

東京ドームからの帰宅シミュレーション

浦田桂一郎, 柳澤大地, 西成活裕
東京大学 工学部 航空宇宙学科

概要

コロナ終息以降のイベントの開催数の増加に伴い、群集事故や電車の遅延といった「混雑リスク」への対策は、ますます重要性を増している。本研究では東京ドームを例に、イベント後に最寄駅へ向かう群集の混雑緩和を目的として、ドーム退出率・駅までの帰宅経路に存在する赤信号の時間に着目し、セルオートマトンモデルを用いてシミュレーションを行った。そして、コンサートやスポーツの試合といったイベントの種類に応じて、混雑指標を最小化するドーム退出率と赤信号時間の組み合わせを明らかにした。この結果は、東京ドームにおける各イベント後の規制退場などの群集マネジメントに役立つと考えられる。また、他の商業施設の混雑緩和や施設設計段階での混雑予想への応用も期待される。

1 序論

コロナウイルスが第五類に移行し、イベントの開催数・参加人数ともに増加傾向にある現在、イベントにおける混雑の緩和は非常に大きな問題となっており、特にイベント後の最寄駅の混雑や、それによる電車の遅延はニュースでも取り上げられるほどである。国土交通省によれば、年間東京都で発生する電車の遅延による経済損失は数億であり、この一部をこうしたイベント後の混雑が引き起こしているのは間違いなく、解決優先度が高い課題であると言える。それと同時に、こうした密集した場所では群集事故が起きる可能性が高まるため、事故防止の視点からも混雑対策を考える必要がある。

これに対する「スタジアム内部」の観点からのアプローチとして、[1] は歩行者シミュレータを用いて接触回数を指標に、分散退場時における一般的な野球ドームやサッカー場の内部の様子を調べ、分散退場オペレーションの評価基準を示した。また、[2] は関門海峡花火大会を例に、実際のデータとシミュレーションのデータの同化を用いて、実際のデータから初期条件を定め信号の開閉時間を制御し、花火大会の参加者の帰宅時間を含めた混雑指標を最小化する研究を行った。

本研究は、スタジアムの出口から駅入口の信号までをシミュレーションに組み込むことで、スタジアムからの退出と、帰宅道中の信号時間の両方の有効な制御方法について調べた。従って、イベントからの帰宅全体としての最適を考えることができるため、総合的な群集マネジメントに役立つと考えられる。イベントを大きく「コンサート型」、「スポーツ型」に分け、二つのイベントの性質に注目して解析しているのも新しい要素である。

2 シミュレーションモデルと設定

本研究では、図 2.1 (上) に示すような東京ドームから水道橋駅東口までの帰宅シミュレーションを、セルオートマトン

ン・フロアフィールドモデル (図 2.1 (下)) を用いて実施した。モデルの図の上段が 1 階、下段が 2 階に対応している。シミュレーションの入口はドームの出口である。ドームから退出した群集は、図 2.1 に矢印で示した経路を辿って駅に向かい、シミュレーションの出口である信号を渡ると帰宅完了となる。(シミュレーションから消える)

また、東京ドームのイベントを「コンサート型」と「スポーツ型」に分けた。相違点は、後者は観客に勝利チームと敗者チームの違いがあり退出開始時間が異なることである。

混雑指標としては、密度・衝突回数・全体帰宅時間・信号効率の逆数に重みづけして和をとったものを考えている。信号効率とは「青信号一定時間あたりに通過した人数」であり、これによって車道側の効率も考えられているため、常に青信号の状況が最適とはならない。

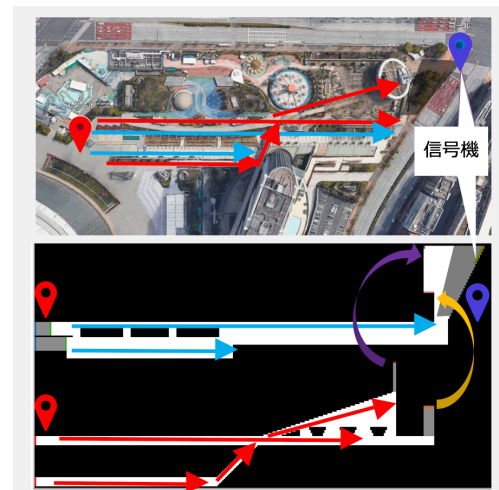


図 2.1: 実際のルート (Google Earth)(上) とモデル (下),

3 結果

3.1 コンサート型イベントの場合

図 3.1 は実際にコンサートが行われた日時の信号機付近の群集密度の時間変化と、そこから推算される条件でシミュ

レーションした結果である。これを見ると、シミュレーションによって実際のデータをよく再現できていることがわかる。

図 3.2 は信号とドーム退出率に対する混雑指標のヒートマップである。そこに指標を最小化する理論曲線と、シミュレーションから求めたパラメータの組み合わせをプロットした。理論曲線は流体力学の考えを用いて導出したものである。すなわち、入口の流量と出口の流量が釣り合う時が最適である。赤信号時間が 20 秒以上ではシミュレーション結果は理論曲線に沿い、それ以下でシミュレーション結果が予想より小さくなる結果となった。後者の理由としては、赤信号時間が短くなるにつれて出口付近に人がたまらず、従って出口流量が推算した値より小さくなるからだと考えられる。この曲線を用いれば、例えばコンサート型イベントの際にドーム退出率が 4.3 [人/sec] 付近になれば、赤信号時間は 80 秒に調整すると良いとわかる。(青信号は 40 秒で固定している。)

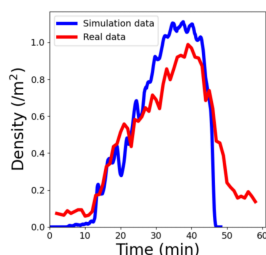


図 3.1: シミュレーションと実際の比較

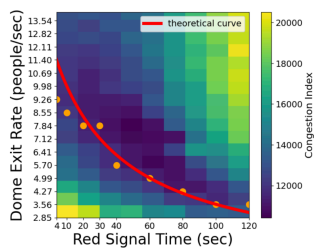


図 3.2: 最適なドーム退出率と赤信号時間に対する混雑指標

3.2 スポーツ型イベントの場合

野球等スポーツでは、勝ったチームのファンは試合後のインタビューを見るなど試合後も球場に残るため、敗北したチームのファンとドームから帰宅し始める時間が違うことが予想される。図 3.3 に実際に野球の試合が行われた際の信号機付近密度の時間変化と、そこから推算される条件でシミュレーションした結果を載せる。この図を見ると、シミュレーションによって、敗者と勝者のファンでピークが二つある特徴などを再現できていることが分かる。

スポーツ型では、ドーム退出率、赤信号時間に加えて、三つ目のパラメータとして勝者チームのファンの割合(勝者率)を考える必要がある。そのため、これらを軸として混雑指標の三次元のヒートマップを作成した(図 3.4)。現実では勝者率は席の予約状況から事前に推定できるので、ドーム退出率と赤信号時間の片方が定まれば最適なもう片方の値を推算することができる。例えば、A 対 B の試合でファン数が 6:4 であるときに A が勝ち、赤信号時間が 100 秒であるとすると、ドーム退出率は 3.5 [人/sec] になるよう規制退場させ

るのが良いとわかる。

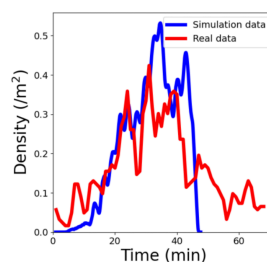


図 3.3: シミュレーションと実際の比較

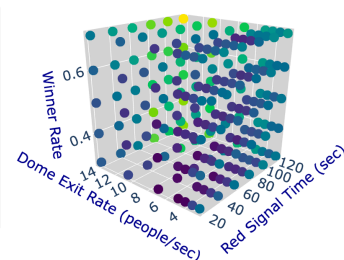


図 3.4: 赤信号時間・ドーム退出率・勝者率に対する混雑指標

4 まとめと今後の課題

本研究では、東京ドームのイベントから帰宅する群集のシミュレーションを行い、その結果を実際に観測された群集密度と比較をすることにより、シミュレーションの妥当性を検証した。そして、全員が同時に帰宅するコンサート型と、ファンによってドーム退出のタイミングが異なるスポーツ型という二つのイベント様式の場合に、混雑指標を最小化するドーム退出率と駅前の赤信号時間の組み合わせを明らかにした。従って、本研究成果を用いれば、赤信号時間に応じて、最適な規制退場を実施することができる。またドーム退出率の制御が困難な場合には、逆に赤信号時間の適切な設定により混雑を緩和できる。

将来的にはドーム到着率・赤信号時間を時間変化させられるようにし、実際にリアルタイムで東京ドームの混雑緩和に寄与できたらと思う。東京ドームの場合、併設施設への誘導や、空いている分かれ道への誘導も混雑を緩和する上で大きな対策となりうるので、こうした視点からも今後研究を進めていきたい。

本研究は、JSPS 科研費 JP23K21019, JP23K20947 の助成及び JST 未来社会創造事業 JPMJMI20D1 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 丹羽了, 鷹見竣希, 重中秀介, 大西正輝 ”スタジアムにおける分散退場オペレーションの効果分析”, 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2022), A33-3, 2015.
- [2] 大西正輝, 重中秀介, 山下倫央 ”大規模イベントにおける群集制御”, 特集: 「人間と相互理解できる次世代人工知能技術: 第 1 部『基盤技術編』」, 人工知能学会誌, Vol.34, No.6, p768-773, 2019.