

# 大規模交差点の交通安全施策に関する利用者意識・挙動分析\*

Analysis on Users' Consciousness and Behaviors for Traffic Safety Measures at Large-scale Intersections\*

鈴木弘司\*\*・藤田素弘\*\*\*・増山淳\*\*\*\*

By Koji Suzuki\*\*, Motohiro Fujita\*\*\*, Jun Masuyama\*\*\*\*

## 1. はじめに

日本における交通死亡事故件数は年間 5000 件程度であり、その数字は年々減少傾向にある。その一方で高齢者の死亡事故の割合は増加傾向にあり、歩行中の死亡事故の割合が高い状況にある。また、交通事故の発生場所としては、交差点および交差点付近の事故がおよそ半数を占めており<sup>1)</sup> 交差点での横断者への安全対策が求められている。近年、これらの信号交差点で多発する横断歩行者・自転車と右左折車との交通事故の問題への対策として、横断者と自動車の通行権を時間的に分離する歩車分離式信号制御（以下、歩車分離制御）の導入が進められている。

歩車分離制御は、その原理上、横断者と車両との接触事故を減少させるため、安全性の確保に大きな効果が期待できる<sup>2)</sup>。一方、限られた信号サイクルの中で車両、横断者に通行権を分割するため、通常の青丸制御での歩車非分離式制御（以下、非分離制御）よりも通行可能時間が短縮される。その結果、円滑性の低下が懸念されると共に、赤信号による待ち時間を回避しようとする利用者の信号無視などを誘発する可能性があり、特に大規模交差点での導入に際しては、これらの利用者挙動・意識を踏まえ、安全・円滑の両面からの検討が必要となる。

既存の歩車分離制御の研究に関して、齋藤ら<sup>3)</sup>は歩車分離制御が新規導入された小規模交差点での事前・事後分析により、当制御による歩車錯綜減少および歩行者のフライング抑制の効果を示している。鈴木ら<sup>4)</sup>は、片側2車線以下の小規模交差点における歩車分離制御下での車両挙動分析より、歩車分離制御の方が危険性の高い車両挙動が見られることもあり、歩車分離制御が非分離制御に比べ交差点内の危険性が高い状況にあることを指摘した。小川ら<sup>5)</sup>は、シミュレーションモデルにより、3車線道路における歩車分離制御の交通処理能力の比較分析を行い、

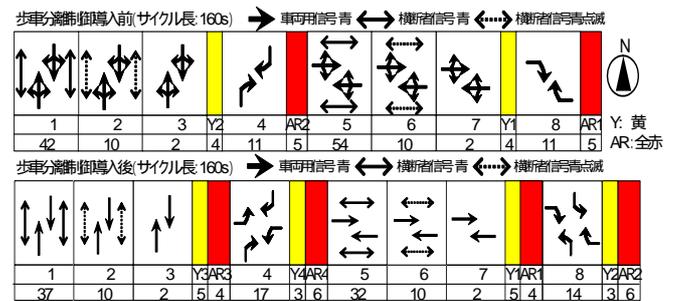


図-1 名駅南3丁目交差点の信号現示階梯

当制御導入に適した交通量特性を示している。吉田ら<sup>6)</sup>は、大規模交差点におけるヒアリング調査から、横断者の安全性向上や事故削減効果を確認している。しかし、近年、都市部の大規模交差点で適用されつつある右左折車両分離方式の歩車分離制御の導入に関しては研究例が少なく、著者ら<sup>7)</sup>により歩車交錯領域への到着率を考慮した交錯可能性評価や制御導入後の円滑性の変化について経時解析が行われているものの、これは交錯強度を考慮した安全性評価ではなく、また、利用者意識・行動と信号制御や構造との関係については明らかにされていない。

本研究では、右左折車両分離方式の歩車分離制御が新規導入された大規模交差点における聞き取り調査ならびに観測調査に基づき、まず歩車分離制御導入後の安全性、円滑性に関する利用者意識およびその変化と関連要因を分析する。次に、横断者挙動、歩車交錯機会および強度の違いを導入前後の複数時点で経時的に分析する。さらに、横断者と右左折車との交錯危険性を評価する歩車交錯リスク推計モデルを提案し、制御導入前後の安全性変化を検証し、調査交差点における制御導入前後での交錯リスク軽減のための交通安全施策について検討する。

## 2. 調査概要

本研究では名古屋市内名駅南3丁目交差点を分析対象とする。本交差点は2006年に27件の事故が発生した県下ワースト2の事故多発交差点であり、2007年9月末に歩車分離制御が新規導入されている。歩車分離制御導入前後の対象交差点の信号現示階梯を図-1に示す。これより、制御導入に伴い、南北5[s]、東西22[s]の青時間が短

\*キーワード: 歩車分離制御, 大規模交差点, 利用者意識, 歩車交錯リスク

\*\*正員, 博(工), 名古屋工業大学大学院工学研究科  
(E-mail: [suzuki.koji@nitech.ac.jp](mailto:suzuki.koji@nitech.ac.jp) 名古屋市昭和区御器所町, TEL052-735-7962)

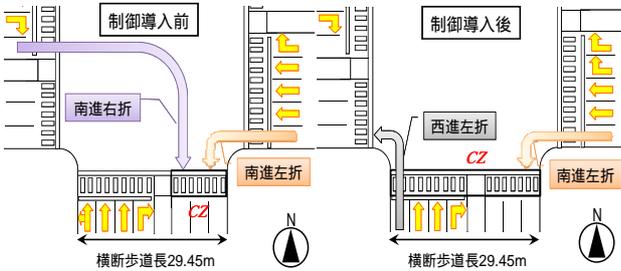
\*\*\*正員, 工博, 名古屋工業大学大学院工学研究科

\*\*\*\*正員, 株式会社建設研究所

表-1 調査日程

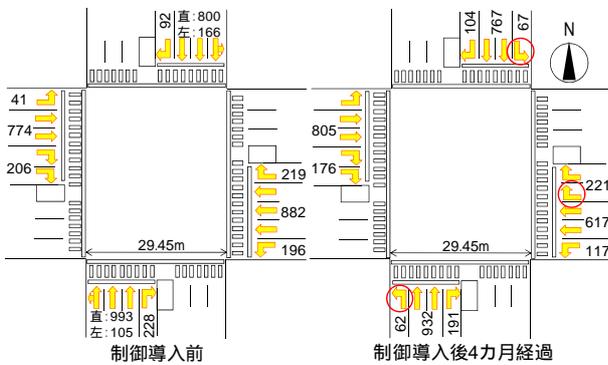
| 時点    | 日程         | 出勤ピーク       | 帰宅ピーク         |               |
|-------|------------|-------------|---------------|---------------|
| 制御導入前 | 2007/7/26  | 7:45 ~ 8:45 | 16:30 ~ 17:30 |               |
| 制御導入後 | 1週経過       | 2007/10/5   | 8:00 ~ 9:00   | 16:30 ~ 17:30 |
|       | 1ヶ月経過      | 2007/11/8   | 8:00 ~ 9:00   | 16:30 ~ 17:30 |
|       | 4ヶ月経過      | 2008/2/11   | 8:00 ~ 9:00   | 16:30 ~ 17:30 |
|       | 1年経過       | 2008/9/25   | -             | 16:30 ~ 17:30 |
|       | 2008/10/23 | 8:00 ~ 9:00 | -             |               |

\*事後1年の調査は、2008/9/25 調査時取得映像に一部不備があり、2度実施した。



CZ(交錯発生領域: Conflict Zoneの略称)

図-2 分析対象横断歩道(左:導入前,右:導入後)



(\*導入後4ヶ月経過については、ビデオ設置条件より北進左折交通量は未計測)

図-3 車線運用・交通量図(制御導入前後)

縮されると共に、各方向の右左折時間後の全赤時間が1[s]延長され、φ3, φ7 後に全赤時間が追加されている。

本研究では、表-1 に示すように、事前1時点、事後4時点の計5時点で、横断歩道部、交差点内における右左折車および横断者の交通量や速度、進入タイミングなどの挙動を把握するためのビデオカメラによる観測調査を行い、映像データを取得している。図-2 に分析対象横断歩道を示す。本稿では、歩車分離制御導入前に横断者事故が最も多く発生していた交差点南側横断歩道に着目する。車両・横断者の交錯事象を捉えるため、同一現示もしくは次現示において両者の動線が重なる可能性のある領域を交錯発生領域(図中CZ)と定義し、分析を行う。なお、制御導入に際し、南部流入部の第1車線が直左混用車線から左折専用車線に、東部流入部の第4車線が右折専用車線に変更されている。また、調査時の交通特性として、制御導入前と導入後4ヶ月経過後の車線ごとの交通量を図-3 に示す。これより方向により交通量が増減しているが、対象横断歩道に流入する交通量が減少していることがわかる。

表-2 聞き取り調査の概要

| 調査実施時期                      | 概要  |
|-----------------------------|---|
| 第1回                         | 2007年11月中旬 (有効回答数:84部)                              |
| 第2回                         | 2008年2月末 (有効回答数:70部)                                |
| 個人属性                        | (年齢, 性別, 家族構成, 本交差点の利用頻度, 交通手段, 利用する時間帯)            |
| 制御導入に対する総合的な評価              | (満足, やや満足, どちらとも言えない, やや不満, 不満)                     |
| 第1回                         | 制御導入における交通安全・交通渋滞対策の有用性 (有用, やや有用, あまり有用でない, 有用でない) |
| 交通安全                        | 交通渋滞・交通安全 (改良前と変わらない, 改良前よりも悪くなった, 改良前よりもよくなった)     |
| 制御導入を知った時期, 制御導入前後のヒヤリハット経験 | 信号設定, 交差点構造, その他運用代替案については是非                        |
| 個人属性                        | (年齢, 性別, 家族構成, 本交差点の利用頻度, 交通手段, 利用する時間帯)            |
| 第2回                         | 運用状態に対する総合的な評価 (良い, まあまあ良い, ふつう, やや悪い, 悪い)          |
| 交通安全                        | 交通渋滞・交通安全の状況 (非常に問題あり, やや問題あり, 特に問題ない)              |
| 制御導入後のヒヤリハット経験              | 信号設定, 交差点構造, その他運用代替案については是非                        |

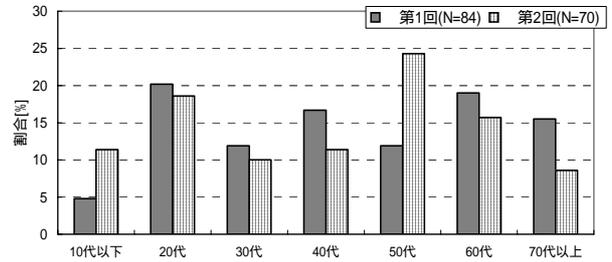


図-4 回答者属性(年齢)

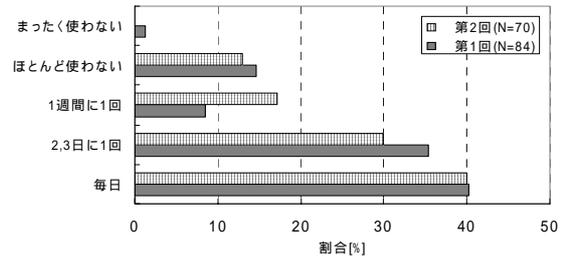


図-5 回答者属性(交差点利用頻度)

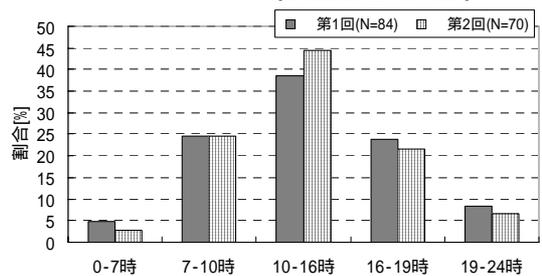


図-6 回答者属性(利用時間帯)

次に、聞き取り調査の概要を表-2 に示す。本研究では制御導入1.5ヶ月程度経過後(第1回調査)、5ヶ月経過後(第2回調査)の2時点において信号待ちをしている横断者に対して、街頭聞き取り調査を実施した。表-2 の調査内容に示すように、第1回調査では制御導入前と直後の利用者意識、評価の違いを把握するため、また第2回調査ではある程度制御が浸透したと思われる一定期間供用後の利用者意識、評価を把握することを意図している。両調査における回答者の属性を図-4 から図-7 に示す。

これらより、幅広い年齢層、利用時間帯の回答が得られていること、また、対象交差点の利用頻度も高いことが確認でき、調査時点による回答者属性に大きな違いはないといえる。なお、両調査において回答数がやや少ないが上記理由を考慮し、分析に用いることとする。なお、主として本交差点を利用する手段を車とする回答者は20%程度であり他の手段に比べて、やや少ない結果となったが、これは今回の調査が信号待ちをしている横断者に対して実施されたことが影響したと思われる。

### 3. 歩車分離制御に関する利用者意識分析

#### (1) 歩車分離制御導入直後の利用者評価

まず、第1回の聞き取り調査結果を用いて、歩車分離制御導入直後の利用者意識について分析する。

表-2 に示した交通安全、交通渋滞対策としての制御導入の有用性に関する評価を交通手段別に図-8 に示す。

これより、交通安全に関しては、歩行者・自転車は80%以上が有用と評価し、ドライバーについても70%程度が有用と評価していることがわかる。よって、歩車分離制御導入に対して、安全性の観点からはどの手段も高評価であることが確認できる。

一方、交通渋滞に関する評価については、歩行者・自転車の40%程度が否定的な回答であり、ドライバーは80%が否定的な評価である。これは、図-1 に示すように通行権分離による通過可能時間の減少が影響したものである。

#### (2) 制御導入一定期間経過後の利用者評価

次に、第2回の聞き取り調査結果を用いて、制御導入一定期間経過後の状況についての利用者評価を分析する。制御導入による問題点評価を図-9 に示す。

これより、交通安全に関して、どの手段も70%程度は問題ないと評価しているが、30%程度は問題を感じており、ドライバーについては約12%が非常に問題ありと評価している。すなわち、一定期間経過後、安全性については対処すべき問題点が明らかになってきたと考えられる。一方、交通渋滞に関する評価については、歩行者、自転車の40%程度は問題があると認識しており、ドライバーは60%程度が問題を認識している。特にドライバー全体の20%程度は本制御が非常に問題ありと評価している。これらの評価への影響要因については次節にて詳細な分析を行うこととする。

#### (3) 制御導入に対する総合評価

制御導入に対する利用者の総合評価について分析する。各調査における5段階の総合評価を、最低1点から最高5点まで1点刻みで得点化し、手段別、調査別に平均値、

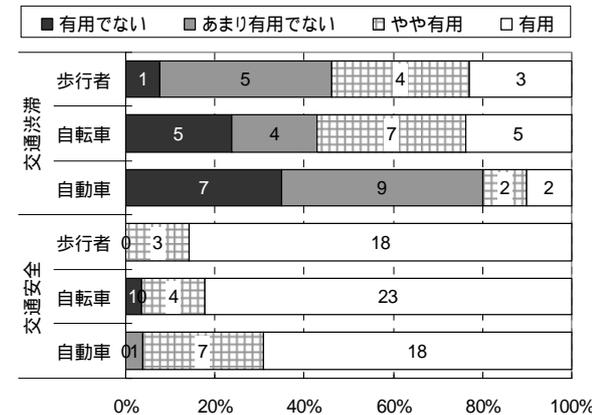
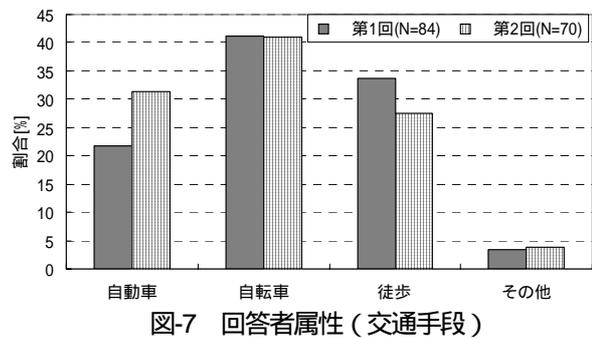


図-8 制御導入の有用性に関する評価 (第1回調査)

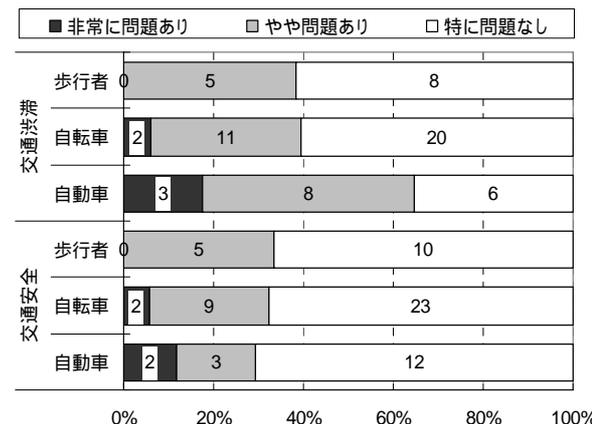


図-9 制御導入による問題点評価 (第2回調査)

表-3 制御導入に対する総合評価

| 調査                 | 統計量    | 主な交通手段 |       |       |
|--------------------|--------|--------|-------|-------|
|                    |        | 自動車    | 自転車   | 歩行者   |
| 第1回                | 平均値    | 4.08   | 4.31  | 4.50  |
|                    | 標準偏差   | 0.89   | 0.79  | 0.74  |
|                    | 標本の大きさ | 26     | 36    | 22    |
| 第2回                | 平均値    | 3.12   | 3.65  | 3.63  |
|                    | 標準偏差   | 1.17   | 1.03  | 1.02  |
|                    | 標本の大きさ | 17     | 37    | 16    |
| t値 (1回目と2回目の平均値の差) |        | -2.98  | -3.01 | -2.97 |

標準偏差を求め、さらに1回目と2回目の総合評価の平均値の差に関するt検定を行った結果を表-3 に示す。

これより、導入直後では、平均値が4点を超えており、どの手段も高い評価をしていることがわかる。一方、導入5ヶ月後では自動車、歩行者では1ポイント程度、自転車でも0.7ポイント程度評価が下がっていることがわかる。また、t値より、すべての手段において1回目と2

回目の平均値には有意差があることが確認できる。

#### (4) 制御導入一定期間経過後の総合評価に関する要因分析

前節の分析より、時間経過に伴い、歩車分離制御導入に関する総合評価は低下する傾向にあることがわかった。また、3(1)、3(2)の分析より、安全性、円滑性に関する評価は交通手段によって異なることも示された。本項では、安全性、円滑性への評価の影響要因を明らかにし、これらの評価と総合評価との関連性について併せて考慮するためにパス解析を行う。これにより、歩車分離制御導入に関する利用者評価構造を明らかにし、制御導入に対する評価を高める制御要因等を明らかにする。本稿では、利用者評価が低下した2回目調査データを用いる。

GFI, AGFIにより、当てはまりのよさを考慮し、最終的に採択した総合評価モデルの解析結果を図-10に示し、モデル内の変数の定義を表-4に示す。

これより、総合評価には高齢利用者が、交通安全への問題、交通渋滞への問題の3つが影響していることがわかる。高齢利用者は総合評価を高くする傾向があり、他の年齢層に比べ、歩車分離制御に対する受容性の高さが窺える。一方で、安全性への評価が低い場合、また、交通混雑に対する評価が低い場合には総合評価が低下することがわかる。

交通安全についての評価に関しては、青時間が長く感じる、昼間利用の歩行者、15歳以下の子供と同居である利用者は問題があると評価する傾向にあることがわかった。3変数の比較では、青時間が交通安全評価に与える影響が最も大きいことがわかる。

交通渋滞についての評価に関しては、サイクル長、青点滅時間といった交通信号設定の変数と交通混雑の評価と相関があることがわかる。また、早朝利用、車での利用が多い回答者は問題があると評価することがわかった。

この結果より、利用者評価に関わる個人属性が明らかになったとともに、歩車分離制御の導入に関する利用者の総合評価を高めるためには、青時間やサイクル長、点滅時間を適切な長さに検討することも必要であることが示された。

#### 4. 歩車分離制御導入前後の横断者挙動と交錯事象に関する分析

##### (1) 横断者挙動分析

先行研究<sup>7)</sup>では、横断者挙動についても分析しているが、歩行者と自転車利用者を区別したものではない。そこで、本研究では歩行者、自転車を分けて挙動分析する。まず、制御導入前後での駆け込み横断者（点滅時間～南北青時間開始）に着目し、時系列的に分析する。点滅時間以降

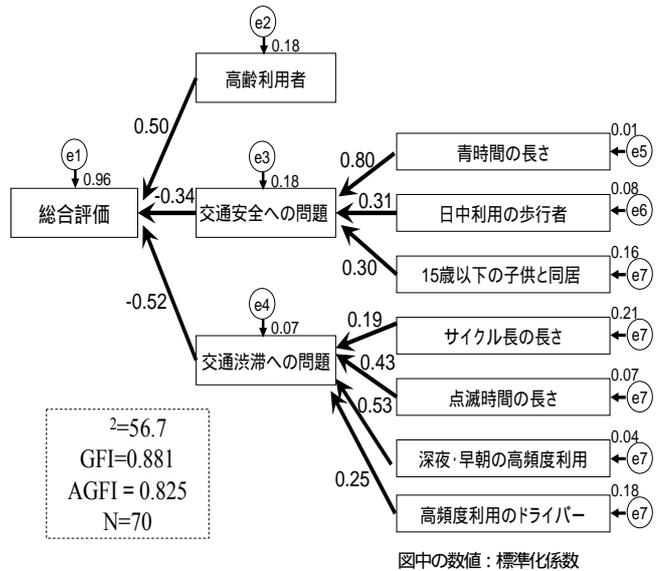


図-10 パス解析による総合評価モデル

表-4 総合評価モデルに使用した変数一覧

| 変数種類    | 変数名   | 変数の定義   |
|---------|---|---|
| 内生変数    | 総合評価  | 歩車分離制御に対する総合評価 (悪い:1, やや悪い:2, 普通:3, まあまあ良い:4, 良い:5)         |
|         | 交通安全への問題  | 歩車分離制御により交通安全の問題が生じているかどうかの評価 (問題ない:1, やや問題あり:2, 非常に問題あり:3) |
|         | 交通渋滞への問題  | 歩車分離制御により交通渋滞の問題が生じているかどうかの評価 (問題ない:1, やや問題あり:2, 非常に問題あり:3) |
| 外生変数    | 高齢利用  | 年齢に関するダミー変数 (60歳代以上:1, それ以外:0)                              |
|         | 15歳以下の子供と同居                                     | 家族構成に関するダミー変数 (15歳以下の子供と同居:1, 同居していない:0)                    |
|         | 日中利用の歩行者  | 利用時間帯と交通手段に関するダミー変数 (10時から16時利用の歩行者:1, それ以外:0)              |
|         | 高頻度利用のドライバー                                     | 交通手段に関するダミー変数 (交差点利用頻度の高いドライバー:1, それ以外:0)                   |
|         | 深夜・早朝の高頻度利用                                     | 利用時間帯に関するダミー変数 (0-7時に高頻度に利用する利用者:1, それ以外:0)                 |
|         | サイクル長の長さ  | 本交差点のサイクル長の長さへの評価 (短い・やや短いと評価:0, 長い・やや長いと評価:1)              |
|         | 青時間の長さ  | よく利用する方向の青時間の長さへの評価 (短い・やや短い:0, 長い・やや長い:1)                  |
| 点滅時間の長さ | よく利用する方向の歩行者青点滅時間の長さへの評価 (短い・やや短い:0, 長い・やや長い:1) |   |

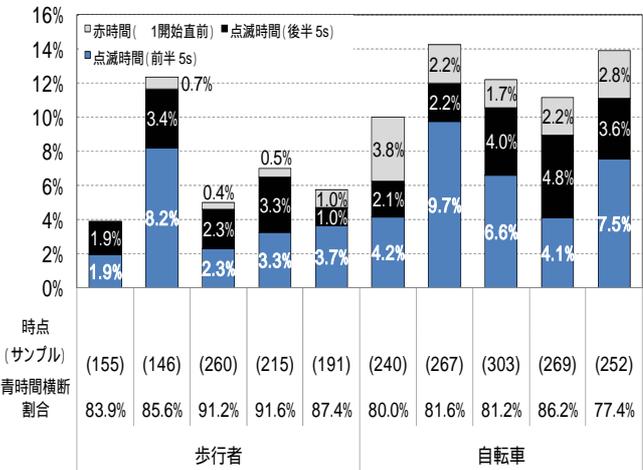


図-11 横断者手段別の進入タイミング

の横断者手段別の進入タイミングを図-11 に示す。

図-11 より、導入後は手段を問わず点滅時間以降の割合が増加している。導入後まもないII 時点では点滅時間（前半 5s）において大幅に増加しており、これは新制御への認識不足が要因と考えられる。また、点滅時間（後半 5s）から赤時間での進入割合については、III から IV 時点では増加し、IV から V 時点では減少と変動している。手段別に比較すると自転車の駆け込み進入割合が高いことがわかる。これらの駆け込みの発生要因に関する分析は 4(3)にて行う。

次に、点滅時間以降の横断者手段別における退出タイミングを図-12 に示す。

図-12 より、歩車分離制御導入後の点滅時間以降の赤時間での退出割合が、歩行者では導入前より 5~10%増加していることがわかる。図-11 に示したように制御導入に伴う青時間短縮により点滅時間以降進入が増加したことが影響したといえる。また、II 時点と III 時点以降の赤時間退出の割合の比較より、制御導入後、時間が経過するのに伴い、数値が若干低下している。このとき、青時間横断割合の増加が確認できることから、横断可能時間の短さを歩行者が理解し、青時間中に横断するようになったことが一因と推察される。一方、自転車に関しては、II 時点と III 時点以降の赤時間退出の割合が微増傾向にある。歩行者と異なり、青時間横断割合が減少傾向にあることが影響したといえる。

上記の赤時間以降の残留者は次現示の右左折車との交錯を起こし得ると考えられる。この交錯事象との関係についての分析は 5(1)にて行う。

## (2) 交錯事象に関する分析

制御導入前後の横断者と車両の交錯可能性を分析する。図-13 の左に示すような横断者と車両の軌跡が交わる交錯点（以下、CP）を交錯事象ごとに設定し、横断者が CP を通過後（図中 X[sec]）、車両が CP を通過する（図中 Y[sec]）までの通過時刻差(Y-X[sec])を計測したものを PET 指標とする。今回、図-2 に示す交錯事象発生ゾーン CZ で発生した事象を抽出する。

なお、南進左折車が停止線から横断歩道を通るまで約 6 秒要することを勘案し、6 秒以内の PET が観測される事象を交錯事象として捉える。また、車両が横断歩道を通る際、車両前部から後部までの通過に約 2 秒要するため、2 秒以下の PET が観測される事象を危険事象と定義する。全 5 時点における出勤・帰宅ピーク各 1 時間中に計測された全交錯事象を分析する。

制御導入前後の交錯事象数と横断者一人あたりの交錯事象発生頻度として定義される交錯機会の推移を図-14 に示す。なお、導入事後の事象数を考慮し、ここでは歩行者、自転車を区別せず、結果を集計している。

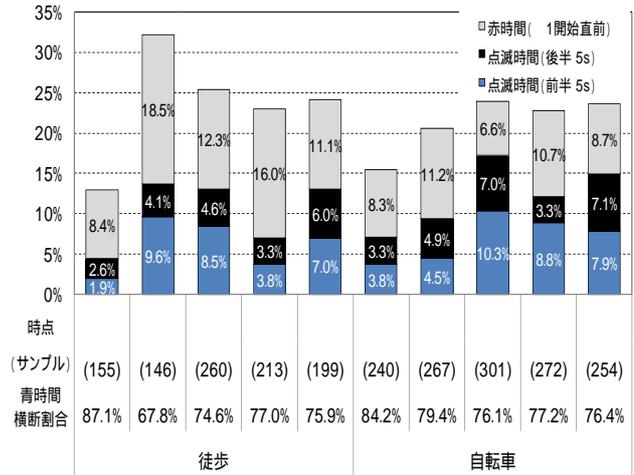


図-12 横断者手段別の退出タイミング

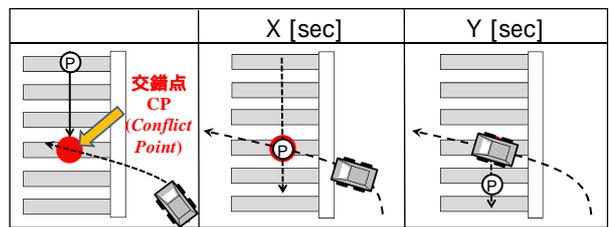


図-13 PET 指標の概念 (P: 横断者)

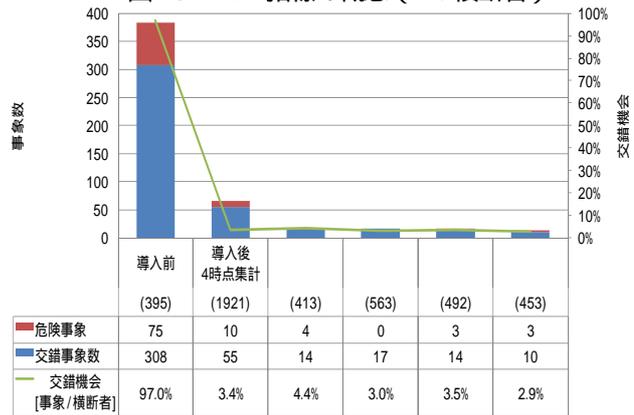


図-14 制御導入前後の交錯事象数、交錯機会の推移

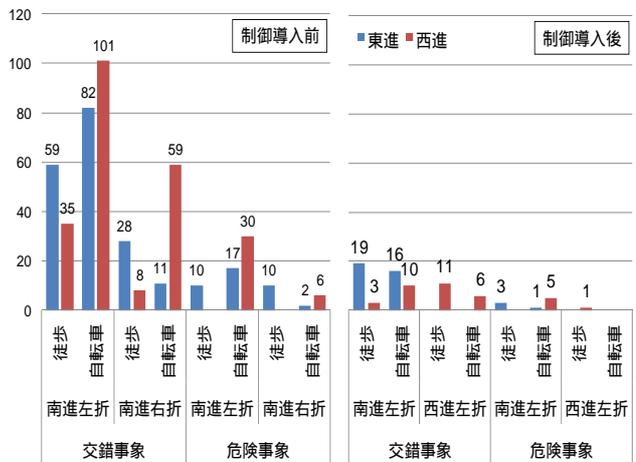


図-15 導入前後-車両進行別の交錯事象発生変化

これより、導入後における交錯事象数は導入前の約 17%となり、危険事象数も大幅に減少していることがわ

かる。また、交錯機会も 3%程度となっており、制御導入による横断者の安全性の向上が確認できる。

次に、制御導入前後の車両進行方向別の交錯事象数の変化を図-15 に示す。

これより、制御導入後は導入前の最多事故発生要因であった南進右折車との交錯事象が発生していないことがわかる。一方で、導入前に発生していなかった西進左折車との交錯事象が新たに発生していることがわかる。これは、車両との分離を図る歩車分離制御における新規発生事象であり、問題視すべき点である。また、導入後においても、南進左折車との交錯事象が発生していることがわかる。これらの交錯発生メカニズムに関しては、5章にて分析を行う。

### (3) 横断者の危険挙動と交錯事象の関連分析

上述の横断者の駆け込み横断、信号無視等の危険挙動と交錯事象との関連性を把握するため、信号切り替わり時の通過・停止行動選択に対する2項選択ロジットモデル{1:通過, 0:停止}を構築する。

分析対象時間の範囲は、横断者と右左折車との交錯可能性を考慮し、導入前はφ6~φ8の間とし、導入後は導入前と同等の経過時間を取得範囲とするため、φ6~φ8開始6[sec]までとする。ここでは、制御導入により影響を受けたと考えられる待機時間(通過:実際には通過しているが、仮に待機をした場合に被る待ち時間、交差点進入時から次青開始までの時間、待機:実際に信号待ちをした時間、到着から次青開始までの待機時間)、交錯強度(PETの逆数:値が大きい程危険を意味する)を説明変数に用いたモデルを調査時点毎に構築する。また、A(1)において制御導入前後で挙動特性に違いの見られた交通手段の影響を考慮したモデルを併せて構築する。パラメータ推定結果を表-5、表-6に示す。

表-5より、各モデルの的中率、尤度比とも高く、これらは説明力が高いと言える。待機時間のパラメータより、導入前後共に待機時間が長いほど、通過判断を誘発することがわかる。一方、交錯強度が高いほど、停止する傾向にあり、パラメータを比較すると、導入後のパラメータの値が大きいことがわかる。これは、図-14で示されるように、横断時の交錯事象が日常的に発生していた制御導入前より、制御導入後は交錯機会が大幅に減少したことが影響したと考えられる。次に、待機時間の係数で交錯強度の係数を除した係数比率( / )をみると、I時点に比べてII時点では、比率が非常に大きいことがわかる。これより、導入後、待機時間増加に対する交錯事象の与える影響が大きくなった、すなわち、横断者の1度の交錯事象に対して感じる危険性の重みが増加したといえる。その後、III、IV時点では、事前の係数と同程度まで減少していることがわかる。制御に対する慣

表-5 駆け込み行動選択モデル(調査時点別)

| 選択肢 | 説明変数       | 導入後             |                |                 |                  |                 |
|-----|------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|     |            | 導入前             | パラメータ          | パラメータ           | パラメータ            | パラメータ           |
|     |            |                 | (t値)           | (t値)            | (t値)             | (t値)            |
| 通過  | 待機時間[s]    | 0.28<br>(3.00)  | 0.08<br>(1.92) | 0.56<br>(2.66)  | 0.92<br>(1.60)   | 0.21<br>(1.84)  |
|     | 定数         | 24.12<br>(2.82) | 4.56<br>(1.10) | 64.22<br>(2.59) | 103.80<br>(1.57) | 22.02<br>(1.66) |
| 停止  | 交錯強度[1/s]  | 2.19<br>(1.43)  | 8.72<br>(3.08) | 5.57<br>(1.58)  | 2.31<br>(0.22)   | 10.23<br>(1.60) |
|     | 的中率(%)     | 97.50           | 95.00          | 93.94           | 96.43            | 88.24           |
|     | 尤度比        | 0.59            | 0.77           | 0.75            | 0.91             | 0.66            |
|     | サンプル数      | 40              | 60             | 66              | 56               | 51              |
|     | 通過 待機      | 30   10         | 52   8         | 50   16         | 47   9           | 43   8          |
|     | 係数比率 [ / ] | 7.82            | 115.00         | 9.92            | 2.52             | 49.50           |

表-6 駆け込み行動選択モデル(導入前後別)

| 選択肢 | 説明変数                      | 導入前             | 導入後             |
|-----|---------------------------|-----------------|-----------------|
|     |                           | パラメータ           | パラメータ           |
|     |                           | (t値)            | (t値)            |
| 停止  | 定数                        | 28.59<br>(2.56) | 14.20<br>(2.61) |
|     | 交錯強度[1/s]                 | 2.94<br>(1.53)  | 7.24<br>(4.26)  |
|     | CZ進入時刻と青点滅開始時刻の差[s]       | -               | 3.41<br>(2.38)  |
| 通過  | 待機時間[s]                   | 0.34<br>(2.73)  | 0.13<br>(2.95)  |
|     | 自転車利用ダミー[自転車:1, 歩行者:0]    | 3.09<br>(2.73)  | -               |
|     | 西進自転車ダミー[西進自転車:1, それ以外:0] | -               | 1.72<br>(2.59)  |
|     | 的中率(%)                    | 95.00           | 91.85           |
|     | 尤度比                       | 0.67            | 0.73            |
|     | サンプル数                     | 40              | 233             |

れによって、交錯に対する意識が薄れてきたことが影響していると推察される。また、1年経過後のV時点において比率が再び大きくなっている。制御が十分に浸透したV時点においては、増加した待機時間に対する理解が深まり、待機時間に対する重みが低下し、交錯事象に対する危険意識が相対的に高くなったものと推察される。

表-6の分析結果より、待機時間および交錯強度については上述の時点別モデルと同じ傾向にあることがわかる。また、CZ進入時刻と青点滅開始時刻の差の係数より、導入後は青点滅開始後時間が経過した後に到着する横断者は駆け込みしにくいことがわかる。交通手段については、導入前の自転車利用者は危険進入しやすく、導入後は西進自転車が危険進入しやすい傾向が示された。図-1に示す通り、制御導入後において、横断者青点滅以降のφ8では西進左折車に通行権が与えられるため、西進自転車が歩行者青点滅後に進入することは交錯を発生させる要因となり得る。当交差点の交通安全上、この自転車の駆け込み進入を抑制するため、上流交差点での制御により交差点への到着タイミングをずらすことなどの方策が必要といえる。

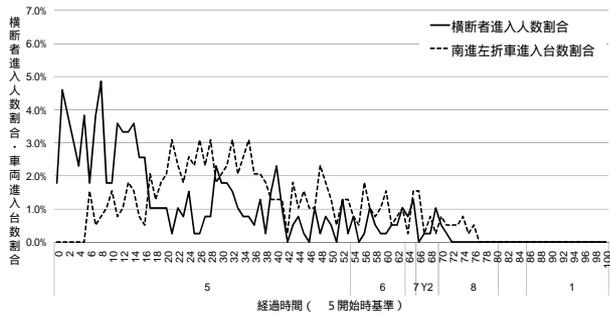


図-16 南進左折車交錯事象-進入割合推移(制御導入前)

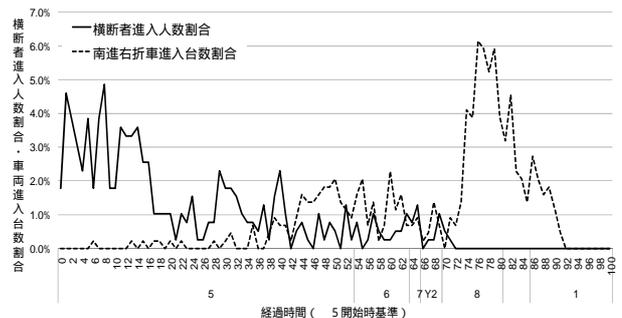


図-17 南進右折車交錯事象-進入割合推移(制御導入前)

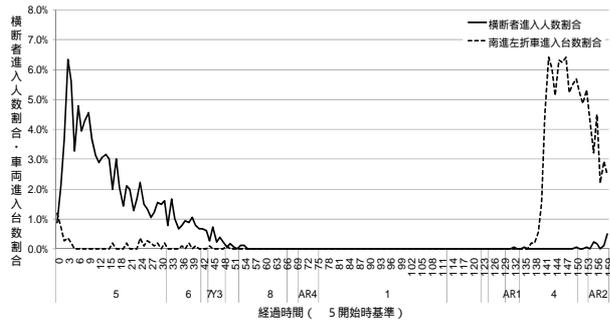


図-18 南進左折車交錯事象-進入割合推移(制御導入後)

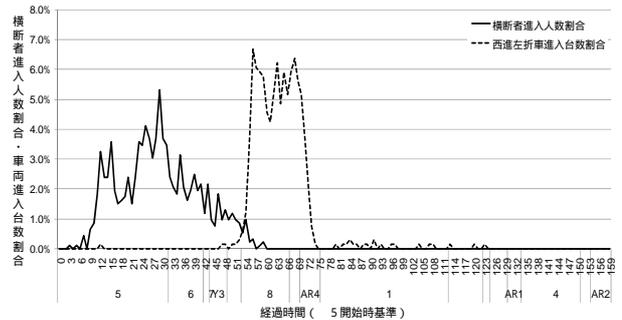


図-19 西進左折車交錯事象-進入割合推移(制御導入後)

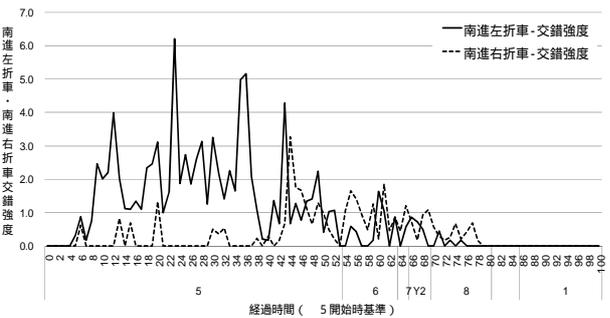


図-20 南進左折車・南進右折車交錯強度(制御導入前)

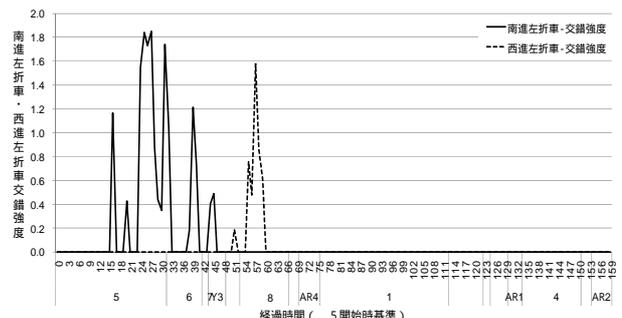


図-21 南進左折車・西進左折車交錯強度(制御導入後)

## 5. 大規模交差点における安全性向上に向けた施策提案と歩車交錯リスク指標による評価

### (1) 歩車交錯リスク値推計

制御導入における安全性向上の検証および導入後における危険性を推計するため、リスクの概念を適用する。通常、リスクは不確実性(確率)と強度(損失の程度)の積で表現される<sup>8)</sup>が、本研究では歩車交錯リスク値を制御導入前と制御導入後別にそれぞれ式(1)、式(2)のように定義する。なお、先行研究<sup>7)</sup>では歩車の到着率に基づいた交錯可能性を表す指標を提案しているが左折車との交錯事象のみを取り扱っていること、また、交錯強度を考慮していない点で本指標とは異なる。

$$R_{before} = \sum_{j=1}^2 \sum_{t=0}^C \{P_{ped\_b}(t) * P_{vehj\_b}(t) * I_{conj\_b}(t)\} \quad (1)$$

$$R_{after} = \sum_{k=1}^2 \sum_{t=0}^C \{P_{ped\_a}(t) * P_{vehk\_a}(t) * I_{conk\_a}(t)\} \quad (2)$$

ここで、 $R$ ：歩車交錯リスク値、 $P_{ped\_b}(t)$ ：制御導入前の時刻  $t$  における横断者のCZ進入人数割合、 $P_{ped\_a}(t)$ ：制御導入後の時刻

における横断者のCZ進入人数割合、 $P_{vehj\_b}(t)$ ：制御導入前の時刻  $t$  における  $j, k$  車両のCZ進入台数割合、 $I_{conj\_b}(t)$ ：制御導入前の時刻  $t$  における交錯強度(PETの逆数、ただし、複数交錯事象が発生する場合はその合計値)、 $I_{conk\_a}(t)$ ：制御導入後の時刻  $t$  における交錯強度、 $j$ ：制御導入前車両進行方向(南進左折：1、南進右折：2)、 $k$ ：制御導入後車両進行方向(南進左折：1、西進右折：2)、 $C$ ：サイクル長[s]、 $t=0$ ：φ5 開始時刻である。

横断者と車両の交錯は、両者が同時にCZ進入断面到着した時に発生すると考え、その時点での交錯強度との積和を  $R$  値として表現する。なお、集計単位は1秒とする。本稿では、導入前は出勤、帰宅ピーク時2時間分、導入後は出勤、帰宅ピーク時2時間分のデータを4時点合わせて、ある時刻における  $P_{ped}(t)$ 、 $P_{vehj}(t)$  を算出している。よって、本指標による評価値はピーク時間帯の交錯危険性を表現したものと考えられる。

制御導入前の横断者進入人数割合  $P_{ped\_b}(t)$  と南進左折車進入台数割合  $P_{veh1\_b}(t)$  の関係を図-16に、制御導入前の横断者進入人数割合  $P_{ped\_b}(t)$  と南進右折車進入台数割合  $P_{veh2\_b}(t)$  の関係を図-17に、制御導入後の横断者進入人数

割合 $P_{ped\_d}(t)$ と南進左折車進入台数割合 $P_{veh1\_d}(t)$ の関係を図-18 に、制御導入後の横断者進入人数割合 $P_{ped\_d}(t)$ と西進左折車進入台数割合 $P_{veh2\_d}(t)$ の関係を図-19 に示す。

また、制御導入前の南進左折車・南進右折車と横断者の交錯強度の時間推移を図-20 に、制御導入後の南進左折車・西進左折車と横断者の交錯強度の時間推移を図-21 に示す。

図-16、図-17 より、横断者の進入割合は $\phi 5$  開始 14 秒程度までは高い値を示し、その後 1%程度の値で推移している。一方、南進左折車については、 $\phi 5$  開始直後はそれほど高い値を示していないが、横断者の進入割合が低下する $\phi 5$  開始 16 秒後からは増加し、その後は横断者の到着に応じて割合が増減する傾向にある。また、南進右折車は、 $\phi 5$  終盤まではほとんど進入割合が 0 となっているが、これは対向車や横断者の存在の影響と考えられる。 $\phi 5$  開始 40 秒後程度から進入割合が増加し、右折専用現示である $\phi 8$  において進入割合がピークとなっている。制御導入前の交錯について、図-20 より、制御導入前の南進左折車と横断者の交錯については $\phi 5$  開始後 10 秒程度で 1 度目のピークが発生し、その後 10 秒間隔程度で交錯強度の高い状況が発生している。南進右折と横断者の交錯については、図-17 に示されるように $\phi 5$  前半から中盤は対向車や横断者の存在により、CZ 進入が抑えられており、交錯強度の高い事象はそれほどみられない。しかし、 $\phi 5$  後半になると図-16 に示されるように対向車や横断者の進入が減少し、CZ 進入が可能となるため、交錯強度の高い事象の発生も増加傾向になるといえる。

一方、制御導入後については、図-18 より、南進左折車の進入割合は $\phi 4$  中盤にピークを迎え、その後の AR2 で 2-4%程度の値を示し、 $\phi 5$  開始直後においても 1%程度を示している。図-19 より西進左折車については $\phi 8$  開始直後に進入割合のピーク値を示し、 $\phi 8$  中は概ね 5-6%程度で推移している。歩車の交錯については、図-21 より、制御導入後は導入前よりも交錯強度の値が小さく、また、発生している時間の広がりも導入前に比べて小さいことが読み取れる。 $\phi 5$  の中盤まで交錯事象が発生していないのは、図-18 に示す $\phi 5$  開始直後に横断開始した歩行者の通過待ちによるものと考えられる。南進左折との交錯については、横断者進入が減少傾向にある $\phi 5$  後半に交錯強度の高い状況が多くみられる。一方、西進左折との交錯については、東西方向進行の横断者の次現示である $\phi 8$  開始後に多く発生しているが、これは図-19 より $\phi 8$  以降の進入横断者の影響を受けているものと思われる。

以上より、交錯強度は交通特性や信号制御の設定により影響を受けると考えられる。よって、次節において交錯強度を推計するモデルを構築し、交錯強度に影響を及ぼす要因を明らかにする。

表-7 制御導入前-PET 推計モデル

|                                    | N = 383<br>F=10.2 P=0.000 R <sup>2</sup> =0.162 | 非標準化<br>係数 | 標準化<br>係数 | t      |
|------------------------------------|---|------------|-----------|--------|
| (定数)                               |   | 3.525      | -         | 32.217 |
| 東進自転車の CP 到達時刻 - 5開始時刻差 (南進左折との交錯) |   | -0.032     | -0.268    | -3.889 |
| 西進自転車の CZ 進入時刻 - 5開始時刻差 (南進左折との交錯) |   | -0.029     | -0.307    | -3.046 |
| 西進自転車速度[km/h] (南進左折との交錯)           |   | -0.047     | -0.260    | -2.124 |
| 西進自転車の CZ 進入時刻 - 5開始時刻差 (南進右折との交錯) |   | -0.022     | -0.247    | -3.018 |
| 東進歩行者の CP 到達時刻 - 退出時刻差 (南進右折との交錯)  |   | -0.142     | -0.121    | -2.465 |
| 南進左折と東進自転車の交錯における交錯事象発生順           |   | 0.576      | 0.259     | 3.687  |
| 南進左折と西進自転車の交錯における交錯事象発生順           |   | 0.981      | 0.494     | 5.175  |
| 南進右折と東進自転車の交錯における交錯事象発生順           |   | 0.496      | 0.354     | 4.360  |

交錯事象発生順：1横断者に対して発生する交錯事象の順番 (ex) 通過順2台目の車両との交錯 2, ... 5%有意 10%有意

表-8 制御導入後-PET 推計モデル

|                                    | N = 65<br>F=6.99 P=0.000 R <sup>2</sup> =0.272 | 非標準化<br>係数 | 標準化<br>係数 | t        |
|------------------------------------|--|------------|-----------|----------|
| (定数)                               |  | 4.618      | -         | 17.146** |
| 東進自転車の CZ 進入時刻 - 5開始時刻差 (南進左折との交錯) |  | -0.033     | -0.247    | -1.972*  |
| 西進自転車の CZ 進入時刻 - 5開始時刻差 (南進左折との交錯) |  | -0.078     | -0.605    | -4.962** |
| 西進歩行者の CP 到達時刻 - 5開始時刻差 (西進左折との交錯) |  | -0.012     | -0.177    | -1.433   |
| 東進歩行者の待機時間 (南進左折との交錯)              |  | -0.028     | -0.426    | -3.371** |

5%有意 10%有意

## (2) 交錯強度算出のための PET 推計モデル

歩車分離制御導入前後における交錯事象の発生要因を明らかにし、交錯強度を算出するため、重回帰分析を行う。今回、観測された PET を被説明変数とし、交通特性に関する変数を説明変数とした線形回帰式を仮定する。

制御導入前後のパラメータ推定結果をそれぞれ表-7、表-8 に示す。ここで、決定係数より両分析結果とも精度は良好とはいえないが、分散分析によるモデルの有意性ならびに t 検定による各説明変数に関する統計的有意性を考慮し、以降の分析に用いることとする。分析精度の向上は今後の検討課題とする。

表-7の制御導入前の結果より、南進左折車との交錯において、西進自転車の CZ 進入が $\phi 5$  開始から時間が経過するほど、また速度が高いほど、PET 値が小さくなり、危険な交錯が発生しやすくなるのがわかる。また、東進自転車の CP 到達が $\phi 5$  開始から時間が経過するほど PET 値の小さな危険な事象が生じるといえる。一方、南進右折車との交錯についても、南進左折車の結果と同様、西進自転車の CZ 進入タイミングが遅くなるほど、PET が小さくなり、また、東進歩行者の交錯点到達から CZ 退出までの経過時間が長い程、危険性が高くなるのがわかる。また、交錯事象発生順の係数より、1 横断者に対して複数事象発生する場合、発生順が後になるほど PET 値が大きい交錯となることがわかる。

表-8の制御導入後の結果より、南進左折との交錯については、西進および東進自転車の CZ 進入タイミングが遅くなるほど、PET 値は小さくなる。また、標準化係数の比較より、その影響は西進自転車の方が大きいといえ

る。西進左折との交錯については西進歩行者の交錯点到達が  $\phi_5$  開始から経過する程、PET 値が小さな危険な交錯が起こるといえる。また、待機時間の長い東進歩行者の南進左折との交錯では PET 値が小さくなるといえる。

### (3) 交通安全施策の提案とリスク指標に基づく評価

5(1)では、交錯事象の生じるタイミングを明らかにし、5(2)では交錯強度に影響を及ぼす要因を歩車分離制御導入前後において分析した。これらの結果を考慮し、本節では、調査交差点における交錯危険性を低減するための交差点構造や横断者・車両現示の変更等の施策を提案し、それらについて交錯リスクを算出することで交通安全施策評価を行う。

#### a) 制御導入前の交通安全施策

(i) 横断歩道距離短縮：表-7 より、東進自転車横断者の CP(交錯点)到達が  $\phi_5$  開始から時間が経過するほど、交錯強度が高まることが示された。よって CP への到達時間を早め、交錯強度を低下させるため、横断歩道距離を現状より 10% (2.95m) 短縮する。なお、この短縮量は、車線幅員を現行の 3.00m を 2.75m に縮小すること、さらに路肩、側帯の縮小することで対応可能な数値を想定したものである。

(ii) 南進左折車に対する時差式制御：図-16 より、 $\phi_5$  開始直後は横断者密度が高く、その後、密度低下に伴って南進左折車進入割合が増加する傾向が読み取れた。この左折車、横断者の CZ 進入タイミングを勘案し、 $\phi_5$  開始から 18[sec]まで南進左折車を赤現示とする時差式制御を検討する。

(iii) 右折分離式制御：図-17 より、 $\phi_5$  後半から  $\phi_8$  にかけて横断者・南進右折車進入タイミングが重複する。よって、右折車通行可能時間を  $\phi_8$  のみとする右折分離式制御を検討する。

(iv) 右左折車現示変更：a)-(ii)と a)-(iii)の組み合わせ

(v) 横断距離 右左折車現示変更：a)-(i) a)-(ii)および a)-(iii)の組み合わせ

なお、(ii)から(iv)において、左折車、右折車の進入タイミングがずれることとなるが、施策間の結果比較のため、平均的な交通特性が大きく変化しないようにする必要があると考えられる。本研究では、これらの施策導入前にその時間に進入していた車両を捌け残らないようにする点に配慮し、総交通量が変化しないように、それ以外の通行時間帯の進入台数割合の実績値に応じて比例配分することで対処することとしている。この点についての詳細な検討は今後の課題とする。

#### b) 制御導入後の交通安全施策

(i) 横断歩道距離短縮：表-8 より、西進徒歩横断者の CP

表-9 制御導入前-交通安全施策別交錯リスク値

| 制御導入前 交錯リスク      |                               | 0.02138 |       |
|------------------|-------------------------------|---------|-------|
| PET推計モデル 交錯リスク算出 |                               | 0.01837 | 低減率   |
| a)-(i)           | 横断歩道距離短縮(従来比:-10%)            | 0.01825 | 0.6%  |
| a)-(ii)          | 南進左折車に対する時差式制御                | 0.01543 | 16.0% |
| a)-(iii)         | 右折分離式制御                       | 0.01617 | 12.0% |
| a)-(iv)          | 右左折車現示変更((ii)+(iii))          | 0.01323 | 28.0% |
| a)-(v)           | 横断距離、右左折車現示変更((i)+(ii)+(iii)) | 0.01313 | 28.5% |

表-10 制御導入後-交通安全施策別交錯リスク値

| 制御導入後 交錯リスク      |                       | 0.00069 |       |
|------------------|-----------------------|---------|-------|
| PET推計モデル 交錯リスク算出 |                       | 0.00066 | 低減率   |
| b)-(i)           | 横断歩道距離短縮(従来比:-10%)    | 0.00066 | 0.1%  |
| b)-(ii)          | 現示配分変更(4, 8.3[sec]増加) | 0.00044 | 32.8% |
| b)-(iii)         | 南進左折車 5 進入抑制          | 0.00031 | 52.5% |
| b)-(iv)          | 西進横断者退出抑制             | 0.00034 | 48.5% |

到達が  $\phi_5$  開始から時間が経過するほど、交錯強度が高まることが示された。よって、これらの到着時間を早め、交錯強度を低下させるため、a)-(i)と同様に、横断歩道距離を現状より 10%短縮する。

(ii)現示配分変更：制御導入に伴い、右左折車に対する青時間が短縮された事に対処すべく、信号切り替わり時間  $Y1 \cdot AR1, Y3 \cdot AR3$  を 3[sec]に短縮し、その短縮分の  $\phi_8 \cdot \phi_4$  に配分することで青時間を 3[sec]増加させる現示配分変更を行う。

(iii)南進左折車  $\phi_5$  進入抑制： $\phi_5$  での南進左折車の進入が交錯事象の要因である為、 $\phi_5$  進入車両を抑制する。

(iv)西進横断者退出抑制：西進横断者の  $\phi_8$  直前における退出が西進左折車との交錯要因である。よって、 $Y1$  以降の横断者退出を抑制する。

なお、(iii)の左折車、(iv)の横断者の進入タイミングがずらされることとなるが、これらについても a)のケースと同様、総交通量が変化しないように、それ以外の通行時間帯の進入台数(人数)割合に応じて比例配分することで対処している。また、(ii)において今回は、サイクル長の変更まで考慮しないが、この切り替わり時間の縮小は損失時間の短縮につながることとなり、サイクル長の短縮の検討にも寄与する対策といえる。サイクル長の短縮は、図-10 の利用者総合評価を高める要因でもあるため、今後はより詳細な検討を行う予定である。

導入前後の各施策に対する交錯リスク算定結果をそれぞれ表-9、表-10 に示す。

表-9 より、a)-(i)の横断歩道距離の短縮による交錯リスク値の低減率は小さいが、a)-(ii)、a)-(iii)の 2 つの交通安全施策ではそれぞれ 10%以上交錯リスクが減少していることがわかる。また、現行制御における効果には及ばないものの、横断者の通過の少ない時間帯、もしくは通行時間帯を限定させるように南進右左折車の現示を同時に

変更することで交錯リスクは約 28%低減することがわかった。これより、歩車交錯危険性が完全に無くなる訳ではないが、非分離制御であっても、横断者の青時間は従来と変更せず、横断者に負担を強いることなく、交錯リスクを低減させられる可能性があることが示された。よって、安全性向上=歩車分離制御ではなく、交差点の利用特性に応じた柔軟な対応の検討が重要といえる。

表-10より、 $\phi_4$ 、 $\phi_8$ の時間延長による、現行右左折時間の残留車両割合減少に伴い横断者との分離が図られ、交錯リスクが約33%低減すること、また、 $\phi_5$ の南進左折車進入を抑制すると約53%、西進横断者のY1以降退出を抑制すると約49%の低減となることがわかる。これより、利用者が現行制御を遵守することによって、歩車交錯危険性は大きく低減することが示されたため、安全性向上に向けて、利用者が制御の特性を理解できるように啓発運動が必要といえる。また、歩車分離制御において、利用者の危険行動を誘発しないよう、利用特性に応じた現示配分を行うことで、更なる交錯リスクの低下に繋がることを示された。なお、今回はケーススタディ交差点での評価に留まるが、他交差点についても交差点進入割合や挙動データを入手することで交通安全対策評価を行うことができる。この点については今後検討する。

## 6. おわりに

本研究では、右左折車両分離方式の歩車分離制御が新規導入された大規模交差点における聞き取り調査ならびに観測調査に基づき、歩車分離制御導入後の利用者意識およびその変化と関連要因を分析し、また、横断者挙動、歩車交錯機会および強度の違いを導入前後の複数時点で経時的に分析した。さらに、横断者と右左折車との交錯危険性を評価する歩車交錯リスク推計値モデルを提案し、制御導入前後の交錯危険性の変化を検証し、調査交差点における制御導入前後での交錯リスク軽減のための交通安全施策について検討した。本研究により得られた知見を以下に示す。

- 歩車分離制御に関する利用者意識分析より、安全性の観点では、制御導入直後は高い評価であったが、一定期間後の評価では評価が低くなること、一方、交通渋滞の観点では制御導入直後においても否定的な評価であることがわかった。
- 歩車分離制御に対する総合評価について、導入直後は高い評価であったが、一定期間後では評価が低下することがわかった。また構築した総合評価モデルより、高齢利用者、交通安全への問題、交通渋滞への問題が総合評価に影響していることがわかった。また交通安全の評価には、青時間の長さへの認識、

利用時間帯や同居家族が影響し、交通渋滞の評価には、サイクル長、青点滅時間の長さへの認識が関係していることがわかった。

- 駆け込み行動選択モデルより、交錯に対する認識が制御導入後の時間経過に伴い変化することがわかった。また、制御導入前後とも自転車の方が駆け込みしやすいことがわかり、特に制御導入後は西進自転車の危険行動が明らかとなった。
- PET指標に基づく交錯事象数の分析より、制御導入後は交錯事象数が大幅に減少することがわかった。また、PET推計モデルより、制御導入前は、交錯領域への進入タイミングや交差点への到達時刻、自転車速度の高さが危険な交錯に影響し、一方、制御導入後では、交錯領域への進入タイミングの遅さ、信号待ち時間の長さが影響することがわかった。
- 調査交差点での交通安全施策に関する分析より、歩車の到着タイミングを考慮して車両の通行権の与え方を見直すことで非分離制御においても交錯リスク低減効果がみられること、また、歩車分離制御では現示配分の見直し、危険退出抑止により、交錯リスクが大きく低減することがわかった。

今後の課題として、歩車分離制御に対する利用者の総合評価を高める要因として明らかとなった青時間、サイクル長の長さなど信号現示設定と交錯リスクとの関係を分析するとともに円滑性についても詳細な検討を行うこと、また、PET推計モデルの精度向上について検討することが挙げられる。

## 参考文献

- 警察庁交通局:H20年中の交通事故の発生状況(pdfファイル), <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001054077>
- 交通工学研究会:改訂交通信号の手引き,丸善,150p,2006.
- 齋藤豊,安井一彦:歩車分離式信号導入による効果と課題に関する研究,第23回交通工学研究発表会論文報告集,pp.61-64,2003.
- 鈴木理,浜岡秀勝:車両挙動から見る歩車分離式信号交差点の安全性に関する研究,土木計画学研究・論文集vol.24 No.4,pp.781-789,2007.
- 小川圭一,川居卓也:交通処理能力からみた歩車分離式信号の導入効果に関する研究,第28回交通工学研究発表会論文報告集,pp.109-112,2008.
- 吉田長裕,日野泰雄,澤田康夫,上野精順:歩車分離信号の導入評価と効果的運用方法に関する基礎研究,第23回交通工学研究発表会論文報告集,pp.65-68,2003.
- 鈴木弘司,藤田素弘,山越陽介:歩車分離制御交差点における利用者挙動の経時的解析,土木計画学研究・論文集 Vol.26 no.5,pp.957-968,2009.
- 日本リスク研究会:リスク学事典,TBSブリタニカ,375p,2000.

---

## 大規模交差点の交通安全施策に関する利用者意識・挙動分析\*

鈴木弘司\*\*・藤田素弘\*\*\*・増山淳\*\*\*\*

本研究では、大規模交差点における交通安全施策として、歩車分離制御に着目し、聞き取り調査ならびに観測調査を行い、利用者意識・挙動について経時的に分析した。利用者意識については、導入直後と一定期間経過後の評価の違いを分析し、また、一定期間経過後の利用者の総合評価に影響する要因をパス解析により明らかにした。利用者挙動については、交錯領域への進入タイミングの時間推移を分析するとともに、信号切り替わり時の横断者の危険行動率、交錯強度を推計するモデルを構築した。さらに歩車交錯リスク推計式を提案し、調査交差点における非分離制御、歩車分離制御別の交通安全施策の効果を分析した。

---

## Analysis on Users' Consciousness and Behaviors for Traffic Safety Measures at Large-scale Intersections \*

By Koji SUZUKI \*\*, Motohiro FUJITA \*\*\*, Jun MASUYAMA \*\*\*\*

This study analyzed the characteristics of users' consciousness and behaviors at large-scale intersections with separated signal control. First, it qualified the differences for users' consciousness between immediate aftermath and after five-month of introducing the signal control, and performed path analysis on the comprehensive evaluation for the signal control. Second, it analyzed the approach time into crosswalk for users, and developed the models for risky behavior judgment and intensity of traffic conflict. And we proposed a conflict risk index and verified the impact of traffic safety measures at surveyed site on the basis of the index.

---