IV-112　最適ネットワーク構成に関する一考察

大阪市立大学工学部　正　員　西村　昂
大阪市立大学大学院　学生員　○日野泰雄

1．はじめに

従来からの研究では、総移動距離をその目的関数とすることがほとんどであったのに対し、本研究は目的関数として建設側からみた処理交通量（最大フロー）と使用側からみた平均走行距離をとらえ、より有効にネットワークの構成を考えようとしたものである。

2．ネットワーク構成の評価と問題の定式化

(1)　ネットワーク構成の評価要因

ネットワーク構成の評価要因には、直接的要因として建設側からみた要因〔建設費，処理交通量(最大フロー)〕と使用側からみた要因〔(平均)走行距離，走行時間，走行費用等〕があり、また、間接的要因として交通網投資による経済効果，交通網建設による開発効果及び環境変化（自然破壊．交通公害等）があげられる。しかし、これらの要因の中で数量的に把握することの困難な間接的評価要因については考えないことにし、ここでは1.で述べた2つの要因（目標）と建設費によってネットワーク構成に評価を与えることにした。

(2)　問題の定義と定式化

(1)の評価要因より、次のように問題を定義した。『最適ネットワーク構成問題とは、路線の総建設費が制限値を越えないようにできるだけ多くの路線をつけ、しかも平均走行距離(d)と最大フロー(T)がともに最適に近づくような（d→min.，T→max.）路線の集合(交通ネットワーク)を導き出すことである。』また、これを定式化すると、

制約条件　建設費　$S=\sum_i\sum_j \$_{ij}=\sum_i\sum_j S_{ij}\cdot l_{ij}\leq S_c$　(1)

目的関数　処理交通量　$T=\dfrac{C_{ij}}{g_{ij}}\longrightarrow \max.$　(2)

平均走行距離　$d=\dfrac{\sum\sum x_{pq}\cdot d_{pq}}{T}=\dfrac{\sum\sum(Tg_{ij})\cdot l_{ij}}{T}=\sum\sum g_{ij}\cdot l_{ij}\longrightarrow \min.$　(3)

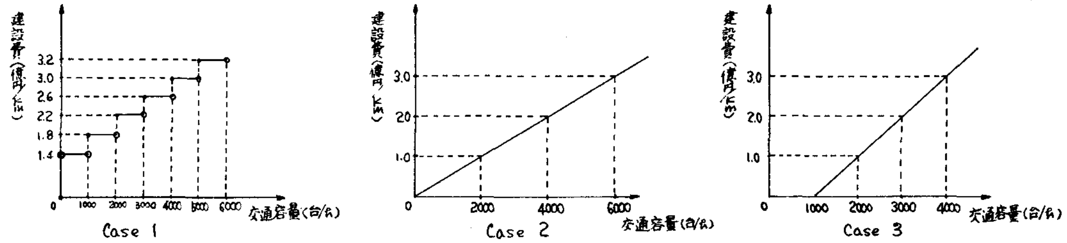
となる。ここで、C_{ij}；地点iから地点jへの交通容量．　d_{pq}；地点pから地点qへのパスの距離（走行距離）．
g_{ij}；ネットワークを構成する路線の区間単位交通量（路線のないとき　$g_{ij}=0$）．
x_{pq}；地点pから地点qへのOD交通量．　l_{ij}；ネットワークを構成する路線の区間距離（ないとき　$l_{ij}=\infty$）．
S_{ij}；地点iから地点jへの路線の単位長さ当りの建設費（路線のないとき　$S_{ij}=0$）．

3．最適ネットワーク構成の解析

まず、建設費と容量の関係について本研究では、次のようにモデル化した。（図-1参照）

Case 1．　$S=\varphi(S_{ij})$　　φ：ステップ関数　　Case 2．　$S=\alpha_1\cdot S_{ij}$　　Case 3．　$S=\alpha_2\cdot S_{ij}+\beta$

ここで、Case 1は、実際のネットワーク構成を考える上で最も実用的であると考えられる。又Case 2,3は建設費と容量が比例する場合を示し、特にCase 3は、既存ネットワークに改良を加える場合と設定することができる。



図－1．区間交通量と単位長さ当りの区間建設費（図中の数値は計算例に採用したもの）

次に、これらの場合に対し、最初のネットワークからヒューリスティックにネットワークを改良して最適解に

できるだけ近づくような近似解を求める方法として以下に述べる3つの近似解法を提案した。

1. forward法（追加法）[1,2]　2. backward法（削除法）　3. 初期状態グラフからの改良法

1.2.の解法は、従来から広く用いられているもので、本研究ではこれに改良を与えた。すなわち、従来の方法にネットワーク改良評価指数（2つの目的関数の比 $P = T/d$）なる概念を導入し、ネットワークはその近傍グラフの中の P の最大なるネットワークに改良される。また、3.の解法は多段的な解法の1つと言えよう。以下に、この解法の簡単な手順を紹介する。

step 1. 全て1車線として建設費の許す限り最短路から順次路線を連結する。この時、どの地点も孤立しないように注意する。これが初期状態グラフ(g_0)で、この平均走行距離(d_0)と建設費(S_0)を計算する。ここで、

(a) $d_0 > \bar{d}$ ――→ step 2へ（入れ換えルーチン）　$\bar{d}$；制限平均走行距離

(b) $d_0 \leq \bar{d}$ ――→ step 3へ（近傍ルーチン）

step 2. g_0の入れ換えグラフを探索する。$d \leq \bar{d}$ となるグラフのうちTの最大なるグラフをg^*とする。(→step 3へ)

step 3. g^*の負の近傍グラフを探索する。d, Tを求め、$d \leq \bar{d}$ なるグラフのうち $T \geq T^*$ なるグラフがあれば、そのグラフをg^*とし、さらに負の近傍グラフを探索し $d > \bar{d}$ 又は $T < T^*$ となれば、この操作は終了する。そして、終了前のグラフが全体の解となる。

ここで近傍グラフとは、あるネットワークに路線を1本加えたグラフ(正の近傍グラフ)又は1本除いたグラフ(負の近傍グラフ)であり、入れ換えグラフとは、あるグラフにそのco-graphから路線を1本追加したグラフから他の路線を1本削除したグラフをいう。

4. 計算例と考察

表1 地点間距離 (km)

	1	2	3	4
1		7	6	4
2			5	9
3				5
4				

表2 (単位) OD交通量

	1	2	3	4
1		0.156	0.063	0.032
2			0.094	0.125
3				0.032
4				

表3 計算例の各グラフの数値（但し $S \leq S_c$ に限り、nはグラフ・ナンバーを示す）

n	T	d	p	n	T	d	p	n	T	d	p
1	8000	4.75	1684	11	5333	4.88	1094	21	4571	4.09	1117
2	5333	4.81	1108	12	5333	5.44	981	22	3556	4.31	825
3	5333	4.31	1237	13	5333	5.75	927	23	5333	3.75	1422
4	5333	4.25	1255	14	2667	6.91	605	24	4571	4.00	1143
5	5333	4.38	1219	15	4000	5.22	766	25	5333	4.34	1228
6	5333	4.50	1185	16	6400	4.53	1412	26	4000	4.19	955
7	3556	5.78	615	17	6400	3.66	1750	27	2667	5.13	520
8	5333	4.31	1237	18	5333	3.69	1446	28	4000	4.25	941
9	4000	5.31	753	19	4000	4.09	977	29	4000	4.13	970
10	4000	5.34	749	20	4571	4.38	1045				

表1, 2及び図-1に示す条件のときのモデル例に対し、3つの解法を適用した結果、それぞれ確実に最適解に近づくことがわかった。又、総移動距離を目的関数とした場合と同一結果が得られ、その計算量は表4に示す通りで従来の厳密解法とくらべ4～22%、近似解法とくらべても50～70%であった。次にcase 2, 3の場合、最適解として完全連結グラフが得られたが、これは以下のように証明された。すなわち、目的関数Tは、Case 2；　$T = \frac{\alpha_1 S_c}{d}$　(4)

Case 3；　$T = \frac{\alpha_2 S_c}{d} + \frac{\beta}{\Sigma g_{ij}}$　(5)　となり、α, β, S_cは定数であるので、Tはd及びΣg_{ij}の関数となる。ところが、それらの値は完全連結グラフに近づくほど小さくなるため、Tは最大となり、最適解となる。又表3に示すように、T, dをそれぞれ単独の目的関数とした場合の解（T最大はグラフNo.1，d最小はグラフNo.17）と本研究における評価指数Pの場合の解（グラフNo.17）は異なる。このように、T, dの両目標をできるだけ満足するような解を得るために指数Pは有効であり、このような考え方に立てば解法3が重要な役割を果たすということがわかった。

表4 各解法による計算量

解法名	4-vertex system		
	case1	case2	case3
forward法	13	14	14
backward法	10	—	—
初期状態グラフからの改良法	13	—	—

解法名	5-vertex system		
	case1	case2	case3
forward法	28	42	38
backward法	26	—	—
初期状態グラフからの改良法	16	—	—

以上のように、本研究において示されたような近似解法及び目的関数についてもその有効性が確認されたわけであるが、今後ネットワークの代表的パターンを考えることにより、さらに適確にネットワーク全体の最適解を探索する方法を考えていきたい。

参考文献　1) Scott, A.J ; The optimal network problem : some computational procedures, Transpn Res. vol.3, pp 201～210 (1969)

2) 西村・柿木「最適ネットワークに関する一考察」昭和48年度 土木学会関西支部 Ⅳ部