

旅行時間の不確実性への態度を考慮した リンクベース準動的分担・配分統合モデル

小池 光右¹・中山 晶一郎²・山口 裕通³

¹学生員 金沢大学大学院 自然科学研究科 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: kou0561@stu.kanazawa-u.ac.jp

²正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: nakayama@se.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

自動車交通の増加に伴い、渋滞や交通事故の増加、公共交通のサービスの低下が問題視されている。こうした中で地方都市を中心にLRTやBRTなどの新交通システムが注目されている。新交通システムの導入に当たっては、需要予測や導入前後の交通行動の変化、交通体系の変化を追うことが必要である。現状では4段階推定法に基づいて計画が行われている場合が多い。しかし4段階推定法では各段階を独立に扱い、且つ一日の平均状態のみで評価が行われる。そのため理論的な一貫性が担保できないという問題点や時間帯毎の施策の評価や検討が困難といった問題を抱えている。本研究では、これらを考慮するためリンクベースの準動的配分モデルを用いて、分担・配分統合均衡モデルへの拡張を行う。また、新交通システムの持つ高い定時性の評価を目指し、旅行時間の不確実性を扱うモデルを提案する。

Key Words : *semi-dynamic traffic assignment, LRT, combined equilibrium*

1. はじめに

実務で交通需要の予測を行う場合には、均衡モデルによる日単位の交通量配分が主として用いられている。日単位での交通量配分では、交通量は定常状態であると仮定され、一日の平均的な交通量が算出される。しかし、現実の交通ネットワークでは、朝や夕方の通勤・帰宅ラッシュの時間帯と、日中の閑散時間帯とでは交通量や交通流の方向などが大きく異なる。また、交通渋滞等の時間によって発生する事象もある。一日の交通量を定常状態と仮定すると、渋滞のような現象を考慮することが出来ない。このため一日を1つの時間帯で扱う均衡配分では、現実の交通状態を十分に反映できていないと言えよう。

現実の交通状態を十分に反映するため、時間的に精度良く交通量を予測できるモデルとして、これまでに動的均衡配分などが提案されている。交通量は動的であるため、動的な配分を行うことで尤もらしい結果を得ることができる。しかし、動的均衡配分は、そのモデルが複雑であることから計算機への負荷が大きく、計算が容易で

はないこと、モデルの内容がブラックボックスになりやすく、再現性に疑問が残るなどの問題点がある。動的均衡配分を用いる場合、かなり詳細なODデータを必要とするが、このようなデータは、プローブカーデータや、ETC2.0のデータなど、ごく限られた区間のODデータしか入手できない。現時点では動的均衡配分に見合うだけの高精度のODデータが十分に整備されていないと言える。実際に入手可能なODデータとしては、パーソントリップ調査や道路交通センサス等で得られる1時間単位程度などの比較的粗いデータであろう。このような場合、交通量を数分単位で算出する動的均衡配分は詳細すぎるため、非合理的である。合理的に配分を行う場合にはODデータに見合った配分モデルを選択する必要がある。

計算負荷の小さい静的配分の特性を活かしつつ、交通流の時間的な変化などの動的な現象を反映できるモデルとして、時間帯別均衡配分が開発されている。これらは一日を一定時間の時間帯に区切り、各時間帯内で静的な配分を行うものである。このため、静的、動的両方の特徴を持つことから、準動的な配分と呼ばれることもある。準動的配分は、各時間帯内にトリップを終了できない交

通、いわゆる残留交通量を次の時間帯の交通量として扱うことで、時間帯内のフローのダイナミクスを取り扱っている。準動的配分モデルは、この残留交通量の扱い方によってリンク修正法、OD修正法、待ち行列法の3種類に区分することができる。またこのモデルは、現在実務において多用されている静的配分(日配分)のモデルの考え方をベースにしていることから、交通手段選択を内生化するなど、拡張が比較的容易に行える。

また近年ではLRTなどの新交通システムに注目が集まっている。新交通システムの導入に当たっては、自動車交通への影響分析や、既存の公共交通網の再編が必要となろう。また新交通システムの需要予測をもとに、マイカーからの転換を促す施策や、パークアンドライドなどのTDM施策が立案される。そのためこれらを同一に扱うモデルが必要である。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

準動的配分は、渋滞などの時間帯に依存した現象を扱うことが可能であるため、渋滞を扱っている研究が多数ある。また、ネットワーク内に有料道路を組み込んだ拡張型のモデルも提案されている。藤田ら⁷⁾は、高速道路への転換確率を内生化した時間帯別均衡配分モデルを構築し、従来型の時間帯別均衡配分モデルを高速料金等を考慮できるモデルへの拡張を行っている。この研究では、転換率を内生化したものと転換率を考慮していないモデルを作成しており、転換率を内生化したモデルの方がより現実に近い値が得られると結論付けている。

準動的配分のモデルとしては、赤松ら²⁾がリンクベースの配分モデルを提唱している。このモデルは、従来型のモデルの問題点を満たす配分モデルと計算方法の確立を行っている。リンクベースの準動的配分モデルについてはこのほかにも赤松・桑原³⁾、桑原・赤松⁴⁾など、数多くある。しかしいずれの研究でも、解の一意性が検討されていない点が課題として挙げられる。中山⁵⁾は、残留交通量を扱うことで混雑の時空間移動を記述し、解が一意的なリンクベースの準動的配分モデルを開発した。

都市圏の交通需要予測には4段階推定法が用いられるが、各段階を独立で扱うことによる理論的一貫性の欠如、時間軸の欠落といった問題点が指摘されている。この問題点に対し、4段階推定法のいずれかの段階を同一モデル内で扱う、統合モデルが理論的に確立されている。また、配分レベルで準動的配分モデルを用いることで、混雑の分析を行う事例も見られる。円山ら⁶⁾の研究では、既存の研究で統合均衡モデルの理論は確立されているが、実際都市への適用事例が少ないことを挙げている。この研究では、発生-分布-分担-配分の4段階をNested Logitで記

述し、更に自動車と鉄道の混雑状況を確立均衡モデルで表現した統合モデルを構築している。このモデルを東京都市圏ネットワークに適用している。金森ら⁷⁾は、4段階推定法の6つの問題点⁸⁾(①ゾーン単位の統計量への集約による非効率なデータ利用、②行動論的基盤の欠落、③各段階間の交通ネットワークサービスレベルの不整合、④誘発需要の把握負荷、⑤時間軸の欠落、⑥トリップ単位の解析)を全て解消もしくは緩和した統合均衡モデルの構築を行っている。この研究でも発生-分布-分担-配分の4段階を統合している。円山らの研究の課題と先述した⑤時間軸の欠落に対し、時間帯別配分モデルを用いることで時間軸の考慮を行っている。円山ら及び金森らの研究は、統合モデルの一種の発展型といえよう。時間帯別配分モデルを統合モデルへ拡張した例として、中井ら⁹⁾の研究がある。この研究では、OD間の交通需要が正規分布に従うものと仮定し、確率的に交通量を配分するモデルを、OD修正法を用いて時間軸を導入している。この時間帯別配分モデルを分担・配分統合モデルへと拡張している。

準動的配分モデルを統合交通ネットワーク均衡モデルを組み合わせることにより、時間軸を考慮したTDM施策の評価・検討を行うことが可能となろう。本稿では、中山のモデル⁵⁾を分担・配分統合交通ネットワーク均衡モデルに拡張する。その上でモデルの概念や利点、問題点等を明らかにし、モデルの拡張の方法に関して検討する。本研究で作成するモデルは、30分から1時間程度の時間帯の区切り幅を対象とするため、従来の時間帯別配分を用いた分担・配分統合モデルよりも細かな時間粒度での施策の議論が可能となる。

3. 統合交通ネットワーク均衡モデル

前章で述べたように、都市圏の交通需要予測には4段階推定法による段階的な需要推計が行われるケースが多い。しかしこの方法は交通現象を簡略的に扱うため、いくつかの問題点が指摘されている。北村⁸⁾は、4段階推定法が抱える重大な問題点として6つの問題点を指摘している。統合交通ネットワーク均衡モデルは、4段階のうちのいずれかの段階を統合して一つのモデルの枠組で需要予測を行うモデルであり、分担・配分統合モデルや、4段階全てを統合したモデルなどが存在する。

本研究では、近年導入の検討が進められているLRTやBRTといった、専用軌道を有する新交通システムの導入効果を評価することを目指し、公共交通と自動車交通を統一的に扱うことを考える。そのため、様々な統合交通ネットワーク均衡モデルの内、手段分担と配分段階を統合したモデル(分担・配分統合モデル)に焦点を当てる。

自動車交通と対比して、専用軌道を有する新交通システムの特徴の一つとして、定時性の高さが挙げられる。そのため、旅行時間の不確実性が小さい交通手段であると言える。一方で自動車交通は、道路の交通量の変動により旅行時間が大きく変動する。朝夕などの混雑時にはその影響が特に顕著になる。先述した新交通システムに比べると自動車交通は旅行時間の不確実性が高い交通手段である。またバス交通を考えると、自動車交通と走行空間が同じ場合には旅行時間の不確実性は自動車交通と同様である。新交通システムの導入に当たっては、こうした旅行時間の不確実性を考慮しなければ導入効果を過小評価する可能性がある。

本研究では、リンクベースの準動的配分モデルを旅行時間の不確実性を考慮した分担・配分統合モデルへと拡張する。これにより、旅行時間の不確実性や時間信頼性の評価が可能となる。

4. 不確実性の表現

(1) 交通量の表現

本研究では、道路ネットワークにおける旅行時間の不確実性・確率変動を考慮する。道路ネットワークの旅行時間が確率変動する原因には様々なものが考えられるが、その一つの大きな原因としては、交通需要の変動が考えられる。本研究では、交通需要、つまり、OD交通量の確率変動によってネットワークの旅行時間が変動することを前提とする。

まず道路利用者がトリップを行う確率を一定と考えると、あるノードから発生するトリップ数は二項分布に従う。二項分布はその平均が大きければ正規分布で近似することができる。そのため、トリップ数の確率は正規分布に従うものと仮定する。

以上より、時間帯 t にリンク ij に流入し、目的地 n に向かうリンク交通量 X_{ijnt} は、独立な正規分布 $N(E[X_{ijnt}], Var[X_{ijnt}])$ に従う。ここに $E[\cdot]$ は期待値、 $Var[\cdot]$ は分散を表す。

本研究では、交通需要の不確実性を表す指標として分散を用いている。そのため、各リンクの交通量の期待値及び分散を与件とする必要がある。交通量の期待値はセンサスやトラフィックカウンターなどのデータを用いれば得られるが、分散については観測が困難でありデータが無い場合がほとんどである。そこで、目的地ノードを n とするリンク ij 上の交通量の分散を、パラメータ $\eta(> 0)$ を用いて以下のように表現する。

$$Var[X_{ijnt}] = \eta E[X_{ijnt}] \quad (1)$$

(2) 旅行時間の表現

a) 自動車の旅行時間

先述したように、本研究では不確実性の指標として分散を用いる。自動車の旅行時間についても、各リンクの旅行時間の期待値と分散を用いた表現が必要となる。時間帯 t におけるリンク ij の旅行時間の期待値 $E[H_{ijt}]$ は、BPR関数を用いて以下のように表現する。

$$E[H_{ijt}] = t_{ij0} \left(1 + \alpha \times \frac{E[X_{ijt}^\beta]}{c_{ij}^\beta} \right) \quad (2)$$

ここで H_{ijt} は時間帯 t のリンク ij の旅行時間で、 t_{ij0} はリンク ij の最小旅行時間、 c_{ij} はリンク容量、 α, β はBPRパラメータである。式(2)を計算する際に、 $E[X_{ijt}^\beta]$ を計算する必要がある。そこで、積率母関数を用いて式(3)のように計算する。

$$E[H_{ijt}] = t_{ij0} \left(1 + 0.15 \left(3(\eta E[X_{ijt}])^2 + 6\eta(E[X_{ijt}])^3 + (E[X_{ijt}])^4 \right) / c_{ij}^4 \right) \quad (3)$$

式(3)は、 $\alpha = 0.15, \beta = 4.0$ として算出したリンク旅行時間の期待値である。また、リンク旅行時間の分散は以下の式で算出する。

$$V[H_{ijt}] = E[H_{ijt}^2] - (E[H_{ijt}])^2 \quad (4)$$

b) 公共交通の旅行時間

バスの旅行時間は道路交通量の影響を受けるものとする。具体的には、河上・高田¹²⁾の考えに基づき、自動車の旅行時間の定数倍とする。そのため公共交通の期待旅行時間は、停止時間等を考慮したパラメータ $\phi(> 1.0)$ を用いて以下のように考える。

$$E[H_{ijt}^{bus}] = \phi E[H_{ijt}] \quad (5)$$

路線バスの旅行時間の分散は自動車と同じとする。

$$V[H_{ijt}^{bus}] = V[H_{ijt}] \quad (6)$$

新交通システムは自動車交通の影響を受けないため、距離に応じて定数で与えることとする。また、旅行時間の分散は0と考える。

5. 交通手段選択行動を考慮した準動的配分

(1) 手段選択行動の表現

本研究では、利用者は出発時点で自動車利用か公共交通利用かを決定するものとして考える。トリップ開始時点で、OD間に公共交通の経路が存在すれば手段選択が生じる。なお、本研究では簡単のため公共交通の経路数はOD間で1つのみとする。この仮定はOD間に複数の公共交通の経路がある大都市では問題となるが、本研究

では地方都市を対象とするため、問題ないものとする。利用者は一般化費用を考慮した手段選択を行うが、手段選択においては自家用車の有無や通勤手当の有無など、外生的な影響も大きいものと考えられる。そのため、ロジットモデルを用いて分担交通量を求めることとする。自動車と公共交通の選択確率は以下のように表される。

$$p_{rst}^{car} = \frac{1}{1 + \exp\{-\theta(u_{rst}^{public} - c_{rst}^{car})\}} \quad (7)$$

ここで、

p_{rst}^{car} : 時間帯 t での OD ペア rs 間の自動車の選択確率

c_{rst}^{car} : OD ペア rs 間の自動車の不効用の最小値

u_{rst}^{public} : OD ペア rs 間の公共交通の不効用

θ : 正のロジットパラメータ

(2) 不効用の定式化

自動車利用もしくは公共交通利用の選択にロジットモデルを適用するにあたり、自動車利用及び公共交通利用のそれぞれの効用を定義する必要がある。効用は、旅行時間に関する項とアクセス/イグレスや公共交通の待ち時間というその他の時間に関するものと公共交通の料金や自動車維持費という費用に関するものの 3 種類から構成されるものとする。旅行時間についてはその確率変動を考えており、通常、旅行時間の分散が小さいほど望ましいことになる。つまり、旅行時間分散が小さいほど不効用は小さい。なお、効用の符号を逆にしたものを不効用とする。不効用は通常、効用と同様で単位は存在しない。旅行時間の分散を利用者がどのように評価するのかという旅行時間の不確実性への態度を本研究ではリスク態度と呼ぶことにし、このようなリスク態度を考慮する。リスク態度は、到着時刻に制約のあるトリップにおいて、利用者が交通手段の持つ旅行時間の不確実性をどれだけ考慮するかを示すものである。

自動車利用の各経路の不効用及び公共交通の不効用は以下の通りである。

$$u_{rst}^{car} = \tau(E[H_{rst}^{car}] + \gamma V[H_{rst}^{car}]) + \xi \quad (8)$$

$$u_{rst}^{public} = \tau(E[H_{rst}^{public}] + \gamma V[H_{rst}^{public}] + w_{rst} + l_{rst}) + m_{rst} \quad (9)$$

ここで、

u : 各手段の不効用

τ : 時間価値

γ : リスク態度パラメータ

ξ : 定数項(自動車の維持費などを考慮したもの)

w_{rst} : 公共交通の待ち時間の期待値(運行頻度の 1/2 と

する)

l_{rst} : 公共交通のアクセス/イグレス時間

m_{rst} : 公共交通の運賃

ここで γ はリスク態度パラメータで、 $\gamma > 0$ ならリスクを回避し、 $\gamma = 0$ ならばリスクに対して中立、 $\gamma < 0$ ならリスクを選好することを意味する。

(3) 準動的配分

本研究では、リンク修正法に基づくリンクベースの準動的配分モデルを用いる。本研究で用いる準動的配分モデルは次の仮定を置いている。

1. 一日をある一定長の複数時間帯に分割
2. 旅行時間は時間帯内では一定
3. 流入した時間帯内にそのリンクを脱出できなかった交通量は次の時間帯に残留する
4. リンクに流入した交通量は流入した時間帯かその次の時間帯にリンクを流出する
5. リンク旅行時間はそのリンクの流入交通量の関数で与える
6. リンク旅行時間の関数は連続かつ狭義単調である
7. リンク上の残留交通量は、次の時間帯ではそのリンクの終点ノードからの発生交通量として扱う
8. フロー保存条件式が常に成立する

準動的配分では、残留交通量を考える必要がある。本研究では、残留交通量の期待値 $E[Y_{ijt}]$ は以下のように与える。

$$E[Y_{ijt}] = E[X_{ijt}^{car}] \cdot E[H_{ijt}^{car}] / \lambda \quad (10)$$

ここに、 λ : 時間帯の長さである。リンクの残留交通量は、リンクへの流入交通量と、リンクからの流出交通量の差であるので、以下のようにも表現できる。

$$E[Y_{ijt}] = E[X_{ijt}^{car}] - E[Z_{ijt}^{car}] \quad (11)$$

また、各ノードにおいてフロー保存条件が成立している必要がある。フロー保存条件の考え方は、目的地ノード n 以外のすべてのノードについて、ノードへの期待流入交通量と期待流出交通量が等しくなければならない、と表現できる。ノード i から発生して目的地ノード n に向かう需要を D_{int} とおくと、フロー保存条件は以下のように定式化できる。 k は下流側ノードを意味する。

$$\sum_k E[Z_{kint}^{car}] + E[D_{int}^{car}] = \sum_j E[X_{ijnt}^{car}] \quad (12)$$

(4) 均衡概念

本研究の均衡状態では以下が成り立つ。

$$E[X_{ijnt}^{car}](E[H_{ijnt}^{car}] + \mu_{ijnt}^{car} - \omega_{int}^{car}) = 0 \quad (13)$$

$$E[H_{ijnt}^{car}] + \mu_{ijnt}^{car} - \omega_{int}^{car} \geq 0 \quad (14)$$

$$E[X_{ijnt}^{car}] \geq 0 \quad (15)$$

$$\omega_{int}^{car} \left(\sum_j E[X_{ijnt}^{car}] - \sum_k E[Z_{kint}^{car}] - E[D_{int}^{car}] \right) \geq 0 \quad (16)$$

$$\omega_{int}^{car} \geq 0 \quad (17)$$

$$\sum_j E[X_{ijnt}^{car}] - \sum_k E[Z_{kint}^{car}] - E[D_{int}^{car}] \geq 0 \quad (18)$$

$$E[X_{ijnt}^{car}] = \frac{E[X_{ijnt}]}{1 + \exp\{-\theta(u_{ijnt}^{public} - c_{ijnt}^{car})\}} \quad (19)$$

$$E[X_{ijnt}] = E[X_{ijnt}^{car}] + E[X_{ijnt}^{public}] \quad (20)$$

$$E[X_{ijnt}^{car}], E[X_{ijnt}^{public}] \geq 0 \quad (21)$$

$$u_{ijnt}^{car} = \tau(E[H_{ijnt}^{car}] + \gamma V[H_{ijnt}^{car}]) + \xi \quad (22)$$

$$u_{ijnt}^{public} = \tau(E[H_{ijnt}^{public}] + \gamma V[H_{ijnt}^{public}] + w_{ijnt} + l_{ijnt}) + m_{ijnt} \quad (23)$$

$$E[Y_{ijnt}] = E[X_{ijnt}^{car}] \cdot E[H_{ijnt}^{car}] / \lambda \quad (24)$$

ここで、 ω_{int}^{car} は時間帯 t におけるリンク起点ノード i から目的地 n までの期待最小旅行時間である。また、 μ_{ijnt}^{car} は、時間帯内でリンクを流出できる期待交通量と、流出せず次の時間帯に流出する期待残留交通量が経験する旅行時間を内分して与えるもので、下記のように表す。

$$\mu_{ijnt}^{car} \equiv \frac{E[Z_{ijnt}^{car}]}{E[X_{ijnt}^{car}]} \omega_{jnt} + \frac{E[X_{ijnt}^{car}] - E[Z_{ijnt}^{car}]}{E[X_{ijnt}^{car}]} \omega_{jnt+1} \quad (25)$$

(5) 緩和法を用いた解法

本研究では、公共交通と自動車という非対称なコスト関数を定義しているため、等価な数理最適化問題が存在しない。コスト関数が非対称であるため、解は必ずしも一意であるとは限らないと考えられる。緩和法では、経路交通量 μ と、分担交通量 q を未知変数として解く。緩和法の詳細については土木学会¹⁵⁾を参照されたい。

$$\begin{aligned} \min. Z = & \tau \sum_T \sum_{a \in A^c} \int_0^{\mu_a} V_a^T(w) dw + \xi \sum_T \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \mu_{rs,k}^{c,T} \\ & + \sum_T \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs,k}^{tran,T} c_{rs,k}^{tran,T} \\ & + \frac{1}{\theta} \sum_T \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs}^{c,T} \ln q_{rs}^{c,T} \\ & + \frac{1}{\theta} \sum_T \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs,k}^{tran,T} \ln q_{rs}^{tran,T} \end{aligned}$$

6. 数値計算例

本研究モデルを単純仮想ネットワークに適用する。ネットワークは7ノード24リンクとし、ノード14間、ノード3-24間は路線バスが運行している。また、ノード5-47間でLRTが運行しているものとする。ノード4をCBDに見立てている。

時間帯数は2時間帯とし、区切り幅は60分とする。OD交通量は各ノードから出発し、目的地ノードまで移動する。数値計算例では、LRT開通前後での総旅行時間を算出した。LRTの開通前後ではOD交通量は変化しないものとする。総旅行時間は、リンク旅行時間とリンク交通量の積で表される。表-1より、LRT導入後ではネットワーク全体の総旅行時間が小さくなっていることがわかる。

本研究モデルは、利用者の旅行時間の不確実性への態度を考慮しているという点に特徴がある。そこで、利用者のリスク態度の違いが旅行時間の分散や手段選択確率

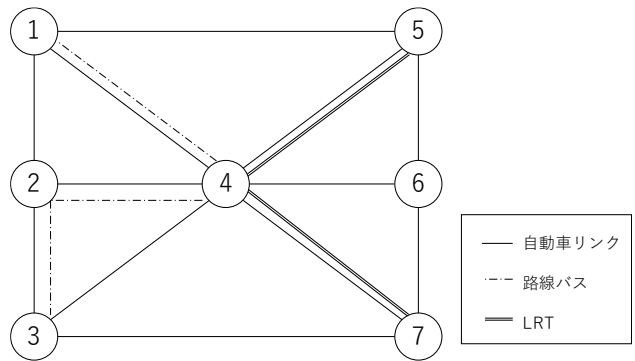


図-1 仮想ネットワーク

表-1 総旅行時間の変化($\gamma = 1.0$)

	開業前	開業後
時間帯1	28840.19	28383.44
時間帯2	47976.78	28383.44

にどのような影響を与えているかを把握する。例として、自動車と LRT が走行するリンク 47 を取り上げる。仮想ネットワークにおいて、リスク態度パラメータを 0 から 5.0 まで段階的に変化させた場合の旅行時間の分散の変化及び自動車、LRT の選択確率の変化をそれぞれ図-2、図-3 に示す。図-2 より、利用者が不確実性のリスクを考慮するほどリンク旅行時間の分散が小さくなることわかる。また、リスク回避の傾向が大きくなるほど、旅行時間の不確実性の高い自動車交通を選択する利用者が減少し、旅行時間の不確実性の低い LRT の選択率が高くなる。この結果から、旅行時間の不確実性が交通手段の分担に影響を与える状況を再現できているとわかる。

本研究モデルにより、総旅行時間による信頼性評価の他に、旅行時間の不確実性を考慮することもできる。LRT の導入により、ネットワーク全体の旅行時間が小さくなるだけでなく、自動車交通の旅行時間の分散が小さくなることわかる。また準動的配分であるため、時間帯を跨ぐトリップの扱いが静的な配分と比べて適切であると言える。

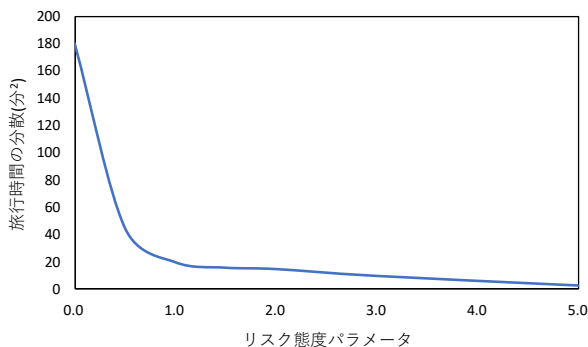


図-3 リスク態度と旅行時間の分散

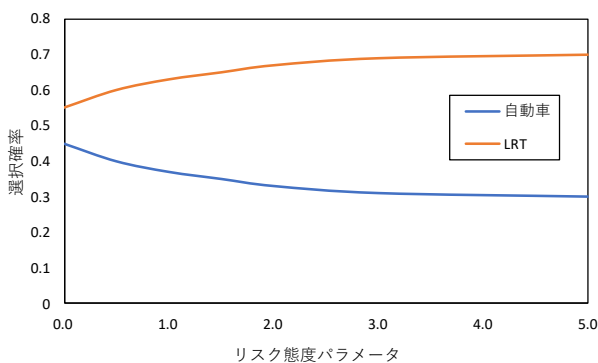


図-4 リスク態度と手段選択確率

7. 今後の展望

本研究では、新交通システムの導入効果の評価に向けた、分担・配分統合モデルの構築を行った。今後、都市圏レベルのネットワークに適用し、施策の評価を行う。

参考文献

- 1) 藤田素弘, 雲林院康宏, 松井寛: 高速道路を考慮した時間帯別均衡配分モデルの拡張に関する研究, 土木計画学研究・論文集 Vol.18,no.3,pp563-572,2001年
- 2) 赤松隆, 牧野幸雄, 高橋栄行: 時間帯別 OD 需要とリンクでの渋滞を内生化した準動的配分, 土木計画学研究・論文集 No.15,pp535-545,1998年
- 3) 赤松隆, 桑原雅夫: 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,pp21-30,1994年
- 4) 桑原雅夫, 赤松隆: 多起点多終点 OD における渋滞延伸を考慮したリアクティブ動的利用者最適交通量配分, 土木学会論文集, No.555,pp91-102,1997年
- 5) 中山晶一郎: 混雑の時空間移動を考慮した準動的配分モデル, 土木学会論文集 D, Vol.64, No3, pp340-353, 2008年
- 6) 円山琢也, 原田昇, 太田勝敏: 大規模都市圏への交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの適用, 土木計画学研究・論文集, Vol19 no.3, pp551-560, 2002
- 7) 金森亮, 三輪富生, 森川高行: 活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデルの構築と適用, 土木計画学研究・論文集, 2007
- 8) 北村隆一: 交通需要予測の課題: 次世代手法の構築に向けて, 土木学会論文集, No.530/IV-30, pp.17-30, 1996
- 9) 河上省吾, 溝上章志: 分担・配分過程結合交通需要結合モデルとそれを用いた最適バス輸送計画策定手法の開発, 土木学会論文集, No.353/IV-2, pp101-109, 1985
- 10) 河上省吾, 溝上章志: 手段分担・配分過程結合モデルを用いた手段選択関数と均衡交通量の同時推定法, 土木学会論文集, No.371/IV-5, pp79-87, 1986
- 11) 河上省吾, 高田篤: 都市圏における公共輸送機関の料金システムおよび輸送計画の評価に関する研究, 土木学会論文集, No.431/IV-15, pp77-86, 1991
- 12) 中井惇弥, 中山晶一郎, 高山純一, 長尾一輝: 道路旅行時間の不確実性を考慮した時間大別均衡配分モデル及びその金沢都市圏における LRT 導入計画への適用, 土木計画学研究・論文集, Vol67 No.5, ppI_465-I_472, 2011
- 13) Fernandez,E., Joaquin, D.C., Florian,M. and Cabrera,E.E.: Network equilibrium models with combined modes, *Transportation science*, Vol.28,No.3,pp.182-192, 1994
- 14) Safwat,K. N. and Magnanti, T.L.: A combined trip generation, trip distribution, model split, and trip assignment model, *Transportation science*, Vol.18, No.3, pp.551-560, 2002
- 15) 土木計画学研究委員会編: 交通ネットワークの均衡分析-最新の理論と解法, 土木学会, 1999

- 16) 土木計画学研究委員会編：道路交通需要予測の理論と適用第Ⅰ編-利用者均衡配分の適用に向けて-, 土木学会,2003
- 17) 土木計画学研究委員会編：道路交通需要予測の理論と適用第Ⅱ編-利用者均衡配分モデルの展開-, 土木学会,2006

(?受付)

A SEMI-DYNAMIC MODE CHOICE/ASSIGNMENT COMBINED MODEL CONSIDERING
DRIVER'S RESPONSE TO ROAD TRAVEL TIME UNCERTAINTY

Kosuke KOIKE, Shoichiro NAKAYAMA and Hiromichi YAMAGUCHI,