航空レーザ計測データを用いた荒廃地形判読手法

鈴木　清敬・鵜殿　俊昭・近　政英（株式会社パスコ）
江坂　文寿（東北森林管理局）

1．はじめに

崩壊地形・地すべり地形等の荒廃地形の判読は、従来、一般的には空中写真の実体視判読による方法によって行われてきた。しかし、近年では、全国で航空レーザ計測（以下、LP）データの整備が進められてきており、LP データより得られる高密度の地形データを擬似 3 次元図として視覚化した地形解析図が提案されている[1）2）3）]。

筆者らは地形解析図の微地形表現力に着目し、これを用いて地すべり等の荒廃地形判読を行った。その結果、従来の空中写真の実体視判読と地形解析図判読を組み合わせることで、判読精度が大きく向上することがわかった。これらをふまえ、地形解析図を用いた判読手法と従来手法の比較を行うとともに、今後の展望について考察した。

2．荒廃地形判読手法

2.1 検討対象地域と計測諸元

今回の判読対象範囲は宮城県栗原市の迫川流域であり、岩手・宮城内陸地震（2008 年 6 月 14 日、M7.2）において多くの地すべりや斜面崩壊が発生した地域である（図 1）。

判読に用いた LP データの計測諸元は表 1 のとおりである。

2.2 荒廃地形判読手法

従来の地形判読は、図 2 に示すようなフローで行われており、空中写真（密着焼）のステレオペアを実体視し、判読結果を地形図（縮尺 1/25,000～1/2500 程度）に移写する方法で行われていた。

図 1　検討対象範囲

表 1　レーザ計測諸元

計測範囲	約 60㎢ 3 地区（栗駒ダム地区、耕英地区、温湯地区）
計測年月日	2008 年 12 月 4、8、9 日
航空機	固定翼
計測点密度	1 点/㎡ ALS-50（ライカ・ジオシステムズ社）
光学画像	デジタルカメラ画像（地上解像度 25㎝） レーザと同時撮影

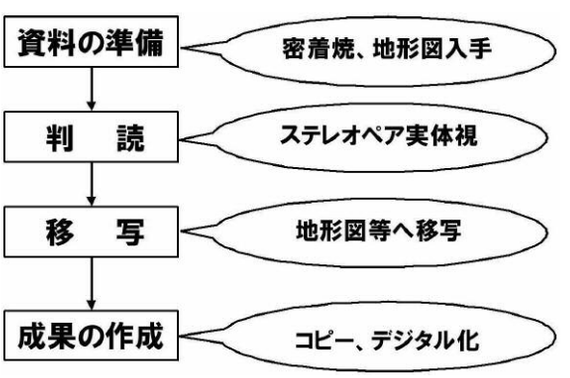


図 2　従来の空中写真判読フロー

2.2.1 荒廃地形判読手法の概要

本報告にて提案する荒廃地形判読手法（以下、新手法）は、地形解析図を主に使用し、地形解析図のみでは判断が困難な地表の状況等について、デジタルオルソや樹高分布図を参照して判読を行う。さらに、これらでは確認できない細部状況を確認するために、必要に応じてデジタルカメラ画像のステレオペアを実体視し、判読精度を向上させている。

移写は判読と同時に GIS 上で行い、地形解析図上に GIS データとして直接入力した。

新手法の概要を図 3 に示す。

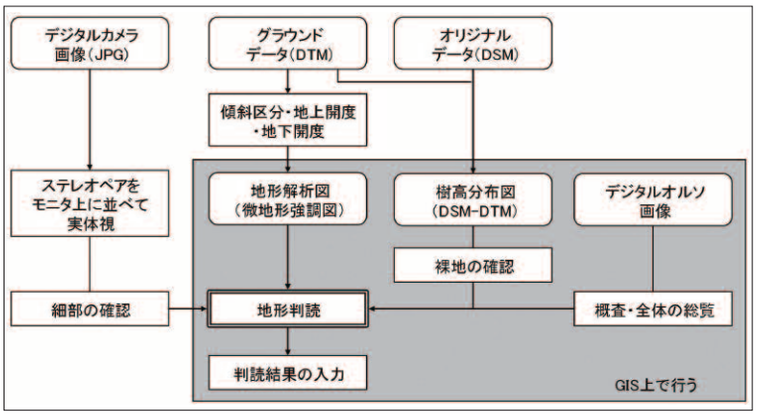


図 3　判読手法の概要

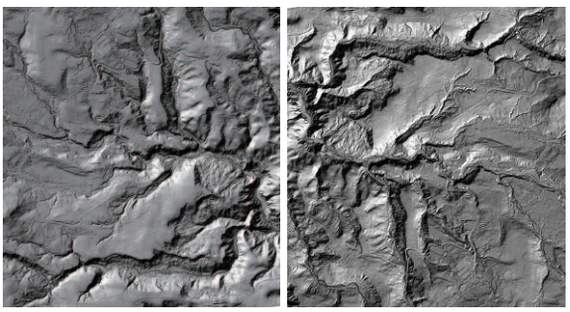


図 4　陰影図
（右の画像は、左の画像を 180 度回転させたものであり、左の画像で谷に見える箇所が、右の画像では尾根に見える）

2.2.2 判読に利用した地形解析図

ここで、地形解析図とはデジタル地形モデル（DTM または DEM）を元に、計算処理により地形を立体的に可視化したものを指す。従来の地形解析図としては、光源を仮定して地形の影を計算で求めた陰影図（図 4）が主に用いられてきた。

しかし、陰影図には光源の位置によって立体感を得られない範囲が存在することや、上下を反転すると立体感も逆に感じられるという欠点があり、地形判読を行うための地形解析図としては改良の余地があった。

今回の検討には、パスコが考案した微地形強調図を用いた。微地形強調図とは、「開度」という概念を用いて、LP データから得られる数値標高モデル（DEM）を解析したものである。

「開度」とは、横山ら[4]により提案された地形解析手法であり、ある地点が周辺よりも突き出ている程度および地下に食い込んでいる程度を数量化したものである。

「開度」には、地上開度と地下開度があり、地上開度とは着目する標本地点から距離 L の範囲で見える空の広さをあらわしており、周囲から高く突き出しているほど大きな値を示す。

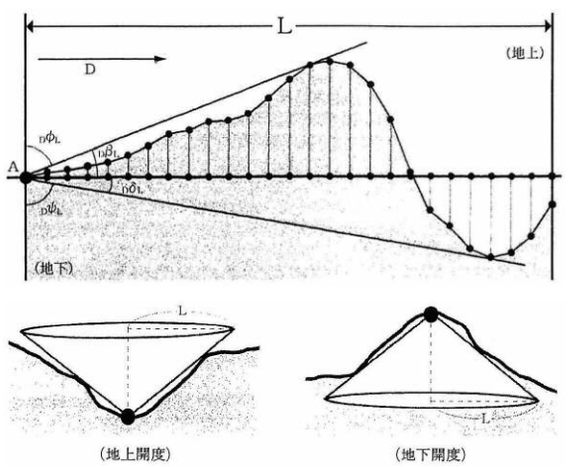
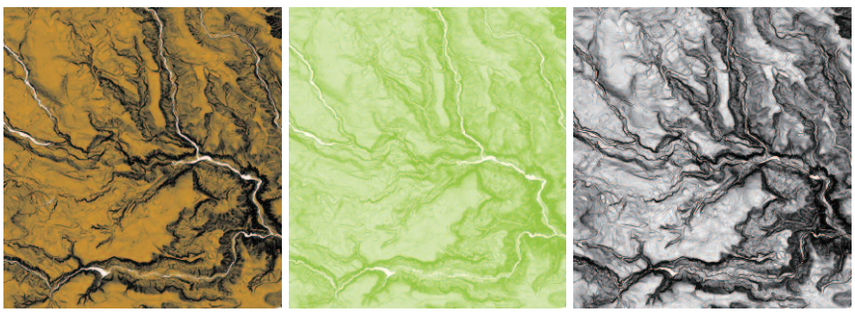


図 4　着目する標本地点における開度（横山ら、1999 より引用）

また、地下開度は逆立ちして地中を見渡すときの距離 L の範囲における地下の広さを表しており、地下に低く食い込んでいる地点ほど値が大きくなる（図 4）。

微地形強調図は、上記の考え方を参考とし、計算メッシュサイズ・色・透過度等を工夫

し、GIS 上で重ね合わせることにより（図 5）、方向性のない擬似的な三次元図を得ることができ、陰影図の欠点を克服した図として表現されている（図 6）。



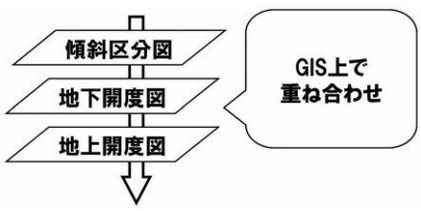


図 5　微地形強調図の作成方法

2.2.3 樹高分布図およびデジタルオルソ画像による判読精度の向上

作成した微地形強調図を用いた地形判読を実施することにより、崩壊地形等を判読することができる（図 7a）。しかし、微地形強調図だけでは、崩壊地形等の新旧（新規崩壊地と崩壊跡地）の区分を判断することは困難である。

この問題を解決するために、判読の補助として樹高分布図およびデジタルオルソ画像を利用した。

樹高分布図は、オリジナルデータ（DSM）とグラウンドデータ（DTM）の差分を解析して作成し、崩壊地形の新旧の判断材料とした（図 7b）。

図 7b において、白色部分は DSM≒DTM となっており、植生等が無い箇所（裸地）と捉えられる。一方、赤色部分は DSM＞DTM となっており、植生等が有る箇所と捉えることができる。また、赤色が濃くなるほど DSM と DTM の差分が大きくなっていることを示している。

そのため、微地形強調図にて崩壊地形と判読された箇所（図 7a の水色点線で囲まれた箇所）における樹高分布図が白色の場合、植生等がないと判断できるため、新規崩壊地である可能性が高く（図 7b の黒色点線で囲まれた箇所）、逆に、樹高分布図が赤色の場合、植生等が有ると判断できるため、過去の崩壊地である可能性が高くなる（図 7b の青色点線で囲まれた箇所）。

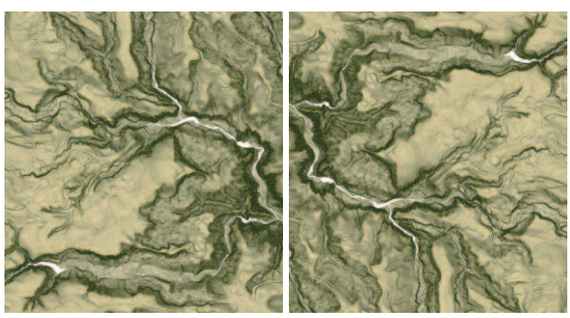


図 6　微地形強調図の例
（画像を 180 度回転させても、立体感は維持される）

また、デジタルオルソ画像も、植生の有無を判断する材料として用いた（図 7c）。

2.2.4 デジタルカメラ画像の実体視による判読精度の向上

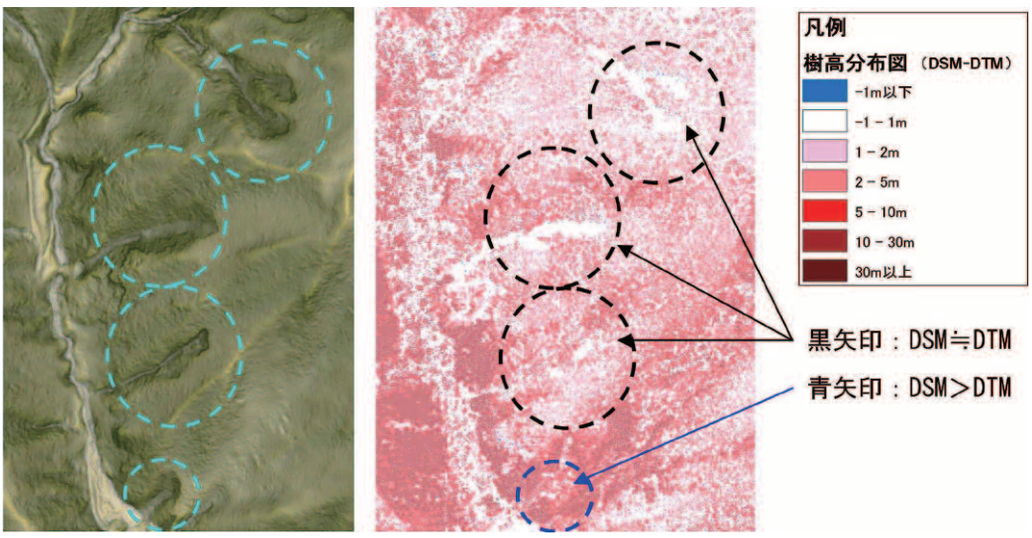
レーザ計測時に同時撮影されるデジタルカメラ画像を PC 画面上にステレオペアとなるよう配置し、PC 画面上で実体視を行うことにより、地形の細部を確認することで判読精度を向上させた。

ここでは、図 8 に示すように、PC モニタを 2 台用い、一方のモニタではステレオペアとしたデジタルカメラ画像を表示させ、もう一方のモニタに微地形強調図を表示させ、必要に応じて、デジタルカメラ画像や微地形強調図を回転させ、判読を行った。

ただし、画面上でデジタルカメラ画像のステレオペアを作成する際には、拡大等を行おうとしてもステレオペアの画像は連動して動かないため、若干煩雑な作業であったため、この部分の改善が望まれる。

2.2.5 判読結果の入力

新手法では、地形判読をすべて GIS 上で行っ



a）微地形強調図　　b）樹高分布図

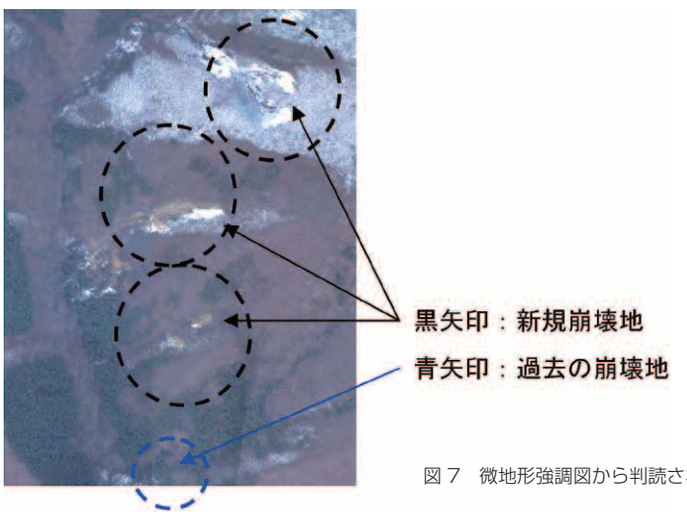


図７　微地形強調図から判読される崩壊地形の例

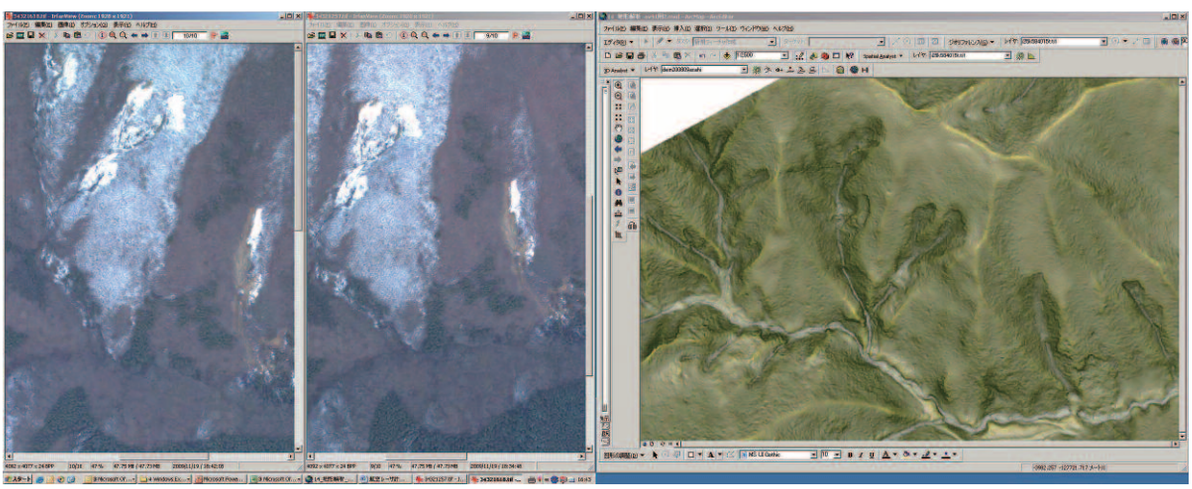


図８　デジタルカメラ画像を用いた判読作業イメージ

ている。そのため、判読結果の入力は、判読と同時に GIS 上で GIS データとして入力した。

3. 荒廃地判読結果の事例

新手法を用いた荒廃地形判読結果の事例を図 9 に示す。

なお、以降の判読結果の凡例は特に説明のない限り図 9 のとおりとした。

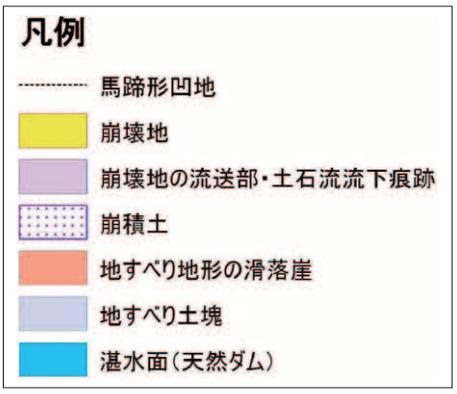


図 9　判読結果凡例

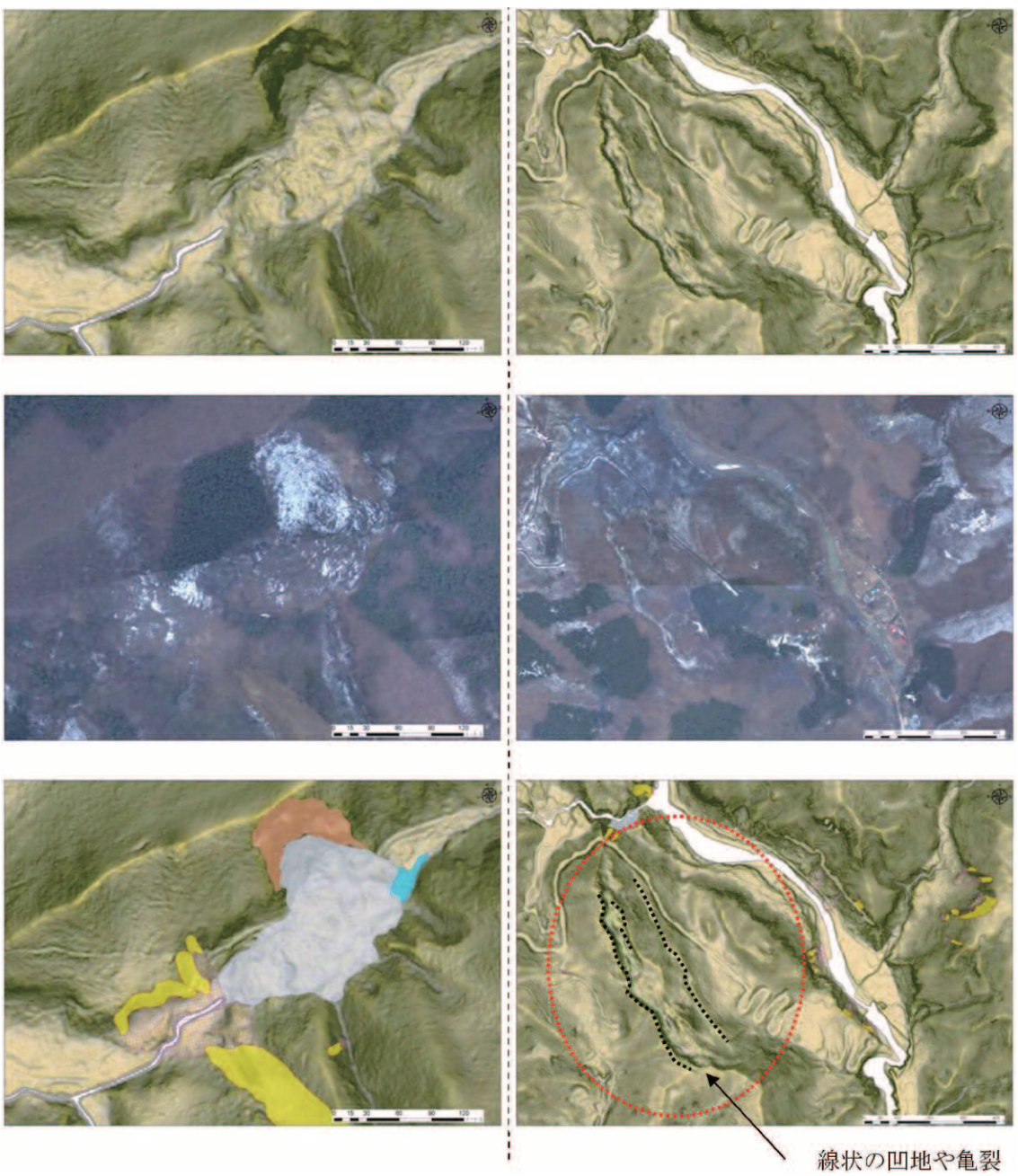


図 10a　地すべりと天然ダムの判読事例
上段：微地形強調図
中段：デジタルオルソ画像
下段：判読結果

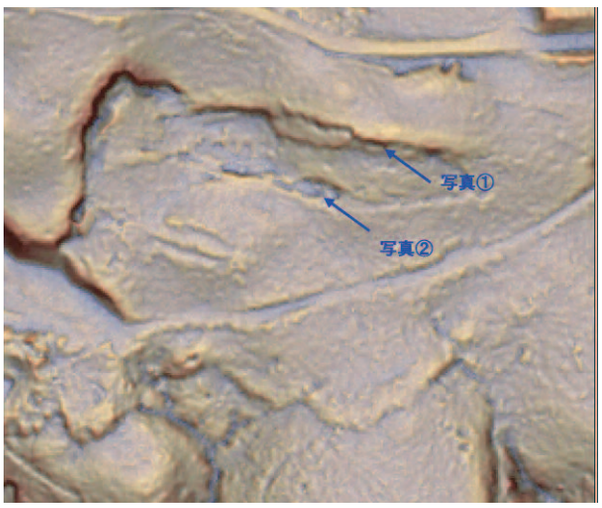
図 10b　大規模な地すべり地形の判読事例
上段：微地形強調図
中段：デジタルオルソ画像
下段：判読結果

図 10a および図 10b に示すように、地すべり地形は、微地形強調図に比較的明瞭に示されている。特に図 10b のような大規模な地すべり地形の場合、従来の空中写真を用いた実体視での地形判読では、地すべり地形が複数枚の写真に分割されて撮影されている可能性が高く、地すべり地形の全体像が捉え難いため、微地形強調図を用いた地形判読が有効であると考えられる。

一方、図 10c に示す山腹崩壊の事例では、崩壊地形が微地形強調図に明瞭に表現されているが新旧の判断は微地形強調図だけでは困難である。また、図 10d に示す表層崩壊の事例のように、地形変化が少ないものは、微地形強調図だけでは判読が困難な場合がある。このことから、判読精度の向上のために、新手法で用いた樹高分布図やデジタルオルソ画像、デジタルカメラ画像を用いた実体視等に

図 10c　山腹崩壊の判読事例
上段：微地形強調図
中段：デジタルオルソ画像
下段：判読結果

図 10d　表層崩壊の判読事例
上段：微地形強調図
中段：デジタルオルソ画像
下段：樹高分布図



写真①　小崖の状況（1m 程度の落差の滑落崖）

写真②　小崖に挟まれた陥没帯

図 11　耕英南　冷沢南のクリープ地形の陥没地形周辺の現地確認写真

よる判読の補助は有効だと考えられる。

ただし、判読に用いた微地形強調図は、LP データの地表面への到達率やフィルタリング処理に依存するため、判読結果を現地にて確認することは必要不可欠である（図 11）

4. 新手法の評価

4.1 判読手法の比較検討

新旧手法の比較検討を行い、新手法の特徴および改善点について検討した。

比較項目は、判読時間、位置精度、判読結果（形状）の正確さ、データ共有の容易さ、判読結果の照査作業の容易さについて検討した。比較結果を表 2 に示す。

4.1.1 判読時間に関する比較

判読時間は、準備作業・判読作業・移写作業・成果作成作業の 4 項目について比較した（図 12）。

資料の準備工程では、従来手法では空中写真の密着焼や判読範囲周辺の地形図の入手等が考えられる。一方、新手法では LP データを用いるため、計測からデータ提供までに長時間を要する。

しかし、判読以降の工程では、従来手法ではステレオペアとする空中写真の選別、判読結果の地形図等への移写、成果作成のための判読結果のデジタル化作業等、作業工程が複数存在するのに対し、新手法では判読・移写・成果作成の工程が一元化して行うことができる。

また、判読の確認および修正作業を行う場合の作業環境の復元、判読資料の整理等については、従来手法では煩雑な作業となるが、新

表２　新旧手法の比較　　○：有利、△：不利

	項目		従来手法		新手法	
(1)	判読時間	準備	○	密着焼、地図入手	△	PI 図変換処理、LP 処理、オルソ処理
		判読	○	ステレオペアの実体視	○	PI 図を基本とし、デジタル画像等組み合わせた判読
		移写	△	地形図等に移写	○	判読と同時作業（GIS 化）
		成果作成	△	コピー、デジタイズ	○	判読と同時作業（GIS 化）
(2)	位置精度		△	誤判読や移写・デジタル化時の位置ズレ等の人的誤差大	○	判読～デジタル化工程が同時作業のため、人的誤差が低減できる
(3)	形状の正確さ		△	樹木に隠された範囲は、判読技術者の個人差・技量に左右される	○	微地形が表現されるため容易
(4)	データ共有		△	制限される	○	容易
(5)	判読結果の照査		△	確認判読に手間 修正作業量大	○	GIS 上（画面）で照査可能 修正作業小

手法ではデジタルデータを用いるため作業環境の復元等が容易となる。

以上のことから、総合的にみると新手法の方が判読作業に関する作業効率は高いと推測される。今後、LP 処理等の技術進展等による判読時間の短縮が望まれる。

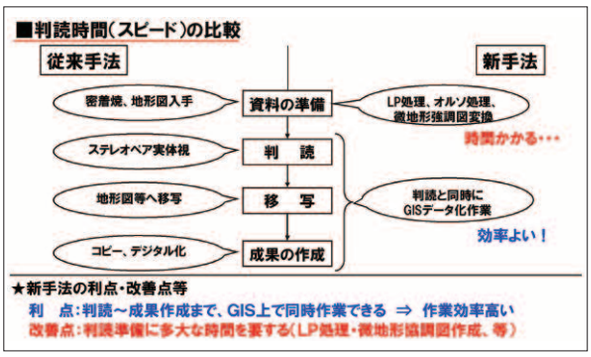


図 12　判読時間の比較図

4.1.2 位置精度に関する比較

従来手法では、判読結果→地形図への移写→デジタル化、という工程が存在していたため、判読工程での誤判読や移写・デジタル化工程での位置ズレ等の人的誤差が発生する可能性があった。

一方、新手法での判読～デジタル化の工程では、判読に用いる地形解析図上に GIS データとして直接入力するため、人的誤差を低減できる（図 13）。

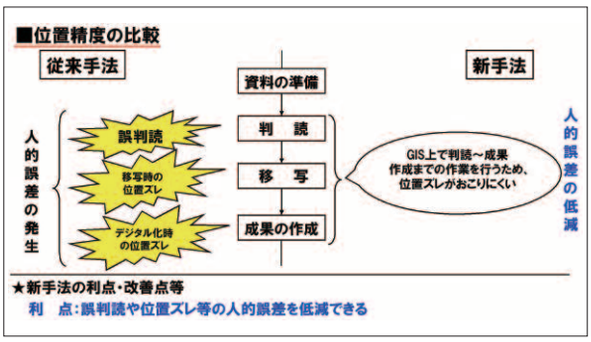


図 13　位置精度の比較図

4.1.3 判読結果（形状）の正確さの比較

従来手法では、樹木により覆われている部分の地形形状は、判読者の経験や技量に左右されており、形状の正確さを判断することが困難であった。

一方、新手法では LP データによって地形形状が表現されているため、樹木等の影響を除去した地形判読が可能であり、地形形状を

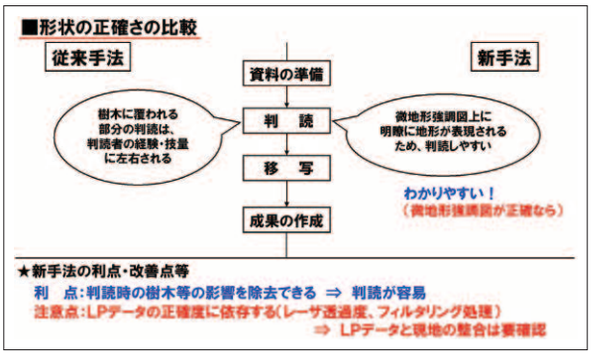


図 14　形状の正確さの比較図

正確に判読することができる。

ただし、微地形強調図での微地形表現はLPデータの透過度（地表面到達状況）やフィルタリング処理に依存しており、判読結果の正否の判断には現地確認が不可欠である（図14）。

4.1.4 データ共有の容易さに関する比較

従来手法では、実体視に用いる空中写真の数には限りがあり、災害時緊急判読時等の急を要する場合でも、判読工程の期間短縮が困難であった。

一方、新手法ではデジタルデータを用いて作業を行うため、データ共有が容易であり、複数人での判読作業を行うことによる、判読工程の短縮が可能である（図15）。

4.1.5 判読結果の照査に関する比較

従来手法では、判読結果の確認・修正作業を行う際、再度、実体視を行う工程から作業を行う必要があった。

一方、新手法ではパソコンの画面上で確認作業を行うことができ、また確認時にあわせてGISデータを修正できるため、判読結果の照査作業が容易となる（図16）。

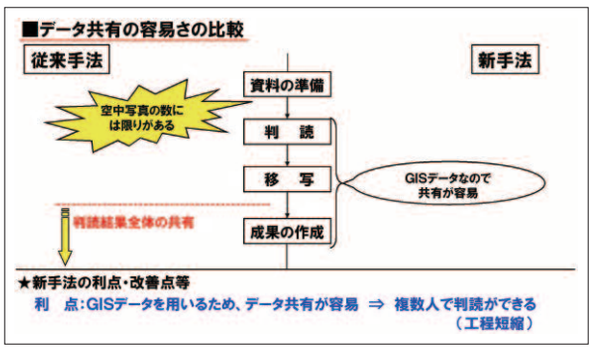


図15　データ共有の容易さの比較図

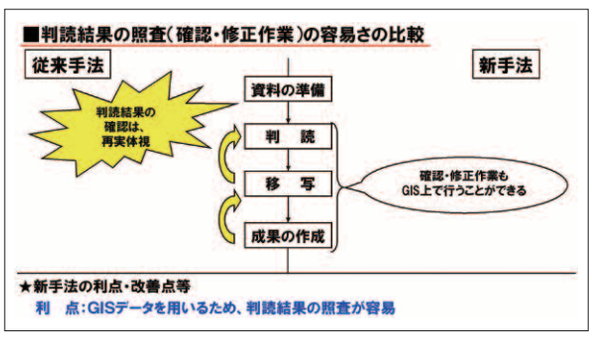


図16　判読結果の照査の比較図

4.2 新手法における課題

比較検討の結果、従来手法に比べ、新手法の方が複数の項目において有効であると考えられた。しかし、LPデータは計測からデータ提供までに長時間を要する点、微地形強調図はLPデータ作成時のフィルタリング処理に依存する点、など判読スピードや精度について向上の余地があると思われる。

また、新手法では、さまざまな種類のデータを参照しながら判読を行うため、判読を効率的に進めることができる判読補助ツールの開発も必要である。

なお、新旧手法に関わらず判読結果の現地確認が不可欠な要素であることは忘れてはならない。

5. おわりに

本報告にて提案した新手法によって、荒廃地形の判読が容易に、かつ精度良く行うことができた。近年、計測技術のデジタル化が進む中、今回報告した新手法は近い将来の判読手法の主流になるのではないかと考えられる。この手法は災害対応においても強力な武器になると考えられるため、迅速な災害対応のためには、上記課題の改善が望まれる。

また、全国でLPデータの整備が進められており、今後は災害対応において蓄積されたLPデータを活用し、災害発生前後のLPデータの差分解析を併用することも有効と考えられる。

なお、本報告は、東北森林管理局 宮城北部森林管理署発注の業務成果をまとめたものである。

（発表日：2010年6月1日）

■参考文献

1）佐々木寿、向山栄：地形判読を支援するELSAMAP の開発、先端測量技術 No.93、p.8-16、2006

2）鵜殿俊昭、近　政英、加藤正治：航空レーザ計測データを用いた崩壊地形の分析～迫川流域を例として～、平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集、p.292-293、2010

3）赤色立体地図による高精度微地形判読、砂防技術総覧 No.56、P.Ⅰ-2-3、2009

4）横山隆三、白沢道生、菊池祐：開度による地形特徴の表示、写真測量とリモートセンシング Vol.38、No.4（1999）、p.26-34

鈴木　清敬（すずき　きよたか）

（株式会社パスコ）