

階層型ネットワークの性能評価のための交差点遅れを考慮した交通量配分手法

名古屋大学大学院 学生会員 ○後藤 梓

名古屋大学大学院 正会員 浅野 美帆

名古屋大学大学院 正会員 中村 英樹

1. 階層型ネットワークと定量的評価の必要性

階層型ネットワークは、トリップ長に応じた道路の使い分けにより、上位の道路では長距離トリップの旅行時間(拠点間旅行時間)短縮、下位の道路では通過交通排除といった効果が期待されることから、望ましい道路ネットワークの形として提案されてきた¹⁾²⁾³⁾。

それにも関わらず、このような階層化の効果は、これまで定性的に述べられてきたに過ぎない。様々な階層数・階層ごとの規格(自由走行速度や沿道出入・路上駐車可否など)・接続方法(アクセス制限・交差点形式)が想定される中で、「与えられた OD 交通量に対して、どのように階層型ネットワークを構築するのが効果的であるのか」を定量的に検証する必要がある。この手段として、様々な定義された階層型ネットワークに対して、ある OD パターンを利用者均衡配分し、拠点間旅行時間などを比較する方法が挙げられる⁴⁾。

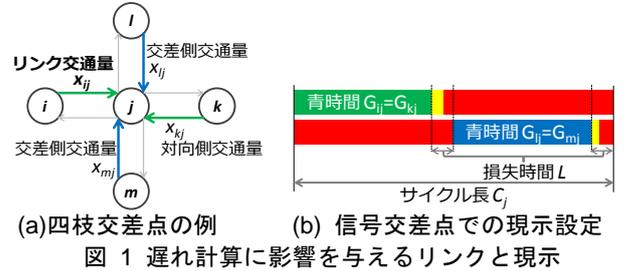
しかしながら、BPR 関数を用いた一般的な利用者均衡配分問題では、階層化の効果に重要な影響を及ぼすと考えられる交差点の接続方法を考えていない。そこで本稿では、リンクパフォーマンス関数に交差点遅れを考慮することにより、道路の接続方法や対向側・交差側交通量に依存した遅れの影響を明示的に評価可能な配分手法について提案する。

2. 交差点遅れに基づいた利用者均衡配分手法

交差点遅れを評価するため、例として図 1(a)の四枝交差点を考える。本稿では、利用者均衡問題を解くための、旅行時間と交通量の関係を式(1)のように定式化する。式(1)は、リンク旅行時間が自由走行速度からなる「単路部走行時間」と交通量からなる「交差点遅れ」の和であることを表している。

$$t_{ij}(\mathbf{x}_j) = \frac{l_{ij}}{v_{f,ij}} + d_{ij}(\mathbf{x}_j) \quad \dots\text{式(1)}$$

ここに、 t_{ij} : ノード*i*からノード*j*をつなぐリンク*ij*を移動するのに要する旅行時間、 l_{ij} : リンク*ij*のリンク長、 $v_{f,ij}$: 自由走行速度、 d_{ij} : リンク*ij*から流入する際にノード*j*で被る交差点遅れ、 \mathbf{x}_j : ノード*j*に流入する各リンクの交通量から



なるベクトル(図 1(a)の例では $\mathbf{x}_j = \{x_{ij}, x_{kj}, x_{lj}, x_{mj}\}$)である。

式(1)は、沿道出入や路上駐車による単路部遅れが交差点遅れに比較して微小であるという仮定のもと、単路部は交通量に依らず自由走行速度で走行するとしている。自由走行速度は道路の規格を表す指標として、階層ごとに異なる値を設定することが考えられる。

交差点遅れは、交差点形式により異なる関数を用いる。本稿では、交差点が信号交差点の場合を例に、遅れの計算式を式(2)に示す。各信号交差点は単独に単純二現示制御(図 1(b))されるとし、右左折に伴う遅れは考慮しない。損失時間と飽和交通流率は交差点に依らず固定値とする。式(2)は、degree of saturationが1を超過すると、過飽和による遅れが所与の一定時間加算され続けることを表す。式(3), (4)に示す通り、サイクル長と青時間もノード*j*に流入する各リンク交通量の関数であるので、非飽和・過飽和に関わらず遅れはこれらの交通量に対する増加関数となる。

$$d_{ij}(\mathbf{x}_j) = \begin{cases} \frac{C_j(1-G_{ij}/C_j)^2}{2(1-x_{ij}/s)}; \text{if } Y_{ij} < 1 \\ \frac{C_j(1-G_{ij}/C_j)}{2} + \frac{C_j(Y_{ij}-1)}{2Y_{ij}} \left(\frac{T}{C_j} + 2\right); \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots\text{式(2)}$$

$$G_{ij}(\mathbf{x}_j) = \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_i} (C_j - L) \quad \dots\text{式(3)}$$

$$C_j(\mathbf{x}_j) = \frac{1.5L + 5}{1 - \lambda_i} \quad \dots\text{式(4)}$$

ここに、 L : 損失時間、 s : 飽和交通流率、 T : 過飽和遅れ加算時間、 C_j : ノード*j*のサイクル長、 G_{ij} : リンク*ij*の青時間、 $Y_{ij} = (x_{ij}C_j)/(sG_{ij})$: degree of saturation、 $\lambda_j = \lambda_{ij} + \lambda_{kj}$: ノード*j*の需要率、 $\lambda_{ij} = \lambda_{kj} = \max(x_{ij}/s, x_{kj}/s)$: *i-j-k*方向の現示の需要率、 $\lambda_i = \lambda_{mj} = \max(x_{ij}/s, x_{mj}/s)$: 交差側方向の現示の需要率、

x_{kj} : 対向側交通量, x_{ij}, x_{mj} : 交差側交通量である. ノード i, j, k, l, m の関係は, 図 1(a)の通り.

このとき, 利用者均衡配分問題はリンク間相互干渉のある問題であるが, 「緩和法」により収束計算で均衡解を得ることができる⁵⁾. 緩和法とは, 均衡配分の繰り返し計算において, 本来相互干渉のある旅行時間関数を用いるところを, 相互干渉のある部分を固定した近似的な旅行時間関数に置き換えた緩和問題を繰り返し解く方法である. このとき, リンク旅行時間 t_{ij} はそのリンクの交通量 x_{ij} のみに依存し, x_{ij} について微分可能な関数となり従来の均衡配分手法で収束計算を行うことができる. 本稿では, Frank-Wolfe 法の各繰り返しステップにおいてサイクル長と青時間を固定した近似関数を用い, 収束計算を行う.

緩和法による解の収束は保障されないが, 収束した場合には, これを均衡解とみなせることが証明されている. なお, $\partial d_{ij}(\mathbf{x}_j)/\partial x_{ij} \geq 0$ であり, 旅行時間は x_{ij} について狭義の単調増加とは限らないため, この均衡解は唯一解とは限らないことに注意が必要である.

3. 交差点遅れに基づく利用者均衡配分の実装例

本章では, ノード数9(リンク数24)の正方格子ネットワークを設定し, 本手法の実装例を紹介する. 交差点は全て信号交差点, リンク長0.5[km], 自由走行速度40[km/h]と設定する. また, 損失時間10[sec], 飽和交通流率2000[veh/h], 過飽和遅れ加算時間900[sec]とした.

図 2-(a)では, ネットワークの中心ノード#5から, 四方向(#2,4,6,8)に発生・集中する短距離トリップを各800[veh/h]設定し, さらにノード#1から発生しノード#9に集中する長距離トリップを1600[veh/h]与えた. すると, #1から#9に向かう長距離トリップは, 外回りの経路1, 2に各800[veh/h]配分され, 理論値と同様の均衡解が得られた(左図). 本手法では, たとえリンク交通量が等しい場合でも, 交差点に流入する交差側のリンク交通量の違いにより旅行時間が異なっていることが特徴である(右図). なお, #5→#8に配分されるはずのトリップのうち約1[veh/h]が#5→#6→#9→#8と迂回してしまっただが, これは収束条件による計算の打ち切りによる誤差である.

図 2-(b)では, 図 2-(a)のOD分布のうち, ノード#5→#2の短距離トリップを200[veh/h]減らし, #5→#4に追加した. この交差側交通量の変化に影響され, 長距離ト

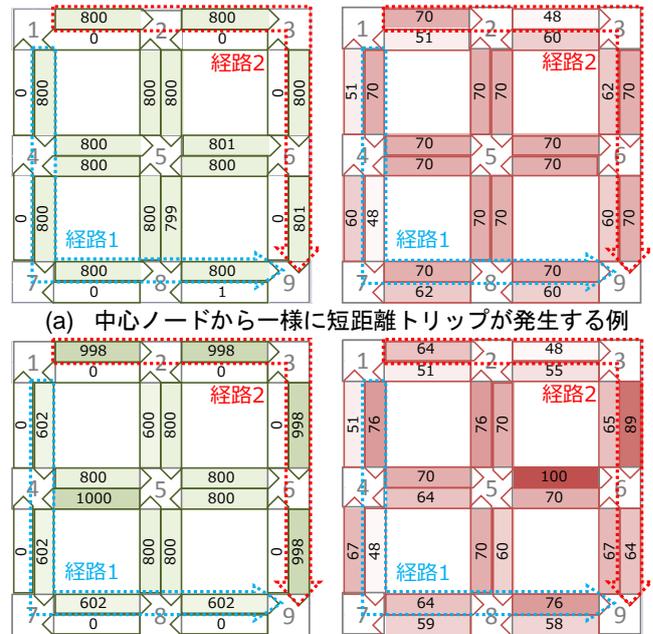


図 2 配分結果: 交通量[veh/h]と旅行時間[sec] (交差点の数字はノード番号)

リップ#1→#9のうち経路2を利用する交通量が増加した(左図). このとき, 右図に示す通り, 両経路の旅行時間はほぼ等しい.

同様のケース・スタディを様々な交通量レベルにおいても行った結果, 特に非飽和だが交通量の高い状態において, 図 2-(a)と同様の誤差が生じる場合があった. しかしながらこの誤差は, 階層型ネットワーク評価の観点となる交差点形式や自由走行速度の設定には影響を受けないこと, また, 旅行速度の誤差も3[km/h]未満に収まることから, 許容範囲内であると考えられる.

4. おわりに

本稿で提案する交差点遅れを考慮した利用者均衡配分手法を用いることで, 交差側交通量まで考慮に入れた交通量配分と旅行時間の計算が可能となった.

今後は, ネットワークを拡張するとともに, 自由走行速度に差をつけた場合や, 交差点形式を無信号交差点, 立体交差などに変更した場合における, 階層型ネットワークの性能の定量的検証を行う予定である.

参考文献

- 1) AASHTO: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, pp.1-7, CD-ROM, 2004.
- 2) 中村英樹, 大口敬, 森田緯之, 桑原雅夫, 尾崎晴男: 機能に対応した道路幾何構造設計のための道路階層区分の試案, 土木計画学研究・講演集 Vol. 31, CD-ROM, 2005.
- 3) 下川澄雄, 内海泰輔, 中村英樹, 大口敬: 階層型道路ネットワークへの再編に向けて, 土木計画学研究・講演集 Vol. 39, CD-ROM, 2009.
- 4) 後藤梓, 中村英樹, 浅野美帆: 階層型道路ネットワーク構成要素に関する最適解の導出方法, 土木計画学研究・講演集 Vol. 44, CD-ROM, 2011.
- 5) (社)土木学会: 交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—, 丸善(株), 1998.