

学園線バスにおける最適路線網の構成について

吉 田 豊 穂

The Optimum Plan of the Network of the Gakuen Bus Line in Fukui City

Toyoho YOSHIDA

In this paper the optimum plan of the network of the Gakuen Bus Line was studied by using the O.D. tables. The optimum plan was chosen among thirteen kinds of those plans made by us except the present network, by reason of being of benefit to both the bus company and the passengers.

1 はじめに

本研究は国鉄福井駅前を起点として発車している福井市内バスについて、現在運行している13路線系統のうち1系統である学園線バスの路線網の構成を、乗客OD表を用いてその最適解を求めんとするものである。学園線バスの路線網については、現在5つの運行系統によって構成されているが、これらの系統の経路の変更を行ない、あるいはまた系統の分割、統合などを行なって、その組み合わせにより図-1のように13通りのバス路線網案を策定し、これを呈示する。第1案より第7案までは大循環系統と小循環系統の組み合わせ系統であり、また第8案より第13案までは大循環系統どうしを組合わせた系統である。ここで運行回数 k_3 の運行経路については、左に循環する一方向のみの運行経路であって、逆方向に循環するバス乗客OD表がないので、この経路は13案全部について設定しておく。本研究ではバス乗客OD表を用いて現行と13通りの路線網案について、最適運行回数、総走行料、平均乗車率の算定をなし、これにより経営者とバス利用者の双方にとって有利な路線網の決定を行なうものである。

2 計 算 例

第2案についての計算を示す。

(1) 最適運行回数

バス乗客OD表よりOD交通量を区間配分して区間乗客需要量を求めたのが図-2である。これによりバス1台あたりの平均乗車人員 $C = 24$ 人として線形計画法を用い、バス配車台数が最小となるよう運行回数を決定する。制限条件式と目的関数は次のとおり示せる。

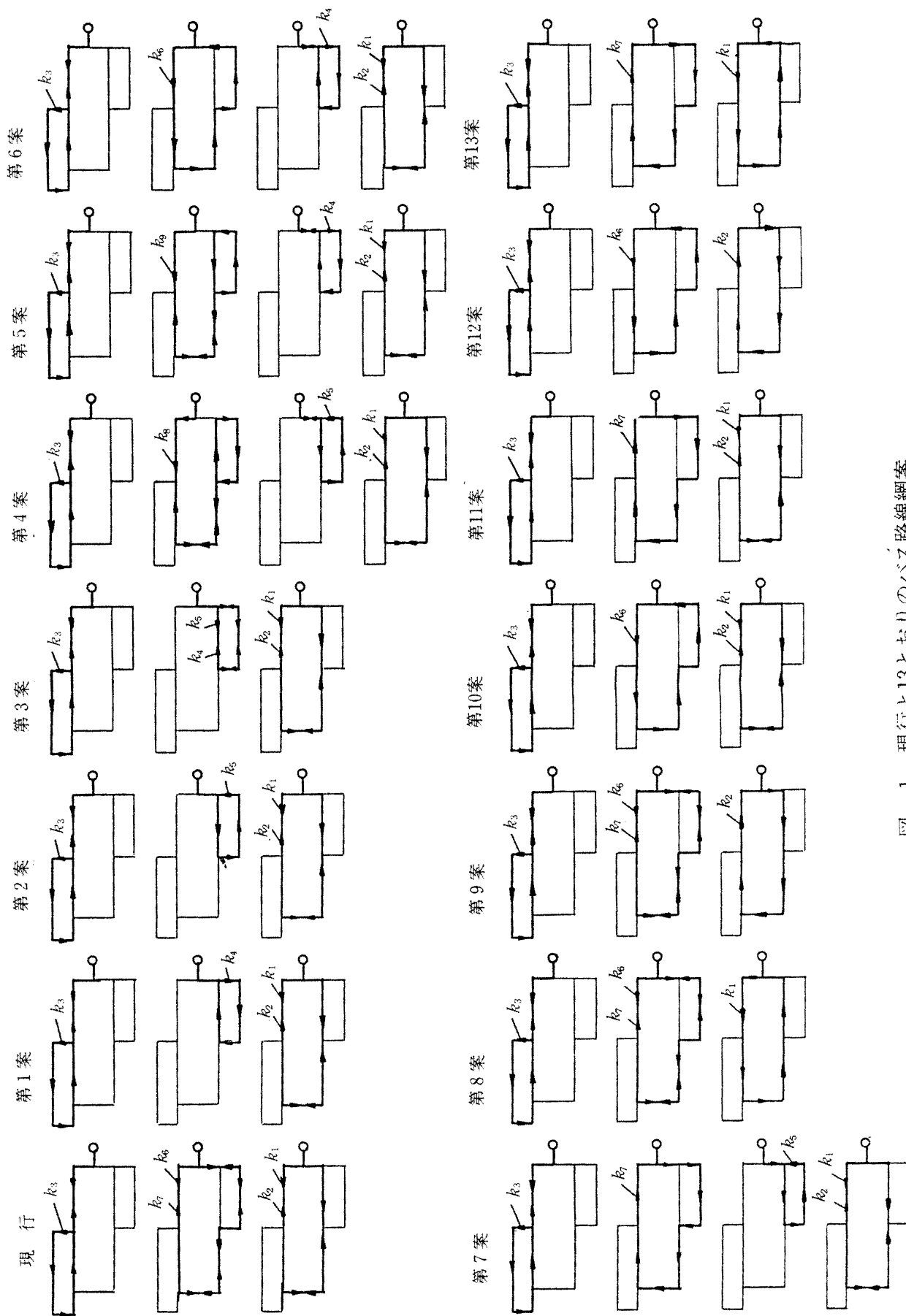
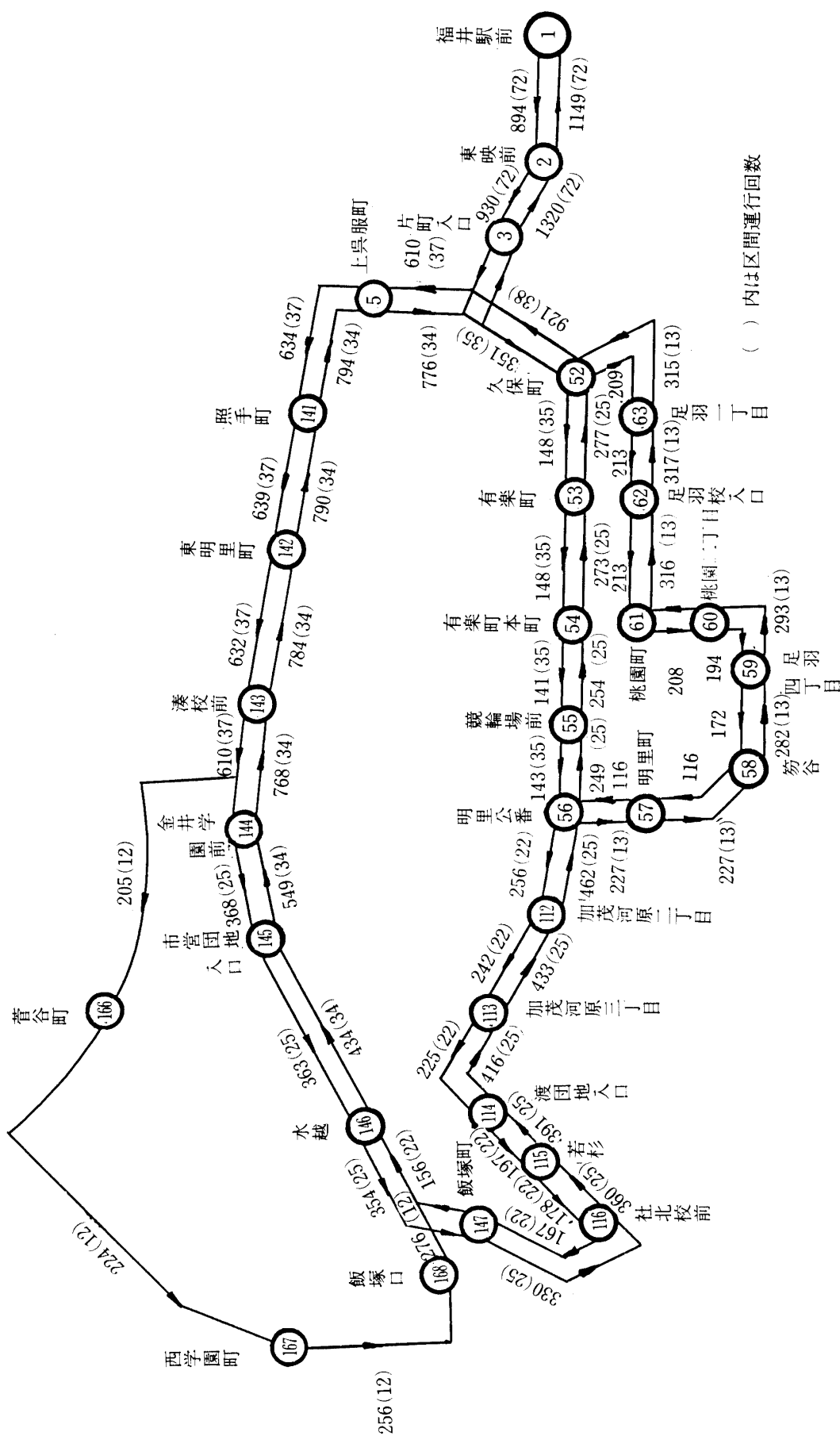


図-1 現行と13とおりのバス路線網案



図一 2 区間乗客需要量 (人), 区間運行回数 (回) (第 2 案)

制限条件式

$$Ck_1 + Ck_2 + Ck_3 + Ck_5 \geq 1,320 \text{人}$$

$$Ck_1 + Ck_3 \geq 639 \text{人}$$

$$Ck_1 + Ck_5 \geq 921 \text{人}$$

$$Ck_2 + Ck_3 \geq 794 \text{人}$$

$$Ck_2 + Ck_5 \geq 351 \text{人}$$

$$Ck_1 \geq 462 \text{人}$$

$$Ck_2 \geq 256 \text{人}$$

$$Ck_3 \geq 276 \text{人}$$

$$Ck_5 \geq 317 \text{人}$$

$$\text{目的関数 } f = k_1 + k_2 + k_3 + k_5 \rightarrow \min$$

ここで、上記の制限条件式中のCは24人であり、またこの制限条件式と目的関数は線形計画法の裏の問題であるから表の問題におきかえると式は次のように示すことができる。この場合には、不等号を取り去るため変数の $\lambda_1 \sim \lambda_4$ を入れて等式とすれば、

制限条件式

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_6 + \lambda_1 = 1$$

$$V_1 + V_4 + V_5 + V_7 + \lambda_2 = 1$$

$$V_1 + V_2 + V_4 + V_8 + \lambda_3 = 1$$

$$V_1 + V_3 + V_5 + V_9 + \lambda_4 = 1$$

目的関数

$$f = 55V_1 + 26.6V_2 + 38.4V_3 + 33.1V_4 + 14.6V_5 + 19.3V_6 + 10.7V_7 + 11.5V_8 + 13.2V_9 \rightarrow \max$$

上記の制限条件式と目的関数を表-1に示すようにSimplex Tableauをつくって計算をすすめるとf Tableauの λ_1 より λ_4 の行において運行回数の最適解がえられる。すなわち、 $k_1=25$ 回、 $k_2=22$ 回、 $k_3=12$ 回、 $k_5=13$ 回、合計72回である。この運行回数を用いて各区間に配分し、区間運行回数を算定したが、これを図-2の括弧書きにて示す。また各バス路線網案の最適運行回数については表-4のとおりである。

(2) 総 走 行 料

各経路ごとの運行回数にその経路の走行距離を乗じて合計すると総走行距離がえられる。

第2案については、

$$\ell_1 k_1 = 7.9\text{km} \times 25\text{回} = 197.5\text{km}$$

$$\ell_2 k_2 = 7.9\text{km} \times 22\text{回} = 173.8\text{km}$$

$$\ell_3 k_3 = 8.5\text{km} \times 12\text{回} = 102\text{km}$$

$$\ell_5 k_5 = 5.3\text{km} \times 13\text{回} = 68.9\text{km}$$

$$\text{総走行料 } L_2 = 542.2\text{km}$$

表-1 Simplex Tableau (第2案)

V_j	$V_j \rightarrow$	0	55	26.6	38.4	33.1	14.6	19.3	10.7	11.5	13.2	0	0	0	0	0	0	計	θ_i
V_j	変数 \rightarrow	S	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4				
0	λ_1	1	1	1	1			1				1						6	1
0	λ_2	1	1			1	1		1				1					6	1
0	λ_3	1	1	1		1				1				1				6	1
0	λ_4	1	1	1	1		1				1				1			6	1
	$Z_j - V_j$	0	-55	-26.6	-38.4	-33.1	-14.6	-19.3	-10.7	-11.5	-13.2	0	0	0	0	0	0	-222.4	
55 \rightarrow	V_1	1	1	1	1			1				1						6	
0	λ_2			-1	-1	1	1	-1	1			-1	1					0	
0	λ_3				-1	1	1	-1		1		-1		1				0	
0	λ_4			-1	-1	1	1	-1			1	-1			1			0	
	$Z_j - V_j$	55	0	28.4	16.6	-33.1	-14.6	35.7	-10.7	-11.5	-13.2	55						107.6	
55	V_1	1	1	1	1			1				1						6	
33.1 \rightarrow	V_4			-1	-1	1	1	-1	1			-1	1					0	
0	λ_3			1	1		-1		-1	1			-1	1				0	
0	λ_4			-1	-1		1	-1			1	-1			1			0	
	$Z_j - V_j$	55	0	-4.7	-16.5	0	18.5	2.6	22.4	-11.5	-13.2	21.9	33.1	0	0	0	0	107.6	
38.4 \rightarrow	V_3	1	1	1	1			1				1						6	
33.1	V_4	1	1			1		1	1				1					6	
0	λ_2			1	1		-1		-1	1			-1	1				0	
0	λ_4			-1	-1		1	-1			1	-1			1			0	
	$Z_j - V_j$	71.5	16.5	11.8	0	0	18.5	19.1	22.4	-11.5	-13.2	38.4	33.1	0	0	0	0	206.6	
38.4	V_3	1	1	1	1			1				1						6	
33.1	V_4	1	1			1		1	1				1					6	
0	λ_3			1	1		-1		-1	1			-1	1				0	
13.2 \rightarrow	V_9			-1	-1		1	-1			1	-1			1			0	
	$Z_j - V_j$	71.5	16.5	-1.4	0	0	31.7	5.9	22.4	-11.5	0	25.2	33.1	0	13.2	0	0	206.6	
38.4	V_3	1	1	1	1			1				1						6	
33.1	V_4	1	1			1		1	1				1					6	
11.5 \rightarrow	V_8			1	1		-1		-1	1			-1	1				0	
13.2	V_9			-1	-1		1	-1			1	-1			1			0	
	$Z_j - V_j$	71.5	16.5	10.1	0	0	20.2	5.9	10.9	0	0	25.2	21.6	11.5	13.2	0	0	206.6	

各バス路線網案について、各経路ごとの走行料の算出結果を表-2に示し、総走行料は表-4のとおりである。

(3) 平均乗車率

平均乗車率はバス路線網全体を評価基準としたものであり、これを式にあらわせば次のようになる。

$$\text{区間乗車率 } \lambda_i = \frac{\text{区間乗客需要量}}{\text{輸 送 能 力}} \times 100 = \frac{D_i}{C \cdot k_i} \times 100$$

$$\text{平均乗車率 } \bar{\lambda} = \frac{\sum \lambda_i \cdot k_i}{\sum k_i}$$

上記の式を用いて第2案について計算を示すと表-3のとおりであって、平均乗車率は63%である。各バス路線網案の平均乗車率を表-4に示す。

表-2 バス路線網案の運行回数による走行料の算定

運行経路の 走行距離 路線網案	$\ell_1=7.9\text{km}$		$\ell_2=7.9\text{km}$		$\ell_3=8.5\text{km}$		$\ell_4=5.3\text{km}$		$\ell_5=5.3\text{km}$		$\ell_6=8.9\text{km}$		$\ell_7=8.9\text{km}$		$\ell_8=14.2\text{km}$		$\ell_9=14.2\text{km}$	
	k_1	$\ell_1 k_1$	k_2	$\ell_2 k_2$	k_3	$\ell_3 k_3$	k_4	$\ell_4 k_4$	k_5	$\ell_5 k_5$	k_6	$\ell_6 k_6$	k_7	$\ell_7 k_7$	k_8	$\ell_8 k_8$	k_9	$\ell_9 k_9$
現 行	25	197.5	13	102.7	12	102					13	115.7	9	80.1				
第 1 案	30	360	22	173.8	12	102	9	47.7										
第 2 案	25	197.5	22	173.8	12	102			13	68.9								
第 3 案	19	150.1	22	173.8	12	102	9	47.7	13	68.9								
第 4 案	25	197.5	13	102.7	12	102			13	68.9					9	127.8		
第 5 案	30	237	8	63.2	12	102	9	47.7									13	184.6
第 6 案	16	126.4	22	173.8	12	102	9	47.7			13	115.7						
第 7 案	25	197.5	13	102.7	12	102			13	68.9			9	80.1				
第 8 案	25	197.5			16	136					13	115.7	15	133.5				
第 9 案			13	102.7	12	102					38	338.2	9	80.1				
第 10 案	25	197.5	22	173.8	25	212.5					12	106.8						
第 11 案	38	300.2	13	102.7	12	102							9	80.1				
第 12 案			22	173.8	12	102					38	338.2						
第 13 案	38	300.2			19	161.5							15	133.5				

表-3 平均乗車率 (第2案)

O	D	D_i	k_i	λ_i	$\lambda_i \cdot k_i$	O	D	D_i	k_i	λ_i	$\lambda_i \cdot k_i$
1	2	894	72	51.74	3,725	56	112	256	22	48.48	1,066.7
2	3	930	72	53.82	3,875	112	113	242	22	45.83	1,008.3
3	5	610	37	68.69	2,541.7	113	114	225	22	42.61	937.5
5	141	634	37	71.40	2,641.7	114	115	197	22	37.31	820.8
141	142	639	37	71.96	2,662.5	115	116	178	22	33.71	741.7
142	143	632	37	71.17	2,633.3	116	147	167	22	31.67	695.8
143	144	610	37	68.69	2,541.7	147	146	156	22	29.55	650
144	145	368	25	61.33	1,533.3	146	145	434	34	53.19	1,808.3
145	146	363	25	60.5	1,512.5	145	144	549	34	67.28	2,287.5
146	147	354	25	59.0	1,475	144	143	768	34	94.12	3,200
147	116	330	25	55.0	1,375	143	142	787	34	96.45	3,279.2
116	115	360	25	60.0	1,500	142	141	790	34	96.81	3,291.7
115	114	391	25	65.17	1,629.2	141	5	794	34	97.30	3,308.3
114	113	416	25	69.33	1,733.3	5	3	776	34	95.10	3,233.3
113	112	433	25	72.17	1,804.2	144	166	205	12	71.18	854.2
112	56	462	25	77.0	1,925	166	167	224	12	77.78	933.3
56	55	249	25	41.5	1,037.5	167	168	256	12	88.89	1,066.7
55	54	254	25	42.33	1,058.3	168	146	276	12	95.83	1,150
54	53	273	25	45.5	1,137.5	56	57	227	13	72.76	945.8
53	52	277	25	46.17	1,154.2	57	58	227	13	72.76	945.8
52	3	921	38	100.99	3,837.5	58	59	282	13	90.38	1,175
3	2	1,320	72	76.39	5,500	59	60	293	13	93.91	1,220.8
2	1	1,149	72	66.49	4,787.5	60	61	314	13	100.64	1,308.3
3	52	351	35	41.79	1,462.5	61	62	316	13	101.28	1,316.7
52	53	148	35	17.62	616.7	62	63	317	13	101.60	1,320.8
53	54	148	35	17.62	616.7	63	52	315	13	100.96	1,312.5
54	55	141	35	16.79	587.5	合 計			1,555		97,379.1
55	56	143	35	17.02	595.8	平均乗車率 $\bar{\lambda}_i = \frac{\sum \lambda_i \cdot k_i}{\sum k_i} = \frac{97,379.1}{1,555} = 62.62 \approx 63\%$					

表-4 バス路線網案の運行回数・総走行料・平均乗車率

路線網案	分類	運行回数(回)	総走行料(km)	平均乗車率(%)
現	行	72	598	60
第 1	案	73	683.5	58
第 2	案	72	542.2	63
第 3	案	75	542.5	65
第 4	案	72	598.9	60
第 5	案	72	634.5	56
第 6	案	72	565.6	64
第 7	案	72	551.2	65
第 8	案	69	582.7	62
第 9	案	72	623	55
第 10	案	84	690.6	51
第 11	案	72	585	57
第 12	案	72	614	53
第 13	案	72	595.2	55
平 均 値		72.9	600.5	58.9

3 最適バス路線網の算定

現行と13とおりのバス路線網案についての運行回数、総走行料、平均乗車率を示すと表-4のとおりである。経営者にとっては運行回数と総走行料は少なく、そして平均乗車率が高いほど有利である。バス利用者にとっては運行回数は多いほど有利であり、総走行料については運行回数が多くなればそれだけ総走行料数が伸びることになるから、一般的にいえば総走行料は大きいほど有利である。また平均乗車率は低いほど楽に乗車できるから有利となってくる。以上のことから考えると、経営者とバス利用者にとってはすべてについて利害関係が対立する。ここで、総走行料については、大循環系統もあれば小循環系統もあって、運行回数が多くなれば必ずしも運行回数に比例して増加するとも考えられないから、表-4の平均値600.5km以上の路線網案については削除する。したがって第1案、第5案、第9案、第10案、第12案がこれに該当するから、残りのバス路線網案について運行回数、総走行料、平均乗車率の3つを評価項目として最適バス路線網の算定を行なう。算定の方法として多規準分析法²⁾を用いる。これはフランスの数学者 B. Roy 等によって開発された ELECTRE 手法を、Nijkamp 等が修正を加えたもので、複数代替案の優位性を経済、社会、環境の諸側面から次元の異なる多数評価項目を用いて序列化しようとするものである。この方法では、評価値の取り扱いが定量的なものだけに限らず、定性的なものまで行なえるところに特徴がある。この手法によると、まず分析の手順としては表-4のバス路線網

案に対する計算値を各評価項目間で数値の大小により優位関係を統一する。例えば、運行回数を評価項目としたとき、その値が経営者にとっては小さいほど有利であるが、この反面バス利用者にとっては大きいほど有利である。多規準分析法では評価項目の値が大きいほど優位であるとして行われている。それゆえこの場合には、経営者の評価値は逆数の値に置きかえたり、基準化して1から引く等の便宜的な方法がとられているが、本研究では逆数の値に置きかえる。また各評価項目の値は異なった単位で表わされているから、このままでは各バス路線網案の優位性を比較することは困難である。そこで評価項目ごとに数値の尺度を揃えておく必要がある。尺度を統一するには種々の方法があるが、本研究では各評価項目の列和が1.0となるようにして解く。上記の手法にもとづいて、第2案の計算を示すと次のようになる。

経営者の評価値の計算

$$\text{運行回数 (小)} \quad \text{逆数} \quad \frac{1}{k_i} = \frac{1}{72} = 0.01389$$

列和を1.0000とするため

$$\frac{0.01389}{\text{逆数の合計}} = \frac{0.01389}{0.12505} = 0.1111$$

$$\text{総走行料 (小)} \quad \text{逆数} \quad \frac{1}{L_i} = \frac{1}{542.2} = 0.00184$$

列和を1.0000とするため

$$\frac{0.00184}{\text{逆数の合計}} = \frac{0.00184}{0.01571} = 0.1171$$

$$\text{平均乗車率 (大)} \quad \frac{\overline{\lambda_i}}{\Sigma \lambda_i} = \frac{63}{551} = 0.1143$$

バス利用者の評価値の計算

$$\text{運行回数 (大)} \quad \frac{k_i}{\Sigma k_i} = \frac{72}{648} = 0.1111$$

$$\text{総走行料 (大)} \quad \frac{L_i}{\Sigma L_i} = \frac{542.2}{5161.3} = 0.1051$$

$$\text{平均乗車率 (小)} \quad \text{逆数} \quad \frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{63} = 0.01587$$

列和を1.0000とするため

$$\frac{0.01587}{\text{逆数の合計}} = \frac{0.01587}{0.14745} = 0.1076$$

表一5 経営者とバス利用者との評価値

分類 評価項目 評価値	経営者の評価値						バス利用者の評価値													
	運行回数(回)		総走行量(km)		平均乗車率(%)		平均値	順位	運行回数(回)		総走行量(km)		平均乗車率(%)							
	逆数	評価値	逆数	評価値	逆数	評価値			逆数	評価値	逆数	評価値	逆数	評価値						
路線網案																				
現	0.01389	0.1111	0.00167	0.1064	0.1089	0.1088	6	0.1111	0.1159	0.01667	0.113	0.1133	4							
第2案	0.1389	0.1111	0.00184	0.1171	0.1143	0.1142	2	0.1111	0.1051	0.01587	0.1076	0.1079	8							
第3案	0.01333	0.1065	0.00184	0.1171	0.118	0.1139	3	0.1157	0.1051	0.01538	0.1043	0.1084	7							
第4案	0.01389	0.1111	0.00167	0.1063	0.1089	0.1088	7	0.1111	0.116	0.01667	0.1131	0.1134	3							
第6案	0.01389	0.1111	0.00177	0.1127	0.1162	0.1133	4	0.1111	0.1096	0.01563	0.106	0.1089	6							
第7案	0.01389	0.1111	0.00181	0.1152	0.118	0.1147	1	0.1111	0.1068	0.01538	0.1043	0.1074	9							
第8案	0.01449	0.1158	0.00172	0.1095	0.1125	0.1126	5	0.1066	0.1129	0.01613	0.1094	0.1097	5							
第11案	0.01389	0.1111	0.00171	0.1089	0.1034	0.1078	8	0.1111	0.1133	0.01754	0.119	0.1145	2							
第13案	0.01389	0.1111	0.00168	0.1069	0.0998	0.1059	9	0.1111	0.1153	0.01818	0.1233	0.1165	1							
合計	0.12505	1.0000	0.01571	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000	1.0000	0.14745	1.0000	1.0000								

4 ま と め

現行と各バス路線網案について、評価値の算定結果をまとめたのが表-5であり、これをグラフで図示すると図-3～図-5のとおりである。表-5と図-5とを見較べてみると、経営者とバス利用者との評価値の一致している値はなく、すべての路線網案について双方の利害関係が対立しており、妥協点は見いだせない。特に第13案に見受けられるようにバス利用者にとって一番有利な路線網は経営者にとっては一番不利となり、極端なる対立を示している。しかしながら、双方にとって利害得失を平均に受けとめるような路線網としては僅かに第8案に見受けられ、これが本文での最適バス路線網であり、次が第6案、現行、第4案の順と思われる。以上のように最適バス路線網の決定にあたり、各バス路線網案に対して運行回数、総走行料、平均乗車率の3つを評価項目として多規準分析法を用いて算定した。しかしながら評価をする際には評価項目間で優位性による重みが必要である。しかしながら、この重みのつけ方には種々義論もあるので、ここではこの重みをつけないで同値と見做して論述すると以上のとおりである。

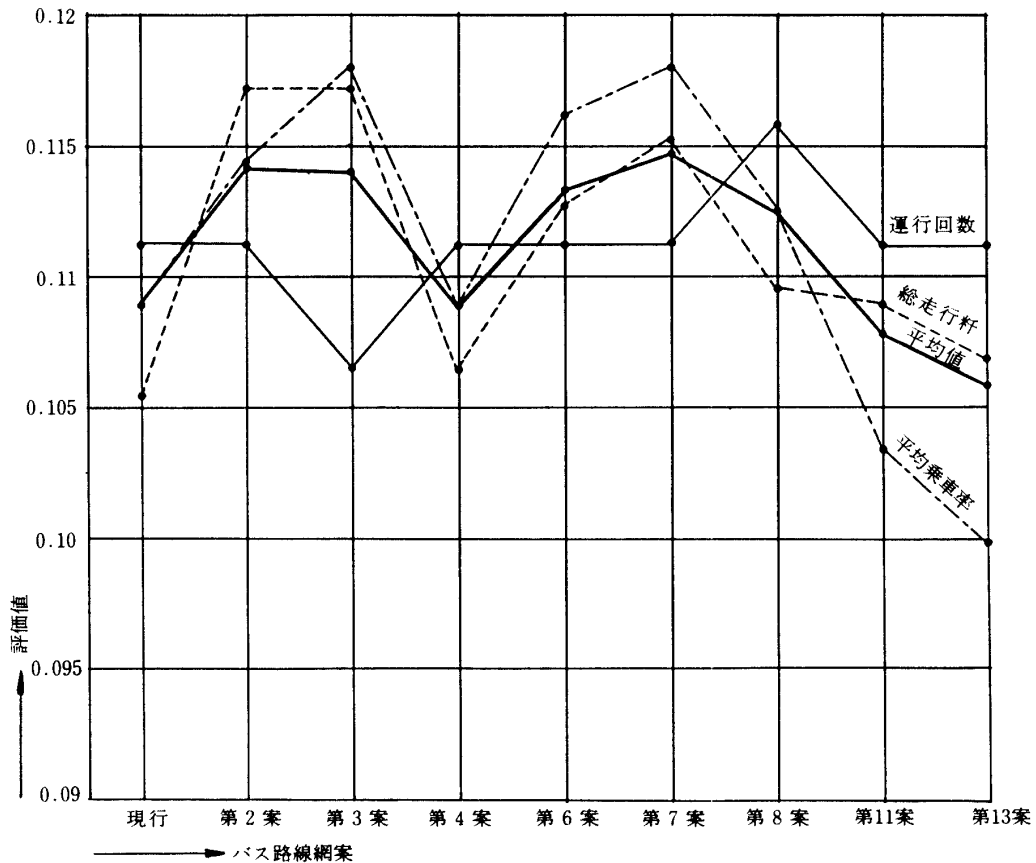


図-3 経営者の評価値グラフ

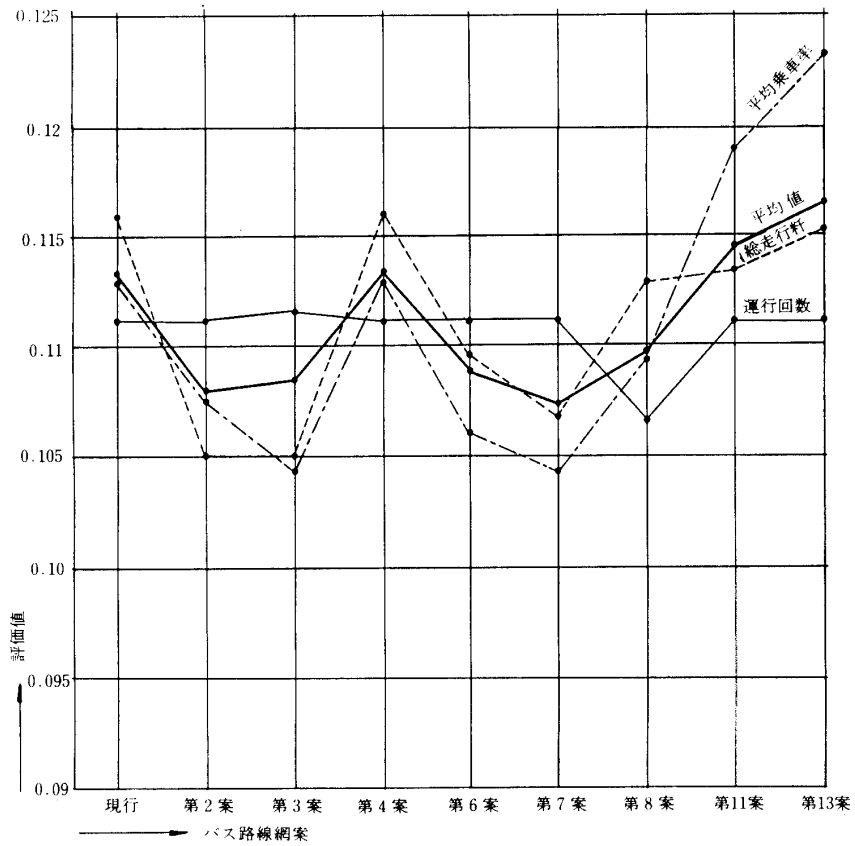


図-4 バス利用者の評価値グラフ

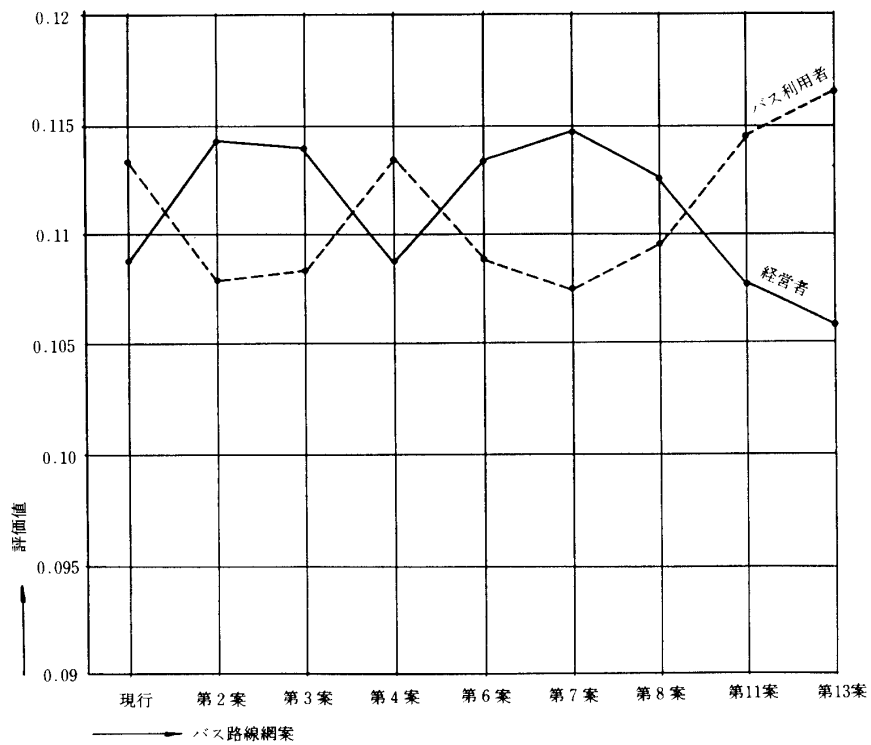


図-5 経営者とバス利用者との評価値グラフ

謝 辞

終りに本研究につきましては、終始懇切な御指導を給われました金沢大学工学部建設工学教室
工博 飯田恭敬教授に対しまして深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 吉田：学園線バスにおける最適運行回数について。福井工大研究紀要第14号1984. 10
- 2) 飯田恭敬著：土木建設工学のためのシステム計画手法