

格子状高速交通網を持つ都市平面における距離・時間分布

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

高速交通路が生み出す迂回が移動距離や移動時間に与える影響を理論的に把握しておくことは、都市構造の計画設計において基本的な課題である<sup>[1][2][4]</sup>。本稿では、正方形の都市空間と rectilinear 距離を前提とした都市モデルを用いて、格子状の高速交通網が生み出す迂回を内包した移動距離・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導くことを目的とする。また、高速交通網の時間短縮効果や必要量との関係を明らかにする。

2. 格子状交通網を持つ正方形都市での距離分布

図1のように正方形の領域に格子状の高速交通網が存在する場合を考えよう。但し、交通路は各方向とも等間隔に並べられるものとする。このとき、任意の2点間の経路は、縦横方向とも交通路を少なくとも1回は経由あるいは横断するように決定されるものとする。このとき、縦方向及び横方向の移動を各方向別に分離すると、横方向の移動は、1次元空間において縦貫する交通路の位置を経由する経路のうち最短のものと一致し、縦方向の移動も同様に、1次元空間において横断する交通路の位置を経由する経路のうち最短のものと一致する。

そこで、鈴木・腰塚[3]の方法と同様に、1次元空間での  $n$  点経由距離を考える(図2)と、発地と着地の位置の組と経由距離の関係は、例えば  $n=3$  の場合、図3の等高線で示したようになる。したがって、任意の2点間の  $n$  点経由距離の分布は、

$$f_n(r) = \begin{cases} \frac{4nr}{a^2} & 0 \leq r \leq \frac{a}{2n} \\ \frac{4(n-2)}{a^2}r + \frac{4}{na} & \frac{a}{2n} < r \leq \frac{a}{n} \\ \frac{2(a-r)}{a^2} & \frac{a}{n} < r \leq a \end{cases} \quad (1)$$

と求められる。平均は  $E(r) = (2n^3 + 2n - 1)a / (6n^3)$ 、分散は  $V(r) = (4n^6 - 16n^4 + 32n^3 - 23n^2 + 8n - 2)a^2 / (72n^6)$  である。上式は  $n \geq 1$  で成り立ち、また  $n \rightarrow \infty$  の極限は[3]の2点間の直接距離  $f(r)$  と一致する。

図1のような2次元空間の場合は、移動距離は縦方向と横方向の和になるので、上の分布を用いて畳み込みの計算をすることによって求められる。すなわち、縦方向に  $m$  本、横方向に  $n$  本の交通路が通るような交通網を持つ正方形領域における距離分布は、

$$g_{mn}(r) = \int_0^r f_m(r-x)f_n(x)dx \quad (2)$$

によって求めることができる。縦・横方向の本数が同じ場合の  $g_{nn}$  の分布の平均は  $E(r) = (2n^3 + 2n - 1)a / (3n^3)$ 、分散は  $V(r) = (4n^6 - 16n^4 + 32n^3 - 23n^2 + 8n - 2)a^2 / (36n^6)$  である。

$a=1$  の場合について  $n=1,2,3,4, n \rightarrow \infty$  と変化させた場合の経由距離分布  $f_n, g_{nn}$  の変化を示すと、図4のようになる。 $g_{nn}$  が縦横それぞれ  $n$  本ずつの格子状交通網を持つ正方形領域における距離分布である。 $n$  が  $1, \infty$  以外の場合、 $f_n$  が不連続点を持つために  $g_{nn}$  も微分不可能点を持つ分布となり、 $n$  の増加とともに  $g_{nn}$  に近づいていく様子がわかる。経由地数  $n$  と  $E(r)$  の関係を示したのが、図5である。 $n$  の増加に従って  $1/2$  から減少し、 $1/3$  に収束していく様子がわかる。

3. 高速移動を仮定した場合の移動時間分布

移動距離ではなく交通路での高速移動を前提とした移動時間分布で見るとどうなるであろうか。いま、経由地(交差点)間を移動する場合、交通路上では通常の  $c$  ( $0 \leq c \leq 1$ ) 倍の時間で移動可能であると仮定する。例えば、図3の1次元空間での移動時間は、薄い網掛部では経由地間1区間を移動し、濃い網掛部では交差点間2区間を移動する(白抜数字が区間数)。このように経由地間の何区間を移動するかで場合分けを行い、それぞれについて移動時間分布を求めて足し上げることにより移動時間分布を求める。

経由地間の移動区間がない移動の時間分布は

$$f_n^0(r) = \begin{cases} \frac{4nr}{a^2} & 0 \leq r \leq \frac{a}{2n} \\ \frac{4(n-2)}{a^2}r + \frac{4}{na} & \frac{a}{2n} < r \leq \frac{a}{n} \\ \frac{2(2n-1)}{a^2} - \frac{2n}{na}r & \frac{a}{n} < r \leq \frac{3a}{2n} \\ \frac{na}{a^2} - \frac{2a}{n}r & \frac{3a}{2n} < r \leq \frac{2a}{n} \\ \frac{2(n-2)}{a^2}(\frac{2a}{n} - r) & \frac{2a}{n} < r \leq a \end{cases} \quad (3)$$

となる。また、経由地間を  $i$  ( $1 \leq i \leq n-2$ ) 区間移動するものの移動時間分布は

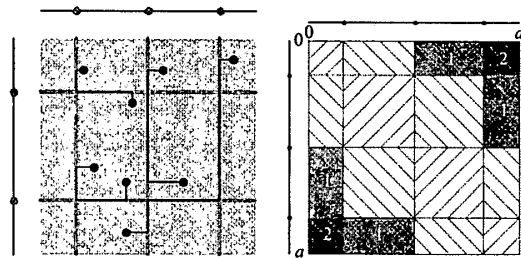


図1 高速交通網を持つ都市平面内での移動経路 図3 起終点のペアと経由距離

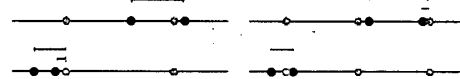


図2 2点・3点経由距離

$$f_n^0(r) = \begin{cases} \frac{2(n-i)}{a^2} (r - \frac{i}{n}ac) & \frac{i}{n}ac \leq r \leq \frac{i}{n}ac + \frac{a}{2n} \\ \frac{2(n-i-2)}{a^2} (r - \frac{i}{n}ac) + \frac{2}{na} & \frac{i}{n}ac + \frac{a}{2n} < r \leq \frac{i}{n}ac + \frac{a}{n} \\ \frac{2(n-i)}{a^2} (\frac{i}{n}ac - r) + \frac{2(2n-2i-1)}{na} & \frac{i}{n}ac + \frac{a}{n} < r \leq \frac{i}{n}ac + \frac{3a}{2n} \\ \frac{2(n-i-2)}{a^2} (\frac{i}{n}ac + \frac{2a}{n} - r) & \frac{i}{n}ac + \frac{3a}{2n} < r \leq \frac{i}{n}ac + \frac{2a}{n} \end{cases} \quad (4)$$

となり、 $(n-1)$ 区間移動するものの移動時間分布は

$$f_n^0(r) = \begin{cases} \frac{2}{a^2} (r - \frac{n-1}{n}ac) & \frac{n-1}{n}ac \leq r \leq \frac{n-1}{n}ac + \frac{a}{2n} \\ \frac{2}{a^2} (\frac{a}{n} + \frac{n-1}{n}ac - r) & \frac{n-1}{n}ac + \frac{a}{2n} < r \leq \frac{n-1}{n}ac + \frac{a}{n} \end{cases} \quad (5)$$

となる。これらの和の分布が移動時間分布  $f_n$  である。その平均は  $E(r) = \{(2n^3 - 6n^2 + 7n - 3)c + 6n^2 - 5n + 2\}a / (6n^3)$  となる。図6は、図3の  $f_3$  の例について、 $c=1, 1/2, 0$  の場合のそれぞれの時間分布  $f_3^i$  とその和の分布  $f_3$  を示したものである。それぞれの分布形状は変わらないが速度の差が位置の差となって現れ、交通路上の速度が速く( $c$  が小さく)なるにつれて、和の時間分布は左にシフトしていく様子が読み取れる。

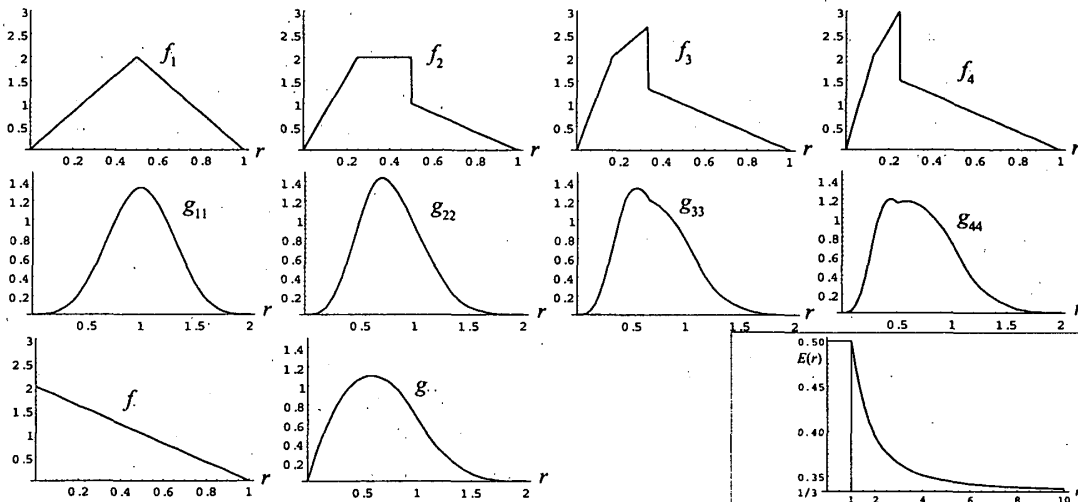


図4 経由距離による距離分布

図5 経由地数と平均移動距離

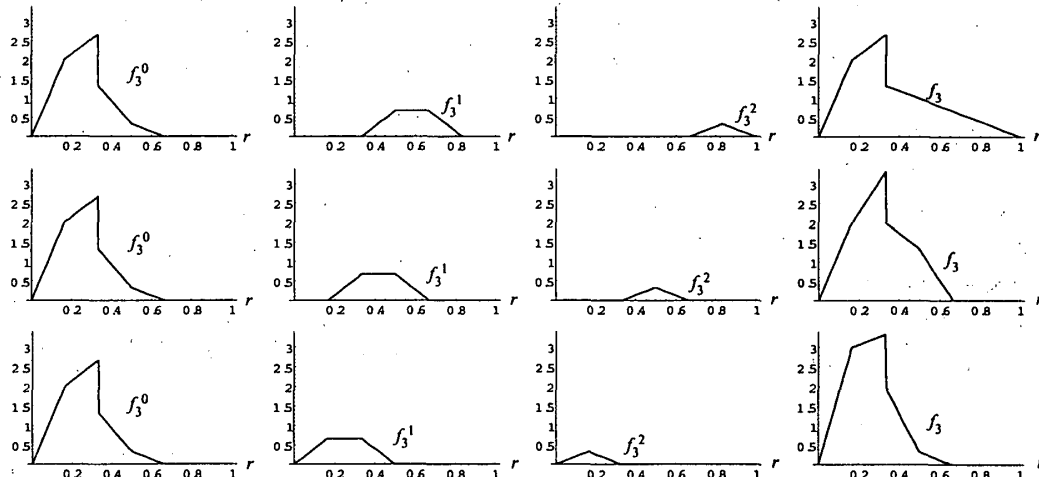


図6 経由距離による移動時間分布 (上:  $c=1$ , 中:  $c=0.5$ , 下:  $c=0$ )

この分布を基本として畳み込みの計算を行うことにより、2次元や3次元空間における格子状交通路を経由する移動時間分布を求めることができる。

#### 4. おわりに

本論文のモデルでは、モデルの簡便さを優先したため、2地点間の厳密な最短経路を完全には再現していない。しかし、都市空間における距離や時間を与える交通路のマクロレベルでの基本的性質は整理されたと考えている。なお、本研究は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。

#### 参考文献

- [1] 有井良仁・腰塚武志 (1997) 移動時間短縮効果の算出方法に関する場合分けアルゴリズム, 都市計画論文集, 32, 151-156.
- [2] 三浦英俊・腰塚武志 (1993) 2種類の交通手段を持つ領域の移動時間について, 都市計画論文集, 28, 397-402.
- [3] 鈴木 勉・腰塚武志 (2003) 交通路を持つ都市空間における距離分布. OR 学会春季, 170-171.
- [4] 田村一軌・腰塚武志 (2000) 道路網上の距離分布と流動量分布に関する基礎的研究, 都市計画論文集, 35, 1021-1026.