次世代の道路交通調査に向けて~ビッグデータと統計調査~

Toward the Next Generation of Road Traffic Surveys - Big Data and Statistical Surveys

岡 英紀¹ 北村清州² 和泉範之³ 廣川和希³ 江田裕貴³ 羽佐田紘之³茂木 渉⁴ 及川 潤⁵ 高橋 慧⁶ 上野優太⁻

By Hideki OKA, Seishu KITAMURA, Noriyuki IZUMI, Kazuki HIROKAWA, Yuki EDA, Hiroyuki HASADA, Wataru MOGI, Jun OIKAWA, Kei TAKAHASHI, and Yuta UENO

1 はじめに

自動車がどのように使われ、その使われ方がどのように変化しているのかを把握することは、今後の道路の計画や建設、管理、都市のモビリティのあり方等を考える上で非常に重要である。我が国の代表的な道路交通調査として、国土交通省が概ね5年毎に実施している「全国道路・街路交通情勢調査(以下、「道路交通センサス」という)」が挙げられる。道路交通センサスは、自動車の動きに着目し、自動車の1日の利用実態や交通量、旅行速度等を調査し、幹線道路ネットワーク計画や事業評価等に活用されてきた。

一方、近年は、渋滞対策、交通安全、拠点整備や交通マネジメントなど、比較的短中期での検討が求められる施策の重要性が高まるなど、道路交通調査データの活用場面は多様化してきている。また、近年のICTの進展等に伴い、自動運転やカーシェアリング、オンデマンド型交通サービスのような新たなサービスが浸透し始めている。サービスとしてのモビリティ(Mobility-as-a-Service: MaaS)の言葉が示すように、自動車は、今後単一の交通手段ではなく、電車、バス、自転車等、様々な交通手段と一体化され、数あるモビリティの代替案の1つとして利用されるようになることも想定される。すなわち、移動に対する価値観の変化とあわせて、道路が果たす役割は変化していくことが考えられる。

本稿では、こうした社会情勢変化等を踏まえ、次世代の道路交通調査に向けた論点等を整理するとともに、次世代の道路交通調査が向かう方向性のひとつとして、ビッグデータを用いたODデータ作成の試行結果を紹介する。また、最後に、今後の技術開発の課題や方向性、ビッグデータ時代における統計調査の役割等について考察を加えて本稿を締めくくる。

2 全国道路•街路交通情勢調査

全国道路・街路交通情勢調査(通称:道路交通センサス)は、日本全国の道路と道路交通の実態を把握し、道路の計画、建設、管理などについて基礎資料を得ることを目的として、昭和3年から概ね5年毎に実施されている調査である。道路交通センサスは、道路状況や交通量、旅行速度を調査する「一般交通量調査」と、自動車の利用実態や利用の目的を調査する「自動車起終点調査(以下、「OD調査|という)|で構成されている。

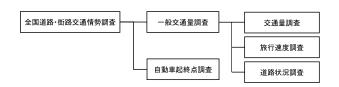


図-1 全国道路・街路交通情勢調査の全体構成

(出典:第1回ICTを活用した新道路交通調査体系検討会)

このうちOD調査については、①OD表の作成、②全 国将来交通需要推計モデルへの活用、③全国幹線旅客 純流動調査への活用の3つの活用目的を満たすために 実施されてきた。3つの活用目的は、それぞれを満た すために必要となる空間解像度や調査項目が大きく異 なる点に特徴がある。活用目的①を満たすためには、 詳細な空間解像度(Bゾーン単位)のデータが必要だ が、詳細な調査項目は必要ない。一方、活用目的②や ③を満たすためには、詳細な空間解像度のデータは必 要ない (概ね地域ブロック単位及び都道府県単位)が、 詳細な調査項目が必要(移動目的、乗車人数、積載品 目、積載トン数等)である。平成27年度OD調査で は、これら①~③の活用目的を満たすために、全国の 登録車両約7.650万台(注:一部離島や二輪等調査対 象外車両を除く) のうち、約118万台から回答を得て いる1)。

3 次世代の道路交通調査構築に向けた論点

(1)近年の社会課題と常時観測体制の必要性

現在のOD調査は、先にも述べたように、幹線道路ネットワーク計画などの比較的長期的な検討が求められる活用場面が想定され、これを満たすための調査設計が行われている。OD調査は、概ね5年毎に実施される大規模なアンケート調査であり、多大な調査コストや国民負担を要する点、データの更新頻度(鮮度)が主たる課題といえる。

しかしながら近年は、比較的短中期での検討が求められる施策の重要性が高まっており、道路交通調査データの活用場面は多様化してきている。例えば渋滞対策や交通マネジメントなど、短期での検討が求められる施策においては、実態・課題を丁寧に把握し、適切な対策を講じるためには、従来の5年に1度の道路交通調査だけでは、施策検討に必要なデータを十分に取得することが難しいのが実情である。道路を作る時代から使う時代に推移しており、最新のニーズや社会課題にあった調査体系への変更が求められている。本節では、次世代の道路交通調査の構築に向けた論点を整理する。

(2) 論点①: 活用目的と調査対象

現在のOD調査の活用目的としていた道路網整備や 事業評価への活用は依然として重要であり、現行の事 業評価制度上、長期での検討が求められる需要推計や そのためのOD表整備は必須といえる。

一方、渋滞対策も依然として重要な課題であり、近年ではICTを活用した動的な需要コントロールの方策検討も求められている。また、イベントや災害等インシデント発生時の運用・対応など、短期での検討が求められる状況においては、データの鮮度が求められている。

また、道路を効果的に使うための施策検討も進んでいる。道路空間の再配分、自転車道や新たなモビリティサービスに対応した空間整備、交通結節点の整備、シェアードスペース、駐車やシェアリングなど動的な空間運用、安全対策等、従来よりも詳細な解像度での実態把握が求められている。これまでは、自動車の移動需要を把握することに主眼が置かれてきたが、道路空間の利用者は自動車に留まらなくなっている。

多様な交通モードとの連携も視野に入れ、人・自転車等 を含めた道路空間に存在する全ての主体の実態を把握 することの必要性についても検討が必要である。

(3)論点②:取得頻度

災害発生時の迅速な対応やイベント時の運用など、 即時性の高いデータの把握が重要な課題となりつつある。道路網の機能発揮、効果的な渋滞対策や動的な道 路運用の実現には、日々変動する交通需要の常時把握 が求められる。

(4) 論点③: 解像度

幹線道路ネットワーク計画など全国規模での道路網整備検討には、日本全国を対象とした網羅的なデータ把握が必要であった。これまでは、ゾーン(全国で約7,000、市町村を3~4分割程度の空間規模)単位でデータを作成し、活用してきたが、前述の活用目的に挙げたような道路を使うための検討の多く(道路空間の再配分、交通安全対策、ラストマイルモビリティサービスの検討等)は、数百メートルレベルの詳細な解像度でのデータ取得が求められる可能性がある。

(5)次世代の調査体系検討の方向性

次世代の道路交通調査に必要なデータの精度や頻度、対象範囲は、活用目的に応じて大きく異なると考えられる(自動車の起終点を把握することだけで十分なのか、自動車の利用特性に関するデータが必要なのか、人・自転車等まで含めたデータが必要なのか等)。 今後は、道路交通データに対する新たな活用目的についてさらに議論を重ねるとともに、次世代の道路交通調査が検討対象とすべき範囲等について整理することが必要である。

他方、OD調査の高度化については、「ICTを活用した新道路交通調査体系検討会」でも課題や方向性が議論されてきた。従来と同様の3つの活用目的を満たす場合の検討の方向性のひとつとしては、①OD表の作成に対してはETC2.0プローブデータの活用を検討し、②全国将来交通需要推計モデルへの活用及び③全国幹線旅客純流動調査への活用に対しては統計調査を継続するという調査体系を構築することが考えられる。

すなわち、ODの取得を主眼とした調査は、常時観測 体制に移行し、自動化を進めるとともに、鮮度の高い データを短いスパンで提供する。一方、自動車利用特性(利用者属性、利用目的、輸送品目といった詳細な情報)の把握を主眼とした調査は、現状ではセンサー等による自動取得データで代替することは困難である。このため、ユーザーアンケート調査は規模を縮小して継続しつつ、将来交通需要推計への活用のみでなく、多様なニーズに対応したより詳細な調査に深度化していくことが考えられる。

これにより、OD表を作成するために要していた大規模サンプルが不要となることから、現行調査からサンプル規模を大きく縮減させることが可能となる。調査コスト・国民負担ともに大きく軽減できる可能性があることは重要なポイントである。

一方、自動車起終点を常時観測するためには、ETC2.0プローブデータをはじめとしたビッグデータの活用が不可欠である。以降、自動車起終点を常時観測可能なビッグデータのひとつとしてETC2.0プローブデータに着目し、その概要や自動車起終点を把握する上での留意点や検討課題について整理する。

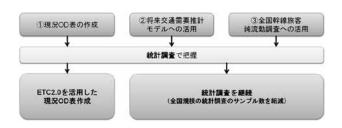


図-2 OD調査高度化の方向性

(出典:第5回ICTを活用した新道路交通調査体系検討会)

4 ETC2.0プローブデータ

(1) ETC2.0プローブデータの概要

ETC2.0プローブデータは、ETC2.0対応車載器を搭載した車両が、道路上に設置されているITSスポット及び経路情報収集装置(以下、総称して「RSU」という)を通過する際に収集されている走行履歴情報(時刻、緯度・経度等)である。ETC2.0対応車載器の普及台数は2022年4月時点で788万台²⁾である。わが国の自動車保有台数が2020年3月時点で8,185万台³⁾であることから、約1割の自動車に設置されている。

RSUを通して取得された走行履歴情報は、国土交通省が管理するサーバー(以下、「統合サーバー」とい

う)へアップリンクされ、起終点情報の一部秘匿化やトリップ情報の付与等の処理が行われた上で、ETC2.0プローブデータとして利用可能となる。ETC2.0プローブデータは、プライバシー保護の観点から、エンジンのON/OFF地点から一定距離(概ね半径500m程度)の走行履歴が削除されるため、真の起終点が秘匿化されている。

(2)自動車起終点を把握する上での留意点

ETC2.0プローブデータには、自動車の起終点を把握するにあたって、いくつかの留意点がある。

留意点①は、統合サーバーで行われる処理ルールに関する留意点である。統合サーバーで処理されたETC2.0プローブデータには、測位誤差や通信エラー等の要因により、2点間の距離や速度が異常に大きく、異常値が疑われるデータが一定程度含まれている点に留意が必要である。また、統合サーバーで付与されるトリップ情報については、①高速道路のSA/PAなど目的地以外の立ち寄り場所で短時間滞在した場合にトリップが分割されてしまう、②トンネル等でGPS測位ができなかった場合やアップリンク時の通信の不備等でデータ欠測が生じた場合にトリップが分割されてしまうといった留意点がある。

留意点②は、収集されるデータの偏りに関する留意点である。ETC2.0対応車載器の普及台数は、地域別の自動車保有台数と比べて、関東・中部・近畿で相対的に多く、収集されるETC2.0プローブデータには地域の偏りがある(地域別の普及割合が異なる)。また、ETC2.0対応車載器を搭載した車両は、高速道路や直轄国道を利用しやすく、長距離移動が多いため、ETC2.0対応車載器を搭載していない車両とはトリップ特性が異なっている。

留意点③は、データ収集の仕組みに関する留意点である。ETC2.0プローブデータは、ETC2.0対応車載器を搭載し、RSUを通過した車両からのみ、データが取得される。RSUは、現在高速道路や直轄国道を中心に設置されている。すなわち、ETC2.0プローブデータでは、RSUが設置されていない地方道を中心に短距離走行を繰り返す車両のデータなど、そのデータ収集の仕組み上、どうしても取得することが困難なデータが存在する。

(3) 常時観測体制の確立に向けた検討課題

自動車起終点を常時観測するためには、ETC2.0プローブデータをはじめとしたビッグデータの活用が不可欠である。しかしながら、前述のとおりETC2.0プローブデータには、自動車起終点を把握する上での留意点があり、これを解決することが必要である。

本稿では、留意点①及び②に対応して、ルールベースでのデータクレンジングやトリップ判定、OD分布の補正を試行する。留意点③については、ETC2.0プローブデータ以外のデータ活用の可能性も含めた検討が必要であり、補正技術等による課題解決が難しい。本稿では検討の対象外とするが、今後、本質的な課題解決に向けた検討が必要な事項である。

5 ETC2.0プローブデータを用いた ODデータ作成

(1) OD データの作成方針

ETC2.0プローブデータから自動車起終点を把握する上での留意点を踏まえ、ODデータの作成方針を検討した。なお、本稿における検討対象範囲は全国とした。

まず、統合サーバーで処理されたETC2.0プローブデータには、異常値が疑われるデータが一定程度含まれていることを踏まえ、異常データのクレンジングを行う。次に、統合サーバーで付与されるトリップ情報にはデータ欠損によるトリップ分割等が含まれることを踏まえ、トリップ再判定処理を行う。最後に、取得されるデータに地域的な偏り等があることを踏まえ、OD分布の偏りを補正するための処理を行う。なお、本章の内容は、「第5回ICTを活用した新道路交通調査体系検討会4」において議論された内容をもとに作成されている。

(2) データクレンジング

統合サーバーで処理されたETC2.0プローブデータには、異常値が疑われるデータが一定程度含まれていることを踏まえ、異常データのクレンジングを行う。

ETC2.0プローブデータを個々に分析・検証し、クレンジングすべきエラーの内容とクレンジングルールを下表のとおり整理した。特定されたエラーは、①トリップ順番号とGPS時刻が整合していない、②データ欠損により、二点間距離が大きく離れたデータがあ

る、③二点間の速度・加速度が異常なデータがある、④同一運行ID内の1日の観測データ数が極めて少ない、の4項目である。データクレンジングは、ETC2.0プローブデータの運行ID単位で行うこととし、エラーデータは運行ID単位で削除した。データクレンジングの結果、出現する運行ID全体の約1割が削除された。

表-1 発生しているエラーの内容と削除ルール

	エラーの内容	検証結果	削除ルール
1	トリップ順番	特に高速道路上	トリップ順番号が
	号とGPS時刻が	などにおいて低	GPS時刻と整合し
	整合していな	頻度で発生。	ていないデータを
	V	データ欠損と合	有する運行IDを削
		わせて発生して	除
		いる可能性。	
2	データ欠損に	送受信エラーや	二点間距離が20km
	より、二点間	トンネル等によ	以上離れている
	距離が大きく	り、比較的多頻	データを削除
	離れたデータ	度で発生。	
	がある		
3	二点間の速度	トンネル出口、	二点間速度及び加
	及び加速度が	都市部、高架部	速度が異常なデー
	異常なデータ	などで比較的多	タ(二点間速度
	がある	頻度で発生。ほ	150km/h以上、加
		とんどは測位誤	速度1G以上)が5
		差によるもの。	レコード以上かつ
			10%以上含まれる
			データを削除
4	同一運行ID内	1レコードしか取	同一運行IDの1日
	の1日の観測	得できていない	の観測データが5
	データ数が極	データも存在。	レコード未満の
	めて少ない		データを削除
	データがある		

(3)トリップ再判定

統合サーバーで付与されるトリップ情報にはデータ 欠損によるトリップ分割等が含まれることを踏まえ、 トリップ再判定処理を行う。

トリップ再判定処理は、ルールベースで行った。具体的には、時間差、距離差、角度差等に関する「基本ルール」を設定し、トリップ再判定を実施する。なお、時間差の閾値は平成27年度OD調査結果をもとに設定した。ただし、閾値設定の妥当性についてはさらに検証が必要であり、これは今後の課題である。

▼ルール① (時間差・距離差)

前点からの時間差が15分を超えるものを滞在と判断し、トリップを分割する。ただし、前点からの速度差が20km/h以上の場合は移動中と判断し、トリップを分割しない。

▼ルール② (角度差)

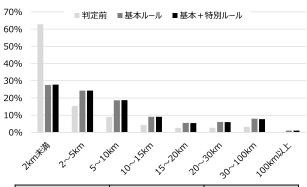
Uターン (角度差150度~210度で判定) した場合に、目的地に到達しそこへ滞在したものと判断し、トリップを分割する。ただし、前点からの時間差が5分を超えないものは移動中の転回と判断し、トリップ分割しない。

▼ルール③ (日跨ぎトリップ)

統合サーバーのトリップ判定ルールでは、日を跨ぐトリップが自動的に分割されてしまうことから、ルール①同様、時間差·距離差をもとに日跨ぎトリップを結合する。

さらに「特別ルール」として、SA/PA滞在トリップを結合した。これは、SA/PA施設中心から半径500mの範囲に含まれる高速道路リンクをSA/PAリンクと予め定義しておき、トリップ判定時に、当該トリップの終点がSA/PAリンクかつ次トリップの始点がSA/PAリンクの場合にトリップを結合した。

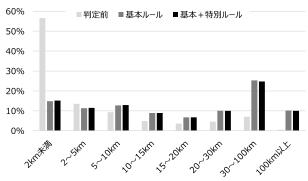
トリップ判定前後におけるトリップ長分布等の変化は下図のとおりである。トリップ判定前は、2km未満のトリップが非常に多いが、トリップ判定によりこれが結合され、さらにSA/PA結合処理によって短距離帯のトリップ数は減少していることが確認される。



	平均トリップ長	トリップ数
判定前	5.05km	7,171,589
基本ルール	11.41km	2,919,489
基本+特別ルール	11.48km	2,903,902(-0.5%)

※ETC2.0プローブデータ (2020/10/19(月) ~ 2020/10/20(火))

図-3 トリップ長分布等の変化(自家用乗用車)



	平均トリップ長	トリップ数
判定前	7.98km	9,991,327
基本ルール	37.68km	1,994,932
基本+特別ルール	38.66km	1,945,107(-2.5%)

※ETC2.0プローブデータ (2020/10/19(月) ~ 2020/10/20(火))

図-4 トリップ長分布等の変化(営業用貨物車)

(4) OD 分布の補正

取得されるデータに地域的な偏りがあることを踏まえ、OD分布の偏りを補正するための処理を行う。

OD分布の偏りを補正するためには、何らかの観測値を制約条件とし、観測値に整合するようなOD分布を推計することが必要となる。OD分布の偏りを観測値にあわせて補正するための代表的な手法として、平均成長率法やデトロイト法、フレーター法があげられる。これらの補正手法では、統計調査から得られたトリップ数(平成27年度OD調査に基づく市区町村別発生交通量及び集中交通量)を制約条件に、ETC2.0プローブデータから得られたOD分布を補正する。

本稿では、後述する制約条件の拡張性や、全国規模で実装する際の安定性等の観点から、平均成長率法を援用した手法を採用した。平均成長率法を活用したOD分布の推定については多くの適用事例があるが、発生交通量及び集中交通量のみを制約条件とするものが多い。一方、本稿では、OD量の多い市区町村内々が過大に補正されてしまうことによる影響等を緩和するため、新たに距離ランク別のトリップ数を制約条件に追加し、既存の平均成長率法を拡張(以下、「拡張平均成長率法」という)してOD分布を補正している点に特徴がある。

$$T_{ijk} = t_{ijk} \times \frac{G_i + A_j + D_k}{3}$$

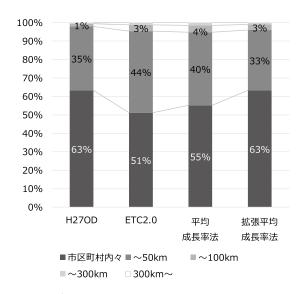
 T_{iik} : センサス OD 交通量

 t_{iik} :推計OD交通量 (ETC2.0のOD交通量)

 G_i :発生交通量の成長率 A_j :集中交通量の成長率 D_k :距離ランク別の成長率

※成長率:センサス交通量/推計交通量

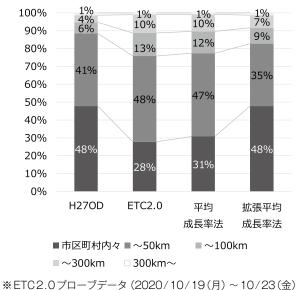
OD分布の補正前後における距離帯別トリップ数構成の変化は下図のとおりである。拡張平均成長率法に基づくOD補正により、乗用車、普通貨物車ともに市



※ETC2.0プローブデータ (2020/10/19(月)~10/23(金)の日平均)

※前述の方法でトリップ判定した結果を利用

図-5 距離帯別トリップ数構成の変化(乗用車)



※ETC2.0プローブデータ (2020/10/19(月)~10/23(金)の日平均)

※前述の方法でトリップ判定した結果を利用

図-6 距離帯別トリップ数構成の変化(普通貨物車)

区町村内々の構成比が適切に補正されている。一方、50km未満の距離帯についてはわずかに過小補正されており、この点については課題が残っている。なお、OD補正のカテゴリ設定は、市町村内々/内外①(乗用車は150km未満、普通貨物車は300km未満)/内外②(乗用車は150km以上、普通貨物車は300km以上)の計3パターンで距離帯を設定している。

6 ODデータ作成に関する成果と 今後の課題

(1) データクレンジング

ETC2.0プローブデータを個々に分析・検証し、クレンジングすべきエラーの内容を特定した上で、ルールベースでデータクレンジングを行った。データクレンジングの結果、約1割の運行IDをエラーデータとして削除した。

今後は、ETC2.0プローブデータの質をさらに検証するとともに、機械学習等によるデータクレンジング方法についても検討が必要と考えられる。

(2) トリップ判定

トリップ判定については、基本ルールを適用することにより、誤ったトリップ判定によって割合が大きくなっていた短距離トリップが大きく減少するなど、統合サーバーで付与されたトリップ情報の精度を大幅に改善することができた。

ただし、設定したルールの閾値については、その妥当性を十分に検証できているとはいいがたく、今後の課題である。また、特別ルールについても、SA/PA滞在トリップの考慮のみならず、送迎をはじめとする短時間滞在を考慮するなど、さらなる判定ルールについて検討することが必要と考えられる。

(3) OD分布の補正

拡張平均成長率法の適用により、市区町村内々の構成比が適切に補正されるなど、乗用車、営業用貨物車ともに意図した制約条件に沿って補正できていることが確認できた。

OD分布の偏りを補正するための手法には多くの研究蓄積がある。本稿では、発生交通量、集中交通量、距離ランク別トリップ数を統計調査から得

られるという前提のもと、これを制約条件とした 平均成長率法を採用した。しかしながら、仮に、 発生交通量、集中交通量、距離ランク別トリップ 数が統計調査から得られないとするならば、本稿 で採用した補正手法は成立しないこととなる。 今後は、多様な指標(例えば、断面交通量や経路 情報等)を制約条件とするOD分布の補正手法⁵⁾ について、全国規模での実装に向けた検討と検証が必要と考えられる。特に、作成したODデータの活用目 的を念頭に、実装の安定性、結果の信頼性や説明性に ついても十分な検討が必要である。

7 おわりに

本稿では、次世代の道路交通調査に向けて、常時観 測体制を確立することの必要性やこれを実現するため の方向性を整理するとともに、技術的側面に着目した 具体的な取り組みとして、ETC2.0プローブデータを 用いたODデータ作成の試行結果等を紹介した。

次世代の道路交通調査に向けた検討課題は多い。今後は、本稿でも論点として整理した次世代の道路交通調査に求められる要件と、これを実現するための技術の整合を図りつつ、統計調査のあり方(適切な調査規模や調査頻度等)についても検討が必要である。

例えば、検討を進めているOD分布の補正手法については、制約条件とする指標の種類は、結果の妥当性・信頼性の評価方法とあわせて検討されることが必要である。制約条件とする指標をどのように設定し、その指標をどのように調査するのか、得られたデータをどのような頻度で補正してODデータとするのか、作成したODデータをどのように活用するのか。技術的な検討と並行して、改めて次世代の道路交通調査に求められる要件(活用目的、精度、説明性、即時性、適用判断の基準等)を整理し、適用すべき手法との整合を図ることが必要である。

また、ビッグデータを活用した常時観測体制の構築とあわせて、統計調査の必要性や役割についても再整理が必要である。道路交通調査については、今後ビッグデータ活用が進めば、統計調査の実施規模は必然的に縮減されていく方向で議論が進むと考えられる。しかしながら、ビッグデータでは移動目的や輸送品目といったトリップ特性に関する情報を十分に把握するこ

とが難しく、ビッグデータへの完全移行は、政策検討 に必要なデータを適切に取得することが困難となって しまう危険性があることには注意が必要である。

今後は、ビッグデータ活用に向けた技術開発を続けながら、統計調査についても、時勢に即したよりよい調査規模・調査頻度・調査項目を模索し、見直しを図りながら、道路交通行政の政策検討に資する必要なデータを適切に取得し、これを蓄積していくことが必要である。

8 謝辞

本稿には、国土交通省道路局企画課道路経済調査室から受託した、ETC2.0プローブデータ等を活用したOD表作成に関する業務成果、並びに「ICTを活用した新道路交通調査体系検討会」において議論された内容が含まれています。ここに記して関係する方々に謝意を表します。

参考文献

- 1)国土交通省道路局: 平成27年度 全国道路·街路交 通情勢調査 自動車起終点調査(OD調査)の概要に ついて.
 - https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000966.html, 2022.05アクセス.
- 2) 一般財団法人ITSサービス高度化機構: ETC/ ETC2.0(DSRC) 普及状況,
 - https://www.go-etc.jp/fukyu/,2022.05アクセス.
- 3) 一般財団法人自動車検査登録情報協会: わが国の自動車保有動向.
 - https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html.2022.05アクセス.
- 4)国土交通省道路局:ICTを活用した新道路交通調査 体系検討会。
 - https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/ict/index.html,2022.05アクセス.
- 5) 茂木渉: OD逆推定におけるエントロピー最大 化モデルのホモトピー法による解法,土木学会 論 文集D3(土木計画学),No.76,Vol.5,pp. L837-L846,2020.