Ⅳ-115　バスレーン網最適化に関する一考察

京都大学工学部　正　員　天野光三
京都大学大学院　学生員○鉄谷善信
京都大学大学院　学生員　高野裕一

バス専用レーンや優先レーン網を都市に設置した場合、一般車やバスの乗客に対するサービスおよびバス経営体、バス運行挙動に及ぼす影響を測定するシミュレーションモデルをすでに提案した[1]。本研究は線形計画モデルを用いて、ある都市街路網に種々のバスレーン網を設定した場合のバスおよび一般車に対するODトリップの最適な配分を求めるためのモデルである。

1. モデルの概要

(1) 研究の目的

社会には種々の要求があり、これらの目的には互いに相反するものがあって、1つだけの目的で社会全体として満足されるものは少ない。そのために種々の要求を満たす複数の目的関数を設定する場合、この複数の目的関数を同時に最適にする解は一般に存在しないが、目的関数間に比重をつけた合成関数を考え、これを最適にする妥協的な解を決定することができる[2]。

そこで最適な配分を求めるために目的関数として、①OD総所要時間、②OD輸送に要する総費用、③排気ガスなどによる社会的費用、④バス経営体の利潤、などを考え、これらを個々に最小または最大にする最適解を求めるだけでなく、これらの目的関数を複合した合成関数の最適化[2]を行なう。この合成関数の最適解は最適と考えられる妥協的解であり、これから都市全体として好ましいトリップの配分が明らかになるとともに、バスの台数や目的関数値のバスレーン網設置方法による違いが判明し、交通規制およびバスレーン網設置を行なう場合の適切な指針となる。

(2) モデルの前提条件

①格子状道路網を持つ都市を対象とする。
②通勤時間帯のODトリップは既知とする。
③交通機関は路線バスと一般車の2種とする。
④バス路線は与件として外生的に与える。
⑤バスおよび一般車を利用する経路は定められている。
⑥道路交通容量はバスレーン設置によって変化する。
⑦道路区間の交通規制、バスレーン設置は外生的に与えられる。

(3) 定式化で用いる記号

X_j^b；経路 j のバスを利用する人数
X_i^c；経路 i の一般車を利用する人数
SB_l；第 l バス路線の配車台数
T_j^b；経路 j を通るバス利用者のOD所要時間
T_i^c；経路 i を通る一般車利用者のOD所要時間
C_b；バスの輸送費用
C_c；一般車の単位走行距離当り走行費用
C_g^b；バスの単位走行距離当り社会的費用
C_g^c；一般車の単位走行距離当り社会的費用
TW_j；バス利用者の徒歩とバス待ちに要する時間
w；単位時間当り労働賃金
n_b；バスの定員
n_c；一般車の1台当り平均乗車人数
n_{bc}；バスの乗用車換算係数
OD_k；第 k ODの需要トリップ数
QC_s；道路区間 s の交通容量
QR_s；道路区間 s の交通規制による制限交通量
C_{max}^k；第 k ODトリップの一般車の最大利用数
C_{min}^k；第 k ODトリップの一般車の最小限利用数
SB_{max}；バス配車台数の最大値
M_{is}^c；一般車の経路 i の行列
M_{js}^{bp}；バス利用者の経路 j の行列
M_{ls}^{bb}；バス路線 l の行列
s：道路区間番号
i；OD_k の一般車利用の経路
j；OD_k のバス利用の経路
LR_i^c；経路 i の走行距離
LR_l^b；バス路線 l の走行距離
w_d：人件費，w_r：走行費用
w_p；固定費用

2. モデルの定式化

(1) 目的関数

都市全体としての輸送の効率を考える場合、トリップの移動に要する時間や輸送費用を最小にすることが考えられるが、同時に交通機関の排気ガスや騒音などによる社会的損失を最小にする配分も考えられる。また公共交通機関としてのバス経営体の利潤を最大にするような配分も必要になる。そこで以下の4つの目的関数を設定する。

①OD所要時間費用

$$F_1 = w\sum_j (T_j^b + TW_j)\cdot X_j^b + w\sum_i T_i^c \cdot X_i^c \rightarrow min \qquad (1)$$

②OD輸送費用

$$F_2 = \sum_j C_b X_j^b + \sum_i C_c \cdot LR_i^c \cdot X_i^c / n_c \rightarrow min \qquad (2)$$

③ 社会的費用

$$F_3 = \sum_l C_g^b \cdot LR_l^b \cdot SB_l \cdot n_{bc} + \sum_i C_g^c \cdot LR_i^c \cdot \frac{X_i^c}{n_c} \to min \qquad (3)$$

④ バス経営体の利潤

$$F_4 = \sum_j C_b X_j^b - \sum_l (W_d + W_p + W_r \cdot LR_l^b) SB_l \to max \qquad (4)$$

(2). 制約条件式

上記4種の目的関数に共通な制約条件として、次の6つの式がある。

①ODトリップ需要

$$\sum_{j \in L} X_j^b + \sum_{i \in L} X_i^c \geqq OD_k \qquad (5)$$

$L = \{OD_k$ の経路の集合$\}$

②交通容量制約式

$$\sum_i \frac{X_i^c}{n_c} \cdot M_{is}^c \leqq QC_s \qquad (6)$$

③バスの輸送量制約式

$$\sum_j X_j^b \cdot M_{js}^{bp} - \sum_l SB_l \cdot M_{ls}^{bb} \cdot n_b \leqq 0 \qquad (7)$$

④一般車の利用限度の制約式

$$C_{min}^k \leqq \sum_{i \in L} X_i^c / n_c \leqq C_{max}^k \qquad (8)$$

⑤道路区間の交通規制の制約式

$$\sum_l SB_l \cdot M_{ls}^{bb} \cdot n_{bc} + \sum_j X_j^c \cdot M_{js}^c / n_c \leqq QR_s \qquad (9)$$

⑥バス配車台数の制約式

$$\sum_l SB_l \leqq SB_{max} \qquad (10)$$

3. 多目的関数の最適化

式(5)~(10)の制約式のもとで、$F_1,\cdots,F_4$の全目的関数に対する最適妥協案的な解を $\bar{x}^*$ と定義する。

$F_1,\cdots,F_4$に対する比重をそれぞれ $\bar{\lambda}_1^*,\cdots,\bar{\lambda}_4^*$ とし、これらの合成関数をF_5とすると、$\bar{x}^*$ は次のLPの解である。なお制約条件を $A\bar{x} \lesseqgtr \bar{b}$ で表現する。

$$F_5(\bar{x}) = \sum_{n=1}^{4} \bar{\lambda}_n^* F_n(\bar{x}) \to max \qquad (11)$$

$$\text{制約条件:} \left.\begin{array}{l} A\bar{x} \leqq b, \quad \bar{x} \geqq 0 \\ \sum_{n=1}^{4} \lambda_n^* = 1, \quad \lambda_n^* > 0 \end{array}\right\} \qquad (12)$$

各目的関数$F_1,\cdots,F_4$を別々に解いた最適解を$\bar{x}^{*m}$とし、$f_{nm} = F_n(\bar{x}^{*m})$ なる要素をもつペイオフマトリックスが与えられる2人零和ゲームの最適解から$\bar{\lambda}^*$は導かれる[2]。なお各目的関数の尺度や関数の値の巾が異なるため、f_{nm}を次のように基準化する。

$$\begin{array}{ll} f_{nm} \leqq 0 \ (\text{ある}n\text{;全ての}m\text{に対して}) & ; K = -\min_m \{f_{nm}\} \\ \text{その他のとき} & ; K = 0 \end{array} \qquad (13)$$

$$M_n = \max_m \{f_{nm}\} + K \quad , n = 1, \cdots, 4$$

$$f'_{nm} = (f_{nm} + K) / M_n \qquad (14)$$

このf'_{nm}をペイオフマトリックスとする次式の2人零和ゲームの期待値Pの最適解をLPで解く。

$$P = \sum_{n=1}^{4} \sum_{m=1}^{4} f'_{nm} \lambda'_n \mu'_m \to max \qquad (15)$$

ここで $P_0 = min\{P\}$, $r_n = \lambda'_n / P_0$ とおくと(15)式は次のLPで表現される。

$$\frac{1}{P_0} = \sum_{n=1}^{4} r_n \to min \qquad (16)$$

$$\text{subject to} \sum_{n=1}^{4} f'_{nm} r_n \geqq 1, \quad r_n \geqq 0 \qquad (17)$$

(16)式の最適解が存在すれば $P_0^* = P^*$

$$\lambda_n'^* = r_n^* P^* \qquad (18)$$

となる。ここで、$n_n = \lambda_n'^* / M_n$

$$\lambda_n^* = n_n / \sum_{n=1}^{4} n_n \qquad (19)$$

とおけば、このλ_n^*が得られ、(11)式に代入すれば、最適解が得られる。

4. バスレーン網設置計画と本モデルの関係

バスレーン網設置の種々の代替案を比較検討する場合、本モデルでは各代替案に対する(11)式の最適解と目的関数値を比較すればよい。また各代替案の違いは(6)式の右辺の変化として表現されるため、この右辺要素に対する感度分析をしても代替案の有効性が判明する。なお本モデルはバスと一般車へのODトリップ配分に対して、社会全体として妥協的な解を求めるものであり、実際の分配の予測とは言えないが、バスレーン網設置に際して理想的配分をするとすれば、どのようなバスレーン網の設置をすればよいかという指針を与えることができるものと考えられる。

なお参考までに、縦3本・横4本の格子状道路網を持つモデル都市で、ODの経路に制限を設けると、目的関数の係数512、制約条件式511のLP問題となる。またシミュレーションモデル[1]から得られるデータを用いれば解析を行なうことができる。

参考文献

1). 天野, 鉄谷, 高野; バスレーン網形成とその効果に関する研究, 土木学会第29回年次学術講演会 講演概要集第4部.

2). S.M. Belenson & K.C. Kapur, "An Algorithm for Solving Multicriterion Linear Programming Problems with Example", Operational Research Quarterly, Vol.24, NO.1.