

無信号横断歩道における高齢者の横断行動と安全対策に関する研究

The Behavior of Older Pedestrians at Unsignalized Crossings and Measures to Improve Their Safety

三井達郎\*、矢野伸裕\*\*、萩田賢司\*\*\*

Tatsuro MITSUI, Nubuhiko YANO and Kenji HAGITA

1. はじめに

交通事故統計によれば、65歳以上の高齢者は道路横断中の死亡事故が多く、発生場所別に見ると特に信号機のない横断歩道を横断中の事故の割合が非高齢者に比べて高いという特徴がある<sup>1)</sup>。高齢者が主な活動領域としている住宅地区では信号未設置の横断歩道が多いと考えられることから、無信号横断歩道における歩行者の安全確保は高齢社会の重要な課題の一つである。無信号横断歩道における事故の主要原因は、道路交通法の「横断歩道における歩行者等の優先規定(第38条)」があるにもかかわらず、ドライバーが横断待ち歩行者に進路を譲らないことが半ば習慣化していることが挙げられる。このため、歩行者の多くは車と車の間隙をぬって横断せざるを得ず、特に、視力、脚力、情報処理能力等が低下している高齢者にとっては、このような横断は精神的な負担が極めて大きいばかりでなく危険でもある。この状況を改善するためには、運転者に道路交通法の遵守を働きかけ横断歩道における歩行者保護を徹底させることが本来の対策であり、今後も継続して推進することが大切であるが、習慣化した運転者の行動を改めることは極めて困難と言わざるを得ない。むしろ高齢者の運動能力や横断行動に配慮して歩行者用信号機の設置要件を定め、これに基づいて歩行者用信号機をきめ細やかに設置することの方が現実的かつ効果的な対策と考えられる。

以上の観点に立ち、本研究では、まず実際の単路の無信号横断歩道において高齢者の横断実態を調査し、高齢者の横断行動の特徴と問題点を非高齢者と対比することで明らかにする。次に、高齢者の安全確保対

策として横断歩道に歩行者用信号機を設置する場合の設置要件を、実態調査によって得られた高齢者の横断行動の特徴に配慮しながら検討する。なお、本研究での歩行者用信号機とは、交差道路からの交通量が少ない交差点あるいは単路において、主として横断歩行者の整理のために設置する信号機で、定周期式及び押しボタン式のことを言う。

2. 従来の研究

高齢者の道路横断行動に関する研究は、従来から信号機のある横断歩道を対象としたものが多く、代表的な研究として、道路横断時の歩行速度に及ぼす各種要因の影響を綿密に調査した研究<sup>2)</sup>、高齢者の歩行速度を考慮して歩行者青時間の検討を行った研究<sup>3)</sup>、高齢者に配慮して歩行者青時間・クリアランス時間を変えた場合の影響評価に関する研究<sup>4)</sup>などがある。これに対して信号機のない横断歩道を対象とした研究は、わが国では模擬横断歩道で横断ギャップの認知を調べた研究<sup>5)</sup>、横断歩行者に遭遇したときのドライバーの読みや行動判断について実験を行った研究<sup>6)</sup>があるが研究例は少ない。なお、英国等においては、無信号横断歩道における歩行者と自動車の遅れに着目した研究<sup>7), 8)</sup>があるが、これらは車に対する歩行者の優先権が実質的に確立されている状況下での結果であってわが国に直接適用できない。

次に、歩行者用信号機の設置要件に関してであるが、米国、カナダ、オーストラリア、英国等では歩行者用信号機を設置するための歩行者交通量、主道路自動車交通量の具体的な数値が示されている<sup>10), 11)</sup>。例えば米国では、歩行者交通量が任意の4時間で平均100人/時以上かまたはピーク1時間当たり190人以上であり、かつ、自動車交通流中の横断可能なギャップの

キーワード: 歩行者交通行動、交通安全、交通弱者対策  
\* 正会員 工修 科学警察研究所交通規制研究室  
\*\* 非会員 文修 科学警察研究所交通規制研究室  
\*\*\* 正会員 科学警察研究所車両運転研究室  
(〒102 千代田区三番町6 TEL:03-3261-9986, FAX:03-3261-9954)

出現頻度が60回/時未満である場合に歩行者用信号機を設置すること、と定められている<sup>12)</sup>。しかし、高齢者に配慮した設置基準については必要性は認識されているが現在までのところ示されていない。一方、わが国では歩行者用信号機設置に当たって考慮すべき事項として横断歩行者需要、道路の幅員、主道路往復交通量が挙げられているものの<sup>13)</sup>高齢者はもちろん一般歩行者に対しても具体的な数値は示されていない。

以上のように、信号機のない横断歩道における高齢者の横断の実態を観測してその特徴や問題点を調べた研究は現在までのところ数少なく、また、歩行者用信号機を設置する際の目安もわが国では明示されていない。高齢社会において歩行者用信号機をきめ細やかに設置するためには、高齢歩行者の横断実態を踏まえた具体的設置要件を確立しておく必要がある。

### 3. 横断行動調査の概要

調査の概要を表1に示す。調査地点は、広幅2車線(片側1車線)の単路に設けられた信号機のない横断歩道である。調査は3台のビデオカメラを用いて、横断歩道を横断する歩行者、及び横断歩道に左右から接近してくる車を撮影する方法で行った。調査対象とした横断歩行者は、自分の判断で横断を開始した歩行者(自転車を押して横断した者も含む)に限定した。また、高齢者、非高齢者の区別は、観測員が目視によって判断した。なお、当該調査地点は調査日から約半月後に押しボタン信号機が設置された。そこで、信号機設置後の歩行者の横断行動を調べるための補足調査を実施した。この補足調査では、ビデオカメラ1台を用いて横断する歩行者のみの撮影を行った。

### 4. 調査結果

#### (1) ドライバーの停止行動と歩行者の横断形態

##### (a) ドライバーの停止行動

道路交通法によれば、歩行者が横断歩道端で横断待ちをしている場合にはドライバーは横断歩道の手前で一時停止しなければならない。そこで、高齢者の横断行動の分析に先立って、この規定が今回の調査対象地点でどの程度守られているかを調べた。表2に、ドライバーから見て横断歩道の左端に横断待ちをしている

表1 調査の概要

調査地点	東京都東大和市団地東通り	
調査日時	本調査	平成8年8月9日、16日 9:30~15:30
	補足調査	平成8年11月29日 9:30~15:30 (押しボタン信号機設置後の調査)
調査地点	車線構成	広幅2車線(片側1車線)
	横断歩道長	11.1m
の概要	往復自動車交通量	平均739台/時、ピーク時855台/時
	自動車の平均速度	46.5km/時
	横断歩行者・自転車交通量	平均106人/時、ピーク時160人/時

表2 横断歩道手前での車の停止行動

	台数
停止せず横断歩道を通じた車 <sup>注1)</sup> A	355
停止して歩行者に進路を譲った車 B	56
停止率 $B / (A + B) * 100$	13.6%

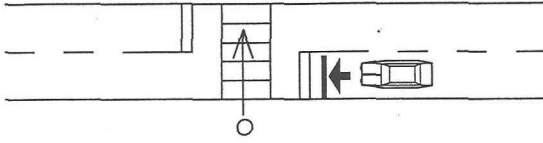
注1) 無理なく停止できるにもかかわらず停止しなかった車

歩行者や自転車が存在する場合におけるドライバーの行動を示した。個々の車について、空走時間2秒(歩行者を発見後ブレーキがきき始める間での時間)、減速度 $1.96/秒^2$ (不快感を与えないような減速度<sup>14)</sup>)として横断歩道手前で停止可能かどうかを判断し、停止可能な車が実際に停止したか否か読みとった。停止して歩行者や自転車に進路を譲った車の台数は、無理なく停止できるにもかかわらず停止しなかった台数に比べて非常に少なく、停止率は13.6%にすぎない。この停止率が他の無信号横断歩道にそのまま当てはまるとは限らないが、日常の経験を勘案すれば、一般に信号機のない横断歩道においては、大部分の歩行者は車と車の間隙をぬって横断せざるを得ない状況にあるということができよう。

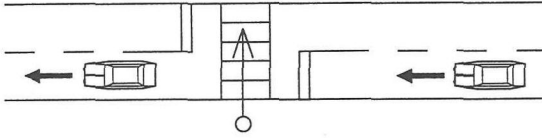
##### (b) 歩行者の横断形態

調査の結果、高齢者125人、非高齢者369人分の横断行動データが得られた。これらのデータを用いて、まず横断形態について分析した。無信号横断歩道を横断する際の横断パターンは左右のうち片方向からの接近車のみを考慮すれば、図1のように安全型、ギャップ利用型、割込型の3タイプに分類することができる。これらの分類を基にして左右両方向からの車を考慮した場合の横断形態を表3に示すようにA, B, C, Dの4形態に分類した。各横断形態の内容は以下のとおりで

① 安全型（車が停止、あるいは徐行してから横断）



② ギャップ利用型（車の間隙をぬって横断）



③ 割込型（横断開始後、車を減速もしくは停止させる）

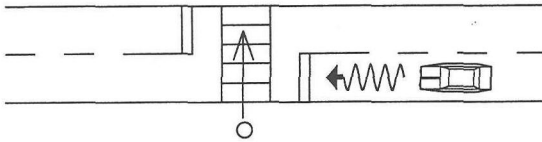


図1 横断パターン

表3 横断形態の分類

手前側	横断パターン	遠方側		
		安全型	ギャップ利用型	割込型
側	安全型	A	B	D
	ギャップ利用型	B	C	D
	割込型	D	D	D

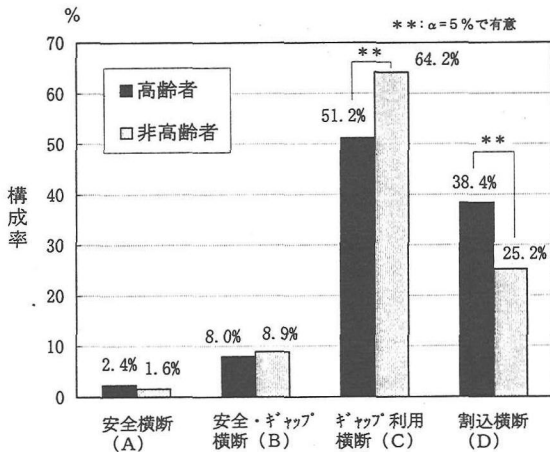


図2 高齢者・非高齢者別の横断形態

ある。

A 安全横断:

横断歩行者から見て手前側の横断（開始から車道中央まで）、遠方側の横断（車道中央から車道を出るまで）が共に安全型。

B 安全・ギャップ横断:

手前側、遠方側のどちらか一方が安全型で、他の方がギャップ利用型

C ギャップ利用横断:

手前側、遠方側共にギャップ利用型

D 割込横断:

手前側、遠方側の少なくとも一方が割込型

図2は、高齢者、非高齢者の横断行動を上記の横断形態別に集計した結果である。同図より高齢者は非高齢者に比べて割込横断、すなわち横断開始後、接近してくる車を減速あるいは停止させるケースが多いことがわかる（構成率の差は有意水準  $\alpha = 5\%$  で有意）。このことは、高齢者は非高齢者よりも横断時に危険な状況に陥りやすいことを意味する。

(2) 横断時の歩行速度

(a) 横断形態別の歩行速度

図3に横断形態別の平均歩行速度を示す（安全横断については高齢者3人、非高齢者6人と少ないため除外）。横断形態別の平均歩行速度の差に着目すると、最も高い安全・ギャップ横断と最も低いギャップ利用横断の平均歩行速度の差は非高齢者が0.34m/秒であるのに対し高齢者は0.18m/秒となっている。また、統計的な有意差 ( $\alpha = 5\%$ ) は、非高齢者の場合は3横断形態のすべてで見られるのに対して、高齢者の場合は安全・ギャップ横断とギャップ利用横断の間で見られるのみである。以上のことから、高齢者は非高齢者と比べて横断状況に応じて歩行速度を変化させる度合いが小さいと考えられる。なお、全横断形態を一括した平均歩行速度は、高齢者1.12m/秒、非高齢者1.36m/秒であり、高齢者は非高齢者に比べて低い ( $\alpha = 5\%$  で有意差あり)。

(b) 歩行者用信号機が設置された前後の歩行速度分布の比較

前述したように当該調査地点では、調査日から約半月後に押しボタン式信号機が設置された。そこで、信号機設置後の横断歩行者の歩行速度に関する補足

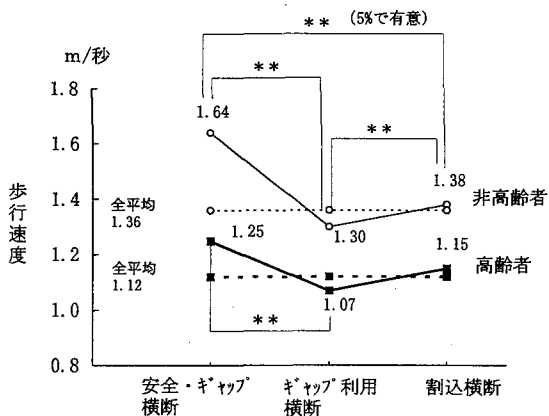


図3 横断形態別の平均歩行速度

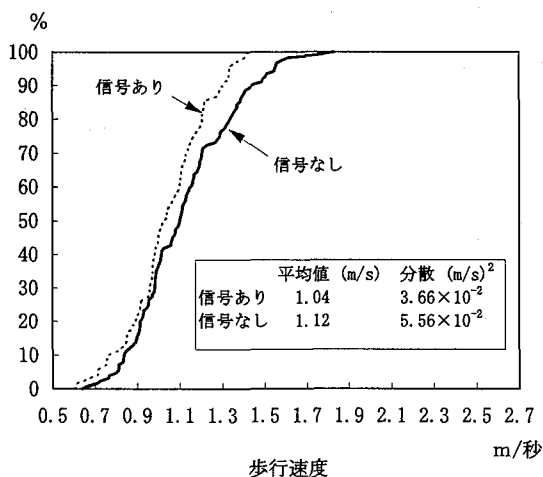


図4 歩行者用信号有無別の累積歩行速度分布 (高齢者)

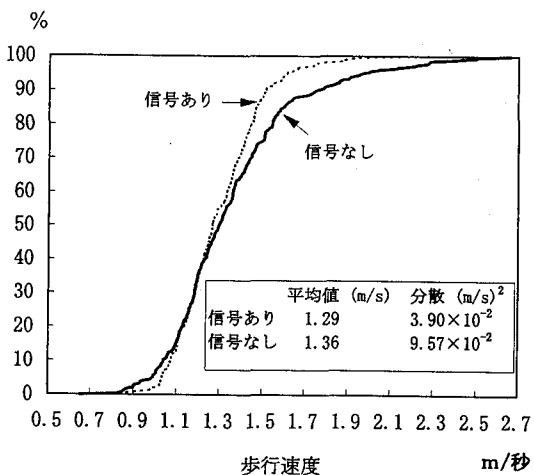


図5 歩行者用信号有無別の累積歩行速度分布 (非高齢者)

調査を行った。この調査のねらいは、歩行者青信号時に車に注意することなく安心して横断できる状態での歩行速度データを得ることである。したがってこの調査の対象とした横断歩行者は歩行者青時間開始後直ちに横断を開始した者に限定した。(青時間開始後しばらくして横断を開始した者は青残り時間が少なくなるので早足になることが知られている<sup>15)</sup>。よって対象から除外した。) 補足調査の結果、歩行者青信号で安全が確保された状況における高齢者70人、非高齢者211人分の歩行速度のデータが得られた。図4、5は、信号機がなく左右からの接近車に注意しながら横断する場合の歩行速度の累積分布(信号設置前調査によるデータ)と青信号に従って横断する場合の歩行速度の累積分布(補足調査によるデータ)を比較したもので、図4は高齢者、図5は非高齢者を示す。まず、信号有無別の平均歩行速度をみると高齢、非高齢共に「信号なし」が「信号あり」よりも高くなっており( $\alpha = 5\%$ で有意)、接近車に注意して横断する場合には歩行速度を速める傾向があることがわかる。次に、累積速度分布の形状を見ると、高齢者(図4)は「信号なし」の分布が「信号あり」より全体的に右に移動しているのに対し、非高齢者(図5)は比較的高い速度帯のみで分布形状の右方向への移動が見られしかもその移動幅は高齢者に比べて大きい。また、歩行速度の分散に関しては、高齢者、非高齢者共に「信号なし」が「信号あり」に比べて大きい、その差は非高齢者は高齢者に比べて大きい。「信号なし」で横断する時の横断形態は(1)、(b)で述べたように高齢者と非高齢者と異なるので厳密な比較はできないが、以上のことは、信号機がなく接近車に注意して横断する場合と歩行者用信号青に従って安心して横断する場合の歩行速度分布の相違は非高齢者は高齢者に比べて大きいこと、すなわち高齢者は非高齢者に比べて小さいことを示唆するものと考えられる。

#### (c) 横断時の利用ラグの大きさと歩行速度の関係

本報告におけるラグの定義を図6に示す。まず、歩行者が横断歩道に到着した場合①では、歩行者が到着して横断できる体勢に入った時点を中心として、その時点から歩行者から見て手前側車両が横断歩道に到着するまでの時間間隔T1を手前側ラグ、遠方側車両が横断歩道に到着するまでの時間間隔T2を遠方側ラグとする。また、歩行者が横断待ちをしている場合②では、手前側あるいは遠方側の車両のどちらかが横断歩道に

表4 横断時の歩行速度と利用ラグの重回帰分析

\*\*:5%有意

	変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	判定
高齢者	g 1	0.0001	0.0064	0.0511	-
	g 2	-0.0038	-0.1985	1.5812	-
	定数項	1.2552		16.5821	**
重相関係数				0.1984	

	変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	判定
非高齢者	g 1	-0.0069	-0.2391	3.7966	**
	g 2	-0.0042	-0.1727	2.7427	**
	定数項	1.5136		29.8499	**
重相関係数				0.2819	

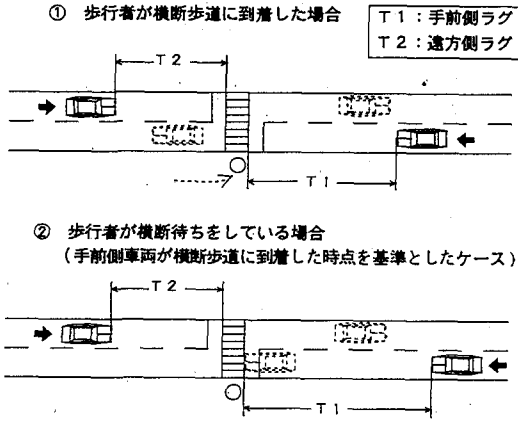


図6 ラグの定義

到着した時点基準として、その時点から計測して、最も近い手前側車両が横断歩道に到着するまでの時間間隔T1を手前側ラグ、最も近い遠方側車両が横断歩道に到着するまでの時間間隔T2を遠方側ラグとする。そして手前側ラグと遠方側ラグの組み合わせを単にラグと呼ぶことにする。T1, T2を求めるためには、ラグ測定の対象となる手前側車両、遠方側車両の速度と横断歩道からの距離が必要であるが、ビデオ画面からこれらの値を計測するのは極めて困難である。よって、今回の調査では、手前側車両、遠方側車両が実際に横断歩道に到着した時間からラグを求めた。この場合、接近速度一定と仮定できなければ、ラグを算出できないので、以下の分析では接近車に減速行動が見られない横断、すなわちギャップ利用横断のみを対象とした。サンプル数は高齢者64人、非高齢者237人である。

上記の方法で得たT1, T2のデータを用いて横断時の利用ラグの大きさと歩行速度の関係について検討した。車の間隙をぬって横断した歩行者が実際に利用した手前側ラグをg1、遠方側ラグをg2とし、g1, g2を説明変数、横断中の歩行速度を目的変数とした重回帰分析を行った結果を表4に示す。同表より以下のことがわかる。

- ① 非高齢者の歩行速度は手前側利用ラグ及び遠方側利用ラグが短いほど高くなる傾向がある。
- ② 高齢者の歩行速度は手前側利用ラグ及び遠方側利用ラグのいずれとも関連性が見られない。

図7に、利用ラグと歩行速度の関連を示す1例として、

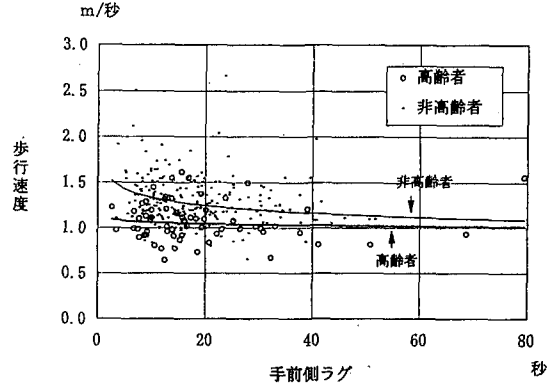


図7 横断時の歩行速度と手前側ラグの関係

手前側利用ラグと歩行速度との関係を高齢者と非高齢者別に示した。図中の近似曲線に着目すると、非高齢者は手前側ラグが短い場合、すなわち車が近くまできている場合には歩行速度を高める傾向があるのに対し、高齢者は車の遠近にかかわらず歩行速度はほぼ一定であるようすがうかがえる。

(3) ラグ利用の判断

歩行者が車と車の間隙をぬって横断する場合に、手前側ラグと遠方側ラグをどのように判断して横断を決断しているかを分析した。分析対象は手前側ラグT1及び遠方側ラグT2が算出可能なギャップ利用横断のみとした。図8に、高齢者が横断に実際に使った利用ラグと横断せずに見送った棄却ラグの関係を示す。例えば図中のA点は、手前側ラグが約41秒、遠方側ラグ約28秒の時このラグは利用された(歩行者が横断した)ことを表す。棄却ラグは左隅に集中し、右上にいくほど利用ラグが多くなる事が分かる。図中の曲線Bは、利用ラグと

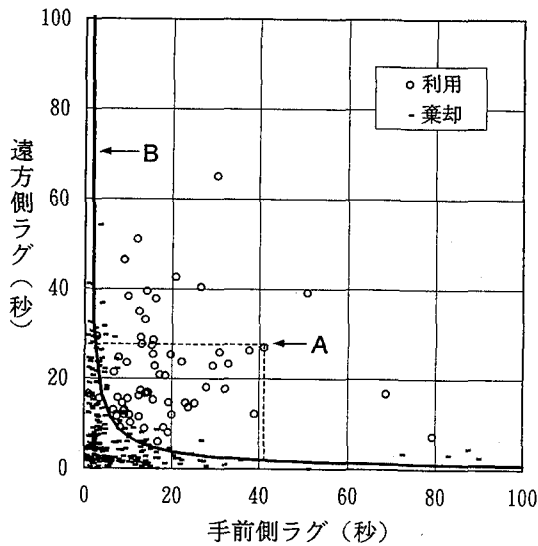


図8 利用ラグと棄却ラグの関係(高齢者)

棄却ラグを最もよく分類する線、つまり横断するか否かの判断の基準となっていると思われる線を判別分析を使って求めたものである。判別分析の手順は以下の通りである。まず、図8に示した利用ラグと棄却ラグの分布から両者を区分する曲線を $X^{\alpha} \cdot Y^{\beta} = a$ と設定した。ここで $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $a$ は定数である。そして、 $X$ (手前側ラグ)、 $Y$ (遠方側ラグ)の実測値を対数変換し、通常の線形判別分析を適用した。その結果、高齢者についての判別関数として、 $\log Y = -0.9106 \log X + 1.7655$  ( $Y = 58.28X^{-0.9106}$ )が得られた。図8において実際には棄却されたいくつかのラグが利用側に誤って判別されているものの、全体としての判別の中率は87.2%であり判別関数はほぼ妥当なものと考えられる。

同様に、利用ラグと棄却ラグを判別する曲線を非高齢者についても求め(非高齢者の判別の中率は88.7%)、高齢者と非高齢者を比較した結果を図9に示す。この図より、2本の曲線はほぼ重なっていることから、高齢者と非高齢者で横断するかしないかの判断はほとんど差がないと言える。前述した歩行速度の分析より、高齢者は非高齢者と比較して歩行速度が遅くて横断により長い時間を要することが分かっているため、ラグ利用の判断が非高齢者と同じということは、高齢者は非高齢者よりも無理な横断をしていることを意味すると考えられる。

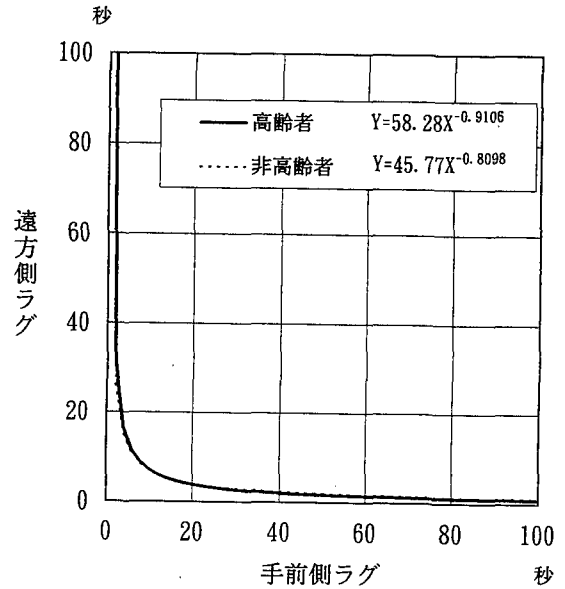


図9 利用ラグと棄却ラグの判別関数

### 5. 無信号横断歩道における高齢者の横断行動に関する考察

今回の調査より、信号機のない横断歩道を横断する際の高齢歩行者の問題点をいくつか明らかにすることができた。これらを横断時の行動順にしたがって列挙すると以下ようになる。まず、横断する前のラグの判断についてであるが、車と車の間をぬって横断する場合に、横断を開始するか否かの判断の目安となっていると考えられるラグの大きさは、高齢者と非高齢者でほとんど差がないことがわかった。高齢者が歩行速度が遅いことを考慮すれば、高齢者と非高齢者でラグ利用の判断に差がないということは高齢者は非高齢者よりも無理な横断を企てやすい傾向があると言えよう。次に、横断を開始した後の歩行速度に関しては、高齢者は横断時の歩行速度が非高齢者と比べて低いという従来から得られている結果の他に、車と車の間をぬって横断する際、ラグが短い状況においても非高齢者と異なり歩行速度を速めないという新たな特徴が見出された。ただし、この結果は高齢者は車の接近状況に無頓着であることを示しているのではなく、むしろ本来なら車が近くまで来ている場合には非高齢者と同じように速く歩きたいのであるが実際には歩けない状況にあると解釈する方が自然であろう。この意味では高齢者は非高齢者よ

りも横断時の心理的負担が大きいものと考えられる。そして、最後に横断形態についてであるが、高齢者は横断開始後、接近車に減速あるいは停止を強いるケースが多いことがわかった。これは、前述した2つの高齢者の問題点、すなわち歩行速度が遅いにもかかわらずラグ利用の判断が非高齢者とほとんど同じこと、及び接近車から逃れるために歩行速度を速める傾向がみられないことの帰結として現れてくる現象と見ることができる。ドライバーが横断歩行者に進路を譲らないことが半ば常習化している現状ではこのような横断は危険であり、特に夜間などドライバーから歩行者が見にくい場合にはその危険性はいっそう高まる。交通死亡事故の分析結果によれば、信号機のない横断歩道では、夜間は高齢者の方が非高齢者よりも死亡事故に合いやすいという結果が得られているが<sup>16)</sup>、これは上述したような高齢歩行者の横断行動の特徴の反映と言えよう。

以上の高齢歩行者の問題点は、状況判断力、視力、脚力等の心身機能の低下に起因している部分が大いだと推察され、交通安全教育のみで改善することは難しい。高齢社会においては、横断時に正確な状況判断と危険を避けるためのすばやい身のこなしが要求される無信号横断歩道は、高齢者の安全を確保するための施設としては十分でなく、歩行者用信号機をきめ細やかに設置することが望ましいと考えられる。このような観点から、次章では高齢者に配慮した歩行者用信号機の設置の要件について検討する。

## 6. 歩行者用信号機の設置要件の検討

主として横断歩行者の整理のために信号機の設置を検討する場合には、横断歩行者数、車道幅員、主道路往復交通量を考慮する必要がある<sup>17)</sup>。本報告では、歩行者が自動車交通流の間隙を利用して横断する際の横断待ち時間に着目し、横断行動のシミュレーションによって横断歩行者数、車道幅員、自動車交通量と歩行者の横断待ち時間の関係を算出することを試みた。そして、横断待ち時間がある一定値を越えてしまう場合には歩行者用信号機が必要であると判断することとした。

本シミュレーションで特に配慮した点は、歩行者が横断時に利用するラグは歩行者が車にせかされることなく横断することを前提として設定したことである。この理由は、高齢社会においては、単に理論的に横断可能か否

かだけで歩行者用信号機の設置の適否を判断することは望ましくなく、横断の快適性、すなわち、高齢者がゆったりと安心して横断できるか否かを判断基準とすべきであると考えたからである。

本報告で提案するのは、信号機がない状況下での高齢者の横断待ち時間を判断基準として歩行者用信号機設置の適否を判断する1つの方法である。しかし、この判断基準のみで歩行者用信号機を設置すると高齢者にとっては安全でも、非高齢者にとっては十分なラグであるにもかかわらず赤信号のため横断できず、かえって信号無視を助長しかねないという問題点が生じる。また、車にとっても信号機付き横断歩道が増えることでより多くの遅れを強いられるという問題点が生じる。非高齢歩行者に関する問題点は、例えば押しボタンを押してから歩行者用信号が青に変わるまでの時間を短縮することである程度改善できると考えられ、また、車に関する問題点は弱者感応信号機(高齢者等交通弱者が横断するときだけ通常に比べて青時間が長くなる押しボタン信号機)を設置したり、隣接信号機と連携をとって信号の切り替えを行うこと等で軽減させることは可能である。しかしながら、高齢歩行者の安全確保のために設置する歩行者用信号機が、非高齢歩行者や車に対してより多くの遅れをもたらすことは避けることはできない。したがって、実際の設置に当たっては、本報告で着目した歩行者用信号機がない場合の横断待ち時間だけでなく、信号機設置に伴う非高齢者の横断待ち時間の増加、自動車交通の遅れに及ぼす影響、交通事故の発生状況等を勘案して総合的に判断しなければならないことを付記しておく。

### (1) 横断可能ラグの算出方法

歩行者が横断を実行するのに必要な自動車交通流中の最小の時間間隔は、歩行者が横断を開始してから完了するまでの時間にある程度の余裕時間を加えて決める必要がある。本報告では、横断中の歩行者と接近車はある一定以上の時間間隔を保つことを考慮し、図10に示すような方法で横断可能ラグを算出することを試みた。すなわち、歩行者は手前側車線の中央部では、右方向からの接近車と最小S1の余裕時間を保ち、さらに遠方側車線中央部では左からの接近車と最小S2の余裕時間を保つものとする。そして手前側ラグT1と遠方側ラグT2に関して、

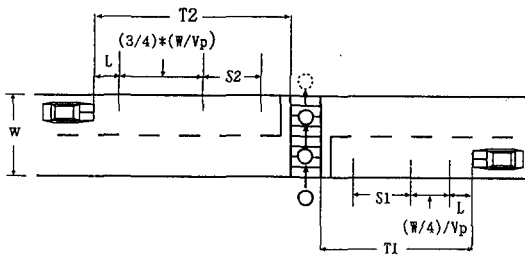


図10 横断可能ラグの算出方法

$$T1 \geq S1 + (W/4) / Vp + L \quad \dots\dots (1)$$

かつ

$$T2 \geq S2 + (3*W/4) / Vp + L \quad \dots\dots (2)$$

が成り立つ場合に、歩行者は横断可能であるとした。ここで、Lはラグが出現してから歩行者が実際に横断歩道に足を踏み入れるまでの時間、Vpは歩行速度、Wは車道幅員である。実際の横断行動では歩行者はT1、T2だけでなく、左右から接近してくる複数の車の到着時間を予測して横断を開始していると考えられるが、このような横断にはより複雑なラグ判断プロセスが必要となる。本シミュレーションは判断能力の衰えた高齢者を対象としているため複雑な判断アルゴリズムは採用せず、右方向にT1以上、左方向にT2以上のラグが発生した場合のみ横断を開始するという単純なラグ判断アルゴリズムを用いた。(1)式、(2)式から横断可能ラグを求める際にはS1、S2、Vp、Lの各値を観測データから求めておかなければならない。Vp、Lについてはデータの集計によって算出できるが、S1、S2の求め方については過去に研究例がないため新たな方法を考案する必要がある。本報告では、高齢社会では歩行者が接近してくる車にせかされるような状況で横断するのは避けるべきである、という立場に立ってS1、S2を求めることを考えた。すなわち、前述したように歩行者は接近車が近い程、歩行速度を高める傾向がみられることから、歩行速度を速めないで歩けるような接近車との最小時間間隔を観測データから求めた。具体的には、S1に関しては、まず、歩行者が手前側車線中央部に差し掛かった時点で右側から接近してくる車との時間間隔(手前側安全余裕)と歩行者が横断を開始してから車道中央部に達する間の歩行速度(手前側歩行速度)の関係式を観測データから求めた。非高齢者についての結果を図11に示す。続いてこの式を用いて、通常の歩行速度(接近車を避けようとする状況での歩行速度)に対応

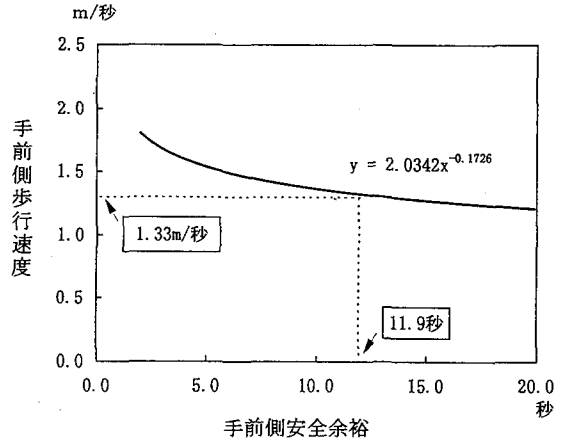


図11 手前側安全余裕と手前側歩行速度の関係

する手前側安全余裕を逆算しこれをS1とした。通常の歩行速度として、歩行者用信号機設置後の補足調査から得られた非高齢者の手前側歩行速度の平均値 1.33m/秒(歩行者青信号時に車に注意することなく安心して横断できる状況で歩行速度)を用いると、S1 = 11.9秒が得られた。このことは、道路の前半を横断するときに、車線中央部で右からの接近車と11.9秒以上の時間間隔があれば歩行速度を速めないこと、つまり車にせかされることなくマイペースで横断できることを意味する。高齢者に関しては、手前側安全余裕と手前側歩行速度に関連性はみられないため上記の方法でS1を求めることはできない。しかし接近車両からできるだけ速さかろうとする心理は行動上現れなくても高齢者と非高齢者で差はないと考えられるので、高齢者に対してもS1 = 11.9秒を採用した。また、S2に関しては、遠方側安全余裕と遠方側歩行速度の関係は高齢者、非高齢者共に明確に得られなかった。したがって、接近車を回避しようとする心理は手前側と遠方側で同じと仮定し、高齢者、非高齢者共にS2 = 11.9秒とした。

(2)シミュレーションの概要

シミュレーション・モデルの概要を以下に示す。

- ①図12に示す単路の片側1車線道路に設けられた無信号横断歩道を対象とする。車道幅員Wは入力データとして与える。
- ②横断歩道への車の到着車頭時間は指数分布とする(図12のtn1,th2,th3,...、及びtf1,tf2,tf3,...は指数分布)。手前側交通量をN1、遠方側交通量をN2とし、



入力データとして与える。

③車の車頭時間は横断待ち歩行者の有無に関係なく発生時の値が保持される。すなわち車は相互に一定の車頭時間を維持したまま横断歩道に接近し、横断待ち歩行者及び横断中歩行者によって進行を妨げられることはない(車側に遅れは生じない)。

④横断歩道への歩行者の到着時間間隔は指数分布とする(図12の $pn1, pn2, pn3, \dots$ 、及び $pf1, pf2, pf3, \dots$ は指数分布)。手前側横断歩道端への到着歩行者交通量を $P1$ 、遠方側横断歩道端への到着歩行者交通量を $P2$ とし、入力データとして与える。

⑤個々の歩行者の属性として与えるデータは、歩行速度 $Vp$ 、手前側最小安全余裕 $S1$ 、遠方側最小安全余裕 $S2$ 、横断開始遅れ $L$ である。具体的入力値は次項(3)で説明する。

⑥時間の進める方法はイベント・スキャニング方式とする。イベントの発生は以下の4事象とする。

- ・手前側車両の横断歩道への到着
- ・遠方側車両の横断歩道への到着
- ・手前側横断歩道端への歩行者の到着
- ・遠方側横断歩道端への歩行者の到着

⑦イベント発生毎に以下の方法で歩行者が横断可能か否かを判定する。

- ・式(1)、(2)が共に成立する場合に歩行者は横断を開始する。横断待ち歩行者が複数存在する場合には、そのうち少なくとも一人が横断可能であれば、横断待ち歩行者のすべてが横断を開始する。横断

歩道端到着時刻と横断開始時刻の差がその歩行者の横断待ち時間となる。

- ・式(1)、(2)のうち少なくとも1方が不成立の場合は横断不可能と判断し、次のイベント発生まで時間を進める。

⑧シミュレーションの出力値は、横断歩行者1人当たりの平均横断待ち時間である。

### (3)シミュレーションの実施条件

シミュレーションは、車道幅員 $W$ 、往復自動車交通量 $N(N=N1+N2)$ 、歩行者交通量 $P(P=P1+P2)$ を数通り変化させて行った。自動車交通量、歩行者交通量については、両方向で等しいとした。 $W, N, P$ の入力値を表5に示す。

歩行者属性データ、すなわち歩行速度 $Vp$ 、手前側最小安全余裕 $S1$ 、遠方側最小安全余裕 $S2$ 、横断開始遅れ $L$ に関しては、高齢歩行者を想定した2ケース、及び比較のため非高齢者の実測データを用いた1ケースの計3ケースを設定した。各ケースごとの入力値を表6に示す。いずれのケースにおいても、歩行者は横断歩道を車にせかされることなく横断することを前提条件とし、歩行速度は補足調査のデータ、すなわち歩行者用信号が青で車に注意することなく安心して横断できる状態での歩行速度を用いた。なお、 $S1, S2$ については、(1)で述べたように、いずれのケースにおいても $S1=S2=11.9$ 秒とした。各ケースの歩行速度 $Vp$ 、横断開始遅れ $L$ の与え方を以下に示す。

#### [高齢者(ケースA)]

歩行速度は、歩行者ごとに異なり、歩行者用信号機が設置されている状態での高齢者の実際の歩行速度分布(平均値1.04m/秒、標準偏差0.19m/秒の正規分布)に従う。 $L$ は実測データより0.2秒に設定。

#### [高齢者(ケースB)]

歩行速度は、歩行者用信号機が設置されている状態での歩行速度分布の15パーセントイル値(0.85m/秒)とし、すべての歩行者で同一とする。 $L$ はケース1と同じく0.2秒に設定。

#### [非高齢者(ケースC)]

歩行速度は、歩行者ごとに異なり、歩行者用信号機が設置されている状態での非高齢者の実際の歩行速度分布(平均値1.29m/秒、標準偏差0.20m/秒の正規分布)に従う。 $L$ は実測データより0秒に設定。

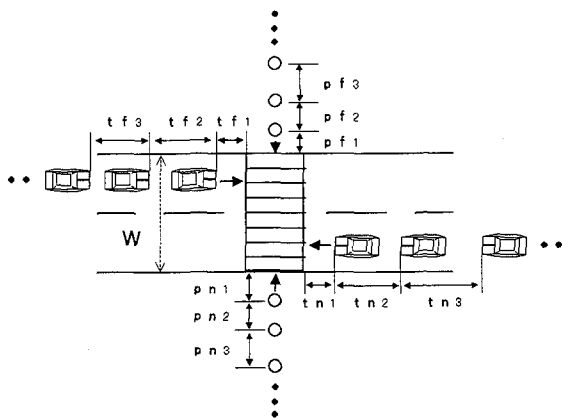


図12 シミュレーション対象道路

表5 シミュレーションの実施条件

項目	入力値数	入力値
車道幅員 W	4	5m、7m、9m、11m
往復自動車交通量 N N=N1+N2 (N1=N2)	8	100台/時~800台/時 100台/時ごと
歩行者交通量(両方向) P P=P1+P2 (P1=P2)	3	60人/時、120人/時、 180人/時

表6 歩行者の属性データ

ケース	高齢者		非高齢者	
	(ケース A)	(ケース B)	(ケース C)	
歩行速度 Vp (m/秒)	N (1.04, 0.19 <sup>2</sup> )	0.85	N (1.29, 0.20 <sup>2</sup> )	
手前側安全余裕 S1 (秒)	11.9	11.9	11.9	
遠方側安全余裕 S2 (秒)	11.9	11.9	11.9	
横断開始遅れ L (秒)	0.2	0.2	0	

シミュレーションは、歩行者属性データのケースA、B、Cのそれぞれについて表5に示した入力値のすべての組み合わせで実行した。実行回数は各ケースごとに96回(4×8×3回)である。また、1回のシミュレーションで50時間分の横断行動を模擬した。

(4)シミュレーション結果

(a) 自動車交通量と横断歩行者一人当たり平均待ち時間の関係

図13は、ケースAについて、車道幅員W=9m、横断歩行者数P=60人/時、120人/時、180人/時と設定して実施したシミュレーション結果を基に、往復自動車交通量と歩行者1人あたりの平均待ち時間の関係を示したものである。自動車交通量が増加する従って横断歩行者の平均待ち時間は急激に増加する傾向があることが示されている。また、歩行者交通量は歩行者1人当たり平均待ち時間にほとんど影響を及ぼさないことが示されているが、これは、個々の歩行者の横断待ち時間は、その歩行者が横断歩道端に到着した時刻と車の横断歩道端への到着タイミングのみによって決まり、他の歩行者の到着状況には無関係であることを反映した結果である。歩行者数別に詳細に見ると同一の自動車交通量に関しては、歩行者数が多くなるに従って平均待ち時間がやや低下する傾向が見られる。この理由は、シミュレーションモデルが、複数の横断待ち歩行者がいる場合少なくとも1人にとって横断可能なギャップが出現するとすべての横断待ち歩行者が横断

するようなアルゴリズムとなっているからであると考えられる(このような現象は実際の無信号横断歩道でよく見られる)。しかしながら歩行者数の違いによる平均待ち時間の差はごくわずかである。同図より、歩行者1人当たりの平均待ち時間が例えば40秒となるような往復自動車交通量は約500台であることが読みとれる。

(b) 歩行者用信号機の設置要件の提案

上述したシミュレーション結果から歩行者用信号機の設置要件を導き出すためには、横断歩行者が受け入れることのできる最長の待ち時間を定めなければならない。本報告では、「横断待ち歩行者がイライラし始めるのは待ち時間が約30秒となったときである」というアンケート調査結果<sup>17)</sup>に基づき、横断可能ラグが出現するまでの1人当たり平均待ち時間が30秒を越える場合には、歩行者用信号機の設置が必要であると仮定した。表6に示した高齢者のケースA、ケースB、及び非高齢者(ケースC)の歩行者属性データを用いて表5の車道幅員、往復自動車交通量の種々の組み合わせに対してシミュレーションを実施し、平均待ち時間が30秒となるような往復自動車交通量と車道幅員との関係を示すと図14の曲線ようになる。ここで、前述したように歩行者交通量は歩行者1人当たりの平均待ち時間にほとんど影響を及ぼさないことから一定値とし120人/時を用いた。各曲線の右上は歩行者用信号機の設置が必要な領域、左下は歩行者用信号機の設置が不要な領域を示す。車道幅員が同一の場合、高齢者は非高齢者に比べて往復自動車交通量が少ない場合でも歩行者用信号機の設置が必要であることがわかる。

図中の3本の曲線のうちのどの曲線を基に歩行者用信号機の設置を判断するかは、それぞれの地点の横断歩行者の属性によって決めることになる。一例を挙げれば、各地点の往復自動車交通量と車道幅員から定まる点が、ケースBの曲線(図14の破線、高齢者の歩行速度の15パーセントイル値を使って求めた曲線)より下方にある場合は歩行者用信号機必要なしと判断し、ケースCの曲線(同図の点線、非高齢者の実歩行速度分布を使って求めた曲線)より上方にある場合は歩行者用信号機必要と判断する。そしてこの2つの曲線の間に当てはまる場合のみ現場の担当者の判断にゆだねるという使い方もあるであろう。因みに本調査地点でのデータ、すなわち往復自動車交通量739台/時、車道幅

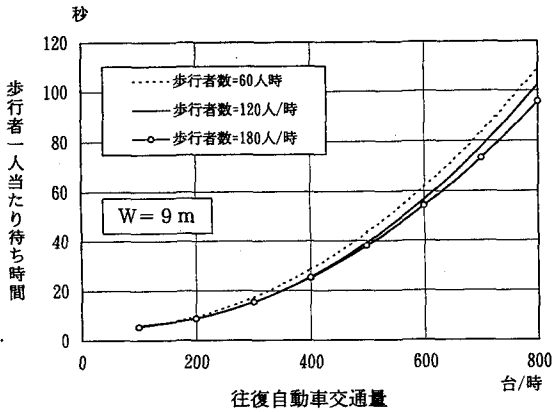


図13 自動車交通量と歩行者待ち時間の関係  
(高齢者、ケースA)

員11.1mを当てはめてみると3本の曲線のいずれを用いても「信号機を設置する領域」に入っており、歩行者用信号機が設置されたのは正しい判断であったと言える。

なお、歩行者用信号機を設置する際に考慮すべき要因として、往復自動車交通量、車道幅員の他に歩行者交通量があるが、本報告のように信号機がない状況下での歩行者1人当たりの平均横断待ち時間を歩行者用信号機設置の判断指標とした場合には、平均待ち時間は歩行者交通量によって影響を受けないので、歩行者交通量を明示的に設置要件に組み入れることはできない。交通事故の発生状況等別な判断指標を用いる必要があると考えられる。

## 7. まとめ

本研究では、まず信号機のない横断歩道における高齢者の横断行動の実態を調査し、高齢者の横断行動の問題点について検討した。その結果、①車の間隙を利用して横断する場合に横断開始を決断する目安となっているラグの大きさは、歩行速度が遅いにもかかわらず非高齢者と差がないこと、②横断中の歩行速度を見ると、非高齢者はラグが短いときには歩行速度を速める傾向があるのに対し、高齢者ではそのような傾向は見られないこと、が明らかとなった。また、高齢者は横断開始後、横断歩道に接近してくる車を減速あるいは停止させるケースが多いことが判明したが、これは①、②の

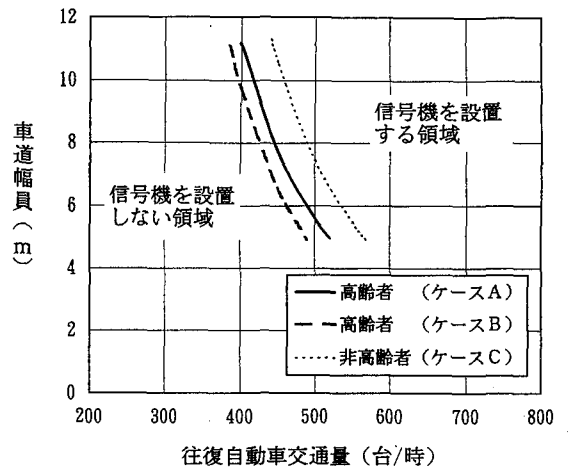


図14 歩行者用信号機の設置要件

問題点に起因した現象と見ることができる。

次に、以上の問題点を持つ高齢歩行者の安全性を確保するためには歩行者用信号機を設置することが現実的かつ効果的な対策と考え、そのための歩行者用信号機の設置要件をシミュレーションによって検討した。歩行者用信号機の必要性の判断基準は、信号機がない状況下での歩行者の横断待ち時間とし、高齢者が接近車にせかされることなく横断するのに十分な大きさのラグが平均30秒待っても出現しない場合に歩行者用信号機が必要と判断することとした。歩行者属性データの実測値を用いたシミュレーションによって、主道路の往復自動車交通量と車道幅員から歩行者用信号機設置の適否を判断する方法を示した。この方法によれば、車道幅員が同一の場合、高齢者は非高齢者に比べて往復自動車交通量が少ない場合でも歩行者用信号機の設置が必要となる。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。まず、高齢者の横断行動に関しては、調査地点をさらに増やし、本研究で得られた高齢者の横断行動の特徴と問題点の一般性について確認することが必要である。次に、歩行者用信号機の設置要件に関しては、本研究では、高齢歩行者の横断待ち時間のみに着目して設置の適否を判断する1つの方法をシミュレーション結果に基づいて提案した。シミュレーション・モデルがいくつかの仮定に基づいて構築されたものであることを考慮すれば、当然のことながら本研究の結果は直ちに実務に使えるものではない。車及び歩行者の到着分布等を含めたシ

ミュレーションの妥当性検証が当面の研究課題となろう。  
また、実用的な歩行者用信号機設置基準を得るためには本研究で扱った高齢歩行者の横断待ち時間だけでなく、車側の遅れや交通事故の発生状況等にも配慮しなければならない。これらを要因を設置基準にどのように取り入れるかについて今後研究を進める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 三井達郎: 信号機のない横断歩道における高齢者の横断行動、月刊交通 5月号、1997。
- 2) Knoblauch, R., Nitzburg, M., and Pietrucha, M.: Older Pedestrian Characteristics for Use in Highway Design, FHWA-RD-93-177, 1993.
- 3) 清水浩志郎、木村一裕、吉岡靖弘: 道路横断施設における高齢者の歩行特性に関する考察、交通工学、Vol.26, No.2, 1991.
- 4) 山田稔、山形耕一: 高齢歩行者を考慮した横断時間のゆとりに関する研究、土木計画学研究・論文集、No.14, 1997.
- 5) 溝口光雄: 高齢ドライバーと高齢歩行者の交通特性について、IATSS Review, Vol.16, No.1, 1990.
- 6) 田中聖人、上野精順: 高齢歩行者横断事故の発生要因に関する検討、交通科学、Vol.23, No.1 No.2 合併号, 1994.
- 7) Griffiths, D.J. and Marlow, M.: Delays at pedestrian crossings. 1. Site observations and the interpretation of data, Traffic Engineering + Control, July / August, pp.365-371, 1984.
- 8) Griffiths, D.J. and Marlow, M.: Delays at pedestrian crossings. 2. The development and validation of a simulation model of a zebra crossing, Traffic Engineering + Control, October, pp.505-509, 1984.
- 9) Maclean, A.S. and Howie D.J.: Survey of the performance of pedestrian crossing facilities, Australian Road Research, Vol.10, No.3 September, pp.38-45, 1980.
- 10) Zegeer, C.V., Khasnabis Snehamay and Fagan, J.C.: An analysis of pedestrian signal warrants, ITE Compendium of Technical Papers, pp.2.36-23.12, 1980.
- 11) Zegeer, C.V., Opiela, K.S. and Cynecki, M.J.: Pedestrian Signal Alternatives, FHWA/RD-83/102, 1985.
- 12) Federal Highway Administration: Manual on Uniform Traffic Control Devices, 1988 Edition.
- 13) 交通工学研究会: 交通信号の制御技術、pp.29-30, 昭和58年5月。
- 14) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用、pp.319-320, 昭和58年2月。
- 15) 矢野伸裕: 信号機付き横断歩道での歩行者の横断行動—高齢者と非高齢者の比較—, 月刊交通7月号、1996.
- 16) 三井達郎: 高齢者の身体機能と交通死亡事故の関係、科警研報告交通編, 36巻1号、1995.
- 17) 日本交通管理技術協会: 交通管制システムの高度化に関する調査研究報告書、平成9年3月
- 18) Hunt, J. and Williams Steven: Delays to pedestrians crossing the road at a random point, Traffic Engineering + Control, April, pp.216-221, 1982.

#### 無信号横断歩道における高齢者の横断行動と安全対策に関する研究

三井達郎、矢野伸裕、萩田賢司

信号機のない横断歩道における高齢者の横断実態を調査し、高齢者の横断行動の特徴と問題点について検討した。その結果、高齢者は、横断歩道に接近してくる車を減速あるいは停止させるようなタイミングで横断を開始するケースが多いこと、車の間隙を利用して横断する場合、横断開始を決断するギャップの大きさは、歩行速度が遅いにもかかわらず非高齢者と差がないこと等が明らかになった。また、高齢社会においては歩行者が接近車にせきたてられるように横断しなければならない場合には歩行者用信号機を設置すべきであると考え、高齢者に配慮した歩行者用信号機の設置要件について検討した。歩行速度等の実測データを用いた横断行動シミュレーション結果に基づき、主道路往復自動車交通量と車道幅員から歩行者用信号機の設置の適否を判断する方法を示した。

#### The Behavior of Older Pedestrians at Unsignalized Crossings and Measures to Improve Their Safety

Tatsuro MITSUI, Nubuhiko YANO and Kenji HAGITA

The purpose of this study is to investigate behavioral characteristics of older pedestrians while crossing a street using an unsignalized crosswalk and to present a pedestrian signal warrant for the elderly. The most important finding was that many older people may not compensate appropriately for their slower walking speeds, that is, older people accepted the same critical gaps in vehicular traffic as younger people when they cross, taking no account of their walking speed decline. A simulation model was developed based on crossing behavior of older pedestrians and a pedestrian signal warrant was proposed. The warrant provided the minimum main street traffic volume for a given street width to install a pedestrian signal.