

IV-126

ODペア間に複数経路を持つ都市高速道路に対する最適流入制御法

京都大学大学院	学生員	田中啓之
京都大学工学部	正 員	飯田恭敬
愛媛大学工学部	正 員	朝倉康夫
京都大学大学院		邵 春福

1. はじめに

自然渋滞の予防策として提案された流入制御手法のうち、方法論的に完成度が高く、実用面でも十分機能しうる方法は、LP（線形計画法）によるランプ流入制御である。しかし、従来型のLP制御は、ODペア間に複数の経路が存在する場合への対応が十分ではなかった。近い将来に、都市高速道路網は、大規模かつ複雑化することが予想され、さらに情報提供システムも充実するであろう。その場合に備えて、豊富な交通情報を持つ利用者の経路選択行動を考慮した流入制御方法を開発することが本研究の目的である。

2. 従来型LP制御の問題点とその対応

LP制御の問題点として、①各ODペア間の経路を1本に限定していること、②リンク所要時間はその交通量とは関係なく一定であることの2点をあげることができる。将来の大規模化した都市高速道路網に対して、①の仮定は非現実的であり、②の仮定も緩和することが望ましい。また、利用者は情報提供システムの技術革新により、大量で高度な交通情報を持つようになる。新しい制御方式は、このような場合の利用者の行動を考慮にいれたものでなければならない。そこで本研究では、ネットワーク上での利用者の経路選択行動を記述するために、利用者均衡の考え方を用い、それと従来からのLP型の最適流入制御問題とを結合することを考える。利用者均衡の概念は、情報提供システムにより、経路所要時間についての完全な情報が利用者に対して提供されている状況のもとで、利用者の行動によって生じる交通流の安定状態を適切に記述するものである。このようにすれば、先の仮定①と②は、ともに緩和することができる。

3. 最適流入制御問題の定式化

最適流入制御問題を定式化するために、次の仮定を設ける。

①従来からのLP制御問題に含まれる制約は、そのまま継承する。すなわち、各リンク交通量はその容量を越えてはならないし、各流入ランプの許容流入量は流入需要量と等しいか、それ以下でなければならない。
②ODペア間に、パス（利用者にとっての選択可能な経路）が複数存在する。
③リンク所要時間は、リンク交通量の単調増加関数である。交通量の増加に対する交通混雑は、この関数に反映される。
④利用者には、経路選択に関して、十分詳細な交通情報が提供されており、その結果、交通流は利用者均衡状態にある。

以上の前提条件のもとに、定式化すべき制御問題の特徴を簡単に表現すれば「利用者均衡を考慮した最適流入制御問題」ということになる。利用者均衡問題は、ある最適化問題の解として与えられるから、定式化すべき制御問題の全体構造は、最適化問題（均衡問題）をその制約の中に持つ2レベル最適化問題となる。制約条件としての最適化問題は、下位問題と呼ばれる。一方、それを除いた残りの問題は、上位問題と呼ばれる。総利用台数最大を制御目的とするとき、この最適化問題は右のように定式化できる。式(3.2)は、リンクの容量制約、式(3.3)は許容流入量に関する制約、式(3.5)～(3.7)はフ

$$\min f(U) = - \sum_i U_i \quad (3.1)$$

$$s.t. \sum_i Q_{ia} U_i \leq C_a \quad a \in A \quad (3.2)$$

$$0 \leq U_i \leq U_{id} \quad i \in I \quad (3.3)$$

$$\min \sum_a \int_0^{V_a} t_a(x) dx \quad (3.4)$$

$$s.t. \sum_k h_{kij} = U_i P_{ij} \quad i \in I, j \in J \quad (3.5)$$

$$V_a = \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{akij} h_{kij} \quad a \in A \quad (3.6)$$

$$h_{kij} \geq 0 \quad k \in K_{ij}, i \in I, j \in J \quad (3.7)$$

ローの実行可能性に関する条件である。問題の制御変数はランプからの許容流入量 $\{U_i\}$ である。 $\{U_i\}$ は均衡問題の制約条件（式3.5）にも含まれる。一方、ランプ i から1台の流入があったときの区間 a の交通量を意味する $\{Q_{ia}\}$ は、均衡問題の解であるOD内訳されたリンク交通量によって決定される。

4. 計算手順

定式化した問題は、一種の非線形数理最適計画問題であるから、原則的には、厳密解が求められる。しかし、実際規模のネットワークに厳密解法を適用するのは、計算時間の制約から困難である。そこで、近似的に最適流入量を求めるための計算手順について考える。その基本概念は、上位問題と下位問題との間で解を相互に交換することにある。このとき、もとの2レベル最適化問題は、2つの独立

な問題（LP制御問題と利用者均衡問題）に便宜的に分離される。上位問題である制御問題と下位問題である利用者均衡問題とを制御プロセスの中でどのように関係づけるかによって、次の3つの方法が考えられる。

①上位問題と下位問題はともに制御過程の中にあり、上位問題では下位問題の解により規定される影響係数 $\{Q_{ia}\}$ を用いることにより最適流入交通量 $\{U_i\}$ を決定する。一方、下位問題ではその $\{U_i\}$ を制約条件として $\{Q_{ia}\}$ を計算する。この繰り返しによって、制御変数の収束を期待する方法。

②上位問題と下位問題はともに制御過程の中にあるが、一制御時間間隔では単に連続して並べられ、解を直接的には相互交換しない方法。

③下位問題を解くための計算時間を短縮するために、均衡問題を制御過程の外で解き、あらかじめいくつかのODパターンに対して $\{Q_{ia}\}$ を求めておく方法。

これらの計算手順の方法論的問題点として、利用者均衡問題を解いて得られるリンクフローは一意に決まるが、パスフローはネットワークに与える初期実行可能フローパターンに依存し、一意でないという問題が生じる。その結果、上位問題に提供する影響係数も一意に決定されないため、制御解が初期フローの与え方によって、変化する可能性がある。

5. 数値計算例

上で述べた問題点を検討するために、ODペア間に経路が複数存在する仮定のネットワーク（内外2つの環状線と6本の放射線を持つ放射環状型道路網）を用い、異なった初期フローに対するパスフローの差異、およびそのときの制御解の差異について、比較・検討した。初期フローの与え方として、つぎの3種類を考えた。(P1)最短経路にALL-OR-NOTHING配分。(P2)内郭環状線にフローを流さないという条件のもとで、ALL-OR-NOTHING配分。(P3)外郭環状線にフローを流さないという条件のもとで、ALL-OR-NOTHING配分。

その結果、今回の計算例に関する限り、初期フローの与え方を変えた場合でも、パスフローは若干変動するものの、LP制御解はほぼ一意に決定された。しかし、別のネットワークに対しては、初期フローの与え方により、パスフローが大きく変動し、LP制御解が一意に決定しない場合も十分にありうる。そういう場合に対処するため、初期フローの与え方を検討する必要がある。

6. おわりに

本研究では、高度情報化社会における都市高速道路に対応できる新しい交通制御手法を開発するため、ネットワーク上での利用者の経路選択行動を記述する利用者均衡モデルをLP制御問題と結合した最適流入制御問題を定式化した。将来、都市高速道路の大規模化、複雑化が進み、ODペア間に複数の利用可能経路が存在するようになれば、利用者に対する情報提供の重要性が増し、そのことを考慮した流入制御手法を研究・開発する必要性が大きくなるものと思われる。

変数・記号の説明

- U_i : ランプ i の流入交通量
- Q_{ia} : 影響係数
- C_a : リンク a の容量（所与）
- U_{id} : 流入需要量（所与）
- $t_a(x)$: 走行時間関数
- h_{kij} : パスフロー
- P_{ij} : 目的地選択確率（所与）
- V_a : リンク交通量
- δ_{akij} : 経路行列