1995年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

低層建物と高層建物との比較

01102840　筑波大学　腰塚武志 KOSHIZUKA Takeshi
筑波大学　岡崎正美 OKAZAKI Masami

1．はじめに

同じ床面積を持つ建物でも，高層なものと低層なものとではどこがどのように異なるだろうか．もちろん建物の強度や単価も異なるには違いないが，本論分ではこの高層なものと低層なものを建物内の移動という視点からのみみて，その特徴を議論したい．

2．距離の分布

建物内部では百貨店であれオフィスであれ，ある地点からある地点を直線で移動するよりは，図1で示されるように recti-linear 距離で移動するものと考えられる．そこでまず長辺が a，短辺が b の長方形の内部に図1のように x 軸と y 軸を定め，任意の2点をそれぞれ $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ とする．

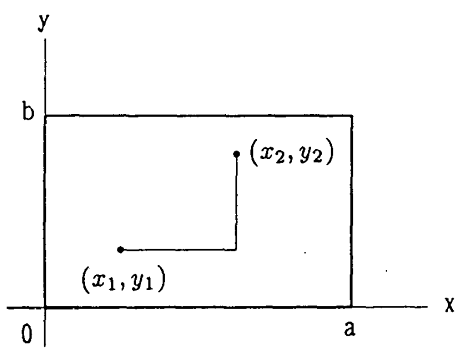

図1 平面における移動距離

このとき，2点の recti-linear 距離すなわち $|x_1-x_2| + |y_1-y_2|$ が r 以下である2点のペアの量を $F(r)$ とおくと，これは

$$F(r) = \iiiint_{|x_1-x_2|+|y_1-y_2|<r} dx_1 dy_1 dx_2 dy_2 \qquad (1)$$

とあらわされる．これを計算して，距離の分布をみるために $F(r)$ を r で微分した $f(r)$ を求めると，

$0 < r \leq b$ のとき

$$f(r) = \frac{2}{3}r^3 - 2(a+b)r^2 + 4abr,$$

$b < r \leq a$ のとき

$$f(r) = -2b^2 r + 2ab^2 + \frac{2}{3}b^3,$$

$a < r < a+b$ のとき

$$f(r) = \frac{2}{3}\{(a+b) - r\}^3 \qquad (2)$$

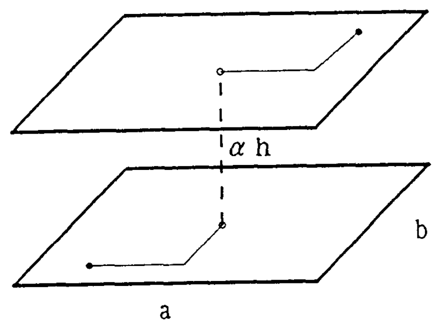

図2 異なる階の移動距離

となる．

つぎに同じく図2のように長辺が a，短辺が b の長方形をたてに高さ h の間隔で積み，階の違う2点間の距離を求めよう．異なる階は中心で移動できるものとして，その所要時間を距離に換算する係数を α とし，中心の移動距離を αh とすれば，同じように距離の分布を求めることができる．紙面の都合があるので簡単に $\alpha h = 0$ として以下のように表示し，実際にはこの r に $r - \alpha h$ を代入するものとする．

$0 < r < b/2$ のとき　$f(r) = \frac{8}{3}r^3,$

$b/2 < r < a/2$ のとき

$$f(r) = -\frac{8}{3}r^3 + 8br^2 - 4b^2 r + 2b^3,$$

$a/2 < r < b$ のとき

$$f(r) = -8r^3 + 8(a+b)r^2 - (b^2 + 4a^2)r + \frac{2}{3}(a^3 + b^3),$$

$b < r < a/2 + b/2$ のとき

$$f(r) = -\frac{16}{3}r^3 + 8ar^2 + (4b^2 - 4a^2)r + +2a^3 - 2b^3,$$

$a/2 + b/2 < r < a$ のとき

$$f(r) = \frac{16}{3}r^3 - (8a + 16b)r^2 + (12b^2 + 4a^2 + ab)r + \left(4ab^2 + 4a^2 b + \frac{10b^3}{3} + \frac{2a^3}{3}\right) r,$$

$a < r < a/2 + b$ のとき

$$f(r) = 8r^3 - 16(a+b)r^2 + 4(3a^2 + 4ab + 3b^2)r + 4ab^2 + 4a^2 b + \frac{10b^3}{3} + \frac{10a^3}{3},$$

$a/2+b<r<a+b/2$ のとき

$$f(r) = \frac{8}{3}r^3+8ar^2+(8a^2-4b^2)r +4ab^2-\frac{8a^3}{3}+2b^3,$$

$a+b/2<r<a+b$ のとき

$$f(r)=\frac{8}{3}\{(a+b)-r\}^3. \qquad (3)$$

3．建物内の距離分布

以上の式 (2) と (3) を用いれば，一つの階の平面の形が長方形でありさえすれば任意の階の建物の距離分布を求めることが可能になる．そこで最も簡単な場合について距離の分布を示してみよう．

まず総床面積を 100m×100m とし，床の形は簡単にしてすべて正方形と考える．まず1階建ての場合には式 (2) の a,b に 100m を入れれば求めることができる．次に2階建ての場合には，a,b に $100/\sqrt{2}$m を入れて1階の中での移動、2階の中だけの移動は式 (2) を用い、ついで1階から2階または2階から1階までの移動については式 (3) で、h に1階分を入れて算出し、これらを加え合わせれば求められる．以下各階の組合せを考慮すれば任意の n 階についても距離の分布を計算することが可能である．式 (3) でさえ場合分けが多いので，式に示すことはスペースの無駄と考えられるので，ここでは1階から6階までの距離の分布を図3で示すことにする．これをみると，まず最も距離の近い部分のペアーの量は同じものの徐々に低層の方のペアーの量が多くなり，ついで平均値をすぎたあたりの距離で 3,4 階のピークが顕著になり，長い距離は1階建てや6階建てが多いということになっている．

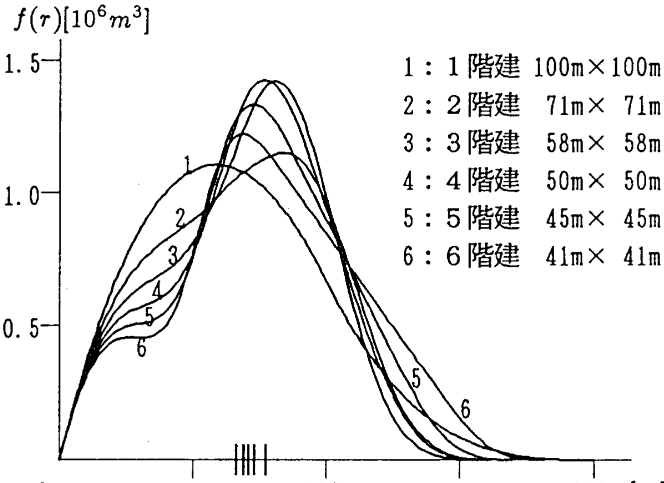

図3 距離分布の比較

距離の平均値を式 (2)(3) をもとに計算すると，1つの階の平面の長辺が a，短辺が b で n 階の建物について，その距離の平均値 $\bar{r}_n$ は

$$\bar{r}_n = \frac{3n-1}{6n}(a+b)+\frac{(n-1)(n+1)}{3n}\alpha h \qquad (4)$$

となる．そこで総床面積を一定，1つの階の平面の形は相似であると考えると，n 階の建物の1つの階の長辺を a_n，短辺を b_n とすれば，$a_n = a_1/\sqrt{n}, b_n = b_1/\sqrt{n}$ と書け，$a_1b_1 = na_nb_n$(総床面積一定) となっている．この a_n, b_n を式 (4) の a,b に代入すれば，床面積一定の場合の距離の平均値を

$$\bar{r}_n = \frac{3n-1}{6n\sqrt{n}}(a_1+b_1)+\frac{(n-1)(n+1)}{3n}\alpha h \qquad (5)$$

と書くことができ，これをもとに図6の場合の平均値を計算すると，1～6階における平均値は n が大きくなると少し増加するもののほとんど差はない（ただし $\alpha h = 20$(m) すなわち，階高を 4m，徒歩やエスカレーターの速さを垂直成分で徒歩の 1/5 としている）．

4．平面上の距離

以上より，6階程度までは，距離の分布からみてそれ程の差はないことがわかった．しかし，これ以上になると式 (5) の第2項がきいてきて，平均値は徐々に大きくなる．このときは上に登る手段もエスカレーターや徒歩からエレベーターに変化することが考えられ，式 (2) を別なものにしなければならないだろう．

ところでこの6階程度でも最も違いの出るのが平面を移動する部分である．このモデルでは垂直の移動も所要時間を平面の距離に換算して計算していて，先に述べたように移動距離の平均値では殆ど差はないが，水平と垂直を分けて考えれば当然のことながら差はある．式 (5) の左辺第1項は平面の移動に関するものであり，第2項は垂直方向の移動時間を平面距離に換算したものである．そこで第1項のみをとり上げて，この距離を1階建てのときの距離の平均値との比で表わして R_n とすれば，式 (5) よりこれは

$$R_n = \frac{3n-1}{2n\sqrt{n}} \qquad (6)$$

となる．これをみると6階建ての場合 R_n はほぼ 0.58 となり，平面を歩く距離が平均ととして1階建ての 58 %になることを示してる．さらに n が大きくなれば近似的に

$$R_n \sim 3/(2\sqrt{n}) \qquad (7)$$

となり，この比率は $\sqrt{n}$ に従って減ることがわかった．

5．おわりに

建物内部の移動をあらゆる地点のペアの距離からみて，移動に関する差異を表わすことができた．これによる垂直による移動を徒歩やエスカレーターとしたとき距離の平均値は1階～6階程度までは殆ど同じである．さらには水平方向の移動に要する距離（時間）を1階建てのときの距離（時間）の比率で簡単に表示できることが明らかになった．

参考文献

[1] 谷村秀彦，腰塚武志，他：都市計画数理．朝倉書店 (1986)．

[2] 岡崎正美：建物の階数とその内部の移動距離との関係．平成6年度筑波大学社会工学類都市計画専攻卒業論文（予定)．