

# 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車両走行実験分析\*

## Comprehensive Evaluation of the Driving Environment at Unsignalized Intersections Based on the Test Drivers Behavior Data\*

加川一輝\*\*・廣島康裕\*\*\*・松尾幸二郎\*\*\*\*

By Kazuki KAGAWA\*\*・Yasuhiro HIROBATA\*\*\*・Kojiro MATSUO\*\*\*\*

### 1. はじめに

わが国には、信号のない交差点（以下無信号交差点）が住宅地や市街地に数多く存在し、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）といった様々な交差点環境により、事故多発交差点と呼ばれる危険な交差点を構成することもある。そこで、事故防止のための様々な対策がなされているが、それらの多くが事故減少や被害者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であり、お互い常に切り離せない存在であると言える。しかし、交差点を対象とする既往研究では、交差点の安全性向上効果に着目した研究がほとんどで、対策評価において利便性をも考慮している研究は少ない状況にある。

そこで本研究では、安全性と利便性の両方を考慮した無信号交差点の総合的な評価を行うことを目的として、まず、ドライブレコーダを用いた走行実験により得られた詳細な車速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示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安全性と利便性の確保のために交差点通行の際に知覚するコストを算出するモデルを複数構築してそれぞれ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がどれほどのコストを知覚しているのか、また、その値が交差点環境条件に応じてどれほど異なっているのかを把握する。

\*キーワード：無信号交差点、運転挙動

\*\*非会員、豊橋技術科学大学建築・都市システム学専攻

\*\*\*正会員、豊橋技術科学大学建築・都市システム学系

\*\*\*\*学生会員、豊橋技術科学大学環境・生命工学専攻

(愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1、

TEL0532-44-6833、FAX0532-44-6831)

### 2. 車両走行実験

実験対象とした交差点は愛知県豊橋市の住宅街における17箇所の十字型無信号交差点で、全43進入方向の運転挙動データを計測した。被験者数は5人（被験者A～E）でそれぞれ4回（被験者Eは3回）ずつ、セーフティレコーダとビデオカメラ（フロント、両サイド）の取り付けられた自動車で実験コース（図-1）を走行して、車両速度データを記録させた。実験車両は各被験者所有の自動車で、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。

実験終了後にサイドのビデオカメラの録画映像をもとにして交差点進入タイミングの時刻を調べ、セーフティレコーダと同期することで、交差点進入前後での運転挙動データを取得した。また、交差点進入前後40m付近の範囲において、交差点環境条件以外の運転挙動に影響を与える外的要因（対向車や歩行者等）の有無を分類わけした。

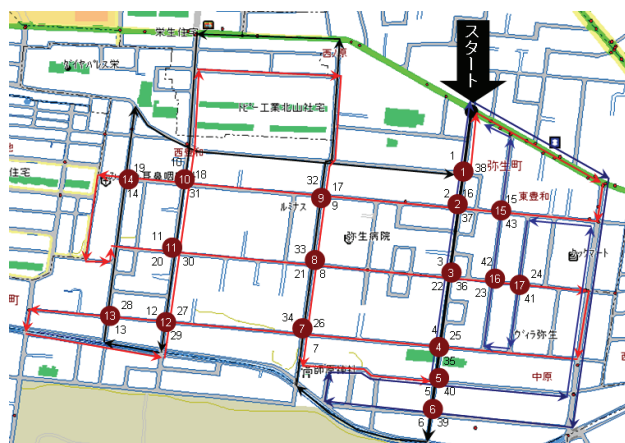


図-1 走行実験コースと交差点進入方向番号

### 3. 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速パルスデータをもとに、交差点進入手前40m地点から進入後40m地点

までの経過時間における速度の変化を示したグラフを交差点進入方向ごとに作成し、分析対象とする交差点進入方向の検討を行った。例として、交差点進入方向 3（非優先側）と交差点進入方向 5（優先側）の運転挙動を図-2、図-3にそれぞれ示す。

2つの図を比較すると、通行道路が非優先側である場合は運転挙動に規則性があるのに対して、通行道路が優先側の場合には被験者・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。また、外的要因がある場合は非優先側と優先側のどちらにおいても複雑な運転挙動をとっている。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のは困難であると思われる。そこで、本研究ではこれらの場合を除いた、非優先側道路から交差点進入する場合の外的要因がないときの運転挙動についてのみ分析を行うこととした。

b) 各交差点進入方向における運転挙動の特性

全体的な傾向として手前 20m 地点からの減速が大きくなっていることが分かる（図-4）。また、各地点において速度の変動係数が最大なのは手前 0m 地点の速度で、最小なのは手前 20m 地点の速度であった。このことより、交差点手前 20m 地点から交差点進入直前までの範囲における運転挙動が、交差点環境条件の影響によって大きく変動させられていると考えられる。

c) 各被験者の運転挙動の特性

被験者間で速度差があるものの、減速の様子においてはそれほど相違がない（図-5）。また、速度の変動係数が最大となるのは交差点進入方向別で比較したときと同様に交差点手前 0m 地点の速度であったが、その値は被験者別で見たときの方が小さい値であった。つまり、運転挙動は、被験者個々の運転挙動の特性の違いによる影響よりも、交差点の環境条件の違いによる影響を強く受けているということが言える。

(2) 超過時間の提案

a) 超過時間の定義

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-6）。これは、交差点進入方向間の変動係数が最も小さい交差点進入手前 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<sup>1)</sup>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。今回提案した超過時間は交差点進入前後の全体的な挙動を考慮している点で優れた指標であると考えられる。

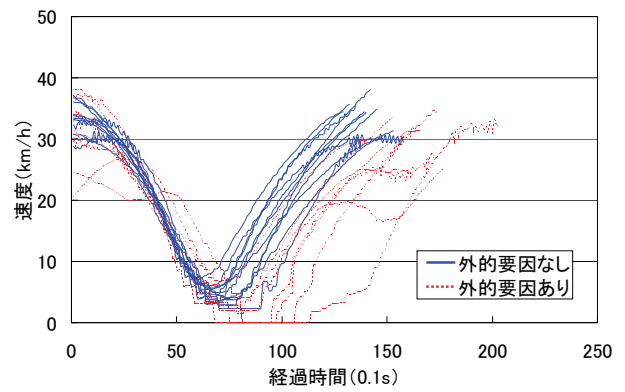


図-2 交差点進入方向 3（非優先側）の運転挙動

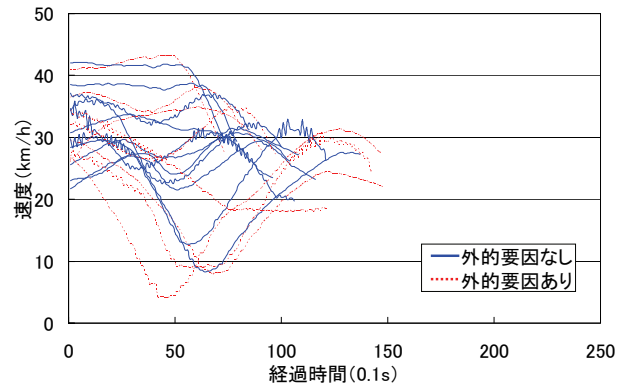


図-3 交差点進入方向 5（優先側）の運転挙動

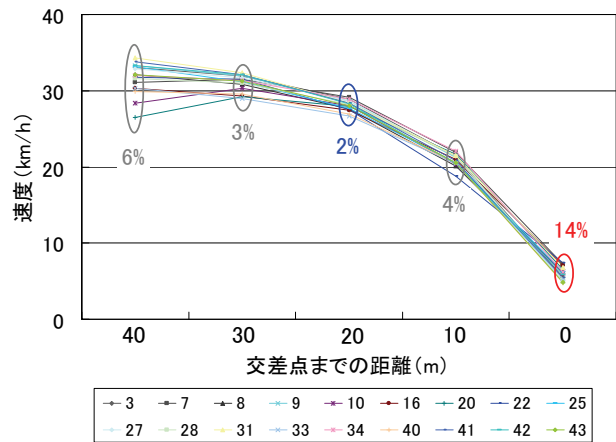


図-4 交差点進入に伴う減速の様子（進入方向別）

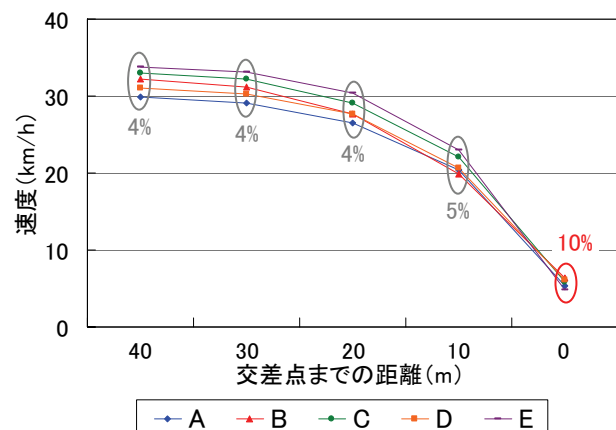


図-5 交差点進入に伴う減速の様子（被験者別）

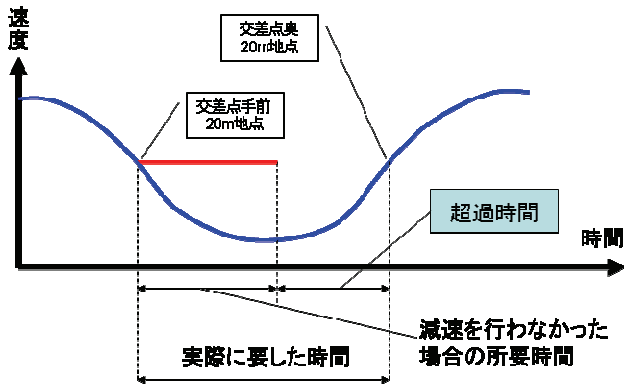


図-6 超過時間の定義

b) 超過時間の算出結果および交差点環境条件との関係

各交差点進入方向における超過時間と環境条件およびそれらの相関係数は表-1のとおりである。ここでの超過時間は全被験者平均を用いており、各交差点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。

それぞれの交差点環境条件の違いによって超過時間の値の大小が存在していることが分かる。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単回帰分析を行うと有意となる変数は交差道路幅員と交差点手前10m地点における視距の2項目のみであり、これらが無信号交差点通行時の運転挙動に特に影響を与えていると考えられる。

4. 運転挙動決定モデルの構築とドライバー知覚コストの推定

(1) 運転挙動決定モデル

ドライバーは交差点通行の際に、側方視距や道路幅員といった交差点環境条件を認知し危険性を知覚すると、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、交差点通行時の安全性と利便性を貨幣尺度で評価するためのドライバー知覚コストモデルを構築する。ここでは安全性知覚コストは運転挙動と交差点環境条件、利便性知覚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、安全性知覚コストと利便性知覚コストの和である総知覚コスト(式(3))が最小となるような運転挙動のことで式(4)のように表される。

表-1 各交差点進入方向の超過時間および環境条件

交差点進入方向	超過時間(s)	通行道路幅員(m)	交差道路幅員(m)	交差点手前地点からの視距(m)			カーブミラー		交差点角の建物		一連規制
				手前10m	手前20m	手前30m	左	右	左	右	
3	4.62	4.95	5.18	4.20	3.30	3.00	0	1	1	1	0
7	3.63	5.20	4.90	50.00	14.80	8.80	0	0	0	0	0
8	4.37	5.10	5.18	4.80	3.30	3.00	1	0	1	1	0
9	4.59	5.25	5.85	4.20	3.00	2.70	0	1	1	1	0
10	4.28	5.10	5.78	3.00	2.25	1.95	1	0	1	0	0
16	3.81	5.85	4.80	5.25	4.20	3.90	1	1	1	1	1
20	3.62	5.10	5.10	4.50	3.60	3.30	1	1	1	1	1
22	4.22	5.10	4.88	3.45	2.55	2.25	1	1	1	0	1
25	4.03	4.65	5.03	17.40	12.60	8.40	1	1	0	0	1
27	4.14	4.65	5.18	8.55	4.35	3.15	1	1	1	1	1
28	4.57	4.65	6.15	6.00	4.50	4.20	1	0	1	1	1
31	4.13	5.25	5.78	30.30	5.25	3.75	0	1	0	0	0
33	4.52	5.10	5.18	4.95	3.60	3.30	0	1	1	1	0
34	4.03	5.20	4.90	4.40	3.60	3.40	1	0	1	0	0
40	4.50	4.20	5.10	4.80	3.45	3.00	1	1	1	1	1
41	4.75	4.95	5.10	5.55	4.20	3.75	0	0	1	0	0
42	4.39	5.70	5.10	6.00	4.35	3.90	0	0	0	1	0
43	4.70	5.70	5.93	6.60	4.95	4.05	0	1	1	1	0
相関係数	-0.16	0.49	-0.49	-0.46	-0.43	-0.38	-0.04	0.36	0.28	-0.34	

$$AC = AC(x, E) \tag{1}$$

$$DC = DC(x, w) \tag{2}$$

$$TC = AC + DC \tag{3}$$

$$x^* = \arg \min(AC + DC) \\ = \arg \min[AC(x, E) + DC(x, w)] \tag{4}$$

AC: 安全性知覚コスト (Accident Cost)

DC: 利便性知覚コスト (Delay Cost)

TC: 総知覚コスト (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

(2) 知覚コストモデルの特定化

本研究では、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、交差点環境条件としては超過時間と特に関係性が強い交差道路幅員と交差点手前10m地点の視距の2項目を採用した。

一般に超過時間は安全性知覚コストと反比例的な関係で、逆に利便性知覚コストは比例的な関係であると考えられる。そこで、利便性知覚コストは時間価値を係数として超過時間によって直線的な変化を示すと仮定した。安全性知覚コストにおいては環境条件の影響を受けつつ、超過時間に対して曲線的な変化を示すと考えたが、その形状について3つの案が挙げられた(式(5a)、式(6a)、式(7a))。それらに総知覚コスト最小化の概念を用いると、最適超過時間はそれぞれ式(5b)、式(6b)、式(7b)のように展開することができる。

◆モデル①

$$TC = e^{-\alpha t + \beta_1 \cdot E_1 + \beta_2 \cdot E_2 + \gamma} + w \cdot t \quad (5a)$$

$$t^* = \frac{\beta_1}{\alpha} E_1 + \frac{\beta_2}{\alpha} E_2 - \frac{1}{\alpha} \left[ \ln \left( \frac{w}{\alpha} \right) - \gamma \right] \quad (5b)$$

◆モデル②

$$TC = e^{-(\alpha + \beta_1 \cdot E_1 + \beta_2 \cdot E_2)t + \gamma} + w \cdot t \quad (6a)$$

$$t^* = \frac{1}{\alpha + \beta_1 \cdot E_1 + \beta_2 \cdot E_2} \left( \gamma - \ln \frac{w}{\alpha + \beta_1 \cdot E_1 + \beta_2 \cdot E_2} \right) \quad (6b)$$

◆モデル③

$$TC = \frac{\beta_1 \cdot E_1 + \beta_2 \cdot E_2 + \gamma}{t^\alpha} + w \cdot t \quad (7a)$$

$$t^* = \left[ \frac{\alpha}{w} (\beta_1 \cdot E_1 + \beta_2 \cdot E_2 + \gamma) \right]^{\frac{1}{\alpha+1}} \quad (7b)$$

$E_1$ : 交差道路幅員

$E_2$ : 交差点手前 10m 地点の視距

$t$ : 超過時間

$t^*$ : 最適超過時間

$\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$ : パラメータ

(3) モデルの適合度の検討およびパラメータ推定結果

時間価値を所与とし、超過時間を目的変数、交差点環境条件を説明変数として回帰分析を行い、各モデルの決定係数 ( $R^2$ ) を求めた (表-2)。今回提案した中ではモデル①とモデル③の  $R^2=0.442$  がともに最大であったが、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-3に示す。ここでは、 $\alpha$ の値を順次変化させながら他のパラメータの推定を行ったが、適合度が最大となったのは  $\alpha=1.0$  のときであった。また、時間価値  $w$  は簡単化のために、50 円/(分・台)を秒単位に換算して 0.83 円という値を用いている。これより、 $\gamma$ の有意性は低いものの、 $\beta_1, \beta_2$ は有意であることが分かる。

表-2 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	0.442	0.356	0.442

表-3 モデル③のパラメータ推定結果

$\beta_1$	$\beta_2$	$\gamma$
2.75 (2.31)	-0.0858 (-2.42)	1.48 (0.23)

注:  $\alpha=1.0, w=0.83$ に固定, 0内はt値を示す

(4) 知覚コストの推定

モデル③を適用した場合の平均的な環境条件を持った交差点での超過時間に対する各コストの変化状況は図-7のとおりであり、交差点での時間消費が少ないほど安全性知覚コストが大きく増大することが示された。

分析対象とした交差点進入方向別の各コスト (図-8) を見てみると、無信号交差点を通行することで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、安全性知覚コストと利便性知覚コストの構成はほぼ半々であることが分かる。

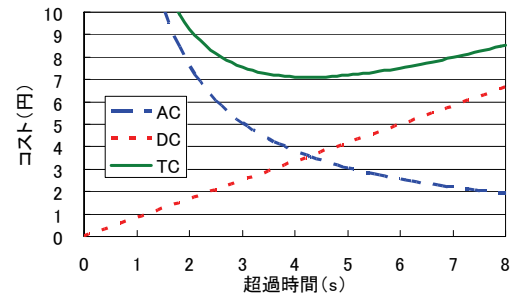


図-7 超過時間に対する各コストの変化状況 (モデル③)

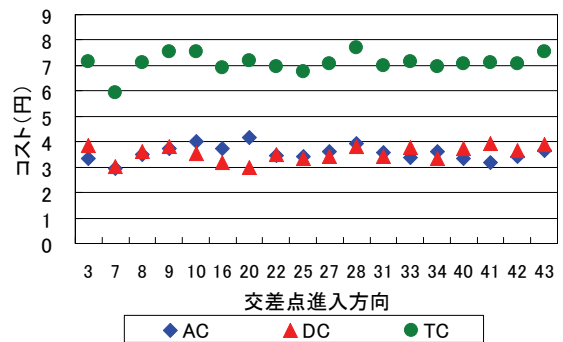


図-8 各交差点進入方向別のコスト推計値 (モデル③)

5. おわりに

本研究では、無信号交差点の安全性と利便性の両方を考慮した評価を行うべく、運転挙動を数値的に示す指標として提案した超過時間を用いて、交差点通行時の総知覚コスト最小化モデルを構築し、その結果を実際の交差点に適用することにより、ドライバーが無信号交差点通過時にどれほどのコストを知覚しているのかを明らかにした。

今回、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おいても運転挙動を数値化し、コストを算出することで両者の比較・検討を行いたい。

参考文献

- 1) 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, pp.989~996, 2008.