



土 木 研 究 所 資 料

第 7 9 6 号

スリットカメラによる車両感知機の性能調査

昭和 4 8 年 3 月

建設省土木研究所
道路研究室

目 次

1. ま え が き	1
2. ス リ ッ ト カ メ ラ	2
3. ル ー プ 式 感 知 器	5
4. 超 音 波 式 感 知 器	6
5. 調 査 お よ び 整 理 方 法	7
6. 調 査 結 果	9
7. 結 果 の 検 討	19
8. あ と が き	24

1. まえがき

近年、道路交通の状況を知るために、多くの車両感知器が各種のシステムで使用されている。感知器が、単に交通量の計測のみに使用されている場合には、必要とされる感知器の出力は、パルスの回数さえ正確でありさえすればよい。正しく調整されたものならば、極端な渋滞時以外は2～3％以内の誤差で交通量の計測が可能といわれている。交通自体の変動を考えれば、通常の交通量計測にはこの程度の精度があれば十分であろう。しかし、都市周辺で、渋滞が問題となっている地域では、渋滞の検知のために交通量のみでなく、オキュパンシもデータとして使用している。この場合には、感知器の出力パルスは、単に回数のみでなく、長さについても精度が要求される。

現在一般的に使用されている感知器は、ループ式感知器を超音波式感知器である。これらは、車を金属体および音の反射体という間接的な形でとらえており、あるスライスレベル以上の反応があった場合に車両の存在を検知し、パルス出力を出している。そのため、必ずしも車両の存在時間を正確に検知しているとはいえない。また、超音波式の場合には、その原理上、サンプリングを行わざるを得ず、また、感知もれを防ぐために保持時間を設定しているため、理論上でもパルス長は正しいものとは異なるはずである。

本調査は、オキュパンシを計測する機器としては最も信頼できるスリットカメラを使用して、上記問題点の考えられる感知機の出力パルス長の精度および偏差を調査しようとするものである。

担 当 者	柴 田 正 雄	池 田 勝 美
	浦 野 隆	小 林 建 夫
	河 野 辰 男	後 藤 豊 和

2. スリットカメラ

スリットカメラは、ストリークカメラ、ストリップカメラとも呼ばれるが、図-1に示すような構造のカメラであり、被写体の像の内、スリット（細いすきま）を通る部分のみがフィルム上に写される。フィルムは他のカメラと異なり、連続的に送られる。よって、フィルムに写った像はある一線上の現象の時間的変化を示すものである。時間-距離軸で交通調査に使われる各種のカメラの撮影範囲を示すと図-2のようになる（実際にはたて軸は距離でなく空間的な拡がりをもったものであるが距離で代表させる）。

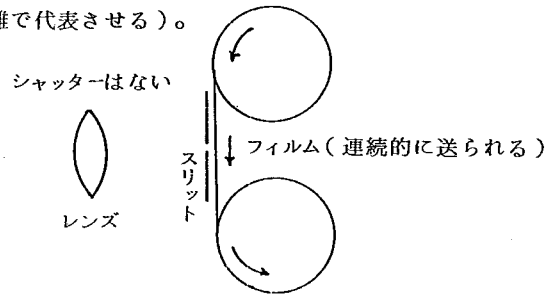


図-1 スリットカメラの構造

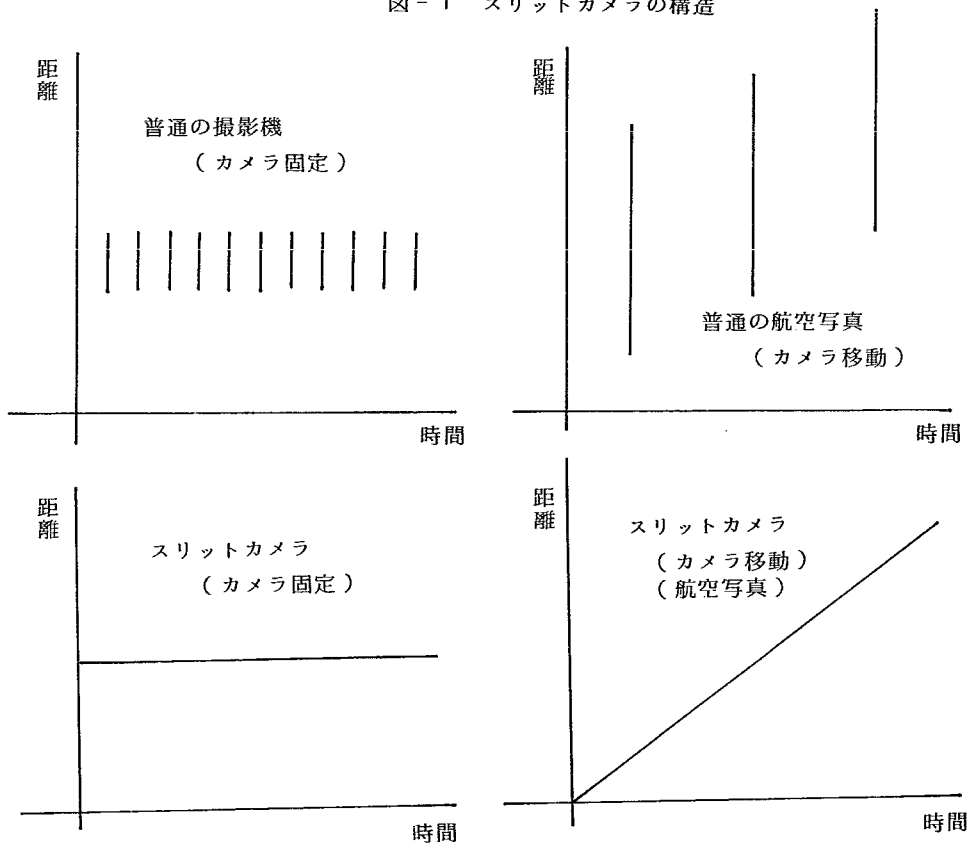


図-2 各種カメラの撮影範囲

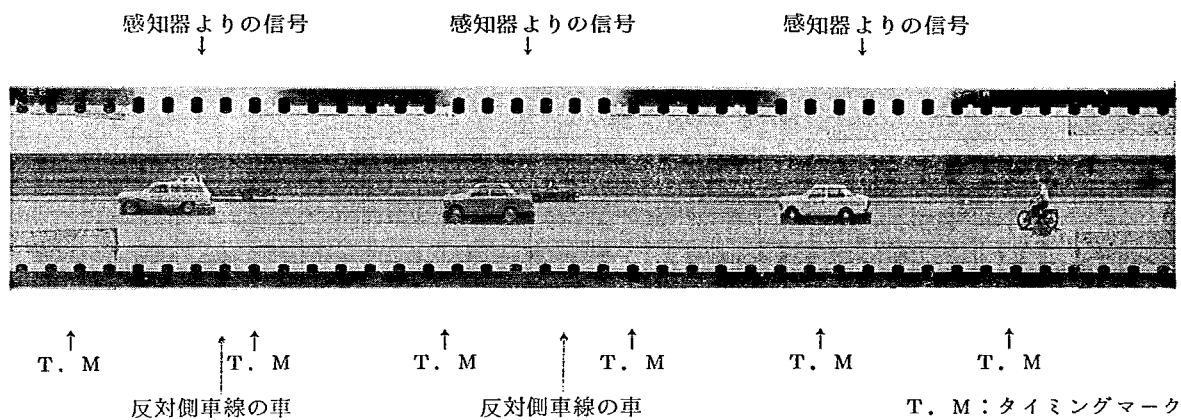
今までスリットカメラは主として航空写真の分野で、ある市の地域を連続して写す目的で使われてきた。この場合には時間軸に関しては興味が持たれていない。カメラが移動することによって時間の変化が距離の変化となり、普通の写真と同様の写真が得られる。

競争競技、例えば競馬で着順判定に用いられているスリットカメラは、明らかに時間軸を測定対象としたものであり、本調査におけるスリットカメラの使用法と同じである。この場合には、カメラは固定しておき、スリットを通して一地点（正確には一線上）のみを写し続ける。フィルムの進行によって、フィルム上にはその一点の時間的变化が連続して写し込まれる。他の記録器で働きの似ているものを探すと、オッシログラフが挙げられよう。オッシログラフのペンの動きの代りに画像が記録されるものと考えられよう。

本調査で使用したスリットカメラは、以下の仕様のものである。

- ・型 式 名 EMC-3500（佛ナック製）
- ・使用フィルム 35mmパーフォーレーション付
- ・スリット幅 0～2mm可変
- ・スリット長さ 27mm
- ・フィルム送り速度 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 段階可変
- ・タイミングマーク 1, 2, 5, 10秒ごとに3桁数字を写し込む
- ・外部信号 端子ON時にマークを写し込む
- ・フィルム容量 122m（400ft）

このカメラにて撮影した写真の例を図-3に示す。この写真は、道路の脇より横方向にカメラを向けて撮影している。この道路は2車線道路であり、普通のカメラを撮影した写真ならば、上下方向の車両は反対の方向を向いているが、スリットカメラで撮影したこの写真では、同じ方向を向いている。また、車両の上下方向と横方向の比率が普通の写真で撮影したものとは異なっている。これらは、この写真のフィルム長手方向が距離を示しているのではなく、時間を示しているためである。車両はどちらの方向に向ってしようとも頭の方から撮影地点を通過するため、頭の方が先に写し込まれる。車両の像は、車両が撮影地点を通過する時間だけフィルムに写し込まれるが、その時間とフィルムの速度と上下方向の縮尺の関係がある一定の条件を満たした場合のみ、車両は上下と左右の縮尺が同一になる。フィルムの上の部分に白い線が入っているが、これは、感知器のパルスをフィルム上に写し込んだものであり、この線とフィルム上の車両の像を比べることによって感知器のパルスの検定ができる。フィルムの下の部分にある数字はタイミングマークであり、この写真の場合にはスタート時よりの秒数を表わしている。（1秒間隔にセットしてあるため）



昭和47年7月17日 船橋市宮本町
超音波感知器

図--3 スリットカメラによる撮影例

3. ループ式感知器

ループ式感知器は、路面に埋設されたループ状の絶縁電線の持つ電気的な定数が車体（金属）の接近により変化することを利用して、車両の存在または通過を感知するものである。ループの大きさは、 $2 \times 2 \text{ m}$ 程度が多い。仕様のには、車体がループの $1/3$ 以上を覆った時にパルスを出力するように表示してあるものが多いが、車両によってループの定数の変化の仕方が異なるため、必ずしも正確なオキュパンシを検出するとは限らない。例えば、貨物車の荷台の後部は金属部分が少なく、また地表より高いため感知されにくい。

本調査で対象としたループ式感知器は以下の仕様のものである。

- ・型 式 名 V T 1 2 2 (本 体)
 V T 1 9 3 (ループコイル)
 (松下通信工業製)
- ・設 置 場 所 千葉市登戸 千葉市役所前
 国道 1 4 号線上り内側車線
 感知器番号 登戸④ - 1 (№ 1 7)
- ・ループ寸法 $2.5 \times 2.5 \text{ m}$

ループ式感知器は、2つのループを進行方向にならべて速度を検出するタイプもあるが、本調査で対象とした感知器は一般的な1ループタイプであり、車両がループ上にある時パルスを出力するものである。

現在、この感知器の出力は以下のように処理されている。

$$Q = n$$

$$Occ = 100 \times \sum t_i / 300$$

Q : 単位時間 (5 分) の交通量

n : 集計時間 (5 分) 中のパルス数

Occ : オキュパンシ (%)

t_i : パルスの継続時間 (秒)

4. 超音波式感知器

現在用いられている超音波式感知器は、反射式のものが一般的である。これは、超音波が車両に反射して戻ってくる場合と路面に反射して戻ってくる場合では、戻ってくるまでの時間が異なることを利用して車両の感知を行うものである。発信と受信の時間差により感知するわけであるから、連続した計測は行えず、ある間隔（50～100ms）において、超音波の発信、反射波の受信の過程を繰り返す。そのため、感知結果はサンプリングとなり、ある程度の誤差の生じることがまぬがれない。また、車両の部分で超音波を反射しにくい所もあるので、車両の通過中に反射波がとぎれることもあり、その対策として、一度車両の反射波を受けるとある時間（100～300ms）だけパルス信号を保持する機構を有している。そのため、車両の通過時の最終の感知信号もび、パルス長は実際のものより長くなる。

本調査で対象とした超音波式感知器は以下の仕様のものである。

- ・型 式 名 VT131（本体）
 VT138F（ヘッド）
 （松下通信工業製）
- ・設 置 場 所 船橋市宮本町4-17-2
 国道14号線下り車線
 感知器番号 谷津③～5（No15）
- ・設 置 方 式 オーバーヘッド式
- ・発振周波数 19KHz
- ・発振周 期 85ms
- ・保 持 時 間 200ms

現在、この感知器の出力は、先のループ式感知器の場合と同様の処理がなされている。

5. 調査および整理方法

5-1 撮影条件

・超音波式感知器

撮影日時 昭和47年7月17日 11時20分~12時25分
天 候 快 晴
スリット巾 0.05 mm
フィルム速度 30 mm/sec

・ループ式感知器

撮影日時 昭和47年8月28日 11時~11時52分
天 候 快 晴
スリット巾 0.05 mm
フィルム速度 40 mm/sec

5-2 読みとりおよび整理

フィルムより各車両ごとに以下のものを読みとった。

- ・車 種 乗用車（普通および小型、軽）
貨物車（大型、小型、軽、ライトバン）
バ ス（大型、マイクロ）

なお、貨物車の普通と小型は車軸数で区分した（3軸以上が大型）。

- ・車 長（ ℓ_1 ） フィルム上での車長を測定した。
- ・信号長（ ℓ_2 ） フィルム上に写し込んだ感知器信号の長さを測定した。
- ・フィルム送り速度（ V_f ）

タイミングマーク間の長さを測定し、速度を求めた。

読みとり値より各車両ごとに以下の値を計算した。

- ・スリットカメラによる存在時間（ t_1 ）

$$t_1 = \ell_1 / V_f \quad (\text{秒})$$

- ・感知器による存在時間（ t_2 ）

$$t_2 = (\ell_2 - R) / V_f \quad (\text{秒})$$

R = マークの直径（ボケの補正量）

読みとりおよび整理表の一部を表-1に示す。この例では、他の目的にも使用できるように車頭時刻も測定している。

表 - 1 読みとりおよび整理表の例

$$L=81.3 \quad \frac{5}{L}=0.0615$$

N	ℓ	車 種	ℓ_1	ℓ_2	t	t ₁	t ₂
006	0.6	バ ン	5.6	8.6	6.04	0.34	0.47
017	0.6	大 貨	11.7	13.4	17.04	0.72	0.77
020	10.0	〃	15.4	17.0	20.62	0.95	0.99
022	7.9	小 乗	5.6	8.3	22.48	0.34	0.46

N : タイミングマーク番号 (1 秒)

ℓ : タイミングマークより車頭までの長さ (2 mm)

ℓ_1 : 画像上の車長 (2 mm)

ℓ_2 : 感知器よりのマークの長さ (2 mm)

L : タイミングマーク 5 コ間の長さ (2 mm)

t : スタート時より車頭まで時間 (秒)

t₁ : スリットカメラによる存在時間 (秒)

t₂ : 感知器による存在時間 (秒)

$$t = N + \frac{5}{L} \times \ell$$

$$t_1 = \frac{5}{L} \times \ell_1$$

$$t_2 = \frac{5}{L} \times (\ell_2 - 0.9)$$

注 数字および単位は測定方法によって異なる。

6. 調査結果

得られたデータの数以下の通りである。

・ループ式

車両台数 779台

内6台は感知器信号なし

・超音波式

車両台数 838台

内96台は感知器信号なし

内4台は2台の信号が連続した。

他に車両の存在しない時に3回信号が入った。

これらの車種構成を表-2, 3に示す。

表-2 車種構成(ループ式調査)

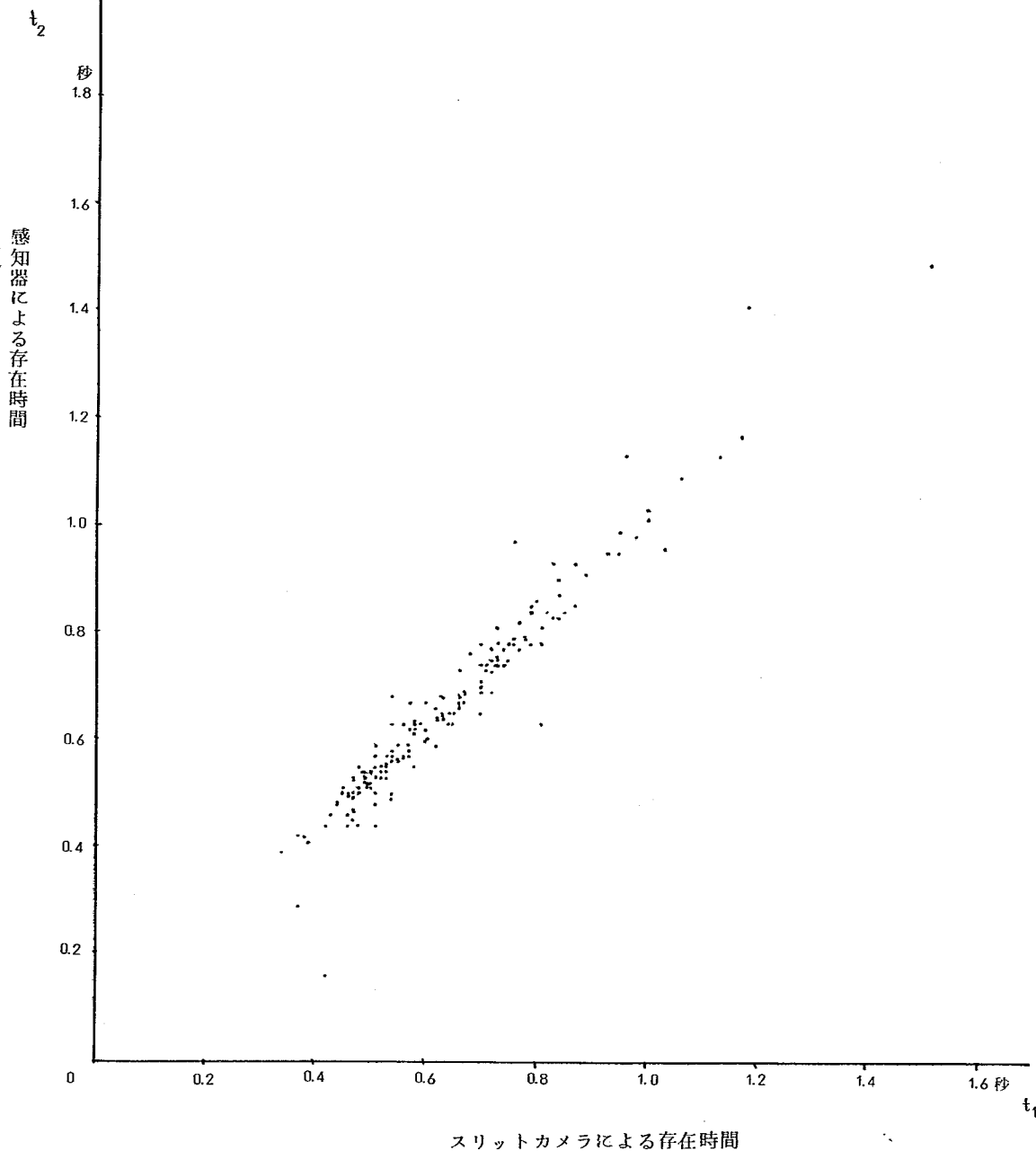
車 種	全 台 数	構 成 比	欠測台数
普通, 小型乗用車	331台	43%	1台
軽 乗 用 車	42	5	0
大 型 貨 物 車	159	21	2
小 型 貨 物 車	119	15	0
軽 貨 物 車	20	3	0
ラ イ ト バ ン	105	13	3
バ ス	3	0	0
合 計	779	100	6

表-3 車種構成(超音波式調査)

車 種	全 台 数	構 成 比	欠測台数
普通, 小型乗用車	354	41%	51*台
軽 乗 用 車	48	6	12
大 型 貨 物 車	84	10	1
小 型 貨 物 車	223	27	16
軽 貨 物 車	16	2	3
ラ イ ト バ ン	108	13	16
バ ス	5	1	1
合 計	838	100	100

*内4台は2信号連続

ループ式感知器では、感知器パルス長は車両の後部の形状に左右されることが多いと思われるので、車種を大型貨物車、小型貨物車、乗用車類（ライトバン、軽貨物車を含む）の3種にわけ、 t_1 と t_2 の関係図を作製した。これを図-4，5，6に示す。



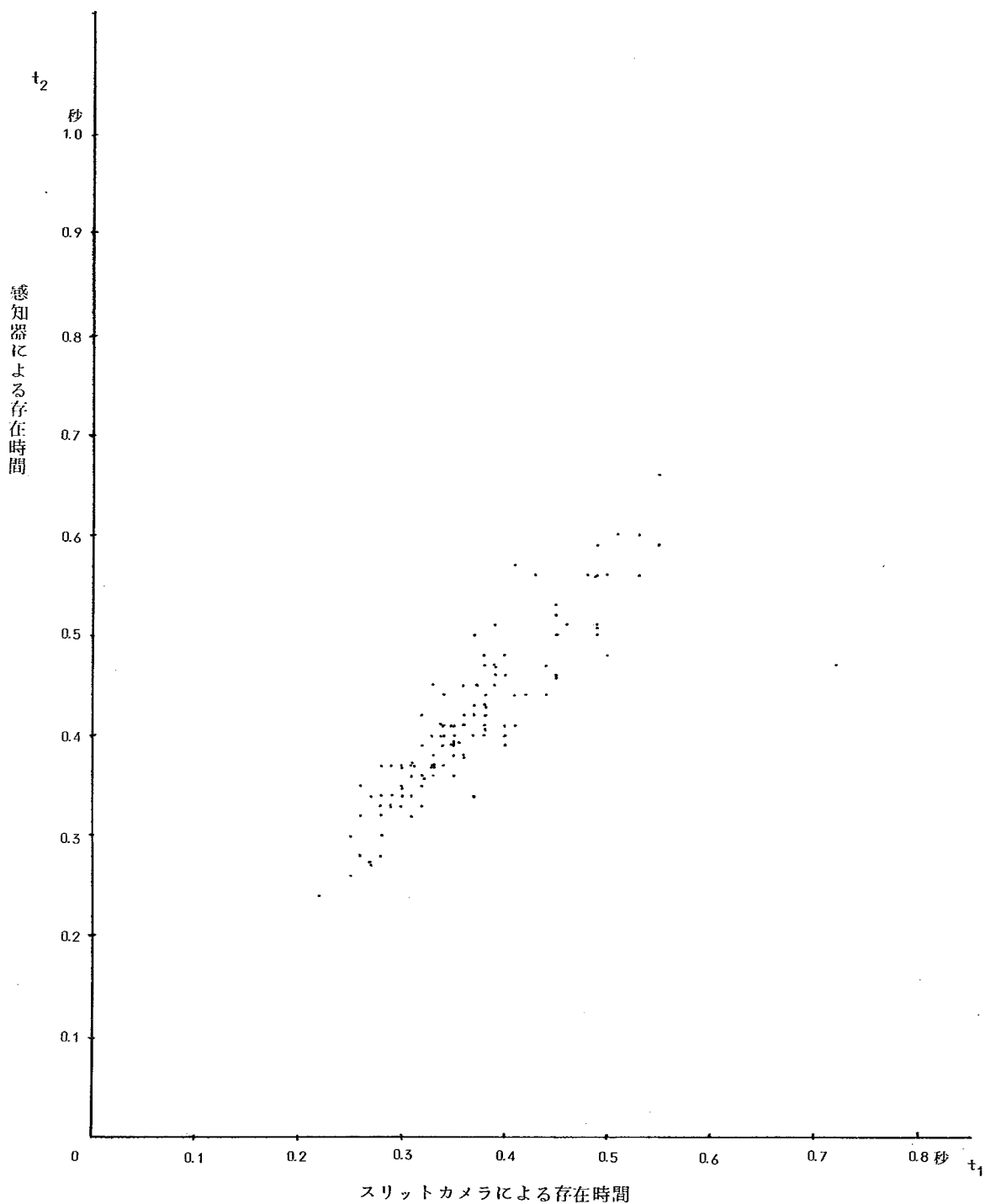
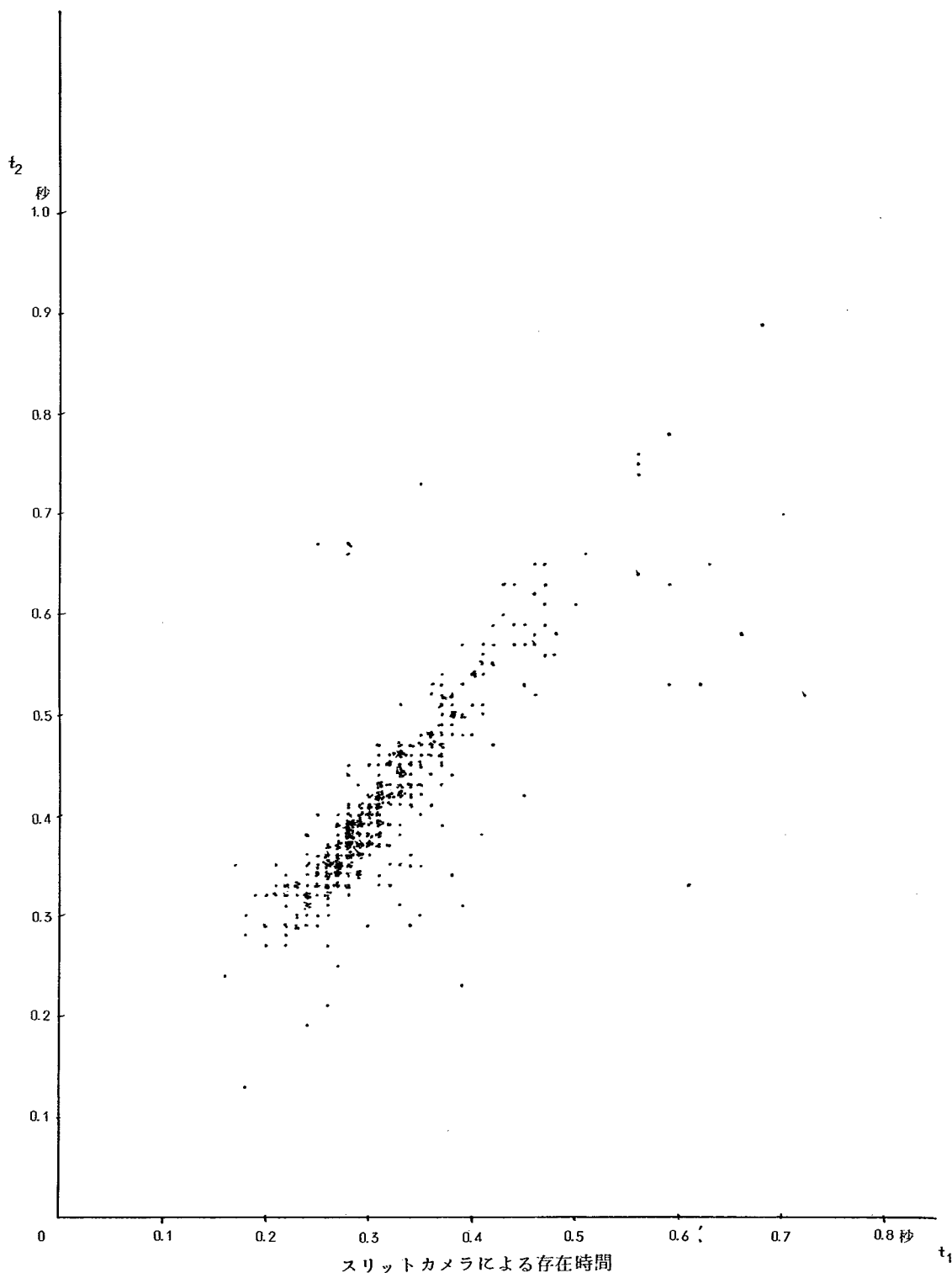


図-5 $t_1 - t_2$ 関係図 (ループ式、小型貨物車)

感知による存在時間



スリットカメラによる存在時間
図-6 t_1-t_2 関係図 (ループ式、乗用車類)

超音波式感知器では、感知器のパルス長は車両の上部の形状で左右されることが多いと思われるので車種を大型貨物車、小型貨物車（軽貨物車を含む）、乗用車類（ライトバンを含む）にわけ、 t_1 と t_2 の関係図を作製し、また、全車種をまとめた関係図を作製した。これらを図-7, 8, 9, 10 に示す。

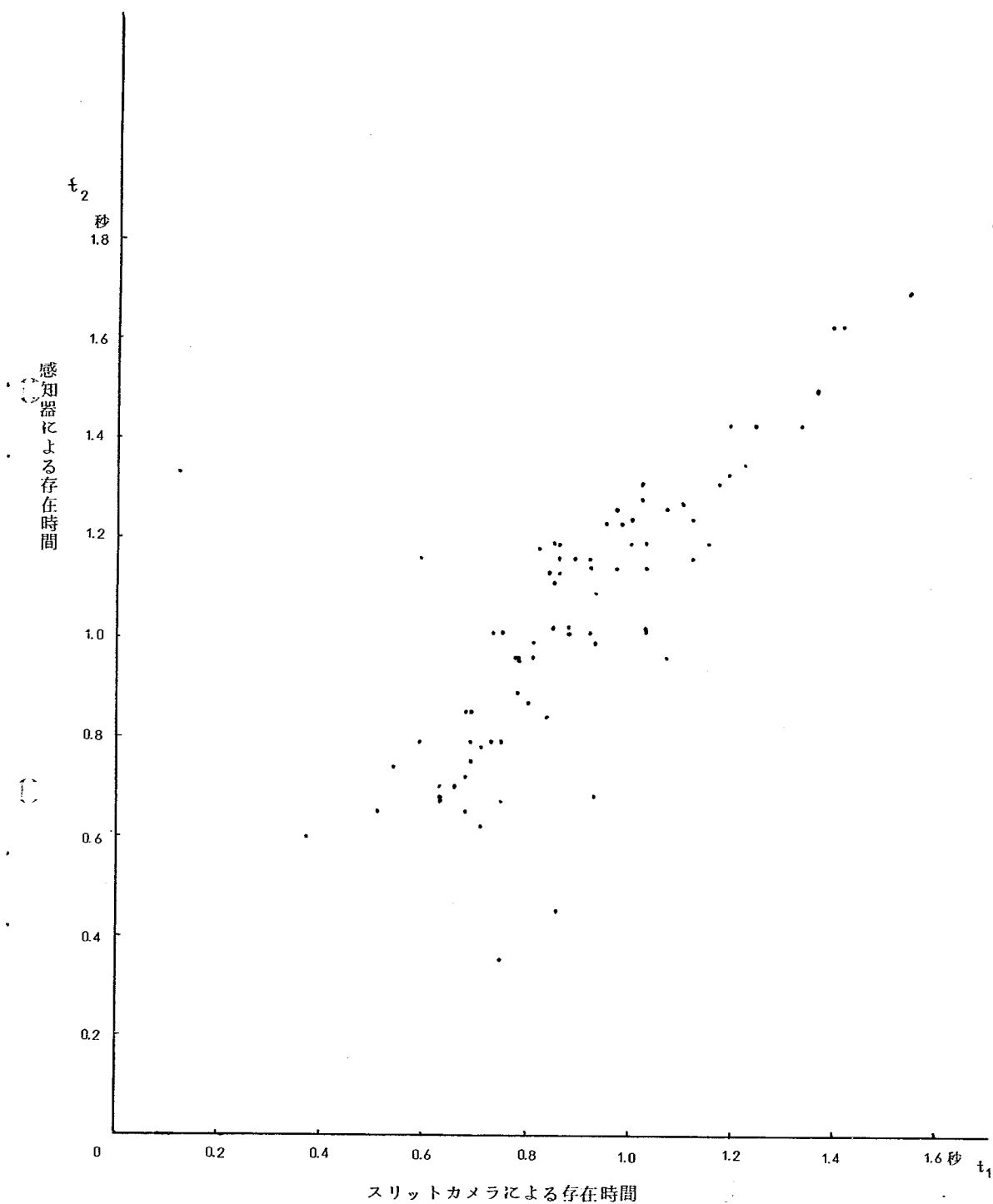
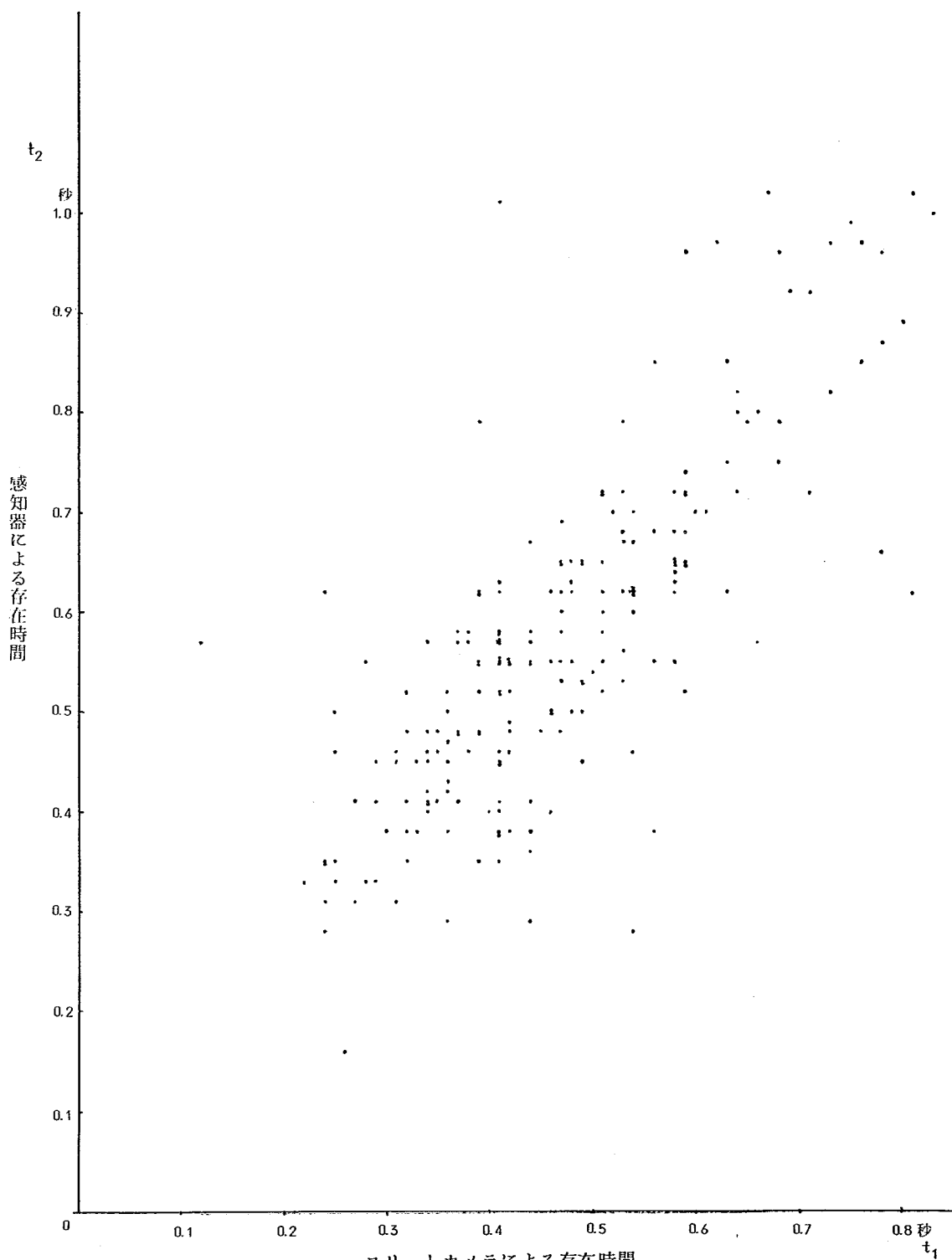
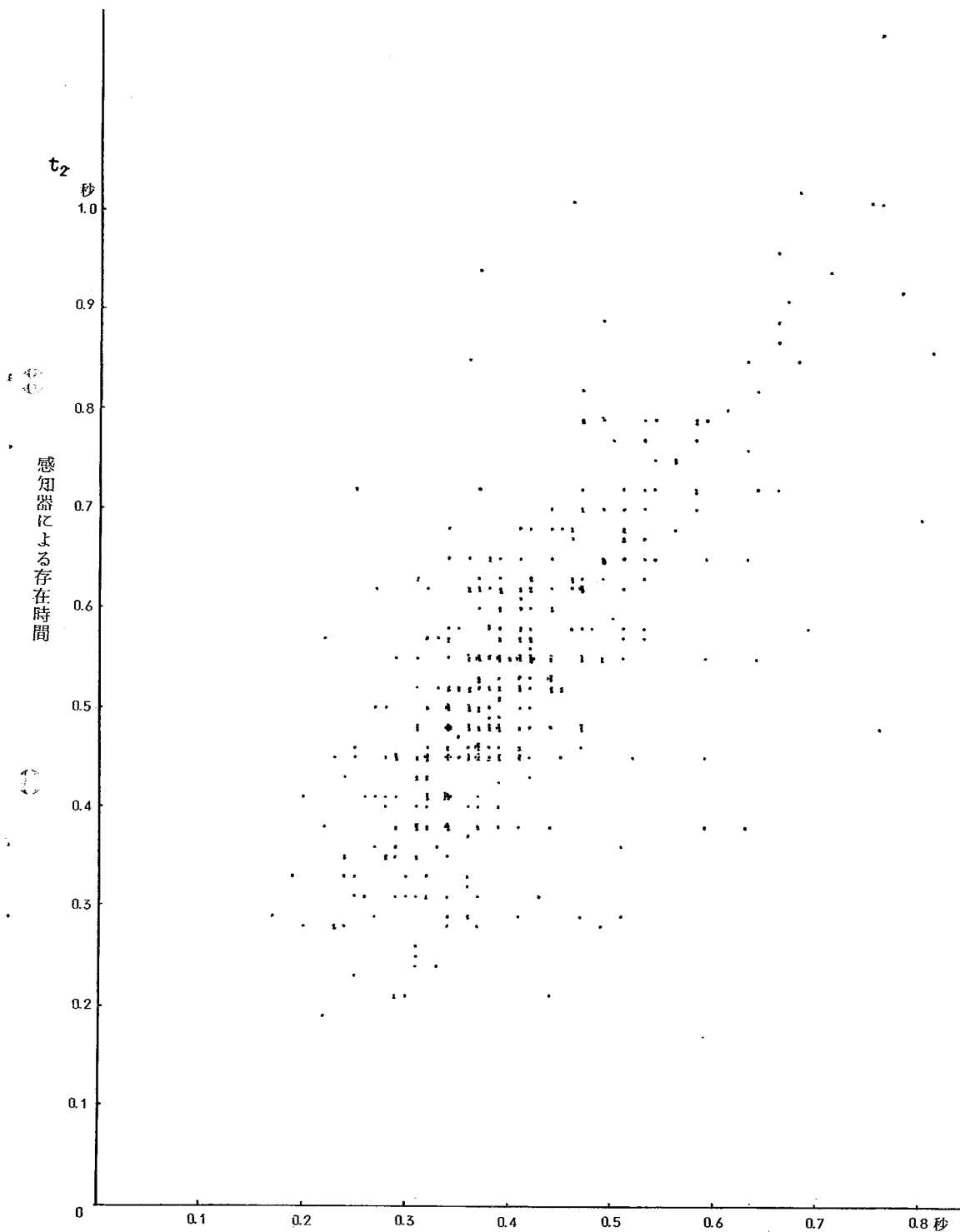


図-7 $t_1 - t_2$ 関係図 (超音波式、大型貨物車)





スリットカメラによる存在時間
 図-9 $t_1 - t_2$ 関係図 (超音波式、乗用車類)

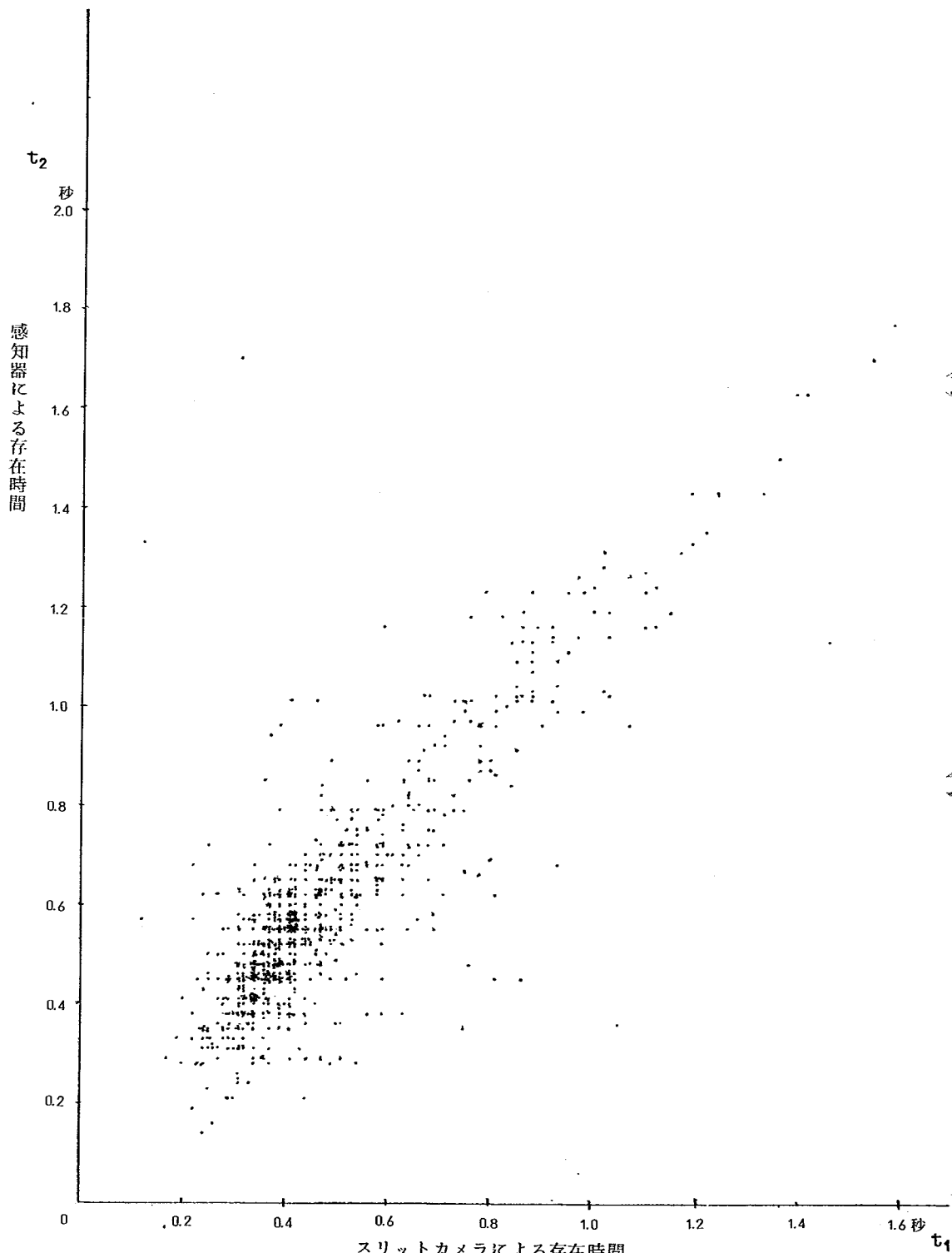


図-10 t_1 - t_2 関係図 (超音波式、全車種)

7. 結果の検討

ループ式感知器においては、スリットカメラによる存在時間と感知器による存在時間の差は、ループ式感知器の感知部（ループ）がある大きさの感知範囲を持っていることによるものと思われる。この感知範囲の大きさだけ、実際の車長より長く感知されるため、存在時間も長くなる。そのため、両存在時間の関係は、車速が一定に近い場合には一定の差のある状態、車両長が一定に近い場合には比例関係にあると思われる。本調査においては、車両の形状による感知長さの違いを考慮したこともあり、車種別に両存在時間をまとめたので、一車種内では、車両長が一定に近い資料とみなせよう。各車種別に比例常数を計算すると表-4の通りである。

表-4 比例常数（ループ式調査）

車 種	a	s	$t_2 = a t_1 \text{ (最小二乗法)}$ $s = \sqrt{\frac{\sum (t_2 - a t_1)^2}{n}}$ 乗用車にはライトバンも含む バスはデータから少ないので除いた
乗 用 車	1.29	0.06 秒	
小型貨物車	1.12	0.05	
大型貨物車	1.03	0.05	
軽自動車	1.28	0.07	

現在、市販されている車両の長さを調べると表-5のようになる。表中の平均値は、実際の分布を考慮していないため正確ではないが、一応の目安としては使えよう。

表-5 市販車の車長の概略値

軽自動車		小型乗用車		マイクロバス		大型バス	
全車	3.0 m	1000 cc	3.8	15人乗	4.7 m	55人乗	8.6 m
		1200 cc	4.0	25人乗	6.0	85人乗	10.5
		1400 cc	4.1				
		1600 cc	4.2				
		2000 cc	4.7				
平均	3.0 m	平均	4.2	平均	5.4	平均	9.6

ライトバン		小型貨物車		大型貨物車	
小型乗用車 と 同 じ		1.5 t 積	4.3 m	4 t 積	7.0 m
		2.5 t 積	5.7	8 t 積	9.0
				11 t 積	11.0
平均	4.2	平均	5.0	平均	9.0

表-5の数値を使用して、感知器による車両の感知長を求めると表-6に示すような値が得られる。乗用車に比べ貨物車の方が実長と感知長の差が小さい。これは、車両後部が感知されにくいため、ループの大きさによる感知長の増大がある程度キャンセルされているのである。このため乗用車の感知長と小型貨物車の感知長に大きな差がない。

表-6 推定感知車長（ループ式調査）

車 種	車長 ℓ_0	感知長 ℓ	差 d	$\ell = a \ell_0$ $d = \ell - \ell_0$
乗 用 車	4.2 m	5.4 m	1.2 m	
小型貨物車	5.0	5.6	0.6	
大型貨物車	9.0	9.3	0.3	
軽自動車	3.0	3.8	0.8	

オキュパンシから速度への変換は以下の式によってなされる。

$$V = \ell \times Q / (Occ \times T)$$

V : 平均速度

Occ : オキュパンシ（感知器よりの値）

T : 集計時間

Q : 交通量（集計時間内の）

ℓ : 平均感知車長

上式の ℓ の値を表-6の数値を使用して二三の車種構成で計算してみると表-7の通りとなる。

表-7 平均感知車長の計算例（ループ式調査より）

車 種 構 成					平均感知 車 長	備 考
軽 自	乗 用	小 貨	大 貨	バ ス		
3%	67%	15%	14%	1%	6.0 m	高速道路平均
13	51	15	19	2	6.1	元一国平均
16	52	15	14	3	5.9	元二国平均
17	51	16	13	3	5.9	主要地方道平均
20	50	16	11	3	5.7	一般地方道平均

*構成比は46年度道路交通状況調査による。

*バスの感知車長は車長+1.2 mとした。

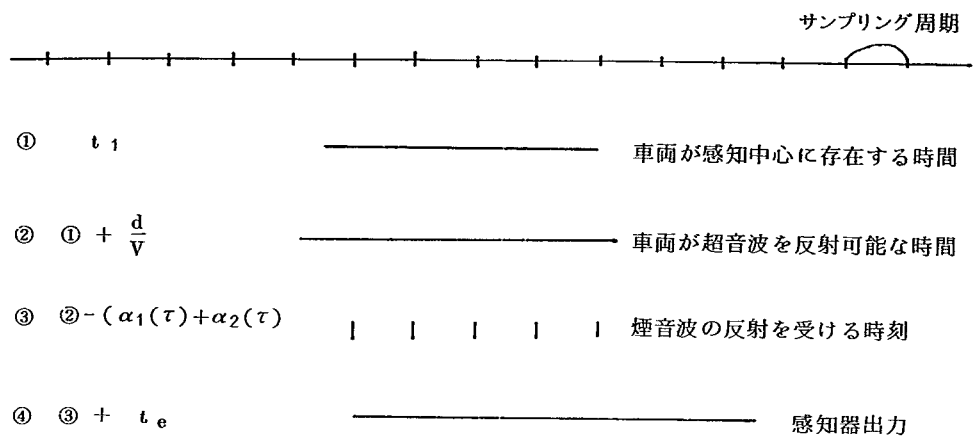
超音波感知器の場合には、理論的には、感知器による存在時間 t_2 とスリットカメラによる存在時間 t_1 の間には以下の関係があると思われる。（図-11参照）

$$t_2 = t_1 + d / V - (\alpha_1(\tau) + \alpha_2(\tau)) + t_L$$

$\alpha_1(\tau), \alpha_2(\tau)$: 0~ τ のランダム分布

τ : サンプルング周期

t_L : 保持時間



(実際には音の進行時間も関係するが、影響が少ないので簡単化のために無視した。また製品によっては多少方式の異なるものもある。)

図 - 1 1 超音波感知器による存在時間

d : 感 知 巾

V : 車 速

上記式中の $\alpha_1(\tau) + \alpha_2(\tau)$ は平均すれば τ となる。また、車長を ℓ とすれば、 $d/V = t_1 \times d/\ell$ である。よって、平均的に考えれば、上式は、

$$t_2 = t_1(1 + d/\ell) - \tau + t_\ell \text{ となる。}$$

この内、 $(1 + d/\ell)$ は、ループ式感知器であらわれた実際の車両長と感知長の比例常数 a と同じものである。 $t_\ell - \tau$ が超音波式感知器特有の補正量である。表-5の車両長を使用して d と $t_\ell - \tau$ を計算すると表-8に示す通りである。超音波式感知器ではループ式感知器と違って d の値は各車種に共通と考えられるのでまとめて計算した。

表-8 補正量(超音波式)

d	$t_\ell - \tau$	S	$t_2 = t_1(1 + d/\ell) + t_\ell - \tau$
-0.132m	0.132秒	0.121秒	(車種ごとに ℓ を変え、最小二乗法)

表-8の結果では d の値が負となっているが、これは、車両が感知中心を少し通り過ぎて始めて感知し始めるということである。この値の絶対値が小さいので、 $d = 0$ としても結果はあまり変化しないと思われる。 $d = 0$ として、 $t_\ell - \tau$ と S を計算したものを表-9に示す。 S の値が表-8のものとはとんだかわらないので、補正という点だけからすれば d に関する補正は不用といえる。

表-9 補正量(超音波式簡略法)

$t_\ell - \tau$	S	$t_2 = t_1 + t_\ell - t_\ell - \tau$
0.118秒	0.121秒	($t_\ell - \tau$ の平均値)

よって、オキュパンジから速度への変換は以下の式によってなされる。

$$V = \ell_0 \times Q / (Occ \times T - Q \times t)$$

t : パルス補正量 $t_\ell - \tau$

ℓ_0 : 平均車長

平均車長は、 d による補正が不用なので、実際の車長分布より定まる。表-5の値を使用して、ループ式の場合と同様の計算をすると表-10に示す通りとなる。

表-10 平均車長の計算例

車 種 構 成					平均車長	備 考
軽 自	乗 用	小 貨	大 貨	バ ス		
3%	67%	15%	14%	1%	5.0 m	高速道路平均
13	51	15	19	2	5.2	元一國平均
16	52	15	14	3	4.9	元二國平均
17	51	16	13	3	4.9	主要地方道平均
20	50	16	11	3	4.8	一般地方道平均

データのバラツキに関しては、調査数が各一回ずつであり、また、設置場所の条件も異なるので、決定的な判断はできないが、得られた資料では明らかにループ式感知器のものが優れている。理論上からもループ式感知器の方がバラツキは小さいはずである。

超音波式感知器の資料に欠損の多いのも問題である。写真でみると、中央線寄りを走行する車両が感知されていない。感知長の計算でもdが負となっており、感知能力の不足という感じがする。これが、超音波式感知器の一般的な性質であるかどうかは、今後の調査で追求する必要がある。

8. あとがき

本調査の結果、感知器によるオキュパンシの測定値を使用して、平均速度を算出するための処理段階での常数の一試案を示すことができた。しかし、これは一感知器の調査結果によるものであり、今後、調査を続け精度に対する検討を加えていきたい。

スリットカメラによる
感知機性能調査

土木研究所資料第796号
昭和47年12(1972)

建設省土木研究所道路研究室

要 旨

スリットカメラを使用して、超高周波感知機とループ式感知機
のオキュパンシー計測の精度、偏差を調査したものである。



郵便はがき

十四切手を
はつて下さ

2 8 0 - □ □

千葉県千葉市穴川
四丁目十二番五二号
建設省土木研究所
道路研究室
御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第796号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印