【土木計画学研究・論文集 No.2 1985年1月】

交通混雑を考慮した最適道路網計画モデルとその適用*

An Optimal Road Network Design Model with Traffic Congestion and its Application

朝倉康夫**

By Yasuo ASAKURA

An optimal road network design model is formulated as a two level planning problem. It is interpretted as a two-person, planner and user of road, non-cooperative non-zero sum game. Master problem decides continuous link capacities so as to minimize the sum of total transportation cost and total link construction cost subject to link capacity constraints. Sub problem is user equilibrium traffic assignment problem, in which traffic congestion is explicitly involved. A heuristic solution procedure is proposed which is effective for convex performance function and link construction cost function. In the case of BPR-type performance function and linear cost function, model application is executed for the actual size of road network planning problem.

1. はじめに

道路網の新設，改良計画の代替案作成方法に関する研究のひとつにシステム最適化手法を用いた最適道路網形成に関する研究があり，従来より数多くの研究成果が発表されている。最適道路網形成問題は最適化する目的関数および制約式の意味，組合せによりいくつものタイプに分類することができるが，道路網建設，改良の意志決定変数を離散変数とするか連続変数とするかということは，ひとつの分類軸になるものと思われる。前者は，道路網を構成するリンクの車線数を変数とする方法，後者はリンクの容量を変数とする方法であると言い換えることもできる。従来の研究の多くは，前者に含まれる。（たとえば，森津，1984）[7]

これに対し，連続な意志決定変数をもつ最適道路網形成に関する研究は，非線形計画法あるいはそれにもとづく交通量配分理論の発展とともに展開されてきたと言える。このアプローチでは，問題をODフローの成立条件とパスフロー，リンクフローの関係式の制約の下に何らかのシステム最適化基準を最大あるいは最小にする非線形計画問題として定式化し，交通量配分問題の解法と同一あるいはアナロガスな方法によって解を求めるといった手順が用いられる。

連続変数を用いたアプローチによる利点として，
①交通混雑，すなわちネットワークのフローの増大によるリンクのサービスレベルの低下を内包することが比較的容易であること，
②離散変数を用いるよりも数学的取扱いが容易な場合が多いこと，
などをあげることができる。①は道路交通を対象とする場合にはとくに有効であり，②は大規模なネットワークを取扱う場合に都合がよい。

* キーワーズ：最適道路網形成，2段階計画問題
** 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学科
（〒606 京都市左京区吉田本町）

従来の研究のうち，Los M.(1978)[5]は，土地利用と交通ネットワークの同時最適配置問題に関する研究の部分問題として交通ネットワーク形成問題をとりあげた。彼は走行時間関数(パフォーマンス関数)がBPR関数，ネットワークの建設費用関数が線形関数のとき，総走行時間と総建設費用の和を最小にする問題が，all-or-nothing交通配分問題に帰着できることを示した。Dantig G.B.et al(1979)[3]は，既存リンクの存在を前提とした上で，Los M.と同様の目的関数をもつ新設リンクの容量決定問題を定式化し，Steenbrink P.A.(1974)[9]が示した分解法を適用することにより，この問題がフローディペンデントな交通量配分問題と形式的に同等の問題に帰着できることを示した。Abdulaal and LeBlanc(1979)[1]は，連続的投資関数をもつネットワーク形成問題をユーザー均衡配分を制約条件として定式化し，Powellの方法とHooke and Jeeves の方法にもとづく解法を提案した。

Los M.の方法は，Dantig G.B.et al の方法において，既存リンクの容量をゼロとした場合と等価であることは容易に知られる。また，Abdulaal and LeBlancの方法に比較して，前二者の方法は，既存の交通量配分プログラムをほとんど変更なしに使用できる点でより有効な方法である。一方，朝倉(1984)[2]は，総走行時間と総建設費用の和の最小化を目的関数とするとき，両者のウェイトと時間価値，利子率，プロジェクトライフの関係を示し，さらに発生，集中交通量は与えられているが，ＯＤ分布交通量は未知の場合の問題について述べている。

従来の研究の多くは，与えられたＯＤ交通量を総走行時間最小化などのシステム最適化基準により，道路網に割りつける方法をとっているため，必ずしも将来道路網が建設された時点での交通の流れを記述しているとは言えない。また，交通の流れを記述するために，部分的にユーザー均衡を与える等時間配分を実行する方法も提案されているが，システム最適化問題の中に，それをどのように組み込むかについては，必ずしも十分な検討がなされていないように思われる。

そこで，本研究では，Los and Nguyen(1981)[6]が土地利用の配置モデルにおいて示した２段階計画問題の考え方を適用することにより，等時間配分問題を明示的に内包した連続な意志決定変数をもつ最適道路網計画モデルを提案し，問題の定式化，解を求める手順を示すとともに，現実の道路網計画問題への適用を通して，モデルの実証性を検討することを目的とする。

2. 問題の定式化と意味

定式化を行う上で，以下の条件を前提とする。

①道路網の計画者の目的は，総走行時間と道路網の総建設費用の和を最小にすることであり，最適化の対象となる意志決定変数は道路網の各リンクの交通容量（連続変数）である。

②交通容量を増加させることにより，計画者は道路網を構成する各リンクの走行時間を減少させることができる。

③道路網の利用者の交通手段は乗用車のみであり，個々の利用者は，自己の起終点間の走行時間が最小となるような経路を選択する。このような利用者の行動の結果，ＯＤペア間の利用されている経路では等時間原則が成立している。

④ＯＤ分布交通量は与件であり，固定されている。

⑤建設対象とする最大道路網を構成するリンクの集合は与件であり，建設対象リンクの容量の上限値と下限値も与えられている。

⑥道路網を構成する各リンクの走行時間は，交通量の増加につれて単調に増加する。

これらの仮定にもとづいて，交通混雑を考慮した最適道路網形成問題は主問題(P)と子問題(S)から構成される２段階計画問題として定式化することができる。

(P)

$$\min F_1(\mathbf{Z}) = \sum_a Va^* Sa(Va^*, Za) + \xi \sum_a Ga(Za) \qquad (1)$$

$$\text{s.t} \qquad La \leqq Va \leqq Ha, \quad a \in A \qquad (2)$$

ここに，Va*は，交通量配分問題である子問題(S)により与えられる。

(S)

$$\min F_2(\mathbf{h}) = \sum_a \int_0^{Va} Sa(x, Za)\, dx \qquad (3)$$

$$\text{s.t} \qquad \sum_m hmij = Xij, \quad i, j \in I \qquad (4)$$

$$Va = \sum_m \sum_i \sum_j \delta\, amij\, hmij, \quad a \in \widetilde{A} \qquad (5)$$

ここに,
a ; リンク番号
A ; 建設対象リンクの集合
$\widetilde{A}$; 道路網を構成するすべてのリンクの集合
m ; パス番号
i, j ; 発生, 集中ノード番号
I ; 発生, 集中ノードの集合
Va ; リンク a の交通量 (リンクフロー)
Za ; 建設対象リンク a の交通容量
Z ; Zaを成分とするベクトル
Xij ; 発生, 集中ノード i, j 間のO D交通量
hmij ; ノード i, j 間のパス m の交通量(パスフロー)
h ; hmijを成分とするベクトル
δamij ; ノード i, j 間のパス m がリンク a を通るとき 1, そうでなければ 0
Sa(Va, Za) ; 走行時間関数 (ただし凸関数)
Ga(Za) ; リンク建設費用関数 (ただし凸関数)
ξ ; 総建設費用の総走行時間に対する重み
である。ξを利子率μ, 時間価値VT, プロジェクトライフnをもちいて表わすと,

$$\xi = \frac{1}{365\ \mathrm{VT}}\left\{\frac{\mu(1+\mu)^{n}}{(1+\mu)^{n}-1}\right\} \tag{6}$$

と書くことができる。[2)]

主問題(P)には, 前提条件の①, ②, ⑤, ⑥がかかわっている。この問題は, 建設対象リンクの容量に対する制約の下で, 総走行時間(目的関数の第1項)と総建設費用(目的関数の第2項)の和を最小化するように, リンクの交通容量を求めるシステム最適化問題である。ただし, 走行時間を算出するために用いるリンクフローは, 子問題を通じて与えられる。一方, 子問題(S)には, ③, ④, ⑥がかかわっている。子問題は利用者均衡を与える等時間配分問題であり, 制約条件はODフロー保存条件, およびパスフローとリンクフローの関係式である。

この問題では, 主問題において総建設費用が目的関数に含まれているが, それが制約条件に含まれる場合, すなわち主問題が

$$\min F_3(Z) = \sum_a Va^* \, Sa(Va^*, Za) \tag{7}$$

$$\text{s.t} \quad \sum_a Ga(Za) \leq G \tag{8}$$

$$La \leq Va \leq Ha, \quad a \in A$$

ここに,
G ; 総建設費用の上限

であっても, 総建設費用制約を乗数ξを用いて, 目的関数に組み込むことにより, 先に定式化した問題と等価な問題に変換することができる。ただし, この場合は最適なξ(>0)を決定するための計算上の手続きを付加しなければならない。

また, ここに定式化した2段階計画問題をゲーム論的に言えば, 道路の計画者と利用者の集合を2人のプレーヤーとする非協力非ゼロ和2人ゲームのうち, シュタッケルベルグ問題(たとえば鈴木, 1981)[10)]と呼ばれる問題であると解釈することができる。すなわち, 道路の計画者は, 道路利用者の行動規範(目的関数および制約条件)に関するすべての情報をもっているが, 道路利用者は計画者が示す戦略である各リンクの交通容量しかわからず, 利用者は与えられた道路網の下で, 自己の目的関数を最小にするように行動する。このとき, 計画者は利用者の行動を予想しながら, 計画者側の最適戦略を先に決定することができることになる。

3. 求解の手順

主問題の目的関数$F_1(\mathbf{Z})$, および子問題の目的関数$F_2(\mathbf{h})$は, 微分可能な凸関数であり, 制約領域もそれぞれ凸であるから, 2.で定式化した2段階計画問題に解が存在することは明らかである。(存在証明はたとえば志水, 1982)[8)] さらに, この問題は,
①子問題の制約条件が線形であること,
②任意に固定された**Z**に対し, 子問題の有限な最適解**h**(**Z**)とそれに対応する最適ラグランジェ乗数が存在すること(交通配分理論によれば, パスフローを変数としたときの最適ラグランジェ乗数は, 発生集中ノード間所要時間に相当する)
の条件が満足されるので, 子問題をその必要十分条件で置き換えることにより, 通常の非線形計画問題に帰着できる。変数の数が比較的少ない場合は, これまでに提案されてきたいくつかの解法も有効である。しかし, 現実的な大規模道路網を対象とする場合は, 変数の数が著しく多くなり, これまでの解法によって解を求めようとすれば, 解法に含まれる行列の大きさがきわめて大きくなるため, それらは必ずしも適当な方法とは言えないものと思われる。

これに対し, 主問題の目的関数を最小にするリンク交通容量が子問題の解であるパスフローをリンク

において集計することによって得られるリンクフローにより陽に表現することができるような関数として，走行時間関数Sa(Va,Za)と建設費用関数Ga(Za)を特定することができれば，Steenbrink(1974)[9]が示した問題の分解の考え方を適用することによって大規模な問題であっても効率的に解くことができる。なお，主問題の目的関数を最小にする**Z**を子問題により与えられる**V**(Vaを成分とするベクトル)を用いて表現するということは，ゲーム論的には，利用者の戦略に対する計画者の最適反応集合を求めていることに相当する。

以下では，走行時間関数，およびリンク建設費用関数が凸関数でなければならないという条件を満足するように，Sa(Va,Za)がBPR関数であり，Ga(Za)がZaに対する線形関数であるとして具体的な求解の手順を示す。すなわち，

$$Sa(Va,Za)=ta\left\{1+r(Va/(Ca+Za))^k\right\} \quad (9)$$

$$Ga(Za)=ga\ Za \quad (10)$$

ta；Va＝0 のときの走行時間

Ca；既存交通容量

ga；単位容量あたりの建設費用

r,k；パラメータ（r＞0，k＞1）

である。なお，BPR関数の原型は，

$$Sa(Va)=ta\left\{1+r(Va/Ca)^k\right\} \quad (11)$$

であるが，ここでは，既存交通容量の存在を前提とし，リンク容量を増加させることにより走行時間を減少させることができるように，(9)式に示す関数形を用いている。この式を用いることにより，道路の新設だけでなく既存道路の拡幅をも取り扱うことができる。

Sa(Va,Za)，Ga(Za)を(9)式，(10)式とおくことにより，Vaが与えられたときの主問題の目的関数の値を最小にするZaは次のようにして求めることができる。まず，

$$Ja(Va,Za)=VaSa(Va,Za)+\xi Ga(Za) \quad (12)$$

とおき，(9)式，(10)式を(12)式に代入すれば，

$$Ja(Va,Za)=ta\left\{1+r(Va/(Ca+Za))^k\right\}+\xi\, ga\, Za \quad (13)$$

である。したがって，

与えられたVaに対して(2)式の制約の下にJa(Va,Za)を最小にするZaは，$\partial Ja/\partial Za=0$ より，

$$Za=\begin{cases} La & 0\leqq Va\leqq (Ca+La)\phi a \quad (14)\\ \phi a^{-1}\,Va-Ca & (Ca+La)\phi a\leqq Va\leqq (Ca+Ha)\phi a \quad (15)\\ Ha & (Ca+Ha)\phi a\leqq Va \quad (16)\end{cases}$$

となる。ここに，

$\phi a=(\xi ga/kr\ ta)^{1/k+1}$ (定数)

である。(14),(15),(16) に対応する建設対象リンクの集合をそれぞれ，A_1,A_2,A_3 としておく。

以上により求解の手順は以下のように書くことができる。

<u>ステップ1</u>

主問題の制約を満足するように**Z**の初期値$\mathbf{Z}^0$を適当に与える。n＝0 とおく（n は繰返し回数）

<u>ステップ2</u>

$\mathbf{Z}^0$に対し子問題を解き，**V**の初期値$\mathbf{V}^0$を求める。子問題はたとえばLeblanc(1975)[4]らによる方法によって解くことができる。

<u>ステップ3</u>

$\mathbf{V}^n$を用いて，主問題の目的関数の値を最小にする**Z**の値を次式により求める。

$$Za=\begin{cases} La & a\in A_1\\ \phi a^{-1}\,Va^n-Ca & a\in A_2\\ Ha & a\in A_3\end{cases}$$

<u>ステップ4</u>

収束判定

$|\mathbf{Z}^n-\mathbf{Z}|<eps$

であれば終了(ステップ6へ) そうでなければ，

$\mathbf{Z}^{n+1}=\mathbf{Z}$

とおいて，ステップ5へ

<u>ステップ5</u>

Zに対し子問題を解く。ここに，

$$\int_0^{Va} Sa(x,Za)dx=\begin{cases} ta\left\{1+r/(k+1)(Va/(Ca+La))^k\right\} & a\in A_1\\ ta\left\{1+r/(k+1)\phi a^k\right\} & a\in A_2\\ ta\left\{1+r/(k+1)(Va/(Ca+Ha))^k\right\} & a\in A_3\end{cases}$$

解を$\mathbf{V}^n$とおく。n＝n＋1とおいて，ステップ3へ

<u>ステップ6</u>

終了，**Z**を最適解とする。

4. 適用例

2.で定式化したモデルの数値的特性を明らかにし，実際的な大規模道路網を対象とする道路網計画問題への適用可能性を実証するために，3.で述べた求解の手順に従って計算機プログラムを作成し，現実の道路網を用いた数値計算を実行した。

(1) 前提条件

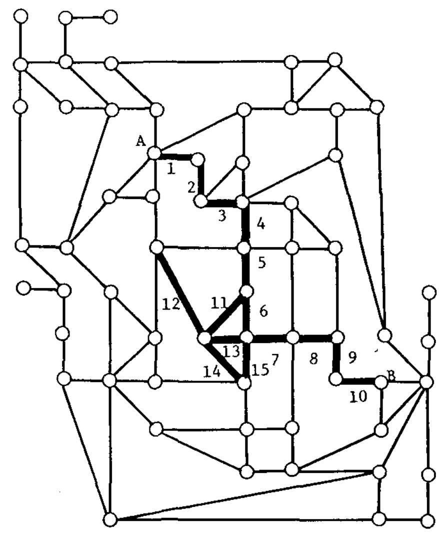
適用対象地域は，交通手段間の分担関係を考慮しないというモデルの性質上，公共交通の利便性が自家用車のそれに比べて低く，公共交通依存度が高くない地域であって，将来的に人口，産業の増加が見込まれるが，将来の交通需要に対して現況が必ずしも十分とはいえない地域が望ましい。この条件に加え，道路現況のデータを比較的得やすいという条件から，対象地域を京都府中部地域とした。

インプットする将来自動車ＯＤ表は，昭和55年度道路交通センサスの自動車起終点調査結果からＢゾーンを基本とするＯＤ表を作成した。大型車（普通貨物車，特殊車，バス）については，大型車の自家用車換算係数を2.0として乗用車換算した。将来自動車ＯＤ表は昭和55年のＯＤ表をそのまま用いた。

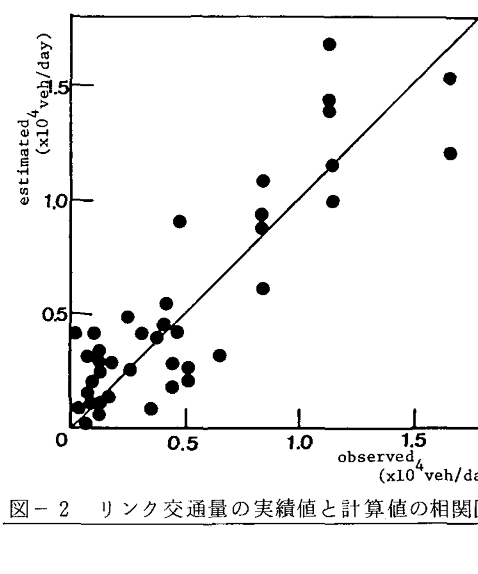
モデルは，既存道路網の存在を前提にしており，新設道路だけでなく既存道路の拡幅をも適用対象とすることができる。そこで，このようなモデルの特質を生かすために，既存道路網の一部を拡幅，整備する場合を想定するものとした。対象とする道路網を図－1に示す。道路網のレベルは，国道および主要地方道を中心とする道路を取上げた。このうち拡幅対象とするのは，国道および主要地方道の一部とした。道路網の規模は，リンク数98本（往復で196本）ノード数62個（うち発生集中ノード42個），拡幅対象リンクの数は15本（往復で30本）である。

走行時間関数としてBPR関数を用いるため，ta，Ca，およびパラメータk,rの直が必要である。taは国道，主要地方道，その他の道路ごとにそれぞれ自由走行速度を設定し，リンク長を自由走行速度速度で除することによりその値を算出した。パラメータk,rは修正BPR関数と呼ばれている関数のパラメータ値 $r=2.62$，$k=5$ とした。BPR関数の定義に従えば，Ca は可能交通容量の概念に相当する交通容量でなければならない。しかし，既存の資料からそれる得ることができなかったので，Caを道路交通センサスの一般交通量調査結果にもとづいて算出された乗用車換算の交通容量で代替した。

さらに，Caの欠損値を補完するためと，一部道路網を集約したことによるリンクデータを修正するために，LeBlanc(1975)の方法に従って等時間配分を実行し，各リンクの乗用車換算交通量の実績値と計算値が整合するように，Caの値を調整した。最終的な配分結果であるリンクフローの実績値と計算値の散布図を図－2に示す。実績値と計算値の相関係数は，0.8982と比較的良好であった。 実績値（X）で



図－1 現況道路ネットワーク



図－2 リンク交通量の実績値と計算値の相関図

計算値(Y)を

$$Y = a + bX$$

により線形回帰し，パラメータ値 a,b を求めたとき，a がゼロに近く b が 1 に近いほど実績値と計算値の適合が良いことが知られている。この例では，$a = 0.507 \times 10^3$，$b = 0.9393$ であり，実績値の大きいところで計算値がやや小さく，実績値の小さいところで計算値がやや大きな値となっているものの，適合度は高いと判断できる。なお，以下で所要時間の現況値とは，配分計算の結果を用いた値であることをことわっておく。

単位容量あたりの建設費用gaには，区間ごとの地価，地形，道路の線形条件などを反映させる必要があるが，単位容量，単位延長あたりの建設費用はどのリンクにおいても一定であると仮定し，過去10年間において京都府中部地域で建設された道路区間に関する資料より，次式によってgaの値を推定した。

$$g_a = \ell_a \Sigma (\widetilde{C}_a \widetilde{\ell}_a / \widetilde{G}_a)/N$$

ここに，

ℓ_a；拡張対象リンクのリンク長

$\widetilde{\ell}_a$；過去に建設された道路区間の延長

$\widetilde{C}_a$；過去に建設された道路区間の交通容量

$\widetilde{G}_a$；過去に建設された道路区間の建設費（昭和55年価格）

N；過去に建設された道路区間数（N = 15）

である。

拡張対象リンクの交通容量の上限値Ha，および下限値Laの値は，すべての拡張対象リンクについて，

$$L_a = 0$$

$$H_a = C_a$$

とした。La = 0 に設定するということは，

$$0 \leqq V_a \leqq (C_a + L_a)\phi_a$$

のとき

$$Z_a = L_a = 0$$

とすることであり，換言すれば混雑の測度Va/Caが

$$V_a/(C_a + L_a) = V_a/C_a \leqq \phi_a$$

のときは，道路の拡幅を行わないことを意味している。

(2) 計算結果とその考察

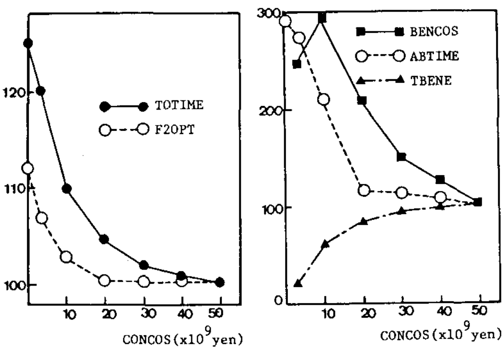
総建設費の総走行時間に対する相対的ウェイトである ξ の値を 300×10^{-6} から 0.3×10^{-6} までパラメトリックに変化させ，ξ に対する感度分析という形で数値計算を実行した。（表－1，図－3，図－4）

ξ の変化による解の挙動の全体的変化を主問題の目的関数の値(F1OPT)，総走行時間(TOTIME)，総建設費(CONCOS)，子問題の目的関数の値(F2OPT)，拡幅区間ABの所要時間(ABTIME)，総走行時間の

表－1 ξ に対する感度分析

ξ $\times 10^{-6}$	F1OPT $\times 10^6$(min)	TOTIME $\times 10^6$(min)	CONCOS $\times 10^9$(yen)	F2OPT	ABTIME (min)	TBENE $\times 10^6$(min)	BENCOS $\times 10^{-6}$(min/yen)	LINKNO 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
*	–	9.47	–	5.19	62.7	–	–															
300	10.33	9.12	4.0	4.95	61.2	0.35	85.6	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	3	2	2	1	1
100	9.49	8.33	11.6	4.78	45.1	1.14	97.9	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2
90	9.36	8.25	12.3	4.77	43.6	1.21	98.5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2
70	9.14	8.15	14.2	4.74	40.5	1.32	92.8	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2
50	8.86	8.00	17.2	4.72	36.8	1.46	84.9	2	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	3	2	1	2
30	8.57	7.89	22.7	4.69	32.5	1.58	69.6	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	1	2
10	8.00	7.66	34.2	4.66	24.7	1.80	52.7	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	2	1	2
9	7.97	7.65	35.6	4.66	24.3	1.82	51.1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	2	1	2
7	7.91	7.64	38.2	4.65	23.5	1.83	47.8	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	2	2	2
5	7.78	7.60	41.6	4.65	22 7	1.87	44.9	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2
3	7.72	7.59	45.0	4.65	22.1	1.88	41.8	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3
1	7.63	7.58	52.7	4.64	21.4	1.88	35.7	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
0.3	7.58	7.55	56.3	4.64	21.3	1.89	33.6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

(注) F1OPT;主問題の目的関数の値，TOTIME；総走行時間，CONCOS；総建設費用，F2OPT;子問題の目的関数の値
ABTIME；拡幅区間ABの所要時間，TBENE；総走行時間の現況値との差，BENCOS；TBENE/CONCOS，*；現況値
LINKNO；建設対象リンクの番号（表中の1,2,3はそれぞれリンク集合 A_1, A_2, A_3 に含まれることを示す）

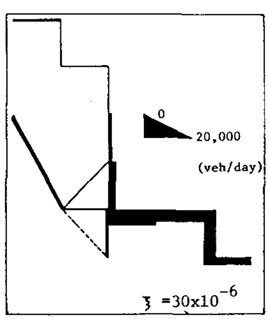


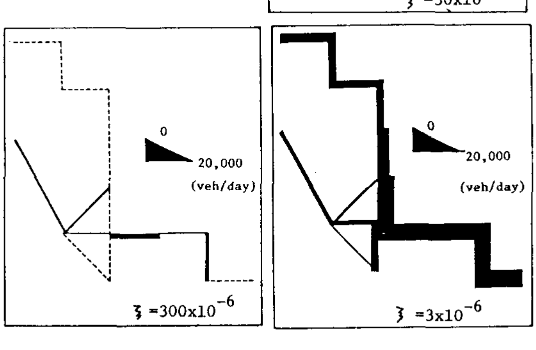
図－3　総建設費(CONCOS)に対する各指標の変化

現況値からの総短縮時間（TBENE)，総建設費用に対する総短縮時間の比（BENCOS)の指標で表わす。計算結果から次のことがわかった。

①ξを小さくするにつれて，その値が単調に増加する指標は，CONCOS，TBENEであり，単調に減少する指標は，F1OPT，TOTIME，F2OPT，ABTIMEである。その理由は，ξが小さくなるにつれて，建設費に対する相対的ウェイトが小さくなるため，リンク容量を増加させる方向に解が移行し，その結果として，総建設費用は増加するが，逆に走行時間は減少することによるものと考えられる。

②現況値との比較において，最も減少率の大きい指標は，ABTIMEであり容量の上限まで拡幅した場合（$\xi=0.3\times10^{-6}$），現況値の約30％の値にまで時間短縮されることになる。





図－4　拡張対象リンクの交通容量

これに対し，TOTIMEは，同じ規模の拡幅により，現況値の約80％まで減少することがわかる。

③総建設費に対する総短縮時間の比BENCOSは，$\xi=90\times10^{-6}$のとき最大値をとり，$\xi=70\times10^{-6}$以下では単調に減少する。このことから，$\xi=90\times10^{-6}$のとき，すなわちCONCOS＝12.3×10^{9}(円）のとき，時間短縮に対して建設費を最も効率的に使うことができるということがわかる。

④ξを利子率μ，プロジェクトライフn，時間価値VTで表わすことができるとし，$\mu=0.1$，n＝30(年) VT＝80(円/分/台）としたときは，$\xi=5\times10^{-6}$である。このとき，TOTIMEは現況値の80％まで時間短縮できることがわかる。

⑤先に述べたように，総建設費用が制約条件である場合の問題は乗数ξにより，総建設費を目的関数に含む問題に変換することができる。したがって，ξを変化させるということは，総建設費が制約条件である場合にその制約を変化させることとほぼ同値であるといってよい。そこで，CONCOSの変化に対するTOTIME，F2OPT，ABTIME，TBENE，BENCOSの変化を見ると，図－3となる。（$\xi=0.3\times10^{-6}$のときの値を100とした指数表示）この図から，CONCOSの値が増加するにつれてTOTIME，F2OPT，ABTIME，BENCOSの値は減少しTBENEの値は増加するが，その減少，増加する割合は次第に小さくなりCONCOSが30×10^{9}円を越すと各指標のCONCOSに対する減少，増加率はかなり小さくなることがわかる。とくに時間節約という観点からみれば，この例では30×10^{9}円以上の道路投資は必ずしも有効でないことが示される。

⑥ξに対する拡幅対象道路網の交通容量を図－4に示す。これらの図および表－1から，$\xi=300\times10^{-6}$では一部のリンクのみが拡幅されるが$\xi=30\times10^{-6}$でほぼすべてのリンクが拡幅され，$\xi=3\times10^{-6}$ではいくつかのリンクで拡幅容量の上限制約値に至ることがわかる。さらに主要幹線である区間ABをより重点的に拡幅することが望ましいということがうかがわれる。

5. おわりに

本研究では，等時間配分問題を子問題とし，交通容量を意志決定変数とする最適道路網形成モデルを

2段階計画問題として定式化し，解を求める手順を示すとともに，現実の道路網形成問題への適用を通して，モデルの実証性を確認することができた。しかし，

①提案した解法は，走行時間関数，リンク建設費用関数が凸関数であって，主問題の目的関数を最小にする**Z**を陽に求められる場合にはすべて有効であるが，BPR関数，線形関数以外の関数の組合せについても検討する必要がある。とくに，リンク建設費用関数は，最も単純な場合を仮定したため，リンク建設費用に影響を与える要因のうち交通容量以外の要因はすべて単位容量あたりの建設費用gaに反映させており，実用的な面からもgaの推計方法を含めて改良すべき点は多い。

②将来のＯＤ交通量は与件であり，固定的であるとしているが，道路網の整備による交通需要の変化を考慮するためには，ＯＤ分布を内生的に取り扱う必要がある。

③現実的な大規模道路網を対象とした計算機シミュレーションの実行を前提に解法を検討したが，２段階計画問題の従来より提案されている解法とここに提案した解法を比較し，問題の規模と効率性についても考察する必要がある。

などを始め、今後に残された課題も多い。②については，ひとつの方法として，分布，配分同時決定問題を子問題とする方法があるため，現在研究を進めている次第である。

最後に，本研究を遂行する上で御指導をいただいている京都大学工学部，佐佐木綱教授，井上矩之助教授に深謝するとともに，本稿をとりまとめる上で有意義な御助言をいただいた運輸交通計画研究室の皆様に感謝いたします。また，今後の研究を進める上で意義深い御示唆をいただいた本稿の査読者の方々に感謝いたします。

参考文献

1) Abdulaal M. and LeBlanc L.(1979); Continuous Equiliblium Network Design Models, Transp. Res. Vol. 13B, pp. 19-32
2) 朝倉康夫(1984); 交通混雑を考慮した最適ネットワーク形成に関する2,3の考察，土木計画学研究講演集，pp. 231-238
3) Dantig G. B. et al(1979); Formulating and Solving the Network Design Problem by Decomposition, Transp. Res., Vol. 13B, pp. 5-17
4) LeBlanc L. et al(1975); An Efficient Approach to Solving the Network Equilibrium Traffic Assignment Problem, Transp. Res., Vol. 9, pp. 309-318
5) Los M. (1979); A Discrete Convex Programming Approach to the Simultaneous Optimization of Land Use and Transportation, Transp. Res., Vol. 13B, pp. 33-48
6) Los M. and Nguyen S.(1981); Spatial Allocation on a Network with Congestion, Transp. Res., Vol. 15B pp. 113-120
7) 森津秀夫(1984); 最適交通網構成手法に関する基礎的研究，京都大学学位論文
8) 志水清孝(1982); 多目的と競争の理論，pp. 210-215，共立出版
9) Steenbrink P. A.(1974); Transport Network Optimization in the Dutch Integral Transportation Study, Transp. Res., Vol. 8, pp. 11-27
10) 鈴木光男(1981); ゲーム理論入門，pp. 52-58，共立全書