

# プローブタクシーのリンク通過頻度推計モデル\*

## An Estimation Model of Link Running Frequencies by Probe-taxes\*

村田啓介\*\*・堀口良太\*\*\*・桑原雅夫\*\*\*\*・浅野美帆\*\*\*\*\*・田中伸治\*\*\*\*\*

By Keisuke MURATA\*\*・Ryota HORIGUCHI\*\*\*・Masao KUWAHARA・Miho ASANO・Shinji TANAKA

### 1. はじめに

本研究は、あらゆるリンクがそれぞれ必要とする情報を取得するために有効なプローブタクシーの配備手法を提案することを目的とする。

プローブカーとは、いわば動く感知器であり、プローブカーが走った道路に関する交通情報を私たちは得ることができるが、現在タクシーをプローブカーとして活用する試みが各地で実験されている。ただし、それぞれの道路には、必要な頻度で情報が更新される必要があるため、プローブタクシー配備をする計画の段階でリンクの通過頻度の推計が重要となる。

そこで、堀口<sup>1)</sup>は、市街地内に数ヶ所存在するターミナル駅などタクシー利用者の多い場所を拠点と定義し、タクシーは必ずそれぞれの任意の拠点と客の降車位置との往復行動を行うという仮定を置き、この行動をラウンドトリップと定義することによって、拠点からの距離からリンク通過確率を求める1次元の簡便モデルを提案している。そこで、トリップの起点の位置もしくはトリップの方向とは独立であると仮定した上で、タクシーが距離  $x$  のトリップを行う確率つまりトリップ長分布を  $f(x)$  とすると、拠点を出発した車が距離  $x$  の場所を通過する確率  $F(x)$  は以下の(1)に従うものとしている。

$$F(x) = \int_x^{\infty} f(x) dx \quad (1)$$

しかし、横浜市内で平成13年に行われたタクシープローブの実験(以下IPC<sub>Car</sub>13)のデータを用いて推計

\*キーワード: 拠点、ラウンドトリップ、リンクカバー率

\*\*学生会員、東京大学生産技術研究所

(東京都目黒区駒場4-6-1、

TEL03-5452-6419、FAX03-5452-6420

Email:murata@iis.u-tokyo.ac.jp)

\*\*\*正会員、工博、(株)アイ・トランスポート・ラボ

\*\*\*\*正会員、Ph.D.、東京大学生産技術研究所

\*\*\*\*\*正会員、工修、東京大学生産技術研究所

\*\*\*\*\*正会員、工修、東京大学生産技術研究所

値との検証を行ったところ、実測値に比べて推計値が3.5km付近では近い値を示したものの、1km付近では約2倍の値をとるという結果が出た。この原因として現状では必ずしも常に全てのタクシーがラウンドトリップを行っているわけではないことが挙げられる。そこで、ラウンドトリップに補正を加えることによって、実測値をより正確に推計できるリンク通過頻度モデルを構築する。そして、2000年に名古屋で行われたプローブ実験のデータを用いて提案したモデルの検証を行い、さらに、モデルの地域移転の有効性について考察する。

### 2. モデルの構築

補正ラウンドトリップモデルは、拠点をトリップの起点、もしくは終点としないトリップについても考慮に入れたモデルである。

まず、1日1台あたりのトリップ数を  $k$  とし、一回のラウンドトリップに費やされるトリップ数を  $t$  トリップとすると、1日1台あたりのラウンドトリップ数  $r$  は(2)によって求められる。

$$r = k / t \quad (2)$$

ただし、 $t$  は偶数、つまり、拠点を実車で離れ空車で戻ると考える。もちろん実際には、実車トリップで拠点に戻ってくるという場合も想定されるが、この場合拠点ですぐに次の客を乗せると考えるのが自然であるため、空の空車トリップが行われたとみなすことができるからである。今回は特に名古屋、横浜とも  $t \leq 4$  であることが確認できた(表2参照)ので、4トリップでの行動、つまり、「拠点での乗車-降車-拠点以外での乗車-降車-拠点での乗車」という行動を想定した上で考える。

1ラウンドトリップ中最初と最後の2トリップ分はそれぞれ拠点を起点、終点とするトリップであるため、堀口の提案したラウンドトリップの考え方をそのまま適用してリンク通過確率を求める(以下このタイプの行動をタイプ①とする)。よって、最初と最後の2トリップが  $x$  の地点を通過する確率  $F(x)$ <sup>1)</sup> は(1)によって求められる。

次に、2トリップ目について、起点の拠点からの距離

が  $m$  であるとき、 $m$  が  $x$  より小さい場合と大きい場合とで異なる考え方をする必要はある。

Case1:  $m \leq x$  の場合

$m$  から  $x$  を通過するためには、拠点から遠ざかろうとし、 $(x-m)$  以上のトリップが行われる必要がある。ここで、 $m$  において拠点に戻ろうとする確率を  $a(m)$  とすると、 $x$  を通過する確率

$F(x|m)^{in}$  は (3) によって表すことができる。

$$F(x|m)^{in} = f(m) * (1 - a(m)) * F(x-m) \quad (3)$$

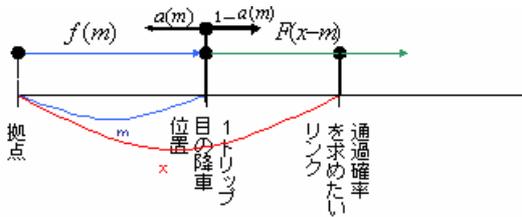


図1:  $m \leq x$  におけるイメージ

Case2:  $m > x$  の場合

この場合  $m$  から  $x$  を通過するためには、拠点に戻ろうとし、かつ、 $(m-x)$  以上のトリップが行われる必要がある。よって、 $x$  を通過する確率  $F(x|m)^{out}$  は (4) によって表すことができる。

$$F(x|m)^{out} = f(m) * a(m) * F(m-x) \quad (4)$$

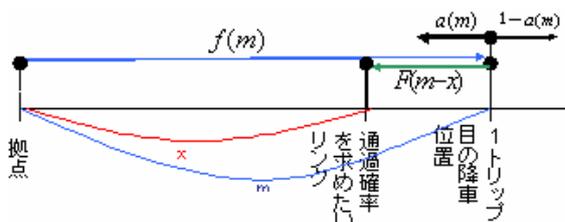


図2:  $m > x$  におけるイメージ

以上の考え方に従うタイプの行動をタイプ②と定義する。よって、2トリップ目によって  $x$  を通過する確率  $F_x^{II}$  は Case1 と Case2 の合計であるので以下の (5) で表すことができる。

$$F(x)^{II} = \int_0^x F(x|m)^{in} dm + \int_x^\infty F(x|m)^{out} dm \quad (5)$$

そして、前述のように最初と最後のトリップは同じトリップ (タイプ①) とみなしているが、3トリップ目については、最後から2トリップ目という位置づけで考

えると2トリップ目と同じトリップと考えることができるので、3トリップ目もタイプ②とすることができる。

このように、1ラウンドトリップ中には、2パターンのトリップがあり、そのうち必ず2トリップ分はタイプ①であるので、タイプ②は残りの  $(t-2)$  トリップ分である。

したがって、1台のタクシーが  $x$  を一回のラウンドトリップ中に通過する回数  $n(x)$ 、1日のうちに通過する回数  $N(x)$  はそれぞれ以下の (6)、(7) で表すことができる。

$$n(x) = 2 * F(x)^I + (t-2) * F(x)^{II} \quad (6)$$

$$N(x) = n(x) * r \quad (7)$$

### 3. ケーススタディ

#### (1) 名古屋市街地の特色

名古屋市街地で拠点になりうる場所は栄駅、名古屋駅、金山駅、名古屋空港などが挙げられるが、最もタクシー需要の大きいと考えられる栄駅を中心とする半径 500m の範囲を本研究では、拠点に設定した。また、次に需要が大きいと考えられる名古屋駅は栄駅から 3km 弱と非常に近い場所に位置している。

#### (2) 変数の決定

2. で提案した補正ラウンドトリップモデルには  $f(m)$ 、 $a(m)$ 、 $k$ 、 $t$  の4つの変数が含まれている。そこで、2000年に行われた名古屋でのプローブ実験1月分のデータを利用して4つの変数を求めた。ただし、時間帯によって性質が異なることが予想されるため、真夜中 (0時~3時)、夕方 (14時~18時) の2つの時間帯においてそれぞれ個別に求めた。結果は4. を参照。

#### (3) 推計値と実測値の比較

求めた変数を用いて、補正ラウンドトリップモデルならびに100%ラウンドトリップを行っているという仮定の下でのモデルによって推計した、 $x$  における1日1台あたりのリンク通過回数を求めた。この2つの推計値と実測による1日1台あたりのリンク通過回数を0時~3時と14時~18時の2つの時間帯においてそれぞれ個別に比較したものが以下の図3、図4である。

結果を見ると、0時~3時の時間帯は、2つの推計値に大きな差はなく、両者とも実測値をよく表している。理由としては、この時間帯は1ラウンドトリップを構成

するトリップ数が2に近く、多くのタクシーが拠点と降車位置との単純往復行動を行っていることが考えられる。また、14時～18時の時間帯については、1ラウンドトリップを構成するトリップ数が0時～3時の時間帯よりも高いため、3km以内の範囲では2つの推計値には大きな差が生じている。そして、100%ラウンドトリップモデルによる推計値も補正ラウンドトリップによる推計値の方がよりよく実測値を再現しているという結果が出た。よって、補正ラウンドトリップモデルを用いることによって、1ラウンドトリップ中のトリップ数に関わらず実測値をより正確に表すことができることを示した。

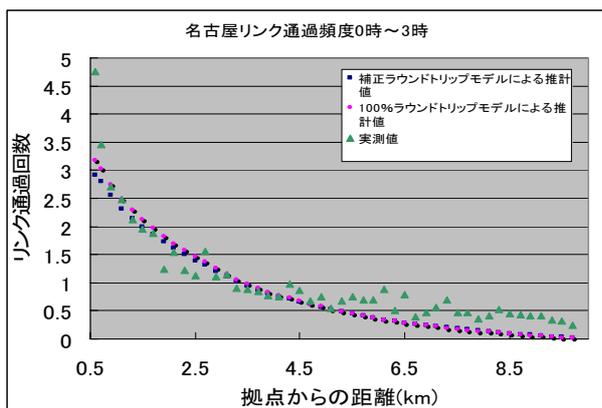


図3:リンク通過回数推計値と実測値(0時～3時)

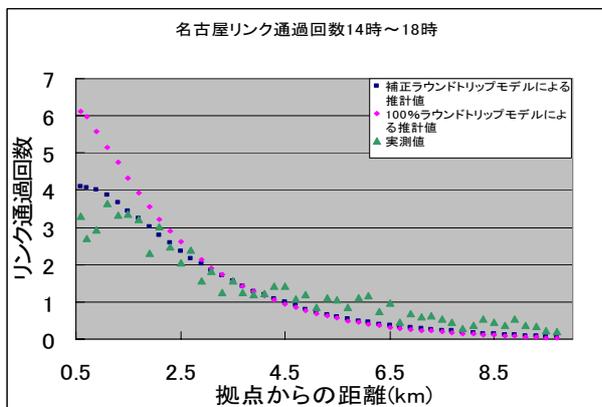


図4:リンク通過回数推計値と実測値(14時～18時)

#### (4) リンクカバー率の推計

これまで、ある範囲の地区を通過する頻度について述べており、その中に含まれるリンク一つ一つのリンク通過頻度については述べてこなかった。そこでここでは、ある範囲内に含まれるリンク一つ一つの通過頻度について考察する。

当然、道路ネットワークというものはそれぞれの道路の役割が分担されており、幹線道路と細路では通過頻度が異なってくる。そこで、ある範囲に含まれるリンク総数に対して、一定の頻度以上で利用されるリンクの割合をリンクカバー率と定義する。

上記で提案したモデルによって推計されるのは、その地区内のリンクを通過するトリップの総数である、ということはその地区を通過する全てのトリップが、地区内のあるリンクを通過するときのそのリンクを通過するトリップ数でもある。そこで、ある地区のリンクカバー率を求めるには、その地区とリンク利用偏向の似ている地域でのリンクカバー率データを基準に、横軸の最大値をその地区のリンク通過回数でスケールリングすることによって推計することができる。

そこで、3月の14時～18時の時間帯における1.5kmならびに3.5kmの範囲におけるリンクカバー率を、1月のリンクカバー率の実測値を基準に、推計された3月のリンク通過回数でスケールリングすることによって推計した。これと3月のリンクカバー率の実測値を比較したものが以下の図5である。

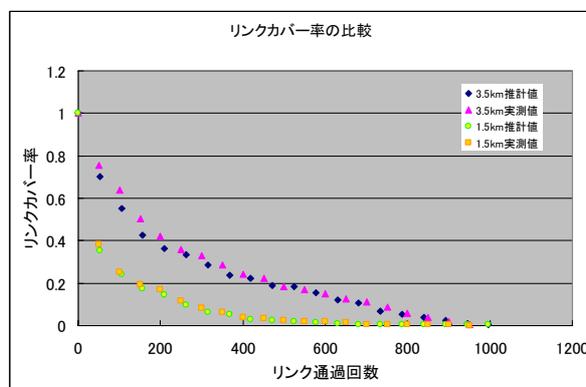


図5:リンクカバー率推計値と実測値

この結果を見ると、1.5kmは3.5kmより原点に対して凸型の形状が浅くなっている。これは、1.5kmの範囲の方が、使用されるリンクの偏りが小さいことを意味している。このように、距離帯によってリンクカバー率は異なるが、それぞれの距離帯において、かなり正確にリンクカバー率を推計できていることを伺うことができる。ただし、今回は同じ名古屋のデータを用いてリンクカバー率を推計しているが、名古屋でのリンクカバー率を基準にほかの都市でもリンクカバー率を推計できるとは限らないので、その部分について考察することが今後の課題の一つである。

#### 4.補正ラウンドトリップの地域移転の有用性

##### (1) 概要

このモデルを他の都市において使用するためには、モデル内で使用した4つの変数 $f(m)$ 、 $a(m)$ 、 $k$ 、 $t$ が都市によらずほぼ一定の値をとらなければならない。そこで、2000年に名古屋で行われたプローブ実験のデータならびに2001年に横浜で行われたプローブ実験のデー

タを用いて名古屋と横浜における 0 時～3 時もしくは 14 時～18 時の 2 つの時間帯での各変数の比較を行う。

(2) 各変数の比較

a) トリップ長分布

図 6 を見ると、0 時～3 時に関しては、同じく名古屋と横浜とで似たような分布になっている。また、14 時～18 時では、2 km 弱の範囲では若干横浜の方が大きな割合を占めているが、1km 付近でピークを迎えるという形状は非常に近似している。

b) 拠点に戻ろうとする確率

図 7 より都市・時間帯の違いに関係なく全体として同じような曲線を描いていることを伺うことができる。名古屋の 14 時～18 時に関しては、6km 以上の範囲で多少ばらつきが見られるが、これはサンプル数が少ないことからの影響であると考えられる。

c) トリップ数原単位

以下の表 1 に示したように名古屋と横浜とでは多少異なる値をとるが、どちらの時間帯とも横浜は名古屋の約 1.3 倍であるため、ある時間帯の名古屋に対する比率が分かればどの時間帯も推計できるであろう。また、トリップ数原単位に関しては、より詳しく知りたい場合に営業記録を参照することもできる。

d) 1 ラウンドトリップを構成するトリップ数

表 2 を見ると、0 時～3 時に関しては、ほぼ同じ値をとっているが、14 時～18 時では多少名古屋の方が大きな値をとっている。これは、14 時～18 時の時間帯は比較的交通量が多いため、それぞれの都市の交通事情が大きく影響するためであると考えられる。

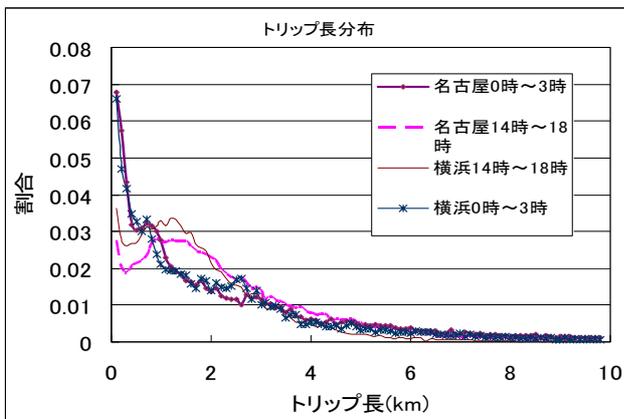


図 6: トリップ長分布の比較

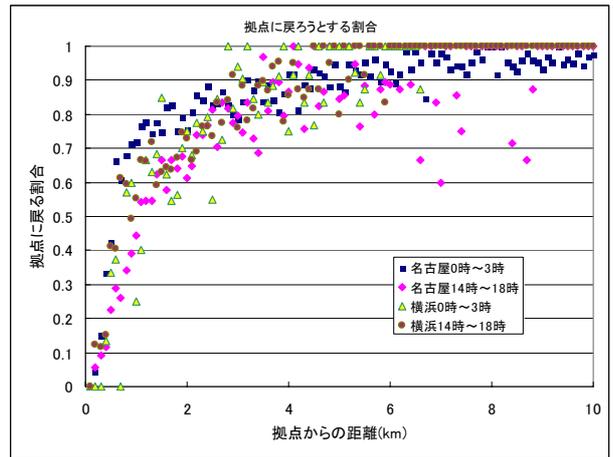


図7拠点に戻ろうとする割合の比較

表 1: トリップ数原単位の比較

	0時～3時	14時～18時
名古屋	4.53	7.61
横浜	5.64	10.07
横浜／名古屋	1.25	1.32

表 2: 1 ラウンドトリップを構成するトリップ数の比較

	0時～3時	14時～18時
名古屋	2.54	3.77
横浜	2.53	3.11

(3) 考察

モデル中の 4 つの変数のうち、トリップ数原単位と拠点に戻ろうとする確率に関しては、推計が容易であると考えられるが、1 ラウンドトリップを構成するトリップ数ならびにトリップ長分布に関しては、14 時～18 時の時間帯で相違が見られるため、それによる影響がどの程度なのか、両者の中間値など特定の値を用いることでリンク利用頻度の正確な推計が可能であるかなど今後検証していく必要がある。

5. おわりに

本稿では、マクロ的なタクシーの行動をより詳しく追うことで、タクシーがそれぞれのリンクを通過する頻度をより正確に推計できること、ならびに、様々な都市において同じ方法で推計するために問題となる部分を明らかにしたことで、プローブタクシーを計画的に配備することの有用性を示した。

参考文献

1) 堀口良太：「第1回ITSシンポジウム2002・論文集」 pp. 677 -683, 2002