

内22-74

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博士論文概要

## 論文題目

群衆力学に基づく歩行行動モデル

A Study on Pedestrian Model Based on Crowd Dynamics

申請者

高柳 英明

Hideaki Takayanagi

建設工学 建築計画学

2003年1月



## 1. 研究背景

駅や商業空間など、不特定多数の集まる場所では、人は意志を持った個人としてよりもむしろ群れとしての挙動を呈し、群衆流や滞留を形成する。このような空間の歩行安全性・快適性は、群衆挙動を適切にコントロールすることに深く左右され、また、こうした空間を設計をする際には、空間デザインと群衆挙動との関係を事前に深く理解し、起こりうる状況を予測しておくことが大切である。

一方、都市におけるレジャー活動の多様化・活発化をうけ、集客施設等で多発する群衆事故を見るに、イベント当日の雑踏警備等による対処では事故発生を防ぐことが極めて困難になりつつある。これから集客施設の空間デザインは、こうした予期せぬ事象を事前に考慮し、群衆挙動と空間デザインを総合的にマネジメントし、必要ならば新たな知識の創発を期待しうる広義の設計行為でなければならない。そこで本研究では、設計段階で群衆挙動を解析し、シミュレートする群衆力学モデルの構築を目指すものとする。

本研究では、群集流や滞留などの群衆独自の挙動を力学的に記述する物理モデル系を群衆力学と定義し、群衆を構成する歩行者の行動に対してこの物理モデル系を適用したものを群衆力学モデルとよぶとする。このモデルを用いて、離散系力学ポテンシャル作用場における仮想流れ場解析を行うことで、群衆挙動の予測、設計空間の評価、設計への即時フィードバックが容易に行えるものとなる。また、力学ポテンシャルに基づいて群衆挙動を解析する一連の既往研究には以下の2つの課題が挙げられる。まず始めに、これまでの粒子モデルは、单一かつ不变のポテンシャル関数による記述に留まっており、空間の用途や性格に応じた行動の変化を記述するに至らず、そのため行動のルールと建築CAD上の空間要素との詳細な対応付けが成されない。次なる課題は、モデルの数理決定を、外部から測定可能な定常的データのみに依存しているため、群衆の小集団化を始め、交差流動のドーナツ状混雑等の非定常現象の再現に至らず、そのため平常時から非常時のシームレスな歩行シミュレーションが難しくなっている。

## 2. 研究目的

本研究の目的は、歩行群集流の定常・非定常現象の解析を通じ、群衆力学に基

づいて巨視的 ideal 化し、数値シミュレーションと空間デザイン行為を対話的に取り扱うことが可能な歩行行動モデルを構築することである。

### 3. 研究の流れ

本論第1章では、群衆解析ならびに群衆流モデルに関する既往研究の体系化を通じ、本研究の位置づけを示した。また本研究の要点・特異点を纏めると、以下の4項目が挙げられる。

- ・設計 CAD 上の仮想空間に群衆挙動の解析場を直接展開できる点
- ・非定常現象の解析に基づいて数理化されている点
- ・歩行運動の数理モデルに対し2次元指向性を導入している点
- ・非定常ゆえ困難とされた最適速度保持の数理化を行った点

第2章では、空間行動研究における群衆力学のモデルを、行動の基本要素と対象空間要素別に記述し、相互作用とその作用場の階層化、相互作用の指向性、空間要素の離散化手法、移動個体の初期条件の与え方、数値積分による歩行者位置・速度の導出方法について説明する。

第3章では、歩行群集流の実測調査から得られたデータをもとに、隣接歩行者および対向歩行者間の回避特性等の数理的な特性抽出とモデルへの適用した。特に、現象学的仮説としての隣接歩行者間の最適速度保持に関する群衆力学ポテンシャル導出を行った。

第4章、第5章では、2つの非定常現象（交差群衆流の小集団化ならびに局所混雑発生）に着目し、群衆挙動の時系列解析によって特性の数理化を試みた。特に第4章では、Bezier-Clipping法（ポテンシャル強度の等分布検出法）を用いた小集団化現象の可視化と解析によって、本研究における群衆力学モデルでの小集団化をきたす歩行領域の算定を行い、流動交差パターンと領域融合の類型化を図った。また第5章では、STS Diagram法を用いた交差群衆流の局所混雑の把握と解析により、歩行時の歩きにくさの物理指標となる領域干渉負荷を、交差パターン、交差時間・平均面積別に類型化し、負荷分布から見る局所混雑とその出現特性の数理化を図った。

第6章では、これまでの群衆力学モデルを用い群衆流シミュレーションを行った。歩行速度・局所密度値を粒子色に反映させたり、端末のマウス操作により

シーンの表示視点を逐次移動することで、シミュレーション中の各歩行者の状態を逐次把握が可能となった。6.1節では、駅の地下通路での対向流動、避難階段室での一方向避難流動、劇場階段室での対向流動、駅前空間での複合交錯流を取り上げ、各々任意の時刻の断面交通量を再現し、試行にあたった。避難流動の場合は出口流率の計測にて判断し、自由歩行流動の場合は主要箇所の断面交通量の値を、実際の調査データと比較しその評価とした。またこれらのシーンの試行の際に、地下通路の列柱位置、避難階段室の踊り場形状、劇場階段室での分流柵設置位置等の空間データ編集を対話的に行い、空間デザインと群衆シミュレーションを同時に使う有用性を指摘できた。6.2節では、歩道橋における群衆雪崩事故を再現し、事故調査委員会の公式調査データと比較し、事故原因ならびに雪崩発生箇所の同定に成功した。また、分流柵・目隠しパテーション等の空間要素の挿入操作を対話的に行い、現場の安全施策の検討も併せて行い、雑踏警備計画におけるシミュレーションの有用性を指摘することができた。

#### 4. 研究のまとめ

本研究では、空間行動研究における群衆力学モデルを提唱し、歩行動の基本要素と対象空間要素別にその記述に成功した。また設計CAD上の仮想空間に群衆挙動の解析場を直接展開できることを示し、群衆シミュレーションと建築設計の融合を示唆する研究事例となった。またシミュレータの性能に関しては、既存の粒子シミュレーションに比して明らかな特異点は、出口での群衆流率等の平均的な数値として現れるものではなく、試行途中の歩行者の状態が3次元において常に観察でき、必要ならば空間データに対して加工・修正を施しながら、対話的に流れ場を創り出していくことが可能となる点においてであろう。

建築空間のバリアフリー化、高齢者人口の増加等を考慮するに、不特定多数の集まる空間では、さらに多種多様な群衆挙動が見られるようになるであろう。特に考慮すべきは、年々便利になる大規模駅構内やショッピングモールでの歩行安全性・快適性の保持となる。買い物行動、ぶらぶら歩き等、不特定多数の自律的かつ無秩序な行動の再現こそ、群衆流シミュレーション研究の大きなテーマとなるであろう。よって、本研究の離散系群衆力学モデルに対して、各歩行者が中・近距離あるいは大域の混雑を把握しながら進路選択を行う連続空間系エージェントモデルの適用を、本研究の研究余地とする。