

交通調査の出発時刻の 丸め誤差に関するモデル分析

佐藤 嘉洋¹・円山 琢也²

¹学生会員 熊本大学大学院自然科学教育部工学専攻（〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1）

E-mail:yo-sato@kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学准教授 くまもと水循環・減災研究教育センター（〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1）

E-mail: takumaru@kumamoto-u.ac.jp

社会調査における非標本誤差の一つとして丸め誤差が知られており、交通調査ではトリップの出発・到着時刻にその誤差が現れることが多い。本研究では2012年に実施された熊本都市圏パーソントリップ調査における出発時刻に着目し、丸め誤差発生確率の推定を行った。推定の結果、5分単位で丸められる確率が最も高く、欧米の調査と比べ15分単位の丸め誤差発生確率が低いことを明らかにした。また、出発時刻が30分と回答されたトリップに着目して回答誤差の分布を推定し、丸め誤差が発生していないと推定される確率は1割に満たないこと、目的別では業務トリップで回答誤差が大きく、手段別では公共交通利用トリップで回答誤差がやや小さくなる傾向を明らかにした。

Key Words : *rounding error, travel survey, departure time, trip purpose, travel mode*

1. はじめに

一般的な社会調査においては、回答に少なからず誤差が含まれており、その誤差が分析結果に与える影響が問題となっている。ここで社会調査における誤差とは、サンプルの偏りに起因する標本誤差と、回答者が行う回答自体に起因する非標本誤差に分類され、交通調査の分野における非標本誤差の一つとして「丸め誤差」が挙げられる。丸め誤差とはある値で値を省略または集約することによって生まれる誤差であるが、パーソントリップ(PT)調査ではトリップ出発時刻、到着時刻にこの誤差が見られることが多いが、PT調査において時刻の丸め誤差に関する実態の把握はほとんど行われていない。丸められて回答された時刻を基にトリップ所要時間(旅行時間)が算出され、手段選択モデルの構築や時間帯別交通需要量分析などの際のデータとして利用されるが、回答された旅行時間の誤差がこれらの分析結果に与える影響も懸念されている¹⁾中で、回答時刻の信頼性に関する精査は重要な課題と言える。

この課題に対し、近年ではGPSやスマートフォンを用いた新しい交通調査手法²⁾³⁾⁴⁾によってこの誤差を解消しようとする試みもある。しかし、パーソントリップ調査や道路交通センサスなどの大規模な調査への適用には課題が残る。加えて、情報機器を用いた調査手法では高齢

者が参加しづらくなり、標本誤差が発生する恐れがある。このことから、交通調査の分野でも郵送または訪問による紙面調査への需要は未だ高いと言える。

回答者の記憶に依存する郵送調査や訪問調査では、丸められて回答された時刻ではなく、実際の出発・到着時刻を把握することは極めて困難である。しかし、これまで述べてきた課題を鑑みると、紙面で回答された時刻の信頼性について評価を行うことの意義は高い。そこで本研究では、

- ・熊本PT調査を事例として、丸め誤差発生確率の推定を行うこと
- ・丸められて回答されたデータに含まれる回答誤差を推定すること

を通して、それぞれの推定結果から丸め誤差に関する定量的な評価を行うことを目的とする。

本研究の構成は以下の通りである。まず2章で既存研究のレビューを行い、3章で先行研究のモデルをベースに丸め誤差発生確率モデルの構築と改良を試みる。3章で改良を行ったモデルの推定結果をもとに、4章では30分と回答されたトリップを例に取り上げ、回答に含まれる誤差の分布について推定を行う。4章では、トリップ目的別、手段別でも推定を行い、結果の比較も行っている。最後に5章で本研究のまとめと今後の展望について整理を行う。

2. 既存研究のレビューと本研究の位置付け

交通調査において、トリップ出発時刻や到着時刻が00分、30分などに丸められて回答されることは多くの研究で指摘されている(例えばLevinson and Kumar⁵⁾, Murkami and Wagner⁶⁾など)。丸め誤差を含む回答された時刻の誤差については、GPSを用いた調査結果との比較を行ったBricka *et al.*⁷⁾, Stopher *et al.*⁸⁾, Montini *et al.*⁹⁾など、特性の異なる2つの調査を比較したGerike *et al.*¹⁰⁾などの研究例がある。これらの研究のレビューはKelly *et al.*¹¹⁾が詳しい。

また、トリップ出発時刻での丸め誤差に関する研究では、交通工学の分野で走行距離に着目したYamamoto *et al.*¹²⁾の研究や、年収に関する丸め誤差に着目したDrechsler and Kiesl¹³⁾の研究、ミクロ経済学の分野で丸め誤差がWTP(Willingness to Pay)へ与える影響を分析したPage *et al.*¹⁴⁾の研究などがある。このように、交通分野に限らず多くの分野で丸め誤差への関心は高いと言えるが、先行研究の多くは誤差に関する集計的な評価または比較に留まり、丸め誤差の発生に関する研究例は少ない。特に日本の交通調査において、トリップ出発時刻、到着時刻の丸め誤差に関する研究は筆者の知る限り存在しない。

トリップ出発時刻、到着時刻に関する丸め誤差をモデル化した少ない研究例として、Rietveld¹⁵⁾がある。Rietveldはオランダで行われた郵送調査をもとに丸め誤差発生確率のモデリングを行っている。本研究ではRietveldが構築したモデルを改良し、日本のPT調査へ適用することで、PT調査における丸め誤差の発生確率について定量的な評価を行うことに本研究の新規性・独自性がある。

3. 丸め誤差発生確率推定モデルの構築

(1) 使用するデータ

本研究では、2012年に熊本都市圏で実施されたパーソントリップ調査¹⁶⁾のデータを使用する。調査の概要は表-1に示す。マスターデータに記録されている約27万トリップのうち、トリップ数0およびトリップ出発時刻が不明のデータを除いた240,006トリップを本研究の分析対象とする。なお、本研究では表題に掲げるようにトリップの出発時刻に着目して分析を行う。トリップ到着時刻を分析対象から外したのは、例えば通勤トリップであれば「始業時刻」が行動の大きな目安となりうるため、丸め誤差の影響を排除しても実際の到着時刻自体が偏って分布している可能性が考えられたためである。

(2) トリップ出発時刻の分布

図-1に出発時刻の分布を示す。先行研究が指摘しているように、多くのトリップで丸め誤差が発生しているこ

表-1 2012年熊本都市圏PT調査概要¹⁶⁾

調査期間	2012年10月～11月
調査方法	郵送配布・郵送回収 (WEB回答併用)
調査対象 ⁹⁾	5市6町1村
調査回答者	97,109人
回答総トリップ数	271,143トリップ (0トリップは1トリップ分として集計)
本研究における サンプルサイズ	0トリップ、出発時刻不明以外の 240,006トリップ

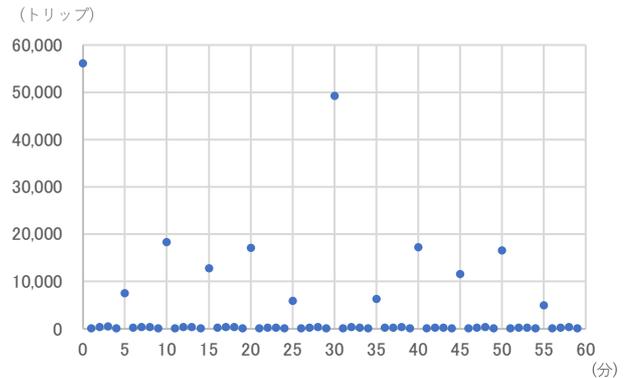


図-1 トリップ出発時刻の分布 (熊本 PT 調査)

とが見て取れるが、Rietveldの結果と大きく違う点は10分と15分単位の丸め誤差の関係である。Rietveldの研究、つまりオランダの調査では15分単位で出発するトリップが突出しており、アメリカの調査でも同様の傾向が見られると報告されている。一方、熊本PT調査では15分単位で出発するトリップよりも10分単位で出発するトリップの方が多。Kitamura¹⁷⁾は1990年にアメリカ全土で行われた交通調査で回答された出発時刻において、00分が36.2%、30分が27.8%、45分が9.2%、15分が8.7%、それ以外が18.1%であり、多くが15分単位で回答されることを明らかにしている。このことから、欧米諸国では”Quarter-hour”の概念が強い一方、日本では10分単位で捉える方がより自然である、という考え方の違いが影響している可能性が考えられる。図-1より、多く報告されている順に60分単位、30分単位、10分単位(10分、…、50分)、15分単位(15分、…、45分)、5分単位(5分、25分、…、55分)が他と比べて多くなっており、これらの値を本研究では「丸められうる値」と定義する。

(3) 丸め誤差発生確率の定式化

ここでは、前節で定義した丸められうる値へ丸められる確率、つまり丸め誤差発生確率について定式化を行う。回答者の実際の出発時刻が m 分のとき、5分単位での丸め誤差の発生確率を $p_{m,5}$ とすると、パラメータ a_5, b_5 を用いて丸め誤差発生確率を以下のように定義する。

$$p_{m,5} = a_5 + b_5 \cdot d_{m,5} \quad d_{m,5} = 1, 2 \quad (1)$$

ここで、 $d_{m,5}$ は m から最も近い5分単位の時刻までの差を表し、例えば $m=13$ のときは15分が最も近い5分単位の時刻のため、 $d_{13,5}=2$ である。他の丸められうる値についても式(1)と同様にそれぞれ以下のように定義する。なお、前節での分析を踏まえ、Rietveldの手法では用いられていない $p_{m,10}$ を新たに追加した。

$$p_{m,10} = a_{10} + b_{10} \cdot d_{m,10} \quad d_{m,10} = 1, 2, \dots, 5 \quad (2)$$

$$p_{m,15} = a_{15} + b_{15} \cdot d_{m,15} \quad d_{m,15} = 1, 2, \dots, 7 \quad (3)$$

$$p_{m,30} = a_{30} + b_{30} \cdot d_{m,30} \quad d_{m,30} = 1, 2, \dots, 15 \quad (4)$$

$$p_{m,60} = a_{60} + b_{60} \cdot d_{m,60} \quad d_{m,60} = 1, 2, \dots, 30 \quad (5)$$

$p_{m,10}$ において、 $d_{m,10}=5$ のときは丸められうる値が2つ存在する。例えば $m=5$ のとき、0分に丸められる場合と10分に丸められる場合の2つが存在し、式(2)の性質上、これらの値へ丸められる確率は等しい。よって、この場合はそれぞれ丸められうる値への丸め誤差発生確率 $\tilde{p}_{m,10}$ は以下のようになることに注意されたい。

$$\tilde{p}_{m,10} = \frac{1}{2} p_{m,10} = \frac{1}{2} (a_{10} + b_{10} \cdot d_{m,10}) \quad (6)$$

$p_{m,30}$ における $d_{m,30}=15$ のとき、 $p_{m,60}$ における $d_{m,60}=30$ のときも式(6)と同様の取り扱いを行う。

(4) 最尤法としての定式化

回答者が真に m 分に出発した確率を g_m をとおくと、 m 分にもっとも近い5分単位の時刻に丸められる確率は、丸め誤差発生確率を用いて $g_m \cdot p_{m,5}$ と表すことができる。10分単位から60分単位に丸められる確率に関しても、式(2)~(5)を用いて同様に記述できる。ここで、回答者が m 分と回答する確率を q_m とおくと、 m が丸められうる値でないときは以下のように記述できる。

$$q_m = g_m \cdot [1 - p_{m,5} - p_{m,10} - p_{m,15} - p_{m,30} - p_{m,60}] \quad (7)$$

式(7)の第2項はどの値にも丸められない確率を示している。例えば、 $m=8$ のとき、回答者が8分と回答する確率は、回答者が真に8分に出発した確率と、回答者がどの値にも丸めて回答しない確率の積で表される。

一方、 m が丸められうる値のとき、例えば $m=15$ のときは、前後の値から丸められる確率を加えて以下のように表される。

$$q_{15} = [g_8 \cdot p_{8,15} + \dots + g_{22} \cdot p_{22,15}] + [g_{13} \cdot p_{13,5} + \dots + g_{17} \cdot p_{17,5}] + g_{15} \cdot [1 - p_{15,10} - p_{15,30} - p_{15,60}] \quad (8)$$

式(7)の第1項および第2項は15分の周辺の時刻で真に出発し、かつ15分丸められて回答された確率の和を表

している。第1項は15分単位、第2項は5分単位でそれぞれ丸められる確率の和である。第3項は式(7)と同様に、真に15分に出発した確率と、どの値にも丸められて回答されない確率の積を示している。なお、 $m=15$ のとき $p_{m,5} = p_{m,15} = 0$ であるため、式(8)の第3項は式(7)の右辺と等価である。

式(7)および式(8)における、回答者が真に m 分に出発した確率 g_m の取り扱いについては、先行研究¹⁵⁾にならない「トリップの出発は一樣に分布している」という仮定を置く。つまり、 $g_m = 1/60$ である。

このとき、式(7)および式(8)を用いて、 N_m を出発時刻が m 分と回答されたトリップの総数とすると、同時生起確率 L は以下のように表される。

$$L = \prod_{m=0}^{59} q_m^{N_m} \quad (9)$$

対数尤度関数は以下の通りである。

$$\ln L = N_0 \ln q_0 + N_1 \ln q_1 + \dots + N_{59} \ln q_{59} \quad (10)$$

ただし、 q_m およびその中に含まれる $p_{m,5}, \dots, p_{m,60}$ は確率変数であるため、以下の条件が必要となる。

$$0 \leq q_m, p_{m,5}, p_{m,10}, p_{m,15}, p_{m,30}, p_{m,60} \leq 1 \quad (11)$$

以上より、丸め誤差発生確率の推定は式(11)を満たしながら式(10)の尤度を最大化する、制約条件つき尤度最大化問題として定式化できる。

(5) モデル推定結果

モデル推定にあたって、「丸め誤差は発生せず、真に出発した時刻と報告される時刻は同一である」という帰無仮説を置き、初期対数尤度を以下のように設定した。

$$\ln L_0 = N_0 \ln(1/60) + N_1 \ln(1/60) + \dots + N_{59} \ln(1/60) \quad (12)$$

推定結果を表-2に示す。初期対数尤度(L_0)と対数尤度(L)を用いて尤度比検定を行うと1%水準で有意差が認められ、上記の帰無仮説は棄却される。最も近い丸められうる値との差に影響する b_5, \dots, b_{60} については、すべて負の値をとった。これは出発時刻が丸められうる値まで離れているほど丸め誤差の発生確率が低くなることを示している。ただし、5分単位以外はいずれも1分あたり1%未満で、影響は限定的である。丸められうる値との差に影響しない a_5, \dots, a_{60} では、5分単位の値(a_5)が最も大きい一方、15分単位の値(a_{15})が5分単位だけでなく10分単位、30分単位と比べても小さい。これは丸められうる値との差の大小に関わらず、15分単位での丸め誤差発生確率が低いことを意味しており、Rietveldの結果とは大きく違う傾向を示している点である。

表-2 丸め誤差発生確率モデル推定結果 (熊本PT調査)

係数	最尤推定値	標準誤差	係数	最尤推定値	標準誤差
a_5	0.452	0.0027	b_5	-0.0575	0.0011
a_{10}	0.240	0.0023	b_{10}	-0.0059	0.0004
a_{15}	0.092	0.0018	b_{15}	-0.0032	0.0002
a_{30}	0.243	0.0022	b_{30}	-0.0011	0.0001
a_{60}	0.028	0.0013	b_{60}	-0.0002	0.7e-06
対数尤度 (LL)		-607413			
初期対数尤度 (L0)		-982667			

表-3 10:19に実際に出発したときの丸め誤差発生確率

丸め誤差	60分	15分	なし	5分/10分	30分
回答時刻	10:00	10:15	10:19	10:20	10:30
発生確率	2.4%	7.9%	3.7%	62.9%	23.1%

具体例として、表-3に10:19に実際に出発したときの丸め誤差発生確率を整理した。表より、およそ63%の確率で最も近い5分単位/10分単位の10:20に丸められる可能性があり、丸められず回答される確率はわずか4%程度に過ぎない。表-1および表-2から、丸め誤差は5分単位で最も多く発生し、15、60分単位での丸め誤差発生および丸められず回答される確率は低いことがわかる。

(6) 先行研究との比較

表-2から、パラメータ b_5, \dots, b_{60} に関してはすべて負の値を示す推定結果となった。これは丸められうる値との距離が遠いほど発生確率が低くなる意味を持つ推定結果と言える。しかし、表-4に示すようにRietveldの推定結果では、 b_5 以外はすべて正の値として推定されており、これは丸められうる値との距離が大きいほど丸められる確率が高くなることを示す。推定値が小さいことから影響は限定的であるが、Rietveldの推定結果は実際の行動との整合性について疑念が残る。

図-2は熊本PT調査における、すべての丸められうる値以外の時刻別トリップ発生量の分布を整理したものである。図-2(a)より、5分単位を基準とすると、丸められず回答されたトリップ数の分布は中央に向かってV字となっている。前章で設定した「トリップの出発は一律に発生している」という仮定では、丸められうる5分単位の値に近いほど丸め誤差発生確率が高いことを視覚的に示している。一方、図-2(b)の10分単位を基準とする集計ではこの傾向が現れているとは言い難い。仮に5分単位と同じ傾向が現れていれば、+(-)2分と比較して+(-)3分のトリップ数が多くなるはずだが、結果は逆を示している。このことは、10分単位の丸め誤差で見たとき、丸められうる値までの距離は丸め誤差発生確率には影響を与え

表-4 丸め誤差発生確率モデル推定結果 (Rietveld¹⁵⁾)

係数	最尤推定値	標準誤差	係数	最尤推定値	標準誤差
a_5	0.500	0.00142	b_5	-0.0360	0.00075
a_{15}	0.284	0.00142	b_{15}	0.0016	0.00017
a_{30}	0.177	0.00149	b_{30}	0.00015	0.00008
a_{60}	0.0093	0.00108	b_{60}	0.00055	0.00004
対数尤度 (LL)		-1.376e+6			
初期対数尤度 (L0)		-2.252e+6			

*このモデルでは10分単位の丸め誤差は考慮されていないため、 a_{10}, b_{10} は推定されない

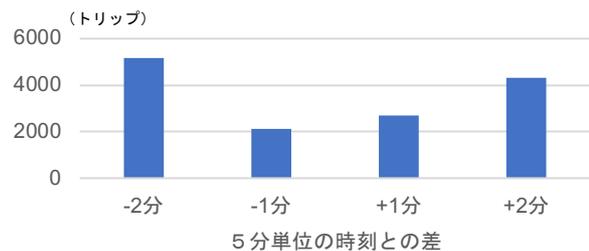


図-2(a) 丸められず回答されたトリップ数の集計 (熊本PT調査5分単位の時刻を基準)

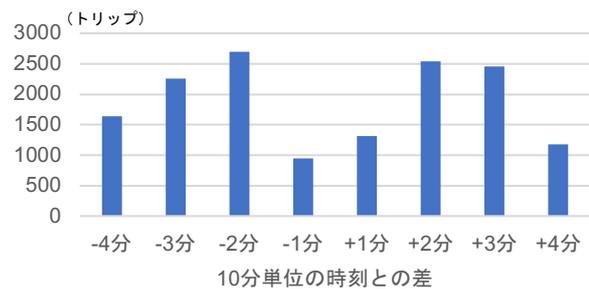


図-2(b) 丸められず回答されたトリップ数の集計 (熊本PT調査・10分単位の時刻を基準)

表-5 丸め誤差発生確率モデル再推定結果 (熊本PT調査)

係数	最尤推定値	標準誤差	係数	最尤推定値	標準誤差
a_5	0.375	0.0027	b_5	-0.0511	0.0011
a_{10}	0.278	0.0023	b_{10}	-	-
a_{15}	0.101	0.0018	b_{15}	-	-
a_{30}	0.216	0.0022	b_{30}	-	-
a_{60}	0.028	0.0013	b_{60}	-	-
対数尤度 (LL)		-606280			
初期対数尤度 (L0)		-982667			

くいを示唆する。詳細は割愛するが、15分単位、30分単位、60分単位でも同様の傾向を確認している。

以上の結果より、3.(3)で定式化した丸め誤差発生確率のうち、10分単位から60分単位の丸め誤差発生確率は丸

められうる値との距離に関わらず一定であるとして再推定を行う。つまり、 $b_{10} = b_{15} = b_{30} = b_{60} = 0$ とする。推定結果を表-5に示す。表-2の結果と比較すると、 a_5, \dots, a_{60} のパラメータにやや変動が見られるものの、5分単位の値(a_5)が最も大きく推定された点は変わらない。また、対数尤度(LL)は再推定結果の方が高い。以上より、10分単位から60分単位での丸め誤差発生は、丸められうる値までの距離によって変化すると考えるよりも、距離に関わらず一定とする方が妥当であると結論づけられる。以降は表-5で用いたモデルを使用して分析を行う。

4. トリップ目的別・手段別にみた実際の出発時刻の分布の推定

前章では、ある出発時刻がどの程度の確率で丸められるか、その確率を推定し、定量的な評価を行った。しかし、実際の調査で手に入るのは回答された時刻であり、実際の出発時刻を推定できることが好ましい。そこで本章では、モデル推定結果を用いて丸められて回答された時刻における実際の出発時刻の分布を推定し、その評価を行う。先行研究では全トリップの推定に留まっていたが、本研究ではトリップ目的別、手段別に推定を行うことでそれぞれの推定結果の比較も試みる。

(1) 実際の出発時刻の推定

回答者が m 分と回答したとき、実際の出発時刻が n 分である確率を $P(n|m)$ とすると、ベイズの定理を用いて以下のように変形できる。

$$P(n|m) = \frac{P(m|n)P(n)}{P(m)} \quad (13)$$

右辺のうち、 $P(n)$ は実際の出発時刻が n 分である確率であり、これは3.での仮定に基づき $P(n) = 1/60$ である。 $P(m|n)$ は実際の出発時刻が n 分であるとき、回答者が m 分と回答する確率なので、これは丸め誤差発生確率に他ならない。 $P(m)$ は回答者が m 分と回答する確率なので、すでに式(7)、式(8)で定式化されている。つまり、これまで定式化してきた確率とモデル推定結果を用いれば、 $P(n|m)$ は計算が可能であり、実際の出発時刻の分布を推定することができる。3.で示したトリップ出発時刻の分布より、30分単位での回答が特に多く見られるため、本研究では $m=30$ として分析を行う。

図-3に実際の出発時刻として推定された分布、表-6にその累積確率を示す。実際の出発時刻が30分、つまり丸め誤差が発生していない確率は8.1%に留まり、9割以上が丸められて回答されている可能性があることを示している。また、表-6から誤差が5分以内、つまり実際の出

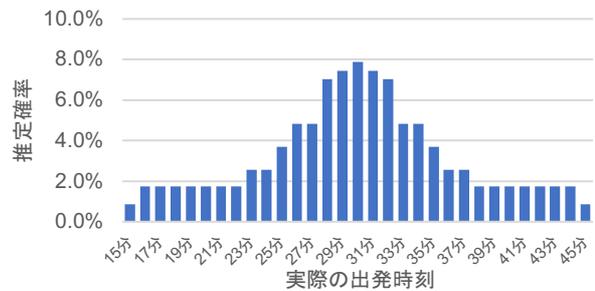


図-3 実際の出発時刻の分布 (回答: 30分)

表-5 実際の出発時刻の累積確率 (回答: 30分)

誤差 実際の出発時刻	なし 30分*	5分以内 25分~35分	10分以内 20分~40分
推定確率	7.9%	63.5%	84.3%

*厳密には、実際の出発時刻が30.0000分である確率は限りなく0に近いが、PT調査は1分単位での回答であるため、ここでは30分と記載する。以下も同様とする。

発時刻が25~35分の区間にある確率が63.5%となり、これは前章での推定結果である5分単位での丸め誤差発生確率が最も高いことを示している。このように、丸め誤差発生確率推定モデルを応用することで、回答された時刻から実際の出発時刻を推定することが可能となる。次節からはトリップ目的別、手段別に推定を行うことで、推定確率の比較分析を行っていく。

(2) トリップ目的別

本研究で取り扱うトリップ目的は「通勤」「通学」「帰宅」「私用」「業務」の5区分とする。区分ごとに丸め誤差発生確率を推定し、結果を表-6左側に整理した。表より、通学目的の a_{60} が限りなく0に近い値で推定されている。詳細は割愛するが、通学トリップにおいては00分よりも30分と回答された値が多く、全目的トリップおよび他目的のトリップと違う傾向を示した。本研究で用いたモデルにおいて、00分と報告されたトリップは5分単位~60分での丸め誤差の和として表されるが、丸め誤差発生確率には非負制約を置いているため、上記のような関係は表現できていない。通学目的においてはモデルの妥当性が低いと考えられるため、この関係を表現できるモデルへの改良を今後の研究課題としたい。

また、前節と同様に実際の出発時刻の分布について推定を行った結果を表-7に示す。業務目的のトリップで、丸め誤差が発生していない確率および5分、10分以内の区間に実際の出発時刻が含まれる確率ともに最も低い。5分以内の区分では、他の目的と比べておよそ5%程度低く推定された。紙面の都合上詳細は割愛するが、業務目的では他の目的と比べて00分、30分と回答されたトリップの割合が多く、これが分布の裾が広い結果の背景となっていることが考えられる。

表-6 丸め誤差発生確率モデル推定結果 (目的別・手段別)

*** 1%水準有意

	目的別					代表交通手段別				
	通勤	通学	帰宅	私用	業務	徒歩等	自家用車	貨物車	公共交通	タクシー
a_5	0.370 ***	0.441 ***	0.441 ***	0.353 ***	0.263 ***	0.398 ***	0.365 ***	0.373 ***	0.388 ***	0.253 ***
a_{10}	0.303 ***	0.323 ***	0.264 ***	0.274 ***	0.269 ***	0.278 ***	0.285 ***	0.273 ***	0.268 ***	0.298 ***
a_{15}	0.118 ***	0.105 ***	0.096 ***	0.093 ***	0.102 ***	0.103 ***	0.102 ***	0.096 ***	0.093 ***	0.090 ***
a_{30}	0.196 ***	0.134 ***	0.199 ***	0.234 ***	0.290 ***	0.210 ***	0.221 ***	0.216 ***	0.185 ***	0.314 ***
a_{60}	0.014 ***	8.0E-05 ***	0.033 ***	0.042 ***	0.055 ***	0.021 ***	0.029 ***	0.036 ***	0.028 ***	0.006
b_5	-0.0409 ***	-0.0430 ***	-0.0622 ***	-0.0499 ***	-0.0265 ***	-0.0537 ***	-0.0493 ***	-0.0484 ***	-0.0635 ***	-0.0116
対数尤度	-104801	36940	-225745	-196201	-34278	-184712	-219351	-137096	-48457	-3639
初期対数尤度	-172343	-58328	-356617	-321861	51973	-298814	-359889	-222302	-72662	-6359

表-5 目的別 実際の出発時刻の累積確率 (回答: 30分)

誤差 実際の出発時刻	なし 30分	5分以内 25分~35分	10分以内 20分~40分	推定 確率
通勤	8.0%	63.5%	85.7%	
通学	9.3%	72.5%	88.8%	
帰宅	8.3%	64.5%	84.7%	
私用	7.6%	61.8%	83.3%	
業務	6.4%	58.0%	81.5%	

表-5 手段別 実際の出発時刻の累積確率 (回答: 30分)

誤差 実際の出発時刻	なし 30分	5分以内 25分~35分	10分以内 20分~40分	推定 確率
徒歩等	8.0%	64.2%	84.6%	
自家用車	7.7%	63.2%	84.1%	
貨物車	7.9%	63.3%	84.1%	
公共交通	8.7%	65.4%	85.2%	
タクシー	6.6%	57.8%	81.1%	

(3) トリップ代表交通手段別

ここで取り扱う代表交通手段は「徒歩・自転車等 (徒歩, 自転車, 原付, バイク)」「自家用車」「貨物車 (貨物車, 軽貨物車)」「公共交通」「タクシー」の5区分とする。まずモデル推定結果を表-6右側に示す。タクシーの区分において、 a_{60} および b_5 のパラメータが有意とはならなかった。これはサンプル数が少なく、丸められず回答された時刻に欠損 (計0トリップ)が生じているためと考えられる。表-8には実際の出発時刻の分布について推定を行った結果を示す。前節での分析より、業務目的のトリップにおいて分布の裾が広い推定結果が得られたが、業務目的に関係が強いと思われる貨物車の代表交通手段では他の手段と大きな違いは見られなかった。また、公共交通の区分において丸められない確率および5分以内、10分以内の区間に実際の出発時刻が含まれると推定される確率が他の目的よりやや高い。公共交通の群では00分、30分単位での回答が他の手段より少なく、これは普段利用する公共交通機関の出発時刻が回答の目安となっていることが示唆される。このため、他の手段より確率がやや高く推定されると考えられる。また、タクシーの群において分布の裾が広く推定されている。パラメータが有意となっていないので妥当性について留意が必要であるが、公共交通群または自家用車群とは異なる傾向を示していることは興味深い。

5. おわりに

本研究では、熊本PT調査でのトリップ出発時刻の丸め誤差発生確率と、回答誤差の分布に関する推定を行った。最も大きな成果は、丸め誤差の発生確率および多く回答されている30分単位の回答に含まれる回答誤差をそれぞれ推定し、定量的な評価を行ったことにある。具体的な成果を以下に挙げる。

- 1) 先行研究である欧米の調査と比較して、熊本PT調査では10分単位に丸められて回答される傾向が強く、15分単位に丸められて回答される傾向が弱い。
- 2) 丸め誤差発生確率の推定を行い、丸められうる値との時間差によって確率が変化するのは5分単位での丸め誤差のみで、10、15、30、60分単位での丸め誤差発生は丸められうる値との時間差に関わらず一定であると考えた方が妥当であることを確認した。
- 3) 出発時刻が30分と回答されたトリップにおいて、回答誤差の分布を推定し、30分と回答されたトリップのうち丸められず回答したと推定されるのは1割に満たないことを明らかにした。
- 4) 目的別では業務目的で回答誤差が大きく、5分以内に実際の出発時刻が含まれる確率は他の目的より3~6%程度低く推定された。また、通学目的では他の目的と異なり、00分の回答より30分の回答が多い。
- 5) 代表交通手段別では、公共交通を利用したトリップが他の手段に比べて回答誤差がやや少ない傾向にあ

る。また、タクシーを代表交通手段とするトリップは公共交通群，自家用車群と異なる傾向を示すことを確認した。

今後の課題として，4)で述べたように通学目的のトリップでは本研究で使用したモデルの妥当性が低いことが分かっている。通学目的の出発時刻は調査対象地域による影響が大きいと思われるが，地方都市では熊本PT調査と同様の傾向があると考えられるため，モデル改良を行う意義は高い。また，データに欠測が生じた場合はモデルがうまく推定できない可能性があり，属性を細かに分割することは難しいと考えられるが，例えば性別・職業等の基礎属性や紙/Webの回答方式別でも推定を行い，丸め誤差発生に関する俯瞰的な評価を行いたい。

本研究ではトリップの出発時刻のみに着目し分析を行った。これは3.(1)でも述べたように，トリップ到着時刻は目安となる時刻が存在するため，本研究で設定した「すべての出発時刻は一樣に分布している」という仮定が到着時刻に対しても成立するか精査が必要であるためである。トリップ到着時刻は出発時刻に比べて00分，30分の回答割合が大きく下がるのが分かっており¹⁸⁾，予定された到着時刻を目安として回答されている傾向は見られている。今後は到着時刻に関しても精査を行いたい。

謝辞：本研究は，JSPS 科研費 JP18H01561 の支援を受けた成果の一部です。

参考文献

- 1) Varotto S. F., Glerum A., Stathopoulos A., Bierlaire M., Longo G. : Mitigating the Impact of Errors in Travel Time Reporting on Mode Choice Modelling, *Journal of Transport Geography*, Volume 62, pp. 236-246, 2017.06.
- 2) Danalet, A., Mathys, N.A. : The Potential of Smartphone Data for National Travel Surveys. 17th Swiss Transport Research Conference. Monte Verità / Ascona, 2017.
- 3) Gadzinski, J. : Perspective of the Use of Smartphones in Travel Behavior Studies: Findings from a Literature Review and a Pilot Study. *Transportation Research Part C*, 88, pp. 74-86, 2018.
- 4) Allstrom, A., Kristoffersson, I., Susilo, Y. : Smartphone-based Travel Diary Collection: Experience from a Field Trial in Stockholm. *Transportation Research Procedia*, 26, pp. 32-38, 2017.
- 5) Levinson D. M., Kumar A : A Multi-Modal Trip Distribution Model: Structure and Application, *Transportation Research Record*, Vol.1466, pp.124-131, 1994.
- 6) Murakami E., Wagner D. P. : Can Using Global Positioning System (GPS) Improve Trip Reporting?, *Transportation Research Part C*, Volume 7, pp.149-165, 1999..
- 7) Bricka S.G., Sen S., Paleti R., Bhat C.R. : An analysis of the factors influencing differences in survey-reported and GPS-recorded trips, *Transportation Research Part C*, Vol.21, pp.67-88, 2012.
- 8) Stopher P., FitzGerald C., Xu M. : Assessing the Accuracy of the Sydney Household Travel Survey with GPS, *Transportation*, Volume 34, Issue 6, pp. 723-741, 2007.11.
- 9) Montini, L., S. Prost, J. Schrammel, N. Rieser-Schüssler, Axhausen K. W. : Comparison of Travel Diaries Generated from Smartphone Data and Dedicated GPS Devices, *Transportation Research Procedia*, Vol. 11, pp. 227-241, 2015.
- 10) Gerike R., Gehlert T., Leisch F. : Time use in travel surveys and time use surveys - Two sides of the same coin?, *Transportation Research Part A*, Vol.76, pp.4-24, 2015.
- 11) Kelly P., Krenn P., Titze S., Stopher P., Foster C. : Quantifying the Difference Between Self-Reported and Global Positioning Systems-Measured Journey Durations: A Systematic Review, *Transport Reviews*, Volume 33, Issue 4, pp. 443-459, 2013.
- 12) Yamamoto, T., Madre, J.L., de Lapparent, M., Collet, R.: A random heaping model of annual vehicle kilometres travelled considering heterogeneous approximation in reporting, *Transportation*, pp.1-19, 2018.
- 13) Drechsler, J., Kiesl, H. : Beat the heap: An imputation strategy for valid inferences from rounded income data, *Journal of Survey Statistics and Methodology*, Vol.4, Issue 1, pp.22-42, 2016.
- 14) Page, I.B., Lichtenberg, E., Saavoss, M. : Estimating Recreation Demand When Survey Responses are Rounded. In: 2015 AAEA & WAEA Joint Annual Meeting, July 26-28, San Francisco, California. Agricultural and Applied Economics Association, 2015.
- 15) Rietveld P : Rounding of Arrival and Departure Times in Travel Surveys: An Interpretation in Terms of Scheduled Activities, *Journal of Transportation Statistics*, Vol.5, Issue 1, pp. 71-82, 2001.
- 16) 熊本都市圏総合交通計画協議会：熊本都市圏都市交通マスタープラン，2016.
- 17) Kitamura, R: Time-of-day characteristics of travel: an analysis of 1990 NPTS data. In: Special Reports on Trip and Vehicle Attributes, 1990 NPTS Report Series, Publication No. FHWA-PL-95-033, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, February, pp 4-1-4-56, 1995.
- 18) 上原一輝，佐藤嘉洋，円山琢也：交通調査の出発・到着時刻の丸め誤差と代理回答バイアス，第 59 回土木計画学研究発表会，投稿中，2019.

(2019.3.10 受付)

MODELING ROUNDING OF DEPARTURE TIMES IN TRAVEL SURVEYS: COMPARING TRIP PURPOSES AND TRAVEL MODES

Yoshihiro SATO and Takuya MARUYAMA