

OD交通量の標本変動に対する 交通量配分の感度分析 —都市高速道路ネットワークを対象として—

中川 真治¹・円山 琢也²・石井 亜也加³・前原 耀太⁴・朝倉 康夫⁵

¹正会員 一般社団法人システム科学研究所 交通計画部 (〒604-8223 京都市中京区小結棚町428)
E-mail:nakagawa@issr-kyoto.or.jp

²正会員 熊本大学准教授 くまもと水循環・減災教育センター (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)
E-mail: takumaru@kumamoto-u.ac.jp

³正会員 阪神高速道路株式会社 計画部 調査課 (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-4)
E-mail:ayaka-ishi@hanshin-exp.co.jp

⁴正会員 阪神高速道路株式会社 計画部 調査課 (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-4)
E-mail:yota-maehara@hanshin-exp.co.jp

⁵正会員 東京工業大学環境・社会理工学院教授 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)
E-mail: asakura@plan.cv.titech.ac.jp

ブートストラップ法を用い、OD調査の標本変動に起因するOD交通量及びリンク交通量を試算し、これらの変動分析を行った。平成22年度全国道路・街路交通情勢調査データを用いて京阪神都市圏を含む広域道路網を対象とした試算を行い、次のような知見を得た。1) OD交通量の変動はリンク交通量に縮小されて伝わるが、両者とも、平均が大きい(小さい)と変動係数は小さく(大きく)なる。2) 高速道路や都市高速道路のリンク交通量は正規分布に従う場合がほとんどであるが、その他の道路では、約半分のリンクの交通量が正規分布に従うにとどまる。3) ブートストラップ・リサンプリングの回数を減らすと、リンク交通量が正規分布に従うと統計的に判断されやすくなる。

Key Words : bootstrap method, sampling variation, OD survey, traffic assignment, sensitivity analysis

1. はじめに

一般的に、母集団について何かを知りたいければ、母集団に対して全数調査を行うのが望ましい。しかし、母集団の全数調査が不可能あるいは極めて困難な場合は、所定の手続きを経て抽出された標本 (sample) を対象とする標本調査が行われる。自動車の動き (出発地・目的地など) を知るための起終点調査 (OD survey) も標本調査の一つである。

標本調査においては、標本変動 (sampling variation) が不可避である。つまり、標本調査で得られた標本から算出した統計量は確率的に変動する (=幅を持った) 推定値 (区間推定値) といえる。標本サイズが大きくなるにつれて標本統計量に従う分布 (標本分布) は正規分布に近づく (中心極限定理) ため、標本調査を何度も繰り返せば、ばらつきの小さい標本統計量が得られる (=点推

定値に近づく)。しかし、標本調査を何度も繰り返すことは非現実的であり、事実上不可能と考えられる。したがって、変動 (幅) を含めた形で標本統計量に関する情報を得るには、標本調査の繰り返しとは異なる方法論が必要と考えられる。そうした方法論として、本研究では、後述するブートストラップ法 (bootstrap method)¹⁾²⁾を用いることにした。

ところで、「全国道路・街路交通情勢調査」(道路交通センサス)の一環として、自動車起終点調査 (OD調査) が昭和33年 (1958年) からほぼ5年おきに実施されている³⁾。これらOD調査は、いずれも標本調査であり、無作為抽出により選ばれた被験者を対象とするアンケート調査として実施されている。その回答データを集計し、現況のOD交通量が点推定値として推定されている。

国によるOD調査は標本調査であるため、OD交通量の推定値は何らかの確率分布に従うと考えられるが、その

分布を観測することは现阶段では容易ではない。

また、交通需要には、日変動・曜日変動・週間変動・月変動・季節変動など、標本変動という調査テクニックに起因する変動以外の様々な変動が含まれる。これらの変動については、区間交通量や有料道路利用台数等の時系列データとして部分的に把握することは比較的容易であるが、これらの変動を含めたOD交通量全体を観測することは今の技術では簡単ではないと考えられる。

以上から、OD交通量は本来何らかの分布を持つデータといえるが、その分布形を観測し、把握することは現時点では容易ではないといえる。

本研究では、OD交通量を持つ様々な変動のうち、標本変動に着目し、ブートストラップ法に従い、コンピュータ上でそれを再現することにした。具体的には、復元抽出（ブートストラップ・リサンプリング）の繰り返しにより多数のOD表を作成し、標本変動を含むOD交通量として用いることとした。さらに、これらのOD交通量を用いて交通量配分を行い、OD交通量の標本変動に対する感度分析を行うこととした。標本変動に起因する誤差に限定されるが、交通需要予測において誤差を明示的に評価する方法としてブートストラップ法の活用は有効な着眼点の一つであると考えられる。

河岡・円山⁴⁾は、2012年秋に実施された熊本都市圏パーソントリップ調査を用い、ブートストラップ法によりOD交通量・リンク交通量や走行時間短縮便益の信頼区間を確率分布形を推定する方法を提示し、試算を行った。道路交通データの分析におけるブートストラップ法の活用例として、Benitez et al.⁵⁾による研究も挙げられる。これらの研究では、貨物車のOD交通量のブートストラップ信頼区間が推定されている。

本研究は、河岡・円山⁴⁾の研究を踏まえて、熊本都市圏より広域的な京阪神都市圏の道路ネットワークを対象として適用可能性を検証するものである。

なお、交通量配分により、OD交通量の変動に起因するリンク交通量の変動分析を行った代表的な研究として、朝倉・柏谷・熊本⁷⁾と若林・飯田・井上⁸⁾を挙げることができる。これらの研究は、OD交通量を正規確率変数と仮定し、正規乱数を発生させて作成した多数のOD表を用い、交通量配分計算を繰り返すことで、リンク交通量の変動を試算した。これらの研究では、OD交通量はパラメトリックな分布（具体的には正規分布）に従うと仮定しているが、本研究では、それらの仮定を前提としていない点異なる。

以降の構成は以下の通りとする：

- 2. では、ブートストラップ法の概要、及び、本研究における応用方法について説明する。
- 3. では、ブートストラップ法によって作成したOD交通量の変動分析について述べる。

- 4. では、3.で作成した多数のOD表を用いて計算したリンク交通量の変動分析について述べる。
- 最後の5. では、本研究で得られた成果と今後の課題について述べる。

2. ブートストラップ法を活用したOD交通量とリンク交通量の変動の推定方法

(1) ブートストラップ法とは

Rao⁹⁾によると、ブートストラップ法とは、「母集団から取られた大きさ n のサンプルから、復元抽出により大きさ n のリサンプルを繰り返し抽出し、興味のある統計量の標本分布を数値的に近似し、目的とする統計的推測を行う方法である」。また、下平¹⁰⁾は、

ブートストラップというB. Efronの命名は、pulling yourself up by own bootstraps（独力でやり遂げる）という言葉の言い回しに由来しており、たった1組の標本 x 自身から多数の標本 x^{*1}, \dots, x^{*B} を生成することを反映している。

とブートストラップ法の名の由来に言及している。

以上から、ブートストラップ法とは、1組の標本データからの復元抽出を繰り返すことにより、標本誤差に起因する変動を考慮した上で母集団についての情報を得るための方法といえる。

(2) リサンプリングによるOD交通量変動推定の流れ

本研究では、「平成22年度全国道路・街路交通情勢調査」の自動車OD調査に基づいて作成されたODマスターデータ（オーナーマスターデータ）を用い、以下の流れにしたがって2,000枚のOD表を作成した。

1. N 人分のデータが含まれるオーナーマスターデータ（標本データ）から、重複を許し、 N 人分の個人データを再抽出（リサンプリング）し、疑似マスターデータを作成する。
 - ※) $N = 230,587$ （平成22年度全国道路・街路交通情勢調査で実施されたオーナーインタビュー調査における近畿関連サンプル数）
2. 1.で作成した「疑似マスターデータ」を居住地・車種・所有形態別に集計し、拡大係数を与える。
 - 居住地：市区町村
 - 車種：8車種（軽乗用・乗用・バス・軽貨物・小型貨物・貨客車・普通貨物・特種）
 - 所有形態：自家用（個人所有）、自家用（法人所有）、営業用
3. 疑似マスターデータの拡大係数を集計してOD表を作成する。
4. 1.~3.を所定の回数（2,000回）だけ繰り返す。

(3) リンク交通量変動の推定の流れ

(2)で作成した2,000枚のOD表各々を用いて、道路ネットワーク（下図参照）に対する利用者均衡配分を実行すれば、各リンクについて2,000個の配分結果が得られる。それらはブートストラップ法によるOD交通量変動に基づくリンク交通量変動といえる。

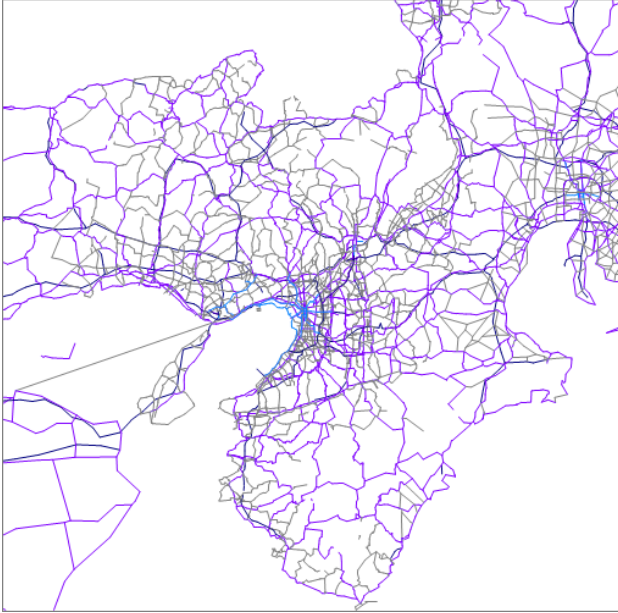


図-1 配分ネットワーク（近畿圏と周辺の一般国道以上を抜粋）

本研究において実行した利用者均衡配分の主な条件は以下の通りである。

- 予測年次：平成22年（2010年）
- ゾーン数：1,185ゾーン
- リンク数：31,529リンク
- 計算方法：Frank-Wolfe法で30回（計算時間：約120秒）
- リンクコスト関数

$$t_a(x_a) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a}{C_a} \right) \right\} + \frac{\xi_a}{\omega} \quad (1)$$

(記号の意味)

- t_a ：リンク a の走行時間
- t_{a0} ：リンク a の自由走行時間
- x_a ：リンク a の日交通量
- C_a ：リンク a の日交通容量
- α, β ：パラメータ ($\alpha = 0.48, \beta = 2.82$)
- ξ_a ：リンク a の通行料金
- ω ：料金時間換算パラメータ（時間価値）

上式において、リンクコスト関数のパラメータ α, β の値は土木学会¹⁾が「標準パラメータ」として提案したものである。また、料金時間換算パラメータ（時間価値に相当） ω は49.45円/分とした。

3. OD交通量の変動分析

2で述べた手順により、1組の標本ODデータから2,000枚のOD表を作成する。このとき、標本ODデータに含まれる任意のODペアについて、最大2,000個のOD交通量が得られることになる。ここでは、2,000枚のOD表に含まれるOD交通量の変動分析を行った。

(1) 平均と変動係数の関係

各OD交通量の平均（横軸）と変動係数（縦軸）を以下の散布図にプロットした。なお、周辺分布を表す箱ひげ図を散布図の上と右に配置した。

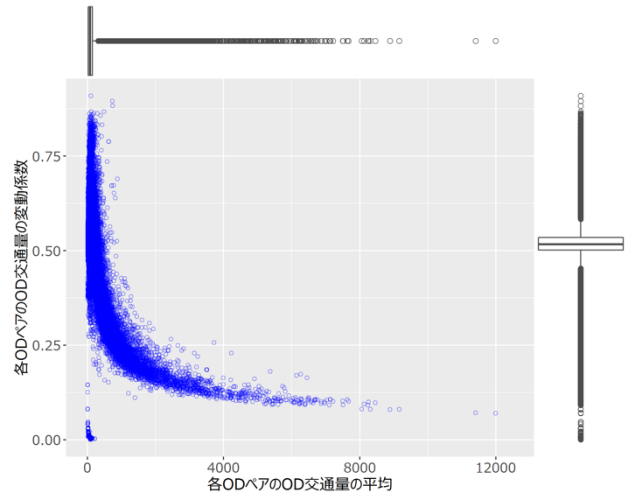


図-2 OD交通量の平均と変動係数の関係

上図から、次のことがわかる。

- 周辺分布を見ると、平均は0~数百トリップ程度、変動係数は0.50付近を中心とする分布である。なお、OD交通量の変動係数の5%値は0.28、中央値は0.52、95%値は0.65であった。
- OD交通量小さい場合は、変動係数が大きく、かつ、ばらつきが大きい。逆に、OD交通量大きい場合は変動係数が小さく、ばらつきも小さい。

復元抽出を繰り返すというブートストラップ・リサンプリングでは、標本数（サンプル数）の少ない（多い）ODペアは2,000回のリサンプリングにおける抽出回数が少なく（多く）なると考えられる。また、サンプル数の少ない（多い）ODペアのOD交通量は小さい（大きい）と考えられる。これらのことから、平均が小さい（大きい）と変動係数が大きい（小さい）という傾向を示す散布図が得られたと考えられる。

次に、阪神高速道路の沿道及び周辺を含む大阪府・兵庫県・奈良県を出発地・目的地とするODペアのOD交通量の平均と変動係数の散布図にプロットした（図-3）。

上図から、次のことがわかる。

- OD交通量大きいのは府県内々交通である。

- 平均が小さい（大きい）と変動係数が大きい（小さい）という関係は全体分（図-1）と似ている。

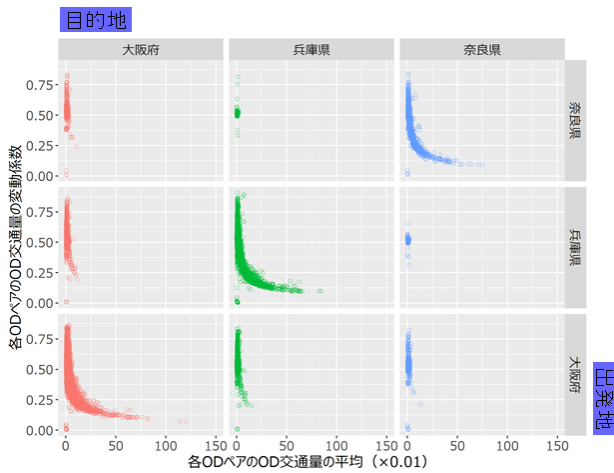


図-3 OD交通量の平均と変動係数の関係（その2）

(2) 歪度 (skewness)

OD交通量変動の分布の歪み（左右どちらに広がっているか）を歪度（後述）を用いて検討した。なお、歪度とは、確率分布の裾の重さの指標であり、 n 個の標本データ x_i ($i=1, \dots, n$) の歪度は次式で表される。

$$\text{skewness} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (2)$$

(記号の意味)

n : データの個数, \bar{x} : 平均, s : 標準偏差

歪度の値と分布の歪みとの関係は以下の通りである。

- 歪度が正 : 右に裾を引く分布
- 歪度が0 : 左右対称の分布
- 歪度が負 : 左に裾を引く分布

ブートストラップ法で作成した2,000枚のOD表に含ま

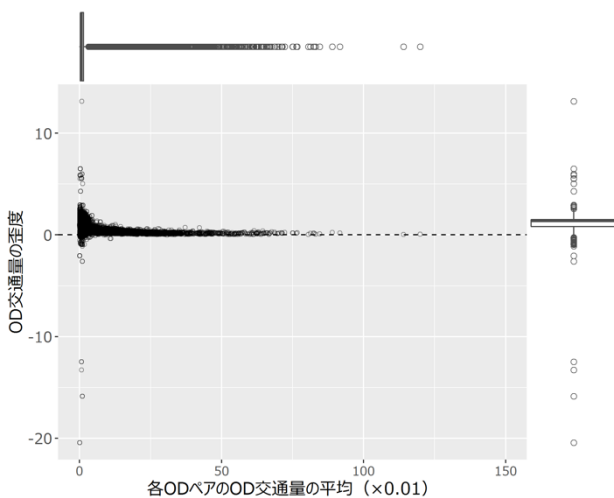


図-4 OD交通量の平均と歪度の関係

れるOD交通量の平均と歪度の散布図（各々の周辺分布を追記）を図4（左下）に示す。

まず、歪度の周辺分布（箱ひげ図）を見ると、歪度が正、つまり、右に裾を引く分布となる場合が多いことがわかる。次に、OD交通量の歪度と平均についての散布図を見ると、平均が大きい（概ね10トリップ）以上の場合歪度は0に近い正の値であり、左右対称に近いことがわかる。

(3) 尖度 (kurtosis)

OD交通量変動の分布形が正規分布に近いかどうかを尖度（後述）を用いて検討した。なお、尖度とは、確率分布の尖り具合の指標であり、 n 個の標本データ x_i ($i=1, \dots, n$) の尖度は次式である。

$$\text{kurtosis} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \quad (3)$$

(記号の意味)

n : データの個数, \bar{x} : 標本平均, s : 標準偏差

尖度の値と分布形との関係は以下の通りである。

- 尖度 > 3 : 正規分布より尖った分布
- 尖度 = 3 : 正規分布に似た尖り具合の分布
- 尖度 < 3 : 正規分布よりなだらかな分布

OD交通量の平均と尖度の散布図を図-5に示す。尖度の周辺分布（箱ひげ図）によると、尖度は3.0（水平方向の点線）を超える場合が多く、正規分布より尖った分布となるOD交通量が多いことがわかる。

また、OD交通量の尖度（縦軸）と平均（横軸）の散布図によると、平均が大きい（概ね20トリップ以上）場合、尖度は3.0付近（＝正規分布に近い尖り具合）になる傾向が認められる。

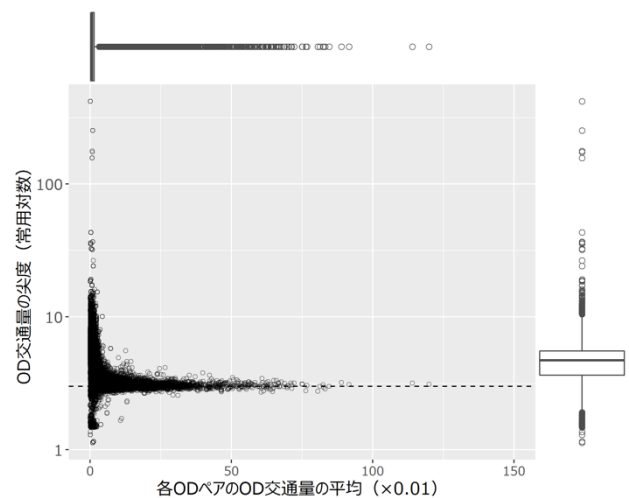


図-5 OD交通量の平均と尖度の関係

先に(2)で述べた歪度に関する考察と合わせると、ブートストラップ法を用いて作成したOD交通量の分布は、平均が小さい場合は右に広く、正規分布より尖った分布となり、(OD交通量の平均が)大きい場合は左右対称で正規分布に近い分布になると考えられる。

(4) 正規分布性に関する統計的検定

2.(2)に示した方法にしたがって計算したOD交通量変動が正規分布性に対する統計的検定(Shapiro-Wilk検定)を行った。なお、Shapiro-Wilk検定(SW検定)とは、

「検定対象データは正規分布に従う」

ことを帰無仮説とする統計的検定手法である。SW検定においてp値が0.05以上ならば、そのデータは正規分布に従うという帰無仮説を棄却することができない。

OD交通量(各ODペアにつき最大2,000個)について、SW検定を実施した結果として、OD交通量の平均とSW検定のp値を散布図にプロットした(図-6)。

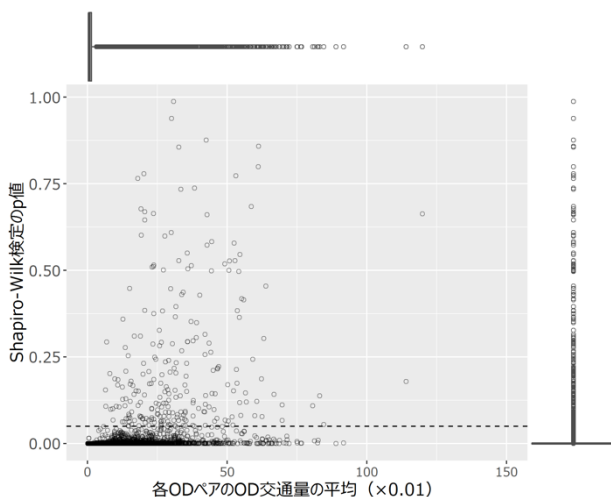


図-6 OD交通量に関するShapiro-Wilk検定の結果

上図において、p値の周辺分布(箱ひげ図)によると、大半のOD交通量においてp値は0.05未満であるため、正規分布に従うという帰無仮説を棄却できるOD交通量が大半を占める検定結果であることがわかる。また、図-6の散布図の限りでは、OD交通量変動について、正規分布に従うという帰無仮説が棄却されないことと平均の間に目立った関係は見出せない。

(5) 総トリップ数の分布

2,000枚のOD表各々における総トリップ数(OD交通量の和)のヒストグラムを作成した(図-7)。

このヒストグラムから、次のことが示唆される。

- ほぼ左右対称の釣り鐘型の分布である。平均は12,877千トリップ、標準偏差は41千トリップ。
- 変動係数は0.003である。個々のOD交通量の変動係

数(図-2参照)に比べてかなり小さい。

• 分布の形について

- 歪度=-0.03(ほぼ左右対称、やや左が重い)
- 尖度=+0.11(正規分布よりなだらかな)
- Shapiro-Wilk検定のp値=0.4439(>0.05)。正規分布であるという帰無仮説は棄却されない。

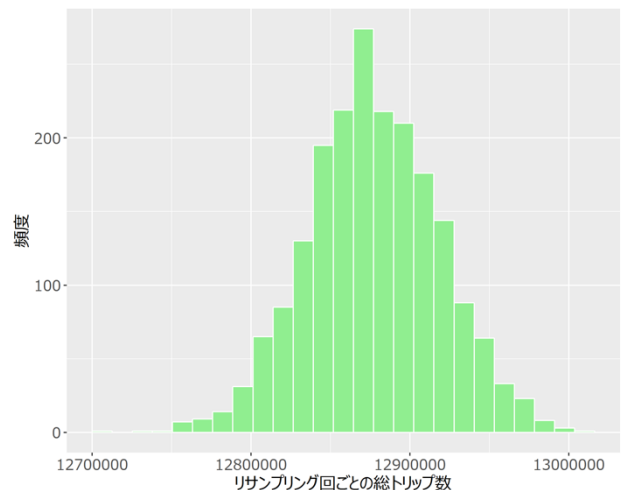


図-7 OD交通量の和(総トリップ数)の分布

正規分布といえそうか否か、個々のOD交通量と総トリップ数で逆の結果となった。これは、総トリップ数を計算することにより、個々のOD交通量のばらつきが相殺されたためと考えられる。

(6) まとめ(OD交通量変動について)

ブートストラップ法を用いて作成した2,000枚のOD表の変動分析の結果を以下に整理しておく。

- OD交通量の変動係数は0.5付近に多く分布。また、OD交通量の平均が小さい(大きい)と変動係数の値は大きい(小さい)。
- OD交通量の分布は右に裾を引き、正規分布より尖った分布の場合が多く、正規分布であるという帰無仮説が棄却される場合が多い。
- 総トリップ数の分布は左に裾を引き、正規分布より少しなだらかな場合が多く、正規分布であるという仮説は棄却できない。

以上により、京阪神都市圏で実施された自動車起終点調査の結果(1組の標本データ)から、ブートストラップ法を用いて2,000枚のOD表を作成した。

個々のOD交通量の変動係数の大きさが平均OD交通量の大小と逆になること、総トリップ数の変動係数は(個々のOD交通量よりも)桁違いに小さいという、交通需要の変動として現実的といえそうな計算結果が得られたと考えられる。

4. OD交通量変動に対する交通量配分の感度分析

OD交通量の標本変動が交通量配分結果に及ぼす影響を分析する基礎データを作成するため、3.で作成した2,000枚のOD表を用い、2,000回の交通量配分（利用者均衡配分）を実施した。

以下では、道路ネットワークは同じでOD表のみが異なる2,000ケースの交通量配分結果に基づき、リンク交通量の変動分析を行うものとする。

(1) 代表的なリンクの交通量の分布

阪神高速道路の主なリンク（下記参照）のリンク交通量のヒストグラムを図-8に示す。なお、ヒストグラムには、リンク交通量の分布特性の代表的指標である平均・変動係数・歪度・尖度・SW検定のp値を付記した。

- ① 11号池田線・淀川渡河部
- ② 13号東大阪線・高井田～森之宮
- ③ 3号神戸線・武庫川渡河部
- ④ 5号湾岸線・淀川渡河部

4つのヒストグラム（図-8）を見ると、（4リンクの）

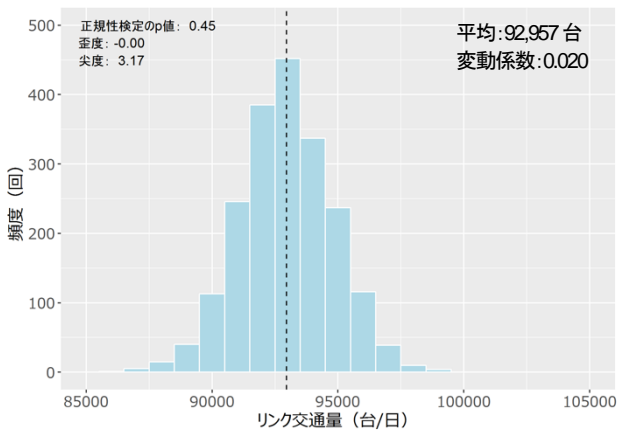
リンク交通量の分布に関して次のことがわかる。

- 例示したリンク交通量の変動係数は0.019～0.036の間であり、個々のOD交通量の変動係数（図-2参照）に比べると小さい。
- 例示した4リンクのうち、①②③の3リンクはp値が0.05より大きく、正規分布という帰無仮説が棄却できないが、リンク④はp値が0.05より小さいため正規分布という帰無仮説が棄却できる。（注：④については、尖度は他の3リンクに近いが、歪度が0.14で他の3リンクの歪度からも、左右対称か否かの目安となる値0.0からも離れている。）

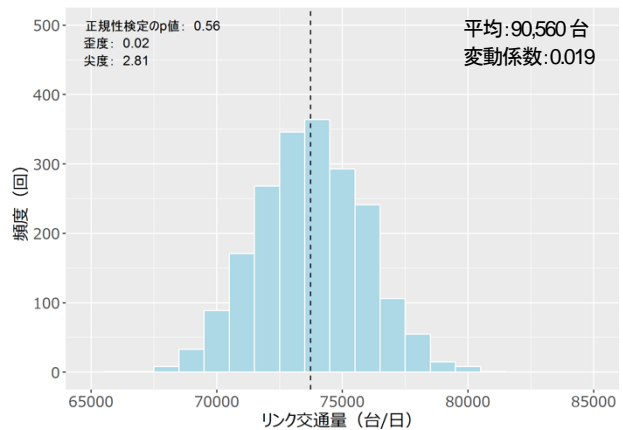
交通量配分におけるリンク交通量は（複数の）OD交通量の線形和として算出される。このとき、OD交通量のばらつきがリンク交通量において一定相殺されると考えられる。その結果、リンク交通量の方がOD交通量より変動係数が小さくなると考えられる。

4リンクのリンク交通量の分布から、リンク交通量の変動係数はOD交通量の変動係数よりもかなり小さいこと、正規分布といえそうなリンクとそうでないリンクの両方があることが示唆される。

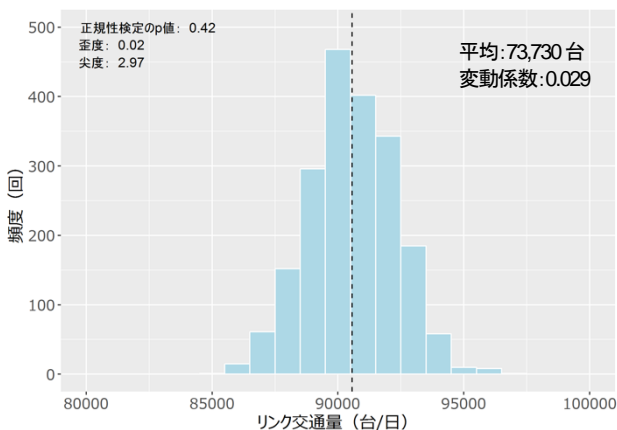
例1) 11号池田線・淀川渡河部 (①)



例2) 13号東大阪線・高井田～森之宮 (②)



例3) 3号神戸線・武庫川渡河部 (③)



例4) 5号湾岸線・武庫川渡河部 (④)

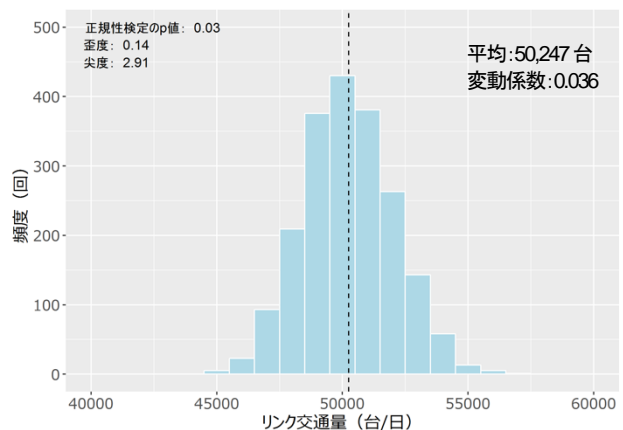


図-8 リンク交通量のヒストグラム (例示)

(2) 平均と変動係数の分布

交通量配分に用いたネットワークの全リンクのリンク交通量 (2,000ケース分) の変動係数の5%値は0.028, 中央値は0.070, 95%値は0.23であった。先に示したOD交通量の変動係数の中央値が0.50であったことから, ネットワーク全体についてもリンク交通量の方が変動係数が小さいといえる。

次に, 道路種別ごとの変動係数の分布を表す箱ひげ図を図-9, 同じく平均と変動係数の関係を表す散布図を図-10にそれぞれ示す。

まず, 変動係数 (図-9) を見ると, 大半のリンクについて, リンク交通量の変動係数はOD交通量の変動係数より小さい。その理由は, (1)で述べた通りである。

また, 各道路種別の箱の位置に着目すると,

都市高速<高速<一般国道<その他の

順に変動係数が大きいという傾向がある。これは, 都市高速道路に配分されるOD交通量の元サンプルは標本数が多い都市部の回答者に由来し, リサンプリングにおいて抽出される可能性が高く, 2,000枚のOD表の多くに出現することを示唆している。

平均と変動係数の散布図 (図-10) については,

- 高速道路と都市高速道路については, 平均の大小と

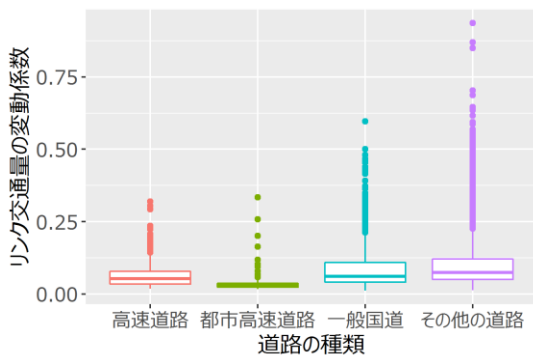


図-9 リンク交通量の変動係数

変動係数の大小が逆というOD交通量で認められた傾向と同様の傾向が認められる。

- 一般国道とその他の道路については, 平均の大小と変動係数の大小が逆というリンクが多いが, 平均も変動係数も小さいリンク (原点周辺) も少なくない。

(3) 正規分布性に関する統計的検定

OD交通量同様 (3.4参照), Shapiro-Wilk検定に基づいて, 「リンク交通量は正規分布に従う」という帰無仮説のp値を算出し, 箱ひげ図 (図-11) を作成した。

同図によると,

- 高速道路と都市高速道路のほとんどのリンク交通量は正規分布に従うという帰無仮説を棄却できない。
- 一般国道とその他の道路については, 約半分のリンク交通量において, 正規分布に従うという帰無仮説を棄却できない。

また, p値とリンク交通量 (平均) の散布図 (図-12) によると, リンク交通量の平均が5万台以上のリンクについては, SW検定のp値が0.05を超えるものが多く, 正規分布であるという帰無仮説を棄却できない場合が多いと考えられる。

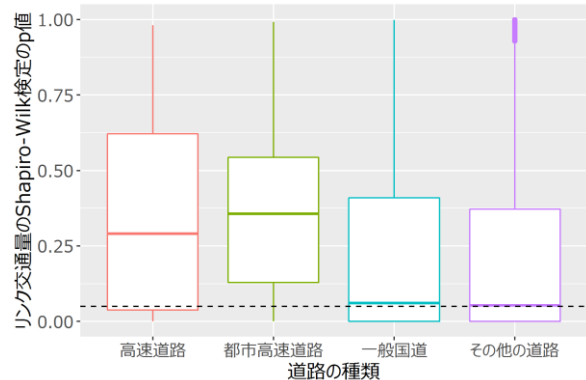


図-11 リンク交通量に関するShapiro-Wilk検定の結果

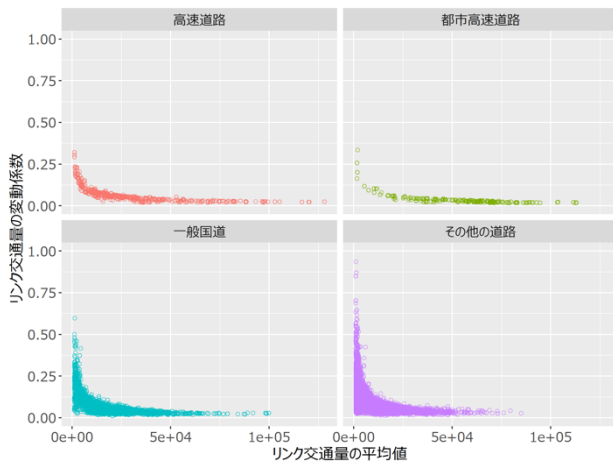


図-10 リンク交通量の平均と変動係数の関係

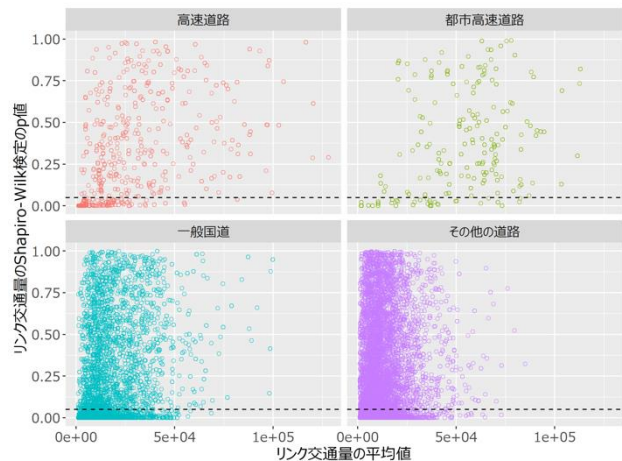


図-12 Shapiro-Wilk検定のp値と平均値 (リンク交通量)

(4) リサンプリング回数を減らすことの影響

これまで、2,000回のリサンプリングに基づいて作成したOD表と2,000ケースの交通量配分計算結果に基づいて、OD交通量の標本変動とリンク交通量の変動について考察を進めてきた。

ここでは、OD表を作成するためのリサンプリング回数を500回に減らすことがリンク交通量の分布に及ぼす

影響について検討する。その際、以下の手順によって、500枚のOD表による交通量配分結果各々におけるリンク交通量の正規分布性に関する図を作成した。

1. 計算済みの2,000ケースの配分結果（リンク交通量のセット）から500ケースを無作為に抽出する。
2. リンク交通量500セットについて、Shapiro-Wilk検定のp値の箱ひげ図（図-13）を作成する。

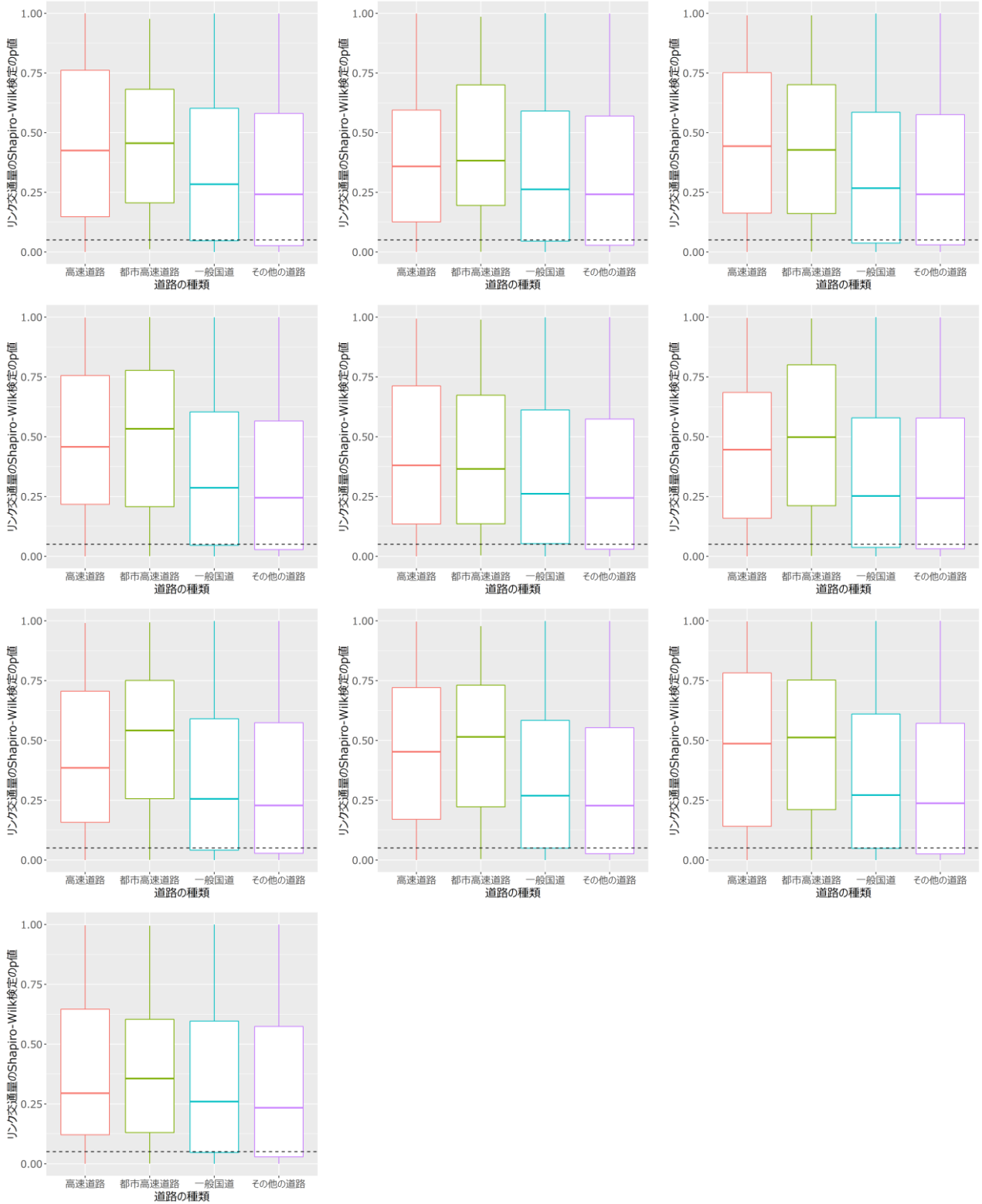


図-13 リンク交通量に関するShapiro-Wilk検定のp値 (500回×10回)

なお、上記1.の500ケースの無作為抽出において、偶然の偏りが生じる可能性がゼロではないため、500ケースの無作為抽出を10回行うことにした。

Shapiro-Wilk検定のp値の箱ひげ図（図-11（2,000回）と図-13（500回））を比べると、図-13において箱が上方にシフトしていることが容易にわかる。このことから、OD表作成に関するリサンプリング回数を減らすことにより、正規分布であるという帰無仮説が棄却されにくくなることがわかった。

しかしながら、以下に述べるように、この結果の解釈には注意が必要である。

Shapiro-Wilk検定の帰無仮説「正規分布に従う」は“無に帰したい”仮説ではなく、むしろ証明したい仮説である。このため、他の検定とは逆に、Shapiro-Wilk検定では帰無仮説が棄却されないことが期待される。その結果として、0.05~1.00という広い範囲のp値を「正規分布である（という仮説は棄却できない）」ことに対応させてしまうことになる。

したがって、リサンプリング回数を2,000回から500回に減らすしても問題がないと結論づけるのは、現時点では適切とはいえない。

5. おわりに

本研究では、ブートストラップ法を用いて計算機上で再現したOD調査の標本変動が（交通量配分計算で得られる）リンク交通量に及ぼす影響を検討した。

ここでは、本研究で得られた成果と今後取り組むべき課題について述べる。

(1) 本研究の成果

- 1) 約23万件のODデータについて2,000回のリサンプリングを実行して作成した2,000枚のOD表（1,185ゾーン）において、OD交通量の変動係数の5%値は0.39、中央値は0.52、95%値は0.65であった。この結果は河岡・円山⁴⁾（ODデータ：約7万件、リサンプリング回数：5,000回、ゾーン数：50）が算出したOD交通量の変動係数（概ね0.05~0.50の範囲）より大きい値となった。
- 2) 2,000枚のOD表による利用者均衡配分で得られたリンク交通量の変動係数の5%値は0.028、中央値は0.070、95%値は0.23であった。河岡・円山⁴⁾が算出したリンク交通量の変動係数（0.0~0.6付近に多く分布）より小さい値と考えられる。
- 3) ばらつき大きさ（変動係数）について「OD交通量>リンク交通量」という大小関係がある。これは、交通量配分計算において得られるリンク交通量は（複数の）OD交通量の線形和であることに起因する。

- 4) 統計的検定手法により、高速道路や都市高速道路では、ほとんどのリンクで配分結果が正規分布に従い、その他のリンクでは約半数のリンクの配分結果が正規分布に従う。（注：「正規分布である」という仮説が棄却できないという意味で「正規分布に従う」とした）
- 5) OD表作成時のリサンプリング回数を減らすことにより、リンク交通量の分布形状に変化が生じ、正規分布性に関する統計的検定結果が変化する。正規分布性に関する統計的検定手法の特徴とあわせて、リサンプリング回数を減らすことについては注意が必要である。

(2) 今後の課題

- 本研究では計算時間を節約するため、リサンプリング回数を2,000回、利用者均衡配分における繰り返し計算を30回までとした。これがOD交通量やリンク交通量の変動係数における河岡・円山⁴⁾の研究との差異を生んだ可能性がある。そこで、リサンプリング回数や配分計算における繰り返し回数を増やしてOD交通量作成及び交通量配分を行い、この差異の要因について検討する。
- 現実に観測されるリンク交通量やランプ間OD交通量の日変動等と本研究で算出した標本変動とを比較する。仮に本研究で算出した変動が、日変動等を近似できるものであるならば、道路網の信頼性評価等への活用可能性がありうる。
- 施策評価指標（例えば走行時間短縮便益）を対象とした“OD交通量変動の感度”の試算を行い、本研究の実務への適用可能性について検討する。

謝辞：本研究は、「平成29年度阪神高速道路将来交通量推計手法検討会」における活発な議論及び有益なアドバイスに基づいて遂行されたものである。ここに記して同検討会に対する深甚なる感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) Efron, B.: Bootstrap methods: Another look at the Jackknife, *The Annals of Statistics*, Vol. 7, No. 1, pp.1-26, 1979.
- 2) 汪金芳・大内俊二・景平・田栗正章：ブートストラップ法 ―最近までの発展と今後の展望―, 行動計量学 19巻2号（通巻37号）, pp.50-81, 1992.
- 3) （例えば）国土交通省道路局：道路交通センサスの概要, 第1回 今後の道路交通センサスに関する検討委員会 資料3, 2009.
- 4) 河岡英明・円山琢也：ブートストラップ法を用いたOD・リンク交通量の信頼区間と確率分布形の推定, 土木学会論文集 D3（土木計画学）Vol.72, No.5（土木計画学研究・論文集第33巻）, I_771-I_780, 2016.
- 5) Benitez, F. G., Romero, L. M., Caceres, N. and del Castillo,

- J. M.: Estimating of bootstrap confidence intervals for freight transport matrices, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 111, pp.1155-1164, 2014.
- 6) Benitez, F. G., Romero L. M., Caceres, N. and 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.
- 7) 朝倉康夫・柏谷増男・熊本仲夫：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) Rao, C. R. 著, 藤越康祝・柳井春夫・田栗正章共訳: 統計学とは何かー偶然を生かす, p.211, 丸善, 1993.
- 10) 下平英寿：第 8 章 ブートストラップ, 21 世紀の統計科学 3, 数理・計量の統計科学 日本統計学会 HP 版 第三部 統計計量の展開と統計科学, pp.193-221, 2011.
- 11) 土木学会 土木計画学小委員会 交通需要予測技術検討小委員会 (編) : 道路交通需要予測の理論と適用 第 I 編 利用者均衡配分の適用に向けて, p.72, 土木学会, 2003. (?)

Analyzing OD and link flow changes by sampling variation: A case in urban expressway network

Shinji NAKAGAWA, Takuya MARUYAMA, Ayaka ISHII, Yota MAEHARA
and Yasuo ASAKURA