

## エレベータ群制御における呼び優先度決定法

## Deciding Priority of Call for Elevator Group Control Systems

大久保有基 荒井幸代  
Yuki Okubo Sachiyo Arai

千葉大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Chiba University

Recent increase of high-rise buildings, it becomes important to control of multiple elevators. The most critical issue is a state space explosion within the mathematical approaches to handle an enormous variables for a group of elevators. In this paper, we assigned an agent to each cargo which should decide whether it obeys the call or not. Each cargo-agent learns its strategy to decide priority of generating calls. In the reinforcement learning approach, we present for, it is important to design reward to update priority. We introduce two types of priority, one is not considered other cargo's behaviors, and the other takes account of their. We discuss the advantage of our experience-based priority, and the influence of priority design in our setting.

## 1. はじめに

建物の高層化に伴い、エレベータ群の制御の重要性は増大している。乗客にとって、呼びボタンを押してからかごに乗るまでの待ち時間は短い方が望ましい。しかし出勤時など乗客数が急激に増加する場合において、混雑の発生により待ち時間は悪化する。サービス向上のためには台数を増やすか定員を多くするといったインフラを強化することもできるが、設備費とエレベータの占有面積が増加する問題が発生する。そこで台数と定員は所与として、待ち時間を減少させる制御方法を考える必要がある。

エレベータ群の制御の課題として、効率的に輸送するために「発生した呼びに対してどのかごが対応するかを決定する」かごの割り当てがある。最適なかごの割り当てを行うことは、全てのかごの位置や呼びの経過時間等、非常に多くの入力情報の組み合わせから状態空間の爆発を招き、計算量の観点から数理的手法には限界がある。そこで本研究では各かごが自律的に行動する主体としてモデル化し、複数の呼びが発生しているときに、どの呼びを優先させるかを各かごの経験に基づく学習によって判断させる。経験に基づく学習法として小越らの呼び優先度決定手法 [小越 01] を基本として、報酬設計と競合解消について変更を加えた場合の平均 2 乗待ち時間を比較する。

## 2. 呼び優先度決定問題

## 2.1 問題設定

階数  $F$  の建物に  $K$  台のかごが存在するエレベータ群システムを考える。一般的なエレベータ群制御では呼びボタンが押され、呼びが発生すると同時に、群制御コントローラが状態に応じて最も適切なかごに割り当てる。しかしエレベータ群システムにおける状態は、各階での呼び、かごの位置と移動方向等の組み合わせであり、膨大である。

小越ら [小越 01] は状態爆発を解消するために、かごを意思決定主体として、観測する状態を各呼びに限定した。ここで各呼びの状態は、呼びが発生してから経過時間によって「0 秒

以上 10 秒未満」「10 秒以上 20 秒未満」「20 秒以上」の 3 種類に分類される\*1。かごは待機状態の時のみ、各呼びの状態に対し保持している重みの最も大きな呼びに対応する。ここで待機状態とは、呼びに対応しておらず、乗客を輸送せずに停止していることである。その後、再び待機状態になったとき、環境から得られる報酬によって、重みを更新する。

また、ある呼びに対しかごが対応を決定した時、他のかごの状態に応じた競合解消を行う。競合解消によってかご  $i$  ( $i = 1, \dots, K$ ) の決定した対応呼びが棄却された場合、かごは次に重みの大きな呼びに対応する。

かご  $i$  が呼び  $b$  への対応を決定した時の競合解消の手順を図 1 に示す。ここで、 $L_b^i$  とは、かご  $i$  が呼び  $b$  が発生している階に到着するまでの時間である。

1. かご  $j$  ( $j \neq i$ ) が待機状態であり、かつ呼び  $b$  に対応を決定した時、
  - $L_b^i > L_b^j$  である時、かご  $i$  の呼び  $b$  への対応を棄却。
  - $L_b^i = L_b^j$  かつ  $j < i$  である時、かご  $i$  の呼び  $b$  への対応を棄却。
2. 既にかご  $j$  が呼び  $b$  に対応し移動している時、かご  $i$  の呼び  $b$  への対応を棄却。
3. 乗客の停止要求により、かご  $j$  が呼び  $b$  の発生している階に停止予定である時、かご  $i$  の呼び  $b$  への対応を棄却。

図 1: 競合解消

## 2.2 予備実験

はじめに問題の性質を明らかにするために、対応する呼びをランダムに決定した場合における予備実験を行った。

実験は 1 秒を 1 ステップとして、12 万ステップ行う。 $F = 11$ ,  $K = 6$  のエレベータ群を対象としてかご 1 台あたりの定員を 24 人、かごの移動速度を 0.5 [階/ステップ]、かごのドアの開閉にかかる時間を各 2 ステップ、かごの初期位置を 1 階とする。乗客 1 人の乗降時間を 1 ステップ、1 時間あたりの発生乗客数は 1200 [人/時]、2400 [人/時]、3600 [人/時] の 3 種類である。また、1 階を  $f_1$ 、それ以外の階を  $f_i, f_j$  ( $i \neq j, i \neq 1, j \neq 1$ ) として乗客の出発階と目的階の分布を以下に示す。

- $f_1$  から  $f_i$  に向かう乗客 ... 72%
- $f_i$  から  $f_1$  に向かう乗客 ... 18%
- $f_i$  から  $f_j$  に向かう乗客 ... 10%

連絡先: 大久保有基, 千葉大学大学院工学研究科, 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33, 043-251-1111(代表), y.okubo@graduate.chiba-u.jp

\*1 原文では、この他に各呼びにおいて過去 5 分間の乗車人数が用いられていたが、本稿では問題簡単のために省略した。また、強制配車も同様に省略した

### 2.3 実験結果

かごの行動決定時において観測した呼び数の頻度を図 2 に示す。

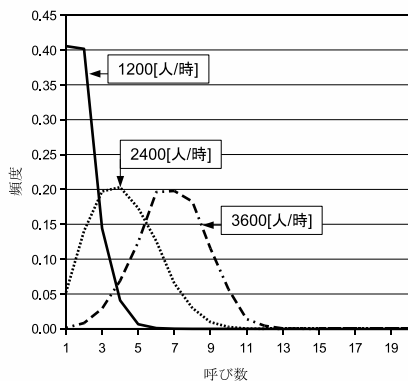


図 2: かごの行動決定時の呼び数の頻度

図 2 より 1200[人/時] では、発生している呼びが 1 つである頻度が高い。つまり、対応する呼び候補が 1 つであるためかごは優先度を用いて行動決定する頻度はそれほど高くない。また複数の呼びが発生していたとしてもただか呼びの数が 2 つである頻度が高いので、ランダムに対応する呼びを選択しても最適な呼びを選択する確率は  $\frac{1}{2}$  程度となる。

一方 2400[人/時], 3600[人/時] の場合には、複数の呼びが発生する頻度が高くなり、かごはこれらの中から対応する呼びを決定する必要が生じる。

したがって本設定では、発生乗客数が 2400[人/時] 程度で、かごの行動選択時における対応呼びの決定問題が重要となる。

次に、かごの行動決定時に観測していた各呼びの平均経過時間を図 3 に示す。縦軸の範囲が異なることに注意されたい。

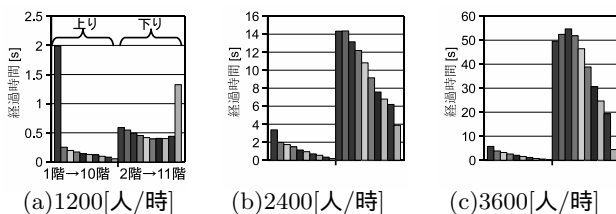


図 3: 各呼びの平均経過時間 (ランダム)

ここで、各呼びボタンでの乗客の発生頻度は降順に「1 階上り, 11 階下り, 10 階下り, ..., 2 階下り, 2 階上り, 3 階上り, ..., 10 階上り」である。単純に考えれば、呼び発生からの経過時間も上記の順序で小さくなると推測できる。

しかし図 3 より、1 階上りと 11 階下りの平均経過時間は 1200[人/時] では他の呼びの経過時間より相対的に大きい。2400[人/時], 3600[人/時] の順に小さくなっていく。これは、1 階と 11 階が建物の最下階と最上階であり、乗客を輸送中にそれぞれに到達したかごは折り返して移動するため、その時に存在している乗客を輸送するからである。つまり、1200[人/時] では 1 階と 11 階に対して停止要求が発生する頻度が小さいが、2400[人/時], 3600[人/時] と乗客発生数が大きくなるにつれて 1 階と 11 階に対する停止要求が発生する頻度が大きくなる。

また、発生乗客数別に全かごに対する行動決定間隔の平均と分散を表 1 に示す。表 1 によれば、発生乗客数が多くなるにつれて行動決定間隔は長くなる。これは発生乗客数が多いほど、乗客の輸送中に停止した階に乗客が存在する確率が高い

ため、輸送状態が継続し行動決定の機会が減少するためである\*2。したがって次の行動決定を行うまでの時間が長くなるので、発生乗客数が多くなるにつれて、かごの 1 回の呼びへの対応による重みの更新が以後の行動に大きく影響する。

表 1: 発生乗客数毎のかごの行動決定間隔

	1200[人/時]	2400[人/時]	3600[人/時]
平均	10.82	12.17	20.34
分散	82.95	92.1	307.16

### 3. 提案手法

小越らは、かご  $i$  が状態  $s_b$  の呼び  $b$  に対応した時、以下の式 (1) を用いて重み  $w_i(s_b)$  を更新している。

$$w_i(s_b) \leftarrow w_i(s_b) + \frac{TT - WT}{100} + \frac{RP - TP}{100} \quad (1)$$

ここで  $WT$  は平均待ち時間、 $RP$  は輸送された全乗客数を全かごの呼び対応数の総和で除した平均輸送乗客数、パラメータ  $TT, TP$  は各々平均待ち時間と平均輸送乗客数の目標値である。しかし、 $WT, RP$  は学習途中で収束してしまい、式 (1) では重み  $w_i(s_b)$  は状態  $s_b$  の呼び  $b$  に対応した回数に比例してしまう。

また、図 1 の競合解消の手順 3. は、かご  $i$  が、呼び  $b$  の発生階に到着する時刻が、かご  $j$  の到着時刻に比べて早い場合には、かご  $i$  の呼び対応を棄却する必要が無いはずである。

そこで、以上の問題点を改善する方法として Crites ら [CRITES 98] の用いた報酬計算を導入し、図 1 の競合解消における手順 3. を用いずに他のかごの情報と、呼びの重みから優先度を算出する手法を提案する。

#### 3.1 報酬計算

Crites ら [CRITES 98] の用いた手法において、かご  $i$  に与えられる負の報酬 (以後、コスト) は「かご  $i$  の乗客輸送中に存在し続けた乗客の 2 乗待ち時間」の変化量の累積値として与えられる。

本稿では Crites らのコスト計算方法を元に、呼び  $b$  の状態  $s_b$  に対しての重み  $w_i(s_b)$  の更新を行う。提案手法におけるアルゴリズムを図 4 に示す。

#### 3.2 競合解消

かご  $i$  が行動選択する時、図 1 の競合解消の手順 3. を用いずに、重み  $w_i(s_b)$  ではなく優先度  $PV_{(i,b)}$  の大小によって対応する呼び  $b$  を決定する手法を提案する。新たな競合解消を図 5 に示す。

図 1 の競合解消の 3. に代えて図 5 を導入することで、他のかごが停止予定である呼びを一意的に棄却せずに、その情報を優先度に反映することでより適切な呼びへの対応を可能とした。

### 4. 実験

ランダムに対応呼びを決定した場合、コスト計算方法を変更した提案手法、そしてコスト計算方法に加え優先度を導入した提案手法 ( $\gamma$ ) について実験を行う。

#### 4.1 実験設定

2.2 節と同様の設定である。ここで、呼び  $b$  の状態  $s_b$  に対する重み  $w_i(s_b)$  の初期値は 100 である。また、 $\alpha = 0.1, \beta = 0.01$  であり、提案手法 ( $\gamma$ ) では  $\gamma = 0.1, 0.01, 0.001$  の 3 種類で実験を行った。

\*2 行動決定は待機状態のみ

- 時刻  $t_1$  で、かご  $i$  が行動決定する時に存在していた呼び  $b$  の状態を  $s_b$  とする。
- 時刻  $t_2 (t_2 > t_1)$  でかご  $n (n \neq i)$  が行動決定する時、かご  $i$  を含む乗客輸送中のかご  $n$  は式 (2) の定義にしたがって各呼びボタン  $B \in \{b_{on}, b_{off}\}$  で生じたコスト  $C_n(B)$  を累積する。ここで、 $b_{on}$  とは時刻  $t_1$  に呼び  $b$  が生じていた呼びボタン、 $b_{off}$  とは時刻  $t_1$  に押されていない呼びボタンである。

$$C_n(B) \leftarrow C_n(B) + \sum_{p_B} \left\{ e^{-\beta(t_1-d[n])} \left( \frac{2}{\beta^3} + \frac{2w_1(p_B)}{\beta^2} + \frac{w_1^2(p_B)}{\beta} \right) - e^{-\beta(t_2-d[n])} \left( \frac{2}{\beta^3} + \frac{2w_2(p_B)}{\beta^2} + \frac{w_2^2(p_B)}{\beta} \right) \right\} \quad (2)$$

ここで  $d[n]$  はかご  $n$  が行動決定した時刻、 $p_B$  は時刻  $d[n], t_2$  間に呼びボタン  $B$  と対応する階と方向に存在し続けた乗客、 $w_1(p_B), w_2(p_B)$  は時刻  $d[n], t_2$  における乗客  $p_B$  のそれぞれの待ち時間を表す。また、 $\beta (> 0)$  は割引率である。

- また、時刻  $t'$  にかご  $i$  が待機状態になった時、かご  $i$  は  $t_2 = t'$  として式 (2) を用いてコストを累積し、その後式 (3) を用いて重み  $w_i(s_b)$  を更新する。

$$w_i(s_b) \leftarrow (1 - \alpha)w_i(s_b) + \alpha \left\{ C_i(b) + \frac{1}{N_{b_{off}}} \sum_{b_{off}} C_i(b_{off}) \right\} \quad (3)$$

ここで  $N_{b_{off}}$  とは呼びボタン  $b_{off}$  の個数、 $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$  は学習率である。

図 4: 提案学習アルゴリズム

- 全ての乗客輸送中のかごの中で、かご  $j$  において呼び  $b$  の存在する階に対し停止要求が発生しており、かご  $j$  が最も早く到着予定であるとき、式 (4)(5) によってかご  $i, j$  の呼び  $b$  への到着時間  $L_b^i, L_b^j$  を算出する。

$$L_b^i = \frac{D_b^i}{SPEED} \quad (4)$$

$$L_b^j = \frac{D_b^j}{SPEED} + 6 \cdot N_{stop}^j \quad (5)$$

ここで、 $D_b^i, D_b^j$  とはかご  $i, j$  の存在している階と呼び  $b$  が発生している階との差、 $SPEED$  とは単位時間あたりのかごの移動階数 (本稿の環境では 0.5[階/ステップ])、 $N_{stop}^j$  とはかご  $j$  が呼び  $b$  に到着するまでに停止予定である回数である。

その後  $L_b^i > L_b^j$  の場合、かご  $i$  の対応呼びを棄却する。  $L_b^i < L_b^j$  の場合、式 (6) で定義される優先度  $PV_{(i,b)}$  を算出する。

$$PV_{(i,b)} = w_i(s_b) \cdot \{1 - e^{-\gamma(L_b^j - L_b^i)}\} \quad (6)$$

ここで、 $\gamma (> 0)$  は割引率である。

- 呼び  $b$  の存在する階に対し停止要求が発生していない場合、 $PV_{(i,b)} = w_i(s_b)$  である。

図 5: 優先度を用いた競合解消

## 4.2 実験結果

エレベータ群制御問題においては様々な評価尺度が提案されているが、本稿では平均 2 乗待ち時間を用いる。

待ちが終了した乗客  $p_\ell (\ell = 1, \dots, P)$  の待ち時間を  $wt(p_\ell)$  [秒] としたとき、平均 2 乗待ち時間  $SQWT$  [秒<sup>2</sup>/人] は、式 (7) で定義される。

$$SQWT = \frac{1}{P} \sum_{\ell=1}^P wt^2(p_\ell) \quad (7)$$

エレベータ群制御において、乗客全体の待ち時間を短くするだけでなく、個々の乗客の極端に長い待ち時間の発生を抑制することも目的の 1 つである。すなわち平均 2 乗待ち時間が短くなれば、長い待ちが抑制できたと捉えることができる。

ランダム・提案手法、提案手法・提案手法 ( $\gamma$ ) において、乱数を変えて 10 回行った結果の  $SQWT$  の平均値を 6000 ステップ毎にプロットしたそれぞれのグラフを、図 6,7 に示す。次に、提案手法と提案手法 ( $\gamma = 0.01$ ) の場合における各呼びの平均経過時間を図 8,9、実験終了時における全てのかごの保持する重みの平均値を図 10,11 に示す。

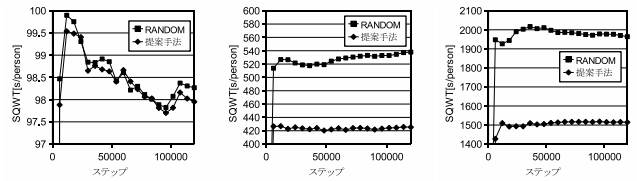


図 6: 平均 2 乗待ち時間 (ランダム・提案手法)

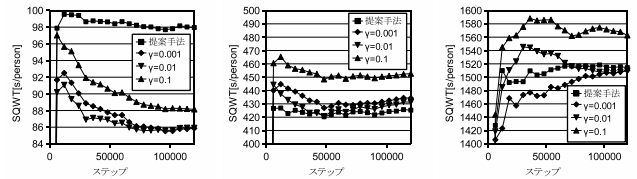


図 7: 平均 2 乗待ち時間 (提案手法・提案手法 ( $\gamma$ ))

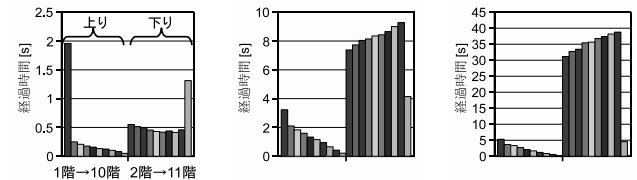


図 8: 各呼びの平均経過時間 (提案手法)

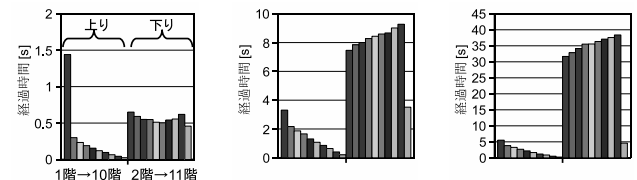


図 9: 各呼びの平均経過時間 ( $\gamma = 0.01$ )

ランダム vs. 提案手法: 図 6 より、1200[人/時] ではランダムと提案手法での大きな違いは見られないが、2400[人/時] と 3600[人/時] における提案手法では  $SQWT$  に改善がみられた。そこで図 8 と図 3 を比較すると、2400[人/時] では上り方向の呼びには変化が無いが下り方向の呼びに関して、およそ 7 階より下の階では平均経過時間は減少し、上の階では増加している。また、2 階から 10 階までの最大と最小の平均経過時間の

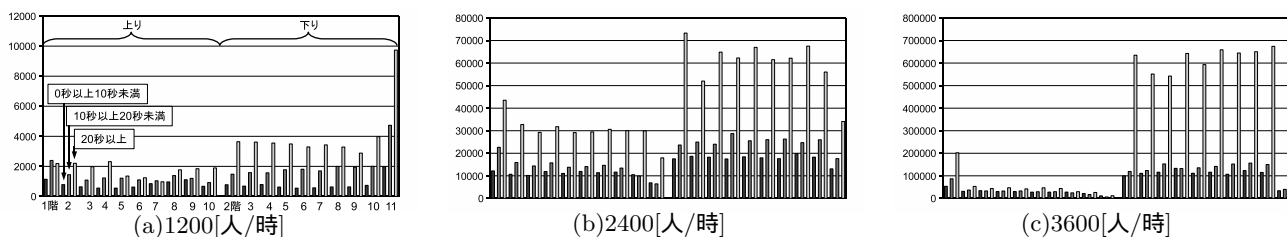


図 10: 呼びの状態毎の重み (提案手法)

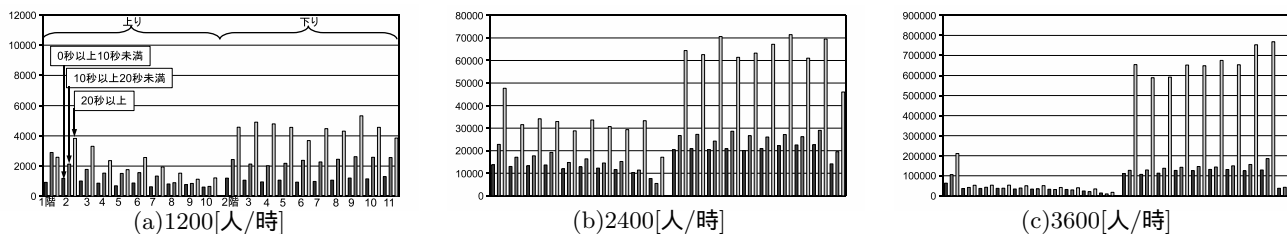


図 11: 呼びの状態毎の重み ( $\gamma = 0.01$ )

差がランダム時と比較すると小さくなっている。3600[人/時]でも 2400[人/時]と同様である。また、図 10 より、呼びの各状態の重みは降順に「20 秒以上」「10 秒以上 20 秒未満」「0 秒以上 10 秒未満」であるが、1200[人/時]の 1 階上りにおいては「10 秒以上 20 秒未満」の重みが最も大きい。これは発生乗客数に比べて、かごが 1 階に停止する間隔が比較的短いため、呼びが発生してから 20 秒以上の場合には他の呼びに対応した方が効率的であるため、図 8 の平均経過時間と比べて重みが小さいことも同様の理由であると考えられる。また、呼びの平均経過時間の傾向と同じく、11 階以外の下り方向の呼びに対する重みが大きくなっている。以上より、重みを用いた行動選択によって局所的な待ち時間の悪化を逐次解消することによって、乗客全体の待ち時間を改善できたと考えられる。

提案手法 vs. 提案手法 ( $\gamma$ ): 図 7 より、提案手法に比べて、提案手法 ( $\gamma$ ) では 1200[人/時]において  $SQWT$  に改善がみられた。1200[人/時]の結果から、かごの台数と比較して発生乗客数が少ない場合に、既存の競合解消の手順 3.(図 1)では対応を棄却された呼びに対しても提案手法 ( $\gamma$ )では対応する機会を与えることの効果を示している。また、 $\gamma = 0.01, 0.001$ の場合と比較して  $\gamma = 0.1$ の場合では  $SQWT$  は大きくなっている。 $\gamma$ の値が大ききことは、到着する時間差  $L_b^j - L_b^i$  が比較的小きくても呼び  $b$  に対する優先度  $PV_{(i,b)}$  が大きくなることを意味し、本来対応する必要がない呼びに対応することが多くなる。これにより、 $SQWT$  が増加したと考えられる。そして図 9 より図 3, 8 と比較して、提案手法 ( $\gamma$ )において 1200[人/時]では 1 階上りと 11 階下りの呼びの平均経過時間が大きく改善された。これは、建物の最下階と最上階への到着時間は比較長くなりやすく、図 5 による優先度算出の効果が強く出たと考えられる。さらに図 11 より、図 10 と比較して 11 階下りに対応する必要性が減少したことで、重みは小さくなった。

また、2400[人/時]では提案手法が最も  $SQWT$  が低く抑えられている。1200[人/時]と比べて、かごが待機状態であることが少ない。また、複数の呼びが同時に発生していることが多いため、他のかごが到着するのであれば、到着時間に関わらず他の呼びに対応した方が全体の待ち時間が低く抑えられ、 $SQWT$  が低くなると考えられる。

そして 3600[人/時]では提案手法 ( $\gamma$ )によって  $SQWT$  に僅かながら改善がみられた。2400[人/時]と同様に、かごが待機状態であることが少なく、複数の呼びが同時に発生しているこ

とが多い。しかし、1 つの呼びにより多くの乗客が発生していることがため、その場合には少しでも早く到着するかが呼びに対応した方がよいと考えられる。また、 $\gamma = 0.001$ の場合では実験初期では  $SQWT$  が最も低いが、実験の進行と共に増加している。 $\gamma = 0.01$ の場合では、実験初期では  $SQWT$  が高くなっているが、実験中期から減少している。これより  $\gamma$ の値、つまり到着する時間差  $L_b^j - L_b^i$  をどれだけ重視するかは行動選択時の環境によって異なると考えられる。

## 5. おわりに

本稿ではエレベータ群制御問題を呼び優先度決定問題として捉え、呼びの状態に対する重みと、他のかごとの到着時間の差による優先度の決定が平均 2 乗待ち時間に与える影響を考察した。呼びの状態に対する重みを用いることで、過去に乗客が長い待ち時間を経験した呼びを区別し優先的に対応することが可能となった。また、他のかごの情報によって優先度を算出することで、対応すべきか否かを判別することが可能となり、以上の 2 点から平均 2 乗待ち時間は低く抑えられた。

今後の課題として、優先度の算出に用いた  $\gamma$  を学習によって獲得する、待機状態以外のかごの行動選択を可能にすることが挙げられる。

## 参考文献

- [小越 01] 小越 康宏, 木村 春彦, 広瀬 貞樹, 大里 延康: “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”, 電気学会論文誌, Vol.J84-D-I, No.2, pp.191-202 (2001)
- [CRITES 98] Robert H. Crites, Andrew G. Barto: “Elevator Group Control Using Multiple Reinforcement Learning Agents”, Machine Learning, 33, pp.235-262 (1998)