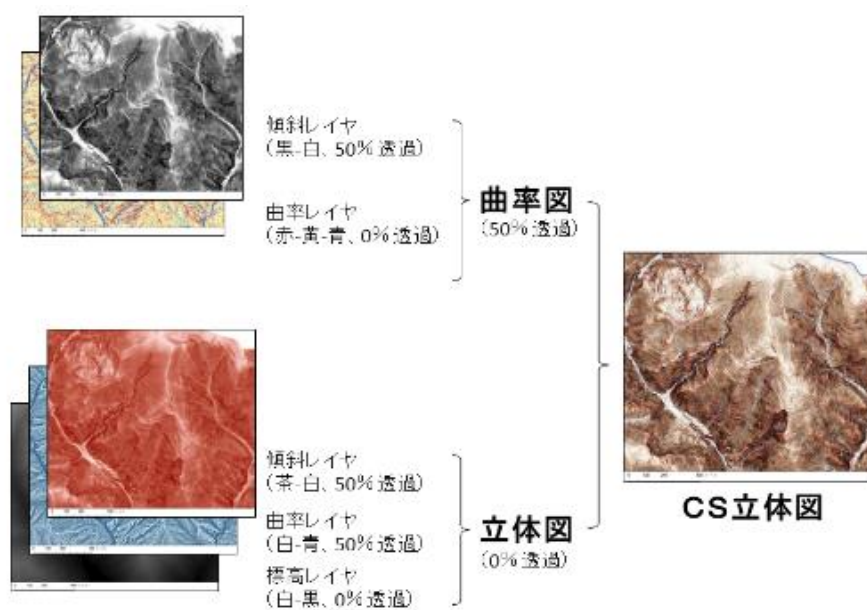
従来、地形判読は等高線による地形図を用いて行ってきた。しかし、この手法では判読者に経験と高度な技術が要求される。さらに、等高線による地形図には表現されていない微地形が存在することもあり、判読の精度に限界があった。一方で、近年の航空レーザ測量技術等の発達により、樹木下の地表の形状を上空から正確に測量することが可能になり、細密な数値地形モデル (Digital Elevation Model、以下 DEM) を比較的容易に入手することが可能になった。そこで筆者は、地形判読を行いやすくするために、CS 立体図という図法を開発した。

2. CS 立体図とは

地形図から読み取ることができる情報には、標高、傾斜など定量的に数字で表すことができる「地形量」と、地すべり、扇状地、断層崖などその場所の成因と定性的な特性を表す「地形種」の2種類がある。CS 立体図は、後者の地形種を判読するために開発した図法である。地形種の判読を行う際には、判読者は等高線から①標高、②傾斜、③曲率 (凹凸) の地形量を読み取り、頭の中で立体イメージを作っていた。また、崩壊危険地の評価においては、同じ土質ならば傾斜が急なほど崩壊が発生しやすいことは、力学的にも当然と言える。凹地は水が集まるため豪雨時に崩壊が発生しやすく、凸地は地震時に崩壊が発生しやすいことが知られている。崩壊した土砂は、高い場所から低い場所に流れるため、標高も重要な因子で

ある。CS 立体図は、この①標高、②傾斜、③曲率に異なる色調で彩色し、重ねて透過処理することで立体図としている。従って、地形判読に必要な情報を視覚から直感的に得ることができる。CS 立体図の作成には、TIFF 等ラスタ形式の DEM を使用する。DEM の解像度は問わないが、航空レーザ測量等による、0.5m~5mメッシュの細密な DEM を用いれば、表層崩壊や湧水などの微地形を表現することができ、10m~50mメッシュ等の DEM を用いれば、より大きな地質構造の判読に適した図となる。

CS 立体図の基本的な作成方法は、以下のとおりである。GIS ソフト等を用いて DEM から標高、曲率、傾斜のレイヤを作成する。標高レイヤは、標高が低いところほど黒く、高いところほど白くなるように彩色する。曲率レイヤは、DEM の平滑化処理を行った後に、中心のメッシュと近接する 8 メッシュの値から計算し、凸地形ほど赤く、凹地形ほど青く、平坦地は白くなるように彩色する。傾斜レイヤは、近接するメッシュとの平均傾斜により計算し、急傾斜地ほど暗く、緩傾斜地ほど明るくなるように彩色する。これらの図を、色調と透過率を調整して複数枚重ね合わせることで、立体的に見える図を作成することができる。なお、「CS」とは曲率 (Curvature) と傾斜 (Slope) の頭文字から命名した。



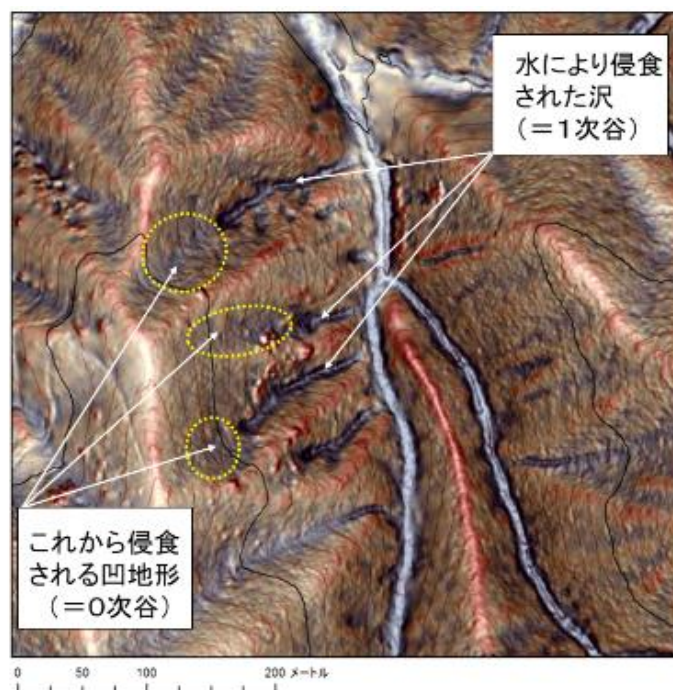
CS 立体図作成の流れ

3. CS 立体図を用いた地形判読

CS 立体図は、尾根 (凸地) は赤、谷 (凹地) は青に彩色し、痩せ尾根は濃い赤で、鈍角な尾根は薄い赤となり、V次谷は濃い青で、緩やかな凹地形は薄い青で表示される。また、急傾斜地ほど暗く、緩傾斜地は明るく表示されている。細密な DEM から作成した CS 立体図を用いて地形判読を行うと、地すべり、断層崖、崖錐、湧水など、従来の等高線による地形図では判読が難しかった崩壊危険地形を容易に判読することができる。その一例を紹介する。

(1) 0次谷の判読

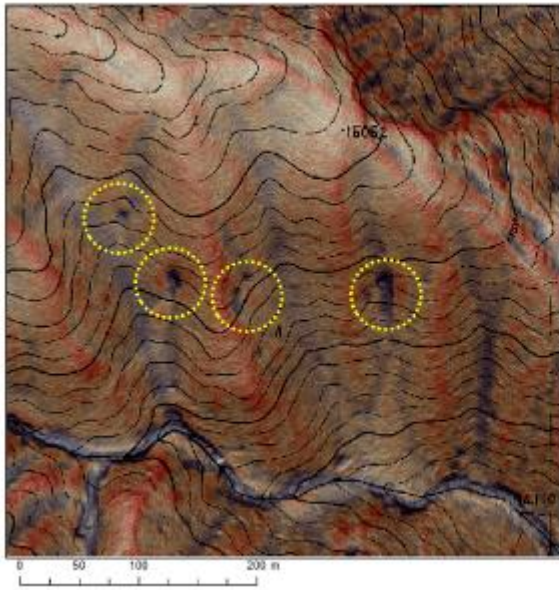
0次谷とは、谷の頭部に位置し、明瞭な谷地形になる前の緩やかな凹地形のことを言い、しばしば崩壊の発生源となる。0次谷では、表層土の堆積が厚く、樹木の生長も良いが、斜面の下部から順に崩壊が上昇してゆく侵食前線でもある。0次谷内に道路を開設する場合は、崩壊を助長しないように特に注意が必要である。従来の等高線による地形図からの判読では特定が難しかったが、CS立体図では下方から延びる谷地形が明瞭に濃い青で表示され、その上方にある薄青い場所を0次谷として判読することができる。



0次谷の判読

(2) 湧水地の判読

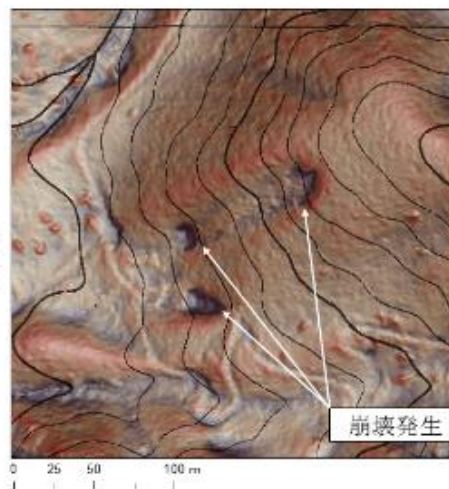
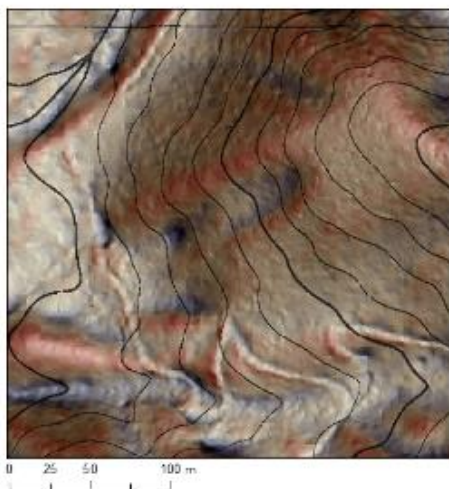
山地では、山腹から湧水が発生している場合がある。多くの場合は、地下に浸透した雨水が、地層境界などの遮水層から地表面に湧き出たものである。湧水は周辺の表土を侵食して小さな窪地を作ることが多いが、規模が小さいため従来の地形図からの判読は難しい。CS立体図では、その痕跡を確認できた。CS立体図では、湧水のある場所では、円形の濃い青色の下流に、水の流れによりできた筋状の地形が見られる。また、このような湧水はしばしば直線状に並ぶ傾向が見られ、地層境界や断層などによる地質構造が影響しているものと推測できる。



湧水の判読（左）と現地確認（右）

(3) 表層崩壊の判読

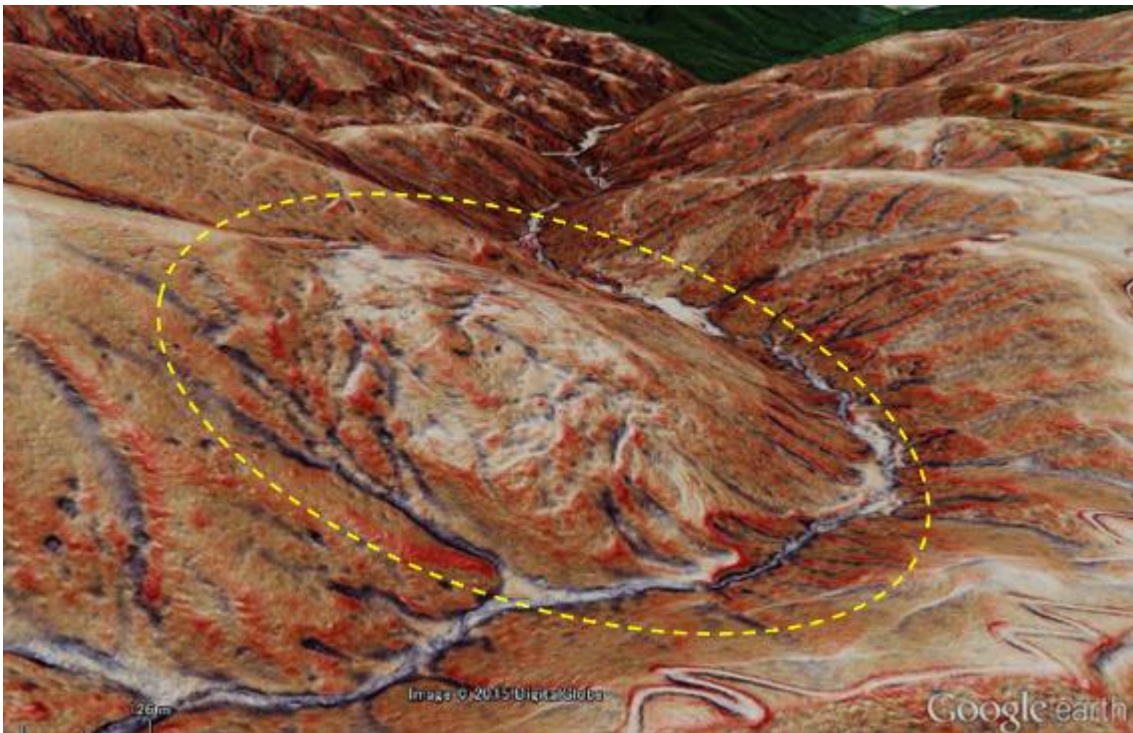
表層崩壊とは、基盤岩の上にある表層土が崩壊するもので、山腹の凹型斜面の勾配変化点等に集中する。崩壊が発生した後のCS立体図では、崩壊地の縁が明瞭な青で表示され、容易に崩壊位置を把握することができる。さらに、災害発生前のCS立体図と比較すると、崩壊箇所は元々薄青色の凹地形を呈していることがわかる。この場所では、長い年月の間に、同じ場所で表層崩壊が繰り返し発生しているものと推測できる。このことは、現在は一様に森林に覆われていても、豪雨の際に崩壊が発生しやすい場所と、発生しにくい場所が存在していることを示しており、地形判読により崩壊危険地をピンポイントで抽出できることを示唆している。



表層崩壊の判読 崩壊発生前（左）、崩壊発生後（右）

(4) 地すべり地形の判読

地すべりとは、斜面の一部が重力によって斜面下方にゆっくりと移動する現象をいう。また、その多くは基盤岩から滑動しており、豪雨等により基盤岩が一気に崩壊する現象は深層崩壊と呼ばれる。地形判読では、現在滑動しているか否かは読み取ることができないが、地すべりによって生じた地形を判読することはできる。地すべり跡地形では、移動体の両脇にある側方涯が上部で向かい合い、地すべりブロック内には等高線方向のクラックや小尾根が多くみられる。また、移動体の表面には侵食による谷地形は少なく、CS 立体図では白く見えるのも特徴と言える。GoogleEarth 等を利用して 3D で表示すると、地すべりの特徴をより明確に把握することができる。従来、地すべり地形の判読は専門家に頼らなければならなかったが、地域住民や森林・林業に携わる現場の人間が、直感的にその存在を認識することが可能になった。



地すべり地形の判読 (GoogleEarth による 3D 表示)

このように、過去に災害が発生した場所では、それぞれ特徴的な地形を形成しており、CS 立体図からはその痕跡を明瞭に判読することができる。

4. スマートフォンアプリを利用した現地踏査

地形判読を行った後には、必ず現地踏査により現地を確認する必要がある。しかし、紙地図を持って森林内を踏査しても、現在位置が分からず、なかなか目的地に到着できないことがある。そこで、スマートフォンの地図アプリを用いて、効率的に現地踏査を行う方法を紹介する。現在、スマートフォン用の地図アプリは多数公開されているが、中には自分で作成したオリジナルマップを背景図にすることができるものがある。例えば AvenzaMaps (有償) では、GIS ソフトからエクスポートした GeoTIFF ファイルや GeospatialPDF ファイルを、そのままスマートフォンにインポートして、背景図として利用することができる。また、オフライン環境でも使用できるため、森林域での調査に適する。最近のスマートフォンは、GPS 機能も優れている機種が多く、森林内でも数メートルの精度で測位が可能であるため、目的地へのナビゲーションや、踏査ルートログ、位置情報付き写真を記録することができる。



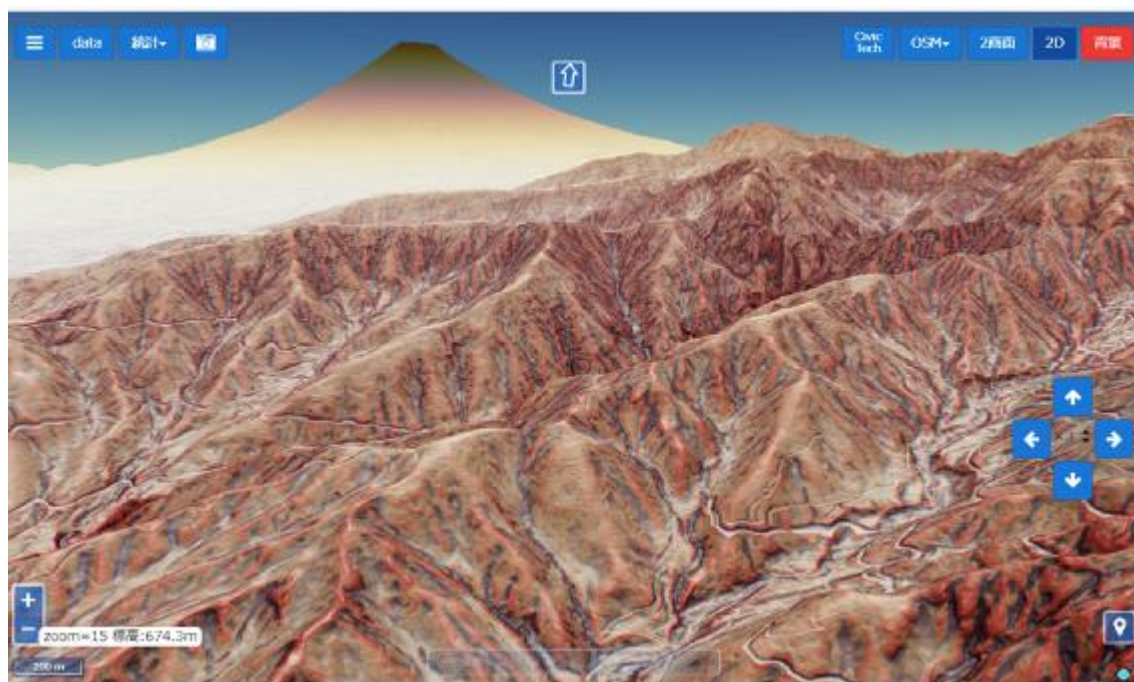
地図アプリによる CS 立体図の表示

5. オープンソース・オープンデータによる発展性

CS 立体図の作成方法は論文や作成マニュアルとして公開しており、誰でも自由に作成することができる。図法の開発当初は、ArcGIS 及び Spatial Analyst を用いて手動で CS 立体図を作成していたが、近年は様々な自動作成ツールが開発され、既に公開されている。(国) 森林総合研究所の大丸裕武氏は、ArcGIS による CS 立体図の自動作成ツールである CSMMapMaker for ArcGIS を開発した。(株) MIERUNE の朝日孝輔氏は、QGIS による CS 立体図

の自動作成プラグインとして CSMapper for QGIS を開発した。いずれも、G 空間情報センター (https://www.geospatial.jp/gp_front/) から公開している。また、リモートセンシングソフトの ENVI (Harris Geospatial (株)) でも CSMapper のプラグインを開発して、無償提供している。これらの CS 立体図自動作成ツールを用いて、全国の都道府県等でも CS 立体図が作成されつつある。静岡県では、CSMapper for ArcGIS を使用して、1 m メッシュ DEM により全県の CS 立体図を作成した。

筆者が作成した長野県 CS 立体図 (1 m メッシュ)、全国 CS 立体図 (10 m メッシュ) と、静岡県 CS 立体図 (1 m メッシュ) は、G 空間情報センターから公開されており、無償でダウンロード可能である。また、宮崎県の「ひなた GIS」では、これらの CS 立体図を背景図として表示することが可能で、インターネット環境があれば誰でも CS 立体図を閲覧することができる。さらには、道路地図や水系図、地質図や土壌図など、他の様々な図と重ねて表示することもできる。



ひなた GIS による CS 立体図の 3D 表示 (静岡県)

(<http://hgis.pref.miyazaki.lg.jp/hinata/index.html>)

インディゴ (株) の松澤有三氏は、WebGIS のライブラリである leaflet を用いて、PNG 標高タイルデータから、ブラウザ (推奨: Google Chrome) 上で CS 立体図を表示するツールを開発し公開している。このツールを使うと、Windows、Android、iOS を問わず、ブラウザ上で CS 立体図を瞬時に作成して表示することが可能である。解像度は低いものの海底地形を含めて、既に全世界の標高 (水深) データが公開されていることから、世界中の CS 立体図を表示することが可能である。



Leaflet による CS 立体図作成表示ツール (ハワイ州ホノルル)

(<https://frogcat.github.io/csmap-gl/mapbox.html#13/21.3014/202.2268>)

また、最近の人工知能 (AI) による画像認識技術を使って、CS 立体図から地すべりなどの危険地形を自動判読する技術が開発されつつある。WebGIS と AI の組み合わせには、崩壊危険地予測においても、従来の限界を超えて、まったく新しい成果が期待させられる。WebGIS を用いて、実際に崩壊が発生した場所の位置情報を多量に収集し、教師データとして用いることができれば、崩壊危険地の抽出精度は格段に向上するであろう。

このように、CS 立体図の作成方法と、作成した画像データを公開としたことで、全国での活用が進み、独自に技術が発展している。今後は、森林・林業の現場に限らず、より多くの人々に活用されることを期待したい。