

橋の適正配置モデル—駅構内連絡通路の設計・評価への応用—

岡本 貴章

(慶應義塾大学大学院理工学研究科管理工学専攻 現所属・㈱さくら銀行)

指導教員 栗田 治 助教授

1. はじめに

広域的なインフラストラクチャーの1つに橋（あるいはトンネル）という交通施設がある。海峡や河川で分断された2つの地域の相互交流を実現するためには橋の建設が不可欠である。しかしながら、橋の位置の決定やその評価に関する研究には十分な蓄積がない。

そこで本論文では、橋の建設位置に着目し、以下に記した橋の配置問題の定式化を行い、移動の起・終点が均一である場合の解を詳述することを目的とした：

1. 移動距離の総和を最小化する橋の建設位置
2. 断面交通量の最大値を最小化する橋の位置
3. 橋の利用者数を均等化する複数の橋の位置
4. 複数の橋を逐次配置するときの最適計画

本稿では紙面の都合上、移動距離の総和を最小化する minisum 型施設配置問題についてのみ取り上げ、「距離分布」や「断面交通量」を指標として橋の位置を定量的かつ客観的に分析・評価する方法を述べる。

2. モデルの設定

一定の幅 c の河川に分断された2つの地域を図1の如くに与える。地域1は $a_1 \times b_1$ の矩形であり、地域2は $a_2 \times b_2$ の矩形である。一般性を失うことなく、図のように地域2の下端が地域1の下端より距離 l だけ上方にずれているものと想定する。また、各地域内の点を地域1では直角座標 (x, y) で、地域2では直

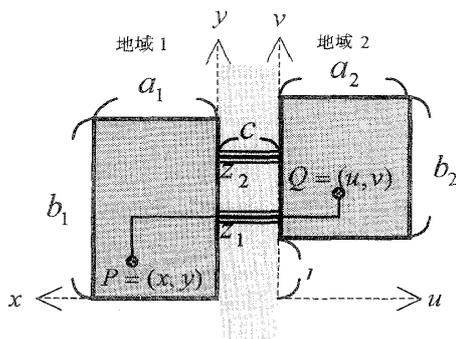


図1 川を挟む2つの地域

交座標 (u, v) で表現する。さらに、これら矩形に移動の起・終点が密度1で一様に分布するものとしておく。加えて、集落内には縦軸・横軸に沿って格子状の道路が限りなく密に存在するものとする。但し、橋および道路の容量、道路の混雑は考慮しない。

複数の中から1つの橋を選択する場合、起・終点間の移動には2通りのパターンが考えられる：

- ・移動距離が最小となるように橋を選択する
- ・起点から最近隣の橋を選択する

移動者が目的地の地理情報を知っていれば前者の如く最短経路で目的地へ向かう。一方、目的地の地理に詳しくなければ後者の如く行動するのが自然である。

なお、 n 本の橋の建設位置を原点に近い順に z_1, z_2, \dots, z_n と与えて議論を進める。

3. 移動距離の総和を最小化する橋の建設位置

3.1 1本の橋の最適配置問題

以上のような2つの地域を結ぶ1本の橋を y 座標上の（すなわち v 座標上の）点 z に設けるとしよう。このとき2地域間の移動距離は次式で与えられる：

$$x + |y - z| + c + u + |v - z|. \quad (1)$$

ただし、このうち $x + c + u$ という図中の横方向の移動距離は、橋の位置には全く影響されない。つまり、橋の配置の適切性を論ずる上で冗長な情報である。そこで橋の位置に依存する縦方向（川に沿った方向）の移動のみに着目し、これを $r(P, Q)$ とする：

$$r(P, Q) = |y - z| + |v - z|. \quad (2)$$

このとき総移動距離 $F(z)$ は次の通りとなる：

$$\begin{aligned} F(z) &= \int_0^{a_1} \int_0^{b_1} \int_0^{a_2} \int_l^{l+b_2} r(P, Q) dP dQ \\ &= \frac{a_1 a_2}{2} \{2(b_1 + b_2)z^2 - 4b_1(l + b_2)z \\ &\quad + 2b_1 l(l + b_2) + b_1 b_2(b_1 + b_2)\} \end{aligned} \quad (3)$$

$F(z)$ は2次関数であり、2つの地域が川に沿って重なりを持つ場合（すなわち $0 \leq l \leq b_1$ の場合）は

$$F'(z) = 2a_1 a_2 \{(b_1 + b_2)z - b_1(l + b_2)\} = 0 \quad (4)$$

を満たす $z = z^*$ が大域的な最小解を与える：

$$z^* = \frac{b_1(l + b_2)}{b_1 + b_2} \quad (5)$$

もしも2つの地域の下端が一致していれば（すなわち $l = 0$ であれば）さらに簡明に

$$z^* = \frac{b_1 b_2}{b_1 + b_2} \quad (6)$$

となる。これらを見れば分かる通り、橋の最適配置に影響を与える重要な要素は2つの地域の川に沿った広がり（すなわち b_1 ならびに b_2 ）である。

なお、言うまでもないが、2つの地域が重なりを持たない場合（すなわち $b_1 < 1$ のとき）は、 $b_1 \leq z \leq l$ を満たす全ての z が最小解を与える。

3.2 複数の橋の最適配置問題

複数の橋を建設する場合、トリップの橋への割り当てを、Recti-Linear Voronoi 図で行なう。Recti-Linear Voronoi 図とは格子状道路を前提として、横軸に y 軸、縦軸に x 軸をとり最短経路を分類し、トリップの橋（母点）への割り当てを図上に表現したものである。その図に基づき、更に各 Voronoi 領域を

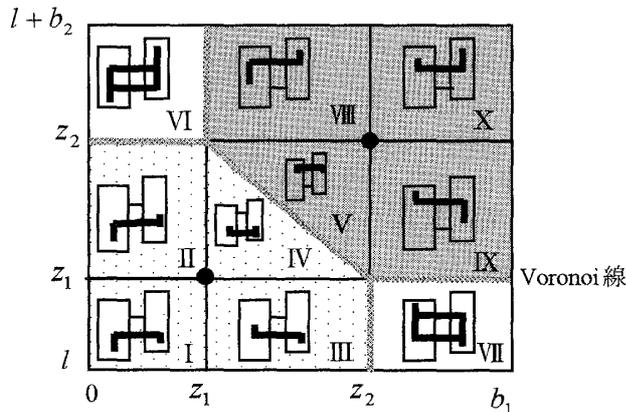


図2 トリップの橋への割り当て図（橋2本）
（移動距離が最小となるように橋を選択）

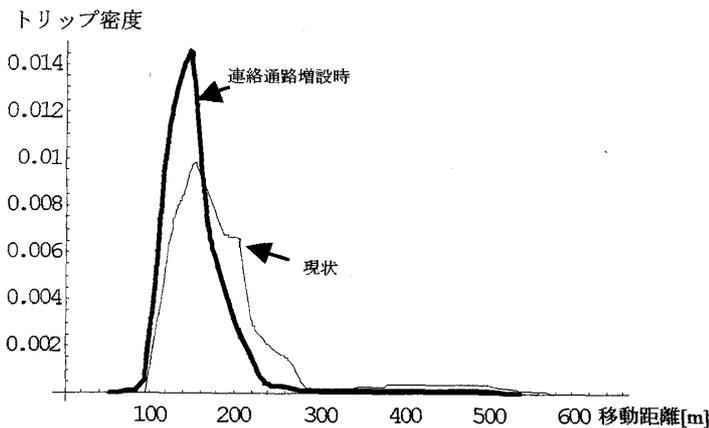


図3 距離分布の変化（渋谷駅）

トリップの移動経路によって細かく分類する。

小領域毎の総移動距離を求め、これらを足し合わせるにより総移動距離が得られる。2つの移動ルールの重み付け距離和を導出するために、移動距離が最小となるように移動するトリップの割合を $w (0 \leq w \leq 1)$ 、対して起点から最も近い橋を利用しようとするトリップの割合を $(1-w)$ と正規化する。

一例として、橋の本数が2本の場合、移動距離が最小となる橋に割り当てられる場合の2地域間の総移動距離を F_2^w 、最近隣の橋に割り当てられる場合の総移動距離を F_2^0 とおくと、これらの重み付け距離和 F_2 は以下の通りに記述される：

$$F_2 = w \cdot F_2^w + (1-w) \cdot F_2^0 \quad (7)$$

4. 距離分布・断面交通量の実例

前述の理論を橋と共通の性質をもつ駅構内連絡通路の設計・評価に適用した。この分析を通じて、駅構内の階段や連絡通路の位置を評価し、現存する連絡通路の問題点を指摘したうえで改善方法を提案することができる。本研究では現実例として渋谷駅とJR川崎駅の評価を具体的に行った。

本稿では渋谷駅についてのみ議論するが、東急東横線とJR線との間に乗り換え連絡通路を1本新設するだけで、下記の効果が見込まれる：

- ・ホームの断面交通量の最大値が42.8%減少する
- ・東急東横線・JR線間の乗り換えに要する移動距離の平均値が18.2%減少する

5. まとめ

本研究の主要な理論的貢献は次の通りである：

- 1) 最適配置の解析解の体系的な記述
- 2) 逐次添加計画における架け替え時期と建設場所の最適決定
- 3) トリップの移動経路の選び方が橋の最適配置に及ぼす影響の記述

また、「距離分布」や「断面交通量」より地域間を往来する人々の移動の便利さや快適さを詳細に分析でき、橋の位置を分析・評価することが可能になった。

参考文献

- [1] 大沢義明 (1986)：橋の本数と迂回の関係について，第21回日本都市計画学会学術研究論文集，pp. 241-246.
- [2] 井関一隆 (1996)：ビル間高架連絡通路の最適配置，慶応義塾大学理工学研究科管理工学専攻修士論文.