

京都市における自動車の走行サイクルについて

—自動車排気による大気汚染の研究—

THE DRIVING CYCLE IN THE METROPOLITAN AREA OF KYOTO CITY

—Study on the Air Pollution due to Automobile Exhaust—

庄 司 光*・西 田 耕之助**・石 川 義 紀***
By Hikaru Shoji, Kōnosuke Nishida and Yoshinori Ishikawa

1. 緒 言

大気中の光化学作用によってロスアンゼルス スモッグが発生すること¹⁾²⁾が明らかにされて以来、都市大気の大気汚染源として自動車排気に大きな関心が寄せられた³⁾。すなわち、カリフォルニアでは 1940 年の大気を標準とした基準 (Air Quality Standard, オキシダント; 0.15 ppm/h, CO; 30 ppm/8 h, または 120 ppm/h) が 1959 年に定められ、汚染の激しいロスアンゼルス の 1970 年の大気状態を基準レベルにまで清浄化することを目標として排出規制がされるに至った⁴⁾。

自動車排気については平均排出濃度の測定、ならびに Rollback 法や Indicator 法⁵⁾にもとづく目標減少係数 (炭化水素: 80%, CO: 60%) から、1960 年に自動車排気についての排出基準 (炭化水素として n-hexane: 275 ppm, CO: 1.5%) が制定された⁶⁾。これにはカリフォルニアでの走行調査⁷⁾から自動車の平均的走行パターンとして 11 の速度条件 (運転モード) の時間比が示され、排気濃度の平均濃度もこれにもとづいて示された。その後、排気濃度の測定法にたいする検討とともに排出規準はしだいに強化されようとしている⁸⁾。

1960 年のカリフォルニア基準では自動車の運転条件のつながりについては何んら指示されておらず、規定された 11 個の運転条件をつないで 1 つの走行サイクル (アイドルからアイドルまで) を形成することができない。そこで、各モードの間に適当な走行条件、すなわち転換モードを挿入した組合わせについて検討がなされた。その結果、カリフォルニアでの走行パターンならびに基準に示されたモードの時間分布にもっとも近いものを選んで標準走行サイクルとされ、排気濃度および制御装置の性能測定の基準とされた⁹⁾。さらに、4 つのモードを削除して 7 モードからなる走行サイクルがつけられるのと平行して、エンジンの温度や実際の自動車の使用状態などの点からウォーム アップ サイクル (cold cycle) なら

びにホット サイクルについての測定が 1961 年に規定され⁹⁾、1964 年の修正¹⁰⁾を経て 1966 年には全米の連邦規則 (Federal Register) にもほとんどそのまま採用された¹¹⁾。

わが国においても、近年の自動車交通の激増から自動車排気による大気汚染は軽視しがたい様相を呈しつつあり¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾、排気が規制された米国への自動車の輸出と都市公害防止の観点から米国に準じた規制が 1966 年から実施されるに至った¹⁵⁾。現在のところ、排出規制は CO (3%) のみを対象としているが、今後さらに強化されようとしている。また、わが国の自動車の走行サイクルは道路事情が米国の場合とかなり異なることから運輸省船舶技術研究所の提案¹⁶⁾による 4 モード サイクルが採用されており、4 モード サイクルによる測定値は 7 モード サイクルの場合と大差がほとんどないとも述べられている¹⁵⁾。しかし、この 4 モード サイクルの選定についての基礎資料、ならびにその誘導過程にたいする説明は何んらなされていない。著者らは自動車排気による大気汚染問題について一連の研究を推進しており、本研究はその一部をなすものである。すなわち、わが国における都市空気の排気による汚染評価と予測、ならびに合理的な排気規制の確立のためには、都市における自動車の走行パターンの典型を把握する必要があり、本研究の目的もそこにある。このため本研究では、京都市内での交通量測定の成績にもとづいて実験車の走行路線を選定し、自動車の走行パターンおよび各モードの平均時間分布を測定し、その結果について統計的解析を行なって市内中心部における自動車の平均走行サイクルを誘導した。

2. 実験方法

(1) 実験車

走行パターンの測定に使用した自動車はプリンスカイライン、1500 cc、1961 年型で、トランスミッションは手動 5 段 (前進 4 段、後退 1 段) で、燃料にはエソガソリン 75~85 オクタンを使用した。

(2) 走行記録

実験車の走行時にタコグラフ TCO-11、24 分計 (矢

* 正会員 医博 京都大学教授 工学部衛生工学教室

** 正会員 京都大学助手 同

*** 学生員 京都大学大学院

崎総業, 東京) を使用して走行パターンを記録した。また, チュンナップ テスター V-12 (安全自動車, 大阪) を使用して走行時のエンジンの回転数の変化をも測定した。自動車の速度計は 10~80 km/h において $\pm 1.5 \sim \pm 4.5\%$ の誤差が許容されており¹⁷⁾, 本測定に使用したタコグラフの精度もこの程度とみられる。

(3) 走行条件

あらかじめ選定した 30 通りの走行路線(路線の選定については後述する)について, 実験時の自然交通流の流れに一致して実験車を走行させた。この結果, この種の測定においてもっとも大きな変動要因である¹⁹⁾運転習性による影響はほぼ除き得たと考えられる。この場合には各路線について定められている法定制限速度については考慮しなかった。本実験区域内の法定制限最高速度は 40 km/h と 50 km/h とであった。

実験車の走行はいずれも比較的交通量の多い正午から午後 7 時の間に行なった。実験期間は昭和 41 年 10 月 1

日から 12 月 20 日の間で雨天の場合は除外した。

3. 走行路線の選定

京都府警察本部および京都市都市計画局の行なった昭和 36 年 2 月の交通量調査観測²³⁾ならびに京都市都市計画局が昭和 40 年(春, 秋)に行なった全国道路交通情勢調査²⁴⁾の成績から京都市内の主要道路における 1 日(午前 7 時から午後 7 時)の交通量分布は図-1 に示すとおりである。昭和 40 年度の調査では京都市内中心部での測定地点が少ないことから昭和 36 年の成績をもここでは用いた。昭和 36 年では 1 日当りの交通量は 3 236 ~ 32 404 台で昭和 40 年には 7 748 ~ 44 746 台と昭和 36 年の 29~113% の増加が認められる。

これらの成績から交通量の大きい市内の中心部, すなわち図-1 で破線で囲まれた地域を実験区域に選んだ。この範囲内の主なる道路は東西に走る丸太町通り, 御池通り, 四条通り, 五条通り, 七条通り, ならびに南北に走る河原町通り, 烏丸通り, 堀川通り, 千本通り(大宮通り)である。また, 東山通り, 九条通り, 西大路通り, 北大路通りは市の外周部として今回の測定では除外した。

この区域内の面積は約 15 km² で交通量の比較的多いとみられる市内面積(約 61 km²)の約 24% を占める。また, 実験道路の延長は約 22 km で市内の主要道路延長(約 87 km)の約 25% を占める。

実験区域内には図-1 に番号を付した合計 20 地点に交差点があり, 各交差点について, 京都府警察本部が昭和 40 年 7 月~9 月の間(午前 10 時~午後 6 時)に交通流特性の測定を行なった。その結果を表-1 に示す。表には各交差点における自動車の進入方向と, それぞれの直進車, 左折および右折車の割合ならびに測定時間(1 時間)内の合計台数を示す。すなわち, 1 時間当たり 1 072~7 024 台の自動車が各交差点を通過しており, その進行方向の構成比は直進車が平均約 63% (0~93%) でもっとも多い。右折車は平均約 19% (1~50%) で, 左折車は平均約 18% (1~50%) とほぼ同程度を示した。

実験区域外から進入する自動車が最初に通過する区域内の交差点は全交差点(20 地点)のうちで, 表-2, 図-1 に示す合計 16 交差点で, その進入方

図-1 京都市における主要道路の交通量 (昭和 36 年, 昭和 40 年の測定による)

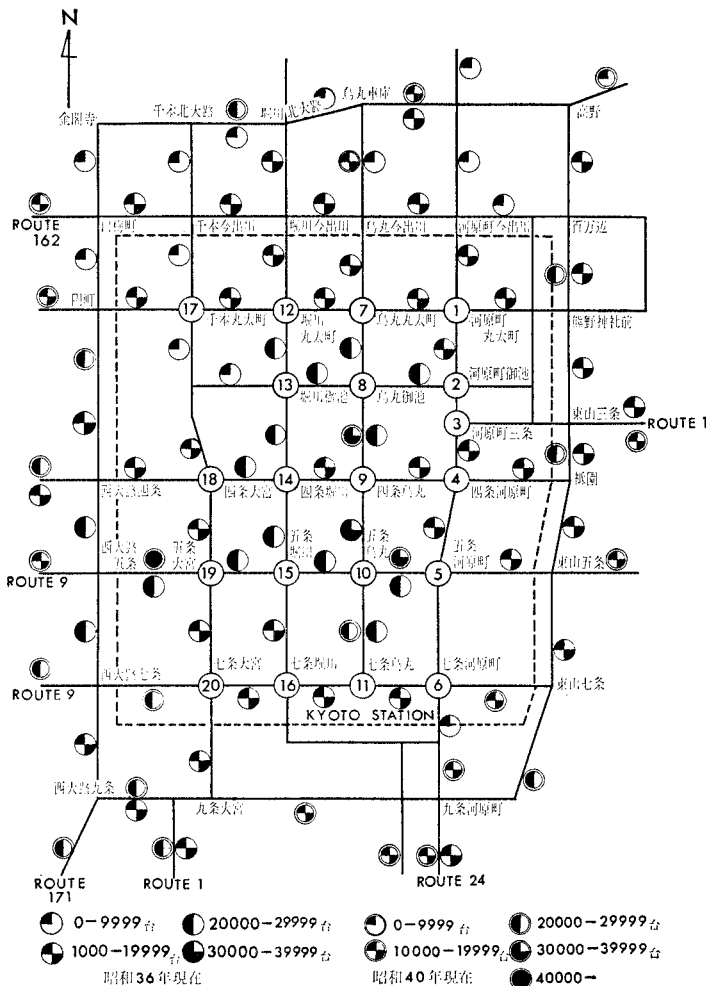


表-1 交差点の交通流特性 (1時間当り)
昭和40年7月~9月 AM 10:00~PM 6:00

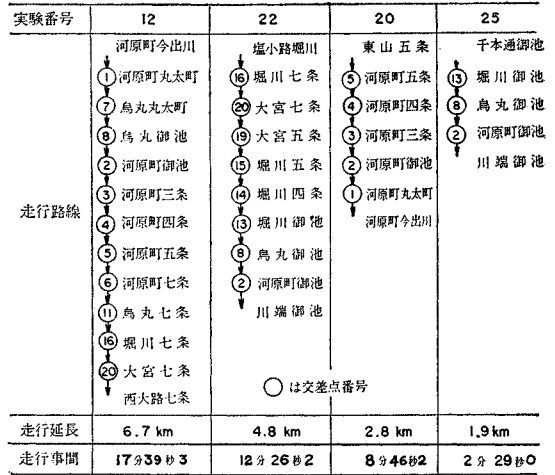
番号	交差点名	進入方向	直進			左折			右折			合計台数 台/時	
			台数	%	台数	%	台数	%					
1	河原町 丸太町	東行	72	16	14	958	11	鳥丸 七条	東行	61	26	13	600
		西行	68	24	8	824			西行	56	19	25	766
		南行	76	8	16	886			南行	77	4	19	776
		北行	67	15	18	1120			北行	77	13	10	856
2	河原町 御池	東行	54	25	21	1510	12	堀川 丸太町	東行	63	14	23	1098
		西行	83	11	6	866			西行	66	21	13	952
		南行	56	11	33	1094			南行	94	9	7	1730
		北行	61	30	9	1182			北行	84	2	14	1580
3	河原町 三条	東行	0	50	50	16	13	堀川 御池	東行	75	8	17	510
		西行	1	62	37	454			西行	31	31	38	1504
		南行	93	6	1	1018			南行	65	31	4	1732
		北行	83	7	16	1358			北行	52	7	41	2326
4	河原町 四条	東行	38	42	20	982	14	四條 堀川	東行	55	33	12	1930
		西行	54	22	24	716			西行	63	18	19	1124
		南行	51	18	31	1094			南行	65	13	22	2120
		北行	79	11	11	1528			北行	81	1	8	1720
5	河原町 五条	東行	63	26	11	1482	15	堀川 五条	東行	62	23	15	2188
		西行	77.5	0.5	22	1108			西行	69	14	17	1860
		南行	60	11	25	988			南行	53	16	31	1800
		北行	66	14	26	1144			北行	59	22	19	1176
6	河原町 七条	東行	47	36	17	880	16	七条 堀川	東行	39	30	30	810
		西行	63	9	28	586			西行	66	9	23	528
		南行	61	11	28	960			南行	66	11	23	1040
		北行	81	8	11	588			北行	81	15	4	1018
7	鳥丸 丸太町	東行	74	6	20	912	17	千本 丸太町	東行	67	11	22	1234
		西行	56	23	19	1128			西行	77	11	12	914
		南行	68	22	10	860			南行	60	21	19	804
		北行	54	20	26	910			北行	53	37	10	726
8	鳥丸 御池	東行	71	14	15	1440	18	四條 大宮	東行	86	5	9	1086
		西行	66	20	14	1702			西行	76	7	17	1126
		南行	62	22	16	1586			南行	50	39	11	846
		北行	59	17	25	1474			北行	42	19	39	798
9	四條 鳥丸	東行	61	26	13	1020	19	大宮 五条	東行	96	5	9	1618
		西行	55	23	22	1135			西行	83	13	4	2289
		南行	68	18	14	1700			南行	59	24	17	758
		北行	72	10	18	1524			北行	38	18	44	868
10	鳥丸 五条	東行	68	24	8	1700	20	七条 大宮	東行	64	10	26	989
		西行	75	9	16	1694			西行	57	37	6	944
		南行	52	16	32	1470			南行	74	11	11	806
		北行	61	21	18	1084			北行	52	16	32	1258

表-2 進入地点ならびに方向の決定

交差点 番号	交差点名	進入 方向	進入交通量 台/時	交差率 %	累積 %
1	河原町 丸太町	南行	886	49	49
		西行	824	46	95
2	河原町御池	西行	886	49	144
3	河原町三条	西行	454	26	170
4	河原町四条	西行	716	40	210
5	河原町五条	西行	1108	61	271
		西行	586	33	304
6	河原町七条	西行	588	33	337
		北行	588	33	337
7	鳥丸丸太町	南行	860	48	385
11	鳥丸七条	北行	856	47	432
		北行	1730	96	528
12	堀川丸太町	南行	1730	96	528
13	堀川御池	東行	510	28	556
16	七条堀川	北行	1018	56	612
17	千本丸太町	南行	604	34	646
18	四條大宮	東行	1234	68	714
		東行	1086	60	774
19	五条大宮	東行	1818	101	875
		東行	988	55	930
20	七条大宮	北行	1258	70	1000

向は 19 通りで、表にはおのおのについて進入方向と進入交通量(台/時)をも示した。この進入交通量から実験車の出発地点ならびに交差点への進入方向を決定した。すなわち、進入交通量の総和にたいして各進入方向(19 通り)の交通量が占める割合を表-2 に示す千分率(%)で示した。ここで乱数表を引き、累積千分率にもとづいて 30 通りの出発点ならびに進入方向を決定した。各交差点での直進、左折、右折の決定にも、同様に交通流の累積百分率と乱数表によって順次に走行路線を決定した。このようにして決定した実験路線が区域外へ

表-3 実験道路の代表例



出るところで路線の終りとし、選定した路線の代表例を表-3 に示す。

4. 走行パターンの解析方法

市内の中心部で自動車が進行する際には信号や横断歩道などによって一時停止(アイドル)したのち、再び進行を始めてつぎの一時停止に至る。この間に起こる運転条件およびその変化についての規則性を実際の走行実験の資料から求め、市内中心部での自動車走行において合理的な走行サイクルのモード数についての期待値を単純マルコフ連鎖理論¹⁸⁾¹⁹⁾を適用して導いた。

自動車の走行は、基本的にはアイドル、定速、加速および減速の4つのモードに分類され、一般につぎのように定義²⁰⁾²¹⁾されている。

(i) アイドル(走行停止); トランスミッションを中立に置き、スロットルを閉じた状態で、エンジンの回転数は製造工場の指定した値(実験車では 600 rpm)を示す。インテークマニホールドバキュームはほぼ 48 km/h のロード定速に相当する。

(ii) 加速; スロットルを開き、エンジンの回転数はアイドルより大きく、インテークマニホールドバキュームは 0~30 cmHg を示す。

(iii) 定速(巡行); エンジンの回転数はアイドルより大きく、インテークマニホールドバキュームはアイドルの最高と 30 cmHg の間を示す。

(iv) 減速; スロットルを閉じ、エンジンの回転数がアイドルより大きい値を示す。

カリフォルニア基準では加速および減速のモードについては加速度(mile/sec²)、減速度(mile/sec²)が定められている⁹⁾。

実験車の走行中にタコグラフによって走行パターンを記録したトリップチャートの時間-速度曲線から各モ

一での分類が得られ、この4つのモードの組合わせにより1つの走行サイクルが形成される。

実際の自動車走行ではモードのつながりについてのつぎのような規則性が存在する。

1. アイドルのつぎには必ず加速が起り、他のモードはアイドルとはつながらない。
2. 加速のつぎには定速または減速が起り、加速のつぎにアイドルが起ることはない。
3. 定速のつぎには加速もしくは減速が起り、アイドルが定速につづいて起ることはない。
4. 減速のつぎには加速、定速またはアイドルが起る。

ここで、あるモードはその一つ前のモードが何であるかということのみに関係して現われるもので、それ以前、あるいはつぎに現われるモードには関係しないと仮定すると、状態 E_j の組合わせで形成される一連の現象において、状態 E_i のつぎに状態 E_j が現われる確率が p_{ij} として与えられるときには単純マルコフ連鎖の理論からもっとも期待される現象が推定できる¹⁸⁾¹⁹⁾。

いま、遷移確率行列式 p が

$$p = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1a} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2a} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{a1} & p_{a2} & \dots & p_{aa} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

で表わされるときには状態 E_j から始まって n -ステップ目が状態 E_k である確率 $p_{jk}^{(n)}$ は

$$x_j^{(r)} = s_r \sum_{v=1}^a p_{jv} x_v^{(r)} \quad (j=1, 2, 3, \dots) \dots\dots (2)$$

$$y_m^{(r)} = s_r \sum_{k=1}^a p_{km} y_k^{(r)} \quad (m=1, 2, 3, \dots) \dots\dots (3)$$

$$1 = c_r \sum_{v=1}^a x_v^{(r)} y_v^{(r)} \dots\dots\dots (4)$$

で与えられるパラメーター $x_v^{(r)}$, $y_v^{(r)}$, s_r , c_r によって

$$p_{jk}^{(n)} = \sum_{r=1}^a c_r x_j^{(r)} y_k^{(r)} s_r^{-n} \dots\dots\dots (5)$$

で与えられる。したがって、状態 E_j から始まって n -ステップ目に状態 E_j が現われる確率は $p_{jj}^{(n)}$ となり、

$$p_{jj}^{(n)} = \sum_{r=1}^a c_r x_j^{(r)} y_j^{(r)} s_r^{-n} \dots\dots\dots (6)$$

となる。また状態 E_j から始まって状態 E_k が n -ステップ目に現われる確率 $f_{jk}^{(n)}$ は

$$f_{jk}^{(n)} = p_{jk}^{(n)} - \sum_{v=1}^{n-1} f_{jk}^{(n-v)} p_{kk}^{(v)} \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。

それゆえ、状態 E_j から始まって n -ステップ目にはじめて状態 E_j が現われる確率、すなわち再帰時間確率 $f_{jj}^{(n)}$ は

$$f_{jj}^{(n)} = p_{jj}^{(n)} - \sum_{v=1}^{n-1} f_{jj}^{(n-v)} p_{jj}^{(v)} \dots\dots\dots (8)$$

で表わされる。

ゆえに、 $f_{jj}^{(n)}$ の平均、すなわち平均再帰時間 μ_j はつぎのように与えられる。

式(6)から

$$p_{jj}^{(n)} = \frac{1}{\mu_j} + \sum_{r=2}^a \rho_{jj}^{(r)} s_r^{-n} \dots\dots\dots (9)$$

と変形できるから、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{jj}^{(n)} = \mu_j^{-1} \dots\dots\dots (10)$$

となる。 μ_j にたいする分散 σ_j^2 は

$$\frac{\sigma_j^2 - \mu_j + \mu_j^2}{2\mu_j^2} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(p_{jj}^{(n)} - \frac{1}{\mu_j} \right) \dots\dots\dots (11)$$

から、

$$\sigma_j^2 = \mu_j - \mu_j^2 + 2\mu_j^2 \sum_{n=0}^{\infty} \left(p_{jj}^{(n)} - \frac{1}{\mu_j} \right) \dots\dots (12)$$

で与えられ、期待されるステップ数は μ_j で与えられる。

これらのことから状態 E_j のつぎに状態 E_k が現われる確率 p_{jk} を走行実験値から求めて、アイドルから n -ステップ(モード)目にアイドルにもどる確率 $p_{11}^{(n)}$ を算出する。さらに $p_{11}^{(n)}$ が最大になる n を求めると、 n モードで構成される走行サイクルが現われる可能性がもっとも大きいことを意味する。本研究では $f_{11}^{(n)}$ を最大にする n 、平均再帰時間 μ_j 、ならびに実測結果を参考にしてもっとも妥当な走行サイクルを誘導した。

5. 測定成績ならびに考察

(1) モードの時間比

京都市内の中心部で交差点の交通流特性にもとづいて選定した30通りの実験路線の走行記録の例を図-2に示す。各路線のトリップチャートから各モードについて分類した。すなわち実験車の走行停止の状態ではエンジンの回転数が600rpm付近のときがアイドルで、この際のインタークマニホールドバキウムは48~53cmHgである。ある速度から6km/h以上に変化する場合は加速あるいは減速とした。また、トランスミッションの切り替えやブレーキ操作などによって速度勾配(加減速度)の異なった加速(減速)が引き続いて起る場合はいずれも一つの加速(減速)とした。加速および減速におけるインタークマニホールドバキウムは20~48cmHgの間で、エンジンの回転数は800~3300rpmの範囲を示した。また、一定の走行速度が持続する場合を定速とした。この場合には、速度計の指示に対する許容誤差が-1.5~+4.5%²²⁾とされているから実験車の速度変動の範囲が±3km/h以内の走行状態をほぼ定常とみなした。定速時のエンジンの回転数を走行速度ならびにトランスミッションの位置について示すと表-4のとおりで、その際のインタークマニホールドバキウム値は表に示すように車速の増大につれて低下する。定速時のエンジンの回転数の変動は±10%以内である。

図-2

測定日時：昭和 41 年 11 月 19 日 pm 5:00~4:48
 走行路線：No. 29 七条河原町~堀川丸太町

走行距離：4.7km
 所要時間：11分5秒

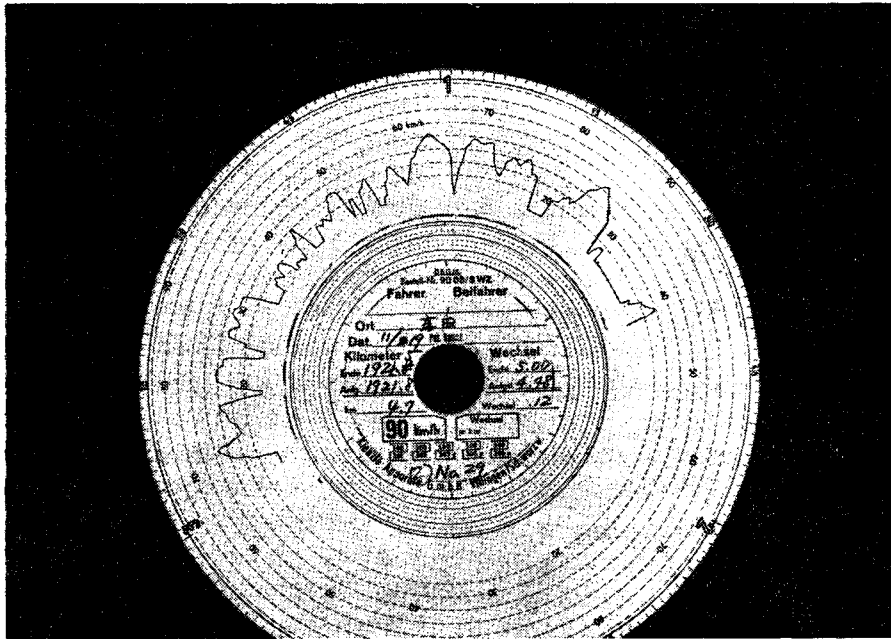


表-4 回転数とマニホールドバキウム

トランスミッション	車速	回転数	バキウム
第一速	11.7 km/h	1800 rpm	48-50 mmHg
	14.9	2300	49-52
	19.5	3000	49-50
第二速	16.1	1700	46-48
	19.9	2100	46-52
	24.6	2600	47-48
	29.3	3100	45-52
第三速	20.5	1200	42-57
	25.6	1500	40-47
	30.7	1800	30-48
	35.9	2100	43-47
	41.0	2400	38-43
第四速	29.9	1100	33-45
	35.3	1300	38-50
	40.7	1500	35-42
	51.6	1900	30-38
	59.7	2200	30-40

表-5 所要時間の時間百分率

コース番号	所要時間	平均速度	IDLE	ACC	CRUISE	DEC
1	1分27秒3	35.0 km/h	8.0 %	55.0 %	63.3 %	13.6 %
2	1' 11" 7	20.1	48.0	27.1	11.0	13.9
3	3' 24" 5	28.2	37.2	32.0	19.9	10.9
4	2' 14" 8	11.9	46.9	21.6	12.3	19.2
5	14' 15" 5	18.1	34.0	29.4	15.3	21.3
6	4' 22" 8	26.0	20.5	23.1	39.0	17.3
7	5' 48" 5	19.6	32.5	29.3	21.3	16.5
8	4' 52" 7	29.5	26.6	20.5	36.8	16.1
9	36' 39" 2	18.6	30.9	26.9	25.1	17.1
10	9' 51" 9	15.2	29.3	22.4	32.8	15.5
11	1' 29" 8	44.1	28.5	24.0	21.8	25.6
12	17' 39" 3	22.1	26.5	31.5	26.1	15.9
13	8' 8" 6	24.3	27.1	23.0	34.2	15.7
14	6' 31" 5	24.8	24.8	21.0	40.7	13.5
15	0' 20" 5	17.6	37.6	16.1	0	46.3
16	6' 24" 6	15.0	36.9	22.7	22.7	17.7
17	2' 59" 0	24.1	17.7	26.8	41.3	14.2
18	8' 14" 6	24.0	19.8	26.6	35.1	18.5
19	3' 25" 7	17.4	32.7	18.7	35.1	13.5
20	8' 46" 2	17.5	37.7	19.8	31.3	11.0
21	3' 58" 2	36.3	32.5	31.0	19.7	16.8
22	12' 26" 2	22.2	28.1	28.1	31.2	12.7
23	8' 56" 9	22.6	22.6	22.9	39.0	15.5
24	3' 59" 3	27.1	48.3	22.6	18.7	14.5
25	2' 29" 0	41.1	16.3	40.6	24.3	18.8
26	6' 22" 8	22.6	35.1	23.2	26.5	15.2
27	7' 5" 2	18.6	27.5	23.3	30.3	18.9
28	13' 3" 5	16.5	35.6	28.0	21.3	15.1
29	11' 5" 4	25.4	15.5	29.5	31.8	23.2
30	8' 37" 8	25.0	21.5	27.1	33.2	18.2
平均	8' 8" 5	20.8 km/h	30.3 %	25.8 %	26.9 %	17.0 %

各モードの時間合計が路線の全走行時間に対して占める割合、すなわちモードの時間比を路線ごとに表-5に示す。表中には走行所要時間ならびに平均走行速度を示す。本実験での路線長は0.6~11.8km(平均3.1km)で、走行所要時間は20.5秒~36分39.3秒を示した。モードの時間比はアイドルが8.0~48.0%、加速が15.0~40.6%、定速が0~63.3%、減速が11.0~46.3%と路線によって大きく異なり、平均走行速度も11.9~44.1km/hと路線によって大きく変動を示した。これらの差

異は走行路線の幅員、交通量などの道路事情や交通信号などによる影響とみられる。各路線での走行所要時間の合計、すなわち総所要時間について平均すると平均走行時間は8分8.5秒、モードの平均時間比はアイドル30.3%、加速25.8%、定速26.9%、減速17.0%で、平均走行速度は20.8km/hを示す。

カリフォルニア基準に示された11モード⁵⁾および7モードサイクル⁹⁾の時間比は表-6に示すとおりで両者の間にはアイドルと減速の値がほとんど同じで、加速と定速の割合は約5%の増減がみられる。これについては

表-6 走行 mode の時間分布 (sec)

	Idle	Acc	Cru	Dec
Chipman ¹⁹⁾	19.9	21.1	35.2	23.8
Teague ⁶⁾ auto transmission	20.0	17.3	34.0	29.6
manual transmission	19.2	19.7	38.6	22.8
11 mode cycle	15.0	36.7	16.0	32.3
7 mode cycle	14.6	31.4	21.9	32.1
船舶技研案 ²⁰⁾	35.0	14.0	45.0	6.0
京都府中心部における測定	30.3	25.8	26.9	17.0

加速および定速時に排出される汚染物量(濃度)には大差がなく、この程度の違いは大きな意味をもたない⁹⁾とも述べられている。また、Chipmanら²⁰⁾はロスアンゼルスでの値として表に示す時間比を挙げていて上記のサイクルとはやや異なる。

一方、わが国では道路事情が米国の場合と大きく異なることから船舶技術研究所案として副島ら¹⁶⁾が表に示す時間比を述べた。これは米国の値にくらべてアイドルと定速の値を著しく大きく、減速の比率は米国の1/5ときわめて小さい。本実験の成績をこれらと比較するとかなり異なった傾向がみとめられ、アイドルの平均時間比は30.3%で米国の場合の約2倍、船舶技研の値より約5%小さい。定速の平均は26.9%で米国の値よりかなり小さく、船舶技研の値のほぼ3/5に低下する。減速の平均は、17.0%で米国の1/2で、船舶技研の値は6%と著しく小さい。加速の平均は25.8%で米国よりやや小さく、船舶技研の値よりも約12%も大である。わが国の場合には道路の幅員が米国にくらべてはなはだ狭く、交差点の間隔も非常に短い(本実験区域内の平均交差点間隔は約700m)ことからアイドルの比率が大きく、定速の値が小さいことは当然と考えられる。また、カリフォルニアの7モードサイクルでは30mph(48km/h)(11モードでは96km/h)までの加速、50mph(80km/h)からの減速、15~30mph(24~48km/h)(11モードでは32~80km/h)での定速とかなり高速度の条件が規定されており、ロスアンゼルスでの自動車の平均走行距離は7.6mile/回(12.2km)で、平均走行時間は20分である⁹⁾と述べられており、平均走行速度は約36km/hとなる。本実験では20.8km/hと市内中心部での平均走行速度はかなり低い。さらに、都心部では40km/hをこえる加速や40km/hより高い速度からの減速が起こる場合きわめて少なく、モードの時間比が米国と大きく異なることは当然である。また、船舶技研の場合はモードの定義が明示されていないために厳密な比較はできないが定速の比率が45%と著しく大きく、このような状態が都心部でみられるとは予想できない。

合計30通りの走行路線についてトリップチャートから合計248の走行サイクルが記録された。1サイクルの所要時間は4.3~228.0秒で、サイクルあたりの平均所要時間は59.1秒を示した。各モードについて速度条件

を細かく分類した。定速は5~60km/hの間で7段階に分け、初期速度を0~60km/hから終末速度0~60km/hに至る間の加速および減速に分類した。アイドルは速度0km/hの場合である。

(2) 速度条件の相対頻度

全路線の走行からアイドルは248回、加速は381回、減速は359回、定速は308回が記録された。各モードの速度条件についてそれぞれの出現頻度数が各モードの出現度数合計にたいして占める割合、すなわち相対頻度を求め表-7に示す。加速では0→40km/hへの場合がもっとも出現度数が多く(17.3%)、0→30km/hへの場合が13.1%これにつぐ。初期速度が0km/hということはアイドルに相当することからアイドルについて加速が起こる場合が加速度数全体の65.0%ときわめて大きい割合を占める。走行サイクルの中間に起こる加速の全体にたいする割合は初期速度が5, 10, 20km/hの場合が全体の7.1~12.3%を占める。加速モードの終末速度が40km/hは全体の32.7%で、30km/hの場合が21.6%を示し、この両者で加速の過半を占める。定速では40km/hの場合が全定速度数の36.0%ともっとも大きい相対頻度を示し、30km/hの定速が26.3%とこれにつぐ。20km/hの定速は15.9%で、10および50km/hの定速は全体の9.4~9.7%とほぼ同程度である。減速では40km/hから0km/hへの場合が全体の22.0%ともっとも大きく、30km/hから0km/hへの場合が14.5%とついで多い。10km/hから0km/hおよび20km/hから0km/hの場合は10.3%と全く等しい。50km/hから0km/hと40km/hから20km/hへの減速の相対頻度は全体の5.6~7.2%を示す。初期速度が40km/hの場合が35.6%ともっとも多く、30km/hからの減速は全体の22.2%を示し、10, 20および50km/hを初期速度とする減速の相対頻度は11.1~14.4%である。終末速度が0km/hの減速は合計69.1%と全体の過半を占めており、20km/hで終る場合が11.4%を示す。減速での終末速度が0km/hであることは減速がアイドルで終ることを示すもので、走行サイクルの最終モードとして現われる場合がもっとも大きいことは当然である。走行サイクルの中間での減速としては初期速度が

表-7 走行 mode の相対頻度 (%)

初期速度 km/h \ 終末速度 km/h	0	5	10	20	30	40	50	60
0		4.2	12.1	12.3	13.1	17.3	6.0	
5	4.2	2.3	0.5	3.4	1.6	2.4		
10	10.3	1.1	9.4	1.6	2.4	3.1		
20	10.3	2.2	1.9	15.9	4.5	6.0	1.8	
30	14.5	1.1	1.9	4.7	26.3	3.7	1.8	0.3
40	22.0	1.1	3.3	5.6	3.6	36.0	1.6	0.3
50	7.2	0.3		1.1	1.7	0.8	9.7	
60	0.6					0.3		0.3

太線枠内はCRUISE時
太線より上部はACC、下部はDEC
0-0はIDLE時(248回)

40 km/h で終末速度が 10, 20 および 30 km/h となる場合、ならびに 30 km/h から 20 km/h への減速が比較的多いことが認められる。

(3) 速度条件の相対時間比

全路線走行での総所要時間(4時間4分2秒6)から求めたモードの時間比は前述のとおりであるが、ここで各モードの速度条件についての時間比、すなわち相対時間比は表-8 のとおりである。加速時間の合計に対して 0 km/h から 40 km/h への加速時間が占める割合は 25.6% ともっとも大きく、0 から 30 km/h および 0 から 50 km/h の場合は 15.5, 12.1% とやや大きい。0 km/h から 20 km/h および 20 km/h から 40 km/h の場合は 6.2%, 6.3% とほぼ同程度で、その他の加速はいずれも 3.8% 以下を示す。初期速度が 0 km/h とする場合の時間が全加速時間の 63.7% と過半を占める。20 km/h を初期速度とする加速は 12.5% で、その他の加速はいずれも 6.8% 以下の比率を示す。また 40 km/h を終末速度とする加速は合計 42.7% ともっとも大きく、30 km/h を終末速度とする場合が 23.3% とこれにつぐ。50 km/h を終末速度とする場合も 19.4% とやや大である。これらのことから加速については出現頻度と経過時間比のいずれの点についても 0 km/h から 40 km/h の条件がも

っとも大である。定速時間の合計に対しては 40 km/h 定速の時間が 49.2% ともっとも大きく、30 km/h 定速が 25.6% とこれにつぎ、20 km/h および 50 km/h の定速は約 10% を示す。定速では出現頻度と時間比のいずれにおいても 40 km/h 定速がもっとも大きい。

減速時間の合計についてみると、40 km/h から 0 km/h が 25.7% ともっとも大きく、30 km/h から 0 km/h、および 50 km/h から 0 km/h の場合が 14.5%, 12.1% とかなり大きい比率を示す。40 km/h を初期速度とする減速時間は全体の 40.5% ともっとも大きく、30 km/h からの減速が 21.6% とついで大きい。50 km/h からは 17.4%, 20 km/h からの場合は 10.2% で、その他の減速はいずれも約 7% より低い。また減速の終末速度が 0 km/h の場合の相対時間比は 68.4% と全体の過半を占める。終末速度が 20 km/h の減速は 11.9% とこれにつぐ。これらのことから減速モードでは出現頻度および経過時間比のいずれにおいても 40 km/h から 0 km/h の減速がもっとも多く、20 km/h および 30 km/h から 0 km/h への減速、40 km/h から 20 km/h への減速もやや多い。

(4) 速度条件の持続時間

各速度条件の継続時間の最大および最小、平均値は表-9 に示す。表にはアイドルの継続時間についても記す。アイドルの平均継続時間は 18.0秒 (0.6~77.6 秒) で、加速では 40 km/h から 60 km/h への場合が 27.6 秒ともっとも大きく、0 km/h から 50 km/h および 30 km/h から 60 km/h の場合が平均で 19.9 秒、18.3 秒とこれにつぐ。0 km/h から 40 km/h への場合は 14.7 秒である。加速の終末速度が大きくなるにつれて継続時間も増大する。定速では 40 km/h が平均 17.5 秒ともっとも大きい。30 km/h および 50 km/h 定速は 12.5 秒、14.4 秒を示した。減速では 60 km/h から 0 km/h、および 50 km/h から 5 km/h の場合が 20.6 秒、18.1 秒と

表-8 走行 mode の相対時間比率 (%)

初期速度 km/h	0	5	10	20	30	40	50	60
0		0.7	3.5	6.2	15.5	25.6	12.1	
5	1.6	0.6	0.2	1.9	2.0	3.6		
10	6.1	0.4	4.4	0.8	2.6	3.3		
20	6.8	1.8	1.6	9.2	3.2	6.3	3.0	
30	14.5	1.0	2.1	4.0	25.6	3.8	2.5	0.5
40	25.7	1.8	3.6	6.5	3.0	49.2	1.8	0.7
50	12.1	0.7		1.4	2.2	1.0	10.9	
60	1.7					0.4		0.1

0-0 は IDLE 時
太線枠内は CRUISE 時
太線枠内より上部は ACC、下部は DEC

表-9 走行 mode の平均持続時間 (sec)

初期速度 km/h	0	5	10	20	30	40	50	60	
0	18.0 (77.6-0.6)	1.6 (3.0-0.3)	2.9 (8.8-0.6)	5.0 (15.0-1.7)	11.7 (20.4-5.5)	14.7 (30.1-7.2)	19.9 (33.5-11.4)		
5	2.7 (3.7-1.0)	3.3 (6.6-1.1)	3.7 (4.0-3.4)	5.6 (11.6-2.6)	12.9 (17.6-10.3)	15.1 (25.3-9.1)			
10	4.1 (11.1-0.7)	2.8 (3.4-1.7)	6.0 (20.0-1.3)	5.2 (8.0-2.4)	11.1 (17.5-8.0)	10.5 (19.0-7.2)			
20	4.6 (9.3-1.7)	5.8 (18.8-2.5)	5.7 (8.8-3.3)	7.4 (27.7-1.6)	7.1 (12.8-5.8)	10.3 (18.1-5.8)	16.1 (27.2-9.8)		
30	6.9 (16.4-2.4)	6.2 (12.1-0.8)	7.7 (21.6-2.8)	5.8 (14.5-1.0)	12.5 (30.3-1.9)	10.3 (21.4-3.6)	13.8 (17.6-11.2)	18.3 ()	
40	8.1 (20.3-2.4)	11.4 (17.2-7.5)	7.5 (12.8-3.3)	8.1 (14.0-3.9)	5.7 (8.9-2.7)	17.5 (65.8-1.7)	11.5 (14.6-9.5)	27.6 ()	
50	11.6 (25.9-4.1)	18.1 ()		8.9 (11.0-6.5)	8.8 (10.7-5.7)	8.3 (11.0-6.8)	14.4 (49.5-1.2)		
60	20.6 (29.0-8.5)					9.7 ()			

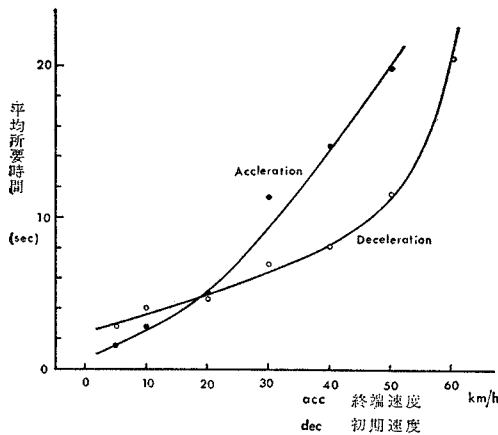
() 内は最大-最小値

0-0 は IDLE 時
太線枠内は CRUISE 時
太線枠内より上部は ACC 下部は DEC

かなり大きく、50 km/h から 0 km/h および 40 km/h から 5 km/h が 11.4 秒、11.6 秒とほぼ同程度でついで大きい。40 km/h から 0 km/h の値は 8.1 秒である。

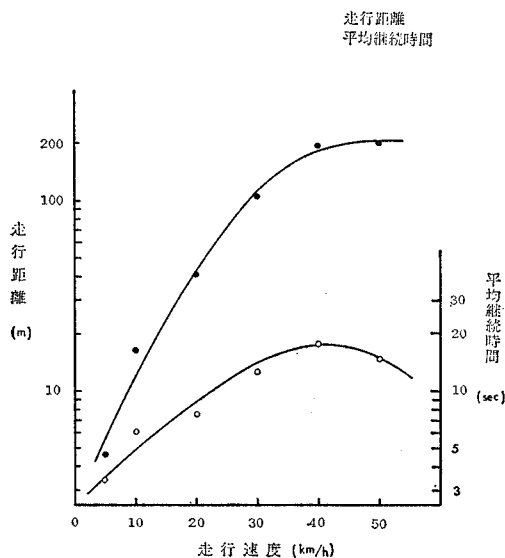
加速でアイドルから 5~60 km/h の終末速度に達するに要する平均時間の増加傾向をプロットすると図-3 のとおりである。終末速度の増大につれてしだいに増加を示し、終末速度が 20~50 km/h の間ではほぼ直線傾向を示す。また、図には 5~60 km/h の初期速度から 0 km/h に達する減速の場合についても示すが、初期速度 5~40 km/h からの減速時間は速度条件の増大につれてほぼ直線的な増加傾向を示し、50~60 km/h から 0 km/h への減速時間は急増する。

図-3 Acceleration および Deceleration の平均時間特性



つぎに、定速の平均継続時間とその間の走行距離数の各速度の関係は図-4 のとおりである。走行速度が 5~40 km/h での定速は速度の増大につれて継続時間および走行距離の両者ともほぼ直線的に増加を示し、50 km/h

図-4 Cruise の平均継続時間と平均走行距離



定速においては継続時間は減少してその間の走行距離は 40 km/h 定速の場合とほぼ同程度である。このことは実験区域内の交差点間隔の平均距離が 700 m であったことから、40 km/h をこえる速度まで自動車を加速する間にかなりの時間および距離が経過している。このために高速の定速に移行したときにはすでにつぎの交差点の近くに到達しており、急減速から停止に至る場合が実際にはきわめて多く、高速走行時間ならびに走行距離に限度が生じることは容易に予想され、本実験での高速 (50~60 km/h) の走行距離は約 200 m が限度とみられる。

(5) 走行サイクルのモード数に対する解析

各路線のトリップチャートから測定した連続した2つのモードの組み合わせの頻度の成績は表-10 に示す。合計 30 通りの路線走行から得られた2つのモードの組み合わせ数は合計 1296 で、加速のつぎに定速が現われる場合が 265 回と全組み合わせ数の 20.4% を占める。アイドルのつぎに加速の現われる場合と減速のつぎにアイドルの現われる条件は定義からいずれも 248 回で走行サイクル合計数と等しい。定速のつぎに減速が現われる度数は 243 回で全組み合わせ数の 18.8% で、加速のつぎに減速の現われる度数は 116 回で全体の 9.0% を占める。減速のつぎに定速の現われる度数は 43 回ともっとも少ない。

ここで、アイドルを状態 E_1 、加速を状態 E_2 、定速を状態 E_3 、減速を状態 E_4 とすると、 E_i 状態のつぎに E_j

表-10 連続した mode の出現頻度

cycle 数 = 248

mode の組み合わせ	度数	%
Acceleration — Cruise	265	20.4
Acceleration — Deceleration	116	9.0
Cruise — Acceleration	65	5.0
Cruise — Deceleration	243	18.8
Deceleration — Acceleration	68	5.3
Deceleration — Cruise	43	3.3
Deceleration — Idle	248	19.1
Idle — Acceleration	248	19.1
Σ	1296	100

表-11 状態 $E_i E_j$ の起こる確率

$E_i - E_j$	P_{ij}	$E_i - E_j$	P_{ji}
Idle — Idle	$P_{11} = 0$	Cruise — Idle	$P_{33} = 0$
Idle — Acceleration	$P_{12} = 1$	Cruise — Acceleration	$P_{32} = 0.211$
Idle — Cruise	$P_{13} = 0$	Cruise — Cruise	$P_{33} = 0$
Idle — Deceleration	$P_{14} = 0$	Cruise — Deceleration	$P_{34} = 0.789$
Acceleration — Idle	$P_{21} = 0$	Deceleration — Idle	$P_{41} = 0.691$
Acceleration — Acceleration	$P_{22} = 0$	Deceleration — Acceleration	$P_{42} = 0.189$
Acceleration — Cruise	$P_{23} = 0.696$	Deceleration — Cruise	$P_{43} = 0.120$
Acceleration — Deceleration	$P_{24} = 0.304$	Deceleration — Deceleration	$P_{44} = 0$

状態が現われる確率 p_{ij} は表-11 に示すとおりとなる。速度勾配のやや異なった同じモードの連続は一つのモードとしており、アイドルのつぎに定速と減速、加速のつぎにアイドルが現われることは実際には起こり得ないことからこれらの確率は0である。また、アイドルのつぎには加速のみが起こることから、この組み合わせの起こる確率は1である。ここで確率 p_{ij} は全走行期間中は一定であるとすると、遷移確率行列 p はつぎのような確率空間で示される。

$$p = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.696 & 0.304 \\ 0 & 0.211 & 0 & 0.789 \\ 0.691 & 0.189 & 0.120 & 0 \end{pmatrix} \dots\dots(13)$$

これを前記の理論式(2)~(4)に代入して求めた s, x, y の結果はつぎのとおりである。

$r=1, s_1=1$ のときは

$$\begin{cases} x_1^{(1)}=1 \\ x_2^{(1)}=1 \\ x_3^{(1)}=1 \\ x_4^{(1)}=1 \end{cases} \begin{cases} y_1^{(1)}=0.691 \\ y_2^{(1)}=1.061 \\ y_3^{(1)}=0.858 \\ y_4^{(1)}=1 \end{cases}$$

$r=2, s_2=-1.345$ のときは

$$\begin{cases} x_1^{(2)}=-1.070 \\ x_2^{(2)}=0.796 \\ x_3^{(2)}=-1.287 \\ x_4^{(2)}=1 \end{cases} \begin{cases} y_1^{(2)}=-0.929 \\ y_2^{(2)}=1.418 \\ y_3^{(2)}=-1.489 \\ y_4^{(2)}=1 \end{cases}$$

$r=3, s_3=-0.251+1.377i$ のときは

$$\begin{cases} x_1^{(3)}=0.077-1.189i \\ x_2^{(3)}=-0.846+0.098i \\ x_3^{(3)}=-0.182+0.836i \\ x_4^{(3)}=1 \end{cases} \begin{cases} y_1^{(3)}=-0.174+0.952i \\ y_2^{(3)}=-1.080-0.099i \\ y_3^{(3)}=0.254-0.853i \\ y_4^{(3)}=1 \end{cases}$$

$r=4, s_4=-0.251-1.377i$ のときは

$$\begin{cases} x_1^{(4)}=0.077+1.189i \\ x_2^{(4)}=-0.846-0.098i \\ x_3^{(4)}=-0.182-0.836i \\ x_4^{(4)}=1 \end{cases} \begin{cases} y_1^{(4)}=-0.174-0.952i \\ y_2^{(4)}=-1.080+0.099i \\ y_3^{(4)}=0.254+0.853i \\ y_4^{(4)}=1 \end{cases}$$

式(4)から

$$c_r = \frac{1}{\sum_{v=1}^n x_v^{(r)} y_v^{(r)}} \dots\dots(14)$$

となり、上記の x, y から求めた c_r はつぎのとおりである。

$$r=1 \quad c_1=0.277$$

$$r=2 \quad c_2=0.198$$

$$r=3 \quad c_3=0.262-0.044i$$

$$r=4 \quad c_4=0.262+0.044i$$

アイドルから n -ステップ目でアイドルにもどる確率 $p_{11}^{(n)}$ は式(6)から、

$$p_{11}^{(n)} = c_1 x_1^{(1)} y_1^{(1)} s_1^{-n} + c_2 x_1^{(2)} y_1^{(2)} s_2^{-n} + c_3 x_1^{(3)} y_1^{(3)} s_3^{-n} + c_4 x_1^{(4)} y_1^{(4)} s_4^{-n} \dots\dots(15)$$

となり、 x, y, c, s を代入すると

$$p_{11}^{(n)} = 0.191 + 0.197(-1.345)^{-n} + \frac{0.306 + 0.024i}{(-0.251 + 1.377i)^n} + \frac{0.306 - 0.024i}{(-0.251 - 1.377i)^n} \dots\dots(16)$$

$p_{11}^{(n)}$ を $n=1$ から $n=16$ まで逐次計算によって式(6)から求めた結果を表-12 に示す。

表-12 $p_{jj}^{(n)}$ の分布

n	$P_{11}^{(n)}$
1	0
2	0
3	0.210
4	0.379
5	0.063
6	0.181
7	0.221
8	0.218
9	0.148
10	0.205
11	0.198
12	0.192
13	0.181
14	0.199
15	0.191
∞	0.191

表-13 $f_{jj}^{(n)}$ の分布

n	$f_{11}^{(n)}$
1	0
2	0
3	0.210
4	0.379
5	0.063
6	0.137
7	0.061
8	0.048
9	0.034
10	0.021
11	0.015
12	0.010
13	0.007
14	0.005
15	0.003
Σ	0.993

また、アイドルから始めて n -ステップ目にはじめてアイドルが現われる確率、すなわち再帰時間確率 $f_{11}^{(n)}$ は式(8)から

$$f_{11}^{(n)} = p_{11}^{(n)} - \sum_{v=1}^{n-1} f_{11}^{(n-v)} p_{11}^{(v)} \dots\dots(17)$$

となり、 $p_{11}^{(n)}$ を用いて逐次計算によって $n=1$ から $n=15$ までを求め、その結果を表-13 の右欄に示す。

式(10)から $f_{jj}^{(n)}$ の理論平均再帰時間 μ_j は

$$p_{jj}^{(n)} \rightarrow \frac{1}{\mu_j} \dots\dots(18)$$

であるから $\mu_1=5.225$ となる。

また、式(12)から μ_1 の分散は

$$\sigma_1^2 = 6.462 \quad (\sigma_1 = 2.54)$$

となる。

以上の計算の結果から、アイドルから始めて n -ステップ目にはじめてアイドルとなる確率 $f_{11}^{(n)}$ につい

て $n=1$ から ∞ までそれぞれの確率を加重して平均した n の期待値は 5.285 である。

(6) モード数の選定

京都市内の中心部の路線走行から求めたモードの再帰確率分布 $\{p_{11}^{(n)}\}$ ならびに再帰時間確率分布 $\{f_{11}^{(n)}\}$ を n について 1 から 15 までをプロットすると図-5 のとおりである。いずれも $n \rightarrow \infty$ においては 0 に収束する。アイドルからはじめて n -ステップ目にはじめてアイドルの現われる確率の最大値は $n=4$ で与えられ、その確率は 0.379 である。このことはアイドルからはじめて 4 ステップ (モード) 目にはじめてアイドルが最大の確率 37.9% で現われることを意味する。しかしながら、この場合には最大の確率を示す 4 モード以外のステップ (モード) については考慮されないことになる。それゆえ n を 1 から ∞ までについてそれぞれの n に対応する確率をウェイトにして平均すること、すなわち n に対す

図-5 $p_{11}^{(n)}, f_{11}^{(n)}$ の分布

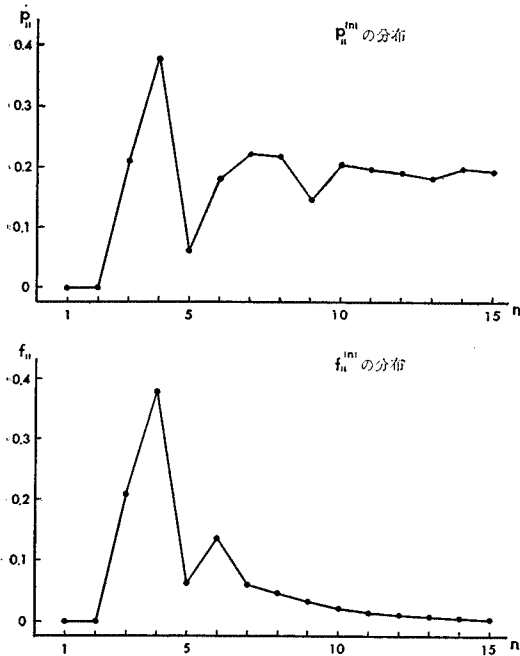
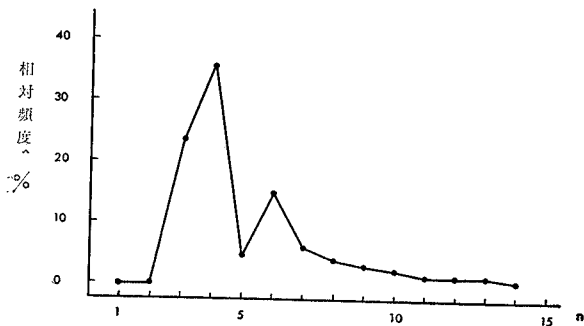


図-6 実測再帰時間分布

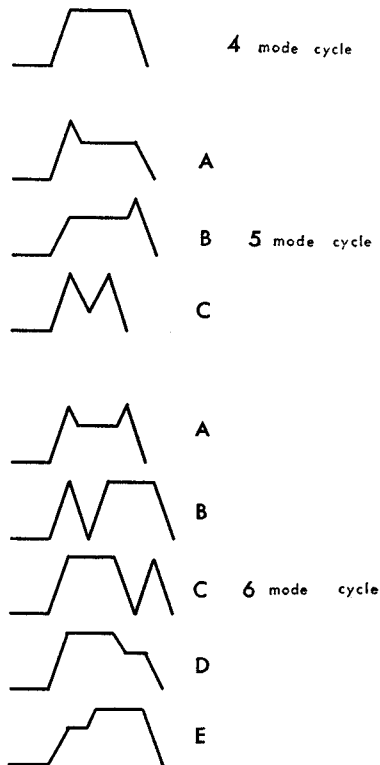


る期待値である平均再帰時間は $\mu_1=5.225$ で、標準偏差は 2.542 を示す。実際の走行サイクルではモード数が 5.225 ステップということはあり得ないからステップ数は μ_1 の値にもっとも近い整数の 5 もしくは 6 を用いるのがもっとも合理的である。

また、実測した合計 248 個の走行サイクルについてそれぞれを構成するモード数の度数分布の百分率を図-6 に示す。走行サイクルの解析による理論再帰時間確率分布 $\{f_{11}^{(n)}\}$ と全く同様の傾向がみられ、モード数の最大頻度は 4 モードにみられる。本実験の場合には交差点において実験車が右折する場合 (対向車線を横切って) がかなり多く、その際にはきわめて短いサイクル時間でのアイドルー加速ー減速ーアイドルの 3 モード、ならびにアイドルー加速ー一定速ー減速ーアイドルの 4 モードが多く記録され、速度範囲も 5~10 km/h 以下ときわめて低い。すなわち、きわめて低速での徐行ー停止をくり返す場合が多くみられたことから、全走行サイクル数に対して 3 モードと 4 モードの度数が大きい割合を占め、再帰時間確率の最大値が $n=4$ で示されたものとみられる。しかし、市内の走行においては 3 または 4 モード以外の走行サイクルはかなり多く、それらの起こる確率をも考慮して導かれた平均再帰時間をモード数に適用するのがもっとも妥当と考えられる。以上のことにもとづく

図-7 Driving mode cycle の基本的 pattern

基本的 pattern



4, 5 および 6 モードの走行サイクルには図-7 に示す基本的なパターンが考えられ、4 モードには 1 種、5 モードには 3 種、6 モードには 5 種の基本型があげられる。ここで、実測した各速度条件の出現頻度ならびに時間比から各基本型について可能な組み合わせを製作した。さらに実測での速度条件の出現頻度（相対頻度）の大きい順から加速は 1~15 点、定速は 1~7 点、減速は 1~16 点を与えた。経過時間の時間比（相対時間比）についても同様に加速は 1~19 点、定速は 1~7 点、減速は 1~18 点の得点を与えた。これらの採点の基準は表-14 に示す。各速度条件の継続時間は実測の平均継続時間を採用した。かくして可能な速度条件の組み合わせのすべてについて採点を行ない、もっとも妥当なものを選んだ。合成 4 モード サイクルはアイドル、加速、定速、および減速の 4 つのモードからなるサイクルで、アイドルには実測から継続時間を 18.0 秒とした。加速には実測で出現頻度および相対時間比がもっとも大である 0 km/h から 40 km/h とその平均継続時間 14.7 秒を用いた。同様に定速は 40 km/h（継続時間 17.5 秒）、減速は 40 km/h から 0 km/h（継続時間 8.1 秒）を挿入し

た。この合成 4 モード サイクルの所要時間は 58.3 秒で、実測のサイクルあたりの平均所要時間 59.1 秒にきわめて近い。

実測の速度条件から可能な合成 5 モード サイクルの組み合わせは基本型 A では 14 通り、B 型では 15 通り、C 型では 79 通り、合計 108 通りの走行サイクルが考えられる。それぞれについて出現頻度と時間比からの得点を与えると基本型 A では合計 10 点（頻度 5 点、時間比 5 点）、B 型では合計 24 点（13 点、11 点）、C 型では合計 6 点（3 点、3 点）がいずれももっとも小さい得点を示した。合成 6 モード サイクルについても同様に可能な組み合わせは基本型 A で 46 通り、B 型で 82 通り、C 型で 82 通り、D 型で 14 通り、E 型で 15 通りの合計 239 通りが考えられ、それぞれについて採点を行なった結果、A 型では合計 30 点（頻度 15 点、時間比 15 点）、B および C 型では合計 10 点（5 点、5 点）、D および E 型では合計 28 点（13 点、15 点）がいずれも最小得点を示した。

以上の各基本型でもっとも低い得点を示した組み合わせの走行サイクルに各速度条件の実測平均継続時間を適用

表-14 得点順位表

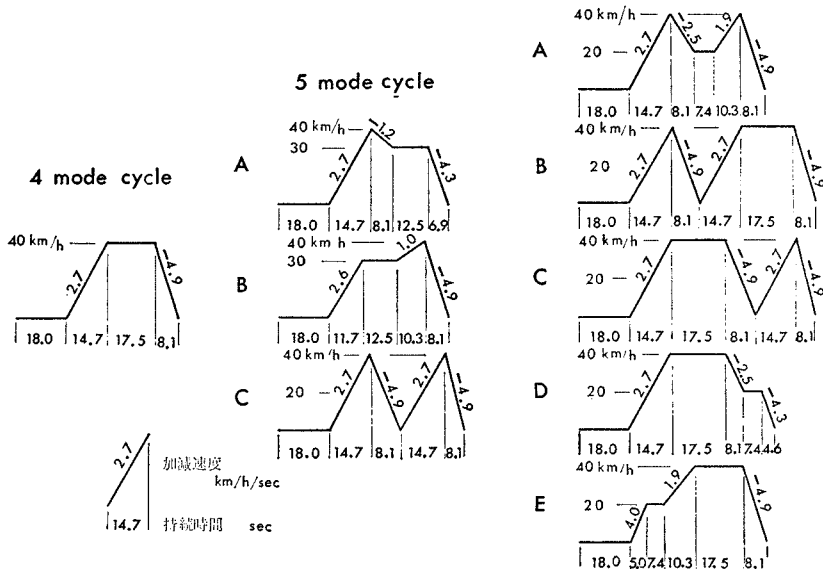
状態速度 初速度	相対頻度順位 / 時間比率順位							
	0 km/h	5	10	20	30	40	50	60
0 km/h	7	17	4	8	3	5	2	2
5	7	14	6	14	20	9	17	13
10	3	6	15	18	5	5	13	16
20	3	4	10	12	11	14	3	4
30	2	2	13	16	11	11	6	7
40	1	1	13	12	9	18	5	5
50	4	5	16	17	13	15	12	10
60	15	13	15	13	15	12	10	14

太線停部は CRUISE
太線上部は ACC
太線下部は DEC

表-15 Driving cycle の時間比

cycle	cycle の 所要時間 (sec)	時間比 (%)				
		Idle	Acc	Cru	Dec	
4 mode cycle	58.3	30.9	25.2	30.0	13.9	
5 mode cycle	A	60.2	29.9	24.4	20.8	24.9
	B	70.6	28.3	34.6	19.7	12.7
	C	63.6	28.3	46.2	0	25.5
6 mode cycle	A	58.5	30.8	42.7	12.6	13.8
	B	81.1	22.2	36.3	21.6	20.0
	C	81.1	22.2	36.3	21.6	20.0
	D	70.6	25.5	21.0	35.3	18.0
	E	66.3	27.1	23.1	37.6	12.2
実測平均値	59.1	30.3	25.8	26.9	17.0	

図-8 最適 mode cycles (6 mode cycle)



すると図-8 に示す合成走行サイクルが形成される。また、これらの合成走行サイクルのモードの時間比は表-15 のとおりである。4モードサイクルは所要時間、モード時間比のいずれも実測値にきわめて近い。5モードサイクルの所要時間が60.2~70.6秒とやや大きく、アイドルの時間比は28.3~29.9%と実測にやや近い。加速の時間比はA型が24.4%と実測にやや近いが、B, C型は34.6~46.2%とかなり大きい。定速はC型が0%で、A, B型では19.7~20.8%と実測とは大きく異なる。減速はB型が12.7%と実測より低く、A, C型は24.9, 25.5%とかなり大きい。6モードサイクルは所要時間がA型で58.5秒と実測にやや近いが、他の型は66.3~81.1秒とかなり大きい。B, C型は所要時間、モードの時間比とも全く同じである。アイドルの時間比はA型が30.8%と実測にきわめて近いが、他の型は22.2~27.1%とかなり小さい。加速の時間比はD, E型が21.0, 23.1%と実測より小さく、他は36.3~42.7%とかなり大きい。定速はA, B, C型が12.6~21.6%と実測より小さく、D, E型は35.3, 37.6%とはなはだ大きい。減速はB, C型が20.0%と実測よりやや大きく、D型は18.0%とほぼ近く、A, E型は12.2, 13.8%とかなり小さい。

以上のことから合成4モードサイクルは本実験における実測値にもっとも近い走行パターンを示すが、この場合には各モードの速度条件は出現頻度ならびに時間比がもっとも大きい値を示した条件のみをつらねたものであるから当然のことである。しかし、市内の走行実験での走行サイクルのモード数は3~14とかなり広い範囲にわたっていることから4モード以外の走行サイクルの起こる確率を考慮することなしに市内走行の代表に4モードサイクルを用いることは適当でない。

それゆえに実際の走行パターンの確率論的手法による解析から導かれた合成5モードおよび合成6モードサイクルは京都市内の中心部における自動車の走行様式のもっとも平均的なパターンであると期待される。合成5モードサイクルは実測での出現頻度ならびに時間比がもっとも大きい値を示した速度条件(0→40 km/h 加速, 40 km/h 定速, 40→0 km/h 減速)のいずれかが含まれておらず、とくにC型の場合には定速がないことから実際の走行パターンとしては適用するには不適當で、同様のことは6モードサイクルのA, D, E型にも認められる。6モードサイクルのB, C型は速度条件の連結の順序が異なるのみで所要時間、時間比、速度条件とも全く等しく、排気ガス評価の上からも全く同一視できる。さらにB(C)型は実測における出現頻度と時間比が最大を示した速度条件のみから形成されており、4モードサイクルのパターンも包含している。これらのことから京都市内中心部における自動車の走行サイクルとし

て合成6モードサイクルのB(C)型を採用するのがもっとも妥当と考えられる。

また、各路線における交通量、道路幅、交差点間隔と自動車の走行パターンの関係ならびに市内中心部の外周の道路における走行パターンは現在検討中で、今回の実験から得た走行サイクルによる汚染物の排出については次報で述べる。

6. 結 語

自動車の排気ガスによる都市の大気汚染の推測、さらには排気ガス規制、処理装置の開発においては都市における自動車交通の実態の把握とともに走行時の運転条件、すなわち走行パターンについての知見がきわめて重要である。米国では都市における自動車の走行モードの時間比から7モードサイクル(11モードサイクル)が平均的パターンとして規定されて、排気ガスの評価に対する基本とされ、排出規準もこれにもとづいている。

一方、わが国においても近年の自動車交通の激増は著しく、自動車排気に対する規制の気運もたかまっている。しかし、わが国の道路事情は米国の走行サイクルをそのまま適用して都市の大気汚染を評価することは必ずしも適当でない。このための一案として4モードサイクルが提唱されているが、これについての基礎資料は明らかでなく、わが国の都市交通を代表するパターンとしてはきわめて不都合な点もみられる。

このようなことから、京都市内の中心部で交通量の大きい地域を実験範囲に選び、各交差点の交通流特性から30通りの実験路線を選択して走行実験を行なった。走行パターンはタコグラフ(24分計)により記録し各モードの速度条件について出現頻度ならびに経過時間の占める割合を測定した。さらに2つの連続したモードの組合わせの頻度から単純マルコフ連鎖の理論を適用して、市内走行において確率的にもっとも期待される走行サイクルのモード数を算出した。これらの結果に実測の速度条件が示した頻度および時間比を基準とした採点法によって検討し、もっとも合理的とみられる走行サイクルを導いた。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1. 実験区域内には20個の交差点があり、交通流の進行特性(平均;直進63%,右折19%,左折18%)にもとづいて選定した30通りの実験路線の長さは0.6~11.8 km(平均3.1 km)で、走行所要時間は20秒~36分39秒2(平均8分8秒5)で、平均走行速度は20.8 km/hを示した。

走行モードの時間比の平均はアイドル30.3%,加速25.8%,定速26.9%,減速17.0%を示し、米国の7モードサイクルにくらべてアイドルの比率が約2倍、定速および減速の比率はかなり低い。船舶技研の値は定速が45%と著しく大きく、減速が6%と著しく小さく、本

測定の結果と非常に大きく異なる。

2. 実験路線の走行から合計 248 回の走行サイクル(アイドル 248 回, 加速 381 回, 定速 308 回, 減速 359 回)が記録され, サイクルあたりの平均時間は 59.2 秒である。

3. 加速モードでは 0 km/h から 40 km/h の出現度数がもっとも多く(全加速度数の 17.3%), 0 km/h から 30 km/h への出現度数がこれにつぐ。減速では 40 km/h から 0 km/h への出現度数が全減速の 22.0% ともっとも多く, 30 km/h から 0 km/h への出現度数がついで多い。

4. 全加速時間に対して 0 km/h から 40 km/h への加速時間が 25.7% ともっとも大きい時間比を示し, 定速では 40 km/h の相対時間比が 49.2% ともっとも大である。減速では 40 km/h から 0 km/h へは全減速時間の 25.6% ともっとも大きく, 50 km/h から 0 km/h へがこれにつぐ。

5. アイドルの平均継続時間は 18.0 秒で, 40 km/h から 60 km/h への加速が 27.6 秒と加速条件のなかでもっとも大きい継続時間を示し, 0 km/h から 40 km/h へは 14.7 秒である。定速では 40 km/h が平均 17.5 秒ともっとも大きい。減速では 60 km/h から 0 km/h へが 20.6 秒ともっとも大きく, 40 km/h から 0 km/h へは 8.1 秒を示した。

6. 実験路線の走行記録から合計 1 296 の連続した 2 つのモードの組み合わせが得られ, アイドルのつぎに加速の現われる度数ならびに減速のつぎにアイドルの現われる度数はいずれも 248 回で, 定速のつぎに減速の現われる度数は 243 回を示した。

このような各状態の現われる確率にもとづいて, アイドルからはじめて n -ステップ(モード)目にはじめてアイドルが現われる確率, すなわち理論再帰時間確率を求めた。その最大値は $n=4$ で得られ, 平均再帰時間は $\mu_j=5.225$ (標準偏差; 2.542) を示した。このことから確率的にもっとも期待される走行サイクルのモード数は 5.225 である。

7. 再帰時間確率の最大値ならびに平均値から導かれた 4, 5 および 6 モードの走行サイクルの可能な組み合わせのすべてについて実測の速度条件の出現頻度と時間比にもとづく採点から検討した。合成サイクルの数は 4 モードサイクル 1 種, 5 モードサイクル 108 種, 6 モードサイクル 239 種があげられ, 各速度条件の継続時間には実測平均値を用いた。4 モードサイクルは実測でもっとも出現頻度および時間比が大きい速度条件のみからなり, サイクル所要時間は 58.3 秒で, 各モードの時間比も実測平均値にきわめて近い。

5 モードサイクルは実測で最大の出現頻度および時間比を示した速度条件のいずれかが欠けており, 京都市

内における平均的走行サイクルとしては適当でない。

8. 6 モードの 5 種の基本型について実測条件から合計 239 種の組み合わせが得られ, 採点法からもっとも適当とみられた B 型および C 型は同じ速度条件からなり, その連続順序が異なるだけで所要時間(81.1 秒)およびモードの時間比(アイドル 22.2%, 加速 36.3%, 定速 21.6%, 減速 20.0%)は全く等しい。また, これらの走行サイクルは実測の出現頻度および時間比で最大を示した速度条件から形成され, しかも前述の 4 モードサイクルのパターンをも包含しており, 京都市内における自動車の走行パターンとしてもっとも妥当である。

以上は京都市の中心部における自動車の走行実験から走行パターン解析により確率的に合理的な走行サイクルを導いた経過であるが, 本実験の成績をそのままわが国の他の都市に適用するにはさらに検討を要する。すなわち, わが国の都市走行を代表する標準走行サイクルとしては道路事情や交通量などの異なる他の都市についての詳細な検討を行ない, 総合的に選定する必要がある。

また, 本実験においては運転手の習性についてはとくに検討しなかったが, 実験車の種類とともにこの点からもさらに検討の必要がある。

謝辞: 本実験の遂行にあたって多大のご援助を頂いた, 京都大学工学部衛生工学教室, 本多常夫, 同学生小松正幹, 京都市衛生研究所 高田進の諸君に深謝する。

参考文献

- 1) Haagen-Smit, A.J.; Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog, Ind. Eng. Chem., 44 (6), 1342-1347, 1957.
- 2) Mader, P.A., Gliksmans, J., Eye M., Chamber, L. A.; Photochemical Formation of Air Contaminants from Automobile Exhaust Vapours, Ind. Eng. Chem., 50 (8), 1173-1174, 1958.
- 3) Chass, R.T., Tow, P.S., Lunch, R.G., Shaffer, N.R.; Total Air Pollution Emission in Los Angeles County J. Air Poll. Cont. Assoc., 10 (5), 351-366, 1960.
- 4) Goldsmith, J.R.; Some Inspection of Ambient Air Quality Standards, Arch. Environ. Health, 4, 151-167, 1962.
- 5) Maga, J.A., Hass, G.C.; The Development of Motor Vehicle Exhaust Emission Standards in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10 (5), 393-396, 1960.
- 6) Teague, D.M.; Los Angeles Traffic Pattern Survey, S.A.E. National West Coast Meeting, paper No. 171, 17-38, Aug., 1957.
- 7) King, W.J., Wilson, K., Swarty, D.J.; Analysis of Automobile Exhaust Gas, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12 (1), 5-21, 1962.
- 8) Schweizer, P.H.; 自動車の大気汚染に対する米国の立法処置, 内燃機関, 4 (3), 62-64, 1965.
- 9) Hass, G.C., Brubacher, M.L.; A test Procedure for motor Vehicle Exhaust Emission, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12 (11), 505-509, 1962.
- 10) Middleton, J.T.; Criteria for Certification of motor Vehicle Pollution Control Devices in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13 (2), 78-80, 1963.
- 11) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気, V, 内燃機

- 関, 6 (2), 86-97, 1967.
- 12) 大平俊男; 環境からみた大都市における自動車排気ガスについて, 東京の場合, 公害と対策, 2 (2), 33-41, 1966.
 - 13) 大阪市総合計画局公害対策部; 環境からみた大都市における自動車排気ガスについて, 大阪市の場合, 公害と対策, 2 (2), 43-52, 1966.
 - 14) 八巻直臣; 自動車排気ガスによる大気汚染の防止に関する諸問題, 石油学会誌, 8 (9), 30-38, 1965.
 - 15) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気, II, 内燃機関, 5 (11), 57-62, 1966.
 - 16) 副島海夫, 吉田耕一; 自動車排気ガスの現状とその減少対策, 公害と対策, 2 (2), 9-16, 1966.
 - 17) 曾田範宗, 熊谷清一郎; 内燃機関ハンドブック, 9746, 養賢堂, 東京, 1964.
 - 18) Feller, W.; An Introduction to Probability Theory and Its Applications, p. 461, John Wiley & Sons. Inc., New York, 1957.
 - 19) フェラー, W, 河田竜夫訳; 確率論とその応用, 下, 276-635, 紀伊国屋, 東京, 1966.
 - 20) Chipman, J.C., Massey, M.T.; Proportional Sampling System for the Collection of an Intergrated Auto Exhaust Gass Sample, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10 (1), 60-69, 1960.
 - 21) Faith, W.L., 内藤幸穂訳; 大気汚染と公害防止, p. 222, 技報堂, 東京, 1965.
 - 22) 山本峰雄, 近藤政市, 平尾 収, 互理 厚; 自動車ハンドブック, p. 873, 朝倉書店, 東京, 1966.
 - 23) 京都市計画局都市計画課; 昭和 36 年度全国道路交通情勢調査, 135, 1961.
 - 24) 京都市計画局都市計画課; 昭和 40 年度全国道路交通情勢調査, 135, 1965. (1967. 6. 12・受付)
-