GNSS データを用いた冬期道路環境における走行位置の観測

林　亮佑[1]・八木　雅大[2]・高橋　翔[3]・萩原　亨[4]・松本　一城[5]

[1]学生会員　北海道大学　大学院工学院（〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目）
E-mail: hayasii@eis.hokudai.ac.jp (Corresponding Author)

[2]学生会員　北海道大学　大学院工学院（〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目）
E-mail: masahiro@eis.hokudai.ac.jp

[3]正会員　北海道大学准教授　大学院工学研究院（〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目）
E-mail: stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

[4]フェロー　北海道大学教授　大学院工学研究院（〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目）
E-mail: hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

[5]国土交通省　北海道開発局　建設部　道路計画課（〒060-8511 北海道札幌市北区北 8 条西 2 丁目）
E-mail: matsumoto-k22ag@milt.go.jp

道路状況の変化が激しい積雪寒冷地では，道路交通マネジメント・道路利用者への情報提示のため，走行環境のモニタリングが重要である．現状，CCTV カメラなどを用いた定点観測が行われているが，観測範囲には限界がある．広大な道路ネットワークをモニタリングするには，自動車による移動観測が一つの有効な手段と考えられる．本研究では，稚内-札幌間を運行する都市間バスから得た GNSS データに基づき，走行環境のモニタリングを試みる．具体的には，GNSS データを用いてバスの横断方向の走行位置を算出する．このバスの横断方向の走行位置は，路肩の堆雪や路面の状況に応じて変化すると考えられる．ある緯度経度を車両が通過する前後の気象条件や車両の前方画像から，走行環境とバスの走行位置との関係性について考察をした．その結果，路肩の堆雪や路面の状況に応じた走行位置の変化が確認できた．その一例として，路肩の堆雪の増大に伴い，走行位置が中央線側へよることが明らかとなった．このことから，路肩の堆雪状況を車両の GNSS データによりモニタリング出来る可能性が示唆された．

Key Words: *GNSS, monitoring, winter road condition, snow accumulation, vehcle lateral position*

1.　はじめに

北海道など積雪寒冷地の冬期道路では，路面状態・視程・路肩の堆雪などにより，走行環境の変化が激しい．走行環境の変化への対応が遅れることは，道路交通サービスの低下や深刻な交通事故の発生につながる．適切な道路交通マネジメント・道路利用者への情報提示のため，走行環境のモニタリングが重要となる．

現状，走行環境のモニタリングとして，Closed-circuit Television カメラ（以降，CCTV カメラ）を用いた定点観測が行われている．CCTV カメラで得られた画像から，視程障害を検出する手法 [1]などが提案されており，道路管理者による走行環境の監視や道路利用者に向けた発信が行われている．しかし，CCTV カメラは約 5km 間隔で設置されており，観測可能な範囲に限界がある．広大な道路ネットワークをモニタリングするには，各種センサを搭載した自動車による移動観測が有効な手段の一つと考えられる．

このような背景から，著者らは車両前方の動画像や GNSS データなどを記録可能なシステムを構築 [2]し，都市間バスや道路交通パトロールカーに搭載することでデータの集積を行っている．また，GNSS データにより車両の横方向の走行位置を観測する手法 [3]を提案している．

本論文では，この車両の走行位置から道路環境のモニタリングを試みる．車両の走行位置は，道路環境に応じて変化する．図-1 に，冬期道路特有の環境を示す．図-1(a)のように，滑りやすい雪氷路面において，ドライバは路肩側に寄った走行を行う [4]．また，図-1(b)のよう

に，路肩に大きな堆雪がある場合，中央線側に寄った走行となる．これらの走行位置の変化を検出することで，走行環境のモニタリングが可能と考えられる．

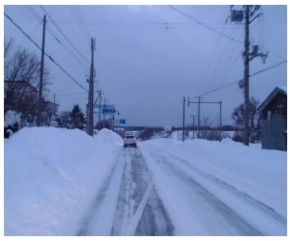
GNSS データにより車両の横方向の走行位置を観測する手法では，オープンソースのデジタル地図データである OpenStreetMap[5]（以降，OSM）の道路リンクを基準とし，道路リンクと GNSS 測位座標との距離に基づいて，車両の走行位置の観測を行う．この手法では，複数の GNSS 測位座標を用いて走行位置の推定を行うことで，偶然誤差の影響を軽減している．しかしながら，OSM を基準とすることについて課題がある．OSM は，高精度な位置情報を要求する用途を想定したものではない．このため，OSM の位置のずれが，車両の走行位置の観測に影響を及ぼす可能性がある．

そこで，本稿では単独での高精度な測位が可能な Centimeter-Level Augumentation Service（以降，CLAS）測位により得た車道外側線の位置を基準データとして用いた横断方向の走行位置観測手法を提案する．これにより，基準位置に伴う誤差が低減でき，横断方向の走行位置観測の精度向上が期待できる．また，この手法を実データに適用し，降雪に伴う走行環境の変化の検出を試みる．

以降，本稿では 2.で走行位置観測の基準データについて説明し，3.で車両の横断方向の走行位置観測手法について説明する．4.では，基準データを用いた従来手法の誤差評価，及び走行環境のモニタリングが提案手法によって可能となることを実験により確認する．最後に，5.で本稿のまとめを行う．

2. 走行位置観測の基準データ

本章では，本研究で用いる走行位置観測の基準データについて説明する．走行位置観測の基準として，路面に示されている車道外側線または中央線が考えられる．本研究では，中央線は破線になることがあり，確実な位置の連続的な把握が難しいことから，車道外側線を基準とした． また，車道外側線の緯度・経度座標を，単独測位でセンチメートル・オーダーの測位精度を持つ CLAS による RTK-GNSS 測位で，高精度かつ連続的に記録した．具体的には，CLAS 対応の受信機とアンテナを車両に設置し，アンテナが車道外側線直上を通るよう走行し，緯度・経度座標の記録を行った．計測データの受信環境を表 1 に，計測区間を図-2 に示す．計測区間の内訳は，起点を道の駅るもい，終点を稚内駅として，国道 232 号（L=127km），道道 121 号（L=2.6km），幌富バイパス（L=10.9km），豊富バイパス（L=16.0km），及び国道 40 号（L=24.7km）である．車道外側線の緯度・経度座標の計測は，双方向で走行位置の算出が行えるよう，両側の車線で行っている．


(a) 路肩の堆雪

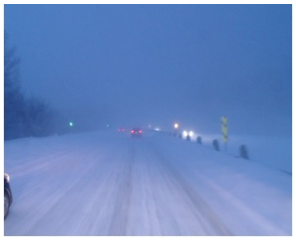

(b) 視程障害・雪氷路面

図-1 降雪に伴う走行環境の悪化

表-1 受信環境

項目	受信機材
GNSS 受信機	Septentrio mosaic-CLAS
アンテナ	Hi-Target AH-4236SSN

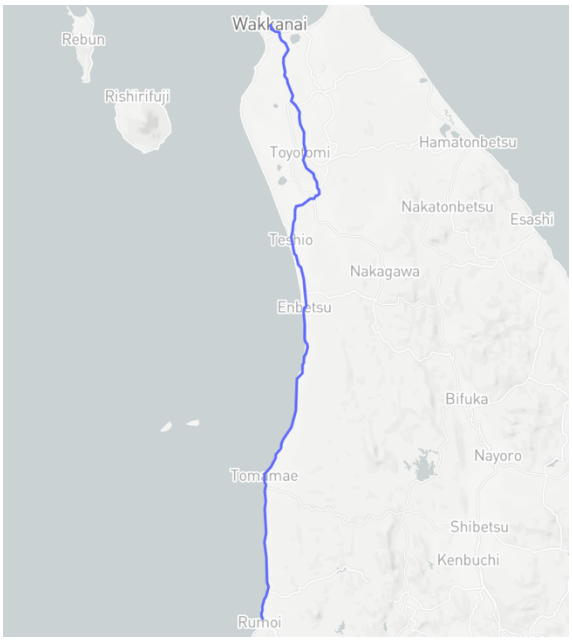


図-2 基準データ計測区間

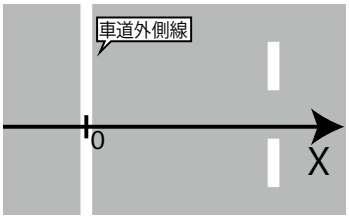


図-3 走行位置の座標

3. 横断方向の走行位置算出

本章では，GNSS データから車両の横断方法の走行位置を算出する手法について説明する．車両の走行中に記録された測位座標の基準である車道外側線に対する位置を定量化するため，提案手法では，1 次元の座標系を新たに定義する．この座標系における軸は，車道外側線に直行し，その交点を原点とする．軸上で車道外側線から中央線への方向を正とする．この X 軸上の位置を，GNSS データに基づき求める．具体的には，(1)と(2)の 2

表-2　走行位置座標の決定方法

α	$\beta-\alpha$	x
$0° \le \alpha < 180°$	$0° < \beta-\alpha < 180°$	d
	$180° < \beta-\alpha < 360°, -180° < \beta-\alpha < 0°$	$-d$
$180° \le \alpha < 360°$	$-360° < \beta-\alpha < -180°, 0 < \beta-\alpha < 180°$	d
	$-180° < \beta-\alpha < 0°$	$-d$

ステップにより求める．(1)記録された測位座標それぞれについて，最近傍の車道外側線座標を取得し，X 軸上の座標を算出する．X 軸上の座標は，測位座標計測時点の車両の進行方向の方位角，外側線から測位座標に向けた方位角を用いて決定する． (2)車両座標を標準地域メッシュで分け，各メッシュのX軸上の座標の代表値を算出する．GNSS 測位は数 m 単位の誤差が生じうる．そのため，提案手法では複数のデータを用いて，より正確な値へ近似する．メッシュのサイズは，GNSS 受信機の精度やデータの量に応じて選択する．代表値は，それぞれのメッシュに含まれる測位座標のX軸上の座標の調整平均を用いる．これをそのメッシュにおける車両の横断方向の走行位置とする．以降，それぞれのステップについて，詳述する．

(1) 車両座標における横断方向の走行位置算出

提案手法では，車両の走行中に記録された緯度・経度座標（以降，車両座標）と基準である車道外側線位置との位置関係に基づき，図-3 に示したX軸上の座標として，車両の横断方向の走行位置を算出する．ここで，基準である車道外側線位置のデータが離散的な緯度・経度座標であることから，実際の車道外側線のように連続的なデータとするために補完が必要となる．そこで，本研究では隣接する車道外側線の緯度・経度座標に直線補完を行っている．以降，測位で得た車道外側線の緯度・経度座標を外側線ノード，補完を行った連続的な車道外側線の位置データを外側線リンクと呼ぶ．

車両座標から車両の横断方向の走行位置を算出するにあたり，まず，車両座標と最近傍の外側線リンクを各外側線リンクとの距離をそれぞれ計算することで求める．ここで，距離の計算は，誤差 1mm オーダーでの計算が可能な Vincenty の逆解法 [8]を用いる．次に，車両座標と最近傍の外側線リンクとの幾何的な位置関係から，図-3 に示したX軸上の座標を次にように求める．求めるX軸上の座標をx，車両座標と最近傍の外側線リンクとの距離をd，バスの進行方向の方位角をα，X 軸の方位角をβとして，表-2 に規則に則り位置関係を求める．それぞれの変数の例を図-4 に示す．

(2) メッシュにおける代表値の算出

提案手法では，車両座標を標準地域メッシュで分け，

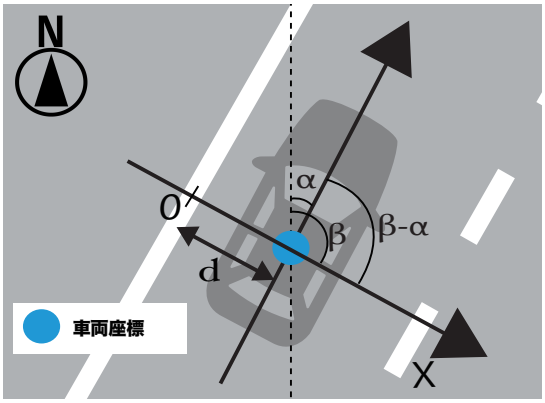


図-4　変数の例（$0° \le \alpha < 180°, 0° < \beta-\alpha < 180°$）

標準地域メッシュにおける代表値を算出する．標準地域メッシュは，緯度・経度に基づき，およそ同じ大きさの正方形の区画を単位として区分が行われており，数値情報と組み合わせた分析に適している．標準地域メッシュは，１辺約 80km 四方の一次メッシュから，一辺 250m 四方の 250m メッシュなど，サイズは種々存在する．提案手法では，GNSS 受信機の精度やデータの量に応じてメッシュのサイズを選択する．

メッシュにおける走行位置の代表値の取得には，まず，測位座標それぞれのメッシュ番号を取得する．次に，同じメッシュ番号の車両座標 について，その車道外側線に対する座標xの調整平均x_{adj}を算出する．計算式を以下に示す．ここで，pはトリム率とし，x_iは昇順に並んでいるものとする．

$$x_{adj} = \frac{1}{N(1-2p)} \sum_{i=pN+1}^{N(1-p)} x_i \qquad (1)$$

調整平均は，GNSS データのような，大きな誤差を含む可能性があるデータに対して，外れ値の影響を受けずに平均値を算出する目的で利用される． ここで，トリム率pは標準地域メッシュのサイズと同様，車両に搭載する GNSS 受信機の測位精度やデータの量に応じて決定する．

4.　実験

本章では，基準データを用いた従来手法の誤差評価，及び走行環境のモニタリングが提案手法によって可能と

なることを実験により確認する．本章の以降では，まず，基準データを用いた従来手法の誤差評価の実験を行う．次に，走行環境のモニタリングが提案手法によって可能となることを実データを用いた実験により確認する．

(1) 基準データを用いた従来手法の誤差評価

本実験では，図-5 に示す赤枠の範囲を対象として，基準データを用いて従来手法の基準である OSM の誤差を評価し，走行位置観測の基準データ導入の有効性を確認する．基準データは CLAS による測位を行っている．CLAS の測位精度を表-3 に示す．また，実験に用いる基準データについて，表-4 に示す．図-5 に示す範囲において，基準データの Fix 率は 100%であり，表-3 より移動体の水平測位誤差≤ $12cm$ (95%)を満たす．このことから，以降，基準データが十分な精度を持つことを前提に，OSM の誤差を評価する．

具体的には，車道外側線の座標を記録した基準データと OSM の道路リンクとの距離を Vincenty の逆解法により求め，対象範囲の標準偏差を算出する．OSM が十分な精度を持っていた場合，車道外側線との距離はおよそ一定となり，標準偏差は小さい値を取ると考えられる．

実験の結果，基準データと OSM の道路リンクとの距離の標準偏差は 1.37 m であった．このことから，従来手法では，誤差が正規分布に従うとした場合，0.5 車線分の誤差が約 68%の割合で走行位置の観測結果に含まれることとなる．これは，降雪など走行環境の変化により起こる，本来観測されるべき走行位置の変化を覆い隠す可能性がある．従って，OSM に代わり車道外側線の基準データを用いることの有効性が示された．

(2) 提案手法による走行環境のモニタリング実験

本実験では，走行環境のモニタリングが提案手法により可能となることを実データを用いて確認する．提案手法で用いるメッシュのサイズは，1 辺が 1km と扱いやすい 3 次メッシュとする．また，トリム率pは実験データの記録に使用した GNSS 受信機（GlobalSat 社 BU-353S4）の測位精度に基づき決定する．BU-353S4 の精度は≤ $2.5m$ (95%)であり，1m 以上の誤差の発生割合およそ 20%であることから，トリム率$p = 20\%$とした．

実験には，宗谷バスが運行する都市間バスの特急わっかない号に搭載した advanced RVIS[2]から得た GNSS データを用いる．宗谷バスの走行経路を図-6 に示す．対象とする期間は，大きな降雪が確認された 2021 年度を対象とし，2021 年 9 月から 2022 年 2 月末までに取得されたデータを用いる．それぞれの月のバスの走行回数を表-5 に示す．実験は 2 つ行う．1 つ目の実験では，走行位置計測が可能な全区間を対象とし，降雪のない期間とのコサイン類似度と降雪量の関係を比較することで，提案手法が降雪に伴う走行環境の変化を検出できるかを確認する．2 つ目の実験では，走行位置の変化が大きいと考えられる，片側 2 車線の道路と路肩の広い高規格道路上の 3 次メッシュを対象とし，車載カメラから撮影された画像と実際の走行位置の変化を比較することで，走行環境の変化を観測できているかを確認する．

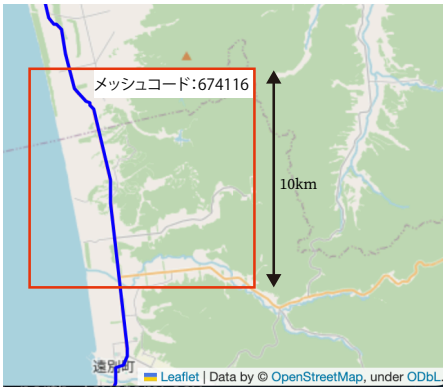


図-5 実験範囲

表-3 CLAS の測位精度[9]

種別	測位誤差	
	水平	垂直
静止	≤ $6cm$ (95%)	≤ $6cm$ (95%)
移動体	≤ $12cm$ (95%)	≤ $24cm$ (95%)

表-4 実験で用いる基準データ

項目	内容
座標数	609
Fix 率	100%

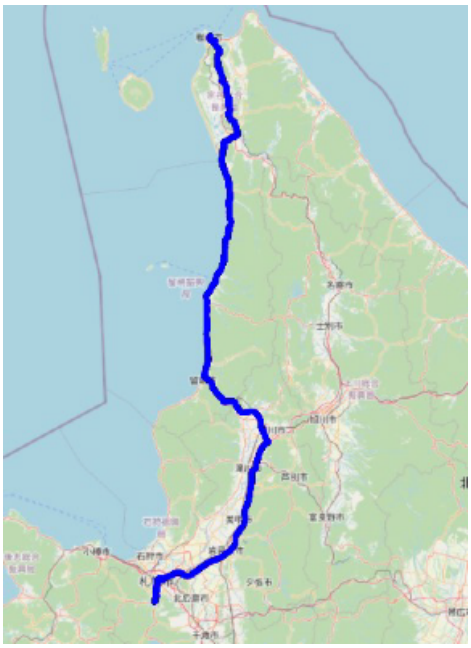

図-6 宗谷バス走行経路

表-5　バス走行回数

	2021 年 9 月	2021 年 10 月	2021 年 11 月	2021 年 12 月	2022 年 1 月	2022 年 2 月
走行回数	24	24	25	20	20	14

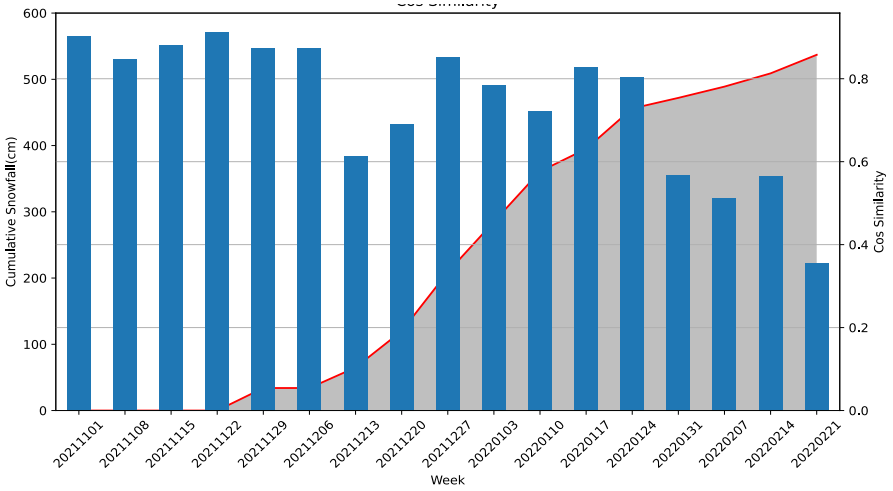


図-8　コサイン類似度と降雪量

A)　コサイン類似度と降雪量

本実験では，提案手法を用いて図-7 に示す 226 の 3 次メッシュの走行位置から，有効性の確認を行う．具体的には，メッシュごとの走行位置を並べたベクトルにより比較を行う．まず，2021 年 9 月・10 月の各メッシュの走行位置の中央値を算出し，メッシュ番号の大きい順に並べ，ベクトルとする．このベクトルと，2021 年 11 月から 2022 年 2 月にかけての各週ごとの中央値により同様に作成したベクトルとのコサイン類似度を算出する．このコサイン類似度が大きければ，提案手法の上では同様な走行環境であることを示し，コサイン類似度が小さければ，異なる環境であることを示す．降雪量と併せて比較することで，降雪に伴う走行位置の変化を検出できているか，確認する．

結果を図-8 に示す．横軸の値は週の第 1 日目を示す．棒グラフが各週の 2021 年 9 月・10 月に対するコサイン類似度を示し，右の縦軸に対応する．赤色の折れ線グラフは，気象庁より得た [10]，2021 年 11 月からの累積降雪量を示し，左の縦軸に対応する．図-8 から，2021 年 12 月 6 日までは，コサイン類似度が安定して 90%程度を維持していることが確認できる．しかしながら，12 月 13 日には 60%程度まで大きく低下している．これは，降雪に伴う雪氷路面の影響と考えられる．12 月 27 日にかけて，85%程度まで上昇しているが，これはさらなる降雪や車両の通過に伴い，圧雪路面となることで，安定した走行が可能になったためと考えられる．12 月 27 日以降はコサイン類似度は低下傾向にある．特に，1 月 31 日以降は

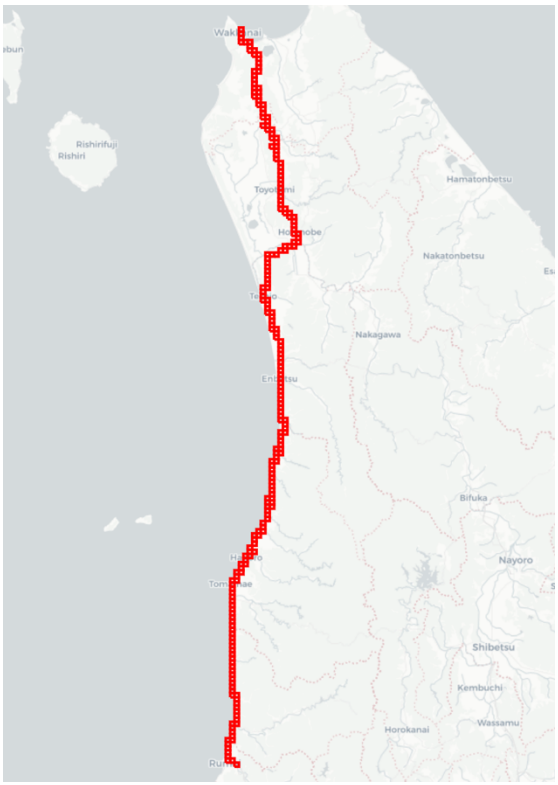


図-7　対象の全メッシュ

60%を下回り，2 月 21 日には 40%を下回る値となっている．これは，氷点下の続く積雪寒冷地において，雪が蓄積されていくため，走行環境が変化し続けたために起こったものと考えられる．以上のことから，提案手法で算出した走行位置で，走行環境のモニタリングができる可能性が示された．


(a)　2021 年 12 月 6 日


(b)　2021 年 12 月 27 日


(c)　2022 年 1 月 17 日


(d)　2022 年 2 月 26 日

図-10　68410566 における車載カメラ画像


(a)　2021 年 12 月 6 日


(b)　2021 年 12 月 27 日


(c)　2022 年 1 月 17 日


(d)　2022 年 2 月 26 日

図-11　67416602 における車載カメラ画像

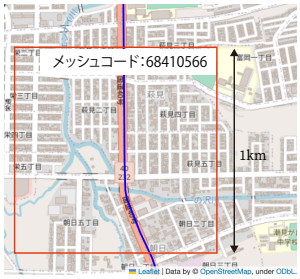
表-6　月ごとの走行位置 x(m)

メッシュ番号	9 月	12 月	1 月	2 月
68410566	2.89	3.64	4.20	3.94
67416602	3.27	2.24	2.82	1.30

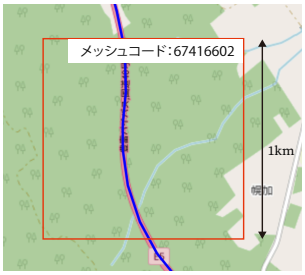
B)　走行位置と車載カメラ画像

本実験では，提案手法を用いて，図-9 に示す 3 次メッシュの走行位置を月ごとの中央値で算出する．月ごとの走行位置と，車載カメラ画像を比較することで，提案手法が走行位置を観測できているか確認する．それぞれの区間の時系列ごとの車載カメラ画像を図-10，図-11 に示す．図-10(a)，図-11(a)からわかるように，それぞれ片側 2 車線一般道，片側 1 車線高規格道路の区間である．これらの区間は，道路幅に余裕があることから，降雪に伴う走行位置の変化が大きいと考え，選定した．

結果を表-6 に示す．まず，68410566 の区間について考察を行う．68410566 では，9 月の走行位置 2.89m に比べ，12 月 3.64m・1 月 4.20m・2 月 3.94m と中央線に寄った走行をしていることがわかる．車載カメラ画像を確認すると，図-10(b)及び(c)で路肩側に堆雪が確認でき，路肩側からの狭窄によるものと考えられる．また，図-10(d)の 2 月 26 日の画像では，除排雪が行われ，路肩側の堆雪が縮小していることが確認できる．このことから，1 月から 2 月については 4.20m から 3.94m と路肩側に寄る結果となったと考えられる．次に，67416602 の区間について考察を行う．この区間では，9 月の走行位置 3.27m に比べ，12 月 2.24m・1 月 2.82m・2 月 1.30m と路肩側に寄った走行位置となっている．これは，中央分離帯の堆雪の影響を受けたものと考えられる．図-11(b)及び(c)を確認すると，中央分離帯の堆雪が確認できる．また，堆雪が形成されていない図-11(a)に比べ，防護柵を基準としてみると，路肩側の走行となっていることが確認できる．特に図-11(d)においては，車道外側線を跨いだ走行を強



(a) 68410566



(b) 67416602

図-9　対象メッシュ

いられる環境にあることがわかる．以上のことから，提案手法により求められた走行位置が，車載カメラ画像から読み取れる状況に即していることが示された．

5. まとめ

本稿では，GNSS データを用いた冬期道路環境における走行位置の観測手法の基準データとして，CLAS による高精度な車道外側線位置を用いている．これによって，基準に起因する誤差が軽減されたことを，実験によって確認した．また，ある緯度・経度を車両が通過する前後の気象条件や車両の前方画像から，走行環境と車両の走行位置との関係性について実験を行った．その結果，路肩の堆雪や路面の状態に応じた走行位置の変化が確認できた．

今後の課題として，観測した走行位置と走行環境の関

係を分析し，危険箇所の特定などを可能とすることが挙げられる．また，GNSS 測位には数 m 単位の誤差が生じうる．本研究では誤差の軽減を目的とし，複数の測位座標を用いた走行位置の観測を行っている．しかしながら，実環境での観測では，サンプリングやデータの集積状況によって誤差に偏りが生じ，誤差の軽減が難しい場合がある．より頑健な走行位置の観測に向けて，GNSS データの補正や車両前方画像などを用いた複数のデータから観測を行うモデルの構築などが考えられる．

謝辞：本研究の一部は，科研費 JP22H01607，および国土交通省道路局新道路技術会議令和 5～7 年度研究課題「デジタルツインによる冬期道路交通マネジメントシステムの技術開発」において取り組んだ研究に基づいている．

REFERENCES

1) Hagiwara, T., Ota, Y., Kaneda, Y., Nagata, Y. and Araki, K. : Method of processing closed-circuit television digital images for poor visibility identification, Transportation Research Records; Journal of the Transportation Research Board, Vol.1973, pp. 95-104, 2006.
2) Takahashi, S., Hagiwara, T., Sato, R., Ohashi, K., Nagata, Y.: Advanced Road Visibility Inspection System for Winter Road Maintenance Using Microcomputer, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electoronics (GCCE), pp.28-29, 2021.
3) 林亮佑，八木雅大，高橋翔，萩原亨：GNSS データのマップマッチングによる車両走行位置の変位の定量化，令和 4 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会，2022.
4) 高橋翔, 白石直之, 萩原享：冬期走行環境における車両の横方向走行位置に関する研究，自動車技術会論文集, 54 巻, 3 号, pp.622-627, 2023.
5) OpenStreetMap: https://www.openstreetmap.org/, 2023.
6) 金杉 洋, 瀬戸 寿一, 関本 義秀, 柴崎 亮介: オープンストリートマップ道路データとデジタル道路地図の比較, GIS-理論と応用, 27 巻, 1 号, p. 43-48, 2019.
7) 総務省統計局(1973)：統計に用いる標準地域メッシュ及び標準地域メッシュ・コード(昭和 48 年 7 月 12 日行政管理庁告示第 143 号)
8) Vincenty, T.：DIRECT AND INVERSE SOLUTIONS OF GEODESICS ON THE ELLIPSOID WITH APPLICATION OF NESTED EQUATIONS, Survey Review, Volume 23, Issue 176, pp.88-93, 1975.
9) 内閣府宇宙開発戦略推進事務局：センチメータ級測位補強サービス，<https://qzss.go.jp/technical/system/l6.html>, 2023.
10) 気象庁 過去の気象データ：<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>, 2023.

An observation of vehicle lateral position in winter road condition using GNSS data

Ryosuke HAYASHI, Masahiro YAGI, Sho TAKAHASHI and Toru HAGIWARA , Kazuki MATSUMOTO

In snowy and cold regions where road conditions change rapidly, monitoring of the driving environment is important for road traffic management and information presentation to road users. Currently, fixed-point observations are carried out using CCTV cameras, but the range of observation is limited. Mobile observation by vehicles is considered to be an effective means of monitoring a vast road network. This study attempts to monitor the driving environment based on GNSS data obtained from intercity buses operating between Wakkanai and Sapporo. Specifically, the bus's running position in the crossing direction is calculated using GNSS data. The bus's travelling position in the crossing direction is considered to change according to the snow on the shoulder and the road surface conditions. The relationship between the driving environment and the lateral position of the bus was discussed based on the weather conditions before and after the vehicle passed a certain latitude and longitude and on the frontal image of the vehicle. As a result, it was confirmed that the running position of the bus changed in accordance with the conditions of the snow and road surface on the shoulder. As an example, it was found that the lateral position of the bus moved towards the centerline as the amount of snow on the shoulder side increased. This suggests the possibility of monitoring the snow accumulation on the shoulder using vehicle GNSS data.