

高齢者施設における転倒を考慮した マルチエージェント火災避難シミュレーション

谷本鯛介^{†1} 佐野睦夫^{†2}

概要: 現在, 日本では高齢化社会に伴い認知症患者数が増加傾向である. そのような現状から高齢者福祉施設 (グループホーム) の需要が高まり, 施設数は年々増加している. 高齢者は, その認知的/身体的衰えによって健常者と同様な避難行動が困難であり, 高齢者が安全に避難できるような仕組みが求められている. そこで, 高齢者施設において災害時, 避難の際の避難行動を予測することが安全策の一つの指標になるのではないかと考えた. 本研究では, 身体障害者, 高齢者等のグループホームに在籍する人の転倒を主目的とする身体的な傾向を考慮したシミュレーション手法を提案する. 具体的には, シミュレーション上での避難リスク, 在籍数と介護職員数によって避難完了人数の変化の試算や検証を行い考察する.

キーワード: 火災避難シミュレーション, マルチエージェントシステム, 認知症患者, 転倒確率

Multi Agent Fire Evacuation Simulator Against Falling Accident of Elderly Welfare Facilities

TANIMOTO TAISUKE^{†1} SANO MUTSUO^{†2}

Abstract: Currently, patients with dementia have increased depending on the aging society in Japan. Accordingly, the demand for elderly welfare facilities (group homes) is rising year by year. It is difficult that elderly persons can evacuate smoothly in the same way as able-bodied persons due their cognitive/physical declining. Here we require a system for supporting their evacuation from disaster. It is important to predict their evacuation behavior at the elderly welfare facility for safe evacuation. We propose and develop a simulation method against falling accident of elderly persons who live in a group home of disabled, elderly, etc. The evacuation completion time and evacuation risk are verified through simulation based on this proposed method.

1. はじめに

現在, 日本では高齢化社会に伴い認知症患者数が増加傾向である. 2013 年 6 月に厚生労働省が発表した認知症有病率等調査によると, 65 歳以上の認知症の有病率は 15%, 全国の認知症患者数は約 462 万人と推計されている. さらに 2025 年には認知症患者数は約 700 万人に達するとの新たな推計を 2015 年 1 月 7 日に厚生労働省が明らかにした[1]. この数は 65 歳以上の高齢者の 5 人に 1 人にあたる.

そのような現状から高齢者福祉施設 (グループホーム) の需要が高まり, 施設数は年々増加している. このような施設においては災害時の避難の際, 何らかの支援が必要である災害時要支援者は多数存在し, その施設での介護従事者にとって避難行動を予測することが避難安全性確保の観点に立った指標になるのではないかと考えた.

本研究では, 身体障害者, 高齢者等のグループホームに在籍する人の特徴である, 寝たきり, 車いす, 歩行速度の低下及び歩行介助, そして安全に避難行動を行うことが

できないと想定する認知症患者の転倒などを考慮し組み入れた避難シミュレーションモデルを作成する. そして, シミュレーション上での避難時間, 避難リスク, 介助者数によって避難完了時間の変化の試算や避難完了人数の検証を行うことを目的とする. なお, シミュレーションには統合開発環境を内蔵し, 複数のプラットフォームに対応する Game Engine Unity5 を使用する.

2. 関連研究

避難行動に関する研究は, CA を用いた歩行シミュレーションや個別要素法を用いた避難行動シミュレーション, 人間の行動をポテンシャルで規定した地下街の安全性の検討, 誘導員による避難誘導を行うもの, 情報の伝達を考慮した避難行動シミュレーションなど様々な研究が行われている. さらに高齢者施設に注目した避難シミュレーションがいくつか提案されていたものの高齢者の歩行速度が動的ではない, 煙などで避難行動に与える影響がない, また認知症患者の転倒を含めた避難シミュレーションは存在しなかった. 本研究では, 以上の要素を含めた避難シミュレーションを作成し, シミュレーション上での避難について評価を行う.

^{†1} 大阪工業大学大学院 情報科学研究科
谷本鯛介

^{†2} 大阪工業大学情報科学部
佐野睦夫

3. エージェントシミュレーション

エージェントシミュレーションとは「多数の自立した主体からボトムアップにシステムを構成する」手法である。システムの個々の要因をエージェントとし、エージェントを自律的に移動させ、システム全体のシミュレーションを行う。複雑なシステムであっても、要因のモデルであるエージェントをうまく設計することで、システムの特徴分析や挙動予測、再現が可能となる[2]。

4. 提案する避難シミュレーション概要

本シミュレーションモデルは高齢者福祉施設で発生する火災からの避難行動を予測するものである。施設内には避難を誘導、避難者を介助する介助者エージェントといくつかの属性がある高齢者エージェントを設定することができる。火災が起きた際には、自力避難可能な高齢者エージェントは避難を開始、避難不可能なエージェントは介助者エージェントが救出するまで各自待機する設定となっている。介助者エージェントはフロアを探索し、死傷者を除く全員が避難完了するとシミュレーションを終了する。シミュレーションのシステム概要を図1に示す。

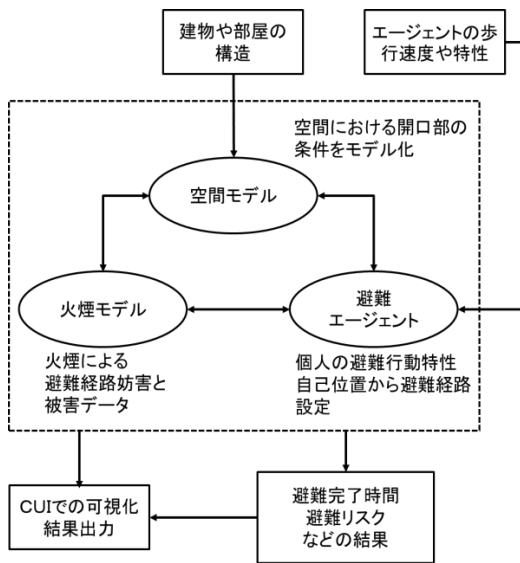


図1 避難シミュレーションの概要
Figure 1. Outline of Evacuation Simulation

高齢者福祉施設の避難の現状として、自力避難が困難な入居者数が多くなれば、全体の避難完了時間に介助行動の影響が大きくなる。自力困難が可能な入居者が一度に施設内を動き出しても混雑し避難行動が進まない。以上のことから高齢者福祉施設における避難行動特性に関するパラメータを表1に示す。これは国内の特別高齢者施設で実施された実測調査の結果に基づく値である[3][4]。

表1 避難行動に関するパラメータ

Table 1. Evacuation Behavior Parameters

	平均歩行速度	介助器具への 移し替えに必要な 時間	開口部の通貨 に要する時間	避難行動時の 占有面積(円の 半径)
自力避難可能な入居者	0.5m/sec(2)			0.5m
車椅子での介助を要する入居者	[1.5m/sec]	[15sec]	[9sec]	0.5m[0.7m]
ストレッチャーでの介助を要する入居者	[1.5m/sec]	[25sec]	[9sec]	0.5m[1.0m]
介助者	2.0m/sec(1)			0.5m

注：[]内の数値は介助行動の値を示す。

また、自力避難が可能な入居者と介助者の水平歩行速度は表1では一定値であるが本来の避難現場では動的である。歩行速度 v と避難者の密度 ρ の関係を示した中村のモデル式(1)[5]とそれを高齢者に適応した式(2)[6]を用いて各エージェントに設定した。

$$v = 1.4 - 1.7e^{-\rho} \quad (1)$$

$$v = 0.9 - 1.7e^{-\rho} \quad (2)$$

避難者の密度 ρ はエージェントの現在位置から半径2.4mの面積にいる避難者数から決定する。

4.1 空間のモデル化

本シミュレーションに使用する空間モデルは糸井川らの研究[7]に使用された、つくば市内の介護保険施設およびグループホームに設定した。この施設のフロアを図2に示す。

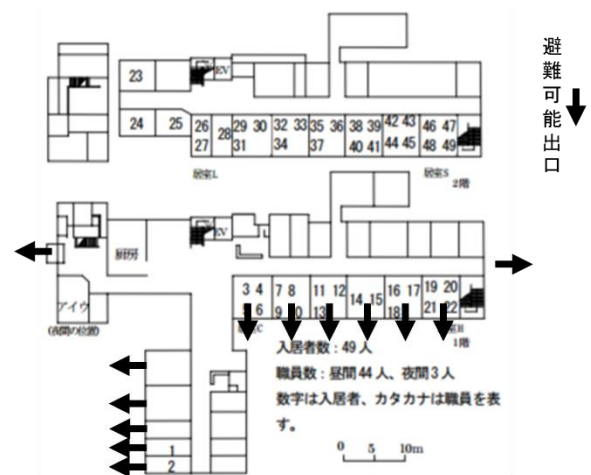


図2 つくば市内の介護保険施設のフロア図
Figure 2. Floor Map of Nursing Care Facilities in Tsukuba City

この施設は昭和60年7月に開設された、二階建ての鉄筋コンクリートの施設である。入居者の特徴として、常に介護が必要で在宅での介護が困難な人に対し日常生活上で世話を提供する施設とされている。しかし、自力歩行可能な

入居者も存在している。非常時にはエレベーターの使用ができない。

4.2 介助者エージェントモデル

介助者エージェントとは施設従事者である。災害が起こると要介護者を避難場所へ搬送するなど救助活動をおこなう。行動を図3に示す。

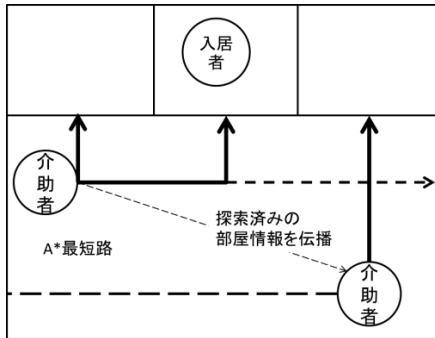


図3 介助者エージェントの行動
Figure 3. Behavior of Caregiver Agent

介助者エージェントは各部屋に残った人の有無を目視で確認し、施設内すべての部屋を探索する必要がある。それには迅速で最短な救助経路を選択必要である。そのためエージェントの救助経路にはA*(a-star)アルゴリズムを採用した。A*アルゴリズムとは、経路探索の開始地点から目的地までの最短距離推定値を用いて経路探索を行うアルゴリズムである。経路探索の開始地点から目的地まで、ある地点 p を通る経路の最短距離推定値を $f(p)$ 式3のように表すことができる。

$$f(p) = g(p) + h(p) \quad (3)$$

ここで、 $g(p)$ と $h(p)$ は以下の意味を持つ。

- $g(p)$: 経路探索の開始地点から地点 p までの最短距離推定値
- $h(p)$: 地点 p から目的地までの最短距離推定値

A*アルゴリズムは経路探索を進める過程で、各地点 p に対して $f(p)$ の値を求め、その値が最も小さなノードを経路として選択する。エージェントの占有面積は0.5mである。

4.3 自力避難エージェントモデル

施設入居者の中にも自力避難可能な者は存在する。このエージェントの避難時の移動速度は式(2)を設定する。避難経路の設定方法は介助者エージェントと同様にA*探索を用いて現在地から避難口までの最短経路を計算し移動する。移動の際には煙などの避難障害物を考慮し、避難不可だと判定すると経路を計算し再設定を行う。エージェントの占有面積は0.5mである。自力避難エージェントを図4に示す。

す。



図4 自力避難エージェント
Figure 4. Self Evacuation Agent

4.4 要介護者エージェントモデル

要介護者エージェントとは自力避難困難な入居者のことである。このエージェントは介助者エージェントに誘導されることで避難が可能になる。エージェントの種類として車いすで移動、ストレッチャーで移動の2種類を用意した。それぞれの介助時間は表1を参考にパラメータを設定する。

4.5 火煙エージェントモデル

火煙エージェントモデルはシミュレーションの時間経過に応じて、空間モデル内に火煙情報を表示し各エージェントに対して、避難可能経路か否かの情報を与えるものである。本モデルでは、煙の進行速度を1.0m/s[6]、火の進行速度を0.1m/s、と設定した。火煙エージェントを図5に示す。

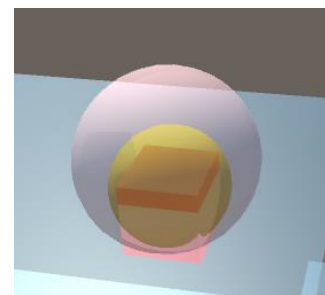


図5 火煙エージェント
Figure 5. Smoke Agent

4.6 転倒を考慮した認知症患者エージェントモデル

転倒の頻度は、在宅生活者と病院入院、施設入居者との間で異なり、入院・入居者で高頻度となっている。これは、病院入院・施設入居者には何らかの身体的問題もしくは機能障害が存在していることが多く、結果的に転倒リスクが高いことによると解釈される。65歳以上の在宅生活者の1年間の転倒発生率が約20%に対し、主に老人ホームの入居者の転倒確率は安村の調査によると最大約40%[8]と明らかな差がある。よって高齢者福祉施設における避難時の際は入居者の転倒が多発し避難完了時間や他の避難者の避難経路に影響を与える可能性がある。転倒要素を施設におけ

る避難シミュレーションに組み込むことで、より現実に近い避難行動を予測することが可能になるのではないかと考

なることによって発生すると考えられている。江藤らの提唱などに基づいて作成した図に見るように、転倒の要因は入居者本人に所見・症状・特徴として認められる内的要因

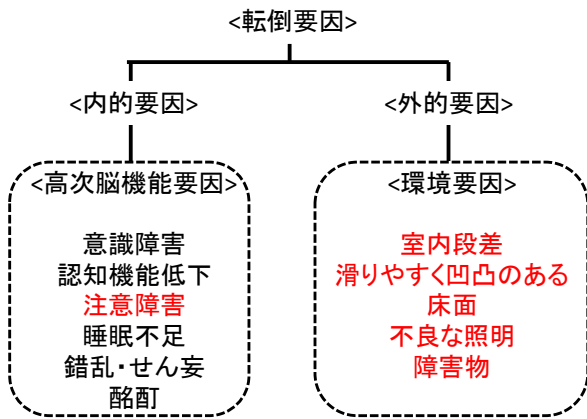


図6 転倒要因のまとめ
Figure 6. Summary of Fall Factors

4.6.1 転倒確率について

前節では高齢者の転倒の要素について述べた、本研究では外的要因に含まれる環境要因と、内的要因内の高次脳機能要因の2要素から転倒確率を求めエージェントに実装することで認知症患者の転倒を再現する試みである。外的要因である環境要因として高齢者の転倒が多発する場所を選択する。内的要因として認知症患者に顕著に症状として現れる認知機能の低下のうち、注意機能に注目した。注意機能と転倒には相関があり、能力値が低いほど転倒する確率が高くなる。また、この注意機能はストレスのレベルによって変化するといわれている。避難時におけるストレスレベルに伴う注意機能の変化から動的に転倒確率を算出する。

算出方法に関しては、3つのステップを経て算出する考えである。①避難時におけるストレスレベルが上昇する状況の分析を行う②ストレスと注意機能スコアの相関を取る③注意機能スコアと転倒の相関を取り確率を算出する。ストレス値、注意機能スコア、転倒回数の多変量解析を行う。外的要因の環境について、内閣府の調査によれば転倒事故は、滞在時間当たりの転倒事故発生率が多い順に玄関、エントランス(23.0%)、廊下(13.5%)、階段(11.5%)、トイレ(7.6%)、居間(1.2%)、浴室(1.0%)、キッチン(0.5%)、洗(0.4%)、食堂(0.2%)であった[10]。また内的要因の注意機能と転倒の相関について注意の選択機能を視覚的かつ数量的に評価する検査として広く知られ、注意機能の机上検査法として、信頼性と妥当性が確認されている Trail making test-Part A(TMT-A)を用いて在宅障害高齢者の注意力を測定し、転倒との関連性を検討し1年間に及ぶ転倒経験者と未経験者

えた。高齢者の転倒は、多岐にわたる多種多様な要因が重

と入居者を取り巻く外的要因の2つに分けて考えるのが良いと思われる[9]。図6に要因のまとめを示す。

のTMT-Aを計測した結果、有意差が認められた[11]これにより注意能力スコアによって転倒発生率が変化することが分かる。転倒における動的確率の概要とイメージを図7、図8に示す。

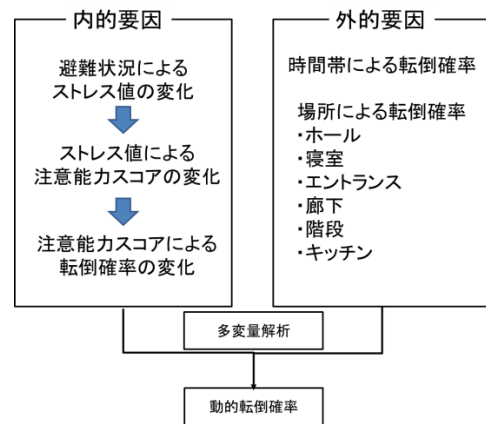


図7 転倒における動的確率の算出フロー

Figure 7. Flow of Calculation of Dynamic Probability in Fall

- ①火元に近い
内的転倒確率:高(注意能力↓)
外的転倒確率:7%
- ②火元から離れている
内的転倒確率:中(注意能力→)
外的転倒確率:1%

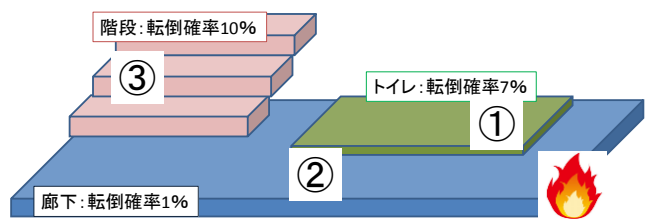


図8 動的転倒確率のイメージ

Figure 8. Image of Dynamic Fall Probability

4.6.2 転倒の動的確率算出方法について

多変量解析で用いる目的変数は転倒リスク、注意能力値、避難状況によるストレス値を予定している。これらは量的であるので重回帰分析、正準相関解析を行い内的要因の転倒確率の予測式を発見する予定である。

5. 避難行動の評価

避難完了時間に加え、避難中の避難完了人数の評価のため平均避難時間を指標とした。また、入居者の持つ避難リスクは居室と出火箇所の距離に反比例すると考え、以下の式(4)のように定義し、指標とした[7].

$$r_{ei} = \frac{1}{l_i(t)} \quad (4)$$

- r_{ei} : 時刻 t における入居者 i の瞬間避難リスク [1/m]
 - $l_i(t)$: 時刻 t における入居者 i の出火箇所からの距離 [m]
- ただし、出火場所の入居者リスクは 1 とする。

また施設の避難リスクは、入居者の瞬間避難リスクの避難完了時間と入居者数の総和を考え、以下式(5)のように定義している。

$$R_{ei} = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_{ei}} r_{ei}(t) dt = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_{ei}} \frac{dt}{l_i(t)} \quad (5)$$

- R_{ei} : 施設全体の避難リスク [s/m]
- n : 入居者数 [人]
- T_{ei} : 入居者 i の避難完了時間 [s]

さらに、避難エージェントの現在座標が火煙エージェントの座標より値が大きい場合、避難リスクの算出方法は出火場所からの距離ではなく煙との距離を計測する。煙は上に移動する特性によって変更した。火災において被害は多くの場合、煙の影響である。煙によって視界、呼吸、避難経路も妨害を受ける。計測方法を図9に示す。

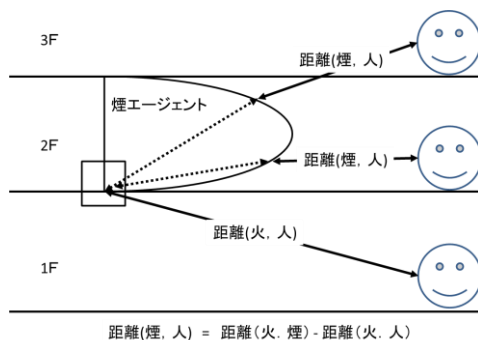


図9 距離の算出方法

Figure 9. Distance Calculation Method

6. 実験・結果・考察

現在、高齢者の認知症患者の転倒を考慮した避難シミュレータは開発中である。本研究における準備段階における健全者エージェントを用いた避難シミュレーションにおいて避難リスクの評価を行う。

6.1 実験

使用する空間モデルは本学の校舎に設定し、出火場所に

よる避難リスクの変化を観察する。空間モデルを図10に示す。

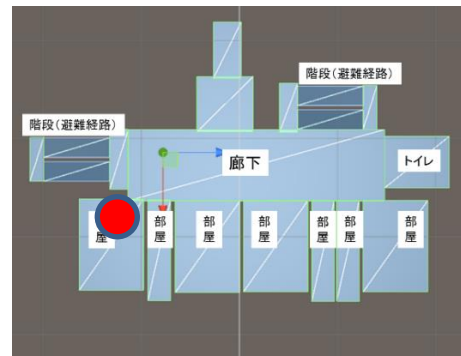


図10 空間モデル

Figure 10. Spatial Model

図10を1フロアとし、本学は6階まであるので6フロア存在する。6F-2Fまで大部屋に5人、小部屋に1人、1Fにはフロアで3人設置した。これは通常時の校舎在籍人数計100名である。本学の避難マニュアルとして火災時には1階まで階段を使い歩いての避難を行うので、避難経路としてエージェントは1階を目指して避難を開始する。本実験では図10の赤丸を各フロア6-2F出火場所に設定し行う。シミュレーションの様子を図11に示す。

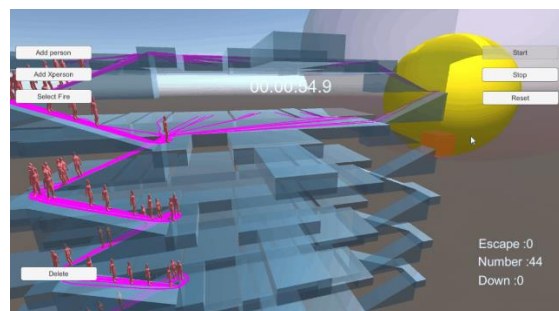


図11 シミュレーションの様子

Figure 11. State of Simulation

6.2 結果

実験結果を図12に示す。このグラフは各避難エージェントの瞬間避難リスクの平均推移を表したものである。

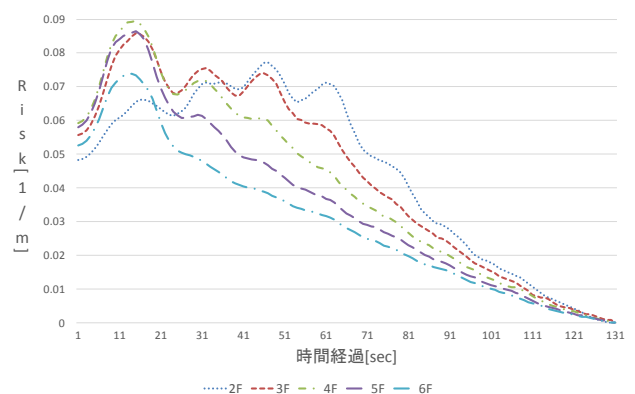


図 12 出火場所と瞬間避難リスクの変化

Figure 12. Change in Fire Place and Instantaneous Evacuation Risk

出火場所による施設の避難リスクの変化を図 13 に示す。

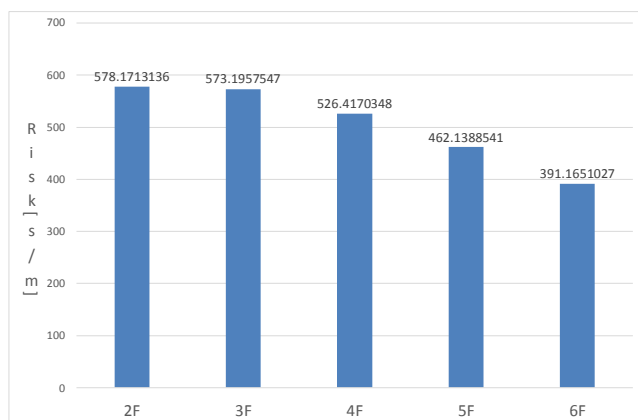


図 13 出火場所による施設避難リスクの変化

Figure 13. Change in Facility Evacuation Risk by Fire Place

6.3 考察

本実験では健常者エージェントによる出火場所による避難リスクの変化についてシミュレーションを用いて分析を行った。施設避難リスクに着目するとリスク最低値である6Fとリスク最高値の2Fを比較すると187pの差がある。2Fと3Fを比較すると差は5pとなった。この分析結果から出火場所が低層階ほど施設避難リスクは高まる事が分かる。また、平均瞬間避難リスクに着目すると、6F5F4Fの避難リスクは25secから平均的に減少の傾向にあるが2F3Fは55secまで顕著な減少は表れていない。これは高層階の出火において避難エージェントが危険に晒される時間が少なく、低層階では避難エージェントの危険な時間が長いことを示す。以上の分析結果を総括すると、平均瞬間避難リスク、施設避難リスクともに高まることから、低層階の出火は被害が大きいと予測できる。

7. 終わりに

本研究では高齢者施設における転倒を考慮した火災避難シミュレータの開発を実現するための技術、システム概要、開発方針を説明した。さらに開発途中の火災避難シミュレータを用いて本学における健常者の避難シミュレーションを行い、シミュレータの妥当性を実験によって検証した。

その結果、低層階になるにつれ避難リスクが上昇することから、火災時における既知の事実と同様の結果になった。

以上のことから避難エージェントの行動決定、火煙エージェントのルール、避難時の評価方法は正しく設定されていることが分かる。今回、転倒確率を有したエージェントは時間の関係上開発することはできなかったが開発を続けている。このシミュレーションの目的は各施設に制定されている避難時マニュアル（有事の際の避難誘導方法）を実際にシミュレーション上で実行し、避難時に高齢者施設において転倒アクシデントによる避難時間の変化、逃げ遅れ人数などを観察することである。これにより避難時マニュアルの安全性の確認、また違った避難方法によって避難リスクが減少すれば、より安全な転倒の少ない避難時マニュアルの提案ができるのではないかと考える。今後も高齢者施設が増加していく中で、避難困難な入居者の安全を確保することは必要不可欠であると考えられる。

参考文献

- [1] 厚生労働省, “わが国の高齢者介護における 2015 年の位置付け” <http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/kentou/15kourei/3a.html>
- [2] 堀宗朗: 地震時避難行動予測のためのエージェントシミュレーション土木学会論文集 A 2008
- [3] 東京消防庁, 火災予防審議会: 高齢者施設を中心とした災害弱者の防火安全対策に係る調査報告書, 1993.3
- [4] 海老原, 掛川秀史: 避難シミュレーションに基づく高齢者施設の避難安全の確保に関する考察 日本建築学会計画系論文集 1999.7
- [5] 中村和男, 吉岡松太郎, 稗田: 歩行者流動モデルとそのシミュレーション, 人間工学, 10, No182(1971), pp.21-32.
- [6] 大上俊之: 煙の影響を考慮したトンネル火災の避難行動シミュレーション 計算理工学論文集 Vol.8(2008.11)論文 No.01-081128
- [7] 糸井川栄一, 山下恵: 介護保険施設における非常時の避難誘導に関する研究, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文
- [8] 角田旦: 転倒をなくすために, 慈恵医大誌 2008;12:347-71
- [9] 江藤真紀: 転倒の予防と看護. 小玉敏江, 亀井智子編. 高齢者看護学. 東京: 中央法規; 2003.p.196-204
- [10] 内閣府: 高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査結果, 内閣府(2010), pp.39-44
- [11] 村田伸, 津田彰: 在宅障害者の身体機能・認知機能と転倒発生要因にかんする前向き研究, 心理療法学, 第 33 巻, 第 3 号 97104 項, 2006