

東京大学生産技術研究所 学生員 熊谷 香太郎  
 東京大学生産技術研究所 正会員 桑原 雅夫  
 東京大学生産技術研究所 正会員 吉井 稔雄

1. はじめに

現在、交通需要を適切に管理することによって道路ネットワークを有効に利用しようとする TDM 施策に関心が集まっている。リアルタイムに交通情報を提供することで、道路上を走行する車両の経路を分散させ、渋滞を緩和しようという試みもその一つである。しかし、「どのような制御あるいは管理を行えば、ネットワーク全体を最も有効に利用することができるのか」、さらには「どのような状況下で全体として最適になるのか」といった点に関しては、十分な検討がなされていない。

本研究では、後者に焦点を当て、道路ネットワーク全体の交通状況を最適にする配分方法、すなわち動的システム最適 (DSO : Dynamic System Optimal) 配分に関して、問題を定式化した後、簡単なネットワークを用いて考察を加えた。

2. DSO 配分の定式化

2-1 目的関数

DSO 配分とは、計画対象時間帯  $[0, T]$  における道路ネットワーク全体の総走行費用を最小化するようなフローパターンを求めることと定義し、次式で表現する。

$$\min F = \sum_d \sum_j \int_0^T C_{ij}(t) \lambda_{ij}^d(t) dt \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、 $C_{ij}(t)$ 、 $\lambda_{ij}^d(t)$  は、それぞれ時刻  $t$  にリンク  $(i, j)$  に流入した車両の走行費用と終点が  $d$  のリンクフローを示す。

2-2 制約条件

制約条件は、動的利用者均衡配分の場合と同じく、以下の4条件である<sup>1)</sup>。

(1) ノードにおけるフロー保存則

$$\sum_j A_{ij}^d(t) - \sum_k L_{ik}^d(t) - Q_{id}(t) = 0 \quad \dots \textcircled{2}$$

$A_{ij}^d(t)$  : リンク  $(k, j)$  に流入し、終点  $d$  に向かう交通の時

キーワード: 動的システム最適配分、道路ネットワーク

連絡先: 〒106-8558 東京都港区六本木7-22-1 TEL 03-3402-6231/FAX 03-3401-6286/E-Mail kotaro@mshu.tu-tokyo.ac.jp

時刻  $t$  における累積流入交通量

$L_{ik}^d(t)$  : リンク  $(i, k)$  から流出し、終点  $d$  に向かう交通の時刻  $t$  における累積流出交通量

$Q_{id}(t)$  : 起点が  $k$ 、終点が  $d$  である交通の時刻  $t$  における累積需要

(2) リンクの状態方程式

$$X_{ij}^d(t) = A_{ij}^d(t) - L_{ij}^d(t) \quad \dots \textcircled{3}$$

$X_{ij}^d(t)$  : 時刻  $t$  にリンク  $(k, j)$  に存在する終点  $d$  とする交通の台数

(3) リンクにおける First-In-First-Out 条件

$$A_{ij}^d(t) = L_{ij}^d(t + C_{ij}(t)) \quad \dots \textcircled{4}$$

(4) リンク流出率とリンク旅行時間

$$C_{ij}(t) = L_{ij}^{-1}(A_{ij}(t)) - t \quad \dots \textcircled{5}$$

$$\mu_{ij}(t + C_{ij}(t)) = \begin{cases} \mu_{ij}^* & \text{if } C_{ij}(t) > C_{ij} \text{ or } \lambda_{ij}(t) > \mu_{ij}^* \\ \lambda_{ij}(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots \textcircled{6}$$

$\lambda_{ij}(t)$  : 時刻  $t$  におけるリンク  $(i, j)$  の流入率

$\mu_{ij}(t)$  : 時刻  $t$  におけるリンク  $(i, j)$  の流出率

$\mu_{ij}^*$  : 道路の物理的条件から決まる所与の値、リンク交通容量

$C_{ij}$  : リンク  $(i, j)$  の自由流走行時間

3. DSO 配分の基本的性質の検討

3-1 前提条件と検討条件

近年の研究から明らかのように、DSO 配分は定式化は容易ではあるものの、多数の局所解を持つ非凸最適化問題である。即ち、大域的最適解を求めることが困難であることから、これまではその基本的性質に関する考察は行われてこなかった。

そこで、図1に示す簡単な IOD・2 経路のネットワークを用い、旅行時間を自由流走行時間と point queue による待ち時間の損失時間の和として表現し考察を行った。ここでは次の2点を前提条件とする。

(1) OD 交通量は所与とする。

(2) 自由流走行時間

自由流状態では、高速道路の方が一般街路よりも

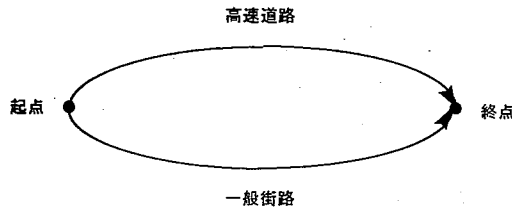


図1 対象ネットワーク

走行時間は短い。

次に、DSO 配分の基本的性質を考察するために設定した条件を列記する。ここで、 $\mu_1$ 、 $\mu_2$  はそれぞれ高速道路と一般街路の容量、 $\lambda$  は需要、 $T$  は計画対象時間帯を示す。

条件(a)  $T$  : 無限大、 $\lambda$  : 一定 ( $\mu_1 < \lambda < \mu_1 + \mu_2$ )

条件(b)  $T$  : 無限大、 $\lambda$  : 一定 ( $\lambda > \mu_1 + \mu_2$ )

条件(c)  $T$  : 有限、 $\lambda$  : 変動 ( $\mu_1 < \lambda_{\max} < \mu_1 + \mu_2$ )

### 3-2 考察

#### (1) 考察1 条件(a)の場合

高速道路の方が走行時間は短いため、総旅行時間を最小にするためには、高速道路は容量一杯まで流し残りの交通を一般街路に振り分ける。即ち、

$$\text{高速道路の流率} = \mu_1, \text{一般道の流率} = \lambda - \mu_1$$

とする。

#### (2) 考察2 条件(b)の場合

需要がネットワーク全体の容量を上まわっているため、高速道路にも一般街路にも渋滞は発生する。この状況で総旅行時間を最小にするためには、常に各リンクの容量を使い切ること、即ち、

$$\text{高速道路の流率} = \mu_1, \text{一般街路の流率} = \mu_2$$

を常に満足させる。

#### (3) 考察3 条件(c)の場合

図2に示すような、時刻 $T_1$ に高速道路の容量 $\mu_1$ に等しくなり、その後1ピークを持ち、すべての交通を高速道路に流した場合には、時刻 $T_2$ で高速道路の待ち行列がなくなる需要を想定する。

時刻 $t$ に流入した車両を一般街路に迂回させると、迂回した車両自身の走行時間は、一般街路と高速道路の自由流走行時間の差、 $C_d = C_2 - C_1$ だけ増加する。ここで $C_1$ 、 $C_2$ は高速道路と一般街路の自由流走行時間である。また、流入曲線が図2のようにシフトするため、高速道路での待ち行列による損失時間が $T_2 - t$ だけ減少する。

よって、最も効率よく損失時間を減少させるの

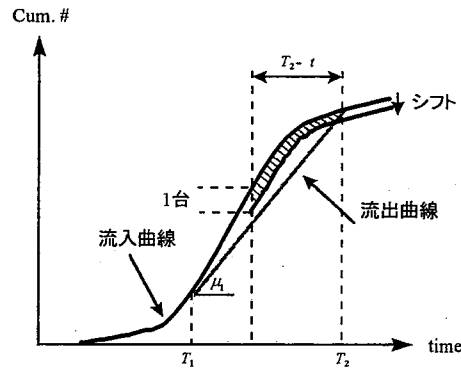


図2 高速道路の累積曲線

は $t = T_1$ の場合であり、総旅行時間は $T_2 - T_1 - C_d$ だけ減少する。これより、 $C_d$ が $T_2 - T_1$ より大きい場合は車両をシフトしない方が総旅行時間は小さくなり、逆に $T_2 - T_1$ より小さい場合は、時刻 $T_1$ における高速道路の需要(1台)を一般街路に迂回させた方が総旅行時間は小さくなる。このように、一般街路への迂回が行われると、高速道路に流入する交通の需要が減るので、流入曲線は下側へシフトし、 $T_1$ は右に、 $T_2$ は左側にシフトする。最終的に、DSO状態は、高速道路における渋滞開始時刻と終了時刻の差が自由流旅行時間の差に等しくなった時(式⑦)に達成される。

$$T_2 - T_1 = C_d \quad \dots \textcircled{7}$$

### 4. おわりに

本研究では、1OD・2経路の場合のDSO配分の基本的性質について考察を加えた。今後の課題としては、以下の3点が挙げられる。

- ここで得られた結果を、1-to-Many、Many-to-Many OD パターンのネットワークに拡張する。
- 上位問題でランプ流入制御などの施策を決定し、下位問題では動的な利用者均衡配分を行うという Bilevel 問題を定式化し、解法のアルゴリズムの開発を行う。
- 基本的な性質を利用し、DSO配分を達成するための交通誘導の方法のアルゴリズムを開発する。

### 参考文献

- (1)赤松隆、桑原佳夫、渋滞ネットワークにおける動的利用者均衡配分-1起点・多終点および多起点・1終点ODペアの場合、土木学会論文集 No.488 /IV-23, pp21-30, 1994