

# 無信号横断歩道におけるドライバーの「譲り」に関する基礎的分析

松尾 幸二郎<sup>1</sup>・廣島 康裕<sup>2</sup>・佐藤 修生<sup>3</sup>・山内 洋佑<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)  
E-mail: k-matsuo@ace.tut.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)  
E-mail: hirobata@ace.tut.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 秋田市役所 (〒010-8560秋田市山王一丁目1-1)  
E-mail: k-matsuo@ace.tut.ac.jp

<sup>4</sup>非会員 三井住建道路  
E-mail: hirobata@ace.tut.ac.jp

本研究では、我が国の無信号横断歩道におけるドライバーの「譲り」に関する実態を把握するため、秋田市内および豊橋市内の無信号横断歩道における路上実験により得たデータを用いて、主に譲り率について分析を行った。その結果、ドライバーの譲り率は地域間で異なる可能性が示唆された。また、挙手により譲り率が向上することが明らかになり、ドライバーの横断者への意識を高める対策により譲り率が向上する可能性が示唆された。続いて、交通流観測データを用いて任意の譲り率に対する横断待ち時間分布を推定する簡易的な方法を考案し、秋田市内対象地点においては譲り率を0.1まで向上することで、横断待ち時間を大幅に減少させることができることが示された。最後に、車群が「譲り」のために安全に停止するために必要な発見距離の検討方法を提案した。

**Key Words :** *unsignalized crosswalk, yielding, traffic safetykato@ttri.or.jp*

## 1. はじめに

我が国の交通事故死者数は平成12年から12年連続で減少しているが、歩行中の死者数の減少はそれ程顕著ではなく、平成20年には歩行中の死者数が自動車乗車中の死者数を上回る形となった。また、船山<sup>1)</sup>によれば、平成22年中の交通事故死者数を年齢層別・交通手段別で分けると、65歳以上の高齢者の歩行中事故死者数が1228人（全交通事故死者数の25%）と極めて多くを占めている。従って、今後の超高齢化社会に向けて歩行中の交通事故死者数を減少させる対策が急務である。

さらに船山<sup>1)</sup>によれば、平成22年中の65歳以上の歩行中死者数1228人のうち532人（43%）の事故が単路部横断歩道以外および無信号交差点の横断中に発生しており、今後は信号が設置できない地点における歩行者への安全な横断機会の創出が必要不可欠であると考えられる。

信号が設置できない地点において歩行者への横断機会を提供する目的で従来から広く用いられているものの1

つに信号のない横断歩道（以下、無信号横断歩道）がある。道路交通法第三十八条では、『（前略）横断歩道等によりその進路の前方を横断し、又は横断しようとする歩行者等があるときは、当該横断歩道等の直前で一時停止し、かつ、その通行を妨げないようにしなければならない。』と定められており、これに基づいて、無信号横断歩道ではドライバーが歩行者に道を譲る（以下、「譲り」）ことで、歩行者の安全な横断機会が提供されることになっている。しかしながら、実際にこの「譲り」が十分に行われているは定かではない。またドライバーが「譲り」を行うか否かの挙動は様々な道路交通環境条件や地域によっても異なる可能性が考えられるが、その実態も明らかではない。

無信号横断歩道における「譲り」に関する研究としては、Huang et al.<sup>2)</sup>、Tumer et al.<sup>3)</sup>、Ellis et al.<sup>4)</sup>が無信号横断歩道における譲り率向上のための対策の効果を分析している。一方、国内における無信号横断歩道や横断歩道外における横断に関する研究として、尾崎ら<sup>5)</sup>、高山ら<sup>6)</sup>があ

るが、どちらも横断者の横断挙動の分析に重点が置かれており、ドライバーの「譲り」に関する詳細な研究は行われていない。

そこで本研究では、我が国の無信号横断歩道において、1)ドライバーの「譲り」がどの程度行われているのか、2)その程度が種々の条件や地域によって異なるのか、3)「譲り」の発生頻度が横断者の横断機会にどのような影響を与えているのかについて、基礎的な調査および分析を試みる。また、ドライバーの「譲り」に関しては、停止や徐行による新たな危険事象の発生可能性や円滑性等についても議論をする必要があるであろう。本研究ではその一部として、ドライバーが「譲り」のために後続車群に追突されずに停止するためには、無信号横断歩道脇で待機している歩行者をどのくらい手前で発見し停止の判断をすればよいか（「必要発見距離」と呼ぶ）について検討するための方法を提案する。

## 2. 研究方法

### (1) 路上実験によるデータ取得

本研究ではドライバーの「譲り」の程度を譲り率と定義し、路上実験により取得したデータに基づき、種々の条件により譲り率がどの程度異なるのかを分析する。

路上実験は、道路単路部もしくは無信号交差点付近における無信号横断歩道を対象とし、「実験者1名が横断歩道脇に待機し、車両が停止するか安全な横断に十分な車間距離が開いたタイミングで横断する」というルーティンを繰り返し行う。ドライバーに不審に思われないように、横断後はそのまま車両から見えぬ位置まで移動し一定時間待機した後、次のルーティンに移る。以上の様子をビデオカメラで撮影し、実験中に通過した各車両について、表-1に示す条件を取得する。

ドライバーの譲り率の地域による違いの有無を検証するため、対象地点として秋田県秋田市内から2地点（地点A、B）、愛知県豊橋市内から1地点（地点C）を選定した。対象地点の主な特徴を表-2に示す。また横断者となる実験者は20才の男子学生2名が交替で担当した。

### (2) 譲り率の算出と比較

本研究では、横断歩道脇に横断歩行者が待機している場合に、通過する各ドライバーが横断者に「譲り」を行うか否かという挙動が独立なベルヌーイ分布に従うと仮定し、その母譲り率 $p$ を

$$p_j = \frac{Y_j}{Q_j} \quad (1)$$

により推定する。ここで、 $Q_j$ は横断者が待機している際に到着した車両の総数、 $Y_j$ は停止もしくは徐行により横

表-1 路上実験により取得する主なデータ

車頭時刻	車頭が横断歩道へ到着した時刻
車両速度	車両の横断歩道通過時の速度
車両種別	普通車、大型車、軽、タクシー、自動二輪、原付
横断者位置	横断者の待機位置が車両の左側 (Near-side) か右側 (Far-side) か
横断者挙手の有無	横断者待機時の挙手の有無
譲りの有無	横断者を横断させるための停止もしくは徐行の有無

表-2 路上実験対象地点の主な特徴

	地点A	地点B	地点C
場所	秋田市土崎港北 県道231号上 (秋田高専前)	秋田市外旭川八柳 県道233号上 (徳真建設前)	豊橋市曙町 県道405号上 (幸郵便局前)
道路幅員	5.3m	7.1m	6.2m
歩道	無し	有り	無し
備考	3m付近に無信号T字路有り	50m付近に無信号T字路有り	3m付近に無信号T交差点有り

断者に「譲り」を行った車両の数、 $j$ は各種条件の違いによるケースを表すサフィックスである。そして各種条件別の譲り率を比較することで、譲り率に影響を与える要因について探る。

### (3) 譲り率の違いによる横断機会への影響評価

本研究では、無信号横断歩道におけるドライバーの譲り率の違いが横断機会へ与える影響を定量的に把握するため、横断者が横断できるまでに待つ時間（以下、横断待ち時間）に着目し、モンテカルロシミュレーションを用いて簡易的に横断待ち時間分布を推定する手法を考案した上で、実際のデータを用いて評価を試みる。本研究で考案する横断待ち時間分布の推定手法の手順は以下のとおりである。

- i) まず、簡単化のため図-1に示すように横断歩道を一断面（以下、横断断面）と考え、横断断面に先に到着する車両 $i$ と次に到着する車両 $i+1$ との車頭時間 $H_i$ および車間時間 $G_i$ を、一定時間における全車両について取得する。ただし、車両 $i$ と車両 $i+1$ の方向が対面となる場合（図-1下）は $H_i=G_i$ となる。なおここでは、横断者が存在しない状態、すなわち横断者の影響を受けない自然な交通流を想定している。
- ii) 車頭時間 $H_i$ の間に到着した横断者は、横断に必要な車間時間の閾値 $G_c$ より大きい車間時間が発生するか、いずれかの車両が停止するまで待機する必要がある、その時間が横断待ち時間となる。そこで、取得した車頭時間全てについて、

$$H_i = \begin{cases} H_i^{(c)} & \text{if } (G_i \geq G_c) \cup (RND \leq p) \\ H_i^{(u)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

により、横断可能ラベル(c)を付した車頭時間 $H_i^{(c)}$ と横断不可能ラベル(u)を付した車頭時間 $H_i^{(u)}$ に区別する。

ここで、 $p$ は譲り率、 $RND$ は毎回発生させる0-1の一樣乱数である。そして

$$wt_i = \sum_{k=i}^{K_i-1} H_k^{(u)} \quad (3)$$

により、車両 $i$ と車両 $i+1$ との車頭時間 $H_i$ の間に横断者が到着した場合の横断待ち時間 $wt_i$ を、すべての $i$ について算出する。ここで、 $K_i$ は車頭時間 $H_i$ 以後に初めて発生した横断可能車頭時間 $H_{k_i}^{(c)}$ に対応する番号である。

- iii) 車頭時間 $H_i$ の間に横断者が到着する確率は、その車頭時間 $H_i$ の大きさそのものに比例すると考えられる。従って、 $H_i$ で重みづけた $wt_i$ の頻度分布を計算すれば、それが横断待ち時間分布となる。ただし、横断可能ラベルを設定する際に乱数を利用しているため、上述ii)の作業を一定数繰り返し行い平均をとることで、待ち時間分布を近似的に推定できると考えられる。
- iv) 上述ii)を様々な譲り率 $p$ について行うことで、実際の交通流観測データをもとに、譲り率の変化が横断待ち時間分布（すなわち横断機会の程度）に与える影響を定量的に評価することができると考えられる。

#### (4) 必要発見距離についての検討

ドライバーが「譲り」のために後続車群に追突されず無信号横断歩道で停止するためには、無信号横断歩道脇で待機している歩行者を早めに発見し緩やかに減速する必要がある。そこで本研究ではあるドライバーが歩行者を発見して停止を決定した時点における無信号横断歩道からの距離を「発見距離」、後続車群を含めて安全に停止するのに必要な発見距離を「必要発見距離」として定義し、必要発見距離を検討するためのフレームワークを提案する。必要発見距離は、例えば無信号横断歩道を設置する際に確保されるべき見通し距離や、ドライバーへ歩行者の存在を情報提供する際等にどのくらい手前で情報提供するべきかといった検討に用いることができると考えられる。

以下では、「必要減速度」と「可能減速度」という指標を定義した上で、必要発見距離を検討する方法を提案する。

##### i) 停止を決定したドライバーの必要減速度 $a_1^*$

速度 $v_1$ で走行しているドライバーが無信号横断歩道から距離 $d$ 手前で歩行者を発見し停止を判断した場合、無信号横断歩道で停止するために必要な減速度 $a_1^*$ を発

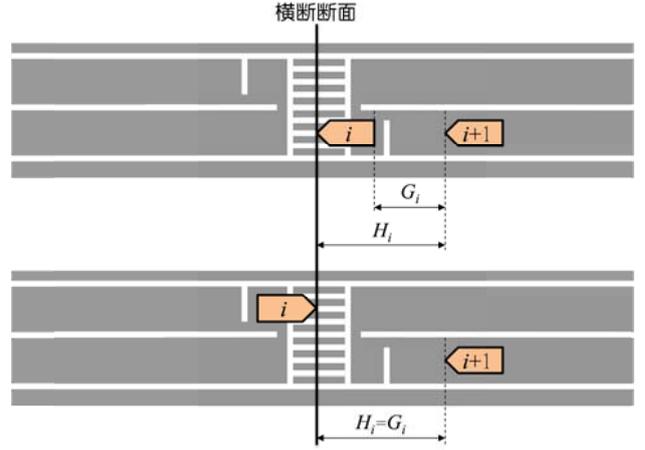


図-1 横断待ち時間分布推定に必要な車頭時間・車間時間の定義（上：同方向；下：対面方向）

見距離 $d$ の関数として、

$$a_1^*(d) = \frac{v_1^2}{-2(d - v_1 \cdot \Delta t)} \quad (4)$$

と定義する。ここで、 $\Delta t$ は反応遅れ時間である。

##### ii) 後続車の必要減速度 $a_n^*$

速度 $v_n$ で走行している $n$ 番目( $n=2, 3, \dots$ )の後続車が前方車の減速に気付いた後に安全に停止するために必要な減速度 $a_n^*$ については、前方車が急減速をしたと仮定した時の潜在的な追突危険性を表す指標であるPICUD<sup>7)</sup>を利用する。

$$PICUD = \frac{v_{n-1}^2}{-2a_{n-1}} + s_n - \left( v_n^2 \cdot \Delta t + \frac{v_n^2}{-2a_n} \right) \quad (5)$$

すなわち、 $PICUD=0$ として $a_n$ について解き、

$$a_n^*(d) = \frac{v_n^2}{\frac{v_{n-1}^2}{a_{n-1}} - 2(s_n - v_n \cdot \Delta t)} \quad (6)$$

を得る。ここで、 $s_n$ は前方車の減速開始時における前方車との車間距離である。また、 $a_n^*$ は前方車の必要減速度の関数となるため、結局、発見距離 $d$ の関数となる。

##### iii) 可能減速度 $a_p$

ドライバーが減速する際に実際に達成可能な最大減速度を可能減速度と定義する。可能減速度は路面状況によって異なるため、

$$a_p = -g \cdot f \quad (7)$$

により算出する。ここで、 $g$ は重力加速度、 $f$ は摩擦係数である。またドライバーが危険と感じない最大減速度を安全な減速時の可能減速度とする。可能減速度の例を表-3に示す。

iv) 必要発見距離 $a^*$

全ての車両の必要減速度（負値）が可能減速度（負値）を上回る状況であれば追突が発生しない、もしくは安全に停止が可能と考えられる。すなわち、

$$a_n^*(d) > a_p, \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (8)$$

を満たす発見距離 $d$ の最大値が必要発見距離 $a^*$ となる。

### 3. 結果と考察

#### (1) ドライバーの譲り率に関する結果

表-4に地点別・天候別の路上実験結果を、表-5に地域および天候と譲り率との独立性検定（フィッシャーの正確確率検定）の結果を示す。地点Aでは予備的な実験しか行っていないため、データ数が少ない。地点Bについては1回目の実験が雨であったため、晴れ時に再度実験を行っている。また、これらのデータはすべて非挙手時のものである。

まず分かることは、秋田市内対象地点（地点A、B）におけるドライバーの譲り率がたかだか0.3%（約320台に1台）であるのに対し、豊橋市内対象地点（地点C）では24.0%（約4台に1台）と顕著に高いということである。地域（秋田市と豊橋市）と譲り率との独立性検定結果からも統計的有意な差があることが分かる。これは、今回の2地域間での譲り率の差を示すとともに、一般に地域間で譲り率が異なる可能性を示唆している。このような地域による違いが生じる背景には、無信号横断歩道における「譲り」を重要視しているか軽視しているかという違いがあるのではないかと考えられる。

次に地点Bに着目してみると、雨のとき0.3%、晴のとき0.0%とほとんど差が見られず、天候と譲り率との独立性の検定結果も有意とはならなかった。

地点B晴の実験時においては、実験者が挙手をするという状況でのデータも追加的に取得している。これは、挙手をした場合に譲り率が向上するかどうかという検討を試みるためである。表-6上段を見ると、挙手時の譲り率が0.026と、非挙手時に比べやや高くなっており、統計的にも有意差が見られることが分かる。また、表-6下段には比較的譲り率が高い地点Cのデータを用いて、車両から見た横断者位置が左側（Near-side）の場合と右側（Far-side）の場合で譲り率に差があるかを分析した結果を示している。統計的には有意でないものの、Far-sideの譲り率（18.7%）に比べNear-sideの譲り率（27.5%）がやや高い傾向にあるという結果となった。これらは横断者が横断意志を積極的に示すことやドライバーの目線に入りやすい位置にすることで、横断者を意識し「譲り」に転じるドライバーが一部いるということを示している

表-3 可能減速度の例

	摩擦係数 $f$	可能減速度 $a_p$
路面乾燥時	0.55	-5.4 m/s <sup>2</sup>
路面湿潤時	0.45	-4.5 m/s <sup>2</sup>
安全な減速時		-3.0 m/s <sup>2</sup>

表-4 地点別・天候別の路上実験結果

$j$	1	2	3	4
地点	A	B	B	C
調査日（2012年）	6/7	6/29	7/17	8/30
調査時	11:30	17:35	17:43	16:56
天候	晴	雨	晴	晴
交通量 [台/h]	637	1392	1380	936
車両平均速度 [km/h]	28.8	41.4	48.1	28.1
全車両数 $Q_j$	39	321	366	130
譲り車両数 $Y_j$	0	1	0	41
譲り率 $p_j$	0.0	0.003	0.0	0.240

表-5 地域および天候と譲り率との独立性検定

検定仮説	有意確率
地域と譲り率は独立 ( $j=2, 4$ )	0.000
天候と譲り率は独立 ( $j=2, 3$ )	0.948

表-6 挙手および横断者位置と譲り率との独立性検定

$Q_j$	$Y_j$	$p_j$	$Q_j$	$Y_j$	$p_j$	有意確率
非挙手時 ( $j=3$ )			挙手時 ( $j=5$ )			
366	0	0.0	116	3	0.026	0.014
Near-side ( $j=6$ )			Far-side ( $j=7$ )			
80	22	0.275	91	19	0.187	0.202

考えられる。従って、ドライバーの横断者への意識を高める対策を行うことで譲り率を向上できる可能性が考えられる。

#### (2) 譲り率の違いによる横断者待ち時間への影響

2(3)節で説明した方法を用いて譲り率の違いが横断者待ち時間へ与える影響を分析するため、地点Bにおいて横断者が存在しない場合の交通流の観測を行い、車頭時間 $H$ および車間時間 $G$ を取得した。得られたデータ数は800データであった。

得られたデータを用いて、モンテカルロシミュレーションにより譲り率 $p$ に様々な値を設定した場合の横断待ち時間分布を推定し、累積確率図を作成したものを図-2に示す。なお、横断に必要な車間時間の閾値 $G_c$ については、高山ら<sup>9)</sup>の成果をもとに横断速度を1.25m/sと考え、道路幅員7.1mに対し $G_c=6\text{sec}$ を設定した。また、設定した全ての譲り率について繰り返し回数100回で横断待ち時間分布の期待値と標準偏差が収束判定基準0.01secで収束

した。図-2より、譲り率の増加に伴い横断待ち時間が減少していることが分かる。特に、地点Bにおける路上実験により得られた譲り率0.0-0.003の場合は、50%は約10秒以内で横断開始できるものの、15%が30秒から60秒、5%が1分以上待つ可能性を有するという結果となった。これは無信号横断歩道の目的が達成されているとは言い難い状況である。その一方で、何らかの対策により譲り率が0.1まで向上すればであれば30秒以上待つことになる可能性が2%、譲り率が0.2まで向上すればその可能性はほぼなくなるという結果となり、横断機会の提供に資することになると考えられる。

### (3) ドライバーの必要発見距離の試算

必要発見距離の試算を行うため、全車両について走行速度40km/h、車間距離43.5m（車長を3mとし経験式<sup>8)</sup>により算出）、反応遅れ時間1.5秒という単純な状況を仮定した。この仮定の下、(4)式、(6)式を用いて発見距離dを20m~60mまで10m毎に変化させた場合の必要減速度を算出した結果を図-3に示す。また、図上には路面乾燥時の可能減速度 $-5.4\text{m/s}^2$ 、安全な減速時の可能減速度 $-3.0\text{m/s}^2$ のラインもそれぞれ示している。

これを見ると、発見距離が30mの時に全ての車両の必要減速度が路面乾燥時の可能減速度を上回っており、発見距離が40mの時に全ての車両の必要減速度が安全な減速時の可能減速度を上回っていることが分かる。従って、全ての車両が安全に減速するためには40m程度の発見距離が必要であり、例えば規制速度40km/hの道路に無信号横断歩道を設置する場合には、40m以上の見通しを確保する必要があると考察することができる。

ただし、ここでは全車両の速度、車間距離、反応時間というパラメータが一定という単純な仮定の下での試算であり、その結果、1台目の車両が無信号横断歩道手前で安全に停止できるだけの発見距離であれば、後続車両も安全に停止できるというようになっている。しかし実際には車両によってこれらのパラメータが異なるはずであり、そのばらつきを考慮する必要がある。

## 4. おわりに

本研究では、我が国の無信号横断歩道におけるドライバーの「譲り」に関する実態を把握するため、路上実験により得たデータを用いて、主に譲り率について分析を行った。その結果、以下のことが結論付けられた。

- ・ ドライバーの譲り率は地域間で異なる可能性が示唆された。
- ・ 晴れと雨で譲り率が異なるとは言えない。一方、挙手により譲り率が向上する。また、ドライバー

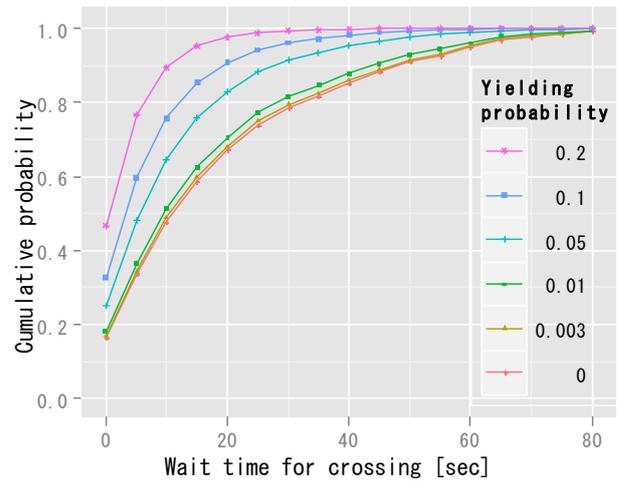


図-2 譲り率別の横断待ち時間累積確率図

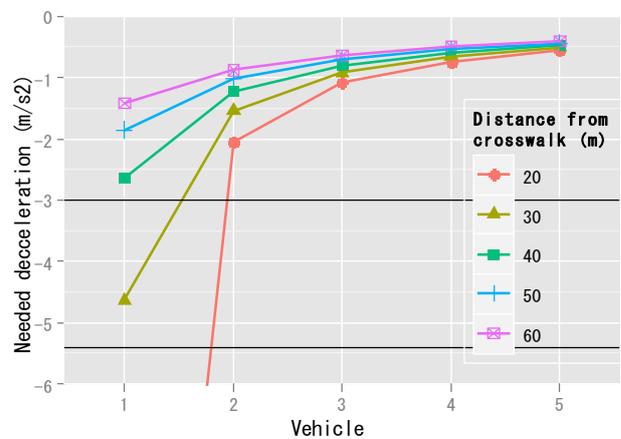


図-3 発見距離と車両別必要減速度（負値）との関係

の横断者への意識を高める対策を行うことで譲り率が向上する可能性がある。

- ・ 交通流観測データを用いて任意の譲り率に対する横断待ち時間分布を推定する簡易的な方法を考案した。横断者の横断機会の評価に有用であると考えられる。
- ・ 地点Bにおいては譲り率を10%まで向上することで、横断待ち時間を大幅に減少させることができる。

ただしこれらは限られた地点における結果によるものであり、必ずしも一般性を有するとは言い難い。今後対象地点を増やしてさらなる調査を行っていく必要がある。

また、ドライバーが「譲り」のために後続車群に追突されずに停止するための必要発見距離を検討するための方法を提案し、単純な仮定の下で試算を行った。今後は車両による速度、車間距離等のばらつきを考慮していく必要がある。

謝辞：本論文は、豊橋技術科学大学『平成24年度高専連携教育研究プロジェクト』の支援を受けて行った研究の成果である。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 舟山健司：高齢歩行者 道路横断中事故の分析，交通事故調査・分析研究発表会論文集，Vol.14，pp.21-28，2011.
- 2) Huang, H., Zegeer, C. and Nassi, R.: Effects of Innovative Pedestrian Signs at Unsignalized Locations: Three Treatments, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1705, pp.43-52, 2000.
- 3) Turner, S., Fitzpatrick, K., Brewer, M. and Park, E.: Motorist Yielding to Pedestrians at Unsignalized Intersections: Findings from a National Study on Improving Pedestrian Safety, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1982, pp.1-12, 2006.
- 4) Ellis, R., Houten, R. and Kim, J.-L.: In-Roadway “Yield to Pedestrians” Signs: Placement Distance and Motorist Yielding, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2002, pp.84-89, 2007.
- 5) 尾崎龍樹，日野泰雄，吉田長裕，上野精順：無信号横断歩道における歩車錯綜時の安全性評価，土木計画学研究・講演集，Vol.26，CD-ROM，2002.
- 6) 高山純一，中山晶一郎，福田次郎：高齢者の横断歩道外における横断行動の実態およびその意識に関する調査分析，土木計画学研究・講演集，Vol.28，CD-ROM，2003.
- 7) 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，pp.989-996，2003.
- 8) 河上省吾・松井寛：交通工学 第2版，森北出版，p.109 (9.21)式，2004.

## FUNDAMENTAL ANALYSES ON DRIVERS’ “YEILDING” BEHAVIOR AT UNSIGNALIZED CROSSWALKS

Kojiro MATSUO, Yasuhiro HIROBATA, Shusei SATO and Yosuke YAMAUCHI