安全性と利便性を考慮した無信号交差点環境の 総合評価のためのドライバー知覚コスト分析 ー車両走行実験を用いた運転挙動分析と知覚コストモデルー

加川 一輝¹・廣畠 康裕²・松尾 幸二郎³

¹ 学生会員 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail: k-kagawa@tr.ace.tut.ac.jp

² 正会員 豊橋技術科学大学大学院教授 工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail: hirobata@ace.tut.ac.jp

³ 学生会員 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail: k-matsuo@tr.ace.tut.ac.jp

無信号交差点において重大な交通事故が多々発生しており、事故防止のための様々な安全性対策が実施されている。それらの対策には、自動車ドライバーの利便性の低下を伴うものの、既往研究では対策評価において利便性をも考慮しているものは少ないと言える。そこで、本研究では、ドライバー視点からの安全性と利便性の両方を考慮した無信号交差点環境の評価を目的とし、車両走行実験により取得した運転挙動データをもとに、無信号交差点を通過するドライバーが安全性と利便性に関して知覚するコストを推定するモデルを構築した。さらに、そのモデルを実際の無信号交差点に適用することで、ドライバーがどれほどのコストを知覚しているのかを明らかにするとともに、交差点環境改善による対策効果の試算例を示した。

Key Words : *unsignalized intersections, driving behavior, drivers' perceived cost*

1. はじめに

近年、種々の交通安全対策や自動車性能の向上により、交通事故件数・死傷者数ともに減少傾向にある。しかし、それらの傾向は主に幹線道路で見られるものであり¹⁾、生活道路における事故減少率は小さく、その生活道路を構成する無信号交差点において重大な事故が多く発生している²⁾。また、無信号交差点では、交通量や、道路幅員、側方視距（交差点での左右の見通し距離）といった交差点環境により、事故多発交差点と呼ばれる危険な交差点が構成されることもある。

そのような中で、事故防止のための様々な対策がなされているが、それらの多くは事故件数減少や被害の低減を最終目標とし、具体的には個々の車両速度低下、ドライバーの運転集中度・危険認知率上昇などの安全性の向上を目的として実施されている。しかし、車両速度低下には時間損失の増大、運転集中度・危険認知率上昇にはドライバーの精神的負担の増大といった利便性の低下が伴う。つまり、一般に安全性と利便性はトレードオフ関

係にあり、お互い常に切り離せない存在であると言える。ところが、既往研究は、交差点の安全性向上効果に着目したものがほとんどであり、対策評価において利便性をも考慮した考察を行っている研究は少ない状況にあると言える。

そこで本研究では、ドライバー視点からの安全性と利便性の両方を考慮した無信号交差点の評価を行うことを目的として、まず、セーフティレコーダ搭載車両を用いた車両走行実験により得られた詳細な車両速度データをもとに、交差点通行時にドライバーがどのような行動をとるかを明らかにする。次に、その交差点付近での運転挙動を表す数値的な指標として超過時間を提案し、この指標を用いて、ドライバーが交差点通行の際に安全性と利便性に関して知覚するコストを推定するモデルを複数構築し、それらの適合性の検討を行う。さらに、そのモデルを用いて、実際の無信号交差点の通行に際してドライバーはどれほどのコストを知覚しているのか、また交差点環境の改善によってドライバーのコストがどれほど減少するのかを試算する。

2. 既往研究のレビュー

ドライバーの知覚安全性と知覚利便性のトレードオフ関係に着目して運転挙動の分析や交通環境改善策の評価を議論している既往研究はいくつか見られる。リスク・ホメオスタシス理論を提唱したWilde³⁾は、ドライバーがゼロよりも大きな事故リスク水準を有する挙動を選ぶ理由を説明する上で、「ドライバーは主観的な期待利得と期待損失の差が最大となるように行動を選択する」というモデルを提案している。しかし、あくまで概念を説明するための抽象的なモデルであり、特定の挙動への適用や数理モデルを用いた定量的な議論は行っていない。Jørgensen and Wentzel-Larsen⁴⁾は、「ドライバーは時間コストと主観的な事故コストの和である総運転コスト（金銭的成本）を最小にするように速度を選択する」とする数理モデルを構築した上で、カーブ区間における警告標識設置が客観的な安全性やドライバーの総運転コストに与える影響を分析している。このモデルの特徴は、客観的安全性コストとドライバーの主観的な安全性コストが明確に区別されているという点である。しかしながら、シミュレーションを用いたモデル適用に留まっており、現実のドライバーの挙動への適用には至っていない。鈴木ら⁵⁾は信号交差点における利用者の交錯リスクと遅れリスクを定義し、安全性と利便性を同時に表現可能な評価指標として、リスク評価値を提案している。さらに、観測データを用いてリスク評価値推計モデル構築した上で、信号交差点運用変更による効果の検討を行っている。

一方、著者ら^{6,7)}はこれまでに安全性と利便性に対するドライバーの主観的評価と社会的評価の関係を定性的に整理した上で、無信号交差点を対象としてビデオ観測調査を行い、知覚安全性と知覚利便性のトレードオフ関係を考慮した運転挙動モデルの構築を試みてきた。その結果、一定の知見を得ると同時に、無信号交差点において個々のドライバーの詳細な挙動を捉えるにはビデオ観測だけでは不十分であるという課題も挙げられた。従って、走行実験等を通して、加減速挙動も含めた詳細な挙動の分析を行う必要があると考えられる。

無信号交差点におけるドライバーの運転挙動の分析を行っている研究は著者らのもの⁸⁾を含めいくつかあるが、代表的なものの一つとして、Yamanaka and Mitaniの研究⁹⁾が挙げられる。Yamanaka and Mitaniは、実験車両を用いた走行実験により詳細な挙動データを取得し、それらの挙動と実際の事故発生件数と関連性を分析するとともに、一時停止支援システムの開発に取り組んでいる。しかしながら、それらの分析では安全性のみに着目しており、利便性とのトレードオフ関係についての議論はな

されていない。

そこで本研究では、ドライバーの知覚安全性と知覚利便性を同時に考慮した無信号交差点環境の評価を念頭におき、実験車両を用いた走行実験を通して詳細な運転挙動の分析を行う中で、知覚安全性と知覚利便性の両方に関わる運転挙動である超過時間の提案を行う。さらに、超過時間の選択に影響する交差点環境条件を明らかにし、それぞれの環境条件下におけるドライバーの知覚コストの推定を試みる。

3. 本研究におけるドライバー知覚コストモデルの概念

ドライバーは無信号交差点通行の際に、側方視距や道路幅員といった交差点環境条件から危険性を認知すると減速等の安全性を確保するための危険回避行動をとる。一方、ある時間内に目的地に到達する必要のあるドライバーは危険回避行動による時間の損失を避け、利便性を優先した走行を行う。つまり、ドライバーは危険を回避するという安全性と、危険回避による時間損失を避けるという利便性のトレードオフ関係を考慮した上で、総合的な意味での最適な運転挙動を行っていると考えられる。

そこで、無信号交差点を通行するドライバーが感じる、安全性と利便性の確保のために負担となる意識の大きさを貨幣尺度で推定するドライバー知覚コストモデルを構築する。ここで、安全性に関する知覚コスト（知覚安全性コスト）は運転挙動と交差点環境条件によって、また利便性に関する知覚コスト（知覚利便性コスト）は運転挙動とドライバーの時間価値との関数によって表されると考える（式(1)、式(2)）。また、このモデルにおけるドライバーの最適な運転挙動とは、知覚安全性コストと知覚利便性コストの和である知覚総コスト（式(3)）が最小となるような運転挙動のことであり、式(4)のように表される。すなわち、本研究では、無信号交差点通行の際に、ドライバーは常に知覚総コストが最小となる最適運転挙動をとると仮定している。

$$AC = AC(x, E) \quad (1)$$

$$DC = DC(x, w) \quad (2)$$

$$TC = AC + DC \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x^* &= \operatorname{argmin}(AC + DC) \\ &= \operatorname{argmin}[AC(x, E) + DC(x, w)] \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 AC ：知覚安全性コスト（Accident Cost）、 DC ：知覚利便性コスト（Delay Cost）、 TC ：知覚総コスト（Total Cost）、 E ：交差点環境条件、 w ：ドライバーの時間価値、 x ：運転挙動値、 x^* ：最適運転挙動値。

図-1 実験対象地区と車両走行実験コース

4. 車両走行実験および測量調査によるデータ取得

(1) 車両走行実験の概要

ドライバー知覚コストモデル構築に際して、無信号交差点通行時のドライバーの運転挙動値を取得するために車両走行実験を実施した。

実験対象とした交差点は、図-1に示す愛知県豊橋市の住宅地区における全19箇所の十字型無信号交差点（交差点2, 9は点滅信号あり）であり、全47進入方向の運転挙動データを計測した。そのうち優先側道路から交差点に進入する場合は23進入方向、非優先側道路から進入する場合は24進入方向であった。被験者数は5人（被験者A～E）で、いずれも免許取得後1年以上経過した本大学の学生（年齢22～24歳）である。

実験方法としては、各被験者がそれぞれ4走行（被験者Eは3走行）ずつ、フロントカメラ付属のセーフティレコーダ（datatec製、SRVideo/M68）と、両サイドにビデオカメラの取り付けられた自動車で実験コース（図-1）を走行するものである。なお、実験車両は各被験者所有の自動車とし、実験の際に普段と変わらない運転を心がけるように促した。走行経路は図中のスタート地点から実線矢印、破線矢印、点線矢印の順である。図中の丸で囲まれた番号は交差点番号であり、その周りにある番号は進入方向番号（下線付きは非優先側）を示し、それぞ

れ通過順に番号を振っている。実験コース内の道路はすべて一車線道路で東西に一方通行規制があり、相互通行道路と一方通行道路が混在している。また、いずれの道路においても速度規制はない。

ここで、優先側道路とは一時停止規制のない側の道路であるが、この道路には停止線が引かれており、徐行義務が課せられている。一方、非優先側道路とは一時停止規制のある側の道路であり、「止まれ」の路面表示および道路標識（進入方向9, 18, 35においては点滅信号）が設置されている。

(2) 交差点通行時の運転挙動データの特定と交通状況の確認

セーフティレコーダには、0.1秒ごとの車速パルスデータによる車速が記録されているが、これがコース上のどの地点における速度なのかを把握し、交差点付近のデータを特定する必要がある。そこで、車両のサイドに取り付けられたビデオカメラの録画画像をもとに、交差点進入タイミングを特定し、サイドカメラにおける時刻とセーフティレコーダにおける時刻とを同期させることにより、交差点通行時の車両挙動データ（交差点通行時の速度変化）を取り出した。ただし、交差点付近に歩行者や対向車両等の要因の存在により、ドライバーはこれら进行を避けるために交差点に対して斜めに進入することで、

サイドカメラが傾く場合があります、進入タイミングの誤差が大きくなる可能性がある。また、これらの要因はドライバーに減速・加速等の行動を促し、運転挙動に影響を与えていると考えられる。そのため、交差点通行時の交通状況を確認する必要がある。

そこで、フロントカメラとサイドカメラの録画画像をもとに交差点進入前後40m区間付近に、歩行者や対向車等の、交差点進入タイミングに誤差を生み、ドライバーの運転挙動に影響を与えると考えられる要因の有無を分類した。ここで、これらの要因のことを外的要因という言葉で定義する。外的要因が存在する場合の例を図-2に示す。

図-2 外的要因が存在する場合の例（フロントカメラ）

(3) 現地測量調査による交差点環境条件の取得

交差点環境条件として、ドライバーの運転挙動に影響を与えると考えられるもの計16項目（表-1）を設定し、現地におけるトータルステーションを用いた細部測量調査の実施により、これらを取得した。まず、細部測量により得られた基準点の座標を紙に打ち出して1/300の現地測量図を作成し、定規によって交差点環境条件の各項目の値の計測を行った。ここでの定規による計測は、0.5mm単位で行っており、実寸法に換算した場合には15cm単位の精度となっている。道路幅員と視距の測定基準については図-3のとおりである。ここで、実験車両が走行している道路を「通行道路」、通行道路と交差している道路を「交差道路」としている。

表-1 交差点環境条件の測定項目

測定項目	概要
通行車道幅員	通行している道路の車道幅員
通行路肩幅員(左)	通行している道路の交差点に向かって左側の路肩幅員
通行路肩幅員(右)	通行している道路の交差点に向かって右側の路肩幅員
交差道路幅員(左)	交差点に向かって左側の交差道路の幅員
交差道路幅員(右)	交差点に向かって右側の交差道路の幅員
交差点手前10m地点の視距(左)	交差点手前10m地点の交差点に向かって左方向の見通し距離
交差点手前10m地点の視距(右)	交差点手前10m地点の交差点に向かって右方向の見通し距離
交差点手前20m地点の視距(左)	交差点手前20m地点の交差点に向かって左方向の見通し距離
交差点手前20m地点の視距(右)	交差点手前20m地点の交差点に向かって右方向の見通し距離
交差点手前30m地点の視距(左)	交差点手前30m地点の交差点に向かって左方向の見通し距離
交差点手前30m地点の視距(右)	交差点手前30m地点の交差点に向かって右方向の見通し距離
カーブミラーの有無(左)	交差点に向かって左方向の交差道路を確認できるカーブミラーの有無
カーブミラーの有無(右)	交差点に向かって右方向の交差道路を確認できるカーブミラーの有無
交差点角の建物の有無(左)	交差点に向かって左側にある建物の有無
交差点角の建物の有無(右)	交差点に向かって右側にある建物の有無
一通規制の有無	通行している道路の一方通行規制の有無

5. 運転挙動分析

(1) 運転挙動の実態

a) 分析対象の決定

セーフティレコーダに記録された車両速度データをもとに、交差点進入手前40m地点から進入後40m地点までの運転挙動図（経過時間における速度の変化を示したグラフ）を進入方向ごとに作成し、分析対象とする進入方向の検討を行った。運転挙動図の例を優先側・非優先側に分けて図-4、図-5にそれぞれ示す。ここで、これらの図は一つの進入方向における全被験者・全実験回の運転挙動をまとめたものであり、優先側・非優先側をそれぞれ代表して進入方向3と5のデータを示す。

通行道路が非優先側の場合（図-4）に着目すると、外的要因が存在しない場合は運転挙動に規則性があり、交差点通行に伴う減加速の様子が顕著に表れている。なお、非優先側は一時停止規制がかかっているにも関わらず、速度が0になっていない車両が存在する。これは法律違反ではあるが、本研究はドライバーの運転挙動実態の分析を目的としているため、そのこと自体の是非は問題と

図-3 道路幅員および視距の測定基準

していない。一方で通行道路が優先側の場合（図-5）は、外的要因の有無に関わらず、被験者・実験回による相違が大きく非常に複雑であることが分かる。これらの場合については交差点環境条件が運転挙動に与える影響を明らかにすることは困難であると思われる。また、道路の優先・非優先による運転挙動の相違は他の進入方向にお

いても同様な傾向であった。

そこで、優先側道路から交差点に進入する場合を除き、非優先側道路から交差点進入する場合のみを分析対象とした。また、外的要因が存在する場合は、交差点進入タイミングの誤差も大きく、運転挙動も複雑であるため、この要因が存在するデータも除外した。ここで、全データ893のうち、外的要因が存在しない場合のデータは416であり、そのうち非優先側道路のデータは222であった。この222データを以降の分析に用いることとした。

b) 運転挙動の特性

分析対象とした進入方向（非優先側）の交差点手前地点における車両速度の変化状況を図-6に示す（交差点10は道路が斜めに交差しており、進入方向10および34における交差点進入タイミングは誤差が大きいので、これらのデータを除く22進入方向）。図から手前40～30m区間では速度が上昇する進入方向が存在することが分かる。これは交差点間隔の狭い進入方向においては、この区間ではまだ加速途中であることを示している。また、全体的な傾向としては手前20m地点から車両速度の減少量が大きくなっていることから、この地点を境に交差点の影響を受けはじめ、ドライバーは減速を開始すると考えられる。

一方、各被験者の交差点手前地点における車両速度の変化状況（図-7）に着目すると、被験者間でやや速度差が見られるものの、その差は交差点に近づくにつれて徐々に小さくなる傾向が見られる。このことより、交差点通過時の運転挙動の被験者特性による影響は小さいと考えられる。また、減速の状況においては被験者間でそれほど相違はないことが分かる。

(2) 超過時間の提案

a) 超過時間の定義

ドライバー知覚コストを構成する、交差点進入前後の運転挙動を数値的に示す指標として、超過時間を提案した（図-8）。これは、5. (1) b)で示した交差点手前20m地点からの減速度が大きくなっているという結果を考慮し、交差点進入手前20m地点の速度を基準として、この速度で交差点を通行するとした場合の交差点進入前後20m区間の所要時間を実際にこの区間に要した時間から差し引いて算出される。既往研究⁷⁾で運転挙動を表す指標として交差点進入時の区間速度が用いられているが、これは交差点進入前の挙動を示すものに過ぎなかった。そのため、本研究では無信号交差点進入前後の全体的な挙動を考慮した指標として超過時間を提案した。

b) 各交差点進入方向の超過時間の算出結果

分析対象とした各進入方向（非優先側）における超過時間算出値を図-9に示す。進入方向ごとに超過時間の値に大小関係が見られ、それぞれの交差点環境条件の違い

図-4 進入方向3（非優先側）の運転挙動

図-5 進入方向5（優先側）の運転挙動

図-6 交差点進入に伴う減速の状況（進入方向別）

図-7 交差点進入に伴う減速の状況（被験者別）

表-2 各進入方向の交差点環境条件および超過時間との相関係数

進入方向 番号	交差点 番号	超過時間 (s)	通行道路幅員(m)				交差道路幅員(m)			交差点手前の各地点の視距(m)									カーブミラーダミー		建物ダミー		一通 ダミー
			車道	路肩		合計	左	右	平均	10m地点			20m地点			30m地点			左	右	左	右	
				左	右					左	右	最小	左	右	最小	左	右	最小					
3	3	4.77	3.45	0.60	0.90	4.95	5.25	5.10	5.18	4.20	4.35	4.20	3.45	3.30	3.30	3.15	3.00	3.00	0	1	1	1	0
6	6	4.22	3.45	0.75	0.90	5.10	4.95	5.10	5.03	26.40	4.80	4.80	7.20	4.05	4.05	4.35	3.75	3.75	0	0	0	1	0
7	7	3.70	3.20	1.00	1.00	5.20	4.60	5.20	4.90	50.00	50.00	50.00	50.00	14.80	14.80	50.00	8.80	8.80	0	0	0	0	0
8	8	4.49	3.30	0.75	1.05	5.10	5.10	5.25	5.18	4.80	5.10	4.80	3.30	3.75	3.30	3.00	3.30	3.00	1	0	1	1	0
9	9	4.79	3.90	0.60	0.75	5.25	5.85	5.85	5.85	4.95	4.20	4.20	3.90	3.00	3.00	3.60	2.70	2.70	0	1	1	1	0
11	10	4.30	3.30	0.90	0.90	5.10	5.85	5.70	5.78	6.00	3.00	3.00	4.20	2.25	2.25	3.60	1.95	1.95	1	0	1	0	0
18	2	3.78	3.75	0.60	1.50	5.85	4.95	4.65	4.80	5.25	5.40	5.25	4.20	4.50	4.20	3.90	4.05	3.90	1	1	1	1	1
21	15	4.54	2.85	1.35	1.50	5.70	6.15	5.85	6.00	5.85	6.75	5.85	4.50	4.35	4.35	4.05	3.75	3.75	1	1	1	1	1
22	12	3.75	2.70	1.05	1.35	5.10	5.10	5.10	5.10	4.50	10.05	4.50	3.60	7.80	3.60	3.30	6.60	3.30	1	1	1	1	1
24	3	4.28	3.00	0.60	1.50	5.10	4.95	4.80	4.88	3.45	50.00	3.45	2.55	44.70	2.55	2.25	34.05	2.25	1	1	1	0	1
27	4	4.01	3.15	0.75	0.75	4.65	5.10	4.95	5.03	35.10	17.40	17.40	28.20	12.60	12.60	26.10	8.40	8.40	1	1	0	0	1
29	13	4.32	2.70	1.05	0.90	4.65	5.10	5.25	5.18	8.55	11.40	8.55	4.35	8.40	4.35	3.15	7.65	3.15	1	1	1	1	1
30	14	4.59	2.70	0.90	1.05	4.65	6.15	6.15	6.15	6.00	9.90	6.00	4.50	7.05	4.50	4.20	6.30	4.20	1	0	1	1	1
33	11	4.07	3.30	1.05	0.90	5.25	5.70	5.85	5.78	50.00	30.30	30.30	40.65	5.25	5.25	17.10	3.75	3.75	0	1	0	0	0
35	9	4.20	3.60	0.90	0.75	5.25	5.85	5.85	5.85	40.95	37.05	37.05	16.35	27.90	16.35	13.20	25.65	13.20	1	0	0	0	0
36	8	4.65	3.15	0.90	1.05	5.10	5.25	5.10	5.18	4.95	5.70	4.95	3.60	4.50	3.60	3.30	4.05	3.30	0	1	1	1	0
37	7	4.16	3.20	1.00	1.00	5.20	5.20	4.60	4.90	4.40	50.00	4.40	3.60	50.00	3.60	3.40	50.00	3.40	1	0	1	0	0
43	5	4.55	2.85	0.60	0.75	4.20	5.10	5.10	5.10	4.80	5.25	4.80	3.45	3.60	3.45	3.00	3.15	3.00	1	1	1	1	1
44	19	4.76	4.95	0.00	0.00	4.95	5.10	5.10	5.10	5.55	50.00	5.55	4.20	35.55	4.20	3.75	28.05	3.75	0	0	1	0	0
45	18	4.45	5.70	0.00	0.00	5.70	5.10	5.10	5.10	27.90	6.00	6.00	22.95	4.35	4.35	21.30	3.90	3.90	0	0	0	1	0
46	17	4.90	4.05	0.75	0.90	5.70	5.85	6.00	5.93	6.60	9.00	6.60	4.95	6.00	4.95	4.05	5.10	4.05	0	1	1	1	0
相関係数			0.29	-0.34	-0.36	-0.090	0.46	0.39	0.44	-0.49	-0.29	-0.49	-0.50	-0.13	-0.43	-0.50	-0.11	-0.36	-0.33	0.068	0.44	0.37	-0.27

が、ドライバーの運転挙動に影響を与えていることがうかがえる。なお、同一進入方向においても被験者による超過時間のばらつきが見られるが、本研究の目的は交差点が運転挙動に与える影響を明らかにすることであるため、被験者特性は考慮せず、進入方向別の全被験者平均値を用いることで、交差点環境条件の違いが超過時間に与える影響について分析するものとする。

c) 超過時間と交差点環境条件との関係

非優先側21進入方向における超過時間と交差点環境条件およびそれらの相関係数は表-2のとおりである。ここでの超過時間は全被験者平均値を用いており、各進入方向の固有の値として示している。また、カーブミラーや交差点角の建物の有無のような質的データはダミー変数とし、なしの場合を0、ありの場合を1としている。交差道路の幅員や視距において超過時間との相関係数が大きくなる傾向を示していることから、これらは運転挙動に影響を与える要因であることが分かる。

さらに詳しくドライバーの運転挙動に影響をおよぼす交差点環境条件は何であるのかを特定するために、超過時間を目的変数、交差点環境条件の各項目を説明変数として、ステップワイズ法を用いた重回帰分析を行った。その結果、全変数のうち値が有意な値となったものは表-3に示す4変数であった。交差道路幅員（平均）や交差点手前20m地点の視距（左）、カーブミラーダミー（左）は、交差点通行の際の安全確認時間に影響し、超過時間を変化させる要因として妥当であると考えられる。また、この結果からドライバーは交差点に向かって左方向を意識する傾向があることがうかがえる。通行している道路の幅員の広さは、通行時の走行性と関係があり、ドライバーの車両速度の選択に影響すると考えられるが、特に通行路肩幅員（右）の影響が大きいという結果であった。ステップワイズ法により除去された他の変数の中

図-8 超過時間の定義

図-9 各進入方向（非優先側）の超過時間

表-3 超過時間に影響を与える要因の重回帰分析結果

説明変数	偏回帰係数 (t値)
通行路肩幅員(右)E ₁	-0.285 (-2.27)
交差道路幅員(平均)E ₂	0.321 (3.23)
交差点手前20m地点の視距(左)E ₃	-0.0176 (-5.20)
カーブミラーダミー(左)E ₄	-0.276 (-2.75)
定数	3.24 (5.92)
決定係数R ²	0.76

サンプル数:21

にも、一般的にドライバーの運転挙動に影響を与える要因と思われるものが含まれていると考えられる。しかし、変数の組み合わせは無数に存在するため、本研究では統計的分析結果に基づき、上記の4つの交差点環境条件を、ドライバーの運転挙動に影響を与える主要因であるとする。

6. ドライバー知覚コストモデルの構築とコストの推定

(1) ドライバー知覚コストモデルの特定化

知覚コストおよび最適運転挙動の概念については3章で述べたが、運転挙動を示す指標として前章で提案した超過時間を用いると、ドライバーの知覚コストは超過時間によって図-10のように変化すると考えられる。この関係を関数化すると、ドライバー知覚コストモデルは式(5a)、式(6a)、式(7a)のように表される（いずれも第1項が式(3)におけるAC、第2項が式(3)におけるDCに対応している）。これらの3つのモデルより、知覚総コストが最小（ $dTC/dt=0$ ）となる最適超過時間は、それぞれ式(5b)、式(6b)、式(7b)のように導かれる。ドライバー知覚コストモデルは、知覚安全性コストと知覚利便性コストの和として表されるが、このような関数形を仮定した根拠は以下のとおりである。

一般に無信号交差点通行の際の時間消費が大きいと、安全確認に要する時間が確保されるため、知覚安全性は向上すると考えられる。つまり、超過時間の増加によってドライバーの知覚安全性コストは減少すると考えることは妥当である。また、無信号交差点通行時の知覚安全性は、道路幅員や視距などの交差点環境条件の影響により変化すると考えられる（例えば、同じ超過時間で通行した場合でも見通しの悪い交差点では、見通しの良い交差点と比較して危険性が高いと考えられる）。これらのことを考慮して知覚安全性コストは、交差点環境条件の影響を受けつつ、超過時間とともに反比例的に変化する非線形関数を仮定した。ただし、その関数形については3つの案が考えられた。

一方、ドライバーの知覚利便性は、交差点通行に伴う時間消費の増大によって低下すると考えられる。このことは、一定時間以内に目的地に到着したいという状況下におけるドライバーの心理を考えると妥当な関係であると言える。知覚利便性コストにおいても、知覚安全性コストと同様に非線形関数である可能性を否定できないが、このことによって式展開が困難になり、パラメータ数も増える。そこで本研究では、簡単化のために知覚利便性コストは、時間価値を係数として超過時間とともに直線的に変化する線形関数を仮定した。

図-10 超過時間と知覚コストの関係の概念図

● モデル1：

$$TC = e^{-\alpha_1 t + \sum \beta_{1i} \cdot E_i + \gamma_1} + w \cdot t \quad (5a)$$

$$t^* = \sum \frac{\beta_{1i}}{\alpha_1} E_i - \frac{1}{\alpha_1} \left[\ln \left(\frac{w}{\alpha_1} \right) - \gamma_1 \right] \quad (5b)$$

● モデル2：

$$TC = e^{-(\alpha_2 + \sum \beta_{2i} \cdot E_i)t + \gamma_2} + w \cdot t \quad (6a)$$

$$t^* = \frac{1}{\alpha_2 + \sum \beta_{2i} \cdot E_i} \left(\gamma_2 - \ln \frac{w}{\alpha_2 + \sum \beta_{2i} \cdot E_i} \right) \quad (6b)$$

● モデル3：

$$TC = \frac{\sum \beta_{3i} \cdot E_i + \gamma_3}{t^{\alpha_3}} + w \cdot t \quad (7a)$$

$$t^* = \left[\frac{\alpha_3}{w} (\sum \beta_{3i} \cdot E_i + \gamma_3) \right]^{\frac{1}{\alpha_3 + 1}} \quad (7b)$$

ここに、

E_i ：交差点環境条件に関する i 番目の説明変数

t ：超過時間

t^* ：最適超過時間

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ：パラメータ

(2) モデルの適合度の検討およびパラメータ推定結果

式(5b)、式(6b)、式(7b)を用いて、超過時間を目的変数とし、説明変数としては5章に示す重回帰分析結果をもとに、通行路肩幅員（右） E_1 、交差道路幅員（平均） E_2 、交差点手前20m地点の視距（左） E_3 、カーブミラーダミー（左） E_4 の4項目を採用して（時間価値は所与で、簡単化のために、50円/（分・台）を秒単位に換算して0.83円/（秒・台）という値を用いている）非線形回帰分析

を行い、各モデルの決定係数 R^2 を求めた(表-4)。ここで、いずれのモデルにおいても、変数の数に対してパラメータ数が多いため、各パラメータのうちの1つを固定させる必要がある。

そこで、各モデルにおける α_1 、 α_2 、 α_3 の値を順次変動をさせながら、他のパラメータの推定を行った。モデル1は、 α_1 の固定値による決定係数 R^2 の変動がなく、モデル2は、 α_2 の固定値と決定係数 R^2 との関係が明確でなかった。そのため、モデル1およびモデル2においては、 α_1 、 α_2 の固定値として妥当な値を推定することは困難であると言える。一方で、モデル3においては、 $\alpha_3=1.0$ としたときの決定係数 R^2 が最大になったことから、この値は固定値として妥当な値であると考えられる。また、モデル3における α_3 は最適運転挙動時の知覚安全性コストと知覚利便性コストの比を示すパラメータであるが、この値が1.0という値に推定されたことから、ドライバーは無信号交差点通行時に、知覚安全性と知覚利便性について同程度の意識を持っていると考えられる。今回提案したモデルの中ではモデル1とモデル3の $R^2=0.76$ が最大値であったが、以下では、モデルの解釈・取り扱いの容易さからモデル3について検討する。モデル3のパラメータ推定結果を表-5に示す。重回帰分析での結果と同様に、モデル3においても、用いた変数の t 値はすべて有意な値を示している。

(3) 知覚コストの推定

モデル3を適用した場合の平均的な交差点環境条件を持った進入方向での超過時間に対する各知覚コストの変化状況は図-11のとおりであり、交差点での時間消費が少ないほど知覚安全性コストが大きく増大することが示される。分析対象とした進入方向別の知覚総コスト(図-12)を見てみると、無信号交差点を通行する際に平均的なドライバーは1走行当たり7円程度の総コストを知覚しており、各進入方向の交差点環境条件の違いによってその値は2円程度変動することが分かる。なお、モデル3で $\alpha_3=1.0$ に固定しているため、同一進入方向におけるACとDCは同じ値になっている。

(4) 環境改善効果の試算

本研究で構築したドライバー知覚コストモデルを用いることで、交差点環境条件が改善された場合の効果について、定量的にとらえることが可能となる。例として、交差点手前20m地点における左方向の視距が現状値から一定値に拡大された場合(すでに現状値が一定値以上の場合は拡大しない)の効果について表したグラフを図-13に示す。視距を50m以上にすることで、1走行あたり最大1.5円程度の知覚コストが減少する進入方向が存在することが確認される。仮に1日にこの進入方向から500

表-4 各モデルの決定係数

	モデル1	モデル2	モデル3
決定係数 R^2	0.76	0.51	0.76

サンプル数:21

表-5 モデル3のパラメータ推定結果

説明変数	偏回帰係数 (t値)
通行路肩幅員(右) E_1	-2.07 (-2.26)
交差道路幅員(平均) E_2	2.26 (3.11)
交差点手前20m地点の視距(左) E_3	-0.122 (-5.30)
カーブミラーダミー(左) E_4	-2.02 (-2.73)
定数	8.04 (1.99)
決定係数 R^2	0.76

サンプル数:21

図-11 超過時間に対する各知覚コストの変化状況 (モデル3)

図-12 進入方向別の知覚コスト推計値 (モデル3)

台の自動車が交差点に進入しているとすると、知覚総コストは、1年間で合計約30万円程度減少することが示される。このように、ドライバーの知覚総コストは貨幣単位で推定されるため、環境改善に要する費用とそれによって減少したドライバーの知覚コストを比較することで、対策事業の妥当性を検討する指標として用いることができると考えている。

図-13 視距拡大による知覚総コストの減少量

7. おわりに

本研究では、まず、ドライバー視点からの安全性と利便性の両方を考慮した無信号交差点の評価を行うべく、車両走行実験を用いた詳細な運転挙動分析により、ドライバーは無信号交差点通行の際にどのような挙動をとっているのかを明らかにした。次に、運転挙動を数値的に示す指標として提案した超過時間と交差点環境条件の関係の分析に基づき、知覚コストモデルの構築を行った。そして、本モデルを実際の無信号交差点に適用することにより、ドライバーがどれほどのコストを知覚して無信号交差点を通行しているのかを算出するとともに、交差点環境条件が改善された場合の効果を、貨幣尺度の試算例で示した。

しかしながら、本研究でのモデル構築には、車両走行実験により得られたデータを用いている。このときのドライバーは、特に急いだ運転を行う目的がないため、普段と比べれば、利便性よりも安全性を意識した運転挙動をとっている可能性がある。そこで、今後は観測調査の実施により、実際に無信号交差点を通行しているドライバーの運転挙動データを取得し、これをもとにしたパラメータ推計を行いたい。また、今回、分析を行ったのは、外的要因がない場合といった限定的条件におけるものであるため、これらの要因を考慮したモデルの構築が必要であると考えている。さらに、本研究で評価を行ったのは、非優先側から交差点に進入する場合のみであるため、今後は優先側から進入する場合についてもパラメータ推定を行い、一時停止規制の影響について検討したい。

参考文献

- 1) 伊藤克広, 本田肇, 高橋治, 金子正洋: 生活道路における狭さく速度抑制効果に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 41, CD-ROM, 2010.
- 2) 警視庁, 国土交通省: 交通安全マップ～交通事故統計情報提供, <http://www.kotsu-anzen.jp/>
- 3) Wilde, G. J. S.: Risk homeostasis theory and traffic accidents: propositions, deductions, and discussion of dissension in recent reactions, *Ergonomics*, Vol. 31, pp. 441-468, 1988.
- 4) Jørgensen, F. and Wentzel-Larsen, T.: Optimal use of warning signs in traffic, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 31, Issue 6, pp. 729-738, 1999.
- 5) 鈴木弘司, 藤田素弘, 小塚一人, 串原善之: 利用者のリスクテイキング/回避行動を考慮した信号交差点の運用評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 22, No. 4, pp. 853-862, 2005.
- 6) 松尾幸二郎, 廣島康裕, 中西仁美: 安全性と利便性のトレードオフ関係を考慮した安全対策評価のための運転挙動分析モデル, 土木計画学研究・論文集, Vol. 25, No. 4, pp. 989-996, 2008.
- 7) Matsuo, K. and Hirobata, Y.: An analysis on the driving behavior considering the trade-off between safety and travel utility, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 8, pp. 2080-2094, 2010.
- 8) 伊藤孝祥, 廣島康裕, 村田直樹: 住居系地域内の無信号交差点における車両挙動を考慮した交通事故件数の因果構造分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 21, No. 4, pp. 853-860, 2004.
- 9) Yamanaka, H. and Mitani, T.: Vehicle behavioral safety assessment for unsignalized small intersections to evaluate collision avoidance system, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 2667-2675, 2005.

(2011. 2. 25 受付)

ESTIMATION OF DRIVERS' PERCEIVED COST OF SAFETY AND DELAY: EVALUATING DRIVING ENVIRONMENT AT UNSIGNALIZED INTERSECTIONS

Kazuki KAGAWA, Yasuhiro HIROBATA and Kojiro MATSUO

Since many serious traffic accidents have occurred at unsignalized intersections, various counter-measures of traffic accidents have been conducted. Although those measures have the negative effects on the drivers' travel utility, there have been a few studies which consider those effects in the evaluation of the plans of the measures. This study aims to evaluate the driving environment of the unsignalized intersections from the driver's viewpoint considering both safety and travel utility, and it constructs a conceptual model which estimates users' perceived cost of driving. For this purpose, test drivers data are collected and driving behavior are analysed. Then, the parameters of the specific models are estimated, and the best model will be applied to the estimation of the drivers' perceived cost at different environment conditions.