

エージェント・シミュレーションを用いた東海地震注意情報時における大規模乗換え駅の群集マネジメントに関する研究

2010 年

名古屋工業大学大学院社会工学専攻

崔 青 林

名古屋工業大学博士論文  
甲第742号(課程修了による)  
平成22年3月23日授与

エージェント・シミュレーションを用いた東海地震注意情報時に  
おける大規模乗換え駅の群集マネジメントに関する研究

2010年3月

名古屋工業大学大学院社会工学専攻

崔 青林

## 論文要旨

本研究は、「エージェント・シミュレーションを用いた東海地震注意情報時における大規模乗換え駅の群集マネジメントに関する研究」と題し、東海地震のように大規模地震の発生が危惧される大都市の大規模乗換え駅地区の群集マネジメントの方策を探るべく、歩行者エージェントシミュレーションモデルを通じて、分析結果をまとめたものである。

歩行行動には空間・時間的な制約条件がかかわるため、対象の大規模化に伴い複雑度が増し、人手による調査や実験が困難になっており、効果的な分析技術へのニーズが高まっている。そのなかで、エージェント・ベースド・アプローチは、歩行者流の分析のための有望な技術として大きな注目を集めている。

本論文では、東海地震注意情報が発令された場合を想定し、名古屋駅地区をケーススタディとして、おもに駅構内乗換え通路と駅周辺地区におけるエージェントシミュレーションを通じて、群集マネジメントの評価手法を提案し、得られた結果を分析し、群集マネジメントへの含意を探った。

試みたエージェント・シミュレーションの形式は(1)列車の到着による流入者を考慮して乗換え通路を対象としたセル型モデル、および(2)大規模な外部流入者を考慮した駅周辺地区を対象としたスポット・リンク型モデル、の二つである。

本論文は以下の5章より構成される。

第1章では、研究の背景として、地震情報発表時における大都市の大規模乗換え駅が抱える群集事故リスクを述べるとともに、本論文の目的を述べている。

第2章では、「東海地震注意情報時における群集シミュレーション分析の枠組み」と題し、ジャマラ橋群集事故と明石歩行橋事故を通じて群集事故のリスクと対策についてまとめ、東海地震注意情報時における群集事故リスクの存在について述べた。そして、近年重要性が増している歩行者流分析の手段として、エージェント・ベースド・アプローチによる群集シミュレーションに着目した。また、名古屋駅を事例として、通勤通学などの日常的な利用状況・特徴や問題点を挙げ、ヒアリング等を通じて得られた基本データを整理した。また、既存研究のサーベイを通じて、シミュレーション分析の意義、有効性と本研究における枠組みを提示した。

第3章では、「セル型モデルを用いた乗換え通路における群集シミュレーション分析」と題し、一つの駅内乗換え通路を対象としたセル型モデルを用いて6000人規模の歩行者シミュレーション分析を行った。まず、JR名古屋駅内の北通路を対象として現地調査などを経て楯型通路モデルを作成した。名古屋市の公表した試算結果を設定条件



として、ベンチマーキングテストを通じて、モデル評価を行った。さらに、列車の到着時刻および輸送能力を考慮し、流動係数の異なるケースについてシミュレーションを行い、駅構内における局所的な密度変化を計測し、歩行者マネジメントのあり方を考察した。得られた知見のうち主なものは、(1) 流動係数を通常状態に保つことが安全性の確保に不可欠である。降車利用者の集中が密度状態の変化に大きく影響する。非常事態でも、先を急がず安全に行動することを心がけるなどの利用者の意識啓発が意味を持つ。(2) 階段と通路と接する区域はその他の区域より群集リスクが大きく、また、利用者のOD構造、列車の到着時刻や編成などが群集の密度上昇に影響して、モデル空間でのリスク分布を特徴づけている。(3) 駅内の3つの連絡通路すべてを考えた場合、改札口側での初動段階からの流入制限がとくに効果的である。

第4章では、「スポット・リンク型モデルを用いた大規模乗換え駅の周辺地区における群集シミュレーション」と題し、駅周辺地区を対象とした歩行者シミュレーション分析を行った。最大、帰宅通勤者約10万人、乗換え利用者約7万人を扱うため、スポット・リンク型モデルを用いて、新たにシミュレーションモデルを作成した。このモデルでは名古屋駅周辺地区の空間を、列車を表す5スポット、各駅のプラットフォームを表す5スポット、地区外部流入を表す9スポット、ならびに内部空間を表す30スポットに区分した。ベンチマーキングテストを通じて、モデル評価を行ったのち、群集マネジメントのためにケース別でシミュレーション分析を行った。得られた知見のうち主なものは、(1) 降車による混雑により、いくつかの駅構内が高密化が波及し、外部流入者が増すにつれ、改札口前や内部通路が高密化にさらされ、処理能力がさらに低下する。(2) その結果、名古屋市が公表した試算結果と比較すると、初動1時間の処理人数は試算上限値の3割から8割と見積られる。(3) 外部流入者エージェントに混雑迂回能力を設けても、滞留者数は増加するが高密化抑制に結びつかないため、外部流入者総数を制限する対策が示唆される。

第5章では、「結論と今後の課題」と題し、得られた知見を概括するとともに、今後の課題と展望を述べた。

## 目次

<b>第1章</b>	<b>研究の背景と目的 -大規模乗換え駅を対象とした群集マネジメントの意義-</b>	<b>1</b>
1.1	研究の背景	3
1.2	研究の目的	6
1.3	論文の構成	7
<b>第2章</b>	<b>東海地震・注意情報時における群集シミュレーション分析の枠組み</b>	<b>9</b>
2.1	はじめに	11
2.2	群集事故の実態と群集マネジメントにおける諸問題	12
2.2.1	世界における群集事故-ジャマラ橋群集事故とその対策-	12
2.2.2	日本における群集事故-明石歩道橋事故-	13
2.2.3	群集マネジメントにおける問題点	15
2.3	東海地震・注意情報と群集事故リスク	17
2.4	群集を扱うシミュレーション手法の現状	20
2.4.1	シミュレーション分析	20
2.4.2	数理モデルによる分析の特徴と限界	20
2.4.3	エージェントベースドアプローチの群集分析への可能性	21
a.	セル型空間表現モデルによる分析	22
b.	スポット・リンク型空間表現モデルによる分析	22
2.5	本研究における枠組みについて	23
<b>第3章</b>	<b>セル型モデルを用いた乗換え通路における群集シミュレーション分析</b>	<b>25</b>
3.1	はじめに	27
3.2	歩行者モデルの構築	29
3.2.1	セル型モデル構築のための文献整理	29
3.2.2	空間モデル	34
3.2.3	行動ルール	35
3.2.4	流入状態の表現と測定区域の設定	36
3.3	シミュレーションの設定事項	37
3.3.1	流入状態の設定 (改札側とプラットホーム側)	37
3.3.2	OD行列の推定と設定	38
3.4	ベンチマーキングテストによるモデル評価	40
3.4.1	ベンチマーキングテストについて	40
3.4.2	ベンチマーキングテストによるセル型空間モデルの評価	41

3.5	セル型モデルによる群集マネジメント評価.....	48
3.5.1	シナリオおよびケース分け.....	48
3.5.2	結果分析.....	62
3.5.3	群集マネジメントのための検討.....	66
3.6	第3章の結論.....	68
<b>第4章</b>	<b>スポット・リンク型モデルを用いた大規模乗換え駅の周辺地区における群集シミュレーション.....</b>	<b>69</b>
4.1	はじめに.....	71
4.2	歩行者モデルの構築.....	72
4.2.1	モデルの概要と枠組み.....	72
4.2.2	スポット・リンクモデルの空間構成.....	72
4.2.3	空間スポットと歩行者エージェントの基本定義.....	75
4.2.4	モデル空間における最短距離の判定法.....	75
4.2.5	歩行者エージェントの移動に関する諸ルール.....	76
4.2.6	歩行者エージェントの経路選択ルール.....	78
4.3	ベンチマーキングテストによるモデル評価.....	79
4.3.1	ベンチマーキングテストのパラメータ設定.....	79
4.3.2	最短経路および迂回経路の設定.....	80
4.3.3	モデル評価.....	83
4.4	スポット・リンク型モデルによる群集マネジメント評価.....	87
4.4.1	シナリオとケース分け.....	87
4.4.2	結果分析.....	88
4.4.3	群集マネジメントのための検討.....	128
4.5	第4章の結論.....	131
<b>第5章</b>	<b>結論.....</b>	<b>135</b>
5.1	結論.....	137
5.2	今後の課題と展望.....	139
5.2.1	今後の課題.....	139
5.2.2	展望.....	139
	参考文献リスト.....	141
	博士課程在籍中の研究発表論文一覧.....	143
	謝辞.....	145

## 図目次

図 1 名古屋駅周辺対象地区.....	5
図 2 本論文の構成.....	7
図 3 ジャマラ橋の群集事故場所の略図（1996年6月）.....	12
図 4 明石歩道橋の群集事故場所略図（2001年7月21日）.....	14
図 5 情報発表基準に用いる歪観測点.....	17
図 6 関連情報発令の仕組み.....	18
図 7 名古屋駅前滞留者推定結果(名古屋市).....	23
図 8 JR 名古屋駅の構成.....	29
図 9 JR 名古屋駅北通路の空間構成.....	31
図 10 モデル空間の役割.....	32
図 11 櫛型回廊のセル型空間モデルと密度測定区域.....	34
図 12 歩行者エージェントの行動アルゴリズム.....	35
図 13 表現できる行動エリア（1秒間）.....	35
図 14 場所間 OD 表の推定プロセス.....	39
図 15 シミュレーションの状態状態変化(ケース 5,50 s ~120 s,10 s 間隔).....	42
図 16 北通路内の滞留者数変化（ベンチマーキングテスト）.....	44
図 17 測定密度のピークが遅れる区域の分布.....	45
図 18 各ケースの流入人数と終了時点のステップ数.....	46
図 19 セル型モデルによるシミュレーション分析のシナリオ.....	48
図 20 電車による到着人数設定パターン（13:45~15:00）.....	52
図 21 JR 駅構内北通路の密度計測結果の一例（ケース 3）.....	61
図 22 空間内総人数の変化.....	61
図 23 密度計測事例とリスクレベルの解釈(ケース 3、スポット G).....	62
図 24 リスクレベル値分析グラフ.....	64
図 25 3つの通路空間からなる駅構内の群集マネジメント方法.....	66
図 26 スポット・リンク型シミュレーションの枠組み.....	73
図 27 スポット・リンク型空間モデルの構成.....	74
図 28 最短経路と迂回経路の設定（目的地別）.....	82
図 29 ベンチマーキングテストの密度測定結果.....	85
図 30 単位面積あたり累積通過人数（交差スポット）.....	90
図 31 単位面積あたり累積通過人数（通路スポット）.....	90
図 32 単位面積の累積通過人数による混雑分析の結果.....	91
図 33 ケース 1-1 の密度計測値.....	92
図 34 ケース 1-1 の密度分布の変化（30,120,360 ステップ）.....	93

図 35 ケース 1-2 の密度計測値 .....	95
図 36 ケース 1-2 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	96
図 37 ケース 1-3 の密度計測値 .....	98
図 38 ケース 1-3 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	99
図 39 ケース 1-4 の密度計測値 .....	101
図 40 ケース 1-4 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	102
図 41 ケース 2-1 の密度計測値 .....	104
図 42 ケース 2-1 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	105
図 43 ケース 2-2 の密度計測値 .....	107
図 44 ケース 2-2 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	108
図 45 ケース 2-3 の密度計測値 .....	110
図 46 ケース 2-3 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	111
図 47 ケース 2-4 の密度計測値 .....	113
図 48 ケース 2-4 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	114
図 49 ケース 3-1 の密度計測値 .....	116
図 50 ケース 3-1 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	117
図 51 ケース 3-2 の密度計測値 .....	119
図 52 ケース 3-2 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	120
図 53 ケース 3-3 の空間密度変化.....	122
図 54 ケース 3-3 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	123
図 55 ケース 3-4 の密度計測値 .....	125
図 56 ケース 3-4 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ).....	126
図 57 シミュレーションの処理人数/名古屋市試算上限値 .....	129
図 58 流出人数グラフ (電車・歩行) .....	130

## 表目次

表 1 日本で起こった主な群集事故.....	3
表 2 群集事故の発生メカニズム.....	15
表 3 本論文で扱う各シミュレーション分析モデルについて.....	24
表 4 現地調査について.....	30
表 5 歩行者シミュレーションモデルの設定項目.....	33
表 6 北通路に関する利用状況の整理.....	38
表 7 場所間 OD 確率推定結果.....	39
表 8 ベンチマーキングテストのケース別設定条件.....	40
表 9 ベンチマーキングテストの測定密度.....	43
表 10 セル型モデルによるシミュレーション実験のケース分け.....	49
表 11 列車の運行ダイヤ(平日 13:45~15:00).....	51
表 12 JR 各線電車の名古屋駅での降車確率.....	52
表 13 測定区域別、ケース別、リスクレベル値.....	63
表 14 駅構内における群集マネジメントの効果評価.....	67
表 15 速度-密度関係式の係数設定.....	77
表 16 通路と改札口の扱いについて.....	77
表 17 ベンチマーキングテストのパラメータ設定値.....	79
表 18 ベンチマーキングテストのOD行列と人数設定.....	79
表 19 ベンチマッピングテストの経路選択方式.....	80
表 20 エージェントの行動事例.....	83
表 21 処理人数の比較によるモデルの機能評価.....	84
表 22 大規模乗換え駅周辺地区シミュレーション評価のケース分け.....	87
表 23 一時間あたりの累積通過人数(交差スポット).....	88
表 24 一時間あたりの累積通過人数(通路スポット).....	89
表 25 ケース別流出・滞留人数合計.....	128
表 26 シミュレーション評価の乗換えおよび降車の人数設定およびOD行列.....	132
表 27 シミュレーション評価の乗車の人数設定およびOD行列.....	132
表 28 名古屋市の試算結果に基づいた残留者数推定結果.....	133

## 第1章 研究の背景と目的 -大規模乗換え駅を対象とした群集マネジメントの意義-

---

- 1.1 研究の背景
- 1.2 研究の目的
- 1.3 論文の構成





## 1.1 研究の背景

この節では、本研究の背景について概要を述べる。

本研究は、東海地震注意情報発令時における大規模乗換え駅構内の群集マネジメントのための群集行動モデル・空間モデルならびに群集分析ツールの提案を行う。また名古屋駅をケーススタディとして、駅構内局部空間または乗換えエリアを対象としたエージェント・シミュレーション実験による分析および効果の検討を目標としたものである。

このような研究を行う背景には、以下の三点があげられる。

### 1) 密度と群集事故の因果関係

群集事故は世界中に発生していることは事実である。とくに、スポーツ観戦・コンサートの開催・祭り・宗教活動などの群集が多く集まる大型イベントでは頻繁に事故を報道されている。日本だけでも、死傷者記録の残る群集事故は延べ20件以上もある。過去の群集事故の発生事例<sup>1)</sup>(表1)を見ると、群集の集中が局部的な密度の上昇につながり、群集事故を起こす誘因となりうることは周知されている。

表1 日本で起こった主な群集事故

群集事故名	日付	死(傷)人数	群集事故の原因
京都駅事件	昭和9年1月8日	77(74)	軍人の見送り
新潟市万代橋事件	昭和23年8月	数人 (数十人)	花火の見物による群集滞留
日暮里駅事件	昭和27年6月18日	8(6)	電車運休による滞留者の殺到
二重橋事件	昭和29年1月2日	16(30)	一般参賀の群集殺到
弥彦神社事件	昭和31年1月1日	124(94)	初詣の群集殺到
大阪劇場事件	昭和31年1月15日	1(9)	蛇の死体を投げ込まれたことによるパニック
和歌山市民会館前事件	昭和32年2月6日	0(3)	入場できないことを恐れることによる行列の乱れ
山王体育館前事件	昭和32年5月18日	0(8)	割り込みによる列の乱れ
横浜公園体育館事件	昭和35年3月2日	12(14)	入り口変更による群集移動
大阪造幣局事件	昭和42年4月22日	1(27)	花見客の入り口への殺到
大阪市新朝日ビル事件	昭和46年12月24日	0(33)	生放送・入り口での転倒
校舎内将棋倒し事件	昭和54年2月5日	1(0)	朝礼後の教室帰り・転倒
甲子園球場事件	昭和54年3月29日	2(0)	内野入場券の購入者混雑

豊橋市立体育館事件	昭和 57 年 10 月 16 日	1 (1)	客の入り口への殺到
場外馬券売り場事件	平成 7 年 12 月 24 日	0 (8)	帰宅客のエスカレーターでの転倒
御坊市パチンコ店事件	平成 8 年 12 月 23 日	1 (2)	開店待ちの客の殺到
大阪市電気科学館事件	平成 9 年 10 月 2 日	0 (32)	エスカレーターでの転倒
生駒市野外ステージ事件	平成 11 年 8 月 28 日	0 (12)	コンサートステージへの参加者の殺到
明石歩道橋事件	平成 13 年 7 月 21 日	11 (247)	会場に向かう観客と帰路についていた観客が押し合いになり、転倒した

## 2) 拠点駅における群集マネジメントの必要性

日本政府は、東海地震を現時点で唯一の予知可能な地震に指定している。2004年に気象庁は、予知可能な場合を想定して、「注意情報」を新たに追加した。「予知情報」が公表され「警戒宣言」が発令されると、交通機関は運行を中止し、大型店舗などは閉店するために、名古屋市は「注意情報」の段階で市外からの通勤者や外出中の人々に速やかに帰宅するよう呼びかけている。そのため、関連情報発令範囲での大都市に位置する大規模乗換え駅周辺では、列車の乗換え者に加え、一斉帰宅者の大量流入により、群集流の交錯が生じることが考えられ、群集事故の予防対策が必要である。また、東海地震の影響範囲を考えると注意情報発令の際、大規模乗換え駅周辺においての群集の集中は長時間かつ大規模である。そのため、群集事故予防のためには、歩行者流の予測、検討が望まれるが、この種の検討では大掛かりの人手による実験的な分析が困難になっており、十分な検討がなされてきたとは言えない。名古屋駅での滞留者数分析については、名古屋市の数理モデルによる試算が報告されているが空間的・時間的な制限は考慮していないのが現状である。

## 3) エージェント・ベースド・アプローチは強力な分析ツールになりえる

最後に、計算機能力の向上が歩行者エージェントのシミュレーション<sup>2)</sup>の実用可能性を切り拓いた。例えば、セル空間型のエージェントシミュレーションにより明石歩道橋群集事故の事後分析事例<sup>6)</sup>が報告されている。注意情報発令時を想定した際、大規模乗換え駅周辺の空間構成・群集行動を与件とした密度上昇のプロセスと群集事故リスクならびに防止策が検討可能なエージェントシミュレーションが期待できる。

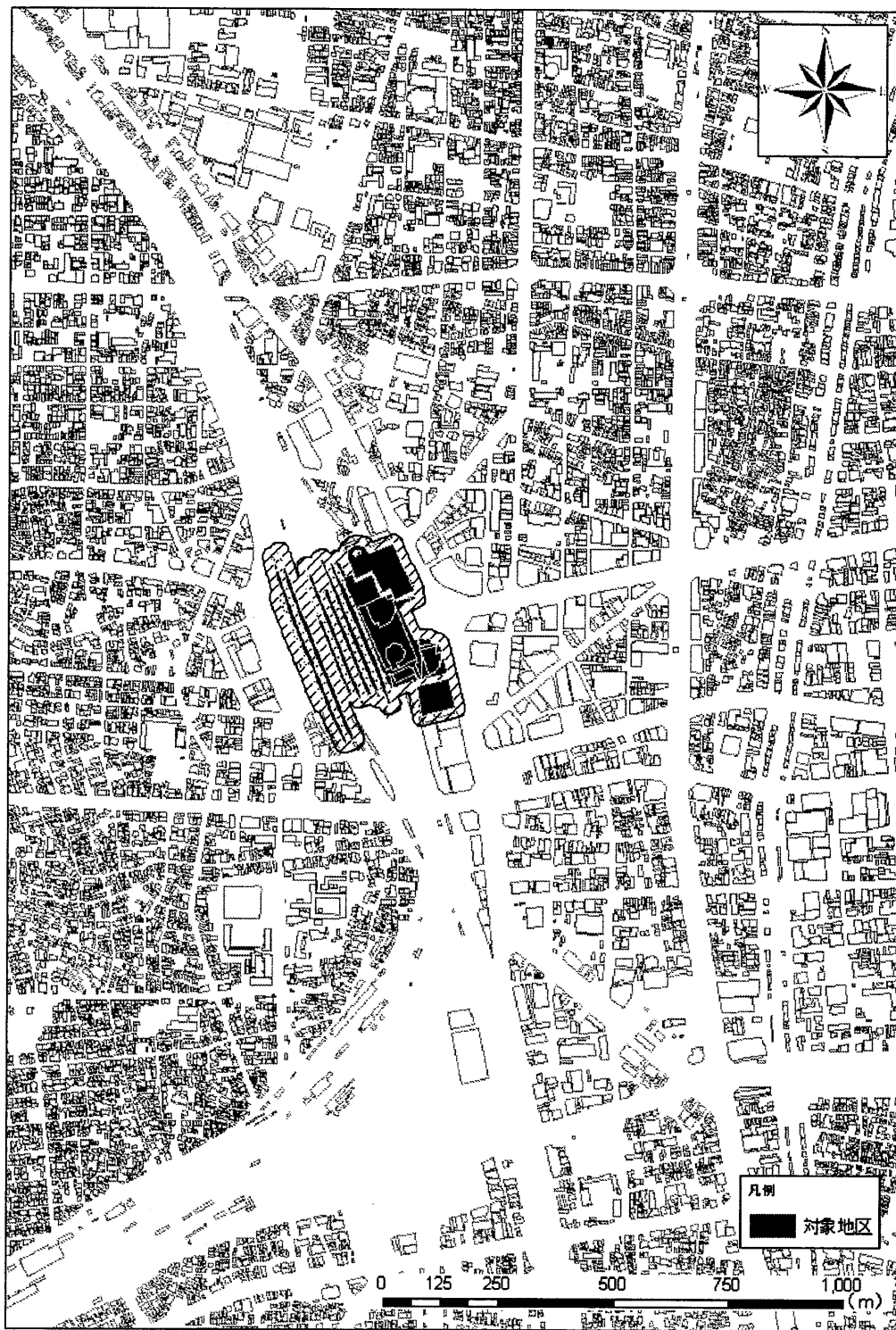


图1 名古屋駅周边对象地区

## 1.2 研究の目的

前節で述べたように、群集歩行分析を具体的な応用領域とする研究は、エージェント/マルチエージェントの分野における大きな流れを形成している。歩行活動は、社会活動の基本となっているため、群集歩行を検討することで、空間の安全や賑わいなどの分析に大きく貢献するものと考えられる。

以上により、本論文では、東海地震注意情報が発令された場合を想定した群集マネジメントのためのシミュレーション分析モデルの提案と政策シミュレーションを行うことが目的である。具体的に、以下二つ異なる視点から切り込み、歩行者エージェントシミュレーションモデルを構築し、アプローチを試みる。(1) 電車の到着を考慮した乗換通路を対象とした歩行者シミュレーション分析、および(2) 駅周辺広域を対象とした歩行者シミュレーション分析。

### (1) 電車の到着を考慮した乗換通路を対象とした歩行者シミュレーション分析

本研究では、大規模乗換え駅乗換え通路の混雑分析を扱うセル型歩行者エージェントモデルを新たに作成するとともに、JR名古屋駅北通路通路を模した櫛型通路空間モデルを対象に、シミュレーション実験を通じて、通路内の局所密度の計測を試みる。群集密度の空間分布特徴および変化を視覚的に示すとともに、流動係数・流入人数などのケースの違いによる密度分布と変化傾向の分析、群集マネジメントのための検討を行う。

### (2) 駅周辺地区を対象とした歩行者シミュレーション分析

本研究では、ネットワーク型エージェントシミュレーションの一種であるスポット・リンク型エージェントシミュレーションの方式を用いて、大規模乗換え駅周辺の大規模交錯流の混雑分析を扱う群集シミュレーションを試みる。そして、JR名古屋駅、近鉄線名古屋駅、名鉄名古屋駅、地下鉄東山線名古屋駅、地下鉄桜通線名古屋駅の五駅の乗換え空間である名古屋駅周辺地区を模した大規模乗換え駅周辺空間モデルを対象として、シミュレーションを通じて各部空間の密度計測を試みる。群集密度の空間分布の変化プロセスを示すとともに、密度分布と変化傾向、群集マネジメントのあり方の検討を行う。最後に、外部流入人数、迂回行動の条件変化などが空間密度分布、処理人数への影響についても分析する。

### 1.3 論文の構成

本論文は5章で構成している。論文の構成を図2に示す。

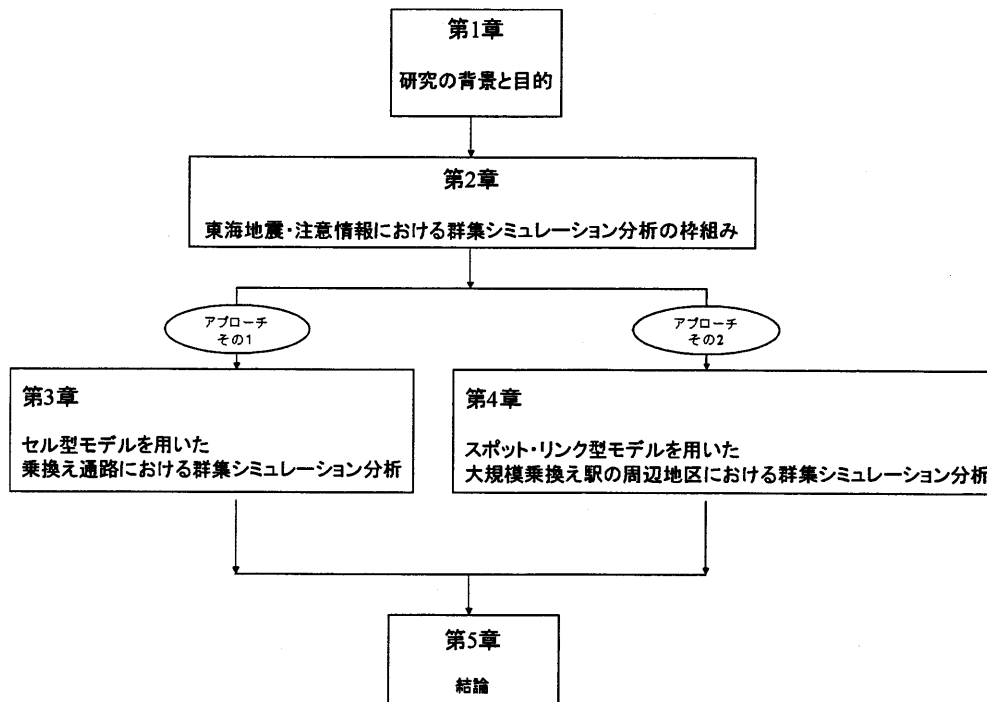


図2 本論文の構成

#### 第1章

第1章では、研究の背景と目的について述べる。

#### 第2章

第2章では、本研究に関連する既存の研究について述べ、基本的な知識について概説する。まず2.2節ではジャマラ橋群集事故と明石歩道橋事故を通じて、群集事故の実態と群集マネジメントにおける問題について述べ、続いて、東海地震・注意情報と群集事故リスクの関係について述べ、最後に群集分析に利用されるシミュレーション手法について述べる。この章では、具体的にどのようなマネジメントアプローチが行われたか、いままで、群集行動ではどのような問題点が存在したか、かつこれまでどのような分析アプローチ手法が提供されてきているかを示す。また、本研究の前提条件である名古屋市の滞留者数の試算結果について紹介する。

### 第 3 章

第 3 章では、東海地震・注意情報時を想定し、大規模乗換え駅の駅構内に位置する乗換え通路を対象とした群集マネジメントのためのセル型空間モデルを提案し、シミュレーション分析を行う。

本章では、注意情報を発令された場合、外出中の群集は帰宅行動に移ることを前提とする。そのため、乗車客・降車客、電車各線の間乗換え客の集中により、群集事故リスクの上昇につながる。また、駅構内では、プラットホームと改札口外部を繋ぐ乗換え通路は群集流のボトルネックとなりうる。本章では、プラットホームと駅外部の間に位置する乗換え通路（通路と階段より構成される）に焦点を絞って、内部乗換も存在する JR 名古屋駅でも、利用者が多いとされる北通路を対象として、特に電車到着時刻も考慮したシミュレーション分析を通じて、改札口より内側の群集マネジメントの提案を試みる。

### 第 4 章

第 4 章では、東海地震・注意情報時を想定し、午後 2 時から、1 時間の間に最大で約 17 万人に対応できる大規模乗換え駅の周辺地区を対象としたスポット・リンク型空間モデルを新たに提案し、群集マネジメントのためのシミュレーション分析を行う。

本章では、第三章で行われなかった改札口外部の乗換え地区における群集マネジメントのための評価を試みる。名古屋市の滞留者推定結果に基づいた設定を行い、第 3 章の結果をふまえて、初動一時間の間、大規模乗換え駅の周辺地区全体での混雑状況分析ならびに外部人数・迂回行動による輸送機能への影響などの検討を行う。

### 第 5 章

第 5 章では、本論文の結論と今後の課題について述べる。

## 第2章 東海地震・注意情報時における群集シミュレーション分析の枠組み

---

- 2.1 はじめに
- 2.2 群集事故の実態と群集マネジメントにおける諸問題
  - 2.2.1 世界における群集事故-ジャマラ橋群集事故とその対策-
  - 2.2.2 日本における群集事故-明石歩道橋事故-
  - 2.2.3 群集マネジメントにおける問題点
- 2.3 東海地震・注意情報と群集事故リスク
- 2.4 群集を扱うシミュレーション手法の現状
  - 2.4.1 シミュレーション分析
  - 2.4.2 数理モデルによる分析の特徴と限界
  - 2.4.3 エージェントベースドアプローチの群集分析への可能性
    - a. セル型空間表現モデルによる分析
    - b. スポット・リンク型空間表現モデルによる分析
- 2.5 本研究における枠組みについて





## 2.1 はじめに

本章では、本研究に関連する既存の研究について述べる。本章では、最初に、そもそも、なぜ群集事故は世界範囲に多発なのかに答えるために、群集事故の実態と群集マネジメントにおける問題に関して具体的な研究例を通じて概説する。次に東海地震・注意情報の発令と大規模乗換え駅での群集事故リスクの関係について述べる。さらに、群集シミュレーション分析の基本的な知識、および代表的なシミュレーション分析の手法について述べる。最後に、第三章、第四章で行われるシミュレーション分析のための前提条件として、名古屋市が行われた注意情報発令時を想定した滞留者推定の結果について述べ、本論文で扱う各種のシミュレーション分析の枠組みについて言及する。

## 2.2 群集事故の実態と群集マネジメントにおける諸問題

本節では、典型的な群集事故から二例を挙げ、なぜ群集事故は発生するのか、群集マネジメントの必要性や問題点について述べ、また、本研究における群集事故リスクに関する基本的な見方を明確化する。

### 2.2.1 世界における群集事故-ジャマラ橋群集事故とその対策-

サウジアラビアの首都メッカの東端メナに位置するジャバラ橋(Jamarat Bridge)は、多くのイスラム教国の信者が訪れる参拝地の一つである。橋にある三つの柱を悪魔に見立て各々七つづつの石を投げるという、悪魔払いの儀式があるため、例年、一日最大百万人もの巡礼者が集まる。この橋は1963年に二層式の橋として建設されたが、「石投げ」が行事のクライマックスにあるため、群集事故が多発しており、1990年代以降のみでも、94年(死者266人、負傷者98人)、97年(22人、43人)、98年(118人、434人)、2001年(35人、179人)、2004年(249人、252人)に事故が発生している。事故の典型は、柱に近づいて石を投げようとする群集が、柱に近い群集を後から押し倒し、踏み潰すというものである。

事態を重くみたサウジ政府当局は、イギリスの Still 博士らにジャマラ橋の再設計を依頼、博士らはこの橋を対象に歩行者シミュレーション技術を駆使して群集事故リスクを算出、ワークショップを通じて橋の再設計案を提出した。政府は、この案を取り入れ新たな多層橋の再建設を決め、この2006年の巡礼期を最後に二層橋は撤去される予定であった。2006年の群集事故は最悪の時期に起こった。

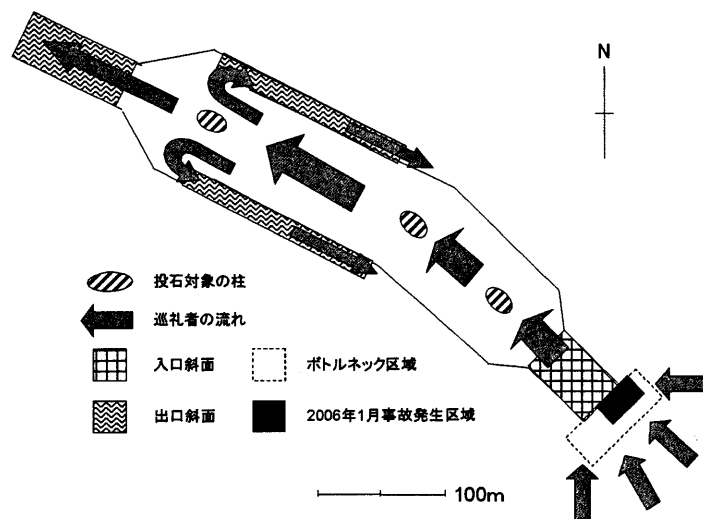


図3 ジャマラ橋の群集事故場所の略図(1996年6月)

2006年1月12日午後1時頃、死者346人、負傷者289人超の群集事故が起こった。もちろん2004年事故の経験を活かして、群集誘導のため、避難通路、動線計画、誘導壁、大型モニタースクリーンなどが設けられ、6万人に上る要員が誘導にあたっていた。事故現場は、橋(図3)の東端、動線計画上では上層にアプローチする幅45メートルの入口付近であった。ここには、遠方からやってきた巡礼者たちの荷物が数多く放置されており、これらに足を取られた人々が後からの群集に押し倒され踏み潰されたとみられる。むろん直後の保安要員たちの措置は適切で、被害は最小限にとどめられた。この入口の前は、三本の主要幹線を初め数多くの巡礼路が収斂しており、Still博士は、「百万人を通過させるわずか45メートルのボトルネック」として、この箇所での事故リスクを最も懸念していた。

翌年に竣工した新設計のジャマラ橋は、動線計画が十分配慮された五層式で、多くの人々が同時に行事に参加できるよう、柱も太くされている。また、現在では、周辺一帯の群集誘導のために管制棟が設けられ綿密な動線計画が定められている。(BBC、ロイター社他ニュース記事より)

### 2.2.2 日本における群集事故-明石歩道橋事故-

2001年7月21日に、兵庫県明石市 JR山陽線朝霧駅と第32回明石市民祭りの花火大会の会場である大蔵海岸を直結する朝霧歩道橋で、会場に向かう観客と帰路についての観客が押し合いになり、転倒し、死傷者が発生した群集事故<sup>1)</sup>である。朝霧歩道橋は大蔵海岸整備事業の一環として JR朝霧駅前広場と大蔵海岸を直接最短距離で結ぶ歩行者専用道路であった。全長103.7メートル、有効幅員6メートルで、大蔵海岸への降り口は、橋を渡りきった75平方メートルの踊り場からほぼ直角に右折し、幅員は半減の3メートル、階段48段を経て地上に降り立てるようになっている。階段の幅員は夏のピーク時の海水浴客を計画交通量として決定しているが、一方で橋上の幅員は車いす利用や眺望のための滞留を考慮して広く取ったため、計画以上の利用者があれば滞留を招きやすいボトルネック構造を有していたのは事故の原因の一つといえよう。事故発生当時、歩道橋の上にはいたと推定される人数は約6400人~6500人となる。なお、6400人が滞留しているときには、歩道橋全体として平均9~10人/m<sup>2</sup>、歩道橋の南半分の極度に密集したと考えられる部分では、最大13~15人/m<sup>2</sup>という密集状況にあったことになる。技術解析の結果、歩道橋の上で発生した大規模な群集転倒事故は、発生目が似ず無からいうと「将棋倒し」ではなく「群集なだれ」が発生したという。死者11名と重軽傷者247名を出す大惨事となった。花火会場へのアクセスは朝霧駅東側の踏み切り、西側の歩道橋や山陽電鉄の大蔵谷駅や西舞子駅といった迂回手段もあったが、どれも会場から遠いか遠回りになる上に主催者側も迂回手段についての告知はなかったという。

群集雪崩は、極限を超える過密状態となだれの誘因となる隙間の生成により発生した。

群集圧力の波や対向流の成立も群集なだれの発生に関与したと考えられる。

極限を超える過密状態を誘引した原因は

1. 歩行橋の南端部の階段付近でボトルネックが生じたこと
2. 分断入場などの有効な群集規制がなされなかったこと

が考えられる。特に 1. については幅員 6m に対して、階段幅 3m と極端に狭かったこと、歩行橋の上や階段部分で花火見物のために観客が空間を占有したこと、階段の付近夜店が設置され、夜店の利用者が階段から降りてくる来場者の通行を阻害したことが主な原因に挙げられる。

さらになだれの誘因となる隙間の生成は

1. 子供などの転倒やうずくまり
2. 群集の後ずさりやうずくまり
3. 西端のフェンスの倒壊

が要因と考えられる。

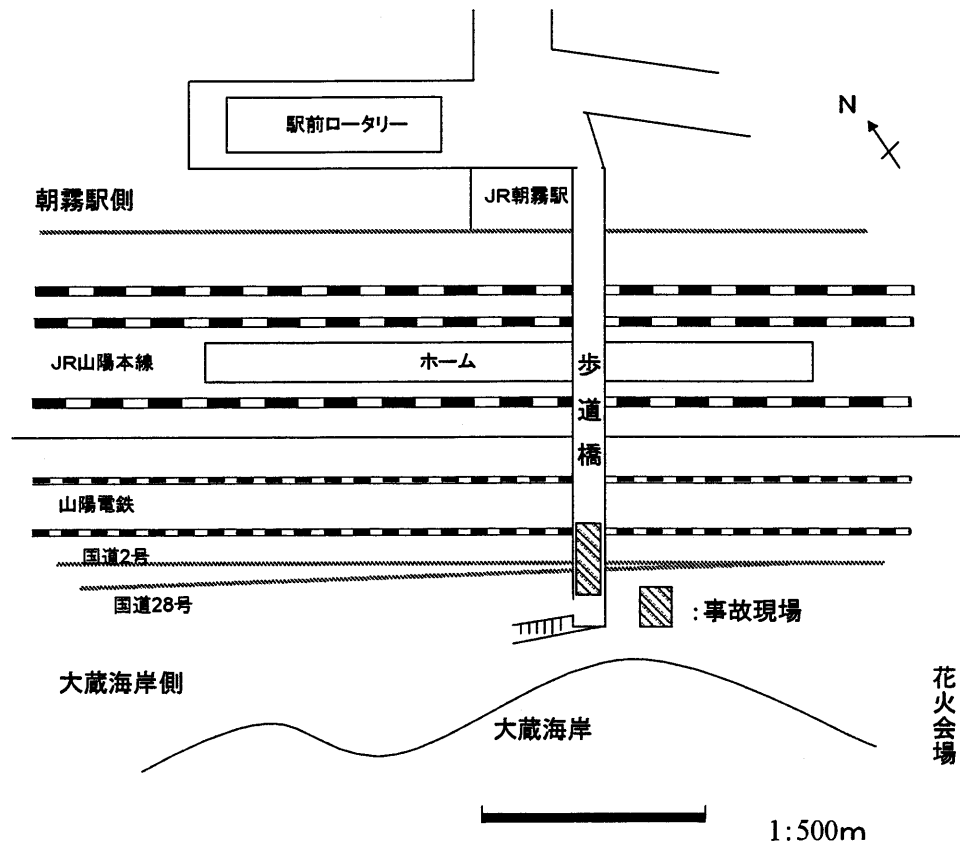


図 4 明石歩道橋の群集事故場所略図 (2001 年 7 月 21 日)

## 2.2.3 群集マネジメントにおける問題点

### 1) 群集事故の発生メカニズム

おもに将棋倒し<sup>1)</sup>と群集なだれ<sup>1) 22)</sup>の二タイプに分類される。(表2)

将棋倒しは、後ろから前へ転倒することで、基本的に線上一方向に転倒していく。滞留現象が発生したところに歩行速度の早い群集が後ろから押し寄せた時、前方群集が押しつぶされ、将棋倒しとなる。将棋倒しが密度3-5人/m<sup>2</sup>から発生すると言われている。

群集なだれは、前から後ろに転倒していき、塊状に多方向に転倒していく。アーチアクションの結果として群集なだれとなる。群集なだれが発生する密度は10人/m<sup>2</sup>以上だと言われている。

表2 群集事故の発生メカニズム

発生メカニズム	将棋倒し	群集なだれ
発生する群集密度	密度3~5人/m <sup>2</sup> 程度でも発生	密度10人/m <sup>2</sup> 以上でないとは発生せず
力の作用	転倒時に力が作用	転倒前から力が作用
転倒の順序	後から前に	前から後に
転倒の形状	線状に1方向	塊状に多方向

### 2) 本論文で議論する問題点について

前述の事例を通じて、大規模なイベントなど多数の人々があつまり、空間を利用する際には、群集の特性を理解し、さらに適合させることが重要である。建築設計資料集成・人間<sup>18)</sup>には「歩行空間における群集の歩行行動は歩行者の条件と歩行空間の条件により多様であるが、一定条件を確保することで歩行空間の安全性・快適性を保つことが可能である。条件とは、群集の密度を一定以下に保つことと、異なる方向へ向かう群集をなるべく交差させないことである。」という記述がある。これは群集マネジメントの原点であり、群集事故を減らすための根本的な考え方である。密度の向上につながる多くの場合は空間的にボトルネック構造を有することや群集の流れの衝突によるものである<sup>7) 8) 18) 19) 21)</sup>。空間構成の変更は群集事故リスクを回避または軽減することが可能だが、本論文では空間構成は変えられないものとして、設定条件の一つになり、空間構成よりも群集の経路や流動係数などの変化による混雑分析やリスク回避方策について検討する。

したがって、本論文では、名古屋駅構内の局部空間および駅周辺の乗換え地区の異なる視点で群集事故と群集の密度の関係に注目し、密度を群集事故リスクのパラメータとして、群集の流などの設定の群集事故リスクを定量的に評価し、群集流れのコントロールによるリスク軽減検討などについて議論していきたいと考える。ただし、群

集は合理的な活動を取り、パニック現象などは一切なしと仮定する。

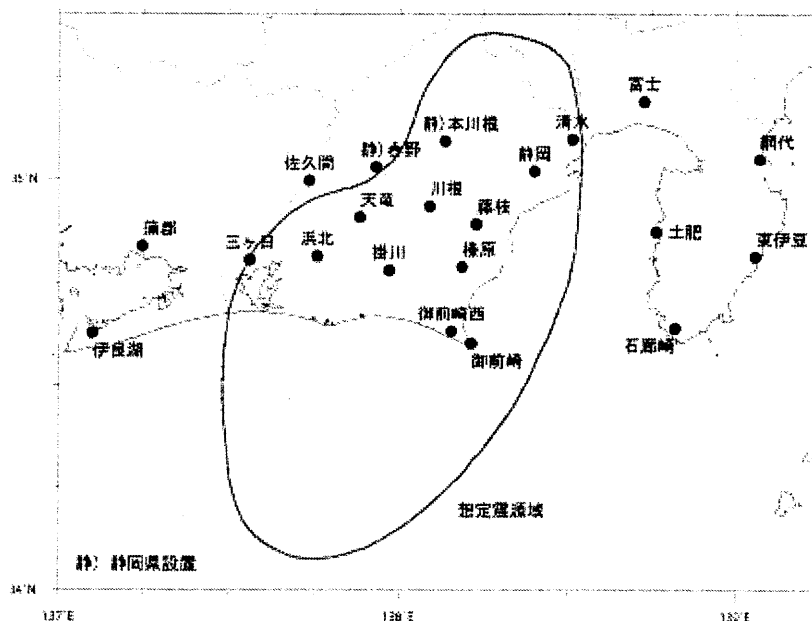
## 2.3 東海地震・注意情報と群集事故リスク

### 1) 東海地震の予知可能性

東海地震とはフィリピン海プレートの沈み込みにより、陸側のプレートが引きずられ、地下ではひずみが蓄積している。地下のひずみの蓄積が限界に近づくと陸側のプレートが沈み込みにくくなる。やがて上側と下側のプレートが固着していた緑辺で「はがれ」が生じ、緩やかなすべり（前兆すべり）が始まる。そして、地震が発生する。

前兆すべり現象の存在で、東海地震は予知可能な地震として指定された。現に、東海地震を監視する気象庁長官の諮問機関「地震強化地域判定会」による報告では、地震予知では早い段階で異常を察知する技術が大きく進歩したとは言われているが「いつ、どこで」を明確に示さなければならないことが難しい。百年から百五十年のサイクルでおきる東海地震は現在の科学技術では、地震の直前予知（日時、場規模を特定した予知）はできないが、東海地震のみ、前兆（地震前の異常現象）が検知できる可能性があると考えられている。

東海地震に関連する情報の発表基準に用いる歪観測点は、全部で21点である（図5）。場所は、網代、東伊豆、石廊崎、土肥、富士、清水、静岡、藤枝、榛原、御前崎西、御前崎、川根、天竜、三ヶ日、蒲郡、伊良湖、掛川、佐久間、本川根、浜北、春野である。（本川根および春野の歪計は静岡県が設置したもの。）



情報発表基準に用いる歪観測点  
(平成17年10月3日現在)

図5 情報発表基準に用いる歪観測点

平成 15 年 5 月 29 日、中央防災会議が取りまとめた東海地震対策大綱において、正式に東海地震に関連する情報と防災対応を見直し、現行の情報発表の仕組みになったのである。

## 2) 東海地震関連情報発令の仕組み

気象庁の公表によると、前兆が検知できた場合は三種類の関連情報が、危険度が低い情報順に「東海地震観測情報」→「東海地震注意情報」→「東海地震予知情報」となる。上記の三段階を経て、警戒宣言が発令される。(図 6)

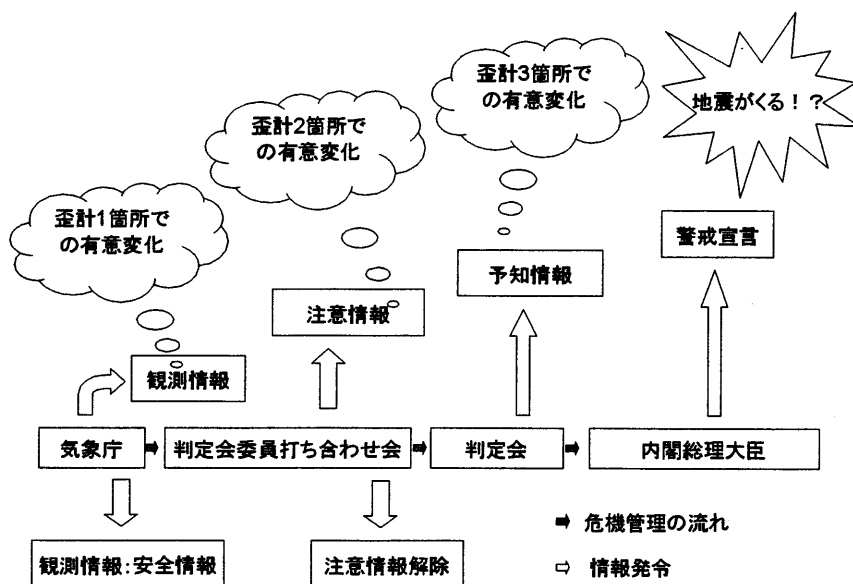


図 6 関連情報発令の仕組み

各情報の発表基準は、次のようになっている。

「東海地震観測情報」・・・観測された現象が東海地震の前兆現象であると直ちに判断できない場合や、前兆現象とは関係がないとわかった場合。

「東海地震注意情報」・・・観測された現象が前兆現象である可能性が高まった場合。

「東海地震予知情報」・・・東海地震の発生恐れがあると判定した場合。

これらの情報のうち「東海地震注意情報」により、防災関係機関の防災準備行動が開始される。また、必要に応じて児童・生徒の帰宅、旅行や出張の自粛等の対応がとられることになっている。ただし、「警戒宣言」が発令されると交通機関は運行を中止し、大型店舗などは閉店するため、名古屋市では「注意情報」の段階で市外からの通勤・通学者や外出中の人々には速やかに帰宅するよう呼びかけている。



### 3) 名古屋における列車利用者の通勤・通学者の利用状態

基礎データとして、名古屋市における昼間市民の概況および、名古屋駅の利用状況<sup>9)</sup>について整理した。

名古屋市内に通勤・通学する人口（昼間人口）は2514549人である（平成12年10月1日現在）。その内訳をみると、名古屋市の常住人口2148949人に対し、市外への流出が181144人、市外からの流入が546744人で、流入超過が365600人となっている。市外から通勤・通学目的で流入する15歳以上の就業者・通学者総数は、544165人である。このうち、愛知県内に常住するのは435761人（総数の80.1%）、岐阜県は63829人（同11.7%）

三重県は34538人（同6.3%）となっている。自宅からの距離を見ると、10km未満のものが9%、10~20km以上のものが39%である。鉄道による流入の概要、名古屋市を従業地・通学地としている15歳以上従業者・通学者の利用手段は「鉄道・電車」623009人（総数の42.2%）ともっとも多く、特に市外からの通勤・通学者では、鉄道がもっとも多く350474人（同64.4%）となっており過半数をしめる。さらに、市内の他の区へ通うものでも、鉄道がもっとも多く247245人に達する。中京圏全体の鉄道利用者の総数は、420万人/日・往復であり、定期券利用者が68.5%、普通券利用が31.5%となっている。このうち名古屋市への通勤・通学者を見ると、その多くが名古屋市中心部へ流れ込んでいる。特に名古屋駅周辺の区へ、通勤・通学者が集中しており、1位は中区の143177人/日、2位は中村区の93103人/日である。定期券（通学・通勤）および普通券（買い物など）による乗客の最終降車駅を整理したものである。定期券と普通券による降車人員の多い駅・乗り換え利用者の多い大規模乗換えも名古屋駅であり、終日13万人/日・片道乗換え利用者がある。

名古屋駅は愛知県名古屋市中村区名駅にある東海旅客鉄道（JR東海）・名古屋市営地下鉄・近鉄・名鉄の集合する中京圏屈指の大規模乗換え駅である。従来から名古屋の玄関口であり各種のバスと地下鉄・近鉄・名鉄・JR各線間の乗換客や商業施設の利用客なども多いが、近年、駅ビルの建設や東西周辺地域の再開発に伴い、近隣の都市や他県などの利用客が増加し、栄地区を超えて、名古屋地区の一番の中心街へと発展している。注意情報発令すると、帰宅客の集中が予想され、群集事故のリスクは否定できないため、二次災害リスクを考慮した滞留者数分析が必要である。

## 2.4 群集を扱うシミュレーション手法の現状

本節では群集行動を扱うシミュレーション手法について概説する。最初にシミュレーション分析について述べ、次に名古屋市が実施した東海地震注意情報発令を想定した名古屋駅地区の滞留者人数を推定する数理モデルの分析条件やシナリオなどを紹介するとともに、数理モデルによる分析の特徴と問題点を明らかにする。最後にはエージェント・シミュレーション手法の特徴を紹介し、群集分析への可能性について言及する。

### 2.4.1 シミュレーション分析

シミュレーションとは、現実にある現象を模擬的に再現してその特徴を検討したり、ある決定の引き起こすであろう結果を予測したりといった目的で行われる情報収集の方法である。もし、実際の現象を確実に知る必要があれば、それを模擬的でなく直接観察するなど、忠実に再現して検討する必要があるが、直接調べることが不可能なものや費用、安全性、時間などの制約から非現実的になることが多い。そのために、シミュレーションでは現実の事象を、知りたい特性をよく表現するようになんらかのモデルとして射像し、その近似的なモデルを操作することによって情報を得ようとするのである。このときに行われるモデル化と呼び、対象と目的に応じていくつかの方法がある。よく知られるのは、数式を用いた数理モデル<sup>16) 22)</sup> とエージェントモデル<sup>2) 16) 22)</sup> である。

### 2.4.2 数理モデルによる分析の特徴と限界

#### 1) 数理モデルの特徴

数理モデルは倫理的モデルの一種としてシミュレーションで最もよく使われる方法であり、コンピュータの普及と能力の向上から大規模で複雑な問題にも適用される実績を持つ。数理モデルは、対象となる事象が数式を用いたモデルとして記述できる場合に用いられる方法である。

名古屋市では名古屋駅地域滞留者等対策検討委員会を主体として、建設研究所に委託した注意情報発令を想定した滞留者人数を推定するシミュレーション分析は名古屋駅地区での降車・乗車・乗換え状況等を列車の運搬能力を考慮した数理モデル<sup>9)</sup> である。

想定したシナリオは以下のような状況である

- ・判定会は、平日の14時に招集されたと想定した
- ・判定会召集後、鉄道を通じて名古屋市内に来ていた全ての通勤・通学者、買い物客

等、旅行者が帰宅を始めると想定した。

・上記のものは在来線が通常運行をしている間（すなわち警戒宣言発令時まで）は、往路と同じ経路を通過して、帰宅すると想定した。たとえば、名古屋駅を通過して会社に通じているものは、帰路も名古屋駅を通過すると想定した。

・判定会召集後の、推移としては、以下の3ケースを想定し、推定を行った。

ケース1 「警戒宣言等を経ずに地震が発生」

ケース2 (A) 「判定会召集され、3時間後に警戒宣言発令」

ケース2 (B) 「判定会が召集され、24時間後に警戒宣言発令」

推定する対象は以下のように設定した。

・推定対象者は、名古屋駅を利用するものとした

・推定対象期間は、判定会が召集時から警戒宣言発令時までとした。

結果として、滞留者数の一時間ごとの時間推移が報告された。

## 2) 数理モデルの問題点

利用者人数、乗換え状況、列車の運搬能力などを考慮した名古屋市の試算では、空間的・時間的な制限について考慮していない。名古屋駅において、空間の密度上昇は群集事故リスクへとつながり、二次災害の発生になりかねない。また群集の通過を阻害することで、処理人数の減少で、滞留者人数に関する分析結果への影響も起きる可能性<sup>24) 25) 26)</sup>はあるので、時間・空間的制限を考慮した分析が必要だと考える。

### 2.4.3 エージェントベースドアプローチの群集分析への可能性

数理モデルとは異なったアプローチであるマルチエージェントシステムによるシミュレーション分析について説明する。マルチエージェントシステムとは自律した個々の主体が相互に依存しあうシステムである。複雑系のメカニズムを解明するためのモデルのひとつとして注目されている。マルチエージェントシステムはエージェントと環境とからなる。エージェントは複雑系を構成する要素である自律した行動主体のモデルである。環境は行動主体が知覚したり行動をなしたりすることによって影響を与える対象のモデルである。エージェントは環境を知覚し、知覚した状態に基づいて意思決定をおこない、行動をなす。あるエージェントは他のエージェントによって環境の一部であり、知覚や行動の対象となる。環境はエージェントの行動によってだけでなくそれ自体がもつメカニズムによって変化できる。よって、数理モデルでは実現することが難しい空間的制限や時系列分析、さらに、よりリアリティの高い政策シミュレーションが可能になる。空間表現の違いで二種類のシミュレーションモデルが主流となっている。セル型空間表現モデル<sup>3)4)5)6)17)</sup>とスポット・リンク型空間表現モデル<sup>11)12)14)</sup>である。以降、この二種類のモデルについて、説明する。

#### a. セル型空間表現モデルによる分析

セル型空間表現モデルはモデルを表現・記述する形式として、セルオートマトンおよび拡張されたセルオートマトンシステム表現を用いるものである。

セルオートマトンとは、世界をセルと呼ぶマス目の集まりとして表現し、セルの状態の集まりを持って世界状態とみなすとともに、あるセルの周囲の状態が変わるとき、そのセルの状態をしかじかに変化すると記された推移ルールを用意しておき、各期、全てのセルに対して同時にこの推移ルールを適用することによって、次期の世界状態を算出する。そして、この繰り返しによりシミュレーションを行うものである。

セル型空間表現モデルは、空間の制約が簡単に表現できる割にシミュレーション自体が重くなりがちで、群集避難シミュレーションなどのようなエージェント数とステップ数の比較的に少ない分析によく利用されるが、計算機的能力向上などで、近年応用範囲が広くなりつつある。たとえば、鈴木・兼田らによる明石歩道橋事故の再現などで6000人以上のシミュレーション表現ができた報告があることから、群集事故のリスク評価や群集マネジメントの検証などへの期待が高まりつつある。特徴としては、高密度走行から低密度走行まで、実現可能であることと、局部範囲の密度分析ができることである。高密度を対象とした研究ではセルの辺長は40cm前後の設定値になることが多い。

#### b. スポット・リンク型空間表現モデルによる分析

空間の抽象化はもう一つの手法がある。それは室や領域単位でそのつながり方をネットワークとして表現する方法である。領域単位をスポット、そのつながりをリンクとみなして、本論文ではスポット・リンク型モデルと呼ぶ。この種のモデルは群集の行動や空間を単純化・抽象化するために、シミュレーションの動きは比較的に軽くすることができるので、規模の大きくて、広範囲での群集行動の検討には適している。現にネットワーク化した空間で都市や地域レベルの広域避難シミュレーションや伝染病プロセスの探求などでの実績がある。その反面、スポット内の局部空間の密度変化などを把握することができない。結果的にスポットの大きさは、そのスポットで検討できる最小面積となる。そのため、室や領域単位は、面積が大きな差がなく、均一な状態が望ましいが、現実には必ずしも、そうではない。本研究では、現実空間の現状の再現を重視し、領域の分割を行う。時間スケールを考慮した領域の分割方法の検討については今後の課題としたい。

## 2.5 本研究における枠組みについて

本研究は群集マネジメントの観点から、東海地震注意情報が発令された場合を想定し、名古屋駅をモデルケースとして、滞留者数が最も多いとされる午後 14 時～15 時の初動一時間において、大規模乗換え駅構内の局部空間または乗換えエリア全体の群集シミュレーションを試みて、大規模乗換え駅の空間混雑分析を行う。

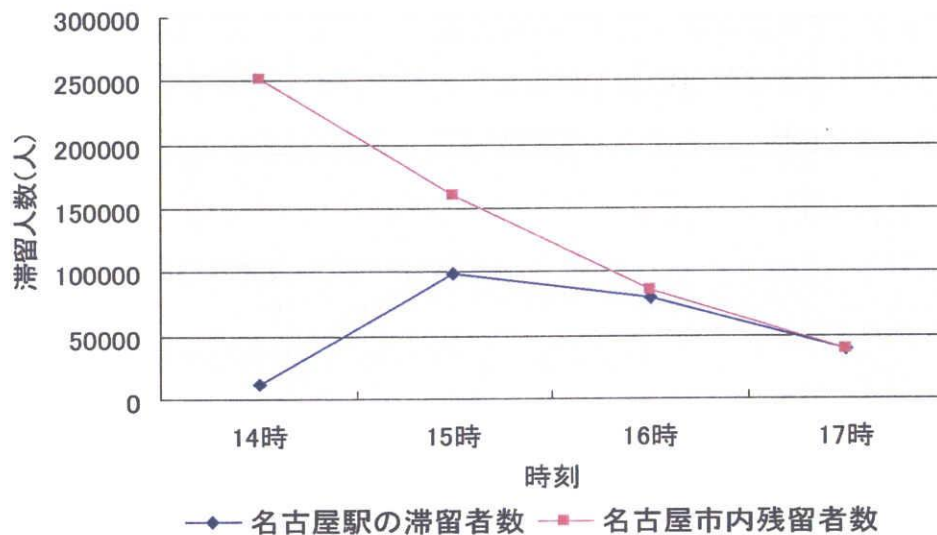


図 7 名古屋駅前滞留者推定結果(名古屋市)

駅構内では、プラットフォームと改札口外部を繋ぐ乗換え通路は群集流のボトルネックとなりうる。局部空間の対象として、特に内部乗換えも存在する JR 名古屋駅でも利用者が多いとされる北通路をケーススタディとして、セル型空間モデルを構築し群集シミュレーション分析を行う、

改札口外部乗換えエリア全体では、JR 各線・名古屋線・近鉄線・地下鉄東山線・地下鉄桜通り線間の乗換え地区を対象に名古屋駅乗り換えエリアのスポット・リンク型空間モデルを構築し、シミュレーション分析を行う。

名古屋市の試算でまとめた名古屋駅の利用人数、乗換え状況、または列車の運搬能力などを整理し、本研究の設定事項として利用する。分析結果はモデル評価の基準として利用する。

第 3 章の空間構成は現地計測で構築するが第 4 章の空間構成は公表地図を利用した図上計測で構築する。

各電車会社が非常事態のためのダイヤ変更やダイヤの乱れが生じるようなハプニングは発生しないと仮定する。

また、新幹線は考慮しない。

表3 本論文で扱う各シミュレーション分析モデルについて

分析手法	数理モデル	セル型モデル	スポット・リンクモデル
移動速度	扱われない	パターン固定	ステップごとに $\rho-v$ 式で算出
時間	3時間	1時間	1時間
空間表現	扱われない	セル分割	スポット空間近似
人数実績	無制限	6000人程度	18万人程度
対象	名古屋駅	JR名古屋駅北通路	名古屋駅周辺各空間
事項	設定事項および評価の基準	乗換通路における群集シミュレーション分析	名古屋駅周辺における大規模群集シミュレーション分析

## 第3章 セル型モデルを用いた乗換え通路における群集シミュレーション分析

---

- 3.1 はじめに
- 3.2 歩行者モデルの構築
  - 3.2.1 セル型モデル構築のための文献整理
  - 3.2.2 空間モデル
  - 3.2.3 行動ルール
  - 3.2.4 流入状態の表現と測定区域の設定
- 3.3 シミュレーションの設定事項
  - 3.3.1 流入状態の設定 (改札側とプラットフォーム側)
  - 3.3.2 OD行列の推定と設定
- 3.4 ベンチマーキングテストによるモデル評価
  - 3.4.1 ベンチマーキングテストについて
  - 3.4.2 ベンチマーキングテストによるセル型空間モデルの評価
- 3.5 セル型モデルによる群集マネジメント評価
  - 3.5.1 シナリオおよびケース分け
  - 3.5.2 結果分析
  - 3.5.3 群集マネジメントのための検討
- 3.6 第3章の結論





### 3.1 はじめに

歩行者流のエージェントシミュレーション<sup>2)</sup>は近年、進歩を遂げ、セル空間モデルを用いた研究として、理論研究<sup>3)</sup>と実測研究<sup>4)5)6)</sup>が報告されている。実測研究ではセルの空間スケールについて40cm前後が標準となりつつある。また、時刻刻みは、回避動作距離と関連していて、ともに短くとるBursteddeらのモデル<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>は低密状況に適している。双方とも中位にとるKaneda, Suzukiらのは低密から高密への変化プロセスの再現に力点を置くもので、明石歩道橋群集事故(2001年7月)の調査結果<sup>1)</sup>をL字回廊モデル<sup>6)</sup>を用いて、シミュレーションモデルにより再現し、群集事故発生原因とそのプロセスを考察した。

名古屋駅は数多くの簡単な空間に分けられる。利用者は自分の目的に従い経路を選択し、歩行する。第2章で述べた数理モデルの推定結果は乗換え通路にあるいは乗換え通路の中の局部空間にどのような影響を及ぼすのかなどの検証は大規模乗換え駅における非常事態に備えるために、群集マネジメント方策の考案には重要な判断材料となりうる。本章の研究対象であるJR名古屋駅北通路は明石歩道橋モデルの空間と比べてみると、面積は狭いし、各プラットフォームをつながっていて、群集の流動動線が乗車・乗換えおよび降車客の存在で、複雑でお互い交差する点では特徴的ではあるが、このような問題を克服すれば、セル型モデルを開発し、注意情報発令時を想定した際、大規模乗換え駅構内に固有な空間構成・群集行動の特徴に応じて、群集事故の発生プロセスと防止策が検討可能なエージェントシミュレーションができると考えられる。さらに、セル型の特徴を利用し、検討したい空間内部の局部密度が割りと簡単にできる利点があるので、駅などの乗換え通路に特有する楕型回廊のセル型空間モデルによる分析手法を使うことにした。

駅構内における利用者の群集行動は比較的単純である。特に通勤・通学のラッシュ時を見ると通常の行動とは違って、目的意識は強く行動の自由度も比較に低い。過去には注意情報発令が発令されたことは一度もないが、二方向流であるかどうかの点からすると避難行動とも区別が付く。それに同時に考慮する人数も多く、時間も1時間で比較的長いことという問題点もある。本章では、注意情報発令時の帰宅行動を通常の時の通勤・通学ラッシュ時と同等であることを仮定する。人数は名古屋市の試算結果<sup>9)</sup>を整理して利用する。

そこで、本章では、セル型方式で大規模乗換え駅の駅構内での乗換え通路の混雑分析を扱う歩行者エージェントモデルを新たに作成するとともに、JR名古屋駅北通路通路を模した楕型空間モデルを対象に、シミュレーションを通じて、通路内の局所密度の計測を試みる。群集密度の空間分布とその変化を視覚的に示すとともに、流動係数・利用人数などのケースの違いによる密度分布と変化傾向、解決策の検討を行う。

本章の構成を以下に示す。3.2節では通勤・通学の行動および、分析対象とした乗換え通路での現地調査の結果を示し、セル型モデルの構築について説明する。3.3節ではシミュレーションの設定事項の考えと整理の結果を示す。3.4節ではパラメータの設定でケース設定を行う。各ケースにベンチマーキングテストを行い、モデルの正当性を示しながら、モデル空間の密度変化特徴について述べる。3.5節では駅のプラットフォーム側の電車の到着時間による影響を考えたシミュレーションを行い、群集マネジメントのための提案について、各計測区域の密度変化の結果を通じて、シミュレーション実験を通じて評価し、得られた知見を述べる。3.6節では、本章での提案モデルによって得られた分析結果と課題について述べる。

## 3.2 歩行者モデルの構築

本節では、名古屋駅北通路の空間構成や利用状況に基づいたセル型モデルの構築について、利用状況、仮定条件とモデルの構築を分けて、詳細に説明する。

### 3.2.1 セル型モデル構築のための文献整理

#### 1) 名古屋駅北通路の利用状況整理

JR名古屋駅の在来線は6面12線の島式ホームの高架駅である（図8）。

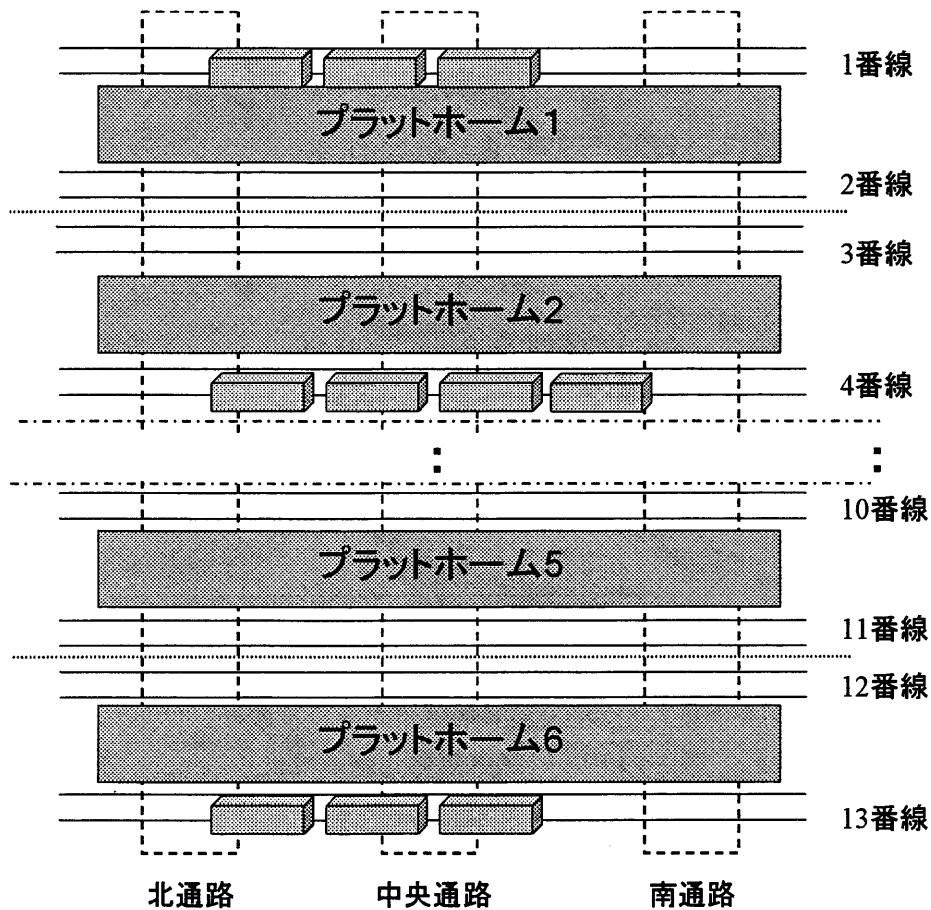


図8 JR名古屋駅の構成

名古屋駅北通路はJR名古屋駅各プラットフォームの間と改札口外部をつなぐ三つの乗換通路の一つである。北通路の立地と案内板をみると、北通路の利用者は主に、JR各線（中央線・東海道線・関西線）の乗換などの各プラットフォーム間の移動、JR各線の

降車あるいは地下鉄各線との乗換などの改札口とプラットホームの間の移動である。乗換えの案内板の案内内容に従い、JR 各線と名鉄・近鉄の乗換は北通路を利用しないとする。

## 2) 現地調査および結果

大規模乗換え駅の乗換え通路における歩行者行動の実態を探るために、東海地区で JR の乗車人数が一番多い名古屋駅について、現地調査を行った。本研究では JR 名古屋駅の北通路を模した櫛型空間モデルを作成する。また、北通路のラッシュ時の歩行者行動の観察に基づいて作成した歩行者エージェントの行動ルールについて説明する。

現地調査項目を表 4 にまとめた。通路の寸法は敷石の枚数から推定する。階段部分は階段の階数と一段の階段の寸法で推定する。利用者の走行速度のサンプルは利用者を尾行し、30mを移動した時点での所要時間を計り、求めた値である。

表 4 現地調査について

時 間	2006 年 10 月 13 日
場 所	JR 名古屋駅北通路
調 査 項 目	通路・階段・交差部の寸法 (m) 群集の密集状態 (ビデオ・写真) 水平通路・階段での走行速度サンプル 誘導標識など (写真) エスカレーターの配置状況 エレベーターの配置状況 利用者の行動パターン (ビデオ・写真)

JR 名古屋駅北通路の空間構成に関する調査結果を図9に示す。

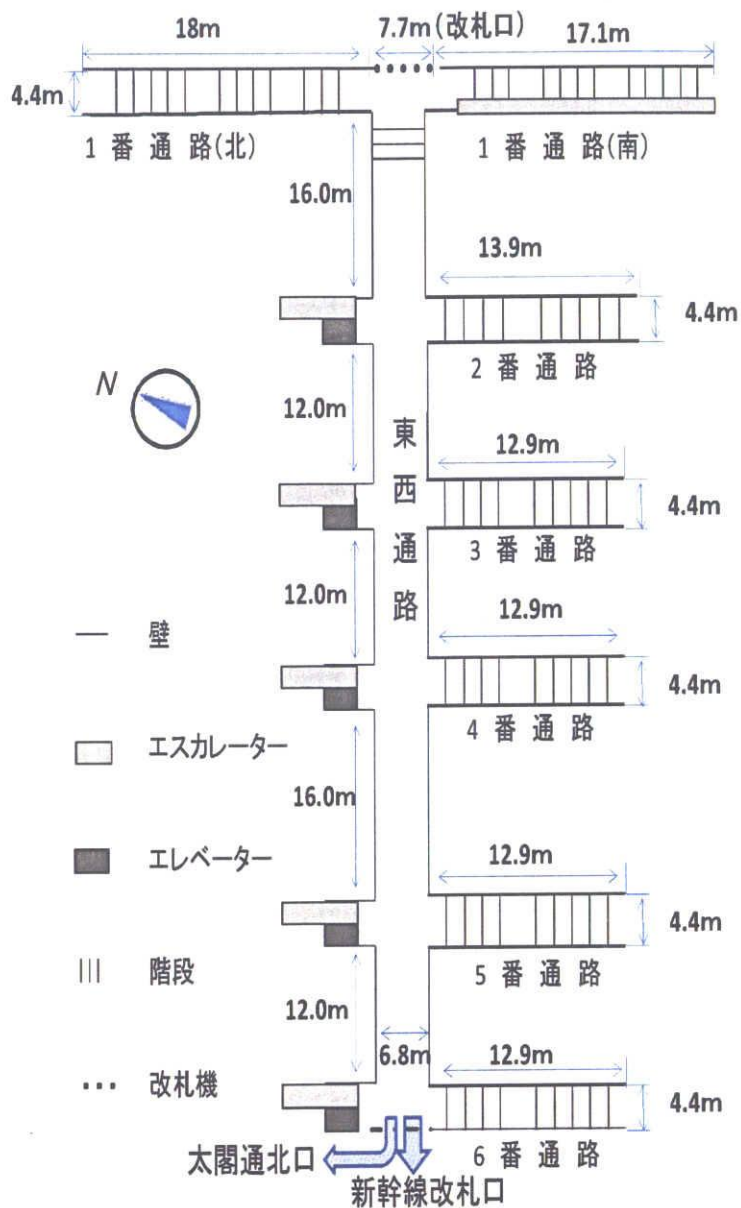


図9 JR 名古屋駅北通路の空間構成

現状では、JR各線のプラットフォームに繋がる階段（1～6番通路と呼ぶ）、東側の改札口と六番通路の西側にある太閤通北口と新幹線改札口との間のメイン通路（東西通路と呼ぶ）、エスカレーター・エレベーターが存在する。1～6番通路はそれぞれ1～6番プラットフォームにつながる。

### 3) モデル空間での行動パターン

対象空間において、電車により運ばれた利用者や駅周辺から集まってくる利用者などの影響を分析するために楕円空間モデルの設計を行う。モデル空間は各プラットホームの間および改札口外部をつながる場所である（図 10）。行動パターンは乗り場→乗り場、乗り場→改札口、改札口→乗り場の三形態が存在する。

乗り場→乗り場は JR 各線の乗換え利用者である。利用者は JR 電車に乗って到着する。到着した乗り場よりモデル空間へ流入し、目的地であるその他の乗り場に向かう。

乗り場→改札口は JR 各線の降車利用者や地下鉄各線への乗換え利用者である。利用者は JR 電車に乗って到着する。到着した乗り場よりモデル空間へ流入し、改札口に向かう。

改札口→乗り場は JR 各線の乗車利用者や地下鉄各線から JR 各線への乗換え利用者である。利用者は改札口よりモデル空間へ流入し、目的地である乗り場に向かう。

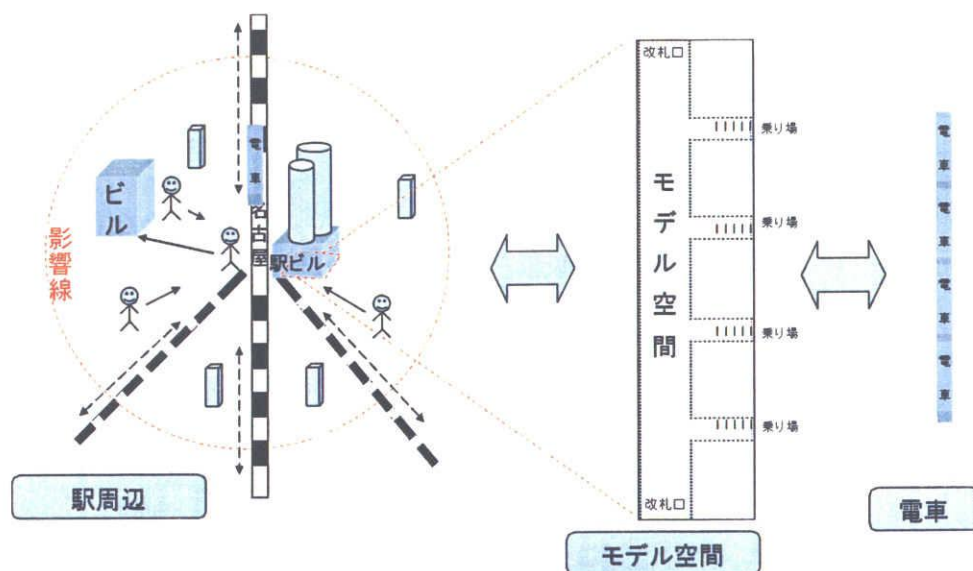


図 10 モデル空間の役割

#### 4) 櫛型空間モデルの設計要件

既存研究のシミュレーションモデル<sup>1) ~9) 24) ~36)</sup> および現地調査の結果を整理しながら、モデル設計について以下の項目を定めた。詳細は表5に参考されたい。

表5 歩行者シミュレーションモデルの設定項目

項目	説明
移動速度	最大で 1.2m/s
人体幅	肩幅：0.4m 胸厚：0.2m
各流入口での流動係数	最大で 1.5 人/m・秒
対象空間の構成	改札口の幅：6.8mに設定 東西通路：幅 6.8m×長さ 94.4m (総面積：641.92 m <sup>2</sup> ) 1~6番通路の長さ：全て 18mに設定 (総面積：1196.32 m <sup>2</sup> ) (1~6番通路のエスカレーター、2~6番通路のエレベーター、新幹線北乗換口へのアクセス、太閤通北口へのアクセスは対象に含めず)
通勤ラッシュ時の行動特徴	A) 高速歩行 B) 追い越し行動があまりない C) 戸惑いはなく、歩行する(目的地への移動ルートが明瞭である) D) 電車到着時刻に伴い、周期的な利用者の集中がみられる。 E) 乗り換え、下車、乗車の三形態

### 3.2.2 空間モデル

モデル空間の構築について説明する。

#### 1) 用いたソフトウェアとスケール設定

本研究では、kk-MAS1.1上で歩行者流シミュレーションモデルを設計し、実装した。時間スケールは1ステップ1/3秒とする。

空間スケールは1セル0.4m四方で表される。エージェントは毎ステップで、1セルまで移動できる。すなわち、最大速度は1.2m/秒である。3ステップを単位時間とすれば、直進、横、斜め進行と停止行動を表すことができる。前述の既存モデルと比較すると比較的高密状態を扱う点に特徴がある。

#### 2) 櫛型空間モデル

櫛型通路空間は1番通路(北)、1番通路(南)、2~6番通路(幅11セル×長さ45セル)と東西通路(幅17セル×235セル)で構成される。各階段の長さは18mに近似したため、モデルの総面積は北通路の推定実面積(1145.28 m<sup>2</sup>)よりも若干大きく、1196.32 m<sup>2</sup>(7477セル)となった。これはJR名古屋駅の北通路と同等な面積である(図11)。ただし、階段の段差は捨象している。

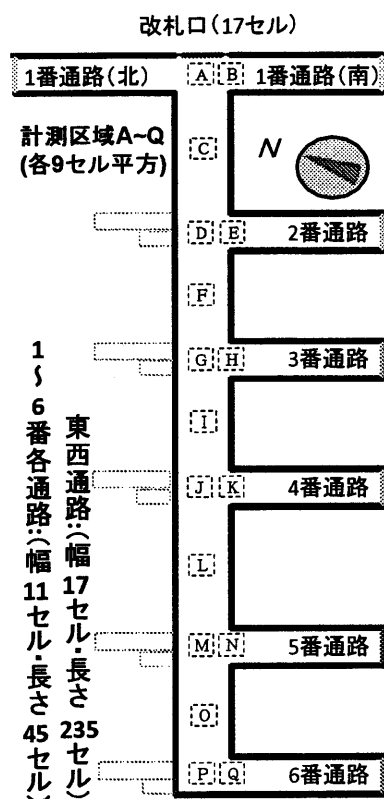


図 11 櫛型回廊のセル型空間モデルと密度測定区域



### 3.2.3 行動ルール

歩行者エージェントについては、行動パターンを単純化して、歩行行動ルールを設けた。本研究は冷静な行動のみを扱い、パニック行動を考慮しない。シミュレーションのアルゴリズムを図 12 に示す。1 秒あたりに表現できる歩行行動エリアを図 13 に示す。

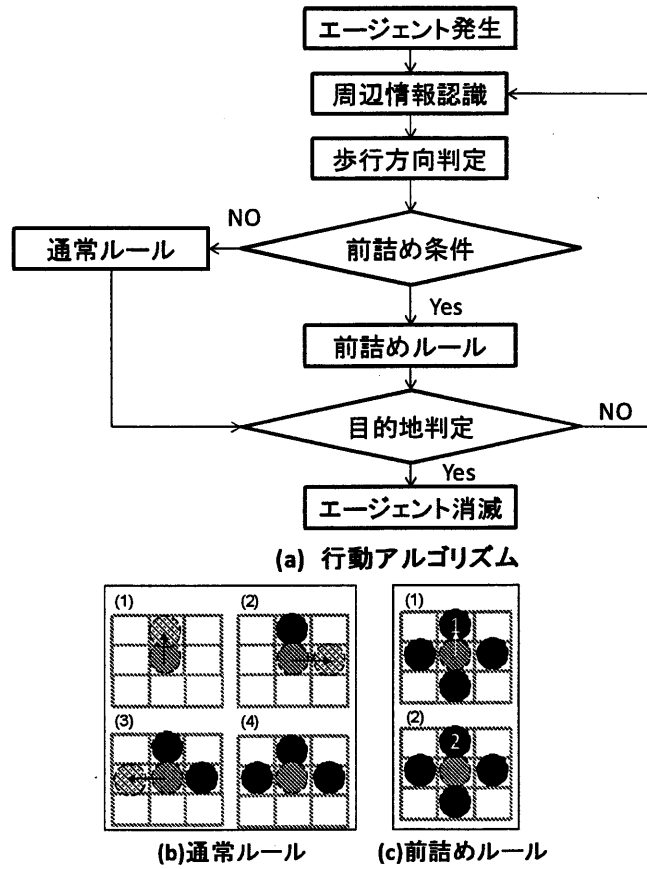


図 12 歩行者エージェントの行動アルゴリズム

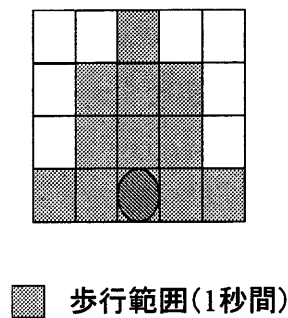


図 13 表現できる行動エリア (1 秒間)

1 ステップ=1/3 秒の時間スケールと単純化された行動ルールの組み合わせにより、比較的簡単に最大速度 1.2m/s の行動パターンを作ることができる。

人体幅とセルの設定より、1セルには最大2人まで入ることができるため、理論測定密度の最大値は 12.5 (人/m<sup>2</sup>) である。

#### 3.2.4 流入状態の表現と測定区域の設定

歩行者の流入にはエージェント発生スポットを用いる。発生スポットあたり毎ステップ 20%の確率でエージェントを発生させると流動係数は  $0.2 \text{ (人/step)} \times 3 \text{ (step/s)} \div 0.4 \text{ (m)} = 1.5 \text{ (人/m} \cdot \text{s)}$  となり、これは避難計画基準値（一方向流）に相当するため、これを基準ケースとする。流入する歩行者エージェントにはそれぞれ目的地一か所を設定する。目的地は改札口、プラットフォーム 1~6 で、計 7 か所の中で、OD 確率行列で設定する。

櫛型空間モデルにはAからQまで 17 か所の局所密度の測定区域を設定してある（図 11）。各々の区域は 9セル×9セル（12.96 m<sup>2</sup>）からなり、歩行者エージェントの数から、群集密度を算出する。

### 3.3 シミュレーションの設定事項

#### 3.3.1 流入状態の設定（改札側とプラットホーム側）

現地調査で撮った通勤ラッシュ時の写真推定した密度は約1人/m<sup>2</sup>であり、この時の速度を1.0~1.2m/sとするとラッシュ時の流動係数1.0~1.2と推定できる。（写真1）



写真1 JR名古屋駅北通路改札口付近  
(2006年10月13日(金)、am 8:30)

本章では現地調査および歩行者行動に関連する研究<sup>20)34)35)36)</sup>を踏まえて、流動係数の設定を行った。通勤ラッシュ時の半分0.5人/m・sを通常状態と設定する。避難計画基準値である1.5人/m・sを東海地震・注意情報発令時の設定とする。規制する場合は1.5人/m・sの流動係数が0.5人/m・sに変化させることで表現する。流入禁止の場合は流動係数の設定は0人/m・sと設定する。

### 3.3.2 OD 行列の推定と設定

3.2.4 節にも触れたが、歩行者エージェントの目的地を設定するために、各流入・流出口の OD 確率が必要になる。現時点ではそのような統計資料やデータがないが、定期券利用者に限って、路線間の乗り換え状況に関するデータ（大都市交通センサス）がある。H12 年大都市交通センサスから見ると、中京圏全体における鉄道利用者の総数は、420 万人/日・往復であり、定期券利用者数が 68.5%となっている。その多くが名古屋市中心部へ流れ込んでいる。特に名古屋駅周辺の区へ集中しており、中区は 143,177 人/日、中村区は 93,103 人/日であり、全体の 5.6%を占めるため、本研究は定期券利用者の乗換状態を全利用者の利用状態とみて、各場所間の OD 確率を推定する。

流入出口の OD 確率を求めるために、定期券利用者の乗り換え状況から北通路について、路線間の OD 状態をまとめる。空間配置から、名鉄や近鉄へのアクセスは駅内の誘導案内表示内容により、北通路を利用しないとす（表 6）。

表 6 北通路に関する利用状況の整理

O \ D		北通路内			北通路外				
		JR 東海道線	JR 関西本線	JR 中央本線	市営 東山線	市営 桜通線	名鉄 名古屋本線	近鉄 名古屋線	その他
北通路内	JR 東海道線	—	○	○	○	○	×	×	○
	JR 関西本線	○	—	○	○	○	×	×	○
	JR 中央本線	○	○	—	○	○	×	×	○
北通路外	市営 東山線	○	○	○	モデル空間内における群集行動の三形態について				
	市営 桜通線	○	○	○	乗換行動（北通路内の移動）				
	名鉄 名古屋本線	×	×	×	降車行動（北通路内→北通路外）				
	近鉄 名古屋線	×	×	×	乗車行動（北通路外→北通路内）				
	その他	○	○	○	ただし、×の分は北通路を利用しないと見て、除外する。				

路線間の OD 状態に従い、北通路における乗車・降車および乗換について、データの整理を行う。(a) 平日での各路線の発車本数<sup>10)</sup>と到着本数<sup>10)</sup>を、到着するプラットホーム別で計算する。(b) 定期券利用者に関する乗換状況データを到着人数と向かう目的地別の移動人数に分けて整理する。(c) 到着人数をプラットホーム別電車の到着本数で配分する。(d) 目的地別の移動人数はプラットホーム別電車の発車本数で配分する。(e) 配分した各プラットホームおよび改札口の到着人数・目的地別人数で OD 確率を推計する。(図 14)

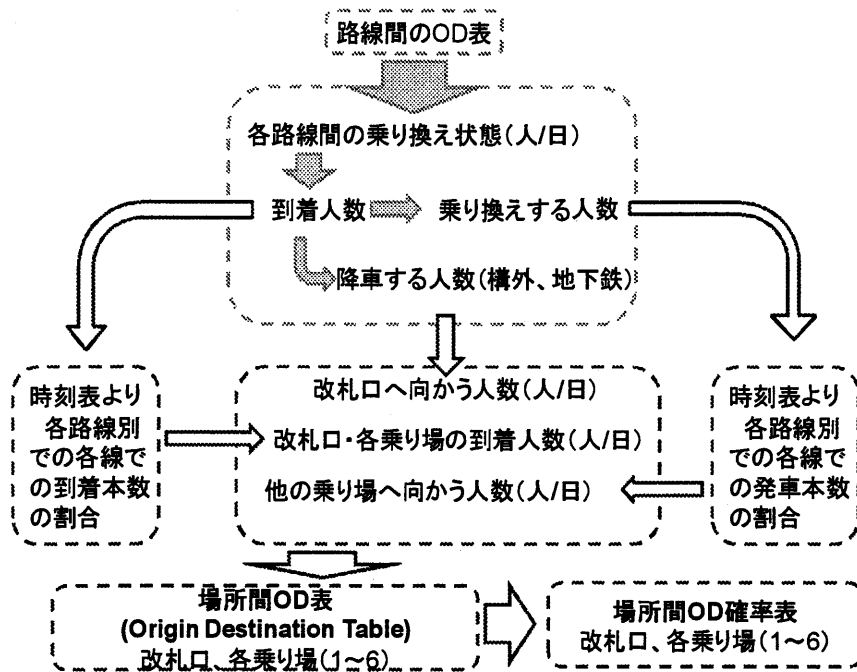


図 14 場所間 OD 表の推定プロセス

求めた改札および各番通路の間での OD 確率を表 7 に示す。

表 7 場所間 OD 確率推定結果

O \ D	改札口	1番通路	2番通路	3番通路	4番通路	5番通路	6番通路	合計
改札口	—	0.472	0.113	0.252	0.077	0.049	0.037	1
1番通路	0.992	—	0	0	0.002	0.001	0.005	1
2番通路	0.941	0.001	—	0	0.04	0.013	0.005	1
3番通路	0.899	0	0	—	0.075	0.022	0.004	1
4番通路	0.877	0.094	0.017	0.003	—	0.001	0.008	1
5番通路	0.851	0.074	0.016	0.028	0.025	—	0.006	1
6番通路	0.633	0.049	0.023	0.122	0.125	0.048	—	1

### 3.4 ベンチマーキングテストによるモデル評価

本節では、特に駅構内でよく見られる電車の到着などによる群集の集中的流入と流入停止の繰り返し現象をテストケースに設定し、構築したセル型モデルについて、ベンチマーキングテストを通じて、モデルの機能テスト、またベンチマーキングテストの各ケースの計測結果の分析も行う。

#### 3.4.1 ベンチマーキングテストについて

以上のモデルを用いて、ベンチマーキングテストのための混雑シミュレーション実験を行う。流動係数と歩行者流の目的地の設定条件により、計5ケースの実験を設定した(表8)。

道路設計仕様書や交通工学ハンドブックでは通路の流動係数の設定基準値は0.33人/m・s、通勤ラッシュ調査による推測値：1.0~1.2人/m・s、消防防災法の避難計画基準値：1.5人/m・sである。以上の基準値を参考に、ベンチマーキングテストでは流動係数は避難計画基準値の1.5人/m・sを注意情報発令時の設定とする。または1.5人/m・sの1/2である0.75人/m・sを通常状態として設定し、シミュレーションを行う。ただし、政策シミュレーションでは、後でも説明するが、ベンチマーキングテストと違って、通勤ラッシュ時の半分である0.5人/m・sを通常状態の設定とする。

表8 ベンチマーキングテストのケース別設定条件

ケース	発生交通量			
	改札口から		乗り場から	
	流動係数 (人/m・秒)	目的地 設定	流動係数 (人/m・秒)	目的地 設定
1	1.5	OD確率	0	—
2	0	—	1.5	改札口
3	0	—	1.5	OD確率
4	0.75	OD確率	0.75	OD確率
5	1.5	OD確率	1.5	OD確率

歩行者流シミュレーションは主に群集密度の空間分布とその時間変化を検討するものである。注意情報発令下におけるこの櫛型回廊が持つ空間上の特性を明らかにするとともに、モデルの的確性についての検討、群集の集中的流入と流入停止の繰り返し現象のプロセスを再現するために、シミュレーション実験においては、各流入口から

一斉に 360 ステップ (120 秒) 間、与えられた流動係数により、歩行者流入を行ったのち、歩行者流入を停止して、流出プロセスをみる。便宜的に第 360 ステップを境にして、前者を流入段階、後者を流出段階と称する。

### 3.4.2 ベンチマーキングテストによるセル型空間モデルの評価

#### 1) 櫛型回廊空間における群集の空間分布の推移

ケース 5 の流入段階を例として、シミュレーション開始から 50 s 経過した時点より 120 s までの間で 10 s 間隔で歩行者の空間分布の推移を図 15 に示す。ただし、1 番通路 (北) は全体特徴の表現に影響しないので、捨象して表示した。

50 s 時点ではすでに、1, 2, 3 番通路交差点で、詰まり (jam) が生じている。改札口方向へ移動するために、次第に中央通路の左側へ回避する流れが顕著になるとともに詰まり規模も拡大してきた模様を確認できる (60 s・70 s)。70 s の時点から迂回する流れと滞留する群集により、局所密度の疎密が鮮明になる。90 s までは詰まり現象は、東西通路で発生していることが確認できる。1~6 番通路に波及していない。100 s~120 s では 3 番通路の交差点で 3 番通路へ進入しようとするエージェントが詰まり状態になり、逆に東西通路の通行を阻害するような形になった。この単純化されたモデルでは、詰まり現象の解決を自然に表現できないため、今後の課題として考慮する必要がある。この点を除いて、櫛型モデルは概ね良好なパフォーマンスを示した。

また、東西通路の面積は全面積の 53% に対して、滞留者数は全体滞留者数の 8 割以上 (120 s 時点での目視) に上ることも注意すべきである (特に 1~4 番通路の間に集中)。

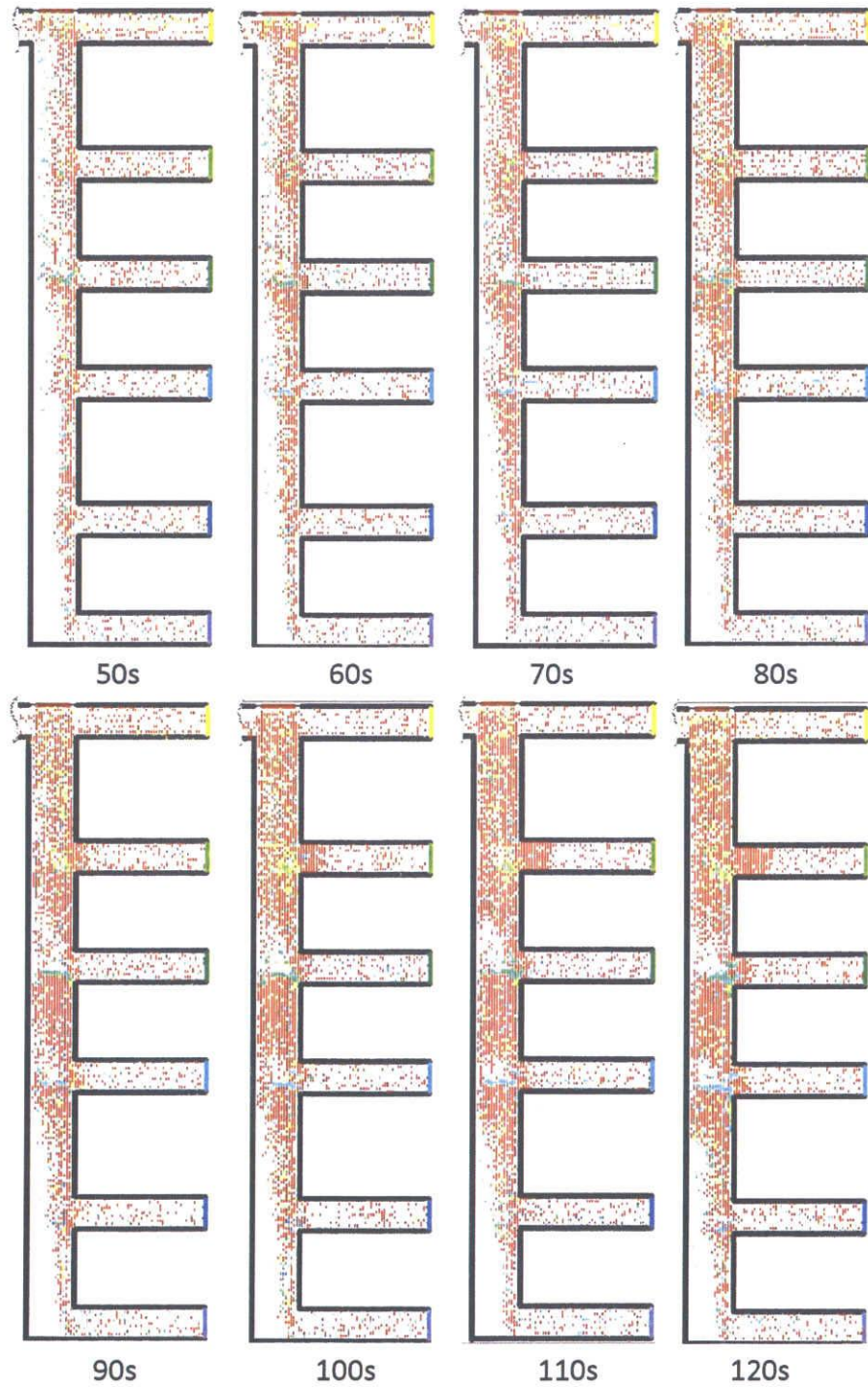


図 15 シミュレーションの状態状態変化(ケース 5,50 s ~120 s,10 s 間隔)



2) 120 秒間流入段階における密度および計測滞留者数からみる櫛形回廊空間の特徴

各ケースにおいて、各測定区域で密度を表すために、最大密度測定値・密度測定値の平均値とモデル空間内に滞留者数最大時の測定値を表9に示した。流動係数とOD確率の違いは密度の違いにつながることが分かった。

表9 ベンチマーキングテストの測定密度

測定区域		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
ケース1	最大値	1.9	1.2	1.3	1.3	0.9	1.0	1.2	0.9	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
	平均値	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	測定値*	1.6	0.6	1.0	0.5	0.2	0.2	1.0	0.6	0.1	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
ケース2	最大値	3.7	3.7	3.7	3.7	3.0	2.6	2.5	2.8	2.2	1.8	2.5	1.3	4.0	2.6	4.7	1.3	0.8
	平均値	2.6	1.9	2.8	2.7	3.0	2.6	2.5	2.8	2.2	1.8	2.5	1.3	0.8	1.9	0.3	0.1	1.3
	測定値*	4.3	3.3	4.9	3.7	4.3	4.3	4.3	4.5	4.0	4.5	4.0	3.3	1.6	3.7	0.2	0.5	2.7
ケース3	最大値	4.4	3.4	4.4	4.3	4.3	4.5	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	2.8	4.7	1.6	0.9	3.0
	平均値	1.7	1.3	1.9	1.9	1.7	1.7	2.0	1.9	1.5	1.7	2.0	1.4	0.8	1.5	0.3	0.1	1.0
	測定値*	3.5	3.3	4.7	3.7	3.5	4.0	4.1	3.6	2.6	4.0	2.2	2.8	2.4	3.1	0.9	0.2	2.3
ケース4	最大値	4.6	2.7	3.3	3.9	3.2	3.2	4.3	3.7	2.9	2.7	3.5	1.5	1.1	2.6	0.7	0.5	2.0
	平均値	1.7	1.2	1.4	1.4	1.2	1.1	1.6	1.5	0.8	0.9	1.3	0.4	0.3	1.0	0.1	0.1	0.6
	測定値*	4.3	1.5	3.1	2.6	1.9	2.3	3.5	2.6	2.0	2.0	2.9	0.8	0.5	1.6	0.3	0.1	0.9
ケース5	最大値	4.3	4.3	4.3	7.3	9.3	9.7	7.7	8.4	3.5	3.5	3.5	3.5	1.6	1.2	3.1		
	平均値	1.6	0.9	1.6	1.5	1.6	1.2	2.5	2.0	1.8	1.5	1.5	1.0	0.6	0.9	0.3	0.1	0.6
	測定値*	4.3	4.3	4.3	7.2	9.3	9.3	7.7	8.4	3.8	3.8	3.8	3.8	2.7	3.7	0.9	0.5	2.4
*: 空間内滞留者数が最も多い時の密度測定値。		(単位:人/m <sup>2</sup> )																
3.0未満		3.0以上5.0未満					5.0以上7.0未満					7.0以上9.0未満			9.0以上			

流動係数を合計すると、ケース1<ケース4<ケース2=ケース3<ケース5となるが、シミュレーションの結果に表す密度状況の順番と一致する。ケース3はケース2と同じ流動係数だが、OD確率により、対向流が発生し、密度状態がケース2より高くなったと考えられる。

各ケースにおいて、すべての場所で、平均値は3.0人/m<sup>2</sup>を超えなかったことから、平均値が低くても、流入状態や場所によって、混雑になることが言えよう。ケース5の区域Hでは、最大値と平均値の差は最も大きく7.7人/m<sup>2</sup>もあった。

滞留者数の変化(図16)は流動係数が高いほど、急激になり、流入時間にほぼ比例し、流入終了時刻よりもはるかに遅れて、密度の最大値がくることが確認できた。

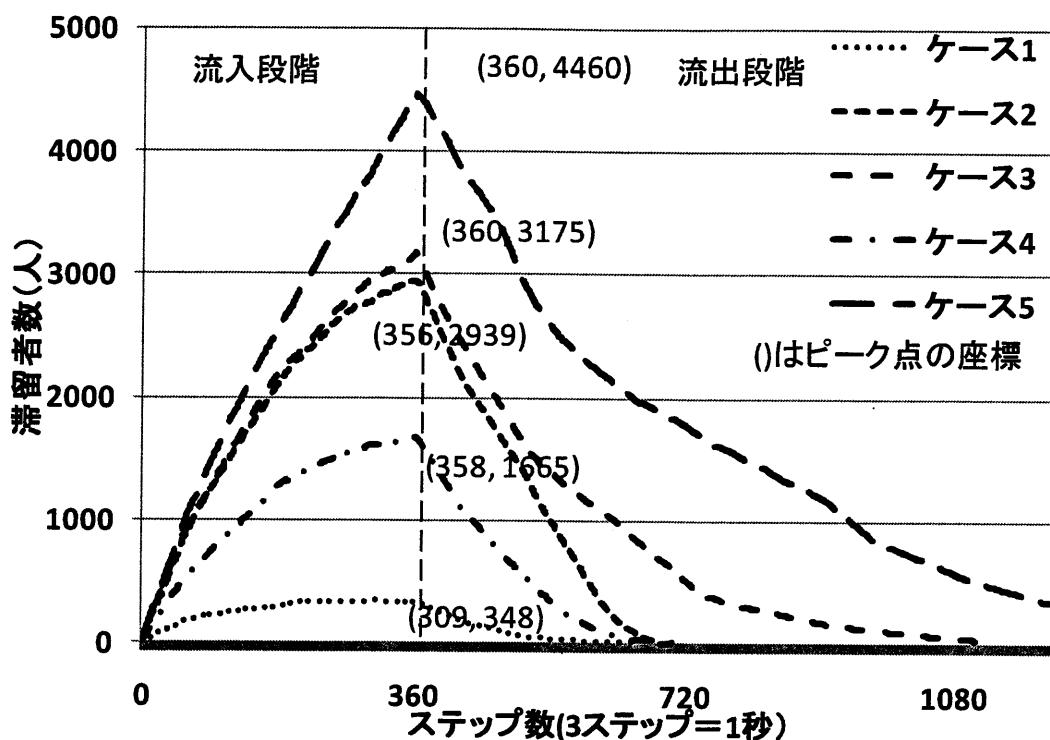


図 16 北通路内の滞留者数変化 (ベンチマーキングテスト)

### 3) 流出段階における密度および計測滞留者数からみる楕形回廊空間の特徴

図 17 に、流出段階での各ケースについて各測定区域に最大密度が 3 人/m<sup>2</sup>以上を記録した区域を示す。流入を停止し、流出行動が顕著になると、空間内での計測滞留者数が減り続けていくが、測定密度はそうとは限らないことを読み取れることができる。

流入停止以降、密度のピークに達した区域の分布特徴が各ケースでの密度測定値の高い区域の分布特徴と合致しているところを見ると、密度のピークの遅れは歩行者同士の相互干渉によるものと考えられる。

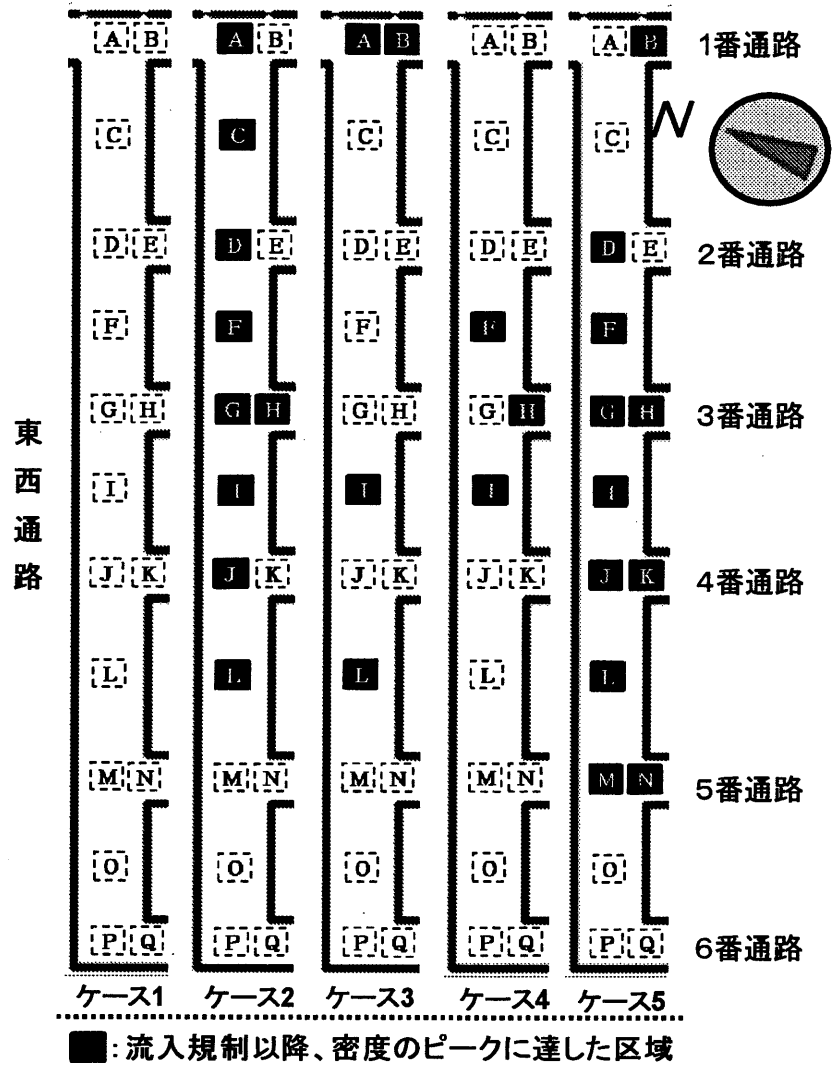


図 17 測定密度のピークが遅れる区域の分布

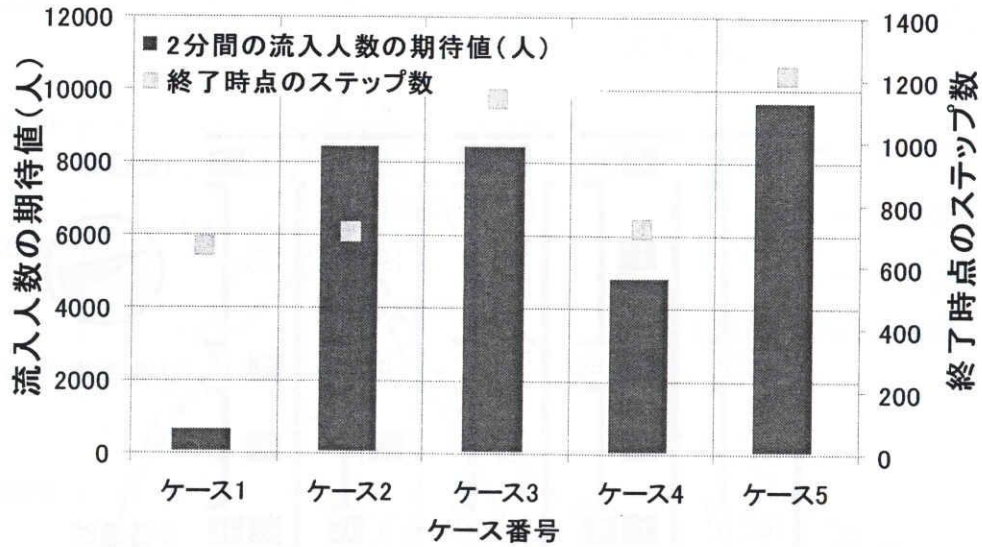


図 18 各ケースの流入人数と終了時点のステップ数

経過時間（図 18）を見ると、流入停止後、流入時間と同じく、120 秒までに流出も完了するケース（ケース 1、2、4）と 2 倍以上に伸びるケース（ケース 3、5）に分けられる。

ケース 1 とケース 2 では各流入口での流動係数が  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  でも一方向流であるため、流出時間には影響がなかった。東西通路では対向流になる場合でも、各流入口での流動係数が  $0.75 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  のケース 4 では、流出時間には影響がなかった。各流入口での流入係数が  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  のケース 5 では、流出時間がケース 4 の 2 倍以上に時間がかかった。ケース 2 の目的地設定を OD 確率設定にしたとケース 3 では、対向流が生じることで、流出時間が 2 倍程度になる。

#### 4) ベンチマーキングテストの結論

シミュレーション実験を通じて、得た知見を以下に示す。

JR 名古屋駅北通路を模した楕型回廊空間における群集シミュレーションは全体的に良好なパフォーマンスを示した。ただし、詰まり現象がみられるため、歩行者エージェントの行動ルールには改良余地があると考えられる。

流入段階では、各入口における流動係数設定と OD 確率設定が密度に関連している。流動係数が大きいほど、密度測定値が上昇する傾向が見られる。また、対向流の存在は密度測定値の上昇につながる。目的地の異なる歩行者流が、通路内で滞留することが密度の上昇につながる。滞留者数も流動係数に連動することが確認できた。ケース 1 では測定密度の最大値が  $3.0 \text{ 人/m}^2$  を超えた区域はなかった。ケース 4 では対向流だ

が、流動係数が低いために、測定密度の最大値がA区域の4.6人/m<sup>2</sup>に留まった。最大のケース5では測定密度がH区域において9.7人/m<sup>2</sup>となった。

流出段階では、ケースによって流入停止後360ステップまでに完了するケース（ケース1、2、4）と滞留が長引くケース（ケース3、5）に分かれた。東西通路で一方向流になるケース1と2では各流入口での流動係数が1.5人/m・sでも、流出時間には影響がなかった。東西通路では対向流になるケース4では、各流入口での流動係数が0.75人/m・sでは、流出時間には影響がない。ケース4で各流入口での流入係数のみ1.5人/m・sに設定するとケース5となり、流出時間がケース4の2倍以上かかった。ケース3はケース2の目的地をOD確率に設定したものであるが、この場合、対向流が生じることで、流出時間が2倍程度になる。また、流入が停止したあとでも、局所的に最高測定密度に記録する場所もある。

シミュレーションの出力や結果分析などを通じて、櫛型回廊モデルが、同じタイプの連絡通路への適用が可能であると結論づけられる。さらに、精度を向上させるために、行動ルールの改良と注意情報発令時の詳細なケース設定を今後の課題としたい。

### 3.5 セル型モデルによる群集マネジメント評価

本節では、電車の到着を考慮した乗換え通路の空間混雑分析のための政策シミュレーションについて述べる。

#### 3.5.1 シナリオおよびケース分け

##### 1) シナリオ

本研究では、東海地震注意情報の発令に伴い、帰宅者の集中による乗換え通路の混雑分析のためのシミュレーション実験を行う。そのためのシナリオ設定およびそのためのケース分けについて、説明する。ここでは、名古屋駅周辺の滞留者数が最大とされる平日の午後2時に、東海地震注意情報が発令されると想定する。準備段階として午後1時45分～午後2時の15分間を設けるため、シミュレーション開始時刻は午後1時45分とする。午後2時の間は通常状態である。午後2時からケース別で、それぞれ通常状態（注意情報発令なし）、情報発令した場合の二通りになる。さらに、予知情報発令した場合は改札口および階段側での流入規制なしと流入規制ありの二つのパターンの組み合わせを想定する。通路空間に入る利用者は降車する人々と改札口を通過して乗車しようとする人々からなる。注意情報が発令された時点で、人々は帰宅するために行動する。午後3時になった時点でシミュレーション終了とする。（図19）

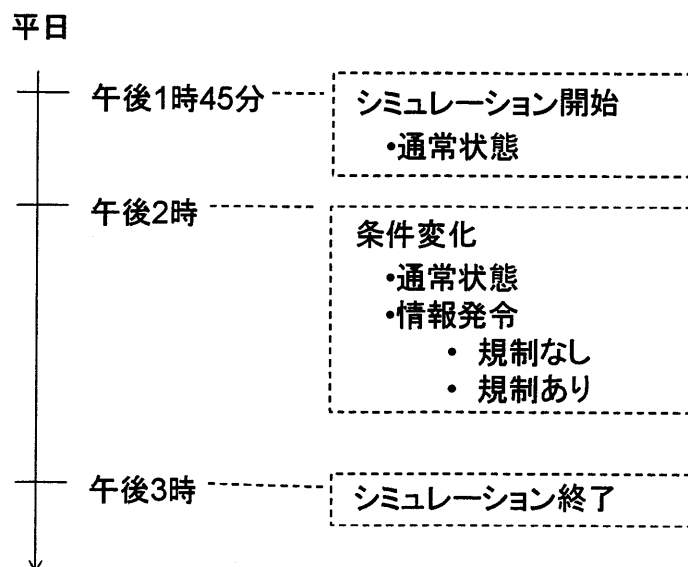


図19 セル型モデルによるシミュレーション分析のシナリオ

## 2) ケース分け

これまで説明した櫛型通路空間を対象に注意情報発令前後の混雑シミュレーション実験を行う。流動係数と利用人数の設定条件でケース0～6の7つのケースでシミュレーション実験を行った(表10)。ただし、政策シミュレーションにおいて、流動係数は避難計画基準値の1.5人/m・sを注意情報発令時を表す設定とする。また通勤ラッシュ時の半分である0.5人/m・sを通常状態の設定とする。

表10 セル型モデルによるシミュレーション実験のケース分け

ケース	発令	改札側			乗り場側		
		流動係数(人/s・m)		改札通過者数 (人)	流動係数(人/s・m)		降車者数 (人)
		14:00前	14:00後		14:00前	14:00後	
0	なし	0.5	0.5	12240	0.5	0.5	$0.5 \cdot N_i \cdot 1/3$
1	あり	0.5	0.5	12240	0.5	0.5	$1.5 \cdot N_i \cdot 1/3$
2	あり	0.5	1.5	36720	0.5	1.5	$1.5 \cdot N_i \cdot 1/3$
3	あり	0.5	1.5	36720	0.5	1.5	$1.5 \cdot N_i \cdot 1/2$
4	あり	0.5	0.5	12240	0.5	1.5	$1.5 \cdot N_i \cdot 1/3$
5	あり	0.5	0	0	0.5	1.5	$1.5 \cdot N_i \cdot 1/2$
6	あり	0.5	1.5	36720	0.5	0	0

※14:00前:13:45～14:00 14:00後:14:00～15:00

ケース0は東海地震注意情報が発令されなかった状況を想定し、群集の帰宅ラッシュが発生しない設定となっている。改札口および各乗り場側の流動係数はともに通常状態を表す0.5人/m・sとした。改札口の流入人数合計は12240人。北通路の利用人数は1/3(全降車人数の割合)である。

ケース1は東海地震注意情報が発令されたが、改札口および階段側は流入制限を行った想定である。そのために、ケース1と比べてみれば、改札口および各乗り場側の流動係数の変化がないところが同じだが、乗車率の上昇により電車側の到着人数は増加した設定となっている。改札口側の流入人数合計は12240人。北通路の利用率は1/3である。

ケース2は東海地震注意情報が発令されたが、改札口も階段側も流入制限なしの想定である。午後2時になると、改札口および階段側の流動係数は0.5人/m・sから1.5人/m・sになる。改札口側の流入人数合計は通常状態の3倍の36720人。北通路の利用率は1/3である。

ケース3の基本設定はケース2と同じで、北通路の利用率が1/3から1/2に上昇した想定である。北通路の利用率の上昇は実質的に階段側の流入人数合計を7000人から9500人に上昇させた結果となる。

ケース4は東海地震注意情報が発令されたが、改札口側だけ流入制限を行った想定

である。階段側はケース 2 と同じで、改札側の流動係数は午後の 2 時前後変化がなくとも 0.5 人/m・s である。2 時以降の流入人数合計は 12240 人である。

ケース 5 はケース 3 の設定条件で、改札口側の流入を禁止する想定である。そのために、午後 2 時以降の改札口側の流入は 0 人/m・s とした。

ケース 6 は注意情報が発令されたが、乗り場側の流入を禁止する想定である。そのために、午後 2 時以降の乗り場側の流入が 0 人/m・s とした。

### 3) ケース別、列車による到着人数および北通路利用者数の計算

現地調査および発行された列車の運行ダイヤに基づき、平日の 13 時 45 分から 15 時の間に JR 名古屋駅に到着する電車の編成、形式からまず乗車定員を整理し、表 11 にまとめた。

階段側からの流入条件を設定するために、列車  $i$  による利用者の階段への流入時間  $T_i$  を式(1)で表す。

$$T_i = k \cdot \alpha_i \cdot \beta_i \cdot N_i / \rho \cdot L \dots (1)$$

ただし

$N_i$ : 列車の定員数

$\alpha_i$ : 名古屋駅での降車率

$\beta_i$ : 列車の乗車率

$\rho$ : 指定流動係数 (人/m・s)

$k$ : 北通路の利用率

電車の到着する時刻<sup>10)</sup>に、通常時の場合、電車の定員の 0.5 倍 ( $\beta_i=0.5$ )、注意情報発令後には、電車の定員数の 1.5 倍 ( $\beta_i=1.5$ ) を乗車人数と指定する。大都市交通センサスを参考に各路線の名古屋駅での降車率を求めた。なお、降車率は通常時も注意情報発令時も同じとする。乗車人数を降車率を掛けて得た人数を降車人数として、流入時間  $T_i$  の算出に利用する。JR 各線の名古屋駅での降車率 ( $\alpha$ ) については表 12 に参考されたい。



表 11 列車の運行ダイヤ(平日 13:45~15:00)

列車番号	到着時刻	乗り場	路線名	列車編成	形式	乗車定員
1	1347	5	中央本線上り	3	313-8k(3)	468
2	1352	4	中央本線上り	併6	211(4)+213(2)	746
3	1353	1	東海道本線上り	4	313(4)	624
4	1355	1	東海道本線上り	6	313-5k(6)	936
5	1355	3	東海道本線下り	6	313-5k(6)	936
6	1357	3	東海道本線下り	4	313(4)	624
7	1359	4	中央本線上り	7	211(4+3)	840
8	1404	6	関西本線上り	2	313-3k(2)	312
9	1406	1	東海道本線上り	4	313(4)	624
10	1406	4	中央本線上り	併6	211(3)+313-1k(3)	828
11	1409	2	東海道本線上り	4	313(4)	624
12	1410	1	東海道本線上り	6	313-5k(6)	936
13	1410	3	東海道本線下り	6	313-5k(6)	936
14	1412	3	東海道本線下り	4	313(4)	624
15	1414	4	中央本線上り	7	211(4+3)	840
16	1419	5	中央本線上り	6	211(3+3)	720
17	1423	1	東海道本線上り	4	313(4)	624
18	1424	4	中央本線上り	併6	211(3)+313-1k(3)	828
19	1425	1	東海道本線上り	6	313-5k(6)	936
20	1425	3	東海道本線下り	6	313-5k(6)	936
21	1427	3	東海道本線下り	4	313(4)	624
22	1427	6	関西本線上り	2	313-3k(2)	312
23	1434	4	中央本線上り	6	211(3+3)	720
24	1438	1	東海道本線上り	2	313*(2)	312
25	1439	6	関西本線上り	2	キハ75(2)	258
26	1440	1	東海道本線上り	6	313-5k(6)	936
27	1440	3	東海道本線下り	6	313-5k(6)	936
28	1442	3	東海道本線下り	2	313(2)	312
29	1443	4	中央本線上り	3	313-1k(3)	468
30	1447	5	中央本線上り	3	313-8k(3)	468
31	1453	1	東海道本線上り	4	313(4)	624
32	1453	4	中央本線上り	4	211(4)	480
33	1455	1	東海道本線上り	6	313-5k(6)	936
34	1455	3	東海道本線下り	6	313-5k(6)	936
35	1457	3	東海道本線下り	4	313(4)	624
36	1458	4	中央本線上り	4	211(4)	480

表 12 JR 各線電車の名古屋駅での降車確率

路線名	降車率( $\alpha$ )
東海上り	70%
東海下り	42%
中央本線	100%
関西本線	100%

流入人数をコントロールするパラメータ  $T_i$  について計算した結果を人数期待値ベースで図 20 に示す。

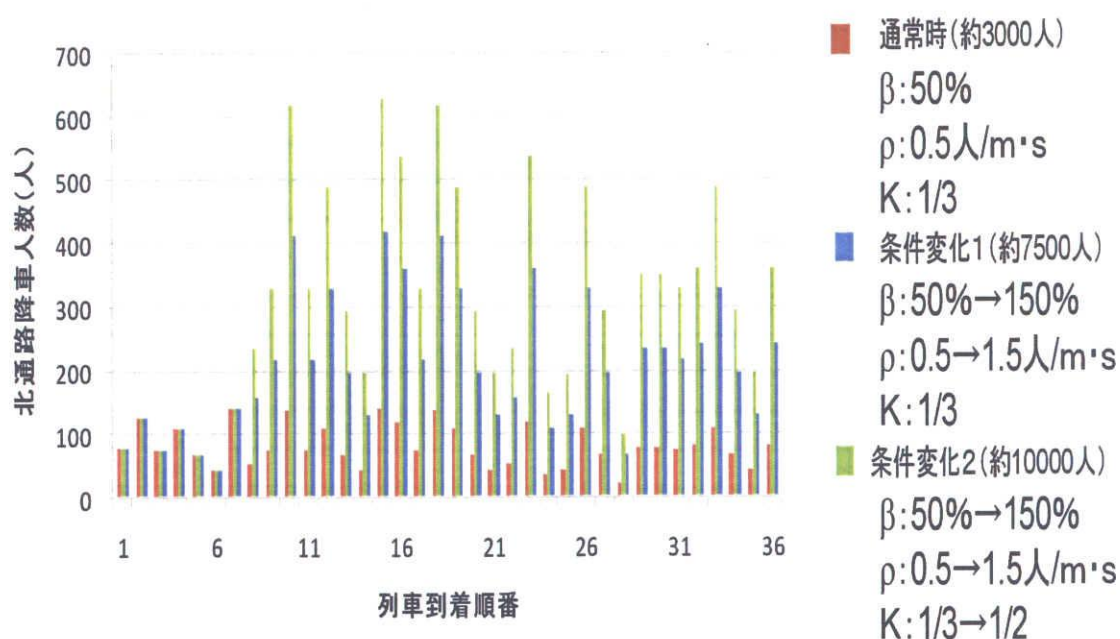


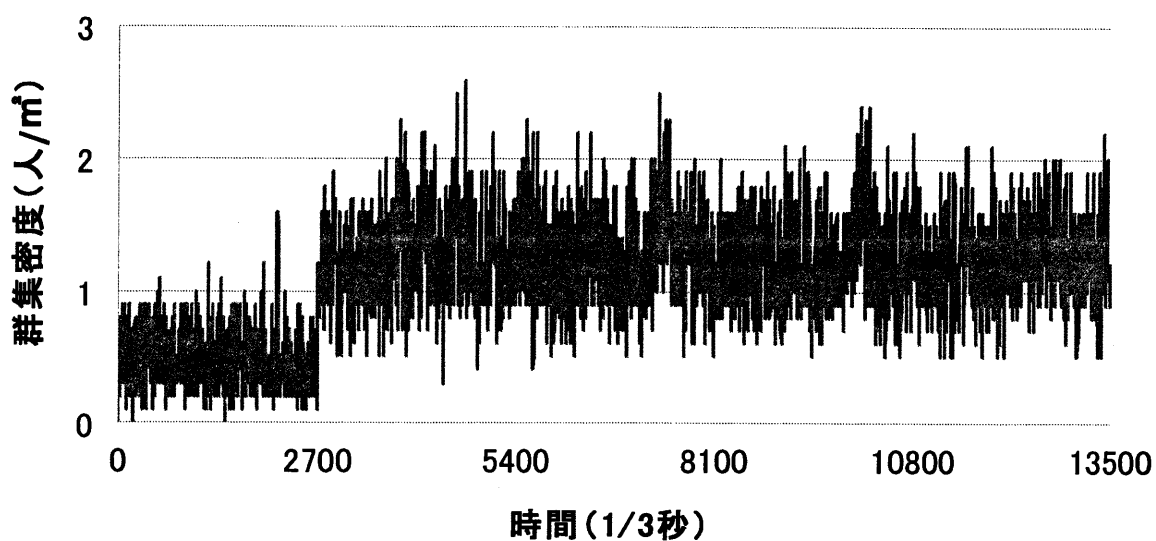
図 20 電車による到着人数設定パターン (13:45~15:00)

乗り場側の流入は設定条件の組み合わせにより、2時以降では3パターンに整理できる。通常状態では乗車率 50%、流動係数 0.5 人/m $\cdot$ s、北通路の利用率 1/3 で構成し、約 3000 人の合計流入人数を再現される。状態変化1では予知情報を発令された影響で、合計流入人数は 7500 人まで上昇した。状態変化2では電車に乗って名古屋駅で降車する人数の 1/2 が北通路を利用することで合計流入人数はさらに増えて、10000 人となった。

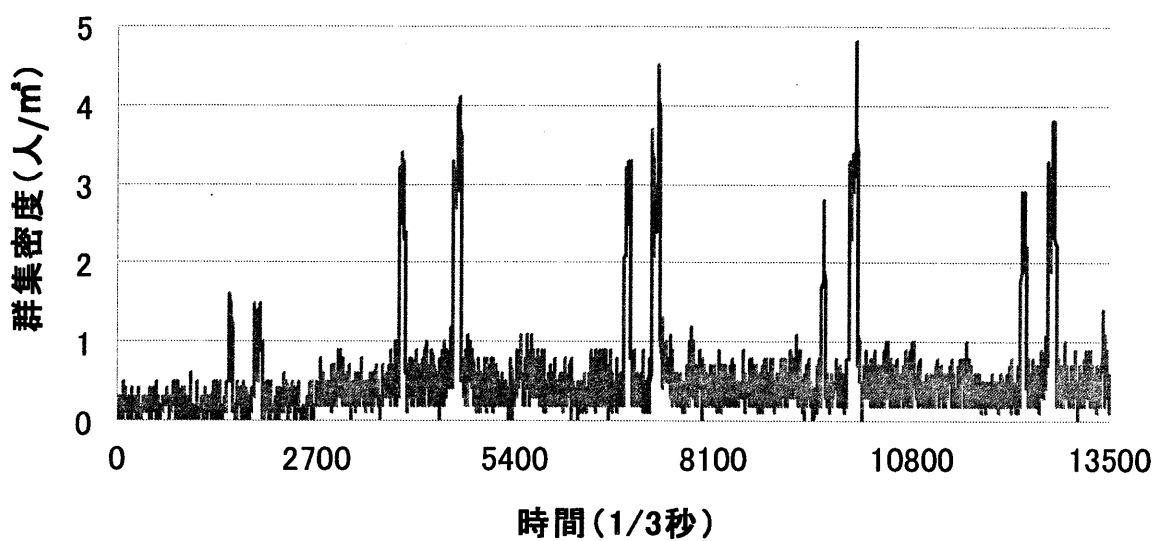
#### 4) 測定密度グラフの例示

最も混雑だったのケース 3 の各測定場所での測定密度結果を一例として示す。(図 21)

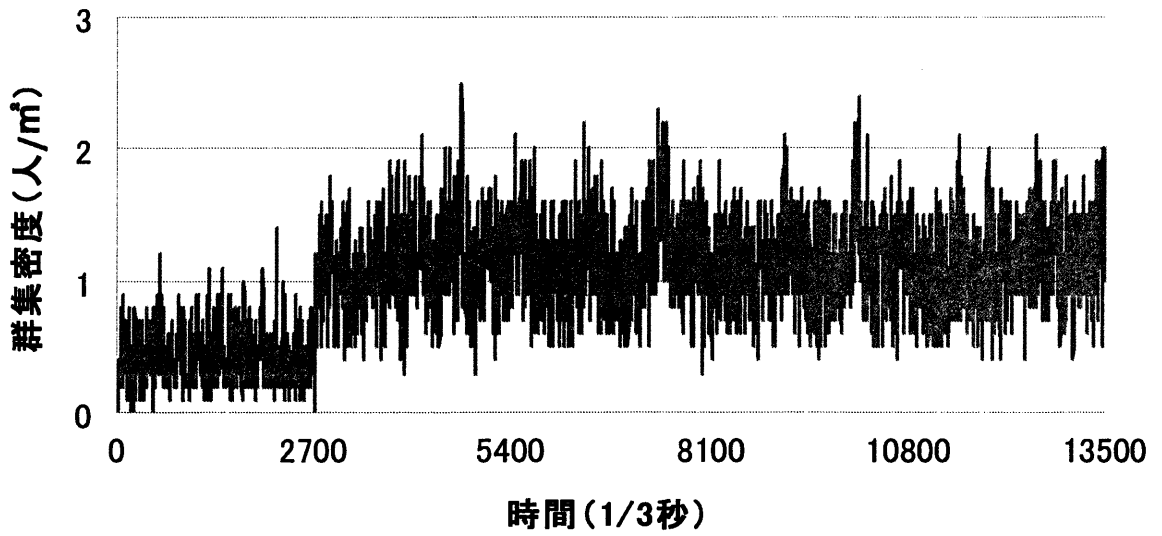
##### 測定場所Aの測定値(ケース3)



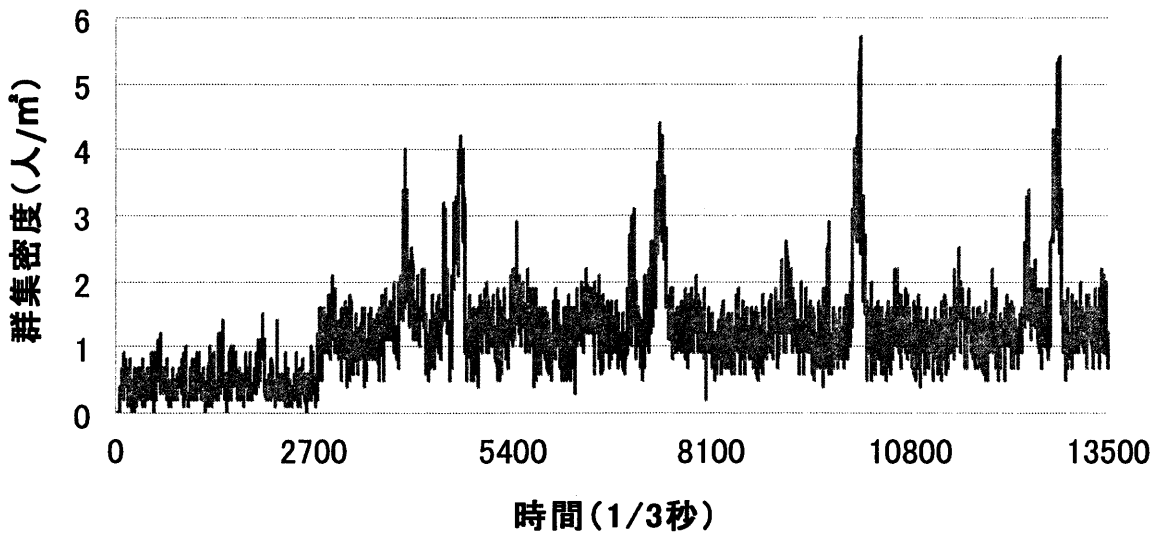
##### 測定場所Bの測定値(ケース3)



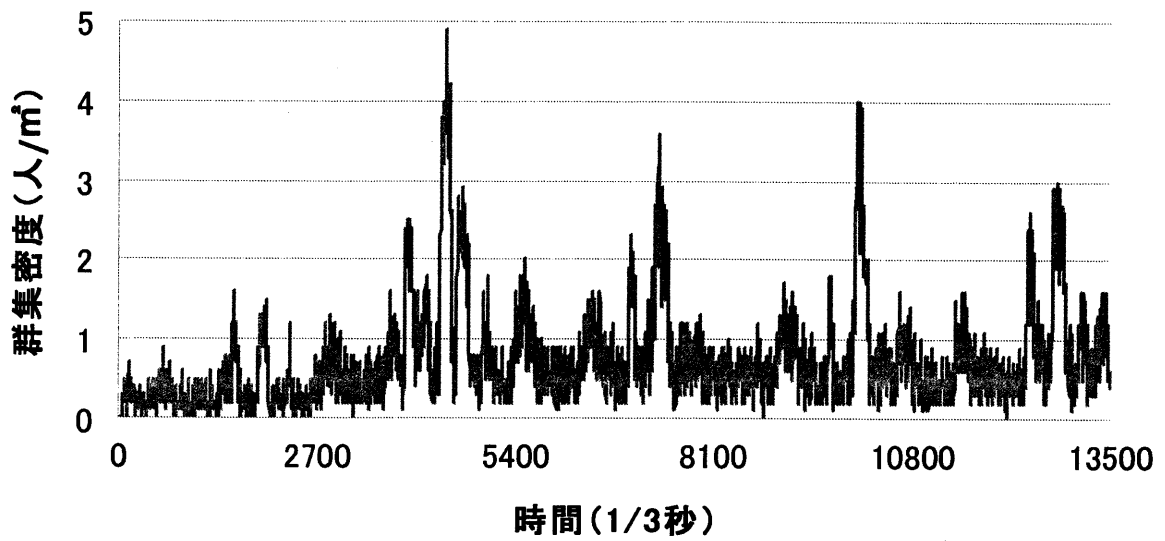
### 測定場所Cの測定値(ケース3)



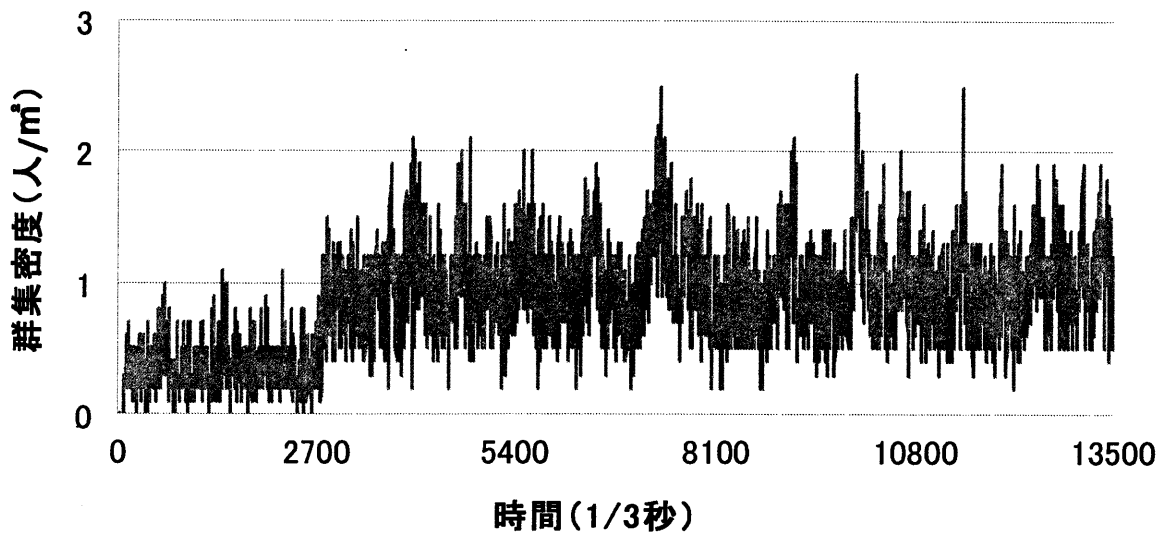
### 測定場所Dの測定値(ケース3)



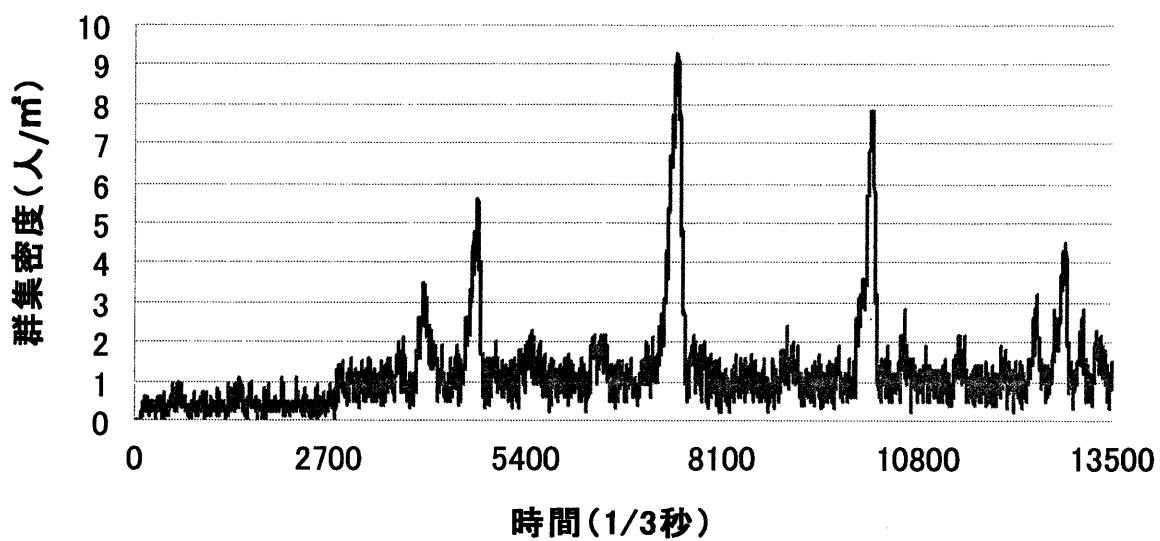
### 測定場所Eの測定値(ケース3)



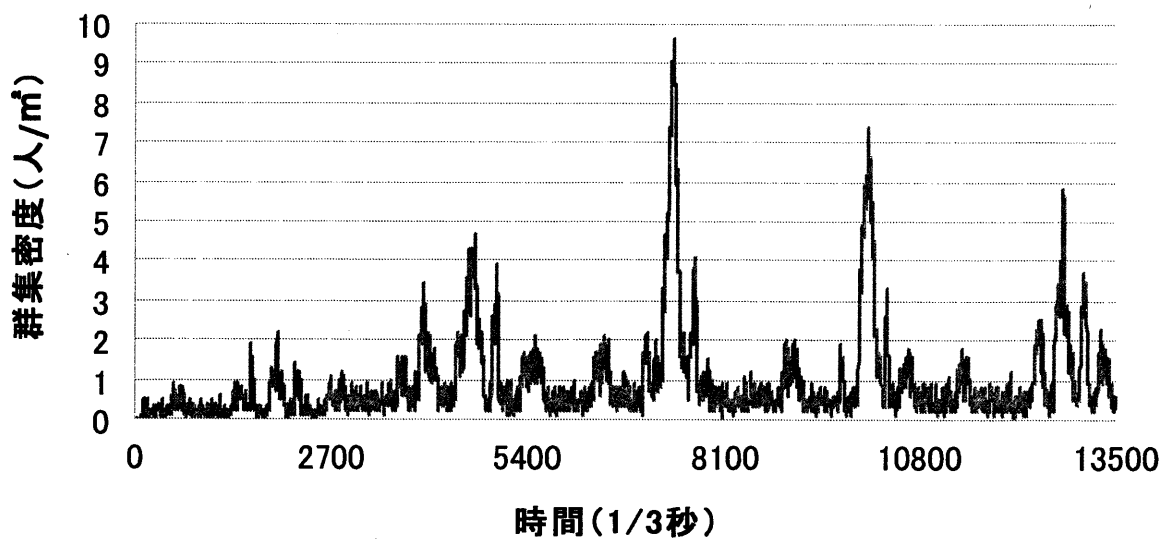
### 測定場所Fの測定値(ケース3)



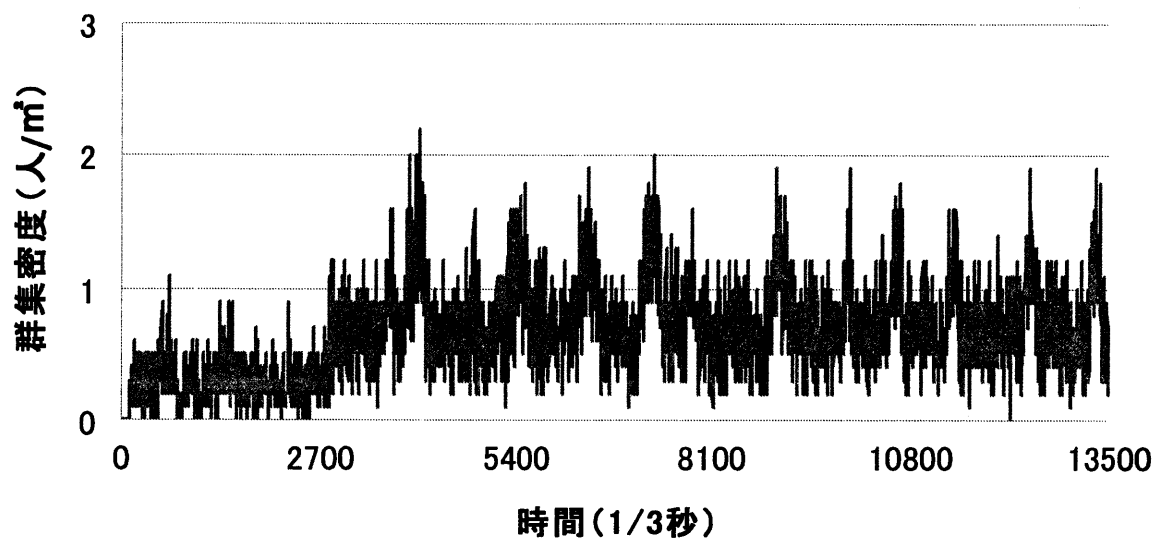
### 測定場所Gの測定値(ケース3)



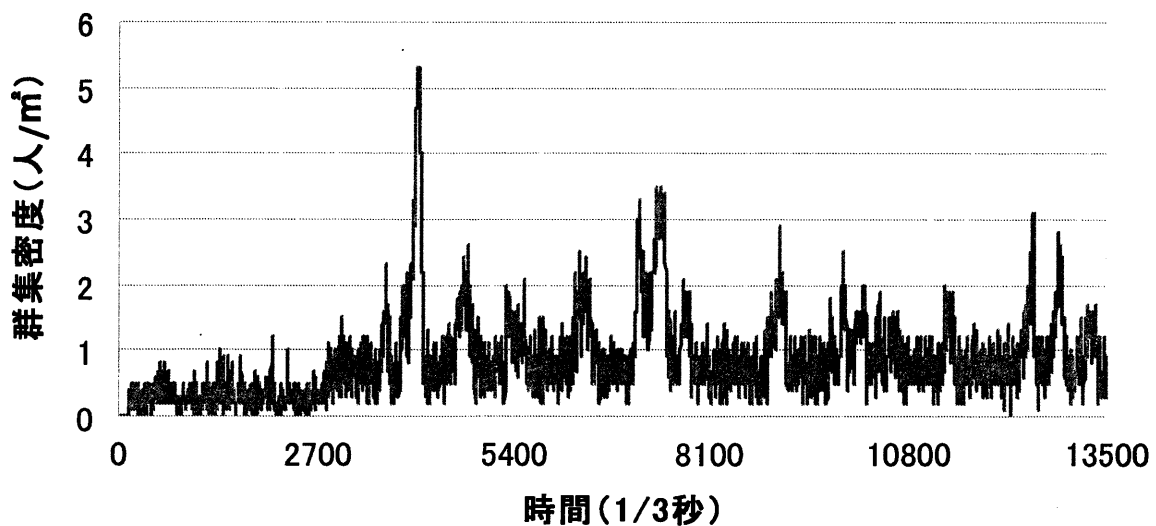
### 測定場所Hの測定値(ケース3)



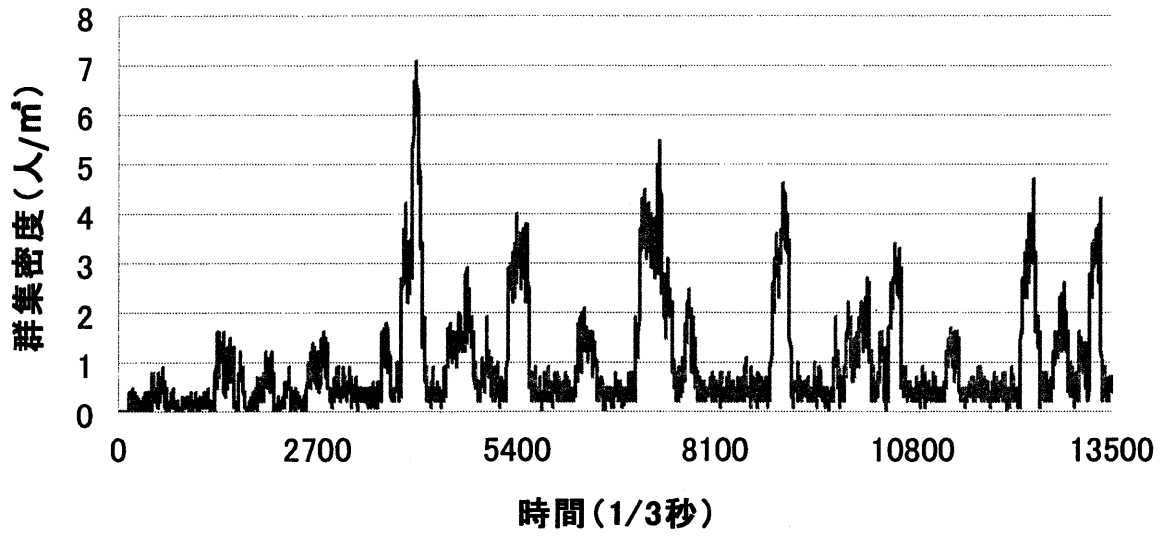
### 測定場所Iの測定値(ケース3)



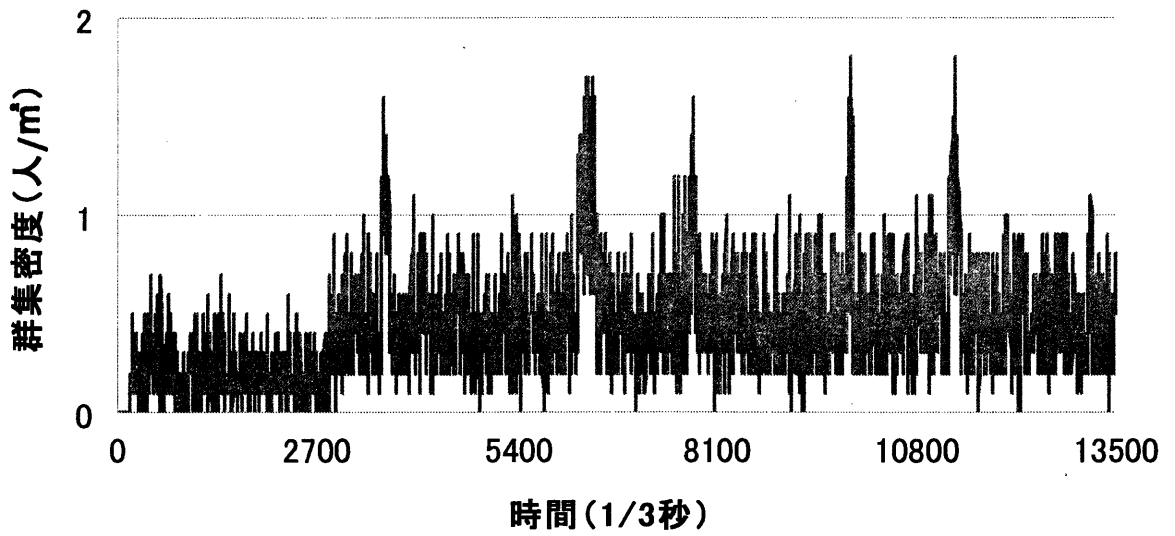
### 測定場所Jの測定値(ケース3)



### 測定場所Kの測定値(ケース3)

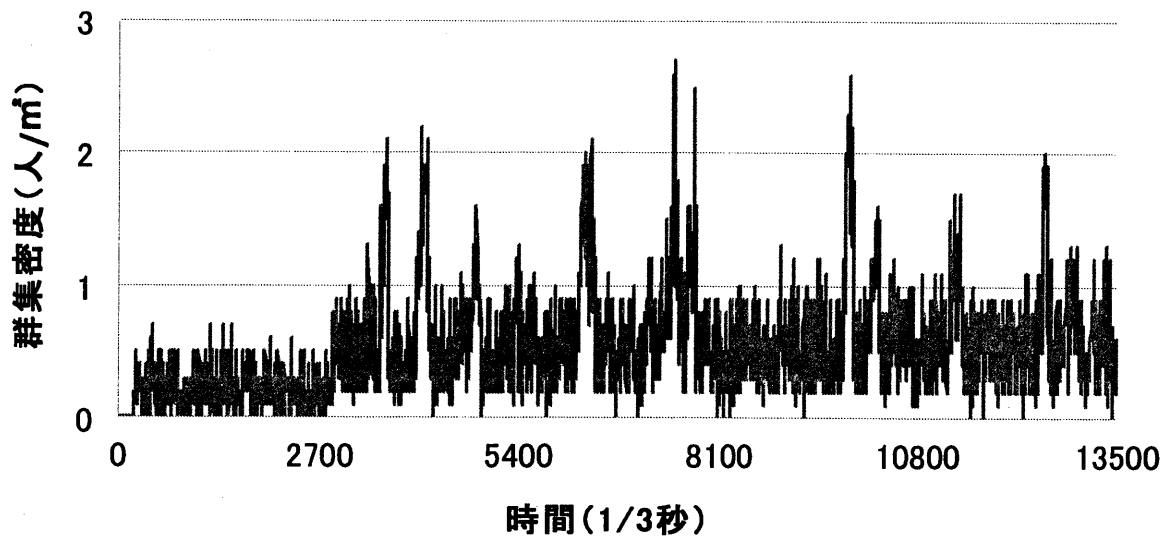


### 測定場所Lの測定値(ケース3)

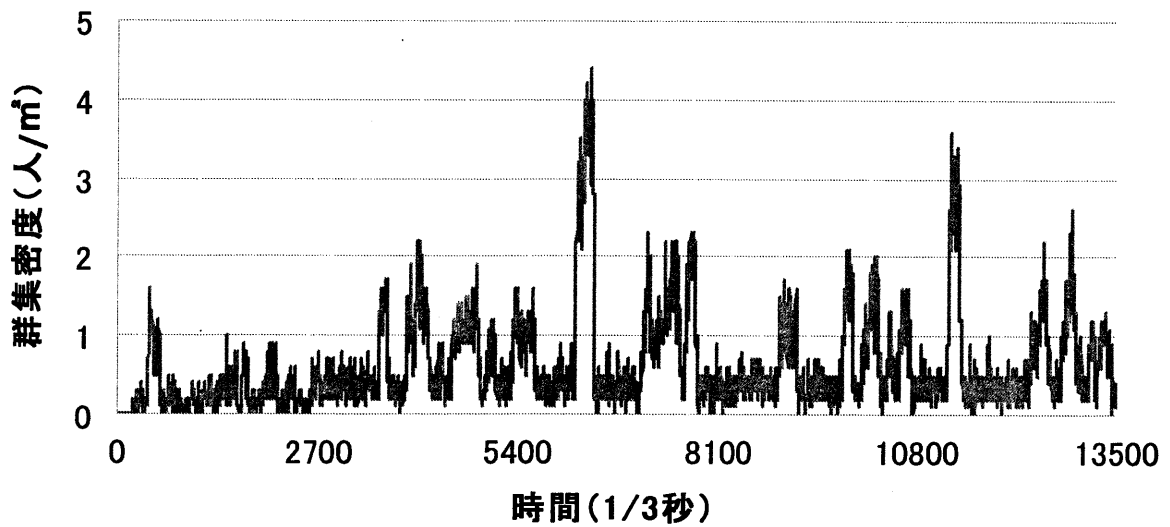




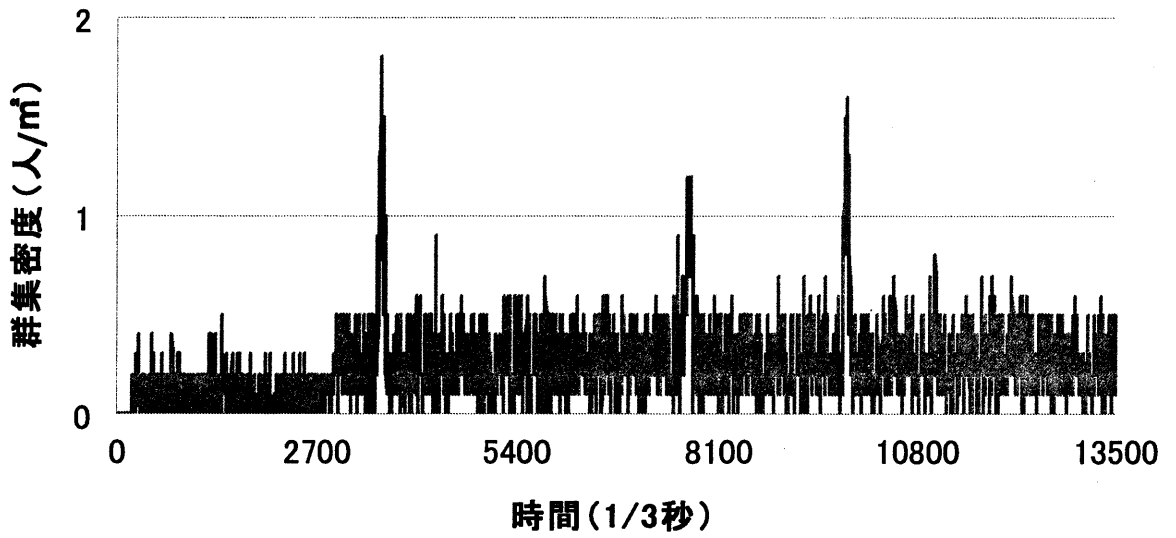
### 測定場所Mの測定値(ケース3)



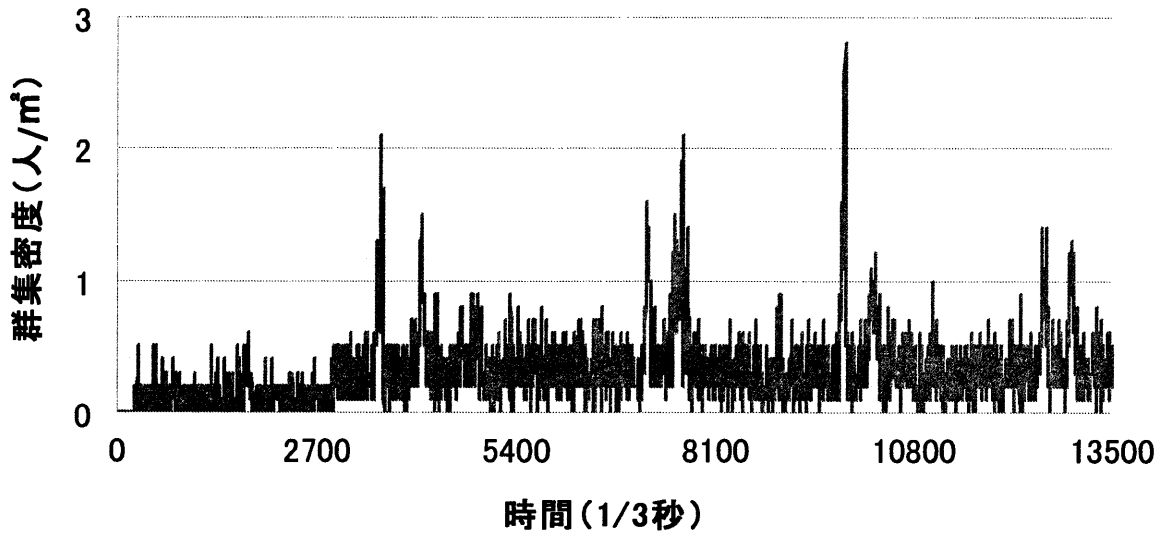
### 測定場所Nの測定値(ケース3)



### 測定場所Oの測定値(ケース3)



### 測定場所Pの測定値(ケース3)



### 測定場所Qの測定値(ケース3)

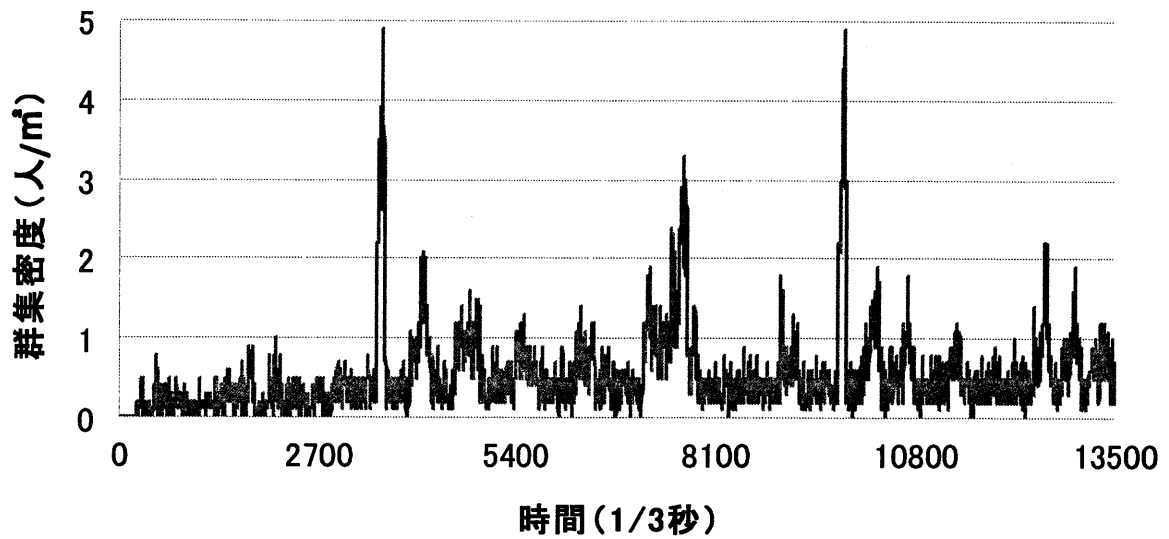


図 21 JR 駅構内北通路の密度計測結果の一例 (ケース 3)

### 5) ケース 3 の空間内総人数の変化

#### 空間内総人数(ケース3)

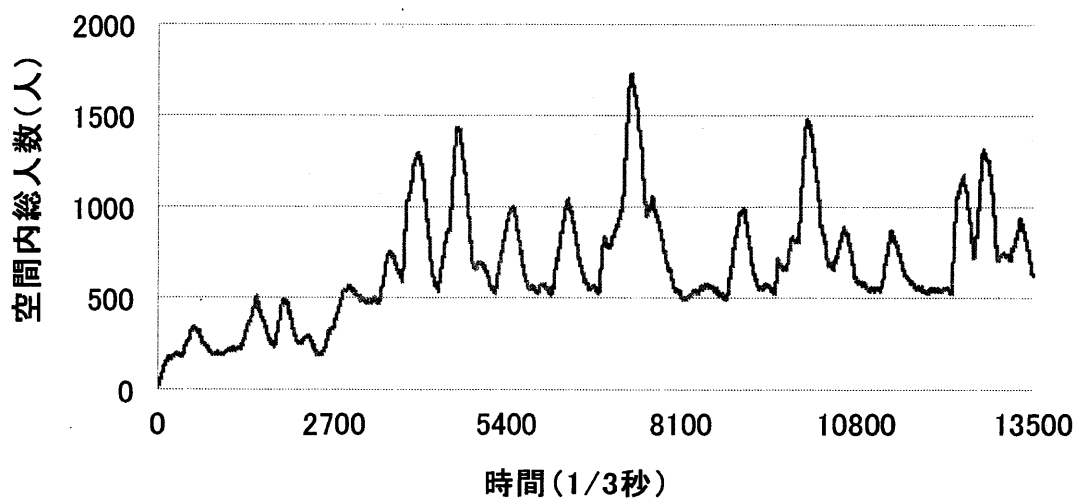


図 22 空間内総人数の変化

### 3.5.2 結果分析

#### 1) 分析方法と計測結果

シミュレーション開始から終了までの間、各ケースとも測定区域で密度計測を行う。測定密度が3人/m<sup>2</sup>未満の場合は安全（リスクレベルI）とする。3人/m<sup>2</sup>以上5人/m<sup>2</sup>未満の場合は将棋倒しのリスクがあり（リスクレベルII）、5人/m<sup>2</sup>以上の場合は満員電車なみの密度で事故リスクが大きい（リスクレベルIII）とする。密度3人/m<sup>2</sup>以上5人/m<sup>2</sup>未満、密度5人/m<sup>2</sup>以上が生じる時間の合計で、リスク指標を表すことができる。例として、ケース3の測定区域Gでの測定値を表すと図23になる。リスク評価の結果を表13にまとめた。

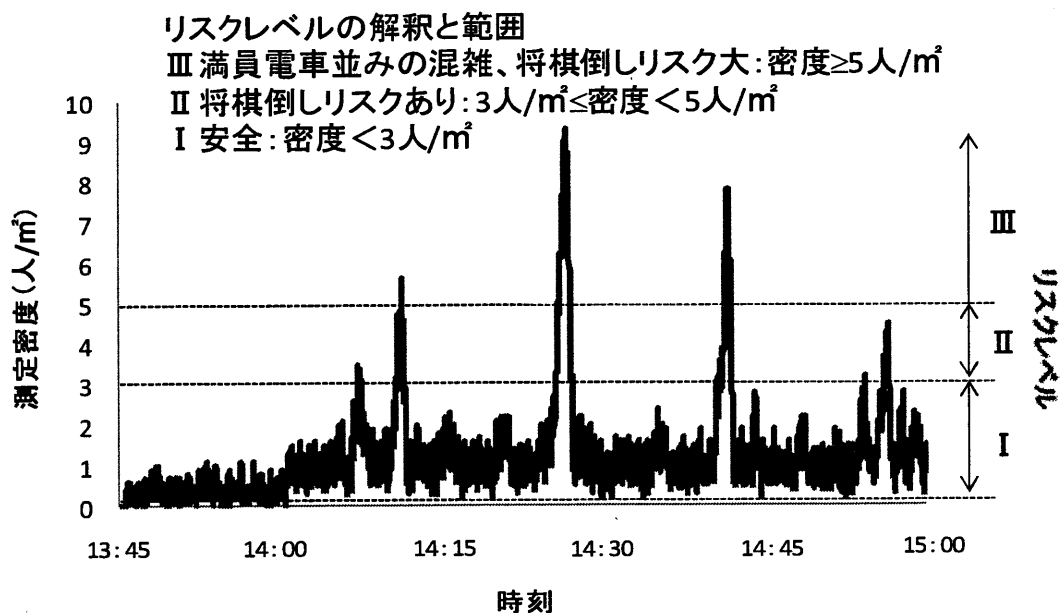


図23 密度計測事例とリスクレベルの解釈(ケース3、スポットG)

表 13 測定区域別、ケース別、リスクレベル値

測定区域	レベル	ケース 0	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
A	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
B	Ⅱ	0	0	38	90	11	45	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
C	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
D	Ⅱ	0	0	47	137	0	5	0
	Ⅲ	0	0	0	4	0	0	0
E	Ⅱ	0	0	25	63	2	8	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
F	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
G	Ⅱ	0	0	74	144	0	24	0
	Ⅲ	0	0	15	95	0	0	0
H	Ⅱ	0	0	91	150	26	70	0
	Ⅲ	0	0	6	93	0	17	0
I	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
J	Ⅱ	0	0	17	59	0	0	0
	Ⅲ	0	0	4	4	0	0	0
K	Ⅱ	0	0	151	288	29	35	0
	Ⅲ	0	0	9	34	0	0	0
L	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
M	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
N	Ⅱ	0	0	22	57	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
O	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
P	Ⅱ	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
Q	Ⅱ	0	0	5	38	8	6	0
	Ⅲ	0	0	0	0	0	0	0
合計	Ⅱ	0	0	470	1026	76	193	0
	Ⅲ	0	0	34	230	0	17	0

## 2) ケース別のシミュレーション結果の分析

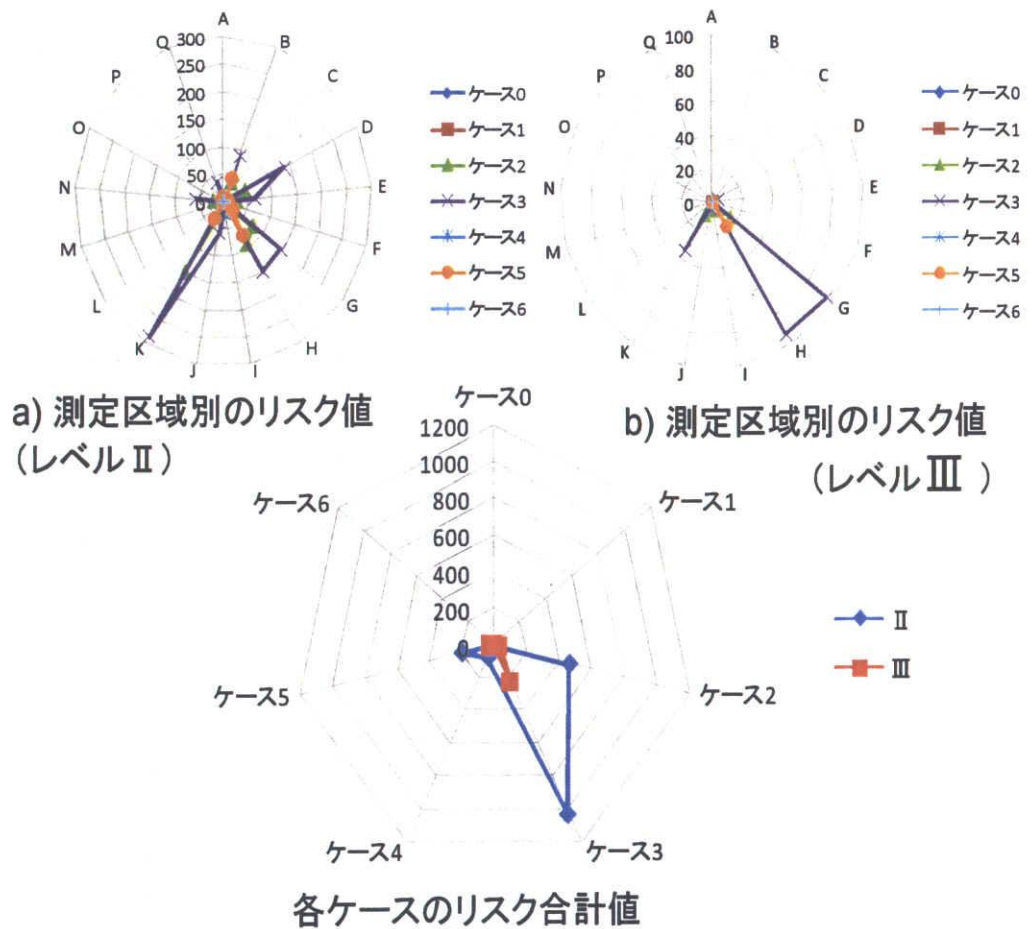


図 24 リスクレベル値分析グラフ

ケース 0 は注意情報の発令なしの通常状態を想定しており、改札口および階段側の流動係数はラッシュ時の半分として  $0.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  に設定している。このとき、1 時間あたり、改札口より入る人数は 12240 人である。駅構内には通路が三つあるため電車の降車人数の  $1/3$  が各階段側に電車の到着する時刻から流入することとしている。このケースでは、密度  $3 \text{ 人/m}^2$  以上となるスポットはなかった。

ケース 1 は注意情報が発令されたが、改札口および階段側は通常状態の流動係数の  $0.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  を想定している。14 時台の 1 時間で改札口より入る人数はケース 0 と同じだが、電車の降車人数  $1.5 \cdot N_i$  の  $1/3$  が各階段側に電車の到着する時刻ごとに流入するとする。降車人数が増えた分だけ時間がかかるが、ケース 0 同様に、密度  $3 \text{ 人/m}^2$  以上のスポットはない。階段側の群集制御は改札機のある改札口より困難だが、この流動係数を維持できれば、通路空間内では安全であることが確認できた。非常事態でも、先を急がず、安全に行動をとることを優先的に考えるなどの意識の普及も大事

になってくる。

ケース 2 は発令前では  $0.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$ 、発令後は改札口も階段側も  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  の流動係数で流入することとした。14 時台では、改札口より流入する人数はケース 0 の 3 倍の 36720 人となる。電車の降車人数の  $1/3$  を電車の到着する時刻ごとに各階段から流入する。階段と通路の交差するところの測定区域 B、E、H、K、N、Q と乗り場 2、3、4 の階段との交差点の中央測定区域 D、G、J において将棋倒しのリスクが生じることが確認された。さらに、G、H、J、K では瞬間的に密度  $5 \text{ 人/m}^2$  以上となることも記録した。14 時台でトータルで見ると、各測定スポットでは密度  $3 \text{ 人/m}^2$  以上  $5 \text{ 人/m}^2$  未満の継続時間が累積 470 秒間、密度  $5 \text{ 人/m}^2$  以上の継続時間が 34 秒間記録した。階段と通路の接する曲がり角は群集の流れが衝突し、比較的に密度の上昇につながりやすいことがわかる。通路の中央に位置する C、F、I、L、O は直接な流れの衝突がなく、 $3 \text{ 人/m}^2$  を超えることがなかった。A では左右に一つずつ階段があって、分流効果で密度の上昇がなかったと考えられる。M、P は改札からの群集の流れは途中で各乗り場へ曲がり、到達する人数が減り、降車の流れとの衝突が勢いがなく、密度が高くならなかったことが考えられる。ダイヤの到着時間および電車の編成または各目的地への OD 表を見れば、乗り場 3、4 への移動も多く、乗り場 3、4 からの到着も多いので、G、H、J、K での比較に高密度状態につながったと考えられる。

ケース 3 ではケース 2 と同じ条件だが、駅構内の他の 2 つの通路の内、1 つが不通となった状況を想定した。降車人数の  $1/2$  が電車の到着時刻ごとに階段側より流入する。ほかの条件は同じなので、降車利用者がケース 2 より、多く集まる状態となるが、密度  $3 \text{ 人/m}^2$  以上  $5 \text{ 人/m}^2$  未満の継続時間が 1026 秒、密度  $5 \text{ 人/m}^2$  以上の継続時間が 230 秒になる結果となる。このような極端な状況を想定しなくても、何らかの理由で、ある通路への偏るケースと考えることもできる。その場合は利用者が集中せずに適切な誘導が必要である。

ケース 4 は注意情報が発令してから、改札側の流入の流動係数を  $0.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  にコントロールするが、階段側ではコントロールせずに、 $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  で流入する場合を想定したものである。改札側の流入を制限するだけでも、かなりの効果が得られる。密度  $5 \text{ 人/m}^2$  以上が 0 秒、密度  $3 \text{ 人/m}^2$  以上  $5 \text{ 人/m}^2$  未満が 76 秒まで減らせることが確認した。

ケース 5 では注意情報の発令後、改札側の流入を禁止する状態である。降車人数の  $1/2$  の人数で階段側から  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  で流入させる。ケース 3 と比較してみると、密度  $5 \text{ 人/m}^2$  以上の時間合計は 230 s から 17 s まで短縮、密度  $3 \text{ 人/m}^2$  以上  $5 \text{ 人/m}^2$  未満は 1026 s から 193 s まで短縮した結果となった。

ケース 6 は注意情報が発令してから、降車利用者の進入を禁止させて、改札口からの進入のみの状態となる。 $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  での進入で一時間の間に 36720 人を通過して、各乗り場へ移動した。各測定区域では  $3 \text{ 人/m}^2$  を超えることがなかった。

### 3.5.3 群集マネジメントのための検討

#### 1) 駅構内への流入人数の検討

本研究の結果を概括すると、注意情報発令当初から改札側の流入制限は効果のある対策となる。改札側の流動係数が  $1.5 \text{ 人/m}^2$  のケースを見てみると、対向流のないケース6を除いて、すべてリスクレベルが高い状況にある。つぎに改札の通過人数から検討してみる。三つ通路で  $0.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  と  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  が1時間流入する場合を想定する。前者の改札口からの流入人数は12240の3倍の36720人となり、後者の改札口からの流入は110160人となる。また14時台での列車最大運搬能力は乗車率を1.5とすると28791人である。 $0.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  の場合でも、流入者数が運搬能力を3割近く上回る。さらに多く流入させることは、駅構内とくにプラットフォームの密度上昇を引き起こす。

#### 2) 3つの通路空間からなる駅構内の対策の考察

改札流入人数を36720人に限った状況において、流入制限1（3本の通路ともケース1）、流入制限2（3本ともケース4）、誘導案内（2本がケース5、1本がケース6）の三通りの対策に整理して表14にまとめた。誘導案内の対策は流入制限の代わりに通路の一つを流入専用通路として、残りの2つを降車者専用通路として指定するもので、リスクの軽減に役に立つが、改札口だけの流入制限2に及ばない結果となる。さらに、階段側も制限を行うこと（流入制限1）でより良い結果となる。ただし、改札口での流入制限と比べて、階段側の流入制限または群集誘導は非常事態において、難度が高いことも予想される。

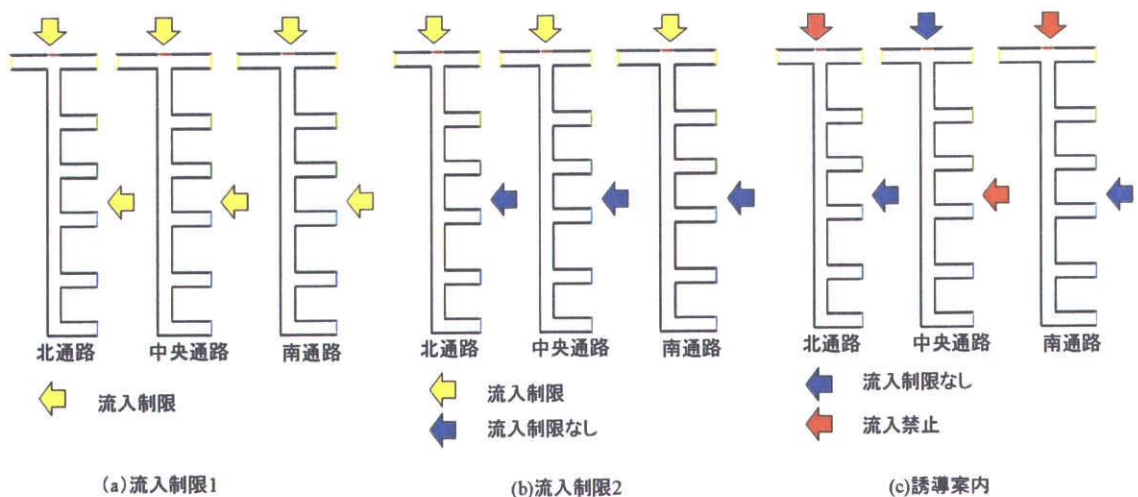


図 25 3つの通路空間からなる駅構内の群集マネジメント方法



表 14 駅構内における群集マネジメントの効果評価

対策	構成	14:00以降の流動係数		リスク指標:合計時間(秒)		改札通過人数
		改札口側	階段側	Ⅱ	Ⅲ	
流入制限1	ケース1*3	0.5人/m・s	0.5人/m・s	0	0	36720人
流入制限2	ケース4*3	0.5人/m・s	1.5人/m・s	228	0	36720人
誘導案内	ケース5*2	0人/m・s	1.5人/m・s	386	34	36720人
	ケース6*1	1.5人/m・s	0人/m・s			

### 3.6 第3章の結論

シミュレーション実験を通じて、得た主な知見を以下に示す。

流入係数を通常状態に保つことが安全性の確保に効果的である。降車利用者の集中は密度状態の変化に影響する。非常事態でも、先を急がず、安全に行動をとることを優先的に考えるなどの意識の普及も大事になってくる。

階段と通路と接する区域はその他の区域よりリスクが大きい。交差区域中心の区域は2つの階段の有するAと改札口より離れるM, Pは除いて、リスクがある。通路の交差区域の間の区域ではリスクが見られなかった。利用者のOD確率、電車の到着時刻や編成および定員数などが群集流れの衝突の発生箇所に影響し、モデル空間でのリスク分布特徴につながる。

三つの連絡通路を考えた場合、改札口での流入制限は効果的であるために、初動段階から行うべきである。

シミュレーションの出力や結果分析などを通じて、楕型回廊のセル型モデルが、同じタイプの連絡通路への適用が可能であると結論づけられる。さらに、精度を向上させるために、行動ルールの改良と注意情報発令時の詳細なケース設定、プラットホームなど特徴的な空間構成の実装などを今後の課題としたい。

## 第4章 スポット・リンク型モデルを用いた大規模乗換え駅の周辺地区における群集シミュレーション

---

- 4.1 はじめに
- 4.2 歩行者モデルの構築
  - 4.2.1 モデルの概要と枠組み
  - 4.2.2 スポット・リンクモデルの空間構成
  - 4.2.3 空間スポットと歩行者エージェントの基本定義
  - 4.2.4 モデル空間における最短距離の判定法
  - 4.2.5 歩行者エージェントの移動に関する諸ルール
  - 4.2.6 歩行者エージェントの経路選択ルール
- 4.3 ベンチマーキングテストによるモデル評価
  - 4.3.1 ベンチマーキングテストのパラメータ設定
  - 4.3.2 最短経路および迂回経路の設定
  - 4.3.3 モデル評価
- 4.4 スポット・リンク型モデルによる群集マネジメント評価
  - 4.4.1 シナリオとケース分け
  - 4.4.2 結果分析
  - 4.4.3 群集マネジメントのための検討
- 4.5 第4章の結論



## 4.1 はじめに

日本政府は、東海地震を現時点で唯一の予知可能な地震に指定している。2004年に気象庁は、予知可能な場合を想定して、「注意情報」を新たに追加した。「予知情報」が公表され「警戒宣言」が発令されると、交通機関は運行を中止し、大型店舗などは閉店するために、名古屋市は「注意情報」の段階で市外からの通勤者や外出中の人々に速やかに帰宅するよう呼びかけている。そのため、名古屋駅といった大規模乗換え駅周辺地区では、列車の乗換え者に加え、一斉帰宅者の大量流入により、群集流の交錯が生じることが考えられる。従って、群集事故の予防対策が必要である。

日本で、記録の残る群集事故は延べ20件以上もある。過去の群集事故の発生事例から見ると、群集の集中が事故を起こす誘因となりうる。注意情報発令の際、大規模乗換え駅周辺地区において、群集事故予防のためには、歩行者流の予測、検討が望まれるが、十分な検討がなされてきたとは言えない。

近年、計算機能力の向上が歩行者エージェントのシミュレーションの実用可能性を切り拓いた。例えば、セル空間型のエージェントシミュレーションにより明石歩道橋群集事故の事後分析事例が報告されている。また、第3章において、セル空間型のエージェントシミュレーションを用いて、JR名古屋駅構内の乗換え通路を模した櫛型回廊モデルを対象に、最大6000人規模の群集流動を分析し、注意情報発令時の群集密度上昇とそのプロセス、事故予防のあり方を考察した。第3章では、通勤ラッシュ時の流動係数を超える状況は乗換通路内部の群集事故リスクを高めることにつながる事が分かった。各電車のプラットホームへの流入は制限する必要がある。名古屋市で行われた滞留者推定のための数理モデルの結果をみると、最初の一時間は、名古屋駅での滞留人数がもっとも多くて乗換と乗車を合わせて、約18万人規模となり、以降減少し、三時間を過ぎると、全員帰宅できることが報告されている<sup>9)</sup>。

しかし、セル空間型のモデルでは、18万人規模の歩行者を扱うことが難しい。注意情報発令時を想定した際、大規模乗換え駅周辺地区の空間構成・群集行動<sup>24)~36)</sup>を与件として、総計10万人規模の交錯流を扱い、密度上昇のプロセスと群集事故リスクならびに防止策が検討可能なエージェントシミュレーションが期待される。

そこで、本章では、ネットワーク型エージェントシミュレーションの一種として空間スポット型エージェントシミュレーションの方式を用いて、大規模乗換え駅周辺の大規模交錯流の混雑分析を扱う群集シミュレーションを試みる。そして、五駅の乗換え空間である名古屋駅周辺を模した大規模乗換え駅周辺空間モデルを対象として、シミュレーションを通じて各部空間の密度計測を試みる。群集密度の空間分布の変化プロセスを示すとともに、流動係数・OD行列等のケースの違いによる密度分布と変化傾向、事故防止策の検討を行う。

## 4.2 歩行者モデルの構築

### 4.2.1 モデルの概要と枠組み

本研究では、大規模群集シミュレーションを扱うために、モデルに二つの特徴を設けた。第一に、全体空間をセルに分割するのではなく、空間スポットと称する部分空間に分割し、空間スポットと隣接する空間スポットを繋ぐリンクで構成されるモデル（スポット・リンク型モデル）を用いる。これは一種のネットワーク型モデルであるが、ノードに空間的な属性を与える点に特徴がある。なお、ノードに空間属性を導入したモデルを用いた報告事例としては、都市の日常活動における感染症伝播のプロセス分析が知られている<sup>11)</sup>。

第二の特徴は、歩行者は各自に歩行経路を選択するとともに、その歩行者の選択が密度を変化させ、他の歩行者の歩行経路の選択に影響を与えるという主体間の相互作用を含む点である。このようなエージェントを扱ったシミュレーションとしては、主として一方向流となる避難を扱った研究<sup>12)</sup>が報告されているが、大規模乗換え駅間の乗換えのような交錯流を扱った例は報告されていない。

なお、本研究におけるシミュレーションでは、スポット表現を有し大規模エージェントシミュレーションに適するプラットフォームとして SOARS (Spot Oriented Agent Role Simulator) を用いた。

### 4.2.2 スポット・リンクモデルの空間構成

本研究で用いるモデルは、空間モデルと歩行者エージェントから構成される。空間モデルは、内部スポット  $S$  と外部スポット  $O$  (駅外部を表わす)、 $T$  (列車内部を表わす)  $P$  (プラットフォームを表す) の二種類の空間スポット (以下、単純にスポット) に類別される。

シミュレーションの全体を図 26 に示す。シミュレーションの初期段階に、歩行者エージェントは外部スポットにおいて初期設定を行う。出発地点や目的地などの属性が与えられる。また外部スポットはエージェントの流入判定・流出判定を行う。内部スポットは移動判定に関連する計算や移動経路の情報を所持し、エージェントに提供している。エージェントの持っている行動ルールはスポット内移動、スポット外移動と移動経路の選択である。エージェントは外部から流入し、通過経路を選び、スポット内移動・スポット外移動を経て、目的地である外部スポットへ流出する。

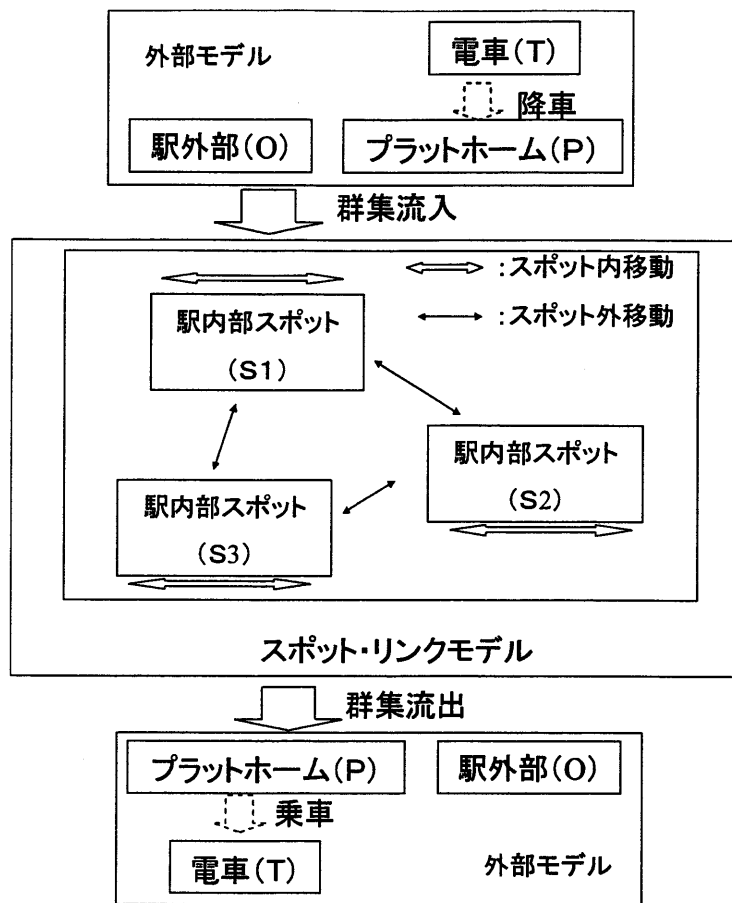
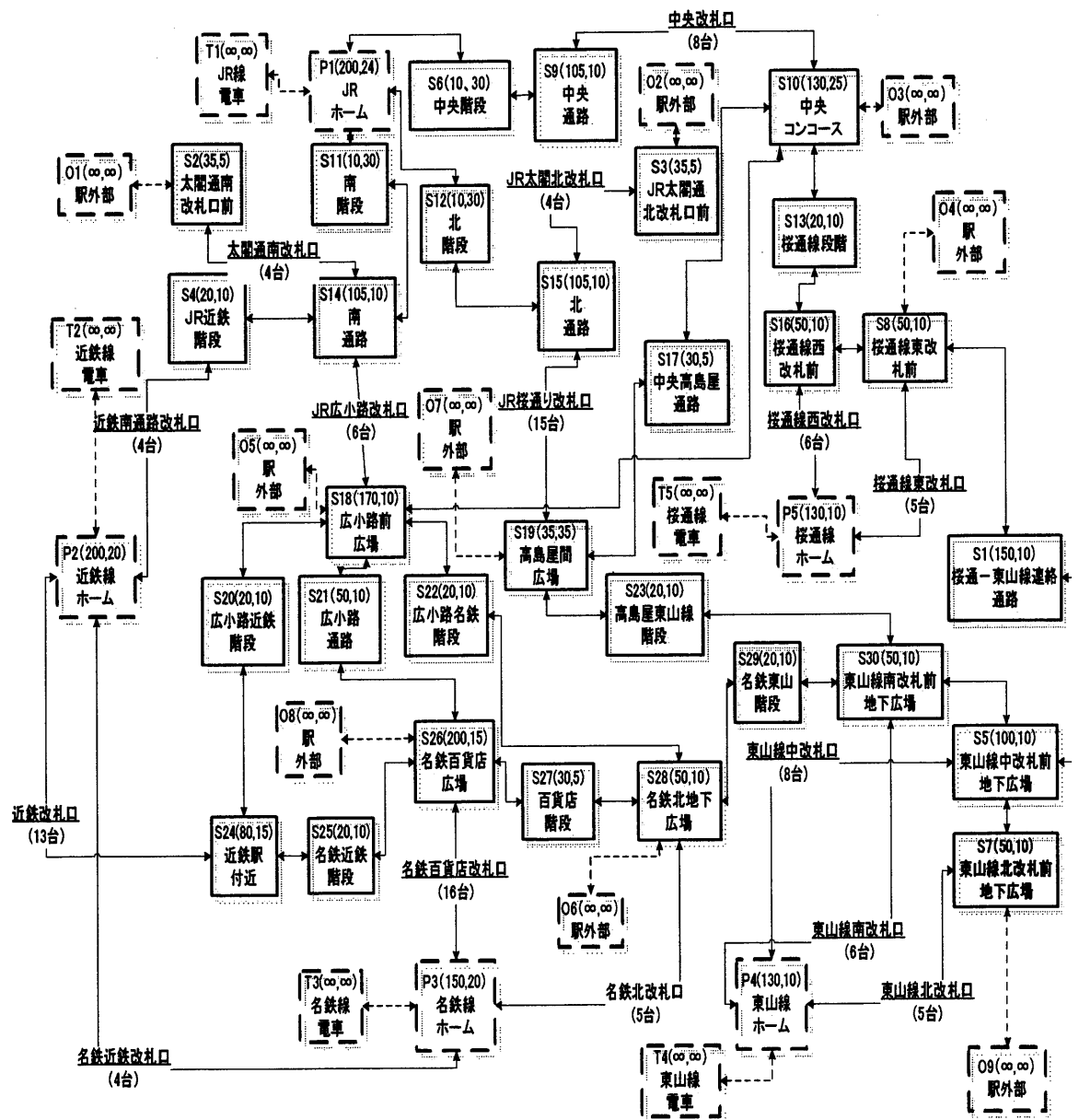


図 26 スポット・リンク型シミュレーションの枠組み

各スポットは大規模乗換え駅の空間構成<sup>37)</sup>に対応し、隣接するスポットはリンクで繋がっている。30か所のSスポット、9か所のOスポット、5つの電車スポットと5つのPスポットで、名古屋駅の各線電車間の乗換空間を表した。本章で用いる名古屋駅周辺空間モデルを図27に示す。

空間スポットは、スポット内にいる歩行者エージェントをステップごとに記録し、そのデータをもとにして、空間スポットの密度と歩行者エージェントのステップあたりの移動距離を算出する。空間スポットは空間属性パラメータ、歩行者エージェントは経路選択ルールを持つ。

実際の空間の動線長(実幅)一定の場合は $L_m$  ( $W_m$ )と定義し、有効面積/ $L_m$  ( $W_m$ )を $W_m$  ( $L_m$ )と定義することで、面積を $L_m * W_m$ となる長方体空間で近似したスポットとなる。どちらも一定値ではない場合は動線長の平均値を優先して、スポットの長方形近似を行う。



表記例:  
 スポットNo(通路長、通路幅)  
 空間名

スポットの分類と番号:  
 S: 検討スポット (No. 1-30) O: 駅外部スポット (No. 1-9) T: 電車スポット (No. 1-5) P: プラットホーム (No. 1-5)

図 27 スポット・リンク型空間モデルの構成



### 4.2.3 空間スポットと歩行者エージェントの基本定義

本節では、モデルの詳細について、スポットと歩行者に分けて述べる。その上で、スポットの計算プロセスおよび歩行者の行動ルールについて説明する。

#### 1) 空間スポット

ここで、スポットを定義する。

Oスポット：空間属性を持たない。乗車利用者の流入スポット・降車スポットの流出スポットである。

Tスポット：空間属性を持たない。乗換え利用者の流入または流出スポット・乗車利用者の流出スポットである。

Pスポット：空間属性あり、基本的には各鉄道会社の駅構内を指すが、JRでは内部乗換えを表現するためにプラットフォームと乗換え通路と階段に分けたため、単にプラットフォームを指す。

Sスポット：空間属性あり、評価するために近似した内部空間スポット（JR駅構内の乗換え通路・階段も含む）

空間属性を持つスポット長さ $L_m$ と幅 $W_m$ を持つ。また、スポットは、毎ステップに歩行者数 $N_m$ をカウントする。このとき、有効面積 $A_m = L_m * W_m$ として、密度を $D_m = N_m / A_m$ により算出する。

#### 2) 歩行者エージェント

歩行者エージェント  $u \in C$  は経路選定となる基準となるパラメータ  $w_1, w_2 \in [0, 1]$  を持つ。 $w_1$  は出発地点を決定する確率変数で、 $w_2$  は同一出発時点から出発しようとするエージェントの目的地を決定する確率変数である。

基本行動としては、歩行者エージェントは出発時点と目的地により、各ノードにて、最短距離の経路を選択し、目的地へ進み、目的地へ到着したら、流出判定条件に従い、外部へ流出する。最短経路判定については後述する。

### 4.2.4 モデル空間における最短距離の判定法

距離の算出では、まず、長方形で表現された交差点スポットの中心点にノードがあるとすると、空間モデルにおけるノード間の距離を算出することができる。最短距離の経路探索法としてDijkstra法（ラベル確定法）<sup>13)</sup>を用いる。また求めた最短距離経路をエージェントの基本歩行経路として設定する。

#### 4.2.5 歩行者エージェントの移動に関する諸ルール

ここでは空間制約条件を元に歩行や経路選択に影響する判定指標の計算方法とプロセスについて説明する。

##### 1) スポット内移動のルール

歩行者エージェントはスポット  $S_m$  に入った時点で、スポット  $S_m$  の  $L_m$  値を読み取り、移動距離  $L$  を 0 にする。毎ステップの移動距離  $\Delta L$  を式 (2) で表せる。

$$\Delta L = V \cdot T \quad \text{--- (2)}$$

ただし、 $T$  : 時間/ステップ (秒/ステップ)

$\Delta L$  : 移動距離/ステップ (m/ステップ)

$V$  : 速度 (m/秒)

歩行速度に及ぼす各種の要因のうち、最も影響の大きい要因のひとつは密度<sup>8)18)19)</sup>とされる。本研究では二方向流の実測実験で計測された直線モデルを利用する。また、二方向流の歩行速度の推定式<sup>19)</sup>を空間スポット型モデルに組み込んでいる。

$$V = a \cdot \rho + V_0 \quad \text{--- (3)}$$

ただし、 $V$  : 歩行速度 (m/秒)

$\rho$  : 密度 (人/m<sup>2</sup>)

$V_0$  : 基準歩行速度

$a$  : パラメータ

式 (3) を式 (2) に代入して、毎ステップごとの移動距離は式 (4) で求める。

$$\Delta L = (a \cdot \rho + V_0) \cdot T \quad \text{--- (4)}$$

すでに移動しているスポット内距離  $L$  にこの  $\Delta L$  を加える。

$L \geq L_m$  になった場合、スポット内移動は終了する。

$V_0$  と  $a$  の設定値は一方向流・二方向流の違いによって異なる。また二方向流では対向人数の倍率によって異なる。(表 15)

本研究では、一方向流と二方向流の 1 倍と 2 倍を実装する。また、人数比は四捨五入とし、1 倍未満は片方向流、2 倍以上は 2 倍とする。

表 15 速度-密度関係式の係数設定

Crowd flow	The Number of people rate ( $\alpha$ )	*Flow of people	a	$V_0$
One-way flow	-	All	-0.28	1.48
Two-way flow	1 time	All	-0.275	1.605
	2 times	More	-0.285	1.675
		Less	-0.39	1.958

\*Flow of people:

All: The flow of all people. More: The flow of more people. Less: The flow of less people.

## 2) スポット間移動の制限ルール

滞留の原因<sup>19)</sup>としては、歩行者が止まるか減速することによって生じるものと幅員差のある場所（縮小のみ）によって生じるものがある。本研究では歩行者がむやみに群集の流れを阻害する行為をとらないものとして、幅員の縮小による滞留だけ考慮する。

隣接するスポット  $S_m$  と  $S_m'$  の幅員  $W_m$  と  $W_m'$  を比較し、幅員の小さい側への流入上限を適用する。その場合、もし  $W_m \leq W_m'$  なら、流入上限  $Q$  は

$$Q = k \times W_m \times T \quad \text{--- (5)}$$

ただし  $Q$ : 流入上限

$k$ : 流動係数

$\gamma$ : 通過幅の有効率

$T$ : 時間 (s) / 毎ステップ

$Q$  以上のエージェントは滞留し、元のスポットに留まる。

通路と改札口の違いは表 16 にまとめた。改札口では器械のスペース通過できないので、有効率  $\gamma$  は通路の 0.5 とした。また、改札口では片方向へ利用者が入ると、逆方向への通行はできなくなるので、通過人数のカウントは通路の両方向別カウントに対して、改札口の二方向合計でカウントするとする。

表 16 通路と改札口の扱いについて

タイプ	幅の有効率( $\gamma$ )	通過人数のカウント方法
通路	1	二方向別
改札口	0.5	二方向合計

### 3) 歩行者流入・流出ルール

歩行者流入と流出は駅外部スポットOと各線電車スポットTで行う。

駅外部スポットでは流入または流出するスポットの幅と流動係数で流入または流出の単位時間の最大人数を計算し、コントロールする。

各線電車スポットでは、電車の発車および到着を考慮したステップごとの設定人数を上限とし、流入または流出させる。

### 4.2.6 歩行者エージェントの経路選択ルール

エージェントは交差部スポットに到着する際、次に進む経路を決める必要がある、ただし、経路の候補になる条件は目的地へ到達できることである。また、最短経路以外の迂回経路は複数存在する場合は、迂回経路の中での最短経路を選択する。エージェントは通路スポットに到着する際は迂回ルートを選択肢がないこと以外は交差部スポットと同じである。

経路選択は最短経路と密度判定の二種類を用意する。

#### A) 最短経路

常に最短距離経路を選択する選択モデルである。

#### B) 密度判定による経路選択

最短経路にある先スポットの密度が $\beta_1$ 人/m<sup>2</sup>未満の場合は最短経路へ進む。

最短経路の先スポットの密度が $\beta_1$ 人/m<sup>2</sup>以上の場合は、迂回ルートを探す。迂回ルートが存在する場合は密度が $\beta_2$ 人/m<sup>2</sup>以下の代替経路スポットに進む。密度が $\beta_2$ 人/m<sup>2</sup>以上の場合、現在いるスポットに留まる。

### 4.3 ベンチマーキングテストによるモデル評価

本節ではモデルのベンチマーキングテストについて説明する。スポット・リンク型シミュレーションモデルの機能検証のために、ベンチマーキングテストは経路選択方式の異なる2回のテストを行う。まずベンチマーキングテストの基本設定事項について説明する。それからモデルの経路設定について説明する。最後にエージェントの行動パタンの確認、処理能力の検討および空間的ボトルネックの表現について密度計測結果の分析を通じて、確認する。

#### 4.3.1 ベンチマーキングテストのパラメータ設定

今回は、表17のようにパラメータの設定を行う。OD行列の設定およびエージェント分布設定は表18の通りである。ベンチマーキングテストでは電車の運搬能力について、電車の路線別・上下線の区別は考慮していない。これは、機能検証のために用いた簡略化した設定である。なお、ベンチマーキングテストでは、時間スケールは10秒/ステップとする。

表17 ベンチマーキングテストのパラメータ設定値

パラメータ	解釈	設定値
t	ステップ(1/6秒)	360
m	Sスポットの数	30
r	Pスポットの数	5
p	Tスポットの数	5
q	Oスポットの数	9
g	エージェントの数	158200
k	上限流動係数	1
$\beta 1$	最短経路密度判定上限値	6
$\beta 2$	迂回経路密度判定上限値	3

表18 ベンチマーキングテストのOD行列と人数設定

O \ D	T1	T2	T3	T4	T5	O	到着人数設定値(人/時間)	処理人数設定値(人/時間)
T1	-	21%	21%	31%	5%	23%	24100	21980
T2	29%	-	22%	14%	3%	50%	18700	7344
T3	16%	43%	-	10%	2%	55%	22000	38473
T4	32%	22%	39%	-	1%	6%	4900	29160
T5	36%	25%	30%	4%	-	5%	1000	21060
O	29%	11%	43%	14%	3%	-	87500	$\infty$

ベンチマーキングテストは一時間を360ステップに分けて行う。S、P、T、Oスポットの数はそれぞれ30、5、5、9である。総エージェント数は158200である。通過

人数の上限値を計算するための上限流動係数  $k$  は通勤ラッシュ時の  $1.0 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  と設定した。また、最短経路への直進密度判定上限値  $\beta_1$  は  $6 \text{ 人/m}^2$  で、迂回経路へ進む迂回経路密度判定上限値  $\beta_2$  は  $3 \text{ 人/m}^2$  と設定した。

JR 線の設定値を例として説明するならば、24100 人は JR 線を利用して名古屋駅に到着する。そのなかの 31% は東山線へ乗換え、5% は桜通線、21% ずつ名鉄・近鉄へ乗り換える。残りの 23% は名古屋駅で降りることになる。

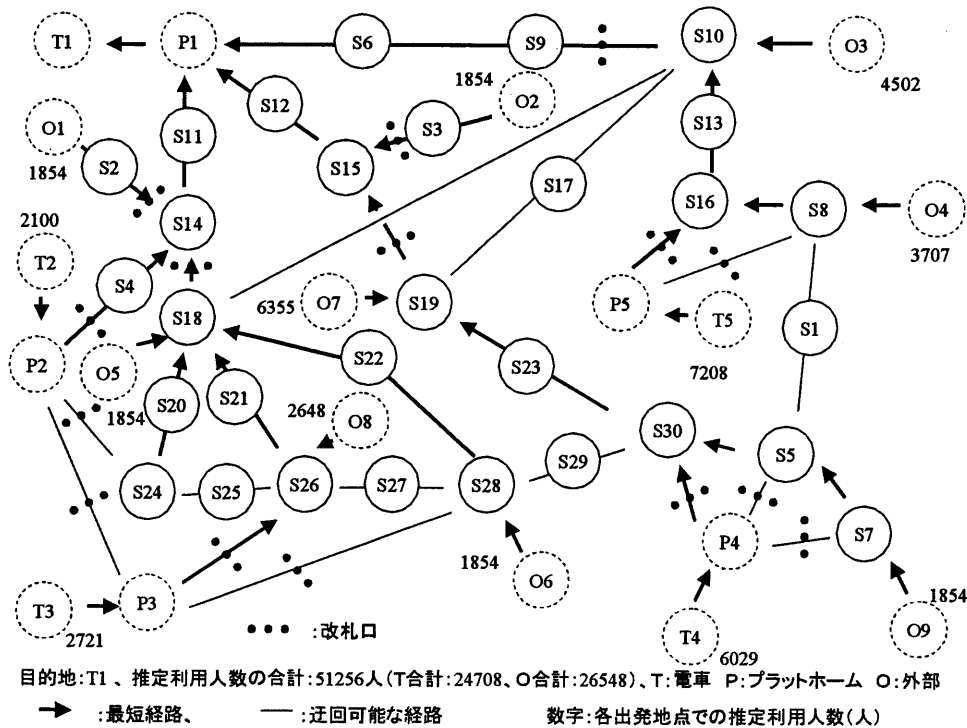
また、表 19 のように、経路選択方法の違いで、最短経路と迂回判定の計 2 回のベンチマーキングテストを行った。

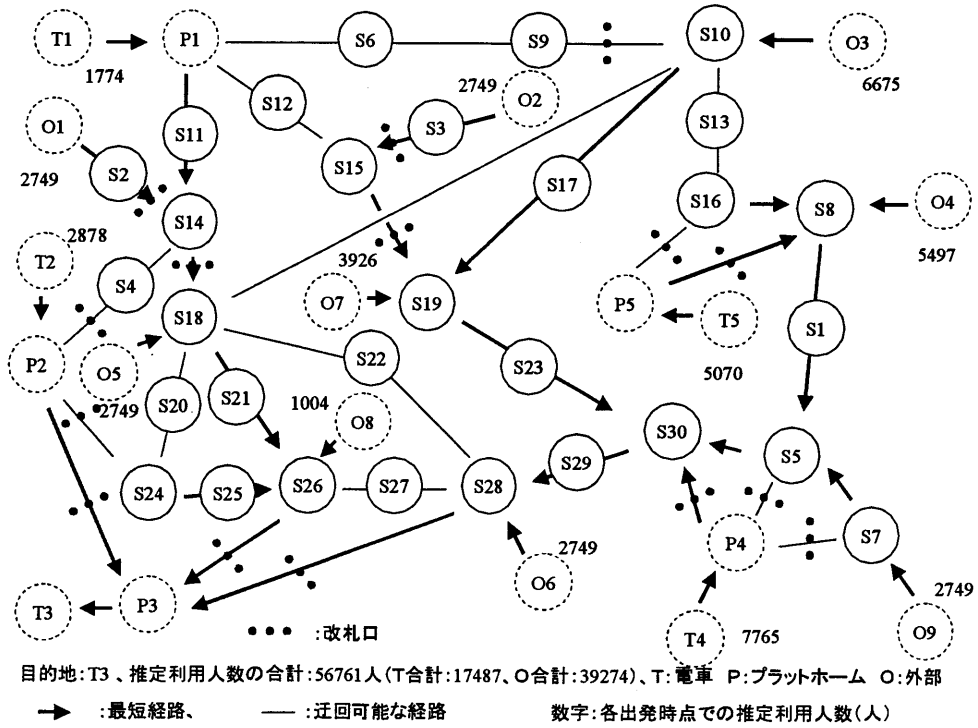
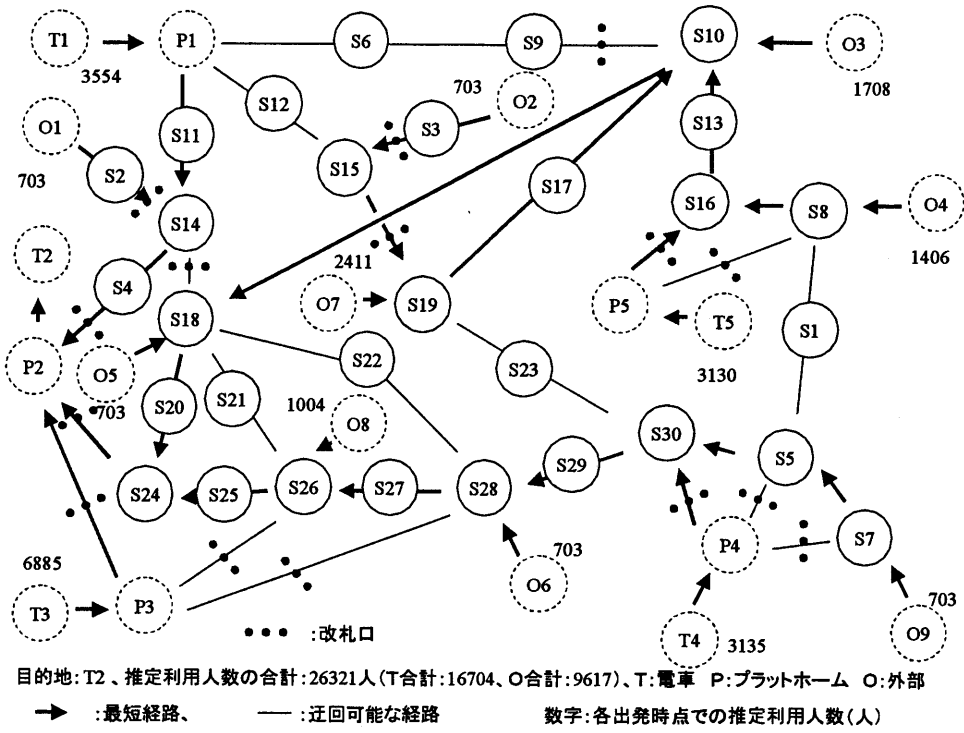
表 19 ベンチマッピングテストの経路選択方式

テスト番号	経路選択方式
1	最短経路
2	迂回判定

#### 4.3.2 最短経路および迂回経路の設定

ここでは 4.2.4 で紹介したラベル確定法で求められた目的地別スポット別の最短経路および迂回経路の設定についてまとめた。(図 28)





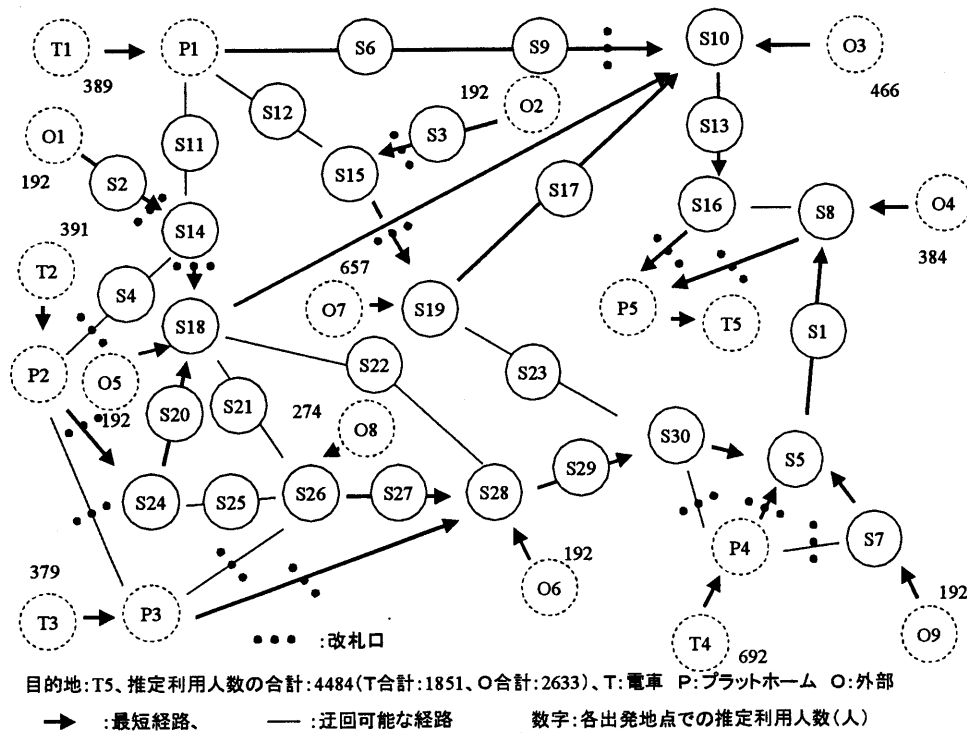
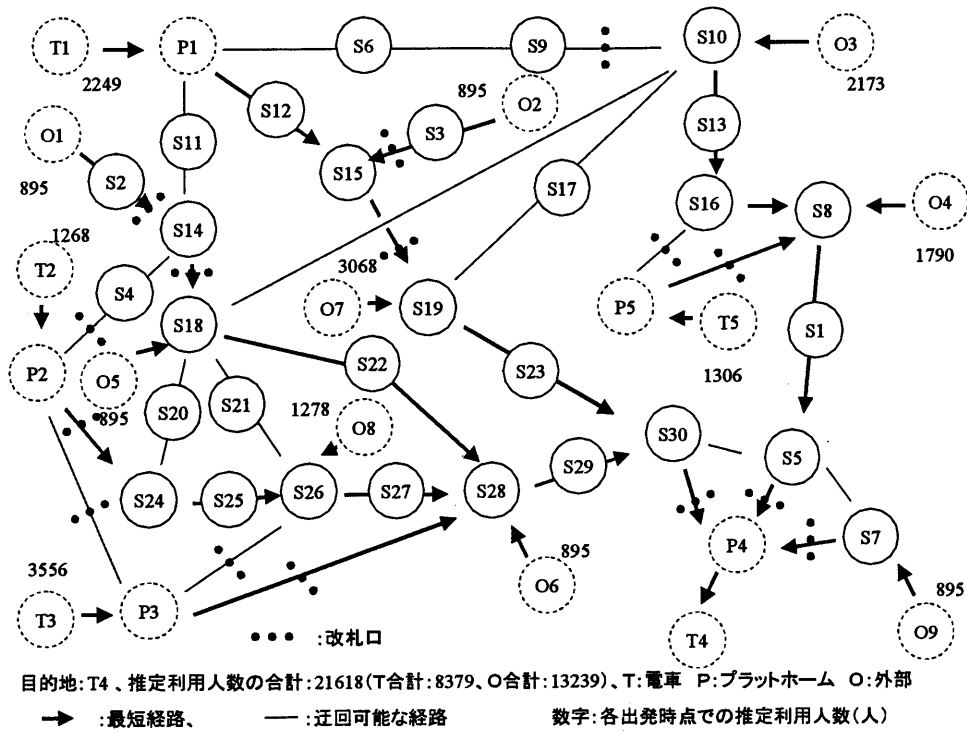


図 28 最短経路と迂回経路の設定 (目的地別)



### 4.3.3 モデル評価

ここでは、エージェントの行動パタンの確認、処理能力の試算と密度計測結果の分析を通じて、モデル評価を行う。

#### 1) エージェントの行動パタンの確認

テスト 1 およびテスト 2 エージェントの行動ログファイルから抽出した典型的な六つエージェントの行動事例 (表 20) の紹介を通じて、乗車・降車・乗換え・迂回行動・滞留などモデルの有効性について説明する。

表 20 エージェントの行動事例

Agent No.	Test No.	Start	End	PSN*(St**,As***)
1	1	T2	O5	T2(120, -), P2(90, 1.1), S24(60, 1.3), S20(20, 1.0), S18(120, 1.42), O5
2	1	O7	T2	O7(0, -), S19(160, 1.31), S17(80, 1.25), S10(210, 1.42), S18(120, 1.42), S20(20, 1.0), S24(60, 1.3), P2(90, 1.1), T2
3	1	T3	T4	T3(1000, -), P3(120, 1.25), S28(70, 1.42), S29(20, 1.0), S30(60, 1.3), P4(80, 1.3), T4
4	2	T1	T3	T1(2300, -), P1(210, 0.9), S11(20, 1.0), S14(100, 1.0), S18(150, 1.1), S21(90, 1.1), S26(200, 1.0), P3(150, 1.0), T3
5	2	T1	T3	T1(2100, -), P1(240, 0.8), S12(20, 1.0), S15(90, 1.1), S19(200, 0.9), S23(20, 1.0), S30(60, 1.3), S29(30, 0.7), S28(90, 1.1), P3(130, 1.2), T3
6	2	T2	T3	T2(2470, -), P2(150, 0.6), P3(140, 1.1), T3

\*: Passed Spot Name, \*\*: Spent time(s) or Waiting time(s), \*\*\*: Average street speed(m/s). As is calculated by  $As=Lm/St$ . If St is the waiting time, then As is doesn't exist. (-)

まず、エージェント No. 1 は電車に乗って到着し、駅構外へ移動するタイプである。電車 T2 からのシミュレーション開始となる。120 s 後駅へ流入し、P2 (90 s)、S24 (60 s)・S20 (20 s)・S18 (120 s) の順番に通過し、駅の外部 O5 から流出したことが分かる。

エージェント No. 2 はシミュレーション開始と同時に駅構外から歩行で駅に到着し、電車に乗って流出するタイプである。表記の通りに行動を行った。No. 1 とは同一経路で、逆の方向で歩行行動だった。初期段階だったので、密度は低く、No. 1 と同等の時間で T2 から S18 の間を通過したことが分かる。

エージェント No. 3 は電車に乗って流入し、他の線路に乗り換えをするタイプである。シミュレーション開始から 1000 秒を経過して、電車 T3 で流入し、表記の最短経路を経て電車 T4 に乗り換えた。

No. 4 と No. 5 は出発地と目的地が同じで、密度判定により、異なる経路を通過したことがわかる。また、全体の密度上昇で、同一の空間でも所要時間の差が確認できた。到着時間は異なり、同一状態ではないが、密度の変化によって、たとえば P3 を通過するために、それぞれ 150 秒と 130 秒を使ったことがわかる。

エージェント No. 6 では、設定 OD 行列を見ると T5 への乗換えが比較的が多くて、P3 での込み合いにつながった。そのために、初期段階 (No. 3) の P2 では 90 秒で通過

できる距離だが、150秒で通過した。改札口を通過するための50秒程度の通過待ちを確認できた。

## 2) 処理人数の比較（シミュレーションと名古屋市試算）

ここでは滞留者分析の名古屋市試算の結果と比較して、シミュレーションモデルの機能評価を行う（表21）。

2002年の名古屋市の報告書から14:00から15:00までの一時間のデータを整理した結果、駅周辺から歩行で集まる利用者は87.5千人、各線電車により流入した人数は70.7千人である。15:00時までの間では電車に乗って、流出したのは47.6千人で、名古屋駅で降車したのは15.8千人となり、結果としては一時間で94.8千人の利用者が名古屋駅に残留したこととなっている。

テストでは、報告書と同じ流入人数の設定条件で行い、一時間を経過した時点での電車流出、歩行流出と駅残留した人数の測定結果を報告書の結果と比較することでモデルの機能評価を行った。結果としては、電車流出人数、歩行流出人数と残留人数はそれぞれ、33.6千人、3.0千人と121.5千人となって、報告書より約26.7千人程度多く残留したことになる。数理モデルの結果は列車の運搬能力を考慮した場合の流出最大値である。駅構内の混雑具合を考慮した結果、目的地まで時間を多く消費するなど、場合によって到達できない状況が存在することによって、残留者数が報告書数より3割程度多くなったと考えられる。ただし、上下線別、路線別に電車の運搬能力を考慮した場合はさらに低下する可能性がある。

表 21 処理人数の比較によるモデルの機能評価

Item	Time	Pedestrian inflow		Pedestrian outflow		No. of remain
		Station outside	Train	Train	Station outside	
Report	14:00-15:00	87.5k	70.7k	47.6k	15.8k	94.8k
test1	14:00-15:00	87.5k	70.7k	30.9k	3.2k	124.1k
test2	14:00-15:00	87.5k	70.7k	33.6k	3.0k	121.5k

## 3) 計測した密度グラフの分析

ここでは、計測した密度グラフ（図29）の変化特徴について分析し、タイプ別にまとめた。密度グラフの変化特徴と空間特徴とは一致するかどうかについて評価する。参考までに、モデルの空間設定では全面積35100㎡で、仮に設定人数の158.2千人を平均的に分布させた場合平均密度は4.5人/㎡となる。

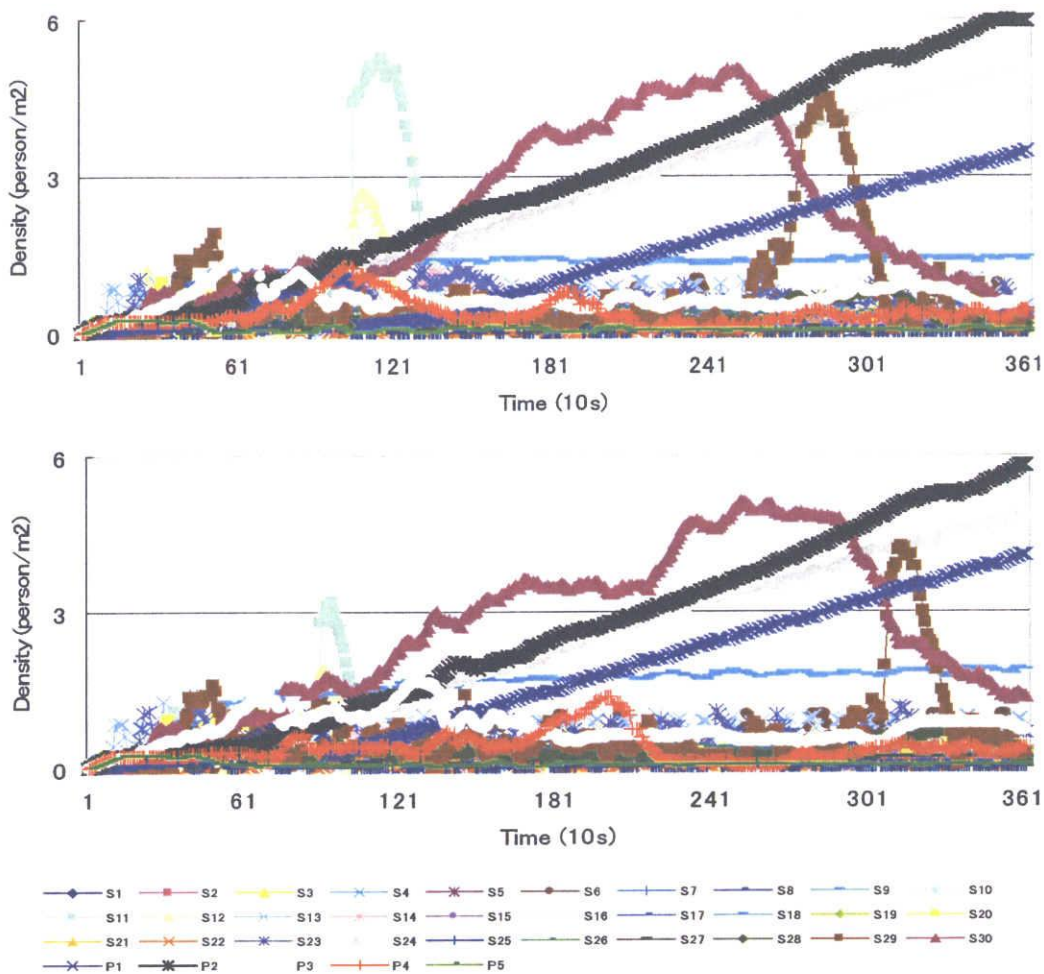


図 29 ベンチマーキングテストの密度測定結果

タイプ 1：特徴としては面積が比較的小さく、通過人数によってはボトルネックになりやすい階段である。計測密度グラフでは、このタイプの変化を示したスポットとして、S11、S12、S29 が確認できた。

タイプ 2：人が大勢集まるプラットフォームである。面積が大きい、電車の運搬能力より利用者人数がはるかに多いため、次第にホームにたまり始め、密度は継続的に上昇していく。計測密度グラフでは、P1、P2 は同類に属すると確認できた。報告書では利用者があふれるとされるスポットはP1、P2 に加えて、P3 もこの類になる結果となっているが、それは上下線を分けて利用者人数と運搬能力を考慮した結果、利用者が下り線に集中しており、下り線の運搬能力が足りなくて、上がり線の運搬能力があまったことで、利用者を全員運び出すことができないことになっている。ベンチマーキングテストでは上下の運搬能力を分けておらず、あまるはずの利用者が駅に滞留

せずに運び出したと判定したことで、密度の上昇がなかった結果になったと考えられる。

タイプ3: 面積は比較的大きい交差点である。駅外部を始め、多方面につながっており、利用人数は多いが、面積も比較的大きいため、密度の大きな変動がみられない。計測密度グラフではS10、S18はこのタイプに入る。

タイプ4: 改札口と階段に囲まれていて、面積もそれほど大きくない交差点である。人数の解放は難しく、流れが集中すると、密度は継続的に上昇する。密度グラフではS24はこのタイプである。

タイプ5: 総じてタイプ3に似た特徴を持っているが、タイプ3ほど面積が広くない。最初では電車の到着などにより、密度が上昇したが、電車によって運ばれる人数が減っていくと、密度も次第に戻った変動となる。密度グラフではS30はこの類に属する。

以上の結果を踏まえて、本スポット・リンク型モデルは想定通りの挙動が確認できた。

## 4.4 スポット・リンク型モデルによる群集マネジメント評価

本節では、構築した名古屋駅のスポット・リンク型モデルを用いて、群集マネジメントのための群集シミュレーションを行う。

第3章では、乗換え通路を対象としたシミュレーション分析において、流れ込む流動係数および人数の違いによる空間内の局部密度への影響について検討を行ってきた。空間に流れる人数を制限（流入人数の合計人数を抑えること）することがもっとも簡単で、有効であることがわかった。がしかし、流入の制限が行われた場合、流れが止められた利用者は結局、改札口以外の駅空間にとどまるしかない。各プラットフォームおよび各外部出入り口の間アクセス通路ネットワーク空間全体について、密度分布状況、外部流入人数の変化または迂回行動による帰宅者の処理能力への影響についての検討が必要である。

### 4.4.1 シナリオとケース分け

平日の午後2時に東海地震注意情報が発令されると想定して、午後2時から、3時までの間に駅空間の混雑状況についてシミュレーション実験を行う。ケースの分け方は表22にまとめた。

表 22 大規模乗換え駅周辺地区シミュレーション評価のケース分け

ケース No.	人数設定(人)		経路選択条件(人/m <sup>2</sup> )		
	電車側	外部流入	$\beta 1$	$\beta 2$	
ケース1	1	73881	0	3	0
	2	73881	0	3	1
	3	73881	0	3	2
	4	73881	0	3	3
ケース2	1	73881	45656	3	0
	2	73881	45656	3	1
	3	73881	45656	3	2
	4	73881	45656	3	3
ケース3	1	73881	91311	3	0
	2	73881	91311	3	1
	3	73881	91311	3	2
	4	73881	91311	3	3

ここではケース分けについて説明する。電車で運ばれた利用者は全員駅に流入するとして、名古屋市試算結果の100%の73881人に設定する。駅外部から流れてきて、電車に乗ろうとする人数はの名古屋市試算の結果の割合で、0%、50%、100%の3ケースに設定する。ケース1は外部流入が0人、ケース2は外部流入45656人、ケース3は外部流入91311人となる。さらに、それぞれ、迂回する場合の密度判定基準であ

る $\beta_2$ の違いで、各ケースをそれぞれ4パターンに設定した。 $\beta_2$  (人/m<sup>2</sup>) は迂回をするかどうかの判定基準である。最短経路である前方スポットの密度は $\beta_1$  人/m<sup>2</sup>より高かった場合で、迂回経路が存在し、かつ密度が $\beta_2$  人/m<sup>2</sup>以下ならば迂回をするということである。 $\beta_2$ は0人/m<sup>2</sup>の場合は実質的に迂回をしないことになる。なお、 $\beta_1$ の上限は3人/m<sup>2</sup>とする。

マネジメント評価のためのシミュレーション分析はベンチマーキングテストと違って、各社電車では、それぞれの運搬能力や、通過人数について各線・上下線を分けてさらに詳細の設定を行った。設定人数およびOD行列の設定は章末の表26表27にまとめた。それ以外の設定事項はベンチマーキングテストと同じである。

#### 4.4.2 結果分析

##### 1) 累積通過人数による混雑分析

シミュレーション結果と比較するために、表26表27の設定人数とOD行列の設定で名古屋駅周辺空間の空間ネットワークに適用した場合、最短経路を經由した各スポットでの累積通過者数が求められる。累積通過者数とは、午後2時から1時間の間に、電車および歩行で集まってくる各利用者が最短経路で目的地へと向かう場合、各スポットを通過する累積人数と定義する。空間の制限などを含んでないが、ある程度の空間混雑分析ができる。その結果を利用して、シミュレーションの結果と比較することで、シミュレーションのパフォーマンス評価および空間の混雑要因分析に利用する。

まずは、交差スポット（リンクが3つ以上）S5、S7、S8、S10、S14、S15、S16、S18、S19、S24、S26、S28、S30の十三の交差スポットについて累積通過者数を表23にまとめた。

表23 一時間あたりの累積通過人数（交差スポット）

交差スポット	T1	T2	T3	T4	T5	計
S5	1854	703	13316	5269	1729	22871
S7	1854	703	2749	895	192	6393
S8	3707	1406	10567	5269	2113	23062
S10	15417	9358	6675	2173	2479	36102
S14	13031	4257	4523	895	192	22898
S15	16092	703	2749	3144	192	22880
S16	10915	4536	0	2173	2479	20103
S18	9077	10061	7272	1790	775	28975
S19	14238	3114	13350	6212	849	37763
S24	0	15606	0	1268	391	17265
S26	5369	5545	8276	2546	274	22010
S28	1854	4541	23830	8787	845	39857
S30	7883	3838	21081	14999	845	48646

表 23 を見ると、交差スポットの中では、一時間あたりの累積通過者数がもっとも低いのは S7 の 6393 人である。それ以外のところは少なくとも 17000 人が通過することがわかる。S10、S19、S28、S30 では 35000 人を超えた。S30 はもっとも多くて、各目的地への通過者が合計 48646 人も一時間の間に通過する。

次に、残りの通路スポット（リンクは二つ）計 17 スポットの累積通過者数を表 24 にまとめる。通路スポットは交差スポットの利用者の流れの一部が通過するので、全体的に通過人数が低くなる傾向がある。10000 人を超えないところは S2、S3、S4、S22、S27 である。なかで S22 はもっとも少なく、3644 人だった。S29 はもっとも多く、34551 人の累積通過者数だった。

表 24 一時間あたりの累積通過人数（通路スポット）

通路スポット	T1	T2	T3	T4	T5	計
S1	0	0	10567	5269	1729	17565
S2	1854	703	2749	895	192	6393
S3	1854	703	2749	895	192	6393
S4	2100	4257	0	0	0	6357
S6	15417	0	0	0	389	15806
S9	15417	0	0	0	389	15806
S11	13031	3554	1774	0	0	18359
S12	16092	0	0	2249	0	18341
S13	10915	4536	0	2173	2479	20103
S17	0	3114	6675	0	849	10638
S20	0	10061	0	0	391	10452
S21	5369	0	7272	0	0	12641
S22	1854	0	0	1790	0	3644
S23	7883	0	13350	6212	0	27445
S25	0	5545	0	1268	0	6813
S27	0	4541	0	2546	274	7361
S29	0	3838	21081	8787	845	34551

さらに、各空間の面積の広さの影響を考慮して、混雑分析のために、各スポットの単位面積あたりの累積通過者数を求めて、交差部スポット（図 30）および通路部スポット（図 31）別で示した。

交差スポット平均値としては一時間あたり単位面積に 33 人が通過するのである。通過人数は多いが、通路スポットより、面積が広い。そのため単位面積あたりの累積通過者数は低く、S28 の 79.7 と S30 の 97.2 を除いて、ほかのところはおおむね 46 以下である。

通路スポットの平均値は 57 人である。交差スポットの平均値より高く、累積通過人数こそ少ないが、面積の影響で、比較的ボトルネックになりやすいことが見て取れる。特に S13、S23、S29 は 100 を超えた結果となっている。

群集リスクの大きい箇所を特定するために、全てのスポットの平均値の 46 より高い

ところはリスクが高い箇所として表すと、図 32 のようになる。

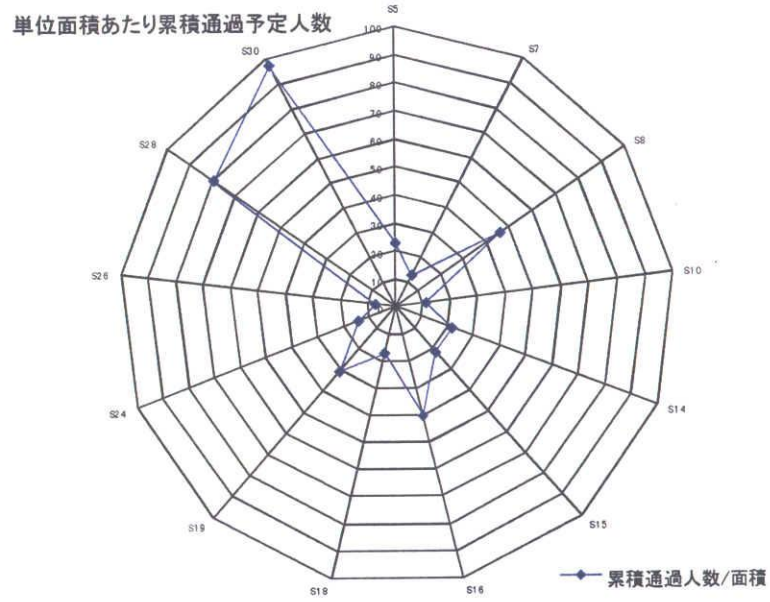


図 30 単位面積あたり累積通過人数（交差スポット）

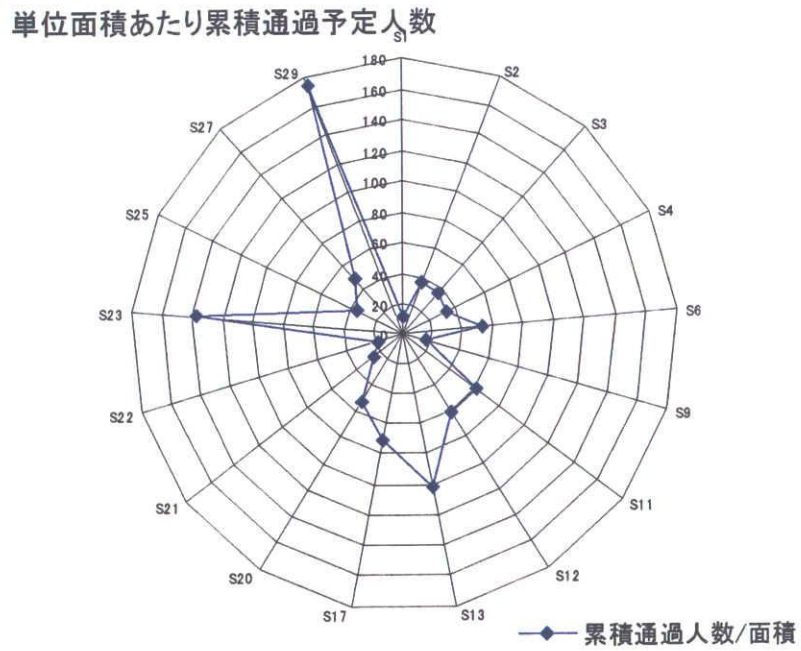


図 31 単位面積あたり累積通過人数（通路スポット）



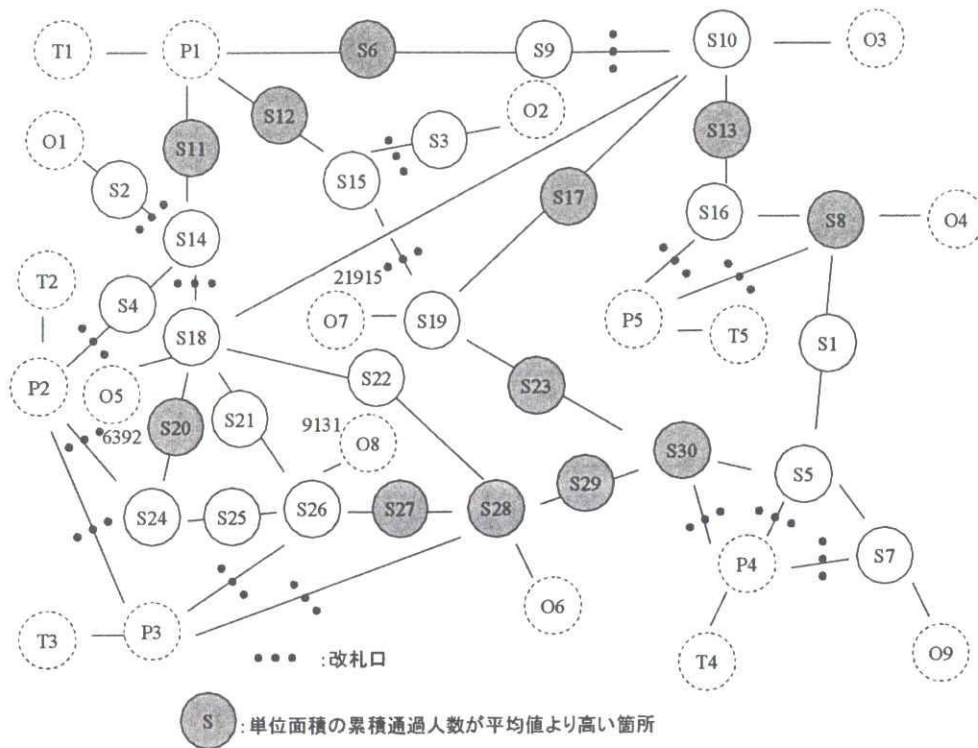


図 32 単位面積の累積通過人数による混雑分析の結果

以上のように、名古屋市の滞留者推定結果と最短経路の組み合わせで、各スポットでの単位面積の累積通過人数で、比較的に利用頻度が高く、混雑になりやすい箇所の特定を行った。結果的には、通路スポットの S6、S11、S12、S17、S20、S23、S27、S29 と交差点スポットの S8、S28、S30 には混雑あるいは滞留し始めるポイントになりやすいスポットと言える。推定条件としての人数、OD 行列、経路設定はシミュレーションの設定と同じであるため、シミュレーションの結果と比較することで、シミュレーションのパフォーマンス評価と混雑の要因分析のために利用できる。

## 2) 各ケースでの計測結果

### ケース 1-1

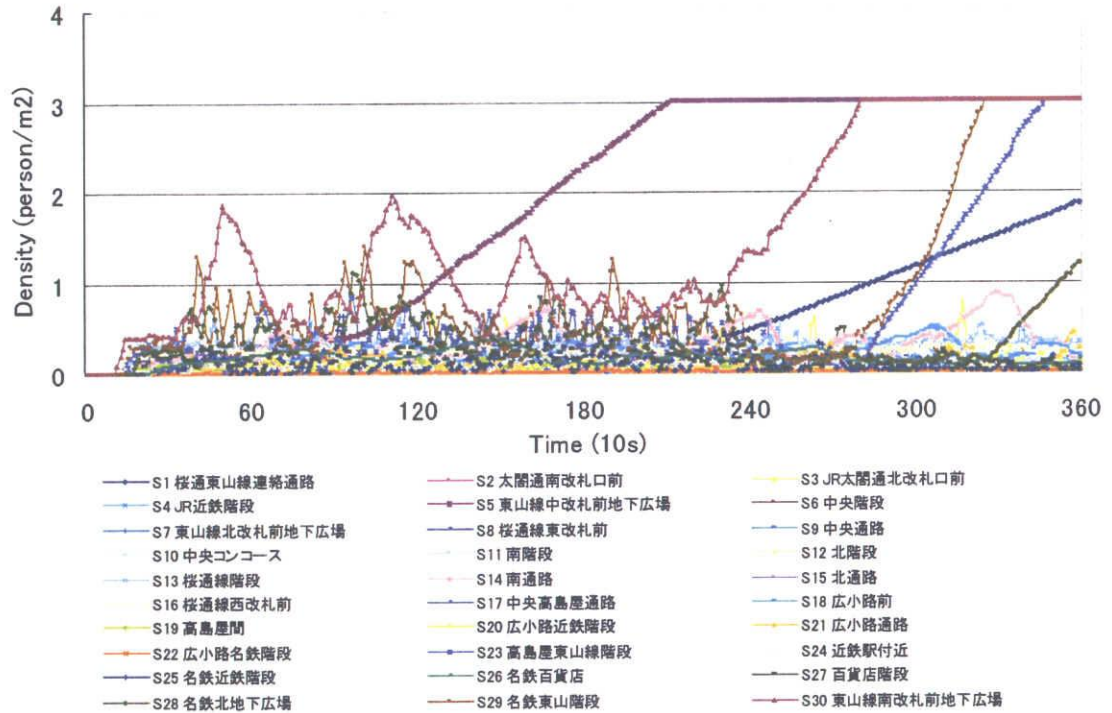


図 33 ケース 1-1 の密度計測値

### 基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 0    流入合計 : 73881

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 33143    歩行流出 : 4846    流出合計 : 37989

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 0、O5 : 0、O6 : 0、O7 : 0、O8 : 0、O9 : 0

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 8884、P2 : 7203、P3 : 710、P4 : 6774、P5 : 469

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 11852

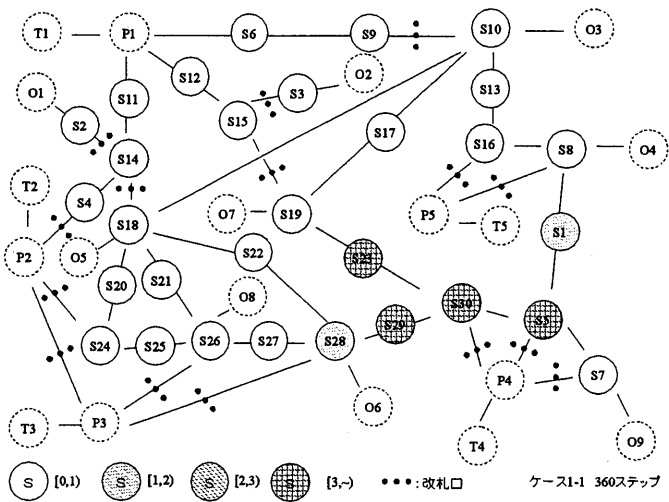
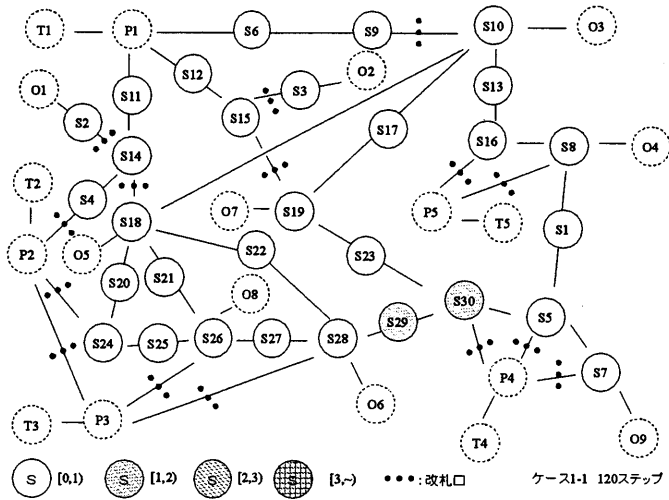
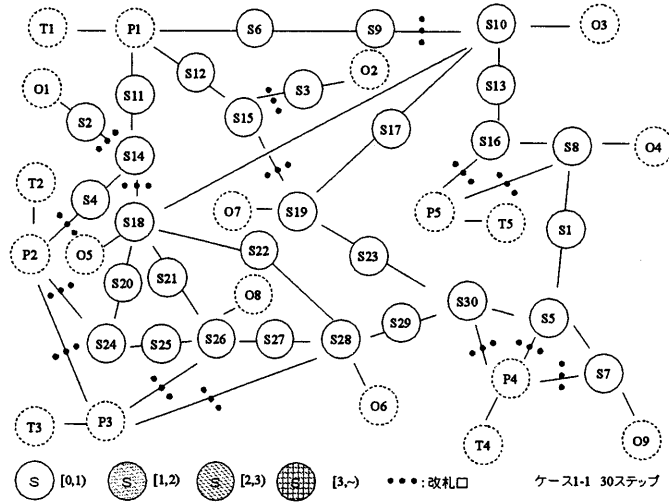


図 34 ケース 1-1 の密度分布の変化 (30,120,360 ステップ)

ケース 1-1 では名古屋駅へ流れ込むのは電車で運ばれる利用者の 73881 人で、各エージェントを最短経路で乗換え電車駅や駅外部へと向かう設定である。

シミュレーション開始から 20 分程度までは最大密度は 2 人/m<sup>2</sup>を超えない程度だったが、時間の経過につれて、S5、S30、S29 での利用者の集中のため、次第に高くなっていく。1 時間を経過した時点で、S5、S30、S29、S23 が上限の 3 人/m<sup>2</sup>に達し、S1、S28 も影響を受けて密度が 1 人/m<sup>2</sup>を超えたことが見て取れる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗換え）の 33143 人、歩行流出（到着）の 4846 人で合計 37989 人だった。各ケースの結果の中で最も高かった。

外部からの乗車人数の設定は 0 であるため、外部の残留人数はともに 0 となった。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 8756 人、P2 が 7203 人、P3 が 710 人、P4 が 6774 人、P5 の 469 人の結果だった。また乗換え内部では合計 11852 人の残留者が残っている。

全体的にみれば、群集流れの衝突による密度の上昇は局部的であるが、設定人数の一番低いケースで、密度が上限まで高めた箇所は利用頻度が高く、リスクが高い箇所と言える。具体的には、東山線周辺および名鉄線や JR 線へのアクセス通路である。

## ケース 1-2

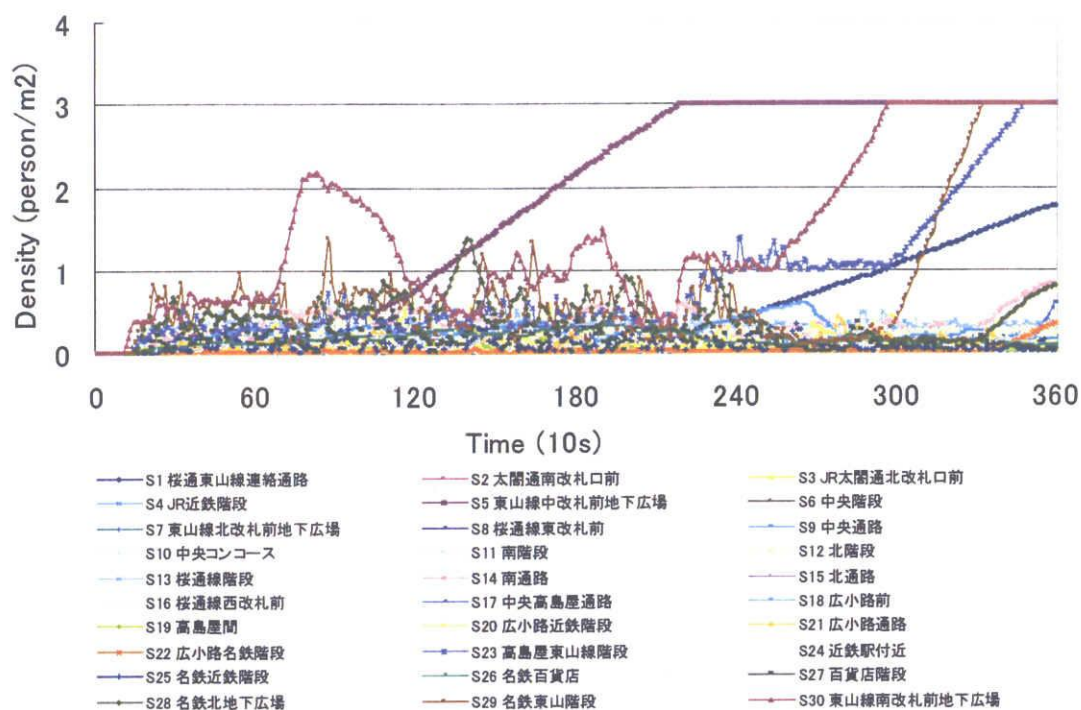


図 35 ケース 1-2 の密度計測値

### 基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 0    流入合計 : 73881

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 33068    歩行流出 : 4902    流出合計 : 37970

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 0、O5 : 0、O6 : 0、O7 : 0、O8 : 0、O9 : 0

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 8779、P2 : 6564、P3 : 925、P4 : 6941、P5 : 468

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 12234

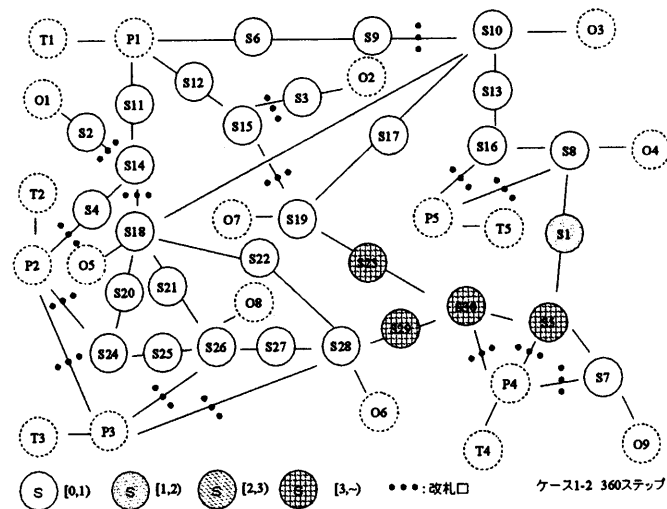
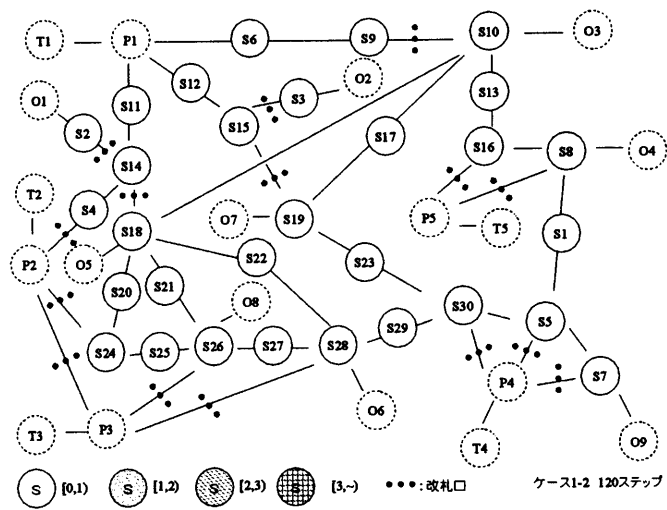
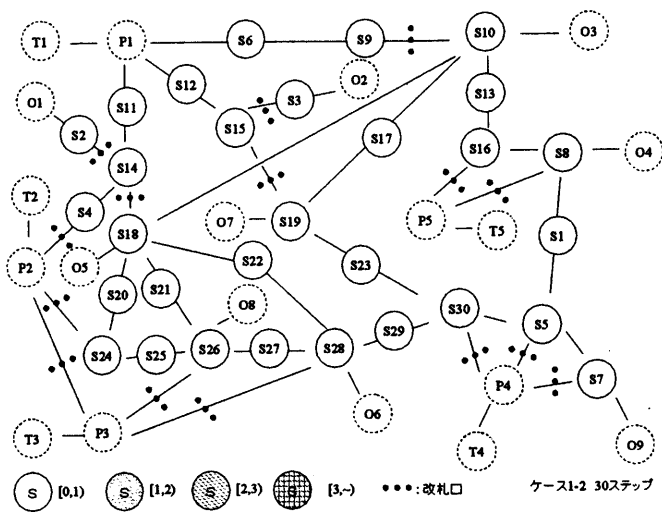


図 36 ケース 1-2 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 1-2 では名古屋駅へ流れ込むのは電車で運ばれる利用者の 73881 人で、各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 以上かつ迂回経路が存在し、密度が 1 未満の場合に限って、迂回経路へ進むことができる設定となっている。

密度の結果グラフは変化特徴はケース 1 と似てて、シミュレーション開始から 20 分程度までは最大密度は 2 人/m<sup>2</sup>を超えない程度だったが、時間の経過につれて、S5、S30、S29 での利用者の集中のため、次第に高くなっていく。1 時間を経過した時点で、S5、S30、S29、S23 が上限の 3 人/m<sup>2</sup>に達し、S1 も影響を受けて密度が 1 人/m<sup>2</sup>を超えたことが見て取れる。

上限 3 人/m<sup>2</sup>に達する箇所が出たあとで、密度 1 人/m<sup>2</sup>程度で推移するスポットの存在が確認できる。これは最短経路として、利用頻度が低く、迂回経路として利用された結果と考えられる。ただし、空間構成から、わかるように S30 と S5 の二箇所が高密となったことで、迂回しても抜けられない構造となってしまう、結果的にケース 1-1 と似たような密度分布となったと考えられる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗換え）の 33068 人、歩行流出（下車）の 4902 人で合計 37970 人だった。ケース 1-1 とは同等な処理能力であった。

外部からの乗車人数の設定は 0 であるため、外部の残留人数はともに 0 となった。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 8779 人、P2 が 6564 人、P3 が 925 人、P4 が 6941 人、P5 の 468 人の結果だった。また内部エリアでは合計 12234 人の残留者が残っている。

全体的にみれば、群集流れの衝突による密度の上昇は局部的であるが、設定人数の一番低いケースで、密度が上限まで高めた箇所は利用頻度が高く、リスクが高い箇所と言える。具体的には、東山線周辺および名鉄線や JR 線へのアクセス通路である。1 人/m<sup>2</sup>以下の迂回は高密化抑制の効果が見られない。



### ケース 1-3

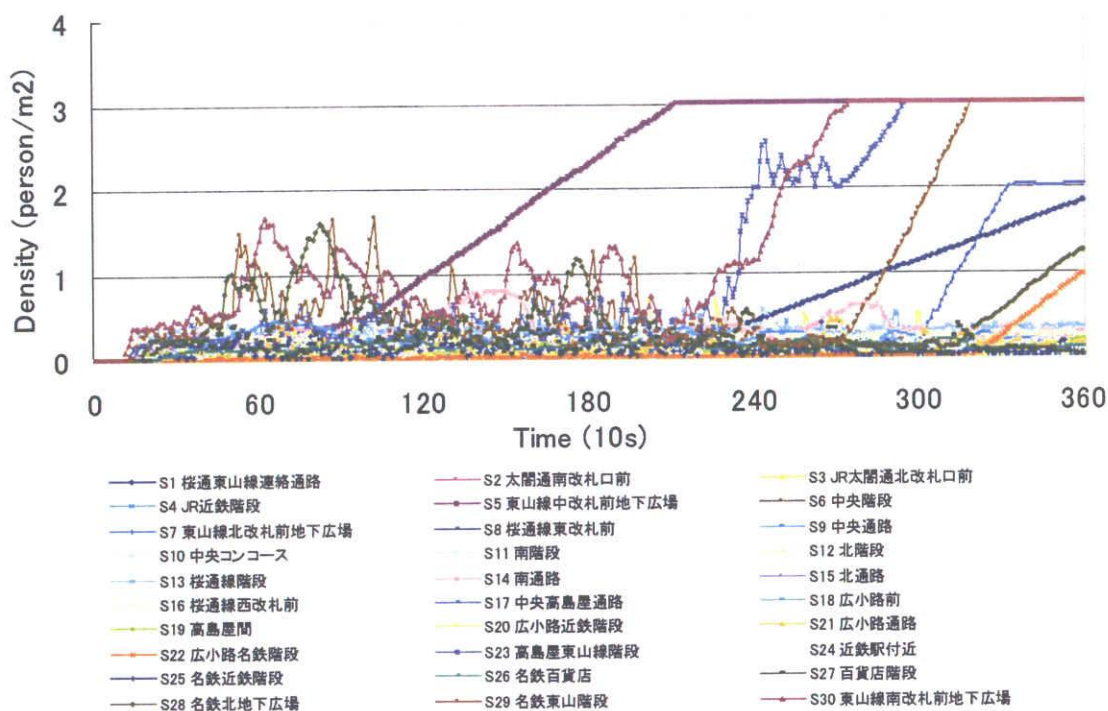


図 37 ケース 1-3 の密度計測値

### 基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 0    流入合計 : 73881

シミュレーション終了までの処理人数累積 (人)

電車流出 : 32919    歩行流出 : 4853    流出合計 : 37772

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 0、O5 : 0、O6 : 0、O7 : 0、O8 : 0、O9 : 0

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 8755、P2 : 6697、P3 : 706、P4 : 6814、P5 : 471

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 12666



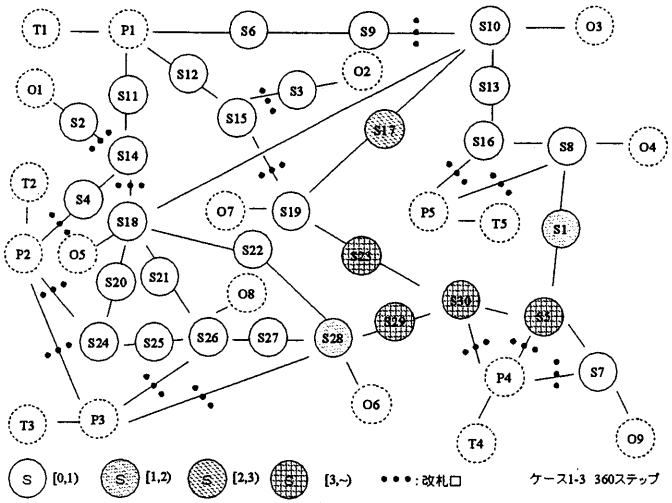
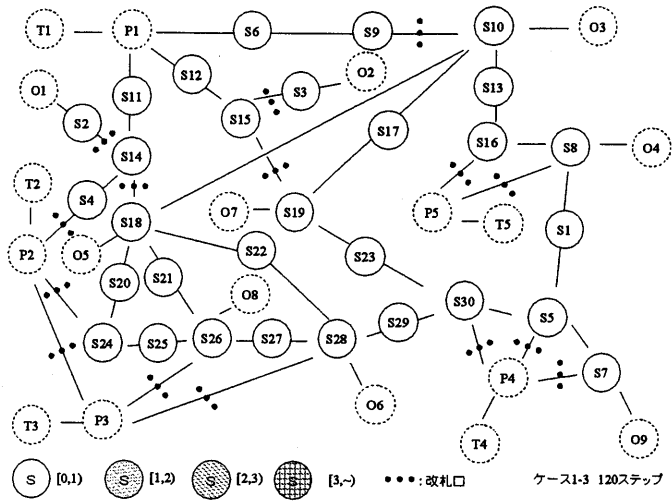
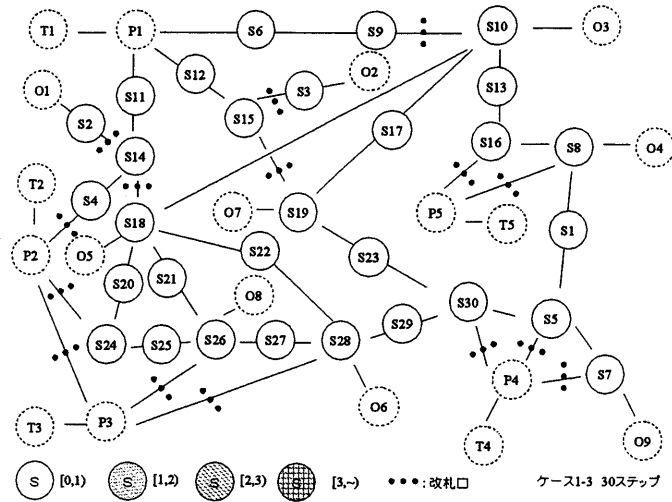


図 38 ケース 1-3 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 1-3 では名古屋駅へ流れ込むのは電車で運ばれる利用者の 73881 人で、各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 以上かつ迂回経路が存在し、密度が 2 未満の場合に限って、迂回経路へ進むことができる設定となっている。

密度の結果グラフの変化特徴はケース 1-1、1-2 と似ていて、シミュレーション開始から 20 分程度までは最大密度は 2 人/m<sup>2</sup>を超えない程度だったが、時間の経過につれて、S5、S30、S29 での利用者の集中のため、次第に高くなっていく。1 時間を経過した時点で、S5、S30、S29、S23 が上限の 3 人/m<sup>2</sup>に達し、S1、S28 も影響を受けて密度が 1 人/m<sup>2</sup>を超えたことが見て取れる。また、S17 では 2 人/m<sup>2</sup>を超えており、それは迂回人数の増加で迂回経路上のネック部に与えた影響と考えられる。

上限 3 人/m<sup>2</sup>に達する箇所が出たあとで、密度 2 程度で推移するスポットの存在が確認できる。これは迂回経路として利用された結果と考えられる。ただし、空間構成から、わかるように S30 と S5 の二箇所が高密となったことで、迂回しても抜けられない構造となってしまう、結果的に、ケース 1-1、1-2 と似たような密度分布となったと考えられる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗換え）の 32919 人、歩行流出（下車）の 4853 人で合計 37772 人だった。やや減少したものの、ケース 1-1、1-2 とは同等な処理能力である。

外部からの乗車人数の設定は 0 であるため、外部の残留人数はともに 0 となった。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 8755 人、P2 が 6697 人、P3 が 706 人、P4 が 6814 人、P5 の 471 人の結果だった。また内部エリアでは合計 12666 人の残留者が残っていて、やや増加しているが、大差はない。

全体的にみれば、群集流れの衝突による密度の上昇は局部的であるが、設定人数の一番低いケースで、密度が上限まで高めた箇所は利用頻度が高く、リスクが高い箇所と言える。具体的には、東山線周辺および名鉄線や JR 線へのアクセス通路である。2 人/m<sup>2</sup>以下の迂回は高密化抑制の効果が見られない。迂回判定の密度条件を切り上げることで、迂回経路のネックとなるところでの密度上昇が確認できた。

ケース 1-4

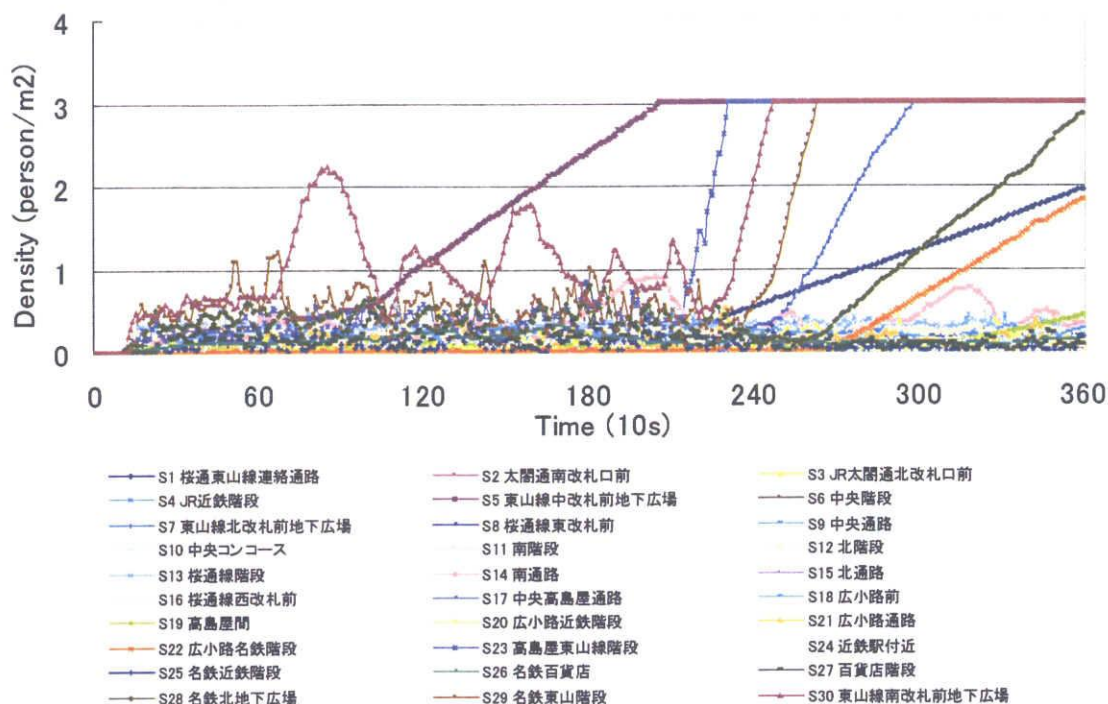


図 39 ケース 1-4 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 0    流入合計 : 73881

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 32758    歩行流出 : 4641    流出合計 : 37399

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 0、O5 : 0、O6 : 0、O7 : 0、O8 : 0、O9 : 0

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 8756、P2 : 6145、P3 : 641、P4 : 6774、P5 : 468

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部 : 13698

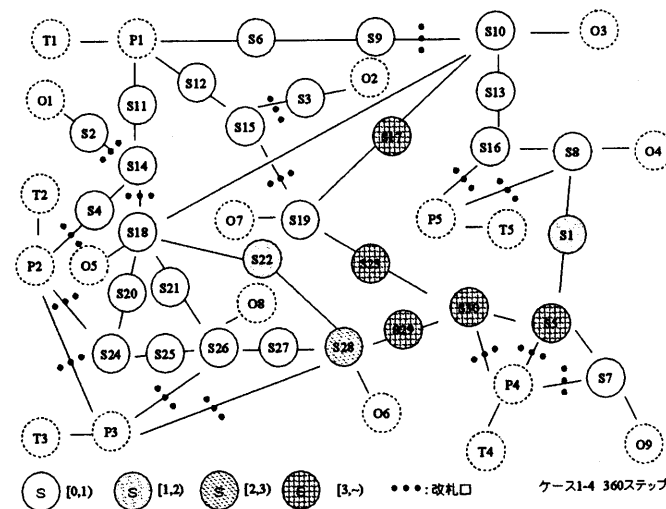
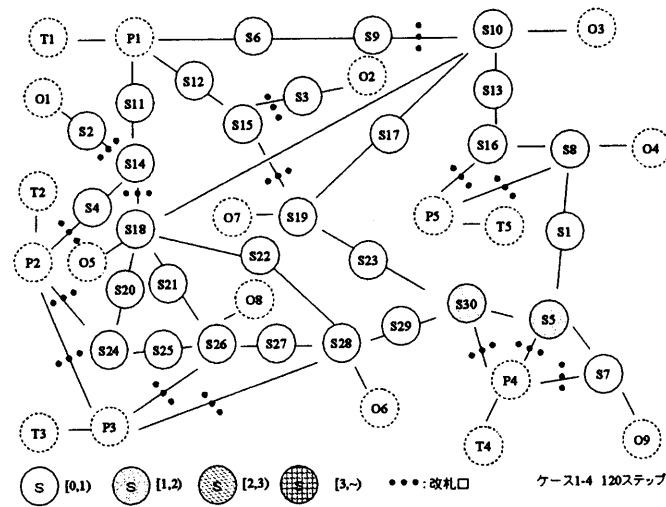
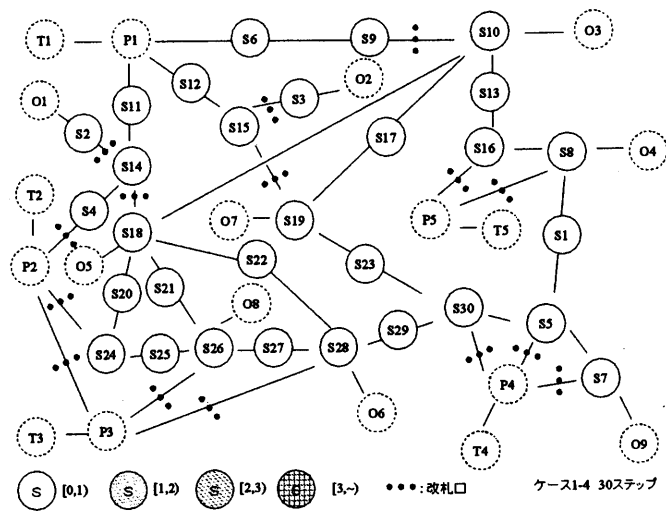


図 40 ケース 1-4 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 1-4 では名古屋駅へ流れ込むのは電車で運ばれる利用者の 73881 人で、各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 以上かつ迂回経路が存在し、密度が 3 未満の場合であれば、迂回経路へ進むことができる。

密度の結果グラフは変化特徴がケース 1-1、1-2、1-3 と似ていて、シミュレーション開始から 20 分程度までは最大密度は 2 人/㎡を超えない程度だったが、時間の経過につれて、S5、S30、S29 での利用者の集中のため、次第に高くなっていく。1 時間を経過した時点で、S5、S30、S29、S23 が上限の 3 人/㎡に達し、S1、S28 も影響を受けて密度が 1 人/㎡を超えたことが見て取れる。また、S17 も一気に 3 人/㎡まで到達しており、それは迂回人数の増加で迂回経路上のネック部に与えた影響と考える。

上限 3 人/㎡に達する箇所が出たあとで、比較的面積の小さい迂回経路も密度 3 人/㎡まで推移するスポットの存在が確認できる。ただし、空間構成から、わかるように S30 と S5 の二箇所が高密となったことで、迂回しても抜けない構造となってしまう、結果的に、ケース 1-1、1-2 と似たような密度分布となったと考えられる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗換え）の 32758 人、歩行流出（下車）の 4641 人で合計 37399 人だった。ケース 1-3 よりやや減少したものの、おおむね同等な処理能力である。

外部からの乗車人数の設定は 0 であるため、外部の残留人数はともに 0 となった。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 8756 人、P2 が 6145 人、P3 が 641 人、P4 が 6774 人、P5 の 468 人の結果だった。また内部エリアでは合計 13698 人の残留者が残っていて、ケース 1-3 に比べて、約 1000 人程度の増加となり、ケース 1-1 より 2000 程度の上昇となった。

全体的にみれば、群集流れの衝突による密度の上昇は局部的であるが、設定人数の一番低いケースで、密度が上限まで高めた箇所は利用頻度が高く、リスクが高い箇所と言える。具体的には、東山線周辺および名鉄線や JR 線へのアクセス通路である。1 人/㎡以下の迂回は高密化抑制の効果が見られない。迂回判定の密度条件を切り上げることで、迂回経路のネックとなるところでの密度上昇が確認できた。とくに S17 では上限の 3 人/㎡に達しており、ケース 1-1、1-2、1-3 では確認できなかった。もう一本の迂回経路のネック部である S22 でも 1 を超えることが確認できた。迂回の判定密度を 3 に切り上げることで、迂回増加が S22 まで影響したと考えられる。

ケース 2-1

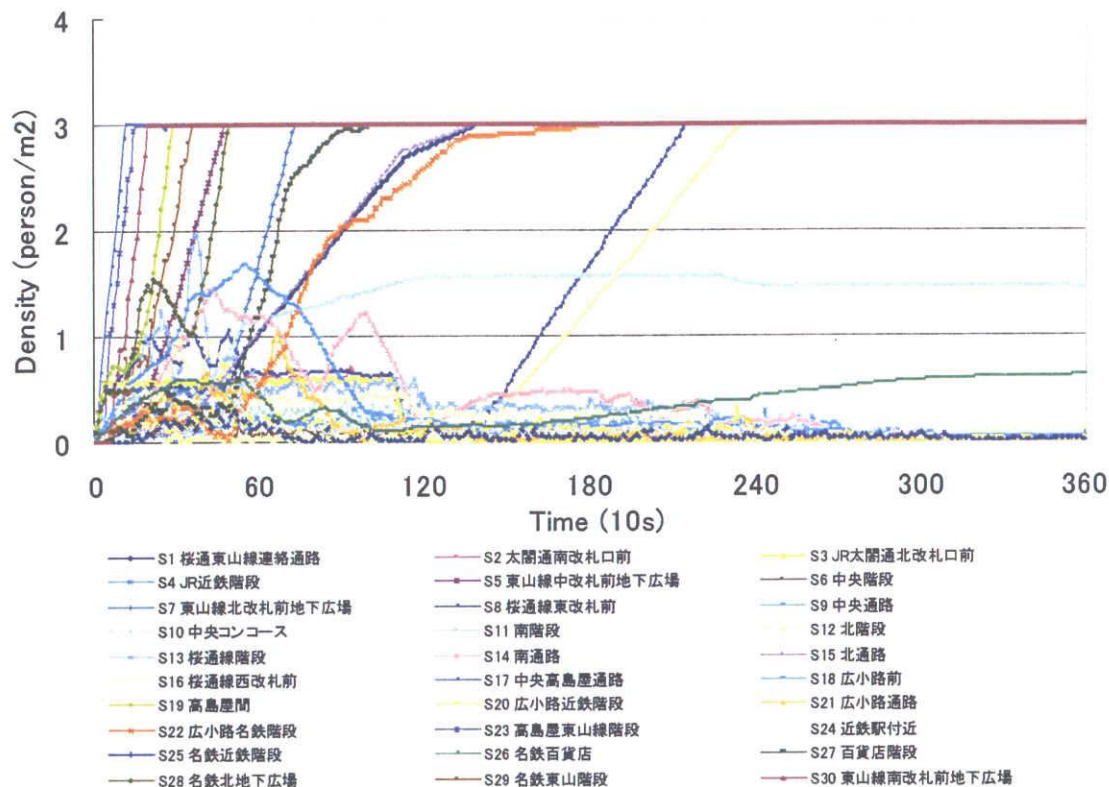


図 41 ケース 2-1 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 45656    流入合計 : 119537

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 28811    歩行流出 : 1345    流出合計 : 30156

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 0、O5 : 0、O6 : 251、O7 : 4501、O8 : 0、O9 : 4967

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 10037、P2 : 1755、P3 : 11701、P4 : 18044、P5 : 7050

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 31075

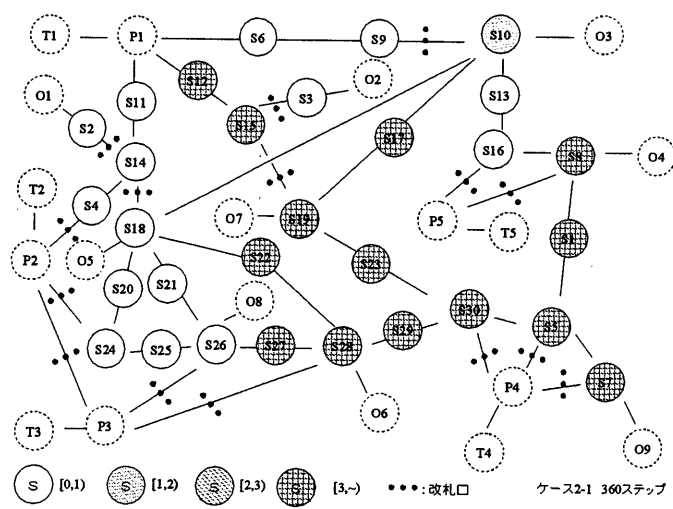
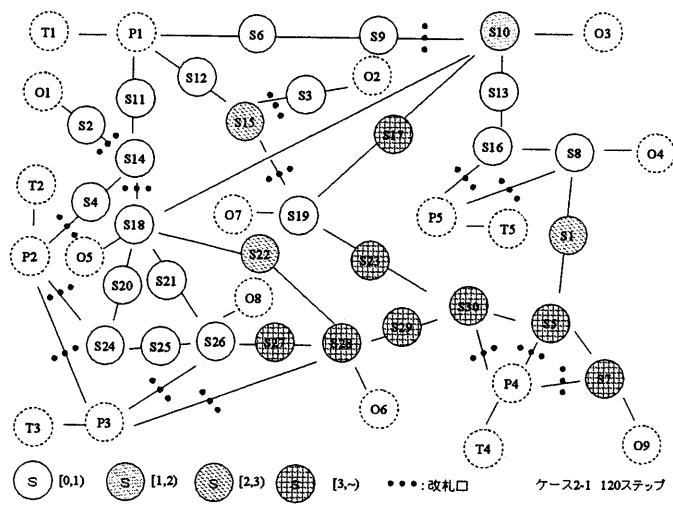
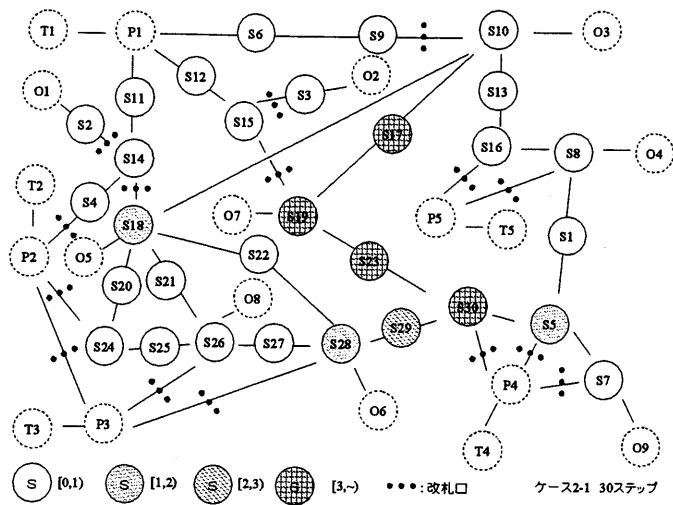


図 42 ケース 2-1 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 2-1 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 45656 人で、エージェントは最短経路で乗換え電車駅へと向かう。

外部利用者が流れ込むと、内部の状態が一気に変わる。とくに、ケース 1 で混雑化した箇所では比較的早い段階で、上限まで上昇する。シミュレーション開始から 5 分程度で、S30、S23、S19、S17 が上限値に達して、時間の経過につれて、滞留箇所が次第に拡散して行くことになっている。最終的に上限地に達したのは、上記 4 箇所を含む合計 14 箇所だった。

面積の割りに利用者多数の経路では、高密度を保っていくに対して、利用率の低い箇所または、流入人数に対して、面積が十分広いところでは 2 人/m<sup>2</sup>を超えないところがある。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗車・乗換え）の 28811 人、歩行流出（下車）の 1345 人で合計 30156 人だった。ケース 1 より約 7000 人の減少となった。それは混雑具合により、移動に時間がかかるまたは目的地に到達できないエージェントの増加によるものと考えられる。

外部からの乗車人数の設定は合計 45656 人で、最終的に外部から駅内部乗換え地区へ流入することができなかった人数は O6 の 251 人、O7 の 4501 人と O9 の 4967 人であった。駅への未流入率は約 21.3%である。

各プラットホームの残留人数は P1 が 10037 人、P2 が 1755 人、P3 が 11701 人、P4 が 18044 人、P5 の 7050 人の結果だった。また内部乗換えエリアでは合計 31075 人の残留者が残っている。外部からの流入増加分で、プラットホームあるいは内部エリアの残留人数はともに約 20000 人程度の増加となった。改札外部の混雑により、電車から降りる利用者が外に出れないことでプラットホームの残留者数が増える一因となる。

全体的にみれば、増加した外部からの流入人数 45656 人の影響は大きく、内部への流入人数が増加し、混雑の進行が早まった。結果としては、処理人数が減り、代わりに滞留者数が増える形となった。さらに、改札外部の混雑は電車によって運ばれる乗換え・降車する人の移動にも影響を与えた。



ケース 2-2

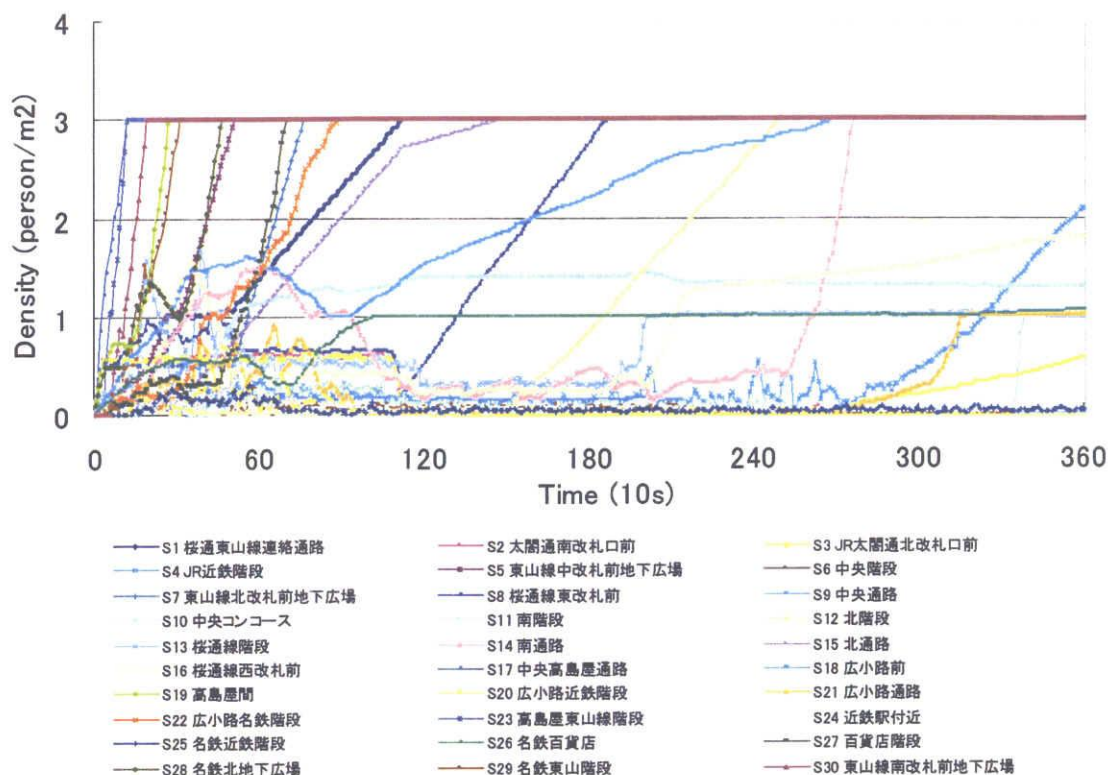


図 43 ケース 2-2 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881      外部流入 : 45656      流入合計 : 119537

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 26586      歩行流出 : 1037      流出合計 : 27623

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 0、O5 : 0、O6 : 348、O7 : 4634、O8 : 0、O9 : 4799

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 5955、P2 : 291、P3 : 8368、P4 : 17737、P5 : 7358

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 42424

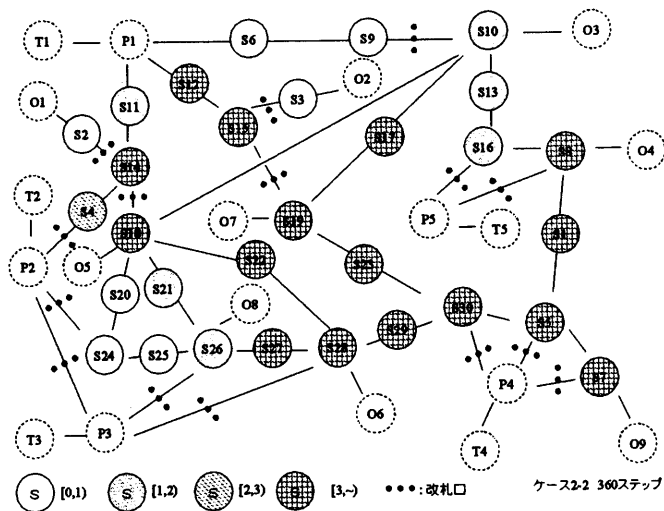
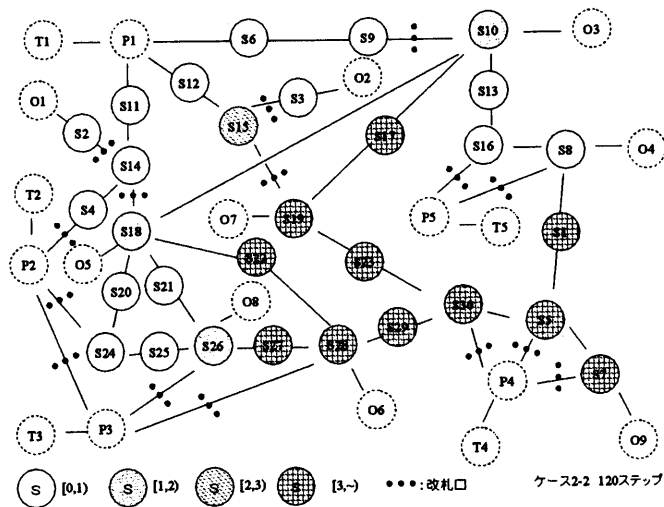
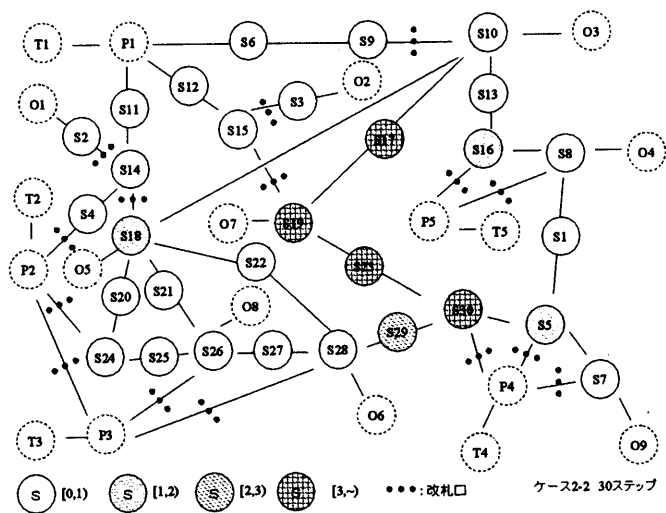


図 44 ケース 2-2 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 2-2 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 45656 人で、各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 人/㎡以上かつ迂回経路が存在し、密度が 1 人/㎡未満の場合であれば、迂回経路へ進むことができる。

ケース 2-1 と同じで混雑化となった箇所では比較的早い段階で、上限まで上昇する。シミュレーション開始から 5 分程度で、S30、S23、S19、S17 が上限値に達して、時間の経過につれて、滞留箇所が次第に拡散して行くことになっている。最終的に、上限値に達したのは上記 4 箇所を含む合計 16 箇所である。

面積の割りに利用者多数の経路では、高密を保っていくに対して、利用率の低い箇所または、流入人数に対して、面積が十分広いところでは 2 人/㎡を超えないところがある。ケース 2-1 では低い密度となっていた箇所では、迂回により、密度の上昇がみられ、1 人/㎡程度で横ばいとなる箇所もある。それは迂回を主に使われる場合で起こる現象である。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗車・乗換え）の 26586 人、歩行流出（下車）の 1037 人で合計 27623 人だった。ケース 2-1 より約 3000 人の減少となった。それは迂回により、さらに混雑により、移動に時間がかかった状況または目的地に到達できなかったエージェントの増加によるものと考えられる。

外部流入の設定合計人数 45656 人のなかで、シミュレーション終了時点では外部から駅内部へ流入することができなかった人数は O6 の 348 人、O7 の 4634 人と O9 の 4799 人であった。駅への未流入率は約 21.4%である。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 5955 人、P2 が 1755 人、P3 が 11701 人、P4 が 18044 人、P5 の 7050 人の結果だった。また内部エリアでは合計 42424 人の残留者が残っている。ケース 2-2 はケース 2-1 と比べて、プラットフォームと内部エリアの残留人数はお互いに逆転していて、合計ではケース 2-2 のほうが若干多い（約 400 人）。改札外部の混雑により、電車から降りる利用者が外に出れないことでプラットフォームの残留者数が増える一因であると考えられる（P4）。

全体的にみれば、増加した外部からの流入人数 45656 人の影響は大きく、内部への流入人数が増加し、混雑の進行が早まった。結果としては、処理人数が減り、代わりに滞留者数が増える形となった。さらに、改札外部の混雑は電車によって運ばれる乗換えや降車する人の移動にも影響を与えた。また、迂回を取ることによって、移動の時間の増加や内部での混雑は結果的に利用者を乗換えエリアに滞留する人数を増えた。処理人数もケース 2-1 より約 2 割減少となった。

ケース 2-3

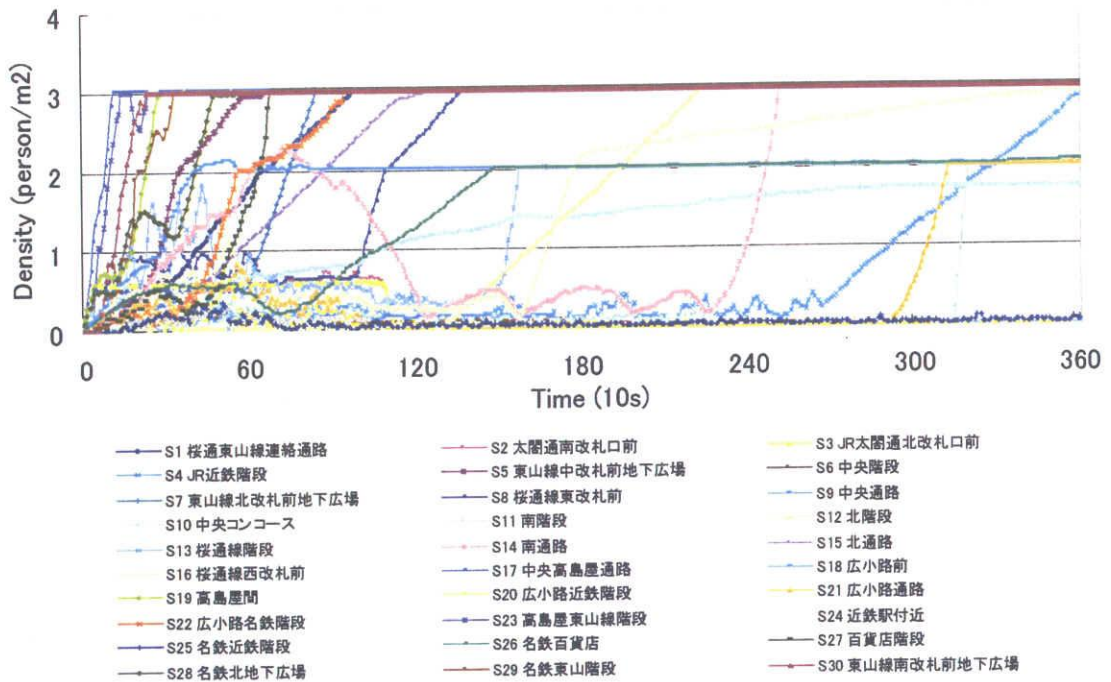


図 45 ケース 2-3 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 45656    流入合計 : 119537

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 26089    歩行流出 : 1038    流出合計 : 27127

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 0、O5 : 0、O6 : 177、O7 : 4611、O8 : 0、O9 : 4386

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 5520、P2 : 291、P3 : 4611、P4 : 17155、P5 : 8904

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 46755

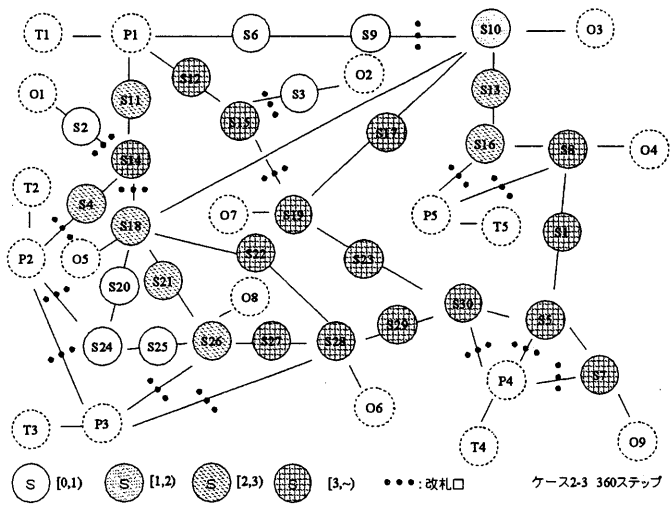
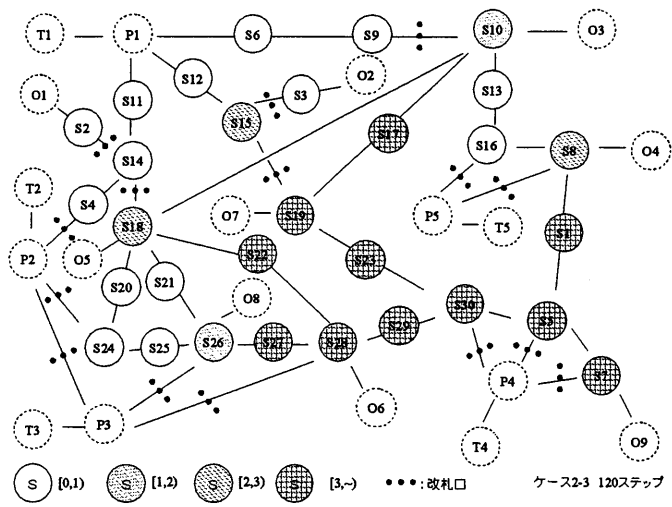
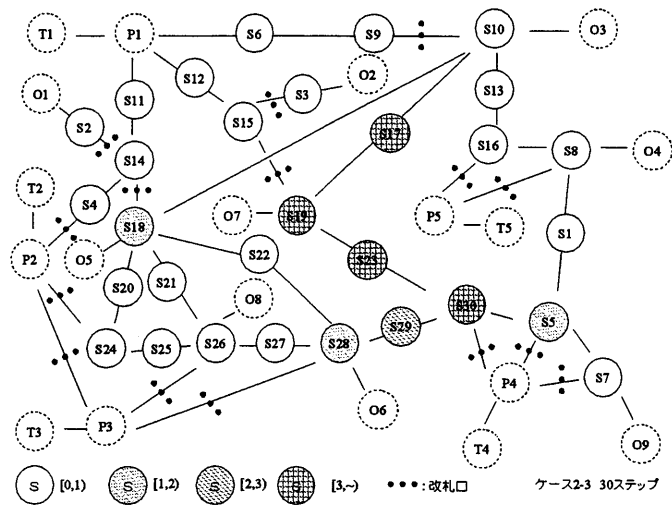


図 46 ケース 2-3 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 2-3 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 45656 人である。各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 人/㎡以上かつ迂回経路が存在し、密度が 2 人/㎡未満の場合であれば、迂回経路へ進むことができる。

ケース 2-2 と似てて、混雑化した箇所では比較的早い段階で、上限まで上昇する。シミュレーション開始から 5 分程度で、S30、S23、S19、S17 が上限値に達して、時間の経過につれて、滞留箇所が次第に拡散して行くことになっている。最終的に、上限値に達したのは上記 4 箇所を含む合計 15 箇所である。

面積の割りに利用者多数の経路では、高密を保っていくに対して、利用率の低い箇所または、流入人数に対して、面積が十分広いところでは 2 人/㎡を超えないところがある。ケース 2-1 では低い密度となっていた箇所では、迂回により、密度の上昇がみられ、2 人/㎡程度で横ばいとなる箇所もある。それは迂回を主に使われる場合で起こる現象である。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗車・乗換え）の 26089 人、歩行流出（下車）の 1038 人で合計 27127 人だった。ケース 2-2 と比べて大差がなかった。

外部流入の設定人数は合計 45656 人で、最終的に外部から駅内部へ流入することができなかった人数は O6 の 177 人、O7 の 4611 人と O9 の 4386 人であった。駅への未流入率は約 20.0%である。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 5520 人、P2 が 291 人、P3 が 4611 人、P4 が 17155 人、P5 の 8904 人の結果だった。また内部エリアでは合計 46755 人の残留者が残っている。ケース 2-3 はケース 2-2 と比べて、数値には、若干の違いがあるものの、迂回経路の基準密度の違いによる変化とは言えない。改札外部の混雑により、電車から降りる利用者が外に出れないことでプラットフォームの残留者数が増える一因であると考えられる。

ケース 2-3 とケース 2-2 の間では滞留人数・処理人数それから密度分布の特徴から迂回経路の密度推移以外は有意の差異が見られない。迂回の増加分は両ケースへの影響がさほど差がなく、結果としては、迂回判定以外の要素が決定的となった可能性がある。ただし、幅が小さいが、迂回判定密度が上がると、滞留が増えることが確認できた。

ケース 2-4

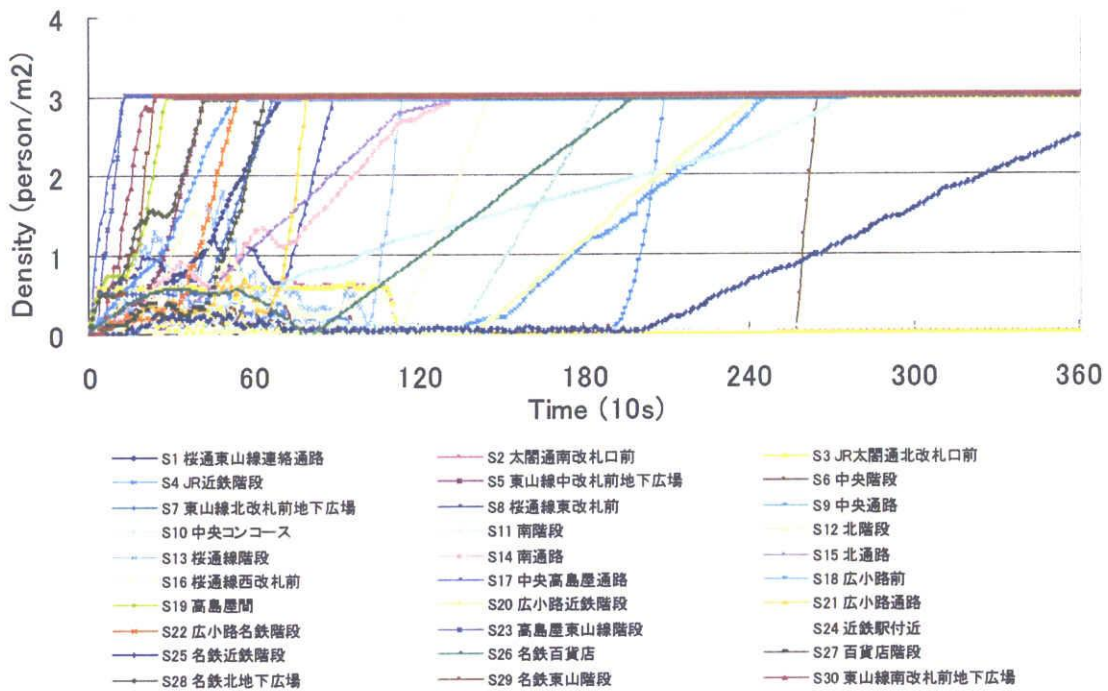


図 47 ケース 2-4 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881      外部流入 : 45656      流入合計 : 119537

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 20590      歩行流出 : 562      流出合計 : 21152

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 0、O2 : 0、O3 : 0、O4 : 966、O5 : 0、O6 : 317、O7 : 4512、O8 : 0、  
O9 : 5150

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 3319、P2 : 321、P3 : 5721、P4 : 15311、P5 : 10781

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 51987

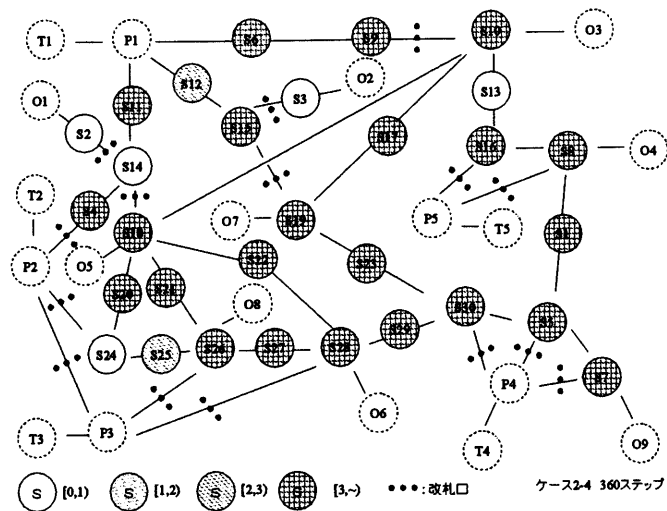
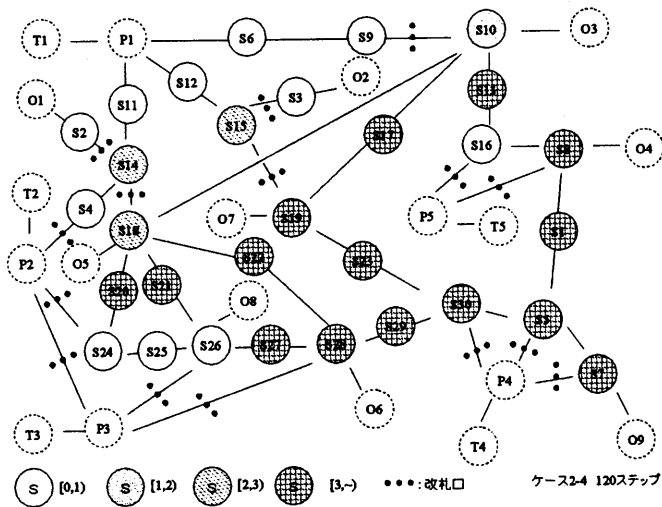
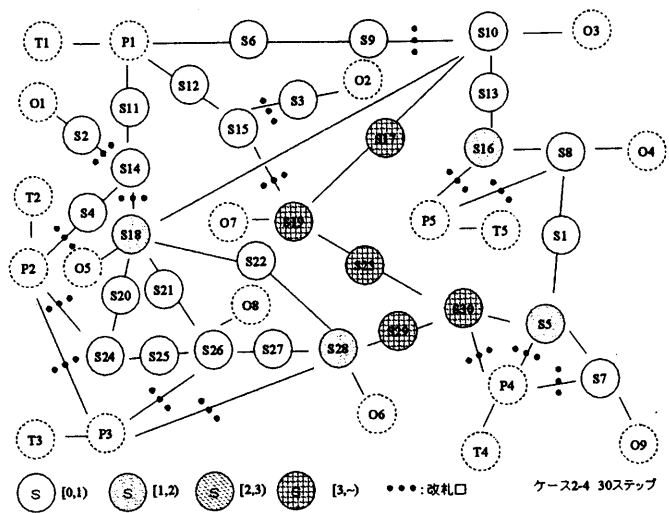


図 48 ケース 2-4 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)



ケース 2-4 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 45656 人である。各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 人/m<sup>2</sup>以上かつ迂回経路が存在し、密度が 3 人/m<sup>2</sup>未満の場合であれば、迂回経路へ進むことができる。

ケース 2-4 はケース 2-2、2-3 よりも速く混雑化が進む。シミュレーション開始から 5 分程度で、S30、S23、S19、S17、S29 が上限値に達して、時間の経過につれて、滞留箇所が次第に拡散して行くことになっている。各経路が空いたら迂回に利用されて、密度が上昇する箇所の割合が高い。最終的に、上限値に達したのは上記 5 箇所を含む合計で 23 箇所に上る。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗車・乗換え）の 20590 人、歩行流出（下車）の 562 人で合計 21152 人だった。ケース 2-2、2-3 と比較して約 6000 人少なかった。

外部流入の乗車人数の設定人数は合計 45656 人で、最終的に外部から駅内部へ流入することができなかった人数はO4 の 966 人、O6 の 317 人、O7 の 4512 人とO9 の 5150 人であった。駅への未流入率は約 23.9%である。

各プラットフォームの残留人数はP1 が 3319 人、P2 が 321 人、P3 が 5721 人、P4 が 15311 人、P5 の 10781 人の結果だった。また内部エリアでは合計 51987 人の残留者が残っている。内部エリアの合計人数の増加が最終的に、処理人数の減少につながる形となった。

総じて、ケース 1-4 のように、無制限に迂回可能な場合は、内部混雑を引き起こし、結果的に処理人数は大きく減少することになる。内部人数の上昇は電車流入と外部流入の両方に関係するので、必ず外部の流入人数が増えるとは限らない。本ケースでは、外部の未流入率はケース 2-2、2-3 より 3.9%も高いことがわかった。

ケース 3-1

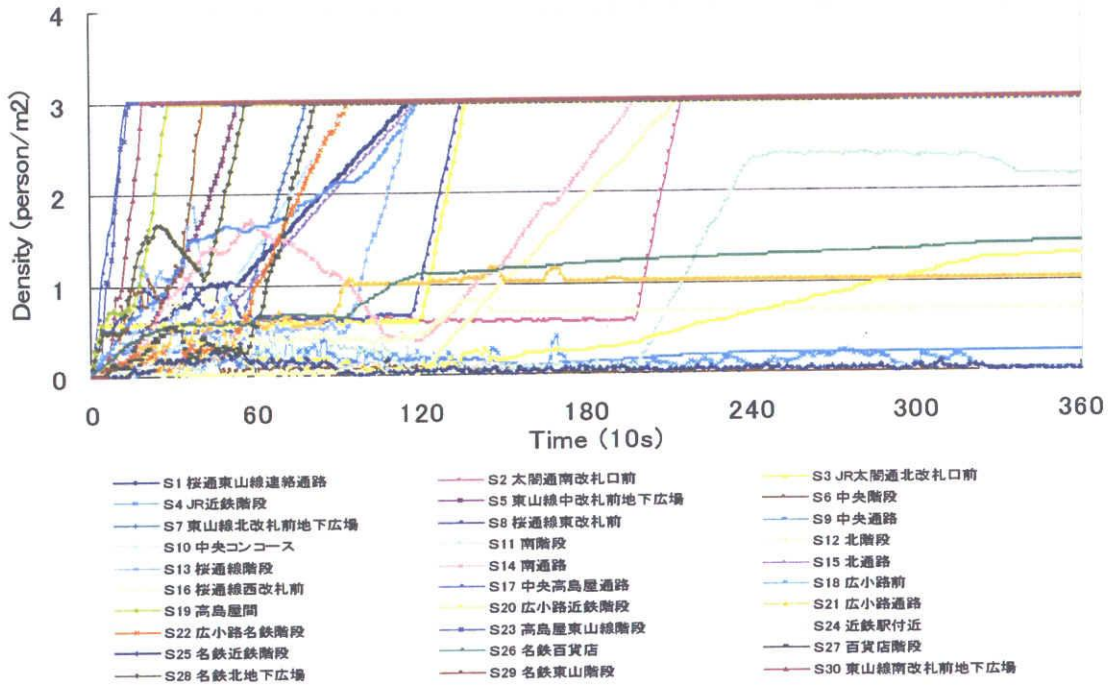


図 49 ケース 3-1 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 91311    流入合計 : 165192

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 27225    歩行流出 : 993    流出合計 : 28218

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 992、O2 : 2952、O3 : 3602、O4 : 5991、O5 : 0、O6 : 3513、O7 : 16845、  
O8 : 0、O9 : 2394

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 9295、P2 : 1226、P3 : 11202、P4 : 17881、P5 : 10891

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 50190

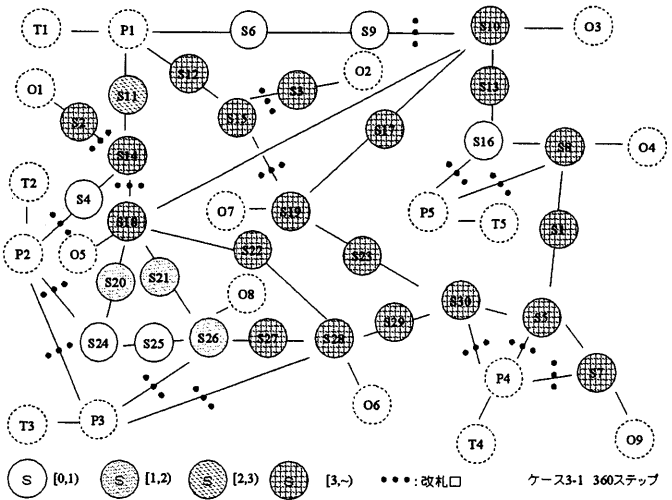
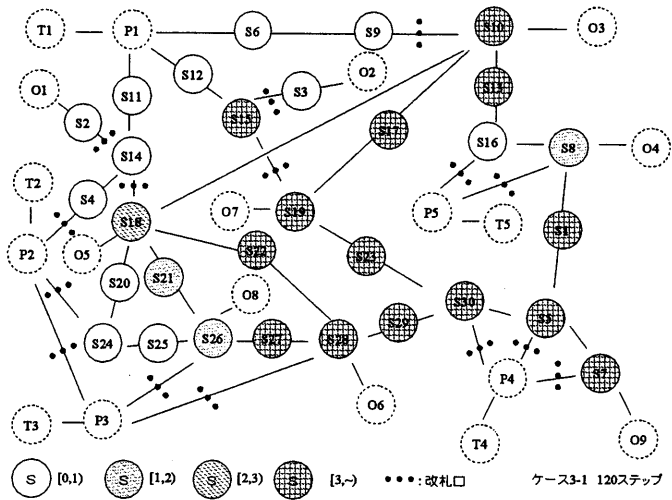
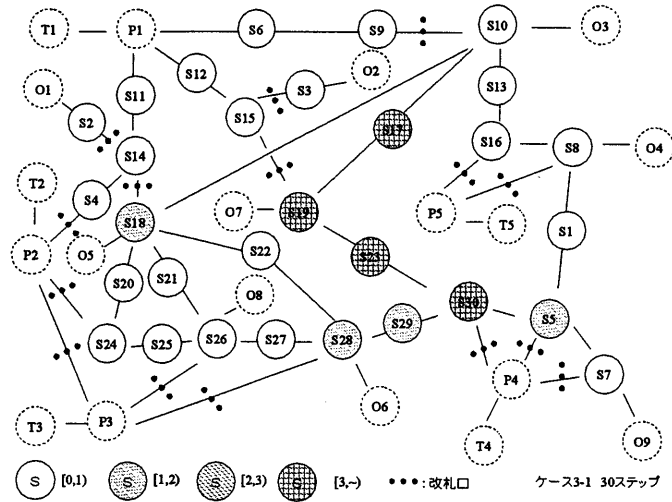


図 50 ケース 3-1 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 3-1 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 91311 人である。各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かう。

ケース 3 では電車流入も歩行流入も名古屋市の試算どおりに設定している。迂回なしのケース 3-1 では、ケース 1 で混雑化した箇所では比較的早い段階で、上限まで上昇する。シミュレーション開始から 5 分程度で、S30、S23、S19、S17 が上限値に達して、時間の経過につれて、滞留箇所が次第に拡散して行くことになっている。外部とつながるスポットも外部流入のため、最終的に上限密度まで上昇する。S2、S3 のように、ケース 1、ケース 2 では上昇が確認できなかったところもあった。

外部からの流入が多い分、各経路の利用者数も増幅される。ケース 1 や 2 では比較的密度が低いところでも 1 人/m<sup>2</sup>を超えるようになる。ただし、単純にケース 2-1 の 2 倍でもないことが見て取れる。ケース 3-1 の外部流入設定が単純にケース 2-1 の 2 倍でも、流れ込む人数やタイミングが外部人数の増加に伴い、各要素が経路・混雑度など複雑に絡み合い結果と考えられる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗車・乗換え）の 27225 人、歩行流出（下車）の 993 人で合計 28218 人だった。同タイプのケース 2-1 より約 2000 人程度の減少となった。

外部流入の設定合計人数 91311 人のなかで、シミュレーション終了時刻では、外部から駅内部へ流入することができなかった人数の合計は 36289 人で、駅への未流入率は約 39.7%である。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 9295 人、P2 が 1226 人、P3 が 11202 人、P4 が 17881 人、P5 の 10891 人の結果だった。また内部エリアでは合計 50190 人の残留者が残っている。改札外部の混雑により、電車から降りる利用者が外に出れないことでプラットフォームの残留者数が増える一因であると考えられる。

ケース 2-1 より外部流入者数設定が 2 倍となって、増加した外部からの流入人数 45656 人の影響は大きく、混雑の進行が速まった結果としては、処理人数がさらに 2000 人程度減り、また、改札外部の混雑は電車によって運ばれる乗換えや降車する人の移動にも影響を与えた。

ケース 3-2

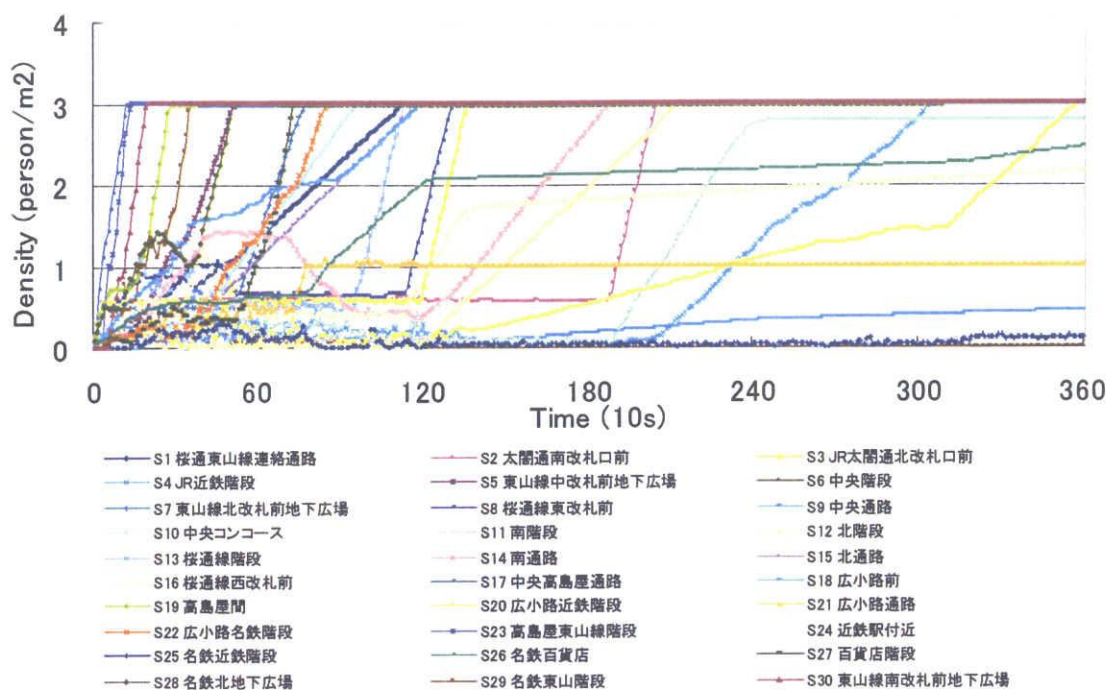


図 51 ケース 3-2 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 91311    流入合計 : 165192

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 23801    歩行流出 : 635    流出合計 : 24436

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 1256、O2 : 2971、O3 : 3398、O4 : 6200、O5 : 0、O6 : 3792、O7 : 16864、  
O8 : 0、O9 : 2490

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 8434、P2 : 312、P3 : 10588、P4 : 17793、P5 : 11068

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 55590

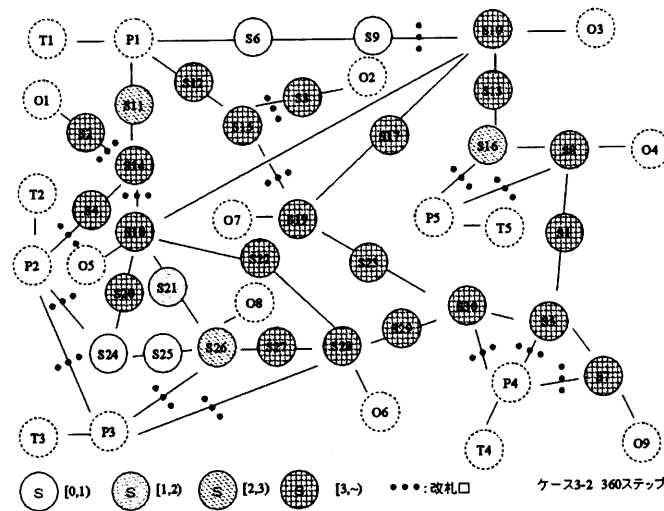
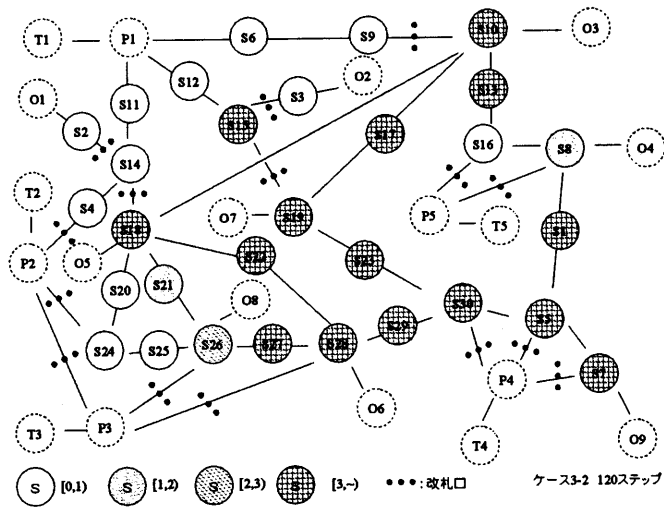
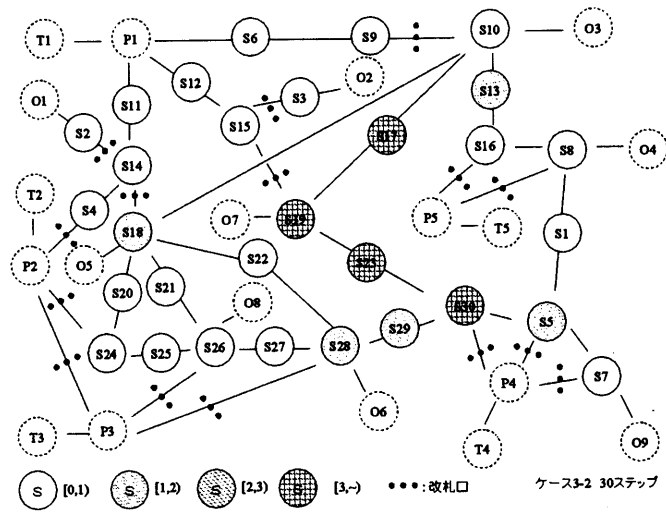


図 52 ケース 3-2 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 3-2 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 91311 人である。各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 人/m<sup>2</sup>以上かつ迂回経路が存在し、密度が 1 人/m<sup>2</sup>未満の場合であれば、迂回経路へ進むことができる。

密度分布の特徴はケース 3-1 とも似ていて、30 ステップ時、120 ステップ時、360 ステップ時を見ても、同じ特徴となっていることがわかる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗車・乗換え）の 23801 人、歩行流出（下車）の 635 人で合計 24436 人だった。

外部からの乗車人数の設定は合計 91311 人で、最終的に外部から駅内部へ流入することができなかった人数は合計で 36971 人。駅への未流入率は約 40.5%である。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 8434 人、P2 が 312 人、P3 が 10588 人、P4 が 17793 人、P5 の 11068 人の結果だった。また内部エリアでは合計 55590 人の残留者が残っていて、ケース 3-1 より、5000 人程度の増加となる。

迂回行動の判定基準 1 人/m<sup>2</sup>では内部密度分布特徴には大きな影響がないことがわかった。密度 1 以下で迂回できる経路自体も少ないことが原因の一つ考えられる。

ケース 3-3

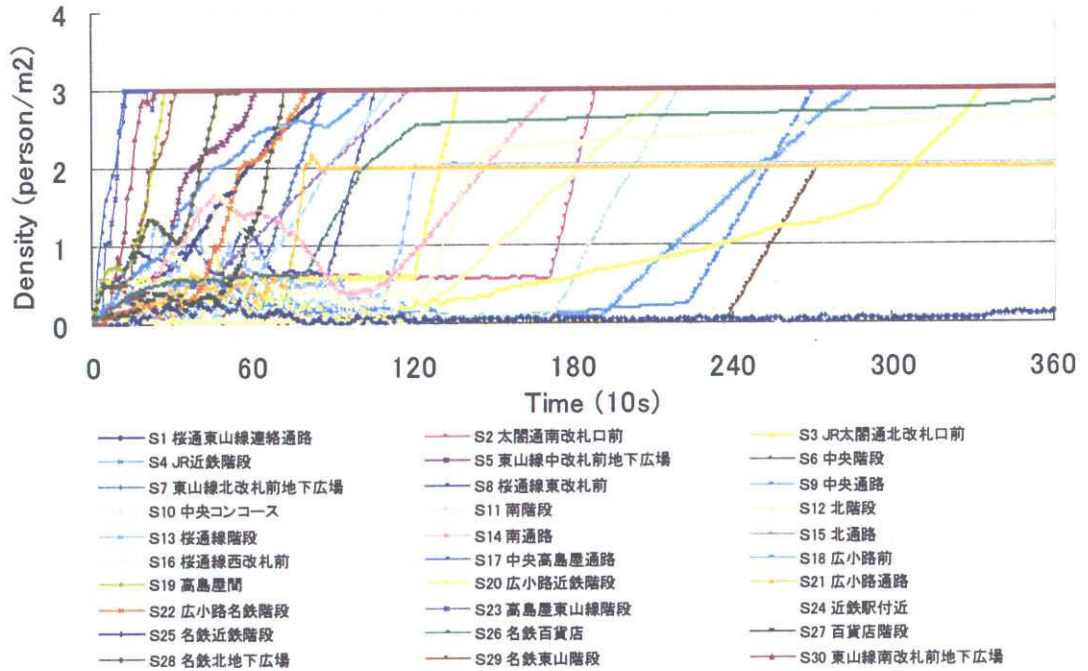


図 53 ケース 3-3 の空間密度変化

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881    外部流入 : 91311    流入合計 : 165192

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 24249    歩行流出 : 675    流出合計 : 24924

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 1655、O2 : 2944、O3 : 1421、O4 : 7429、O5 : 0、O6 : 3854、O7 : 17015、  
O8 : 0、O9 : 1972

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 5667、P2 : 317、P3 : 9167、P4 : 17049、P5 : 10548

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 50190



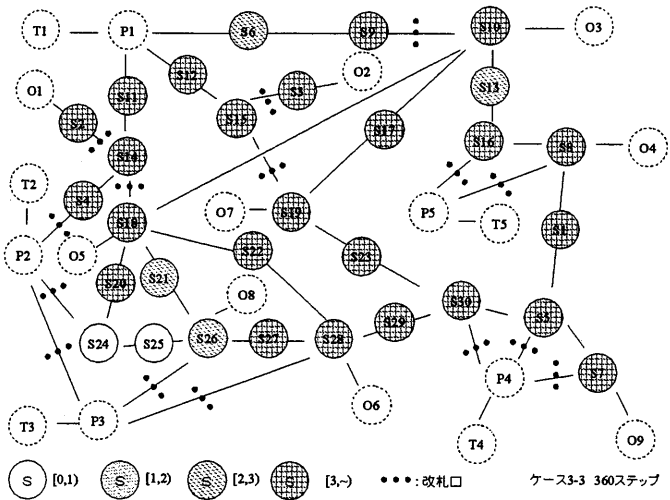
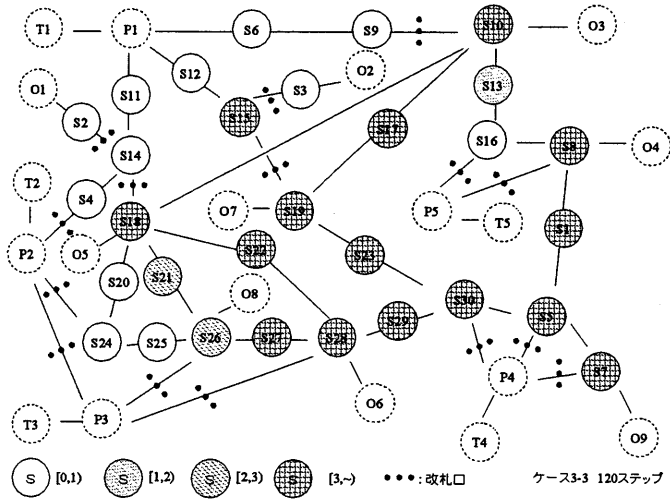
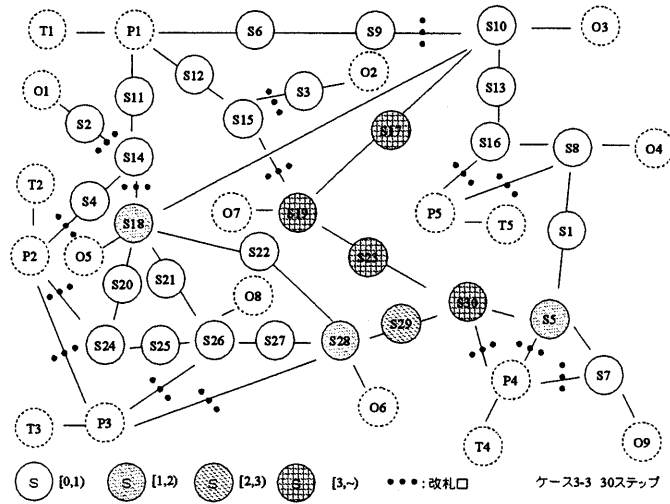


図 54 ケース 3-3 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 3-3 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 91311 人である。各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 人/m<sup>2</sup>以上かつ迂回経路が存在し、密度が 2 人/m<sup>2</sup>未満の場合であれば、迂回経路へ進むことができる。

密度分布の特徴はケース 3-1、3-2 とともに似ていて、30 ステップ時、120 ステップ時、360 ステップ時を見ても、同じ特徴となっていることがわかる。特徴的なのは S6、S9 まで、密度上昇が確認できた。それは、迂回判定の密度を 2 人/m<sup>2</sup>にすることで、より多くの迂回利用者が移動してきたと考えられる。がしかし、改札外部の S10 はすでに上限まで達しており、迂回群集はそのまま、S9、次第に S6 まで密度を上昇させたと考えられる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗換え）の 24249 人、歩行流出（下車）の 675 人で合計 24924 人だった。ケース 3-2 と比べて大差はない。

外部流入の合計設定人数の 91311 人の中で、シミュレーション終了時点では、外部から駅内部へ流入することができなかった人数の合計は 36290 人だった。駅への未流入率は約 39.7%である。

各プラットホームの残留人数は P1 が 5667 人、P2 が 317 人、P3 が 9167 人、P4 が 17049 人、P5 の 10548 人の結果だった。また内部エリアでは合計 50190 人の残留者が残っている。

迂回条件密度 1 から 2 人/m<sup>2</sup>に引き上げたところで、内部密度分布特徴には大きな影響がないことがわかった。

ケース 3-4

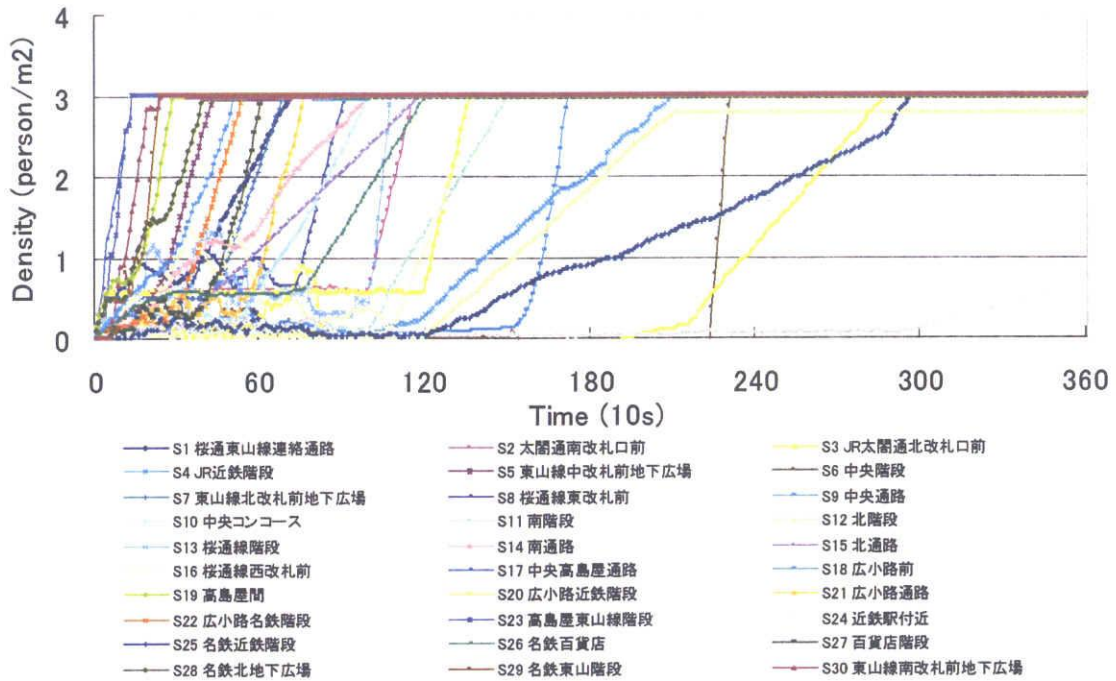


図 55 ケース 3-4 の密度計測値

基本データ

設定人数 (人)

電車流入 : 73881      外部流入 : 91311      流入合計 : 165192

シミュレーション終了までの処理人数累計 (人)

電車流出 : 19821      歩行流出 : 442      流出合計 : 20263

シミュレーション終了時点の各外部での残留人数 (人)

O1 : 3467、O2 : 2970、O3 : 2921、O4 : 8192、O5 : 0、O6 : 4062、O7 : 16773、  
O8 : 50、O9 : 2836

シミュレーション終了時点のプラットフォームでの残留人数 (人)

P1 : 4961、P2 : 330、P3 : 7241、P4 : 17049、P5 : 15393

シミュレーション終了時点の内部残留人数合計 (人)

内部合計 : 58684

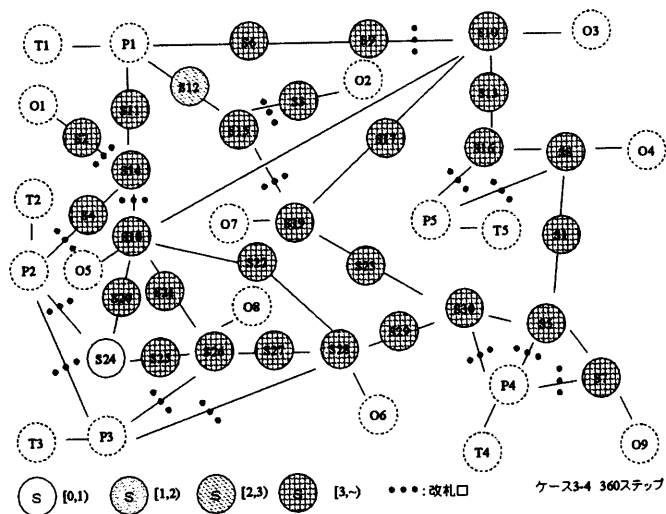
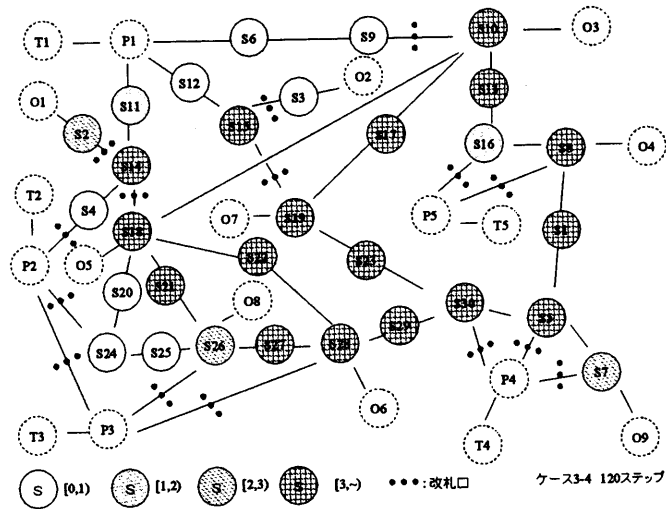
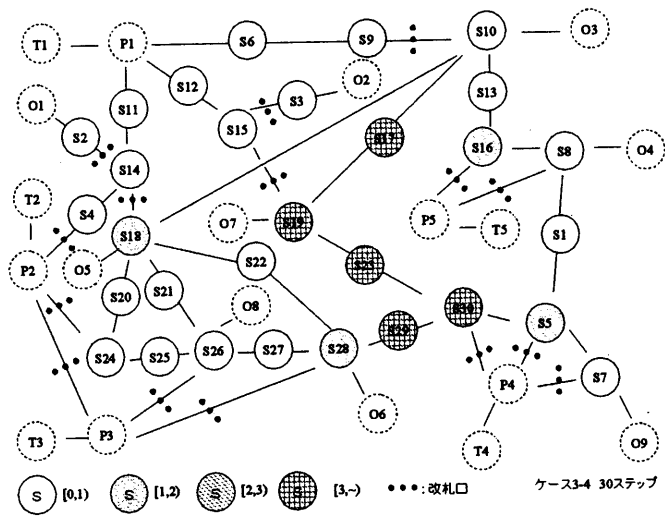


図 56 ケース 3-4 の密度分布の変化(30,120,360 ステップ)

ケース 3-4 では名古屋駅へ流れ込む人数設定は電車流入の 73881 人と外部流入の 91311 人である。各エージェントは基本的に最短経路で乗換え電車駅へと向かうが、前方スポットの密度が 3 人/m<sup>2</sup>以上かつ迂回経路が存在し、密度が 3 人/m<sup>2</sup>未満の場合であれば、迂回経路へ進むことができる。

密度分布の特徴はケース 3-3 とも似ていて、30 ステップ時、120 ステップ時、360 ステップ時を見ても、同じ特徴となっていることがわかる。特徴的なのは S6、S9 まで、密度上昇が確認できた。それは、迂回判定の密度を 3 人/m<sup>2</sup>にすることで、より多くの迂回利用者が移動してきたと考えられる。がしかし、改札外部の S10 はすでに上限まで達しており、迂回群集はそのまま、S9、次第に S6 まで密度を上昇させたと考えられる。

名古屋駅から流出した人数は電車流出（乗車・乗換え）の 19821 人、歩行流出（下車）の 442 人で合計 20263 人だった。ケース 3-3 より、さらに 4500 人の減少となった。

外部からの乗車人数の設定は合計 91311 人で、最終的に外部から駅内部へ流入することができなかった人数は合計で 41271 人。駅への未流入率は約 45.2%である。

各プラットフォームの残留人数は P1 が 4961 人、P2 が 330 人、P3 が 7241 人、P4 が 17049 人、P5 の 15393 人の結果だった。また内部エリアでは合計 58684 人の残留者が残っている。

迂回条件密度 3 人/m<sup>2</sup>では、内部乗換えエリアの滞留人数が一番高く、処理人数は最も少ない結果となった。迂回条件は上限密度となったことがこういう結果につながったと考えられる。

#### 4.4.3 群集マネジメントのための検討

##### 1) 外部流入人数変化および迂回行動による滞留人数・流出人数への影響

ケース別で流出人数・滞留者人数結果を表 25 にまとめた。各ケースについて見てみると、シミュレーション分析で分かったポイントを、以下にまとめる。

1) 同じケースでは、迂回なしのほうが滞留人数が最も少なく、処理人数は最も多くなる。 $\beta 1$ と $\beta 2$ はともに $3 \text{人}/\text{m}^2$ の場合は、内部滞留人数が増え、処理人数は最も低下する。

2) 外部流入人数が増えると、高密度箇所が増える傾向がある。

3) 異なるケースの同パタンの比較では、外部流入人数が増えると、処理能力が減る傾向であることがわかった。

表 25 ケース別流出・滞留人数合計

ケース	流入人数合計(人)			流出人数合計(人)			滞留人数合計(人)			
	電車	歩行	計	電車	歩行	計	P	S	O	計
ケース1-1	73881	0	73881	33143	4846	37989	24040	11852	0	35892
ケース1-2	73881	0	73881	33068	4902	37970	23677	12234	0	35911
ケース1-3	73881	0	73881	32919	4853	37772	23443	12666	0	36109
ケース1-4	73881	0	73881	32758	4641	37399	22784	13698	0	36482
ケース2-1	73881	45656	119537	28811	1345	30156	48587	31075	9719	89381
ケース2-2	73881	45656	119537	26586	1037	27623	39709	42424	9781	91914
ケース2-3	73881	45656	119537	26089	1038	27127	36481	46755	9174	92410
ケース2-4	73881	45656	119537	20590	562	21152	35453	51987	10945	98385
ケース3-1	73881	91311	165192	27225	993	28218	50495	50190	36289	136974
ケース3-2	73881	91311	165192	23801	635	24436	48195	55590	36971	140756
ケース3-3	73881	91311	165192	24249	675	24924	42748	50190	36290	140268
ケース3-4	73881	91311	165192	19821	442	20263	44974	58684	41271	144929

## 2) シミュレーションによる処理人数と名古屋市試算結果との比較

名古屋市の試算結果に基づいた初動一時間での処理人数（表 28）を求めて、空間的制限・時間的制限・迂回行動を考慮したシミュレーション結果と比較する（図 57）。

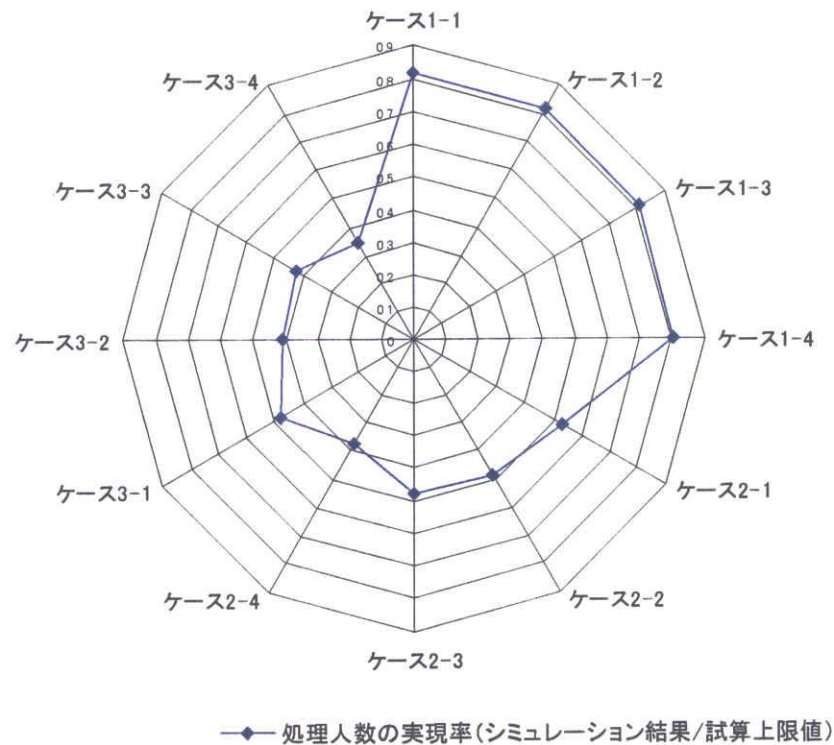


図 57 シミュレーションの処理人数/名古屋市試算上限値

外部流入がない場合は、シミュレーションモデルの処理人数はおおむね名古屋市試算の 8 割であり、移動の所要時間や、混雑などの影響を考えると妥当な結果である。しかし、外部流入の増加に伴い、空間混雑により、歩行速度の低下や滞留現象を引き起こすことで、4 割程度まで落ち込むことが分かった。とくにケース 2-4 とケース 3-4 の上限まで迂回可能な状態では、3 割まで減ることが確認できた。

### 3) 流出人数グラフから見る処理人数の変化特徴

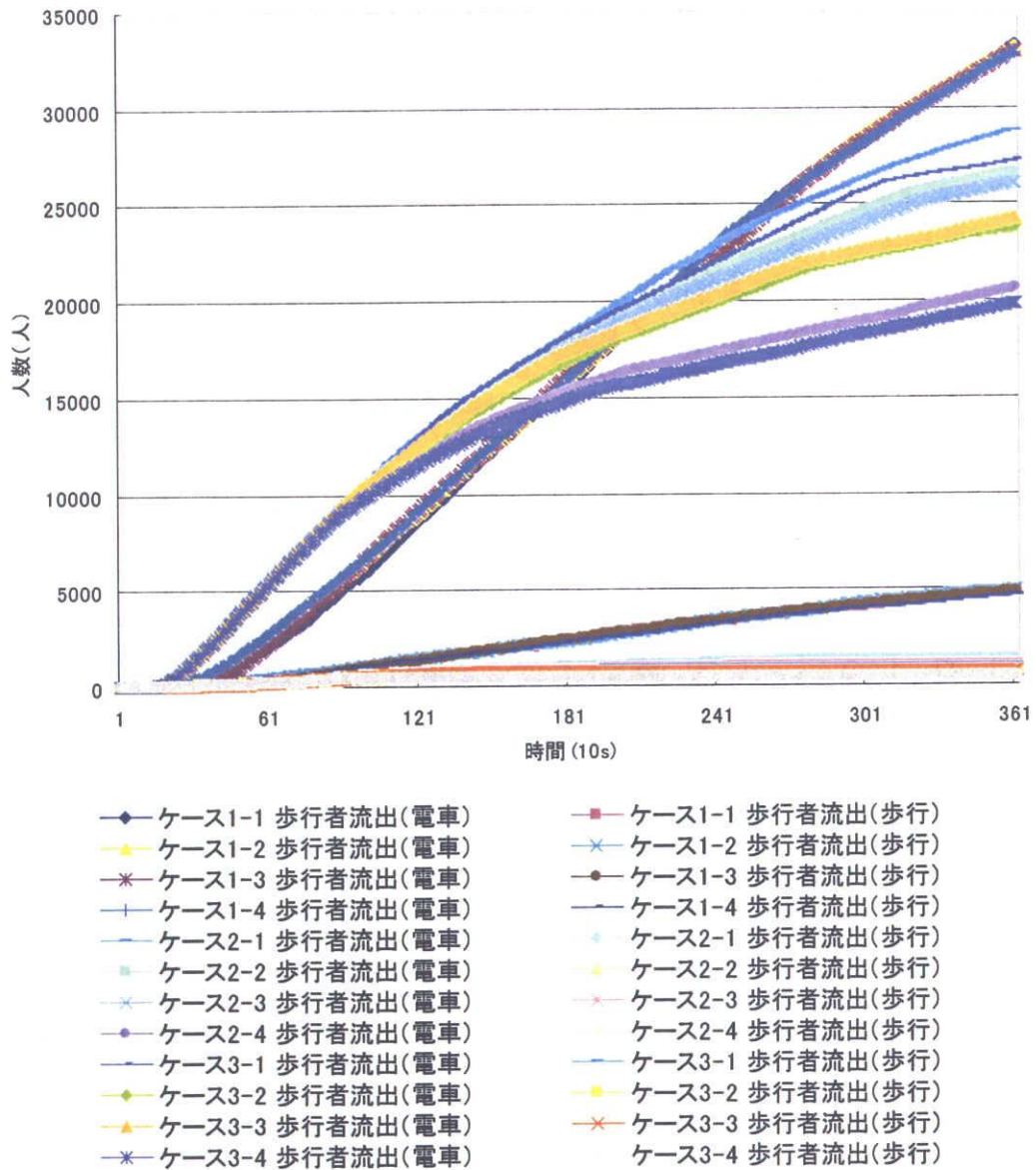


図 58 流出人数グラフ (電車・歩行)

最後に電車流出および歩行流出人数を見てみる。外部流入のない状況では(ケース 1)、累積処理人数が最も多くなる。ケース 2 とケース 3 では、120 ステップ付近まではケース 1 より多く流れ出していたが、次第に混雑により処理能力の落ち込みが大きくなる。特に 2-4、3-4 では上限まで迂回行動が許される状況では、内部エリアの混雑度がさらに上昇し、結果として処理能力は最大の落ち込みになる。歩行の場合も似たような傾向であるが流入人数と比べてかなり少ないので、後半となるとほぼ横ばいになる。



## 4.5 第4章の結論

本章では、駅周辺地区を対象とした歩行者シミュレーション分析を行った。そのために、最大、帰宅通勤者約10万人、乗換え利用者約7万人を扱うスポット・リンク型モデルを用いて、新たにシミュレーションモデルを作成した。

ベンチマーキングテストを通じて、モデル評価を行ったのち、群集マネジメントのためにケース別でシミュレーション分析をおこなった。得られた知見以下にまとめる。

1) 降車による混雑により、いくつかの駅構内が高密度化が波及し、外部流入者が増すにつれ、改札口前や内部通路が高密度化にさらされ、駅としての処理能力がさらに低下することがわかった。

2) 名古屋市が公表した試算結果と比較すると、初動1時間の処理人数は試算上限値の3割から8割と見積られることがわかった

3) 外部流入者エージェントに混雑迂回能力を設けても、滞留者数は増加するが高密度化抑制に結びつかないため、外部流入者を制限する対策が示唆される。

表 26 シミュレーション評価の乗換えおよび降車の人数設定およびOD行列

O	D	東海道本線	東海道本線	関西本線	中央本線	東山線	東山線	桜通線	桜通線	名古屋本線	名古屋本線	名古屋線	外部	合計
		上	下	上	上	上	下	上	下	上	下	上		
東海道本線	上	-	0(0%)	285(6%)	999(22%)	1070(24%)	272(6%)	285(6%)	0(0%)	188(4%)	83(2%)	574(13%)	772(17%)	4529
東海道本線	下	0(0%)	-	630(9%)	31(1%)	355(12%)	212(7%)	71(2%)	0(0%)	0(0%)	430(15%)	681(24%)	448(16%)	2858
関西本線	下	144(12%)	225(19%)	-	152(13%)	153(13%)	0(0%)	33(3%)	0(0%)	87(7%)	227(19%)	0(0%)	173(14%)	1194
中央本線	上	48(%)	3059(39%)	1077(14%)	-	0(0%)	187(2%)	0(0%)	0(0%)	57(1%)	702(9%)	2299(29%)	365(5%)	7793
東山線	上	607(9%)	920(14%)	65(1%)	500(7%)	-	0(0%)	661(11%)	0(0%)	1566(25%)	1501(23%)	335(5%)	300(7%)	6455
東山線	下	1177(10%)	2410(20%)	296(2%)	54(0%)	0(0%)	-	18(0%)	13(0%)	1392(12%)	3306(27%)	2800(23%)	718(7%)	12183
桜通線	上	1211(18%)	1343(19%)	138(1%)	929(13%)	852(12%)	114(1%)	-	0(0%)	348(4%)	1673(24%)	444(6%)	0(0%)	7052
桜通線	下	1038(10%)	2048(20%)	378(4%)	123(1%)	99(1%)	241(2%)	0(0%)	-	1130(12%)	1919(20%)	2686(25%)	490(5%)	10153
名古屋本線	上	460(4%)	504(5%)	564(5%)	687(7%)	1865(18%)	560(5%)	183(2%)	60(0%)	-	0(0%)	3766(35%)	1949(18%)	8070
名古屋本線	下	0(0%)	197(3%)	176(3%)	133(3%)	687(12%)	444(6%)	136(3%)	0(0%)	0(0%)	-	3119(47%)	1562(23%)	6454
名古屋線	上	358(5%)	831(12%)	0(0%)	911(13%)	1195(17%)	73(1%)	391(5%)	0(0%)	1193(17%)	1685(24%)	-	503(7%)	7140
合計(A)		5043	11537	3609	4519	6276	2103	1778	73	5961	11526	16704	7280	73881

表 27 シミュレーション評価の乗車の人数設定およびOD行列

O	D	設定値	東海道本線	東海道本線	関西本線	中央本線	東山線	東山線	桜通線	桜通線	名古屋本線	名古屋本線	名古屋線	外部
			上	下	上	上	上	下	上	下	上	下	上	
O1		6392	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O2		6392	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O3		15523	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O4		12784	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O5		6392	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O6		6392	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O7		21915	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O8		9131	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
O9		6392	7%	11%	2%	9%	12%	2%	3%	0%	20%	23%	11%	0
合計(B)		91311	6517	9930	1622	8479	10979	2260	2595	38	18337	20937	9617	0

表 28 名古屋市の試算結果に基づいた残留者数推定結果

電車路線名	東海道本線	東海道本線	関西本線	中央本線	東山線	東山線	桜通線	桜通線	名古屋本線	名古屋本線	名古屋線	外部	合計
	上	下	上	上	上	下	上	下	上	下	上		
合計(A)+合計(B)	11,560	21,467	5,231	12,998	17,255	4,363	4,373	111	24,298	32,463	26,321	7,280	165,192
設定輸送力(C)	4507	2561	1173	7851	6455	12183	7052	10153	10574	6454	7344	7280	83,587
残留者数	外部0%	536	8976	2449	0	0	0	0	0	5072	9360	0	26,393
	外部50%	3795	13941	3247	908	5310	0	0	1405	15541	14169	0	58,316
	外部100%	7053	18906	4058	5147	10800	0	0	13724	26009	18977	0	104,674



5.1 結論

5.2 今後の課題と展望

5.2.1 今後の課題

5.2.2 展望



## 5.1 結論

本論文による東海地震注意情報の発令による櫛型回廊および駅周辺における群集混雑シミュレーションの結果を分析するとともに、名古屋市で行われた帰宅者人数分析の数理モデルと比較することによって明らかになった知見を各章ごとに示す。

第1章では、研究の背景として、群集マネジメントおよび群集事故リスクの低減の視点から、東海地震注意情報発令に伴い、名古屋駅のような大規模乗換え駅の抱える問題点を述べるとともに、本研究の目的を述べた。

第2章では、「東海地震注意情報時における群集シミュレーション分析の枠組み」と題し、ジャマラ橋群集事故と明石歩行橋事故を通じて群集事故のリスク・対策についてまとめ、東海地震・注意情報発令による群集事故リスクの存在について述べた、近年重要性が増している群集行動分析の手段として、エージェント・ベースド・アプローチによる群集シミュレーションに着目する。また、名古屋駅を事例として、通勤通学などの日常的な利用状況・特徴や問題点を挙げ、ヒアリング等を通じて得られた基本データを整理した。また、既存研究のサーベイを通じて、シミュレーション分析の意義、有効性と本研究における枠組みについて言及した。

第3章では、「セル型モデルを用いた乗換え通路における群集シミュレーション分析」と題し、乗換え通路にを対象とした歩行者シミュレーション分析では、まず、JR名古屋駅の北通路を対象とした現地調査などを経てセル型モデルを提案する。名古屋市の公表した数理モデルの結果を設定事項としてまとめる。ベンチマーキングテストを通じて、モデル評価を行った。さらに、電車の到着時刻および電車の運搬能力を考慮し、流動係数の異なるケースについてシミュレーションをおこない、駅構内の特定した計測区域の密度変化を計測した。歩行者マネジメント提案を行った。得られた知見のうち、主なものは、(1)流動係数を通常状態に保つことが安全性の確保に効果的である。降車利用者の集中は密度状態の変化に影響する。非常事態でも、先を急がず、安全に行動をとることを優先的に考えるなどの意識の啓発も大事になってくる。(2)階段と通路と接する区域はその他の区域より群集リスクが大きい。利用者のOD確率、電車の到着時刻や編成などが群集流れの衝突の箇所に影響し、モデル空間でのリスク分布特徴につながる。(3)三つの連絡通路を考えた場合、改札側での流入制限は効果的なので、初動段階から行うべきである。

第4章では、「スポット・リンク型モデルを用いた大規模乗換え駅の周辺区域における群集シミュレーション」と題し、駅周辺地区を対象とした歩行者シミュレーション

分析では、最大滞留人数 16 万以上の数理モデルの予測結果に対応するために、スポット・リンク型モデルを新たに提案し、名古屋駅周辺地区を電車 5 スポット、外部 9 スポット、内部空間の 35 スポットに抽象化し、歩行者シミュレーションを行った。ベンチマーキングテストを通じて、モデル評価を行った。さらに群集マネジメントのためにケース別でシミュレーション分析を行った。得られた知見のうち、主なものは、(1) 降車による混雑により、いくつかの駅構内が高密化が波及し、外部流入者が増すにつれ、改札口前や内部通路が高密化にさらされ、処理能力がさらに低下する。(2) その結果、名古屋市が公表した試算結果と比較すると、初動 1 時間の処理人数は試算上限値の 3 割から 8 割と見積られる。(3) 外部流入者エージェントに混雑迂回能力を設けても、滞留者数は増加するが高密化抑制に結びつかないため、外部流入者総数を制限する対策が示唆される。

第 5 章では、「結論と今後の課題」と題し、得られた知見を概括するとともに、今後の課題と展望を述べた。



## 5.2 今後の課題と展望

### 5.2.1 今後の課題

今後の課題として、より精確な分析を行うために、詳細のケース設定・モデルの改良・最新の調査データは必要不可欠である。また、名古屋市は最新の滞留者推計結果を公表した。新たな公表データを利用して、シミュレーションによる分析を行うことが重要な意味を持つので、早急に取り込む必要がある。また、名古屋市や電車会社などの非常事態における管理側へのヒヤリング調査を行い、政策検証のためのシミュレーションなども今後の課題としたい。または災害弱者や、パニック現象の表現についてのモデリングも、今後の課題としたい。

### 5.2.2 展望

本論文において、セル型空間モデル・スポットリンク型空間モデルを別々に、特徴を活かした利用法を提案し、シミュレーション分析を行ったが、今後の展開として、各種の空間についてセル型モデルによる群集流分析を行い、得られた通過特性をスポット・リンク型モデルに組み込む形のハイブリッドシミュレーションシステムの構築を目指して、研究を続けていきたいと思う。



## 参考文献リスト

- 1) 明石市、明石市民夏祭りにおける花火大会事故調査報告書 2002年1月 pp.84-114
- 2) 兼田敏之 歩行者流のエージェントシミュレーション 計測と制御、43巻12号 pp.944-949.2004.12
- 3) Fukui.M.Isibashi.Y.Self-Organized Phase Transitions in Cellular Automaton Models for Pedestrians. Journal of the Physical Society of Japan.65.8.pp.2861-2863.1999
- 4) Burstedde. C. Klauck. K. Schadschneider. A. and Zittarz. J. Simulation of pedestrian dynamics using a two dimensional cellular automaton. Physica A.295.pp.507-525.2001
- 5) Blue. V. J. and Adler, J. L., Cellular automata microsimulation for modeling bi- directional pedestrian walkways. Transportation Research B, 35,pp.298-312.2001.
- 6) Toshiyuki KANEDA, Tomohiko SUZUKI, A simulation analysis for pedestrian flow management, T. Terano, H. Kita, K. Arai, H. Degchi (Eds.), Agent-Based Simulation From Modeling Methodologies to Real-World Applications, Springer, pp.220-229,2005
- 7) 日本建築学会 建築設計資料集成3 単位空間 I pp.49-59
- 8) 岡田光正、吉田勝行 建築と都市の人間工学(空間と行動のしくみ) 鹿島出版社 1977年 pp.1-48.
- 9) 建設技術研究所 「名古屋駅前滞留者支援対策調査研究業務」報告書 平成14年度 pp.80-123
- 10) 中部編時刻表 交通新聞社 平成18年10月 pp.76-245
- 11) H. Deguchi, Y. Kanatani, T. Kaneda, Y. Koyama, M. Ichikawa, and H. Tanuma, "Social Simulation Design for Pandemic Protection," Proceeding of the First World Congress on Social Simulation, Vol.1, pp.21-28, 2006.
- 12) Fujioka, M. K. Ishibashi, I. Tsukagoshi, And H. Kaji: "A Research of the Multi-Agent Simulation Model for Evacuees Escaping from Tsunami Disaster", Paper presented at Sixth inter University Seminar on Asian Megacities in Taipei, Taiwan, Proceedings of the sixth inter University seminar on Asian Megacities (in Printing) 2001
- 13) 社団法人土木学会：交通需要予測ハンドブック第2章、1981、技報堂
- 14) 兼田敏之 吉田琢美 歩行者回遊行動のエージェントモデリング オペレーションズ・リサーチ 12月 pp.672-677
- 15) Troitzsch, k.G. Social simulation - origins, prospects, purposes. In R. Conte, R. Hegselmann and P. Terna (eds), Simulating Social Phenomena, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 456, pp. 41-54. Springer-Verlag, Berlin.
- 16) ナイジェル・キルバート、クラウス・G・トロイチュ 著 社会シミュレーションの技法 日本評論社
- 17) Kaneda, Yano, Misaka, Suzuki and Yamada, A Study on Pedestrian Flow by Using an Agent Model-A Simulation Analysis on Asagiri Overpass Accident 2001- 2002 SPRINGER
- 18) 日本建築学会：建築設計資料集成[人間] 2003年 丸善
- 19) 財団法人消防科学総合センター：地域防災データ総覧[地域避難編] 1987年3月
- 20) 社団法人日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説 1979年1月
- 21) ジョン・J・フルーイン 歩行者の空間 1971年 鹿島出版社

- 22) 日本建築学会編：建築・都市計画のためのモデル分析の手法 1992年7月 井上書院
- 23) 室崎益輝 明石花火大会における群集雪崩 2002年 予防時報 208
- 24) 松下清夫、和泉正哲 建物に加わる外力ならびに荷重に関する資料—その7人間力の測定について—  
1957年7月 日本建築学会論文報告集第57号
- 25) 加藤邦夫、上原正哲、中村和夫、吉岡松太郎 群集対向流動の解析 1980年3月 日本建築学会論文報告集 No.289 p.119
- 26) 中祐一郎 交差流動の行動—鉄道駅における交差流動に関する研究(1)— 1977年8月 日本建築学会論文報告集 No.258 pp.93
- 27) 毛利 正光、塚口 博司、住区内における歩道整備に関する基礎的研究、土木学会論文報告集第304号 pp.129-135 1980年12月
- 28) 毛利 正光、塚口 博司、歩行路における歩道者挙動に関する研究、土木学会論文報告集第268号 pp.99-108 1977年12月
- 29) 竹内 伝史、歩行者の経路選択性向に関する研究、土木学会論文報告集第259号 1977-3 pp.91-101
- 30) 吉岡 昭雄、歩行者交通と歩行空間(Ⅰ)—歩行者交通量の変動と設計のための交通流量—、交通工学 Vol.13 No.4 pp.25-36 1978年 5月
- 31) 吉岡 昭雄、歩行者交通と歩行空間(Ⅱ)—歩行速度・密度・交通量について—、交通工学 Vol.13 No.5 pp.41-53 1978年 6月
- 32) 西坂 秀博、歩道幅員に関する研究 交通工学 Vol.10 No.5 pp.23-34 1975年
- 33) 竹内 伝史、岩本 広久、細街路における歩行者挙動の分析 交通工学 Vol.10 No.4 pp.3-14 1975年
- 34) 日本道路協会編「立体横断施設技術基準・同解説」日本道路協会、東京、1979、
- 35) 日本道路協会編「道路構造令の解説と運用」日本道路協会、東京、1970、pp.134-136
- 36) 吉岡 昭雄・柴田 正雄：各種の交通施設、交通工学研究会編「交通工学ハンドブック」技報堂、東京、1973、pp.212-214.
- 37) ゼンリン住宅地図(愛知県名古屋市中村区) 株式会社ゼンリン 2008、11月

## 博士課程在籍中の研究発表論文一覧

### 一、学位論文に関わるもの

#### I. 査読付

##### 【論文誌】

1. 崔 青林、谷口 仁士、兼田 敏之、東海地震注意情報発令時におけるターミナル駅乗換え通路の群集シミュレーション、地域安全学会論文集、No.10 2008.11 pp.153-159

[全文査読 3章]

##### 【国際会議プロシーディングス】

1. Qing-Lin CUI, Manabu ICHIKAWA, Toshiyuki KANEDA and Hiroshi DEGUCHI, Large Scale Crowd Simulation of Terminal Station Area when Tokai Earthquake Advisory Information is Announced Officially. The Sixth International Workshop on Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems. (AESCS2009) November 2009. pp. 44-53

[全文査読 4.1節, 4.2節, 4.3節, 4.4節]

2. Qing-Lin CUI, Manabu ICHIKAWA, Toshiyuki KANEDA and Hiroshi DEGUCHI, A Dynamic Simulation on Crowd Congestion in Large-Scale Terminal Station Complex in an Official Announcement Advisory Information. The 5th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics. (PED 2010) March 8-10, 2010.

[要約査読 Accepted for presentation 4.5節]

#### II. その他

##### 【研究会梗概集】

1. 崔 青林、谷口 仁士、兼田 敏之、東海地震注意情報による名古屋駅の群集行動シミュレーション、第26回日本自然災害学会講演会講演概要集 pp.175-176, 2007.9

[3.2節, 3.3節]

##### 【出版物】

1. 兼田 敏之、崔 青林、1.3節ジャマラ橋 Artisoc ではじめる歩行者エージェントシミュレーション-原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで-兼田敏之の編著 名古屋工業大学兼田研究室、(株)構造計画研究所創造工学部 書籍工房早山、人工社会の可能性シリーズ03(2009年12月予定)

[印刷中 2.2.2項]

### 二、学位論文に関わらないもの

##### 【研究会梗概集】

1. 田中 泰雄、谷口 仁士、豊田 利久、紅谷 昇平、崔 青林、廣本 英隆、中国四川大震災における産業被害と日系企業の被害状況について、地域安全学会梗概集、No.23 pp.129-131. 2008.11



## 謝辞

名古屋工業大学大学院工学研究科教授の兼田敏之博士に感謝いたします。エージェントシミュレーションおよびモデリング技術・群集シミュレーションの防災計画への可能性、課題の設定、研究の全般にわたり親身になってご指導をいただき、生活から学問まで格別なご配慮を戴きました。お陰さまで、ようやくここまで到達することができました。

公私ともに、多大なご配慮を頂きました立命館大学グローバル・イノベーション研究機構教授の谷口仁士博士に感謝いたします。都市防災の意義、知識体系について、根気よく教えていただきました。さらに四川大震災の現地調査団に参加させる機会を作っていただいて、貴重な経験を得ることができました。

名古屋工業大学工学研究科教授の若山滋博士、橋本芳宏博士、準教授の北川啓介博士に感謝いたします。お忙しいなかで学位審査の副審になっていただき、論文の構成をはじめ、研究全般、図表の表現・日本語の構文まで、コメントをしていただきました。おかげさまで、自分の能力を超えた学位論文が出来たと思います。

東京工業大学総合理工学研究科教授出口弘博士、助教市川学博士に感謝いたします。社会シミュレーション言語 SOARS について、不才の自分に労力を惜しまず、丁寧に教えていただきました。その技術サポートや助言があるからこそ、寄り道から本道に戻ることが出来たと思います。

名古屋市役所・消防署の関連部署に感謝いたします。東海地震注意情報発令を想定した滞留者対策調査研究の資料提供と適切な助言をいただきました。

(株)構造計画研究所創造技術部に感謝いたします。セル型シミュレーションソフト KK-MAS の無料提供、技術的サポートおよび研究に関する助言をいただきました。

共に勉学した博士後期課程の吉田琢美氏、大学院生の本村一馬氏、崔明姫氏、小嶋陽介氏、竹内昌史氏、長谷川公且氏、王洋氏をはじめ、名古屋工業大学・都市計画研究室(兼田研究室)の方々のご協力に感謝いたします。諸氏のおかげで、楽しい研究生活を送ることができました。

さらに、経済的な支援をいただいた米山奨学会およびロータリー守山クラブの関係者に心から深く感謝します。特に、カウンセラーである太田健一氏の御支援と御激励は、精神的な支えとなり、論文の完成を後押ししていただきました。

最後に困難の生活状況にもかかわらず自分のわがままを聞き入れて留学させてくれた両親、終始理解・支持をしてくれた妻、そして今年4月に生まれるわが子にも感謝します。

崔 青林

2010年1月・名古屋