

土木計画における最適化

吉川 和弘

1. 土木計画学とは

わが国において、「土木計画学」という名称が登場したのは昭和33年頃からであろうと思われる。もとより、以前においても土木工学の各分野ごとにさまざまな計画に関連した講義が行なわれ、研究が進められてきた。また、多くの土木技術者が官庁などにおいて国土計画、地域計画、都市計画などの立案や事業の推進に中心的役割を果たしてきた。

さらに、計画学という名称はなくても、土木工学の応用部門である河川・港湾・道路・鉄道・橋梁・上下水道・公園などのさまざまな事業を行なうに当たっては、まずそれぞれの計画をたてなければならない。したがって河川工学、鉄道工学、道路工学などにおいても、それぞれの計画のたて方、手法などが古くから重要な一部分をなしていた。

かつては、それぞれの部門ごとに計画について考慮してもおおむね妥当であったといえる。現在でも各部門ごとの計画はなお重要であるが、技術開発が多面的になり、土木施工能力が増大するにつれて、また社会環境が複雑化するにしたがって、各部門内だけの計画では真に人間活動を支えるための計画とはいえないようになってきた。ここに、いわゆる総合開発・保全のための計画が必

然的に要請されるようになってきた。

このような背景のもとに、徐々に育成されてきた「土木計画学」の特徴は、問題中心(problem-oriented)な考え方が基本となっており、人間的・社会的な価値観が導入されてきたということである。したがって、「土木計画学」は、自然科学を基調としながらも、社会科学、人文科学の領域も含まれた広い学問の上に立った思索と行動の体系として組立てられなければならないと考えている。

2. 土木計画論の展開

2.1 総合計画の必要性

われわれは、都市や農村や国土などとよばれる地域的広がり、すなわち空間の中でさまざまな社会活動、経済活動を行なっているが、これら複雑多彩な人間活動を支えているのは、道路・鉄道・港湾・空港・上下水道・公園緑地・個々の建築物等の物的施設である。

計画の対象として、人間は最も重要なものであるということは間違いないところであるが、人間活動と同時にその活動の場である空間および活動を支えている施設を計画の構成素材としてとりあげなければならないであろう。そして、これら土木計画の構成素材としての活動と空間と施設との間には図1のような関連関係があると考えられることができるであろう。

技術開発が進み、経済・社会環境が複雑化するにしたがって、各部門別の計画は人間活動に、ま

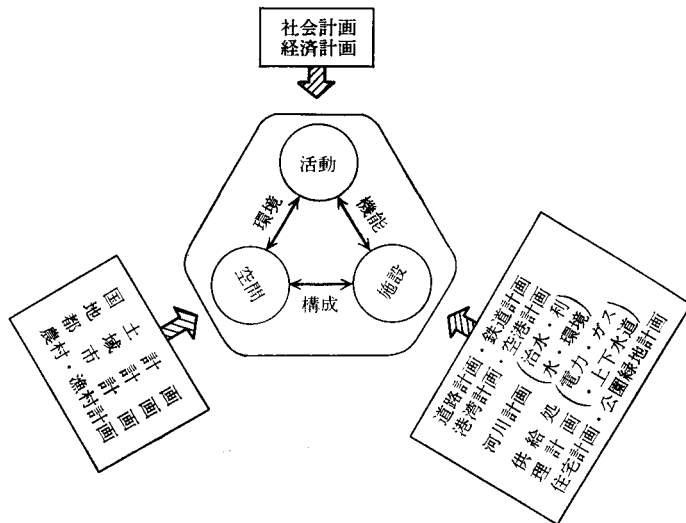


図1 土木計画の構成

た他の部門の計画に大きなインパクトを与えるようになってきている。このため、真に人間活動を支えるための総合計画 (comprehensive planning) の立案が必要になってきている。

2.2 多目的計画論の必要性

土木計画のプロセスは、まず初めに計画目的が何であるかを明確にすること、次に目的を達成するための代替案を列挙開発すること、さらに計画に対する評価の基準を明確にすることによって、代替案を評価し、代替案の中からできるだけ望ましいものを選択することであるといわれている。

ところで、1人の人間の行動指針を定めるための目的の設定は容易であるかもしれない。しかし、公共土木事業のように不特定多数の人々を対象とする場合には、計画目的の設定はそう容易ではない。いま、ある問題に人々は当面しているとす。それについて何らかの意図をもった人々がいて、その意図の集まったところで何らかの計画が考えられる。いま計画が作成される過程において、自分の意図を計画案のなかに盛り込むことのできた人や、その案に示された内容に自分の意図がある程度盛り込まれていると感じた人々は、この計画案が実施される場合には、計画に賛成する送り手社会を構成する。ところが、現実の社会に

はこの計画案が実施されたとき、多かれ少なかれ影響を受ける人々、すなわちその計画案の受け手となる人々が存在するというのである。この人々もこの計画の参加者であることには違いない。そして、計画案に賛成する送り手社会と計画案に反対する受け手社会が存在するかぎり計画の実行は困難である。計画を実行していくためには、送り手社会を大きくし、受け手社会をできるだけ小さくしていくことが必要である。このためには、計画作成の過程において、受け手社会の人々の意図をも計画情報として吸収していく

ことが必要となる。このため土木計画においては、目的は往々にして多目的とならざるを得ない。そしてこれらの目的のなかには、1つの目的をより多く達成しようとすれば、他の目的の達成を一部犠牲にしなければならないというような、やっかいなトレードオフ (trade off) の関係が生ずることが多い。そしてこれが公共土木計画の複雑性を高めている1つの大きな理由である。

2.3 システム思考の必要性

土木計画の手順を科学化していく場合に、システムズアナリシス (Systems Analysis) が有効と考えられているが、これはシステムズアナリシスが重要な意思決定に直接役立つ、より優れた情報を提供しようとする実際的なねらいをもっていることに起因している。

現在、システムズアナリシスは、「複雑な問題を解決するために意思決定者の目的を的確に定義し、代替案を体系的に比較評価し、もし必要とあれば新しく代替案を開発することによって、意思決定者が最善の代替案を選択するための助けとなるよう設計された体系的な方法である」と定義されている。

一方、システムズアナリシスは、次のような特徴ある分析的プロセスを備えている。すなわち、

問題を広い視野から正確にとらえ、目的を明確にして分析の枠組みを定める問題の明確化の過程、代替案を列挙・開発し、分析のためのデータを整える調査の過程、各代替案の費用および効果を客観的に比較検討する分析の過程、および計量できない要因や不確実性を考慮して総合的な結論を導く解釈と評価の過程をもち、意思決定者と密接な関係をたえず保ちつつ、満足な結論が得られるま

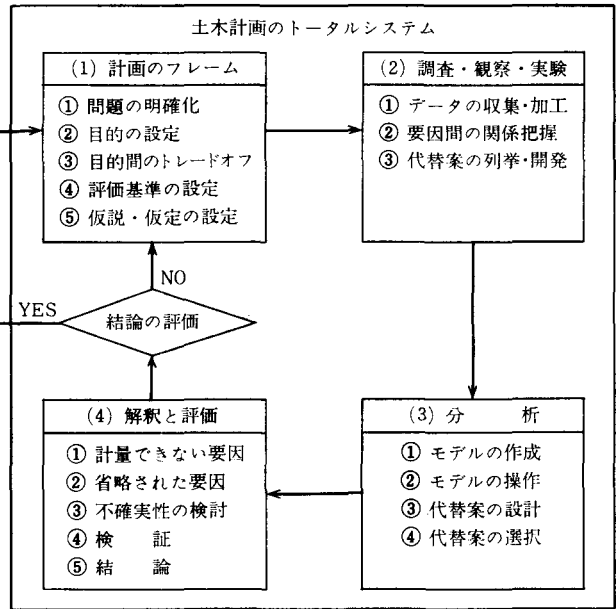


図 2 土木計画におけるシステムズアナリシスの循環的手順

で、これらの過程を繰り返す循環の手順を踏む。このような過程をたどりつつ、問題を解決する分析全体を総称して、システムズアナリシスと呼んでいる。

以上明らかにした土木計画のシステムズアナリシスの循環の手順を図式化すると図2のようになる。公共土木事業に対して社会的合意を形成していくためには、土木計画の問題を計画システムとして科学的に取扱っていくことの努力がますます必要になってきている。

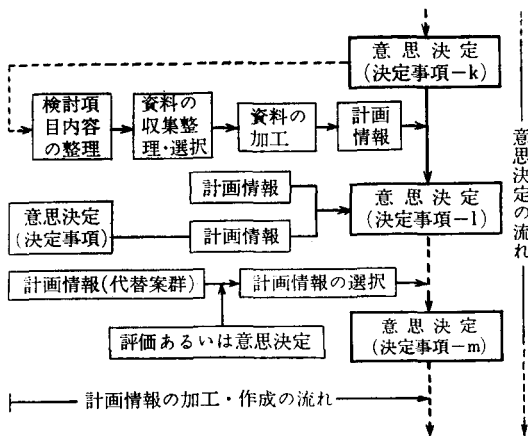


図 3 意思決定の流れと計画情報化の流れ

3. 土木計画システムとその手法

計画は、意思決定を中心にしたプロセスと、意思決定に必要な計画情報の作成・加工を中心にした計画情報化プロセスの2つのプロセスから構成されているとみることができる。そして、意思決定の流れを縦方向の流れとするならば、計画情報の加工・作成は、意思決定に向かう横方向の流れとしてとらえられ、両者の関連は図3のように整理することができる。

社会構造が簡単であり、組織も未分化の時代においては、これらの意思決定はほとんど直観で行なわれ、何らの問題も生じなかった。意思決定者は無意識のうちに事態の本質を把握し、評価し、判断し、決定していたのである。しかし今日においては、事情はそう簡単ではない。何よりもまず組織が細分化した。意思決定をする前に、その必要性や可能性を立証するばかりでなく、妥当性についての議論にも耐えるものをつくらなければならない。かくして、意思決定に先立つ作業、すなわち計画情報化のプロセスが必要となるに至った。

計画情報化のプロセスは意思決定の前提作業で

あり、また計画の最終成果は決定された意思である。

計画情報化のプロセスをシステムズアナリシによって解明していくためには、計画目的が何であるかを明確にすることから始めなければならない。このようにして設定された目的を達成しようとするとき、そのための手段は通常1つとは限らず、幾通りもの代替案が考えられる。システムズアナリシにおいては、問題をシステムとしてとらえたことから、必然的に代替案もシステムとして設計しなければならない。そして、この代替案の中からできるだけ望ましいものを選択したり、代替案を望ましきによって順序づけたりする必要に迫られる。その際、代替案の望ましきの程度を何らかの視点から測定するための尺度を評価基準(criterion)という。そして、この場合の望ましきの指標としてシステムズアナリシでは、効率(efficiency)と有効度(effectiveness)という基準をとりあげている。効率の意味するところは、測定された代替案の効果と用いられる資源の比較であって、(便益/費用)などは代替案の効率をみるための評価基準である。これに対して、有効度は目的の達成度を金額以外の計量的尺度で表示したものを意味し、費用対有効度というような用い方をされている。

いったん評価基準が選ばれたなら、その評価基準にもとづいて代替案の選択あるいは順序づけがなされるが、その場合最適化(optimization)を行なうか、それとも満足化(satisfaction)を行なうかということがある。システムズアナリシにおいて最適化とは、あらかじめ定義された望ましきを最大にするような代替案を選択することである。これに対し、満足化とは、望ましきの尺度についてあらかじめ満足できる水準を定め、その水準を達成できる代替案を選択することである。そして、代替案選択のための評価基準として、現在までに費用有効度分析、費用便益分析、主観的判断の取扱い(デルファイ法、シナリオライティ

ング、オペレーショナルゲイミング)、効用関数を用いた複数の評価基準の取扱い等に関する分析手法が開発されている。

このような土木計画システムは、個々の調査技術、分析技術、予測技術、代替案設計技術、評価技術などをハードウェアとしてその中に取込み、目的に向かってこれらを総合するソフトウェアによって統括形成されているとみることができよう。計画システムに組み入れられているハードウェアは、ソフトウェアを得て実際に評価をもつものである。ソフトウェアの前提のないハードウェアは実際的に意義をもたない。したがって、高度な理論を駆使して行なわれる個々の土木技術の研究は、計画システムの意識によって総合されてこそ、現実的な目標をもった実用上価値あるものとして位置づけられるようになるであろう。

ところで、従来から土木計画の問題を科学的に解明していく場合の手法として表1のようなモデルがしばしば用いられてきた。それでは、土木計画の科学化の道具として用いられるこれらの各手法と計画システムとの間には、どのような関係があるのであろうか。

すでに述べてきたように、土木計画システムは問題中心(problem oriented)の考え方が基本となっているのに対して、上述の各モデルは、それぞれ手法中心(method oriented)に発展してきたとみることができる。そして計画システムは、これらの各手法をその中に取込み、これを社会全般の複雑な問題にまで応用してゆこうとしている。いま、土木計画の種類と計画の手順(プロセス)を2つの軸としてマトリックスを構成し、このマトリックスの中に、それぞれ有効であると考えられる計画手法、すなわち表1を位置づけたのが表2である。

4. 土木計画における最適化問題

4.1 価値観の変せんと目的意識

戦後、昭和20年代の経済復興・自立の段階を経

て、昭和30年代は技術革新を先がけとし、経済の高度成長を展開した時代である。この時代には経済的福祉の追求が第一義と考えられ、各種計画においてもコスト最小や地域所得最大等の評価基準が好んで採用された。経済価値の尺度としては、一般によく知られている市場価格 (market price) のほかにシャドープライス (shadow price), オプチュニティコスト (opportunity cost), 効用 (utility) と費用との差額で表わされる余剰 (surplus) などの概念を導入して、非計量的な価値 (intangible value) を定量化して用いている。

しかし昭和30年代の経済の高度成長は、たしかに経済的福祉の増大をもたらしたが、同時に自然の破壊と、公害問題を頂点とする都市における生活環境の悪化を引き起した。

昭和40年代の課題は、ますます多様化する価値観の調和をはかりながら、健康にして文化的な生活を営むための生活環境の整備であった。このような生活環境の評価基準は、安全性、保健性、快適性、利便性などであるため、すべて定量的な変数として取扱えるとは限らない。むしろ

その質的な側面が問題となり、定性的な属性として取扱わねばならない場合が多い。このような問題を解決したのが因子分析や多変量解析等の手法の発展であった。

ところで、土木計画システムを支えてきたこれまでの目的論的計画論においては、目的に対して寄与的、必要充足的な関係にある代替案だけにかかわりがちであり、目的に対して非寄与的な関係を往々にして操作的に取扱ってしまうという欠点

表 1 土木計画のための手法

① 統計モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・最大原理 	<ul style="list-style-type: none"> ・システムダイナミックス ・産業連関分析 ・費用便益分析 ・費用有効度分析 ・インパクトスタディ ・ティンパーゲンモデル ・モーゼスモデル ・スタイナーモデル
<ul style="list-style-type: none"> ・統計資料の整理法 ・統計分布 ・標本論 ・標本抽出 (サンプリング) ・推定と検定 ・相関分析 ・実験計画法 ・多変量解析 (因子分析・判別関数・数量化理論) 	⑤ 空間構成モデル	⑨ 環境アセスメント
② 構造化モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ローリーモデル ・NBER ・メッシュ法 ・工業立地モデル ・インダストリアルコンプレックス 	
③ ORモデル	⑥ 交通量推計モデル	⑩ 景観モデル
<ul style="list-style-type: none"> ・ISM ・FSM ・SAD ・DEMATEL ・USEC 	<ul style="list-style-type: none"> ・発生・集中交通量モデル ・分布交通量モデル (現在パターン法・重力モデル法・確率モデル法) ・手段別交通量推定モデル ・交通量配分モデル (最短経路配分法・時間比配分法・等時間配分法・総走行時間最小化配分法) 	
④ 数理計画モデル	⑦ 予測モデル	⑪ 総合評価モデル
<ul style="list-style-type: none"> ・情報理論 ・待ち行列モデル ・シミュレーション ・ネットワーク ・PERT・CPM 	<ul style="list-style-type: none"> ・回帰モデル ・ウィナー過程 ・マルコフ過程 ・時系列モデル ・統計的決定モデル 	
	⑧ 計量経済モデル	
	<ul style="list-style-type: none"> ・計量経済モデル 	

がある。このため、たしかに経済的な福祉は達成されたが、それと引きかえに生活環境や自然環境が破壊され、社会問題化してきた。昭和40年代後半から昭和50年代初めにかけて、環境保全に対する関心が非常に高まってきた。

昭和50年代から昭和60年代にかけての土木計画の課題は、健全な人間活動と社会・経済の発展のために開発と保全をどのように調和させていくべきかということになる。

表 2 計画の種類とプロセスからみた

計画の種類 の プロセス	① フレームワーク	② 土地利用計画	③ 交通計画 (道路・鉄道)	④ ターミナル計画 (港湾・空港)	⑤ 河川計画 (治水・利水・環境)
① 問題の明確化	<ul style="list-style-type: none"> ブレインストーミング シナリオライティング 発想法 デルファイ法 ヒヤリング 会議 	<ul style="list-style-type: none"> ブレインストーミング シナリオライティング 発想法 デルファイ法 ヒヤリング 会議 	<ul style="list-style-type: none"> ブレインストーミング シナリオライティング 発想法 デルファイ法 ヒヤリング 会議 	<ul style="list-style-type: none"> ブレインストーミング シナリオライティング 発想法 デルファイ法 ヒヤリング 会議 	<ul style="list-style-type: none"> ブレインストーミング シナリオライティング 発想法 デルファイ法 ヒヤリング 会議
② 調査	<ul style="list-style-type: none"> 統計調査 標本論 標本抽出 多変量解析 情報処理 	<ul style="list-style-type: none"> 統計調査 標本論 標本抽出 多変量解析 情報処理 	<ul style="list-style-type: none"> 統計調査 標本論 標本抽出 多変量解析 情報処理 	<ul style="list-style-type: none"> 統計調査 標本論 標本抽出 多変量解析 情報処理 	<ul style="list-style-type: none"> 統計調査 標本論 標本抽出 多変量解析 情報処理
③ 分析	<ul style="list-style-type: none"> ISM FSM DEMATEL クロスインパクト 多変量解析 	<ul style="list-style-type: none"> 相関分析 分散分析 多変量解析 	<ul style="list-style-type: none"> エントロピー 待ち行列モデル ネットワーク シミュレーション 構造力学 土質力学 	<ul style="list-style-type: none"> 待ち行列 シミュレーション 構造力学 水理学 土質力学 模型実験 	<ul style="list-style-type: none"> 水文学 水理学 水配分モデル ネットワーク シミュレーション 模型実験
④ 予測	<ul style="list-style-type: none"> 計量経済モデル 産業連関分析 システムダイナミックス 回帰分析 時系列 	<ul style="list-style-type: none"> 回帰分析 時系列 システムダイナミックス 	<ul style="list-style-type: none"> 回帰分析 時系列 マルコフ連鎖 システムダイナミックス 発生・集中交通量推定モデル 分布交通量推定モデル 	<ul style="list-style-type: none"> 回帰分析 時系列 マルコフ過程 システムダイナミックス 	<ul style="list-style-type: none"> 回帰分析 時系列 水文学 システムダイナミックス
⑤ 代替案の設計		<ul style="list-style-type: none"> ローリーモデル NBER メッシュ法 工業立地モデル インダストリアルコンプレックス 	<ul style="list-style-type: none"> 手段別交通量推定法 交通量配分モデル 線形計画法 非線形計画法 目標計画法 動的計画法 	<ul style="list-style-type: none"> ベイズ決定モデル 線形計画法 非線形計画法 目標計画法 動的計画法 	<ul style="list-style-type: none"> 非線形計画法 目標計画法 SWT法 動的計画法 最大原理
⑥ 評価	<ul style="list-style-type: none"> 持点配分法 一対比較法 効用関数 	<ul style="list-style-type: none"> 持点配分法 一対比較法 効用関数 環境アセスメント 	<ul style="list-style-type: none"> 持点配分法 一対比較法 効用関数 費用便益 費用有効度 インパクトスタディ ティンバーゲンモデル モーゼスモデル 環境アセスメント 	<ul style="list-style-type: none"> 持点配分法 一対比較法 効用関数 費用便益 費用有効度 環境アセスメント 	<ul style="list-style-type: none"> 費用便益分析 費用有効度分析 期待年確率 環境アセスメント

主な手法の位置づけ

⑥市街地 整備計画	⑦都市施設計画	⑧景観・緑地 計画
<ul style="list-style-type: none"> ・ブレインストーミング ・シナリオライティング ・発想法 ・デルファイ法 ・ヒヤリング ・会議 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレインストーミング ・シナリオライティング ・発想法 ・デルファイ法 ・ヒヤリング ・会議 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレインストーミング ・シナリオライティング ・発想法 ・デルファイ法 ・ヒヤリング ・会議
<ul style="list-style-type: none"> ・統計調査 ・写真 ・スケッチ ・情報処理 	<ul style="list-style-type: none"> ・統計調査 ・標本論 ・標本抽出 ・多変量解析 ・情報処理 	<ul style="list-style-type: none"> ・統計調査 ・写真 ・スケッチ ・情報処理
<ul style="list-style-type: none"> ・パターン図 ・透視図 ・エスキース 	<ul style="list-style-type: none"> ・相関分析 ・分散分析 ・ISM ・FSM ・DEMATEL ・多変量解析 ・構造力学 ・水理学 	<ul style="list-style-type: none"> ・パターン図 ・透視図 ・エスキース
<ul style="list-style-type: none"> ・回帰分析 ・時系列 ・システムダイナミックス 	<ul style="list-style-type: none"> ・回帰分析 ・時系列 ・システムダイナミックス 	<ul style="list-style-type: none"> ・回帰分析 ・時系列 ・システムダイナミックス
<ul style="list-style-type: none"> ・スタディモデル ・ビジュアルシミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ・線形計画法 ・非線形計画法 ・目標計画法 ・SWT法 	<ul style="list-style-type: none"> ・スタディモデル ・ビジュアルシミュレーション
<ul style="list-style-type: none"> ・スタディモデル ・ビジュアルシミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ・持点配分法 ・一対比較法 ・効用関数 ・費用便益分析 ・費用有効度分析 ・環境アセスメント 	<ul style="list-style-type: none"> ・スタディモデル ・ビジュアルシミュレーション

このためには単一機能の追求ではなく、地域において展開される健全な人間活動を支えるための多くの機能をバランスよく追求するものでなければならぬ。したがって土木計画の目的は往々にして多目的とならざるを得ない。そしてこれらの目的の中には、1つの目的をより多く達成しようとすると、他の目的の達成を一部犠牲にしなければならぬというようなやっかいな関係、すなわちトレードオフの生じることが多い。そしてこれが今日の土木計画問題の複雑性を高めている1つの大きな理由である。

4.2 数理計画法の発展

数理計画法とは、ある制約条件にしたがう数多くの変数の相互作用を取扱う最適化 (optimization) の問題一般を解くための手法をさしている。この最適化の問題の歴史は数学の歴史と同じ程度に古い。この種の問題に対する最初の系統的な試みは Newton, Lagrange, Cauchy などの名のもとに、微分学の発達に端を発している。しかしその後、実質的な進展はほとんどみられなかったが、今世紀の中頃になって電子計算機が利用できるようになり、また決定の問題 (decision problem) の解法に対する要求が強くなるにつれて、急激な発展をみるようになった。そして、最近発展のめざましいシステム設計、シンセシス (synthesis) などとよばれる、いわゆる「創り出す」ことに関係する分野には、必ず最適化の問題が現われる。

数理計画法は、本来実務家のための手法であり、G. B. Dantzig の線形計画法、R. Bellman の動的計画法、L. S. Pontryagin の最大原理については理論が体系的に展開されている。これに対して、非線形計画法に関する研究としては、H. W. Kuhn と A. W. Tucker の有名な理論があり、凹関数の場合の理論は一応体系づけられているが、それ以外の制約条件を陽な形で扱う手法は、どれも一般に成功していないようである。制約条件がない場合の非線形問題に対する解法は、直接探索

法、傾斜法、ニュートンの反復法など数多く試みられ成功しているが、それらの方法を発展させた制約条件がある場合の非線形問題の解法が研究されるようになってきた。

ところで、最近の土木計画にかかわる問題においては、前述のように目的は多元的な場合が多い。これらの目的間にトレードオフの関係がある場合には、ある制約条件のもとで複数の目標の達成度をそれぞれ大きくしていくと、やがて「他の目標の達成度を減少させないかぎり、その目標の達成度は増大させえない」という一種のパレート最適(pareto optimum)の状態になることは周知のとおりである。これをパレート域とよんでいるが、実践上はこのパレート域の範囲内に解があるということがわかるだけでは十分でなく、意思決定者の要求に応じて、その中の特定の点を「選好解」として求められるような方法が望まれることはいうまでもない。このような問題へのアプローチが最近盛んに研究されるようになってきたが、その代表的なものとして、目標計画法、SWT法、Vector Minimization等の手法が開発されている。

5. 最適化手法の適用例

土木計画における最適化手法の適用例として、京都大学の吉川・春名・小林らの行なったバイパス計画のための交通量配分についてその概要を紹介することとしよう。

この配分モデルにおいては、総走行時間の最小化、総走行費用の最小化および騒音の減少、大気汚染の減少という4つの目標をとりあげ、目標計画法を適用することにより、これらすべての目標をバランスよく達成することを目的としてL字型効用関数を導入したモデルの定式化を行なっている。

モデル化の前提条件としては、

- ① 交通量配分計算の対象としては、計画道路に関する通過交通をとりあげることとする。

- ② 幹線道路により道路ネットワークを構成することとする。

- ③ 既存道路リンクにおいて、現在交通量から検討対象とする通過交通を差引いた残りの交通量を、ここでは、部分交通量とよんで区別することとする。この部分交通量は、配分計算においては与件とする。

- ④ 道路構造令にもとづき、各リンクの設計交通量と設計速度を設ける。

このモデルの定式化の詳細については紙数の都合上省略することとするが、この目標計画法のモデルにおいては、目標制約条件のうち騒音に関する制約条件が非線形となっているので、鳥取大学の岡田が開発したKellyの切除平面法を用いた解法のアルゴリズムを用いることとした。次に具体例として京都市の第二外環状道路計画に本モデルを適用して、以下に述べるような結論を導いた。

- ① 現在のネットワークに加えて第二外環状道路を建設することは、市街地部および外環状道路に流入している通過交通を減少させ、さらに総走行時間の減少にきわめて有効である。しかしながら、第二外環状道路沿線では騒音が発生するため、これを環境基準以下にするための防音壁の設置が前提となる。

- ② いたずらに高規格(設計速度が80km/h)の道路を建設することは騒音上から望ましくない。かえって設計速度を60km/hとしたほうが各目標がバランスよく達成されることになる。

- ③ ドライバーの選好性という立場だけから交通量配分を行なうという従来の等時間交通量配分法では、騒音や大気汚染を環境基準以下におさえることができない場合が多い。

このように単純化した目標計画法による交通量配分モデルではあるが、その計算結果はたしかにバイパス道路を設計していく場合の設計条件をきめるのに有用ないくつかの判断材料を提供しているということがわかる。

以上は、土木計画の分野に多目的計画法を適用

表3 各目標値

	満足水準	許容水準		満足水準	許容水準
総走行時間	(min) 328 186	(min) 532 515	騒音 チェックポイント3	50	55
総走行費用	(円) 3 709 637	(円) 5 055 579	大気汚染 チェックポイント1	(ppm) 10	(ppm) 12.9
騒音 チェックポイント1	(dB) 54	(dB) 55	大気汚染 チェックポイント2	2	10
騒音 チェックポイント2	54	55	大気汚染 チェックポイント3	2	10

したいいくつかのケーススタディの中から一例を示したにすぎないが、このように最適化のための数理計画モデルを土木計画情報化のプロセスの中にも組み入れることによって、意思決定のための有効な情報を提供していくことが可能であると考える。

参考文献

- [1] 吉川和広：土木計画とOR，丸善，昭.44
- [2] 吉川和広：最新土木計画学，森北出版，昭.50
- [3] 吉川和広：地域計画の手順と手法，森北出版，昭.53
- [4] 吉川和広：土木計画のシステム分析，技報堂出版，昭.55

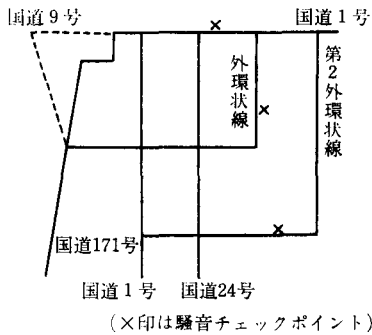


図4 ネットワークの概略図

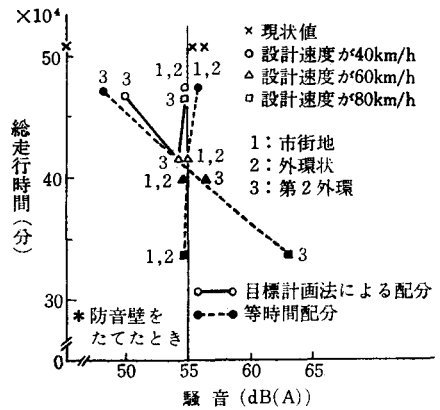


図5 総走行時間と騒音の関係

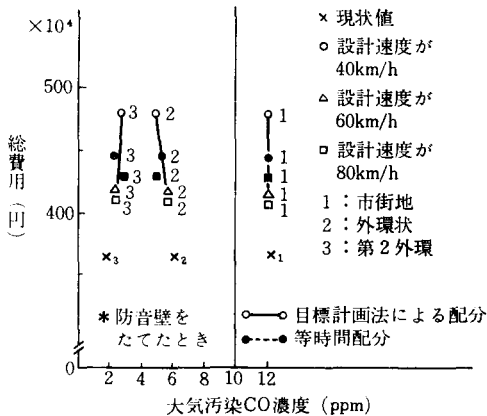


図6 大気汚染と総走行費用の関係

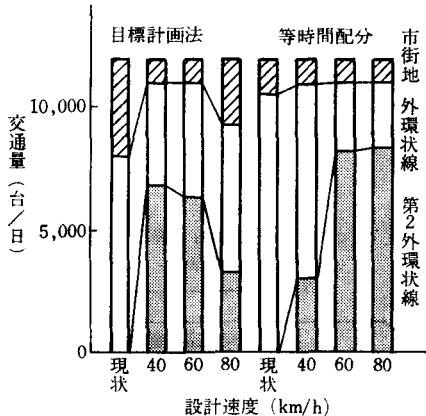


図7 道路の利用状況(防音壁をつくったとき)