

車載写真レーザ測量システムを用いた 視距不良区間の自動抽出技術

吉川 慶*, 島田 英之**, 井上 薫***
林 照悟****, 西山 哲*****

要 旨

交通安全確保の観点から、見通しの利かない道路区間の抽出は、安全対策、ITS 技術の発展にとって重要である。しかし、施工後の道路では、調査に必要な図面が現存しない場合が多く、該当箇所の抽出が困難である。本研究では、見通しの利かない道路区間を視距不良区間と位置付け、道路周辺の3次元情報を走行しながら取得できる車載写真レーザ測量システム(MMS)を用いた自動抽出手法を提案する。また、カーブの多い海岸地域において、MMS 計測データと、自動抽出手法の精度検証を実施し、提案手法が有用であることを明らかにした。

Abstract

It is important to extract of road section with no sight distance for safety measures and the development of ITS technology, from the viewpoint of ensuring traffic safety. However, in roads after construction this work is difficult to do because in many cases there are few drawings for survey. In this study, we propose an automatic extraction method using Mobile Mapping System (MMS). MMS can measure 3-dimensional laser point clouds and digital images around the road while driving. We perform accuracy verification of MMS measurement data and demonstrate the usefulness of automatic extraction method in coastal areas with many curves.

キーワード：車載写真レーザ測量システム；自動抽出；視距；安全対策；海岸地域

Keywords: mobile mapping system; automatic extraction; sight distance; safety measure; coastal area

1. はじめに

前方に障害物を発見し、ブレーキを踏むことにより衝突を回避することは、運転中のドライバーにとって自然な動作である。近年発展が著しい運転支援技術においては、前方障害物のセンシング技術としてミリ波レーダーやレーザスキャナ及び単眼カメラやステレオカメラが実用化されており、前方の障害物を検知して自動でブレー

キを掛けることにより衝突を回避している¹⁾。しかし、カーブ等で前方の見通しが利かない状況では障害物の発見が遅れ、ブレーキを適切に作動させたとしても衝突する可能性がある。これはドライバーによる運転、運転支援技術のどちらにも通ずる。通常、カーブ等の見通しは新設時に確保されるべきものであるが、海岸地域や中山間地域にみられる斜面が道路に隣接する等の地形的条件により、見通しの利かない道路区間が潜在的に存在していることも事実である。公益財団法人交通事故総合分析センター発行の交通統計平成27年版によると、道路形状が単路の場合、カーブ区間の重大事故の割合は、その他直線区間の重大事故の割合に対して約6.3倍も高いことが示されている²⁾。交通安全確保の観点から、見通しの利かないカーブ等を効率良く検出しデータベース化することは、交通安全対策やITS技術の発展にとって重要であると考えられる。

近年、交通規制をすることなく、道路や道路周辺の3

*株式会社ウエスコ地理情報事業部
Geographic Information Division, WESCO Co., Ltd.
**岡山理科大学工学部
Faculty of Engineering, Okayama University of Science
***株式会社ウエスコ鳥取支社技術部
Tottori Branch Office Technical Department,
WESCO Co., Ltd.
****鳥取県八頭県土整備事務所
Yazu Land Management Office, Tottori Prefecture
*****岡山大学大学院環境生命科学研究科
Graduate School of Environmental and Life Science,
Okayama University

次元データを取得できる計測車両，車載写真レーザ測量システム（以後 MMS と呼ぶ）が開発され，道路や河川の維持管理で使用され始めている．MMS とは，図 1 に示す GNSS（Global Navigation Satellite System; 全球測位衛星システム）受信機，IMU（Inertial Measurement System; 慣性計測装置），走行距離計等の自車位置姿勢データ取得装置，レーザスキャナ，デジタルカメラ等の数値図化用データ取得装置を搭載し，走行しながら道路周辺の 3 次元データが取得できる計測・解析システムの総称である 3)．



図-1 MMS の外観

本研究では，MMS で取得した各種データ（以後 MMS データと呼ぶ）を用いた見通しの利かない道路区間の自動抽出手法を提案する．さらに，鳥取県内の海岸地域を実験フィールドとした，MMS データの精度検証，自動抽出手法の精度検証を実施する．なお，選定した実験フィールドには観光地があり，接続道におけるカーブの多さが特徴である．

1.1 道路の見通しに関する基準

道路の見通しを判定する基準は，道路を新設・改築する際の基準として規定されている道路構造令に記載されている．道路構造令では，設計車両，道路の種類，存在する地域，計画交通量の外的条件を基礎的条件として，担うべき機能に応じて道路を区分し，設計速度を決める等により，幅員構成，線形・視距の幾何条件を決定している．

本研究では幾何条件の中でも道路の見通しに関する視距に着目し，実験を進めるものとする．なお，視距には制動停止視距，避走視距，追越視距があるが 4)，本研究で述べる視距とは制動停止視距のことである．

視距とは，道路設計時に設定された設計速度で走行中，前方に障害物を発見し，ブレーキを掛け，衝突せずに停止することができる道路の延長として定められている．

各速度と制動停止視距の関係は(1)式にて表される 4)．

この式に判断時間 1.5 秒，反動時間 1.0 秒とした $t=2.5s$ ， $g=9.8m/s^2$ を代入して算出された視距の基準値が表 1 である．なお，視距の基準値は湿潤状態の路面を考慮して設計速度の 85%～90% を走行速度として算出されている 4)．次に，視距の確保の概念について図 2 に示す．視距の確保とは，車線の中心線 1.2m の高さから，高さ 10cm の物体の頂点が見通すことのできる距離を当該車線の中心線に沿って測った長さとしてされており，平面方向，縦断方向の両方での確保が必要である 4)．

例えば，設計速度 40km/h の道路の場合，視距の基準値が 40m であるため，車線の中心線上 1.2m の高さから，車線の中心線上 40m 先の高さ 10cm の物体の頂点を見通すことができれば視距が確保できていることになる．視距不良区間の抽出とは，前述の条件に合致しない区間を見つけることである．

$$D = \frac{V}{3.6}t + \frac{V^2}{2gf(3.6)^2} \quad (1)$$

D : 制動停止視距 (m)
 V : 速度 (km/h)
 f : 縦すべりに対する路面とタイヤの摩擦係数
 t : 反応時間

表-1 湿潤状態の路面の制動停止距離

設計速度 (km/h)	走行速度 (km/h)	基準値 (m)
120	102	210
100	85	160
80	68	110
60	54	75
50	45	55
40	36	40
30	30	30
20	20	20

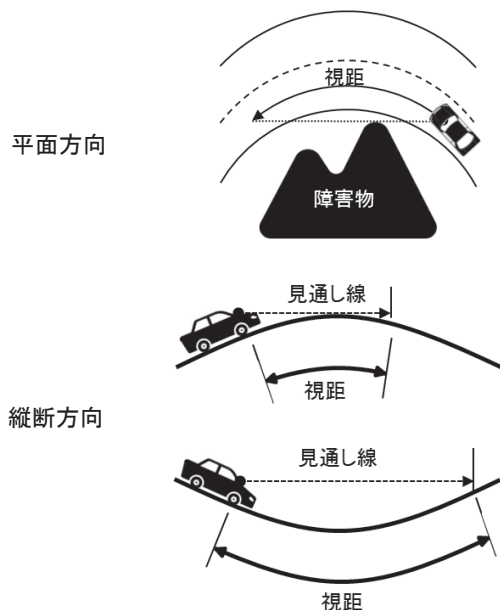


図-2 視距の確保

1.2 既往技術と本研究の位置付け

一般に、視距不良区間の抽出は設計段階で実施され、平面方向と縦断方向の見通しを、設計平面図と縦断図等の2次元図面を利用して実施される。このため、坂を上りながら曲がる道路があった場合は、平面方向、縦断方向双方の結果を組合せる必要がある。さらに、道路周辺の障害物や法面等による視距不良区間については、障害物や法面の形状が図面では分からないため、現地調査が必要となる。さらに、施工後の道路においては、設計図が残っていない場合が多く、道路台帳平面図を用いた机上調査、現地での縦断測量及び確認が必要となる。

一般の抽出結果の表示方法は、設計図や道路台帳平面図上に手作業にて視距不良区間を図示することになる。図3は、提案する自動抽出手法を用いて抽出した結果と位置情報を持たない道路台帳平面図を手作業にて重畳した例である。通常、数値地形図等のデジタル化された図面の精度は、アナログ図面の縮尺と同じ概念を持つ地理情報レベルとして表現される。地理情報レベルには、表2のような水平位置、標高点、等高線の精度が規定されており、道路台帳平面図の調製には地理情報レベル1000の精度が要求されている³⁾。もし、視距不良区間の抽出結果が道路台帳平面図と同等の地図情報レベル1000の位置精度を有するならば、位置情報を有した道路台帳平面図と視距不良区間のGIS (Geographic Information System;地理情報システム) 上での重畳は容易である。

このように、2次元図面を用いた視距不良区間の抽出には、多くの人手が必要であり、3次元計測を用いた連続的な視距不良区間の自動抽出技術が有効と考えられる。

表-2 数値地形図データの精度

地図情報レベル	水平位置の標準偏差	標高点の標準偏差	等高線の標準偏差
500	0.25m 以内	0.25m 以内	0.5m 以内
1000	0.70m 以内	0.33m 以内	0.5m 以内

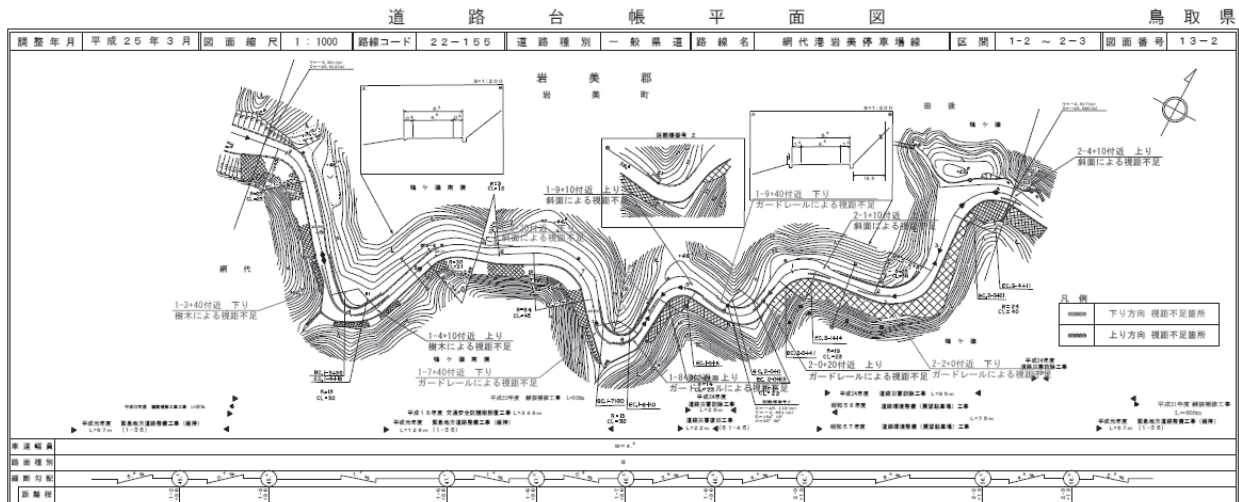


図-3 道路台帳平面図と抽出結果の重畳の例

また、抽出結果の表示には、位置情報を有した道路台帳平面図と地図情報レベル1000程度の位置精度で抽出された視距不良区間座標の重畳が有効と考えられる。

視距を題材にした既往研究では、「視距に着目した交通事故分析 (吉村 1999)」、「MMS データを用いた視距改良設計 (小林 2009)」などがある⁵⁾⁶⁾。小林らは、3D-CAD 上において MMS データから車線の中心線を抽出し、3D モデルと併せて活用することで視距確認が行え、MMS データが保持している情報を道路設計に利用できることを示している。また、車線幅員が極端に変化する箇所では車線中心線を連続的に推定できないことを課題として挙げている⁶⁾。

本研究では、連続的に作成した 3D モデル上で連続的に取得できる走行軌跡データを使用した、視距不良区間の自動抽出手法の提案と、海岸地域における MMS データの精度検証、自動抽出結果の精度検証を実施する。

2. 手法

2.1 使用する MMS の機器構成と解析手法

本研究で用いた MMS は、図4に示す三菱電機社製 MMS-K320 である。この MMS には、GNSS 受信機 3 台、IMU1 台、レーザスキャナ 2 台、デジタルカメラ 3 台、走行距離計が搭載されており、各機器のスペックは表3に示すとおりである。自転車位置姿勢データの取得には GNSS、IMU、走行距離計を使用しており、道路周辺の情報取得には、レーザスキャナ、デジタルカメラを使用している。計測されたデータは、GNSS 時刻を基に精密な同期をとって車載 PC に保存され、GNSS 補正データを用いて後処理解析を行うことにより 3次元化される。

この後処理にかかる時間は計測時間の 8 割～10 割程度であり、日中に計測を実施すれば、そのデータは翌朝までに 3次元化される。なお、自転車位置姿勢データの後処

表-3 搭載機器のスペック

MMS-K320	
カメラ	
搭載台数	3台
画素数	500万画素
視野角	1台あたり 水平方向80° 垂直方向64°
最速撮影枚数	10枚/秒
レーザスキャナ	
搭載台数	標準レーザ(Sick社製)2台
反射強度	取得可能
取得点数	27,100点/秒(1台)
最大到達距離	65m
視野角	180°
連続記録容量	
データログ	最大8時間
カメラ画像	最大90,000枚/台
計測精度	
絶対精度	7m地点で10cm (rms) 以内
相対精度	1cm (rms) 以内
自己位置精度	6cm (rms) 以内

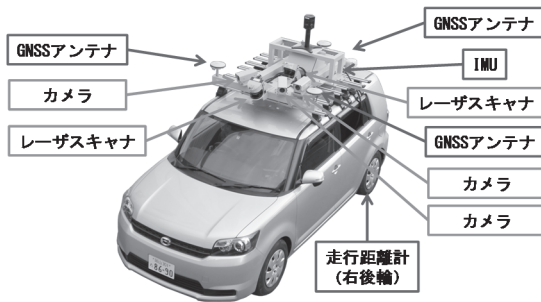


図-4 MMS-K320 の外観及び搭載機器

理には、密結合方式 (Tightly-Coupled 方式) ⁷⁾の複合計算が採用されており、GNSS, IMU, 走行距離計の基本観測量を求め、両者を合わせて一括的に位置姿勢計算を行っている。これにより、ビル群やトンネル等のGNSSが十分に受信できない区間においても、IMUと走行距離計で位置計算を行い、GNSS位置計算と融合処理することで精度を保つことができる ⁸⁾。

後処理された3次元データの精度には、絶対精度、相対精度の2つの考え方があり。絶対精度は、座標の真値とどれだけ離れているかを表す値であり、位置情報の精度と考えられる。一方、相対精度は構造物等がどれだけ正確にスキャンできているかを表す値であり、形状に対する精度と考えられる。GNSS受信状況が良好である場合、車両から7m以内の範囲であれば絶対精度は10cm(rms)以内、相対精度は1cm(rms)以内である ⁹⁾。また、GNSS受信状況が悪い区間が連続する場合は、密結合方式の複合計算を実施したとしても、GNSS受信状況が良好な区間に比べて精度が劣化するものの、精度担保された測量座標を調整用基準点として用いたMMSデータの誤差補正処理 (以後調整点による誤差補正と呼ぶ) を実施することで位置精度の向上が可能である ³⁾。

2.2 使用するMMSデータ

2.2.1 走行軌跡データ

走行軌跡データの例を図5に示す。走行軌跡データには、GNSS時刻と共に車両中心位置座標、姿勢角、予測



図-5 走行軌跡データの例

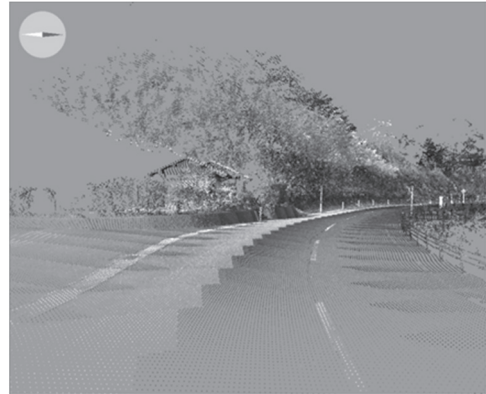


図-6 レーザ点群データの例



図-7 カメラ画像データの例

誤差値、計測距離が連続的に保存される。なお予測誤差値とは、先述した自車位置姿勢データ算出時に出力される測位誤差の推定量である。

2.2.2 レーザ点群データ

レーザ点群データの例を図6に示す。レーザ点群データには、座標値の他にGNSS時刻、予測誤差値、レーザ反射強度、色情報が付与される。なお、色情報はキャリブレーションされたデジタルカメラにより得られた画像データにより付与されたものである。

2.2.3 カメラ画像データ

カメラ画像データの例を図7に示す。本研究で使用するMMSのカメラ画像は正面カメラ、右カメラ、左カメラの3方向である。右カメラと左カメラはキャリブレーションが実施されており、先述したレーザ点群への色情報付与の他、レーザ点群と重畳することにより机上での測量が可能となる。

2.3 使用するソフトウェア

長区間計測した MMS データは非常に膨大なものとなり、取り扱いが困難である。レーザ点群データにおいては、毎秒最大 27,100 点×2 台=54,200 点ものレコードが蓄積される。本研究では、MMS データを高精度かつ軽快に活用するために、図 8 に示す岡山理科大学と㈱ウエスコにて共同開発された閲覧解析アプリケーション「MoMoS」(以後閲覧解析アプリケーションと呼ぶ)を使用する。

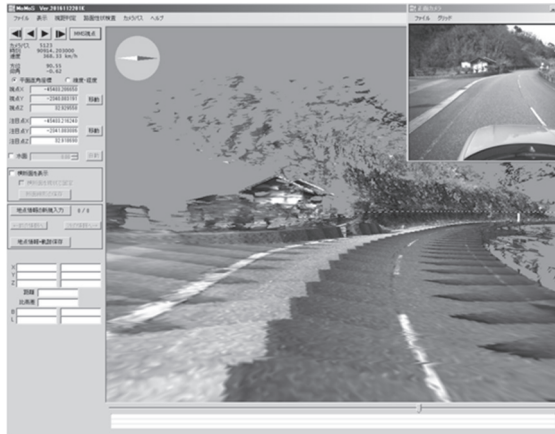


図-8 閲覧解析アプリケーション

本研究で使用する閲覧解析アプリケーションには、レーザ点群データから高精度な 3D モデルを連続的かつリアルタイムに作成する機能が備わっている。3D モデル構築の概要を図 9 に示す。3D モデルを生成することで、点群データから得られなかった写真のようなリアリティや、シームレスな横断面等が得られる。高精度な 3D モデルは、精度の変化が少ない隣同士の 1 回のレーザスキャン(単スキャン)の点データをつなぎ合わせることで作られる。単スキャンの識別は、単スキャン毎に記録される GNSS 時刻をキーにして行われ、描画の際も GNSS 時刻をキーに必要な箇所のみを抽出描画する。閲覧解析アプリケーションにはこの仕組みが搭載されており、3 次元

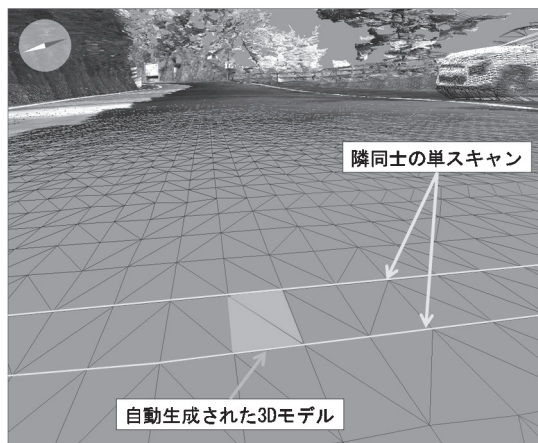


図-9 3D モデル構築の概要

モデルの自動生成及び高速描画機能が実装されている。その結果、図 10 に示す様な凸凹形状が多い吹き付け法面であっても詳細な現況再現、高速描画が可能になる¹⁰⁾。

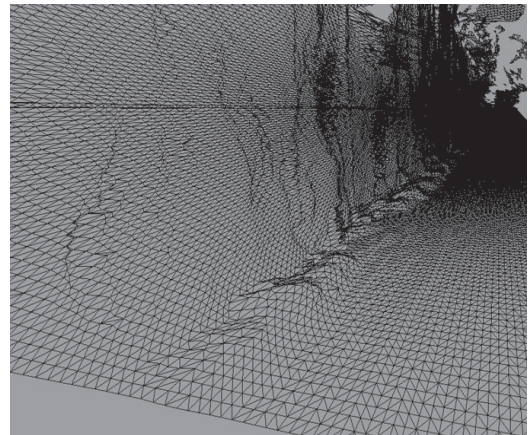


図-10 吹き付け法面の現況再現

2.4 視距不良区間の自動抽出手法

視距不良区間抽出のアルゴリズムを図 11 に示す。

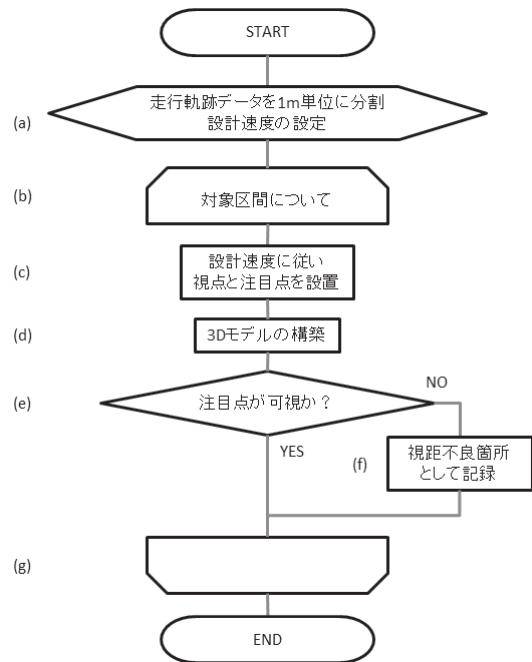
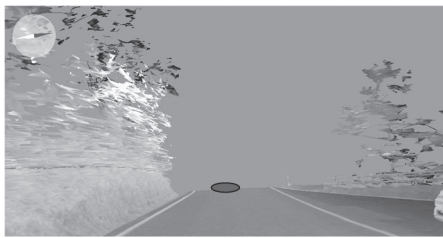


図-11 視距不良箇所抽出のアルゴリズム

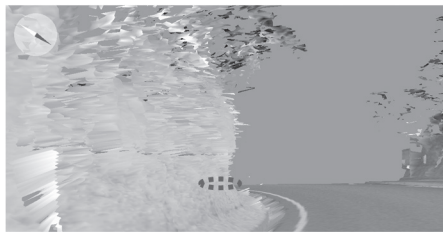
(a)前処理として、視距判定の基準値がメートル単位であるため、0.1 秒単位で連続取得された走行軌跡データを 1m 単位に再分割する。また、対象区間の設計速度を条件として設定する。

(b)対象区間について、繰り返し処理を開始する。

(c)(a)で作成した走行軌跡データは標高が既知、かつ路面からの高さが一定なので、これを基に路面高を算出し、高さ 1.2m の視点を設定する。次に、設定された設計速度の視距の基準値分進んだ地点でも同様に路面高を算出し、高さ 10cm の注目点を設定する。



注目点が見えた場合



注目点が見えない場合

図-12 注目点の可視判定の概要

(d)前述の手法を用いて 3D モデルを構築する。

(e)閲覧解析アプリケーション上において(c)で設定した視点から注目点を見通し, 3D モデルと干渉せずに注目点が見えるか否かを判定する。判定の概要を図 12 に示す。一般に, 3D モデルの描画を行うと, 色情報と, 画素の奥行きを示す深度情報が画素ごとに記録される。そこで, 注目点に対応する画素の深度を調べ, それが本来の注目点の深度よりも浅い場合は, 注目点の手前に何らかの物体が描画されて, 注目点が見えない状態であると判定できる。注目点が見えないと判定された場合は, (f)視点と注目点の座標を記録する。注目点が見えた場合は, (g)繰り返し処理の終点へ進み対象区間が終了するまで処理を繰り返す。この繰り返し処理により, 視距不良区間の視点と注目点の座標が連続的に抽出できる。

このアルゴリズムをプログラム化し, 閲覧解析アプリケーションへ組み込み, 視距不良区間の自動抽出を可能にした。

3. 精度検証

3.1 実験フィールド

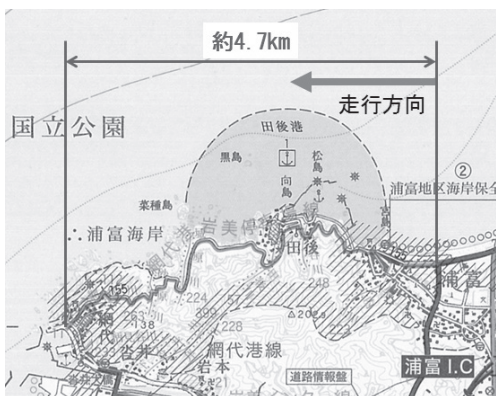


図-13 実験フィールド

実験フィールドは, 図 13 に示す鳥取県内の海岸沿い道路約 4.7km である。この地域は山陰海岸ジオパークの 1 つとして認定されており, 多くの観光客が訪れる場所でもある。海岸地域であるため, 山沿いに道路が建設されており, カーブが多いことが特徴である。

3.2 海岸地域における MMS データの精度検証

自動抽出手法の精度検証に使用する, MMS データの絶対精度を検証する。なお, 相対精度は絶対精度の変化に依存するため, 本研究での検証対象外とする。

3.2.1 MMS データの取得と FIX 解の取得状況

実験フィールドを MMS で計測し, MMS データを取得した。MMS の計測精度は GNSS 受信状況に依存する。MMS が自己位置解析に使用する GNSS 観測では, 受信機に GNSS からの搬送波が到達した際, 波の小数部は把握できるが整数部が不明となる。この整数部を整数値バイアスと呼び, バイアスを整数値で求めた解を FIX 解, 実数値で求めた解を FLOAT 解と呼ぶ。FIX 解は FLOAT 解よりも精度が高く, 公共測量の GNSS 観測では FIX 解を得ることが前提条件となっている¹¹⁾¹²⁾。GNSS 受信状況が良好な区間では FIX 解の得られる確率が高く, 今回取得した MMS データでは, 図 14 に示すとおり多くの区間において FIX 解が得られていることがみてとれた。な



図-14 FIX 解の取得状況

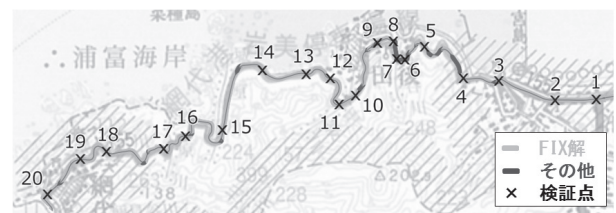


図-15 検証点の設置



図-16 GNSS 測量による座標の取得



図-17 机上測量アプリケーションによる座標の取得

お、本研究では FIX 解が取得されなかった状態をその他の状態として集約している。

3.2.2 検証点の設置

取得した MMS データの絶対精度を検証するために、図 15 に示す 20 点の検証点を設置した。設置場所は、GNSS 受信状況が悪い箇所、カーブが連続する箇所を網羅するよう考慮した上で、MMS データでも確認できる明瞭な路面標示を活用した結果である。検証点の座標は、図 16 に示すような、ネットワーク型 RTK 法 GNSS 測量

表-4 座標の比較結果

	水平位置の較差	標高の較差
点数	20	
最大値 (m)	0.331	0.123
最小値 (m)	0.024	0.000
平均値 (m)	0.081	0.047
RMS 誤差 (m)	0.284	0.217
標準偏差 (m)	0.292	0.223

表-5 数値図化用データと調整点の較差の許容範囲

地図情報レベル	水平位置	標高
500	0.15m 以内	0.20m 以内
1000	0.30m 以内	0.30m 以内

表-6 各検証点の比較結果の詳細

検証点 NO	較差					MMS計測状況			走行距離		数値図化用データ(500)		数値図化用データ(1000)	
	ΔX	ΔY	ΔS	ΔZ	$\Delta 3D$	衛星受信	PDOP	FIX解	累計距離(m)	区間距離	水平位置	標高	水平位置	標高
1	0.020	0.046	0.050	0.010	0.052	5	3.47	○	0.0	0.0	○	○	○	○
2	0.009	0.025	0.026	0.010	0.028	6	3.19	○	237.6	237.6	○	○	○	○
3	0.023	0.016	0.028	0.046	0.054	6	3.19	○	587.5	349.9	○	○	○	○
4	0.063	0.008	0.064	0.046	0.078	5	3.47	○	795.9	208.4	○	○	○	○
5	0.105	0.019	0.106	0.067	0.126	5	3.47	○	1144.5	348.6	○	○	○	○
6	0.118	0.123	0.170	0.000	0.170			×	1304.2	159.7	×	○	○	○
7	0.259	0.119	0.285	0.021	0.286			×	1350.6	46.4	×	○	○	○
8	0.293	0.154	0.331	0.055	0.335			×	1452.6	102.0	×	○	×	○
9	0.026	0.034	0.043	0.023	0.049	4	7.87	○	1552.3	99.7	○	○	○	○
10	0.003	0.061	0.061	0.012	0.062	5	6.9	○	1908.9	356.7	○	○	○	○
11	0.027	0.046	0.053	0.047	0.071	6	2.39	○	2016.1	107.1	○	○	○	○
12	0.063	0.005	0.064	0.050	0.081	6	2.39	○	2223.8	207.8	○	○	○	○
13	0.025	0.022	0.033	0.023	0.040	5	3.45	○	2393.1	169.3	○	○	○	○
14	0.023	0.005	0.024	0.051	0.056	5	3.44	○	2662.9	269.7	○	○	○	○
15	0.056	0.017	0.059	0.058	0.083	6	2.83	○	3185.3	522.4	○	○	○	○
16	0.049	0.017	0.052	0.055	0.076	5	3.4	○	3627.5	442.2	○	○	○	○
17	0.021	0.014	0.026	0.079	0.083	6	3.07	○	3819.8	192.3	○	○	○	○
18	0.059	0.032	0.067	0.080	0.105	6	2.34	○	4219.3	399.6	○	○	○	○
19	0.042	0.018	0.046	0.087	0.098	6	2.34	○	4432.2	212.9	○	○	○	○
20	0.020	0.022	0.029	0.123	0.127	6	2.33	○	4717.6	285.4	○	○	○	○

にて取得した。MMS データの座標は、図 17 に示す机上測量アプリケーションを用いて取得した。

3.2.3 GNSS 測量と MMS データの比較結果

取得した検証点座標と、机上測量ツールを用いて取得した MMS データ座標の比較結果を表 4 に示す。

MMS データを用いて数値図化を実施する場合、数値図化用データと調整点の較差の許容範囲は、表 5 のように規定されている³⁾。

今回使用した検証点を調整点として使用した場合、検証区間の中で地図情報レベル 500 の数値図化に使用できるデータは約 91%であり、道路台帳平面図と同等の位置精度となる地図情報レベル 1000 の数値図化に使用できるデータは約 96%であった。また、許容範囲に入らない区間は、いずれも GNSS 受信状況が悪い区間であったため、調整点による誤差補正を実施すれば、さらなる精度向上も可能である³⁾。なお、各検証点の比較結果の詳細は表 6 のとおりである。

3.3 自動抽出手法の精度検証

3.3.1 視距不良区間の自動抽出結果

精度が確保できた MMS データを基に、今回提案した自動抽出手法を用いて視距不良区間の視点座標、注目点座標を抽出した。図 18 に抽出結果を示す。抽出処理時間は、PC スペックに依存するが数分である。

主な視距不良要因と箇所数を表 7 に示す。斜面による視距不良が、その他の要因に比べて多いことがみてとれる。この結果は、山沿いに建設された道路が多いという

表-7 視距不良の要因と箇所数

視距不良の要因	該当箇所数
斜面	7 箇所
ガードレール	5 箇所
建物	3 箇所
樹木	2 箇所

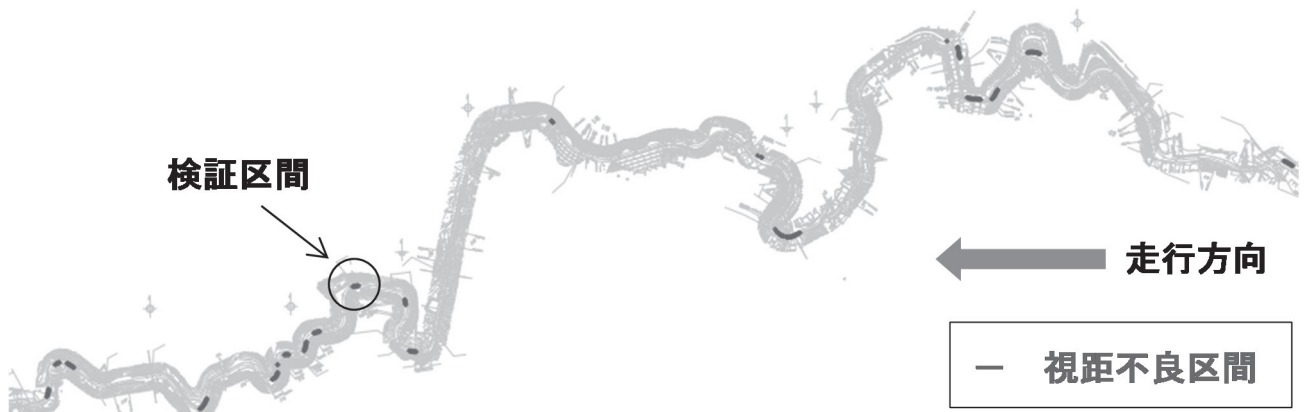


図-18 視距不良区間の自動抽出結果と検証区間

海岸地域の特性が反映されていると考えられる。なお、視距不良要因は、自動抽出中の閲覧解析アプリケーション画面から判定できる。

3.3.2 抽出座標の復元

抽出された視距不良区間の中から、図18に示すGNSS受信状況が良好な斜面による視距不良区間を選定し、図19に示すネットワーク型RTK法GNSS測量を用いて、視距不良区間の起終点の視点、注目点の座標を現地に復元した。さらに、視距不良になる様子、視距不良が解消

する様子を確認するため、視距不良区間起点 2m 手前、1m 手前、視距不良区間終点 1m 後、2m 後の視点、注目点の座標、計 12 点を図 20 のとおり復元した。

3.3.3 見通しの確認

復元した視点座標に測量用スタッフを立て、高さ 1.2m の視点から、注目点座標に設置した高さ 10cm の模擬注目点（以後ターゲットと呼ぶ）の頂点への見通しを確認し、写真を撮影した。確認状況を図 21 に示す。



図-19 GNSS 測量を用いた座標の復元



図-21 見通しの確認状況



図-20 抽出座標の復元

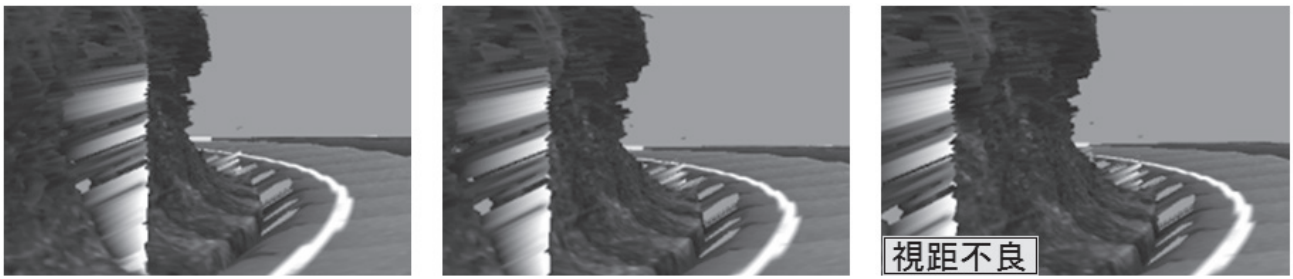
3.3.4 検証結果

図 22 に視距不良区間起点の検証結果を示す。上段は閲覧解析アプリケーションの画面キャプチャ、中段は見通しの確認時に撮影した写真、下段はターゲットを拡大表示した写真である。左の写真は視距不良起点 2m 手前の視点座標から、ターゲットを見通した写真である。この段階では見通しが利くことが写真からみてとれる。さらに、写真が左から右に移るにつれて、見通しが効かなくなる様子が認められ、視距不良起点においては完全にターゲットが見えなくなっている。

次に、視距不良終点の検証結果を図 23 に示す。左の視距不良終点段階での写真では、ターゲットが全く見えていない。そして、写真が左から右に移るにつれて見通しの利くようになる様が完全に一致している。

このことから、本研究で使用した閲覧解析アプリケーションで作成される 3D モデルは、MMS で計測した現況

車載写真レーザ測量システムを用いた視距不良区間の自動抽出技術



視距不良起点 2m 手前

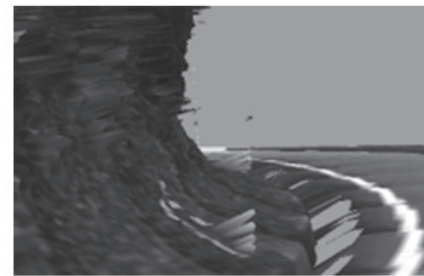
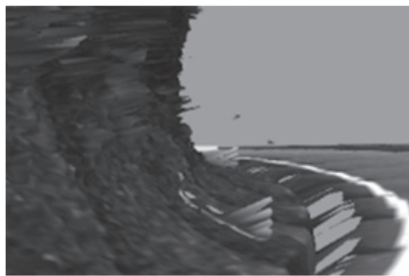
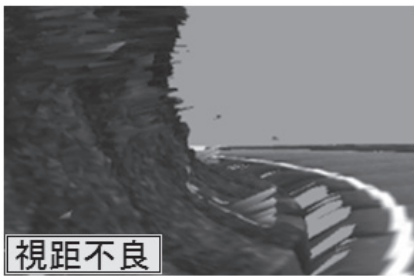


視距不良起点 1m 手前

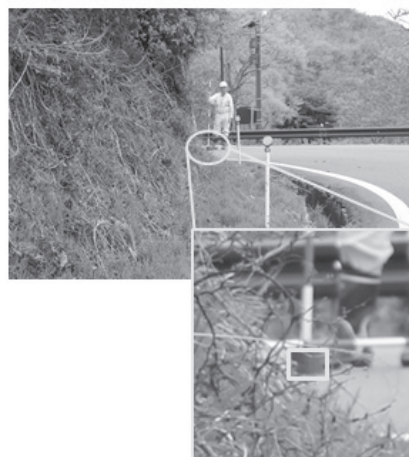


視距不良起点

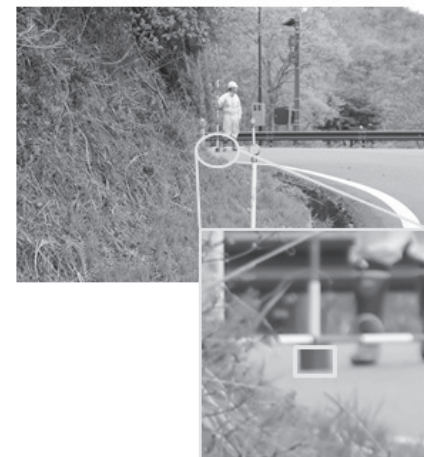
図-22 視距不良区間起点の見通し確認の結果



視距不良終点



視距不良終点 1m 後



視距不良終点 2m 後

図-23 視距不良区間終点の見通し確認の結果

をきわめて忠実に再現しており、本研究で提案したアルゴリズム及び作成したプログラムにより視距不良区間を正確に自動抽出できることが分かった。なお、自動抽出結果の位置精度は MMS データの計測精度に依存するため、今回得られた自動抽出結果の位置精度は、MMS データの精度検証結果のとおり道路台帳平面図と同等であると言える。また、GNSS 受信状況が悪い区間が連続し、計測精度の劣化した MMS データを使用する際には、事前に調整点による誤差補正を実施することで、精度向上された自動抽出結果を得ることができる。

3.4 予測誤差値の精度検証

3.4.1 精度検証の概要

本研究に使用した MMS データには、自転車位置姿勢データ算出時に測位誤差の推定量として予測誤差値が出力される。予測誤差値が示す誤差量と 3.2 で使用した検証点の較差が同様の傾向を示せば、予測誤差値のみを用いた絶対精度の点検が可能となり、さらなる省力化が可能である。そこで、予測誤差値が示す誤差量と、検証点の較差を検証値として比較し、予測誤差値の確からしさを検証する。

3.4.2 予測誤差値と検証値の比較結果

水平方向の比較を図 24 に示す。横軸は MMS の走行距離、縦軸は誤差量である。全体を通して見れば、概ね同じような傾向がみてとれるが、誤差量が 15cm 以下の場合、予測誤差値が検証値よりも小さくなる傾向がみてとれる。

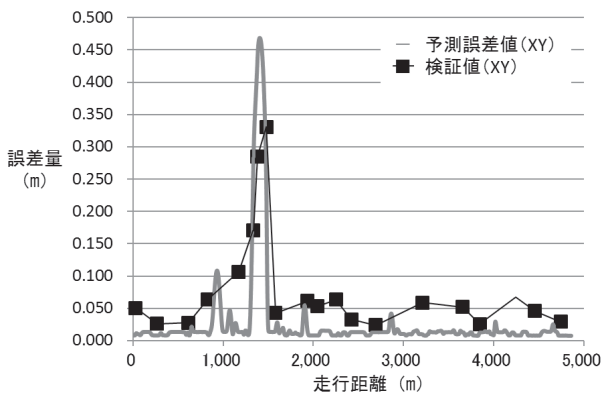


図-24 水平位置の誤差量の比較

次に、標高点の比較を図 25 に示す。標高点では予測誤差値と検証値の差が大きくなり、同じような傾向はみてとれないが、誤差量が 15cm を超える場合は予測誤差値が検証値よりも大きくなる傾向がみてとれる。

最後に、3次元位置の誤差量の比較を図 26 に示す。予測誤差値と検証値は概ね同じような傾向がみてとれるが、水平位置の比較と同様に、誤差量が 15cm 以下の場合、予測誤差値が検証値よりも小さくなり、誤差量が 15cm を超える場合は、標高点の比較と同様に、予測誤差値が

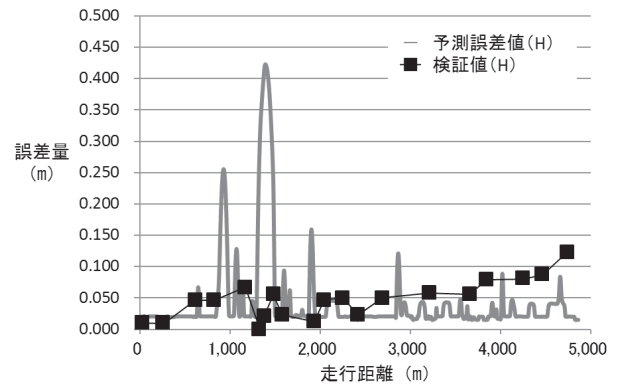


図-25 標高点の誤差量の比較

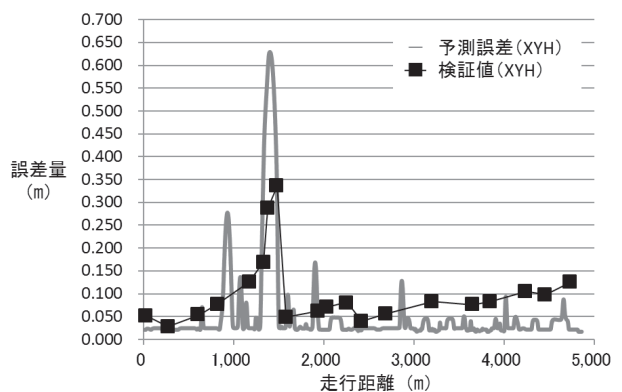


図-26 3次元位置の誤差量の比較

検証値よりも大きくなる傾向がみてとれた。

以上の結果から、標高点の誤差量の比較では予測誤差値と検証値の間に関係性は見出せなかったものの、水平位置、3次元位置の誤差量の比較結果から、予測誤差値と検証値の間に同様の傾向がみてとれた。また、今回の検証データでは、MMS データの位置精度が悪くなるにつれて、予測誤差値が実際の誤差量より大きくなる傾向もみてとれた。MMS データの位置精度を向上させるためには、調整点による誤差補正が必要である。今回の検証結果は、予測誤差値が調整点の設置場所の指標として活用できることを示している。

4. 結論

本研究を通じ、MMS データを用いた視距不良区間の効率的な自動抽出手法を提案すると共に、海岸地域における MMS データの精度検証、視距不良区間の自動抽出結果の精度検証を実施した。

海岸地域を計測した MMS データの精度検証では、調整点による誤差補正で位置精度を向上しなくとも、検証フィールド約 96% の区間が地理情報レベル 1000、約 91% の区間が地図情報レベル 500 の数値図化に対応した数値図化用データとして取得できていた。また、数値図化用データの基準から外れた区間は、衛星受信状況が悪い区

間であったため、調整点による誤差補正を実施することで位置精度のさらなる向上が見込まれた。

自動抽出手法の精度検証では、GNSS 受信状況良好区間の MMS データから自動抽出した視距不良区間が、実際の視距不良区間と完全に一致することが確認できた。このことから、本研究で使用した閲覧解析アプリケーションで作成される 3D モデルは、MMS で計測した現況をきわめて忠実に再現しており、本研究で提案したアルゴリズム及び作成したプログラムにより視距不良区間を正確に自動抽出できることが分かった。また、自動抽出結果の位置精度は MMS データの計測精度に依存するため、今回得られた自動抽出結果の位置精度は、MMS データの精度検証結果のとおり道路台帳平面図と同等であると言える。また、GNSS 受信状況が悪い区間が連続し、計測精度の劣化した MMS データを使用する際には、事前に調整点による誤差補正を実施することで、精度向上された自動抽出結果を得ることができる。

さらに、海岸地域から自動抽出された視距不良区間の集計結果から、斜面による視距不良が、その他の要因に比べて多いことが分かった。この結果は、山沿いに建設された道路が多い海岸地域の特性を顕著に表していたと言える。抽出された視距不良区間は、交通量、道路幅員、道路曲線、縦断勾配、車線数等の調査結果を追加することで、安全対策の優先順位決めに利用される。図 27 に視距不良区間の改良計画の例を示す。

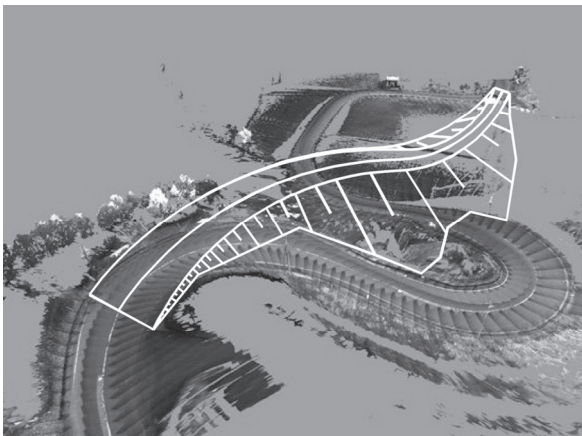


図-27 改良計画の例

MMS データに含まれる予測誤差値の精度検証では、標高点で予測誤差値と検証値の間に関係性は見出せなかったものの、水平位置、3次元位置の誤差量の比較結果から、予測誤差値と検証値の間に同様の傾向がみとれた。また、今回の検証データでは、MMS データの位置精度が悪くなるにつれて、予測誤差値が実際の誤差量より大きくなる傾向もみとれた。MMS データの位置精度を向上させるためには、調整点による誤差補正が必要である。これらの結果から、予測誤差値が調整点の設置

場所の指標として活用できることが示された。

以上の結果から、海岸地域のような、斜面が道路に隣接するカーブが多い地域でも、MMS での計測が可能であれば、視距不良区間が自動抽出でき、位置情報を持った道路台帳平面図との重畳が可能であることが分かった。

もちろん、他の地域においても、MMS 計測が可能であれば、当手法を用いた視距不良区間の自動抽出が有用であり、大幅な省力化が実現できる。

5. 参考文献

- 1) 須田義大・青木啓二 (2015). 自動運転技術の開発動向と技術課題, 情報管理, **57**(11), 809-817.
- 2) 公益財団法人交通事故総合分析センター (2016). 交通統計平成 27 年版, 45-67.
- 3) 公益社団法人日本測量協会 (2017). -公共測量-作業規程の準則解説と運用地形測量及び写真測量編, 68-102.
- 4) 公益社団法人日本道路協会 (2015). 道路構造令の解説と運用, 384-395.
- 5) 吉村美保・浜岡秀勝・森地 茂 (1999). 視距に着目した交通事故分析, 土木計画学研究・講演集, **22**(2), 929-939.
- 6) 小林一郎・宮下征士・坂口将人・上田誠 (2009). MMS データを用いた視距改良設計, 土木情報利用技術論文集, **18**, 1-8.
- 7) Bruno M. Scherzinger (2006). Precise Robust Positioning with Inertial/GPS RTK, Journal of the Institute of Navigation, **53**, 73-83.
- 8) 瀧口純一 (2011). 高精度 GPS 移動計測装置三菱モータービルマッピングシステム, 情報処理学会研究報告, **2011-CVIM-176**(20), 1-5.
- 9) 三菱電機(株) (2017). 三菱モータービルマッピングシステム高精度 GPS 移動計測装置.
<<https://www.mitsubishielectric.co.jp/mms/spec.html>>
(2017年6月26日)
- 10) 島田英之・花谷和樹・島田恭宏・大倉 充・吉川 慶・南原英生 (2014). Web ブラウザによる MMS データビューワーの開発, 電気情報通信学会論文誌, **J97-D**(5), 984-986.
- 11) 公益社団法人日本測量協会 (2017). -公共測量-作業規程の準則解説と運用基準点測量編、応用測量編, 84-107.
- 12) 千葉史隆・池田隆博・佐田達典・石坂哲宏 (2010). RTK 測位における GLONASS 併用効果の分析, 平成 22 年度 (第 54 回) 日本大学理工学部学術講演会論文集, 439-440.

(平成29年6月30日受付) (平成29年8月28日受理)