

安全な路網計画のための崩壊危険地ピンポイント抽出技術

—CS 立体図を用いた崩壊危険地形判読技術の開発—

戸田堅一郎

低コストで安全な森林路網を作設するためには、崩壊リスクが高い場所を把握し、開設時に適切な対策を講じる必要がある。本研究では、既往の研究により開発したCS立体図を改良し森林路網計画における微地形判読に適したCS立体図の作成と、これを用いた崩壊危険地の判読方法を確立することを目的とする。CS立体図は、DEMから作成した標高、傾斜、曲率の各レイヤに着色し、重ねて透過処理することで作成する。治山レーザーによる0.5mメッシュDEMを用いてCS立体図（第2版）を作成した。CS立体図（第2版）では、CS立体図（第1版）に比べ、歩道や小さな沢などの微地形が鮮明に表現されるようになった。10mメッシュDEMを用いて全国CS立体図（10mメッシュ）を作成した。全国CS立体図（10mメッシュ）は、大縮尺での微地形判読には適さないが、小縮尺の中～大地形判読には適する。作成したCS立体図はG空間情報センターから公開した。CS立体図は、GoogleEarth等のソフトウェアを用いると3D表示が可能になり、地すべり等の地形判読が行いやすくなる。また、GPS機器やスマートフォンの地図アプリにインストールすることにより、現地での利用が可能になる。CS立体図の判読事例として、0次谷、湧水地、表層崩壊、地すべり地形、土石流、地質境界を掲載した。

キーワード：森林路網，崩壊危険地，地形判読，数値地形モデル，CS立体図

目次

- 1 はじめに
- 2 CS 立体図の作成と活用
 - 2.1 CS 立体図の仕組み
 - 2.1.1 標高
 - 2.1.2 傾斜
 - 2.1.3 曲率
 - 2.1.4 重ね合わせ
 - 2.2 長野県治山レーザーデータを用いたCS立体図（第2版）の作成
 - 2.3 全国CS立体図（10mメッシュ）の作成
 - 2.4 オープンデータ化と現場での活用
 - 2.4.1 作成したCS立体図の公開
 - 2.4.2 GoogleEarthを用いた3D表示
 - 2.4.3 スマートフォン用地図アプリを用いた現地利用
- 3 CS 立体図を用いた崩壊危険地形の判読事例
 - 3.1 地形判読の基礎
 - 3.2 地形判読の事例
 - (1) CS立体図の基本的な判読方法
 - (2) 0次谷の判読
 - (3) 湧水地の判読
 - (4) 表層崩壊の判読
 - (5) 地すべり地形の判読
 - (6) 土石流発生地の判読
 - (7) 地質境界の判読
- 4 おわりに

1 はじめに

近年、国内の森林蓄積の増大を受けて、木材生産のための森林路網の整備が活発化している。一方で、不適切な路網作設を行うと、豪雨等による災害により被災し、路網の修繕・維持管理費が増大するばかりか、路体から発生した崩壊土砂により、周辺の森林や地域の住民生活に被害を与えかねない。低コストで安全な森林路網を作設するためには、計画段階において崩壊リスクが高く防災を優先すべき場所を把握し、崩壊危険箇所を避けた線形にするか、開設時に適切な対策を講じる必要がある。

本課題は、森林総合研究所らと共同で、微地形解析技術により、広大な森林の中から崩壊危険箇所を抽出し、スマートフォン等のモバイルツールを用いてデータを携帯することにより、野外で迅速に危険箇所を把握できるシステムを開発する。

このうち、本県においては、既往の研究により開発したCS立体図を改良し森林路網計画における地形判読に適した立体図の作成と、これを用いた崩壊危険地の判読方法を確立することを目的とする。

なお、本課題は農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業「安全な路網計画のための崩壊危険地ピンポイント抽出技術」（平成26～28年度）として森林総合研究所（中核機関）、信州大学農学部、鳥取県林業試験場、岐阜県森林研究所との共同で実施した。

2 CS 立体図の作成と活用

2.1 CS 立体図の仕組み

地形図から判読することができる情報には、地形量と地形種の2種類がある。地形量とは、標高や、傾斜、曲率、面積、体積、方位、起伏量といった長さや面積、それらの比など定量化できる形態要素をいう。地形量の判読は、同じ方法で行えば、誰でも同じ結果を得ることができ、コンピュータによる自動計算も比較的容易である。一方、地形種とは、扇状地、崖錐、地すべり滑落崖、地すべり側方崖など、特定の成因によって形成された特定の形態的特徴をもつ地形の部分のことをいう¹⁾。地形種の判読には判読者の解釈が必要で、専門家が行っても判断に迷う場合もある。まして、地形判読の初心者にはその判断は難しい。そこで、地形種の判読を容易にするため、新たな地形表現としてCS立体図を開発した²⁾。地形判読の際には、判読者は地形図から標高、傾斜、曲率の3つの地形量を読み取り、頭の中で地形の立体イメージをつくり、さらに、その場所の材料(地質、粒径、風化度など)や営力(重力、風、水、火山活動、地殻変動など)、またこれら営力の大きさや加わった時間・回数を推測し、総合的な解釈により地形種を判断する必要がある。

CS立体図とは、地形の立体イメージを得やすくするために、代表的な3つの地形量である、標高、傾斜、曲率に異なる色調で彩色し、透過処理することで作成した図法である。3つの地形量から作成したことで、視覚から直感的に情報を認識することが可能であり、異なる情報を同時に認識することができる。従来の等高線による地形図では表現できなかった情報も表現できるという特長を持つ。なお、「CS」とは、曲率(Curvature)と傾斜(Slope)の頭文字をとって命名した。以下、CS立体図を構成する3つの地形量である、標高、傾斜、曲率と、その彩色および重ね合わせ方法について述べる。なお、CS立体図は様々なGISソフトや画像解析ソフト等で作成することができるが、本稿ではArcGIS10(ESRI ジャパン)での計算手法について解説する。

2.1.1 標高

地形判読を行ううえで、標高は最も基本的な情報といえる。従来の等高線による地形図は、同じ標高を線で結ぶことで作成しており、地形図中には山頂や等高線の数本おきに標高値が記載されて

いるので、容易に標高を読み取ることができる。標高が高い場所は気温が低く、また水は高い場所から低い場所に流れる性質があるため、標高は森林の植生分布に影響を与える。

コンピュータソフトによる地形解析では、格子点の標高値を各セルの値とした画像ファイル形式の数値地形モデル(Digital Elevation Model: 以下、DEM)を使用する。DEMの各セルの標高値に応じて彩色を行う。人間の視覚では明るい色は前進するように見え、暗い色は後退するように錯覚して見える。図2-1-1では、多くの人は、Aは飛び出して見え、Bは奥行きとして見えるのではないだろうか。この性質を利用し、CS立体図では、高標高地は白で、低標高値は黒となるように彩色した。図2-1-2は、1mメッシュのDEMに低標高地は黒、高標高地は白となるように彩色した。

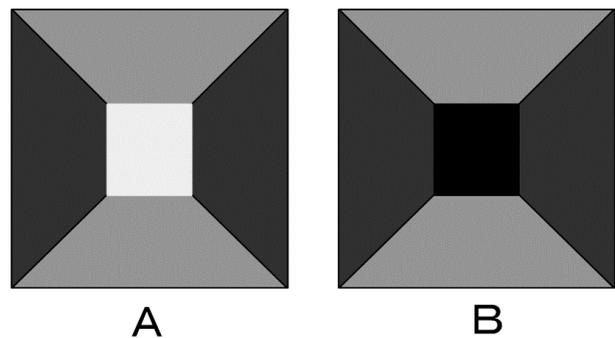


図 2-1-1 前進色と後退色

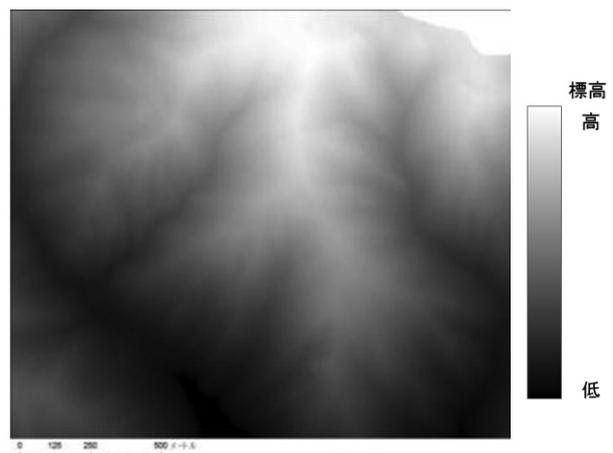


図 2-1-2 標高レイヤ(白黒表示)

2.1.2 傾斜

傾斜とは、斜面の傾きのことを言い、地表面が水平面となす角で定義される。等高線による地形図では、等高線間隔が広い場所は緩傾斜で、等高

線間隔が狭い場所では急傾斜となる。森林路網を開設する場合、傾斜が急になるほど切土高、盛土高が高く、土工量が多くなり崩壊の危険性が増す。さらに急傾斜になると構造物の設置が必要になり、開設コストが増大する。

数学的には傾斜は標高の微分で表すことができ、ArcGISにおいては、式 2-1-1 により計算される。

$$\text{slope_degree} = \text{atan} \sqrt{\left(\frac{dz}{zx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{zy}\right)^2} \times \frac{180}{\pi}$$

・・・(式 2-1-1)

ここで、z はセルの標高値であり、図 2-1-3 の 3×3 の 9 セルの中心の傾斜の値を計算するとき、

$$\frac{dz}{zx} = \frac{((c+2f+i) \times 4 - (a+2d+g) \times 4)}{8 \times x_cellsize}$$

$$\frac{dz}{zy} = \frac{((g+2h+i) \times 4 - (a+2b+c) \times 4)}{8 \times y_cellsize}$$

となり³⁾。近傍 8 セルの縦、横の傾斜から算出している。

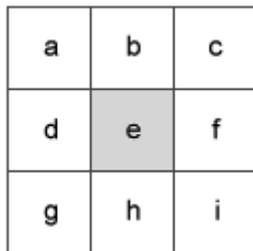


図 2-1-3
a~i は各セルの標高値

傾斜図に対する彩色を検討するため、一定量の光が、同じ長さで傾斜度の異なる斜面に真上からあたっていると想定する。傾斜が 0 度の水平面において平坦な面が受ける光の量を 1 とすると、θ 度の斜面では光量は cos θ となり、90 度の垂直面では光量は 0 となる (図 2-1-4)。従って、輝度が cos θ となるように彩色すると立体的に見えることになるが、人間の視覚では、cos θ と θ の着色の区別はほとんどつかない。これは、図 2-1-5 で示した様に、cos θ (0 ≤ θ ≤ 90) が、線分 (0, 1) (90, 0) と近い値をとっているためである。なお、傾斜を表す指標として tan θ (ここでは白黒を反転させるため 1/tan θ とした) も良く使用されるが、1/tan θ は 50° を超える急傾斜では cos θ と近い

値になるものの、緩傾斜ほど cos θ から離れる傾向にあるため採用しなかった。CS 立体図では、計算を簡略化するために cos θ ではなく θ を採用した (図 2-1-6)。

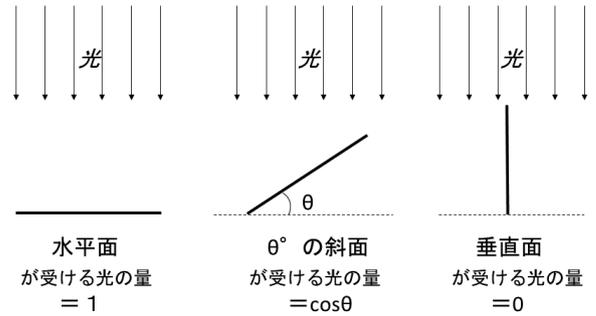


図 2-1-4 θ° の斜面が受ける光の量

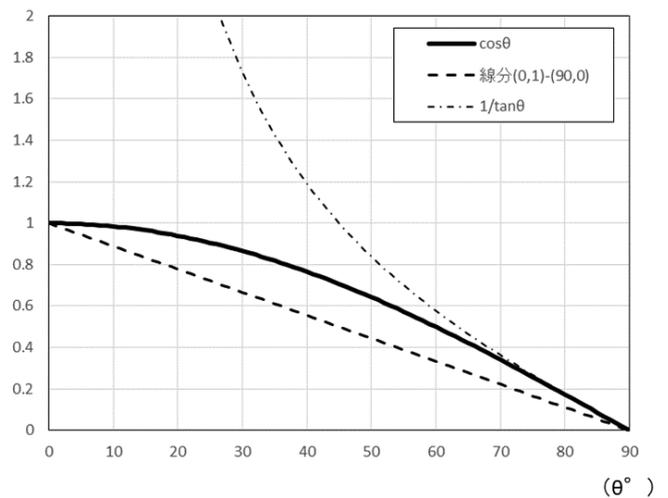


図 2-1-5 cos θ, 線分 (0, 1) (90, 0), 1/tan θ の関係

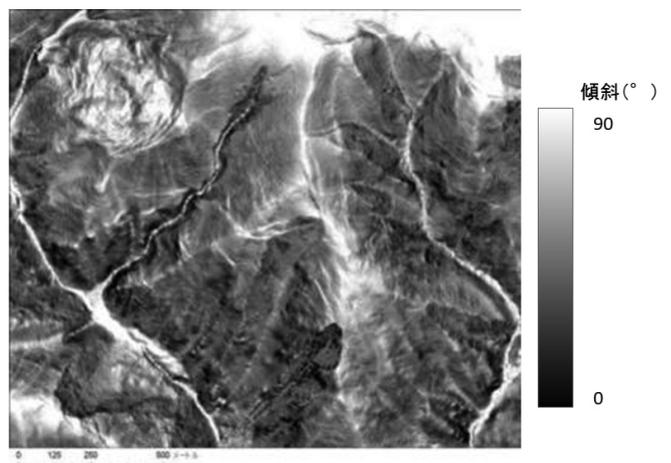


図 2-1-6 傾斜レイヤ (白黒表示)

2.1.4 重ね合わせ

標高、傾斜、曲率の情報を、同時に得るために、各レイヤを重ねて、透過処理を行った。図 2-1-9 に CS 立体図作成時のレイヤの重ね順と、透過率を示した。下層から順に、標高（白-黒、0%透過）、曲率（白-青、50%透過）、傾斜（茶-白、50%透過）を重ねて立体図を作成した。次に、凹凸の判読性をよくするため、曲率（赤-黄-青、0%透過）、傾斜（黒-白、50%透過）を重ねて曲率図を作成した。さらに立体図と（0%透過）と曲率図（50%透過）を重ねて CS 立体図とした。

重ね順や、透過率、色調を変えることで、強調される地形量が変化する。より立体感を重視する場合は下層3枚の立体図のみで良いし、地形判読を重視する場合は上層2枚の曲率図だけでも良い。また、観光マップ等に用いる場合は、緑色を基調にするなど、作成する図の目的に応じて適宜色調、重ね順、透過率を変更していただきたい。

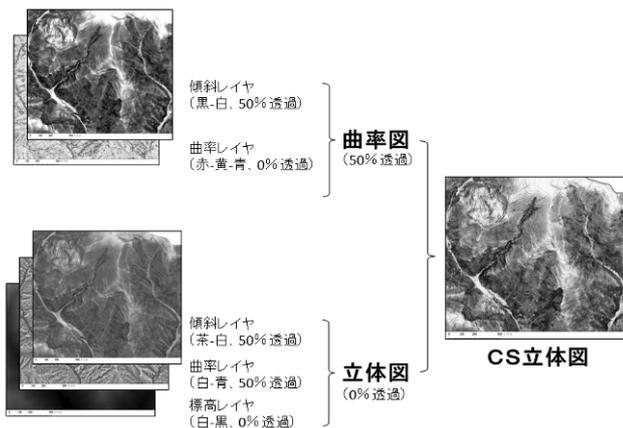


図 2-1-9 レイヤの透過処理による CS 立体図の作成

2.2 長野県治山レーザーデータを用いた CS 立体図（第2版）の作成

2.2.1 目的

既往の研究では、国土交通省が長野県内において測量した航空レーザー測量データ（1 mメッシュ DEM）を用いて、CS 立体図（第1版）を作成した⁴⁾。第1版では全県の約 80%の地域の CS 立体図を図化した。しかし、全県民有林域が網羅できていなかったことと、地域により DEM の解像度や測量精度が異なっていたため、CS 立体図の品質に違いが生じているなどの問題があった。本研究では、より高品質な CS 立体図による地形判読を長野

県民有林の全域で行うことができるようにするため、県林務部治山係が平成 25 年度から 26 年度にかけて行った航空レーザー測量データ（以下、治山レーザー）から作成した 0.5mメッシュ DEM を用いて CS 立体図を作成した。

2.2.2 方法

DEM データは、治山レーザーによる 0.5mメッシュ DEM を使用した。ESRI 社製 ArcGIS10 及び Spatial Analyst を用いて、DEM から傾斜と曲率の計算を行った。従来の CS 立体図は 1 mメッシュ DEM を用いた作成方法であり、0.5mメッシュ DEM を用いて作成すると、曲率計算の平滑化の際に強調される地形規模の大きさが従来の半分になってしまう。このため 0.5mメッシュの DEM を 1 mメッシュに間引き平滑化処理をした後に曲率計算を行った。傾斜の計算は 0.5mメッシュ DEM のまま行った。

標高レイヤ、曲率レイヤ、傾斜レイヤを透過処理することにより CS 立体図（第2版）を作成した。

2.2.3 結果

図 2-2-1 に CS 立体図（第2版）を作成した範囲を示した。作成範囲は県内民有林の全域を網羅した。図 2-2-2 に 1 mメッシュ DEM から作成した CS 立体図（第1版）と、図 2-2-3 に 0.5mメッシュ DEM から作成した CS 立体図（第2版）、およびそれらの拡大図を同じ図郭で示した。CS 立体図（第2版）では、拡大時に歩道や小さな沢などの微地形が鮮明に表現されるようになった。また、CS 立体図（第1版）では、特に東信地区などで、航空レーザーのオリジナルデータから DEM を作成するフィルタリングの際に生じたノイズが多くあったが、CS 立体図（第2版）では、これらは解消された。作成した CS 立体図（第2版）は旧市町村単位に 1 ファイルとしてワールドファイル付きの TIFF 形式画像に変換した。

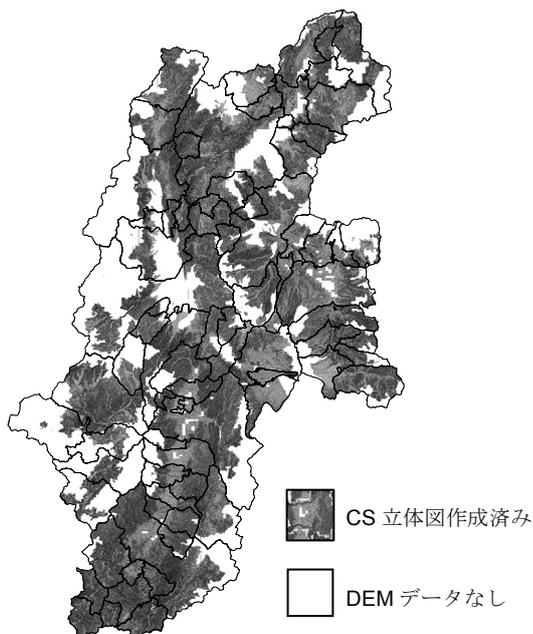


図 2-2-1 CS 立体図 (第 2 版) の作成範囲

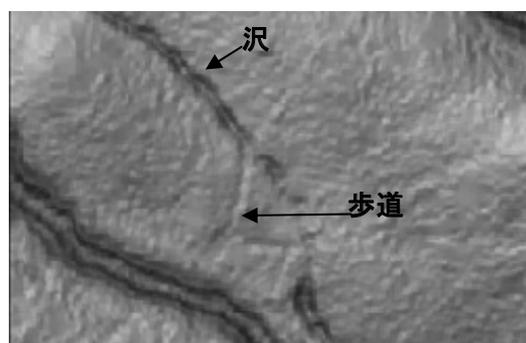
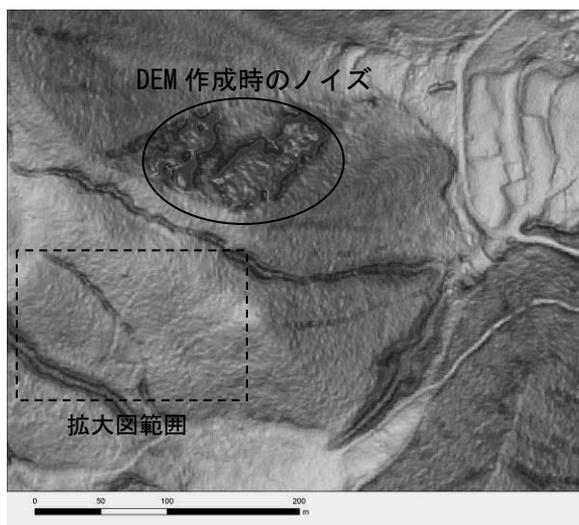


図 2-2-2 CS 立体図 (第 1 版) と拡大図

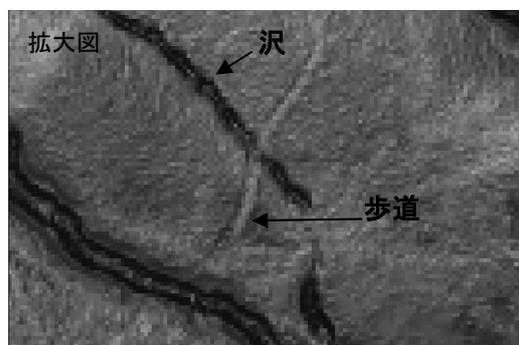


図 2-2-3 CS 立体図 (第 2 版) と拡大図

2.3 全国 CS 立体図 (10mメッシュ) の作成

2.3.1 目的

治山レーザーDEMを用いて長野県内の全民有林のCS立体図(第2版)を作成したが、民有林以外はデータが無いため、流域全体の地形判読を行うことができなかった。また、長野県以外では航空レーザー測量データが整備されていない都道府県も多く、全国での活用を考慮して、解像度は低いものの全国データが網羅されている10mメッシュDEMによるCS立体図の作成方法を検討し、全国のCS立体図を作成した。

2.3.2 方法

解析に用いるDEMは、ESRI ジャパン (株) 発行の10mメッシュDEMとした。入手したDEMの座標系は緯度・経度表示であり、CS立体図作成時の傾斜と曲率の計算に適さないため、全国の19座標系に分割して平面直角座標系(JGD2000)に変換した。従来の作成方法では1mメッシュDEMを用いて、20m規模程度の地形の凹凸を強調する様に設定していたが、同じ方法で10mメッシュDEMを用いてCS立体図を作成すると、より大地形の凹凸が強調

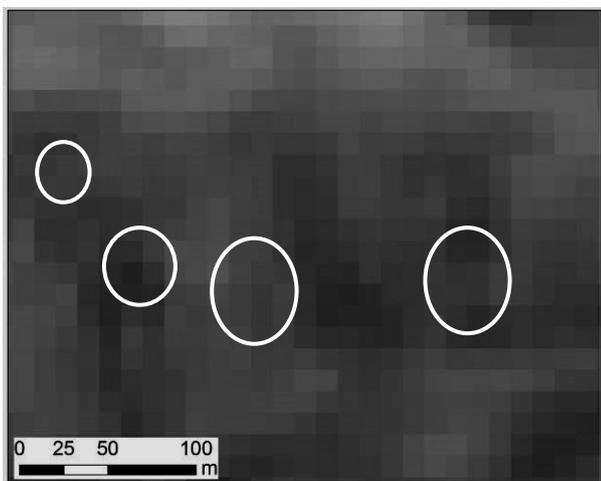
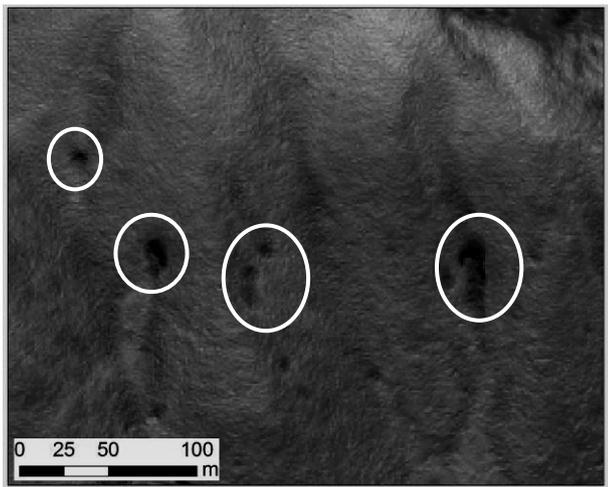


図 2-3-4 湧水地の CS 立体図

上：CS 立体図（第 2 版），下：全国 CS 立体図（10mメッシュ），○印は湧水またはその痕跡を現地確認した場所

2.4 オープンデータ化と現場での活用

2.4.1 作成した CS 立体図の公開

長野県内の全民有林において作成した CS 立体図（第 2 版），および全国 CS 立体図（10mメッシュ）をより多くの人々が利用可能にするために，Web サイトから公開した。

CS 立体図（第 2 版）は，旧市町村毎に 1 図郭とし，旧市町村界+400mの範囲で画像を切り取った。GeoTiff 形式の画像ファイルに，位置情報を記した tfw 形式のワールドファイルを付与した。画像ファイルの解像度は 1.0~2.0mとした。図 2-4-1 に例として塩尻市の CS 立体図（第 2 版）のファイルを掲載した。

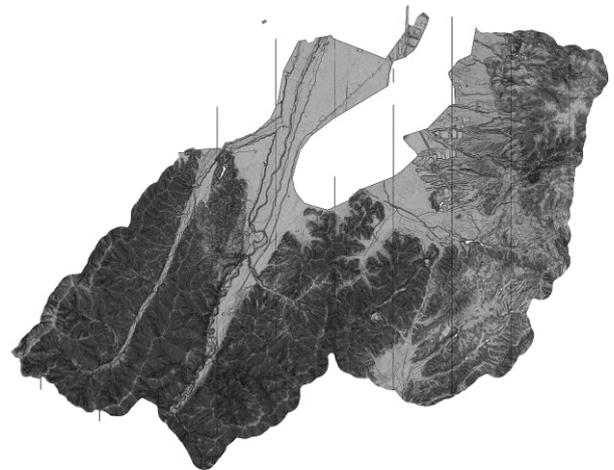


図 2-4-1 塩尻市の CS 立体図（第 2 版）

CS 立体図（10mメッシュ）は，1 ファイルの容量を小さくするために，分割を行った。日本工業規格に定められる標準地域メッシュコードの第 1 次メッシュを基準とし，ファイルサイズが 100MB を超える図郭は，さらにメッシュを 4 分割して図郭ファイルを作成した。座標系は平面直角座標系（JGD_2000）とし，分割したファイルを座標系ごとにまとめた。ファイル形式は GeoTIFF 形式とし，tfw 形式のワールドファイルを付与した。画像ファイルの解像度は約 10mとし，余白は透過処理を施した。図 2-4-2 に CS 立体図（10mメッシュ）の全図郭を示した。図 2-4-3 に第 8 系の索引図を示した。同様の索引図を 1~16 座標系について作成した。索引図にも位置情報が付与されているため，GIS ソフトによる利用が可能で，必要とするデータのファイル名を容易に把握することができる。

これらのデータは（一社）社会基盤情報流通協議会に提供し，同協会が運営する Web サイトである G 空間情報センター⁵⁾ から一般公開された。ライセンス条件は，クリエイティブ・コモンズ・ライセンスの「表示 (CC-BY)」とし，原作者のクレジットを表示すれば，データの改変のほか，営利目的での二次利用も許可される。今後は，利用目的に関わらず CS 立体図の入手が可能になり，全国での安全な路網計画における地形判読をはじめ，多様な分野での活用が期待できる。

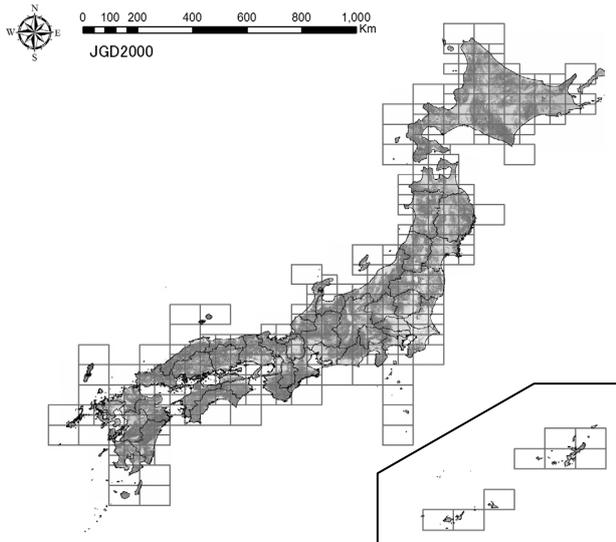


図 2-4-2 CS 立体図 (10mメッシュ) の全図郭

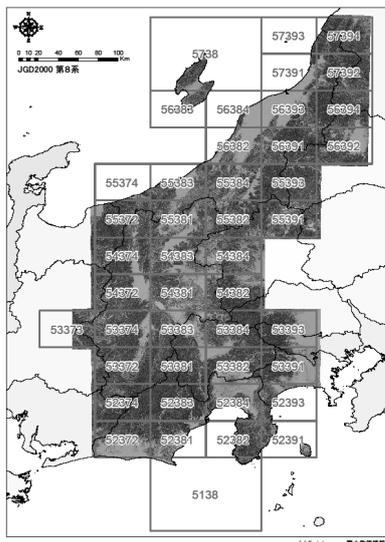


図 2-4-3 第8系の索引図

2.4.2 GoogleEarth を用いた 3D 表示

CS 立体図は、2D 表示での利用を前提に開発した図法であるが、地すべり地形やの判読や、プレゼンテーション資料などは、3D 表示の方が見やすい場合がある。その場合は、GoogleEarth などのソフトウェアを用いて、3D 表示させると良い (図 2-4-4)。GoogleEarth では、kmz 形式のファイルのインポートが可能である。Tiff 形式の地図ファイルを kmz 形式に変換するには、QGIS の GarminCustomMap プラグインを利用するのが便利である。また、GoogleEarth の他にも、3D 表示を可能とするソフトウェアは存在するので、試していただきたい。



図 2-4-4 GoogleEarth を用いた 3D 表示

2.4.3 スマートフォン用地図アプリを用いた現地利用

地形判読を行った後は、現地にて判読結果を検証する必要がある。その場合に、GPS 機器やスマートフォンの地図アプリに CS 立体図をインストールして、現在位置の表示やナビゲーション機能を用いると便利である。

GARMIN 社製の GPS では、上述の kmz 形式のファイルをインポートできる機種が販売されている。

スマートフォン用地図アプリには、自作の地図を表示する機能を有するものがいくつかあるが、AvenzaMaps (Avenza 社) では、GeoTiff 形式または GeoPDF 形式の表示が可能であり、公開している CS 立体図をファイル形式の変換をすることなく利用することが可能である (図 2-4-5)。



図 2-4-5 スマートフォン用地図アプリを用いた CS 立体図の表示

3 CS 立体図を用いた崩壊危険地形の判読事例

3.1 地形判読の基礎

地形とは、過去にその場所で発生した災害の履歴に他ならない。従って、地形判読により地形種を把握することで、将来その場所で、どのような種類の災害が発生する危険性が高いかを推測することができる。路網開設や、防災対策において地形種を知ることが、適切な対策工を講じるための基本となる。

CS 立体図は地形種の判読を容易にするために開発した図法である。しかし、正しく地形判読を行うためには、その場所の形に加えて、材料（地質、粒径、風化度など）、営力（重力、風、水、火山活動、地殻変動など）、また、これら営力の大きさや加わった時間・回数を推測し、総合的な解釈により地形種を判断する必要がある。

以下に、筆者がこれまでに行った地形判読の事例を紹介する。なお、これらの事例は筆者の解釈による見解を記したものである。

3.2 地形判読の事例

(1) CS 立体図の基本的な判読方法

図 3-2-1 に同じ範囲で作成した森林基本図(上)と CS 立体図(下)を示した。CS 立体図は、尾根(凸地)は赤、谷(凹地)は青に彩色し、20m程度の規模の凹凸を最も濃い色で表示しているため、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、急傾斜地は暗く、緩傾斜地は明るく表示される。

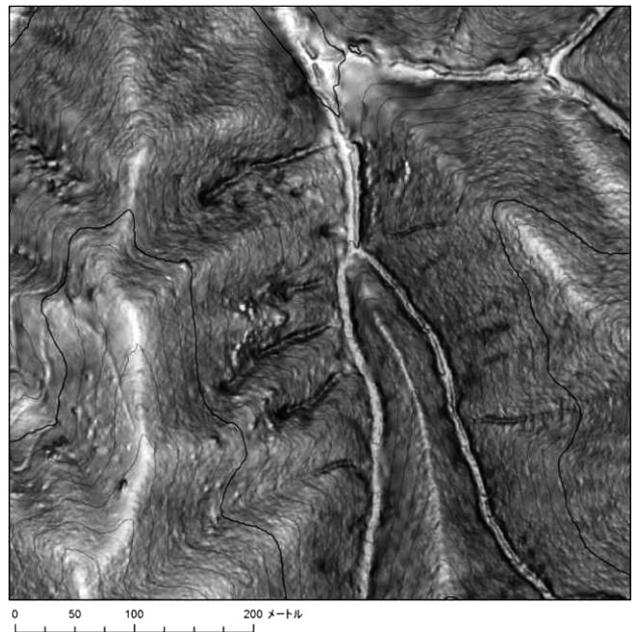
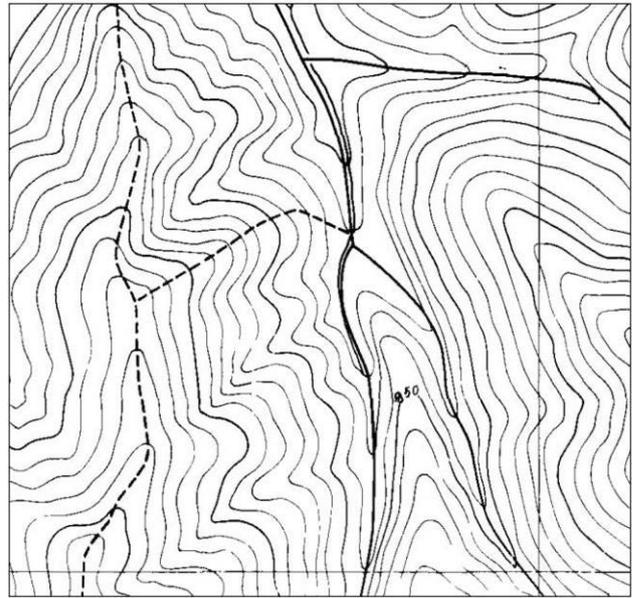


図 3-2-1 同じ範囲の森林基本図(上)と CS 立体図(下)

(2) 0次谷の判読

0次谷とは、1次谷流域より1オーダー下の流域と定義され⁶⁾、谷頭に位置し、しばしば崩壊の発生源となる。図 3-2-2 に0次谷の判読事例と、図 3-2-3 に筆者の解釈による0次谷の縦断面図を記した。

0次谷では、表層土の堆積が厚く、樹木の生長も良いが、下部から順に崩壊が上昇してゆく侵食前線でもある。0次谷を横断して路網を開設する場合は、特に横断排水に留意が必要で、侵食前線の上昇速度を変えないためには、路網開設前の集水面積を変えないことが重要であると考えられる。

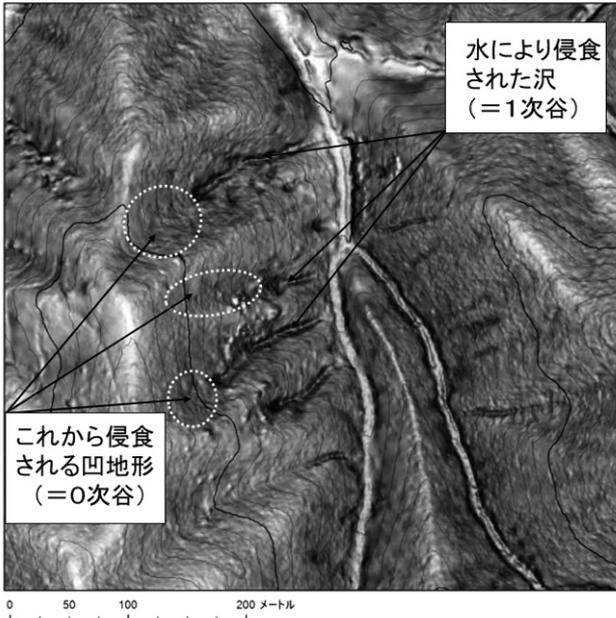


図 3-2-2 0次谷の判読

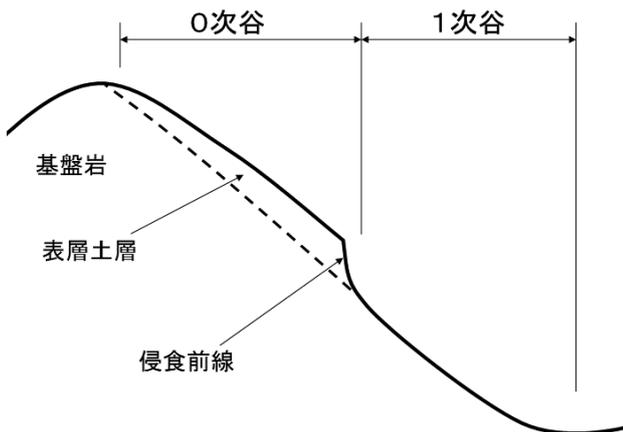


図 3-2-3 0次谷の模式縦断面図

(3) 湧水地の判読

図 3-2-4 に、現地調査で湧水を確認した場所の CS 立体図を示した。図中の○印の箇所では現地調査時に湧水またはその痕跡を確認できた。写真 3-2-1 は現地調査の様子である。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不透水層が生じ、これに沿って地下水が湧出しているものと推測できる。図 3-2-5 に筆者の解釈による縦断面図を模式図で記した。このような場所に路網開設を行うと、開設時に湧水対策の費用が生じるばかりか、豪雨時には水量が増して、路体が流失

する危険性がある。路網計画時に、湧水位置を把握して、これらを避けた線形にすることが重要であると考えられる。

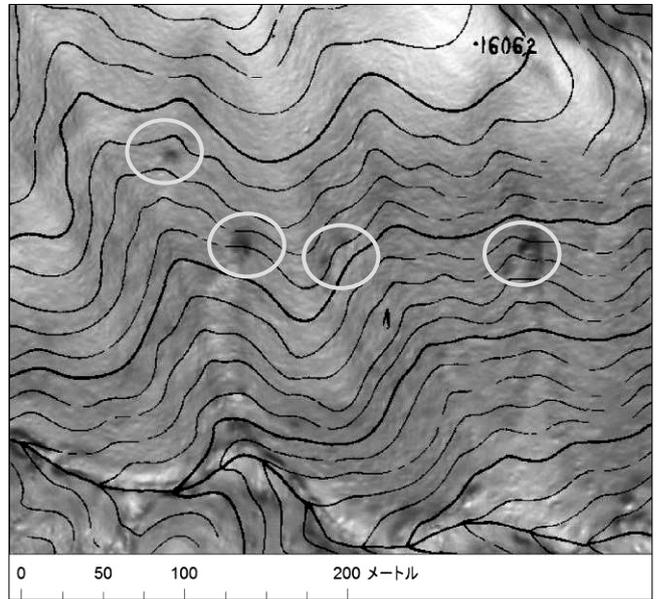


図 3-2-4 湧水地の判読



写真 3-2-1 現地調査による湧水の確認

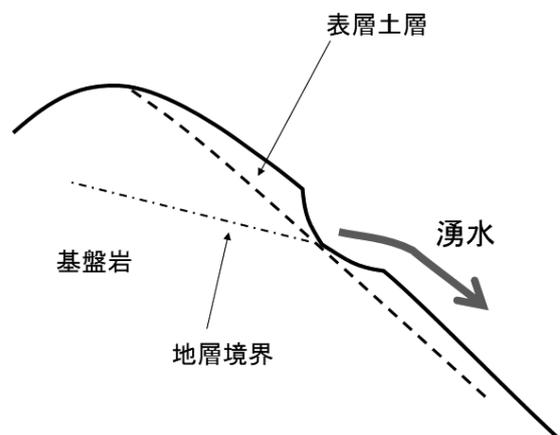


図 3-2-5 模式縦断面図

(4) 表層崩壊の判読

表層崩壊とは、基盤岩の上部にある表層土が崩壊するもので、森林の根系分布範囲か、それよりやや深い程度の表層の風化層が崩れる現象を言う。山腹の凹型斜面の勾配変化点に集中する。また、伐採跡地（裸地、幼齢林）で多く発生する傾向がある。

図3-2-6に2012年7月に茅野市北山地区で発生した表層崩壊の事例を示す。当該地の地質は、基盤岩が安山岩質溶岩で、その上にローム質土からなる表層土が堆積しており、基盤岩からの多量の湧水により表層土が崩壊したものと推測した。

図3-2-7に、災害前である2009年データにより作成したCS立体図（第1版）と、災害発生直後の2012年データにより作成したCS立体図を並べて示した。CS立体図で見ると崩壊箇所は元々薄青色の凹地形を呈している。この地域では、長い年月の間では、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。路網開設の際は、常時の湧水などは無くても、このような凹地形は、極力避けた路線線形にすることが望ましい。



図3-2-6 2012年7月発生の茅野市北山地区の表層崩壊

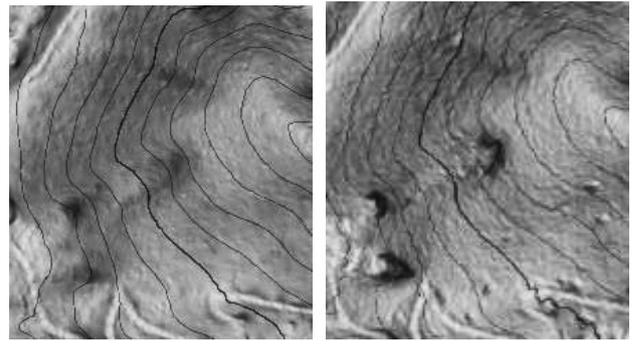


図3-2-7 災害発生前（左、2009年）と災害発生後（右、2012年）の比較

(5) 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ができる。

図3-2-8に、筆者が判読した地すべり跡地形を示す。地すべり跡地形では、移動体の両脇にある側方崖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が少なく、CS立体図では白く見えるのも特徴と言える。図3-2-9に示した様に、GoogleEarth等を利用して、3D表示で斜め上方から表示すると、地すべりの特徴をより明確に把握することができる。

地すべりブロックを横断して森林路網を開設すると、側方崖で崩壊が発生したり、ブロック内では路体が変形するなどの被害が生じる場合がある（写真3-2-2）。また、地すべりブロック外から集めた路面水を、地すべりブロック内に排水すると、地すべり本体の滑動の誘因になることも考えられるため、横断排水の位置には特に留意が必要である。

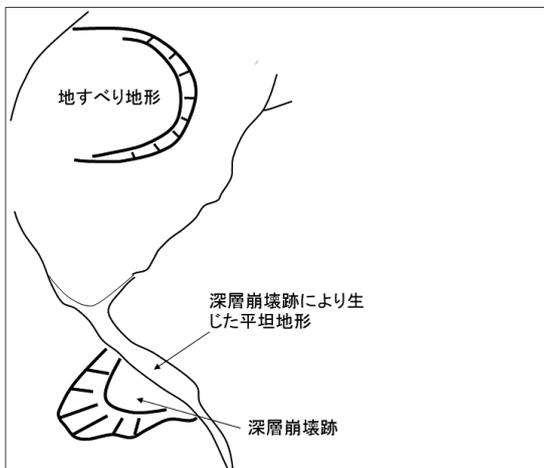
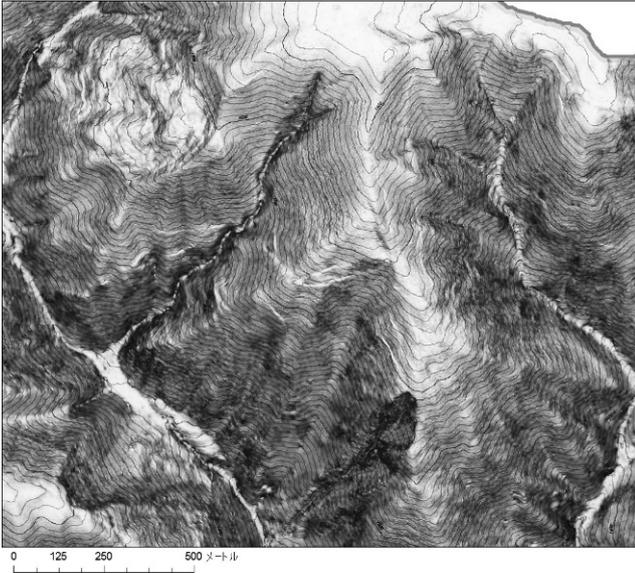


図 3-2-8 地すべり地形の判読



図 3-2-9 地すべり地形の3D表示

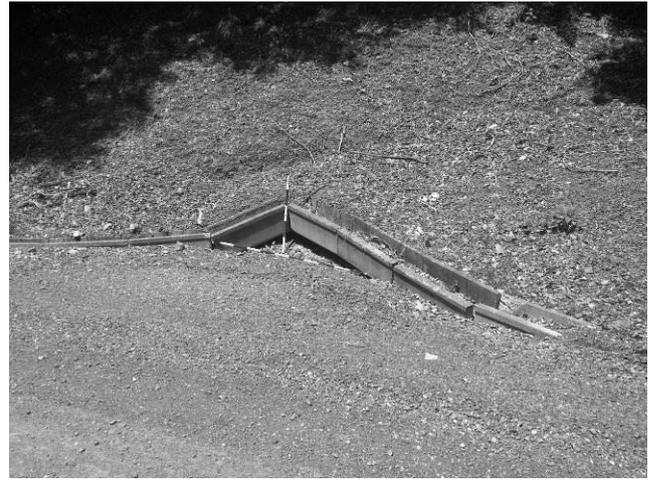


写真 3-2-2 地すべりにより変形した道路施設

(6) 土石流発生地の判読

土石流とは、崩壊した土砂が水等と混ざり、水等が滑材になって、長距離を流下する現象をいう。過去に土石流が発生した溪流では、その出口に沖積錐と呼ばれる扇形の地形が形成される。図 3-2-10 は、2014 年に南木曾町で発生した土石流災害被害地周辺の CS 立体図とその地形判読結果である。本災害で被災したのは梨子沢であるが、周辺の溪流も含めて、谷の出口には扇形の沖積錐がみられ、周辺では過去にも土石流災害が繰り返し発生していたことが推測できる。また、梨子沢の中流域は、箱状谷と呼ばれる平底型の谷地形を呈しており、過去に発生した崩壊土砂が谷底に堆積している。本災害では、これらの河床の堆積物が豪雨により流送されたものと推測した。災害直後の現地踏査時の河床の状況（写真 3-2-3）と、その模式図を図 3-2-11 に示した。

このような場所に森林路網を開設すると、土石流災害時には、路体ごと流失する恐れがある。

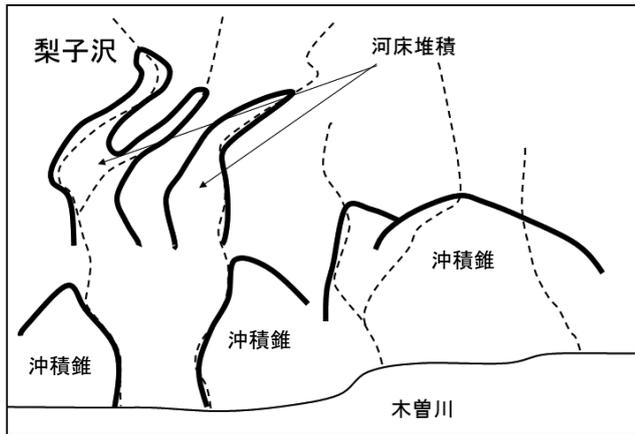


図 3-2-10 土石流危険地形の判読

(7) 地質境界の判読

異なる地質では、岩石の固さ、風化のしやすさ、透水性などの性質が異なる。従って、水の流れ方が異なり、結果として地形が異なる。地質の違いによって、崩壊の発生形態や頻度が異なるため、路網開設の際には、その場所の地質特性をよく理解しておく必要がある。

図 3-2-12 に松本市薄川流域の CS 立体図、図 3-2-13 同じ図郭の傾斜図、図 3-2-14 に地質図（長野県デジタル地質図 2015）を示した。薄川の右岸（北側）は安山岩質溶岩で、左岸（南側）は珪長質岩からなる深成岩である。右岸は、急傾斜であるが、谷密度（過去の崩壊の数）は低く、それぞれの谷は深い。また、大規模な地すべり地形も多くみられる。左岸は、比較的傾斜は緩やかだが、谷密度（過去の崩壊の数）は高く、谷は崩積土で埋まっている。北向き斜面にもかかわらず、谷地田の痕跡が見られ、水が豊富に得られることが推測できる。

このように、地質により地形が異なるため、地形判読を注意深く行えば、その場所の正確な地質境界を推測することができる。



写真 3-2-3 災害直後の梨子沢中流域の河床

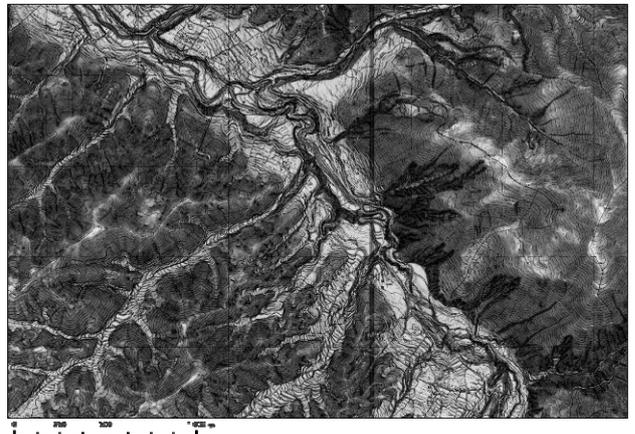


図 3-2-12 松本市薄川流域の CS 立体図

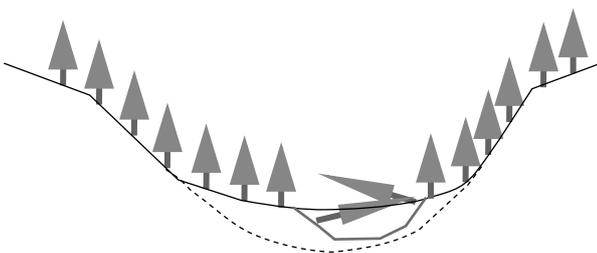


図 3-2-11 梨子沢中流域の河床堆積物の模式図

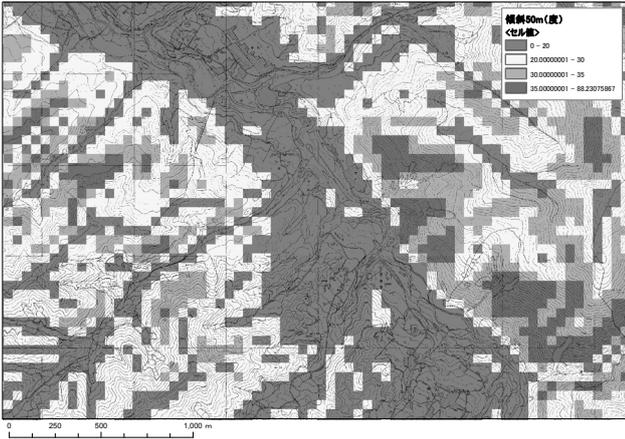


図 3-2-13 松本市薄川流域の傾斜図

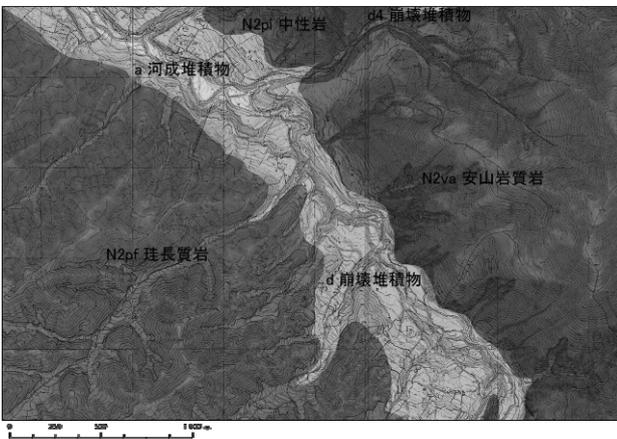


図 3-2-14 松本市薄川流域の地質図

5. おわりに

CS 立体図とその作成方法を公開したことにより、CS 立体図を自動作成するツールの開発が進んでおり、既に公開されているものも存在する。本研究の共同研究者である森林総合研究所大丸裕武氏は ArcGIS による CS 立体図の自動作成ツールである CSMaPMaker for ArcGIS を開発した。株式会社 MIERUNE の朝日孝輔氏は、フリーソフトである QGIS による CS 立体図の自動作成プラグインとして CSMaPMaker for QGIS を開発した。いずれも、G 空間情報センターから公開しており、無償でダウンロード可能である。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 立体図が作成されている。静岡県では、CSMaPMaker for ArcGIS を使用して、国土交通省から提供された 1 m メッシュ DEM により全県の CS 立体図を作成し、G 空間情報センターから公開した。さらに宮崎県のひなた GIS⁷⁾では、長野県が公開した全国 CS 立体図 (10m メッシュ) や、静岡県の 1 m メッ

シュ CS 立体図を背景図として取り込み、地質図や土壤図などと重ねて、3D 表示することも可能である (図 5-1)。



図 5-1 宮崎県「ひなた GIS」による静岡県 CS 立体図の 3D 表示

また、インディゴ株式会社の松澤有三氏は、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、Web ブラウザ上で 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、インターネット接続が可能な環境であれば、ブラウザ (Googlechrome 推奨) 上に CS 立体図を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。

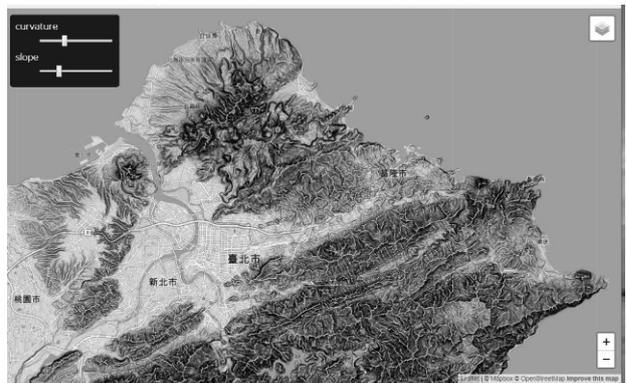


図 5-2 leaflet を用いた台湾北部の CS 立体図表示

このように、CS 立体図の作成方法と、作成したデータを公開としたことで、既に全国で活用されており、独自に発展している。今後は、森林、林業の現場に限らず、多くの人々に活用されることを期待する。

本稿は、印刷の都合で白黒表示となり、CS 立体図の色調が表示されていないことをお詫びする。カラー版は、当センターの web サイト⁸⁾に掲載さ

れる予定であるので、そちらを参照いただきたい。

参考文献および Web サイト

- 1) 鈴木隆介(1997) 建設技術者のための地形図読
図入門. 200pp, 古今書院, 東京.
- 2) 戸田堅一郎(2012) 航空レーザ測量データを用
いた微地形図の作成. 砂防学会誌 65(2) :51-55.
- 3) ArcMap オンラインヘルプ
[http://desktop.arcgis.com/ja/arcmap/10.3/too
ls/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.h
tm](http://desktop.arcgis.com/ja/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm) (2018年2月10日閲覧)
- 4) 戸田堅一郎, 小山康弘, 山内仁人(2016) 施業
による災害防止機能への影響評価. 長野県林業総
合センター研究報告:21-32
- 5) G空間情報センター
https://www.geospatial.jp/gp_front/
(2018年2月10日閲覧)
- 6) 塚本良則(1998) 森林・水・土の保全—湿潤変
動帯の水文地形学. 138pp, 朝倉書院, 東京.
- 7) ひなたGIS
<https://hgis.pref.miyazaki.lg.jp/hinata/>
(2018年2月10日閲覧)
- 8) 長野県林業総合センター>組織概要>育林部
[https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/sos
hiki/ikurinbu.html](https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/sos
hiki/ikurinbu.html)