

空中写真に基づく DSM を利用した都市空間の 3 次元変化の分析の試み

桐村 喬*

A Case Study of Analysis on Three-dimensional Changes of Urban Space Using DSM Based on Aerial Photos

Takashi Kirimura*

This study aims to analyze the 3D time-series change of urban space using the DSM created from aerial photos and to show the challenges and prospects about the use of the DSM. The spread of SfM software has made the construction of DSM and 3D models easy and inexpensive. As a result of the analysis, firstly, while the analysis of differences in the DSM can show the history of urban development in a straightforward manner, the problem of errors due to building displacement was pointed out. Second, the DSM and 3D models can be easily visualized on a web interface and were expected to be used as content for local area learning. Thirdly, it was pointed out that although aggregation by district allows analysis in combination with other statistical data, further study is needed to determine what values should be used as representative values.

Keywords: SfM (Structure from Motion), 米軍 (U. S. Air Force), 国土地理院 (Geospatial Information Authority of Japan), 吹田市 (Suita), 東京 (Tokyo)

1. はじめに

地形図の作成などに用いられる写真測量は、空間データの作成を行うという点で、地理情報科学の根幹を支える技術である。近年、ドローンやそれによる 3 次元計測技術の発展と普及にともない、写真測量やその一種である Structure from Motion (SfM) と呼ばれる処理が、相対的に安価かつ手軽に行えるようになってきた。本研究では、このような SfM ソフトウェアを利用して、国土地理院や米軍によって撮影された空中写真から DSM を生成し、それによって、都市空間の 3 次元的な時系列変化の分析を試みる。

多くの機能が集中する都市では、都心部を中心に土地に対する高い需要があり、効率的な土地利用の形態として、高層建築物が建設、利用される。日本では、高度成長期以降、大都市、特に東京への顕著な人口の流入にともない、急速に高層建築物が増加してきた。このような“都市空間の立体化”（戸所 1986）は、高度成長期以後の都心部の空洞化と、バブル経済崩壊以降の都心部での諸機能の回帰現象を経ても継続している。都市空間がいかんして立体化

してきたかは、綿密なフィールドワークや、消防などにおける行政資料をもとに調査されてきた（戸所 1986 など）。

2000 年代以降の GIS や 3 次元計測技術の発達により、航空レーザー測量による 3 次元都市モデルデータの利用が可能になってきた。「バーチャル京都」（矢野ほか、2007; Yano et al., 2008）はその代表例の 1 つであり、平安、江戸、昭和初期、現代という長いスパンでの 4 次元的な時空間変化の可視化に用いられている。2021 年に公開された国土交通省による PLATEAU は、3 次元都市モデルのオープンデータであり、都市の 3 次元的な特性に対する空間分析の適用を容易にするデータである。

現代や今後の都市については、PLATEAU をはじめ、最新の技術やシステムを通じて 3 次元都市モデルが作成され、公開・提供されるようになると考えられる。しかし、過去の 3 次元都市モデルや 3 次元的な地理情報の整備や構築は、バーチャル京都のような個別の研究プロジェクトで進められているのみであり、その方法は、主として個別のモデリング（牧野・山本、2018）やパラメータに応じた擬似的なモ

* 正会員 皇學館大学文学部コミュニケーション学科 (Kogakkan University)
〒516-8555 三重県伊勢市神田久志本町 1704 E-mail : t-kirimura@kogakkan-u.ac.jp

デルの生成が中心である。

そこで、本研究では、SfM ソフトウェアを用いて、国土地理院が公開している、空中写真の高解像度データ (400dpi) をもとに、過去の 3 次元都市モデルおよび DSM を構築し、それを用いて、都市空間の立体的な変化の過程を定量的に分析することを試み、その課題を整理する。国土地理院が公開している高解像度の空中写真データには、戦前・戦中に陸軍が撮影したものや、戦中および占領期に米軍が撮影したものも含まれ、日本の多くの地域で終戦直後から現代までの推移を 3 次元化できる。国土地理院の空中写真から SfM ソフトウェアによって DSM を構築する、一連のワークフローを示すことで、多くの地域、年次における 3D モデルの構築が可能になり、より多くの 3 次元的な景観変化の分析が展開されることが期待できる。また、3 次元的なモデルは、地域学習や観光案内におけるコンテンツとしても活用でき、さまざまな展開が期待できる。

本研究で用いる SfM ソフトウェアは、Agisoft 社の Metashape Professional (以下、Metashape) であり、まず、Metashape を利用した空中写真データからの DSM の作成手順を示す。そのうえで、DSM の差分の計算による都市開発の状況の分析、3D モデルによる都市開発の視覚的な表現の表示、小地域単位で集計した 3 次元情報と人口データとをリンクさせた分析を行う。これらの試みから、DSM による都市空間の 3 次元的な時系列変化の分析における課題について整理し、今後の研究利用等の展開可能性について展望する。

2. 空中写真データからの DSM の作成

ここでは、国土地理院の地図・空中写真閲覧サービスからダウンロードできる、400dpi の高解像度空中写真データを利用した、Metashape による DSM の作成手順を示す。

2.1. 空中写真データのダウンロードと準備

まず、地図・空中写真閲覧サービスから、地域、年代を絞り込み、空中写真を探す。撮影縮尺は、用途にもよるが大縮尺であるほうがよく、特に建物の高さなど、都市地域の分析においては、1 万分の 1 よ

りも大縮尺であるもののほうが適している。撮影日やコースについては、可能な限り連続したものが望ましいが、時期によっては多少異なる年次であっても、問題が少ない場合もある。地図・空中写真閲覧サービスのサイト上では、撮影高度や焦点距離などの情報もあり、使用する空中写真をダウンロードする際には、それらの情報も合わせて記録しておく必要がある。空中写真によっては、地図・空中写真閲覧サービスのサイト上から、焦点距離などが確認できない場合があり、空中写真自体に記載がある場合には、そちらの値を用いるようにする。ダウンロードが終われば、使用する空中写真と関連情報のリストを作成したうえで、空中写真のトリミングを行い、GIS ソフト上で空中写真の中心点データを作成する。ここでは、ArcGIS Pro を用いて、空中写真の中心点の JGD2011 の平面直角座標系での座標を求め、空中写真のリストに反映する。

2.2. 空中写真のアラインメント

Metashape を起動し、トリミングした空中写真データを読み込む。そして、チャンクの座標設定を開き、空中写真の中心点データの作成で利用した平面直角座標系を設定する。次に、カメラキャリブレーションのダイアログボックスを開き、空中写真ごとの焦点距離とピクセルサイズを入力する。ここで設定するピクセルサイズは、1 ピクセルの長さであり、高解像度の空中写真データは 400dpi であることから、すべて 0.0635mm となる。そのうえで、座標データのビューを開き、カメラの情報として、空中写真のリストを読み込む。

続いて、ワークフローメニューから、「写真のアラインメント」を実行すると、設定した座標データに基づいて、空中写真の対応関係がマッチングされ、回転角度などが適宜調整されて写真が配置される。このとき、空中写真が不鮮明であったり、傷が多かったりすると、アラインメントが失敗することがある。その場合は、アラインメントの精度を変えながら試すなど、一定の試行錯誤が必要になる。

2.3. GCP の情報取得と設定

空中写真の中心点データだけでは、正しい位置に DSM を生成することはできず、空中写真上の位置と

実際の地点の位置情報をもった GCP (グラウンドコントロールポイント) を設定する必要がある。GCP には標高も必要であり、空中写真の時点と標高データの時点、すなわち概ね現代における標高が変化していない場所であることが GCP の設定に必要な条件となる。したがって、空中写真を確認しながら、現在も変化していない場所を特定して GCP を選定していく必要がある。このとき、GIS 上で、地理院タイルの過去の空中写真データをレイヤーとして表示しながら GCP を選定することもできるが、まれにずれている地点もあることから、空中写真データも確認しながら GCP を選定する必要がある。なお、ここでは、標高データとして、全国的に利用できる基盤地図情報の標高データを用い、DEM を生成しておいて、各 GCP の標高を取得する。

GCP の GIS データの作成が終われば、必要な情報を入れたテキストファイルを作成して、Metashape 上で、座標データのビューを開き、マーカーとして読み込み、チャンクに追加する。そのうえで、ツールメニューから、「カメラを最適化」を実行し、空中写真の位置関係を調整する。

2.4. 点群の生成と DSM・モデルの作成

Metashape で DEM を生成するためには、高密度の点群 (ポイントクラウド) を生成する必要がある。ワークフローメニューの「高密度クラウド構築」を実行すれば、点群が生成される。点群は、すべての地域で必ずしも適切に生成されるとは限らない。例えば、水域では、正しくない高度に点群が生成されることが多く、ビニールハウスや工場などの縞模様状の屋根でも同様に高度が正しくないことが多い。これらの点群については、可能な限り削除する。

点群の整理が終われば、ワークフローメニューから「DEM 構築」をクリックする。メニュー上は、「DEM」となっているが、空中写真から生成されるものは、DSM となる。DSM が生成されれば、データを表示して標高値を確認し、極端に高い/低い値があれば、点群を再度整理する。生成された DSM は、GeoTIFF 形式などのラスターデータとしてエクスポートできる。DSM を生成すれば、ワークフローメニューから、「メッシュ構築」を行うことで 3D モデル

表 1 吹田市の事例で用いる空中写真

年	撮影時期	撮影高度 (m)	撮影縮尺	カラー/モノクロ	写真枚数
1961年	1961年5月22日 ～6月6日	1800	1万分の1	モノクロ	74
1975年	1975年1月7日 ～3月14日	2440	8千分の1	カラー	112
1985年	1985年5月23日 ～7月26日	1830	1万分の1	カラー	57
2007年	2007年7月24日 ～9月11日	2100	1万分の1	カラー	182

を生成でき、「テクスチャー構築」を実行すれば、3D モデルのためのテクスチャーも生成できる。そのうえで、3D モデルをエクスポートすれば、3D モデルとして、GIS などで表示できる。また、ワークフローメニューの「タイルモデル構築」を行い、タイル化されたモデルを生成すれば、ESRI 社の 3D モデルの形式であるシーンレイヤーパッケージ (拡張子 slpk) のファイルを出力することもできる。

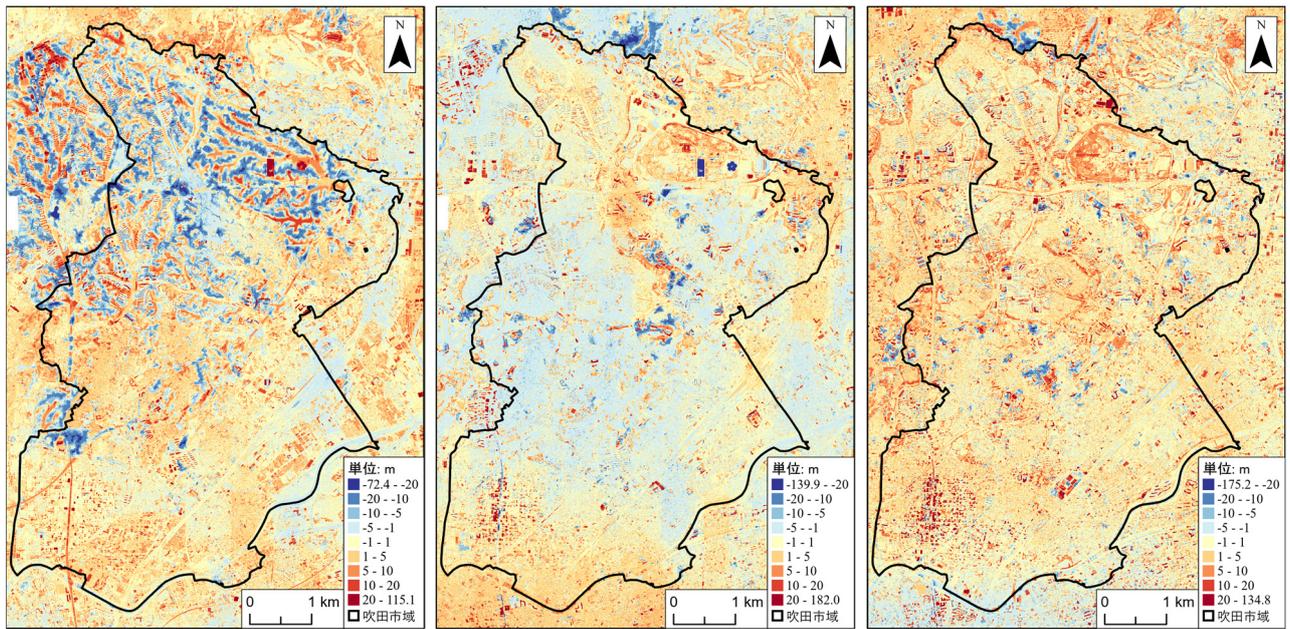
3. 事例分析

2で示した手順により、国土地理院または米軍によって撮影された高解像度の空中写真データ (400dpi) を利用して、3つの事例分析を行う。吹田市での事例では、DSM の差分を求めることによって、定量的に開発状況の推移を検討する。伊勢市・山口市での事例では、3D モデルを作成することで、スタンドアロンまたはウェブ上で、視覚的に山地や低地の開発状況を観察する。最後の東京西部での事例では、DSM やその差分を町丁単位で集計して統計量を求め、代表値によって変化を分析する。

3.1. 吹田市における DSM の差分の分析

吹田市は、大阪市の北側に隣接し、JR 東海道本線や名神高速道路が通り、北部には千里ニュータウンがあり、南部は戦前からの既成市街地や、戦後の住宅地、オフィス街などで構成されている。

吹田市の DSM 作成に用いた空中写真は、1961年、1975年、1985年、2007年に、いずれも国土地理院によって撮影されたものである (表 1)。1990年代や 2010年代の空中写真は、吹田市全域を撮影したものではなく、ここでは対象外とした。各時点間で求めた差分は図 1 のとおりである。



(a) 1975年－1961年

(b) 1985年－1975年

(c) 2007年－1985年

図1 吹田市域における各分析時点間のDSMの差分

まず、1961年と1975年の間に注目する。この間の吹田市では、千里ニュータウンの開発が本格的に進み、1970年には日本万国博覧会（大阪万博）が開催された。マイナスが大きいのは、千里ニュータウンの開発区域および大阪万博の会場となった千里丘陵の一角のうち、尾根部分である。一方で、千里丘陵の入り組んだ谷部分は、盛り土などによって平坦化されており、差分がプラスになっている。なお、大阪万博の会場に残っていた、お祭り広場の大屋根や日本館もプラスの値で示されている。また、吹田市域を北東から南西にかけて縦断する名神高速道路は、盛り土または高架橋と、千里丘陵を削ることによって建設されていることが読み取れる。細かく観察すれば、千里ニュータウン内の高層住宅もプラスの値で示されている。吹田市域の中部・南部では若干のプラスが卓越しており、住宅開発が進んだことが読み取れ、南西部では、高架道路・鉄道が南北に通っていることがわかる。ただし、一部の地域では、差分の値が高い／低い、直線的な範囲を見出すことができる。GCPによるカメラ位置の調整が十分ではない可能性があり、改善の余地がある。

次に、1975年と1985年の間をみると、北部では、万博記念公園の整備や、千里ニュータウン内の樹木

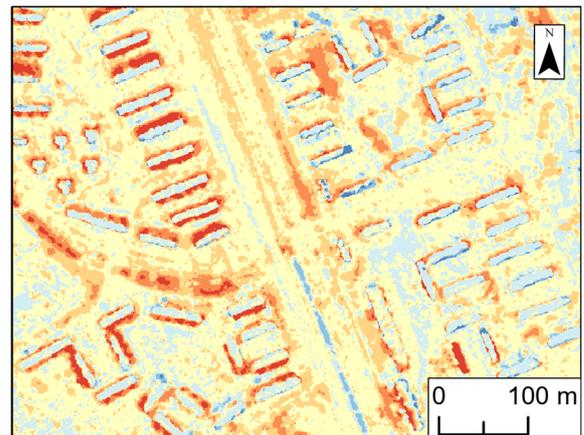


図2 1985年－1975年の差分のうち
千里ニュータウン付近

※凡例は図1(b)と同一。

の成長によるプラスの差が確認でき、南部でも市街化の進行と、高層建築物の増加が確認できる。ただし、細かく見れば、建物の位置が若干ずれていることによって、差分が必ずしも正しくは計算されていない箇所もみられる（図2）。また、空中写真単位での差分のずれも確認でき、カメラ位置のさらなる調整が必要かもしれない。1985年と2007年との間の差分をみれば、空中写真でのずれは1975年と1985年との差分と比べれば少ない。この間には、南西部を中心に、高層の分譲・賃貸共同住宅の供給が進ん

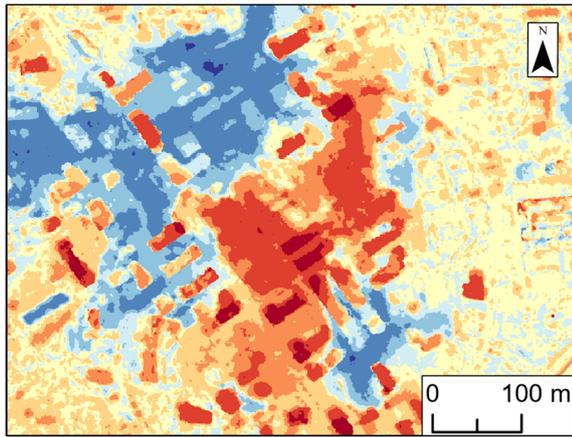


図3 2007年－1985年の差分のうち
佐井寺南が丘付近
※凡例は図1(c)と同一。

表2 伊勢市の事例で用いる空中写真

年	撮影時期	撮影高度 (m)	撮影縮尺	カラー/ モノクロ	写真枚数
1961/ 1963年	1961年8月21日 ～1963年6月1日	2100 /1900	1万分の1	モノクロ	48
1983年	1983年10月30 日～11月21日	1720	1万分の1	カラー	56
2002年	2002年4月22日	4700	3万分の1	モノクロ	13
2020年	2007年9月21日 ～9月28日	2356	1万分の1	カラー	61

※2020年の撮影高度は平均値。

であり、高層建築物の増加がプラスの値で示されている。森林または山が切り開かれ、土地が造成・平坦化されたうえで、建物が建っている状況も確認できる(図3)。

3.2. 伊勢市・山口市における3Dモデルによる表現

DSMを生成して、3Dモデルを生成することで、3次元的な景観変化を観察することができる。シーンレイヤーパッケージの形式でMetashapeからエクスポートした3Dのタイルモデルは、そのままArcGIS Onlineにアップロードして、シーンレイヤーとして公開できる。また、3Dモデルは、Wavefront OBJなどの代表的ないくつかの3Dモデルのファイル形式で出力することができる。

そこで、まず、伊勢市について、シーンレイヤーパッケージの形式でモデルをエクスポートして、ArcGIS Online上で3次元的な景観の変化を可視化する。三重県中部にある伊勢市は、多くの参拝客を

集める内宮・外宮がある観光都市であると同時に、伊勢志摩地域の中心都市でもあり、多くの地方都市と同様に、戦後の長期間で見れば、都市の拡大は一定程度進んでいる。伊勢市については、市域が広く、中心市街地を中心とする地域における、1961/1963年、1983年、2002年、2020年の空中写真を用いる(表2)。他にも、1970年代や米軍撮影の空中写真も利用でき、吹田市と比べれば利用可能な空中写真が多いものの、おおよそ20年スパンで空中写真を選定した。なお、1961/1963年については、2年の間隔があるが、おおむね対象地域の北部が1961年、南部が1963年であり、境界線付近はいずれの年次でもおおむね田園地帯になっており、年次の違いによる影響は小さい。また、2002年については、撮影縮尺が他と比べて小さく、写真の解像度もやや劣っている。

これらの空中写真からDSMおよびタイルモデルを生成し、シーンレイヤーを切り替えながら表示するアプリケーションである「ISE HISTORICAL 3D VIEW」を作成した²⁾。例えば現在の伊勢市駅前(南側)の景観を比較すると、1961/1963年では高層建築物がほとんどない状況であったものが、1983年にはジャスコの店舗が存在しており、駅前の景観は大きく変化している(図4)。2002年はやや不鮮明であるものの、駅前の景観はおおむね変わらない。2020年は、デジタル形式のカメラで撮影された空中写真であり、非常に鮮明なモデルが作成されているが、駅前のジャスコはなくなり、駅正面の景観はさらに変化している。図の奥方向には外宮があり、鉄道で伊勢参りに来た観光客の多くが最初に見る景色は、時代によって大きく異なっていたことがわかる。このアプリケーションでは、2時点のシーンレイヤーを同時に表示することができる。例えば、1961/1963年と2020年を同時に表示すると、モノクロで1961/1963年の建物や山、樹木が表示されていれば、その場所の標高や建物の高さなどは、2020年にはそれよりも同程度か低くなっていることになる。したがって、この約60年間に新たに建てられた建物はカラーで、モノクロの街並みから飛び出すように表示されており、反対に、この間に切り開かれた山や森



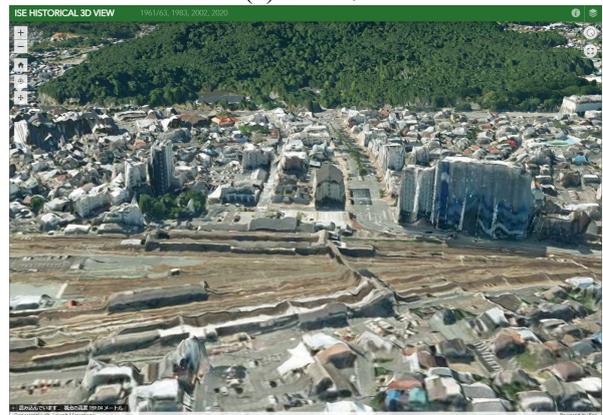
(a) 1961/1963 年



(b) 1983 年



(c) 2002 年



(d) 2020 年

図 4 伊勢市駅前（南側）の景観の変化

※「ISE HISTORICAL 3D VIEW」より。



図 5 伊勢市楠部町付近の 1961/1963 年と 2020 年の 3D モデルの表示

※「ISE HISTORICAL 3D VIEW」より。

林はモノクロで表示されることになる（図 5）。

一方、このような変化は、モデルを透過させて示すほうが、よりわかりやすい。ただし、Metashape でエクスポートしたシーンレイヤーパッケージで作成されるシーンレイヤーは、統合メッシュレイヤーと

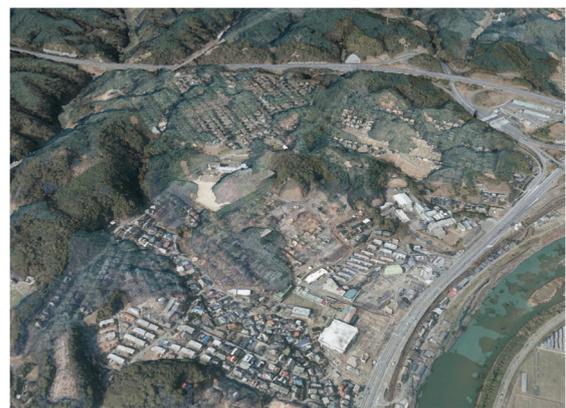


図 6 山口市小郡光が丘付近の 1975 年と 2013 年の 3D モデルの表示

※1975 年の 3D モデルを 40%の透過表示にしている。

呼ばれるものであり、2021 年 8 月時点では、透過での表示には対応していない。そこで、透過で表示するために、3D モデルとして出力したうえで、スタンドアロンの GIS 上で表示する。図 6 は、ArcGIS Pro 上で、1975 年と 2013 年に撮影された国土地理院撮

表3 東京西部の事例で用いる空中写真

年	撮影時期	撮影高度 (m)	撮影縮尺	カラー/ モノクロ	写真枚数
1947/ 1948年	1947年7月24日 ～1948年3月29 日	1524	9930分の1	モノクロ	95
1963年	1963年6月26日	1700	1万分の1	モノクロ	36
1975年	1975年1月19日 ～1月20日	1200	8千分の1	カラー	93
1984年	1984年10月31日	2140	1万分の1	カラー	72
1992年	1992年10月10 日～10月22日	1580	1万分の1	カラー	77
2001年	2001年12月31日	4590	3万分の1	カラー	19
2009年	2009年4月27日	1800	1万分の1	カラー	176

※1947/1948年の撮影高度は平均値。



図7 東京西部の事例の対象町丁

※背景は国土地理院撮影の空中写真から生成したオルソ画像
(2009年)である。

表4 類型別の範囲の平均値の推移

	1947/ 1948年	1963年	1975年	1984年	1992年	2001年	2009年
類型1	11.6	10.6	14.5	15.9	18.0	17.7	22.0
類型2	10.1	8.9	10.9	12.0	12.9	12.2	14.5
類型3	15.0	14.5	19.8	22.2	25.0	25.5	30.1
類型4	15.0	16.8	25.9	31.9	35.7	38.7	49.3
類型5	13.6	23.0	31.2	89.7	118.7	169.2	188.6

※単位はm.

影の空中写真を利用して、山口市の中国自動車道小郡IC付近の住宅地を示したものである。1975年を40%透過で表示し、2013年も表示することで、山が

切り開かれ、宅地化したことがよくわかる。

3.3. 東京西部におけるDSMの町丁単位での分析

DSMの生成過程のうち、点群の生成においては、一定のノイズのような高さが正しくない点が生じてしまう。これらの点群については、個別に削除することができ、一連の手順を繰り返すことで、精度の高いDSMを生成できるが、それでも限界がある。また、これまでの事例分析のように、空中写真単位でのずれも生じることもある。加えて、建物単位でDSMを使って変化を分析するには、DSM上で観察できる建物の位置のずれも考慮する必要がある。

そこで、これらの問題をある程度解決、あるいは改善するために、小地域単位でDSMを集計し、統計量を求めたうえで、その変化に関する分析を行う。対象地域は、超高層を含めた高層建築物があり、かつ、高層建築物が増加してきた東京の西部である。使用する空中写真は表3のとおりであり、米軍撮影の空中写真も利用する。撮影縮尺についても、可能な限り1万分の1あるいはそれよりも大縮尺のものを用いるが、それらの空中写真が乏しい2000年前後については3万分の1のものも利用する。また、町丁のポリゴンとしては、2015年の国勢調査における町丁・字等別の境界データを用いる(図7)。

DSMから町丁単位の統計量を算出するにあたっては、点群が正しく生成されていないことによる外れ値の影響を考慮する必要がある。そこで、最大値と最小値付近のデータを除外したうえで、その範囲を求める。平均値や中央値ではなく、範囲としたのは、空中写真単位のずれの影響を考慮したためであり、絶対的な高さの値をそのまま用いるよりも、相対的な値を用いるほうがよいと考えたためである。ここでは、除外するデータを、各町丁の範囲内で上位2.5%、下位2.5%とし、中間の95%のセルで範囲を求める。

まず、時系列変化のおおまかな動向を確認するために、各年の範囲の値をもとに、239町丁をWard法によって5類型に分類した。各類型の範囲の平均値は表4のとおりである。このうち類型2は、低層のまま、約60年の間、大きくは変化してきていない地区であり、主に対象地域の西端に広がるが、渋谷

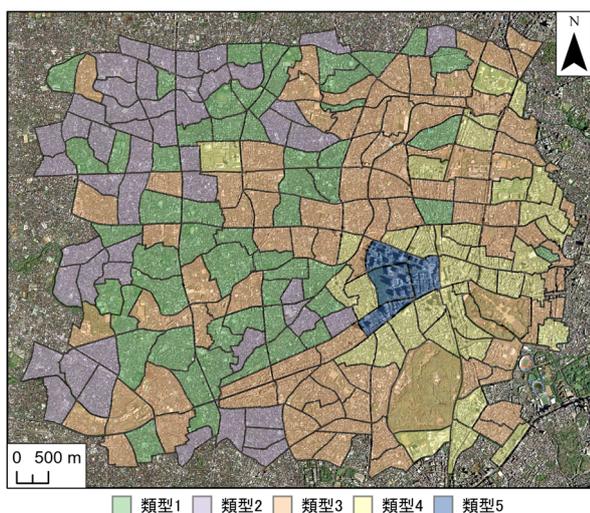


図8 類型の分布

区本町5丁目などにもみられる(図8)。類型3・4は、当初からある程度、範囲の値が大きく、2009年までに類型3は2倍程度まで、類型4は3倍程度まで範囲の値が増加してきた地区である。このうち、類型4は新宿駅の東側や山手線沿線、中野駅北西側にも広がり、類型3は鉄道沿線を中心に分布している。類型3と比べて値の上昇が緩やかである類型1は、その外側に分布している。類型5は、1975年から1984年の間に急速に値が上昇しており、超高層ビルが並ぶ、新宿駅西口の一帯に広がっている。各類型について確認する限りは、時系列的な推移のパターンの違いはそれほどないが、類型5の値の上昇期は、新宿の超高層ビル群の開発が進んだ時期とおおむね一致しており、都市空間の急速な立体化の状況が範囲の値からも確認できる。

一方で、上位および下位のデータを除外した範囲の値を用いる方法には、いくつかの問題点も考えられる。例えば、超高層ビルの場合でも、水域などと同様に点群は必ずしも正しく生成されるわけではなく、最上部の屋根部分のすべてに点群を生成できているとは限らない。そのため、セルとしても少なくなり、除外されてしまうことがある。また、傾斜地では、当然のことながら、上位と下位のデータを除外しても、平坦地よりも値の範囲は大きくなりやすい。範囲ではなく、平均値や中央値などの値を用いることで、より直感的な分析ができるかもしれない

が、例えば米軍撮影の空中写真は、写真の精度が低いものもあり、誤差の大きい点群が生成されることがあり、結果として、複雑に入り組んだ、不正確なDSMが生成されやすい。そのため、平均値などの値をそのまま代表値とする場合にもさらなる検討が必要である。建物のポリゴンなど、ベクターデータを活用すれば、より正確な分析ができると考えられるが、1960年代などのベクターデータを新たに作成する必要があり、作業量は膨大である。

町丁という空間単位を用いることで、人口統計などとリンクさせて、高さ方向の変化との関係を分析することが容易になる。しかし、米軍撮影の空中写真に限らず、一定の誤差を含みうるDSMデータの代表値として、どのような値を用いるかは今後も検討が必要である。

4. おわりに

本研究では、SfMソフトウェアであるMetashapeを用いて、国土地理院などが撮影した空中写真の高解像度データをもとに、過去の3次元都市モデルおよびDSMを構築する手順を示し、生成されたDSMなどのデータに基づいて、都市空間の立体的な変化の過程の定量的な分析を試みた。3つの事例分析からは、都市空間の立体的な変化の分析における、空中写真から生成したDSMデータの活用に向けた、以下のような課題が考えられる。

吹田市におけるDSMの差分の分析は、DSMを活用した最も単純な分析であり、差分の大小から、山地や森林の開発状況をはっきりと確認することができる。一方で、建物単位で見れば、建物の位置のずれによるプラス・マイナスの大きな差を無視することはできない。また、水域における誤差や空中写真単位の誤差の影響も大きい。ある程度、解像度を落としたラスターデータとして取り扱うか、ベクターデータを利用して、ポリゴンに高さ情報を与えて分析するなどの改善策が考えられる。

伊勢市および山口市における分析は、3Dモデルを利用した可視化である。WebGISやクラウドGISの発達により、3Dモデルをウェブ上で表示することが容易になっており、この事例からは、Metashapeを利

用して DSM および 3D モデルを生成することで、3 次元都市モデルの時系列変化を可視化するアプリケーションの構築が容易にできることが示された。空中写真データのダウンロードは無料であり、必要なのはソフトウェアの導入費用のみであるなど、相対的には安価に実現できる。スタンドアロンの GIS になるものの、3D モデルの透過による景観変化も示すことができる。このように、可視化という点では、DSM 生成における誤差は大きな問題にはなりにくく、視覚的でさまざまな用途に活用できるコンテンツを構築できる。例えば、地域における戦後の景観の歴史的变化を可視化することで、地域学習のためのコンテンツとして活用でき、学校における地理教育・歴史教育や、地域の文化講座などで活用できるだろう。また、ワークショップなどを通して、古写真や思い出のような情報を収集し、分析するようなケースでも、3 次元的な景観を見せながら考えることで、より多くの情報を思い出すきっかけにもなることが予想される。国土地理院の空中写真は、1970 年代であれば、全国の多くの地域で 1 万分の 1 程度の撮影縮尺のデータがダウンロードでき、3 次元でのそれらの可視化を通して、現在との違いを観察できることから、さまざまなニーズに応じて、各地の地域社会での活用も期待できる。

東京西部における分析事例では、町丁単位で DSM を集計し、上位および下位の値を除去した残りのデータでの範囲を代表値として、その変化や分布を検討した。町丁単位の分析からは、超高層ビルの建設が進んだ新宿駅西口の状況などが確認でき、実態に合った分析結果が得られたが、必ずしも、範囲という代表値が適切とはいえなかった。例えば、傾斜地であれば、値の範囲は大きくなりやすい。また、超高層の建築物の場合、点群が正しく生成されないことも多く、上位と下位を除去することで、本来の高さを代表値として得られないこともある。しかし、小地域単位で代表値を用いて分析することで、人口統計などと合わせた検討も可能になり、都市空間の立体化の過程を、質的な面からも考えていくことができ、メリットも大きい。DSM データには、一定の誤差が含まれており、とりわけ、米軍撮影の空中写

真からは、精度の高い DSM を生成することは難しいため、そのままの平均値や中央値を用いるのではなく、誤差を除去しつつ、実態が把握できるような代表値を検討していく必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、山口大学教育学部の楮原京子准教授よりご助言いただきました。記して感謝いたします。

注

- 1) 地図・空中写真閲覧サービス <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> (最終閲覧日: 2021 年 8 月 30 日)。
- 2) ISE HISTORICAL 3D VIEW <https://arcg.is/f4a15> (最終閲覧日: 2021 年 8 月 30 日)。

参考文献

- 戸所 隆 (1986) 『都市空間の立体化』, 古今書院。
- 牧野隆平・山本佳世子 (2018) 地理教育における利活用を考慮した時空間情報システム。「GIS—理論と応用」, 26 (2), 53-63.
- 矢野桂司・中谷友樹・磯田 弦編 (2007) 『バーチャル京都—過去・現在・未来への旅—』, ナカニシヤ出版。
- Yano, K., Nakaya, T., Isoda, Y., Takase, Y., Kawasumi, T., Matsuoka, K., Seto, T., Kawahara, D., Tsukamoto, A., Inoue, M. and Kirimura, T. (2008) Virtual Kyoto: 4D GIS Comprising Spatial and Temporal Dimensions. *Journal of Geography* (地学雑誌), 117(2), 464-478.