

都市間高速道路新線開通による 旅行時間信頼性向上便益の算出

伊藤秀昭¹・倉内文孝²・古市英士¹・宇野伸宏³・西谷誠之⁴

¹正会員 (社) システム科学研究所 調査研究部 (〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル 小結棚町428)

E-mail: itou@issr-kyoto.or.jp

²正会員 岐阜大学准教授 工学部社会基盤工学科 (〒510-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

E-mail: kurauchi@gifu-u.ac.jp

³正会員 京都大学准教授 工学研究科 (〒615-8246 京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

E-mail: uno@trans-kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 西日本高速道路株式会社 関西支社京都工事事務所 (〒607-8034 京都市山科区四ノ宮泓37)

E-mail: m.nishitani.aa@w-nexco.co.jp

成熟社会を迎え、個人の移動に対する時間価値が大きくなっており、予期せぬ時間遅れに対する損失が莫大となっている。高速道路に対しても、ただ単に所要時間が短縮されるだけでなく、常に一定時間内に到達できるという安定的なサービスが求められている。一方で、我が国の高速道路整備効果においては、走行時間や渋滞損失時間を用いて道路のサービス水準の評価及び費用便益分析を行ってきた。今後は「何時までには確実に到着できるか」という所要時間信頼性による評価が必要といえる。本稿においては、スケジューリングアプローチによる旅行時間信頼性向上便益の算出方法を用い、第二京阪道路の開通前後を例として信頼性向上便益について算出した結果を報告する。

Key Words : 旅行時間信頼性, 便益評価, スケジューリングアプローチ

1. スケジューリングアプローチによる旅行時間信頼性向上便益の算出方法

(1) スケジューリングアプローチによる総移動コスト

スケジューリングアプローチでは、到着時刻を持つドライバーが所要時間の変動を考慮し、早着と遅刻のバランスを考慮して、出発時間選択を行う(図1)という仮定のもとに、定式化されている。つまり、(1)式が最小となる出発時刻を選択していることになる。

$$EC(t_d) = \alpha \int_0^{\infty} t f(t) dt + \beta \int_0^{t_d} (t_d - t) f(t) dt + \gamma \int_{t_d}^{\infty} (t - t_d) f(t) dt \quad (1)$$

移動時間コスト
早着時に発生する待ち時間コスト
遅刻時に発生する損失

$EC(t_d)$: 早着/遅刻時を考慮した総コスト

$f(t)$: 到着確率分布

t_d : 出発時刻 (実効旅行時間)

α : 移動時の時間価値 [円/分]

β : 早着時の時間価値 [円/分]

γ : 遅刻時の単位時間あたりの損失額 [円/分]

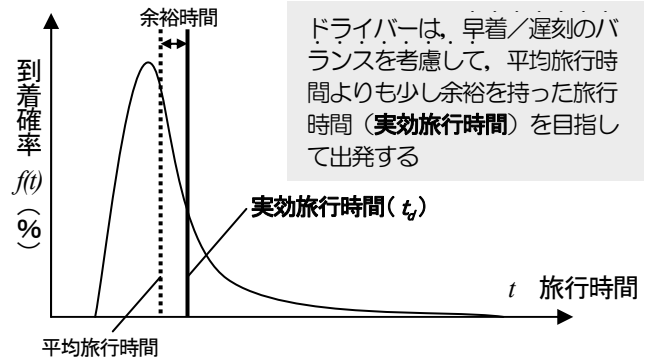


図1 到着確率分布と実効旅行時間

(2) α β γ の設定

a) α (移動時の時間価値) の設定

α は移動時間に掛かるコストであり、従来の費用便益分析で算出されている便益と同じものであると考えられる。費用便益マニュアルによると、時間価値原単位は、下記のとおり定義されている。

時間価値原単位は、自動車1台の走行時間が1分短縮された場合におけるその時間の価値(機会費用)を貨幣評価したものである。機会費用とは、ある選択肢を採る際に犠牲とされる費用(コスト)であり、実際に選ばれたもの以外の選択肢の中で、最も高い収益が得られる選択肢を選んだ場合の収益で測定される。

この定義は、今回の移動時間コストにも当てはまることから、 α は費用便益マニュアルの時間価値原単位（表1）を用いた。

表1 費用便益マニュアルによる時間価値（H20価格）

単位：円／分・台				
	乗用車	バス	小型貨物	大型貨物
時間価値	401	37427	4791	6418

b) β （早着時の時間価値）の設定

早着した場合の総コストは(2)式に示すとおり、旅行時間に対するコストと早着時間に対するコストに分けられる。ここで、早着時間は、旅行時間(t)と実効旅行時間(t_d)の差で表され、目標到着時刻までの待ち時間を示している。

$$EC = \alpha t + \beta(t_d - t) \quad (2)$$

旅行時間 t に対するコスト 早着時間 ($t_d - t$) に対するコスト

次に、 β の価値は早着時のドライバーの行動パターンにより大きく変化すると考えられる。例えば、予定時刻まで何もせず無駄な時間を過ごした場合は最も大きな損失となり、その価値は α と同値となる。逆に目的の活動を早く開始できた場合は早着時に発生する待ち時間コストは0となるが、現実には、両者の間には“目的の活動は開始できないが、早く着いた時間を有効に活用する”という層が存在し、その時間価値 β は「 $0 < \beta < \alpha$ 」と考えられる（表2）。

表2 想定されるドライバーの行動パターンと β の価値

行動パターン	β の価値	
予定時刻よりも早く目的の活動を開始する	早着による損失は無い ($\beta=0$)	小 ↑ ↓ 大
目的の活動は開始できないが、早く着いた時間を有効に活用	目的の活動が開始できないため、早着による損失が発生 ($0 < \beta < \alpha$)	
予定時刻まで何もせず無駄な時間を過ごす	旅行時間と同等の損失が発生 ($\beta=\alpha$)	

c) γ （遅刻時の単位時間あたりの損失額）の設定

遅刻した場合の総コストは(3)式に示すとおり、旅行時間に対するコストと遅刻時間に対するコストに分けられる。遅刻時間は、旅行時間(t)と実効旅行時間(t_d)の差で表される。

$$EC = \alpha t + \gamma(t - t_d) \quad (3)$$

旅行時間 t に対するコスト 遅刻時間 ($t - t_d$) に対する損失

ここで、 γ は遅刻時間に掛かる単位時間あたりの損失で、その価値は(1)式より導くことができる。

微分

$$\begin{aligned} \frac{d(EC(t_d))}{dt_d} &= -\gamma + (\beta + \gamma)F(t_d) \\ &\quad + (\beta + \gamma)t_d f(t_d) - (\beta + \gamma)t_d f(t_d) \\ -\gamma + (\beta + \gamma)F(t_d^*) &= 0 \\ \gamma &= \frac{-\beta F(t_d^*)}{F(t_d^*) - 1} \end{aligned} \quad (4)$$

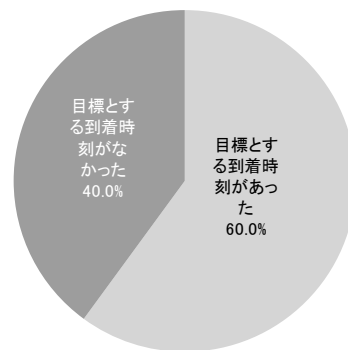
- γ : 遅刻時の単位時間あたりの損失額 [円／分]
- β : 早着時の時間価値 [円／分]
- $F(t)$: 到着確率分布の累積分布関数
- t_d^* : 最適出発時刻

(3)Webアンケートによるパラメータ設定

Webアンケートでは、名神高速道路及び京滋バイパスの利用者に対して、移動目的、目標とする到着時刻の有無、目標時刻に対する早着／遅刻状況、早着時の過ごし方等について尋ねており、その結果からスケジューリングモデルのパラメータを設定した。

a) 目標到着時刻の有無

目標到着時刻の有無（図2）を見ると、目標到着時刻を持つドライバーは全体の60%となっている。目標到着時刻を持たないドライバーは旅行時間信頼性が向上しても便益が発生しないため、便益の算出にあたっては除外する必要がある。



往路：N=2000
復路：N=2000

図2 目標時刻の有無（往復平均）

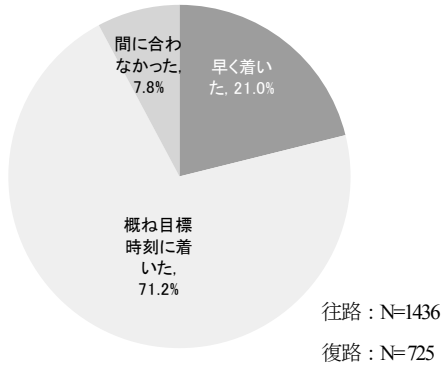


図3 目標時刻に対する早着/遅刻状況 (往復平均)

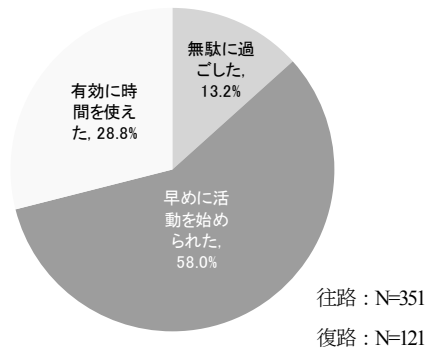


図4 早着時の行動パターン (往復平均)

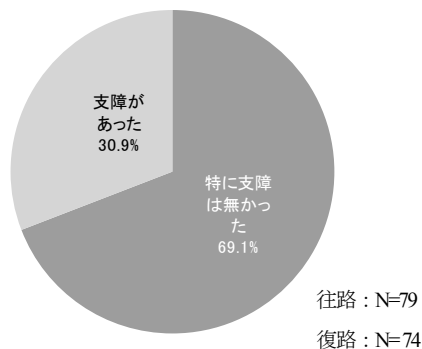


図5 遅刻時に支障の有無 (往復平均)

b) 実効旅行時間 (t_d) の設定

目標到着時刻を持つドライバーについて目標時刻に対する早着/遅刻状況 (図3) を見ると、「間に合わなかった (遅刻した)」は全体の7.8%となっており、92.2%は目標とする時刻に間に合っている。全てのドライバーが同じくらいの余裕を持って出発していると仮定すると、ドライバーは92.2%の確率で間に合うように出発していると考えられることから、実効旅行時間 (t_d) は旅行時間分布の92.2%タイル値と設定した。

c) 早着時の行動パターン

早着時の行動パターン (図4) を見ると、「無駄に過ごした ($\beta = a$)」は全体の13.2%、「早めに活動を始められた ($\beta = 0$)」は58.0%となっている。「(目的の活動は開始できないが) 有効に時間を使った」は28.8%で、この時の時間価値 β は「 $0 < \beta < a$ 」と考えられるが、ここでは「 $\beta = 0$ 」として便益の算出を行った。

d) 遅刻時の支障の有無

遅刻した際の支障の有無 (図5) を見ると、「支障があった」は全体の30.9%となっている。

2. 第二京阪開通による発生便益

(1) 対象期間及び対象区間

便益算出の対象期間は、

- ・2009/6/1~30 (第二京阪開通前) 平日：22日
- ・2010/6/1~30 (第二京阪開通後) 平日：22日

とし、平日を対象とした。対象区間は、交通量及び平均旅行時間の変化と便益額の関係を把握するため、交通量の変化が大きい4区間を対象とした (表3)。

表3 対象区間における交通量の変化

区間名	交通量 (台/日)		
	開通前	開通後	変化比
1.大山崎JCT→茨木	59,521	52,762	0.89
2.京都南→大山崎JCT	41,230	38,202	0.93
3.八日市→竜王	21,943	24,335	1.11
4.南郷→宇治東	18,998	23,538	1.24

(2) 旅行時間分布の変化

旅行時間は、本線上に設置されたトラフィックカウンターによって観測された5分毎の走行速度を用い、タイムスライス法により算出した。また、旅行時間分布は1時間帯毎に集計を行っており、最大288個のサンプル ($24(h) \times 12(\text{sample}/h)$) から構成されている。なお、本研究では交通集中による旅行時間信頼性の変化把握を主眼にしているため、事故や工事によって渋滞が発生しているデータは除外して集計を行っている。

集計結果 (図6~図9) を見ると、旅行時間分布は交通量の増減に連動した変化をしており、「1.大山崎JCT→茨木」のように混雑の激しい区間ほど、その変化は大きなものとなっている。

(3) 便益の計算方法及び算出結果

便益は、開通前後の移動コストの差に交通量を乗じて算出した (式(5))。ただし、旅行時間短縮及び信頼性向上による恩恵を受けるドライバーは、「目標到着時刻があり、早着や遅刻をすると損失が発生する」ドライバーのみである。そのため、Webアンケート結果から得られた

- ・目標到着時刻を持つ割合 60.0%
- ・早着時に無駄に過ごす割合 13.2%

を用いて、全体の7.9% ($60.0\% \times 13.2\%$) において便益が発生すると仮定した。

$$B = (EC_{\text{開通前}} - EC_{\text{開通後}}) \times \text{開通前後平均交通量} \times \text{便益算定対象者の割合}(7.9\%) \quad (5)$$

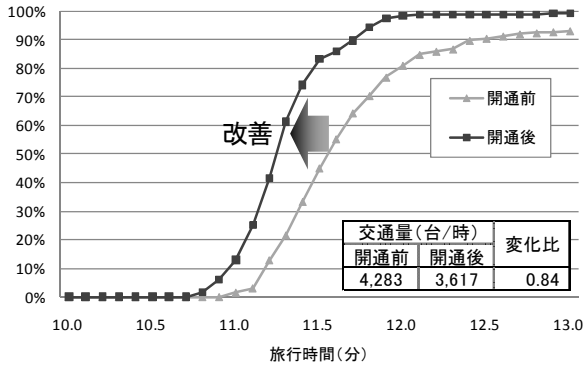


図6 旅行時間分布の変化 (1.大山崎 JCT→茨木17時台)

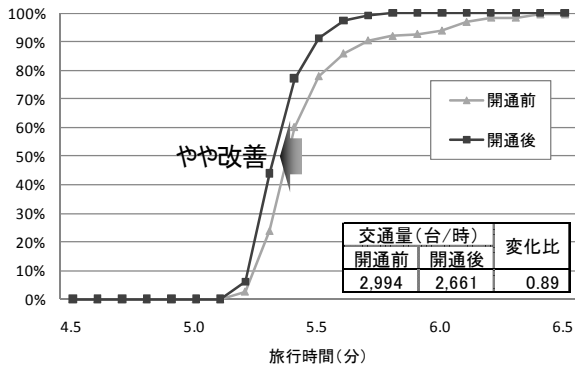


図7 旅行時間分布の変化 (2.京都南→大山崎 JCT 17時台)

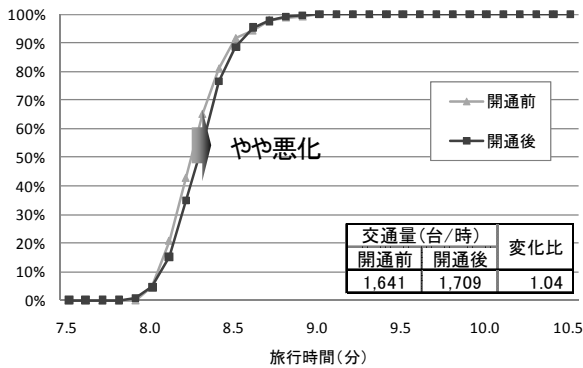


図8 旅行時間分布の変化 (3.八日市→竜王17時台)

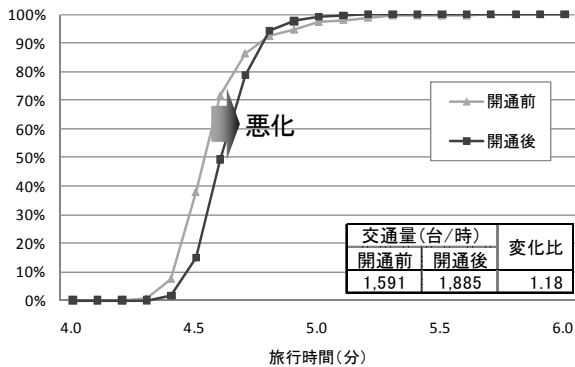


図9 旅行時間分布の変化 (4.南郷→宇治東17時台)

次に、開通前後の総移動コストについて、移動、早着、遅刻それぞれの内訳を把握するために数式を変形した。

まず、到着時刻制約があり、早着時に待ち時間を有効利用できないトリップに関する期待コストは、従前の研究結果^{*)}に示したとおり、

$$EC(t_d^*) = (\alpha - \beta)\mu + \beta t_l \quad (6)$$

となる。また、平均移動コストは

$$EC(t_d^*) = \alpha\mu \quad (7)$$

であることから、これらの差が早着と遅刻によるコストとなる。そこで、式(6)を以下のように変形すると、移動、早着、遅刻の各コストに分割することができる。

$$\begin{aligned} EC(t_d^*) &= (\alpha - \beta)\mu + \beta t_l \\ &= \alpha\mu - \beta\mu + \beta t_l \\ &= \alpha\mu - \beta\mu + \beta(t_d + \omega) \\ &= \alpha\mu + \beta(t_d - \mu) + \beta\omega \\ &= \underbrace{\alpha\mu}_{\text{移動時間}} + \underbrace{\beta(t_d - \mu)}_{\text{早着時に発生する時間コスト}} + \underbrace{(\beta + \gamma)P_l \cdot \omega}_{\text{遅刻時に発生するペナルティ}} \end{aligned} \quad (8)$$

移動時間
コスト

早着時に発生する時間コスト

遅刻時に発生するペナルティ

t_l : 遅刻時平均旅行時間

ω : 平均遅れ時間 ($t_l - t_d$)

以上の計算式より便益を算出した結果を図10に示す。

便益額が最も大きいのは「大山崎JCT→茨木」であるが、内訳を見ると旅行時間短縮便益はプラスであるが、旅行時間信頼性向上便益(早着+遅刻)はマイナスとなっている。これは、第二京阪開通に伴い交通量が減少したために平均旅行時間は短縮したものの、旅行時間のばらつきは以前よりも大きくなっていることを示している。

他の3区間は、旅行時間短縮による便益額と旅行時間信頼性向上便益の符号は同じとなっている。早着分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して0~15%程度、遅刻分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して8~33%となっている。

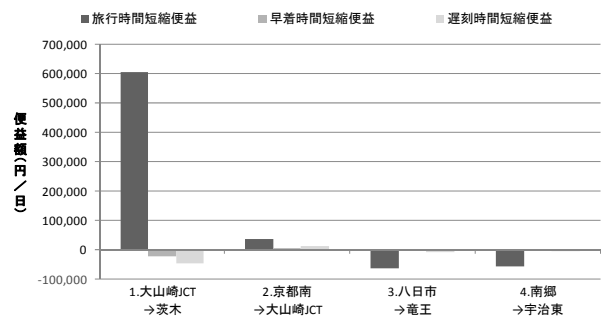


図10 便益算出結果 (6月)

3. 混雑期における第二京阪開通による発生便益

(1)対象期間及び対象区間

前節までは、比較的交通変動の少ない6月を対象として、第二京阪開通前後の便益について考察を行ったが、本節では、混雑期における便益の発生状況を考察するため、お盆時期を含む8月の平日データを用いて「大山崎JCT→茨木」区間の便益を算出した。なお、パラメータや集計方法は前節と同じものを用いた。

- ・2009/8/1～31（第二京阪開通前） 平日：21日
- ・2010/8/1～31（第二京阪開通後） 平日：22日

表4 対象区間における交通量の変化

区間名	交通量（台/日）		
	開通前	開通後	変化比
1.大山崎JCT→茨木	72,029	65,365	0.91

(2)旅行時間分布の変化

旅行時間分布は交通量が減少した影響もあり、大きく改善している（図11）。ただし、開通前後の交通量変化は6月よりも小さい（6月：▲16% 8月：▲8%）にも関わらず、旅行時間分布は6月よりも大きく改善している。これは、2009年のお盆時期には休日上限千円割引が木・金にも適用されたのに対し、2010年のお盆時期では暦通り（土・日のみ）の適用であったため（交通集中が少なかったため）である。

その結果、全般的には前年よりも混雑が改善しているが、一部の日（時間帯）では平日の料金割引が無くなったことにより、休日前後の時間帯に交通が集中したため（休日上限千円割引は、原則、出入り時刻の何れかが休日であれば適用される）、前年よりも混雑が悪化しており、その時間帯の所要時間が非常に大きいため t_d は悪化している（図12）。

つまり、「元々、混雑の激しかった区間及び時間帯において、全般的には混雑が緩和したものの、一部の時間帯ではむしろ混雑が悪化した」といったケースでは、平均旅行時間は変わらないが、 t_b 、 t_l のみが大きくなる可能性があることがわかる。

(3)便益の算出結果

便益の算出結果（図13）を見ると、 t_b 、 t_l の差が平均旅行時間の差に比べて大きくなったため、早着分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して23%、遅刻分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して57%と、6月の便益額に比べると大きくなっている。また、8月の総便益額は、6月に比べて約20倍となっており、混雑期の発生便益は非常に大きいものとなっている。

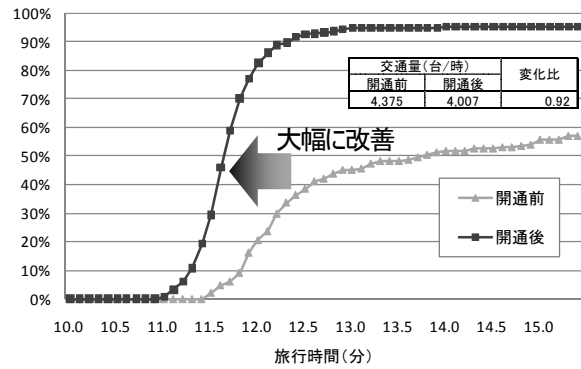


図11 旅行時間分布の変化（大山崎JCT→茨木17時台）

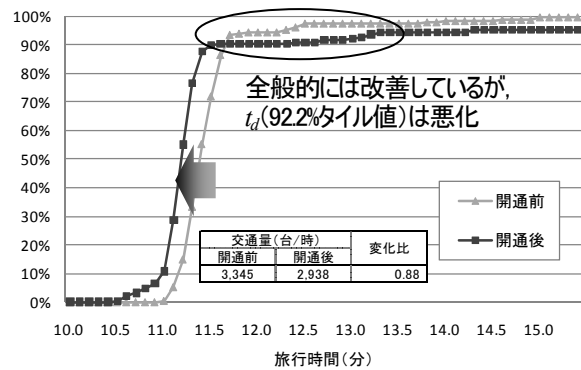


図12 旅行時間分布の変化（大山崎JCT→茨木11時台）

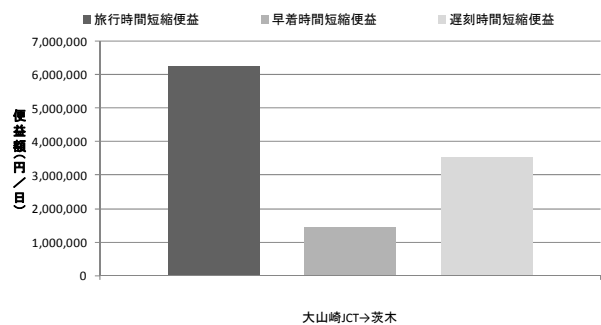


図13 便益算出結果（8月）

4. t_d の違いによる発生便益の比較

(1)対象期間及び対象区間

今回の便益算出では、Webアンケート調査から「ドライバーは旅行時間分布の92.2%タイル値を目指して出発している」と仮定して $t_d=92.2\%$ としたが、 t_d が変化することによる発生便益の変化について考察するため、表5に示す4ケースの t_d を用いて計算を行った。対象区間は「大山崎JCT→茨木」とし、8月のデータを用いた。

表5 検討ケース

目標時刻 (t_d)	備考
95.0%タイル値	試算1
92.2%タイル値	アンケートによる t_d
90.0%タイル値	試算2
85.0%タイル値	試算3

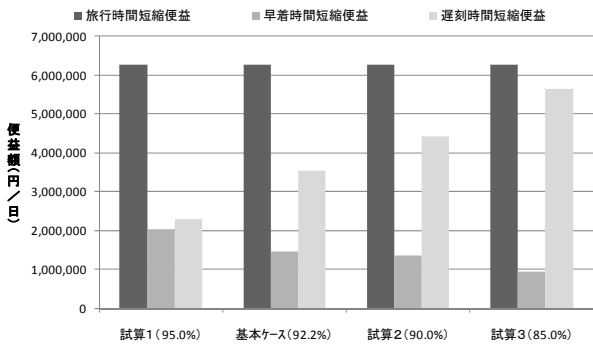


図14 便益の算出結果 (検討ケース別)

(2)便益の算出結果

便益の算出結果 (図 14) を見ると、目標時刻(t_d)の%マイル値が大きい (ドライバーの目標時刻がシビアになる) ほど、遅刻時間短縮便益は小さくなる。逆に85%マイル値の場合は遅刻時間短縮便益が旅行時間短縮便益の9割程度という結果になっている。85%マイル値と95%マイル値の結果を比較すると、遅刻時間短縮便益は約2倍、早着時間短縮便益は約半分という関係になっている。

5. まとめ

旅行時間信頼性による便益のうち、早着分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して0~15%程度、遅刻分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して8~33%であった。ただし、本研究の8月の例のように交通状況の変化が大きい場合は、早着分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して23%程度、遅刻分の便益額は旅行時間短縮便益額に対して57%と大きな数字となる。

旅行時間信頼性便益は、旅行時間分布の遅い方から数%のデータを使って、評価を行うため、料金割引等による交通条件の変化や特異事象の発生により便益額が大きく変化する。そのため、旅行時間データに混入したわずかな異常値が便益算出に大きな影響を及ぼすため、精緻なデータクリーニングが必要である。

旅行時間信頼性向上による便益額は、実効旅行時間 (目標時刻が旅行時間分布の何%マイルであるか) により大きな影響を受けていることから、旅行時間信頼性向上による便益を算出するにあたっては、より精緻な実効旅行時間の設定が必要である。

6. 今後の課題

(1)旅行時間信頼性向上の長期的な効果の検証

本研究では、旅行時間信頼性が向上による早着時の待ち時間の削減や遅刻による損失の減少といった短期的な効果を測定しているが、旅行時間信頼性の高い場所への物

流センターや工場等の移転効果等の長期的な効果も存在する。短期的な効果、長期的な効果の二つの視点を入れて分析を行うことで旅行時間信頼性向上効果の説得力が増すと考えられる。

(2)異常事象や休日等を考慮した旅行時間信頼性評価

本研究では交通集中による渋滞のみを対象としており、工事や事故による規制、通行止め等の異常事象は除外して分析を行っていることから、今後、異常事象も含めた旅行時間信頼性評価手法の検討が必要である。また、暦や料金、天候による影響を受けやすい休日における旅行時間信頼性評価手法の検討も必要である。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、NEXCO西日本・高速道路整備効果評価研究会 (会長：飯田恭敬京都大学名誉教授) にご参加の皆様より貴重なご意見・ご示唆を多数頂戴致しました。記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 山崎浩気, 倉内文孝, 宇野伸宏, 伊藤秀昭: 「旅行時間信頼性向上便益の算定方法に関する研究」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 38, CD-ROM, 2008
- (2) 倉内文孝, 伊藤秀昭, 古市英士, 宇野伸宏, 永田順宏, 田中哲也: 「スケジューリングアプローチによる新名神開通による旅行時間信頼性向上便益の算出」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 40, CD-ROM, 2009