

7. 屋外の避難経路における立ち止まりにより発生する群集事故リスクの評価

中村栄治

1. はじめに

大規模地震が発生した場合、昼間人口が高い大都市中心部においては、歩道は大量の徒歩避難者であふれかえることになる。東日本大震災の教訓から、一斉帰宅を抑制するべく政府や自治体を中心となって様々な対策や啓もう活動が行われている¹⁾。しかしながら、計画通りに一斉帰宅が抑制できるとは限らず、歩道における群集事故の危険性を無視することはできない。

本研究では、歩道での人々の立ち止まりがどの程度、一方向流における群集事故のリスクを増大させるかを定量的に示すことを検討した。その結果、立ち止まり人数が増えるにつれて、群集事故のリスクが上昇することが明らかになった。

2. 群集事故のリスクと評価方法

群集の移動速さや群集を構成する人数などにより、個々人の歩きやすさや周囲を歩く人々との軋轢の有無などが決まる。この点を量的に評価できる指標であるサービスレベル（LOS:Level of Service）をFruinは提唱した²⁾（表－1）。LOSの特徴は群集の密度を、群集を構成する個々の歩行者の移動のしやすさに着目し、離散的な6つのカテゴリに分類していることである。移動の難易は群集事故が発生する可能性と結びつくため、LOSを基にしたリスク評価が考えられる。

表－1 FruinによるLOS分類

LOS	密度 [人/ m^2]	具体例
A	0.00 - 0.31	早朝の駅、住宅街
B	0.31 - 0.43	オフピーク時の駅、休日のオフィス街
C	0.43 - 0.72	利用者が絶え間なく移動する駅
D	0.72 - 1.08	最も混雑した時間帯の繁華街
E	1.08 - 2.15	大量の乗客が短時間に電車から降りた駅
F	2.15 -	大規模な群集が停留した駅

西成らはLOSの考えを基にして、LOSの各レベルの発生する確率を考慮することにより、群集事故の発生するリスクレベルの算出方法を提案している³⁾。以下、リスクレベルの算出方法について説明する。

表－2はLOSに基づいて人流の密度と、群集事故が発生した場合の群集事故の深刻度をまとめた表である。表－2においては、表－1に示したLOSレベルを基にして、レベルを6区分からd₁～d₅の5区分に再編してある。

表－2 人流密度と群集事故の深刻度の関係

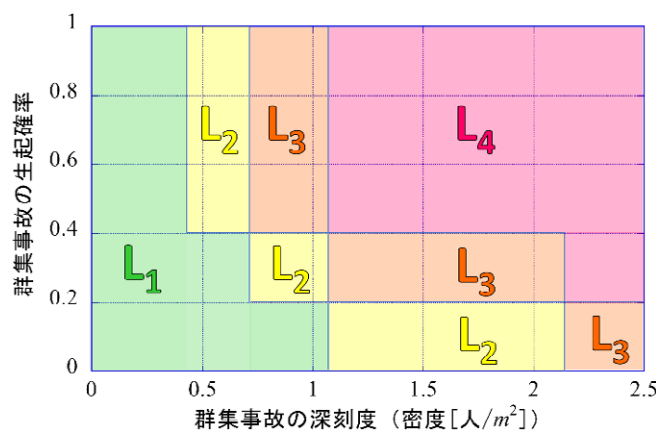
区分	密度 [人/ m^2]	群集事故の 深刻度	LOS
d ₁	0.00 - 0.43	最小	AとB
d ₂	0.43 - 0.72	小	C
d ₃	0.72 - 1.08	中	D
d ₄	1.08 - 2.15	大	E
d ₅	2.15 -	壊滅的	F

群集における人流密度は時間経過に対しては、決して一定であることはなく時々刻々ダイナミックに変化する。表－2に示した各人流密度の区分に相当する密度が計測される時間の割合を確率として算出する。表－3に示すように、0.2の幅で確率を刻むことにより、確率を5つの区分（ $p_1 \sim p_5$ ）に分類する。

表－3 群集事故の起こりやすさの分類

区分	確率	群集事故の起こりやすさ
p_1	0.0 - 0.2	まれにしか起きない
p_2	0.2 - 0.4	あまり起きない
p_3	0.4 - 0.6	起きる可能性あり
p_4	0.6 - 0.8	起こりやすい
p_5	0.8 - 1.0	確実に起きる

リスクマネジメントの考え方によれば、事象の生起確率と事象が発生した場合の深刻度の組み合わせを考慮することにより、リスクを評価することができる。西成らは、リスクマトリックスの全領域を4分割することにより、4レベル（レベル1： L_1 、小リスク～レベル4： L_4 、重大リスク）のリスクレベルを定義している³⁾（図－1）。図－1に示すリスクマトリックスの横軸は表－2に示す群集事故の深刻度であり、縦軸は表－3に示す群集事故の起こりやすさに対応する。



図－1 リスクマトリックスによるリスクレベルの定義

3. リスクレベルインデックス（RLI）

決められた期間に渡り群集の人流密度を計測することにより、各密度区分（ $d_1 \sim d_5$ ）に相当する人流密度となる群集流が生起する確率が算出され、リスクレベルが得られる。単一のリスクレベルだけに事象が該当する場合もあるかもしれないが、実際には複数のリスクレベルに事象が該当することになる。

この点を考慮するために、本研究では、得られるリスクレベルが単一か複数かによらず、統一的にリスクレベルを評価できる指標である「リスクレベルインデックス」（RLI：Risk Level Index）⁴⁾を使用して、立ち止まりがある場合の一方向流の群集における事故リスクを評価する。

RLIは式－1で算出することができる。式－1において、 $P(L_k)$ はリスクレベルが L_k となる場合の確率であり、 $N(L_k)$ はリスクレベルを1から4の整数で表した値であり $N(L_k)=k$ となる。このように求められるRLIは、最大値が4であり最小値が1になる。RLIが4に近いほど群集事故のリスクが高くなることを意味する。

$$I_{RL} = \sum_{k=1}^4 P(L_k) N(L_k) \quad (1)$$

4. 立ち止まりにおけるRLI

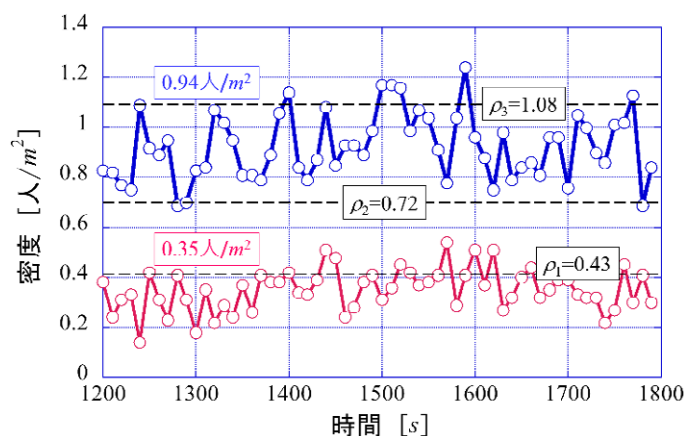
ソーシャルフォースモデル（Social Force Model）と呼ばれる運動方程式に従ってヒトモデルが3次元空間内を移動できるソフトウェアであるVissim⁵⁾を使いシミュレーションを行った。個々のヒトモデルは群集を構成する各歩行者に該当する。表－4に示す歩行速さの平均と標準偏差に基づいて確率密度関数を規定するガウス関数を作成し、ガウス分布に従って目標とする歩行速さで移動するヒトモデルを発生させた。個々のヒトモデルの移動軌跡は時系列で座標値として記録される。この記録データを基にして、群集の人流速さと人流密度を記録した。非高齢者と高齢者の割合は、東京都内の年齢区分別の割合⁷⁾の人口に基づいて算出した。

表－4 高齢者と非高齢者における歩行速さ⁶⁾

年齢区分	性別	平均速さ [m/s]	標準偏差 [m/s]	最大値 [m/s]	最小値 [m/s]
非高齢者	男性	1.41	0.23	1.97	1.00
	女性	1.29	0.24	1.86	0.67
高齢者	男性	1.17	0.25	1.74	0.55
	女性	1.08	0.22	1.65	0.59

ヒトモデルの歩行環境として、幅が5mであり長さが50mの長方形をした歩道に見立てた空間を用意した。群集の人流密度は時間経過に対して一定ではなく、その粗密は時間とともに変化する。図－2は一方向流の時間経過（横軸、単位は秒）に対する人流密度（縦軸、単位は人/m²）を計測した結果である。10秒ごとに計測エリア（5m×5m）内の人流密度の平均を算出した結果が、データ点（白抜き丸印）として示してある。

図－2においては、2つの人流流量条件での結果について記してある。赤丸と赤線で示す密度変化（下の折れ線）は平均人流流量が0.35人/m²の場合であり、青丸と青線で示す密度変化（上の折れ線）のそれは0.94人/m²の場合である。 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 はそれぞれLOS分類（表－2）のB、C、Dの人流密度における上限値を示している。



図－2 一方向流における群集の人流密度の時間変化

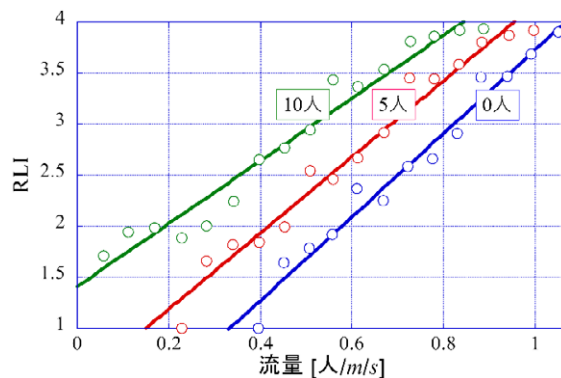
時間経過に対する人流密度のLOS区分の各レベルを満たす割合を求めることにより、各レベルが生起する確率が算出され、個々の人流の流量条件におけるリスクレベルマトリックス（図－1）が求められ、その結果、RLI（式－1）が算出されることになる。

図－3は直径5mの円内に10人が立ち止まっている状況で、群集が右から左方向へと移動している場合の例である。立ち止まっているヒトモデルには星印が付してある。立ち止まっているヒトモデルを避けながら人流は左方向へと流れていることを図－3は示している。人流のスムーズな移動が立ち止まっているヒトモデルにより一時的に阻害されることにより、立ち止まりモデルが存在している領域において、人流密度が上昇することになる。

図－4は立ち止まりの有無により、どの程度RLIが上昇するかを検証したシミュレーションの結果である。横軸は群集の人流流量であり、縦軸はRLIである。白抜き丸印はシミュレーションで得られたRLIの値である。3本の直線は丸印であるRLIを回帰分析して得られた近似直線（回帰直線）である。緑の直線と丸印は立ち止まりが10人の場合、赤の直線と丸印が5人の場合、青の直線と丸印が0人の場合である。立ち止まる人数が増えるほど、RLIが上昇することが確認できる。



図－3 立ち止まりを回避しながら通過する人流



図－4 立ち止まりによるRLIの上昇

5. まとめ

徒歩避難経路において、立ち止まりが発生することにより群集事故のリスクが上昇することをシミュレーションにより明らかにした。徒歩避難経路での立ち止まりを防止する何らかの対策が必要である。

参考文献

- 1) 帰宅支援に関する協議会：関西広域帰宅困難者対策ガイドライン（令和元年9月6日），www.kouikikansai.jp/material/files/group/4/gaidorain.pdf, 2024年6月9日閲覧.
- 2) Fruin J.: Pedestrian planning and design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- 3) 西成活裕，フェリチャーニ・クラウドイオ，志村憲一郎，村上久：群集マネジメント総論—理論と実践，東京大学出版会，2020年.
- 4) 中村栄治，小池則満：屋外での徒歩避難における群集事故のシミュレーションによるリスクレベル推定の試み，土木学会論文集，Vol.80，No.24，論文ID：24-24014，2024. DOI <https://doi.org/10.2208/jscej.24-24014>.
- 5) PTV group, PTV Vissim, www.myptv.com/en/mobility-software/ptv-vissim, 2024年6月9日閲覧.
- 6) 吉田純士，藤岡啓太郎：歩行者の多様化を考慮した歩行者構文分析に関する研究，アーバンインフラテクノロジー推進会議第27回技術発表会，2015，www.uit.gr.jp/members/thesis/opdf/honb/486/486.pdf, 2024年6月2日閲覧.
- 7) 住民基本台帳による東京都の世帯と人口（令和6年1月），www.toukei.metro.tokyo.lg/juukiy/2024/jy24q10601.htm, 2024年6月9日閲覧.