流出ランプの容量を考慮した都市内高速道路の最適流入制御方式

信州大学工学部　正員　奥谷　巖
〃　学生員 ○西川義満

1．まえがき

筆者らは，流入ランプ上に待ち行列を形成せしめ，それがある定められた長さになるように，制御戦略的に操作することによって，一定の待ち時間を高速道路利用時の所要時間に付加し，転換率が平面街路と高速道路の総所要時間を最小化する値になるようにするという新しい都市内高速道路の流入制御方式を提案してきたが，[1),2)] これは自動車が高速道路を交通状態に応じた速度で走行できるよう高速道路の各リンクで容量制約を付しておけば，自動車の停滞はまったく発生しないという前提の上にたった理論構成であった。しかしながら，首都高速道路の実態をみれば分かるように，現実は高速道路の流出ランプと平面街路の接点に隘路があり，その影響で高速道路内部に渋滞が発生して，全体としての効率をおとしていると考えられるのである。したがって，今回はこうした問題を解決する方法の追究に視点おきつつ，最適流入制御方式の理論の一般化を試みた。

2．制御モデル

交通の発生および吸収は，それぞれ流入ランプおよび流出ランプ近辺の平面街路の地点で行なわれるものとし，それらの発生吸収地点間には，高速道路および平面街路の経路が各1本づつあるものとする。さて，いま高速道路の各ランプおよび交通の発生吸収地点に適当な番号を付す。また，高速道路と関連平面街路の各リンクにも適当な番号を付し，次のように主要な記号を定義する。

Q_{ij}：交通発生地点 i と吸収地点 j の間のOD交通量　x_{ij}, y_{ij}：Q_{ij}のうち，それぞれ高速道路と平面街路を経由する交通量　Q^k：平面街路リンク k の交通量のうち，高速道路の交通状態のいかんにかかわらず変化しない交通量　X^m：高速道路リンク m の交通量　Y^k：平面街路リンク k の交通量　C_e^m, C_s^k：それぞれ高速道路リンク m，平面街路リンク k の交通容量　$f_m(X^m), g_k(Y^k)$：それぞれ高速道路リンク m，平面街路リンク k の所要時間　G, A：それぞれ交通発生および吸収地点の集合　G_ν：高速道路を利用する場合，流入ランプ ν から流入する発生地点の集合　A_ξ：高速道路を流出する場合，流出ランプ ξ から流出する吸収地点の集合　T_{ij}：高速道路を経由した場合の，発生地点 i から吸収地点 j までの所要時間　$t_{i\nu}^I$：発生地点 i から流入ランプ ν までの平面街路のアプローチ時間　$T_{\nu\xi}^e$：流入ランプ ν の停止線から高速道路を経由して流出ランプ ξ に至るまでの所要時間　$t_{\xi j}^o$：流出ランプ ξ を流出してから，吸収地点 j に至るまでの所要時間　t_{ij}：平面街路のみを経由して，発生地点 i から吸収地点 j に至る所要時間　Γ_{ij}^m：x_{ij}が高速道路リンク m をとおったとき1，そうでないとき0をとる変数　$\overset{*}{\Gamma}{}_{ij}^k$：$x_{ij}$が平面街路リンク k をとおったとき1，そうでないとき0をとる変数　l_{ij}^k：y_{ij}が平面街路リンク k をとおったとき1，そうでないとき0をとる変数　Z_ν：流入ランプ ν 上の待ち行列長　L_ν：流入ランプ ν の停止線から計った長さ　l：平均車長　τ_ν：流入ランプ ν における待ち時間　$m_{\nu\xi}$：流入ランプ ν から流出ランプ ξ までの料金　δ：時間価値　$h_{ij}(T_{ij}, t_{ij})$：$i \to j$ 間のOD交通に対する転換率　以上の記号のうち x_{ij}, y_{ij}, Z_ν が決定変数

さて，まずX^mおよびY^kはそれぞれ次のように表わされる。 $X^m=\sum_{i\in G}\sum_{j\in A}x_{ij}\cdot r_{ij}^m$ (1)
$Y^k=\sum_{i\in G}\sum_{j\in A}y_{ij}\cdot l_{ij}^k+\sum_{i\in G}\sum_{j\in A}x_{ij}\cdot \overset{*}{r}{}_{ij}^k+Q^k$ (2) したがって，容量制約式$X^m\leqq C_e^m$，$Y^k\leqq C_s^k$ は
$\sum_{i\in G}\sum_{j\in A}x_{ij}\cdot r_{ij}^m\leqq C_e^m$ ($m\in E$) (3) $\sum_{i\in G}\sum_{j\in A}y_{ij}\cdot l_{ij}^k+\sum_{i\in G}\sum_{j\in A}x_{ij}\cdot \overset{*}{r}{}_{ij}^k+Q^k\leqq C_s^k$ ($k\in S$) (4) となる。ここに，E，Sはそれぞれ高速道路と平面街路のリンクの集合である。

先にも述べた如く，式(3)のリンク容量制約式のみでは，依然として高速道路内での渋滞発生の危険性を免れない。したがって，われわれはさらに次のような流出ランプ容量制約式を新たに付加することも考える。すなわち $\sum_{i\in G}\sum_{j\in A_\xi}x_{ij}\leqq C_\xi$ ($\xi\in R_o$：流出ランプの集合) (5) である。ここに，C_ξは流出ランプの容量であるが，この値としては，各流出ランプで十分に調査した上での値を採用すべきで，大略の値として平面街路の容量程度のものが予想される。しかしながら，たとえば平面街路の単路部に流出ランプが直結されているような場合であれば，明らかに当該平面街路単路部の容量から，そこを流れている平面街路の実際の交通量を差し引いた値となるので，その意味において，式(5)の設定は極めて重要な意味をもつと思われる。すなわち，高速道路全体の容量がそうした過小容量をもつ流出ランプの容量に支配される可能性は十分にあるのであって，現在までの流入制御理論において，このようなことに対する配慮が欠けていたことが非効率につながっていたといえよう。

次にx_{ij}，y_{ij}は転換率を介し $x_{ij}=Q_{ij}\cdot h_{ij}(T_{ij},t_{ij})$ (6) $y_{ij}=Q_{ij}-x_{ij}$ (7) なる関係にある。ここで，まず式(6)のT_{ij}は $T_{ij}=t_{i\nu}^I+\tau_\nu+(m_{\nu\xi}/\delta)+T_{\nu\xi}^e+T_\xi^o+t_{\xi j}^o$ ($i\in G_\nu$，$j\in A_\xi$) (8) であるが，このうち第1項と第6項の和は $t_{i\nu}^I+t_{\xi j}^o=\sum_{k\in S}g_k(Y^k)\cdot \overset{*}{r}{}_{ij}^k$ (9) として簡単に表わされる。また，待ち時間τ_νは流入ランプνにおいて待ち行列の最後尾に到着した車が停止線を出てゆくまでの時間であるから，待ち行列構成台数(Z_ν/l)を，単位時間あたりの流入台数$\sum_{i\in G_\nu}\sum_{j\in A}x_{ij}$でわればよく $\tau_\nu=(Z_\nu/l)/\sum_{i\in G_\nu}\sum_{j\in A}x_{ij}$ (10) また $T_{\nu\xi}^e=\sum_{m\in E}f_m(X^m)\cdot r_{ij}^m$ (11)

$T_\xi^o=f_\xi^o(\sum_{i\in G}\sum_{j\in A_\xi}x_{ij})$：流出ランプ$\xi$の所要時間 (12) である。一方，平面街路を経由したときの所要時間t_{ij}は $t_{ij}=\sum_{k\in S}g_k(Y^k)\cdot l_{ij}^k$ (13) となる。式(1)，(2)，(8)〜(13)より，式(6)の関係式は，結局決定変数x_{ij}，y_{ij}，Z_ν間の関係を規定する制約式となることがわかる。さらに，流入ランプνの処理量は，当該ランプの容量B_νをこえられないから $\sum_{i\in G_\nu}\sum_{j\in A}x_{ij}\leqq B_\nu$ (14) ($\nu\in R_I$) ここに，R_Iは流入ランプの集合である。また，各行列長Z_νはそれぞれのランプの長さより短かくなくてはならないから $Z_\nu\leqq L_\nu$ ($\nu\in R_I$) (15) 以上，式(3)〜式(7)および式(14)，式(15)を制約条件として，次式で表わされる高速道路と平面街路で発生する総所要時間Fを最小にする。

$F=\sum_{i\in G}\sum_{j\in A}(T_{ij}\cdot x_{ij}+t_{ij}\cdot y_{ij})+\sum_{k\in S}Q^k\cdot g_k(Y^k)$ (16) この問題は，制約条件付きの非線形最適化問題に属するが，実行可能領域および目的関数の凸性の証明が一般にはできないので，求解は，いくつかのランダムな初期値から出発して，そのつど局所最適解を求め，それらのうちで最も望ましいものを選ぶという，いわゆるモンテカルロ法的手法による必要があろう。

3．計算例

計算例は5つの流入流出ランプをもつ小規模の高速道路について行なうが，詳細は当日発表する。

参 考 文 献

1)奥谷，池田：転換率を考慮した都市高速道路の流入制御，第30回土木学会年次学術講演概要集，昭和50年10月
2)奥谷，西川：総走行時間最小化規準による都市高速道路の流入制御，第31回土木学会年次学術講演会講演概要集，昭和51年10月