

エレベータ群の待合せ問題

—平常時におけるサービスの解析—

Problem of Queuing for Elevators —Analysis of Off-peak Time Elevator Service—

As the modern buildings become more and more high-rising and assume more functions than before such requirements on the automatic group supervisory control system as higher operating efficiency and theoretical approach in the planning for elevator equipment have become pressing all the more. In dealing with these requirements the authors have established the basic technique for the system, including among others, the technique for analyzing bulk queues for elevators at off-peak time.

平沢宏太郎* Kôtarô Hirasawa

岩坂達夫** Tatsuo Iwasaka

1 緒言

ビルの超高層化，機能の多様化（ビル内に事務所，住居，店舗などが同居）に従って，ホール待ち客の待ち時間短縮，長待ち確率の減少に代表される待ち客に対するサービスの質の向上，換言すると全自動群管理方式の追求，さらにはエレベータ速度，定員，台数などのエレベータ設備のプランニングなど，従来にもましてエレベータ全自動群管理システムが重要視されてきている。

これらについて，従来技術をさらに発展させてビル内の一般的な時間帯である平常時において，ビル内の交通流，エレベータ群のダイナミックな挙動のモデル化，待ち客のサービス状態の定量的な把握（はあく）などの基礎技法を徹底的に追求し，運転方式の効率化を実現するための新しい全自動群管理方式の開発，またエレベータ設備計画法の確立などを大きく前進させた。

以下，本論文では，これら技法の基礎となるエレベータの待合せ問題につき論ずる。なお，本論文が，新全自動群管理方式CIP/ICシステムの理論的背景をなしている⁽⁵⁾。

2 エレベータ群の待合せ問題

エレベータの待ち現象は，

- (1) エレベータが到着すると数人が一度にエレベータに乗り込むような集団サービス形である。
- (2) ある階へのエレベータの到着間隔の分布が，他階での待ち客の到着状態に依存するような複数階床間相互依存形である。

などの特色をもち，待ち理論の中でも解析的に容易に解けぬ現象である。

以下，ビルのある特定階，特定方向の待ちを解析する単階床の待合せ問題，ビルの全階床の待ちを一度に解析する複数階床間の待合せ問題について論ずる。

3 単階床の待合せ問題

単階床の待合せ問題とは，図1に示すように，ビルのある階，ある方向（昇り方向，降り方向）に着目したとき，その階，その方向の待ち客の到着時間間隔の分布，エレベータの到着（通過も含む）時間間隔の分布，エレベータ平均乗込み

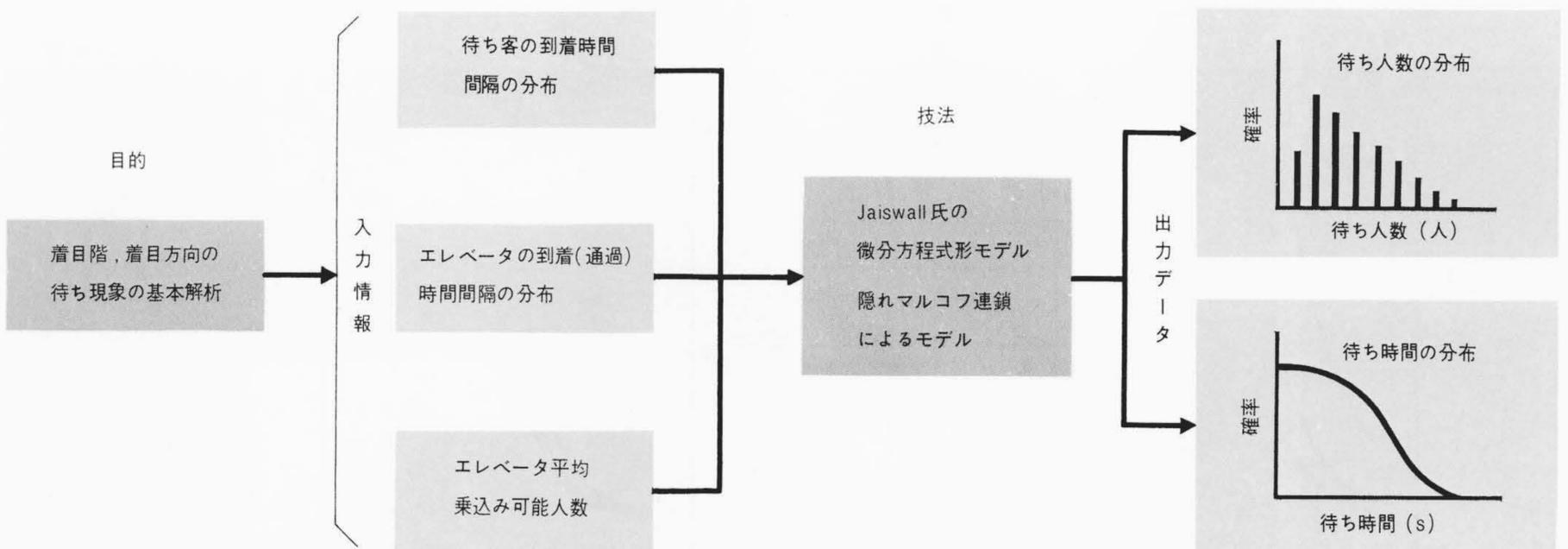


図1 単階床の待合せ解析技法 エレベータの待ち現象をJaiswall形微分方程式および隠れマルコフ連鎖モデルにより解析し，待ち時間，待ち人数の分布を得る。

Fig. 1 Analysis of Problems Concerning Queuing on One Floor

* 日立製作所日立研究所 ** 日立製作所水戸工場

可能人員よりその階、その方向の待ち客の待ち人数の分布、待ち時間の分布を計算することである。

以下、隠れマルコフ連鎖モデルによる解析、微分方程式形モデルによる解析、積残し現象のない場合の解析について論ずる。

3.1 隠れマルコフ連鎖モデルによる解析⁽¹⁾

エレベータ到着もしくは通過間隔（エレベータが着目している階、着目している方向に到着または通過する時間間隔、以下、通過も含めて到着という表現を使用する）の間に乗客がエレベータにのる目的で n 人到着する確率を P_n とすると、定常状態での着目している階、着目している方向の待ち人数の分布は、以下の逐次計算により求めることができる。

任意の時刻に着目している階を、着目している方向にエレベータが出発したと仮定し、このエレベータを第 0 エレベータとする。また第 0 エレベータの次に出発するエレベータを第 1 エレベータ、第 1 エレベータの次に出発するエレベータを第 2 エレベータ……、一般に、第 $l-1$ エレベータの次に出発するエレベータを第 l エレベータとする。

第 0 エレベータが出発した直後に、ホールに乗客が一人も待っていないとすると、第 1 エレベータが到着または通過する直前にホールに n 人待っている確率 ${}_{1a}P_n$ は、

$${}_{1a}P_n = P_n \dots\dots\dots(1)$$

となる。したがって、第 1 エレベータが出発した直後にホールに n 人待っている確率 ${}_{1s}P_n$ は、エレベータ乗込み可能人数を s 人とする、

$${}_{1s}P_n = {}_{1a}P_{n+s} \quad n=1,2,\dots \dots\dots(2)$$

$${}_{1s}P_0 = \sum_{i=0}^s {}_{1a}P_i \dots\dots\dots(3)$$

となる第 2 エレベータが到着もしくは通過直前にホールに n 人待っている確率 ${}_{2a}P_n$ は、確率論の重ねの定理より、

$${}_{2a}P_n = \sum_{i=0}^n P_{n-i} \cdot {}_{1s}P_i \quad n=1,2,\dots \dots\dots(4)$$

となる。同様にして、一般に第 $l-1$ エレベータが出発した直後に、ホールに n 人待っている確率 ${}_{l-1s}P_n$ は、

$${}_{l-1s}P_n = {}_{l-1a}P_{n+s} \quad n=1,2,\dots \dots\dots(5)$$

$${}_{l-1s}P_0 = \sum_{i=0}^s {}_{l-1a}P_i \dots\dots\dots(6)$$

第 l エレベータが到着または通過直前にホールに n 人待っている確率 ${}_{la}P_n$ は、

$${}_{la}P_n = \sum_{i=0}^n P_{n-i} \cdot {}_{l-1s}P_i \quad n=1,2,\dots \dots\dots(7)$$

となる。したがって、定常状態でエレベータがホールに到着もしくは通過する直前にホールに n 人待っている確率 P_n^0 を、

$$P_n^0 = \lim_{l \rightarrow \infty} {}_{la}P_n \dots\dots\dots(8)$$

として求めることができる。

前記 P_n は、待ち客が着目階、着目方向に到着する時間間隔の分布に応じて下記のように計算できる。

(1) ポアソン乗客到着の場合

$$P_n = \frac{(n+k-1)!}{n! (k-1)!} p^n q^k \dots\dots\dots(9)$$

$$p = 1 - q = \frac{1}{1 + k/\rho s}$$

(2) アーラン乗客到着の場合（位相 k' ）

$$P_n = \frac{1}{k'} \left\{ \sum_{i=k'n}^{(n+1)k'-1} (k' + k'n - i) \frac{(i+k-1)!}{i! (k-1)!} p^i q^k + \sum_{i=(n-1)k'+1}^{k'n-1} (k' - k'n + i) \frac{(i+k-1)!}{i! (k-1)!} p^i q^k \right\} \dots\dots(10)$$

$$p = 1 - q = \frac{1}{1 + (k/k') (1/\rho s)}$$

(3) 単位乗客到着の場合

$$P_n = \rho s \left[e^{-(n-1) \frac{k}{\rho s}} \sum_{i=0}^k \frac{\left\{ (n-1) \frac{k}{\rho s} \right\}^i}{i!} - e^{-\frac{nk}{\rho s}} \sum_{i=0}^k \frac{\left(\frac{nk}{\rho s} \right)^i}{i!} \right] - \rho s \left[e^{-\frac{nk}{\rho s}} \sum_{i=0}^k \frac{\left(\frac{nk}{\rho s} \right)^i}{i!} - e^{-(n+1) \frac{k}{\rho s}} \sum_{i=0}^k \frac{\left\{ (n+1) \frac{k}{\rho s} \right\}^i}{i!} \right] - (n-1) \left[e^{-(n-1) \frac{k}{\rho s}} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{\left\{ (n-1) \frac{k}{\rho s} \right\}^i}{i!} - e^{-\frac{nk}{\rho s}} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{\left(\frac{nk}{\rho s} \right)^i}{i!} \right] + (n+1) \left[e^{-\frac{nk}{\rho s}} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{\left(\frac{nk}{\rho s} \right)^i}{i!} - e^{-(n+1) \frac{k}{\rho s}} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{\left\{ (n+1) \frac{k}{\rho s} \right\}^i}{i!} \right] \dots\dots(11)$$

(4) 集団乗客到着の場合

$$P_n = \sum_{i=0}^{\infty} \left\{ \frac{(i\lambda^n)^n e^{-i\lambda^n}}{n!} \cdot \frac{(i+k-1)!}{i! (k-1)!} p^i q^k \right\} \dots\dots(12)$$

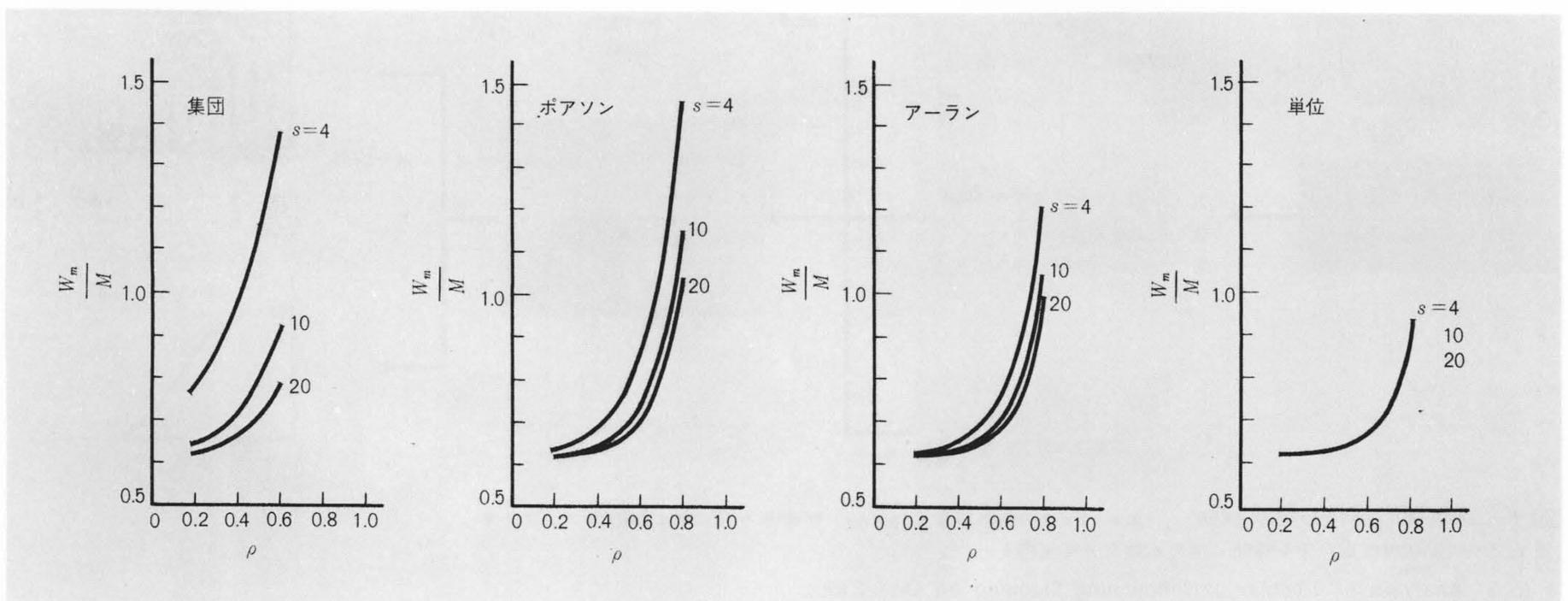


図 2 隠れマルコフ連鎖モデルによる解析例 ($k=4, \sigma/M=0.5$) トラフィック密度 ρ が増加するに従って、また乗込み可能人数 s が小さくなるにつれて正規化平均待時間 W_m/M は集団、ポアソン、アーラン、単位到着分布の順に大きく増加する。

Fig. 2 Example of Analysis by Using Markov Chain ($k=4, \sigma/M=0.5$)

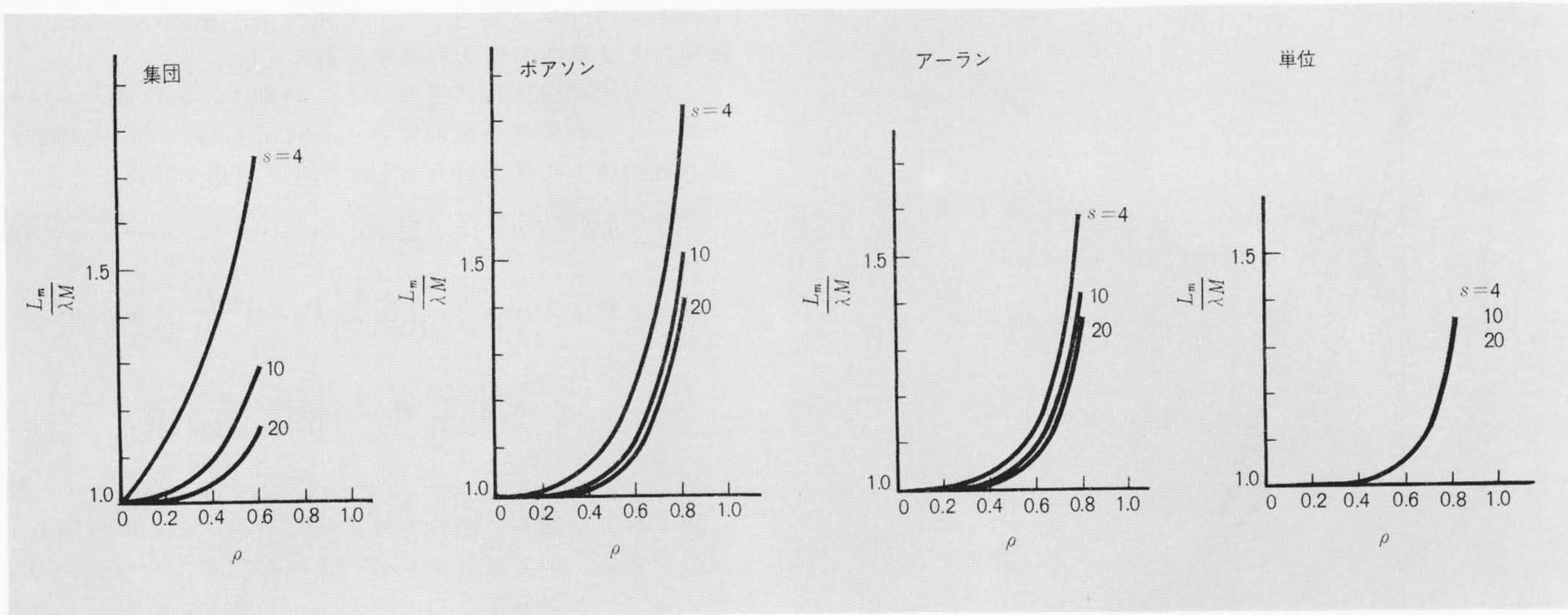


図3 隠れマルコフ連鎖モデルによる解析例 ($k=4, \sigma/M=0.5$) トラフィック密度 ρ が増加するに従って、また乗込み可能人数 s が小さくなるにつれて、正規化平均待ち人数 $L_m/\lambda M$ は集団、ポアソン、アーラン、単位到着分布の順に大きく増加する。

Fig. 3 Example of Analysis by Using Markov Chain ($k=4, \sigma/M=0.5$)

なお、(9)~(12)式において、エレベータの到着間隔の分布は位相 k のアーラン分布とした。また、 ρ はトラフィック密度で $\lambda M/S$ [λ : 乗客の平均到着率, M : エレベータ平均到着間隔], λ'' は集団で到着する待ち客の平均人数である。

待ち客の平均待ち時間 W_m は前述の P_n^0 を使用し、下記のように計算される。

$$W_m = \frac{L_m}{\lambda} - \frac{M}{2} \left(1 - \frac{\sigma^2}{M^2}\right)$$

$$L_m = \sum_{n=1}^{\infty} n P_n^0$$

σ^2 : エレベータ到着間隔の分散

図2および図3は、隠れマルコフ連鎖モデルによる計算結果の一例を示すものであり、これから、

- (1) 正規化平均待ち人数 $L_m/\lambda M$, 正規化平均待時間 W_m/M は、トラフィック密度 ρ が増加するに従って増加するが、その傾向は、集団乗客到着、ポアソン乗客到着、アーラン乗客到着、単位乗客到着の順に強い。
- (2) あるトラフィック密度 ρ に対する正規化平均待人数、正規化平均待時間は、一般にエレベータ乗り込み可能人数が小さいほど大きくなるが、その傾向は、集団乗客到着、ポアソン乗客到着、アーラン乗客到着、単位乗客到着の順に強い。

など、待ち客の到着時間間隔およびエレベータ到着時間間隔の分布の型が待ちに及ぼす影響が明らかとなった。

3.2 微分方程式形モデルによる解析⁽²⁾

ここでは、簡単のため、ポアソン乗客到着の場合についてのみ検討する。微分方程式形モデルとは、着目している階、着目している方向へのエレベータ到着時間間隔の分布を位相法で構成する場合の着目している階、着目している方向の待合せ問題の解析を行なうものである。

エレベータ到着時間間隔の分布の位相法による構成法は、図4に示すとおりである。到着分布は j 個の位相から成っているとし、エレベータの乗り込みが r 番目の位相から始まる確率を C_r としておく。 j 個の位相にサービス順序とは逆に番号をつける。すなわち、エレベータに乗り込むと確率 C_r で、まず r 番目の位相のサービスを受け、それが完了してから引

き続き $r-1$ 番目の位相のサービスを受ける。このようにして順次、次々と低い番号の位相のサービスを受け、最後に1番の位相のサービスを受け終わると次のエレベータがホールに到着するものとする。各位相におけるサービス時間は互いに独立で、いずれも平均 $1/\mu$ の指数分布に従うものとする。なお、位相法により k アーラン分布を構成するためには、 $C_k=1, C_r=0 (r \neq k)$ と考えればよい。

さて、任意の時刻 t にホールで n 人がエレベータを待っており、エレベータが第 r 相の運転を行なっている確率を $P_{n,r}(t)$ とすると、次の5個の微分方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{dP_{n,r}(t)}{dt} = & -(\lambda + \mu) P_{n,r}(t) + \lambda P_{n-1,r}(t) \\ & + \mu P_{n,r+1}(t) + \mu C_r P_{n+s,1}(t) \dots\dots\dots(14) \end{aligned} \quad (n \neq 0, r \neq j)$$

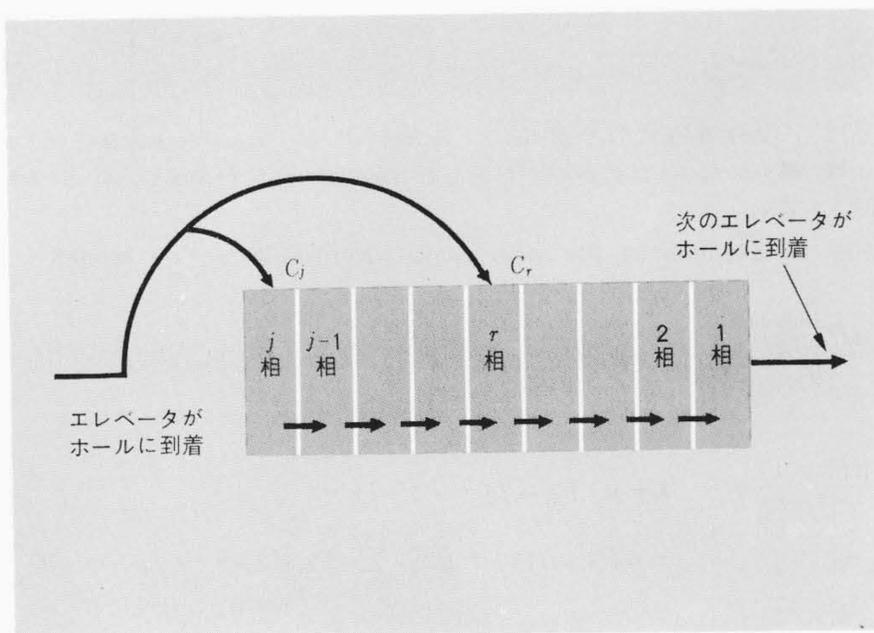


図4 位相法によるエレベータ到着時間間隔の分布の構成 エレベータの到着を j 個の位相から構成し、待ち客は確率 C_r で r 番目の位相のサービスを受け、順次低い番号の位相サービスを受ける。

Fig. 4 Construction of Elevator Arrival Distribution by Phase Method

ず、エレベータが着目している階でドアを開いて待っている確率、 λ は乗客の平均到着率である。

これらの微分方程式を解くと、時刻 t におけるエレベータがホールに到着する直前にホールに n 人待っている確率 P_n^0 、待ち客の待ち時間の分布 $W(\tau)$ は以下の式で計算できる。

$$P_n^0 = P_{n,1}(t) / \sum_{n=0}^{\infty} P_{n,1}(t) \dots\dots\dots(19)$$

$$W(\tau) = \frac{1}{1 - P_0(t)} \left[\sum_{r=1}^j \sum_{n=0}^{s-1} P_{n,r}(t) \frac{(\mu\tau)^{r-1}}{(r-1)!} e^{-\mu\tau} \mu + \sum_{r=1}^j \sum_{n=s}^{2s-1} P_{n,r}(t) \left\{ \sum_{i=1}^j \frac{C_i (\mu\tau)^{r-1+i}}{(r-1+i)!} e^{-\mu\tau} \mu \right\} + \dots\dots\dots \right] \dots\dots\dots(20)$$

図5および図6は微分方程式形モデルによる解析例を示すものである。図では、エレベータ到着間隔の分布を平均 $M = \frac{k}{\mu}$ の k アーラン分布とし、エレベータ乗り込み可能人数 $S = 24$ 人、エレベータ平均到着間隔 $M = 20, 30, 40$ 秒、トラフィック密度 $\rho = \lambda M / s = 0.1$ の場合の値をエレベータ到着間隔の位相数 k をパラメータにして示す。

これより、数台のエレベータがかたまると近づくような「ダンゴ」運転に近づくほど（換言すると $k \rightarrow$ 小）待ち客の平均待ち時間が増加することがわかる。

3.3 積み残し現象のない場合の解析⁽³⁾

本節では、待ち客の待ち時間の分布関数 $W(\tau)$ と、エレベータ到着間隔の分布関数 $x(t)$ との理論関係式について述べる。

これは積み残し現象のない場合の関係式であるが、エレベータの動きが、待ち客の待ちにどのような影響を及ぼすかを簡単にしかも定量的に検討できるという意味で重要な式である。

着目している階、着目している方向について、

- $W(\tau)$: 待ち客の待ち時間の分布関数
- $x(t)$: エレベータ到着間隔の分布関数
- λ : 待ち客の平均到着率
- t : エレベータ到着間隔
- M : エレベータ平均到着間隔

とすると、待ち客の待ち時間が τ 秒より短い確率 $F(\tau)$ は、

$$0 \leq t < \tau \text{ では: } t \text{ 秒内に到着する待ち客全員 } (\lambda t)$$

$$\tau \leq t \text{ では: } t \text{ 秒内に到着する待ち客のうち } \frac{\tau}{t} \times 100\% \text{ の人 } (\lambda \tau)$$

が、 τ 秒より短い時間でエレベータにのりこむことができるので、

$$F(\tau) = \frac{1}{\lambda M} \left[\int_0^{\tau} \lambda t x(t) dt + \int_{\tau}^{\infty} \lambda \tau x(t) dt \right]$$

$$= \frac{1}{M} \left[\int_0^{\tau} t x(t) dt + \tau \int_{\tau}^{\infty} x(t) dt \right] \dots\dots\dots(21)$$

となる。したがって、待ち客の待ち時間の分布関数 $W(\tau)$ は

$$W(\tau) = \frac{\partial F(\tau)}{\partial \tau}$$

なので求める関係式は

$$W(\tau) = \frac{1}{M} \left[\tau x(\tau) + \int_{\tau}^{\infty} x(t) dt - \tau x(\tau) \right]$$

$$= \frac{1}{M} \int_{\tau}^{\infty} x(t) dt \dots\dots\dots(23)$$

となる。

4 複数階床間の待合せ問題⁽⁴⁾

複数階床間の待合せ問題とは、ビルの全階の乗客の待ちを検討することである。具体的には、積み残し現象がないよう

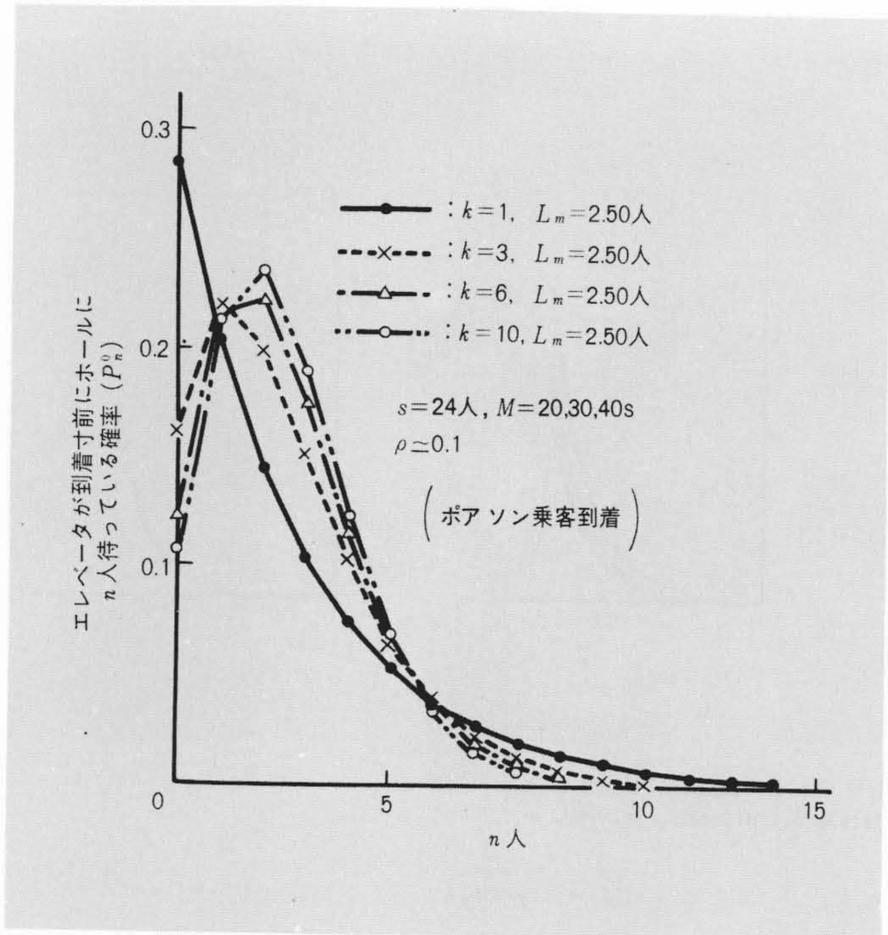


図5 微分方程式形モデルによる解析例 エレベータの運行が「ダンゴ」運転に近づくほど($k \rightarrow$ 小), ホールの待ち客数のばらつきが大きくなる。
Fig. 5 Example of Analysis by Differential Equation Model

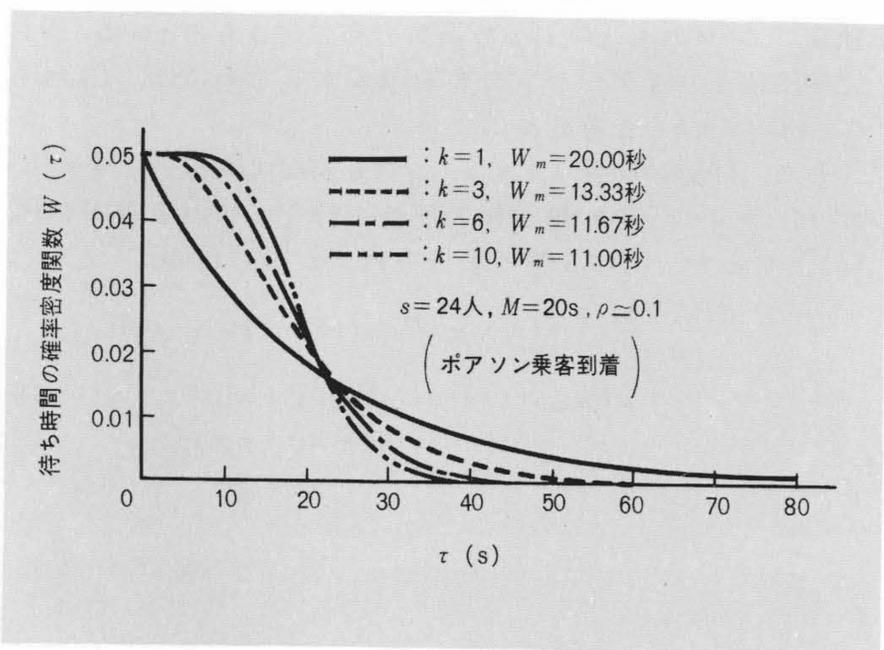


図6 微分方程式形モデルによる解析例 エレベータの運行が「ダンゴ」運転に近づくほど($k \rightarrow$ 小), 待ち客の平均待ち時間が増加し, ばらつきが多くなる。
Fig. 6 Example of Analysis by Differential Equation Model

$$\frac{dP_{n,j}(t)}{dt} = -(\lambda + \mu) P_{n,j}(t) + \lambda P_{n-1,j}(t) + \mu C_j P_{n+s,1}(t) \dots\dots(15)$$

$(n \neq 0, r = j)$

$$\frac{dP_{0,r}(t)}{dt} = -(\lambda + \mu) P_{0,r}(t) + \lambda C_r P_0(t) + \mu P_{0,r+1}(t) + \mu C_r \sum_{m=1}^s P_{m,1}(t) \dots\dots\dots(16)$$

$(n = 0, r \neq j)$

$$\frac{dP_{0,j}(t)}{dt} = -(\lambda + \mu) P_{0,j}(t) + \lambda C_j P_0(t) + \mu C_j \sum_{m=1}^s P_{m,1}(t) \dots\dots(17)$$

$(n = 0, r = j)$

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu P_{0,1}(t)$$

ここで、 $P_0(t)$ は時刻 t においてホールにだれも待っておら

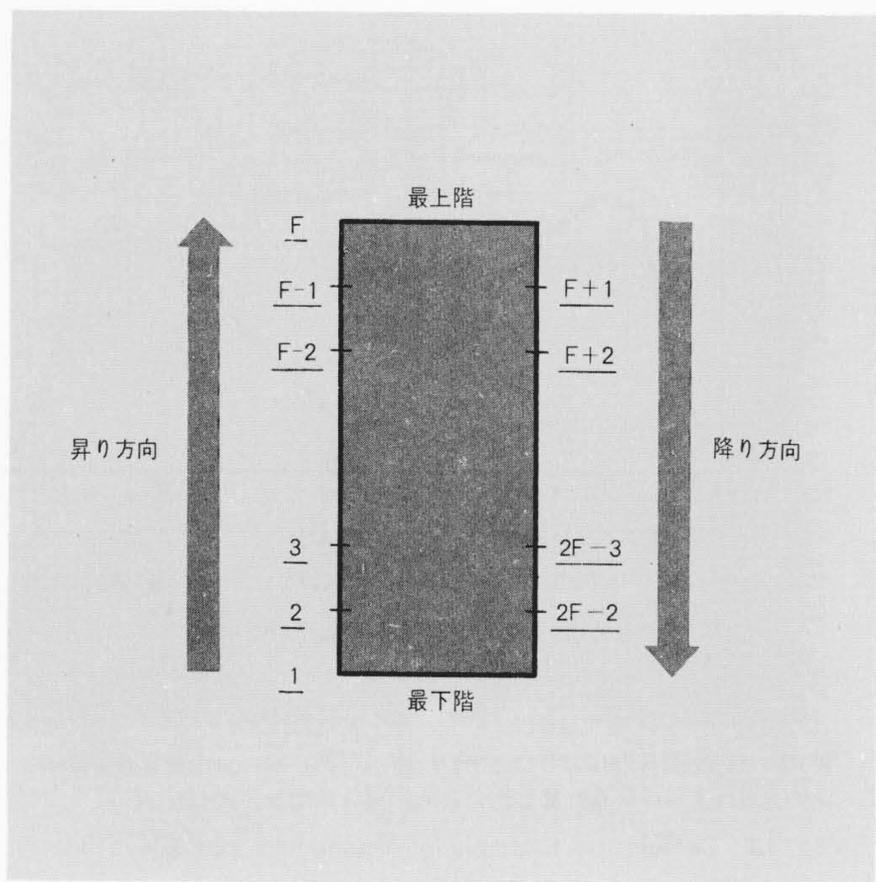


図7 ビルディングの階床の番号づけ ビルの階床を昇り, 降り方向を順に 1, 2; …… F; …… 2F-2 のように番号づける。

Fig. 7 Naming of Each Floor in the Building

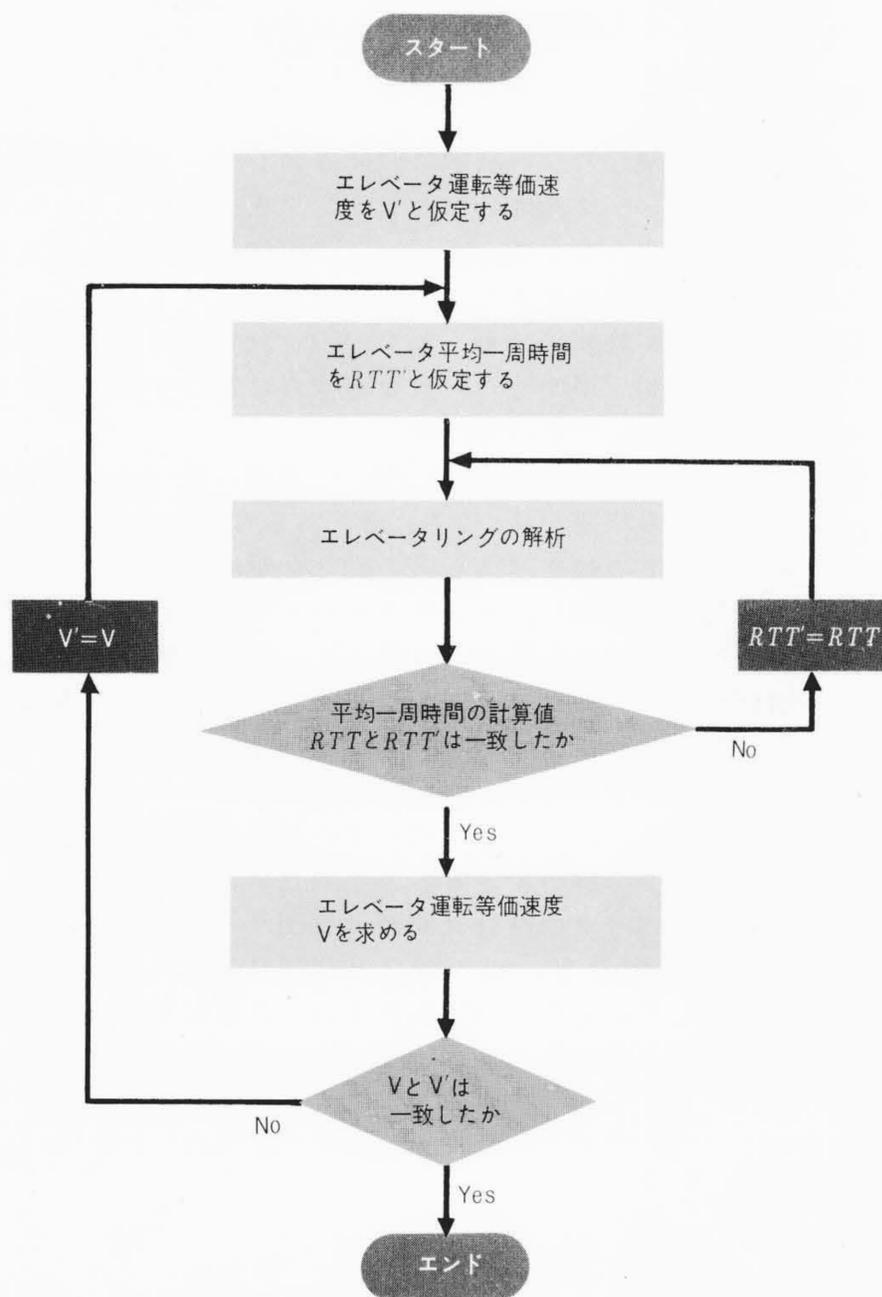


図8 複数階床間の待合せ解析法 エレベータリング解析技法の概略フローを示す。

Fig. 8 Procedure of Analysis of Queuing Problem Concerning Many Floors

表1 複数階床間の待合せ問題解法のための入出力表

Table 1 Input Output Table for Analyzing Queuing Problem Concerning Many Floors

入 力	(1) エレベータ台数 L (台) (2) ビルの階床数 F (階) (3) ビルの階床間隔 x (m) (4) ドア開閉時間 t_d (s) (5) 乗客出入り時間 t_p (s) (6) エレベータの定格速度 \bar{v} (m/s) (7) エレベータ速度, 平均立寄り時間の初期値 (8) エレベータ平均一周時間の初期値 (9) i ホールから j ホールに行く目的で, 単位時間に i ホールに到着する乗客の平均人数 λ_{ij} (人/s) (10) i ホールから j ホールに行く目的で, i ホールに到着する乗客の到着時間間隔の分布を指定するパラメータ k' (11) エレベータが i ホールに到着もしくは通過する時間間隔の分布を指定するパラメータ k
出 力	(1) エレベータ平均一周時間 RTT (s) (2) 乗客の平均待ち時間 W_m (s) 乗客の待ち時間の分散 W_v (s) 乗客の長待ち確率 $P_r(W \geq PW_m)$ (3) エレベータの各階における停止確率 P_i (4) エレベータの各階におけるHCR 確率 P_i^{HCR} (5) i ホールと $i+1$ ホール間のエレベータの平均乗客数 $R_{i,i+1}$ (6) i ホールでのエレベータ停止時の乗客平均出入り人数 R_i^{in}, R_i^{out}

な平常時および閑散時のエレベータ平均一周時間, エレベータの各階における停止確率, エレベータの各階におけるHCR 確率, 待ち客の平均待ち時間などを確率論的なマクロモデルを使用して計算している。

解析を容易にするため, 図7に示すようにビルの階床を昇り方向, 降り方向の順に, 1, 2; …… F; …… 2F-2 のように番号づけをする。ここで, 1は最下階, Fは最上階を表わす (i ホールという使い方は昇り, 降りを区別し, i 階という使い方は昇り, 降りを区別しないこととする)。

この待合せ問題の解法の基本的考え方は, エレベータ運転等価速度 V , (エレベータ平均一周時間 RTT を仮定し (仮定値を V' , RTT' とする), これより確率論的にエレベータ運転等価速度 V , エレベータ平均一周時間 RTT を計算して, V と V' , さらに RTT と RTT' が一致するようなケースを解法とするものである。具体的には, 第1ステップとしてエレベータ運転等価速度を仮定し, この仮定値の条件で RTT' と RTT が一致する解を求める。第2ステップとして第1ステップで求めた解をもとにしてエレベータ運転等価速度の修正を行なう。次に, このエレベータ運転等価速度の修正値をもとに RTT' と RTT が一致する解を求める。……とといったくり返し手法によって V と V' , RTT と RTT' が一致するケースを探索する。図8は手法の概略フロー図を示すものであり, 表1には, この計算に必要な入力情報, 計算から得られる出力情報を整理している。

V' と RTT' から RTT を計算する詳細は下記のとおりである。

step 1 : エレベータ平均運転間隔 M を計算する。

$$M = RTT' / L \dots\dots\dots (24)$$

ただし, L : 群管理エレベータの台数

step 2 : エレベータ運転間隔内に, i ホールから j ホールに行く客が i ホールに一人も到着しない確率 $P^{i,j}$ を計算する。

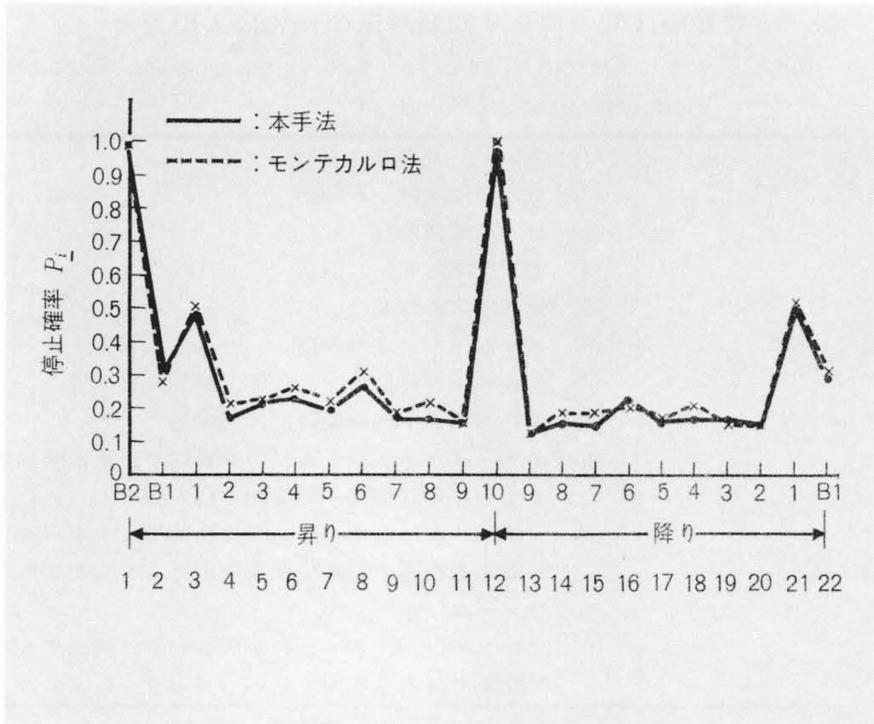


図9 複数階床間の待合せ解析例 各階の停止確率を本手法とモンテカルロ手法により計算したところほぼ両者が一致した。

Fig. 9 Calculation Example of Stop Probabilities

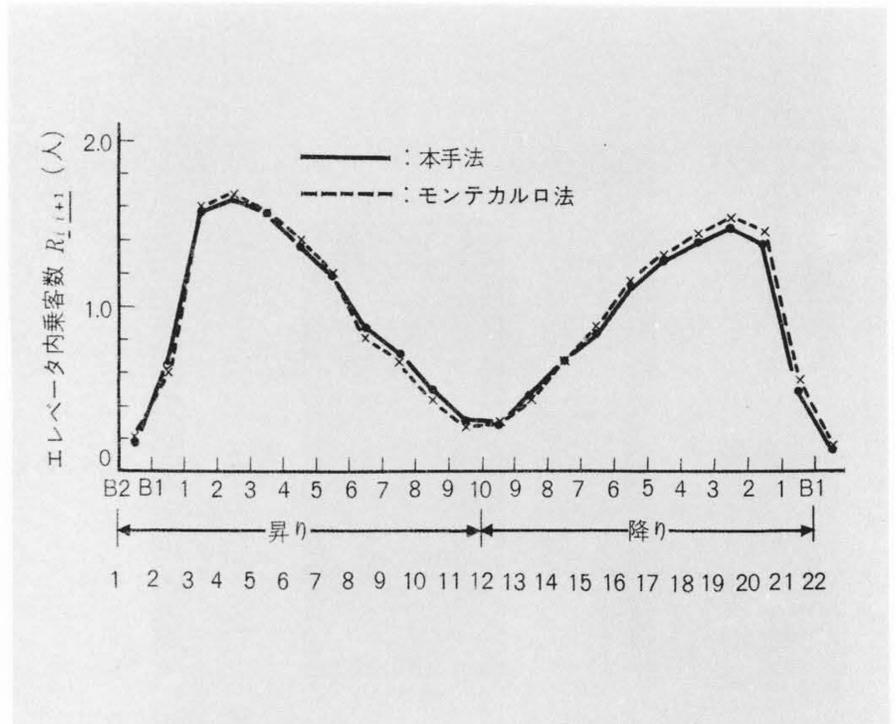


図10 複数階床間の待合せ解析例 エレベータ内乗客数を本手法とモンテカルロ手法により計算したところ、ほぼ両者が一致した。

Fig. 10 Calculation Example of Pasengers per Elevator

step 3: エレベータ運転間隔内に i ホールに待ち客がだれも到着しない確率 ${}_1P_0^i$ の計算をする。

$${}_1P_0^i = \prod_j P_{ij} \dots\dots\dots(25)$$

step 4: i ホールに到着するエレベータ内に、 i ホールで降りる人がだれものっていない確率 ${}_2P_0^i$ の計算をする。

$${}_2P_0^i = \prod_j P_{ij} \dots\dots\dots(26)$$

step 5: i ホールにエレベータが停止する確率 P_i の計算をする。

$$P_i = 1 - {}_1P_0^i \cdot {}_2P_0^i \dots\dots\dots(27)$$

step 6: エレベータ平均1周時間 RTT を計算する。

$$RTT = \frac{2(F-1)x}{V'} + (\sum_i P_i)\tau' \dots\dots\dots(28)$$

ここで、 τ' : $t_a + t_d + t_p$ (平均立寄り時間)
 F : ビルの階床数, x : ビルの階床間隔
 t_a : エレベータの加速または減速時間
 t_d : ドア開閉時間, t_p : 乗客出入り時間
 ((28)式はHCR運転せぬとき, HCR運転のときも、ほぼ同様な式が成立する)

上記stepにおける P_{ij} は、たとえば、 i ホールから j ホールに行く目的で i ホールに到着する待ち客の到着時間間隔の分布を位相 k' , 平均到着率 λ_{ij} のアーラン分布, エレベータが各ホールに到着する時間間隔の分布を位相 k , 平均 M のアーラン分布とすると、

$$P_{ij} = \frac{1}{k'} \sum_{i=0}^{k'-1} (k'-i) \frac{(i+k-1)!}{i!(k-1)!} p^i q^k \dots\dots\dots(29)$$

$$p = 1 - q = \frac{1}{1 + (k/k')(1/\lambda_{ij}M)}$$

となる。

図9 および図10は、複数階床間の待合せ問題の解法の一例を示すものである。

図9は、各階の停止確率、図10は、エレベータ内乗客数の一例であり λ_{ij} としては東京某ビルで実測した値を使用した。

図中点線は、いわゆるモンテカルロ手法によるシミュレー

ション結果であり、両者ほぼ一致している。このことから複数階床間の待合せ問題解法は、エレベータの動き、待ち客の動きのエレベータに及ぼす影響を簡単にしかも定量的に調べることができるのみならず、いわゆる一般のエレベータ・シミュレータとしても適用できることがわかる。

5 結 言

以上、積み残しのない状態におけるエレベータ群管理方式の追求、エレベータ設備のプランニングを進めるにあたって必要な基礎技法、なかでもエレベータの待合せ問題に焦点をしばって検討を進めてきた。その結果、

- (1) 待ち客の到着間隔分布, エレベータ到着間隔分布の形が平均待ち時間, 平均待ち人数など待ちに及ぼす影響を明らかにした。
- (2) エレベータ到着間隔分布が「ダンゴ」運転に近づく ($k \rightarrow$ 小) ほど平均待ち時間が長くなり, そのばらつきが大きくなる。
- (3) エレベータの動き, 待ち客の動きを確率論的マクロモデルを使用して計算し, モンテカルロ・シミュレーションとよく一致した結果を得た。これより, 確率論的マクロモデル解析がエレベータ・シミュレータとして適用できることを確認した。
- (4) 確率論的マクロモデル解析により, エレベータの動き, 待ち客の動きに対し, エレベータの各階停止確率などを簡単に, 定量的に解析できることを論じた。

これらエレベータの待合せ問題は集団サービス形, 複数階床間相互依存形など, 他の待合せ問題には見られない独特の性質を有しているが, 日立製作所はこれらに対する独自の解法を確立し, 高度なエレベータ群管理方式の開発に利用している。

参考文献

- (1) 平沢: 電学誌 91, 299 (昭46-2)
- (2) 平沢: 電学誌 91, 492 (昭46-3)
- (3) 平沢, 河竹, 弓伸: 日立評論 53, 528 (昭46-6)
- (4) 平沢: 電学論文誌 92-C, 138 (昭47-3)
- (5) 弓伸, 岩坂: (別稿)