

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 —

広島大学	学生会員	○李	文浩
広島大学	正会員	清家	美帆
広島大学	正会員	藤原	章正
広島大学	正会員	力石	真

1. 緒言

国際化が進む中、安全設計も多国籍で考える必要がある。しかしながら、現在の防災安全性評価では、通常時の歩行速度を用いることが一般で、避難者の国籍による違いを考慮されていない。

本研究は、国々の避難教育の違いによる挙動の違いを調査することを目的とし、インフラ防災の一つであるトンネル火災に着目し、火災によって発生した煙中を避難する際の、歩行速度を調査した。

2. 実験概要

2.1. 模型トンネルと計測機器

これまでの著者らによる報告（李他，2021）と同様に、模型トンネル（長さ 10 m，幅 2 m，高さ 2 m）に 2 台のスモークマシン（PORTA SMOKE PS-2005, Dainichi）を用いて煙を充満させた。煙の主成分は水とグリコーールの混合物であり、無害かつ刺激性はない。3 台の煙濃度計（LV-NH100, Keyence）を用い、煙通過前後のレーザ光電圧出力値を計測した。計測した電圧出力値を Lambert-Beer の法則に従い、煙濃度（Cs）に換算した。

2.2. 実験条件とシナリオ

被験者は図-1 に示すルートで、異なる煙濃度（Cs: 0-2.7 m⁻¹，計 5 回/人）で避難してもらう。なお、ルートは 2 回の壁沿い移動（CP2-CP3, CP4-CP1）と 2 回の斜め移動（CP1-CP2, CP3-CP4）となるが、本論文では壁沿い移動のみに着目する。

模型トンネルに入る前、被験者に実際のトンネル火災の映像を見せ、下記のように説明した。

「トンネル火災が発生し、煙が充満して真っ暗になってしまっている。これから緊迫した状態で避難してください。ただし、周囲状況に注意して安全に避難してください。」

2.3. 被験者

被験者数は 24 名で、内 12 名は日本人（男性 5 名，年齢 22-24 歳，平均年齢 22.8 歳；女性 7 名，年齢 20-23 歳，平均年齢 21.6 歳），12 名は中国人（男性 5 名，年齢 22-33 歳，平均年齢 27.4 歳；女性 7 名，年齢 22-36 歳，平均年齢 25.9 歳）である。実験中、被験者は安全チョッキ、ヘルメット、膝肘パッド、マスクを着用した。歩行速度を計測するため、被験者にストップウォッチを持たせた。また、実際避難時に、避難者は携帯電話の懐中電灯機能を利用して避難したとの報告（十勝毎日新聞社，2015）を参考に、被験者に懐中電灯を持たせた。

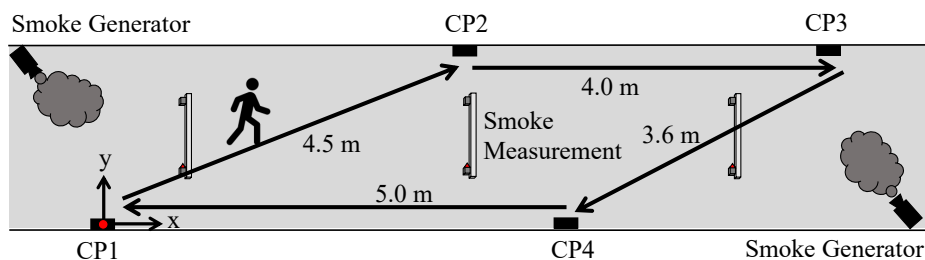


図-1 避難ルート

キーワード トンネル火災，煙，歩行速度，性別，国籍，避難実験

連絡先 〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1

TEL 090-4105-6555

3. 日本人と中国人の歩行速度の比較

国籍別で煙中の歩行速度を調べるため、本論文では Seike et al (2021) を参考に、煙濃度をレベル 0 (Cs: 0 m⁻¹, 煙なし), 1 (Cs: 0-0.5 m⁻¹), 2 (Cs: 0.5-1.0 m⁻¹), 3 (Cs: 1.0-1.5 m⁻¹) と 4 (Cs: 1.5 m⁻¹ 以上) に分け、それぞれのレベル時の平均歩行速度を調査した (表-1)。

表-1 性別・レベル毎の日本人と中国人の平均歩行速度 (m/s)

Gender	Nationality	Smoke level				
		0	1	2	3	4
Male	JPN	0.93	1.13	0.81	0.77	0.67
	CHN	1.38	0.94	0.98	0.87	0.77
Female	JPN	1.01	0.96	0.93	0.79	0.74
	CHN	1.23	1.34	1.15	0.92	0.76

表-1 により、中国人男性被験者は日本人男性被験者に比べ、サンプル数が少ないレベル 1 の時を除き、全ては中国人男性被験者のほうが速くなった。一方、中国人女性被験者は日本人女性被験者に比べ、男性と同様に、全ては中国人女性被験者のほうが速くなった。これらの理由として、中国と日本の小学校からの避難教育が異なることが挙げられる。中国の小学校防災避難訓練では、1-3 年生に速く歩く程度を超えない速度で、4-6 年生にジョギング程度を超えない速度で避難するように指示を与える (安全管理網, 2017)。一方、日本では、学年に関わらず、安全に避難するため、「歩いて移動すること」としている (札幌市立美しが丘緑小学校, 2020)。従って、避難教育の前提が異なることから、中国人被験者と日本人被験者の挙動に差が生じたと考えられる。以上から、安全設計に際し、国籍間の違いを考慮する必要がある。

なお、清家他 (2014) は、避難時の歩行速度は、実際避難時の情報伝達速度となるため、発災地点から遠くに存在する避難者の早期に避難開始でき、煙に巻かれる人数が減ったと報告している。一方で、焦りを伴った行動は、パニックを誘発させる可能性が高く、二次被害を引き起こす危険性があるため、今後調べる必要がある。

4. さいごに

著者らは、模型トンネルを用い避難実験を実施し、日本人と中国人の煙中の歩行速度を調査した。その結果、煙濃度 0-2.7 m⁻¹ の時に、中国人被験者は日本人被験者に比べ、平均歩行速度が速くなった。したがって、避難教育が避難行動に影響を与えることが考えられる。本研究では、中国と日本とを比較したが、多様性を加味した防災設計のために、更に多くの国の避難教育と挙動との関係を調べる必要がある。

謝辞

本研究は公益財団補人大林財団 (A2020-10-28-001), JSPS 科研費 (JP20K15006) の助成を受けたものです。実験にご参加いただいた被験者の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- ・李文浩他：日本機械学会 2021 年度年次大会, No.21-1, S05407, 2021.
- ・十勝毎日新聞社：部品脱落し脱線か 無残な姿見せる石勝線特急, WEB TOKACHI, 2015 (See in May 25, 2015). <http://www.tokachi.co.jp/news/201105/201105290009334.php>
- ・Seike, M., et al. : Emergency evacuation speed distributions in smoke-filled tunnel, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 122, 103934, 2021.
- ・安全管理網：学校火災応急疏散演練方案, 2017 (in Chinese, see in April 3, 2022). <http://www.safehoo.com/Emergency/System/201706/486738.shtml>
- ・札幌市立美しが丘緑小学校：実効性の高い避難訓練の在り方 避難訓練の実効性を高める手立て, 令和元年度札幌市防災教育研究推進事業, 2020 (See in April 3, 2022). <https://www.city.sapporo.jp/kyoiku/top/anzen/documents/utukusigaokamidorisyoukunren.pdf>
- ・清家他：土木学会論文集 F2 (地下空間研究), Vol.70, No.1, pp.1-12, 2014.