

Project PLATEAU建築物モデルに最適な空中写真テクスチャの取得方法 ～カメラと撮影の条件～

川又 楓太・高田 雅仁・中西 芳彦・稲澤 智昭・檀上 拓也・嶋野 雄一（国際航業株式会社）

1. はじめに

2020年度より国土交通省が主導する3D都市モデルの整備・活用・オープンデータ化の事業であるProject PLATEAUが進められている。2024年度末時点で全国約250都市の整備が完了し、2027年度末までに全国約500都市の整備が予定されている。

PLATEAUの3D都市モデルは3D都市モデル標準作業手順書¹⁾（以降、手順書と呼ぶ）や3D都市モデル標準製品仕様書²⁾（以降、仕様書と呼ぶ）、3D都市モデル整備のための測量マニュアル³⁾に準拠して整備される。手順書などでは、地方公共団体が初めに整備する3D都市モデルの地物として、建築物、交通（道路）、土地利用、災害リスク、都市計画決定情報、地形からなる基本セットを推奨している。基本セットの建築物には屋根形状を表現し、屋根、外壁、底面、建築物の外側の付属物で区別するLOD2（Level of Detail 2）が含まれている。また、仕様書では建築物モデルLOD2（以降、建築物モデルと呼ぶ）等のテクスチャのための標準製品仕様も記載されている。

PLATEAUの建築物モデルの作成およびテクスチャ付与には都市計画基本図作成時の空中写真測量成果を用いることが多く、そのラップ率はオーバーラップ（以降、OLと表す）60%、サイドラップ（以降、SLと表す）30%に設定されていることが多い。この場合、建築物の壁面が撮影されない範囲が生じる。図1にはその例として東西方向に進行して撮影した場合に、北向き壁面の画像が撮影されない範囲を紫色で示した。南向きの面も同様の範囲が生じる。その結果、

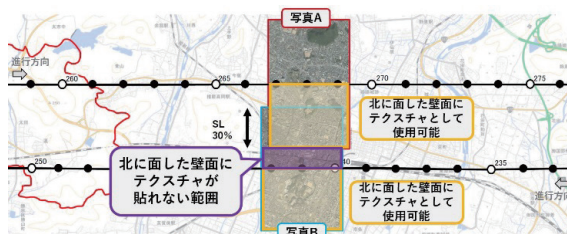
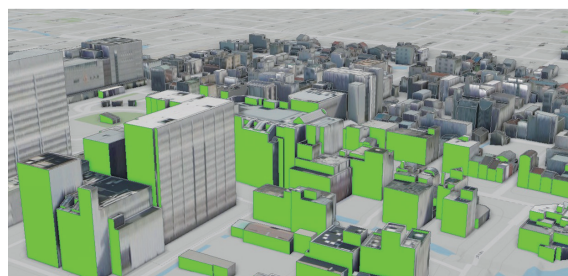


図1 壁面テクスチャを貼れない面



緑色はテクスチャが貼れない壁面を示す

図2 壁面テクスチャの貼れない建築物モデル

一定の範囲で建築物モデルの壁面にテクスチャを貼ることができない。図2にはその例を示した。

よって、既存の公共測量成果を利用した建築物モデルの作成およびテクスチャ付与では、空中写真が重畳しないため壁面テクスチャが貼れない箇所の発生や、建築物の倒れ込み量が小さく、壁面の解像度が不十分となることで壁面テクスチャが鉛直方向に伸びてしまい解像度の粗い箇所が生じる問題がある。

また、テクスチャの定量的な品質評価に関する検討は取り組まれていないことから、建築物モデルを対象として適切な解像度を担保したテクスチャを取得するための、空中写真測量におけるカメラと撮影の条件を検討した。

2. 実施内容

本検討の流れを図3に示す。

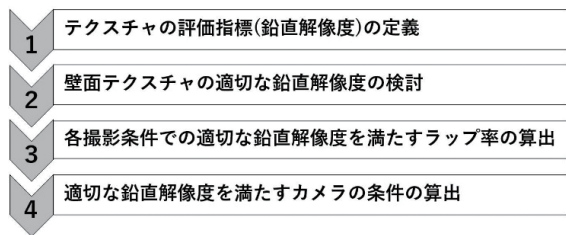


図3 検討フロー

2.1 テクスチャの評価指標(鉛直解像度)の定義

テクスチャの評価指標を定義するために空中写真の撮影条件から鉛直方向の解像度(以降、鉛直解像度と呼ぶ)を算出する式を求めた。本検討では、建築物モデルの鉛直壁面に付与されるテクスチャ画像の鉛直方向の1画素の長さを鉛直解像度とし、図4に鉛直解像度の定義およびその求め方を示す。なお、本書では鉛直解像度と対比させるために地上画素寸法を水平解像度と呼ぶ。

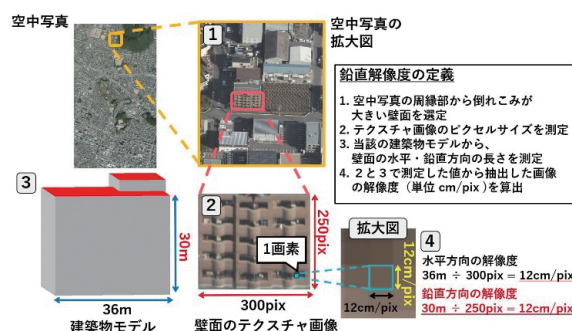


図4 鉛直解像度の定義およびその求め方

2.2 壁面テクスチャの適切な鉛直解像度の検討

建築物モデルのテクスチャ画像の品質に要求される鉛直解像度の把握のため、空中写真から判読できる建築物のうち地上階数が1階から3階の建築物を「低層」、4階から9階の建築物を「中層」、10階以上の建築物を「高層」に区分したそれぞれの建築物に対応した、鉛直解像度10cm/pix~250cm/pixのサンプル画像を作成し、それらを複数人で確認して検討を行った。

2.3 各撮影条件での適切な鉛直解像度を満たすラップ率の算出

既存の公共測量成果の利用を前提とし、空

中写真測量で使用される主要なカメラを対象に、2.1で求めた式から適切な鉛直解像度を満たすラップ率を算出した。

2.4 適切な鉛直解像度を満たすカメラの条件の算出

2.3で求めたラップ率での鉛直解像度を求め、鉛直解像度に影響するカメラの条件を整理した。

3. 検討結果および考察

ここでは、水平解像度12cmで撮影した時の検討結果およびその考察を示す。水平解像度12cmは、一般的な地域特性をもつ都市域における地図情報レベル1000を想定した撮影成果に多く用いられる。

3.1 テクスチャの評価指標(鉛直解像度)の定義

垂直撮影の空中写真においては、撮影主点から画像の周縁部に向かうほど、また建築物が地面から高い位置に存在するほど建築物の倒れ込みが大きくなる。これに伴い、建築物の壁面の高さ方向が長く写ることでテクスチャの解像度が高くなる特徴がある。

また、鉛直解像度は、垂直撮影の空中写真と空中写真に写る建築物との幾何的な関係から、式(1)および式(2)で計算される。

ここで、鉛直解像度(Rv)は、写真主点からの水平距離(L)、地表面からの高さ(dH)の地点の値であり、 Rg は水平解像度、 f は焦点距離、 l はカメラのピクセルサイズ、 H は撮影高度である。

$$Rv = \frac{1}{\frac{1}{H - dH} - \frac{1}{2fL}} - \frac{1}{\frac{1}{H - dH} + \frac{1}{2fL}} \quad (1)$$

$$\text{ただし、} H = \frac{fRg}{l} \quad (2)$$

なお、以降では地形に起伏がないという条件で、地表面からの高さ $dH=0m$ での計算結果に基づいて検討を行った。

3.2 壁面テクスチャの適切な鉛直解像度の検討

図5は、検討に用いた中層建築物のテクスチャサンプル画像の一部を抜粋した例である。

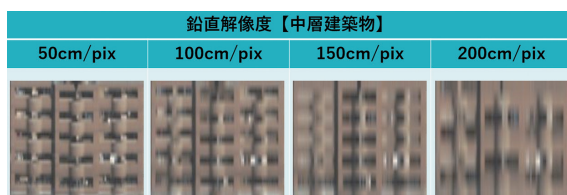


図5 鉛直解像度のサンプル画像の事例

その結果、いずれのサンプル画像でも、階層の識別（階数の正確な判読）は150cm /pix以上となると判読が困難であった。これは、一般的に階層は3m以上なので150cm /pix以下の場合2pix以上に収まることによると判断される。さらに、階層内の構造の判読は50cm /pix以下である必要であると判断した。

3.3 各撮影条件での適切な鉛直解像度を満たすラップ率の算出

本検討では、表1で示す空中写真測量で使用する主要なカメラとレンズの組み合わせ全32種類を対象とした。これらから求めた水平解像度12cmで撮影した時の鉛直解像度150cm /pix

および50cm /pixを満たす最小ラップ率を求めた結果を図6に示す。これらの図では焦点距離とセンササイズ（撮像面の寸法）を考慮して16グループに分けて表示した。

図6に示した通り、OL80%SL80%の場合、全てのカメラで鉛直解像度150cm /pixより高解像度の撮影が可能である。一方でOL80%SL60%では、焦点距離が比較的短いカメラに限定されることがわかる。さらに、OL60%SL60%になると、焦点距離が100mm以下のカメラに限定される。

また、鉛直解像度50cm /pixを満たす実運用可能なラップ率で考慮するとOL80%SL80%が必要で、焦点距離が100mm以下のカメラに限定される。さらに、80%を超えるラップ率が必要なカメラや鉛直解像度50cm /pixを満たす撮影ができないカメラはグループE～Lの22種類があった。

3.4 適切な鉛直解像度を満たすカメラの条件の算出

1) 撮影条件と鉛直解像度の関係性

ここでは、空中写真測量で多く利用されているOL/SL (80%/80%、80%/60%および60%/60%)での水平解像度12cmで撮影した場合の

表1 検討に用いたカメラとレンズの組合せ一覧

カメラ名	焦点距離(mm)	ピクセルサイズ (μm)	画像サイズ(pix)		センササイズ(mm)	
			コース方向	コース間方向	コース方向	コース間方向
RCD30	53.0, 83.0	6.00	7752	10320	46.51	61.92
MFC150	71.0, 112.0, 146.0	3.76	10640	14192	40.01	53.36
DMC	120.0	12.00	7680	13824	92.16	165.89
DMC II 140	92.0	7.20	11200	12096	80.64	87.09
DMC II 230	92.0	5.60	14144	15552	79.21	87.09
DMC II 250	112.0	5.60	14016	16768	78.49	93.90
DMCIII	92.0	3.90	14592	25728	56.91	100.34
UltraCam X (UCX)	100.5	7.20	9420	14430	67.82	103.90
UltraCam Xp (UCXp)	70.5, 100.5	6.00	11310	17310	67.86	103.86
UltraCam Xp Wide Angle (UCXpWA)	70.5	6.00	11310	17310	67.86	103.86
UltraCam Falcon (UCF)	100.5	6.00	11310	17310	67.86	103.86
UltraCam Falcon M2 (UCF M2)	70.5, 100.5	6.00	11310	17310	67.86	103.86
UltraCam Falcon Prime (UCFP)	70.5, 100.5	6.00	11310	17310	67.86	103.86
UltraCam Osprey4.1 (UCO 4.1)	80.0	3.76	14016	20544	52.70	77.25
UltraCam Eagle M1 (UCE M1)	80.0, 100.5, 210.0	5.20	13080	20010	68.02	104.05
UltraCam Eagle M2 (UCE M2)	80.0, 100.5, 210.0	4.60	14790	23010	68.03	105.85
UltraCam Eagle M3 (UCE M3)	80.0, 100.5, 210.0	4.00	17004	26460	68.02	105.84
UltraCam Eagle M4.1 (UCE M4.1)	90.0, 120.0, 150.0	3.76	18060	28110	67.91	105.69

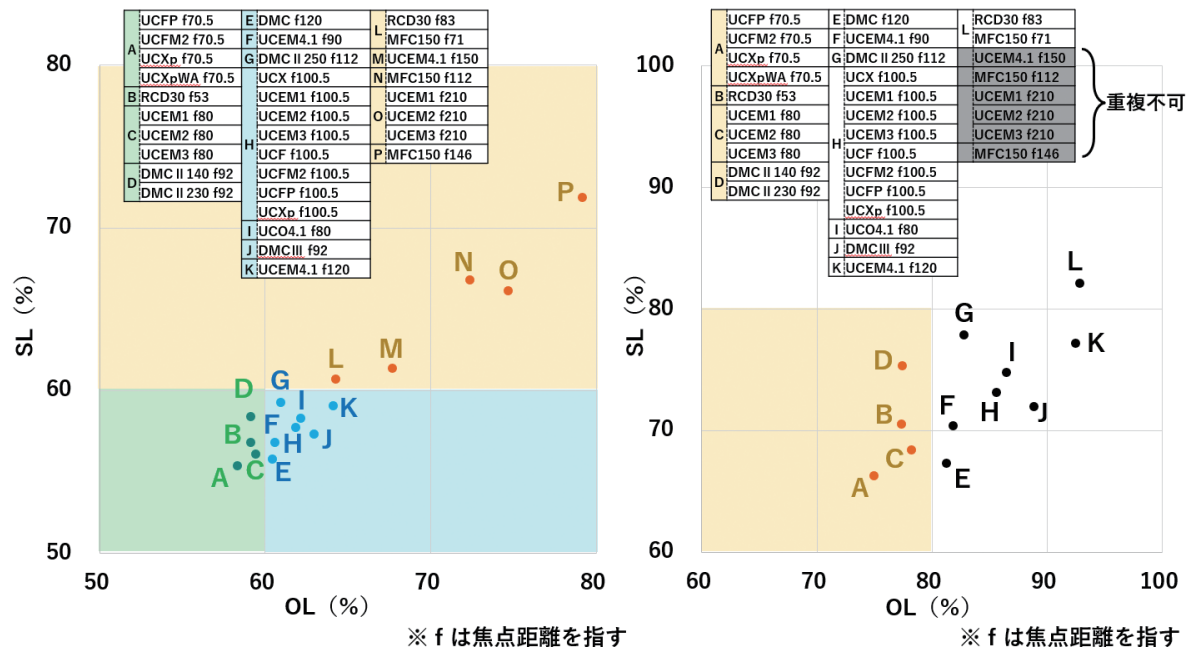


図6 必要鉛直解像度 (左:150cm/pix,右:50cm/pix)を満たす最小OL/SL

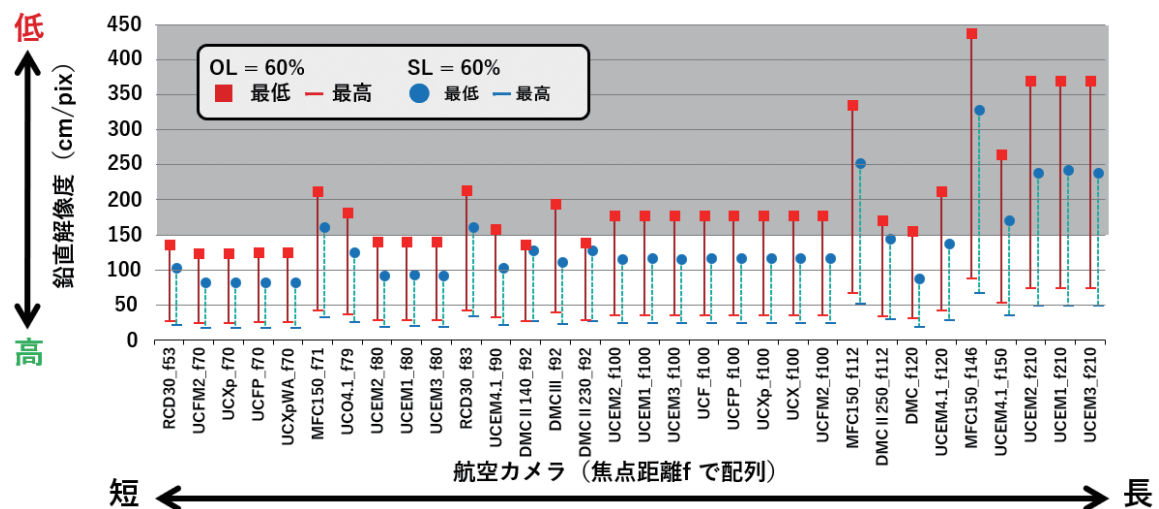


図7 各カメラのOL/SL=60%/60%の鉛直解像度

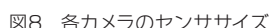
各撮影条件での鉛直解像度の最低値と最高値を算出した。その結果の1例としてOL60%SL60%での結果を図7に示す。

水平解像度が等しい場合、焦点距離が短いと鉛直解像度は高くなる一般的な傾向が認められた。ただし、いくつかのカメラではこの傾向に一致しないことが確認されたため、センササイズでの比較も行った。図8に各カメラのセンササイズを示す。

図7の鉛直解像度の値と図8のセンササイズをみると、センササイズの小さなカメラでは焦点

距離が短くても鉛直解像度が低く、対してセンササイズが大きいカメラでは焦点距離が長くても鉛直解像度が高い傾向が認められた。

これはセンササイズが小さい場合、焦点距離は短くても、画角(視野角、Field of View)が広がらないことに起因するためと考える。具体的には、MFC150、RCD30、UCO4.1、DMCⅢの53mm~92mmの短い焦点距離であっても、鉛直解像度が150cm/pixより低くなってしまふ。このカメラは図8において、センササイズが小さいことが分かる。一方、DMCの焦点距離は



以上の結果から、建築物モデルのテクスチャ付与では画角が大きいカメラが優位であると判断した。

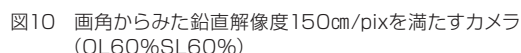
1) では、画角が大きいカメラの優位性を確認した。そこで、撮影条件として水平解像度とラップ率に対して必要な鉛直解像度を満たすための画角を算出する式 (3) を求めた。また、式 (4) には撮影条件として水平解像度と画角から必要なオーバーラップを求める式を示す。ここで、 θ は画角、 Rg は水平解像度、 Rv は鉛直解像度、 LP はラップ率 (ただし、 $LP \geq 0.5$)、 f は焦点距離、 l はセンササイズである。

$$\theta \doteq 2 \cdot \arctan\left(\frac{Rg}{Rv(2 \cdot LP - 1)}\right) \quad (5)$$

図9には、式(5)より算出した水平解像度12cmにおけるOL60%SL60%の場合の各センサの画角とその鉛直解像度の関係を示した。式(5)より、鉛直解像度150cm/pixより高解像度となるのは、OLおよびSL方向の画角がいずれも43.6°より大きくなるカメラである。



また、図11には、水平解像度12cmにおけるOL80%SL80%の場合の各センサの画角とその鉛直解像度の関係を示した。式(5)より、鉛直解像度150cm/pixが高解像度となるのは、OLおよびSL方向の画角がいずれも15.2°より大きくなるカメラであり、今回検討したすべてのカ



メラが対象となることがわかる。そして、鉛直解像度50cm /pixより高解像度となるのは、OLおよびSL方向の画角がいずれも43.6°より大きくなるカメラである。

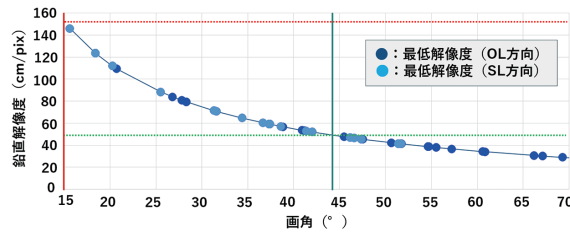


図11 画角と鉛直解像度の関係 (OL80%SL80%)

よって、水平解像度12cmにおけるOL80%SL80%の場合の鉛直解像度が150cm /pixより高解像度になるカメラは図12の着色されている範囲全てであり、鉛直解像度が50cm /pixより高解像度になるカメラは濃く着色されている範囲となった。

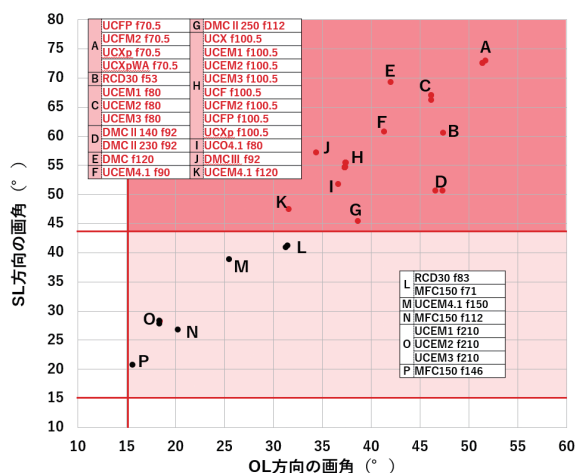


図12 画角からみた鉛直解像度150cm/pixおよび50cm/pixを満たすカメラ (OL80%SL80%)

4. まとめ

本検討で得られた結果を表2および表3にまとめる。

表2に示すように、水平解像度12cmにおける鉛直解像度150cmを満たす画角とラップ率の観点では、OL80%SL80%であれば今回検証したすべての画角のカメラが適用可能となり、画角が43.6°以上のカメラであれば、ラップ率が60%であっても適用可能となる。また、表3に示すように、水平解像度12cmにおける鉛直解像度50cm

表2 水平解像度12cmにおいて鉛直解像度150cmを満たす画角とラップ率の組合せ

鉛直解像度：150cm				
地上解像度 12cm		OL / SL (%)		
		80/80	80/60	60/60
画角θ	OL方向：θ > 43.6° SL方向：θ > 43.6°	適	適	適
	OL方向：θ ≤ 43.6° SL方向：θ > 43.6°	適	適	不適
	OL方向：θ ≤ 43.6° SL方向：θ ≤ 43.6°	適	不適	不適
	OL方向：θ ≤ 43.6° SL方向：θ ≤ 43.6°	適	不適	不適

表3 水平解像度12cmにおいて鉛直解像度50cmを満たす画角とラップ率の組合せ

鉛直解像度：50cm				
地上解像度 12cm		OL / SL (%)		
		80/80	80/60	60/60
画角θ	OL方向：θ > 43.6° SL方向：θ > 43.6°	適	不適	不適
	OL方向：θ ≤ 43.6° SL方向：θ > 43.6°	不適	不適	不適
	OL方向：θ ≤ 43.6° SL方向：θ ≤ 43.6°	不適	不適	不適
	OL方向：θ ≤ 43.6° SL方向：θ ≤ 43.6°	不適	不適	不適

を満たす画角とラップ率の観点では、OL80%SL80%かつ画角が43.6°以上のカメラであれば適用可能となることが分かった。

本検討によって、テクスチャ付与に際して、一般的な空中写真測量成果に対しての適切な撮影条件を得ることができた。さらに精細で高解像度なテクスチャが求められる場合は、より高解像度な空中写真を用いることで対応することが可能であると考えられる。ただし、対応可能なカメラが限られることや、撮影条件にも限度があるため、多方向カメラで撮影された斜め写真の使用が考えられる。

本検討は、国土交通省都市局から受託した「まちづくりのDXの推進に向けた3D都市モデルのデータ作成実証業務」の成果の一部であり、この成果はPLATEAU Technical Report (https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0067_ver01.pdf) として公開されている。

■参考文献

- 1) 国土交通省都市局 Project PLATEAU:
3D都市モデル標準作業手順書 第4.1版, 国
土交通省都市局 Project PLATEAU,
<https://www.mlit.go.jp/plateaudocument/02/> (2024年12月20日確認)
- 2) 国土交通省都市局 Project PLATEAU:
3D都市モデル標準製品仕様書 第4.1版, 国
土交通省都市局 Project PLATEAU,
<https://www.mlit.go.jp/plateaudocument/>
(2024年12月20日確認)
- 3) 国土交通省都市局 Project PLATEAU:
3D都市モデル整備のための測量マニユ
アル 第3.0版, 国土交通省都市局 Project
PLATEAU, https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_doc_0010_ver03.pdf (2024年12月20日確認)

■執筆者

川又 楓太 (かわまた ふうた)

国際航業株式会社

事業統括本部

地理空間基盤技術部

3D都市モデルプロジェクト推進グループ

futa_kawamata@kk-grp.jp



(共著者) 所属は筆頭著者に同じ

高田 雅仁 (たかだ まさひと)

中西 芳彦 (なかにし よしひこ)

稲澤 智昭 (いなざわ ともあき)

檀上 拓也 (だんじょう たくや)

嶋野 雄一 (しまの ゆういち)