

MMS から作成した反射強度画像の精度検証について Accuracy Verification of Intensity Image Created from MMS Data

基本図情報部 藤原博行・伊藤裕之・笹川啓・大野裕幸

National Mapping Department

Hiroyuki FUJIWARA, Hiroyuki ITO, Akira SASAGAWA and Hiroyuki OHNO

要 旨

国土地理院では、平成 23 年度から Mobile Mapping System (MMS) で取得したデータによる効率的な電子国土基本図（地図情報）（以下、「電子国土基本図」という。）の更新手法について検討を行っている。

MMS を用いた図化手法には複数の手法が存在しているが、作業性などを考慮し、電子国土基本図の最も適切な更新手法として、レーザ点群データから作成した反射強度画像を用いる図化手法を選択し、その反射強度画像が電子国土基本図の更新に必要な位置精度を有しているか精度検証を行った。

反射強度画像の水平位置精度検証は、上空視界が良好、不良の 2 地域で行ったが、どちらの地域に関しても、反射強度画像は地図情報レベル 500 を満たす精度を有していることが確認できた。これだけの精度を有しているのであれば、電子国土基本図の更新にも十分利用可能であるといえる。

また、図化作業時の参考用に MMS から取得した全方位画像を電子国土 Web システム上で閲覧できる Web サイトを試作した。

1. はじめに

近年、車両等の移動体に GNSS 測量機、IMU、レーザスキャナ、カメラなどの機器を搭載し、走行しながら 3 次元空間データを高精度で効率的に取得できる MMS が開発され、3 次元都市空間モデルの作成や道路の維持管理業務など様々な分野で利用され始めている。

公共測量においても、公共測量作業規程の準則第 17 条（機器等及び作業方法に関する特例）を適用し、道路台帳の更新業務などに用いられる事例が近年増加している。このため、国土地理院では MMS による測量の標準的な作業方法を定め、必要な精度の確保に資することを目的として、「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案）」を平成 24 年 5 月に公表し、移動計測車両による測量を実施する場合の標準的な作業方法を定めている。また、MMS を用いた効率的な電子国土基本図の更新手法について検討を進めており、現在、レーザ点群データから作成した反射強度画像を用いた更新手法に関する試験作業を実施しているところである。

本稿では、MMS から作成した反射強度画像が電子国土基本図の更新に必要な水平位置精度を満たしているか精度検証を行ったので報告する。さらに MMS で取得した全方位カメラによる画像データを用いて、電子国土 Web システム上で観測地域の全方位画像を閲覧できる図化参照用 Web サイトも試作したので、併せて報告を行う。

2. MMS の概要

MMS は、自車位置姿勢データ取得装置、図化用データ取得装置、解析ソフトウェアなどから構成され、その構成によって取得できる図化用データは異なるが、周囲の 3 次元レーザ点群データ（図-1）や全方位カメラ画像（図-2）などのデータを取得することが可能である。



図-1 3次元レーザ点群データ



図-2 全方位カメラ画像

2.1 MMS の諸元

本研究では、写真-1 に示す着脱式の MMS を用いた。自車位置姿勢データ取得装置は GNSS 測量機や IMU、及び光学オドメータからなり、図化用データ取得装置は可動式レーザスキャナと全方位カメラによって構成されている。

MMS を用いた測量作業において精度の高い成果を作成するには、良好な自車位置姿勢データが必要となるが、本 MMS では GNSS 測量機、IMU、光学オドメータから取得したデータを用いて解析を行うことで、良好な GPS 条件下であれば、機器の仕様上は、絶対位置精度 5cm、姿勢精度 Roll, Pitch:0.003°, Heading:0.007°以内での高精度な観測が可能となっている。

また、図化用データ取得装置の可動式レーザスキャナ (RIEGL VQ-250) は、360°全周計測が可能となっており、1 秒あたり最大 300,000 回の照射を行うことができる (写真-2)。このため、速度 60km/h で走行時に、約 600 点/m² の高密度なレーザ点群データの取得が可能である。観測時には、車両の前方を基準として、レーザスキャナを右方向に向けて観測地域を往復観測後、レーザスキャナを左方向に向けて、再度、往復観測を行うことにより、レーザ点群の死角を少なくし、高密度でのレーザ点群データを取得する。

全方位カメラ (Ladybug3) は、写真-3 に示すように、天頂部を含む 6 方向のカメラによって構成されており、走行しながら、水平方向全方向の同時撮影が可能である。ただし、天頂部のカメラは、GNSS アンテナによって、視界が遮られている。それぞれのカメラで撮影した画像はモザイク処理を行うことで、パノラマ画像として出力することもできる。それぞれのカメラの画素数は 200 万画素であり、1 秒あたり最大 15 フレームでの撮影が可能となっている。



写真-1 本研究に用いた MMS



写真-2 可動式レーザスキャナ (RIEGL VQ-250)



写真-3 全方位カメラ (Ladybug3)

2.2 MMS による図化手法

国土地理院が平成 24 年 5 月に公開した「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル (案)」には、MMS 取得データを用いて行われる一般的な図化手法として、

- 1) レーザ点群と写真を重ね合わせたデータに基づいて図化する方法
- 2) ステレオ写真から計測する方法
- 3) レーザ点群に反射強度に応じて画素の濃淡を付け、データを正射投影した反射強度画像を作成して、この反射強度画像上で図化する方法

の 3 種類が解説されている (国土交通省 国土地理院, 2012)。

1) の方法は、取得した写真とレーザ点群データを正確に重畳させることにより、写真座標で地物の形状を取得し、レーザ点群座標で位置座標を取得する方式である。

2) は、空中三角測量と同じ原理の方式であるが、計測方法は異なり、立体視による計測ではなく、別々の写真に写った同一点を計測することで作業を行う方式である。

3) は、取得したレーザ点群データの反射強度によりレーザ点群の画素に濃淡を付け、2 次元画像化処理を行い、空中写真オルソ画像と同様に扱える反射強度画像を作成して図化を行う手法である。

MMS を用いた電子国土基本図の更新手法開発の試験作業では、従来の空中写真によるオルソ画像と同様の手法でオルソ図化が可能で、水平位置の取得が容易に行えること、さらにレーザ点群データのみで図化用データが作成でき、効率的な修正資料作成が可能という観点から、3) の手法を選択した。

2.3 MMS の図化作業の流れ

反射強度画像を用いた図化作業のフローを図-3 に示す。まず、MMS 現地観測後、GNSS 測量機と IMU のデータから軌跡解析処理を行い、正確な位置姿勢

データの算出を行う。次に算出した位置姿勢データとレーザスキャナから取得した走査方向や計測距離の情報を組み合わせることにより、3次元座標を持ったレーザ点群データを作成する。また、上空視界が不良などの理由により、良好な自車位置姿勢データが得られなかった場合は、同一路線で複数回観測を行った際にレーザ点群の位置ずれを生ずる等、レーザ点群の精度が低下する。その場合、精度の低い地域において、標定点測量を行い、そのデータを用いて、自車位置姿勢データの補正を行った後、レーザ点群データの再生成を行う必要がある。作成したレーザ点群データから図化の妨げになる樹木等の地物をフィルタリング処理によって除外した後、反射強度画像を作成し、図化作業を行う。

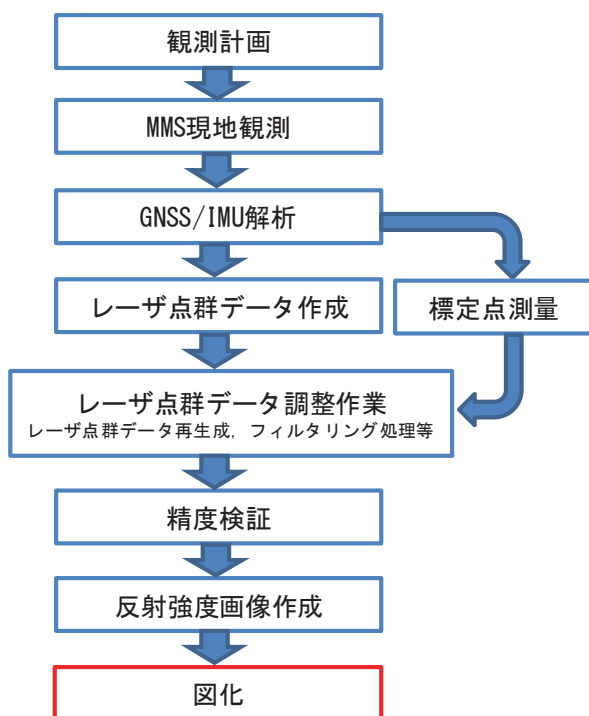


図-3 MMS 図化作業フロー

3. 反射強度画像の精度検証

3.1 検証手法

反射強度画像の精度検証を行うにあたり、観測地域を2地域選定した。1つ目の地域は区画整理によって樹木が伐採され、上空視界を遮るものがほとんどない「茨城県つくば市研究学園駅周辺（つくば地域）」、2つ目は高架道路やビルなどによって、上空視界がほとんど遮られている「茨城県土浦市土浦駅周辺（土浦地域）」である。また、観測距離は、つくば地域 5,000m、土浦地域 1,500m である。精度検証地域を図-4 に示す。

検証手法は、図-3 の MMS 図化作業フローに従い、

2 地域の反射強度画像を作成し、現地において VRS-GPS 測量で取得した検証用標定点座標と作成した反射強度画像中の同一地点における座標を比較することにより、水平位置精度の検証を行った。検証用標定点は、横断歩道の白線やマンホールなど反射強度画像上で明瞭に判別が可能な地点に設置した。現地における検証用標定点は、つくば地域で 16 点、土浦地域で 14 点である。



図-4 精度検証地域

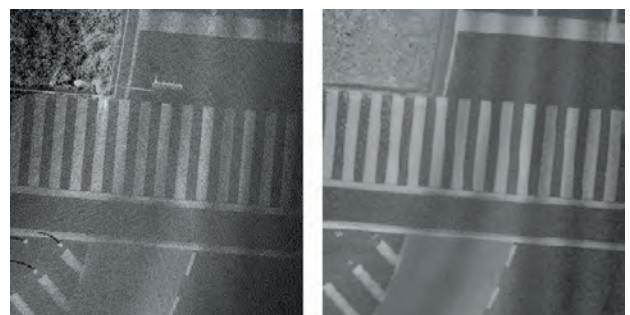
3.2 反射強度画像の作成

2 地域で取得したデータを軌跡解析し、レーザ点群データを作成した上で二次元画像化処理を行った。良好な軌跡解析結果が得られなかった場合、現地において、調整用標定点測量を行い、その結果を用いて、自車位置姿勢データの補正を行い、レーザ点群データの再生成を行った。

3.2.1 つくば地域

つくば地域に関しては上空視界が良好であり、ほとんど GNSS の受信が遮られることがなかったことから、良好な自車位置姿勢データが算出できた。作成したレーザ点群データも同様に位置精度が高く、同一取得路線で複数回観測した際の点群の位置ずれも生じなかったため、標定点による調整処理を行わなかった。

レーザ点群データ作成後、解像度 0.05m で 2 次元画像化処理を行い、反射強度画像を作成した（図-5）。



レーザ点群データ

反射強度画像

図-5 レーザ点群データと反射強度画像

3.2.2 土浦地域

土浦地域に関しては上空視界が一様に悪く、良好な位置姿勢データが算出できなかった。作成したレーザ点群データの位置精度も低く、同一路線で複数回観測した際の点群に平均 0.5m の位置ずれが生じた。そのため、GNSS の受信状況が悪い箇所 6 点に調整用標定点を配置し、その間を埋めるように、白線の角などに明瞭な特徴点を 3 点指定した (図-6)。その後、解析ソフトウェアによる軌跡の調整処理及びレーザ点群データの再生成を行い、つくば地域と同様に解像度 0.05m で 2 次元画像化処理を行った (図-7)。今回は調整用標定点 6 点、特徴点 3 点を配置することにより、良好なレーザ点群データを得ることができたが、調整用標定点及び特徴点の取得密度に関しては今後、事例を増やしつつ、効率的な配置について、検討を行う予定である。

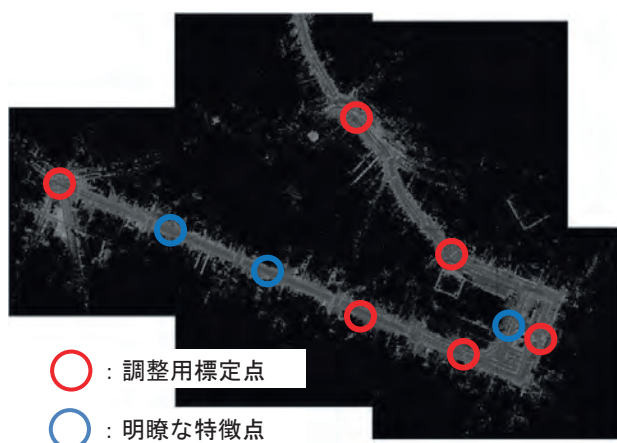


図-6 調整用標定点及び特徴点

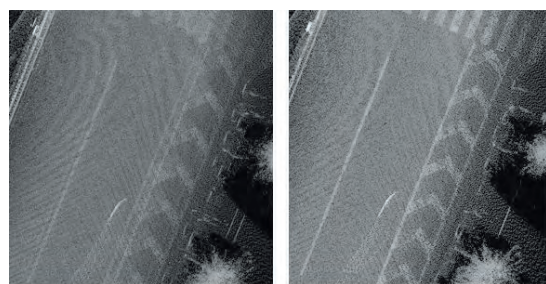


図-7 レーザ点群データ (補正前, 補正後) と反射強度画像

3.3 検証結果

精度検証結果を表-1 に示す。電子国土基本図の更新には、更新資料が地図情報レベル 2500 を満たすことが必要となるが、つくば地域の水平位置の標準偏差は 0.038m であり、「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル (案)」第 32 条 (解析結果の評価) の地図情報レベル 2500 の制限値 0.75m を満たしていることが確認できた。また、この結果は地図情報レベル 500 の制限値である 0.15m も満たすものである。

さらに調整点を設置した土浦地域の水平位置の標準偏差も 0.084m であり、こちらも地図情報レベル 500 の制限値である 0.15m を満たしていた。

表-1 精度検証結果

つくば地域		観測距離: 5000m		
調整用標定点: 0点		ΔX	ΔY	ΔXY
特徴点: 0点	標準偏差	0.038	0.042	0.038
検証点: 16点	RMSE	0.043	0.046	0.063

土浦地域		観測距離: 1500m		
調整用標定点: 6点		ΔX	ΔY	ΔXY
特徴点: 3点	標準偏差	0.059	0.065	0.084
検証点: 14点	RMSE	0.076	0.106	0.13

4. 電子国土 Web を用いた全方位画像閲覧サイト

反射強度画像は地図情報レベル 500 を満たす精度を有していることが確認できた。しかし、正確な図化を行う場合、精度だけでなく判読性も重要となる。反射強度画像はレーザの反射強度によって色の濃淡を付けているため、地物によっては判読が難しい。そこで MMS 観測時に取得する全方位画像を用いることで、判読の補完を行うこととした。しかし、作成した全方位画像は時系列ごとに作成されており、どの位置で撮影した写真か判別することができないという問題がある。そこで、撮影した地点を電子国土 Web システム上で表示し、その地点の全方位画像が閲覧できるサイトを試作した。

4.1 全方位画像閲覧サイト作成の流れ

全方位画像閲覧サイトの作成の流れを図-8 に示す。GNSS/IMU 解析までは MMS を用いた図化作業と同様の流れとなる。その後、全方位カメラに含まれるそれぞれのカメラの画像をモザイク処理することにより、全方位画像の作成を行う。また、自転車位置姿勢データと全方位カメラのシャッターを切ったタイミングを組み合わせることによって、シャッターを切った位置の位置情報を kml ファイルで出力し、電子国土 Web システムで表示ができるよう、xml ファイルに変換を行う。全方位画像は市販ソフトウェアを用いて、flash ファイルに変換を行い、画面上で 360°自由に動かせるようにした。最後に xml ファイ

ルと flash ファイルを関連づけることによって、全方位画像閲覧サイトを作成した。

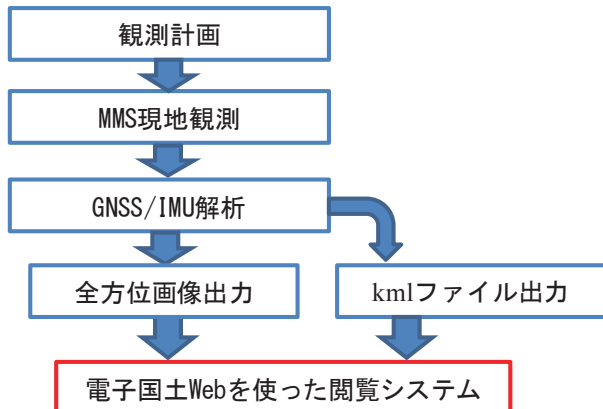


図-8 全方位画像閲覧サイト作業フロー

4.2 試作 Web サイト

試作した全方位画像閲覧サイトを図-9 に示す。左画面に表示された地図上の赤点が全方位カメラのシャッタータイミングを示しており、クリックすることによって、右画面にその地点の全方位画像が表示される。また、右画面に表示された全方位画像は360°自由に動かすことができ、右下角の地図上には現在画面に表示されている範囲が青色の扇形で表示される。

このサイトのように様々な視点からの全周囲画像を用いることにより、遮蔽物などによってレーザ点群の密度が低くなり、反射強度画像だけでは判読が難しい箇所における判読性を向上させることが可能である。

5. まとめ

本稿では、MMS から作成した反射強度画像について、精度検証を行い、公共測量における地図情報レベル 500 を満たす位置精度であることを確認した。

観測地域の上空視界が不良な箇所に関しても、調整用標定点及び特徴点を用いることによって、位置精度を満たすことが可能であり、反射強度画像を電子国土基本図の更新に利用することが可能であると結論づけられる。

一方で、MMS を用いた一連の解析処理は複雑で工程数が多く、事業化にあたっては一層の解析工程の効率化が必要となる。今後、精度を保持しつつ、効率化が可能な反射強度画像作成手法の検討を行いながら、MMS から作成した反射強度画像を用いて電子国土基本図の更新を行っていく予定である。

(公開日：平成 25 年 3 月 26 日)



図-9 全方位画像閲覧サイト

参 考 文 献

国土交通省 国土地理院 (2012)：移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル (案)， 2-4.