

# 安心空間設計のためのMAシミュレーション

## Multi-Agent Simulation for Safety Space Design

和泉 潔\*  
産業技術総合研究所

西田 佳史  
産業技術総合研究所  
& CREST, JST

本村 陽一  
産業技術総合研究所  
& CREST, JST

### 概要

本研究では、幼児の家庭内事故の軽減の観点から、センサーデータの解析によって構築された移動者モデルのマルチエージェントシミュレーションにより室内レイアウトの事前評価を行う技術を提唱する。本手法により空間レイアウトと移動者と室内の物品の相互作用のモデル化を行う。さらにレイアウトの変更が危険率に与える影響をマルチエージェントシミュレーションにより推定する。さらに、より広域の空間での移動者間の相互作用のシミュレーション、および公共空間での移動者への誘導のための情報提示法を評価する手法への発展の可能性についても検討する。

## 1 家庭内事故の危険

**幼児と高齢者が危ない** 毎年、交通事故よりも多くの方が家庭内事故で亡くなっている。2005年の交通事故の死亡者数は10,028人だったのに対し、家庭内事故による死亡者数は12,781人であった[9]。中でも4歳以下の乳幼児と65歳以上の高齢者とは、家庭内事故による死亡率が不慮の事故による死亡の原因として突出している。本来、屋内空間は屋外での事故の危険性から守られた安心できる空間であるはずだが、これらの年代にとっては必ずしもそうではない。

**事故予防のためのリスク認知** 事故を予防するには、どういった状況で事故が起きやすいのかというリスクを認知することが重要である。交通事故に関しては、事故が起きやすい個所などを示したハザードマップを公開して、整備計画を作成したり歩行者や運転者の注意を喚起したりしている。家庭内事故においても同様に、家庭内空間の状況や生活者の日常生活行動のパターンに応じて、どのようなリスクがあるかを認識し、それを事故予防に役立てることは大切である。

**モノとヒトの相互作用から起きる事故** 家庭内事故の内訳をしてみると、転倒・転落といった内容の事故が2割近くを占め、溺死や窒息とともに事故の主な原因となっている。転倒や転落は日常生活空間内で行動するヒトと環境中の様々なモノとの相互作用によって引き起こされる事故である。空間内のモノの形状や配置によって起こりうる事故の種類や確率は変わってくるし、ヒトが空間内でどのような移動パターンを持っているかによってもリスクは変わる。このような相互作用を分析するための有効なツールとなりうるのがマルチエージェントシミュレーションである。モノやヒトをエージェントと見なして、エージェント間の相互作用のルールを書き出してシミュレーションをすることによって、様々な条件で起こりうる現象を事前に評価することができる。

---

\*連絡先：産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター  
〒135-0064 江東区青海 2-41-6  
E-mail : kiyoshi@ni.aist.go.jp

相互作用のシミュレーション 本研究では、幼児の家庭内での転倒事故のリスク評価を目的として、日常生活空間でのモノの配置と幼児の移動パターンとの相互作用のモデル化を行う。さらに、レイアウトの変更が危険率に与える影響をマルチエージェントシミュレーションにより推定する。マルチエージェントシミュレーションで一番重要なのは、エージェントの行動ルールが現実から乖離していないかどうかということである。いくら、複雑なシミュレーションでもエージェントの行動が現実を全く反映していないものでは、そのシミュレーション結果は現実の評価には全く使えないものになってしまう。そこで、本研究では実際の乳幼児の移動行動を計測したデータを使用して特徴的な移動パターンの抽出を行った。この現実のデータに基づく行動ルールをマルチエージェントシミュレーションに実装し、各行動パターンでのリスクの違いの分析も行った。

## 2 移動シミュレーション

本稿でのシミュレーションの目的として、図 1a に示すような部屋のレイアウトを決定するケースを考える。広さは  $4m \times 4m$  で下記の構成要素からなる。この空間で 1 才から 3 才の幼児が自由に移動する状況を考える。

- テーブル
- クッション 3 個
- 液晶テレビ
- めいぐるみなどのおもちゃ

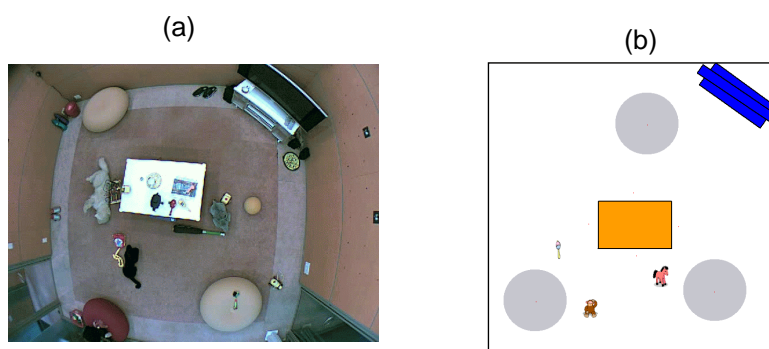


図 1: 対象空間とシミュレーション空間

### 2.1 目的地設定

本モデルの中で移動者は、まず自分が向かう目的地の決定を行い、目的地への移動を行う。目的地にたどり着いた時に、次の目的地を決定して移動するという手順を繰り返す。

本研究の移動シミュレーションに関する特色の一つは、幼児の移動に関する多様な目的を取り扱っている点である。具体的には目的地の決定の時に、移動者が現在いるフェーズによって、次の目的がどこになるかが変わってくるのである。例えば、現在おもちゃ遊びのフェーズにあるときには、次の目的地はおもちゃのある場所が選ばれる可能性が高く、机の回りをぐるぐる回るフェーズの時には、机の近くが次の目的地に選ばれやすい。

本モデルでは各幼児が個性をもっており、その個性は各々が持っているフェーズの種類や、各フェーズでの移動速度、どのフェーズからどのフェーズへ移行するかという遷移関係でモデル化されている(図 2)。各フェーズ内で空間内のどの位置が目的地として選択されるかという確率も変化する。

このように本研究では移動者の移動目的をフェーズという形で表現し移動パターンを特定することによって、日常空間での移動シミュレーションを行っている。例えば既存の歩行者集団の

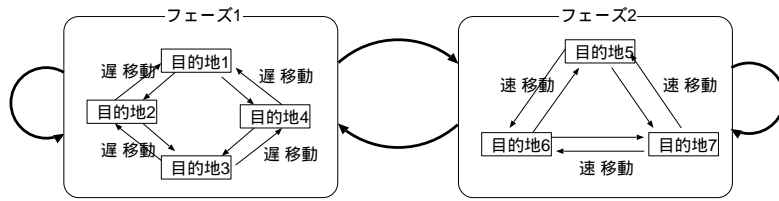


図 2: 移動モデルの例

流体モデルや粒子モデルでのシミュレーションでは、各歩行者は移動する物体として扱われ異なる目的を持った移動者として扱われることは少なかった。また避難行動のシミュレーションでは歩行者の目的として避難のみを扱えばよかった。本研究は日常時の移動者の多様な行動モデルを規定し、コンピュータ上で動的に制御して現象を再現するマルチエージェント手法を用いる。

## 2.2 目的物への移動アルゴリズム

各移動者は目的地を決定した後に、その目的地に向かって移動する。その移動速度は移動者が現在どのフェーズにいるかによって異なる。例えば、遠くのおもちゃに向かってまっすぐに移動しているときは速い移動で、ぐるぐると机の周囲をまわっているときは遅い移動になる。

図 3 に目的物への移動のフローを示す。基本的に目的地に向かって最短距離で進もうとし、途中で障害物があればそれを避けるように曲がるが、また元の方向に戻る。この移動ルール自体は全てのフェーズで共通であり、artisoc で実装された群衆移動シミュレーションの Boid アルゴリズムをベースにして構築されたものである [11]。

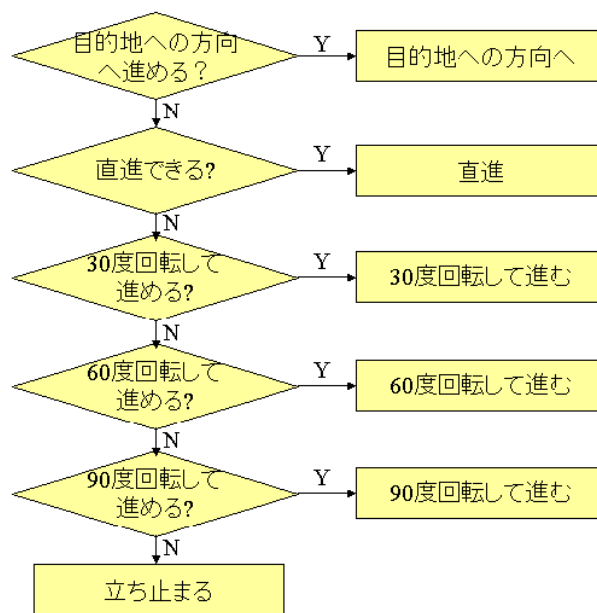


図 3: 目的物への移動のフロー

1. 現在地から目的地までの最短距離方向に進めたら、その方向に進む。
2. 直前まで向いていた方向に直進できれば直進する。
3. 左右どちらかの斜め (30 度) 前方を向いて障害物がなければ進む。
4. 上記の反対側斜め 30 度の方向に障害物がなければ進む。

5. 左右どちらかの斜め (60 度) 前方を向いて障害物がなければ進む。
6. 上記の反対側斜め 60 度の方向に障害物がなければ進む。
7. 左右どちらかの横 (90 度) を向いて障害物がなければ進む。
8. 上記の反対側 90 度の方向に障害物がなければ進む。
9. 上記のどれも進めないときには立ち止まる。

## 2.3 転倒リスク評価

上述の移動シミュレーションモデルに対して、図 1b に示されるような部屋のレイアウトを入力として与える。シミュレーションの実行画面の例を図 4 に示す。今回のシミュレーションでは、対象となる空間のレイアウトを条件として与えることによって、テーブルの角の横を走り抜けることによる転倒事故のリスクを評価する。事故の起きる条件は本来様々な要因が作用しており、単純な条件で表すことは困難である。しかし、今回は非常に単純化してテーブルの角から 5 センチメートル以内を分速 10m 以上で駆け抜けた時に事故の起きる可能性が相対的に高い状態として定義した (図 5)。

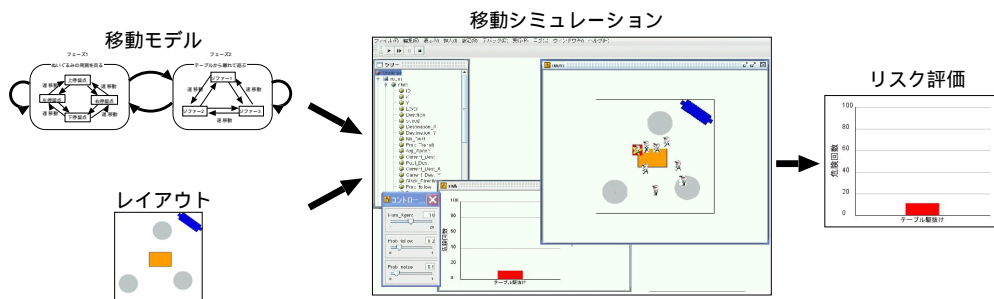


図 4: シミュレーションによるリスク評価の枠組み

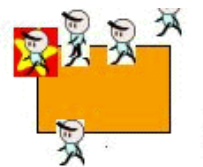


図 5: テーブルでの転倒リスクが高い状態

このリスク評価結果を見ることにより、対象空間のデザインを行っているユーザは、レイアウトの調整をインタラクティブに行うことができる。

## 3 実データに基づいたシミュレーション

上述の移動シミュレーションで最も重要な部分は、いかに各移動者の移動モデルを現実的でもしかできるだけ一般的なものにするかということである。そのために本研究では、センサルームでの幼児の移動データを用いて、新たに開発した多解像度クラスタ分析法による移動モデルの構築を行った。

### 3.1 乳幼児行動観察システム

本研究では、現実的な移動モデル構築のために、生活空間を模したセンサールームでの乳幼児の移動行動に関するデータを用いた。センサールームは約4m×4mの広さであり(図1a)、位置計測のために本研究グループで開発してきた超音波式3次元位置計測装置[6,7]および乳幼児の行動を動画で記録するための魚眼カメラ等が取り付けられている。超音波式3次元タグシステムは、対象物や人に取り付けられた超音波タグ(超音波発信モジュール)によって発せられた超音波を、天井や壁に設置された超音波受信モジュールで受信し、到達時間から距離を算出し、3次元位置を計測するシステムである。本システムにより乳幼児の移動行動をcmオーダーで位置計測することが可能である(図6)。

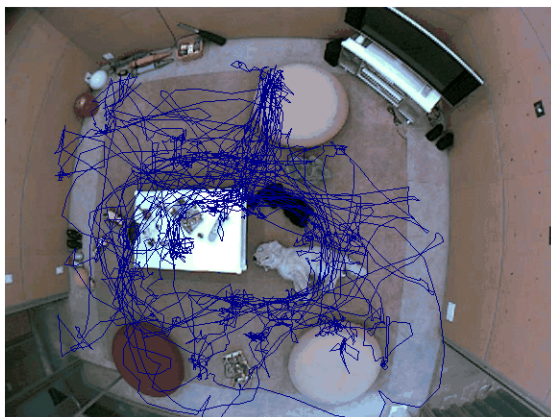


図6: センサールームで取得された移動データの例

計測は、計測ルーム内に無作為に玩具・家具類30種類弱を配置し、その部屋に0才から3才の乳幼児1名、母親1名に入ってもらい、約1時間過ごしてもらうことで行い、乳幼児、母親、玩具・家具類の位置と部屋の天井に取り付けられたカメラ画像を計測した。乳幼児行動の計測時には、発信器を乳幼児、母親、玩具・家具類30種類弱に取り付けた。このうち本研究では、乳幼児の移動データのみを解析に用いた。

### 3.2 多解像度クラスタ分析法

記録された移動データを本研究で新たに開発した多解像度クラスタ分析法を用いて、基本移動モデルの特定を行う。この移動モデルの作成により、移動データを取得した空間だけに限らず他の空間でも適用可能な形で、空間と移動者の相互作用に関する基本的なパターンを明らかにする。

多解像度クラスタ分析法の概要を下記および図7に示す。

1. 移動データを一定のサイズの区画に分割する。
2. 各区間で特徴量(区画内での移動の向き、平均速度、各区画での滞在時間)を計算する。
3. 全区画での特徴量を基にクラスタ分析を行う。
4. 解像度の違いでクラスタ分割に関する情報利得比[10]を調べ、極大値における解像度で移動パターンの特定を行う。

上記(4)の移動パターンの推定において、粗い解像度での分析では大まかな移動パターンの分類および目的地設定ルールの抽出を行う。中程度の解像度では目的地までのウェイファインディング(way finding)行動の分析を行う。さらに細かい解像度で停留点の抽出・障害物回避行動・加速や減速行動の分析を行う。今回の分析では細かい解像度では停留点(目的地)の抽出のみを行い、障害物回避行動・加速や減速行動は前述の移動アルゴリズムを仮定したので、分析は行わなかった。

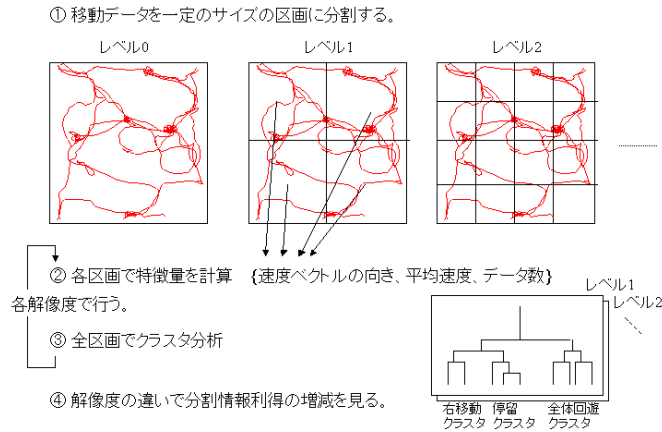


図 7: 多解像度クラスタ分析法

### 3.3 ケース 1: 駆け回りタイプ

上述のセンサールームで特に移動量が多かった幼児 (2-3 才) について移動データの解析を行った。1 時間の移動データの中で、センサールームに慣れたと思われる中間の 10 分間の移動データを解析に用いた。その結果、駆け回りタイプとおもちゃ遊びタイプの 2 つの移動モデルが抽出できた。まず、駆け回りタイプの分析結果を図 8 に示す。このタイプは、机の回りをゆっくりぐるぐるまわるフェーズと机から離れて部屋の端にあるクッション間を駆け回るフェーズの 2 つを持つ。

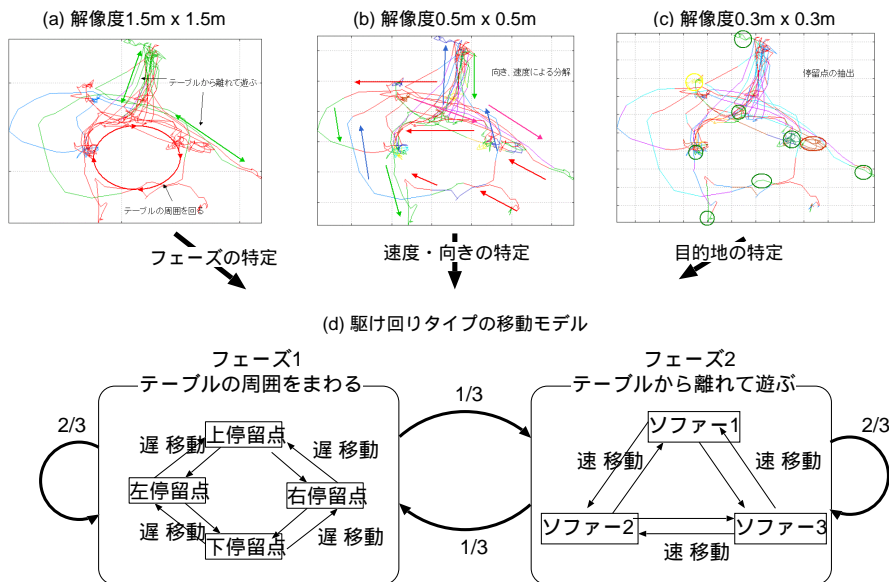


図 8: 駆け回りタイプの移動データの分析

このような移動モデルを持つ幼児が行動する空間で、テーブルの位置を決定しようとしている状況を考える。レイアウトの候補として図 9 の A と B の 2 種類を移動シミュレーションによるリスク評価を行った。それぞれのレイアウトに関して約 10 分間の移動シミュレーションを 10

回ずつ行い、前述の転倒危険状態の平均回数を求めた。その結果、机を横に配置したレイアウト A は平均 7.0 回の机の横の駆け抜けがあったのに対して、机を縦に配置したレイアウト B は平均 0.9 回であった。この駆け回りタイプの移動モデルの場合、机から離れて各ソファ間を移動するときに最も移動速度が速く、2 つのクッションを結んだ線上にテーブルの角が存在すると、転倒の可能性が高くなったのである。

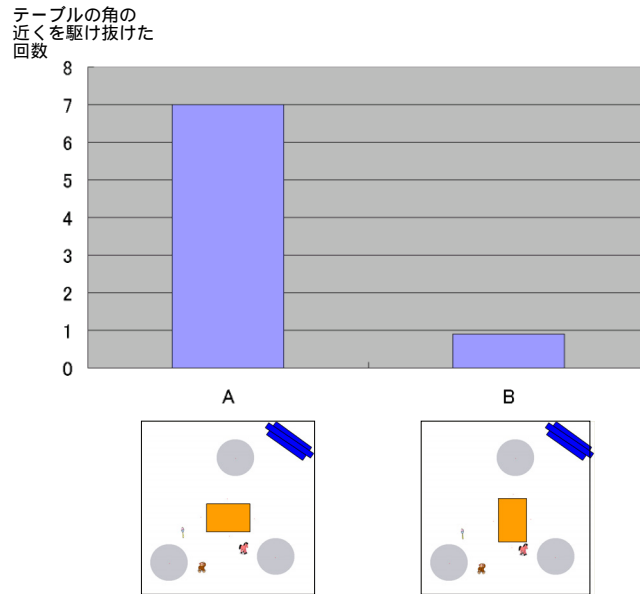


図 9: 駆け抜けタイプのシミュレーション結果

### 3.4 ケース 2: おもちゃ遊びタイプ

実データの解析により抽出されたもう一つの移動パターンは、いくつかのおもちゃを目的地として時々速度を上げるというおもちゃ遊びタイプであった。おもちゃ遊びタイプは机の回りをゆっくりぐるぐるまわるフェーズとおもちゃに向かって速度を上げて移動するフェーズを持っていた (図 10)。

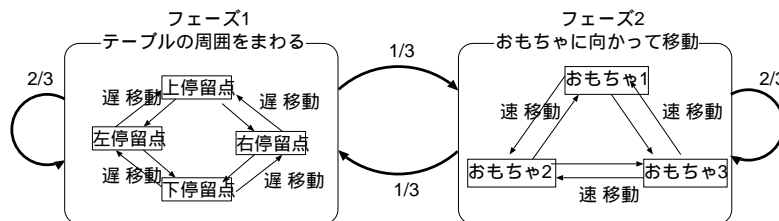


図 10: おもちゃ遊びタイプの移動モデル

おもちゃ遊びタイプの幼児が行動する空間で、テーブルの位置を決定しようとしている状況を考える。レイアウトの候補としてさきほどと同様に図 11 の A と B の 2 種類を移動シミュレーションによるリスク評価を行った。その結果、机を横に配置したレイアウト A は平均 5.4 回の机の横の駆け抜けがあったのに対して、机を縦に配置したレイアウト B は平均 9.4 回であった。このおもちゃ遊びタイプの移動モデルの場合、おもちゃとテーブルの相対的な位置が近くにあるレイアウトだと、机の角を速く駆け抜ける確率が高くなったのである。つまり、このタイプの移動者に対しては、おもちゃが置いてあるスペースを広くとるようなレイアウトの方がよいということ

になる。今回のシミュレーションでは幼児がおもちゃの位置は固定したが、ある一定以上の幼児では軽いおもちゃを持ち歩いて移動させることができる。その場合には、今回のシミュレーション結果は異なってくる可能性がある。

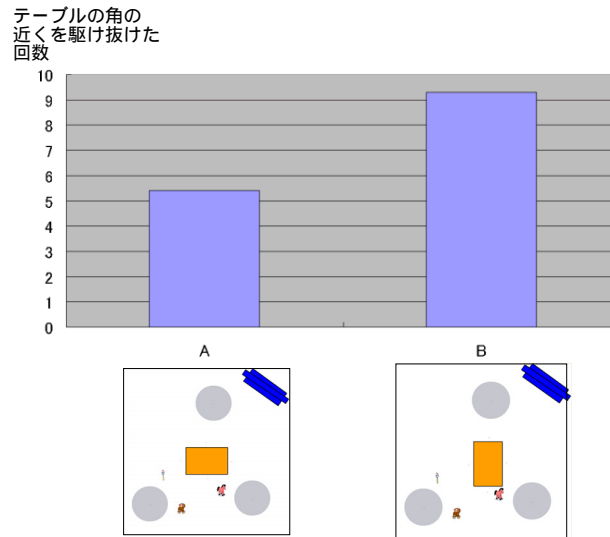


図 11: おもちゃ遊びタイプのシミュレーション結果

## 4 安心空間設計

本稿では予備的な分析の結果のみを示した。幼児の移動モデルを拡張すべき点が多い。例えば、一人の幼児でも時間とともに移動タイプの切り替えを行っていることもあり、複数タイプの遷移条件についてもモデル化が必要である。また、各移動タイプが児童のどのような属性や特性に関係があるのか、逆にある特性を持つ児童はどの移動タイプを示す可能性が高いのかといったこともこれから分析を行う必要がある。さらに、もちろんより多くの移動タイプの抽出も必要である。機械的に分析できるパターンの抽出を目指した。しかし、こういった意図でこのような移動を行っているのかという高次のモデルは今後必ず必要になる。さらに、現在の幼児の発達段階ではこういった行動がとれなかったので別の行動をとったという発達行動学的・認知科学的も必須となる。すでにこれらの高次の乳幼児行動シミュレータに関する開発を行っている [3, 8]。乳幼児の総括的な行動モデルの構築のためには、これらのモデルとの連携・統合が必要である。さらに、空間と児童の相互作用を解析し、図 12 に示すような、リスク評価を行いながらデザインを行うためのシステムを提供できると考える。

1. センシング・行動観察 乳幼児の移動行動を計測するためのセンサが設置された場所で、乳幼児の自由な移動行動を記録する。
2. データ解析・モデル生成 記録された移動データを本研究で新たに開発した多解像度クラスタ分析法を用いて、基本移動モデルの特定を行う。
3. MA シミュレーション 上記で得られた基本移動モデルを基に、様々な空間デザインの条件の下でのシミュレーションを行う。
4. デザイン決定 シミュレーション結果から各デザイン条件でのリスク評価を行い、ユーザの目的にあった空間設計を行う。



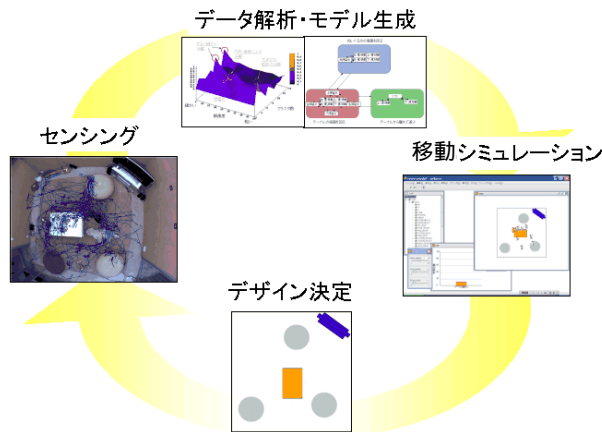


図 12: MA シミュレーションを用いた安心空間設計の枠組み

## 5 今後の方向性

本手法の枠組みを活かしながら現実的な場面への応用面については、今後の発展の方向性として次の3つを考えている。また本研究の理論研究の面からの意義として、具体的なモデルの構築を通して、広く社会的な状況における協同現象を解明する基礎となり得るような、新しい理論的枠組を提供することができると期待される。

**ヒトとヒトの相互作用** 本研究では児童単独の行動のシミュレーションを行い、複数の児童間の相互作用や児童と大人との相互作用のモデル化は行わなかった。しかし、事故の起きる要因として、これらのヒトとヒトの相互作用は重要である。現在、移動者間の追隨行動や目的地の同調などのモデル化を行っている。さらに、より高次の行動モデルと統合することにより、児童のグループ行動や大人から児童への働き掛けといった役割に関わる相互作用も取り入れることが可能である。

**分かりやすい空間** 本提案手法はシミュレーション結果の評価基準を変えることにより、事故予防だけでなく広範囲の空間での誘導の評価も可能である。誘導は、災害時の避難誘導ではなく、日常時に個々に異なる目的をもった歩行者集団を対象とする。また、空間に配置されたディスプレイや歩行者の持つ端末を通して、歩行者が能動的にもしくは受動的に情報を取得できる状況を想定している。設計者の想定するレイアウトや情報提示法を入力して実行したシミュレーションの結果を、実際の空間でのフィールドワークによる満足度調査結果等とマッチングすることにより、誘導の満足度を事前に評価することができる。

**公共空間への応用** 上述の拡張により、屋内だけでなく実際の駅構内やデパート内での人流整備のためのオペレーション（人員配置、案内板配置、案内放送の変更等）決定に応用することができる。数十から数百人程度の様々な移動タイプの歩行者が移動している中で、レイアウトや情報提示方法により、起こりうる事故のリスク評価や移動者の目的に情報提示が適しているかどうかということの事前評価を行う。これにより、駅構内やデパートなどの建物内、その周辺まで含めた広範囲でのオペレーション施策の開発により、いっそうのユーザ満足度の向上を図ることができる。

## 参考文献

- [1] 有明マサル. パパが考える子供を守る危険回避術, <http://ariakemasaru.hp.infoseek.co.jp/>.
- [2] 建築計画教材研究会(編). 建築計画を学ぶ. 理工図書, 2005.

- [3] 北村光司, 西田佳史, 松本修明, 本村陽一, 山中龍宏, 溝口博. 乳幼児行動の総合的理解のための乳幼児行動シミュレータ ~乳幼児行動計測データに基づく乳幼児行動シミュレータの検証~. 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 講演論文集, pp. 1P2-N-099(1)-(4), 2005.
- [4] 北村光司, 西田佳史, 松本修明, 本村陽一, 山中龍宏, 溝口博. 乳幼児行動の総合的理解のための乳幼児行動シミュレータ: 乳幼児行動モデルに基づく乳幼児行動の視覚化. 第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 3F31(1)-(4), 2005.
- [5] ミサワホーム. Misawa safety report, <http://www.misawa.co.jp/kodate/tokutyou/sumuhito/pop-up/safety/>.
- [6] 西田佳史, 相澤洋志, 北村光司, 堀俊夫, 柿倉正義, 溝口博. センサルームを用いた人の日常生活の頑健な観察とその応用. 情報処理学会研究報告 2003-HI-106, pp. 37-44, 2003.
- [7] Y. Nishida, K. Kitamura, T. Hori, A. Nishitani, T. Kanade, and H. Mizoguchi. Quick realization of function for detecting human activity events by ultrasonic 3d tag and stereo vision. In *Proc. of 2nd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom2004)*, pp. 43-54, 2004.
- [8] 西田佳史, 本村陽一. 人間の計算論に基づくデジタルヒューマンコンテンツ ~乳幼児行動の計算論に基づく乳幼児行動シミュレータ~. 第 1 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, pp. S2-5(1)-(6), 2005.
- [9] 厚生労働省. 平成 17 年 人口動態統計. 厚生労働省, 2006.
- [10] 庄田良介, 松田喬, 吉田哲也, 元田浩, 鷲尾隆. 構造的類似性に基づくグラフクラスタリング. 2003 年度人工知能学会全国大会資料 (第 17 回), 2003.
- [11] 山影進. 人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門. 書籍工房早山, 2007.