1996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

高速交通機関の移動時間短縮効果について

02003690　筑波大学　経営・政策科学研究科　*有井良仁　ARII Yoshihito
01102840　筑波大学　社会工学系　腰塚武志　KOSHIZUKA Takeshi
01009486　筑波大学　社会工学系　大澤義明　OHSAWA Yoshiaki

1. はじめに

高速道路のような公共的な役割を果たす高速交通機関は，その存在によってどれほどの効果があるのだろうか．その効果を数値として算出できれば，高速交通機関の建設計画やその評価に役立てることができる．利用者の移動時間をより短縮するという目的から高速交通機関はよく利用されるため，その効果を移動時間短縮効果として考えることにした．移動時間短縮効果とは，高速交通機関を利用することによって，他の交通機関を利用する場合よりどれくらい移動時間が短縮するかとして表すことにする．つまり，できるだけ速く移動しようとしたときに，高速道路が存在することによって移動時間がどれくらい短くなるかを考えることにする．ただし，交通機関は高速道路と一般道路の二つであると仮定して，移動時間短縮効果の計算方法について議論する．

2. モデルの概要

計画地域 D を横の長さを a，縦の長さを b とする矩形 $(a \geq b)$ として，その内部に出発地，到着地を持つ移動を考える．その内々の移動で，高速道路上での移動速度を v，それ以外での移動速度を 1 とし，移動距離として rectilinear 距離を考える．さらに，高速道路のどの時点でも乗り降りできるとした．また，計画地域内のある出発地 $P_0 = (x_0, y_0)$ からある到着地 $P_1 = (x_1, y_1)$ まで移動するとき，最短移動時間となる経路を移動することにする．図 1では，移動経路は高速道路を利用しない経路 t_0(実線) と，高速道路を利用する経路 t_1(点線) の二つが存在し，

$$
\begin{aligned}
t_0 &= |x_1 - x_0| + |y_1 - y_0|, &(1)\\
t_1 &= \frac{|x_1 - x_0|}{v} + y_0 + y_1 &(2)
\end{aligned}
$$

と表記できる．そして，この二つの移動経路のうち，移動時間の短い経路を移動する．ここで，図 2のように，出発地 P_0 を固定すると，高速道路を利用する移動の到着地の領域は図のように斜線部分になる．したがって，P_0，P_1 の位置によってどちらの経路を利用するかが決まる．各移動経路を移動するときの移動時間も，rectilinear 距離を用いているので，(1) 式，(2) 式と同様に，変数 x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の一次多項式として表現できる．また，出発地，到着地が共に計画地域内にあるため，

$$
\begin{aligned}
0 < x_0, x_1 < a, &\quad (3)\\
0 < y_0, y_1 < b &\quad (4)
\end{aligned}
$$

として，変数 x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の一次不等式として表記できる．

ここで，ある出発地 $P_0 = (x_0, y_0)$ からある到着地 $P_1 = (x_1, y_1)$ までの移動を x_0, x_1, y_0, y_1 の四次元上の一点として，$P = (x_0, x_1, y_0, y_1)$ と定義する．すると，この計画地域内のすべての移動は，(3) 式，(4) 式で表現される四次元凸多面体内部の一点に，一対一に対応をする．これにより，最短移動時間となる移動経路ごとに四次元上の点と点に区別する事ができるようになる．

一般的に定式化する．高速道路を利用しない移動経路の移動時間を t_0，高速道路を利用する移動経路は一般に複数あるので，その移動時間を $t_1, t_2, \cdots, t_n$ として表現し，これらの中で移動時間が最短の移動時間を，

$$
t^\star = \min(t_0, t_1, \cdot\cdot\cdot, t_n) \qquad (5)
$$

と表す．$t^\star$ は，x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の一次関数として表現できるので，最短移動時間となる経路を移動し，かつ，出発地・到着地が計画地域内に存在する，という二条件は x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の連立一次不等式として表現される．これにより，移動時間短縮効果 B は，

$$
\begin{aligned}
B &= \int_{P_0, P_1 \epsilon D} (t_0 - t^\star) \mathrm{d}G &(6)\\
&= \int_{P_0, P_1 \epsilon D} \{t_0 - \min(t_0, t_1, \cdot\cdot\cdot, t_n)\} \mathrm{d}G &(7)\\
&= \sum_{i=1}^{n} \int_{P_0, P_1 \epsilon C_i} (t_0 - t_i) \mathrm{d}G &(8)\\
&= m_1 \cdot a^5 + m_2 \cdot a^4 b + m_3 \cdot a^3 b^2 &(9)\\
&\quad + m_4 \cdot a^2 b^3 + m_5 \cdot a b^4 + m_6 \cdot b^5
\end{aligned}
$$

として定式化できる．ただし，$\mathrm{d}G = \mathrm{d}x_0 \mathrm{d}x_1 \mathrm{d}y_0 \mathrm{d}y_1$．

さらに，$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6$ は a, b に依存しないパラメータである．

また，C_i は移動経路 t_i が最短移動時間となるような移動の集合で，以下の条件式で与えられる凸多面体内部である．

$$
\begin{aligned}
t_j - t_i &> 0 \text{ただし，} j \neq i, 0 \leq i, j \leq n, &(10)\\
P_0, P_1 &\epsilon\ D \text{となる連立不等式．} &(11)
\end{aligned}
$$

実際には，B の計算は，被積分関数が x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の一次多項式で，積分区間が x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の

連立一次不等式であるので，その解は，a,b の多項式となる．また，この計算では，積分区間が4次元凸多面体となり，多くの場合分けが必要となって極めて複雑となる．具体的な計算方法については，省略する．[有井良仁(1996)].

3. 複雑な高速道路形状の計画地域場合分け

(9)式より，この移動時間短縮効果は，出発地の制約条件，到着地の制約条件が連立一次不等式で，その中の各移動経路に対する移動時間が x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の一次多項式で表現できれば，移動時間短縮効果を計算することができる．複雑な計画地域や高速道路の形状でも，この様に表記できるように場合分けする事ができれば，どのような形でも計算できることになる．そこで，そのように表現できる場合分けを行う．まず，高速道路上を通る直線を引く．次に，高速道路の端点を通り，それぞれの座標軸に平行な直線を引く．そして，図3のように計画地域 D がこれらの直線によって分けられるように分割する．このように分割すれば，それぞれの分割領域に対して先ほどの計算方法を用いることができる．複雑な計算方法でも，このように領域を分割してそれぞれ求めていくことによって，計画地域や高速道路が複雑な形状でも計算可能である．

4. おわりに

高速交通機関は，地域と地域を結びつける役目を持っている．その高速交通機関の効果を測る尺度として，地域間の移動がどれほど便利になるかという視点から移動時間短縮効果を厳密に算出する方法を明らかにした．計画地域が凸多角形で，移動距離が rectilinear 距離となり，最短移動時間となる経路を移動する，という条件のもとでは，どの様な計画地域，どの様な高速道路の形状でも移動時間短縮効果を計算できることを示した．また，この式で変数やパラメータの意味を置き換えれば，移動時間短縮効果でなくとも，エネルギー消費量，消費金額，高速交通機関の分担率等も算出できる．

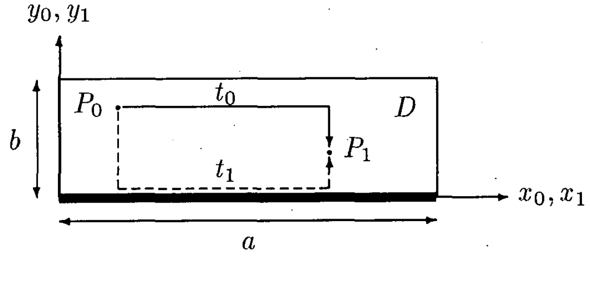

図 1: モデル 1

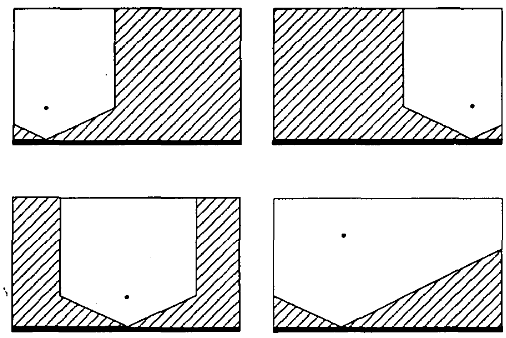

図 2: 高速道路を利用する移動の到着地の領域

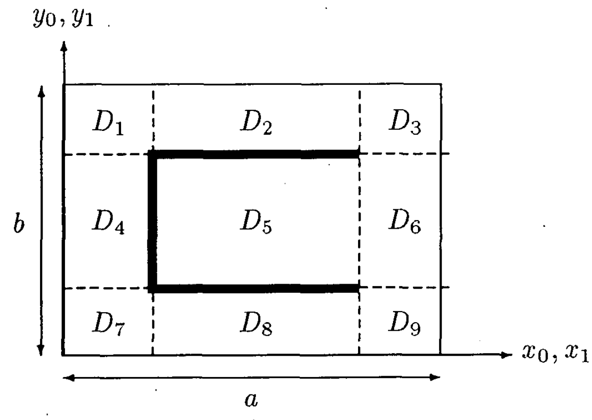

図 3: モデル 2

5. 参考文献

[1] 腰塚武志 (1977): 都市平面の基礎的研究. 東京大学都市工学科博士論文.
[2] 腰塚武志, 小林純一 (1983): 道路距離と直線距離. 日本都市計画学会学術研究発表会論文集,pp.43-48.
[3] 谷村秀彦, 他 (1986): 都市計画数理. 朝倉書店.
[4] 三浦英俊 (1993): 2種類の速度の異なる交通機関を有する領域の移動時間について. 筑波大学社会工学研究科修士論文.
[5] 三浦英俊, 腰塚武志 (1995a): 鉄道が敷設された領域の平均移動時間の導出について. 日本オペレーションズ・リサーチ学会春期研究発表会アブストラクト集,pp.72-73.
[6] 三浦英俊, 腰塚武志 (1995b): 鉄道の時間短縮効果に関する理論的研究. 日本都市計画学会学術研究論文集,No.30,
pp.547-552.
[7] 有井良仁 (1996): 高速交通機関の移動時間短縮効果について. 筑波大学経営・政策科学研究科修士論文.