交通密度を考慮した都市の立体的形状

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

大都市への人口集中は，通勤圏の拡大をもたらし，移動時間(通勤時間)の増大や交通渋滞などにつながっている．[1]では，2次元の都市において，交通路と住居領域の配分を考えて，総移動時間を最小にする都市の形状を考えた．この配分は，交通渋滞が起きないように，交通需要に応じた十分な交通路を設けるものであった．本稿では，交通密度と速度の関係を考慮に入れ，交通路面積と交通量によって速度が定まるとして，総移動時間を最小にする都市の立体的形状について考える．

2.　モデルの概要

図1に示すように，1辺がWの正方形都市領域Dを考える．この領域は$N = n \times n$個の等しい正方形グリッドから成り立つ．各グリッドの1辺は$w = W/n$であり，それぞれのグリッドを$g_i, (i = 1,2,\cdots,N)$と呼ぶ．g_iにおけるの建物の高さをh_i，居住地と交通路の面積比を$(r_i : 1 - r_i)$と表す．建物内には，一様に単位体積あたりρ人が分布している．よって，都市に収容する総人口をPopとすると，

$$Pop = \sum_{i=1}^{N} \rho w^2 h_i r_i$$

が成り立つ．

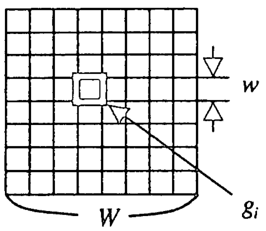

図1グリッド状の都市D

次に移動について考える．人の移動は，それぞれの住んでいる所を始点及び終点として，都市に住むすべての人の組み合わせに対して，単位時間あたり確率bで発生すると仮定する．また，都市内の交通路は格子状であるとする．水平方向には一旦地上に降りてから移動するとし，地上の経路で曲がる場合には左折を一度だけするとする．垂直方向の移動は始終点とその直下の地上面との間の昇降である．g_iを通過する交通量s_iは，

$$s_i = b\rho^2 w^4 \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} y_{jk}^i r_j h_j r_k h_k$$

となる．ここで，y_{jk}^iは$g_j \to g_k$への左折経路が通過するグリッドの集合を$\mathbb{R}_{jk}$としたとき，以下のように与えられる値である．

$$y_{jk}^i = \begin{cases} 1, & i \in \mathbb{R}_{jk}, i \neq j,k \\ 0.5, & i = j \text{ or } k \\ 0, & i \notin \mathbb{R}_{jk} \text{ or } j = k \end{cases}$$

3.　交通密度と速度の関係

ここで用いる交通密度は，単位時間に単位面積を通過する人数とする．g_iにおける交通密度をu_iと表すと，

$$u_i = \frac{s_i}{w^2(1 - r_i)}$$

となる．水平方向の速度を交通密度uの関数として$v(u)$とすると，g_iを通過するのにかかる時間z_iは，

$$z_i = w/v(u_i)$$

である．$v(u)$はuの減少関数であり，次のような直線の式を用いた．

$$v(u) = \frac{v_0}{\hat{c} - c}(\hat{c} - u)$$

v_0は渋滞が起きていないときの速度，cは渋滞を起こさない交通密度の上限，$\hat{c}$は速度が0となる飽和交通密度を表す．$v(u) \leq v_0$を満たすので，$u \geq c$が条件となる．すべての移動についてg_iで費やされる時間を合計したものは，交通量にグリッドの通過時間を掛けた$s_i z_i$に等しい．垂直方向の移動速度をv_vとしたとき，都市内の総移動時間Tは，

$$T = \sum_{i=1}^{N} z_i s_i + \frac{b\rho w^2 Pop}{v_v}\sum_{i=1}^{N} r_i h_i^2$$

である．

以上を用いて定式化すると，

変数　$h = (h_1, h_2, \cdots, h_N)$
　　　$r = (r_1, r_2, \cdots, r_N)$

目的関数(総移動時間)

$$\text{minimize} \quad T = \sum_{i=1}^{N} \frac{w s_i}{v(u_i)} + \frac{b\rho w^2 Pop}{v_v}\sum_{i=1}^{N} r_i h_i^2$$

制約条件

$$Pop = \sum_{i=1}^{N} \rho w^2 h_i r_i$$

$$s_i = b\rho^2 w^4 \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} y_{jk}^i r_j h_j r_k h_k, \quad i = 1,2,\cdots,N$$

$$u_i = \frac{s_i}{w^2(1-r_i)}, \qquad i = 1,2,\cdots,N$$

$$h_i \geq 0, \qquad i = 1,2,\cdots,N$$

$$0 \leq r_i \leq 1, \qquad i = 1,2,\cdots,N$$

4. 計算例

以下のように数値を定めて計算した例を示す.

w 100 [m], N 20×20,

ρ 0.01 [人/m^3], v_v 1000 [m/時],

自由速度v_0 10000 [m/時],

自由交通密度c 10 [人/m^2/時],

飽和交通密度$\hat{c}$ 100 [人/m^2/時].

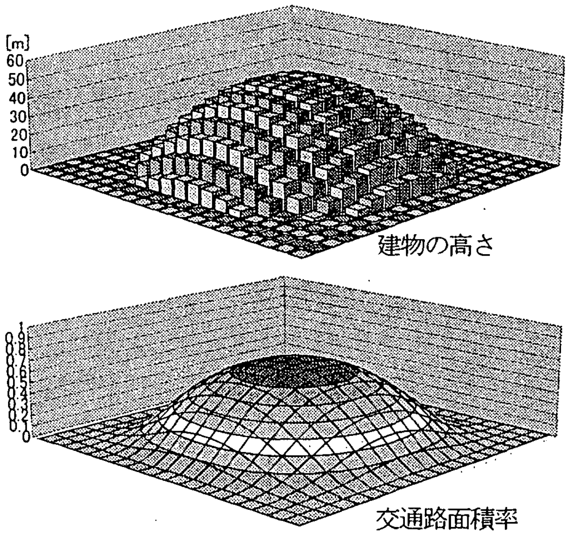

図2 交通密度一定としたときの計算結果

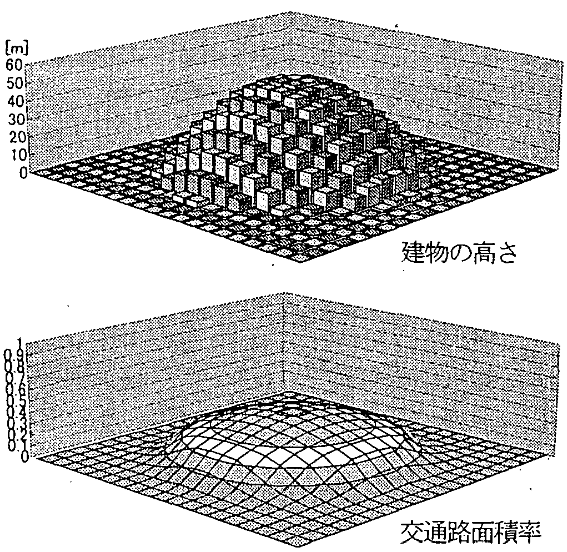

図3 交通密度可変としたときの計算結果

図2, 図3は交通密度を一定と可変にしたとき, それぞれの場合の各グリッドにおける建物の高さと交通路面積率の分布を表している. ここでは, 人口30万人, 交通発生率を10^{-5}[/時]とした. それぞれの総移動時間は(一定) 1.04×10^5 [時], (可変) 9.72×10^4 [時]となった. 交通密度を可変にする, つまり渋滞を起こすことによって交通路の面積を減少させることができ, 都市の広がりを抑えることができる.

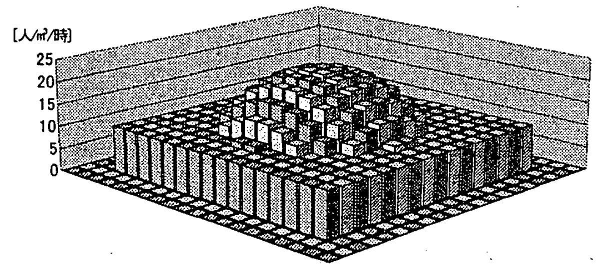

図4 交通密度

図4は, 交通密度を可変としたときの各グリッドにおける交通密度の分布である. 交通量の多い中心部での交通密度は, 自由交通密度の約2.3倍になっている. これが交通路面積の減少につながっている. その代わりに, 速度は15%程度低下している.

5. 左右経路選択

3章の定式化において, 左折経路か右折経路かの選択ができる問題を考えた. 図5は交通路面積率の分布を表している. 中心を避ける経路選択が起こるために, 交通量のピークは周辺部に移る. したがって, 中心部の交通路面積が減少し, 人口を中心部に集めることができる. 水平方向の移動時間が減少することによって, 総移動時間は9.53×10^4 [時]となった.

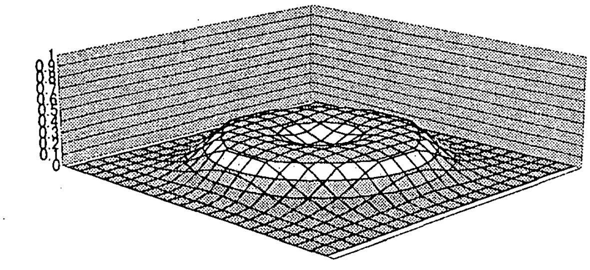

図5 左右経路選択時の交通路面積率

参考文献

[1] 小林 亨 : 移動時間を最小にする都市の形状, 日本オペレーションズ・リサーチ学会1999年度春季研究発表会アブストラクト集, pp.90-91.

[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.

[3] 大蔵 泉 : 交通工学, コロナ社, 1993.