

京都大学工学部 正員 ○喜多 秀行
 京都大学工学部 正員 長尾 義三
 京都大学工学部 正員 黒田 勝彦

1. はじめに

従来の交通計画で多用されてきた原単位法による需要予測は、独占的なサービスを行ない、価格弾力性の低い公共施設には有効性があったものの、価格の変化や競争的なサービスの存在などの状況も反映していないため、競争原理のほかに市場では競争性が薄くなりがちである。したがって、このような場合は、施設提供者と利用者の選好という相互関係を考慮に入れた予測法を用いることも必要となる。本研究は、このような背景のもとで、運河計画を例として、均衡理論を用いた施設利用量の予測・制御をもとに、システムの最適設計に関する方法論を述べるものである。

2. 均衡理論による施設利用量の予測と制御

運河システムのシステム変数として、料金・水路断面による喫水制限・バイパス配置の3つを考える。通常の均衡理論では、システム変数の変更により供給曲線のシフトして均衡量の変化を説明しているため、料金・バイパス配置の変更による施設利用量の変化は説明できるが、喫水制限の変更は供給曲線のシフトには関係しないため、施設利用量に及ぼす変化を説明できない。

制限喫水が大きくなると、通航可能船舶が増えるため需要曲線は右にシフトし、逆に小さくなると左にシフトすると考えられる。需要曲線がシフトすることについては従来2つの原因があるとされ、一つはシステムを取りまく社会・経済環境それ自体の変化（人口増加・経済成長など）によるもので、他の一つは供給能力の変化が環境にはたらきかけて新たな需要の変化を引き起こすことによるものである。しかし、前者は自然推移的な変化という点で、後者は環境を媒介とした間接的な点で、喫水制限の変更に対する効果を説明するには十分でない。そこで、以下ではシステムの変更に対して供給曲線のみならず需要曲線までもがシフトする均衡モデルを考える。

需要曲線は、積荷1単位あたりの支払い対価 C_D と需要量 V_D との関係を表わすものとして記述される。航路（水路）について、運河を経由する経路とその競合経路の2つがある場合、競合経路経由と運河経由とに対応する船舶のトン数・航海あたりの運搬費用の差額を境界料金（Critical tariff） C_{cr} と言う。この境界料金は積荷1単位あたりに換算したものが前述の支払い対価に相当し、航路・船型・積荷の種類により異なる。運河を対象としている航路に支払い対価 C_D 、喫水 D の船舶が N 隻就航しており、その船舶が受ける荷動量は V_B であるとすると、ある支払い対価 C_D 、喫水制限 D に対する需要量 V_D は、

$$V_D(C_D, D) = \int_0^{D_0} \int_0^{C_{cr}} V_B(C_D, D) \cdot \Delta(C_D, D) dC_D dD \quad \text{--- (1)}$$

として得られる。

供給曲線は、施設利用量 V_S と積荷1単位あたりの利用費用との関係を表わすものとして記述される。費用として、利用者の直接支払い額 C_p と混雑により利用者からかかる費用 C_{cong} を考える。船舶1隻に対して通航料金 P が賦課される場合には、船舶の重量トン数を SS 、積載率を R とし、また積荷1単位あたりの時間費用を C_t 、混雑により生じる待ち時間を t_w とすると、利用費用 C_s は、

$$C_s = C_p + C_{cong} = P \cdot \frac{1}{SS} \cdot \frac{1}{R} + C_t \cdot t_w \quad \text{--- (2)}$$

となる。待ち時間 t_w は、通航状態を待ち行列理論でモデル化し、航行特性値を代入して算出している。

3. システムの最適設計

運河施設整備による施設水準の上昇は多岐にわたる効果に及び、結果として料金収入増をもたらし、建設費用の増加ともなわぬ。ここでは、運河当局の純便益現在価値最大化をシステムの最適性基準とする。

需要曲線と供給曲線が与えられた時、均衡交通量 V_E は両者の交点として得られる。システム変数を料金 P 、

喫水制限 D 、バイパス配置 B とすると、 D を固定して P および B を変化させると均衡点 E は需要曲線上で変化し、 P ・ B を固定して D を変化させると均衡点は供給曲線上で変化する(図1)。ある P ・ D ・ B のもとでの料金収入 I_{GR} は、これに対応する均衡点と両軸で囲まれる長方形の面積で表わされる(図2)。この時の建設費用を C_c とする

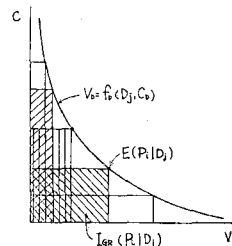
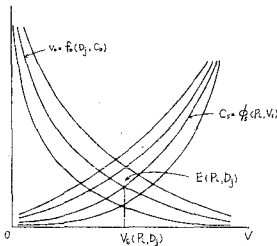


図1 需給曲線と均衡交通量

図2 均衡点と料金収入

$$I_{NR} = \sum_{t=1}^T I_{GR}(P, D, B, t) \cdot (1+r)^{-t} - C_c(D, B) \quad \text{---(3)}$$

である。 I_{NR} を算出するためのフローを図3に示す。(3)式は計画期間中にシステム変更を行わない場合であるが、動的な戦略をとる場合には変更の時期をも考慮して、

$$I_{NR} = \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{t=t_n}^{t_{n+1}-1} I_{GR}(P_n, D_n, B_n, t) \cdot (1+r)^{-t} - C_c(D_n, B_n) \cdot (1+r)^{-t_n} \right\} \quad \text{---(4)}$$

を最大化する。ここに t_n は第 n 期の開始年度である。動的戦略をとるときその最適化手法を次に述べる。

4. マルチレベル法による最適化

個々のシステム変数は、互いに他の変数とは独立に操作できるため、それぞれのシステム変数の面からみれば運河システムを個々のサブシステムと見なし、このサブシステムが結合条件によって調整される2レベルシステムを構成していると考えられる。結合条件は、各サブシステムにおいてシステム変数値が最終的に同じ値になることである。動的戦略をとる場合には上記2レベルシステムを時間軸方向に並べ、各部分最適解を上位レベルで調整するシステム変数の値とその変更時期を求める。

5. おわりに

本研究では均衡理論を導入するに際して、システム変更により需要曲線もシフトする場合の利用量予測について考察し、さらに運河計画を例にとり、競争原理に基づいた場でのシステムの最適設計法を提案した。なお、紙数の都合上、数値計算例は講演時に発表する。

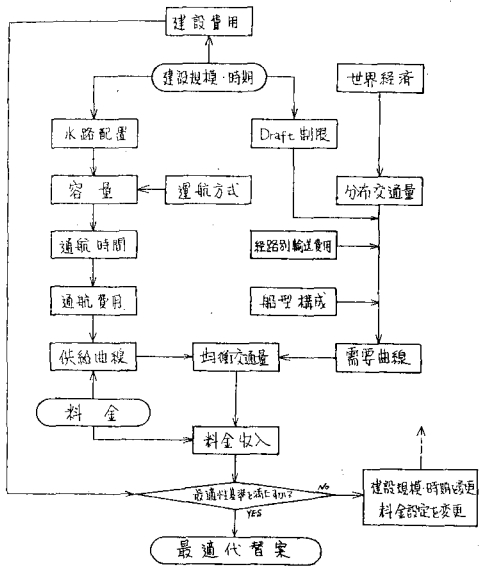


図3 最適代替案選定フロー

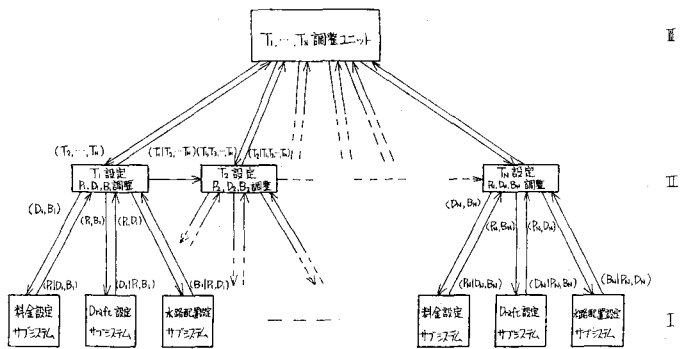


図4 3レベルシステムとしての動的戦略決定