

乗客待時間を用いた列車運行本数の最適化について

吉 田 豊 穂

The Optimum Plan for Train Line Timetable as It Affects Passenger Waiting'-Time

Toyoho YOSHIDA

In this paper the optimum plan for the train line time-table was studied by using the waiting-time of passengers at the station getting on the trains.

The optimum plan was based on information about the Fukubu Line from Takefu city to Fukui city (Fukui Railway Company) and the waiting-time in Fukui-shin station when each Express-train stopped was recorded.

It is useful for both the user and the railway company that the waiting-time be as short as possible, so this research studied the optimum plan for this train line by using the minimum waiting-time.

1. はじめに

本研究は列車に乗車するため駅へ到着してから乗車するまでの乗客待時間を用いて列車運行本数の最適化を計らんとするものである。利用者にとっては駅へ到着してからすぐに乗車できるのが便利であり、待時間は少ないほど好ましい。また会社側にとっては乗客待時間が少ないというとは運行ダイヤが乗客流動に適合しているからであって、これがひいては最適運行本数につながる。乗客待時間の調査の対象としたのは福井県の武生市と福井市間をピストン輸送している福井鉄道株式会社福武線である。

2. 福武線の概要について

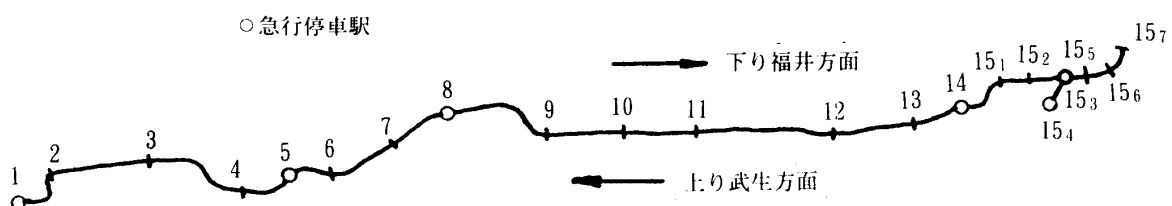


図1 福武線

福武線は図1と表1のように、急行列車は①武生新駅を起点として発車し、⑤福井市役所前で折返して⑤福井駅前駅へ入っているが、ここが終点である。帰りはこの逆方向をとっている。普通列車は①武生新駅を起点として発車し15₇田原町駅が終点であり、帰りは⑤福井駅前駅を経由して①武生新駅へもどっている。福井市へ向かう方向が下りであり、武生市へ向かう方向が上りである。昭和59年10月30日(火)調査の下り普通列車のOD表を表2に示すが、これには通勤と通学定期客は含まれていない。定期外旅客といって普通乗車券と回数乗車券のOD表である。ここで⑮-⑮の34人は15₁より15₇までの福井市内軌道線のODを示す。現行運行本数は急行列車は下り20本、上り19本、普通列車は下り、上りとも31本となっている。

表1 駅名と停留場名

No.	駅名	停留場名
①	武生新	
2	西武生	
3	家久	
4	上鯖江	
⑤	西鯖江	
6	西山公園	
7	水落	
⑧	神明	
9	鳥羽中	
10	三十八社	
11	浅水	
12	江端	
13	花堂	
⑭	福井新	
15 ₁		木田四ツ辻
15 ₂		公園口
⑮		市役所前
⑮	福井駅前	
15 ₅		裁判所前
15 ₆		松本通り
15 ₇	田原町	

3. 乗客待時間の調査について

調査には急行列車と普通列車が停車する駅を対象としなければならないから、急行列車停車駅では普通列車も停車しているので急行列車停車駅を調査の対象とした。ここで①武生新駅と⑧神明駅では、鉄道線の南越線と鯖浦線が廃

表2 下り普通列車のOD表

昭和59年10月30日調査・○は急行列車停車駅

着駅 発駅	①	2	3	4	⑤	6	7	⑧	9	10	11	12	13	⑭	⑮	計			
①		4	43	23	62	8	8	43	10	1	5	8	4	28	21	268			
2			8	6	6	3	2	14	2		1	4	1	3	29	79			
3				11	5	2	1	9			2			8	14	52			
4					5	1		12	4			1	6	7	7	43			
⑤						3	9	53	12	2	7	4	4	13	66	173			
6							2	16	5		2	1	2	1	28	57			
7								8	2		3	2		1	9	25			
⑧									9	2	12	9	7	14	137	190			
9											2	4	2	1	29	38			
10														2	26	28			
11															17	8	19	156	200
12															7	61	68		
13															1	15	16		
⑭																88	88		
⑮																34	34		
計		4	51	40	78	17	22	155	44	5	34	50	34	105	720	1359			

線バス化されたので、バスの降車客は3分の待合せで列車に乗継ぎできるようバスダイヤが編成されている。また⑤西鯖江駅では郊外バスが駅前へ乗入れて列車に接続しているので一度に多くの降車客がある。また④福井市役所前停留場と④福井駅前駅では車道上に設けた安全地帯より列車に乗降しているため、安全地帯を通過して道路を横断する歩行者もあり、乗車客か歩行者の判別がしにくいなどのことから、駅前までバスの乗り入れのない④福井新駅を調査の対象とした。昭和61年10月1日(木)に④福井新駅において午前と午後に分け、下りと上りについて急行列車8本と普通列車8本の乗客待時間の調査を実施した。これを表3と表4に示す。

表3 乗客待時間調査の対象列車

調査駅 ④福井新駅
調査日 昭和61年10月1日(晴)

区別	下り福井方面行発車時刻	上り武生方面行発車時刻
午前	急行 8:53	急行 8:51
	普通 9:19	普通 9:01
	急行 9:23	急行 9:21
	普通 9:49	普通 9:32
午後	急行 14:23	急行 13:51
	普通 14:49	普通 14:03
	普通 15:19	普通 14:33
	急行 15:23	急行 14:51

表4 乗客待時間調査

方向別	発車時刻	乗客到着時間	人数(人)	待時間(分)	人数の計(人)	待時間の計(分)
下り列車	急行 8:53 (3分延着, 56分発)	8:50	1	6	2	8
		8:54	1	2		
	普通 9:19 (1分延着, 20分発)	9:15	1	5	2	9
		9:16	1	4		
	急行 9:23	9:19	1	4	2	7
		9:20	1	3		
	普通 9:49	9:40	2	9	5	21
		9:44	1	5		
9:45		1	4			
急行 14:23	9:46	1	3	2	13	
	14:15	1	8			
普通 14:49	14:18	1	5	3	30	
	14:33	1	16			
普通 15:19	14:35	2	14	4	28	
	15:00	3	19			
急行 15:23	15:10	1	9	1	4	
	15:19	1	4			
上り列車	急行 8:51 (3分延着, 54分発)	8:45	1	9	4	30
		8:46	1	8		
		8:47	1	7		
		8:48	1	6		
	普通 9:01		0	0	0	0
	急行 9:21	9:15	1	6	4	13
		9:17	1	4		
	普通 9:32	9:18	2	3	6	29
		9:21	1	11		
		9:22	1	10		
		9:25	1	7		
		9:31	2	1		
急行 13:51	9:32	1	0	1	6	
	13:45	1	6			
普通 14:03	13:45	1	18	5	45	
	13:47	2	16			
	13:55	1	8			
	14:00	1	3			
普通 14:33	14:05	1	28	5	40	
	14:23	2	10			
	14:31	2	2			
急行 14:51	14:41	1	10	2	18	
	14:43	1	8			

表4の乗客待時間を集計すると表5のとおりになる。ここで急行列車の下りと上り、普通列車の下りと上りの待時間はそれぞれ相違するが、下りと上りを統一し、急行列車と普通列車の待時間として、1人平均待時間としたものである。表6は下りと上りについて急行列車と普通列車の総待時間を示したものであり、OD表の乗車人員に1人平均待時間を乗じて求めたものであって、これが本研究の最適運行本数を算定する基準となる値を示す。

表5 1人平均待時間

列車種別	方向別	乗車人員(人)	待時間(分)	乗車人員計(人)	待時間計(分)	1人平均待時間(分)
急行列車	下り	7	32	18	99	5.5
	上り	11	67			
普通列車	下り	14	88	30	202	6.7
	上り	16	114			

表6 総待時間

方向別	列車種別	現行運行本数(本)	乗車人員(人)	1人平均待時間(分)	総待時間(分)
下り	急行列車	20	882	5.5	4,851
	普通列車	31	1,359	6.7	9,105.3
上り	急行列車	19	667	5.5	3,668.5
	普通列車	31	1,685	6.7	11,289.5

4. 評価方法について

最適運行本数の総合評価については下り急行列車+普通列車、上り急行列車+普通列車として行なう。現在の運行所要時間は急行列車は1往復するのに1時間14分(74分)であり、普通列車は1時間53分(113分)である。すなわち、その比率は急行列車1本に対して普通列車1.5本分になる。このことは急行列車3本の運行本数に見合うのは所要時間からすれば普通列車は2本である。そこで下りと上りについて急行列車と普通列車の運行本数の変化の組合せを考えてみよう。現行運行本数は急行列車は下り20本、上り19本、普通列車は下り、上りとも31本であるから、この運行本数を基準とすれば表7が考えられる。

表7 急行列車と普通列車の運行本数の組合せ

組合せ (下り, 上り)	急行列車(本)	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
		普通列車(本)	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21

表7の急行列車と普通列車の運行本数の組合せのもとにおける待時間の計算を行なう。表6によると下り列車は急行20本で総待時間は4,851分、普通31本で9,105.3分、上り列車は急行19本で3,668.5分、普通31本で11,289.5分である。この運行本数と総待時間と基準として、これより運行本数が多くなれば待時間は小さくなり、運行本数が少なくなれば待時間は大きくなるとして比

例配分して求めると、運行本数の増大に伴って待時間は次第に減少しゼロとかマイナスが生じてくる。例えば下り急行列車20本を40本に増大させると待時間はゼロとなり、それ以上に増大するとマイナスになってしまつて非現実的なものとなる。列車時間間隔は3分間程度が最小限度といわれているから列車に乗車するときには3分間の待時間は必要である。そこで次のように考えて運行本数に応じた急行列車と普通列車の待時間を求めることにする。一般式としては、運行本数が k 倍になれば待時間は $(\frac{1}{k})^a$ になると考える。例えば重み係数 $a=1.00$ とすると運行本数が2倍になったときは待時間は1/2となる。急行列車と普通列車の基準運行本数が r_0 と l_0 のとき、総待時間を $w^1(r_0)$ 、 $w^2(l_0)$ とすると、運行本数がそれぞれ r 、 l と変更されたときの総待時間 $w^1(r)$ 、 $w^2(l)$ は次式でえられる。

$$w^1(r) = w^1(r_0) \left(\frac{r_0}{r}\right)^a \quad (\text{急行列車}) \quad (1)$$

$$w^2(l) = w^2(l_0) \left(\frac{l_0}{l}\right)^a \quad (\text{普通列車}) \quad (2)$$

a : 重み係数

ここで、式(1)、(2)において、 a の基準値を1.00と考えると、 a の値を基準値より変化させることによって最適運行本数にどのように感応するのか調べるために付した。

[計算例]

下り列車、急行2本、普通43本、 $a=0.50$

$$w^1(r=2) = 4,851 \left(\frac{20}{2}\right)^{0.50} = 4,851 \times 3.1623 = 15,340 \text{分}$$

$$w^2(l=43) = 9,105.3 \left(\frac{31}{43}\right)^{0.50} = 9,105.3 \times 0.8491 = 7,731 \text{分}$$

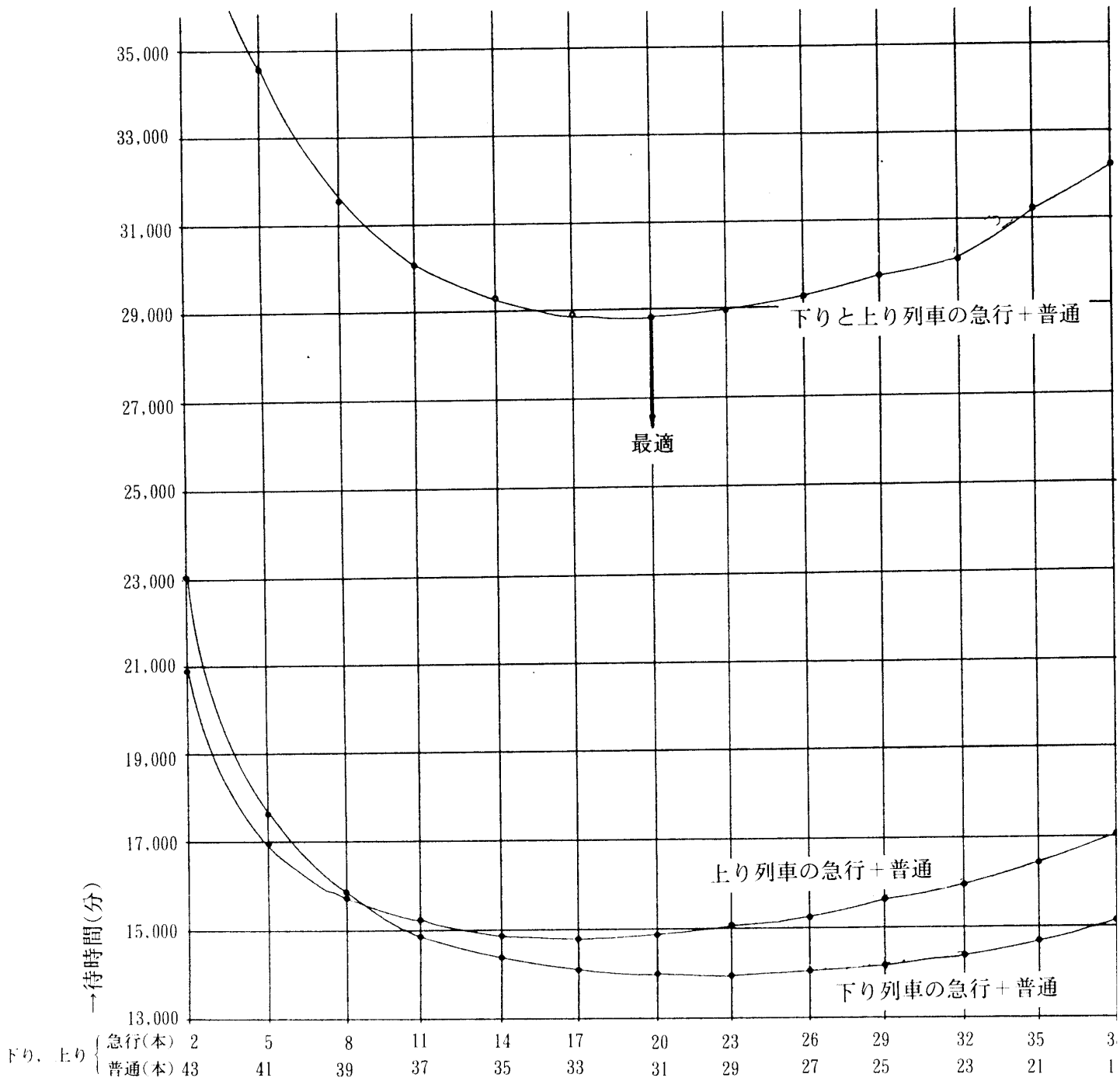
上り列車、急行38本、普通19本、 $a=0.50$

$$w^1(r=38) = 3,668.5 \left(\frac{19}{38}\right)^{0.50} = 3,668.5 \times 0.7071 = 2,594 \text{分}$$

$$w^2(l=19) = 11,289.5 \left(\frac{31}{19}\right)^{0.50} = 11,289.5 \times 1.2773 = 14,420 \text{分}$$

5. ま と め

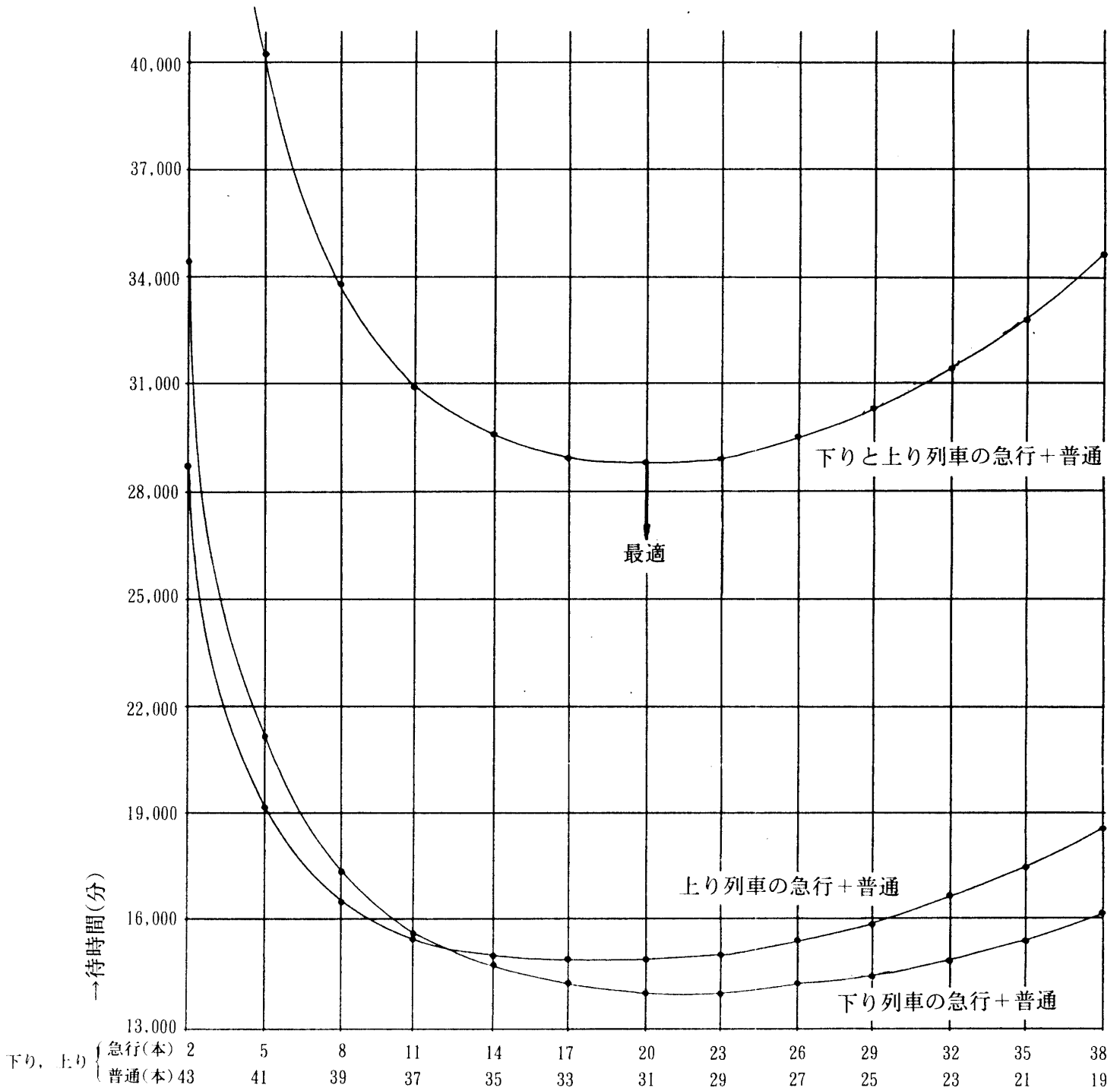
式(1)、(2)により急行列車と普通列車について、基準運行本数とその総待時間とにより $a=0.50$ 、 0.75 、 1.00 、 1.25 、 1.50 まで重みをつけて計算を行なったが、これをグラフで図示すると図2より図6までのとおりである。最適運行本数をみいだすにはこれらの図において下りと上り列車の急行+普通の待時間最小値が最適運行本数と思われる。 a の値を変化させてみたが、すべての組合せにおいて待時間の最小値を示しているのは急行列車20本と普通列車31本である。また表8によると、下りと上り列車について、急行と普通の組合せが17本と33本、20本と31本、23本と29本



組合せ	急行(分)	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
	普通(分)	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19
下り列車	急行待時間(分)	15.340	9.702	7.670	6.541	5.798	5.262	4.851	4.524	4.255	4.029	3.835	3.667	3.519
	普通待時間(分)	7.731	7.917	8.118	8.334	8.569	8.825	9.105.3	9.414	9.756	10.139	10.571	11.063	11.630
	待時間計(分)	23.071	17.619	15.788	14.875	14.367	14.087	13.956.3	13.938	14.011	14.168	14.406	14.730	15.149
上り列車	急行待時間(分)	11.307	7.151	5.654	4.821	4.274	3.878	3.576	3.334	3.136	2.969	2.827	2.703	2.594
	普通待時間(分)	9.586	9.817	10.065	10.333	10.625	10.942	11.289.5	11.672	12.097	12.572	13.107	13.717	14.420
	待時間計(分)	20.893	16.968	15.719	15.154	14.899	14.820	14.866	15.006	15.233	15.541	15.934	16.420	17.014
下りと上り列車の待時間の計(分)	43.964	34.587	31.507	30.029	29.266	28.907	28.822.3	28.944	29.244	29.709	30.340	31.150	32.163	

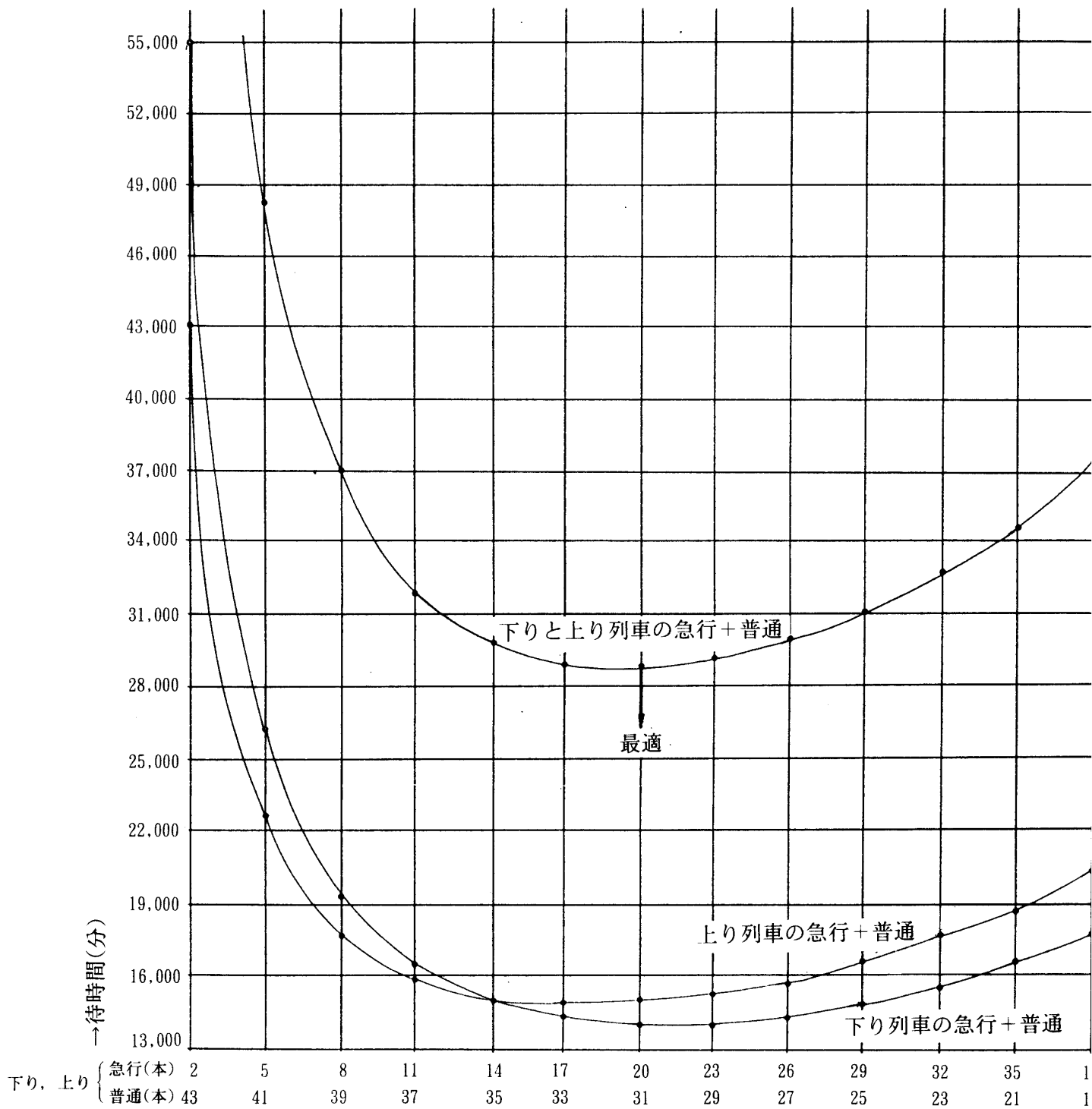
図-2 待時間による最適運行本数グラフ $\alpha = 0.50$

乗客待時間を用いた列車運行本数の最適化について



組合せ	急行(分)	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
	普通(分)	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19
下り列車	急行待時間(分)	27,279	13,721	9,645	7,596	6,339	5,480	4,851	4,368	3,984	3,671	3,410	3,188	2,998
	普通待時間(分)	7,124	7,383	7,665	7,974	8,313	8,688	9,105.3	9,572	10,099	10,699	11,390	12,194	13,145
	待時間計(分)	34,403	21,104	17,310	15,570	14,652	14,168	13,956.3	13,940	14,083	14,370	14,800	15,382	16,143
上り列車	急行待時間(分)	19,851	9,984	7,018	5,527	4,612	3,988	3,530	3,179	2,900	2,672	2,481	2,320	2,181
	普通待時間(分)	8,833	9,154	9,504	9,887	10,307	10,772	11,289.5	11,869	12,522	13,266	14,122	15,119	16,298
	待時間計(分)	28,684	19,138	16,522	15,414	14,919	14,760	14,820	15,048	15,422	15,938	16,603	17,439	18,479
下りと上り列車の待時間の計(分)		63,087	40,242	33,832	30,984	29,571	28,928	28,776.3	28,988	29,505	30,308	31,403	32,821	34,622

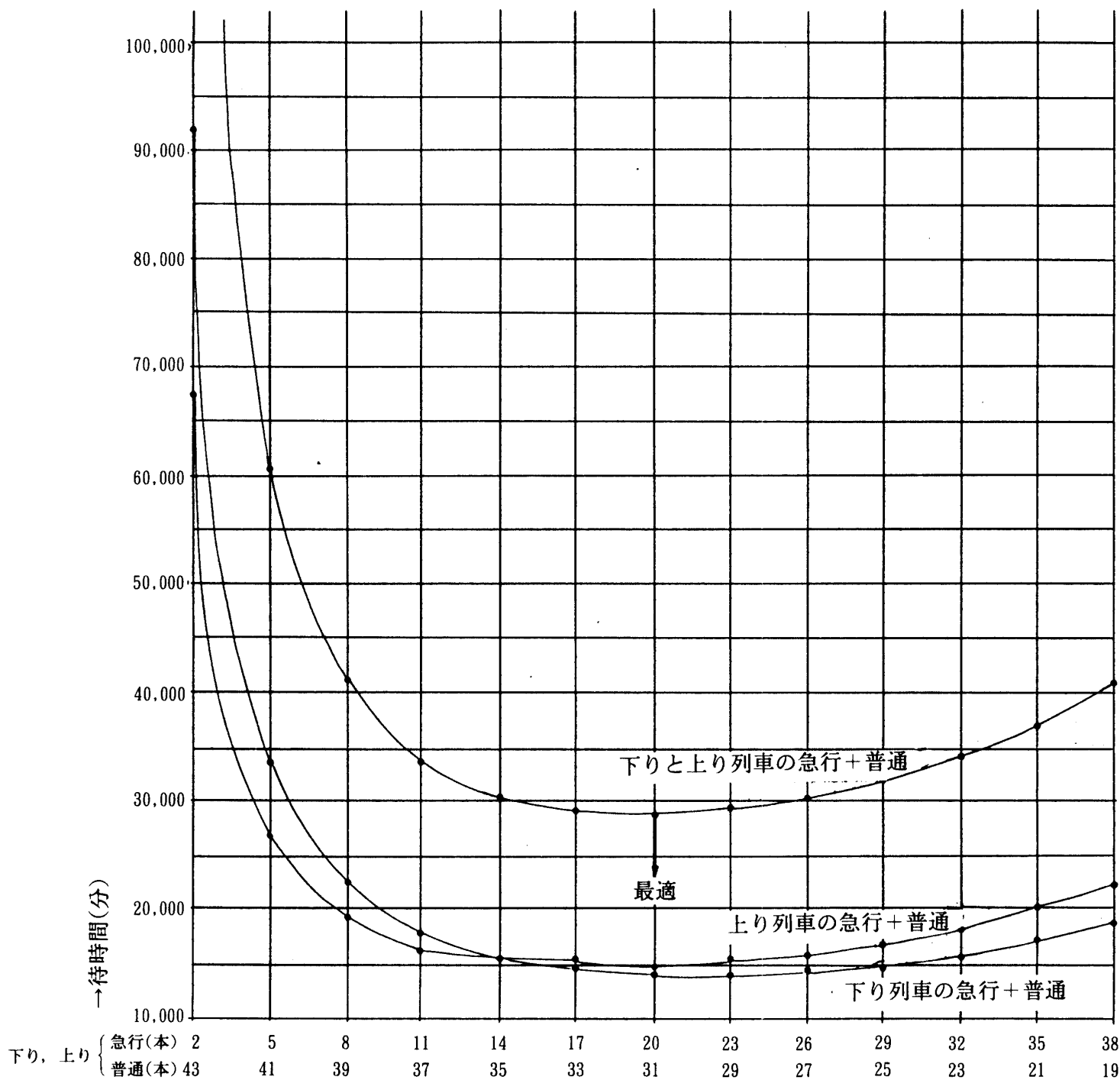
図-3 待時間による最適運行本数グラフ $\alpha = 0.75$



組合せ	急行(分)	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
	普通(分)	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19
下り列車	争行待時間(分)	48.510	19.404	12.128	8.820	6.930	5.707	4.851	4.218	3.732	3.346	3.032	2.772	2.553
	普通待時間(分)	6.564	6.885	7.238	7.629	8.065	8.553	9.105.3	9.733	10.454	11.291	12.272	13.441	14.856
	待時間計(分)	55.074	26.289	19.366	16.449	14.995	14.260	13.956.3	13.951	14.186	14.637	15.304	16.213	17.409
上り列車	急行待時間(分)	34.851	13.940	8.713	6.337	4.979	4.100	3.485	3.031	2.681	2.404	2.178	1.991	1.834
	普通待時間(分)	8.139	8.536	8.974	9.459	9.999	10.605	11.289.5	12.068	12.962	13.999	15.216	16.665	18.420
	待時間計(分)	42.990	22.476	17.687	15.796	14.978	14.705	14.774.5	15.099	15.643	16.403	17.394	18.656	20.254
下りと上り列車の待時間の計(分)	98.064	48.765	37.053	32.245	29.973	28.965	28.730.8	29.050	29.829	31.040	32.698	34.869	37.663	

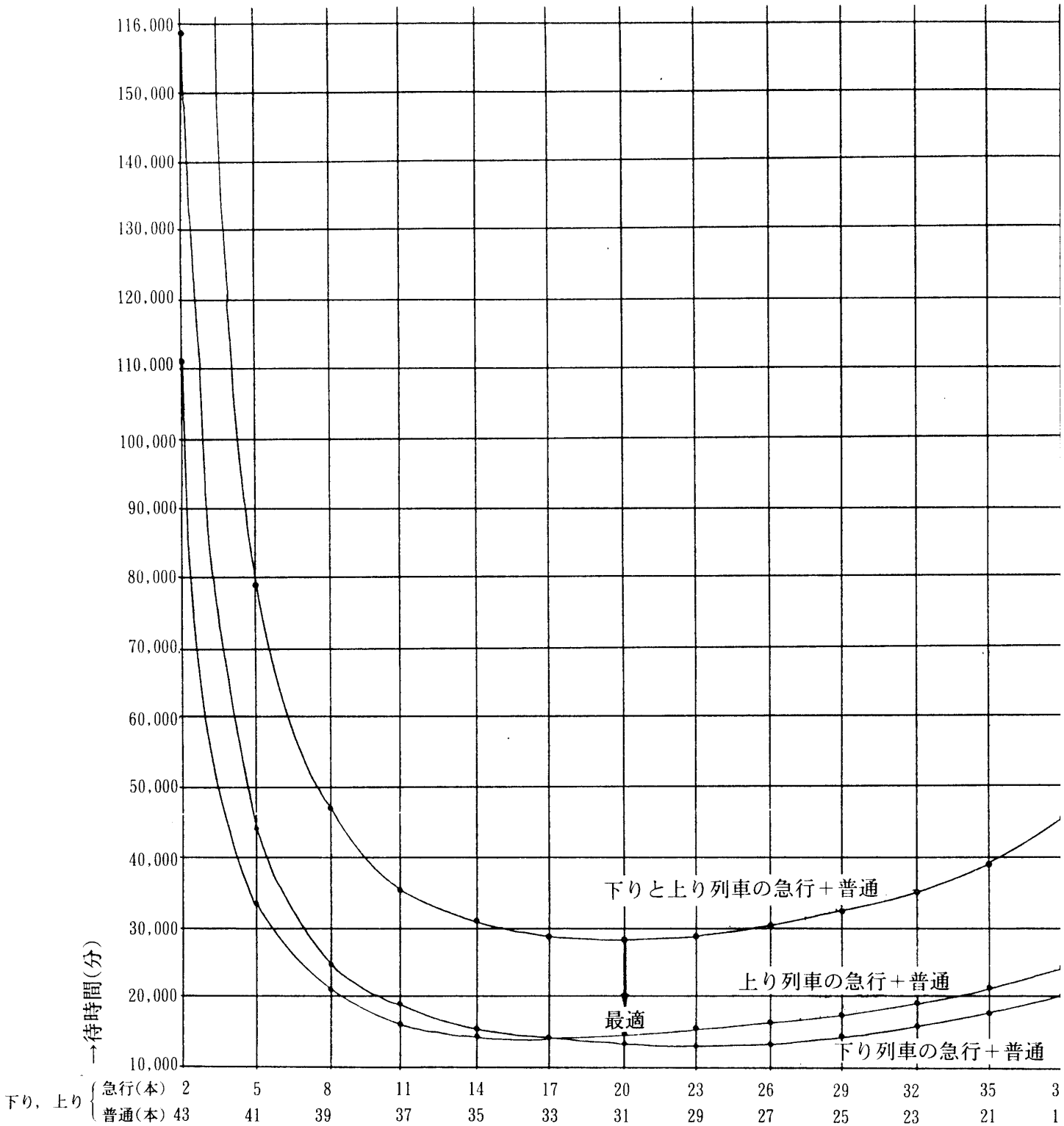
図-4 待時間による最適運行本数グラフ $\alpha = 1.00$

乗客待時間を用いた列車運行本数の最適化について



組合せ	急行(分)	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
	普通(分)	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19
下り列車	急行待時間(分)	86,264	27,441	15,250	10,242	7,576	5,944	4,851	4,073	3,495	3,049	2,696	2,410	2,175
	普通待時間(分)	6,049	6,420	6,834	7,299	7,824	8,421	9,105.3	9,897	10,822	11,914	13,223	14,816	16,790
	待時間計(分)	92,313	33,861	22,084	17,541	15,400	14,365	13,956.3	13,970	14,317	14,963	15,919	17,226	18,965
上り列車	急行待時間(分)	60,408	19,216	10,679	7,172	5,305	4,162	3,441	2,852	2,447	2,135	1,888	1,688	1,523
	普通待時間(分)	7,500	7,960	8,473	9,050	9,700	10,441	11,289.5	12,271	13,418	14,772	16,395	18,370	20,818
	待時間計(分)	67,908	27,176	19,152	16,222	15,005	14,603	14,730.5	15,123	15,865	16,907	18,283	20,058	22,341
下りと上り列車の待時間の計(分)		160,221	61,037	41,236	33,763	30,405	28,968	28,686.8	29,093	30,182	31,870	34,202	37,284	41,306

図-5 待時間による最適運行本数クラフ $a = 1.25$



組合せ	急行(分)	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
	普通(分)	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19
下り列車	急行待時間(分)	153.402	38.808	19.175	11.893	8.283	6.190	4.851	3.934	3.273	2.779	2.397	2.095	1.852
	普通待時間(分)	5.574	5.986	6.453	6.983	7.590	8.290	9.105.3	10.063	11.202	12.573	14.248	16.331	18.976
	待時間計(分)	158.976	44.794	25.628	18.876	15.873	14.480	13.956.3	13.997	14.475	15.352	16.645	18.426	20.828
上り列車	急行待時間(分)	107.417	27.175	13.427	8.328	5.800	4.335	3.397	2.754	2.292	1.945	1.678	1.467	1.297
	普通待時間(分)	6.911	7.422	8.001	8.658	9.411	10.279	11.289.5	12.477	13.889	15.589	17.665	20.248	23.528
	待時間計(分)	114.328	34.597	21.428	16.986	15.211	14.614	14.686.5	15.231	16.181	17.534	19.343	21.715	24.825
下りと上り列車の待時間の計(分)		273.304	79.391	47.056	35.853	31.084	29.094	28.642.8	29.228	30.656	32.886	35.988	40.141	45.653

図-6 待時間による最適運行本数グラフ $\alpha = 1.50$

をとりだして待時間の変化を調べてみたが、17本と33本、それに23本と29本では α の値の増加に伴って待時間は漸増していく傾向を示しているが、20本と31本では逆に減少していく傾向を示している。以上のことから下り、上りとも急行列車20本と普通列車31本が本文での最適運行本数といえよう。

表8 下りと上り列車の待時間 (分)

組 合 せ	急行列車(本)	17	20	23
	普通列車(本)	33	31	29
待時間, $\alpha =$	0.50	28,907	28,822.3	28,944
	0.75	28,928	28,776.3	28,988
	1.00	28,965	28,730.8	29,050
	1.25	28,968	28,686.8	29,093
	1.50	29,094	28,642.8	29,228
	計	144,862	143,659	145,303

本研究では通勤、通学者も含めたOD表がえられず、普通乗車券と回数乗車券の利用者を対象として最適運行本数について論述した。JRやその他私鉄各社においては駅の乗降人員や会社全体での乗降人員の発表は公表しているが、ODすなわちどの駅からどの駅まで何人乗車して何人降車したかというような発表はなく、社外秘扱とされている。ここに普通乗車券と回数乗車券利用者のOD表が入手できたので述べてみたが、圧倒的に多い通勤、通学者のOD抜きでの研究であったので、最適運行本数の決定方法について一つのモデルケースとして呈示した。

終りに本研究につきましては、終始懇切な御指導をいただきました京都大学工学部交通土木工学教室、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。