



地形判読を支援するELSAMAPの開発

佐々木 寿¹ 向山 栄¹

1. はじめに

航空機レーザスキャナの登場は、地形判読の分野に新しいブレイクスルーをもたらしており、航空機レーザスキャナにより得られる詳細な地形データを用いて地形・地質調査等を行なうケースが増えつつある。

これまでの地形判読は、地形図の読図や空中写真の立体視により行なわれてきた。地形図は一般に地形情報を記号化し、かつ省略して2次元平面に表示したものである。そのため、記号による表現と作業の効率化の制約を受け、描画に必要な計測点の密度を限定するので、微地形を詳細に表現できない場合がある。例えば等高線による地形図の場合、等高線間の地形の詳細を示す具体的な情報は無い。一方、空中写真には地表の情報が高密度に記録されているが、植生や建物のような被覆情報に妨げられて、地形情報のみを抽出することが困難な場合がある。

それに対し、航空機レーザスキャナによる地形測量は高密度な3次元地形データが容易に得られ、従来のように等高線図として図化した場合も、従来の航測図を遥かにしのぐ地形表現が得られるため、地形判読の精度向上が期待できる。さらに、面的に一様な高密度の地形データであることを生かし、格子間隔の狭い実地形に近い数値標高モデル (DEM) を作成することができる。等高線のみでの表現では、緩傾斜地などで等高線間隔が広くなり、地形情報が表示されないような場合で

も、細密なDEMによってむらなく微地形を表現することができる。

筆者らは技術者がどのように地形判読をしているのかを考慮し、細密なDEMの有効活用を検討した。その結果、より直感的に地形判読できる新しい地形表現手法「カラー標高傾斜図 (ELSAMAP)」を開発した。

2. 地形判読の重要な要素は何か？

地形判読を行う場合、技術者はどのように地形区分を行なうだろうか？ここでは、段丘地形の判読を例に考える。

段丘面の抽出は、

傾斜変換点→緩傾斜部の認定→傾斜変換線の連続性の認定→平坦面とその外縁の段丘崖の認定

平坦面の高度分布→階段状地形の認定→段丘面の区分

過去の水面位置の復元と照合

という流れで行なわれるのが一般的であろう。

図1には段丘地形判読の模式図を示した。最初に赤線で示す傾斜変換線から段丘の崖頂線・崖麓線を見出し、段丘面を認定する。そ

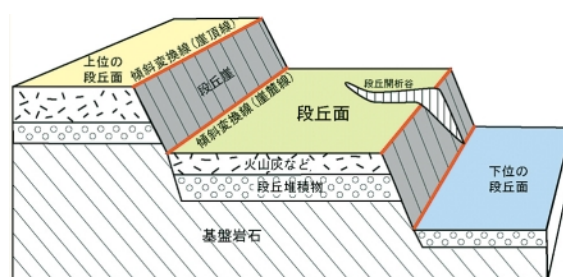


図1 段丘地形の判読 (鈴木 (2000)¹⁾ を改変)

¹ 国際航業(株)

の後、段丘面の標高を比べ、上位の段丘面および下位の段丘面を認定している。実際の判読では、他の要素も考慮しながら判読を行なうが、「傾斜」と「標高」の変化を読み取ることが地形判読の重要な要素であると言えるだろう。

3. カラー標高傾斜図の作成

3.1 傾斜の可視化

ラスタ型データを用いて傾斜を表現したものとして、傾斜区分図と傾斜量図の2種類がある。本研究ではArcGISとSpatial Analystを用いて傾斜を算出し、傾斜区分図および傾斜量図を作成した。

傾斜区分図は、傾斜を一定の区間に区切ってそれぞれを色相や明度の違いで表現したも

のである(図2)。一方、傾斜量図²⁾は傾斜を連続量として捉えグレースケールを割り当てたものであり、急傾斜部が黒色、緩傾斜部が白色で表現される(図3)。

グレースケールで表示した傾斜量図はカラー表示した傾斜区分図に比べ、傾斜変換部が明暗の強いコントラストで表現されるため、地形判読で重要な傾斜変換線の認定には傾斜量図の方が表現方法として優れている。しかし、傾斜量図には高低を示す情報がないため、地形が入り組んだところでは尾根や谷の区別が付きにくいという欠点がある。

3.2 標高の可視化

地形図などにおいて標高を表現する手法として、一般的には等高線が用いられてきた。しかし平地や緩傾斜部では等高線間隔が広く

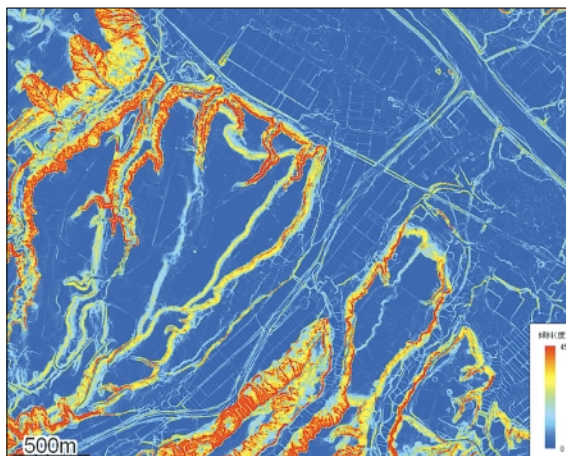


図2 傾斜区分図



図3 傾斜量図

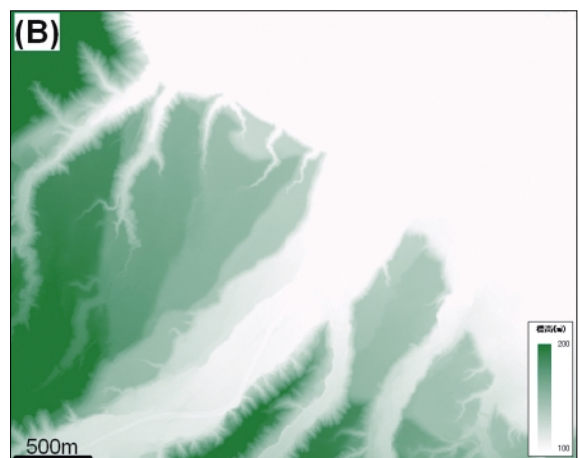
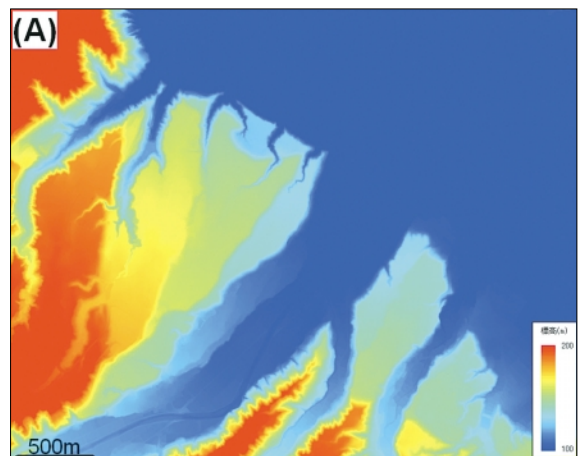


図4 高度段彩図の例(A)虹色で表現(B)2色で表現

なり、補助曲線の挿入にも限度があるため、細密なデータがあってもそれを活用できない。細密なデータを充分に利用するためには、等高線のようなベクタ型データより、ラスタ型データを活用するのが効果的である。

標高を表現するラスタ型データを用いて標高を表現したものとして、高度段彩図がある。

これは標高の違いを色の色相や明暗の違いで表現するものであるが、各格子点の標高値ごとに色相を連続的に割り当てるようにすると、等高線間隔が広くなるような緩傾斜地においても、標高値をむらなく表現することができる。着色は目的に応じて変えることが可能である。本研究ではArcGISとSpatial Analystを用いて、高度段彩図を作成した(図4)。

高度段彩図では標高変化の全体的傾向がわかりやすいものの、傾斜変換線が不明瞭である。また、地形区分の変化と標高変化は必ずしも一致しないので、高度段彩図のみで地形判読を行なうことは難しい。

3.3 カラー標高傾斜図(ELSAMAP)の作成

傾斜量図は傾斜変換線が明瞭であるが高低差は直感的にはわからないため、例えば段丘地形を識別できても、段丘面の対比はできない。また、尾根谷が逆転して見えることがあるなどの弱点がある。そこで、カラー表示した高度段彩図とグレースケールの傾斜量図を透過合成し、上記の欠点を補った新しい地形表現手法「カラー標高傾斜図(特願2005-234200)」を開発した(図5)。筆者らはこの手法が「標高」と「傾斜」の情報を利用しているということがわかりやすいようにELSAMAP(Elevation and Slope Angle Map)と命名した。

ELSAMAPの特徴として、

標高と傾斜の情報が同時にかつ独立して捉えられること

それぞれの要素が連続量として捉えられること

目的に応じて標高と傾斜の表示を調整することが可能であること

があげられる。

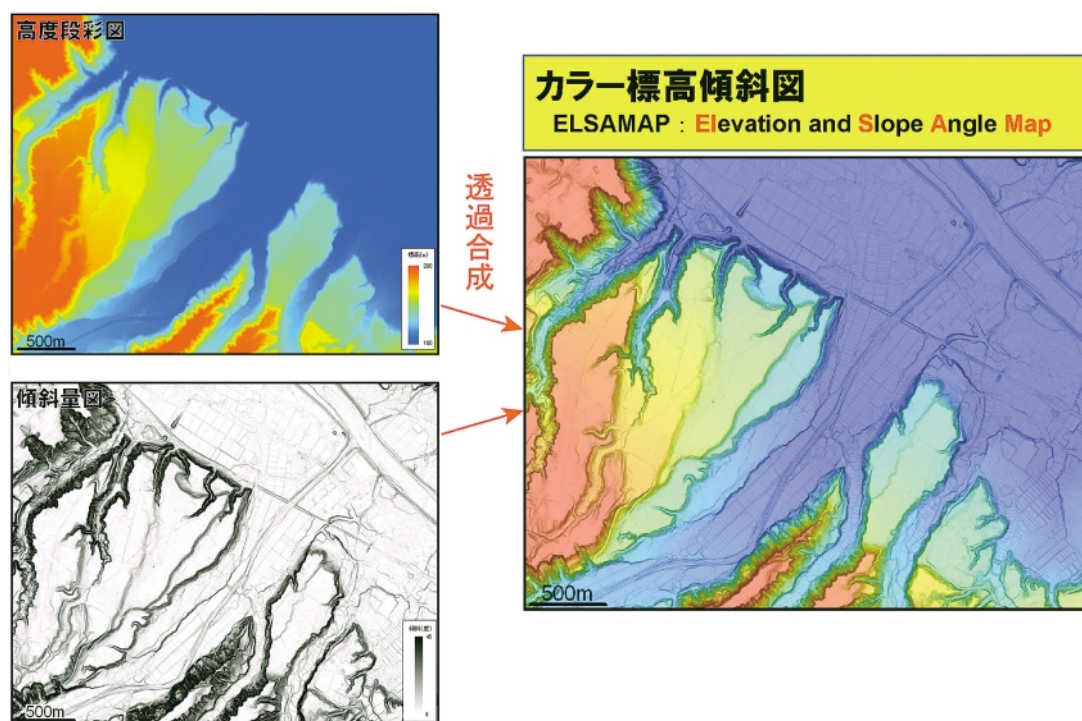


図5 カラー標高傾斜図(ELSAMAP)の作成

4 . ELSAMAPの活用事例

4.1 魚沼市堀之内周辺の段丘地形

ELSAMAPの活用例として、新潟県魚沼市堀之内周辺に分布する段丘地形の例を紹介する（図6）。

4.1.1 使用データ

航空機レーザスキャナのデータから2mグリッドのDEMを作成した。計測諸元を表1に示す。計測直後のレーザ計測点の3次元座標データには、樹木や建物を含む表層面上の全てのデータが含まれているため、地盤面データを抽出するために、不要なデータを取り除くフィルタリング処理を行う必要がある。今回は、樹木などで反射したデータと地表面で反射したデータの2層に分割する手法（層状処理）を用いた後、多項式を用いた曲面近似面より外れる点を除去する処理により地盤面

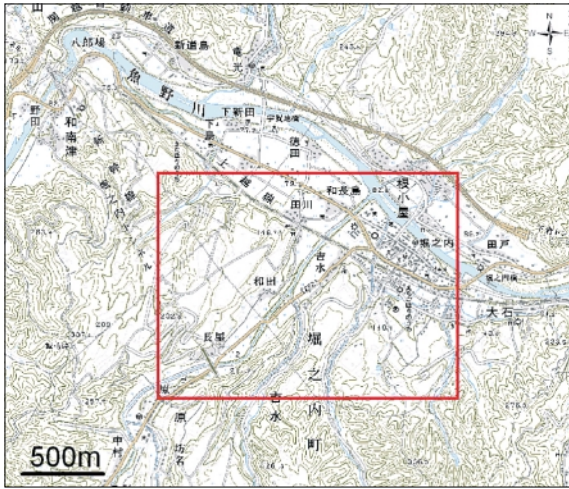


図6 魚沼市堀之内周辺の位置図

表1 計測諸元

計測日	2004年12月3日、9日および10日
計測高度	2,100m
レーザパルス頻度	45,000Hz
スキャニング角度	25°
高さ位置精度	±15cm
水平位置精度	±30cm
測点間隔 (最大水平距離)	進行方向：1.95m 横断方向：1.88m

データを抽出した。抽出された地盤面データはランダムに分布する計測点群であるため、TIN (Triangulated Irregular Network) を発生させ、2mのグリッドごとに標高を内挿し、DEMを作成した。

4.1.2 各種地形表現図の作成

図7には対象地域の各種画像を示した。図7(A)は航空機レーザスキャナ計測時に同時撮影した空中写真から作成したオルソフォトである。対象地域には、大河川およびその支流沿いによく連続する低地と樹林帯に縁取られた平坦面が複数認められる。平坦面は段丘面、樹林に覆われているのは段丘崖と考えられるが、それぞれの比高はオルソフォトからは明瞭にはわからない。

図7(B)は高度段彩図である。色相の変化から各平坦面の高度分布が読み取れる部分もあるが、色の違いが必ずしも段丘面の区分に一致するわけではないので、この情報のみで地形判読をすることは難しい。

図7(C)は、等高線図(2m間隔)である。等高線の粗密から段丘崖と段丘面が判読できる。また、段丘面ごとの傾斜の違いも読み取れる。しかし、等高線と等高線の間的一次情報は欠如しているため、堤防や田圃のあぜなどの微小な起伏は表現できていない。

図7(D)の傾斜量図は緩傾斜部が白く、急傾斜なほど黒色になるように表現したものである。傾斜変換部が明暗のコントラストで表現されるため、段丘崖や堤防の縁など、傾斜が鋭く変化する部分がわかりやすい。また、等高線図に比較して情報が連続的であることに加え、次の図7(E)に示す陰影起伏図で見られるような方向依存性はないため、一様な条件の元に判読ができる。

図7(E)は光源を北西に設定した陰影起伏図である。陰影起伏図は、現実に近い立体感

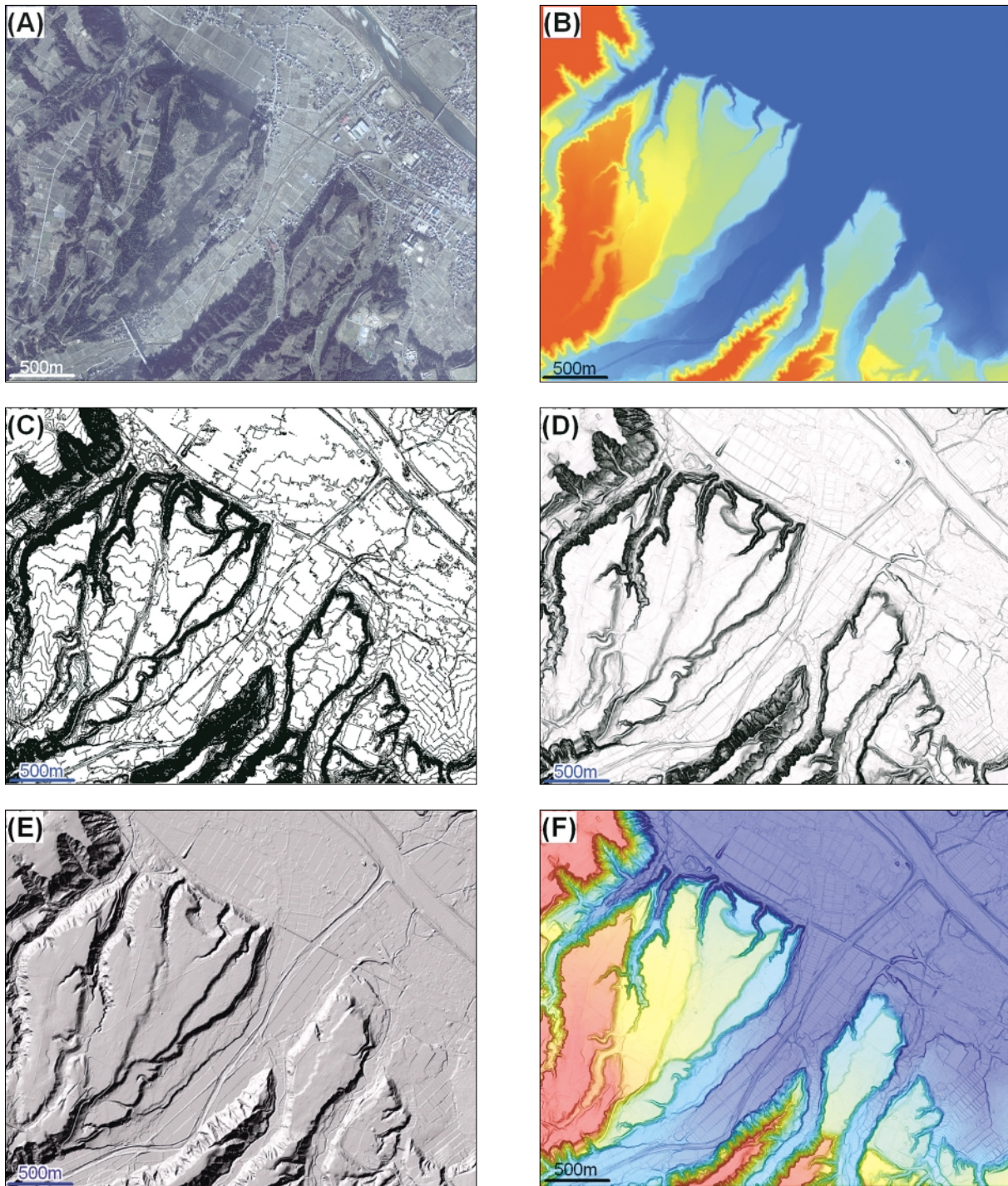


図5 カラー標高傾斜図 (ELSAMAP) の作成
 (A) オルソフォト (B) 高度段彩図 (C) 等高線図 (2m間隔) (D) 傾斜量図: 0~45度をグレースケール表示
 (E) 陰影起伏図 (光源は北西) (F) カラー標高傾斜図 (ELSAMAP)

が視覚的に表現されており、地形を直感的に概観するのに適している。しかし、光源の位置を変えると強調される地形が異なり、影部における一次情報が読みとりにくいという欠陥がある。

図7(B)と(D)を合成した図7(F)が、

ELSAMAPである。この図は、高度段彩図と傾斜量図の長所を組み合わせた表現方法となっている。つまり、傾斜の情報から、段丘崖や段丘面などの地形種の認定、標高の情報から段丘面の対比・連続性の確認を容易に行なうことができる。また標高表示色のグラ

レーションの変化から、段丘面の傾斜や表面の起伏形状など、詳細な形状を明瞭に把握することができる。

4.1.3 地質図との比較

図8には対象地の地質図³⁾とELSAMAPおよび地形断面図を示した。地質図では、この範囲の段丘面がt3～t7に区分されている。ELSAMAPでは地質図に記述された5つの段丘面をそれぞれ異なる標高色帯で表現できて

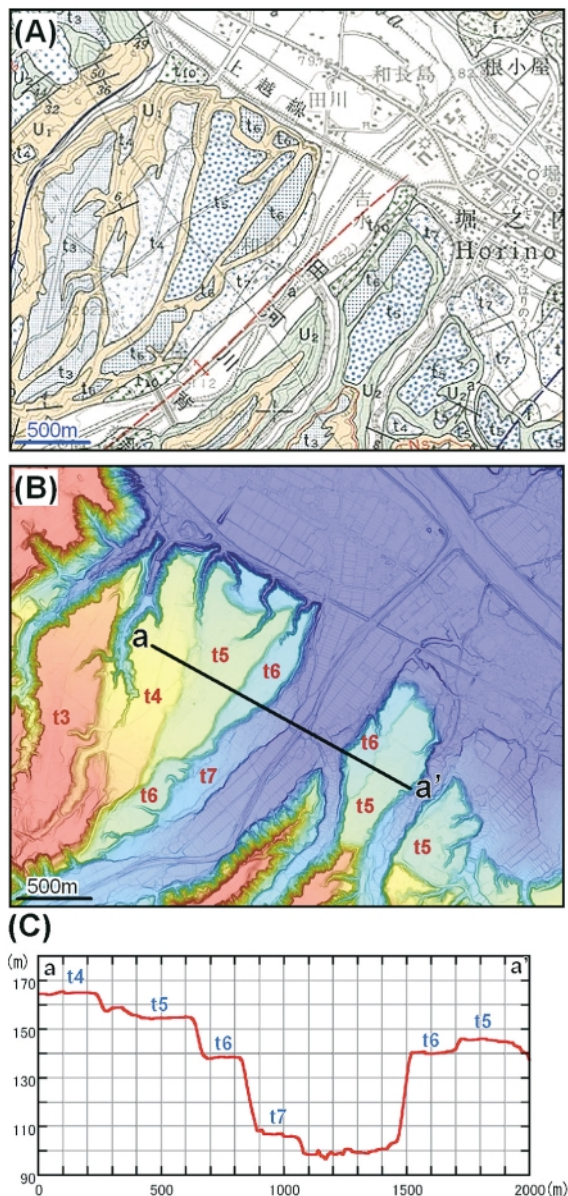


図8 地質図とELSAMAPの比較
(A) 地質図³⁾ (B) ELSAMAP (C) 地形断面図

いる。また、断面図を見ると、段丘面の対比・比高差が一目瞭然である。t5面の比高が明瞭に異なるのは、t6面の形成以前に河床勾配の変化や東西で差別的な地殻変動があった可能性を示唆する。

4.2 雌阿寒岳のポンマチネシリ火口

次にELSAMAPを火山地形に適用した例を示す。雌阿寒岳は北海道東部に位置する火山活動度ランクBの活火山であり、2006年3月21日、ポンマチネシリ山頂の赤沼火口および北西斜面で小規模な噴火が発生した(図9)。雌阿寒岳の南東では降灰が観測されるとともに、北西斜面では長さ1 km程度にわたる泥流が発生した⁴⁾。

この噴火では、ポンマチネシリ火口の北西斜面に新火口が形成された(図9(B))。赤沼火口と新火口との3次元的位置関係を調べるため、ELSAMAPを作成した。

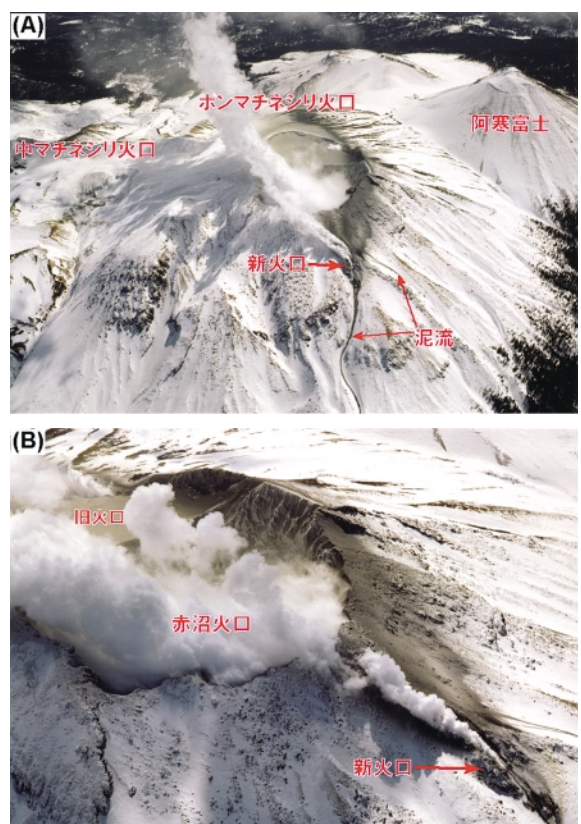


図9 雌阿寒岳2006年3月21日噴火 撮影は翌日の3月22日

4.2.1 使用データ

雌阿寒岳周辺では航空機レーザスキャナによる地形データがないため、国土地理院が発行している数値地図10mメッシュ（火山標高）を使用して作図を行った。

4.2.2 雌阿寒岳周辺のELSAMAP

雌阿寒岳周辺のELSAMAPを図10に示す。

この図ではポンマチネシリ火口や中マチネシリ火口の輪郭が明瞭であり、山体を切り込んだ沢地形も表現できている。山麓には北山溶岩など溶岩流の末端崖・側端崖が明瞭であり、物質の除去と新たな付加が入り交じる火山地形判読にもELSAMAPが有効であることがわかる。

4.2.3 ポンマチネシリ周辺のELSAMAP

噴火後に撮影された斜め写真や既存の地形図からでは、新火口の位置を確定するのが難しかった。そこで、噴火後に撮影した空中写真からオルソフォト（図11(A)）を作成し、

新火口の位置を把握した。

地形図⁵⁾に新火口の位置を示した（図11(B)）が、この図では山頂火口との関係がわかりにくい。そこで、赤沼火口と新火口との関係を調べるため、山頂周辺のELSAMAPを作成した。図11(C)に示したELSAMAPは図10を拡大したものである。この図では、地形が明瞭ではあるものの、赤沼火口と新火口との関係は良くわからない。そこで、標高表示色を調整した図11(D)を作成した。図11(D)を見ると、新火口（赤線）ができた標高は、赤沼火口の火口底とほぼ同じ標高であることがわかる。

図11(D)の白線A - A'で断面図を作成した（図11(E)）。断面図を見ると、新火口ができた標高と赤沼火口との関係が良くわかる。新火口は標高1240～1350mの範囲に並んでおり、赤沼火口底とほぼ同じ標高からやや低い標高に位置する。赤沼火口内は噴気が激しいため詳細はわからない。

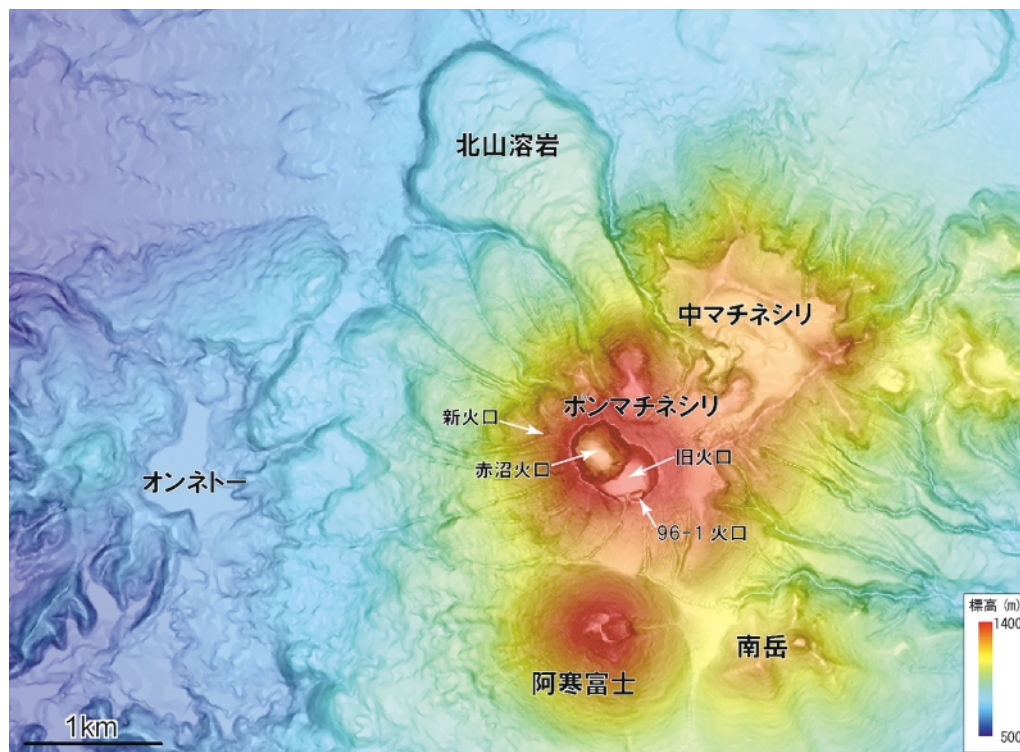


図10 雌阿寒岳周辺のカラー標高傾斜図（ELSAMAP）（数値地図10mメッシュ（火山標高）を使用）

5. ELSAMAPの特徴と可能性

地図は製作目的により、大きく一般図と主題図の2種類に区分される。一般図は特定の事物に重点をおくことなく描かれた地図であり、主題図は、特定の主題(目的)に重点をおいて描かれた地図である。背景図として用いられることが多い陰影起伏図(図7(E)参照)は、計測量の可視化よりも起伏感の表現を目的としたものであり、どちらかと言えば一般図に近い表現であろう。

一方、ELSAMAPは局所地形量としての標高と傾斜を用いた表現手法であり、それらの情報が独立に認識できるのが特徴である。目的に応じて標高と傾斜の表示調整が可能で、

伝えたい(判読したい)主題を表現するために調整された複数の画像が作成される(図11(c)と(d))。よって、ELSAMAPは目的に応じて標高と傾斜の値を可視化した主題図であると言えるだろう。

ELSAMAPは、標高に依存することの大きい地形種の区分、例えば河川沿いの段丘地形や火山地域の溶岩流地形の起伏を抽出する場合、地形断面図を作成することなく、標高表示色の調整のみで地形分類に必要な情報を得ることができる。また、航空機レーザスキャナは垂直方向の精度が高く、この機器の特徴を活かした表現方法であるとも言えるだろう。

航空機レーザスキャナのデータの普及に伴

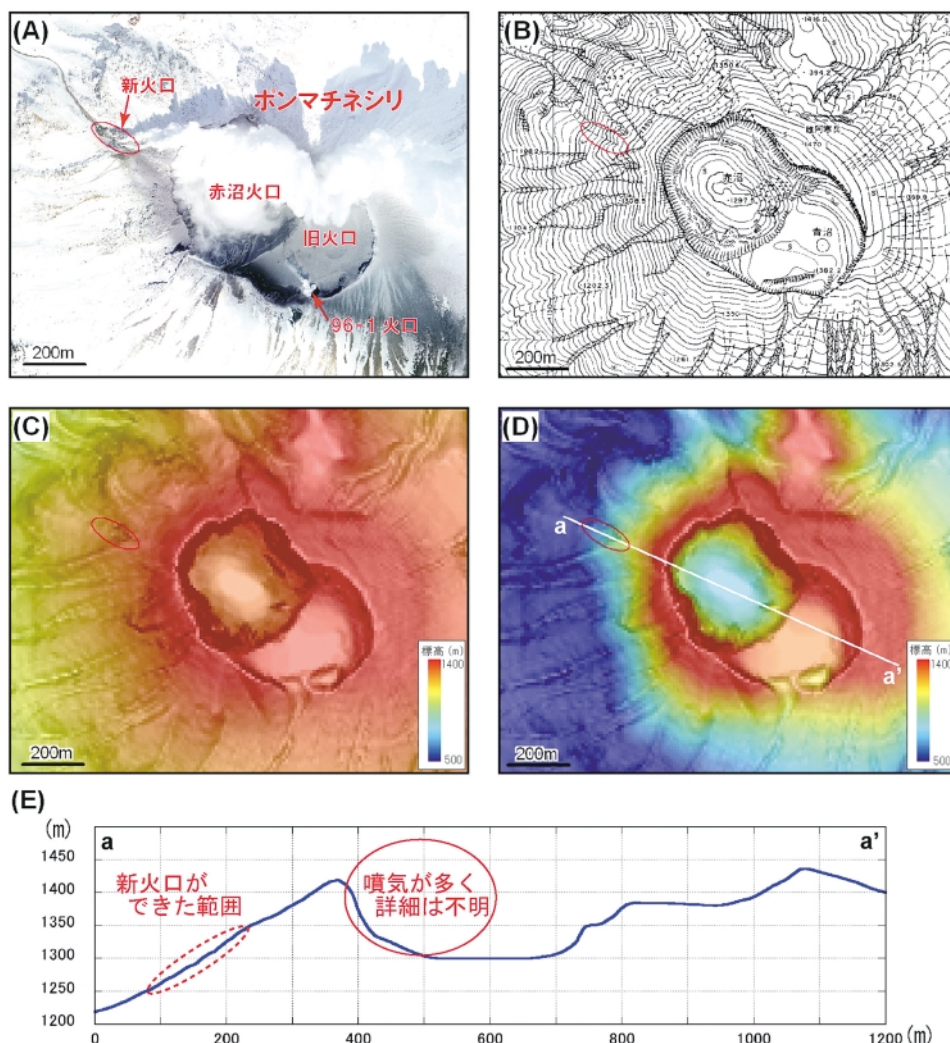


図11 雌阿寒岳山頂付近の地形(数値地図10mメッシュ(火山標高)を使用)
 (A)オルソフォト(B)地形図(等高線間隔10m)⁵⁾(C)ELSAMAP(図10の拡大)(D)ELSAMAP(標高表示色調整)(E)断面図

い、詳細な3次元地形モデルを用いた机上での地形調査が簡単にできるようになったため、ELSAMAPなどを用いることにより、従来できなかったような詳細な微地形判読など、現地調査のための概査を机上で効率的に行うことができる。また、空中写真や地形図上での図示や追記などではわかりにくい地形などは、ELSAMAPを使うことで、訴えたい地形を強調して可視化できる場合もある⁶⁾⁷⁾。

6. まとめ

「標高」と「傾斜」という誰でもわかる指標を用いた新しい地形表現方法「カラー標高傾斜図(ELSAMAP)」を開発した。ELSAMAPは判読したい地形に応じて、標高と傾斜の表示を調整することが可能であり、判読したい(伝えたい)主題を表現するために、標高と傾斜を調整した複数の画像が作成される。標高と傾斜、表示という誰でもわかる基礎的な指標を用いているため、専門家以外の人にも直感的に受け入れられ、第三者への説明資料として活用できるであろう。

ELSAMAPの課題としては、標高と傾斜の一種類の組合せだけでは全ての地形を表現できないことがあげられる。そのため、図11(c)と(d)のように標高表示色を調整するなど、表現したい地形や目的によって値を調整した複数の画像が作成されることとなる。しかしながら、GISなどIT技術が普及した今日では、パソコン上で作業するケースが多く、プロジェクトを用いたプレゼンテーションなどデジタル的な利用が多いことから、実用上はあまり問題にならないかもしれない。

ELSAMAPは、火山・変動地形、低地や段丘の調査、緩やかな起伏を持つ農地の地形調査など、微妙な高低差を読み取る地形判読を行なう場合に活用できるであろう。

(発表日2006年7月7日)

■ 参考文献

- 1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地、古今書院、2000
- 2) 神谷 泉・黒木貴一・田中耕平：傾斜量図を用いた地形・地質の判読、情報地質、Vol.11、No.1、pp.11-24、2000
- 3) 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一：5万分の1地質図幅「小千谷」、地質調査所、1986
- 4) 佐々木 寿・稲葉千秋・向山 栄：雌阿寒岳2006年3月21日噴火、火山、Vol.51、pp.347-350、2006
- 5) 北海道釧路土木現業所：雌阿寒岳火山噴火警戒避難対策空測平面図(縮尺1/10000)、1998
- 6) 太田陽子・小田切聡子・佐々木 寿・向山栄：ワシントン州、シアトル断層帯上における完新世海成段丘の示差的隆起と活断層との関係、地震、Vol.58、pp.385-399、2006
- 7) 武田智吉・柳沢 賢・酒井俊朗・宮脇理一郎・宮脇明子・百瀬 貢・向山栄・佐々木 寿：平成16年(2004年)新潟県中越地震の震源域における地質・地質構造調査結果、地震、Vol.58、pp.413-426、2006

■ 発表者紹介

佐々木 寿(ささき ひさし)

所属：国際航業株式会社 防災統括部 河川砂防海岸部 河川砂防グループ

E-mail: hisashi_sasaki@kkc.co.jp

■ 共著者紹介

向山 栄(むこうやま さかえ)

所属：国際航業株式会社 技術センター