

都市高速道路における プローブデータの測位精度分析

難波 尚樹¹・今井 龍一²・井上 晴可³
中村 健二⁴・山本 雄平⁵・塚田 義典⁶・玉川 大⁷

¹ 学生会員 法政大学大学院 デザイン工学研究科 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)
E-mail: naoki.namba.2k@stu.hosei.ac.jp

² 正会員 法政大学教授 デザイン工学部 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)
E-mail: ryuchi.imai.73@hosei.ac.jp

³ 正会員 大阪経済大学講師 情報社会学部 (〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8)
E-mail: h.inoue@osaka-ue.ac.jp

⁴ 正会員 大阪経済大学教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8)
E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

⁵ 正会員 関西大学助教 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)
E-mail: y_yamamo@kansai-u.ac.jp

⁶ 正会員 摂南大学准教授 経営学部 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)
E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

⁷ 正会員 阪神高速道路株式会社 計画部調査課 (〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島 3-2-4)
E-mail: dai-tamagawa@hanshin-exp.co.jp

道路交通分野では、車線幅などの的確な渋滞対策を実施するために交通状況を詳細に把握する必要がある。実務では車両検知器を用いた断面交通量の把握に留まるため、個車の走行挙動を把握することが困難である。そこで、本研究では、カープローブデータに着目し、ミクロな交通分析への適用可否を確認するためにデータの特性を分析する。具体的には、信号制御がなくマルチパスの影響を受けやすい都市高速道路を対象に、ETC2.0 プローブ情報やスマートフォンの GNSS に基づくプローブデータを収集し、ドライブレコーダで記録した実際の走行車線を正解データとして測位精度を検証する。その結果、カープローブデータの測位精度や収集されるデータの特性を使用用途に応じて考慮すると、ミクロな分析に適用できる可能性があるという知見を得た。

Key Words: car probe data, traffic analysis, GNSS, urban expressway, positioning accuracy

1. はじめに

我が国は総延長 128 万 km^dも有した道路ネットワークを形成している。一方、一人あたりの年間渋滞損失時間は約 40 時間²⁾となっているほか、年間 30 万件以上の交通事故が発生しており³⁾、社会的な損失が顕在化している。そこで、近年、渋滞多発箇所や事故多発箇所をピンポイントで特定して、渋滞対策や事故対策が推進されている²⁾。効果的な対策には、対象道路の自動車交通の状態把握が求められる。実務では車両検知器を用いて断面交通量が把握されているが、個車の走行挙動の把握は困難である。そこで、道路周辺に設置されたビデオカメラ

の映像から個車の走行挙動を確認する方法が考えられる。しかし、映像を目視観測する人海戦術では常時観測が困難であり、膨大な車両の走行挙動を 24 時間 365 日把握することは非現実的である⁴⁾。そのため、本研究では、自動車の走行履歴や挙動履歴を把握できるカープローブデータ（以下、「プローブデータ」とする。）に着目した。プローブデータには機器によるデータ特性の違いや周辺の環境の影響による測位精度の違いなどが想定される⁵⁾。

本研究の目的は、ミクロな交通分析へのプローブデータの適用性の確認とし、プローブデータの測位精度やデータ特性を明らかにする。まず、2 章にて走行車線単

位で個車の走行位置を推定する既往研究を調査したうえで本研究の位置づけを明らかにする。次に、3 章にてプローブデータの仕様を確認する。そして、4 章にてプローブデータの測位精度を検証するための実験を実施する。また、5 章にて走行位置の推定に向けた位置情報以外の属性の活用可能性を考察する。最後に、6 章にて本研究を総括する。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

本研究では、ミクロな交通分析の実現に向けてプローブデータの適用性を確認する。本章では、走行車線単位で個車の走行位置の推定を試みる既往研究を調査し、それらを踏まえた本研究の位置づけや対象路線を示す。

(1) 既往研究

走行車線単位での走行位置推定に関する既往研究として、川松ら⁶⁾は、ドライブレコーダの走行画像から車と白線（車道外側線および車線境界線）の位置関係を検出することにより車線変更判定を実施している。また、走行画像から畳み込みニューラルネットワーク（CNN）といった深層学習を活用することで走行車線を判定する手法を提案している⁷⁾。今井ら⁸⁾は、車両の慣性センサを用いて自車の方位変化が道路形状によるものか車線変更によるものかを区別するためのアルゴリズムを開発し、夜間などカメラ画像による白線検知が困難な場合の補完手法を提案している。さらに、牧野ら⁹⁾は、スマートフォンに内蔵されている加速度センサや方位センサを活用することで右左折や車線変更の検知を実現させる手法を考案している。これらの既往研究より、車線単位での走行位置推定技術の実現に向けて、車両やスマートフォンに搭載したカメラやセンサを活用した研究が進められていることを確認した。しかし、各車両や各端末で収集したデータを道路管理者が保有するデータセットを用いて走行位置を推定する研究は見当たらなかった。そこで、本研究では、個車の走行履歴が把握可能で、道路交通分析に多く用いられるビッグデータの一種である ETC2.0 プローブ情報などのプローブデータに着目した。

一方、GNSS を用いて自動車の走行位置を取得するプローブデータには、端末によるデータ特性の違いや周辺の影響などによって測位精度にばらつきが生じる可能性がある⁵⁾。そのため、本研究では、ドライブレコーダで記録した実際の走行車線を正解データとして GNSS で測位されたプローブデータの測位精度を検証する。併せて、位置情報以外のプローブデータの項目を確



図-1 対象路線（地理院地図¹⁰⁾に加筆）

認し、ミクロな交通分析に資するデータ特性を明らかにする。

(2) 研究対象

本研究では、ミクロな交通分析という観点から分析対象路線・区間を定め、対象区間を走行した車両から収集されるプローブデータを分析する。研究対象は、信号制御のない自動車専用道路である都市高速道路とし、阪神高速道路 1 号環状線の湊町 JCT～中之島 JCT 間を検証フィールドに選定した（図-1）。当区間は時計回りに一方通行となっている環状道路の一部であり、大阪市内の中心部をほぼ一直線に貫いている。また、この区間は約 3km に渡り片側 4 車線もしくは片側 5 車線道路となっており、分岐や合流が続く織込み区間も多い道路構造である。織込み区間における個車の走行軌跡を把握できると道路管理や交通分析への活用に着目すると考えられる。

3. プローブデータの仕様

前述のとおり、プローブデータは機器や周辺環境によって測位精度が異なるため、本研究では、測位間隔が異なるプローブデータを分析対象とする。本章では、分析対象である ETC2.0 プローブ情報およびスマートフォンの GNSS に基づくプローブデータ（以下、「スマートフォンのプローブデータ」とする。）の仕様を確認し、測位間隔の観点から両者を比較する。

(1) ETC2.0 プローブ情報

ETC2.0 プローブ情報は、ITS スポットを通過することにより ETC2.0 対応車載器および ETC2.0 対応カーナビから収集される情報である¹⁾。本研究では、13 の様式に分かれている ETC2.0 プローブ情報の中でも車両情報、時刻および経緯度などが含まれている走行履歴情報（様式 1-2）に着目した。走行履歴情報は、現行の ETC2.0 対応車載器の場合、200m の走行もしくは 45° の進行方向変更時に蓄積される（図-2）。また、ETC2.0 プローブ情報は、起終点から約 500m の走行軌跡が削除されるほか、車両ごとに付与される運行 ID は日毎に変更されるため、個車を特定できない仕様である。

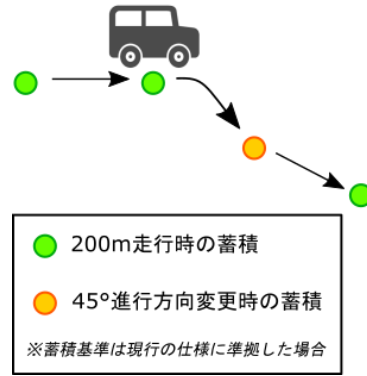


図-2 走行履歴情報の蓄積イメージ

(2) スマートフォンのプローブデータ

スマートフォンのプローブデータは、ETC2.0 プローブ情報よりも密なプローブデータを収集できる。本研究では、専用アプリを用いて、端末に搭載されているカメラで撮影された前方動画像および経緯度を 2 秒間隔で取得する。検証フィールドの直線区間を制限速度の時速 60km で走行した場合、ETC2.0 プローブ情報は 200m ごとに蓄積されるのに対して、スマートフォンのプローブデータは約 33m ごとにデータを取得できる。したがって、スマートフォンのプローブデータは ETC2.0 プローブ情報と比較して密なデータといえる。



図-3 実験環境のイメージ

表-1 実験時の走行パターン

走行	時刻		走行パターン
	湊町	→ 中之島	
1	8:42:35	~ 8:44:35	第2→第1→新設→第1→第2→第3車線
2	8:49:13	~ 8:50:57	第3→第2→第1→第2→第3→第4車線
3	8:55:21	~ 8:56:57	第3→第2→第3車線
4	9:01:09	~ 9:02:45	第4→第3車線
5	9:07:37	~ 9:09:33	第3→第2→第1→新設→第1→第2→第3→第4車線
6	9:14:17	~ 9:15:57	第2→第3→第2→第3車線
7	9:20:43	~ 9:22:25	第4→第3→第2→第1→第2→第3→第4車線
8	9:26:45	~ 9:28:23	第4→第3→第2→第1→第2→第3車線
9	9:33:01	~ 9:34:41	第4車線
10	9:39:17	~ 9:41:03	第3→第2→第3車線
11	9:45:43	~ 9:47:37	第2→第1→第2→第3車線
12	9:52:17	~ 9:53:57	第4→第3車線

4. プローブデータの測位精度の検証

本研究では、ミクロな交通分析への適用性を明らかにするため、ETC2.0 プローブ情報およびスマートフォンのプローブデータの測位精度を確認する。なお、スマートフォンを 2 台使用することで両者の比較も実施した。

(1) 実験概要

本実験では、ETC2.0 対応車載器およびドライブレコーダを搭載した自動車を使用し、自動車のダッシュボード上に 2 台のスマートフォンを設置（図-3）して 2021 年 5 月 9 日（日）に検証フィールドを計 12 周走行（表-1）した。ここでは、ETC2.0 プローブ情報、前方動画像およびスマートフォンのプローブデータを取得する。ETC2.0 プローブ情報は個車を特定できない仕様であるため、検証フィールド上に同一の運行 ID が複数回存在しているデータを抽出することにより、調査車両を特定した。そして、GIS ツールである QGIS を用いて ETC2.0 プローブ情報およびスマートフォンのプローブデータを地図上に可視化して、測位点の正誤を目視にて判定した。本研究では、ドライブレコーダで撮影した前方動画像上の走行車線を正解データとし、実際の走行車

線のみを許容する場合（以下、「1 車線許容」とする。）および隣接車線まで許容する場合（以下、「2 車線許容」とする。）の 2 種類で正誤を判定して両者の結果を比較した。また、経緯度を地図上に可視化した結果を用いて、走行毎の測位点の特性を確認した。

(2) 正誤判定の結果

各走行パターンで取得した測位点を対象に正誤を判定し、各端末および正誤判定パターン別に正解と判定したデータの平均を表-2、正誤判定の結果の一覧を表-3 に示す。表-2 より、1 車線許容の正解率は ETC2.0 プローブ情報が 19.3% であるのに対して、スマートフォンのプ

プローブデータが 55.6%~60.0%であった。一方、2 車線許容の正解率は、ETC2.0 プローブ情報が 69.0%であるのに対して、スマートフォンのプローブデータが 97.2%~98.4%であった。これらから、両者の正解率は 1 車線許容に比べて 2 車線許容が高く、ETC2.0 プローブ情報と比べてスマートフォンのプローブデータの正解率が高くなる傾向があることがわかった。スマートフォンのプローブデータに着目 (表-3) すると、端末による測位精度に違いがある一方、2 車線許容の正解率は 81.5%以上であり、半数以上が 100%であることがわかった。したがって、スマートフォンのプローブデータで測位誤差が生じた点の多くは隣接車線上に存在しているといえる。

(3) 可視化結果の確認

第 4 車線を直進した 9 周目および車線変更回数が最大となる走行をした 5 周目のプローブデータの経緯度を地図上に可視化した結果をそれぞれ図-4 および図-5 に示す。車線を変更せずに走行した場合 (図-4) , ETC2.0

プローブ情報およびスマートフォンのプローブデータに共通して、測位にばらつきが生じているものの、各車線上に真っ直ぐプロットされることが確認できた。一方、車線変更を伴う場合 (図-5) , ETC2.0 プローブ情報は第 2 車線上に測位されて車線変更の挙動が反映されないのに対して、スマートフォンのプローブデータは車線変更の挙動に応じて測位点も左右に推移していることが確認できた。

これらの結果より、測位点の間隔が疎である ETC2.0 プローブ情報では、測位点の情報のみを用いてミクロな交通分析に適用することは困難であるが、スマートフォンのプローブデータのように測位点の間隔が密となるように補間処理を実施することで隣接車線程度であれば大まかな走行位置を推定できる可能性が示唆された。

5. 位置情報以外の属性を持つプローブデータの活用

本研究では、位置情報以外の属性を持つプローブデータとして、商用車プローブデータに含まれるウインカー作動履歴の活用可能性を考察する。

(1) 商用車プローブデータ

我が国では、貨物自動車運送事業輸送安全規則に基づ

表-2 判定結果の平均値

判定	端末	ETC2.0平均	スマートフォン	
			1号機平均	2号機平均
1車線許容において正		19.3%	55.6%	60.0%
2車線許容において正		69.0%	98.4%	97.2%

表-3 正誤判定の結果

走行回数		1			2			3			4		
端末		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン	
			1号機	2号機		1号機	2号機		1号機	2号機		1号機	2号機
1車線許容	正	15.4%	67.2%	75.4%	41.7%	69.8%	75.5%	33.3%	49.0%	81.6%	0.0%	79.6%	14.3%
	誤	84.6%	32.8%	24.6%	58.3%	30.2%	24.5%	66.7%	51.0%	18.4%	100.0%	20.4%	85.7%
2車線許容	正	69.2%	100.0%	100.0%	83.3%	100.0%	100.0%	100.0%	98.0%	100.0%	33.3%	100.0%	85.7%
	誤	30.8%	0.0%	0.0%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	0.0%	66.7%	0.0%	14.3%
評価対象		13点	61点	61点	12点	53点	53点	12点	49点	49点	12点	49点	49点
走行回数		5			6			7			8		
端末		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン	
			1号機	2号機		1号機	2号機		1号機	2号機		1号機	2号機
1車線許容	正	0.0%	39.0%	64.4%	33.3%	43.1%	62.7%	33.3%	59.6%	59.6%	8.3%	48.0%	16.0%
	誤	100.0%	61.0%	35.6%	66.7%	56.9%	37.3%	66.7%	40.4%	40.4%	91.7%	52.0%	84.0%
2車線許容	正	58.3%	93.2%	100.0%	100.0%	96.1%	100.0%	83.3%	100.0%	100.0%	75.0%	100.0%	100.0%
	誤	41.7%	6.8%	0.0%	0.0%	3.9%	0.0%	16.7%	0.0%	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%
評価対象		12点	59点	59点	12点	51点	51点	12点	52点	52点	12点	50点	50点
走行回数		9			10			11			12		
端末		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン		ETC2.0	スマートフォン	
			1号機	2号機		1号機	2号機		1号機	2号機		1号機	2号機
1車線許容	正	8.3%	92.2%	94.1%	41.7%	20.4%	20.4%	16.7%	27.6%	70.7%	0.0%	78.4%	80.4%
	誤	91.7%	7.8%	5.9%	58.3%	79.6%	79.6%	83.3%	72.4%	27.6%	100.0%	21.6%	19.6%
2車線許容	正	16.7%	100.0%	100.0%	91.7%	96.3%	81.5%	83.3%	98.3%	98.3%	33.3%	100.0%	100.0%
	誤	83.3%	0.0%	0.0%	8.3%	3.7%	18.5%	16.7%	1.7%	1.7%	66.7%	0.0%	0.0%
評価対象		12点	51点	51点	12点	54点	54点	12点	58点	58点	12点	51点	51点

凡例 90%以上の正解率 50%未満の正解率



図4 スマートフォンのプローブデータと ETC2.0 プローブ情報の測位点の可視化結果 (9 周目の走行)

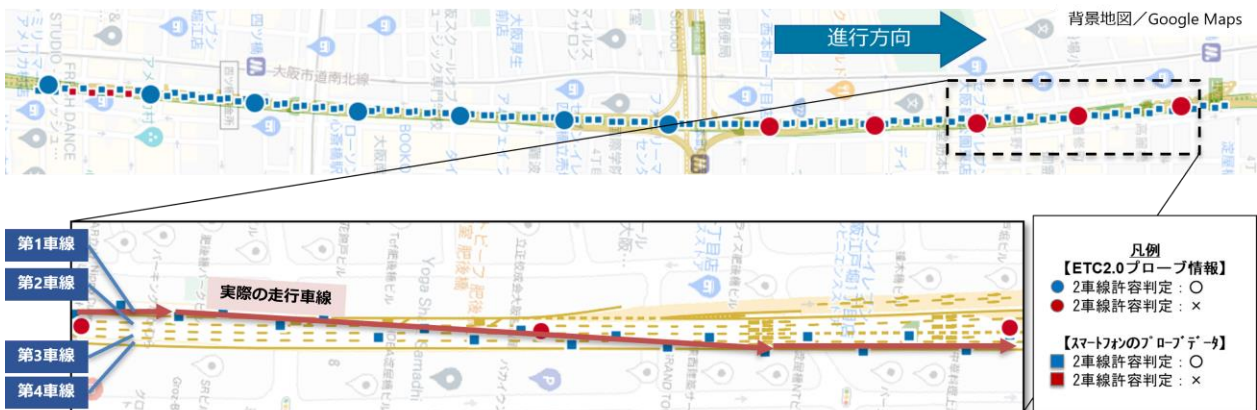


図5 スマートフォンのプローブデータと ETC2.0 プローブ情報の測位点の可視化結果 (5 周目の走行)

き、車両総重量 7 トン以上または最大積載量 4 トン以上の事業用トラックに運行記録計 (タコグラフ) の装着が義務付けられており¹²⁾、デジタルタコグラフおよびドライブレコーダの一体型車載器が普及している。本研究では、矢崎エナジーシステム社製の車載器である DTG7 から取得される商用車プローブデータに着目する。

本研究で使用する商用車プローブデータは、毎秒位置情報が取得されるほか、0.5 秒ごとに速度、ブレーキおよびウインカーの作動履歴などの走行履歴や挙動履歴に関する様々な項目を取得している。本研究では、信号制御の無い都市高速道路上でウインカーが作動すると車線変更の可能性が高いと考え、商用車プローブデータのウインカー作動履歴を対象に交通分析への活用可否を考察する。

(2) ウインカー作動履歴の可視化

2021 年 1 月 3 日 (日) に取得された商用車プローブデータから検証フィールド上を通過した車両を抽出し、ウインカーの作動状況別に可視化する。一例として、西船場 JCT を通過した任意の 1 台の可視化結果を図-6 に示す。当該車両は環状線本線から分流して他路線に合流していることが測位点の軌跡から把握できる。図-6 よ

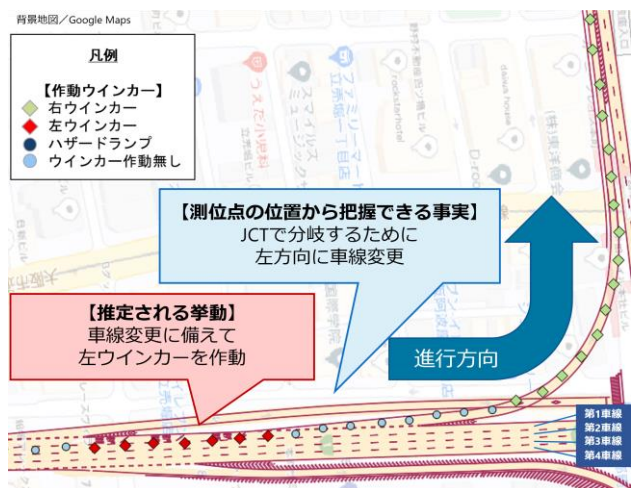


図-6 ウインカー作動履歴の可視化結果

り、当該車両は一度左ウインカーを作動させた後、右ウインカーを作動させていることを確認した。したがって、JCT での分流のために第 2 車線から最も左側の車線である第 1 車線に車線変更をした際、検証フィールドの本線上で左ウインカーを作動させたことが推測できる。

このように、都市高速道路において、ウインカー作動履歴から車線変更箇所を把握できる可能性があることか

ら、商用車プローブデータに含まれるウインカー作動履歴もミクロな交通分析に適用できる可能性がある。したがって、プローブデータに含まれる位置情報以外の情報を組み合わせることで、より信頼性の高い走行位置を推定できる可能性が示唆された。

6. おわりに

本研究では、ミクロな交通分析の実現に向けたプローブデータの特性を走行実験により分析した。その結果、測位間隔が密なプローブデータであれば、大まかな走行車線を推定できることを確認した。また、位置情報以外の属性も含めてプローブデータを補間することで、信頼性の高い走行位置を推定できる可能性が示唆された。

今後の課題として、信頼性の高い走行位置を推定するために、プローブデータを補間する手法を考案することがあげられる。また、車両検知器データなどのプローブデータ以外の交通データも活用することで、ミクロな視点できめ細やかな交通サービスの高度化に大きく寄与できると考えられる。

謝辞：本研究の遂行にあたり、矢崎総業株式会社より商用車プローブデータをご提供いただいた。また、株式会社 Create-C の仲条仁氏、藤井琢哉氏および前田真護氏にはプローブデータ収集のご協力および貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路統計年報 2020, <<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/>>, (2021.9.19 閲覧)。
- 2) 国土交通省：令和 3 年度 道路関係予算概要, <<https://www.mlit.go.jp/page/content/001382991.pdf>>, (2021.9.19 閲覧)。

- 1.9.19 閲覧)。
- 3) 警察庁交通局：令和 2 年中の交通事故の発生状況, <http://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/ind-ex_jiko.html>, (2021.9.19 閲覧)。
- 4) 高橋他：首都高速道路湾岸線における辰巳 JCT・東雲 JCT 間 4 車線化の効果検証, 交通工学研究発表会論文集, 交通工学研究会, Vol.40, No.47, pp.285-290, 2020.
- 5) 宮澤他：都市遮蔽環境下での GNSS 測位における測位信号の受信動向解析と衛星除外効果の検証, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.45, No.70, pp.277-280, 2020.
- 6) 川松祐太, 田畑大, 田中淳, 藤井駿, 前川友宏：白線検知による走行車線判定を活用した織込み区間の対策効果検証, 交通工学研究発表会論文集, 交通工学研究会, Vol.40, No.32, pp.195-198, 2020.
- 7) Jun Li, Xue Mei, Danil Prokhorov, and Dacheng Tao : Deep Neural Network for Structural Prediction and Lane Detection in Traffic Scene, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, IEEE, Vol.28, No.3, pp.690-703, 2017.
- 8) 今井正人, 坂田雅男：カメラの白線検知と地図の道路曲率を用いた走行車線位置判定, 自動車技術会論文集, 自動車技術会, Vol.46, No.2, pp.467-472, 2015.
- 9) 牧野友哉, 伊藤嘉博, 白石陽：スマートフォンによる車線推定方法, 情報処理学会論文誌, 情報処理学会, Vol.55, No.2, pp.812-825, 2014.
- 10) 国土地理院：地理院地図（電子国土 Web）, <<https://maps.gsi.go.jp/>>, (2021.9.19 閲覧)
- 11) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構：ETC システム利用規程, <https://www.go-etc.jp/kitei/houshin_probe_information.html>, (2021.9.19 閲覧)。
- 12) 公益社団法人 全日本トラック協会：運行記録計（タコグラフ）の装着義務付け対象拡大について, <https://jta.or.jp/member/anzen/digitacho_until201703.html>, (2021.9.19 閲覧)。

(2021.?.? 受付)

A STUDY ON POSITIONING ACCURACY ANALYSIS OF PROBE DATA ON URBAN EXPRESSWAYS

Naoki NAMBA, Ryuichi IMAI, Haruka INOUE, Kenji NAKAMURA, Yuhei YAMAMOTO, Yoshinori TSUKADA and Dai TAMAGAWA