

Department of Policy and Planning Sciences

Discussion Paper Series

No.1351

車両速度の情報開示におけるドライバー意思決定問題実験

(Experiment on drivers' decision-making in information disclosure)

by

Morimitsu KURINO and Natsumi SHIMADA

Oct 2017

UNIVERSITY OF TSUKUBA

Tsukuba, Ibaraki 305-8573

JAPAN

車両速度の情報開示におけるドライバー意思決定問題実験*

栗野盛光[†]

島田夏美[‡]

2017年10月23日

概要

本研究は、自動車を運転するドライバーが走行情報の情報開示における意思決定問題について、oTree による被験者実験を通じ、栗野・高原 (2016) の理論モデルとの整合性や現実への制度設計に関して分析を行う。Crosetto and Filippin (2013) をリスク態度の測定として用い、実験分析はリスク態度ごとにも行った。結果は、人々が完全情報開示・規制速度を選択するには、観察確率・罰金・報酬全て効果があることが分かった。さらに、罰金よりも報酬のほうが効果を持つ。また、観察確率の上昇は、完全情報開示・規制速度の選択を増やし、ある確率を境に急に完全情報開示・規制速度選択の割合が増加する。リスク回避的な人ほど、小さい観察確率の上昇に反応することが分かった。

1 はじめに

IoT 技術の進展により*¹、人々の消費行動を自分自身が記録し、更に他者が行動を記録することが可能になっている。記録された情報は、インターネットを通じて、第三者がアクセスできるようになろうとしている。したがって、これまで利用できなかった情報を用いて、社会的に利活用し、より効率的で公平な社会の実現が期待される。このような情報は、典型的に個人情報であり、本人の同意なしには他者が利用することはできない。社会的に情報を利活用するためには、個人が自ら情報を開示するようなインセンティブ制度を設けるか、あるいは、社会的合意が必要となるが第三者が情報を収集する必要がある。そのような環境変化が個人行動に影響も与える。本研究では、このような問題意識の下で、車を運転するドライバーの自動車の走行速度に着目する。自動車の運転では、レーダー、センサー、車載カメラ、GPS 機能により、自らの車、あるいは他者により速度を記録できる*²。インターネットを通じて、第三者にその情報を共有することも可能である。特に、ドライバーが自己開示を行い、社会的に望ましい走行速度を選択するかという問題を被験者実験し、検証を行う。

本研究は、栗野・高原 (2016) によって提案されたモデルに従う。ドライバーは、ある目的地に向かって自動車を運転する。速度は、規制速度か実勢速度のうち一つを選ぶことができる。規制速度は、法定速度以下で安全を確保するために社会的に望ましい速度である。一方、実勢速度は、法定速度を越えた

* 高原勇氏、熊野太郎氏には貴重コメントを頂いた。また、プレ実験を卒業論文としてまとめた鈴木綾奈氏に感謝する。統計分析においては辻本隆宏氏、黒田翔氏に有益な助言を頂いた。記して感謝する。また、横浜国立 Matching セミナーに参加されていた方々と、2016 年度栗野研究室の皆様へ感謝する。最後に、この実験はトヨタ自動車株式会社 (次世代社会システムとモビリティのあり方研究 フェーズ II) から研究資金を得ている。

[†] 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学システム情報系社会工学域

[‡] 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科

*¹ IoT とは、Internet of Things の略で、「自動車、家電、ロボット、施設などあらゆるモノがインターネットにつながり、情報のやり取りをすることで、モノのデータ化やそれに基づく自動化等が進展し、新たな付加価値を生み出す」と定義されている (総務省 (2015))。

*² これらは、現在開発中の自動運転の前提条件である。

速度であり、事故のリスクが上がり社会的に望ましくない速度である。現行の制度では、ドライバーに規制速度を促すために、政府（警察）による取り締まりにより実勢速度が観察された場合はドライバーに罰金を課す。仮に違反した速度で走行していても、政府による観察がなされなければ、罰金を支払うことはない。ある確率で政府に速度が観察されるような制度のことを部分情報開示という。そして、ドライバーが運転する速度情報を政府が観察することができる状態を完全情報開示と呼ぶ*³。完全情報開示下では、常に速度が観察されるので、違反をすれば直ちに罰金を支払わなければならない。ただし、政府はドライバーに報酬も与えることができる。ドライバーは、速度選択に加えて、部分情報開示か完全情報開示かという情報開示選択も行うことができる。

ドライバーに対して、車両情報取得のため完全情報開示、そして安全のため規制速度の選択を政府は望んでいると仮定する。しかしながら、完全情報開示下で、走行速度を常に観察されることを望まないドライバーもいると考えられる。したがって、ドライバーが完全情報開示と規制速度選択を誘発するための経済的インセンティブを考える必要がある。つまり、完全情報開示下で、規制速度を選択した場合は報酬、実勢速度を選択した場合は罰金である。栗野・高原 (2016) は、リスク中立的なドライバーが完全情報開示・規制速度をドライバーが選ぶような報酬・罰金体系を考え、そのような体系の中で、政府にとっての支出である報酬を最小にするような罰金・報酬体系を理論的に導出した。

本研究では、彼らの理論的枠組みに従い、彼らの報酬・罰金理論値をベンチマークとして、完全情報開示での報酬や罰金の変化がドライバーの行動にどう影響を及ぼすかを被験者実験により検証する。また、IoT 技術の発展は、部分情報開示での観察確率を上昇を促す。そのため、この観察確率に対してのドライバーの行動を検証する。さらに、被験者を Crosetto and Filippin (2013) の手法を用いて、被験者をリスク中立的、リスク回避的、リスク愛好的の3つに分類し、リスク態度による選択行動の特性もあわせて検証を行う。

本研究の実験により、人々が完全情報開示・規制速度を選択するには、観察確率、罰金、報酬全てで効果があることが分かった。さらに、罰金よりも報酬のほうが効果を持つ。また、部分情報開示での観察確率が上昇すると、完全情報開示・規制速度の選択が多くなる。特徴的なのは、ある確率を境（これを閾値と呼ぶ）に急に完全情報開示・規制速度選択の割合が増える。さらに、リスク態度により、この閾値は異なり、リスク回避的な人ほど閾値が低くなる。

本論文の構成は、次の通りである。第二章では、車両速度と情報開示に関する栗野・高原 (2016) が提案したモデルについて紹介する。第三章ではモデルに沿った実験のデザインについて述べる。第四章では実験の結果について述べる。第五章で結論を述べる。

2 モデル

本研究は、栗野・高原 (2016) の提案したモデルと理論結果を実験により検証する。本章では、実験デザインの理解に必要なモデルの説明と理論結果を簡潔に紹介する。

経済主体はドライバーと政府である。ドライバーは目的地へ自動車を運転し、規制速度 a_1 か実勢速度 a_0 の速度選択を行う（ゲームの木として図 1 参照）。ドライバーは、規制速度 a_1 で運転すれば、通常通りに目的地に到着することができ、効用 v_1 を得る。一方、実勢速度 a_0 で運転すれば、目的地へ早く到着することができ、効用 v_0 を得る。実勢速度 a_0 が、規制速度 a_1 での運転よりも早く目的地へ到着できるので、 $v_0 > v_1 > 0$ を仮定する。

*³ 部分・完全情報開示（モニタリング）という用語は栗野・高原 (2016) による。トヨタ自動車株式会社の高原勇氏によれば、車載機に通信システムを用いて、技術的に完全情報開示を実現することは現段階で可能である。

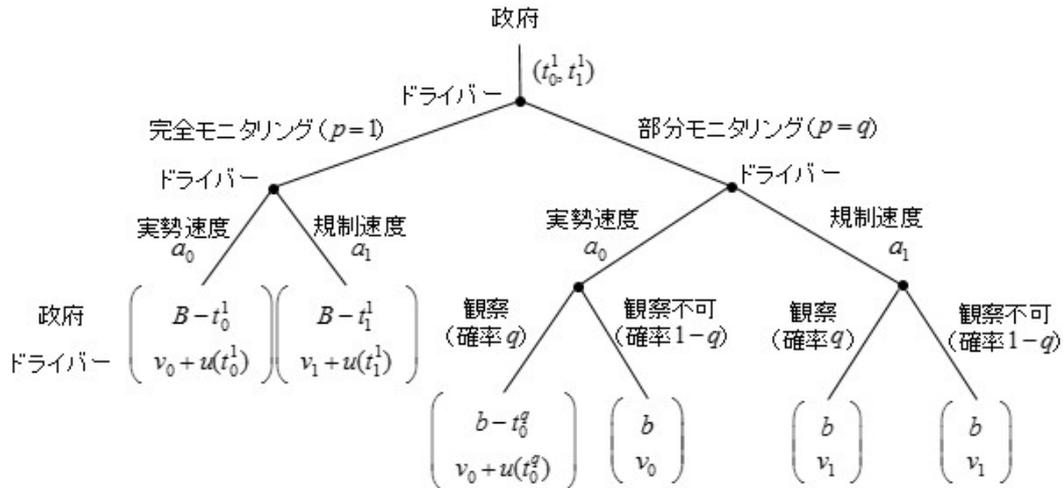


図 1: ゲームツリー (栗野・高原, 2016)

政府は、ドライバーの選択速度を観察することができるが、その程度はドライバーの選択する情報開示技術に依存する。部分情報開示とは、ある確率でドライバーの速度選択が政府に観察されることをいう。この確率を $q \in (0, 1)$ と表し、外生的に与えられている。一方、完全情報開示は、ドライバーの速度選択が常に（確率 1 で）政府によって観察されることをいう。よって、情報開示技術は、確率 $p \in \{q, 1\}$ で表現し、 $p = q < 1$ のとき部分情報開示、 $p = 1$ が完全情報開示となる。ドライバーは、速度選択に加えて、情報開示技術 p を選択する。ドライバーは、完全情報開示を選ぶことで、自分の速度選択情報を開示することになる。

政府は、速度選択によって、ドライバーに報酬・罰金を課す。完全情報開示 ($p = 1$) では、速度が常に観察され、実勢速度 a_0 のとき罰金 $t_0^1 (< 0)$ 、規制速度 a_1 のとき報酬 $t_1^1 (\geq 0)$ を課す。ここで、報酬や罰金は、単に t_0^p や t_1^p で表し、正のとき報酬、負のとき罰金を表す。一般に罰金も報酬と呼ぶ。一方、現行制度と同様に、部分情報開示 ($p = q$) では、実勢速度 a_0 が観察された時のみに罰金 ($t_0^q < 0$) を課す。規制速度 a_1 が観察された場合の報酬 t_1^q は与えない ($t_1^q = 0$)。これらの部分情報開示での報酬と罰金は外生的に与える。

ドライバーの効用は、速度選択による効用 (v_0 か v_1) に加えて、報酬 t_k^q に対する効用を得る。この効用は、連続かつ厳密な増加関数 $u: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ で与えられ、 $u(0) = 0$ を満たす。政府の報酬とドライバーの選択による利得は、ゲームの木 (図 1) のようになる。

政府は、速度情報の社会的活用のため、完全情報開示に対する評価 B のほうが部分情報開示の評価 b よりも大きいと仮定する。政府の利得もゲームの木 (図 1) のようになる。

ゲームの構造は、ゲームの木 (図 1) にあるように、まず、政府が完全情報開示下での報酬体系 (t_0^1, t_1^1) を選ぶ。その後、ドライバーは、完全情報開示か部分情報開示を選択し、それぞれの情報開示技術の下で規制速度か実勢速度の選択を行う。

政府の問題は、ドライバーの利得条件によって二つ定式化できる。まず、部分情報開示で実勢速度を選ぶドライバーに直面する場合、つまり $v_0 + qu(t_0^q) \geq v_1$ のとき、政府の問題は

$$\begin{aligned}
& \max_{(t_0^1, t_1^1)} B - t_1^1 \\
& \text{s.t. } v_1 + u(t_1^1) \geq v_0 + qu(t_0^q) \quad (\text{モニタリング・インセンティブ条件}) \\
& \quad v_1 + u(t_1^1) \geq v_0 + u(t_0^1) \quad (\text{速度インセンティブ条件}) \\
& \quad v_1 + u(t_1^1) \geq 0 \quad (\text{個人合理性条件})
\end{aligned}$$

と定式化でき、次の定理を得る。

定理 1 (栗野・高原, 2016). 部分情報開示・実勢速度で運転するドライバーに対する最適報酬体系 (t_0^1, t_1^1) は、

$$\begin{aligned}
t_0^1 &\leq u^{-1}(qu(t_0^q)) < 0, \\
t_1^1 &= u^{-1}(v_0 - v_1 + qu(t_0^q)) \geq 0.
\end{aligned}$$

を満たす。この式を満たす最適報酬体系ならば、部分情報開示・実勢速度で運転するドライバーは完全情報開示・規制速度で運転する。

次に、部分情報開示で規制速度を選ぶドライバーに直面する場合、つまり $v_1 \geq v_0 + qu(t_0^q)$ のとき、政府の問題は、

$$\begin{aligned}
& \max_{(t_0^1, t_1^1)} B - t_1^1 \\
& \text{s.t. } v_1 + u(t_1^1) \geq v_1 \quad (\text{モニタリング・インセンティブ条件}) \\
& \quad v_1 + u(t_1^1) \geq v_0 + u(t_0^1) \quad (\text{速度インセンティブ条件}) \\
& \quad v_1 + u(t_1^1) \geq 0 \quad (\text{個人合理性条件})
\end{aligned}$$

と定式化でき、次の結果を得る。

定理 2 (栗野・高原, 2016). 部分情報開示・規制速度で運転するドライバーに対する最適報酬体系 (t_0^1, t_1^1) は、

$$\begin{aligned}
t_0^1 &\leq u^{-1}(v_1 - v_0) < 0, \\
t_1^1 &= 0
\end{aligned}$$

を満たす。この式を満たす最適報酬ならば、部分情報開示・規制速度で運転するドライバーは完全情報開示・規制速度で運転する。

3 実験デザイン

本研究では、前章の理論に基づき、ドライバーの走行速度に関する情報開示に関わる意思決定を実験により検証する。本実験では、ドライバーに実際に IoT 車両を運転させるのではなく、理論モデルを基礎として、どのような罰金・報酬体系を設定すれば、ドライバーが完全情報開示・規制速度を選択するかを検討する。理論的な最適報酬・罰金体系から、数値を上昇・減少させ、どのような場合に完全情報開示・

規制速度を選択するのかを調べることを目的とする。また、リスク態度の測定をおこない、リスク態度による被験者の選択行動も分析を行う。本実験では、1セッションにつき、38回の意思決定と1回のリスク測定を行った。

3.1 意思決定の設定

理論モデルにおいて効用関数 u を線形と設定する。本実験では、部分情報開示下で実勢速度走行の罰金 $t_0^q = -12,000$ 、実勢速度走行の効用 $v_0 = 3,000$ 、規制速度走行の効用 $v_1 = 1,500$ と固定した。また、外生変数である観察確率 q は、今後IoTの進展で増加すると考えられるので、0.01 から 0.9 までの間で変動させた。このとき、最適報酬体系 (t_0^1, t_1^1) は、定理1と2より、

- $v_0 + qt_0^q \geq v_1$ のとき、 $|t_0^1| \geq q|t_0^q|$ 、 $t_1^1 = v_0 - v_1 + qt_0^q$ 。
- $v_0 + qt_0^q < v_1$ のとき、 $|t_0^1| \geq (v_0 - v_1)$ 、 $t_1^1 = 0$ 。

を満たす。ここで、 t_0^1 は（実勢速度への）罰金、 t_1^1 は（規制速度への）報酬である。混乱を避けるために、罰金は、これまで負の値で表現していたが、以降絶対値をとる。したがって、罰金が大きいは絶対値の意味である。本実験では、最適報酬体系の理論値として次のように設定する。

- $v_0 + qt_0^q \geq v_1$ のとき、 $|t_0^1| = q|t_0^q| + 200$ 、 $t_1^1 = v_0 - v_1 + qt_0^q$ 。
- $v_0 + qt_0^q < v_1$ のとき、 $|t_0^1| = v_0 - v_1 + 200$ 、 $t_1^1 = 0$ 。

これらの理論値は、リスク中立的なドライバーが完全情報開示と規制速度を選ぶような報酬体系である。しかし、ドライバーのリスク態度によっては、最適報酬体系の下で、完全情報開示・規制速度を選ばない可能性もある。よって、観察確率 q に加えて、罰金 t_0^1 と報酬 t_1^1 を処置変数とする。トリートメントを (q, x, y) と表し、 x は報酬理論値からの乖離、 y は罰金理論値からの乖離を表す。

本実験でのトリートメントは、観察確率 $q = 0.01$ 、 $q = 0.1$ 、 $q = 0.5$ において、報酬と罰金をそれぞれ異なる水準で設定を行い、より詳しく被験者の行動を検証する。また、観察確率の変動による被験者の行動の分析も合わせて行うが、トリートメント総数を抑えるため、罰金を理論値のみで固定し、報酬水準を変えた。

まず、観察確率 $q \in \{0.01, 0.1\}$ のとき、報酬理論値 t_1^1 とそれから100乖離した値 $t_1^1 \pm 100$ 、罰金理論値 $|t_0^1|$ とそれから100乖離した値 $|t_0^1| \pm 100$ を処置変数とした。すなわち、トリートメント (q, x, y) は、 $q \in \{0.01, 0.1\}$ 、 $x \in \{-100, 0, 100\}$ 、 $y \in \{-100, 0, 100\}$ となっている。一方、観察確率が $q = 0.5$ のときは、報酬理論値 t_1^1 が0になるため、トリートメント $(0.5, x, y)$ は、 $x \in \{0, 100\}$ 、 $y \in \{-100, 0, 100\}$ となっている。この場合のトリートメント数は $2 \times 3 \times 3 + 2 \times 3 = 24$ である。

観察確率に対する被験者の行動を検証するため、観察確率を 0.001、そして 0.1 から 0.1 刻みで 0.9 までの検証を行う。上記で $q \in \{0.01, 0.1, 0.5\}$ で既に設定しているので、それ以外の $q \in \{0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$ において、トリートメント $(q, x, 0)$ と設定する。ここで、報酬理論値 t_1^1 は0なので、 $x \in \{0, 100\}$ としている。この場合のトリートメント数は $7 \times 2 = 14$ である。したがって、トリートメント総数は $(24 + 14) = 38$ である。

ドライバー（以下、被験者）は全てのトリートメント（トリートメント総数38）を経験し、ランダムに1つ選ばれた状況で得たポイントが支払いとして換算される。被験者への支払いは、後で述べる。

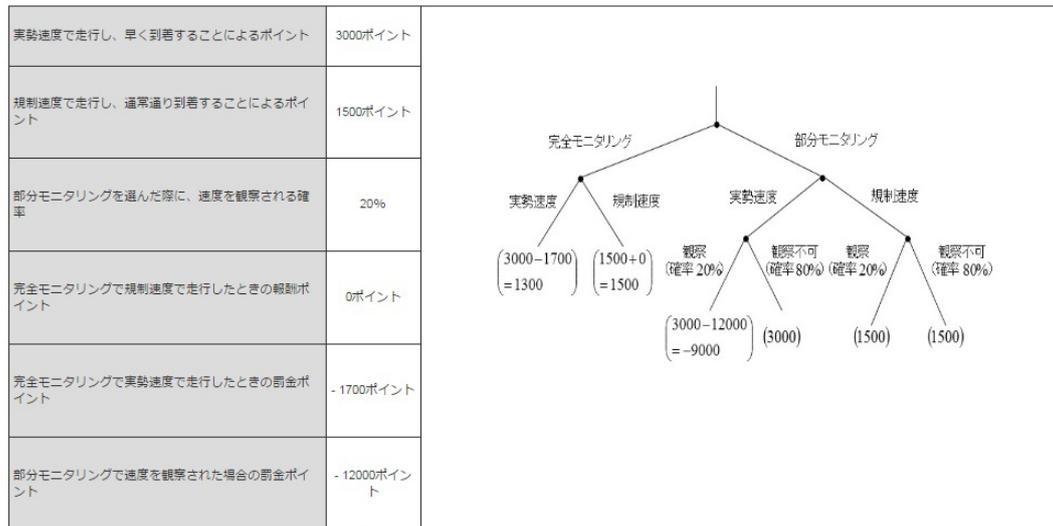
実験画面の例を図2で示す。図は一つのトリートメントを表している。ここでは、観察確率が20%であり、それに基づく報酬 t_1^1 は0ポイントであり、罰金 $|t_0^1|$ は1,700ポイントである。完全情報開示・実勢速度を選択すれば、1,300ポイントを得る。完全情報開示・規制速度を選択すれば、1,500ポイントを得る。

Question 8

以下の状況を想定してください。

あなたは、完全モニタリングか部分モニタリングを選ぶことができます。

あなたは、規制速度か実勢速度を選ぶことができます。



あなたは、この状況ならば 完全モニタリングと部分モニタリング のどちらを選びますか？:

- 完全モニタリング
- 部分モニタリング

あなたは、この状況ならば 実勢速度と規制速度 のどちらを選びますか？:

- 規制速度
- 実勢速度

Next

図 2: 意思決定実験画面

得る。一方で、部分情報開示・実勢速度を選び、20%の確率で観察がされれば-9,000ポイントである。観察がされなければ3,000ポイントを得る。部分情報開示・規制速度を選択すれば、観察されてもされなくても通常通りに到着することによるポイントである1,500ポイントを得る。

本実験では、情報開示と速度選択の表明に関して、Direct-response methodを用いた。これは、ゲームの木で、実現する経路(path)のみを聞く方法である。一方、Strategy method (Selten, 1967)があるが、これはゲームの木でstrategyを聞く方法である。両方法は戦略的には全く同じであり、文献では両者に違いがあるかの実験が行われてきた(例えば、サーベイ論文としてBrandts and Charness (2011)を参照のこと)。プレ実験において両者に違いはないことが判明した(鈴木, 2017)。よって、本実験では、被験者への負担の少ないDirect-response methodを採用した。

3.2 リスク態度の測定

被験者のリスク態度を調べるために、Crosetto and Filippin (2013)が提案したBomb Risk Elicitation Taskという方法を用いた。この方法には、紙面上で行う静学的方法と、PC上で行う動学的方法の二つがある。本実験では動学的方法を採用した。これはまず、10×10マスの箱が画面上に表示される(図3)。表示された100個の箱の中のひとつにランダムに爆弾が隠されているとする。スタートボタンを押すと、1秒ごとに左上から箱が消えていき、被験者は消えた分だけ箱を集めていくことになる。被験者はストップボタンを押すことで、好きなタイミングで箱を集めるのをとめることができる。止めたタイミングまでに集めた箱の中に爆弾があれば獲得ポイント0となる。もし集めた箱の中に爆弾がなければ、

実験 2

100個ある箱の中に爆弾が隠されています。
Startボタンを押すと、1秒にひとつずつ箱を集め出します。Stopボタンで箱を集めるのをやめます。
集めた箱のなかに爆弾があれば、集めた箱の分のポイントがもらえます。集めた箱のなかに爆弾がなければ、0ポイントです。



図はリスク測定実験画面の例であり、スタートボタンを押下してから 51 秒後にストップボタンを押下し、51 個箱を集めた場合である。リスク愛好的な被験者であると判断する。実験終了後のくじ引きで 51 以下の番号であれば 0 ポイント、51 より大きければ集めた 51 の箱分のポイントを得ることができる。

図 3: リスク測定実験画面

集めた箱分のポイントを得ることができる。集めた箱の数を k とする。 $k < 50$ はリスク回避的な人であり、 $k = 50$ はリスク中立的な人であり、 $k > 50$ は、リスク愛好的な人である (Crosetto and Filippin, 2013)。本実験でのリスク態度の分類（回避的、中立的、愛好的）も、これに従った。

爆弾の位置は、実験終了後にランダムに 1 箇所をくじによって決定した。

3.4 報酬

報酬は、参加料 1,000 円に加えて、38 回の意思決定と 1 回のリスク態度の測定で得たポイントを、1 ポイントを 0.2 円で金銭換算した。38 回の意思決定では、被験者が負のポイントにならないように 10,000 ポイントを各回毎に付与した。実験終了後、1 から 38 の自然数がくじにより選ばれ、それが報酬の対象となる回とした。リスク態度の測定では、同じく実験終了後に 1 から 100 の自然数をくじで一つ選び、その数が爆弾の入った箱とした。

3.5 仮説

本実験による仮説を以下の通りに設定する。

1. 観察確率・罰金・報酬の上昇が完全情報開示・規制速度を選択する人数を増やす。
2. 完全情報開示・規制速度を選択させることに影響を与えるのは報酬と罰金のどちらか。

4 実験結果

実験は、筑波大学において 2017 年 2 月に計 5 日間実施した*4。被験者は、筑波大学の学生であり、学類・大学院・所属を問わない。ただし、母国語が日本語であることを条件とした。被験者は、学内掲示

*4 1 日に午前と午後のセッションがあり、実験数は計 10 回である。

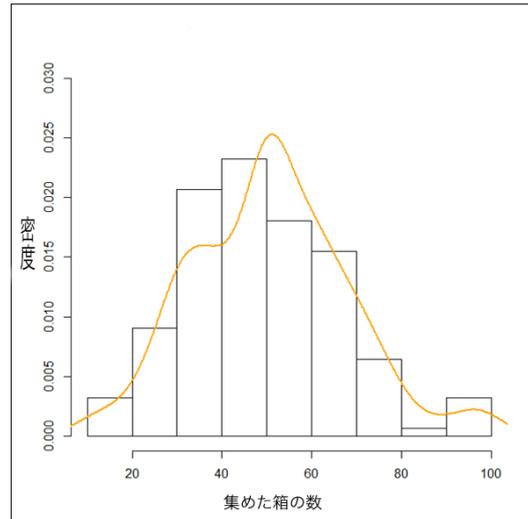


図 4: リスク測定結果 ヒストグラム

により募集し、ホームページ上から応募してもらった。実験は Chen et al. (2016) による oTree で作成し、ブラウザは GoogleChrome を通して実験を行った。被験者同士で行動選択が分からないように、実験室内ではパーティションで区切られたパソコン 1 台に対し、被験者一人を割り当てた。割り当てられるパソコンは、実験室入室時にくじによってランダムに決めた。実験の意思決定問題の提示では順序効果に配慮し、ランダムに順序の異なる順番を 2 通りを用意した。回答には時間制限を定めておらず、そのセッションに参加した全員が終了した時点で実験を終了とした。実験終了後、報酬の対象となる画面の番号と、爆弾の位置をそのセッションに参加した被験者全員の目の前でくじによってランダムに決定した。実験には、155 名が参加した。実験の所要時間は約 70 分で、被験者が受け取った報酬の平均は、約 3,400 円であった。

4.1 リスク態度の測定結果

はじめに、本実験でのリスク態度の測定結果を示す。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{リスク回避的 } (k \leq 49) & 37.4\% (58 \text{ 人}) \\ \text{リスク中立的 } (k = 50) & 18.7\% (29 \text{ 人}) \\ \text{リスク愛好的 } (k \geq 51) & 43.8\% (68 \text{ 人}) \end{array} \right.$$

集めた箱の最小の数は 10 であり、最大は 99 であった。平均は 50.8 となった。ヒストグラムを図 4 で示す。

Crosetto and Filippin (2013) の結果では、リスク回避的 52.1%、リスク中立的 14.7%、リスク愛好的 33.2% であった。本実験と比較すると、リスク回避的な人の割合が少なく、リスク中立とリスク愛好的な人の割合がやや多い結果となった。この結果の違いは、意思決定を行ったあとにリスク測定をしたからだとも考えられるし、ただ単に被験者数の違いによるものだとも考えられるが、今回の分析の対象とはしない。後の多項ロジット回帰で分かるように、リスク態度を変数として導入した場合とそうでない場合で係数にほとんど差が見られなかった。従って、選好統制ができていていると考え、実験より取得したリスク態度は、被験者それぞれのリスク態度とみなして問題ないと判断する。

表 1: 完全情報開示かつ規制速度を選択した割合

観察確率 q	報酬・罰金の理論値	報酬の増加	罰金の増加
1%	43.9 %	64.5 %	48.4 %
10%	53.5 %	55.5 %	62.6 %
50%	78.1 %	93.5 %	73.5 %

注：被験者の総数は 155 人である。

表 2: 二群間の比較

観察確率 q	(α) 報酬の増加 \geq 理論値	(β) 罰金の増加 \geq 理論値	(ω) 報酬の増加 \geq 罰金の増加
1%	0.00000***	0.04738**	0.00000***
10%	0.2865	0.001507**	0.9616
50%	0.00000***	0.9053	0.00000***

注：値は p 値であり、* $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ を表す。

4.2 所与の観察確率の下での報酬と罰金の効果

理論で得られた報酬と罰金の下では、完全情報開示と規制速度が必ず選ばれる。しかし、表 1 の第 2 列が示すように、明らかにこの選択肢が選ばれない割合は無視できないほど大きい。したがって、本節では報酬と罰金によって完全情報開示・規制速度が選ばれるか、つまり報酬と罰金の効果を分析する。

観察確率が 1%、10%、50% それぞれにおいて、理論値から報酬と罰金をそれぞれ 100 増加した値を設定し、次の 3 つを検証した。

- (α) 完全情報開示下で規制速度で走行したときの報酬の上昇は、完全情報開示・規制速度の選択を促す。
- (β) 完全情報開示下で規制速度で走行したときの罰金の上昇は、完全情報開示・規制速度の選択を促す。
- (ω) 報酬の上昇と罰金の上昇は、報酬の上昇のほうが効果がある。

理論値では全ての被験者が完全情報開示かつ規制速度を選んでいることになるので、「完全情報開示かつ規制速度を選択した」と「その他の選択をした」に分けて分析を行った。まず、その集計値を表 1 にまとめる。

被験者は同一人数であるため、各トリートメントの同一の被験者の 2 種類の観測値であるとし、対応があるとする。また、理論値よりも報酬あるいは罰金の値を増加させた場合の効果を見たいので、片側検定を採用する。母集団が正規分布に従うとは考えられないため、ウィルコクソンの順位和検定の結果を表 2 でまとめ、次の結果を得る*⁵。

結果 1 観察確率 1 % では報酬の増加も罰金の増加も観察確率かつ規制速度を促すことに効果があり、報酬の増加のほうが罰金の増加よりも効果があることが分かる。観察確率 10 % では、報酬よりも罰金の増加がより効果を持つ。観察確率 50 % では、罰金の増加の効果は見られなかった。

次に、リスク態度により選択が異なるかどうかを分析する。まず、表 3 にリスク態度ごとの集計結果をまとめる。また、リスク態度ごとにウィルコクソンの順位和検定の結果（表 4）より次の結果を得

*⁵ 被験者数も多いので、母集団が正規分布に従うと仮定して t 検定でも行ったが結果の有意性に違いは見られなかった。

表 3: 完全情報開示かつ規制速度を選択した割合

観察確率 q	リスク態度	報酬・罰金の理論値	報酬の増加	罰金の増加
1%	回避	48.3 %	72.4 %	55.2 %
	中立	37.9 %	58.6 %	41.4 %
	愛好	42.6 %	60.3 %	45.6 %
	1% 合計	43.9 %	64.5 %	48.4 %
10%	回避	65.5 %	62.1 %	70.7 %
	中立	48.3 %	62.1 %	58.6 %
	愛好	45.6 %	47.1 %	57.4 %
	10% 合計	53.5 %	55.5 %	62.6 %
50%	回避	81.0 %	94.8 %	82.8 %
	中立	79.3 %	93.1 %	75.9 %
	愛好	75.0 %	92.6 %	64.7 %
	50% 合計	78.1 %	93.5 %	73.5 %

注：被験者の総数は 155 人であり、リスク回避的：58 人、リスク中立的：29 人、リスク愛好的 68 人である。

表 4: リスク態度ごとの二群間の比較

観察確率 q	リスク態度	(α) 報酬の増加 \geq 理論値	(β) 罰金の増加 \geq 理論値	(ω) 報酬の増加 \geq 罰金の増加
1%	回避	0.0005283***	0.09083*	0.004182**
	中立	0.02054**	0.3864	0.0363**
	愛好	0.0007583***	0.242	0.002239***
10%	回避	0.7549	0.1493	0.9071
	中立	0.06472*	0.1165	0.3949
	愛好	0.4008	0.006712***	0.9671
50%	回避	0.01176**	0.3884	0.01171**
	中立	0.03593**	0.6817	0.0363**
	愛好	0.0003135***	0.9671	0.00007***

注：値は p 値であり、* $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ を表す。

る*6。

結果 2 リスク回避的な人は、観察確率が 1% のときのみ報酬の増加と罰金の増加に反応する。リスク中立的な人は、報酬の増加には反応するが罰金の増加には反応しない。リスク愛好的な人は、観察確率 10% のときのみ罰金の増加に大きく反応する。

*6 t 検定では、リスク中立的な人の観察確率 10% で (β) 罰金の増加 \geq 理論値の場合のみ、 p 値が 0.09215 となり、10% 水準で有意な結果となった。これ以外は全てウィルコクソン順位検定と同じ結果となった。したがって、二群間の比較においては、正規性は大きな影響を及ぼさない。

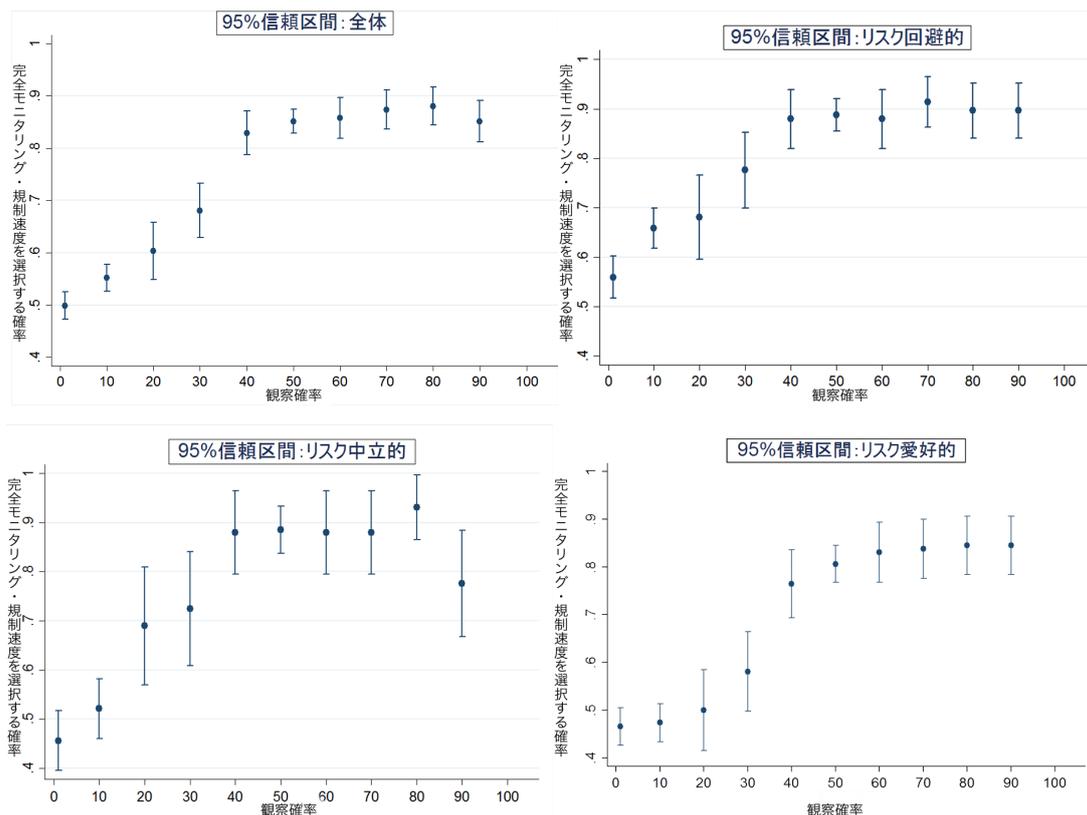


図 5: 95% 信頼区間

注：縦軸に完全情報開示・規制速度を選択した人数、横軸に観察確率をとり、95% 信頼区間をプロットした図である。

4.3 観察確率

上記の結果を踏まえ、実験後のアンケートのひとつである「意思決定の際に一番重視した項目は？」の回答を確認したところ、半数以上の人を観察確率を挙げていた。表 2 と表 4 の結果では、観察確率の影響を確認することができない。しかし、表 1 を見ると観察確率が上昇するにつれて、完全情報開示かつ規制速度を選択している人数は増加傾向にある。したがって、観察確率が意思決定に大きな影響を及ぼしていることが推察できる。観察確率に影響を受けているすれば、観察確率の上昇と完全情報開示かつ規制速度を選択する人数には正の相関があると考えられる。その場合、ウィルコクソンの順位和検定では、ある確率以降はほとんどの被験者が完全情報開示かつ規制速度を選択しているようになり、検定結果に差がでていない可能性があると考えられる。

観察確率の効果を確認するために図 5 を作成した。図 5 は、リスク態度ごとに観察確率に応じて完全情報開示・規制速度選択者がどのように変化したかを表している。縦軸が完全情報開示・規制速度を選択する確率、横軸は観察確率である。

大まかな傾向としては、全てのリスク態度を含めた全体、各リスク態度においても、右上がりになっている。特に、観察確率に域値が存在し、その域値においてジャンプしていることが分かる。ジャンプ後は、完全情報開示・規制速度選択者数は 100% に近い。以上の議論を次の結果にまとめる。

結果 3 どのリスク態度においても、観察確率が高くなるにつれ、完全情報開示・規制速度を選択する割合が増加する。観察確率が域値を越えると、その割合は 100% に近い。域値は、全体としては 30% から 40%、リスク回避的は 1% から 10%、リスク中立的なひとは 10% から 30%、リスク愛好的なひとは、観

表 5: 全体の限界効果

	1	2	3	4
観察確率	0.00862*** (0.00040)	0.00008 (0.00006)	0.00044*** (0.00013)	-0.00914*** (0.00040)
罰金	0.00045*** (0.00006)	-0.00006*** (0.00002)	-0.00013*** (0.00004)	-0.00025*** (0.00005)
報酬	0.00080*** (0.00007)	-0.00006*** (0.00002)	-0.00046*** (0.00005)	-0.00027*** (0.00005)

注：カッコは標準偏差を表す。* $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ を表す。

観察確率が 30 % から 40 % である。さらに、リスク愛好的なほど、域値は高くなる。

現実に制度を適用した場合、はじめは完全情報開示を選択する人はまったく増加せず、ある一定の観察確率から急激に増加すると予測できる。つまり、観察確率の増加が時間軸として考えることができ、公文 (2011) で提唱されているように普及率は時間軸に従った S 字カーブとなるとも考えられる。つまり、時間が経過するにつれ観察確率が上昇していく場合、完全情報開示かつ規制速度を選択する人は増加すると予測できる。

4.4 観察確率、報酬、罰金に対する被験者の反応

これまでは観察確率・報酬・罰金の効果のみを分析した。本節では、これらにより被験者がどのくらい反応を示すかということを全データを用いて分析を行う。この分析に多項ロジットを用いる。この手法により他の変数を統制し、観察確率・罰金・報酬が各選択肢に対しどのくらいの効果を持つかが分かる。更にそれらを比較することが可能になる。以下の分析では、「1」は完全情報開示・規制速度、「2」は完全情報開示・実勢速度、「3」は部分情報開示・規制速度、「4」は部分情報開示・実勢速度を指す。多項ロジットの回帰式を次に示す。

$$p_j = \alpha + \beta_1(\text{観察確率}) + \beta_2(\text{罰金}) + \beta_3(\text{報酬}) + \epsilon.$$

ここで、 p_j ($j = 1, 2, 3, 4$) は各選択肢を選択する確率を表す。この多項ロジットを限界効果に変換することにより、実験で選択することができる 4 つの選択肢に対して、観察確率・罰金・報酬がどの程度影響を与えているかを知ることができる。分析結果を表 5 に示す。この表より、次の実験結果 4 から 6 を得る。

結果 4 観察確率が 1% 上昇するとする。

1. 完全情報開示と規制速度を選択することが、有意水準 1% において 0.862 % 上昇する。これは、他の各選択肢よりも 20 倍以上の差がある。
2. 部分情報開示・実勢速度を選択することは -0.914% 下降する。

これより、観察確率を上昇させることは、部分情報開示・実勢速度を減少させ、完全情報開示・規制速度を選択するようになるといえる。

結果 5 罰金が 1 単位増加するとする。

表 6: 完全情報開示・規制速度選択で全体を標準化した限界効果

完全情報開示・規制速度	
罰金	0.25326*** (0.03476)
報酬	0.43625*** (0.03666)

注：カッコは標準偏差を表す。 $*p < 0.1$ 、 $**p < 0.05$ 、 $***p < 0.01$ を表す。

表 7: リスク回避的な被験者の限界効果

	1	2	3	4
観察確率	0.00912*** (0.00086)	0.00004 (0.00008)	0.00038* (0.00022)	-0.00953*** (0.00087)
罰金	0.00041*** (0.00009)	-0.00003 (0.00002)	-0.00014** (0.00006)	-0.00024*** (0.00007)
報酬	0.00066*** (0.0001)	-0.00003 (0.00002)	-0.00037*** (0.00008)	-0.00026*** (0.00007)

注：カッコは標準偏差を表す。 $*p < 0.1$ 、 $**p < 0.05$ 、 $***p < 0.01$ を表す。

1. 完全情報開示・規制速度を選択することが、有意水準 1% において 0.045 % 上昇する。
2. 完全情報開示・規制速度以外の選択肢は減少する。

したがって、罰金の上昇は完全情報開示・規制速度を促すことがわかる。

結果 6 報酬が 1 単位増加するとする。

1. 完全情報開示・規制速度を選択することが、有意水準 1% において 0.080% 上昇する。
2. 完全情報開示・規制速度以外の選択肢は減少する。

したがって、報酬の上昇は完全情報開示・規制速度を促すことがわかる。

これまでの分析で、観察確率、罰金、報酬のそれぞれが効果がどの程度あるかを知ることができた。しかしながら、罰金と報酬のどちらが、完全情報開示・規制速度を選択させることに効果的かは分からない。したがって、報酬と罰金を標準化し、結果 4 から 6 での分析と同様に限界効果を求める。この結果を表 6 に示す。^{*7}

結果 7 完全情報開示・規制速度を選択するには、罰金よりも報酬が約 2 倍近い効果をもつ。

これまでの結果（結果 4 から 7）は、リスク態度ごとではなく、全体のデータをまとめて分析した。リスク態度毎に特徴ある結果があるかどうかを見るために、これまでと同様なりリスク態度毎の多項ロジット分析を行った。その結果を表 7 から表 9 に示す。この表から結果 8 を得る。

^{*7} 観察確率は単位が異なるのでここでは比較の対象とはしない。

表 8: リスク中立的な被験者の限界効果

	1	2	3	4
観察確率	0.00793*** (0.00089)	0.00005 (0.00009)	0.00031 (0.00027)	-0.00829*** (0.00087)
罰金	0.00046*** (0.00015)	-0.00004 (0.00003)	0.00002 (0.00011)	-0.00044*** (0.00011)
報酬	0.00092*** (0.00016)	-0.00004 (0.00003)	-0.00047*** (0.00013)	-0.00041*** (0.00011)

注: カッコは標準偏差を表す。* $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ を表す。

表 9: リスク愛好的な被験者の限界効果

	1	2	3	4
観察確率	0.00913*** (0.00054)	0.00014 (0.00012)	0.00057*** (0.0002)	-0.00983*** (0.00054)
罰金	0.00044*** (0.0001)	-0.00011*** (0.00003)	-0.00016** (0.00007)	-0.00018** (0.00008)
報酬	0.00089*** (0.00011)	-0.00010*** (0.00003)	-0.00057*** (0.00009)	-0.00022*** (0.00008)

注: カッコは標準偏差を表す。* $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ を表す。

結果 8

1. 完全情報開示・規制速度選択（選択肢 1）は、全てのリスク態度で、観察確率、罰金、報酬のどの上昇に対して正の影響を受け、正の影響がある選択肢のうち最も大きい。
2. 部分情報開示・実勢速度選択（選択肢 4）は、全てのリスク態度で、観察確率、罰金、報酬のどの上昇も、負の影響を受ける。
3. 完全情報開示・実勢速度（選択肢 2）、そして部分情報開示・規制速度（選択肢 3）は、罰金と報酬のどの上昇もほぼ負の影響を受ける。
4. 観察確率が 1%上がったときの反応は、リスク愛好的な人とリスク回避的な人は、リスク中立的な人比べて大きく反応する。罰金が 1 単位増加したときは、リスク中立的な人がリスク回避的な人とリスク愛好的な人比べて大きく反応する。報酬が 1 単位増加したときも、リスク中立的な人がリスク回避的な人とリスク愛好的な人比べて大きく反応する。

したがって、観察確率の上昇、罰金・報酬の増加はすべて完全情報開示・規制速度を選択させることに効果があるといえる。

ここで、報酬と罰金を標準化し、同様に限界効果を求める。その結果を表 10 に示す。この表より、次の結果 9 を得る。

結果 9 どのリスク態度においても報酬のほうが値が大きい。すなわち、どのリスク態度であっても、完全情報開示・規制速度を選択するには、罰金よりも報酬が約 2 倍近い効果をもつことがわかる。

表 10: 完全情報開示・規制速度選択でリスク態度ごとに標準化した限界効果

	リスク回避的	リスク中立的	リスク愛好的
罰金	0.22967*** (0.05242)	0.25708*** (0.08377)	0.25001*** (0.05520)
報酬	0.36187*** (0.05558)	0.50375*** (0.08718)	0.48335*** (0.05773)

注：カッコは標準偏差を表す。* $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ を表す。

4.5 アンケート項目からの結果

最後に、アンケート項目での分析を行う。アンケートは、実験後、実験と同様の環境で oTree を用いて行った。アンケート結果は、全て oTree を通じて行った本人の申告によるものであり、免許証の確認など、その他の方法によるデータは収集していない。もちろん、実験同様、本人の特定も行っていない。

本実験で、男女の割合は、女性が 35% で、男性が 65% であった。免許を取得している割合は、83%^{*8}である。車への乗車経験は、95% の被験者が車に乗ったことがあると回答している。自動車の自己所有または共有所有している自動車があると回答した割合は、27% であった。車を自分で運転することがあると回答した割合は、43% である^{*9}。スピード違反の経験があると回答した割合は、1.2% であった。また、完全情報開示制度が導入された場合、自分の車に搭載したいと答えた被験者は、97% にも上った^{*10}。

アンケート結果を元に、次の 5 つを検証した。

1. 免許取得者と免許未取得者の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はあるか。
2. 男性と女性の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はあるか。
3. 共有を含む自動車所有者と未所有者の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はあるか。
4. 運転する人とならない人の中で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はあるか。
5. スピード違反経験者と未経験者の中で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はあるか。

5 つそれぞれに比率の差の検定を用いる。1 つ目は、免許取得者が完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は 66% で、免許未取得者が完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は 73% であった。検定の結果、比率に差があることが分かった (p 値, 0.00001)。2 つ目は、男女では、完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は男性 68%、女性 66% であった。検定の結果、比率に差がないことが分かった (p 値, 0.2161)。3 つ目では、自動車所有者が完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は 35% で、未所有者が完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は 68% であった。検定の結果、比率に差があることが分かった (p 値, 0.00000)。4 つ目では、運転する人が完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は 67% で、運転しない人が完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は 68% であった。検定の結果、比率に差がないことが分かった (p 値, 0.1729)。5 つ目では、スピード違反経験者が完全情報開示かつ規制速度を選択し

*8 免許を取得している 128 人のうち、1 人は自動車以外の免許のみである。

*9 運転頻度を 5 段階で質問し、全くしない以外の回答を運転する場合があるとの回答とみなした。5: 毎日 (1.9%)、4: ほぼ毎日 (9.0%)、3: 時々 (9.7%)、2: 必要に応じて (21.9%)、1: 全くしない (57.42%)。

*10 5 を搭載したい、1 を搭載したくないとして、5 段階で質問した。97% は、5 および 4 を回答した被験者である。内訳は、5 と回答した被験者が 82.5%、4 と回答した被験者が 14.8% である。

た割合は 62% で、運転しない人が完全情報開示かつ規制速度を選択した割合は 68% であった。検定の結果、比率に差がないことが分かった (p 値, 0.3301)。

以上より、次の結果を得る。

結果 10

免許取得者と免許未取得者の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はある。

男性と女性の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はない。

自動車所有者と未所有者の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はある。

運転する人としらない人の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はない。

スピード違反経験者と未経験者の間で、完全情報開示かつ規制速度を選択することに差はない。

5 終わりに

本研究では、自動車を運転するドライバーが走行情報の情報開示における意思決定問題について、被験者実験を行った。栗野・高原 (2016) の理論モデルを用い、報酬・罰金・観察確率を任意に動かし、その効果を検証した。また、リスク態度の測定を行い、それぞれのリスク態度毎にも分析を行った。

本研究においては、人々が完全情報開示・規制速度を選択するには、観察確率・罰金・報酬全て効果がある。ただし、罰金 1 単位の上昇よりも報酬 1 単位の上昇のほうが大きな効果を持つ。観察確率の上昇は、完全情報開示・規制速度の選択を S 字に上昇させる。リスク態度により、観察確率に対する完全情報開示・規制速度を選択するポイントは異なり、リスク回避的な人ほど小さい観察確率の上昇に反応する。

更に、ほぼ全ての被験者が、自分の車に完全情報開の技術を搭載したいと回答した。技術はすでに存在しているので、制度設計が急務として必要とされている現状である。本研究で、報酬が罰金よりも完全情報開示・規制速度を選択させることに効果を持つことが明らかになったが、現実に適応させる際に、財源の問題なども考えられる。例えば、金銭的報酬ではなく、自動車保険料への反映や減税を適用することも同様の効果を持つかということも議論の対象となる。更に、運転者の意思決定には、観察確率による影響が大きいという結論も得た。例えば、実験において被験者全員が参加し、完全情報開示を選ぶとそれに応じて観察確率が上がるというような実験デザインも考えられる。繰り返し相互に干渉しあう意思決定を行い、観察確率変動することで、本実験のように完全情報開示を選択する人が増えるのか、それとも自分だけが完全情報開示を選ぶようになり結果として部分情報開示だけが受け入れられるのかという均衡を求めることができるようになると考えられる。

新しい技術によって、社会は大きく変動しようとしている。本研究は、IoT 技術を用いた情報開示について、ひとつの知見を与えた。適切な制度設計を考えていくことは重要であるので、本研究を踏まえ、研究を続けていきたい。

参考文献

- Brandts, Jordi and Gary Charness (2011) “The Strategy Versus the Direct-response Method: a First Survey of Experimental Comparisons,” *Experimental Economics*, Vol. 47, No. 14, pp. 375–398.
- Chen, Daniel L., Martin Schonger, and Chris Wickens (2016) “oTree An Open-source Platform for Laboratory, Online, and Field Experiments,” *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, Vol. 9, pp. 88-97.

- Crosetto, Paolo and Antonio Filippin (2013) “The Bomb Risk Elicitation Task,” *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 47, No. 1, pp. 31–65.
- Selten, Reinhard, Klaus Abbink, Joachim Buchta, and Abdolkarim Sadrieh (2003) “How to Play 3×3-games.: A Strategy Method Experiment,” *Games and Economic Behavior*, Vol. 45, No. 1, pp. 19–37.
- 栗野盛光・高原勇 (2016) 「IoT 車両情報の速度に関するモニタリング選択問題」, 『応用地域学研究』, 第 20 号, 25–35 頁.
- 公文俊平 (2011) 『情報社会のいま 新しい住民たちへ』, NTT 出版株式会社.
- 総務省 (2015) 「平成 27 年版情報通信白書」, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h27.html>.
- 鈴木綾奈 (2017) 『車両速度の情報開示におけるドライバー意思決定問題に関する被験者実験』, 筑波大学社会工学類卒業論文.