

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*

A Study on Performance Evaluation for Signalized Intersections Considering Risk-Taking / Aversion Behaviors of Users*

鈴木弘司**・藤田素弘***・小塚一人****・串原喜之*****

By Koji SUZUKI**・Motohiro FUJITA***・Kazuhito KOZUKA****・Yoshiyuki KUSHIHARA*****

1. はじめに

信号交差点における横断歩行者・自転車(以下、横断者とする)の信号切り替わり時の駆け込み横断、信号無視行動は交通安全面へ悪影響を及ぼすのみならず、交差点処理能力の低下に繋がるため、これらを抑制する対策の検討が求められる。また、横断者は歩行者青時間中において、右左折車が横断者の優先通行権を無視して通行することより危険な状況に晒されることも少なくない。

これらの行動の発生原因の一つとして、サイクル長の設定が影響していることが挙げられる。一般にわが国の交通信号のサイクル長は欧米諸国に比べて長いと言われる。ここで、交通需要に応じて適切に設定されている場合には問題ないが、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交差点も見受けられる¹⁾。そのため、一度赤信号で待たされると大きな遅れを被る横断者は、遅れによる損失を回避すべく、危険な行動を敢行していると考えられる。また、長いサイクル長により歩行者青時間全体にわたりランダムに到着する横断者の通過待ちにより大きな遅れを被る左折車は、その損失を回避すべく優先通行権無視による危険な通行を行っていると考えられる。すなわち、交差点において利用者は、利用者の不効用に関連する遅れによる時間的損失と交錯による物的損失の2事象のトレードオフ関係を意識しつつ、通過・停止の判断を行っているといえる。

しかしながら、わが国では信号制御のパラメータの設定とその設定に大きく影響を及ぼす交差点構造設計において、両者を同時に取り扱った評価指標が確立されておらず、また、運用段階においても、遅れや交錯といった利用者にとっての不効用に影響する交通状況を適切にモニタリングし、制御に反映されていない点が問題である。

そこで、本研究では、交差点利用者のリスクテイキン

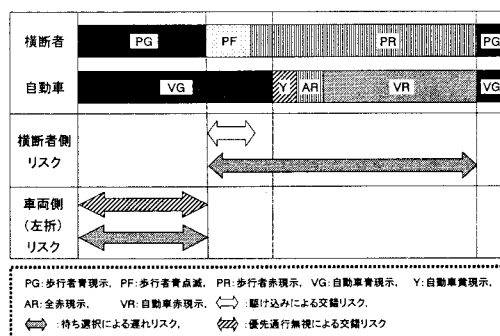


図-1 リスクテイキング/回避行動の発生タイミング(1方向)
 グ/回避行動の背景にある遅れと交錯のトレードオフ関係に着目し、これらを同時に表現可能な評価指標を提案し、その評価指標と関連のある信号制御、交差点構造条件との関係について、観測調査データを用いて実証的に分析することを目的とする。

2. 交差点利用者のリスクテイキング・回避行動とリスク概念を用いた交差点運用評価

(1) 信号交差点におけるリスク事象

図-1 は典型的な4枝交差点における横断者と自動車のリスクテイキング/回避行動の発生状況を信号タイミング別に示したものである。横断者に関連する不効用としては上述のとおり、歩行者青時間帯においては、右左折車両が横断待ちによる遅れを回避すべく、横断者の優先通行権を侵して交差点進入する場合に生ずる交錯危険性、あるいは歩行者青点滅開始以降において、横断者が停止遅れを回避しようと駆け込み進入することにより被る右左折車との交錯危険性、また、交錯危険性を回避し停止遅れを受容する場合の時間的損失が挙げられる。

ここで、一般に「リスク(risk)」という概念は、安全工学をはじめとする他の研究分野において、危険性を表す指標として用いられることが多いが、例えば、草野²⁾は、“何らかの原因によって、損害を被る可能性”としており、また、武井³⁾によれば、「リスク」とは、少なくとも、①損失の可能性、②損失の確率、③損失の原因、④危険な状態、⑤損害や損失に晒されている財産・人、⑥潜在的損失、⑦実際の損失と予想した損失の変動、⑧不確実性、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さまざまな使われ方がなされる。これら様々な

*キーワード: 交通管理, 交通安全, 交差点運用, 横断者

**正会員, 博(工), 名古屋工業大学助手 ながれ領域
 都市社会工学科 (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
 工学研究科都市循環システム工学専攻

****学生会員, 名古屋工業大学大学院 工学研究科
 都市循環システム工学専攻 博士課程前期課程

*****非会員, 中央コンサルタンツ株式会社

意味合いを持つリスクを、本研究では利用者が被る損失と拡大して捉え、物的損失を表す交錯とその交錯を回避することにより被る時間的損失である遅れの2つの事象を交差点におけるリスク事象と定義し、計量する。

リスクの計量に際し、蓮花⁴⁾は、交通の分野におけるリスクは他の領域のリスクと比べて、①多様である、②事故の可能性が高い、③タイムプレッシャーが高い(意思決定までの時間的余裕が短い)、④運転者の個人的関与度が大い、という特色があると示しており、さらに、このリスクを計測するために、交通状況や道路区間等の客観的な事故や損失の可能性の程度である①客観的リスクとドライバー等が感じ、評価した程度である②主観的リスクの2つがあると区別している。また、SUZUKI⁵⁾や山口ら⁶⁾により、遅れと交錯を同時に考慮した信号交差点におけるリスク評価の検討がなされているが、主として自動車交通の分析にとどまっている。本研究では、横断者に着目し、信号制御、交差点構造、交通状況と利用者意識・行動との関係を、観測調査データにもとづいて分析を行い、横断者にとってのリスクを客観的に評価する。なお、右折車と横断者との関係を明示することは重要であると考えられるが、本稿では、左折車と横断者との関係のみを分析対象とする。

(2) リスク評価値の定義および推計モデルの考え方

前節で定義したリスクについて、本研究では、他の研究事例と同様に、リスク評価値 R をその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⁷⁾と定義する。

ここで、遅れリスクと交錯リスクの異なる次元の2つのリスクを取り扱うため、両者を同次元で表現するための重み付けを行う必要がある。また、歩行者、自転車ではリスクテイキング/回避行動の特性が異なると考えられるため、利用主体別にリスク評価値を推計する必要がある。図-1に示したとおり、横断者に関連するリスク評価値として、青点滅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評価値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評価値の2つが考えられるが、本稿では横断者主体の評価を行うため、前者を分析対象とする。

以上の考え方にもとづき、青点滅開始以降の1サイクルあたりの利用主体別リスク評価値 r_{PFI} 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、交差点1流入部の1時間あたりの利用主体別リスク評価値 R_{PFI} は式(2)のように示される。

$$r_{PFI} = q_{PFI} [\tau \cdot P_{con} \cdot I_{con}(t) + P_{del} \cdot I_{del}(t)] \quad (1)$$

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

ここで、

t : 青点滅開始以降の経過時間, P_{con} : 交錯リスク発生確率, P_{del} : 遅れリスク発生確率, I_{con} : 交錯リスクの損失強度, I_{del} : 遅れリスクの損失強度, τ : 遅れリスクに対する交錯リスクの重み, i : 利用主体(歩行者、自転車), q_{PFI} : 青点滅以降到着横断者数, C : サイクル長である。

(a) リスク事象の発生確率

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} と左折車両が通過する確率 P_{acc} の同時生起確率として、式(3)のように表現できる。

$$P_{con} = P_{Ri} \cdot P_{acc} \quad (3)$$

また、青点滅以降において各利用主体 i は駆け込むか否かの2肢選択行動を行っていると考えられる。そこで、この選択行動を非集計2項選択ロジットモデルにより表現し、駆け込み率 P_{Ri} を算出する。

$$P_{Ri} = \frac{e^{V_{Ri}}}{e^{V_{Ri}} + e^{V_{stop}}} \quad (4)$$

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、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左折車の通過確率 P_{acc} を算出する。

$$P_{acc} = \frac{e^{V_{acc}}}{e^{V_{acc}} + e^{V_{rej}}} \quad (5)$$

ここで、

V_{acc} : ある横断者間ギャップを受け入れることにより得られる効用,

V_{rej} : ある横断者間ギャップを棄却することにより得られる効用

である。

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

$$P_{del} = 1 - P_{Ri} \quad (6)$$

(b) 損失強度

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、若林ら⁸⁾、宇野ら⁹⁾、鈴木ら¹⁰⁾、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 TTC(Time to Collision)指標¹¹⁾だけでなく、飯田ら¹²⁾により提案された追突危険性を表す PICUD 指標や若林ら¹³⁾により提案された PTTC 指標等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¹⁴⁾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)指標を用いることとする。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。

$$I_{con} = 1/PET_i \quad (7)$$

また、式(1)で定義したリスク評価値は、歩行者青点滅開始以降の経過時間に関する時間積分で表現されることから、遅れによる損失強度 I_{del} は以下の式で示される。

$$I_{del}(t) = t_{PF} + t_{PR} - t \quad (8)$$

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。

(c) 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、交錯リスクをどの程度に見積もっているかを把握するために、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(3)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の比率より、遅れリスクに対する交錯リスクの重み τ を計量することとする。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。

$$V_{Rli} = \alpha_i \cdot I_{con} + \beta_i \cdot I_{del} \quad (9)$$

$$\tau_i = \alpha_i / \beta_i \quad (10)$$

ここで、

α , β : パラメータ, I_{con} : 1/PET, I_{del} : 遅れ

である。

上述の(a)~(c)において示した各式およびモデルについて、交通実態調査データを用いて、交差点諸量との関係进行分析する。

3. 交通実態調査データによる横断特性分析

(1) 交通実態調査の概要

前章で述べたモデルを実証分析するため、交差点調査を行った。調査概要を表-1 に示し、交通状況ならびに信号制御条件に関する交差点諸量を表-2 に、交差点構造については表-3 に示す。なお、信号制御条件に関連して、全交差点(分析対象方向の現示)において、右折青矢印は存在しており、左折青矢印は存在していない。また、分析対象横断歩道と交差点隅角部のイメージを図-2 に示す。

次節以降では、交通実態調査データを用いて、まず、

表-1 交差点調査概要

調査期間	2003 年 10 月 14 日(火)~17 日(金) ①~⑥ 2004 年 8 月下旬~10 月中旬 ⑦~⑩
調査時間帯	a)7:30~9:30 通勤・通学時間交通 交差点:①自由が丘 ②四谷 ③田代本通 ④沢上 ⑤西大須 ⑥高畑 b)13:00~17:30 自由目的、業務交通 交差点:⑦今池 ⑧御器所 ⑨下坪 ⑩植田
調査方法	ビデオカメラによる ・横断者・車両挙動の撮影 ・歩行者信号・車両用信号現示の撮影

表-2 交通状況ならびに信号制御条件に関する交差点諸量

交差点名	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]	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]		横断速度の 90 パーセンタイル値[m/s]			
							歩行者	自転車	歩行者		自転車	
									青	点滅以降	青	点滅以降
下坪	120	22	4	68	0.23	64	30	62	1.15	2.17	2.98	2.43
自由	90	23	6	60	0.19	59	245	22	1.22	1.57	1.69	4.16
四谷	130	22	10	98	0.14	103	405	301	1.02	1.13	1.79	2.33
高畑	140	45	8	79	0.14	177	93	77	1.27	1.19	2.19	1.78
田代	150	39	7	111	0.25	217	37	169	1.24	1.77	2.76	2.55
植田	160	50	8	103	0.16	104	32	15	1.36	1.87	3.35	3.44
今池	140	36	9	96	0.19	163	251	246	1.19	1.57	2.65	2.98
西大須	160	53	9	98	0.31	203	84	112	1.34	1.37	2.65	3.18
御器所	140	38	9	79	0.25	83	80	176	1.11	1.70	2.61	3.13
沢上	130	28	9	93	0.15	64	29	30	1.29	-	2.63	2.92

表-3 交差点構造条件

交差点名	横断歩道長 L_{CROSS} [m]	セットバック[m]		車線数 (左折専用, 直/左混用, 直進, 右折専用)	交差角 ϕ [度]
		S1	S2		
下坪	9.5	4.4	5.6	2 (0,1,0,1)	90
自由	10.0	5.1	5.9	2 (0,1,0,1)	82
四谷	17.3	7.1	11.2	3 (0,1,1,1)	100
高畑	17.3	17.6	12.8	3 (0,1,1,1)	88
田代	17.7	4.1	5.7	3 (0,1,1,1)	105
植田	21.3	5.7	7.5	3 (0,1,1,1)	75
今池	22.1	15.7	15.9	4 (0,1,2,1)	90
西大須	25.0	13.8	17.1	5 (1,0,3,1)	106
御器所	25.7	13.4	10.8	4 (1,0,2,1)	91
沢上	26.2	11.2	7.0	4 (1,0,2,1)	64

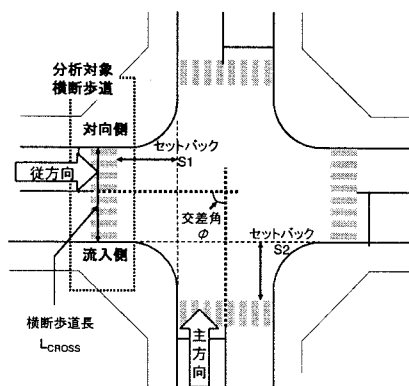


図-2 交差点構造

横断特性と交差点運用状況との関係进行分析する。さらに右・左折車両との交錯に関する分析を行うことで、交差点利用者の安全性に影響を与える信号制御条件ならびに交差点構造について考察を行う。

(2) 横断歩行者・自転車の横断特性分析

(a) 横断歩行者・自転車の横断速度分析

青時間開始から、点滅開始における経過時間の変化に伴う横断速度の変化を分析した。その中で、青時間中と点滅以降の横断速度の90パーセンタイル値を表-2に示す。

これより、歩行者現示時間設定に用いられる横断歩行速度 $1.0[m/s]^{15)}$ に対して、どの交差点も基準値を満たしていることがわかる。また、青点滅以降の横断速度では7つの交差点で青点滅以降の設計基準値 $1.5[m/s]^{15)}$ 以上、3つの交差点において、基準値以下であった。歩行者の結果に着目すると、青点滅時間が増えると横断速度が低下する傾向(相関係数 $r=-0.71$)が見て取れる。これより、青点滅時間が長いと横断者は安心してゆっくりと横断する結果を示していると同時に、交錯リスクに晒されている時間が長くなる、さらには横断待ち車両の焦燥感を募り、危険な交錯につながる可能性があることを示している。

(b) 横断歩行者・自転車の横断開始タイミング分析

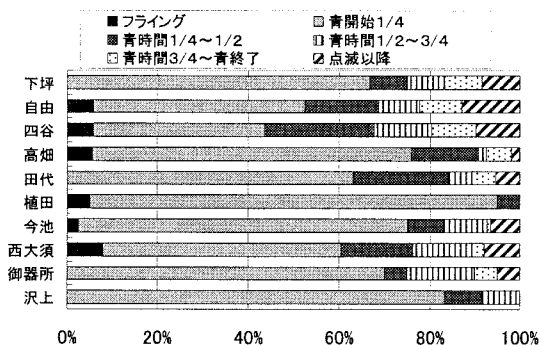


図-3 歩行者横断開始タイミング(流入側)

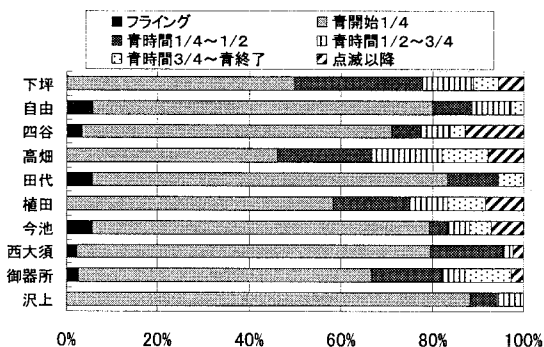


図-4 歩行者横断開始タイミング(対向側)

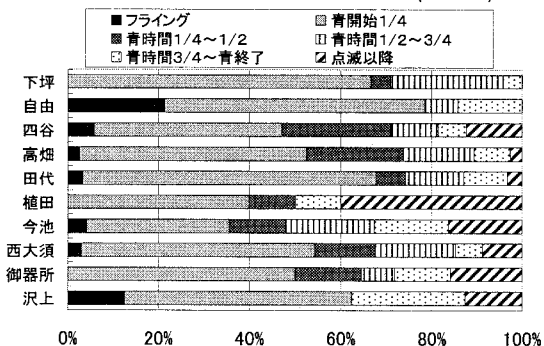


図-5 自転車横断開始タイミング(流入側)

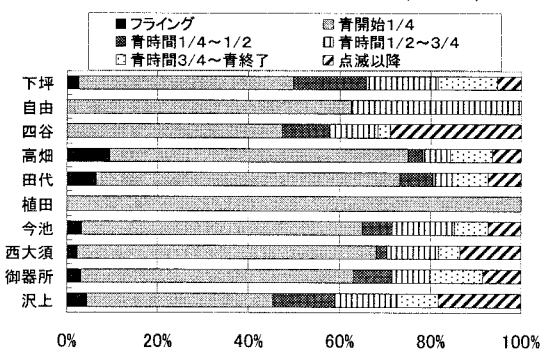


図-6 自転車横断開始タイミング(対向側)

ここでは、横断者のリスクテイク/回避行動の発生割合および横断者の流入断面(流入側・対向側(図-2 参照))の違いによる横断特性の相違を検討するために、横断歩行者・自転車の横断開始タイミングについて分析する。

横断開始時刻によって、青開始前、青時間(4等分)および青点滅以降の6つに区分し、横断歩行者・自転車別、流入断面別の横断開始タイミングを図-3～図-6に示す。

これより、歩行者においては青時間開始から青時間1/4の間に50～60%、青時間1/2までに約80%の人が横断開始していることがわかる。自転車においては青時間開始から1/2までに約60%の人が横断開始していることがわかる。前節の横断速度を加味しても、横断者の大半が歩行者青時間の前半から横断開始しているため、現状の歩行者現示において、十分余裕があるものと考えられる。

青点滅開始以降の駆け込みについてみると、全体的に歩行者よりも自転車の方が危険を冒しやすいといえる。また、植田をはじめとする横断歩道長の長い交差点においては歩行者の駆け込みの割合に対して自転車の駆け込みの割合は高く、その一方で、小規模の交差点である下坪では、逆に歩行者の割合の方が高い傾向を示している。これは表-3に示す通り、横断歩道長が長い場合、横断速度の低い歩行者は横断途中で赤信号になることを恐れ、青点滅以降の横断を躊躇し、一方、横断速度の高い自転車は点滅中に渡りきれると判断し、通過を試みた結果を反映していると考えられる。

また、流入断面別の横断開始タイミングについては、歩行者では横断歩道長の短い交差点においては流入断面の違いがあまり見られないが、横断歩道長の長い交差点においては交錯地点までの距離が長い対向側断面からの駆け込みが少ないう傾向を示している。一方、自転車においては、交差点の大きさ、流入断面の違いによる横断開始タイミングへの影響はあまりみられないことがわかる。

4. 利用者のリスクテイキング行動と交差点諸量との関連分析

2.(2)で示した歩行者青点滅以降の横断者のリスク評価値推計に関連する、左折車の横断者に対する優先通行権無視通行および横断者の点滅以降の駆け込みと交差点諸量との関連について分析を行う。

(1) 左折車の優先通行権無視通過に関する分析

(a) 横断者間通過率

左折車と横断者との交錯危険性を表現するために、まず左折車と歩行者との間の交錯による損失強度に関連するPETならびにギャップの関係について、図-7に示す。

両者が交錯する地点(CP)に着目し、ある横断者AがCPを通過したのち、左折車がCPを通過し、その後、横断者BがCPを通過するケースを想定すると、横断者AのCP通過時刻と左折車のCP通過時刻の差を前方ラグ、左折車と横断者Bとの通過時刻差をPET、また横断者Aと横断者Bの通過時刻差をギャップであると定義される。

歩行者青時間中、横断者が連続して横断する状況下(ギ

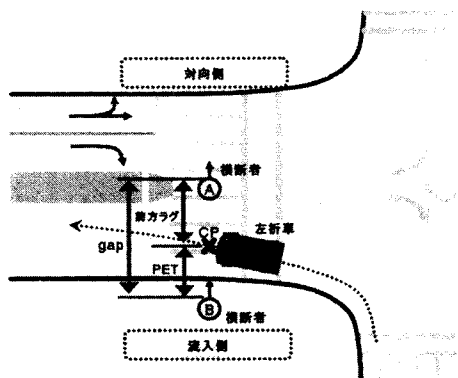


図-7 左折車と横断者との交錯に関連する状態量

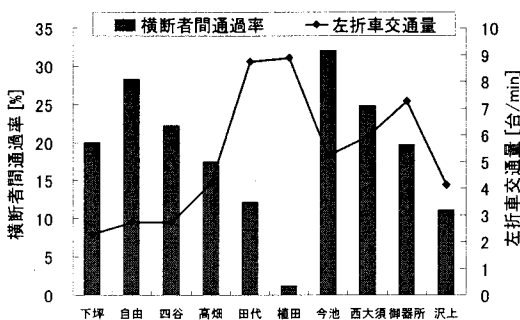


図-8 横断者間通過率と左折車交通量との関係

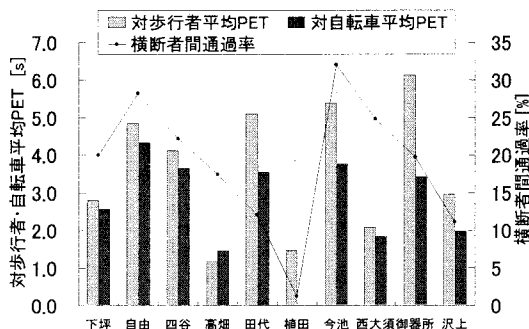


図-9 横断者間通過率と平均PETとの関係

ャップが存在する状態)において、左折車とその横断者間を通過する通過率(以後、通過率)を以下の式(11)のように定義する。

$$\text{通過率} = \frac{\text{横断者間を通過した台数}}{\text{全左折車台数}} \quad (11)$$

この通過率と交通状況との関係を交差点ごとに把握するため、通過率と左折車交通量の関係を図-8に示し、また、左折車両が横断者間を通り抜ける際の対象横断者別平均PETと左折車間通過率の関係を図-9に示す。

図-8より、左折車交通量が多い交差点では通過率が低い傾向にあるといえる。ここで、植田と田代に着目すると両者は同程度の左折車交通量であるものの、横断者間通過率に違いが生じていることがわかる。表-2より、植田交差点は、横断者交通量が少なく、横断者間を通り抜

けるような交通現象自体が少なかったことによるものと考えられる。一方、田代に関しては自転車利用者が多く、左折車は横断速度の高い自転車の不意の飛び出しを恐れて慎重に運転した結果、通過率が低下したのと考えられる。

図-9より、平均PETが大きい交差点、すなわち交錯による損失強度の低い交差点において、概ね通過率が高くなっているといえる。しかしながら、高畑、西大須に着目すると平均PETは他の交差点と比較して小さいにも関わらず、通過率が高いことがわかる。これは表-3より両交差点のセットバックの値が大きく、左折車にとって交差点内の見通しが利きやすいことが影響していると考えられる。また、四谷に着目すると、図-8より左折交通量が少なく、平均PETも小さいにもかかわらず、通過率は比較的高い結果を示している。図-3～図-6の横断開始タイミングより、四谷では青現示全体にわたり横断者が横断していることから、左折車は横断待ちによる遅れを回避するために、多少小さめの横断者間ギャップでも通過を試みた結果を表していると考えられる。

(b) 横断者間ギャップとPETの関連分析

ギャップとPETの関係について、車両がある横断者間ギャップを選択し、交差点を通過した場合(accepted gap)と通過しない場合(rejected gap)に区分した散布図を図-10に示す。これよりギャップとPETは正の相関があることがわかる。また、対象交差点における通過可能な最小ギャップは3.2[s]であり、この時のPETは2.0[s]であった。

(c) ギャップアクセプタンス率推計モデルの構築

(a)で示した各交差点における左折車の横断者間通過率に対して、ここでは、左折車1台1台に着目し、左折車が横断者間ギャップを選択するか否かの行動を、式(5)に示すギャップアクセプタンス率推計モデルで表現する。

ここで、左折車が横断者間を通過する際の判断には、そのときの横断者間ギャップの大きさが影響を及ぼすと考えられる。また、(a)の分析結果より、セットバック長が通過の判断に少なからず影響を及ぼしていることが示唆されたため、これらの2つの変数を用いて、通過率モデルを構築することとする。モデルのパラメータ推定結果を表-4に示す。

パラメータの符号条件より、ギャップが大きいほど、通過による効用が高まり、通過率が高くなることから、これは妥当な結果といえる。一方、セットバック長に関しては、パラメータは有意ではないが、セットバックが大きいほど、通過効用が低下する傾向にあることが示された。これは、セットバックが大きいほど横断者へ向けられる視野が広くなるため、車両にとっては、交錯危険性を回避するために遅れを選択しやすくなると解釈でき

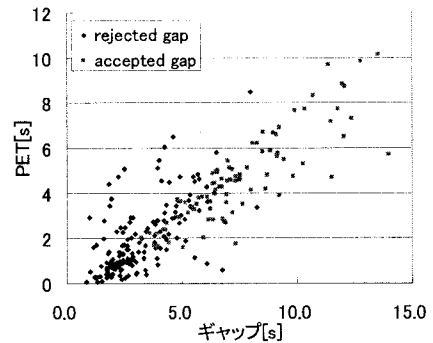


図-10 ギャップとPETの相関関係

表-4 ギャップアクセプタンス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)
定数項	-6.12(-6.48)
ギャップ[sec]	1.32(7.70)
セットバック長 S1[m]	-0.072(-1.40)
尤度比	0.61
的中率(%)	90
サンプル数	250

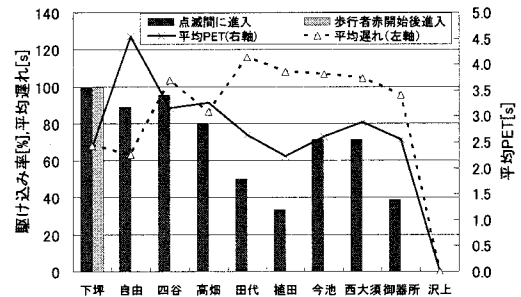


図-11 歩行者の遅れ・PET・駆け込み率の関係

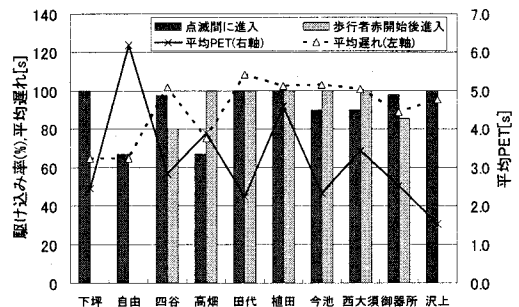


図-12 自転車の遅れ・PET・駆け込み率の関係

る。この結果よりセットバックを大きくとることにより通過率を低下させる可能性があると考えられるが、その際には、横断歩道外からの交差点進入をする斜め横断者が発生することや、横断歩道にさしかかるまでに車両の速度も上昇しやすくなることによる交錯による損失強度を高めてしまう恐れがあることへの留意が必要といえる。

(2) 青点減以降の横断者のリスクテイキング/回避行動に関する分析

(a) 横断者の駆け込みと遅れおよびPETとの関連分析

歩行者青点滅開始以降の横断者のリスクテイキング/回避行動の発生要因について、遅れと交錯に着目し、分析を行う。

ここで、遅れとは横断者が青点滅開始以降に横断を断念し、停止した時刻から次の青信号開始時刻までの時間差を表す。図-11、図-12に歩行者と自転車の遅れ・PET・駆け込み率の関係を示す。ここで駆け込み率(以下、rate of rushing into intersection: RRI)については歩行者青点滅内(PF)、歩行者赤開始以降(PR)別に以下の式で定義する。

$$RRI_{PFi} = \frac{\text{歩行者青点滅内の横断開始者数}}{\text{歩行者青点滅以降到着者数}} \times 100 \quad (12)$$

$$RRI_{PRi} = \frac{\text{歩行者赤開始以降の横断開始者数}}{\text{歩行者赤開始以降到着者数}} \times 100 \quad (13)$$

ここで、

i : 利用主体(歩行者、自転車)

である。

図-11より、御器所では歩行者のRRIが低く、自由や下坪ではRRIが高いことがわかる。これは表-3に示した横断歩道長の影響を受けていると考えられる。また、横断歩道長にあまり違いのない四谷と田代において、RRIに差異が生じているが、これはPETの大きさの違いや表-2で示した左折交通量の違い、すなわち交錯可能性や程度の違いによるものと考えられる。

図-12より、自転車については、遅れが大きい交差点ではRRIも高くなる傾向が見られる。また、歩行者ではほとんど見られなかった赤開始以降のRRIが非常に高い値を示している。横断速度の高い自転車にとっては、同一方向の車両信号が青であれば、歩行者側の信号が青点滅や赤になった状態でも容易に通過できると判断した結果を反映していると考えられる。

(b) 駆け込み率と青点滅以降経過時間比との関係

図-13、図-14に歩行者と自転車の駆け込み率と歩行者青点滅以降の経過時間比との関係を示す。ここで、青点滅以降経過時間比は、青点滅開始以降の経過時間 t を各交差点の歩行者青点滅時間 t_{PF} で除すことにより求めている。

図-13より、歩行者に関しては対向・流入の両方向からのRRIは経過時間比が変化しても、青点滅開始直後を除き、対向側のRRIの方が低い値を推移しており、また、経過時間比が0.9程度、つまり青点滅時間内において大半の駆け込みは終了することがわかる。一方、図-14より自転車では、流入側において経過時間が大きくなってもRRIが高く、歩行者赤開始以降も駆け込む可能性が高いことがわかる。

図-15、図-16に歩行者、自転車別のPETと青点滅以降経過時間比の関係を示す。

図-15より、歩行者については青点滅以降経過時間比が大きくなるとPETの値が小さくなり、交錯リスクの損失

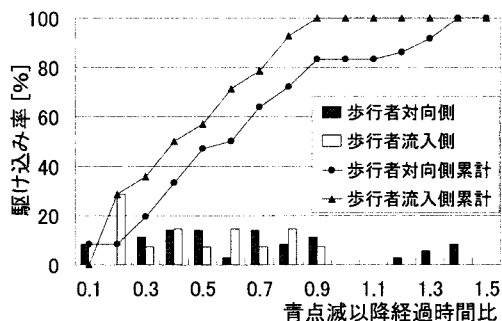


図-13 歩行者駆け込み率・点滅以降経過時間比の関係

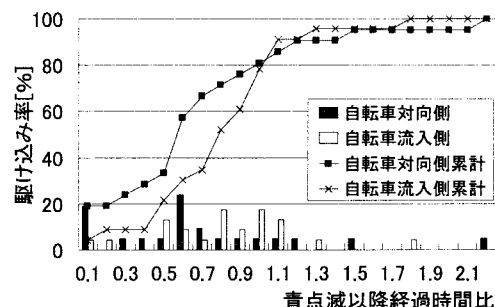


図-14 自転車駆け込み率・点滅以降経過時間比の関係

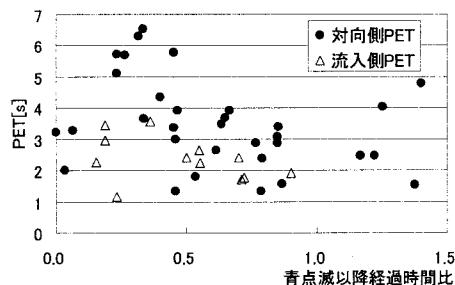


図-15 歩行者進行方向別 PET-経過時間比の関係

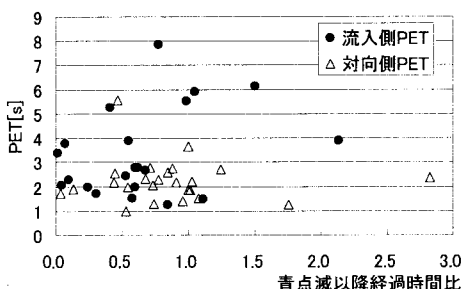


図-16 自転車進行方向別 PET-経過時間比の関係

強度が高まることわかる。一方、図-16より、自転車に関しては、青点滅以降経過時間比とPETとの相関が低いと見てとれる。

(c) PETと交差点諸量との関連分析

上記(a)、(b)の分析を踏まえ、被説明変数にPETを、説明変数として青点滅以降経過時間比および横断歩道長を用いた重回帰分析を行い、PETと交差点諸量との関係を明らかにする。分析結果を表-5に示す。

これより、歩行者のPETに関しては、青点滅から時間が経過するほど、また横断歩道長が長いほどPETが小さくなり、交錯による損失強度が高まることが定量的に示された。一方、自転車に関しては、 R^2 値も低く、また歩行者の結果と異なり、青点滅以降、時間が経過するほど、PETが大きくなる傾向を示した。自転車のPET推計モデルについては他の交差点諸量により分析を行う等、更なる検討が必要である。

(d) 利用主体別駆け込みモデルの構築および遅れリスクに対する交錯リスクの重みの推定

式(4)に示す駆け込み率モデルを構築するために、式(9)に示す遅れとPETの逆数を用いた効用関数を仮定し、実態調査データを用いて、利用主体別にパラメータ推定した結果を表-6に示す。

これより、両主体とも点滅以降の駆け込み行動に関して、PETが小さい、つまり車両との交錯の危険性が高いほど駆け込みは抑制されることを示され、また、遅れが大きい場合には駆け込みが促進される傾向であることがわかり、これらは妥当な結果であるといえる。

また、得られたパラメータを用いて、式(10)に示す遅れリスクに対する交錯リスクの重み τ を利用主体別に算定したところ、歩行者については138、自転車については85.4となり、歩行者の方が自転車よりも交錯リスクに対して意識が高いことが明らかとなった。

5. 調査データを用いたリスク評価値推計とリスク評価値低減のための交差点運用代替案の評価

4章までの分析を通じて、横断者のリスクテイキング/回避行動および左折車の優先通行無視通行に関連する交差点諸量との関係が明らかとなった。本章では調査対象交差点におけるリスク評価値を試算し、得られたリスク評価値を低減するような交差点運用代替案の評価について検討を行う。

(1) 交差点別のリスク評価値推計結果

前章までの分析の結果得られた通過率モデル、PET推計モデル、駆け込み率推計モデルおよび遅れと交錯の重みの各パラメータ(表-4、表-5、表-6)を式(1)に代入し、さらに表-2および表-3に示す交差点特性データ(交通量条件、制御条件および交差点構造条件)を用いて、各交差点のリスク評価値を推計する。

図-17に歩行者青点滅開始から車両赤開始における、交錯と遅れ別、利用主体別の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

表-5 PETの回帰分析(青点滅以降)

説明変数	パラメータ (t 値)	
	歩行者	自転車
切片	6.96 (12.07)	2.26 (8.20)
青点滅以降経過時間比	-1.65 (-3.74)	0.377 (1.22)
横断歩道長 [m]	-0.17 (-6.20)	
R^2 値	0.47	0.23
サンプル数	50	45

表-6 利用主体別駆け込み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]	0.029 (5.92)	0.041 (5.89)
尤度比	0.41	0.75
的中率(%)	81.5	94.8
サンプル数	130	134
$\tau(\alpha/\beta)$	138	85.4

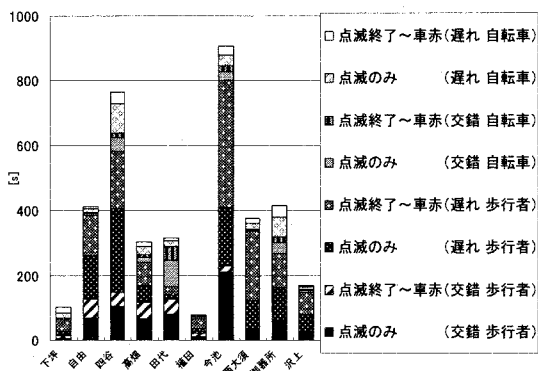


図-17 交差点別リスク評価値

とができる。次節では、ケーススタディとして、リスク評価値の高い四谷交差点に着目し、交差点の幾何構造・信号制御の変更にもとづく複数の交差点運用代替案の効果を計量する。

(2) ケーススタディによるリスク評価値低減の効果

4章までの分析結果より、横断歩道が長いことは、歩行者にとって交錯リスク損失強度の増大につながり、また、遅れの増加は横断者の駆け込み進入を促し、さらには、セットバックが大きいことは、左折車の横断者間通過率を上昇させることが明らかとなっている。そこで、本研究では、利用者の危険な通過判断や交錯の度合いを抑制し、リスク評価値を低減させるための交差点運用代替案を検討するために、構造条件、信号制御条件の変更による以下の4つのシナリオを設定した。

シナリオⅠ：横断歩道長の変更(17.3[m]→15.3[m])

シナリオⅡ：セットバック長S1の変更(7.1[m]→5.1[m])

シナリオⅢ：サイクル長の変更(130[sec]→120[sec])

シナリオⅣ：Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ

各シナリオの数値設定の背景として、Ⅰについては道路構造令¹⁰⁾における特例等も踏まえて、四谷交差点において、中央帯、側帯、路肩等、さらには車道の等級を下げることによって対応可能な範囲と想定される値を設定した。また、Ⅱについては、交差点における大型車混入率(7.0%程度)を考慮し、転回に影響が出ない範囲として想定している。Ⅲについては、横断歩道の短縮に伴う歩行者青時間および点滅時間の短縮が可能な範囲と想定される値を設定している¹⁴⁾。

ここで、横断歩道長を変更することは歩行者青時間や青点滅時間の設定に影響があり、セットバック長を変更すれば停止線間距離が変化し、全赤時間の設定へ影響を及ぼすといったように、各シナリオを単体で実現することはあまり現実的ではないが、各要素の設定変更によるリスク評価値変化を計量するために、本稿では区分したⅠからⅢまでのシナリオおよびそれらを総合的に評価したⅣのシナリオの4つに分けて結果を示している。

シナリオ別のリスク評価値の変化について、図-18に、青点滅開始以降、同一進行方向車両の車両赤までのリスク評価値を示し、図-19に車両赤開始から次の青開始時間までのリスク評価値を示す。さらに青点滅～次の青開始までのリスク評価値として、図-18、図-19の結果を合計し、現状とシナリオⅣとの結果を比較したグラフを図-20に示す。なお、図-19において、車両赤～次の青開始では従方向車両(図-2 参照)へ通行権が移るため、横断が極めて困難な状態といえる。そこで今回は駆け込み率=0とし、交錯リスクについては検討しないものとする。

図-18より、歩行者に関する交錯リスクについてはいずれのシナリオも減少していることがわかる。

また、シナリオⅠによる効果が他のシナリオの効果よりも大きいことが示され、複合シナリオのⅣは現況よりも2.0[%]程度、リスク評価値が高くなっていることがわかる。前者は横断歩道長短縮により歩行者交通に関するPETが大きくなり、青点滅時間中においても安全に横断できる環境が整うことで遅れが減少したことが影響し、後者はサイクル長の短縮により、横断者の被る遅れが小さくなり、駆け込みが抑制された結果、点滅時間帯において遅れリスクを受容する横断者が増えた結果を反映しているといえる。また、シナリオⅢにおいてセットバックS1を縮小することにより、左折車の通過率が高まり、横断者の駆け込みが抑制されるため、交錯リスクは減少する。しかしながら、横断者の点滅中の遅れリスクは増大しており、この遅れリスクを被る横断者のリスクテイキング行動抑制への配慮のために、遅れ自体を減少させるように信号の設定を併せて見直す必要があるといえる。

図-19より、シナリオⅢ、Ⅳの信号制御条件を変化させた場合において、車両赤以降、次の青開始までに被る遅れが、現状、シナリオⅠおよびⅡと比較して、200[s]

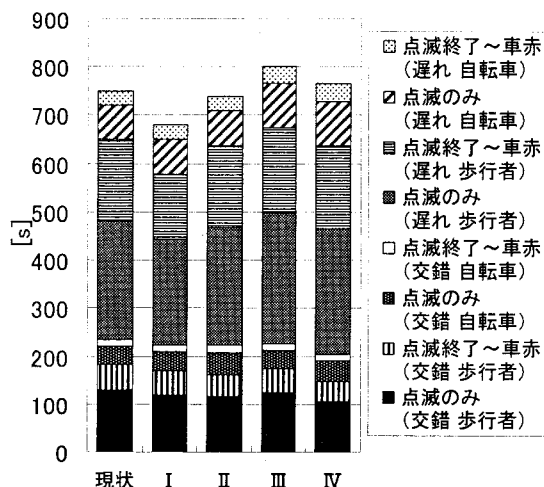


図-18 シナリオ別リスク評価値の変化(青点滅～車両赤)

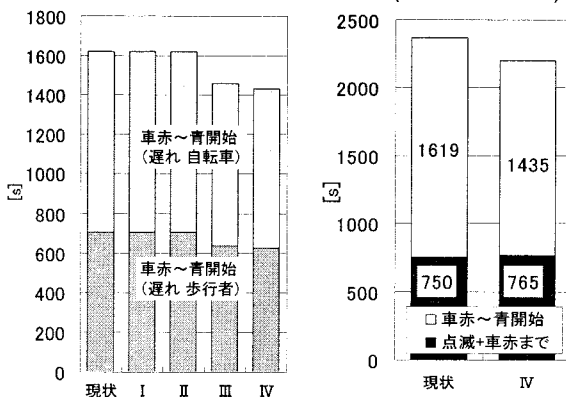


図-19 シナリオ別リスク評価値の変化(車両赤～青)

図-20 シナリオ別リスク評価値の変化(点滅以降～青)

程度減少することがわかる。

図-20の青点滅～次の青開始までのリスク評価値に着目すると、図-18において、青点滅から車両赤までではシナリオ実施によりリスク評価値が増える結果となったが、赤時間中の遅れまで考慮すると四谷交差点1方向1時間あたりのリスク評価値が現状2369[s]から2201[s]と7.0[%]減少することが示された。

このように、交差点構造と信号設定を同時に変化させることによって、交差点のリスク評価値を減らすことができることとされ、また、サイクル長を短縮させる施策は遅れを低減させるだけでなく交錯リスクを低下させる運用代替案としても有効であることが示された。

6. まとめ

本稿では、信号交差点における横断者の不効用に関連する遅れと交錯を同時に表現可能な交差点評価指標として、リスク評価値を提案し、観測調査データを用いて、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、損失強度及び遅れと交錯のトレードオフ係数について定量的に分析した。

その結果、リスク発生に関連する駆け込み率には遅れ、PET の逆数が影響しており、また、歩行者は自転車よりも交錯リスクに対する意識が高く、さらには、横断歩道長や青点滅開始以降の経過時間が交錯による損失強度に影響することが示された。

また、構築したリスク評価値推計モデルを用いて、横断歩道長、セッバックならびにサイクル長を 1 割程度縮小した交差点運用変更による効果を計量したところ、現況よりも 7.0[%]程度リスク評価値を減ずることが可能であることが示され、また、サイクル長の短縮施策が遅れリスクだけではなく交錯リスクを低下させる代替案として有効であることが示された。

今後の課題として、横断者の不効用に関連するリスク評価値と交通事故との関連性や他の評価指標との関係についての分析を行うことが挙げられる。また、自転車交通の交錯リスクの損失強度推計モデルの精度向上や今回、分析対象外とした右折車と横断者との交錯に関する分析を行う。また、リスク評価値推計モデルの適用範囲について検討するために導流路のある交差点や現示のスキップ等、構造条件・制御条件の異なる交差点、さらには異なる地域においてもデータを取得し、研究を深めていく。

参考文献

- 1) 中村英樹：高級な道路の供給から合理的な機能の提供へ、交通工学 Vol.38, 増刊号, pp.5-13, 2003.
- 2) 草野直幹：土木分野におけるリスクマネジメントの必要性、土木学会誌, Vol.85, pp.6-8, 2000.
- 3) 武井勲：リスクマネジメント総論、中央経済社, 1987.
- 4) 蓮花一己：運転時のリスクテイキング行動の心理的過程とリスク回避行動へのアプローチ、国際交通安全学会誌 Vol.26, No.1, pp.12-22, 2000.
- 5) 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, 10th World Conference on Transport Research, 12 pages in CD-ROM, 2004.
- 6) 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.
- 7) 日本リスク研究学会：リスク学事典, TBS プリタニカ, 375p, 2000.
- 8) 若林拓史, 小嶋紀之, 大石理：交通流ビデオ解析システムの開発と交通コンフリクトへの適用, 土木計画学研究・論文集 Vol.19, No.4, 2002.
- 9) 宇野伸宏, 飯田恭敬, 安原真史, 菅沼真澄：一般道織込み部における客観的コンフリクト分析と速度調整モデルの構築, 土木計画学研究・論文集 Vol.20, No.4, 2003.
- 10) 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, 2004.
- 11) Hayward, J.C. Near-miss Determination through Use of a Scale of Danger, Highway Research Record, 24-34, 1972.
- 12) 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.
- 13) 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, 2003.
- 14) Allen, B.L. Shin, B.T. and Cooper, D.J.: Analysis of traffic conflicts and collision, Transportation Research Record, 677, 67-74., 1978.
- 15) 社団法人交通工学研究会：交通信号の手引, 157p, 1994.
- 16) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 667p, 2004.

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

鈴木弘司**・藤田素弘***・小塚一人****・串原喜之*****

本研究では、信号交差点における横断者の不効用に関連する遅れと交錯を同時に表現可能な交差点評価指標“リスク評価値”を提案し、観測調査データを用いて、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、損失強度及び遅れと交錯の換算係数について定量分析した。その結果、リスク発生に関連する駆け込み率には遅れ、PET の逆数が影響しており、また、歩行者は自転車よりも交錯リスクに対する意識が高く、さらには、横断歩道長や青点滅開始以降の経過時間が交錯強度に影響することが示された。本モデルを用いて交差点運用変更による効果を計量したところ、現況よりも 7.0%, リスク評価値を減ずることが可能であると示された。

A Study on Performance Evaluation for Signalized Intersections Considering Risk-Taking / Aversion Behaviors of Users*

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

The objective of this study is to propose an evaluation index for signalized intersection considering both delay and traffic conflict of pedestrians and cyclists, and to analyze the index quantitatively based on field survey. Both the probabilities and the degree of risk incidents were explained by the setting of traffic signal and geometric conditions. And it was shown that pedestrians' consideration to the conflict is higher than the bicycle by calculating the weights of conflict to delay. Finally, using these results, the evaluation of present intersection is quantified and the operation alternatives were evaluated.