

1. はじめに

近年、盛土地における斜面災害が以前よりも注目されるようになった。そのきっかけとして北海道胆振東部地震（2018年）や熱海市伊豆山土石流災害（2021年）の発生を挙げることができる。また『宅地崩壊』（釜井，2019）のように、都市域に発生する土砂災害の要因として盛土に焦点をあてた一般向けの書籍も出版された。しかし、東北地方太平洋沖地震（2011年）や、それから何十年も遡る宮城県沖地震（1978年）の際にも盛土地において斜面災害が発生しており、少なくとも1970年代には盛土地における斜面災害リスクについて認識されていた。宮城県沖地震の際には谷埋め盛土地において亀裂などの変位が生じたことが報告され（田村ほか，1978；東北大学理学部地質学古生物学教室，1979），同じ頃、国内における大規模地形改変の実態把握についても関心が持たれていた（田村ほか，1983）。こうした状況を反映し、2020年3月までに『大規模盛土造成地マップ』（<https://disaportal.gsi.go.jp/hazardmapportal/hazardmap/pamphlet/pamphlet.html#kasaneru>）にて『大規模盛土造成地マップ』が閲覧可能である。

しかし『大規模盛土造成地マップ』で対象となるのは面積3,000m²以上の事例であり、また盛土範囲のみの表示であり、盛土の厚さ・基底形状・量などの諸特性は示されていない。また、相対的に安定している切土地については示されていない。将来確実に発生すると考えられる盛土地斜面災害の軽減には、盛土地の規模に依存することなく、正確で精度の高い盛土・切土マップを作成・整備し、公開することが肝要である。本研究では東京都南西部郊外に広がる多摩ニュータウン内の一地域を事例に、盛土・切土を示すマップを作成する。一方、研究目的は作成自体のみではなく、安価・簡易で精度の高い盛土・切土マップの作成方法とマップ表現法を改良・開発することである。

具体的に以下の点を本研究の目的とする。1) 人工改変前の地形の復元を複数の方法で実施すること、すなわち3,000分の1程度の旧地形図と空中写真からのデジタルデータへの転換を実施する、2) 1)で得た2種の改変前の地形復元データを比較し、精度・コストパフォーマンスの点から両手法の長所・短所を検討すること、3) 精度を考慮した盛土・切土マップの表現法を改良・開発する。このため事例として作成した盛土・切土マップを一般人、とくに対象地域に関わる人々に示した上で心象や読み取りの容易度についてインタビューする。

本研究と類似する研究事例・解説書として小荒井・長谷川（2008a, 2008b），マニュアルとして作成された『人工改変地形データ抽出のための手順書（詳細版）』（国土交通省国土地理院，2010）がある。前者では本研究の対象域と同様に、多摩ニュータウンを事例に地形図と空中写真それぞれ新旧の差分から地形改変を復元し精度の検証を行っている。後者で述べられている「一次スクリーニング調査のプロセス」は、大規模盛土造成地の位置と規模を把握することであり、本研究とも目的が重複する。一方で両報告から15年前後経過しており、当時と比べて使用できる数値標高モデル（DEM: Digital Elevation Model）の解像度が上がるとともに入手しやすくなっている。また現在は地形データの作成を民間会社に委託することができる。さらには地形データを扱うソフトウェアも充実してきた。精度の高い盛土・切土マップを作成する上での環境が向上してきたとも言える。これらの点についても検証する。

2. 対象地域の選定と同地域の地形・地質概要と歴史的背景・既存研究

地形・地質概要と歴史的背景

本研究の目的を満たす対象地域として、関東平野西南部に位置する多摩丘陵西部を選定した。本丘陵は関東山地と接する東京都八王子市南部の高尾山東麓付近から神奈川県三浦半島にかけて発達し、関東平野西部に多く発達する丘陵の中でも比較的規模が大きい (Fig. 1)。本丘陵は、北部で北西-南東方向、南部で南北方向に細長く伸び、関東山地に接する北西端で標高200 m程、中央部の下末吉台地と接する付近で90-70 mと高度を下げる。本研究対象となる多摩丘陵西部は、多摩川の支流である大栗川、浅川、浅川支流の湯殿川の流域が大半を占める。一方でこれら流域の南側は境川の流域であり、南側に偏った分水界よりも南側にわずかに境川流域が東西に広がる。また南東側には鶴見川の流域も広がる。多摩丘陵西部はこれら河川の支谷の谷地形が発達し、谷底部の平坦地を除くと斜面が卓越する。

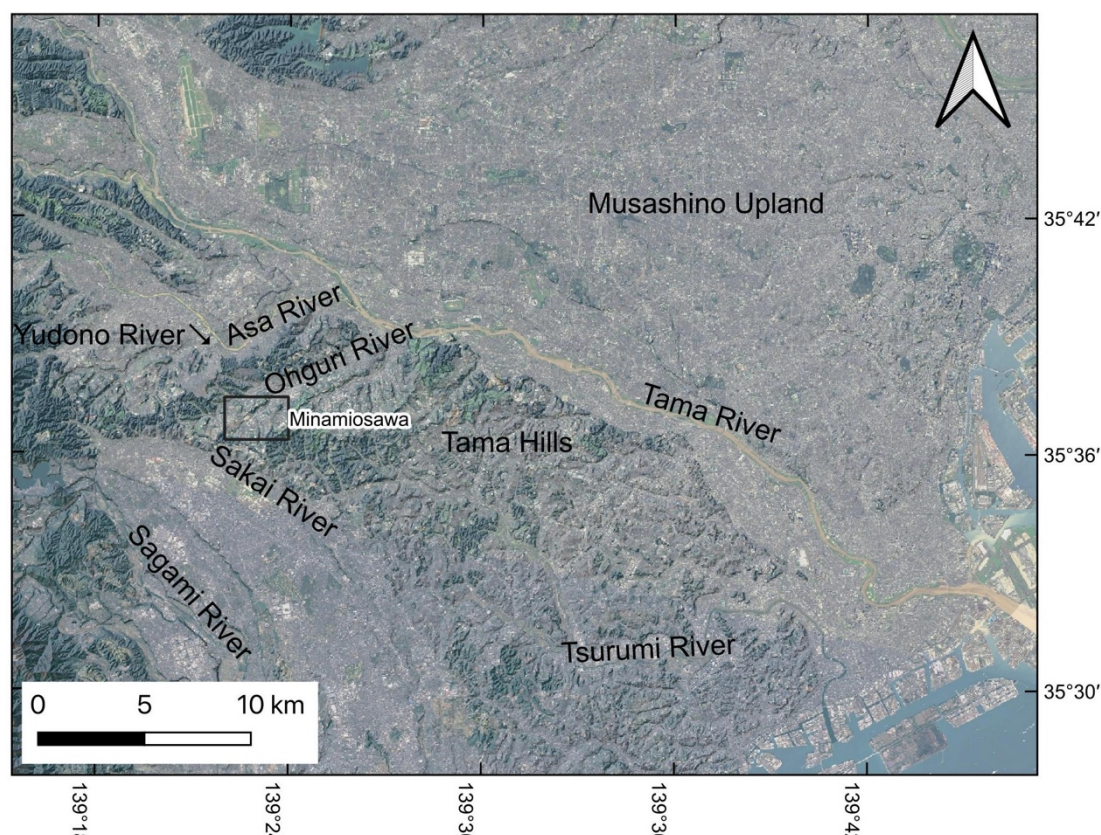


Fig. 1. Study area in the Tama Hills, southwest of Tokyo. After the hillshade map and air photo of the Geospatial Information Authority of Japan.

多摩丘陵西部の地質は、上位から関東ローム層、中期更新世に相模川が運搬した扇状地堆積物を起源とする御殿峠礫層、前期更新世に堆積した上総層群からなる (貝塚ほか, 2000 ; 宇野沢ほか, 1972, 1989 ; 植木ほか, 2013)。関東ローム層は上位から立川ローム層、武蔵野ローム層、下末吉ローム層、多摩Iローム層、多摩IIローム層 (一括しては関東ローム層とよばれる) からなり、全体の層厚は最大で20-30 mである。その大半は火山灰土や褐色風化火山灰土、あるいは単にロームとよばれる赤褐色～褐色の色調をもつ塊状の細粒堆積物で、下位のものほど粘土化が進行している。ま

たこれらのローム層中には層厚数10 cm以下の降下軽石層や降下火山灰層が複数含まれる。

御殿峠礫層は宇野沢ほか（1972・1989），岡・宇野沢（1989），岡（1991）によって三分されている。植木ほか（2013）は，地形面としての御殿峠1面，御殿峠2面，御殿峠3面を構成する堆積物として，それぞれ御殿峠1段丘堆積物，御殿峠2段丘堆積物，御殿峠3段丘堆積物を定義し，層厚をまとめて15 mとした。またこれらの段丘堆積物は，安山岩・花崗閃緑岩・緑色岩などの相模川水系の中礫～大礫サイズの円礫層からなり，礫は著しく風化していることが特徴であると述べている。

御殿峠礫層により不整合で覆われる上総層群は，高野（1994）により下位より寺田層^{おおよべ}，平山層^{おやまだ}，小山田層^{れんこうじ}，連光寺層^{でだな}，稲城層^{でだな}の7累層に区分され，調査対象地域にはおもに平山層，小山田層，連光寺層が分布する。これら累層群の特徴は，各累層が礫層，泥層，砂層の堆積サイクル（層厚は50–100 m）から構成され，氷河性海面変動の影響を受けて形成されたと解釈されている。以上のような地形・地質背景をもつ多摩丘陵は，多摩ニュータウン造成に伴う大規模開発以前は典型的な里山であった。

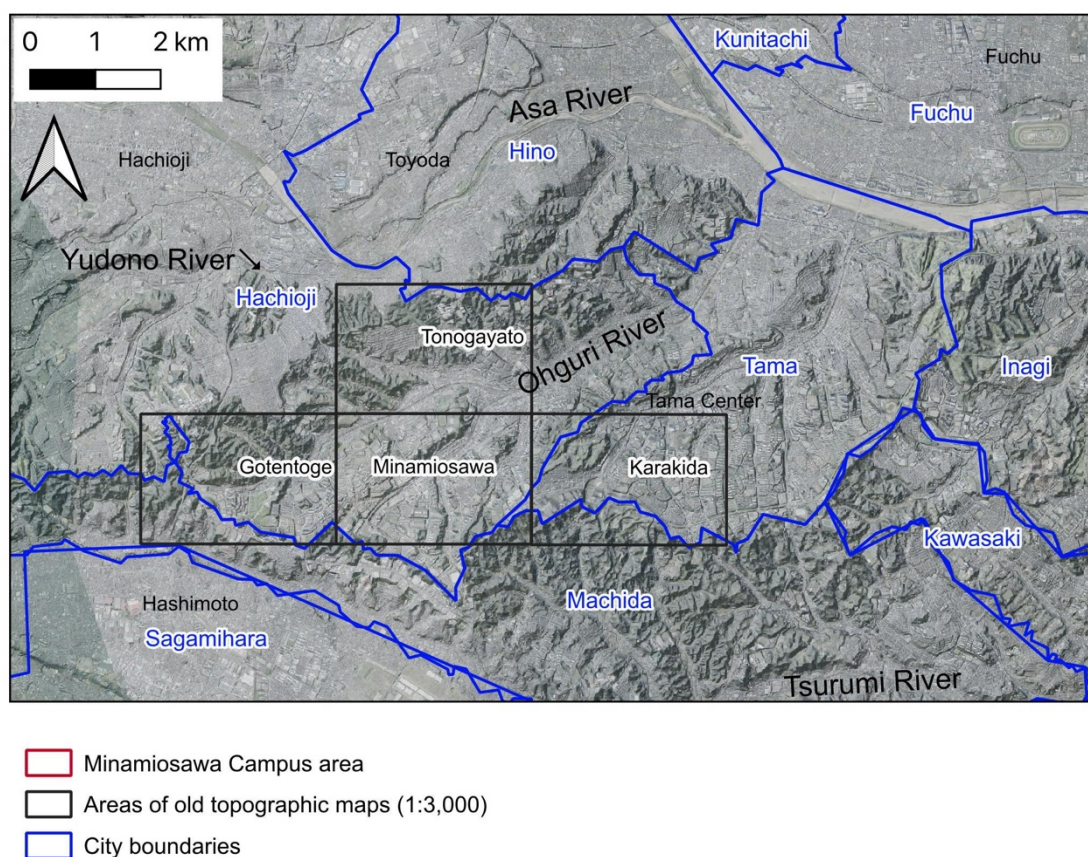


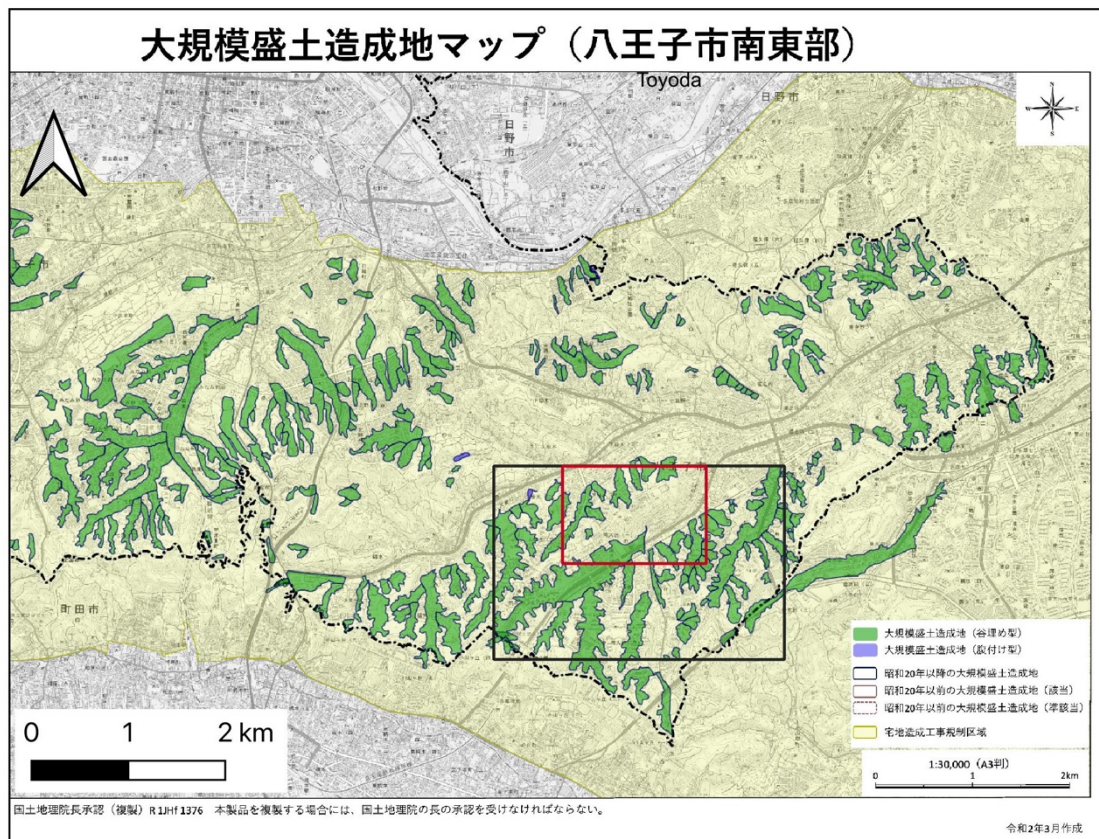
Fig. 2. Areas of old topographic maps (Gotentoge, Minamioswa and Karakida) and Minamiosawa Campus (Tokyo Metropolitan University) area. After the hillshade map and air photo of the Geospatial Information Authority of Japan.

多摩ニュータウンは八王子・町田・多摩・稲城の4市にわたり東西約14 km，南北約2–3 kmの範囲におよび新住宅市街地開発事業により1970年より住宅建設が着手された。その主体は東京都，日本住宅公団（現独立行政法人都市再生機構），東京都住宅公社（東京都住宅供給公社），民間事業者など複数であり，様々な種類・所有形態の住宅が建設され1971年に入居が始まった。同時に河川や道路などの主要な都市基盤施設に関する事業が進められ2006年に完了した（東京都，2018）。本研

究の対象地域となる南大沢地域（Fig. 2；後述の3,000分の1地形図『南大沢』の図幅範囲）は多摩ニュータウン西部に位置し、大半の部分が新住宅市街地開発事業認可区域（東京都）、南東側の一部が住宅市街地開発事業承認区域（都市再生機構）に該当し、多摩ニュータウン全体の中では後半に開発された。とくに前者の地域は「西部地区開発大綱」に拠って事業が進められ1983年に街びらきがなされた。しかし、本格的整備となる京王相模原線南大沢駅の開業や戸建分譲は1988年であった（東京都多摩都市整備本部，1998）。また本研究で重点的に取り扱う『南大沢』図幅の中央北部の「東京都立大学南大沢キャンパス周辺」地区（Fig. 2の赤枠部分；詳細は後述）に大学が移転・開校したのは1991年である。

既存研究

本研究対象地域とその周辺域では、既に盛土等の土地改変の状況を示す地図が公開されている。その一つは『大規模盛土造成地マップ』（Fig. 3；東京都都市整備局，2015）であり、対象となる盛土は面積3,000 m²以上の事例である。本図は盛土範囲のみの表示であり、盛土量（盛土の厚さ）は示されていない。また現在、国土交通省が運用する重ねるハザードマップからも閲覧できる。



- Minamiosawa Campus area
- Area of the Minamiosawa (old topographic maps 1:3,000)

Fig. 3 Map of extensive land reclamation fills in the southeast part of Hachioji city.
After the Tokyo Metropolitan Government Bureau of Urban Development.

もう一つの地図として東京都建設局土木技術研究所（2006）による『大規模宅地造成地の地盤改変図』が挙げられる．本図では10 m間隔の等値線で盛土・切土による地形変化量が示されている．またこの図は本研究が目的とする盛土・切土マップに近く，本研究で作成したものと後で比較する．

また鈴木ほか（2021）は本研究の対象地域となる南大沢地域，すなわち3,000分の1地形図「南大沢」図幅の東西で同規格の「御殿峠」「唐木田」（Fig. 2）の旧地形図の等高線データをデジタル化して盛土・切土マップを作成した．鈴木ほか（2021）の研究目的は，表層地質である関東ローム層で発生する地震時流動性地すべりのポテンシャル評価であり，そのために土地改変後に残存する関東ローム層の層厚を求めた．しかし同研究のプロセスにおいて盛土・切土マップを作成しており，本研究で検討するコストパフォーマンスに関する検討では同研究データを使用する．いずれにせよ本研究対象地域を「南大沢」とすることにより，「御殿峠」から「唐木田」にかけての旧地形図の等高線データに基づく盛土・切土マップを広範囲にわたり作成できることになる．

3. データの準備

3.1 人工改変前の地形の復元

研究対象地域の人工改変前の地形を復元するため二つの手段を用いた。一つでは人工改変以前（一部は改変以降）である1950年代に、東京都建設局または東京都首都整備局が刊行した3,000分の1地形図を用いた。その手順の第一段階は、同地形図に対しスキャン・座標付け・幾何補正・ラスター画像座標変換を実施することである。多摩地区の3,000分の1地形図すべてである51図面（東京都立大学図書館本館地図室所蔵）に対しては既に2019年の段階で同作業を株式会社エアロ・フォト・センターに委託して実施していたのでその成果品を利用した。成果品はジオリファレンス情報が埋め込まれたイメージファイルGEOTIFFデータである。今回はこのうち「南大沢」図幅（Fig. 4；東京都建設局，1958年測量）のGEOTIFFから後述のGISソフトとパーソナルコンピュータを用いて等高線データを手動で作成した。

「南大沢」図幅は株式会社測地文化により作成され1958年測量とされている。また千歳（2008）によればこれらの地形図は東京都の都市計画用地形図として位置付けされ、広範囲の区域が同一の基準で精密に作成され専門家の間では評価が高かったと述べられている。また今回対象とする多摩地域では、地上路線基準点付き空中写真測量（射線法）で作成されたこと、平板測量は実施されていないこと、使用された空中写真は10,000分の1であることが記されている。これらの地形図は2022年10月8日より「全国Q地図」（<https://info.qchizu.xyz/qchizu/tile/tokyo3000/>）で閲覧できる。なお「南大沢」図幅には、1958年測量・1962年1月修正測量版（東京都首都整備局，株式会社東邦地形社測量）と1958年測量・1968年3月修正版（東京都首都整備局，八州測量株式会社作成）が存在する。本研究では1958年測量版（東京都建設局）を用いている。隣接する「御殿峠」「唐木田」については既にGEOTIFF画像より等高線のシェイプファイル化を同社への委託により実施している。

もう一つの手段は人工改変以前に撮影された空中写真を用いた地形復元である。1948年1月18日撮影の米軍空中写真USA-M737-36-39（Fig. 5；縮尺9980分の1）より空中三角測量・等高線図化を株式会社エアロ・フォト・センターに委託した。考察で詳細に述べるが人工改変前の地形を復元する上で米軍空中写真は精度が不十分であることが指摘されている（国土交通省国土地理院，2010）。しかし今回は米軍空中写真の中でも比較的大縮尺であること、また戦後直後の撮影で森林が伐採され地表面の把握に有利であることから採用した。委託対象範囲は南大沢図幅全域ではなく、予算の都合から「南大沢」図幅中北部の約1.5×1kmの範囲（Fig. 4, 5の赤枠部分）である。本地域を以降「南大沢キャンパス地域」と呼ぶ。領域は平面直角座標系IXの-41583: -42653, -40100: -41647である。これは「南大沢」図幅の25%の面積に該当し、対象地域には東京都立大学南大沢キャンパスが含まれるほか、南大沢駅北側の商業施設（三井アウトレットパーク多摩南大沢）、ニュータウン造成による住宅地、さらに地形変化がほとんどないと考えられる保全された緑地がわずかに含まれる（Fig. 6, 7）。

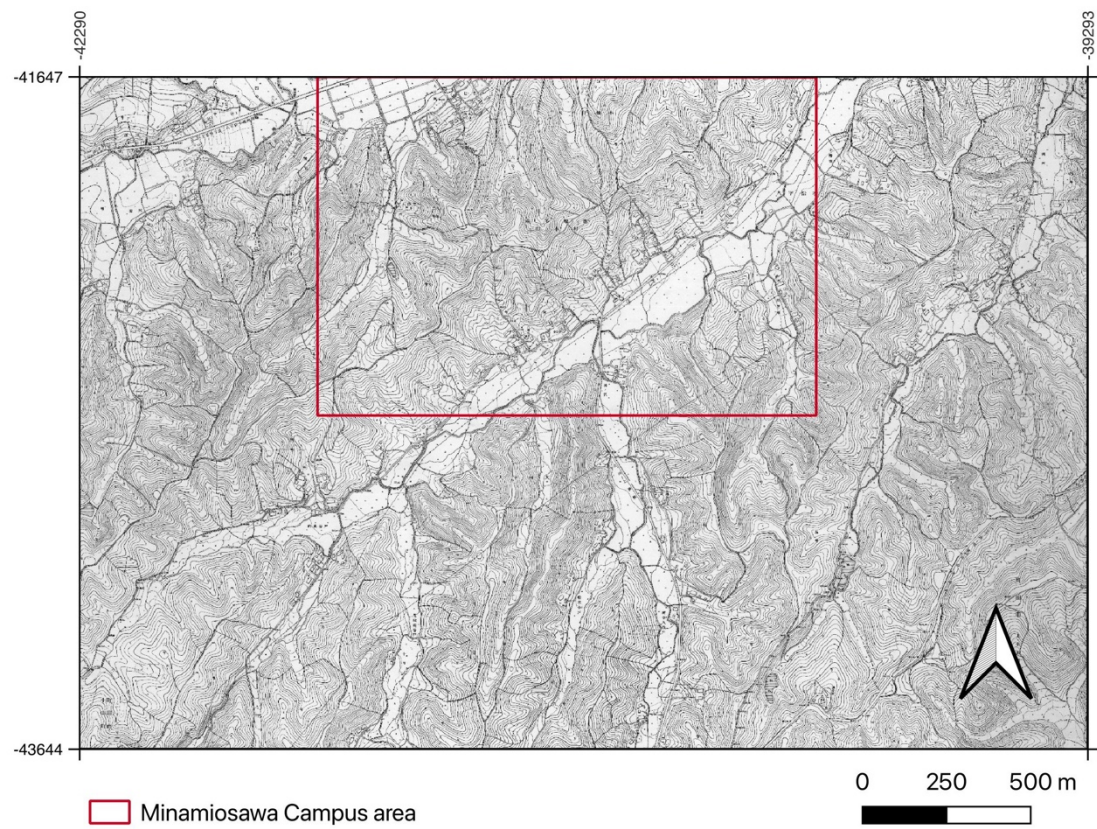


Fig. 4 Old topographic maps of Minamioswa and Minamiosawa Campus area (red rectangular box). After the Tokyo Metropolitan Government Bureau of Construction.

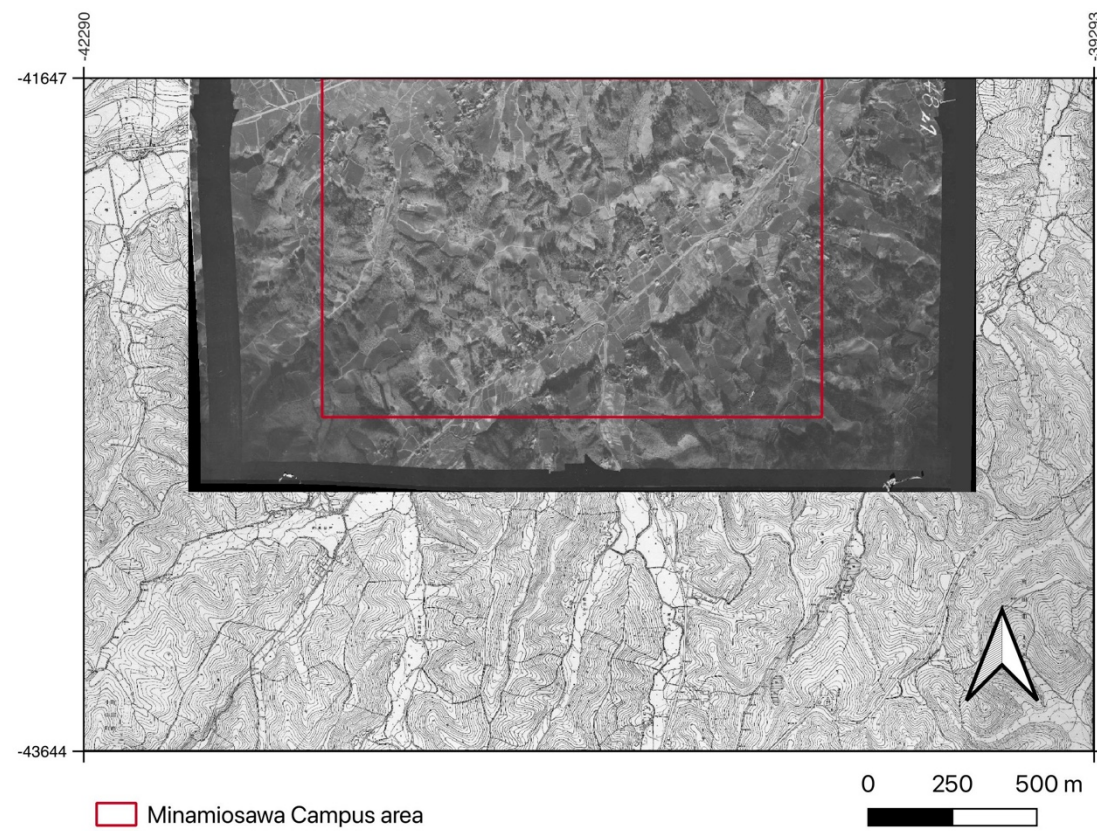


Fig. 5 Air photo (USA-M737-36-39) used in this study. Taken in January 1948.



Fig. 6 Present air photo of the Minamiosawa Campus area after the Geospatial Information Authority of Japan.



Fig. 7 Present topographic map of the Minamiosawa Campus area after the Geospatial Information Authority of Japan.

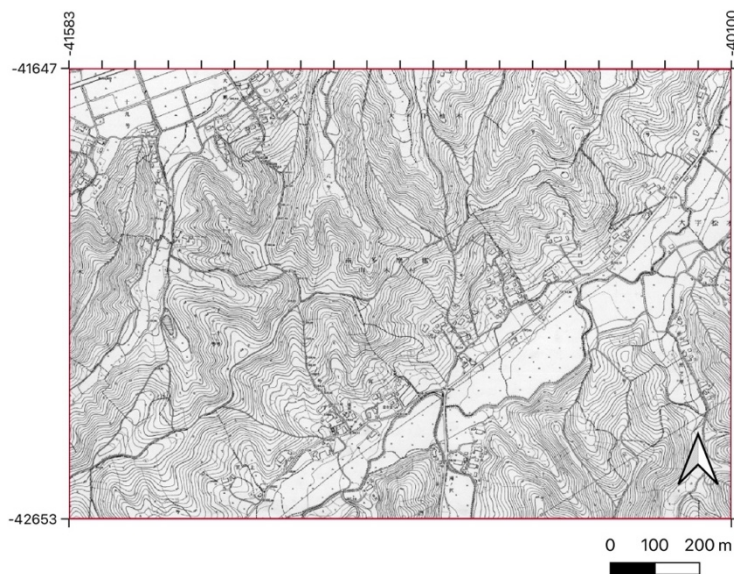


Fig. 8 Old topographic map of the Minamiosawa Campus area. Former landform before the cutting and fill operation shown by old topographic map of “Minamiosawa”.

3.2 人工改変後の地形データ

人工改変後の地形，すなわち現在の地形データには現行の地形図をはじめ，様々な種類のものがある。しかし本研究では基本的にGIS上で作業を進めるため，数値標高モデル（DEM）を使用した。従来から使用されていた代表的なDEMとして国土地理院基盤地図情報の数値標高モデル（5 mメッシュ）が挙げられる。しかしながら本研究ではより解像度の高い，東京都デジタルツイン多摩地域点群データのグリッドデータ（0.50 m）を使用した。本データは東京都デジタルサービス局が提供するものであり，航空レーザ測量，グラウンドデータを基に作成された0.50 m格子状の標高データである。データ形式はGEOTIFFである。またデータの作成日・最終更新日は2023年9月1日と研究期間中であり，最新のデータを使用することになる。本データは800×600グリッドデータを含む400 m×300 mの領域ごとにファイルが構成されている。「南大沢」図幅全域のデータを取得するために計64のGEOTIFFファイルをダウンロードした。その上で後述のQ-GISのラスター＞その他＞結合（gdal_merge）機能により「南大沢」図幅の範囲と「南大沢キャンパス地域」の範囲のそれぞれ一つのファイルに集約させた。「南大沢キャンパス地域」のラスター化した図をFig. 8に示す。このほか改変後の地形や土地利用などの確認のため，国土地理院地理院地図の地形図，航空写真（全国最新写真（シームレス）），陰影図を使用した。

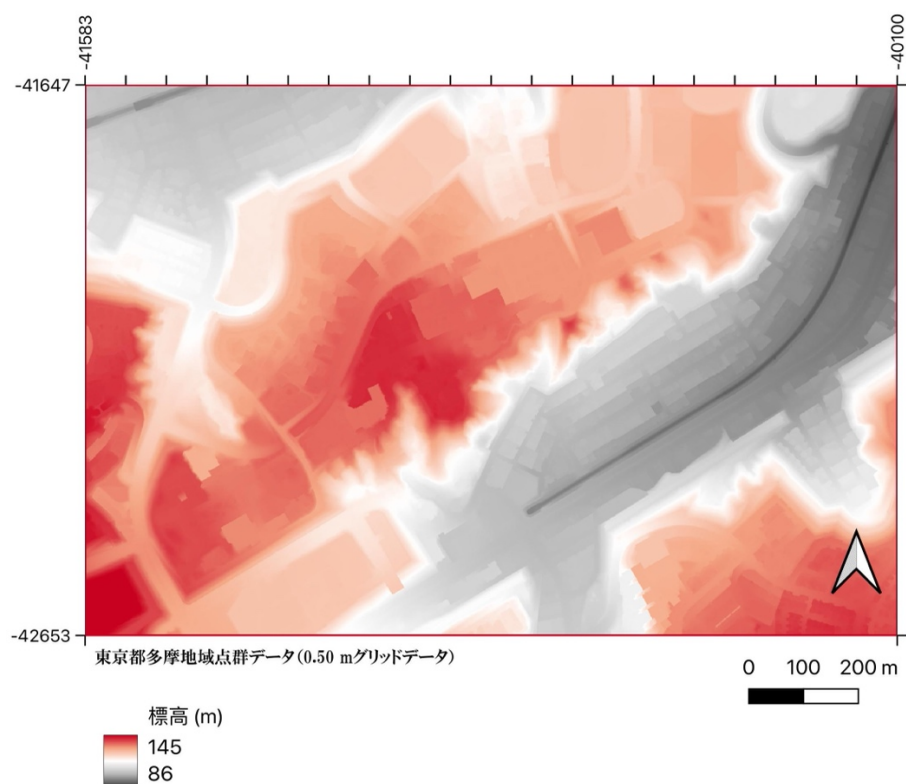


Fig. 9 Present landform after the cutting and fill operation restored using present digital elevation model (DEM) with 0.5 m mesh.

なお，ここで多摩地域点群データが使用できるようになったことについて触れておく。国土交通省国土地理院（2010）による『人工改変地形データ抽出のための手順書（詳細版）』では，人工改変後の地形データは5 mメッシュが基本であるとした。これは2008年（平成20年）から整備・提供がなされた航空レーザ測量データを基にした基盤地図情報（数値標高モデル）5 mメッシュ（標高）の

使用を前提にしていたためである。国土地理院では2023年11月から基盤地図情報(数値標高モデル) 1 mメッシュ(標高)の提供を開始した。しかしながら2024年8月段階では東京23区・多摩地区は未提供であった。一方で東京都デジタルサービス局が2023年9月に「デジタルツイン実現プロジェクト」の一環として、多摩・島しょ地域(小笠原諸島を除く)の3次元点群データを公開した。標高データとしては0.25 mのグリッドデータと0.5 mのグリッドデータである。本研究では容量が過大になると改変前のデータの精度を考慮して0.5 mのグリッドデータを用いた。

2019-2020年度に実施した京都大学防災研究所令和元年度一般共同研究(2019G-09)「火山灰地域に形成された人工改変地における地震時流動性地すべりのポテンシャル評価」(研究代表者: 鈴木毅彦)で使用了多摩地区の人工改変後の地形データは、国際航業株式会社が販売するPAREA-LiDAR 航空レーザデータ(Level3 DEM 2 mグリッド・手動フィルタリング)であった(鈴木ほか, 2021)。今回使用した地形データに比べて精度が低いにもかかわらず、1メッシュ(=1km²)の販売基本価格は税別で40,000円であり「南大沢」図幅分を揃えるには図幅の切り方のため12メッシュ必要であり、税込みで50万円以上の価格となる。人工改変後の地形データについては精度と費用の面でこの5年間で格段に向上したと言える。

4. 作業手順

本研究で用いた地形データは3,000分の1地形図から得られた等高線データ、航空レーザ測量による標高データ、その他地理院地図によるデジタルデータである。このため本研究を進めるにあたりGISソフトであるQ-GIS (3.34.4-Prizren)を用いた。使用したパーソナルコンピュータはApple製のMacBook Pro (14インチ, 2021), Mac mini (M1, 2020)である。作業で用いた座標参照系はJGD2011/Japan Plane Rectangular CS IX (EPSG:6677)である。本研究の作業手順をFig. 10に示す。

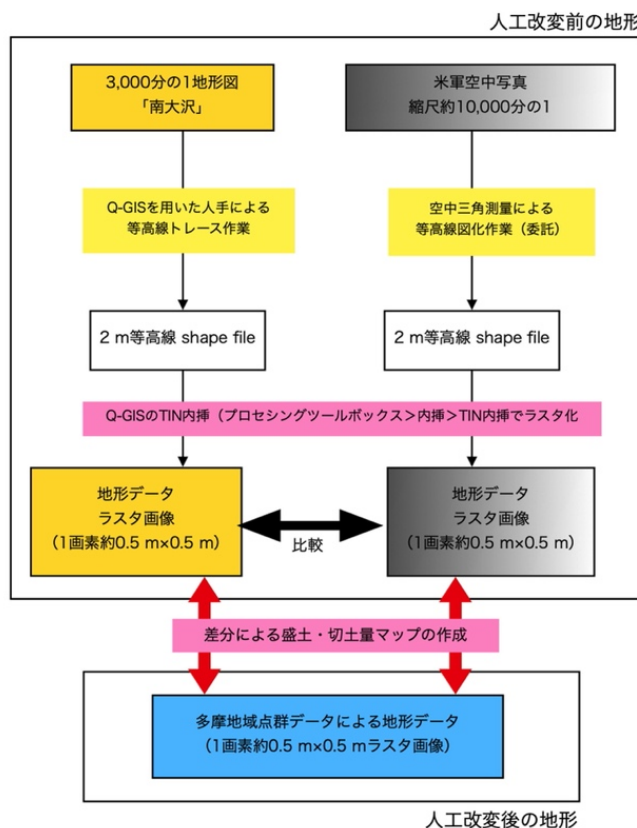


Fig. 10 Flow chart of this study.

4.1 人工改変前の地形のラスタ化

コンピュータディスプレイ上でのマウスを用いた手作業により、「南大沢」図幅のGEOTIFF画像上で2m間隔の等高線すべてをトレースし、全等高線のベクターデータを作成した (Fig. 11) . 計527本の等高線ベクターデータが作成され、最低標高と最高標高の等高線はそれぞれ86 m, 174 mであった. 本作業は一人の人物により2023年10月～2024年8月にかけての間の5ヶ月に実施された. 作業時間は2023年10月が65時間, 11月が40時間, 12月が60時間, 1月が21時間, 8月が9時間の計195時間に及んだ. 同図幅範囲の25 %に相当する「南大沢キャンパス地域」の等高線トレースの作業時間は約25%の50時間であった. GEOTIFF画像画像から得た等高線データは, Q-GIS のTIN内挿 (プロセッシングツールボックス>内挿>TIN内挿 (不規則三角網), 線形) 機能でラスタ化 (1画素約0.5 m×0.5 m) した (Fig. 11) . これは比較対象とする現在の地形データである多摩地域点群データのグリッドデータが0.50 mメッシュであるためである.

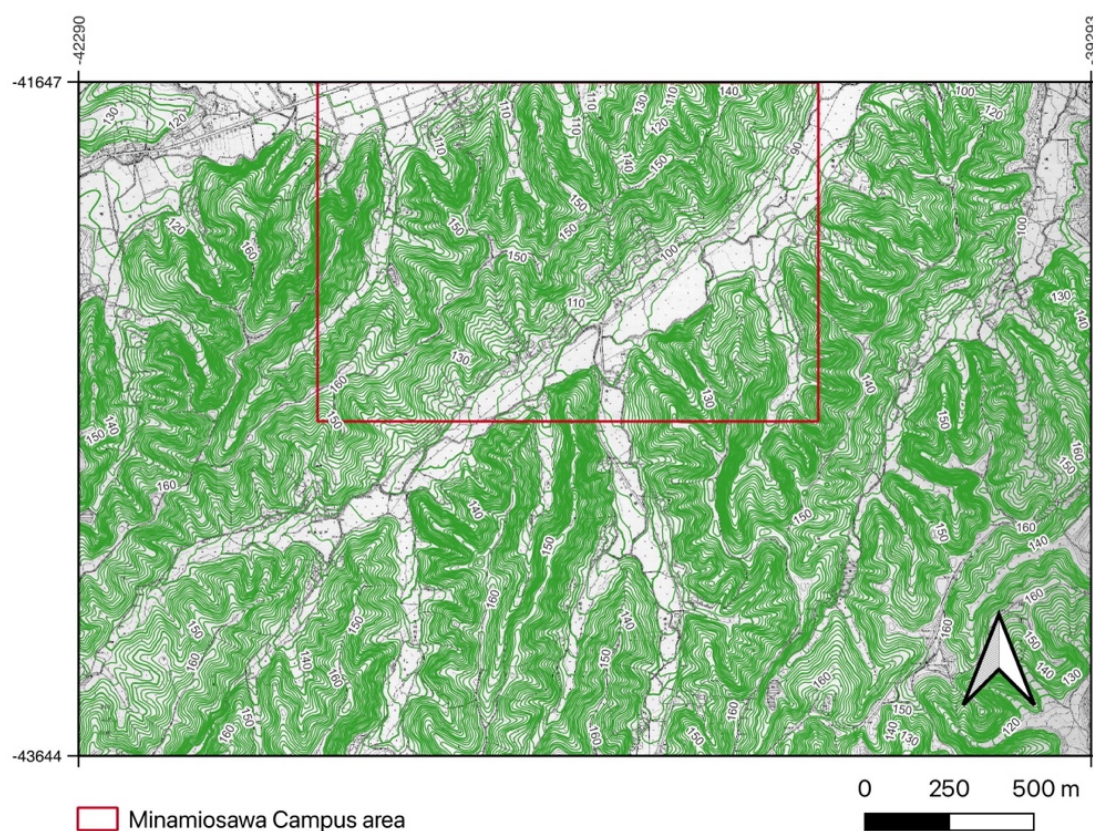


Fig. 11 Digitized contour map from the old topographic map of “Minamiosawa”. Counter interval: 20 m.

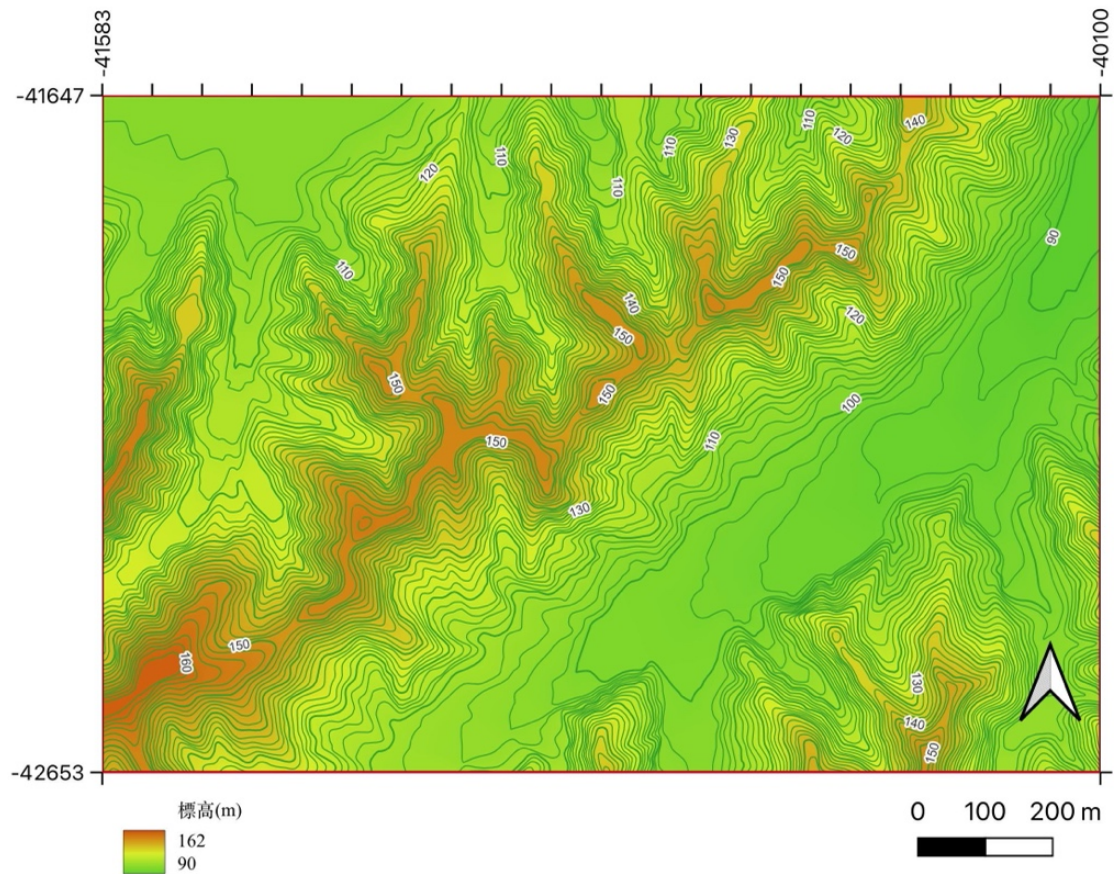


Fig.12 Laster image of landform before the cutting and fill operation restored by the old topographic map of “Minamiosawa”.

委託による米軍空中写真からの空中三角測量・等高線図化作業で同じく2m間隔の等高線を取得した (Fig. 13(a)) . 等高線に標高値を与えるためには標高既知の標高点などを基準点として参照する必要がある. 基準点は3,000分の1地形図に示されている標高点計22地点 (標高値は0.01m単位で示されている) が使用された. 研究対象域の「南大沢キャンパス地域」内では10地点, 「南大沢」図幅内ではあるものの「南大沢キャンパス地域」の東側・南側の外側で3地点, また北隣図幅の「殿谷戸」で9地点ある (Fig. 13(b)) . 「南大沢キャンパス地域」内での基準点の分布はやや中北部と南東部で欠損するが極端に偏っているわけではない. このようにして得られた等高線から, GeoTIFF画像画像から得た等高線の処理と同様に, Q-GIS のTIN内挿 (条件やコマンドは同一) により等高線データからラスタ化作業を実施した (Fig. 13) .

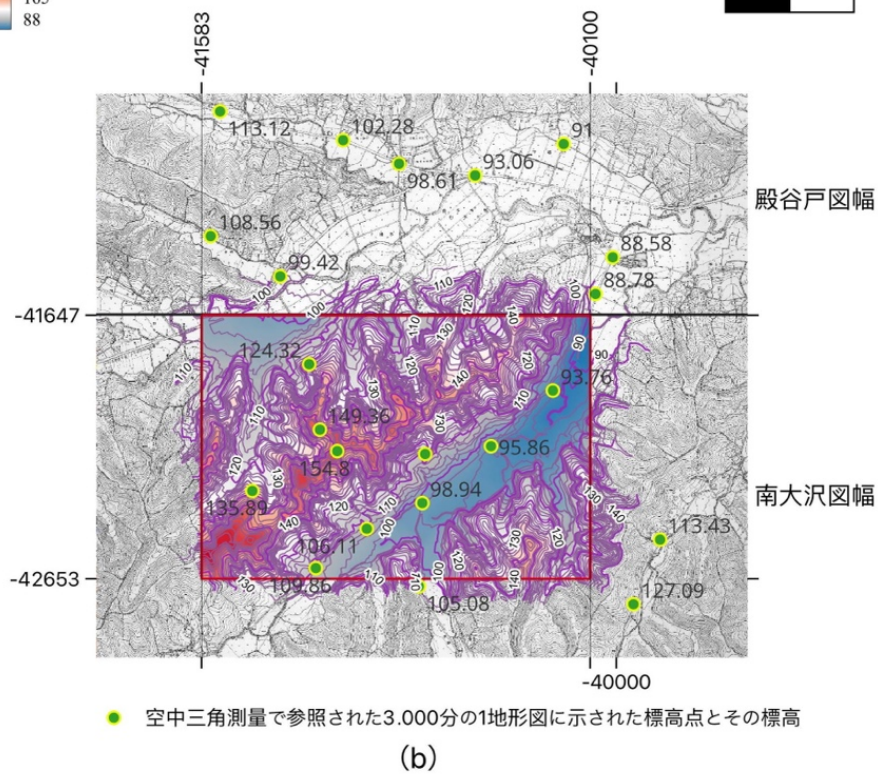
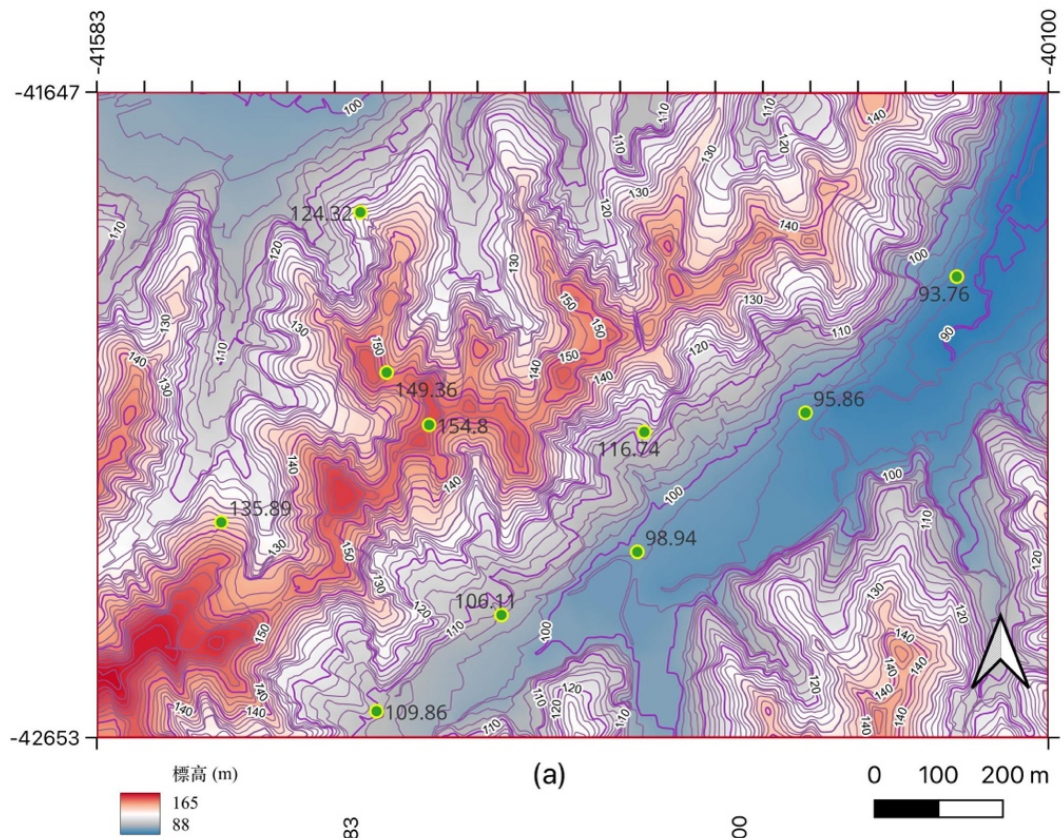


Fig.13 Laster image of landform before the cutting and fill operation restored by air photos.

4.2 異なる手法により得られた標高データの比較

地形図から得られた標高データと空中写真から得られた標高データの差を検討するため、ピクセル毎の標高値の違いを求めた。前者から後者を差し引いた数値と数値の頻度分布をFig. 14に示す。計算にはQ-GIS プロセッシングツールボックスのラスタ解析内にあるRaster calculatorを用いた。標高値の違いを検討するため、等高線および空中写真から得た標高値から同じくプロセッシングツールボックスのラスタ地形解析内の傾斜を用いて傾斜図をそれぞれについて作成した (Fig. 15)。さらに標高値の違いが大きい箇所 (Fig. 14のA) については地形図と空中写真から得られたそれぞれの等高線を表示した図を作成した (Fig. 16)。

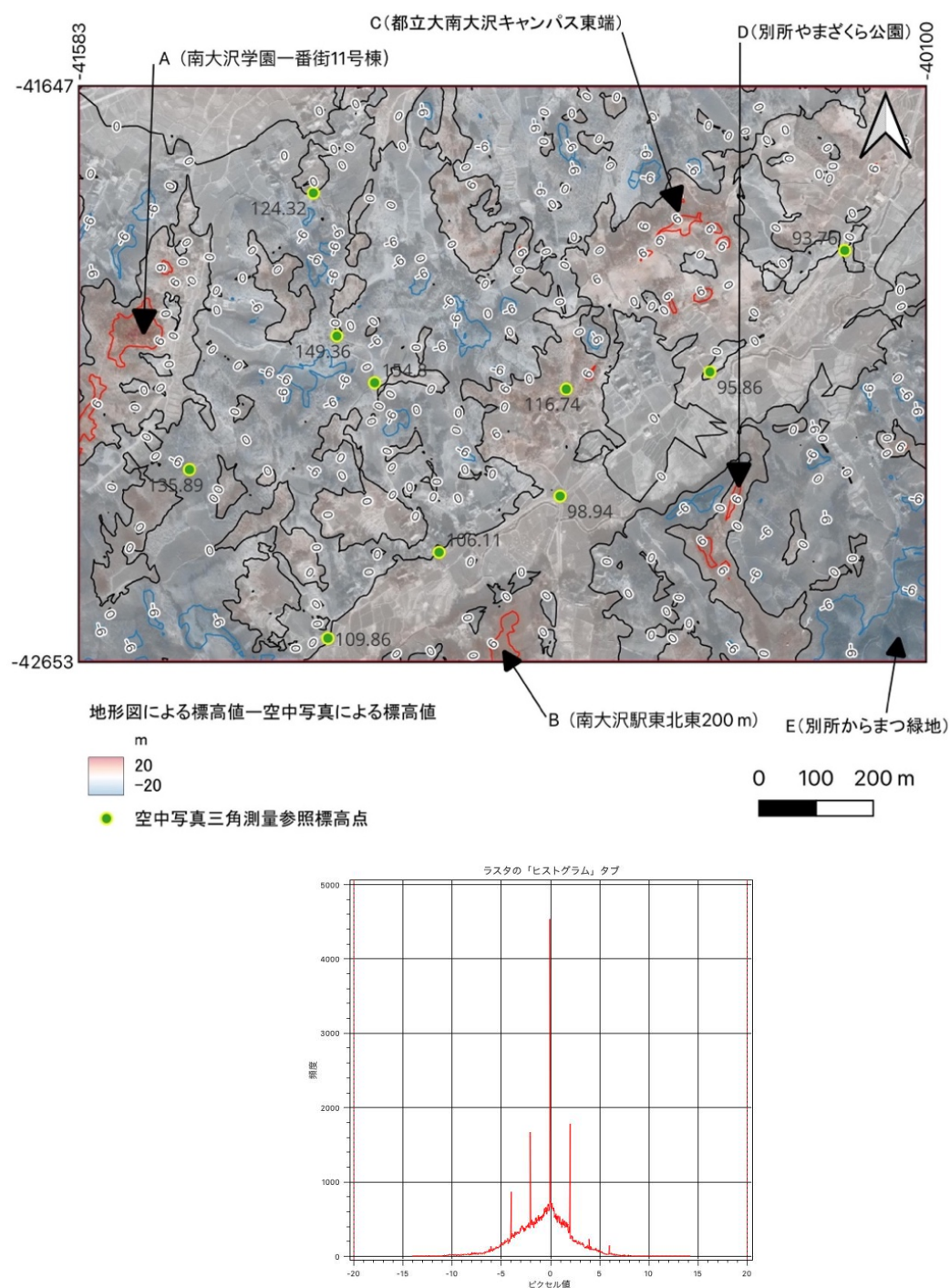


Fig. 14 Difference in altitude between two estimations by old topographic map and air photos (upper), and their frequency distribution (lower).

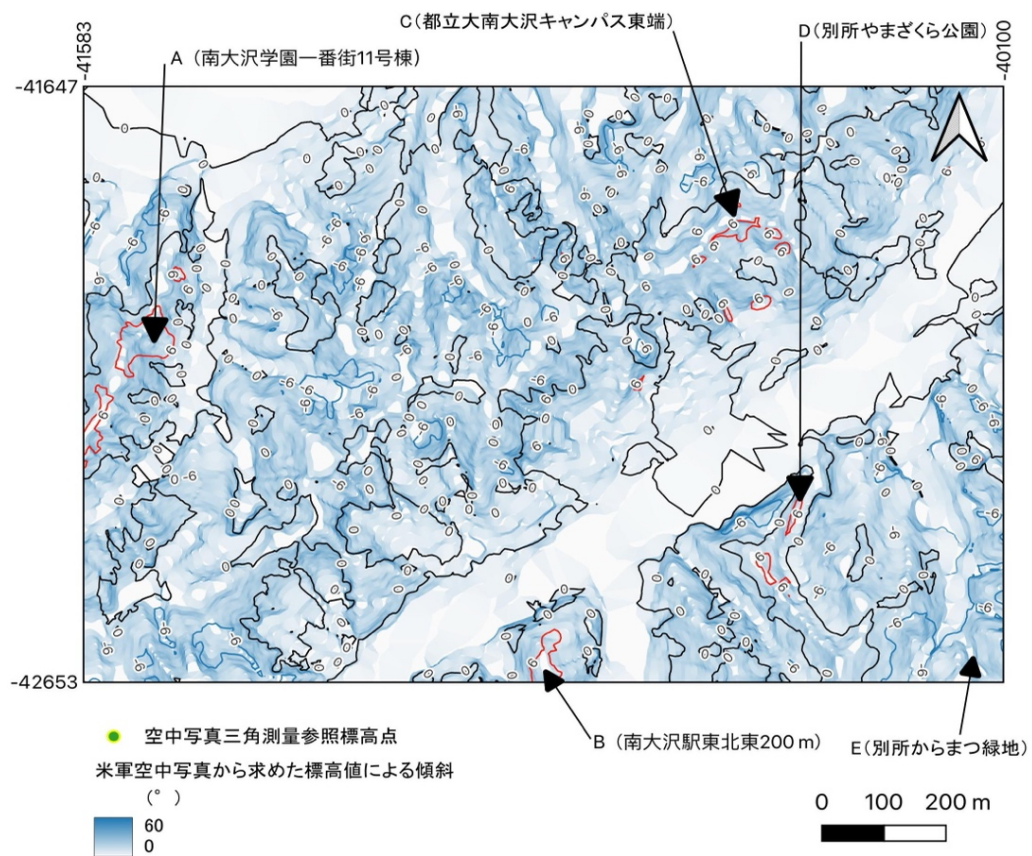
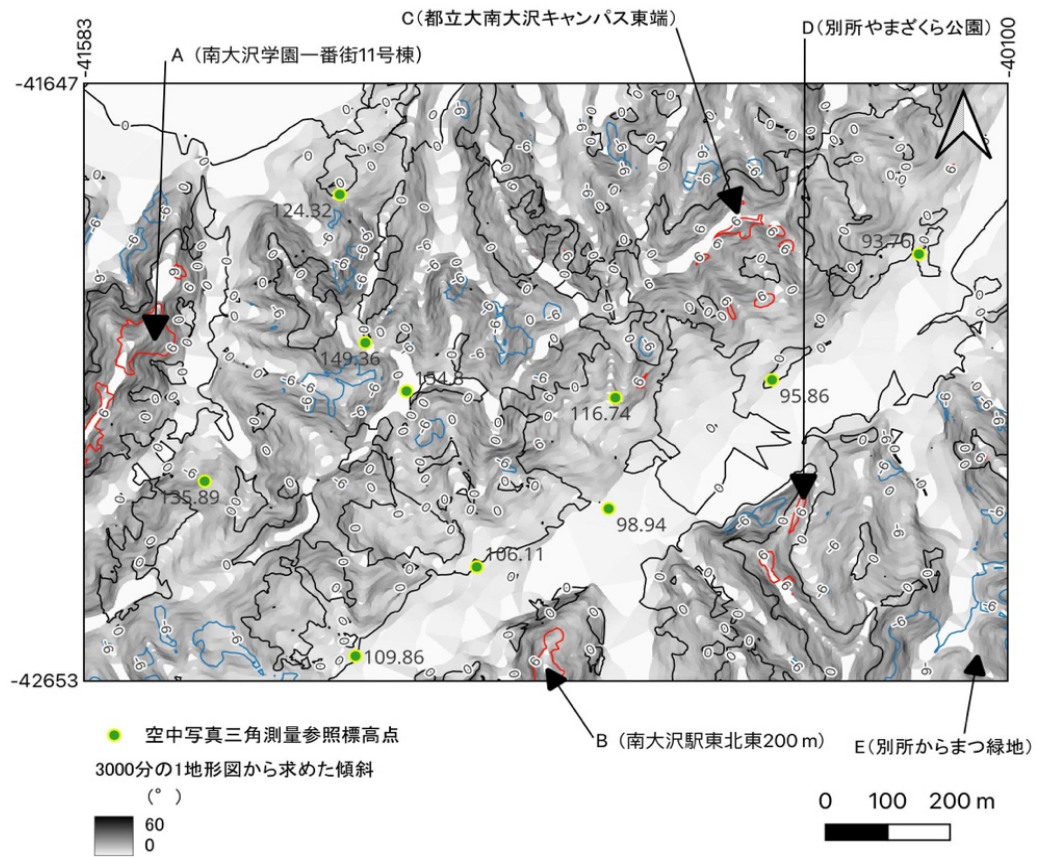
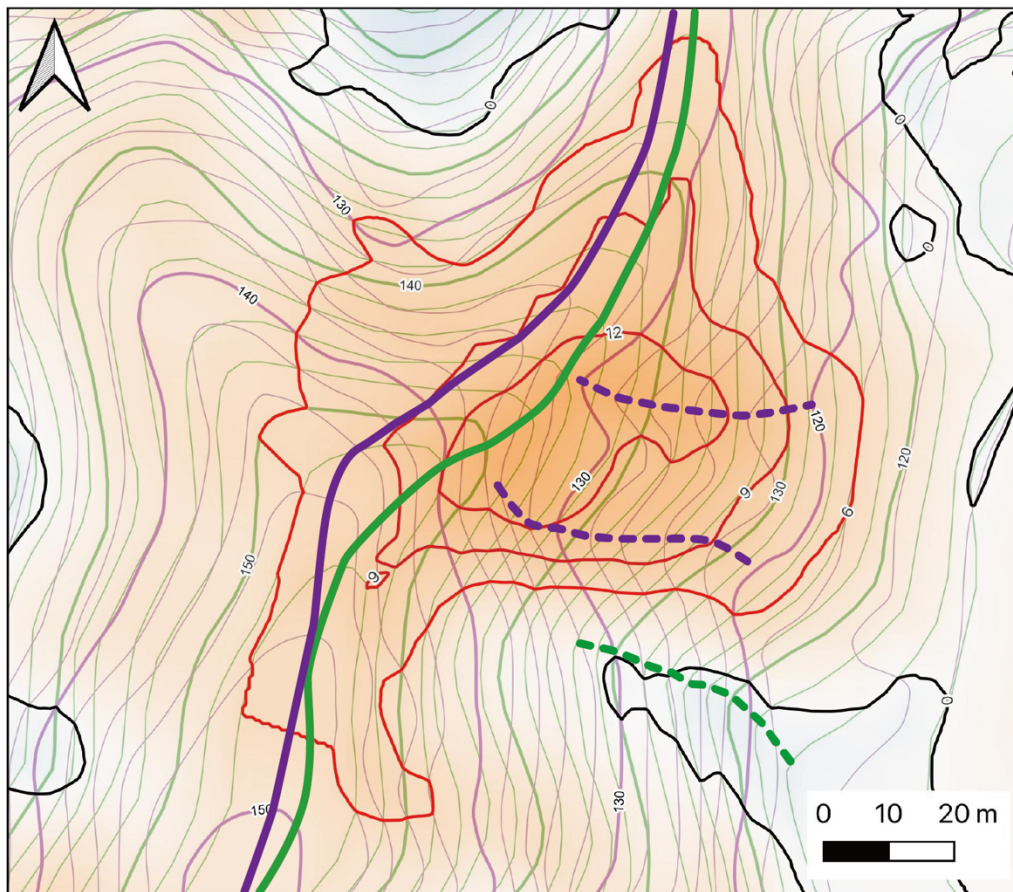
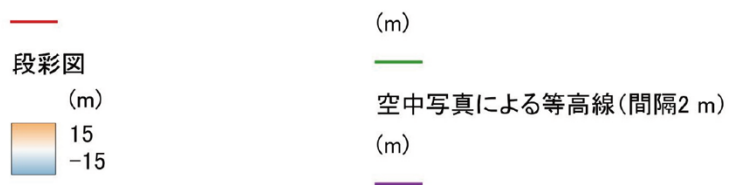


Fig. 15 Slope gradient map illustrated by old topographic map (upper) and air photos (lower).



地形図—空中写真の差(単位: m) 地形図から復元した等高線(間隔2 m)



	地形図から復元した 等高線に基づくもの	空中写真から復元した 等高線に基づくもの
尾根線		
谷線		

Fig. 16 Comparison of contours between those restored by old topographic map and air photos.

Area is A in Fig. 15.

4.3 人工改変前後の地形変化

人工改変前後の地形変化を把握するため、4.2同様にRaster calculatorをもちいて2時期のラスターデータ間で差分を求めた。人工改変前の標高データには、地形図の等高線から得られた標高データと空中写真から得られた標高データがあるため、2つの結果が得られる。Fig. 17は地形図の等高線から得られた標高データと多摩地域点群データによる現在の標高データによる差分で、後者から前者を差し引いた値を示している。すなわち人工改変によりピクセルの値が増大しているものが正の値を、減少しているものが負の値を示す。具体的な数値を読みとることができるようにラスター抽出等高線(contour)を用いて等値線も示し、また現在の土地利用との関係がわかるように透明度を約60%に設定した上で背景として地理院地図の全国最新写真(シームレス)も示した。同様にして空中写真から得られた標高データと多摩地域点群データによる現在の標高データによる差分をFig. 18に示した。

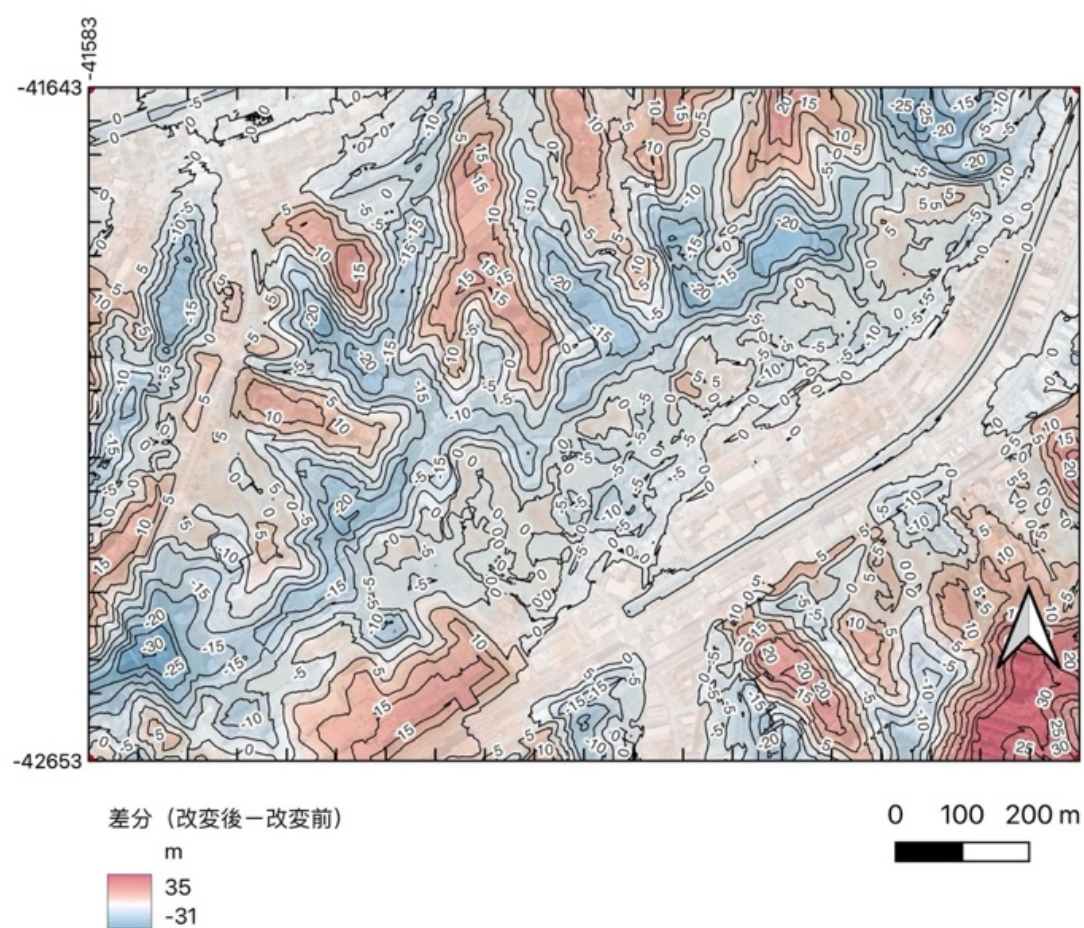


Fig. 17 Difference in altitude before and after the cutting and fill operation using old topographic map.

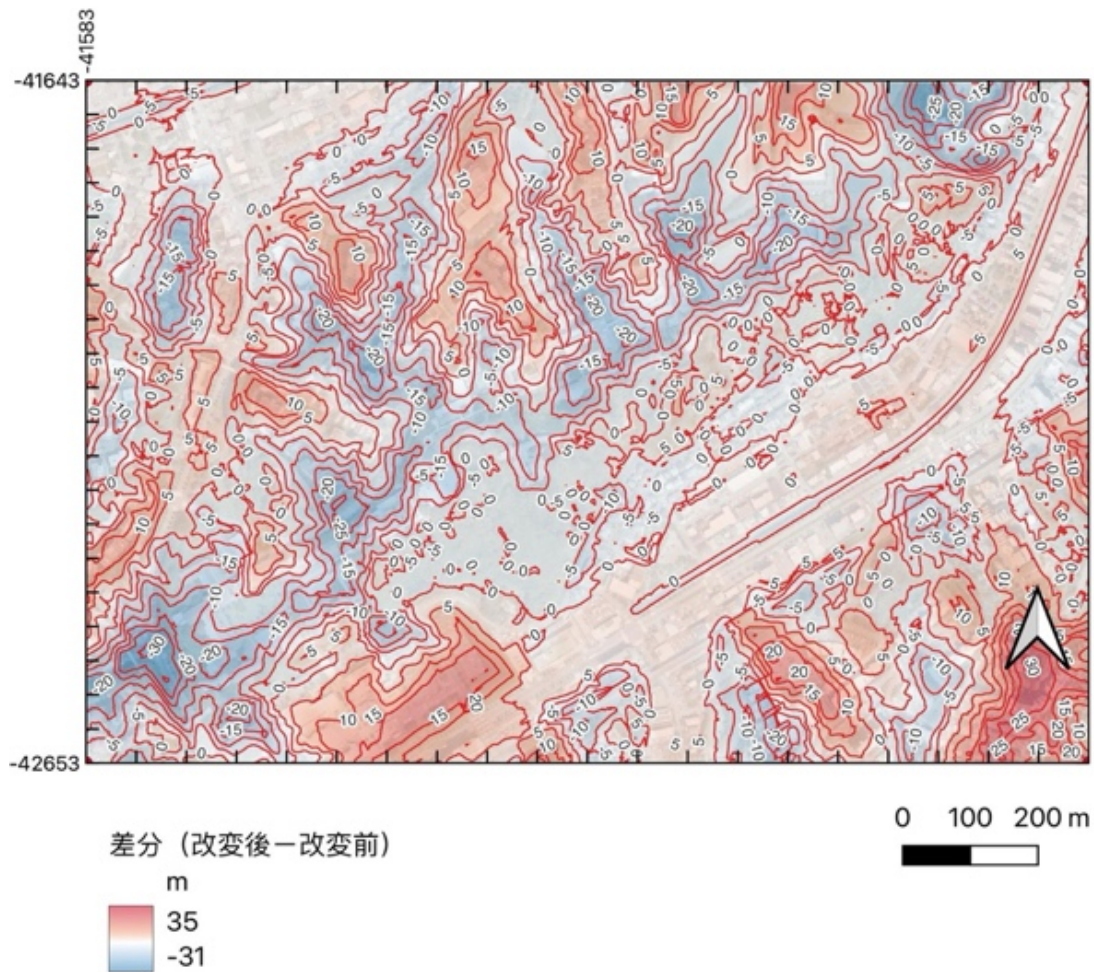


Fig. 18 Difference in altitude before and after the cutting and fill operation using old air photos.

4.4 「南大沢」図幅全域の人工改变前後の地形変化

今回、3,000分の1地形図「南大沢」全域において等高線をトレースし、等高線をベクター化すると同時に0.5mメッシュのラスタ画像を作成した。これを用いて同図幅全域において人工改变前後の地形変化を復元することができる。後述のように地形図から復元した人工改变前の地形データは信頼性が高いと考えられるので、十分な精度の盛土・切土マップを作成することができる。Fig. 19に同図幅全域の人工改变前の地形を、またFig. 20に地形図の等高線から得られた標高データと多摩地域点群データによる現在の標高データの差分を示した。

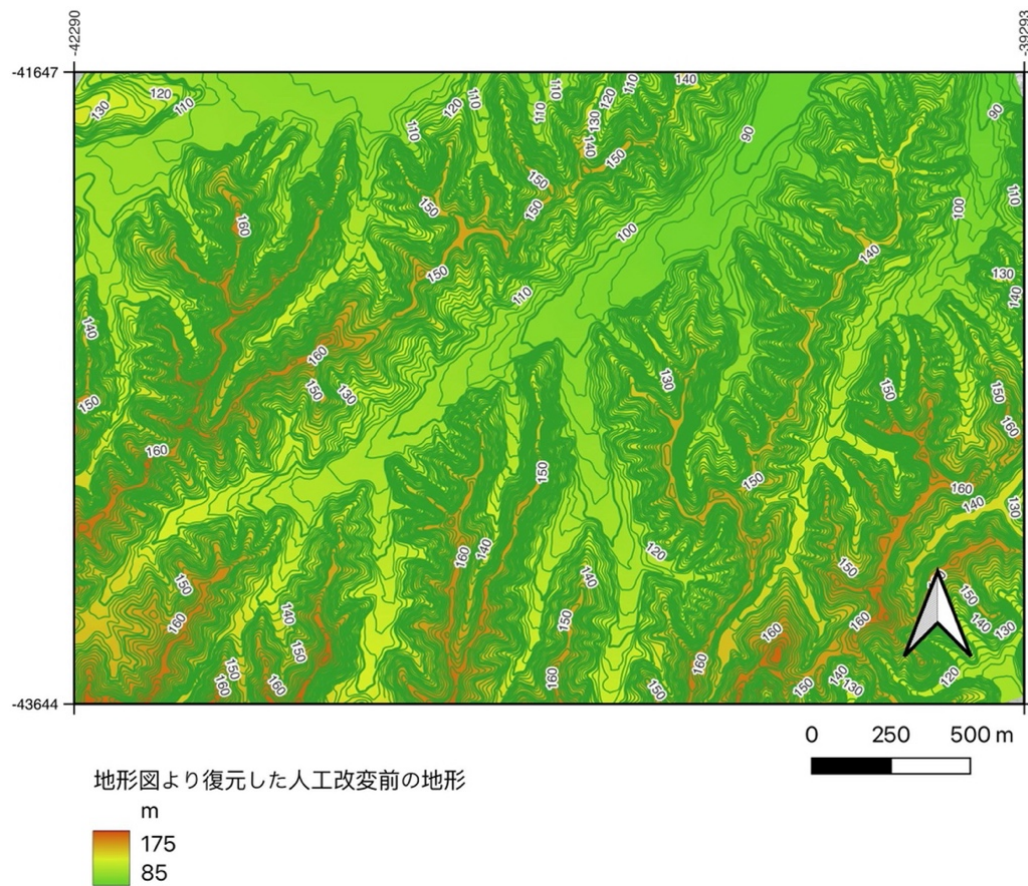


Fig.19 Laster image of landform before the cutting and fill operation restored by the old topographic map of “Minamiosawa”.

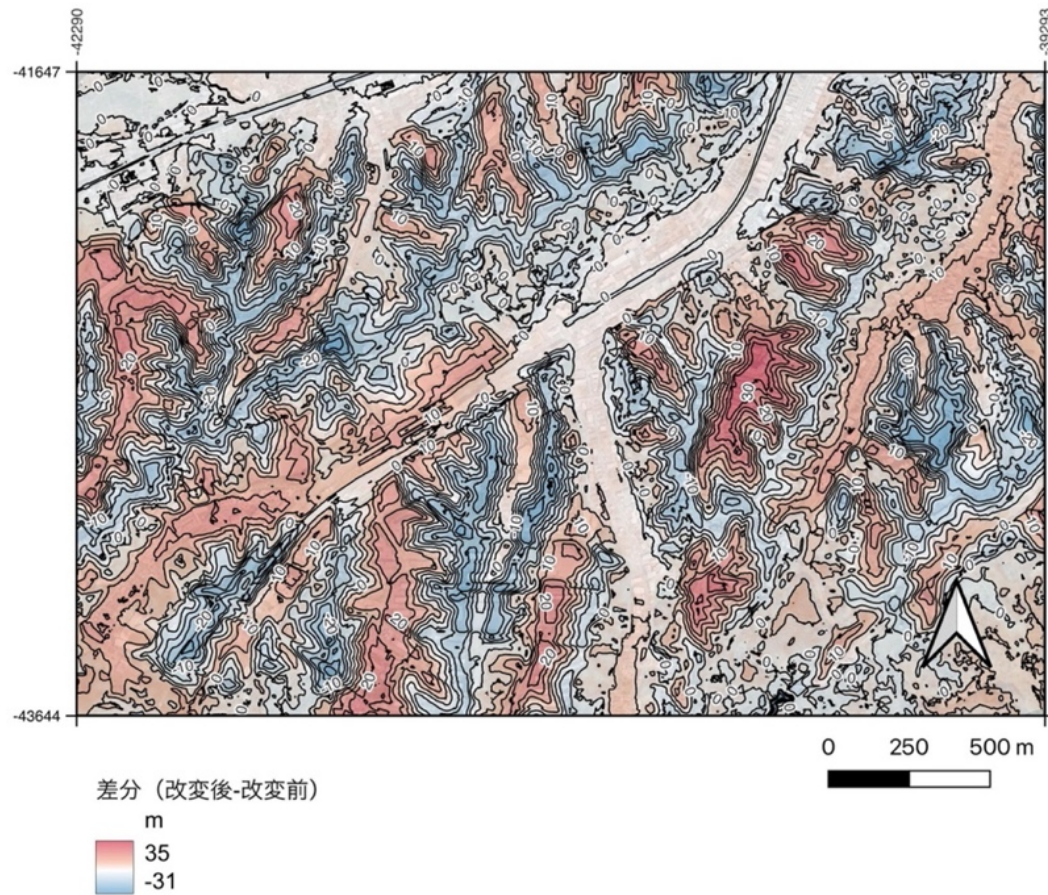


Fig. 20 Difference in altitude before and after the cutting and fill operation using old topographic map.

5. 結果の評価と解釈

5.1 地形図から復元した等高線と空中写真から復元した等高線の比較

今回、3,000分の1地形図「南大沢」（以下、地形図と省略）の等高線から得た標高データと、1948年1月18日撮影の米軍空中写真USA-M737-36-39（以下、空中写真と省略）から得られた標高データの差違（Fig. 14）が生じた原因を考察した。この比較は、人工改変前の地形を正確に復元するために検討しておくべき内容である。ただしここでは「南大沢」図幅の一部を個別事例とした検討であり、普遍性や、他地域・他の手法により得られるデータの問題点を指摘するには限界がある。

空中写真の撮影年は1948年であり地形図の測量はその10年後の1958年で10年の開きがある。「南大沢キャンパス地域」の当時の土地利用は河川沿いの低地では多くが水田、丘陵尾根部付近で桑畑、丘陵斜面で桑畑の他に広葉樹・針葉樹の林地、また斜面下部で農家とみられる住宅地が目立つ（Fig. 8）。また地形図から顕著な人工改変をはじめ自然地形の変化も判読できる規模のものは存在しない。また今回、米軍空中写真から等高線データを作成する際、標高値は地形図にある標高点を参照している。このことから地形図の等高線から得られた標高データと空中写真から得られた標高データの差違は基本的に小さいことが期待される。

地形図と空中写真それぞれから得た標高値の差（地形図の値-空中写真の値）はピクセル毎にみると±6 mの範囲に入る（Fig. 14(b)）しかし最大でプラス14.3 m、最小でマイナス14.1 mという差が局部的に認められた。なお、頻度分布図では 0 m, ±2 m, ±4 m, ±6 mにスパイクが認められる。同様なスパイクは地形図と空中写真から得たラスタデータでも認められる。これはラスタイメージ作成のためのTIN内挿する際に使用する等高線が2 m間隔であることに起因すると考えられる。ここでは差異の傾向やその範囲概要を知ることが目的であるので、この点についてはこれ以上深くとりあげない。

頻度分布図（Fig. 14(b)）に示されるように、差違の分布はほぼ対称でありいずれかの手法に正しいしは負に顕著に偏る傾向は認められない。しかしながらわずかに負の傾向があり、これは空中写真から得られた標高がより高い値をもつピクセルが多いことを示している。差違が生じた原因を検討するために、地形図や空中写真から読みとれる地形や当時の土地利用との関連、また地形図作成・三角測量時の精度について以下考察する。

地形図から得た標高データが特徴的に大きい（6 m以上）地域は、Fig. 14(a)で示したA（南大沢学園一番街11号棟）、B（南大沢駅東北東200 m）、C（都立大南大沢キャンパス東端）、D（別所やまざくら公園）である。とくにA付近の尾根部は10-15 m程度の差違があり、地形図から得た標高データが空中写真から得た標高データよりも大きな値となっている。これらの地点は改変前、周辺部に比べて相対的に高い尾根部である。また、いずれも三角測量での参照標高点からやや離れている傾向にある。一方で谷戸や大田川を除く河川沿いの低地では低い傾向がある。とくに E（からまつ緑地）付近の谷では6 m以上低い地域が広がる。以上から米軍空中写真を用いて三角測量により等高線を描く際、参照標高点から離れると地形的凸地では低く、凹地では高く標定する傾向にあるといえる。地形図自体も10,000分の1空中写真を用いた空中写真測量（射線法）で作成されている（千歳、2008）ので、地形図作成当時、地形的凸地では高く、凹地では低く標定する傾向があったのかもしれない。

土地利用からも検討する。丘陵斜面では当時桑畑の他に広葉樹・針葉樹の林地が広がっていた。林地においては地形図の標高が空中写真による標高も大きな標高値となっている。空中写真からの

等高線描画に際しては林地の林冠のみしか判読できないことを考慮した上で地表標高を補正していると考えられるが、これが大きめに補正されている可能性もある。

次に地形図作成・三角測量時の精度から検討する。小荒井・長谷川（2008a）は、本研究で使った地形図と同精度と思われる改変前の地形図から取得した基準点を用いて、米軍空中写真（1947年8月撮影の縮尺1:10,000とされているのでこれについても本研究と同様な条件をもつ）の空中三角測量を行い、基準点残差は水平方向で1.807 m、高さ方向で0.191 mであったと述べた。一方で2000年代に撮影された空中写真の空中三角測量では、基準点残差が水平方向で0.210 m、高さ方向で0.073 mであったと述べた。このように米軍空中写真により作成されたデータでは水平方向の精度が一桁悪く、標高データの位置精度に影響が生じると考えられる。斜面勾配が大きいところで位置精度が確保されないと標高値に影響が生じる。このことを検証するため、地形図と空中写真それぞれから得た標高値の差と、改変前の地形図から求めた傾斜量の関係を比較する。傾斜量は地形図と空中写真の両者から求め、標高差が±6 m以上の領域を併せてFig. 15に示した。標高差が大きいA-D域のいずれでもとくに傾斜量が大きいという傾向は認められない。むしろ尾根部の傾斜量が小さい場所において標高差が大きい箇所が認められる（AやAの南南西側、B）。またEでは谷底部の比較的傾斜量の小さな地域でも標高差が大きい。すなわち標高差の増大を標高データの位置精度だけで説明するのは難しい。

標高差が大きくなる原因として三角測量により描かれた等高線自体に相違があることも考えられる。Fig. 16はA付近の拡大図で、地形図と空中写真の双方から復元された等高線と、標高差が6 m以上の領域（いずれも地形図から求めた標高値が大きい）を3 m間隔の等値線で示した。この2種類の等高線は標高差が大きいところで描かれ方が異なっていることが分かる。Fig. 16ではこの違いが分かるようにそれぞれの等高線から尾根線と谷線を読み取り図中に示した。標高差が大きい付近では尾根線の位置が空中写真から判読したものの方が地形図から判読したものより10 m程度北西側にずれている。これにより空中写真から判読できる谷地形が地形図から判読された尾根線付近まで達していることが分かる。このことが地形図から求めた標高値が大きくなる最大の要因と考えられる。すなわち地形図から復元した標高値と空中写真から復元した標高値が異なる要因として、作成時の尾根・谷の判読の違いが大きいことが考えられる。

いずれにせよ現段階でどちらの標高値が真に近いのか判断できないが、国土交通省国土地理院（2010）は自治体等により作成された3,000分の1地形図の経験的な精度目安を示している。昭和20-30年代（1945-1965年頃）より数値化取得した地形図についての標高精度については±0.8 m-1.4 mとし造成前地形データ取得には比較的有効と評価している。また改変前の地形データ取得に関しては、1960年代以降現在（昭和30年代後半以降）までの国土地理院・自治体等による10,000分の1空中写真の標高精度を±0.3 m-1.0 mとし多くの場合で使用されているものと想定している。これに対し1945-1955年（昭和20年代）撮影の12,000分の1米軍空中写真の精度は±0.6 m-1.2 mとし部分的な旧地形の補完に用いるものとして位置づけている。今回使用した米軍空中写真の縮尺は10,000分の1であり若干大縮尺であるので精度の向上が期待できると、戦後直後で山林の伐採が進み地表面の把握が容易であることを期待した。しかしながら地形図の標高値とは±6 mの範囲で分散し、想定されているほどの一致は得られなかった。米軍空中写真では写真自体の歪みが大きく、写真枠の表示・寸法の曖昧であることによる誤差などの問題も指摘されている（国土交通省国土地理院，2010）。以上のように米軍空中写真からの復元は問題があり、今回の結果から手法により±6 mの差が生じる場合があることが判明した。本研究では米軍空中写真を使用した但本来は1960年代以降の国土地理院・自

治体等による10,000分の1空中写真を積極的に使用すべきものとする。

5.2 南大沢図幅全域の盛土・切土マップの評価

今回作成した南大沢図幅全域の盛土・切土マップ(3,000分の1地形図によるもの)を評価するため、これまで作成された盛土・切土マップである東京都建設局土木技術研究所(2006)による『大規模宅地造成地の地盤改変図』(Fig. 21)と東京都都市整備局(2015)による『大規模盛土造成地マップ』(Fig. 3)との比較を行う。

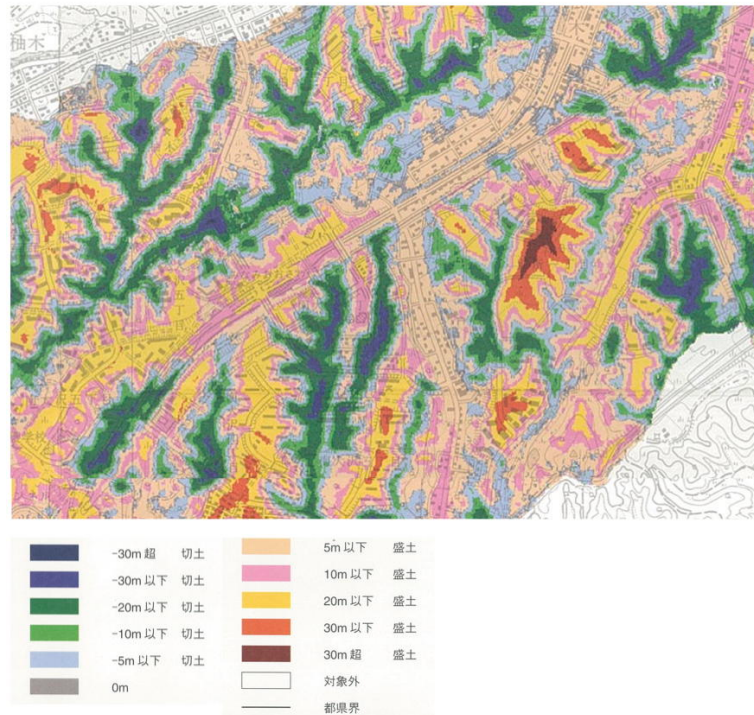


Fig. 21 Before and after the cutting and fill operation using old topographic map. Modified by Institute of Civil Engineering of Tokyo Metropolitan Government (2006).

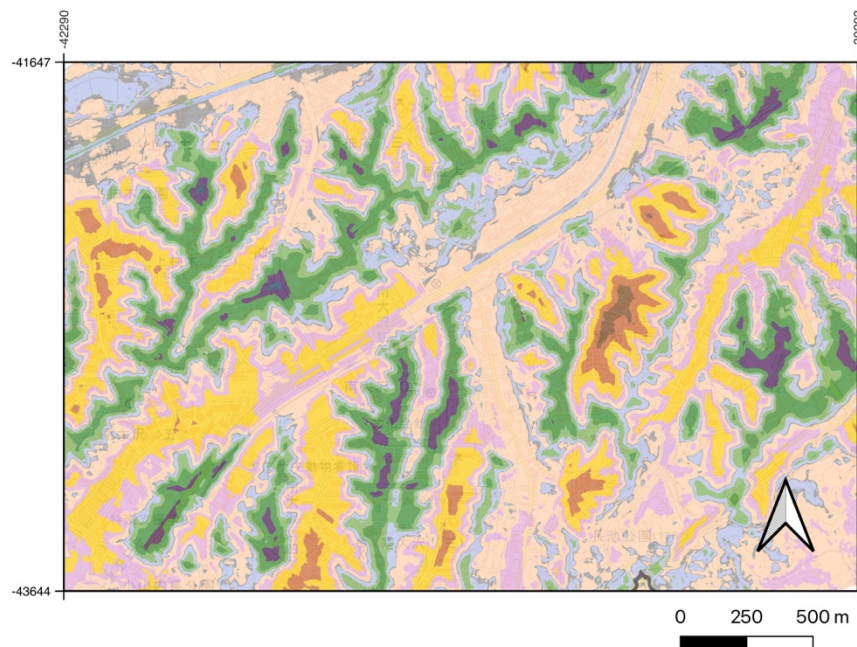


Fig. 22 Before and after the cutting and fill operation by this study. Legend is the same in Fig.21.

『大規模宅地造成地の地盤改変図』には作成手順が詳しく記されている．それによると改変前の地形は昭和30年代の東京都地形図（3,000分の1）によるとあり本研究同様である．一方改変後の地形は作成時（2006年）の東京都地形図（2,400分の1）を用いており本研究とは異なる．また盛土・切土量を示す差分データはそれぞれの地図の等高線をベクトルデータ化し，その上で5 mメッシュでのDEMを作成した上で求めている．東京都点群データ0.5 mメッシュによる本研究とは精度の点で異なるが基本的に改変前の地形を復元するデータは同じであることから類似した結果が期待できる．またメッシュの粗さの違いも2.5万分の1程度の地図上では差は認識できないと判断される．

『大規模宅地造成地の地盤改変図』では10 m間隔の等高線で切土・盛土による地形変化量が色を用いて示されている．本研究の結果と比較するためFig. 20の表現方法を変更し，『大規模宅地造成地の地盤改変図』の色と合わせた（Fig. 22）．両図を比較すると全体的な傾向が類似することがよく分かる．厚さ5 m以下の盛土・切土では地形図と空中写真間で標高値に相違が見られ精度に問題が残されている可能性を指摘したが，5 m以下の盛土・切土でも『大規模宅地造成地の地盤改変図』と極めて高い一致が見られる．改変前の標高データを同じ地形図から復元したことで，東京都地形図（2,400分の1）と東京都点群データでは標高データに差があまりないことが理由であると考えられる．

次に『大規模盛土造成地マップ』（Fig. 23）との比較を行う．この図では面積3,000 m²以上の事例が対象であり，また盛土の厚さは表現されていない．本研究結果も詳細な厚さは表示せず，先に述べた地形図と空中写真間の差違が±6 m以内にあることを根拠に，盛土の厚さに一定の保証が得られる6 mを境に異なる色で着色した（Fig. 24）．

今回作成した盛土・切土マップの方がより広く盛土地を採用しているのは明らかである．大田川や大栗川などの規模のある河川沿いの低地であり，人工改変前に水田であった地域は本研究ではほぼ全面的に盛土とされたが『大規模盛土造成地マップ』では盛土とされていない．これは面積3,000 m²以上の事例として扱われていないと思われる．また改変前に斜面や谷戸であった地域において，『大規模盛土造成地マップ』では盛土とされていないが今回盛土としても認定された箇所が多く認められる．これらは面積3,000 m²以上の事例に該当しない小規模な造成により出現した可能性があり，『大規模盛土造成地マップ』では見過ごされている事例である可能性がある．従って本研究のようにきめの細かい図が盛土・切土マップが将来的に作成・公開されれば，盛土による地盤災害のリスクを軽減するハザードマップとして機能する可能性がある．一方で『大規模盛土造成地マップ』で示されず，今回の図で示された盛土の厚は多くが6 m以下であるので誤差を伴い，実際には盛土とされていない可能性がある．最終的にハザードマップとして機能させるには国土交通省国土地理院（2010）のマニュアルにあるように抽出した盛土の確認のための現地踏査が必要であることには違いない．

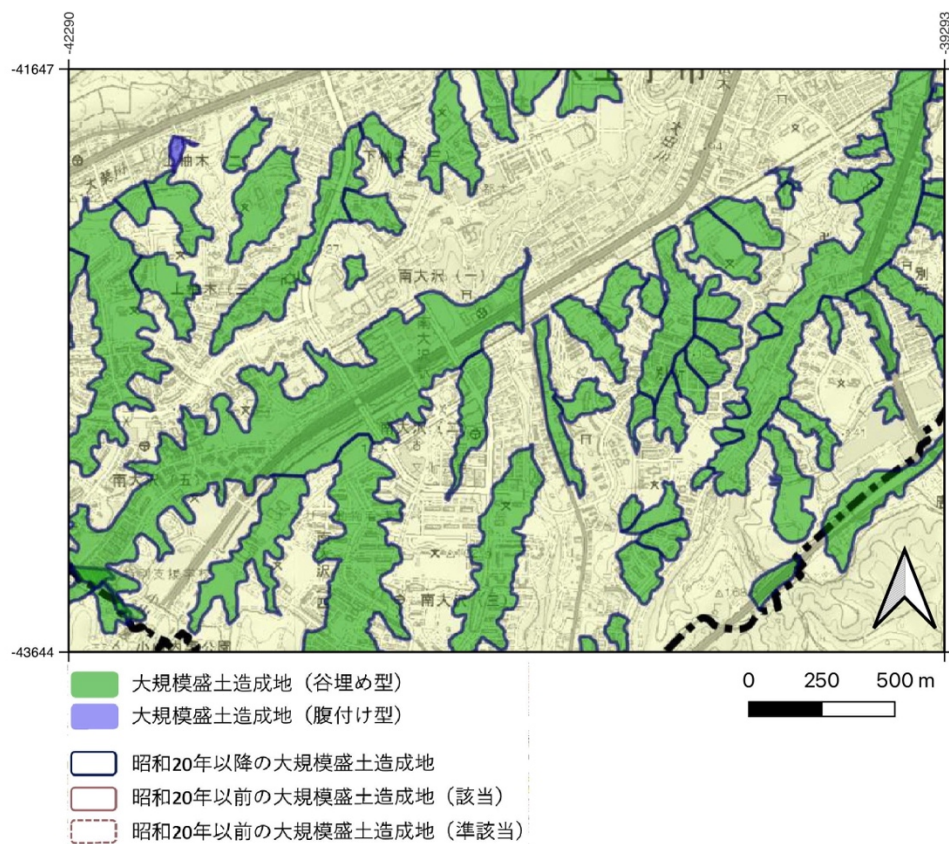


Fig. 23 Map of extensive land reclamation fills in the southeast part of Hachioji city. After the Tokyo Metropolitan Government Bureau of Urban Development.

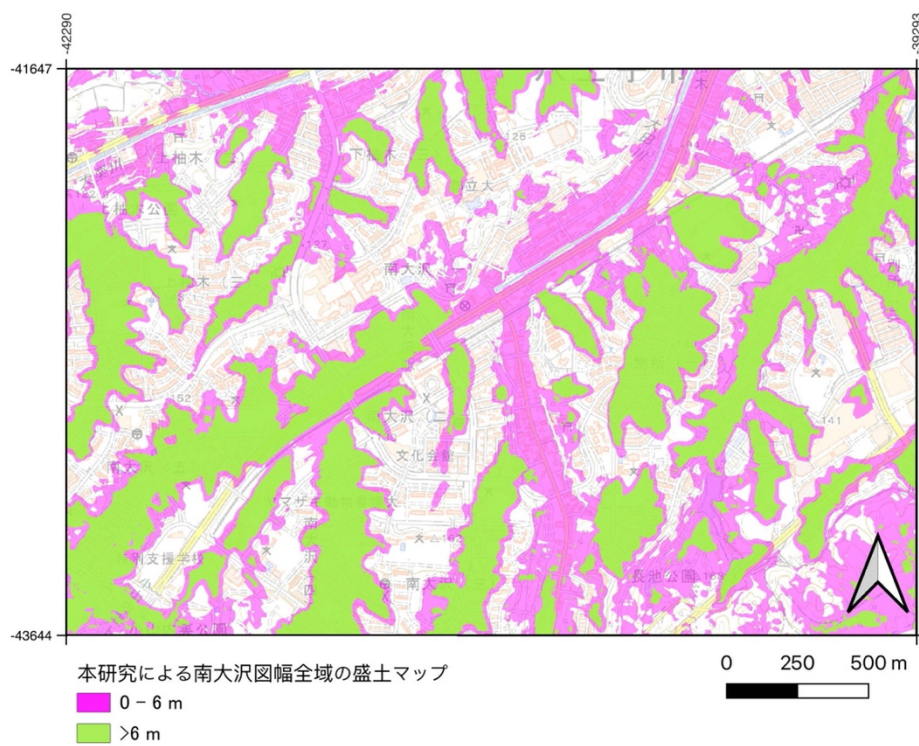


Fig. 24 Fill operation map by this study.

5.3 等高線作成に要した時間・コストパフォーマンス

3,000分の1地形図「南大沢」図幅全体の等高線トレース作業は大学内で1名が従事し計195時間を要した (Table 1) . 同様な作業 (画像から等高線CAD化および25 mメッシュのDEMデータ作成) を3,000分の1地形図「唐木田」図幅に対して2020年に外注委託し, 6週間で完成品が納品された. 前者の場合, 作業従事者に時給1,270円を支払い247,650円の支出となった. 一方後者での委託には計363,000円の経費が必要であった. 大学内で実施すれば約70 %の金額で完了することができる. しかしながら作業自体は忍耐のいる内容で, 単純作業ながらGISソフトに慣れる必要がある. また外注より長い作業時間が必要と考えられる. 1図面200時間として, 一日5時間週4日のペースでは10週間かかる. 外注の場合に比べて2倍近くなる. 時間優先と考えるか経費削減を優先とするかで判断が分かれるところであるが自前で実施する場合, 適切な作業者の確保が必要となる.

Table 1 time and costs

	3,000分の1地形図1図面分 等高線トレース		3,000分の1地形図1/4図面分：空中写真からの標高データ取得
	時間	必要経費	必要経費
学内	195 時間 (2023年10月 ～2024年8月の4ヶ月)	247,650円	(手動による等高線トレースでは約 62,000円相当)
外注委託	6週間	363,000円	462,000円

こうしたことから今回達成できなかったが地形図等高線の読み取りを自動化することが今後の課題として挙げることができる. 地理参照情報をもつGeoTIFF画像から地図上の線・ポリゴンをshape fileとして取りこみ, それらを等高線とそれ以外の道路・建造物, 水田や畑地などの地図記号を自動的に識別する必要がある. 地理参照情報の追加はこの作業のあとに実施することも考えられる. しかし研究期間中では解決できず, 人によるトレースの方が確実であると判断し作業を進めた. 最近の技術的進歩から機械学習による等高線のための抽出も可能と考えられる. 日本国内の平野部では開発や都市計画を目的として, 地方自治体が作成した3,000分の1程度の地形図は数多くあり, 盛土・切土マップ作成の目的をはじめとしてそのデジタル化の需要が見込まれ, 開発は必要と考えられる.

空中写真からの標高データ取得も委託により実施し462,000円の経費がかかった. その対象は「南大沢キャンパス地域」であり, 3,000分の1地形図「南大沢」図幅全体の25%である. 大学内での「南大沢」図幅全体の等高線トレース経費は247,650円であり, 25%分にあたる「南大沢キャンパス地域」のトレース作業は約62,000円相当となる. 手法の違いがあるが約13%と委託よりも大幅に安価であった. 前節で述べたように米軍空中写真よりも3,000分の1地形図によるデータの精度が高く, 経費・質・精度の面で大学内での地形図等高線トレース作業の方が有利であった判断される.

6. 盛土・切土の表現法と視認性に関する調査

本章では盛土・切土のより良い表現方法について検討する。これまで述べたように盛土・切土状況は地図で表現し、厚さを示す場合と単に盛土範囲を示す表現方法がとられてきた。一方で盛土は地表面下に存在するものであり、その可視化を実現し該当地域の住民をはじめ、学生・生徒、就業者に盛土の実態を理解してもらうことは重要なことである。盛土が地表面の下に存在することから地下断面で表現することは理にかなっている。しかし単に地下断面を示すだけでは理解が難しいと考えられる。一般人は通常地下について意識せずに生活しており、地下深さ〇 mといわれても実感をもちにくいと考えられる。そこで地下断面の提示において地表に存在する建造物を目安にすることが考えられる。

本研究で使用している多摩地域点群データにはDEMデータだけでなく、数値表層モデルDigital Surface Model (DSM) も含まれている。そこで今回これを用いて建物を含めた断面図を作成し、盛土を含めた地下の状態を理解しやすく表現することを試みた。

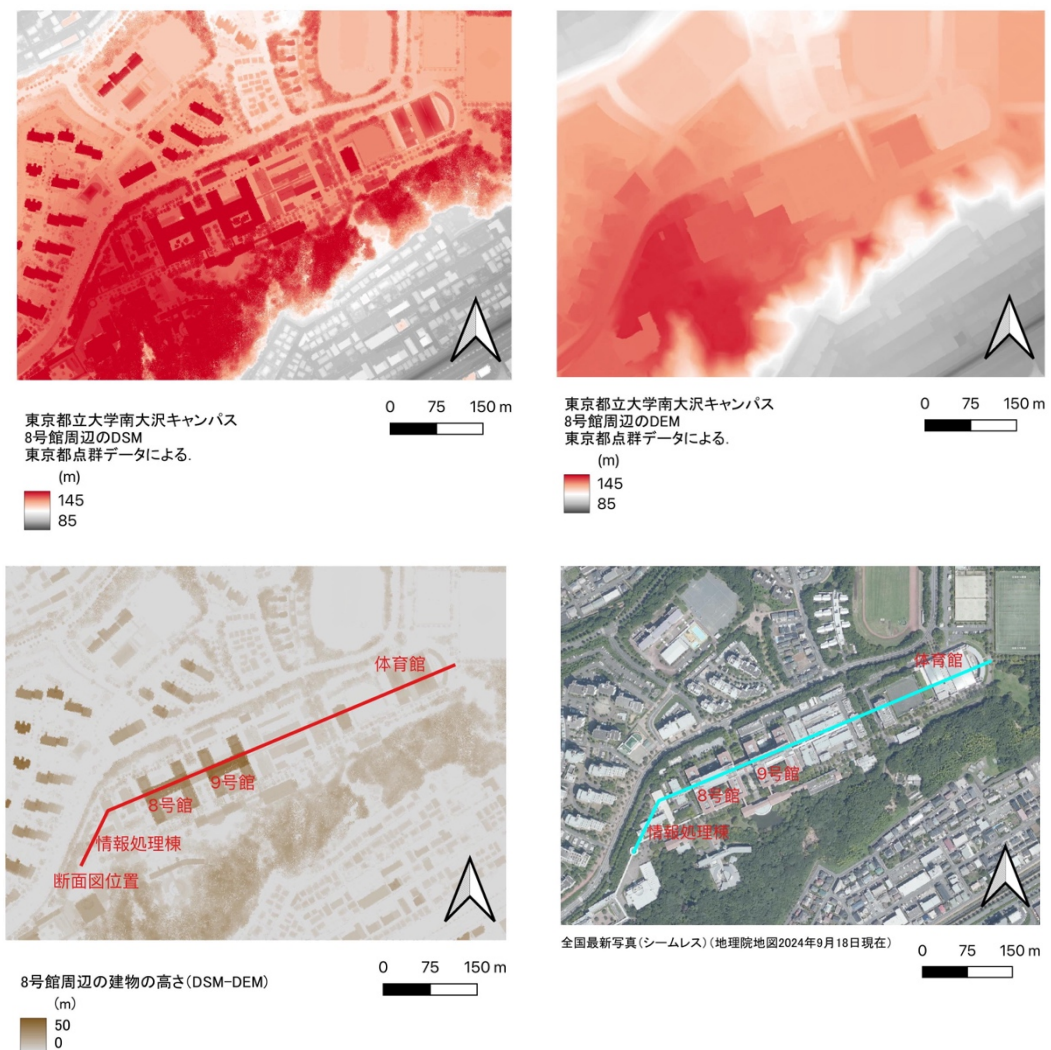


Fig. 25 One meter mesh DSM (upper left), DEM (upper right), heights of buildings and air photo around the No.8 Building of the Minamiosawa Campus of TMU.

Fig. 25の左上の図はDSMデータで描かれた都立大南大沢キャンパス内の8号館周辺の様子である。周囲の地表面に比べて表面が高い建物や樹冠はより赤味が強い色で示されている。右上の図はDEMデータにより地表面高度が示されている。両者の差分が建物の高さであり左下の図に示されている。左下の図には大学建物の名称と断面図を作成した測線の位置が示されている。

断面図 (Fig. 26) は、地形図から求めた改変前の地形のラスタ図 (Fig. 12) , 現在の地形のラスタ図 (Fig. 25右上) , DSMから求めた建物ラスタ図 (Fig. 25左上) を用いて、Q-GISのビュー>標高断面図機能で作成した。この図では造成前の地面は橙色で示され造成後の現在の地面は紫色、そして建物の外面は赤色の線で示されている。また盛土部分は目立つようにピンク色で着色している。この図により、都立大南大沢キャンパスでは切土された部分がほとんどであり、その切土量が現在ある数階建ての建物と同じ程度であったり、高い建物 (8・9号館) の半分程度であったりすることが一目瞭然である。また8号館 (階建) の東側では建物の高さの半分程度の盛土が伏在することが分かる。このような図は個人が関わる土地 (住居・勤務地) の盛土に関するリスクを把握する上で理解しやすい表現方法と考えられる。

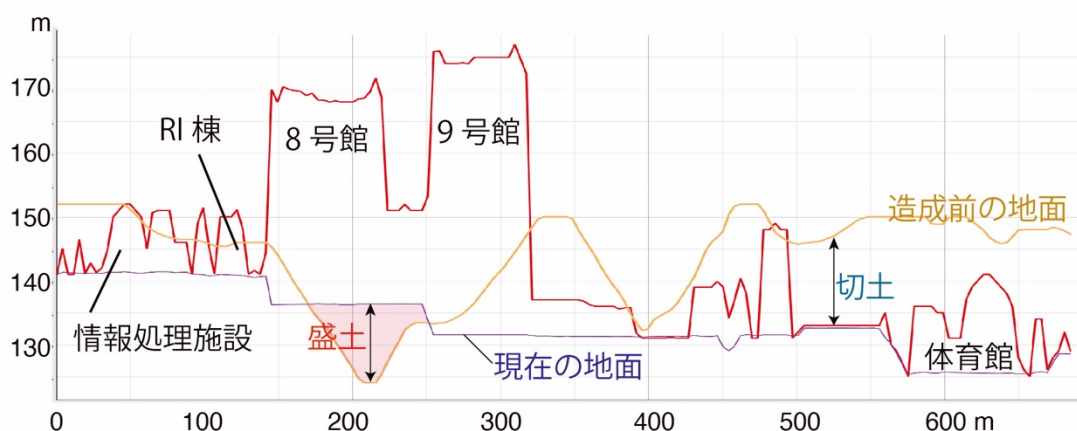


Fig. 26 Section of the area around the No.8 Building of the Minamiosawa Campus of TMU. Orange, purple and red lines show restored landform, present ground surface (DEM), and surface of buildings (DSM).

本研究の目的の一つは、盛土について一般での理解度を確かめることである。その上で斜面災害上のリスクを理解した上で図学的にどのような手段での盛土の実態周知が好ましいかを検討することである。これを実現するため、以下に示すアンケート調査を実施している (Fig. 27) 。対象地域に関わる人々に盛土に関する知識を問いかけた上で盛土・切土マップ図・断面図を示し読み取りの容易度や図から受けた心象についてインタビューし、より良いマップの活用方法を検討するのである。現段階で幾つかのアンケート回答を得ているがまだ件数は限られている。継続してどのような手段による周知が効果的か検討をする予定である。

7. おわりに

本研究は多摩ニュータウン都立大南大沢キャンパス周辺において人工改変後の盛土・切土マップを試作した。作成方法については既に手引書が公開されている。一方で最近になり標高データの整備も進みデータを扱うアプリケーションも充実してきた。本報告では2024年時点においてどのような方法でマップ作成ができるかを紹介し、また複数の方法による地形復元を試み、これまで具体的に示されていなかった問題点を指摘するとともに、精度・コストパフォーマンスの点から長所・短所を検討した。また得られたデータから盛土・切土の表現方法や一般人にとっての心象や読み取りの容易度についてデータを集め検討しつつある。盛土・切土量マップは広い意味でのハザードマップであり、盛土地における斜面災害の軽減に寄与する。本研究の成果が今後の盛土・切土マップ作成に役立つことを望む。

謝 辞

研究を進める上で株式会社エアロ・フォト・センター事業推進部の中崎博之氏、茨城大学の小荒井衛氏、国土地理院の中埜貴元氏、東京都土木技術・人材育成センターの小川好氏、東京都立大学中山大地氏より技術的な情報を頂いた。また東京都立大学地形・地質学研究室非常勤職員の小松亜希さん、学部学生段上清香さんに御支援頂いた。以上の方々に感謝する。

参考文献

- 千歳壽一, 2008, 都市計画基本図としての東京都三千分一地形図の作成-経済大国の首都東京形成の基礎地図はいかに作られたか. 地図, 46, 29-39.
- 小荒井衛・長谷川裕之, 2008a, 宅地防災対策への時系列地理情報の利活用. 地学教育と科学運動, 58/59, 51-58.
- 小荒井衛・長谷川裕之, 2008b, 高精度な人工改変データの作成と精度評価手. (社)日本地すべり学会関西支部シンポジウム「地震時の盛土地盤の地すべり」予稿集, 17-30.
- 国土交通省国土地理院, 2010, 人工改変地形データ抽出のための手順書(詳細版).
- 東北大学理学部地質学古生物学教室, 1979, 1978年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について. 東北大地質古生物学邦文報告, 80, 1-81.
- 中埜貴元・小荒井衛・星野 実・釜井俊孝・太田英将, 2012, 宅地盛土における地震時滑動崩落に対する安全性評価支援システムの構築. 日本地すべり学会誌, 49(4), 12-21 201.
- 岡 重文, 1991, 関東地方南西部における中・上部更新統の地質, 地質調査所月報, 553-653.
- 岡 重文・宇野沢昭, 1989, 多摩丘陵北西部の関東ローム地質図. 関東の四紀, 15, 5-43.
- 鈴木毅彦・千木良雅弘・松四雄騎・中山大地, 2021, ローム層分布域の人工改変地における地震時流動性地すべり-GISを用いた多摩丘陵を事例としたポテンシャル評価- 京都大学防災研究所年報, 64B, 115-130.
- 高野繁昭, 1994, 多摩丘陵の下部更新統上総層群の層序. 地質学雑誌, 100, 675-691.
- 田村俊和・阿部 隆・宮城豊彦, 1978, 丘陵地の宅地造成と地震被害. 総合都市研究, 5, 115-131.

田村俊和・山本 博・吉岡慎一, 1983, 大規模土地改変の実態. 地理学評論, 56, 4, 223-242.

植木岳雪・原 英俊・尾崎正紀, 2013, 八王子地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター, 137p.

宇野沢昭・岡 重文・黒田和男, 1972・1989, 多摩丘陵北西部関東ローム地質図 (1:10,000), 川崎市五反田川流域関東ローム地質図 (1: 5,000), 生田試験地関東ローム地質図 (1:500) 及び補説, 特殊地質図 16, 地質調査所, 12.

東京都, 2018, 多摩ニュータウン地域再生ガイドライン, 東京都,
<https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/bosai/tama/saisei/guidelines.html>

東京都建設局土木技術研究所, 2006, 大規模宅地造成地の地盤改変図.

東京都多摩都市整備本部, 1998, 多摩ニュータウン30年の歩み. 東京都多摩都市整備本部管理部総務課広報担当, 62.

東京都都市整備局, 2015, 大規模盛土造成地マップ(八王子市南東部). 引用を確かめる必要あり
<https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/bosai/takuzou/pdf/map22.pdf>

研究報告書・会計報告書およびA4用紙を縦に使い（40字×40行程度で作成）15枚～30枚以内（図・表はこの枚数に含まない）にまとめた研究成果報告書を提出していただきます。

盛土・切土量マップ作成・表現法の改良・開発に関する研究

Study on improvement and development of elevation changes map by cutting and fill operation in the Minami-osawa area, the Tama New Town, west Tokyo

鈴木毅彦(1)

Takehiko SUZUKI (1)

(1) 東京都立大学都市環境学部地理学教室

(1) Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, Japan