

## 車速度と車頭時間をパラメータとした道路交通の測定と解析

鈴木 祥介<sup>†</sup> 谷口 正成<sup>†</sup> 高木 相<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 東北文化学園大学科学技術学部 〒981-8551 仙台市青葉区国見 6-45-1

<sup>‡</sup> 東北大学名誉教授

E-mail: <sup>†</sup> ssuzuki@ait.tbgu.ac.jp,

あらまし 車速度( $v$ )と車頭時間( $T$ )に着目した道路交通の挙動解析を試みた。定点で観測したビデオ映像から車速度( $v$ )と車頭時間( $T$ )の30秒間の平均値を測定値とし、さらに移動平均したこれらのデータをパラメータとして、これらの時間的変化と相互相関関係を図示した。次に、これらのパラメータを用いて、車両密度( $k$ )と流量( $q$ )を定義し、それぞれの時間軸上の変化と $k$ 、 $q$ 、 $v$ それぞれの間の相関関係を示した。相関関係の表示には時間経過を示すためにベクトル表示を導入した。本研究の結果、車速度と車頭時間が交通流の基本測定パラメータとすることが適切であることが明らかになり、従来明確に表示できなかった、交通流の時間変動が容易に追跡できるようになった。また、交通流密度を $v$ と $T$ で定義したことにより、従来1kmあたりの台数という測定が困難な定義から、新しく定点で測定可能な0と1の間の数値( $0 \leq k \leq 1$ )として表示できるようになった。これにより、 $k$ 、 $q$ 、 $v$ 間の相互相関も時間経過を含めて明確に on-line に近い形で把握できるようになり、将来交通流最適化、渋滞予測などの具体的手段の開発とその展開が期待される。

キーワード 交通流、車速度、車頭時間、車速-車頭時間相関、 $k$ - $v$ 相関、 $k$ - $q$ 相関、 $q$ - $v$ 相関

### Measurement and Analysis of Traffic Flow with the Parameters of Vehicle Speed and Time Headway

Shosuke Suzuki<sup>†</sup> Masanari Taniguchi<sup>†</sup> and Tasuku Takagi<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Science of Technology, Tohoku Bunka Gakuen University 6-45-1, Kunimi, Aobaku, Sendai, 981-8551

E-mail: <sup>†</sup> ssuzuki@ait.tbgu.ac.jp, <sup>‡</sup> Tohoku University (Emeritus)

**Abstract** Measurement of road traffic has been done by taking the parameters of vehicle speed ( $v$ ) and time-headway ( $T$ ). The data of two parameters,  $v$  and  $T$ , were obtained from video images. The unit of video frame was taken 30 seconds, and the data of parameters  $v$  and  $T$  were taken as the averaged ones in 30 seconds. Furthermore, the final data were adopted as the values of moving averaged ones. The time variations of  $v$  and  $T$  and  $v$ - $T$  correlation were shown using arrows (vectors) for indication of parameter changes with respect to time sequences. The traffic flow  $q$  was defined by  $T$  and the density  $k$  was defined by  $v$  and  $T$ . The variations of  $k$ ,  $q$  and  $v$  were shown on the same sheet of graph with respect to time. Owing to new definition of  $k$ , the traffic density was confined between 0 and 1 ( $0 \leq k \leq 1$ ), instead of present definition of the number of vehicles per 1km, and we were able to see  $k$ - $v$ ,  $k$ - $q$  correlations more explicitly. Moreover, as we can obtain the measured parameters ( $v$  and  $T$ ) at any fixed point on a road, it became possible to chase the time variations of  $v$ ,  $k$  and  $q$  with almost on-line way. Basing upon the present results, the traffic optimization and/or forecasting measures will be effectively available in future.

**Key words** vehicle speed- time-headway-correlation,  $k$ - $v$  correlation,  $k$ - $q$  correlation,  $q$ - $v$  correlation

#### I. はじめに

道路交通における渋滞問題は最も解決が急がれている課題の一つである。道路交通問題には考慮すべき点が多い。最近 M.Papageorgiouらは主として、道路交通の制御法に焦点を絞って研究の現状をレビューしているが、結論的には、理論と実際には乖離があると記述しており、問題の難しさを述べている[1]。道路交通に関する解説書は多く存在するが、速度( $v$ )、流量( $q$ )、

密度( $k$ )が交通流状態を記述する要素パラメータであることは共通している[2]。また、これまでの研究を概観すれば、時間軸上で刻々変動する $v$ 、 $q$ 、 $k$ を陽

にとらえた調査研究は多くないことが分かる。

筆者らはこれまで、交通流を時空間ダイナミクスとして、いわゆる  $t$ - $s$  ダイアグラムにおけるショックウエーブ問題としてその挙動を理論的に考察してきた[3]。 $t$ - $s$  (時-空) ダイアグラムは車頭時間を時間軸におき車両の進行距離を縦軸として個々の車両の移動軌跡をグラフ上で同時に図示するものである。個々の軌跡の傾斜が車速度を表す。このグラフからショックウエーブ論を展開して道路交通のダイナミクスを論じほぼその概要を把握することができた。このことから道路交通を支配するパラメータは車速度( $v$ )と車頭時間( $T$ )であることが分かった。

そこで本文では $v$ と $T$ を測定して、これらの変化を時間軸上で陽に表してみることにした。測定にはビデオ映像を用い、30秒を単位として、その平均を30秒間の値とし、さらに移動平均することにより急激な変動を平均化することとした。これによりダイナミクスが実感的に把握でき、さらに $T-v$ 相関を図示すると、交通流を特徴的に分類把握することができることが分かった。なお、 $T-v$ 相関図では時間経過との関係が分かるように変化の方向をベクトルでつなぐこととした。次に従来から多く表記されている密度( $k$ )、流量( $q$ )と速度( $v$ )の相互関係をやはり時間軸上で表

すとともに、相互相関をも図示してみた。ここで $q$ は一定時間の平均化車頭時間の逆数で定義し、 $k$ は一定時間の平均化車頭距離(平均化車頭時間×平均化速度)を用いて新しく $0 \leq k \leq 1$ (0; 車両無し、1; 極限渋滞状態)となるように定義した。

これらの図から、交通流の特徴的な挙動の把握に、たとえば $k-v$ 相関図から明確に $k$ と $v$ に一定の関係が存在するなど、いくつか今後活用できそうな示唆が得られた。

次章2.において測定法を、3.において $v$ 、 $T$ の時間軸上のデータ、 $T-v$ 相関図を、4.において $q$ と $k$ の定義、5.において $k-v$ 、 $k-q$ 相関図を示す。6.は結論である。

## 2. 測定法

測定対象道路は仙台市郊外の2車線路(青葉区中山)である。図1に測定場所を示す。

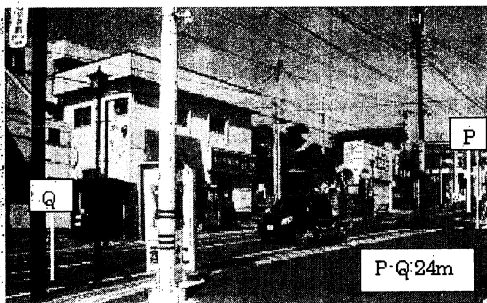


図1. 測定場所

測定パラメータは車頭時間( $T$ )と車速度( $v$ )である。図1のP点とQ点の間は24mである。このシーンのビデオ映像を撮影し、約30分間のデータを以降の解析データとする。

i)  $T$ の測定: 30秒間を1単位として、P点を通る車両と後続車両の時間差(車頭時間)を次々

に測定し、平均したものを原データ( $T_0$ )とする。

ii)  $v$ の測定: P-Q間を通過する時間を各車両について測定し、30秒間に通過した車両の通過時間の平均値で24mを除いた値を $V_0$ とし、これを原データとする。

なお、原データ $T_0$ 、 $V_0$ の各時間帯(30秒ごと)

の値 $n$ 個を移動平均したもの( $n \times 30$ 秒間の平均)をそれぞれ $T_{0m}$ 、 $V_{0m}$ として以後このパラメータを

用いて解析的に議論する。以下 $n=5$ (150秒)のデータを用いる。 $n$ の値による時間変動の違いについては付録を参照されたい。

## 3. $T_{0m}$ 、 $V_{0m}$ の時間変動と相関

### 3.1 時間変動

$n=5$ の場合の $T_{0m}$ と $V_{0m}$ (150秒=2.5分間平均値)

を図2に示す。

### 3.2 相関

図2を両測定パラメータの相関図としたものが図3である。

### 3.3 解析的知見

図2のI, II, III, IV, V, VIは図3の①、②、③、④、⑤、⑥のそれぞれと対応している。図2から、また図3中の説明から分かるように、交通流が疎( $T_{0m}$ 、 $V_{0m}$ が

大)から密( $T_{0m}$ が小)に向かう領域①から $T_{0m}$ が小で $V_{0m}$ がある程度大(最大交通流に近いと考えられる)

の領域②を経て渋滞④( $T_{0m}$ が極端に長く、 $V_{0m}$ が小さい、(極限的には(完全渋滞状態では) $T_{0m} = \infty$ 、 $V_{0m}$

$\approx 0$ )に向かうとき③のように下降する。④の渋滞が解消に向かうとき⑤のように $V_{0m}$ はほぼ一定のまま車

頭時間 $T_{0m}$ が減少しながら⑥の領域( $T_{0m}$ は②と同じで $V_{0m}$ は②より小=最大交通流以下)ように定常交通流になっている。

本測定データからこのようなことを知ることができたが、測定例を重ねて量的説明が可能かどうか、今後の検討が待たれる。

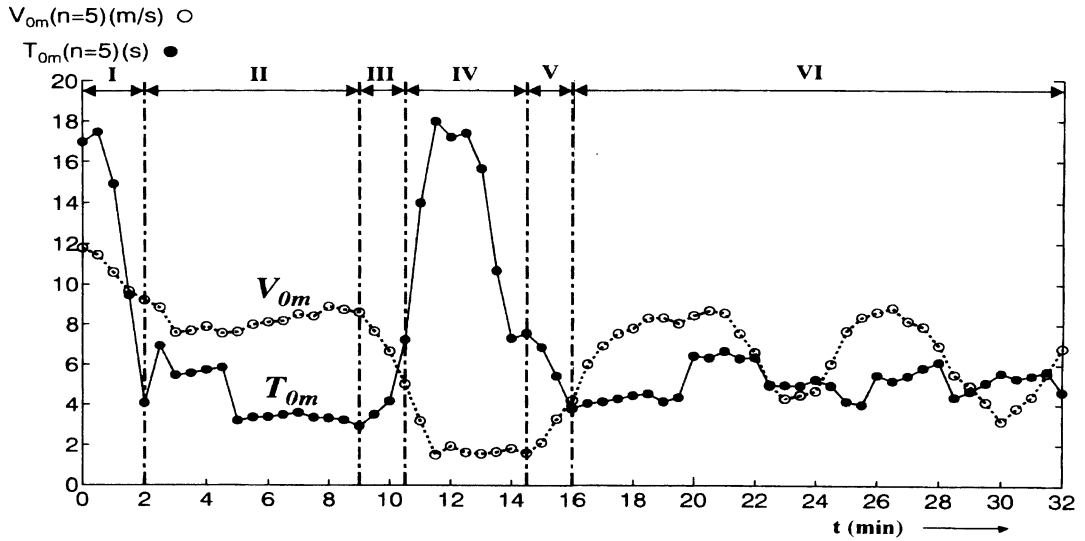


図2  $T_{0m}, V_{0m}$  の時間変動

#### 4. 流量と密度の定義

##### 4.1 従来の定義

i) 流量: ある時間に定点を通過した車両台数 (5分、10分、1時間、など)

ii) 密度: 通常 1 km の区間に存在する走行車両の台数

本文での定義

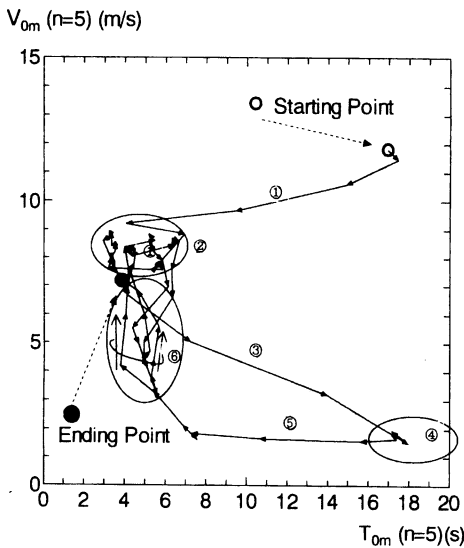
i') 流量 ( $q$ ): ある時間内における平均車頭時間 (30秒平均値  $T_0$ ) の逆数 ( $1/T_0$ ) [1/s]

とする。

ii') 密度 ( $k$ ):  $k$  は次の式で定義する。

$$k = \frac{L_{0E}}{L_0} = \frac{L_{0E}}{V_0 T_0} \quad (1)$$

$T_0, V_0$  はそれぞれ 30 秒間の平均車頭時間、平均速度 (元単位) であるから、積  $T_0 V_0$  は 30 秒単位で変化する平均車頭距離 ( $L_0$ ) である。図 4 は  $L_0$  と  $L_{0E}$  の概念的説明図である。



- ①: 疎から密へ向かう交通流
- ②: 定常流 (最大流領域)
- ③: 渋滞へ向かう交通流
- ④: 渋滞領域
- ⑤: 渋滞解消に向かう交通流 ( $V_{0m}$  変化小)
- ⑥:  $V_{0m}$  変動の大きい領域 ( $T_{0m}$  変化小 = 流量変化小)

図3  $T_{0m} - V_{0m}$  相関

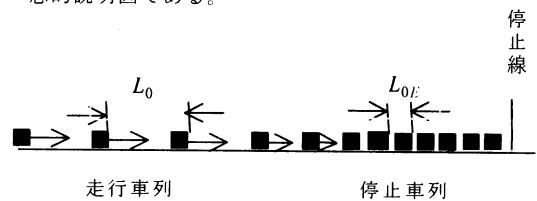


図4  $L_0, L_{0E}$  の関係

図4にある停止線でできる車列において、 $L_{0E}$  は停止

車列の車頭距離で最短距離であり、6mとした。 $L_0$

は走行車列の車頭距離で、

$$L_0 = T_0 V_0 \quad (2)$$

である。密度  $k$  は停止車列の車頭距離と走行車列の車頭距離の比として定義している。この定義では密度  $k$  は  $L_0 = \infty$  (走行車両がない時) では  $k=0$ 、停止車列

状態では  $L_0 = L_{0E}$  であるから  $k=1$  となる。つまり

$$0 \leq k \leq 1 \quad (3)$$

となり、従来の実際の定義より定点での測定が可能となった。

### 5. $k, q, v$ 間の相互相関

以上のような定義のもとに  $T_0$  と  $V_0$  を測定パラメータとして、まだ off-line の段階であるが、時間軸上で、図2のような形で、交通流を追跡することが出来るようになった。以下時間軸上での変化 ( $t-k, q, v$ 特性)、

$k, q, v$  それぞれの相互相関 ( $k-v, k-q, q-v$  相関) を示すことにする。

### 5.1 $t-k, q, v$ 特性

図5は  $k, q, v$  の時間変動特性図である。いずれも150秒間の移動平均値である。すでに  $v$  については図2に  $V_{0m}$  (150秒平均) として示されている。 $q$  は 4. ii') で定義したように

$$q = \frac{1}{T_0} \quad (4)$$

である。これは30秒間の平均(元単位)であるから  $k$  とともに150秒平均値 ( $k_{0m}, q_{0m}$ ) を求め、これを改めて  $k, q$  として図5に示している。

図2には  $T_{0m}$  ( $n=5$ ) の時間変動が示してあるが、この逆数は(4)の移動平均値  $q_{0m}$  とは一般に異なる値をとる(平均値の逆数と逆数の平均値は一般に等しくないからである。いずれをとるのが適当かは今後の検討に待つことになる)。

図中  $v$  のカーブは図2の  $V_{0m}$  のそれと同じである。I, II, III, IV, V, VI の区分も図2と同じである。

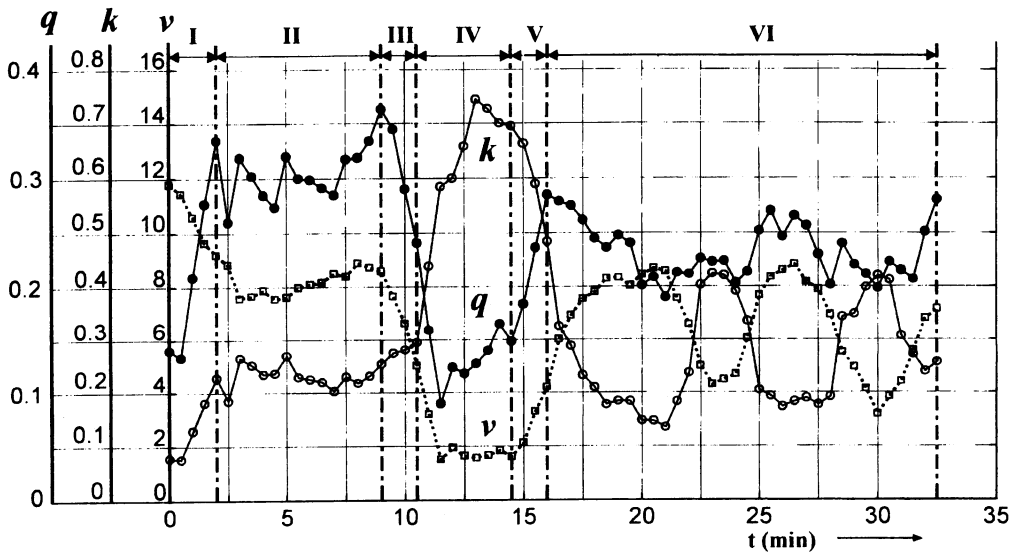


図5.  $q, k, v$  の時間変動

## 5.2 $k-v$ 相関

図6に  $k-v$  相関図を示す。

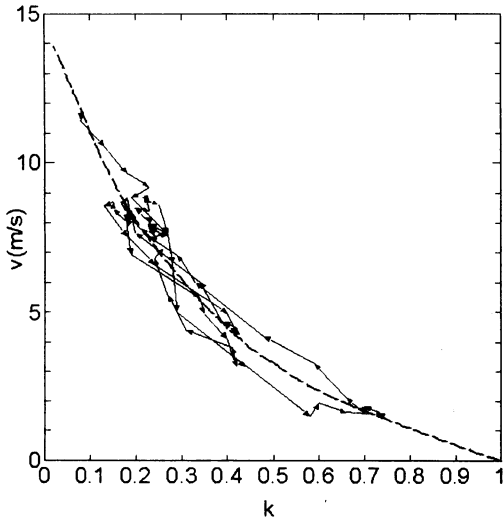


図6:  $k-v$  相関図(移動平均  $n=5$ )

多くの専門書にこの関係が論じられている[4]。速度は密度とともに低下するが、実測値に基づいて  $q-k$  相関の根拠を示す意味で議論されているものが多い。いずれも、密度は  $1 \text{ km}$  あたりの車両数で扱われているので図6とは異なる表現である。

図6は(1)式の定義で描かれている。この定義によれば、密度は0と1の範囲に限定される。図中の点線はおよその傾向を示したものである。この図から見ると、 $k-v$  の関係には明確な傾向があるように見える。

## 5.3 $k-q$ 相関

図7に  $k-q$  相関図を示す。図中の矢印は図3に対応している。そしてその番号は図2と5のI, II, III, IV, V, VI にそれぞれ対応している。図3 ( $T_{0m} - V_{0m}$ ) と図7を対応してみると、対応関係は明白であるが、渋滞状態④が大きく異なっている。 $k-q$  相関には渋滞に向かってフローが停滞し、それが解消に向かうときの情報が多く存在していることが伺える。その他の対応には大きな違いはないが、②と⑥の形が  $k-v$  相関で横型、 $k-q$  相関では縦型になる傾向である。

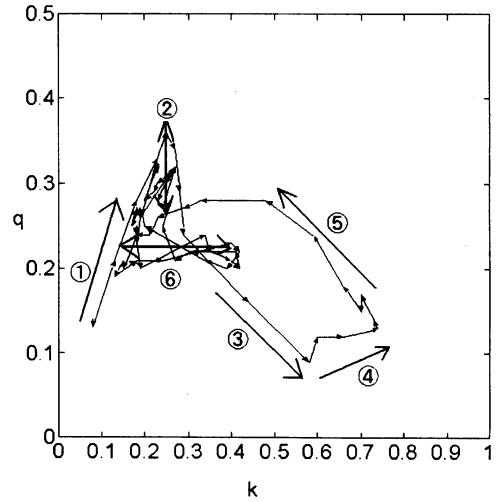


図7:  $k-q$  相関図(移動平均  $n=5$ )

## 5.4 $q-v$ 相関

図8に  $q-v$  相関図を示す。

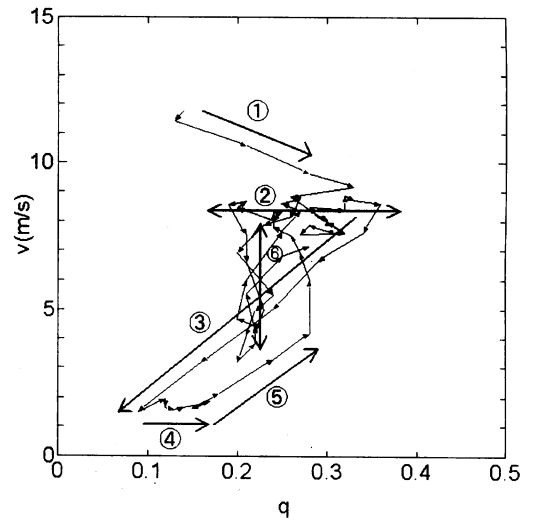


図8  $q-v$  相関図 (移動平均  $n=5$ )

この図を図3、図7と対応して見ると、②の変動幅が比較的大きいように見える。特筆すべきは③④⑤の動きであるが、特に③が目立つ。しかし、 $T_{0m} - V_{0m}$  相

関(図3)に比べて特に特徴的な情報はないように見える。

### 5.5 $T_{0m} - V_{0m}$ , $k-v$ , $k-q$ , $q-v$ 各相関からの情報

交通流を規定するパラメータとして従来から用いられている速度( $v$ )、密度( $k$ )、流量( $q$ )について新しく $T_{0m}$ (平均車頭時間)と $V_{0m}$ (平均速度)で定義した $q$ と $k$ (第4章)からそれぞれの相関をみてみた。

この結果、およそ次のことがいえるように思われる。即ち、

1)  $T_{0m} - V_{0m}$  相関が基本的でこれからほとんどの交通流の状態把握ができる。

2)  $k-v$  相関は密度と速度の関係に一定の関係が存在することを示唆している。

3) 渋滞の状態は、 $k-q$ ,  $q-v$  相関に情報がある。

ということである。

### 6. 終わりに

車頭時間、速度を独立なパラメータと考えて、これをもとに流量、密度を新しく定義し、この定義に従って、この両者間に存在する関係(相関)、さら人口に膾炙している、 $k-v$ ,  $k-q$ ,  $q-v$  などの相関を調べてみた。

大まかな結論としては、 $k-v$  相関に一定の関係がありそうな研究課題が浮かび上がったこと以外には

$T_{0m}$ (平均車頭時間)と $V_{0m}$ (平均速度)とこれから定義された密度( $k$ )、流量( $q$ )の時間軸上の変動と $T_{0m} - V_{0m}$  相関に着目すれば、交通流の状態把握はほぼ十分にできることがわかった。

本調査研究は車頭時間と速度に着目した交通流の解析の第一歩として行ったもので、十分なデータに基づいたものではない。今後データの on-line 取得法を含めて、取得情報とその情報活用法、特に交通流制御、交通予測への適用等について解析的研究が必要である。

### 文献

- [1] M. Papageorgiou, C. Diakaki, V. Dinopoulou, Y. Wang, "Review of road traffic control strategies", Proc. of the IEEE, Vol. 91, No. 12 pp. 2043-2067, 2003
- [2] W. Leutzbach, Introduction to the Theory of Traffic Flow, Springer-Verlag, 1988.
- [3] 高木相ほか, "道路交通のダイナミクス (I-VIII)", 情報処理学会研究報告 ITS, (I-2000, 3), (II-2000, 5), (III-2000, 9), (IV-2000, 11), (V-2001, 3), (VI-2001, 9), (VII-2002, 9), (VIII-2003, 5)
- [4] 伊吹山四郎(編著), 道路交通工学, 金原出版(株), (昭和39年12月)ほか

### 付録

移動平均個数  $n$  と平均値 ( $t-v$  特性)

