

正確な回答の依頼と質問順序が 時刻の丸めに与える影響

三古 展弘¹・辻永 智仁²

¹正会員 神戸大学教授 大学院経営学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 2-1)

E-mail: sanko@kobe-u.ac.jp

²非会員 神戸大学卒業生 経営学部 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 2-1)

E-mail: t.tsujinaga@gmail.com

交通調査において回答者が報告する出発時刻や到着時刻に含まれる丸め誤差について、1 分単位の回答の要請と質問の順番が与える影響を分析する。通常の「出発時刻、到着時刻の順」に尋ねる調査において、「回答の正確さについて特に言及しない場合」、「1 分単位まで正確に回答することを要請」した場合、「機器を利用して 1 分単位まで正確に回答することを要請」した場合、を比較する。また、「出発時刻、到着時刻の順」に尋ねる質問に加え、「到着時刻、出発時刻の順」と「所要時間、出発時刻の順」の質問を用意する。1 分単位まで正確に回答を要請することで丸め誤差の発生が少なくなること、質問の順番が丸めの傾向に影響を与え、最初に尋ねた項目での丸めの影響が大きいことが明らかになった。

Key Words: rounding error, travel survey, departure time, arrival time, self-report, order of questions, request for exact report

1. はじめに

回答者に自己申告させる形の調査は、実施が容易という最大の理由もあって、交通調査でも広く活用されている。パーソントリップ調査がその典型であり、調査日に行った総ての移動について、その出発時刻と到着時刻の記入を求めている。しかし、回答者の申告する時刻は、5、10、15、30、60 分の倍数といった切りの良い値に集中することが知られている。交通の分析においては、到着時刻から出発時刻を引いた所要時間を用いた分析も多くなされているため、所要時間も丸められていることになる。

実際に、人々が 5 分や 10 分の倍数といった切りの良い時刻を選んで出発・到着しているとは考えにくい。このことは、Sanko and Iriguchi (2022)¹⁾によって、客観的な第 3 者が報告した出発時刻と到着時刻が 0~59 分の範囲に均等に分布していることによっても実証されている。本研究では、丸め誤差発生要因として次の 2 つに着目する。

1 つ目の要因は、調査者と回答者間の意思疎通が不十分であることである。出発時刻と到着時刻に現れる丸め誤差を分析するほとんどの研究は、分単位の丸めに関する。つまり、研究者を含む調査者は 1 分単位まで

正確に回答することを期待している（筆者らの知る限り、交通調査において分より小さい秒などの単位の丸めを分析した研究は存在しない）。しかし、回答者が同様の認識を持っているとは限らない。日常の会話においても、出発時刻や到着時刻を分単位まで厳密に意識することは少ないだろう。そのため、調査票に記入する回答者も、1 分単位での回答を期待されているとは考えず、5 分や 10 分単位の回答で十分と判断している可能性がある。1 つ目のリサーチクエスチョンは、回答の正確さに関する調査者と回答者の認識の違いに着目している。本研究では、回答者に 1 分単位での回答を意識させる調査票を作成し、それによって回答の傾向がどう異なるかを分析する。

2 つ目の要因は、回答者が出発時刻・到着時刻を記憶から呼び出すプロセスに関係するものである。回答者は、出発時刻や到着時刻を分単位で正確に覚えているとは限らない。しかし、回答の時点では既に移動は完了しているため、出発時刻や到着時刻がその時点で変化することはあり得ない。ところで、本研究で対象とする出発時刻や到着時刻の報告値は、回答する時点まで確定しておらず、調査票に記入する段階で様々な手掛かりを参考に確定させているとも考えられる。手掛かりには、当該の移

動の直前の活動の終了時刻，当該の移動の直後の活動の開始時刻，また，出発地・到着地間の所要時間，などがあり，これらの関係に矛盾が生じないように回答することが考えられる．もし，回答する時点まで出発時刻や到着時刻が確定していないのなら，回答者が記憶を呼び起こして確定させるプロセスに介入することで，出発時刻・到着時刻の報告値が変わる可能性がある．2 つ目のリサーチクエスチョンは，回答者が記憶を呼び起こすプロセスに着目している．本研究では，調査票に通常の「出発時刻，到着時刻の順」に尋ねる質問に加え，「到着時刻，出発時刻の順」に尋ねる質問，「所要時間，出発時刻の順」に尋ねる質問を作成し，回答を確定させるプロセスに介入することで回答がどのように変わるかを分析する．

本稿の構成は以下の通りであり，第 2 章で関連研究のレビューと本研究の位置づけを示す．第 3 章で調査の設計について説明し，第 4 章で結果を報告する．最後に，第 5 章で結論を述べる．

2. 既存研究と本研究の位置づけ

自記式の調査における数値回答に誤差は避けられないが，その誤差の 1 つに丸め誤差がある．丸め誤差は，年齢が切りの良い数値に丸められる Age heaping が良く知られているが(Heijman and Rubin, 1990)²⁾，交通調査でも同様の問題が生じている．ここでは，それらを次の観点から整理する．

(1) 回答者の報告値を分析

1 つ目の研究群は，回答者によって報告された値を分析したものである．報告された値には，丸め誤差も含まれるが，丸めが含まれたデータを用いて，丸めが発生するメカニズムを分析するものである．

その 1 つが，丸め誤差発生確率モデルを用いた研究である．Rietveld (2002)³⁾によって提案されたこのモデルは，実際の出発・到着時刻は 0～59 分の範囲に一様に分布しているという仮定のもと，それらが報告時に丸められる確率をモデル化したものである．Rietveld は，5，15，30，60 分の倍数に丸められる確率をモデル化している．Sato and Maruyama (2020)⁴⁾も同様のモデルを推定しているが，丸めの対象に 10 分の倍数も追加している．

回答者の報告値がどの程度丸められているかを表す指標の開発も，この研究群に含まれる．年齢の丸めについての指標に Whipple 指数があり，これを出発時刻に援用した RDT (Rounding Departure Time) 指標が佐藤・円山 (2021)⁵⁾によって提案されている．RDT 指標は丸めの対象となる分数についてそれぞれ定義され，5 分を丸め

の対象とした RDT_5 や 10 分を丸めの対象とした RDT_{10} などがあり，式(1)のように定義される（元の式ではこれを 100 倍しているが，100 倍しなくても議論の一般性は損なわれない）．

$$RDT_5 = \frac{N_0 + N_5 + N_{10} + \dots + N_{55}}{1/5 (N_0 + N_1 + N_2 + \dots + N_{59})} \quad (1a)$$

$$RDT_{10} = \frac{N_0 + N_{10} + N_{20} + \dots + N_{50}}{1/10 (N_0 + N_1 + N_2 + \dots + N_{59})} \quad (1b)$$

ここで， N_0, \dots, N_{59} は分の単位が 0, ..., 59 分である回答数．

式(1)の分子は，丸めの対象となっている分の倍数である回答数 (RDT_5 なら 5 分の倍数， RDT_{10} なら 10 分の倍数) である．分母は，基準化のために導入した係数である 1/5 と 1/10 を除いて， RDT_5 と RDT_{10} ともに回答の総数である．

0～59 分の範囲に均等に回答が分布している（丸めが発生していない）場合，つまり $N_0 = \dots = N_{59}$ の場合， $RDT_5 = RDT_{10} = 1$ となる．丸めの対象以外に全回答が集中した場合には分子が 0 になり， $RDT_5 = RDT_{10} = 0$ となる．反対に，丸めの対象に全回答が集中した場合には分子が基準化係数を除いた分母と等しくなり， $RDT_5 = 5$ ， $RDT_{10} = 10$ になる．

RDT 指標は基準化係数を導入することで，0 と 1 については異なる分数への丸めについて統一した解釈が可能であるが，全体として取り得る値が異なる．そのため， RDT_5 と RDT_{10} は比較可能ではない．ただし，異なる調査の同じ RDT_5 等を比較することは可能である．

また，RDT を修正したものとして，佐藤・円山 (2021)⁵⁾によって，各回答者のトリップ数（回答数）の逆数で重み付けした wRDT (weighted index for rounding in departure time) 指標が提案されている．また，佐藤・円山 (2022)⁶⁾は，分の単位の回答を 3～7 分，8～12 分，といった 5 分刻みの 12 のバンドのデータにまとめた上で，5 分よりも大きい単位の丸めを分析する 5-wRDT (5 min-step aggregated weighted index for rounding departure time) 指標を提案している．いずれも基準化係数を用いているが，RDT と同様の問題が生じている．

(2) 客観的な観測値を入手

2 つ目の研究群は，回答者による報告値ではなく，客観的な出発時刻・到着時刻を回答者とは独立に観測するものである．例えば，回答者に GPS 端末やカメラを携帯させ，そのデータを回答者とは独立に解析する．回答者の報告値と比較することで，どの程度の丸めが発生しているかを分析できる．しかし，時刻と場所のデータのみから移動の開始・終了時刻を特定することは必ずしも容

易ではない。それは、カメラによる映像があっても完全には解消しない。また、データ処理の負担が大きいという問題もある。

容易に入手可能な質の高い第三者による観測データでありながら、出発・到着を含む活動の開始・終了時刻の分析に用いられてこなかったものに、新聞の「首相動静」のデータがある。このデータを分析した、Sanko and Iriguchi (2022)¹⁾は、移動の開始・終了時刻である出発・到着時刻は 0~59 分の範囲に均等に分布していることを実証している。一方、移動以外の活動（会議など）の開始・終了時刻は均等に分布しているとは言えなかった。

(3) 正確な報告を促す工夫

3 つ目の研究群は、回答者に正確な回答を促すための工夫をすることである。2 つ目の研究群のように、GPS 端末を携帯させ、回答時にそれを参照させることで、回答漏れの防止や正確な時刻の回答につなげるものである。

(4) 本研究の位置づけ

本研究はこの 3 つ目の研究群に該当する。3 つ目の研

究群はこれまで、正確な回答をしたいと思っている回答者の存在が前提になっていたと考える。しかし、本研究では、1 分単位の回答を期待している調査者と、1 分単位の回答を期待されているとは必ずしも考えていない回答者の存在を前提としている。そこで、調査者が 1 分単位の回答を期待していることを明示・要請することのみの質問を用意している点に特徴がある。また、特別な機器を携帯させてそれを頼りに記憶を呼び起こさせるのではなく、日常生活を行う際に参照できるツールを無理なく利用することで、1 分単位の回答を期待したとき、どの程度丸め誤差の軽減に効果があるかを分析する。

本研究の分析は、2 つ目の研究群の Sanko and Iriguchi (2022)¹⁾の知見をもとに、実際の出発・到着時刻は 0~59 分の範囲に均等に分布していると考えられる。そして、それらの丸めを 1 つ目の研究群で示した、丸め誤差発生確率モデル等を用いて分析する。

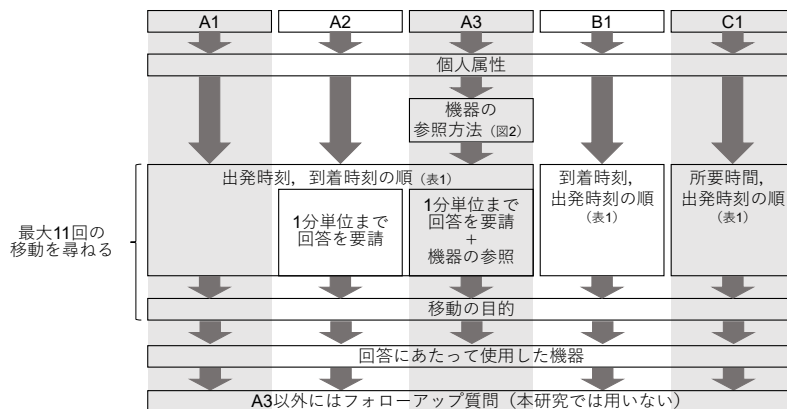


図-1 調査の全体像

表-1 質問で用いられた文言

(A1)	<ul style="list-style-type: none"> ● 出発時刻は何時何分でしたか。 ● 到着時刻は何時何分でしたか。
(A2)	<ul style="list-style-type: none"> ● 出発時刻は何時何分でしたか。 ※お答えは1分単位までできるだけ正確にお答えください。 ● 到着時刻は何時何分でしたか。 ※お答えは1分単位までできるだけ正確にお答えください。
(A3)	<ul style="list-style-type: none"> ● 出発時刻は何時何分でしたか。 ※お答えは1分単位までできるだけ正確にお答えください。 ※回答にあたっては、あなたの移動の時刻をたどることができるツールをできるだけ参照してください。 ● 到着時刻は何時何分でしたか。 ※お答えは1分単位までできるだけ正確にお答えください。 ※回答にあたっては、あなたの移動の時刻をたどることができるツールをできるだけ参照してください。
(B1)	<ul style="list-style-type: none"> ● 到着時刻は何時何分でしたか。 ● 出発時刻は何時何分でしたか。 ※出発時刻が到着時刻より早くなるようにしてください。
(C1)	<ul style="list-style-type: none"> ● 所要時間は何時間何分でしたか。 ● 出発時刻は何時何分でしたか。

(注) 回答は、「__時__分」という形式で数値を入力する。ただし、(C1)の所要時間は「__時間__分」。(C1)の所要時間以外には「※時刻は3時0分~26時59分(=翌日午前2時59分)の表記で入力してください。」と赤字で記載。(B1)と(C1)の赤字、青字は実際の質問票でも採用されている。

3. 調査票の設計

調査の全体像は図-1に示される。まず、個人属性を尋ね、調査日の総ての移動について最大 11 トリップまで尋ねている。移動についての質問はその文言を変えて 5 パターン用意されているが、これは、次の研究の間に答えるためである。具体的な文言は、表-1に示す。

- (a) 出発時刻と到着時刻を尋ねる順番によって丸め方の特徴は異なるのか、また、所要時間を尋ねることも丸め方の特徴は異なるのか。
- (b) 丸めて回答しないように依頼した場合、丸めの特徴

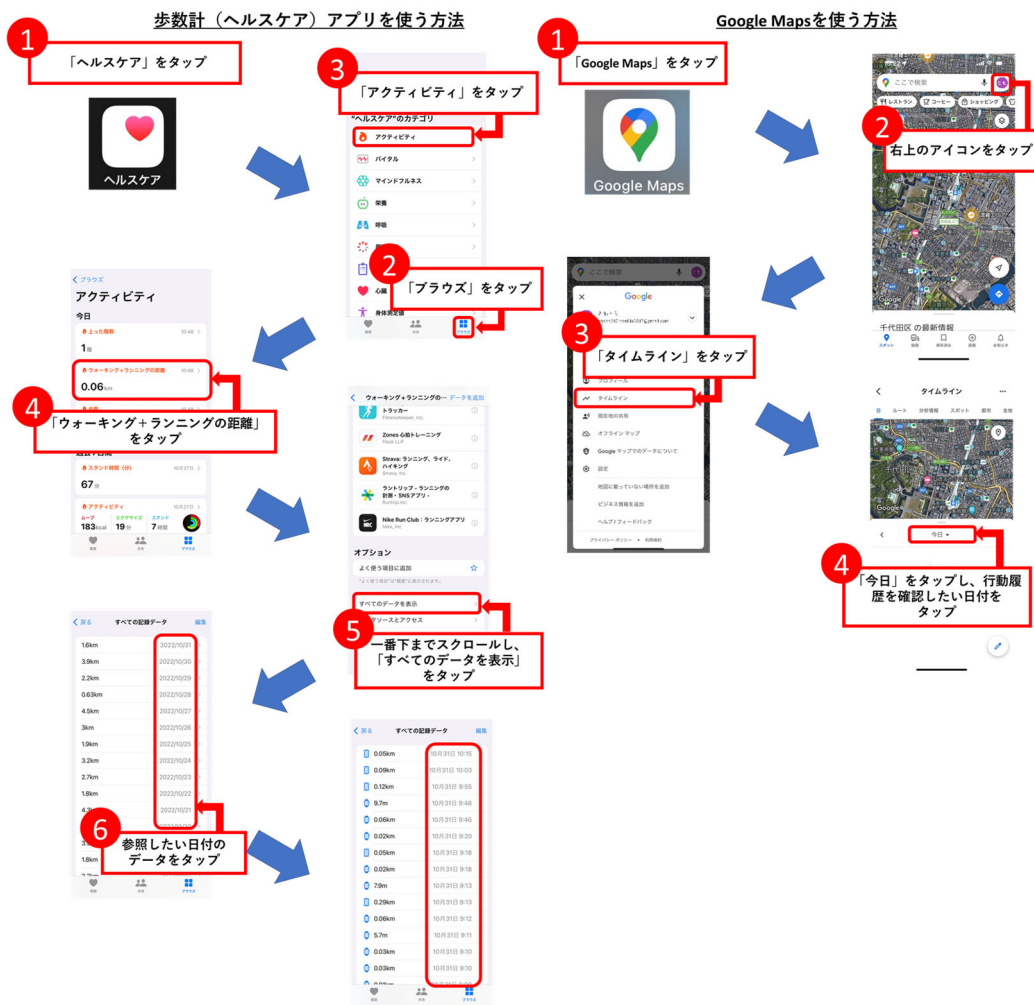
徴は異なるのか。

(a)を分析するために、A1, B1, C1 の 3 パターンを用意した。A1 は多くの交通調査で採用されている一般的なものであり、**出発時刻、到着時刻の順**に質問する。B1 は通常とは反対の順番であり、**到着時刻、出発時刻の順**に質問する。C1 は、**所要時間、出発時刻の順**に質問する。なお、「**出発時刻、所要時間の順**」に質問していないのは、**出発時刻**をはじめに尋ねる A1 と類似することを避け、回答者の注意を**所要時間**に向けさせるためである。

(b)を分析するために、A1 に手を加えた A2 と A3 が用

回答にあたっては、下に示すような、あなたの移動の時刻をたどることができるツールをできるだけ参照してください。なお、「※」で示すツールについては図を参考にしてください。

- <移動の時刻をたどることができるツールの例>
- 行動の記録に特化したアプリ
- 歩数計（ヘルスケア）アプリ※
- Google map※
- ウェブページの閲覧・検索履歴
- 写真の撮影時刻
- ファイルの保存時刻
- SNSの投稿履歴
- 他者との通信履歴（メール、メッセージ、電話）
- 買い物の履歴（ネットショッピング、QR、ICカード決済等）
- 買い物の履歴（紙媒体のレシート、駐車券等）
- 手帳



※クリック必須

図-2 移動の時刻をたどることができるツールの例と見方

意されている。A1 では (B1, C1 でも同様であるが) 出発時刻と到着時刻 (C1 では所要時間と出発時刻) を尋ねる際に、1 分単位まで正確に回答するような要請を行っていない。A2 と A3 は 1 分単位まで正確な回答をすることを明確に要請している。A2 では、調査票に「※お答えは 1 分単位までできるだけ正確にお答えください。」との注意書きを設けている。A3 には、この注意書きに加え、「※回答にあたっては、あなたの移動の時刻をたどることができるツールをできるだけ参照してください。」と記述している。ここでいう「ツール」は、歩数計 (ヘルスケア) アプリや他者との通信記録 (メール, メッセージ, 電話) 等である。A3 の回答者にのみ、移動の質問に入る前に図-2 を閲覧させ、ツールの例示とそ

の見方を説明している。なお、ツールの見方を示す画像はクリックすると拡大表示されるようになっているが、クリックしないと次の問に進むことができない設定にされており、回答者が読み飛ばすことのないようにしている。

回答者は上の 5 パターンの質問形式のいずれかに割り当てられる。また、それぞれの移動についてその目的も尋ねている。移動に関する質問の後、調査票に回答するに当たって参照したツール等を全員に対して尋ねている。さらに、A3 以外の回答者には自身の回答を確認・修正する機会が設けられている。しかし、今回の分析では参照したツールと修正された回答は使用しない。

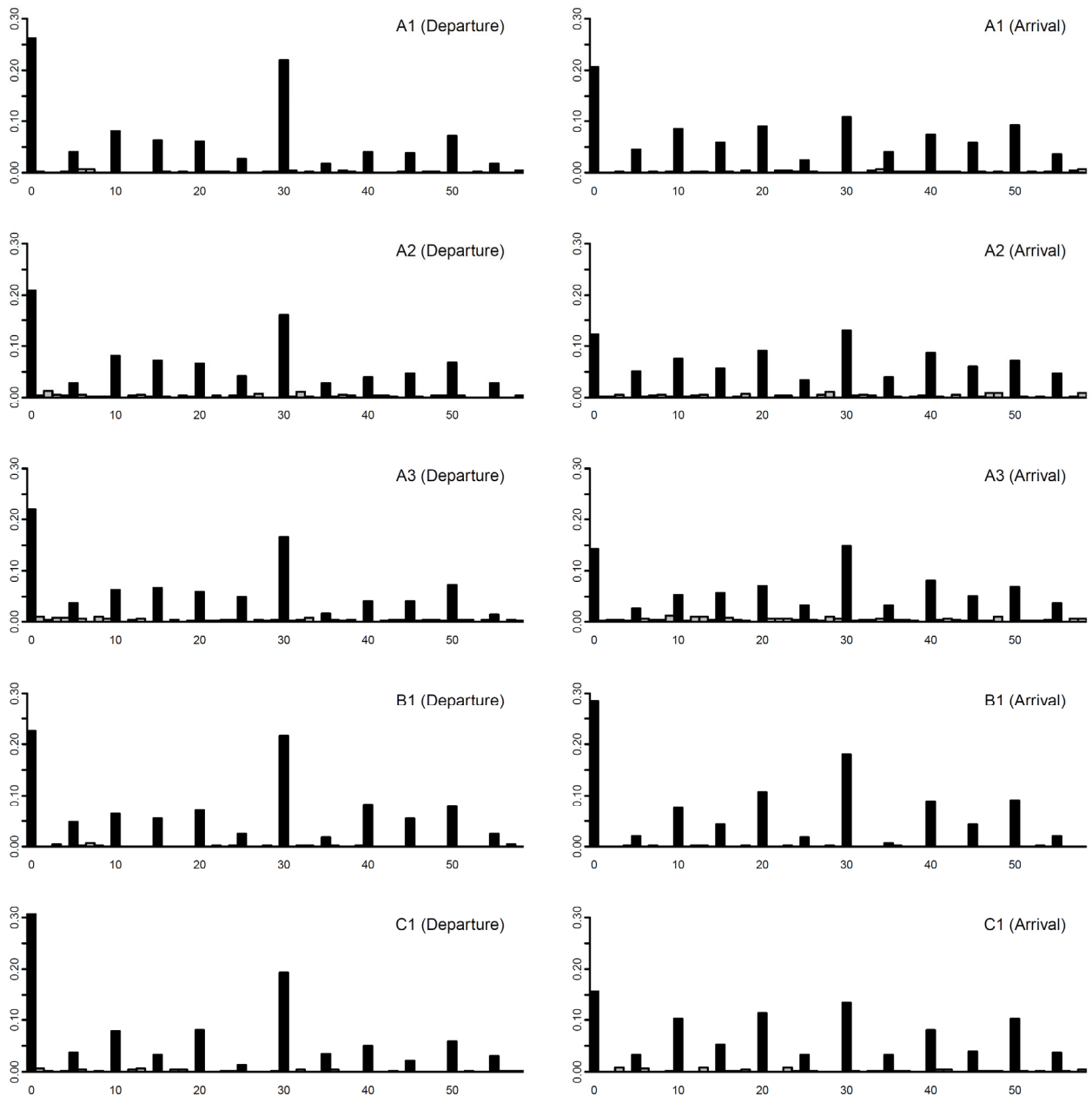


図-3 出発時刻・到着時刻の分布 (横軸：分、縦軸：比率)
注：5分の倍数を黒色で強調。

表-2 報告された上位 12 位

rank	A1		A2		A3		B1		C1											
	Departure	Arrival	Departure	Arrival	Departure	Arrival	Departure	Arrival	Departure	Arrival										
	min	ratio	min	ratio	min	ratio	min	ratio	min	ratio										
1	0	0.26	0	0.21	0	0.21	30	0.13	0	0.22	30	0.15	0	0.23	0	0.28	0	0.31	0	0.16
2	30	0.22	30	0.11	30	0.16	0	0.12	30	0.17	0	0.14	30	0.22	30	0.18	30	0.19	30	0.13
3	10	0.08	50	0.09	10	0.08	20	0.09	50	0.07	40	0.08	40	0.08	20	0.11	20	0.08	20	0.11
4	50	0.07	20	0.09	15	0.07	40	0.09	15	0.07	20	0.07	50	0.08	50	0.09	10	0.08	50	0.10
5	15	0.06	10	0.09	50	0.07	10	0.08	10	0.06	50	0.07	20	0.07	40	0.09	50	0.06	10	0.10
6	20	0.06	40	0.07	20	0.07	50	0.07	20	0.06	15	0.06	10	0.06	10	0.08	40	0.05	40	0.08
7	40	0.04	45	0.06	45	0.05	45	0.06	25	0.05	10	0.05	45	0.05	45	0.04	5	0.04	15	0.05
8	5	0.04	15	0.06	25	0.04	15	0.06	45	0.04	45	0.05	15	0.05	15	0.04	35	0.03	45	0.04
9	45	0.04	5	0.04	40	0.04	5	0.05	40	0.04	55	0.04	5	0.05	55	0.02	15	0.03	55	0.04
10	25	0.03	35	0.04	55	0.03	55	0.05	5	0.04	35	0.03	55	0.03	5	0.02	55	0.03	35	0.03
11	55	0.02	55	0.04	35	0.03	35	0.04	35	0.02	25	0.03	25	0.03	25	0.02	45	0.02	25	0.03
12	35	0.02	25	0.02	5	0.03	25	0.03	55	0.01	5	0.03	35	0.02	35	0.01	25	0.01	5	0.03
13-60		0.06		0.08		0.13		0.13		0.15		0.20		0.04		0.02		0.06		0.08

注：0分を黄色，30分を橙色，15，45分を青色，10，20，40，50分を緑色で着色．5分の倍数を赤字で表記．赤色で囲まれたところは同順位であることを示す．

4. 結果

(1) 調査の概要

調査は 2022 年 12 月に調査会社を通じて実施し，登録モニター1303人から回答が得られた．このうち，個人属性等にエラーのあったものを除いた 1269 人の回答を分析に用いた．パターン別に人数が均等になるように割り付けており，分析に用いたトリップは，A1から446トリップ，A2から530トリップ，A3から506トリップ，B1から439トリップ，C1から460トリップである．これらの中には，出発時刻のほうが到着時刻よりも遅いという矛盾のある回答もあったが，それらも含めて分析している．その理由は，こういった矛盾は実際の調査でも発生する可能性があるためである．

(2) 回答の分布

図-3は5つのパターン別に，報告された出発時間と到着時間の分布を描いたものである．ただし，C1の到着時刻は，報告された所要時間と出発時刻から算出した．総てのパターンの出発・到着時刻において，黒色で示す5分の倍数に報告値が集中していることが分かる．

これを回答された頻度の高い順に12位まで示したものが，表-2である．1~12位までの分（minの列）とその比率（ratioの列）を示している．分については，5分の倍数を赤字で示した．また，60分の倍数は黄色，30分の倍数は橙色，15分の倍数は青色，10分の倍数は緑色，という優先順位で着色した．また，13~60位までの比率の合計も示している．

5つのパターンの出発・到着時刻の総てについて，12位までは5分の倍数になっている．このことから，丸められて回答されていることが明らかである．13~60位の丸められていない時刻の占める比率を見ると，A1に比

べて，A2では大きく，A3ではさらに大きくなっている．このことは，「1分単位までできるだけ正確にお答えください」との注意書きと，これに加えて「回答にあたっては，あなたの移動の時刻をたどることができるツールをできるだけ参照してください」との依頼が，丸められていない回答の増加につながったと考えられる．また，B1においてのみ，丸められていない回答が出発時刻のほうが到着時刻よりも多い．B1においてのみ到着時刻が出発時刻よりも先に尋ねられているため，はじめに思い出させる時刻が丸められてる可能性がある．このことは，出発時刻と到着時刻のいずれかを確定させたのち，所要時間を考えることで到着時刻と出発時刻をそれぞれ確定させていることと矛盾しない．

今回考えている丸めの対象について，60分の倍数は必ず30分，15分，10分，5分の倍数であり，30分の倍数は必ず15分，10分，5分の倍数である．ただし，15分と10分の倍数は必ず5分の倍数ではあるものの，15分は10分の倍数とは限らない．つまり，5分，10分，15分，30分，60分の倍数の丸めが発生しているのであれば，全部の丸めの対象となる0分が最も多く観測され，次いで30分が観測され，次いで15分と10分のいずれかの倍数になっている10，15，20，40，45，50分が観測され，最後に5分のみ倍数となっている，5，25，35，55分が観測されることになる．

表-2において，1位と2位はいずれも0分か30分である．A2とA3の到着以外で1位が0分であることは，30分の倍数への丸めに加えて60分の倍数への丸めがあることを示唆している．また，A2とA3の到着でその傾向が見られていないことは丸めが軽減されたとも考えられる．

3位~6位は15分が4回観測されている以外は10・20・40・50分となっている．このことは，15分の倍数の

丸めの効果は 10 分の倍数の丸めの効果より小さいことが考えられる。

10 分の倍数は 10 位以降には全くなく、15 分の倍数は 10 位以降に 1 回しか観測されていないことから、10 分や 15 分の倍数は 5 分の倍数に加えて丸めの効果が幾分かあると考えられる。

(3) ジニ係数

ジニ係数は所得の不平等の程度を表す指標であるが、ここでは 0~59 分の報告が不平等に行われているかを表す指標として用いる。ジニ係数では、本来、報告された時刻が切りの良い数値に不平等に集中しているか、切りの良くない数値に不平等に集中しているか、識別できない。しかし、前節で述べたように、1~12 位が 5 分の倍数であり、13~60 位が 5 分の倍数ではないということが明らかになっているため、切りの良い数値への不平等な集中の指標として用いることができる。

作業としては、0~59 分を報告数の少ない順に並べ替え、横軸に分に関する累積比率を、縦軸に報告数に関する累積比率をとる。これをつないだものをローレンツ曲線と呼ぶ。また、原点から出発する 45 度線を完全平等線と呼ぶ。ジニ係数は、完全平等線以下の面積に対する、完全平等線とローレンツ曲線で囲まれる面積の、比率を表したものである。総ての分において 1/60 ずつの回答が得られていれば、ローレンツ曲線は完全平等線と一致するためジニ係数は 0 となり、0 に近いほど偏りが小さく、1 に近いほど偏りが大きいことを表している。

5 つの質問パターンのそれぞれについて出発時刻と到着時刻のジニ係数を算出したものを表-3 に示す。A1 に比べて A2 のほうが出発時刻と到着時刻の両方においてジニ係数が小さく、A3 のほうがさらにジニ係数が小さい。このことは、A2 と A3 で 1 分単位まで正確に回答を要請することによって丸めが緩和されていると考えら

が見られた。最初に尋ねる項目において、より、丸めが発生しやすいことが考えられる。

(4) 丸め誤差発生確率モデル

丸め誤差発生確率モデルでは、実際の出発時刻と到着時刻が 0~59 分の範囲に均等に分布しているという仮定のもと、回答が切りの良い値に丸められる確率を表現している。ここでは、実際の時刻 m (分) が報告時に m に最も近い r (分) の倍数に丸められると考える。ただし、 $m=0, 1, 2, \dots, 59, r=5, 10, 15, 30, 60$ とする。

Rietveld (2002)³⁾ と Sato and Maruyama (2020)⁴⁾ に従い、 m (分) が報告時に m に最も近い r (分) の倍数に丸められる確率 $p_{m,r}$ は、「切片 a_r 」と「比例定数 b_r と最寄りの r (分) の倍数との距離 $d_{m,r}$ の積」の和で表されると考える。つまり、実際の時刻が m (分) であっても、それが m (分) として報告される確率は、 $p_{m,r}$ だけ少なくなる。 a_r が正、 b_r が負である場合が最も想像しやすく、どの m (分) もある一定の a_r だけ丸めによって観測される確率が減少するが、その減少の程度は最寄りの r (分) の倍数との距離 $d_{m,r}$ が大きくなるほど緩和されることを表現している。この定式化は式(2)の通りである。

$$p_{m,r} = a_r + b_r d_{m,r} \quad (2)$$

これに対し、 m (分) が r の倍数であるとき、実際には m (分) ではない時刻が m (分) として報告される分だけ多く観測されることになる。この増加分は、 m (分) が最も近い r (分) の倍数となる分を m' とするとそれらの分において引かれている $p_{m',r}$ の和である。この増加分は $p_{mf,r}$ であり、式(3)で表現される。ただし、 $m'=0, 1, 2, \dots, 59$ であり、 m' がこの範囲に入らないときは、60 を足すあるいは減ずることで、この範囲になるようにするものとする。

$$p_{mf,r} = \begin{cases} \sum_{m'=m-\frac{r-1}{2}, m-\frac{r-1}{2}+1, \dots, m, \dots, m+\frac{r-1}{2}-1, m+\frac{r-1}{2}} p_{m',r} & (\text{if } r \text{ is odd}) \\ \sum_{m'=m-\frac{r}{2}+1, m-\frac{r}{2}+2, \dots, m, \dots, m+\frac{r}{2}-2, m+\frac{r}{2}-1} p_{m',r} + \sum_{m'=m-\frac{r}{2}, m+\frac{r}{2}} \frac{p_{m',r}}{2} & (\text{if } r \text{ is even}) \end{cases} \quad (3)$$

れる。また、B1 以外では出発時刻のほうが到着時刻よりもジニ係数の値が大きいのにに対し、B1 では逆の傾向

表-3 ジニ係数

	出発時刻	到着時刻
(A1)	0.857	0.809
(A2)	0.787	0.765
(A3)	0.769	0.706
(B1)	0.864	0.887
(C1)	0.862	0.815

r が奇数である $r=5, 15$ の場合と、 r が偶数である $r=10, 30, 60$ の場合で扱いが異なる。

r が奇数の場合には m が最も近い r の倍数となる m' は $m - \frac{r-1}{2}, m - \frac{r-1}{2} + 1, \dots, m, \dots, m + \frac{r-1}{2} - 1, m + \frac{r-1}{2}$ で

あるため、それらの m' において m に丸められる確率が加算されることになる。具体例として、 $r=5$ で $m=5$ のときには、 $m'=3, 4, 5, 6, 7$ となる。

r が偶数の場合には m が最も近い r の倍数となる m' は $m - \frac{r}{2} + 1, m - \frac{r}{2} + 2, \dots, m, \dots, m + \frac{r}{2} - 2, m + \frac{r}{2} - 1$ であり, $m - \frac{r}{2}$ と $m + \frac{r}{2}$ は m に加えて, それぞれ $m - r$ と $m + r$ も最も近い r の倍数となる. よって, それらのうち $1/2$ を m への貢献分として加算する. 具体例として, $r = 10$ で $m = 10$ のときには, $m' = 6, \dots, 10, \dots, 14$ に加え, $m' = 5, 15$ のときの $1/2$ が加算される.

以上をまとめると, m (分) と報告される確率 q_m は式(4)で定義される. なお, m (分) が r の倍数である場合には, $p_{m,r}$ が引かれたうえで, $p_{m_f,r}$ が足されていることに注意が必要である.

$$q_m = \frac{1}{60} \times \begin{bmatrix} 1 - p_{m,5} - p_{m,10} \\ -p_{m,15} - p_{m,30} - p_{m,60} \\ +\delta_{m,5}p_{m_f,5} + \delta_{m,10}p_{m,10} \\ +\delta_{m,15}p_{m,15} + \delta_{m,30}p_{m,30} - \delta_{m,60}p_{m,60} \end{bmatrix} \quad (4)$$

なお, $\delta_{m,r}$ は m が r の倍数のときに 1, そうではないときに 0 をとるダミー変数である. なお, $1/60$ が掛けられているのは, 0~59 分の範囲で実際の時刻が均等に分布していることを表現している.

モデルは式(5)の対数尤度関数 LL を最大化することによって推定される.

$$LL = N_0 \ln q_0 + N_1 \ln q_1 + \dots + N_{59} \ln q_{59} \quad (5)$$

本研究では, まず, $b_r = 0$ とし, a_r ($r = 5, 10, 15, 30, 60$) の推定有無に関する $2^5 = 32$ 通りのモデルを推定し, 最も AIC が小さいモデルを採択した. その結果を示したのが, 表4である. $b_r = 0$ を仮定しないモデルの結果は報告時に紹介する予定である.

Rho sq. の値を見ると, A2 と A3 では小さい値となっている. 仮に, 全部の分において均等に回答されているのであれば, $a_r = 0$ となっているはずであり, Rho sq. = 0 となる. 一方, Rho sq. の値が大きいことは, 丸め誤差発生確率モデルによって丸めを表現できることを意味し, 丸めが発生していることが確認できる.

また, B1 以外は Rho sq. が出発時刻のほうで大きいことも, はじめに尋ねられた項目において, 丸めが発生しやすいことを示唆している.

5. おわりに

本研究は, 自記式の調査における丸め誤差の発生要因について, 2つの視点から分析した. (a) 出発時刻と到着時刻を尋ねる順番によって丸め方の特徴は異なるのか, また, 所要時間を尋ねることで丸め方の特徴は異なるのか. (b) 丸めて回答しないように依頼した場合, 丸めの特徴は異なるのか.

(a) を分析するために, 出発時刻, 到着時刻の順に尋ねる質問 A1 に加え, 到着時刻, 出発時刻の順に尋ねる質問 B1, 所要時間, 出発時刻の順に尋ねる質問 C1 を用意した. (b) を分析するために, 出発時刻, 到着時刻の質問において, 回答の正確さについて特に言及しない先述の A1 に加え, 1 分単位までできるだけ正確に回答を要請する A2, A2 の要請に加えて移動の時刻をたどることができるツールをできるだけ参照することを要請する A3 を用意している.

A1, A2, A3, B1, C1 の 5 パターンの出発時刻, 到着時刻において観測された 1~12 位の分はいずれも 5 分の倍数であり, 明確な丸めの傾向が見られた. また, 全体的な傾向として, 0 分, 30 分, 10・20・40・50 分, 15・45 分, 5・25・35・55 分, その他の順に回答数が多かった. また, 5 分の倍数以外の回答数から, A2, A3 では丸めが少ないこと, B1 では到着時刻のほうで丸めの傾向が大きいことが明らかになった. 同様の傾向がジニ係数を用いた分析と, 丸め誤差発生確率モデルを用いた分析でも確認できた.

謝辞: 本研究は, JPSP 科研費 21H01458, 19K01962 の助成を受けたものである. 調査票の設計において, 円山琢也教授 (熊本大学) からいただいた有益な助言に謝意を表す.

表4 推定結果

	A1		A2		A3		B1		C1											
	Departure	Arrival	Departure	Arrival	Departure	Arrival	Departure	Arrival	Departure	Arrival										
	Est.	t-stat.	Est.	t-stat.	Est.	t-stat.	Est.	t-stat.	Est.	t-stat.										
a_5	0.294	6.76	0.416	8.50	0.347	7.88	0.482	9.64	0.312	7.15	0.330	7.26	0.339	7.36	0.193	5.41	0.323	9.13	0.383	7.94
a_{10}	0.225	5.49	0.293	6.88	0.192	4.89	0.229	5.12	0.181	4.66	0.222	5.41	0.270	6.12	0.444	10.63	0.232	5.86	0.395	8.29
a_{15}	0.099	2.96	0.088	2.73	0.111	3.34	0.062	1.80	0.101	3.08	0.091	2.75	0.103	2.91	0.107	3.54	-	0.048	1.45	
a_{30}	0.306	8.50	-	0.138	3.47	0.059	1.95	0.163	4.02	0.108	3.47	0.243	6.59	0.125	2.77	0.253	6.16	0.068	2.05	
a_{60}	-	0.099	4.32	0.049	1.86	-	0.053	1.94	-	-	-	0.105	3.26	0.113	3.47	-	-	-		
n	446	446	530	530	506	506	439	439	460	460										
Rho sq.	0.397	0.329	0.300	0.268	0.290	0.232	0.407	0.453	0.407	0.327										

参考文献

- 1) Sanko, N., Iriguchi, N. (2022). Are self-reported times rounded? Insights from times reported by an objective third party. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 16, 100698.
- 2) Heitjan, D.F., Rubin, D.B. (1990). Inference from coarse data via multiple imputation with application to age heaping. *Journal of the American Statistical Association* 85(410), 304–314.
- 3) Rietveld, P. (2002). Rounding of arrival and departure times in travel surveys: An interpretation in terms of scheduled activities. *Journal of Transportation Statistics* 5(1), 71–82.
- 4) Sato, Y., Maruyama, T. (2020). Modeling the rounding of departure times in travel surveys: Comparing the effect of trip purposes and travel modes. *Transportation Research Record* 2674(10), 628–637.
- 5) 佐藤嘉洋, 円山琢也 (2021) . ウィップル指数を応用した交通調査データ質評価指標の開発と適用. 土木計画学研究発表会・講演集 63, CD-ROM.
- 6) 佐藤嘉洋, 円山琢也 (2022) . 交通調査における丸め誤差評価指標の改良と英国交通調査データ時系列分析への適用. 土木計画学研究発表会・講演集 65, CD-ROM.

(2023. 3. 6 受付)

IMPACT OF EXACT REPORTING REQUESTS AND QUESTION ORDERS ON
ROUNDING IN TIMES REPORTED

Nobuhiro SANKO and Tomohito TSUJINAGA