

都市エリアシミュレーションの実現に向けた 複合階層モデルと網羅的分析手法の提案

山下 倫央^{†1,†2} 岡田 崇^{†1,†2} 野田 五十樹^{†1}

近年、スマートグリッドやスマートコミュニティといった都市機能を連携して扱う取り組みが盛んになり、実施する施策が都市全体に与える影響を俯瞰するためのツールとしての都市エリアシミュレータが求められている。本研究では、都市エリアシミュレータの実現に向けて、各主体の詳細な挙動を記述するマイクロモデルに基づいて、数千人～十万人規模のマクロモデルを構築する複合階層モデルの提案をおこなう。モデル化の対象としては、大規模イベント時の来場者や大規模災害発生時の帰宅困難者の誘導を取り上げる。さらに、効率的なシミュレータの利用方法として、イベントツリー分析を応用した網羅的分析を提案する。

Proposal of Complex Hierarchical Model and Exhaustive Analysis for Urban Area Simulation

TOMOHI SA YAMASHITA ,^{†1,†2} TAKASHI OKADA ^{†1,†2}
and ITSUKI NODA ^{†1}

In this research, in order to deal with urban scale social phenomena quickly and precisely, we propose the complex hierarchical model and exhaustive analysis method. The complex hierarchical model consists of two layers; a precise agent behavior is represented in micro layer, and an interaction among macro behavior of agents and system managers is represented in macro layer. The exhaustive analysis is multi-regression and event tree analysis is applied for social behavior on complex hierarchical model. We apply our proposed approach to verification of crowd guidance in large-scale outdoor event and support of obstructed homeward commuters after earthquake disaster.

1. はじめに

近年、スマートグリッドやスマートコミュニティといった都市規模の人間行動を扱う取り組みが盛んになってきている。エネルギーシステム、交通システム、情報通信システムといったインフラ全体を統合して、効率的で環境負荷の低い都市生活を実現する実証事業が各地で始まっている^{1),2)}。また、2012年3月11日に発生した東日本大震災の際には、東京を中心とした首都圏で約400万人の帰宅困難者が発生し、現在では自治体や施設運営者が連携した対応策の確立が急務とされており、各地で実地訓練も行われている³⁾。このような都市機能を連携して扱う取り組みにおいては、実施する施策が都市全体、システム全体に与える影響を俯瞰するためのツールとしてのシミュレーションが求められている。

しかし、都市規模の人間行動を対象とする場合、個々人をモデル化するマルチエージェントアプローチでは、対象人数が数千人となると、数十分の挙動を再現するだけでも数十時間の計算時間を要してしまい、システム全体の挙動を確認しつつ、有効な対応策を立案するといった対話的なシミュレーションの利用は困難となってしまう。シミュレーションの専門家であれば、大型計算機を導入したり、分散計算環境を構築し、計算機環境を整備することで計算時間を短縮可能である。しかし、より現実的な利用場面を考えると、ユーザの持つ計算環境としては市販のPCが利用されることを想定すべきである。都市規模の人間行動を対象とした場合に、市販PCレベルの計算環境で十分に機能するマルチエージェントモデルは現在まで確立されていない。

物理現象に対しては、燃焼流体、プラズマ、天候といった現象を扱うために、ミクロスケールにおける第一原理的詳細モデルに基づきながらマクロスケールにおいて広範な領域に渡るシステムダイナミクスを計算するための方法論を確立する動きがある⁴⁾。一方、社会現象に対しては、マイクロモデルとマクロモデルの連結階層に拡張するといった試みはわずかな研究事例を除き、ほとんどおこなわれていない⁵⁾。また、シミュレーションの利用方法に関して、物理シミュレーションでは対象物にかかる力を算出し、構造強度、変形応答、移動軌跡等を予測するために用いられることが多い。それに対して、社会システムのシミュレ

†1 独立行政法人 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター
Center for Service Research (CfSR), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

†2 科学技術振興機構 さきがけ
Japan Science and Technology Agency (JST), Precursory Research for Embryonic Science and Technology (PRESTO)

シヨンは、社会全体の振る舞いの単なる予測だけではなく、どのような施策が社会全体を目的とする方向に導くことができるかといった検証も目的の一つとなる。

社会システムの最小構成要素である人間の意思決定メカニズムは適用される環境に応じていろいろな形式を取りうるため、物理モデルに比べて一般モデルの構築が進んでいない。また、意思決定に関して実験室的状況と実際の場で大きく異なることが物理モデルに比べて起きやすいため、社会システムの振る舞いの正確な予測を困難にしている。そのため、多数の状況に対する試行をおこない、施策の与える影響の傾向を把握したり、仮説の真偽を判定したりすることが必要である。

シミュレータを施策の評価ツールとして用いる場合には、多数のパラメータによってエージェントや環境を詳細に記述し、特定の社会現象を完全に再現することよりも、ある程度の正確性を持って社会現象を再現した上で、施策の与える影響を網羅的に把握することの方が有用性が高い。この観点からすると、社会システムのシミュレーションの現状の運用方法において、ほとんどの場合、ある少数の条件下での振る舞いを可視化・検証するツールとして利用されており、施策の与える影響を網羅的に検証するツールとしては利用されていない。現状ではマルチエージェントモデルを用いた社会システムシミュレーションの運用手法は確立していないと言える。

本論文では、このような背景を踏まえて、ミクロスケールにおける詳細なモデルに基づいて、数千人～十万人規模のマクロレイヤの挙動の表すことができる複合階層モデルを提案する。モデル化の対象としては、大規模災害発生時の帰宅困難者の誘導や屋内外の大規模イベントの来場者の誘導が挙げられ、これらの現象を対象とした複合階層モデルを概説する。計算速度と再現精度のトレードオフを考慮しつつ、ミクロモデルとマクロモデルをリンクさせることができる連結アルゴリズムを開発し、都市エリアシミュレータとして実装する構想について述べる。さらに、効率的なシミュレータの利用方法として、イベントツリー分析を応用した網羅的分析手法を提案する。

2. 複合階層モデル

図1に複合階層モデルの概要を示す。複合階層モデルのミクロレイヤにおいては、例えば、顧客や従業員、来場者・避難者や誘導員といった主体が局所的な情報に基づき行動選択をおこなう。各主体の意思決定及び行動は他の主体からの影響を受け、物理的な広がりを持った空間内を移動することを想定する。このミクロレイヤにおける各主体のモデル化には通常のマルチエージェントのモデル化の概念を用いる。

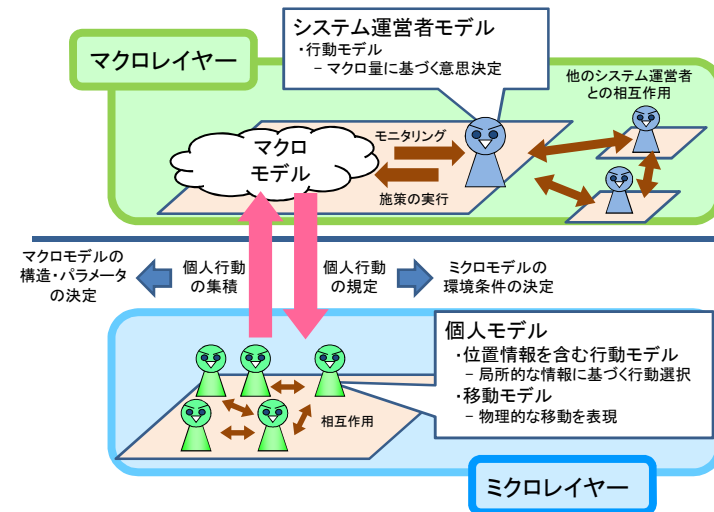


図1 複合階層モデルの概要

マクロレイヤにおいては、例えば、商業施設における経営陣や誘導案の立案・実施者といった主体(システム運営者)がミクロレイヤの個々の主体の挙動ではなく、それらの総体としてのマクロ量のモニターをおこない、ミクロレイヤの主体に影響を及ぼす施策を実行する。また、システム運営者は自らの目的を持ち、その目的を達成するために施策を選択・実行する。システム運営者に関しては他の複数のシステム運営者間の相互作用を想定し、単一のシステム運営者によるミクロレイヤの最適化問題とするのではなく、システム運営者同士の競合や協調を踏まえて自己の利益を最大化する状況をモデル化する。このように複合階層モデルでは、マクロレイヤにおいてはミクロレイヤの主体の総体だけが記述されるのではなく、その総体に作用するシステム運営者の存在も想定する。そのため、ミクロレイヤとマクロレイヤを繋いだ従来研究における連結階層モデルとは異なり、マクロレイヤにおいて複数のシステム運営者がミクロレイヤの主体の総体に複合した相互作用を扱うため、「複合階層モデル」とする。

本論文で提案する複合階層モデルには、ミクロレイヤとマクロレイヤが双方向で影響し合うミクロマクロ・ループを織り込む。ミクロマクロ・ループにおいては、ミクロレイヤの主体の行動によってボトムアップにマクロレイヤの社会構造が形成され、形成された社会構造

がマイクロレベルの主体に対して影響を与える。社会構造から影響を受けたマイクロレイヤの主体の行動が変化し、その結果、異なる社会構造が形成されるというループが繰り返される。

複合階層モデルにおいてマイクロマクロ・ループを扱うためには、マイクロレイヤの主体の総体やマクロレイヤのシステム運営者の施策からマイクロレイヤの主体の内部状態が影響を受ける過程をモデル化する必要がある。モデル化自体は可能ではあるが、マクロモデルが主体の内部状態の変化を扱うマイクロモデルと常に連動していることはシミュレーションを実行した際に計算速度の低下を招く可能性がある。そこで、同一の空間領域を対象としてマイクロモデルとマクロモデルを実行し、パラメータを相互に授受しながら連結を実現する方法を用いる。マイクロモデルの計算結果はマクロモデルのパラメータの決定に用いることができ、マクロモデルの計算結果はマイクロモデルの環境条件の決定に用いることができる。ここでは特に、マクロモデルで用いられるパラメータをマイクロレイヤの挙動に基づいて決定することを目指す。マクロレイヤにおけるシステム運営者とマクロモデルの相互作用のみを扱うことは比較的計算負荷が低いいため、ある程度の正確性を持ったマクロモデルを構築することができれば、多数のマイクロレイヤの主体の内部状態が影響を受け、行動変化を起こすという計算過程を省略可能となり、大幅な計算速度の向上が見込める。

3. シミュレーションの応用

複数街区、大規模複合商業施設、高層ビル群において空間的規模があり、そこに滞在する顧客や店員の数がある一定以上の規模になると、発生する現象がシステム運営者の認知限界を超えてしまい、施設に精通している施設運営者同士でも問題状況に対する施策の効果予測が異なってしまう。どのような問題が発生するかを事前に予測し、その問題を関係者同士で共有することは難しい。そのため、都市エリアシミュレータを用いて、計画に携わる関係者間の情報の流れを把握し、情報の過多によって変わる関係者の行動の影響を事前検証し、共有しておくことが望ましい。本章では、都市エリアシミュレーションの応用として大規模災害発生時の帰宅困難者の誘導と屋内外の大規模イベントの来場者の誘導について説明する。

3.1 帰宅困難者の誘導

2012年3月11日に発生した東日本大震災の際には東京を中心とした首都圏では、約400万人の帰宅困難者が発生した。首都圏は一時的な混乱はあったものの、交通、電気、水道、情報通信ネットワーク等に大きなダメージがなかったため、帰宅困難者による大きな問題は引き起こされなかった。しかし、今後想定される首都圏に震源地に近い大地震では、社会インフラに大きなダメージが与えられると共に、650万人の帰宅困難者が生じることが想定さ

れている⁶⁾。そのため、情報配信の方法を含めた帰宅困難者の誘導に対して、国、都や県といったレベルから、市町村といったレベルまでの対応や、消防、警察、自衛隊といった異なる組織の混合した対応者側のマイクロからマクロまでの対応に関するコンセンサスの形成が急務となっている。また、今回の震災では、twitterが安否確認や情報共有に機能したと言われているが、公式なツールとして利用された場合には帰宅困難者全体の挙動にどのような影響を与えるかは明らかにされていない。そのため、避難所の開設や支援物資の提供に関する施策を検証したり、配信する情報の配信先、内容、タイミングに関する施策の検証が必要とされている。

3.2 屋外イベントにおける大規模誘導

近年の建築技術の向上に伴い、オフィスビルや商業施設の大型化、高層化が進み、多くの人々が同時に施設を利用する機会が増えている。また、花火大会のような屋外のイベントでは数十万人の観客が集まることは珍しくない。このようなイベントが開催された場合には、口コミ情報が情報端末を通じて急速に拡散することで短時間に多くの観客が集中してしまい、運営者の対応が追い付かないこともある。そのため、屋内外を問わず大規模な群集が生じるイベントにおいては、2001年に発生した明石花火大会歩道橋事故のような多くの被害者を出す群集事故が発生する可能性は否定できない。しかし、イベントの運営サイドから見ると観客を集めることにイベント開催の成否がかかっているため、安全を確保するためといても、観客数を減らすような施策を選択することができないのが実情である。

そのため、どの程度の観客が来場した場合にどのような混雑が生じるといった疑問やどのような群集誘導の手法が効果的であるかといった疑問に答えるツールへのニーズは高い。また、誘導のオペレーションにおいては、平常時からの緊急時への速やかに移行することは被害軽減において重要である。しかし、数十万人の誘導対象者がいる大規模なイベントにおいては、トラブルが発生した後に状況を的確に把握することや現場スタッフから運営者に至るまでの対処案を伝達し、実行することは困難である。そのため、いろいろな種類のトラブルに対して安定的に機能する対処計画の立案支援を行うツールが求められている。

4. 応用における課題

本章では、複合階層モデルを実装した都市エリアシミュレータを応用する際の課題に関する説明を行う。

4.1 試行時間の短縮

社会システムシミュレーションが大規模な社会現象に対して利用された場合、詳細なモデ



図 2 シミュレーションの対象地区：渋谷駅を中心とした 3km × 2.5km 四方の領域

ルを用いて計算に長時間を費やしても、かけた時間に比例して予測の正確性が向上するわけではない。また、1 試行が終了するまでに長時間がかかる場合には、シミュレーションの結果に基づいて施策の細部を修正するという対話的な調整を実施することが難しくなる。シミュレータが対象としている社会現象をある程度正確に再現可能だったとしても、ユーザが検証する条件に対する結果を出力するまでに想定を大幅に超えた時間がかかる場合、ツールとしての利用価値は低くなってしまふ。そのため、短時間で複数試行をおこない、対象とする社会現象の傾向を把握できることが望まれ、モデル自体に計算負荷を大きくしないという仕組みを持たせる必要がある。3 章で取り上げた首都圏の帰宅困難者誘導や屋外の大規模イベント参加者の誘導ではマイクロレイヤにおいて対象とする主体の数が多いため、計算時間の増大が懸念される。

図 2 は、人流シミュレータ NetMAS⁷⁾ を用いて、渋谷駅周辺地区 (3km × 2.5km) を扱った例を示している。NetMAS は一次元歩行者モデルを採用しており、避難者一人ひとりがモデル化されているため、個々人の目的地や歩行速度等を設定することが可能である。一次元歩行者モデルにおいて、歩行者の移動可能範囲が長さを持つネットワークのリンクとして表現され、部屋や廊下がリンクとして扱われる。また、自由流速度まで加速しようとする歩行者が直前にいる歩行者だけから減速の影響を受けるといふように周辺の歩行者との相互作用を省略したため、二次元連続空間モデル⁸⁾⁻¹⁰⁾ やセルオートマトンモデ

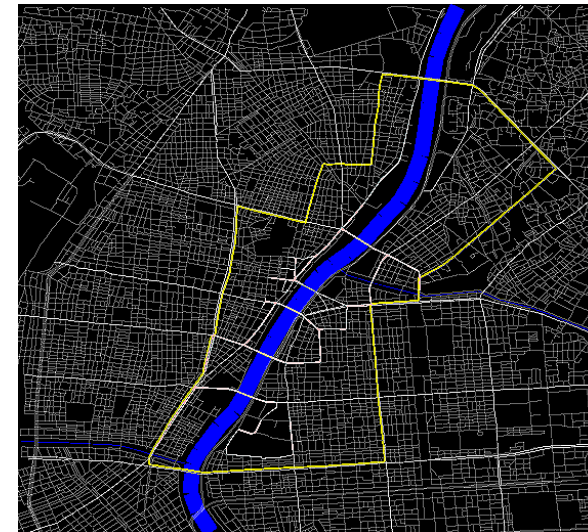


図 3 シミュレーションの対象地区：隅田川花火大会会場を中心とした 5km 四方の領域

ル¹¹⁾⁻¹³⁾ を採用したシミュレータよりも高速な計算を可能とした。図 2 に示される渋谷駅周辺地区は 3,300 リンクで構成されている。NetMAS を用いて行ったシミュレーションにおいては、1 シミュレーションステップを 1 秒とみなし、帰宅困難者 4 万人の挙動の計算に対して、1 シミュレーションステップの計算時間として実時間 1 秒の計算速度を実現した。図 3 は、NetMAS を用いて隅田川花火大会会場を中心とした領域 (5km 四方) を扱った例を示している。この領域は 19,000 リンクで構成されている。30 万人の見物客の挙動の計算に対して、1 シミュレーションステップの計算時間として実時間 4 秒の計算速度を実現した。

ただし、帰宅困難者の誘導のケースでは、誘導の対象者は 650 万人程度と想定されている。また、隅田川花火大会には、会場の外の見物客も含めると 100 万人近くの手がある。その他の日本各地で開催される花火大会でも数十万人規模の人出があるものも珍しくない。そのような規模の人流に対して NetMAS を用いても、100 万人の見物客が訪れる花火大会の開催前後 4 時間の挙動を扱う場合には、1 試行あたり約 42 時間が見込まれる。また、首都圏を対象とした 650 万人の帰宅困難者の災害発生後 24 時間の挙動を扱う場合には、1 試

行あたり約 1680 時間程度が見込まれる。^{*1} これほどの実行時間が 1 試行にかかってしまうと条件を変えて多数の試行を行うことは困難になる。そのため、群集流動に対して計算速度を大幅に向上させられる歩行者マクロモデルの開発が求められる。

4.2 利用方法の確立

これまでの研究において、自治体の防災担当者や施設の設計者にシミュレーションの試行結果を提供した場合、興味を持たれるのは各試行における詳細な挙動ではなく、複数の試行において共通して現れる問題や状況を常に悪化させる要因や施策であることが分かってきた¹⁴⁾。そのため、多数の試行をおこなっても、その試行結果群から求められる知見を抽出することができなければ、シミュレーションを実施した意味がない。シミュレータの利用を通じて認知限界を超えた大規模な事象の傾向とそれに対する施策の効果を把握するためには、明確な方針を持ってシミュレータを利用することや、シミュレータの利用方法を確立することが求められている。そこで、シミュレータを利用した分析方法を 5 章で提案する。

5. 分析手法の提案

5.1 網羅的分析

本節で提案する網羅的分析では、条件を変えた試行を数多くおこない、系の振る舞いの傾向を把握することを目指す。まず、イベントツリー分析を利用してマクロレイヤにおけるシステム運営者の行動選択が評価値の増減に対して最も大きな影響を持つかを推定する。

図 4 に示されるように、マクロレイヤにおいて複数のシステム運営者が持つ行動選択の全組み合わせに対する評価値の算出し、重回帰分析によってどの行動選択が評価値の増減に対して最も大きな影響を持つかを推定する。次に、最も大きな影響を持つ行動選択の分岐を含むシステム運営者モデルとマクロモデルのパラメータをマイクロモデルの環境条件として利用し、マイクロレイヤにおいて検証をおこなう。

例えば、図 4 では、マクロレイヤにおいてシステム運営者 1、システム運営者 2、再びシステム運営者 1 の順で行動選択を行い、マクロモデルに対して影響を与えたとする。図中に示されているように、終了状態における各シナリオの評価値(システム運営者の行動選択の系列に対する結果)が定まるとする。この例では、システム運営者 2 の行動選択(行動 2A か行動 2B かの選択)の影響が最も大きく、状態 2-1 と 2-2 からは、状態 3-1 と 3-3 に遷移

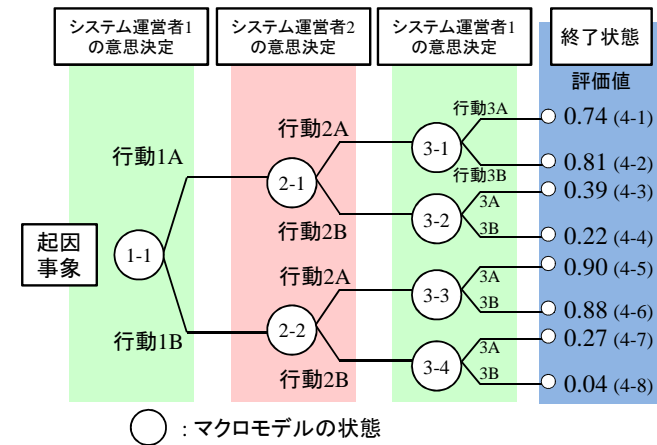


図 4 マクロレイヤにおけるイベントツリー分析の応用

することが評価値を最も大きくする。この場合、マクロモデルの状態 2-1 と 2-2 を環境条件とするマイクロモデルを構築し、マイクロレイヤにおいて、システム運営者の行動選択が状態 2-1 と 2-2 をそれぞれ状態 3-1 と 3-3 へ遷移させ、終了状態の評価値がマクロレイヤの計算結果と一致するかを確認する。

網羅的分析の適用例として、ターミナル駅における有害危険物質の散布に対して駅管理者の対処行動の遅れが被害者数にどのように影響するかを推定するために、1,024 通りのシナリオを検証した¹⁴⁾。1,024 シナリオの全てにおける被害者数を算出した後、重回帰分析を用いて各対処行動の遅れの影響を算出した。この分析の結果、各対処行動が遅れると何人ぐらい被害者数が増加するかを定量的に示すことができ、対処行動の開始に関する優先度を決定することができた。

5.2 シミュレーションコントローラの開発

前節で提案した網羅的分析を行うためには、マクロレイヤにおいて複数のシステム運営者の行動選択の全組み合わせを計算する必要がある。イベントツリーのサイズが大きくなるにつれて、マクロレイヤにおいて試行すべきシナリオ数が増加する。そのため、次のような機能がシミュレータに備えられていると、利用者の利便性を向上させる。

- (1) 複数条件設定ファイルの生成機能とシミュレーションの連続実行機能
- (2) シミュレーションの状態保存と再開機能

*1 この数値の見積りは、シミュレーション対象地域が首都圏に広がっていることを考慮に入れていないため、計算時間がさらに増加する可能性がある。

(3) マルチコアを利用した自動並列処理の実行機能

(1) は、組み合わせるべき条件とその候補値を指定すれば、その全ての組み合わせの条件設定ファイルを自動的に生成し、シミュレーションを連続して実行する機能である。この機能により、シミュレーションの準備段階の作業時間を短縮できる。

(2) は、マクロレイヤにおけるイベントツリーの各終了状態の評価値を効率的に算出するための機能である。例えば、図 4 において、システム運営者 1 が二度目の行動選択をする直前の状態を保存し、それを初期状態としてシミュレーションを行うことができれば、終了状態 4-1 と 4-2 の評価値を求めるために、起因事象から終了状態まで 2 回の計算を行う必要はない。状態 3-1 までの計算を行い、その状態を保存し、そこから終了状態 4-1 と 4-2 までの計算をおこなうだけで済む。この機能により、全シナリオに対して起因事象から計算する必要がなくなるため、イベントツリーの計算時間の短縮できる。

(3) は、マルチコアを持つ PC やワークステーション、またはクラウドを利用した際に利用可能な全てのコアを並列で利用し、シミュレーション時間を短縮するための機能である。

6. おわりに

本論文では、都市規模での人間活動を対象とした都市エリアシミュレータの実現とその利用方法の確立を目指して、複合階層モデルと網羅的分析手法の提案を行った。複合階層モデルは、マイクロレイヤとマクロレイヤから構成され、マイクロレイヤには各主体の詳細な挙動を記述するミクロモデルが含まれる。マクロレイヤには、マイクロレイヤの主体の総体が記述されるマクロモデルだけが存在するのではなく、その総体に作用するシステム運営者の存在も想定した。シミュレーションの対象としては、大規模イベント時の来場者の誘導や大規模災害発生時の帰宅困難者の誘導を取り上げ、それらの特徴をまとめ、課題を述べた。効率的なシミュレータの利用方法として、イベントツリー分析を応用した網羅的分析を提案し、この分析を行うにあたってシミュレータに求められる機能をまとめた。

謝辞 本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけの一環として行われたものである。

参 考 文 献

- 1) 経済産業省：次世代エネルギー・社会システム実証マスタープラン (2011)。入手先(http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/community.html) (参照 2012-02-10)。
- 2) スマートコミュニティ・アライアンス：スマートコミュニティ・アライアンス (Japan Smart Community Alliance) とは (2011)。入手先(<http://www.smart-japan.org/>)

(参照 2012-02-10)。

- 3) 東京都総務局総合防災部防災管理課：帰宅困難者対策訓練 (2012)。入手先(<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/0203kitaku.html>) (参照 2012-02-10)。
- 4) 杉山 徹：連結階層モデルによって見えてきたプラズマシミュレーションの新たな局面 第 1 章 はじめに、プラズマ・核融合学会誌, Vol.85, No.9, pp.577-579 (2009)。
- 5) 中島 悠, 服部宏充：都市シミュレーションのためのシミュレータ統合基盤, 第 10 回合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2011 (JAWS-2011) (2011)。
- 6) 三菱総合研究所：東日本大震災における首都圏の帰宅困難状況を踏まえた今後の帰宅困難者対策のあり方～再現シミュレーションから見えてきた現状と課題～ (2011)。入手先(http://www.mri.co.jp/NEWS/press/2011/_icsFiles/afield-file/2011/06/13/mr20110613_ssu01.pdf) (参照 2012-02-10)。
- 7) 副田俊介, 山下倫央, 大西正輝, 依田育士, 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, 情報処理学会研究報告 数理モデル化と問題解決研究会, Vol.2010-MPS-81, No.6, pp.1-6 (2010)。
- 8) 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)。
- 9) 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ミクロ歩行者行動モデル, 交通工学, Vol.43, No.4, pp.80-89 (2008)。
- 10) Helbing, D. and Molnár, P.: Social force model for pedestrian dynamics, *Phys. Rev. E*, Vol.51, No.5, pp.4282-4286 (online), DOI:10.1103/PhysRevE.51.4282 (1995)。
- 11) Nishinari, N., Kirchner, Namazi, A., A. and Schadschneider, A.: Simulations of evacuation by an Extended Floor Field CA model, *Proceeding of Traffic and Granular Flow '03*, pp.405-410 (2003)。
- 12) 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)。
- 13) 大鑄史男, 小野木基裕：セルオートマトン法による避難流動のシミュレーション, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol.51, pp.94-111 (2008)。
- 14) Yamashita, T., Soeda, S. and Noda, I.: Evacuation Planning Assist System with Network Model-Based Pedestrian Simulator, *Principles of Practice in Multi-Agent Systems*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.5925, Springer-Verlag (2010)。