

# 3. 設計から運用までを支える 人流シミュレーション活用の現状と展望

—大規模イベント・地域防災・地域防犯・日常の施設運営の事例を通して—

井上雅子 田中英人 足達嘉信 (セコム (株) IS 研究所)

## 人流シミュレーションの活用範囲の拡大

大規模イベント施設の設計・運営、自然災害に対する地域防災計画、地域防犯の計画、商業施設などの日常の活動空間の配置計画など、社会的要請と技術の進歩により、人流シミュレーションの活用の範囲は広がってきている。シミュレーションによって人の活動を予測し定量的に評価した結果を、さまざまなステークホルダと共有することで、より迅速に合意形成を進めることが可能となり、その結果、各ステークホルダにとって納得のできる設計・運用を実現できる。本稿では、表-1で示すように、さまざまな目的・ステークホルダ・空間規模・人数・

フェーズで人流シミュレーションを活用した事例を通じて、シミュレーション活用の効果を紹介する。

## 人流シミュレーションの活用事例

### 大規模イベントにおける活用

大規模イベントでは、観客にとって安全で快適なイベント運営が求められる。避難時・入場時・退場時は大人数が一斉に移動するため混雑や雑踏事故が発生する危険がある。既存の大規模イベント施設においては、イベント時の人の流れに関する問題を誘導・案内など運用段階で解決している。しかし、設計段階で運用時を想定した検討と設計改善ができれば、より安全な施設運用に

つながるものとする。以下、表-2で示すように、避難時・入場時・退場時に対して、設計段階・運用段階で人流シミュレーションを活用し、安全性と快適性を改善した事例を示していく。

避難時は、大規模の施設の場合、火災の規模や出火場所に合わせて順次避難を行う。順次避難は、同じタイミングで避難を開始させる観客をグループに分割し、出火場所に近いグループから時間差をつけながら優先的に施設外へ避難させる。設計段階では、通路・階段・扉の位置や幅員、グループの規模や避難経路を決める必要がある。グループを大きくすると避難時間は短縮するが、混雑による2次

	大規模イベント	地域防災	地域防犯	日常の施設運営
目的	安全で快適なイベント運営を実現し、楽しいイベントを実現する	地震・火災・洪水・土砂崩れなどの自然災害から人命を守りやすい都市づくりを実現する	地域の監視量を確保し、犯罪発生率を下げ、安全な地域づくりを実現する	利用者にとって快適な日常生活を実現する
効果	・避難時間 ・避難時・入場時・退場時の雑踏事故の減少 ・退出時の快適性	・火災・津波避難の逃げ遅れの防止 ・避難対策の妥当性の確認	・犯罪発生率の抑制	・利用者のアクセシビリティの向上
ステークホルダ	観客・施主・イベント会社・設計者・警察・消防・施工者	住民・消防・学校・PTA・自治会・自治体・ボランティア	住民・警察・学校・PTA・自治会・自治体・ボランティア	利用者・管理者・施主・テナント・設計者
空間規模	数 km <sup>2</sup>	数 km <sup>2</sup>	数百 m <sup>2</sup>	数十 m <sup>2</sup>
人数	約数万	約数千	約数百万	約数十
評価軸	・退出時・避難時の混雑度 ・入場時・退場時の快適性	・避難時間 ・避難時の混雑度	・自然監視性	・利用者の利便性 ・利用者の目的達成時間
フェーズ	設計段階 運用段階	運用段階	計画段階	運用段階

表-1 人流シミュレーション活用事例一覧

避難時	設計段階	避難安全検証・順次避難の計画
	運用段階	避難誘導の案内員配置の計画
入場時	設計段階	入場ゲートのレーンと整列空間の計画
	運用段階	開演時間に間に合う入場案内計画
退場時	設計段階	混雑の発生しない退場経路・外構計画
	運用段階	エリアごとの退出開始時刻調整の計画

表-2 大規模イベントの設計・運用時の人流シミュレーション活用



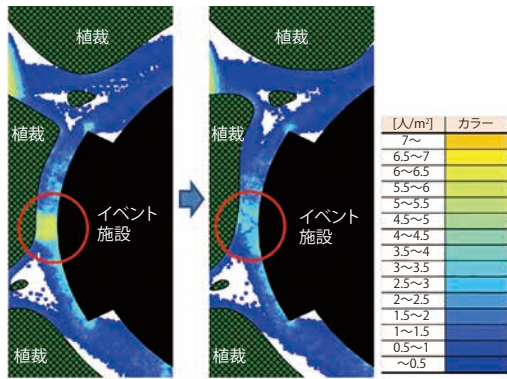


図-1 退場時の人密度評価比較による設計改善  
植栽変更前の人密度 (左) 植栽変更後の人密度 (右)

災害が起こる可能性がある。逆に、グループを小さくすると、避難時間が伸び、火災の影響を受ける恐れがある。人流シミュレーションを行うと、混雑による2次災害が起こらないグループの規模を検討し、避難計画をたてることができる。また、運用段階では、避難誘導のための案内員の配置計画をたてるのが可能となる。設計時に検討したシミュレーション結果から、避難時に混雑が予想される場所には案内員を増やす計画をたてることできる。

入場時は、安全なイベント運営のため、入場ゲート前で手荷物チェックが行われる。設計段階では、入場ゲート前に入場整列のためのレーンを十分に確保できる滞留場所を確保した設計をする必要がある。人流シミュレーションを行うことで、歩行者と入場待ちの行列が交錯しない空間設計になっているか確認し、設計にフィードバックすることが可能となる。また、運用段階においては、人流シミュレーションを行い、ゲートを通過する入場者数のバランスの良い誘導方法を検証することで、施設内の混雑が発生せず、開演時間に間に合うように案内する計画を立案することができる。

退場時は、大人数が一斉に最寄りの交通機関へ集中し、敷地内から駅まで混雑が発生する可能性がある。設計段階では、この問題に対処するため、敷地内の植栽やサインなど外構計画を検討するときに、敷地内の緑化面積を確保しつつ、観客の退場経路を計画する必要がある。図-1で示すように、設計変更の都度、人流シミュレーションを行うことで、植栽の位置や大きさや形状を退場しやすいように改善することが可能となる。また、運用段階においては、駅前や歩道上で混雑が発生すると、退場時間も長くなることがあるため、周辺の交通機関と連携して、待ち時間が短く、混雑の少ない退場計



図-2 鎌倉での住民主体のワークショップのイメージ (左) 避難シミュレーションの例 (右)  
(「RISTEX: 多様な災害からの逃げ地図作成を通じた世代間・地域間の連携促進」より)

画をたてる必要がある。人流シミュレーションを行い、エリアごとに観客の退場開始時刻を調整することで、駅前の混雑を緩和し、快適に退場する計画を作成することが期待できる。

これまで、避難は、設計段階でシミュレーションが行われ、誘導計画の検証をしてきたが<sup>1)</sup>、入退場時に発生し得る危険は、設計段階では検討されず、運用段階で解決してきた。避難と同じように、入退場についても、人流シミュレーションを行うと、設計段階で危険性を改善し、観客にとって安全で快適なイベントの実現につながる。

## 地域防災における活用

災害が起こった際、いかに人命を守るかは重要な課題である。これまで、行政が中心となって行ってきた地域防災の対策を、自主防災組織を構成し住民が主体的に検討するようになってきた。社会技術研究開発センター(RISTEX)の「多様な災害からの逃げ地図作成を通じた世代間・地域間の連携促進」の研究では、「逃げ地図」という住民主体の津波避難地図を作成するワークショップを行っている<sup>2)</sup>。図-2に示すように、逃げ地図は、対象となる地域の白地図上に、住民が話し合いながら、過去の津波浸水の記録から安全区域を設定し、たどり着ける時間距離を3分ごとに色分けし、家や職場からの避難時間を可視化する。

鎌倉市材木座で行われたワークショップでは、避難ビルの追加やブロック塀の補修による通行可能な経路の追加などの改善案をシミュレーションで検証し、防災計画への反映を実現した。手書きで逃げ地図を作成する場合は、人手がかかるので多くの計画案はつくれないという問題がある。そこで、人流シミュレーションをさまざまな条件で行うことにより、より多くの検討をしやすくなった。こ



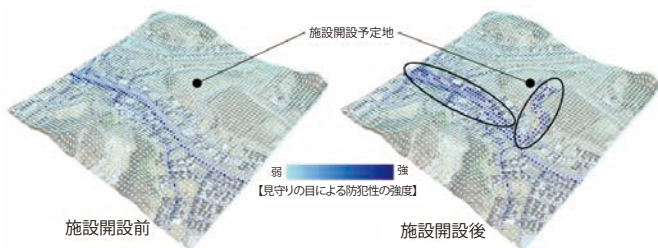


図-3 施設開設による地域防犯性の影響評価  
(一般社団法人 buildingSMART Japan:「BIMによるインターネット設計コンペ」pp.48-49 防犯性シミュレーションの関連資料より)

のように、人流シミュレーションとワークショップを組み合わせることで、より安全な地区防災計画をたてることが可能になる。

## 地域防犯における活用

防犯環境設計では、都市空間や生活空間において、その空間を利用する人たちの視線がより多く届くような場所は自然と見守られることになり(「自然監視性」<sup>3)</sup>)、そうでない場所より防犯性が高まる、とされている。

図-3は、郊外に商業施設を開設する前後で自然監視性がどう変化するかを人流シミュレーションで求めたものである。商業施設を開設することで、自然監視性が改善され地域の防犯力が向上することが確認できた。さらに、監視性の低い場所には街灯や監視カメラの設置、防犯パトロールを行うなどの防犯施策を行うことで、地域防犯力の向上を図ることも可能である。

## 日常の施設運営における活用

商業施設や複合施設などでは一時的な仮設空間を頻繁に入れ替えながら催し物が行われ、さまざまな目的の利用者が交錯し、複雑な人流が発生する。利用者の目的を考慮した人流シミュレーションを行い、空間計画や誘導計画に反映することで、利便性の高い施設運営が可能となる。

たとえば、図-4で示すように、ショートフィルムを上映する仮設空間における人の入れ替わりの容易さを誘導の有無で比較することにより、利用者の日常の活動を考慮した空間計画と誘導計画を検討することができる。

## ガイドライン・基準の重要性

これまでの事例で示したように、大型施設の設計、運用計画で人流シミュレーションの活用が進んできている。特に、2012年のロンドンオリンピック・パラリンピック

①入退場分離パターン:  
退場完了時間:3分04秒 入場完了時間:3分26秒



②入退場非分離パターン:  
退場完了時間:5分37秒 入場完了時間:5分49秒



図-4 仮設空間の誘導による入れ替わり時間の比較

大会を契機に、大会施設設計や大会運営の計画立案の際に人流シミュレーションの実施が求められるようになってきており、さまざまなガイドラインや基準が策定されてきている。スポーツ施設に関しては、英国政府のThe Sports Grounds Safety Authority (SGSA) が、安全基準「The Green Guide」<sup>4)</sup>を策定しており、世界各地におけるスポーツ施設設計時に参照されるようになってきている。人流シミュレーションの結果を設計や計画に反映することで、基準を満たす施設設計や運用設計となるよう、改善検討を行うことが可能となる。

また、2009年に英国内閣府(Cabinet Office)のEmergency Planning Collegeが、人流シミュレーションを活用する関係者向けに、主要なシミュレーションツールの解説や、ガイドラインを発行している<sup>5)</sup>。人流シミュレーションは、シミュレータの選択や設定によって結果が大きく変わる。そのため、目的や発見したい課題に合わせて、シミュレータを選択して、空間をモデル化し、シナリオを作成して、結果を評価する必要がある。しかしながら、上記のガイドラインは目的に応じたシミュレーションの選定や設定には言及していないため、シミュレーション活用の基準については今後整備が必要だと考えられる。

## BIMとの連携の可能性

人流シミュレーションを効率的に行うために、BIM(Building Information Modeling)との連携が注目されている<sup>6)</sup>。

BIMとは、壁、床、窓、ドア、建築設備などの建物を構成する要素を、オブジェクト指向に基づいた3次元建物情報モデルとして表現し、建物ライフサイクルを通してコンピュータ上で活用していく概念である。国内外の、



### 3. 設計から運用までを支える人流シミュレーション活用の現状と展望



図-5 シミュレーション結果(左) BIMによるシミュレーション結果の可視化(右)

建築設計, 施工, 建物維持管理などの場面でBIMの活用が進んできている。BIMを活用した設計プロセスでは, BIMを用いた構造解析, エネルギーシミュレーションなどのエンジニアリング解析ツールとのデータ連携が進んでいる。建物の施工方法や運用・維持管理を考慮したさまざまな解析結果を設計段階でフィードバックすることで, 後戻りの少ない設計が可能になる。

人流解析においても, BIMを活用することで, 扉の開閉や幅員情報を持った空間モデルの作成と修正が容易になり, 設計⇒シミュレーション⇒評価⇒設計のプロセスを効率良く実行できる可能性が広がってきた。さらに, 平地・階段など空間の属性を考慮し, 空間特性に合わせたシミュレーションや評価ができる。人流以外のシミュレーションとの連携によって, より総合的なシミュレーション活用も加速するだろう。また, 図-5のように, 人流シミュレーション結果とBIMをVR(バーチャルリアリティ)/AR(拡張現実)で表現することで, より効果的な解析結果の提示が可能となってきた。人流以外のシミュレーションとの連携によって, より総合的なシミュレーション活用も加速するだろう。

#### 課題と展望

人流シミュレーションは, ロンドンオリンピックを契機とした社会的要請とBIMやVRなどの技術の進歩により, 活用分野が広がってきた。

人流シミュレーションは, 運用時の利用者視点で空間計画や運用方法を評価できることが大きな特徴である。

図-6で示すように, 大規模イベントでは各ステークホルダが, それぞれの立場で基準やガイドライン・敷地条件・運用条件などを考慮しながら空間計画や運用方法を検討する。その検討案に, 人流シミュレーションを利用することで, 利用者視点から改善効果を効率的に検証する

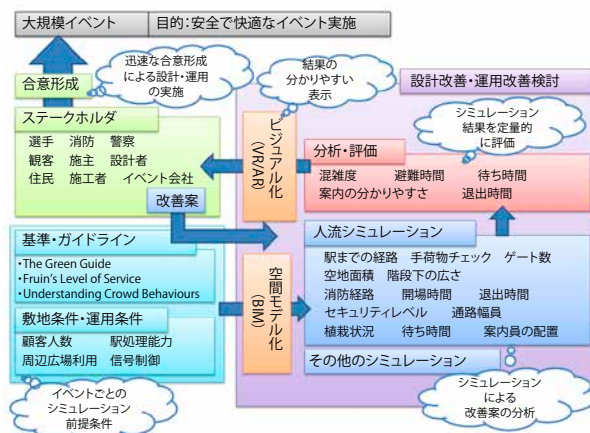


図-6 大規模イベントにおける人流シミュレーション活用のメリット

ことができる。

また, 建築設計・まちづくり・運用では, 複数のステークホルダが納得できる最善案を作成することが重要である。シミュレーションによる定量的な評価とBIMによる分かりやすい表示によって, さまざまな案を比較することができ, 迅速な合意形成が可能になる。課題としては, 人流シミュレーション活用の基準づくりや, 複数のシミュレーション結果を統合し, 総合的に評価できる仕組みづくりに取り組む必要がある。

今後, 利用者にとって, より安全で快適な空間づくりが成される社会が実現されていくだろう。

#### 参考文献

- 1) 山下倫央, 他: 特集「マルチエージェントシミュレーション」, 6. 避難シミュレーションの実社会への応用, 情報処理, Vol.55, No.6, pp.572-578 (June 2014).
- 2) 井上雅子, 他: 鎌倉を事例とした逃げ地図ワークショップの実践手法について, 日本建築学会 2015 学術講演梗概集, pp.361-362 (2015).
- 3) 田中英人, 他: 都市空間における道路上からの自然監視性のマッピング, GIS 一理論と応用, Vol.17, No.1, pp.31-42 (2009).
- 4) The Sports Grounds Safety Authority: Guide to Safety at Sports Grounds, The Green Guide (2007).
- 5) Cabinet Office (UK): Understanding Crowd Behaviours(2009).
- 6) 足達嘉信, 他: 行動, 安全, 文化, 「BeSeCu」増補・日本版～緊急時, 災害時の人間行動と欧州文化相互調査～, フォーラムエイトパブリッシング (2014).

(2017年3月31日受付)

井上雅子 ■ masak-inoue@secom.co.jp

2011年セコム(株)入社。BIM・シミュレーションを用いた建築設計・運用計画に関する研究に従事。芝浦工業大学建設工学専攻修士課程修了。

田中英人 ■ hideto-tanak@secom.co.jp

2005年都市防犯研究センター, 2009年セコム(株)入社。安全・快適の定量化研究に従事。東京大学大学院社会文化環境学専攻修了。博士(環境学)。

足達嘉信 ■ yo-adachi@secom.co.jp

1994年セコム(株)入社。IS研究所において人工知能, BIMに関する研究に従事。東京電機大学大学院博士課程修了。博士(工学)。