費用便益分析に基づく道路網の増強計画に関する研究

松井　寛・二ノ宮和雄*

土木工学科

(1980年９月６日受理)

A Study on the Network Capacity Expansion Plan by Cost Benefit Analysis

Hiroshi MATSUI and Kazuo NINOMIYA*

Department of Civil Engineering

(Received September 6, 1980)

Recently we have had many problems according as traffic volume grows larger. The expansion of network capacity is one of the most important solutions. This paper deals with the network capacity expansion plan by cost benefit analysis. The network capacity expansion plan dealt in this paper means that one is the decision of the optimal network and the other is the decision of the construction sequence in multistage.

We formulate the former problem by integer programming and for that solution we adopt the fractional algorithm which is one of the cutting plane algorithms. For the latter we use dynamic programming. In the last part of this paper we solve some numerical examples for small networks.

1. まえがき

近年の自動車工業の発達とともに，増大した自動車は東名，名神高速道路などの都市間道路や都市内道路などの幹線道路網を整備させ，その利便性を増してきているが，反面，様々な問題をおこし，特に都市内における交通事情の悪化は著しい。自動車交通の混雑，渋滞と，それに伴なう都市機能の低下，交通事故，騒音や振動，大気汚染など深刻な社会問題となっている。

交通緩和を目的とする多くの対策が検討されているがその１つのアプローチとして，交通量を抑制することにより道路網容量とバランスさせせようとするものがあり，市内への車両の乗入れ規制や駐車規制の強化，バスレーン設置等により乗用車からバスへの転換などがこれにあたる。他の１つは，道路網の容量を増強することにより問題を解決しようとするもので，[1] 本研究は後者の立場をとる。

道路網の増強計画は従来，道路網への交通量配分により容量の不足区間を発見し，それを補強し，この繰り返しにより行なわれてきたわけであるが，本研究では，ある種の評価関数を最適化することにより，最適な道路網の増強を合理的に決定し，同時に交通量配分をも行なおうとするものである。ここでいう決定とは，建設の有無や規模の決定を意味している。又，一般に，道路網の建設には長時間を要するため，その評価は長い期間においてなされるべきであるとの観点から，多段階における建設順位決定モデルを考えることにする。

尚，本研究における交通量配分とは，輸送計画的な立場から行なうため，各経路へ交通量を割り当てる意味が強く，実際の交通がどの経路に流れるかはその交通自体の特性によるため必ずしも一致しない。

2. 道路網増強計画

2.1　評価関数の考え方

道路網の増強計画を評価するためには，道路の建設がどのような効果を与えるかを知る必要がある。その経済的社会的効果は大別して，道路利用者に与える直接効果と沿道地域に与える間接的効果とに分類される。そこで

* 一宮市役所

具体的にプラス効果を挙げてみると

直接効果としては

1) 走行費の節約（走行距離の短縮）

2) 輸送時間の短縮

3) 快適性の増大

4) 安全性（交通事故の減少）

間接効果としては

1) 生産輸送計画の合理化

2) 工業立地あるいは都市人口の分散効果

3) 交通混雑の緩和

4) 市場圏の拡大

又，マイナス面として

1) 自動車の騒音，排気ガスなど公害の増大や発生

2) 道路建設による文化財や観光資源の破壊

等が考えられる。

道路計画にあたっては，これらを何らかの統一的尺度でもって総合的に評価しなければならないが，効果が重複するものや相殺するものがあり，また定量化の困難な項目も含まれている。

いま，利用者側の立場から考えてみれば，最大の便益と考えるのは走行時間の短縮であろう。時間の節約を価値評価することは一般に認められている。又，走行距離も走行費用に影響する項目として重要な便益であると考えられる。そこで，この2つを利用者側からの評価要因として考える。又，建設者側として建設費，維持管理費，公害対策費を評価要因とするのが妥当であると考えられる。

以上のような要因を評価関数として道路網を評価するわけであるが，実際の道路建設に際しては，その地域の特性を考慮しなければならないのは当然である。

2.2 新設道路の増強モデル

本節では，既存の道路網に新設道路を設置することにより，道路網の改善，容量の増強を行なおうとするもので，費用便益分析から最適な増強道路網を決定しようとするものである。

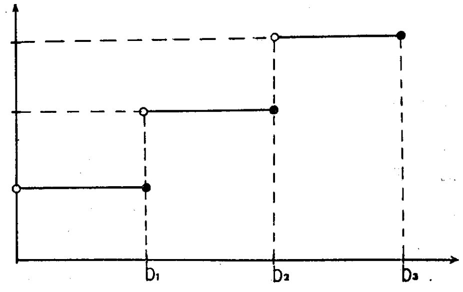

Fig. 1 Relationship between construction cost and traffic capacity b

目標年次のＯＤ交通量が与えられた時，既存道路における総走行距離，総走行時間を各々 D^0, T^0 とし，新設道路を加えた場合のそれを D, T とし「建設費―容量」の関係は図１のようなステップ関数であるとする。今，便益，費用として前節で述べたように次のものを与える。

便益 B として

総走行距離の減少（台・km）	D^0-D
総走行時間の減少（台・分）	T^0-T

費用 C として

建設費（用地費も含む）	C_1
公害防止費	C_2
維持管理費の増加（負も含む）	$C_3=C_3'-C_3^0$

ここに C_3'；新設リンクを加えた道路の維持管理費

C_3^0；既存道路網における維持管理費

以上の便益及び費用を次の変数を用いて定式化する。

k ；リンク番号（新設リンク k' を含む）

x_{ijm}；ＯＤペア ij の m 番目のルートフロー

$\delta^k{}_{ijm}$；x_{ijm} がリンク k を通る時１である０—１変数

l^k ；リンク k の道路長（km）

t^k ；リンク k の走行時間（分）

$C_1'(s)$；s 規模（容量）の単位キロ当りの道路建設費（円/km・日）

$y^{k'}{}_s$；新設リンク k' が s 規模である時１の０—１変数

C_{2k}'；新設リンク k' の交通量１単位当りの公害防止費

C_{3k}；リンク k の交通量１単位当りの維持管理費

$C_3'(s)$；s 規模道路の維持管理費（円/km・日）

これにより

$$D=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_k l^k\delta^k{}_{ijm}x_{ijm} \tag{1}$$

$$T=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_k t^k\delta^k{}_{ijm}x_{ijm} \tag{2}$$

$$C_1=\sum_{k'}\sum_s l^{k'}C_1'(s)\,y^{k'}{}_s \tag{3}$$

$$C_2=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_{k'} C_{2k}'\delta^{k'}{}_{ijm}x_{ijm} \tag{4}$$

$$C_3=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_k C_{3k}\delta^k{}_{ijm}x_{ijm}+\sum_{k'}\sum_s l^{k'}C_3'(s)\,y^{k'}{}_s \tag{5}$$

上記のように公害防止費は，道路を建設する際に見込まれる交通量に対して，公害防止の対策がとられるものとし，維持管理費は道路の規模と交通量に関係するものとして考えている。又，既存道路の規模による維持管理費は既存道路網及び新設道路を設置した道路網において同じであるため考慮していない，よって，既存道路網における維持管理費 $C^0{}_3$ は，交通量によるものだけとなり(5)式のような第２項は存在しない。

以上のような仮定を用いて，次のように定式化をすすめる。

評価関数として，便益費用差 y^+ をとれば

$$y^+=B-C$$
$$=\alpha(D^0-D)+\beta(T^0-T)-C_1-C_2-C_3 \qquad (6)$$
$$y^+\rightarrow \mathrm{Max} \quad (\text{この時 } y^+\geqq 0 \text{ となる})$$
α，β；換算係数

この目的関数を以下の制約条件のもとで解く

1) 容量制約条件

既存道路　$$\sum_i\sum_j\sum_m \delta_{ijm}^{k} x_{ijm} \leqq b^k \qquad (7)$$

新設道路　$$\sum_i\sum_j\sum_m \delta_{ijm}^{k'} x_{ijm} \leqq \sum_s b_s^{k'} y_s^{k'} \qquad (8)$$

b^k；リンク k の容量

$b_s^{k'}$；s 規模リンクの容量

2) ＯＤ交通量保存条件

$$\sum_m x_{ijm}=Q_{ij} \qquad (9)$$

Q_{ij}；OD_{ij} の交通量

3) 非負条件

$$x_{ijm}\geqq 0 \qquad (10)$$
$$y_s^{k'}\geqq 0 \quad 又 \quad 0\leqq \sum_s y_s^{k'} \leqq 1 \qquad (11)$$

評価関数(6)を，(7)～(11)の制約のもとに最大にすればよく，この問題は0—1混合整数計画法の問題となる。このモデルは，新設道路の建設の妥当性，建設する場合の採用すべき道路規模を決定し，同時に交通量を配分することができる。

又，先の新設リンクに加えて，交通事情の悪化が見込まれる既存リンクの容量を増強することにより，より良い道路網を得ることができると考えられる。この場合，増強しようとする道路の容量条件を

$$\sum_i\sum_j\sum_m \delta_{ijm}^{k} x_{ijm} \leqq b^k+\sum_s b^k y^k_s \qquad (12)$$

とすれば同様の定式化が可能である。

本節では，交通量配分において，ルートフローを変数としているが，これはリンクフローに比べ扱う変数や条件式の数がかなり少なくなるため，マトリックスが小さくなり計算時間や計算機容量に有利であるからてある。しかしながら，ルートフローによる定式化の場合，あらかじめ配分対象となるルートを指定する必要があり，またその指定の仕方によって解が影響を受ける。

2.3　最適道路網決定問題への拡張

前節では，既存の道路網に新設道路を加えた時の最適な道路網を求めるため定式化を行なったわけであるが，本節では，全てのリンクの最適化という全域的な道路網決定をしようとするものである。

目的関数は，先に用いた便益費用差 y^+ を考えようとした場合，基準となる道路網がないため D^0，T^0，C^0_3 といったものが存在しない。従ってこれらを固定値とみなし，y^+ を最大化することは，総費用 $C^T=\alpha D+\beta T+C_1+C_2+C_3$ を最小化することと一致すると考えてよいだろう。

先のモデルを最適道路網へ拡張する場合，全ての道路を新設道路と考えればよく，問題は以下のように定式化される。

評価関数

$$C^T=\alpha D+\beta T+C_1+C_2+C_3\rightarrow \mathrm{Min} \qquad (13)$$
$$D=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_{k'} l^{k'}\delta_{ijm}^{k'}x_{ijm} \qquad (14)$$
$$T=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_{k'} t^{k'}\delta_{ijm}^{k'}x_{ijm} \qquad (15)$$
$$C_1=\sum_{k'}\sum_s l^{k'}C_1'(s)\,y_s^{k'}$$
$$C_2=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_{k'} C_{2k'}\delta_{ijm}^{k'}x_{ijm} \qquad (17)$$
$$C_3=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_{k'} C_{3k'}\delta_{ijm}^{k'}x_{ijm}+\sum_{k'}\sum_s l^{k'}C_3'(s)\,y_s^{k'} \qquad (18)$$

制約条件

1) 容量制約条件

$$\sum_i\sum_j\sum_m \delta_{ijm}^{k'}x_{ijm}\leqq \sum_s b_s^{k'}\,y_s^{k'} \qquad (19)$$

2) ＯＤ交通量保存条件

$$\sum_m x_{ijm}=Q_{ij} \qquad (20)$$

3) 非負条件

$$x_{ijm}\geqq 0 \qquad (21)$$
$$y_s^{k'}\geqq 0 \qquad 0\leqq \sum_s y_s^{k'}\leqq 1 \qquad (22)$$

2.4　最適化のための手法

2.2節，2.3節のモデルを解くにあたって，まず整数計画法の概要について述べる。[2)3)] 整数計画法は大別すると，切除平面法と列挙法に分かれ，後者は主に0—1整数計画に用いられる。両者はさらに，全整数法と小数法，陽的及び陰的列挙法に分かれる。

切除平面法は Gomory によって提案された整数計画法の最初の代表的手法である。これは LP 問題にゴモリーカットと呼ばれる制約式を付加し，その LP の最適解が同時に整数計画の最適解になるようにする方法で，そのカット制約式の相違によって，全整数法及び小数法と呼ばれる。このようなアルゴリズムは有限回の操作で最適整数解に至ることが証明されている。

列挙法は，全てを列挙する陽的列挙法と効率を高めるため，Balas によって考案された陰的列挙法がある。陰的列挙法は考えられる解領域を調べ，変数の完備解が不可能であったり，最適解でないものは削減し，機械的操作によって最適解を得る方法である。

他に条件つき最適化問題を解くために分岐限界法とよばれるものがある。この方法は，可能解の集合を部分集合に分割し，最も有望な部分集合をさらに分割することによって最適解の探索を行なう。分割の過程で可能解の大部分が陰的に列挙され，一部分だけ陽的に列挙される。それゆえ，分岐限界法は陰的列挙法に似ている。し

かしこの方法は時として最適解を削ってしまうため必ずしも最適解は得られない。

さて，先のモデルは0—1混合整数計画となるので，変数を全て整数とする整数法以外のどの手法も適用できる。しかしながら，取り上げた評価関数が単純でないうえ，車線数をも変数としているので，組合せ手法である列挙法や分岐限界法ではかなりの計算を行わなければならない。例えば，1つのリンクの車線数を3車線以下として，道路網がn本のリンクで成り立っているとすると建設しない場合も含めて4^n通りの組合せが考えられるわけであり，5本のリンクで1024通り，6本で4096通りの組合せがあり，解の記憶だけでも膨大な量になると思われる。従って，その解析手法として小数法を用いて最適化を行なうものとする。この小数法のアルゴリズムや証明等は文献[4]にゆずるが，前にも述べたように最適解が得られることが保証される。

3. 多段階における道路網増強計画

3.1 モデルの考え方

第3章で提案したモデルは，全てある時点での道路網の増強を行なったものであるが，道路は半永久的な構造物であり，道路網の評価は長い年月によってなされるものであるから，多段階の建設における評価を考えるのが好ましい。その場合，次の2通りの評価基準による建設順位が考えられる。[5]

1) 各時点の便益が最大のものから建設する順位

2) 全期間を通じて累積便益が最大となる建設順位

このように2つに分けたのは，我々が，10年とか20年とかいう長期的な立場で評価したなら，この両者は必しも一致しないと思われるからである。つまり例えば，2つの計画Ⅰ，Ⅱがあり，その便益が図2のようになったとした場合，○でかこまれた面積と×でかこまれた面積とを考え，面積が大であるものが，総便益が大であると考えられ，計画Ⅰの面積が大であるなら，計画Ⅰの方が計画Ⅱより総便益が大であるとみてよい。しかし最初の数年においては計画Ⅱの方が良い計画となっている。このように単一時点での便益だけでは長期の総便益を最大にするような建設順位は決めがたいといえるのである。

ところで，各時点での便益はどのように考えればよいのであろうか，今，図3の時間軸をみてみる。

この図で現在はt_0で与えられ，$t=t_i$は第i番目の道路の建設が完了する時点である。t_iからt_{i+1}までの期間中，第i段階の道路網に交通量が配分されるわけであるので，この期間T_iの便益が第i段階の便益となる。

さて評価関数を前章と同じように考えると，i段階における便益y^+は，基準時（現在）の道路網とi段階で

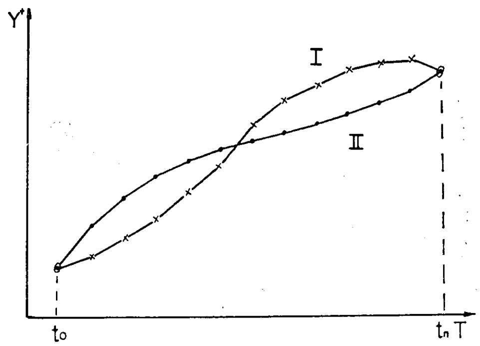

Fig. 2 Relationship between y^+ and time of plan Ⅰ, Ⅱ

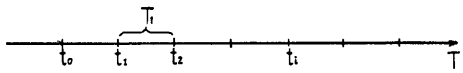

Fig. 3 Construction time and period in each stage

の道路網網に，i段階のOD交通量を流した時の総費用C^Tの差とみることができる。しかし一般には，段階とともに交通量は増加していくため基準時の道路網において最大交通量を越える場合もおこり便益が算出できない。

よって，2.3節と同じような考え方より，総費用C^Tをy^+の変わりに考える。つまり，1)の場合は各段階においてC^Tを最小とする建設順位を決定すればよいし2)の場合は，各段階でのC^Tの累積が最小となる建設順位を決定すればよい。

ところで，便益順位の主要なデータであるOD交通量は道路が建設されることによって，その開発効果として交通量やOD構成比に影響を受けるので，ある時点でどの道路が建設されるかにより，それ以後のOD交通量は異なると考えられるが，ここでは，建設順位によってOD交通量は変化しないものとする。又，交通量は時間とともに変化するので，道路網におけるフローパターンも時間とともに変化するが，連続的な変化に対する求解は困難であると考えられるので，各段階の期間中はOD交通量は一定であるとし，段階ごとに変化するステップ関数で与えられるものとする。又，建設道路の規模や予定地は決まっているものとし，建設道路は各期に最大1本であるとする。

3.2 各時点で最大便益となるものから建設する順位

前節で述べたように，各時点で最小費用となる路線から建設すればよいわけであるが，第i段階においてn本の予定路線があるならば，建設されない場合もいれてn

＋1通りの配分計算を行なわなければならない。そのため，計算の効率を考え0—1変数を用いた次のモデルを提案する。ここで，各段階の添字は省略してある。

評価関数

$$\text{Min}\quad C^T=\alpha D+\beta T+C_1+C_2+C_3 \tag{23}$$

$$D=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_k l^k\delta_{ijm}^{k}x_{ijm} \tag{24}$$

$$T=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_k t^k\delta_{ijm}^{k}x_{ijm} \tag{25}$$

$$C_1=\sum_{k'} l^{k'}C_1{}^{k'}y^{k'} \tag{26}$$

$$C_2=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_{k'} C_{2k}{}'\delta_{ijm}^{j}x_{ijm} \tag{27}$$

$$C_3=\sum_i\sum_j\sum_m\sum_k C_3{}^{k'}x_{ijm}+\sum_{k'} l^{k'}C_3{}^{k'}y^{k'} \tag{28}$$

ここで，$C_1{}^{k'}$；新設リンク k' の建設費 (円/km)

$C_3{}^{k'}$；新設リンク k' の維持管理費 (円/日)

$y^{k'}$；リンク k' が建設される時1の0—1変数

容量制約条件

既存道路 $$\sum_i\sum_j\sum_m\delta_{ijm}^{k'}x_{ijm}\leqq b^k \tag{29}$$

新設道路 $$\sum_i\sum_j\sum_m\delta_{ijm}^{k'}x_{ijm}\leqq b^{k'}y^{k'} \tag{30}$$

OD交通量保存条件

$$\sum_m x_{ijm}=Q_{ij} \tag{31}$$

非負条件

$$x_{ijm}\geqq 0$$

$$y^{k'}\geqq 0\quad 0\leqq\sum_{k'}y^{k'}\leqq 1 \tag{32}$$

評価関数(23)式を，(29)〜(32)の制約条件において解けば，各段階で最大便益（最小費用）となる路線が決定する。この計画も0—1混合計画法の問題となるため，前章で述べた手法で解くことができる。このモデルを各段階で1回解けばよく，n 段階の計画では n 回の計算を行なえばよい。

3.3　累積便益が最大となる建設順位

全期間を通して累積便益が最大となる建設順位を求めるということは，先に述べたように累積費用を最小にする順位と一致する。

この問題を解く場合，路線数を n とすると，順次1本ずつ建設するとしても

$${}_nC_1+{}_nC_2+\cdots\cdots+{}_nC_n=2^n-1$$

であるから，2^n-1 通りの配分計算を行なわなければならない。まして，建設されない場合までもいれると膨大な計算が必要となる。さらに，各段階の解の組み合わせを考えねばならず，この点でもかなりの計算が必要となる。この後者の効率をはかる意味で，DPの適用を考える。DPの根本となるものは次のような最適性の原理である。

「初期の状態と最初の決定が何であっても，残った決定は，最初の決定から生じた状態に関して最適政策を構成しなければならないという性質をもっている。」

つまり，一般に，N 段階の決定過程のうちのある段階で，ある状態にあり，かつ，その段階までのみの便益が算出され，また，次の段階の可能な状態から到達できる最適な便益が判るならば，いかにしてその状態に達したかには依存せず。両者の和を最大にする順位決定が最適解であるといえる。

DPを用いることで，計算の指数的増加を線形的増加に押えることができる。つまり，n 段階における x_n が決定されると，その x_n を含む全ての政策を試さないで，残った変数について，$n-1$ 段階の過程に最適な政策を試せばよく，乗法的でなく，加法的操作を続ければよりためである。

しかしながら，それでもかなりの計算が必要であり，何らかの近似解法が必要であると思われる。

4. 計算例

4.1　2章のモデルの計算例

I）新設モデルの計算例

第2章で定式化したモデルを簡単な計算例に適用し，その有用性を確かめてみたい。2.1節で定式化した基本モデルをここでは扱っている。計算に用いた数値は過去の文献や資料を参考にしながら仮定したものである。新設道路は3車線まで車線数を考える。

1)	交通容量	既存道路において	20000台/日
		新設道路において	10000台/日
2)	設計速度	既存道路において	40km/hr
		新設道路において	50km/hr
3)	建設費	1車線当り	15万円/日・km
4)	維持管理費	規模によるもの	建設費の1割
		交通量によるもの	1.5円/台・km・日
5)	公害対策費		3円/台・km・日
6)	運転費用	走行時間によるもの	15円/台・分
		走行距離によるもの	40円/台・km・日

道路網は，図4のように，5個のノードと6本の既存

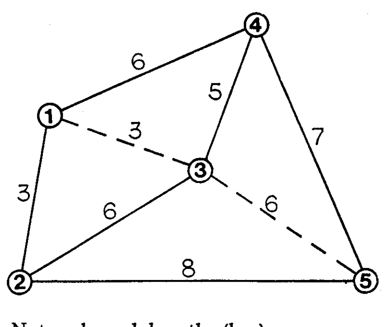

Fig. 4　Network and length (km)

TTable 1 OD pattern used in 4.1 I

O \ D	1	2	3	4	5
1		*	*	*	0.4
2			*	*	0.3
3				0.3	*
4					*
5					

道路及び2本の新設道路を考える。又，各道路において上下方向の区別はないものとする。各 OD 交通量の全交通量に対する比を表1のようにする。OD 交通量が10000台/日から10000台きざみで70000台/日まで7つ場合について計算を行ない。交通量と車線数の関係を図5に，Q=30000台/日の時の最適道路網とフローパターンを図6に示した。尚，新設道路の車線数は実線の本数で示してある。

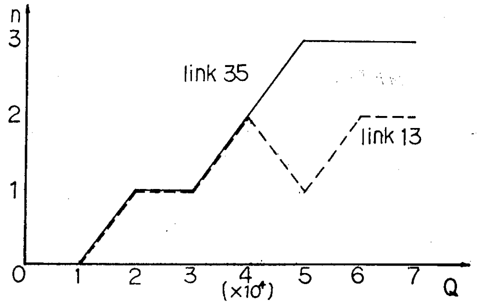

Fig. 5 Relationship between number of lanes n and traffic volume Q in the optimal network

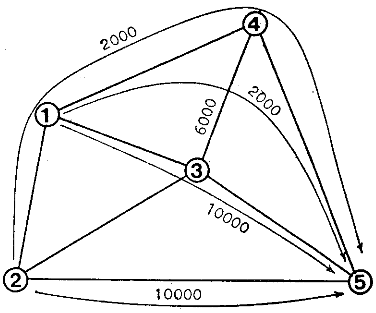

Fig. 6 Optimal network and flow pattern

Ⅱ）最適道路網の計算例

この節では 2.2 節で定式化した全域的な道路網の最適化を行なうもので，全リンクについて，最適な道路規模が決定される。道路網及び OD 構成比は，各々図7，表

O D

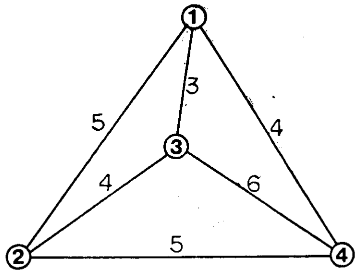

Fig. 7 Network and link length (km)

Table 2 OD pattern used in 4.1 II

O \ D	1	2	3	4
1		0.4	*	0.2
2			0.1	0.3
3				*
4				

2のように与えられ，他の仮定は前節と同様である。OD 交通量を 20000 台/日から 100000 台/日まで 20000 台/日ずつ変えた場合の最適道路網を図8に，図9には，交通量が80000 台/日の LP 法と整数計画法による解が示してある。

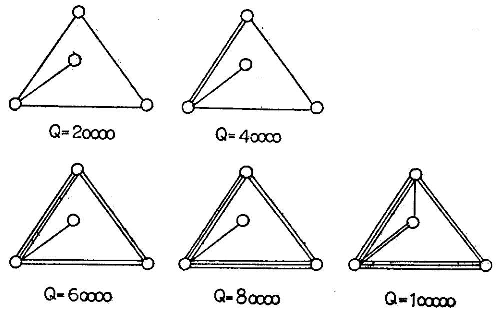

Fig. 8 Optimal network

4.2 考 察 1

まず，1）の計算例からみてみる。図5をみればわかるように OD 交通量が増加するに従い，新設道路が順次増強された。これは現実の問題を考えれば容易に想像がつくことで，本モデルでこれが確認される。しかしながら，リンク13が交通量の増加に反し，50000台/日の場合に車線数を減少させているのが注目される。又，OD 交通量が30000台/日の時，目的関数は530.6万円/日となり，

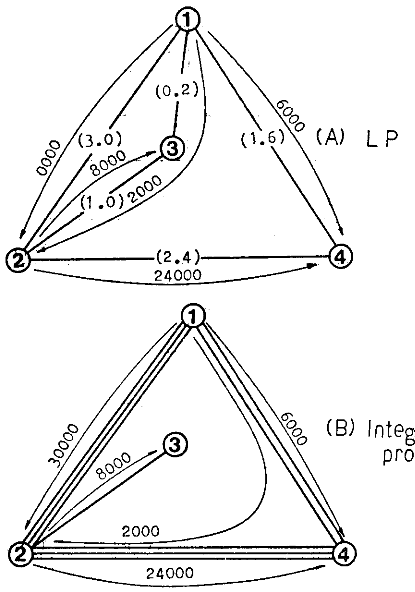

Fig. 9 Comparison between optimal solutions by LP and by integer programming

フローパターンは図6のようになり，各々の場合も同様に求まった。このことから本モデルの有用性が確認されたと思われる。又，得られた解が，問題の最適解であることは，整数計画法の性質より保証される。さらに全域的拡張モデルにおいても図8に示すように最適道路網が求まることがわかる。

本モデルにおいて，整数計画法適用の必要性を調べるため LP による最適解と比較してみる。一般に LP の最適解における車線数は非整数となり，交通容量の制約から車線数を切り上げるのが妥当と考えられるが図9の両図を比較すればわかるようにそれが最適解とならない場合もおこり整数計画法の必要性が理解できる。この計算例における CPU 時間は1秒ほどであり，Ⅱ）の問題を単純な組合せによって解いたならば $4^6=4096$ 通りの LP 問題を解かねばならず，はるかに時間的節約ができると思われる。

しかしながら，問題によっては解が得られない場合もありこれはプログラム内部のエラーや数値のまるめ誤差によるものと思われ，研究の余地がある。

4.3　建設順位決定モデルの計算例

第3章で扱った建設順位決定モデルを，簡単な例で行なってみる。先に示したように，基準時から累積される費用が最小となる順位決定（Case 1）及び各時点での費用が最小となる順位決定（Case 2）を行ない。各々を比較考察してみる。

建設を予定される道路は3本あり，道路網及び建設予定地は，図10のようにする。この3本の新設路線を3段

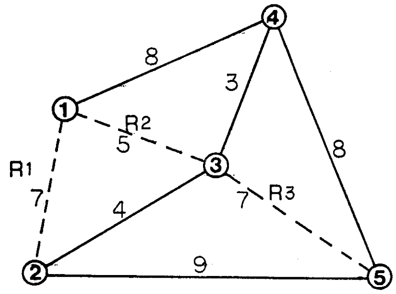

Fig. 10 Network and link length (km)

階において，順次建設する。各段階の期間は約3年（1000日）である。又，各段階でのOD交通量は，3500台/日 5000台/日，6000台/日であり，OD 構成比は表3に示す通りである。

Table 3　OD pattern used in 4.2

O \ D	1	2	3	4	5
1		0.2	*	*	0.4
2			*	*.	0.25
3				*	0.15
4					*
5					

建設費や走行費などの貨幣価格は，時間とともに増大すると考えられる。したがって，割引率を考えるなどして現在の価値に換算する必要があるが，この計算例においては問題を簡単にするため物価上昇はないと考えた。累積費用を最小にする順位決定の結果を表4から表5に建設時点での費用を最小にする順位決定の場合を表6に

Table 4　System cost in each stage
Stage 3

E \ A	None	R 1	R 2	R 3
None	×	×	×	×
R 1	×	——	×	◎4452.9
R 2	×	×	——	◎4404.6
R 3	×	4452.9	◎4338.6	——
R1, R2	×	——	——	◎4154.8
R1, R3	4221.9	——	◎4088.8	——
R2, R3	4173.6	◎4154.8	——	——

Stage 2

E \ A	None	R 1	R 2	R 3
None	×	3974.3 4452.9 ◎8427.2	4119.5 4404.6 8524.1	×
R 1	3743.3 4452.9 8196.2	—	3908.3 4154.8 8603.1	3742.9 4088.8 ◎7831.7
R 2	3954.5 4404.6 8359.1	3974.3 4154.8 8129.1	—	3618.6 4154.8 ◎7773.4
R 3	×	3742.9 4088.8 7831.7	3552.6 4154.8 ◎7707.4	—

Stage 1

E \ A	None	R 1	R 2	R 3
None	×	2839.9 7831.7 10671.6	2888.0 7773.4 ◎10661.4	×

A: Added routes
E: Existing routes

Table 5 Optimal cost in Case 1

	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Total cost (千万円)
Added routes	R 2	R 3	R 1	
Cost	2888.0	3618.6	4154.8	10661.4

Table 6 Optimal cost in Case 2

	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Total cost (千万円)
Added routes	R 1	R 3	R 2	
cost	2839.9	3742.9	4088.8	10671.6

示す。又，各々の各段階におけるフローパターンを図11，12に示す。

4.4 考 察 2

この両者の計算結果をみてみると，両者の順位は一致せず。累積費用を最小にする順位が R2→R3→R1 となり総費用は 1066.14 億円である。各時点で最小費用とする場合の順位は R1→R3→R2 となり総費用は 1067.16億円となった第 1 段階をみるとわかるように，R1, R2 はともに初期の段階でみると共に大きな役割を果たす。その両路線が，建設順位 1, 2 番とならず，両端となるのが興味深い。これは，両路線が果たす役割がよく似ているため，一方を建設することにより，他方は必要性をなくすからであると考えられる。そのため R3 が，1 番目に建設された路線を補ってより優先度が高くなる。このように R1 と R2 は競合的な路線であり R3 は他の路線に補足的であるといえよう。

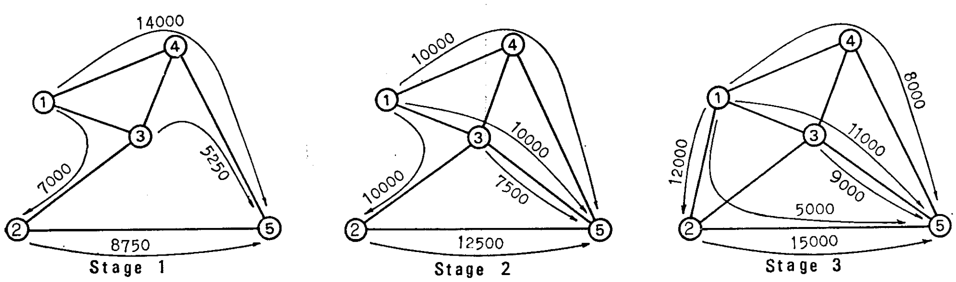

Fig. 11 Optimal flow pattern in Case 1

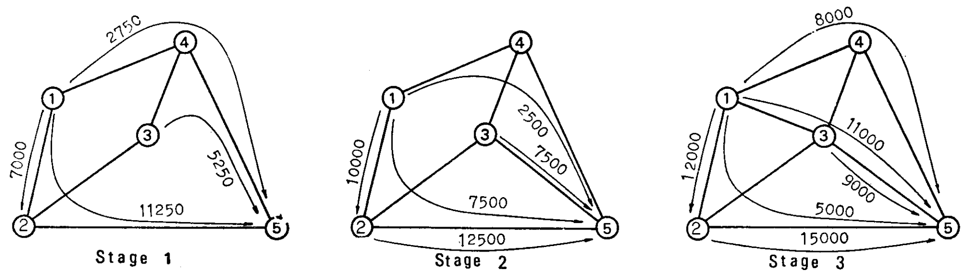

Fig. 12 Optimal flow pattern in Case 2

さて，DPによるモデルは組合せによる計算時間が大幅に縮められると思われるが，LPを先に述べたように Z^n-1 回解かねばならず，大きな n に対して事実上不可能と思われる。そのため，先に述べたようなリンクの役割による分類を考慮するなど何らかの簡便法の開発が必要となろう。それに対して他方のモデルは n 回の計算を行なえばよく問題はないと思われる。

5. あとがき

この論文では道路網の増強計画を考えてきたわけであるが，評価関数をどのようにするかによって道路形状は全く変ったものになるわけであるから，その重要性は十分認識できる。しかしながら評価要因全てを関数に取りこむことは不可能に近い。さらに，年月とともに価値感も変化する。数年前まではただの迷惑であった騒音や振動が現在では公害として認識され，その対策がたてられているし，現在重要であるとされている速度も，ある限度に達すれば，快適性がとって変わるかもしれない。ゆえに長期的な計画においては，将来の価値の変化を考慮する必要があり，時間とともに変化させていく必要がある。いずれにしても，評価関数は重要であり今後の研究が期待される。

参考文献

1) 西村昂，日野泰雄：最適ネットワーク構成に関する一考察，土木学会論文報告集，第250号（1976）
2) D.R. プレン，C. マクミラン著，整数計画法入門，培風館
3) H. グリーンバーク著，整数計画法，培風館
4) H.C. Hu 著，整数計画法とネットワークフロー，培風館（1975）
5) 中部地建，名古屋周辺道路整備計画調査報告書 S 44.3