

時間価値・時間信頼性価値を内生化した 便益評価手法に関する研究

加藤 哲平¹・内田 賢悦²

¹学生会員 北海道大学大学院 工学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:ieppet@eng.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:uchida@eng.hokudai.ac.jp

移動時間信頼性は交通施策による便益評価において重要な項目であることが認識されつつある。これに対し、本研究では、Kato et al.¹⁾の提案した時間価値・時間信頼性価値推計モデルを用いて、時間信頼性を考慮した便益評価の手法を提案する。提案する手法は、需要推計と便益評価を同一の枠組みで行う事ができる。また、時間価値・時間信頼性価値を内生的に求めることが出来るため、これらの値の変動を考慮した便益評価が可能である。数値実験では、簡単なテストネットワークにおける交通施策を対象とした便益評価を行う。

Key Words : *benefit analysis, travel time reliability, value of travel time, value of travel time reliability*

1. はじめに

交通施策によってもたらされる交通の円滑化、効率化、あるいは混雑は、移動時間の平均だけでなく、その確率変動にも影響を及ぼす。移動時間の変動が小さくなると、移動時間の信頼性が向上する。通常のドライバーは、早着や遅着を避けて行動するため、時間信頼性の向上は利用者便益を発生させる。したがって、交通施策の便益評価において、時間信頼性を考慮する必要がある。

移動時間信頼性の向上による便益を推計するため、移動時間分布の将来予測が必要である。ネットワークレベルで詳細な移動時間データが存在するケースは稀であるため、交通量データを用いた予測が現実的である。これに対し、確率的な移動時間を考慮した均衡配分モデルに関する研究が多く行われている。例えば、Waring²⁾やChen et al.³⁾は、移動時間の確率分布を所与として、移動時間信頼性を考慮した均衡配分モデルを提案した。移動時間の不確実性をもたらす主な要因は、需要と供給に関する不確実性に分類される。こういった要因を特定し、その影響を考慮した均衡配分モデルも多く提案されている。例えば、Lam et al.⁴⁾は交通需要の確率変動と、天候による交通容量の変動を考慮した均衡配分モデルを提案した。

移動時間信頼性の向上効果を貨幣価値化するため、時

間信頼性価値を設定する必要がある。Becker⁵⁾に端を発する交通の時間価値に関する理論研究と同様に、時間信頼性価値の研究もドライバーの効用最大化を枠組みとするものが多い。Small⁶⁾は、移動費用と移動時間だけでなく、早着、遅着時間考慮した効用関数(スケジューリング選好)を用いて早着、遅着の限界効用を推計した。Fosgerau & Karlström⁷⁾は期待効用を用いてスケジューリング選好に基づいたドライバーの出発時間選択問題を定式化し、時間信頼性価値を推計している。Fosgerau & Engelson⁸⁾は出発地と到着地における線形効用率を用い、時間信頼性価値を推計した。この分析では、移動時間信頼性の指標が移動時間の分散で表されることが示された。

上述の移動時間分布の将来予測と時間信頼性価値に関する研究は別々に行われてきた。これに対し、Uchida^{9,10)}は、移動時間の不確実性を嫌うドライバーの経路選択行動を内生化した枠組みで時間価値・時間信頼性価値を推計可能なモデルを提案した。このモデルは制約条件付き効用最大化問題に基づいて定式化されており、需要変動型利用者均衡問題と等価な構造を持った問題に帰着することが示された。Kato et al.¹⁾はUchida^{9,10)}の提案したモデルを、ドライバーの選好の異質性を考慮可能なモデルに拡張した。このモデルで示される効用最大化問題も同様に、均衡配分と等価な均衡条件を持つ問題に帰着される。

本研究では、Kato et al.¹⁾の提案したモデルを用いた便

益評価手法を提案する。提案する手法を用いれば、時間価値・時間信頼性価値を外生的に与えずに、便益評価を行う事ができる。さらに、需要変動型利用者均衡配分と等価な構造を持った、代表的消費者の効用最大化問題として定式化されているため、需要予測と便益評価を同一の枠組みで行う事ができる。経済理論に基づく便益評価モデルで、通常の利用者均衡配分に基づく需要予測が可能なモデルは、筆者の知る限り存在しない。

本稿の構成は以下の通りである。第2章では、交通施策の便益評価において、ネットワークを明示的に考慮した理論モデルをレビューし、本研究の位置付けを明確にする。第3章では、Kato et al.¹⁾で提案されたモデルを簡単に示し、便益評価に用いる需要関数や支出関数を導出する。第4章では、簡単なテストネットワークにおける交通施策を想定した便益評価を行う。第5章では、本研究のまとめと課題を示す。

2. 既存の便益評価モデルとの違い

既に実務に用いられている費用便益分析は、ミクロ経済学に基づいた政策分析手法である。道路投資の便益評価では、需要予測方法の経済理論との整合性が問題視されることが多く、国内外で議論が行われている。Kidokoro¹¹⁾はネットワークを明示的に考慮した便益評価モデルを提案した。提案されたモデルは、経路間の代替関係を特定しない一般モデル、完全代替を仮定したWordropモデル、代替性の緩和を行ったLogitモデルに分類される。Kidokoro¹¹⁾の主な貢献は、需要予測に用いるモデルと便益評価に用いるモデルの関係を、提案したモデルの分析によって明らかにした点である。このように、需要予測に用いるモデルと便益評価に用いるモデルの整合性について議論されることはあるが、双方を同一の枠組みで行おうとする試みはほとんど見られない。

既存の便益評価モデルは、需要予測モデルで求められた交通の一般化価格を与件として計算を行う。一般的な需要予測モデルと同様に、一般化価格が交通量の変数であると想定し、需要予測モデルの中で施策後の需要予測を同時に行うと、推計不可能であるか、特殊な状況下における交通量が推計されてしまう。例えば、Kidokoro¹¹⁾の示した完全代替モデルとLogitモデルでは、社会的限界費用に基づく均衡配分結果が算出される。これは、最適な混雑税が課せられている場合では整合的な需要予測結果であるが、一般的な状況とは言えない。

3. 便益評価モデル

(1) 記号

本節以降で用いる主な記号は以下に示す通りである。

A	ネットワーク上のリンク集合
$I(I)$	O-Dペアの集合 (O-Dペア数)
$J_i(J_i)$	O-Dペア i 間の経路集合 (O-Dペア i 間の経路数)
δ_{aj}	リンク a が経路 j の一部であれば 1, それ以外は 0 をとる変数
Q_i	O-Dペア i 間の確率的交通需要
F_{ij}	O-Dペア i 間の経路 j の確率的交通量
V_a	リンク a の確率的交通量
V_{ab}	リンク a, b 両方を通過する確率的交通量
$\tilde{t}_a(\cdot)$	リンク a の移動時間関数
$\tilde{\rho}_a(\cdot)$	リンク a の移動費用関数
$\tilde{\sigma}_{ab}^2(\cdot)$	リンク a と b の移動時間の共分散 (リンク a の移動時間の分散 if $a = b$)

(2) Kato et al.¹⁾モデルを用いた便益評価

以降では、交通サービス以外の財や、余暇時間を一定と仮定している。したがって、提案するモデルは交通サービスに対する予算と、その価格と需要の変化のみを考慮した便益評価モデルである。また、Fosgerau & Engelson⁸⁾やHjorth et al.¹²⁾が示した結果から、時間信頼性指標として移動時間の分散を用いる。

Kato et al.¹⁾で提案された時間価値・時間信頼性価値推計モデルは、代表的消費者の制約条件付き効用最大化問題として定義される。この効用最大化問題は、マルチユーザークラスの需要変動型利用者均衡配分と等価な構造を持った問題に帰着されることが示された。なお、ここではO-Dペアに対応したユーザークラスを想定しており、各ユーザークラスは異なる選好を持つものと仮定していた。本項では元の制約条件付き効用最大化問題のみを示す。利用者均衡と等価な均衡条件の導出は、Kato et al.¹⁾を参照頂きたい。

Kato et al.¹⁾の提案したモデルは、以下の効用最大化問題[PP]で表される。

[PP: Primary Problem]:

$$\max u(E[Q_1], \dots, E[Q_n]) = \sum_{i \in I} \int_0^{E[Q_i]} \frac{\alpha_i}{w+1} \cdot dw \quad (1)$$

s.t.

$$t_i \cdot E[Q_i] \leq \phi_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\rho_i \cdot E[Q_i] \leq \pi_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sigma_i^2 \cdot E[Q_i] \leq \theta_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$E[Q_i] + e_i = \tilde{q}_i \quad \forall i \in I \quad (5)$$

目的関数 u は、式(6)のように変形できる。ここで、O-Dペア i 間の交通サービスを代替財 i とし、確率的O-D交通量の期待値 $E[Q_i]$ を代替財 i の消費量とすると、 u はネットワーク上の直接効用関数¹³⁾とみなすことが出来る。

$$\sum_{i \in I} \int_0^{E[Q_i]} \frac{\alpha_i}{w+1} \cdot dw = \sum_{i \in I} \alpha_i \cdot \ln(E[Q_i] + 1) \quad (6)$$

この効用関数は Stone-Geary 型の効用関数¹⁴⁾であり、 α_i は限界消費性向を表す。

式(2)-(4)において、 t_i, ρ_i, σ_i^2 をそれぞれ、O-D ペア i 間の平均移動時間、平均移動費用、移動時間の分散に対する仮想的な価格指標とみなす。また、右辺 ϕ_i, π_i, θ_i は観測交通量から推計されるものとし、予算制約とみなす。以上から、[PP]は平均移動時間、平均移動費用、移動時間の分散に関する制約下でネットワーク上の効用関数を最大化する問題となっていることが分かる。ここで、Kato et al.¹⁾と同様に t_i, ρ_i, σ_i^2 を確率的リンク交通量の平均値を変数に持つ関数として定義する。このとき、式(2)-(4)の左辺は、交通サービスの私的限界費用関数として表すことが出来る。以上から、Kato et al.¹⁾で示されるように、この問題で部分双対化を行い、制約条件に対する最適なラグランジュ乗数を用いると、マルチユーザークラス概念に基づいた需要変動型の利用者均衡と等価な均衡条件を導出することが出来る。

先述の通り、 α_i は限界消費性向を表すパラメータである。限界消費性向 α_i は、限界的に所得が増えた場合に財 i に支出する割合を表し、代替財の消費量や価格によって変化する。しかし、交通施策後の限界消費性向 α_i を事前に予測することは現実的ではないため、本研究では、交通施策前後でこれが一定であると仮定し、 α_i を財 i への支出割合とする。

以上を踏まえると、式(2)-(4)を足し合わせることで式(7)のような1つの制約条件にまとめることが出来る。

$$p_i \cdot E[Q_i] \leq \alpha_i \sum_{k \in I} B_k \quad \forall i \in I \quad (7)$$

where

$$p_i = t_i + \rho_i + \sigma_i^2 \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$B_i = \phi_i + \pi_i + \theta_i \quad \forall i \in I \quad (9)$$

式(7)を制約条件として式(1)の最大化問題を解くと、以下の需要関数が得られる。

$$E[Q_i] = \frac{\alpha_i \sum_{k \in I} B_k}{p_i} \quad \forall i \in I \quad (10)$$

この需要関数はコブダグラス型効用関数¹⁵⁾から導出される需要関数と同一である。求めた需要関数を式(1)の効用関数に代入し、間接効用関数が得られる。双対性より間接効用関数から支出関数が得られ¹⁴⁾、これにより便益の指標である補償変分(CV)が式(11)で定義できる。

$$CV = \left\{ \exp(v^w) - \exp(v^{w_0}) \right\} \cdot \prod_{i \in I} \left(\frac{p_i^w}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \quad (11)$$

ここで、間接効用 v と価格 p_i の右上につく w, w_0 はそれぞれ交通施策の実施前、実施後の状況を表す。

ここまでの定式化では、交通の仮想的な価格 p_i を用いて議論を進めてきた。通常の便益評価では、交通の一般化価格を用いるため、仮想的な価格 p_i を用いた便益

評価には注意が必要である。Kato et al.¹⁾で示されたように、[PP]は需要変動型均衡配分問題と等価な均衡条件を持つ問題に帰着される。この均衡条件において、一般化価格 gc_i と交通需要 $E[Q_i]$ の関係を表す逆需要関数は [PP]の目的関数を微分したもので与えられる。また、先述の通り、 α_i が財 i への支出割合を表すことを利用すると、 gc_i と p_i の関係が式(12)で与えられる。

$$gc_i = \frac{1}{\omega_i} \left(\frac{\alpha_i}{E[Q_i] + 1} \right) = \frac{1}{\omega_i} \left(\frac{p_i}{\sum_{k \in I} B_k} \cdot \frac{E[Q_i]}{E[Q_i] + 1} \right) \quad \forall i \in I \quad (12)$$

ここで、 ω_i は O-D ペア i に属するドライバーの移動費用に対する限界効用を表し、制約条件(3)の最適なラグランジュ乗数に等しい。(12)の関係を用いることで、(11)で得られた CV の値を一般化価格を基準として求めた値に変換することが出来る。

4. 数値実験

(1) 設定

本章では、小規模なテストネットワーク上でリンク交通容量を拡充する交通施策を想定し、便益評価を行う。交通施策に伴い、 t_i, ρ_i, σ_i^2 が変化していくため、制約条件(2)-(4)に対応した最適なラグランジュ乗数も変化していくことになる。したがって、交通施策前後でドライバーの時間価値・時間信頼性価値が変化する。本研究で行った数値実験では、時間価値のみが変化すると仮定し、交通施策後の時間価値を同時推計した。

図-1はテストネットワークを示している。このテストネットワークはそれぞれ4本の経路を含んだ2つのO-Dペア(ノード番号1→9, 7→3)を持ち、総リンク数は14本であり、それぞれ図に示されるリンク番号が与えられている。O-Dペア1内では1→4→5→8, 1→4→6→7, 2→3→5→8, 2→3→6→7を通る4経路、O-Dペア2内では9→11→5→14, 9→11→12→13, 10→3→5→14, 10→3→12→13を通る4経路が存在し、リンク3, 5を共有する経路が存在している。描かれていないが、超過需要が流れる仮想的なリンクが各O-Dペアの発生・集中ノード間に存在する。

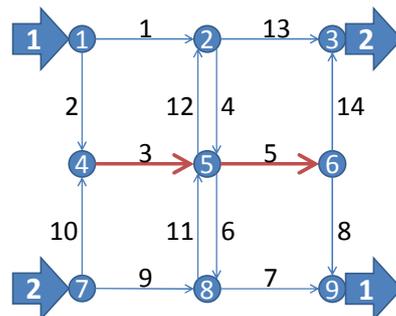


図-1. テストネットワーク

また、数値実験ではリンク 1 を対象とした交通施策を想定したため、各 O-D ペアに属するドライバーにそれぞれ異なった影響が発生すると考えられる。こういった状況を考慮するためにマルチユーザークラス概念に基づいたモデルを用いた。テストネットワークの形状が対称なのは、交通施策による各 O-D ペアへの影響を考察しやすくするためである。無論、より一般的なネットワーク形状でも分析可能である。

式(13)-(15)はO-Dペア*i*間の経路*j*の平均移動時間、平均移動費用、移動時間の分散を表す。式(16)に示すように、リンク*a*における平均移動時間はBPR関数(Bureau of Public Roads function)により与え、平均移動費用、移動時間の分散はそれぞれ式(17)、(18)で与えた。

$$E[\Xi_{ij}] = \sum_{a \in A} \bar{t}_a(E[V_a]) \cdot \delta_{aj} \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i \quad (13)$$

$$E[\Gamma_{ij}] = \sum_{a \in A} \bar{p}_a(E[V_a]) \cdot \delta_{aj} \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i \quad (14)$$

$$\text{var}[\Xi_{ij}] = \sum_{a \in A} \sum_{b \in A} \bar{\sigma}_{ab}(E[V_{ab}]) \cdot \delta_{aj} \cdot \delta_{bj} \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i \quad (15)$$

where

$$\bar{t}_a(E[V_a]) = \frac{l_a}{s_0} \cdot \left(1 + m \cdot \left(\frac{E[V_a]}{E[C_a]} \right)^n \right) \quad \forall a \in A \quad (16)$$

$$\bar{p}_a(E[V_a]) = p_g \cdot \left(r_1 \cdot l_a \cdot \left(1 + m \cdot \left(\frac{E[V_a]}{E[C_a]} \right)^n \right) + r_2 \cdot l_a \right) \quad \forall a \in A \quad (17)$$

$$\bar{\sigma}_{ab}(E[V_{ab}]) = g_a \cdot g_b \cdot \frac{(E[V_{ab}])^2}{E[C_a] \cdot E[C_b]} \quad \forall a, b \in A \quad (18)$$

$$E[V_a] = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \delta_{aj} \cdot E[F_{ij}] \quad \forall a \in A \quad (19)$$

$$E[V_{ab}] = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{a' \in A} \sum_{b' \in A} E[F_{ij}] \cdot \delta_{aj} \cdot \delta_{bj} \quad \forall a, b \in A \quad (20)$$

ここで、 l_a はリンク a の延長(全リンク 10 [km])、 s_0 は自由走行速度(全リンク 60[km/hr])、 m, n はBPR関数のパラ

メータ ($m = 2.26, n = 5$)、 p_g はガソリンの価格(140 [JPY/l])、平均リンク交通容量 $E[C_a]$ は全リンク 100 [pcu/h] とした。 r_1, r_2 は移動費用関数におけるパラメータを表す ($r_1 = 0.009, r_2 = 0.059$) (r_1, r_2 の算出方法に関しては内田¹⁰を参照されたい)。 g_a は移動時間の分散に関するパラメータで、経路移動時間の分散が平均移動時間の10%程度に留まるように設定した($g_a = 1.5 \forall a \in A$)。

観測交通量として、時間価値・時間信頼性価値とO-D交通量を所与として均衡配分を行った結果を用いた(表-1)。所与とした時間価値・時間信頼性価値は2つのO-Dペアで同一の値で、それぞれ40[JPY/min]、10[JPY/variance]とし、O-D交通量も同一の値200[pcu]とした。ネットワークが対称な形状を持っているため、観測リンク交通量は表-1に示すように対称になる。また、効用関数のパラメータ α_i は2つのO-Dペアで共に0.5となった。

(2) 結果

リンク 1 の交通容量 $E[C_1]$ を、100[pcu/h]から 150[pcu/h]に増加させる交通施策を想定した。この結果、新たな均衡状態が形成される。

表-2はリンク交通量 $E[V_a]$ の変化を表したものである。この表で、対角成分は各リンクを通る交通量の変化を、それ以外は2つのリンクを通る交通量 $E[V_{ab}]$ の変化を表す。たとえば行のリンク番号が3、列のリンク番号が5の場合は、リンク3を通った後、リンク5を通る交通量の交通施策前後の変化量を表し、この場合は交通施策後に1.8[pcu]減少したことが読み取れる。

表-1. 観測リンク交通量

リンク	1	2	3	4	5	6	7
$E[V_a]$	127.2	72.8	145.6	127.2	145.6	127.2	127.2
リンク	8	9	10	11	12	13	14
$E[V_a]$	72.8	127.2	72.8	127.2	127.2	127.2	72.8

表-2. 交通施策前後のリンク交通量変化

リンク番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	+11.6	+0.0	+0.0	+11.6	+6.0	+5.6	+5.6	+6.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0
2	:	-8.2	-8.2	+0.0	-4.4	-3.8	-3.8	-4.4	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0
3		:	-3.5	+0.0	-1.8	-3.8	-3.8	-4.4	+0.0	+4.7	+0.0	+2.1	+2.1	+2.6
4			:	+11.6	+6.0	+5.6	+5.6	+6.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0
5				:	+1.9	+0.0	+0.0	+1.6	-2.3	+2.6	-2.3	+0.0	+0.0	+0.3
6					:	+1.8	+1.8	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0
7						:	+1.8	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0
8							:	+1.6	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0
9								:	-2.7	+0.0	-2.7	-0.4	-0.4	-2.3
10									:	+4.7	+0.0	+2.1	+2.1	+2.6
11										:	-2.7	-0.4	-0.4	-2.3
12											:	+1.7	+1.7	+0.0
13												:	+1.7	+0.0
14													:	+0.3

表-3 は、交通施策後の各経路の交通量、平均移動時間、平均移動費用、移動時間の分散、一般化費用を表している。各経路の一般化費用 $c_{ij}[\mathbf{F}]$ は、式(21)で表される。ここで、 τ_i, v_i はそれぞれ時間価値と時間信頼性価値を表し、制約条件(2)-(4)の最適なラグランジュ乗数を用いて求められる¹⁾。

$$c_{ij}[\mathbf{F}] = \tau_i \cdot E[\Xi_{ij}] + E[\Gamma_{ij}] + v_i \cdot \text{var}[\Xi_{ij}] \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i \quad (21)$$

観測交通量から推計される予算の下で、交通施策後の交通容量を用いて[PP]を解くと、新たに時間価値と時間信頼性価値が推計される。本研究で行った数値実験では、時間価値の変化のみを想定した。施策前は 2 つの O-D ペアで同一の値を取り、40[JPY/min]であったが、施策後は、O-D ペア 1 で 40.38[JPY/min]、O-D ペア 2 で 40.20[JPY/min]と推計された。この結果については次節で考察する。また、表-3 で括弧内の値は施策前の値との比較を表し、プラスは増加、マイナスは減少したことを示す。O-D ペア 1 では、すべての経路で平均移動時間、平均移動費用、移動時間の分散が減少している。これは、拡張したリンクを含む経路で一般化費用が減少したことによって経路交通量が増加し、他の経路交通量が減少、これに伴って拡張されたリンクを含まない経路でも一般化費用の減少が見られたためであると考えられる。O-D ペア 2 では、すべての経路で平均移動時間と平均移動費用が減少している。これは、リンク 1 の拡張によって、O-D ペア 1 に属する交通量がリンク 3 で減少し、O-D ペア 2 では混雑の緩和が生じたためであると考えられる。一方、一部の経路で移動時間の分散が増加している。これは、O-D ペア 2 に属するドライバーが、混雑の緩和が生じたリンク 3 に集中したことで、リンク 3 に直結するリンク 10 の交通量が増加したことが原因と考えられる。ただし、リンク間移動時間の相関を考慮しているため、経路移動時間の分散の変化に関しては原因を明言し難い。交通施策前後の交通量から、第 3 章で示した交通の仮

想的な価格 p_i が求められる。これを与件とし、式(7)の制約下で[PP]を解くことによって、需要関数と支出関数が得られる。この需要関数から求められる施策前後の O-D 交通量を表-4 に示す。 p_i を与件として解くことで得られる O-D 交通量(表-4)が、 p_i を与件とせずに解いた結果(表-3)とほとんど一致している。したがって、同一のモデルを用いた需要推計と便益評価が可能であることが示された。便益評価の結果として、需要関数の積分によって求められる消費者余剰(CS)と、式(11)から求められる補償変分(CV)を表-4 に示す。なお、これらの値は一般化費用に基づく値であり、式(12)に示される p_i と一般化費用の対応を用いて求めた。

(3) 交通施策による時間価値の変動

本研究で行った数値実験では、時間価値の変化のみを考慮しており、リンク拡充によるリンク移動時間の減少に伴って、時間価値が増加する結果が得られた。時間価値と移動時間の関係を分析した研究として河野、森杉¹⁷⁾が挙げられる。河野、森杉¹⁷⁾は、時間制約と所得制約下で財消費量と余暇時間による効用を最大化する問題に対して比較静学分析を行い、移動時間の増加に伴って交通の時間価値が増加することを示した。したがって、本研究の結果は河野、森杉¹⁷⁾の示した傾向と逆になった。河野、森杉¹⁷⁾の分析はネットワーク上の経路選択行動を考慮しておらず、あくまで移動時間のみが変化するとした比較静学分析に基づく。本研究ではネットワークを考慮しており、交通施策によって移動費用の減少も同時に起きているため、このように相反する結果が得られたものと考えられる。ただし、本研究で得られた結果は、想定した数値実験で得られた結果に過ぎない。より一般的な時間価値・時間信頼性価値の変動傾向については比較静学分析などを用いた詳細な分析が必要である。

表-3. 交通施策前後の経路交通量、経路コストの変化

O-D ペア	1				2			
$E[Q_i]$	203.36				202.00			
経路	1	2	3	4	5	6	7	8
構成リンク	1-4-5-8	1-4-6-7	2-3-5-8	2-3-6-7	9-11-5-14	9-11-12-13	10-3-5-14	10-3-12-13
$E[F_{ij}]$	60.3 (+6.0)	78.4 (+5.6)	14.1 (-4.5)	50.5 (-3.8)	96.6 (-2.2)	52.1 (-0.3)	72.5 (+2.5)	21.1 (+2.1)
$E[\Xi_{ij}]$	381.7 (-9.6)	379.3 (-9.5)	383.9 (-10.0)	381.5 (-9.8)	385.6 (-5.7)	383.0 (-5.8)	387.8 (-6.1)	385.2 (-6.1)
$E[\Gamma_{ij}]$	959.2 (-15.7)	955.2 (-15.6)	962.8 (-16.2)	958.9 (-16.0)	965.6 (-9.3)	961.3 (-9.5)	969.2 (-9.8)	964.9 (-10.0)
$\text{var}[\Xi_{ij}]$	26.1 (-2.1)	36.2 (-2.5)	16.8 (-1.0)	26.9 (-1.3)	27.3 (-0.9)	38.3 (-0.4)	18.3 (+0.5)	29.3 (+1.1)
$c_{ij}[\mathbf{F}]$	16,632.8 (-278.0)	16,632.8 (-278.0)	16,632.8 (-278.0)	16,632.8 (-278.0)	16,743.9 (-166.9)	16,743.9 (-166.9)	16,743.9 (-166.9)	16,743.9 (-166.9)

表4. 交通施策による便益

O-D	1	2
$E[Q_i]^{wo}$	200.00	200.00
$E[Q_i]^w$	203.36	202.00
p^{wo}	98.78	98.75
p^w	97.14	97.77
CV [JPY]	89,652	
CS _i [JPY]	56,552	33,693
CS [JPY]	90,245	

5. まとめ

本研究では、交通施策による便益評価において必要な需要予測と、その便益評価を同一の枠組みで行う事が可能な手法を提案した。提案した手法では、便益評価に用いる代表的消費者の効用最大化問題が、マルチユーザークラス概念に基づく需要変動型利用者均衡配分と等価な均衡条件を有する。移動時間信頼性の将来予測を正しく行う事ができたとしても、便益評価の際に用いる時間信頼性指標によって異なる便益評価が行われる可能性がある。提案した手法は、そのような可能性を排除し、需要予測と整合的に移動時間信頼性の向上便益を推計することが可能である。

提案した手法は、時間価値・時間信頼性価値を内生的に求めることが出来る。これらの値は便益評価において決定的に重要であるため、内生的に与える意義は大きい。また、時間価値・時間信頼性価値は、交通状況や経済環境に影響を受けることが指摘されている。本手法は、これらの変動を加味して便益評価を行うことが可能である。

今後の課題として、交通以外の財を考慮したモデルへの拡張、効率的なアルゴリズムの開発が挙げられる。また、時間価値の変動傾向に関して詳細な分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) Kato, T., Uchida, K. & Tamura, T., 2013. Estimation of value of travel time and travel time reliability for heterogeneous drivers in road network. The 18th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, pp.123–130.
- 2) Watling, D., 2006. User equilibrium traffic network assignment with stochastic travel times and late arrival penalty. European Journal of Operational Research, Vol. 175, pp.1539–1556.
- 3) Chen, A., Zhou, Z. & Lam, W.H.K., 2011. Modeling stochastic perception error in the mean-excess traffic equilibrium model. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 45, No.10, pp.1619–1640.
- 4) Lam, W.H.K., Shao, H. & Sumalee, A., 2008. Modeling impacts of adverse weather conditions on a road network with uncertainties in demand and supply. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 42, pp.890–910.
- 5) Becker, G.S., 1965. A theory of the allocation of time. The Economic Journal, Vol. 75, No.299, pp.493–517.
- 6) Small, K. a., 1982. The scheduling of consumer activities: work trips. American Economic Review, Vol. 72, No.3, pp.467–479.
- 7) Fosgerau, M. & Karlström, A., 2010. The value of reliability. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 44, pp.38–49.
- 8) Fosgerau, M. & Engelson, L., 2011. The value of travel time variance. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 45, No.1, pp.1–8.
- 9) Uchida, K., 2012. A study on estimation methods for values of travel time and travel time reliability in road network. Proceedings of the 5th International Symposium on Transportation Network Reliability, pp.65–79.
- 10) Uchida, K., 2014. Estimating the value of travel time and of travel time reliability in road networks. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 66, pp.129–147.
- 11) Kidokoro, Y., 2006. Benefit estimation of transport projects—a representative consumer approach. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 40, No.7, pp.521–542.
- 12) Hjorth, K. et al., 2015. Estimating exponential scheduling preferences. Transportation Research Part B: Methodological. DOI: 10.1016/j.trb.2015.03.014
- 13) Varian, H.R., 1992. Microeconomic Analysis (Second Edition). W W Norton & Co Inc.
- 14) Stone, R., 1954. Linear Expenditure Systems and Demand Analysis: An Application to the Pattern of British Demand. The Economic Journal, Vol. 64, No.255, pp.511–527.
- 15) Cobb, C.W. & Douglas, P.H., 1928. A Theory of Production. American Economic Review, Vol. 18, No.1, pp.139–165.
- 16) 内田賢悦, 2010. 二酸化炭素排出量最小化原則に基づく均衡配分モデルの提案. 環境システム研究論文集, Vol. 38, pp.101–108.
- 17) 河野達仁 & 森杉壽芳, 2000. 時間価値に関する理論的考察—私的交通のケース—. 土木学会論文集, Vol. 639, pp.53–64.

(?)