

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*

Estimation of Link Performance Function by using Probe-Car Data*

岡田良之**・森川高行***・三輪富生****

By Yoshiyuki OKADA**・Takayuki MORIKAWA***・Tomio MIWA****

1. はじめに

道路ネットワークへの自動車交通需要の配分モデルに適用されるリンクコスト関数の推定には、ある区間を通過する車両の速度（時間）と交通量に関するデータが必要となるが、既存研究においては、非常に限られた路線（区間）・期間におけるデータか、道路交通センサスのような広範囲であるが混雑時だけのデータを用いた推定であった。

プローブカーデータは、実際の道路ネットワークを走行する車両をセンサーとしてみなすことで、リアルタイムかつ広範囲における様々な情報を習得できる。そのうちの一つである旅行速度情報は、各車両の走行軌跡を時間軸と併せて集計することで、任意の地点間において得ることができる。

本研究で用いる旅行速度データは、名古屋市街地を中心として営業を行っている約1,500台のタクシー車両を約2ヶ月という長い期間において得られたものであり、道路種別、車線数の異なる様々な道路区間における膨大な旅行速度サンプルである。一方、交通量データは、愛知県警が所有する車両感知器の時間帯別交通量を用いており、プローブ旅行速度データと組み合わせると、100を超える車両感知器設置区間におけるリンクコスト関数の推定が可能となる。

本研究は、これらの旅行速度データと交通量データを用いたリンクコスト関数の推定を行い、パラメータのばらつきや推計精度へ影響を与える要因に

*キーワード：リンクコスト関数，プローブカー

**正員，工修，名古屋大学大学院工学研究科
（名古屋市千種区不老町，TEL:052-789-3730，
E-mail:okada@trans.civil.nagoya-u.ac.jp）

***正員，Ph.D，名古屋大学大学院環境学研究科
（E-mail:morikawa@civil.nagoya-u.ac.jp）

****学生員，工修，名古屋大学大学院環境学研究科
（E-mail:miwa@trans.civil.nagoya-u.ac.jp）

についての分析を行った。

2. データの概要

（1）旅行速度データの概要

本研究で使用するデータは、2002年1月28日～3月31日の2ヶ月間、名古屋都市圏において行われた「インターネットITSプロジェクト」（主体：経済産業省）の実証実験により取得されたデータである。この名古屋実証実験は、名古屋市およびその周辺に営業所をもつ32社のタクシー会社の協力を得て、1,500台のタクシーをプローブカーとして行われた。データ送信は、イベントスキニングにより行われ、実験において設定されたデータ送信イベントは表-1に示すとおりである。

GPS車載機にはType1，Type2，Type3の3種類ある。Type1，Type3(915台)はモバイルサーバであるのに対して、Type2(655台)にはカーナビが装備され、タクシーの位置動態情報が精度良く取得できる。そのため、本研究の旅行速度データは、Type2の車両から得られたデータを用いている。

また、実車（乗客が乗車中）と空車では、走行特性が異なることから、実車データのみデータを利用する。

表-1 主なデータ送信イベント

送信イベント	備考
距離(300m)周期	イベント発生後、300m走行するまで他のイベントが発生しなかったとき
時間周期(550s)周期	停止車両からも一定間隔でデータを入手
車両停止時	ST(Short Trip)
車両発進時	SS(Short Stop)
実車/空車変化時	タクシーの実車/空車状態が変化したとき
エンジン始動/終了時	エンジンの始動/終了時
危険挙動発生時	速度超過，急加速，急減速発生時

（2）交通量データの概要

愛知県警が県内に所有する車両感知器は200箇所以上あるが、名古屋市とその周辺における道路交通

センサスの調査対象区間に設置されている車両感知器の交通量データ（台/時）を用いている。平成11年度道路交通センサス¹⁾の調査対象区間とした理由は、車両感知器から得られる車種別ではないことからセンサスから得られる時間帯別車種別交通量を用いて乗用車換算する必要があること、また、リンクコスト関数に含まれる交通容量を算出するためである。

最終的に旅行時間データと交通量データをマッチングし、リンクコスト関数の推定が可能となった区間（車両感知器の交通量欠損時間帯、及び旅行速度が5km/h以下、100km/h以上のデータを除くサンプル数が50以上ある区間）は、表 2、図 1 に示す100箇所（太線表示）であり上下別で168区間となった。なお、各区間のサンプル数は、最大で11,500サンプル、最小で51サンプルであり、平均サンプル数は1,085サンプルとなっている。

表 - 2 リンクコスト関数の推定区間数

	2車線	4車線	6車線以上	計
一般国道	7	12	21	40
主要地方道	10	50	24	84
一般県道	7	8	8	23
指定市道	0	7	14	21
計	24	77	67	168

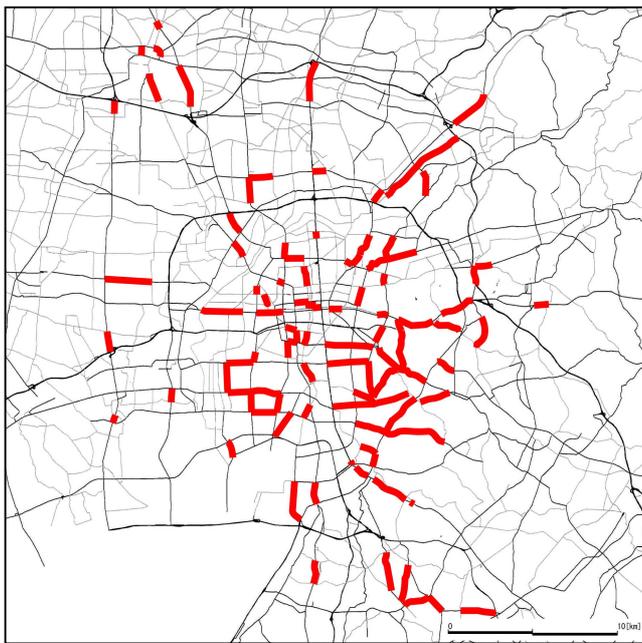


図 1 リンクコスト関数の推定区間

3. リンクコスト関数の推定

(1) 推定手法

これまで、リンクコスト関数として提案されてきた代表的なものは、Davidson 関数と BPR 関数があるが、本研究では式 (1) に示す BPR 関数を採用する。

$$t_a(q_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha (q_a / C_a)^\beta \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 q_a : リンク a の時間交通量 (pcu/h)
 t_{a0} : " 自由走行時間 (min/km)
 C_a : " 時間可能交通容量 (pcu/h)
 α, β : パラメータ

式 (1) において推定するのは t_{a0}, α, β であり、推定は溝上ら²⁾が提案した手法に基づいて行う。

溝上らは、単位時間帯 i に走行する車両のリンク所要時間は確率変数であり、その分布は時間帯毎に独立であり、 $N(\bar{t}_{ai}, s_{a0}^2(\bar{t}_{ai}))$ の正規分布に従うと仮定し、時間帯 i に観測される n 番目の車両の所要時間サンプル t_{ai}^n の確率密度関数を、

$$f(t_{ai}^n | \bar{t}_{ai}, s_{a0}^2(\bar{t}_{ai})) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s_{a0}^2(\bar{t}_{ai})}} \exp \left[-\frac{(t_{ai}^n - \bar{t}_{ai})^2}{2s_{a0}^2(\bar{t}_{ai})} \right] \dots \dots \dots (2)$$

として表現し、次式の尤度関数を定義することで最尤推定法によりパラメータを推定している。

$$L(\theta) = \prod_a \prod_i \prod_n f(t_{ai}^n | \bar{t}_{ai}, s_{a0}^2(\bar{t}_{ai})) \dots \dots \dots (3)$$

(2) 推定結果

アメリカの道路局で提案されたBPR関数のパラメータ推定に関する我が国の既存研究では、溝上ら²⁾の $\alpha = 1.0 \sim 1.1$, $\beta = 1.2 \sim 1.5$, 西谷ら³⁾の $\alpha = 0.6 \sim 0.7$, $\beta = 2.9 \sim 3.0$, 松井ら⁴⁾の $\alpha = 0.4 \sim 0.5$, $\beta = 2.2 \sim 3.3$ と報告されている。

一方、本研究の168区間における推定結果をみると表 - 3 に示すように、既存研究の値 ($\alpha = 0.4 \sim 1.1$, $\beta = 1.2 \sim 3.3$) と比較して非常にばらついていることがわかる。また、 α, β の相対的な大小関係についても説明が難しく、道路種別、車線数でみても、 α, β の推定値に顕著な傾向はみられなかった。

したがって、 α 、 β の推計値にばらつきが生じる要因について個別の区間でみていくこととした。

表 - 3 α 、 β の推定値

推定値	α		β	
	区間数	構成比	区間数	構成比
0.0~1.0	73	43.5%	40	23.8%
1.0~2.0	40	23.8%	56	33.3%
2.0~3.0	25	14.9%	29	17.3%
3.0~4.0	7	4.2%	10	6.0%
4.0~5.0	3	1.8%	11	6.5%
5.0~6.0	5	3.0%	8	4.8%
6.0以上	15	8.9%	14	8.3%
計	168	100.0%	168	100.0%

α は、交通量が交通容量と等しくなった場合の旅行時間が、自由走行時間の何倍になるかを示すものである。式(1)において外生的に与えている時間可能交通容量(C_a)は、時間帯に係わらず定数としているので、仮に C_a の値を定数倍した場合はも定数倍となる。

図 2 に、ある区間における交通量-観測旅行時間の分布状況と推定されたリンクコスト関数との関係を示す。この区間においては道路交通センサに基づく C_a として約2,500 (pcu/h)を設定しており、この値は実際に観測された最大交通量と比較しても2割程度大きいことがわかる。この区間は、名古屋中心部を通過する片側4車線の国道であり、混雑時においては路上駐車が非常に多く(約13.8台/0.1km:平成11年度道路交通センサ)、これらの駐車車両の影響により交通容量が小さくなっていると考えられる。ここで、 C_a を観測された最大交通量に近づけた2,200 (pcu/h)として設定し、再推計を行った結果、推定されるリンクコスト関数の形は同じであるが、 $\alpha = 「6.73」$ 、 $\beta = 「1.89」$ となる。

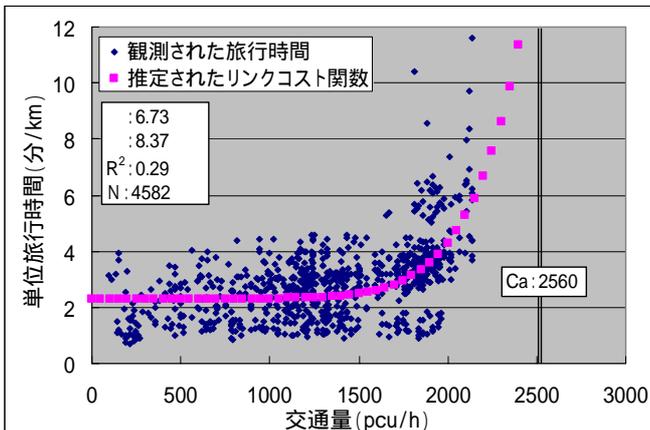


図 2 観測データと推定リンクコスト関数(1)

このように、 β の値は各区間で設定している C_a の過大評価、もしくは過小評価によってばらつく結果となる。

また、 α は関数の傾きを示すものであり、 β の値が大きい場合には図 2 に示すような C_a の近傍で急激に増加する関数となる。一方、 β の値が小さい場合には、図 3 に示すような C_a を超えても旅行時間があまり増加しないという非現実的な関数となる。このような β のばらつきは、 α が容量を超える前の領域において支配的であるのに対し、 β は容量を超えた場合において支配的になることから、図 3 のような観測された旅行時間に交通量の増加に伴う顕著な増加傾向がみられない分布になっている区間においては、 β による影響がなく、ほぼ α のみで決定されてしまうことが原因となっている。

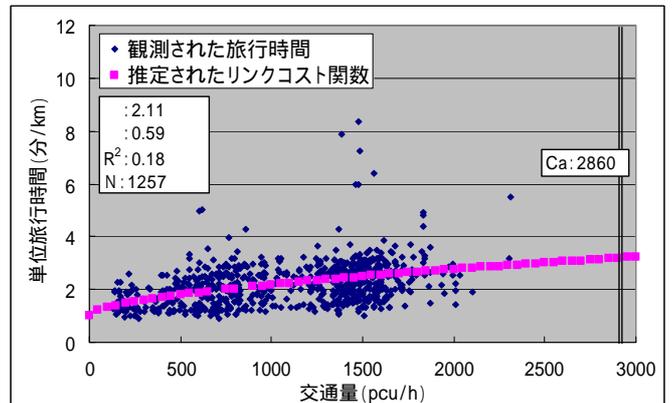


図 3 観測データと推定リンクコスト関数(2)

次に、リンクコスト関数の推計精度(R^2)についてみると、表 4 に示すように決して良くはないことがわかる。これは、図 2、図 3 をみて分かるように同じ交通量が観測されている場合でも、プローブカーの旅行時間がばらついていることが原因である。

表 - 4 リンクコスト関数の推定精度

	R^2	
	区間数	構成比
0.00~0.20	99	58.9%
0.20~0.40	51	30.4%
0.40~0.60	16	9.5%
0.6以上	2	1.2%
計	168	100.0%

プローブカー旅行時間のばらつきの原因の一つとしては信号の影響があり、推定区間を信号の影響を

受けずに早く走行した車両は、どちらかの隣接区間においては遅くなることが考えられる。そこで、図 4 に示すように、隣接する区間を加えた新たな推定区間でプローブカー旅行時間を算出し、リンクコスト関数を推定することとした。

図 5 は、前頁の図 2 に推定リンクコスト関数を示した区間 (L = 850m) において、隣接区間を加えた区間 (L = 2,200m) で推定したものである。明らかにプローブカー旅行時間のばらつきが減少し、推計精度が向上していることがわかる。

このように、区間を変更することで精度の高いリンクコスト関数の推定が可能となったこと、さらには、本研究ではまだ至っていないが、右折車両と直進車両のセグメンテーションによる推定が可能であることは、各車両の走行軌跡を有するプローブカーデータの有用性を示す結果と言えよう。

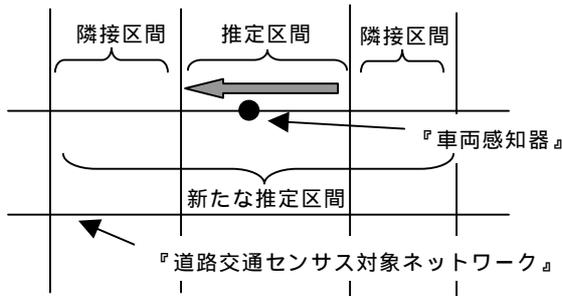


図 4 新たな推定区間の設定

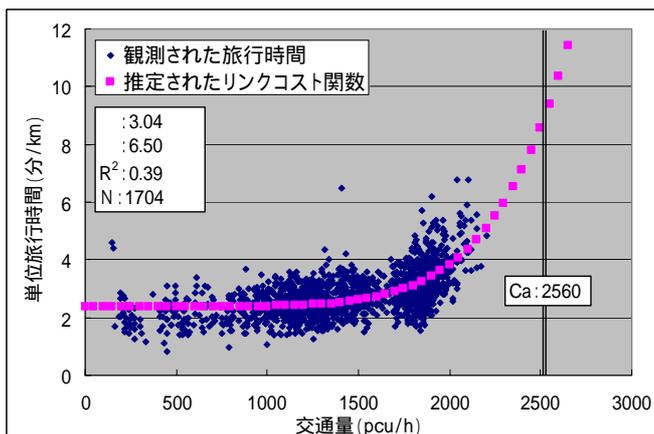


図 5 観測データと推定リンクコスト関数(3)

4. まとめ

本研究では、プローブカーから得られる旅行時間データと車両感知器から得られる交通量データを用いてリンクコスト関数の推定を行い、推定された

パラメータと推計精度のばらつきの要因について考察し、プローブカーデータの有用性を示した。

今後の課題を以下に述べる。

- すべての推計区間について、交通量-観測旅行時間の分布状況と推定されたリンクコスト関数との関係を詳細に分析し、パラメータの安定性と十分な精度を確保するため推計手法を開発する。
- 車両感知器が設置されていない道路区間にも適用可能とするために、道路種別、車線数、沿道状況などによってパラメータを説明できる手法を開発する。
- 開発したリンクコスト関数を実際の道路ネットワークへの配分問題に適用し、推計交通量の精度について検証する。

謝辞：本研究を進めるにあたって、貴重なデータを快く提供していただいた、インターネットITSプロジェクトグループ（経済産業省、慶応大学WIDEプロジェクトグループ、トヨタ自動車株式会社、株式会社デンソー、日本電気株式会社（NEC））、及び愛知県警察の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1)国土交通省中部地方整備局：「平成11年度道路交通センサス」, 1999
- 2)溝上章志, 松井 寛, 可知 隆：「日交通量配分に用いるリンクコスト関数の開発」, 土木学会論文集, 第401号 / -10, pp99-107, 1989
- 3)西谷仁志, 朝倉康夫, 柏谷増男：「交通量配分に用いる走行時間関数のパラメータ推定と影響分析」, 土木計画学研究・講演集, No.14 (1), pp315-322, 1991
- 4)松井 寛, 山田周治：「道路交通センサスデータに基づくBPR関数の設定」, 交通工学, Vol.33, No.6, pp9-16, 1998