

動的に変化する避難情報が避難者の意思決定にあたる影響について Impact of Dynamically Changing Evacuation Information on Evacuee's Decision Making

鶴島 彰, 宮野 修平

Akira Tsurushima, Shuhei Miyano

セコム株式会社 IS 研究所

SECOM CO., LTD., Intelligent Systems Laboratory

{a-tsurushima,shu-miyano}@secom.co.jp

概要

指示方向を動的に変化させる動的避難誘導システムの有効性が議論されている。しかし、人間の避難者が動的に指示方向を変える標識の指示通りに行動するかについては明らかにされていない。本研究は VR 実験を使って、指示方向を変化させる避難標識の下で被験者がどのように行動するかを調査した。その結果、指示方向の頻繁な変化が避難標識の信頼性を毀損し、被験者が指示通りに行動しなくなることが明らかになった。

キーワード：動的避難誘導, VR 実験, 避難意思決定

1. はじめに

屋内からの安全な避難を促進する目的で、通路の各所に避難方向を表示した静的な避難標識が多くの建物に設置されている。しかし、静的な避難標識では、避難者らによる混雑の発生、火災により発生した煙や有毒ガスの拡散、建物破損による危険な避難路の出現などの動的に変化する避難環境に対処できず、避難者を危険な場所に導いてしまう可能性もある。

近年、避難方向を動的に変化させる避難標識と、混雑や煙の濃度などをリアルタイムで伝えるセンサー技術を組合せた動的避難誘導システム(図1)の研究[6]が進められており、静的避難標識が抱える上記の問題を解決するものとして期待されている。これらのシステムは、センサーから得られる変化する情報に基づき、リアルタイムに最適な避難経路を計算し、各所に設置された避難標識を通して避難者に最適な避難方向を伝えることで、適切な避難行動をリアルタイムに促すものである。いくつかの研究では、シミュレーションやボランティアによる実験により、このような動的避難誘導システムに効率的な避難を実現する能力がある事が示されている[1, 3, 4]。

しかし、静的な避難標識に対しては、視認性などが、避難者の意思決定に与える影響について多くの研究

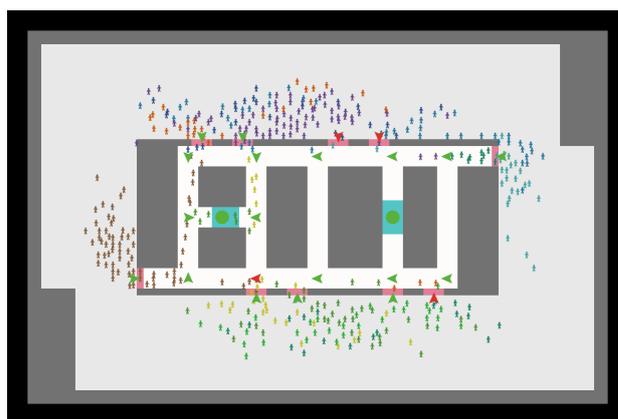


図1 動的避難誘導システムのシミュレーション画面。二つの青四角は避難口。三角形の矢印は建物内に設置された避難標識。赤の矢印は誘導方向が変化することを示す。

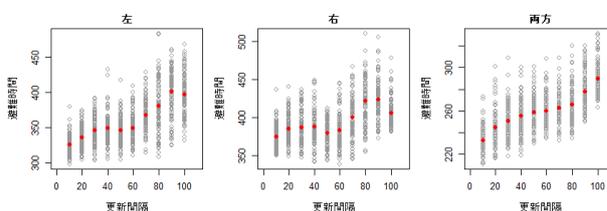


図2 左図から順に左避難口、右避難口、両方の避難口に誘導。赤丸は100回のシミュレーション結果の平均。避難標識の更新間隔(横軸)が短い(頻度が高い)ほど避難時間(縦軸)も短い。

[5]が行われてきたが、動的に変化する避難標識が避難者に与える影響については、まだ十分に解明されていない。シミュレーションにおいて効果[6]を発揮した動的避難誘導システムが、現実においてもそのおりの効果をもたらすかについては、人間の被験者による確認が必要と思われる。たとえば、動的避難標識が避難者に与える影響には、

- 動的避難標識の視認性
- 変化する避難指示が避難者に与えるストレス
- 変化する避難指示による避難者の混乱や渋滞の発生



図3 VRを用いた仮定の避難シーン例.

- 変化する避難指示に対する避難者の信頼性
 - 変化する避難指示と避難者の同調行動との関係
- などが考えられる。

我々がこれまでに行ったシミュレーション(図1)では、避難中に発生する混雑の緩和に関しては、変化の頻度が高いほど混雑緩和に対して効果的(図2)であり、避難時間の短縮に繋がることが示されてきた¹。しかし、頻度の高い指示方向の変化が、本当に人間の避難者に受け入れられ、シミュレーション結果のような効果をもたらすかについては疑問もある。これらを明らかにすることは、動的避難誘導システムの設計においても、避難方向の標示をどれくらいの頻度で変化させるべきか、そして変化の頻度が最終的な避難結果にどのような影響をもたらすかといった有用な情報を提供することができるだろう。

本研究では、人間の被験者によるVRを使った実験により、変化する避難標識が人間の避難者に受け入れられ、避難者を適切に誘導することができるかについて調査する。同時にVR内で、他の避難者を表す仮想エージェントを動かし、仮想エージェントの行動が避難行動に与える影響についても分析する。

2. 実験方法

31人の被験者に、各10秒間、48通りの仮想シーンを提示し、その後、左右の避難方向を選択させる。仮想シーンは、直線通路の先端が左右に分岐した避難経路であり、正面の壁に動的に左右の指示方向を変化させる避難標識を配置した(図3)。

避難標識の方向変化について、反転回数 n は仮想シーンを生成する度に $\{0, 1, \dots, 12\}$ からランダムサンプリングして決定した。また、 $n > 0$ の仮想シーンに対して避難標識の方向を変える時刻 $t_i (i = 1, 2, \dots, n[\text{秒}])$ を一様分布 $U(1, 9)$ からランダムサンプリングに

¹仮想エージェント人数600、各100回のシミュレーション結果

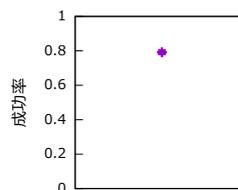


図4 全観測データに対する成功率(データ点数 $N = 1,488$)。エラーバーは標準誤差

より決定した。なお、避難標識が最初に指している方向についても、左右等確率でランダムに決定した。

また被験者の前を避難する仮想エージェント人数を $a = \{0, 1, 2, \dots, 6\}$ とし、 $a = 0$ については8シーン、 $a > 0$ の場合は $\{1, \dots, 6\}$ から仮想エージェント人数をランダムに選択し、避難標識が最後に指す方向と仮想エージェントの避難方向が一致する場合(コンフリクトなしと呼び C^- で表す)と一致しない場合(コンフリクトありと呼び C^+ で表す)について、それぞれ20シーンずつ、合計48シーンを被験者に提示した。なお、全ての仮想エージェントは同じ方向に避難するものとした。

3. 実験結果と考察

避難標識が最後に指示した方向と被験者の選択方向が一致した割合(以下、成功率と呼ぶ)について、実験結果の提示および考察を行う。

3.1 実験結果

- 全観測データにおける成功率 被験者数31の全観測データ(データ数 $N = 31 \times 48 = 1,488$)について成功率を求めた結果を図4に示す。ここで、全観測データに対する成功率は0.792(標準誤差は0.011)である。

- $n = 0$ の場合の成功率に対するコンフリクトの影響 今回の実験において、被験者の選択に影響を与える刺激として、避難標識と仮想エージェント選択のふたつがある。そこで二つの刺激が矛盾する場合(C^+ , $N = 620$)と整合する場合(C^- , $N = 620$)について、成功率がどう変化するかを調べた。まず、避難標識が指示方向を変えない場合($N = 99$)、すなわち静的避難標識の場合におけるコンフリクトの有無が成功率に与える影響について図5に示す。

- $n > 0$ の場合の成功率に対するコンフリクトの影響 つぎに、避難標識が指示方向を変化させる場合

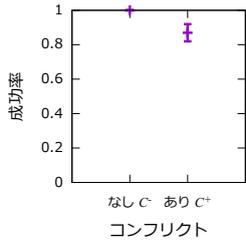


図5 C^+ と C^- における成功率の差 ($n = 0$ の場合). エラーバーは標準誤差

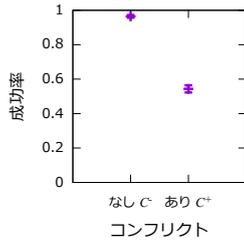


図6 C^+ と C^- における成功率の差 ($n > 0$ の場合). エラーバーは標準誤差

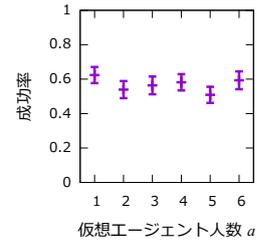


図9 C^+ の場合の a に対する成功率変化. エラーバーは標準誤差

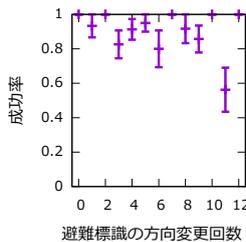


図7 $a = 0$ の場合の n に対する成功率の変化. エラーバーは標準誤差

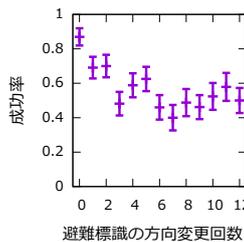


図8 C^+ の場合の n に対する成功率の変化. エラーバーは標準誤差

表1 ロジスティック回帰結果

説明変数	係数	標準誤差	p 値
切片	4.0231	0.3123	$p < 0.01$
a	-0.0048	0.0456	0.916
n	-0.0934	0.0211	$p < 0.01$
C	-3.1856	0.2433	$p < 0.01$

係数の有意性については、表1の a を除き、 p 値が極めて小さい値を示しているが、これはロジスティック回帰に使用したデータ数が大きい (1,240 個) ことが影響していると考えられ、直ちに有意性を判断出来るものではない。

($N = 1,141$) について、 C^+ 、 C^- のそれぞれにおける成功率を図6に示す。

- $a = 0$ の場合の成功率に対する n の影響 仮想エージェントがない場合 ($N = 248$) の成功率に対する避難標識方向変更回数の影響について図7に示す。被験者に与えられる刺激は避難標識のみで、対立する刺激がない状態における結果といえる。
- $a > 0$ の場合の成功率に対する n の影響 仮想エージェントが存在し C^+ である場合 ($N = 620$) の成功率に対する避難標識方向変更回数の影響について、図8に示す。 $n = 0$ の場合に比べ、 $n \geq 1$ で成功率が顕著に下がっており、 $n \geq 3$ においては、成功率は0.5前後をほぼ横ばいに推移している。
- 成功率に対する a の影響 C^+ の場合における a に対する成功率の変化を図9に示す ($N = 620$)。 a の変化によらず、成功率はほぼ横ばいとなっている。
- ロジスティック回帰 $a > 0$ である1,240個のデータについて、目的変数 S を、被験者が避難標識の指示と同じ方向を選んだか否かの二値 (同じ方向を選んだとき $S = 1$ 、逆方向を選んだとき $S = 0$) とし、説明変数として n 、 a 、 C を選んだロジスティック回帰分析を行う。 C はコンフリクトの有無を表す変数で、コンフリクトありのときは $C = 1$ 、なしのときは $C = 0$ とする。表1にロジスティック回帰の結果を示す。

3.2 考察

- 避難標識の最後の指示方向が選択されやすい 被験者が避難標識に無関係に経路選択したとき、被験者の成功率は0.5に収束するはずである。一方、図4に示された成功率0.792は0.5に対して有意に大きい。また、ロジスティック回帰の結果 (表1)、切片の係数が正であることから、他の説明変数の影響によらず避難標識の最後の指示方向が選択されやすいことが示唆されている。以上のことから、被験者の経路選択に避難標識が影響を与えており、避難標識の最後の指示方向を被験者が選びやすくする効果を与えていたと考えられる。
- コンフリクトによって成功率が減少 図5、図6とともに、 C^- に比べて C^+ の場合、成功率が有意に下がっている。しかし、静的避難標識 ($n = 0$) の場合 (図5) は、コンフリクトがあっても成功率の低下は小さく抑えられており、標識が被験者に与える影響は維持されている。しかし、動的避難標識の場合 (図6) はこれに反し、成功率は大きく低下している。さらにロジスティック回帰分析の結果 (表1)、 C の係数が最も大きいことも、コンフリクトによる成功率への影響の大きさを示している。 C^- の成功率はほぼ1.0に近いが、これは利用可能な二つの情報源が無矛盾なため、あえ

て被験者に他の選択肢を選ばせる刺激が存在しないからだと考えられる。一方 C^+ では、被験者は避難標識と仮想エージェントという対立する二つの刺激のうちどちらを重視するかという選択を迫られ、これが成功率を下げた要因と考えられる。

● 方向変更によって避難標識の信頼度が低下 図 7 より、仮想エージェントがない場合は、対立する刺激がないことから、成功率は n によらず高く維持されている²。

しかし、仮想エージェントが存在する場合(図 8)では、 $n = 0$ の場合に比較して、 $n > 0$ の方が成功率が下がっている。これは、 C^+ の場合においては、標示方向の変更が、被験者の避難標識に対する信頼性を低下させたものと解釈することができる。

一方、 $n \geq 3$ で成功率が 0.5 付近でほぼ横ばいになっており、 n の増加がただちに成功率の低下に結びついていない。すなわち、 n が一定の頻度以上になると、それ以上頻度を増やしても被験者の応答性に差が生じなくなったと解釈できる。このことは、 n がある頻度を超えると、被験者は n とは無関係に避難方向を選択する事を意味し、避難標識の情報源としての価値が失われたことを示唆している。

● 他の避難者の人数は経路選択に影響していない 現実の避難行動では、同調行動による影響 [2] により、前を避難する他者の人数が多いほど、その方向に追従する可能性が高まると思われる。しかしながら、図 9 によると、仮想エージェント人数の増加は必ずしも被験者が追従する確率を増加させていない。図 6 において、 C^- に対して C^+ で成功率が大きく下がっていることから、仮想エージェントの選択と避難標識の指示方向との対立が、被験者の選択に影響していることは明らかであり、仮想エージェントに対する被験者の同調行動の存在を示している。しかし、図 9 によれば、仮想エージェント人数の増加が、同調行動の強化に繋がる証拠は示されていない。

4. おわりに

本研究では、VR を使った避難実験により、動的に変化する避難標識や仮想エージェントの行動が被験者の避難経路選択に与える影響を調査した。その結果、対立する刺激がある場合は、避難標識の頻繁な方向変

更が、情報源としての信頼性を毀損し、被験者が避難指示通りに行動する確率を下げるが、そうでない場合は被験者は避難標識に従う傾向が観察された。

本研究はこのテーマにおける初期的な検討であり、次のような限界がある。本研究で示した分析は、全ての被験者のデータを統合して分析したもので、被験者間の差をいっさい無視している。しかし、本稿では議論していないが、実験中の観察によれば、被験者の行動には個人差の影響が大きいことも見て取れた。今後この点を考慮した、より詳細な検討が求められる。また、全ての仮想エージェントが同じ選択しかないこと、仮想エージェントの行動が避難標識の指示方向と無関係なことなど、VR システムを使った実験設定においても今後改良の余地がある。

文献

- [1] Galea, E., Xie, H., Deere, S., Cooney, D., Fillipidis, L.: Evaluating the effectiveness of an improved active dynamic signage system using full scale evacuation trials. *Fire Safety Journal* **91** (04 2017). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.022>
- [2] Haghani, M.: Empirical methods in pedestrian, crowd and evacuation dynamics: Part ii. field methods and controversial topics. *Safety Science* **129**, 104760 (2020). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104760>
- [3] Kinatader, M., Miller, M., Jost, M., Mhlberger, A., Pauli, P.: Social influence in a virtual tunnel fire-influence of conflicting information on evacuation behavior. *Applied Ergonomics* **45**(6), 1649–1659 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.05.014>
- [4] Zhao, H., Schwabe, A., Schlfli, F., Thrash, T., Aguilar, L., Dubey, R., Karjalainen, J., Hlscher, C., Helbing, D., Schinazi, V.: Fire evacuation supported by centralized and decentralized virtual guidance systems. *Safety Science* **145** (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105451>
- [5] Zhou, M., Dong, H., Ioannou, P.A., Zhao, Y., Wang, F.: Guided crowd evacuation: approaches and challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* **6**(5), 1081–1094 (Sep 2019). <https://doi.org/10.1109/JAS.2019.1911672>
- [6] 鶴島彰: 動的な避難環境における分散型避難支援システムの分析. In: 人工知能学会全国大会論文集 (2023)

²図 7 では $n = 11$ において成功率が顕著に下がっているが、これは被験者の個人差によるものと思われる。被験者には n によらず成功率の低いタイプや、 $a = 0$ でランダム選択に近くなるタイプが観察されるが、 $a = 0 \wedge n = 11$ のケースに偶然このような被験者が入ってしまったことが原因と考えている。しかし今回の実験では、明快な結論を出すにはサンプル数が少ないので、この問題については本稿の範囲外としたい。