

移動時間短縮効果と速度について

02003690 筑波大学 社会工学研究科 *有井良仁 ARII Yoshihito
01102840 筑波大学 社会工学系 腰塚武志 KOSHIZUKA Takeshi

1. はじめに

高速道路や鉄道などの高速交通機関は、どの様な形に建設すれば効果が高いのであろうか。高速交通機関は、移動時間を短縮するという目的のためによく利用されるので、その効果の尺度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、できるだけ速く移動しようとした場合に高速交通機関が存在することによって、どれくらい移動時間が短縮されるかとして考える。ただし、ここでは交通機関は、高速道路と一般道路の二つであると仮定している。移動時間短縮効果を効果の尺度として考えた場合、その効果を決定する要素としては、このモデルの場合、計画地域の形、高速道路の形、高速道路と一般道路の速度比が存在する。ここでは、高速道路と一般道路との速度比が移動時間短縮効果に与える影響について考える。

2. モデルの概要

計画地域 D の横の長さが a 、縦の長さが b である矩形 ($a \geq b$) 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、高速道路のどの地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。

そして、 t_0 を高速道路を利用しない場合の最短移動時間とし、高速道路を利用する経路が n 個存在する場合、それぞれの移動時間を t_1, t_2, \dots, t_n とする。それぞれの移動時間は、rectilinear 距離を用いているので、 x_0, x_1, y_0, y_1 の一次多項式の形になっている。また、計画地域は横の長さが a 、縦の長さが b の矩形で、計画地域の内々の移動のみを考えているので、

$$0 < x_0, x_1 < a, \quad (1)$$

$$0 < y_0, y_1 < b \quad (2)$$

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。また、あらゆる移動時間の中で最短の移動時間を、

$$t^* = \min(t_0, t_1, \dots, t_n) \quad (3)$$

と表すと、 t^* は、 x_0, x_1, y_0, y_1, a, b の一次多項式として表現できる。よって、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、

$$B = \int_{P_0, P_1 \in D} (t_0 - t^*) dG \quad (4)$$

$$= \int_{P_0, P_1 \in D} \{t_0 - \min(t_0, t_1, \dots, t_n)\} dG \quad (5)$$

$$= \sum_{i=1}^n \int_{P_0, P_1 \in C_i} (t_0 - t_i) dG \quad (6)$$

$$= m_0 \cdot a^5 + m_1 \cdot a^4 b + m_2 \cdot a^3 b^2 + m_3 \cdot a^2 b^3 + m_4 \cdot a b^4 + m_5 \cdot b^5 \quad (7)$$

として定式化できる。ただし、 $dG = dx_0 dx_1 dy_0 dy_1$ 。さらに、 $m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5$ 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。

$$t_j - t_i > 0 \text{ ただし, } j \neq i, 0 \leq i, j \leq n, \quad (8)$$

$$P_0, P_1 \in D \text{ となる連立不等式.} \quad (9)$$

具体的な計算方法については、省略する。[有井良仁 (1996)].

3. 移動時間短縮効果と速度の関係について

五つの高速道路の形と計画地域の縦横比 $\frac{a}{b}$ を 1, 1.5, 2, 2.5, \dots , 6.5) と変化させて移動時間短縮効果を求めてみた。そして、 $v = \infty$ のときの移動時間短縮効果を横軸、 $v = 2, v = 4$ のときの移動時間短縮効果を縦軸にとったグラフをそれぞれ図 1、図 2 に表した。

ここで、

$$k = \frac{v = \text{定数のときの移動時間短縮効果}}{v = \infty \text{ のときの移動時間短縮効果}} \quad (10)$$

とする。すると、この値は計画地域の縦横比にはほぼ無関係に、そして高速道路の形ごとに異なる値をとっていることがわかる。そこで、なぜこのような事が起きるのか考えてみる。計画地域内の移動は、

$v = \infty$ の場合、高速道路を利用する移動と高速道路を利用しない移動の二つに分けることができる。また、 $v = 2$ (又は $v = 4$) の場合も同様である。しかし、これらの移動の集合は、三つの集合に分けることができる。

一つ目は、 $v = \infty$ のときに高速道路を利用しない移動の集合、二つ目は、 $v = \infty$ のときも $v = 2$ のときも高速道路を利用する移動の集合、三つ目は、 $v = \infty$ のときは高速道路を利用し、 $v = 2$ のときは高速道路を利用しない移動の集合である。三つ目の移動の集合が空集合ならば、 $k = \frac{1}{2}$ となる。三つ目の集合が移動時間短縮効果を、 $v = \infty$ のときの移動時間短縮効果の $\frac{1}{2}$ 以上に下げている原因となっている。この三つ目の集合の移動時間短縮効果の変動が、全体の移動の集合の移動時間短縮効果に比べてかなり小さいため、高速道路の形や計画地域の縦横比にはほぼ影響を受けずに $v = 2$ のとき $k = 0.429$ 、 $v = 4$ のとき $k = 0.711$ となっている。

これより、速度が定数の場合の移動時間短縮効果は、速度が無限大の場合の移動時間短縮効果のほぼ定数倍として近似できていることがわかる。したがって、移動時間短縮効果を尺度として考える場合、計算の単純な速度が無限大の場合を考えればよいということが分かった。

ここで、具体例の一つとして、図3の環状モデルの移動時間短縮効果を求めたグラフが図4である。 $0 \leq t \leq 1$ で、環状型高速道路の縮尺を決めている。

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という尺度を用いている。その移動時間短縮効果は、高速道路の形、高速道路の長さ、計画地域の形、速度によって決まる。しかし、これらの結果により、高速道路の長さ、高速道路の形、計画地域の縦横比のどれかの最適化問題を解くときには、もっとも計算の単純な速度無限大の場合を考えればよい事が分かった。

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, 腰塚武志, 他 (1986): 都市計画数理. 朝倉書店.
- [4] 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.

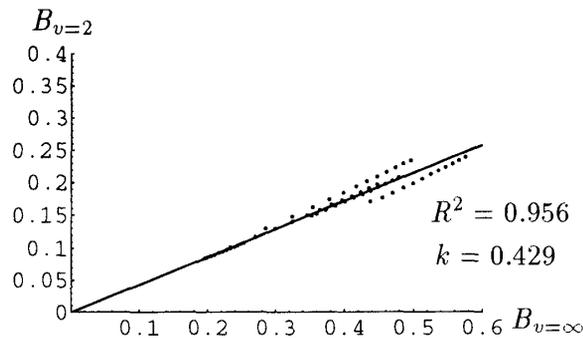


図1: $v = 2$ と $v = \infty$ の移動時間短縮効果

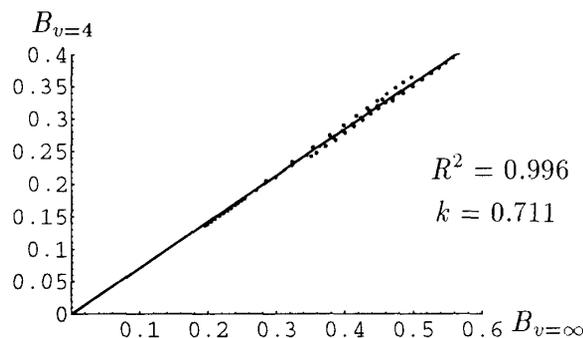


図2: $v = 4$ と $v = \infty$ の移動時間短縮効果

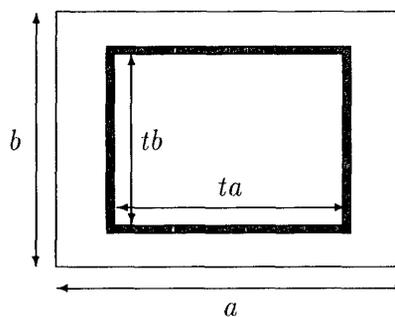


図3: 環状高速道路

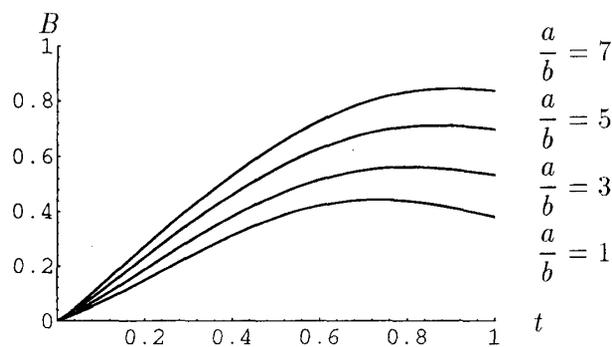


図4: 環状高速道路の移動時間短縮効果