

横断者のリスクテイキング/回避行動を考慮した交差点評価指標に関する研究*

A Study on Evaluation Index for Signalized Intersections
Considering Risk-Taking / Aversion Behaviors of Pedestrians and Cyclists*

鈴木 弘司**・藤田 素弘***・串原 喜之****・小塚 一人*****

By Koji SUZUKI**, Motohiro FUJITA***, Yoshiyuki KUSHIHARA**** and Kazuhito KOZUKA*****

1. はじめに

わが国における信号制御の設定や交差点構造の設計段階では、遅れや安全性といった実現する交通状況や走行環境を表す交差点の発揮する性能が明示されておらず、また、運用段階においても、交差点利用者の意識・行動面を考慮した運用状況のモニタリングがなされていないため、利用者にとって必ずしも快適な交差点空間が提供されていない。

例えば、非飽和時においても必要以上にサイクル長が長めに設定されている信号交差点が見受けられるが、このような交差点では、利用者は大きな遅れを被るだけでなく、それを回避しようと信号無視や信号の切り替わり時に駆け込み進入する等、危険な行動（以下、リスクテイキング行動）をとりがちである。特に、横断歩行者・自転車の信号切り替わり時のリスクテイキング行動は交通安全面へ悪影響を及ぼすのみならず、右左折車の通行を妨げることから交差点処理能力の低下を招くこととなる。このような状況を防ぐためにも、利用者意識・行動に立脚した交差点評価指標を構築し、交差点の設計・運用に反映させる必要がある¹⁾。

そこで本研究では、横断歩行者/自転車(以下、横断者とする)に着目し、非飽和時における横断者と車両との交錯危険性を表現可能かつ利用者意識を考慮した信号交差点運用の性能評価指標を提案し、調査データを用いて実証分析することを目的とする。

2. リスク概念を利用した信号交差点におけるリスク評価値推計

(1) リスク評価値の定義と推計モデルの構造

横断者と車両との交錯危険性を表現し、かつ利用者

*キーワード: 交通安全, 交通管理, 信号交差点, リスク評価値

**正会員, 博士(工学), 名古屋工業大学 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, 名古屋工業大学大学院 助教授

****非会員, 中央コンサルタンツ株式会社

*****学生会員, 名古屋工業大学大学院工学研究科

意識を考慮した信号交差点運用の性能評価指標として、本研究ではリスク概念を適用する。一般に、リスクとは危険性を表す指標として用いられることが多く、その大きさは、リスク事象の発生確率 P とそれにより被る損失強度 I の積と定義される²⁾が、例えば、武井³⁾によれば、リスクは、損失の可能性、損失の確率、損失の原因、危険な状態、損害や損失に晒されている財産・人、潜在的損失、実際の損失と予想した損失の変動、という異なる意味を持っているとしており、分野や対象によって様々な使われ方がなされている。本研究では危険性だけでなく、利用者に対して何らかの損失を与える事象を含めてリスクと捉える。上記の考え方にもとづくと、信号交差点における横断者が被る潜在的な損失は2つ存在するといえる。1つは、車両と交錯する可能性(物的損失)であり、もう1つはその交錯を回避するために被る遅れ(時間損失)である。本研究では、これらの事象をリスク事象(前者: 交錯リスク, 後者: 遅れリスク)と捉え、分析を行う。なお本研究では、信号交差点において自動車交通を中心にリスク評価推計を行った既往研究^{4),5)}と同様のアプローチにより、リスク評価値 R を計量する。

ここで、遅れと交錯の異なる次元を持つ2つのリスクを取り扱うため、両者を同一次元で表現するための重み付けを行う必要があり、また、行動特性の違いより、歩行者、自転車の利用主体別にリスク評価値を推計する必要がある。さらには、青点減開始以降において横断者自身がリスクテイキング/回避することにより被るリスクと歩行者青時間帯において右左折車が優先通行権を無視して通過することにより被るリスクが存在する点についても考慮すべきであるが、本稿では青点減以降のリスクのみを分析対象とする。

以上の点に留意し、1 サイクルあたりの利用主体別リスク評価値 r_{PFij} を、交錯リスクと遅れリスクの加重和として式(1)のように定義する。また、1 流入部の1時間あたりの利用主体別リスク評価値 R_{PFij} は式(2)の

ように示され、1 交差点あたりの横断者のリスク評価値 R_{PF} は式(3)のように示される。

$$r_{PFij} = q_{PFij} [\int \tau_i \cdot P_{con i}(t) \cdot I_{con i}(t) dt + \int P_{del i}(t) \cdot I_{del i}(t) dt] \quad (1)$$

$$R_{PFij} = \frac{3600}{C} \cdot r_{PFij} \quad (2)$$

$$R_{PF} = \sum_j \sum_i R_{PFij} \quad (3)$$

ここで、

i : 利用主体(歩行者/自転車), j : 流入部, t : 青点滅開始以降経過時間, P_{con} : 交錯発生確率, P_{con} : 駆け込み率, I_{con} , I_{del} : 損失強度, τ : 遅れに対する交錯の重み, q_{PFi} : 青点滅以降到着横断者数, C : サイクル長である。

(2) リスク事象の発生確率モデル

式(1)における交錯リスク発生確率 P_{con} は、青点滅開始以降に横断者自身が駆け込む確率 P_{Ri} と右左折車両が通過する確率 P_{acc} の同時生起確率として、式(4)のように表現できる。

$$P_{con i}(t) = P_{Ri}(t) \cdot P_{acc} \quad (4)$$

また、停止・通過判断・行動に際して、横断者はコンフリクトと遅れのトレードオフ関係を意識しつつ、合理的な選択を行っていると考えられる¹⁾。そのため、停止・通過の選択行動を、以下に示す非集計 2 項選択ロジットモデルで表現し、利用主体 i の駆け込み率 P_{Ri} を算出する。

$$P_{Ri}(t) = \frac{e^{V_{Ri}(t)}}{e^{V_{Ri}(t)} + e^{V_{stop i}(t)}} \quad (5)$$

ここで、

V_{Ri} : 駆け込みによる効用, V_{stop} : 停止による効用である。

一方、右左折車両が歩行者青点滅以降に交差点の通過を試みる行動は、青時間帯において右左折車が横断者間の通過可能なギャップを探索するギャップアクセプタンスとして捉えられる。そこで、このギャップアクセプタンスを以下に示す二項選択ロジットモデルにより表現し、青点滅時間における右左折車の通過率 P_{acc} を算出する。

$$P_{acc} = \frac{e^{V_{acc}}}{e^{V_{acc}} + e^{V_{rej}}} \quad (6)$$

ここで、

V_{acc} : ある横断者間ギャップの受入による効用,
 V_{rej} : ある横断者間ギャップの棄却による効用

である。

また、式(1)における遅れリスクの発生確率 $P_{del i}$ は、横断者が駆け込みを行わなかった場合の確率と捉えられることから、以下のように示される。

$$P_{del i}(t) = 1 - P_{Ri}(t) \quad (7)$$

(3) 損失強度推計モデル

近年、デジタルビデオカメラの高性能化、画像解析の利用可能性が向上し、安価な解析システムの構築が進められ(例えば、鈴木ら⁶⁾)、交通コンフリクトを表す指標の取得が容易となりつつある。その結果、従来のコンフリクトを表す指標である TTC(Time To Collision)⁷⁾だけでなく、飯田ら⁸⁾により提案された追突危険性を表す指標である PICUD(Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration)や若林ら⁹⁾により提案された PTTC(Potential Time To Collision)がコンフリクト分析に用いられている。本研究では、車両と比べて速度変化の小さい横断者を主として分析対象とするため、加速度まで考慮した上記のコンフリクト指標を用いるのではなく、Allen ら¹⁰⁾によって提唱された指標である交錯を起こす 2 者が交錯地点に到達する時刻の差で示される PET(Post Encroachment Time)指標を用いる。ここで、PET 指標は大きいほど安全を意味する指標であるため、本研究では PET の逆数を取り、交錯リスクの損失強度 I_{con} として扱うこととする。

$$I_{con i}(t) = 1 / PET_i(t) \quad (8)$$

また、歩行者青点滅開始以降 t 秒後における遅れによる損失強度 I_{del} は以下の式で示される。

$$I_{del i}(t) = t_{PF} + t_{PR} - t \quad (9)$$

ここで、

t_{PF} : 歩行者青点滅時間, t_{PR} : 歩行者赤時間,
 t : 歩行者青点滅開始以降の経過時間

である。

表-1 交差点諸量

交差点名	横断歩道長 L_{CROSS} [m]	セットバック [m]		直進/左折飽和度 (分析対象流入部)	左折車台数 [台/時]	横断者交通量 [人/時]		平均サイクル長 [s]	歩行者青 [s]	歩行者青点滅 [s]	歩行者赤 [s]	横断速度の90パーセンタイル値 [m/s]			
		S1	S2			歩行者						自転車			
						青	点滅以降					青	点滅以降		
下坪	9.5	4.4	5.6	0.23	64	30	62	120	22	4	68	1.15	2.17	2.98	2.43
自由	10.0	5.1	5.9	0.19	59	245	22	90	23	6	60	1.22	1.57	1.69	4.16
四谷	17.3	7.1	11.2	0.14	103	405	301	130	22	10	98	1.02	1.13	1.79	2.33
高畑	17.3	17.6	12.8	0.14	177	93	77	140	45	8	79	1.27	1.19	2.19	1.78
田代	17.7	4.1	5.7	0.25	217	37	169	150	39	7	111	1.24	1.77	2.76	2.55
植田	21.3	5.7	7.5	0.16	104	32	15	160	50	8	103	1.36	1.87	3.35	3.44
今池	22.1	15.7	15.9	0.19	163	251	246	140	36	9	96	1.19	1.57	2.65	2.98
西大須	25.0	13.8	17.1	0.31	203	84	112	160	53	9	98	1.34	1.37	2.65	3.18
御器所	25.7	13.4	10.8	0.25	83	80	176	140	38	9	79	1.11	1.70	2.61	3.13
沢上	26.2	11.2	7.0	0.15	64	29	30	130	28	9	93	1.29	-	2.63	2.92

(4) 遅れリスクに対する交錯リスクの重み

横断者が遅れリスクに対して、交錯リスクにどの程度の重みを置いているかを定量的に把握するために、本研究では横断者の駆け込み/停止の2肢選択行動に着目する。ここで、式(5)における駆け込み率モデルの効用関数を、遅れとPETの逆数により表現することとし、実データを用いて分析することで得られた両パラメータを用いて、遅れリスクに対する交錯リスクの重み τ を計量する。この重み τ は利用者意識・行動を反映した指標と考えられる。

$$V_{Rli} = \alpha_i \cdot X_{1/PETi} + \beta_i \cdot X_{deli} \quad (10)$$

$$\tau_i = \alpha_i / \beta_i \quad (11)$$

ここで、

α, β : パラメータ

である。

3. 交差点調査と交通特性

前章で述べたモデルを実証分析するため、愛知県名古屋市内のサイクル長、幾何構造の異なる10箇所の交差点においてビデオカメラを用いた現地調査を実施した。

表-1に各交差点の特性値を示し、図-1に交差点構造の概略図を示す。

4. 青点滅時間以降のリスク評価値推計

2.(2)~(4)において示した各式およびモデルについて、3.の交差点調査データを用いて、交差点諸量との関係を分析する。

まず、交錯リスクの損失強度について、PETを被説明変数、交差点諸量を説明変数とした重回帰分析を行った

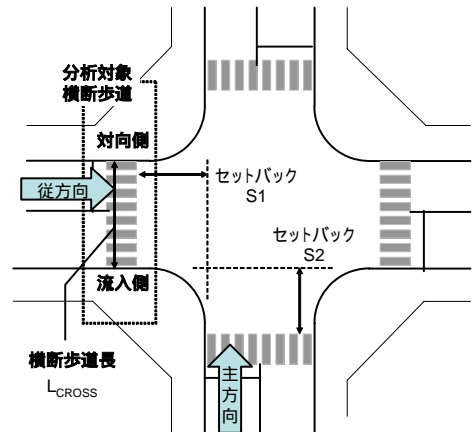


図-1 交差点構造

表-2 PET 推計モデル

説明変数	パラメータ (t 値)	
	歩行者	自転車
切片	6.96 (12.1)	2.26 (8.20)
経過時間比	-1.65 (-3.74)	0.377 (1.22)
横断歩道長 [m]	-0.170 (-6.20)	
R^2 値	0.47	0.23
サンプル数	50	45

表-3 通過率モデルのパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ (t 値)
定数項	-6.12 (-6.48)
横断者間ギャップ [sec]	1.32 (7.70)
セットバック長 S1 [m]	$-7.20 \cdot 10^{-2}$ (-1.40)
尤度比	0.61
的中率 (%)	90.0
サンプル数	250

結果を表-2に示す。これより、経過時間比(青点滅時間に対する横断者の進入開始タイミングの比率: t / t_{PF})と横断歩道長が影響していることが示された。

次に、交錯リスク発生確率を定量化するために、右左折車両の通過率を表す二項選択ロジットモデル(式(6))

のパラメータ推定を行ったところ、表-3のように横断者間ギャップおよび隅角部の大きさと関連するセットバック長が影響していることが示された。また、横断者の駆け込み率推計モデル(式(5))を利用主体別に構築した結果を表-4に示す。遅れリスクに対する交錯リスクの重み τ の値を比較することにより、自転車よりも歩行者の方が交錯リスクに対する意識が高いことが示された。

5. 調査データを用いたリスク評価値推計

上記分析の結果得られたPET推計モデル、通過率モデル、駆け込み率推計モデル、遅れと交錯の重みの各パラメータ(表-2, 表-3, 表-4)および表-1に示す交差点特性データ(交差点構造, 信号制御および交通量条件)を式(1)~(3)に代入し、各交差点(1流入部)のリスク評価値を推計する。図-2に歩行者青点滅開始から車両赤開始におけるリスク事象別, 利用主体別, 信号タイミング別に求めたリスク評価値を示す。

これより、横断者にとっての各交差点のリスク評価値が明示され、遅れによる影響が大きいか、また、交錯による影響が大きいかを把握でき、横断者にとってのリスクを減ずるために各交差点の行うべき対策を検討することができる。

6. おわりに

本研究では、信号切り替わり時の横断者のリスクテイキング/回避行動に着目し、横断者と車両との交錯危険性と遅れを同時に表現可能な交差点評価指標であるリスク評価値を提案した。さらに、交通実態調査の結果を用いて、リスク評価値推計モデルを交差点諸量で表現することで、様々な交差点におけるリスク低減のための交差点運用代替案の評価を可能とした。

今後は、リスク評価値推計モデルの精度向上ならびにリスクテイキング/回避行動に関して、利用者の意識、行動特性の地域差を考慮した分析を行う予定である。また、リスク評価値と交通事故との関連やヒヤリ・ハット体験との関係についても分析を進めていく。

参考文献

- 1) 鈴木弘司：交通コンフリクトと遅れを考慮した信号交差点の性能評価手法，名古屋大学学位論文，2005。
- 2) 日本リスク研究会：リスク学事典，TBSブリタニカ，375p，2000。

表-4 利用主体別駆け込み率推計モデルのパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ (t 値)	
	歩行者	自転車
1/PET[1/s]	-4.01 (-4.09)	-3.50 (-3.05)
遅れ[s]	2.89×10^{-2} (5.92)	4.16×10^{-2} (5.89)
尤度比	0.405	0.747
的中率[%]	81.5	94.8
サンプル数	130	134
$\tau (\alpha / \beta)$	139	84.1

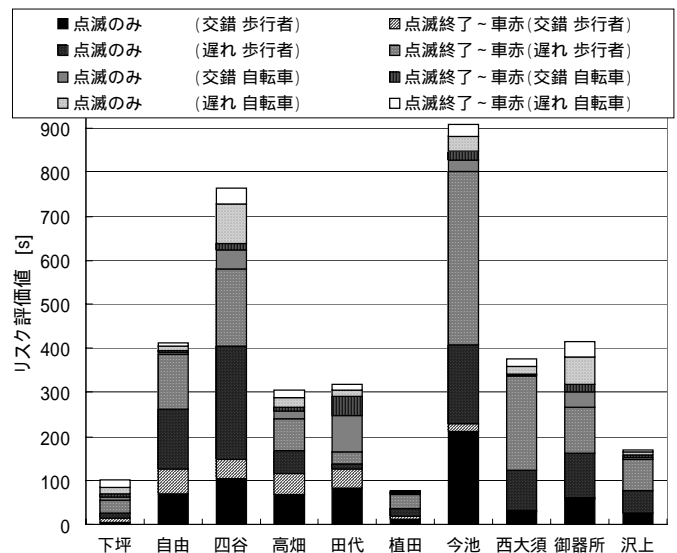


図-2 交差点別リスク評価値

- 3) 武井勲：リスクマネジメント総論，中央経済社，1987。
- 4) Koji SUZUKI, Hideki NAKAMURA and Satoshi YAMAGUCHI: Analysis on Driver's and Pedestrian's Perception for the Evaluation of Cycle Length at Under-saturated Signalized Intersections, Selected Proceedings of 10th World Conference on Transport Research, 12 pages, 2004.
- 5) 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，土木計画学研究・講演集 No.30(CD-ROM)，土木学会，2004。
- 6) 鈴木一史，中村英樹：交通流解析のための簡便な多機能ビデオ画像処理システムの開発，第24回交通工学研究発表会論文報告集，pp.69-72，2004。
- 7) Hayward, J.C. Near-miss Determination through Use of a Scale of Danger, Highway Research Record, 24-34, 1972.
- 8) 飯田恭敬，宇野伸宏，井坪慎二，菅沼真澄：織込み部におけるコンフリクト分析と車線変更のモデル化，土木計画学研究・講演集 No.24(1)，pp.305-308，2001。
- 9) 若林拓史，高橋吉彦，新美栄浩，蓮花一己：交通流ビデオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と新しい危険度評価指標の提案，土木計画学研究・論文集 Vol.20, No.4, pp949-956，2003。
- 10) Allen, B.L. Shin, B.T. and Cooper, D.J: Analysis of traffic conflicts and collision, Transportation Research Record, 677, 67-74, 1978.