

# プローブデータ研究の変遷と課題

形屋 陽一郎<sup>1</sup>・高山 純一<sup>2</sup>・中山 晶一朗<sup>3</sup>  
高山 雄貴<sup>4</sup>・藤生 慎<sup>5</sup>・山口 裕通<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社 日本海コンサルタント (〒921-8042 石川県金沢市泉本町二丁目126番地)  
E-mail: y-kataya@nihonkai.co.jp

<sup>2</sup>フェロー 金沢大学教授 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: takayama@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学教授 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 金沢大学准教授 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: ytakayama@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 金沢大学助教 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: fujii@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>6</sup>正会員 金沢大学特任助教 大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

データの蓄積とともに、データ取得技術や情報処理技術も進化しており、プローブデータに関しても様々な研究が報告されている。本研究は、今後さらなる活用が予想されるプローブデータに関して、これまでの研究の変遷と活用データの種類の観点から既往研究を概観し、その中で明らかにされた検討手法や課題を整理することで、今後のプローブデータを活用した研究・実務に寄与することを目的とする。

本研究では、実務や研究に用いられているプローブデータの種類に着目し、年代別に研究内容の整理を行った。研究の整理を通じてプローブデータ研究を大きく5つのテーマに分類し、年代別に取り組みられた研究内容や使用データの変遷をまとめ、今後、プローブデータ研究において取り組むべき課題を整理した。

**Key Words** : *probe data, transition of research, understanding traffic conditions and behavior,*

## 1. はじめに

道路整備や交通計画を考える上で、道路上の交通の状況や人々の交通行動を把握することは、非常に重要な要素となる。

従来、道路の交通状況把握は、実測による調査結果をもとに表現されることが多く、調査の期間・範囲とも限定的な調査結果が用いられてきた。

これに対して、交通行動や流動データなど道路交通に関する諸情報を効率的、かつ、期間・範囲を拡大して収集・分析する手法として、プローブデータの活用による道路交通状況の把握が挙げられる。近年、プローブデータは実務の分野でも多岐にわたる活用がなされており、今後もその活用と活用の高度化が期待されている。

交通行動や流動データを継続的に収集するための調査・観測手法に関しては、以前より様々な研究が報告されている。

これらの経緯に関して、日下部<sup>1)</sup>は、交通分野で行わ

れてきたデータ研究をニーズ先行型、シーズ先行型、データ先行型の3つに類型化している。このうち、データ先行型に類型される研究に関しては、2000年ごろから、交通管制データやプローブパーソン調査による行動データなどの蓄積データの活用が模索されている。プローブデータは、物流業者やタクシー、バス事業者において運行管理を目的にGPSの搭載が進んでおり、これに伴うデータを活用しようという試みが実験的に進められてきた。このほか、デジタルタコグラフを搭載した商用車等から得られるデータのデータベース化が進んでいる。いずれのデータも、ETCデータや交通系ICカードデータのように料金収受を目的として収集されたデータ、運行管理やナビゲーションを目的として得られたプローブデータなど、業務等の本来の目的がある限り、時間的に継続的、かつ自動的に収集されることが特徴的としている。

データの蓄積とともに、データ取得技術や情報処理技術も進化しており、プローブデータに関しても様々な研究が報告されている。本研究は、今後さらなる活用が予

想されるプローブデータに関して、研究の変遷と活用データの種類の観点から既往研究を概観し、これまでに明らかとなった検討手法や課題を整理することで、今後の研究・実務に寄与することを目的とする。

本稿の具体的な流れとして、第2章では、蓄積データの活用が模索され始めた2000年以降の研究を対象に、研究の中で使用されているデータの種類の着目し、①初期（2000年～2000年代中盤）、②中期（2000年代中盤～2010年代前半）、③後期（2010年代前半以降）の3段階に区分して各段階での研究内容を整理する。第3章では、第2章で整理した③後期（2010年代前半以降）の研究において、特に多くの活用がみられる携帯電話等のGPSによるプローブデータ、ETC2.0プローブデータ、民間プローブデータの活用について特徴や課題を整理し、第4章において、本研究における結論と今後の課題を述べる。

## 2. 年代によるプローブデータ研究の分類

### (1) 初期（2000年～2000年代中盤）

2000年代前半は、カーナビゲーション等の通信機器が一般車両へ十分に普及しておらず、主にバスプローブやタクシープローブ、車載型のGPSなどのプローブ情報が用いられており、プローブデータの実用化に向けた基礎的な研究が多く取り組まれている。

田中ら<sup>2)</sup>は、プローブカーから得られた情報からリアルタイムに道路交通情報を提供するためのデータ変換として、マップマッチング手法や交差点間及び主要地点間の速度データの作成方法について提案している。プローブデータの収集に関する基礎的研究では、プローブカーを用いた道路走行速度調査において、必要となるサンプル抽出率の検討に関する石田ら<sup>3)</sup>の研究や、プローブデータの収集頻度による推定交通情報の精度評価及びVICSと同等程度の精度の実現に必要なデータ収集間隔に関する山根らの報告<sup>4)</sup>がある。プローブデータの活用可能性や有用性に関する研究としては、PHSの位置特定機能を活用して、交通行動調査のために移動体通信システムの利用が技術的に可能であることを確認した研究<sup>5)</sup>や、細街路における通過交通を対象にプローブデータに基づく分析と現地調査による分析の結果を比較<sup>6)</sup>することで、その活用可能性や有用性を示した研究がある。

また、路線バスから得られるプローブデータやタクシーデータの活用による交通状況把握の試みとして、交通改善事業の評価<sup>7)</sup>やバス停停車挙動を考慮した一般車両走行速度の推計手法の提案<sup>8)</sup>、バスプローブデータを利用した時間信頼性評価<sup>9)</sup>、交通安全施策の効果検証に関する報告<sup>10)</sup>がある。

プローブデータを活用した予測モデルの構築や旅行時

間の評価に関する研究では、動的OD交通量や経路交通量の推定<sup>11)12)</sup>、リンクコスト関数やOD旅行時間の推定<sup>13)14)</sup>、経路選択行動に関するモデル分析<sup>15)</sup>といった研究がなされており、ここでは、タクシープローブやプローブパーソンによるデータが用いられている。

プローブデータを想定したシミュレーションとして、上杉ら<sup>16)</sup>は、対象区間を完全に通過するプローブ軌跡と部分的に通過するプローブ軌跡を用いて、区間全体の旅行時間の期待値と分散の推定結果の違いを検証している。また、堀場ら<sup>17)</sup>は、プローブカーデータと車両感知器のデータに基づいて、経路交通量を推定する手法を定式化するとともに、経路交通量の精度向上のための誤差修正手法を提案している。

この期間においては、バスやタクシーから得られるプローブデータが多く用いられている。これらのデータは、交通挙動が特異<sup>8)</sup>であり、経路情報に偏りが生じることが懸念される。精度向上のため、一般ドライバーのプローブ情報やより多くのプローブデータの収集の必要性が指摘されている<sup>12)</sup>。

### (2) 中期（2000年代中盤～2010年代前半）

2000年代中盤以降は、2000年代前半に引き続き、タクシープローブやバスプローブ、プローブパーソンによるデータを活用した研究が報告されている。

この期間、タクシープローブを活用した研究として、三輪ら<sup>18)19)</sup>は、名古屋地域のタクシープローブから得られる各リンクのサンプル数のばらつきを考慮した上で、観測旅行速度を用いてOD交通量の推定を試みているほか、各道路リンクでの通過頻度や必要サンプル数をモデル化し、情報収集確率を最大とするプローブカーの最適割り当てについて、検討を行っている。また、絹田ら<sup>20)</sup>は道路工事をモデルケースとして、プローブデータから得られる客観的な交通状況は、施工業者の工事計画に有用であることを示しているほか、工事箇所を通過するドライバーに対して工事箇所の通過時間案内が有用であることを示すことで、ドライバーの行動が変容する可能性が高く、渋滞対策の一つの手法として今後の重要な取り組みであるとしている。

バスプローブを用いた研究では、主要道路における所要時間分布によるサービス水準の評価を行うとともに、道路構造及び交通量、土地利用特性を指標に、所要時間の速達性や信頼性に与える影響を把握した事例<sup>21)</sup>や、バス路線における一般車のプローブ情報を補完する手段として評価している事例<sup>22)</sup>がみられる。

プローブパーソンを活用した研究では、日ごとの経路選択モデルに着目し、動的経路選択モデルの構築と検証を行った研究<sup>23)</sup>や、リアルタイムな所要時間情報を反映した高速道路と一般道の融合型管制システムの構築に関

する研究<sup>29)</sup>がなされている。

従来は、バスやタクシーといった特定の業態の車両、または特定のモニターの移動行動より得られる行動データを用いて、交通状況の把握や交通状態の推定手法が検討されてきた。これらの手法については、前述のようにサンプルの偏りが懸念されるほか、サンプル数の確保についてもその必要性が指摘<sup>12)</sup>されている。

これに対して、2000年代中盤以降には、移動体通信の技術向上やコスト低減を背景に携帯電話など、これまでとは異なる通信機器を用いて取得されたデータによる研究が取り組まれている。具体的には、携帯電話のGPSを活用した経路分析に関する研究のほか、現在普及が進むETC2.0に関連する研究や民間プローブデータの活用に関する研究が挙げられる。

田中ら<sup>29)</sup>は、携帯電話のGPS機能を用いることで、大量の行動実績データを簡便かつ継続的に取得できることに着目しており、横田ら<sup>29)</sup>は、携帯電話のGPSの活用による高頻度のプローブ情報の収集やオンラインでの処理について述べている。

ETC2.0に関連する研究として、畠中<sup>27)28)</sup>らは、DSRC路側機とカーナビゲーションシステムによる路車間通信により、多様な条件下における車両挙動データの収集実験を行い、ヒヤリハットの検出を試みている。さらに、システムの実用化に向けて都市内高速と都市間高速、一般の幹線道路を対象にデータの収集実験を行い、道路種別によって車両挙動データの蓄積距離が大きく異なることを示している。

自動車メーカーが提供するプローブデータを活用した研究では、急減速データを活用して、交通安全施策の実施前後における走行安全性の比較・評価を行った事例<sup>29)</sup>や交通事故とヒヤリハットの関係性を分析し、道路交通安全事業におけるヒヤリハットデータの活用可能性を検討した事例<sup>30)</sup>がある。

2000年代中盤～2010年代前半に活用可能性が注目された新たなデータのうち、携帯電話のGPS機能や民間プローブデータについては、経路情報や車両挙動など、具体的な交通状況の把握が検討されており、その中で、精度向上に向けた手法の検討<sup>29)</sup>やプローブデータのさらなる活用可能性の検討<sup>29)</sup>の必要性に触れている。また、DSRCを活用した路車間通信に関する研究は、実用化に向けた実験的研究であり、現在普及の進むETC2.0の活用に向けた基礎的研究として位置付けられる。

### (3) 後期 (2010年代前半以降)

2010年代前半以降は、プローブデータ関連の研究が大幅に増加している。

また、使用されるプローブデータの種類も従来からのデータに加えて、ETC2.0プローブデータや民間プローブ

データ、混雑統計<sup>®</sup>と多岐にわたっている。

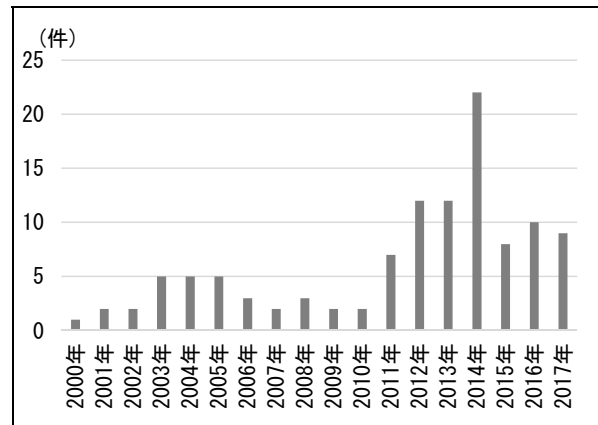


図-1 土木学会及び交通工学論文集におけるプローブデータ関連の論文件数

2000年代前半から2010年代の前半にかけて、多く活用されてきたタクシープローブやバスデータについても継続的に研究データとしての活用が図られており、清田ら<sup>31)32)</sup>は、タクシープローブデータを用いて、東日本大震災時に都区内で発生したグリッドロック現象について分析している。このほか、タクシープローブデータから生活道路の走行履歴を抽出し、街路特性や沿道特性が走行速度に及ぼす影響を明らかにした研究<sup>33)</sup>や、過去に蓄積されたプローブカーデータから構築した統計モデルとリアルタイムに得られた部分観測データからネットワーク全体の交通状態を補完する提案に関する研究<sup>34)</sup>がある。

バスデータを活用した研究としては、高精細かつ高精度の走行軌跡の取得<sup>35)</sup>や急減速発生状況の分析<sup>36)</sup>に関する研究がある。また、バスプローブ（バスロケ）とデジタルタコグラフによるデータを併用した事例として、坂本・赤羽ら<sup>37)38)39)</sup>による一般車両の走行軌跡及び交通状況の推定に関する報告がある。

この期間には、一般車両へのプローブ機能の普及を一つの背景に、主にシミュレーションによる実験を通じて、交通状態の推定手法に取り組む研究もみられている。

瀬尾らは、車間距離計測技術とプローブカーによる移動体観測に基づく交通状態の推定手法の構築<sup>40)</sup>や、移動体観測によって収集されたデータに基づき流率密度関係を推定する方法を提案<sup>41)</sup>している。このほか、交通状態の把握に関する研究として、プローブカーによる突発事象検出手法の提案<sup>42)</sup>や区間途中の流出入の影響を考慮した交通モニタリング手法の構築<sup>43)</sup>などの報告がある。

2010年代前半以降は、携帯電話等のGPS、ETC2.0や民間プローブから取得される情報を活用した研究が以前の段階に比べて大幅に増加している。これらのデータは、道路交通分野における実務の面においても多用されており、次章より、データ種類別に研究の内容を整理する。



### 3. 近年多用されているプローブデータ

#### (1) 携帯電話等のGPSによるプローブデータ

近年、スマートフォンの普及が急激に進み、携帯端末から得られるGPSデータの活用が進んでいる。

ここでは、携帯電話などのGPS搭載端末より得られるデータ（位置情報）を活用した研究について、主に『データ活用に関する基礎的研究』『旅行時間（速度）の分析に関する研究』『交通状態や交通行動に関する研究』の観点からその内容を整理する。

データ活用に関する基礎的研究として、マップマッチングデータの精度に関する研究<sup>44)</sup>やスマートフォン端末から得られる位置・速度情報等の精度検証及び渋滞の把握に関する研究<sup>45)</sup>がある。このほか、スマートフォンより得られる情報は、パーソントリップ調査等のプローブ・パーソン調査における活用も期待されており、GPSや加速度センサから移手段を判別する手法に関する研究<sup>46)47)</sup>がなされている。また、スマートフォンなど多くの端末に搭載されているBluetooth通信機能に着目した、旅行時間（速度）に関する研究事例が報告されており、北澤・荻原<sup>48)49)</sup>らは、MACアドレスを活用した旅行時間計測ツールを開発し、一般道や都市高速道路でのケーススタディを通じて、実運用における精度の確認を行っている。このほか、Bluetooth通信については、通信時に発信されるMACアドレスの検知確率の推定と精度検証に関する研究<sup>50)</sup>も取り組まれている。

交通状態の把握に関する研究として、瀬尾ら<sup>51)</sup>は、走行中の車両から先行車両との距離を測定する車間距離測定技術に着目し、交通流率や密度の観測・推定手法の性質の定量的検証を目的として、都市高速道路に車間距離測定プローブカーを投入した実験を行っている。実験の結果、車両感知機より得られた真値に対して比較的偏りの少ない車頭距離情報が得られており、得られた情報を用いて推定された交通流率・密度についても良好な推定精度を有していることを確認している。その上で、恒常的な交通状況が確認されていない国内の一般道を主な対象に、検討手法の有効性に触れている。

交通行動に関する研究として、紀伊ら<sup>52)</sup>は、長期にわたって取得されたGPSによるプローブデータを用いて訪問頻度分布パラメータへの空間精度、観測期間の影響を分析し、交通行動モデルと訪問頻度分布から示唆されるモーダルシフト策に必要な施策を考察している。また、佐々木ら<sup>53)</sup>は、首都高速道路の利用動態把握を目的として、首都高利用判定ロジックを構築し、走行実態調査より得られたデータから同ロジックを用いたデータ抽出による検証を行うとともに、同ロジックによる首都高利用推定台数と車両感知器の断面交通量との時間帯別での推移を比較し、その抽出ボリュームの妥当性を検証してい

る。検証結果を踏まえ、首都高速道路の利用動向の把握に関する今後の展開として、ETC2.0や民間プローブなど、多様なプローブデータを参照することで、母集団の拡大による統計的な精度向上など、利用動向把握の高度化を指摘している。

このほか、野口ら<sup>54)</sup>は、「混雑統計<sup>®</sup>」を用いた自動車ODの抽出手法の構築を試みており、構築した手法について、自動車分担率の影響の小さい地方部（福島県浜通り地方）と自動車分担率の影響を考慮した都市部（広島都市圏）をケーススタディに検証を行っている。福島県浜通り地方での検証では、既存ODのトリップ数に比べて検討手法によるトリップ数が小さく、距離帯別の拡大係数を用いることで既存ODに近似するOD表が推定可能であることを示している。また、広島都市圏における検証では、トリップ数・断面交通量ともに既存ODと検討手法の間に高い相関関係があることを示している。一方、自動車交通量推計への適用にあたって、いずれの検証においても公共交通の利便性による影響が見られていることを指摘しており、プローブデータのみによる自動車ODの抽出手法に対する課題が示唆されている。

携帯電話等のGPS搭載端末より得られるプローブデータは、研究・実務の両面でその活用が図られており、移手段の判定技術の高度化や複数のスマートフォンアプリによるプローブデータの統合化が図られることで、プローブデータのさらなる有効活用が期待できる。

#### (2) ETC2.0プローブデータ

ETC2.0では、サービスの提供と同時にETC2.0搭載車両の経路情報や速度情報などの走行履歴を収集しており、道路交通状況の把握や道路交通に関する各種施策の展開に役立てられるとともに、その活用に関して、様々な研究が取り組まれている。

2011年より、高速道路上を中心に約1,600カ所でETC2.0対応の路側機（ITSスポット）によりETC2.0サービスが提供されている。

道路上を走行する車両との路側機通信を行う路側機について、金澤ら<sup>55)</sup>は、旅行速度調査におけるプローブデータ活用の観点から、道路管理者のニーズに応じた効率的なITSスポットの配置について述べている。既存のITSスポットで、プローブデータを取得可能な最大カバー圏域を算出し、このうち旅行速度調査で必要とされるデータサンプル数を満足する圏域を特定し、カバー率を算定するとともに、市区町村の重心（役所位置）にITSスポットを設置したと仮定して、一般道路を対象に所要のプローブデータが得られるカバー圏域を設定している。道路管理者によるリクワイアメントを踏まえ、以上の検討により、高速道路に加えて道路交通センサの対象道路以上の幹線道路において旅行速度が把握可能となる、

IITSスポットの追加配置を概略的に示している。また、鈴木ら<sup>56)</sup>は、特殊車両の通行経路把握を目的として、特殊車両通行許可データを用いた指標「経路把握可能道路率」により、現状及び路側機追加配置時の通行経路の把握水準を算出している。結果として、現状の経路把握水準が不十分であること、直轄国道上に路側機を追加配置する場合には、900箇所程度への配置以降は、通行経路の把握水準が大きく向上しないことを明らかにしている。

ETC2.0プローブデータは、車両走行軌跡による経路情報が取得可能という特徴があり、経路情報に着目した研究も複数存在している。

例えば、鈴木ら<sup>57)</sup>は、IITSスポットから収集されるプローブデータにより作成される推定走行経路と、特殊車両通行許可制度による許可証データから作成される規定走行経路を照合する手法に関し、実験車両のプローブデータを用いて、複数手法の比較・検証を行い、許可条件等違反の車両の抽出に関する「違反走行抽出率」や違反判定の正確性を示す「判定正解率」を算出している。平井ら<sup>58)</sup>は、ETC2.0プローブデータの走行履歴情報を利用して、個々の車両の休憩行動を含むトリップ行動のデータベース構築手法を検討している。休憩行動抽出に際しての走行履歴情報の特性や定量的な休憩行動を把握するとともに、基礎分析を通じて車種構成の偏り（普通乗用車への偏り）や日跨ぎのトリップの不生成など、ETC2.0プローブデータ利用の留意点に関する知見を整理している。ETC2.0プローブデータを活用した休憩行動に関しては、このほか、高速道路上のパーキングエリアへの立ち寄り車両の滞在時間について分析した三好ら<sup>59)</sup>の研究がある。

経路情報以外にETC2.0プローブデータを活用した事例として、道路整備効果の検証や速度低下の要因分析、渋滞通過時間の把握などの研究がある。例えば、成嶋・葛西ら<sup>60)</sup>は、ETC2.0から得られる速度データとトラフィックカウンターから得られる交通量を用いて、暫定2車線区間における速度変動状況や要因を分析しているほか、常磐道の暫定2車線区間を対象に追従時間率、追従車密度の指標を用いて交通サービスの考察を行っている。

ETC2.0プローブデータの活用においては、対応車載器が普及途上であり、車種別や時間帯別の構成比率などに偏りが生じている可能性が指摘<sup>61)</sup>されており、対応車載器の普及率の向上が課題として挙げられる。

これに対して、車種や時間帯を補完する目的で、他のプローブデータとの併用により交通行動などを分析した報告は見当たらず、今後検討すべき事項と考えられる。

そのほか、ETC2.0プローブデータの活用に関する基礎的な課題として、道路交通情報の収集、物流車両支援等、サービスと整合的な路側機配置箇所の検討、及び効率的な追加配置箇所等の検討<sup>62)</sup>、走行経路情報の判定や日跨

ぎトリップの扱い、データクレンジング<sup>63)</sup>に関する内容が指摘されている。

### (3) 民間プローブデータ

民間プローブデータの特徴として、旅行時間（速度）や急減速挙動データが取得可能な点が挙げられる。これらのデータを活用して、実務分野を中心にケーススタディによる実証を交えながら、旅行時間（速度）や時間信頼性、交通安全に関する研究がなされている。

鈴木ら<sup>64)</sup>は、民間プローブデータと道路交通センサスにおける交通量データに基づく時間帯別旅行速度の簡易予測式を検討するとともに、ケーススタディによる時間帯別旅行速度及び整備効果の算出を行っている。算出の結果、簡易予測式を用いた道路整備効果分析への適用可能性が高いことを示している。

渋滞交差点に対する検討として、神野<sup>65)</sup>らは、旅行速度データと交通量データを利用した需要交通量推計方法を提案し、単独ボトルネック対策の場合と連続してボトルネック対策を実施する場合のそれぞれに対して、評価区間を設定している。また、橋本ら<sup>66)</sup>は、道路区間間の渋滞と非渋滞との関係を利用し、渋滞の起点となるボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法を提案している。提案手法について、実務において実際に選定された主要渋滞箇所を事例に検証した結果、ボトルネック交差点とその影響範囲を簡便に把握できることを示している。

時間信頼性に関する研究として、関谷<sup>67)</sup>らは、実際に観測されたプローブデータを用いて、仮想的にプローブデータが取得できていないことを想定した標本データセットを作成し、そこから算定される旅行時間信頼性指標の標本値と真値との差を分析している。分析においては、複数のDRM区間で構成されるOD区間を対象に、旅行時間のばらつきの大きな区間と小さな区間の2区間を分析対象とし、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標を算定するために必要となるプローブデータの取得日数について比較を行っている。以上より、旅行時間のばらつきの大きな区間では、必要なデータ取得日数は多くなるほか、欠測区間長割合が大きくなると、必要なデータ取得日数は増加する。また、評価対象日数が増加すると、必要データ取得日数割合（データ取得日数/評価対象日数）は概ね減少するといった知見を得ている。

急減速挙動のデータを用いた研究として、道路整備事業における効果計測や交通安全面における現状把握の指標として活用されている事例がある。

例えば、菊地ら<sup>68)</sup>は、従来の死傷事故率による評価に比べて短期的に大量のデータが収集でき、即効性のある効果計測が可能な指標として、急減速挙動発生回数及び急減速発生時の速度や減速度を提案しており、交通安全対策事業を事例に対策効果の発現を示している。

地域の交差点における危険性について、大柳ら<sup>6)</sup>は、交通事故データと急減速挙動のデータを用いて、交差点における危険性を分析している。交差点の形成経緯別に分析結果を比較し、生活道路が幹線道路の形成や拡幅により分断されてきた交差点において、事故発生件数や急減速発生回数の頻度が高く、交差点形成の経緯が事故

発生危険性に影響していることを示唆している。

民間プローブデータを活用した研究では、タクシープローブなどを用いて検討されていた交通状態やODの推定といった研究はほとんどみられず、道路整備に伴う効果計測や渋滞状況及び事故危険性の把握など、実務的なアプローチによる事例がみられている。

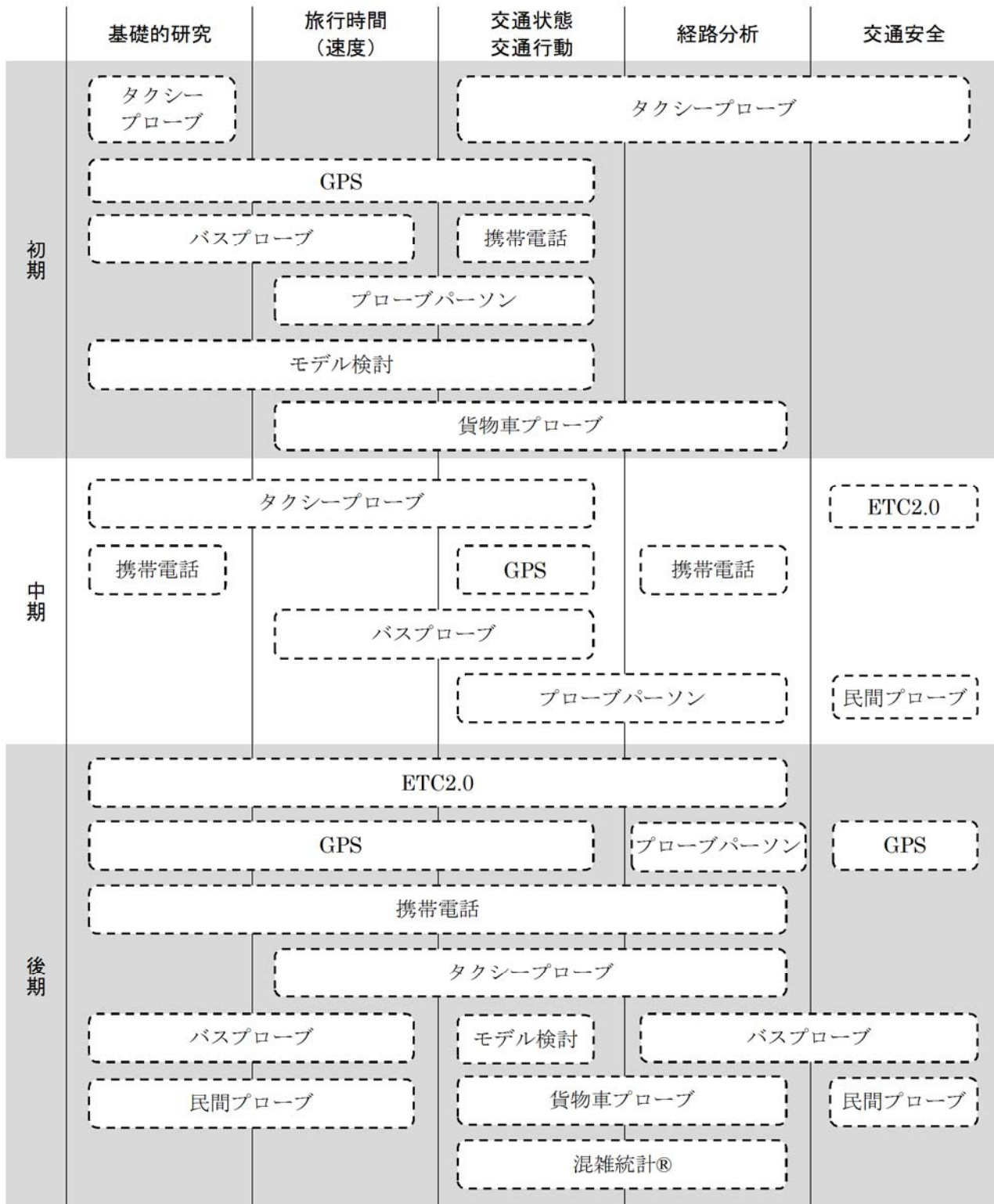


図2 各テーマ別に使用されたプローブデータ



## 4. おわりに

本稿では、数多くあるプローブデータ研究の中から論文集に発表されている研究を対象に、研究のベースとなっているプローブデータの種類別に、年代を分けて研究の内容を概観した。

プローブデータを活用した研究は、大きく次のようにテーマ分類されると考える。

- テーマ1：プローブデータ活用に関する基礎的研究
  - ・・・路側機の配置検討など
- テーマ2：旅行時間（速度）に関する研究
  - ・・・時間信頼性の評価など
- テーマ3：交通状態や交通行動に関する研究
  - ・・・交通流率や密度の把握，ODの推定など
- テーマ4：経路分析に関する研究
  - ・・・細街路における通過交通の把握など
- テーマ5：交通安全に関する研究
  - ・・・急減速挙動の把握による対策効果検証など

プローブデータ研究における初期の段階では、タクシープローブやバスプローブなど、特定のプローブデータを用いて、プローブデータ活用のための基礎的な研究や、旅行時間（速度）、交通状態・交通行動といったテーマを中心に研究が進められている。

中期は、初期に引き続き、タクシープローブやバスプローブを活用しながら、テーマ3を中心とした研究がみられる。また、この期間における新たな研究として、ETC2.0プローブデータや民間プローブデータを活用した研究が取り組まれている。

後期に入ると、道路交通の実態把握を目的に、普及の進むETC2.0プローブデータや民間プローブデータが盛んに活用されている。また、利用者数が急激に増加したスマートフォンなどの携帯端末から得られるGPS情報を活用した研究も進められている。これにより、初期の頃に指摘されていたプローブデータの偏りも改善していると考えられる。

一方、携帯端末によるGPS、ETC2.0、民間プローブなど、普及の進むプローブデータの活用においても、プローブデータ相互での情報補完による統計的な精度向上について、指摘<sup>3)</sup>されている。

異なるプローブデータの併用によるデータ母体の強化は、現実に即した道路交通状況の把握や推計手法の確立を目指す上で、その有効性を検討する意義があると考えられる。特に地方部では、都市部に比べて取得されるデータ量も限られることから、地方部におけるプローブデータ活用の展開を図る中で、データ取得件数の向上は重要な課題の一つといえる。

## 参考文献

- 1) 日下部貴彦：データオリエンテッド交通研究，土木学会論文集 D3, vol.71, No.5, pp.1\_21-1\_31, 2015.
- 2) 田中利行，佐藤弘子，中嶋康博，牧村和彦：プローブカーを用いたリアルタイム道路交通情報提供システムに関する研究，第 22 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.101-104, 2002.
- 3) 石田東生，三浦裕志，岡本直久，古屋秀樹：高度情報機器を用いた走行速度調査における抽出率の検討，土木計画学研究・論文集，vol.18, pp.81-88, 2001.
- 4) 山根憲一郎，谷口栄一，伏木匠，君田和也：プローブデータの収集頻度による交通情報推定の性能評価，第 25 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.169-172, 2005.
- 5) 朝倉康夫，羽藤英二，大藤武彦，田名部淳：PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法，土木学会論文集，No.653/IV-48, pp.95-104, 2000.
- 6) 北村清州，山本俊行，吉井稔雄，森川高行：交差点迂回交通調査に基づくプローブデータの有用性の検討，第 23 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.153-156, 2003.
- 7) 有吉亮，中村文彦，矢部努：路線バス位置データを用いた一般道路の交通特性評価に関する研究，第 24 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.293-296, 2004.
- 8) 松中亮治，谷口守，端戸裕樹：バスプローブデータを用いた一般車両走行速度の推計方法に関する研究，土木計画学研究・論文集，vol.23, pp.871-877, 2006.
- 9) 宇野伸宏，永廣悠介，飯田恭敬，田村博司，中川真治：バスプローブデータを利用した所要時間信頼性評価手法の構築，土木計画学研究・論文集，vol.23, pp.1019-1028, 2006.
- 10) 端地純平，山本俊行：プローブカーデータに基づく交通安全施策効果の検証，第 23 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.149-152, 2003.
- 11) 三谷卓摩，羽藤英二：プローブ経路データを利用した動的 OD 交通量の推定，第 24 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.289-292, 2004.
- 12) 黒川卓司，松本幸正，松井寛，堀場庸介：プローブデータを用いた均衡状態における経路交通量の推定，第 25 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.241-244, 2005.
- 13) 岡田良之，森川高行，三輪富生：プローブカーデータを用いたリンクコスト関数推定に関する研究，土木計画学研究・論文集，vol.22, pp.1005-1010, 2005.
- 14) 三谷卓摩，羽藤英二：プローブデータを用いた交通予報配信の計算可能性，第 25 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.245-248, 2005.
- 15) 三輪富生，森川高行：プローブカーデータを利用した経路選択行動に関するモデル分析，土木計画学研究・論文集，vol.21, pp.553-560, 2004.
- 16) 上杉友一，井料隆雅，小根山裕之，堀口良太，桑原雅夫：断片的なプローブ軌跡の接合による区間旅行時間の期待値と分散の推定，土木計画学研究・論文集，vol.20, pp.923-929, 2003.
- 17) 堀場庸介，松本幸正，松井寛，高橋政稔：プローブデータに基づく推定経路交通量への観測誤差の影響分析と推定経路交通量の更新手法，土木計画学研究・論文集，vol.22, pp.495-506, 2005.
- 18) 三輪富生，山本俊行，竹下知範，森川高行：プローブカーの速度情報を用いた動的 OD 交通量の推定可能性に関する研究，土木学会論文集 D, vol.64, No.2, pp.252-265, 2008.

- 19) 三輪富生, 石黒洋介, 山本俊行, 森川高行: 情報の信頼性と収集頻度を考慮したタクシープローブカーの確率論的最適割当計画, 土木学会論文集 D, vol.65, No.4, pp.465-479, 2009.
- 20) 絹田裕一, 牧村和彦, 高橋誠, 森川高行: 道路工事マネジメントの実践による知見と教訓〜名古屋地域におけるプローブデータの活用〜, 第 28 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.33-36, 2008.
- 21) 塩見康博, 宇野伸宏, 森脇啓介: バスプローブデータを用いた都市道路網交通サービス水準変動要因分析, 第 29 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.101-104, 2009.
- 22) 最所崇, 財津陽亮, 南部繁樹, 赤羽弘和: 一般車データとの高精度統合が可能なバスプローブデータの収集・加工システムの開発, 第 31 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.243-247, 2011.
- 23) 斉藤いつみ, 山川佳洋, 羽藤英二: 実行動データに基づいた day-to-day の動的経路選択機構の分析, 第 30 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.229-232, 2010.
- 24) 瀧口洋平, 北澤俊彦, 羽藤英二: 移動軌跡情報を基本にした高速道路管制システムの評価, 第 31 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.237-242, 2011.
- 25) 田中伸治, 藤原直生, 桑原雅夫: 携帯電話からの GPS データを用いた歩行者の経路選択リンク集合の推定, 土木学会論文集 D3, vol.67, No.5, pp.1\_617-I\_624, 2011.
- 26) 横田孝義, 玉川大: プローブ情報による京阪神地域貨物車交通の道路利用特性に関する分析, 土木学会論文集 D3, vol.67, No.5, pp.1\_643-I\_656, 2011.
- 27) 畠中秀人, 平沢隆之, 渡邊寧, 井上洋: プローブデータを活用したヒヤリハット検出に関する検討, 第 27 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.137-140, 2007.
- 28) 畠中秀人, 平沢隆之, 八重柏陽介, 竹中憲郎: プローブデータを活用した安全走行支援システムの実用化に向けた検討, 第 28 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.9-12, 2008.
- 29) 内海和仁, 中村司, 割田博, 高田潤一郎: プローブデータを活用した安全性向上に関する施策評価手法の検討, 第 30 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.125-128, 2010.
- 30) 中村俊之, 岡田朝男, 水野裕彰, 絹田裕一: 道路交通における交通事故とヒヤリハットの関係性に関する基礎的研究, 第 31 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.49-55, 2011.
- 31) 清田裕太郎, 岩倉成志, 野中康弘: 東日本大震災時のグリッドロック現象に基づく都区内道路のボトルネック箇所の考察, 土木学会論文集 D3, vol.70, No.5, pp.1\_681-I\_688, 2014.
- 32) 清田裕太郎, 月館権二, 岩倉成志, 野中康弘: プローブデータと渋滞統計データの融合による東日本大震災時の都区部の渋滞データの構築, 土木学会論文集 D3, vol.70, No.5, pp.1\_1059-I\_1066, 2014.
- 33) 清水和弘, 岡村敏之, 中村文彦, 王鋭: 生活道路における街路特性や沿道特性が走行速度に及ぼす影響に関する研究, 土木学会論文集 D3, vol.68, No.5, pp.1\_1237-I\_1242, 2012.
- 34) 原祐輔, 花岡洋平, 桑原雅夫: 道路ネットワーク内の関係性に着目した長期観測プローブデータによるプローブ未観測リンクの交通状態補間, 交通工学論文集, 第 2 巻, 第 1 号, pp.1-10, 2016.
- 35) 財津陽亮, 南部繁樹, 赤羽弘和: デジタルタコグラフデータのバスロケーションシステムデータによる時刻補正, 第 33 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.419-423, 2013.
- 36) 財津陽亮, 南部繁樹, 赤羽弘和: デジタルタコグラフデータのバスロケーションシステムデータによる時刻補正, 第 33 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.419-423, 2013.
- 37) 坂本勇太, 松尾春香, 財津陽亮, 赤羽弘和: バスロケーションシステムデータとデジタルタコグラフデータによる一般車両の走行軌跡推定, 第 34 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.293-296, 2014.
- 38) 赤羽弘和, 財津陽亮, 南部繁樹, 坂本勇太: バスロケーションシステムデータとデジタルタコグラフデータによる一般車両の走行軌跡推定, 交通工学論文集, 第 2 巻, 第 5 号, pp.1-10, 2016.
- 39) 坂本勇太, 南部繁樹, 財津陽亮, 赤羽弘和, 大野直輝: 路線バスの法定プローブデータを活用した交通状況の推定, 交通工学論文集, 第 3 巻, 第 4 号 (特集号 A), pp.A\_7-A\_14, 2017.
- 40) 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 車間距離を計測するプローブカーを前提とした交通状態の推定手法, 土木学会論文集 D3, vol.69, No.5, pp.1\_809-I\_818, 2013.
- 41) 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 車両軌跡に基づく流率密度関係の推定法—基本的な枠組みと数値実験, 交通工学論文集, 第 2 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.A\_1-A\_10, 2016.
- 42) 日下部貴彦・牛木隆匡・朝倉康夫: 衝撃波速度を用いたプローブカーデータによる突発事象検出手法, 土木学会論文集 D3, vol.71, No.5, pp.1\_827-I\_837, 2015.
- 43) 例えば, 川崎洋輔, 原祐輔, 桑原雅夫: 状態空間モデルとプローブ軌跡データを用いた区間途中の流入出台数の推定手法の構築, 土木学会論文集 D3, vol.72, No.5, pp.1\_1123-I\_1132, 2016.
- 44) 例えば, 原祐輔, 桑原雅夫: スパースなデータに対するマップマッチング手法と頻度変更型測位に関する研究, 第 33 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.415-418, 2013.
- 45) 渡部大輔, 金澤文彦, 澤純平, 佐野久弥: スマートフォンを活用した道路管理情報収集システムの検討, 第 33 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.425-432, 2013.
- 46) 松島敏和・橋本浩良・高宮進: スマートフォンによるプローブパーソン調査の高度化に向けた移動手段判別手法の開発, 土木学会論文集 D3, vol.71, No.5, pp.1\_547-I\_558, 2015.
- 47) 中村英夫, 宮下浩一, 羽藤英二, 岸井隆幸: パーソントリップ調査のための加速度センサを活用した Random Forest による移動手段推定手法, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 5 号, pp.10-18, 2015.
- 48) 北澤俊彦, 塩見康博, 田名部淳, 菅芳樹, 萩原武司: Bluetooth 通信を用いた旅行時間計測に関する基礎的分析, 土木学会論文集 D3, vol.70, No.5, pp.1\_501-I\_508, 2014.
- 49) 萩原武司, 玉川大, 田名部淳, 北澤俊彦: Bluetooth 通信を活用した旅行時間計測の適用可能性に関する検討, 第 34 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.303-306, 2014.
- 50) 坪田隆宏, 吉井稔雄, 藤井浩史, 河野侑奈: Bluetooth スキャナの指向性と設置位置を考慮した MAC アドレスの検知確率推定モデル, 交通工学論文集, 第 3 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.A\_37-A\_43, 2017.
- 51) 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 車間距離測定プローブカーを用いた都市高速道路の交通流観測実験報告: 第 34 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.277-283, 2014.
- 52) 紀伊雅教・中村一樹: カープローブデータを用いた訪問頻度のスケーリング則の分析, 土木学会論文集 D3, vol.71,



- No.5, pp.I\_433-I\_442, 2015.
- 53) 佐々木卓・錦戸綾子・足立龍太郎・高山敏典：携帯電話の位置情報を活用した首都高の利用動態把握手法の研究，交通工学論文集，第 1 巻，第 2 号（特集号 B），pp.B\_1-B\_9, 2015.
- 54) 野口和孝，中野裕之，岡本哲典，前田邦博：携帯電話 GPS 情報を活用した OD 集計に関する基礎的研究，第 34 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.345-348, 2014.
- 55) 金澤文彦，田中良寛：旅行速度調査でのプローブデータ活用を考慮した ITS スポットの配置に関する研究，第 33 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.393-399, 2013.
- 56) 鈴木彰一，西坂淳：特殊車両の通行経路把握を目的としたプローブ情報収集路側機の整備水準分析，土木学会論文集 F3, vol.70, No.2, pp.I\_79-I\_86, 2014.
- 57) 鈴木彰一，田中良寛，佐治秀剛，牧野浩志：ITS スポットを用いた特殊車両の走行状況確認方法の提案と実験データによる検証，交通工学論文集，第 1 巻，第 2 号（特集号 B），pp.B\_47-B\_52, 2015.
- 58) 平井章一，Jian XING，甲斐慎一郎，堀口良太，宇野伸宏：ETC2.0 プローブデータを活用した都市間高速道路における休憩行動実態把握，交通工学論文集，第 3 巻，第 4 号（特集号 A），pp.A\_36-A\_45, 2017.
- 59) 三好孝明，長谷川栄一，田中伸治：ETC2.0 プローブ情報を活用したパーキングエリア利用状況の試行的分析，交通工学論文集，第 3 巻，第 2 号（特集号 B），pp.B\_6-B\_12, 2017.
- 60) 成嶋晋一，葛西誠，邢健，後藤秀典，辻光弘：ETC2.0 データによる高速道路の暫定 2 車線区間の交通実態分析，交通工学論文集，第 3 巻，第 2 号（特集号 A），pp.A\_125-A\_134, 2017.
- 61) 葛西誠，邢健，成嶋晋一，後藤秀典，辻光弘：暫定 2 車線区間におけるトラフィック機能のサービス指標に関する考察，交通工学論文集，第 3 巻，第 2 号（特集号 A），pp.A\_135-A\_144, 2017.
- 62) 鈴木清，尾高慎二，神戸信人，紀伊雅敦：民間プローブデータを用いた時間帯別旅行速度の簡易予測手法の提案，第 33 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.387-392, 2013.
- 63) 神野裕昭，青山淳，田中茂行，福富浩史：民間プロデータを用いた需要交通量推計手法と実務への適用に関する研究，第 33 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.85-90, 2013.
- 64) 橋本浩良，水木智英，高宮進：プローブデータを利用したボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法，土木学会論文集 D3, vol.70, No.5, pp.I\_1159-I\_1166, 2014.
- 65) 関谷浩孝・諸田 恵士・高宮 進：プローブ旅行時間データの取得状況と旅行時間信頼性指標値の信頼度との関係，土木学会論文集 D3, vol.70, No.5, pp.I\_559-I\_568, 2014.
- 66) 菊地春海，岡田朝男，水野裕彰，絹田裕一，中村俊之，萩原剛，牧村和彦：道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究，土木学会論文集 D3, vol.68, No.5, pp.I\_1193-I\_1204, 2012.
- 67) 大柳 和紀・小嶋 文・久保田 尚：急ブレーキデータ及び交通事故データを用いた地域 DNA 型交差点の危険性に関する分析，土木学会論文集 D3, vol.70, No.5, pp.I\_433-I\_441, 2014.

(2017.7.31 受付)