1995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

鉄道が敷設された領域の平均移動時間の導出について

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

鉄道が新たに敷設されたり列車速度が上昇した場合，ある領域内の移動全体はどのくらいの便益を受けるのだろうか．領域間または領域内の平均移動時間を用いて，鉄道が移動に与える便益の大きさを測ることができるであろう．本研究では，徒歩移動と鉄道利用にある仮定を与えて，平均移動時間を計算する方法について述べる．

2. 移動に関する仮定と平均移動時間

最初に，ある領域に敷設された鉄道とその利用の仕方を以下のように仮定する．平面上に直交する x 軸，y軸を考え，徒歩は両軸に沿った方向の移動のみ許すように，言い換えれば rectilinear 距離を測るとおりに移動できると仮定する．この平面上に一辺の長さ a の 2 つの正方形領域 D, D'をおく．ただし，領域の中心間距離は x 軸方向で測って l，y軸方向で m だけ離れているものとする(図1)．それぞれの領域の中心に駅があり，駅間を鉄道で結び時間 t で移動できるとしよう．また，任意の地点から駅までは徒歩で rectilinear 距離を測るように移動することと仮定する．このとき，2 つの領域間のあらゆる移動において，起点と終点をそれぞれ $X_1(x_1,y_1)\in D, X_2(x_2,y_2)\in D'$と置き，起点終点間の徒歩のみの移動時間と鉄道利用移動時間を比較して X_1から X_2まで移動時間の短い方を利用すると仮定し，そのときの移動時間を $r(x_1,y_1,x_2,y_2)$ と置く．ここで，一様に移動が発生するとして両領域間の総移動時間 $R(a,l,m,t)$ を次のように定義する:

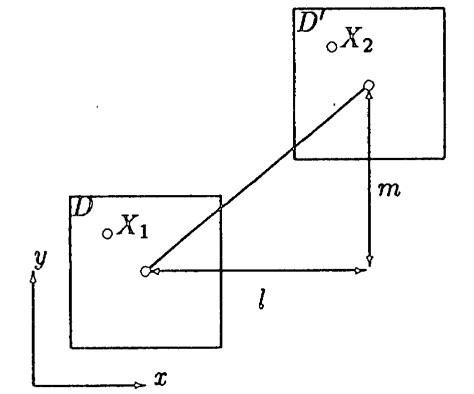

図 1: 中心に駅を持つ 2 つの正方形領域

$$R(l,m,a,t)=\int_{(x_1,y_1)\in D,(x_2,y_2)\in D'} r(x_1,y_1,x_2,y_2)\mathrm{d}x_1\mathrm{d}y_1\mathrm{d}x_2\mathrm{d}y_2.$$

すなわち，Rは Dから D'へのあらゆる移動の移動時間を重みとして積分したものである．これを両領域間の総移動量 $a^4/2$ で割ると，領域間の任意の 2 地点間の平均移動時間$\bar{r}$を得ることができる．具体的な導出方法と結果は文献 [1],[2] に詳しく述べてあるので，ここでは紙面の都合上割愛するが，とにかく領域間 rectilinear 距離 $l+m$，領域の一辺の長さ a，列車移動時間 t さえはっきりすれば$\bar{r}$を具体的に計算することによって厳密な平均移動時間が計算できる．

3. 架空の鉄道網を想定した鉄道利用モデル

ところでここで示した仮定からも分かるように，得られた計算式は中心に駅を持つ正方形領域をいくつか組み合わせた状況下でのみ平均移動時間の計算が可能となる．例として駅間隔αの格子状鉄道網を持つ 3α四方の矩形領域 Dを図 2に示す．この領域 Dを各駅を中心とする一辺の長さαの正方形 $\delta_1,\ldots,\delta_9$に分割し，$\delta_i\delta_j$間の x 軸方向の中心間距離を l_{ij}，y軸方向の中心間距離を m_{ij}，中心間移動時間を t_{ij}とする．すると平均移動時間$\bar{r}$は全ての正方形間の移動時間の和を総移動量で割って

$$\bar{r}=\frac{\sum_{i=1}^{9}\sum_{j=i}^{9}R(l_{ij},m_{ij},\alpha,t_{ij})}{(3\alpha)^4/2} \tag{1}$$

と表わすことができる．ところがこの方法では，一部の正方形の中心に駅がない図 3の領域内平均移動時間は求められない．

そこで，図3のような場合でも導出した計算式を用いて平均移動時間が計算できるように，鉄道利用の際の移動に関して新たな仮定を付け加える．図2の場合と同様に小正方形で分割した後に，鉄道駅を持たない各小正方形の中心に図4のように架空の駅があると考え，鉄道で結ばれていない隣あう小正方形間を徒歩速度と同じ速さの架空の鉄道が格子状に張り巡らされているものとしよう． このような架空の鉄道があるとしたうえで，(本物の) 鉄道の利用の仕方について変更を加える．起点から終点まで鉄道を利用して移動する場合は，必ず起点終点を含む小正方形の中心駅を経由するものと

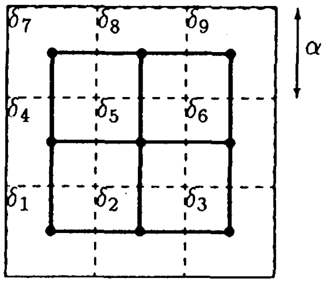

図 2: これまでの計算式で計算できる領域

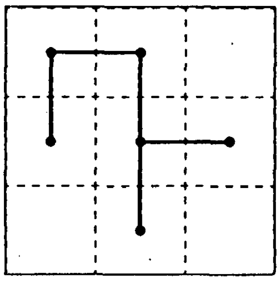

図 3: これまでの計算式で計算できない領域

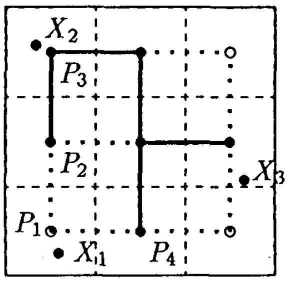

図 4: 架空の鉄道網を付加した領域

する．また，このとき各小正方形の架空駅間の移動は最短移動時間となるルートを選択することとする．例えば，図 4の X_1から X_2への鉄道を利用した移動は $X_1 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow X_2$という経路をたどる．

4. 分割による長所と短所

架空の駅と徒歩速度と同じ架空の路線を取り入れたことによって，任意の小正方形間の平均移動時間は列車利用時間 t を各小正方形の中心間の移動時間に変えたうえで，(1) 式を用いて計算できる．ここで容易に想像できるとおり，鉄道利用時に迂回を強いることとなるので，以前に比べて鉄道利用が少々不便になる場合がある．一方で架空の駅と路線を組み込んだことで，現実の移動において出発地が同じでも目的地によって利用する駅を選べ

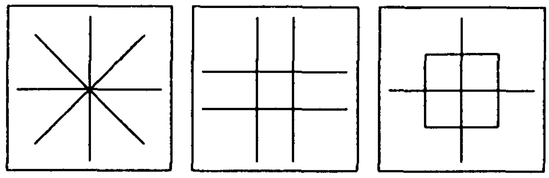

図 5: 3 種類の鉄道網

る，ということをある程度表現できる．例えば路線経路は最短時間になるように選択するとすれば，図 4において同じ X_1を起点としても終点が X_2ならば (架空でない本物の) 最寄駅は P_2，終点が X_3ならば最寄駅は P_4となるであろう．

5. 鉄道網の形の比較

ここで，架空の鉄道網を付加したモデルを用いて分析例として，鉄道網の形を比較する．図 5に 9km 四方の領域を 3 つ用意する．そして左から順に放射状，格子状，放射環状に組み合わせた．路線総延長をほぼ等しくして比較したいので，それぞれ放射状 $12\sqrt{2}+16$km(約 33km)，格子状 32km，放射環状 32km としてある．徒歩速度 4km，列車速度 20km とし，駅間隔は斜め路線は$\sqrt{2}$km，それ以外は 1km とする．このときそれぞれの領域内平均移動時間は 50.9 分，53.4 分，58.0 分となり，放射状の値がもっとも小さく，この領域内の移動時間を最小にすることが分かった．また，鉄道が無いときの領域内平均移動時間は 90 分なので，32km の鉄道を敷設したことによる領域全体の時間短縮効果はおおよそ 40 分程度であることが分かった．

6. おわりに

ここでは，鉄道利用に多少迂回を強いることで，鉄道網を持つ領域内の平均移動時間を厳密に計算できることを示した．ここで提案したモデルを基礎にして，領域に与える鉄道の便益の量や混雑について議論することができる．なお，架空の鉄道は都市内の道路網とみなすこともできる．このとき，道路網状に第 3 の交通機関としてバスまたは路面電車を走らせた場合の議論も展開が可能である．

参考文献

[1] 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，No.28，pp.397-402．

[2] 三浦英俊，腰塚武志 (1993)：格子状鉄道網を有する矩形領域の内々平均移動時間．日本 OR 学会春季発表会アブストラクト集, pp.36-37．