

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*

An Analysis on the Driving Behavior for the Evaluation of Traffic Safety Measures Considering the Trade-off between Safety and Travel Utility*

松尾幸二郎**・廣島康裕***・中西仁美****

By Kojiro MATSUO**・Yasuhiro HIROBATA***・Hitomi NAKANISHI****

1. はじめに

我が国の交通事故死者数は、平成8年以降は1万人を下回り、年々減少傾向にある。しかし平成18年中の事故件数は886,864件、死者数は6352人、負傷者数は100万人を超えており(1,098,199人)、依然として高い数値を示している¹⁾。

効果的かつ効率的な交通安全対策実施のためには、その対策の正確な評価が求められるが、そのためにはドライバーの運転挙動メカニズムを把握することが必要不可欠である。

一般にドライバーは、運転中にある危険性を認知した場合、その危険を回避すべく減速などの運転挙動を選択していると考えられる。例えば走行中において、見通しが悪ければ危険性が高いと認知し大きく減速するし、見通しがよければ危険性が低いと感じあまり減速しない。このように危険回避行動は、ドライバーの認知する危険性の程度に大きく依存していると考えられる。一方、「ある時間内に目的地に着く」というような目的を持って運転をしているドライバーにとっては、危険回避による減速などは出来るだけ避けたいものである。そしてその意識が強いほど、危険回避行動は疎かになってしまふと考えられる。すなわち、ドライバーは、危険を回避するという安全性と、危険回避による効用の減少を避けるという利便性とのトレードオフ関係を考慮したうえで総合的な意味での最適な運転行動を行っていると考えられる。従って、交通安全対策評価のためには、これらのトレードオフ関係下における運転挙動の分析が必要である。

しかしながら、これまでの交通安全に関する研究は安全性のみに注目したものが主であり、安全性と利便性を同時に取り扱って分析を行っているものはあまりない。

そこで本研究では、ドライバーが交通環境を認知してから危険回避のための判断・挙動に至るまでの行動を分

析するためのモデルとして、純効用最大化モデルを構築し、その適用性を検討することを目的とする。本モデルは、ドライバーが安全性と利便性とのトレードオフ関係を考慮した上で最適な運転挙動を起こすことを前提としている。

本稿ではモデル適用例の1つとして無信号交差点を取り上げ、観測調査によりデータを収集、分析を行うことを通じて、モデルの適用性や課題を検討する。

2. 既存研究のレビューと本研究の位置付け

Jørgensen²⁾らはカーブ区間における警告標識設置が安全性と総運転コスト(安全性と利便性を含めた金銭的成本)に与える影響を分析するための運転挙動分析モデルを適用している。このモデルの特徴は1)総運転コストが時間コスト(利便性)と事故コスト(安全性)の和で表されており、ドライバーは主観的総運転コストTC^sが最小になるような速度を選択していること、2)βパラメータによって、客観的な安全性とドライバーの主観的な安全性との明確な区別がなされているというところである。この研究では安全性と利便性の両方を考慮した交通環境の総合評価手法の検討を行っているが、あくまでドライバーの挙動を仮定したものであり、挙動モデル自体の実証には至っていない。

一方、山口ら³⁾、鈴木ら⁴⁾、中村ら⁵⁾は、信号交差点における利用者について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交差点指標として、リスク評価値を提案するとともに、観測データを用いて、リスク評価値推計モデルを構成するリスク事象発生確率、損失強度等を定量的に分析している。さらに、構築したリスク評価値推計モデルを用いて交差点運用変更による効果の検討やラウンドアバウトと信号交差点の性能比較に適用している。

本研究はこれら既存の研究を踏まえ、交通安全対策の総合的な評価の検討を行う前段階として、ドライバーの運転挙動メカニズムについて、安全性と利便性を同時に考慮した運転挙動分析モデルを構築し、実際に観測したデータを用いてモデルの適用性を検討するものである。

*キーワード：交通安全、運転挙動分析

**学生会員，豊橋技術科学大学 建設工学専攻

***正員，工博，豊橋技術科学大学 建設工学系

****正員，博(工)，豊橋技術科学大学 建設工学系

(愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1，

TEL 0532-44-6825, Fax 0532-44-6831)

3. 本研究における運転挙動分析モデルの概念

(1) 環境認知から運転挙動までの流れ

本研究ではドライバーが交通環境を認知してから運転挙動を起こすまでの流れを図-1のように想定する。

- 1) **環境認知**：まずドライバーは交通環境を認知する。
- 2) **リスク知覚**：環境を認知したドライバーは、そのまま車を進行させた場合の主観的な危険性を知覚すると考える。本研究ではこの主観的な危険性を「主観事故リスク」と呼ぶ。
- 3) **判断**：主観事故リスクを知覚したドライバーは、「主観事故リスク」と「運転効用」（そのまま車を進行させた場合の効用）の両方を考慮して、瞬時にどのような運転挙動を起こすべきかを判断すると仮定する。
- 4) **運転挙動**：判断の結果から挙動を起こす。運転挙動としては一般的に、速度や減速などが考えられる。本研究では、ドライバーは判断結果を正確に運転挙動に反映できるものと仮定する。

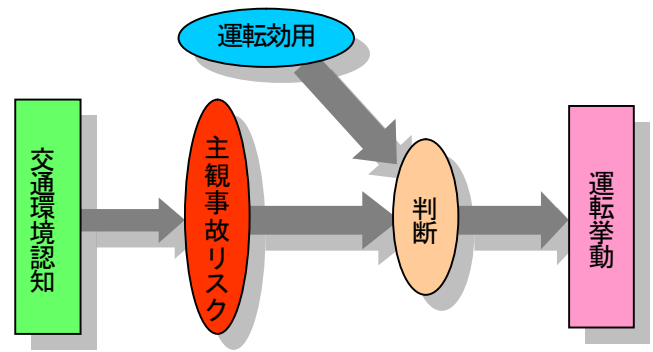


図-1 環境認知から運転挙動までの流れの仮定

(2) 主観事故リスクモデル

ドライバーが感じる主観事故リスク（主観的な事故確率と事故損失の大きさの積）の大きさは式(1)のように、運転挙動と交通環境の関数で表現されると考える。例えば速度が速くなる程主観事故リスクは一般に上昇するが、その関係は見通しの良さ、交通量等の交通環境条件にも依存する。このような主観事故リスクの変化状況を図-2に示す。

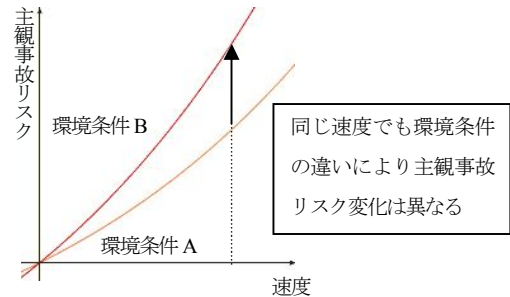


図-2 速度と主観事故リスクの関係

$$R = f(x, E) \quad (1)$$

R : 主観事故リスク

x : 運転挙動

E : 交通環境条件

(3) 運転効用モデル

運転効用は式(2)のように、運転挙動の関数で表されると考える。信号交差点等であればサイクル長等の環境条件にも影響されると考えられる。例えば速度が速くなるほど効用は増加するがその限界効用は逡減していく。このような効用の変化状況を図-3に示す。

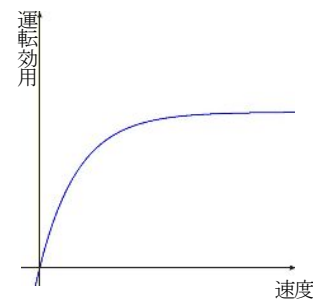


図-3 速度と運転効用の関係

$$U = f(x, (E)) \quad (2)$$

U : 運転効用

(4) 純効用最大化と運転挙動

ドライバーは式(3)、(4)のように、運転効用と主観事故リスクの差として形成される純効用を最大にするような最適運転挙動を選んでいると考える(図-4)。また、

図-5のように環境条件が異なり主観事故リスクが高くなると、ドライバーは速度を落とし安全運転しようとする。しかしながら、それに伴ってドライバーが感じる純効用も低下することになる。

$$N = U - R \quad (3)$$

$$x^* = \arg \max N \\ = \arg \max \{U(x, (E)) - R(x, E)\} \quad (4)$$

N : 純効用

x^* : 最適運転挙動

4. 運転挙動モデルの適用例

(1) モデル定式化

モデルの適用性を検討するために、無信号交差点における運転挙動に純効用最大化モデルを適用した。無信号交差点では停止・発進などの判断がドライバー任せにな

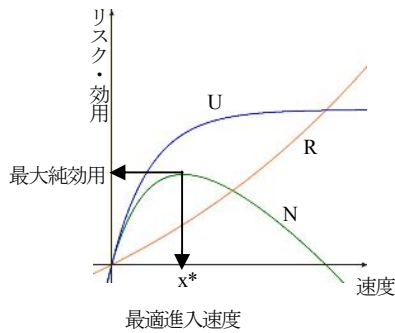


図-4 速度と純効用の関係

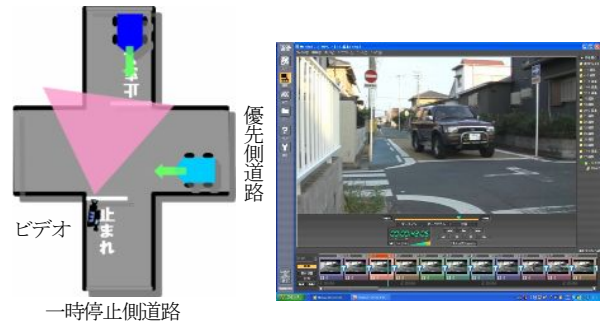


図-6 ビデオ観測方法

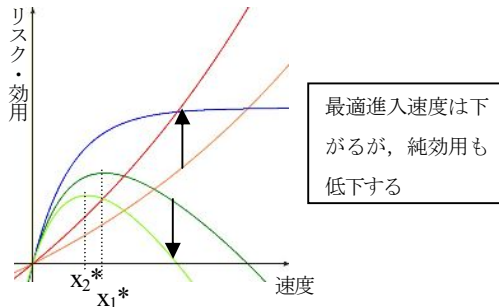


図-5 主観事故リスクの変化による純効用の変化

るため、ドライバーの判断に注目した本モデルを適用することは、十分に意義のあることであろう。

まずは無信号交差点に適用したモデルの定式化を行う。主観事故リスクと運転効用には式(5)、(6)のような指数関数を用いた。ここでは単純化のために運転挙動を交差点進入速度とし、説明変数となる交通環境条件を1つに限定している。

$$R = e^{\alpha x + \beta E} - e^{\beta E} \quad (5)$$

$$U = 1 - e^{-\gamma x} \quad (6)$$

x : 交差点進入速度

E : 交通環境条件

α, β, γ : パラメータ

運転効用 U と主観事故リスク R の差である純効用を最大にするような最適進入速度を式を展開して求めると、式

(7) のようになる。これらの係数をまとめると、式(8)が導かれる。これより、異なる環境条件下での挙動を観測することにより挙動を規定するパラメータの推定が可能となり、安全性と利便性の総合評価構造を知ることができる。

$$x^* = \arg \max(U - R) = \frac{-\beta}{\alpha + \gamma} \cdot E + \frac{1}{\alpha + \gamma} \cdot \log\left(\frac{\gamma}{\alpha}\right) \quad (7)$$

$$x^* = A \cdot E + B$$

ここに、

$$A = \frac{-\beta}{\alpha + \gamma} \quad (8)$$

$$B = \frac{1}{\alpha + \gamma} \cdot \log\left(\frac{\gamma}{\alpha}\right)$$

(2) 観測調査

定式化したモデルのパラメータを推定するために、条件の異なる複数の交差点において運転挙動の観測を行った。調査の概要は以下に示す通りである。

対象交差点 : 豊橋市内における無信号交差点 18 箇所。

観測方法 : 交差点の一時停止側一方向について車両をビデオカメラで撮影し、後にモニターで再生して運転挙動や交通状況を計測 (図-6)。

計測対象項目 (運転挙動) : 交差点進入速度 (停止線手前 30m での平均速度)

計測対象項目 (交差点環境条件) : 対象車両の進行方向、交差点進入時の車両及び歩行者等の有無、観測時間帯における各種交通量、道路復員、ミラーの有無、側方視距離、一方通行か否か。

観測日時 : 2006年10月13日～2006年10月27日の間の平日、午前7時～9時、午後16時～18時

以上の結果、18交差点合計で641台、1交差点当たり平均36台の運転挙動データが得られた。

(3) 分析結果

観測調査より得たデータにもとづき、午前と午後に分け進入速度と交差点環境条件の相関係数を算出した結果、午前・午後ともに、進入速度と進行側が一方通行か否かの間に相関が見られた。そこで、式(4)の目的関数を進入速度、説明変数を進行側が一方通行か否かのダミー変数として回帰分析を行い、式(3)のパラメータを推定した(表-1)。ただし、ここでは $\gamma=1$ としている。図-7はそのパラメータを適用して、進行側一方通行か否かにおける主観事故リスク・運転効用・純効用を表したものであ

表-1 パラメータ算出結果

	α	β	γ	相関係数 r	r^2
午前	0.1132	-0.3235	1.0	0.62	0.39
午後	0.1401	-0.2039	1.0	0.49	0.24

る。一方通行である場合の方が主観事故リスクが低くなっており、その結果として純効用・進入速度が高くなっていることが分かる。これは、一方通行の場合にドライバーは対向車を気にせずに行けることができるため、進入速度が高くなったと考えられる。

一方、図-8は進行側一方通行の場合に午前と午後における主観事故リスク・運転効用・純効用を表したものである。午後に比べ午前の方が主観事故リスクが低くなっていることが分かる。これは、午前は通勤目的のために急いでいるドライバーが多く、また運転効用関数を一定としているため午前の方が相対的に主観事故リスクが低くなったと考えられる。しかし、実際には午前と午後では主観事故リスクは変わらないと考えられることから、主観事故リスク関数を一定として図示すれば、図-9のように午前の方が運転効用が高いため、純効用・進入速度が高くなっているといえるであろう。

5. おわりに

本研究ではドライバーの意識にある安全性と利便性とのトレードオフ関係を適切に考慮した交通安全対策評価のための基礎的研究として、主観事故リスクと運転効用という概念を用いてドライバーの運転挙動分析モデルを構築した。また、モデルの適用例の1つとして、無信号交差点を取り上げ、モデルの定式化を行い、実際の観測データを用いてモデルの適用性や課題を検討した。その結果、本モデルによって主観リスクを相対的に比較することや、仮定が実際の運転挙動と矛盾していないことが示された。

しかしながら、主観事故リスクや運転効用の尺度や、運転挙動を説明する要因が具体的でないことを考えると、本モデルはまだまだ発展途上である。今後の課題として、事故損失額や時間価値等の具体的な尺度を与えることや、ビデオやアイマークレコーダーを用いて、さらなる運転挙動の観測を行い、運転挙動を説明する要因を分析していくこと、アンケート調査によって交通目的などの個人要因の分析を行うことが挙げられる。また安全対策評価のためには、ドライバーが知覚する主観事故リスクと、実際に行った運転挙動による客観的なリスクとの比較も必要である。

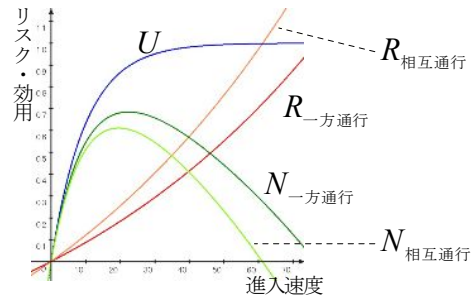


図-7 進行側が一方通行か否かによるリスク・効用の比較

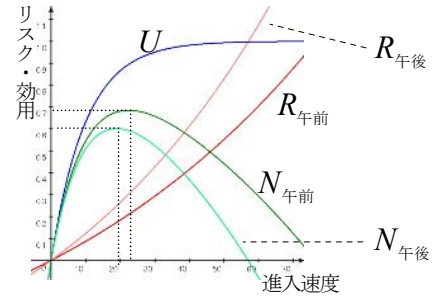


図-8 午前か午後かによるリスク・効用の比較 (1)

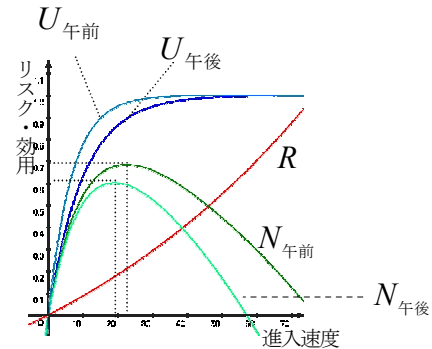


図-9 午前か午後かによるリスク・効用の比較 (2)

参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成 18 年中の交通事故発生状況，警察庁 HP，2006，2. 28.
- 2) Jørgensen, F., Wentzel-Larsen, T. : Optimal Use of Warning Signs in Traffic, Accident Analysis and Prevention 31, pp. 729-738, 1999.
- 3) 山口哲・鈴木弘司・中村英樹・磯和賢一：信号制御と交差点構造が利用者のリスク挙動に与える影響の評価手法，第 31 回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2005.
- 4) 鈴木弘司・藤田素弘・小塚一人・串原喜之：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, pp. 853 - 862, 2005.
- 5) 中村秀樹・馬淵太樹：車両間交錯度を考慮したランドアバウトと信号交差点の性能比較分析，交通工学，vol. 41, No. 5, pp. 69 - 79, 2006.