

新型シミュレータ開発プロジェクト

ワーキングペーパー・シリーズ

Project for New-Type Simulators
Series

Working Paper

Working Paper No.8

ターミナル内における移動シミュレーション

服部正太*・木村香代子*・西山直樹*

2000年5月

(*株式会社 構造計画研究所)

「シミュレータ開発プロジェクト」は、研究・教育を目的としたマルチエージェント型や繰り返しゲーム型のシミュレータやソフトの開発を目指しています。このワーキングペーパー・シリーズは、プロジェクトの活動・成果の一端を公開するものです。

“Project for New-Type Simulators” is developing a multi-agent based simulator and a simulator of iterated cognitive games, among others, for scientific and/or educational purposes. This working paper series aims at disseminating interim but interesting outcomes of this on-going project.

科学研究費補助金・基盤研究(B)(1)展開(10552001)

東京大学大学院総合文化研究科国際社会科学専攻 山影 進 研究室

お問い合わせ(E-mail) : tasuke@waka.c.u-tokyo.ac.jp

ホームページ(URL) : <http://hachibei.c.u-tokyo.ac.jp/users/yamakage/ntsp1.html>

1. 研究概要

都市圏の移動は、JR線だけでなく、地下鉄やモノレール、バスなど他の交通機関も含めた、個々人の利用が積み重なって全体の移動メカニズムを形成しており、非常に複雑である。一方で、駅、ホーム、路線、個人などの局所的な動きは比較的単純なルールで規定することが可能である。本研究は、マルチエージェント・シミュレーション手法を用いて、これらの局所的な動きと相互関係をルール化し、全体としての移動のメカニズムを検討しようとするものである。

2. マルチエージェント・シミュレーションとは

マルチエージェント・シミュレーション技法(別名エージェントベース・シミュレーション技法(agent-based simulation))は、社会科学分野では新しい手法である。1950年代後半から1960年代前半にかけて生まれた社会科学および社会事象解釈、説明、予想のためのコンピュータ利用の代替案として1990年代に登場した。たしかに1970年代にはローマクラブレポートに代表されるようなSystem Dynamics手法に注目が集まったが、この手法の評価が予測結果ばかりに偏り、いったん予測がはずれ始めると手法そのものへの注目もなくなってしまった(Forrester 1969, Meadows 1972)。また政治学では、1971年ハーバード大学のシェリング教授が分居モデルによる個人の行動と社会全体の動向を論じたが、当時は情報技術が未熟であり一般には普及しなかった(Schelling 1971)。社会科学の存在意味として、予測以外にも理解、説明などの目的があるが、ローマクラブのレポートがあまりにもセンセーショナルだったため、現実が予想ほど悪化しなかった反動も大きかった。社会科学全般の従来手法のまとめとしては、ブラロックの著作に集約される(Blalock 1982)。1980年代後半からのパソコンの登場、特に1990年代に入ってからの高性能化は、処理速度の高速化、オブジェクト指向、使いやすいインターフェースなどの点があげられ、社会科学の研究者がマルチエージェント・シミュレーション技法を利用できる環境が整ったこと。さらに重要なことは、従来1980年代に行われてきた社会学でのいわゆる”microsimulation”などの成果に反省があり、個人や企業をエージェントとしてそれらの主体間の影響を考慮したシミュレーション・モデルが求められるようになったことがあげられる。

米国では、教育用システムとしてマサチューセッツ工科大学メディアラボのレズニック教授がStarLogoというシステムで高校生向けのエージェントベースのシミュレーション教育を1990年から開始し、その成果は同教授の著書に示されている(Resnick 1994)。また、サンタフェ研究所でもUnixベースのマルチエージェント・システム言語Swarmが開発され、株式トレードモデルなど同研究所の複雑系研究のシンボルとなった(<http://www.santafe.edu/>)。1996年にはブルッキングス研究所のエプスタイン博士らによる人工社会研究の著書が登場した(Epstein 1996)。ミシガン大学のアクセルロッド教授が複雑系手法を社会科学全般について適応する目的でまとめられた著書も、注目を集めている(Axelrod 1997)。またこうした手法を利用したビジネスもコンサルティング会社で利用されるようになり、アーネストヤングやプライスウォーターハウスクーパーなどが積極的に実務に活用している。

欧州でも、マルチエージェント・シミュレーション手法に関するワークショップが1992年に開催され、1997年

秋には初めてのコンピュータ・シミュレーションおよび社会科学の国際会議が開かれた。現在、”Center for Research on Simulation in the Social Sciences”(CRESS)や the Programme for Social Simulation ,the SOCIONICS などの組織が研究を進めている。オンラインの学会誌が 1998 年に創刊され、the Journal of Artificial Societies and Social Simulation が年四回発行されている (<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/>)。

つい最近出版されたサンタフェ研究所の著作では、先住民族の社会の遷移をマルチエージェント・シミュレーション手法を活用した研究成果が発表されており、注目を集めている(Kohler 2000)。従来の経済学を超えた枠組みでは、ヤング教授の著作が伝統的経済学への反論として評価が高い(Young 1998)。

マルチエージェント・シミュレーション手法の前提は、社会事象をコンピュータ上に仮想モデルとして構築し、実験が出来ることに特長がある。従来の統計分析の手法や多変量解析の手法、さらにパス解析や共分散構造方程式の手法が変数間の分析によりシステムを同定するのと異なり、エージェント間の相互作用を理解してモデルを動的にしかも視覚的にとられることに特長がある。ただし、現実社会をそのまま表現するのではなく、社会事象の理論を検証するモデルを構築することに意味がある。さらに、この手法では、社会事象の理論的モデルを構築するのではなく、社会事象のコンピュータ・モデルを構築し、モデルを検証する。日本でのこの分野への注目は、人工生命やセルオートマトンなど主として工学系研究者が行ってきたが、1998年に設立された進化経済学会などのセッションとしてマルチエージェント・シミュレーションの手法が一角をしめるようになりつつある。

筆者らが所属する構造計画研究所では、通産省および情報処理振興協会の支援により、教育分野におけるマルチエージェント・シミュレーション技法の普及をはかるためのプロジェクトを1998年11月から開始した。このプロジェクトでは、マルチエージェント・シミュレーション・モデルの構築が容易に出来るように、日本語環境のもとで社会科学研究者および教育者が VisualBasic に極めてよく似た開発言語体系の ABS(Agent-Based Simulator)システムを開発し、1999年9月から東京大学はじめいくつかの機関で教育実践に活用され、その成果は2000年2月29日の構造計画研究所主催のセミナーにて120名の出席者のもとで発表された。また同分野の代表的な著書、エプスタイン博士らの著書「Growining Articial Societies」を「人工社会 ー 複雑系とマルチエージェント・シミュレーション」として翻訳し1999年12月に出版した。今後も研究者らとの連携を深めて、同手法の普及を目指す計画である。

●ルール

システム全体としてのルールとエージェントのルールがあり、シミュレーション開始時の処理、シミュレーションの1ステップ毎に行うべき処理、シミュレーション終了時の処理などを簡易言語を使って定義する。

●コントロール・パネル

シミュレーション実行毎に変更可能なパラメータを定義するが、本モデルでは以下のものを定義している。

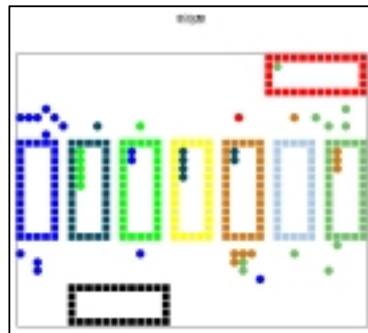
- (1) 開始時間・終了時間
- (2) 乗降客の視野(説明は後述)
- (3) ストレス係数(説明は後述)
- (4) 乗換時間短縮フラグ・乗換時間短縮路線・乗換時間短縮率
- (5) 事故発生フラグ・事故発生路線・路線停止時間・路線復旧時間

●アウトプット

グラフ、ファイル、マップなどいくつかの形式が定義できるが、ここでは以下の3種類を作成した。

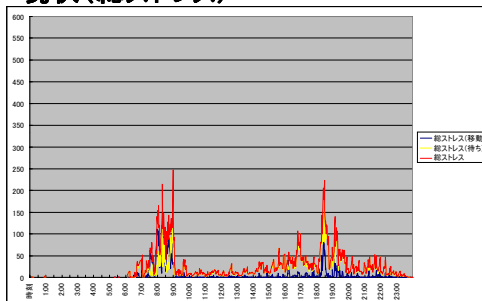
- (1) 駅構内の実際の配置に準じて、2次元マップ上に各路線のホームを配置し、乗換える人がホーム間を移動する状況をアニメーション表示する。エージェントの色は降車線区(ホームの色)を表している。

新宿駅(AM8:00)

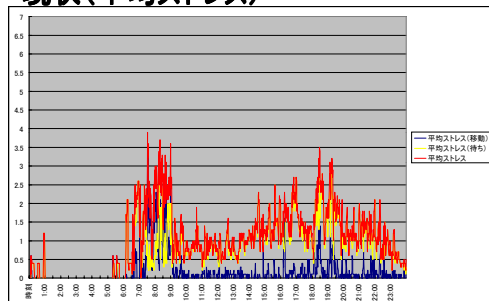


- (2) 駅全体の総ストレス、および1人あたりの平均ストレスを時系列グラフで表示する。

現状(総ストレス)



現状(平均ストレス)



- (3) ストレス値や駅での滞留人数などの数値データをテキスト・ファイルに出力

3.4 ストレスの定義

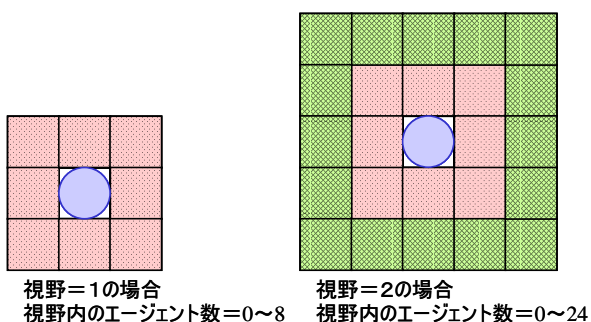
移動時に自分の視野内にいるエージェントの数を移動ストレス、乗り換え路線のホームにいるエージェントの数を待ちストレスと定義し、以下の式により時間帯別の総ストレスおよび1人あたりの平均ストレスを算出する。

$$\text{総ストレス} = \alpha * \text{移動ストレス} + (1 - \alpha) * \text{待ちストレス}$$

α : ストレス係数

$$\text{平均ストレス} = \text{総ストレス} / \text{その時間における駅構内の滞留人数}$$

「視野」はあらかじめパラメータによって指定され、以下のようにカウントされる(図参照)。



3.5 エージェントの移動ルール

エージェントは、駅に到着すると降車路線のホームから次の乗車路線のホームに向かって、駅構内を移動する。その際、各ホームの出口はそれぞれ2ヶ所用意されており、どちらかの出口がランダムに割り当てられる。各ホーム間の最短移動時間が規定されており、移動時に他のエージェントとの衝突がなくスムーズに移動できる場合は最短時間で移動し、残りの時間はホームにて待つことになる。そして乗換え時間(実データ)を過ぎると電車に乗り、ホームからいなくなる。移動時に他のエージェントと衝突した場合には、周囲を見回し他の方向へ進路を変更する。その場合にはそこでロスタイムが生じるため、移動に要する時間が長くなり、移動ストレスが上昇する。

3.6 ホームのルール

各ホームで待つことのできる人数には制限があり、それを超えるとホームの回りの通路に留まることになる。本モデルではホームで待つことができる数は最大30エージェントである。

4. 分析とシミュレーション

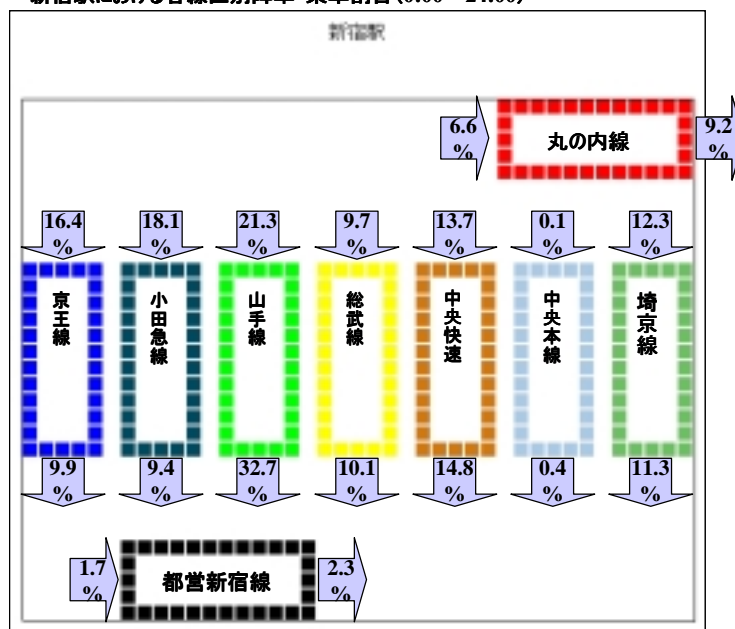
4.1 新宿駅での乗換え状況

乗換え時間が0、またはマイナスになっているデータは、不良データとして除外し、次の線区にすぐに乗り換えたというデータだけをピックアップしたが、乗換え時間が非常に長いデータがかなり存在している。

線区毎利用の利用状況を見ると、降車については、山手線、中央快速、埼京線の順に多い。乗車については山手線、小田急線、京王線の順。山手線は降車人数に比べて、乗車人数が少なく、小田急線、京王線、丸の内線は逆に乗車の人数の方が多い。

	JR埼京線・川越線	JR山手線	JR総武線／中央線各駅停車	JR中央快速	JR中央本線	営団丸の内線	京王線	小田急小田原／江ノ島線	都営新宿線	Total
JR埼京線・川越線		66	4	25		25	43	9	6	178
JR山手線	91		88	99		27	90	115	3	513
JR総武線／中央線各駅停車	3	68		6		9	32	40		158
JR中央快速	23	63	10		2	5	50	73	6	232
JR中央本線		7								7
営団丸の内線	23	30	7	16			38	31		145
京王線	32	59	19	27		15		2	1	155
小田急小田原／江ノ島線	15	39	25	35		23			10	147
都営新宿線	7	3		7			4	15		36
Total	194	335	153	215	2	104	257	285	26	1571

新宿駅における各線別降車・乗車割合 (0:00 ~ 24:00)

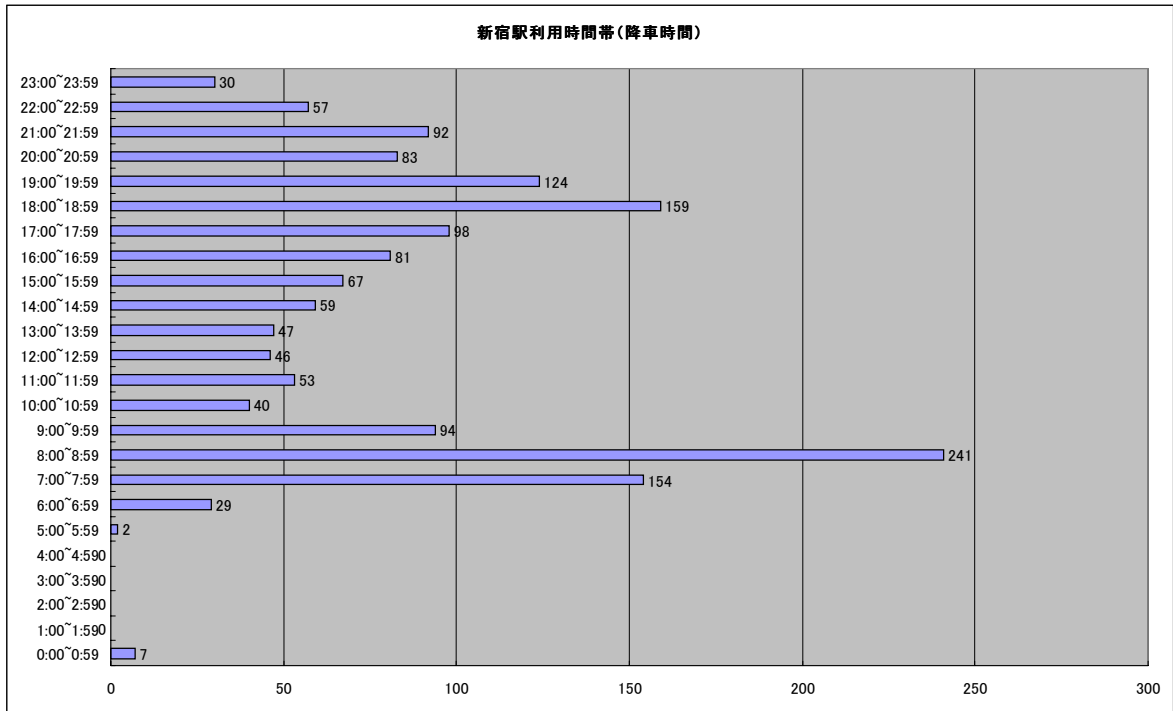


乗換え時間(最大、最小、平均、標準偏差)

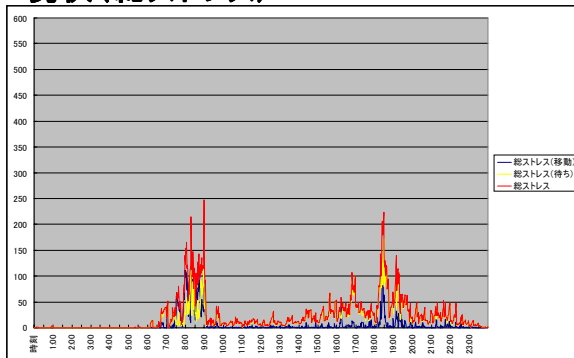
降車線区	乗車線区	全データ				31分以上を除いたデータ			
		Max	Min	Avg	Std	Max	Min	Avg	Std
JR山手線	JR埼京線・川越線	42	2	11.1	8.2	22	2	9.6	5.4
JR総武線／中央線各駅停	JR埼京線・川越線	18	7	11.0	6.1	18	7	11.0	6.1
JR中央快速	JR埼京線・川越線	80	2	10.0	16.3	20	2	6.9	6.0
営団丸の内線	JR埼京線・川越線	249	2	19.6	50.2	19	2	9.2	4.1
京王線	JR埼京線・川越線	66	3	12.3	11.9	27	3	9.9	5.8
小田急小田原／江ノ島線	JR埼京線・川越線	25	1	10.2	6.5	25	1	10.2	6.5
都営新宿線	JR埼京線・川越線	32	5	14.9	8.5	16	5	12.0	4.2
JR埼京線・川越線	JR山手線	55	1	7.9	9.1	27	1	7.2	7.0
JR総武線／中央線各駅停	JR山手線	61	1	9.0	10.3	30	1	6.4	5.0
JR中央快速	JR山手線	20	1	6.9	4.5	20	1	6.9	4.5
JR中央本線	JR山手線	16	8	10.6	2.7	16	8	10.6	2.7
営団丸の内線	JR山手線	14	4	8.0	2.9	14	4	8.0	2.9
京王線	JR山手線	385	1	16.2	50.2	27	1	8.0	6.7
小田急小田原／江ノ島線	JR山手線	148	2	14.1	23.5	26	2	9.6	5.8
JR埼京線・川越線	JR総武線／中央線各駅停	11	2	7.5	3.9	11	2	7.5	3.9
JR山手線	JR総武線／中央線各駅停	50	1	9.0	8.3	26	1	8.5	7.0
JR中央快速	JR総武線／中央線各駅停	10	2	7.4	3.5	10	2	7.4	3.5
営団丸の内線	JR総武線／中央線各駅停	21	10	16.3	4.1	21	10	16.3	4.1
京王線	JR総武線／中央線各駅停	26	1	7.3	7.7	26	1	7.3	7.7
小田急小田原／江ノ島線	JR総武線／中央線各駅停	55	2	11.8	11.4	30	2	10.0	7.2
JR埼京線・川越線	JR中央快速	17	1	6.0	4.4	17	1	6.0	4.4
JR山手線	JR中央快速	550	2	17.3	60.7	30	2	8.3	5.8
JR総武線／中央線各駅停	JR中央快速	14	3	9.5	4.5	14	3	9.5	4.5
営団丸の内線	JR中央快速	17	1	9.7	4.1	17	1	9.7	4.1
京王線	JR中央快速	400	1	23.5	75.5	27	1	9.0	5.9
小田急小田原／江ノ島線	JR中央快速	21	1	11.3	5.7	21	1	11.3	5.7
都営新宿線	JR中央快速	5	5	5.0	0.0	5	5	5.0	0.0
都営新宿線	JR中央快速	295	10	60.8	114.8	20	10	14.0	4.7
JR山手線	JR中央本線	62	2	15.3	16.8	27	2	10.6	6.9
JR中央快速	JR中央本線	130	24	77.0	75.0	24	24	24.0	#DIV/0!
JR埼京線・川越線	営団丸の内線	22	2	8.4	4.9	22	2	8.4	4.9
JR山手線	営団丸の内線	25	4	10.4	4.4	25	4	10.4	4.4
JR総武線／中央線各駅停	営団丸の内線	148	7	31.0	44.2	20	7	16.4	5.5
JR中央快速	営団丸の内線	35	5	27.2	27.2	26	5	15.5	15.5
京王線	営団丸の内線	29	3	7.5	6.5	29	3	7.5	6.5
小田急小田原／江ノ島線	営団丸の内線	113	3	12.2	22.6	17	3	7.6	5.4
JR埼京線・川越線	京王線	34	1	10.6	7.6	24	1	10.1	6.8
JR山手線	京王線	67	2	12.4	11.2	27	2	9.7	5.8
JR総武線／中央線各駅停	京王線	64	2	14.9	11.2	27	2	13.4	6.8
JR中央快速	京王線	154	3	13.7	21.0	24	3	10.4	4.6
営団丸の内線	京王線	34	2	12.2	7.6	24	2	11.0	5.6
都営新宿線	京王線	95	1	41.5	42.4	15	1	8.0	9.9
JR埼京線・川越線	小田急小田原／江ノ島線	102	7	30.7	34.7	22	7	13.6	5.3
JR山手線	小田急小田原／江ノ島線	36	1	10.6	6.8	29	1	10.2	6.1
JR総武線／中央線各駅停	小田急小田原／江ノ島線	50	1	12.5	12.7	25	1	8.2	5.7
JR中央快速	小田急小田原／江ノ島線	49	1	8.6	8.0	29	1	7.7	5.7
営団丸の内線	小田急小田原／江ノ島線	29	3	13.6	6.8	29	3	13.6	6.8
京王線	小田急小田原／江ノ島線	39	9	24.0	21.2	9	9	9.0	#DIV/0!
都営新宿線	小田急小田原／江ノ島線	77	7	22.9	18.6	28	7	15.5	7.0
JR埼京線・川越線	都営新宿線	18	8	10.3	4.1	18	8	10.3	4.1
JR山手線	都営新宿線	9	7	8.0	1.0	9	7	8.0	1.0
JR中央快速	都営新宿線	16	14	14.3	0.8	16	14	14.3	0.8
京王線	都営新宿線	2	2	2.0	#DIV/0!	2	2	2.0	#DIV/0!
小田急小田原／江ノ島線	都営新宿線	17	6	12.3	2.7	17	6	12.3	2.7

4.2 利用時間帯とストレス

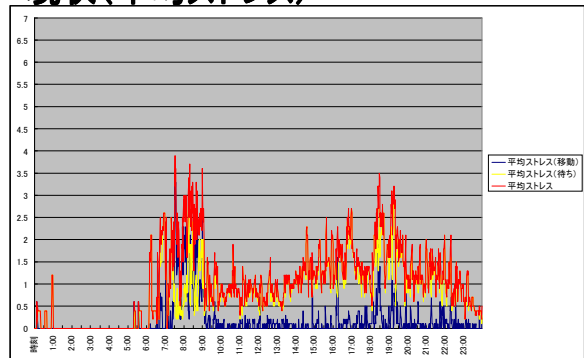
朝は7～10時に集中しているが、夕方は6時台をピークに4～10時に分布している。通常、移動のストレスが全体に占める割合は10%以下で、夕方でも15%前後であるが、朝の7～9時には移動ストレスが急激に増加し、全体の40～50%まで達している。



現状(総ストレス)



現状(平均ストレス)



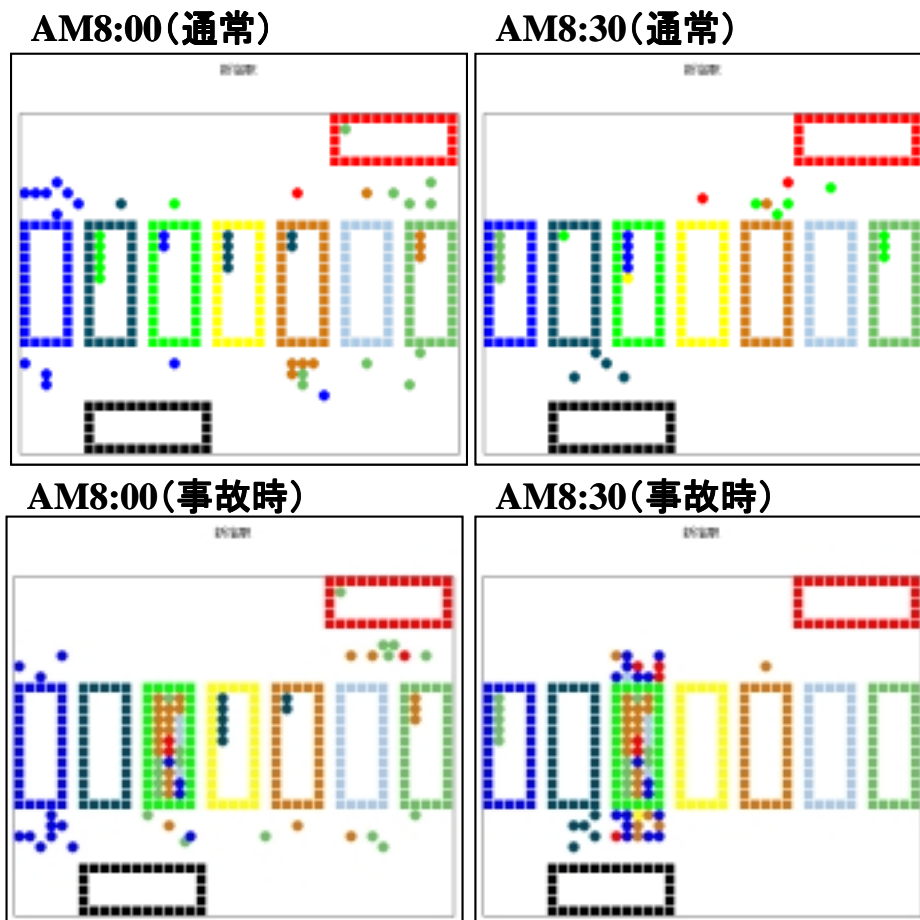
4.3 事故シミュレーション

本研究では、事故が発生した場合の影響を各線区毎にシミュレートし、ストレスの変化やターミナルの様子を観察した。

事故が発生すると次のような変化が起これと予想される。

- (1) 事故線区からの到着人数が減るため、その分のストレスは減少する
- (2) 事故線区への乗車がストップするため、ホームでの待ち人数が増え、当該線区の待ちストレスが増加する
- (3) ホームが一杯になると周辺の通路に人が溢れるため、他線区への乗換え客の移動を妨げる
特にホームが中央付近に位置する線区ほど他への影響が大きい

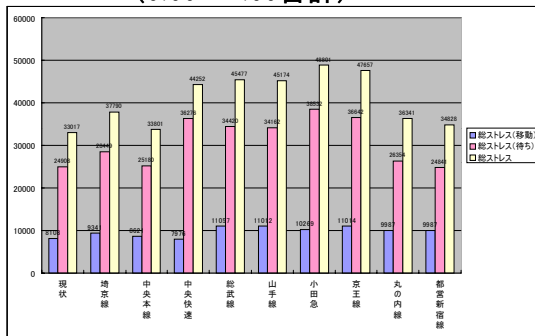
以下のマップは、通常状態での AM8:00 と AM8:30 の新宿駅構内の様子と、山手線に事故が起こり AM7:00～AM9:00 までストップした場合のマップである。AM8:00 にはホームに人が溢れ、更に AM8:30 にはホームから溢れて周辺の通路まで人が溢れるため、他路線の利用客の移動をも妨げていることがわかる。



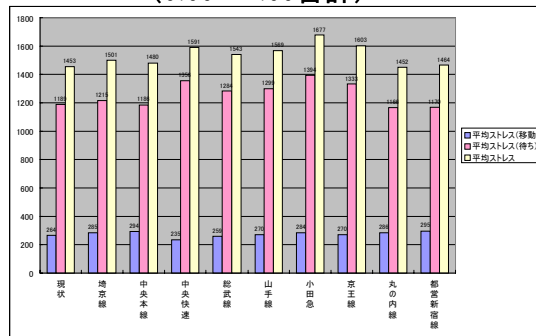
単純に考えると、利用の多い山手線の影響が最も大きいと推測できるが、影響が最も大きいのは小田急線の事故であり、二番目は京王線である。最も利用の多い山手線は待ちストレス、移動ストレスとも増加はするが、到着しない人の分の減少と相殺されるため、利用が多い割に影響は少ない。

また小田急線、中央快速が事故の場合には、特に待ちストレスの増加が激しい。全体的に移動ストレスは待ちストレスほど増加しないが、京王線と総武線が事故の場合にやや増加する。

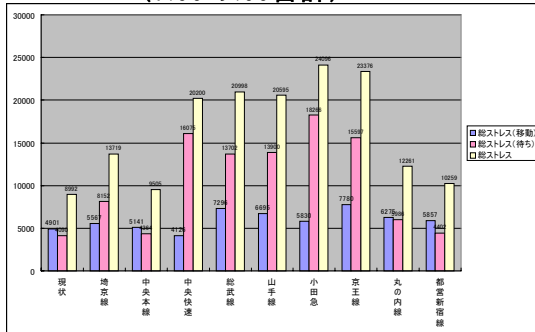
線別事故の影響・総ストレスの変動
(0:00~24:00合計)



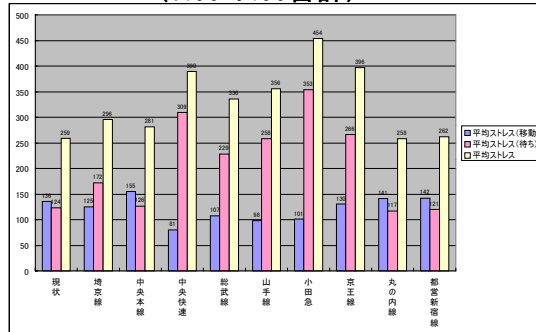
線別事故の影響・平均ストレスの変動
(0:00~24:00合計)



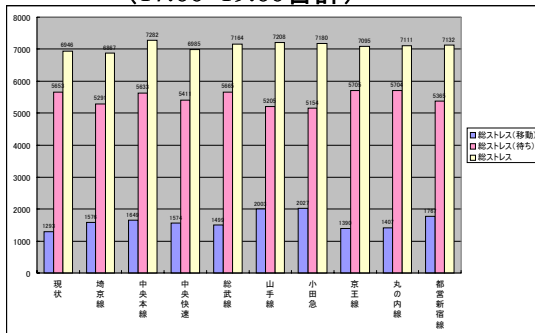
線別事故の影響・総ストレスの変動
(7:00~9:00合計)



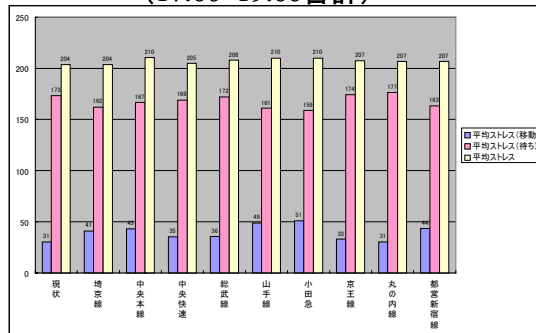
線別事故の影響・平均ストレスの変動
(7:00~9:00合計)



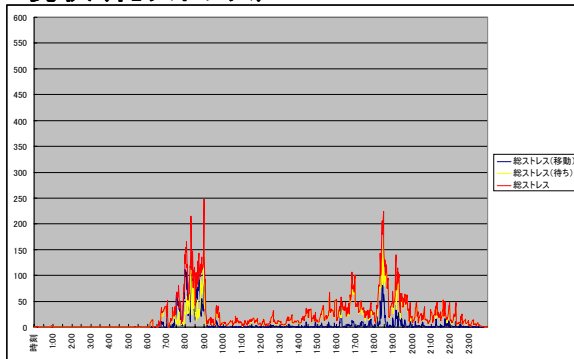
線別事故の影響・総ストレスの変動
(17:00~19:00合計)



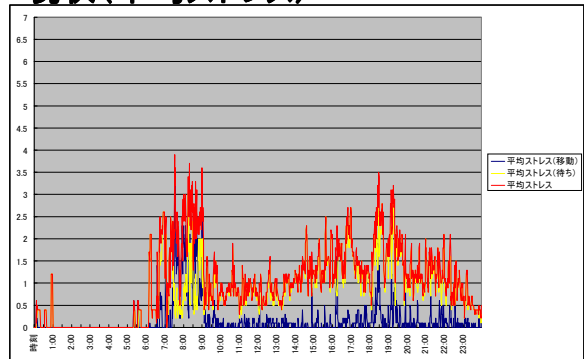
線別事故の影響・平均ストレスの変動
(17:00~19:00合計)



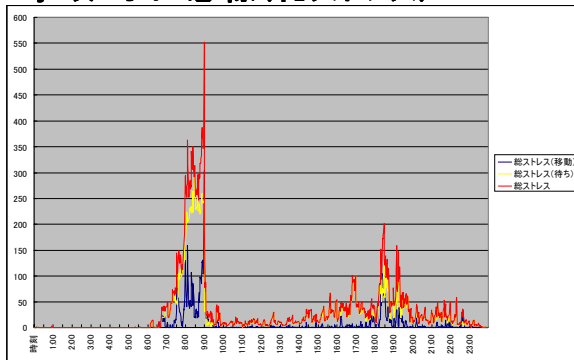
現状(総ストレス)



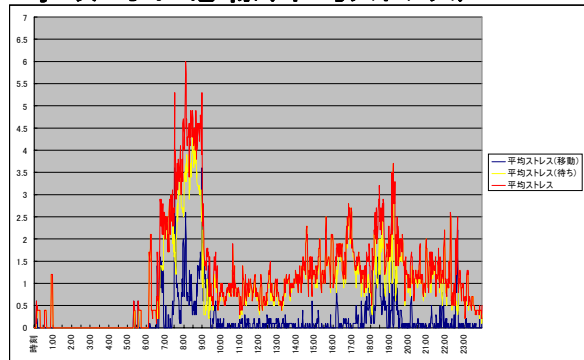
現状(平均ストレス)



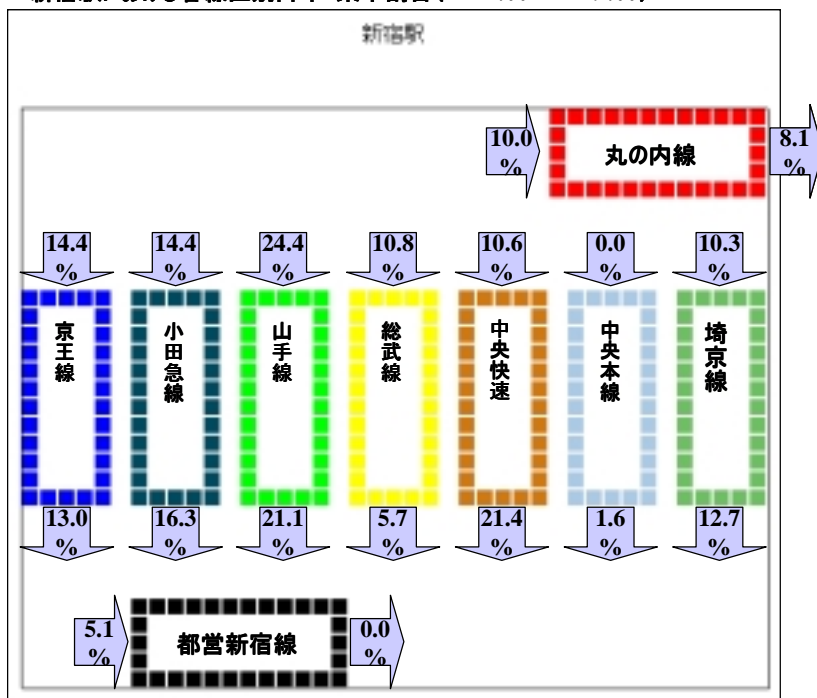
事故・小田急線(総ストレス)



事故・小田急線(平均ストレス)



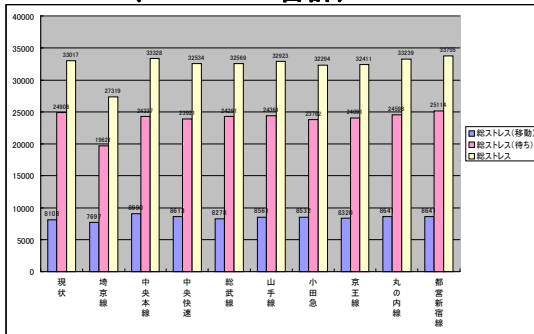
新宿駅における各線別降車・乗車割合 (AM7:00 ~ AM9:00)



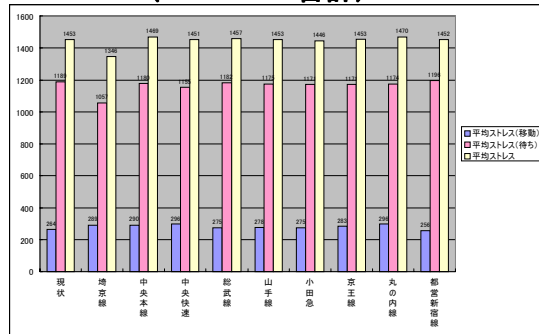
4.4 乗換え時間短縮シミュレーション

もうひとつのシミュレーションでは、各線区への乗換え時間(移動時間)が短縮された場合のストレスの減少を比較した。結果としては、埼京線への移動時間を短縮させた場合に顕著なストレスの減少が観測された。特に夕方のラッシュ時の待ちストレスの減少が非常に大きいことがわかる。埼京線の利用は夕方のある時間帯に集中しており、移動をスムーズにすることにより、ターミナル内の滞留時間が全体的に短縮され、ホーム自体の混雑も緩和されている。またホームがやや外れた場所に位置しているため、他の人のストレスに対する影響も大きいと考えられる。

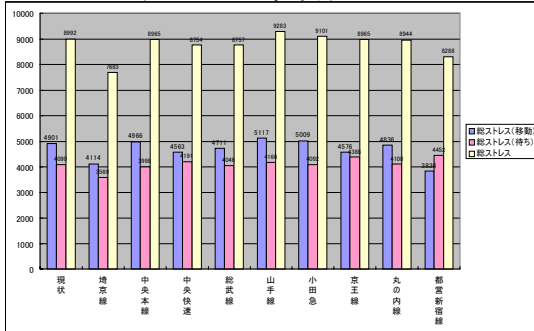
線区別移動時間短縮の影響
・総ストレスの変動
(0:00~24:00合計)



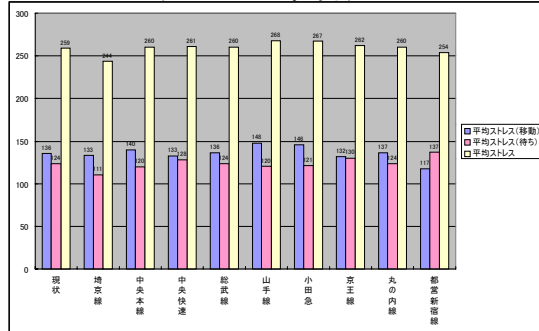
線区別移動時間短縮の影響
・平均ストレスの変動
(0:00~24:00合計)



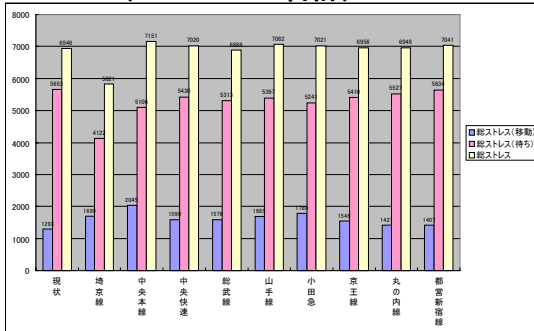
線区別移動時間短縮の影響
・総ストレスの変動
(7:00~9:00合計)



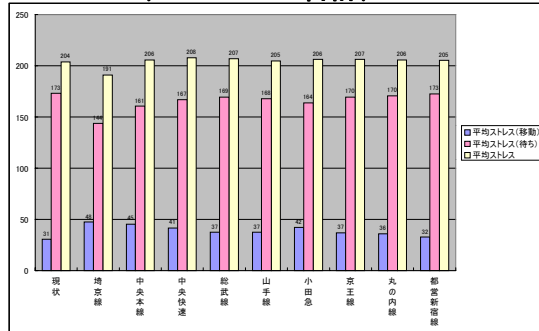
線区別移動時間短縮の影響
・平均ストレスの変動
(7:00~9:00合計)



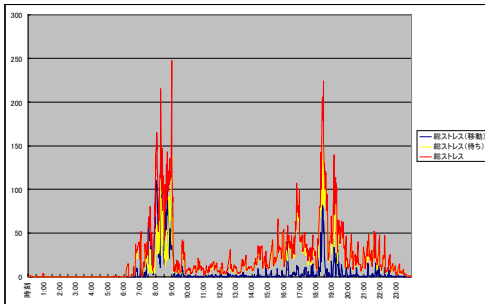
線区別移動時間短縮の影響
・総ストレスの変動
(17:00~19:00合計)



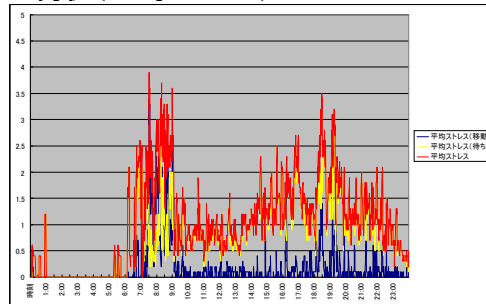
線区別移動時間短縮の影響
・平均ストレスの変動
(17:00~19:00合計)



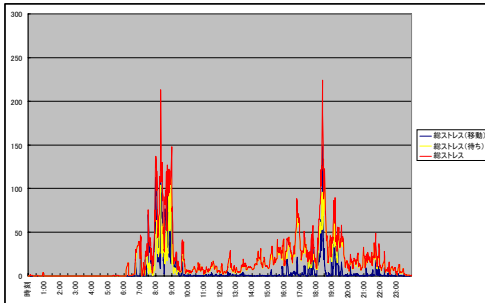
現状(総ストレス)



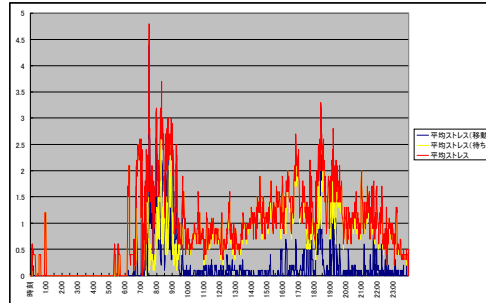
現状(平均ストレス)



移動時間短縮・埼京線(総ストレス)

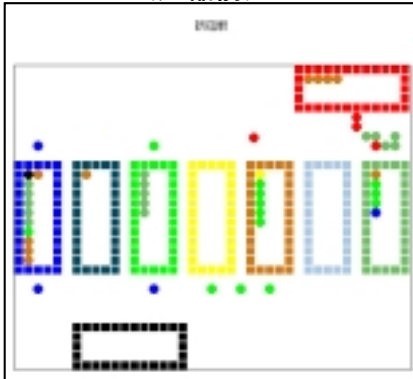


移動時間短縮・埼京線(平均ストレス)

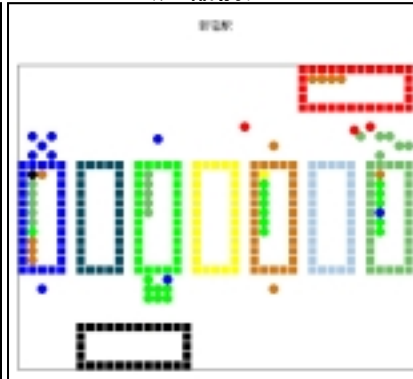


埼京線への乗換え時間が短縮された場合の影響(マップ)

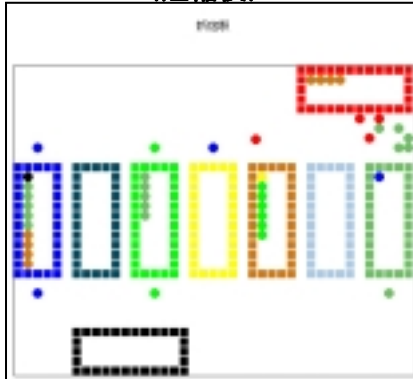
PM6:23 (短縮前)



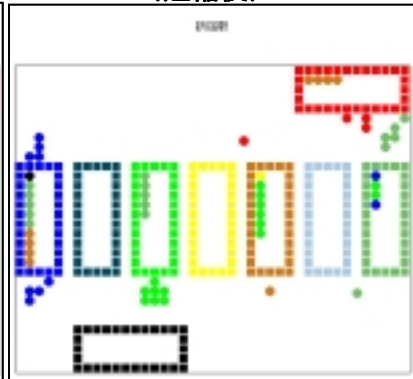
PM6:24 (短縮前)



PM6:23 (短縮後)



PM6:24 (短縮後)



5. 今後のモデル拡張

5.1 エージェント間の異質性

このモデルでは、エージェントに個性のようなものは規定していないが、このモデルを多少改良することで簡単にエージェント間に異質性を持たせることができる。たとえば、「視野」をある一定範囲の乱数で与えることによって、ストレスの強弱を定義することができるし、ストレス係数を違えれば、ストレスの感じ方の違い、すなわち移動のストレスが強い人と待ちのストレスが強い人を定義できる。また線区間の最低移動時間についてもエージェント間に差を持たせていないが、このようなデータにも平均および偏差だけを定義し、ランダムに設定することも可能である。

5.2 短縮時間帯

今回は、全ての時間帯において一定割合である路線への乗換え時間が短縮される設定となっているが、複数路線の同時短縮や特定の時間帯だけの短縮なども考えられうる。

5.3 事故シミュレーションの精緻化

このモデルでは、モデルを単純化するために事故の場合は当該線区の到着データは削除してシミュレーションを行ったが、正確には時間差を設けて遅れて到着させなければならない。

6. 最後に

社会科学では大域的、巨視的なものと個々の行動の関連性に関する仮説を検証することは困難である。しかし全体の系としては非常に複雑でも個々の行動や局所的な相互作用はある特定のルールで記述することができる。個別エージェントの行動ルールを積み上げてシミュレーションを行い、ボトムアップに仮説検証を行うマルチエージェント・シミュレーション手法は、社会科学を研究する上でひとつの注目すべき新しいアプローチであることは間違いない。

このようなアプローチは社会科学の分野でもまだ始まったばかりであり、本研究でもこのような空間移動に対するマルチエージェント・シミュレーション適用の可能性の一端を示しているに過ぎない。更に研究を深め、モデルを精緻化することはもちろんのこと、シミュレーション結果の処理や解釈の方法、また特にモデル自体の評価方法の検討が今後の課題として挙げられる。

●参考文献

Axelrod, Robert

1997 The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Blalock, Hubert M., Jr.

1982 Conceptualization and Measurement in the Social Sciences. Beverly Hills, CA: Sage Publications.

Conte, Rosaria, Rainer Ahegselmann, and Pietro Terna, eds.

1997 Simulating Social Phenomena. Berlin:Springer.

Epstein, Joshua M., and Robert Axtell

1996 Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. Washington, DC: Brookings Institution Press and Cambridge, MA: MIT Press. (邦訳 1999『人工社会』構造計画研究所)

Forrester, J.

1968 Principles of Systems. Cambridge, UK: Wright-Allen Press.

Gilbert, Nigel, and Rosaria Conte, eds.

1995 Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life. London:UCL Press.

Kohler, T.A., George J. Gumerman

2000 Dynamics in Human and Primate Societies, Agent-based Modeling of Social and Spatial Processes, New York, Oxford University Press.

Meadows, Dennis, Donella Meadows, Erich Zahn, and Peter Milling

1972 The Limits to Growth. London: Earth Island.

生天目 章

1998 マルチエージェントと複雑系、森北出版

Resnick, M.

1994 Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds, MA. MIT Press.

Schelling, T.C.

1971 Dynamic Models of Segregation. Journal of Mathematical Sociology 1:143-186.

1978 Micromotives and Macrobehavior. New York: Norton

Young, H.Peyton

1998 Individual Strategy and Social Structure: An Evolutionary Theory of Institutions. Princeton, NJ: Princeton University Press.

ワーキングペーパー・シリーズ

Working Paper Series

No. 8 (最新号)

服部正太・木村香代子・西山直樹

ターミナル内における移動シミュレーション

No. 7

板山 真弓・田村 誠

Schelling 分居モデルを超えて 3

---- 色盲エージェントの新たなルールの影響 ----

No. 6

服部正太・玉田正樹・辺見和晃・桑原敬幸

ABS の概要と類似シミュレータとの比較

No. 5

板山 真弓・田村 誠

Schelling 分居モデルを超えて 2

---- 色盲エージェントの追加 ----

No. 4

山本 和也

森林火災の拡大と樹木の密度 ---- ABS の使用例 ----

No. 3

阪本 拓人

生物個体群における自然選択と個体数変動の関係

---- ABS を用いたシミュレーション ----

No. 2

板山 真弓・田村 誠

Schelling 分居モデルを超えて

---- A B S モデルの検討 ----

No. 1

鈴木 一敏

空間上の生態系モデルにおける個体密集度と系の安定性

---- A B S によるシミュレーション ----