

将来路線の建設計画のための計画情報 に関する一考察

計画部 調査課 近藤 豊太郎
 同部 同課 浜口 義之
 同部 同課 今木 博久

まえがき

一般に高速道路の建設段階においては複数個の計画路線が対象となることが多く、これらの全てを並行して事業に着手することは困難である。そこでどの路線から着手していくことが望ましいかという事が重要な問題として提起される。しかしこの“望ましき”というものは視点により全く異なる場合がある。すなわち、道路建設者または沿道住民など各個人の所属する立場により、また同一所属内においても個人的な主観の差異により、“望ましき”は異なるものである。特に近年では価値観の多様化が叫ばれており、道路建設に際しても採算性のみばかりでなく、騒音や振動などの沿道の環境問題、特定地域サービスの問題等トレードオフの関係にあるような問題が非常に重要視されている。以上のような状況から意志決定者の立場としては、ある一つの観点から見れば路線建設の優先順位は決定するものの複数の立場を考慮するとその決定は困難となる。

また、路線の建設順序が何らかの方法によって決定されている場合においてもその路線の建設は単一ではなく複数個が同時期に着工されることが通常である。このときの建設順序はむしろ供用順序であり着工の順序とは関係なく、路線を利用出来る時期の順序と考えることができる。この場合は各年度においてどの路線にどの程度投資することが望ましいかということが新たな命題として提起されることとなる。すなわち、供用の順序と年度の投資額とが与えられている場合の各路線への投資配分類を決定しておく必要がある。

そこで本研究では以上のことを踏まえ総合的な観点から阪神高速道路の将来路線建設優先順位を決定し、かつ最適な投資配分を行うために、(L.P.)線形計画法を用い、①優先順位決定モデル、②投資配分決定モデル、の2モデルを構築し、シミュレーションを行うことにより公団の事業計画の立案に資する計画情報を作成しようとするものである。

1 研究の位置付けと概要

路線の優先順位を決定する場合、いずれの方法にしろそれのみで決定されるものではなく、上位計画や下位計画との関係が重要になってくる。図-1に路線優先順位決定の位置付けを示す。この

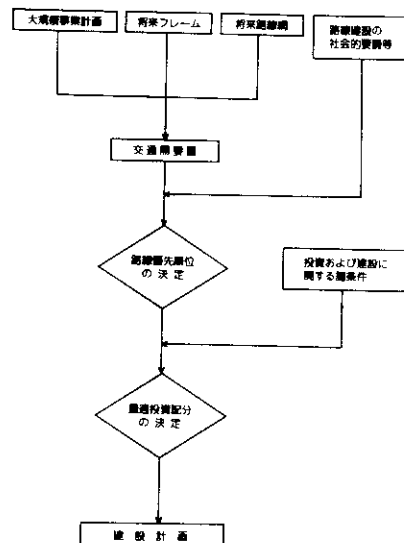


図-1 路線優先順位決定の概念フロー

図よりまず大規模事業計画（上位計画）、夜間人口、従業人口等の将来フレームおよび将来路線網から将来の交通需要量を算出し各々の計画路線の交通量を推計する。さらに各路線建設に対する社会的要請等を抽出したうえで、総合的な観点から建設優先順位を決定する。そして順位が決定された後、投資および建設に関する諸条件を導入することにより最適投資配分の決定を行い、具体的な建設計画の段階に進むものとする。

具体的な本研究のフローを図-2に示す。まず優先順位決定モデル構築の前段階として手法の検討を行う。すなわち、本研究では位相幾何学、多次元尺度構成法、線形計画法の三種類の手法を対象としてモデルへの適用に可能かどうかの検討を行った。

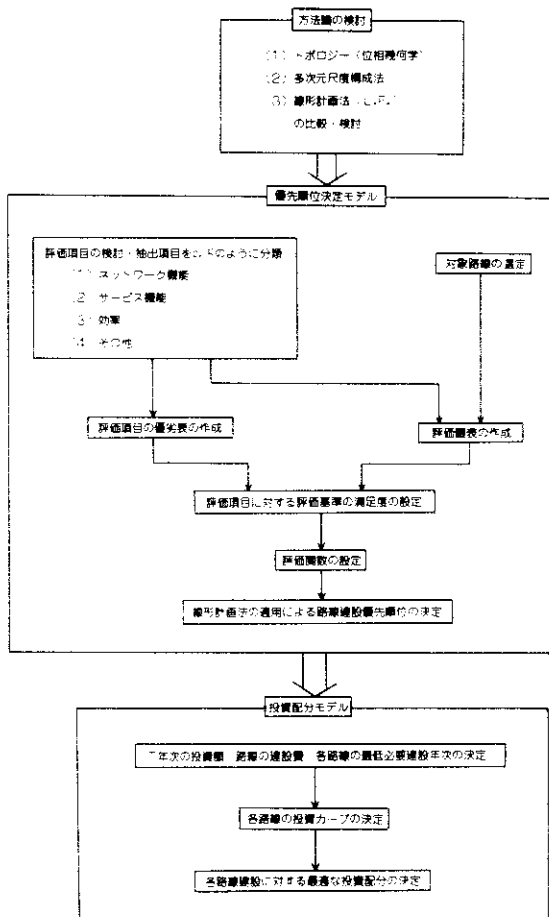


図-2 本研究のフローチャート

次に優先順位決定モデル作成の第一段階として建設路線に関する評価項目のリストアップおよびその抽出を行う。また建設計画路線についても取捨選択を行い将来ネットワークを決定することとする。ついでこれらの評価項目および対象路線を決定した後、評価値表および評価項目の優劣表の作成を行う。ここで評価値表とは各路線の各評価項目の値を記した表であり、優劣表とは各項目間の優劣を示した表である。さらにこれらの両表の値より各評価項目に対する評価基準を設定し、これに対する満足度を算出し、評価関数を作成することによりL.P.の定式化を行うこととする。

以上のプロセスを経て路線建設の優先順位を決定した後、これを基にして最適な投資配分を決定する。すなわち、投資額・建設費等の諸条件を考慮することにより時間と金額との関数としての各路線の投資カーブを決定し、これより最適な投資配分の検討を行うものとする。

2 優先順位決定モデル

2-1 方法論の検討

本モデル作成の目的は上述したように、“複数の建設候補路線に対するそれぞれの評価指標が与えられているとき、これらに対する建設の順序を決定する”ということである。すなわちいくつかの建設候補路線について利用台数や投資効率、環境指標などの指標が得られているときこれらの路線に対する建設順序を何らかの方法論によって決定しようとするものである。そしてこのような場合の順序付けで最も大きな問題となるのは異なる評価指標を一つのレベルで判断しなければならないという点にある。この際、評価項目が2つである場合には選択や順序付けはそう困難でないと考えられる。これは順位付けが評価項目間のウェイト付けによるものであり、項目が2つの場合にはどちらの項目を重要視するかが容易に決定され、評価項目が1つの場合に近い状態で選択あるいは順序付けがなされているためと考えられるからである。しかしながら評価項目が多くなると評価項目間の評価を行う必要性が生じ、選択・順位付けが困難となってしまふ。そこで2つの項目間なら

そのいずれかを選択することができるという点に着目し、リーグ戦の勝敗表のようなものを定義し、これを2項目間の評価に適用することとしてその方法論の検討を行った。

本研究ではいくつかの手法のうち、(1)トポロジー(位相幾何学)、(2)多次元尺度構成法、(3)線形計画法(L.P.)、の3種類の方法に対しての検討を試みた。検討の結果、

(1)トポロジーによる方法ではどの評価項目が重要視されるかということを決めることは可能であるが、路線に対する順序付けまで行うには適用が困難である。

(2)多次元尺度構成法を適用する方法でも項目間のウェイト付けおよび路線についての類似性を言及することは可能であるが路線の順位付けは困難である。

ということが明らかとなり、本研究ではL.P.を適用した方法を用いることとした。

2-2 評価項目の抽出

実際のモデル化の前段階として道路建設に対する具体的な評価項目および対象路線を決定しなければならない。まず評価項目の抽出に際しては多数存在する指標を以下のように分類し、その代表

的なものを抽出することとした。

(1)ネットワーク機能面からの評価指標

ネットワーク機能とはある道路を建設することによってその道路がネットワーク全体に対して果たす役割および交通流動と考えられる。そしてこのときの役割とは補完機能とアクセス機能とに代表されるもので、ネットワークを国土開発幹線自動車道に対する機能および都心・副都心に対する接続機能(迂回道路としての機能)という視点から捉えて評価項目を抽出した。

(2)サービス機能面からの評価指標

サービスという言葉は極めて広義に捉えることができるが、本研究では利用者に対するサービス、および都市域全体に対するサービスという視点に立ち評価項目抽出の検討を行った。

(3)効率面からの評価指標

ここでいう効率とは主として道路建設者から見たものとして項目の検討を行った。

(4)その他の評価指標

その他の指標としては上述の3分類以外で計量が困難と考えられるものについて検討を行った。以上の評価指標を評価視点、定義式とともに表-1に示す。一方、対象路線としては現在阪神高速道路公団が計画対象としている路線を考えた。

表-1 評価指標一覧

分類	指標名	評価視点	定義式
ネットワーク機能	幹線道の補完アクセス機能	幹線道に対するネットワークとしての役割	q : 幹線道と接続する交通量
	都心・副都心への接続機能	ネットワークとしての都心との接続機能	$\sum q_{ij}$: 利用交通のうち、 O or D or E : 都心とする交通量
サービス	利用交通量	利用台数の多さ	q/L : 車線当りの最大区間交通量
効率	地域交通サービス	地域上での利用価値 地域の道路交通経路和	$\sum q_{ij}$: 利用交通のうち O or D or E : 地域に有する交通量
	重交通の処理	大型車再利用率に伴う環境対策	q : 大型車利用台数
社会	物資流通円滑処理	物資流動量、生活関連交通	q : 貨物車利用台数
	道路交通渋滞対策	渋滞による所要時間の増加	$(\sum q_{ij} \cdot t_{ij} - \sum q_{ij} \cdot T_{ij}) / \sum q_{ij}$ 新・旧ネットワークによる経路時分
地	利用効率	路線延長に対する利用台数	q/L : 利用台数 L : 路線延長
率	投資効率	投資額に対する利用台数	q/C : 投資額
その他	計画・調査熟度	建設に対する要望等	
	用地取得の難易		
その他	各種公害	日照・電磁・騒音・振動・排ガス等	
		生活道路の分断、集落の分断 交通事故の減少 ガソリンの消費 加工の簡易、供用時期 関連公共事業との整合性	

2-3 評価項目の優劣表の作成

いま優先順位を検討すべき路線を評価対象、検討すべき項目を評価項目と呼ぶことにする。いま評価対象を X_i 、評価項目を A_j 、評価値 Y_{ij} 、とすると、 Y_{ij} は交通量配分結果や他の外的要素（建設費用や環境基準など）などから算定可能であるがこれだけで X_i を選択することは困難である。すなわち Y_{ij} は単なる数値表現であり単位には無関係であるため、例えば利用台数と建設費用とが同レベルで扱われることになってしまう。そこで A_j の中での評価は容易に出来ることに着目し、

$A_j > A'_j$ or $A_j = A'_j$ or $A_j < A'_j$
 という評価項目間の大小関係を導入し、 Y_{ij} の評価レベルを定式化し X_i を選択する方法を考える。すなわち、 A_j 間においてリーグ戦の勝敗表のような正方行列の三角表示を考える。これは A_j の全体を順位付けすることは困難であっても二つの項目間では順位、優劣を判別することが可能と思われるからである。

なお、ここで区別不可能な項目間については引き分けを許容するものと考えた上で評価項目間の優劣表を作成することとした。

2-4 モデルの定式化

前節で述べたモデルの構成要素（評価値 Y_{ij} と評価項目 A_j 間の勝敗表）を与件として X_i を選択・抽出する問題は、複数の評価項目（ $A_1 \sim A_m$ ）に対する最適化問題と考えることができ、以下の条件①のもとで各政策 $X_1 \sim X_m$ （以後、路線の選択を政策と呼ぶ）の各々についてそれを最適にすることが可能であるかということ調べれば良いことになる。

$A_k > A_l$ or $A_k < A_l$ or $A_k = A_l \dots \dots \textcircled{1}$
 もし条件①のもとで最適政策 X_k が決定できるのであれば上記の繰り返しによって X_k のみが「最適にすることが可能である」と判断される。

このような考え方に基いて評価項目 $A_1 \sim A_n$ を評価する関数 $f(A_1, A_2, \dots, A_n)$ を設定し線形計画法を適用することを試みた。いま、評価項目 A_j をとり上げて考えると、それらの個々に対して評価基準が存在するとしても差し支えないと仮

定し、最低条件としての水準（ a_1, a_2, \dots, a_n ）および理想的な水準（ $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n$ ）を考え、これと評価値（ Y_{11}, \dots, Y_{mn} ）とから評価基準の満足度を設定する。

この満足度を S_{ij} とし、列方向についてこれを $0 \leq S_{ij} \leq 1.0$ に正規化する。ただし、このようにして求まる満足度 S_{ij} は評価項目 A_j の列方向にのみ有効であるから項目間の相対的な満足度の大小を推し量るための作用素としての α_j （ $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ）を導入する。このとき各 α_j は具体的な数値ではなく、ある一つの尺度と考える。このとき政策（ X_1, X_2, \dots, X_m ）の評価値（ E_1, E_2, \dots, E_m ）は次式によって求めることができる。

$$\begin{aligned} E_1 &= f\{\alpha_1(S_{11}), \alpha_2(S_{12}), \dots, \alpha_n(S_{1n})\} \\ &\vdots \\ E_i &= f\{\alpha_1(S_{i1}), \alpha_2(S_{i2}), \dots, \alpha_n(S_{in})\} \\ &\vdots \\ E_m &= f\{\alpha_1(S_{m1}), \alpha_2(S_{m2}), \dots, \alpha_n(S_{mn})\} \end{aligned}$$

ここで作用素 α_j の最も単純な場合は線形で表わされるものであり、 $\alpha_j(S_{ij}) = \alpha_j \cdot S_{ij}$ となる。また、 $0 \leq \alpha_j \leq 1.0$ としても一般性を失うことはなく、評価項目（ A_1, A_2, \dots, A_n ）の優劣は、 $\alpha_k > \alpha_l$ or $\alpha_k < \alpha_l$ or $\alpha_k = \alpha_l$ として表現される。また評価関数 f の最も単純な形としては和の形であり、評価関数を次のように設定することとした。

$$\begin{aligned} E_1 &= \alpha_1 S_{11} + \alpha_2 S_{12} + \dots + \alpha_n S_{1n} \\ &\vdots \\ E_i &= \alpha_1 S_{i1} + \alpha_2 S_{i2} + \dots + \alpha_n S_{in} \\ &\vdots \\ E_m &= \alpha_1 S_{m1} + \alpha_2 S_{m2} + \dots + \alpha_n S_{mn} \end{aligned}$$

以上の内容を線形計画法によって定式化すると図-3のようになる。

この時問題が可解であれば、ある（ $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ）の組によって E_i を最大とすることが出来ることになり、またその中での最大評価値 E_i^0 を求めることができる。もし可能でなければ $E_i^0 = 0$ とする。具体的な優先順位決定の手順は図-4に示すとおりである。また優先順位一位の政策 E_θ^0 が決定された後、2番めの政策を決定するには制約条件に $E_\theta \geq E_i$ を追加してLP問題を解けば良いものと考えられる。

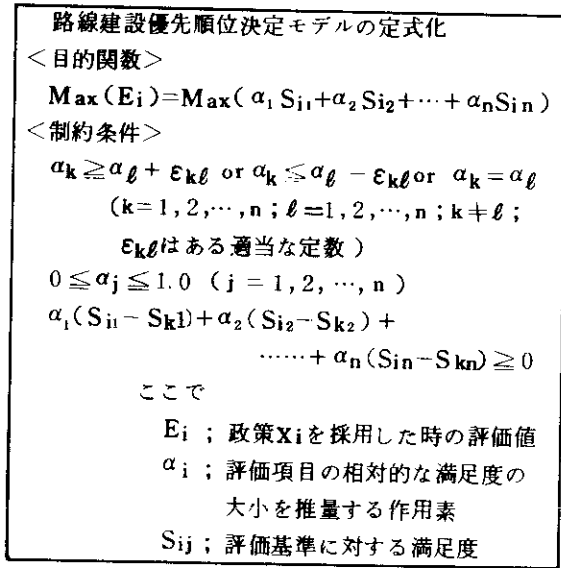


図-3 優先順位決定モデルの定式化

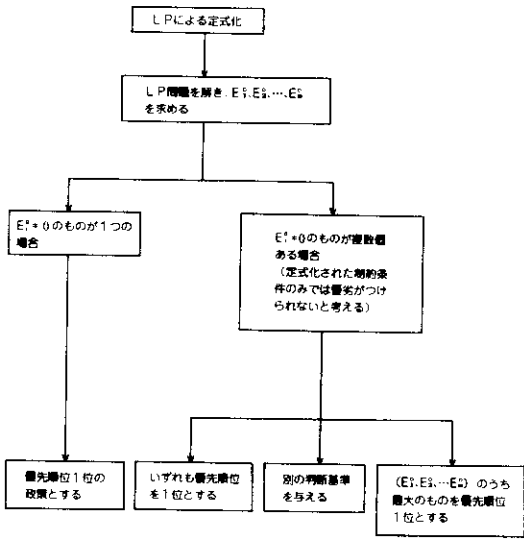


図-4 優先順位決定のフローチャート

3 投資配分モデル

3-1 モデルの構成要素

投資配分モデルは前章で記述した優先順位決定モデルにより各路線の建設・供用の優先順位を決定したうえで、その結果を受けて各路線に対する年次別の最適な投資額（投資配分）を決定しようとするものである。すなわち各路線の優先順位を

供用順序としたうえで、これに投資額及び建設に関する諸条件と一つの目的関数を与えることによって適正な投資額を得ようとするものである。いま期間 y における総投資額を By 、路線 r の総建設費を Sr とすると、

- (1) By 、 Sr は与件（既知）とする。
- (2) 各路線はその建設が完了した時点で供用開始することとし、その順序は既知とする。
- (3) 路線 r の最低必要建設年数（ Yr ）は与件とする。

という条件のもとで目的関数、たとえば総収入等を最大とするように各路線の投資カーブを決定するというモデルを本研究では考えることとした。しかし、このような問題は（0,1）整数値をとる補助変数を導入することによって混合整数計画法で定式化することができるが、問題の規模が大きいため直接解くことは実用的でないと考えられる。そこで、LP問題として近似的に解を得ることを考え、定式化の時点で出来る限り整数解が得られ易いように制約条件を付加することとした。

3-2 モデルの定式化

まず目的関数については、①適切な投資配分、②与えられた条件内における早期建設、③収入の増加、という必須条件が考えられるため、ここでは路線 r の期間 y における収入を Cry とし、総収入の最大化を目的関数とすることとした。すなわち完成済の路線 r について経過した期間 y の収入 Cry の総和を最大化すれば良いこととなる。しかし、これのみでは同一期間に複数個の路線に対して投資する場合、期間 y の総投資額は確定しているが各路線の分配量が決定できず解が無数に存在することになる。そこで、①建設費の高い路線の投資は大なることが望ましい。②優先順位の高い路線に対する投資は大なるべきである、という2つの前提条件を考慮し、投資額の路線間に対する分配の条件を付加した目的関数を設定することとした。

制約条件については、まず第1に総投資額と路線の総建設費に関する制約条件があげられる。次に供用順序の制約条件が考えられる。すなわち、

4 阪神高速道路における適用結果

4-1 モデル導入に至る前提条件

前章までにおいては優先順位決定モデル、投資配分モデルの一般論を述べてきたが、本章ではこれらのモデルを阪神高速道路網の計画路線を対象として適用した結果について述べることにする。具体的な手順としては図-5に示すとおりである。

まずモデル導入前の前提条件として将来交通量の配分を決定しておく必要がある。この交通量配分の手法としてはOD交通量とネットワークをベースデータとして整備したシステムを用いている。このシステムは昭和50~52年にわたって研究され、その後の状況の変化に対応させていくつかの改良が行われているものである。

次に対象とする計画網については、既供用路線、既計画決定路線を与件とし本研究の対象路線は17路線とした。具体的には図-6に示すとおりである。

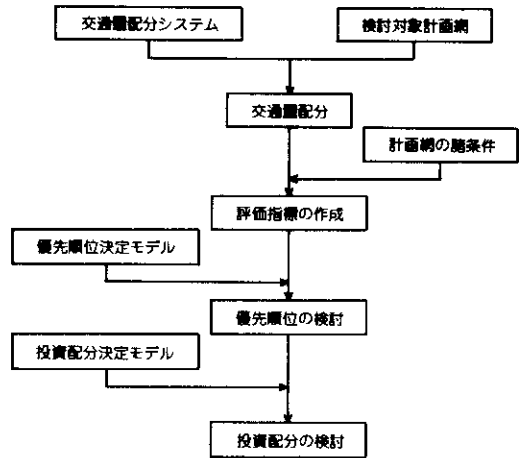


図-5 ケース・スタディのフロー

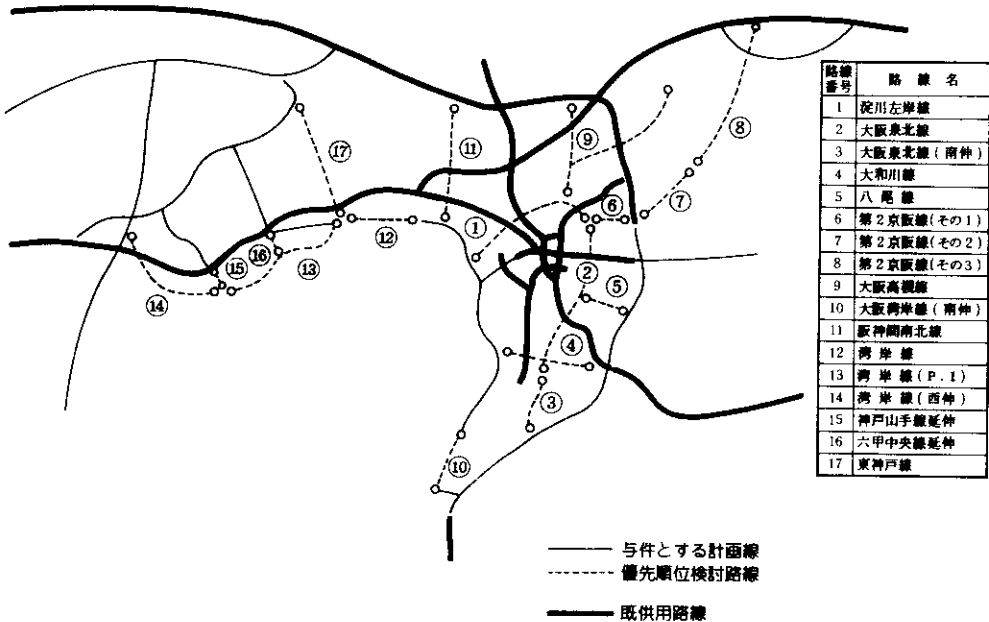


図-6 本研究で対象とする計画路線網

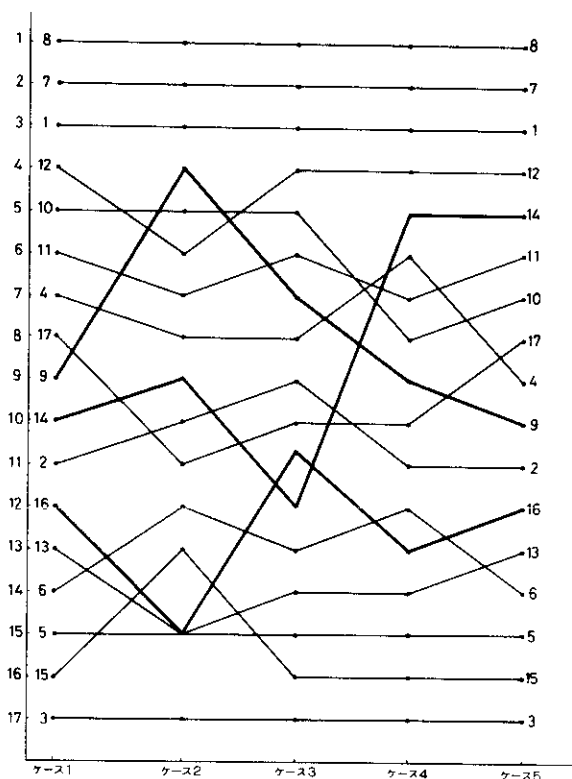


図-7 各ケースにおける優先順位

表-5 路線建設優先順位

1. 第2京阪線(その3)	
2. 第2京阪線(その2)	LEVEL 1
3. 淀川左岸線	
.....	
4. 第2京阪線(その1)	
5. 湾岸線	LEVEL 2
6. 大阪湾岸線(南伸)	
.....	
7. 阪神間南北線	
8. 大阪泉北線	
9. 大和川線	
10. 大阪高槻線	
11. 湾岸線(西伸)	
12. 東神戸線	LEVEL 3
13. 六甲中央線延伸	
14. 湾岸線(P・I)	
15. 八尾線	
16. 神戸山手線延伸	
.....	
17. 大阪泉北線(南伸)	LEVEL 4

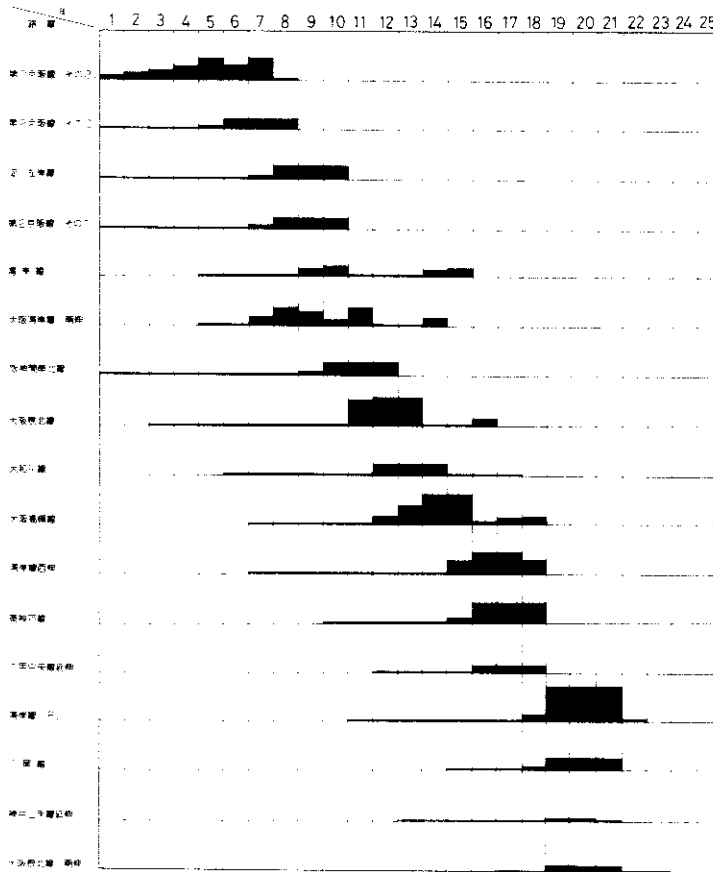
1 および 3 については各ケースとも順位が同じでありここではこれら 4 路線については順位を決定することとした。次に他路線の決定であるが、まず決定済の 4 路線を与件とした形で交通量配分を行い前述と同様の方法でモデルを適用し順位決定を行った。最終的にはこれらの方法を順次くり返し全路線の順位を決定すべきであるが本研究では 7 位以下を各ケースの順位をトータルした形で優先順位を決定することとした。以上の優先順位の結果を表-5 に示す。

(2) 投資配分モデル

投資配分モデルに対するインプットデータとして(1)で述べた優先順位を始めとして以下の項目を入力することとした。すなわち、対象とする計画路線の数と総建設年数、対象期間における各期間の総投資額、各路線ごとの総建設費、各路線ごとの最低必要建設期間、各期間の年数の幅(ピッ

チ)、各路線ごとの総利用台数・料金・伸び率の各項目を与件とすることとした。実際にこれらの条件を用い、さらに投資額の上限が建設費の30%を超えないという制約条件を導入して投資配分モデルを用いてシミュレーションを行ったところ、優先順位が保持されていない結果となった。そこで、 t_{ry} (路線 r が期間 y において完成済か未完成かを示す変数)、 W_{ry} (期間 y において路線 r に投資したか否かを示す変数)を固定してシミュレーションを行ったところ、優先順位が保持された結果となった。その結果を表-6 に示す。この表で示すように、各路線の優先順位はおおむね保持されており、また個々の路線の投資配分カーブについてもやや偏形した山型となっており、ほぼ現状に促した分布形をとっていることがわかる。

表-6 投資配分結果



あとがき

本研究は阪神高速道路の将来路線建設優先順位を決定し、かつ最適な投資配分モデルを作成し、これを用いて公団の事業計画立案に資する資料作成を目的として行ったものである。アプローチの方法としては、線形計画法による優先順位決定モデルおよび投資配分決定モデルの二種類のモデルを用いてシミュレーションを行った。

まず優先順位決定モデルでは交通量からの検討によって作成された評価指標値および各個人の個性・立場により評価項目の優劣を決定する優劣比較表をインプットデータとして路線建設の優先順位を決定することとした。投資配分決定モデルでは、路線の優先順位を与件とし、投資の有無(額は未定)をある程度決定するという制約条件

を付加した上で期間別路線別の配分投資額を決定することとした。ケーススタディについては阪神高速道路の計画網を対象とし実際にシミュレーションを行った。結果として第2京阪線関連が優先順位の上位を占め、投資配分類もおおむね現状に促した解が得られた。

今後は、優先順位決定に際しての評価項目の検討、投資配分決定における制約条件の検討などを行い、より実用的なモデルを目指すことが本研究の課題であると考えられる。

参考文献

浜口、今木；路線の優先順位に関する一考察；第15回技術研究発表会論文集