

道路交通流における走行車両の車頭時間・速度測定装置

Measuring System of Vehicle Time-Headway and Speed in a Road Traffic Flow

高木 相*, 谷口 正成*, 鈴木 祥介*,

Tasuku Takagi*, Masanari Taniguchi*, Shosuke Suzuki*

*東北文化学園大学,

*Tohoku Bunka Gakuen University,

Abstract. Before mentioning the measuring system development, the paper mentions that the model characterization of traffic flow can be achieved by the data of both vehicle time-headway (T) and speed (v). The data of both T and v are obtained from the image of vehicles. The optical sensors (CdS) are used to detect the vehicles from video images taken from urban, suburban and highway (Tohoku Expressway). Speed is derived from the time difference of a vehicle runs between two points on a road with 20m apart each other, and time-headway is derived from the time difference between subsequent vehicles at a fixed point on road. Thus the essential is the sensing of the instant of vehicle nose passing at the designated two points and a single point on road for determining the time-headway and speed, respectively. The measuring system construction and its essential characters are shown.

キーワード： 交通流数式モデル(mathematical model of traffic flow), $k-v$ 特性($k-v$ characteristic), 車センサー(sensor of vehicles), 車頭時間測定(measuring of vehicle time-headway), 車速度測定(measuring of vehicle speed)

連絡先： 〒981-8551 仙台市青葉区国見6-45-1 東北文化学園大学 科学技術学部

鈴木祥介, Tel.& Fax.: (022)233-9990 E-mail: ssuzuki@ait.tbgu.ac.jp

I. はじめに

道路交通に関する調査研究は欧米を中心に1930年代から精力的に行なわれ、およその挙動は定性的に明らかにされており、解説書に詳しく述べられている^{例えば1),2)}。交通流に関する特性として、車密度(k)、流量(q)、速度(v)に着目した、 $k-q$ 特性($q-k$ 相関といわれている)、 $k-v$ 特性が主に議論されており、多くのデータによってこれらの特性が図示されている。中でも、 $k-v$ 特性については数式モデルも提案されている³⁾⁴⁾⁵⁾。これらに

については本文で実際のデータとの対比で図示する。さて、本文で、なぜ車頭時間(T)と車速(V)を測定対象として本文で取り上げるのか、その根拠は何かを初めに解説する必要がある。そのためには、筆者等がこれまでに明らかにしてきた道路交通のダイナミクスの研究の結論的な事項について説明しなければならない。その根拠は道路交通における車密度と速度との関係($k-v$ 特性)である。次章(II)にこのことについて述べる。

II. 実道路交通における車密度(k)と車速度(v)の関係($k-v$ 特性)

II-1 従来の研究についての考察

すでにI.でのべたように、 $k-v$ 特性については古くから調査研究がなされ、多くのデータが提供されており、またこれを記述する数式モデルも幾つか提供されている。数式モデルは道路交通を理論的に理解し、また交通流制御の検討を行なう上で極めて重要である。しかし従来、この目的で数式モデルが使用されて、有効な結論を得たという報告はあまりないのが現状である。何故従来提供されている数式モデルが実際の交通流の解析や制御に使われていないのかを考察すると、結論的に次の点を指摘することができる。すなわち、

- 車密度 k は1km(1マイル)あたりに存在する車数で定義されている。

このために

- 数学的パラメータとしての機能をもたない。

ということである。このことから車密度 k を実台数ではなく、ある正規化した無次元パラメータとすれば数式展開が可能となるということが期待できる。

II-2 パラメータ k, q, v の定義

以上のような考察に基づいて新しくパラメータを定義した。

1) k の定義

車密度 k は次のように定義することにした。すなわち、

$$k = \frac{\text{最短平均車頭距離}(L_{0E})}{\text{走行中の平均車頭距離}(L_0)} \quad (2.1)$$

図1はこの式の説明図である。図は赤信号で停止車列が出来ている状態を示している。最短平均車頭距離 L_{0E} とは停止車列の平均車頭距離である。走行中の車頭距離(L_0)とは走行中の平均車頭距離である。 L_0 の最小は L_{0E} である。 L_{0E} は大型車の混入率によって異なるがその平均はほぼ一定の値をとる。しかし L_0 は交通流によって大幅に異なった値をとる。また車頭距離 L_0 を直接測定することは困難である。そこで、車頭距離は車頭時間と速度の積、すなわち T_0 を平均車頭時間、 V_0 を平均速度とした場合、

$$L_0 = T_0 V_0 \quad (2.2)$$

であるから、(2.2)を使って k を定義することとした。

よって、(2.1)は

$$k = \frac{L_{0E}}{T_0 V_0} \quad (2.3)$$

と書くことが出来る。よって、車密度 k の実際の定義は(2.3)である。 T_0 と V_0 はそれぞれ車頭時間(定点を通過する先頭車と後続車の時間)の平均、車速度の平均である。平均は一定時間の観測値のそれである。筆者らは30秒間平均をとることにしている。以上のように定義したことから、測定は車頭時間と速度について行なう必要があることが分かる。なお、(2.3)の定義から k は無次元量である。また、その範囲は

$$0 \leq k \leq 1 \quad (2.4)$$

である(あとで述べるように、数式モデルでは k の上限は無限大となるが、実際上上限は1である)。

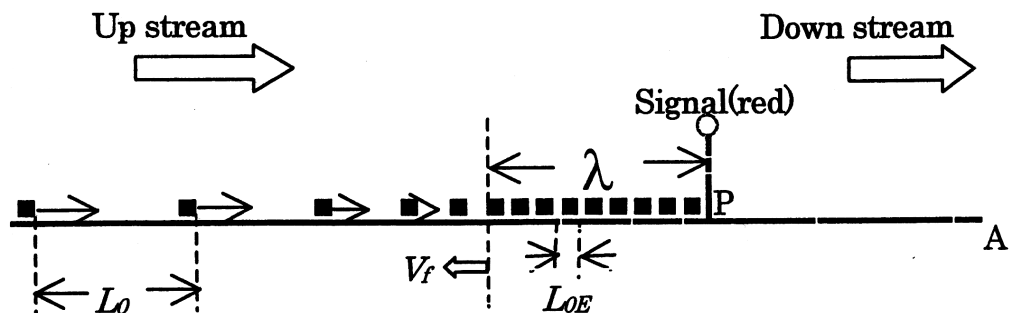


図1 赤信号停止時の車列の挙動

$$k = \frac{L_{0E}}{L_0} \text{の説明図} (\lambda: \text{車列長 } V_f: \text{車列の伸び速度})$$

2) 流量 q の定義

流量とは一定時間内に定点を通過する車の台数である。実用的には一定時間を5分間、10分間、1時間、24時間などとしている。しかし流量を実台数とするのは車密度と同じように数式上のパラメータとして機能しない。そこでここでは一定時間(30秒)の通過台数を秒当りに換算してこれを流量 q_0 を定義する。すなわち

$$q_0 = \frac{N_{30}}{30} \quad (2.5)$$

である。

3) 速度 V_0 の定義

1)で述べたように、速度は30秒間の測定値を平均して車速度としている。速度の単位は実用的には時速であるが、これでは数式上の展開に不都合であるから、単位をm/sとしている。

II-3 $k-v$ 特性の数式モデル

(2.3)の車密度 k と V_0 の関係をここで $k-v$ 特性という。長時間(通常数時間)のビデオ映像から T_0 と V_0 を30秒ごとに求め、これを原データとして $k-v$ 特性をグラフ化する。一例を図3に示す。

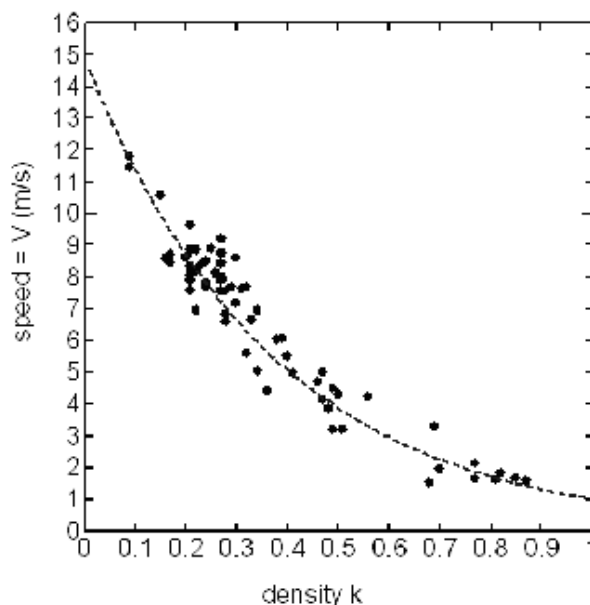


図2 仙台市中山団地バス道路の $k-v$ 特性

図2は測定結果の一例である。黒丸(\cdot)は測定値(30秒平均の T_0 と V_0)からプロットしたデータである。点線は近似曲線である。この近似曲線は次の式で表される。すなわち、

$$v = V_M \exp(-\alpha k) \quad (2.6)$$

と書ける。ここに V_M と α は定数である。この定数は道路によって決まる特性量と考えられる。 V_M は $k=0$ における速度である。また α は図3から求まる定数である。

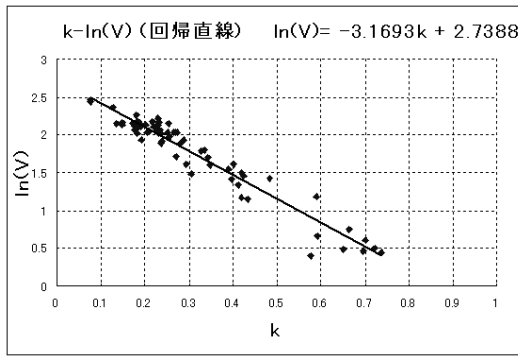


図3 $k - \ln(v)$ (図2.2と同じデータ)

図3は図2を書き直したもので同じデータである。この図で明らかに $k - \ln(v)$ は直線で近似できることが分かる。多くのデータから回帰直線は相関係数が -0.95 と -0.98 の間に入ること確かめている。すなわち、極めて高精度で $k - v$ 関係は指数関数近似できることを示している。 α はこの直線の傾斜である。このデータから V_M と α が決定される。そして(2.5)はこれらの数値を入れて

$$v = 15.47 \exp(-3.17k) \quad (2.7)$$

となる。速度 v の単位はm/sである。

III. 車頭時間 (T_i)と車速度(V_i)の測定装置

III-1 はじめに

T_i, V_i はそれぞれ個々の車両の車頭時間、速度を意味する。これらのある一定時間(30秒)の測定からそれぞれの平均をとることによって、(2.3)の T_0 と V_0 を求めることが出来る。 T_i は前車両と後続車量との時間である。第 i 番目の車両の車頭時間とは、前車第 $i-1$ 番目と第 i 番目の車両の時間間隔を表す。この2つの量を知ることによって、この30秒間に N 台観

測されたとすると、

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (3.1)$$

$$V_0 = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} \quad (3.2)$$

である。

以下これらの測定装置の概要について述べる。

III-2 測定装置の原理・構成・動作

III-2.1 原理的構成

図4に装置の構成を示す。実道路あるいはビデオ映像で測定点1 (Position 1) と2 (Position 2) を定める。1と2の間の距離を L_S としている。 T_i と V_i の測定は次のように行なわれる図5はSensorの出力波形の形である。図でパルス幅 T_v (車影時間: センサに車影が映っている時間) は車両の大きさに比例し速度に反比例する。Codeは車両の存在を記述するためのもので、存在するときを“1”, 存在しないときを“0”で表している。

(1) V_i の測定

V_i は一定距離を走る時間から求められる。Sensor 1とSensor 2の間隔を L_S としている。第 i 台目の車両がそれぞれSensor1、2を通過する時間差を T_{S_i} とすると V_i は

$$V_i = \frac{L_S}{T_{S_i}} \quad (3.3)$$

で求められる。

(2) T_i の測定

測定点 (Sensor 1 に対応) に車両が到達したときのみ車両が検出されるようSensor

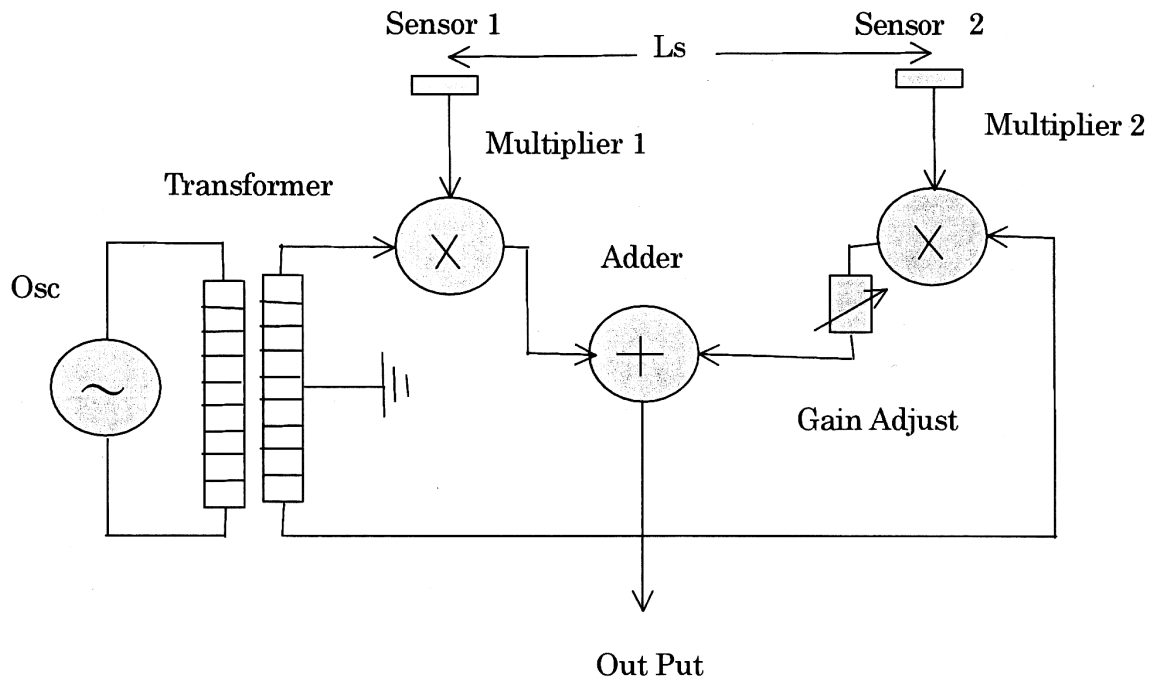


図 4 車頭時間と車速度の測定装置

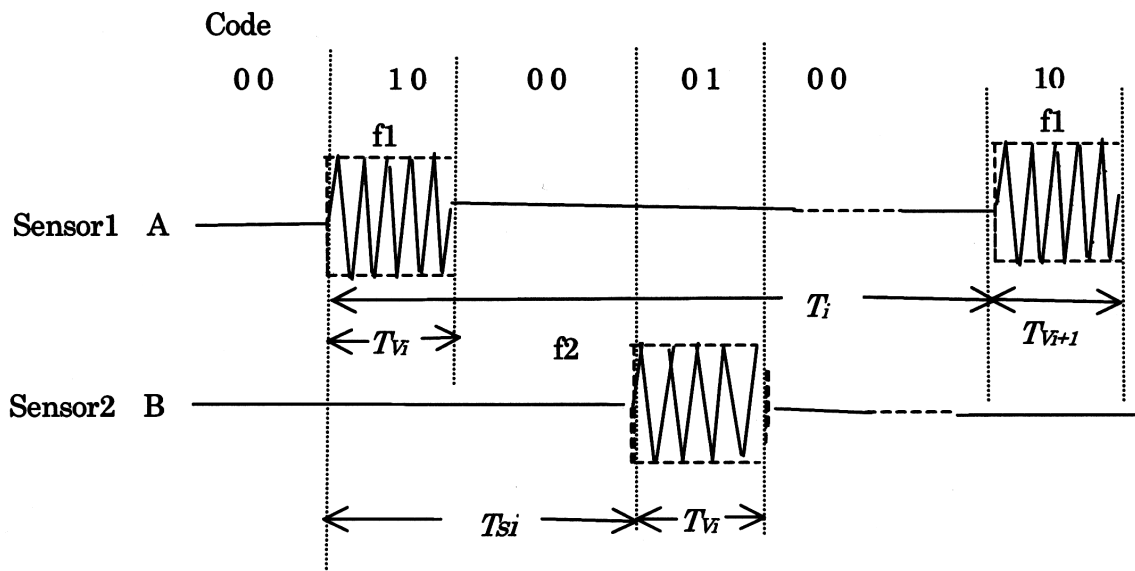


図 5 Sensor の出力波形

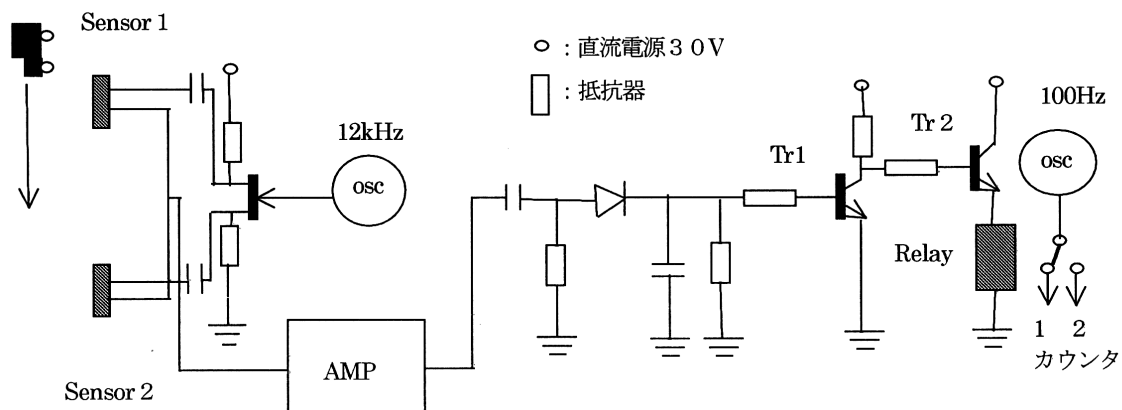


図6 回路構成図

2には車両の映像がかからないように配置する。Sensor 1のみから信号(パルスの)が出る。次に後続車が同じく測定点に到達したとき同様にSensor 1からパルスの信号がでる。両パルスの立ち上がり時間の差が T_i である。

- (3) T_i , V_i の測定値から得られる車両サイズの導出

T_i と V_i が分かれば車両のサイズ(L_v)を知ることができる。図5のパルス幅 T_v はサイズに比例し、速度に反比例する量である。よって、 i 台目のサイズ L_{v_i} は

$$L_{v_i} = T_{v_i} V_i = T_{v_i} \frac{L_S}{T_{S_i}} \quad (3.4)$$

と求まる。このことは通常の見視観測で車種が分かればその大きさ L_{v_i} が分かるから、 T_{v_i} を知ることによってその時点での速度 V_i を知ることができる。 T_i はSensor1が異なる車両が引き続いて出力するパルスとパルスの間隔である。

- (4) パルス幅 (T_v , T_i)の測定

クロックパルス計数法を採用した。発振器(100Hz)の信号を図6のカウンタ1, 2によってカウントする。

III-2.2 回路構成と動作および測定

図6に回路構成図を示す。この回路の動作は次のとおりである。

III-2.2.1 初期条件と状態

車両の影がセンサ (Sensor1,2) にかかっていないときセンサの出力をバランスさせAMPの出力は0に調整する。そして、この時Relayは励起状態である。すなわち、

- (1) 初期条件として、センサの合成出力 (AMPの入力) は0になるように調整する (Sensor1 とSensor2の発振器入力は互いに逆位相としてあるので、両センサがバランスしておれば、出力は0となる)
- (2) Relayは励起された状態になっている (トランジスタTr1は入力電圧が0の時はTr1がOFF、よってTr2はONになってRelayを励起する)

III-2.2.2 測定

- (1) T_v (車影時間) の測定

- (i) Sensor1に車両の影がかかるとバランスが崩れて出力に信号 (正弦波) が出る。この正弦はAMP (増幅器) で十分な大きさに増幅され、整流され

て直流に変換され、Tr1をONにする信号となる。これによってTr2はOFFになり、Relayの励起は解かれる。

- (ii) Relayの励起が解かれると切り替えスイッチが切り替わる(1から2へ)。車両の影がSensor1上に有る時間(車影時間 T_v)はチャンネル2がONになり100Hzの信号がカウンタでかぞえられる。(車影がSensor1上から消えると切り替えスイッチは2から1へ切り替わる。この時のカウンタは $T_v(0.01 \times \text{カウンタの読み(秒)})$ を与える。
- (iii) 車両の影がSensor1を通過した瞬間にスイッチはもとの状態へもどる(2から1へ)。

(2) T_i の測定(車間時間の測定から)

車頭時間 T_i を測定するのが目的であるが、本装置では $T_i = T_v + \text{車間時間}$ として求める。

- (i) チャンネル1のカウンタを読む。これが車間時間となる。
- (ii) T_v を加えて T_i とする。通常スムーズに流れている車流では T_v は誤差範囲で無視出来ると考えられるが、渋滞になると無視できなくなる。

IV. 実験

IV-1 実験条件設定

図7に実験装置の配置を示す。液晶プロジェクタは道路のビデオ映像を映す。スクリーンの裏にセンサシステムを配置する。時間は100Hzの内蔵発振器のパルスを車影時間 T_v と車間時間 T_i を別々のカウンタ1と2によって別々に測定する。

IV-2 結果

実際のビデオ映像を映して実験した結果、車影の検出とともに、時間が計測でき、実用化できることが確認できた。

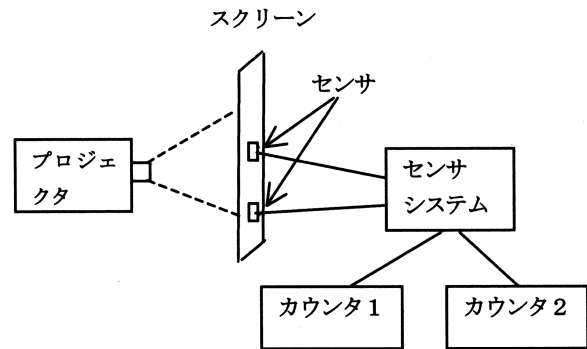


図7 測定条件設定(装置の配置)

V. 検討

光学センサのみを使用すると車両の色によって信号のレベルが異なり、検出感度が異なる。これによる計測誤差がおこる可能性がある。またビデオ撮影に明るさの制限がある。よって、光センサに加えて車両の音響ノイズ等の別の情報を併用する方式により信頼性の高い測定装置が望まれる。

VI. おわりに

道路交通流の特性は車両の速度と車頭時間の測定が必須であることから、個々の車両についてこれらの量を得る装置を開発した。従来人手によるこれらの測定には精度の上で限界があり、また、測定時間の短縮が望まれていたが、本装置は精度の向上と不便さの解消に向けた一步を踏み出したものである。今後コンピュータ化して、自動計測システムへ発

展させることが望まれる。

文献

- 1) Leutzbach, W., Introduction to the Theory of Traffic Flow, Springer-Verlag, (1988)
- 2) May, A. D., Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, (1990)
- 3) Greenshields, B.D., “A Study in Highway Capacity”, Proc. of the Highway Research Board, 14, 448-477 (1935)
- 4) Greenberg, H., “An Analysis of Traffic Flow”, Operations Research 1, 79-85 (1959)
- 5) Underwood, R. T., “Speed, Volume and Density Relationships, Quality and Theory of Traffic Flow”, New Haven: Yale Bureau of Highway Traffic, 141-188 (1961)
- 6) Drew, D. R., “Deterministic Aspects of Freeway Operations and Control”, Texas Transportation Institute, Research Report, 24-4 (1965)