

区間急行運行方法に関する一考察

三菱総合研究所 正員 福山 正治
京都大学大学院 学生員 板倉 信一郎

1. はじめに

本研究では、既設鉄道による通勤輸送に対して区間急行を導入した際の、効率的な運行方法を求める事を目的とした。方針としては、FUKUYAMA¹⁾、CLARENCE²⁾の研究を参考に、利用者、運営者の費用の和を、区間急行の各駅停車区間長、運転間隔で表わす費用モデルを設定し、このモデルから総費用を最小とする各停区間長、運転間隔を求めた。

2. 費用モデル

2-1. 考え方

利用者、運営者の費用を、総消費時間(旅行時間)、車両走行キロ、車両数、総列車運転時間、各停区間数に比例する項から成るものとし、上記5つの要素を各停区間長、運転間隔の関数として表現する事でモデルを設定した。これらの関数については、以下のように定義した。すなわち路線上的ある点 x における各停区間長を $l(x)$ とする。この $l(x)$ は、点 x の両側に $l(x)/2$ ずつ配分する。また、 x - y 平面を考え、路線上の点 x から点 y への列車運転間隔を $f(x,y)$ 、利用者数を $f(x,y)$ とした。

2-2. 定式化

以下のような仮定の下に、費用モデルを定式化した。

- 1) 各停区間長、運転間隔は、路線の上り下り両方向で同じものとする。
- 2) $f(x,y)$ は x 、 y に対してなだらかに変化し、かつ時間によらず一定とする。
- 3) 列車は、各停区間、急行区間をそれぞれ駅間距離によらず一定速度で走行する。
- 4) 設定時間帯中に、各列車は設定区間を往復できるものとする。
- 5) 路線長を有限値とし、この長さを L とする。

定式化した費用モデルは以下の通り。

$TC = UC + OC$ TC : 総費用 UC : 利用者費用 OC : 運営者費用

$$UC = T_1 \int_0^L \int_0^L \left\{ f(x,y) \left[\frac{l(x)+l(y)}{2V} + \frac{|y-x| - \frac{1}{2}(l(x)+l(y))}{V} + \frac{f(x,y)}{2l(x)l(y)} \right] \right\} dy dx$$

$$OC = T_2 \int_0^L \int_0^L \frac{f(x,y)}{F} \{ 2|y-x| + l(x)+l(y) \} dy dx \\ + T_3 \int_0^L \int_0^L \frac{2f(x,y)}{VF} \left\{ \frac{l(x)+l(y)}{V} + \frac{|y-x| - \frac{1}{2}(l(x)+l(y))}{V} + \frac{f(x,y)}{l(x)l(y)} \right\} dy dx \\ + T_4 \int_0^L \int_0^L \frac{2U}{F l(x,y)} \left\{ \frac{l(x)+l(y)}{V} + \frac{|y-x| - \frac{1}{2}(l(x)+l(y))}{V} + \frac{f(x,y)}{l(x)l(y)} \right\} dy dx \\ + T_5 \int_0^L \frac{2}{l(x)} dx \\ + T_6$$

T_1 : 利用者時間価値

T_4 : 1列車走行時間あたりの費用

T_2 : 1車キロあたりの費用

T_5 : 列車折り返し施設1箇所あたり設置費用

T_3 : 車両1両あたりの費用

T_6 : 列車の運行方法に関係ない費用

Masaharu FUKUYAMA, Shin ichirō ITAKURA

v ; 各停区間平均速度

F ; 車両定員

V ; 急行区間平均速度

U ; 設定時間長

$$f^*(x,y) = \max[f(x,y), f(y,x)]$$

2-3 費用モデルの解

$TC(l(x), l(y), f(x,y)) \rightarrow \min$ とする関数 $l(x)$, $f(x,y)$ を $l_{opt}(x)$, $f_{opt}(x,y)$ とすると, 変分を用いてこれを解いた結果,

$$l_{opt}(x) = \left[\frac{r_1 \int_0^{\frac{1}{2}} \frac{f(x,z)+f(z,x)}{l_{opt}(z)} f(x,z) dz + \frac{4T_0}{UF} \int_0^{\frac{1}{2}} \frac{f^*(x,z)}{l_{opt}(z)} f(x,z) dz + 4T_4 U \int_0^{\frac{1}{2}} \frac{1}{l_{opt}(z)} dz + 8T_5}{r_1 \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{V} \right) \int_0^{\frac{1}{2}} (f(x,z)+f(z,x)) dz + \frac{2T_0}{F} \int_0^{\frac{1}{2}} f^*(x,z) dz + \frac{2T_0}{UF} \left(\frac{2}{v} - \frac{1}{V} \right) \int_0^{\frac{1}{2}} f^*(x,z) dz + 2T_4 U \left(\frac{2}{v} - \frac{1}{V} \right) \int_0^{\frac{1}{2}} \frac{1}{f(x,z)} dz} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$f_{opt}(x,y) = \left[\frac{2T_4 U l(x) l(y) \left\{ \frac{2l(x)+l(y)}{v} + \frac{2ly-x-(l(x)+l(y))}{V} \right\}}{r_1 (f(x,y)+f(y,x)) + \frac{4T_0}{UF} f^*(x,y)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

となる。これに適当な初期値を与えて収束計算を行えば, 解を求める事ができる。

2-4 区間急行運行方法決定の手順

実際には, 各停区間長は, 路線をいくつかの区間に区切って決定するため, $l_{opt}(x)$ をそのまま各停区間長とするわけにはいかない。そこで $N_{opt}(x) = \int_0^x \frac{1}{l_{opt}(z)} dz$ とし, $N_{opt}(x)$ が整数値をとる地点で区間を区切る事とした。このようにして決定した区間のうち任意の2つ, 例えば区間Aと区間Bの間の区間急行の運転間隔 f_{AB} は,

$$f_{AB} = 1 / \int_{N_{opt}(x) \in B} \frac{1}{f(x,y)} dy dz$$

列車編成長は, この運転間隔中に発生する利用者を運ぶ事のできる最短編成長となる。

$$H_{AB} = \max \left\{ \frac{F_{AB}}{UF} \int_{N_{opt}(x) \in B} f(x,y) dy dz, \frac{F_{AB}}{UF} \int_{N_{opt}(x) \in B} f(y,x) dy dz \right\} \quad H_{AB}: \text{区間Aと区間Bの間の区間急行の列車編成長}$$

3, 数値計算例

上述の方法で行なった数値計算例の一部を右表に示す。ここでは, 阪神電鉄本線について計算を行なった。得られた解は, 現行の運行方法よりも短編成長頻発型となっている。これは, 利用者の待ち時間を減少させる事で総費用を低く抑えようとする傾向があるためである。また, 諸係数の値を変えて, 解の挙動を調べた結果, r_1 が増えると区間数が増加, 運転間隔は, 小さくなる。 v が大きくなると区間数は減少, その他の係数に対しては解の挙動が比較的安定している事がわかった。

4. おわりに

このモデルには, 線路容量を考慮に入っていない等の課題が残されており, 今後, より現実的で, かつ簡明なモデルを考えて行く事が必要であろう。

参考文献

- 1) Masaharu Fukuyama "Optimal Station Location for a Two Hierarchy Transit System" Proceeding of The 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Trondheim, June 1981
- 2) Clarence, Bernard and Hurdle Van Olin "An Operating Strategy for a Commuter Bus System, Transportation Science, Vol 9-1, 1975

運行方法の一例

運転間隔 (分)

Zone	1	2	3	4	5	6
1	11	9	9	20	20	24
2	9	13	11	26	30	30
3	9	11	13	13	20	15
4	20	26	13	24	18	22
5	20	30	19	18	11	7
6	24	30	15	22	7	7

編成長 (人)

Zone	1	2	3	4	5	6
1	2	3	5	5	4	3
2	3	2	2	2	1	2
3	5	2	1	2	1	3
4	5	2	2	2	2	3
5	4	1	1	2	2	3
6	3	2	3	3	3	3

$r_1 = 15 \text{ 円/人}$

$r_2 = 100 \text{ 円/車両}$

$r_3 = 3000 \text{ 円/編}$

$r_4 = 200 \text{ 円/乗客}$

$r_5 = 10000 \text{ 円/1000人}$

$F = 200 \text{ 人/編}$

$U = 120 \text{ 分}$

$v = 0.5 \text{ km/分}$

$V = 1.0 \text{ km/分}$

ZONE 1 梅田-淀川

2 姫島-尼崎

3 出屋敷-夕陽川

4 今津-打越

5 芦屋-石屋川

6 新在家-元町