Ⅳ-89　LPによる交通体系の最適化モデル

徳島大学工学部　正　青山吉隆
徳島大学大学院　学○芝原靖典

[1] 序

総合交通体系を構成する場合、その理論的中心をなすのは交通機関別分担率の予測、決定にあると思われる。そこで本研究は、望ましいモーダルスプリットを探索する最適化モデルをLP手法を骨格として構成し、これを基礎として総合交通体系の最適化を図ることを目的とするものである。その際、交通体系は一般の経済活動と同様に、市場機構に依存した各種交通手段の競合と利用者の自由な選択を通じて形成されるという立場に立つ。

[2] 評価関数の定式化

利用者が交通機関を選択する際の選好要因としては従来、運賃と所要時間のみを考慮することが多いが、本研究ではより現実を反映させるため、交通機関の容量と混雑度とを要因として追加する。

いま時間価値 w_i（円/分），混雑率に対する評価値 β_l（円/混雑率）をもつ利用者のうち x_{ilj} 人が交通機関 j を利用するとすると、交通機関 j への交通需要は $\sum_i\sum_l x_{ilj}$ と表わせる。そして交通機関 j の容量を K_j とすると、混雑率 $z_j=(\sum_i\sum_l x_{ilj})/K_j$ であり、このとき利用者が混雑によって受ける損失は式(1)となる。

$$\beta_l\cdot\left(\sum_i\sum_l x_{ilj}/K_j\right)=\beta_l\cdot z_j \quad \cdots\cdots(1)$$

また交通混雑が発生すると、それによって交通機関 j の所要時間 t_j が変化する場合がある。t_j は一般に交通需要の関数として式(2)で表わすことができる。

$$t_j=a_{j1}+a_{j2}\sum_i\sum_l x_{ilj}+a_{j3}\left(\sum_i\sum_l x_{ilj}/K_j\right)^{n_j} \quad \cdots\cdots(2)$$

ここに a_{j1} は自由走行時間，a_{j2}, a_{j3}, n_j は定数である。したがって時間価値 w_i，混雑率に対する評価値 β_l をもつ利用者が交通機関 j を利用するときに受ける損失 S_{ilj} は式(3)で表わされる。

$$S_{ilj}=C_j+w_i t_j+\beta_l z_j \quad \cdots\cdots(3)$$

ここに C_j は交通機関 j の運賃(円)であり、また w_i, β_l は利用者によって異なる確率変数である。

[3] 最適化モデル

競争状態下にある交通機関に対する利用者の選択は以下の制約を受ける。まず利用者の集合は w_i と β_l の2変数によって図1のように階層に分類され、各階層に属する利用者数 F_{il} と交通需要 x_{ilj} との間には式(4)の関係がある。

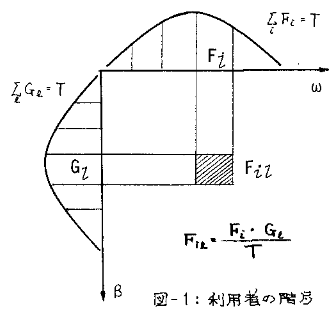


図-1：利用者の階層

$$\sum_j x_{ilj}\ge F_{il} \quad \cdots\cdots(4)$$

さらに各交通機関に対する需要は当然その容量以下でなければならないから

$$\sum_i\sum_l x_{ilj}\le K_j \quad \cdots\cdots(5)$$

以上より、利用者の受ける総損失 E を最小にするモーダルスプリットは次のように定式化された非線形計画問題の解として与えられる。

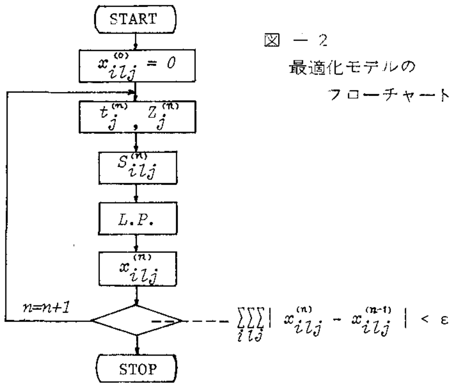
Objective Function　$E=\sum_i\sum_l\sum_j S_{ilj}x_{ilj}\rightarrow$ Min.

subject to　$\sum_j x_{ilj}\ge F_{il}$

$\sum_i\sum_l x_{ilj}\le K_j$

$x_{ilj}\ge 0$

この非線形計画問題の解法を図-2に示す。まず初期値 $\sum_i\sum_l x_{ilj}=0$ を式(1)，式(2)に代入して z_j，t_j を求め、それより S_{ilj} を求めて目的関数を線形化する。そしてLP問題として求解し、得られた解を再び式(1)，式(2)に代入し，z_j，t_j さらに S_{ilj} を求めてLP問題のパラメータを計算して目的関数の線形化を行う。以上のプロセスを繰り返し、その収束値をもって非線形計画問題の解とする。



図－2
最適化モデルのフローチャート

〔4〕 ケース・スタディ

時間価値や混雑に対する評価値 W_i, β_ℓ の推定方法についてはまだ問題が多いので今回のケーススタディでは W_i を文献(1)より仮定し，β_ℓ は適当に次のように仮定した。したがってこのケーススタディの計算結果に意味を持たせることはできない。モデルの実行可能性のチェックを目的とした計算である。

表－1：時間価値の分割（ω：円／時間）

分割	ω	割合	分割	ω	割合
1	106.9	8	6	1733.7	15
2	253.1	10	7	3114.4	15
3	432.4	10	8	6084.2	10
4	653.5	10	9	12492.5	5
5	974.0	15	10	29856.5	2

表－2：混雑に対する評価値の分割

分割	β（円）	割合
1	0.000	50
2	130.391	30
3	597.051	20

ケーススタディとしたODは10種類で各ODについて代表的と思われる3つの交通機関をとりあげた。各交通機関の C_j, t_j は実積値を用いた。

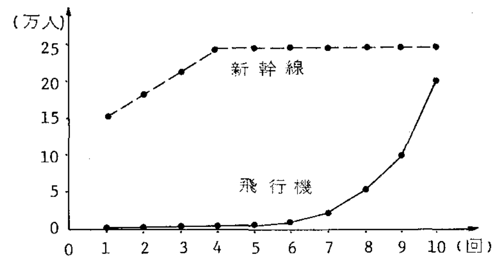
以上のデータを用いて、本モデルのケーススタディを行なった結果を表-3に示す。

表－3：各ODにおける最適分担率（％）

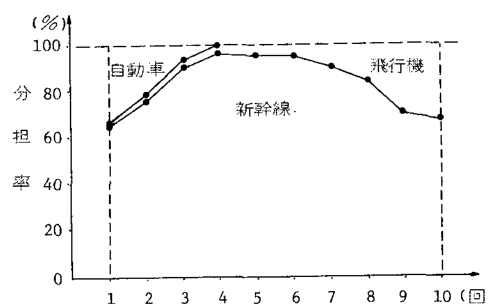
OD ＼ MODE	在来鉄道	特急	バス	自動車	新幹線	高速バス	飛行機
徳島－高松	48.4		7.2	44.4			
高松－松山	63.4		5.4	31.2			
東京－名古屋				32.2	67.6	0.2	
東京－京都				35.9	63.8	0.3	
東京－大阪				34.7	63.8		1.5
東京－神戸				76.1	23.8	0.1	
東京－岡山		11.4			88.5		0.1
東京－函館	15.0	82.1					2.9
東京－広島		16.0			83.2		0.8
東京－福岡		13.7			77.3		9.0

さて本モデルの $\sum_i \sum_\ell x_{i\ell j} \le K_j$ という制約式は需要が容量いっぱいのために利用者が不利な交通機関の選択を余儀なくされるという状況を表わしている。そこでこの制約を緩和するために、容量に Shadow Price が発生している交通機関を整備して、利用者がその人自身にとってより有利な交通機関を選択できるようにより自由な状態にすれば、利用者の損失は減少するであろうと考えられる。そこでケーススタディとして、東京～大阪間について Shadow Price の発生している新幹線と飛行機の容量を漸増させ、容量の感度分析を行なった。図-3のように容量増加を行なった場合のモーダルスプリットの変化を図-4に示し、さらにその場合の損失の期待値の減少過程を図-5に示す。

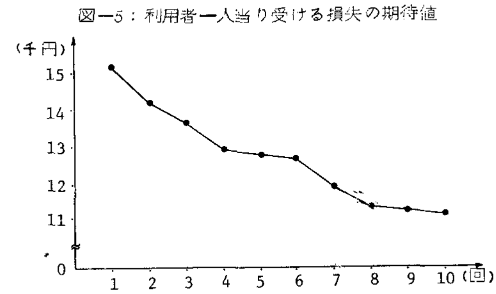
図―3：容量増加



図―4：分担率の変化



図―5：利用者一人当り受ける損失の期待値



参考文献

(1) 運輸経済研究センター，"わが国の総合交通体系" P134.

(2) 青山吉隆，"モーダルスプリットのLPモデルについて" 第29回土木学会