

クリアランス時間における 歩行者の停止行動特性*

On Characteristics of Pedestrian Stopping Behavior
during Signal Clearance Intervals

渡 邊 健 司** 大 蔵 泉***

by WATANABE Kenji and OKURA Izumi

This study was conducted to analyze the pedestrian traffic phenomena during pedestrian signal clearance intervals using stopping probability (SP) as an index and to obtain fundamental information to improve signal control methods. Videotaped pedestrian behavior on the sidewalks leading to pedestrian crosswalks was applied to develop SP models expressed as a function of pedestrians' distance from the curb or of potential time. It was found possible to represent the structure of SP by logistic curve. SP distribution by potential time turned out to be closer to the realized data than one by distance. Further research was recommended to investigate the relationship between SP and safety evaluation.

1 はじめに

(1) 背景

横断歩道の緑石手前部分において、信号が青から点滅表示に変わったとき、歩行者は停止か踏み出しかの判断を行って行動する。この現示の変わり目においては、車両交通と歩行者交通とが交錯するため、停止判断のばらつきが大きいほど無理な横断を惹起し、歩行者と車両との危険な関わりが生じることになる。歩行者の場合は車両に比べて自由度が大きいので、停止判断のばらつきにかなり幅があるが、そこには現示時間や幾何条件などに深く関わるある一定の法則性があり、それらに基づいて停止判断を行

っていると考えられる。したがって、歩行者の停止判断と各種条件との関係を見いだすことによって、歩行者の信号遵守程度を保ちながら安全性にも問題が少ない、適切な信号現示を設定することができるはずである。従来の信号制御パラメータの設定方法は歩行者の速度と横断歩道長に基づいており、その他の条件の信号制御パラメータへの影響は、明示的に言及・特定し得ない状況にある。

(2) 目的および分析手順

こういった背景をふまえ、本研究においては、点滅開始より車両全赤時間終了までの時間、すなわち歩行者クリアランス時間における歩行者の交通現象を、停止確率を指標として解析し、信号制御高度化のための基礎的情報を得ることを目的とする。

そのためにまずクリアランス時間における歩行者の停止判断に関する挙動のパターンを把握し、その行動に関係する要因を抽出する。次いでそれらの要因と、停止確率との相関性を分析する。さらにそれ

*キーワード: 停止確率, 歩行者, クリアランス時間

**学生員 横浜国立大学大学院工学研究科

***正 員 工博 横浜国立大学教授 工学部建設学科
(〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)

らの結果を基に歩行者停止確率推定モデルの開発を試み、そのモデルのパラメータの法則性を見だし、より適切な信号現示方法の設定の可能性を探る。

分析の各段階を示すと次のようになる。

- ①歩行者の縁石手前における停止確率と、幾何構造条件・信号制御条件・交通条件との相関性を探る。
- ②停止確率の分布状況より、ばらつきの度合いを示す指標（あるパーセンタイル値の範囲）を見いだす。
- ③ロジスティック曲線により回帰を行い、曲線パラメータの推定を行う。さらにパラメータと各種影響要因との相関を見る。

（３） 従来のクリアランス時間設定方法

わが国におけるクリアランス時間設定方法については、いくつかの提案がなされているが、運用上では原則として次のような基準が設けられている¹⁾。

車両のクリアランス時間、すなわち黄時間と全赤時間は、交差点の広さと車両の接近速度・減速度とより、理論的に算出した必要な最小値から、現実の条件を勘案して定められる。運用上は、それぞれ接近速度に応じて黄時間は3秒または4秒、全赤時間は最大で4秒、そしてこれらの合計のクリアランス時間としては最大で7秒を限度とするのが望ましいとされている。

歩行者クリアランス時間のうち点滅時間は、歩行者用青現示の後半部分という性格を持ち、現示開始時に縁石を踏み出した歩行者が、歩行速度1.5m/sで横断完了するまで、あるいは安全地帯に到達するまでの時間を最小値とする。ただし、この時間が長すぎると歩行者が表示を無視する傾向があるため、10秒程度を上限値として運用されている。

一方、アメリカにおける歩行者クリアランス時間の設定方法については、Kochevar et al.²⁾が従来の提案を統合した計算式を提唱している。それによると、縁石から最も離れた車線の中心線までの横断距離を1.2m/sの歩行速度で除してクリアランス時間を算出し、これから車両の黄・全赤時間を差し引いた時間を、歩行者の点滅時間としている。この計算法によると、横断距離20m、黄・全赤時間がそれぞれ4秒・2秒の交差点における点滅時間は約11秒となる。なお、歩行者青現示は4秒程度に固定されているため、この現示は点滅時間を重視した設定方法といえる。

（４） 従来の研究と本研究の位置づけ

車両のクリアランス時間の設定に関する課題については、現在まで活発な議論が行われている。わが国における研究に限定すると、これまでのところ黄時間の設定方法について少しずつ構造の異なる提案が続く状況にあり、必ずしも合意は得られていない。これに関連して、信号現示変わり目またはクリアランス時間内における車両の停止判断挙動についても、従来からいくつかの調査・研究がなされてきた。そのなかで大蔵³⁾は、交差点流入部における停止線手前での停止確率に対する各種要因の影響を明らかにした。そして、停止確率の分布をロジスティック曲線によって回帰を行い、停止確率を推定するモデルの提案を行った。

一方歩行者の停止判断挙動については、車両ほど多くの研究はなされておらず、断片的な分析結果が知られる程度である。そこで本研究においては、信号の変わり目における歩行者の停止確率を調べ、車両の停止確率の分析・回帰方法を応用して、停止確率推定モデルの開発を行う。

2 実測調査の概要

（１） 調査対象交差点および調査方法

調査対象交差点は、表－１に示すように、横浜市内・東京都内で11地点を選定し、調査を実施した。選定にあたっては、以下の各条件を考慮した。

- ①各種条件の組み合わせがバラエティーに富むようにすること。
- ②変則的な形状をなしていない、一般的な交差点であること。
- ③歩行者需要が十分あり、着目する挙動の観測が可能であること。

調査方法は、天候が晴れまたは曇りの日に高所からのビデオ撮影を行い、横断歩道および縁石部分から手前約20～30m地点までを画面に収めるようにした。信号現示が画面内に入らない場合は、音声により合図を入れた。

（２） データ処理

撮影済みのビデオを再生して各歩行者の挙動をモニター画面上で直接読みとり、これをパソコンで集計した。挙動を観察する対象の歩行者は、点滅現示

開始後に横断歩道を横断しようとして、縁石へ向かっている全歩行者である。歩行経路を途中で変更して、横断歩道を渡らなかった歩行者についても、原則として記録した。なお、横断歩道でないところから踏み出して斜めに道路を横断するというような、著しく変則的な横断をした歩行者については、読みとりを行わなかった。データ読みとりを行ったものは、次のような項目である。

- ①信号現示の開始時刻
- ②点滅・赤現示開始時の各歩行者の位置
- ③縁石の手前5mごとの地点をそれぞれ通過したときの時刻
- ④縁石踏み出しまたは停止の時刻
- ⑤歩行者の属性（連れの人数、渡ったか／停止したか）
- ⑥車両との関わり（車両の位置、コンフリクトの有無）

さらにこれらのデータより、点滅開始後縁石までの実際の所要時間、歩行者の速度、およびポテンシャルタイム（歩行速度一定とした場合の計算上の所要時間）を計算した。なお、投稿時点までのところ4地点についてのデータ整理が終了しており、その結果をふまえて報告するものである。

3 停止確率による停止判断挙動特性の表現

（1） 停止確率の分布

停止確率を計算するためには、ある指標に基づいて階級を区切る必要がある。そのための指標としては、次のものが挙げられる。

- ①縁石までの距離：点滅開始時の地点と縁石との距離。最も直接的な指標であるが、歩行者によって、距離のとらえかたが違うため、判断はばらつく。
- ②縁石までの実所要時間：点滅開始後、縁石までに実際に要した所要時間
- ③縁石までのポテンシャルタイム：①の距離を、点滅開始瞬間の歩行速度で除したもの。すなわち計算上の所要時間である。これをポテンシャルタイムと称す。

上記のうち、①距離に対する停止確率と③ポテンシャルタイムに対する停止確率をプロットしたものが、図-1である。これを見ると、ポテンシャルタイムによる停止確率の方が、距離によるものよりもばらつきが小さいことが知られる。これは歩行速度には個人差があり同じ地点であっても所要時間に差

表-1 調査交差点の概要

交差点 (地点名)	信 号 運 用 状 況					横断歩道寸法		サ ン プ ル 数		
	サイクル 長 (秒)	点滅 時間 (秒)	点滅終了 後車両黄 開始まで (秒)	車両 黄時間 (秒)	全赤 時間 (秒)	全幅 (m)	全長 (m)	撮影時間	サイクル数	人数
1 馬車道	125	5	2	3	2	4.3	16.9	4:07	62	111
2 青葉台	100	4	5	3	4	5.8	14.9	4:02	57	88
3 新横浜	130	8	2	3	3	6.7	29.5	7:05	57	74
4 マイカ本牧	105	4	4	3	3	5.8	20.9	4:07	43	52
5 桜木町	140	5	33	3	4	7.7	19.8	5:15		
6 JR目黒駅	140	5	5	4	3	4.3	14.8	4:59		
7 東急目黒	135	7	直交車両青まで3秒			4.3	9.0	1:44		
8 宮下公園	130	7	2	4	3	4.8	14.5	6:00		
9 大井町駅	105	8	直交車両青まで30秒			5.0	7.2	1:50		
10 蒲田駅前	60	6	2	3	2	4.5	13.6	1:45		
11 中野坂上	120	8	9	5	2	5.2	24.2	6:10		

が現れるため、そのときの歩行速度で進んだ場合の所要時間の予測値、すなわちポテンシャルタイムの方が、より停止判断に寄与しているからであると考えられる。

大蔵ら³⁾による車両の停止確率の分布と比較すると、歩行者の停止確率の分布はばらつきが大きいことがわかる。また車両の場合には、ポテンシャルタイムの場合と同様に距離による停止確率もなめらかな増加傾向を示している。

(2) 停止確率の分布の影響要因

停止確率の分布は、交差点の各種条件によって異なる。歩行者の停止判断に寄与する影響要因としては、表-2に示す項目が挙げられる。

(3) 停止確率の分布に関する仮説

表-2に挙げた支配的な要因の他に、いくつかの付随的な影響要因が考えられる。ここでは、それらの要因が停止確率の分布にどのような影響を与え得るのか、仮説を立ててみる。

a) 前者の停止判断の影響

歩行者が緑石から踏み出すか、停止するか判断は、歩行者自身が決定するほかに、周囲の歩行者の挙動も影響していると考えられる。特に、直前を歩く歩行者の挙動は、後続歩行者の停止判断に大きな影響を与えよう。前者がすぐ前にいてこれが停止した直後の歩行者群の停止確率は、前者がいなか遠く離れているなどで自分自身の判断によって停止した歩行者群の停止確率より、ずっと大きくなることが考えられる。

b) 信号見通し距離の影響

信号機を視認することのできる最も遠い地点から緑石までの距離を信号見通し距離とすると、これが大きくなるほど、距離の関数として表す停止確率はより止まりにくい方向へシフトすると考えられる。

c) 車両との関わりの影響

ここでは、歩行者が緑石を踏み出した瞬間の車両の状態（車両が存在しない／歩行者の横断を待っている／車両が流れている）と歩行者との関係を、車両との関わりと称す。車両との関わりが大きくなるほど停止の判断が下されやすく、停止確率の分布は左へシフトすると考えられる。

4 推定モデルの開発

(1) 関数形の選択

距離およびポテンシャルタイムによる停止確率は、ともに状態量の増加に伴った増加傾向を示す。この停止確率を説明できる数学的モデルを考えるとする

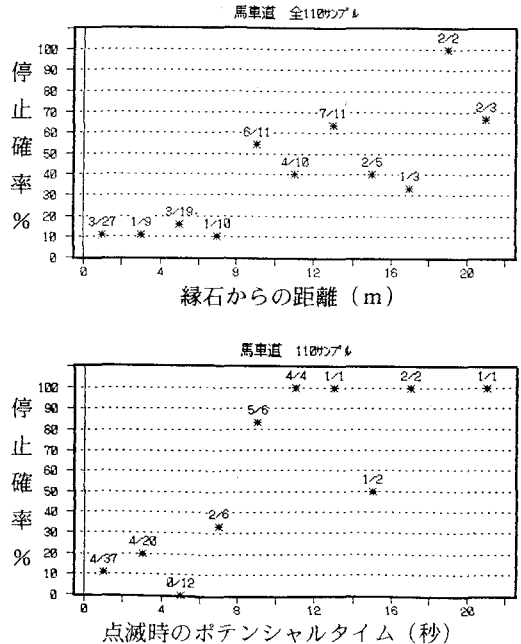


図-1 ある地点における距離による停止確率とポテンシャルタイムによる停止確率

表-2 停止判断に寄与する各種影響要因

①構造条件に関するもの	・横断歩道長 ・横断歩道幅 ・信号見通し距離 ・緑石手前歩道幅
②信号制御に関するもの	・点滅時間 ・歩行者赤時間（全赤まで） ・全赤時間 ・緑石に到達したときの信号現示
③交通環境に関するもの	・歩行者交通量 ・車両の交通量 ・コンフリクト頻度

と、次の条件を満たすことが条件となる。

- ① 上限値・下限値を持ち、S字形に単純増加する曲線形である。
- ② パラメータを変化させて曲線形をシフトさせることができる。
- ③ 回帰が比較的容易である。

大蔵ら³⁾の研究において、車両の停止確率予測モデルとして、上記の条件に合致するロジスティック曲線を用いているため、本研究においてもこの曲線の適用を試みる。ロジスティック曲線は、以下の関数形によって表現できる。

$$y = K / [1 + \exp\{-\phi(x)\}]$$

ここで $\phi(x) = -B \cdot (x - A)$

K : 上限値 (K=100)

A, B : パラメータ

パラメータ A, B を変化させた場合、ロジスティック曲線がどのようにシフトするかを示したものが図-2である。Aは曲線の変曲点のx座標、すなわち停止確率50%に対応するx座標の値であり、Aが大きくなると曲線はx軸方向にシフトする。これは停止判断の時間的な遅れを示しており、Aが小さい

ほど停止判断を下しやすい横断歩道であるということになる。Bは変曲点における曲線の傾きを表し、Bが大きいほど停止判断のばらつきが小さくなることを意味する。

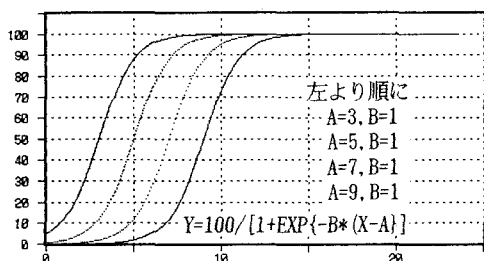
(2) ロジスティック曲線による回帰

得られた停止確率のうち、ばらつきが小さく滑らかな増加傾向を示しているポテンシャルタイムによる停止確率の分布について、回帰操作を行った。まず変数変換による直線回帰を行って曲線パラメータを推定し、これらより曲線形を計算してプロットした。図-3は、そのうち2地点における回帰結果の例である。

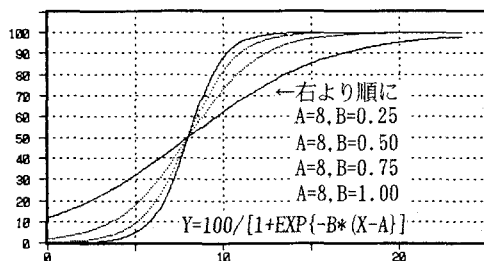
(3) パラメータの推定に影響する要因

パラメータ A, B について、それぞれを推定するために影響すると考えられる要因を挙げる。

前述のようにAは停止判断の遅れを意味し、この値が大きいほど無理をして横断する歩行者が現れることになる。Aが小さくなるような影響要因は、右左折および直交する車両の交通量が多いことや、全赤時間が短いこと、歩行者がその地点の信号現示に馴れていることなどが挙げられよう。

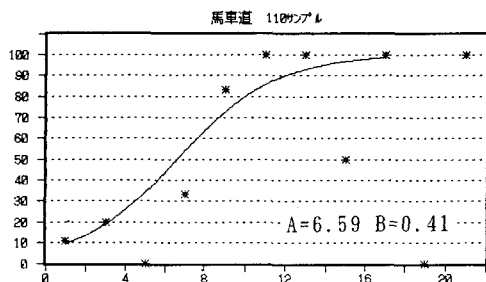


(a) Aを変化させた場合

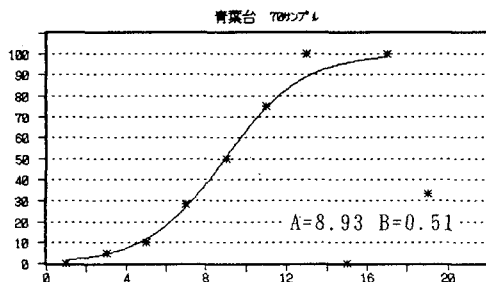


(b) Bを変化させた場合

図-2 ロジスティック曲線のパラメータの変化による曲線形の変化



<地点 1>



<地点 2>

図-3 ポテンシャルタイムによる停止確率の回帰結果の例

Bは停止判断のばらつきを示すため、この値が小さいほど各個人の判断基準の範囲が大きくなり、同一の状態量においても、停止するかどうかはまちまちとなる。Bが大きくなるのは、歩行者交通量が多く停止判断が周囲に委ねられる傾向が大きい場合や、横断歩道長が大きい場合、歩行者が馴れている場合などが考えられる。

5 予備的考察

(1) 具体的な適用場面

得られた停止確率推定モデルを、実際の適用を考慮に入れたうえでその意義を考えると、次の各項目が挙げられる。

①具体的な条件の組み合わせによる適用

直接的な状態量である停止確率モデルは、各種要因を取り込んだものなので、多面的な検討に耐えられる構造をしているはずである。

②単純な指標の意義付け

実際の運用を考慮すると、たとえば停止確率85%タイル値などの、単純で容易に得られる指標を用いることが考えられる。こういった単純な指標が、安全性・快適性といった側面といかなる関係にあるかについては、停止確率モデルを介することによって明確に説明できるはずである。

③安全性評価のための新たな状態量の開発

安全性を検討するための橋渡しとしては、停止確率が重要な状態量となっているはずである。そこで、事故データとこの停止確率との関連分析を通じて、安全性評価のための新しい状態量の開発を行うことが期待される。

6 結論

(1) 本研究の成果

本研究においては、歩行者クリアランス時間における歩行者の停止確率に対する各種要因の影響が明らかになった。

・ポテンシャルタイムによる停止確率の方が、距離によるものよりもばらつきが少なく、支配的な説明変数として明確な法則性があることが見いだされた。

・車両の場合と同様、ロジスティック曲線による停

止確率構造の表現が有効であることがわかった。

・曲線パラメータの動きは、予期したものに合致するものであった。

(2) 今後の課題

本研究で観測を行った交差点は11地点であるが、より多くのサンプル数および交差点状況のバラエティが必要である。また、本研究の結果の適用により改良した交通管制条件の下での事後評価をふまえて、停止確率推定モデルの再現性向上が課題となる。さらに、車両の停止確率推定モデルとの使い合わせについては、分析結果を見て詳細の検討が必要であるが、条件の組み合わせを考えた上でその方法を探ることができよう。

本研究においては、停止確率そのものがどのように安全評価に関連してくるのかについては、分析を行うことができなかった。安全性との関連を分析するためには、調査地点における実際の事故データが不可欠である。また、車両とのコンフリクトの特性についても検討に値しよう。これらについては今後の研究に委ねたい。

参考文献

- 1) 交通工学研究会編：交通信号の制御技術，pp.64-70，1983
- 2) Kochevar, Robert A. and Lalani, Nazir : How Long Should a Safe Pedestrian Clearance Interval Be?, ITE Journal/May 1985, pp.30-49, 1985
- 3) 大蔵泉，長谷川秀，依田育也：信号現示変わり目における車両の挙動特性，土木計画学研究・論文集，No.7，pp.275-282，1989
- 4) 山田稔，森康男，鈴木徹：先行車の影響を考慮した信号交差点での停止挙動特性について，土木計画学研究・講演集，No.14(1)，pp.367-374，1991
- 5) Barker, D.J. et al. : Pedestrian Viloation at Signalised Crossing Facilities, Australian Road Research, 21(1), pp.22-29, March 1991