

進行方向別交差点遅れを考慮した配分交通量推計モデルの構築*

Development of A Traffic Assignment Model

in Consideration of Intersection Delay Varied from the Lanes

内田 賢悦^{**}、南 正昭^{***}、高野 伸栄^{****}、佐藤 馨一^{*****}

Ken-etsu UCHIDA, Masaaki MINAMI, Shin-ei TAKANO and Keiichi SATOH

1. はじめに

交通配分は道路ネットワークの計画や運用の基本となる手法であり、これまで計算が簡単なことや扱いやすい等の理由で広く用いられてきたのが分割配分法である。しかし、この分割配分法では一般的に、信号交差点の影響が考慮されていない。そのため通常利用しないような信号交差点の多い(交差点抵抗が高い)経路にも、そうでない経路と同じように交通量を配分をするといった問題点がある。

一方、信号交差点を疑似ノードおよび疑似リンクで表現した配分法³⁾やシミュレーション等のミクロ的配分法では、信号交差点の影響は考慮されているが、それらの方法では計算が煩雑となる。そのため、都市間交通のなど大規模なネットワークには適用できないという問題点がある。

本研究では、等時間配分法の簡便法として実用的に用いられている分割配分法を取り上げる。そして、その最短経路探索アルゴリズムで交差点抵抗の影響をファジィ交差点遅れとして評価し、分割配分法における最短経路探索アルゴリズムを構築した。

2. 交差点遅れの推定

(1) 交差点遅れ推定における仮定

信号交差点での進行方向別(直進、左折、右折)の交差点遅れに影響する要因を考えてみる。直進車

は、先詰まり、左折車は、先詰まりおよび歩行者、右折車は、先詰まり、歩行者および対向直進車が要因として挙げられる。進行方向に関係なく影響する要因は、交差点交通容量と流入交通量が挙げられる。

そこで、交差点遅れを評価するにあたり、以下に示す4つの仮定を設けた。

- 1) 運転者は交差点遅れを、おおよその時間(ファジィ時間)として認知している。
- 2) 運転者が認知する交差点遅れは、そこに接続するリンク上の交通量が増加するにつれて(交差点交通容量と相対的に)増大する。
- 3) 交差点での進行方向が直進および左折の交差点遅れは、交差点での進行方向、つまり直進、左折によって変化する。また、その大小関係はそこに接続するリンクの交通量が増大するにつれて直進→左折の順に大きくなる。
- 4) 交差点での進行方向が右折の交差点遅れは、対向直進車がない場合は左折の場合と等しいが、対向直進車が増えるにつれて増大する。

(2) ファジィ交差点遅れ推定プロセス

直進車と左折車は、交差点交通容量とそこに流入する交通量で交差点でのリンク間連結度を定義する(以下、連結度とする)。

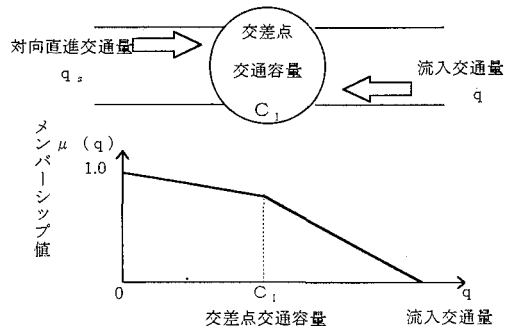


図1. 交差点でのリンク間連結度

*キーワード 配分交通、経路選択、ネットワーク交通流

**学生員 修(工) 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北13条西8丁目、Tel 011-706-6822, Fax 011-706-2296)

***正会員 工修 山口大学工学部社会建設工学科 (山口県宇部市常盤台2557、Tel 0836-35-9111, Fax 0836-35-9403)

****正会員 博(工) 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北13条西8丁目、Tel 011-706-6213, Fax 011-706-2296)

*****フェロー 工博 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北13条西8丁目、Tel 011-706-6209, Fax 011-706-2296)

この連結度 $\mu(q)$ を図1に示すメンバーシップ関数を定めて求める。連結度は、信号交差点に交通が流入しないとき ($q=0$) に1となり、流入交通量が増えるに従って0に近づく。ここで、 q は交差点に流入する交通量であり、 C_I は交差点交通容量である。右折車は、ここで求めた連結度と対向直進車の連結度との積を実際の連結度とする。つまり直進車、左折車の連結度は $\mu(q)$ となり、右折車の連結度は $\mu(q) \times \mu(q_s)$ となる。ここで q_s は、対向直進交通量である。この考え方は、交差点間のリンク間連結はファジィ的であり、直進車と左折車は、信号交差点交通容量と流入交通量に依存し、右折車は、対向直進交通量にも依存することを踏まえている。

次に、推定の基本となる交差点遅れを三角ファジィ数で表現する (図2)。

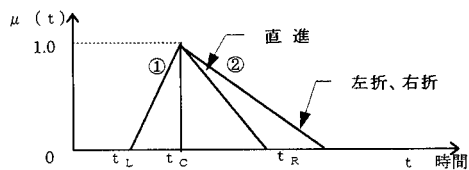


図2. ファジィ交差点遅れ

ここで、 t_c は、三角ファジィ数の中心と呼ばれる。 t_R および t_L は、一般にファジィ数の左右の広がりに対応する¹⁾。この値は、左スプレッドおよび右スプレッドと呼ばれる。右スプレッドは、パラメータ β を交差点での進行方向 (直進、左折) それぞれ β_s, β_L ($1 \leq \beta_s < \beta_L$) を用いて、式(1)で表す。

$$t_R = \beta \cdot t_c \quad \beta \geq 1 \quad (1)$$

左スプレッドはパラメータ γ を用いて、式(2)で表す。

$$t_L = \gamma \cdot t_c \quad 0 < \gamma < 1 \quad (2)$$

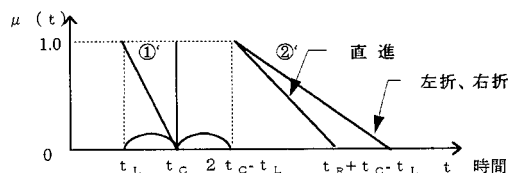


図3. 交差点遅れの基本形

先に定めたファジィ交差点遅れ (図2) で、中心より左側の直線① (図2) を、 $\mu(t)=0.5$ の軸で対称に折り返した直線①' に変換する。中心より右側の直線② (図2) は、中心から左スプレッド間の時間を右にシフトさせた直線②' に変換し、これをファジィ交差点遅れ推定の基準形とする (図3)。こ

の基準形と、図1で示した連結度が交わる時間を、実際のファジィ交差点遅れの中心および左右のスプレッドとする (図4)。

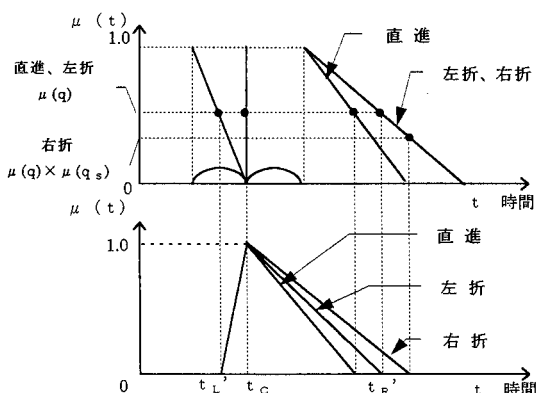


図4. 交差点遅れの推定

本推定法では、連結度が1のときは、ファジィ交差点遅れは中心に左右対称なファジィ数となる。そのため、その代表値 (重心値) はファジィ交差点遅れの中心と一致する。連結度が小さくなるにつれて、ファジィ交差点遅れの左および右スプレッドが大きくなり、交差点遅れも大きくなる。右折車の場合、対向直進車があるときは、左折車の交差点遅れよりも大きくなる。本推定法は、交通状況の変化がもたらす予め設定した交差点遅れの中心 (t_c) に対する遅れを推定するプロセスといえる。この交差点遅れは、配分結果にその影響を取り入れることを主要な目的し、交差点遅れを厳密に推定するものではない。

なお、リンク所要時間はBPR関数で得られた値としている。リンク所要時間と運転者の認知する交差点遅れを足し合わせて経路所要時間とするのは、妥当性を欠く方法であるが、認知のメカニズムが解明されたなら十分に妥当性があると考えられる。最短経路探索に当たっては、最短経路候補を3経路求め、その中で最短経路を決定している。なぜなら、交差点を疑似ノードおよび疑似リンクで表現していないため、任意の最短経路の部分経路が最短経路にならない場合がまれにあるからである。

3. ファジィ交差点遅れのパラメータの設定

本モデルでは、推定のファジィ交差点遅れ (図2) の中心、各スプレッドおよび連結度の関数を適切に

設定することが必要である。ここでは、パラメータ設定法の一例を説明する。

まずファジィ交差点遅れの中心は、流入交通量が0のときの平均交差点遅れであり、式(3)で定める。

$$t_c = \frac{(c-g)^2}{2c} \quad (3)$$

c と g はサイクルタイムと有効青時間である。

2.2節で述べた交差点遅れ推定プロセスで、連結度が1のとき交差点遅れは、左および右スプレッドが中心に対して対称なファジィ数である。このファジィ数の広がり（認知幅）を決定するのが左スプレッドのパラメータ γ である。ここで、運転者が中心に対して $\pm 30\%$ で認識していると仮定し、 $\gamma=0.7$ とする。

一方、ファジィ交差点遅れの代表値としての重心値(t_g)は式(4)で表せる。

$$t_g = -\frac{t_c(\beta-\gamma)}{3}\mu + \frac{t_c(\beta-\gamma+3)}{3} \quad (4)$$

μ は連結度である。式(4)でファジィ交差点遅れ時間の重心値は、 μ の一次関数になる。ここで、連結度を流入交通量(q)が交差点容量(C_I)に等しいときに k ($0 < k < 1$)とし、さらに流入交通量が αC_I ($\alpha > 1$)のときに0となるように設定する(図5参照)。

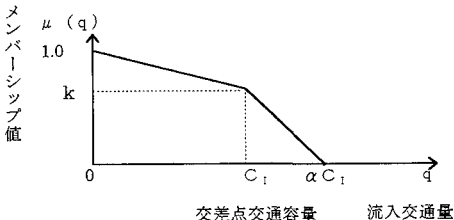


図5. 交差点でのリンク間連結度

ここで、ファジィ交差点遅れ時間の重心値(t_g)は、 $0 \leq q/C_I \leq 1.0$ のとき

$$t_g = \frac{t_c(\beta-\gamma)k}{3} \frac{q}{C_I} + t_c \quad (5)$$

$C_I < q/C_I \leq \alpha$ のとき

$$t_g = \frac{t_c(\beta-\gamma)k}{3(\alpha-1)} \frac{q}{C_I} + \frac{t_c(\beta-\gamma+6)k}{3} - \frac{t_c(\beta-\gamma)k}{3(\alpha-1)} \quad (6)$$

となる。式(5)と(6)より、ファジィ交差点遅れの重心値は、交差点交通容量に対しての流入交通量の比(交通流入率: q/C_I)の一次関数となる(図6)。

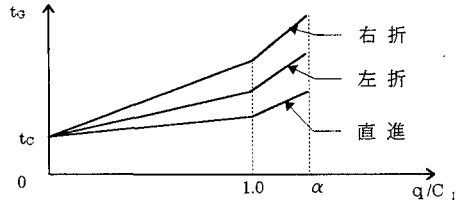


図6. 流入率とファジィ交差点遅れの重心値

これらの関数の傾きは、パラメータ β (直進: β_s , 左折: β_l , 右折: β_r)に依存する。そこで、式(5)の関数の傾き(図5で $0 \leq q/C_I \leq 1.0$ の関数の傾き)が平均交差点遅れを線形近似した関数を用いて設定する。平均交差点遅れ(t_d)は、式(7)で表される。

$$t_d = \frac{c(1 - \frac{g}{c})^2}{2(1 - \frac{g}{c} \frac{q}{C_I})} \quad (7)$$

$$0 \leq \frac{q}{C_I} \leq \alpha$$

図7は、平均交差点遅れとそれを線形近似した関数を示している。

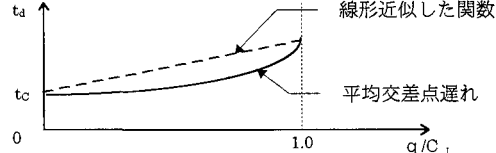


図7. 平均交差点遅れとその線形近似関数

平均交差点遅れは、図8の流入部の設計交通容量(C_I)から求め、さらにそれを線形近似した関数の傾きを求める。

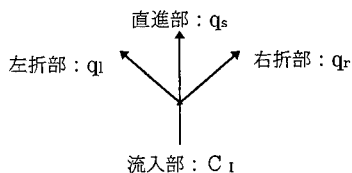


図8. 交差点の設計交通容量

こうして求めた関数の傾きを m とする。この傾きが、各進行方向での交差点遅れの傾きによる(流入部と各進行方向の交通容量の比の)重み付き平均であると仮定する。ここで、各進行方向の交差点遅れの傾きを、直進、左折、右折それぞれについて、 m_s 、 m_l 、 m_r とすると、式(8)の関係が成立する。

$$m = \frac{q_s}{Q} m_s + \frac{q_l}{Q} m_l + \frac{q_r}{Q} m_r \quad (8)$$

$$q_s + q_l + q_r = C_I \quad (9)$$

各進行方向の傾きの比が各進行方向の交通容量の逆数の比になると仮定すると、式(9)が成立する。

$$m_s : m_l : m_r = \frac{1}{q_s} : \frac{1}{q_l} : \frac{1}{q_r} \quad (10)$$

式(8)、(9)および(10)より、 m_s 、 m_l 、 m_r を決める。こうして求めた m_s 、 m_l 、 m_r に等しくなるように、式(5)で各進行方向の β の値をそれぞれ求める。

右折のパラメータ β_s は、モデルの中で使われることはないが、設定においては必要なため記述した。

4. 配分計算と考察

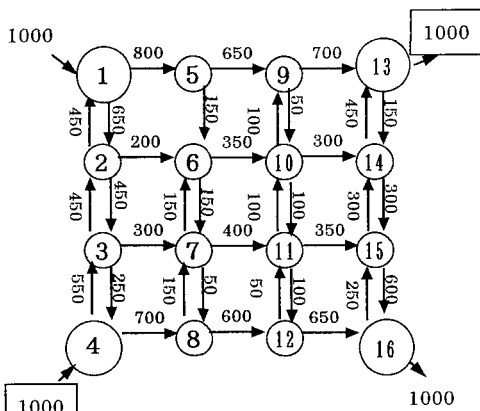


図9. 本モデルによる配分結果

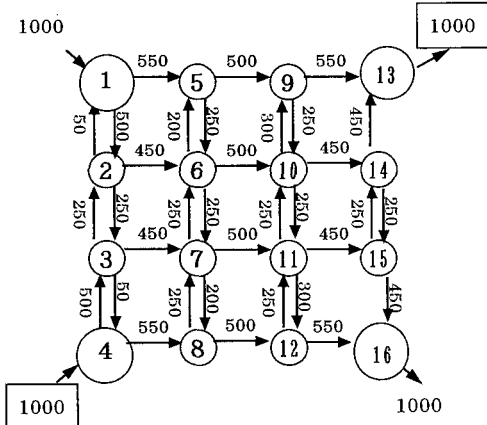


図10. 通常の分割配分法による配分結果

図9と図10は、アルゴリズムの妥当性検証のために計算した通常の分割配分法と本モデルにおける配分結果を示している。配分対象は、ノード数16、リンク数24からなる仮想ネットワークである。各リンク自由走行時間はすべて等しく40秒とした。さらに、各リンクの交通容量を1600台/時とし、各交差点の

交通容量は、800台/時とした。流入交通量は、1000台でノード1とノード4を起点とし、信号交差点の影響を十分に反映させるために、ノード16とノード13をそれぞれの終点とした。分割数を20とし、等分で配分した。

信号交差点の現示については、サイクルタイムを60秒とし、配分交通量推計の観点から有効青時間を30秒とした。さらに、交差点遅れのパラメータは、交差点の設計交通容量を800台/時（直進：500台/時、左折：200台/時、右折：100台/時）として求めた値を用いている。

計算例から本モデルでは、ノード2からノード6とノード3からノード7のリンク交通量が通常の分割配分法よりも少なくなっている。この理由は、本モデルでは対向直進車の影響を考慮しているため、ノード4を起点としノード1へ向かう途中の右折交通が減ったからである。さらに、本モデルでは通常の分割配分法に比べ、ネットワークの外側のリンク交通量が多い。この理由は、本モデルでは左折や右折の交差点遅れが直進の交差点遅れより大きいいため、なるべく直進する経路を選択しているためである。

本モデルは、対向直進車があるときの右折抵抗や、右左折の少ない経路を選択するといった運転者の経路選択特性など、通常の分割配分法に比べ実際に近い交通現象を再現していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、分割配分法に進行方向別交差点遅れを導入した交通配分モデルを構築した。さらに、最短経路探索はダイクストラ法を用いているため、計算が簡単となり大規模ネットワークにも適用可能と考えられる。今後の課題として、さらに大規模なネットワークにおいて配分計算してみる必要がある。

参考文献

- 1) 秋山孝正：ファジィ経路情報に基づくネットワーク解析、土木学会論文集、No449/IV-17、pp.145~154、1992
- 2) V. P. HURDLE：Signalized Intersection Delay Models-A Primer for the Uninitiated, TRANSPORTATION RESEARCH RECORD, No971, pp.96~104、1984
- 3) 森津 秀夫：交通ネットワーク表現と最短経路探索法、交通工学、Vol. 25, No6, pp21~31、1990