

紹介

「IPCar 実証実験」におけるデータ処理技術について

堀 口 良 太\*

1. はじめに

本稿は(財)自動車走行電子技術協会(以下 JSK)が平成 13 年度に横浜地区で実施したプローブ情報システムの実証実験、通称「IPCar 実証実験(以下 IPCar 13)」で検討されたデータ処理技術を紹介するものである。IPCar 実証実験は平成 11 年度から継続して実施されており、平成 12 年度にはセンタシステムを構築し、約 300 台のプローブ車両を使ったデータ収集実験(以下 IPCar 12)を実施している<sup>1)</sup>。ワイパーの稼働状況をモニタリングして、地区ごとの降雨情報を提供する実験などが記憶に新しい。

IPCar 13 では、旅行時間情報提供の高度化に主眼がおかれ、システム計画、情報収集から加工、蓄積、および提供といった各段階で技術的な検討がなされた。筆者は幸いにもこれらの検討に加わることができた関係で、本稿を執筆する機会を得た。以降では IPCar 13 での成果報告<sup>2)</sup>を中心に、その後の関連する研究事例も含めて紹介する。このほかにも、IPCar 13 ではシステムアーキテクチャやセキュリティに関する検討がなされているが、筆者は門外漢であるため割愛する。

2. IPCar 13 実証実験の概要

IPCar 13 実証実験は、次の 6 つの内容で構成されている。

(1) 自由走行実験

プローブ情報システムの有効性を確認するため、約 300 台のプローブを 1 ヶ月間に渡り走行させ、収集した情報を加工、蓄積して提供するもの。

(2) 集中走行実験

とくにプローブで計測される旅行時間の精度を検証するため、30 台のタクシープローブを定められた路線で繰り返し走行させると同時に、同乗者が運行状態を記録するもの。

(3) 画像情報実験

道路および沿道状況の確認のため、バス 1 台にカメラを設置し、画像情報を収集するもの。

(4) バス同乗実験

バスにより計測される旅行時間の特性を把握するため、同乗している観測者がバス停での停止時間などを記録するもの。

(5) UTMS 情報との連携

異種データ融合の可能性を検討するため、神奈川県警の協力の下に、(社)新交通管理システム協会(以下 UTMS 協会)との共同実験という位置づけで、交通管理者が収集している UTMS リンク旅行時間情報(以下 UTMS 情報)や AVI 区間旅行時間情報を取得し、プローブ情報と比較するもの。

(6) タクシー運行管理情報との連携

これもデータ融合を目的とし、実験に協力しているタクシー会社が独自に運用している運行管理システムのデータをプローブ情報と比較して、その利用可能性を探るもの。

これらのうち(1)の自由走行実験がすべての基本となっており、表-1 に示す内容で情報を収集

表-1 自由走行実験の概要

実験期間	平成 13 年 12 月～平成 14 年 1 月(約 20 日間)
プローブ	タクシー 139 台、バス 81 台、営業車 40 台
取得信号	GPS 位置情報、車速、走行距離、ウインカー(右左折+ハザード)、パーキングブレーキ

している。

3. プローブシステムの計画論

プローブの魅力の一つは民間事業者が独自に交通情報を収集できることである。事業収支の観点からも、少ないプローブの台数で効率的にデータを収集するシステム計画を立案することが求められている。IPCar 13 では実験計画の段階で以下の検討を行った。

(1) 車種ごとの運行特性分析

表-2 は IPCar 12 のデータを分析して得られた車種別の運行特性である<sup>3)</sup>。駐車時間等は直接計測されていないので、車両の動きから推計している。また IPCar 12 ではタクシー、バスのほか、塵芥車もプローブとして運用している。図-1 は各車種ごとの走行範囲分布である。

これらの結果を受けて、IPCar 13 では、稼働時間が群を抜いているタクシーと、有効な走行軌跡を得られる割合が高く、交通状況によらず一定路線を走行するバスを組み合わせ、効率的なプローブシステムを構築することを試みた。

(2) プローブ配備計画とリンクカバー率

例えば、リアルタイム性が要求されるサービスであれば、少なくとも 10 分に 1 台程度の頻度でリンクをプローブが通過しなければ十分な情報が得られないが、長期間にわたって旅行速度の統計値を取得するサービスであれば、1 時間に 1 回程度でも十分であろう。したがって、具体的にシステムを構築する際には、何台くらいのプローブを

どの地区に配備すれば、目的とするサービスが実現できるかを評価する必要がある。

IPCar 13 では「リンクカバー率」という指標を導入した。これは、サービスが要求する情報更新頻度を達成するリンクの合計長が、地区内のリンク総延長に占める割合として定義される。堀口<sup>4)</sup>はタクシープローブを配備する際のリンクカバー率推計手法について理論的な枠組みを示し、決まった数のプローブを狭い地域に集中させる戦略と、広く分散させる戦略とで、達成されるリンクカバー率の大小が入れ替わる臨界点があることを示している。また、実際に IPCar 13 での配備計画から推計されるリンクカバー率と、実験後に得られた実績値の比較も行っている(図-2)。

4. データ収集と加工・蓄積

大量のデータをリアルタイムでオンライン収集する IPCar システムには、効率的なデータ記録方式が求められる。このため、IPCar 13 では以下の検討を行っている。

(1) SS/ST による走行状態の記録

IPCar 12 では 30 秒の一定間隔でプローブ車両の走行位置と状態を記録していたが、IPCar 13 ではショートストップ(SS:停止状態)とショートトリップ(ST:走行状態)の 2 つの状態が切り替わる走行イベントを基本の記録間隔とした(図-3)。このほかにも IPCar 13 ではウインカーの状態(左/右/ハザード)とパーキングブレーキの状態(ON/OFF)も、並行イベントとして記

表-2 車種別の走行特性 (IPCar 12)

	タクシー	バス	塵芥車	業務車両	
1 日の稼働時間比率	70%	40%	30%弱	10%弱	
内訳	アイドリング駐停車	15~20%	20%弱	20~30%	15%
	細街路走行	10%	5%弱	20~25%	5%
	市域外走行	4~8%	2~3%	0%	個体差大
	短距離トリップ	10%	5~8%	5~10%	10%
	GPS エラー	10%弱	10%弱	4~5%	10%弱
有効な走行軌跡	50%強	70%	50%弱	60%強	
空間的な広がり	拠点を中心に 5 km 程度	営業路線に限定	横浜地域全体	横浜市の外へも広がる	
時間的な分布	夜、深夜に多くなる	営業時間に限定	午前中が中心	業務時間に限定	

\* 株式会社アイ・トランスポート・ラボ

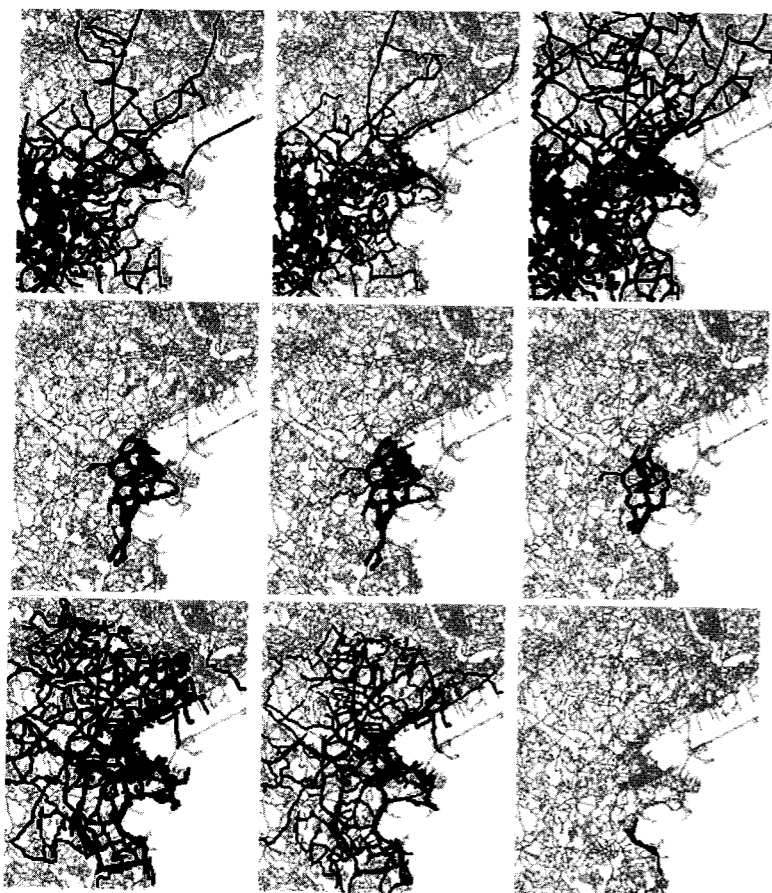


図-1 車種別の走行範囲 (上…タクシー, 中…バス, 下…乗合車: 左…朝, 中…午後, 右…深夜)

が得られた。これらの利点が評価され、SS/STによる記録方式はインターネット ITS・名古屋実験<sup>7)</sup>にも採用されている。

(2) データクレンジングによるトリップ抽出

24時間休みなく収集されるプローブの生情報には、誤りが多く含まれている。プローブ情報を再利用するためには、これらの誤りが適切にクレンジングされ、かつ意味のある単位に区切られた形でデータベース化されることが必要である。IPCar 13ではプローブ情報をトリップ単位およびリンク通過単位に区切ることを基本とし、階層的なデータ構造をもつデータベースシステムを試作している。

このデータベースに蓄積する情報を得るため、次の処理を通してプローブ情報からトリップエンドを推定し、かつ誤りのない有効なデータ区間を抽出している<sup>8)</sup>。

録している。

SS/ST 単位の記録方式には次のような利点<sup>9)</sup>が挙げられる。

- ① 走行、停止という運行状態と並行イベントの情報を利用して挙動を解釈することで、後述するデータクレンジングの信頼性を高めることができる。
- ② 時空間では停止を直接記録した折れ線状の走行軌跡となり、一定間隔ごとの走行軌跡よりも利用価値が高い。例えば、停止回数を利用した排出量の推計モデルの適用<sup>10)</sup>や、信号制御の評価などの応用が可能となる。
- ③ しかも、データ量は IPCar 12 の方式と比べて少なくなる。試算では約 18% の節減効果

- ① 記録ギャップの検出：プローブ情報の時間的な不連続を検出し、エンジンオフによるものはトリップエンド、それ以外は通信時のエラーと見なす。
- ② GPS 異常区間の検出：GPS 信号が補足できず、位置が同定されなかった区間を除去する。
- ③ 駐停車挙動からのトリップエンド推定：SS とウインカーなどの並行イベント情報を利用して、運行状態を解釈し、エンジンが稼働している状態でのトリップエンドでの駐停車を推定する。図-4 は集中走行実験時でのタクシーの乗降サービスに伴う駐停車を判別した例。

「IPCar 実証実験」におけるデータ処理技術について

IPCar13でのリンクカバー率推計値と実績値 (タクシー・平日・14時~18時)

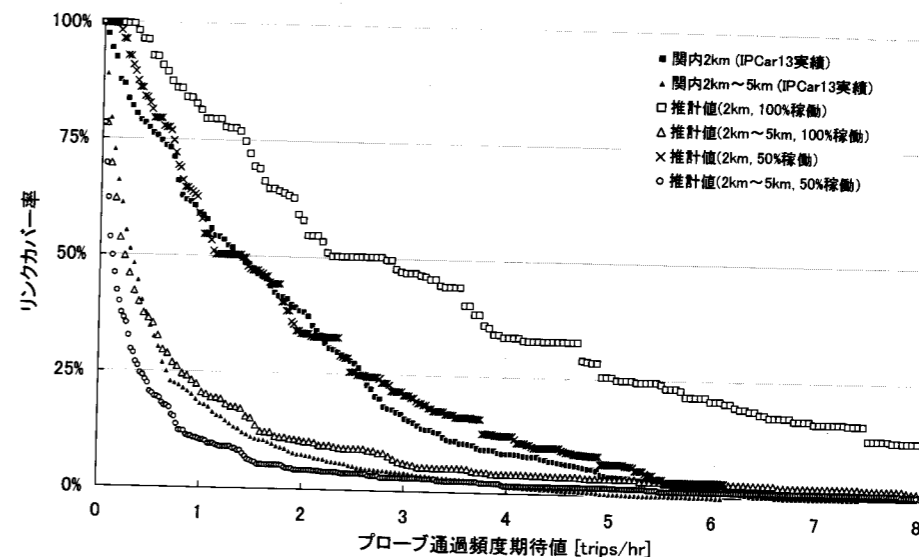


図-2 IPCar 13 でのリンクカバー率推計値と実績値<sup>1)</sup>

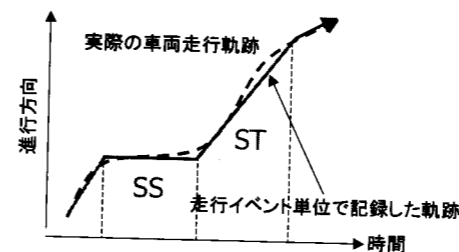


図-3 SS/ST で記録したプローブの走行軌跡

- ④ Uターンやループする軌跡でのトリップエンド推定：SS と並行イベント情報では抽出できなかったトリップエンドに対して、地図上での軌跡形状の特徴から推定する処理。
- ⑤ マップ照合不正区間の補正：IPCar システムではセンター側でプローブ位置をデジタル道路地図に照合しているが、サーバの負荷軽減のために簡易な照合アルゴリズムを用いている。簡易方式では並行する道路に誤って照合される状況が頻出するため、クレンジングの段階でトリップの軌跡全体の位置情報を使ったより精緻なマップ照合処理を施し、誤り

を訂正する。

また Majid ら<sup>8)</sup>はクレンジング処理で抽出されたトリップエンドと、利用客の乗降時刻と位置が記録されているタクシー運行管理システムの情報を比較して、この処理がどの程度有効に機能しているかを定量的に評価している。

5. 付加価値情報の創出と提供

IPCar プロジェクトは目的の一つに「ITS 産業の創出」を掲げている。このため、収集した情報に対して、どのような付加価値を与えることができるかについても検討している。

(1) プローブ旅行時間情報の高度化

旅行時間情報の付加価値として、プローブ情報と既存の交通情報を融合して、信頼性を高めることが期待されている。IPCar 13 での JSK・UTMS 協会共同実験では、次の検討を通して旅行時間情報高度化の可能性を評価した。なお、UTMS 情報は VICS や ATIS など一般に配信される道路交通情報の素データとして利用されるものである。

① UTMS とプローブのカバーする範囲比較：

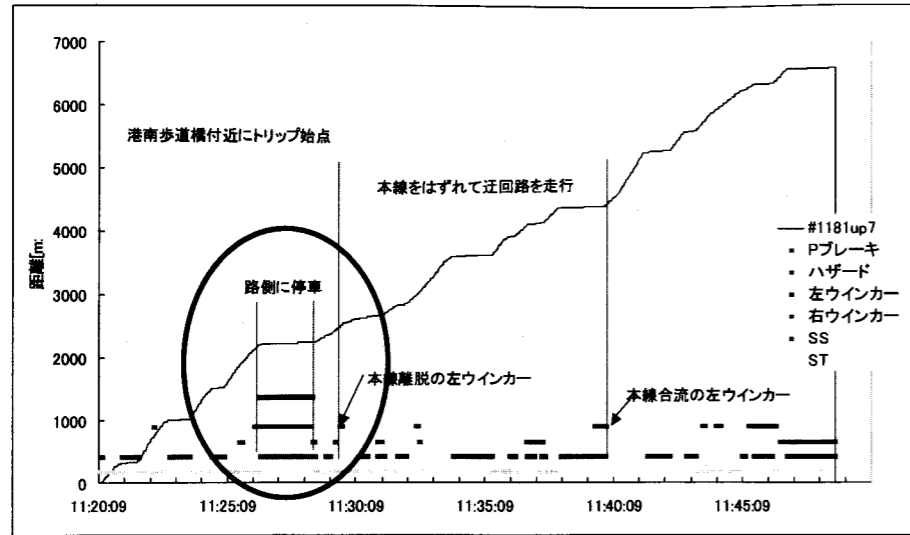


図-4 タクシー乗客の乗降サービスに伴う停止の判定例

口絵には UTMS 情報が提供されるリンクとプローブが通過したリンクを比較したものを示している。左は UTMS 提供リンクの上にプローブ情報提供リンクを重ねたもの、右はその逆である。UTMS リンクは幹線を中心に設定されており、それ以外のリンクをカバーするプローブ情報と組み合わせることで、より広範囲できめの細かい旅行時間情報を生成できる可能性が示された。なお、プローブ情報提供リンクには 4 時間に 1 回以上の情報更新頻度があるものを選んでいく。

② UTMS リンク速度情報との比較：UTMS リンクは比較的長い区間に設定されることもあり、その中の交通状況が一様でなくとも、1つの速度がそのリンクを代表する値として提供される。プローブの走行軌跡情報を併せて使えば、そのリンク内の交通粗密状況を把握できるだけでなく、右左折直進別に旅行時間がわかるなど、より詳細な情報提供を行うことができる可能性が示された。

③ AVI 旅行時間との比較：集中走行実験において、流れに併せて極力追い抜きや車線変更をしない「フローティング走行」と、タクシー運転手の意志で適時車線変更する「自由走

行」、および迂回路を経由したり利用客を乗降するために停止したりする「シナリオ走行」の 3 種類を設定し、プローブの旅行時間と同実験区間に設定されている AVI で計測された旅行時間とを比較した。結果、フローティング走行と自由走行には有意な差は見られず、またシナリオ走行においても適切にクレンジング処理が施されれば、同等のデータとして扱えることがわかった。

一般にタクシーを中心としたプローブでは、繁華街などの営業拠点近くでは高い更新頻度が期待できるが、離れるにつれ頻度は低くなる。IPCar 13 では更新頻度が高い場合は、プローブが走行していない区間が含まれる場合でも、周辺を走行するプローブ軌跡の情報からその区間の情報を補完して、旅行時間を推計できることを示している。

このほかにも、上杉ら<sup>9)</sup>のように長い区間全体を走行するプローブの情報がない場合でも、一部を走行する短いプローブ軌跡を利用して、区間旅行時間の期待値と分散を推定する手法も提案されている。

(2) 画像情報の収集と提供

IPCar 13 では、プローブに登載したカメラで

「IPCar 実証実験」におけるデータ処理技術について

表-3 画像情報の活用場面

撮影場所	活用例
道路	積雪や冠水などの天候に伴う路面状況
	道路工事や路上駐車などの渋滞原因の把握
路側	バスの乗客積み残し状況の把握
	路線沿いの観光情報 (桜の咲き具合など)
	駐車場前の待ち状況把握

道路上の交通状況を撮影し、地図画面上で情報提供することを試みた (口絵見開き右側参照)。ヒアリングの結果画像情報は特別な処理を施さずとも、時刻と場所がわかる形でうまく提供してやれば、利用価値の高い情報であることがわかった。表-3 に画像情報の活用イメージを示す。

6. 今後の展望

実証実験の規模は異なるが、IPCar プロジェクトは平成 14 年度も継続して実施されている。これまでの実験を通して、プローブで収集される情報の質や精度、およびそれらに価値を付与するための技術的な方策や課題などが明らかになってきており、一定の成果が得られているといえよう。

IPCar プロジェクトに今後求められるのは、「ITS 産業の創出」のために有効なビジネスモデルを示すことであろう。IPCar 12 で注目された詳細なリアルタイム降雨情報も、天気予報ビジネス業界にとってはお金を出しても欲しい情報ではないかもしれない。旅行時間情報も同様に、利用者の支払意志はあまり大きくないことが指摘されている<sup>10)</sup>。

プローブ情報提供サービスをビジネスとして運用するためには、同じデータを使い回して、様々なユーザのニーズを捉えた情報を創出しなければならない。例えば、プローブになってもらうタクシーには、一般利用者と同じ渋滞情報をフィードバックするよりも、タクシープールでの空車待ち時間情報や、業績のよい運転手の行動パターンを分析して、業績の悪い運転手に教示するなど、営業活動に直接関わる情報を返してやる方が魅力は

大きく、プローブに対する協力姿勢も違ってくるだろう。

すなわち、プローブ情報提供ビジネスを目指すものに求められるのは、ユーザの立場に立った「コンサルティング能力」であり、プローブ情報に対する高いリテラシーを確立することである。研究テーマとしては、大量の時空間データや行動データから、興味ある法則性を抽出するマイニング技術が重要な意味を持つ。この方面での新たな展開を期待する。

謝辞

本報告の執筆にあたり、有意義なご議論をいただいた JSK「プローブ情報システム研究委員会 (委員長：慶應義塾大学・村井純教授)」の参加委員および UTMS 協会のみなさまに謝意を表します。なお本文中の図表で断りのないものは、参考文献 2) に掲載のものを用いています。

参 考 文 献

- 1) 青木邦友; 「IPCar システム」によるデータ収集実験, 交通工学, Vol. 36, No. 3, 2001
- 2) 財団法人自動車走行電子技術協会; 「ITS の社会的有効性に係るシステムの実証報告書」, 平成 14 年 3 月
- 3) 堀口良太, 清水行晴, 金崎貴文, 岡村明彦, 上田憲道, 杉崎康弘; 「プローブデータのクレンジング処理と車種別の運行特性分析」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 26, 2002
- 4) 堀口良太; 「効率的な交通情報提供サービスのためのタクシープローブ配備計画手法の理論と実証」, ITS シンポジウム 2002, 論文集, pp. 677-683, 2002
- 5) 堀口良太; 「走行イベント単位でのプローブデータ記録方式の効用」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 26, 2002
- 6) 小根山裕之, 大口敬, 赤羽弘和, 桑原雅夫; 「直線近似された車両軌跡からの排出量推計手法」, 第 26 回土木計画学研究発表会講演集, 2002
- 7) インターネット ITS プロジェクト; 「http://www.internetits.org/ja/」
- 8) M. Sarvi, E. Chung, Y. Murakami, R. Horiguchi, M. Kuwahara; 「A Methodology for Data Cleansing and Trip End Identification of Probe Vehicles」, Proceedings of Infrastructure Planning, Vol. 26, Nov. 2002.
- 9) 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・講演集, Vol. 26, 2002
- 10) 倉沢鉄也; 「TIC は ITS をナビできるか～交通情報ビジネス解放を捉える視座～」, 交通工学, Vol. 37, No. 3, 2002