

需要変動を確率的に考慮した最適バス輸送計画に関する一考察

名古屋大学 正 員 河上 省吾
○名古屋大学 学生員 溝上 章志

1. はじめに

道路ネットワークにおける最適路線設計や、バスネットワークにおける最適バスサービス決定のような最適ネットワーク問題において、需要量の変動をどのようにモデルにとり込むかという問題は、モデルの記述法・効果計測の精度や計算上の実用性にとって重要な問題である。本研究では、確定された非集計行動選択モデルに基づいて、サービス変化に対する需要の変動を考慮した最適バスサービス決定問題についての一提案を行なう。

2. 従来の研究と本研究の概要

最適バス輸送計画に対する需要の変動を考慮する方法には、①大規模バス路線網計画の策定手法の開発を目的とするため、需要の変動を考慮せず、固定値として与える方法^[1]、②分担と配分過程を経合した交通需要予測モデルを用いた最適バス輸送計画手法の中で、需要を決定変数として導入する方法^[2]等がある。①は、サービス改善による転換・誘発需要が発生しないため、交通施設計画の効果が正しく計測できない。②は、①の欠点を克服できるが、非線形最適化問題となり、大規模ネットワークには計算上の問題がある。また、集計型の分担モデルを導入しているため、細かいサービス要因の変化に対する感度が低い等の問題が存在している。

本研究では、実態調査から得られた発生・集中ゾーン特性分布・ゾーン間サービス特性分布を用いて、非集計行動選択モデルから得られる経路選択需要を確率変数としてとり扱う。次に、バス輸送計画策定者の計画レベルに対するリスクに応じた確率的機会制約を導入し、それらの制約条件のもとで利用者の総効用の期待値を最大にするよう

なバス輸送計画の策定手法を提案する。

3. 経路選択確率の確率変数としての表現

簡単のために、経路（あるいは交通手段）の選択肢が2つである Binary Choice であり、バス系統は設定され、決定変数を運行頻度だけとする最適バス輸送計画について考える。いま、ある地域における実態調査により、バス経路選択確率が非集計 Binary Choice モデル

$$P = 1 / [1 + \exp(V_2 - V_1)] \quad (1)$$

$$\text{ここで} \begin{cases} V_i = \sum_{m=1}^M \beta_m X_{im} & (i=1: \text{助経路}, i=2: \text{主経路}) \\ \beta_m: \text{パラメータ} \\ X_{im}: \text{選択肢 } i \text{ の } m \text{ 番目の説明変数の値} \end{cases}$$

のように推定されたと仮定する。計画策定の際、任意のODペア間バス経路利用需要を求めるためには、式(1)を用いて集計化を行う必要がある。この時、説明変数 X_{im} は、任意のゾーンペアである多次元分布をもつ確率変数 $\{X_{im}\}$ と考えることができ、その確率分布のパラメータを (μ_{im}, Σ_i) で表わす。 X_{im} を確率変数とする理由は、①ゾーン内での居住地のばらつきやセグメントのばらつきのため、非集計モデルによるODペア間交通需要への集計化の際には、徒歩時間や社会経済的特性を確率変数と考えるべきであること、②道路混雑による乗車時間や待ち時間の変動のように、ゾーン間サービス変数が不確実性を伴う場合があるためである。

$\{X_{im}\}$ が多変数正規分布 $N(\mu_{im}, \Sigma_i)$ に従う場合、 β_m は真値で定数であるから、 $V_i = \sum_{m=1}^M \beta_m X_{im}$ ($i=1, 2$) は確率変数の線形結合となり、 $N(\sum_{m=1}^M \beta_m \mu_{im}, \beta^T \Sigma_i \beta)$ に従う。また、 $\{V_1 - V_2\} \equiv \Delta$ もこれらの線形結合であるから、平均 $\mu = \sum_{m=1}^M \beta_m (\mu_{1m} - \mu_{2m})$ 、分散 $\sigma^2 = \beta^T (\Sigma_1 + \Sigma_2) \beta$

の1次元正規分布に従う。ここで β は、パラメータ β_m の総ベクトルである。

このとき、式(1)のバス経路選択確率 $f^*(p)$ は、確率変数 $\{\hat{V}_1 - \hat{V}_2\} = Z$ の関数であるから

$$f^*(p) = \frac{d}{dp} \left[\int_{-\infty}^{\hat{V}_2} f(z) dz \right] = \frac{d}{dp} \{ g^1(p) \} f(g^1(p)) = \frac{d^2}{dp^2} f(z) \quad (2)$$

ここで $g^1(z) = P = 1/[1 + \exp(\hat{V}_2 - \hat{V}_1)]$

により

$$f^*(p) = \frac{1}{P(1-P)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} [\ln(\frac{P}{1-P}) - \mu]^2 \right\} \quad (3)$$

($0 < P < 1$)

なる S_0 分布に従う。以上のことから、説明変数 X_m が確率分布するという特性に従って、Binaryタイプの経路選択確率を(1)の関数で変換することにより、バス経路選択確率(需要)を確率変数としてとり扱うことが可能となる。

4. 機会制約を伴う最適バス輸送計画モデル

簡単のために、任意の0日ペア間に利用可能なバスと自動車による2本の経路がある場合、式(3)

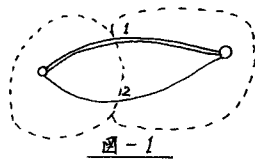


図-1

の確率分布で表わされるバス経路選択需要のもとでの最適バス頻度決定問題を定式化する。(図-1)

計画策定者は、バス経路選択需要を $(1-\alpha)$ 以上の信頼性のもとで処理できるようなバス頻度を決定することを目標とする場合(図-2参照)。

$$\text{Prob} [Q_n \geq NP(\mu(n))] \geq 1-\alpha \quad (4)$$

なる機会制約条件に従わなければならない。ここで、 N :0日ペア間の両経路利用分布交通量、 Q :バス容量である。確率変数 $\{\hat{V}_1 - \hat{V}_2\} = Z$ の分布は μ に依存し、 μ は確率変数 $\{\hat{X}_{ms} \text{ 運行頻度} \}$ の平均値である。 μ はバス運行頻度の関数であり、また μ_{ms} は運行頻度である運行頻度 n の変化に対応して変化するから、バス経路選択確率 P は $P(\mu(n))$ で表わされる。ただし、ここでは説明変数間の分散共分散関係は n の変化後も変態から得られたものと同一であると仮定する。すると、式(4)は、

$$\begin{aligned} \text{Prob} [P(\mu(n)) \leq \frac{Q_n}{N}] \\ = \int_0^{\frac{Q_n}{N}} \frac{1}{P(1-P)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} [\ln(\frac{P}{1-P}) - \mu(n)]^2 \right\} dp \\ \geq 1-\alpha \end{aligned} \quad (5)$$

なる非線形制約条件式に書き直すことができる。ここで、 $\frac{Q_n}{N}$ は総0日交通量に対する総バス容量であ

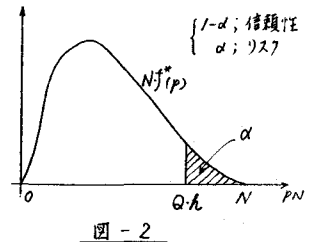


図-2

るから、ある種の余裕率のようなものを表現しており、計画策定者は余裕率の基準値を犯すリスクが α 以下になるように運行頻度 n を決めることを意味している。

次に評価関数の設定を行う。ここでは、運行頻度 n の場合の平均初用の期待値である

$$B = \int_0^1 V(n) f^*(p) dp \quad (6)$$

を評価関数とし、機会制約条件(5)と総バス台数制約条件

$$n/(T/\frac{2L}{v}) \leq F \quad (7)$$

ここで、 L :系統の総延長、 v :系統の表定速度、 F :総バス台数、 T :計画期間のもとで、 B が最大になるような運行頻度を求めるものとする。

5. おわりに

本研究は、非集計行動選択モデルから得られる経路選択需要を、発生集中ゾーン特性分布、サービス特性の不確実性に基づいた確率変数としてとり扱い、計画策定者の計画レベルに対するリスクに応じた確率的機会制約のもとで最適バス頻度決定モデルの概念的定式化を行った。

<参考文献>

- [1] 技術経済院 工研: 最適バス路線網構成システム, 土木学会論文報告集, No.300, pp.15-197
- [2] 丹正 清二: 分理・配分を統合した交通需要予測モデルとそれを用いた最適バス輸送計画法の開発, 第6回工研計画学研究会発表会講演集, 1984.1
- [3] B.P.Lingaraj, Arun Chatterjee and Kumaras C. Sinha: An Optimisation Model for Determining Headways for Transit Routes, TPT, 1976, Vol.3, pp.81-90
- [4] Johnson, N.J: Systems of frequency curves generated by methods of translation, Biometrika 36, pp.149-176, 1949
- [5] R.A.Warlin: Predictions from Binary Choice Models, Journal of Econometrics, Vol.2, 1974, pp.1-16