

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

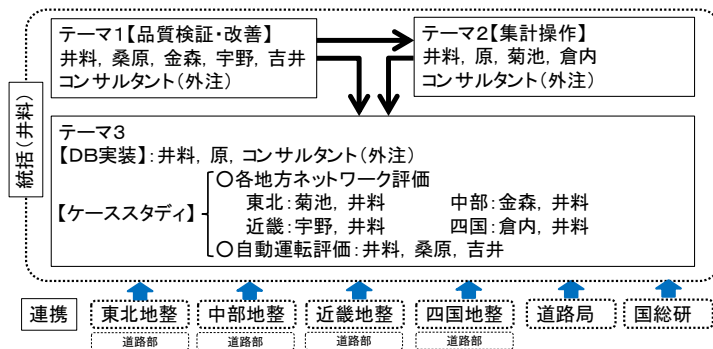
## 【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属		役職
	井料 隆雅 (いりょう たかまさ)		神戸大学 大学院工学研究科		教授
②研究 テーマ	名称	蓄積車両軌跡データの効率的活用のための階層型データベースの構築			
	政策 領域	[主領域] 領域2 [副領域] なし	公募 タイプ	タイプIV-②	
③研究経費 (単位:万円)  ※端数切り捨て。 ※該当する研究期間のみご記入 下さい。	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計
		2,593	3,686	3,623	9,902
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 (※平成31年3月31日現在)			
桑原 雅夫		東北大学・教授			
菊池 輝		東北工業大学・教授			
金森 亮		名古屋大学・特任准教授			
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			
坂井 勝哉		国立台湾大学・助教			
原 祐輔		Singapore-MIT Alliance for Research and Technology (SMART) center・Postdoctoral Associate			
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。)					
<p>本研究では以下の3テーマの実施を目標としている。【テーマ1】品質検証と改善：実際の車両軌跡データの品質が理想的なレベルからどの程度劣化しているかを定量的に検証し、それがどのようにデータ解析に影響を与えるかを評価する。あわせて、品質を改善するための方法論を開発する。【テーマ2】集計操作：実際の車両軌跡データの分布がどのような統計学的特性を持っているかを解析し、それに基づいて、適切な集計操作の方法論を開発する。【テーマ3】階層型DBの実装とケーススタディ：テーマ1と2の成果を用いて階層型データベースを実装し、それを用いてケーススタディを行い、その結果を基に、ETC2.0をはじめとする車両軌跡データの活用方法について提案を行う。</p>					

## 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「品質検証と改善」：ETC2.0プローブデータ、商用車プローブデータについて、各種の統計量を道路交通センサスのデータと比較して品質検証とその改善の方策を提案した。このために、松山市においてETC2.0搭載車の実走調査も実施した。
  - ✓ テーマ2「集計操作の開発」：車両軌跡データの特性を分析し、それを活用したネットワークの階層化と縮約の手法を開発した。開発した手法はデータ量を80%以上削減できることを示した。
  - ✓ テーマ3「階層型データベースの実装とケーススタディの実施」：テーマ1と2で得た知見を活用し階層型データベースの構築を行った。また、それを用いたケーススタディを行った。
- ・ **各研究者の役割・責任分担**：計画当初の組織図である下図を基本としつつ、状況に応じて具体的な役割を適宜割り当てながら研究を実施した。ただし実質的には、統括である井料がかなりの部分を担当している。共同研究者に具体的に割り当てた主な役割は以下のとおり：
  - ✓ 各地方整備局のヒアリングについては、井料が各地方に存在する大学教員(東北：桑原，中部：金森，四国：吉井)のサポートのもと実施した。
  - ✓ ケーススタディのうち四国で実施したものについては、その多くの部分を吉井が担当している。具体的には、実装実験のモニター募集や実験環境整備(駐車場の確保など)、松山市内の交通シミュレーションSOUNDのデータや交通事故関連のデータの提供、ケーススタディの内容の検討など。
  - ✓ 平成29年度から参画した坂井は、研究に関連するほぼ全ての業務を、神戸大学の学術研究員として井料と共に遂行し、その成果に大きく貢献している。
  - ✓ そのほか、共同研究者との議論を研究打ち合わせ等で随時実施することにより、各共同研究者からの貢献を受けている。
- ・ **外注の役割**：各種データの前処理、マップマッチングに関する技術支援、実走実験の管理業務、GUIのインターフェース部分のプログラム作成支援、Webアンケート実施業務等を外注している。これらの業務を外注により実施することにより研究代表者と共同研究者は本来の研究内容に集中できた。



(計画当初の組織図)

## 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。)

中間評価においては、平成28, 29年度とも「現行通り推進することが妥当である」という評価を受け、特段の指摘事項を受けていないため、特に対応したものはない。なお、以下の参考意見については、それらを可能な限り反映させた上で研究を実施している。

- データの品質向上に重点を置いていただくと、実用性が高くなると思われる。
- 今年度の成果および来年度の品質改善検討結果をもとに、集計操作方法論の開発が期待される
- ETC2.0プローブデータの品質を考慮すると、適用対象(ex.経路推定)との関連でどこまでのことが可能になるか、ETC2.0データの限界と適用性に言及することが望ましい。
- ケーススタディを通じて、実務の内容を明確にした上で、活用を進めることが望ましい。

## 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、蓄積車両軌跡データの効率的活用のための階層型データベースの構築を目指し、

- テーマ1：品質検証と改善
- テーマ2：集計操作の開発
- テーマ3：階層型データベースの実装とケーススタディの実施

の3つのテーマについて研究を行った。結果として、ほぼ当初想定通りの成果を得ることができた。

テーマ1「品質検証と改善」においては、ETC2.0プローブデータ、商用車プローブデータについて、各種の統計量を道路交通センサスのデータと比較して品質の評価を行い、特にサンプル率のバイアスについての問題点を指摘した。サンプル率のバイアスの主な原因は、車載器の普及状況の地方による差異と、ITSスポットを通過しない車両のデータが喪失することの2点であると見られる。

テーマ1においては、車両軌跡データの品質検討と改善手法の検討のため、松山市においてETC2.0搭載車の実走調査も2種類行っている。1つ目は、レンタカーおよび運転手を雇用し、事前に多数の目的地を設定し、それを運転手に指示して走行させた。このデータを用いてマップマッチングの評価と改善を行った。2つ目は、30台のモニター(一般ドライバー)に協力を依頼し、ETC2.0車載器とGPSロガーをモニターが運行する車両に搭載してもらい、それらが観測する位置情報を収集した。これにより、車両によってETC2.0による走行軌跡のサンプル率が大きく異なることを確認した。

テーマ2の「集計操作の開発」においては、まず、道路ネットワークや車両軌跡データのもつ強い不均一性の存在をデータの分析により確認した。その特性を活用し、ネットワークを上位ネットワークと下位ネットワークに階層化し、上位ネットワークを縮約し、下位ネットワークを集約する手法を開発した。開発した手法はデータ量を70%以上削減できることを、実データを用いることにより示した。

テーマ3の「階層型データベースの実装とケーススタディの実施」においては、テーマ1と2で得た知見を活用しつつ、本研究課題の最終目標である階層型データベースの構築を行った。また、構築した階層型データベースを用いたケーススタディを行った。本研究で実装した階層型データベースは、ETC2.0データをはじめとする車両軌跡データの活用に多大な威力を発揮する。これまでは圧縮ファイルの解凍だけでも多くの時間を要していた一次データから必要なデータを取得するだけでも多くの労力を必要としていた。今回実装した階層型データベースは、分析対象箇所をGUIにより視覚的かつ直感的に選定し、そこから簡便かつ迅速に分析対象となるデータを抽出することを可能とする(次ページ図を参照)。このことは各ケーススタディにおいて実例をもって示したとおりである。さらに、集約の際には車両を集約することは行わず、空間の集約だけを行うことにより、一次データへのアクセスを容易に可能にするという点も重要なポイントであると考えている。

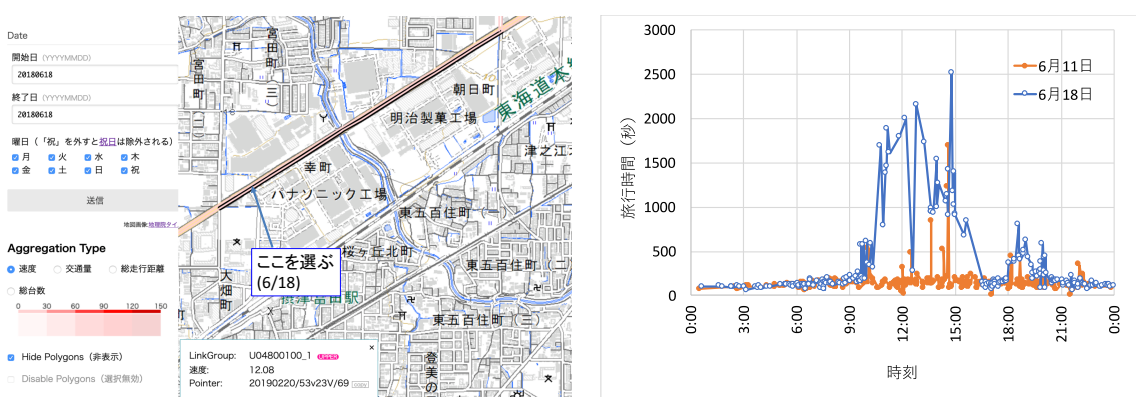
階層型データベースは、車両軌跡データの抽出の効率向上に加え、階層化のプロセスで行ったネットワークの集約にも利用価値があることをケーススタディから明らかにした。複雑なネットワークは、簡略化したりエリア集計したりすることにより、その大局的な特性の分析が可能となる。この点については、エリア単位の集計についてはすでに集計QKという形で知られているが、縮約された上位ネットワークも大局的な特性分析に有用であることを示した。

### ⑧研究成果（つづき）

以上のことは、一次データ（これは相当のサイズとなってしまふ）を伴わずとも、階層型データベースの活用が可能であることを示す。このことは、データベースの可搬性を高めるという意味で非常に有用である。例えば高速道路会社のような上位ネットワークへの興味が大きい主体であれば、都市高速道路未満を下位層とした階層型データベースを保持しておけば、一次データへのアクセスが限定される状況でも、さまざまな分析が可能となると予想できる。地方整備局や国道事務所においても、国道の管理を中心とした分析が主であれば、国道未満を下位層とした階層型データベースを対象となる地方について準備しておけば、小回りのきく車両軌跡データ活用が可能となるであろう。

国土交通省道路局や各地方整備局等とのヒアリングを通じてテーマを設定し実施したケーススタディにより、ETC2.0データの道路行政での活用可能性を様々な角度から示すことができた。サンプル率のバイアスへの影響の注意は必要なものの、特に、その影響をあまりうけない分析（ITSスポットの設置密度が高い高速道路上の分析、サンプル率の変動の影響を受けづらい旅行時間分析、異常事象検知など）に対する活用可能性は高いといえる。また、バイアスの影響が想定される場合であっても、本研究で明らかにしたその性質に配慮し、必要に応じて外部データと連携することによりETC2.0データの活用は十分に可能であろう。

本研究の成果のインパクトは十分に大きいと考えている。特にETC2.0プローブデータの特性を明らかにすることにより、ETC2.0プローブデータを実務課題に活用するときに注意すべき点を明確にしたことは、データの活用の点からみて重要なポイントである。また、このことはETC2.0プローブデータが得意（あるいは不得手）とする分析を明らかにするという点でも重要である。また、開発した階層型データベースは、ETC2.0の車両軌跡データの活用の効率を大きく向上させることが期待できる。分析にかかるコストを押し下げることにより、より多くの場面での活用や、災害など急を要する場面でのより有効な活用が可能となることが期待できよう。



図：開発した階層型データベースを操作するGUIのスクリーンショット例（左）。平成30年6月18日大阪府北部地震時の交通渋滞の分析の例。上位ネットワークのリンクを画面上で選んで通過車両のデータをすぐに取得できる。右はそのデータを用いて作成した旅行時間のグラフ。

## 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、学会抄録、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。)

1. Yasuda, S., Iryo, T., Sakai, K., and Fukushima, K., Data-oriented network aggregation for large-scale network analysis using probe-vehicle trajectories, 22nd Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), 2019, 10. (採択済)
2. 安田昌平, 井料隆雅, 坂井勝哉, 車両軌跡データを用いたネットワーク集約手法, 第39回交通工学研究発表会, 2019, 8. (採択済)
3. Sakai, K., Koyama, Y., Yasuda, S., and Iryo, T., Investigations of electronic toll collection (ETC) 2.0 system for validation of map matching algorithm and analysis of spatial deviation in observed data, ISTS and IWTDCS 2018, Matsuyama, Japan, 2018, 6.
4. Yasuda, S., Iryo, T., Koyama, Y., and Sakai, K., Characteristics of ETC2.0 probe data compared to road traffic census data, ISTS and IWTDCS 2018, Matsuyama, Japan, 2018, 6.
5. 小山裕大, 坂井勝哉, 安田昌平, 井料隆雅, ETC2.0車両軌跡データの品質検証のための実走行調査, 土木計画学研究発表会・講演集, **57**, 2018: 8 pages.
6. 小山裕大, 井料隆雅, 道路交通センサデータとの比較による全国プローブカーデータの特性検証, 土木計画学研究発表会・講演集, **55**, 2017: 11 pages.

## 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。)

以下の2件の公開イベントを実施した:

### 1. 成果報告会「多様なビッグデータを活用した道路技術研究開発」

- ・日時: 平成31年2月22日(金曜日) 13:00~18:00
- ・場所: 東京大学武田先端知ビル武田ホール
- ・参加者人数: 250名程度

※ このイベントは、井料のほか、福田大輔准教授(東京工業大学)、塚井誠人准教授(広島大学)による主催、国土交通省道路局の共催で実施している。このイベント内で、井料が本研究の成果を発表している。

### 2. International Mini-Workshop on Transport and Traffic Big-Data: Theory and Practice

- ・日時: 平成31年2月22日(金曜日) 9:30~12:00
- ・場所: 東京大学工学部1号館15号室
- ・参加者人数: 50名程度

※ このイベントは、井料のほか、福田大輔准教授(東京工業大学)、塚井誠人准教授(広島大学)による主催で実施している。このイベント内で、坂井が本研究の成果の一部を英語で発表している。研究成果の国際展開を狙い、米国ワシントン大学の Jeff Ban 准教授を招聘し、招待講演を実施した。

## 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。)

以下のような課題や展望が考えられる：

1. 本研究で開発した階層型データベースをアプリケーションとして多くの利用者が利用しやすいように実装し、活用事例を蓄積することができれば、その課題を抽出することも可能となり、より利便性の高いデータベースの構築が可能になることが期待できる。
2. ETC2.0のような車両軌跡データだけでなく、多様な空間情報（道路交通に関するものに限らない）をデータベースに統合する方法を開発し実装することにより、単に道路交通現象だけでなく、その原因となりうる地理的・社会的な要因を分析することも可能となることが期待できる。
3. 本研究で明らかにしたETC2.0プローブデータの品質の問題は、今後、ETC2.0のシステムを更新する際に考慮し、可能な限り解決すべき重要な課題となる。なお、更新されたETCシステム単独による品質向上に限らず、他のデータソース（例えば車両感知器データなど）も併用したより相応的な品質向上策を検討し、それを前提としたシステム更新の計画を立案することが、効率的な品質向上のためにはより好ましいといえる。

## 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。)

本研究の成果は、現時点では直接道路政策の質の向上には反映されていないが、以下の点において近い将来にそのような貢献ができると考えている：

1. 本研究で明らかにしたETC2.0プローブデータの品質の問題の知見を活用することにより、ETC2.0プローブデータをより正確な形で道路政策の立案や評価に活用可能となる。
2. 本研究で開発した階層型データベースは、ETC2.0プローブデータが多くの場面で活用されることを促進することが期待できる。これにより、これまでよりもより多くの場面で、道路政策の立案や評価が、これまでより精緻かつ多様な方法で行われること期待できる。
3. 本研究の成果は、道路交通センサスにかかわる調査をETC2.0プローブデータで実施する際に有用である。品質に関する知見は、調査の精度向上を図る際にももちろん有用である。加えて、階層型データベースを活用することにより、道路交通センサスの結果をより効果的に活用する方策を提案することも可能となろう。

### 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：十分に達成できたものと考えている。強いて言えば、品質向上の方策については、特にサンプル率のバイアスに関するものについては、原理的に品質向上が困難なものについて有効な方策が示せなかったが、これについては止むを得ないものと考えている。なお、向上策の代わりに品質管理の方策の提案を行なっている。
- 研究成果：実務的にも学術的にも有用な成果が出せたと考えている。特に、開発した階層型データベースは、膨大な車両軌跡データを活用するために非常に有用なツールとなると考えている。
- 今後の展望：本研究の成果は、開発した階層型データベースのアプリケーションとしての実装を通じた普及やETC2.0システムの更新への貢献のような活用策が期待され、十分な展望が見込める。
- 道路政策の質の向上への寄与：現時点ではないものの、近い将来に、車両軌跡データの道路政策の立案や評価への活用の促進に大きく寄与するものと考えている。
- 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、学術研究員の雇用を使用したがる、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。