

# ブートストラップ法を用いたOD交通量と リンク交通量の区間推定

河岡 英明<sup>1</sup>・円山 琢也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 熊本大学 大学院自然科学研究科 (〒860-8555熊本市中央区黒髪2-39-1)  
E-mail: 140d8811@st.kumamoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 熊本大学准教授 政策創造研究教育センター (〒860-8555熊本市中央区黒髪2-39-1)  
E-mail: takumaru@kumamoto-u.ac.jp

本研究は、ブートストラップ法を利用したOD交通量とリンク交通量の区間推定法を示し、その適用計算例を示すことを目的としている。OD交通量の変動要因は多様であるが、交通調査がサンプル調査であることによる標本誤差に対象を絞る。熊本都市圏PT調査を利用した適用計算から、OD交通量やリンク交通量の変動パターンや区間推定を例示し、変動の差の要因等を考察する。

**Key Words:** *bootstrap, interval estimation, traffic assignment, origin-destination matrix*

## 1. はじめに

都市圏レベルの交通実態を把握するために、我が国では、道路交通センサス、パーソントリップ調査(以下、PT調査)を代表とする大規模な交通調査がなされてきた。これらの調査では、OD表の精度を担保することを目標として、諸外国よりも高いサンプル率が設定されている場合が多い。しかし、調査は一般に5~10年間隔で実施され、調査が実施される年の秋の平日の1データのみが収集されるため、OD交通量のデータは点推定値のみが提供される。本来、OD交通量は、日変動、季節変動などの影響で幅をもった区間推定量と考えるのが自然であるが、これらの検討を行うことはできない。OD交通量の変動で、交通需要予測の出力値であるリンク交通量や、政策評価指標の費用便益比なども、本来区間推定をされるべきであるが、それらの検討は不十分といえる。

以上の背景を踏まえ、本研究は、ブートストラップ法を利用したOD交通量とリンク交通量の区間推定法を示し、その適用計算例を示すことを目的としている。

OD交通量の変動要因は多様であるが、本研究では、交通調査がサンプル調査であることによる標本誤差に対象を絞る。一般に交通調査の誤差の要因は、この他にも記入漏れなどの回答誤差、調査未回答者による誤差、データ整理時の誤差があるが、それらは対象外である。

標本誤差による影響を精査することは、大規模交通調査の適切なサンプル率の設定にも有効な知見を提供しう

る。調査費用削減のため、サンプル率を低下させた場合、OD表の精度は低下することが予想される。しかし、最終的に政策評価に必要な指標は、リンク交通量や費用便益比などの集計値であり、OD表の精度が低下しても、これらの精度は低下しない可能性もある。この視点は、実務上重要であるが、筆者らの知る限り検討は不十分である。

特に、今後の交通調査の方向性として、サンプル率を低下させて、個々のサンプルの質を高めることが提唱されているが、その影響の検討にもつながる。また、スマートフォン型交通調査や、passive型のデータ取得で、既存の交通調査を代替することも検討されているが、これらのデータはサンプルの偏りがありうる。本研究の手法を工夫することで、その偏りの影響も今後分析可能と考える。

具体的に、本研究では、2012年熊本都市圏パーソントリップ(熊本PT)調査のデータを利用する。熊本PT調査は、郵送配布・郵送回収(Web併用型)の調査方式ながら回収率(返送率)38.9%、有効回収率35.1%、サンプル率9.8%の豊富なデータが取得されている特徴がある。100万都市圏でおよそ10万人分の移動データがあることになる。

本研究では、この約10万人分のデータから1万人分のデータをランダムに再抽出することを100回繰り返し、100組のOD表を作成する。その100組のOD表を交通配分して、リンク交通量も100組生成する。この100組のOD表、リンク交通量のバラツキから信頼区間を推定するというのが

基本的な考え方である。サンプル率を約10%から1%に変更した場合に、どのような結果の変化が生じるのか等が検討できる。なお、1万人の抽出数や100回の繰り返し回数などは当然変更しうる。

## 2. ブートストラップ法

ブートストラップは、データ解析の確からしさを評価するための統計手法のひとつであり、Efron (1979) によって提唱された。小標本下では、実用に耐えられる精度で誤差を見積もることはほぼ不可能であると考えられてきた。しかし、このブートストラップ法を利用すると、小さな標本から得られた母数の推定値の誤差を推定することが可能になり、その精度を調べることができる。誤差推定、信頼区間の構成、仮説検定などに用いられ、従来の複雑な数式に基づく理論を、莫大な数値計算による単純なシミュレーションで置き換える方法である。このブートストラップ法を利用すると、観測変数が正規分布しないような場合にも、標準誤差や信頼区間の評価が可能となる。そのため、データ解析の前提となる仮定を緩和し、理論的な解析が困難な問題で広く応用されている<sup>2),3)</sup>。

### (1) ノンパラメトリック・ブートストラップ法

ブートストラップ法とは、 $k$ 個の小標本  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$  から、繰り返しを許しランダムに  $k$ 個の標本  $(X_1, X_2, \dots, X_k)$  を選び、平均や分散など母数の推定値を繰り返し求め、その分布から母数の確率分布や誤差を推定する方法である。ブートストラップ法には、確率分布を仮定せずにデータの経験分布に基づいて推論を行う、ノンパラメトリック・ブートストラップ法とデータの確率モデルを仮定し、それを利用するパラメトリック・ブートストラップ法がある。一般的にブートストラップ法といった場合、伝統的なノンパラメトリック・ブートストラップ法を指し、本研究でもこちらを用いる。

### (2) ブートストラップ信頼区間

ブートストラップ法を利用して計算された信頼区間のことをブートストラップ信頼区間と呼ぶ。で、推定量の偏りとその分布のゆがみを同時に補正したBCa法や、 $t$ 検定統計量の分布を利用したブートストラップ $t$ 法があるが、本研究では、ブートストラップ信頼区間の中で、パーセンタイル法と呼ばれる簡易的な手法で、ブートストラップ信頼区間を求める。パーセンタイル法では、無作為標本 $y_1, \dots, y_n$ から、復元抽出により互いに独立なブートストラップ標本 $Y_1^*, \dots, Y_n^*$ を抽出し、ブートストラップ推定量 $\hat{\theta}^* = \hat{\theta}(Y_1^*, \dots, Y_n^*)$ の値を計算する。

これを $B$ 回繰り返し $\hat{\theta}_1^*, \dots, \hat{\theta}_B^*$ を求め、小さい順に並び替える。 $0 < p < 1$  に対して  $pB$  番目に小さい数値を $\hat{\theta}_{(p)}^*$ と表し、 $pB$  が整数値でなければ、となりあう値を線形補間する。 $p = \alpha/2$  および $p = 1 - \alpha/2$  とおくと、 $100(1 - \alpha)\%$  両側信頼区間を次式で与える<sup>2)</sup>。

$$[\hat{\theta}_{(\alpha/2)}^*, \hat{\theta}_{(1-\alpha/2)}^*] \quad (1)$$

とくに  $\theta$  の 95%信頼区間は(2)で表される。

$$[\hat{\theta}_{(0.025)}^*, \hat{\theta}_{(0.975)}^*] \quad (2)$$

## 3. 方法の概要

本研究は、2012年熊本PT調査を利用して適用計算を行った。適用計算の流れを示しながら、提案手法の手順を示す。

### (1) 利用データ

熊本PT調査のマスターデータを利用する。対象地域は熊本都市圏（熊本市を中心とした5市6町1村）で、総人口（行政区域人口）は104万人である。熊本都市圏を50個の分け Bゾーンごとの性・年齢別人口のデータも用いた。本研究では、都市圏内外移動を除き熊本都市圏内々の移動のみに対象を限定した。

### (2) 標本抽出

熊本PT調査のマスターデータから熊本圏内を移動するトリップを持つ個人データ73,266個を用いた。その中から10,000個の重複を許す無作為標本抽出を行う。抽出率は13.6%である。

### (3) データの拡大

無作為抽出した個人データを、性別・年齢(5歳単位)・居住地 (Bゾーン)のデータを基本として、拡大した。

### (4) OD表の作成

拡大データを集計しOD表とする。(2)から(3)を100回繰り返し、熊本都市圏全体のOD表の分布を作成する。

### (5) OD表の区間推定方法

表-1 2012年熊本市人口推移 (人)

	総人口	男性	女性
中央区	196,521	89,944	106,577
東区	190,482	90,442	100,040
西区	93,620	43,709	49,911
南区	125,458	59,419	66,039
北区	147,595	70,433	77,162

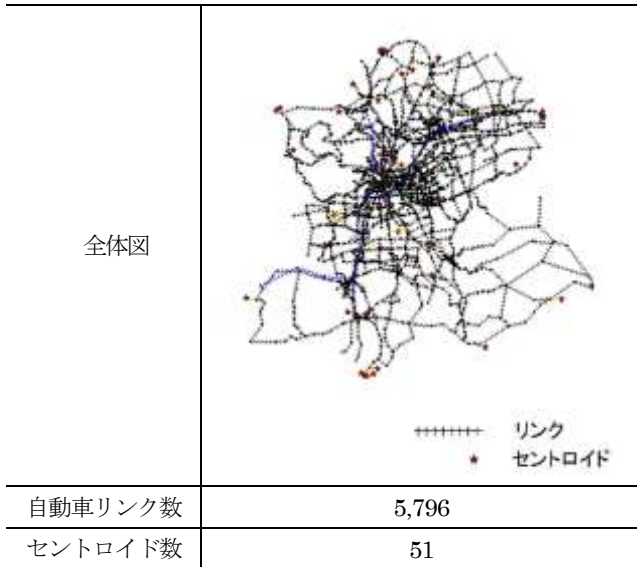


図-1 熊本都市圏の自動車リンク分布

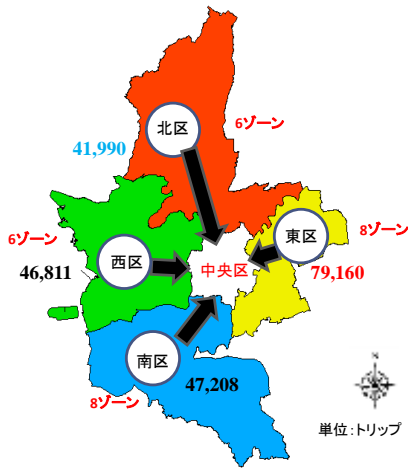


図-2 各区の中央区へ向かうトリップ数

OD表を作成してから、熊本都市圏内で最も移動量の多い熊本市内のOD表の区間推定を行う。区間推定の方法として、ブートストラップ分布から直接信頼区間を得るパーセンタイル法を用いる。

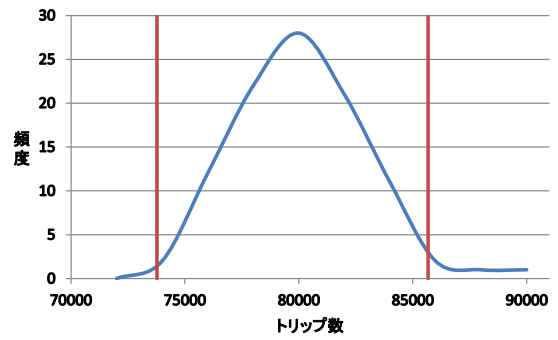
(6) 配分交通量

ブートストラップ法によって求めたOD交通量を利用者均衡配分でリンク交通量に配分する。ネットワークとしては、富士、円山<sup>4)</sup>らが用いた、2012年時点の熊本都市圏の主要幹線道路を表したデータを利用する。用いる道路ネットワークデータの概要を図-1示す。

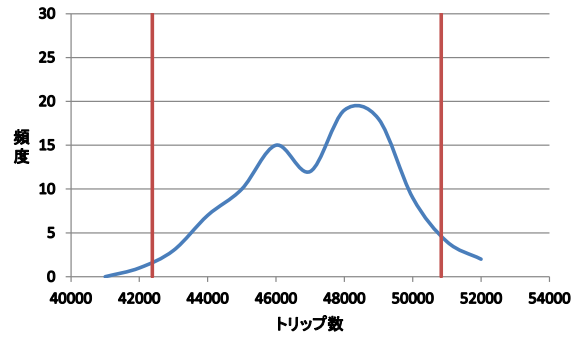
4. 結果と考察

(1) 人口と総トリップ数

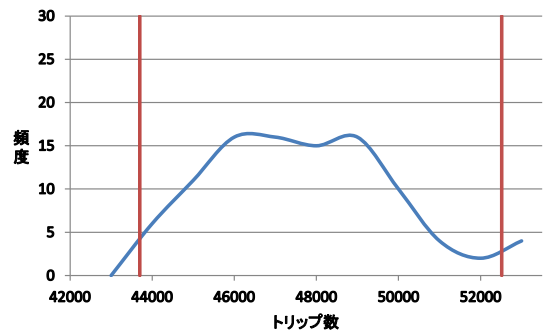
熊本市内の東区、西区、南区、北区の各ゾーンを出発地とし、中央区を到着地とするOD交通量の分布を求め



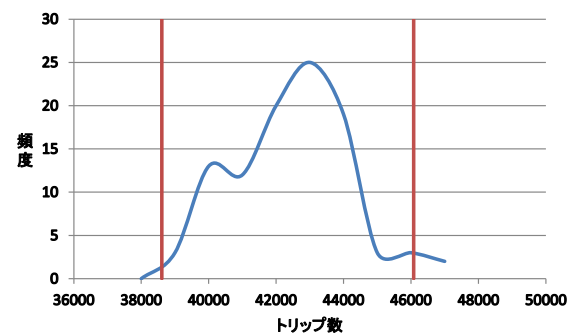
(a) 東区→中央区



(b) 西区→中央区



(c) 南区→中央区



(d) 北区→中央区

図-3 中央区への区別のトリップ平均値の分布

た。各区の総人口を表-1に示す。また、各区から中央区に移動するトリップ数の合計値の平均値を図-2に示す。図-1から中央区に向かうトリップで一番多いのは東区であることが分かり、北区が少ないことが分かった。東区から中央区への通勤トリップが多いためである。

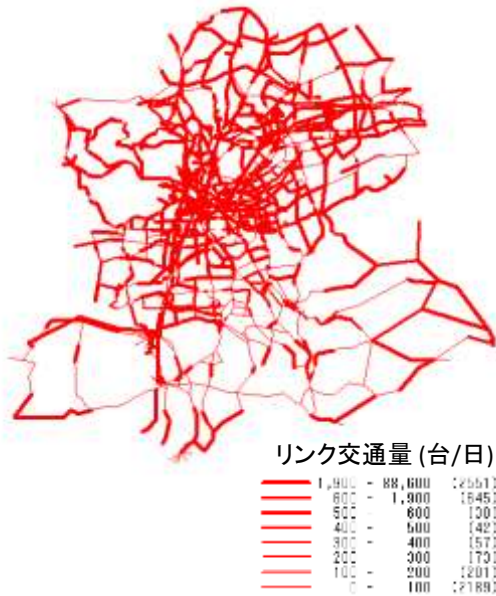


図-4 リンク交通量の平均値

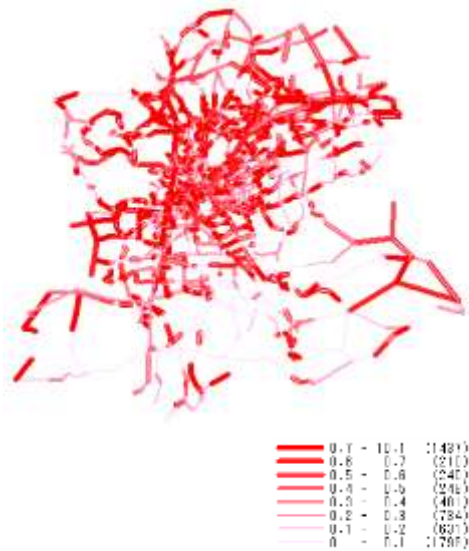


図-5 リンク交通量の変動係数

(2) OD表の区間推定

ブートストラップ法によって得られた 100 個の OD 表からトリップ数についてヒストグラムを作成し、パーセントイル法で 95%信頼区間(図中の赤線)を求めたものを図-2(a)から(d)に示す。東区、北区ではトリップ数にバラつきが少ないことが分かり、西区、南区ではトリップ数にバラつきがあることが分かった。各区のトリップの分布には、個人属性が大きく関わっていると考えられる。ここで、東区と北区のヒストグラムは凸型で、西区と南区のヒストグラムは一部凹型をしている。

(3) 配分交通量

OD 交通量を熊本都市圏の主要幹線道路を表したり

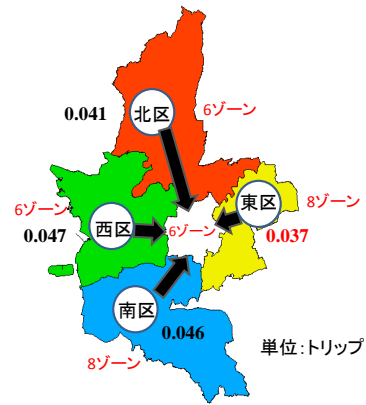


図-6 各区の中央区へ向かうリンク交通量の変動係数

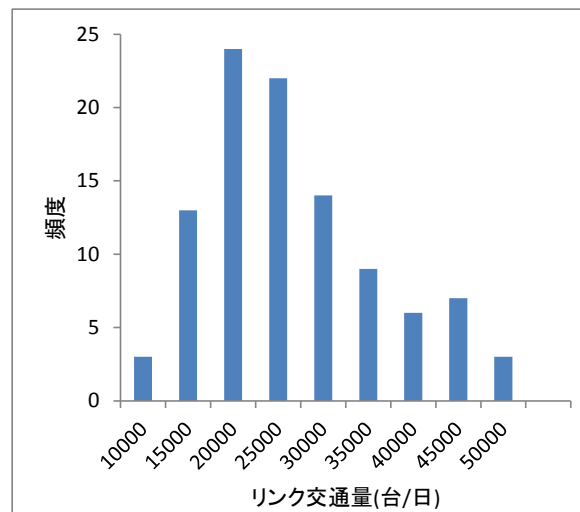


図-7 リンク交通量の分布 (熊本市役所前)

リンクに配分した。OD リンク交通量の平均値と変動係数をそれぞれ図4, 5 に示す。図-5 から交通量の分布は基本的に都市圏中心をとる主要環状道路に、交通量が集中していることが分かる。図-5 では、都市圏中心をとる主要環状道路と、中央区と東区の間で変動係数が大きいことが分かる。OD リンク交通量の平均値が高いと変動係数も大きくなることが分かる。図-4 に各区から中央区に向かうリンク交通量の変動係数を示す。図-3, 図-6 から変動係数が小さい東区の 95%信頼区間の値域が小さくなることがわかる。変動係数が、小さいということは、ゾーン間の移動の際に、交通行動の変動が少ない、つまり日常的に行われるトリップの割合が多いと言える。東区は、中央区に次いで人口が多く通勤・通学の変動の少ない行動が多いため、凸型に分布する形になったと考えられる。

図-5 に示したリンク交通量の分布の例として、熊本市前の分布を図-7 に示す。この交通ネットワークの変



動係数は 0.1 であった。

回答者による誤差を考慮した区間推定も可能と考えられる。

## 5. まとめ

本研究は、ブートストラップ法を利用した OD 交通量とリンク交通量の区間推定法を示し、その適用計算例を示した。ブートストラップ法を用いて、区間推定を行うことが出来たが、標本が持つデータの属性や性質の影響を受けるので、より精度の高い分析を行うためには、標本自体が偏りのないものである必要がある。

リンク交通量においては、熊本都市圏の道路ネットワークに配分することで、交通量の変動係数を表すことができた。本研究の結果を利用して、政策評価指標の利用者便益の区間推定を今後実施したい。また、調査参加選択モデルを組むことによって<sup>4)</sup>、調査未

## 参考文献

- 1) 下平英寿：「21 世紀の統計科学 3 数理・計算の統計科学」, 統計計算の展開と統計科学 第 III 部, pp.193-199, 2011.
- 2) Efron, B. and Tibshirani, R. (1993) An Introduction to the Bootstrap pp.10-16, 1993.
- 3) 富士祥輝, 円山琢也: トリップ・チェイン型利用者均衡配分の簡易な長期予測手法の提案と検証
- 4) 円山琢也, 平原雄太郎: スマホ調査を実施した PT 調査における調査参加選択行動モデルの構築, 第 49 回土木計画学研究発表会, 2014.

(2015. 7. 31 受付)

## BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVALS OF OD AND LINK FLOW

Hideaki KAWAOKA, Takuya MARUYAMAMA

This study demonstrates a bootstrap interval estimation of both OD flow and link traffic flows using the method and its application. Although the causes of OD flow fluctuation are various, we focus the sampling error due by traffic survey. We made a trial case study using Kumamoto Metropolitan Area person trip survey. We demonstrate an example of interval estimation of OD and link flows and discuss its implications.