

京都大学工学部

学生員 ○小川喬之

京都大学大学院工学研究科

正会員 塩見康博

京都大学経営管理大学院

正会員 宇野伸宏

## 1. はじめに

車頭時間はある断面を連続して通過する2車両の通過時刻の差として定義され、交通流解析を行う上で最も基本的な指標の1つである。追従状態にある車両の車頭時間は交通容量を規定するものであり、その分布特性を把握することは高速道路の交通運用を図る上で極めて重要である。しかしながら、交通流は前方車両に拘束されることなく自由に走行する車両と、前方車両への追従を強いられる車両が混在しているため、実観測からは直接、追従走行時の車頭時間分布を導出することはできない。

そのため、これまでも追従車頭時間分布を推定するモデルが提案されている。例えば、Hoogendoorn et al.<sup>1)</sup>は自由走行車両に由来する車頭時間分布と追従走行車両に由来する車頭時間分布が独立して存在し、その合成された分布が観測より得られる車頭時間分布になると仮定した Composite headway distribution model を構築している。しかし、このモデル上ではあらゆる交通状況に対して同一の車頭時間分布を仮定しているが、実交通流では走行速度によって追従時の車頭時間は異なると考えられる。

そこで本研究では、上述の走行速度による車頭時間の差異を考慮するために、速度帯別に上述の Composite headway distribution model を拡張し、走行速度による車頭時間分布の差異を考慮して追従車頭時間分布を推定し、その分布特性を把握する。

## 2. Composite headway distribution model

観測車頭時間分布は自由走行車両と追従走行車両の車頭時間分布が合成された分布であると考えられる。したがって、以下で観測車頭時間分布から自由走行車両の車頭時間分布と追従走行車両の車頭時間分布を推定する Composite headway distribution model について説明する。

まず、追従車頭時間分布 $g(t)$ と自由走行車両の車頭時間分布 $h(t)$ が独立であると仮定すると、観測車頭時間分布 $f(t)$ は追従車両の割合 $\phi$ を用いて、 $g(t)$ と $h(t)$ の合成関数として記述できる。

$$\begin{aligned} f(t) &= g_1(t) + h_1(t) \\ &= \phi g(t) + (1 - \phi)h(t) \end{aligned} \quad (1)$$

車頭時間が十分に大きい場合は全車両が自由走行していると考えられる。そこで、自由走行車両は観測地点にランダムに到着すると仮定すると、十分大きな車頭時間 $t(> T)$ での $f(t)$ は次のように表される。

$$f(t) = h_1(t) = A\lambda \exp(-\lambda t) \quad t > T \quad (2)$$

ただし、 $\lambda$ は自由走行車の到着レート、 $A$ は式(3)で表される標準化定数である。

$$A = \frac{1 - \phi}{\int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} \int_0^t g(s) ds dt} \quad (3)$$

車頭時間が上述の $T$ より小さい場合は、自由走行車両と追従走行車両が混在している状態にある。車頭時間 $t(< T)$ で自由走行する車両は $t$ より小さい追従車頭時間を持つ車両に限られるため、 $(1 - \phi)h(t)$ 以上を踏まえると $h_1(t)$ は次のように表される。

$$h_1(t) = A\lambda \exp(-\lambda t) \int_0^t g(s) ds \quad (4)$$

ここで、式(2.1)から $g(t) = f(t) - h_1(t)/\phi$ より、

$$h_1(t) = \frac{A\lambda}{\phi} \exp(-\lambda t) \int_0^t [f(s) - h_1(s)] ds \quad (5)$$

を得る。これより、実観測から $f(t)$ を得ることにより $h_1(t)$ を推定し、式(1)に代入することで追従車頭時間分布 $g_1(t)$ をノンパラメトリックに推定できる。

## 3. 走行速度レベルを考慮したモデルの構築

上述のモデルは、走行速度によらず追従車両の割合、及び追従車頭時間分布は一定であるとの仮定に基づいている。しかし、実現象では走行速度レベルによって追従車両の割合、追従車頭時間分布は異な

ると考えられる。このことを考慮すると、式(1)は以下のように書き換えることができる。

$$f(t|v) = \phi(v) \cdot g(t|v) + \{1 - \phi(v)\} \cdot h(t|v) \quad (6)$$

ここで、 $f(t|v)$ は速度 $v$ の車両の車頭時間分布、 $\phi(v)$ は速度 $v$ で追従走行する車両の割合、 $g(t|v)$ は速度 $v$ で追従する車両の車頭時間分布、 $h(t|v)$ は速度 $v$ で自由走行する車両の車頭時間分布をそれぞれ表す。

速度 $v$ で走行する車両の存在割合を $p(v)$ すると、観測車頭時間分布 $f(t)$ は式(7)のように表される。

$$f(t) = \int_0^{\infty} p(v) \cdot \phi(v) \cdot g(t|v) dv + \int_0^{\infty} p(v) \cdot \{1 - \phi(v)\} \cdot h(t|v) dv \quad (7)$$

しかし、式(7)から直接追従車頭時間分布 $g(t|v)$ を導出するのは困難であるため、近似的な解法として速度を離散的に水準化して扱う。すなわち、速度帯を10km/hごとに設け、各水準で走行する車両のみを抽出したデータセットを作成し、各データセットについて、2.で示した手法で追従車頭時間分布を求める。

#### 4. 実観測データに基づく追従車頭時間分布の推定

本研究では、高速道路片側2車線区間として、1994年12月26日～1995年1月9日、1995年4月22日～5月7日、1995年8月9日～8月22日の計46日間の晴天時、昼間時間帯、自由流時を対象に、東北自動車道下り線93.2kp地点における、ループ式車両感知器による交通流パルスデータを用いる。

実際に観測車頭時間分布 $f(t)$ から推定した自由走行車両の車頭時間分布 $h_1(t)$ と追従走行車両の車頭時間分布 $g_1(t)$ の例として追越車線100～110km/hのものを図1に示す。

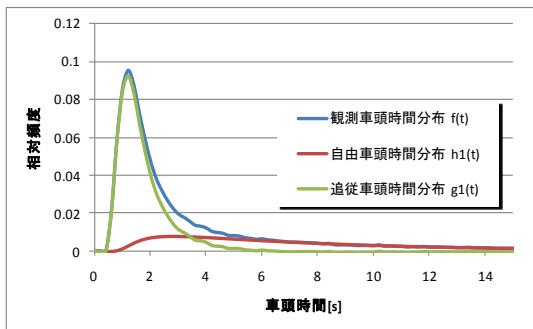


図1 車頭時間分布の分離(追越車線, 100～110km/h)

さらに、速度レベル別の追従走行車両の割合 $\phi(v)$ を車線別にプロットしたものを図2に示す。図より、

走行速度が高くなるにつれて、追従走行車両が少なくなることがわかる。

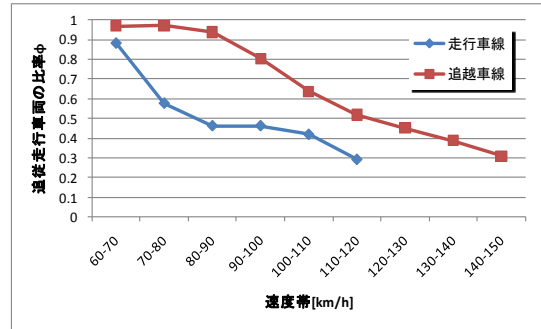


図2 各速度帯における追従走行車両の比率

図3に追従走行車両の車頭時間分布の平均値を車線別、速度帯別にプロットしたものを示す。図より、走行速度に応じて車頭時間が変化していることがわかる。また、車線によっても追従走行車両の車頭時間が異なることがわかる。さらに、ボトルネックであるサグに位置する95.0kpのものと比較すると、95.0kpのほうが追従走行車両の車頭時間が全体的に大きいことがわかる。このことより、ボトルネックでの交通容量は他と比べて小さくなると考えられる。

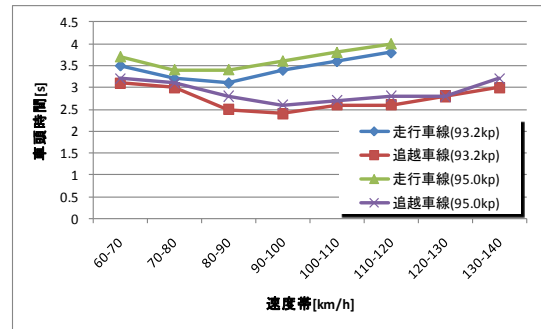


図3 追従走行車両の平均車頭時間

#### 5. まとめと今後の課題

本稿では、追従車頭時間分布が走行速度によって変化するとの視座の下、実観測データを用いて追従車頭時間分布を推定し、その結果より実交通流で考えられる状況を捉えていることを示した。

今後は、このモデルで分離した車頭時間分布より追従走行車両を実質的に判別する論理を考え、データから車群を抽出し、車群特性を把握する。

#### 参考文献

1) Hoogendoorn, S.P.: Unified approach to estimating free speed distributions, Transportation Research Part B, Vol.39, pp.709-727, 2005