

高速道路合流部の交通流モデル (4)

京都大学工学部 正員 明神 証
 大阪市役所 正員 多田 英司
 神戸製鋼所 杉井 謙一

1. まえがき

高速道路の合流部は ランプと本線との合流部(ランプ合流部)と本線同志の合流部(本線合流部)とに大別される。ランプ合流部についての研究は、待ち行列の理論の応用やシミュレーションによるものなど数多くなされてきたが、本線合流部についての研究例はあまりみあたらないようである。本線合流部は、通常 側方型合流部とY型合流部に分けられる。本文は、この側方型合流部の交通流に対して、圧縮性流体とのアナロジーによってモデル化しようとするものである。

2 側方型合流モデル

図-1のような側方型合流部についてつぎの諸量を考える。

$q_{\lambda}(x, t)$: 断面 x , 時刻 t における交通量

$k_{\lambda}(x, t)$: " " 単位巾あたり密度

$u_{\lambda}(x, t)$: " " 速度

$P_{\lambda}(x, t)$: " " 単位巾あたり圧力, $b_{\lambda}(x, t)$: 断面 x の巾員。ただし, $\lambda = 1, 2$ であり それぞれ合流区間の下側、上側車線を示す。また、ノーズから下流に向かって、 x 座標をとる。

合流区間において、車線1の交通量は車線2へ移行するわけであるが、このため車線2の交通流は減速させられるであろう。この現象を説明するためつぎの2つの量を追加する。

$q_{12}(x, t)$: 断面 x , 時刻 t における車線1から2への移行交通量で、図-2に示す向きを正とする。

$\tau(x, t)$: $q_{12}(x, t)$ によって車線2の流れに作用する
と考える仮想の力で 図-3に示す向きを正とする。

さて、圧力 P_{λ} については、 $P_{\lambda} = \alpha k_{\lambda}^n$ なる仮定をおく。

また、 q_{12} および τ については、側方型合流部の性質上、 k と u の値にかかわらず常に正でなければならない。 k_1 が零のときには、 q_{12} , τ は零となることは当然である。そこでつぎのような形を仮定する。

$$q_{12}(x, t) = \beta k_1(x, t) \quad (1)$$

$$\tau(x, t) = \gamma q_{12}(x, t) u_2(x, t) \left\{ 1 - \frac{u_1(x, t)}{u_2(x, t)} \right\}^2 \quad (2)$$

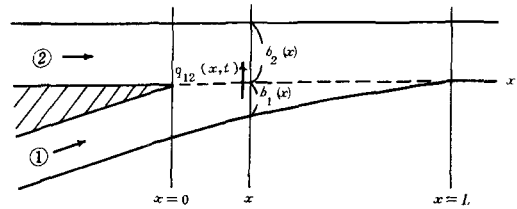


図-1

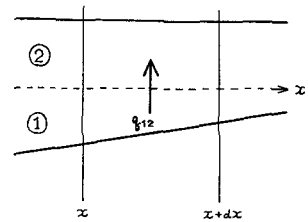


図-2

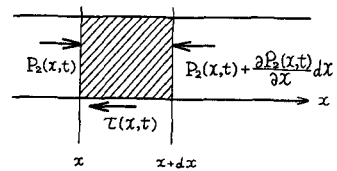


図-3

α, β, η および η は定数である。 g_{12} は車線1の密度のみに比例するという単純なものであるが、本線同志の合流ということ考えるとこのような形も妥当ではないかと思われる。しかし、合流区間すべてにおいて一定の割合で移行するという事はあまり現実合わないと考えられるので、さらにこの形を変えて位置 x に関しても変化するようなつぎのような形を仮定する。

$$g_{12}(x, t) = \beta(x/L) k_1(x, t) \quad L: \text{合流区間長} \quad (3)$$

またこれについては、移行交通量が大きいほど、そして車線1と2の速度に差があればあるほど大きくなるということから式(2)を仮定したものである。 $\eta=1$ とし、式(2)と(3)を用いて連続方程式、運動方程式から、定常流を考えるとつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dk_1}{dx} &= \frac{k_1}{b_1} \left[-\frac{db_1}{dx} + \frac{\theta \{ \eta(u_2 - u_1)^2 + u_1 u_2 \}}{u_2(1 - \eta^2)} \right], \quad \frac{du_1}{dx} = \frac{\theta \{ \eta(u_2 - u_1)^2 + u_2 \}}{b_1 u_2(1 - \eta^2)} \\ \frac{dk_2}{dx} &= \frac{k_2}{b_2} \left[-\frac{db_2}{dx} + \frac{\theta (k_1/k_2) \{ \eta(u_2 - u_1)^2 + u_2^2 \}}{u_2(1 - \eta^2)} \right], \quad \frac{du_2}{dx} = \frac{\theta (k_1/k_2) \{ \eta(u_2 - u_1)^2 + 1 \}}{b_2(1 - \eta^2)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$u_1 = u_1/\sqrt{\alpha} \quad u_2 = u_2/\sqrt{\alpha} \quad \theta = \beta/\sqrt{\alpha}$$

式(4)を初期条件 $k_i(0), u_i(0)$ に対してとけば断面 x における u_i, k_i が得られる。しかし、式(4)を $g_{12}=0, t=0, b_i = \text{constant}$ (すなわち単路部として) 解析的にとくと u と k の関係、 $u = -\ln(k/k_g)$ が得られるので、これを用いて初期条件 $k_i(0)$ のみで式(4)をとくことが出来る。このとき α は臨界速度を示し、 θ は臨界速度との相対速度を示すことが明らかになった。実際の計算では、定数 θ, η にいくつかの値を与えて計算するわけであるが、結果よりこれらの定数の性質についていえることは、 η は大きく変えても結果にあまり影響を及ぼさず、 θ の方は、結果を大きく変化させるということである。これは式の形からも予想されたことであつた。 α は一定なので θ は β と同じ意味をもつと考えられる。すなわち、 g_{12} の式の形と定数の値によって、このモデルがどの程度現象を説明するかどうかということが決まるといつても過言ではないだろう。本モデルでは θ を0.5, η を0.01とおいて一応満足のいく結果を得ている。

つぎに圧力の式における η の値について考える。 $\eta=1$ の場合と $\eta=2$ の場合のモデルについて比較すると、 $\eta=1$ の場合には、上述のような初期条件としての u と k の関係が得られ、 $\eta=2$ の場合には、 $u = -2(k_1^{1/2} - k_g^{1/2})$ という関係が得られる。それぞれの場合の臨界密度は、 $\eta=1$ が $k_g e^{-1}$ 、 $\eta=2$ が $\frac{4}{9} k_g$ となる。また2の場合の u は臨界速度との相対速度を示さない。式の複雑化、 u の意味などを考えると、 $\eta=1$ の場合の圧力の式を用いる方が適当と思われる。

初期密度の与え方については、2の車線の初期密度 $k_2(0)$ が小さければ、1の車線の $k_1(0)$ がかなり大きくなることも満足のいく結果が得られるが、 $k_2(0)$ が大きいと $k_1(0)$ が小さくてもよい結果が得られなかった。この初期条件については、合流部の性質を本モデルがどのように表わすかという重要なことであり、講演時にさらに詳しく述べるつもりである。

参考文献 1) 明神 証：都市高速道路の交通管制手法に関する研究 京大博士論文 48年6月
2) 多田英司：高速道路合流部における交通流モデルに関する研究 京大修士論文 50年3月