

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	（いりょう たかまさ） 井料 隆雅		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）  ※H28は精算額、H29は受託額、 H30は計画額を記入。端数切捨。	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計		
	2,593	3,686	3,700	9,979		
④研究者氏名（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。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				
桑原 雅夫		東北大学 教授				
原 祐輔		東京大学 助教				
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				
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。） 本研究では以下の3テーマを実施している。今年度は、昨年度から実施しているテーマ1を引き続き実施し、テーマ2を実施することにより、来年度実施予定のテーマ3に向けた基礎を構築している。 【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。						

## ⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでに得られた研究成果や目標の達成状況とその根拠(データ等)を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。)

平成29年度は

1. 車両軌跡データの品質の改善手法検討のための実験の実施(テーマ1)
2. 車両軌跡データの品質を改善するための方法論の開発(テーマ1)
3. 車両軌跡データの集計操作のための方法論の開発(テーマ2)
4. 道路局および各地整とのケーススタディに関する協議(テーマ3)

の4点についての研究を行う計画としていた。それぞれについて進捗を報告する。なお、末尾にあるテーマの番号は、⑤の研究の目的・目標のところで示した番号と対応する。

### 1. 車両軌跡データの品質の改善手法検討のための実験の実施

ETC2.0データをはじめとした車両軌跡データの品質改善手法を検討するためのデータを取得することを目的として、実道における備車を用いた実走実験とモニター(一般ドライバー)に協力を依頼した上での実測データ収集を行った。前者は、車両軌跡データの品質のうち、経路がどの程度の精度で正しく特定可能で、どのように改善が可能かを検討するためのデータを取得することを目的とする。後者は、特にETC2.0データにおいて、その原理上発生しうるデータの欠測がどの程度であり、それによる品質劣化がどこまで改善可能かと、その手法を検討するためのデータを取得することを目的とする。以下、それぞれについて研究経過の詳細を報告する。

#### 1.1. 備車を用いた指定目的地間の実走実験

備車(レンタカー)および運転手(タクシー会社からの派遣運転手)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。実験を実施した場所は愛媛県松山市である。実験は2017年11月3日から28日まで(土休日を含め)実施した。車両の運用拠点を愛媛大学城北キャンパス内に確保し、松山市内に121箇所の目的地(図1)を設定した。それぞれの日において、拠点から運行を開始し、指定された順番で目的地を訪問し、指定された時間が経過したら拠点に帰着させた。1日当たりの訪問目的地数は概ね30か所であった。

備車には特定プローブに指定したETC2.0車載器を搭載し、車両を特定した上で車両軌跡データを収集した。実際に通過した経路を正確に特定するために、時間分解能がETC2.0に比べてきわめて高い(1秒単位)GPSロガーを設置した。さらに、ドライブレコーダーで前方風景を収録した。これらのデータを用い、GIS上で人間の目によってGPSロガーで正しく経路が特定されているかを確認し、間違っている場合はその都度修正して真の通過経路を特定した。

結果の例として図2に11月19日のデータを示す。右上囲いは市内中心部の拡大図である。ETC2.0のドットデータにより真の経路は概ね正しく観測できているが、例えば、市内中心部のように道路網が密なところにおける複雑な経路は必ずしも完全に追跡しきれていないことも確認できる。この知見は、車両軌跡データを自動運転のために活用する際に必要なデータ取得間隔を知ろうとするときにも重要となる。

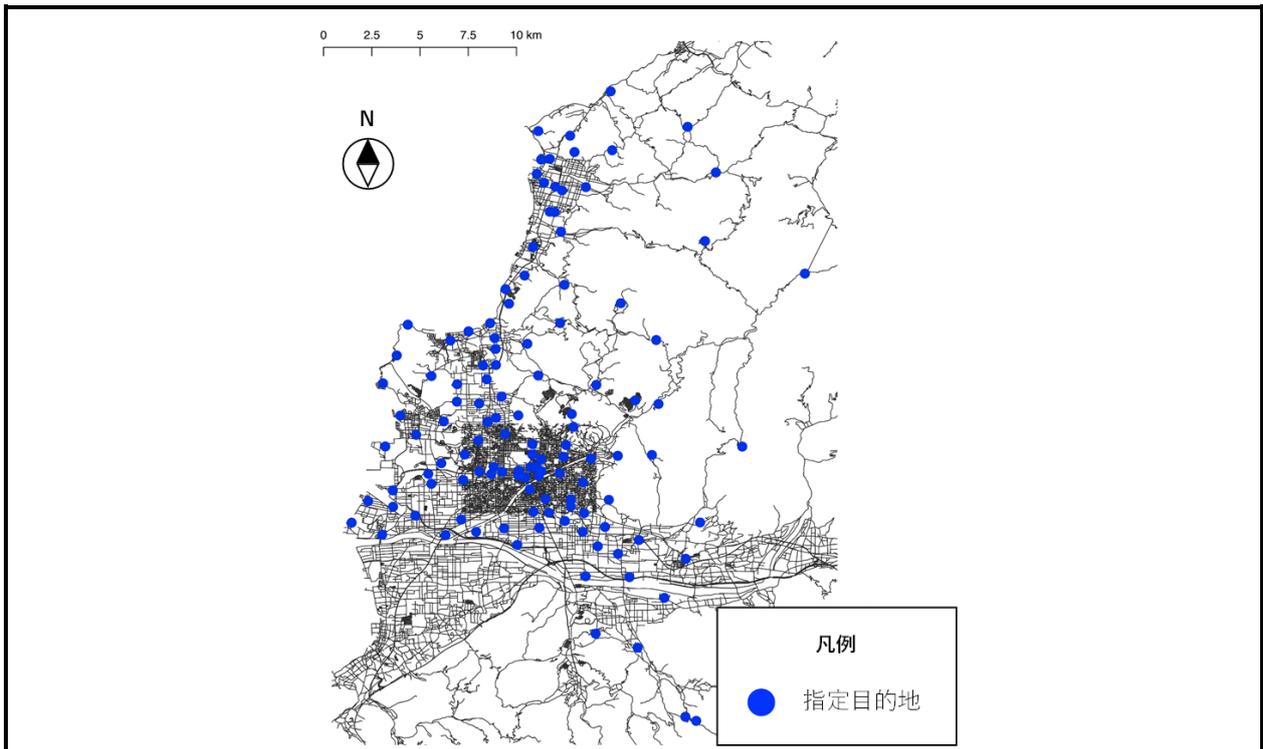


図1 備車実験で指定した目的地の位置

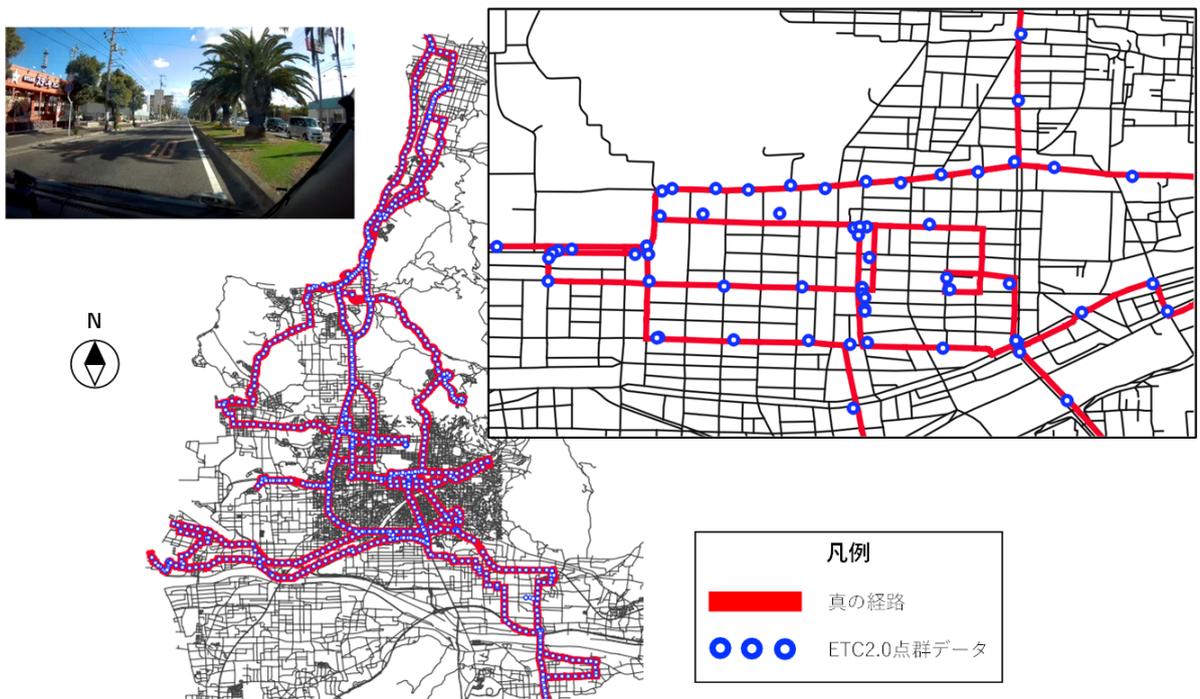


図2 備車実験による観測データ（11月19日実施分を抜粋）．右上囲いは市内中心部の拡大，左上囲いはドライブレコーダーにより収録された画像の例．

## 1.2. モニター車両による実測データ収集

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。愛媛県松山市内を中心に運行されている車両の管理者（個人、法人、官公庁等）に個別に協力を依頼し、30台の車両を対象車両として確保した。観測対象期間は11月1日から30日の30日間であった。いずれのETC2.0車載器も特定プローブとして指定している。ETC2.0とGPSロガーの軌跡を比較すれば、ETC2.0における車両軌跡データがどの程度どのように欠落しているかを確認できる。

結果について、具体的な車両軌跡は個人情報保護のため、公開が予定されている本報告書には示せないが、予備的な集計分析を実施したところ、松山市中心部付近では、**走行距離ベースで概ね60%の車両軌跡が欠損**していることがわかっている。また、定性的には、中心部の複雑な街路部分や、南西部の郊外部での欠損が目立つようである。これらの詳細については現在分析中である。

## 2. 車両軌跡データの品質を改善するための方法論の開発

車両軌跡データの品質の問題点として、特にETC2.0によるものとしては、平成28年度の研究により、サンプル率が起終点ペアや道路種別等の特性に依存して歪むことがわかっている。また、ドットデータの品質の限界（特に時間分解能の限界と各種の理由によると思われるドット欠損）によって、経路の特定精度に一定の限界があることを示唆する結果も出ている。これら2点の問題を緩和し、品質を改善するための方法論の開発を行った。以下2.1および2.2節で詳細を記述する。なお、データそのものの品質の限界により、今回提案する手法によっても品質改善には相当の限界はどうしても残る（これは特にサンプル率について顕著である）。本研究の最終目標は階層型データベースの構築であり、品質の際限ない向上ではないことにも考慮し、「品質情報を含む車両軌跡データをデータベースに格納する方法の提案」も、広い意味での品質改善のための方策として2.3節で説明する。

### 2.1. 経路の特定の品質に関する問題の抽出とその改善策の提案

ETC2.0をはじめとしたGPSを用いたシステムは、車両軌跡データを、一定間隔で観測された位置情報データ（いわゆる「ドットデータ」）として取得する。これをデジタル道路地図(DRM)等で提供されるネットワークにあてはめることにより、「どのリンクを通過したか」という「経路データ」に変換（マップマッチング）する。実務的に使用が想定されるのはこの経路データであり、データベースに格納する一次データもこれである。経路データの品質は、位置情報データそのものの品質と、マップマッチングのアルゴリズムの性能の2つに依存して決定する。以降では、まず、経路特定の品質の問題をこれら2つの要因にわけてそれぞれ説明し（2.1.1節と2.1.2節）、そのあとに、特にマップマッチングのアルゴリズムの改良による品質向上の方策について説明する（2.1.3節）。

#### 2.1.1. 位置情報データそのものの品質に関する問題

ETC2.0における位置情報の観測頻度は、多くの状況において十分とみられるものの、すべての状況において十分であるかどうかは検証が必要である。ETC2.0においては、一定走行間隔（200m）ないし方向転換などのイベント時に位置情報を観測するとされている。郊外部などの道路密度が低い

ところではこれで十分であると思われるが、道路密度が高い場所では必ずしもそうとはいえない。この検証は1.で説明した備車実験データを用いて実施中であるが、例えば図2の右上囲い部分にあるように、都心部で複雑な経路を通過する場合には、その経路を確実に追跡するに十分な頻度で測位が行われているかという点、必ずしもそうとはいえないようである。

位置情報データは、本来は、車両の位置に対応して連続的に観測されるべきであるが、観測機器の特性により、その前提が常に成立するとは限らない。ETC2.0に特有のものとして最も大きいものは、プライバシー保護のため、エンジンを切ると前後500mのドットデータが消去される仕様になっていることである。このことは、特に短距離トリップの経路を特定することが原理上困難であることを示している。また、測位が連続して欠落する場合や、前後と連続せず孤立した1点のみ観測されている場合も多くみられている。これらの現象がプライバシー保護の機能により発生したものか、そのほかの観測機器の動作の不具合によるものか、両方ありうるのかについて、備車実験データの分析もふくめて現在解析中である。現在のところ、孤立した1点が観測される理由としては、その後で観測されたドットデータまでの距離の分布を見ると、1km程度の距離がもっとも出現頻度が高いこと（図3）から、プライバシー保護の機能によって出た可能性が高いと推測している。

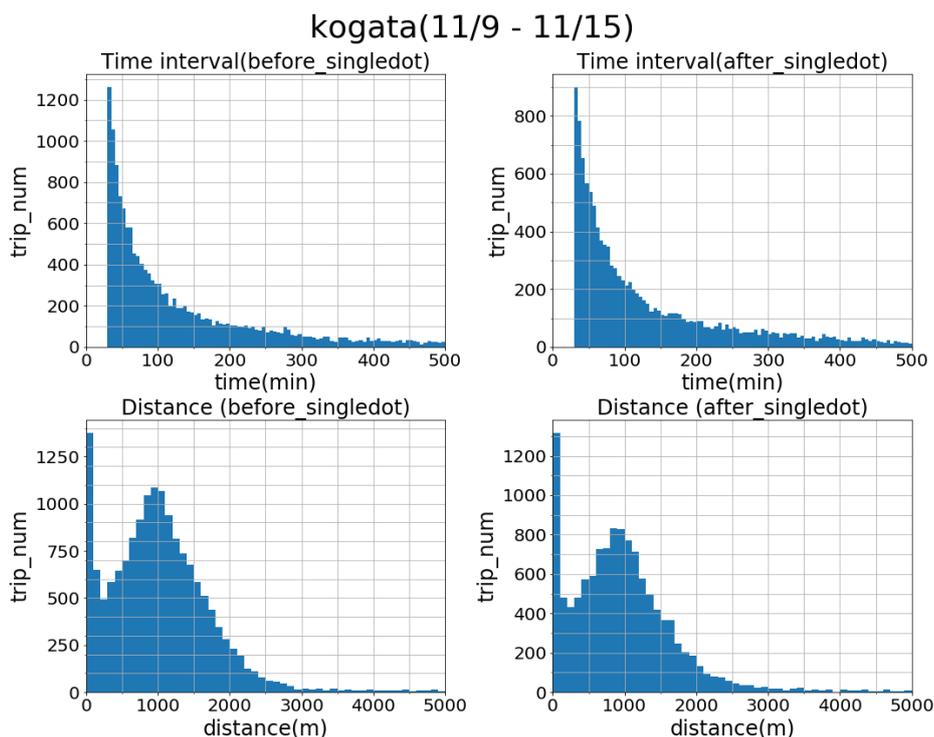


図3 孤立点(Single dot)前後のドットデータまでの時間および距離の分布

(小型車, 11/9-11/15のデータ)

左上: 孤立点直前のドットデータからの時間 (横軸: 時間 (分), 縦軸: 頻度)

右上: 孤立点直後のドットデータからの時間 (横軸: 時間 (分), 縦軸: 頻度)

左下: 孤立点直前のドットデータからの距離 (横軸: 距離 (m), 縦軸: 頻度)

右下: 孤立点直後のドットデータからの距離 (横軸: 距離 (m), 縦軸: 頻度)

## 2.1.2. マップマッチングのアルゴリズムによる問題

2.1.1でも示したように、ETC2.0による測位データが、特に道路密度が高いところでは必ずしも十分ではないこと、また、測位の欠落が存在することを考えると、マップマッチングのアルゴリズムとしてもそのような測位点の不足や欠落に対応したものをい用いてはならない。この方法としては朝倉ら(土木学会論文集, No. 653/IV-48, pp. 95-104, 2000)によるものが国内ではよく知られている。さらに、海外のものを含めた既存研究の調査を行ったが、この方法を大きく超越する新規な方法は、学術研究として公開されているものの中からは、これまでのところ見つかっていない。以下では、この方法(ここでは「朝倉らの方法」と呼ぶ)を一般的なETC2.0のドットデータに適用したときに実際に見られた問題を列挙する。なお、以下では備車データによる検証結果は含まれていない。これについては現在解析中である。

朝倉らの方法に限らず、マップマッチングで起こる問題は、地図データが実際の道路ネットワーク構造と異なる問題である(図4a)。DRMを地図データとして使用する場合には、これは、データのバージョンの違い(DRM更新後に実道が開通した場合など)に必然的に発生する。加えて、DRMの基本道路データのみを用いた場合にも発生する。後者は、全道路データを用いれば理論上は回避可能である。しかし、そのためにはかなりの計算負荷に対処してはいけないだけでなく、道路密度が高いところで間違った結果を頻繁に出すことにもつながり、実現は容易ではない。

朝倉らの方法は最短経路探索により測位点が不足ないし欠落しているデータから経路を特定する方法であるが、最短経路探索は計算コストが大きいので、探索する範囲(サブネットワークと呼ぶ)は一定のルールで絞り込まなくてはならない。サブネットワークが小さすぎると、図4bのように欠落部分を補完することができず、経路が切れてしまう現象が発生する。また、最短経路探索による方法が正しく機能するためには、トリップが正しく分割され、正しい起点と終点が特定され、運転手が合理的な経路選択を行っていることが必要である。しかし、ETC2.0のような測位データには本来のトリップ起終点のデータが含まれていないため、これらは推定するしかない。これらの前提に問題があった場合には、図4cのように、ループを描く経路を正しく特定できない現象が発生する。



図4 a: DRMリンク外道路を走行した例。 b: ドットデータが経路上で欠落した(赤丸で囲んだ部分)とみられる例。(a, bとも、黄色がDRM基本道路リンク、赤点が観測されたドットデータ)。 c: ループが特定できなかったケース。黄色矢印で示した方向に移動したことにより観測されたとみられるドットデータがあるが、(従来の)朝倉らの方法ではこのようなループのある経路を正しく特定することはできない。

### 2.1.3. 品質向上の方策

観測される車両軌跡データ（ドットデータ）そのものの品質が不変であるとしたとき、朝倉らの方法によるマップマッチングアルゴリズムにおいて各種の方策やパラメータ調整を実施することにより、経路特定の品質を向上させることができるかを確認した。なお、以下は備車データにより発見された品質の問題の解決策は含まれていない。これは現在研究中である。

以下では代表的な方策を2つだけ紹介する。1つめの方策は、ネットワークデータの限界や、ドットデータが飛ぶことにより経路が全く特定できない（つながらない）問題に対処するために、サブネットワークの抽出範囲を25～50%拡大することである。2つめの方策は、経路内のループを正しく特定するために、進行方向が一定角度以上変化している地点で（推定された）トリップを人為的に分割する方策である。いずれの方策も一定の効果があることを確認している。

### 2.2. サンプル率が不均質であることの問題点の抽出と、その改善案の提案

車両軌跡データは一般的にサンプルデータであり、また、さまざまな理由によってサンプル率が不均質になる。ETC2.0においてサンプル率がどのように不均質であるかについては、すでに平成28年度に道路交通センサデータとの比較を行うことによって集計的な把握を行っている。それにより、主に、

(1) ETC車載器の普及率の地域による差。

(2) ITSスポットにより軌跡データを車載器から収集する仕様と、車載器のメモリー容量の限界により、観測した車両軌跡データが収集されずに欠落する問題。

の2つがサンプル率の不均質性の理由と推測できる結果を得ている。

今年度は、特に後者によるサンプル率の歪みを精査するために、1.2で述べたモニター車両による実測データ収集を行い、車両軌跡データの欠測がどのように起こっているのかを非集計的に（すなわち、個別車両の欠測がどのように発生しているかを具体的に考慮して）分析している。今年度の残りの期間で、この結果を用いて品質改善の方策を立案する予定である。

方策には3つのものを想定している。ひとつは、リンク単位でのサンプル率を、「ITSスポットから各リンクまでの距離」「道路の種別や最高速度」など、各リンクが長距離トリップで使用される程度を説明する指標を説明変数とする統計モデルを構築することである。もうひとつは、リンク単位でのサンプル率からOD単位でのサンプル率を推計するモデルの構築である。3つ目は、個々の車両軌跡データを格納する際において、軌跡の欠測が発生しているかどうかを判定するために必要な情報を、車両軌跡データの品質情報として、軌跡データそのものと同時に格納することである。3つめについては、以下の2.3節で詳説する。

### 2.3. 品質情報を含む車両軌跡データをデータベースに格納する方法の提案

2.2.節までで示したように、ETC2.0で観測される車両軌跡データの品質は、改善の処置をしたとしても完璧なものとするのは原理上不可能である。また、常に一定の品質が保たれるわけでもなく、さまざまな条件によって変動してしまう。このことは、車両軌跡データからマップマッチングによる推定された経路データをデータベースに格納する際には、その品質に関する情報を同時にデータベースに格納することが重要であることを示唆する。格納する品質情報は、主に、マップマッチングの品質（2.1節）と、車両軌跡データの欠落（2.2節の(2)）である。

品質情報に関する方法の前に、車両軌跡データのデータベースへの格納単位である「移動」「滞在」を説明する。ETC2.0で取得されるドットデータは、ある1日のある車両の軌跡を途切れることなく連続的に示すものである。このデータに対してマップマッチングを実施する前に、ある一定の狭い範囲に一定時間以上滞在するか、連続する2つのドットのあいだに一定以上の時間が経過した、などの基準を用いて車両軌跡を切断する。この操作は「トリップ分割」と呼ばれる。しかし、トリップという言葉の本来の意味は「特定の目的をもった移動」であり、滞在時間は本来何ら関係ない。このことを考慮して、以降では、トリップ分割により切断された軌跡の断片を「移動」と名付ける。移動間の滞在はそのまま「滞在」と名付ける。また、滞在時間のしきい値は小さめに設定し、あとから分析者が必要に応じてしきい値を、その値よりも大きいほうに変更できるようにする。ある車両の1日の移動軌跡のデータは、理想的には、

「第1滞在（車両の拠点）→第1移動→第2滞在→第2移動→・・・→第n移動→第n+1滞在（車両の拠点）」と分割される。さらに、マップマッチングによって特定された経路データが各移動に紐づけられる。階層型データベースの最下層が保持するデータはこれらのデータ（マッチング前のドットデータを含む）である。

マップマッチングの品質は、推定された経路データが、ドットデータでどれだけ支持されているかによって評価する。ここで「支持」とは、経路データに含まれる各リンクに近接したドットが存在するか否か、もし存在すれば、どれだけリンクに近いところで存在するかの程度を示す概念である。具体的には、各移動内で観測された連続する2つのドット間の最大距離と、ドットからリンクまでの距離の平均の2つの指標で評価する。この2つの指標を移動ごとに集計し、その移動に紐づけられた経路データとあわせてデータベースに登録する。

2.2節の(2)のその3で示した、車両軌跡の欠落に関する品質情報として、以下の項目をデータベースへ搭載する。

- 各移動の終点からITSスポットまでの距離：これが十分近い場合（概ね200m以下）には、その移動の終点から下流側の車両軌跡データは、車載器のメモリー制約により失われた可能性が高い。
- 各移動の起点から直下流のITSスポット通過地点までの累積走行距離：これが80km以上であれば、その移動の起点より上流側の車両軌跡データは、車載器のメモリー制約により失われた可能性が高い。
- 滞在の起点と終点のあいだの距離：これが十分長い場合（概ね1km以上）には、この滞子の起点と終点のあいだには、車両軌跡データからは特定できない移動が1個以上存在する。

### 3. 車両軌跡データの集計操作のための方法論の開発

本研究で開発している「階層型データベース」は、指定された階層よりも下の階層に属するデータをどのように集計するかの方法論を必要とする。この際には、「階層」をどのように定義するかも決めなくてはならない。3.1節で集計操作の方法について、3.2で集計単位と階層の定義の方法について、現時点までの開発で得られている結果を示す。

#### 3.1. 集計操作の方法

本研究で開発する集計操作においては、集計を「空間」単位でのみ実施することを基本とする。それ以外の単位での集計は一切行わない。例えば、複数の車両の軌跡データを束ねるような集計や、時間分解能を低くするような集計（1時間単位で集計するなど）は行わない。このようにする主な理由は2つある。ひとつは、空間はさまざまな方法で直感的に階層化が可能である一方で、時間や車両の階層化は必ずしも直感的にはできないことである。もうひとつは、交通量の空間的な分布には大きな偏りがあるため、交通量の多いところを上位の階層とし、少ないところを下位の階層として、下位の階層の情報を捨象することにより、データのサイズを大幅に削減することが期待できることである。

後者の「偏り」がどうであるかを実データにより確認する。まず、道路種別ごとのリンク数がどのように分布しているかを、DRMを基に計算し図5（左）に示した。図5からわかるように、下層の道路種別ほどリンク数が多い（例えば一般国道以上のリンク数は全体の13%に過ぎない）ことがわかる。次に、ETC2.0で観測されたリンク交通量の分布を図5（右）に示す。ほとんどのリンクは1台から数台程度の交通量しかなく、交通量の多いリンクはごく少数であることがわかる。このように両対数グラフで概ね直線に沿う分布は多くの自然現象や社会現象において観測される。このような法則はZipfの法則と呼ばれる。

車両軌跡データを経路データとして保管する際には、車両が経路内の各リンクに流入および流出する時刻のみを保持すればよいため、データ量はリンク数に比例する。上層の道路種別や、交通量の多いリンクについてだけ空間構造を保持し、それ以外のリンクについては集計対象として空間構造を捨象することにより、重要なリンクにおける空間構造を保持したまま、データ量を大幅に削減することが可能となる。

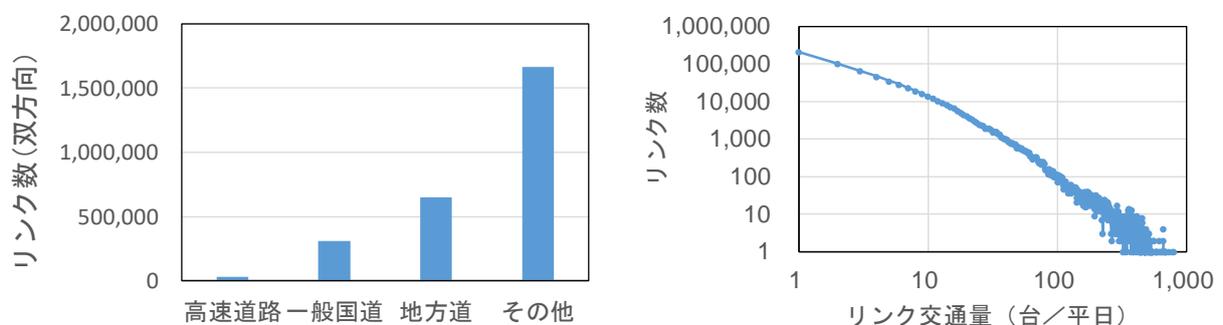


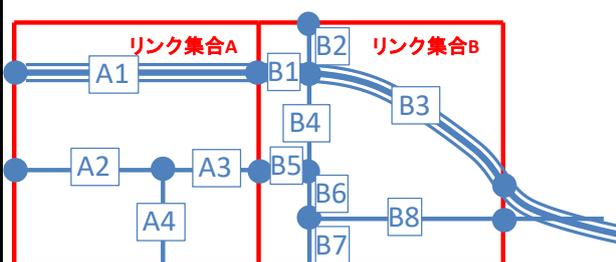
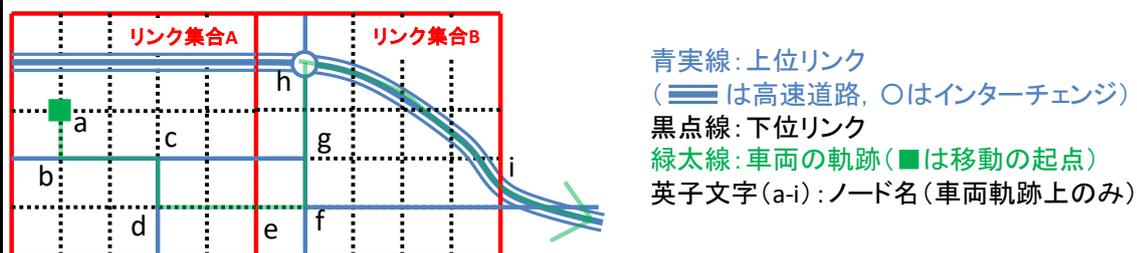
図5（左）DRM（2603版，基本道路）の道路種別ごとのリンク数。

高速道路＝種別1と2，一般国道＝種別3，地方道＝種別4～7，その他＝種別9

（右）リンク交通量分布（1台以上，1台単位）ETC2.0で観測，H27/10-12月の平日小型車平均値

集計対象となったリンク（以降では下位リンクと呼ぶ）は、地理的に近い複数の他のリンクとともにひとかたまりに集約される。その「かたまり」を、以降では「リンク集合」と呼ぶ。リンク集合は一種のサブネットワークである。集計対象とならなかったリンク（以降では上位リンクと呼ぶ）についても、接続リンクを2個しか持たないノードはすべて削除することにより、交差点や合分流点以外で分断されているリンクをすべて1本にまとめる（インターチェンジ等の実務上重要なノードは削除しない。DRMのデータ構造との互換性を考慮し、2次メッシュの境界にあるノードも削除しない）。図6に上位リンクとリンク集合の概念図を簡単な例により示す。この図では、黒点線で示される下位リンクが、赤外枠で囲った範囲で定義される2つのリンク集合（リンク集合AとB）のいずれかに集約される。

各車両の経路データは、上位リンク、リンク集合、いずれにおいても、各リンク（集合）への流入時刻と流出時刻として記録される。このほか、流入および流出地点の位置を記録（DRMのノード番号として記録する）し、リンク（集合）内での走行特性の集計値（走行距離と異常な加減速のイベント数を想定している）を記録する。これらの記録データのサイズはリンク集合の集計単位をどれだけ大きくしても変わらないため、集計単位を大きくすれば、それに比例して、記録するデータのサイズを削減することができる。具体的にどのような形で経路データが記録されるかを、図6のケースを例として同図にあわせて示す。



車両軌跡のデータベースへの格納イメージ

No.	リンク	流入地点, 時刻	流出地点, 時刻	距離 (m)	加減速数
1	集合A	a, 10:00:00	b, 10:01:05	120	0
2	A2	b, 10:01:05	c, 10:03:22	1,056	0
3	A4	c, 10:03:22	d, 10:03:55	335	0
4	集合A	d, 10:03:55	e, 10:07:22	1,289	1
5	集合B	e, 10:07:22	f, 10:08:01	322	0
6	B6	f, 10:08:01	g, 10:10:02	450	0
7	B4	g, 10:10:02	h, 10:14:00	2,210	0
8	B3	h, 10:14:00	i, 10:21:22	8,518	0

図6：（上）上位リンク，下位リンクとリンク集合の概念図

（下）上図の例における経路データのデータベースへの格納イメージ  
各上位リンクのリンク名は左図により示されている。

## 3.2. 集計単位と階層の定義の方法

3.1.で示した集計方法に従った集計を実施するには、

- (1) どのリンクを上位リンクとし、どのリンクを下位リンクとするか
- (2) 下位リンクをリンク集合にまとめるとき、どの程度の範囲でまとめるか

の2つについて決めなくてはならない。また、この際には、複数の階層が整合して生成されるように考慮することが求められる。以下で(1)(2)の決め方についてそれぞれ述べる。

(1)については、道路管理者の利便性とDRMとの整合性を考慮し、DRMの道路種別から生成される「高速道路」「一般国道」「地方道」「その他」の4つの階層をこの順番で定義し、より高い階層に属するリンクは必ず上位リンクに属するようにする。ただし、この方法では階層数が少なすぎる上に、下位の階層で交通量が多いリンクを取りこぼしてしまう問題がある。この問題を回避するために、個々の階層で含まれた上位リンクの断面交通量を降順に並べ替え、その $x$ パーセント以上の交通量を持つリンクを上位リンクに加える。これにより、例えば、「高速道路+20%ile」、「高速道路+一般国道+30%ile」のような形で、上位リンクと下位リンクを分離する境界を定義することができる。このような上位下位間の境界を事前に複数設定することにより、全国の道路ネットワークに対し複数の階層を定義する。なお、上記のパーセント値は、上位の階層における上位リンクが、下位の階層における上位リンクに必ず含まれるように設定する。図7にこの方法による階層化の例を示す。図7では、「高速道路+50%ile」「高速道路+一般国道+50%ile」を上位リンクとした例を示している。具体的な階層数やパーセント値の設定は、今後データベースを実装する際に決定する。また、断片的なリンクを削除あるいは補間する方法も今後検討する。

(2)については、国土地理院の2次メッシュ単位でリンク集合にまとめることを基本とする。今回構築する階層型データベースでは、基本的に上位リンクに含まれる情報のみを活用することを想定し、下位リンクに含まれる情報はあくまでも補助的なものとする。このため、リンク集合の集計単位を精緻に決定することにはそれほどメリットがない。2次メッシュによる区分けはDRMでも採用されており、移動経度の座標系とも整合するため、処理が簡便になるメリットがある。また、データベースを他のデータソースとあわせて活用するときの互換性にも優れる。

2次メッシュ単位では集計範囲が過大となる場合には、2次メッシュ内のネットワークをさらに複数に分断する。このような状況は、2次メッシュ内の交通量が過大なときや、上位ネットワークの密度が濃くなるように(1)で階層を決定した場合に発生しうる。ネットワークの分断の方法としては2つのアプローチを検討している。ひとつは、リンク交通量で重みをつけて、分断したサブネットワークごとの交通量ができるだけ均等になるようにする。このような操作をコンピュータ上で行うために、METISと呼ばれるパッケージ (<http://glaros.dtc.umn.edu/gkhome/views/metis>) が存在する。もうひとつは、分断により切断されるリンクの本数やその断面交通量の合計をできるだけ小さくする方法である。交通ネットワーク分析における応用例としては例えばBellらのもの (Bell, M. G. H. et al., *Investigating transport network vulnerability by capacity weighted spectral analysis*, *Transportation Research Part B*, Vol. 99, 2017, 251-266) がある。

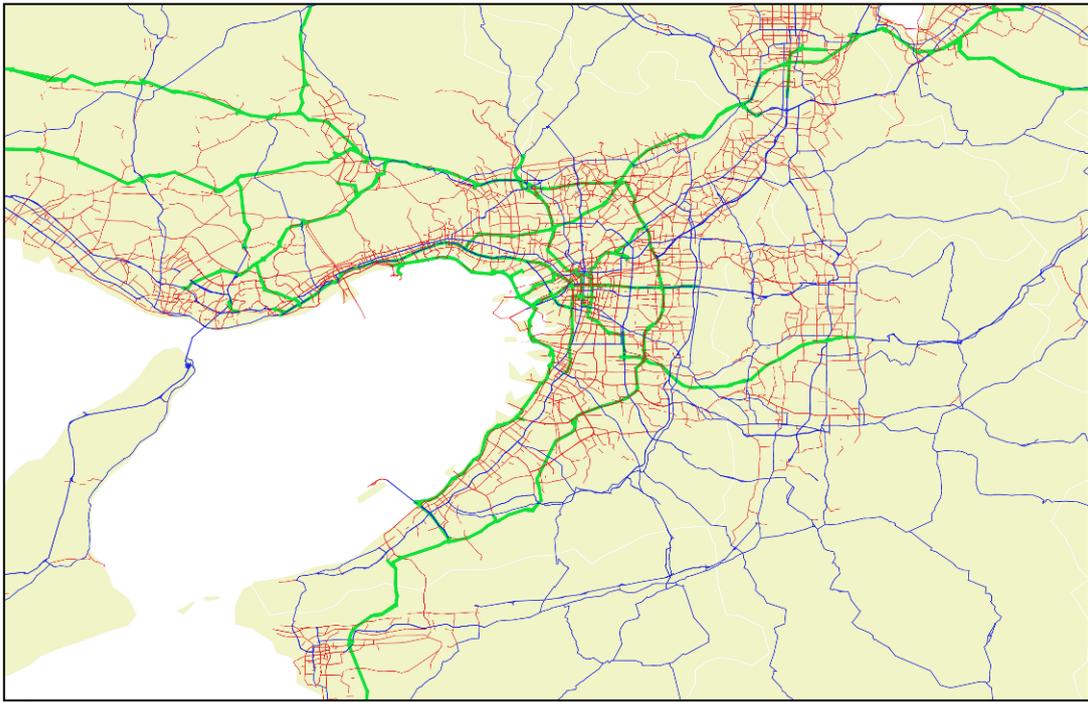
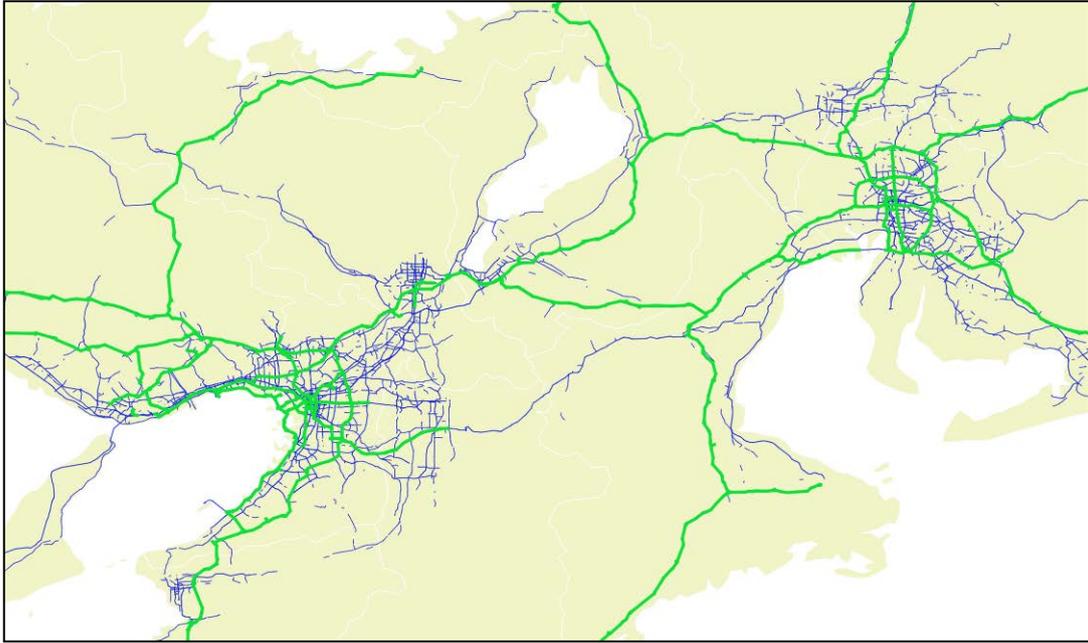


図7 提案手法により抽出された上位リンクの例.

上：「高速道路+50%ile」（近畿～中部圏拡大）

下：「高速道路+一般国道+50%ile」（近畿圏拡大）

緑太線：高速道路，青線：一般国道，赤線：その他.

いずれの方法でも，ETC2.0により観測されたリンク交通量（H27/10-12月の平日平均値）を使用.

#### 4. 道路局および各地整とのケーススタディに関する協議

ケーススタディについては、昨年度すでに各地整のヒアリングにより情報収集を行っている。今年度はこの継続として、本研究で対象としている東北、中部、近畿、四国の各地整におけるケーススタディの情報収集を行っている。この結果を用いてケーススタディの内容を現在検討している。今後、検討結果を基に来年度のケーススタディに向けた協議を実施する予定である。現在検討しているケーススタディの内容を以下に示す。

近畿地整においては、「新名神高速道路の開通による影響評価」「加速度データによる交通事故リスク分析」「観光交通イノベーションにおけるETC2.0データの活用」の3つをケーススタディとして検討している。1つめでは、平成29年度末に高槻JCT～神戸JCT間で新規開通の予定である新名神高速道路の延伸部が広域交通にどのような影響をもたらしたかをETC2.0データにより評価する。この区間の開通により、名神高速道路の京阪間の交通量が非常に多い区間や、中国自動車道の宝塚トンネルのような渋滞頻発区間を避けて京都方面から山陽道方面をショートカットする経路が使用可能になり、広域交通に大きなインパクトを与えることが予想される。2つめ、ETC2.0データの加速度データを用いて潜在的に危険な箇所を発見することを行う。特に、平成29年9月7日に開催の地域道路経済戦略研究会において、訪日外国人観光客レンタカー事故ピンポイント対策の実験地域として関西国際空港が選定されており、この実験との関連したケーススタディの実施を検討している。3つめは、同じく地域道路経済戦略研究会で、兵庫県神戸市が「ICT・AIを活用したエリア観光渋滞対策の実験・実装を図る『観光交通イノベーション地域』」に選定されたことと関連しており、その政策立案にETC2.0データがどのように活用できるかを検討する。

四国地整においては、特に愛媛県松山市を対象地域とし、「加速度データによる交通事故リスク分析」「松山環状道路の開通効果分析」「異常時（降雪時）交通状態の事前見地可能性の検討」を検討している。このうち2つめでは、上述の新名神高速道路より狭い地域でのインパクトを評価することになり、データの分析範囲や手法も新名神のそれとは異なると予想される。新名神のケーススタディと比較し、（ETC2.0データの一般的な活用例と考えられる）「道路の開通効果分析」のための一般的な方法論を提案することを目指す。3つめは四国地整とのこれまでの協議により要望があったものである。現状ではETC2.0はリアルタイムのデータ取得はできないが、将来それが可能になったときの技術的可能性を検討するものである。防災への応用は他の地整でも一定の需要があり、将来的な活用が期待できるテーマである。

中部地整については「高規格道路ネットワークの使われ方の分析」を想定している。この分析は中部地整において実施例があるが、その際の課題としてデータ処理の手間が指摘されている。同様の分析を構築する階層化データベースでも実施し、どれだけ分析の質や効率が上がるかを比較検討する。東北地整については現時点で具体的なテーマはなく、引き続き検討しているところである。

以上のいずれのケーススタディにおいても、個別の課題に関する成果だけでなく、構築中の階層型データベースにより、ETC2.0データをはじめとする車両軌跡データがどのように各種政策の立案や分析に活用可能となるかを示すことを重要な課題として掲げる。ケーススタディにより活用方法の事例をさまざまな事例において提示することにより、階層型データベースを用いた車両軌跡データの活用が実際の道路行政の場面で進むようになることを目標とする。

## ⑦研究成果の発表状況

(本研究から得られた研究成果について、学術誌等に発表した論文及び国際会議、学会等における発表等があれば記入。)

1. 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, 第55回土木計画学研究発表会(春大会), 松山, 2017年6月.
2. Yasuda, S., Iryo, T., Koyama, Y., Sakai, K. Characteristics of ETC2.0 probe data compared to road traffic census data. International Workshop on Traffic Data Collection and its Standardization (IWTDCS) 2018年8月. (受理済・発表予定)
3. Sakai, K., Koyama, Y., Yasuda, S., 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, International Workshop on Traffic Data Collection and its Standardization (IWTDCS) 2018年8月. (受理済・発表予定)

## ⑧研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、実務への適用に向けた活用方法・手段・今後の展開等を記入。また、研究期間終了後における、研究の継続性や成果活用の展開等をどのように確保するのかについて記述。)

本研究の成果として得られる階層型データベースは、様々な実務的活用が見込まれる。今まで、ETC2.0データに代表する全国規模のプローブデータは、データ量が非常に多く分析をする負荷が大きいということが問題視されていた。本研究で構築されるデータベースでは、分析者のニーズに合わせた階層で集計することにより、必要な閾値以上では詳細データを用い、それ以下では集計されたデータを用いることにより、データ操作の負荷を最小限で済ませることができる。事故リスクの算定・開通効果の速達性・信頼性向上の分析等、幅広いケーススタディに対応したデータベースの活用方法は多岐に渡る。

研究期間終了後は、データベースを更新するためのマネジメント手法について開発する必要がある。プローブデータは継続的に観測され続けているため、収集されているデータをデータベースへ逐次的に搭載することが必要である。また、交通制御等、観測データをリアルタイムに活用するためのフレームワークを開発することも、今後の課題である。

平成30年度末には関連する2テーマ(平成28年度採択の「ETC2.0プローブ情報等を活用した“データ駆動型”交通需要・空間マネジメントに関する研究開発」と「複数のデータを活用した道路のストック効果の計測技術の再構築」)と連携して国際ワークショップを開催し、研究成果を対外的に発信する。

## ⑨特記事項

(本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。)

### 研究で得られた知見

ETC2.0データには、データの品質にばらつきがあることが確認された。このことから、品質を管理しながらデータベースを構築する重要性が示唆された。この知見は、データベースを構築する際に、品質に関する情報も同時に搭載することにより、データベース使用者の用途に合わせてデータを抽出できることが期待される。

### 研究の見通しおよび進捗の自己評価

研究の進捗については、順調に進行している。来年度にデータベースを作成するための方法論および内容について、今年度の研究期間内の準備できる見込みである。今年度の残りの期間では、実走行実験により得られたデータに基づくデータ品質の検証と改良を主に行う。