

新技術の活用による基盤情報整備力向上のための研究（第4年次）

実施期間 令和元年度～令和5年度
地理地殻活動研究センター 吉田 一希 田村 栄一
地理情報解析研究室 大野 裕幸

1. はじめに

本研究は、10年後の地理空間情報整備環境を睨んで、正確さを保持しつつ、低コスト、高生産性で基盤情報を整備可能な技術開発につなげる観点に立って基礎研究を実施するものである。令和4年度は、SfM/MVS技術を用いて、測量用航空機により撮影された1960年代の空中写真から、高精度な過去の地形データを作成するための技術の開発を目的として研究を実施した。SfM/MVS技術では、主に小型無人航空機（UAV）により撮影された最新の写真を用いた地形データの取得手法の技術開発が盛んに行われている（例えば、菅井ほか，2017）が、本研究の対象とする過去の空中写真による高精度な地形データの取得手法の技術開発に向けた研究は十分に進んでいない現状にある。

2. 研究内容

2.1 概要・調査地域

本研究では、縮尺が同一の空中写真のみではなく、縮尺が異なる空中写真を組み合わせてSfM処理を行い、(1)使用する空中写真の縮尺の違いが欠測率に与える影響と、(2)地上基準点（GCP）の点数・配置が精度に与える影響についてそれぞれ検証した。

調査地域は、神奈川県の上浦地区と茨城県の鉾田地区の2地区とした。使用した空中写真を表-1に示す。両地区ともに、1960年代後半に撮影された縮尺1:20,000及び縮尺1:40,000の写真を使用した。

2.2 検証条件

SfM処理における4つの検証条件（CASE 1～4）を表-2に示す。CASE 1及びCASE 2は上浦地区、CASE 3及びCASE 4は鉾田地区で検証した。

CASE 1では、空中写真の縮尺の違いが欠測率に与える影響を検証した。縮尺が同一（縮尺1:20,000のみ、あるいは縮尺1:40,000のみ）の空中写真を使用した場合と、縮尺が異なる空中写真を組み合わせて（縮尺1:20,000及び縮尺1:40,000の空中写真を合わせて）使用した場合による欠測率の違いを検証するため、①縮尺1:40,000の空中写真（KT657Y）のみを使用した場合、②縮尺1:20,000の空中写真（MKT668X）のみを使用した場合、③縮尺1:20,000及び縮尺1:40,000の空中写真（KT657Y及びMKT668X）を合わせて使用した場合、の3条件を設定した。

CASE 2～4では、GCP数の違いが精度に与える影響を検証した。CASE 2は、縮尺1:20,000及び縮尺1:40,000の空中写真（KT657Y及びMKT668X）を合わせて使用し、GCP数が①7点、②14点、③37点の3条件を設定して、精度に与える影響を検証した。CASE 3では、縮尺1:40,000の空中写真（KT6710Y）のみを使用し、GCP数が①5点、②14点、③27点の3条件を設定した。CASE 4では、縮尺1:20,000及び縮尺1:40,000の空中写真（KT6710Y及びMKT692X）を合わせて使用し、GCP数が①5点、②14点、③27点の3条件を設定した。なお、CASE 3及びCASE 4のGCPは同一のものを使用した。

2.3 解析手法

SfM-MVS 処理には、Agisoft 社製 Metashape Professional（以下「Metashape」という。）を用いた。空中写真は、大野（2017）の手法によりフレームをクリッピングした画像を使用した。Metashape で画像のアラインメントを精度「高」で行った後、GCP を以下の手法により手動で取得した。まず、1960 年代当時と現在を比較してほとんど形状変化がないと考えられる地点（道路交差点など）を選点して、地理院地図の「標準地図」ズームレベル 18（都市計画区域内）を使用してその地点の緯度・経度・標高を取得し、Metashape でその地点と同一の地点にマーカーを設置し、地理院地図で取得した緯度・経度・標高を入力した。測地座標系は、1960 年代と現在とで異なるが、現在の測地座標系（JGD2011）を用いた。GCP の取得後、カメラの最適化（セルフキャリブレーション）を行い、高密度クラウド構築（品質「高」、深度マップフィルタ「強」）を行った。高密度クラウドから 2 m メッシュ DSM（平面直角座標系 IX，内挿補間「無効」）を生成し、DSM をもとにオルソモザイクを生成した。

CASE 1 では、2 m メッシュ DSM の欠測率を調べるため、200 m グリッドあたりの DSM の NODATA の点数を計算した。なお、海部の NODATA の影響を除くため、200 m グリッド全体が陸部である部分のみを用いた。

CASE 2～4 では、解析結果（DSM 及びオルソモザイク）から得られた検証点の座標値（A）と、地理院タイル「標準地図」及び基盤地図情報の DEM5A から得られた検証点の座標値（B）との誤差を比較・検証した。検証点は、1960 年代当時と現在を比較してほとんど形状変化がないと考えられる地点（道路交差点など）を選点した。解析結果の検証点の座標値（A）は、QGIS を用いて DSM 及びオルソモザイクを表示し、その地点の XY 座標（平面直角座標系 IX）と、DSM の標高を取得した。比較の対象とする検証点の座標値（B）は、QGIS を用いて地理院タイル「標準地図」ズームレベル 18 の XY 座標（平面直角座標系 IX）と、基盤地図情報の DEM5A における標高を取得した。

表-1 使用した空中写真

地区名	整理番号	撮影年月日	撮影縮尺	撮影高度 (m)	カメラ名称	使用写真数
三浦地区	KT657Y	1965/10/28	1:40,000	6,000	RC8	19
	MKT668X	1966/07/28, 07/29	1:20,000	3,200	RC8	40
銚田地区	KT6710Y	1967/10/19, 11/11	1:40,000	6,000	RC8	10
	MKT692X	1969/05/08, 05/20	1:20,000	3,200	RC8	31

表-2 SfM 処理における解析条件

地区名	三浦地区		銚田地区	
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
写真	① KT657Y ② MKT668X ③ KT657Y+ MKT668X	KT657Y+ MKT668X	KT6710Y	KT6710Y+ MKT692X
アラインメント キーポイント制限	0	0	200,000	200,000
GCP数	14	① 7 ② 14 ③ 37	① 5 ② 14 ③ 27	① 5 ② 14 ③ 27

3. 研究結果

CASE 1 の解析結果における写真のラップ数を図-1, 欠測率分布図を図-2, DSM から作成した陰影段彩図を図-3 に示す. 欠測率の平均値は, ①7.0% (標準偏差 8.2%), ②17.4% (標準偏差 15.2%), ③3.3% (標準偏差 3.4%) を示した. 縮尺が異なる空中写真を組み合わせた③が最も良好な結果となり, ③における欠測率の平均値は, ①の約 1/2, ②の約 1/5 にまで減少した. ①及び②の条件では, 写真のラップ数が全体的に少なかった (図-1). とくに, ラップ数が最も少ない 2 を示す部分 (図-1 の橙色部分) では欠測率が大きく, ①で約 20~70% (最大値 70%), ②で約 20~90% (最大値 95%) を示した (図-2). 一方, ③の条件では, 解析に用いる写真の枚数が多いため, 写真のラップ数が多かった (図-1). ラップ数が最も少ない 4 を示す部分の欠測率は約 10~20% (最大値 23%) であり, ①及び②と比較して小さい値を示した (図-2).

CASE 2~4 の解析結果における検証点誤差を表-3 に示す. 検証点における X 座標及び Y 座標の較差の標準偏差は最小値 0.53 m (CASE 2②), 最大値 1.20 m (CASE 3①) を示した. 検証点における標高の較差の標準偏差は, 最小値 0.44 m (CASE 4③), 最大値 1.46 m (CASE 2①) を示した.

CASE 2 の標準偏差では, X 座標の較差は, ①1.15 m, ②0.89 m, ③0.85 m, Y 座標の較差は, ①0.84 m, ②0.53 m, ③0.78 m, 標高の較差は, ①1.46 m, ②0.69 m, ③0.89 m を示した. ②GCP14 点及び③GCP37 点の標準偏差は, ①GCP7 点の標準偏差と比較して小さくなり, ②が最も良好な結果となった.

CASE 3 及び CASE 4 の RMSE, 標準偏差及び分散を比較すると, ①における Y 座標の RMSE 及び標準偏差はほぼ同値だが, そのほかの値は CASE 4 のほうが小さい値を示した. すなわち, 縮尺が異なる空中写真を組み合わせた場合のほうが良好な結果となった.

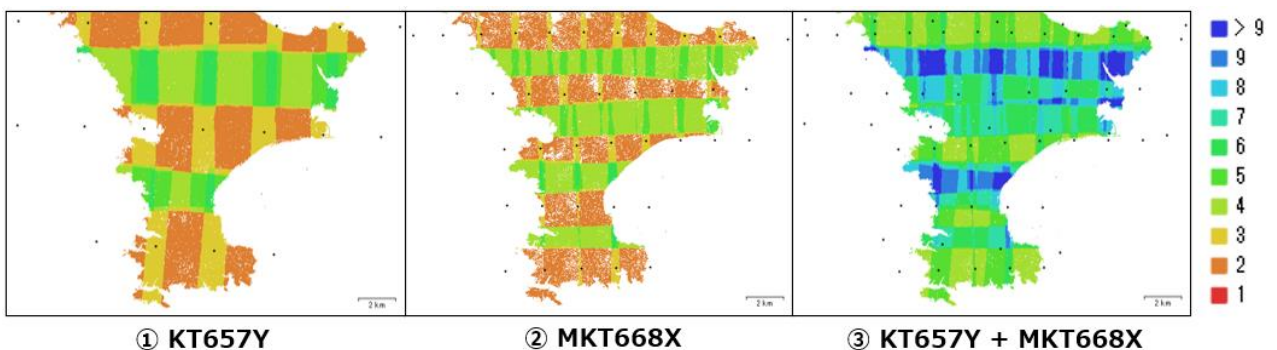


図-1 カメラ位置 (黒点) と写真のラップ数分布図 (CASE 1)

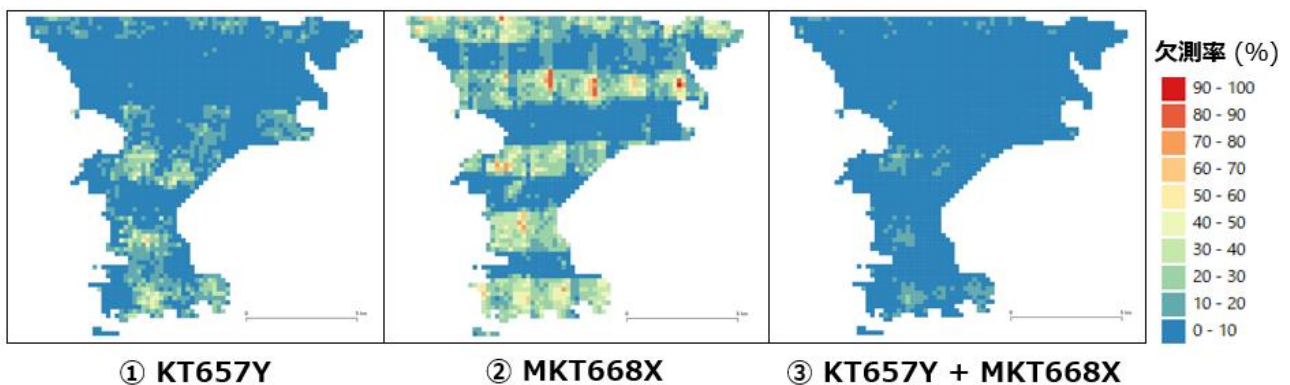


図-2 欠測率分布図 (CASE 1)

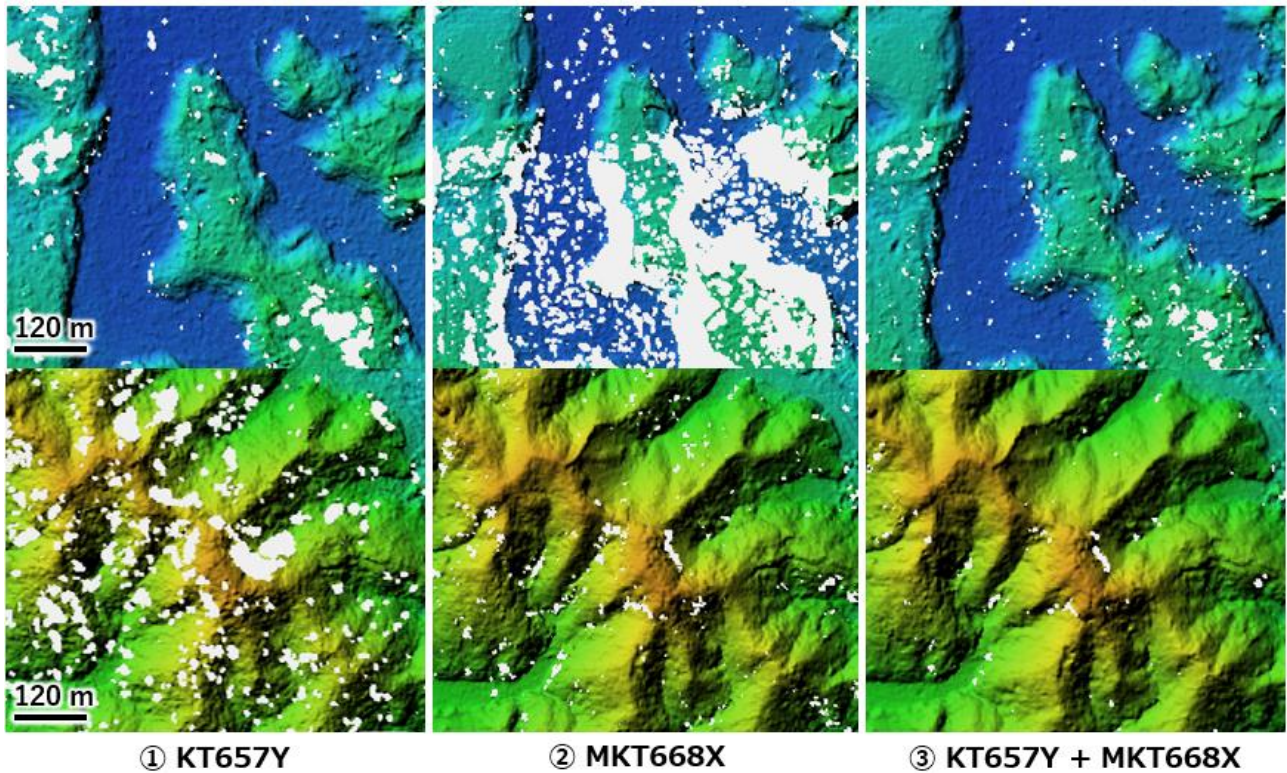


図-3 2 m メッシュ DSM から作成した陰影段彩図 (CASE 1)

表-3 SfM 処理における検証点誤差 (CASE 2~4)

	写真枚数	GCP数	検証点数	RMSE (m)			標準偏差 (m)			分散 (m)			
				dx	dy	dh	dx	dy	dh	dx	dy	dh	
CASE 2	①	59	7	34	1.72	0.91	1.46	1.15	0.84	1.46	1.33	0.71	2.14
	②	59	14	34	1.24	0.68	0.73	0.89	0.53	0.69	0.80	0.28	0.47
	③	59	37	34	1.02	1.14	0.93	0.85	0.78	0.89	0.72	0.61	0.79
CASE 3	①	10	5	24	1.30	0.77	1.17	1.20	0.69	1.07	1.45	0.69	1.14
	②	10	14	24	1.09	1.32	1.11	1.06	0.92	0.87	1.12	0.85	0.75
	③	10	27	24	1.12	0.91	0.98	1.12	0.86	0.97	1.25	0.75	0.95
CASE 4	①	41	5	24	0.91	0.78	0.65	0.74	0.69	0.64	0.55	0.48	0.41
	②	41	14	24	0.87	1.03	0.74	0.77	0.80	0.73	0.60	0.64	0.54
	③	41	27	24	0.76	0.69	0.44	0.76	0.63	0.44	0.58	0.40	0.19

4. 結論・考察

CASE 1 の結果から、単独の撮影計画による写真のみで SfM 処理を行う場合では、写真のラップ数が少ない箇所で DSM の生成が困難であることがわかった。また、③の手法により欠測率を約 1/2 から約 1/5 にまで削減できたことから、縮尺の異なる二時期の写真を組み合わせる SfM 処理を行う手法が有効であることがわかった。

CASE 2~4 の結果から、検証点誤差 (RMSE 及び標準偏差) は約 0.5~1.5 m を示した。検証点誤差は①よりも②または③が良好であったことから、本研究の調査地域の場合は、GCP 数は約 10 点以上が望ましいと考えられる。一方、②と③を比較すると GCP 数と精度の関係は不明な点がみられたので、今後検証を進めていく。なお、本研究で検証値として用いた標準地図ズームレベル 18 と

DEM5A の精度は、それぞれ水平位置精度が標準偏差 1.75 m 以内、標高精度が標準偏差 0.3 m 以内であるため、解析結果の精度評価にはこれらの誤差の影響を加味する必要がある。

CASE 3~4 の結果から、CASE 4 は CASE 3 よりも検証点誤差が小さい傾向を示した。このことから、縮尺の異なる二時期の写真を組み合わせて SfM 処理を行う手法が有効であることがわかった。なお、二時期の写真を合わせた解析結果には、二時期両方の地形形状が合わさってしまうため、二時期に地表形状が変化した箇所は DSM がうまく再現できない。したがって、なるべく二時期の撮影年月日の間隔が短い組み合わせの選定と、再現が不十分な箇所での DSM の修正が必要となる。今後は、調査地域をより広範囲とし、GCP の適切な配置等について、正確さを保持しつつ、低コストかつ生産性の向上を目指して研究を進めていく。

参考文献

- 大野裕幸 (2017) : 空中三角測量の全自動化によるオルソ画像作成の効率化に関する研究, 国土地理院時報, 129, 43-52.
- 菅井秀翔・宮地邦英・中村孝之・南秀和・橘克巳 (2017) : UAV を活用した写真測量の精度検証, 国土地理院時報, 129, 147-157.