

インクルーシブ社会を支える技術と実践 ～災害時避難を例に～

Technologies and Their Implementation Supporting an Inclusive Society:
A Case Study of Disaster Evacuation

山田 岳峰 天野 和洋
Takemine Yamada and Kazuhiro Amano

I. はじめに

災害や環境問題、高齢化など、現代社会が抱える「社会的リスク」は年々深刻化している。こうしたリスクに対応するためには、法制度の整備だけでなく、革新的な技術の活用や地域社会との連携が欠かせない。例えば、米国では、「ADA（アメリカ障害者法）」が1990年に制定され、インクルーシブ社会（障がい者、高齢者など、要配慮者を含むすべての人々が差別や障壁なく平等に参加できる社会）の実現を目指し、公共施設や交通機関のバリアフリー化（ユニバーサル性）を進める重要な基盤となっている。さらに、ハリケーン・カトリナ（2005年）以降、災害などの緊急時における障がい者の避難にも、ADAの適用範囲が拡大されてきた。

一方、日本でも2006年バリアフリー新法や災害対策基本法（2021年改訂）、災害救助法（2013年改訂）を通じて、要配慮者が災害時に安全に避難できる環境整備が進められている。しかし、実際の災害現場では、要配慮者の避難の迅速性や安全確保に課題が残されている。例えば、災害への事前の備えとしての福祉避難所の施設整備などの制度的な取り組みに加えて、発災後の避難支援・対応において、福祉避難所となる施設（特別支援学校等）の建物安全度情報、地域における災害発生状況、さらに、要配慮者の個人情報との関係者間による共有など、災害情報のリアルタイム共有や個人情報にマッチした避難時期や避難経路の最適化を可能にする革新的なICT技術の活用が期待されている。

円滑な避難を実現する努力義務を担う自治体および建物やインフラなどの施設管理者は、日々、実現可能で最適な避難計画の改善と訓練を通じて、都市や施設における避難の実現可能性を向上させている。そのため、地震時の建物安全度評価システムや災害情報・要配慮者支援共有プラットフォーム、さらに、ユニバーサル性（すべての人が利用可能な普遍的な設計）を基盤としながら、パーソナル性（個々のニーズに応じた柔軟な対応）も考慮した避難計画策定を支援する技術は、要配慮者を含むすべての人々が安心して避難できる環境を支える重要な役割を果たしている。

そこで本稿では、要配慮者の安全確保と避難支援に関連する「つくば市における当社の取り組み事例」、並びに避難計画の策定を支援する「人流シミュレーションの先端技術と

その活用事例」を紹介する。

II. つくば市での要配慮者避難に関連した鹿島の取り組み

1. 取り組みの背景

当社は、つくば市のスマートシティ協議会に2019年の発足当初から参加している。2022年につくば市がスーパーシティに指定され、スーパーシティ、デジタル田園健康特区を対象とした内閣府の令和4年度公募事業「先端サービスの開発・構築等に関する調査事業」において、「ロボットやIoTセンサ等を活用したインクルーシブシティの実現（代表者：筑波大学鈴木健嗣教授）」の調査プロジェクトが採択された。当地での当社の要配慮者避難に関わる検討は、当該調査において、当社が筑波大学、産業技術総合研究所と連携し、「障害者・高齢者等も含む包摂的な移動、災害対応のためのデジタル都市基盤整備」を担当する機会を得たことに遡る¹⁾。

2. 調査研究の概要

つくば市、筑波大学、産業技術総合研究所、防災科学技術研究所と協働し、現在も県立つくば特別支援学校（Photo 1）の協力を得て、Fig.1に示す先端サービス（①つくば特別支援学校での建物安全情報サービス、②地震応答解析データ配信サービス）の創出に関わる検討を進めている。地震発生直後に建物安全度を判定する先端システム q-NAVIGATOR[®]（建物安全度判定支援システム、本年報の「対応技術」Ⅲ章を参照）を設置し、建物の被災状況の目視確認と建物安全度判定結果に基づき、避難訓練により、児童・生徒、教職員の迅速で確実な避難に繋げる校内防災計画の運用の定着を図っているところである。



Photo 1 茨城県立つくば特別支援学校と

q-NAVIGATOR 導入概要

(Overview of Tsukuba Special Needs Education School
Deployed q-NAVIGATOR)

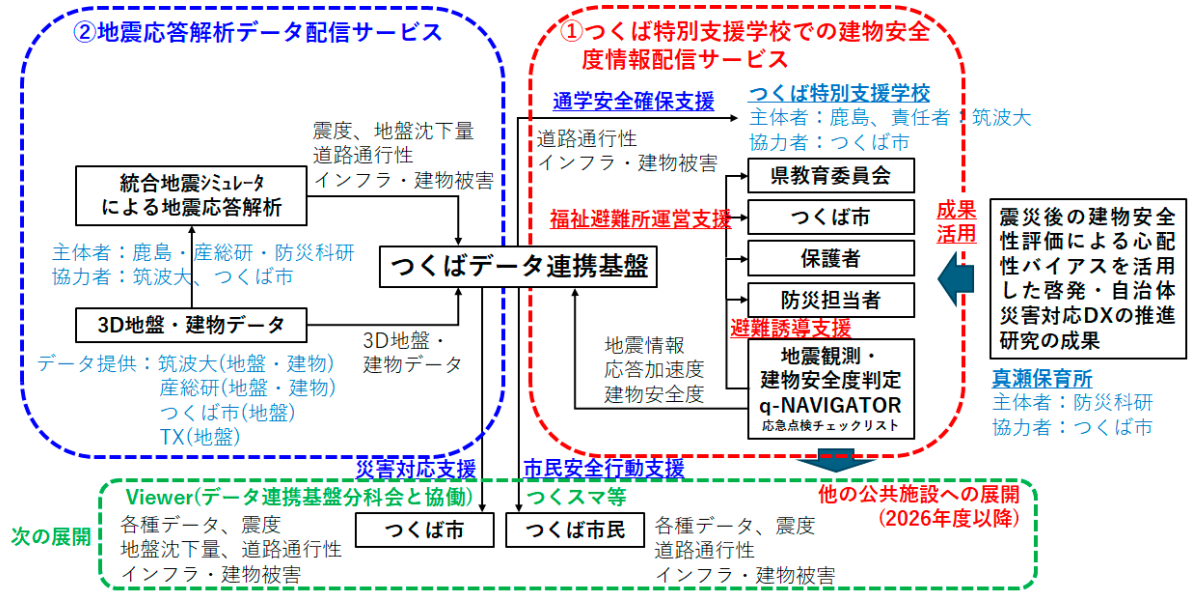


Fig.1 つくば特別支援学校での要配慮者避難に関する取り組みの概要

(Overview of Initiatives for the Evacuation of People Requiring Special Assistance at Tsukuba Special Needs Education School)

学校に待機する児童・生徒の引き取りに来校する保護者へのメール配信のほか、データ連携基盤経由で学校関係者にも関連情報を配信する。例えば、つくば市の防災計画で、特別支援学校が福祉避難所に指定されていることから、つくば市担当部署に共有することで、情報が輻輳し混乱する災害対応

の中で、福祉避難所の立ち上げ可否を早期判断するために活用されることを期待している。

また、統合地震シミュレータ（IESの要素技術、本年報の「予測技術（地震災害）Ⅴ章」を参照）を活用し、市内の地盤や建物群、道路交通ネットワークを対象に、シティスケールの地震被害予測と予測結果の情報提供の検討を進めている（検討結果の例：Fig.2参照）。検討結果は、避難支援として、特別支援学校における安全なスクールバスルートの検討や、発災直後に安全な避難経路を予測し、随時更新される実際の被災情報とともに要配慮者と同行する支援者への情報提供に役立てる予定である。

Ⅲ. 避難時等における人流シミュレーション

1. 背景と近年の災害状況

都心部の再開発案件、オフィスや商業施設など大規模かつ複合用途化した施設は、潜在的に有事の際の避難者を多数抱えている。しかし、避難動線が複雑化しているため避難安全設計の複雑度も増している。火災に対する避難計画においては、多人数の避難行動予測に、熱や煙、さらには火源の位置が避難者に与える影響を高い精度で取り入れる必要がある。

2021年に大阪市北区の地上8階建てビルの4階で発生した火災では、死者25名、重軽傷者3名という大きな人命被害が出た。被害が拡大した要因の一つとして、唯一の避難経路である階段付近に火元があったことが挙げられる。二方向避難の重要性に加えて、火元の位置や煙の伝搬状況を想定した避難安全設計の有効性を再認識させられる火災であった。

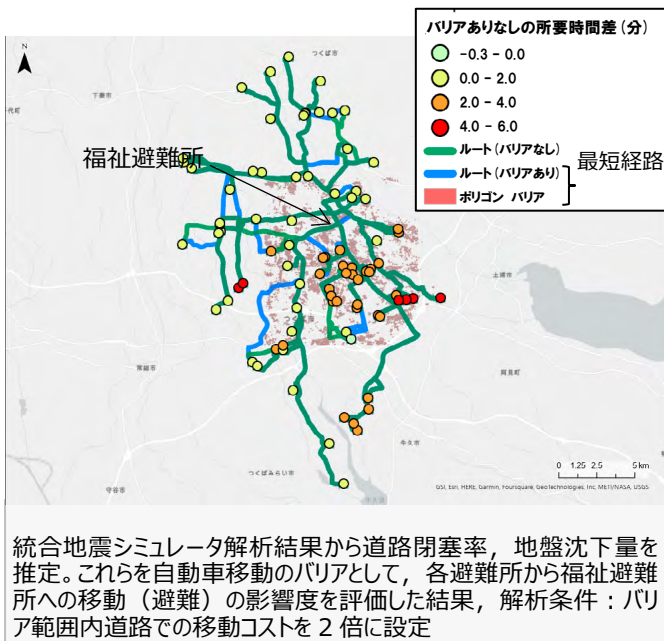


Fig.2 市内の避難所からつくば特別支援学校へ
自動車移動の際の、道路通行障害が所要時間と
最短経路に与える影響評価の試行例¹⁾に加筆

(Trial Example of Impact Assessment on Travel Time and Shortest Route Caused by Road Traffic Obstacles when Driving from Shelters in the City to Tsukuba Special Needs Education School)

2. 開発技術

(1) 技術の概要

避難安全設計における避難行動の予測手法の一つに、避難シミュレーションがある。これまでの避難シミュレーションでは、人の行動と火災による熱・煙の流動を別々に解析していたため、実際には熱や煙で大きく変化する避難動線を踏まえた避難安全性の検討が困難であった。そこで当社では、火災時に刻一刻と変化する熱や煙が人の避難行動に与える影響を考慮した高度な避難シミュレーションシステム「人・熱・煙連成避難シミュレータ PSTARS」を開発した²⁾³⁾。

(2) 技術適用の効果

PSTARS では、火災に伴う熱放射や煙を回避したり、煙の中で歩行速度が低下したりするなどの火災時特有の行動を再現することが可能となっている (Fig.3)。ここで、PSTARS のベースである「歩行者シミュレーションシステム Sim-Walker[®]」は自社開発システムであり、歩行者一人ひとりの視点をモデル化し、かつ様々な特徴を持つ人を混在させることが可能なマルチエージェント型のシミュレータである⁴⁾⁵⁾。

PSTARS は、Sim-Walker に CFD (計算流体力学) に基づく火災シミュレーションによる熱・煙流動の解析結果を取り込みエージェントに認識させることで、火災時特有の行動を表現している。避難開始のタイミングについても、「煙が見えた」「避難した人を見た」「非常ベルを聞いた」といった避難行動に至る心理状態の変化や情報が伝搬する過程を考慮しており、PSTARS を適用することで、より高度で現実に近い避難行動の予測が可能となっている。

3. 適用事例

PSTARS を用いて、当社本社ビルでの火災を想定した避難シミュレーションを実施した。ケースとして、発火した階を優先して避難させた場合と、全ての階から一斉に避難した場合の2パターンをシミュレーションし、その結果を訓練に先立って社員に公開した。避難安全検証は確実にクリアしており問題はないものの、全員がルールに反して一斉に避難した場合には階段が混雑し、その結果発火した階において逃げ遅れが発生する可能性が確認された (Fig.4)。この結果を受け、社員が、ルールに従い順序だって避難することの重要性を改めて理解した上で、訓練に臨むことができた。

また、本シミュレータは、数千から数万人規模の歩行者移動や、建物外の街区など比較的広域な領域での避難や混雑緩和策の検討にも対応している。Fig.5 は、1 万人規模のアリーナ施設を対象に、公演終了後の混雑状況を評価した事例である。一斉退場した場合でも客席からは比較的短時間に退出可能であったが、敷地内の 1 階建物外スペースから敷地外の歩道に出る部分で激しい滞留が発生することが分かった。規制退場等により混雑を緩和する方策の有効性を

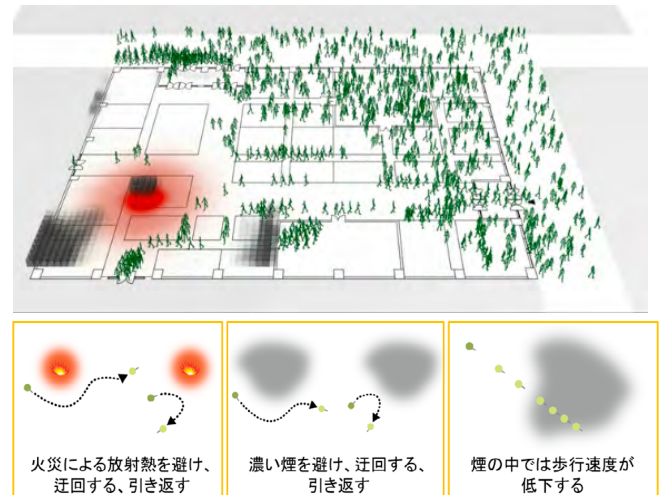


Fig.3 「PSTARS」による避難シミュレーション
(Evacuation Simulation with “PSTARS”)

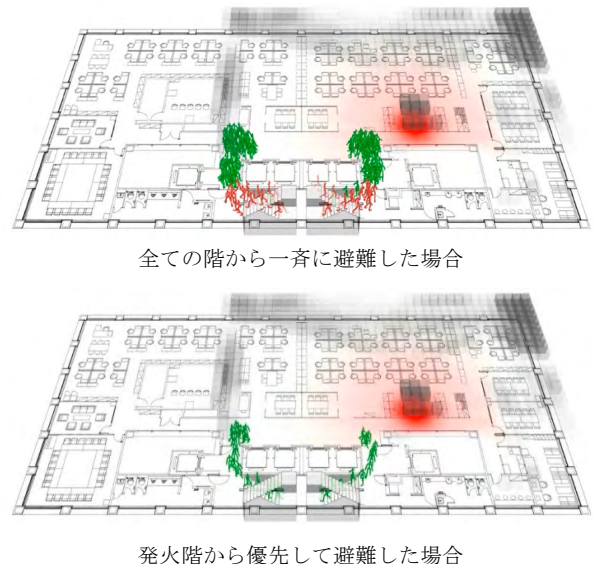


Fig.4 鹿島本社ビルでの避難シミュレーション事例
(Case Study at Kajima Headquarters Building)

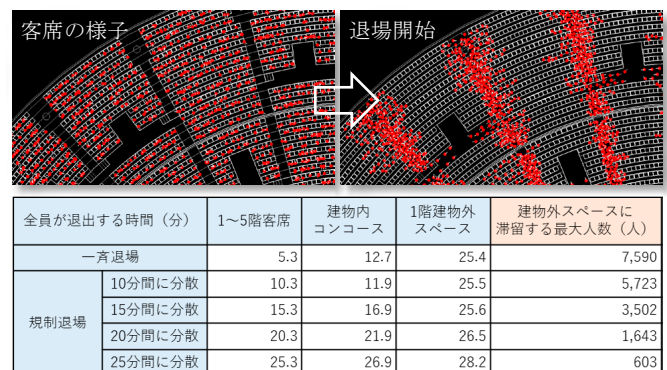


Fig.5 アリーナからの退場時における混雑シミュレーション
(Congestion Simulation when Exiting an Arena)

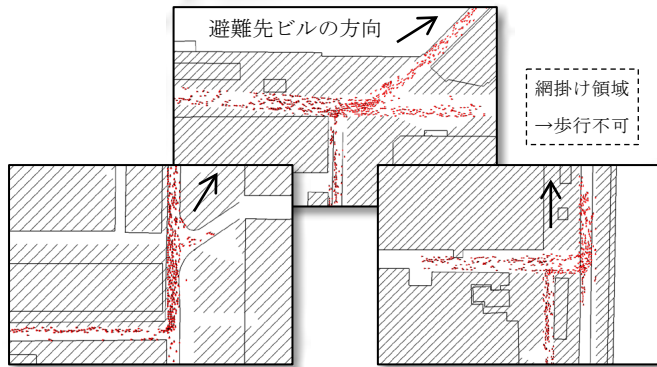


Fig.6 臨海部における津波避難シミュレーション
(Tsunami Evacuation Simulation in a Coastal Area)

確認した事例である。

さらに、臨海部にある工場敷地内において、地震後に発生した津波を想定した津波避難シミュレーションも実施している (Fig.6)。シミュレーションの結果、工場内の約 2,000 人が津波避難に対応した隣接する避難先の高層ビルに、津波到達までに無事避難できることを確認した。

4. 今後の展望

現在では、MR 技術 (複合現実技術) により、PSTARS で解析した計算結果を現実を重ね合わせることで、より臨場感のあるシミュレーション表現も可能になっている⁹⁾。Fig.7 はその可視化例であるが、実在する施設において実寸大でシミュレーション結果を表示できるため、移動の距離感なども臨場感を持って体験できる。メタバースのように、複数人が同時に同じ結果を体感・共有することも可能である。

本シミュレータは、自社開発システムということもあり、現地条件に応じた歩行行動ロジックの追加や高度化等の改良を容易に行うことができる。今後は、さらなる実績の積み重ねとシステムの改良を進めて、火災時のみならず、より広域での様々な災害に対応していくことで、歩行者の安全性・円滑性に配慮した施設設計に加えて、より安全で安心なまちづくり・都市計画の立案に貢献していく。

IV. まとめ

本稿では、現代社会が直面する社会的リスクの中でも特に災害時避難に焦点を当て、要配慮者を含むすべての人々が安全かつ円滑に避難できる環境を整備するための技術と実践を紹介した。

つくば市における当社の取り組みでは、スマートシティやスーパーシティの枠組みを活用し、要配慮者の避難誘導支援を推進している事例を取り上げた。このプロジェクトでは、特別支援学校における建物安全度評価を基盤としたリアルタイム情報共有や、地震被害予測に基づく避難ルートの最適化の実現を目指しており、要配慮者の迅速かつ安全な避難を



Fig.7 MR(複合現実)技術による可視化例
(Visualization Example Using Mixed Reality Technology)

支える新たな取り組み事例を提示している。

さらに、避難行動の高精度シミュレーション技術として紹介した「PSTARS」や「Sim-Walker[®]」は、火災や津波といった多様な災害シナリオにおいて、避難者の行動を予測し、訓練や施設設計に活かす新たな可能性を提供する。特に、火災時の熱や煙の影響をリアルタイムで考慮したシミュレーション技術は、従来の避難安全設計を超える高度な対策を可能にしている。また、MR 技術を活用したシミュレーションの可視化は、臨場感を伴う訓練を実現し、災害対応力の向上にも寄与する。

米国の ADA や日本のバリアフリー新法、災害対策基本法など、本稿で触れた技術の背景からも分かるように、インクルーシブ社会の実現には要配慮者避難の課題解決が欠かせない。これらの課題に取り組む上で、紹介した技術は、都市計画におけるユニバーサル性とパーソナル性を調和させる重要な役割を果たしている。すなわち、すべての人が利用可能であること (ユニバーサル性) を基盤としつつ、それぞれの要配慮者の特性に応じた柔軟な対応 (パーソナル性) を可能にしている。

今後、これらの取り組みをさらに発展させるためには、自治体や施設管理者だけでなく、地域社会や企業、学術機関など多様な主体が連携し、一体となって取り組むことが求められる。また、これらの技術や実践を他地域や国際的な場面へと展開することで、災害時避難の課題を超え、日常生活における安心・安全を向上させる新たな都市計画のモデルを構築することが期待される。

本稿で示した技術と実践は、災害時避難における課題解決の一助となるだけでなく、すべての人が差別や障壁なく社会に参加できるインクルーシブ社会の実現に向けた重要な道標となる。これからも、技術革新と地域社会との連携を通じて、より安全で持続可能な社会の実現を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 内閣府地方創生推進事務局；「先端的サービスの開発・構築等に関する調査事業」の結果報告書概要版（令和 5 年 5 月 26 日），p.16,
https://www.chisou.go.jp/tiiki/kokusentoc/supercity/pdf/230526_houkokusho01.pdf
- 2) 天野和洋ほか；熱煙流動を考慮した避難シミュレーションの開発，日本火災学会研究発表会概要集，日本火災学会，2013，pp.182-183.
- 3) 鹿島建設；火災時の高度な避難シミュレーションシステム「人・熱・煙連成避難シミュレータ PSTARS」の開発と展開，
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201407/30a1-j.htm>
- 4) 中村泰広ほか；歩行者シミュレーション「Sim-Walker」の開発と鉄道駅改良工事の施工計画立案への適用例，土木学会土木建設技術発表会 2013.
- 5) 鹿島建設；歩行者シミュレーションシステム「Sim-Walker（シム・ウォーカー）」の開発と展開，
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201309/2c1-j.htm>
- 6) ホロラボプレスリリース；ホロラボが鹿島の BIM データを活用した避難シミュレーションの Microsoft HoloLens 2 版開発を支援，
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/0000000056.000023638.html>