

リスク概念を用いた交通信号のサイクル長評価フレームワーク*

A Framework for Evaluating Cycle Length of Traffic Signal Control Incorporating Risk Concept*

鈴木 弘司**・中村 英樹***・山口 哲****

By Koji SUZUKI**, Hideki NAKAMURA*** and Satoshi YAMAGUCHI****

1. 研究の背景とねらい

日本における交通信号のサイクル長は、一般に欧米諸国に比べて長い。非飽和時においてもサイクル長が長く設定されているのは、主として歩行者の横断時間を十分に確保するためである。しかし、その長いサイクル長により、利用者は大きな遅れを被るだけでなく、赤信号により待つことを回避しようと、信号無視をしたり、信号現示の切り替わり時に駆け込みで交差点に進入したりする等の危険な挙動をとりがちである。本来、安全な通行を確保すべき装置である交通信号が、その不適切なパラメータ設定のために逆に危険な状態や必要以上の遅れを招く場合がある。

一方、交通制御や交通管理を行う際に、具体的な交通状況や走行環境といった「サービスの質(Quality of Service)」を、利用者に理解しやすく提示することが求められている。信号制御においては、従来、効率性を表す制御遅れが評価指標として適用されているが、どの程度のサイクル長であれば、利用者は安全であるのかを明示できていない点で利用者認識を表す指標として不十分である。それゆえ、遅れおよび安全性に対する利用者認識を考慮したサイクル長の評価が求められている。

Zhang¹⁾は、左折車(日本における右折車)と対向直進車及び歩行者との潜在的な交錯に着目し、遅れと

安全性を表現する評価指標を定義している。その指標は交通状態量を用いたモデルにより表現されており、利用者認識を計量するには至っていない。

一方、鳩山ら²⁾は横断歩行者の不快感を軽減するための信号交差点設計法を検討することを目的に、時空間インフォーマティビティの概念を提案し、バーチャリアリティ(VR)による歩行シミュレータを用いて、横断行動特性を、歩行速度などの客観的指標に加えて生理的・心理的指標により把握している。この手法では歩行空間に対する利用者認識を把握することは可能であるものの、VRによる交通状況再現であるために、交錯等の危険性を表現する際に重要な他利用主体との関係把握は困難である。

そこで、本研究では非飽和時の信号交差点における自動車、自転車および歩行者の複数利用主体を対象として、遅れおよび安全性に対する利用者認識を考慮したサイクル長の評価を目指す。信号交差点においては、利用者は様々なリスクに晒されることになるが、本稿では、利用者認識としてこのリスク概念を用いたサイクル長の評価フレームワークを提示する。

2. リスク概念の導入

本章では、信号交差点における遅れおよび安全性に対する利用者認識をリスク概念として評価するのに先立ち、リスクの定義およびリスクマネジメント手法について述べる。

(1) リスクの定義

(a) 一般的なリスク

狭義には、ある“有害な原因”によって“損失を伴う危険な状態”が発生するとき、リスクは式(1)のように定義される³⁾。

*キーワード：交通制御，交通管理，交通安全

**正会員，修士(工学)，名古屋工業大学 ながれ領域 社会開発工学教育類 助手 (名古屋市昭和区御器所町，TEL：052-735-7962，E-mail：suzuki@ace.nitech.ac.jp)

***正会員，工博，名古屋大学大学院 工学研究科 地圏環境工学専攻助教授

****学生会員，名古屋大学大学院 工学研究科 地圏環境工学専攻 博士課程前期課程

$$R = \sum_{l=1}^n (P_l \times I_l) \quad (1)$$

ここで、

R : リスク評価値, P : リスク発生確率, I : リスク強度,
 l : リスク事象($l=1 \sim n$)

(b)本研究におけるリスク

一般的なリスクの定義に倣い、本研究では信号交差点におけるサイクル長の設定を“有害な原因”と捉える。また、それにより発生する“損失を伴う危険な状態”として、“他利用主体との交錯(以下(a)交錯リスク)”, “交通違反検挙(以下(b)検挙リスク)”, “遅れを被ること(以下(c)遅れリスク)”の3つの事象を考える。ここで、各リスク事象の発生確率と強度との積の加重和を各利用主体に対するリスク評価値 R_i として、式(2)のように定義する。

$$R_i = \alpha \cdot P_{con} I_{con} + \beta \cdot P_{arri} I_{arri} + \gamma \cdot P_{deli} I_{deli} \quad (2)$$

ここで、

i : 利用主体(自動車, 歩行者, 自転車),
 con : 交錯, $arri$: 検挙, $deli$: 遅れ,
 α, β, γ : パラメータ

式(2)において、 R_i は直接計量できないが、 P および I については計量可能であると考えられる。本研究では、利用者はリスク最小化原理に基づき行動しているとの仮説のもとに、利用者のリスク回避・リスクテイキング行動をモデル化する。そして、実データを用いて推定したリスクテイキング行動モデルの各パラメータの値を用いることにより、 R_i を推定することを考える。

(2) リスクマネジメント手法

一般的なリスクマネジメント手法⁵⁾は以下の5つのステップから成り立つ。

リスクの認識・確認

リスクの分析・測定

リスク評価

リスクコントロール

監視、報告・フィードバック

上記のステップに倣い、交通信号のサイクル長評価のためのリスクマネジメントの流れを以下に示す。まず、サイクル長の不適切な設定が利用者挙動

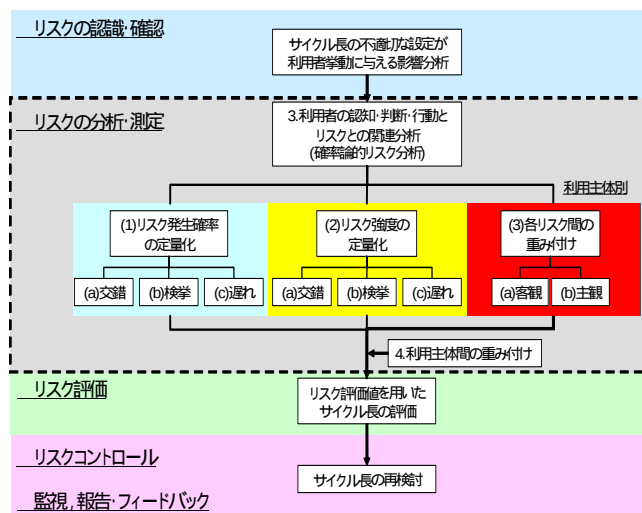


図1 リスク概念を取り入れたサイクル長の評価フレームワーク

に与える影響分析を通じて、リスクを認識・確認する。次に、リスク発生確率、リスク強度を実交通現象にもとづきモデル化し、各リスク事象に対するリスク評価値をリスク発生確率と強度の積として計量する。さらに、サイクル長の違いによるリスク評価値への影響を、実データをもとに計量することで、リスク評価値によるサイクル長の評価にもとづく最適サイクル長を決定する。

リスク概念を取り入れた交通信号のサイクル長評価フレームワークを図1に示す。なお、本稿では図中の網掛け部を中心に論じる。

3. 利用者認知・判断・行動とリスクとの関連

(1) リスク発生確率の定量化

(a) 交錯リスク

信号交差点において交錯を起こす利用主体の組み合わせとして特に留意すべきものは、自動車×歩行者、自動車×自動車、自動車×自転車、歩行者×自転車の4パターンが考えられる。本稿では、歩行者×自転車を除いた3パターンを分析対象とする。想定される交錯発生パターンを図2に示す。

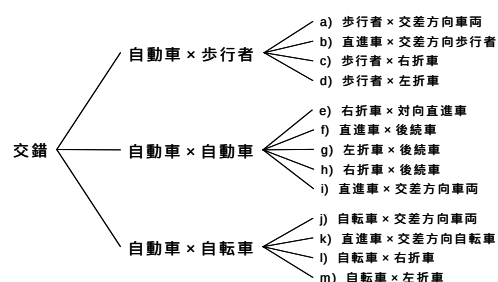


図2 交錯発生パターン

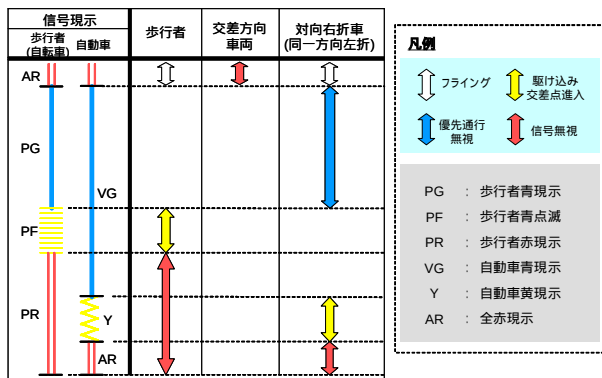


図3 交錯発生の主要因(歩行者×他利用主体)

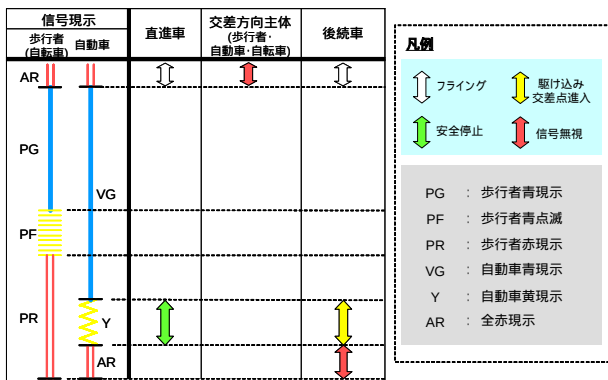


図4 交錯発生の主要因(直進車×他利用主体)

さらに、交錯リスク発生確率をモデル化するために、信号現示ステップに応じた利用主体間の交錯発生主要因を表現する。歩行者×他利用主体の関係を図3に示し、直進車×他利用主体の関係を図4に示す。

これらは、利用者のフライング、優先通行無視、現示の切り替わり時の駆け込み交差点進入、信号無視といったリスクテイキング行動の組み合わせにより、他利用主体との交錯が生じていることを示す。

一方、図4に示すように、リスク回避のために、直進車が現示の切り替わり時に安全停止を行うことが、後続車との交錯を生じる一因となることがある。

ここで、交錯発生確率は、例えば、歩行者と交差方向車両については、「歩行者のフライング率と交差方向車両の信号無視率との積」に「そのタイミングでの両利用主体の到着確率の積」を乗じることで表現する。

上記のリスクテイキング行動とサイクル長との関連の仮説を表1に示す。これらを定量的に分析することでサイクル長と交錯との関連を明らかにする。また、図2に示す交錯に関連する他利用主体の組み

表1 リスクテイキング行動とサイクル長との関連仮説

リスク テイキング 行動	利用主体*		サイクル長との関連	
	Veh	Ped & Bic	影響 度	仮説
フライング	○	○	中	長いサイクル長のもとで待たされた利用者はフライングしやすい
優先通行 無視	○	×	小	パラパラと到着するPed & Bicにより被る遅れを多少でも回避しようとする
駆け込み 交差点進入	○	○	大	次のサイクルまで待つことを回避
信号無視	○	○	大	次のサイクルまで待つことを回避

利用主体* (Veh：自動車，Ped&Bic：歩行者と自転車)

合わせについても同様に考え、交錯発生確率に関するモデル化を行う。

(b) 検挙リスク

交通違反率および交通違反取締率の積を検挙リスク発生確率と定義する。今回、交通違反としては信号無視を対象とする。

(c) 遅れリスク

信号交差点における遅れが生じる状況として、青現示中の他利用主体の通行待ちと赤現示中の信号待ちの2種類が考えられる。ここで、前者は利用主体の到着パターンの組み合わせにより表現されるが、既に交錯リスクの発生確率推定の際に扱っているため、遅れリスクとしては赤現示中の遅れのみを対象とする。なお、この遅れ発生確率は、サイクル長と利用主体の到着パターンの関数で表現することができる。

(2) リスク強度の定量化

(a) 交錯リスク

元田⁶⁾に示されるように、交錯の強度を示す指標は、定性的指標、定量的指標の大きく2つに分類される。今回、リスク評価値を計量するために、定量的指標である減速度および交錯を起こす二者が交錯ポイントに到達する時間差で表現される、Post Encroachment Time(PET)を指標として取り上げる。

(b) 検挙リスク

利用者は交通違反を犯す際に、交通違反反則金、

違反点数を意識していると考えられる。そこで、検挙リスクの強度として、これらの指標を取り上げる。

(c) 遅れリスク

遅れそのものを遅れリスク強度とする。

(3) リスク事象間の重み付け

リスク事象間の重み付け手法としては、利用者に対するアンケート調査による主観的アプローチ、利用者挙動等のデータに裏付けられる客観的アプローチの2つが考えられるが、今回は後者を適用する。

ここでは、交差点における横断歩行者の停止・横断の判断、運転者の通過・停止の判断を、式(3)に示す非集計2項選択ロジットモデルで表現する。その際、式(4)に示すように、説明変数 X_i として、交錯、検挙、遅れを表す変数を取り入れる。これらはいずれもサイクル長の関数 $X_i(C)$ として表される。このモデルにおけるパラメータ α' 、 β' 、 γ' が式(2)における各リスク事象の重み α 、 β 、 γ を示していると考え、リスク評価値 R_i を推定する。

$$P_{rob} = \frac{\exp(V_{stopi})}{\exp(V_{stopi}) + \exp(V_{goi})}$$
$$= \frac{1}{1 + \exp(V_{stopi} - V_{goi})} \quad (3)$$

$$u_i = V_{stopi} - V_{goi}$$
$$= \alpha' \cdot X_{coni} + \beta' \cdot X_{arri} + \gamma' \cdot X_{deli} + \delta \quad (4)$$

ここで、

α' 、 β' 、 γ' 、 δ ：パラメータ

X_{coni} ：交錯リスクを表す変数

X_{arri} ：検挙リスクを表す変数

X_{deli} ：遅れリスクを表す変数

4. 利用主体間の重み付け

式(2)より、利用主体別のリスク評価値を計量可能であると考えられるが、信号交差点におけるサイクル長の評価を行うためには、言うまでもなく、自動車交通、歩行者交通、自転車交通がどのような構成比で成り立っているかを考慮する必要がある。

今回は、利用主体間の重み付けに、利用主体別交通量を用いることを想定している。

5. 今後の展開

本稿では、リスク概念を導入した交通信号のサイクル長評価のためのフレームワークを提示したが、今後は、実際に現地調査を行い、各モデルのパラメータを実際に推定し、リスク評価値にもとづいたサイクル長の評価を行う。

現地調査では、サイクル長や幾何構造の異なる複数の交差点において、ビデオカメラを用いて歩行者挙動・車両挙動に関するデータ収集をし、併せて、速度、加速度、アクセル開度等の車両状態量を時々刻々計測可能な走行調査車両を用いて、運転挙動データの収集を行う予定である。

本稿では、自動車交通、歩行者交通、自転車交通を利用主体として取り上げ、利用主体間の関係を考慮しているものの、実際にサイクル長を変更する際には、同じ交通量であっても利用主体の属性別構成比の違い、例えば、高齢者が多い交通状況と健常者の多い交通状況の違い等、によってもリスク評価が異なる点にも注意を払う必要がある。今後、その点についても検討を行う。

参考文献

- 1) Zhang, L. : Signalized Intersection LOS that Accounts for Safety Risk, TRB 82nd Annual Meeting, CD-ROM, 2003
- 2) 鳩山紀一郎・下村新・家田仁：時空間インフォーマティビティの概念による歩行者指向型交差点の設計法，土木計画学研究講演集 No.27，2003
- 3) 日本リスク研究学会：リスク学事典，TBSブリタニカ，375p，2000
- 4) 国土交通省国土交通政策研究所：社会資本整備におけるリスクに関する研究，国土交通政策研究第4号，84p，2001
- 5) 辛島恵美子：リスク概念の歴史的変遷とその現代的意味，IATSS Review Vol.24，No.2，pp63-72，1998
- 6) 元田良孝：錯綜手法に関する研究の概観，交通工学 Vol.27 No.2，pp.35-46，1992