

航空レーザ測量のDEMから作成した余色立体図等を用いた変動地形の観察 Investigation of Tectonic Landforms Using Anaglyphs Made from LiDAR DEMs

応用地理部 岩橋純子・佐藤 忠¹・内川講二²・小野 康・下地恒明・星野 実
Geocartographic Department Junko IWAHASHI, Tadashi SATO, Koji UCHIKAWA,
Yasushi ONO, Tsuneaki SHIMOJI and Minoru HOSHINO

要 旨

国土地理院では、国土地理院研究開発基本計画に基づき、「航空レーザ測量による活断層調査の高度化に関する研究開発」を行っている。本稿では、航空レーザ測量による活断層調査の高度化に関する研究開発の一環として、航空レーザ測量のDEMから作成した余色立体図等を作成した事例を紹介する。DEMは数値データであるため、倍率を加えることによって、地形の立体感を強調できる。さらに、標高値の対数から図を作成することによって、平地の凹凸を強調すると同時に段丘や山地については強調し過ぎないように抑え、広域を観察するために効率的な図を作成できる。また、空中写真と比較した最大の利点は、シームレスに広範囲を観察できることや、平野部の密集市街地について、建物の除去・凹凸の強調の上、地形を観察できることである。5mDEMから作成した画像は、おおむね、2万分1のモノクロ写真程度の判読性能であり、地形調査の実用に耐えると考えられる。

1. はじめに

日本の国土の約7割は森林に覆われ、それ以外の平野部等は建物が多い。日本では、樹林下の地面の標高が得られる航空レーザ測量の需要が大きく、2000年代に入ってから、航空レーザ測量の導入が急速に進んだ（佐藤ほか, 2010）。航空レーザ計測アーカイブズ（日本測量調査技術協会, <http://www.sokugikyo.or.jp/laser/search.html>）、一級河川流域の航空レーザ測量DEMの整備域（国土交通省ハザードマップポータルサイト精密基盤標高地図, <http://disaportal.gsi.go.jp/seimitu/index.html>）を見ると、現在では、様々な機関によって、可住域の50%以上が計測されたと推定される。レーザ測量機器は、年々パルス密度の高い機器の利用が進んでおり（佐藤ほか, 2010）、良質なデータが取得できるようになっている。また、地物や樹木をデータから取り除くフィルタリング手法についても、改良が重ねられている。

国土地理院では、平成18年度に航空レーザ測量による高精度・高密度な標高データの活用状況について、自治体・防災・河川・都市計画及び教育等の各分野の専門家へのヒアリング調査を行った（門脇, 2007）。その結果、活用が期待される分野には、ハザ

ードマップ作成（24%）・微地形判読（地形解析）（12%）・活断層調査（4%）など、活断層調査の事業に関連のある分野が挙げられていた。また、航空レーザ測量のDEMについて、数値地図5mメッシュ（標高）・2mメッシュ（標高）CD-ROMとして、平面直角座標系の正方形メッシュDEMを刊行しているほか、基盤地図情報のウェブサイト（<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>）で、0.2秒間隔の経緯度メッシュのDEM（約5m；5mメッシュとサイトで表示）の無償公開を行っている。刊行・公開されているデータはまだ一部であるが、今後も主として5mメッシュデータの公開を進める予定である。

DEMの利用は様々な分野で行われているが、2000年代に入ってからGISと結びつき、利用が盛んになった。傾斜等の地形量の計算・水文解析など、DEMを利用した数値地形解析は、一つの研究分野となっている（Hengl and Reuter, 2009）。地形判読への利用としては、DEMを画像処理すると傾斜変換部など地形の特徴を際立たせることができることが、以前から知られていた（岩橋, 1992）。DEMの地形調査への利用は、特に活断層調査の分野で関心が高い（後藤・中田, 2011）。近年の高解像度の航空レーザ測量の普及により、主として陰影図や標高値が活断層調査に用いられている（例えばCunningham, 2006; Chan et al., 2007; Hunter et al., 2011）。その他、画像処理図を用いた変動地形の観察（千葉ほか, 2007）をはじめとして、断面図を中心とした変動地形の調査（丸山ほか, 2009）、パターンマッチングによる変位量調査（向山・江川, 2009）等の実作業で利用されるようになってきた。

国土地理院では、阪神・淡路大震災後の平成7年度の第二次補正予算を受けて、活断層の詳細な位置を明らかにするために、1:25,000都市圏活断層図の作成を開始した。当初は政令指定都市を含む大都市圏、その後、地方都市にも調査を広げ、平成17年度からは、地震調査研究推進本部の方針に基づき断層帯ごとの地図作成を行っている。都市圏活断層図の作成手法や凡例については、星野ほか（2007）にまとめられている。さらに、平成21年度～平成25年度の計画で、国土地理院研究開発基本計画に基づき、「航空レーザ測量による活断層調査の高度化に関する研究開発」を行っている。平成21年度には、詳細

現所属：¹基本図情報部、²地理空間情報部

活断層図作成検討委員会(中田高委員長)のもとで、航空レーザ測量のデータを利用して 2008 年の岩手・宮城内陸地震に関する地表変形の調査が行われた(国土地理院, 2009). 平成 22~23 年度は、数値標高モデル (DEM) の色付け、段彩、陰影等の表現手法

について検討し、既存の活断層の位置の正確性向上に利用するための手法について調査し、都市圏活断層図の全国活断層帯情報整備検討委員会(岡田篤正委員長)に判読資料として出力図を提供した。

2. 変動地形の概要

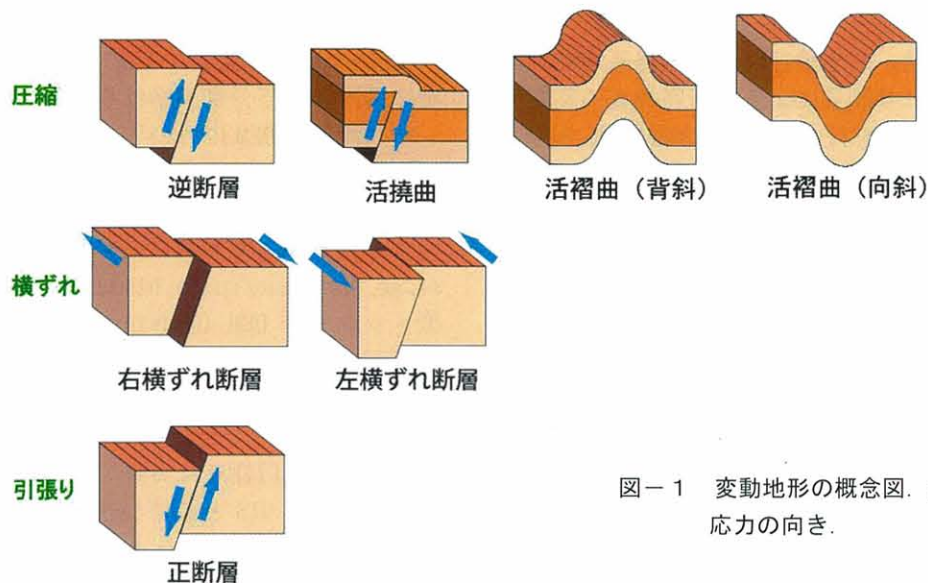


図-1 変動地形の概念図。緑字は応力の向き。

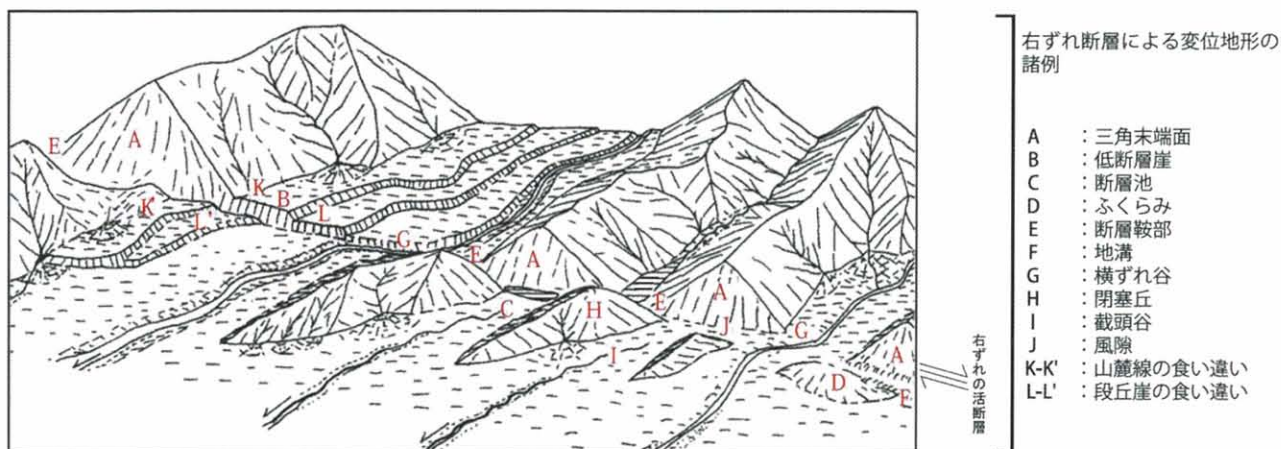


図-2 断層変位地形の概念図(活断層研究会, 1991 を一部改変)。

図-1 は、変動地形の概念図である。そのうち活断層は、変位の相対的な方向によって、正・逆・右横ずれ・左横ずれの四つの基本タイプに分けられる。また、変位が柔らかい地層内で拡散した場合は、地表に、段差ではなく撓みとして現れる場合があり、撓曲(とうきょく)と呼ばれる。褶曲は、横からの力によって地層が曲がる現象やその場所を指すが、そのうち活褶曲は、現在も続く地殻変動によるものである。図-2 は、断層変位地形の概念図である。なお本稿では、図-1 の変動地形の他に、地すべりについても事例を紹介する。地すべりは褶曲山地や

変動が大きい山地にしばしば見られるものであり、変動地形に伴うケースもある。都市圏活断層図でも凡例に採用している。

3. 空中写真判読による活断層調査

活断層の調査は、一般的に、空中写真判読による変動地形調査を中心として、地下構造調査(物理探査)、現地露頭調査、トレンチ、ボーリング調査等の組み合わせで行われる。空中写真判読は、二枚一組の空中写真を、熟練した作業者が立体視することにより、詳細な地形的特長や、濃淡、きめ、色など

を判読し、地形分類さらに地質や地質構造の解説を行うものである。当初は軍事目的や分類図の作成に重点が置かれていたが、やがて広域の地質解説や災害地域の地形・地質的特性の把握にも利用されるようになった（国土地理院，1996）。特に、活断層の調査研究には必須の手法として認識されてきた。日本全国の活断層を、同一基準と同一縮尺で網羅した初の文献である「新編日本の活断層」（活断層研究会，1991）は、主として約4万分1の空中写真を使用して、活断層の研究者が変動地形を判読し、現地調査を加えて作成されたものである。

国土地理院の都市圏活断層図は、1:25,000地形図上に活断層の位置をできるだけ正確に記す事を主題としており、空中写真判読と文献調査によって作成されている。空中写真判読のイメージを図-3、都市圏活断層図の作成の流れを図-4に示す。空中写真による変動地形調査を行い、活断層の専門家である複数の委員によるクロスチェックを経て、活断層素図を作成する。また、別に作成する地形分類素図（段丘、扇状地、地すべり地形等）も空中写真判読により作成し、活断層素図を合わせて、都市圏活断層図原稿図を作成する（星野ほか，2007）。活断層調査に使用される空中写真は、1960年代の2万分1モノクロ空中写真と、人工改変前の地形が分かる

1940年代の米軍写真（主として4万分1）、他に1970年代の約1万分1のカラー空中写真も使用される。都市圏活断層図の地形分類には、1960年代の2万分1モノクロ空中写真が使用されている。四六判の都市圏活断層図1面分を判読するために、写真の縮尺が2万分1なら80枚程度が必要である。

筆者らは、航空レーザ測量のDEMが存在する地域については、図-4のように、データを活断層調査・地形分類及びクロスチェックに活かせないかと考えた。国土地理院から公開あるいは刊行されているDEMの解像度は主として5mであり、一部2mである。活断層調査の分野、特に地形判読の部分では、従来、50cm・1mといった極めて高解像度のDEMが利用されてきた（例えばChan et al., 2007; 丸山ほか, 2009）。DEMの解像度が細かい程、詳細な地形が分かることは明らかだが、広範囲のデータ整備では、コスト（データ作成及び解析処理を含む）や精度上の限界、安全保障等との兼ね合いになる。今後も、国土地理院から公開されるDEMの解像度は、主として5mとなる予定である。しかし、5m程度の解像度でも活断層の判読に耐えるのか、空中写真ではなくDEMで地形を見る長所はどこにあるのか、最大限情報を引き出すためにはどうすればよいのか、について十分に整理されていなかった。本研究でそれらを調査した。

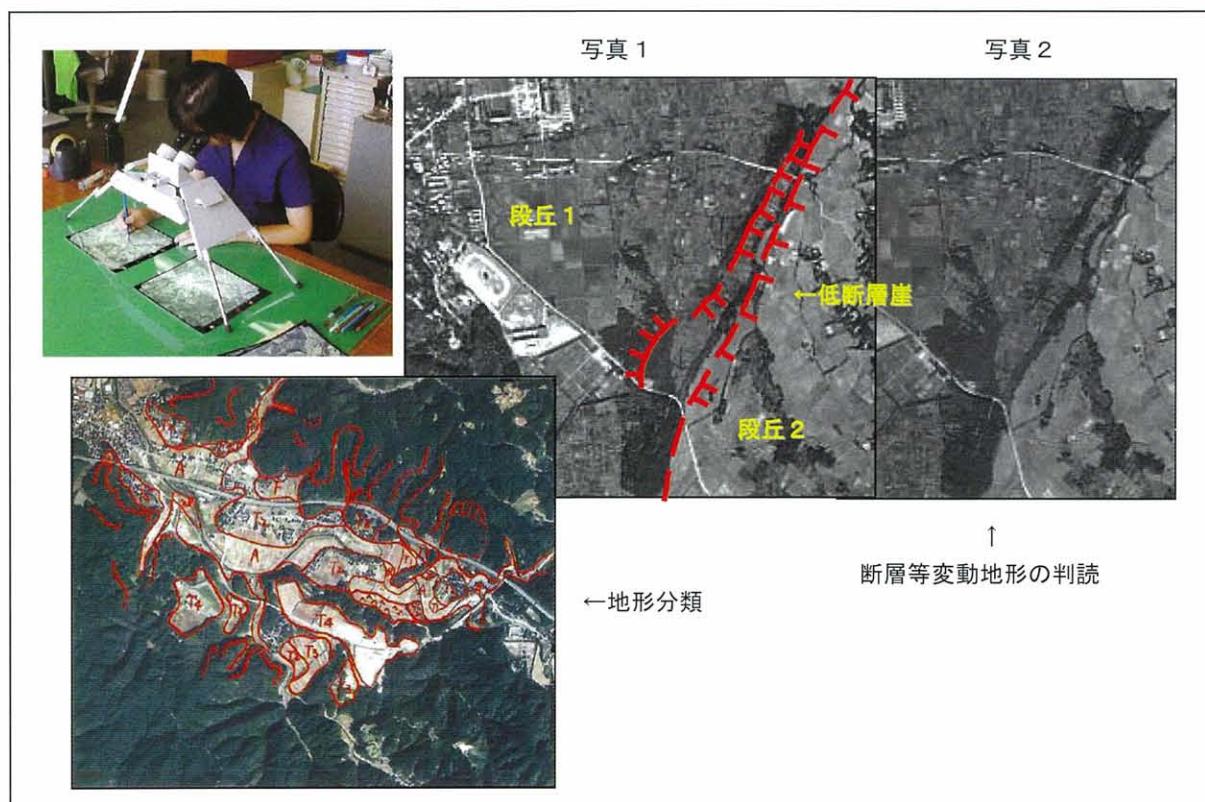
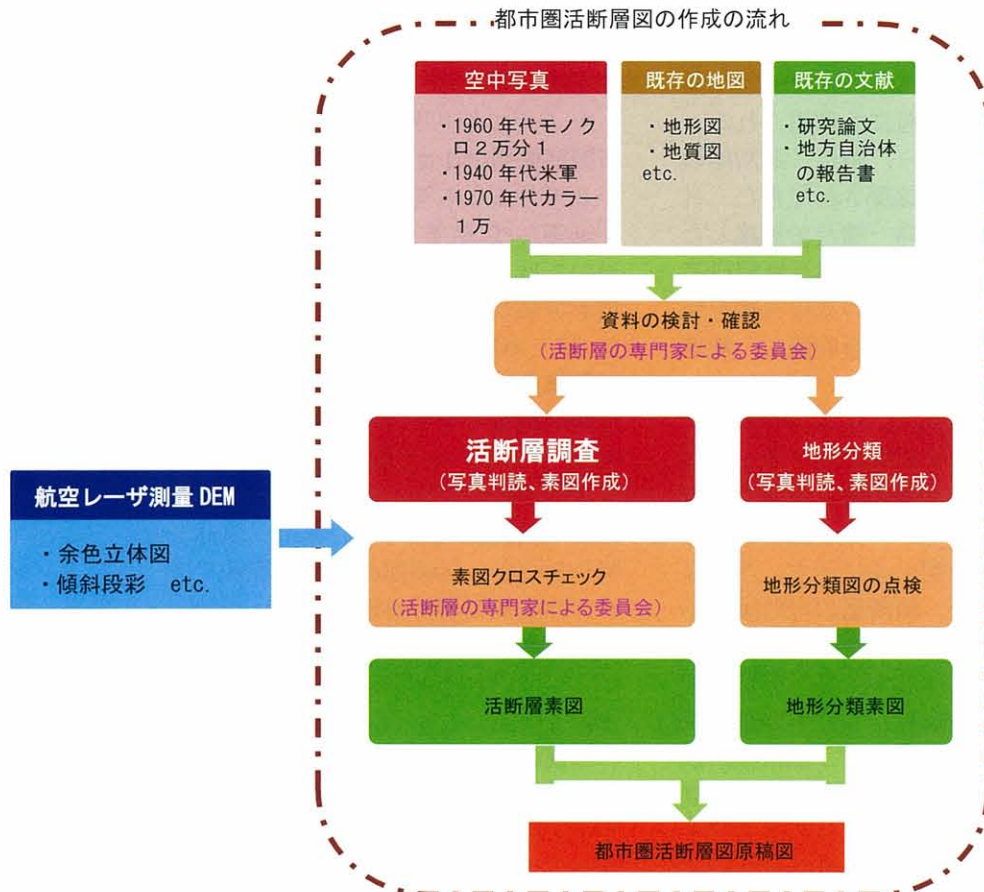


図-3 空中写真判読のイメージ



図－4 都市圏活断層図の作成の流れ（点線枠内）。航空レーザ測量DEMの活用が考えられる。

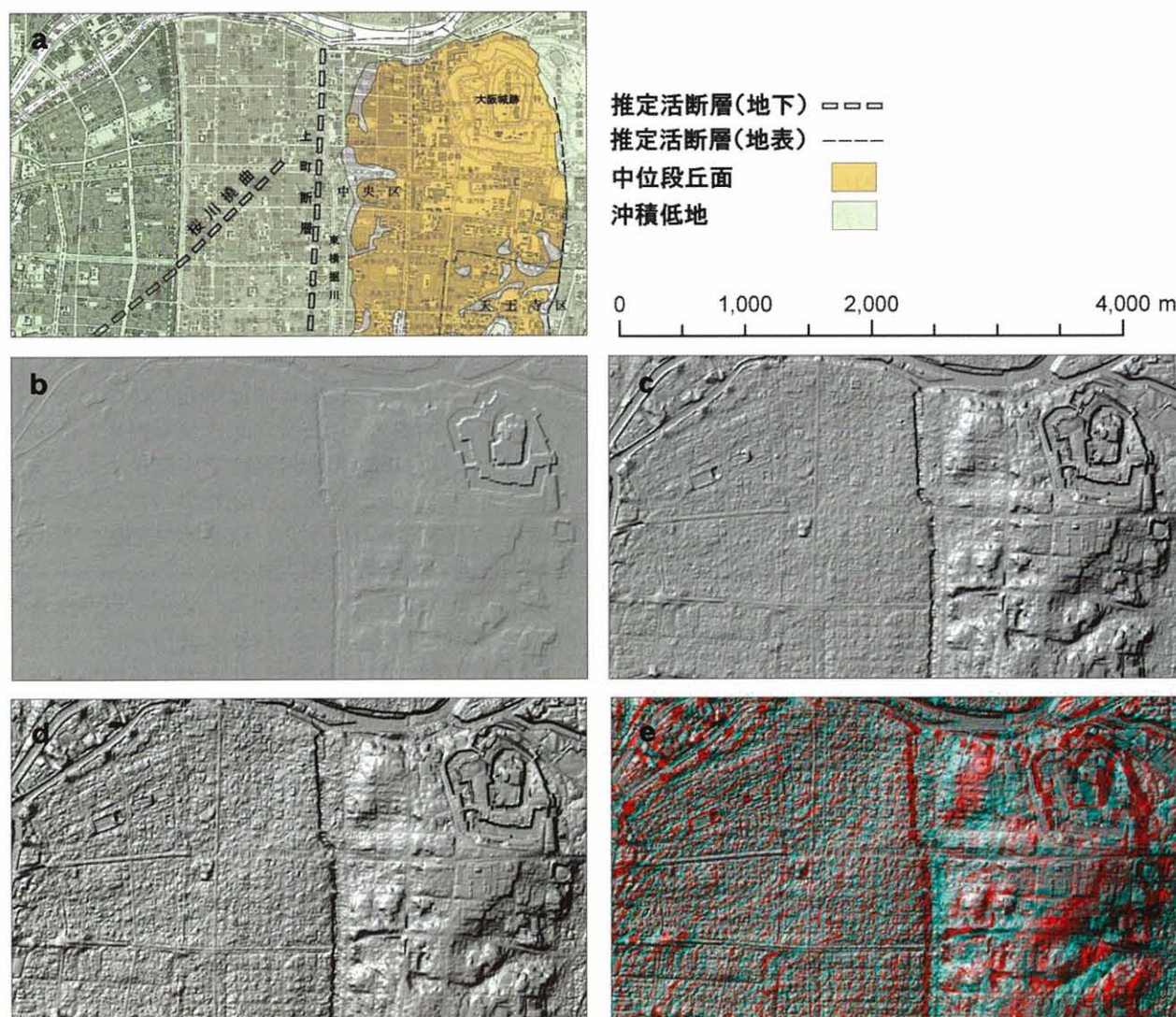
4. DEM 画像の作成手法

DEM から地形の斜面方位（陰影）や傾斜、曲率等、地形量を計算する方法は、元々、画像処理の分野で発達したフィルタリングの手法から考案されており、ある標高点と隣接する標高点群の標高差を元に計算される。原理的には、陰影や傾斜は注目点の近傍の標高値の一次微分であり、曲率は二次微分である（Evans, 1980）。従って、陰影や傾斜の画像は、低断層崖のような、急斜面を伴う階段状の地形を強調することに向いており、曲率は、変曲点である尾根筋や谷筋を強調することに向いていると考えられる。

本研究では、主として陰影と傾斜を元に図を作成した。航空レーザ測量 5 mDEM 及び 2 mDEM を用いて、陰影図、傾斜段彩図、鳥瞰図、陰影図を元にした余色立体図等を作成した。陰影図は、ArcGIS Spatial Analyst (ESRI) の「陰影起伏」機能にて作成した。傾斜段彩図は、ArcGIS Spatial Analyst の「傾斜角」機能を使い、傾斜と標高段彩のオーバーレイ表示で作成した。鳥瞰図は傾斜段彩図と標高値から作成した。余色立体図は、右目に青（シアン）、左目に赤のフィルムを貼った立体メガネで観察すると三次元に見える画像である。何らかの画像に高さの情報を加

えて作成するもので、陰影図に限らず、傾斜図や段彩図など様々な画像から作成可能である。今回は、高さを数倍に強調した陰影図や、標高値の対数を定数倍した DEM から作成した陰影図を元に、ERDAS IMAGINE (ERDAS) の anaglyph の機能にて作成した。

図－5 は、大阪市の中心部について、航空レーザ測量の 5 mDEM から作成した陰影図と余色立体図である。図－5 b が、高さ強調なしで作成した陰影図である。標高値に倍率を加えることによって、地形の立体感を強調できる（図－5 c）。さらに、単純に定数倍するだけではなく、デジタルデータの利点を活かして、数値変換を値に加える事も可能である。河床の縦断型は、上流ほど急で下流ほど緩やかな指数曲線に近い事が古くからよく知られているが、標高値の対数から図を作成することによって、平地の凹凸を強調すると同時に段丘や山地については飛び出し過ぎないように抑え、広域を観察するために都合の良い図を作成できた（図－5 d）。図－5 e は、図－5 d 及びその元になった高さデータから作成した余色立体図であるが、図－5 a と比較すると、上町台地北端部の様子に加えて、桜川撓曲付近の地形の緩やかな段差を観察することができる。



図ー5 (a) 都市圏活断層図「大阪東北部(中田ほか, 2009)」 「大阪西北部(中田ほか, 1996)」の一部。中位段丘が上町台地。推定活断層(地下)として上町断層, 桜川撓曲がある。(b~d) 航空レーザ測量5mDEMから作成した陰影図。Z=1倍(b), Z=10倍(c), 標高値の対数を定数倍して作成(d)。(e)は(d)及びその元になった高さデータから作成した余色立体図。

5. 航空レーザ測量 DEM と空中写真の比較

従来の写真判読と航空レーザ測量DEMから作成した画像の判読で異なる点には, 表ー1のような項目がある。まず, 判読作業上, 単純ではあるが作業効率の点から非常に重要な利点は, 航空レーザ測量DEM画像では, 空中写真と違ってシームレスに広範囲を観察できることであった。パソコン画面上で画像をスクロールしながら観察できるので, 連続したデータがある範囲全体を, 一度に観察することが可能である。また, GISに簡単に導入可能で, 他の地図データとオーバーレイしながら観察することができ, 山間部でも場所の特定が容易である。さらに, 判読した変動地形を, GISソフトを用いて画面上でデジタイズすることも可能である。

航空レーザ測量DEMは, 樹林下の微地形の観察に適していることがよく知られている。ただし, 空中写真との比較では, 5m解像度ならば, 平地の建物密集地で相対的な長所が大きかった。建築物を省いて, 平野部のわずかな起伏の過高感を強調しながら広範囲に地形を鳥瞰できることは, 航空レーザ測量DEMの大きな利点である。注意点としては, レーザ測量機器は年々パルス密度の高い機器の利用が進んでいるが(佐藤ほか, 2010), 逆に言えば, 初期に公開されたDEMは, 最近作成されたDEMと比較して, 地上点密度が粗いことが多い。また, 竹林等, レーザが透過しづらい植生もあり, そのような地域では地形の凹凸が捉えにくい。

過高感を自在に強調できることは, 数値データで

ある DEM の利点である。本研究では、4 章で述べたように、標高値の対数から図を作成することによって、広域を観察するために都合の良い図を作成できた。写真判読の経験者には、陰影図から作成した余色立体図が、地形の起伏を把握しやすいと好評であったが、その高さ強調は、1 万分 1 の大縮尺では 2 ～ 3 倍で充分であったが、小縮尺ではもっと大きくしないと立体感が不十分であった。また、紙出力する場合、解像度や紙の材質でも立体感が大きく違って見えた。フォトプリント紙に高解像度で出力するか、あるいはパソコンの画面で直接観察した場合に最も良く立体感を得られた。

解像度については、空中写真・航空レーザ測量 DEM とも様々であるが、国土地理院の、空中写真の縮尺は主として 1 万分 1 ～ 4 万分 1、航空レーザ測量 DEM は主として解像度 5 m である。解像度 5 m の DEM から縮尺 2 万 5 千分 1 で画像を作成すると、127dpi となり、おおむね滑らかに見える。目視観察でも、5 mDEM から作成した画像は、2 万分 1 のモノクロ写真程度の判読性能であった。同様の意見は、活断層等の変動地形の専門家で構成されている全国活断層帯情報整備検討委員会の委員からも出された。海外の事例であるが、5 m に近い、3.5 m メッシュの航空レーザ測量 DEM を変動地形調査に用いた Bogg and Mouslopoulou (2009) は、従来の 5 万分 1 地形図や、2 万 5 千分 1 空中写真をはるかにしのぐ判読性能があったと述べている。5 m の解像度の DEM でも、2 万 5 千分 1 程度の中縮尺の地形判読には充分耐えると考えられる。ただし、画像処理により、隣接する

標高点の値を利用して陰影や傾斜を計算するため、段丘の縁がシャープに見えなくなり、小さい段丘が斜面に見えてしまうという短所はあった。一方、水田の畦や道路の盛り土などの小さな段差でも、隣接標高点を使った画像処理によって拡大・強調され、解像度 5 m の DEM 画像でも見えた。

空中写真には、撮影時点の太陽の方向によって影が付いており、モノクロの古い写真では、濃い影の部分の地形判読が難しいことも多い。DEM は、傾斜図等、影が特定の方位によらない画像を作成することができ、各方位から地形を観察できる。傾斜図は、陰影図の補足に使うことに適している。他に、鳥瞰図は、本稿のような紙媒体では平面としてハードコピーするしかないが、十分なメモリを備えたパソコン画面上では、DEM の解像度をフルに保ったまま、回転させながら過高感も変化させつつ多方面から観察でき、地形を各方位から、直感的に把握するために非常に優れた表現手法である。

以上のような優れた点の他に、空中写真では得られても DEM では得られない情報もある。

空中写真では植生や露出した土壌の色調が得られるため、場所によっては、間接的に、土壌の状態を推測することが可能と考えられている。フィルタリングによって地物や樹木を除去した、本研究の対象である DEM では、土地被覆の情報は得られない。また、航空レーザ測量データは撮影時期が新しいものが多いため、特に住宅地近くでは、人工改変が進む前の自然地形が分からないという欠点がある。

表－1 空中写真及び航空レーザ測量 DEM による地形判読の特徴の比較

	空中写真	航空レーザ測量 DEM
一度に観察できる範囲	空中写真のオーバーラップ分（通常 1 枚の写真の 60% 程度）	データが連続する範囲全て
起伏の誇張（過高感）	オーバーラップによって決まる	画像処理する際のパラメータによって決まる。標高値を、対数変換等、操作することも可能
地物、樹木	そのまま	地物を取り去った地表面を観察できる
縮尺又は解像度	主として 1 万分 1 ～ 4 万分 1	数十 cm ～。国土地理院が刊行・公開しているものは主として 5 m、一部 2 m
影	一定方向	傾斜図・鳥瞰図等では影の影響なしで地形を観察できる
色調・きめ	土地被覆を反映	ない
人工改変前の地形	主要都市部は 1940 年代の写真あり（米軍 4 万分 1）	航空レーザ計測時点、2000 年代以降

6. 事例紹介

本章では、余色立体図を中心に、航空レーザ測量を用いて地形を観察できる図を作成した事例を紹介する。使用したDEMの解像度は、いわき市塩ノ平断層付近のものが2m、他は5mである。なお、原稿の都合で縮尺を縮小しているが、元の余色立体図は、5mDEMからは2万5千分1、2mDEMからは1万分1の縮尺で作成した。

6. 1 福島県いわき市：(仮称) 塩ノ平断層付近～樹林下の地形の観察～

2011年3月11日の東日本大震災の後、各地で地震が頻発したが、福島県いわき市でも、4月11日福島県浜通りの地震(M7.0)以降、度々地震が発生している(防災科学技術研究所, 2011)。この地震に際しては、合成開口レーダー(SAR)のデータから、震災以前ほとんど活動がなかったとされる湯の岳断層・井戸沢断層付近が動いたことが明らかになっている(国土地理院, 2011a)。4月11日の地震では、井戸沢断層周辺の道路や田畑に特に明瞭な段差が現れ、塩ノ平断層と呼ぶことが提案されている(石山ほか, 2011a)。図-6は、塩ノ平断層付近で、地震後の5～6月に撮影された空中写真及び、航空レーザ測量の2mDEMから作成した画像である。空中写真では、塩ノ平地区の田圃を横切る地震断層(水色の矢印；現地写真は国土地理院(2011b)参照)の他、山中に、樹冠の隙間が線状に見える(濃ピンクの矢印)。DEM画像を観察すると、この部分にもはっきりと、樹林下の段差が写っている。同様の地表地震断層は、高ほか(2011)にて、塩ノ平地区の割れ目に沿った長さ800m程の地域の、非常に高解像度な航空レーザ測量データを用いた分析によっても報告されているが、さらに北方にずっと伸びている様子が、図-6から観察できる。この山中の地震断層については、斉道東側の割れ目に沿った地形が侵食されている様子から、今回の地震以前にも変位が起きていたと考えられる。なお、山圃を横切る地震断層(水色の矢印)については、トレンチ調査が行われており、地層の分布と構造から、今回の地震以前の断層運動と古地震活動の存在が示唆されている(石山ほか, 2011b)。

6. 2 大阪府大阪市・堺市・松原市：上町台地付近～密集市街地の地形の観察～

大阪市から堺市・松原市にかけての上町台地周辺には、上町断層帯の存在が知られている(活断層研究会, 1991)。上町断層帯付近は、米軍写真が撮影された1948年にはすでに住宅密集地となっており、現在はビルが林立する市街地で、地面の様子を空中写真から観察することが困難である。図-7は、図-

5の南側にあたり、上町台地周辺の地域である。図-7aは、比較観察のために示した都市圏活断層図であるが、赤線で示される活断層は、長居断層である。図-7bは、上町台地周辺の航空レーザ測量5mDEMから作成した余色立体図である。

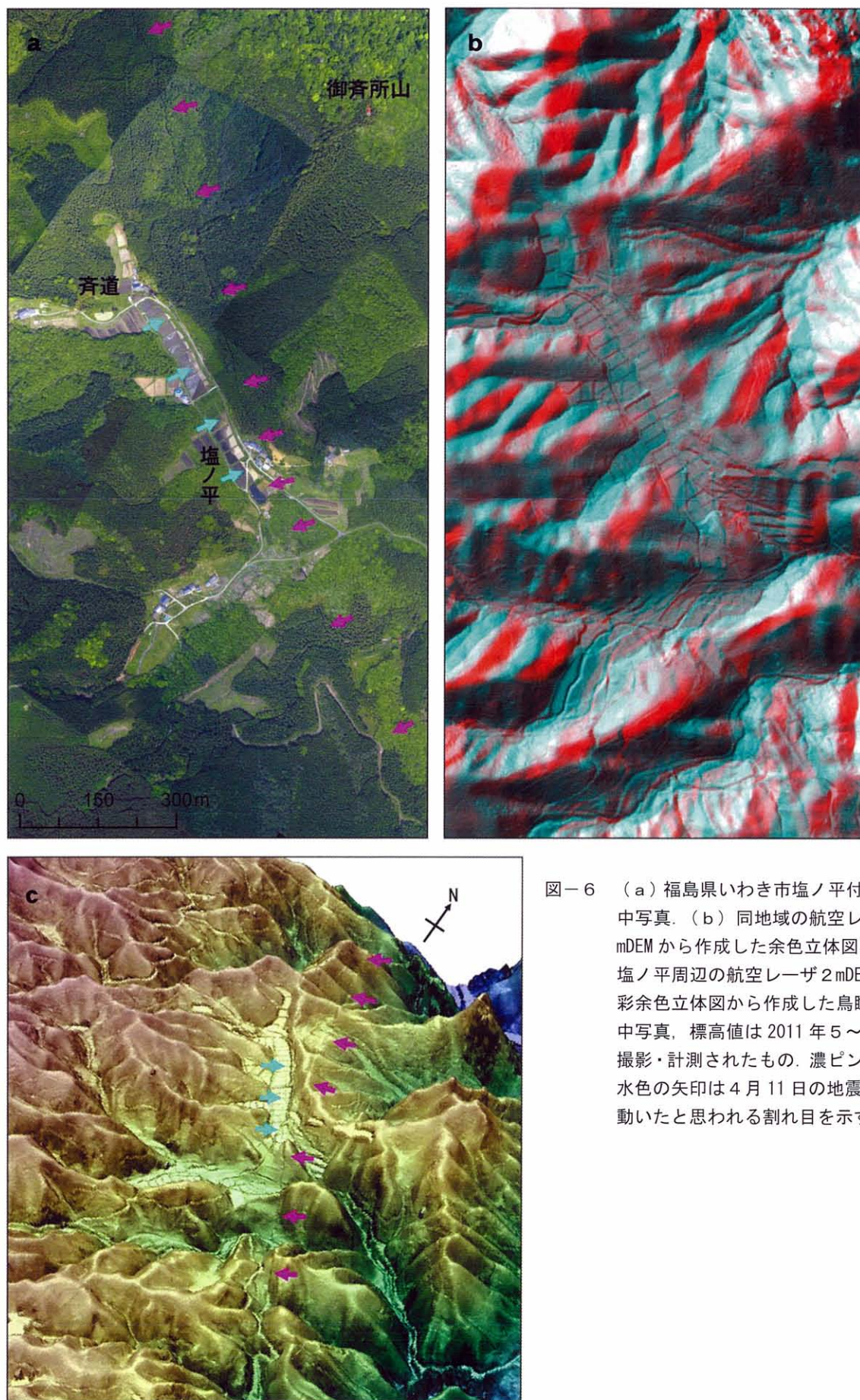
長居断層の断層崖の比高は、DEMの計測から2～3m程度であるが、標高値の対数から余色立体図を作成しているため、小さな凹凸が強調されており、崖状の地形が非常に目立って見える。空中写真では、低地の過高感が小さい上、密集した建築物に覆われており、図-7bほど明瞭に断層地形を観察できない。図-7bでは、全体として、数m単位の小さな起伏も分かりやすく観察できる。

図-5及び図-7に使用した大阪市街地のDEMは、数値地図5mメッシュ(標高)としてCD-ROMで刊行されているものを使用した。同地域の経緯度メッシュのデータは、基盤地図情報のサイトから無料でダウンロード可能である。

6. 3 山形県米沢市～活褶曲・活撓曲の観察～

山形県の長井盆地から米沢盆地にかけての地域は、都市圏活断層図「長井盆地西縁断層帯とその周辺」(「左沢」「長井」「米沢」)として平成22年度に調査が行われている。図-8aは「米沢」図幅の一部で、山麓に活褶曲・活撓曲や活断層が存在することが分かっている(澤ほか, 2011)。活褶曲や活撓曲とは、概念図(図1)のように、山麓や平野など、未固結の沖積層が厚く堆積した所にしばしば見られる変動地形である。わずかな地表の撓みとしか表れないものも多く、熟練者でも判読が難しい。図-8bは、航空レーザ測量の5mDEMを用いて、標高値の対数から余色立体図を作成したものである。空中写真(図8c)と比較すると、凹凸が強調され、活褶曲の背斜に伴う膨らみ等がはっきりと見え、地形を観察しやすくなっている。

図-8bの地域をはじめ、長井盆地西縁断層帯をカバーする最上川流域の航空レーザ測量DEMは、山形河川国道事務所が撮影したデータを基にしている。断層帯周辺の余色立体図は、都市圏活断層図の検討委員会(全国活断層帯情報整備検討委員会)にて展示したが、クロスチェックの際、委員の先生方が、余色立体図で図葉のデータ全体を見ながら議論し、細部を空中写真で確認しておられた。また、都市圏活断層図「長井盆地西縁断層帯とその周辺」の解説書(八木ほか, 2011)に、航空レーザ測量DEMから作成した5万分1陰影図を提供した。

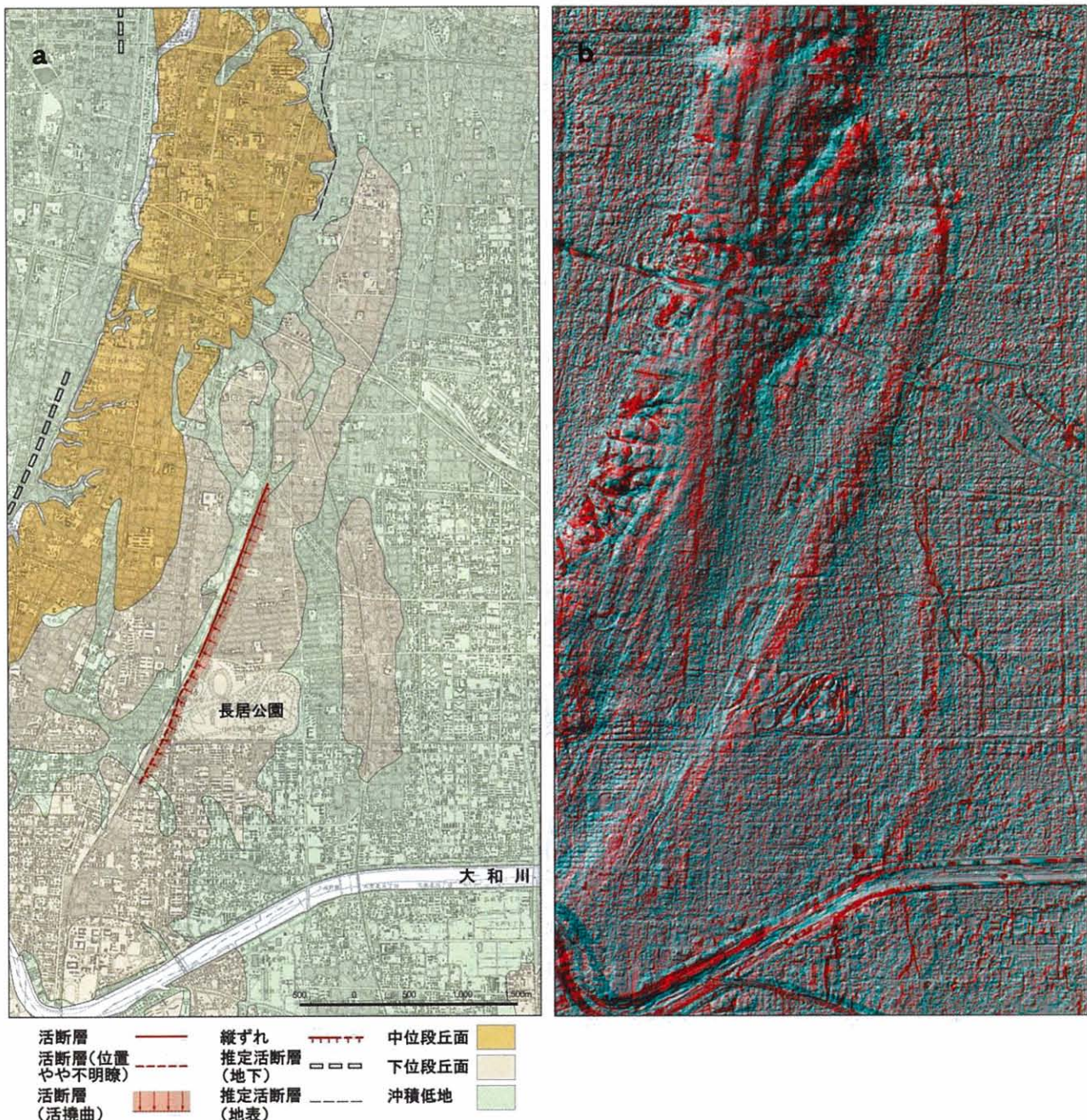


図ー6 (a) 福島県いわき市塩ノ平付近の空中写真。(b) 同地域の航空レーザ2mDEMから作成した余色立体図。(c) 塩ノ平周辺の航空レーザ2mDEMの段彩余色立体図から作成した鳥瞰図。空中写真、標高値は2011年5～6月に撮影・計測されたもの。濃ピンク及び水色の矢印は4月11日の地震の際に動いたと思われる割れ目を示す。

6. 4 宮城県栗駒山麓～地すべり地形の観察～

図－9 bは、基盤地図情報のウェブサイトからダウンロードした栗駒山周辺の航空レーザ測量0.2秒メッシュ（約5 m）DEM から、標高を5倍に強調して作成した余色立体図である。比較のため、図－9 aに、2008年岩手・宮城内陸地震の際に作成された詳細活断層図（国土地理院, 2009；図－9 a）の一部を示す。図－9 bでは、栗駒ダム北方の沼の森を頂

点とする地すべり地形がよく分かる。このような巨大な地すべりは、現地調査ではなかなか全体像を把握しづらいものである。また、縮尺1～2万分1の空中写真では、複数枚にまたがってしまう。航空レーザ測量DEMでは、全体像を容易に観察することができる。また、小崖地形や溝状凹地などの地すべり地形の観察も容易である。



図－7 (a) 都市圏活断層図「大阪東南部（中田他, 2008）」の一部。赤線が長居断層、中位段丘（上町台地）西側の推定活断層（地下）が上町断層である。(b) 航空レーザ測量5mDEMから作成した余色立体図。標高値の対数を定数倍したデータから作成した。

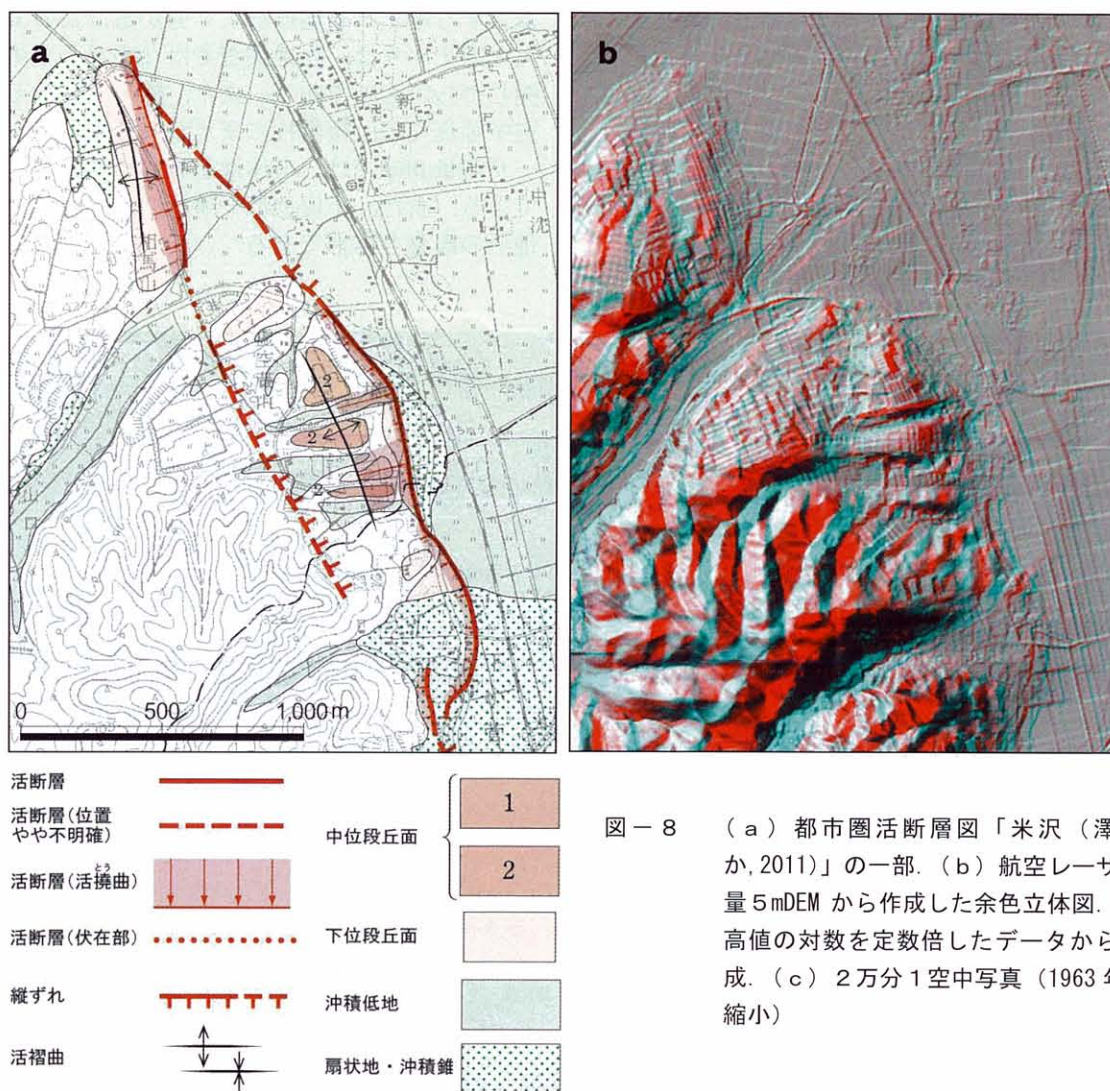
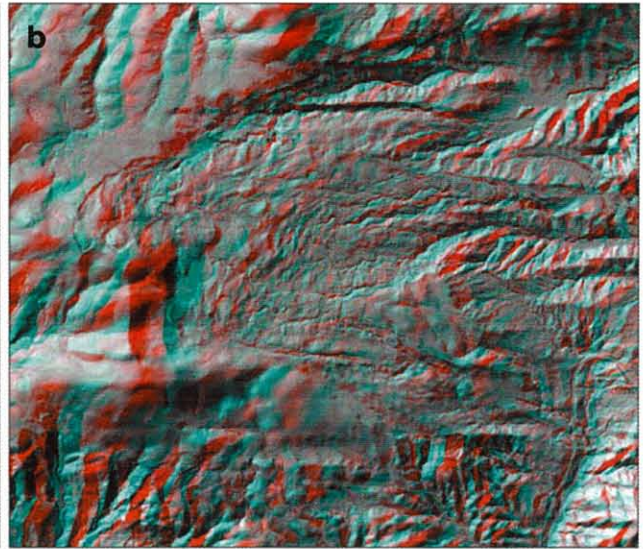


図-8 (a) 都市圏活断層図「米沢 (澤ほか, 2011)」の一部. (b) 航空レーザ測量 5mDEM から作成した余色立体図. 標高値の対数を定数倍したデータから作成. (c) 2 万分 1 空中写真 (1963 年, 縮小)





図－9 (a) 岩手・宮城内陸地震詳細活断層図(国土地理院, 2009)の一部。(b) 航空レーザ測量 0.2 秒(約 5m)メッシュ DEM から作成した余色立体図 (Z=5)。

7. まとめ

国土地理院研究開発基本計画に基づき、「航空レーザ測量による活断層調査の高度化に関する研究開発」を行い、航空レーザ測量による活断層調査の高度化に関する研究開発の一環として、平成 22～23 年度にかけて、航空レーザ測量の DEM から作成した余色立体図等の画像の地形判読性能を調査した。

従来、空中写真判読による活断層調査は、図－4 に示すように写真単体で機械的に行うものではなく、作業には、地形発達や地質の知識と、それを裏付ける文献や現地の情報が必須である。航空レーザ測量 DEM を用いて判読する場合も同様で、リニアメント(地形等の線状構造)を見つけること＝活断層調査ではない。また、航空レーザ測量データは計測時期が新しく、単体では人工改変以前の自然地形の情報が得づらい。すなわち、航空レーザ測量 DEM は、活断層の専門家が、判読の精度をさらに向上させるために、空中写真等と並ぶ資料の 1 つとして使うべきものといえる。

航空レーザ測量の DEM 画像には、表－1 のように、空中写真にはない優れた特性・利点がある。シームレスに広範囲を観察できることや、平野部の密集市街地について、建物の除去・凹凸の強調の上、地形を観察できること、GIS への導入が容易なことは、大きな利点である。DEM は数値データであるため、倍率を加えることによって、地形の立体感を、空中写真の実体視以上に強調でき、さらに、単純な定数倍だけでなく、標高値の対数から図を作成することによ

って、平地の凹凸を大きく強調できる。解像度が問題だが、解像度 5 m でも、DEM から作成した画像は、地理調査にしばしば利用される 2 万分 1 のモノクロ写真程度の判読性能があり、実用に耐えると考えられる。

都市圏活断層図作成に関して、航空レーザ測量 DEM を実務に利用しようとする試みについては、平成 23 年度から、データが利用できる一部地域について行っている。平成 23 年度公表の長井盆地西縁断層帯都市圏活断層図(「左沢」「長井」「米沢」)の全国活断層帯情報整備検討委員会に、クロスチェックの資料として、余色立体図を空中写真と併せて提供した。長井盆地西縁断層帯全体の DEM 画像は、5 万分 1 陰影図を解説書(八木ほか, 2011)の付図として提供しており、国土地理院ウェブページからダウンロードできる(<http://www1.gsi.go.jp/geowww/bousai/guidebook.html>)。他に、同断層帯の地形分類の点検作業にも余色立体図を利用したが、80 枚以上に及ぶ多数の写真を取り替えながら地形判読する場合と比べ、広範囲を一望できるため、作業の効率化に役立った。平成 23 年度調査の能代地区についても、一部であるが、航空レーザ測量の 5 m DEM から作成した余色立体図を判読資料として委員会に提供している。

以上、航空レーザ測量 DEM に、空中写真判読をサポートする優れた特性や利点があり、都市圏活断層図作成作業等、実務に貢献することを示した。この研究は 25 年度まで継続し、既存の活断層の位置の正確性向上への貢献を目指していく所存である。

8. 謝辞

これまで都市圏活断層図作成にご尽力頂いた委員の先生及び作成に関係した多くの皆様に深く感謝する。特に平成 22 年度委員の皆様（池田安隆・石山達也・今泉俊文・岡田篤正・熊原康博・後藤秀昭・澤

祥・杉戸信彦・堤浩之・中田高・平川一臣・宮内崇裕・八木浩司（五十音順，敬称略））には，航空レーザ測量 DEM の画像についてご意見やご感想を頂いた。国土交通省東北地方整備局山形河川国道事務所には，最上川流域の航空レーザ測量データをご提供頂いた。

参 考 文 献

- Begg, J. G., Mouslopoulou, V. (2010) : Analysis of late Holocene faulting within an active rift using lidar, Taupo Rift, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* Volume 190, 152-167.
- 防災科学技術研究所 (2011) : 東北地方太平洋沖地震以降の茨城県北部・福島県東部の地震活動, <http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-ibaraki110319> (accessed 14 Oct. 2011)
- Chan, Y. C., Chen, Y. G., Shih, T. Y., Huang, C. (2007) : Characterizing the Hsincheng active fault in northern Taiwan using airborne LiDAR data: Detailed geomorphic features and their structural implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31, 303-316.
- 千葉達朗, 藤井紀綱, 松本淳一, 鈴木雄介, 近藤久雄 (2007) : 航空レーザ測量と赤色立体地図による都市部の活断層把握について. *写真測量とリモートセンシング*, 46(1), 2-3.
- Cunningham, D., Grebbby, S., Tansey, K., Gosar, A., Kastelic, V. (2006) : Application of airborne LiDAR to mapping seismogenic faults in forested mountainous terrain, southeastern Alps, Slovenia. *Geophysical Research Letters*, 33, L20308, doi:10.1029/2006GL027014.
- Evans, I. S. (1980) : An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie. Supplement Band* 36, 274-295.
- 後藤秀昭, 中田高 (2011) : デジタル化ステレオペア画像を用いたディスプレイでの地形判読. *活断層研究*, 34, 31-36.
- Hengl, T., Reuter, H. I. (Eds.) (2009) : *Geomorphometry : concepts, software, applications*. Elsevier, Amsterdam. 796p.
- 星野実, 飯田誠, 木村幸一, 高橋広典, 北原敏夫 (2007) : 新しい都市圏活断層図について. *国土地理院時報*, 112, 51-65, <http://webl.gsi.go.jp/REPORT/JIHO/vol112/6.pdf> (accessed 14 Oct. 2011)
- Hunter, L. E., Howle, J. F., Rose, R. S., Bawdon, G. W. (2011) : LiDAR-Assisted Identification of an Active Fault near Truckee, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101, 1162-1181.
- 石山達也, 佐藤比呂志, 伊藤谷生, 杉戸信彦, 越後智雄, 加藤直子, 今泉俊文 (2011a) : 2011 年 4 月 11 日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層について, http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimamadoori (accessed 14 Oct. 2011)
- 石山達也, 杉戸信彦, 越後智雄, 佐藤比呂志 (2011b) : 2011 年 4 月 11 日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層のトレンチ掘削調査 (速報), http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimamadoori (accessed 14 Oct. 2011)
- 岩橋純子 (1992) : デジタルフィルタを用いた数値地形モデルの地形解析. *情報地質*, 3(1), 31-37.
- 門脇利広 (2007) : 精密 3D 電子基盤情報の整備と活用. 第 36 回国土地理院技術研究発表会, <http://www.gsi.go.jp/common/000006864.pdf> (accessed 14 Oct. 2011)
- 活断層研究会 (1991) : 新編 日本の活断層. 東京大学出版会, 437p.
- 国土地理院 (1996) : 空中写真による活断層の判読法 —判読基準カード集—. 国土地理院技術資料 D・1-No. 329. 90p.
- 国土地理院 (2009) : 平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震 1:25,000 詳細活断層図 (活断層・地形分類及び地形の変状). 国土地理院技術資料 D・1-No. 541.
- 国土地理院 (2011a) : 平成 23 年 (2011 年) 4 月 11 日福島県浜通りの地震 (M7.0) に伴う地殻変動, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110425-index.html> (accessed 14 Oct. 2011)
- 国土地理院 (2011b) : 2011 年 (平成 23 年) 4 月 11 日福島県浜通りの地震に係る災害現地調査報告, <http://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho10028.html> (accessed 14 Oct. 2011)

- 高泰朋, 福田真, 中野一也, 大伴真吾, 高貫潤一, 平松由紀子(2011): 地震変状調査における航空レーザ計測・空中写真撮影の有効性 ― 地表地震断層・液状化現象を例として ―. 写真測量とリモートセンシング, 50(4), 236-242.
- 丸山正, 遠藤晋次, 吉見雅行, 小俣雅志(2009): 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地震断層沿いの詳細地形―地震断層・変動地形調査における航空レーザ計測の有効性. 活断層研究, 30, 1-12.
- 向山栄, 江川真史(2009): 2 時期の細密 DEM から作成した地形画像解析により推定した平成 20 年(2008 年) 岩手・宮城内陸地震における荒砥沢ダム周辺の地表変動. 日本応用地質学会研究発表会講演論文集 平成 21 年, 3 4.
- 中田高, 岡田篤正, 鈴木康弘, 渡辺満久, 池田安隆(1996): 1:25,000 都市圏活断層図「大阪西北部」, 国土地理院技術資料 D・1-No. 333.
- 中田高, 岡田篤正, 鈴木康弘, 渡辺満久, 池田安隆(2009): 1:25,000 都市圏活断層図「大阪東北部」, 国土地理院技術資料 D・1-No. 524.
- 佐藤浩, 岩橋純子, 小荒井衛, 神谷泉, 小室勝也(2010): 国土地理院における高解像度 DEM の整備とそれを活用した地理情報解析研究. 地形, 31-4, 359-382.
- 澤祥, 石山達也, 今泉俊文, 岡田篤正, 熊原康博, 中田高(2011): 1:25,000 都市圏活断層図 長井盆地西縁断層帯とその周辺「米沢」. 国土地理院技術資料 D1-No. 580.
- 八木浩司, 澤祥, 熊原康博(2011): 1:25,000 都市圏活断層図 長井盆地西縁断層帯とその周辺「左沢」「長井」「米沢」. 国土地理院技術資料 D1-No. 580, 19p. <http://www1.gsi.go.jp/gcwww/bousai/guidebook.html> (accessed 1 Nov. 2011)