Ⅳ-57　複数車線上の交通量分布

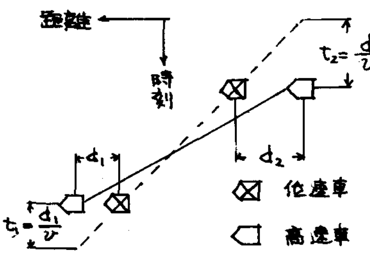
京大　正会員　井上矩之
京大　正会員　○福山正治

1．まえがき

一方向2車線，および3車線を有する都市間高速道路を対象に，それぞれ速度の異なる2車種，または3車種の車を考え，車線間の交通量分布を追越現象から考察する。ただし，流出入ランプ，勾配，カーブの影響は受けない状態を考え，また，車線移行によって生じる走行時間の遅れはないものとする。2車線に2車種，3車線に3車種を考え，かつ，車線移行による時間遅れがないと仮定しているので，追従現象は考えていない。

2．2車線2車種に対するモデル

2車線を有する都市間高速道路においては，外側車線を走行車線に内側車線を追越車線に指定していることを考慮し，走行ルールを次のように定める。―（1）低速車は速度 v で走行車線を走行する。（2）高速車は，前方に d_2，後方に d_1 の距離以内に低速車がある場合には追越車線上を，それ以外は，走行車線上を速度 V で走行する。一高速車が低速車を追い越す状態を考えると右図のようになる。図より，ある地点を低速車が通過した時刻から t_2 以内に高速車がその地点を通過すれば，その高速車は追越車線を走行していることになり，また，その地点を低速車が通過する時刻より t_1 前の時刻と，低速車の通過する時刻の間に高速車が通過すれば，それは追越車線を走行していることになる。



よって，単位時間にこの点を通過する低速車に着目し，追越車線上の高速車台数を数えれば良い。ある時刻から数えて m 番目にこの地点に到着した低速車の到着時刻を T_{1m}（$m=1,2,\cdots,\varphi\lambda$），（$\varphi$；低速車の混入率，$\lambda$；交通量），$n$ 番目に到着した高速車の到着時刻を T_{2n}（$n=1,2,\cdots,(1-\varphi)\lambda$）とすると，$T_{1m}-t_2\leq T_{2n}\leq T_{1m}+t_1$ …（1）を満すnの個数がm番目の低速車を追い越している高速車台数となる。これを $m=1,2,\cdots,\varphi\lambda$ について書き下し，それらの式を満すnの集合の結びを求めれば，その集合に含まれているnの個数が追越車線を走行している高速車の台数となる。今，低速車，高速車の車頭時間間隔がいずれも平均値に等しく，それぞれ $\bar{t}_1=1/\varphi\lambda$，$\bar{t}_2=1/(1-\varphi)\lambda$ とすると式（1）は $m(1-\varphi)/\varphi-t_2(1-\varphi)\lambda\leq n\leq m(1-\varphi)/\varphi+t_1(1-\varphi)\lambda$ …（2）となる。この式の右辺から左辺を引くことによって、この式を満すnの個数が求まる。$m=k$，$m=k+1$ の両式に同じnが含まれている場合には，これを引くことを考慮しつつ，$m=1,2,\cdots,\varphi\lambda$ に対して計算すると，結果は次の2つの場合にわかれる。 i）$d_1+d_2\leq v/\varphi\lambda$；$r=(d_1+d_2)(1-\varphi)\varphi\lambda/v$　ii）$d_1+d_2>v/\varphi\lambda$；$r=1-\varphi$（r；追越車線利用率）…（3）。式（3）に示すように，低速車の車頭間隔が，d_1+d_2 より大きい場合には，r は λ に比例して増加するが，d_1+d_2 より小さくなると，高速車はすべて追越車線に出てしまい，その結果，r は高速車の混入率に等しくなる。このモデルの理論的限界は，$\lambda\leq\lambda_{max}=min(\lambda_{1m},\lambda_{2m})$ で，ここに，$\lambda_{1m}=v/\varphi d_1$，$\lambda_{2m}=V/(1-\varphi)d_2$ であり，λ_{1m} は低速車が走行車線上に d_1 の間隔で並んだ状態を示し，λ_{2m} は高速車が追越車線上に d_2 の間隔で並んだ状態を示している。

次に，車頭時間間隔が，平均車頭時間間隔のまわりに分布している場合を考える。この際，高速車の車頭時間間隔の分布は，道路上の位置における車線利用率に影響を与えるだけであるので考慮せず，低速車についてのみ考える。また，高速車は走行車線に戻っても，十分長く走行できる時以外は戻らない傾向にあるので，この現象を考慮して走行ルール（2）を次のように改める。―（2）高速車は，速度 V で走行するが，走行車線を

走行していて、低速車の後方d_2の距離に達したら、追越車線に移り，追い越し走行をする。 そして，低速車間にd_1+d_2+d以上の距離が見い出せたら、追い越しを終え、走行車線に戻る。 すなわち，走行車線に戻っても$d/(V-v)$時間以上走行できない時には，走行車線に戻らず連続して低速車を追い越す。— 低速車の車頭時間間隔が$t=(d_1+d_2+\bar{d})/v$とすると，$\bar{d}\geq d$であれば，先に通過した低速車の後$t_2=d_2/v$の時刻から，次の低速車が通過する$t_1=d_1/v$前の間に高速車が通過すれば，その高速車は，走行車線を走っていることになり，$\bar{d}<d$であれば、低速車間のどこに到着しても、追越車線上を走行している。 $T_0=(d_1+d_2+d)/v$とし，低速車の車頭時間間隔の分布を$g(t)$とすると，$t\geq T_0$となる確率pは $p=\int_{T_0}^{\infty}g(t)\,dt$となる。 単位時間に低速車は，$\psi\lambda$台到着するので$\psi\lambda p$台の低速車は，$t\geq T_0$で到着している。 よって，1回の追い越しでの平均追越台数mは、$m=1/p$となる。 次に，$t\leq T_0$である車頭時間間隔の平均値$\bar{t}_{11}$は $\bar{t}_{11}=\int_0^{T_0}tg(t)\,dt/(1-p)$から求まる。 これらより $\gamma=\{d_1+d_2+(m-1)\bar{s}_{11}\}\psi(1-\psi)\lambda/mv\cdots(4)$ となる，ただし$\bar{s}_{11}=v\bar{t}_{11}$である。 $g(t)$を指数型の分布と仮定し，密度関数を$g(t)=Be^{-B(t-t_1)}$，ただし$B=1/(1/\psi\lambda-t_1)$，とすると，$p=e^{-B(t_2+t_0)}$ $m=e^{B(t_2+t_0)}$，$\bar{s}_{11}=1/\psi\lambda-(d_2+d)/(m-1)$が求まる。 これらの式を，式（4）に代入すれば$\gamma$が求まる。 これらの式の成立する範囲は，$\lambda<v/\psi d_1$を満す時である。 また，$\lambda\to v/\psi d_1$で$\gamma\to(1-\psi)$となる。

3．3車線3車種に対するモデル．

3車線を有する都市間高速道路においては，オ1，オ2車線（外側からオ1，オ2，オ3車線とする）を走行車線に，オ3車線を追越車線に指定しているので，これを考慮し次のように走行ルールを定める。 —（1）低速車は，速度v_1でオ1車線を走行する。 （2）中速車は速度v_2で走行し，オ1車線を走行に，オ2車線を追い越しに利用する。 すなわち，低速車の後方d_2から前方d_1の間にいる時には，オ2車線を，それ以外はオ1車線を走行している。 （3）高速車は，速度v_3で走行し，オ2車線を走行に，オ3車線を追い越しに利用する。 すなわち，低速車を追い越している中速車の後方d_3，前方d_2の間にある時には，オ3車線を走行し，それ以外はオ2車線を走行している。— この場合も，2車線2車種の場合と同様，ある地点に着目し，追い越しの状態を考えることによって求められ，次のような4つの状態に分かれる。 i）$\lambda\leq q_1$，$\lambda\leq q_2$；中速車の1部が，オ2車線を走行し，高速車の1部がオ3車線を走行している。 $\gamma_2=\psi_3+(d_1+d_2)\psi_1\psi_2\lambda/v_1-(d_1+d_2)(d_2+d_3)\psi_1\psi_2\psi_3\lambda^2/v_1v_2$ $\gamma_3=(d_1+d_2)(d_2+d_3)\psi_1\psi_2\psi_3\lambda^2/v_1v_2$ ii）$\lambda_1\leq q_1$，$\lambda>q_2$；中速車の1部がオ2車線を走行し，高速車の全部がオ3車線を走行している。 $\gamma_2=(d_1+d_2)\psi_1\psi_2\lambda$，$\gamma_3=\psi_3$ iii）$\lambda>q_1$，$\lambda\leq q_3$；中速車の全部がオ2車線を走行し，高速車の1部がオ3車線を走行している． $\gamma_2=(\psi_2+\psi_3)-(d_1+d_2)\psi_1\psi_2\lambda/v_2$，$\gamma_3=(d_2+d_3)\psi_2\psi_3\lambda/v_2$ iV）$\lambda>q_1$，$\lambda>q_3$；中速車の全部がオ2車線を走行し，高速車の全部がオ3車線を走行している。 $\gamma_2=\psi_2$ $\gamma_3=\psi_3$ （ただし，γ_2，γ_3；オ2，オ3車線利用率，ψ_1,ψ_2,ψ_3；各車の混入率，$q_1=v_1/\psi_1(d_1+d_2)$，$q_2=\sqrt{q_1q_3}$，$q_3=v_2/\psi_2(d_2+d_3)$で，γ_2，γ_3は，車頭時間間隔がすべて平均車頭時間間隔に等しいと仮定し，連続して追い越す現象は考慮していない結果である） このモデルの理論的限界は，$\lambda_{max}=min(\lambda_{1m},\lambda_{2m},\lambda_{3m})$であり，$\lambda_{1m}=v_1/\psi_1d_1$，$\lambda_{2m}=v_2/\psi_2d_2$，$\lambda_{3m}=v_3/\psi_3d_3$である。 また，$q_1$，$q_2$，$q_3$には$(q_1+q_3)/2\geq\sqrt{q_1q_3}=q_2$の関係があり，$q_2$は，$q_1$，$q_2$のいずれか一方より必ず小さいことになる。

4．あとがき

2車線2車種に対するモデルで，車頭時間間隔分布，および，連続追い越しを考えたモデルは，交通量の少ない場合の現象をかなりうまく説明している。 しかし，交通量が増すと，追従現象を無視できなくなり，実際の観測値とあわなくなる。 追従現象を考慮したモデルは、実際の応用にもかなり役に立つと考えられ，今後の課題であると思われる。 3車線3車種に対するモデルは，すべての車が平均車頭間隔で並び，かつ，連続追い越しを考えない場合のみを考えたが，観測値の傾向を良く表わしている。

参考文献； 明神証，井上矩之，「交通量の車線分布について」 関西支部年次学術講演概要 S46.6 PIV-2-1～2
福山正治，「複数車線上の交通量分布に関する研究」 京大修士論文 S48.3