

プローブ情報システムによる旅行時間推定の信頼性に関する研究*

Study on the reliability of travel time estimation by probe vehicle system*

石坂哲宏**

By Tetsuhio ISHIZAKA**

1. はじめに

旅行時間情報を収集する方法として、車両に搭載したセンサーで車両の走行状況を直接プローブ（計測）し、複数の車両の走行状況から旅行時間を推定するプローブ情報システムの導入が検討されている。プローブ情報システムに関する計測や通信などの技術については、既に多くの検討が行われており、技術的な観点からは導入が十分可能となっている。しかし、旅行時間を信頼性高く推定できるかどうかに関しては十分な検討が行われておらず、実用化に向けて、これを確認することが課題となっている。

プローブ情報システムによる旅行時間推定の信頼性を、対象とする全ての道路区間と時間帯において、一定の精度以上で推定できることと定義するならば、その信頼性は都市道路ネットワーク内で走行しているプローブカーの混入率に大きく依存し、これをできる限り大きくすることが望まれる。一方、データの送信や処理などの費用はプローブカーの混入率に比例して増加するので、経済性の観点からは混入率を最小限にすることが求められる。これらのことから、プローブ情報システムによる都市道路ネットワークでの旅行時間推定の信頼性とプローブカーの混入率の関係を明らかにすることは重要である。しかし、これまでの研究方法では、全てのODペアに対して一律のプローブカーの混入率を算出しており、ゾーンによって大きく異なる道路延長や交通状況などが考慮できないため、プローブカーの混入率が過大に推定される可能性があった。

そこで本研究では、都市道路ネットワークをゾーンで分割してできたゾーン間のODペア別にプローブカーの混入率を解析的に算出する新たな方法を提案し、プローブ情報システムによる旅行時間推定の信頼性をプローブカーの混入率の観点から検討した。

*キーワード：プローブカー、旅行時間、マイクロ交通シミュレーション

**正員、博(工)、日本大学理工学部社会交通工学科

(千葉県船橋市習志野台7-24-1 TEL&FAX 047-469-5355

ishizaka_tetsuhiro@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

2. 既存研究の整理

旅行時間推定の信頼性を確保しつつ最小のプローブカー混入率を推計しようとする既存研究が複数存在する。総交通量に占めるプローブカー混入率として算出する方法から、ゾーンごとに発生集中交通量に占めるプローブカー混入率として算出する方法に進展しており、都市道路ネットワーク全体に必要な大まかなプローブカー混入率からゾーンごとに必要なプローブカー混入率へと詳細に算出する方向で研究が進められている。また、算出方法であるが、コンピュータの処理能力の向上やマイクロ交通シミュレーションモデルの開発などの技術的な進歩と共に、均衡配分などのマクロ配分からマイクロ交通シミュレーションへと算出方法は移行している。

Boyce and A Sen¹⁾ はシカゴの北部ネットワークで10分毎に全てのリンクから旅行時間を得るためには少なくとも50%の通過交通量が必要で、4700台の車両が必要という結論を得ている。ただ、その時間間隔に一台でも車両が通過すれば、カバーできたものと仮定しているため、旅行時間の推定精度を考慮したものではなく、地理的な走行分布を示しているに過ぎない。これらは、精度に関する検討を行っていない。

Srinivasan and Jovanis²⁾ は旅行時間の推定精度を考慮し、確率もしくは動的均衡配分でプローブカーの配分を繰り返し行い、変動係数と許容誤差を用いて、最小のプローブカーで観測されるリンクの割合があらかじめ定められた基準になるような条件を制約条件として、必要プローブカー混入率を試算した。Chen and Chien³⁾ はマイクロ交通シミュレーションを用いて、プローブカー混入率の算出を試みている。Anjani P. Yakkala⁴⁾ はCLTを援用して、ゾーン単位プローブカー混入率の算出方法を提案している。いずれの研究方法においても、プローブカーOD混入率を一律に与えており、プローブカー混入率が相対的に多く必要なリンクや走行台数自体が少ないリンクに影響されて、全体のプローブカー混入率が多くなる傾向がみられる。各車両の走行特性やプローブカーの最適な配置を検討しながら、精度の検討をした事例は見受けられない。

プローブカーの配備計画を検討するという事は、

一台の車両から効率よく旅行時間を収集できるプローブカーをネットワーク全体に配備することである。プローブカーによる情報収集するための配備計画に対して、堀口⁵⁾は理論的な考え方を示している。ここでは、プローブカーにタクシーを想定しているため、日本でのタクシーの走行特性である駅などの拠点を中心に走行する特性を考慮して、拠点からの距離に対する走行確率を定義することで、各地区の走行台数を決定する方法を提案している。堀口らの研究はタクシーを対象にしたプローブカーの配備方法に対する基礎的な理論を打ち出したこれらの基礎理論を応用して、プローブカーの走行状態がランダムであることによるリンクを走行するかどうかの不確実性の問題を解消する必要がある。加えて、この理論を実際の問題解決に応用できるように実用化しなければならない。本研究では、実際の OD データを用いてプローブカーの配備を検討する方法を事象で示す。

3. プローブ情報システムの旅行時間推定の信頼性に関する検討方法の提案⁷⁾

(1) 旅行時間推定の信頼性の検証⁶⁾

本研究では、既存研究より統計理論の必要標本数算出方法を援用して、各リンクで得られる旅行時間の精度を確保するのに必要なサンプルサイズとして、必要なプローブリンク交通量を算出した。本論文では、上式で得られるリンクごとの必要プローブカーリンク交通量と実際のプローブカー通過台数を比較し、通過台数が上回った場合に、信頼できる交通情報が得られたリンクとして、全リンクに対する割合をリンクカバー率とした。

(2) ODペア別プローブカー混入率の算出方法

プローブカーを用いて旅行時間を推定する場合、車両の走行地域が偏在すると同一区間からの大量の情報収集による無駄や収集されない区間での情報の抜けが生じてしまう恐れがある。そのような事態を回避する観点から、本論文ではODペア別にプローブ混入率を算出する方法を提案した。これは、プローブカーの時空間的な最適配置を検討するものと同義であると考えられる。式(1)(2)を定義し、図-1で示すとおり、マイクロ交通シミュレーションを繰り返すことで、ODペア別プローブ混入率を算出する。

$$\min \sum_{i,j}^T \sum_{ij} D_{ij}^T P_{ij}^T \quad (1)$$

subject to

$$N_a^T \leq x_a^{pT}$$

ここで

D_{ij}^T : ODペアijの総交通量

P_{ij}^T : ODペアijのプローブ混入率

N_a^T : リンクaのプローブカー必要台数

A_{ija}^T : ODペアijの拡大係数

x_a^{pT} : リンクaのプローブカー通過台数

$$P_{ij} = (\sum_{a \in A} A_{ija} \beta_{ija}) / NL_A \quad (2)$$

NL_A : リンク総数

$\beta_{ija} = 1$ リンクaにODペアijの交通量が
まれる場合
 $= 0$ 含まれない場合

(3) ミクロ交通シミュレーションの概要

本研究では著者らが2002年にプローブカー実験を行ったバンコクを対象に、マイクロ交通シミュレーションモデルを構築した。リンク数1896、ノード数1310からなるネットワークである。まず、一日の時間のうち約8割以上、走行しているタクシーをプローブカーと想定するOD交通量とする。次に、タクシーのみでは、必要とする台数が満たされない場合は、一般車両を含めたOD交通量を対象にプローブ混入率を算出することとする。

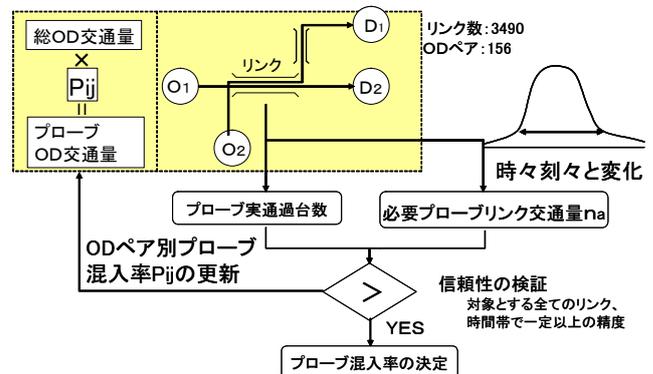


図-1 算出フロー

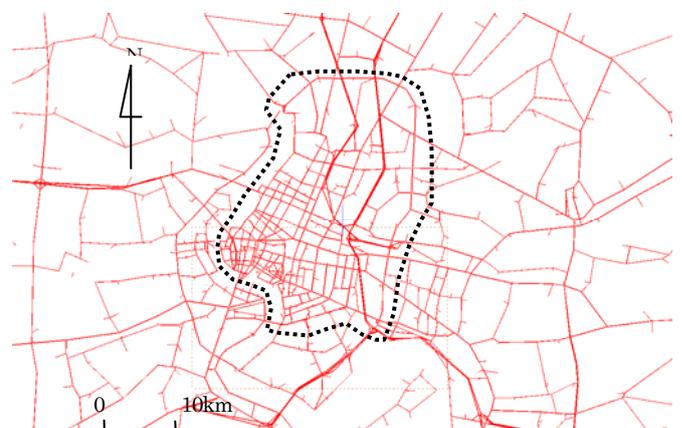


図-2 対象ネットワーク

4. 都市道路交通ネットワーク全体の旅行時間推定の信頼性に関する検討⁷⁾

(1) 既存方法によるプローブカー混入率の算出

全タクシーODに対するプローブカーの混入率に対するカバー率を図-3に示す。図中に示した旅行時間の集計単位時間に関してはそれ程大きな違いが認められない。全てのタクシーをプローブカーとして用いることで、対象地域内の40%程度のリンクより信頼性のある旅行時間を推定できるといえる。言い換えると、全てのタクシーを利用しても、全てのリンクを網羅した旅行時間を収集することが困難であるということであり、既存文献で得られた必要台数を大幅に上回るものであった。この原因として考えられるのが、混雑度が他の都市と比べて激しい、リンク長が長い、独立現示によるリンク滞留時間が長いなどの対象都市特有の要因が挙げられる。これらの要因により、単位収集時間の終了時間にリンクの終端を通過出来なかったために、リンクの旅行時間としてのデータを得ることが出来なかったプローブカーが多数存在したためと考えられる。

一般車両を含めたプローブカーとした場合、図-4に示すとおり、80%以上のリンクから旅行時間を推定するためには、全OD交通量の約32%のプローブカー混入率が必要である。

(2) 提案した方法による必要台数の算出

本研究で提案したODペア別にプローブカー混入率を算出した。その結果と混雑度、ゾーン総交通量、平均トリップ長を比較し関連性の分析を行った。ゾーン平均リンク混雑度と混入率の関係性を図-5に示すと、混雑度に比例し、OD別プローブ混入率が高くなっているが、混雑度が1をピークに若干、低下する傾向にある。このように、ゾーンの指標により大まかな必要プローブカー混入率が算出可能であると本研究より結論付けることができる。このようなゾーンの指標とプローブカーの混入率の関係性を予め明らかにしておくことで、今後、実際のネットワークにプローブカーを配置することを検討する場合のひとつの重要な情報となると考える。

本研究では開発途上国へのプローブカーの導入の可能性の検討するための、プローブカーシステムの導入戦略を通して検討を行った。プローブカーから全ての交通情報を収集するとした場合、総交通量の28%程度の混入率で、8割のリンクの交通情報を精度よく収集することが可能であり、広範囲の交通情報収集にプローブカーは適していると

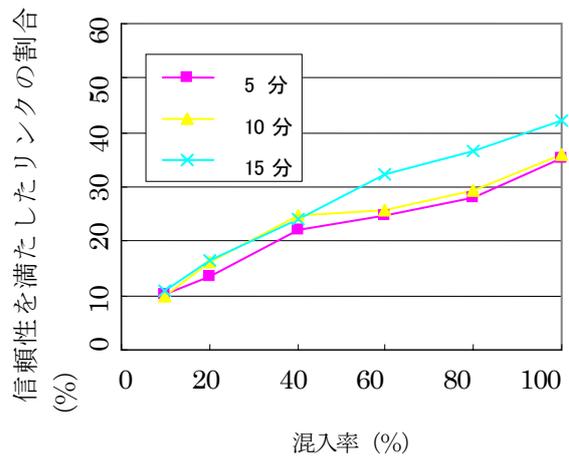


図-3 プローブ混入率(タクシー)

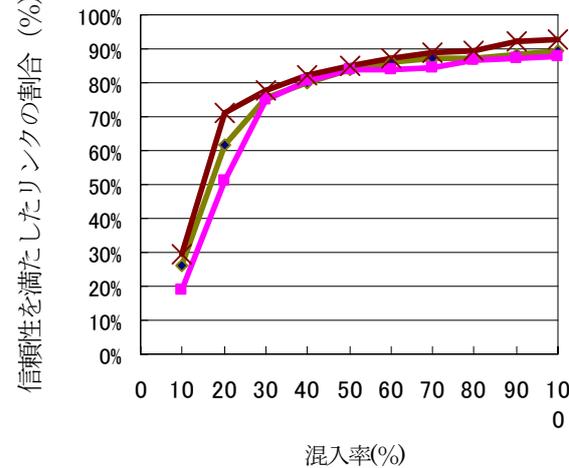


図-4 プローブカー混入率 (乗用車+乗用車)

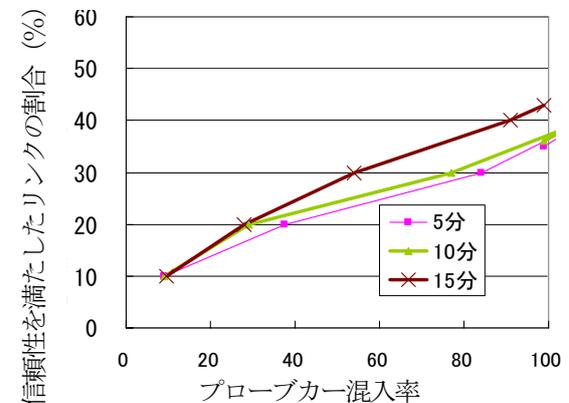


図-5 プローブ混入率 (タクシー)

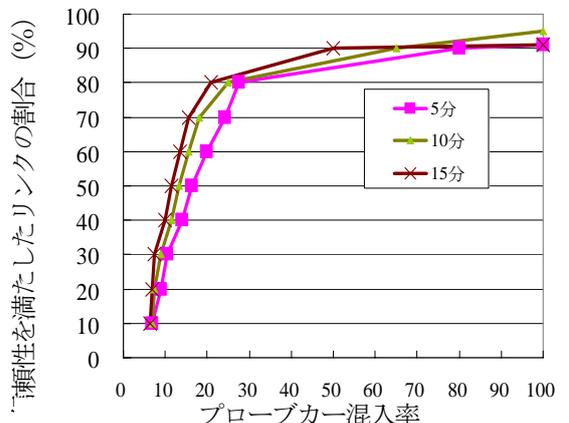


図-6 プローブ混入率 (タクシー+乗用車)

結論付けることが可能である。従来の方法では、一般車両も含めて、総OD交通量の32%のプローブカーの混入率で、約8割のリンクで旅行時間の推定が信頼性を持つことと比較すると、本研究で提案したODペア別プローブカー混入率の算出方法を用いることで、プローブカーの混入率を削減できることを示すことができた。

しかしながら、全ての時間間隔で安定して収集できないリンクも多数存在し、幹線道路以外とで安定性の差はさほどなく、プローブカーとして都心部の全ての道路網の旅行時間情報の推定になんらの問題もないことが確かめられた。よって、プローブカーシステムは交通情報収集システムとして、十分に導入可能であると本研究は結論付ける。

5. 既存交通情報収集システムの補完可能なプローブ情報システムの検討⁷⁾

日本において旅行時間情報が提供されているリンクは全体の3分の1程度である。この程度まで、現在、旅行時間情報収集システムが整備されていない開発途上国においても、車両感知器などの旅行時間情報収集システムが整備されたとして、シミュレーションを行う。よって、対象エリア内にある1876リンクの3分の1を、車両感知器によって旅行時間情報を収集するとした。

既存交通情報システムと組み合わせてシミュレーションし、プローブ混入率を図-7に示すとおり算出した。その結果、図-6と比較して、同じ80%のリンク数で約8%のプローブ混入率を削減することが可能であるというシミュレーション結果を得ることができた。車両感知器が設置されているリンクにおいても、プローブ情報収集システムで収集された旅行時間の推定精度が確かめられたリンクが複数あり、3分の1の設定条件より、プローブ情報収集システムによる旅行時間収集リンクが増加している。これらのことより、既存交通情報収集システムと組み合わせることで、旅行時間推計の広域化と効率化を同時に図ることができる結論付けることができる。

また、この3分の1の車両感知器を主要交差点に配置するパターンと都心部などのエリアに集中的に設置したパターンとで比較した場合、主要交差点の幹線道路に配置したケースが、プローブカー混入率を削減できることを示した。

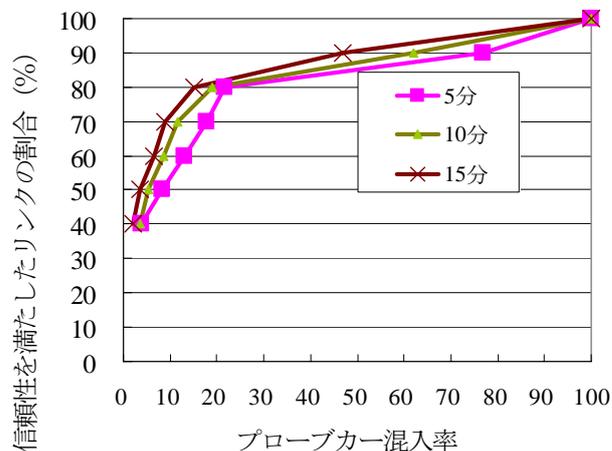


図6-2 既存交通情報システムとの組み合わせの場合のプローブ混入率

6. 結論と今後の課題

プローブ情報システムの旅行時間推定の信頼性を条件としてODペア別に必要なプローブカーの混入率を算出する方法を提案し、バンコクを例に適用した結果、プローブ情報システムによる旅行時間推定の信頼性は十分に高いという結果を得たことを述べた。また、既存の旅行時間収集システムと組み合わせることで、より広範囲の旅行時間を推定することが可能となり、プローブ情報システムが大きな役割を担えることを述べた。本論文の成果を受けて、プローブ情報システムの導入に向けた大きな課題が解消されたことで、本格的な導入に向けて大きく前進すると考える。

参考文献

- 1) Boyce D.E. et al.: In-Vehicle Navigation Requirements for Monitoring Link Travel Times in a Dynamic Route Guidance System, Operation Review, Vol. 8, No. 1, pp. 17-24, 1991
- 2) Srinivasan, KK and Jovanis PP: Determination of number of probe vehicles required for reliable travel time measurement in urban network, Transportation Research Record 1537, pp.15-22, 1996
- 3) Chen, M. and Chien, S. I. J.: Determining the number of probe vehicles for freeway travel time estimation using microscopic simulation, The 79th annual meeting of the Transportation Research Board, CD-ROM.
- 4) Anjani, P. Y., Michael, D. F. and Brian, L. S.: Investigation of Zonal Sampling Strategies in Probe Vehicle-Based Traffic Monitoring Systems, The 85th annual meeting of the Transportation Research Board, CD-ROM.
- 5) 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シンポジウム論文集, pp.677-683.
- 6) 石坂哲宏, 福田敦: 大規模交通シミュレーションを利用したプローブカーシステムの導入可能性の検討, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 31, CD-ROM, 2005
- 7) 石坂哲宏: プローブ情報システムによる旅行時間推定の信頼性に関する研究, 日本大学博士論文, 2007