

センサデータマイニングを活用した安全安心な避難誘導への取り組み

Approach to Safety and Secure Evacuation with Sensor Data Mining

山下倫央 副田俊介 大西正輝 依田育士 野田五十樹

Abstract

自然的及び人為的な災害発生時に、危険な状況から人々を遠ざける避難誘導は被害軽減のためには単純で有効な手段である。しかし、高層ビルや大規模な商業施設では数千人規模の避難が起こるため、避難誘導により意図しない避難者の集中が発生する恐れもある。災害状況における人々の動きを把握することなく効果的な避難誘導を実現することは困難である。本稿では、近年行われている各種センサを用いた避難行動の分析や避難シミュレーションを用いた避難誘導計画の検証といった実効性の高い避難誘導を目指す取り組みを報告する。

キーワード：センサデータマイニング、行動分析、避難誘導計画、避難シミュレーション、避難訓練

1. ま え が き

多くの人々が集まる場所で火災や地震のような自然災害やテロのような人為的災害が発生した場合、危険な状況から人々を遠ざける避難は被害軽減のために単純かつ有効な手段である。しかし、高層のオフィスビルや大形の商業施設といった大規模な施設では避難者が特定の経路へ集中したり、意図せず遠回りしてしまい、被害が大きくなる危険性もある。人々の集中を防ぎつつ、迅速に安全な場所まで人々を誘導するためには、施設の管理者には災害の状況に適した避難誘導計画が求められる。そのために、災害時の人々の行動を計測・分析し、避難誘導計画が多数の災害状況に対して機能するかを事前に検

証しておくことが必要となる。本稿では、施設内からの避難を対象として、安全安心を実現する避難誘導に向けたセンサデータマイニングを、センサによって取得された人の流れのデータを活用して知識を発見することと捉え、人の流れの計測技術とシミュレーション技術を概観する。

2. 避難行動の計測

避難効率を上げるためには、避難行動を計測し、避難行動の傾向を把握する必要があるが、計測すべき行動とその計測手法に関して Hoogendoorn らの歩行者の行動分類を利用する。Hoogendoorn ら^{(1),(2)}は歩行者の意思決定や行動をその機能に応じて、他の歩行者や障害物との衝突を回避し、目的地や経路地に向かうための移動先を決定する Operational level, 目的地までの経路や経路地を決定する Tactical level, 目的地を決定する Strategic level の三つのレベルに分類した。本章では、上記の三つのレベルの行動を計測するセンサを概観し、複数のセンサを統合して実際の避難訓練を計測し、分析した事例を紹介する。

山下倫央 独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門
E-mail tomohisa.yamashita@aist.go.jp
副田俊介 独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門
E-mail shunsuke.soeda@aist.go.jp
大西正輝 正員 独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門
E-mail onishi@ni.aist.go.jp
依田育士 正員 独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門
E-mail i-yoda@aist.go.jp
野田五十樹 独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門
E-mail i.noda@aist.go.jp
Tomohisa YAMASHITA, Shunsuke SOEDA, Itsuki NODA, Nonmembers, Masaki ONISHI, and Ikushi YODA, Members (Information Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba-shi, 305-8568 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.94 No.4 pp.294-298 2011年4月
©電子情報通信学会 2011

2.1 計測方法の分類

2.1.1 Operational level の計測

Operational level の行動を計測するためには、歩行者の速度や加速度、歩行者間及び歩行者と障害物の距離を計測する必要があり、数 ms ごとの歩行者の位置データを数 cm 単位の精度で検出することが必要とされる。このようなデータを計測できるセンサとしては、ステレオカメラ^{(3)~(5)}やレーザレンジスキャナ⁽⁶⁾が挙げられる。ただし、計測可能な範囲がステレオカメラは数 m 四方、レーザレンジスキャナは遮蔽物のない数十 m 四方に限られるため、避難を開始した場所から最終的な目的地までの全域で避難者を追跡することは難しく、計測範囲は避難経路上の一部に限られる。

2.1.2 Tactical level の計測

Tactical level の行動を計測するためには、各避難者が選択した避難経路を特定し、その通過時刻を計測することが必要とされる。ただし、数~10 数 m 四方のエリアにいることが判定できれば、複数の分岐路があっても経路を特定できるので、この計測に適したセンサとして無線 IC タグ (RFID システム) や無線 LAN 測位システムが挙げられる。各避難者の連続した経路選択の結果を必要とせず、分岐路における各経路への分岐率や通過人数、通過開始・完了時間だけであれば、単眼カメラを用いた計測システム⁽⁷⁾や人手によるカウントも有効である。無線 IC タグの場合、計測による避難行動への干渉を防ぎ、データの回収や機器のコストを抑えるために、電池内蔵のアクティブタグを避難者に持たせて、経路地にレシーバを設置する方式が適している。

無線 LAN 測位システムの場合、電波強度からタグとレシーバ間の距離を算出する RSSI 方式の測位^{(8), (9)}で 5 m 程度の精度、アクセスポイント間の信号受信時間差を利用する三辺測量による TDOA 方式の測位^{(8), (10)}で 1

m 程度の精度があるため、経路地の通過時間を正確に計測する場合にも対応できる。

2.1.3 Strategic level の計測

避難者が最終的に到達した目的地や到着時間を計測するには、Tactical level と同様の計測でデータが取得できる。また、各避難者が利用した出口のデータだけであれば、訓練後のアンケートでも取得可能である。

2.2 計測及び分析の対象

2.2.1 実働避難訓練の計測

避難行動を計測する対象として、できるだけ実際の避難状況に近い状態が望ましいが、実際の避難時の計測を前提とすることは発生頻度の点からも現実的ではなく、実験的な環境や避難訓練における行動の計測が望ましい。実験的な環境では被験者に与える条件によって、実際の災害状況に近い心理状態で計測が可能だが、大規模な避難を再現したり、実際の商業施設を利用することは難しい。歩行者の速度や密度といった Operational level の行動を対象として単眼カメラを利用し、目視で画像を分析した事例⁽¹¹⁾があるが、ステレオカメラやレーザレンジスキャナを用いて詳細に避難行動が計測された事例は少ない。それに対して、避難訓練では実際の施設を利用するため、ボトルネックや訓練参加者の避難経路の選択傾向を計測でき、実際の避難誘導へフィードバックできる。しかし、訓練参加者に緊迫感を与えて、災害時と同様の状況を再現することは困難である。通常の避難訓練で避難完了時間が計測されることがあるが、それ以上詳細なデータが計測された事例は少ない。

本節では、大規模商業施設であるリバーウォーク北九州 (以下、RW) で実施された避難訓練において、山下⁽¹²⁾が Operational, Tactical, Strategic level の統合的な計測を行った事例を紹介する。この避難訓練には約 600

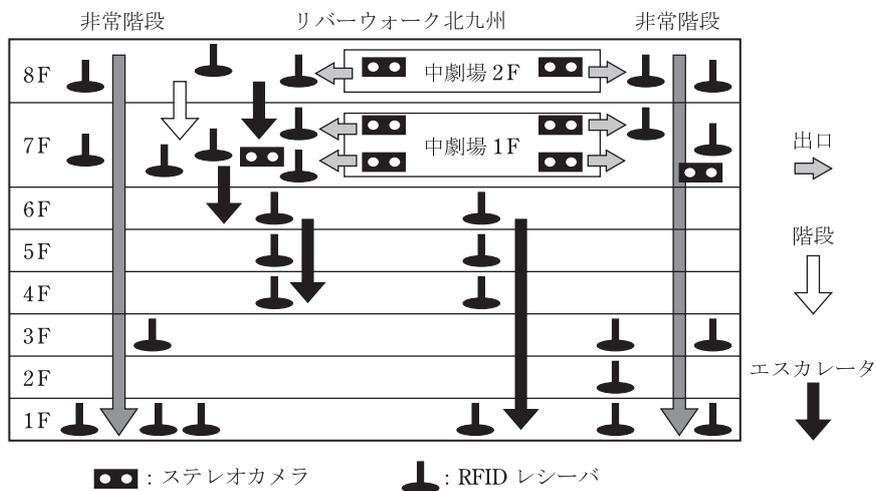


図1 中劇場からの避難経路



図2 扉1(1階)付近での動線

人が避難者として参加し、RW 7, 8階の北九州芸術劇場中劇場から1階まで避難した。避難は2回実施され、1回目は避難誘導がない状態で避難し、2回目は旗や掛け声で劇場スタッフが訓練参加者を非常口に誘導した。1回目と2回目の計測データを分析することで、避難誘導の効果を検証した。中劇場1階には前後左右の4箇所、2階には左右の2箇所に扉があり、中劇場から出た後は通常の入退場に利用されるエスカレータの他に2系統の非常階段がある。中劇場からの避難経路を図1に示す。

避難経路を移動する訓練参加者の行動はステレオカメラ8台、RFID レシーバ39台、カウント要員40人によって記録した。ステレオカメラは中劇場にある6箇所全ての出入口と、エスカレータ前、非常階段に設置し、文献(3)の手法を用いて避難動線を記録し、Operational levelの避難者の扉や廊下、階段の通過速度や密度を計測した。図2に扉付近での動線抽出結果を示す。アクティブRFID タグを440人の参加者に持たせることでTactical levelの避難経路を測定した。また、カウント要員はノートPC上のアプリケーションを用いて事前に設定した通過ラインを訓練参加者が通過したときに通過時刻を記録し、訓練参加者の経路選択の割合とその通過開始・終了の時刻を計測する。

2.2.2 分析結果

避難誘導の有無という条件の異なる避難訓練の計測結果を比較することで、避難誘導の効果が明らかになった。ステレオカメラの計測データから中劇場の出口の流量や歩行速度を計測し、避難誘導の有無は訓練参加者の移動速度、歩行者密度、中劇場からの退出時間にはほとんど影響しないことを確認した。RFID システムの計測データからは、非常階段の利用者が増加し、参加者の選択した経路のばらつきが減少するという結果を確認した。北九州芸術劇場の避難誘導係が避難誘導する際に

は、非常階段を使わせ、RW 6, 7階連絡エスカレータを多用させないという方針が反映された結果である。通過カウントの計測データからは、非常階段への誘導により中劇場からRW 1階までの避難完了時間を12分から8分への短縮したことを確認した。この計測と分析によって、Tactical levelに対応する適切な経路への誘導が避難完了時間の短縮に貢献し、積極的な非常階段への避難誘導の有効性を確認した。

3. 避難行動の予測

近年、各避難者の動きを再現する歩行者シミュレーションが避難経路の流量の確認や避難誘導計画の安全検証に用いられてきている。歩行者シミュレーションで避難行動を再現することで、通路の流率や避難者の分散状況が避難時間に与える影響等を扱うことができる。2.で紹介された計測技術を用いて歩行速度や経路選択が計測できるため実際のデータを反映した精緻なシミュレーションが可能となってきた。また、シミュレーションによって避難対象者の行動の傾向が把握できれば、避難訓練等で歩行者データを確実に取得するために必要となるセンサの性能や数量、それらの配置位置に関する指針が得られる。更に、シミュレーション結果に基づく計測と計測データに基づくシミュレーションを繰り返して正確性の高い計測とシミュレーションが実現できれば、実効性の高い避難誘導計画の立案に関して多くの知見を生むことが期待される。本章では、従来研究で提案された歩行者モデルや実用化されている歩行者シミュレータを概観し、避難誘導計画の検証・立案の支援に特化した避難シミュレーションに関する新たな取組みを紹介する。

3.1 歩行者モデルの分類

近年、数多くの歩行者シミュレータ⁽¹³⁾が開発されているが、それらの多くは歩行者が移動する空間の表現方法として、連続空間上を歩行者が移動する二次元連続空間モデル^{(14)~(16)}や空間をグリッド状に分割したセル上を歩行者が移動するセルオートマトンモデル^{(17),(18)}を採用している。図3(a)に示す二次元連続空間モデル上での移動モデルでは、歩行者が二次元平面上で他の歩行者や障害物を回避したり、目的地方向へ移動するという条件を満たす移動方向、移動距離や移動速度を算出する。図3(b)に示すセルオートマトンモデルでは、目的地方向の空いたセルへ確率的に移動したり、過去の通過した歩行者の移動傾向を模倣する。これらのモデルでは歩行者同士の干渉や障害物回避を扱うOperational levelに重点が置かれている。

避難行動を扱うためには、歩行者の移動アルゴリズムを記述した歩行者モデルだけでなく、歩行者の歩行可能

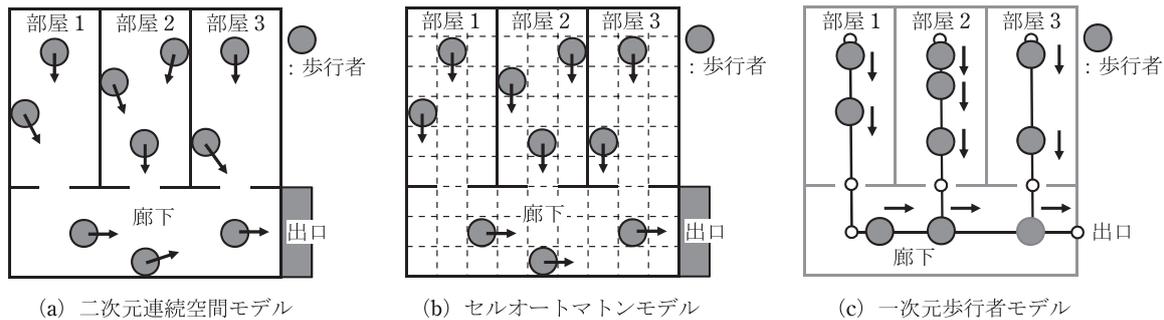


図3 空間モデル

領域を編集するエディタやシミュレーションの結果を可視化するビューアも必要となる。そのような総合的なシミュレーション環境として、エアンドエー株式会社が開発している SimTread⁽¹⁹⁾ やスイスの Savannah Simulations AG 社が開発している SimWalk⁽²⁰⁾ が一例として挙げられる。

3.2 避難誘導計画の検証

効果的な避難誘導という視点からは、避難者を適切な避難経路に分散させることが重要であるため、避難者全体の Tactical level における経路選択が重要となる。3.1 の Operational level に重点を置いた従来の歩行者モデルは、レイアウトの形状が混雑発生に与える影響の評価には適しているが、計算速度や利用メモリの増大といったことから、多数の条件下での大規模な施設全体の避難誘導計画の検証には適していない。そのため、副田ら⁽²¹⁾ は避難過程を高速に計算するために、Operational level の計算を簡約化した次元歩行者モデルを提案し、避難シミュレータ NetMAS を実装した。次元歩行者モデルでは、部屋や廊下といった歩行者の移動可能範囲は長さを持つリンクで表現し、歩行者の位置はリンク上の進行方向のノードからの距離で表す。また、歩行者の移動速度は直前の歩行者との距離から決定する。次元歩行者モデルでは、近傍の歩行者の探索や移動方向を決定する計算を省略するため、従来モデルに比べて高速計算が可能で、多数の条件下における大規模な施設の避難誘導計画の検証に適している。図3(c)の次元歩行者モデルは図3(a), (b)と同様の歩行者の配置と歩行可能範囲をモデル化している。ただし、次元歩行者モデルは二次元連続空間モデルやセルオートマトンモデルとは異なり、二次元的な広がりを持たないため、歩行者は次元のリンク上のみ存在する。

副田らは、2. で紹介した RW における実働避難訓練で計測した歩行者の経路選択のデータを基に、NetMAS を用いて 480 通りの条件下で劇場からの避難時間に影響を与える要因の検証を行い、避難経路の分散の重要性を示した⁽²¹⁾。また、山下らは NetMAS を用いて 1,024 通

りの条件下でターミナル駅の対処行動の遅れが被害状況へ与える影響の検証を行い災害発生初期の迅速な対応の重要性を示した⁽²²⁾。

4. あとがき

本稿では、安全安心を実現するための避難誘導の実現に向けて、歩行者の行動を Operational, Tactical, Strategic level の三つのレベルに分類し、センサによって取得された避難行動のデータを活用して新たな知見を得るためのセンサデータマイニング技術として、各種センサを用いた人の流れの計測技術とシミュレーション技術を概観した。

近年、消防法の改正により、大規模な施設の防災管理者の扱う対象は火災だけではなく、地震や毒性物質の発散その他の特殊な災害と対象が拡大しているが、現状では具体的な避難誘導計画は欠けている。避難時の行動データに対するニーズは高まっているため、大規模な実験被験者や避難訓練参加者の計測技術だけでなく、データの取得に関する社会的な合意を得つつ、データを蓄積・共有する枠組を構築することが求められている。また、避難誘導を含む災害時の対処行動や避難誘導計画の有効性が実証的に確認される機会は災害時に限られるため、シミュレーション技術による事前検証は今後必要性が増すことが考えられる。災害時に取るべき・取るべきではない行動の合意形成を促すツールとして防災関係者をはじめとして、広く一般にも普及することが期待される。

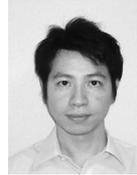
文献

- (1) S.P. Hoogendoorn, P.H.L. Bovy, and W. Daamen, Microscopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics Modelling, Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp. 123-154, Springer, Berlin, 2001.
- (2) A. Steiner, M. Philipp, and A. Schmid, "Parameter estimation for a pedestrian simulation model," Swiss Transport Research Conference, p. 29, 2007.
- (3) 大西正輝, 依田育士, "ファジィクラスタリングを用いたステレオ映像からの動線抽出," 電学論, vol. 128, no. 9, pp. 1438-1446, 2008.

- (4) 馬場賢二, 榎原孝明, 湯浅裕一郎, “画像処理による人流計測システム,” 東芝レビュー, vol. 61 no. 12, pp. 35-38, 2006.
- (5) 梅田和昇, 寺林賢司, 橋本優希, 中西達也, 入江耕太, “差分ステレオ運動領域に注目したステレオ視一の提案,” 精密工学会誌, vol. 76, no. 1, pp. 123-128, 2010.
- (6) H. Zhao, J. Cui, H. Zha, K. Katabira, X. Shao, and R. Shibasaki, “Monitoring an intersection using a network of laser scanners,” Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC08), pp. 428-433, 2008.
- (7) 構造計画研究所, “Vitracom SiteView,” Oct. 2010, <http://www4.kke.co.jp/keisoku/siteview/index.html>
- (8) AeroScout, Inc., “AeroScout,” Oct. 2010, <http://www.aeroscout.com/>
- (9) Ekahau, Inc., “Ekahau Positioning Engine,” Oct. 2010, <http://www.ekahau.com/>
- (10) (株)日立製作所, “日立 AirLocation,” Oct. 2010, <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/index.html>
- (11) 佐野友紀, 竹市尚広, 木村 謙, 大宮喜文, 吉田克之, 渡辺仁史, “高層建築物避難を想定した階段室における在館者群集の合流特性,” 日本建築学会計画系論文集, no. 598, pp. 51-56, 2005.
- (12) 山下倫央, 副田俊介, 野田五十樹, “避難誘導効果の検証に向けた人流計測,” 情処学研報, vol. 2010-ICS-158, no. 9, pp. 1-8, 2010.
- (13) E.D. Kuligowski and R.D. Peacock, “Review of building evacuation models,” Technical Report, NIST, 2005.
- (14) 木村 謙, 佐野友紀, 林田和人, 竹市尚広, 峯岸良和, 吉田克之, 渡辺仁史, “マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現,” 日本建築学会計画系論文集, vol. 74, no. 636, pp. 371-377, 2009.
- (15) 浅野美帆, 井料隆雅, 桑原雅夫, “交錯交通の容量評価のためのマイクロ歩行者行動モデル,” 交通工学, vol. 43, no. 4, pp. 80-89, 2008.
- (16) D. Helbing and P. Molnár, “Social force model for pedestrian dynamics,” Phys. Rev. E, vol. 51, no. 5, pp. 4282-4286, 1995.
- (17) K. Nishinari, A. Kirchner, A. Namazi, and A. Schadschneider, “Simulations of evacuation by an extended floor field CA model,” Proceeding of Traffic and Granular Flow'03, pp. 405-410, 2003.
- (18) 森下 信, 中塚直希, “セルオートマトンによる緊急避難時の群衆流解析,” 機械力学・計測制御講演論文集: D & D, p. 308, 2002.
- (19) 峯岸良和, “建築設計における避難シミュレーションの利用例,” 日本火災学会「避難シミュレーションモデルの現状とこれから」に関するシンポジウム予稿集, pp. 38-55, 2010.
- (20) Savannah Simulations AG, “SimWalk,” Oct. 2010, <http://www.savannah-simulations.com/simwalk/index.html>
- (21) 副田俊介, 山下倫央, 大西正輝, 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,” 情処学第 81 回数理モデル化と問題解決研報, vol. 2010-MPS-81, no. 6, pp. 1-6, 2010.

- (22) T. Yamashita, S. Soeda, and I. Noda, “Evacuation planning assist system with network model-based pedestrian simulator,” Proceedings of 12th International Conference on Principle in Multi-Agent System, Springer Verlag, vol. 5925, pp. 649-656, 2009.

(平成 22 年 12 月 13 日受付 平成 23 年 1 月 12 日最終受付)



やました ともひさ
山下 倫央

2000-2003 日本学術振興会特別研究員。2002 北大大学院工学研究科システム情報工学専攻博士課程了。2003 独立行政法人産業技術総合研究所入所。現在、同所情報技術研究部門研究員。社会システムシミュレーションの研究に従事。博士(工学)。



そえだ しゅんすけ
副田 俊介

2006 東大大学院総合文化研究科博士課程了。同年公立はこだて未来大を経て、現在、独立行政法人産業技術総合研究所特別研究員。人工知能技術の研究に興味を持ち、マルチエージェントシミュレーションの研究に従事。博士(学術)。



おにし まさき
大西 正輝(正員)

2002 阪府大大学院博士後期課程了。同年理化学研究所バイオ・ミメティックコントロール研究センター研究員を経て、2006 独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門研究員。現在に至る。ステレオビジョンを用いた研究、ロボットの認知・知識処理に関する研究に従事。博士(工学)。



やまだ いくし
依田 育士(正員)

1992 都立科技大大学院工学研究科修士課程了。同年電子技術総合研究所入所。組織再編により、現在、独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門主任研究員。コンピュータビジョンや画像認識の研究に従事。博士(工学)。



のだ いっすき
野田 五十樹

1992 京大大学院工学研究科博士後期課程了。同年電子技術総合研究所入所。組織再編により、現在、独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門主任研究員。マルチエージェントシミュレーション、機械学習、災害情報システムなどの研究に従事。博士(工学)。