

VRを用いた経路選択傾向の研究

Study on route-selection tendencies using virtual reality

宮野 修平[†], 金 慧隣[‡], 愛甲 哲也[‡]
Shuhei Miyano, Hyerin Kim, Tetsuya Aikoh

[†]セコム株式会社 IS 研究所, [‡]北海道大学 大学院農学研究院

[†]Intelligent Systems Laboratory, SECOM Co., Ltd., [‡]Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University
shu-miyano@secom.co.jp

概要

ルールへの遵守性や長時間移動に対する許容度など、歩行者の経路選択には個人差がありうる。したがって、群衆制御による誘導効果を予測するためには、誘導対象である群衆中における経路選択傾向の分布を知る必要がある。本研究では、VRを用いた群衆実験によって、経路ごとの移動時間や混雑度合い、誘導の有無が経路選択に与える影響を測定し、階層クラスタリングによって経路選択傾向の分布を分析した。さらに、フォーカスグループインタビューによって仮定の混雑緩和施策に対する意見を収集し、クラスタリング結果との整合性を分析することで、VR実験結果の妥当性を評価した。

キーワード：経路選択 (route selection), VR, フォーカスグループインタビュー (focus group interview)

1. はじめに

不特定多数の群衆が集まる空間において、人々の安全性や快適性を確保するためには、人々の移動を適切に制御する必要がある (Gayathri et al. 2017)。適切な群衆制御を実施することで、過密化を防止して群衆事故の発生リスクを下げつつ、その空間を利用する歩行者の快適性を高めることができると期待される (Fruin 1971)。

実施する群衆制御を最適化するためには、群衆制御の誘導効果を予測する必要があり、群衆制御を実施したときの人々の経路選択傾向をあらかじめ知っておく必要がある。ここで、群衆の経路選択に影響を及ぼす要因については広く研究されており、群衆制御の誘導以外にも、たとえば経路ごとの移動時間や混雑度合いなどが要因として知られている (Daamen 2002)。

しかしながら、これらの要因が経路選択傾向に与える影響の個人差については研究の余地がある。現実の群衆においては、同じ群衆制御に対してルールを遵守する人とならない人がいたり、長時間歩いても平気な人もいればそうでない人もいたりするなど、各要因が経路選択に及ぼす影響は個人ごとに異なりうる。した

がって、群衆制御の誘導効果をより正確に予測するためには、どのような経路選択傾向をもつ個人がどれだけの割合含まれるのかを調査する必要がある。

そこで本研究では、VRを用いた仮想的な群衆誘導実験を実施し、経路ごとの移動時間と混雑度合い、誘導の有無を変えながら被験者ごとの経路選択傾向を調査し、階層クラスタリングによって典型的な経路選択傾向を推定しその分布を調査した。さらに、フォーカスグループインタビュー (FGI) によって仮定の混雑緩和施策に対する意見を収集し、クラスター特徴と FGI 回答結果の整合性をみることで、VR実験で得られた経路選択傾向の妥当性を評価した。

2. 実験方法

本研究では、25名の被験者に対して、VRを用いた経路選択実験を行った。実験では、仮定のイベント終了後に最寄り駅まで向かう途中という設定の下で、駅までの移動経路が左右に分岐した仮想的な空間内を歩くシーンを提示し、シーンごとに左右経路ごとの移動時間や混雑度合い、長時間側への誘導方法に関する設定を変えながら、それぞれのシーンにおいて左右経路のどちらを歩きたいか回答させた。被験者に提示した VR シーンの例と経路選択の回答画面を図 1 に示す。

左右経路ごとの移動時間に関する設定としては、短

図 1 (上) VR シーンの例と (下) 経路選択回答画面



図2 誘導方法のパターン

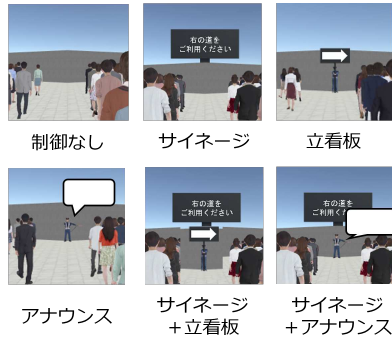


図3 FGI 設問1で提示した画像



時間側は常に5分とし、長時間側を8分、13分、20分の3通りとした。左右経路ごとの混雑度合いについては、左右それぞれの経路を歩く歩行者数を50人、100人、200人の3通りずつ、合計 $3 \times 3 = 9$ 通りとした。また、誘導方法については、図2に示す6通りとした。なお、誘導がある場合、常に長時間側へ誘導することとした。以上の設定の組み合わせとして、被験者ごとに合計 $3 \times 9 \times 6 = 162$ 個のVRシーンを提示した。

次に、VR実験で得られた経路選択データを用いて、被験者ごとの個人差を考慮したロジスティック回帰分析を実施した。ここで、回帰に用いたモデル式は以下の通りである。

$$Y \sim \text{Bernoulli_logit} \left(\beta_0^{(s)} + \beta_{T_d}^{(s)} T_d + \beta_{N_d}^{(s)} N_d + \beta_C^{(s)} C \right)$$

$$\beta_0^{(s)} \sim \text{Normal}(\mu_0, \sigma_0), \beta_{T_d}^{(s)} \sim \text{Normal}(\mu_{T_d}, \sigma_{T_d})$$

$$\beta_{N_d}^{(s)} \sim \text{Normal}(\mu_{N_d}, \sigma_{N_d}), \beta_C^{(s)} \sim \text{Normal}(\mu_C, \sigma_C)$$

ここで、 Y は長時間側が選択されるとき1、そうでないとき0をとるダミー変数であり、 s は被験者ごとのインデックスである。 T_d は長時間側の移動時間から短時間側の移動時間を引いた差であり、 N_d は長時間側の歩行者数から短時間側の歩行者数を引いた差である。また、 C は長時間側への誘導があるとき1、そうでないとき0をとるダミー変数である。このモデル式に対して、それぞれの回帰係数を確率変数とみなし、マルコフ連鎖モンテカルロ法によって確率分布のベイズ推定を行った。

次に、回帰結果を用いて被験者のクラスタリングを行うことで、経路選択傾向における特徴的なパターンを調査した。ここで、被験者ごとの特徴量として、被験者ごとの $\beta_0^{(s)}, \beta_{T_d}^{(s)}, \beta_{N_d}^{(s)}, \beta_C^{(s)}$ の平均値をそれぞれ計算した4次元量 $(\bar{\beta}_0^{(s)}, \bar{\beta}_{T_d}^{(s)}, \bar{\beta}_{N_d}^{(s)}, \bar{\beta}_C^{(s)})$ を用い、この特徴量間のユークリッド距離を非類似度として、ウォード法による階層クラスタリングを実施した。

さらに、仮定の混雑緩和施策に関する意見をFGIによって収集し、各クラスターの特徴との整合性を分析した。なお、FGIはVR実験を行う1週間前に実施

した。ここで、FGIでは次の3点に関する意見を収集した：

- 1) 他の歩行者との距離に対する許容度合い：人数制限によって他の歩行者との距離を調整するとき、他の歩行者との距離がどこまでの状況が望ましいと思うか
- 2) 最短ルート以外の経路への誘導に対する許容度合い：最短ルートよりどの程度長い経路に誘導されても構わないと思うか
- 3) 退場までの待機時間に対する許容度合い：規制退場があるイベントで、イベント終了後に座席で待機するとき、どの程度の時間であれば待っても構わないと思うか

なお、設問1については図3の画像を示しながら質問した。

3. 実験結果

それぞれの被験者ごとに、長時間側の経路を選択した割合を長時間側率 p_L とする。図4において、移動時間差 T_d 、歩行者数差 N_d および誘導の有無 C に対する被験者ごとの p_L の変化とその平均値を示す。

図4の左列より、 p_L の平均値は T_d や N_d が大きくなるにつれ下がり、制御がないときよりあるときの方が上がっている。これは平均的には移動時間がより小さく、混雑度合いがより小さく、誘導されている経路が選ばれやすいということを意味しており、日常感覚に合致している。一方、図4の右列によると、 T_d, N_d, C に対する被験者ごとの p_L の変化傾向については必ずしも平均的な傾向と一致しておらず、経路選択傾向に個人差があることが示唆されている。

図5に、それぞれの被験者ごとの回帰係数 $\beta_0^{(s)}, \beta_{T_d}^{(s)}, \beta_{N_d}^{(s)}, \beta_C^{(s)}$ の推定結果を示す。ここで、推定結果は各回帰係数の確率分布で示されている。それぞれの回帰係数の符号および確率分布について被験者ごとの個人差があり、それぞれの要因が経路選択に与える影響に個人差があったことが示唆されている。たとえば、多くの被験者について $\beta_0^{(s)}$ は負の値に偏り、 T_d, N_d, C に関係なく長時間側を選びにくい一方で、被験者20と23については $\beta_0^{(s)}$ が正の値に偏っており、これらの要因に関係なく長時間側を選びやすい傾向にある。

図4 (左列) T_d, N_d, C に対する長時間側率 p_L の平均値および (右列) 被験者ごとの p_L (右列の図において被験者ごとに異なる色分けをしている)

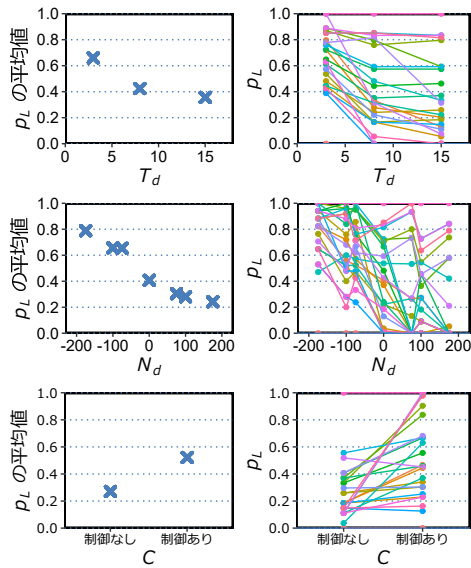
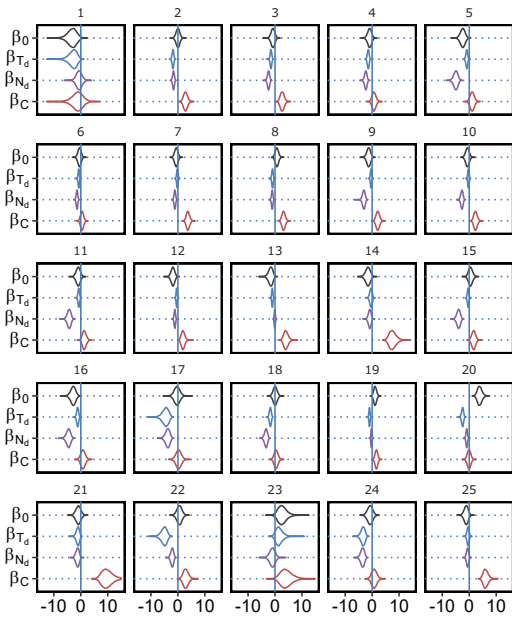


図5 被験者ごとの $\beta_0^{(s)}, \beta_{T_d}^{(s)}, \beta_{N_d}^{(s)}, \beta_C^{(s)}$ の推定結果. 各ボックス上の数字は被験者のインデックス s を表す



回帰結果に基づく被験者のクラスタリング結果を図6に示す。それぞれの色分けはクラスタを表す。ここで、クラスタのサイズと解釈性のバランスを考え、5つのクラスタに分類した。

図7にクラスタごと各被験者の特徴量分布を示す。特徴量分布から、クラスタごとの特徴は以下のように解釈できる：

- クラスタ1 (3人)：「楽な経路優先」 β_{T_d} が特に小さく β_{N_d} も小さいことから、移動時間が小さく混雑していない、楽に移動できる経路を優先している

図6 階層クラスタリング結果

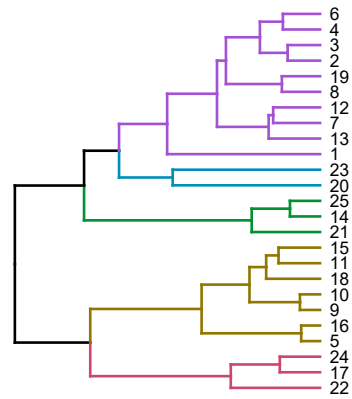
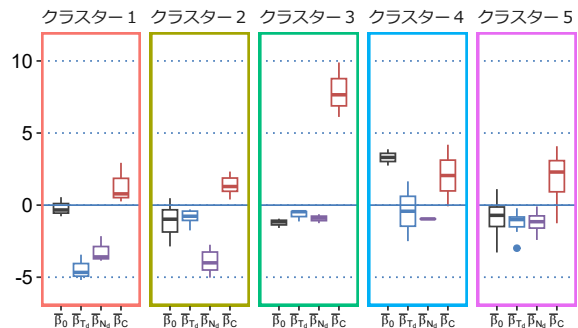


図7 クラスタごとの特徴量分布



- クラスタ2 (7人)：「混雑回避優先」 β_{N_d} が特に小さいことから、混雑回避を優先している
- クラスタ3 (3人)：「ルール優先」 β_C が特に大きいことから、ルール遵守を優先している
- クラスタ4 (2人)：「長時間優先」 β_0 が正の値であることから、長時間側を優先している
- クラスタ5 (10人)：「こだわり少」 他クラスタに比べて $\beta_{T_d}, \beta_{N_d}, \beta_C$ の絶対値が小さいことから、それぞれの要因に対して比較的こだわりが少ないとみなせる

最後に、FGIの回答結果をクラスタごとにまとめたものを表1に示す。

設問1について、クラスタ1 (楽な経路優先) やクラスタ2 (混雑回避優先) であっても、他者との距離を大きく取る方が望ましいと考える被験者が多いという傾向はみられない。これは、VR実験とFGIとで混雑状況の示し方に差があり、混雑度合いの認識が異なったことが原因である可能性がある。

一方、設問2についてはクラスタ1 (楽な経路優先) では全ての被験者が最短ルートがよいと回答しているが、クラスタ4 (長時間優先) は600mおよび1,100mと比較的長い距離を許容できると回答しており、クラスタ特徴とFGI回答の間に整合性がみられ

表1 クラスターごとの FGI 回答結果

	クラスター1 (楽な経路優先)	クラスター2 (混雑回避優先)	クラスター3 (ルール優先)	クラスター4 (長時間優先)	クラスター5 (こだわり少)	総数
クラスター人数	3	7	3	2	10	25
1) 他の歩行者との距離に対する許容度合い						
2 m 間隔	0	1	0	1	1	3
1 m 間隔	2	5	1	1	7	16
従来通り	1	1	2	0	2	6
2) 最短ルート以外の経路への誘導に対する許容度合い						
最短ルート	3	0	0	0	2	5
200 m まで	0	1	0	0	3	4
600 m まで	0	4	3	1	4	12
1,100 m まで	0	2	0	1	1	4
3) 退場までの待機時間に対する許容度合い						
待ちたくない	3	1	0	0	2	6
10 分	0	5	0	0	6	11
15 分	0	0	1	0	0	1
20 分	0	1	1	0	2	4
30 分	0	0	1	0	0	1
40 分	0	0	0	2	0	2

る。また、設問3についても、クラスター1（楽な経路優先）は全員待ちたくないと回答している一方で、クラスター4（長時間優先）は全員が最大の40分を回答しており、歩行における移動時間と座席での待機時間という差はあるが、こちらもクラスター特徴と FGI 回答結果が整合している。

設問2や3におけるクラスターリング結果と FGI 回答結果の整合性から、VR 実験で得られた経路選択傾向の妥当性が示唆されている。しかしながら、今回の実験結果の普遍性については、異なる被験者群や実験設定を対象としたさらなる検証が必要である。たとえば今回の実験では「こだわり少」の被験者が最も多く、次いで「混雑回避優先」の被験者が多いという結果になったが、異なる被験者群や実験設定下では、クラスターリングで得られる経路選択傾向の特徴やクラスターのサイズ分布が変わる可能性がある。

4. おわりに

本研究では、経路選択における個人性を明らかにするため、VR を用いた仮想的な誘導実験を実施し、25名の被験者に対し162通りのVRシーンを提示し、VRシーンごとに経路ごとの移動時間や混雑度合い、誘導の有無を変えながら被験者の経路選択を測定した。また、回帰分析によって各要素が経路選択に与える影響

を個人ごとに評価し、階層クラスターリングによって5種類の特徴的な経路選択傾向とその分布を求めた。さらに、フォーカスグループインタビュー (FGI) によって仮想の混雑緩和施策に対する意見を収集し、それぞれのクラスターの特徴と FGI 回答結果との整合性を分析した。分析の結果、最短ルート以外への誘導や待機時間に対する許容度合いについて整合がみられ、VR 実験で得られた経路選択傾向の妥当性が示唆されている一方で、今回発見された経路選択傾向分布の普遍性については、異なる群衆や実験設定を対象とした検証が必要である。また、今回はクラスター単位の分析を行ったが、今後は被験者個人ごとの VR 実験結果と FGI 回答結果を比較することで、経路選択傾向における個人差をより詳細に分析していきたい。

本研究は JST 未来社会創造事業 JPMJMI20D1 の支援を受けたものである。

文 献

- H. Gayathri, P. M. Aparna & A. Verma (2017). A review of studies on understanding crowd dynamics in the context of crowd safety in mass religious gatherings. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 25, 82–91. <http://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.07.017>
- J. J. Fruin (1971). *Pedestrian planning and design*. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners.
- W. Daamen (2002). *Modelling passenger flows in public transport facilities* [Unpublished doctoral dissertation]. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.