

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15006

研究課題名（和文）スマートデバイスを用いた煙中避難時のストレス定量化に関する実験的研究

研究課題名（英文）Experimental investigation for quantitative stress assessment of evacuation in smoke by smart device

研究代表者

清家 美帆 (Seike, Miho)

広島大学・先進理工系科学研究科（国）・特定准教授

研究者番号：70757244

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、災害時の危険因子（本研究では煙）がある場合の心拍数、血圧を計測することで、危険因子の度合い（本研究では煙濃度）に応じた避難挙動と情動（上から順にAnxious, Fear, Stress, Small stress）を明らかにし、定量化することを目標とし、模型トンネルにて実験を行った。被験者は2021年実施分で147名（内日本人132名、中国人15名）、2022年実施分で46名（留学生42名、日本人4名）であり、結果の一部を国内学会（1回）・国際会議（1回）にて発表した。また、学内留学生による計測で、国籍による違いを明らかにし、国内学会で発表した（2回）。

研究成果の学術的意義や社会的意義

避難安全性の評価し、政策に反映させるにあたって重要になるのは迅速な避難と躊躇するような遅い避難である。迅速な避難は避難情報伝達速度となり、避難開始時間に影響を与える。一方で、同調性バイアスからパニックを引き起こす原因にもなりえる。躊躇するような遅い避難は、犠牲者となる可能性が高く、犠牲者を減らす観点でも躊躇する人へのアプローチが必須である。情動は避難挙動に影響を与えることを昭示できれば情動を持った急ぐ人と躊躇する人が全体の歩行速度に与える影響を数値化できる。これは、最適政策提言のための基礎データとなる。

研究成果の概要（英文）：In this study, evacuation behavior and emotion according to the degree of the risk factor (smoke concentration in this study) were clarified and quantified as anxiety, fear and stress and by a model tunnel experiment. There were 147 subjects (including 132 Japanese and 15 Chinese) in 2021, and 46 subjects (42 international students and 4 Japanese) in 2022. In addition, we clarified the difference by nationality in measurements by international students at the university, and made presentations at 2 domestic conferences and the international conference.

研究分野：防災工学

キーワード：避難 感性 情動 ストレス 煙 トンネル 地下空間 歩行速度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地下鉄、道路・鉄道トンネルによるインフラの地下化と、駅や商業施設の地下空間利用が増加し、多くの人々が利用している。特に、都市部では円滑かつ快適に目的地に移動する社会を目指して、地下空間活用が増加している(1)。しかしながら、その空間での火災安全教育や訓練は、限られた人間のみで実施されており、利用者の火災安全教育は個人努力として等閑となっている。2012年2月に梅田駅にて火災が発生し、発災後約20分後に消し止められたが、約3千人が煙中を地上へと避難し、11万8千人に影響を出した(2)。一旦災害が生じると、多くの人に影響が出る一方で、昨今の都市では安全性教育の難しさが課題となっており、リアルタイムの避難誘導をより充実させる必要がある。

災害時、冷静に行動できる人が10-15%、フリーズする人が70-75%、泣くあるいは叫ぶ人10-20%と報告されている(3)。また避難者はストレス反応急性期の症状から、心拍数の増大や呼吸促拍が発生することで、避難者が迅速な避難をしたいと思っても、実際には歩行がやっとの状況となり、行動を遅延させる可能性がある。更に、不安ストレスによるパニックが誘発されやすいことも考えられ、設計時に想定していない状況が起こり得ることが考えられる。以上から、特に昨今増加している地下空間での火災時、千名単位の避難者が煙の中を避難しなければならず、些細なことが起因してパニックとなる可能性があり、パニックによる二次災害から犠牲者が出ることも想定される。したがって、煙中を避難する際、パニックを誘発させないような避難誘導設計が必要となり、煙とストレスの相関を明らかにする必要がある。

建築空間で、神(4)によって煙中の心的動揺度について調べられている。煙中のストレス評価は、神(4)が煙濃度と安定度検査器による動揺度の計測から避難限界の妥当性評価に関して報告している程度で、煙濃度とストレスの相関は不明である。避難者は、火災現場に遭遇して数分から避難完了までの1時間満たない程度はストレス反応急性期にあたり、心拍数、血圧の増大、呼吸促拍、集中困難、やる気の減退に陥るとされる(5)。心拍数の増大や呼吸促拍からの過呼吸気味になると、避難者が避難をしたいと思っても、避難できなくなることが容易に推測され、不安を伴うストレスは、避難行動、更に避難限界と密接に関係していると考えられる。したがって、心理的な不安は、火災安全性の評価時の避難限界の決定だけでなく、ストレスを緩和させる非常用設備設計に必要なデータとなる。

2. 研究の目的

避難安全性評価の高精度化とリアルタイム誘導等新しい非常用設備提案に向けた政策提言に向け、本研究では、避難挙動と情動との相関を明らかにすることを目的とする。現在、建築・道路トンネルともに、通常歩行速度(1~1.3m/s)を用いていることが多いが、冷静な状態で、煙中をその速度で移動できるかは不明である。そこで、これまでのトンネルの知見を活用し、煙濃度と情動との関係を明らかにする。そして、その関係を用いて、煙中の避難挙動に際して煙濃度と歩行速度の減衰の関係を煙濃度とストレスとの相関から考察し、煙濃度、情動、そして歩行速度の相関を明らかにする。

3. 研究の方法

実験は模型トンネル(長さ10m、幅2m、高さ2m)を用いた。模型トンネルは消防訓練時に煙体験用であるが、真っ暗な空間を作るために黒いビニールシートで覆った。図1は模型トンネル内部のtop viewを示す。縦軸はyで、横軸はxで示し、原点をcheck point (CP) 1に設定した。CP 1, 2, 3と4はそれぞれ1.5mの高さで(x,y) = (0,0), (4,2), (8,2), (5,0)に設置した。参加者挙動観察のため、模型トンネル内の側壁に1.9m高さで、1m間隔ずつで両側合計15台の監視カメラを設置した。

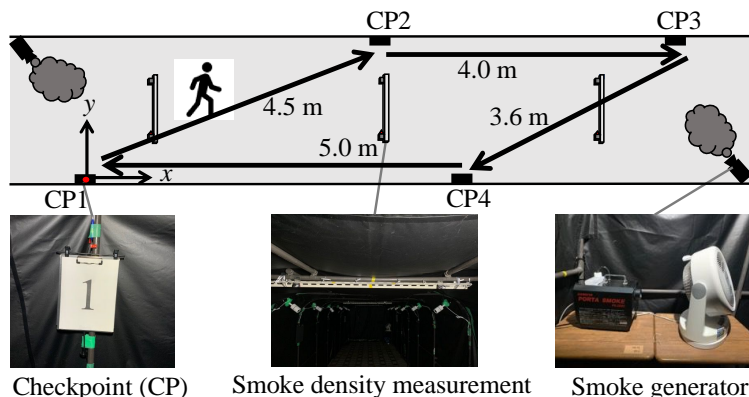


図1 模型実験概要

なお、本実験では、煙が無害であること、参加者に自分自身の考えた緊迫した状態を想像した上

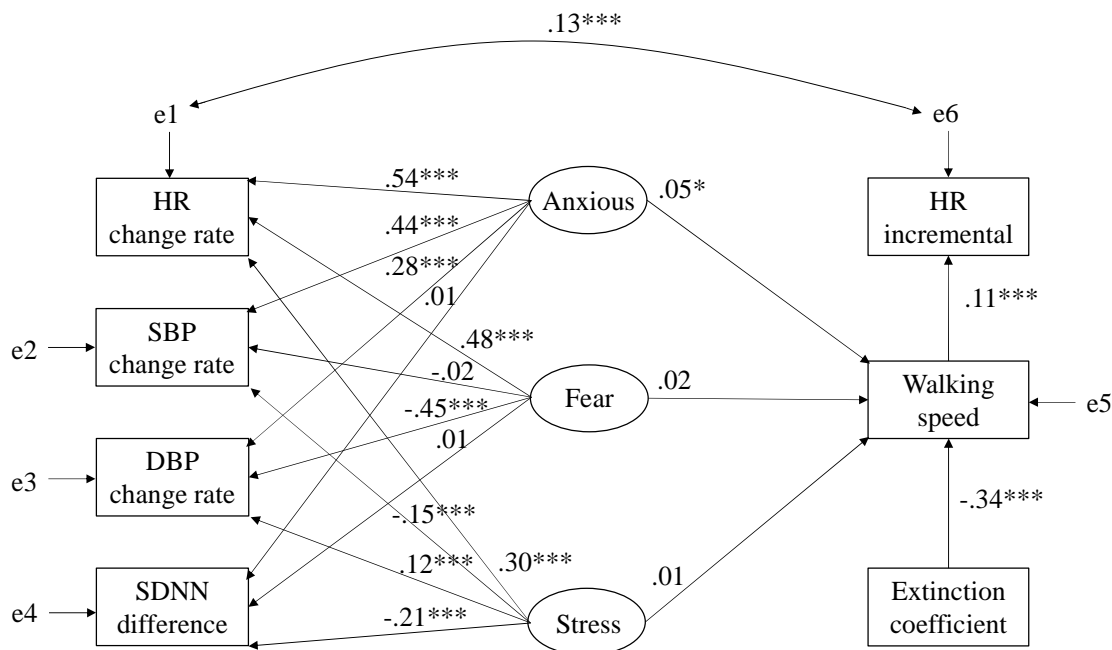
に避難行動を行ってもらうように説明した。

1名の参加者は異なる煙濃度中で計5回を避難した。実験中の避難経路（図1）は避難経路への慣れを防ぐため、CP1⇒CP2⇒CP3⇒CP4⇒CP1（実験1回目、3回目、5回目）、or CP1⇒CP4⇒CP3⇒CP2⇒CP1（2回目、4回目）とした。

本実験に使用する煙（ $C_s=0-2.6\text{ m}^{-1}$ ）は、主成分は水とグリコールの混合物であり、無害でかつ刺激性がない。2台のスモークマシン（PORTA SMOKE PS-2005, Dainichi）を用いて発煙した。2台のスモークマシンをそれぞれ $(x,y) = (-1,2), (9,0)$ の位置に設置した。スモークマシンの発煙口の前に、扇風機を設置することで、発生した煙は模型トンネル内に均一に拡散させた。

4. 研究成果

Proulx (1991) の危機事態の意思決定モデルと、これまでの報告から、Stressによって、正常性バイアスを発生し、FearによってFreezeやShock反応を示し、Anxiousによって、Get lostを引き起こし、最終的にConfusion状態から、正確な意思決定ができず避難できなくなるとしている。そこで、本論文では、Anxious, Fear, StressとOtherとして分類し、避難時の情動の変化を調査した。被験者は2021年実施分で147名（内日本人132名、中国人15名）、2022年実施分で46名（留学生42名、日本人4名）であり、結果の一部を国内学会（1回）・国際会議（1回）にて発表した。また、学内留学生による計測で、国籍による違いを明らかにし、国内学会で発表した（2回）。AIに危険因子とストレスの相関を学習させることで、スマートウォッチ（心拍数の計測）とスマートフォンを連携させ、避難者へのストレス緩和を促すようなアナウンスの実施や、IoTを用いてスマートウォッチと非常用設備の連携から、冷静な避難行動を促す誘導（例えば誘導灯の色を変化させる、点滅速度の変化で冷静かつ迅速な心理バランスの制御）の実現に向けて、それぞれの情動から心拍数、煙濃度、歩行速度を構造方程式モデリングにて、因果構造を明らかにし、機械学習の基礎データ解析を行った（図2）。本内容を国際誌に投稿予定である。



GFI=.869, AGFI=.734

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

図2 構造方程式による情動と歩行速度の関係

参考文献

- (1)国土交通省，報道発表資料，日本最大級の地下空間のデジタル地図を公開～東京駅周辺の屋内ナビゲーションアプリの開発が容易に～，https://www.mlit.go.jp/report/press/kokudoseisaku01_hh_000131.html，2018年
- (2)日本経済新聞，地下鉄梅田駅で火災、通勤客ら避難 大阪，https://www.nikkei.com/article/DGXNASHC22000_S2A220C1000000/，2012.
- (3)Leach, J., Why people 'freeze' in an emergency: temporal and cognitive constraints on survival responses, *Aviat. Space. Environ. Med.* 75, 539-542, 2004.
- (4)神忠久，煙の中での心理的動揺度について，日本火災学会論文集，Vol. 30, No. 1, pp. 1-6, 1980.
- (5)日本赤十字社秋田県支部，県内ニュース，災害時のストレスとストレス反応，2009.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Li-Yu Chen, Seike Miho, Kawabata Nobuyoshi, Hasegawa Masato, Chien Shen-Wen, Shen Tzu-Sheng	4. 巻 45
2. 論文標題 Walking speed probability distribution in smoke-filled tunnel experiments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Chinese Institute of Engineers	6. 最初と最後の頁 661 ~ 668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02533839.2022.2126402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Seike Miho, Kawabata Nobuyoshi, Hasegawa Masato	4. 巻 133
2. 論文標題 Walking speed under emergency situation in smoke-filled tunnel with obstacles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 104939 ~ 104939
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tust.2022.104939	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Seike Miho, Lu Yung-Chi, Kawabata Nobuyoshi, Hasegawa Masato	4. 巻 112
2. 論文標題 Emergency evacuation speed distributions in smoke-filled tunnels	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 103934 ~ 103934
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tust.2021.103934	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Seike Miho, Kawabata Nobuyoshi, Hasegawa Masato	4. 巻 106
2. 論文標題 Walking speed in completely darkened full-scale tunnel experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 103621 ~ 103621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tust.2020.103621	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miho Seike, Nobuyoshi Kawabata, Masato Hasegawa, Chiharu Tsuji, Haruhiro Higashida, Teruko Yui	4. 巻 6
2. 論文標題 Experimental attempt on the walking behavior and stress assessment in a completely darkened-tunnel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Infrastructures	6. 最初と最後の頁 75-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/infrastructures6050075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 李文浩, 清家美帆, 藤原章正, 力石真
2. 発表標題 トンネル火災を想定した煙中のストレスの実験調査
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Li Wen-Hao, Miho Seike, Akimasa Fujiwara, Makoto Chikaraishi
2. 発表標題 Experimental study on gender difference in mental stress and walking speed during tunnel fires
3. 学会等名 11th International Conference Tunnel Safety and Ventilation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李文浩, 清家美帆, 藤原章正, 力石真
2. 発表標題 閉鎖空間火災時の煙中の避難挙動 模型実験による日本人と中国人の違いに関する考察
3. 学会等名 令和4年度土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清家美帆, 川端信義, 長谷川雅人, 辻知陽, 東田陽博, 由比光子
2. 発表標題 アイマスク着用による暗中避難時の実大トンネルを用いた避難時のストレス評価に関する実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Miho Seike, Nobuyoshi Kawabata, Masato Hasegawa
2. 発表標題 Evacuation locus in a full-scale tunnel experiments
3. 学会等名 10th International Conference Tunnel Safety and Ventilation - New Developments in Tunnel Safety - (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清家美帆, 李文浩, Iqbal Yousaf, 藤原章正
2. 発表標題 実大トンネル避難実験によるグループ避難速度計測
3. 学会等名 日本機械学会2023年度年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miho Seike
2. 発表標題 Why did they go to the wrong direction? - getting lost possibility -
3. 学会等名 University of Texus/Austin seminar (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤原 章正 (Fujiwara Akimasa) (50181409)		
研究協力者	力石 真 (Chikaraishi Makoto) (90585845)		
研究協力者	川端 信義 (Kawabata Nobuyoshi) (90126631)		
研究協力者	長谷川 雅人 (Hasegawa Masato) (40324107)		
研究協力者	辻 知陽 (Tsuji Chiharu)		
研究協力者	二上 貴夫 (Futagami Takao)		
研究協力者	東田 陽博 (Higashida Haruhiro)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	由比 光子 (Yuhi Teruko)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
台湾	宜蘭縣消防局	嘉義縣消防局	台湾國立中央警察大学