地区内交通制御システムに関する研究

佐賀大学　正会員　清田　勝
正会員　田上　博
学生員　矢羽田　健一郎

1．まえがき

地区内道路は、歩行者や自転車にとって安全で快適な空間であると同時に地区住民の日常的な生活空間でなければならない。従って、地区に関係のない車の通行をできるだけ抑制すべき空間である。にもかかわらず、幹線道路の交通渋滞を逃れた車の進入により、地区内の環境は著しく損なわれている。特に、スプロール状に発達した地区の道路は、幅員が狭いうえ、迷路のようになっていることから問題がいっそう深刻で、子供達は車の危険にさらされており、早急な対策が望まれる。しかしながら、自動車がこれだけ日常生活に浸透した現在では、住宅地区から自動車を完全に締め出すことはできず、地区住民の自動車利用をできるだけ確保せざるをえない。しかし、地区内の自動車の利便性を確保しようとすると通過交通が地区に進入し、地区の居住環境が保全できなくなり、両者を両立させることは非常に難しい。

そこで、本研究では短期的施策の一つと考えられる一方通行規制を用いて、地区住民の自動車利用を確保しながらも通過交通をできるだけ排除するための交通規制のあり方を検討するものである。

2．地区内交通制御システム

モデルを作成するに当っては、車利用者がどのような交通行動をとるかを把握する必要がある。車利用者が、計画者が期待するような交通行動をとることは希であり、計画者からみたシステム最適化はほとんど意味をなさない。そこで、本研究では車利用者は最短経路を選択するという行動規範を取り入れたモデル化を図る。

（1）定式化

①目的関数

目的関数としては二つ考えられる。一つは、地区内の通過をできるだけ抑制しようとする目的であり、もう一つは、地区内の車の利便性を確保することを目的とするものである。これらの目的を定式化すると以下のようになる。

$$\text{Minimize } Z_1 = \sum_{i=m+1}^{n} \sum_{j=m+1}^{n} \sum_{k=1}^{p'} f_{ijk} \Big/ \left(\sum_{i=m+1}^{n} \sum_{j=m+1}^{n} q_{ij} \right) \tag{1}$$

$$\text{Minimize } Z_2 = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{p} D_{ijk} f_{ijk} + \sum_{i=m+1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{p} D_{ijk} f_{ijk} \tag{2}$$

ここで、f_{ijk}：発着ノードｉ，ｊ間の経路ｋの経路交通量
D_{ijk}：発着ノードｉ，ｊ間の経路ｋの距離（実距離、あるいは時間距離で一定）
q_{ij}：発着ノードｉ，ｊ間のＯＤ交通量
p_{ij}：発着ノードｉ，ｊ間の経路数（式の中ではサフィックスを省略し、ｐで表している）
p'_{ij}：発着ノードｉ，ｊ間の経路のうち地区内を通過する経路数
ｍ：地区内の発着ノード数、　ｎ：発着ノードの総数

②制約条件

どのリンク（有向リンク）に一方通行規制をかけるかどうかを表すために規制変数λ_aを導入する。λ_a=1はリンクａに一方通行規制をかけることを表し、0は通行止めを表している。これらを定式化すれば、

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{p} f_{ijk}\delta_{ijk} \leqq \lambda_a Q_a \qquad (1 \leqq a \leqq h) \tag{3}$$

ここで、hは一方通行規制の対象になるリンクを表す。

『車利用者は最短経路を選択する』という行動規範を以下のような下位の最適化問題として定式化する。

$$\begin{aligned}
&\text{Minimize } Z_3 = \sum_a \int_0^{X_a} t_a(x、\lambda_a Q_a)\,dx \\
&\text{s.t.} \quad \sum_k f_{ijk} = q_{ij} \quad (\, i=1\sim n、j=1\sim n \;\; (i \neq j)\,) \\
&\qquad X_a = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{p} f_{ijk}\delta_{ijk}(a) \;、\quad f_{ijk} \geqq 0
\end{aligned} \tag{4}$$

ここで、t_a：走行時間関数（修正ＢＰＲ関数を用いる）、Q_a：リンクaの可能交通容量、$\delta_{ijk}(a)$：リンクaが発着ノードi，j間の経路kに含まれるとき１、そうでないとき０をとる変数

（２）解法

この問題を直接解くのは困難であるので、式（４）で表される利用者均衡に関する制約条件を次式で表される必要十分条件（Kuhn-Tucker 条件）で置き換え、一般の非線形計画問題に直す。

$$t_{ijk} - \mu_{ij} = 0 \quad (\, f_{ijk} > 0\,)、\qquad t_{ijk} - \mu_{ij} > 0 \quad (\, f_{ijk} = 0\,)$$

$$\sum_k f_{ijk} = q_{ij}$$

ここで、$t_{ijk} = \sum_{a=1}^{h} t_a(X_a、\lambda_a Q_a)\,\delta_{ijk}(a) + \sum_{a=h+1}^{W} t_a(X_a)\,\delta_{ijk}(a)$

非線形計画問題を解く方法としてはいくつか考えられるが、ここでは各種の制約条件にペナルティを課し、制約なしの非線形計画問題に直して解く方法（ペナルティ関数法）を用いた。

さらに、多目的問題の取り扱いとしては、２番目の目的関数（Z_2）を制約条件に変換して単一目的問題に直して解く方法（拘束条件法）を採用した。これらをまとめて記述すると以下のようになる。

$$\text{Min } F(f、\lambda、\mu) = B(f) + \gamma^{(m)} \sum_i G_i^{-1}(f、\lambda、\mu) + (\gamma^{(m)})^{-0.5} \sum_j E_j^2(f、\lambda、\mu)$$

ここで、$B(f) = \sum_{i=m+1}^{n}\sum_{j=m+1}^{n}\sum_{k=1}^{p} f_{ijk} \Big/ \left(\sum_{i=m+1}^{n}\sum_{j=m+1}^{n} q_{ij}\right)$

$$\begin{aligned}
\sum_i G_i^{-1}(f、\lambda、\mu) &= \left(A - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{p} D_{ijk} f_{ijk} - \sum_{i=m+1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} D_{ijk} f_{ijk}\right)^{-1} \\
&\quad + \sum_a (\lambda_a Q_a - X_a)^{-1}
\end{aligned}$$

$$\sum_j E_j^2(f、\lambda、\mu) = \sum_{f_{ijk}>0} (t_{ijk} - \mu_{ij})^2 + \sum_i \sum_j \left(\sum_k f_{ijk} - q_{ij}\right)^2$$

$$f_{ijk} > 0 \quad (i=1\sim n、j=1\sim n、k=1\sim p)、\quad 0 \leqq \lambda_a \leqq 1、\quad \mu_{ij} \geqq 0 \quad (i=1\sim n、j=1\sim n)$$

ここで、$\gamma^{(m)}$　：$\lim \gamma^{(m)} = 0$ を満足し、単調減少する正値

　　　A　　：満足させたい地区内アクセシビリティの基準値（パラメトリックに変化させる）

解法のアルゴリズム、および簡単なモデル計算については当日発表する予定である。