

歩行者流のエージェントシミュレーション

兼田敏之*

*名古屋工業大学大学院工学研究科
名古屋市昭和区御器所町

*Nagoya Institute of Technology, Gokiso, Showa, Nagoya, Japan

*E-mail: kaneda.toshiyuki@nitech.ac.jp

キーワード：歩行者ダイナミクス（英文），歩行事故解析（英文），セル空間モデル（英文）
JL 0012/04/4312-0000 ©2004 SICE

1. はじめに—歩行者エージェントモデリングのボトムアップアプローチ

本稿で述べる歩行者流のエージェントシミュレーションは，歩行者ダイナミクスとも呼ばれ，90年代以降の複雑系研究の文脈では，主としてセルオートマトン（Cellular Automata: CA）研究が発展して成立したものとされる．同じく CA を発展させた車両流シミュレーター TRANSIMS が応用研究として既に知られている¹⁰⁾が，車両に比べて歩行者のマイクロ動作がじつに多種多彩なためもあってか，歩行者エージェントモデリングは発展途上といった感がある．都市計画側からこの応用に関心を持つ筆者は，この発展プロセスに，実測研究とつねに突き合わせをしながら，セル空間上の歩行者エージェントに高次機能を組み込んでゆくという，ボトムアップのモデリングアプローチを見て取ることができる．

本稿では，おもに CA 由来のセル空間上における歩行者ダイナミクス研究を解説する．その事例として，筆者の研究室で取り組んでいる歩行者流シミュレーションとそれを用いた分析を紹介する．また，ボトムアップアプローチの方向性を展望するため，統合型モデルの試みについて言及する．

まず，このボトムアップアプローチを説明するために，関連する既存研究を4つの群に整理する（図1参照）．第一の群は，歩行者行動ならびに歩行者流の実測研究である¹⁾⁻⁸⁾．この群には，基礎知見から実務応用，マイクロからマクロ，平常時からパニック時までじつに多種多彩な研究事例が集積する．第二の群は，歩行者モデルにおけるマイクロ動作の集積から歩行者流のマクロ現象の創発を構成する歩行者ダイナミクスモデル研究である⁹⁾⁻²⁶⁾．この群には，物理現象アナロジイのモデル，CA モデル，CA を発展させたセル空間モデルが含まれる．ただし多くの場合，歩行者は単に他者を避けながら直進する存在に過ぎない．

ここでボトムアップアプローチとは，この歩行者モデルに対して，実測研究からの知見とつねに突き合わせながら，経路選択やトリップ生成，立ち寄り順序計画といった，より高次の機能を組み込むモデルの統合化を意味する．第三の群は，これらの要素機能についてのモデル研究である²⁷⁾⁻³⁵⁾．以前から OR や交通計画，人工知能分野で研究されてき

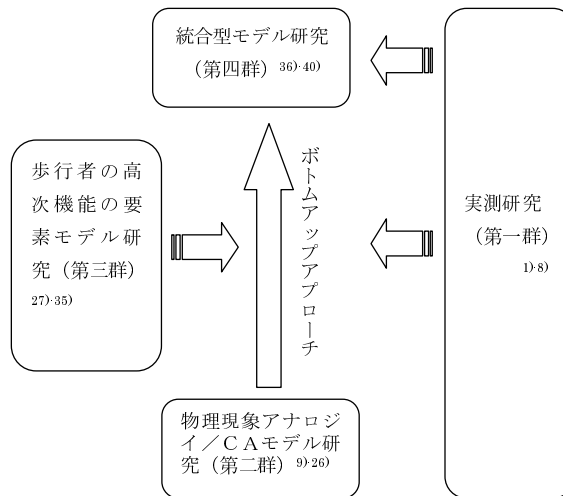


図1 歩行者エージェントモデリングの関連研究とボトムアップアプローチ

たものが多い．そして第四の群は，GIS といったプラットフォームを用いて，これらの統合を目指す応用指向の統合型モデルに関する研究である³⁶⁾⁻⁴⁰⁾．

2. 歩行者行動の特徴

実測研究にはすでに30年以上の歴史がある．すでに70年代初め，Fruin は平常時における歩行者流の実測研究から，歩行者密度を歩道のサービス水準 (Level Of Service: LOS) として提唱している³⁾．人種・文化によって数値に多少の違いはあるものの，この概念は世界各国の施設設計基準⁷⁾として用いられるようになる．また同時期，Henderson は，一方向流における歩行者の速度分布（平均 1.34m/s，標準偏差 0.26m/s のガウス分布）の計測から，歩行者流の速度式を提案した⁴⁾．

歩行者の各々に着目する限りカオス的な動きを示すが，平常時における歩行者流は，驚くほどの規則性を示す，というのが研究者のあいだで一致した見解である．

一方向流における歩行者行動の特徴として，(1) たとえ群集が前を塞いでいたとしても迂回を嫌い（マイクロレベルの直行性）(2) 時間に追われておらず急いでいない場合，属性や状況で異なるが，各々が固有な巡航速度を好み（巡航速度の固有性）(3) 他の歩行者や歩行境界や障害物とある間隔を保つ（間隔保持性）が，(4) その間隔は急ぐ際や

密度が大きい場合には短くなる（間隔の可変性），などがよく文献に挙げられる．

歩行者流は，低密時には気体，中高密時には液体や粒状媒体のアナロジイで扱われることも多い．このアナロジイを支えるのは（1）雪上の足跡が液体の流れに似る（2）対向流境界では粘着性（viscous fingering）が生じる（3）立ち止まり群集を通過する歩行者流は，河床（river bed）に似る（4）高密時には，歩行者は自発的に定流（lane）を形成する．これは，粒状媒体における分離や層化現象に似る，（5）ボトルネック部において歩行者通過方向が振動する．これは塩水振動子（saline oscillator）や「砂時計」に比される（6）前方に押し出された群集密度が衝撃波の伝播に似る（7）パニック群集におけるアーチングや閉塞が，粗粒子媒体の「詰まり」に似る，といった実測研究からの知見である¹⁶⁾．

また，平常時とパニック時とは歩行者行動が大きく異なる．ここでパニックとは，各個人が自分自身の安全を脅かす事態を避けようとして，他者の配慮を無視して行なう，非合理かつ無秩序な行動の集積を意味する．パニック行動は，混雑場所における火災のように生命への危険が生じる際に起こりうるが，それ以外の場合，例えば，音楽コンサートでの座席取りをきっかけとしたり，明らかな理由もなく生じることもある．近年，利便性の発達した都市において大規模イベントが増えるなか，パニック事故は増加傾向にある．ただし，事故の事後検証で説明のつかない原因をパニックに求めるといふ社会心理学者の指摘もある⁵⁾．

パニック時における歩行者行動の特徴として（1）神経質で素早い動作（2）視野狭くないし盲目的な行動（例えば，他の出口を見出せない）（3）他のひとの行動への追従（4）押し合い（5）ボトルネック通過時の非協調的行動（7）渋滞（jam），アーチング（arching），閉塞（clogging）の発生，（8）平米あたり最大 4500N に達する危険な横圧力などが挙げられる¹⁶⁾．以降，本稿ではおもに平常時の歩行者について言及したい．

3. 歩行者ダイナミクスモデルの進化——CAモデルからセル空間モデルへ

気体や液体，粒状媒体の力学的挙動といった物理現象アナロジイと，歩行者行動を区別する特徴は，回避動作にある．この特徴の付加によって，物理現象アナロジイのモデルとは異なる，歩行者ダイナミクス（pedestrian dynamics）^{（注1）}と呼ばれるモデルが登場する．

Helbing による理論モデルは，歩行者の加速度ベクトルを社会作用（social force）と独自項の和で表わすとともに，社会作用を加速力，境界反発力，他の歩行者との相互作用

^{（注1）}本稿では群集ダイナミクス（crowd dynamics）と同義で用いる．特に避難者のモデルは避難ダイナミクス（evacuation dynamics）と呼ばれる．

の和，時刻項の総和で表現する¹⁵⁾．Helbing はこのアイデアを社会科学における場（field）の概念に求めた．ちなみに，後述するセル空間モデルで同じく場の概念を用いたものに，Burstedde のモデルがある．このモデルでは，進行セルごとの選択確率を，その場所が持つ静場（static field）と動場（dynamic field）の2つのポテンシャルの積に比例させている．とくに動場は，他者の歩行履歴が「フェロモン」として残ったものと解釈される¹²⁾．

ここで，CAモデルとその拡張型としてのセル空間エージェントモデル（単純に，セル空間モデル）について述べる．この両者の違いを簡単に説明しよう．

まず，単純な二次元 CA の例としてライフゲームを考えてみる．この CA は，（1）その期のセル状態はすべて前期の情報によってアップデートされるという「アップデート構造」，（2）セルのアップデートを規定する情報として近傍セルの状態を用いる「近傍性」，（3）セル状態は点灯・消灯の「2値状態」といった特徴を持つ．この CA で歩行者行動を表現しようとするとき，歩行者は点灯セルに位置すると解釈を与えたいので，（4）点灯セルを消灯するとともに別の1つのセルを点灯することによって表現する「移動」の概念がさらに導入される．この場合，（5）1セルに占有できる歩行者数は最大一人までとされる（「占有上限」）．一方向流の場合，このモデルによって歩行者の行動が表現されることもある（一次元 CA の場合，Wolfram184番ルール²⁶⁾）．

これに対して多方向流を扱う場合，あるいは1ステップで長い移動を扱う場合などでは，「アップデート構造」「近傍性」「2値状態」「占有上限」などの条件を緩和する必要が生じる．とくに，アップデート構造を変更する場合，（1）「移動」にかかわるすべてのセルを前期の情報を用いて並列的にアップデートしたのち，占有上限を超えたセルについて別途コンフリクト処理を行なうか，（2）すべての歩行者について順序を設けて局所的に移動のアップデートを行ってゆく—のいずれかが採られる．前者は並列アップデート，後者は直列アップデートと呼ばれる．直列アップデートには，その適用順序によって計算結果が異なるという経路依存性が存在するため，並列アップデートを好む研究者もいる．一方，直列アップデート—とくに，順序を与える際に乱数を用いる乱数直列アップデートを好む研究者も多い．

このような方式，とくに直列アップデートでは，歩行空間のモデルとしてセル空間の表現形式が与えられているものの，すでに狭義の CA の範疇を超えるため，エージェントモデルと呼ばれるのがふつうである．本稿では，これをセル空間モデルと称して CA モデルと区別する．表1にセル空間モデルを用いた最近の研究を示す．いずれも，歩行者エージェントのマイクロ動作の集積から歩行者流のマクロ現象を創発しようとする研究であるが，左側2つのモデルがおもに理論関心に基づくのに対して，右側3つのモデル

表1 セル空間モデルを用いた歩行者流シミュレーション研究(対向流)の相互比較

	研究	Muramatsu et.al (1999)	Fukui, Ishibashi (1999)	Burstedde et.al (2001)	Blue, Adler (2001)
時間スケール	セル規模	明示せず	明示せず	40cm四方	45.7cm四方
	時間刻み	明示せず	明示せず	約0.3秒	明示せず(1秒?)
	セル占有	1人まで	1人まで	1人まで	明示せず(1人まで)
シミュレーション・アルゴリズム	歩行者の行動ルール(カッコ内はルール数)	隣接3セル状態に応じて1セル前進・左右回避を選択(8)	間隔1セル以上では前進(Wolfram184ルール), 前方隣接1セルに他者が存在時, 可能であれば斜め前1セルに回避, その他は停止(斜めステップングモデルの場合)	隣接8セル状態に応じて隣接1セルに移動選択, 選択確率は, M: 進行方向選択, D: 動場ポテンシャル, S: 静場ポテンシャル(固定)の積に比例, 動場ポテンシャルは素粒子物理学アナロジー	3つのレーンについて他者との間隔を求めて最大間隔レーンを選択前進, 間隔が同じ場合は確率的に選択, 近接する対向者どうしは確率的に位置交換(交換確率の導入)
	歩行者の最大速度/歩行者の最大速度の構成	1/単一	1/単一	1/単一	4/4, 3, 2が5%, 90%, 5%
	回避動作最大間隔/対称性	1/対称的	1/対称的	2/対称的	8/対称的
	アップデートとコンフリクト解消方式	SU(Sequential Updating)	明示せず	PU(Parralel Updating)のうち確率的にコンフリクト解消	回避動作と前進の2回のPU
研究上の成果		(1)対向流における渋滞現象(lam)の創発, (2)流動係数-速度関係の算出, (3)回避動作特性との関係	(1)横ステップングモデルと斜めステップングモデルの提案, (2)斜めステップングモデル・対向流における直行相→斜行相→定常斜行相の相転移, (3)密度-速度関係の算出	(1)部屋外への避難流の表現, (2)対向流における定流の創発	(1)対向流における相(DM L流(動的な複数の定流)・散在流・対向比率・交換確率ごとの密度-速度関係の算出, (2)測定結果との突き合わせによる交換確率の推定の試み, (3)密度-回避頻度関係の算出

は、実測研究が扱うマクロ現象を再現するためのモデル開発といった色彩があり、とくに最右のモデル(鈴木版)は、実測研究結果との数値突き合わせにより、計量評価もあわせて試みるものである。

セル空間のモデリングの際には、離散近似もまた重要である。表1の相互比較をみると、セルの空間スケールについては明示しないものも含めて40cm前後とほぼ一致している。一方、時間スケールにばらつきが見られるが、このばらつきは、回避動作を始める距離とも関係があるようである。表1の右側3つのモデルのアルゴリズムはそれぞれ異なる特徴を有している。また、時間刻みと回避動作距離をとともに短くとるBursteddeらのモデルは高密状況、時間刻みを短く回避動作距離を長くとるBlue, Adlerのモデルは低密状況、双方とも中位にとる筆者らのモデルは低密から高密への変化過程の再現に焦点をあわせたものと整理することもできる。

4. セル空間モデルによる歩行者流シミュレーションの実際—歩道橋事故を考える

以前より歩行者回避行動のモデリングに取り組んでいた筆者の研究室が、より基礎的な歩行者流のモデリングに取り組むようになったのは、2001年初夏からである。もともと、使い勝手の向上著しいエージェントシミュレーションのソフトウェアを試してみるのが動機であった(注2)。モデルの設計中、7月に明石市花火大会において痛ましい事故が発生し、憶測も交えた情報が報じられる。これらの報道

情報をもとに、12月に発表したプログラム(矢野版)は、朝霧駅歩道橋に似せたL字回廊における高密歩行者流を検討するものであった¹⁹⁾。2002年1月に明石市により事故報告書¹⁾が公表され、詳細な事故知見が明らかになる。この報告書の記載に依拠しながら、矢野版を見直し・改良して事故状況の再現を図ろうとしたのが鈴木版(ASPF)²⁰⁾であり、このプログラムを用いたシミュレーション分析は2004年2月に発表された²⁵⁾。本稿では以下、おもにASPFのモデル概要について説明する。

エージェントモデルの中核は図2に示す歩行動作ルール群である。密度2(人/m²平方メートル)を閾値として、低密時には基本動作ルール(6個)、対個人減速ルール(8個)、対個人回避ルール(4個)、流れ読みルール(1個)、高密時には高密歩行ルール(3個)のうちいずれか一つを適用する(優先順位は番号順)。L字回廊歩行の際には、方向転換ルールのほか、低密時のコーナリングにおける経路短縮を図るルールを設けた(図3)。なお1ステップ0.5秒、1セルは40cm、セルあたり最大占有者数は、周辺密度2以上の時2人、他は1人である。密度-流速関係の測定では、実測研究結果に近似する右下がりのグラフを得ている。

事故報告書が断定した事故現象は、群集なだれと呼ばれるものである。これは歩道橋上の最大密度が13~15の時、平らな敷地でも発生するものである。これに対して、一部の憶測報道が言及した将棋倒し(密度3~5)は階段でしか発生しない。シミュレーション分析では、階段段差を捨象したL字平面における、パニック時ではない平常時の歩行者行動モデルを用いるとともに、滞留状態を意味し、将棋倒しリスクが高まる密度4を危険水準として着目すること

(注2) (株)構造計画研究所によるkk-MAS

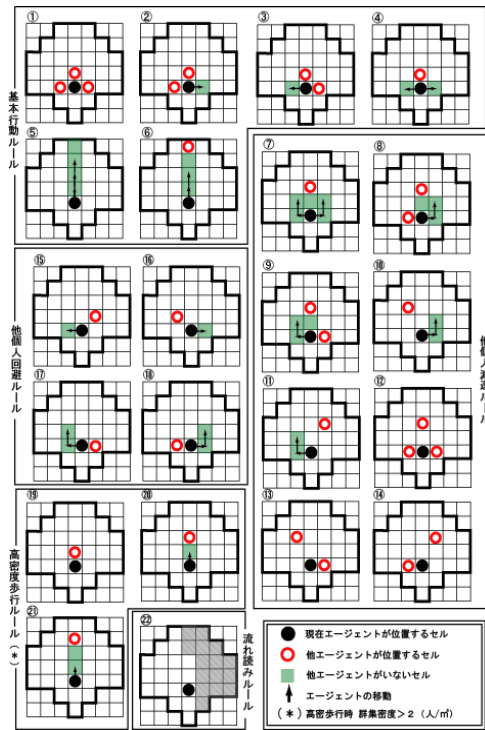


図2 ASPFにおける歩行動作ルール群

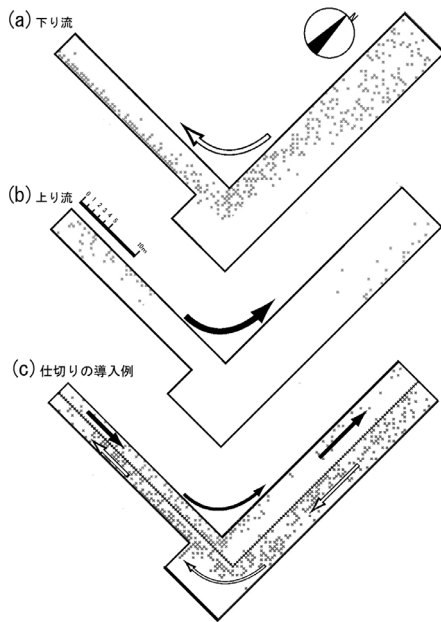


図3 朝霧歩道橋を模したセル空間における歩行者流の表現

とした。

次いで、流動係数の扱いも重要である。朝霧歩道橋は、設計基準値 0.33 (人 / m · 秒) よりも厳しい避難計画基準値 1.5 で設計されていた⁽⁶⁾⁽⁸⁾。ただしこの双方は一方向流を想定している。これに対して筆者らが推計した流動係数はピーク時 0.48 であり、このことは限界容量を下回る状況で事故が発生したを意味する。この原因の一部として事故報

告書が言及したのは、対向流の交錯のほか、歩道橋の南面における花火見物のための立止まり者の存在による。そこで、シミュレーション分析では、L字回廊（橋幅 17 セル・階段幅 9 セル）の南側に 2~5（セル）列の立止まり者を設けて、密度上昇についてのこれらの影響を試算することとした。また、有効な通行規制が行なわれていなかったとの事故報告書の指摘を踏まえて、シミュレーション分析では、中央に間仕切りを設けた際の効果も併せて検討した。

シミュレーションの結果は、立止まり者がいない場合、対向流であっても双方の流動係数の和が 1.5 を下回る限り、密度は危険水準を超えないが、立止まり者が 3 列以上の場合には、危険水準を超える密度が生じる、というものである。なお、シミュレーションは、仕切り導入が密度抑制効果を持つことを示したが、階段幅を二分すると 1.8m になり、アーチアクションを検討したベアリング実験による最小幅 2.1m を下回るため、結局のところ、一方通行・立止まり禁止が最良の予防策と言えそうである。

ここでシミュレーション分析について簡単に触れておきたい。計算機シミュレーションは、前提から帰結を導く「前向き推論」のツールとして知られている。昨今の演算能力の向上は、シミュレーションにおける前提変更に対して生じる帰結の違いから、与えられた帰結に対して考えられる前提を絞り込む、という「後向き推論」に近いことが可能になってきた。一般に、事故の事後検証では、その原因究明に必要なすべてのデータを得られることは難しいとされる。この場合、得られたデータと仮説を用いたシミュレーションを行ない、事故状況を再現することを通じて、整合性ある因果説明を探ることを試みる。本稿ではこの意味でシミュレーション分析という言葉を用いた。本節の分析は、詳細で一貫性ある事故報告書の知見を含んだモデルを用いて事故プロセスの再現を行ない、事故知見の追証を行なうとともに、密度試算や対策の計量評価を試みた点に意義があると考えている。

なお、この分析を行う際に、このシミュレーションモデルを傍証反証する多くの事実や他の仮説モデルを集めて、関係をよく吟味することが重要である。歩行者流の場合、通行者による体験証言も重要である。

5. 歩行者エージェントの統合型モデルへ—結語に代えて

これまで、おもにセル空間における歩行者流のエージェントシミュレーションを説明してきた。現在、これらは新しい実測研究の知見を踏まえて、第二群から踏み出したばかりという段階であるが、ボトムアップという視点からみれば、歩行者エージェントの持つべき機能はこれのみにとどまらず、より高次の機能と複合したものと考えられる。TRANSIMS の成功も、CA による個々の車両のミクロ動作の表現そのものと言うよりも、社会人口学的 (socio-demographic) な

属性ごとの特徴づけや、パーソントリップ調査に基づく交通手段選択 (modal choice) や OD(origin-destination) 構造など、よりマクロな内容との統合を果たしたためという見方が強い。

このような統合型モデルを指向する研究として、UCL の CASA (高等空間解析センター: Centre for Advanced Spatial Analysis) のグループが推進する STREETS プロジェクト^{36),37)}がある。STREETSは、GISを用いた統合型エージェントモデルであり、ベクトル・ラスタ・ネットワークの三種類のデータを扱う GIS 上において、エージェント言語 SWARM を用いて実装される。エージェントモデルは、歩行者の内外環境を多数の状態変数として持ち、機能レイヤーとでも呼びうる 5 つのモジュールが並列処理を行なう黒板モデル (blackboard model) として構成されている。これらのモジュールは、下位機能から順に、動作器 (mover)、方角把握器 (Helmsman)、位置把握器 (navigator)、歩行目標 (waypoint) の選択器 (chooser)、計画器 (planner) である。この図はこのうち 3 つの下位機能を説明するもので、セル空間上の歩行者エージェントが、与えられた歩行目標のもと、刻一刻と変化する群集流のなかで、位置や方角を維持しながら歩行する過程をシミュレートする。

また、すでに提案されている地区内施設の立ち寄り連鎖を扱う回遊行動モデル^{35),32),31)}を用いることにより、STREETSに、歩行者属性ごとのトリップ生成など、エージェントモデルに対する、より高次の機能の逐次付加が容易に可能と考えられる。ただし、筆者が調査している名古屋・都心域の回遊行動などで観察される、探索的あるいは無目的な寄り道・回り道行動²⁾を扱うには、さらに高次機能の付加が必要であろうと思われる。というのは、大都市圏住民は、年に数回から百回超の頻度で都心域に訪れて、その過程で都心施設を試す、あるいは覚える。寄り道・回り道行動を含むエージェントモデリングには、この時間スパンにおける適応学習機能の導入が望まれるためである。

最後に、歩行者流のエージェントシミュレーションの展望として、きわめて今日的な問題にかかわる応用事例を紹介したい。それは、大規模イベントにおける群集制御である。読者はロンドンのノッティンヒルで行なわれるカーニバルに毎年百万人も人が集まることをご存知であろうか？わが国における浅草のカーニバル、札幌のよさこいソーラン祭り、名古屋のど真ん中祭りを思い浮かべれば合点がゆくはずである。これらは、洋の東西を問わず出現したポスト近代の社会現象とも言える。

ノッティンヒルのカーニバルでは、街中を練り歩くパレード隊に対して、見物客がおっかけをするという。UCL の CASA を率いる Batty のグループは、この状況をエージェントシミュレーションで表現しようとする試みた³⁶⁾。この研究は、おっかけ見物客を群れ知能 (swarm intelligence) でモデリングするとともに、通行規制用具をエージェント

として表現して、動的な通行規制のあり方を探るといものである。

昨年、筆者が二ヶ月間ロンドンに滞在しており、エージェントシミュレーションを用いたベンチャービジネスを手掛ける Intelligence Space 社の Jake DeSyllas 博士と会う機会を得た。同社におけるエージェントシミュレーションの応用領域は、ロンドン都心域における歩行事故防止策、ノッティンヒル・カーニバルなど大規模イベント時における群集制御や、グリニッジ・ベニスーラ都市開発プロジェクトにおける歩行空間デザインなど多岐にわたる。

歩行者流は、誰にでも身近な公共性のあるテーマである。そして現在、センシング技術の進展とあいまって、基礎から応用まで扱う総合的な研究テーマとなった。学究諸兄姉の関心を喚起しながら、本稿を締めくくりたい。

(2004年9月4日受付)

参考文献

- 1) 明石市, 明石市民夏まつりにおける花火大会事故調査報告書 2002年1月
- 2) 荒川雅哉, 兼田敏之: 名古屋都心域における回遊行動の冗長性に関する分析, 2002.6, 日本建築学会計画系論文集第 556号, 227/233.
- 3) Fruin J, 1971, Pedestrian Planning and Design. Elevator World Inc, 長島正充訳: 歩行者の空間—理論とデザイン, 鹿島出版会, 1974.
- 4) Henderson, L. F., 1971, The statistics of crowd fluids. Nature, 229, 381/383.
- 5) 広瀬弘忠, 人はなぜ逃げおくれるのか—災害の心理学, 集英社新書, 2004
- 6) 日本道路協会(社) 立体横断施設技術基準・同解説 1979年1月
- 7) 日本建築学会編: 建築設計資料集成 [人間] 2003年, 丸善
- 8) 消防科学総合センター(財) 地域防災データ総覧 [地域避難編] 1987年3月
- 9) Blue, V. J. and Adler, J. L., 2001, Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways. Transportation Research B, 35, 293-312.
- 10) Casti J, 1996, Would Be Worlds - How Simulation is Changing The Frontiers of Science. John Wiley & Sons.
- 11) Burstedde, C, et, al, Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics-Applications, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer-Verlag, 87/98.
- 12) Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, A., and Zittarz, J., 2001, Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. Physica A, 295, 507/525.
- 13) Fukui, M, Ishibashi, Y, Self-Organized Phase Transitions in Cellular Automaton Models for Pedestrians, Journal of the Physical Society of Japan, 65,8, 1999, 2861/2863.
- 14) Gipps, G, Marksjo, B, A Micro-Simulation Model for Pedestrian Flows, Mathematics and Computers in Simulation 27, 1985, 95/105.
- 15) Helbing, D., 1991, A mathematical model for the behavior of pedestrians, Behavioral Science, 36, 298/310.
- 16) Helbing, D., Farkas, I. J., Molnar, P., and Vicsek, T., 2001, Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer-Verlag, 21/58.

- 17) Helbing, D., Farkas, I., and Vicsek, T., 2000, Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, **407**, 487/490.
- 18) Helbing, D., Molnar, P., Farkas, I. J., and Bolay, K., 2001, Self-Organizing Pedestrian Movement, *Environment and Planning B*, **28**, 361/383.
- 19) Kaneda, T, Yano, H, et.al, A Study on Pedestrian Flow by Using an Agent Model - A Simulation Analysis on the Asagiri Overpass Accident, 2001-, Terano, T, Deguchi, H, Takadama, K, (eds), Meeting the Challenge of Social Problems via Agent-Based Simulation, Springer, 2003, 185-196.
- 20) 兼田・鈴木：複雑系アプローチによる群集流動シミュレーション, 日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム, 2004年12月
- 21) Kessel, A, et.al, Micro Simulation of Pedestrian Crowd Motion, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer-Verlag, 193/202.
- 22) Muramatsu, M, Irie, T, Nagatani, T, Jamming Transition in Pedestrian Counter flow, *Physica A* 267, 1999, 487/498.
- 23) Sshadschneider, A, Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics-Theory, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer-Verlag, 75/86.
- 24) Sugiyama, Y, Nakayama, A, Hasebe, K, 2-Dimensional Optimal Velocity Models for Granular Flow and Pedestrian Dynamics, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer-Verlag, 155/160.
- 25) Suzuki, T, Kaneda, T, A Simulation Analysis on Pedestrian Flow Management with an Agent-Based Approach - A Reconstruction of the Pedestrian Overpass Accident in Akashi City -, 2004, Terano, T, Kita, H, Kaneda, T, Arai K, (eds), Proceedings of The Third International Workshop on Agent- Based Approaches in Economics and Social Complex Systems (AESCS'04), 269/276.
- 26) Wolfram, S, Statistical Mechanics of Cellular Automata, *Reviews of Modern Physics* **55**-3, 1983, 60/-644.
- 27) Bonabeau, E., Dorigo, M., and Theraulaz, G., 1999, *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems* (New York: Oxford University Press).
- 28) Borgers, A. and Timmermans, H. A., 1986, A model of pedestrian route choice and demand for retail facilities within inner-city shopping areas. *Geographical Analysis*, **18**, 115/128.
- 29) Lovas, G. G., 1994, Modeling and simulation of pedestrian traffic flow. *Transportation Research B*, **28B**, 429/443.
- 30) Hoogendoorn, S. P., Bovy, P. H. L., and Daamen, W., 2001, Microscopic pedestrian wayfinding and dynamics modeling. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, edited by M. Schreckenberg and S. D. Sharma (Berlin: Springer-Verlag), 123/154.
- 31) 兼田敏之, 横井祥晃, 高橋俊一: 施設種間推移を考慮した歩行者回遊行動シミュレーションモデルの開発, 2001.10, シミュレーション&ゲーミング
- 32) Kennedy, J., Eberhart, R. C., and Shui, Y., 2001, *Swarm Intelligence* (San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers)
- 33) Kurose, S, Borgers, A, Timmermans, H, Classifying Pedestrian Shopping Behavior according to Implied Heuristic Choice Rules, *Environment and Planning B*, 2001, **28**, 405/418.
- 34) Meyer-Koonig, Kluupfel, H, Schreckenberg, Assessment and Analysis of Evacuation Processes on Passenger Ships by Microscopic Simulation, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer-Verlag, 297/302.
- 35) O'Kelly, M, A Model of the Demand for Retail Facilities, Incorporating Multistop, Multipurpose Trips, *Geographical Analysis*, **13**-2, 1981, 134/148.
- 36) Batty, M, DeSyllas, J, Duxbury, E, The Discrete Dynamics of Small-Scale Spatial Events: Agent-Based Models of Mobility in Carnivals and Street Parades, Working Paper 56, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, 2002.
- 37) Schelhorn, T, et.al, STREETS: An Agent-Based Pedestrian Model, Working Paper 9, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, 1999.
- 38) Haklay, M. Thurstain-Goodwin, M. O'Sullivan, D. and Schelhorn, T., 2001, "So go downtown": simulating pedestrian movement in town centres. *Environment and Planning B*, **28**, 343-359.
- 39) Schneider, V, Koonnecke, R, Simulating Evacuation Processes with ASERI, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer-Verlag, 303/314.
- 40) Vassalos, D et.al, A Mesoscopic Model for Passenger Evacuation in a Virtual Ship-Sea Environment and Performance-Based Evacuation, Schreckenberg M. and D. Sharma S. (eds), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer-Verlag, 369/408.

[著 者 紹 介]

かね だ とし ゆき 君 (正会員)



1983年東京工業大学工学部社会工学科卒業。88年東京工業大学大学院理工学研究科社会工学専攻博士課程修了。工学博士。専門は、社会工学、都市計画学、シミュレーション&ゲーミング。まちづくり教育の傍ら、複雑系の視点から都市システムの現象理解とその制御の研究に取り組む。