

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究終了報告書】

		氏名 (ふりがな)	所属		役職
①研究代表者		井料隆雅 (いりょう たかまさ)	東北大学 大学院情報科学研究科		教授
②研究 テーマ	名称	ETC2.0データの活用と評価を通じた次世代ETCの基本設計提案			
	政策 テーマ	[主テーマ] 【領域2】道路ネットワークの形成と有効活用 [副テーマ] なし	公募 タイプ	タイプIV	
③研究経費 (単位:万円)		平成31 (R1) 年	令和2年度	令和3年度	総合計
※端数切り捨て。実際の研究期間に応じて記入欄を合わせる こと		4,199	4,555	4,759	13,513
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)					
氏名		所属・役職 (※令和4年3月31日現在)			
宇野 伸宏		京都大学 教授			
吉井 稔雄		愛媛大学 教授			
倉内 慎也		愛媛大学 准教授			
坪田 隆宏		愛媛大学 特任講師			
西内 裕晶		高知工科大学 准教授			
嶋本 寛		宮崎大学 准教授			
神谷 大介		琉球大学 准教授			
瀬谷 創		神戸大学 准教授			
安田 昌平		東京大学 助教			
⑤研究の目的・目標 (提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)					
本研究では次世代ETCシステムの基本設計の提案を、ETC2.0データ等を活用したアプリケーションのケーススタディによる要件抽出、測位技術等の新観測技術の性能検証のための実道実験、匿名化処理、マップマッチングアルゴリズム、各種の外部データとの連携技術の開発を基に、要件を満たすに必要なかつ十分に現行ETC2.0と連続性がある形で行うことを目指す。このために「テーマ1:アプリケーションを通じた要件抽出」「テーマ2:各種観測技術の実用可能性検討」「テーマ3:マップマッチングと匿名化手法の開発」「テーマ4:外部データ連携技術の開発」を実施し、それらの成果をもとに「テーマ5:次世代ETCシステムの基本設計案の提案」を実施することにより、次世代ETCシステムの開発に資する技術情報を提供することを目指す。					

## ⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等（外注を実施している場合は、その役割等も含めて）について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

- ・研究目的の達成状況：以下の通り、当初定めた研究目的をすでに達成している。
- ✓ **テーマ1「アプリケーションを通じた要件抽出」**：全国規模から交差点規模まで各地を対象とした各種アプリケーションのケーススタディを実施し、次世代ETCシステムにおいて必要かつ十分な要件を抽出できた。
- ✓ **テーマ2「各種観測技術の実用可能性検討」**：各種観測技術を実走実験で検証した。GPS/GNSSの精度には限界もある一方、ドライビングレコーダの動画容量を大幅に削減する簡便な技術を提案し、それが車線特定等で利用できることを示した。
- ✓ **テーマ3「マップマッチングと匿名化手法の開発」**：いずれについても新しい手法を開発し、いずれも実データをもちいて一定の性能を持つことを示せた。
- ✓ **テーマ4「外部データ連携技術の開発」**：各種の外部データとの連携を車両軌跡データベースの一部として行う技術を開発し、その応用例をいくつか示した。
- ✓ **テーマ5「次世代ETCシステムの基本設計案の提案」**：テーマ1から4で抽出された要件と開発した要素技術を基に、「収集系」「蓄積系」「集計系」「活用系」の4つの系からなる次世代ETCシステムの基本設計案を具体的な形で提案できた。
- ・各研究者の役割・責任分担：当初計画の下図を基本とし、代表者の井料が多くを担当しつつ、状況に応じて適宜役割を割り振り（変更も含む）研究を遂行した。特にマップマッチングについては瀬谷・安田が多くを担当し、外部データとの連携の一部は井料のほか神谷も担当した。
- ・外注の役割：各種データ前処理、データベースや交通シミュレータ開発支援、実走実験支援、航空写真処理などを外注した。すべて詳細の指示を与えて初めて成立する業務であり、それらの統括や納品物の成果への転換はすべて研究代表者と共同研究者が行った。



## ⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間・FS評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

2回の中間評価でいずれも「現行通り推進することが妥当である」という評価を受けた。参考意見について「単なるケーススタディの集積に終わらないよう」「あまりに高レベルな要求ニーズを設定しない」「研究成果を次世代ETCの基本設計提案へどう反映するのか明確にする」「ビジネスモデルへの橋渡しが示唆されるまとめを期待する」を得ている。これらについても「各ケーススタディから抽出された要件を明確にし」「それにより必要十分な要求ニーズに基づく提案をし」「設定した要件と各種技術開発の基本設計提案での位置づけを明確にし」「ビジネスモデルの提案も行う」ことにより対応できたと考えている。

## ⑧研究成果

(本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

本研究課題では、次世代ETCの基本設計案を提案することを目指し、テーマ1「アプリケーションを通じた要件抽出」、テーマ2「各種観測技術の実用可能性検討」、テーマ3「マップマッチングと匿名化手法の開発」、テーマ4「外部データ連携技術の開発」、テーマ5「次世代ETCシステムの基本設計案の提案」の5つのテーマの研究を行った。結果として、ほぼ当初予定通りの成果を得ることができた。

テーマ1「アプリケーションを通じた要件抽出」では、全国規模から交差点規模までの広範な空間スケールかつ全国各地のケーススタディを実施した。ETC2.0データを活用するほか、次世代ETCシステムを想定したデータの使用(観測も含む)を行った。これらにより、要件として「限定された測位点だけでもいいので欠測を解消する」「複数の観測間隔を設定しアプリケーションで使い分ける」「車線を特定できるようにする」「外部データと連携させる」などを抽出できた。

テーマ2「各種観測技術の実用可能性検討」では、GPS/GNSSも一定の観測精度があることは示したものの、走行車線の特定にはやや力不足であることもわかった。一方、ドライビングレコーダ画像の特定のラインを切り取って並べるだけで、画像の容量を大幅に削減した上で走行車線や積雪などの路面状況を把握できるようになり、走行車線の特定もより確実にできることがわかった。

テーマ3「マップマッチングと匿名化手法の開発」では、Recursive Logitモデルを応用した新しいマップマッチングの手法を提案し、都市高速での実測データを含めたデータでその性能を示した。次世代ETCシステムの要件として重要な経路特定に必要な測位間隔についても定量的に示せた。匿名化においては、k-匿名化を確保しつつ特定の車両を3次メッシュ単位で追跡する方法論を提案し、その性能をETC2.0の実データにより示した。

テーマ4「外部データ連携技術の開発」では、地域メッシュと連携することにより多様なデータと連携できるシステムを、車両軌跡データを管理するデータベースシステム(様式1-2活用システム)とあわせて提案し、新型コロナウイルスによるテレワーク率の推計などのケーススタディに応用した。非集計の人流データと次世代ETCシステムのデータを個人情報の問題なく連携する方法の一つとして、観光行動を対象とした目的地の場所とその滞在時間の特徴を抽出する技術を開発した。

テーマ5「次世代ETCシステムの基本設計案の提案」では、ケーススタディによる要件を現実的なコストで可能な限り満たすような基本設計案を提案できた。収集系では複数の測位間隔の設定による欠測の抑制と、ドライビングレコーダやスマートフォンと連携し収集データの量と質の向上を目指すことを提案した。蓄積系では提案したマップマッチング手法のほか様式1-2/2-1活用システムを提案し、膨大なデータへのアクセスを容易にした。集計系では旅行時間や滞在データなどケーススタディで有用性を示した項目のほか、提案手法で匿名化されたトリップ情報も集計項目として挙げた。活用系に外部データ連携と交通シミュレーションを組み込み、データの活用が容易かつ広範に行える枠組みを提案した。

本研究の成果は、次世代ETCシステムの実装そのものに対して多くの情報を提供するのみならず、次世代ETCシステムの活用範囲を広げ、その社会的インパクトを最大とするために大きく貢献する。収集系に対する必要十分な要件と車載器単独で満たせないものの補完方法を提案し、現実的なコストで大量かつ適正な品質のデータの収集を可能とすることによりデータの質を活用に十分なレベルまで向上させた。あわせて、蓄積系、集計系、活用系における要素技術を開発し、それらの連携方法を詳細に提案することにより、さまざまな主体がデータを活用する道を開いた。提案された集計手法や匿名化技術は個人情報の問題を緩和するため、オープンデータとしての広範な普及により、xROADのようなデータプラットフォームの成立にも大きく貢献することが期待できよう。

## ⑨研究成果の発表状況

(本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。)

論文：

- 岩原雄大, 西内裕晶, 井料隆雅: 車両走行軌跡データを用いた信号交差点における交通状況の推定に関する研究, 土木学会論文集F3(土木情報学), pp. I\_65-I\_72, 2022.  
※同内容で2021年の土木情報学シンポジウムでも講演を行った。

学会発表等：

- 福嶋一矢, 安田昌平, 井料隆雅: プローブカーデータを用いた信号交差点のパラメータ推定, 第60回土木計画学研究・講演集, Vol. 60, 2019/12.
- 岩原雄大, 西内裕晶, 井料隆雅: オプティカルフローによる信号交差点における車両走行軌跡データの抽出, 土木学会四国支部第27回技術研究発表会, 2021/5.
- 井料隆雅, 神谷大介: 車両走行軌跡データを用いた回遊行動と滞在目的地の特徴の記述的分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 63, 2021/6.
- 安田昌平, 井料隆雅: 観測データの統計誤差を考慮したMacroscopic Fundamental DiagramのWell-definednessの評価, 土木計画学研究・講演集, Vol. 63, 2021/6.
- 橋口剛, 瀬谷創, 安田昌平, 井料隆雅: 隠れマルコフモデルに基づくマップマッチングの適用性の検証, 土木計画学研究・講演集, Vol. 63, 2021/6.
- 益野日乃美, 井料隆雅, 神谷大介: 移動体データと地図情報に基づく観光地における目的地候補の抽出, 土木計画学研究・講演集, Vol. 64, 2021/12.
- 鐘恒毅, 中西航, 安田昌平, 井料隆雅: 大規模車両軌跡データのみを用いた主要交差点抽出, 土木計画学研究・講演集, Vol. 64, 2021/12.
- 町田宗瞭, 神谷大介, 井料隆雅: レンタカープローブと携帯電話GPSデータによる訪問地特性に関する一考察, 土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会, 2022/1.

## ⑩研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

本研究の成果のまとめを以下の公開オンラインイベントで公表した：

- ✓ 日時：令和4年3月11日 13:00-17:30
- ✓ タイトル：新道路シンポジウム2022  
「次世代ETCが切り拓くデータプラットフォームとxROADの展望」
- ✓ 案内URL：<http://web.tohoku.ac.jp/iryolabo/misc/20220311-Shindoro.html>

このイベントは、佐野可寸志氏(長岡技術科学大学)、日下部貴彦氏(東京大学)と共同で開催した。また、古川慎治氏(国土交通省道路局)、北澤俊彦氏(阪神高速道路株式会社)、小嶋文氏(埼玉大学)、原祐輔氏(東北大学)をパネリストとしたパネルディスカッションを行い、本研究課題とも関連する活発な議論を行うことができた。参加者数は約60名程度。上記URLでは、発表内容の英文による抄録のスライドも掲載している。

## ⑪研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

次世代ETCシステムの基本設計案提案という目的は達成したものの、開発した要素技術においては改良の余地があるものも複数存在する。収集系においてはドライビングレコーダの活用方法を提案したが、現状ではデータの活用には目視が必要である。目視でも効率よく作業できるように配慮はしているものの、支援システムや自動化技術の開発が望まれる。交通シミュレーションは旅行時間データの活用を提案したが、交通量変動にともなう旅行時間の変化を現状では考慮しておらず、より精度と活用範囲を広げるには、近似的にでも評価できる方法論の開発が望ましい。マップマッチングについては期待した性能が出ているものの、さまざまなデータでの検証が信頼性の向上に有用と考える。

## ⑫研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究成果の実務への反映は一義的には次世代ETCシステムの開発への成果の反映となる。現状ではマップマッチング技術について、国土技術政策総合研究所と連携して次世代ETCシステムでの実装可能性の検討も含めた性能評価を継続する見込みである。

要素技術の多くはETC2.0データにも応用可能である。平成31年に始まった「大学とのデータの共有・分析による新サービス提案」における学での分析において様式1-2活用システムの成果を活用しているほか、地域道路経済戦略研究会における分析での活用を目指している。

ETC2.0で利用できる技術は交通シミュレーションに関連するものも多く、さまざまな規模の課題の解決案の評価に使える交通シミュレーションの継続的开发を目指したいと考えている。

### ⑬自己評価

(研究目的の達成度、研究成果、今度の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

- ✓ 研究目的の達成度：次世代ETCシステムの基本設計について包括的かつ詳細なものを、具体的なアプリケーションに資する形で、かつそれに必要な要素技術の開発も含めて提案できたため、十分に達成できたものと考えている。
- ✓ 研究成果：開発した各種の要素技術は実務的にも学術的にも有用であり、十分な成果が出せたと考えている。
- ✓ 今後の展望：本研究の成果は次世代ETCシステムの開発への応用が期待できるほか、ETC2.0データについても有用な技術が提案できており、それらを用いて、現時点で存在するデータを用いた各種の研究を効率的に展開することを期待できる。
- ✓ 道路政策の質の向上への寄与：次世代ETCシステムの開発を通じ道路政策の質の向上に寄与することが期待できる。
- ✓ 研究費の投資価値：上記で示した研究成果、展望、将来における道路政策の質の向上への寄与を考慮すれば、十分な研究費の投資価値があったものと考えている。研究費の多くは、データ処理に必須な機器（サーバ等）、研究者個人で実施するには煩雑な補助業務の外注のほか、学術研究員の雇用に使用したが、いずれも研究遂行には必須の要素であり、インプットの側面からみても効率よく使用できたものと考えている。