

群衆歩行特性の「圧縮解放モデル」を用いた空間評価 NetLogoによるシミュレーション その1

○石橋 優貴*¹ 池川 隼人*²
林田 和人*³ 渡辺 仁史*⁴

キーワード：行動モデル 群衆歩行 シミュレーション NetLogo 空間評価

1. はじめに

これまで、方々で様々な場面に応じた多くの人間行動モデルが調査や研究され、中でも、群衆が形成される空間における流動形態などについては、長年にわたり研究され、様々な群衆歩行の特性についてあらゆる調査報告がなされている。関ら¹⁾は駅ホームにおける階段・エスカレーター利用における健常者と高齢者が混在する状態での歩行、流動の特性を明らかにし、高齢化に対応するための基礎的データを収集しホーム上のエスカレーター設置に関する考察をしている。長山ら²⁾は歩行群衆流の実測調査を通じ、同一方向に進む群衆内における個体間の相対距離・相対速度ベクトル・相対加速度の時系列解析により、群衆内の追従行動に、追従している状態「追従相」に移行する直前に、前方歩行者を追跡する状態「追跡相」が存在することを明らかにし、新たな歩行行動モデルを提案した。

しかし、それらの現実空間を基に提案されたモデルをシミュレーションに組み込み空間を評価した例は少ないのが現状である。

2. 研究目的

本研究は、オープンソースのプログラミング言語であるNetLogoにおいて、群衆歩行特性の「圧縮解放モデル」を用いた空間評価を行うことを目的とする。

3. 群衆歩行特性

3.1. 圧縮解放現象

今回シミュレーションに用いる群衆歩行特性の「圧縮解放モデル」は、階段や改札、エスカレーターなど一時的に歩行が制御されるネック箇所が生じる「圧縮解放現象」における群衆の行動特性を明らかにした群衆歩行モデルである。図1.に圧縮・解放図を、表1.に用語を示す。

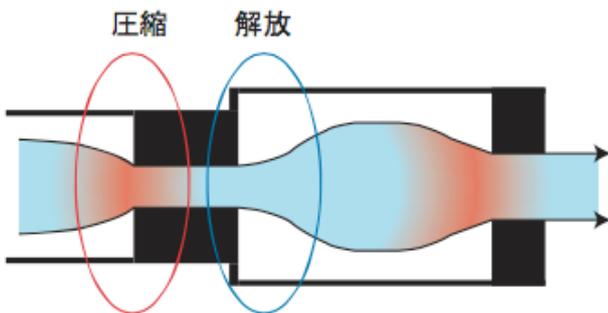


図1. 圧縮解放図

表1.用語一覧

圧縮	ネック箇所において、極端にパーソナルスペースを確保できない現象のことを指す。
解放	ネック箇所において、極端にパーソナルスペースを制限された歩行者がネック箇所通過後それらを確保するために広がる現象のことを指す。
圧縮解放現象	ネック箇所によって生じる上記の圧縮と解放が繰り返される現象のことを指す。
Stretch 値	広がり の最大値を指す。
Base 値	群衆が解放され、広がり始めてから Stretch 値までの距離を指す。

3.2. 圧縮解放モデル

圧縮解放モデル作成にあたり、ネック箇所並列型とネック箇所垂直型の2つに大別し作成した。図2.にモデル式のパラメーターを、表2.にモデル式係数対応表を、群衆歩行の圧縮解放モデル式を(1)に示す。

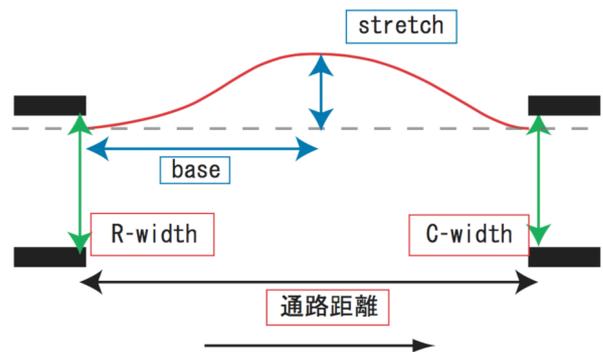


図2. モデル式のパラメーター

表2. モデル式係数対応表

			α	β	γ	R ²
並列型	outlane	Stretch	-0.6841898	0.075726839	0.752029714	0.95140815
		Base	-4.018181	0.666666667	4.118152319	0.946220163
垂直型	outlane	Stretch	2.81358298	-0.091975642	-0.449316002	0.866125404
		Base	1.42597486	0.244659396	-0.481327521	0.8219688
	inlane	Stretch	1.57783978	-0.022041261	-0.277960703	0.332064403
		Base	4.04661809	0.092797197	-0.617647554	0.14375312

※ R² は自由度調整済み寄与率

$$(\text{Stretch, Base}) = \alpha + \beta * (\text{通路距離}) + \gamma * (\text{C/R})$$

…(1)

4. 設計

4.1. 分類化

本研究では 2 種類 33パターンの空間において圧縮解放モデルのシミュレーションを行う。変数一覧を表 4. に示す。また、それぞれの空間を以下の表 5.1.、表 5.2. に定義する。

表 4. 変数一覧

変数名	説明
幅 (R C)	R-width, C-width の幅を指す。
通路形態 直線	R, C の位置が並行。
// 斜線	R, C の位置が対角。
// (R-C)	領域内の原点から R, C がどの位置にあるかを指す。 N(Near), M(Middle), F(Far)

表 5.1. 並行型空間一覧

type	幅 (R C)	通路形態	図番号
A. 並行型	10 10	直線	A-1-1
	10 10	斜線	A-1-2
	20 10	直線	A-2-1-1
	20 10	斜線	A-2-1-2
	10 20	直線	A-2-2-1
	10 20	斜線	A-2-2-2

表 5.2. 垂直型空間一覧

type	幅 (R C)	通路形態	図番号
B. 垂直型	10 10	N-N	B-1-1
	10 10	N-M	B-1-2
	10 10	N-F	B-1-3
	10 10	M-N	B-1-4
	10 10	M-M	B-1-5
	10 10	M-F	B-1-6
	10 10	F-N	B-1-7
	10 10	F-M	B-1-8
	10 10	F-F	B-1-9
	20 10	N-N	B-2-1-1
	20 10	N-M	B-2-1-2
	20 10	N-F	B-2-1-3
	20 10	M-N	B-2-1-4
	20 10	M-M	B-2-1-5
	20 10	M-F	B-2-1-6
	20 10	F-N	B-2-1-7
	20 10	F-M	B-2-1-8
	20 10	F-F	B-2-1-9
	10 20	N-N	B-2-2-1
	10 20	N-M	B-2-2-2
	10 20	N-F	B-2-2-3
	10 20	M-N	B-2-2-4
	10 20	M-M	B-2-2-5
	10 20	M-F	B-2-2-6
	10 20	F-N	B-2-2-7
	10 20	F-M	B-2-2-8
	10 20	F-F	B-2-2-9

5. 実装

5.1. NetLogo

本研究では、NetLogo³⁾を用いて圧縮解放モデルを実現した。NetLogo は Northwestern 大学の Uri Wilensky らによって開発され、自然現象や社会現象をシミュレーションするためのオープンソースのプログラミング環境である。

NetLogo はエージェント(agent)で成り立っている。エージェントはタートル(turtle)、パッチ(patch)、リンク(link)の 3 種類がある。タートルはプログラム内で動くオブジェクトであり、パッチは四角い領域であり、背景である。本研究では群衆をタートル、空間をパッチとした。実現した圧縮解放シミュレーションシステムを図 3. に示す。

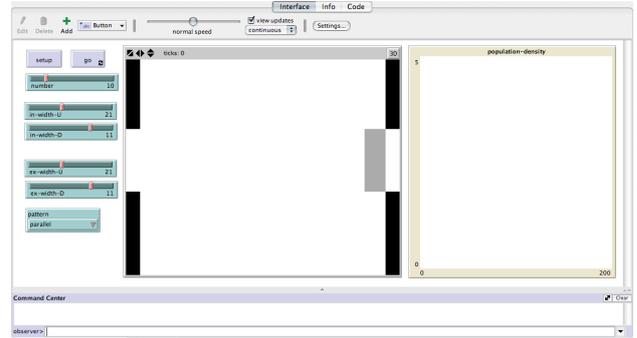


図 3. 圧縮解放シミュレーションシステム

5.2. 機能

圧縮解放シミュレーションシステムの機能について説明する。ボタンは setup と go があり、setup はシミュレーションの準備を行い、go はシミュレーションを実行する。スライダーはシミュレーションで利用するパラメーターを設定するものであり、プログラム内ではグローバル変数として扱われる。用意したスライダー、スイッチは表 6. に示す。

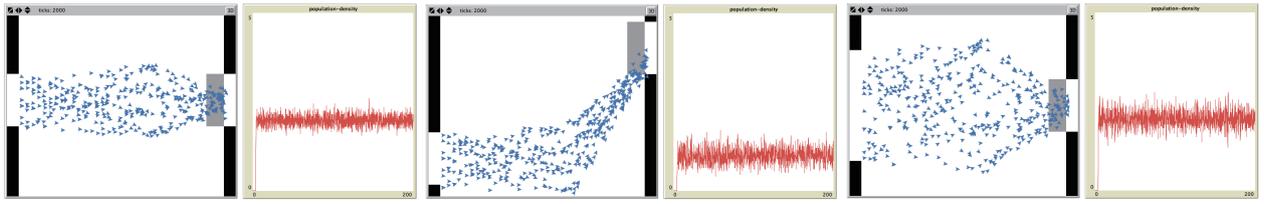
表 6. スライダー、スイッチの一覧

変数名	説明
number	tick 毎に出現する人の数
in-width-U	R-width の上限座標
in-width-D	R-width の下限座標
ex-width-U	C-width の上限(右端)座標
ex-width-D	C-width の下限(左端)座標
pattern	並行型か垂直型の選択

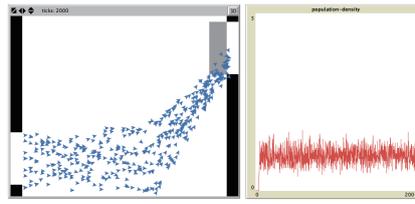
NetLogo では tick と呼ばれる時間単位でシミュレーションが行われている。tick が 1 進むたびに全てのエージェントはそれぞれの行動をする。

6. 実験

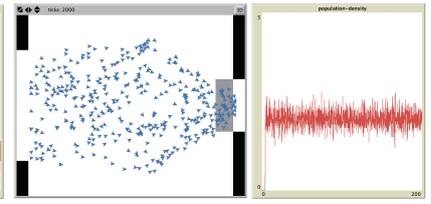
圧縮解放シミュレーションシステムを用いて実験を行う。本実験では出現するタートルを 10/tick と設定し、左側からの一方通行と定めている。2000tick 進めたところで止まるように設定した。



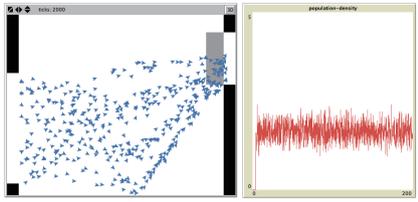
A-1-1



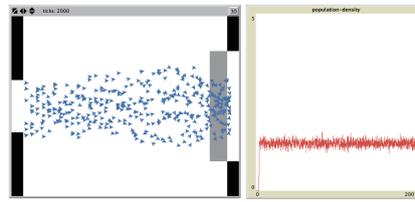
A-1-2



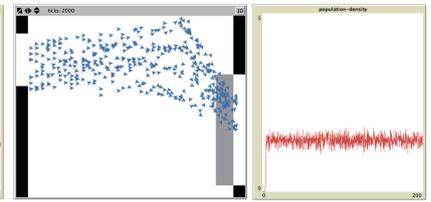
A-2-1-1



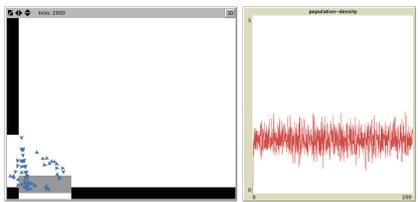
A-2-1-2



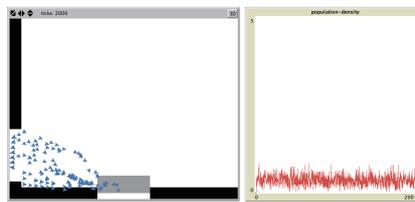
A-2-2-1



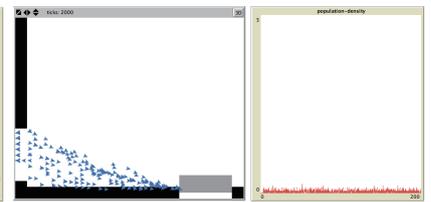
A-2-2-2



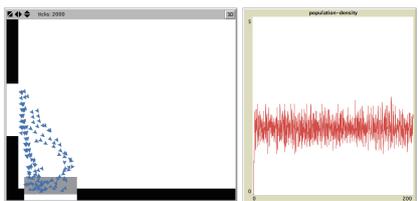
B-1-1



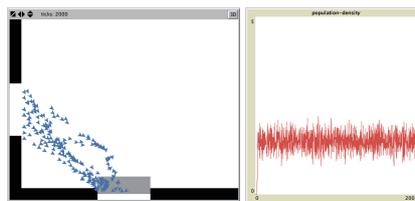
B-1-2



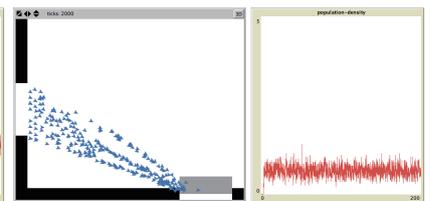
B-1-3



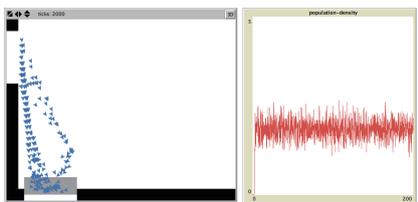
B-1-4



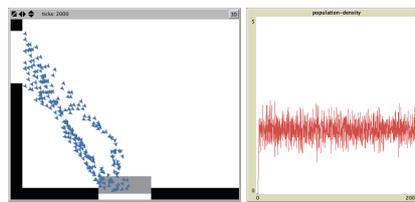
B-1-5



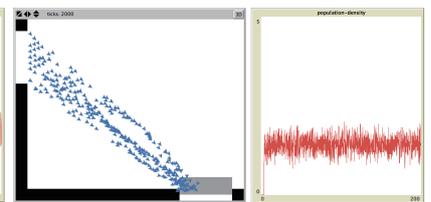
B-1-6



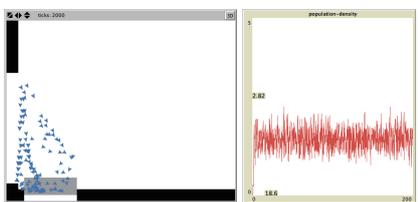
B-1-7



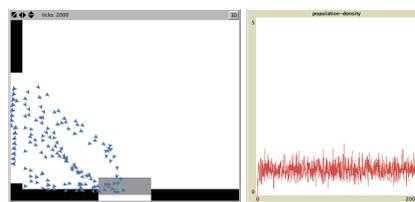
B-1-8



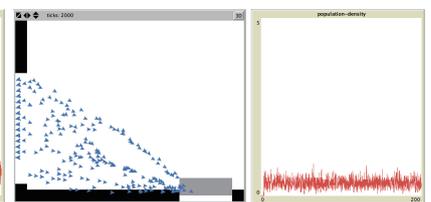
B-1-9



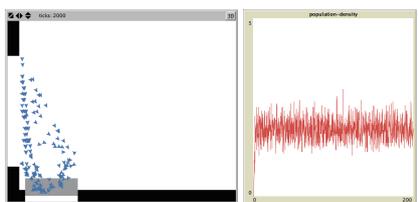
B-2-1-1



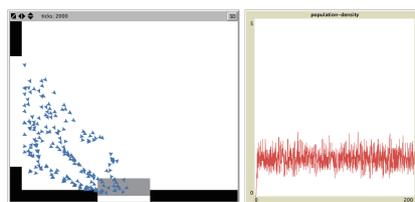
B-2-1-2



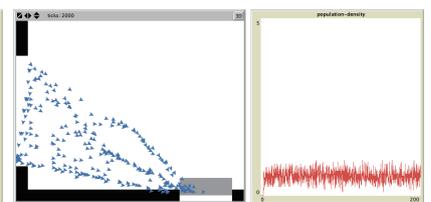
B-2-1-3



B-2-1-4



B-2-1-5



B-2-1-6

図 4.1.実験結果 A

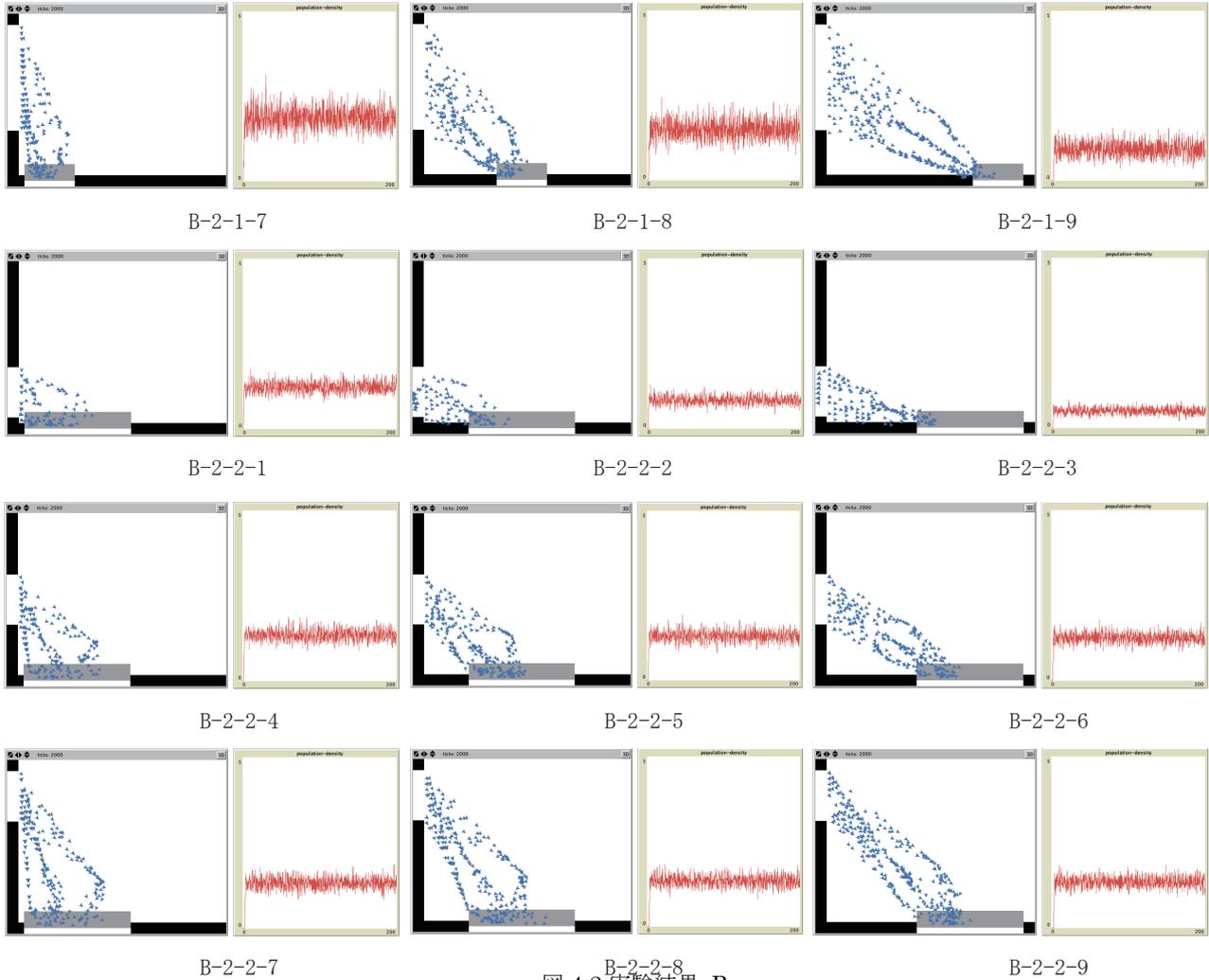


図 4.2. 実験結果 B

7. 実験結果と考察

全 33 パターンの実験結果と考察について述べる。それぞれの実験結果を図 4.1. ~2. に示す。

それぞれ結果の右のグラフは、ネック箇所となる C-width 手前の灰色に色付けた部分の人口密度を表している。ネック箇所並列型では A-2-1 グループが最も広がり、人口密度も高い値を示している。一方で A-2-2-1 が最も人口密度が低く、並列型では再び圧縮が起きる C-width 側の幅を比較的大きくとした方が良いことがわかる。

ネック箇所垂直型において、B-1 グループでは B-1-3 の人口密度が最も低かった。B-2 グループでは B-2-1-3、B-2-2-3 が比較して人口密度が低く、この空間内において R-width が原点に近く C-width が最も遠く、いずれかが比較的大きい幅を持つ場合、示す人口密度は低くなっている。一方で、R-width が広く C-width が狭くなっている B-2-1-1、B-2-1-4、B-2-1-7 については C-width を狭めると C-width 手前の人口密度は高くなる。

8. まとめ

本論文では群衆歩行特性の圧縮解放モデルを用い 2 種類 33 パターンの空間においてシミュレーションし、NetLogo

を用いて圧縮解放シミュレーションシステムを実装し空間評価を行った。しかし開口幅を大別したもので行っていること、モデルが作成された状況を一部無視していることで、さらに機能の追加を行うことによりシミュレーションによって空間評価が行うことが可能である。

【参考文献】

- 1) 関根宏：駅ホーム上における階段・エスカレータ併設型施設での歩行者流動に関する研究，早稲田大学創造理工学部建築学科卒業論文，1999 年 2 月
- 2) 高柳英明，長山淳一，渡辺仁史：歩行者の最適速度保持行動を考慮した歩行行動モデル-群衆の小集団形成にみられる追跡追従相転移現象に基づく解析数理-，日本建築学会計画系文集 第 606 号
- 3) Seth Tisue, Uri Wilensky, "Design and implementation of a multi-agent modeling environment", Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence, Chicago, IL.

- *1 早稲田大学大学院建築学専攻 修士二年
- *2 早稲田大学大学院建築学専攻 修士一年
- *3 早稲田大学理工学術院客員教授・博士(工学)
- *4 早稲田大学理工学術院 教授・工博