

網羅的シミュレーションによる群集誘導手法の検証

Verification of Traffic Flow Navigation using Exhaustive Simulation

岡田 崇^{*1*2} 山下 倫央^{*1*2} 野田 五十樹^{*1}
 Takashi Okada Tomohisa Yamashita Itsuki Noda

^{*1}産業技術総合研究所 サービス工学研究センター

Center for Service Research (CfSR), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

^{*2}科学技術振興機構 さきがけ

Precursory Research for Embryonic Science and Technology (PRESTO), Japan Science and Technology Agency (JST)

PRACTIS(Pedestrian Rapid Aggregation Control Town-wide Integrated Simulator) is a simulation controller, which verifies or evaluates an exhaustive simulation for various patterns generated by a rule. We confirm an effective traffic flow control method for SUMIDA fireworks festival usgin PRACTIS.

1. はじめに

都市部の大規模なイベントの交通規制, 誘導は, 未然に群集, 車両のトラブル, 事故を防止する必須要件と言える. 近年, 特に多数の参加者が一カ所に集中する大規模なイベントにおける群集事故が問題視されている. 明石花火大会歩道橋事故は, 多数の犠牲者が出た群集事故であり, このような事故を未然に防ぐため, 来場者の流れや交通規制, 計画の効果の綿密な検証が必要である. しかし, 群集の流れを予測することは困難であり, 特に予期しないイベントや例年の経験, 知見を活かせないような変化が生じた際どのように群集を誘導する交通計画をたてるかが問題となっている. 本論文では網羅的シミュレーション機構 PRACTIS を用い, 群集誘導の計画を検証するシミュレーションをパラメータを変更しながら網羅的に実行することで, 対称の地図における混雑発生の特徴を調べた. 具体的な問題として, 隅田川花火大会を想定した簡略マップを用い, 合計約 1500 パターンの人流シミュレーションを実行し, 最も混雑を軽減する誘導結果を得た.

2. 網羅的シミュレーション機構

2.1 PRACTIS 概要

網羅的シミュレーション機構 PRACTIS は, ルール記述とシミュレーションプログラムを入力として, 網羅的シミュレーション解析結果を出力するシミュレーション支援ソフトウェア群である. 図 1 に, PRACTIS の概要図を示す.

以下に PRACTIS を用いた網羅的シミュレーションの実行の流れを説明する. まず入力されたルール記述に基づき, シミュレーションプログラムに対する入力となるシミュレーション設定ファイルを生成する. 実行管理部は, 資源管理部に問い合わせ次に実行するシミュレーションが実行可能な計算機に対しシミュレーションプログラムとシミュレーション設定ファイルを転送し, シミュレーションを開始する. 計算機クラス上で実行が終了した計算機は, 終了通知とシミュレーション結果を資源管理部に転送する. 資源管理部は, 計算機クラス上の

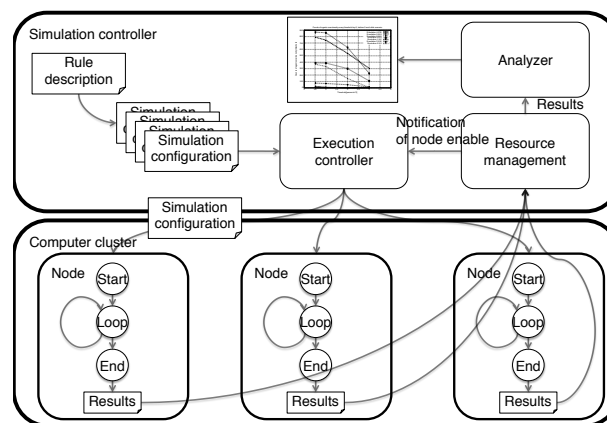


図 1: PRACTIS 概要

情報を更新し, シミュレーション結果を保存する. また実行管理部は, ルール記述に網羅的実行の実行を省略するアルゴリズムが記述されていれば, それに従い, 次に実行すべきシミュレーション設定と実行を省略して良いシミュレーション設定を判別する. ルール記述に評価式, 評価関数が定義されていれば, それらに従い解析を行なう.

2.2 シミュレーションプログラム

検証するシミュレーションプログラムは, PRACTIS の提供する人流シミュレーションモデルを用いた. シミュレーションモデルは主にグラフ構造のマップと, 歩行者により構成される. マップ上を歩く歩行者を, 一次元歩行者モデル [山下 09], [山下 12] によって表すことで計算時間の短縮を実現する. 歩行者の速度は岡田ら [岡田 77] の式を用い, 周辺の人密度によって決定する. また, 人の流れが向かい合う対向流が発生する場合 1 と, 対向流が無い場合 2 に応じて速度を決定する式を変更した.

$$v = 1.25 - 0.476 * \rho \quad (1)$$

$$v = 1.2 - 0.25 * \rho \quad (2)$$

連絡先: 岡田崇, 産業技術総合研究所, サービス工学研究センター, 〒 305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2, Tel: 029-861-3844, Fax: 029-862-6548, E-mail: takashi.okada@aist.go.jp

3. 河川と橋の地図における実験

3.1 実験概要

PRACTIS を用いた群集誘導の効果を検証するため、河川と橋のマップに対する網羅的シミュレーション実験を行なった。河川と橋のマップは隅田川花火大会が開催される隅田川周辺の地図を簡略化したマップを用いる。河川と橋のマップを図2に示す。

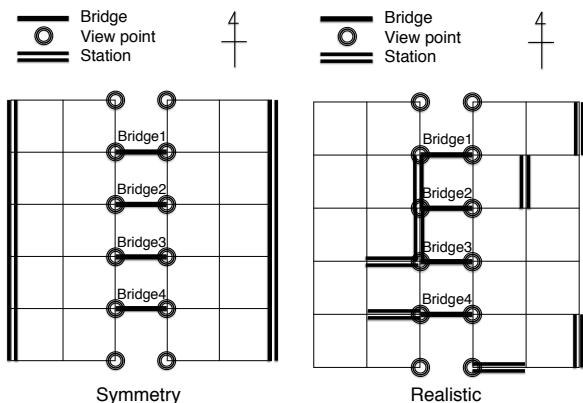


図 2: 河川と橋のマップ

マップは一辺の長さ 50m, 幅 2m の歩道であり、グリッド状のマップを 4 本の橋で連結している。実験は 2 タイプのマップに対し行ない、図の左に示す Symmetry マップでは、マップの東西に設定された駅から歩行者が定期的発生し、観賞ポイントを通過後、橋を挟んだ反対側の駅を目指す。Realistic マップでは、歩行者の発生個所を隅田川花火大会の駅に見立て設定し、任意の観賞ポイントを通過後、ランダムに決定される駅を目指す。この際图中的の 4 本の橋に対し、「西向き一方通行」「東向き一方通行」「規制無し」の 3 パターンを敷くことで、パターンごとに人流の混雑の様子が異なってくる。

3.2 実験パターン

実験パターンは表 1, 2, 3, 4 に示す様に 4 条件をそれぞれ網羅した。合計歩行者数を 2400 人から 6000 人までの 4 パターン、一方通行規制を橋のみに規制する場合と橋の両側の道にも規制する場合の 2 パターン、マップの種類を Symmetry マップと Realistic マップの 2 パターン、一方通行規制をそれぞれの橋に対し 79 パターン。表 4 は、北の橋から順に敷いた一方通行規制を表しており、W:「西向き一方通行」、E:「東向き一方通行」、X:「規制無し」となる。これらより合計 1264 パターンと追実験を合わせ約 1500 パターンの試行を行なった。

表 1: Condition 1: Number of pedestrians

Condition 1	Number of pedestrians
1-1	2,400
1-2	3,600
1-3	4,800
1-4	6,000

表 2: Condition 2: One-way length

Condition 2	Onway length
2-1	a bridge
2-2	a bridge and roads of the both sides

表 3: Condition 3: Origin and destination of pedestrians

Condition 3	Origin and destination of pedestrians
3-1	symmetry
3-2	realistic

3.3 実験結果

実験結果として、それぞれのシミュレーションの歩行者の速度、歩行者周辺の人密度、歩行者周辺の密度が閾値を超えた回数を調べた。

3.3.1 Symmetry マップ

図 3 に、条件 4 ごとに歩行者周辺の人密度平均の結果を示す。縦軸は人密度 [人/m²]、横軸はシミュレーション (条件 4 に基づき結果をソートした) を表す。系列は条件 1, 条件 2 を表し、例えば 2.4K-3 の場合 2400 人で橋の両側にも一方通行を敷く場合である。図より、歩行者 2400 人の場合、人密度は 0.3 程度であり、歩行速度も安定して 1.0[m/sec] を保つことが可能であることが分かる。一方歩行者が 4800 人を超えると人密度がほぼ 1 に近くなる。人密度計算は人の周囲一定距離に対し行っており、現在この距離は 3m と設定している。人密度 1[人/m²]とは、少なくとも周囲に 10 人程度の人がいることを表しており、これは非常に混雑している状況である。またこの値は平均であるため、混雑が集中している箇所では非常に危険な状況となっている。以上より、この規模の Symmetry マップに対しては、精々 3600 人が限度でありそれ以上の来場者に対しては入場規制などによって流量を制限する必要がある。

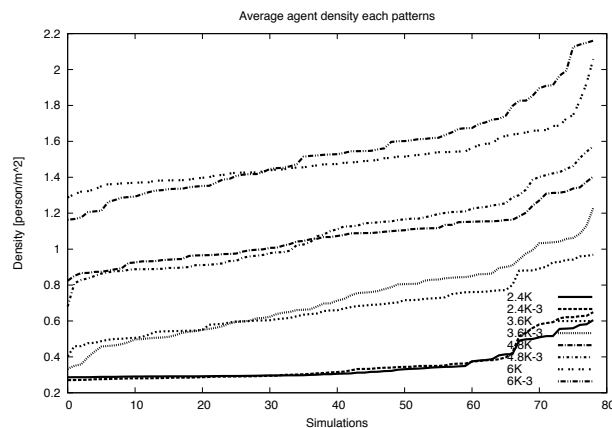


図 3: Symmetry マップ: 歩行者周辺の人密度

ここで歩行者が 3600 人の場合の一方通行規制の効果について調べる。図 4 に、歩行者速度が 0 となった歩行者数を橋のみに一方通行規制を敷いた場合の結果を示す。縦軸は歩行者速度が 0 となった歩行者数、横軸はシミュレーション時刻を表す。系列は条件 4 の一方通行規制を表す。図 4 では、79 通りの結

表 4: Condition 4: One-way traffic control of bridges

Condition 4	One-way traffic control of bridges
4-0	X:X:X:X
4-1	X:W:X:X
4-2	X:E:X:X
...	...
4-77	X:E:E:E
4-78	W:E:E:E

果をソートし、最も良い9通りの結果を図示している。最も良い結果は”W:E:W:E”であり、一方通行規制を交互に敷いた場合であった。

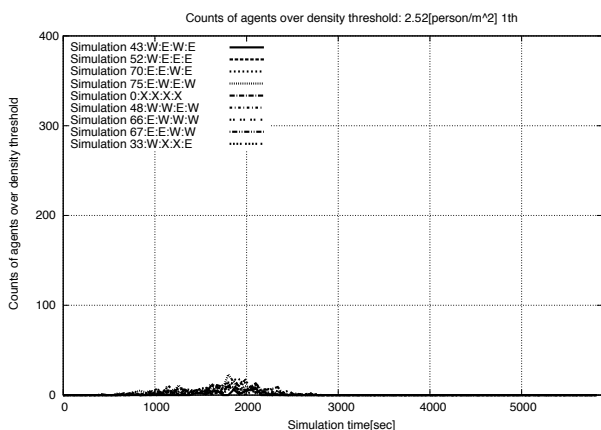


図 4: 歩行速度が0となった歩行者数: 3600人 橋のみに規制

同様に図 5 に、歩行速度が0となった歩行者数を橋と両側に一方通行規制を敷いた場合の結果を示す。最も良い結果は”E3:W3:E3:W3”であり、この場合も一方通行規制を交互に敷いた場合であった。

3.3.2 Realistic マップ

Realistic マップにおいても、Symmetry マップと同様の実験を行なった。しかし Realistic マップでは、よりマップ中心に歩行者が集中するため、2400人より多い人数の歩行者が発生する場合常時混雑が発生した。このため、Realistic マップにおいては2400人程度が流量規制の基準となる。

また、同様に歩行速度が0となる歩行者数についても調べた。図 6 に示す様に、Symmetry マップと同様最も良い結果は”W:E:W:E”であった。この結果は実際に隅田川花火大会で敷かれている交通規制と同様であり、経験的知見に基づく交通規制とシミュレーション結果から導かれた結果の一致が確認できた。

4. まとめ

本論文では、網羅的シミュレーション機構 PRACTIS について述べた。隅田川花火大会における群集誘導について1500パターンのシミュレーションを検証し、最も混雑を軽減する群集の誘導結果を得た。

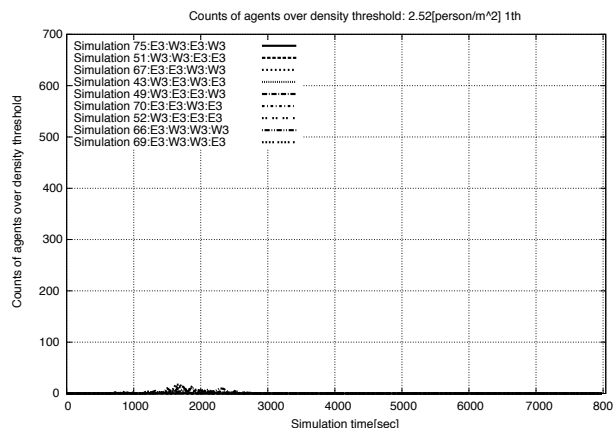


図 5: 歩行速度が0となった歩行者数: 3600人 橋と両側に規制

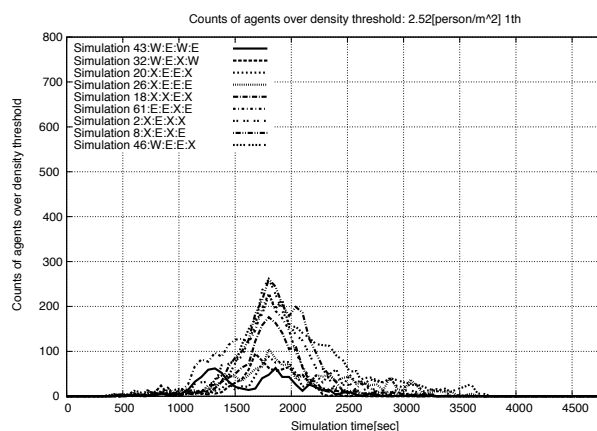


図 6: 歩行速度が0となった歩行者数: 2400人 橋のみに規制

謝辞

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけの一環として行われたものである。

参考文献

- [山下 09] 山下倫央, 大西正輝, 副田俊介, 野田五十樹: 避難シミュレータを利用した避難誘導計画の検証及び立案支援の提案, 情報処理学会研究報告, IPSJ SIG Technical Report, pp.1234-1239(2009).
- [山下 12] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田郁士, 野田五十樹: 一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7 (2012)(採録決定)
- [岡田 77] 岡田光正: 建築と都市の人間工学, pp.37, 鹿島出版会 (1977).