

エレベータ乗車マナーに関する マルチエージェントシミュレーションによる分析

——マネジメントサイエンスの適用(2)——

岡 田 勇

1. はじめに

エレベータに乗車するときに、少しでも早く目的階に行くために、反対方向に動くエレベータに乗車する行為がしばしば見られる。なぜなら混雑時に、満員のために通過されることが頻発すると、目的階に直接行けるエレベータに乗るよりも、反対方向に乗るエレベータに乗った方が、その個人として早く行ける場合があるからである。このような行為はエレベータに限らず見られる。電車においても、一駅前から乗った方が座れるということから、一度反対方向に向かうような乗車行動が散見される。ところで、個人合理的な行動の集積が社会としては合理的とはならない事例は社会的ジレンマとして広く観察される。このようなエレベータの乗車行為も社会的ジレンマを発生させるだろうか。そうであれば、このような乗車行為がマナーとして望ましくないといった意識変革をすることは、携帯電話が車中でマナー違反として広く認知されることと同じように、重要なことであろう。本稿では、このような問題意識に基づき、混雑時に回り道をするような行為が、本当にエレベータの乗車行為として非効率であるかを検証してみる。

エレベータの設計については、制御工学やORにおいて古くから取り扱われている。制御工学の分野では、エレベータの運行に遺伝的アルゴリズム（飛田，1997）や、ファジー制御を取り入れる方針を検討（石川，2001）するといった研究がなされている。それに対し、ORの分野では、どれだけのエレベータを設置するとどの程度の効率が達成されるのかを検討する問題（稲元，2003）や、高層ビルにおける複数エレベータに対する停止階の設計問題（田口，2001）などが議論されている。交通流の問題としては、電車やバスの場合は、サービス性能が輸送能力の限界を超えるかどうかには帰着されるのに対し（木治，2001）、エレベータの場合は、利用時間だけを評価するのが一般的となる。このような発想はサービス評価において、いわゆる待ち行列問題に帰着される。

それに対し、本稿ではマルチエージェントシミュレーションを用いた検討を行う。なぜなら、従来の待ち行列問題に帰着される分析では、せいぜいポアソン分布に基づく乗客群に対する数理解析問題となるので、個々の乗客の行動を確率過程として記述するにすぎない。これでは、乗客の複雑な行動パターンやその満足度に関する量的な検討が困難となる。しかし、マルチエージェントシミュレーションでは、乗客をエージェントという内部状態の存在する主体として記述する

ことが可能であるから、個々の乗客をそのまま扱うことができ、結果として本稿で扱いたいような検討が可能となる。

マルチエージェントシミュレーションを用いた交通流の研究は、まだその緒に就いたばかりであり、災害時の避難シミュレーション（村上，2003）やテーマパーク問題（刀根，2007）などが存在するにすぎない。エレベータの群管理にマルチエージェントシステムを用いた研究（小越，2001）では、故障時などで中央制御ができない場合に、個々のエレベータを分散管理させることにより環境変動に柔軟に対応できるような設計を行ったものであるが、エージェントの主体がエレベータとなっているため、本研究のような個々の乗客を扱ってはいない。

それらの先行研究に比べ本稿では、実際のエレベータの挙動を個々の乗客の行動モデルとして記述するマルチエージェントモデルを採用することで、方法論的な新規性を確保するとともに、乗車マナーの検討というマルチエージェントシミュレーションでしか扱えないような研究テーマを設定することで、研究対象の新規性も確保している。

ここで取り上げる事例は、創価大学文系A棟に設定された1・2号機を想定する。当該エレベータは2機が群管理されており、通常、地下1階（本稿では0階とする）から7階まで各階停車で運行している。このエレベータは授業開始（終了）時前後に1階から利用する乗客が集中するほか、0階にも出入り口があるため、ある程度の乗客が集中する特徴を有している。シミュレーションでは当該エレベータの実測データに基づいたパラメータを用いて分析し、乗車マナーに関する提言を現実的なデータの裏付けを伴って行うつもりである。

2節では、基礎モデルとして、エレベータの動作アルゴリズムを群管理の標準的な手順に従って構築する。3節では、基礎モデルの再現性を検証する。4節では、基礎モデルを用いてエレベータの設計問題を考察する。特に、乗客数の増加に伴う設計問題と乗車要求が非均一の場合の設計問題について検討する。これらの基礎的な分析を踏まえて、5節では、乗車行動方針とエレベータの効率性について検討する。この検討により乗車マナーに関する具体的な知見について6節でまとめる。

2. エレベータ運行の基礎モデル

本節では、群管理のエレベータの運行アルゴリズムを基礎モデルとして構築する。はじめに、用いる用語を表1に示す。また、エレベータの属性を表2に、エレベータの動作アルゴリズムの擬似コードを表3に、エレベータ制御サブルーチンを表4のように設定した。表2の各状態はそれぞれ、乗車要求も降車要求もなく、現在階で停止している状態（Wait）、現在階で停止し乗車や降車を行っている状態（Open）、ドアが閉まり別の階に移動しようとしている状態（Ready）、エレベータが移動している状態（Move）を意味する。

次に、乗客エージェントを表5のように設定する。全エージェントは要求発生時刻になった段階で、登場階のキューに方向別に並び、最初に来るエレベータに乗車することとする。この設定で、要求発生時刻から降車時刻までが所要時間となり、エレベータの効率性を評価する指標とな

る。

最後に、次節で行うシミュレーションの設定値を表6にまとめる。このうち、エレベータの収容定数と移動時間、ドアの開閉時間は実測値に基づく。また、単位時間の乗降客数は1人とする(表3)。さらに、乗客はすべて2階以上の移動を行い、隣り合う階の移動はないものとする。表6で、乗車要求時間とは、全ての乗客が乗車要求を出す時刻の範囲である。

表1：記法

用語	意味
台数	群管理下にあるエレベータの台数
収容定数	1台のエレベータに収容できる人数
進行方向	エレベータの進行方向(上下)
要求方向	各階で押下されているボタンの方向(上下)
乗車要求リスト	全ての階の上下ボタンの押下状況
目標階	エレベータが向かおうとしている階

表2：エレベータの属性

パラメータ	値, 意味
エレベータの状態	Wait, Open, Ready, Move
現在階	
乗客数	現在の乗客人数
停車階リスト	停車すべき階(方向別)
方向	(Down, Up)
到着時刻	目標階に到着する予定時刻

表3：エレベータの動作アルゴリズムの擬似コード

- ```

1) 状態 = Wait のとき
 移動先探索
 if (行先階 = 現在階)
 状態 <- Open
 進行方向 <- 要求方向
 else
 状態 <- Move
 停車階リスト <- 停車階追加処理
 到着時刻 <- 到着時刻計算処理
 進行方向 <- 目標階の向き
2) 状態 = Open のとき
 if (降客がいる) 降客処理
 elsif (乗客数 <= 収容定数 and 乗客がいる) 乗客処理
 elsif (乗客処理せず and 降客処理せず)
 if (進行方向 = なし)
 状態 <- Wait
 elsif (乗客数 = 0)
 停車階リスト <- 停車階追加処理
 if (停車階 = なし)
 状態 <- Wait

```

```

else
 状態 <- Ready
 要求方向 <- 進行方向
 停車階リスト <- 停車階追加処理
 到着時刻 <- 到着時刻計算処理

else
 状態 <- Ready
 停車階リスト <- 降車要求処理
 要求方向 <- 進行方向
 停車階リスト <- 停車階追加処理
 到着時刻 <- 到着時刻計算処理

3) 状態 = Ready のとき
 if (Ready 状態 = 5 秒間) 状態 <- Move
4) 状態 = Move のとき
 現在階 <- 現在階算出関数
 if (到着時刻 ≠ 現在時刻)
 if (乗客数 ≠ 収容定数)
 停車階リスト <- 停車階追加処理
 到着時刻 <- 到着時刻計算処理

else
 状態 <- Open
 進行方向 <- 行先ボタン

```

表4：エレベータ制御サブルーチン

| 処理名称     | 意味                                                         |
|----------|------------------------------------------------------------|
| 降客処理     | 降車する客を決定し、降車させる                                            |
| 乗客処理     | 乗る客を決定し、乗車させる                                              |
| 移動先探索    | 乗車要求リストから行先階と要求方向を探索（停止時かつ空車時に使用）                          |
| 停車階追加処理  | 行先階が決まっているエレベータに対し、最新の乗車要求リストから追加で停車すべき行先階を抽出し、停車階リストに追加する |
| 到着時刻計算処理 | 停車階リストから目標階を選択し、そこへの所要時間から到着時刻を計算する                        |
| 降車要求処理   | 全乗客の降車階を停車階リストに追加                                          |
| 現在階算出関数  | 移動中のエレベータが現在どこにいるかを計算する                                    |

表5：乗客エージェントの属性

| パラメータ      | 値, 意味                      |
|------------|----------------------------|
| 要求発生時刻     | 乗客がエレベータを利用するために乗車階に到着した時刻 |
| 乗車階        | 乗車要求する階                    |
| 目標階        | 降車する階                      |
| 乗車時刻       | エレベータに乗車した時刻               |
| 乗ったエレベータ番号 | 乗車したエレベータ番号                |
| 降車時刻       | 目標階についてエレベータから降車した時刻       |

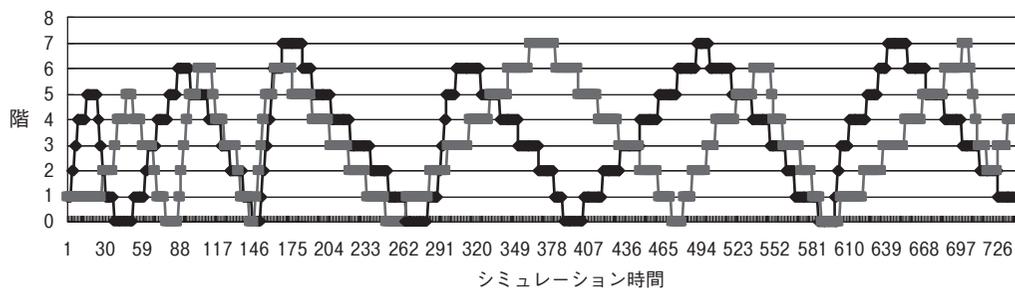
表 6 : シミュレーションでの設定

|                                            |             |
|--------------------------------------------|-------------|
| シミュレーション単位時間                               | 1.25秒       |
| 収容定数                                       | 8           |
| シミュレーション時間                                 | 2400 (50分)  |
| 乗車要求時間                                     | 600 (12.5分) |
| エレベータの移動時間                                 | 2*距離 (階)    |
| ドアの開閉時間                                    | 5           |
| エレベータの台数                                   | 2           |
| エレベータの初期状態                                 | (1F, Wait)  |
| 全乗客数                                       | N (50-400)  |
| 乗客エージェントの設定方法                              | X           |
| x1 = 一様分布 (要求発生時刻 = 0-600, 乗車階と目標階が全て一様分布) |             |
| x2 = 80%単一ハブ分布 (全体の80%は乗車階と目標階のいずれかが1F)    |             |
| x3 = 80%複数ハブ分布 (0Fが全体の10%と1Fが70%)          |             |

### 3. 再現性の検証

2節の設定に基づいて、エレベータの運行をマルチエージェントシミュレーションで行う。はじめに、エレベータの運行が設定どおりであることを確かめるために、 $(N,X) = (100,x1)$  で検証した。

図1は2台のエレベータの時刻別現在階の推移状況、図2はそれぞれのエレベータの乗客数と各階で乗車待機している乗客数の合計の推移状況である。グラフからエレベータの運行がアルゴリズムどおり実装されていることが確認できた。また、両方のエレベータがほとんど同じ階を同じ方向で動く現象も観察されている。これは現実の群管理の運行でもしばしば起きているもので、群管理の問題点として広く観察されている通りである。

図 1 :  $(N,X) = (100,x1)$  におけるエレベータの運行ダイヤグラム

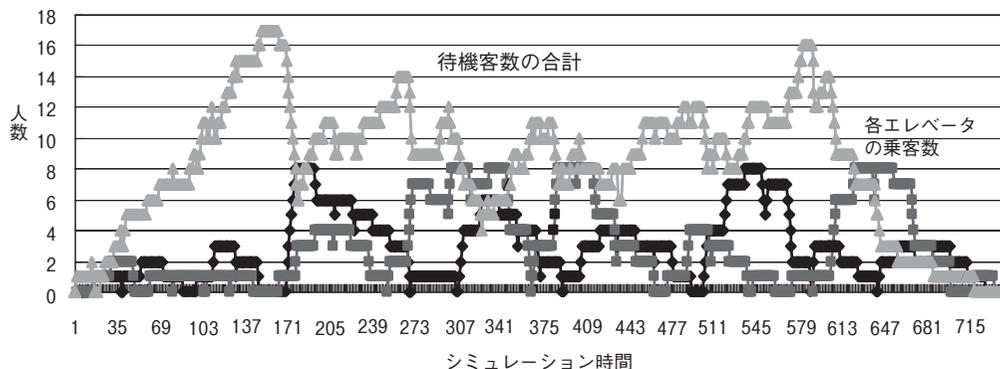


図2： $(N,X) = (100,x1)$  における乗客数と待機客数の推移

次に、乗客が一様に各階に来るケースでの、単位時間当たりの乗客数を増やしていった場合についてシミュレーションを行う。図3, 4は $(N,X) = (200,x1)$ における運行ダイヤグラムと乗客・待機客数の推移である。 $N=200$ は3.75秒に一人の乗客が発生するラッシュが12分半続くことを想定している。図3から、このような密集時においてはエレベータはほぼ各駅停車で全階を210シミュレーション時間（4分半）かけて行き来することが観察された。図4から、この状況は極めて混雑しているため、両者のエレベータの動きは時間がずれるだけで追い越すといった現象は起きにくい。これは本モデルが、乗降が正確に行われるという制約を反映していると考えられる。

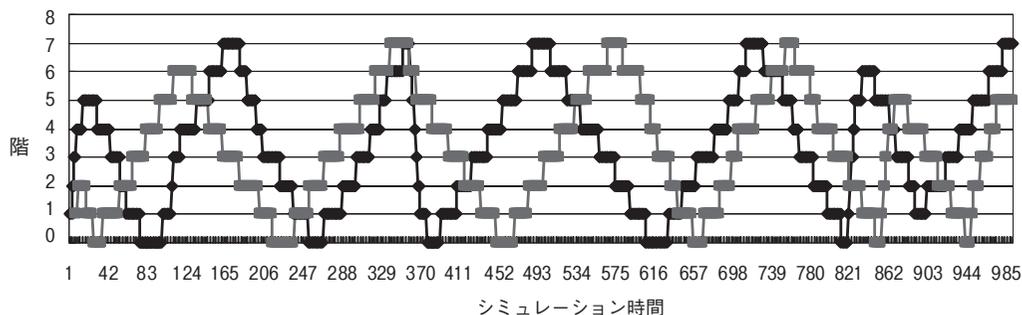


図3： $(N,X) = (200,x1)$  におけるエレベータの運行ダイヤグラム

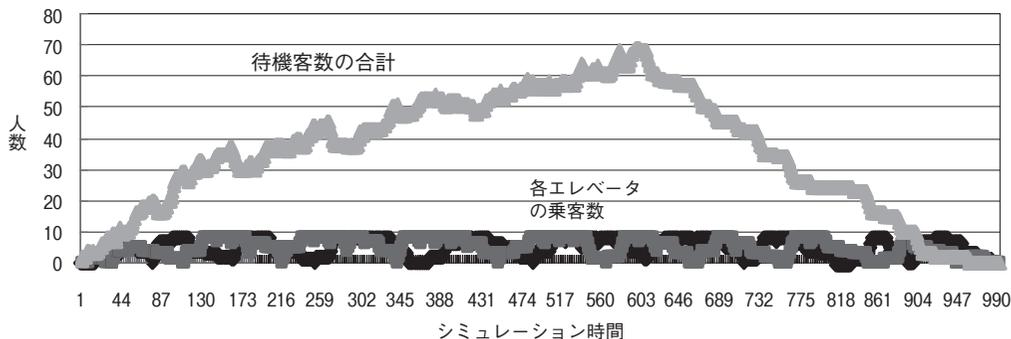


図4： $(N,X) = (200,x1)$  における乗客数と待機客数の推移

以上の検討から、エレベータの運行アルゴリズムを記述した基礎モデルはエレベータの運行を再現していることが確認された。

#### 4. エレベータ設計問題の検討

前節における再現性の確認をもとに、エレベータ設計問題に対するシミュレーションによる検討を行う。これらの問題は待ち行列問題の複雑な応用課題として従来のORでも解析できるが、本節のシミュレーションは、より簡単な手続きで、複雑な状況における設計問題を検討できるので、応用可能性に優れた手法であるということができよう。ここでは、乗客数の増加に伴う検討と乗客要求が非均一で、特定階に集中する場合についての検討を、それぞれ行う。

##### 4.1 乗客数の増加に伴う設計問題

ここでは、単位時間当たりの乗客数を増やしていった時のエレベータの効率性について評価する。指標は、平均全乗客降車時刻 (E)、平均乗車待ち時間 (Q)、平均乗車時間 (S：乗車時刻から降車するまでの時間)、エレベータの平均乗客数 (D) とする。

図5は  $X=x1$  の状況下、すなわち乗車要求が全ての階で一応に分布している状況における、乗客数の増加に伴う各指標の値の推移である。なお、乗客エージェントの設定に用いる乱数の影響を考慮し、異なる乱数種100回の平均値としている。図5によると、平均全乗客降車時刻は乗客密度にほぼ比例し、平均乗車待ち時間も同じ程度であることが分かる。しかし、平均乗車時間は  $N=150$  でピークを迎え、あとは密度の増加に伴ってわずかに減少していく。ピーク時の乗車時間は49 (60秒) である。平均乗客数も  $N=150$  までは急激に増加するが、あとはわずかな増加にとどまり、5付近に収束する。 $N=150$ における平均乗車待ち時間が77.8 (97秒) であることから、現実的な利用者の上限もこの程度となることが予想される。これを超える混雑時では、途中停車するより満車として通過するケースも増加するので、結果として平均乗車時間が減少傾向になると思われる。この減少分は乗車待ち時間の増加として観察されている。

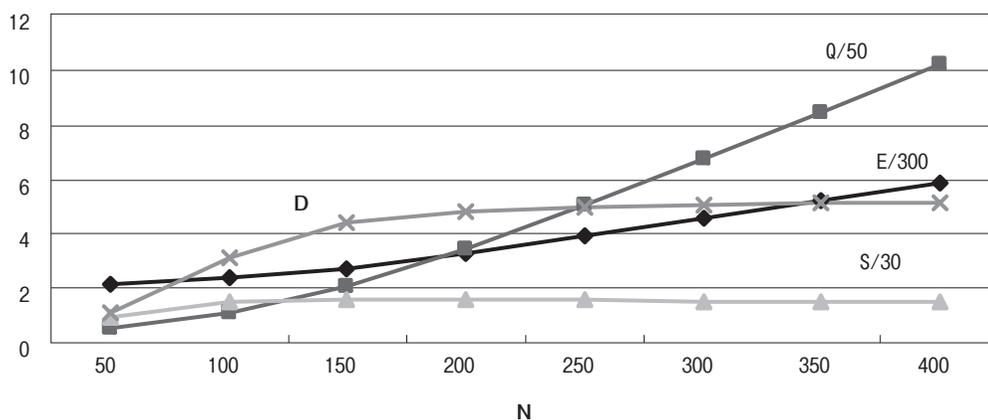


図5： $X=x1$  における乗客数の増加による効率性の変化

この非効率性を吸収するために、二つの方策を検討する。一つは、エレベータの台数を増加させたときにどのくらい改善できるかという問題であり、もう一つは、収容定数を増加させたときの効果である。後者の場合は、単位時間当たりの乗降客数も増加させる必要がある。図6および図7は、それぞれの方策のシミュレーション結果である。図5において平均乗客数が収束することから予想できるように、エレベータ数を増加させた方(図6)が収容定数を増加させる(図7)より効率性は大幅に改善される。このことから、一般的に、一様分布の乗客が想定されるエレベータは、エレベータとして使用可能なスペースを細分化し、エレベータ数を確保した方が効率的な運用ができることがいえるだろう。なお、平均乗車時間(S)の比較でみると、収容定数が増加するほど、Sは増加するので、この点からもこの知見は支持される。

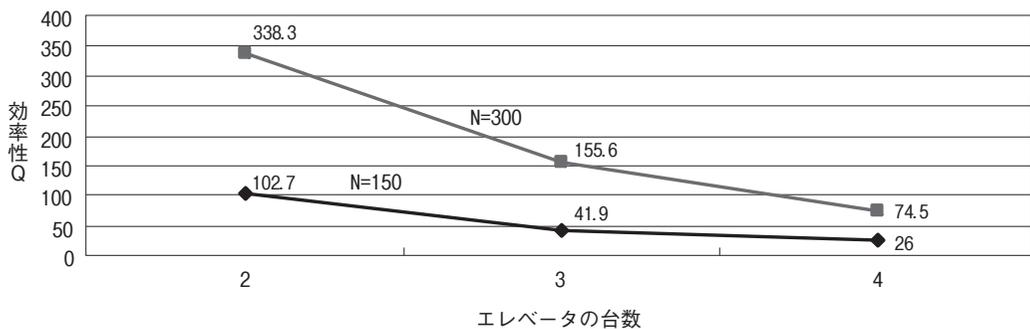


図6：エレベータの増加に伴う効率性(Q)の改善状況

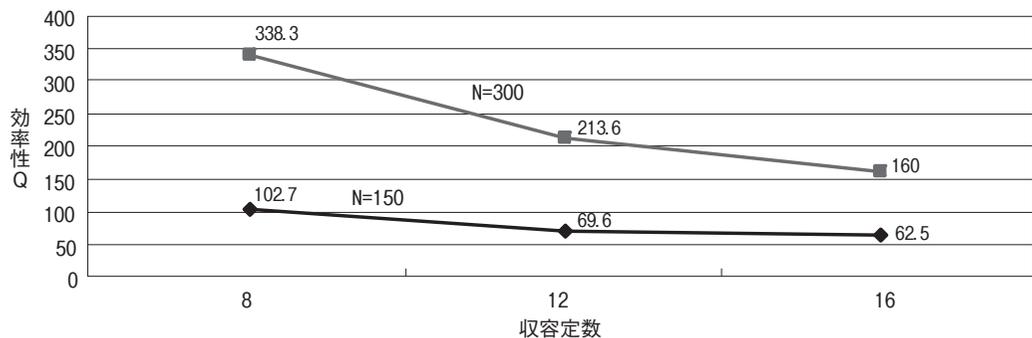


図7：収容定数の増加に伴う効率性(Q)の改善状況

ただし、単位時間当たりの乗降客数は、収容定数が12の時は2人、16の時は4人と設定した。

以上から、エレベータの収容定数や台数から、現実的な乗客数の上限が算出でき、それを上回るような需要が予想される場合には、収容定数を上げるよりは台数を増やす方向で設計することが効率的な運用が期待できることが分かる。

## 4.2 乗車要求が非均一の場合の設計問題

マルチエージェントシミュレーションは乗客の行動をマイクロレベルから記述しているため、より現実に即した乗車要求を再現することができる。ここでは、対象となったエレベータで繁忙期に生じている現象を再現してみる。すなわち、需要が特定の階に集中するケースにおける効率性の影響を検討したい。図8と9はこういったケースのエレベータの運行ダイヤグラムと乗客数・待機客数の推移である。

図8と図3、あるいは図9と図4を比較すると、大きな差は見られないが、1Fに需要が集中することに伴い、エレベータの下降が一気に1Fにたどり着き各駅停車にならなかつたり、エレベータが1Fに停車することで乗車待ち人数が一気に減少したりするといった現象が観察されるのが分かる。これは人数を増やしても、あるいは複数ハブ ( $X=x3$ ) にしても結果が保持されることから全体の傾向は類似していることが分かる。

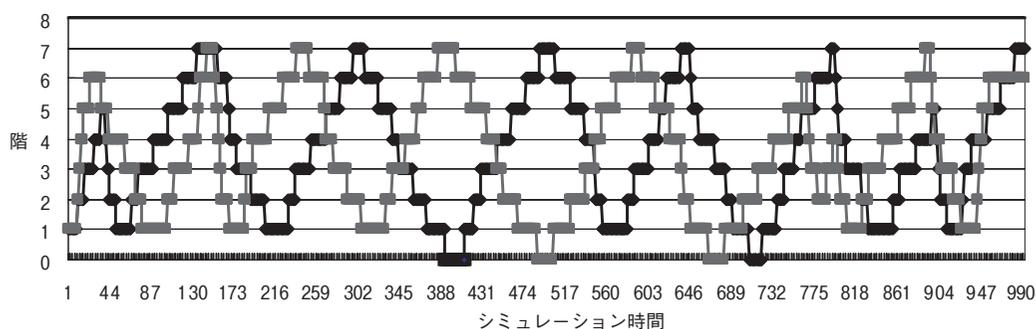


図8：(N,X) = (200,x2) におけるエレベータの運行ダイヤグラム

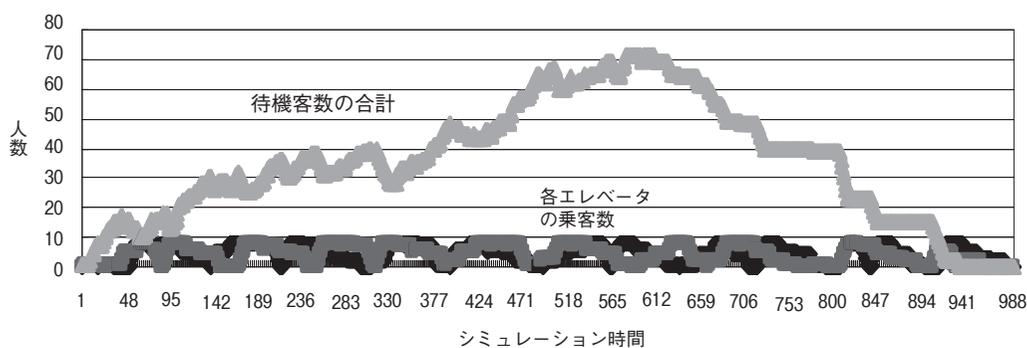


図9：(N,X) = (200,x2) における乗客数と待機客数の推移

そこで、異なる乗客パターンにおける総乗客数の違いによるエレベータの効率性について測定することにする (図10)。

図10によると平均乗車時間 (S) は混雑度に関わらず  $x2$ ,  $x3$ ,  $x1$  の順に短く、効率的であるといえる。このことは、乗客の需要が特定階に集中した方が、乗車した後の移動時間は短くなるということを意味する。これは需要が一様分布ではないため、集中していない階への停車要求が減

ることが原因と考えられる。それに対し、平均乗車待ち時間 (Q) は混雑度に応じて変化する。余り混雑していない時 (N=100) は、x2, x3, x1 の順に小さく、需要が集中した方が効率が良いが、混雑時 (N=200) では、x1, x2, x3 の順に短くなる。これは、需要が特定階に集中する場合、エレベータの収容力を超えやすくなることを意味している。すなわち、需要が集中すると、混雑に対する耐性が低くなることを示唆している。このようにエレベータの設計に対しては、需要分布の影響は無視できない。

こういった需要に関する予測は事前にある程度可能であることから、需要分布予測に基づいた適切な設計は可能であり、そのようなエレベータ設計プロセスが望ましいことを示しているといえよう。

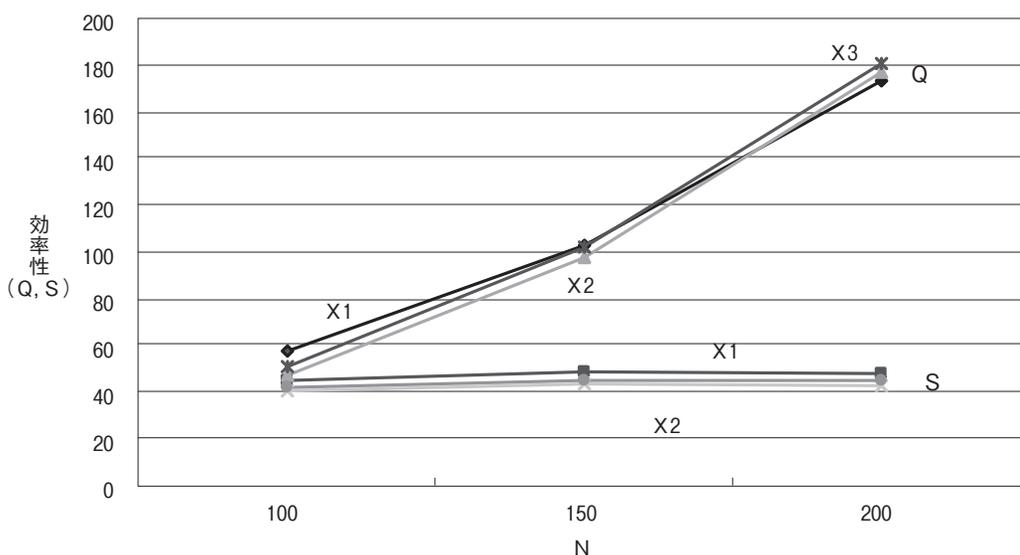


図10：N= (100,150,200) における X= (x1,x2,x3) の違いによるエレベータの効率性 (Q,S)

## 5. 乗車行動方針に関する分析

前節までの議論において、様々な需要分布の違いによるエレベータの運行状況や効率性、または設計方針に関する検討を行った。それに対し、本節では、乗客の乗車行動の違いが運行の効率性にもたらす影響について検討する。ここで検討する乗車行動は2つである。一つは今までのモデルが仮定していた「方向が一致する直近のエレベータに乗車する」という乗車方針（これをマナー行動と呼ぶ）である。もう一つは、1Fから上の階へ行こうとする乗客が「方向が一致しなくても直近のエレベータに乗車する」という乗車方針（これを自己中心的行動と呼ぶ）である。これは本研究がモデルとした現実のエレベータにおいて、しばしば観察される乗車行動である。一見回り道をする乗車行動の背景には、満車時には通過してしまうことから結果的に先にエレベータに乗っていた客の方が早く目的階につけるといえることがあげられる。しかし、このような

乗車行動は全体の効率性を低下させる原因かもしれない。この点についてシミュレーションで検証してみる。本稿では需要分布が非均一の  $X=x_2, x_3$  という 1 F に集中する場合について検討する。

図11, 12は乗車行動の違いによる検討を示したものである。これらによると、 $N=100$ 、すなわち、あまり混雑していない時は、自己中心的行動を取った個人は、マナー行動の乗客よりも、平均乗車待ち時間は短くなるが、平均乗車時間 (S) が増加するため、トータルの所要時間において余計にかかることが分かり、利己的な行動は時間短縮に効果がないことが分かる。しかし、 $N=150, 200$  の混雑時においては、自己中心的乗客は平均乗車待ち時間の効果が大きく、トータルの所要時間を減少させることに成功している。すなわち、回り道をすることが結果的に早く目的階につける効果があることが分かった。これが、混雑時における自己中心的乗車行動につながる理由となる。

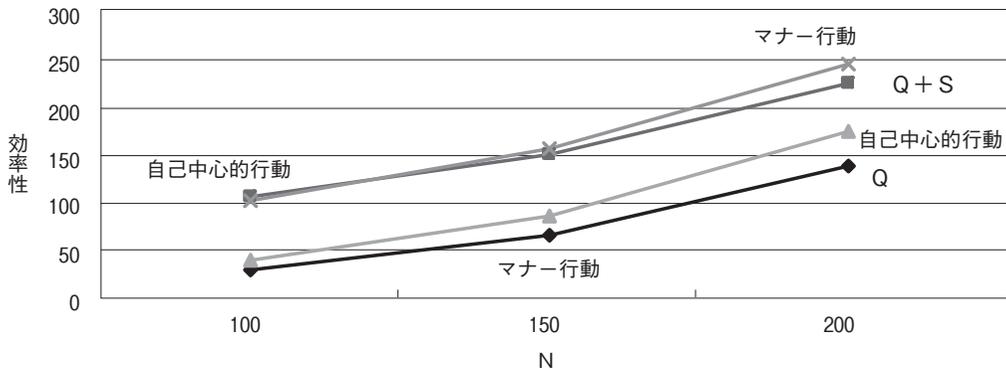


図11:  $X=x_2$  の乗車行動の違いによる効率性の推移 (1階から7階へ行く乗客の平均乗車待ち時間(Q)と平均所要時間(Q+S))

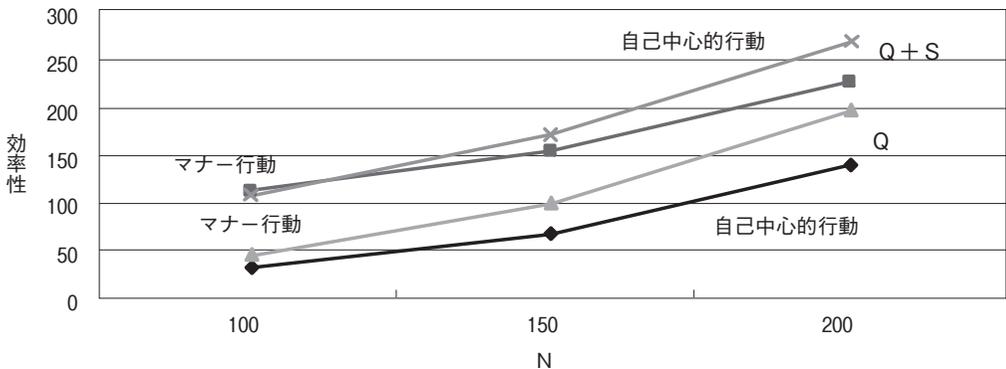


図12:  $X=x_3$  の乗車行動の違いによる効率性の推移 (図11と同じ)

では、乗客全体の効率性はどうか。図13, 14はマナー行動と自己中心的行動とが乗客全体の効率性にもたらす影響を調べたものである。これらによると、 $X=x_3$  のときは、乗客数の

違いに関わらず、自己中心的行動の方が、平均乗車待ち時間（Q）は短くなるものの、平均乗車時間（S）と所要時間（Q+S）は長くなることが分かった。すなわち、自己中心的行動によって、1Fの乗客は下向きのエレベータにも乗るので、結果的に乗車待ち時間を減少させるが、全体の乗車時間を上げる方が大きくなるので、社会的に非効率となることが示されたことになる。この結果は  $X=x2$  においても基本的に保持される。ただし、混雑時（ $N=150,200$ ）には、自己中心的行動の方が、待ち時間も増加させてしまう。これは、需要が1Fに集中しているため、常に定員以上の乗客が1Fには待機しており、満員の状態で0Fに向かうため、1Fの上向きエレベータはほとんど通過するという、利己的行動が社会全体の厚生を減少させる典型的な社会的ジレンマをもたらしていることが分かる。図15は、そのような状況におけるエレベータの運行ダイアグラムで、図8と比較することで推論の正しさを裏付けることができる。

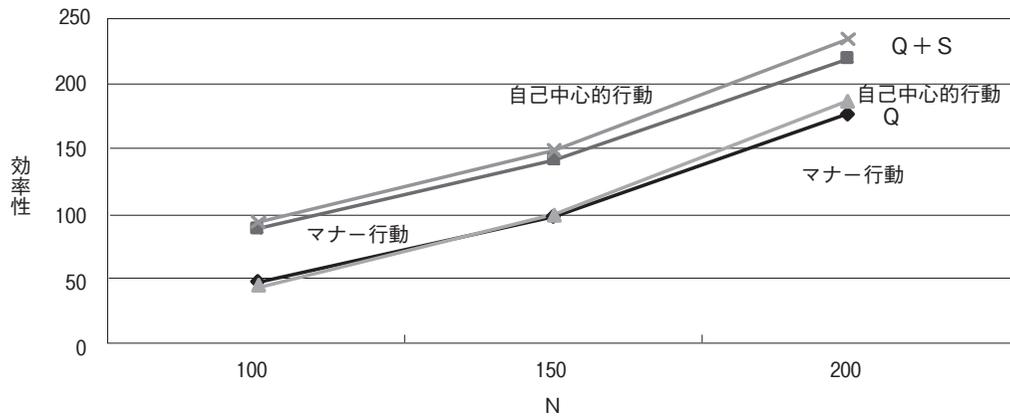


図13：N = (100,150,200)， $X=x2$  における乗車行動の違いによる効率性の推移

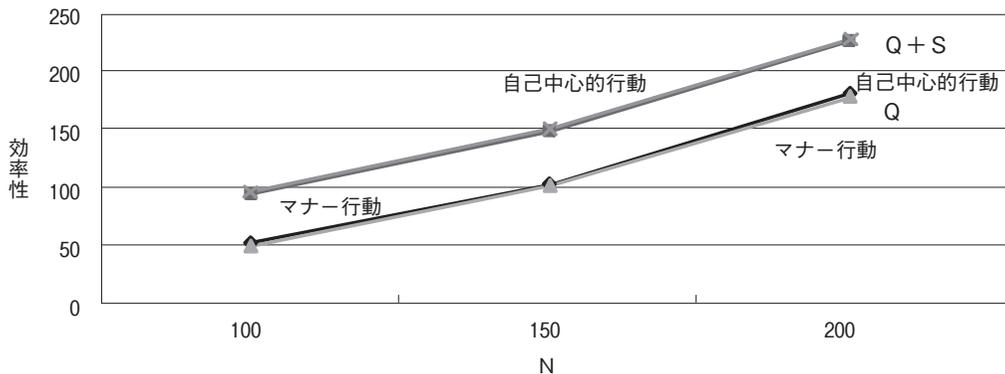


図14：N = (100,150,200)， $X=x3$  における乗車行動の違いによる効率性の推移

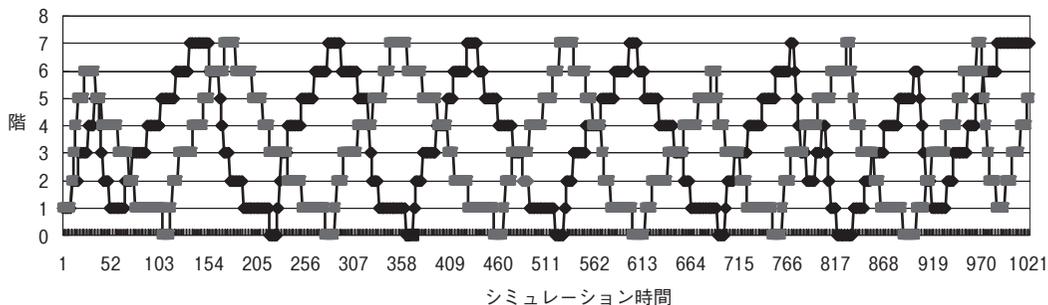


図15：(N,X) = (200,x2) で自己中心的行動におけるエレベータの運行ダイヤグラム

また、x2 より x3 が非効率である理由を調べるために、N=200 におけるエレベータの運行ダイヤグラムを観察した (図16, 17)。図17ではあまり 0 F に停車しないが、図16では数多く停車する。これは、1 F から回り道をする乗客によって 0 F からの乗車が妨げられるためを示している。すなわち、1 F に集中するときに比べ、0 F にも需要がある時はより非効率になることが示唆されることになる。

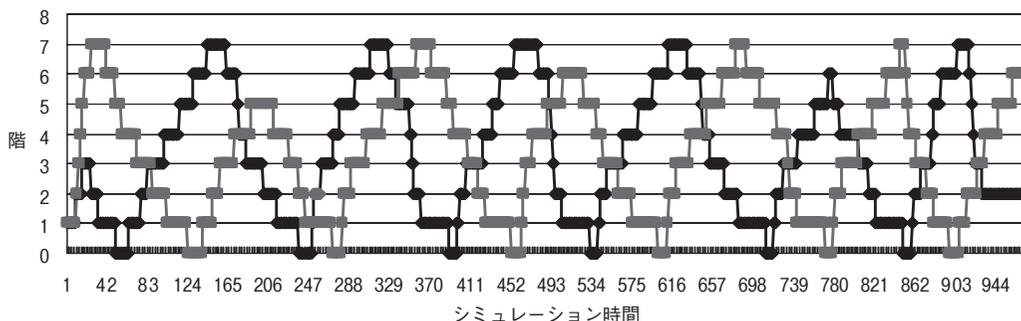


図16：(N,X) = (200,x3) で自己中心的行動におけるエレベータの運行ダイヤグラム

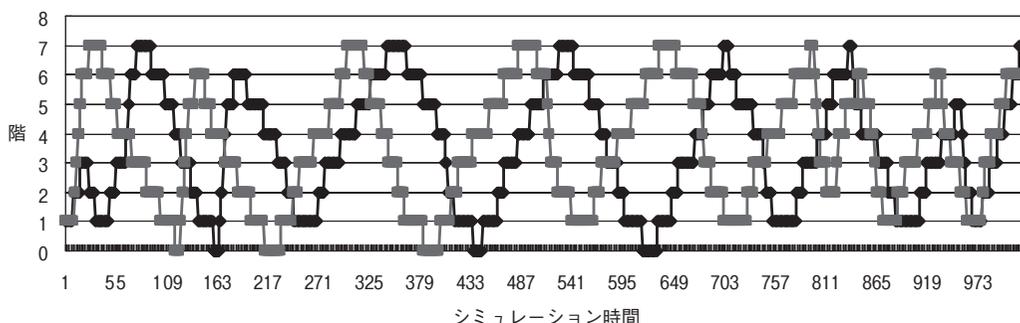


図17：(N,X) = (200,x3) でマナー行動におけるエレベータの運行ダイヤグラム

これらの考察から、ある程度混雑である場合、方向が一致しなくても最初に来たエレベータに乗ろうとする行動の方が平均待ち時間が大幅に減少するので、結果的に目的にたどり着く所要時

間を改善させることができるが、このような乗車行動によって社会全体の効率性は低下することが示されたといえる。すなわち、自己中心的な乗車行動は社会的ジレンマの一つであることが分かった。

## 6. ま と め

本稿では、エレベータに乗車するときに、少しでも早く目的階に行くために、反対方向に動くエレベータに乗車する行為がどのような効果をもたらすかについて、マネジメントサイエンスの視点から検討した。そのため、エレベータの群管理のアルゴリズムをシミュレーションの基礎モデルとして記述し、その挙動を検証するとともに、エレベータの台数や収容定数を増加させたときにどの程度の収容力を持つことができるかについてのエレベータ設計問題を検討した。ここまでは、従来のORの待ち行列問題の応用として記述し解析することでも求めることができる。しかし、本稿では乗客の個々の行動をモデル化するマルチエージェントモデルを用いた。このシミュレーションでは、乗客の複雑な行動方針についても検討することができる。このため、乗客が方向どおりのエレベータに乗るという従来型のモデルに加え、方向に関わらず先に来たエレベータに乗車するという自己中心的な行動モデルもシミュレーションすることができた。この結果、エレベータの利用客が一定以上の混雑差を有しているときに、自己中心的な行動の方が早く目的階につけるにもかかわらず、乗客全員の平均的な所要時間は増加してしまうという、社会的ジレンマ構造を明らかにすることができた。こういったジレンマはフリーライドの一種ともとらえることができ、様々な解決手段が可能であるが、現実的には、こういった行動がマナーとして不適當であるといった啓蒙による解決が適切であろう。

## 参考文献

- 稲元勉他, エレベータ運行計画問題の静的最適化モデルと分岐限定法, 電気学会論文誌C, 123(7), 1334-1340, 2003
- 石川知雄他, ファジィエキスパートシステムを用いたエレベータ群管理システムに関する研究, 日本ファジィ学会誌, 13(1), 99-110, 2001
- 木治潤一, エレベータ運行のスケジューリング, オペレーションズ・リサーチ, 2001(9), 475-480, 2001
- 村上陽平他, インタラクション設計に基づくマルチエージェントシミュレーション, 人工知能学会論文誌, 18(5), 278-285, 2003
- 小越康弘他, マルチエージェントシステムを用いたエレベータ群管理システム, 電子情報通信学会論文誌D, J84-D1(2), 191-202, 2001
- 田口東他, 交通路面積を考慮に入れた高層建物の移動時間の評価, J. of the Operations Research, 44(4), 326-343, 2001
- 飛田敏光他, ダイナミカルコンプレックスシステム 遺伝的アルゴリズムを応用したエレベータ群管理用パラメータ調整方法, 電気学会論文誌D, 117(3), 306-313, 1997
- 刀根哲也他, テーマパークでの混雑情報と優先搭乗パスの効果に関するマルチエージェントによる検討, 電気学会論文誌C, 127(3), 407-415, 2007