

公益財団法人国土地理協会 第18回学術研究助成

(地図・地名に関する学術的調査・研究)

地すべり地形分布図を作成するうえで地形判読の専門家は
地すべり地の何を見ているのか？

ーアイトラッキング（視線計測）を用いて
専門家の“見ている情報”を“見える化”する教材開発ー

研究代表者 佐藤 剛 帝京平成大学大学院環境情報学研究科
共同研究者 土志田 正二 消防庁消防大学校消防研究センター

1. はじめに

地震や豪雨を誘因とした地すべり災害は、日本の各地で毎年発生している。地すべりは、一度停止しても再び動き出す性質を有することから、地すべりによって形成された地形を抽出し、その分布を地図上に表現する「地すべり地形分布図」を作成することは、山間域の防災計画のみならず山地の地形発達を考察する基礎科学にも貢献する。その意味で、防災科学技術研究所（以後、NIED と呼ぶ）が日本全国を対象に縮尺 1 : 50,000 の地すべり地形分布図を整備してきたことは意義がある。近年は航空レーザー測量が盛んに実施されるようになり、高精度の数値標高モデル（以後、DEM と呼ぶ）を用いた詳細な地形表現図（陰影図や赤色立体地図など）が作成できるようになった。これをもとに詳細な地すべり地形判読も行われている（佐藤ほか、2016 ; 佐藤ほか、2020 など）。地形判読ツールの充実化が急速に進むとともに、地形判読手法の転換期を迎えている。

しかしながら、地形判読におけるハード面の整備が進む一方で、ソフトの面での課題が浮き彫りになってきている。NIED の地すべり地形分布図を作成してきた地形判読の専門家のほとんどが 60 歳代以上となった。また、地すべり地形判読を自ら行い、地すべり地形の分布特性を議論するといった研究手法を用いる中堅・若手の研究者の数も極めて限定される状況にある。地すべり地形判読技術の伝承は今、危機的状況にあるといえよう。

この課題を克服するためには、地すべり地形判読の熟練者（以後、熟練判読者と呼ぶ）の技術を後進に理解しやすい形で伝える手法を開発することが求められる。これまで地形判読技術の移転は、地形判読の初心者（以後、初心判読者と呼ぶ）の判読結果を熟練判読者がチェックし、熟練判読者が初心判読者に対し誤判読を指摘することや、初心判読者が自身の判読結果と熟練判読者の判読結果とを見比べ、自身の判断の誤りに気づくことで判読技術を修得していく方法で行われてきた。これらの手法の問題点は、技術移転に長時間を要すること、また熟練判読者が地形のどこを見て判読しているのか、初心判読者がライブ感覚で学習する機会が欠けている点にある。例えば熟練医師が若手医師にレントゲンやMRI の画像診断を教育するには、ひとつの画像を両者で診て病状を判断していくのが通常



図-1-1 アイトラッキングシステムを用いた地形判読記録

である。これがなされてこなかったのは地形判読に実体鏡を介した空中写真判読が用いられてきたことに起因する（通常の実体鏡では、2 名の判読者が同時に空中写真を見るできない。同様に空中写真を 2 名が同時に裸眼実体視するのも困難である）。

前述のように高精度 DEM の普及は、空中写真の実体視がなくとも地形表現図を用いて地形判読ができる環境を整備した。そこで筆者らは、近年マーケティングの分野で利用されるようになったアイトラッキング（視線計測）システム（図-1-1）を用いて地形判読プロセスを記録することを思いついた。地形表現図とアイトラッキングシステムを用いて、熟練判読者の地形判読プロセスを“見える化”することに挑戦し、かつ、地形判読過程で得られた発話内容を解析すれば、効率的な地形判読技術の伝承手法（教育プログラム）の開発に繋がると考えたからである。

2. 方法

2-1 地形判読対象地と地形表現図の作成

地形判読は上記のように航空写真の実体視をもとに行われてきたが、アイトラッキングシステムは両目の注視点を記録するものなので、2 枚の航空写真を同時に見ることはできない。しかしながら、航空レーザー測量のデータから作成される DEM を用いて作図した地形表現図を用いれば、アイトラッキングシステムを用いた地形判読プロセスを記録することが可能となる。本研究では長野県北安曇郡白馬村を流れる姫川水系松川および平川流域を地形判読対象地に設定し地形表現図を作成した。この地域は日本でも有数の地すべり地

形分布域であり、かつ地すべりの前兆現象とされる岩盤クリープ地形も発達する。なお、この地域の地すべり地形分布図（地すべり地形学図）とそれをもとに議論した地形発達プロセスに関しては、佐藤・荻谷(2014)に詳しい記載があるので、それを参照してもらいたい。

地形表現図は、2つのエリア（調査地Aおよび調査地B）を対象に2種類作成した。調査地Aの地形表現図（図-2-1-A）は、広域の調査地のなかで地形判読者がどのように地すべり地形を抽出するのか、調査地Bの地形表現図（図-2-1-B）は、地形判読者が地すべり地内部の地形構造をどのように判読するのか知見を得ることを意識して作成した。それぞれの図の縮尺は調査地Aで1:25,000（実印刷サイズはA3）、調査地Bで縮尺1:7,500（実印刷サイズはA3）からなる。

調査地A（図-2-1-A）の中央には、飛騨山脈の主稜線（HS）から北東-南西方向に伸びる稜線である八方尾根（HO）が存在する。八方尾根の稜線付近には岩盤クリープによって形成された線状凹地や低崖群が多数認められるとともに、大規模な地すべり地形や崩壊地形も存在している（佐藤・荻谷, 2014）。例えば、図-2-1-Aに示したHOの東側には幅1kmを超える円弧状の滑落崖（赤矢印）が存在しているのが読み取れることから、大規模な地すべり地形が存在することが推察できる。調査地B（図-2-1-B）には、明瞭な滑落崖（赤矢印）とその南側に滑動した移動体からなる地すべり地形が認められる。この地すべり地は、倉下地すべりと呼ばれており（図中KJ）、図-2-1-Aでは北東部に存在している。この地すべり地では、1998年に活動性の高い地すべりの動きが観測されたことから、長野県姫川砂防事務所が排水トンネルや集水井等を施工した経緯をもっている（例えば飯沼ほか, 2003）。また、本地すべりは地すべり移動体（以後、移動体と呼ぶ）の緩傾斜面を利用した宅地（別荘地）開発がされており、図-2-1-B図をみても、道路面や棚田状に人工改変された宅地面を読み取ることができる。

地形表現図の作成にあたっては、国土地理院の基盤地図情報から提供される5mメッシュのDEMと国土交通省松本砂防事務所から提供された1mメッシュのDEM（姫川流域LP計測による土砂移動調査業務, ID: BE95B190736CA82B, 計測期間: 2011/10/16 ~ 2011/11/27）を利用し、Arc GISを用いて作図した。具体的には、数値標高データを用いて算出した傾斜図

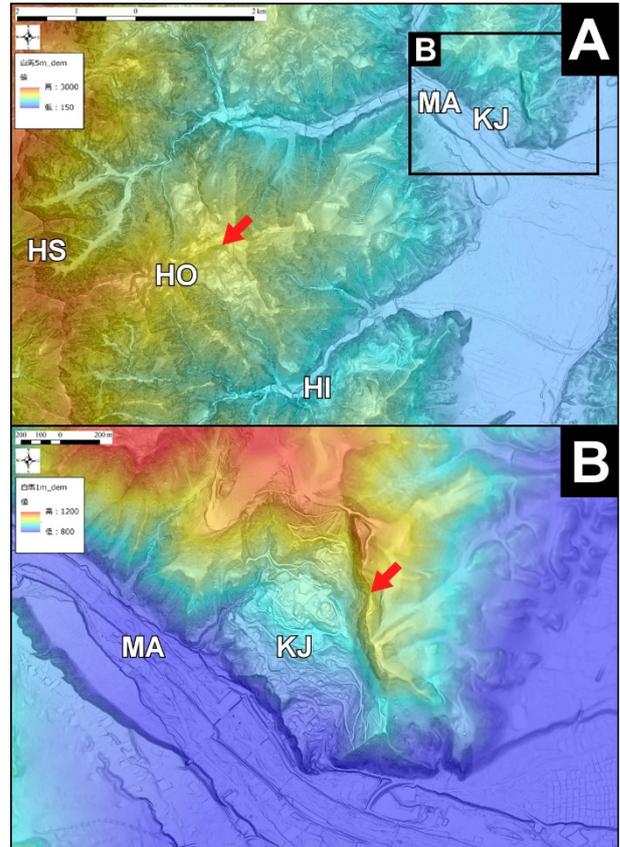


図-2-1 地形判読に用いた地形表現図

(A: 調査地A, B: 調査地B)

なお、図中に示したMA, HI, HS, HOおよびKJは、松川、平川、飛騨山脈主稜線、八方尾根および倉下地すべりの位置を、矢印は滑落崖の位置を説明するもので、地形判読時にはこれらの文字・矢印が記載されていないものを用いた。

を逆グレースケールで表示したものに、標高データを半透明（50%透明）にして、オーバーラップさせた。従って、傾斜は明度で、標高は高くなるほど暖色に、低くなるほど寒色を用いることで表現されている。調査地Bの地形表現図（図-2-1-B）の範囲では、その一部において1mメッシュでの測量がされていないため（倉下地すべりを対象に測量されているため、地すべり地域外のデータは存在しない）、地すべり地域外は5mメッシュデータを用いて補間している。両メッシュデータの標高の凡例は揃えているため、シームレスにも見えるが、注意深く観察すると地形の表現精度が大きく異なる。なお、実験実施の検討段階において、地図内に等高線は入れないことにした。例えば1m等高線を入れると図が潰れてしまうこと、10m等高線では詳細な地形が等高線により見え難くなることなどを考慮したためである。しかしながら、実験後に熟練地形判読者からは粗くても等高線が欲しかったとの意見もあったことを今後の実験の参考のため記して

おく。

2-2 地形判読者の選定と

使用したアイトラッキングシステム

アイトラッキングシステムを用いた地すべり地形判読プロセスを記録するためには、地すべり地形判読作業の経験をもつだけでなく、近年実施されるようになった地形表現図をもとにした地すべり地形判読の経験をもつ熟練判読者に被験者になってもらう必要がある。そこで本研究では、弘前大学名誉教授の檜垣大助氏（熟練判読者A）、山形大学教授の八木浩司氏（熟練判読者B）に地形判読者になっていただいた。両氏は40年以上の地形判読経験をもつとともに、NIEDの地すべり地形分布図をはじめ多数の地すべり地形分布図をこれまで作成してきている。また、熟練判読者と初心判読者との判読プロセスの比較を行うため、初心判読者にも被験者になってもらった。実験に協力してくれたのは、地すべり調査・対策を主とするコンサルティング企業のJ社に勤務するA氏（初心判読者A）である。同氏は2018年度に農学部林学科を卒業した入社1年目の技術者である。地すべりのメカニズムについての知識はあるが、地形判読の経験は入社後の社内研修で行ったのみで乏しい状況にある。

実験は大日本印刷株式会社のDNPヒューマンリサーチラボにあるヒューマンリサーチルームで実施した（図-2-2）。ヒューマンリサーチルーム内には、判読者と判読者にアスキングする担当者1名、時間管理および調査過程を筆記する研究者1名のみとし、室内に設置されているビデオカメラの操作や音量操作等はすべて判読者からは見ることのできないミラールーム内

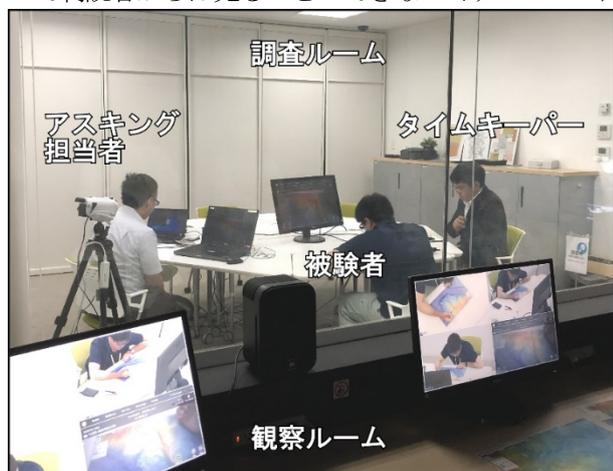


図-2-2 ヒューマンリサーチラボでの
実験状況

において行った。実験に使用した機材は、以下のものである。

Tobii Pro Glasses 2 (トビー・テクノロジー株式会社)

ソフト: Tobii Pro Lab

SMI Eye Tracking Glasses 2 Wireless

(旧 SensoMotoric Instruments)

ソフト: iViewETG

2-3 地形判読プロセスの記録

上記3名の判読者を対象にアイトラッキングシステムを用いて地形判読プロセスを記録した。なお、この記録作業に先駆けて予行演習を数度行い、記録を開始するにあたり適切な方法を構築したうえで実施した（図-2-3）。

判読者には、1人ずつヒューマンリサーチルーム（調査ルーム）に入ってもらい、調査の概要説明を行った。この際、判読者にバイアス確認とラポール構築を行った。判読者にはウェアラブルアイトラッカー（図-1-1）を装着してもらい、地形判読タスクの説明を行った。地形判読には前述の通り2枚の地形表現図を用いるが、広域を対象とした図-2-1-Aを用いた地形判読を地形判読タスク①、狭域を対象とした図-2-1-Bを用いた地形判読を地形判読タスク②とした。地形判読タスク①の実施前には地形表現図に慣れてもらうため、ダミーの地形表現図（姫川支流大所川流域を対象とした縮尺1:25,000のもの）を準備し、これを用いて判読者にはコメントしながら地形判読結果を書き込む（地形境界線を書き込む）作業を行ってもらった。

地形判読タスク①の実施にあたっては、図-2-1-Aの地形表現図（ここではタイプAと呼んだ）を判読者の前に置き、次の指示をした。「この広域の地形表現図を見て、地すべりで形成された地形を見つけてください。また、地形を見つけたら地形境界を線で引くか、その範囲を○（マル）で囲ってください。書きながら、どういう理由で判読したか、簡単にコメントしてください。制限時間は20分間です」。指示後、20分間は判読者に地形表現図上で線や○を記入してもらうとともに、その過程についてアイトラッキングシステムを用いて視線データを取得した。行動観察用にビデオカメラを用いた映像記録も行った。アイトラッキングシステムによる記録の終了後には、判読者に対しアスキ

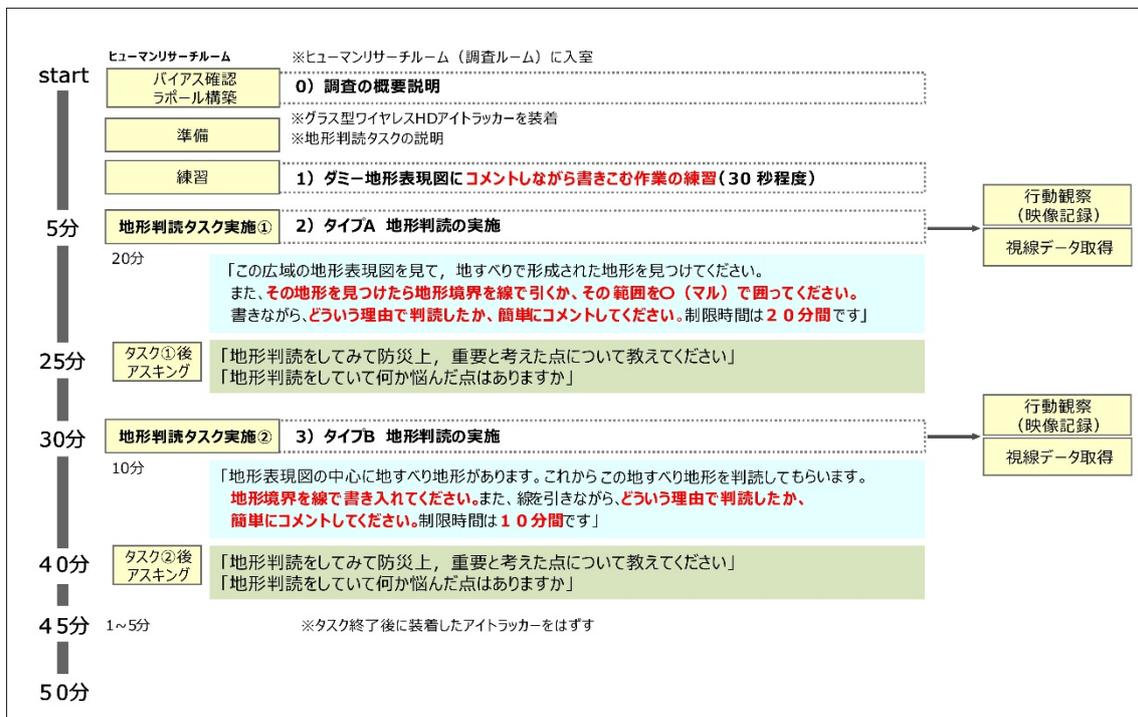


図-2-3 アイトラッキングシステム調査の流れ

グを実施した。質問項目は「1. 地形判読をしてみて防災上、重要と考えた点について教えてください」および「2. 地形判読をされていて何か悩んだ点はありますか」の2点である。

次に地形判読タスク②を実施した。図-2-1-Bの地形表現図（ここではタイプBと呼んだ）を判読者の前に置き、次の指示をした。「地形表現図の中心に地すべり地形があります。これからこの地すべり地形を判読してもらいます。地形境界を線で書き入れてください。また、線を引きながら、どういう理由で判読したか、簡単にコメントしてください。制限時間は10分間です」。指示後は10分間、地形表現図の地形境界に線を判読者に記入してもらった。アスキングの内容は、地形判読タスク①と同じである。なお、判読者は実験に用いた地形表現図が初見であるとともに、場所等の情報について一切知らされていない状況で判読作業を行ってもらった。

2-4 地形判読プロセスの解析

アイトラッキングシステムを用いて収集されたデータは、視線入りの動画（判読者の視点位置が時系列で表示される；図-2-4）で表現される。本研究では3名の判読者の視線入り動画から地形判読プロセスを追跡したが、本稿では熟練判読者Aの事例について紹介する。また、収集されたデータは、さまざまな手法を

用いて解析される。本研究では解析ソフトウェアであるTobii Pro Labを用いて解析処理し、ゲイズプロットやヒートマップを用いて地形判読プロセスを可視化した。ゲイズプロットとは、どこからどの位置を見たか、どの順番で見たか、どの程度見たかを線と数字と円の大きさとで表現するものであり、ヒートマップは視線の注視時間をサーモグラフィーのように表現するもので、視点が置かれた箇所ほどより濃い色で示される（本研究では赤色を用いたが、注視される時間の長短で、赤、黄そして青の順に示すことも可能である）。熟練判読者と初心判読者のゲイズプロットやヒートマップの比較をすることで、熟練判読者と初心判読者の地

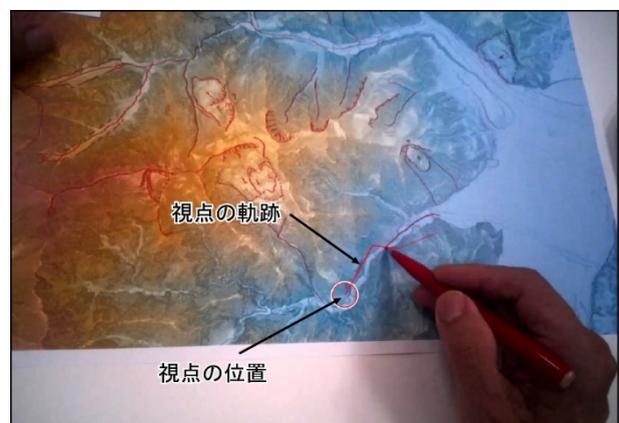


図-2-4 熟練判読者Aの視線動画

視点の位置（円）とその軌跡（円に繋がる赤線）が表示される。視点の位置を追うように熟練判読者Aがペンを用いて赤線を書き入れているのが分かる。

形判読プロセスの差異を明らかにすることを試みた。

判読者の発話内容の分析に関しては、発話内容からワードの出現頻度をカウントし、キーワード抽出を行うとともに、データマイニングの技術を用いた解析も試みた。多量のデータを分析するには、データマイニングの技術を用いる必要があるが、本研究ではデータマイニングの一種であるテキストマイニングをツールとして用いる。利用するソフトウェアは、(株) 構造計画研究所社製の KeyGraph (大澤ほか, 1999) である。KeyGraph は、一般的なテキストマイニングツールでは困難であった文章構成のキーワード (本研究では発話内容のキーワード) の抽出を行い、隠れた関連性を抽出することができる。また、文章の単語の関連性をマップ上に可視化できる特徴も持ち合わせている。ゲイズプロットやヒートマップを用いた分析と同様、熟練判読者と初心判読者の発話の繋がりを可視化することで、地形判読プロセスのポイントを理解することにも挑戦した。なお、テキストマイニングの解析結果は、共起ネットワーク図で表現される。図-2-5 はその模式図になるが、本研究では判読者が発話した単語のうち、出現頻度の高いものから上位30個を大円 (青) で、大円で表示された語と共起性の高い単語上位20個を小円 (赤) で表示している。なお、太線は大円のうち共起性の高い語同士のペアを描画し、細線はすべての小円と共起性の高かった大円との間に描画している。

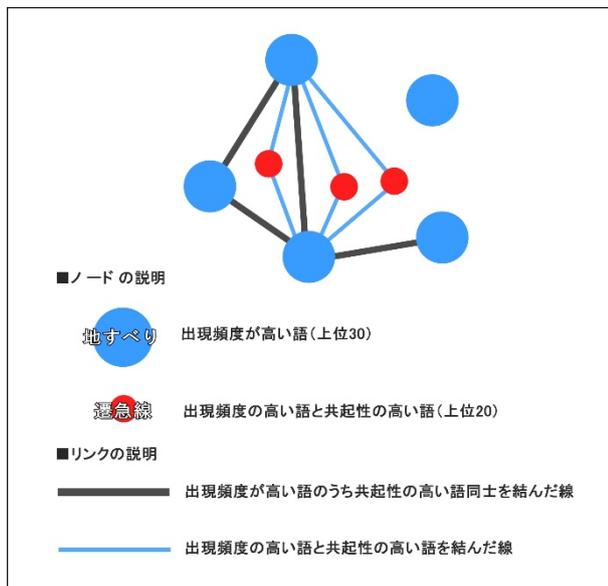


図-2-5 共起ネットワーク図の見方

2-5 熟練判読者による現地での地形解説

地形判読の結果を示す地形判読図をより精度の高いものにするためには、屋内で判読した結果を現地において確認し、必要があれば判読結果を修正していくことが重要である。アイトラッキングシステムを用いた地形判読を経験した熟練判読者に、その判読結果と現地の地形観察をもとに、地形判読のポイントについて解説してもらい、それをビデオカメラで録画した (図-2-6)。

解説の対象とした地すべり地形は、倉下地すべりのものである。録画された動画は、アイトラッキングシステムを用いた判読過程の視線動画 (図-2-4) とともに地すべり地形判読の教育プログラムのひとつとして活用されるものとなる。



図-2-6 現地での熟練判読者 B

(左側; 八木浩司氏) による解説状況
熟練判読者 B の奥に見える斜面が倉下地すべりになる

3. 結果と考察

3-1 熟練判読者 A による判読結果と

判読プロセスの解析

3-1-1 地形判読タスク①による地形判読結果

本稿では熟練判読者のうち A 氏 (檜垣大助氏) の地形判読結果と判読プロセスの解析結果について取り上げる。地形判読タスク①における熟練判読者 A の地形判読結果は図-3-1 ようになった。この図を用いてアイトラッキングシステムで録画および録音された熟練判読者 A の判読プロセスについて紹介する。

最初の段階で、熟練判読者 A は地形表現図 (図-2-1-A) 全体を見通し、図の東側に沖積低地と河成段丘が存在すること、そして東西に伸びる八方尾根に注目し、八方尾根の稜線上に線を書き入れた (矢印-a)。

次に矢印-b に存在する地すべり地の滑落崖、そして移動体を抽出した。次に矢印-c の谷に注目し谷底を線で結び、その上位にある矢印-d で示した緩斜面が周囲と比較し水系の発達が悪いことから、地すべりの移動体の可能性が高いと判断している。そして、より詳細に判読を行い矢印-e および f の滑落崖を抽出するとともに、その東側にキレットが存在するとして実線(矢印-g)を書き入れた。移動体内部に視線を移してからは、移動体の範囲を点線で書き入れ(矢印-h)、その移動体内に二次的な移動体となる2つの地すべりブロックを抽出している。周辺に視線を移して次に注目したのが、矢印-i と矢印-j で示した平坦面で、ここでは2段の地すべり地形を抽出している。視線は東に移り矢印-k では稜線がえぐれていることから滑落崖としながらも、沢線(矢印-l)が滑落崖近傍まで入り込んでいるので、移動体はなくなっていることから今後の地すべりの危険性はないと判断している。同様の地形が矢印-m にあることも指摘している。次に矢印-n で示した2本の遷急線に着目し、これらの遷急線下には地すべり地形が存在せず、沢の侵食により形成されたものとした。東側に視点を移し平地との境界をみつ、矢印-o の平坦面に着目し、不明瞭ながらも滑落崖とその平坦面とがセットになっていること

から地すべり地形の可能性を指摘した。北側の松川右岸に視線を移してからは、矢印-p で示した地すべり地の判読を行い、移動体内部の段差地形と移動体先端が河川侵食を受けていることを指摘した。ここでは、移動体に道路と推定されている形状も抽出している。この地すべり地の対岸となる松川右岸の段丘面を目で追っていき、矢印-q で示した段丘面(図中では斜線で示されている)は侵食基準面よりも高い位置にあるから、その背後の斜面(南向き斜面)において地すべりは発生しにくいことを指摘している。松川右岸から左岸側に目を移しつつ、谷底の砂防えん堤群の存在を指摘したあと、矢印-r で示した複数の侵食谷を書き入れ、その上流に小規模で不明瞭な地すべり地形群について指摘している。松川の上流に目を移しながら河床上を上流に向かって線を引き、矢印-s の緩斜面に注目している。この緩斜面に関しては地すべり性の成因に疑いを持ちながら、他のプロセスによる堆積地形の可能性を鑑み、成因は特定しないことにしている。次に矢印-t よりも上流の谷底に線を引き、南北方向に伸びる主稜線(矢印-u)の線を引いたあと、矢印-v と w 付近がU字谷のようにみえること、主稜線の東斜面は侵食が非常に進んでいることから、地すべり地形は存在しないことを示唆している。平川流域に視線

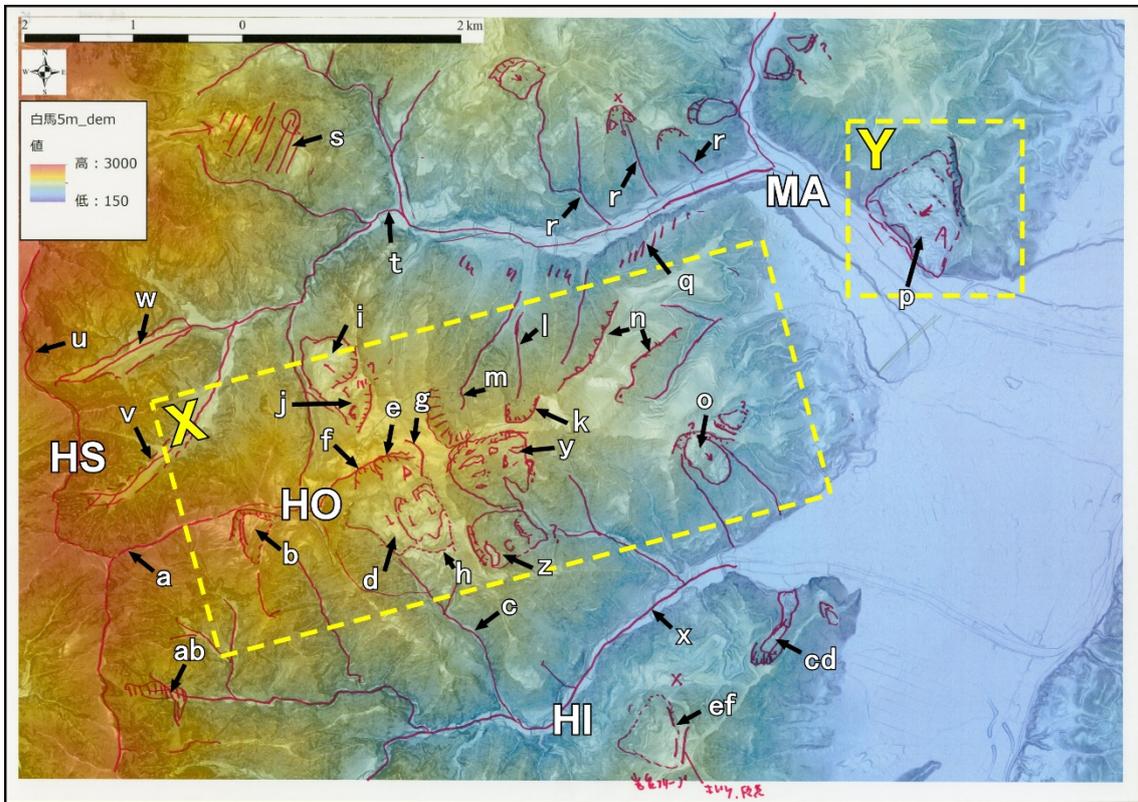


図-3-1 地形判読タスク①における熟練判読者Aの判読結果

MA : 松川, HI : 平川, HS : 飛騨山脈主稜線, HO : 八方尾根

を動かしてからは、矢印-x で示した平川谷底を上流側へと視線を移しながら線を書き入れ、砂防えん堤群の存在を指摘した後、矢印-y 周辺に視線を移し、複数の段状の地形が存在することから地すべり地形の可能性を疑い判読している。同様の地形が矢印-z にもあることも指摘した。視線を谷底に戻し、上流側の矢印-ab まで移動し、その周辺が氷河地形の可能性があると、明瞭な地すべり地形は存在しないことを指摘した。図の東側に視線を大きく移動させてからは、矢印-cd に深層崩壊的なプロセスで形成された地形の存在を指摘した後、矢印-ef 付近に存在する段差地形から岩盤クリープの可能性を指摘した。最後に谷沿いに視線を走らせながら全体を見直し、いくつかの地すべり地形を抽出した後、矢印-p, y, z, d, i で示した地形が判読範囲では比較的地すべり地形だと分かるものであるとした。

3-1-2 地形判読タスク①における

判読プロセスの解析

熟練判読者Aの判読結果を見ると、地すべり地形の抽出のみならず、谷底上を結んだ谷線と尾根上を結んだ尾根線を引いている。図-3-1 に示された判読結果だけでは分かりにくいのが、視線動画からは谷線の形状が直線から非直線になるところに注目し、そこに緩傾斜面が存在していないか確認、緩斜面が存在していれば、その地形形状から地すべりの可能性がないか（滑落崖とペアになっていないかなど）検討するという手法が取られていた。また、図-3-1 の矢印-q の段丘面の背後斜面や飛驒山脈主稜線東側の急斜面は、前者が段丘面化した斜面の背後にあること、また後者は侵食が進んでいて地すべり移動体が存在しないことから地すべりの危険性が少ないといった、相対的に地すべりが発生しにくい場所についても判読していた。

さて、熟練判読者Aが抽出した個々の地すべり地形の分布をみると、黄色の枠で示したエリアXに集中しているのが分かる。前述のように八方尾根には岩盤クリープに伴う多数の低崖が分布している。岩盤クリープは地すべり活動の初期段階の動きであり、クリープにともない谷向きや尾根向きの低崖が微地形として形成される（千木良，1995 など）。熟練判読者Aは図-3-1 の矢印-g で示した実線を書き込みキレットの存在を指摘したが、実際この場所には、岩盤クリープにともない形成された凹地が存在する（図-3-2）。現地で



図-3-2 八方尾根稜線上に存在する岩盤

クリープで形成された凹地

観察すれば岩盤クリープによって形成された明瞭な地形と判断できるが、熟練判読者Aはこのスケールの地形表現図でその位置を正確に抽出し記載している。また、地すべり地形は八方尾根を構成する北向きおよび南向き斜面において斜面を開析する谷の上流部に地すべり移動体が存在していることを紹介している。八方尾根の南向き斜面では矢印-f および e で示した滑落崖とその下位にある地すべり移動体（矢印-d）が抽出されているが、この移動体の下方は新たな侵食により開析を受けている。これを勘案すれば、開析谷の上部に位置する地すべり群は不安定な状況であり、矢印-d のほか y, z, o が該当すると判断をしている。熟練判読者Aは、図-3-1 のエリアY（矢印-p）の滑落崖と移動体も抽出している。この地すべり地は、いわゆる狭義の地すべりにより形成された典型的な地すべり地形で、地形判読タスク②で判読する倉下地すべり地である。このスケールでも地すべり移動体内の段差や末端の二次的なブロックを区分する線を書き込んでいる。

次に Tobii Pro Lab を用いた熟練判読者の判読過程の解析について紹介していく。図-3-3 に示したのは、熟練判読者Aの判読開始後3分間のゲイズプロットである。前述したようにゲイズプロットは、どこからどの位置を見たか、どの順番で見たか、どの程度見たかを線と数字と円の大きさとで表現するものであるが、これを見ると1桁から2桁の番号で示された円は、松川の河床や山体を開析する谷の上流に位置している。3桁の番号になると、八方尾根の稜線付近に分布が集中しており、かつその円も相対的に大きいものになっている。映像記録からも3分以内で地すべり地形が密に

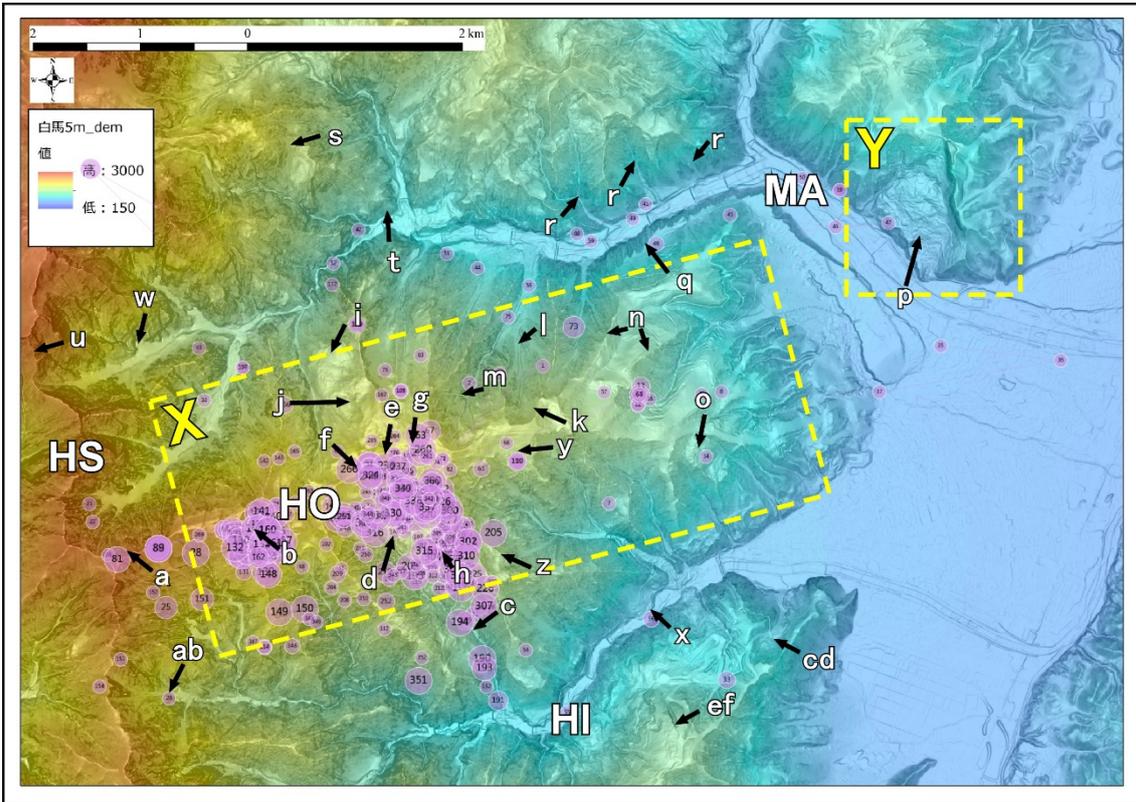


図-3-3 地形判読タスク①における熟練判読者Aの
判読プロセスから得られたゲイズプロット
MA : 松川, HI : 平川, HS : 飛騨山脈主稜線, HO : 八方尾根

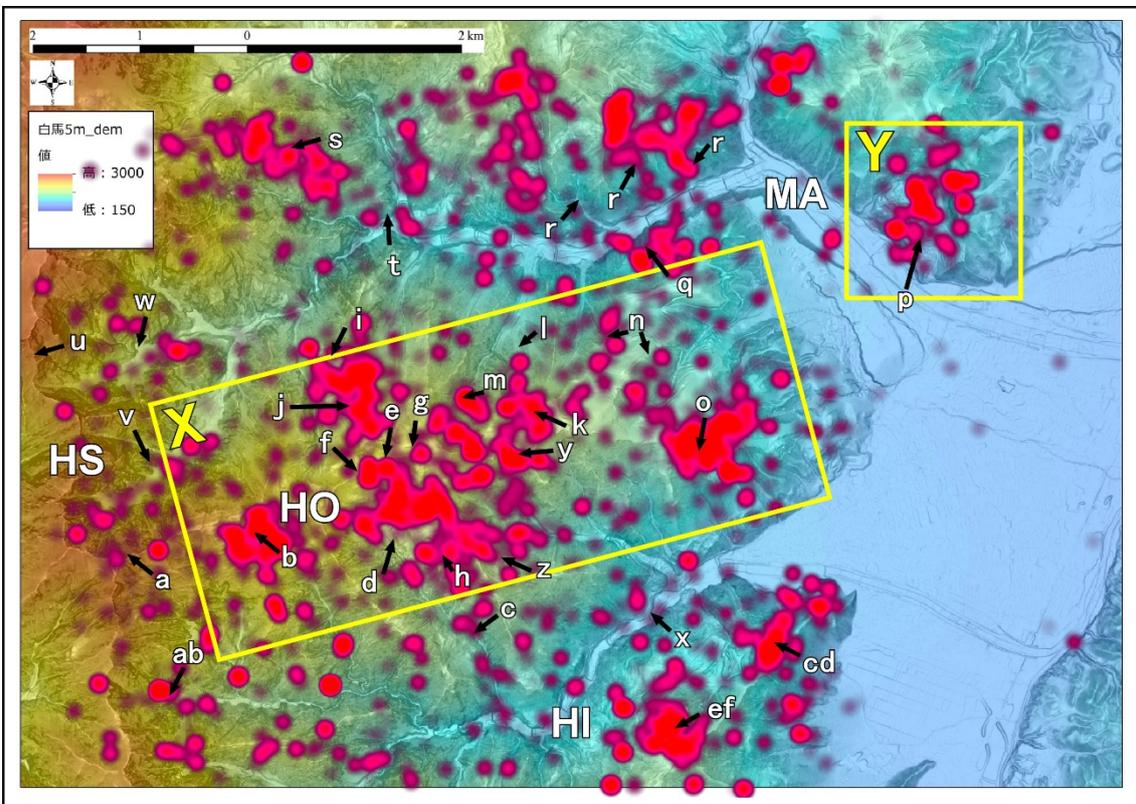


図-3-4 地形判読タスク①における熟練判読者Aの
判読プロセスから得られたヒートマップ
MA : 松川, HI : 平川, HS : 飛騨山脈主稜線, HO : 八方尾根

分布するエリアを抽出し判読作業に移っていた。熟練判読者は 20 分という制限時間のなかで、まず 3 分以内で調査域全体の地形を谷線にそって観察し、そのなかで地すべりに関わる地形を把握、そのあと地すべりの集中する八方尾根に視点を動かしていったことが分かる。そのなかでも特に注目しているのが、矢印-d で示した地すべり地である。この地すべり地に関しては、移動体末端の下位の斜面長が長大であることから、移動体の再活動が大規模に発生すれば土石流化し平川下流域に甚大な被害が生じる可能性がある。熟練判読者 A は判読作業における早期の段階でこの地すべり地に注目している。

図-3-4 はヒートマップで、熟練判読者 A が判読開始時から終了時にかけて 2 秒以上視点を置いた箇所を示している。エリア X の地すべりに関連する地形が集中する箇所やエリア Y の倉下地すべり地に高い値が与えているのが分かる。注目すべきは、こうした地すべり地形上だけではなく、斜面を開析する谷に沿うように視点がポツポツと置かれていることである。映像記録からも谷の形状を確認しつつ判読していることは上述したが、それを示すデータといえ、かつ地形判読の初心者が注目すべきポイントを指し示していると考えら

れる。

3-1-3 地形判読タスク②による地形判読結果

地形判読タスク①に引き続き、地形判読タスク②における熟練判読者 A による地形判読結果(図-3-5)と判読プロセスの解析結果について紹介していく。

熟練判読者 A は、地すべり移動体と滑落崖の境界を瞬時に確認した後、図-3-5 に示した矢印-a と矢印-b を結ぶ線が水系を隔てていることから、輪郭線として線を引き、矢印-b から矢印-c, d を経て、矢印-e まで断続的に線を引き続けている。東に視点を動かし、矢印-f 付近にある遷急線に関して注目したが、その成因の判断に悩んだことから線を入れないにしている(移動体の抽出が済んだ後に記入している)。次に移動体の抽出に移り、矢印-g から矢印-h を経て、矢印-i まで線を書き入れた時点で一時的に移動体の抽出を止め、矢印-j の崖地形を抽出した。この崖地形に対応する移動体の範囲を考え、矢印-k から矢印-l まで線を引き続けている。矢印-i と矢印-k の間は、地形が不明瞭であったため、線を書き入れていなかったが、道路の存在が地形を不明瞭にしていると考え破線で結んだ。次に矢印-m から矢印-n にかけて滑落崖を認定していくが、それに対応する移動体の存在

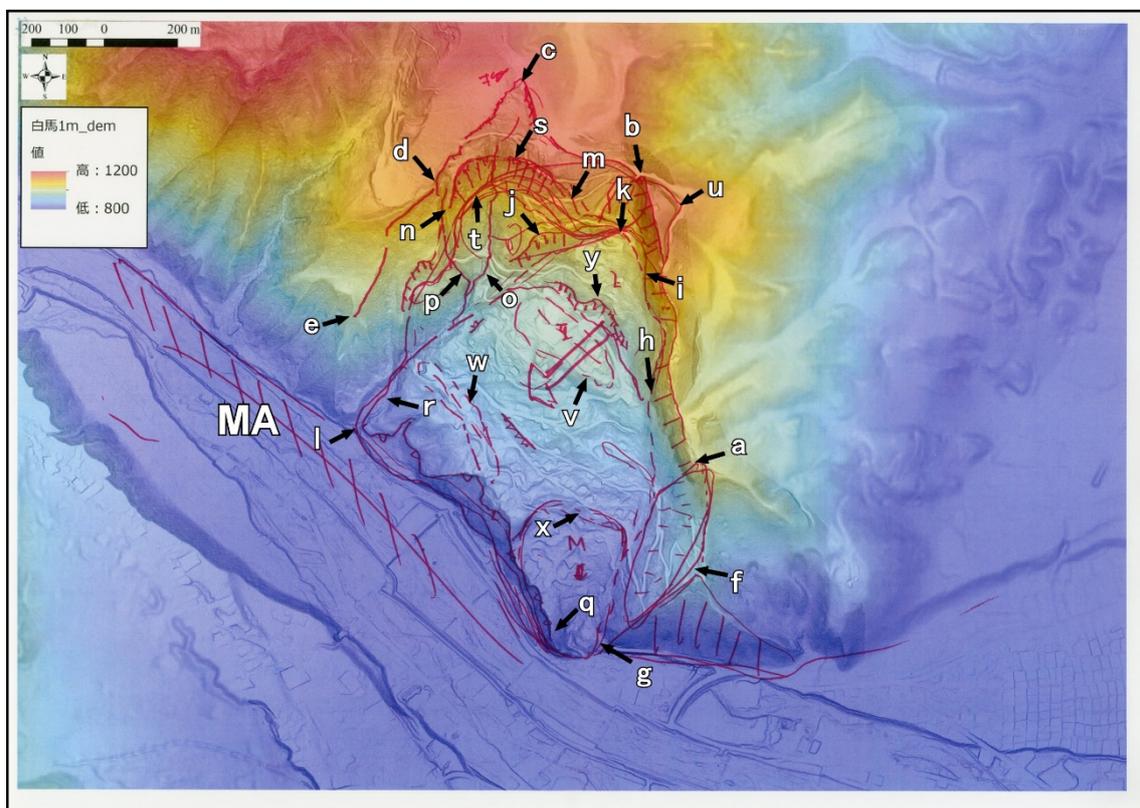


図-3-5 地形判読タスク②における熟練判読者 A の判読結果

MA : 松川

をどのようにすべきか悩んでいる。その際、矢印-o および p の谷線を書き入れていた。視線を地すべり地形の南東に移してからは、矢印-q から矢印-r にかけて存在する遷急線に着目し線を引き、またその下位にある明瞭な遷緩線を引くことでこれが河川による侵食でできた崖と判断している。これにより、矢印-q から、矢印-h、矢印-i、矢印-k そして矢印-r までを移動体の範囲と認定した。一方で、矢印-s が示す遷急線に関しては、それに対応する移動体の抽出に悩みながらも、矢印-t が示す移動体の輪郭線を引いた。北側の滑落崖に視点を移動してからは、矢印-u が示す崖が人工のものであると判断するとともに、その周辺の地形が不明瞭であることを紹介している。次に移動体内部の構造に着目し、矢印-v と x で示した破線の範囲がマウンド状の地形で構成されていることを指摘している。これらの地形は北西-南東方向に長軸を持っていることから、地すべりの移動方向はそれに直交する方向にあると推測している。移動体の内部構造をさらに見続け、矢印-x で示した崖を書き込み、本地すべりがいくつかのブロックに分かれて地すべり滑動があったことを説明した。今後の地すべりの危険性が存在することも指摘している。さらに、矢印-b から矢印-c を経て矢印-d まで引いた輪郭線は、その下位にある地すべりの動きに引っ張られて形成された段差と考え、ここにも今後の滑動の危険性があることを指摘している。なお、主要な地すべり移動体（矢印-q から、矢印-h、矢印-i、矢印-k そして矢印-r を結ぶ範囲）の幅は約 1 km であることに触れている。次に松川による河川侵食に着目し、移動体の西隣にある非地すべり性斜面の末端と矢印-l で示す移動体末端の位置は一連の侵食崖で構成されることから、移動体の押し出しが認められず、現在は活動的には動いていないと判断している。一方で矢印-x の崖に対応するブロック（熟練判読者 A が M と記載したブロック）は、地すべり滑動により前方に張り出していることから、相対的に動きやすい場になっていることを指摘している。

3-1-4 地形判読タスク②における

判読プロセスの解析

熟練判読者 A は地形判読タスク①において、谷底上を結んだ谷線と尾根上を結んだ尾根線を引きながら地すべり地形を抽出していたが、地形判読タスク②にお

いては、比較的認識しやすい地すべり地形であるため、それを構成するそれぞれの地形種の抽出を初期の段階から始めている。まず、地すべり地形の輪郭をつかむため遷急線に着目し、滑落崖と判断しやすい箇所から線を入れている（図-3-5）。次に移動体の境界を線で結んでいくが、本地すべりは複数のブロックに分かれているため、移動体の形状をみながらそれに対応する滑落崖も併せて抽出している。また、判読に迷った際は、谷線（矢印-o で示された谷など）と尾根線を入れることで地形発達プロセスを考えつつ判読している。移動体の範囲が確定してからは、その内部構造に着目し、マウンド状の地形群（矢印-v で示された破線内など）とそれらの配列から地すべりの移動方向を推測している。次に主滑落崖の後方にある段差に注目し、段差の存在から地すべり地の拡大の危険性について指摘した。移動体末端の松川による開析状況を観察し、移動体南端に位置するブロックが張り出していることから、再活動の危険性があることも指摘している。

次に地形判読タスク②における熟練判読者 A の判読過程についてゲイズプロットとヒートマップを用いて紹介していく。図-3-6 に示したのは、熟練判読者 A の判読開始後 3 分間のゲイズプロットである。地形境界に視点が置かれているのが熟練者 A の判読の特徴であり、滑落崖についても上位斜面との境界をなぞるように視点が存在している。プロットの位置はまず地すべり地形の輪郭を押さえることから始まり、次に移動体と非移動体斜面との境界に視点が移動していたことを反映している。判読結果が書き入れられなかった地すべり地形の範囲の外側（北側および北西側）にも視点が置かれており、それらは、遷急線上に位置している。はじめに輪郭を捉えた地すべり地の周辺にも地すべり地形がないか確認がなされていたと思われる。移動体南端に位置するブロックにも視点が置かれている。このブロックに対する判読結果の記入は、判読作業の後半に実施している。このブロックに視点が置かれていることは、初期の段階でこのブロックの存在が気になっていたと推測される。図-3-7 はヒートマップで、熟練判読者 A が判読開始時から終了時にかけて 1 秒以上視点を置いた箇所が示されている。ゲイズプロットで示された地点とほぼ同じ箇所がヒートマップでも高い値を示しているのが分かる。これは、熟練判読者 A が地形判読タスク①と同様に最初の 3 分で地形判読を

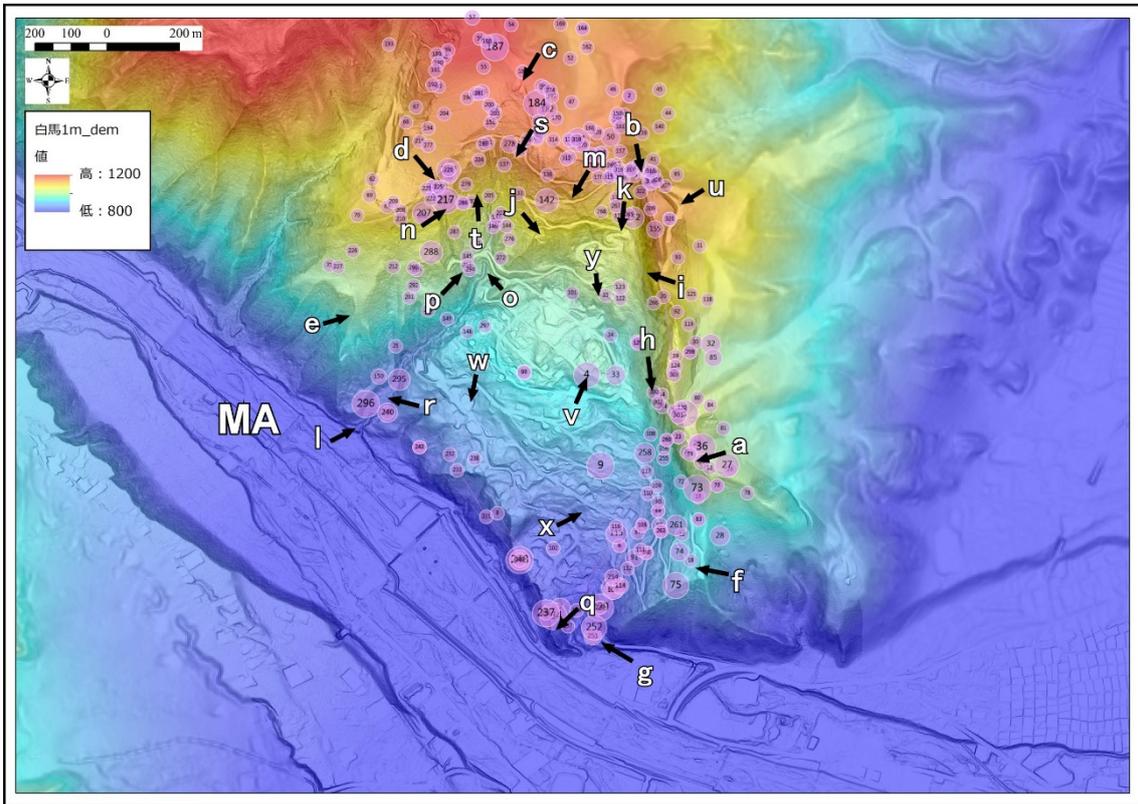


図-3-6 地形判読タスク②における熟練判読者Aの
判読プロセスから得られたゲイズプロット
MA：松川

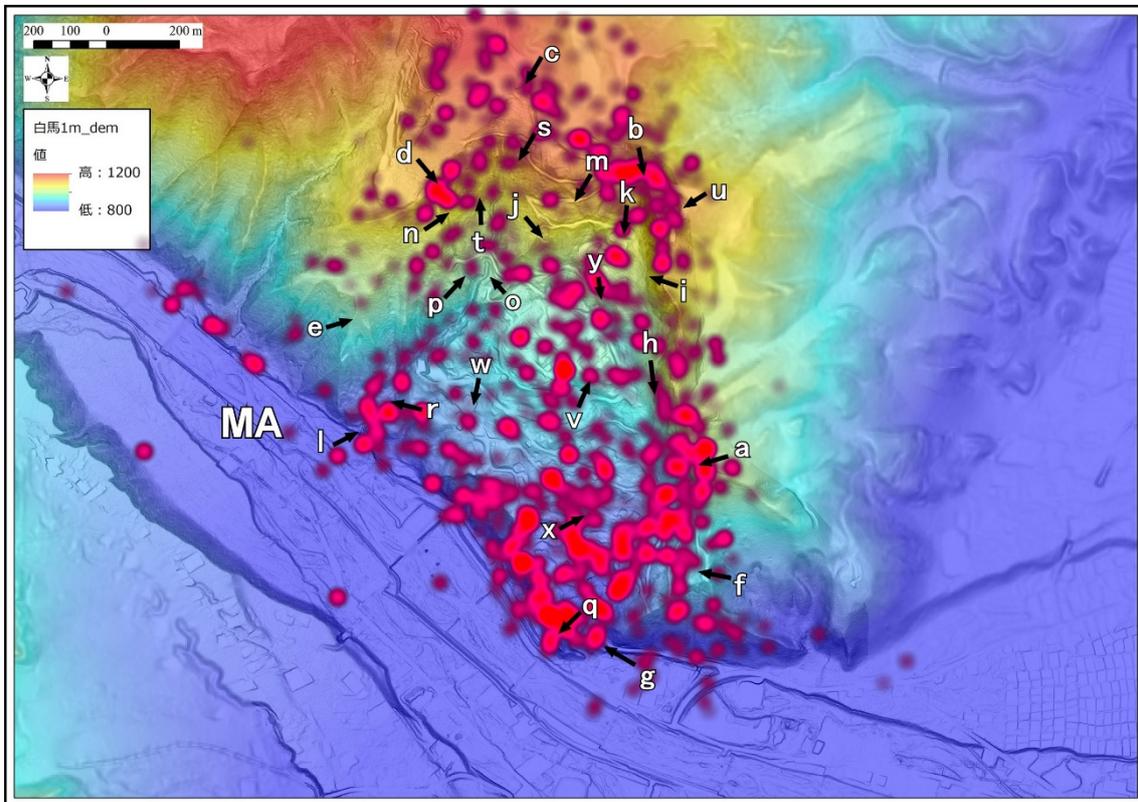


図-3-7 地形判読タスク②における熟練判読者Aの
判読プロセスから得られたヒートマップ
MA：松川

するうえで重要な地点を押さえ、その箇所について重点的に見直しをしていることが反映されていると思われる。そのなかでも注視時間が長いのは、上述してきた移動体南端に位置するブロックである。実際、1998年にはこのブロックで地すべり滑動が認められ、対策工の施行が開始されており（飯沼ほか、2003）、熟練判読者Aが地すべり防災を考えるうえで適切な判読をしていることが分かる。

3-2 熟練判読者と初心判読者との

アイトラッキングシステム解析結果の比較

ここでは、地形判読タスク①および地形判読タスク②における熟練判読者と初心判読者の判読プロセスの差異を明らかにするために、熟練判読者Aと初心判読者Aの視線計測データから作成されたゲイズプロットとヒートマップを比較した。なお、両者の地形判読結果を図-3-8に示す。初心判読者Aは熟練判読者Aと同様に地形の遷急線あるいは遷緩線上に判読結果として線を書き入れようとしているように見えるが、熟練判読者Aのそれに比べ大雑把に引かれている。また、抽出された地すべり地形の数も少ない。

地形判読タスク①における熟練判読者Aと初心判読者Aのゲイズプロット（図-3-9-IおよびII）を見ると、前述したように熟練判読者Aは判読開始後3分間で調査域全体の地形を谷線にそって観察し、そのなかで地すべりに関わる地形を把握、そのあと地すべり地形が集中する八方尾根に視点を重点的に置いている。一方で初心判読者Aの視点の位置は調査地の西側全体に分布している。八方尾根の稜線付近にも注目しているが、熟練判読者Aとの違いは地すべり地の少ない図中aの範囲を谷沿いに見ている点である。熟練判読者Aは地形判読を進めるなかで飛騨山脈主稜線の東向き斜面は急傾斜であることから、再活動するような地すべりの移動体は存在していないと判断し、松川上流部にあたる図中aの範囲の注視量は初心判読者のそれと比較し極めて少ない。また、初心判読者Aは凡例にも視点を置いている。プロットの番号は100番台、200番台および300番台のものがあり、標高のスケールを確認しながら地形判読を進めている。これはタスク②におけるゲイズプロットの結果（図-3-9-IIIおよびIV）でも同様にみられる。熟練判読者Aが前述のように倉下地すべり地にある遷急線と遷緩線（これらの傾斜変

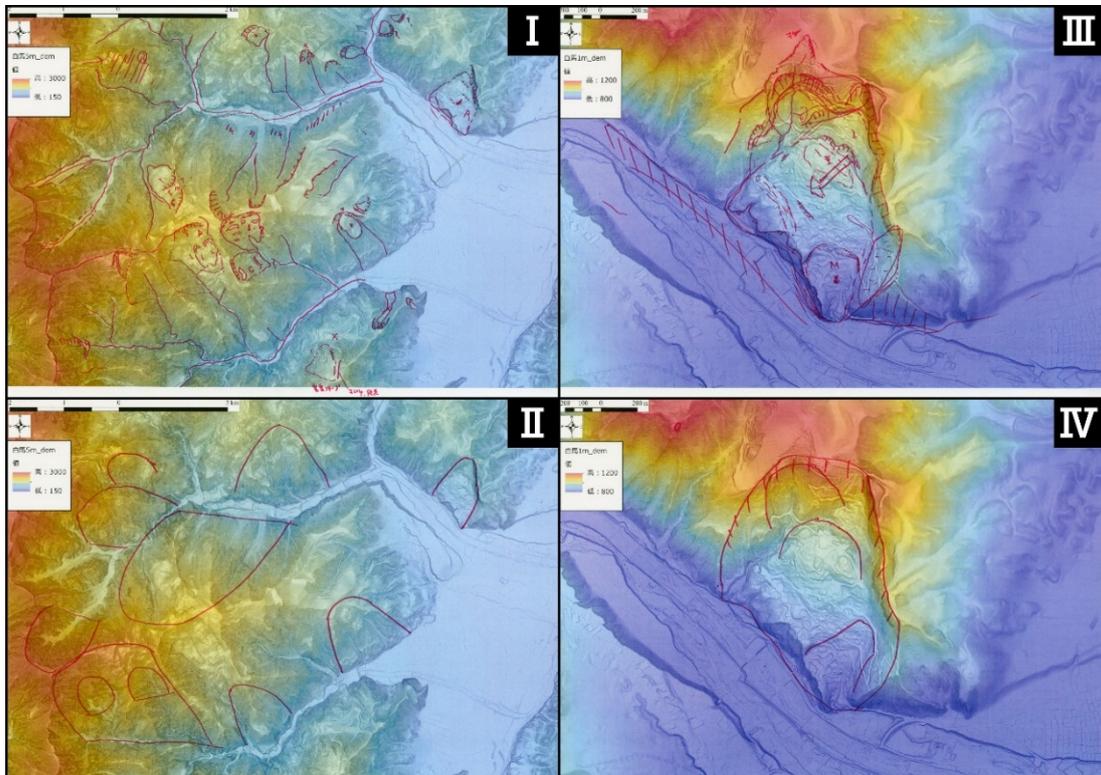


図-3-8 I : 地形判読タスク①における熟練判読者Aの地形判読結果
 II : 地形判読タスク①における初心判読者Aの地形判読結果
 III : 地形判読タスク②における熟練判読者Aの地形判読結果
 IV : 地形判読タスク②における初心判読者Aの地形判読結果

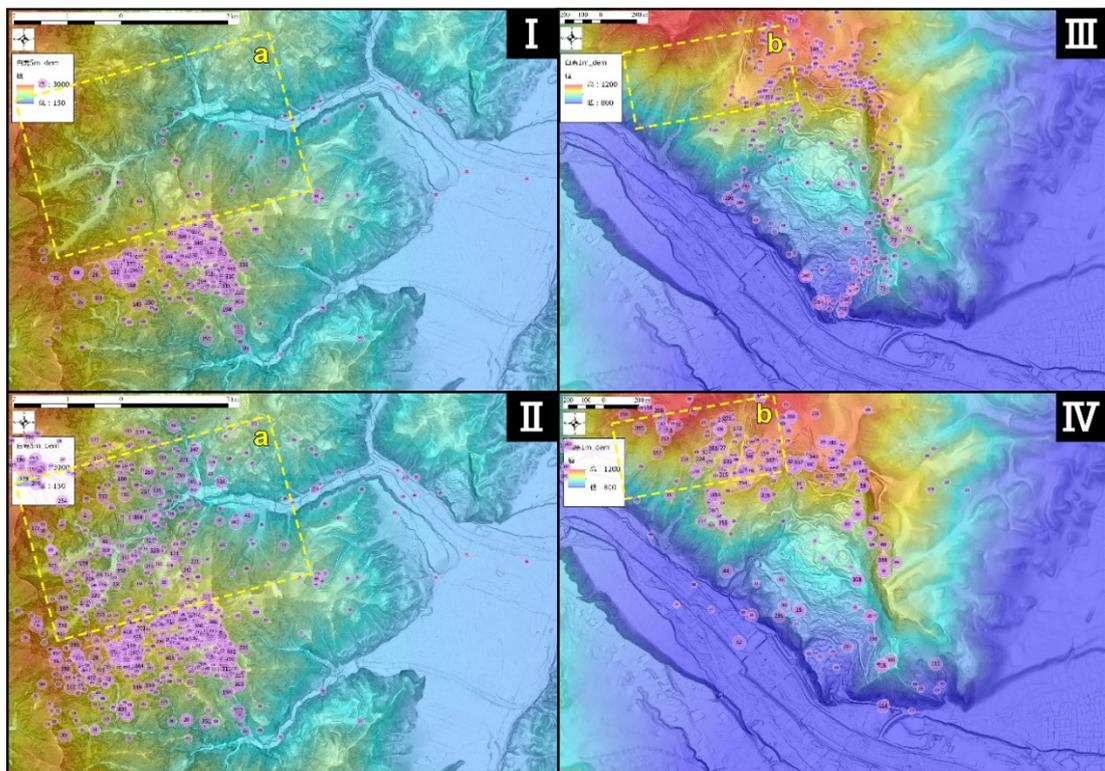


図-3-9 I : 地形判読タスク①における熟練判読者Aのゲイズプロット
 II : 地形判読タスク①における初心判読者Aのゲイズプロット
 III : 地形判読タスク②における熟練判読者Aのゲイズプロット
 IV : 地形判読タスク②における初心判読者Aのゲイズプロット

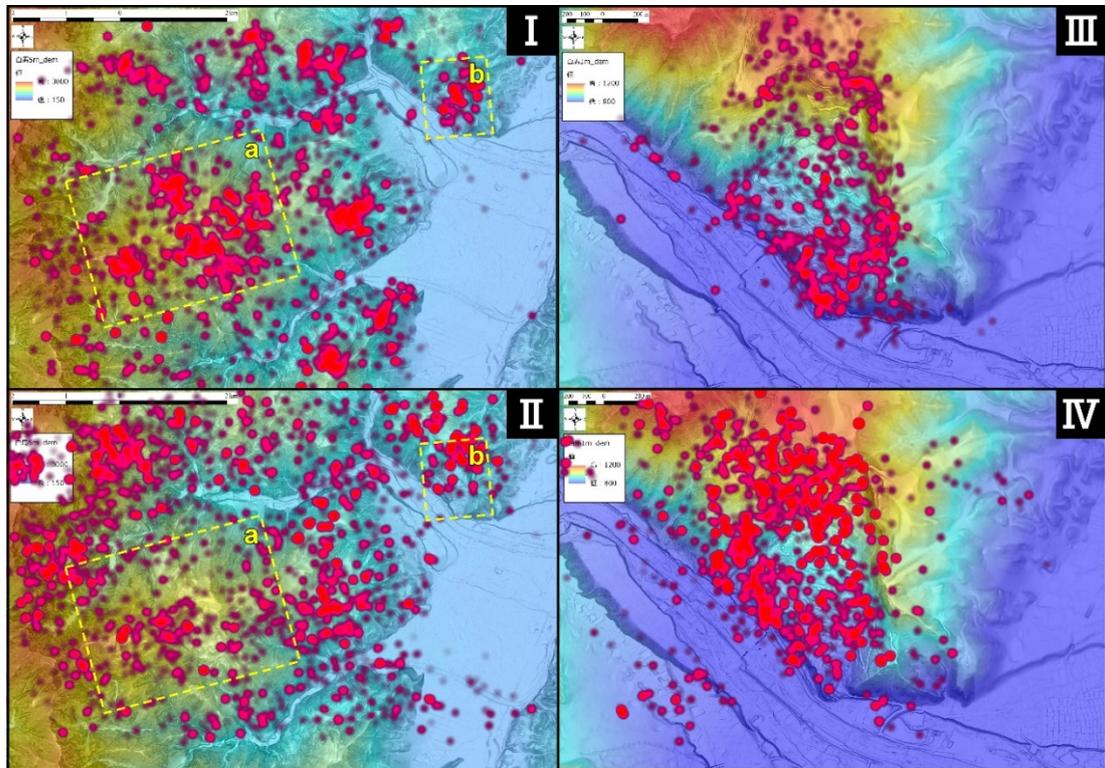


図-3-10 I : 地形判読タスク①における熟練判読者Aのヒートマップ
 II : 地形判読タスク①における初心判読者Aのヒートマップ
 III : 地形判読タスク②における熟練判読者Aのヒートマップ
 IV : 地形判読タスク②における初心判読者Aのヒートマップ

換線は地すべりによって形成されたもの) 沿いに注視しているのに対し、初心判読者Aは非地すべり性の斜面(図中bの範囲)を注視している。また、熟練判読者Aと比較し初心判読者が倉下地すべり地内を対象として視点を置いた箇所は少ない。こうした熟練判読者Aと初心判読者Aのゲイズプロットの違いは、地すべり地形判読の経験値(地すべりやその他の地形形成プロセスによって形成される地形形状の知識量)および地形表現図を用いた地形判読の経験値(地形表現図から実際の地形をイメージする能力)の差にあると考えられる。

地形判読タスク①のヒートマップ(図-3-10-IおよびII)を見ると、地すべり地形の分布が集中する八方尾根(図-3-4のXの範囲)と倉下地すべり(図-3-4のYの範囲)に関しては、熟練判読者Aの注視度が周囲と比較し高くなっている。これと比較し初心判読者Aも八方尾根と倉下地すべりに視点を置いてはいるが、視点を置いた位置は分散しているように見える。この傾向はタスク②でより顕著に見られる(図-3-10-IIIおよびIV)。ゲイズプロットの結果と同様、熟練判読者Aのヒートマップは地すべり地の輪郭と傾斜変換線、そして滑落崖後方の段差と移動体東南に位置するブロックを注視しているのに対し、初心判読者Aは傾斜変換線上に視点が置かれている割合が少なく、かつ倉下地すべり周辺の非地すべり性斜面に視点が置かれていることが分かる。これは、熟練判読者Aがこれまでの地すべり地形判読で培った経験をもとに地形表現図から地すべり地形を抽出し、地すべり地形の判読結果を図上に記載していくことができるのに対し、初心判読者Aは全体に行き渡るように(ぼんやりと)地形表現図を見るなかで地すべりにより形成された地形がないか探すように判読していることを反映していると考えられる。地形判読技術の伝承のための重要なポイントは初心判読者に地すべりにより形成された地形を効率的に抽出する経験値を増やすことにあるといえる。

3-3 熟練判読者の発話キーワードと

テキストマイニングによる解析

3-3-1 熟練判読者の発話キーワード

判読者の発話内容の分析に関しては、はじめに地形判読タスク①および②における熟練判読者AおよびBと初心判読者Aの発話内容のキーワードの抽出を行っ

た。具体的には、録画された動画から発話の文字起こしを行い、それらを単語(もしくは文節)で区切り、出現回数の多い単語をキーワードとして抽出した。表-3-1は地形判読タスク①における3名の判読者のキーワードで、出現回数が3回を超える単語を対象に表示している。熟練判読者AおよびBと初心判読者Aのキーワードを比較すると、初心判読者のそれは極端に少ないことが分かる。熟練地形判読者のキーワードをみると、熟練判読者Aが5回以上発言したキーワードは、「地すべり」、「崖」、「わからない」、「地形」、「滑落崖」、「移動体」、「沢」、「可能性」、「よく」、「見る」、「水系」、「開析」、「下」、「何か」、「見える」、「段丘」であり、熟練判読者Bが5回以上発言したキーワードは、「わからない」、「よく」、「崖」、「場所」、「急」、「地形」、「もこもこ」、「たくさん」である。地形判読者AとBの両者が発話したキーワードで最も多いのは、「わからない」で両者の発言回数を合わせると31回、次に「崖」で24回、「地形」で21回となっている。地形判読タスク②における3名の判読者のキーワードをみていくと(表-3-2)、その出現頻度が高いキーワードは地形判読タスク①と同様であり、熟練判読者2名による発言回数は、「わからない」で29回、「崖」で25回、「地形」で15回となっている。

熟練判読者が発話したキーワードは、地すべり地形判読を進めるうえで重要なポイントとなる。このうち興味深いのは「わからない」が最上位のキーワードとなっていることである。このキーワードが発話されたのは、熟練判読者が地形判読を進めるなかで不明瞭な地形に遭遇した時である。例えば熟練判読者Aは地形判読タスク①や②において判読を進めるなかで、移動体の輪郭が不明瞭になった場合はその上位の崖地形を再判読し、その崖に対応する形状での移動体にならないか判断し、納得がいけば地形表現図上に線を引いていることは先に述べた。地形判読をするうえで、たとえば熟練判読者であっても、その判断に迷うことは多々あることを「わからない」の発話が多数あることは示している。ただし、熟練判読者が判断に迷った際、他の地形種を抽出し、地形発達の最も合理的な解を求め判読結果を地形表現図上に示している。

3-3-2 テキストマイニングによる解析

ここからは、熟練判読者Aと初心判読者Aによる地形判読タスク②での発話内容についてテキストマイニ

表-3-1 判読者の発話から得られたキーワード

(地形判読タスク①)

No.	熟練判読者A	発話数	熟練判読者B	発話数	初心判読者A	発話数
1	地すべり	27	わからない	16	川	4
2	崖	16	よく	10	平らな部分	3
3	わからない	15	崖	8		
4	地形	15	場所	7		
5	滑落崖	10	急	7		
6	移動体	10	地形	6		
7	沢	10	もこもこ	5		
8	可能性	9	たくさん	5		
9	よく	9	何か	4		
10	見る	9	落ちている	4		
11	水系	8	引く	4		
12	開析	6	活断層	4		
13	下	5	変な	4		
14	何か	5	入っている	4		
15	見える	5	見ている	4		
16	段丘	5	小さな	4		
17	侵食	4	わかりにくい	3		
18	古い	4	連続	3		
19	形	4	難しい	3		
20	遷急線	4	基本的	3		
21	進んでいる	4	入れる	3		
22	クエスチョン	4	緩い	3		
23	全体	3	末端	3		
24	はっきり	3	地すべり地形	3		
25	落差	3	見ていく	3		
26	取る	3	大きな	3		
27	尾根	3	全体	3		
28	取らない	3	自信を持って	3		
29	線	3				
30	段	3				
31	地すべり地形	3				
32	ない	3				
33	上から	3				
34	緩やかな	3				

表-3-2 判読者の発話から得られたキーワード

(地形判読タスク②)

No.	熟練判読者A	発話数	熟練判読者B	発話数	初心判読者A	発話数
1	わからない	19	崖	14	川	3
2	地すべり	18	わからない	10	見える	3
3	よく	15	大きな	9		
4	崖	11	地形	8		
5	川	11	斜面	6		
6	方向	7	小さな	6		
7	地形	7	地すべり	5		
8	範囲	6	人工	5		
9	下	5	見る	4		
10	少し	5	沿った	3		
11	段差	4	気になる	3		
12	移動体	4	入れる	3		
13	対して	4	自然	3		
14	侵食	3	入っている	3		
15	今後	3	見ていく	3		
16	遷急線	3	付ける	3		
17	急	3	何か	3		
18	道	3	下	3		
19	斜面	3				
20	境目	3				
21	何か	3				

これらの単語は、「狭い」、「ブロック」、「水系」、「やや緩い」、「動いている」、「分かれる」、「ガリガリ」、「傾斜」、「最終的」、「何だ」である。「変な」は「わからない」とともに地形判読者Aが判断に困る（輪郭線を引くのに困る）ときに発話する単語である。こうした場合、ここにでてきた単語を意識することが判読のポイントになる可能性がある。例えば、ブロック区分をどうするか、水系の状況、傾斜の緩い斜面の存在、地すべりの活動性などである。グループ2は「よく」、「地形」、「崖」、「わからない」であり、単語の出現数が最も多かった「わからない」が、「地形」、「よく」、「崖」とつながっている。3-3-1でも記載した通り、地すべり地形判読のポイントとして崖を抽出すること、わからない状況に追込まれたときに、それに関連する地形の情報（例えば、水系の形状など）からどう対処するかがあげられる。

さて、初心判読者Aの発話のテキストマイニングの結果は、図-3-12のようになった。この結果をみると、大円で構成される単語は存在するが、大円どうしをつなぐ共起ネットワークはない。共起ネットワークになっているのは、大円（例えば「川」など）と小円

で構成される単語のみである。初心判読者Aは熟練判読者Aのように着眼点が特定化できないので、地形表現図から読み取れた情報を発話するに終わっていると考えられる。また、発話した単語は、地すべり地形に関連する用語よりもむしろ「建物」、「民家」、「道」、「施設」など保全対象になるもので構成されている。

こうした、熟練判読者と初心判読者の発話内容から得られたテキストマイニングの結果は、初心判読者の発話回数が少ないこと、また使用する用語が散漫なことにより共起ネットワークが形成されないことを示している。一方で熟練判読者は自身の経験から判読の着眼点が特定化できており、その着眼点を中心に「よく分からない」と呟きながら様々な仮説を考え、検討していく方法をとることから共起ネットワークが構成されることが分かる。

3-4 熟練判読者による現地での地形解説結果

熟練判読者Aと熟練判読者Bに地形判読のポイントについて現地の地形（倉下地すべり地が存在する山腹斜面）が見える環境下において解説してもらった。ここでは、熟練判読者Aによる解説の主要な点に関して

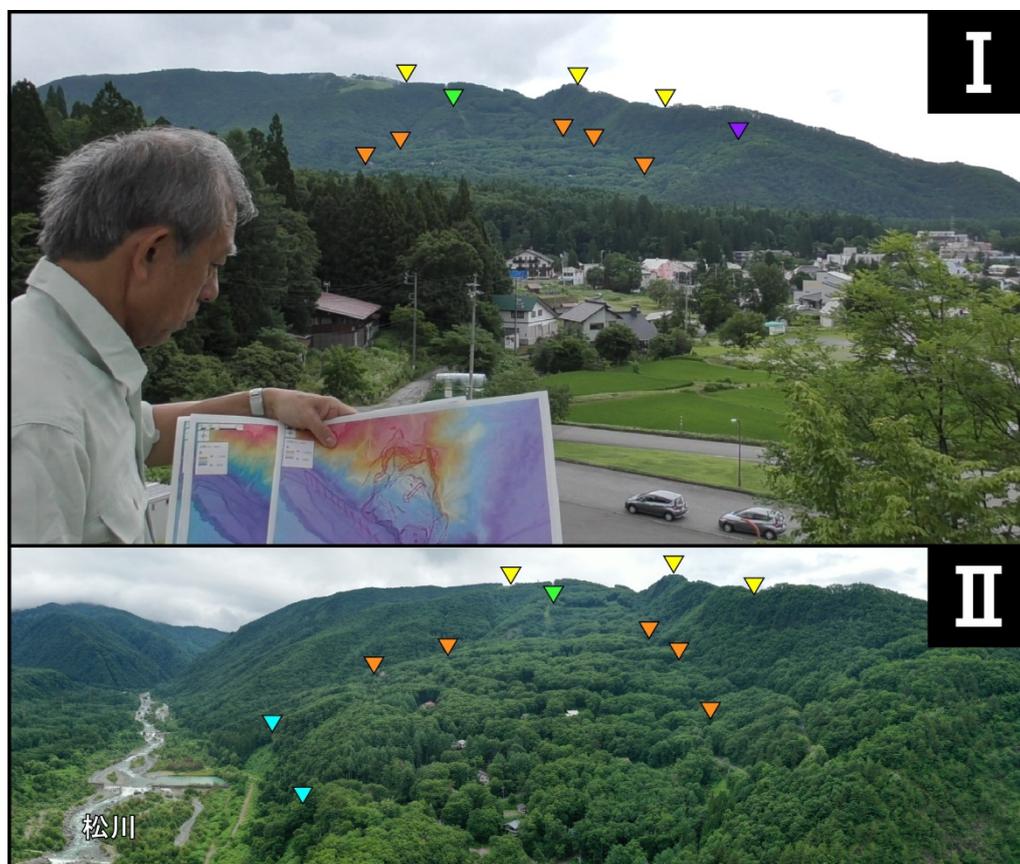


図-3-13 I : 熟練判読者による地すべり地形の解説
II : 倉下地すべりの状況（UAVを用いて撮影した）

記載する。

熟練判読者Aは、まず現地に存在する鉄塔などをランドマークとして用いて、倉下地すべり地を構成する滑落崖と移動体の位置情報について説明している。次にゲイズプロットを用いて自身の視点追跡について紹介し、そのなかで尾根（図-3-13の黄色の▼で示した遷急線）を目で追って地すべり地形の大枠を確認したこと、この段階で地すべり地形の外側には注目しないという判断をしたことを振り返っている。次に、地すべり地形には滑落崖と移動体の境界部があるという定義から、その輪郭（橙色の▼で示す遷緩線）を抽出したことを紹介している。録画している場所からは見えないが、地形表現図を見れば移動体の末端の侵食地形が明瞭であることから（水色の▼で示す遷急線）、移動体末端部に関しては時間をかけずに輪郭を捉えることができたことも説明している。続いてヒートマップを用いて時間をかけて判読しているエリア（ヒートマップの濃度が高いエリア）について紹介している。時間をかけた理由として、例えば紫色の▼周辺の崖が、その奥の崖（滑落崖）に比べ緩く、かつ不明瞭である理由（地形の新旧関係）を考えたこと、黄緑色の▼周辺に複数の滑落崖が認められ、どの移動体のブロックに対応するか考えたこと、また、その背後の崖の後方に拡大亀裂がないか確認したこと、そして、前述の移動体末端の二次移動の範囲がどうして動いたのかを考えたことなどを挙げている。

熟練判読者Aの現地での解説からは、自身が判読した結果と判読のポイントを振り返りながら説明していること、また、ゲイズプロットやヒートマップを用いて、まず判読しやすいところから判読し、次に判読が難しいところに時間をかけ考察していることが理解できる。

4. まとめと地形判読教材の構築にむけて

本研究では姫川水系松川および平川流域を地形判読対象地に設定し、地形表現図とアイトラッキングシステムを用いて、熟練判読者の地形判読プロセスの“見える化”に挑んだ。縮尺1:25,000の地形表現図を用いた熟練判読者の視線動画からは、谷線の形状が直線から非直線になるところに視点を置き、そこに緩傾斜面が存在していないか確認しているのが読み取れた。また、そこに緩斜面が存在していれば、その形状から地

すべりの可能性がないか検討するといった一連のプロセスがあることが明らかとなった。また、3分以内で調査域全体の地形を谷線にそって観察し、そのなかで地すべりに関わる地形の空間分布を把握していることも分かった。縮尺1:7,500の地形表現図を用いた判読からは、地すべり地形の輪郭を押さえることから始まり、次に移動体と非移動体斜面との境界に視点が移動していること、また判読が容易な箇所から判読を進めていることが明らかとなった。また、熟練判読者は、最初の3分で地形判読をするうえでの重要な地点を押さえ、その箇所について重点的に見直しをしていることも分かった。

熟練判読者と初心判読者の視線計測データから作成されたゲイズプロットとヒートマップの比較からは、熟練判読者が地すべり地および地すべりによって形成された地形・微地形を的確に押さえ判読を進めていくのに対し、初心判読者は地形表現図全体をくまなく見ながら判読を進めていることが理解できた。この違いは、地形判読の経験値の差にあると考えられる。一方で、熟練判読者の発話記録からは「わからない」という単語が多数あることも明らかとなった。これは、熟練判読者であっても、その判断に迷うことは多々あることを示している。また、テキストマイニングによる解析からは、初心判読者が使用する用語が散漫なことから共起ネットワークが形成されないこと、熟練判読者は自身の経験から判読の着眼点が特定化できており、その着眼点を中心に「よく分からない」と呟きながら様々な仮説を考え検討していることから共起ネットワークが構成されることも分かった。実際、熟練判読者が判断に迷った際には、他の地形種を抽出して地形発達の最も合理的な解を求め、判読結果を地形表現図上に示している。初心判読者にその判読技術を移転するには、まず、地形表現図から読み取れる地形種を理解させること、次に熟練者のように地形発達の仮説をたて、自身で検討する技能を醸成させることが重要である。

本研究で記録した視線動画と現地での解説動画を初心判読者が視聴すれば、熟練判読者の地形判読を追跡学修することが可能である。今後はアイトラッキングシステムを用いた熟練判読者の判読プロセス記録を一層蓄積し、そのうえで視線動画とテキスト（熟練判読者の判読結果、可視頻度と視線追跡の解析結果や判読

を進めるうえでの Tips が記載されたもの), そして自習用の地形表現図と模範解答がセットになった教材を作成することが求められる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり, 檜垣大助氏 (元・弘前大学), 八木浩司氏 (山形大学) および匿名技術者には, アイトラッキングシステムを用いた実験の地形判読者になって頂くとともに, 多くのご教示を頂いた。大日本印刷株式会社の林 友件氏, 川嶋佑輔氏, 松岡和広氏には, 同社の実験設備の利用をはじめ共同研究をさせて頂いた。とくに松岡氏にはアイトラッキングシステムで取得されたデータの解析に多大なる貢献をして頂いた。木村誇氏 (愛媛大学), 山田隆二氏・佐藤昌人氏 (防災科学技術研究所), 山崎孝成氏・磯部 大氏・光田魅勇氏 (帝京平成大学) には実験, フィールドワークおよび事務手続きなどの支援を頂いた。記して感謝いたします。なお, 本研究の成果は日本地すべり学会誌等の学術誌においても公表する予定である。

文 献

- 千木良雅弘 (1995) : 風化と崩壊—第 3 世代の応用地質, 近未来社, 204p.
- 飯沼達夫・岡野治雄・渡辺剛史・甘利哲夫 (2003) : 小断面 NATM による地すべり排水トンネルの検討—倉下地すべり排水トンネル—, 日本地すべり学会誌, Vol. 40, No. 3, pp. 217-223.
- 大澤幸生・ネルス E. ベンソン・谷内田正彦 ((1999) : KeyGraph : 語の共起グラフの分割・統合によるキーワード抽出, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J82-D1, No. 2, pp. 391-400.
- 佐藤 剛・苅谷愛彦 (2014) : 北部飛騨山脈の地すべり地形学図 (1:25,000) の作成とそれを用いた地すべり地形の解説, 地図, Vol. 52, No. 1, pp. 1-12.
- 佐藤 剛・横山隆三・土志田正二・田殿武雄 (2016) : 一定垂直倍率立体斜度図を用いた異なる DEM による地すべり地形判読性能の比較, 地図, Vol. 54, No. 4, pp. 17-22.
- 佐藤 剛・八木浩司・木谷一志・千田良道・廣田清治 (2020) : 室戸半島, 野根山街道の岩佐関所遺跡の立地と重力性山体変形地形, 日本地すべり学会誌, Vol. 57, No. 1, pp. 19-23.