

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*

Study on feasibility to introduce probe vehicle system by using micro simulation model with large-scale road network*

石坂 哲宏**・福田 敦***

By Tetsuhiro ISHIZAKA**・Atsushi FUKUDA***

1. はじめに

交通情報収集システムの整備が不十分な開発途上国で、今後、プローブ技術を用いた交通情報収集システムをはじめとする ITS を構築していくことは、交通情報の収集だけでなく、あらゆる交通問題解決に向けた社会資本整備の効率化に資すると期待されている。この点に関しては国土交通省と世界銀行が作成した開発途上国へ ITS 導入を進めるためのガイドライン「ITS toolkit」などでも述べられている。一方、プローブ技術の導入に関しては、プローブカーで収集する情報が状態を表す交通情報であることから、そのシステムの評価には、プローブデータの信頼性を担保することが可能なプローブカー台数と、それを導入するためのコストを推計して、投資効率などの明確な基準に従った上で、評価を進めていく必要があるが、これらを解析的に求めるのは大変困難である。

そこで、本研究では大規模交通シミュレーションの中でプローブカーによる情報収集を再現することで、プローブカーデータによるデータ収集の精度との関係を検証する方法を検討することを目的とする。

2. プローブカー導入のための課題の整理

*キーワード：プローブカー、旅行時間、ミクロ交通シミュレーション

**学生員、修(工)、日本大学大学院理工学研究科博士後期課程社会交通工学専攻

(千葉県船橋市習志野台7-24-1 TEL 047-469-5355

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

***正員、博(工)、日本大学理工学部社会交通工学科(同上)

プローブカーの導入に関しては、システムのパフォーマンスが都市の交通状況に依存してしまう問題、機械的技術的な課題、事業者が抱える課題、利用者サイドの課題という観点から整理できる。

第一点目に関しては、走行範囲や各リンクの走行台数などプローブカーの基礎的な走行特性が、プローブカーとする車両によって大きく異なり、また、その都市の道路構成、規模、交通状況などに大きく依存する。よって、導入に際しては、パフォーマンスに寄与する要因を特定して、プローブカーの台数や配置などの諸条件の検討を加えなければならない。

第二に事業者サイドから整理すると、プローブカーシステムを導入するには、ある時空間上に一定以上の情報の収集量が必要であり、つまり、大量である一定台数以上のプローブカーがネットワーク上に走行していないと、システムが成り立たないことが根本的な問題である。事業者としては、必要とする台数を推計し、費用・便益を的確に把握しなければならない。

第三に、例え必要とする台数を推計することが出来たとしても、ETC のようにプローブ機器の購入が利用者の判断に任されている場合、利用者の購買行動を定量化しなければならない。同時に、時系列的に普及過程を考慮した場合には、その時々々の普及率に応じて利用者が得られる便益を定量化しないと、その精緻化は困難であると考えられる。つまり、求められた必要台数に対する普及シナリオを十分に用意し、事業者サイドと利用者サイドの課題を同時に解析的に解決していかなければならない。そして、総コストを他の交通情報収集方法と比較しながら、最適なシステムを検討していかなければならない。

第一点目に関しては、著者らが 2002 年 8 月から 3 ヶ月間にわたり、本研究の対象都市で、プローブカー 5 台を用いた走行実験を行って、その特性を明らかにした¹⁾。第 2 点目及び 3 点目に関して本稿で、実際に走行実験を行って得られた走行特性を元に、シミュレーションモデルを構築して、検討を行った。

3. プローブカー評価モデルの検討

(1) 既存研究の整理

プローブカーを評価するうえで必要となるプローブカーの最小必要台数を検討する研究が近年多数行われている。Boyce D.E. and A.Sen²⁾、石田³⁾、Srinivasan⁴⁾らが静的な配分手法や動的な均衡配分手法を用いて、最小必要台数を検討している。ただ、これらの研究では単位時間当たり、一台でも車両が通過すればそのリンクの交通情報を収集できたと仮定しており、必ずしも信頼性の高い交通情報が得られる台数であるとかどうか明確にされていない。

これに対して、Ruey Long Cheu をはじめとして近年の研究において、統計学における標本サンプリング理論を用いて、母集団の平均値と認められるサンプリング数を算出して、交通情報の精度を考慮したプローブカーの台数を検討している。Ruey Long Cheu はシンガポールの一地区でシミュレーションモデルを構築した結果、少なくとも全交通量に対して 5% のプローブカーが必要であるとしている。これらの既存研究を総括すると全 OD に対して概ね 5% ~ 20% のプローブカーが必要であると言える。また、タクシーなどの日常走行する範囲が広い車両をプローブカーとする場合は、都市の一部を対象にするだけでは合理的でなく、走行分布を考慮して大規模なシミュレーションモデルを作成しなければならない。

(2) 必要台数算出モデルの検討

本研究では、既存研究より基礎統計理論の必要標本数算出理論を援用して、各区分で得られる交通情報の精度を得ながら必要サンプル数を検討した。

$$n = \left(\frac{t \times s}{\varepsilon} \right)^2 = \left(\frac{t \times c.v.}{e} \right)^2 \quad (1)$$

ここに、 t 値は設定した信頼区間より t 分布を用いて求めて、 s は旅行時間の標準偏差、 ε は許容誤差をあらわしている。信頼係数 $c.v.$ 、及び、相対誤差 e は次の式で求める。

$$c.v. = \frac{s}{\bar{x}} \quad (2)$$

$$e = \frac{\varepsilon}{\bar{x}} \quad (3)$$

各リンクの全体の交通量が 30 を超えた場合は、正規分布を利用した次式を用いて、サンプリングサイズを算出する。

$$n = \left(\frac{z \times s}{\varepsilon} \right)^2 \quad (4)$$

本研究では、上式で得られるサンプルサイズ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。

(3) シミュレーションモデルの構築

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、シミュレーションモデルを構築した。実験により走行特性が得られたタクシーをシミュレーション上でのプローブカーとして仮定した。プローブカーの台数はタクシー OD の 10% から 100% までを 10% 刻みで設定した。また、対象として図 - 1 に示すリンク数 1896、ノード数 1310 からなるネットワークを構築した。

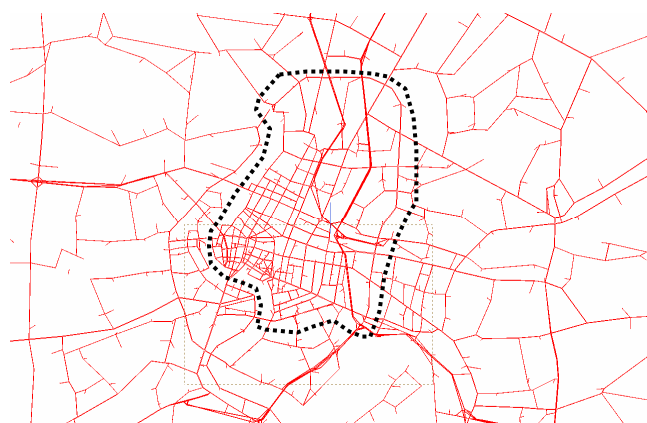


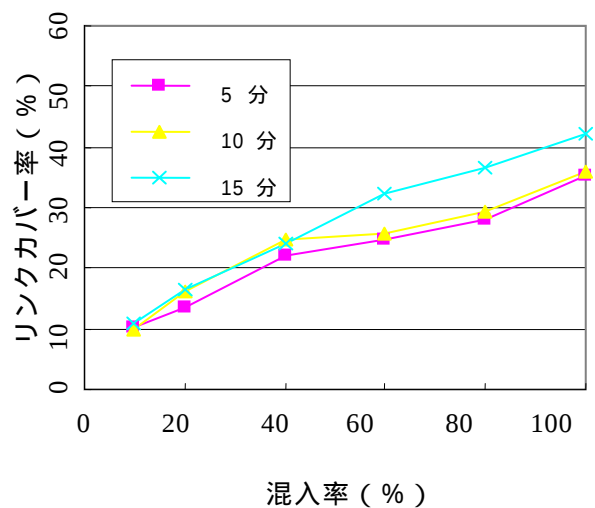
図 - 1 対象ネットワーク

4．プローブカー評価モデルの検討

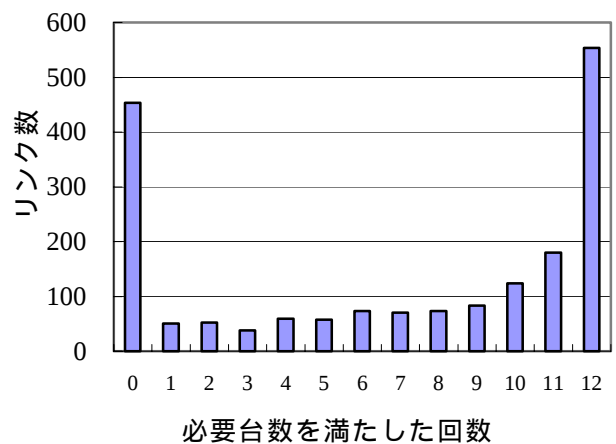
全タクシーODに対するプローブカーの割合（以下、混入率）に対するカバー率を図－2に示す。図中に示した旅行時間の集計単位時間に関してはそれ程大きな違いが認められない。全てのタクシーをプローブカーとして用いることで、対象地域内の40％程度のリンクより信頼性のある交通情報が収集できるといえる。言い換えると、全てのタクシーを利用しても、全てのリンクを網羅した交通情報を収集することが困難であるということであり、既存文献で得られた必要台数を大幅に上回るものであった。この原因として考えられるのが、混雑度が他の都市と比べて激しい、リンク長が長い、独立現示によるリンク滞留時間が長いなどの対象都市特有の要因が挙げられる。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。

次に、タクシーODに対するプローブカーの割合が40％、5分間隔で1時間のシミュレーションを行った場合で、リンクごとに必要台数が満たされた回数を図－3に表した。時間内全ての時間帯で必要台数が満たされているリンクは556リンク（29％）であった。図－4に信頼性の高い交通情報が常に得られた区間を示す。そのほかのリンクでは一時間の中でもデータの欠損が生じてしまう可能性がある。つまり、データの欠損が許されない信号制御などにプローブカーデータを利用するには、混入率の検討を十分に行う必要がある。

リンクカバー率の向上を図るために、旅行時間の標準偏差に影響を与えと考えられるリンク長との関係性を図－5に示した。リンクごとの標準偏差をリンク長及び一時間のうちに満たされた回数で分類すると、距離別に見るとバラツキは減少し、1時間のうちに、必要台数の条件を満たした回数が多いリンクのバラツキは小さいと言える。そこで、同質な走行状態のリンクを結合させ、可能な限りリンク長の長大化を図った。リンク長は平均1.2キロになり、リンク数は960に削減された。同様のシミュレーションを行った結果、図－6に示す通り結合前の



図－2 リンクカバー率



図－3 必要台数を満たしたリンク数



図－4 条件を満足したリンク

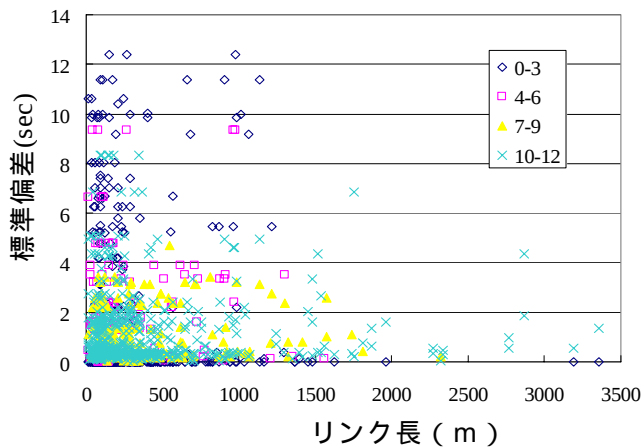


図 - 5 リンク長と旅行時間標準偏差

40%から結合後に 50%に 10%程度のリンクカバー率の向上が認められた。

最後に、位置データの収集タイミングの違いによるデータ量の比較を行った。インターネット ITS で取られている方法で走行状態の境界条件のときにのみに、データを送信する方法である。その運用に係わるコストが通信料に大きく依存してしまうプローブカーシステムにとって、図 - 7 に示すとおり、データの取得方法を工夫することで、データ送信回数を減らすことが十分に可能であることから、コストなどの算出に大規模交通シミュレーションを活用していかなければならない。

5 . 結論と今後の課題

本研究では、大規模交通シミュレーションモデルを構築して、プローブカー導入評価の前提となるプローブカーの必要台数の検討を、交通情報の信頼性（精度）という観点から行った。その結果、本研究で対象とした都市の様な、混雑が激しく、旅行時間のバラツキが激しい都市では、プローブカーの必要台数を比較的多く設定しなければならないことがわかった。このことから導入に当たっては、都市ごとに得られる効果と十分に比較していかなければならない。一方で、本研究は単純にプローブカーという標本を単純に利用して旅行時間を推定する場合の精度を検証したにすぎないので、近年開発されている蓄積した交通情報を利用して少ないデータで旅行時間を予測する手法を考慮して、プローブカーの必要台数の下限を検討しなければならない。

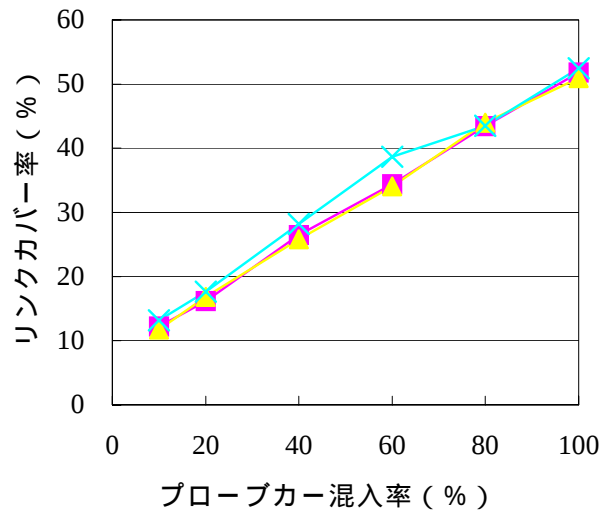


図 - 6 リンク結合後のリンクカバー率

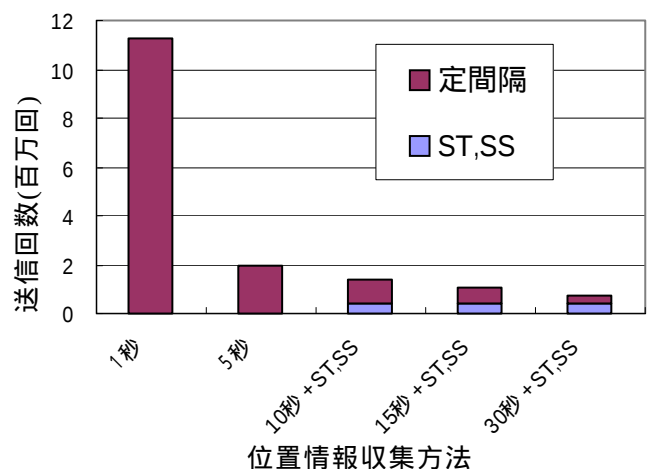


図 - 7 位置データ取得方法の違いによる情報量の違い

参考文献

- 1) 石坂 哲宏, 福田 敦: バンコクを対象とするプローブカーによる交通状況の把握に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 29, 2004
- 2) 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
- 3) 石田 東生ほか: 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.17-24, 2001年
- 4) 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
- 5) 例えば、Shuo Li et al. : Reconsideration of Sample size requirements for field traffic data collection with Global Positioning System Devices, Transportation Research Record 1804, pp.17-22, 2000