2000年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

迂回距離と旅行自由度との関係について

02602330　筑波大学 *宮川雅至　MIYAGAWA Masashi
01009480　筑波大学　大澤義明　OHSAWA Yoshiaki

1. はじめに

近年道路網の整備や交流の広域化，泊まり込み型レジャーの増加などによる移動の長距離化に伴い，移動途中に休憩や観光のために寄り道をする機会が多い．日常生活においても通勤・帰宅途中に買い物をしたり，銀行・郵便局などを利用することが多々あり，寄り道は移動の基本的なパターンである．しかしながら，従来の都市空間分析においては，移動主体は最短距離で移動する，道路ネットワーク上においては最短経路を移動するという仮定を設けることが頻繁に行われてきた．本研究では最短距離を移動するという仮定を緩和し，一定の迂回距離内でどれだけ離れた地点まで立ち寄り可能になるかを議論する．迂回を許すことによって立ち寄り可能となる地域の面積を旅行自由度と呼び，これを解析的に求める．また，この旅行自由度から最近隣距離分布と期待値を理論的に導出する．

2. 楕円モデル

出発地 O から目的地 D へ向かうとき，起終点間距離を T，迂回距離を $2r$ とすると，総移動距離が等しくなる地点の集合は楕円になり，楕円上の地点へ立ち寄るときの移動距離はすべて $T+2r$ となる．このとき，楕円の内部はすべて $2r$ 以内の迂回で立ち寄り可能となるから，旅行自由度は楕円の面積になる．

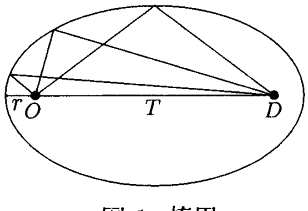

図 1: 楕円

楕円の面積は，

$$S=\pi\left(\frac{T}{2}+r\right)\sqrt{Tr+r^2} \tag{1}$$

と表せる．従って，S は r が大きいときには r についての 2 次関数となり，また T に関しては，T が大きくなるにつれ 1.5 次関数として表される．r や T がさほど大きくないときの迂回距離と旅行自由度の関係は図 2 のようになる．これより，迂回距離が大きくなるほど旅行自由度も大きくなることが分かり，それは起終点間距離 T が大きいときの方が顕著である．

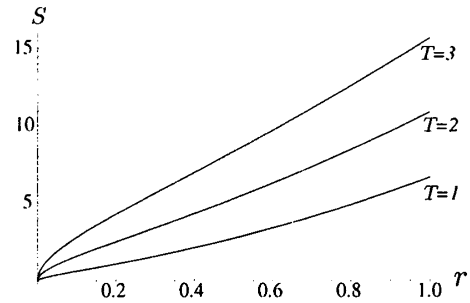

図 2: 楕円の旅行自由度

3. 道路ネットワークへの適用

次に，道路上を移動するときの分析を茨城県の国道・主要地方道のネットワーク（ノード数 460，リンク数 686）を用いて行う．ネットワーク上の地点に立ち寄るための迂回距離は文献 [1] で示された方法で求まり，リンク上で迂回距離は 1 次関数として表される．出発地を取手の茨城県境，目的地を北茨城の県境とし，迂回距離を 3 次元的に表したものが図 3 である．

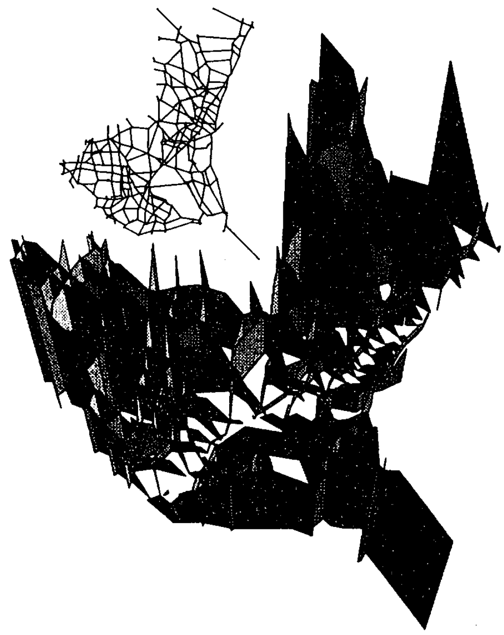

図 3: 茨城県の道路ネットワークと迂回距離

従って，移動主体が許容できる迂回距離が与えられれば，立ち寄り可能な範囲はその値以下のノード・リンクとなり，図 3 を水平に切った断面の形が楕円の一部になることが確かめられる．また，道路密度の低い県北西部にはあまり立ち寄られないといえる．

旅行自由度を立ち寄り可能なノード数で表すことにする．図4は出発地を筑波大学付近に固定した92組の起終点間の道路距離と10kmの迂回で立ち寄り可能なノード数をプロットしたものである．曲線は直線距離の場合の旅行自由度を各ノードに面積を割り当てることでノード数に変換したものを表している．T が小さいときには両者はほぼ一致しているが，T が大きくなるにつれ差が開く傾向にある．これは茨城県外のノードが数えられておらず，また東側が海に面しているためであろう．

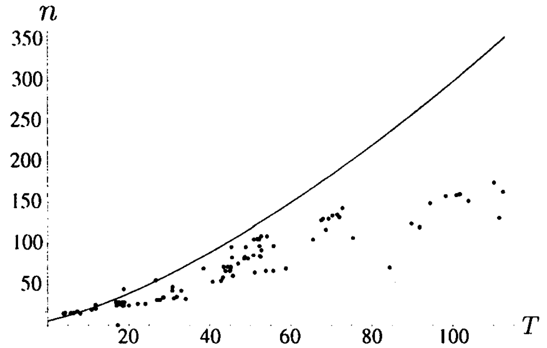

図 4: 起終点間距離と立ち寄り可能ノード数

4. 最近隣距離

本節では立ち寄り易さの指標として最近隣距離について議論する．最近隣距離とは任意の移動に対し，最小の迂回で立ち寄り可能な地点までの迂回距離と定義する．立ち寄る地点が一様にランダムに分布していると仮定する．面積 S の中に点が x 個ある確率を $P(x,S)$ と表すことにすると，楕円の中に少なくとも1つの点がある，つまり最近隣距離を R としたとき $0<R<r$ である確率は全体から点が1つもない確率を引くことにより，

$$\int_0^r f(R)\,dR = 1 - P(0,S) \tag{2}$$

という関係が得られる．最近隣距離の確率密度関数は上式を r で微分して

$$f(r) = -\frac{dP(0,S)}{dr} \tag{3}$$

となる（文献[2]）．ここで，点の密度を ρ とすれば，$P(x,S)$ はポアソン分布に従うから，式(1)より，

$$P(0,S) = \exp\left\{-\rho\pi\left(\frac{T}{2}+r\right)\sqrt{Tr+r^2}\right\} \tag{4}$$

とできる．従って，$f(r)$ は次のように導かれる

$$f(r) = \rho\pi\left\{\sqrt{Tr+r^2} + \left(\frac{T}{2}+r\right)^2 \frac{1}{\sqrt{Tr+r^2}}\right\} \exp\left\{-\rho\pi\left(\frac{T}{2}+r\right)\sqrt{Tr+r^2}\right\}. \tag{5}$$

図5は $\rho=1$ として $T=1,2,3$ と変化させたときの最近隣距離の確率密度関数を表す．T が大きくなる，つまり長距離になるほど迂回距離が小さくても途中に立ち寄ることのできる確率が高くなり直感と一致する．

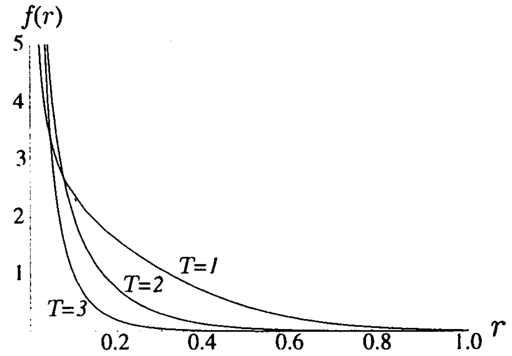

図 5: 最近隣距離の確率密度関数

最近隣距離 R の n 乗の期待値は定義より

$$E(R^n) = \int_0^\infty r^n f(r)\,dr \tag{6}$$

となるが，初等関数では表すことができないため，$n=1,2,3$ のときの数値積分による結果を図6に載せた．

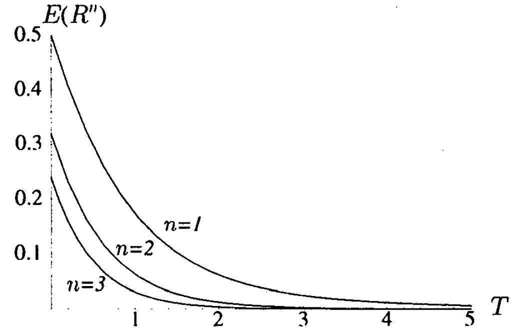

図 6: n 乗の期待値

なお，k 近隣距離に関しても同様にして求まる．

5. おわりに

以上の考察より，迂回距離と旅行自由度との関係が明らかになり，それが道路ネットワーク上においても成立することを確認した．また，最近隣距離を求めることにより，旅行自由度と実際の立ち寄り易さの関連を示した．

参考文献

[1] 田村一軌，腰塚武志 (1998)：ネットワークの距離分布．日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集，pp.222-223.

[2] 腰塚武志 (1985)：都市施設の密度と利用者からの距離との関係について．昭和60年度第20回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.85-90.

[3] 日本建築学会編 (1992)：建築・都市計画のためのモデル分析の手法．井上書院．