

多重光源陰影と斜照法疑似陰影による地形表現に関わる研究 — 武蔵野台地における例 —

鈴木 敬子・石川 剛 (株式会社東京地図研究社)

1. はじめに

2000年以降、航空レーザー測量の台頭とGISの普及により、高密度かつ高精度の標高データ (DEM) を解析することでさまざまな地形量が得られるようになってきた。特に最近のGISアプリケーションソフトでは等高線のほか、標高段彩、陰影起伏など複数の地形表現を作成することも可能で、容易に地形の三次元形態を把握できるようになってきた。

等高線は長らく用いられてきた手法だが、読図にはある程度の知識やテクニックが必要とされる。一方、陰影起伏は直感的に地形を理解しやすく、主題とオーバーレイさせることで地形との関係性も視認できるため、等高線や標高段彩と併用する事例も少なくない。

陰影起伏は、地形に照射した仮想的な光源から生じる陰影の明度により、土地の起伏を視覚化する地形表現方法である。光源には特定の方位と俯角 (高度) があり、この設定により立体感が変化する。光源方位と俯角の設定には大きく分けて2通りの方法があり、その1つが光源に方位角と俯角を持たせる斜照法 (式) 陰

影である。斜照法陰影は、地図の下辺に対して左上かつ45度の俯角で単一の光源を設定し、右下に明度の低い陰影を生成すると、最も自然な立体感が得られるとされる (図1)¹⁾。逆に光源を右下に配置すると、本来の地形と凹凸が逆転して認識されてしまう場合が多い。

もう1つの方法が、地形の真上、つまり垂直に光源を設定する直照法 (式) 陰影である。斜照法陰影より立体感は弱くなるが、起伏を持つ部分には陰影が生成されるため、微地形を逃さず表現することが可能である (図2)。しかしながら、斜照法も直照法も光源に直面する光輝側の明度は白、その対になる暗影側の明度は黒となるため、様々な手法を用いても表現しきれない部分が生じる。また、小さな起伏を強調するため高さ方向の倍率を上げると、一定以上の起伏を持つ地形が不自然に表現されてしまう。このように、陰影起伏には特定方位への光源依存性があることが最大の欠点であった。

これらの課題を補うため、国内の航空測量や地質コンサルタント企業を中心に、各種地形量を直照法陰影に見立てた新しい地形表現が

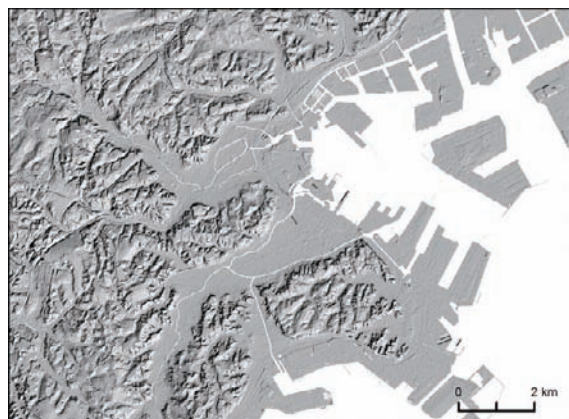
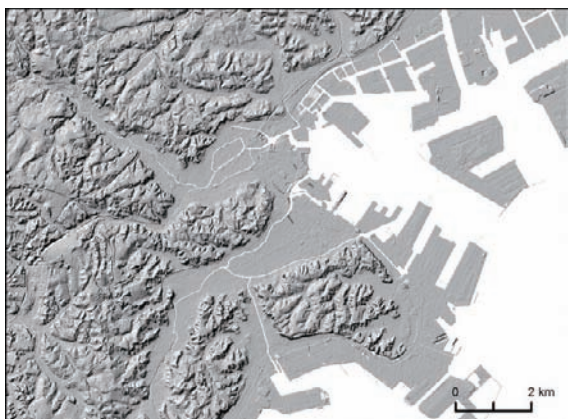


図1 左上光源 (左図) と右下光源 (右図) による斜照法陰影起伏



図2 直照法による陰影起伏

いくつか考案されている²⁾。一方、斜照法陰影は手描きによる「ほかし」の時代から現在に至るまで長きにわたり研究が続いており³⁾、1990年代以降は欧米を中心にGISによる描画法の研究が増加し、主に山地を対象とした研究が多く提出されてきた⁴⁾。しかし、日本の国土は温暖湿潤帯かつ地殻変動の活発な地域に位置し、低地から山地まで大小の地形が狭い範囲に凝縮されており、山地に特化した表現手法をそのまま適応するのは相応しくないと考えられる。こうした山麓や低地の微地形を表現するため、斜照法陰影の改良が試みられた研究はほぼ見られない。

そこで本研究では、斜照法による陰影起伏の拡張型として、①光源による方位依存性を緩和しながら、②微地形の視認性を向上し、さらに③一般的な地図の背景図として有効な、新しい地形表現の開発を目指すこととした。

2. 陰影画像の作成方法

2.1 多重光源陰影

まず、陰影起伏の最大の課題である光源方位依存性を緩和するため、方位と明度の異なる複数の陰影を合成する方法を試みた。その結果、画像の左側、上方、右側に光源を持つ3つの陰影をそれぞれ色の三原色CMYの濃度で彩色し、これらを合成（乗算処理）した上でグレースケール変換する方法を考案した（図3）^{5) 6)}。

この手法では、上方からの陰影の明度を最も低く、右側からの陰影を最も明るく、左側からの陰影はその中間程度にすることで、他方向の陰影を補いながら、左上単光源による陰影に近い状態を再現できる。左右からの光源による二重の陰影は地形全体に陰影を生成し、上方の光源による陰影は自然な立体感と微地形を強調するために用いられる。

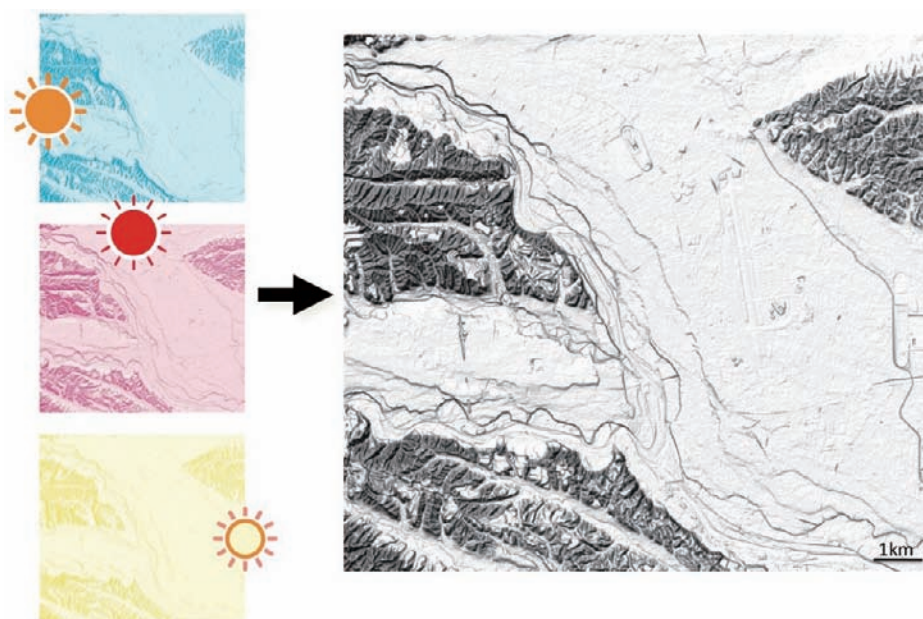


図3 多重光源陰影起伏画像の生成^{5) 6)}

2.2 斜照法疑似陰影

DEMの解析から求められる傾斜度(率)、曲率、開度などの地形量は、グレースケールに置換して疑似的な陰影に見立てることで起伏に応じた陰影が得られるため、地形を立体的に表現するには有効な手法である。そこで本研究では、上方光源の陰影の代替として、上方光源によって陰影が生成される下方斜面に疑似的な陰影として適切な地形量を割り当てることで、自然な立体感を維持しながら微地形の判読性をさらに向上させることができるのではないかと考えた。

既存手法において疑似陰影として用いられる地形量は、いずれも地形の傾きや空間的広がりを表す指数である。これらの地形量の単位は角度等であるために上限と下限が存在し、その範囲で陰影の明暗を決めることになる。一方、上限が存在しない地形量として起伏量がある。起伏量は単位面積あたりの土地の起伏を表す指標で、その単位は標高値と同じである。地形学では一般的な地形解析法として知られ、地形図を使った方眼法や谷埋め法があるが、GISではDEMの近傍解析と式(1)により求めることができる(図4)。

$$\text{起伏量} = \text{接峰面} - \text{接谷面} \quad \cdots (1)$$

このように求めた起伏量は、その値が大きくなるにつれ明度が低くなるような単色のグラデー

ションで表現すると、地形の規模に応じた陰影に見立てることができる(図5)。起伏量を疑似陰影として用いることで、緩斜面にある小さな起伏にも陰影が生成されることから、疑似的な陰影として有効な地形量であると判断した。

2.3 陰影画像の合成

多重光源と斜照法疑似陰影との合成画像は、図6の手順で作成した。手順は、多重光源陰影起伏画像の作成と疑似陰影画像の作成、両者合成の3段階に大きく分けられる。なお、図6の方位数値は、画像下辺の方位を南とした場合の値である。

図6の「多重光源陰影起伏画像」は、2種類の光源による陰影起伏画像を作成する処理にあたる。まず「陰影起伏画像E」として、光源方位90度(真東)の陰影起伏を作成する(図3左上)。これは右側に光源を設定し、左側の斜面に陰影を生成した画像である。もう一つの「陰影起伏画像W」は、光源方位270度(真西)、つまり左側に光源を設定し、右側の斜面に陰影を生成する画像である(図3左下)。

一般的な陰影起伏画像は、DEMから陰影起伏値[HS]を求めることで作成される。そのアルゴリズムは複数存在し各種のGISエンジンに内蔵されているが、本研究ではEsri社製ArcGISに搭載されているアルゴリズム(式(2))を使用した。

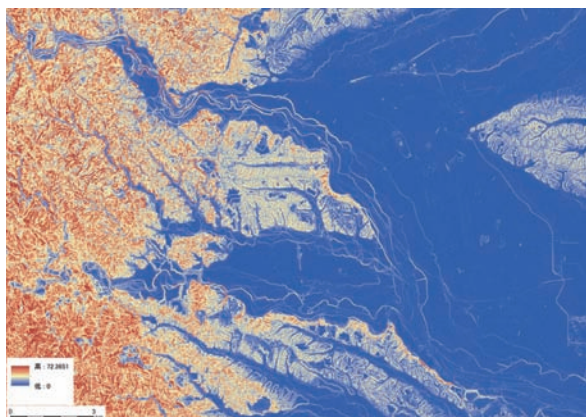


図4 起伏量画像

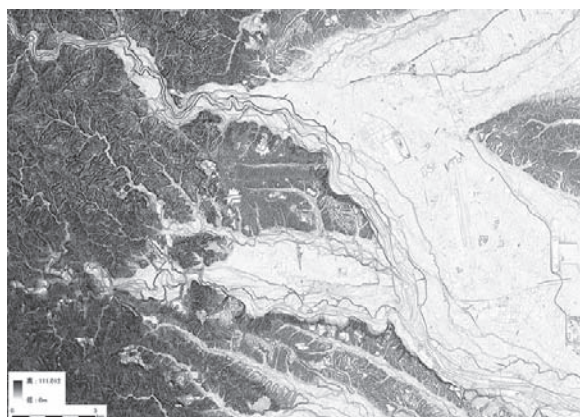


図5 単色で表現した起伏量画像

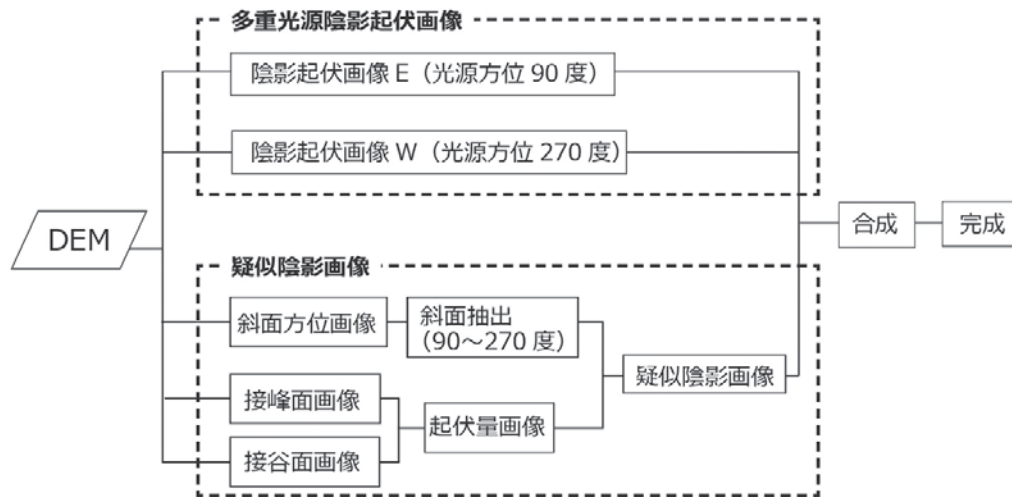


図6 作成フロー（画像下辺が南の場合）

$$HS = 255.0 \times \{\cos(Ze) \times \cos(Sl)\} + \{\sin(Ze) \times \sin(Sl) \times \cos(Az - As)\} \quad \cdots (2)$$

HS：陰影起伏値、Ze：光源方位 [Rad]、Sl：傾斜角 [Rad]、Az：光源俯角 [Rad]、As：傾斜方位 [Rad]

式 (2) では、DEMから光源方位と俯角から傾斜角と傾斜方向を計算し、そこに0～255までの値が割り振られる⁷⁾。それを陰影の明度値として、単色グラデーションで表現したものが陰影起伏画像である。なお、ArcGISで陰影起

伏画像を作成する処理コマンドでは光源方位、俯角、標高強調倍率等のパラメーターを任意に設定することが可能である。

図6の「疑似陰影画像」は、GISの方位クラスタリング解析によりDEMから斜面方位を算出して生成する。これは本手法の疑似陰影が上方光源による陰影を代替するものであることから、疑似陰影を下方斜面のみに生成するために行う処理である。画像下辺が南の場合、下方斜面にあたる方位は90～270度となり、この方位の斜面のみを抽出した画像を作成する(図7)。「起伏量画像」も、GISの近傍解析により「接



図7 下方斜面

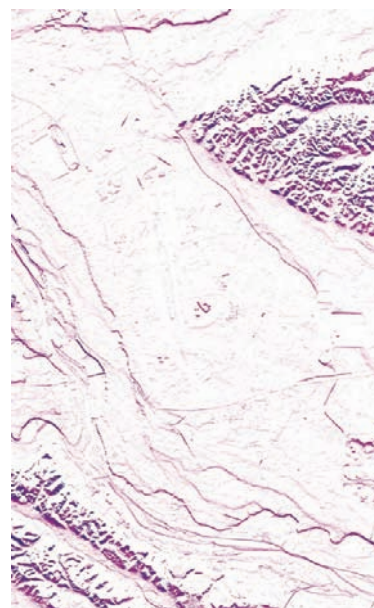


図8 斜照法疑似陰影画像

峰面画像」と「接谷面画像」を作成し、その差分として求める(図5)。そして、この起伏量の値を下方斜面に割り当てた後に単色グラデーションで表現し、斜照法疑似陰影画像を作成する(図8)。

上記のように作成した各画像を、2.1で述べた多重光源陰影起伏の作成手法と同様に、光源による陰影起伏にはシアン(左側光源)とイエロー(右側光源)を、疑似陰影はマゼンタの各色を割り当てて彩色し、後に合成(乗算処理)してグレースケールに変換している。

3. 武蔵野台地西部における事例

3.1 対象地域の概要

多重光源陰影と斜照法疑似陰影とを合成した新しい陰影起伏図における、地形表現および地図の背景図としての適性を検証するため、実在する地域を対象に本手法による画像を試作した。対象地域は、山地から低地までの地形種があらゆる方位に発達し、自然地形と大規模な人工地形が存在すること、さらに地形を基盤とした都市が発達すること等を条件に検討し、東京西部に広がる武蔵野台地西部とした。

本地域には、標高300～1000m程度の山地、

標高100m程度で定高性のある多摩・狭山丘陵などの丘陵地、標高100m以下で比較的勾配のある段丘、山地を侵食する谷底低地や多摩川沿いに続く扇状地性の氾濫原低地、さらに大規模な盛土や切土を行った人工平坦地など多様な地形が分布する。加えて都市域の一角でもあり、こうした地形を基盤に交通システムや社会インフラが整備され、住宅地、工業用地、農地など多様な土地利用もみられることから、考案した手法の妥当性を評価するのに相応しいと考えられる。

3.2 データソースと光源設定

本図で使用したDEMは、国土地理院が提供する基盤地図情報標高モデル(5mメッシュ)である。地図の下辺が南、上辺が北にあたり、真西からと真東からそれぞれ俯角60度で設定した光源による陰影と、南側斜面に対して生成した起伏量による斜照法疑似陰影とを合成した。なお、標高値は3倍に強調している。

3.3 地形表現

対象地域において作成した多重光源・斜照法疑似陰影図を図9に示す。本手法の適応によ

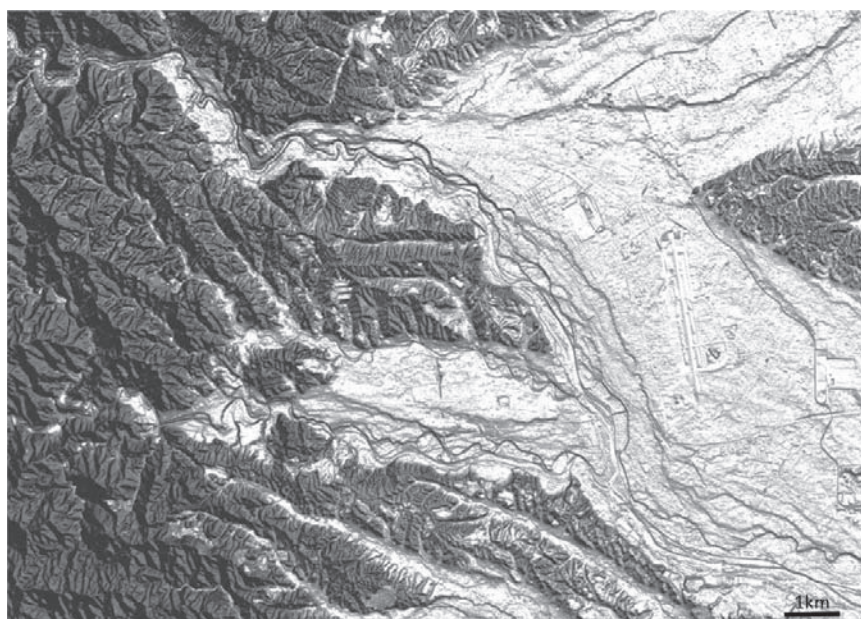


図9 武蔵野台地西部における多重光源・斜照法疑似陰影起伏図

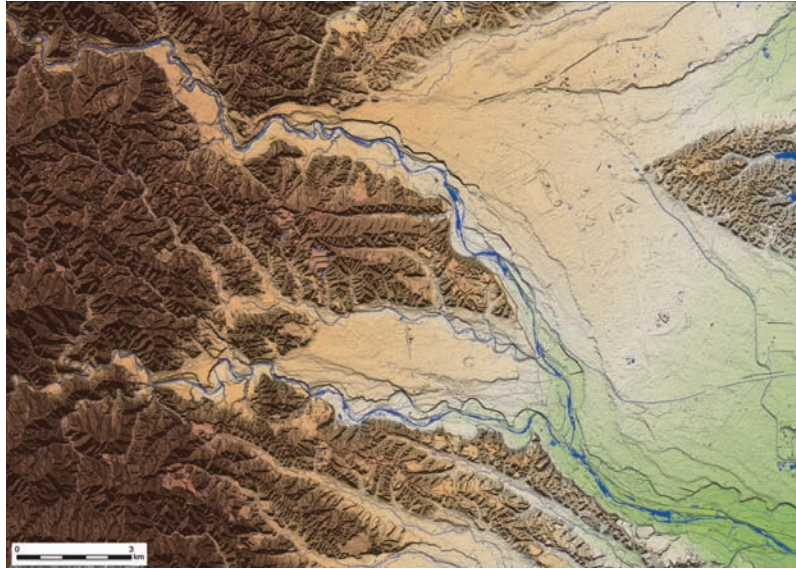


図10 多重光源・斜照法疑似陰影段彩図

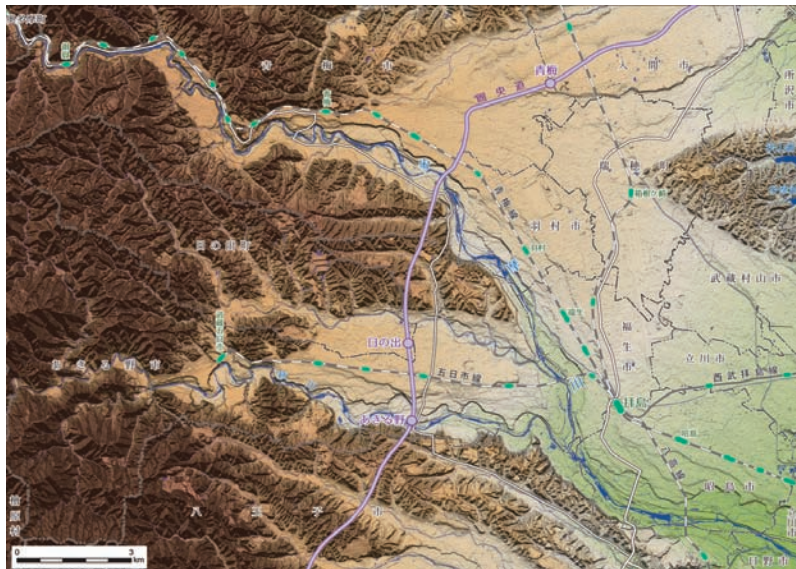


図11 主題との重ね合わせの例

り、山地から低地まであらゆる方位に発達する自然地形、人工地形が表現できるようになった。また、段丘面や低地など平坦面の小さな起伏も表現され、山地斜面の大きな起伏が連続する地域においても暗影側が過度に低明度になることなく判読できる。

3.4 空間情報との合成

本手法による地形表現は、原則としてグレースケールによる陰影起伏図を最終形とするため、彩色した空間情報を重畳させることも可能

である。まず、陰影にカラー標高段彩を合成し、陰影段彩図にしたものを図10に示す。陰影起伏図は絶対的な標高が把握できないが、カラー標高段彩を合成することで絶対標高や標高分布の空間的広がりが認識しやすくなる。

続いて、人工的な地物情報として鉄道、主要道路、住宅、地名情報を重ね、一般的に目にする地図と近い状態で作成した(図11)。このように陰影段彩図に他の地図情報を重ねても、本手法では違和感なく鉄道や道路のルート、河川や用水路と地形との関係を把握しやすくなる。

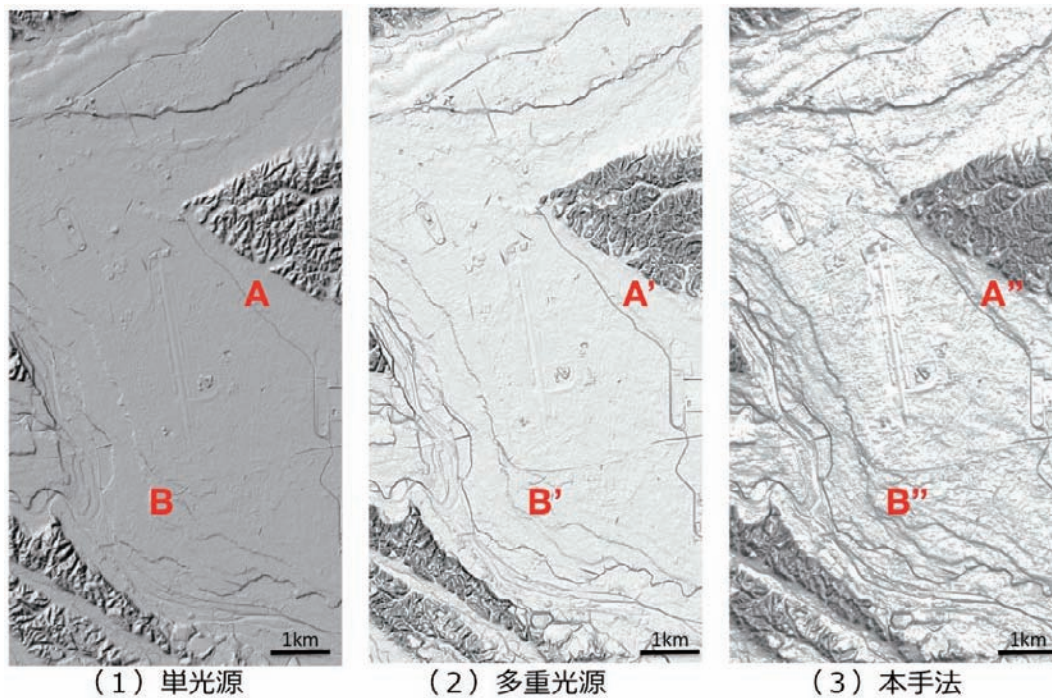


図12 本手法と従来の手法との比較

4. 考察

4.1 従来の手法との比較

本手法と従来手法（単光源）の比較のため、同一のDEM（標高値3倍強調）から各表現法で作成した立川市周辺のサンプルが図12である。図12 (1) は一般的な設定の単光源陰影起伏図（光源方位：北西、俯角：45度）、図12 (2) は多重光源陰影起伏図（光源方位：真西・真東・真北の3方向、俯角：60度）、そして図12 (3) が本手法による地形表現である。

本地域には、段丘面上に北西－南東方向に発達する比高2～5mの小崖が形成されている。この地形は単光源では光輝側となって判別がしにくくなる（図12A）。これに比べて多重光源陰影起伏図では小崖が視認できるようになり、本手法ではさらに明瞭に表現されている（図12A'、A''）。また、本地域には複数の段丘崖が発達するが（図12B-B' -B''）、こうした小崖群も単光源陰影起伏では表現されにくいものの、本手法では判読可能である。このほか段丘面上の若干の盛土など、従来手法では表現しきれなかった地形を確実に把握できることが分かる。

4.2 地図の背景としての有効性

本研究では地形表現が満たすべき条件の一つに、一般的な地図の背景図としても違和感なく適合することを掲げている。図10で示したように自然で見やすい地形表現であるため、地形を生かした都市インフラや人工的改変の様子を俯瞰的に把握することも容易で、背景図としても十分有効活用できると考えられる。

今回、手法の検証対象とした東京西部には、山地－丘陵地－台地－低地の自然地形とそれらを改変した人工地形が発達し、そこに都市域が広がっている。日本の多くの市街地も似たような状況であることから、本手法を適応することで同様な結果が得られるものと推測される。ただし、光源のみの陰影を合成した図3と比べると全体的にややグレーがかってしまう傾向があり、微地形がノイズと捉えられる可能性は否定できない。

5. まとめおよび今後の課題

本手法により、従来の単光源陰影による最大の欠点であった光源方位依存性を多重光源を

用いることで緩和し、さらに疑似的な斜照法陰影によって微地形の視認性も改善できた。また、過度な標高値の強調をせずに自然な印象を維持しているため、他の空間情報と重ね合わせても読図に必要な情報を妨げることはない。よって印刷物をはじめ、防災、教育、観光など一般的な地図の背景として十分に有効であると考えられる。

一方、従来手法ではなかった部分にも陰影が多数生成されるため、画像全体の明度は光源のみの場合に比べるとやや落ちる。こうした微地形を表現するための陰影がノイズに感じられる場合、光源のみで生成した多重光源陰影図のほうが地形の概略や主題を視認しやすい。このように、地図の目的や縮尺によって複数の手法を使い分けることも可能である。

なお、本手法では各種パラメーターの固定化やGIS処理を一部定型化しているものの、完成までに複数の作業ステップを踏む必要があり、従来の手法より若干の労力を要する。また、山地部では明度が低くなりやすいため、疑似陰影の改善や合成法の効率化が課題事項である。

今後もUAV測量のような高密度DEMで得られる極小地形や、地勢図や地方図レベルの小縮尺図などの作成事例を積み重ね、DEMのポテンシャルを一層引き出せるような改良を進めたいと考えている。

【付記】本稿は日本地球惑星科学連合2016年大会(2016年5月)、第39回測量調査技術発表会(2017年6月)および日本地図学会平成29年度定期大会(2017年8月)において発表した内容に、改良と検討を加えたものである。また、本手法は2017年5月に特許を取得した(特許第6145196号)。

■参考文献

- 1) 日本国際地図学会：『地図学用語辞典』、日本国際地図学会地図用語専門部会編集、技術堂出版社、1985.
- 2) (公財) 日本測量調査技術協会：『航空レーザー測量による災害対策事例集』、空中計測・マッピング部会 レーザワーキング監修、(公財) 日本測量調査技術協会、pp.31-45、2013.
- 3) Eduard Imhof：Cartographic Relief Representation., ESRI Press, 2007.
- 4) Fabio Veronesi and Lorenz Hurni：A GIS tool to increase the visual quality of relief shading bu automatically changing the light direction., Computers & Geosciences, 74, pp.121-127, 2015.
- 5) 石川 剛・鈴木敬子：多重光源を用いた陰影段彩図. 月刊「測量」12月号、pp.22-23、2014.
- 6) 石川 剛・鈴木敬子：多重光源陰影段彩図とその応用. 日本地図学会 平成27年度定期大会、2015.
- 7) Esri：How Hillshade works.
〈<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-hillshade-works.htm>〉, 2017

■執筆者

鈴木 敬子(すずき けいこ)

株式会社東京地図研究社
企画開発室

(共著者)

石川 剛(いしかわ ごう)

株式会社東京地図研究社 取締役