

京都大学工学部 正員 寿 名 攻

1. はじめに——近年社会構造の高度化・複雑化の急速な進展とともに大規模な土木事業が増えてきている。そして土木事業が社会に及ぼす影響も広範囲で多岐にわたり、社会の各レベルからの社会的・経済的要請の多様化とあいまって土木事業の計画問題も複雑な構造を呈示するようになった。本稿ではこのような計画問題をその構造特性にしたがって多重・多階層計画問題と称するとともに、分析のための計画モデルの定式化を過去の実証的研究や現在進行中の実証的研究にもとづいて(簡単ではあるが)計画モデルにおける評価関数という観点からとりまとめて考察したものである。現時点ではこの種の問題における望ましい評価の尺度や方法に対する結論は得られていないが、Min-Max 計画法やGPさらには2階層モデルなどを適用した計画モデルによる分析を多くの事例に対して試行錯誤的に適用していくことにより多くの実績を得るとともに、これらにもとづいて結論的な事項をとりまとめていきたいと考えている。このため、ここでは羅列的ではあるが一応の成果を順次示すことにする。

2. 運輸・交通計画問題へのアプローチ

(1) 等時間配分原則による交通量配分計画問題——等時間配分原則についてはすでに良く知られているように Jorgensen によって非線形の数理計画モデルとして定式化され多くの研究者によって実証的に分析されている。ここでは少し異なった観点からMin-Max 計画法を適用した計画モデルによるアプローチを示すことにする。一般にMin-Max 計画法は、計画問題が立場や利害を異にする多くの計画主体を包含する場合にこれら計画主体の充足度の水準に差異が生じないように計画を求めようとするものである。等時間配分では各ODペアにおいて実際に車が行きけるすべてのルートでの走行時間の長さに差がなくなるように、すなわち最小の走行時間が各ODペアごとに最大化されるように配分計画内容を評価し決定する。』ということになる。これを計画モデルとして定式化すると、 $\text{Max. } y = \sum y_k$ Subject to ① $f(x) \geq y_k$ (ただし、 $f(x) - y_k - z_k = 0$)、② $\sum x_k = d_k$ 、③ $z_k x_k = 0$ 、 $x_k \geq 0$ 、 $z_k \geq 0$ のようになる。ここで、 y_k は各ODペアごとの最小走行時間、 x_k はODペア k のルート k の交通量をあらわしており、 z_k は slack として導入した変数である。また $f(x)$ は交通量 x のときの走行時間(関数)である。

(2) GP(目標計画法)による交通量配分計画問題——GPによる交通量配分計画の方法はすでに我々の研究グループがいくつかの実証的分析を示しているもので、ここでは本稿にとって重要と思われる点に絞って述べることにする。さて、(ここでは記述を省略するが)配分計画モデルではOD交通量の保存式や容量制限式等の物理的な制約条件式の他に、計画目的にかなうように定められた複数の目標を設定して制約条件化する。ここでは総走行費用、総走行時間、いくつかのナットポイントにおける騒音の低減という目標に対して、許容しうる最低の水準 $g_0, g_T, g_g (g=1,2,\dots)$ および一応の達成目標としての満足水準 G_0, G_T, G_g を設定することによって次のような制約条件式を定めた。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n f_{kj} \sum_{i=1}^m C_{ij} \beta_{ij} - y_0 + z_0 &= G_0 \\ \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n f_{kj} \sum_{i=1}^m C_{ij} \beta_{ij} &\leq g_0 \end{aligned} \right\} \text{(総走行時間について)}, \quad \left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n f_{kj} \sum_{i=1}^m C_{ij} \beta_{ij} - y_T + z_T &= G_T \\ \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n f_{kj} \sum_{i=1}^m C_{ij} \beta_{ij} &\leq g_T \end{aligned} \right\} \text{(総走行費用について)}$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n f_{kj} \sum_{i=1}^m \delta(k,j,i) \beta_{ij} - y_g + z_g &= G_g \\ \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n f_{kj} \sum_{i=1}^m \delta(k,j,i) \beta_{ij} &\leq g_g, (g=1,2,\dots) \end{aligned} \right\} \text{(騒音の低減について)}$$

$$\frac{y_0}{\lambda_0} = \frac{y_T}{\lambda_T} = \frac{y_g}{\lambda_g} \quad (g=1,2,\dots) \quad \text{ここで } \lambda = G^0 - g^0, \quad \beta_{ij} \geq 0, y^0 \geq 0, z^0 \geq 0$$

ここで、 C_{ij} はODペア k 、経路 j 方向上の車一台あたりの平均走行費用、 f_{kj} はODペア k 、経路 j 方向上の車一台あたりの平均走行費用、 $g (g=1,2,\dots)$ は騒音のナットポイント、さらに y^0, z^0 は満足水準からの乖離を示す補助変数をあらわしている。またGPでは y_0, y_T, y_g のうちいづれかを最小化 ($\min$) することによって最適解を求める。これは両水準で規定される目標ベクトル上にある3つの目標値のうちで最低の水準を示す目標に着目し、これを引きあげるというMin-Max計画法の考え方が適用されていることになる。すなわち、この目的関数の最小化は、

(現在の解に於ける目標の達成水準) $\geq$ (複数目標の達成水準の中の最低のもの水準)

という関係において、右辺の最低水準を引きあげ最大化することにあつてゐる。L字型効用関数は一般の効用関数の概念と方法をうまく反映させているように考えられているが、開いたL字型効用関数の場合は別として内容はMIN-Max計画法と同じものとなつてゐる。ただ異なる点はMIN-Max計画法だけで到達しうる解においてさらに水準を上昇せしめる目標をとりだして可能な限りその目標の水準を上昇せしめようという点である。これは全体的な視点からではなく、個別的な実際の視点から行なわれており効用におけるトレードオフの関係を考慮するとこの方法は決して望ましい方法であると断言できない内容となつてゐる。

(3) 公共トラックターミナルの規模と配置計画問題——京阪神都市圏における路線貨物輸送の合理化を目的として、圏域内に公共トラックターミナルを立地させる場合の規模と配置計画をGPモデルやMulti-Parametricモデルを中心として分析を加えた。この研究の詳細をここで簡単に述べることはできないので別の機会にゆずることとし、上記GPとの関連とは別に、さらにMIN-Max計画法によって分析した事例を示すことにする。計画モデルにおいてはターミナル建設にともなう総輸送コスト、総輸送時間、延走行台キロ等を目標としてとりあげて実証的分析を行つた。このように分析で取上げられた計画目標は対象圏域全体に対する目標であつたため、各ゾーンでは輸送単価などの評価値に格差が生じてきた。そこでこのモデルに対して後述の式を加えるとともにパラメトリック分析を行つた。すなわち、対象経済圏と他の経済圏 j との間の輸送単位のゾーン位置のちがいにもとづく格差をMIN-Max法を用いて是正するとともにGPモデルによる計画案がどのように変化していくかについて分析した。いま、 R_j を対象経済圏の各ゾーンと j 経済圏の間の平均輸送距離を考慮して設定した換算係数、 C_{ir}, C_r, C_{rj} を集配コスト、ターミナルコスト、路線輸送コスト、 Q_{ij} を i, j 間のOD貨物量とすると、 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{ir} + C_r + C_{rj}) X_{irj} / R_j \sum_{i=1}^n Q_{ij} \leq U$ のようにならわされる U を減小させてゆくパラメトリック分析を行ない結果を計画情報としてとりまとめた。

3. 水システム計画問題へのアプローチ

(1) 2段階モデルによる下水道施設の建設・整備計画問題——当研究では淀川水系のような河川流域が複数個の都市を含む場合の河川の水質状態の改善をめがけ、かつ各都市の下水道施設の整備水準を上昇せしめるような広域的な観点からの下水道施設の建設・整備計画問題をとりあげて分析した。そしてここでは、国レベルと都市レベルという2段階の意思決定主体をモデルの中に組みこんだ2段階モデルを定式化した。全体の国レベルでのモデル記述においては、水質の下限や流量の連続条件をとりあげて現象にかなうようにした。さらに、各都市においての下水道施設の建設・整備水準を財政的制約のもとで最大化するような都市個々の計画モデルをLPを用いて定式化しサブシステム(モデル)とした。そして、システム全体での目的を統合管理を行なう国レベルの目的と対応させて、MIN-Max計画法を用いたつぎのような評価関数として表わした。すなわち、 B_i を都市 i の下水の放流域における現在の水質、 $\bar{B}_i$ を建設省の審議会で検討されたら公表された暫定目標水質、計画変数としての水質を B_i とすると、 $(B_i - \bar{B}_i) / (\bar{B}_i - B_i) \geq \alpha$, $\alpha \rightarrow \max$ を満たすように計画することとした。

(2) 治水施設の建設・整備計画問題——本研究のより詳しい内容は、吉川春彦面権の研究発表に示したのでここでは本稿の目的にとって重要と思われるのみを概略的に示しておくことにする。当研究では淀川水系における治水施設の建設・整備計画問題と河川流量状態と施設の建設・整備状態との対応関係のもとでとりえらるとともに、広域的かつ全体的な観点から治水施設の建設・整備状態を評価し計画化しようといふ意図したものである。すなわち、モデルの制約条件として、①主要な計画基準年における流量状態と施設の整備状態の関係や②施設規模と治水利水に關する流量状態の關係、さらには③費用に關する制約をとりあげた。また、評価関数としては各計画基準年における余裕流量 Z_i をとりあげた場合と、安全率(=余裕流量/疏通能) Z_{2i} をとりあげた場合の2種類を考えるとともに、MIN-Max計画法を適用して水系全体をバランスをとれた目標達成がはかれるような治水計画を目標としたものである。つまり、 $Z_{2i} \geq Z_i$ ($i=1, 2, \dots$), $Z_1 \rightarrow \max$ あるいは $Z_{2i} \geq Z_i$ ($i=1, 2, \dots$), $Z_2 \rightarrow \max$ としてこのおろいを具現化したのである。