

時間帯別利用者均衡配分（均衡リンク修正法）の実務適用へ向けた課題整理*

Arrangement problems that time user equilibrium traffic assignment by link modification method for applying to business

大城 温**, 大脇 鉄也***, 小田 崇徳****

By Nodoka ŌSHIRO**, Tetsuya ŌWAKI***, Takanori ODA****

1. はじめに

調査費用の削減などを目的として、交通量推計結果からおおよその渋滞箇所の予測を考えた場合、日交通量での推計では、静的な交通量配分結果となるため、時間帯別に变化する渋滞箇所が把握しにくい欠点がある。このため、時間帯別での推計が求められるが、時間帯別のマクロ的な交通需要推計手法の適用状況は、そのほとんどがODベースで残留交通量を考慮したOD修正法の適用となっている。

しかし、時間帯で変動する渋滞箇所の把握などを目的とした場合は、適切な交通状況を再現するため、リンク毎の残留交通量を考慮できる均衡リンク修正法の適用が望ましいと考えられるが、均衡リンク修正法は、実務・研究分野においても適用例が少ないことから、適用へ向けた検討に余地がある。

そこで、本研究では均衡リンク修正法の実務適用を目的として、長いトリップが存在する愛知県全域に適用した場合のモデルの改良を行い、その配分結果や課題を整理する。

2. 均衡リンク修正法

(1) 均衡リンク修正法の考え方

OD修正法では、図1のように、配分するOD交通量自体を旅行時間によって修正していく方法であるが、均衡リンク修正法は、経路上の道路ABCの走行時間を用

いて、出発地から徐々に交通量を修正させ、通過できない交通量は次の時間帯へ移動させる方法となっている。これにより、各リンクの残留交通量を計算するため、計算量は多くなるが、均衡リンク修正法の方がより適切な交通量が計算される特徴を持つ。

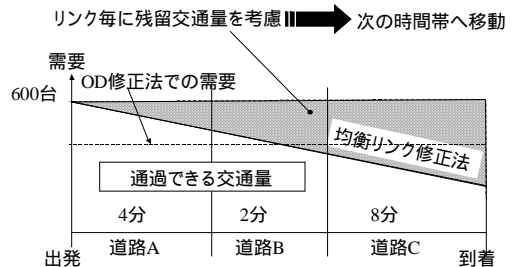


図1 均衡リンク修正法の考え方

本研究で用いたモデルの基本的な構造は藤田¹⁾に従うこととする。藤田は、均衡リンク修正法を効率良く計算させるため、以下の仮定を用いている。

- 仮定 1: 設定時間帯幅 > 最長トリップ時間
- 仮定 2: 各 OD 交通量はその時間帯内で一様に発生し、また、各リンクの流入交通量は時間帯内で一様に流入する。
- 仮定 3: 渋滞による行列は、設定した各リンクの進行方向における終端から生じるものとするが、その渋滞行列は明示的な長さをもたないものとして、その影響は無視する。

(3) 残留交通量について

均衡リンク修正法では、隣り合う時間帯での交通流の保存条件を満たす交通量の修正を行っている。この

* キーワーズ：総合交通計画、交通網計画、整備効果計測法

** 正員、国土交通省中部地方整備局 道路部 計画調整課 課長（前 名古屋国道事務所 工務課 課長）
（愛知県名古屋市中区三の丸2-5-1 名古屋合同庁舎第2号館、Tel.052-953-8171）

*** 正員、国土交通省中部地方整備局 企画部 企画課 課長
（愛知県名古屋市中区三の丸2-5-1 名古屋合同庁舎第2号館、Tel.052-953-8127）

**** 正員、㈱社会システム研究所 第一事業部 研究員
（東京都渋谷区東1-26-30 渋谷イーストビル8階、Tel.03-5468-1111）

方法は、次の時間帯へ移動する交通量、すなわち残留交通量を算出し時間帯の考慮を可能とする方法である。交通量が一樣に分布している仮定の下では、ある経路の残留交通量は式1で計算できる。

$$\frac{u \cdot t(j-1)}{T} \quad \dots \text{式1}$$

ここに、 u は経路交通量、 $t(j-1)$ は各ODペアのうち、起点から数えたノード順位 j 番目の所要時間、 T :時間帯幅。

ネットワーク上のリンク交通量を修正する残留交通量は、すべてのODペア、経路で集約したものである。で、 n 時間帯リンク a の残留交通量 $X1_a^n$ は、以下の式2となる。

$$X1_a^n = \begin{cases} 0 & n=1 \\ \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \frac{\theta_{i,k,j,a}^n \cdot u_{i,k}^n \cdot t_{i,k}^n(j-1)}{T} & n \neq 1 \end{cases} \quad \dots \text{式2}$$

ここに、 I :ゾーン集合、 K :経路集合、 J :経路 k の出発ノードから数えたリンク集合、 $\theta_{i,k,j,a}^n := 1$ はリンク a がODペア i 間経路 k に含まれるとき、 $=0$ はそうでないとき、 $u_{i,k}^n$:時間帯 n ゾーン i 経路 k の経路交通量、 $t_{i,k}^n(j)$:時間帯 n ゾーン i 経路 k の出発ノードから j 番目リンク終端までの最短経路所要時間。

従って、修正後のリンク交通量は、今回の時間帯で通過できなかった交通量を残留交通量として減算(下式第3項)、前時間帯で通過できなかった交通量を加算(下式第1項)して求めることとなる。時間帯 n リンク a のネットワークのリンク交通量 X_a^n は、式3で与えられる。

$$X_a^n = X1_a^{n-1} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \delta_{i,k,a}^n \cdot u_{i,k}^n - \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \frac{\theta_{i,k,j,a}^n \cdot u_{i,k}^n \cdot t_{i,k}^n(j-1)}{T} \quad \dots \text{式3}$$

ただし、残留交通量の算出式は、 $t_{i,k}^n(j-1)$ が時間帯幅 T を超えると、リンク交通量 X_a^n が負数を取る不都合が生じるため、 $t_{i,k}^n(j-1) > T$ の場合には、 $t_{i,k}^n(j-1) = T$ とする必要がある。

(2) リンク収束に関して

交通均衡状態を求める場合には、各リンクに到達するまでの旅行時間 $t(j-1)$ が関係する不動点問題となっているため、式3を単純に計算するだけでは解くことが出来ない。藤田は、均衡状態を効率的に求めるため、修正後リンク交通量が安定となるまで、残留交通量、

リンクの旅行時間、経路旅行時間の計算を収束するまで繰り返し計算させる方法を提案し、これをリンク収束と呼んでいる。リンク収束に関しては藤田と同様に、式4によって収束しているか否かが判定することとした。

$$\sum_a \left| \frac{X_a^{n(\gamma)} - X_a^{n(\gamma-1)}}{M} \right| \leq e \quad \dots \text{式4}$$

ここで、 γ :リンク収束回数、 e :収束条件値(ここでは1.0とした)、 M :リンク数。

以上をまとめると、修正後リンク交通量の算出式は式5となる。

$$X_a^{n(\gamma)} = X1_a^{n-1} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \delta_{i,k,a}^n \cdot u_{i,k}^n - \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \frac{\theta_{i,k,j,a}^n \cdot u_{i,k}^n \cdot t_{i,k}^{n(\gamma-1)}(j-1)}{T} \quad \dots \text{式5}$$

3. 長トリップのための改良

均衡リンク修正法では、交通量が一樣に出発し、一樣に到着する仮定をおくことによって、旅行時間に対応する残留交通量が算出可能となっていることがわかる。しかし、愛知県全域のように、トリップ長の長いODペアの多い地域を対象として配分を行った場合には、前述した仮定1が崩れ、トリップ長が旅行時間で $2T$ 以上だと、リンク交通量算出式の第3項が常に配分交通量と同値をとるため、適切に交通量が配分されない場合がある。そこで、以下の仮定を追加し、第3項の減少分を緩和する方法を提案する。

仮定4:トリップ長の長い場合の起終点の交通は、一樣に出発するが、一樣に到着できない。

この仮定は、一樣に出発するトリップ長の長い交通が、終点付近では、他の交通の影響を受け、もはや交通が一樣というよりはランダムに近い形になっているため、均衡リンク修正法の仮定2である「一樣に出発し、一樣に到着する」という状態が崩れていることを仮定したものである。

このようなOD間の残留交通量は、厳密にリンク単位で解く意味が薄れているとして、別の処理で考慮することとした。すなわち、長トリップのODペアに当てはめられた出発時刻のランダム性を考慮すると、このよ

うなOD間では、現時間帯と、次の時間帯で残留交通量の処理は平均化して算出するという観点から、現時間帯のODの半分を現時間帯に均衡配分させ、残りの半分を次の時間帯に均衡配分すればよいと考えられる。

これにより、長距離トリップでは、平均化したOD修正法としての残留交通量を加味しながら、問題となる第3項分の交通量を減少させることができる。経路*k*のOD間旅行時間が時間帯幅以上を考慮したリンク交通量の算出式をまとめると式6,7となる。

$$X_a^{n(\gamma)} = X_a^{2^{n-1}} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \left\{ \phi_{i,k}^n \cdot \delta_{i,k,a}^n \cdot u_{i,k}^n \right\} - \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \frac{\left\{ \phi_{i,k}^n \cdot \delta_{i,k,a}^n \cdot u_{i,k}^n \right\}}{2} + (1 - \phi_{i,k}^{n-1}) \cdot X_a^{1^{n-1}} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (1 - \phi_{i,k}^n) \cdot \delta_{i,k,a}^n \cdot u_{i,k}^n - \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \frac{(1 - \phi_{i,k}^n) \cdot \theta_{i,k,j,a}^n \cdot u_{i,k}^n \cdot t_{i,k}^{n(\gamma-1)}(j-1)}{T} \quad \dots \text{式6}$$

$$X_a^{2^{n-1}} = \begin{cases} 0 & n=1 \\ \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \frac{\phi_{i,k}^{n-1} \cdot \delta_{i,k,a}^{n-1} \cdot u_{i,k}^{n-1}}{2} & n>1 \end{cases} \quad \dots \text{式7}$$

ここに、 $X_a^{2^{n-1}}$ ：長トリップ（時間帯幅以上）と判定された場合の時間帯*n-1*のリンク*a*の残留交通量、 $\phi_{i,k}^n$ ：時間帯*n*ゾーン*i*経路*k*の旅行時間が長トリップと判定された場合=1、そうでない場合=0を示す変数。

$X_a^{2^{n-1}}$ はOD修正法を行うときのリンク交通量を示しており、 $\phi_{i,k}^n$ によってOD修正法を行うか、均衡リンク修正法を行うかを判定している。

なお、均衡状態を効率的に求めるため、非線形最適化問題に置き換えるが、非線形最適化問題を解く方法は、藤田と同様、Smithの提案した変分不等式の直接解法を利用したものをを用いる。この方法は、変分不等式条件を2乗したものを目的関数として直接解く方法であり、理解が容易な特徴を持つ。紙面の制約上、全てを紹介できないため、詳しくは文献1)を参照頂きたい。

4. 現況再現性について

次に、愛知県全域を対象とした均衡リンク修正法の渋滞再現の状況を確認する。なお、収束回数・計算時間は混雑の程度により大きく異なる特徴を確認しているが、本研究ではピーク時間帯で収束回数が10回程度、計算時間が24時間配分で553分、配分1回に必要なHDD

の空き約800MBと確認している。(CPU2.8GHzのPCで計算)

現況再現性の検証は、平成11年道路交通センサスのOD起終点調査結果のOD間旅行時間と旅行速度調査の単位調査区間毎の旅行時間で比較した(図2)。図2を見ると、相関係数はOD間旅行時間で0.61、旅行時間では0.72となっており、それほど高い相関係数は得られなかった。これは、現況再現の不足や、検証データを時間帯別とすることで、日平均による比較に比べ、データのばらつきが大きいことなどが原因と考えられる。

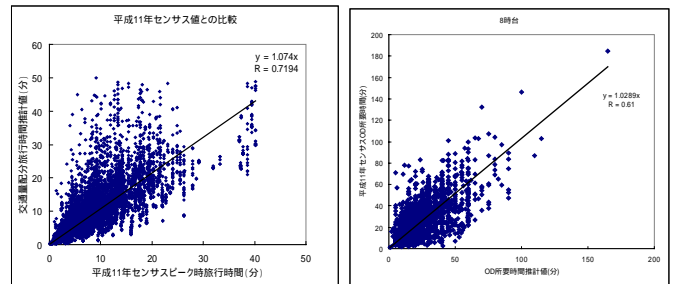


図2 リンク旅行時間(左)とOD間旅行時間の比較(右)

配分結果による速度図を図3に示す。図を見ると、7時台の渋滞発生状況と比べ、8時台の方が多く渋滞が発生していることがわかり、時間帯別での交通状況の把握ができると考えられる。

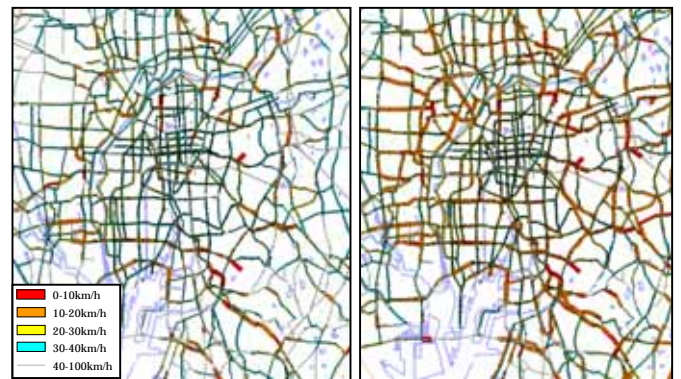


図3 7時台(左図)8時台(右図)の速度図

5. モデル上の課題の整理

(1) 残留交通量の特性について

均衡リンク修正法は、リンク毎の渋滞が作用するため、OD修正法に比べて一つ一つのリンクによる渋滞が残留交通量に影響を与える可能性が高い。従って、交通容量や初期速度をはじめとする各リンクの交通容量

をOD交通量が上回る場合は、次の時間帯へより多くの交通量が修正される傾向が強く、結果としてピーク時間帯でも配分の結果、あまり混雑していないという結果が得られる可能性がある。

(2) セントロイドの設定について

(1)のように、旅行速度が過大の場合は残留交通量として修正されるため、ゾーンセントロイド位置の影響も大きいと考えられる。図4のように、ネットワーク上の細街路にゾーンセントロイドを設定した場合、細街路を通ることとなるが、細街路の交通容量は一般的に大きくないため、当該ゾーンの交通量は残留交通量として修正される傾向が強くなる。従って、ゾーンを分割するなどの対応が必要と考えられる。

(3) リンク収束に関して

リンク収束計算時では、リンク収束 回目と -1回目の差が一定以下となれば収束とみなす計算方法となっているが、図5のように、特にリンクパフォーマンス関数の α が大きい修正BPR関数の場合、旅行時間が長くなる傾向があり、交通量が収束しない場合がある。

(4) データに関して

均衡リンク修正法は、リンク毎に残留交通量を計算するため、リンクの交通量と旅行時間の整合性を正確にとる必要がある。また、均衡リンク修正法を用いて各交差点の渋滞量を推計するような詳細な分析が望まれる場合には、入力・検証データとともに精度の高い時間帯別データが必要と考えられる。

6. おわりに

本研究では、実務への適用に向け、均衡リンク修正法の利用について課題を整理した。また、愛知県全域のネットワークに適用し、トリップ長が長い場合の対応方法の提案、及び現況再現性についての検証を行った。その結果、交通量に対する旅行時間の管理を厳しくする必要があり、セントロイド位置や、交通容量と交通量のバランス、リンクパフォーマンスの検討、詳細な入力及び検証データの必要性などの課題が残っていることがわかった。一方、現況再現性の検証結果が

ら、配分結果から時間帯別のリンク交通量の移り変わりがある程度捉えられることができることがわかった。適用の検討を行った均衡リンク修正法は、最終的に実務へ応用するに至っていないが、本研究で整理された課題が解決されれば、ネットワーク上の渋滞箇所の推測や、ネットワーク整備後の渋滞緩和効果の予測等にモデルを活用できると考えられる。

謝辞

本研究の成果の中で、名古屋工業大学の藤田素弘先生には、モデル構築に様々なアドバイスを頂きました。ここに、感謝の意を表します。

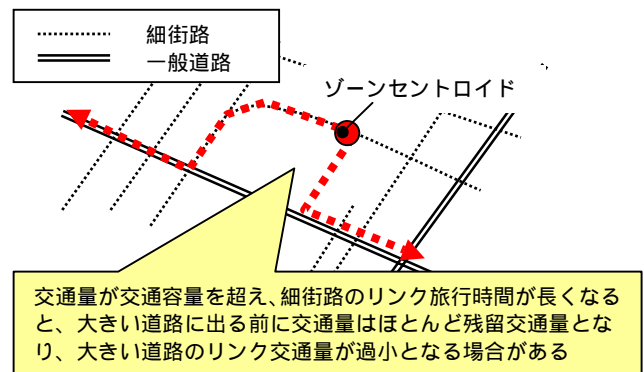


図4 細街路での過度なリンク修正

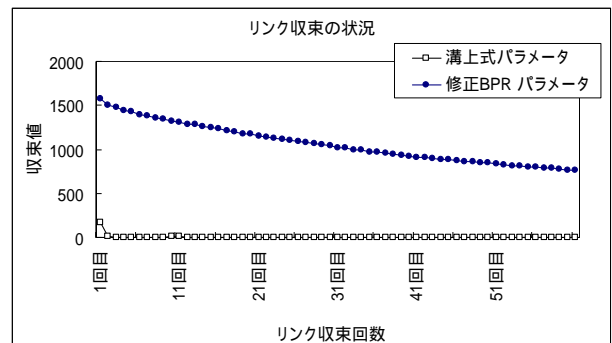


図5 混雑度 1.33 の場合のリンク収束状況

参考文献

- 1) 藤田ほか：渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発, 土木学会論文集, pp.129-138, 第407号 / -11, 1989.
- 2) 土木学会：ネットワークの均衡分析, 丸善, 2000.
- 3) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用, 丸善, 2003.
- 4) 溝上ほか：日交通量配分に用いるリンクコスト関数の開発, 土木学会論文集, pp.99-107, 第401号 / -10, 1989.