

移動時間の短縮効果からみた交通網の評価

02601310 明海大学 三浦英俊 MIURA Hidetoshi

1. はじめに

交通網を利用して目的地へ移動しようとするとき、利用によって全く所用時間が短縮されなかったとすれば、移動時間短縮という観点からはこの場合交通網を利用することは無意味である。交通網の改良にあたって利用者の時間短縮に関する不便を解消しようとするならば、交通機関を利用しても所用時間が短縮されない起点終点の量を可能な限り少なくすべきであろう。本研究では、そのような起点終点(以降低速起点終点と呼ぶことにする)の量を交通網評価の尺度として用いる数理モデルを提案する。

2. 利用交通機関の判別

図1のように速度 v_1 でいつでもどこへでも自由に利用できる低速度交通機関を持つ xy 平面に、両端に利用開始点 P_A と利用終了点 P_B を持ち、経路長 d 、速度 $v_2 (> v_1)$ の高速度交通機関が敷設されているとする。 xy 平面上の全ての起点終点間の移動は、常に最短移動時間を達成する経路と交通機関を利用すると仮定する。すなわち、<低速度交通機関のみを利用して起点から終点まで直線経路>か、または< P_A から P_B まで高速度交通機関を利用するような経路>を選択するかのどちらかである。ここで xy 平面上の任意の直線 L に注目して、 L 上の全ての起点終点間の経路を判別する。原点 O から L に垂線 L' を下ろして、 L との交点を O' とする。 L' は y 座標値が増加する方向を正の向きと定めて、 O' の L' 上の直線座標を O を原点として p と置く。また、 L' が x 軸と成す角度を $\theta (0 \leq \theta < \pi)$ と置き、 L を位置 p, θ の直線と呼ぶことにする。さらに、 L 上において x 座標値が増加する方向を正の向きとして、 L 上の起点と終点の座標を O' を原点とした直線座標で表わす。以上が判別のための準備である。さて、 P_A, P_B の xy 座標をそれぞれ $(x_A, y_A), (x_B, y_B)$ 、 P_A, P_B から L へ下ろした垂線の足 Q_A, Q_B の L 上の座標をそ

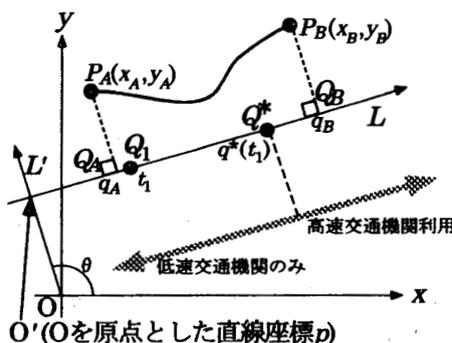


図1: 交通網と直線 L

れぞれ q_A, q_B として、 L 上の任意の起点 Q_1 の直線上の座標 t_1 に対応する低速交通機関のみを利用する終点と高速交通機関を利用する経路の終点との境界点を Q^* と置くと、その L 上の位置を $q^*(t_1)$ は、

$$\begin{aligned} r_A &= |x_A \cos \theta + y_A \sin \theta - p|, \\ r_B &= |x_B \cos \theta + y_B \sin \theta - p|, \\ v &= \frac{v_1}{v_2} \end{aligned}$$

と置いて、

$$\begin{aligned} q^*(t_1) &= \frac{q_B^2 + r_B^2 - (t_1 + \sqrt{(t_1 - q_A)^2 + r_A^2} + dv)^2}{2 \left\{ q_B - (t_1 + \sqrt{(t_1 - q_A)^2 + r_A^2} + dv) \right\}} \quad (q_A < q_B), \\ q^*(t_1) &= \frac{q_B^2 + r_B^2 - (t_1 - \sqrt{(t_1 - q_A)^2 + r_A^2} - dv)^2}{2 \left\{ q_B - (t_1 - \sqrt{(t_1 - q_A)^2 + r_A^2} - dv) \right\}} \quad (q_B < q_A) \quad (1) \end{aligned}$$

と書ける。(1)式を起点座標 t_1 、終点座標 t_2 を軸とする平面に描いた曲線を境界点曲線と呼ぶことにする。

3. 低速起点終点の量の導出

図2のように、位置 p, θ の直線 L が対象領域 D と交差するとき、 D が切り取った L 上の線分を $s(p, \theta)$ とし、 L 上における $s(p, \theta)$ の両端点の座標を s_1, s_2 とすると、 $s(p, \theta)$ 上の全ての起点終点は図3に示した正方形領域 S_{12} 内の点に対応する。さらに利用開始点・終了点ペアごとに L に関する境界点曲線を描いて、 S_{12} 内の2本の包絡線で挟まれた部分を $S(p, \theta)$ とすると、内部の点は線分 $s(p, \theta)$ 上で発生する低速起点終点に対応する。 D 内で起点終点が一樣に発生すると仮定すると、線分 $s(p, \theta)$ 上の低速起点終点の密度 $f(p, \theta)$ は、これら2点の $s(p, \theta)$ 上の座標を t_1, t_2 としたとき、各点に $|t_1 - t_2|$ の重みを付けて $S(p, \theta)$ 内で積分すれば得られることに注意して^[1]、

$$f(p, \theta) = \int_{(t_1, t_2) \in S(p, \theta)} |t_1 - t_2| dt_1 dt_2 \quad (2)$$

と書ける。よって、求めるべき凸領域 D 全体についての低速起点終点の総量 F は、 L が D と交わらない場合 $f(p, \theta) = 0$ とすると、

$$F = \int_0^\pi \int_{-\infty}^\infty f(p, \theta) dp d\theta \quad (3)$$

となる。首都高速道路の評価について述べる次節において実際に総量 F の値を計算しなければならないが、積分計算から $f(p, \theta)$ と F の値を解析的に求めること

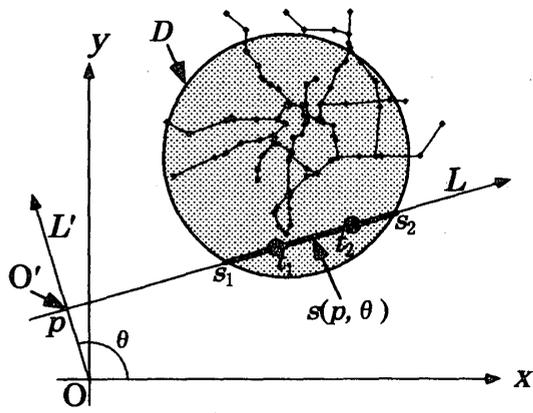


図 2: 凸領域 D とそれをよぎる直線 L

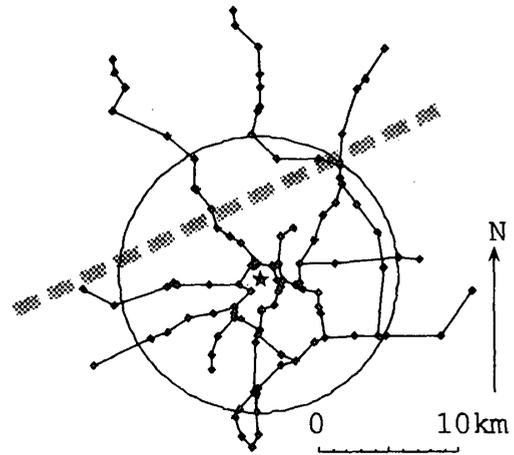


図 4: 対象領域と首都高速道路

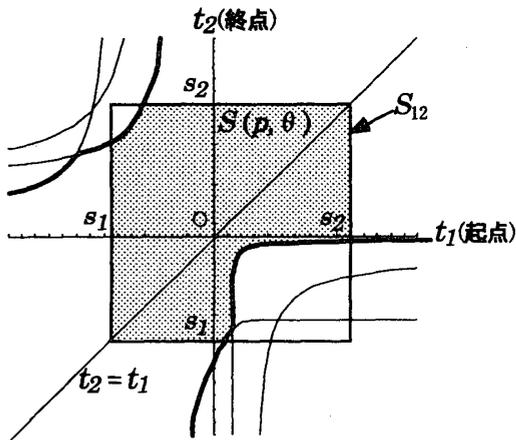


図 3: 線分 $s(p, \theta)$ 上で発生する低速起点終点

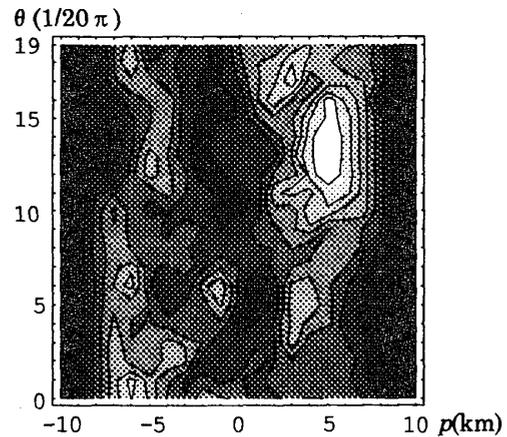


図 5: 低速起点終点の分布図

は困難であるので、数値計算によって値を求めて分析を行なう。

4. 首都高速道路網の評価

図 4 の★に示した皇居のほぼ中央(北緯 35 度 40 分 47 秒, 東経 139 度 45 分 24 秒)を中心とする半径 10km の円領域に対する東京都内の首都高速道路の評価分析を行なう。路線に関するデータは文献 [2] を参考にした。モデルにおける低速交通機関の速度 v_1 と v_2 は、それぞれ一般道路走行速度に相当する 30km/h と高速交通機関である首都高速道路上の走行速度 60km/h として、首都高速道路上の出入口間の経路は最短経路を選択すると仮定した。★を原点として、東西・南北方向を xy 軸として、(2) をもとに直線の位置の刻み幅を $\Delta\theta = \pi/20$, $\Delta p = 0.5\text{km}$ として計算したところ、領域をよぎる直線の位置 p, θ を各軸にとった密度分布は図 5 の等高線図のようになった。例えば $p = 0$ における各点は、円領域の直径を成す直線上の低速起点終点の密度を表わしている。図の等高線間隔は起点終点密度 200km^3 おきであり、各点の濃淡は、色が薄くなるほど位置 (p, θ) の直線が円領域によって切り取られた線分上の低速起点終点の密度が高いことを示している。(3) から領域全体の低速起点終点の量を数値計算で求めたところ、低速

起点終点の割合は全起点終点のうち約 37% であることが分かった。 $p = 5\text{km}$, $\theta = 15\pi/20$ 付近の直線上の低速起点終点の密度の低さは、現在の首都高速道路が円領域を貫くような直線に沿った移動にとって、かなり便利にできていることを意味している。よってこの付近の低速起点終点の量を減少させるように首都高速道路網を改善するならば、図 4 の破線の位置付近に新たな路線を建設すべきである。

以上のように、本研究では対象領域内部の移動をこれをよぎる直線ごとに分解して、交通網の移動時間短縮効果を視覚的にとらえる方法について述べた。今後は、効率的な数値の導出方法について考察する予定である。

参考文献

- [1] Santaló, L. A. (1978): *Integral Geometry and Geometric Probability*, Addison-Wesley Publishing Company.
- [2] 首都高速道路公団監修 (1997): 首都高速道路出入口案内, (社) 首都高速サービス推進協会。