1995年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

移動方向を考慮した鉄道網分析

02601310　筑波大学　社会工学研究科　*三浦英俊　MIURA Hidetoshi
01102840　筑波大学　社会工学系　腰塚武志　KOSHIZUKA Takeshi

1. はじめに

さまざまな都市の鉄道網を眺めたとき，鉄道路線に近く沿った移動方向については便利でも，鉄道が無いところの移動や鉄道路線を直角に近い角度で横切るような移動は不便であることは容易にわかる．そこで新たに鉄道を敷設しようとするとき，現状では移動に不便で，新しい路線ができたならば多くの需要が見込めるような位置と方向に新路線を計画するだろう．なるべく既存の路線と競合するようには建設しないのがふつうである．このようなことを感覚的定性的に論ずるのではなく，鉄道網がどの方向について便利なのかあるいは不便なのか，どこに新路線を建設すべきかをきちんと議論する必要がある．本研究では，東京都心部の鉄道網を例に取り，路線を代表する直線を用いて新しい鉄道網の分析方法について述べる．

2. 図形を代表する直線

まず，少しばかり準備をしておく．図1のxy平面上の直線に対して，原点Oから直線に下ろした垂線とx軸の成す角をθ，Oを原点として直線の交差した垂線上の位置をpとする．これらを用いて，図中の直線$l(p,\theta)$を

$$x\cos\theta + y\sin\theta = p$$

と表わすことができる．以下，直線$l(p,\theta)$を「原点からの距離p，角度θを持つ直線」と呼ぶ．また，この直線上のあらゆる移動を「(p,θ)方向の移動」と呼ぶことにする．このような直線の表現方法を使うと，xy平面上の直線は$p\theta$平面上の1点になり，平面上のあらゆる移動を表現するのに便利なのである．

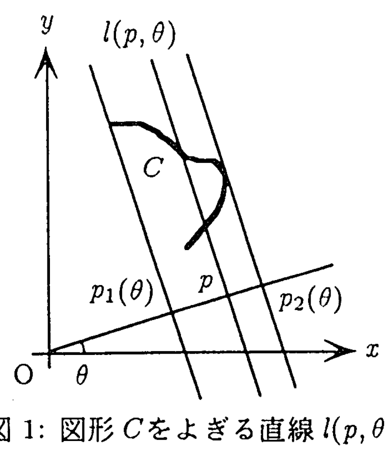

図 1: 図形Cをよぎる直線$l(p,\theta)$

有限なある図形Cのかたちを代表する直線を次のように定義する．角度θを固定したときに，図1のように図形Cをよぎる直線のうち位置p座標の最小値を$p_1(\theta)$，最大値を$p_2(\theta)$と置く．

もし，図形Cが角度θを持つ直線と向きが近ければ，$p_1(\theta)$と$p_2(\theta)$の差$|p_1(\theta)-p_2(\theta)|$は小さく，逆に向きが大きく異なればこの値は大きくなる．ここで，図形Cの代表直線$l(p_C,\theta_C)$の角度θ_Cを，図形をよぎるあらゆる角度の直線のうち$|p_1(\theta)-p_2(\theta)|$が最小になる角度と定義する．この角度は，図形$C$に対して最も細長くあてることの出来るような直線の角度にあたる．代表直線の位置p_Cは，$p_1(\theta_C)$と$p_2(\theta_C)$の原点Oからの距離平均となるような位置すなわち

$$p_C = \frac{p_1(\theta_C)+p_2(\theta_C)}{2}$$

と定義する．図形Cの代表直線を図2に示す．

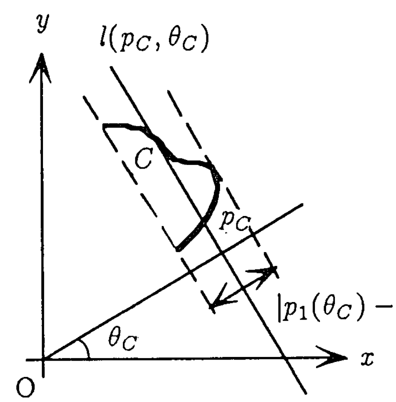

図 2: 図形Cをよぎる代表直線$l(p_C,\theta_C)$

3. 路線を代表する直線

つぎに鉄道路線について代表直線を算出すると，得られた直線によってその路線を利用する移動のおおよその(p,θ)方向を示すことができる．言い換えれば，代表直線はその路線によってどの方向の移動が便利になるのかを示していると考えることができる．図3に示す東京都心部鉄道網がどの(p,θ)方向の移動について便利なのかを調べよう．図中の13本の路線の代表直線は図4に示すとおりであり，鉄道網のかたちを恣意的でなく捉えることができるうえ，この地域の鉄道網はおおよそ皇居付近を中心とした放射状であることが確かめられた．さらに，13路線を$p\theta$平面にプロットしたものが図5の黒点である．図中の左右の曲線に囲まれた領域は図3の鉄道網をよぎる全ての直線を示す．この図から，都心部地区のあらゆる(p,θ)方向の移動のうち，乗換することなく，13個の黒点付近の方向については可能であることがわかる．

では，1回の乗換を許すとどうなるであろうか．図6(a)の乗換駅Cを共有する2路線AA',BB'において，1回乗換をしたときの4つの経路

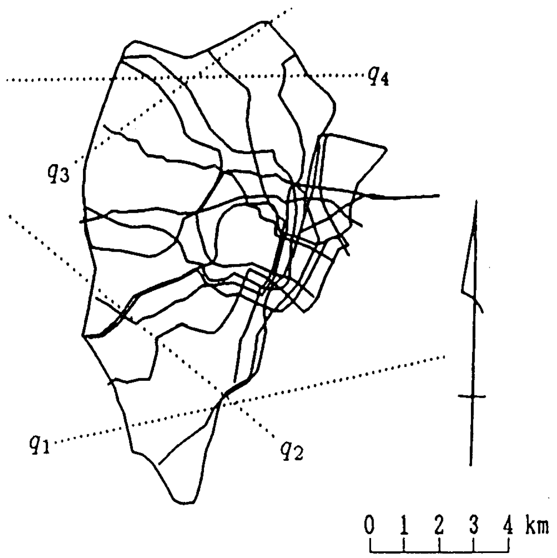

図 3: 東京都心部鉄道網

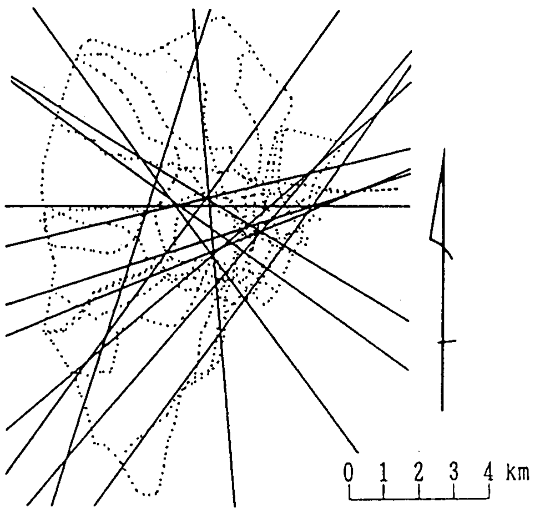

図 4: 東京都心部鉄道網の代表直線

$ACB, ACB', A'CB, A'CB'$を新たな路線とみなして，これらの代表直線を求める．この作業を東京都心部鉄道網で行うのだが，実際の鉄道網は交わらない路線ペアや複数の乗換駅を共有する路線ペアがあるので，次のようなルールで 1 回乗換発着駅経路を定めた．1) 山手線は東側 (田端-東京-品川) と西側 (品川-新宿-田端) に分ける．2) 複数の乗換駅を共有する場合，図 6(b) の例において最も端点に近い 2 駅 C, Dを必ず乗換に利用することとし，CD間は先に敷設された路線を利用することにする．その上で，$ACB, ACDB', A'DB', A'DCB$の 4 経路を取り出す．他にも上のルールだけでは判断しきれないいくつかの例外があるのだが，紙面の都合上省略する．

その結果さきの 13 路線も含めて 245 本の路線を得てそれらの代表直線を計算した．これらの中で，極端に大きく曲がりくねっているものは 1 本の路線とみなすには適当でないと考えるので

$$\frac{\max_{\theta} |p_1(\theta) - p_2(\theta)|}{\min_{\theta} |p_1(\theta) - p_2(\theta)|} \geq 2$$

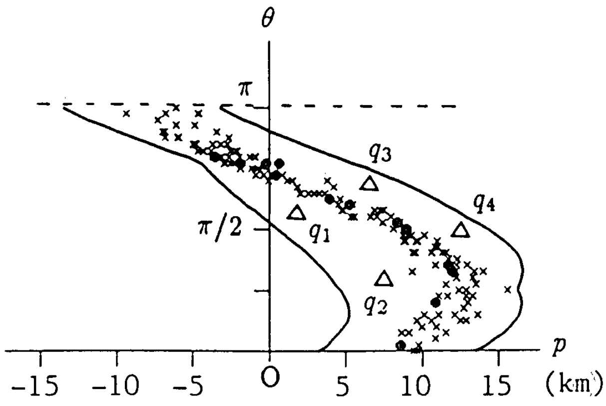

図 5: 代表直線の $p\theta$平面プロット図

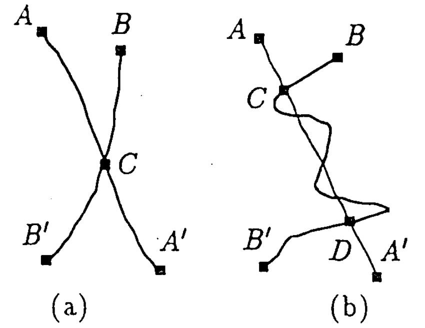

図 6: 乗換駅を共有する 2 路線

を満たす 147 路線を選んで，図 5に×点で示した．これを見ると，左右の曲線に囲まれた領域のうち，点 q_1, q_2, q_3, q_4付近の (p, θ) 方向の移動にあたる路線がほとんどない．点 q_1, q_2, q_3, q_4は xy平面では図 3 の破線となる．この辺りに新しい路線を建設する必要があろう．また，現在の鉄道網の代表直線の点は，1 回乗換を考慮しても，乗換をしない黒点の近くに分布しており，放射状鉄道網という性質を大きく変えるには至らないことが分かった．

4. おわりに

直線や円といった単純な図形は取り扱いやすく，いろいろと面白い性質も分かっている．ところが，それらから僅かにずれた図形については，解析的な取り扱いさえ困難になる．ここで提案した図形を代表する直線は不定形，特に曲線と直線の間をつなぐものになり，いろいろな応用が可能であると考えている．今後の課題として，直線鉄道路線はどの方向の移動時間をどの程度短縮しているのか，調べなくてはならない．そのうえで，曲がった路線との違いをきちんと述べ，代表直線は移動方向と移動時間からみてなにを，どのくらい「代表」しているのかを明らかにすべきであると考えている．

5. 参考文献

[1] 腰塚武志 (1976,1977):積分幾何学について (1)-(5). オペレーションズ・リサーチ Vol.21,No.9-Vol.22,No.1.