110. 震災時の帰宅行動と熱環境上のリスクに関する研究 ーもし 311 が発生したのが真夏だったらー

Study on the refugees' behavior after the earthquake and the thermal environmental risks

If "311" (the 2011 East Japan Great Earthquake) happened in midsummer

劉 旭*, 村上 暁信**

Ryu Kyoku*, Akinobu Murakami**

During the March 11th, 2011 East Japan Great Earthquake, huge chaos happened near the subway station due to the Returning Home movement. If large-scale disasters occur during midsummer and a large crowd chaotically trapped in a subway station like in the 311 Earthquake, there will be a hidden danger of heat stroke happening out of control among a large number of people. The site has a high population density which is likely to lead to chaos during earthquakes. Based on the result of the thermal environment simulation and pedestrian simulation, the researcher found that heat stroke risk is also high within the site. Heat strokes usually occur on a large scale in a dense crowd due to people's long time exposure to high radiation temperature. In order to avoid future disastrous events, the researcher extracted the site's high thermal environmental risk areas, based on which formulated a set of urban green space design proposals for further improvement.

Keywords: thermal environment, heat disease risks, pedestrian simulation, disaster

熱環境, 熱中症リスク, 行動シミュレーション, 災害

1. 研究の背景と目的

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、東北・北関東地方をはじめとする地域は甚大な被害を受けた。震災時、東京においては帰宅を急ぐ人々が短時間のうちに駅に押し寄せ、駅周辺で大きな混乱が生じた。近年夏季には、熱中症患者の発生増大が懸念されているが、もし東日本大震災のような災害が真夏に発生し、当時と同じく都心で働く人々の帰宅行動により駅付近での大きな混雑が発生したら、多数の人が熱中症に罹る恐れがある。震災で鉄道やバスなどの各輸送機関が麻痺し、適切な治療を受けられない時には非常に危険な状況になると考えられる。このような状況を想定し、人口密度の高い地区での熱中症発生のリスクを評価し、事前に対策を講じることは、安全な都市づくりにおいて重要な意義を持つといえる。

既往研究において、熱環境上のリスクを扱った研究は多数ある。佐藤ら¹⁾の公園内の熱放射環境と幼児行動から捉える熱中症の危険性についての研究や、山崎ら²⁾の温熱快適感マップの作成と夏季マラソンコースの温熱環境予測についての研究、また、國吉ら³⁾の商業地・公園の差に着目した屋外暑熱環境下の自由歩行が高齢者の生体に与える影響についての研究などが挙げられる。しかしこれらはいずれも平常時の行動や運動を前提にして議論をしている。一方、震災後の帰宅行動やそこで生じる諸問題を扱った既往研究として、廣井ら⁴⁾は、避難シミュレーションを構築し、混雑危険度を提案している。西山ら⁵⁾の研究では、震災発生後の首都圏鉄道における駅滞留者の過剰発生を抑制する方策を提案している。竹木⁶⁾は、マルチエージェント・シミュレーション(MAS)により、人の流れを可視化し、また帰宅者への情報提供の効果を検討している。その上で、

災害時における駅周辺で人が過度に集中する場所を特定し、災害時における情報提供による駅周辺混雑緩和の効果を評価している。いずれの研究も混雑自体を問題として位置づけた評価や、混雑の緩和を目的とする研究であり、混雑した状況によって発生が予想される二次的な問題として、熱中症発生のリスク(熱中症リスク)まで取り上げた研究はみられない。

そこで、本研究では、災害によって発生する混雑が引き起こす二次被害としての熱中症発生を防ぐための基礎的検討として、熱収支数値シミュレーションとMASを用いて震災後帰宅行動中の熱中症リスクを評価することを目的とした。

図1 対象地の写真(左図はGoogle mapを基に作成)

2. 研究方法

(1) 対象地域

対象地として、日比谷・西新橋地区200m×200mの範囲(図1)を選定した。このエリアは、東京都心部に位置し、オフィスビルが集中しており日中の人口密度が高い。地震などの震災時には駅の出入口に人が殺到することを念頭におくと、当該地区周辺には多くの出入口があることから、

* 正会員 株式会社 TOA landscape architecture (TOA landscape architecture)

**正会員 筑波大学システム情報系 (University of Tsukuba)

基礎的な検討としては200m×200mの狭い範囲で特徴を捉えることでも意義を有すると考えて、対象範囲を設定した。

(2) 分析方法

まず、熱収支数値シミュレーションを用いて対象地の熱環境を評価する。具体的には、解析用3D-CADモデルを作成した上で、3D-CAD対応熱環境シミュレーションを用いて全街区の表面温度分布を算出する。人の熱さの感じ方には、着衣量や活動量などの人体側の諸要素以外に、気温、放射、湿度、風速の4要素が関係している。放射には日射である短波長放射と物体の温度差により発生する長波長放射がある。湿度は発汗による放熱等に影響し、風速は皮膚表面における対流による放熱等に影響する。従って熱中症の危険度を正確に議論するためには、これらの要素を総合的に評価する必要がある。しかし屋外空間で気温や湿度、風速を人為的にコントロールすることは極めて困難であるのに対して、放射だけは人為的にコントロールできる可能性が大きいという違いがある。さらに、気温・湿度・風速の変動幅とその影響度に対して、放射の変動幅とその影響度が極めて大きいという違いもある。このことから、より安全な都市空間の創出を目指して、熱中症リスクや熱的快適性と都市の実在空間の特性との関係を議論する際には、放射を中心に分析、評価を進めていくことが合理的であるという考えが国際的にも浸透しつつある(例えば、Thorssonら⁷⁾など)。そこで本研究では前記の計算結果を用いて平均放射温度(MRT)を計算し、分析に用いることとした。

さらに人の帰宅行動をMASにより可視化し、震災後の群衆の帰宅行動を把握する。そこではポテンシャルモデルを使用して歩行者エージェントの行動規則を設定し、帰宅行動モデルを構築する。そして対象地の空間形態と人口を考慮してモデルを実装し、対象地における震災後の群衆の帰宅行動を観測する。その上で熱環境と帰宅行動の状況を合わせて熱中症リスクの評価を行う。

図2 作成した3D-CADモデル

3. 熱環境評価

(1) 解析用3D-CADモデルの作成

市街地の熱環境を再現するためには、空間形状と構成材料情報を収集し、それらの情報に基づいて伝熱計算が可能

な市街地の3D-CADモデルを作成することが必要である。収集する情報は、建築物と地表面の空間構成以外、構成材料(熱物性値:日射反射率・容積比熱・長波長放射率・熱伝導率、断面仕様:構成材料の順番・林厚)、日射遮蔽効果の顕著な植物(特に街路樹)の形状、サイズ、位置情報及び日射透過率がある。本研究では、3次元GISデータ・航空写真・現地調査資料等から、建物・緑・地表面の3つのカテゴリで情報の収集を行った。

これらの情報を用いて3D-CADモデルを構築し、各部材の熱物性値を設定した。作成した3D-CADモデルを図2に示す。

(2) 表面温度の算出

作成した計算用モデルに基づき、3D-CAD対応熱環境シミュレーションツール(Thermo Render 5, A&A社製)を用いて、計算条件を設定した上で、真夏の熱環境を再現した。本研究で用いた3D-CAD対応熱環境シミュレーションツールでは3次元モデルで再現した建物・緑及び地表面の全表面がメッシュに分割され、各メッシュ内の所定の質点において表面温度が算出される。各点での表面温度の値は表面の熱収支計算(直達日射、天空日射、反射日射、対流熱伝達、大気放射、周辺地物との長波長放射量の授受)および各断面方向の一次元非定常熱伝導から算出される。計算の気象条件設定については、日中の最高温度が高い真夏日の気象条件を想定することとした。空気調和・衛生工学会による標準年気象データから、日中の気温が32℃以上に上昇する真夏日である東京の8月5日のデータを使用した。

建物の室温条件については、梅干野ら⁸⁾の方法を用いて、冷房稼働時の設定温度を26℃に想定した。冷房の稼働時間については住宅地では19~24時、商業商業地では7~24時とし、冷房稼働時以外の時間は自然室温として設定した。

シミュレーションにあたっては4日間を助走計算期間とし、5日目の結果を周期定常解として採用した。

(3) 熱環境評価指標MRTの算出

本研究では、MRTを熱中症リスクの指標として用いることとした。MRTの算出については、ある点(微小球と仮定)

$$R_{human} = a_1 \left\{ \frac{A_p}{S_{human}} \cdot I_b + \sum_{i=1}^6 W_i (I_{d_i} + I_{r_i}) \right\} + a_2 \sum_{i=1}^6 W_i (L_{object_i} + L_{sky_i})$$

$$MRT = \sqrt[4]{\frac{R_{human}}{\sigma}} - 273.15$$

I_b : 直達日射量[W/m²], I_{d_m} : 微小面mが受ける天空日射量[W/m²], I_{r_m} : 微小面mが受ける反射日射量[W/m²], L_{object_m} : 微小面mが受ける長波長放射量[W/m²], L_{sky_m} : 微小面mが受ける大気放射量[W/m²], A_p : 人体の有効放射面積[m²], S_{human} : 人体の表面積[m²], R_{human} : 人体が受ける放射量[W/m²], a_1 : 人体の日射吸収率[-], a_2 : 人体の放射率[-], W_m : 重み付け係数[-], i (下付): 各微小面, σ : ステファン・ボルツマン定数[-]

における下式により計算する。

なお、屋外で活動する人間が感じる熱放射環境を考察するため、成人が立つときの胸高の平均値を基準として、高さ1.5mのMRTを算出した。

算出した MRT 分布を図3に示す。

図3 MRT 分布の算出結果 (高さ 1.5m)

4. 震災後の群衆の帰宅行動モデルの構築

震災直後に駅周辺での歩行流動や避難の様子を実測することはできないため、熱中症リスクを評価するには、群衆の行動と歩行流動を予測して分析する必要がある。そこで本研究では、MAS (artisoc) を用いて各歩行者エージェントを単位としてモデルを構築し、対象地における混雑時の個歩行者の行動と、その行動から形成した群集流を再現することとした。モデルの構築方法については、横山ら⁹⁾が提案した各要因の影響を表すポテンシャル場の概念を取り入れ、加藤ら¹⁰⁾が構築した「ハイブリッドモデル」を参考にモデルを作成した。

表 1 歩行者パラメータ

歩行者パラメータ	シミュレーション内の表示	単位
人体円の半径	R	m
パーソナルスペース比	c	
自由歩行速度	Vs	m/s
視野	S	m
心理的距離	D	m
速度	V	m/sec
方向	D	°
熱中症リスク	R	
ポテンシャル値	Po	
位置座標	P (x, y)	

(1) 歩行者パラメータ

本モデルでは、空間を連続的なものと設定して目的地を配置するが、歩行者の進行方向は限定しないため、各歩行者の速度ベクトルを 1 秒 (シミュレーション内では 1step となる) 毎に決定し、1 秒後の位置がその速度ベクトルによって決定される。これにより、歩行者が障害物を回避したり、加速・減速したり、経路を選択するといった行動を取りながら、目的地に向かうことが可能となる。このような行動を想定するために、各歩行者に表 1 の 10 種類のパラ

メータを与えた。

また、本研究では帰宅行動時の歩行者の性格を、「いつも使っている駅の出入口、もと来た道の方に向かう：逆戻り型」、「周囲の歩行者の流れに従う：追従型」、「最近接の出入口の方に向かう：緊急避難型」の 3 種類に設定した。また、性格別のエージェント数は、逆戻り：追従型：緊急避難型 = 1 : 1 : 8 の割合で設定した。

(2) ポテンシャルマップの作成

本研究の分析では、ポテンシャル場の概念からモデルを構築するため、各要素の移動方向を決める対象空間のポテンシャル分布 (ポテンシャルマップ) を作成する必要がある。ポテンシャルの値は、歩行者エージェントの行動に影響する要因の影響度合を表すものである。横山ら(1995)は、ポテンシャル分布を以下の 3 つの影響要因の重ね合わせとして定義している。

- 対象空間の平面構成や避難者の分布など外的要因の影響の度合を表すポテンシャル分布 (ポテンシャルの谷の部分は出口であり、ポテンシャルの山の部分は障害物である。)
- 避難者の知識や判断特性の違いなど内的要因の影響の度合を表すポテンシャル分布 (ポテンシャルの谷の部分は出口で、歩行者がよく知っている出口が深く、詳しくない出口が浅い。ポテンシャルの山の部分は障害物である。)
- 地震、火災、煙など災害による影響の度合を表すポテンシャル分布 (ポテンシャルの山の部分は地震・火災・煙などの災害である。)

以上を次式により求める。

$$\Omega_i(X,t) = \sum_j \Omega_{ij}(X,t) + \sum_k \Omega_{ik}(X,t) + \sum_l \partial_{il}(t) \Omega_{il}(X,t)$$

$$\partial_{il}(t) = \begin{cases} 0: \text{時刻 } t \text{ で考えない災害} \\ 1: \text{時刻 } t \text{ で考える災害} \end{cases}$$

ここで、 $\Omega_{ij}(X,t)$ は外的要因 j の影響の度合を表すポテンシャル分布、 $\Omega_{ik}(X,t)$ は内的要因 k の影響の度合を表すポテンシャル分布、 $\Omega_{il}(X,t)$ は災害要因 l の影響の度合を表すポテンシャル分布である。

本研究ではモデルを単純化するため、対象空間の平面構成など外的要因の影響の度合を取り上げた。また、熱環境を考慮した歩行者帰宅行動における熱中症リスクを評価するために、熱環境が歩行者の行動に影響を与えるように熱環境の状況を表すポテンシャルマップが必要である。そこで、以下の二種類のポテンシャル分布を作成した。

- 目的地までの距離と対象空間に存在する障害物など外的要因の影響の度合いを表すポテンシャル分布 (ポテンシャルの谷の部分は出口であり、ポテンシャルの山の部分は障害物である。)
- 熱環境の影響度合いを表すポテンシャル分布

(3) 歩行者行動規則

各歩行者エージェントのポテンシャルマップに従う行動規則は、歩行者エージェントがポテンシャルの高いところを避け、ポテンシャルの低いところに足を向けるというものである。ポテンシャル分布が算出されると、それに基づいて歩行者エージェントが移動方向を求める。具体的には、1秒(1step)毎に、歩行者エージェントに現在位置を調べさせ、現在位置の座標を中心に近接8セルの中心点のポテンシャル値を順次調べる。その結果から一番低い値を特定し、その方向に向かうように設定した。

(4) 進行方向修正規則

エージェントが定期的に自らの位置と歩行目標から歩行方向の修正しながら、進行ルートにある障害物を避けて行動できるようにするために、佐藤ら¹⁰⁾の設定を参考に、障害物(他の歩行者を含む)に対する回避規則を定めた。まず、歩行者エージェントに障害物を認識させ、そして以下の5つのルールに従って行動させた(図4)。

Rule 1: 進行方向に障害物がない場合、自由歩行速度で直行する。

Rule 2: 進行方向に障害物がある場合、障害物との距離を図り、設定した最小間隔より長いと、最小間隔まで進む。

Rule 3: 進行方向に障害物があり、その左右45度の前方に障害物が存在しない場合は、50%の確率でどちらかに向かい、速度を落として進む。

Rule 4: 進行方向に障害物があり、その左右45度の前方の片方に障害物が存在しない場合は、その方向に向かい、速度を落として進む。

Rule 5: 進行方向、左右45度の前方にも障害物が存在する場合は、現位置に止まる。

図4 障害物と他者の回避規則

(5) 熱中症リスクの行動規則への影響

熱中症リスクを歩行者の行動に反映させるため、算出した MRT の値から熱環境のポテンシャルマップを作り、そして各歩行者エージェントの移動とともに、最小時間単位で最寄りのセルの MRT の値を認識させ、その MRT の値を積算させた。その積算値から、熱中症リスクを定量的に分析することとした。

本研究では熱中症リスクが高まると、歩行者が涼しいところに向かって移動するように行動規則を変更させることにした。避難行動の当初では目的地に向かって移動するが、MRT の積算値が設定値を超えた段階で、歩行者エージェントの行動基準に熱環境のポテンシャルマップを適用させ、より熱中症リスクの低い方向を選択するように設定した。

行動規則を変える値は重要な意味を持つが、MRT の積算値がどれくらいのこと熱中症になるという定説はない。そこで自治体や関連機関が公開している熱中症に関するパンフレットで、日射暴露下には10分以上居続けると危険であると注意喚起しているものを参考にして、日射暴露下での MRT を 50°C として、 $50 \times 10 \times 60 = 30000$ (degree・second) とし、さらに人体への影響が出始める状態を想定して、50%の15000を行動変更の基準とした。

図5 CADデータに基づくシミュレーション環境の設定

図6 障害物の影響を表すポテンシャルマップ

5. 帰宅行動モデルの実装

シミュレーションにおける1セルを現実世界の $1[\text{m}] \times 1[\text{m}]$ とし、選定した対象地を再現した。全域は X 軸にセル800個、Y 軸にセル700個となるセルの陣列で構成されている。対象地 ($200\text{m} \times 200\text{m}$) を中心とする $800\text{m} \times 700\text{m}$ の範囲を覆っている。対象地域の CAD データに基づいて図5に示すように、シミュレーション環境を設定した。

また、各ビルの滞在者数の設定については、東京都では1人当りのビル床面積が平均 22.9 m^2 であるため、各ビルの延床面積に基づいて各ビルの滞在者数を算出した。

シミュレーション環境を設定した上で、目的地までの距離と対象空間に存在する障害物の情報を入力して外的要因の影響の度合を表すポテンシャルマップを作成した(図6)。目的地については、地域にある合計4つの駅の出入口を目的地とした。

また、算出した MRT の分布を使い、熱環境の影響度合を表すポテンシャルマップを作成した(図3)。

図7 エージェントの移動

6. シミュレーションの結果

シミュレーションにより、各歩行者の行動と熱中症リスクを可視化し、観測することが可能になった(図7)。図7上は300s時点の様子、下は600s時点の様子である。エージェント群衆の集まり方と状況、及び対象地全体の混み具合を把握できる。駅の出入口の周辺と、環境の構造上ボトルネックになっているところに歩行者が集中する様子が観察された。図7ではMRTの積算値が設定値を超えたエージェントをグレーで表示している。目的地となっている駅の出入口付近で群衆密度が高く、かつ熱中症リスクがあるエージェントが大勢存在するところが複数存在することがわかる。

図8は、MRT分布図上に400s時点のエージェントを表示している。MRTの積算値が設定値を超えた段階でエージェントの色を黒から赤に変化させている。図8では、Aにおいて赤いエージェントがMRTの低い地区に存在してい

る様子がわかる。これらのエージェントは熱中症リスクが高まったことで、安全な(冷涼な)場所にとどまっているものと考えられる。一方で、Bでは赤いエージェントがMRTの高い場所に位置しているのがわかる。これらのエージェントは、図7では一部が同じ場所に留められているように見える。そこで次章では、各エージェントの移動とそれに伴うMRTの変化を詳細に分析することとした。

図8 対象地におけるMRT分布とエージェントの位置(400s時点)

7. 熱中症リスクの分析

シミュレーションの結果を用いて、20s(20 step)ごとに記録した1200s(1200 step)までの各エージェントのMRT値データ群を用い、5707エージェントの経過時間と各時間に位置する場所のMRT値を出力した。これらのエージェントは1200sの時点でもポテンシャルマップ内に滞留しているエージェントである。そのデータを用いて、クラスター分析を実施した。類似度はユークリッド平方距離を用いて判定し、ウォード法によりクラスターの併合を行った。そして、クラスター分析から得たデンドログラムを用いて、データを6つのクラスに分類した。

各クラスの各エージェントが対象時間中に位置する場所のMRTと、エージェント数を図9に示す。各クラスの特徴は以下の通りである。クラス1は最初に位置する空間のMRTは高いが、その後MRTの低い場所に移動している。クラス2は、MRTが高い空間に暫く居続けて、その後少しMRTの低い場所に移動しているが、MRTが40~45°Cの熱中症リスクの高い空間に居続けている。クラス3は、最初に位置する空間のMRTは高いが、その後MRTの低い場所に移動している。クラス4は、徐々にMRTの高い空間に移動し、その後はMRTが45~50°Cの熱中症リスクの高い空間に居続けている。クラス5は、徐々にMRTの高い空

図9 各クラスの対象時間中のMRTの変化とエージェント数

間に移動し、その後は MRT が 50～60℃の極めて危険な空間に居続けている。クラス 6 は、徐々に MRT の高い空間に移動するが、その後は MRT が低い空間に移動して居続けている。

以上のことから、クラス 2 とクラス 4 に含まれる合計 27.5%のエージェントは MRT が 40～50℃の場所に、クラス 5 に含まれる 18.9%のエージェントは MRT が 50～60℃の場所に留め置かれてしまい、長時間、高い MRT に暴露され続けることが示された。このように日射が直接当たる場所で留め置かれ、そこから逃げることができないまま居続けさせられるエージェントは合計 46.4%に上る。これは、高い密度の群集と押し寄せ行動の影響で、エージェントが動けなくなったまま熱中症リスクの高い場所から逃げられなくなっているものと判断できる。この問題に対処するために、今後は過度の密集が予想される場所において高木樹木の緑化等により日射を遮蔽するなど、放射環境の改善を進めるとともに、災害時の避難者の誘導方法を検討していく必要があるといえる。

8. まとめ

本研究においては、MAS に熱環境評価の結果を導入することにより、暴露量を考慮した熱中症リスクの評価が可能になった。本研究の分析結果から以下の知見が得られた。

- ・ 熱中症リスクが高まっているのに、群衆が集まることで冷涼な空間への移動が進まなくなる状況が発生することが観測された。
- ・ 27.5%のエージェントが MRT が 40～50℃の場所に、18.9%のエージェントが MRT が 50～60℃の場所に留め置かれてしまうことが示された。合計で 46.4%のエージェントが避難できないまま長時間、高い MRT に暴露され続けることから、多くの熱中症患者の発生が予想されることが示唆された。

本研究においては、artiso を使い帰宅行動シミュレーションを構築したが、モデルの構築手法については改善の余地がある。また、熱環境のポテンシャルによって行動が変化しはじめる段階の設定 (MRT 積算値の設定) についても検討の余地がある。特に劣悪な熱環境への暴露と人体の生

理的応答に関する研究成果を応用していくことが今後は求められる。しかし、本研究からは熱中症リスクの高いエージェントが安全な場所に移動できなくなる様子を観測することができており、今後の安全な市街地整備を目指していく上で重要な知見を得ることができた。今後は本検討結果を踏まえて、より安全な屋外空間の設計方法や災害時の避難の誘導方法について検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 佐藤 隼・村上 暁信(2011): 公園内の熱放射環境と幼児の行動から捉える熱中症の危険性. 日本造園学会全国大会研究発表論文集, 2011, 143
- 2) 山崎 雄大・常松 展充・横山 仁・梅木 清・本條 毅(2016): 温熱快適感マップの作成と夏季マラソンコースの温熱環境予測. 環境情報科学論文集, 30,43-48
- 3) 國吉 光・小久保 礼子・岩橋 佳子・周藤 忠明・日下 博幸・渡部 厚一(2015): 屋外暑熱環境下の自由歩行が高齢者の生体に与える影響. 理学療法学 Supplement, 2014, 1551-
- 4) 廣井 悠・大森 高樹・新海 仁(2016): 大都市避難シミュレーションの構築と混雑危険度の提案. 日本地震工学会論文集, 16, 5
- 5) 西山 直輝・室町 泰徳 (2016): 震災発生後の首都圏鉄道における駅滞留者の過剰発生を抑制する方策に関する研究. 都市計画論文集, 50, 352-357
- 6) 竹木 祥太: 災害時における情報提供・駅周辺混雑緩和の効果. 千葉大学都市環境システム学科
- 7) Sofia Thorsson・Joachim Rocklöv・Janina Konarska・Fredrik Lindberg・Björn Holmér・Bénédicte Dousset・David Rayner (2014): Mean radiant temperature – A predictor of heat related mortality. Urban Climate, 10(2), 332-345.
- 8) 梅干野晃・浅輪貴史・高田真人・円井基史(2002): 土地利用と熱環境対策からみた都市街区におけるヒートアイランドポテンシャルの特徴. 日本建築学会計画系論文集, 559, 63-70.
- 9) 横山 秀史・目黒 公郎・片山 恒雄(1995): 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用. 土木学会論文集, 1995, 225-232
- 10) 加藤 周平・下園 武範・岡安 章夫(2009): 個体行動特性を考慮したハイブリッド型群集津波避難シミュレーション. 土木学会論文集 B2(海岸工学), 65, 1316-1320
- 11) 佐藤 和希・高橋 徹・山田 隆志・寺野 隆雄(2009): エージェント技術に基づく駅構内の群歩行シミュレーション研究. 研究報告知能と複雑系 (ICS) ,2009, 81-86