

# 隣接する信号交差点が 歩行者の単路部乱横断行動に及ぼす影響分析

中島 孝規<sup>1</sup>・井料 美帆<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町）

E-mail: nakajima.takanori@a.mbox.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学大学院准教授 環境学研究科都市環境学専攻（同上）

E-mail: iryo@nagoya-u.jp

市街地の単路部では、自動車交通量が多く隣接信号交差点があるにも関わらず、横断歩道を利用しない横断（乱横断）が発生し、安全上の問題となることがある。二段階横断施設をはじめとした無信号横断施設の設置検討を効率的に行うためには、既存信号交差点の影響を踏まえたうえで、乱横断が発生しやすい条件を整理する必要がある。そこで本研究では、信号交差点のある駅前道路を対象にビデオ観測調査を行い、歩行者の移動経路と横断位置・横断時刻選択行動要因を分析した。その結果、歩行者の経路は、駅前道路到着時の信号交差点の信号表示や車群到着状況に応じて変わる傾向が見られた。また、信号交差点から遠い位置で横断する人の一部は、遅れを小さくするように横断位置を変更していることが分かった。

**Key Words:** jaywalking, crosswalk, midblock, signalized intersection

## 1. はじめに

令和2年、人対車両の死亡事故件数のうち約7割が横断中に発生している<sup>1)</sup>。そのうち、横断歩道外での横断（乱横断）が半数以上を占めている。単路部での横断中の事故を減らすために、信号付き横断歩道（押しボタン式信号を含む）、無信号の横断歩道、無信号二段階横断施設といった横断施設を設置して、横断歩行者に通行権を与えたり、横断歩行者の存在を運転者に明示することが挙げられる。しかし、実際に横断施設が利用されるかは歩行者の経路選択行動に依存する。例えば、横断施設を利用すると迂回距離や横断待ち時間が長くなると歩行者が判断した場合には、横断施設を利用せず、乱横断することが想定される。つまり、単路部での横断中の事故を減らすためには、横断施設を適切な位置に設置することが望まれる。

横断施設の設置位置について、海外のマニュアル<sup>2)</sup>によると、歩行者の希望動線に沿うことが望ましいとある。しかし、道路環境によっては、横断施設を希望動線上に設置できないことがある。このように横断施設が希望動線から離れている場合に歩行者がどれだけ横断施設を利用するかは明らかではない。

そこで本研究では、隣接する信号交差点が歩行者の乱横断行動に及ぼす影響の分析を目的とする。信号付き横

断歩道が隣接しているにも関わらず、乱横断が発生する単路部を対象にビデオ観測調査を行い、横断施設を利用するか乱横断をするかの選択要因を分析した。

## 2. 既往研究のレビュー

### (1) 無信号の横断施設設置効果

無信号の横断施設について、近年では無信号の二段階横断施設の検討もなされている。竹平ら<sup>3)</sup>は、埼玉県春日部駅東口の無信号横断歩道において、安全島の設置により横断者の最大待ち時間が減少し、横断者が円滑に横断できる機会が増加したことを示している。村井ら<sup>4)</sup>は宮崎県川南町の幹線国道に設置された無信号二段階横断施設を対象に、整備効果を評価している。その中では、歩行者交通量が変化したことから、二段階横断施設の利用により歩行者の経路が変更し、乱横断者が減少したと推察している。しかし、実際に経路を分析したわけではないため、実際の経路選択行動について分析する必要があるといえる。

### (2) 乱横断発生頻度

乱横断について、永脇ら<sup>5)</sup>は事故統計データを用いて、都市内道路の乱横断事故発生要因を分析している。その

分析結果をふまえて行ったアンケート調査にて、横断歩道設置位置や信号制御、自動車交通量が乱横断の発生に影響があることを明らかにしている。また、二段階横断施設付近における乱横断について、足立ら<sup>9)</sup>は乱横断実態の把握及び、乱横断発生モデルの構築を行っている。その中で、目的地までの移動距離が短縮できる場合に横断施設を利用せず乱横断が発生しやすいことを示している。しかし、これらの既往研究では、乱横断行動の発生頻度に焦点を当てており、横断施設を利用する経路との比較評価はなされていない。

### (3) 乱横断発生確率

細島ら<sup>7)</sup>は、押しボタン式信号を対象に、押しボタンを利用して横断歩道を横断したか、押しボタンを利用せず乱横断したかを分析している。その中で車両往復交通量が多ければ押しボタンを利用し、流入路までの距離が長いと押しボタンの利用が低下することを示している。しかし、歩行者の希望動線を考慮したものではない。

## 3. 調査地及びデータ取得方法

本研究では、単一の出発地・目的地における横断歩道利用者、乱横断者の横断者挙動を把握するため、ビデオ観測調査を名古屋市金山駅南口前の単路部およびスクランブル交差点を含む約60m区間にて実施した。調査日時は2021年6月30日(水)16:00-18:00、天候は曇りであった。

図-1に調査対象単路の航空写真を示す。この対象道路について、東側にスクランブル交差点があり、出発地を南側細街路、目的地を金山駅としたときに、スクランブル

交差点を利用する歩行者と、スクランブル交差点を利用せず乱横断する歩行者が見られている。そのため、本研究では出発地を南側細街路、目的地を金山駅と固定して分析を行う。なお、本研究で利用したビデオ映像の撮影範囲の都合上、南側細街路停止線を出発地南側細街路、図-1の赤線で示した断面を目的地金山駅とする。分析にあたり、図-2に示すように、防護柵の切れ目ごとに横断開始位置S1~S5、横断終了位置N1~N4を定義する。図-2中の数字は、区間の距離(単位[m])を表している。また、各歩行者の南側細街路の停止線位置通過時刻 $t_0$ 、横断開始位置 $S_i$ および横断開始時刻 $t_{Si}$ 、横断終了位置 $N_j$ および横断終了時刻 $t_{Nj}$ 、目的地金山駅到着時刻 $t_{sta}$ のデータをそれぞれビデオ映像から取得した。

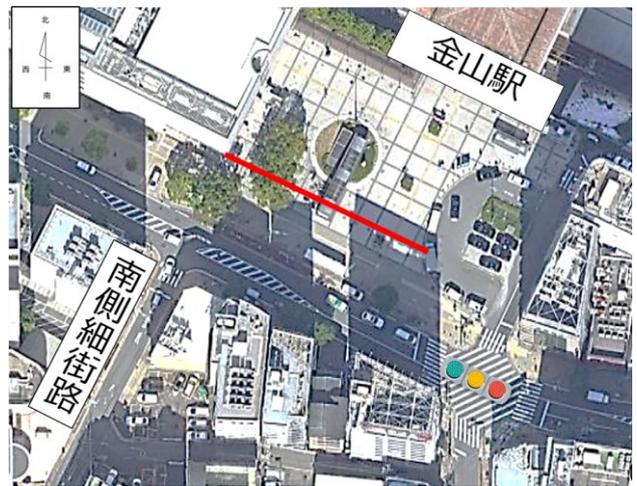


図-1 調査対象単路 航空写真

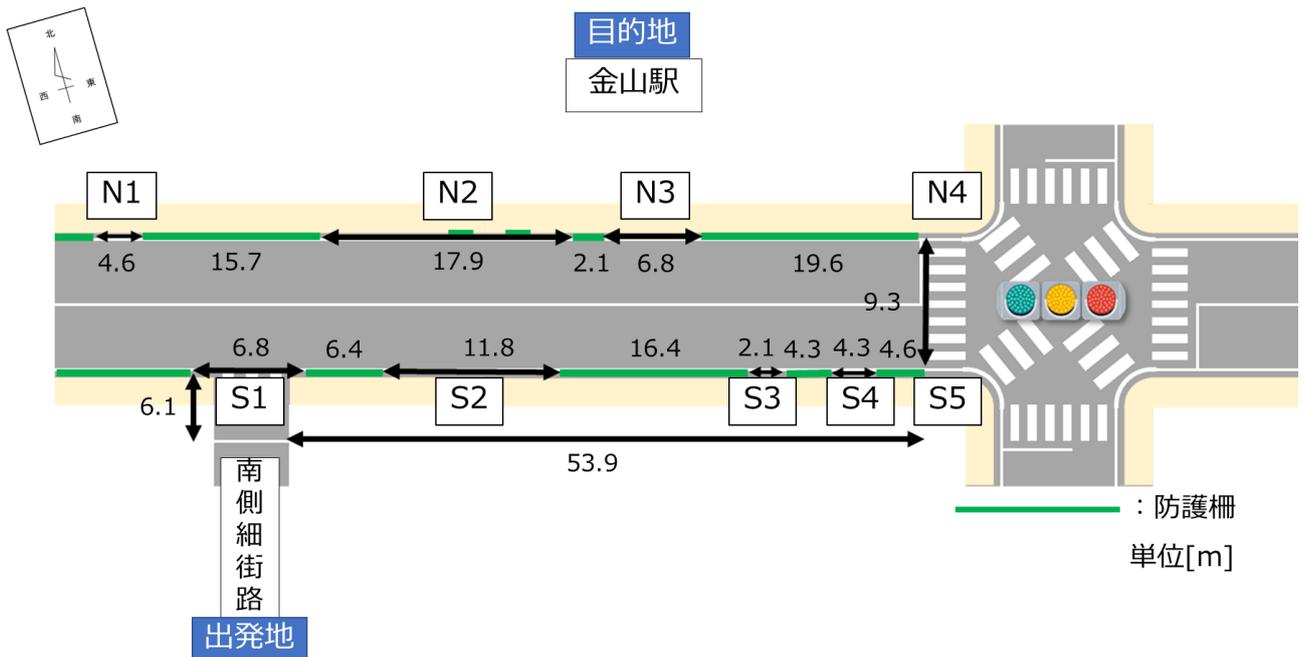


図-2 横断開始、終了位置、各区間距離図

なお本研究では、図-2において、横断開始位置が S5 かつ横断終了位置 N4 の歩行者を横断歩道利用者、それ以外の経路を利用する歩行者を乱横断者と定義する。  
表-1 に対象道路を通過した自動車交通量、図-3 にスクランブル交差点信号現示を示す。

表-1 自動車交通量

方向	台数[台]
西から東	509
東から西	499
合計	1008

#### 4. 基礎集計

##### (1) 乱横断率, 横断歩道利用率

表-2 に乱横断率, 横断歩道利用率を示す。なお, 乱横断率とは乱横断者の総数を全横断者数で除したものの, 横断歩道利用率とは横断歩道利用者の総数を全横断者数で除したものである。

表-2 より乱横断者が約4割を占めており, 南側細街路から金山駅に向かうにあたり, 多くの横断者が横断歩道を利用していないことが分かる。

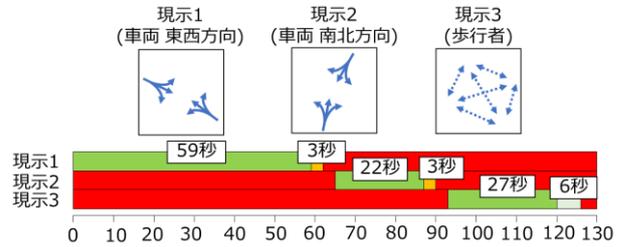


図-3 スクランブル交差点信号現示

表-2 乱横断率, 横断歩道利用率

	人数[人]	割合[%]
乱横断者	178	37.1
横断歩道利用者	302	62.9
合計	480	100

##### (2) 経路ごとの利用人数

次に, 横断開始, 終了位置ごとの利用人数, 及びその経路での最小横断距離を表-3 に示す。表-3 より S1 で横断を開始し, N2 で横断を終了する乱横断者が特に多いことが分かる。これは, 金山駅に向かう歩行者が, 出発地南側細街路を通過した時に, 横断歩道へ向かう経路が遠回りであると判断し, より近道できる経路を選択している結果だと考えられる。また, スクランブル交差点により, 車両が停止している, あるいは全く車両が存在しないときには, 歩行者が横断可能と判断し, 乱横断行動を行っていることが推察される。

表-3 経路ごとの利用人数, 最小横断距離

横断開始位置	横断終了位置	人数[人]	最小横断距離[m]
S1	N1	1	12.9
	N2	141	9.3
S2	N2	25	8.5
S3	N3	2	10.7
	N4	1	15.4
S4	N4	8	10.4
S5	N4	302	9.3
合計		480	

##### (3) 横断時間 $t_{cross}$

横断時間 $t_{cross}$ は, 各横断者の横断開始時刻 $t_{Si}$ , 横断終了時刻 $t_{Nj}$ を用いて式(1)のように算出される。

$$t_{cross} = t_{Nj} - t_{Si} \quad (1)$$

横断開始位置ごとに横断時間 $t_{cross}$ の累積相対度数を図-4 に示す。これを見ると, S3, S4 から横断を開始する場合, 横断歩道利用者 비해, 横断時間が短くなる傾向にある。しかし, S3 と S5, S4 と S5 について, それぞれ平均値の差の検定を行ったところ有意な差は見られなかった( $p=0.95$ ,  $p=0.47$ )。

また, S1 と S5 を比較すると, 横断時間のばらつきに違いがある傾向にある。有意水準 5% で等分散の検定を行ったところ, 有意な差があることを確認した。このことについて, 次のように考えられる。S5 横断者は, 横断歩道利用者であり, 横断距離, 横断速度ともにほぼ一定であることが考えられる。

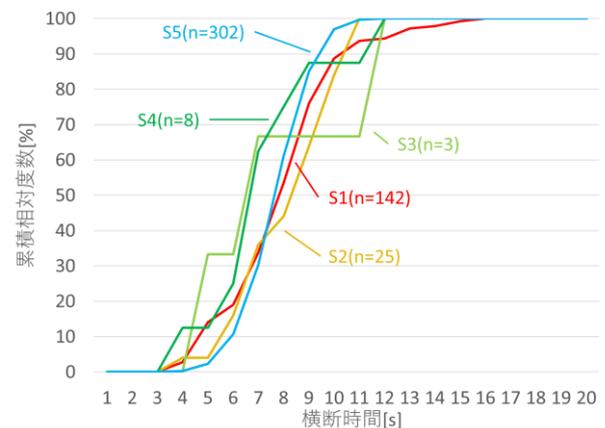


図-4 横断開始位置ごとの横断時間

一方で、S1 横断者の横断距離は最小横断距離での横断、より目的地に近いところまで移動する横断など横断距離にばらつきがあることが推定される、また、横断速度についても、通常の方法だけでなく、急いで横断することが予想される。このようなことから、S1 と S5 を比較すると、横断時間のばらつきに違いがある傾向にあると考えられる。

(4) S1 横断者の遅れ時間 $d_1$

S1 横断者の遅れ時間 $d_1$ は、S1 での横断開始時刻 $t_{s1}$ からその人が S1 の歩道端に到着した時刻を減ずることで求められる。しかし、今回の観測では個々の横断開始位置への到着時刻は観測していないことから、代わりに S1 への到着時刻の期待値 $t_{a1}$ を用いて式(2)のように算出する。 $t_{a1}$ は、歩行者の歩行速度が一定であると仮定すると、南側細街路通過時刻 $t_0$ 、南側細街路停止線から S1 歩道端までの距離 $L_1(=6.1m)$ 、及び歩行者速度 $V$ を用いて式(3)のように算出される。なお、本研究では歩行者速度 $V$ は 1.3m/s としている。

$$d_1 = t_{s1} - t_{a1} \tag{2}$$

$$t_{a1} = t_0 + \frac{L_1}{V} \tag{3}$$

S1 横断者の遅れ時間 $d_1$ の相対度数、累積相対度数を図-5に示す。図-5より、遅れ時間が2秒未満で横断している人が半数近く占めていることがわかる。

(5) 乱横断開始のタイミングと信号現示の関係

スクランブル交差点による影響を明らかにするために、乱横断者が、スクランブル交差点1サイクルのうちどのタイミングで横断したかを調べる。図-6に信号現示のタイミングごとの乱横断開始時刻のヒストグラムを示す。また、現示が変化するタイミングで青点線を引いている。図-6より 10-20 秒での乱横断者数が少ないことが分かる。これは、スクランブル交差点で東西方向の信号が青になり、発進した車群が S1, S2 付近を通過することで歩行者が横断不可と判断しているためと考えられる。また、110-130 秒で S3, S4 での乱横断者数が増加していることがわかる。これは、スクランブル交差点にて、歩行者信号が青になり、S3, S4 付近を歩いていた歩行者が S5 まで向かうのが面倒と感じ、ショートカットをしていることが考えられる。さらに、歩行者用信号が点滅を開始したとき、S3, S4 付近にいた歩行者が青信号に間に合わない判断し、横断歩道に駆け込むような横断をしていると考えられる。

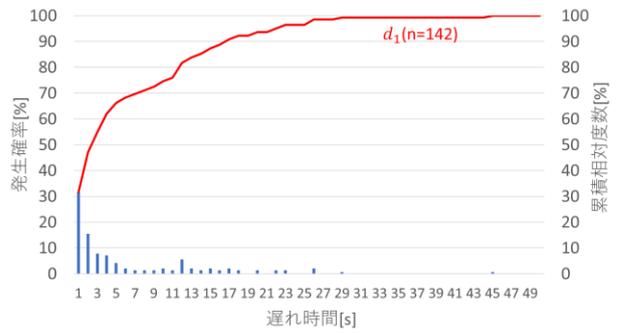


図-5 S1 横断者の遅れ時間 $d_1$

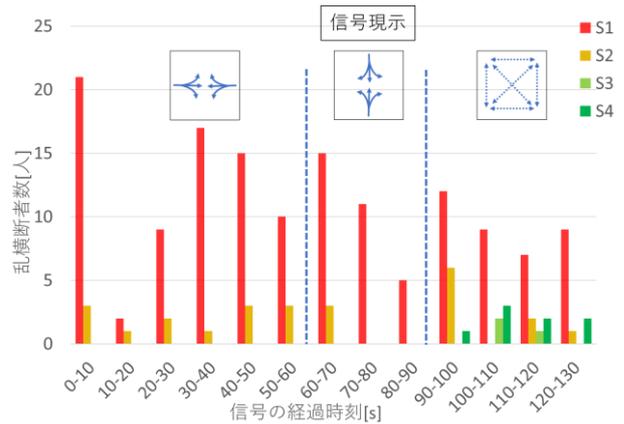


図-6 信号現示のタイミングごとの乱横断開始時刻

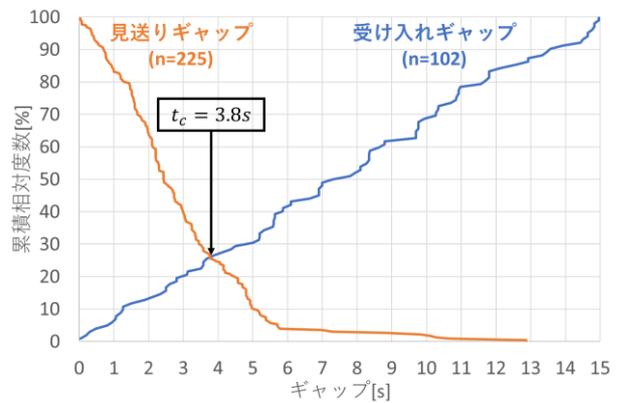


図-7 クリティカルギャップ $t_c$ 推定

5. 遅れ時間に関する分析

この章では、乱横断者のギャップアクセプタンス挙動に焦点を当てる。S1 横断者に関するクリティカルギャップ $t_c$ を求め、遅れ時間の分析を行う。

(1) クリティカルギャップ $t_c$

ギャップは、ある地点に到着する車両と同じ地点に到着する次の車両の到着時間差として定義される。今回クリティカルギャップ $t_c$ を求めるにあたり、Raff's methodによって推定する。この方法は、受け入れギャ

ップの累積分布と見送りギャップの累積分布の交点をクリティカルギャップの代表値とするものである。

Raff's method によって推定されるクリティカルギャップ  $t_c$  を図-7 に示す。推定にあたり、ギャップが 15 秒以上のものについては、サンプルから除外している。ギャップが 15 秒以上の場合、車両は S1 から 150m 以上離れていると考えられ、横断者の視界に車両が入っておらず、横断者が車両の到着状況を考慮に入れた横断行動を行っているとは言い難いためである。図-7 よりクリティカルギャップ  $t_c$  は、3.8 秒と分かる。受け入れギャップの中には、ギャップが 2 秒未満で横断している人がいる。これは、Far side の車両到着状況を考慮していると考えられる。スクランブル交差点の東西方向が赤になると、スクランブル交差点から西側へ待ち行列が形成される。すると到着する車両の速度が減少し、停止することが予測できる。それを予測した横断者が非常に短いギャップでも横断しているのではないかと考える。

方向別の影響を確認するために、方向別のクリティカルギャップを Raff's method によって推定した。Far side, Near side のクリティカルギャップをそれぞれ  $t_{c, far}$ ,  $t_{c, near}$  とし、推定結果をそれぞれ図-8, 図-9 に示す。これより、それぞれのクリティカルギャップは、 $t_{c, far}$  が 3.4 秒、 $t_{c, near}$  が 3.8 秒となる。 $t_{c, far}$  と  $t_{c, near}$  を比較すると、 $t_{c, far}$  が短いことが分かる。これは、横断者が、S1 歩道端から横断を開始しコンフリクトエリアに到着するまでに、Far side の車両が通過するであろうと予測していることが挙げられる。つまり、横断者は、コンフリクトエリアまでの旅行時間と車両到着状況を加味して横断判断を下しているのではないかと考える。

(2) S2~S5 での横断者が S1 で横断すると仮定したときの期待遅れ時間  $d'_{1,i}$

次に、 $S_i$  ( $i = 2,3,4,5$ )での横断者が、仮に S1 で横断した時の期待遅れ時間  $d'_{1,i}$  を求める。この  $d'_{1,i}$  と 3 章 4 節で算出した遅れ時間  $d_1$  と比較することで、横断判断の要因を考察できる。

$d'_{1,i}$  を求めるにあたり、次の仮定をおく。

- ① S1 へ到着したとされる時刻は 3 章 4 節で定義した S1 期待到着時刻  $t_{a1}$  を用いる。
- ② 横断者は、ギャップがクリティカルギャップ  $t_c$  より大きい時に横断する。

これらの仮定のもと、 $d'_{1,i}$  は式(3)で求められる S1 期待到着時刻  $t_{a1}$  から、クリティカルギャップ  $t_c$  のギャップが現れるまでのギャップを合計して算出している。結果を図-10 に示す。なお、比較のため、 $S_i$  での横断者が仮に S1 で横断した時の期待遅れ時間  $d'_{1,i}$  だけでなく、S1 での実際の遅れ時間  $d_1$  も合わせて図示している。

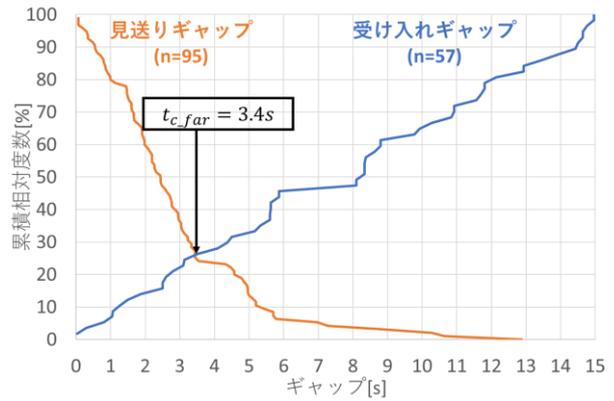


図-8 Far side クリティカルギャップ  $t_{c, far}$  推定

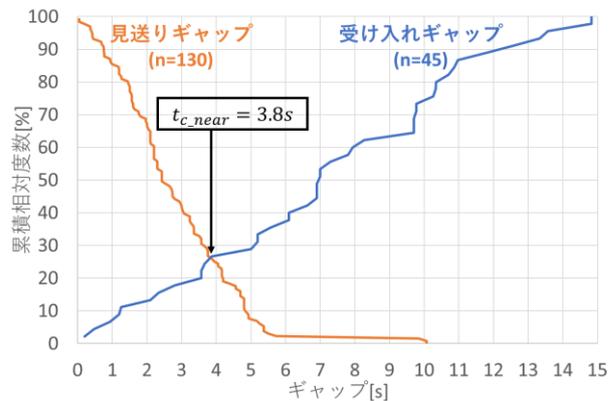


図-9 Near side クリティカルギャップ  $t_{c, near}$  推定

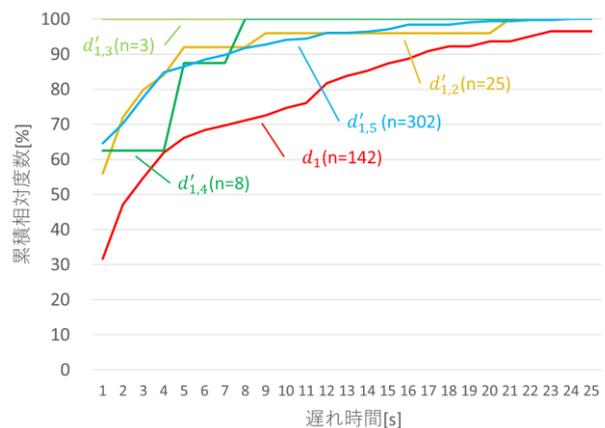


図-10 遅れ時間の比較

図-10 を見ると、 $S_i$  での横断者が仮に S1 で横断した場合の期待遅れ時間  $d'_{1,i}$  は、実際の S1 横断者の遅れ時間よりも短いことが分かる。有意水準 5% で分散分析を行ったところ、有意な差があることを確認している。つまり、S1 で乱横断をすることで遅れ時間が短くなるにも関わらず、S1 以外で横断することを選択しているのである。

(3) S2 での横断者の S1 横断時の期待遅れ時間 $d'_{1,2}$ と実際の遅れ時間 $d_2$

S2 での横断者は、S1 で横断しないことを選択したうえで S2 で横断している。S1 と S2 の距離は非常に近いいため、S1 で横断しない選択をした時点で、周辺の車両の状況から S2 で横断するときの遅れ時間を予想して判断していることが想定されるため、期待遅れ時間 $d'_{1,2}$ と遅れ時間 $d_2$ を用いて分析を行う。ここで $d'_{1,2}$ は前節で定義したもの、 $d_2$ は 3 章 4 節での $d_1$ と同様に式(4)、式(5)によって、算出する。なお、 $L_2$ は 12.5m である。

$$d_2 = t_{s2} - t_{a2} \tag{4}$$

$$t_{a2} = t_0 + \frac{L_2}{V} \tag{5}$$

図示したものが図-11 である。期待遅れ時間 $d'_{1,2}$ と遅れ時間 $d_2$ を比較すると、遅れ時間 $d_2$ の方が短いことが分かる。有意水準 5%で平均値の差の検定を行ったところ、有意な差があることを確認した。したがって、S2 横断者は、仮に S1 で横断したときよりも小さい遅れ時間で横断できていることがわかる。

(4) 横断開始位置の選択行動に関する考察

横断開始位置の選択行動について、選択位置ごとに考察する。

まず、S2 での横断者について述べる。図-11 にて S2 での横断者の遅れ時間は S1 で横断するときよりも小さくなることから、S1 付近を通過する際、道路の車両到着状況を確認し、S2 到着時に期待される遅れ時間を予測して横断位置を判断していると考えられる。したがって、S2 での横断者は車両到着状況をふまえて横断選択をしているのではないかと考えられる。

また、S2 横断者が実際に受け入れたギャップの分布を図-12 に示す。この図よりクリティカルギャップ $t_c(=3.8s)$ より小さいギャップで受け入れているサンプルは 10%程度で、クリティカルギャップ $t_c(=3.8s)$ 以上のギャップで受け入れているサンプルは 90%程度であることが分かる。このことから、S2 で横断する際には車両が S2 付近に存在しないことが想定され、リスクが少ないと判断し、S1 を選択せず、S2 を選択していると考えられる。

なお、図-10 より S1 を選択した人の遅れ時間は、他の位置での乱横断者と比べて遅れ時間が全体的に大きいことが分かった。しかし、遅れ時間が 10 秒以内の人が全体の 75%程度を占めており、他の位置で迂回して横断するのに比べると、ほとんどの場合で全体としての旅行時間は小さいと考えられる。また、他の S2~S4 の乱横断が遅れ時間が小さいのは、歩行者が移動しながら交通状況をうかがって時間的に動的に横断判断をしているためであり、S1 での横断者は距離最短経路を

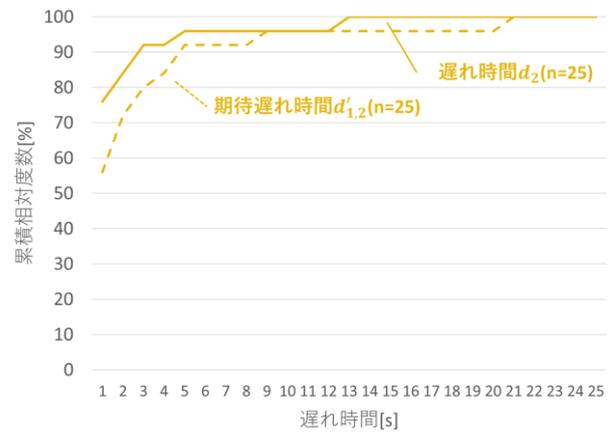


図-11 S2に関する遅れ時間の比較

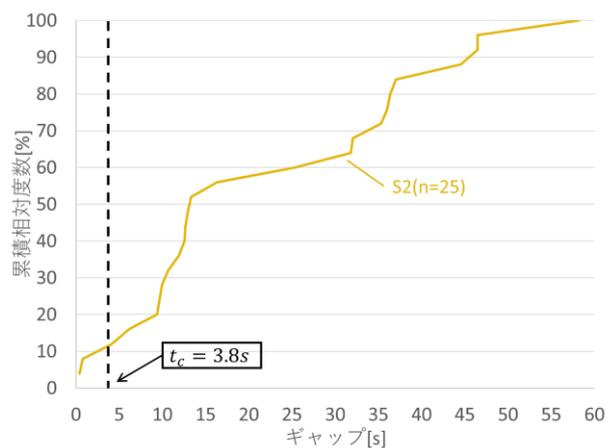


図-12 S2横断者が実際に受け入れたギャップの分布

先に選択してから横断タイミングを判断するというように、経路と横断タイミングの判断の順序が異なっている可能性も考えられる。

次に、S3、S4、S5 での横断者について述べる。これらの横断者は S1 を選択した時に期待される遅れ時間が小さいにも関わらず S1 での横断は行っておらず、そもそもギャップ選択による乱横断を経路の選択肢として想定していないと考えられる。ただ、S3、S4 での横断者は、3 章 5 節で示したようにスクランブル交差点の信号現示に対して感度があり、歩行者青表示に合わせて S3、S4 から横断歩道へ向かって乱横断している。

以上のことから、乱横断をするか、乱横断をせず横断歩道を利用するかは、横断歩道からの距離に応じて、横断する人の層を分割して考える必要があるといえる。今回の対象地金山では、横断歩道から離れている S1、S2 では横断するギャップ選択層、横断歩道に近い S3、S4 は、信号交差点での横断を想定しつつも、信号現示の影響を受けて位置を変更した層というように場合分けする必要がある。

## 6. まとめ

本研究では、単一の出発地、目的地にて、乱横断者と横断歩道利用者が見られる単路部と隣接する信号交差点を対象に、乱横断をするか否かの横断選択について分析を行った。その結果、乱横断者は、スクランブル交差点の信号現示、車両到着状況を判断材料として横断していることが分かった。また、乱横断者のうち、信号交差点から遠い位置で横断する人の一部は、遅れを小さくするように横断位置を変更していることが分かった。また、信号交差点に近い位置で横断する人は、ギャップ選択による横断の遅れが例え小さくてもギャップを選択せず、信号により車両との交錯がないことが保証される時間帯に横断していることが示唆された。

本研究で用いたビデオ映像では、先に横断位置を決めてから横断時刻を判断する人と、歩きながら交通状況を見て横断位置を決める人がいるので、それぞれの発生要因を分析する必要がある。また、今回は影響要因の分析に留まっているので、現地調査やアンケートによる分析を組み合わせ、横断判断を定量的に説明できるようにすることが必要である。さらに、本研究では、対象の隣接信号交差点がスクランブル交差点であったが、スクランブル交差点ではない標準的な信号交差点が隣接している場合や無信号の横断歩道が設置されている場合など横断施設の違いによる横断判断の分析も必要である。出発地を南側細街路と設定しており、歩行者が対象単路に対して垂直に進入することになるが、歩行者が対象単路に進入する際の向きの違いによる分析も必要である。

**謝辞**：本研究は、科学研究費補助金（基盤研究（C）, 課題番号 20K04720）による成果の一部である。ビデオ調査実施にあたり、名古屋都市センターの方々に協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 警察庁交通局：令和 2 年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=data-list&toukei=00130002&tstat=000001027458&cycle=7&year=20200&month=0>
- 2) The City of Edinburgh Council : Edinburgh street design guidance, 131p., 2020.
- 3) 竹平誠治, 大口敬：停車場線無信号横断歩道における安全島の整備と横断者・車両挙動分析, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.74, No.5(土木計画学研究・論文集第 35 巻), I\_1265-I\_1274, 2018.
- 4) 村井宏徳, 加藤明里, 神戸信人, 高瀬達夫, 鈴木弘司, 森田紳之：無信号の食い違い二段階横断施設による利用者挙動と意識に関する研究, 交通工学論文集(特集号 B), 第 3 巻第 2 号, pp.B-67-B-75, 2017.
- 5) 永脇有里子, 鈴木弘司：都市内道路における乱横断発生要因と抑止策に関する分析, 第 41 回交通工学研究発表会論文集, pp.97-104, 2021.
- 6) 足立国大, 鈴木弘司, 岡田悠希, 伊藤大貴：二段階横断施設における乱横断挙動に関する分析, 第 40 回交通工学研究発表会論文集, pp.7-12, 2020.
- 7) 細島豪人, 安井和彦, 稲垣具志, 池田隆博：単路部における押しボタン式信号機の利用実態に基づく交通制御方式の比較評価に関する研究, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.73, No.5(土木計画学研究・論文集第 34 巻), I\_1211-I\_1218, 2017.

(2021. 10. 1 受付)

## ANALYSIS OF THE IMPACT ON PEDESTRIANS' JAYWALKING BEHAVIOR AT MIDBLOCK SECTION ADJACENT TO A SIGNALIZED INTERSECTION

Takanori NAKAJIMA and Miho IRYO