

移動時間を最小にする都市の形状

02103320 中央大学 小林 亨* KOBAYASHI Toru
01303730 中央大学 田口 東 TAGUCHI Azuma

1. はじめに

多くの人々を建物や都市のような定められた領域に収容する場合、人々の間に発生する交通とそれに要する容積を考えることが必要である。それらの交通は、建物や都市の広さや高さ、人口の分布や移動量、移動路に依存する。[1]では、1次元の都市における都市の形態と移動距離の関係について論じている。また、交通が渋滞なくおこなわれるために、住居領域と交通路の配分を考える必要がある[2]。本研究では、2次元の都市において交通による総移動時間を最小にするような、交通路と住居領域の配分を考慮した都市の形状を考える。

2. モデルの概要

都市に収容しなければならない人口 N が決まっているとする。図1のように、1辺 a の正方形都市領域を $n \times n$ の正方形グリッドに分ける。また、それぞれのグリッドを g_{ij} , ($i, j = 1, 2, \dots, n$) のように呼ぶことにする。人口密度を一定値 ρ とすれば、グリッド1つ分、単位高さあたり人口 σ は $\sigma = \rho \cdot (a/n)^2$ となる。

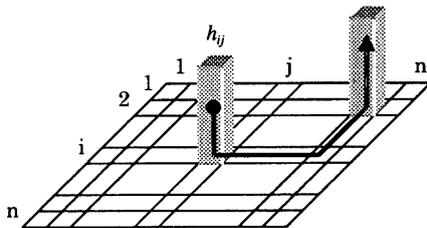


図1

次に移動について考える。水平方向の移動は一旦地上に降りてからおこなわれるとし、地上においては左折を一度だけする経路に沿って移動するとする。ここで、水平方向グリッド1つ分の移動時間を s_h とし、垂直方向単位高さあたり移動時間を s_v とする。このとき、グリッド $g_{i_1 j_1}$ の高さ k_1 からグリッド $g_{i_2 j_2}$ の高さ k_2 への移動時間は

$$t(g_{i_1 j_1}, k_1, g_{i_2 j_2}, k_2) = s_h(|i_1 - i_2| + |j_1 - j_2|) + \begin{cases} s_v(k_1 + k_2), & (i_1 \neq i_2 \text{ or } j_1 \neq j_2) \\ s_v(|k_1 - k_2|), & (i_1 = i_2 \text{ and } j_1 = j_2) \end{cases}$$

となる。

3. 交通路と住居領域の配分

地上部分に水平方向の移動に使う交通路を設ける場合を考える。ただし、垂直方向の移動に使う交通路は人口密度の部分に含まれているとする。グリッド g_{ij} における住居領域の割合を

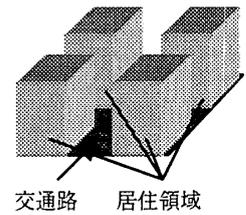


図2

とする。グリッド g_{ij} における住居領域の割合を

r_{ij} , ($0 \leq r_{ij} \leq 1$) とし、交通路の割合を $1 - r_{ij}$ とする。すると、 g_{ij} の建物の人口は $\sigma \cdot r_{ij} \cdot h_{ij}$ で表される。これより、都市内の人口は $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma \cdot r_{ij} \cdot h_{ij}$ となる。

$R(g_{i_1 j_1}, g_{i_2 j_2})$ を $g_{i_1 j_1}$ から $g_{i_2 j_2}$ への経路(グリッドの集合)とする。単位時間あたりの任意の人の対に対する交通発生率を b とすれば、単位時間内にグリッド $g_{i_0 j_0}$ を通過する交通量 $s_{i_0 j_0}$ は

$$b\sigma^2 \sum_{g_{i_1 j_1}} \sum_{g_{i_2 j_2}} r_{i_1 j_1} \cdot h_{i_1 j_1} \cdot r_{i_2 j_2} \cdot h_{i_2 j_2} \Big|_{R(g_{i_1 j_1}, g_{i_2 j_2}) \cap g_{i_0 j_0} \neq \emptyset}$$

となる。交通路は、単位面積あたり単位時間に最大 c 人が通過できるとすると、必要となる交通路面積と交通量の関係は次の式で与えられる。

$$c(1 - r_{ij})(a/n)^2 \geq s_{ij}$$

以上を用いて定式化すると

決定変数 g_{ij} における建物の高さ h_{ij}

g_{ij} における住居領域の割合 r_{ij}

定数 都市に収容する人口 N

目的関数(総移動時間)

$$\min \sum_{g_{i_1 j_1}} \sum_{g_{i_2 j_2}} b\sigma^2 r_{i_1 j_1} r_{i_2 j_2} \int_0^{h_{i_1 j_1}} \int_0^{h_{i_2 j_2}} t(g_{i_1 j_1}, k_1, g_{i_2 j_2}, k_2) dk_1 dk_2$$

(1)

制約条件

$$\sigma \sum_{ij} r_{ij} \cdot h_{ij} = N \quad (2)$$

$$c(1 - r_{ij})(a/n)^2 \geq s_{ij} \quad (3)$$

$$h_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

$$0 \leq r_{ij} \leq 1 \quad (5)$$

4. 計算例

以下のように数値を定めて計算した例を示す。

都市	グリッドの幅	100 [m]
	グリッド数	10×10
	人口密度	0.01 [人/m ³]
	人口	10 ⁵ [人]
	交通発生率	2×10 ⁻⁴ [/時]
速度	水平方向	10 ⁴ [m/時]
	垂直方向	800 [m/時]
	交通路容量	100 [人/m ² /時]

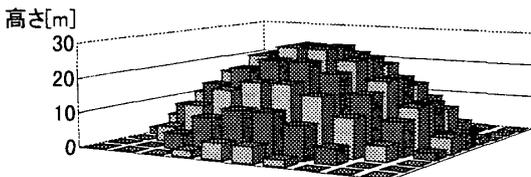


図3 移動時間を最小にする都市形状

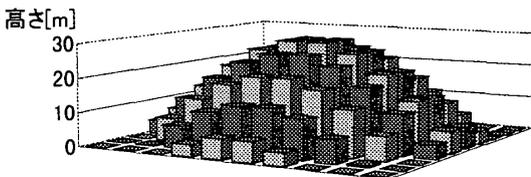


図4 交通路の配分を考慮した場合

図3は交通路の配分を考慮しない($r_{ij} = 1.0$ に固定)ときの各グリッドにおける高さを、図4は交通路の配分を考慮したときのそれを示している。前者のときの総移動時間は 1.325×10^5 [時]、後者のときの総移動時間は 1.394×10^5 (時)となった。

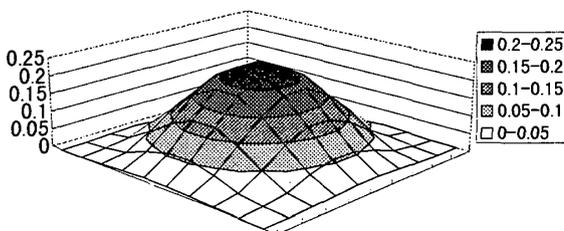


図5 交通路領域の割合

図5は交通路の割合を示している。以上より、交通路を十分に確保するために建物が高くなった分、移動時間が増加している。

図6は交通発生率を変化させたときの1交通あたりの平均移動時間を、図7は交通発生率を 10^{-3} としたときの交通路の割合を示している。

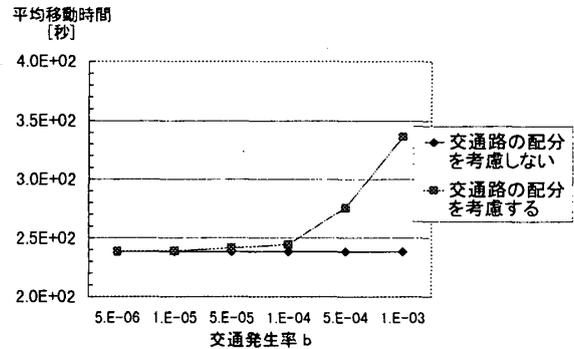


図6 1交通あたりの平均移動時間

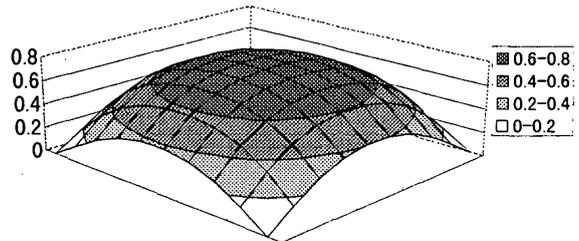


図7 交通発生率が高い場合

このとき、都市の中心部における住居領域は2割程度になり、都市領域全体の半分以上を交通路として確保しなければならない。また、これ以上交通発生率を増やすと、中心部のグリッドにおける交通路の割合が1に近づき、建物を建てることのできない交通路だけのグリッドがでてきてしまう。

5. おわりに

本稿では、単純な仮定において交通路と住居領域の配分を考えた場合の、都市の建物の高さや移動時間について論じてきた。

参考文献

[1] 鈴木 勉：都市の立体的形態と移動負荷，日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集，pp.140-141，1993。
 [2] 田口 東：都市空間の道路と住居への配分，JORSJ，Vol.38，No.4，pp.398-408，1994。