

# ブロック毎の輸送能力を考慮したエレベータの断面積モデル

02103410 慶應義塾大学  
01107680 慶應義塾大学

\*黒澤 俊 KUROSAWA Shun  
栗田 治 KURITA Osamu

## 1. はじめに

人口や諸機能の大都市への過度の集中は都市の高層化をもたらし、これに呼応して高層ビルに関する様々な議論が為されてきた。奥平[1]はビル内への通勤を想定し、ビルの居住可能容積、鉛直方向の移動に必要な通路面積、そして移動手段であるエレベータの輸送容量を用いた明解なモデルを提案し、ビルを過度に高層化すると居住可能容積は増加すれども頭打ちになることを示した。田口[2,3]はビル内に起こる内々の移動も考慮したモデルを導き、人が相互に行き来する「都市型ビル」実現のための指針を与えた。

本研究ではエレベータの運行、輸送能力に関してより現実

- に則したモデルを提案する。具体的には以下を設定する：
- 個々のエレベータは決められたブロックのみに停車する(ブロックより下の階は通過し、ブロック内では全ての階に停車するものとする)。
  - エレベータの輸送能力は、エレベータがビル内の往復に要する時間に依存する。

結論として以下に示す新しい指針を紹介する：

- ビルを過度に高層化すると居住可能容積は減少に転じる。
- 高層ビルの居住可能容積を十分に確保するためには、輸送に関してビルを可能な限り多くのブロックに分割すればよい。

## 2. ビルの居住可能容積

ビルを高さ  $H$  [m]、底面積  $S$  [m<sup>2</sup>]の直方体とし、ビル内のエレベータを図1の如くに配置する。

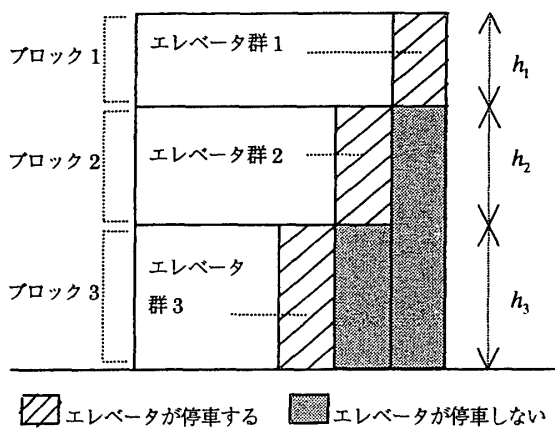


図1 ビル内のエレベータ

またビル内の人の移動に関して以下を仮定する：

- 通勤を想定し地上階からの移動のみを考慮する。
- ビル内の鉛直方向の移動手段はエレベータのみとする。
- ビル内の水平方向の移動は考慮しない。

ここで

- $\rho$  = (ビルの居住可能部分の人口密度) [人/m<sup>3</sup>],
- $c_n$  = (エレベータ群  $n$  の単位面積通路が通勤時間内に通過させることができる人数) [人/m<sup>2</sup>],
- $L_n$  = (ブロック  $n$  におけるエレベータ通路面積) [m<sup>2</sup>],
- $V$  = (ビルの居住可能容積) [m<sup>3</sup>]

を定義し、奥平[1]の「通路の面積はその先に居住する人口に比例し、比例定数は通路の輸送容量である」という定式化を踏襲する。このときブロック  $n$  における居住可能容積とエレベータの通路面積との関係は

$$\rho h_n (S - L_n) = c_n (L_n - L_{n-1}) \quad (1 \leq n \leq N) \quad (1)$$

と表せ(但し  $L_0 = 0$ )、これを解くと

$$L_n = S \left( 1 - \prod_{k=1}^n \frac{c_k}{\rho h_k + c_k} \right) \quad (1 \leq n \leq N) \quad (2)$$

が得られる。よってビルの居住可能容積  $V$  は

$$V = S \sum_{n=1}^N h_n (S - L_n) = S \sum_{n=1}^N h_n \prod_{k=1}^n \frac{c_k}{\rho h_k + c_k} \quad (3)$$

と算出される。

## 3. エレベータの輸送能力

エレベータの運行、人の到着に関して以下を仮定する：

- エレベータがビル内の往復(1階から出発して1階に戻ってくる迄)に要する時間はエレベータ群ごとで異なる。
- ビルへの人の到着間隔は一定である。

以上より群  $n$  のエレベータの輸送能力は「(単位面積のエレベータ通路に乗車できる人数) × (群  $n$  のエレベータが通勤時間帯にビル内を往復する回数)」で与えられる。具体的には  $\lambda$  = (単位面積のエレベータ通路に乗車できる人数) [人/m<sup>2</sup>],  $\tau_n$  = (群  $n$  のエレベータがビル内の往復に要する時間) [s],  $T$  = (通勤時間帯) [s] を定義すると、エレベータ群  $n$  の単位面積通路が通勤時間内に通過させることができる人数  $c_n$  は

$$c_n = \frac{\lambda T}{\tau_n} \quad (1 \leq n \leq N) \quad (4)$$

と表せる。また

$v_L$  = (エレベータの各階停車時の平均速度) [m/s],  
 $v_E$  = (エレベータの階に停車しない時の平均速度) [m/s]  
 を定義すると、群  $n$  のエレベータがビル内の往復に要する時間  $\tau_n$  は

$$\tau_n = 2 \left( \frac{h_n}{v_L} + \frac{H - \sum_{k=1}^n h_k}{v_E} \right) \quad (1 \leq n \leq N) \quad (5)$$

と表せる。よってエレベータ群  $n$  の単位面積通路が通勤時間内に通過させることができる人数  $c_n$  は

$$c_n = \frac{\lambda T}{2 \left( \frac{h_n}{v_L} + \frac{H - \sum_{k=1}^n h_k}{v_E} \right)} \quad (1 \leq n \leq N) \quad (6)$$

と算出される。

#### 4. ビルの高ささと居住可能容積

(3)式に(6)式の  $c_n$  を代入して得られるビルの居住可能容積  $V$  は変数  $h_n$  ( $n=1,2,\dots,N$ ) を持つ  $N$  変数関数である。

$$\sum_{n=1}^N h_n = H \quad (7)$$

上記の制約条件の下で居住可能容積  $V$  の最大値  $V^*$  を解析的に求めることは困難なため、本研究ではこれに逐次二次計画法[4]を適用した。今回はパラメータの値を以下のように設定した：

$$\rho = 0.03 \text{ 人/m}^3, \lambda = 3 \text{ 人/m}^2, T = 1800 \text{ s}$$

ビルの高さ  $H=500\text{m}$ 、ブロック数  $N=5$  におけるエレベータの速さ  $v_L$ 、 $v_E$  と  $V^*/S$  との関係を図 2 に示す。図 2 からエレベータの速さが居住可能容積に大きな影響を与えることがわかり、業者がエレベータの性能向上に取り組んできた理由もうかがえる。

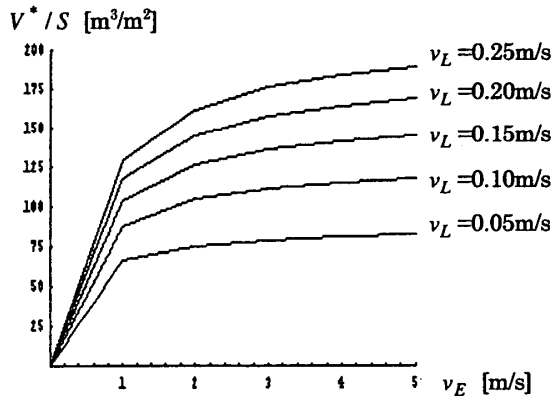


図2 エレベータの速さ  $v_L$ 、 $v_E$  と  $V^*/S$

エレベータの速さ  $v_L=0.2\text{m/s}$ 、 $v_E=3.0\text{m/s}$  におけるビルの高さ  $H$ 、ブロック数  $N$  と  $V^*/S$  との関係を図 3 に示す。図 3 から明らかなようにビルを過度に高層化すると居住可能容積が減少に転じてしまうのである。また、ビルのブロック数  $N=5, 10, 15$  において居住可能容積  $V^*$  を最大化するビルの高さ  $H^*$  の値はそれぞれ  $H^*=324\text{m}$ 、 $416\text{m}$ 、 $468\text{m}$  である。このことから高層ビルの居住可能容積を十分に確保するためにはビルのブロック数を可能な限り増やせばよいことがわかる。

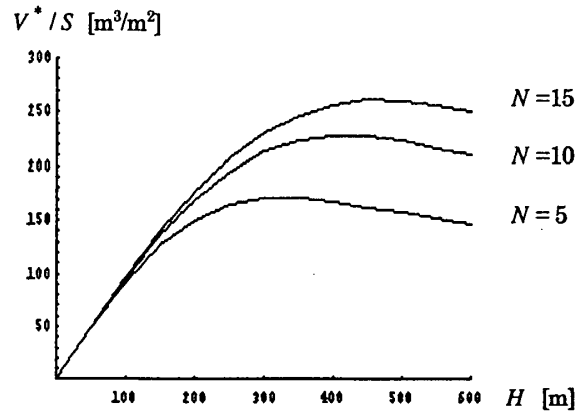


図3 ビルの高さ  $H$ 、ブロック数  $N$  と  $V^*/S$

#### 5. 現実例

本研究で言及したエレベータの運行形式を用いている高層ビルの例として横浜桜木町のランドマークタワーをあげる。このビルの高さは  $282\text{m}$  であり、ブロック数は  $N=5$ 、エレベータの速さは  $v_L=0.2\text{m/s}$ 、 $v_E=3.0\text{m/s}$  と見積もれる(扉の開閉ならびに乗降に要する時間も考慮した)。図 3 のブロック数  $N=5$  の場合と照らし合わせると、このビルの高さ  $282\text{m}$  は居住可能容積を最大化する高さ  $H^*=324\text{m}$  に近い値であることがわかる。通勤時間帯を  $1800\text{s}$ 、ブロックの数を 5 個として設計するならば、このビルの高さは限界であったと言えるだろう。

#### 6. おわりに

エレベータの輸送能力を考慮したモデルは、ビルを過度に高層化すると居住可能容積が減少に転じるという特性を明らかにした。これは従来のモデルによる結果よりも更に暗い見通しである。しかしブロック運行形式によりビルの居住可能容積の確保が可能となることも示され、このことは高層ビル実現のための指針となると考えている。但し、移動の快適性を考慮するとエレベータの性能向上には限界がある。またビルを多くのブロックに分割すると各ブロックのエレベータ通路面積は減少するが、エレベータを設置するにはある程度の面積が必要であるためビルの分割にも限界がある。高層ビルを議論するに当たってはこうした限界の存在に留意せねばならない。

#### 7. 参考文献

- [1] 奥平耕造(1976)：都市工学読本，彰国社。
- [2] 田口 東(1994)：超々高層ビルにおける内々交通とエレベータ面積，*Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.37, No.3, pp.232-242.
- [3] 田口 東(1997)：超高層ビルにおける都市型交通とエレベータ通路，*Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.40, No.4, pp.536-545.
- [4] 茨木俊秀，福島雅夫(1991)：最適化プログラミング，岩波書店。