

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14319

研究課題名(和文) リスク存在下での交通行動を観測するための仮想環境実験手法の構築と評価

研究課題名(英文) Construction and evaluation of virtual environment experiment method for observing transport behaviour in the presence of risk

研究代表者

井料 隆雅 (Iryo, Takamasa)

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：10362758

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：交通事故などのリスク存在下で人の行動を観測する場面は多い。仮想環境内で人の行動を観測する「実験アプローチ」がこの目的には有効である。しかし既存の仮想環境実験では「リスクが本来もたらす危険感が再現できない」「身体的な現実感の再現力が弱い」という問題があった。本研究はこの問題の解決を目標とした実験手法の開発を行った。4種類の実験を実施した結果、危険性は金銭的で代替すること、すなわち、仮想環境での実際に事故等に関連した金銭的インセンティブを用いることが有効であることがわかった。また、仮想環境内で実際に行動が行える(歩き回るなど)ことが実験結果に影響することもわかった。

研究成果の概要(英文)：Researchers have many chances to observe human behaviour in the presence of risks such as traffic accidents. The experimental approach of observing human behavior in the virtual environment is effective for this purpose. However, in existing virtual environment experiments, there exist following two issues, i.e. 'risks that exist in the real world cannot be properly reproduced' and 'the reproducibility of the physical reality is weak'. In this research, we developed an experimental method aiming at solving these issues. As a result of four types of experiments, it turned out that it is effective to use monetary incentives to reproduce risks in the virtual environment. Moreover, it was found that experimental results can be influenced by actual condition of humans' motions (such as walking around) in the virtual reality system.

研究分野：交通工学

キーワード：交通行動実験 バーチャルリアリティ

### 1. 研究開始当初の背景

交通工学において、交通事故や避難行動など、何らかのリスク（不確実な危険性）の下での人の行動を観測する場面は多い。特に、最近では自動運転など交通安全関連の新技術の発展が著しく、より安全に資する新技術の開発のためにもリスク下の交通行動観測の必要性が高まっている。しかし、実際に人を安全上のリスクにさらし観測することは研究倫理上許容されない。

この問題の回避には、なんらかの仮想環境を構築し、その中で実験参加者が行動を行う「実験アプローチ」が有効である。仮想環境構築には仮想現実(Virtual Reality: VR)技術がよく用いられる。ドライビングシミュレーターによる実験は典型的な例である。歩行者についてもいくつか例がある。

一方で、既存研究における仮想化には重要な課題が残されている。ひとつは、実験参加者が仮想環境で受ける危険感の低さが、現実よりも過剰にリスクをとる行動を誘発することである。もうひとつはVR装置の持つ現実感の限界である。特に、VR装置のサイズ制約（内部を歩き回れないなど）がもたらす身体的な現実感が結果に与える影響についてはすでに報告があるものの、そのような制約を緩和するVR装置の利用の例は見られない。これらの課題を緩和することが、今後、VR技術によりリスク下の交通行動を正確に観測するために必要不可欠であるといえよう。

### 2. 研究の目的

リスク下の交通行動をより正確に観測する実験システムの構築を目指し、以下の2点を行う。

1. 危険感を代替する「負のインセンティブ」を再現する実験手法の開発とその効果の分析
2. ウォークスルー型VR装置を用いた実験装置の構築とその効果の分析
  1. は金銭によりインセンティブを発生させる実験経済学的手法を応用し構築する。
  2. は既存の大型VR装置( $\pi$ -cave: 神戸大学)と、ヘッドマウント型VR装置による実験結果を比較し、どちらがより没入感が高いかを検証する。

### 3. 研究の方法

研究は以下の方法によった。

1. 静止画とアンケートをベースとした交通行動実験による、複数の種類の「負のインセンティブ」の効果の比較分析
2. ヘッドマウント型VR装置による、複数の種類の「負のインセンティブ」の効果の比較分析
3. 大型VR装置とヘッドマウント型VR装置の没入感の比較分析
4. VR実験中に、自身の身体による直接の行動を行う場合と、そうでない場合によ

### る差異の検証

どの方法においても、VR実験のシナリオとして、一方通行の道路を走行する車両のあいだをぬって歩行者が横断する状況を設定した(図1: Japanese Otaku City <http://www.zenrin.co.jp/product/service/3d/asset/> を使用)。実験参加者は歩行者としてVR環境内で実際に道路を横断するか、あるいは横断する意思を表明することを行う。車両は自動運転車であると想定し、アイコンタクト等の手段は使用不可能である状況としている。実験参加者は、自身が安全に横断できると判断したタイミングまで待ち、その後実際に横断を行う。横断の結果、車にひかれてしまった場合は、各実験で指定した条件に従ってインセンティブかペナルティ(実験参加謝金の増減による)を受ける。以降ではペナルティも含めてインセンティブと呼ぶこととする。



図1 構築した仮想空間。この道路を右から左に横断する。

1.においては、最大5名の実験参加者を同時に1つの部屋に集め、液晶プロジェクターでスクリーンにCG画像を静止画として全参加者に同時に見せた(図2)。この実験においては、「減速ランプ」とよばれるランプがついている車両が一部に存在し、これが存在するか否か、存在する場合はそれが点灯しているか否かで、衝突確率が異なる。実験参加者は減速ランプの状態を知らされたうえで、自身の選択をアンケート上で行う。インセンティブとしては

- なし
- 無事渡れたら定額を増額
- 無事渡れたらランダムな金額を増額
- ひかれたら定額を減額
- ひかれたらランダムな金額を減額
- 無事渡れたら定額を増額するが、他の実験参加者2名以上がひかれていないときに限る
- 上記と同じだが、増額幅はランダムのいずれかを実験に応じて設定する。

2.では、1.と同一設定の実験をヘッドマウント型VR装置(HTC VIVE)で行った。この装置では、約4m×3m四方の部屋を、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着した実験参加者が歩行できるようになっている(図3)。HMD内には実際にいる位置に応じた画像が表示されるため、比較的狭い範囲

ではあるものの、VR 装置の中を自由に歩き回ることが可能となっている。VR 内には車両も実際に走行し、実験参加者は実際に VR 内で道路を横断することが可能となっている。また、車に当たったら画面が暗転し、車にひかれたことがすぐわかるようになっている。図4に VR 実験室の機器配置図を示す。安全確保のため、横断方向に緩衝材を配置したほか、壁が近くなると、HMD 内に現実空間の風景がオーバレイされるようにしてある(図5)。インセンティブとしては

- なし
  - 無事渡れたら定額を増額
  - 無事渡れたらランダムな金額を増額
  - ひかれたら定額を減額
  - ひかれたらランダムな金額を減額
  - ひかれたら、謝金の大半を減額する。ただし2回目以降は減額しない。
- のいずれかの設定を実験に応じて用いた。



図2 静止画実験の実験風景



図3 実験室でHMDを装着した様子

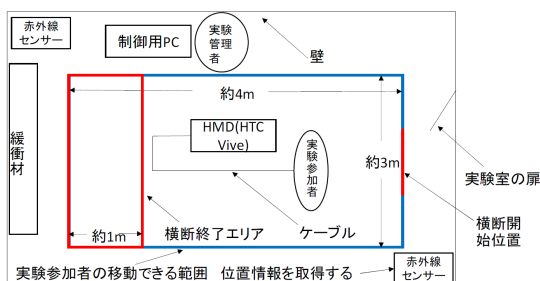


図4 VR実験室の機器配置図

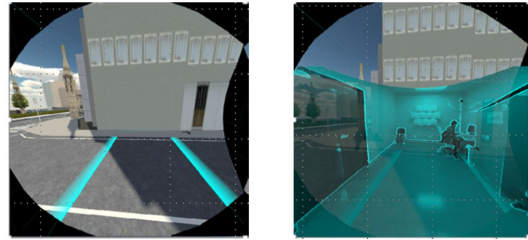


図5 HMDの映像。右は実験室の壁に近づいたときの安全確保用映像。

3.では、2.と同様の設定において、大型VR装置(π-cave:神戸大学)を用いた実験を行った。なお、実験参加者数、実験条件についてはかなり省略をする(インセンティブは導入しない)一方で、実験参加者に詳細のインタビューを行うことにより、没入感の差異を調べることを行った。

4.では、2.と同じ実験装置を用いた実験を行った(横断のシナリオの詳細は異なる)。インセンティブの設定としては、「なし」か「ひかれたら謝金の大半を減額する」の2種類のみを用いた。この実験では、VR装置内で「自身の身体による直接の行動を行う」ことの影響を見るために、以下の設定を用意した:

- VR内で実際に道路を横断する
- VR内で路側に立つが、実際には横断せず、横断可能とみられるタイミングでその意思の表明だけを行う。
- VR内で路側に立つが、実験参加者は、横断可能とみられるタイミングで実際に渡る代わりにボタンを押す。押したら、VR内の人形(アバター:図6)が自身の代わりに横断を始める。



図6 道路を横断するアバター

3.を除く実験においては、非集計モデルを用いて実験結果を統計的に分析した。離散選択モデルとしては、実験1と2では2項ロジットモデルを、実験4では逐次ロジットモデルを用いた。効用関数の設定の詳細は実験により異なるが、基本的には、インセンティブに関する条件を示すダミー変数と、車両に関する条件を示す変数からなるようにしている。

1.から4.のいずれの実験においても、実験参加者は神戸大学生であり、人数は3.を除く

てどの実験でも 50 名程度であった。すべての実験は、神戸大学大学院工学研究科の「人を直接の対象とする研究倫理委員会」で実験計画の審査承認を経た上で実施している。実験結果に依存する謝金の増減については、その条件について実験参加者に事前に十分な説明を行い、かつ、神戸大学の規則に従った適切な会計処理を経た上でやっている。

#### 4. 研究成果

3. で述べたそれぞれの実験における結果の概要を述べる。その後、研究全体で得られた知見をまとめる。

1. の実験においては、「なし」を除くいずれのインセンティブ付与手法についても、結果に有意かつ整合性のある差を認めることはできなかった。一方で、何等かのインセンティブがある場合に比べて、「なし」の場合は横断を選択しやすいくともわかった。少なくとも、金銭的なインセンティブには効果があるようである。

2. の実験においては「ひかれたら、謝金の大半を減額する。ただし 2 回目以降は減額しない」の設定が、他の設定にくらべて横断を抑制する効果が強いことがわかった。他の設定の間の差異は有意にはみられなかった。

3. の実験においては、大型 VR 装置に比べて HMD 型 VR 装置のほうが没入感が高いという回答が多数を占めた。理由として、HMD 型 VR 装置では視野がすべて仮想空間のものになる一方で、大型 VR 装置では実空間の風景が目に入ってしまうことが、実験参加者のインタビューにより指摘されていた。

4. の実験においては、行動を伴う「歩行」のほうが、行動を伴わない「発声」および「アバター」と比較して、より慎重に横断を判断する傾向を示す結果が得られた。また、車間距離の変化に対しては、「歩行」、「発声」、「アバター」の順に感度が高かった。

以上の結果は、「リスク下の交通行動をより正確に観測する実験システムの構築」のためには、以下の点に配慮することが重要であることを示唆するといえよう：

- A) 実験装置は、十分な没入感を持ち、なおかつ実験シナリオに応じた行動が直接 VR 空間内で行えるようなものを構築すべきである。
- B) リスクを代替する金銭的インセンティブの導入は有効であると思われる。その効果は、基本的には金額が高いほど高いので、そうなるように実験設定を工夫すべきである。一方、金額以外の設定を工夫しても、効果はあまりかわらない。実験参加者がわかりやすい単純な設定にすることがおそらくのぞましい。

A) については、特に「実験シナリオに応じた行動が直接 VR 空間内で行えるか否かが実験結果に影響を与える」という 4. の実験の結果から言えることである。没入感そのものの実験結果への影響は直接は不明だが、VR 空

間内で行動可能であるためには没入感は当然必要であるといえよう。

実験装置については、研究を企画した当初においては HMD による VR 装置の性能が、一般に入手可能なものについてはあまり高いとは言えなかったために、大型 VR 装置が没入感の向上や VR 内での行動という面で有利であると予想していた。しかし研究期間内での VR 技術の発展は著しく、結果的に、HMD による VR 装置のほうが、没入感や VR 内での行動という面で有利に（少なくとも不利ではない程度に）なる結果となった。特に、歩行位置を正確に測定可能な HMD が市販されたことはこの研究に大きなインパクトを与えた。今後の技術発展を考慮すれば、VR による交通行動実験においても、実験シナリオに応じた行動が直接 VR 空間内で行えるような設定が多くの実験で可能になることが期待できよう。

リスクを代替する金銭的インセンティブの付与方法については、さまざまな設定を用いてみたが、結局のところ金額そのもの以外には有意な効果を持つものはなかった。金銭的インセンティブは、実験参加に対する謝金の総額（一般的な実験では、1000 円～数千円のオーダーになるであろう）を超過することは社会通念上不可能である。その範囲内で効果を最大にするには、「1 回目の失敗（交通事故などのリスクが現実になってしまう）で、可能なだけインセンティブを与える一方で、2 回目以降ではインセンティブを与えない」方法がもっとも効率が高いといえよう。このような設定では、1 回目の失敗の後の行動に関するデータは、インセンティブが存在しない基で取得していることになるので、分析への適用ができなくなるという問題がある。ただし、この問題は、実験で考えているリスクが現実になる確率が低い場合にはあまり顕在化しない（実際、今回の 4. の実験においては、ひかれた実験参加者は 0 名であった）。そのような状況であれば十分実用に耐えるということが出来よう。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

- 1. 藤原龍, 三角耕太, 井料隆雅: 仮想環境下の実験におけるリスク回避行動の観測のための手法の検討, 土木計画学研究発表会・講演集, 53, 2016: 6 pages.
- 2. 井料隆雅, 樽本佳奈, 藤原龍, 仮想環境下での交通実験における複数のリスク再現手法の比較検討, 土木計画学研究発表会・講演集, 56, 2017: 8 pages.
- 3. 福嶋一矢, 井料隆雅, 仮想環境において行動の有無が横断判断に与える影響の

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

評価,土木計画学研究発表会・講演集, 57,  
2018: 7 pages.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

なし

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

井料 隆雅 ( IRYO, Takamasa )  
神戸大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 10362758

##### (2)研究分担者

喜多 伸一 ( KITA, Shinichi )  
神戸大学・大学院人文学研究科・教授  
研究者番号: 10224940

下村 研一 ( SHIMOMURA, Kenichi )  
神戸大学・経済経営研究所・教授  
研究者番号: 90252527

##### (3)連携研究者

なし

##### (4)研究協力者

なし