収容人数を考慮したエレベータの待ち時間分布

02202330　中央大学　島川 陽一　SHIMAKAWA Youichi

1　はじめに

ビル設計者は設備の有効利用という観点から設置されるエレベータの稼働率, 待っている客がいなくなるまでの連続した運転中のサービス回数の分布, 乗客の平均待ち時間分布, 目的階に到着するまでの所要時間分布を予測したい. 現在, ビルのエレベータの制御に関する解析はコンピュータシミュレーションによって行なわれている [6].

建設されるビルの各フロア間の平均移動人数は, フロアに入居する人数やその機能の性格からある程度予想することが可能である. 島川 [2][3] はこの各フロア間の平均移動人数からエレベータの稼働率や待っている客がいなくなるまでの連続した運転中のサービス回数の分布を求める確率過程に基づいたモデルを導き, そのモデルから平均待ち時間分布を求めた.

ここで導かれたモデルでは客の処理順序に FIFO を仮定している. この場合, エレベータの乗客は常に一人になるため, エレベータがある乗客にサービスを行なっている時, 他の乗客は各階で待たされる. 実際のエレベータは移動途上に現れる乗客を収容するので, 客の到着率が高い場合, 平均待時間分布はモデルと大きく違ってくる. 一方, 待っている客がいなくなるまでの連続した運転中に含まれるサービスの回数と稼働率については, このモデルは良い近似値を与える. これはエレベータの移動時間がドアの開閉時間に比べて小さいため, 処理の順序が変わっても大きな影響をうけないためである.

当研究では, [2][3] の確率過程に基づいたモデルにおいてエレベータが複数の乗客を収容できるようにモデルを拡張し, 乗客の平均待ち時間分布を求める.

2　数理モデル導出

2.1　モデル化のための用語の定義

i 階から j 階への移動を希望する客は, 移動要求を出し, i 階で待つ. この移動要求をコールと呼ぶ. i 階から j 階へのコールによってエレベータは客を運ぶ. これをサービスと言う. エレベータが基準階を出発し, 要求されたすべてのサービスを完了して, 基準階に帰るまでの一連の動作を連続運転と言う.

[1]simakawa@igis.ise.chuo-u.ac.jp

2.2　モデル導出のための仮定

- 対象とするビルは N 階建, 稼働しているエレベータの台数は 1 台とする.
- エレベータの加減速の移動に要する時間と 1 回のドアの閉開に要する時間を合わせて一定とし, それを δ とおく. それ以外の定速運転時間を無視する.
- i 階から j 階へのコールは Poisson 分布にしたがって発生するものとする.

3　エレベータの収容人数を考慮したモデルの拡張

3.1　複数人数収容できるエレベータの動作

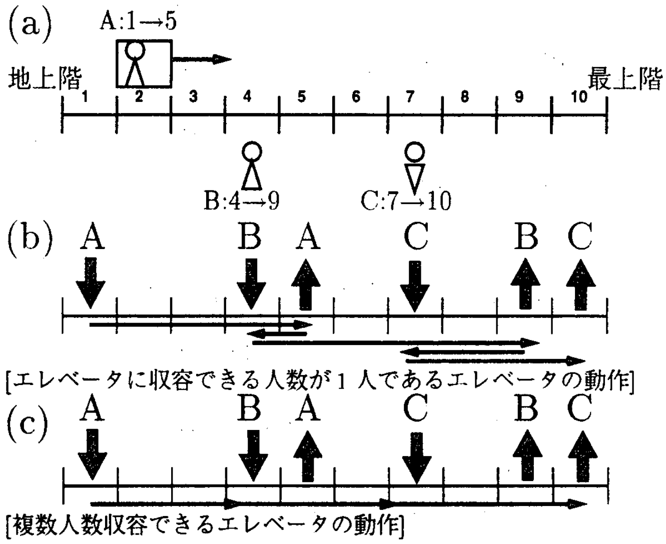

図 1. 連続運転中に 3 回のサービスが含まれる時のエレベータの動作

エレベータに収容できる人数が 1 人であるエレベータと複数人数収容できるエレベータの動作を図 1に示す. コールは A, B, C, の順に 3 回発生し, それぞれ A は 1 階から 5 階へ, B は 4 階から 9 階へ, C は 7 階から 10 階への移動する. エレベータはこの連続運転中に 3 回のサービスを含む. 図中の矢印の方向は上が客がエレベータから降りることを表し, 下が乗ることを示す. 図 1(b) はエレベータに収容できる人数が 1 人であるエ

レベータ, 図 1(c) は複数人数収容できるエレベータの動作である.

図 1の矢印のように, コールの順番とドアの開閉の順番を対応させると, 収容人数が 1 人であるエレベータは A(乗)A(降)B(乗)B(降)C(乗)C(降) であったのに対し, 複数人数収容できるエレベータはこの場合, A(乗)B(乗)A(降)C(乗)B(降)C(降) となる.

3.2 サービスの処理順序の組合せ

連続運転中のサービス回数が 3 回の時の処理順を考えてみよう. 簡単のために同じ階で乗る客と降りる客に対しても, それぞれドアの開閉をすることにすると, 客は乗る時と降りる時に必ずドアを 1 回づつ開閉させる. 1 回のドアの開閉には必ず客が 1 人乗るか降りるかする. エレベータ移動の時間はドアの開閉に含まれているので, 1 番目のドアの開閉は必ず 1 番最初のコールの客によるものになる. このような処理順をすべて列挙すると, 表 1になる.

表 1. 連続運転中のサービス回数が 3 回の時の処理順

1	1	2	2	3	3	1	1	2	3	2	3
1	1	2	3	3	2	1	1	3	2	2	3
1	1	3	2	3	2	1	1	3	3	2	2
1	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3
1	2	1	3	2	3	1	2	3	1	3	2
1	2	1	3	3	2	1	2	3	2	1	3
1	2	2	1	3	3	1	2	3	2	3	1
1	2	2	3	1	3	1	2	3	3	1	2
1	2	2	3	3	1	1	2	3	3	2	1
1	3	1	2	3	3	1	3	2	2	3	1
1	3	1	2	2	3	1	3	2	3	1	2
1	3	1	3	3	2	1	3	2	3	2	1
1	3	2	1	3	3	1	3	3	2	2	1
1	3	2	1	1	2	1	3	3	2	1	2
1	3	2	2	3	3	1	3	3	1	2	2

連続運転中に含まれるサービス数が M である時の処理のすべての順序の集合を $\boldsymbol{\Omega}_M$ とする. 処理の組合せ $\boldsymbol{l} \in \boldsymbol{\Omega}_M$ の発生確率 $w_{\boldsymbol{l}}$ を求める. すべての OD の組合せは $N(N-1)$ あり, コールがあった時, それが i 階から j 階への移動である確率は,

$$d = \frac{1}{N(N-1)} \tag{1}$$

と仮定する. 図 1のサービスの処理順序 121323 では,

図 2. 処理組合せ 121323 のエレベータの動作

エレベータは図 2のように動作する. したがって, この発生確率 w_{121323} はエレベータの進行方向を考慮して,

$$w_{121323} = d \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i}^{N} \cdot d \sum_{k=i}^{j} \sum_{l=m}^{N} \cdot d \sum_{m=j}^{l} \sum_{n=l}^{N} \tag{2}$$

となる. このようにして, すべての処理順序に対して発生する確率を計算することができる.

4 平均待ち時間分布

3.2で導いたサービスの処理順序を使い, エレベータの乗客の平均待ち時間分布 $\mathbf{D}$ を計算する. 以下の変数を定義する.

$\mathbf{V}^M$: 連続運転中に M 回のサービスを含む場合の, 時間軸上のコールの発生パターンの集合

p_i: コールのパターン $i \in \mathbf{V}$ の生起する確率

$\mathbf{F}^M_{j,\boldsymbol{l}}$: コール発生パターン $j \in \mathbf{V}$ に対して, 処理順序 $\boldsymbol{l}$ であった場合の待ち時間分布

各パターン $i \in \mathbf{V}^M$ に対して, 可能な処理順序の集合を $\mathbf{W} \in \boldsymbol{\Omega}$ とする. すると, 平均待ち時間分布 $\mathbf{D}$ は,

$$\mathbf{D} = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i \in V} p_i \sum_{\mathbf{W}} w_{\boldsymbol{l}} \mathbf{F}^k_{i,\boldsymbol{l}} \tag{3}$$

で与えられる.

参考文献

[1] 三浦英俊: 交通機関の利用待ちモデル, 日本 OR 学会 1997 年度秋季研究発表会アブストラクト集, pp.64-65.

[2] 島川陽一: エレベータ待ち時間の確率モデル, 日本 OR 学会 1997 年度秋季研究発表会アブストラクト集, pp.62-63.

[3] 島川陽一, 田口東: エレベータ稼働率の確率モデル, 日本 OR 学会 1998 年度春季研究発表会アブストラクト集, pp.206-207.

[4] Youichi Shimakawa: Estimation of Waiting Time Distribution for an Elevator Using Origin Destination List, *Apors'97 Conference Program*, WB.10.2 (1997)

[5] Jaiswal, N.K.: Bulk-service queueing problem, *Operations Research Soc. Am.*, Vol.8 (1960), pp.773-781.

[6] 新保松夫, 藤田明, 寺山圭祐: 平常時におけるエレベータ交通のシュミレーションとその応用, 三菱電気技報, Vol.46, No.8 (1972), pp.985-1004.