道路整備優先順位決定手法の検討

（修士論文）

（指導教官　刀根　薫　教授）
埼玉大学大学院政策科学研究科
（現在建設省建設経済局宅地開発課）　吉崎　収

1. 研究の目的

道路行政において投資の効率化をはかろうとするとき計画された複数の道路を適切な順序で建設することは重要な課題となる．しかしながら，道路建設順序の最適化については従来有効な手法が確立されているわけではなく，いくつかの方法によって検討されてはいるものの，それぞれ問題点が残されている．本研究は，道路プロジェクトのセットに対し，建設順序を合理的に決定しうるような計算手法を提案することを目的とするものである．

2. 問題の定式化

建設が計画されている道路をM本とし，すべての道路が完成するまでをN個の工事期間（$n=0,1,\cdots,N-1$）に分けて考えることとする．現在(第0期初頭)からM本の道路をある順番で建設していき，すべての道路が完成するまでのあいだの効用の状態が図1のように描かれたものとする．本研究で扱う問題は，この効用の総和（図の斜線部の面積）を最大化するような，M本の道路の建設順序を求めることである．

ネットワークの状態はM本の各道路について完成しているか否かだけで定まるから，2^Mとおり存在する．そこで

$$x_j=\begin{cases}1, & \text{第}j\text{番目の道路が完成しているとき}\\ 0, & \text{〃　　完成していないとき}\end{cases}$$

として，M個の0—1変数の組$(x_1,x_2,\cdots,x_M)$でネットワークの状態を表わすことにする．1つの建設順序に対して各期のネットワークの状態が定まるから，第n期ネットワークの状態を$\boldsymbol{A}_n=(a_{nj})$で表わすことにする．ただし

$$a_{0j}=0\ (j=1,2,\cdots,M),\quad a_{Nj}=1(j=1,2,\cdots,M)$$

とする．また，第j番目の道路の建設費をc_j，第$(n-1)$期末までに投資できる金額をT_nで表わすこととする．この時，$\boldsymbol{A}_n=(a_{nj})$は

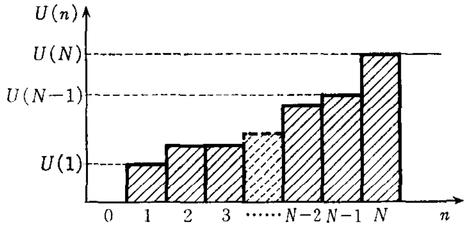

図1

$$a_{n-1,j}\leqq a_{nj}(n=1,2,\cdots,N;j=1,2,\cdots,M),$$
$$\sum_{j=1}^{M}(a_{nj}\cdot c_j)\leqq T_n(n=1,2,\cdots,N)$$

を満たしていなければならない．したがって，1つの建設順序(解)は，上の2式を満たす$\boldsymbol{A}_n$で構成される行列

$$A=\begin{bmatrix}\boldsymbol{A}_1\\ \boldsymbol{A}_2\\ \vdots\\ \boldsymbol{A}_N\end{bmatrix}$$

で表わされる．なお，$\sum_{j=1}^{M}(x_j\cdot c_j)\leqq T_n$を満たす$\boldsymbol{x}=(x_1,x_2,\cdots,x_M)$を第$n$期で可能なネットワークの状態といい，その集合を$\boldsymbol{X}_n$で表わすことにする．効用としては次式で示される時間短縮量を用いることとする．

$$U_{(n)}=\sum_o\sum_d Q_{(n)od}(t_{(n)od}{}^0-t_{(n)od})$$

ここに，

$U_{(n)}$：第n期における時間短縮量

$Q_{(n)od}$：第n期におけるゾーンo発ゾーンd着交通量

$t_{(n)od}{}^0$：現在のネットワークおよび$Q_{(n)od}$より定まるod間最短時間距離

$t_{(n)od}$：第n期ネットワークおよび$Q_{(n)od}$より定まるod間最短時間距離

ここで$U_{(n)}$は，$Q_{(n)od}$とネットワークの関数となるが，$Q_{(n)od}$をnによって定まる定数と考えると，$U_{(n)}$はネットワークのみの関数となる．したがって前述した効用総和の最大化とは

$$F(A)=\sum_{n=1}^{N}U_{(n)}(\boldsymbol{A}_n)\rightarrow\mathrm{Max}$$

とすることであり，最適順序は，

$$F(\hat{A})=\max F(A)$$

を満たす行列（以後最適順序行列と呼ぶ）によって表わされる．

3. 計算手法

計算手法は大きく分けて，すべての可能なネットワークに対する効用計算をする部分（STEP 1）と，得られた可能ネットワークと効用値から最適順序を求める部分（STEP 2）から構成される．STEP 1 では，可能ネットワーク $\boldsymbol{x}\in\boldsymbol{X}_n$ に対しＩＡ法によって交通需要を配分し，その結果得られる全ゾーン間の最短時間距離と交通需要から，$U_{(n)}$を求めるものである．STEP 2 では次のようにして$\hat{A}$を求める．すなわち，$\boldsymbol{A}_k\leqq\boldsymbol{A}_{k+1}$，$\boldsymbol{A}_n=\boldsymbol{x}$，$\boldsymbol{A}_k\in\boldsymbol{X}_k$のもとでの$\sum_{k=1}^{n}U_{(k)}(\boldsymbol{A}_k)$の最大値を$V_{(n)}(\boldsymbol{x})$とする．この時，最適性の原理から，

$$V_{(n)}(\boldsymbol{x})=\max_{\boldsymbol{y}\in\boldsymbol{Y}_{n-1}}\{V_{(n-1)}(\boldsymbol{y})+U_{(n)}(\boldsymbol{x})\}$$

が成り立つ．ここで，$\boldsymbol{Y}_{n-1}=\{\boldsymbol{y}\,|\,\boldsymbol{y}\leqq\boldsymbol{x},\ \boldsymbol{y}\in\boldsymbol{X}_{n-1}\}$ であり，また，初期条件として $V_{(0)}(\boldsymbol{y})=0$ である．以上 3 本の式から，すべての $\boldsymbol{x}\in\boldsymbol{X}_n$ に対して $V_{(n)}(\boldsymbol{x})$（$n=1,2,\cdots,N$）が求められる．さらに次の手順で$\hat{A}$が求められる．

（1）$n:=N$, $\boldsymbol{x}:=\boldsymbol{A}$　（2）$V_{(n)}(\boldsymbol{x})=V_{(n-1)}(\boldsymbol{y})+U_{(n)}(\boldsymbol{x})$ を満たす $\boldsymbol{y}\in\boldsymbol{X}_{n-1}$ を求める．（3）$n:=n-1$, $\hat{\boldsymbol{A}}_n:=\boldsymbol{y}$　（4）$n=1$ であれば終了　（5）$\boldsymbol{x}:=\boldsymbol{y}$ として(2)にもどる

このプロセスが終了した時に得られる$\hat{\boldsymbol{A}}_n$（$n=1,2,\cdots,N$）で構成される行列

$$\hat{A}=\begin{bmatrix}\hat{\boldsymbol{A}}_1\\ \hat{\boldsymbol{A}}_2\\ \vdots\\ \hat{\boldsymbol{A}}_N\end{bmatrix}$$

が，最適順序行列である．

4. 埼玉県内道路計画への応用結果

図 2 に示す現在ネットワークに，図 3 に示す 6 本（図 3 左隅）の道路を建設しようとする時の最適順序行列，およびその場合の各期の効用値を求めた結果が表 1 のとおりである．

これより，最適順序は，

Road 4→Road 5→Road 1→Road 3→Road 6→Road 2

表 1

〈最適順序行列〉								
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6		〈効用〉
$\hat{A}=$	0	0	0	1	0	0	第 1 期	26940
	0	0	0	1	1	0	2	60890
	0	0	0	1	1	0	3	62600
	1	0	0	1	1	0	4	217000
	1	0	1	1	1	0	5	246700
	1	0	1	1	1	1	6	288500
	1	0	1	1	1	1	7	299200
	1	1	1	1	1	1	8	556100
							計	1757930

を得る，

5. おわりに

従来は建設順序を決定する場合，建設順序についていくつかの代替案を設定しておき，それらのうち，全期間をとおして最も大きな効用を与えるものを採用したり，あるいは，費用便益分析を適用して，単独に建設する場合に効果の大きいものから順に建設してゆく等の方法がとられることが多かった．第 1 の方法の場合，代替案の中に最適順序が含まれているという保証はなく，第 2 の方法の場合，建設順序の変化にともなう道路機能の変化等，ネットワークの一部として効用も（建設順序によって）ダイナミックに変化することが十分考慮されえない．

本手法においては，多くの組合せ（本研究では，可能ネットワークの時系列的組合せ）の中から，最適解を求める場合に有効な手法である動的計画法を用いることにより，すべての可能な建設順序の中から，建設順序の変化による効用のダイナミックな変化を十分考慮したうえで，最適順序を求めることが可能となっている．

なお，本研究においては，この手法を用いて，ある道路についてその建設時期に拘束条件が追加された場合，あるいは，いくつかの道路の建設が同時に進行していなければならないという条件が追加された場合における手法の修正点，およびその結果等も示しているので，ここに紹介しておく．

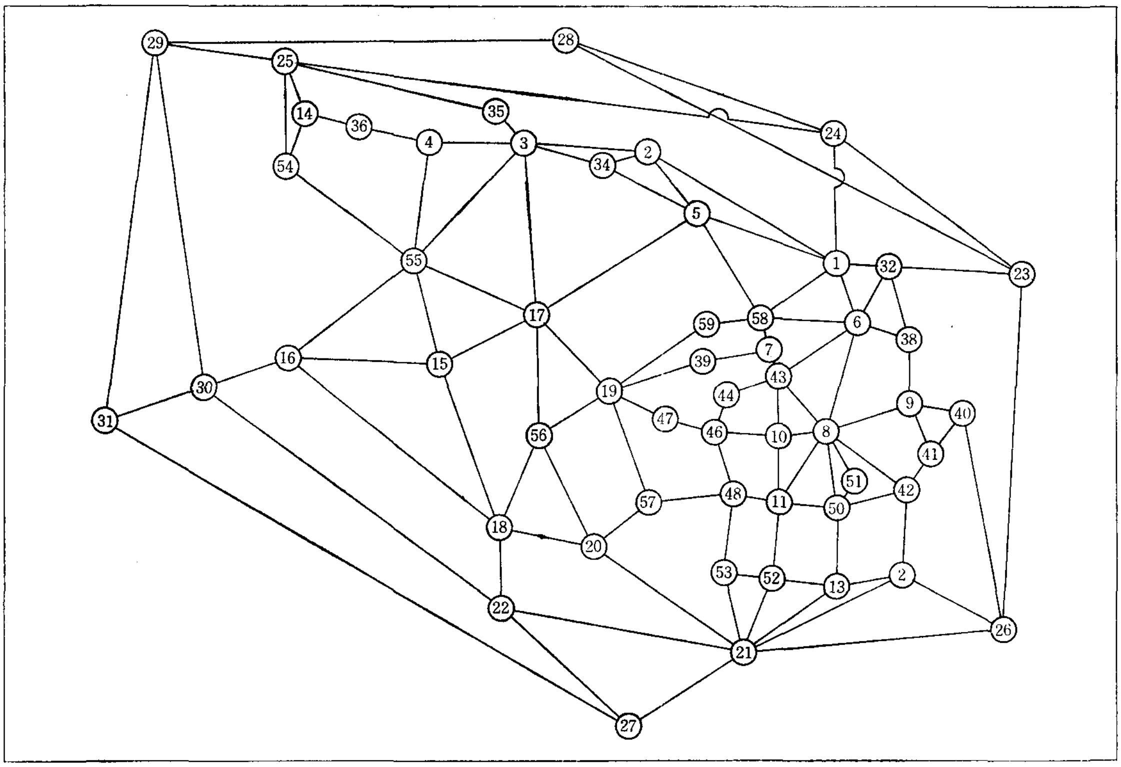

図 2　現在ネットワーク（$A_0=(0,0,0,0,0,0)$）

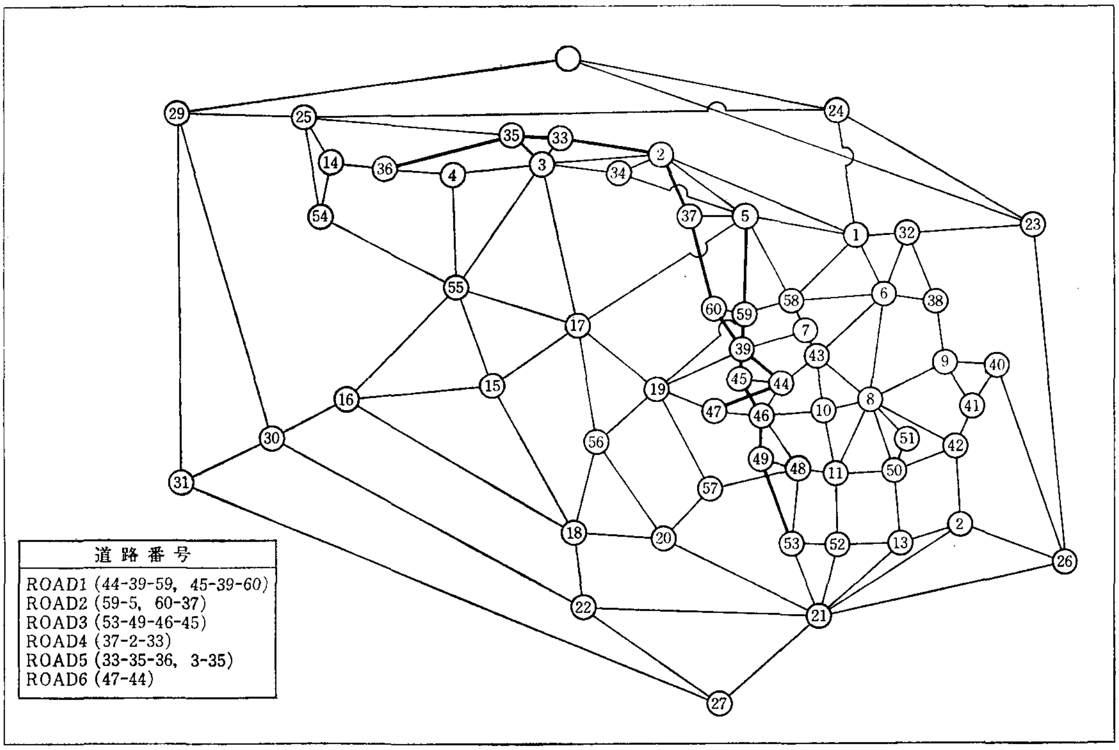

図 3　第N期ネットワーク（$A_N=(1,1,1,1,1,1)$）