

## 通勤交通と投資効率を考慮した高層ビルの最適形状

02991470

東京大学

李明哲

LI Mingzhe

01501020

東京大学

伏見正則

FUSHIMI Masanori

## 1 はじめに

高層ビルの設計において、エレベータ用通路に必要な面積の算定に関しては、エレベータ用通路の利用率がもっとも高い通勤時間帯を想定しているのが普通である。この現状を踏まえ、奥平 [3] は、直方型ビルに関して、通勤に必要な通路面積と居住用面積を理論的に与えた。さらに、李、伏見 [2] は、ビルの形状を錐台型に拡張して、通勤に必要な通路面積と居住用面積の配分を解析的に求めた。一方、これらの高層ビルの内部交通解析から、非常に高いビルにおいて、かなりの部分がエレベータ用通路として必要なことが解明され、このようなビルへの投資の有効性について理論的に検討する重要性と必要性が明らかになったので、Li, Fushimi [1] ではビル内交通を考慮した効率係数の定義を行なった。

本研究ではこれらをもとに、簡単なモデルによる数理的定式化を行ない、また、数値計算を通じ、通勤交通を考慮した高層ビルの最適な形状、高さと底面積を求めた。

## 2 高層ビルモデル

われわれは下底面積が  $S$ 、上底面積が  $\alpha S$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )、高さが  $h$  である錐台型高層ビルを考える。このモデルで、地上からの高さ  $x$  におけるビルの断面面積を  $S(x) = S[1 + \frac{x}{h}(\sqrt{\alpha} - 1)]^2$  とし、 $L(x)$  を  $x$  における居住用面積、そして、 $S(x) - L(x)$  を  $x$  におけるエレベータ用通路面積とする。ここでは連続モデルを考えるので、人は各階ではなくて、居住部分に体積密度  $\rho$  で連続的に分布しているものとする。また、ある時間帯内に輸送できるエレベータ通路単位面積あたりの人数を  $c$  とする。

## 3 通路面積に関する定式化

奥平 [3] による直方型ビルにおける通勤に必要な通路面積の導出をもとに、錐台型ビルにおける通勤に必要な通路面積について考察する。通勤交通に関する仮定の詳細については奥平 [3] を参照していただきたい。

通勤時間帯を考え、この時間内に居住者全員が通勤するものとする。このとき、エレベータが輸送能力の限界まで利用されるものとする、居住面積と通路面積を定める積分方程式

$$c(S(x) - L(x)) = \rho \int_x^h L(\tau) d\tau \quad (0 \leq x \leq h)$$

が成り立つ。ただし、ビルの上端では通路が必要ないので、境界条件を  $L(h) = \alpha S$  とする。

この積分方程式を解くと

$$L(x) = S \left\{ \begin{aligned} & e^{\frac{1}{k}(x-h)} \left[ \alpha + \frac{2}{h^2} (kh + k^2) (\sqrt{\alpha} - 1)^2 + \frac{2}{h} k (\sqrt{\alpha} - 1) \right] \\ & - \frac{2}{h^2} (kx + k^2) (\sqrt{\alpha} - 1)^2 - \frac{2}{h} k (\sqrt{\alpha} - 1) \end{aligned} \right\} \quad (0 \leq x \leq h)$$

が与えられる。ここで、 $k = c/\rho$  である。

特別に、 $\alpha = 1.0$  のとき、上式は奥平 [3] による結果となる。

## 4 効率係数

## 4.1 ビル効率係数

ビル効率係数を下記で定義する。

$$I = \frac{\int_0^h L(x) dx}{\int_0^h S(x) dx}$$

$I$  は単位体積あたり居住部分がどのくらい占めているか、すなわち、居住部分の割合、ビルの効率性を反映しているものと考えられる。

## 4.2 投資効率係数

ビル効率係数を拡張し、ビルへの投資効率係数を

$$I' = \frac{c_1 \int_0^h L(x) dx}{c_1 \int_0^h S(x) dx + c_2 S}$$

$$= \frac{\int_0^h L(x)dx}{\int_0^h S(x)dx + k'S}$$

と定義する。ここで、 $c_1$  をビルにおける単位体積あたりの建築費用、 $c_2$  をビル建築用地の単価と仮定する。 $k' = c_2/c_1$  である。

$I'$  は単位投資費用あたり居住用にどのくらい使われているか、すなわち、有効投資の割合、投資の効率性を反映しているものと考えられる。

明らかに、 $k' = 0$  のとき、投資効率係数はビル効率係数となる。

## 5 効率的形状

まず、錐台型高層ビルにおける通勤に必要な通路面積の導出式をもとに投資効率係数を計算すると

$$I' = k(1 - e^{-\frac{h}{k}}) \frac{\{\alpha + \frac{2}{h^2}(kh + k^2)(\sqrt{\alpha} - 1)^2 + \frac{2}{h}k(\sqrt{\alpha} - 1)\}}{\frac{1}{3}h(1 + \sqrt{\alpha} + \alpha) + k'} - k \frac{\{\frac{1}{h}(h + 2k)(\sqrt{\alpha} - 1)^2 + 2(\sqrt{\alpha} - 1)\}}{\frac{1}{3}h(1 + \sqrt{\alpha} + \alpha) + k'}$$

である。

次に、総投資コスト  $C$  が一定であるとき、高層ビルのなかの収容人口が最大となるビルの形状(あるいは高層ビルのなかの収容人口  $P$  が一定であるとき、総投資コストが最小となるビルの形状)を求めるという問題を考える。数理的には、次のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \max \quad & I' \text{ (あるいは } I) \\ \text{s. t.} \quad & c_1 \int_0^h S(x)dx + c_2 S = C \\ & \text{(あるいは } \rho \int_0^h L(x)dx = P) \end{aligned}$$

## 6 数値計算

直方型(または円柱型)および錐台型高層ビルに関して、パラメータを実際に与えたうえで、上で導いた、総投資コスト  $C$  が一定であるとき、投資効率係数  $I'$  が最大となる問題について数値解析を行う。

各パラメータは次のように定める。密度  $\rho$  は奥平[3]で使われている標準的なオフィス値を用い、 $\rho = 0.03$  人/ $m^3$  とする。エレベータ通路単位面積あたりの輸送量  $c$  の算定は難しい問題であるが、ここでは奥平[3]が推定した値を借用し、 $c = 35$  人/ $m^2$  とする。 $c_1$  は 20 万円/ $m^3$  とする。 $c_2$  は 200 万円

/ $m^2$  から 1000 万円/ $m^2$  の間にあるとする。すなわち、 $k' = c_2/c_1$  は 10 から 50 の間にあるとする。総投資コスト  $C$  は 3 千億円から 5 千億円の間にあるとする。

上で述べた制約つき非線形計画問題に関して、まず、 $\alpha, h, S$  を変数とし、さまざまな  $k'$  の場合の種類の  $C$  に対する最適ビル形状分布、最適ビル高さ分布と最適ビル底面積分布を求める。次に、 $\alpha, h, S$  のうち、一つのパラメータを固定したうえで、残った二つのパラメータを変数とし、それぞれの変数における最適ビル分布を求める。最後は、これらのすべての問題に関する最大収容人口分布を求める。

## 7 おわりに

通勤交通と投資効率を考慮した高層ビルの最適形状を定める三つのパラメータのなかで、まず、最適ビル形状は常に直方の形であることがわかった。次に、地価より最適ビル高さが定められる。(地価が高くなるにしたがい、最適ビル高さも大きくなる。)最後は、総投資コストより最適ビル底面積が求められる。(地価が高くなるにしたがい、最適ビル底面積は狭いところに向けて移動する。そして、総投資コストが大きくなるにしたがい、最適ビル底面積も大きくなる。)

今後の研究課題として、もっと実際にアプローチできるような高層ビルの内部交通解析および効率性解析、現実的なパラメータの同定、実際の問題への適用などが残されている。

## 参考文献

- [1] Li, M. Z., and M. Fushimi: The Efficiency Analysis of Skyscrapers Based on the Inner Traffic, *International Transactions in Operational Research (ITOR)* (Conditionally accepted).
- [2] 李 明哲, 伏見正則: 内部交通による錐台型ビルの通路面積解析, 日本 OR 学会春季大会アブストラクト集, 1996, pp. 4-5.
- [3] 奥平耕造: 都市工学読本, 彰国社, 1976.