

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8月29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行う。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する。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のには、観察確率・罰金・報酬全て効果があることが分かった。更に、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。

JEL Classification: C91; D81; P41;

Key words: Information disclosure, Drivers' decision making, Driving speed, Risk attitude,

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るようとしている。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

* 高原勇氏、熊野太郎氏には貴重なコメントを頂いた。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。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 kurino@sk.tsukuba.ac.jp

[‡] 〒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 08n.shimada@gmail.com

*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。

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。

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。更に、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のには、観察確率・罰金・報酬全てで効果があることが分かった。更に、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。更に、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。

^{*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。

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。

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 $t_0^p (< 0)$ 、規制速度 a_1 のとき報酬 $t_1^p (\geq 0)$ 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

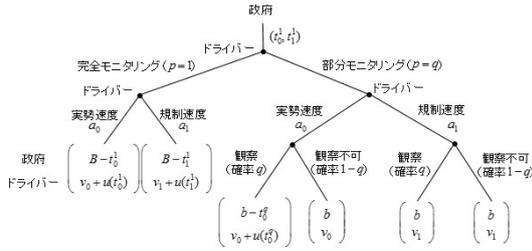


図1 ゲームツリー

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。

ゲームの構造は、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、政府の問題は以下のように定式化でき、定理1を得る。

$$\begin{aligned} \max_{(t_0^1, t_1^1)} B - t_1^1 \\ \text{s.t. } v_1 + u(t_1^1) &\geq v_0 + qu(t_0^q), & (1) \\ v_1 + u(t_1^1) &\geq v_0 + u(t_0^1), & (2) \\ v_1 + u(t_1^1) &\geq 0. & (3) \end{aligned}$$

ここで、式(1)は情報開示・インセンティブ条件、(2)は速度インセンティブ条件、(3)は個人合理性条件である。

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、以下を満たす。

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

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、以下のように定式化でき、定理2を得る。

$$\begin{aligned} \max_{(t_0^1, t_1^1)} B - t_1^1 \\ \text{s.t. } v_1 + u(t_1^1) &\geq v_1, & (4) \\ v_1 + u(t_1^1) &\geq v_0 + u(t_0^1), & (5) \\ v_1 + u(t_1^1) &\geq 0. & (6) \end{aligned}$$

ここで、式(4)は情報開示・インセンティブ条件、(5)は速度インセンティブ条件、(6)は個人合理性条件である。

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、以下を満たす。

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

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

本実験は、前章の理論モデルに基づき実験値を設定した。更に、Crosetto and Filippin (2013) を用いて各被験者のリスク態度の測定を行った。

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。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。

3.1 リスク態度の測定結果

本実験でのリスク態度の測定結果を示す。Crosetto and Filippin (2013) の手法を用いた。集めた箱の数を k として、平均は 50.8 であった。最小の数は 10 であり、最大は 99 となった。

{	リスク回避的 ($k \leq 49$)	37.4%(58 人)
	リスク中立的 ($k = 50$)	18.7%(29 人)
	リスク愛好的 ($k \geq 51$)	43.8%(68 人)

3.2 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。

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。

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。

3.3 観察確率

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 2 を作成した。図 2 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。

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

3.4 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。

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	リスク態度	(α) 報酬の増加 ≥ 理論値	(β) 罰金の増加 ≥ 理論値	(ω) 報酬の増加 ≥ 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***
	全体	0.00000***	0.04738**	0.00000***
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
	全体	0.2865	0.001507**	0.9616
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***
	全体	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。

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，次の結果を得た。

結果 4 どのリスク態度においても，完全情報開示かつ規制速度の選択を促すために，罰金・報酬・

観察確率の上昇すべて効果がある。

更に，報酬と罰金を標準化し，同様に限界効果を求め，次の結果を得た。

結果 5 どのリスク態度においても完全情報開示かつ規制速度を促すために報酬の増加の方が 2 倍近い効果を持つ。

4 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，リスク態度毎にも分析を行った。

本研究の結果を述べる。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・

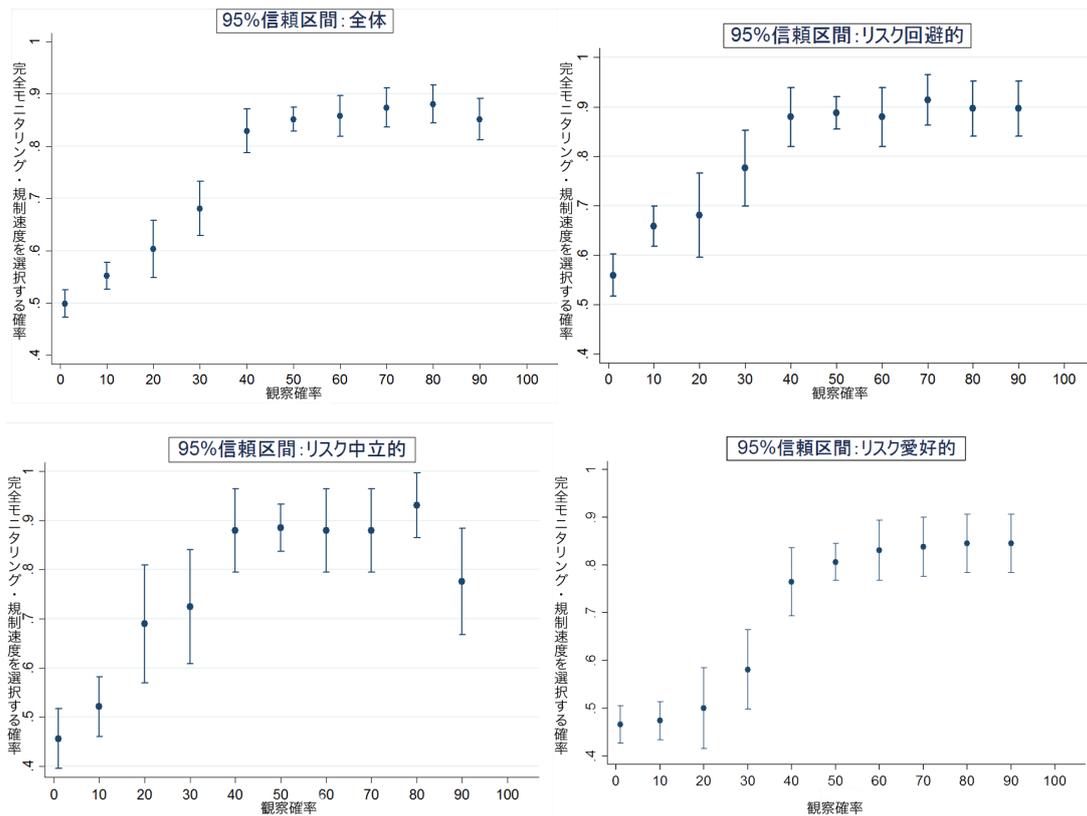


図2 95% 信頼区間

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。

酬全て効果があることが分かった。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閾値は異なり，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。

本研究では，個人の意思決定によって得られた結果を分析の対象とした。しかし，社会制度は，個人の意思決定の結果として，全体の制度が成り立つものである。本実験では，個人の意思決定の結果として完全情報開示が社会全体に受け入れられていくかという点での分析は不足している。また，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，自動車保険料へ反映させたり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。これらに

については今後の課題としたい。

参考文献

- 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.
- 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.
- 総務省 (2015) 「平成 27 年版情報通信白書」, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h27.html>.