

# リアルタイム Context-aware SP 調査データ を用いた回答タイミングが推定結果 に及ぼす影響分析

藤原 啓示<sup>1</sup>・Varun Varghese<sup>2</sup>・力石 真<sup>3</sup>・円山 琢也<sup>4</sup>・藤原 章正<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 広島大学大学院先進理工科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: fujiwara-keishi@hiroshima-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 広島大学助教授 先進理工系科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: varunv@hiroshima-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 広島大学准教授 先進理工系科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: chikaraishim@hiroshima-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>4</sup>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 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1)

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

<sup>5</sup>正会員 広島大学教授 先進理工系科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: afujiw@hiroshima-u.co.jp

表明選好(Stated Preference:SP)データの信頼性や妥当性を向上させるために、顕示選好(Revealed Preference:RP)データを活用したいくつかの SP 調査が提案されてきた。その 1 つに、時間制約などの実際の RP の場面において直面する文脈要因を所与とした上で設問に回答してもらう context-aware SP 調査がある。context-aware SP 調査では、RP 行動実施タイミングと SP 回答タイミングの差(回答遅れ)が大きいほど、被験者は RP 文脈を正確に思い出せない恐れがあることから、筆者らは、リアルタイムに SP 設問に回答できる調査ツールを開発してきた。本研究では、熊本及び広島において収集したリアルタイム context-aware SP 調査データを用いて、回答遅れが SP 回答に及ぼす影響を評価した結果を報告する。分析の結果、被験者は、回答遅れが大きいほど RP 属性ではなく SP 属性を重視して回答する傾向が確認された。

**Key Words:** context-aware sp survey, real-time, response lag,

## 1. はじめに

現存しない技術やサービスに対する選好を調査する手段の一つとして、被験者の選好意識の観測を目的とした表明選好(Stated Preference:SP)調査がある。SP 調査では、選択結果が被験者の現実の効用に影響を与えないことから、肯定バイアスや無制約バイアス、正当化バイアス、政策操縦バイアスといったデータにバイアスが生じることが知られている<sup>1)</sup>。また、仮想的な選択画面を調査票内で掲示するという SP 調査の特性上、被験者が意思決定する際に、会議があるため遅刻できないといった意思決定時の文脈に応じて生じる様々な要因(以下、文脈要因と呼ぶ)を捨象した調査を採用する事例が多く、現実の選択行動と表明選好との間に一定の剥離が生じる可能性が残る。

以上の課題に対し、顕示選好(Revealed Preference:RP)の情報を活用して SP 調査を設計する方法が提案されている<sup>2)</sup>。

特にスマートフォンやインターネットの発展に伴い、RP 情報を SP 調査の設計に活用することが容易になりつつある。RP 情報を活用した SP 調査方法の 1 つとして context-aware SP 調査<sup>3)</sup>がある。この調査方法では、文脈要因を被験者が実際の意思決定場面で直面する文脈要因として所与する SP 調査に回答してもらうことで、文脈要因の影響を捨象せず SP 調査を行うことが可能となる。しかしながら context-aware SP 調査では、RP 行動実施タイミングと SP 回答タイミングの差(以下、回答遅れと呼ぶ)が大きいほど、被験者は RP 文脈を正確に思い出せない恐れがある。この問題を緩和するために、筆者らは、RP 行動実施直後にリアルタイムに SP 設問に回答できる

調査ツールを開発してきた<sup>8)</sup>。

本研究では、ロードプライシング状況下の行動変容（選択肢：1.料金を支払い、ロードプライシング状況下において同じ行動をする 2.行動を取りやめる 3.時間帯を変更する 4.目的地を変更する 5.交通手段を変更する 6.経路を変更する）を尋ねるリアルタイム context-aware SP 調査のデータを用いて、回答遅れが SP 回答に及ぼす影響を定量的に分析する。

具体的には、以下の3つの仮説を検証する。

- H1. 回答遅れが大きいほど、選択肢に系統バイアスが生じてしまうのではないかと。
- H2. 回答遅れが大きいほど、被験者が文脈（実際の行動）を再構成することが困難となり、つまり回答遅れが RP 属性が選択結果に与える影響を小さくする調整変数として働くのではないかと。
- H3. 回答遅れが大きいほど、SP 属性に大きく影響を受け、つまり回答遅れが SP 属性が選択結果に与える影響を大きくする調整変数として働くのではないかと。以上の仮説を図 1 に整理する。

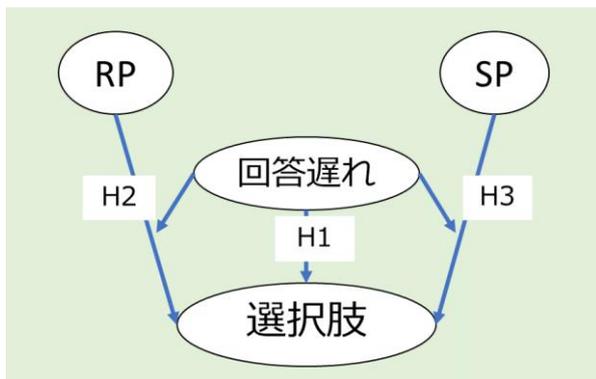


図 1 3つの仮説の関係図

1つ目は、回答遅れにより、文脈要因を考慮しない選択を行い、回答に系統バイアスが生じる可能性について検証する。たとえば、1日の残りの行動パターンに影響を及ぼすため、ロードプライシング状況下で交通手段変更の選択しない被験者が、回答遅れが大きくなると、文脈要因を無視し、交通手段変更の選択をする可能性がある。2つ目、3つ目は、回答遅れが大きくなると、RP(SP)属性の選択肢に対する相対的な影響が弱（強）くなるのではないかとという仮説を検証する。つまり、回答遅れが大きいほど、被験者は主に SP 属性に基づいて回答を行い、RP 文脈を考慮しない傾向がある可能性について検証する。

本研究の構成は以下となっている。第 2 章では、文献レビューを行い、第 3 章では推定で用いたモデルについて述べる。そして、第 4 章では、リアルタイム context-

aware SP 調査のデータに対する、基礎分析の結果と推定結果について述べ、第 5 章では結論を述べる

## 2. 文献レビュー

### (1) SP 調査の信頼性を高める工夫

上述したように、SP 調査を用いることで、仮想の状況下での選好を把握できるが、SP 調査では被験者が回答する際に、実験方法などにより回答に肯定バイアスといった様々なバイアスが生じ、正確な被験者の選好を捉えられない可能性がある。

このような SP 調査に伴う問題点を解決するために、SP 回答時に仮想調査では偏りが生じる可能性があることを被験者にメッセージで伝えたり（チープトーク）<sup>9)</sup>、選択結果の確信度（0-10点）<sup>9)</sup>を付けてもらう調査方法等が存在する。さらに、SP 属性を変化させ、以前の選択結果に基づき SP 水準を動的に変動することで選好の観測精度を高める（Adaptive SP 調査）<sup>10)</sup>などが開発されている。また、上記のバイアスを減少させるために、SP 調査と RP 調査を組み合わせたモデリング手法が開発されている。以下の節ではそれらの手法についてレビューを行う。

### (2) RP 情報を用いた SP 調査のバイアス修正方法

この節では、RP 情報を用いた SP 調査のバイアスの修正方法に関して、文献で取り込まれてきた方法について議論する。

RP データと SP データの利害損失をお互いに補完可能な RP/SP モデル<sup>11)</sup>が提案された。この手法では、(1) RP データだけでは同定できないパラメータを推定可能であること、(2) SP データから取得できる属性間のトレードを表すパラメータを同時推定可能（統計的有効性の増大）、(3) SP データに挙げられる様々なバイアスを修正可能となることの 3 点<sup>11)</sup>が可能となる。RP/SP モデルでは、SP と RP データの誤差項のスケールの差異を統一するモデリングが行われる。さらに、誤差項の相関を考慮した RP/SP 同時モデルも提案されている<sup>11)</sup>。しかしながら、この RP/SP モデルでは、RP 文脈が SP 選択に与える影響について直接考慮できていない。つまり、この RP/SP モデルは、RP データと SP データをすでに独立に収集している場合に、事後的に SP 調査の問題に対処する方法であるといえる。

### (3) RP 調査を組み合わせた SP 調査設計方法

より現実的な SP 調査を設計するため、RP 調査を組み合わせた調査方法が開発されている。まず、被験者の RP 情報を中心に増減させ SP の属性水準や選択肢を作成する Pivoting SP 調査方法<sup>12)</sup>がある。しかしながら、

Pivoting SP 調査では、SP の属性水準をより現実的に近い値に設定することを目的に RP 情報が利用されるに留まり、被験者が SP 回答時に RP 文脈を考慮するように設計されるわけではない。例えば、重要な会議のために遅刻できない場合は、ロードプライシングの状況下においても、料金を支払い同じ行動をする意思決定をする可能性がある。そのような RP 文脈はロードプライシング導入後の人々の行動変容を推定する上で、重要と考えられるが、Pivoting SP 調査はこの点を考慮できていない。それらの文脈要因を無視すると、新しい交通手段に対する選好を過大に見積もるといったバイアスが生じることが報告されている<sup>12,13</sup>。

また、RP 調査を組み合わせたもう一つの SP 調査方法として、context-aware SP 調査<sup>7</sup>がある。この context-aware SP 調査は、被験者が行った RP 情報を基に SP 調査を設計するため、RP 文脈を考慮した SP 回答を得ることができる。また、SP-off-RP<sup>2</sup>調査も RP 文脈を考慮した上で SP 回答を得ることを目的とした調査であり、概ね同様の発想に基づく調査手法といえる。しかしながら、context-aware SP 調査や SP-off-RP 調査において回答遅れが大きい場合に、被験者が RP 文脈を正確に思い出せない恐れがあり、RP 文脈を適切に考慮した SP 回答を得られない可能性がある。

そこで筆者らは、リアルタイムに RP 文脈を反映し SP 設問に回答できる調査ツールを開発した<sup>8</sup>。リアルタイム context-aware SP 調査では、RP 情報に基づきリアルタイムに SP 回答できるため、被験者は RP 文脈を思い出しやすく、信頼性の高い SP 回答が得られると期待される。しかしながら、筆者らの知る限り、交通分野におけるリアルタイム性のある SP 調査の実施は筆者らが行った調査を除き既存の事例がなく、回答のリアルタイム性の有効性は確認されていない。

#### (4) 回答時間が選択意思決定に対する影響の根拠

SP 調査の選択肢に対する回答時間の影響に焦点を当てた研究が多数存在する。例えば、紙ベースの調査では、被験者に自己申告の反省点を掲示した場合に、新商品に対する選好が低くなった<sup>14</sup>。一方で、web を用いた調査では、新商品に対する選好が増加した<sup>15</sup>。また、SP 調査の回答時間が長いほど、mixed logit モデルの誤差項の分散とランダムに分布したパラメータの分散が減少することが示された<sup>15,17</sup>。しかしながら、他の研究では、回答時間が長いと誤差項の分散が増加すると指摘されている<sup>18</sup>。

本節で述べた回答時間と本研究で用いる回答遅れは定義が異なる。回答時間は回答するため費やした時間である。一方、回答遅れは RP 調査が終了してから、SP 回答を完了するまでの時間である。従って後者は回答時間を

含む。

### 3. ロードプライシング状況下における行動変容モデル

本章では、上記の 3 つの仮説を確認するためにロードプライシング導入後の行動変容のモデルについて述べる。本研究では、広島都市圏及び熊本都市圏で実施したロードプライシング状況下におけるリアルタイム context-aware SP 調査<sup>8</sup>で取得したデータを用いる。この SP 調査では、被験者にロードプライシングによる行動取りやめ、時間、目的地、交通手段、経路といった行動変容について回答してもらう（詳細は次章で述べる）。SP 回答には 6 つの選択肢があり、本研究では選択肢 1（行動変容しない）の効用を基準とする。まず、以下の式のランダム効用関数を用いる

$$U_{ikj} = V_{ikj} + \varepsilon_{ikj} \quad (1)$$

$V_{ikj}$  は、個人  $i$  のトリップ  $k$  で選択肢  $j$  に関する確定効用関数であり、 $\varepsilon_{ikj}$  は、標準ガンベル分布に従う誤差項である。

本研究では、(1) 回答遅れを説明変数として追加することにより、回答遅れがもたらす系統バイアスを確認すること（仮説 1）、(2) SP, RP 属性それぞれに設定したスケールパラメータを回答遅れの関数とすることにより、回答遅れが RP 属性と SP 属性に及ぼす影響を定量的に把握すること（仮説 2, 仮説 3）の 2 点を達成するために、以下の確定効用関数  $V_{ikj}$  を仮定する。

$$V_{ikj} = \theta_{ik}^{SP} \beta_j^{SP} x_{ikj}^{SP} + \theta_{ik}^{RP} \beta_j^{RP} x_{ikj}^{RP} + \beta_i^{At} x_{ikj}^{At} + \gamma_j \ln(L_{ik}) + \beta_j^{const} \quad (2)$$

ただし、 $x_{ikj}^{SP}, x_{ikj}^{RP}$  はそれぞれ SP 調査と RP 調査で得られた選択肢  $j$  のトリップ  $k$  の個人  $i$  の説明変数のベクトルであり、 $L_{ik}$  は個人  $i$  の回答遅れ [minutes] を対数を取った値である。また、 $\beta_j^{SP}, \beta_j^{RP}$  は、選択肢  $j$  の SP データと RP データに対してのそれぞれの未知パラメータである。さらに、 $x_{ikj}^{At}$  は個人属性を表す説明変数のベクトルであり、 $\beta_j^{At}$  は未知パラメータである。また、 $\beta_j^{const}$  は各選択肢の定数項であり、 $\gamma_j$  は回答遅れに関する未知パラメータである。本研究では回答遅れが RP 属性と SP 属性に及ぼす影響を評価するスケールパラメータ  $\theta_{ik}^{SP}$  と  $\theta_{ik}^{RP}$  を導入する。ここで、スケールパラメータ  $\theta_{ik}^{SP}$  と  $\theta_{ik}^{RP}$  は以下の関数で表される。

$$\theta_{ik}^{SP} = f_B(\alpha^{SP} \times \ln(L_{ik})) \quad (3)$$

$$\theta_{ik}^{RP} = f_B(\alpha^{RP} \times \ln(L_{ik})) \quad (4)$$

ただし、 $\alpha_{SP}, \alpha_{RP}$  は未知パラメータである。また、スケールパラメータを決定する際に効用関数の形を変更させ、期待効用を高める。 $f_B$  は以下の式で表す。

$$f_B(x) = \begin{cases} \exp x, & (\lambda = 1) \\ (1 + (1 + \lambda)x)^{\frac{1}{1-\lambda}}, & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (5)$$

上記の box-cox 型の関数  $f_B$  は、スケールパラメータに対する回答遅れの潜在的な非線形の影響を反映させるために導入する。本研究では、 $\lambda$  を変化させ推定を行い、一番尤度が高い場合のパラメータを採用する。

#### 4. データ分析

##### (1) 対象データ

本調査は、2020年1月と2月に広島都市圏及び熊本都市圏で実施され、それらの中心市街地を定期的に自動車で通過または訪問している人（約160名）を被験者とした。このSP調査では、被験者に対して仮想的な状況として、「中心市街地内に入るまたは移動する際に一定の金額（通行料金）を支払う必要がある」という状況を示した。まず、RP調査でトリップ属性（目的・交通手段）を取得し、被験者が図2に示す仮想の地域に入り、トリップ完了直後にRP情報に基づいたSP調査の属性として、

時間帯（朝ピーク、オフピーク、タピーク）、通行料金、旅行短縮時間の様々な組み合わせの通知を受け取る。具体的には、図3に示すように被験者のスマートフォンの画面にSP調査の属性と質問が表示された。SPの属性として、(1) 移動の短縮時間、(2) 基本料金、(3) オフピーク時の基本料金、(4) オフピーク時間帯の開始時間の4つをランダムに設定した。これらの属性に基づいて、短縮時間と通行料金を表1の計算式を用いて求め、被験者に提示した。通行料金に関しては、図4に示す期間ごとに料金設定の仕方を変更した。また、被験者が選択する行動変容の6つの選択肢を表2に示す。

図3に、課金エリアに入った後に、被験者に提示するSP選択枝のシナリオを示す。この例では、通行料金を500円、旅行短縮時間を6分（総旅行時間を30分）と設定し、9時から16時の間に移動してもらう。そして、被験者は6つの選択肢から選ぶ（表2に示す）。



図2 課金エリア（左：広島都市圏，右：熊本都市圏）



図3 SP調査の選択画面

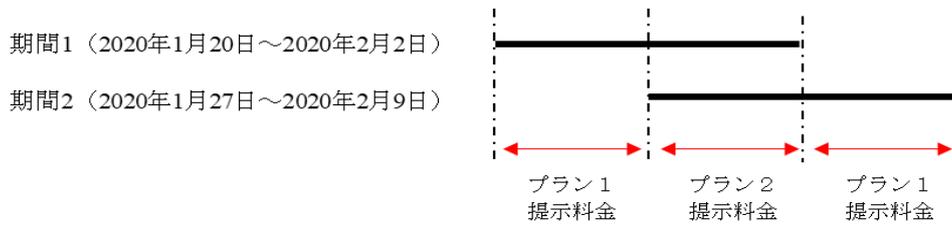


図 4 SP 調査の設定料金の期間

表 1 SP 調査の属性

	プラン 1	プラン 2
短縮時間	$z \times x$ 分短縮	$z \times x$ 分短縮
通行料金	1. [6:00-t] → $y$ (円) 2. [t-16:00] → $y \times m$ (円) 3. [16:00-19:00] → $y$ (円) 4. others → 0 (円)	1. [6:00-t] → $z/30 \times y$ (円) 2. [t-16:00] → $z/30 \times y \times m$ (円) 3. [16:00-19:00] → $z/30 \times y$ (円) 4. others → 0 (円)

z: エリア内の滞在時間

y: オフピーク時の基本料金{50, 100, 250, 500, 1000}

m: オフピーク時の料金{0.3, 0.4, 0.5}

t: オフピーク 時間帯の開始時間{9:00, 10:00, 11:00}

x: 短縮時間 {0.1, 0.2, 0.3, 0.4}

表 2 SP 調査の選択結果

選択肢		計	
行動変容なし	1 料金を支払い, 同じ行動をする	635 (34.4%)	
行動変容あり	2 移動を取りやめる	43 (2.3%)	1211 (65.6%)
	3 時間帯を変更する	150 (8.1%)	
	4 目的地を変更する	51 (2.8%)	
	5 交通手段を変更する	144 (7.8%)	
	6 経路を変更する	823 (44.6%)	
計		1846 (100%)	

(2) 基礎分析

表 2 は SP 回答結果の分布を表し, 行動変容なしと行動変容ありの 2 種類に分けることができる. 約 1/3 の被験者が行動変容しない選択肢, つまりロードプライシング状況下でも同じ行動をする選択肢を選び, 約 2/3 の被験者は行動変容する 5 つの選択肢を選んだ. この結果より, ロードプライシングが交通行動に及ぼす影響は無視できないことが分かる. 行動変容する選択をした被験者の中で, 選択肢 2 (移動を取りやめる) と選択肢 4 (目的地を変更する) を選ぶ割合は比較的少ない. 理由として, 通勤や業務目的の人は, 移動を取りやめたり, 目

的地を変更するといった大きな行動変容することが難しいからである. 一方で, 選択肢 6 (経路を変更する) を選ぶ割合が一番多い. つまり, 被験者は料金の支払いを避けるために, 現在の時間帯や目的地や交通手段を維持するが, 経路を変更する傾向があることがわかる.

図 5 に回答遅れとトリップ目的の関係を示す. 業務の目的の人は, 選択肢 1 (料金を支払い, 今回と同じ移動をする) の割合が最も高く (42.4%), 一方, 通勤目的の人は選択肢 1 の割合が最も少ない (30.8%). つまり, 業務目的の人は交通行動 (経路や交通手段) を変更することが難しく, 料金を支払う傾向があるのに対し, 通勤の人は, 行動変容して料金の支払いを避ける傾向がある

ことがわかる。図 6 に SP の選択肢と通行料金の関係を示す。料金が增加するほど、選択肢 1（料金を支払い、同じ行動をする）を選ぶ被験者の割合は減少する。さらに、料金が 100 円より少ない場合は、料金を支払う被験者の割合がかなり高くなる（50.6%）。図 7 に選択肢と回答遅れの関係を示す。回答遅れが大きいほど、選択

肢 1 を選ぶ傾向が高いことから、回答遅れが大きいほど、ロードプライシングの影響が小さくなる。この結果は、選択肢に系統バイアスが生じる可能性を示唆する。

(3) 推定結果

RP 属性に関する説明変数は表 3 に示す変数を用いた。

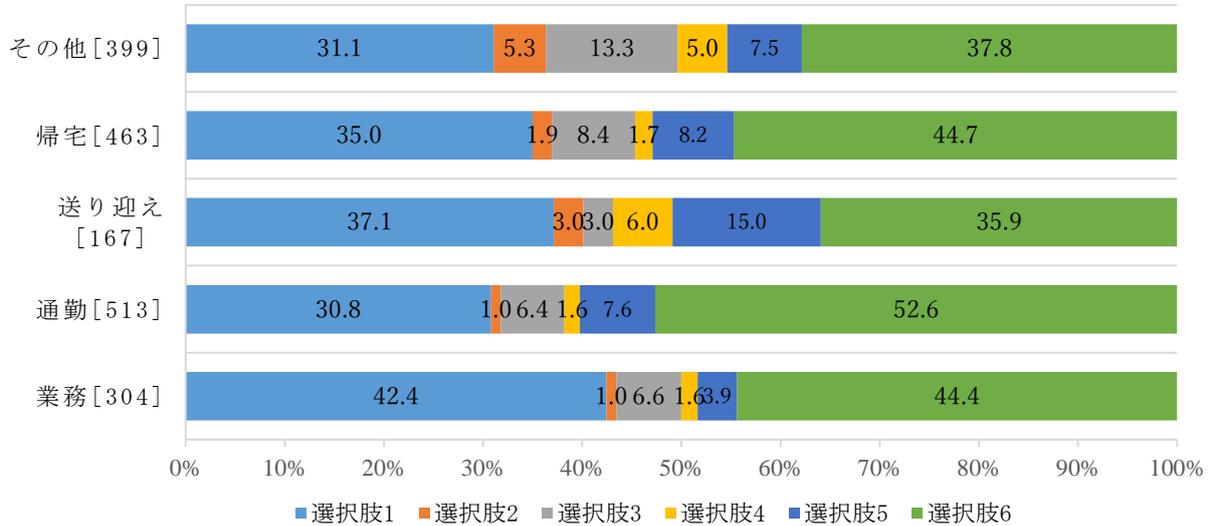


図 5 選択肢とトリップ目的の関係 [サンプル数]

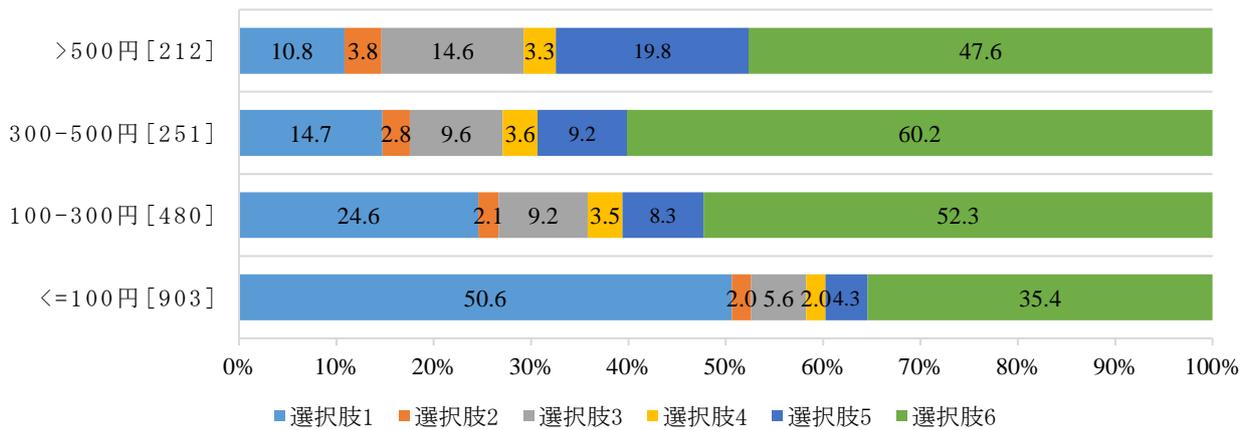


図 6 選択肢と通行料金の関係 [サンプル数]

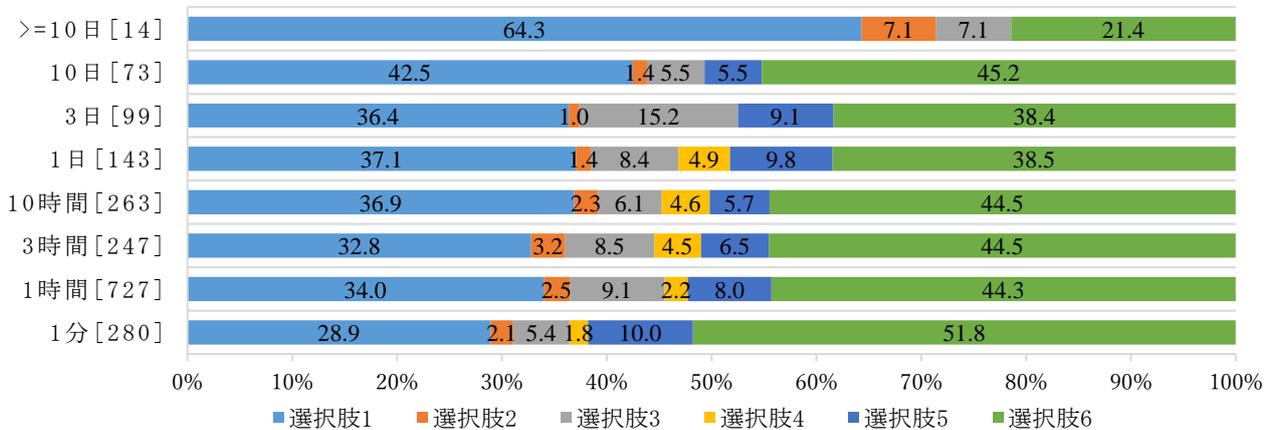


図 7 選択肢と回答遅れの関係 [サンプル数]

また、SP属性に関する通行料金と短縮時間は表1に示す変数を用いた。今回、 $\lambda = 1$ の場合が一番最終尤度が高くなったので、この値を用いて推定を行ったときの結果を表4に示す。

推定結果からわかることは主に2つある。1つ目は、表4に示すように、回答遅れを表すパラメータ( $\gamma_j$ )が選択肢2,3,6に関して、負の値で有意となった。つまり選択肢1に比べて、選択肢2,3,6を選ばない可能性がある。結果から回答遅れによりSPデータに系統バイアスが発生している可能性が示唆された。2つ目は、表4よりSP属性とRP属性の影響を示す未知パラメータ $\alpha^{SP}$ が正の値、 $\alpha^{RP}$ が負の値となり、さらに双方のパラメータとも有意となった。つまり、回答遅れが大きいと、選択肢に対してSP属性は影響が大きく、RP属性は影響が小さくなる。以上の推定結果は、回答遅れの影響に関する1章に示した3つの仮説を支持するものといえる。

さらに、回答遅れがSP属性とRP属性と個人属性と誤差項に与える影響を可視化するために分散分解<sup>19)</sup>を用いて図8-10のグラフに表した。このグラフの縦軸は、SP属性とRP属性と個人属性と誤差項の割合を示し合計を100とし、横軸はSP選択肢が提示されてから回答するまでの時間(1[minute],1[hour],3[hour],1[day],3[day],10[day])を示す。グラフより、各選択肢でRP属性の割合の差(特に選択肢5,6のRP属性の割合が少ない)が生じたものの、すべての分散の割合の中で、RP属性の割合はSP属性の割合に比べて相対的に小さい。すべての選択肢において回答遅れが大きくなるほど、SP属性の割合が増加しRP属性と個人属性と誤差項の割合が減少した。つまり、回答遅れが小さいほど、RP文脈を考慮したより効果的な回答が得られ、リアルタイム性のある回答が重要であると確認できた。

なお、RP属性は回答遅れと選択結果の双方に影響を及ぼす共変量として働く恐れがあり、この場合、推定結

果にバイアスが生じる可能性が知られている<sup>20)</sup>。そこで、得られた結果の頑健性を担保することを目的に、傾向スコアを用いて共変量の影響を考慮したモデル推定を行った。用いた手法及び推定結果を付録に示す。結果より、推定されたパラメータに若干の違いは見られるものの、回答遅れの影響については概ね傾向スコアを考慮しない結果と同様の示唆が得られた。

表3 RP属性に関する説明変数

年齢	1: ≤ 35 歳 0: > 35 歳
世帯収入	1: ≥ 年収1000万円 0: < 年収1000万円
目的地の到着時間	1: 6-9 時 0: その他
近くの公共交通機関までのイグレス距離	1: ≤ 400m 0: > 400m
トリップ目的: 通勤	1: 通勤 0: その他
トリップ目的: 業務	1: 業務 0: その他
トリップ目的: 送り迎え	1: 送り迎え 0: その他

表 4 推定結果

選択肢	2	3	4	5	6
	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)
定数項	-2.59 (-6.60**)	-1.13 (-5.65**)	-2.87 (-6.12**)	-3.00 (-5.75**)	$-1.09 \times 10^{-1}$ (-0.56)
通行料金	$2.87 \times 10^{-3}$ (7.08**)	$2.73 \times 10^{-3}$ (9.38**)	$2.61 \times 10^{-3}$ (5.64**)	$2.88 \times 10^{-3}$ (10.38**)	$2.65 \times 10^{-3}$ (10.30**)
短縮時間	$-2.50 \times 10^{-2}$ (-0.96)	$-1.76 \times 10^{-2}$ (-1.93+)	$-8.23 \times 10^{-2}$ (-2.06*)	$-3.04 \times 10^{-2}$ (-2.39*)	$-1.86 \times 10^{-2}$ (-2.98**)
通勤	-2.15 (-1.91+)	$8.46 \times 10^{-2}$ (0.17)	$-9.74 \times 10^{-1}$ (-0.97)	$1.33 \times 10^{-1}$ (-0.26)	1.13 (3.81**)
業務	-2.00 (-2.31*)	-1.87 (-3.18**)	-1.49 (-1.11)	$-8.85 \times 10^{-1}$ (-1.82+)	$-2.28 \times 10^{-1}$ (-0.91)
送り迎え	$-6.80 \times 10^{-2}$ (-0.73)	-1.89 (-2.19*)	$7.71 \times 10^{-1}$ (0.90)	$7.35 \times 10^{-1}$ (1.43)	$-9.21 \times 10^{-2}$ (-0.25)
到着時間	$-6.0 \times 10^{-1}$ (-0.62)	-1.21 (-2.36)	$-5.87 \times 10^{-1}$ (-0.53)	$2.04 \times 10^{-1}$ (0.43)	$-6.81 \times 10^{-1}$ (-2.43)
イグレス距離				1.35 (2.67**)	
$\gamma$	$-1.35 \times 10^{-1}$ (-1.87+)	$-1.21 \times 10^{-1}$ (-2.88**)	$-1.32 \times 10^{-2}$ (-0.19)	$6.27 \times 10^{-2}$ (0.87)	$-7.44 \times 10^{-2}$ (-2.96**)
年齢	$6.24 \times 10^{-1}$ (1.72+)		$7.33 \times 10^{-1}$ (2.05*)		$3.73 \times 10^{-1}$ (3.46**)
収入		-1.13 (-2.71**)	1.06 (1.94+)		$-4.76 \times 10^{-1}$ (-2.79**)
$\alpha^{SP}$	$7.42 \times 10^{-2}$ (2.48*)				
$\alpha^{RP}$	$-1.20 \times 10^{-1}$ (-7.53**)				
初期尤度	-3307.59				
最終尤度	-2238.78				
サンプル数	1846				

※有意水準：0 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘+’ 0.1，選択肢 1 を基準にした

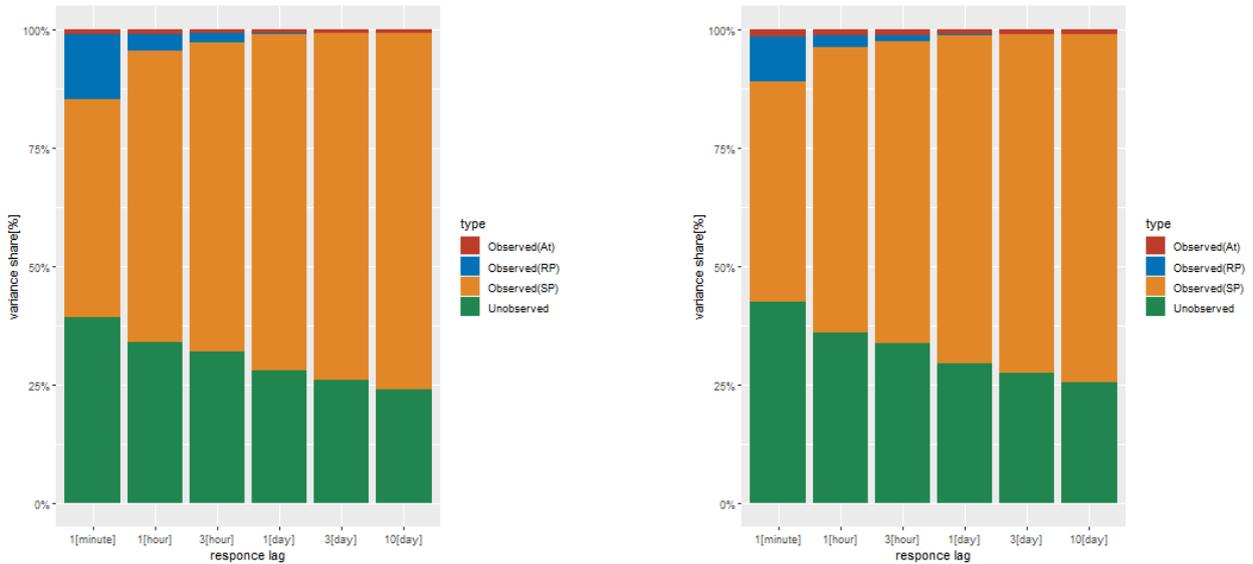


図 8 選択肢 2,3 の分散分解

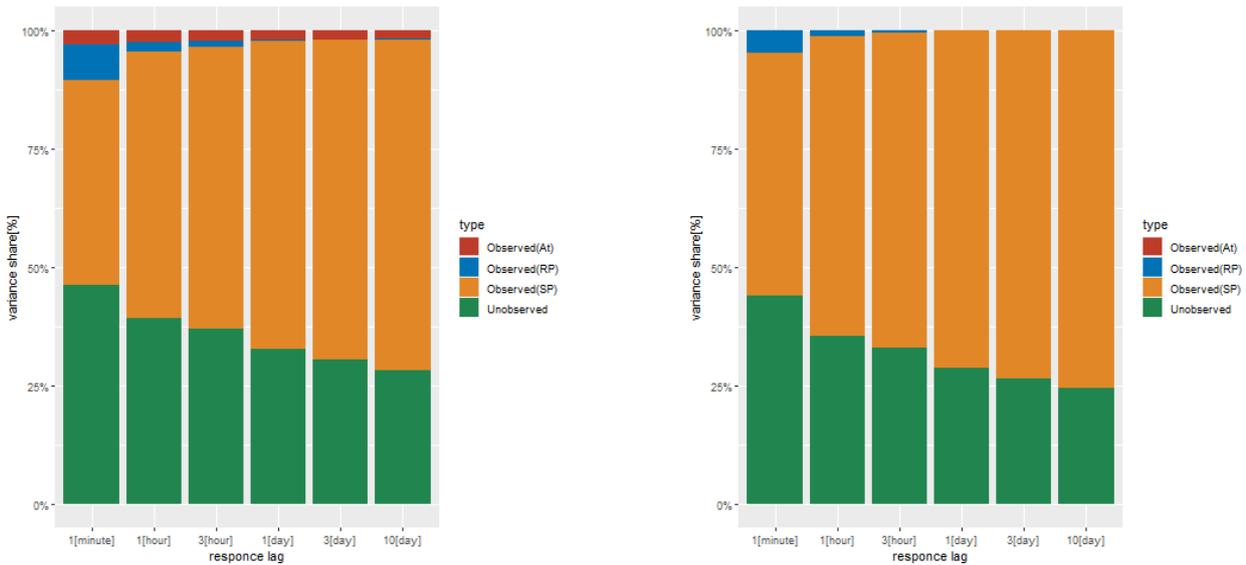


図9 選択肢4,5の分散分解

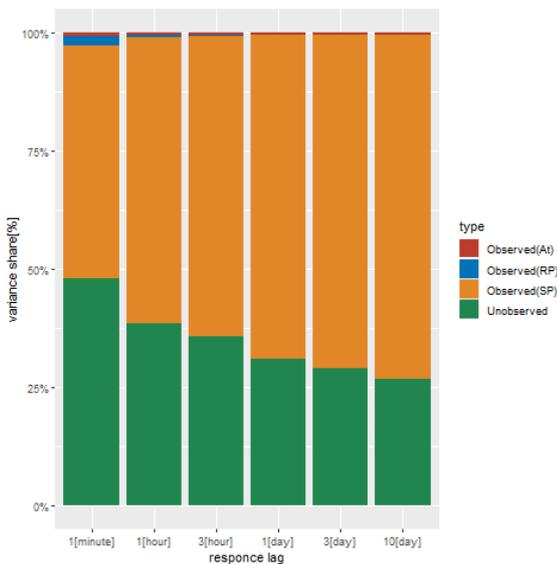


図10 選択肢6の分散分解

## 5 まとめ

本研究では、モデルの推定結果に対して回答遅れが及ぼす影響を分析するために、熊本及び広島において収集したリアルタイム context-aware SP 調査データを用いてモデルを作成した。本研究で得られたことを以下に示す。

1. 回答遅れが大きいほど、選択結果に系統バイアスが生じる可能性がある。
2. 回答遅れが大きいほど、RP属性がSP回答時に与える影響を小さくする傾向がある。
3. 回答遅れが大きいほど、SP属性がSP回答時に与える影響を大きくする傾向がある。

以上の傾向から、リアルタイム context-aware SP 調査において回答遅れが大きいほど、RP 文脈ではなく、SP 属性を重視した回答する可能性があることがしめ

された。

本研究の分析結果は将来の交通調査アプリの構築に役に立つと考えられる。その調査アプリでは、SP 調査の回答時に回答遅れを減らすためにインセンティブを与えることで、SP 調査に伴うバイアスの減少を期待できる。現在、著者の知る限り、スマートフォンに基づく交通行動調査にリアルタイムに SP 調査を実施可能な商用アプリは存在しないが、そのようなアプリの開発及び実装は、今後、SP 調査の信頼性を向上する上で重要と考えられる。

本研究には多くの課題が残る。1つ目は、リアルタイム SP 回答がバイアスを減らす可能性があるかと仮定したが、2章で記述した通り、必ずしもその仮定が正しいとは限らず、この点について追加の検討が必要である。2つ目は、トリップチェーンを考慮する必要がある。3つ目は、回答遅れの影響は、モデルの構造の選択に依存する可能性がある。現時点では、簡単な多項式ロジットモデルを用いたが、ネストロジットモデルや mixed logit モデルといった他のモデルも適用し、得られた結果の頑健性を検討する必要がある。

**謝辞：**本研究の一部は、新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発：AI 技術に基づく短期交通予測手法と総合的な交通需要マネジメントの研究開発」の一環として実施したものである。ここに感謝の意を表す。

## 付録 傾向スコアを用いた結果の頑健性の検証

3章のモデル推定の際、RP属性は選択肢のみに影響を及ぼすと仮定したが、実際には RP 属性が回答の遅れに

影響を及ぼす可能性がある。例えば、通勤目的の人は朝の時間帯に回答することが難しいため、夕方に回答するように、トリップ目的に応じて回答遅れに違いが生じる。そこで本付録では、RP 属性を回答遅れと選択肢に影響を及ぼす共変量  $\mathbf{X}$  とし、回答遅れを処理変数  $\mathbf{Z}$ 、選択肢を結果変数  $\mathbf{Y}$  と考え、傾向スコアを用いて RP 属性が回答遅れと選択肢に及ぼす影響について実証的に確認する。

本研究では処理変数  $\mathbf{Z}$  (回答遅れ) は連続変数であるため、Imai (2004)<sup>20)</sup>が提案した連続量に対する傾向スコア法を適用する。共変量  $\mathbf{X}$  が与えられたときの連続量  $\mathbf{Z}$  の分布は、 $\mathbf{Z}|\mathbf{X} \sim N(\mathbf{X}^T \boldsymbol{\zeta}, \sigma^2)$  として、スカラー値  $\sigma^2$  と未知パラメータ  $\boldsymbol{\zeta}$  を用いてモデル化される。そして、傾向スコア関数は  $P(\mathbf{X}) = \Pr\{\mathbf{Z}|\theta_{\boldsymbol{\psi}}\}$  で表され、 $\boldsymbol{\psi} = (\boldsymbol{\zeta}, \sigma^2)$  のガウス分布に従う。つまり、傾向スコア関数は  $\theta$  より特徴づけられ、すべての共変量とある処理変数 ( $\mathbf{Z} = \mathbf{z}$ ) の条件付き線形回帰モデルにより推定値  $\hat{\theta}_{\boldsymbol{\psi}}(\mathbf{X}) = \mathbf{X}^T \hat{\boldsymbol{\zeta}}$  が算出され、その推定値が傾向スコアとなる。よって、 $\Pr\{\mathbf{Y}(\mathbf{Z})|\mathbf{P}(\mathbf{X})\}$  を  $P(\mathbf{X})$  の分布で平均化することにより、結果変数  $\mathbf{Y}$  の分布が以下の式で示される。

$$\Pr\{\mathbf{Y}(\mathbf{z})\} = \int \{\mathbf{Y}(\mathbf{z})|\mathbf{Z} = \mathbf{z}, \theta\} \Pr(\theta) d\theta \quad (6)$$

上記の積分は、傾向スコア  $\theta$  で層別化し、未知パラメータ  $\phi$  で結果変数  $\mathbf{Y}$  の分布をパラメータ化することで、 $\Pr_{\phi}\{\mathbf{Y}(\mathbf{z})|\mathbf{Z} = \mathbf{z}\}$  として近似できる。よって、結果変数  $\mathbf{Y}$  の分布は層内の結果変数の分布の重みづけ平均として近似される。

$$\Pr\{\mathbf{Y}(\mathbf{z})\} \approx \sum \Pr_{\hat{\phi}_l}\{\mathbf{Y}(\mathbf{z})|\mathbf{Z} = \mathbf{z}\} \cdot W_l \quad (7)$$

$\hat{\phi}_l$  は  $l$  層の  $\phi$  の推定値であり、 $W_l$  は層  $l$  の相対重みである。本研究では傾向スコアを層別化し、 $l$  層内のある回答遅れ  $k$  の人数  $n_{kl}$  を求め、層内の全体  $N_l$  の人数で割り重み  $W_{kl}$  を算出する。

$$W_{kl} = \frac{n_{kl}}{N_l} \quad (8)$$

本研究では、 $W_{kl}$  を  $W_{kl}$  の期待値で割りその逆数を取った  $w_i$  を導入した以下の重み付き尤度関数を用いて推定を行った。ただし、 $w_{kli}$  は  $l$  層内のある回答遅れ  $k$  にお

表 5 推定結果

選択肢	2	3	4	5	6
	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)	推定値 (t 値)
定数項	-2.43 (-6.57**)	-1.38 (-6.69**)	-2.65 (-5.81**)	-2.57 (-5.87**)	$-8.56 \times 10^{-1}$ (0.65)
通行料金	$3.13 \times 10^{-3}$ (6.45**)	$2.89 \times 10^{-3}$ (7.65**)	$2.23 \times 10^{-3}$ (3.91**)	$3.18 \times 10^{-3}$ (8.35**)	$2.94 \times 10^{-3}$ (7.93**)
短縮時間	$-2.44 \times 10^{-2}$ (-1.00)	$-2.41 \times 10^{-3}$ (-1.93+)	$-6.96 \times 10^{-2}$ (-2.43*)	$-3.36 \times 10^{-2}$ (-2.65**)	$-1.99 \times 10^{-2}$ (-3.73**)
通勤	-2.48 (-1.38)	$4.41 \times 10^{-1}$ (1.19)	$-3.86 \times 10^{-1}$ (-0.61)	$4.08 \times 10^{-2}$ (0.08)	1.08 (4.06**)
業務	-3.22 (-2.32*)	-1.72 (-3.78**)	-2.48 (-1.66+)	$-5.84 \times 10^{-1}$ (-1.76+)	$-1.25 \times 10^{-1}$ (-0.74)
送り迎え	-1.95 (-1.28)	-2.58 (-2.70*)	$9.05 \times 10^{-1}$ (1.15)	$4.13 \times 10^{-1}$ (1.06)	$-4.95 \times 10^{-1}$ (-1.84+)
到着時間	$-8.5 \times 10^{-1}$ (-0.67)	-1.52 (3.29**)	1.01 (-1.05)	$3.19 \times 10^{-1}$ (0.79)	$-7.89 \times 10^{-1}$ (-3.46**)
イグレス距離				$9.62 \times 10^{-1}$ (2.15*)	
$\gamma$	$-1.42 \times 10^{-1}$ (-1.87*)	$-9.72 \times 10^{-2}$ (-2.24**)	$-3.79 \times 10^{-3}$ (-0.05)	$-4.39 \times 10^{-2}$ (-0.78)	$-1.02 \times 10^{-1}$ (-4.10**)
年齢	$6.51 \times 10^{-1}$ (2.19*)		$5.44 \times 10^{-1}$ (1.59)		$1.53 \times 10^{-1}$ (1.92+)
収入		$-1.73 \times 10^{-3}$ ( $8.00 \times 10^{-3}$ )	$9.60 \times 10^{-1}$ (1.76+)		$-2.92 \times 10^{-1}$ (-2.26*)
$\alpha^{SP}$	$1.07 \times 10^{-1}$ (2.69**)				
$\alpha^{RP}$	$-9.29 \times 10^{-2}$ (-4.85**)				
初期尤度	-3307.59				
最終尤度	-2197.77				
サンプル数	1846				

※有意水準：0 ‘\*\*\*’ 0.01 ‘\*\*’ 0.05 ‘+.’ 0.1、選択肢 1 を基準にした

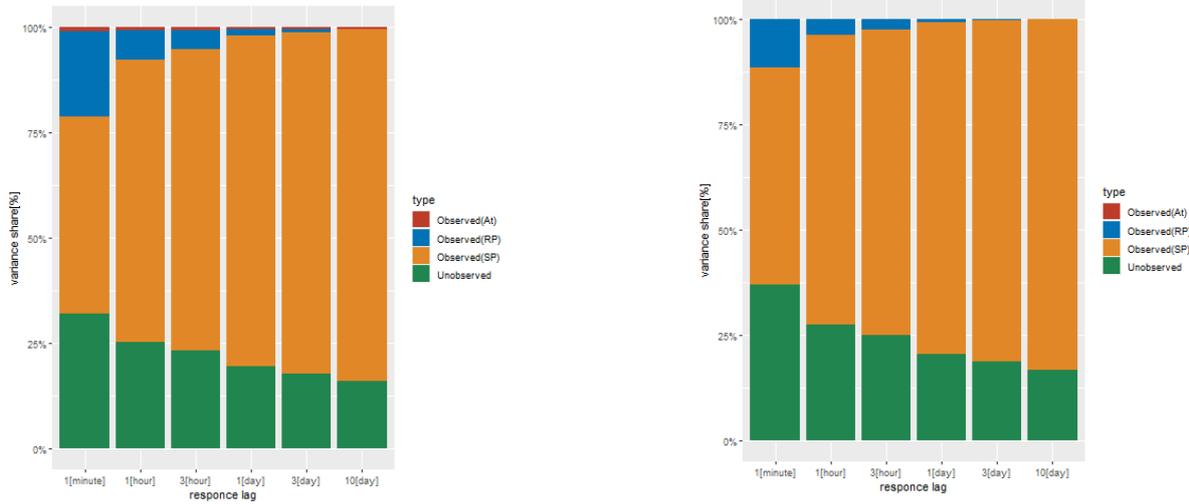


図 11 選択肢 2,3 の分散分解

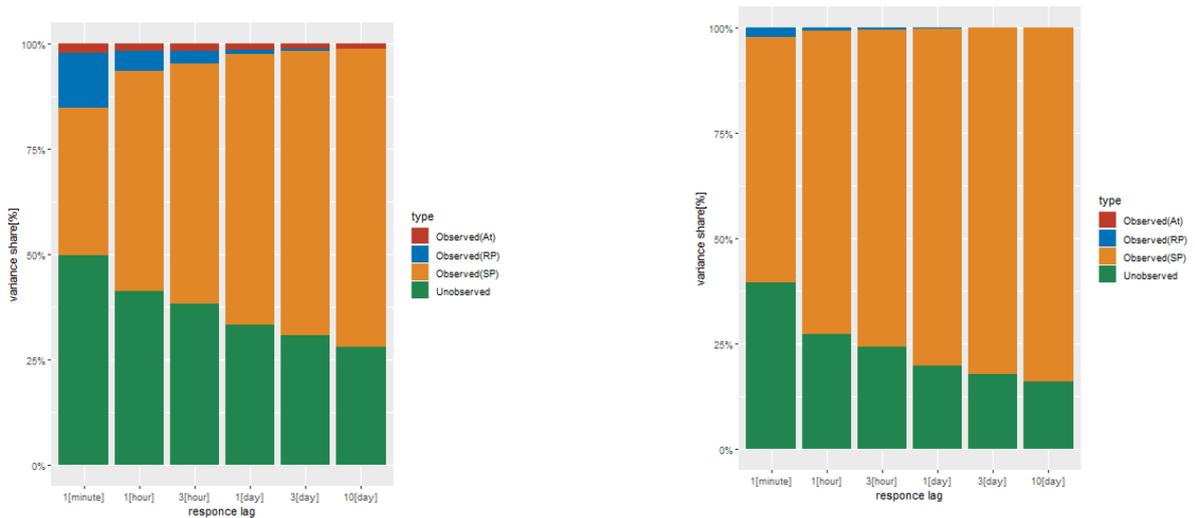


図 12 選択肢 4,5 の分散分解

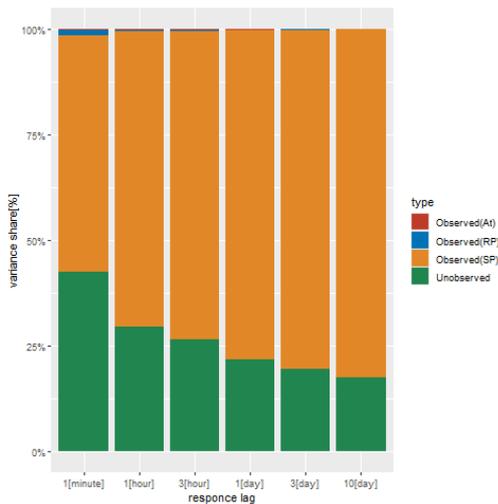


図 13 選択肢 6 の分散分解

る個人*i*に対する重みである。

$$LL = \sum_{i=1} \sum_{j=1} w_{kli} * \ln P_i(j) \quad (9)$$

以上を用いて、モデル推定を行った結果を表 5、分散分

解の結果を図 11-13 に示す。結果より、傾向スコアの有無でパラメータの違いはあったが、傾向スコアを考慮しないケースと同様に、3つの仮説を支持することが確認された。

参考文献

- 1) 北村隆一, 森川高行: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, 2002.
- 2) Caussade, S., Ortúzar, J., Rizzi, I.L., Hensher, D. :Assessing the influence of design dimensions on stated choice experiment estimates, Accident Analysis & Prevention, Vol.36, No.4, pp.513-524, 2004.
- 3) Arentze, T., Borgers, A., Timmermans, H., DelMistro, R. :Transport stated choice responses: effects of task complexity, presentation format and literacy, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol.39, No.3, pp.229-244, 2003.
- 4) Bann, C. :An overview of valuation techniques: advantages and limitations, Asean Biodiversity, Vol.2, No.2, pp.8-16, 2002.

- 5) Rose, J., Bliemer, J.M., Hensher, A.D., Collins, A. :Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.42, No.4, pp.395-406, 2008.
- 6) Train, K., Wilson, W.W. :Estimation on stated-preference experiments constructed from revealed-preference choices, *Transportation Research Part B:Methodological*, Vol.42, No.3, pp.191-203, 2008.
- 7) Danaf, M., Atasoy, B., AZevedo, D.CL., Ding-Mastera, J., Abou-Zeid, M., Cox, M., Zhao, F., Ben-Akiva, M. :Context-aware stated preferences with smartphone-based travel surveys, *Journal of Choice Modelling*, Vol.31, pp.35-50, 2019.
- 8) 力石真 : AI 技術に基づく短期交通予測手法と総合的な交通需要マネジメントの研究開発, 報告書, 第 4 章, pp.1-90,2020.
- 9) Fifer, S., Rose, J., Greaves, S. :Hypothetical bias in Stated Choice Experiments: Is it a problem? And if so, how do we deal with it?, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.61, pp.164-177, 2014
- 10) Fowkes, A. S., Shinghal, N. :The Leeds Adaptive Stated Preference Methodology, Working Paper, Institute of Transport Studies, University of Leeds, Leeds, UK, 2002.
- 11) Morikawwa, T. :Correcting state dependence and serial correlation in the RP/SP combined estimation method, *Transportation*, Vol.21, pp.153-165, 1994.
- 12) Huynh, N.A., Chikaraishi, M., Fujiwara, A., Seya, H., Zhang, J. :Influences of tour complexity and trip flexibility on stated commuting mode: A case of mass rapid transit in Ho Chi Minh City, *Asian Transport Studies*, Vol.4, No.3, pp.536-549, 2017.
- 13) Huynh, N.A., Chikaraishi, M., Fujiwara, A., Seya, H., Zhang, J. : Influences of pick-up/drop-off trips for children at school on parents' commuting mode choice in Ho Chi Minh City: A stated preference approach, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.12, pp.652-671,2017.
- 14) Cook, J., Jeuland, M., Maskery, B., Whittington, D. :Giving stated preference respondents "time to think": results from four countries, *Environmental and Resource Economics*, Vol.51, pp.473-496, 2012.
- 15) Börger., T.: Are fast responses more random? Testing the effect of response time on scale in an online choice experiment, *Environmental and Resource Economics*, Vol.65, pp.389-413, 2016.
- 16) Haaijer, R., Kamakura, W., Wedel, M. :Response latencies in the analysis of conjoint choice experiments, *Journal of Marketing Research*, Vol.37, pp.376-382, 2000.
- 17) Rose., J, Black., I. :Means matter, but variance matter too: decomposing response latency influences on variance heterogeneity in stated preference experiments, *Marketing Letters*, Vol. 17, pp.295-310, 2006.
- 18) Bech, M., Kjaer, T., Lauridsen, J. :Does the number of choice sets matter? Results from a web survey applying a discrete choice experiment, *Health Economics*, Vol.20, pp.273-286, 2011.
- 19) Chikaraishi, M., Fujiwara, A., Zhang, J., Axhausen, K. W. :Identifying variations and covariations in discrete choice models, *Transportation*, Vol.38, No.6, pp.993-1016, 2010.
- 20) 星野崇宏 : 調査観察データの統計科学—因果推論, 選択バイアス・データ融合, 岩波書店, 2009.
- 21) Imai, K., Dyk.A, D., :Causal Inference With General Treatment Regimes, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.99, No.467, pp.854-886, 2004.

(Received ????, ????)  
(Accepted ????, ????)

## Exploring the Effects of Response Lag on Model Estimation Results using a Real-Time Context-Aware Stated Preference Survey Data

Keishi FUJIWARA, Varghese VARAUN, Makoto CHIKARAISHI  
and Takuya MARUYAMA, Akimasa FUJIWARA

In order to improve the reliability and validity of stated preference (SP) data, several methods have been proposed to utilize revealed preference (RP) data. A context-aware SP survey is one of such methods, where users are asked to answer SP questions given a particular RP context they actually faced, such as time constraints. In this context-aware SP survey, respondents may find it difficult to precisely recall the RP context with the increase in the timing gap between RP behavior and SP response (response lag), so we have been developing survey tool to answer SP questions in real time. In this study, using a real-time context-aware SP survey data collected in Kumamoto and Hiroshima, we report a result of our evaluation of the impact of response lag on SP responses. Empirical results showed that the greater the response lag, the more respondents tend to focus on the SP attributes rather than the RP attributes.