

IV-68 1方向2車線道路における交通量の車線分布について

京都大学 正 員 佐佐木 紇
京都大学 学生員 〇井 上 矩 之

1. はじめに

走行, 追越の車線指定のある往復分離1方向2車線道路においては, 全交通量が少ないうちはカープレフトが守られているが, 多くなるにつれて追越車線の利用率が増加してくる。本文は, 追い越しモデルにより, この交通量の車線分布を検討したものである。

2. 追い越しモデル

走行速度は高速, 低速の2種類とする。低速車は一定速度 v でつねに走行車線上と走行するものとする。高速車は, 走行車線上と速度 V で走行しているが, 低速車に追いついたときには, 追越車線に必要な spacing (前後に各 d_2 以上) が見いだされるまでは速度 v で追従し, 車線変更後は走行車線にもどり得る spacing (前車と d_2 , 後続車と d_1 以上) が見いだされるまでは, 追越車線上と速度 V で走行するものとする。このような追い越しを単位時間当たり P 回行なうものとし, 1回の追い越し当りの平均追越台数, 平均追従時間, 平均追越車線走行時間とそれぞれ β , θ , τ とする。

2.1 各車線交通量と追越車線利用率

高速車は単位時間中 $P\theta$ 時間は V で追従, $1-P\theta$ 時間は V で自由走行するゆえ, V の実際の速度は,

$$U = VP\theta + V(1-P\theta) \dots (1)$$
 と表示される。単位時間当り追い越し低速車の台数は, $\beta P = \psi\lambda \cdot \frac{(U-v) \cdot 1}{v \cdot 1} \dots (2)$, である。上2式より, $P = \psi\lambda(N-1) / \{\beta + \psi\lambda\theta(N-1)\} \dots (3)$, となる。ここに, ψ = 低速車混入率, λ = 総交通量(2車線合計), $N = V/v$ である。

1台の高速車がある1地点を通過するとき, 走行車線あるいは追越車線を通る確率はそれぞれ, $\{VP\theta + V(1-P\theta - P\tau)\}/U$, $P\tau/U$ であり, 単位時間には $(1-\psi)\lambda$ 台の高速車が1地点を通過するので, それぞれの車線の交通量 λ_1 , λ_2 および追越車線利用率 γ は次のように表わされる。 $\lambda_1 = \psi\lambda + (1-\psi)\lambda \times \{VP\theta + V(1-P\theta - P\tau)\}/U \dots (4)$, $\lambda_2 = (1-\psi)\lambda P\tau/U \dots (5)$, $\gamma = \lambda_2/\lambda \dots (6)$ 。

2.2 β , θ , τ

β , θ , τ を求めるに先だち, 各車線の spacing の分布を次のように仮定する。追越車線では, 最小 spacing d_2 , 平均値 $\bar{S}_2 = V/\lambda_2$ の指数分布形とすれば, 密度関数 $f(S)$, 分布関数 $F(S)$ は, $f(S) = A e^{-A(S-d_2)} \dots (7)$, $F(S) = 1 - e^{-A(S-d_2)} \dots (8)$, $A = \lambda_2/(V - \lambda_2 d_2) \dots (9)$, となる。また, 追い越しを判断する位置にきた高速車から見たとき, 隣の車線の spacing が S である確率密度は, $f(S) \cdot S/\bar{S}_2 \dots (10)$, である。一方, 走行車線上には, $U \cdot 1$ なる区間中に $\frac{\psi\lambda}{U} \cdot U$ 台の低速車と $(1-\psi)\lambda P\theta$ 台の追従車が存在するので, その平均 spacing は, $\bar{S}_1 = U \cdot 1 / \{\psi\lambda \frac{U}{U} + (1-\psi)\lambda P\theta\}$, となり, また追従車の割合は $q = (1-\psi)\lambda P\theta / \{\psi\lambda \frac{U}{U} + (1-\psi)\lambda P\theta\} \dots (12)$, と表わされる。この2条件と矛盾しないように密度関数 $g(S)$, 分布関数 $G(S)$ と決めると, $g(S) = (1-q)B e^{-B(S-d_1)} \dots (13)$, $G(S) = q + (1-q)(1 - e^{-B(S-d_1)}) \dots (14)$, $B = \frac{1-q}{\bar{S}_1 - d_1} \dots (15)$ となる(図-1参照)。なお, 走行車線上の自由高速車は追い越すことがないので考慮に入れてない。

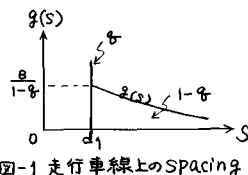


図-1 走行車線上の spacing

(1)β. ちょうど*n*台追い越したときにもどれる確率は、 $P_n = \{G(d_1 + d_2)\}^{n-1} \cdot \{1 - G(d_1 + d_2)\}$ 、平均追越台数は追従車も含めて、 $\beta' = \sum_{n=1}^{\infty} n P_n = 1 / \{1 - G(d_1 + d_2)\} \dots (16)$ 、である。低速車1台につき追従車は平均 $m = \{(1-\psi)\pi\beta_0/u\} / \{\frac{\psi_2}{\psi_1}\}$ 台ついているので、 $\beta = \beta' / (1+m) = e^{Bd_2} \dots (17)$ 、と表わされる。

(2)θ. 高速車は低速車に追いついた地点で車線変更の判断をする。隣の追越車線との spacing との関係は次の4種となる。まず $2d_2$ 以上の長い spacing の中央近くに位置している場合であり、このときは直ちに車線変更が可能である。この場合は確率 $P(0) = \int_{2d_2}^{\infty} \frac{s-2d_2}{s} \cdot f(s) \cdot \frac{s}{s_2} \cdot ds = \frac{e^{-Ad_2}}{1+Ad_2} \dots (18)$ 、で生じ、追従時間は $\theta(0)=0$ である。つぎは $2d_2$ 以上の長い spacing であるが、前方近距離に走行車があり直ちに变更できぬ場合で、 $\theta(1) = \frac{d_2}{2} / (v-v_1)$ の後に变更でき、確率 $P(1) = \int_{d_2}^{\infty} d_2 f(s) \cdot \frac{s}{s_2} \cdot ds = \frac{Ad_2 e^{-Ad_2}}{1+Ad_2}$ で生じる。おろは同じく長い spacing であるが後方近距離に車がきているため、この spacing では入れない場合である。このとき、*n* 番目の spacing で変更できる確率は $(1-e^{-Ad_2})^{n-1} \cdot e^{-Ad_2}$ 、追従時間は $\eta_n = \left\{ \frac{d_2}{2} + (n-1) \int_{d_2}^{\infty} \frac{s f(s)}{F(2d_2)} ds + d_2 \right\} / (v-v_1)$ である。ゆえに、この場合の平均追従時間は $\theta(2) = \sum_{n=1}^{\infty} (1-e^{-Ad_2})^{n-1} \cdot e^{-Ad_2} \cdot \eta_n = \left\{ \frac{3}{2} d_2 + \frac{(1+2Ad_2)(1-e^{-Ad_2})-Ad_2}{A e^{-Ad_2}} \right\} / (v-v_1)$ 、また生起確率は $P(2) = \frac{Ad_2 e^{-Ad_2}}{1+Ad_2}$ である。最後は、 $2d_2$ より小さい spacing と隣りあったときであり、おろのケースと同様にして、 $\theta(3) = \left\{ d_3 + \frac{2-e^{-Ad_2}}{2 e^{-Ad_2}} \cdot \frac{(1+2Ad_2)(1-e^{-Ad_2})-Ad_2}{A(1-e^{-Ad_2})} \right\} / (v-v_1)$ 、 $P(3) = \int_{d_2}^{\infty} s f(s) ds / s_2 = 1 - \frac{(1+2Ad_2)e^{-Ad_2}}{1+Ad_2}$ となる。以上まとめると平均追従時間θは次式となる。

$$\theta = \sum_{i=0}^3 P(i) \theta(i) = \frac{e^{-Ad_2}}{1+Ad_2} \cdot \frac{1}{v-v_1} \cdot \left[\frac{Ad_2^2}{2} + Ad_2 \left\{ \frac{3}{2} d_2 + \frac{(1+2Ad_2)(1-e^{-Ad_2})-Ad_2}{A e^{-Ad_2}} \right\} + \left\{ (1+Ad_2) e^{-Ad_2} - (1+2Ad_2) \right\} \left\{ d_2 + \frac{2-e^{-Ad_2}}{e^{-Ad_2}} \right\} \right] \dots (19)$$

(3)τ. 直ちに追い越せる場合は、追越車線利用時間は $\tau(0) = \{d_2 + (\beta'-1)\bar{x} + d_1\} / (v-v_1)$ であり、追従の後に追い越せる場合は $\tau(1) = \{d_1 + (\beta'-1)\bar{x} + d_1\} / (v-v_1)$ である。ここに、 $\bar{x}$ は走行車線上 $d_1 + d_2$ 以下の spacing の平均長であり、 $\bar{x} = \frac{\beta d_1}{G(d_1 + d_2)} + \frac{1-\beta}{G(d_1 + d_2)} \cdot \frac{1}{B} \cdot \left\{ 1 + B d_1 - e^{-B d_1} (1 + B d_1 + B d_2) \right\}$ 。したがって、全体の平均追越車線利用時間は、 $\tau = \tau(0)P(0) + \tau(1)(1-P(0)) = \frac{1}{v-v_1} \left[d_1 + \frac{e^{-Ad_2}}{1+Ad_2} \cdot d_2 + \left(1 - \frac{e^{-Ad_2}}{1+Ad_2} \right) d_1 + \frac{e^{-Bd_2}}{\beta\beta + \psi\lambda(v-v_1)\theta} \times \left\{ (1-\psi)\lambda(v-v_1)\theta d_1 + (\beta\beta + \psi\lambda\tau - \theta)(1+Bd_1 - e^{-Bd_2} / (1+Bd_1+Bd_2)) / B \right\} \right] \dots (21)$ と表わされる。

結局、式(17)、(19)、(21)を連立させて解いてβ、θ、τを求めれば、(1)~(6)式よりλ₁、λ₂、γを計算することができる。

3. 計算例

$v = 30 \text{ km/h}$, $V = 60 \text{ km/h}$, $d_1 = 0.015 \text{ km}$, $d_2 = 0.03 \text{ km}$ の場合のいろいろなψ、λに対するγの計算結果を図-2に示す。γ>50%つまり交通量が逆転する現象の可能性が示されている。

4. むすび

追い越しモデルにより、交通量の車線分布を検討し、追越車線利用率が50%を超過する可能性のあることを示した。また、この利用率を用いてソフトの立場から、交通量検知器の故障を監視できるのではないかと考えている。

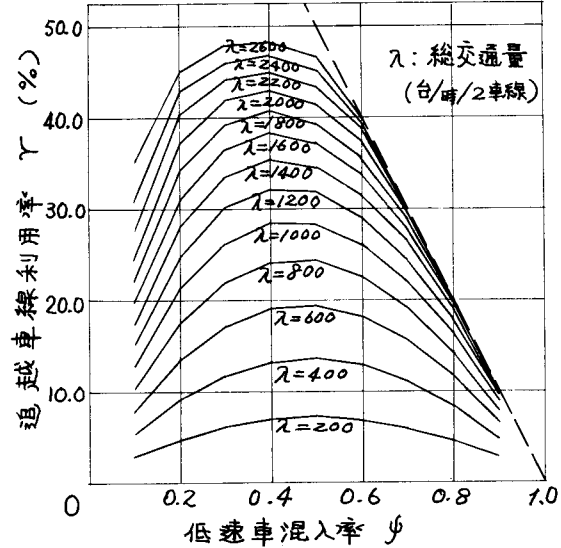


図-2 追越車線の利用率