

車両感知器パルスに基づく停止待行列長の推定

The Estimation of Queue Length on Pulse Data from
Vehicle Detectors at Signalized Intersection

鹿田成則*，片倉正彦**

by Shigenori SHIKATA, Masahiko KATAKURA

In this paper, a new method for estimating of queue length by vehicle detectors is suggested. This method estimates the queue length by using the pulse data from vehicle detectors, not time occupancy. The flow data from video camera and the detector data collected by the data recorder have been investigated to distinguish conditions of traffic flow by means of pulse data from vehicle detectors. As a result, It has been found to be able to estimate the queue length by using pulse data.

1. はじめに

車両感知器は道路の交通状況をオンラインで計測するための有力な手段として、信号制御や道路交通情報提供システムなどの交通管制システムに多用され、システムの耳目の役割を果たしている。近年の都市交通の渋滞激化にともない、よりきめ細かな信号制御方策、より正確な交通情報の提供が強く望まれてきており、それにしたがって車両感知器によるより正確な交通状況の検出の必要生が高まっている。

車両感知器によって検出または推定しようとする交通状態量はその目的によって様々であるが、代表的には停止待行列長（渋滞長）や旅行時間などである。これらの交通状態量を検出、推定するために現在用いられている車両感知器情報は占有率、交通量、速度が主要なものである。街路に設置されている車両感知器は送受信部が1ヘッドタイプのものであり、速度については車長を仮定して算出することから精度に限界があるため、占有率と交通量（さらにこの

両者を組み合わせたもの）が主に用いられている。

占有率は、車両感知器の感知領域上を車両が通過するときに発生する感知パルスのある集計単位時間の中で集約したものであり、交通状態を占有率によって推定しようとする場合集計単位時間のとり方に大きく影響される。また、車両感知器の設置位置についても同様のことがいえる。

本報文は、車両感知器情報として占有率を用いて小通常定量の推定を行なう場合、集計単位時間と車両感知器の設置位置に左右されることから、車両感知器から得られる感知パルスを集計単位時間の中で集約せずに直接用いて停止待行列長を推定する方法を検討し、実際に適用した結果について述べたものである。

2. 車両感知器による停止待行列長の推定に関する従来の研究

車両感知器によって停止待行列長（渋滞長）を推定しようとする試みは従来からなされてきており、これらの研究で用いられている車両感知器情報は、占有率や平均パルス幅等である。占有率等の車両感

キーズ：車両感知器，停止待行列長

* 正会員 工修 東京都立大学助手 工学部土木工学科
(〒158 東京都世田谷区深沢2-1-1)

** 正会員 工博 東京都立大学教授 工学部土木工学科

知器情報が停止待行列長をどの程度表現し得るのかについて、油本ら¹⁾は多数の信号交差点において待行列長と車両感知器データの収集を行ない、待行列長と占有率との間に直線的な相関関係があることを指摘している。ただしこの関係は感知パルスにある上限値を設けて算出した占有率を用いた場合であり、上限値を設けなければ両者の関係はヒステリシスを生じて2価関数になるとしている。池之上ら²⁾は待行列長と占有率との間に相関関係があることを示した上で、占有率が20~40%であれば待行列の最後尾が車両感知器の上流側200m(サイクル長200秒の場合)あるいは120m(サイクル長120秒)までの間にあり、占有率が40%以上であれば待行列の最後尾は100~200m以上後方にあり、それ以上の行列長については推定できないと述べている。越ら³⁾は車両感知器情報として占有率、平均パルス幅、平均パルス幅の逆数値を用いてこれらと待行列長との相関分析を集計単位時間と車両感知器の設置位置の視点から行なっている。その結果車両感知器情報として平均パルス幅を用い、集計単位時間を5分、車両感知器の設置位置を停止線から100m前後に設置した場合に最も相関が強く、推定誤差が少ないことを示している。大蔵ら⁴⁾は複数の車両感知器を用いて待行列長を推定する方法を提案している。その方法は占有率の値によって待行列が車両感知器を越えたかどうかを検出し、待行列が越えたと判定した最上流の車両感知器の占有率から帰帰モデルを用いて待行列の最後尾の位置を推定し、これらの結果を組み合わせること待行列長を推定している。

筆者らが行なった研究⁵⁾では、車両感知器情報として占有率、平均パルス幅、平均パルス幅の逆数値の3種類をとり、これらの情報と待行列長との相関分析を集計単位時間と車両感知器の設置位置に着目して行なっている。この研究では集計単位時間として信号サイクルを基本にして行なっている点で従来の研究と相違している。。その結果、集計単位時間として少なくとも信号2サイクルをとる必要があること、車両感知器は青信号の間で通過し得る台数が待行列として形成されたときの末尾位置付近に設置するのが望ましいという結果を得ている。

従来の研究から、占有率等の車両感知情報は待行列長と相関のあることは知られるが、相関の度合の強さは集計単位時間、車両感知器の設置位置によってかなり影響を受けるため、待行列長を車両感知器情報によって推定する場合集計単位時間と車両感知器の設置位置を適切に設定する必要がある。

本研究は、車両感知器情報として現在用いられて

いる占有率等の集計単位時間で集約された情報を用いないで、車両感知器から得られる感知パルスを直接用いて待行列長を推定する方法について新たに提案するものである。車両感知器の感知領域上を車両が通過するときに得られる感知パルスは、その長さが車両の通過速度に、パルスとパルスの間隔が車両と車両との時間間隔に対応している。この変化を時系列上で調べれば感知領域上をどのような交通状態で通過していることが判別可能であることが予想できる。本研究はこの点に着目して待行列長を推定する方法について検討したものである。

3. 車両感知器データの収集及び実交通現象の観測

観測対象とした道路区間は、国道14号線(京葉道路)上りの緑町一丁目から両国一丁目間の570mの区間である。この区間にはリンクが2つあり、各リンクに車両感知器が一箇所設置されている。分析には両国一丁目交差点の停止線から上流側250mの地点に設置された車両感知器を使用した。観測日時は、1988年9月13日(火)8:00~10:00、12:00~14:00であり、ピーク時間帯とオフピークの時間帯を含んでいる。

車両感知器のデータは、感知パルスを収集する目的で車両感知器から送られてくる信号を直接データレコーダーに記録した。このとき併せて信号機のタイミングデータも記録した。データレコーダーに記録した車両感知器信号をA/D変換し、パルス割れや異常信号の処理を行なって感知パルスデータの形に変換した。

実交通現象の観測は、対象とした区間全体を5台のビデオカメラを使用して撮影し、対象区間内全体の交通状態がとらえられるようにした。待行列長については撮影したビデオ画像から10秒毎の停止列長を読み取り、信号サイクル毎に停止待行列の最後尾の位置を求めた。

4. 車両感知器パルスによる交通状態の判別

信号交差点を通過する交通は信号機によって停止、発進を繰り返し、その過程において待行列が形成され解消するという状況が繰り返される。

これらの状態が車両感知器の感知パルスにどのように表れるかを見るために、感知パルス幅とパルスギャップ長(連続した2つの感知パルスの間のオフパルスの時間)の2つのデータを組み合わせて分析を行なった。感知パルス幅は感知領域上を通過した

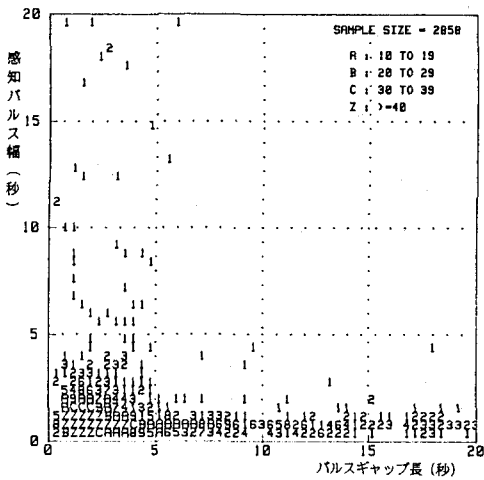


図-1 感知パルスの分布の状態

ときの速度の状態を表わし、パルスギャップ長は連続した2台の車両の時間間隔を表わしている。図-1は収集した車両感知器の全データを、横軸にパルスギャップ長、縦軸に感知パルス幅をとって示したものである。収集した車両感知器データには飽和していない状態から過飽和の状態まで含まれている。この図から感知パルス幅とパルスギャップ長の関係がL字型に分布をしていることがわかる。このように分布している各点がどのような交通状態に対応しているかを調べるために、撮影したビデオ画像を用いて感知パルスデータを交通状態別に分類した。交通状態は、感知領域上において待行列内に存在していた車両が通過していく状態と待行列の影響を受けず停止も加減速もしていない自由走行状態とに分類した。図-2は待行列内の車両が通過していく状態にあったときの感知パルス幅とパルスギャップ長の関係を示したものである。この状態にあるときは感知パルス幅が4秒以下、パルスギャップ長が5秒以下の範囲にほとんどのデータが分布している。この状態は、車両が待行列内にあって飽和流の状態で感知領域を通過している状態と考えられる。図-3は自由走行状態にあったときの感知パルス幅とパルスギャップ長の関係を示したものの、感知パルス幅は1秒以下のものが大半を占め、パルスギャップ長はかなり広範に分布している。

図-2と図-3の結果から、図-1において感知パルス幅がほぼ4秒以下の領域は、待行列内の車両が通過していくときの状態と自由走行状態とにあるものがほとんどである。ただし、待行列内に存在していた車両が通過していく状態の中に自由走行状態のものと重複している領域があるが、パルスギャップ

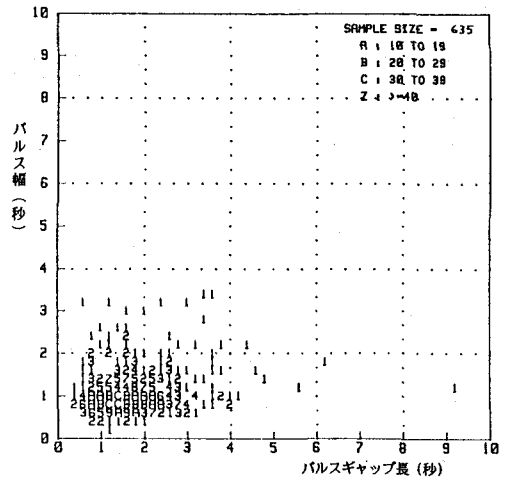


図-2 待行列発達進流状態の感知パルスの分布

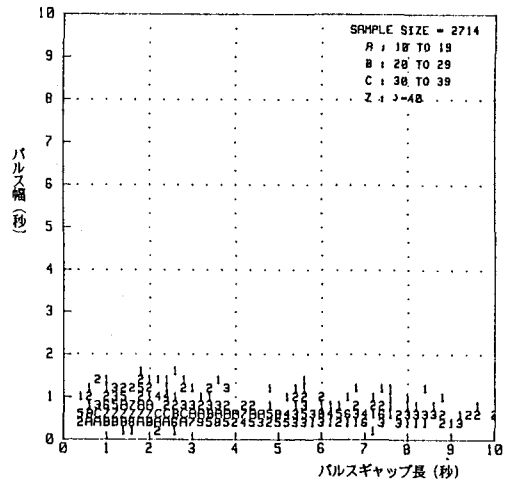


図-3 自由走行状態の感知パルスの分布

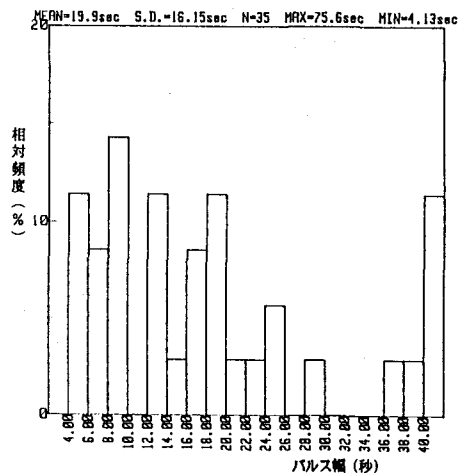


図-4 感知領域上で停止し発達進した感知パルス幅の分布

ブ長が5秒以上、感知パルス幅が1秒以下の領域は、自由走行状態にあるものとはほぼ分類できる。

図-1には感知パルス幅が4秒以上の値をとる点があり、これらの点がどのような状態にあるかを調べるために、ビデオ画像と対応させた結果、感知領域上で一旦停止しその後発進した状態の車両のものが大半であった。この状態は、感知領域上で待行列の末尾に車両がついて停止し、その後発進したものであった。その他には大型車が待行列内で徐行していた状態のものが含まれていた。図-4は感知領域上で停止し、その後発進した車両の感知パルス幅の頻度分布を示したものであり、約4秒から75秒の間に分布しているのがわかる。

以上の結果は、図-1で示した感知パルス幅とパルスギャップ長の関係の分布に交通状態別の領域が存在していることを示しており、感知パルス幅とパルスギャップ長とから交通状態を判別できる可能性のあることを示している。ただし、待行列から発進し通過していく状態と自由走行状態とが重複している領域については、1つの感知パルス幅とパルスギャップ長だけでなく他の情報を組み入れた状態判別を行なう必要がある。この領域は、待行列の車両が飽和流の状態で通過しているときの状態と考えられる。

5. 車両感知器パルスによる待行列長の推定方法

(1) 待行列長の推定方法

4. で示したように感知パルス幅とパルスギャップ長とを組み合わせることによって感知領域上を通過する交通状態の判別の可能性のあることに基づい

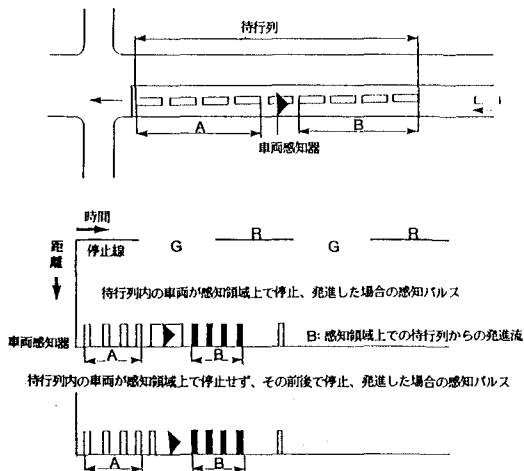


図-5 待行列の発進過程と感知パルスの関係

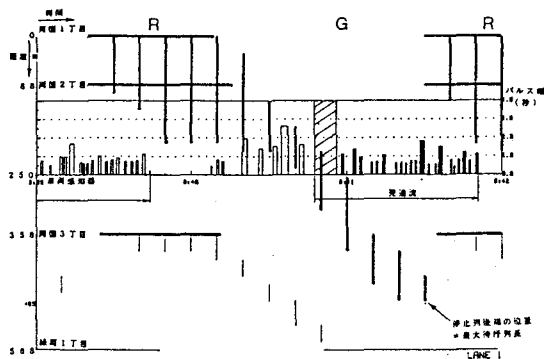


図-6 観測データによる待行列と感知パルスの例

て、これらのデータを用いて待行列長を推定する方法について以下に述べる。

感知領域上における待行列の発進過程と感知パルスとの関係を模式的に示したのが図-5である。待行列の末尾が車両感知器を越えて延伸し、信号が青に変わって待行列内の車両が通過していく過程を感知パルスとの関係で示せば概略次のようになる。

待行列の末尾が感知領域上に到達したとき、感知領域上で車両が停止し長い感知パルス幅が発生し、その後待行列の車両が通過していくときは平均的にほぼ一定の感知パルス幅とパルスギャップ長が待行列内の車両が通過し終えるまで続く。その後後続の車両が到着するとある長さ以上のパルスギャップ長と短い感知パルス幅が生じる。このような感知パルスの過程が信号サイクル毎に繰り返されると考えられる。ただし待行列の末尾車両が感知領域上に到達したとき、感知領域上で停止するとは限らず感知領域の前後で停止する場合もある。この場合には長い感知パルス幅は発生せず、長いパルスギャップ長が生じるであろう。図-5で模式的に示した状態を収集した実データで示すと図-6のようになる。

車両感知器を越えて延伸した部分の待行列の車両は、これらの車両が発進し始めるとほぼ一定の速度と間隔で感知領域上を通過していく。この状態（待行列発進流の状態）を感知パルスを用いて検出できれば、待行列にあった車両の範囲を感知領域上で特定でき、その範囲にあった感知パルス数に相当する車両が待行列を形成していたことになる。それゆえ、この車両台数を長さに変換することによって車両感知器から上流側にどこまで待行列の末尾が延伸していたかを推定することが可能であると考えられる。

感知パルスを用いて待行列長を推定するためには、上記したように感知領域上において待行列からの発進流にある状態をいかに検出するかがポイントとな

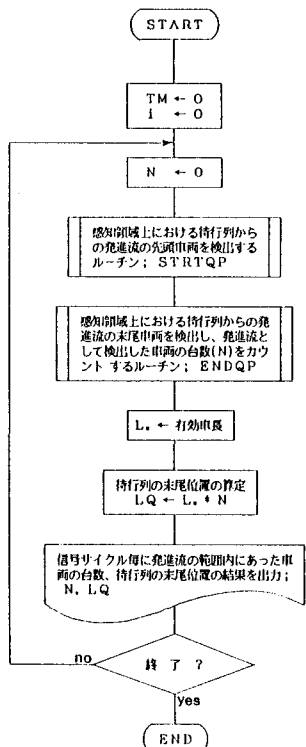


図-7 待行列長の推定フロー

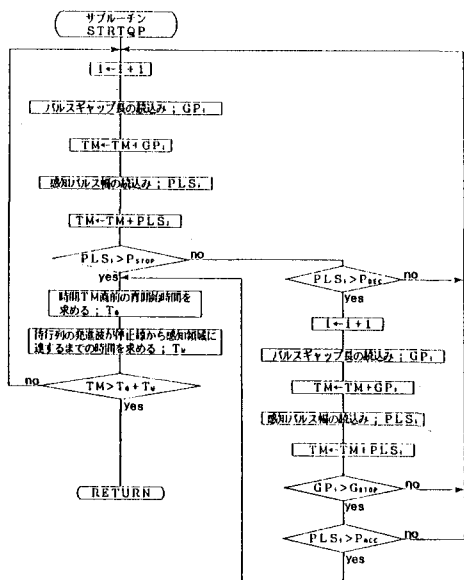


図-8 待行列発進流の先頭車両の検出フロー

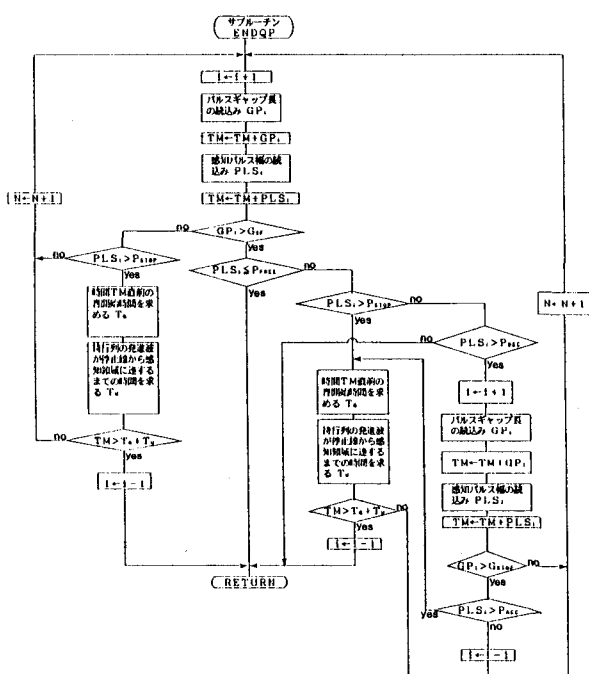


図-9 待行列発進流の末尾車両の検出フロー

る。

感知パルスによって待行列長を推定する全体フローを示したのが図-7である。この全体フローは、感知領域において待行列からの発進流の先頭車両を検出するフロー、待行列からの発進流の末尾車両を検出するフロー、待行列の末尾位置（待行列長）を推定するフローの3つのフローからなっている。図-8は待行列からの発進流の先頭車両を検出するフローを示したものである。この検出フローの要点は、感知領域上で一旦停止し発進した車両の感知パルスまたは感知領域上で停止せずその前後で停止した車両を検出し、その車両が待行列内にあった車両かどうかを判定することである。そのために、感知領域上で停止し発進した車両の感知パルス幅（図中の P_{stop} ）、及び感知領域上で停止せずその前後で停止したときに発生するパルスギャップ長（ G_{stop} ）をその検出のための判定条件としている。後者の状態は減速しながら感知領域を通過して停止する車両と感知領域の手前で停止し加速しながら通過する車両とが感知領域の前後にあることから、減速状態にある感知パルス幅（ P_{dec} ）、加速状態にある感知パルス幅（ P_{acc} ）をさらに判定条件として組み入れている。また、この状態にあったと検出された感知パルスの終了時点が、信号が青に変わり感知領域上で停止していた車両が発進するまでの時間（ T_w ）を越え

ていれば、この感知パルスの車両は待行列内にあり、待行列発進流の先頭車両であると判定する。

感知領域上における待行列発進流の末尾車両を検出するフローを示したのが図-9である。この検出フローでは、自由走行状態にある感知パルスを検出したとき、及び次の信号サイクルで形成された待行列の末尾車両が感知領域に到達した状態を検出した（自由走行状態を検出しないままこの状態を検出した）ときに待行列発進流の末尾車両を検出したと判定する。具体的には、待行列発進流の先頭車両を検出した後、前者については、発進流の状態にあるときのパルスギャップ長（図中の G_{SF} ）と自由走行状態にあるときの感知パルス幅（ P_{FREE} ）とによって判定し、後者については図-8と同様の検出を行なって判定する。

待行列長の推定は、図-8、図-9で示した待行列発進流の検出フローによって車両感知器を越えた部分の待行列の範囲を検出し、その範囲にあった車両台数（感知パルス数）を求め、その台数に有効車長を乗じることによって車両感知器を越えた待行列の末尾までの距離を推定する。待行列長はこの推定した距離に停止線から車両感知器の設置位置までの距離を加えることによって算出する。

（２）待行列長の推定限界

感知パルスによって待行列長を推定する方法は以下の２つの状態があらわれた場合に推定の限界が生じる。

① 待行列の末尾車両が車両感知器の上流側にある信号交差点を越えて延伸した場合、その待行列の車両が上流側信号交差点の信号が赤に変わって停止すると、感知領域上ではこの時点で待行列発進流の状態が打ち切れ、これらの車両の感知パルスは次の信号サイクルに表れることになる。その結果この信号サイクルでの待行列の最大末尾の位置が推定でき

なくなる。この状態を示したのが図-10である。

② 車両感知器を越えて延伸した待行列の車両が感知領域を通過している間に、次の信号サイクルで形成された待行列の末尾車両が感知領域に到達した場合、感知領域上を未だ通過し終えていない待行列の車両はこの待行列の末尾につくことになる。この時点で待行列発進流の状態が終了し、次の信号サイクルで形成された待行列の発進流の状態が続いて発生する。その結果この信号サイクルでの待行列の最大末尾が特定できなくなる。

①、②のいずれの場合も待行列長は実際の待行列長より短く推定されると考えられる。

6. 適用例

車両感知パルスを用いて待行列長を推定する方法を実際に適用した結果について以下に述べる。適用に際して対象としたのは、8:00～10:00の観測時間帯における54サイクルである。この時間帯では、待行列が車両感知器を越え、過飽和状態にあった信号サイクルがほとんどであった。

（１）感知パルス幅とパルスギャップ長の設定値

車両感知パルスを用いて待行列長を推定する方法を実際に適用したときに用いた感知パルス幅とパルスギャップ長の設定値は次の通りである。（各記号の内容は5. を参照）

- ・ $P_{STOP} = 4$ 秒 ・ $G_{STOP} = 6$ 秒 ・ $P_{DEC} = 1$ 秒
- ・ $P_{ACC} = 1$ 秒 ・ $T_w = 3.5$ 秒 ・ $G_{SF} = 5$ 秒
- ・ $P_{FREE} = 1$ 秒

P_{STOP} は図-4から分布データの最小値を、 G_{STOP} は実際に得られたデータが非常に少なかったため、 P_{STOP} の設定値4秒に基づいて設定した。 P_{DEC} 、 P_{ACC} は加速、減速状態にあった感知パルス幅のデータを収集しその最小値を設定値とした。 T_w はその値を変化させて最も誤差の少なかったときの値を設定した。 G_{SF} は待行列長発進流の状態にあったときのパルスギャップ長のほぼ上限値を、 P_{FREE} は自由走行状態にあったときの感知パルス幅のほぼ上限の値を設定した。

（２）待行列発進流の検出結果

待行列発進流の検出結果については、次の２項目で示す。

① 待行列の末尾が車両感知器を越えたか否かを検出できたか

② 待行列の発進流の範囲がどこまで検出できたか
待行列発進流の検出結果をまとめて表に示したのが表-1である。表中の実測結果は、撮影したビデ

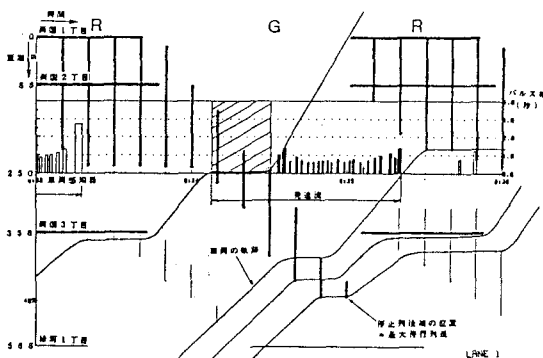


図-10 待行列長の推定限界

表－１ 待行列発進流状態の検出結果

No.	実 測 結 果		検 出 結 果		備 考
	待行列の末尾が車両感知器を越えたか	発進域内の通過台数	待行列の末尾が車両感知器を越えたか	発進域内の通過バルス数	
1	no	—	no	—	
2	no	—	no	—	
3	no	—	no	—	
4	no	—	no	—	
5	yes	16	yes	16	
6	yes	19	yes	19	
7	yes	24	yes	24	
8	yes	17	yes	17	
9	yes	27	no	—	発進域の先頭車両を検出できなかった
10	yes	23	no	—	発進域の先頭車両を検出できなかった
11	yes	23	yes	23	
12	yes	23	yes	23	
13	yes	21	yes	21	
14	yes	20	yes	20	
15	yes	23	yes	23	
16	yes	23	yes	23	
17	yes	22	yes	22	
18	yes	24	yes	24	
19	yes	21	yes	21	
20	yes	27	yes	27	
21	yes	19	yes	19	
22	yes	20	yes	20	
23	yes	22	yes	22	
24	yes	24	yes	24	
25	yes	22	yes	22	
26	yes	24	yes	24	
27	yes	21	yes	21	
28	yes	28	yes	28	
29	yes	23	yes	23	
30	yes	18	yes	18	
31	yes	19	yes	19	
32	yes	20	yes	20	
33	yes	25	yes	25	
34	yes	21	yes	21	
35	yes	16	no	—	発進域の先頭車両を検出できなかった
36	yes	21	yes	25	発進域の先頭車両を検出した
37	yes	21	yes	21	
38	yes	17	no	—	発進域の先頭車両を検出できなかった
39	yes	22	no	—	発進域の先頭車両を検出できなかった
40	yes	18	yes	18	
41	yes	21	yes	21	
42	yes	17	yes	17	
43	yes	18	yes	16	
44	yes	28	yes	28	
45	yes	18	yes	18	
46	yes	22	yes	22	
47	yes	17	yes	17	
48	yes	19	yes	19	
49	yes	21	yes	21	
50	yes	27	yes	27	
51	yes	23	yes	23	
52	yes	18	yes	18	
53	yes	26	yes	26	
54	yes	19	yes	20	発進域の先頭車両を検出した

イクル毎に読み取って得た平均的な値である。

今回の観測で得られた待行列の状態は、推定限界を越えたものが多く、推定限界内での待行列長の推定精度を十分に評価するに至らなかったが、待行列長の推定限界内にある信号サイクルについては良好な推定結果が得られた。推定限界を越えた待行列の場合は、予想どおり実測値より待行列長を短く推定していた。

7. おわりに

車両感知器によって待行列長を推定するために車両感知器パルス（感知パルス幅、パルスギャップ長）を用いて推定する新たな方法を提案し、その推定方法を実際に適用した結果は推定精度の十分な評価を行うに至らなかったものの、この推定方法が実用的に有効であるという可能性は見い出せたと考えられる。車両感知器情報として現在用いられている占有率によって待行列長を推定する場合の集計単位時間の影響たとえば、信号2サイクルより短い集計単位時間で占有率を用いると待行列長に対して十分に有効な尺度にならないといった点が、車両感知器パルスを直接用いることによって除くことができ、信号サイクル毎に待行列長を推定することが可能になると考えられる。

今後の課題として、

- (1) 推定方法を種々の交通状況に対応できるようにさらに改良する
- (2) 感知パルス幅とパルスギャップ長に確率分布を

オ画像から信号サイクル毎に読み取ったものである。この結果から、待行列の末尾が車両感知器を越えたか否かについては54サイクル中49サイクルが正しく検出された。誤検出した4サイクルは待行列の末尾が車両感知器を越えていたがそれを越えていないと判定したものである。待行列発進流の範囲にあった車両の通過台数は、待行列の末尾が車両感知器を越えたことを正しく検出したサイクルでは実測した結果と検出結果とがほぼ一致していた。

(3) 待行列長の推定結果

待行列発進流の検出結果に基づいて、待行列の末尾位置（待行列長）の推定結果と実測結果とを信号サイクル毎に比較したのが図－11である。待行列長を算定するときに用いた有効車長の値は7mである。待行列長の実測値は撮影したビデオ画像から10秒毎に読み取った停止列長から信号サイクル毎の待行列長の最大末尾位置を読み取った。図中には、車両感知器の設置位置（停止線から250m）と待行列長の推定限界（約450m）をあわせて示した。この待行列長の推定限界はビデオ画像から待行列の状態と感知領域上での状態とを比較しながら信号サ

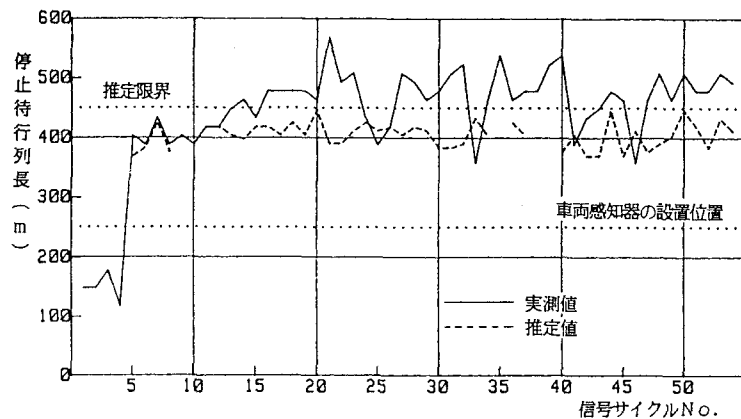


図-11 待行列長の推定値と実測値との比較

導入して交通状態の判別の一般化を図る

(3) 推定限界を越えた待行列長の推定方法を考慮する

(4) 車両感知器を越えない待行列長の推定方法を考慮する

(5) この推定方法を用いるときの適切な車両感知器の設置位置について検討する

(6) 車両感知器パルスを用いる場合と占有率等の車両感知器情報を用いる場合の適用条件を明確にし、車両感知器の有効な利用方策を検討する等があげられる。

最後に、本研究の実施にあたり車両感知器データの収集に快くご協力頂いた警視庁交通管制課の方々に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 油本他：渋滞の自動測定，第1回交通工学研究発表会論文集，昭和47年6月
- 2) 池之上他：車両感知器の情報と渋滞長に関する一解析，科学警察研究所報告，第14巻1号，1973年
- 3) 越他：交通現象の検出手法に関する実証的研究，生産研究，1975年11月
- 4) 大蔵他：街路における渋滞長の推定手法に関する一分析，交通工学，第11巻5号，1976年
- 5) 日本交通管理技術協会：信号制御に関する調査研究，1987～1989年