

A 書店における最適なエレベーターの運行

安部 由貴絵（沼田 一道 助教授）

1．はじめに

人や物が頻繁に移動する高層の建物において、エレベーターは必須の設備である。多数の人が移動する商業施設等では待ち時間を短縮するため、複数台のエレベーターが設置されているのが普通である。複数台のエレベーターが設置される場合、移動体（人が乗る箱）全体としての運行計画が問題となる。移動体の運行計画については多くの研究があるが、それぞれの施設の状況に合わせて考える必要があるため、どの施設でも最適な運行が行われているとは限らない。実際、あまり良いとは思えない運行をしている施設に出会うこともある。

運行方策の良し悪しは人（客）の到着頻度によっても異なると考えられる。しかし、極端な混雑時にはエレベーターの運行計画以前に処理能力の不足で待ち行列が発散してしまう。一方、平日のあまり混んでいない時間帯でもエレベーターの待ち時間が長いものがある。

本研究では、エレベーターの運行計画に問題があると感じられる A 書店を取り上げる。客は3種類の移動手段を使って階を移動するが、客が来店してから書店を出るまでに要する平均所要時間が、現在より短縮できるようなエレベーターの運行計画を考える。運行計画をいろいろ変えてシミュレーションを行い、よりよい運行計画を評価する。

2．A 書店の現状

本研究で対象とする A 書店は地下 1 階から 8 階で構成されており、書籍は 1 階から 8 階に陳列されている。エレベーターは 1 ヶ所にまとめて 3 台設置されている。出入口は地下 1 階と 1 階であり、移動手段は階段、エスカレーター、エレベーターの 3 種類がある。階段は地下 1 階から 8 階、またエスカレーターは 1 階から 4 階まで設置されている。これらの 3 つの移動施設は互いに近くに設置されている。

現在のエレベーターの運行は、3 台のうち 2 台は地下 1 階から 8 階までの各階止まり、1 台は 2、3、4 階を通過する設定になっている。しかしエレベーターの待ち時間が長く、またエレベーター乗り場での待ち人数が多く 1 度に乗れないことより、階段を仕方なく使う人が多いという状況がよく見られる。

3．A 書店の客の移動モデル

3.1．客の動き

客は A 書店に到着し、1 階または地下 1 階の出入口階から入る。そして移動手段のうち最短時間で行ける方法で 1 ヶ所目の目的階へ移動する。目的階へ到着するとそこで然るべき時間を費やした後すぐに 2 ヶ所目の目的階へ同様の条件で移動する。これを繰り返し、目的階にすべて行き終わると出入口階へ移動し、店を出るとする。

移動手段として、エレベーターを選ぶ場合はその待ち時間も現在階から目的階までの移動時間に加算する。またエレベーターが現在階または目的階に止まらない場合、階段移動を付加した移動方法も考慮する。4 階分以上移動する場合は、階段は使わないものとする。現在階から目的階ま

での移動手段は、階段のみを使うか、もしくは3台のエレベーターのうちどれか1台（と階段移動）を使うかの合計4手段がある。その中から、待ち時間を含めて最短な移動手段を選ぶ。この時、移動時間の等しい手段が複数ある場合は階段を使わない（より少なく使う）手段を優先するものとする。

3.2 . 客のシミュレーション設定

入口階と出口階、目的階箇所数(n)、 n ヶ所の目的階を持つ客を、到着率 λ (人/分)のポアソン分布に従い発生させる。1階から入店する確率を p_{in} とし、出店する確率を p_{out} とする。 n は1~ N までの一様分布に従うものとする。目的階は各階の利用頻度に従いランダムに決定する。

目的階の訪問する順番はランダムだが、 n が3以上の場合は不自然な動きをしないように上層階から順番に下へ回るとする。しかし目的階に1階が含まれている場合、入口階が1階ならば1ヶ所目の目的階は1階、入口階が地下1階で出口が1階ならば、1階を最後の目的箇所とする。

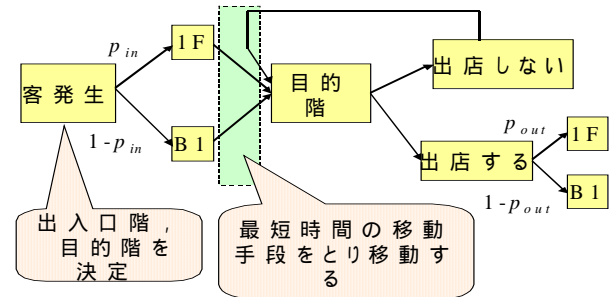


図1 . 人の動きの流れ

3.3 . 移動手段の設定

本実験では、エスカレーターは階段と同様待ち時間もなく移動時間が同じである事から、エスカレーターも階段と見なす。各移動手段を用いた所要時間は以下のように設定する。

- ・ 階段とエレベーターを乗り継ぎする場合、乗り継ぎにかかる時間は無視する。
- ・ 階段で i 階から j 階まで移動する場合、かかる時間は $s \cdot |i - j|$ 秒とする。
- ・ エレベーターの加速減速に要する時間を a 秒
- ・ 1階分を定速移動する時間を b 秒
- ・ i 階から $i + m$ 階まで止まらずに移動する場合、かかる時間は $a + (m - 1)b$ 秒
- ・ エレベーターの開閉かつ乗り降りにかかる時間は c 秒

以上より、次のように移動時間が算出される。

- ・ エレベーターのみで i 階から j 階へ行くのにかかる時間 d_{ij} は

$$d_{ij} = (h + 1)(a - b) + b |i - j| + hc \quad (h : i \text{ から } j \text{ へ移動する途中に止まる階の数})$$
- ・ 各エレベーター k が1往復するのに要する時間 D_k は

$$D_k = 2(r - 1)(a - b + c) + 2zb \quad (r : \text{片道で停止する階の数}, z : \text{最上階数と最低階数の差})$$
- ・ 各エレベーター k の待ち時間 (W_k) は $0 \sim D_k$ の一様分布に従う

4 . エレベーターの運行計画

エレベーターは合計3台あるが、1台(エレベーター3とする)は基本運行として各階止まりとする。よって残り2台(エレベーター1, 2とする)の運行計画を変えることにより、平均総移動時間をより短くする。エレベーターの運行は、運行計画によって指定された停止可能階に必ず止まるとする。また、上り下りの止まる階は同じものとする。

全ての運行計画のシミュレーションを行うことは数が多過ぎるため困難である。よってあらかじめ平均総移動時間が短縮されると思われる運行計画を絞り込んでから、シミュレーションを行う。A書店の各階の利用比率は、実際の観察をふまえて表1のように見積もった。

表 1 . 各階の利用比率

階数	1	2	3	4	5	6	7	8
比率	0.3	0.2	0.1	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1

出入口階である地下 1 階または 1 階のうち，少なくともどちらかの階には必ず停まるような運行計画を考え絞り込む．

5 . シミュレーション実験

5.1 . 実験設定

Visual SLAM[1]と Visual Basic を連動させてシミュレーションを行った．

シミュレーション時間は 10800 秒(3 時間)とした．平日の混んでいない実験であるので，客の到着率 $\lambda = 1/4$ (人/分)とし，1 階から入店する確率を $p_{in} = 0.8$ ，1 階から出店する確率を $p_{out} = 0.8$ とした．最大目的階箇所数を $N = 3$ とし 移動にかかる各時間を $a = 10$ ， $b = 3$ ， $c = 7$ ， $s = 15$ と設定した．

エレベーターの運行計画は表 2 ~ 5 の 4 パターンを実験した．

以上 4 パターンの運行計画のシミュレーションをそれぞれ 5 回ずつ行う．また，現行の運行計画と 3 台共各階止まりの場合も，比較のためにシミュレーションを行う．

Visual SLAM で記述した A 書店における移動モデルを図 2 に示す．

表 2 . パターン 1 の運行設定

階数	B1	1	2	3	4	5	6	7	8
エレベーター	1台目								
	2台目								

表 3 . パターン 2 の運行設定

階数	B1	1	2	3	4	5	6	7	8
エレベーター	1台目								
	2台目								

表 4 . パターン 3 の運行設定

階数	B1	1	2	3	4	5	6	7	8
エレベーター	1台目								
	2台目								

表 5 . パターン 4 の運行設定

階数	B1	1	2	3	4	5	6	7	8
エレベーター	1台目								
	2台目								

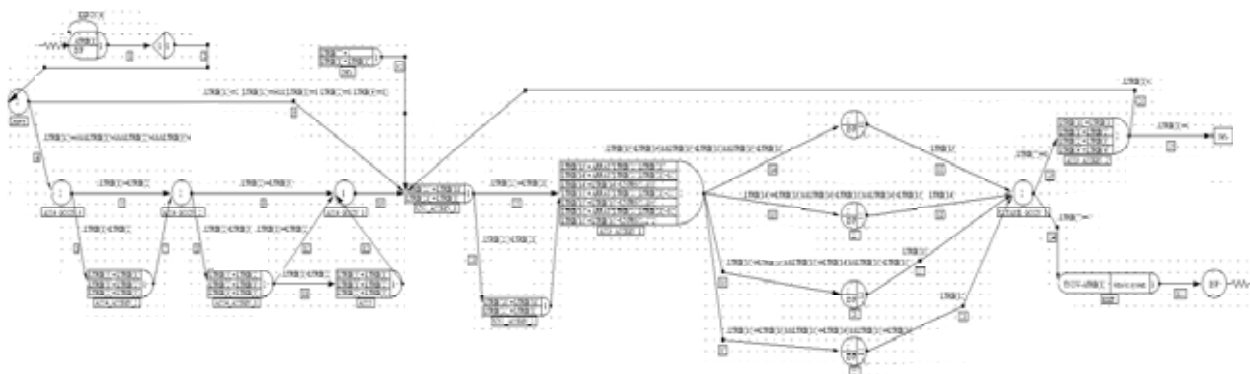


図 2 . Visual SLAM による A 書店における移動モデル

5.2 . 実験結果と考察

それぞれのパターンにおける 5 回のシミュレーション結果の平均移動時間と最大平均移動時間を表 6 に記す．表 6 より，この 6 パターンのうち平均移動時間・最大移動時間共にパターン 2 が最小であった．また，パターン 4 よりパターン 1 の方が移動時間が短いことより，停止階はより少なく，エレベーターは 1 台しか止まらない階が存在してもよいと思われる．

さらに、3台共各階止まりの運行よりも現行の方が平均時間・最大時間共に短縮されていることから、A書店における現行設定は、然るべく考えられたものであると思われる。しかし、本研究における状況設定では、運行方式2を採用するとさらなる短縮が見込める可能性がある。

A書店において最適な運行計画はパターン2という結果が出たが、表7より客はエレベーター2に集中していることがわかる。その原因として、実際はエレベーターには容量(13人)があるが、この実験ではその条件を無視して行っていることが考えられる。つまり、パターン2では容量を超えた非現実的な人数をエレベーターに収容していることになる。よって、このモデルは正確さに欠けるということとは否定できない。しかし、この実験では考慮していないが、現実として移動時間には依らずに移動方法を選ぶ客もいる。このような、階段を使わない客、各階止まりのエレベーターを利用する客を考慮すると、実験結果よりエレベーター1・2の利用人数は減り、3は増えると考えられる。またこの表7では、階段を乗り継いでいる時間も、すべてエレベーターを使っているとみなして集計しているので、実際にはもっとエレベーターの利用人数が減り、階段利用は増えるはずである。実際の平均移動時間はもっと長くなる可能性はあるが、どのパターンの運行についても言えることなので、パターン2の優位性は変わらないと思われる。

本実験では、シミュレーションを5回ずつ行っているので、「パターン2が良い」という結果はある程度信頼できると思われる。また、簡略モデルではあるが、A書店のエレベーター運行を考える上で意味のあるものだと思う。

6. おわりに

本研究では、A書店における客の平均総移動時間の短縮を目的とし、より短縮されるようなエレベーターの運行計画を、Visual SLAMを用いたシミュレーションにより求めた。実験で試した運行計画は4パターンのみと少なかったため、他の運行計画を試すことにより、より良い運行計画が見つかる可能性は否定できない。しかしここで提案した運行計画は、従来の運行より移動時間は十分短縮されており、この提案には意義があると考えられる。本研究では、エレベーターの運行計画で決められた停止階には必ず止まるという条件下で実験を行ったが、実際は乗り降りする人がいない場合や、エレベーターが満員の場合は通過してしまうことがある。これらのことを考慮にいったエレベーターの動作をも含むシミュレーションは、今後の課題である。

参考文献

- [1] 森戸晋 相澤りえ子 貝原俊也:「Visual SLAM によるシステムシミュレーション<改訂版>」, 共立出版(2001)
- [2] 大鹿譲, 一森哲男:「オペレーションズ・リサーチ - モデル化と最適化 - 」, 共立出版(1993)
- [3] 若山芳三郎:「学生のための Visual Basic」, 東京電機大学出版局(1998)

表6. シミュレーションの平均値・最大値

	移動時間(秒)	
	平均	最大
全て各階止まり	208.5	683
現行	176	534
パターン1	150.8	482.4
パターン2	139.6	435.2
パターン3	150.2	471.4
パターン4	165.2	517.2

表7. パターン2の平均利用人数

	平均利用人数(人/秒)			
	階段	エレベーター1	エレベーター2	エレベーター3
パターン2	7.1	10	15.7	2.2