

# 幹線道路における信号密度とNOx排出量

横田久司 竹永裕二

## 要 旨

都内の幹線道路走行調査を行ない、信号密度と走行データ（平均旅行速度、ショートトリップデータ等）及びNOx排出量との関係について検討した。

その結果、

(1) 信号密度は、平均旅行速度、ショートトリップ平均距離と反比例の関係にあり、平均加速度とは比例する傾向にあった。

(2) NOx排出量は、信号密度と比例的な傾向にあることがわかった。

## 1 はじめに

ディーゼル車からのNOx排出は、平均旅行速度（以下、 $V_t$ と記する。）と良い相関があり、都では、排出係数を $V_t$ との回帰式で表現し、設定している。 $V_t$ は、走行した道路の制限速度、車線数、交通量等に影響されるが、一般道の場合、平面交差すなわち交通信号の数や信号制御にも大きく影響されることは明らかである。

ここでは、都内の幹線道路走行調査を行った結果から、交通信号の密度に着目し、 $V_t$ 及びショートトリップ平均走行距離等の走行データ及びNOx排出量との関係を検討した。

## 2 調査

### (1) 試験車及び測定方法

試験車は、総排気量10.3ℓの副室式ディーゼル(IDI)エンジン搭載の大型バスを用いた。走行データ及びNOx排出量の測定は、車載計測システム(OBT-MS<sup>2)</sup>によった。

### (2) 調査日時及び走行路線

調査は、第1期(90.03.15~90.03.20)を国道357号新木場から13号地入口までの区間の往復コース、第2期(91.01.22~91.01.31)を新砂を起点に亀戸、青戸、向島を経て辰巳に至る周回コース(左回り、及び右回り)として、原則として午前9時30分~12時、午後1時30

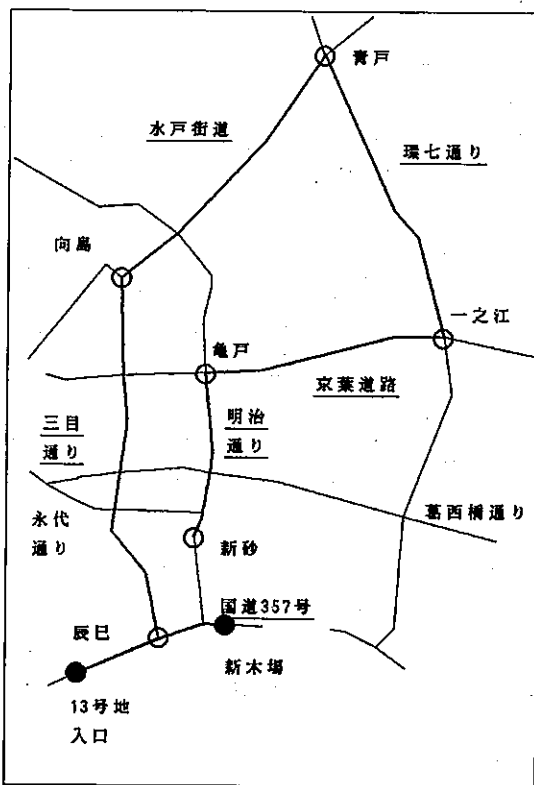


図1 走行コース  
(第1期(●)第2期(○))

分～4時30分の間に走行した。表1に走行した路線の諸元、表2に走行日時、図1に走行コースを示した。

調査時は、ピーク時間帯ではなく比較的スムーズな走行であったが、91年1月23日午後、京葉道路において事

表1 調査路線

路線名称	起点	終点	信号機数 (n)	区間距離 (km)	信号密度 (n/km)	車線数 (n)	制限速度 (km/h)	平均交通量(注)		
								時刻	台/時	ピーク比
国道357号 (環状道路)	新木場	→ 13号地入口 (外周)	6	6.5	0.9	2	60	9-12	1012	0.898
		13号地入口→新木場 (内周)						13-16	949	0.842
明治通り (環状道路)	新砂	→ 亀戸 (内周)	20	3.30	6.1	2	50	9-12	1005	0.583
		亀戸→新砂 (外周)						13-16	833	0.484
京葉道路 (放射道路)	亀戸	→ 一之江 (下り)	13	5.10	2.5	3	50	9-12	1432	0.540
		一之江→亀戸 (上り)						13-16	1483	0.559
環7通り (放射道路)	一之江	→ 青戸 (内周)	16	6.55	2.4	3	50	9-12	1372	0.656
		青戸→一之江 (外周)						13-16	1260	0.602
水戸街道 (放射道路)	青戸	→ 向島 (上り)	22	6.60	3.3	3	50	9-12	1759	0.745
		向島→青戸 (下り)						13-16	1485	0.629
三ツ目通り (環状道路)	辰巳	→ 向島 (内周)	50	7.47	6.7	2	50	9-12	816	0.734
		向島→辰巳 (外周)						13-16	804	0.723
								9-12	966	0.869
								13-16	922	0.829

注) 東京都建設局調査(1990/10)

表2 走行日時

(第1期)

年月日	路線	国道357号 新木場→13号地入口	国道357号 13号地入口→新木場
90/03/13(火)	PM	13:00~16:30	13:00~16:30
90/03/15(木)	AM	09:30~12:00	09:30~12:00
	PM	13:00~16:30	13:00~16:30
90/03/16(金)	AM	09:30~12:00	09:30~12:00
	PM	13:00~16:30	---
90/03/19(月)	AM	09:30~12:00	---
	PM	13:00~16:30	13:00~16:30
90/03/20(火)	AM	09:30~12:00	---

(注) この時間内に繰返し走行した。

(第2期)

(ルート1)

( )内、所用時間(分)

年月日	路線	明治通り 新砂→亀戸	京葉道路 亀戸→一之江	環7通り 一之江→青戸	水戸街道 青戸→向島	三ツ目通り 辰巳→向島
91/01/22(火)	AM	10:08~10:26(18)	10:26~10:41(15)	10:41~10:54(13)	10:54~11:10(16)	11:10~11:40(30)
	PM	13:43~13:58(15)	13:58~14:13(15)	14:13~14:28(13)	14:28~14:40(14)	-----
91/01/23(水)	AM	09:55~10:08(13)	10:08~10:20(12)	10:20~10:32(12)	10:32~10:43(11)	10:43~11:15(32)
	PM	13:48~14:02(14)	14:02~14:29(27)	14:29~14:41(12)	14:41~14:54(13)	14:54~15:19(25)
91/01/31(木)	AM	09:42~09:57(15)	09:57~10:08(11)	10:08~10:22(14)	10:22~10:51(29)	10:51~11:22(31)

(ルート2)

年月日	路線	明治通り 新砂←亀戸	京葉道路 亀戸←一之江	環7通り 一之江←青戸	水戸街道 青戸←向島	三ツ目通り 辰巳←向島
91/01/29(火)	AM	11:42~11:52(10)	11:28~11:42(14)	11:06~11:28(22)	10:45~11:06(21)	10:10~10:45(35)
	PM	15:36~15:42(6)	15:24~15:36(12)	15:05~15:24(19)	14:30~15:05(35)	13:58~14:30(32)
91/01/30(水)	AM	11:27~11:37(10)	11:12~11:27(15)	10:46~11:12(26)	10:32~10:46(14)	10:00~10:32(32)
	PM	15:03~15:15(12)	14:51~15:03(12)	14:36~14:51(15)	14:12~14:36(24)	13:43~14:12(29)

表3 走行調査結果

路線名	区間		年月日	曜日	時刻	NOx 排出量 Q <sub>nox</sub> (g/km)	平均 旅行速度 U <sub>t</sub> (km/h)	平均 走行速度 U <sub>r</sub> (km/h)	ショートトリップ* 平均データ			加速時 平均 加速度 (km/h/s)	平均 ID 時間比 (%)			
	起点	終点							時間 (sec)	距離 (km)	頻度 (1/km)					
国道357号 (外周)	新木場	13号地 入口	90/03/13	火	PM	3.69	36.1	42.5	165	1.68	0.6	1.71	15.1			
			90/03/13	火	PM	3.83	43.4	47.9	270	3.26	0.3	1.59	9.3			
			90/03/13	火	PM	3.36	43.2	47.4	136	6.31	0.2	1.71	8.7			
			90/03/15	木	AM	3.40	42.5	48.6	177	3.18	0.3	1.89	12.6			
			90/03/15	木	AM	3.52	38.2	45.3	130	1.60	0.6	2.07	15.7			
			90/03/15	木	AM	3.85	36.6	44.2	132	1.63	0.6	2.08	17.2			
			90/03/15	木	PM	4.69	18.7	38.7	89	0.54	1.9	---	51.6			
			90/03/16	金	AM	3.89	43.8	44.3	267	3.24	0.3	1.59	1.1			
			90/03/16	金	AM	4.08	27.7	38.1	126	1.08	0.9	1.99	27.3			
			90/03/16	金	AM	4.09	22.5	32.8	78	0.81	1.2	---	31.3			
			90/03/16	金	PM	3.57	36.1	47.7	109	1.28	0.8	2.13	24.5			
			90/03/16	金	PM	3.48	48.9	46.6	458	6.48	0.2	1.64	12.3			
			90/03/19	月	AM	3.99	45.2	47.9	399	6.40	0.2	1.67	5.7			
			90/03/19	月	PM	4.58	37.5	47.8	120	2.14	0.5	1.74	21.6			
			90/03/19	月	PM	4.06	37.6	49.5	166	2.16	0.5	1.73	24.0			
			90/03/19	月	PM	5.14	39.5	48.4	139	2.14	0.5	1.85	18.3			
			90/03/19	月	PM	3.94	36.9	45.9	128	2.13	0.5	2.09	19.6			
			90/03/20	火	AM	3.55	43.6	46.6	126	6.47	0.2	1.73	6.4			
			平均						3.93	37.2	45.0	179	2.92	0.6	1.83	17.9
			標準偏差						0.46	7.2	4.3	102	2.01	0.4	0.60	11.3
国道357号 (内周)	13号地 入口	新木場	90/03/13	火	PM	4.27	28.0	43.8	131	1.29	0.8	2.15	36.0			
			90/03/13	火	PM	3.94	24.8	48.4	107	0.92	1.1	2.06	38.7			
			90/03/15	木	AM	4.00	29.5	43.1	105	1.09	0.9	1.97	31.6			
			90/03/15	木	AM	3.67	33.9	45.7	158	2.14	0.5	1.88	25.8			
			90/03/15	木	PM	3.97	21.5	31.8	85	0.74	1.4	---	32.5			
			90/03/16	金	AM	4.34	24.9	42.8	111	0.94	1.1	1.90	41.9			
			90/03/19	月	PM	4.80	29.4	45.2	153	1.64	0.6	1.99	34.9			
			90/03/19	月	PM	4.33	30.2	43.9	150	1.63	0.6	1.72	31.3			
			90/03/19	月	PM	4.65	23.3	40.1	119	0.92	1.1	1.96	41.9			
			平均						4.22	27.3	41.8	124	1.26	0.9	1.74	35.0
標準偏差						0.34	3.7	4.0	24	0.43	0.3	0.62	5.8			
明治通り (内周)	新砂	亀戸	91/01/22	火	AM	4.79	13.0	24.5	77	0.29	3.5	1.95	47.0			
			91/01/23	水	AM	5.17	14.4	26.3	89	0.37	2.7	2.30	45.3			
			91/01/31	木	AM	5.69	14.2	25.1	68	0.27	3.7	2.48	43.3			
			91/01/23	水	PM	5.37	14.8	25.2	78	0.33	3.0	2.36	41.5			
			平均						5.26	14.1	25.3	78	0.32	3.2	2.27	44.3
標準偏差						0.33	0.7	0.6	8	0.04	0.4	0.20	2.1			
明治通り (外周)	亀戸	新砂	91/01/29	火	AM	4.33	22.9	31.2	90	0.69	1.5	2.20	26.5			
			91/01/30	水	AM	4.38	18.9	25.7	96	0.51	2.0	2.09	26.2			
			91/01/29	火	PM	3.88	25.4	31.8	123	1.12	0.9	2.03	20.1			
			91/01/30	水	PM	4.65	16.7	26.4	75	0.41	2.4	2.20	36.9			
			平均						4.31	21.0	28.8	96	0.68	1.7	2.13	27.4
標準偏差						0.28	3.4	2.7	17	0.27	0.6	0.07	6.0			
京葉道路 (下り)	亀戸	一之江	91/01/22	火	AM	3.75	29.4	36.6	172	1.78	0.6	1.96	19.7			
			91/01/23	水	AM	4.21	28.9	39.1	180	1.76	0.6	1.97	26.8			
			91/01/31	木	AM	3.87	28.1	41.9	133	1.08	0.9	1.92	32.9			
			91/01/22	火	PM	3.87	24.6	36.6	86	0.66	1.5	2.05	32.9			
			91/01/23	水	PM	5.99	12.0	26.2	70	0.24	4.2	2.21	54.4			
平均						3.92	27.7	38.5	143	1.32	0.9	1.98	27.9			
標準偏差						0.17	1.9	2.2	37	0.47	0.4	0.05	5.5			
京葉道路 (上り)	一之江	亀戸	91/01/29	火	AM	4.24	19.5	29.7	77	0.53	1.9	2.56	34.6			
			91/01/30	水	AM	4.22	21.8	34.8	108	0.68	1.5	2.27	37.4			
			91/01/29	火	PM	4.12	27.7	48.5	106	1.08	0.9	2.02	31.7			
			91/01/30	水	PM	4.11	25.3	37.6	111	0.79	1.3	2.15	32.7			
			平均						4.17	23.6	35.7	101	0.77	1.4	2.25	34.1
標準偏差						0.06	3.2	4.0	14	0.20	0.3	0.20	2.2			

路線名	区間		年月日	曜日	時刻	NOx 排出量 Qnox (g/km)	平均 旅行速度 Ut (km/h)	平均 走行速度 Ur (km/h)	ショートトリップ* 平均データ			加速時 平均 加速度 (km/h/秒)	平均 ID 時間比 (%)	
	起点	終点							時間 (sec)	距離 (km)	頻度 (/km)			
環七通り (内周)	一之江	青戸	91/01/22	火	AM	3.72	31.4	36.1	122	2.11	0.5	1.64	12.9	
			91/01/23	水	AM	3.90	38.6	42.9	154	6.96	0.1	1.77	16.0	
			91/01/31	木	AM	3.99	33.1	40.3	118	1.22	0.8	1.84	17.8	
			91/01/22	火	PM	3.85	31.7	41.1	113	1.12	0.9	2.07	22.9	
			91/01/23	水	PM	4.31	35.8	44.2	164	1.74	0.6	1.78	19.0	
			平均			3.95	34.1	40.9	134	2.63	0.6	1.82	16.5	
			標準偏差	0.20	2.7	2.8	21	2.19	0.3	0.14	4.6			
環七通り (外周)	青戸	一之江	91/01/29	火	AM	4.94	20.7	34.3	182	0.70	1.4	2.09	39.7	
			91/01/30	水	AM	4.42	18.0	31.7	97	0.50	2.0	2.21	43.2	
			91/01/29	火	PM	4.31	23.2	31.5	93	0.67	1.5	1.81	26.3	
			91/01/30	水	PM	3.79	30.2	40.2	116	1.00	1.0	1.97	24.8	
			平均			4.37	23.0	34.4	102	0.72	1.5	2.02	33.5	
						標準偏差	0.41	4.5	3.5	9	0.18	0.4	0.15	8.0
水戸街道 (上り)	青戸	向島	91/01/22	火	AM	3.56	24.5	33.0	97	0.68	1.5	2.06	25.7	
			91/01/23	水	AM	3.57	36.2	43.0	268	3.48	0.3	1.77	15.8	
			91/01/31	木	AM	3.85	27.9	37.0	101	1.05	1.0	2.09	24.7	
			91/01/23	水	PM	3.57	34.3	44.2	184	1.79	0.6	1.68	22.3	
			平均			3.64	30.7	39.3	163	1.75	0.8	1.90	22.1	
						標準偏差	0.12	4.8	4.5	70	1.08	0.4	0.18	3.9
水戸街道 (下り)	向島	青戸	91/01/29	火	AM	4.45	24.0	36.3	99	0.67	1.5	1.99	34.8	
			91/01/30	水	AM	3.88	27.6	37.3	130	1.01	1.0	1.86	26.0	
			91/01/29	火	PM	6.00	12.3	23.9	69	0.24	4.1	2.41	48.5	
			91/01/30	水	PM	4.79	18.1	31.6	91	0.46	2.2	2.24	42.9	
			平均			4.37	23.2	35.1	107	0.71	1.6	2.03	34.3	
						標準偏差	0.38	3.9	2.5	17	0.23	0.5	0.16	6.9
三ツ目通り (外周)	向島	辰己	91/01/23	水	AM	5.05	15.9	30.1	78	0.36	2.8	2.67	47.1	
			91/01/31	木	AM	4.48	16.3	29.4	81	0.39	2.6	2.39	44.6	
			91/01/23	水	PM	4.58	18.5	32.0	75	0.40	2.5	2.48	42.3	
			平均			4.70	16.9	30.5	78	0.38	2.6	2.51	44.7	
						標準偏差	0.25	1.1	1.1	3	0.02	0.1	0.12	1.9
三ツ目通り (内周)	辰己	向島	91/01/30	水	AM	5.42	16.2	27.9	73	0.35	2.8	2.27	42.0	
			91/01/29	火	PM	5.06	15.9	26.7	87	0.40	2.5	2.40	40.3	
			91/01/30	水	PM	5.20	16.8	29.9	95	0.45	2.2	2.27	43.7	
			平均			5.23	16.3	28.2	85	0.40	2.5	2.31	42.0	
						標準偏差	0.15	0.4	1.3	9	0.04	0.3	0.06	1.4

注) 京葉道路(下り)の91/01/23(水)午後及び水戸街道(下り)の91/01/29(火)午後は、平均から除外した。

故による渋滞、水戸街道の下りでは一般的に工事による渋滞があり、特に91年1月29日午後には顕著な渋滞に遭遇した。

各路線の区間内にある信号機数を区間距離で除し、信号密度とした。

### 3 結果及び考察

走行路線、区間及び進行方向別に整理した調査結果を表3に示した。平均旅行速度、アイドリング(以下、IDと記す。)時間を除いた平均走行速度(以下、Vrと記す。)、ショートトリップ(IDから、次のIDまでの走行)、加速モードの平均加速度等の走行データを表示した(詳しい定義は、文献2を参照)。

同一路線について進行方向別に比較すると、NOx排出

量が多くなっている場合は、Vt, Vr, ショートトリップ平均時間及び平均距離が小さく、ショートトリップ頻度、加速時の平均加速度及びID時間比率が大きくなっており、調査時点の進行方向別に交通量が異なることを示す。なお、Vrの変化がVtに比べて少ないのは、各路線の制限速度によって実勢速度の上限が定まってしまうためと考えられる。

以下の考察のうち、(1)、(2)は、主な傾向を把握することを主眼として、路線、区間及び進行方向別の平均値によって解析を行った。

#### (1) 信号密度と走行状態

路線別にみると、都心部に近い内側の環状道路である三ツ目通り、明治通りの信号密度が高く、都心部から離れた外側の環状道路である環七通り及び国道357号の信

号密度が低くなっている。これは、放射状道路と環状道路の交差が内側になるにつれて多くなるという数理的に明らかな条件の他に、外側ほど年代的に新しい道路が多いこと、今回の調査が東京都の東部方面の幹線道路が選択されたことにも影響されていると考えられる。

一般的には、信号密度の低い路線ほど、各種走行データの分散が大きくなっており、また渋滞に遭遇した場合は極端なデータとなっている。

ショートトリップ平均距離をみると（図2参照）、図

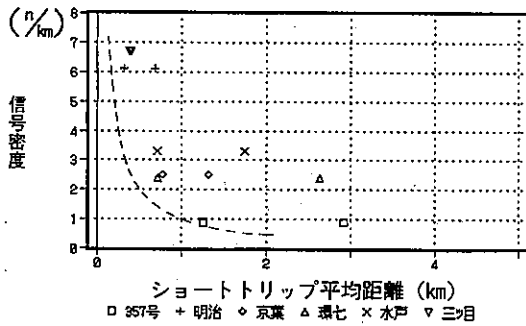


図2 信号密度とショートトリップ平均距離

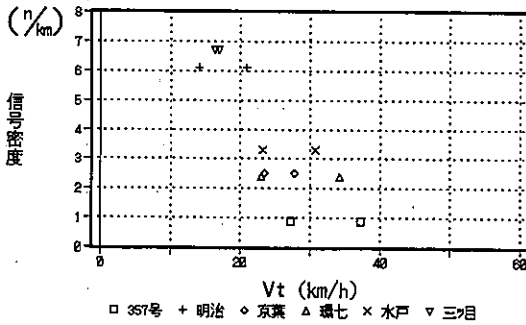


図3 信号密度と Vt

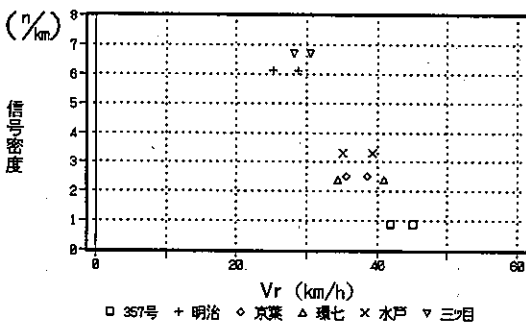


図4 信号密度と Vr

に破線で示した信号間の平均距離より数倍大きい値となっており、信号の系統化の効果がみられる。

また、Vt、Vr及びショートトリップ平均時間は、渋滞時を除けば平均的には信号密度と反比例の傾向にある（図3、4、5）。つまり、信号系統化等の効果が信号密度の影響を超えるほどには現れていないということである。

一方、平均加速度、ショートトリップ出現頻度は信号密度と比例の傾向にある（図6、7）。これは、信号密度

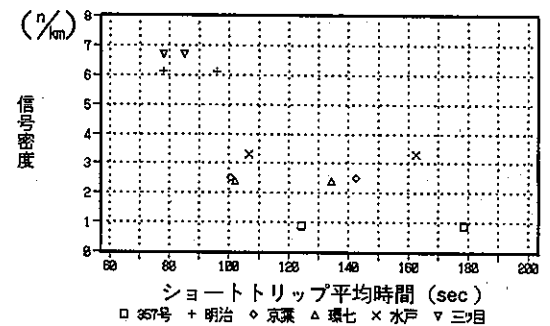


図5 信号密度とショートトリップ平均時間

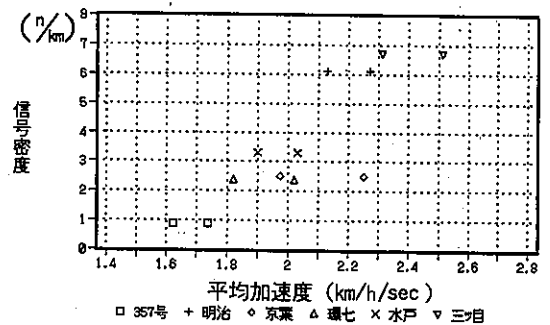


図6 信号密度と平均加速度

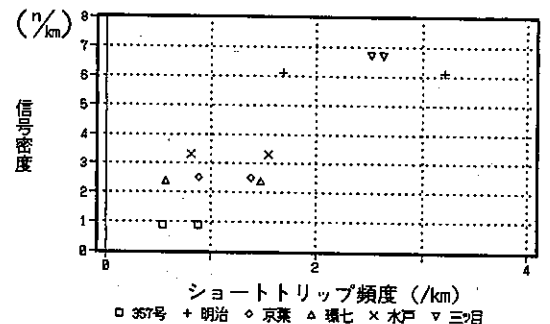


図7 信号密度とショートトリップ頻度

が高いほど停止回数が多くなり、発進時の加速度が高いためである。アイドリング時間比率(図8)も同様の傾

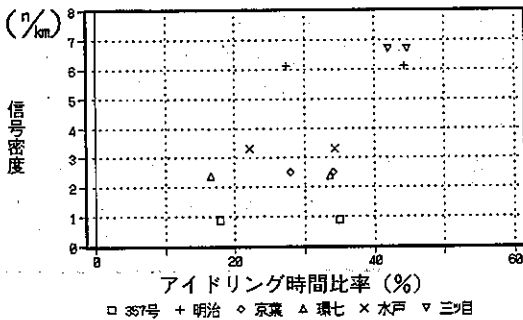


図8 信号密度とアイドリング時間比率

向であるが、渋滞の影響を直接的に示しているものと思われる。

(2) 信号密度とNOx排出量

NOx排出量は、信号密度と比例的な傾向が認められる(図9)が、走行データと比較して変動が大きい。これ

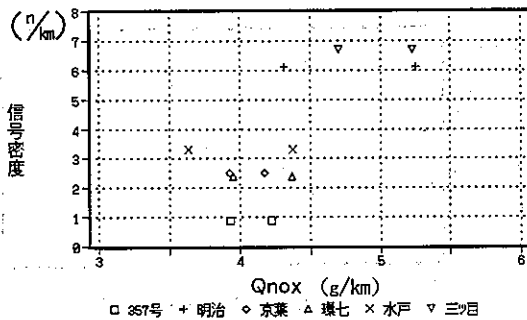


図9 信号密度とNOx排出量

は(1)でみたようにID時間比率の変動が大きいため、ID時のNOx排出量の寄与が大きくなっていることに影響されているものと考えられる。

(3) NOx排出量とVtの関係

NOxとVtの関係(図10)を全データでみると、路線によって平均車速の分布位置は異なるものの、回帰式としては、一本で表わすことができそうである。

Vtを変数とし3次の回帰式を求めた。NOx排出量の推定値をYnoxとすると、

$$Y_{nox} = a_0 + a_1 \cdot Vt + a_2 \cdot Vt^2 + a_3 \cdot Vt^3 \dots (1)$$

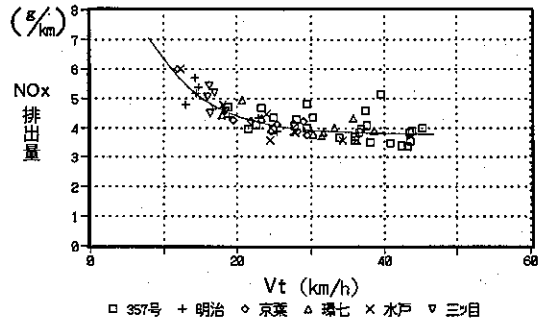


図10 NOx排出量とVt

ただし、 $a_0 = 10.639$

$$a_1 = -0.5821$$

$$a_2 = 0.016990$$

$$a_3 = -0.0001666$$

重相関係数=0.836

を得た。(1)式からのバラツキをみるため、測定値と推定値の比( $Q_{nox}/Y_{nox}$ )の平均及び分散を各路線ごとに求めた。

	平均	分散
国道357号	1.015	0.102
明治通り	0.978	0.061
京葉道路	0.987	0.042
環七通り	1.008	0.062
水戸街道	0.968	0.069
三ツ目通り	1.013	0.060

各路線とも平均値の偏りは3.2%以内、分散は10.2%以内であり、(1)式からの離散は小さいものと考えてよい。

したがって、都市内幹線道路の走行時におけるNOxの排出係数を旅行速度をパラメータとして表現することは、信号密度の異なる種々の路線を対象としても妥当であると考えられる。

4 おわりに

幹線道路走行調査結果から、信号密度と種々の走行データ及びNOx排出量との関係の解析を試みた。データ量としては十分ではないが、走行データ、NOx排出量の平均値は信号密度の影響により、ある程度の範囲内に収束することが推定できた。

また、都市内の幹線道路走行時におけるNOx排出量を

推定するための排出係数として、平均旅行速度をパラメータに用いることの妥当性を実走行での測定で確認した。

今回の調査は、試験車の走行によるものであるが、断面交通量の調査を同時に行えば交通量との関係がより明らかになるものと考えられる。

また、NOx低減対策としての系統信号化等の信号制御の効果の把握について今後検討したい。

なお、90年11月から行われている水曜日における交通量抑制対策の時期に併せて、今回の調査を行ったものであるが、曜日による変化は明確にすることはできなかった。交通量抑制対策の効果把握のためには、断面交通量の調査だけでなく、平均車速分布の調査も必要であると

考えられるが、その際には今回の調査手法が有効であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 竹永裕二ら：「車載計測システムによる大型ディーゼル車からのNOx排出実態の把握～都バス改造車による検討～」環境保全局行政交流会誌，第15号（平成2年度）。
- 2) 横田久司ら：「車載計測システムによるディーゼル・トラックからのNOx排出特性の把握」，大気汚染学会誌，24，4，（1989）。

---

## Relation Between Traffic Signals and NOx Emission on Arterial Road

Hisashi Yokota and Yuuji Takenaga

### (Abstract)

Based on the running survey on arterial roads in TOKYO, relations between traffic signals and NOx emission from heavy duty diesel bus have been investigated.

The summary of the characteristics is as follows;

- (1) the over all running speed and the average distances of short trips are inversely proportion to the intervals of traffic signals
- (2) the average accelerations are in proportion to the intervals of traffic signals
- (3) NOx emission (g/km) are in proportion to the intervals of traffic signals