

# 仮想空間において行動の有無が 横断判断に与える影響の評価

福嶋 一矢<sup>1</sup>・井料 隆雅<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: 182t130t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: iryo@kobe-u.ac.jp

仮想環境下での交通実験では、交通事故や避難行動などのリスク存在下での人の行動を、安全かつ比較的安価で再現することができる。しかし、実空間と完全に一致した環境を構築することは困難であり、実空間との比較の点で大きな問題を抱えている。この問題を緩和するには、仮想環境下での行動特性を知ることが大切であるが、これまでに仮想環境での行動が、実験参加者の挙動に与える影響を調べた事例はない。そこで本研究では、ウォークスルー型VR装置を用いた横断実験を行うことで、仮想空間において行動の有無が横断判断に与える影響を評価することを目的としている。実験の結果、行動を伴わない場合に比べ、実際に歩いて横断する場合のほうが、慎重に横断を判断する傾向があることがわかった。

**Key Words :** *virtual environment, influence of the presence of behavior*

## 1. はじめに

交通工学において、交通事故や避難行動などのリスク存在下での人の行動を観測する場面は多い。しかし、それらを実環境において実験的に観測することにはいくつかの問題がある。そのひとつに安全上の問題がある。実際に人を物理的リスクにさらす実験は研究倫理上許容されない。街区や道路の確保など実験に必要な環境を整えたり、人を集めたりすることに大きな費用がかかることも問題である。また、周囲の環境を実験ごとに完全に再現することは不可能である。このような問題を解消する1つのアプローチとして仮想環境下での観測がある。仮想環境構築には仮想現実(VR)技術がよく用いられる。ドライビングシミュレータによる実験は典型的な例である。VRを用いた観測には、物理的リスクを伴わない、比較的低コストである、実験ごとに同一の状況を再現できるといったメリットがある。しかし、実空間と完全に一致した環境を構築することは困難であり、実空間での人の挙動や意思決定の再現性に問題を残している。

再現性の向上という点において、交通空間における人の挙動の3要素としてよく知られる、「認知」「判断」「行動」が重要である。これまでに、仮想環境における視聴覚や振動、加速度などの感覚刺激をいかに現実近づけるかといった「認知」に関する研究は数多く

行われてきたが、実環境には存在する物理的リスクを仮想的に生成することについてはあまり配慮がなされなかった。仮想空間では安全に実験を実施することのできる利点がある反面、物理的なリスクを完全に再現することはできないため、現実世界と比較してリスクを軽視した行動をとる実験参加者が存在する可能性がある。樽本ら(2017)<sup>1)</sup>は、その可能性を排除する方法の一つとして、仮想空間内において現実世界の物理的リスクの代替となるインセンティブを与えることを考え、VRを用いた横断実験を行い、いくつかのインセンティブにおいてその効果を比較検討した。その結果、金銭によるインセンティブを与えることが、仮想環境において実環境での「判断」の再現性を向上させるのに効果的であることを示した。しかし、これまでに仮想環境での行動が、実験参加者の挙動に与える影響を調べた事例はない。

そこで、本研究ではウォークスルー型VR装置を用いた横断実験により、仮想環境下における「行動」の評価を目的としている。具体的には、横断方法に、実際に歩いて横断する方法、歩行することはなく横断のみ行う方法、自分で歩く代わりにCGモデルに横断させる方法の3パターンを設定し、横断方法によって生じる横断判断の差異を検証することによって、仮想環境において行動の有無が横断判断に与える影響を評価する。これにより、「認知」「判断」と合わせて、3要

素の再現性をすべて内包した仮想空間実験システムの構築方法を提案できることが期待される。

## 2. VR実験方法

### (1) 実験環境

本研究で用いたVRシステムは、神戸大学工学研究科の藤原<sup>2)</sup>が構築したものを本実験の設定に合わせて作り替えたものである。

#### a) VR装置の概要

本実験ではVR装置にヘッドマウントディスプレイ HTC Viveを採用した。採用した理由としては、HTC Viveは「ヘッドセット」の位置情報を「ベースステーション」によってトラッキングすることで、制限エリア内（最大訳3×4m）であれば、装着した人の動きに合わせて360°方向の映像を映し出すことができ、まるで仮想の道路を実際に歩いているかのような没入感を得られること、また10万円程度と比較的安価であることが挙げられる。

#### b) VR空間の概要

本研究で用いたVR空間の詳細を示す。VR空間の構築にはゲームエンジンUnityを用いた。道路や建物など、VR空間で目にする風景にはゼンリンが提供している都市モデルJapanese Otaku City (秋葉原の640×640四方の区画データ)<sup>3)</sup>を利用した。車の速度や車間距離など、オブジェクトの挙動はC#で記述した。図-2.1に道路及び周辺の様子を示す。

### (2) 実験シナリオ

#### a) 想定する状況

横断歩道のない道路にさしかかると右の方から車が来ている。自動化されているため、ドライバーがこちらの様子を見て加減速することはないとする。車の速度は実験の設定によって低速（約20km/h）、中速（約35km/h）、高速（約50km/h）の3パターンがあるが、各設定において全ての車の速度は全て一定である。車間



図-2.1 道路及び周囲の様子

距離は5m-50mの範囲でランダムとなるように車を発生させているため、実験参加者は自分の感覚で渡れると思うところで指示された「横断行動」を行う。「横断行動」については次で説明する。車の速度および車間距離は、Unity上で1単位1mであることを利用して算出したものである。

#### b) 横断行動

全ての実験参加者に計15回の「横断行動」を行ってもらった。「横断行動」は各設定において以下の3種類のいずれかを指示した。

- ① 実験室内を実際に歩行してもらう。
- ② 「渡ります」などの発声をしてもらう。
- ③ ボタンを押すことなどで人型のCGモデルが映像内で横断する。

これ以降①、②、③をそれぞれ「歩行」、「発声」、「アバター」と呼ぶこととする。上記の3つの「横断行動」はどれもVR装置をつけた状態で行う。「歩行」では図-2.2に示すように実際に実験室内を歩行することで仮想空間の道路を横断する。「発声」では渡れると判断した時、その場で「渡ります」と声を出す。「モデル」では仮想空間に図-2.3のように人型のCGモデルが立っており、HTC Vive付属のコントローラのボタンを押すことでモデルを横断させる。「歩行」は行動を伴うが「発声」では発声のみで歩行は行わず、「アバター」では行動を他者（CGモデル）が行うという違いがある。また、「歩行」は行動を伴うが、研究の背景でも述べたように、現実空間ではリスクが存在するため行うことができない。それに対し、「発声」および「アバター」は行動を伴わないが、現実空間でも実施が可能である。これらの異なる横断方法による実験参加者の行動の変化に着目することで仮想空間における「行動」を評価する。

#### c) 装置の配置と安全対策

図-2.4は装置の配置図である。実験参加者の安全のため、実験室内で移動できる範囲を制限し、その範囲を現実空間で確認してもらった。また、移動可能な範囲から出ようとする、仮想空間内にシャペロン境界と呼ばれる青い格子状の壁が出現することを体験してもらった。しかし、万が一に備えて、横断終了エリアを超えて壁にぶつかってしまわないように、緩衝材として横断終了エリアの先の壁にクッションを配置した。

#### d) 実験概要

実験の概要を表-2.1に示す。本研究で実施された実験は、すべて、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」における審査を受け、承認の判定を受けて実施されている。



図-2.2 歩行の様子



図-2.3 CGモデル (アバターも示されている)

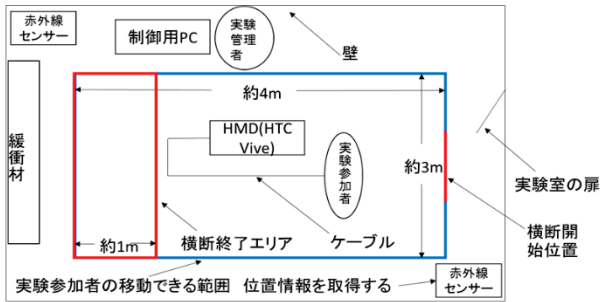


図-2.4 装置配置図

表-2.1 実験概要

実験参加者	神戸大学生49名 (男性25名, 女性24名)
日程	2017年12月4日~12月15日
雇用時間と謝礼金	90分 1800円 (実験の設定により, 1000円のペナルティを課す場合あり)
取得データ	行動選択, 車間距離, 経過時間
測定回数	全参加者に対して15パターンでの設定で測定

表-2.2 実験設定

	横断行動	速度設定	回数
ペナルティなし	「歩行」 「発声」 「アバター」	「低速」 「中速」 「高速」	9回
ペナルティあり	「歩行」 「アバター」	「低速」 「中速」 「高速」	6回

e) 実験の流れ

実験は以下の(A)~(E)の手順で行った

- (A) VR装置をつけていない状態で横断の練習をしてもらう。この際、実験中に走ってはならないことを確認し、一定の速度で歩く事を意識してもらう。
- (B) VR装置をつけた状態で横断エリアを歩行してもらう。この際、移動可能な範囲から外れそうになると青い格子状の壁が出てくることを確認してもらう。
- (C) 仮想空間の映像を映し出し、想定する状況の説明をする。実験中に映像に酔ったり気分が悪くなったりした時はすぐに言ってもらうように伝える。
- (D) 3種類の横断方法を、低速、中速、高速の順に1回ずつ練習してもらう。各速度において最初は横断行動を行わず、2分間接近する車を見てもらう。ここで先頭車が通過するより先に横断してはならないこと、車に衝突すると画面が真っ暗になることを伝える。
- (E) 5分間の休憩を設け、本番を開始する。ここからはペナルティありの設定で車に衝突した場合、謝礼金から1000円減額されることを再確認する。実験の設定を変えるたびにペナルティの有無を伝える。本番中に酔ったり気分が悪くなったりし実験を中止した場合にも、謝礼金が支払われることを伝える。

f) 状況の組み合わせ

実験参加者に行ってもらおう15回の横断行動のうち、9回はペナルティなし、6回はペナルティありの設定で行う。実験設定の内容を表-2.2に示す。ペナルティありの場合に「発声」を入れていないのは、「発声」では車との衝突の有無を判定することができないためである。実験の最中に何度もペナルティの有無が変化すると、実験参加者が混乱してしまう恐れがあるため、ペナルティなしの9回と、ペナルティありの6回はそれぞれ連続して行った。また、設定の順番による偏りを排除するために、すべての参加者で設定の順番を変えた。



### (3) 分析手法

本研究では、実験参加者は走行する車の前を横断するか待機するかを判断し、横断するまで繰り返すことになる。このように、ある選択をするまで繰り返される選択行動を表現するモデルの構築については、例えば浦田ら(2013)<sup>9)</sup>、Ravindraら(2012)<sup>9)</sup>のような災害時における避難行動選択の構造を明らかにすることを目的とした事例がある。

本実験において得られた結果の分析は、「実験設定が意思決定に与える影響を表すモデル」、「横断行動による差を表すモデル」の2種のロジットモデルによって行う。「実験設定が意思決定に与える影響を表すモデル」では、横断行動別の速度設定ごとに、車間距離、ペナルティの有無、経過時間を説明変数とし、これらの変数が実験参加者の判断に与える影響を分析する。「横断行動による差を表すモデル」では、速度設定ごとに、「実験設定が意思決定に与える影響を表すモデル」の説明変数に横断行動の種類を加え、行動の有無が実験参加者の判断に与える影響を分析する。

#### a) 実験設定が意思決定に与える影響を表すモデル

「横断」を選択する効用を0としたときの「待機」を選択する効用を式 (3.1) で定式化し、横断行動別の速度設定ごとに適用する。

$$V = \beta + \alpha_d X_d + \alpha_p \delta_p + \alpha_t X_t \quad (3.1)$$

$X_d$  : 車間距離  
 $\delta_p$  : ペナルティダミー  
 (ペナルティ有る場合、 $\delta_p = 1$ )  
 $X_t$  : 経過時間

#### b) 横断方法による差を表すモデル

速度設定ごとに、「横断」を選択する効用を0としたときの「待機」を選択する効用を式 (3.2) で定式化し、「歩行」と「アバター」および「発声」のあいだに総計的な差があるか調べる。 $X_d$ から $\mu_d$ を引いているのは、パラメータの平均値を0にすることで、 $\alpha_{Ad}$ および $X_d$ の増減によって $\beta_M$ が変化する効果を抑えるためである。

$$V = \beta + \beta_A \delta_A + \beta_J \delta_J + \alpha_d (X_d - \mu_d) + \alpha_{Ad} (X_d - \mu_d) \delta_A + \alpha_{Jd} (X_d - \mu_d) \delta_J + \alpha_p \delta_p + \alpha_t X_t \quad (3.2)$$

$X_d$  : 車間距離  
 $X_t$  : 経過時間  
 $\mu_d$  : 車間距離の観測平均値  
 $\delta_A$  : アバターダミー  
 (横断方法が「アバター」の場合、 $\delta_A = 1$ )  
 $\delta_J$  : 発声ダミー  
 (横断方法が「発声」の場合、 $\delta_J = 1$ )  
 $\delta_p$  : ペナルティダミー  
 (ペナルティ有る場合、 $\delta_p = 1$ )

### 3. 実験結果

#### (1) 実験設定が意思決定に与える影響を表すモデルを用いた分析結果

推定結果を表3.1～表3.3に示す。推定されたパラメータを見ると、すべての設定で $\alpha_d$ の符号は負であり、かつ1%有意であることから、車間距離が広いほど「待機」を選択する可能性が低くなるという妥当な結果が得られている。また、 $\alpha_d$ の係数は $\alpha_p$ 、 $\alpha_t$ と比較して、負の方向に大きな値であった。各横断行動において速度が速くなるにつれ、定数項 $\beta$ の値も大きくなるという関係にあった。「アバター」の低速以外で $\alpha_p$ が正の値になっており、ペナルティが横断を抑制していたことがわかる。一方で、「アバター」の低速で $\alpha_p$ が負の値になっている。これは、物理的リスクの代替として導入したペナルティが、逆に横断を促進するように働いてしまったことを意味する。 $\alpha_p$ の係数は車の速度が速いほど大きくなっていることから、車の速度が速いほどペナルティの効果が大きくなっているといえる。しかし、 $\alpha_p$ が有意にでたのは「歩行」と「アバター」の両方で高速のときのみであった。 $\alpha_t$ はすべての設定で負の値であり、「発声(中速)」を除いて5%有意であり、時間が経過するほどわかりやすいという結果が得られた。横断方法による違いに着目すると、低速の設定においては「発声」「歩行」「アバター」の順に定数項 $\beta$ の値が大きかったが、中速および高速の設定においては「歩行」「発声」「アバター」の順に定数項 $\beta$ の値が大きく、またその差も大きくなっている。

#### (2) 横断方法による差を表すモデルを用いた分析結果

推定結果を表3.4～表3.6に示す。推定されたパラメータを見ると、速度設定が低速のとき、「歩行」と「モデル」および「発声」のあいだに統計的に有意な差がみられなかった。速度設定が中速のとき、 $\beta_J$ の符号は正で、「歩行」と「発声」のあいだに1%有意で統計的な差がみられた。速度設定が高速のとき、 $\beta_M$ の符号は負で、「歩行」と「モデル」のあいだに1%有意で統計的な差がみられた。また、すべての速度設定において、 $\alpha_{Ad}$ と $\alpha_{Jd}$ の値は負であり、中速での $\alpha_{Ad}$ を除いて5%有意であった。

表-3.1 「歩行」での推定結果

	低速 (N=492)			中速 (N=728)			高速 (N=966)		
	推定値	標準誤差	t値	推定値	標準誤差	t値	推定値	標準誤差	t値
$\beta$	11.10	1.252	8.86**	13.29	1.337	9.94**	18.29	1.846	9.91**
$\alpha_d$	-2.417	0.272	-8.89**	-2.786	0.293	-9.50**	-3.648	0.386	-9.46**
$\alpha_p$	0.181	0.309	0.59	0.483	0.301	1.60	0.815	0.308	2.65**
$\alpha_t$	-0.049	0.012	-4.01**	-0.056	0.012	-4.56**	-0.087	0.015	-5.69**

\*\*1%有意,\*5%有意 ()内はサンプル数

表-3.2 「アバター」での推定結果

	低速 (N=352)			中速 (N=491)			高速 (N=514)		
	推定値	標準誤差	t値	推定値	標準誤差	t値	推定値	標準誤差	t値
$\beta$	7.438	0.852	8.73**	11.78	1.282	9.17**	14.56	1.614	9.02**
$\alpha_d$	-1.622	0.187	-8.70**	-2.400	0.260	-9.24**	-3.105	0.346	-8.98**
$\alpha_p$	-0.133	0.321	-0.41	0.160	0.328	0.49	0.683	0.344	1.98*
$\alpha_t$	-0.075	0.024	-3.07**	-0.138	0.027	-5.01**	-0.122	0.028	-4.37**

\*\*1%有意,\*5%有意 ()内はサンプル数

表-3.3 「発声」での推定結果

	低速 (N=227)			中速 (N=295)			高速 (N=441)		
	推定値	標準誤差	t値	推定値	標準誤差	t値	推定値	標準誤差	t値
$\beta$	11.28	1.743	6.47**	12.80	1.946	6.58**	16.87	2.429	6.94**
$\alpha_d$	-2.481	0.386	-6.43**	-2.778	0.433	-6.42**	-3.398	0.516	-6.58**
$\alpha_t$	-0.061	0.024	-2.56*	-0.025	0.018	-1.41	-0.066	0.021	-3.15**

\*\*1%有意,\*5%有意 ()内はサンプル数

表-3.4 速度設定低速での推定結果(N=1071)

		推定値	標準誤差	t値
定数項	$\beta$ : 歩行	3.499	0.366	9.56**
	$\beta_A$ : アバター	-0.624	0.390	-1.60
	$\beta_J$ : 発声	0.776	0.587	1.32
車間距離	$\alpha_d$ : 歩行	-1.371	0.169	-8.10**
	$\alpha_{Ad}$ : アバター	-0.685	0.293	-2.34*
	$\alpha_{Jd}$ : 発声	-0.922	0.393	-2.35*
	$\alpha_p$ : ペナルティ	0.195	0.219	0.89
	$\alpha_t$ : 経過時間	-0.045	0.009	-5.23**

\*\*1%有意,\*5%有意 ()内はサンプル数

表-3.5 速度設定中速での推定結果 (N=1514)

		推定値	標準誤差	t値
定数項	$\beta$ : 歩行	2.781	0.279	9.95**
	$\beta_A$ : アバター	-0.158	0.336	-0.47
	$\beta_J$ : 発声	5.021	1.317	3.81**
車間距離	$\alpha_d$ : 歩行	-1.494	0.150	-9.93**
	$\alpha_{Ad}$ : アバター	-0.382	0.246	-1.56
	$\alpha_{Jd}$ : 発声	-4.305	0.955	-4.51**
	$\alpha_p$ : ペナルティ	0.2489	0.189	1.31
	$\alpha_t$ : 経過時間	-0.009	0.008	-1.00

\*\* 1%有意, \* 5%有意 ( ) 内はサンプル数

表-3.6 速度設定高速での推定結果 (N=1921)

		推定値	標準誤差	t値
定数項	$\beta$ : 歩行	1.903	0.234	8.13**
	$\beta_A$ : アバター	-0.918	0.248	-3.71**
	$\beta_J$ : 発声	-0.038	0.333	-0.11
車間距離	$\alpha_d$ : 歩行	-0.872	0.128	-6.81**
	$\alpha_{Ad}$ : アバター	-0.888	0.204	-4.35**
	$\alpha_{Jd}$ : 発声	-1.246	0.259	-4.80**
	$\alpha_p$ : ペナルティ	0.459	0.180	2.56*
	$\alpha_t$ : 経過時間	0.042	0.010	4.41**

\*\* 1%有意, \* 5%有意 ( ) 内はサンプル数

#### 4. まとめと今後の課題

仮想環境において行動の有無が横断判断に与える影響を評価することを目的として、VR実験を行った。実験シナリオとしては、歩行者が道路を横断する状況を想定した。分析の結果、速度が速くなるにつれて、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、より慎重にわたる傾向があった。また、すべての速度設定において「歩行」に比べ「アバター」および「発声」は車間距離の変化に対して鈍感であった。これらのことから、本実験において実験参加者が感じるリスクの大きさは、行動を伴う場合の方が、行動を伴わない場合に比べ、大きかったと考えられる。物理的リスクの代替として金銭的なペナルティがある程度効果的であったが、本実験においてはすべての横断方法で、ペナルティや経過時間に比べ、車間距離の変化が最も選択行動に影響を与えていた。

本実験において得られた知見が現実空間においても適用可能であるとするならば、現実空間において、リスク存在下での人の行動を観測する実験の設計に資することが期待できる。たとえば、実道路において本実

験における「判断」のように、発声によって横断を判断してもらい、その結果から、実際に歩いて横断する場合の意思決定を推定する際に、本研究で得られた知見を応用できるということが考えられる。

今後の課題を述べる。物理的リスクの代替として金銭的なペナルティを与えたが、効果が確認できたのは「歩行」と「アバター」のどちらも設定が高速の場合だけであった。これは減額が等しくても、実験参加者が感じるリスクによってペナルティの効果が変化しているためであると考えられる。逆に言えば、実験参加者が感じるリスクが小さすぎると、期待されるペナルティの効果が得られない可能性がある。本実験の後に参加者に答えてもらったアンケートの中に、「車が接近してきたときに、恐怖感がありましたか」という項目があり、集計結果は、「あった」14人、「少しあった」18人、「あまりなかった」12人、「全くなかった」5人であり、約35%の人が仮想空間において接近してくる車にあまり恐怖を感じていなかった。これが本実験において、低速および中速の設定でペナルティの効果が弱かった要因である可能性もあるため、感じるリスクの大きさとペナルティの効果の関係について検

証する価値があり、仮想環境の構築に、よりリスクを感じさせる工夫が必要であると考えられる。

「発声」の横断方法に関して実験参加者の数人から、現実では横断する際に「発声」を行うことはないため違和感があり、そのためにタイミングがつかみにくかったという意見があったため、そのような要因が結果に影響を及ぼす可能性については今後検証が必要である。

本実験において得られた傾向や結果が、他の仮想環境での実験にもあてはまる保証はないため、類似した実験を繰り返し行うことで、結果の妥当性を示し、再現性を向上させる必要がある。また、様々な状況で、仮想環境実験において行動の有無によって生じる差異を検証するためには、本実験で行ったものとは異なる横断方法や状況設定でも「行動」について評価する必要がある。

**謝辞：**本研究の実施にあたっては、神戸大学大学院人文科学研究科喜多伸一教授と、同経済経営研究所下村研一教授から助言を受けた。本研究は科学研究費補助金「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」（挑戦的萌芽：16K14319）の援助により実施された。この場を借りて謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 樽本佳奈, 藤原龍, 井料隆雅, 仮想空間での交通実験におけるインセンティブがもつ効果の比較検討, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 56, 2017
- 2) 藤原龍, バーチャルリアリティー交通実験におけるリスク回避行動の再現手法の検討, 2017
- 3) 株式会社ゼンリン: ZENRIN City Asset Series, Japanese Otaku City, <http://www.zenrin.co.jp/product/service/3d/asset/>, 2018/4/26 アクセス
- 4) Ravindra Gudishala, Chester Wilmot, Comparison of Time-Dependent Sequential Logit and Nested Logit for Modeling Hurricane Evacuation Demand, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2312, pp. 134-140, 2012
- 5) 浦田淳司, 羽藤英二, 植村恵里, 将来リスクの動的変化を考慮した逐次型避難開始時刻選択モデル, 交通工学研究発表会論文集, Vol. 33, pp. 255-259, 2013

(2018. 4. 26 受付)

## INFLUENCE OF THE PRESENCE OF BEHAVIOR ON JUDGEMENT OF ROAD CROSSING IN VIRTUAL ENVIRONMENT

Kazuya FUKUSHIMA and Takamasa IRYO