

道路交通流の指数関数モデル

Exponential Modeling of Road Traffic Flow

○鈴木祥介*, 谷口正成*, 高木 相*

○Shosuke Suzuki*, Masanari Taniguchi*, Tasuku Takagi*

*東北文化学園大学

*Tohoku Bunka Gakuen University

キーワード： 道路交通流(road traffic flow), 車頭時間 (time headway), 車密度 (traffic density), 交通流のモデル(road traffic modeling), 指数関数モデル (exponential modeling)

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 コンピュータサイエンス学科

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

1. はじめに

道路交通流の最大の課題は、渋滞問題であると言っても過言ではない。交通流が密になった場合、その道路の最大容量で、車両が走行できるような信号制御が重要である。そのために道路交通流の理論的解析が必要である。交通流は、路車間、車車間で干渉をもち、ドライバーは常に安全走行行動をとることから、交通流には一定の特性が見られる。この特性を知ることは重要であり、交通流の状態を表現する基本的な3つのパラメータ、すなわち車速度(v)、車密度(k)、車流量(q)と、それらの測定値の間の相互相関関係が研究されてきた。特性を分析するための交通流のモデル、すなわち確率統計的モデル、流体モデル、追従モデル、セルオートマトンモデル、最適速度型モデルなどが提唱されている。筆者らの研究により、 $k-v$ 特性は、指数関数関係にあることが明らか

になった^{15,16}。Web から入手したHolland Tunnel の測定データ¹⁰を筆者らの定義(後述)に当てはめて計算すると、正確に指数則に従うことが示された。このことを報告することとする。

- 1) 従来 of 交通流のモデル
- 2) 筆者らの $k-v$ 特性式
- 3) 測定方法, 測定値, 平均値
- 4) 車密度(k)の新定義
- 5) 測定結果
- 6) 測定データの考察
- 7) 終りに

の順に述べることとする。

2. 従来の交通流のモデル

前述のように、多数のモデルが提案されているので、それらを概観すると同時に、これらから得られる $k-v$ 曲線の式を見ていくことにする。

1) 確率統計的モデル¹¹⁾

交通流が比較的少なく、個々の車両が相互に関連無く独立に動いているとみなせるとき、交通流はポアソン過程として取り扱うことができる。交通流が疎の場合には、 k と v には、強い負の相関関係があり、どのモデルでもあまり違わないと思われる。

2) 流体モデル^{11,12)}

交通流は、多数の車両の運動から成立しているマクロ的にみれば連続した流体のように考えることができるという考え方である。密度の変化する交通流は、空気のような圧縮性流体と考えることができ、このモデルから得られたのは、グリーンバーグ(H.Greenberg)³⁾の式

$$v = c \ln \left(\frac{k_j}{k} \right)$$

、アンダーウッド(R.T. Underwood)⁵⁾

$$v = v_f e^{-\frac{k}{k_0}}$$

および、ドゥルー(D.R.Drew)⁶⁾の

$$v = v_f \left\{ 1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{\frac{n+1}{2}} \right\}, (n > -1)$$

式である。

3) 追従モデル¹²⁾

走行している車両は、直前の車両の挙動の影響を大きく受ける。走行車列の列の途中で生じた走行の乱れは後方車両に順

に伝播していく。このような車両の追従挙動を微分方程式で表現し、追従時の乱れの伝播の安定性を分析してできるモデルである。

(a) エディー(L.C.Edie)⁴⁾

$$v = v_f e^{-\frac{k}{k_0}} \text{ (非渋滞流)}$$

$$v = c \ln \left(\frac{k_j}{k} \right) \text{ (渋滞流)}$$

(b) グリーンシールドズ(B.D.Greenshields)¹⁾,

オルコット(E.S.Olcott)²⁾は、実測結果から得られたのであるが、エディーの式からも導出される¹¹⁾。

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right)$$

4) 実測値によく合うドレイク(J.Drake)等⁷⁾

$$v = v_f e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{k}{k_0} \right)^2}$$

の式である。

5) 非線形モデル

ジャジス(Gazis)^{8,9,13)}から導出

$$v = v_f \exp \left[-\alpha \left(\frac{k}{C} \right)^{n-1} \right]$$

6) セルオートマトンモデル¹²⁾

道路(1次元空間)をセルに区切り、前のセルが空いていれば前へ進み、追い越すは許されず、前に車があれば減速し停止することとなる。車の全台数が少なければ全体はスムーズに移動していくが、多くなると直前の車の後ろに付いて停止する事態が予想される。

7) 最適速度型モデル¹²⁾

基本は、従来と同じ前方参照の1次元追従モデルである。車の大きさは考えないで、運転手・車の性能もすべて同じとす

る。交通流を記述するために構成分子である車の運動が持つべき性質は、追従挙動と排除効果のみである。つまり、車は前方車間距離が詰まると減速するという考え方である。

3. 筆者らの $k-v$ 特性式

以上の多数のモデルがあるにもかかわらず、筆者らが実測して得たデータは上のモデルのどれにも当てはまらない。R.T.Underwood⁵⁾ に似てはいるが、

$$v = V_M e^{-ak} \quad (1)$$

という指数関数モデルがよく当てはまっていることを得た。

4. 測定方法, 測定値, 平均値

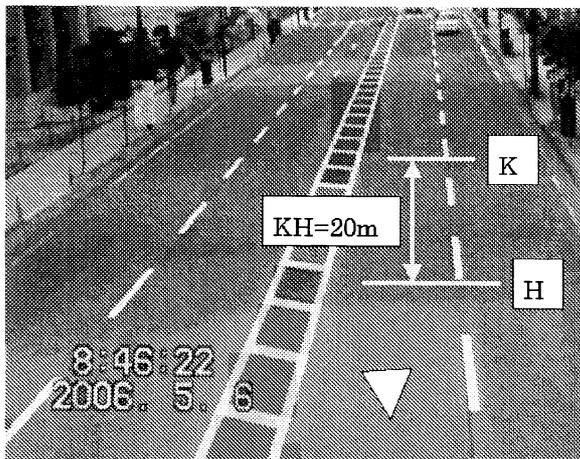


Fig. 1 Sendai Root 4

仙台市内を通る国道4号線(県庁から北仙台に向う)を30分間ビデオ撮影し、再生映像から、中央線側の車線(図の3角形のある)を走行する各車両の、KHの midpoint における車頭時間 $T(s)$ と、KH 区間(20m)における各車両の平均速度 $V(m/s)$ を抽出した。Fig.1 を参照。こ

のままのデータでは、変動が大きいので30秒ごとに平均値をとり、 T_{0i}, V_{0i} とした。 i は、平均値の個数(およそ60)までを動く添数である。 ($0 \leq i \leq 60$)。 n を移動平均をとる個数とするとき、 $n = 5$ を今回採用した。なお、移動平均をとる理由は、単なる平均値を採用すればデータの変動が大き過ぎて特徴がつかめなくなってしまうからである。同様に、仙台市郊外の中山通りでも測定したので、その結果も図示した。渋滞が問題となるのは一般道路の場合が多いにもかかわらず、我々が目にするデータの多くは、高速道路(あるいはfree way)の測定値である。一般道路での測定データは、目にする機会が少ないので、われわれが自分で測定したデータを使用するしかないが、データ取得の自動化(ソフトウェア、ハードウェア開発などによる)が、緊急に必要とされる。

5. 車密度(k)の新定義

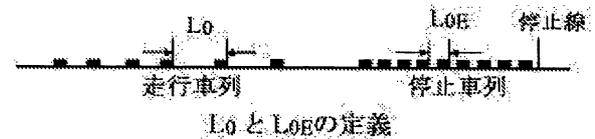


Fig. 2 L_0, L_{0E}

Fig.2 は、走行時と赤信号停止時の車両の動きを平均化した概念図である。赤信号時などの停止時の車頭距離の平均値を L_{0E} とし、 $L_{0E} = 7m$ を採用したが、場合によっては6mが適当かもしれない。走行時の(30秒間の)車頭距離の平均値を $L_{0i} = T_{0i}V_{0i}$ としたとき、

$$k_i = \frac{L_{0E}}{L_{0i}} = \frac{L_{0E}}{T_{0i}V_{0i}}$$

を車密度の新定義とした。従来の車密度は、1km または1 mile あたりに存在する車両数として定義されており、一般に測定が困難で

ある。かつ上限が定まっていない実数であった。新定義は、従来の定義を正規化したものと考えることができ、このように定義することにより、 k は、原則的には、 $0 \leq k \leq 1$ の範囲の無次元の数となり、関数の独立変数となり得る。車流量(q)は、従来、5分間、1時間、1日当りの通過車両数として定義されていたが、ここでは

$$q_{0i} = \frac{1}{T_{0i}}$$

すなわち、1秒間あたりの通過台数を採用した。以上から、 (V_0, q_0, k_0) (i は省略)の3つの数値の組が得られる。

6. 測定結果

以上の測定方法、定義によって得られた測定結果を図示する。

Fig.3は、点 $(k, \ln(v))$ をプロットした図であり、

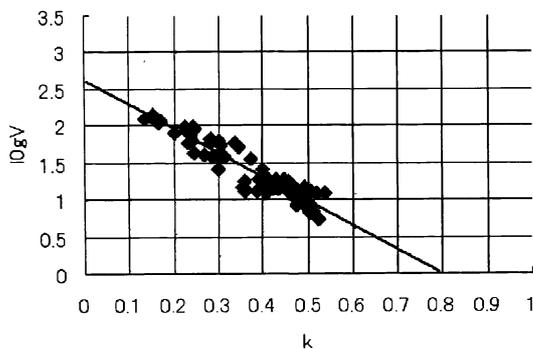


Fig. 3 Kita sendai

直線で近似されているのが分る。すなわち、指数の形に直せば、(1)式の形になっている。横軸、縦軸との交点(切片)から、(1)式の V_M, α が推測できる。Fig.4は、中山通りでの測定データから得たものであり、やはり $(k, \ln(v))$ をプロットしたものである。この場合の近似直線の傾き -2.7 は、(1)式の $-\alpha$ であり、

$$v = 15.4 \exp(-2.7k) \quad (2)$$

Sendai Nakayama (n = 5 mov. aver.)

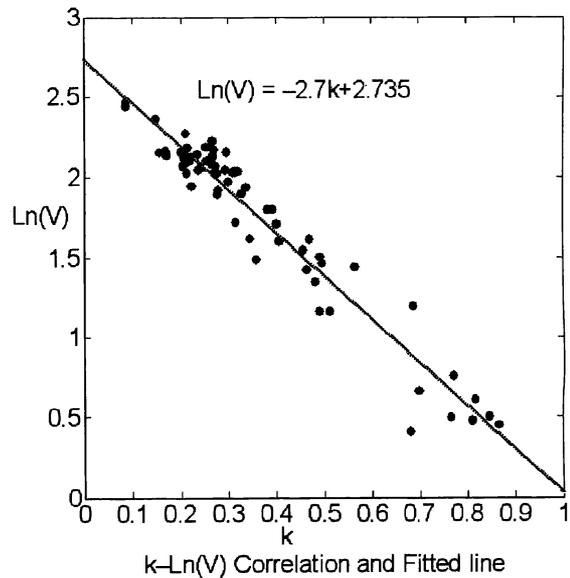


Fig. 4 Nakayama 1

を得る。対数をとらない形で、 (k, v) をプロットし、近似曲線として(2)式をとったのが、Fig.5である。

指数則が成立しているのがよく分ると思われる。

7. 測定データの考察

従来の $k-v$ 特性式とわれわれの指数関数の(1)式の違いとして(1)式の方が単純であることが大きな特徴である。 V_M は、仮想の最大速度になっていることは、 $k=0$ のときの速度であるからで、実際はもう少し小さくなっていると思われる。また、近似直線の傾き $-\alpha$ が何によって決定されるのか、よく分らないので、測定データを多数入手し、道路の構造、天候、などのどれに依存するのか、解明することも重要である。今まで、述べていなかったが、車速度(v)と車頭時間(T)は、独立であり、この2つを測定すれば、車流量(q)と車密度(k)が計算によって得ることができるので短時間の測定でこれらの図を描画することが可能で

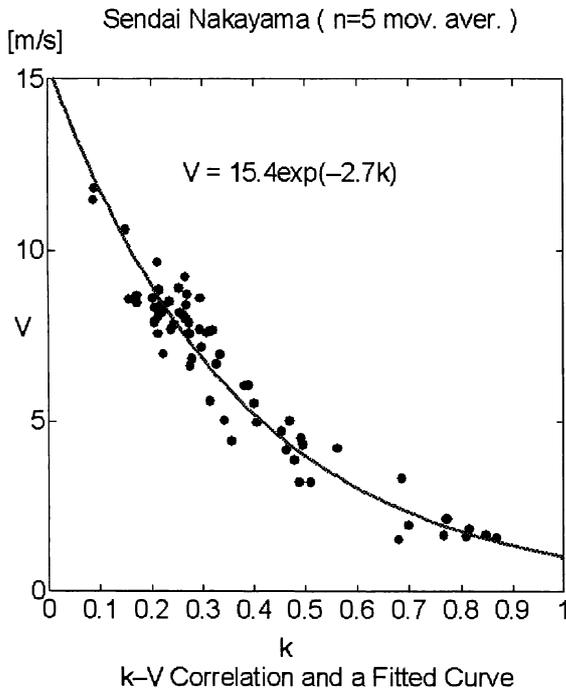


Fig. 5 Nakayama 2

ある。

8. 終わりに

測定データ例を多数入手するためには、ソフトウェアとハードウェアを開発し、できる限り、リアルタイムで $k-v$ 特性式を導出すること、 V_M と α の関係をもっと詳細に検証すること、複数交差点での測定、高速道路の渋滞の状況を測定することなどが今後の課題である。

9. 参考文献

参考文献

- 1) B. D. Greenshields: A Study in Highway Capacity, H. R. B., Proceedings, Vol.14, p.468, 1935.
- 2) E. S. Olcott: The Influence of Vehicular Speed and Spacing on Tunnel Capacity, J. Opns. Res. Soc., Am. 3, pp.147/167, 1955.
- 3) H.Greenberg: An Analysis of Traffic Flow. Opns. Res., Vol. 7, No. 1, pp.79/85, 1959.

- 4) L. C. Edie : Car-Following and Steady-State Theory for Non- Congested Traffic, Opns. Res., Vol. 9, No. 1, pp.66/75, 1961.
- 5) R. T. Underwood: Speed, Volume and Density Relationships, Quality and Theory of Traffic Flow (New Haven: Yale Bureau of Highway Traffic), pp.141/188, 1961,
- 6) D. R. Drew: Deterministic Aspects of Freeway Operations and Control, Texas Transportation Institute, Research Report, 24-4, 1965.
- 7) J. Drake, A. D. May, J. L. Schofer: A Statistical Analysis of Speed Density Hypotheses, Traffic Flow Characteristics, H. R. R., 154, pp.53/87, 1967.
- 8) D. C. Gazis, R. Herman, R. Potts: Car-Following Theory of Steady-State Traffic Flow, Opns. Res., Vol. 7, No. 4, pp.499/505, 1959.
- 9) D. C. Gazis, R. Herman, R. W. Rothery: Nonlinear Follow-the-Leader Models of Traffic Flow, Opns. Res., Vol.9, No. 4, pp.545/567, 1961.
- 10) Ismail Chabini, Amedeo Odoni: 1.225, 11/01/02 (ESD 205) Transportation Flow Systems, Modeling Road Traffic Flow on a Link. lecture3.pdf, <http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Civil-and-Environmental-Engineering/1-225JFall2002/E957698D-7675-40BC-8D9A-9E2097579F84>
- 11) 佐々木 綱(監)、飯田 恭敬(編著者) : 交通工学, pp.126, 国民科学社, 1992.
- 12) 杉山雄規: 交通流の物理, 日本流体力学学会機関誌 「ながれ」, 22 pp.95/108, 2003.
- 13) 山本俊行: 移動体観測を活用した交通NWのリアルタイムマネジメントに向けて:プローブカーデータを用いた動的OD交通量のリアルタイム推定, <http://www.trans.civil.nagoya-u.ac.jp/~toshi/presentation/MiniSymposium-20060318.ppt>
- 14) 鈴木祥介, 谷口正成, 高木 相: 車両の短時間平均速度と車頭時間に着目した交通流の測定と解析, 計測自動制御学会東北支部 第221回研究集会(2005.5.30), 資料番号 221-3
- 15) 鈴木祥介, 谷口正成, 高木 相: 道路交通流の測定と解析(I)-密度(k)と車速度(v)の関係-, 電子情報通信学会総合大会, 資料番号 A-17-17, pp.309, 2006
- 16) 高木 相, 谷口正成, 鈴木祥介: 道路交通流の測定と解析(II)-車速度(v)と流量(q)の関係-, 電子情報通信学会総合大会, 資料番号 A-17-18, pp.310, 2006