

# ブートストラップ法を用いたOD交通量・リンク交通量と利用者便益の確率分布形の推定

円山 琢也<sup>1</sup>・河岡 英明<sup>2</sup>

<sup>1</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

<sup>2</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

本研究は、ブートストラップ法によりOD交通量・リンク交通量や政策評価指標の信頼区間と確率分布形を推定する方法を提示する。2012年熊本PT調査データを利用した試算を行い、次の知見を得た。1) OD交通量の確率分布形について、全目的では正規分布に従うが、買い物目的では正規分布とは限らない。2) リンク交通量の確率分布は、交通量が少ないリンクや、交通容量に近いリンクでは、分布形に歪みが生じ、正規分布とは異なる形状になる。3) 新たな環状道路による利用者便益は裾が右に長い分布となる。

**Key Words** : bootstrap confidence interval, traffic assignment, OD flow

## 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。また調査は一般に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。同様に、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、費用便益比などの政策評価指標も、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。さらに、OD交通量とリンク交通量の分布がどのような確率分布形に従うのかについて検証する。また、走行時間短縮便益の区間推定を行った試算例も示す。

ブートストラップ法とは、統計的推測法の一つでありEfron<sup>1)</sup>によって提唱され、誤差推定、信頼区間の推定などに利用される。既存の複雑な理論や数式に基づく解析

を、計算機による大量の反復計算で実施している<sup>2)3)</sup>。観測したデータからのリサンプリング(標本再抽出)により擬似データセットを生成することで、推定量の誤差推定や分布の推定を行う。

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。ブートストラップ法は、様々な分野で応用されているが交通調査の誤差の評価への適用事例は限られており、その応用可能性を検討することは重要である。

OD交通量の変動要因は多様であるが、サンプル調査である交通調査から得られる情報を、ブートストラップ法では最大限活用することになる。最近、Benitez *et al.*<sup>4)5)</sup>は、貨物のOD交通量の信頼区間の推定にブートストラップ法を適用しているが、適用事例の積み重ねが求められる。また、本研究の新規性として、OD交通量だけでなく、交通量配分の結果であるリンク交通量の信頼区間などもブートストラップ法で推定していることがある。

また、OD交通量やリンク交通量などの変動は道路交通の信頼性評価で考慮すべき重要な要因である。この変動の特性やモデル化の研究事例は、中山、朝倉<sup>6)</sup>が詳細に整理している。本研究の方法論をリンク交通量の変動を算出するための方法と解釈すると、中山、朝倉<sup>6)</sup>の6.6節に整理されているシミュレーションモデルによる方法に分類される。これらの代表的な研究事例に朝倉<sup>7)</sup>、

若林ら<sup>9)</sup>が挙げられる。これらは、OD交通量に正規乱数をあてたシミュレーション計算を繰り返してリンク交通量の変動を計算するもので、本研究の方法と一部類似している。これらの研究ではOD表の分布について、正規乱数の分散、共分散を外生的に与えているのに対して、本研究の方法論は、ブートストラップ法によりOD交通量の分布をデータに基いて内生的に決定している点の特徴となる。OD交通量の分布は、ノンパラメトリックに決定されるので、分布形状は、後述するように正規分布に近いが、必ずしも正規分布に限定されず、独立な分布とも限らない。本研究は、ブートストラップ法を利用することで、PT調査や道路交通センサスなどの容易に入手可能データのみで、有効な変動分析がどの程度可能かを検証する意図もある。

また、OD交通量の変動の研究例として田中ら<sup>9)</sup>は、首都高速道路のランプ間ODの日変動について、OD交通量の分散は、その平均の16倍という関係があることなどを示している。これらの結果と本研究の結果を比較することは意義があろう。

本研究は、2012年熊本都市圏パーソントリップ調査(熊本PT調査)のデータを利用する。熊本PT調査では、多様な回収率向上の取り組み策の結果、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<sup>10,11)</sup>。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。これらの豊富な情報量を活かした分析例とも位置づけられる。

## 2. ブートストラップ法による信頼区間と分布形の推定の方法

### (1) ブートストラップ法概説

一般に、ブートストラップ法は、 $N$ 個の元の標本から、繰り返しを許しランダムに同じく $N$ 個の標本を選び、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。ブートストラップ法には、確率分布を仮定せずに、得られたデータの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正規分布など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<sup>3)</sup>。ブートストラップ法を利用して推定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び、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。本研究では、パーセントイル法と呼ばれる簡易的な手法で信頼区間を求める。

パーセントイル方法の概略を簡単な $k$ 個の標本の例で説明しよう。厳密な手順は、文献<sup>3)</sup>を参考にされたい。

今、 $N$ 個の標本から無作為に $N$ 個を選び、その平均値(ブートストラップ標本平均)を計算する。抽出のたびに、この平均値は異なる。この抽出を5,000回繰り返し、ブートストラップ標本平均を5,000個求める、それを昇順に並び替える。95%信頼区間は、このデータの125(=5000×0.025)番目から4,875(=5000×0.975)番目として求まる。

さらに、この5000個のデータのヒストグラムから分布形も求めることができる。なお、本研究は後述する理由で5000回の反復回数で実施しているので、本論文では、理解しやすくするため5000回という記述で統一する。もちろん、この反復回数をより増加させると、計算時間を要する代わりに、推定の精度が向上することになる。

### (2) OD交通量・リンク交通量の分布の推定への応用

#### a) 方法

上述のブートストラップ法による信頼区間、分布形の推定法をOD交通量、リンク交通量へ応用する方法を以下に示す。

手順の概略は、まず、PT調査の対象者からリサンプリングをして、擬似的なマスターデータを5000個作成する。この擬似マスターデータを拡大してOD表を作成することを5000回繰り返す。この5000個のOD表を配分して、リンク交通量も5000セット作成する。これら5000個のOD表、リンク交通量のデータからパーセントイル法で信頼区間を求め、分布の形状をヒストグラムで可視化し、分布形の検定などを実施する。

より具体的なアルゴリズムを一般的に書くと以下のようになる。

Step 1:  $N$ 人分のデータが含まれる原本マスターデータから、重複を許し $N$ 人分の個人データを再抽出し、擬似マスターデータを作成する。

Step 2: 擬似マスターデータを居住地・性・年齢別に集計し、拡大係数を与える。

Step 3: 擬似的マスターデータの拡大係数を集計してOD表を作成する。

Step 4: 代表交通手段が自動車のOD表を利用者均衡配分して、リンク交通量を求める。

Step 5: Step 1~Step 4を $D$ 回繰り返し、 $D$ 個のOD表、リンク交通量を求め、パーセントイル法で信頼区間を求め、ヒストグラムから分布形の形状などを確認する。

上述しているように今回は $D=5000$ となる。PTデータには、トリップ目的・職業などの属性も含まれるため、Step 3では、属性別、目的別のOD表も作成可能である。

## b) 熊本PT調査データによる適用

熊本PT調査の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、総人口は約104万人である。Step2で拡大係数を5000セット設定することになるが、この拡大には、50個のBゾーンごとの性・年齢別(5歳階級別)居住人口のデータを用いた。なお、熊本PT調査のゾーニングには、Bゾーンよりも細かい213個のCゾーンも準備されている。反復計算時間を削減するために、本研究ではBゾーンを利用する。今回の事例では、都市圏内で移動が完結している個人を対象を限定し $N=73,266$ 人となった。

Step4の利用者均衡配分は、日単位の配分を利用し、富士、円山<sup>12</sup>が用いた道路ネットワーク・データを、Bゾーンに合わせて再設定したものを利用する。そして、新設中の熊本西環状道路による利用者便益を求める。この場合、Step4を環状道路有無別の2シナリオで計算し、その差から求める便益を5000セット求めることになる。

ブートストラップ法の繰り返し回数 $D$ を大幅に増加させると利用者均衡配分の計算時間が膨大になる。5000回の繰り返し計算で比較的安定的なOD表の分布が求まることが確認されたため、本研究では $D=5000$ としている。

## (3) 分布形の検討手法

本研究では、データの分布のばらつきをみる指標として、変動係数(=標準偏差/平均)を利用する。また、既存研究との比較のため分散/平均の指標も利用する。さらに、稲田ら<sup>13</sup>を参考に歪度と尖度を算出し、分布形の検討を行う。

### a) 歪度と尖度

歪度は、対象とする分布の歪み具合を示す指標であり、値が正であれば分布形状は左側に歪み、右側の裾が厚くなる。歪度が負の値をとれば分布形状は右側に歪み、0からその値が離れるほど左右非対称な分布であると判断できる<sup>13</sup>。また尖度は、分布の尖り具合を示す指標であり、尖度が大きければ鋭いピークと長く太い裾を持った分布である。正規分布では、左右対称であるため、歪度の値は0、尖度も同様に0である。

### b) 正規分布に対する適合検定

本研究では、推定されたOD交通量などの分布が正規分布に従うのか判断するため、Kolmogorov-Smirnov検定(以下K-S検定)を利用する。分布の適合検定にはいくつかのものがあるが、K-S検定は $\chi^2$ 検定に比べて、データを各区分に分ける必要がない、分布の裾のデータが少ない場合の影響を受けにくい、など利点を持つ<sup>13</sup>。本研究では、K-S検定の帰無仮説は「変数は正規分布に従う」、対立仮説は「変数は正規分布に従わない」としている。また、有意確率 $p < 0.05$ の場合に有意水準5%で帰無仮説を棄却し、変数が正規分布に従わないことを示す。

## 3. OD交通量の信頼区間と分布の推定結果

ここではブートストラップ法を用いたOD交通量の区間推定とK-S検定における分布の正規性の検討結果を示す。

### (1) Bゾーン間OD交通量の分布

まず、図-1に、Bゾーン単位のOD交通量と変動係数の関係を示す。図-1から、変動係数はOD交通量が多いと減少する関係が明確に示されている。これは、田中ら<sup>9</sup>による首都高ランプ間ODの日変動における関係にも類似しており興味深い。さらに、田中ら<sup>9</sup>は、ランプ間ODの日変動について、分散/平均=16という回帰式も示しているため、その比較のため図-2には、分散/平均の分布図を示す。この図から、OD交通量が小さい場合は分散/平均のバラつきは大きい、分散/平均の値はおおむね10-16程度になっており、田中ら<sup>9</sup>の日変動の値と類似していることが確認できる。

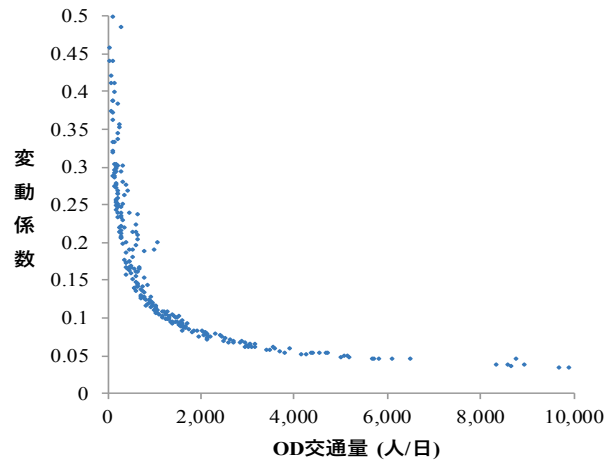


図-1 Bゾーン間OD交通量の変動係数と平均値の関係

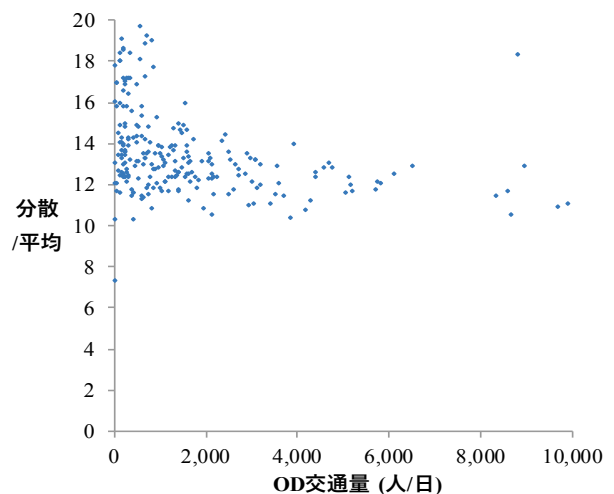


図-2 Bゾーン間OD交通量の分散/平均と平均値の関係

表-1 全目的OD交通量の統計諸量 (到着地：熊本市中央区)

出発地	東区	西区	南区	北区
平均(人/日)	79,702	48,944	49,498	42,843
変動係数	0.011	0.015	0.015	0.016
歪度	0.04	0.00	0.01	0.00
尖度	-0.02	0.02	0.05	0.09
分散/平均	9.64	11.01	11.14	10.97
正規性の K-S 検定の有意確率 $p$	0.230	0.981	0.952	0.884

(2) 全目的OD交通量の信頼区間と分布形の推定

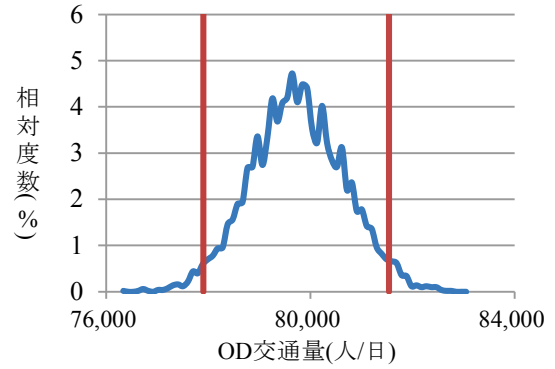
Bゾーン単位のOD交通量は膨大であるため、それを空間的に集計したOD交通量について、分布例を示していく。熊本市は、中央区と東西南北の4区の合計5区から構成される。以下、東西南北の各区から中央区へのOD交通量について分析する。

熊本市の各区から中央区に向かうOD交通量について、分布を図-3に示し、表-1に統計諸量をまとめる。図-3の赤線がブートストラップ法によって求められた95%信頼区間になる。K-S検定の結果、どの区からのOD交通量も正規分布に従うことが確認された(表-1)。区単位OD交通量の変動係数は、Bゾーン間の値よりも小さい。これは、図-1に示されるOD交通量が大きくなると変動係数が小さくなる傾向のためと考えられる。分散/平均の値は、9.64~11.14であり、この値はBゾーン間OD交通量と大差ない。

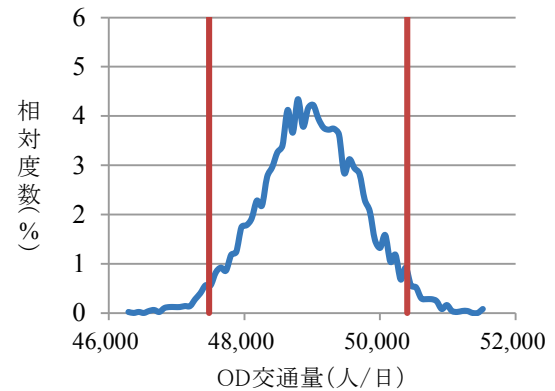
(3) 買い物目的OD交通量の信頼区間と分布形の推定

買い物目的のOD交通量の結果を図-4と表-2に示す。表-1の全目的のOD交通量の分布は、歪度と尖度はともに0に近い値であるのに対し、表-2では、歪度は負の値に変わり、尖度は正の値に変わった。図-4からも分布形状が右側に偏っていることがわかる。K-S検定の結果、買い物目的のOD交通量は正規分布には、従わないと判断された(表-2)。これは、買い物を目的とした移動は、何をかうかによって目的地や移動手段が変わるなど、個人による変動が大きいため、裾が長い分布形状となったためと考えられる。

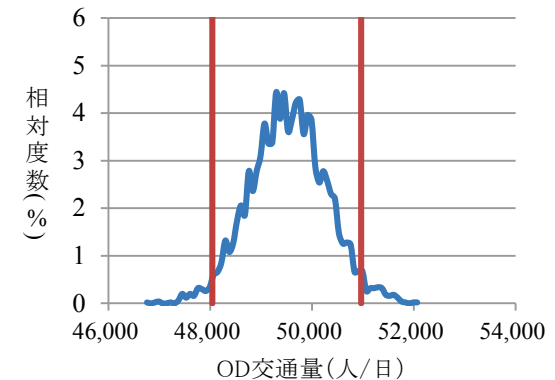
紙面の都合で割愛するが、自動車利用ODは正規分布に従う傾向にあることを確認している。なお、本研究で得られた5000個のOD表から、OD交通量の共分散を推定することもできる。本論文の対象外であるが、属性別・手段別・時間帯別のOD交通量について、ブートストラップ法によって算出される分布について、共分散も含めた詳細な検討を今後検討したい。



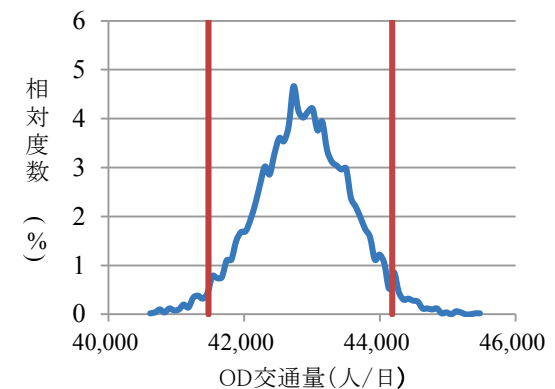
(a) 東区→中央区



(b) 西区→中央区



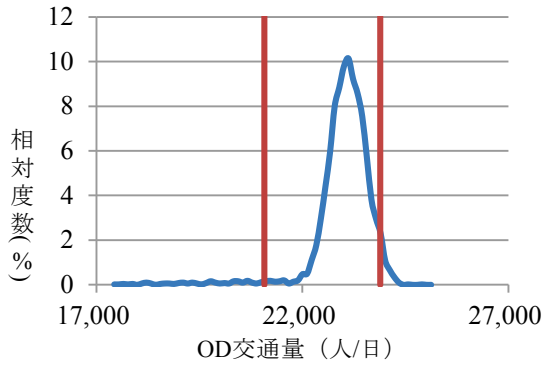
(c) 南区→中央区



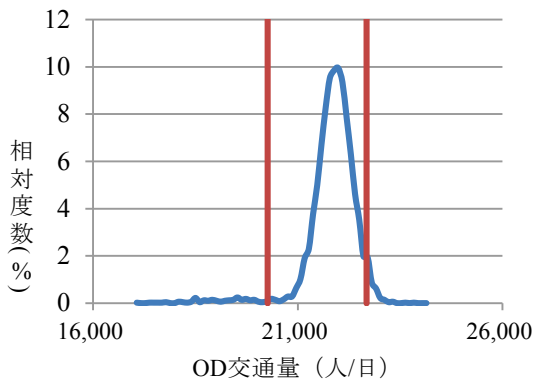
(d) 北区→中央区

図-3 全目的OD交通量の分布形と信頼区間

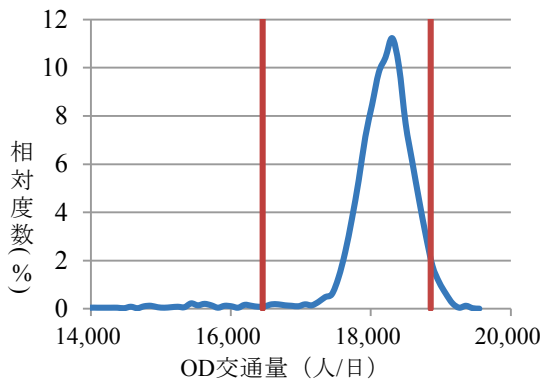




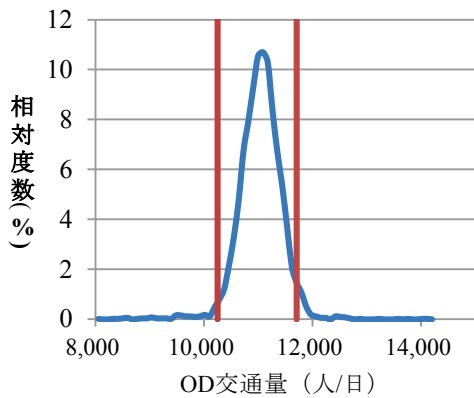
(a) 東区→中央区



(b) 西区→中央区



(c) 南区→中央区



(d) 北区→中央区

図-4 買い物目的 OD 交通量の分布形と信頼区間

表-2 買い物目的 OD 交通量の統計諸量(到着地:熊本市中央区)

出発地	東区	西区	南区	北区
平均 (人/日)	22,959	21,802	18,104	10,993
変動係数	0.031	0.028	0.033	0.037
歪度	-3.15	-2.50	-3.41	-0.43
尖度	16.33	11.85	18.43	7.70
分散/平均	22.06	17.09	19.72	15.05
正規性の K-S 検定の有意確率 $p$	2.20E-16	2.20E-16	2.20E-16	1.30E-10

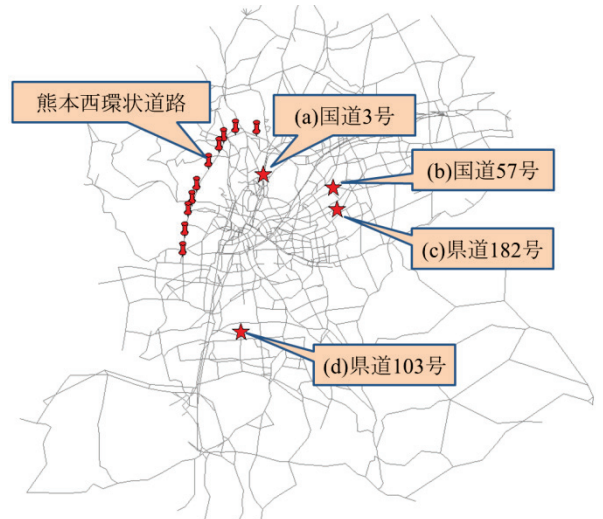


図-5 リンク交通量の信頼区間と分布の例示箇所

#### 4. リンク交通量と利用者便益の信頼区間と分布形の推定

リンク交通量の分布の結果を検討する。また、熊本西環状道路の新規整備による走行時間短縮便益の区間推定なども行う。なお、本研究では、提案した方法論の計算可能性、適用性を確認することが主目的であり、提示するリンク交通量、便益値などの数値そのものは試算値であることに留意されたい。ゾーニングを今回利用したBゾーンではなく、詳細なCゾーンに変更したり、貨物車の扱いを十分に検討したりすることが、数値そのものの精度を高めるためには必須である。

##### (1) リンク交通量区間推定

ブートストラップ法によって得られたOD交通量から代表交通手段が自動車のものを均衡配分し、リンク交通量の算出を行った。OD交通量と同様に5,000回計算する。用いる道路ネットワークの概要を図-5に示す。

リンク交通量の区間推定の結果の例示地点として、図-5の赤い星印の4地点を選定した。(a)北区と熊本市街地を結ぶ国道3号と、(b)中央区と東区を結ぶ環状道路である国道57号、(c)南区域南地区の県道182号と、(d)東区の県道103号である。

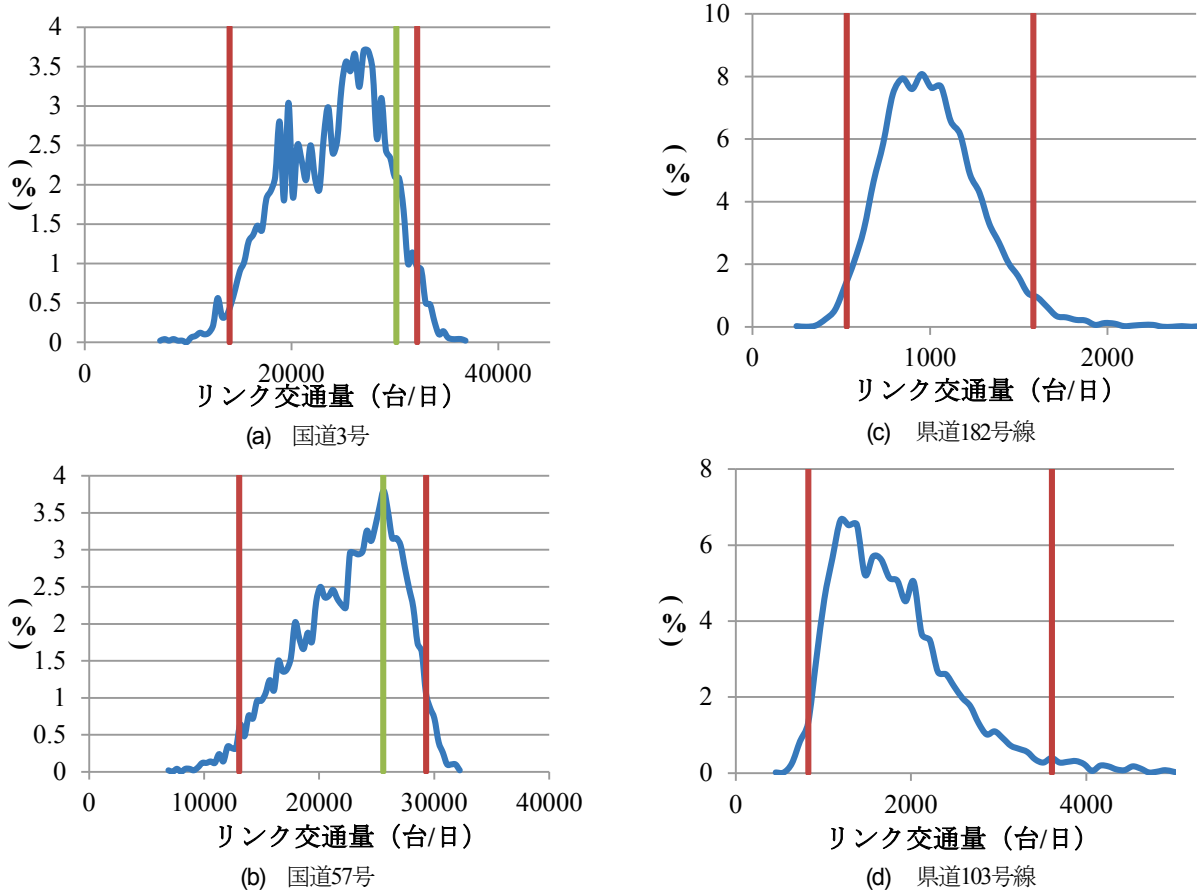


図-6 リンク交通量の分布形と信頼区間の例

表-3 リンク交通量の統計諸量

地点	(a)国道 3号	(b)国道 57号	(c)県道 182号線	(d)県道 103号線
平均(台/日)	23,738	22,406	987	1763
変動係数	0.208	0.198	0.281	0.413
歪度	-0.28	-0.50	0.90	1.50
尖度	-0.56	-0.38	3.72	3.90
交通容量 (台/日)	30,135	25,578	6317	30,135

これら4つの道路のリンク交通量の分布を図-6に示す。図-6の赤線は95%信頼区間であり、緑線は交通配分で利用している交通容量である。また、表-3にリンク交通量の分布の統計諸量と交通容量を示す。

図-6(a)(b)の国道2区間は、平均リンク交通量が20,000(台/日)以上で、熊本都市圏内でも交通量の多い道路である。この国道2区間では、表-3の歪度がどちらも負の値となっており、図-6(a)(b)からもこれらのリンク交通量の分布形状は右側に歪んでいることが確認できる。分布形状が右に歪んだ要因として、交通容量以上の交通量は流れにくくなることが考えられる。

県道の2区間では歪度が正の値であり(表-3)、分布形状

は左に歪んでいる(図-6(c)(d))。リンク交通量が小さいと、交通容量の影響は小さく、また交通量は負にはならないため、分布形状が左右対称もしくは左に歪む形になると考察できる。

また、図-6のリンク交通量の分布について、K-S検定を行ったところ、どのリンク交通量の分布も、正規性がみられなかった( $p < 0.01$ )。

(2) リンク交通量と変動係数・歪度の関係

ネットワークの全リンクについて、交通量と変動係数の関係を図-7に、交通量と歪度の関係を図-8に示す。図-7からリンク交通量が多くなると変動係数の値は小さくなる傾向が確認できる。図-8から、歪度は、リンク交通量が小さいと正の値が多く、リンク交通量が多くなると歪度の値は0に近づくが、負の値も増えていることがわかる。リンク交通量が多くなると歪度の負の値が増えるのは、図-6(a)(b)で例示した交通容量の影響によって交通量が流れにくくなり分布形状が右に偏るためと想定される。若林ら<sup>9)</sup>の分析でも混雑度が1に近いリンクでの分布の歪みが報告されており、これらの結果は整合的である。今後現実に熊本都市圏で観測されるリンク交通量の日変動などの分布形との比較を行いたい。

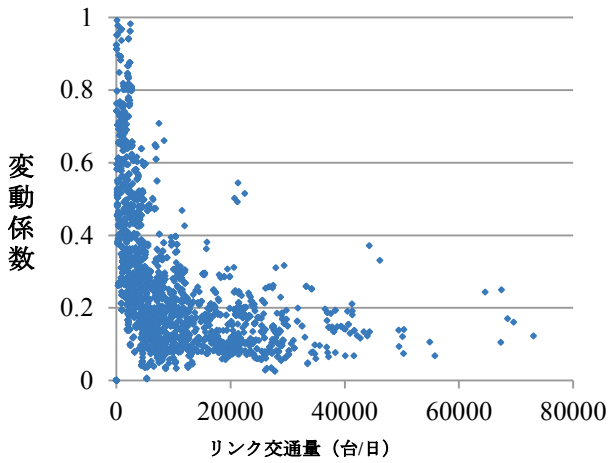


図-7 リンク交通量と変動係数の関係

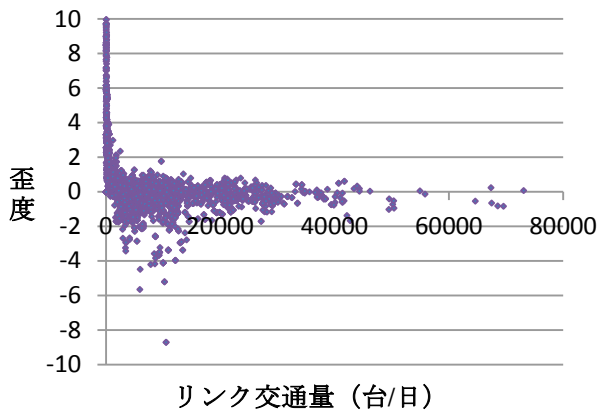


図-8 リンク交通量と歪度の関係

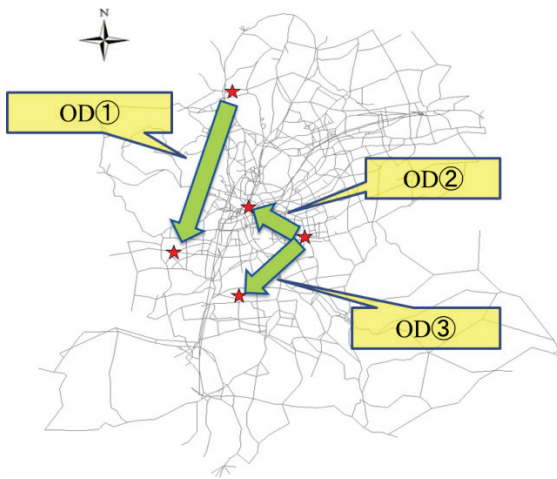
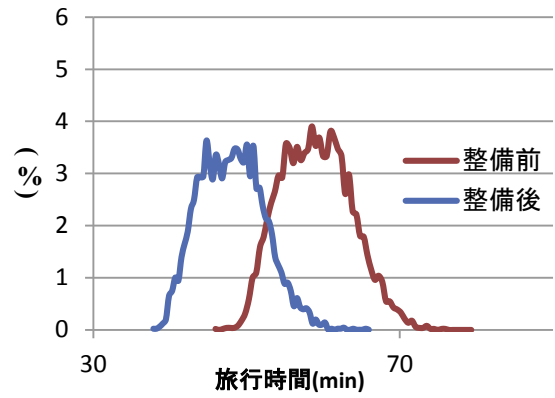


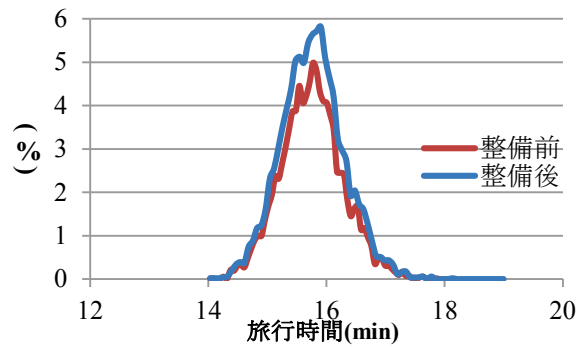
図-9 OD間の旅行時間算出箇所

(3) 環状道路による走行時間短縮便益の分布の試算

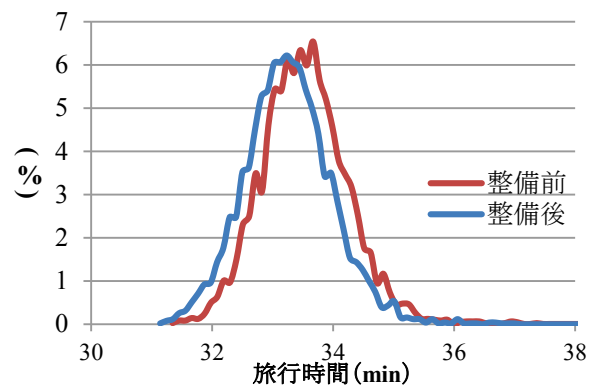
熊本西環状道路(図-5)の整備による走行時間短縮便益の算出とその区間推定を行う。これまで求めた5,000個のOD交通量を整備前後の道路ネットワークにそれぞれを配分し、交通量やOD旅行時間を算出する。



(a) OD①の旅行時間



(b) OD②の旅行時間



(c) OD③の旅行時間

図-10 西環状道路整備前後のOD旅行時間

表-4 OD旅行時間の統計諸量: 整備前

OD	OD①	OD②	OD③
平均旅行時間(min)	20.136	15.729	33.476
変動係数	0.087	0.034	0.021
歪度	1.35	0.19	0.51
尖度	3.11	0.25	1.66

表-5 OD旅行時間の統計諸量: 整備後

OD	OD①	OD②	OD③
平均旅行時間(min)	19.945	15.732	33.207
変動係数	0.087	0.034	0.022
歪度	1.36	0.33	0.45
尖度	3.29	1.02	1.51

### a) OD旅行時間

西環状道路の整備によるOD間旅行時間の分布の変化を例示する。図-9にOD間の旅行時間を求めたODペアを示す。西環状道路付近を通るOD①，東区から中央区に向かうOD②，東区から南区に向かうOD③の3箇所である。OD旅行時間の変化を図-10に示し，整備前後の旅行時間に関する各諸量を表-4と表-5に示す。これらから，平均旅行時間は，すべてのODで整備前より整備後の方が減少したが，環状道路上のOD①の減少量が当然最も大きいことが確認できる。また，どのODも変動係数はほとんど変化がない。

K-S検定を行ったところ，例示しているデータでは正規性がみられなかった( $p < 0.01$ )。自動車の旅行時間の変動分析を行った既往研究では，旅行時間の分布に関して，正規分布のような左右対称な分布よりも右の裾が厚く，左に偏った分布を用いる必要性が指摘されている<sup>9)</sup>。そこで対数正規分布への適合検定を行ったところ，整備前のOD②について，帰無仮説「対数正規分布に従う」が棄却されない( $p=0.104$ )ため，このOD旅行時間の分布は，正規分布よりも，対数正規分布が比較的適している傾向を確認した。

なお，道路交通の時間信頼性評価の文脈では，道路整備前後のOD旅行時間の分布の変化を求めることの意義は大きい。図-14は，その例示といえる。一般に入手が可能なPT調査データのみを利用した道路の時間信頼性向上の評価の一手法といえる。なお，旅行時間の平均値の短縮だけでなく，変動係数の減少も表現されることが期待されたが，図-14の例では，残念ながら変動係数の減少は表現されてはいない。

### b) 走行時間短縮便益

走行時間短縮便益の算出設定条件は費用便益分析マニュアル<sup>14)</sup>の方法に準じる。本研究では自動車のOD交通量のみで算定するので，時間価値原単位は40.1(円/分・台)を用いている。なお，ここでの走行時間短縮便益の分析は，期間を40年とし，社会的割引率を4%として算出している。西環状道路による，走行時間短縮便益の区間推定の結果を図-11に示し，その諸量を表-6に示す。また，便益の分布形状は，歪度，尖度ともに正の値に大きく，右に裾の長い，尖った形をしているといえる。走行時間短縮便益は，総旅行時間(交通量と旅行時間の積の合計値)の差分で計算される。OD交通量が大きな値となっている場合は，非線形のリンク・コスト関数の影響で，旅行時間も増加し，総旅行時間も増幅されると考えられる。これらが右に裾の長い分布となっている原因と考えられる。なお，走行時間短縮便益の分布は，K-S検定の結果，正規分布に従わないことが示された( $p < 0.01$ )。

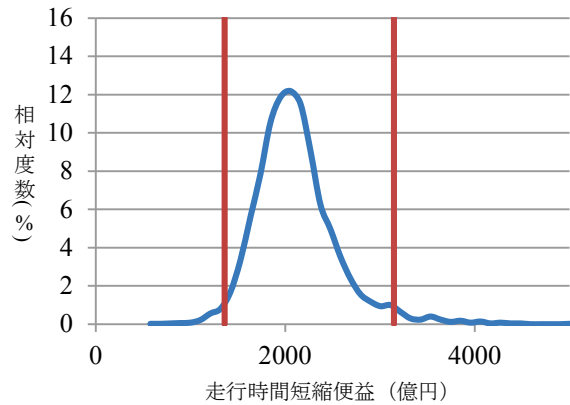


図-11 走行時間短縮便益の分布

表-6 走行時間短縮便益の諸量(試算値)

平均(億円)	2072
変動係数	0.236
歪度	2.895
尖度	23.182

## 5. 結論

本研究の成果を以下にまとめる。

- 1) ブートストラップ法を用いた，OD交通量・リンク交通量などの信頼区間や分布形の推定を行う方法論を構築した。
- 2) 2012年熊本PT調査データを利用してこの方法の適用計算を行った。OD交通量のトリップ目的別に変動係数や分布の形状を示す歪度，尖度などの統計指標を算出し，K-S検定で分布形の検定を行った。全目的でのOD交通量分布は正規分布に従うが，買い物目的のOD交通量の分布は正規分布に従わないなどの知見を得た。
- 3) OD交通量の平均値と変動係数の関係について，今回の結果は，既存の高速ランプ間ODの日変動と類似した関係があることを示した。
- 4) リンク交通量やOD所要時間の分布についてもそれぞれ各統計諸量を求めた。リンク交通量の確率分布は，交通量が少ないリンクや，交通容量に近いリンクでは，分布形に歪みが生じ，正規分布とは異なる形状になる。
- 5) 熊本西環状道路の新設による走行時間短縮便益の試算の結果，便益は裾が右に長い分布となることが分かった。

今後の展開として，ブートストラップ法によって算出されるOD交通量等の区間推定や分布形と，実際のOD交通量等の日変動などとの比較を詳細に行うことがある。近年では，ETCによるランプ間OD交通量の日変動データ<sup>15)</sup>，携帯電話基地局情報を用いたOD交通量の日変動



も入手可能になりつつあり、それらとの比較を深めたい。もし、本提案手法が実観測の変動の一部を表現できているのであれば、PT調査や、道路交通センサスの既存の交通データのみからで、道路交通の信頼性評価等に貢献する実務的にも有効な分析方法論が構築できる可能性があり、今後精査していきたい。

また、ブートストラップ法は、膨大な反復回数が必要であるが、並列計算が容易な構造であり、今後、それらの技術を用いた計算効率化も検討したい。

さらに、ブートストラップ法のリサンプリング時に、別途構築している調査参加選択行動モデル<sup>6)</sup>などを用いることによって、調査未回答者による誤差、参加者の偏りによる誤差も評価しうる方法論への展開がありうる。

また、ブートストラップのリサンプリング率を下げることで、PT調査などのサンプル率を低下させた場合の影響も仮想的な検討が可能と考える。調査費用削減のため、サンプル率を低下させた場合、標本誤差による変動が大きくなり、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。これらの検討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であろう。

**謝辞：**本研究は、JSPS科研費 26420519の助成を受けた成果の一部です。

#### 参考文献

- 1) Efron, B.: Bootstrap methods: Another look at the jackknife, *Annals of Statistics*, Vol. 7, pp. 1-26, 1979.
- 2) 汪金芳, 桜井裕仁: ブートストラップ入門, 共立出版, 2011.
- 3) 下平英寿: ブートストラップ, 21世紀の統計科学 3, 数理・計算の統計科学, 第III部統計計算の展開と統計科学, pp.193-212, 2011.
- 4) Benitez, F.G. Romero, L.M., Caceres, N. del Castillo, J.M.: Estimating of bootstrap confidence intervals for freight transport matrices, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 111, pp. 1155-1164, 2014.
- 5) Benitez, F.G. Romero, L.M., Caceres, N., del Castillo, J.M.: The bootstrapping approach for inferring confident freight transport matrices, *International Journal of Transport Economics*, Vol. 42, No. 1, pp. 29-44, 2015.
- 6) 中山晶一郎, 朝倉康夫: 道路交通の信頼性評価, 2014.
- 7) 朝倉康夫, 柏谷増男, 熊本伸夫: 交通量変動に起因する広域道路網の信頼性評価, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.235-242, 1989.
- 8) 若林拓史, 飯田恭敬, 井上陽一: シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法, 土木学会論文集, No.458/IV-18, pp.35-44, 1993.
- 9) 田中芳和, 村上康紀, 井上浩, 桑原雅夫, 赤羽弘和, 小根山裕之: 首都高速道路における OD 交通量の日変動に関する研究, 交通工学, Vol.36, No.1, pp.49-58, 2001.
- 10) 円山琢也, 宮原進, 三ヶ尻祐司, 佐藤嘉洋: 郵送型 PT 調査における動的な予備調査票の投入手法の提案, 交通工学論文集, 第1巻, 第2号, pp.B\_76-B-81, 2015.
- 11) 円山琢也: 熊本都市圏 PT 調査における調査方法改良の取り組み, 運輸と経済, Vol.75, No.11, pp.50-55, 2015.
- 12) 富士 祥輝, 円山 琢也: トリップ・チェー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, 交通工学論文集, 第2巻, 第2号, pp.A\_45-A\_51, 2016.
- 13) 稲田 裕介, 中山 晶一郎, 高山 純一: 都市高速道路の時間・日交通量の変動特性と分布形状に関する一考察, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.5, pp. I\_553-I\_561, 2011.
- 14) 国土交通省道路局都市・地域整備局, 費用便益分析マニュアル, pp1-19, 2008, [http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/bin-ekiH20\\_11.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/bin-ekiH20_11.pdf)(2016年1月閲覧)
- 15) 西内裕晶, 吉井稔雄, 桑原雅夫, Marc Miska, 割田博: ETC-OD データを用いた首都高速道路におけるランプ間 OD 交通量の変動特性分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 27, No.1, pp. 941- 950, 2010.
- 16) 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.

## BOOTSTRAP ESTIMATION OF PROBABILITY DISTRIBUTION OF OD, LINK FLOW, AND USER BENEFIT

Takuya MARUYAMAMA and Hideaki KAWAOKA

This study demonstrates a bootstrap estimation of probability distribution of OD and link flows. We made a trial case study using Kumamoto Metropolitan Area person trip survey and had several findings: 1) OD flows of whole trip purpose follow normal distribution, but shopping OD flows do not follow normal distribution. 2) Link low distribution in links with fewer traffic or saturated links are skewed and not normal distribution. 3) The user-benefit distribution of new ring road is right skewed.