2003年日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

交通路を持つ都市空間における距離分布

01205430　筑波大学 *鈴木 勉　SUZUKI Tsutomu
01102840　筑波大学 腰塚武志　KOSHIZUKA Takeshi

1．はじめに

本稿では，矩形あるいは直方体の都市空間と rectilinear 距離を前提として都市モデルを構築し，1次元空間での2種類の典型的な距離分布を基礎として，迂回を内包した2次元・3次元都市空間内での移動距離や移動時間の分布を，1次元空間における基本距離分布を組み合わせることによって理論的に導く．

2．空間の次元と移動距離分布

2．1　1次元空間の距離分布（図1）

線分$[0, a]$上の2点 x_1, x_2 間の直接距離を $r=|x_1-x_2|$で定義すると，任意の2点間の直接距離の距離分布は

$$f_{.}(r)=\frac{2(a-r)}{a^2} \qquad 0 \le x \le a \tag{1}$$

となる．一方，必ず線分の中心を経由する中心経由距離 $r=|x_1-a/2|+|x_2-a/2|$を考えると，距離分布は三角分布

$$f_1(r)=\begin{cases}\dfrac{4r}{a^2} & 0 \le r \le \dfrac{a}{2}\\ \dfrac{4(a-r)}{a^2} & \dfrac{a}{2} < r \le a\end{cases} \tag{2}$$

で与えられる(図4左(a=1 として描画))．これらの2種類の距離分布の平均 $E(r)$は各々 $a/3$, $a/2$ である．

2．2　2次元空間の距離分布（図2）

次に，正方形$[0, a]^2$内の2点(x_1, y_1), (x_2, y_2)間について，碁盤目状の稠密な道路網を想定したときの直接距離 $r=|x_1-x_2|+|y_1-y_2|$の距離分布は，上で求めた $f_{.}(r)$を用いて畳み込みの計算を行うことにより

$$g_{..}(r)=\int_{-\infty}^{\infty} f_{.}(r-x)f_{.}(x)dx$$
$$=\begin{cases}\dfrac{4}{a^4}\{ar(a-r)+\dfrac{r^3}{6}\} & 0 \le r \le a\\ \dfrac{2}{3a^4}(2a-r)^3 & a < r \le 2a\end{cases} \tag{3}$$

と求めることができる．ここで，中央に強力な交通路がある状況を考えると，y 方向のみその方向の中心を経由する距離（櫛状経路距離）$r=|x_1-x_2|+|y_1-a/2|+|y_2-a/2|$を定義することができる．この距離分布は今度は

$$g_{.1}(r)=\int_{-\infty}^{\infty} f_{.}(r-x)f_1(x)dx$$
$$=\begin{cases}\dfrac{4r^2}{3a^4}(3a-r) & 0 \le r \le \dfrac{a}{2}\\ \dfrac{1}{3a^4}(-7a^3+30a^2r-24ar^2+4r^3) & \dfrac{a}{2} < r \le a\\ \dfrac{1}{3a^4}(5a^3+6a^2r-12ar^2+4r^3) & a < r \le \dfrac{3}{2}a\\ \dfrac{4}{3a^4}(2a-r)^3 & \dfrac{3}{2}a < r \le 2a\end{cases} \tag{4}$$

といった畳み込みで求められる．2方向とも中心を経由させる場合は，正方形の中心経由距離 $r=|x_1-a/2|+|x_2-a/2|+|y_1-a/2|+|y_2-a/2|$となり，これも畳み込みの計算

$$g_{11}(r)=\int_{-\infty}^{\infty} f_1(r-x)f_1(x)dx$$
$$=\begin{cases}\dfrac{8r^3}{3a^4} & 0 \le r \le \dfrac{a}{2}\\ \dfrac{4}{3a^4}(a^3-6a^2r+12ar^2-6r^3) & \dfrac{a}{2} < r \le a\\ \dfrac{4}{3a^4}(-11a^3+30a^2r-24ar^2+6r^3) & a < r \le \dfrac{3}{2}a\\ \dfrac{8}{3a^4}(2a-r)^3 & \dfrac{3}{2}a < r \le 2a\end{cases} \tag{5}$$

で求められる(図4 中)．これら距離分布の平均は，元の分布の平均の和に等しいので各々 $2a/3$, $5a/6$, a である．

2．3　3次元空間の距離分布（図3）

同様の作法により，立方体内の2点間について4種類の距離（直接，ブラシ状，串刺状，中心経由）の距離分布 $h_{...}$, $h_{..1}$, $h_{.11}$, h_{111} が求められる（式は省略；図4 右）（例えば，$h_{.1}(r)=\int_{-\infty}^{\infty} f_1(r-x)g_{..}(x)dx$）．ブラシ状経路はビルが林立する市街地（地下にものびている）を記述し，串刺状経路は中央にエレベータシャフトを持つ大規模ビルを記述していると考えられる．平均は a, $7a/6$, $4a/3$, $3a/2$ である．

空間の次元の違いによる距離分布の形状を，最大距離が同じになるように基準化することによって比較すると，次元の増加とともに中心極限定理に従って正規分布に近づき，平均値付近の距離の移動の割合がだんだん大きくなっていくことがわかる（図5）．

3．高層化による距離分布の変化とコンパクト都市形状

市街地の密度上昇に伴って建物が高層化し，やがてペンシルビルのような建物が林立した状態になると，むしろ高速なエレベータを持つ大規模な高層ビル（極端には超高層都市のようなもの）を建てた方がよいであろう．3次元空間の距離分布において，高さのみを b に置き換え，a(=1 とする)に対する大きさを可変として $h_{...}$, $h_{..1}$, $h_{11.}$, h_{111}（最後の添字が垂直方向の移動経路）の変化を調べると，$h_{..1}$ の平均は $2a/3+b/2$, $h_{11.}$の平均は $a+b/3$ であるから，両者が等しくなる $b=2a$ のあたりがブラシ状と串刺状の優劣の境目（遷移点）になり，これより低い場合はビルが林立する状態の方が移動距離は短く，逆に高い場合は大規模ビルに統合した方が短い(図6)．

図7に都市形状 b/a と平均距離 $E(r)$の関係を示す．同じ体積の空間を用意するときに，ブラシ状と串刺状の何れかでなるべくコンパクトな形状にするには，b/a が自

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

図１　１次元空間における距離
（左：直接距離，右：中心経由距離）

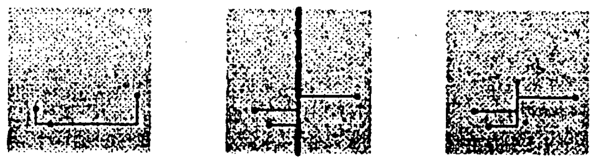

図２　２次元空間における距離
（左：直接距離，中：櫛形，右：中心経由距離）

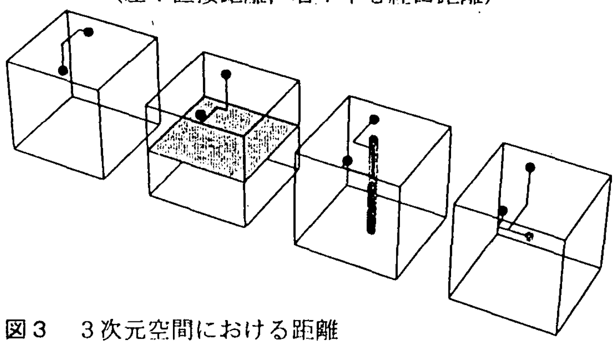

図３　３次元空間における距離
（左：直接距離，中左：ブラシ型，中右：串刺型，
右：中心経由距離）

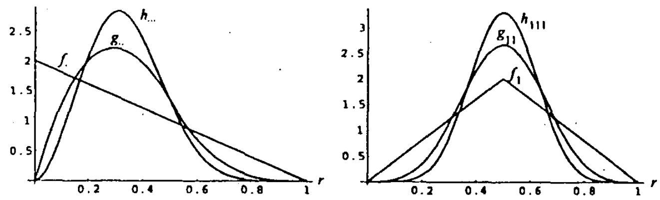

図５　次元と距離分布の関係
（左：任意の２点間の直接距離，右：中心経由距離）

由に選べるならば $b/a=2/3$ としてブラシ状経路を造った方が有利であるが，高地価などの理由から高層化し，遷移点を超えて $b/a>2$ となると串刺状経路の方が有利になり，高層建築が建設されるようになると思われる（図７）．

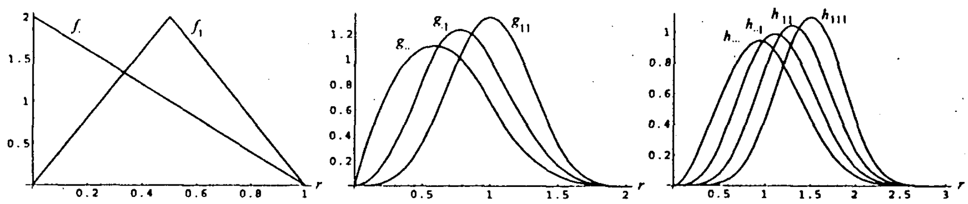

図４　次元別の距離分布（左：１次元，中：２次元，右：３次元）

４．おわりに

典型的な交通路形状を持つ空間の距離分布が基本的な距離分布の組合せから導出でき，高層化により交通路の設計パターンの優劣が変わることが明らかとなった．

本研究は医療科学研究所研究助成及び日本学術振興会科学研究費補助金による成果の一部である．

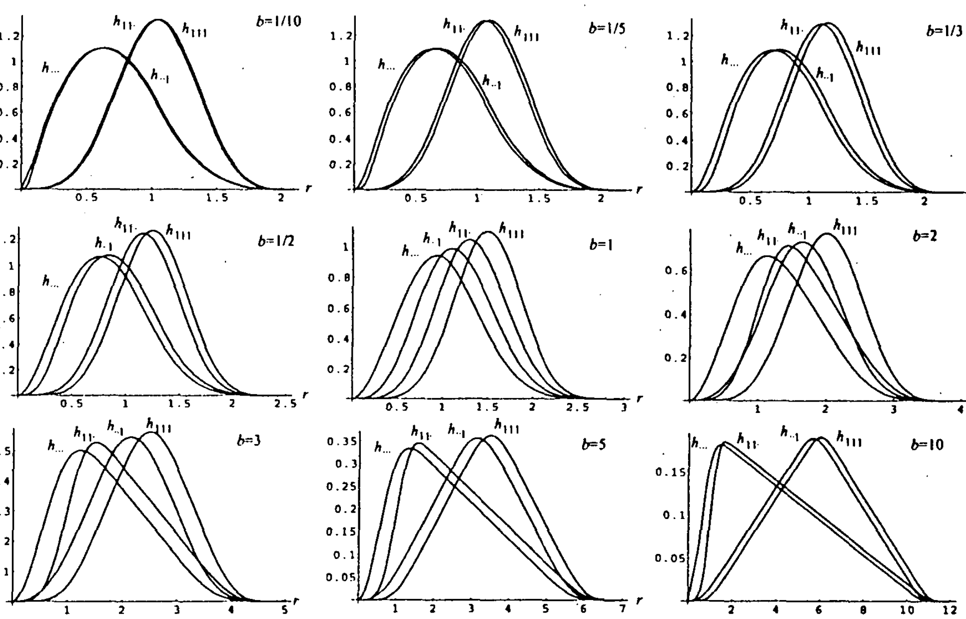

図６　３次元都市での高さの違いと距離分布の変化

参考文献

[1] 腰塚武志 (1996) 建物内の移動距離からみた低層建物と高層建物の比較．都市計画論文集, 31, 31-36.

[2] 腰塚武志・石井儀光 (2000) 新宿高層ビル群における移動時間分布．都市計画論文集, 35, 1003-1008.

[3] 栗田　治・腰塚武志 (2001) 省エネルギー直方体都市のプロポーション解析．日本建築学会計画系論文集, 544, 125-131.

[4] 鈴木　勉 (1993) 都市の立体的形態と移動負荷．OR 学会秋季研究発表会アブストラクト集, 140-141.

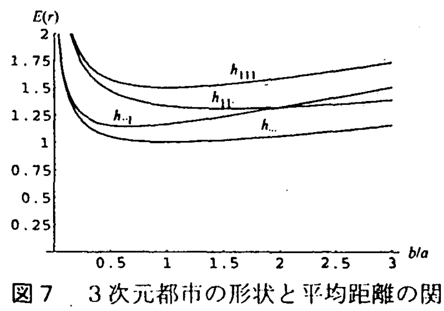

図７　３次元都市の形状と平均距離の関係

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．