

信号現示変化の予測を考慮した歩行者の横断行動分析*

Pedestrian Crossing Behavior Analysis Considering Prediction of Signal Phase Change *

鳩山紀一郎**・杉森秀司***

By Kiichiro HATOYAMA**・Shuji SUGIMORI***

1. はじめに ～大規模交差点設計のジレンマ～

わが国における大規模信号交差点のサイクル長は多くの場合120～150秒程度に設定されており、他の先進諸国と比較しても長いものとなっている。長いサイクル長は、右左折車の滞留による後続車群の渋滞や、青現示開始からの時間経過とともなる自動車の交通流率の低下を招く可能性がある。また、赤現示の際には多数の車両が交差点周辺に停車するため、排気ガスにより交差点近傍の環境が悪化するケースもある。以上のような観点から大規模交差点におけるサイクル長の短縮が望まれて久しい¹⁾。

一方、サイクル長の短縮は、横断歩行者の安全性や快適性を損なう可能性がある。実際わが国の交差点では、歩行者が1m/s程度の速度で安全に横断完了できるよう歩行者現示時間を設定することになっており、これがサイクル長の短縮への足枷となるケースも少なくない。このように、現状の交差点設計手法は、自動車や環境のニーズと歩行者のニーズのジレンマを抱えており、今後の高齢社会においてより一層重要な課題となるだろう。従って、高齢者を含む歩行者に不快感を与えることなくサイクル長を短縮する工夫が今後必要となることになる。そのためには、特にこれまで研究の少なかった交差点における歩行者行動特性を十分に把握し、設計上の工夫を見出す必要がある。そこで本研究では、まず歩行者の行動原理を考案した上で、様々な交差点設計条件のもとで、歩行者の行動特性を把握する実験を行って検証し、サイクル短縮の可能性を探ることとした。

*キーワード：歩行者交通行動、交通制御、交通安全

**正員、工修、東京大学大学院社会基盤学専攻

(東京都文京区本郷7-3-1、

TEL03-5841-6135、FAX03-5841-8507)

***正員、工修、東日本旅客鉄道株式会社

2. 歩行者横断行動に関する本研究の視点

従来の歩行者の横断行動に関する研究では、横断歩道部分のみが注目され、横断完了率や歩行速度に関する観察などが行われてきた²⁾など。しかし、実際に歩行者は横断歩道に至る以前に、交差点の信号を認識した時点から速度調節など横断行動をとり始めると考えられる。そこで、本研究では横断歩道の手前からの行動を歩行者の「横断行動」を考えることにし、分析を行うことにする。

3. 横断行動観察実験の実施

本研究ではまず、歩行者が横断歩道の手前から速度を調節して横断していることを確認し、横断行動原理の手がかりを得ることを目的に、交差点を被験者に歩かせ、その行動を観察する実験を行った。

(1) 実験の概要

実験は2004年7月29日、東京都港区青山一丁目交差点にて行った。被験者は東京大学の学生を中心に35名(うち女性9名)とした。実験に用いた横断歩道は長さが約23m、歩行者青時間は30～40秒と変化し、点滅時間は10秒、サイクル長は140～160秒程度であった。観察方法はビル上部からのビデオ撮影とし、後で被験者の位置をトレースしてデータ化した。

実験の手順としては、被験者を交差点の20m、35m、50m、65m手前の位置に待機させ、前方の歩行者用信号が青に変化すると同時に歩行を開始し、なるべく普段通りの歩き方で横断歩道を横断させるという方法を取り、1人4回ずつ歩行してもらった。観察実験の様子および、ビデオによる撮影画像を写真-1に示した。写真の上部がスタート地点であり、下端がゴール地点となる。



写真-1 実験風景（左）と撮影画像の例（右）

(2) 実験の結果

本実験から得られた結果を以下に示す。図-1に各被験者の歩行行動を歩行者青現示の経過時間と被験者の位置によって示した。図より、歩行者青現示の開始時にどの地点にいたかによって被験者が様々な歩行速度を取り得ること、特に歩行開始地点が50m、65m手前と遠くなるに従って、速度調節の個人差が大きくなる様子が見て取れる。従って、歩行者は横断歩道手前から、渡らなければならない距離と残っている歩行者青時間（残存時間と呼ぶ）を推測しつつ速度を調節していることが確認された。なお、被験者によって速度調節方法に差異があるのは、被験者が残存時間を正確には知覚し得ないことが原因と考えることができる。

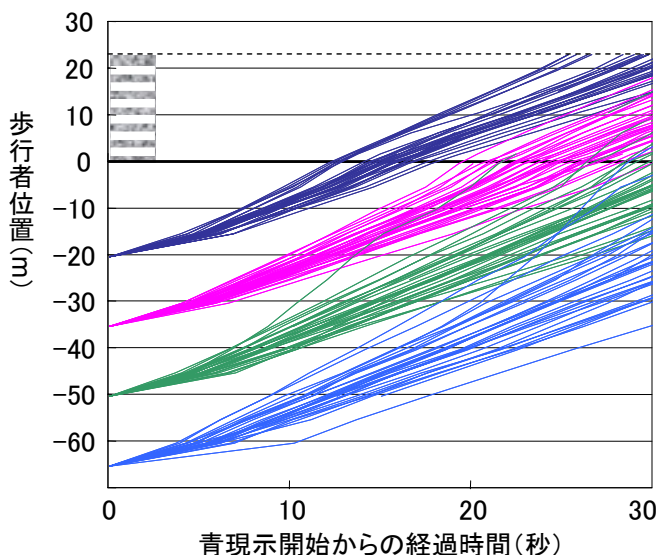


図-1 観察実験の結果

4. 横断行動原理仮説の考案

以上の観察結果をもとに、歩行者の横断行動原理を考案する。図-2は、残り時間表示器の存在する交差点や充分慣れている交差点など、歩行者が残存

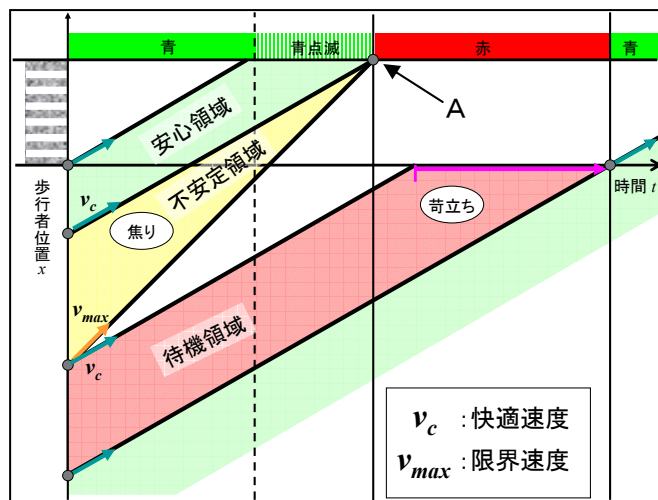


図-2 歩行者の横断行動原理

時間を正確に把握できる場合の行動原理である。ここで、歩行者は無制約のない状況下で交差点を歩行する際の速度（快適速度と呼ぶ）と制約下での最高速度（限界速度と呼ぶ）の間の速度で歩行すると考える。また、歩行者は歩行者信号が青に変化した時点を横断歩道に至る以前に知覚すると、その位置に応じて行動を行うものと考えことにして、横断行動における時空間には以下の3つの領域が存在すると考えた。なお、横断行動における不快感に関しては、家田ら³⁾の既往研究で抽出されたものを用いた。

a) 安心領域

歩行者が快適速度を変化せずに横断を完了できる領域で、歩行者は特に不快感を感じることはない。

b) 不安定領域

歩行者が歩行速度を上げないと横断完了できない領域で、歩行者はその速度の変化に伴い「焦り」の不快感を感じる。

c) 待機領域

歩行者は限界速度でも横断完了が不可能なため、快適速度で横断歩道に至り、次の青信号を待つ。待っている間には「苛立ち」の不快感を感じる。

青への変化を知覚した際に待機領域より手前にいる歩行者は、次の変化時まで上に上記の範囲内に至るものとする。また、歩行者が残存時間を正確に把握できない場合には、図の点Aの位置を誤って認知して行動し、徐々に正確になると考えればよい。

以下では上記の仮説を検証する実験を行う。

5. 検証実験の実施

本研究では、なるべく阻害要因の少ない、同一の交差点環境下において実験を実施する必要があったため、筆者の開発した歩くことのできるバーチャル歩行シミュレータ PedECS (Pedestrian Experimental Chasing System)を利用して実験を行うことにした。

(1) 実験の概要

実験は2004年12月15日～21日の1週間に渡って、東京大学生産技術研究所内の地下搬入通路において行った。被験者は高齢者8名を含む60名（うち女性は29名）とした。PedECSのサンプルとした交差点は東京都千代田区霞が関二丁目交差点で、歩行者青時間が45秒程度、点滅時間が10秒の、150秒程度のサイクル長を持ち、横断歩道は30m程度であった。写真-2にサンプル交差点及び実験画像の例を示す。



写真-2 サンプル交差点（左）と実験画像（右）

実験の手順としては、交差点の10m手前から45m手前まで5m刻みに歩行開始地点を設定し、被験者が歩き始めると同時に歩行者用信号が青に変わるように設定しておいた。また、歩行者青時間を30秒、点滅時間を10秒、サイクル長を80秒などとした。被験者はこのような実験環境の中を1人4ケースずつランダムに実験を行うことになる。実験の様子を写真-3に示す。なお、本研究では従来より短めの歩行者青時間の設定をしているため、横断歩道に中央帯



写真-3 実験の様子

を設け、緊急時には被験者が滞留できるようにした。

(2) 計測項目

この実験においては、仮説を検証するために、以下のような質問項目を設け、実験の各ケース試行後に被験者に答えてもらった。なお、苛立ちに関しては既往研究がある⁴⁾ため、ここでは対象としない。

- a) 青信号が始まったとき、どの気持ちに近かったですか？
1. このままの速さで一度で渡りきれんだろう
 2. 少し急げば、一度で渡りきれんだろう
 3. 一度で渡りきれんかどうかわからない
 4. 一度では渡りきれないだろう
- b) 青信号点灯中、どの程度「あせり」を感じましたか？（図-3の回答票を用い、被験者に指で直感的に選ばせた。）

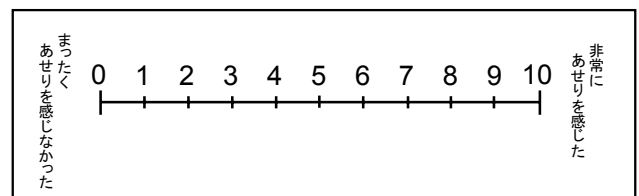


図-3 「焦り」に関する質問の回答票

ここで、質問 a に関しては「1」が歩行者の横断行動原理仮説における安心領域、「2及び3」が不安定領域、「4」が待機領域にそれぞれ相当するものと考えた。

(3) 実験結果

この実験の結果を用いて次の4つの分析を行った。

a) 3つの領域の位置に関する分析

まず、安心領域、不安定領域、待機領域の3つの領域が存在するのか、存在するのであればそれはどの辺りかを調べるために、上記の質問 a の分析を行ったところ、図-4に示す結果を得た。

これにより、この実験環境下では横断歩道から手前13m程度までは、半数以上の歩行者が歩行者信号が青になった時点で「一度で渡りきれん」と安心を感じ、36m程度以上離れてしまうと今度は「渡りきれない」と感じ、それらの間の領域では急ぐかどうか選択を迫られると考えられ、3つの領域は存在すると言っても良いことがわかった。

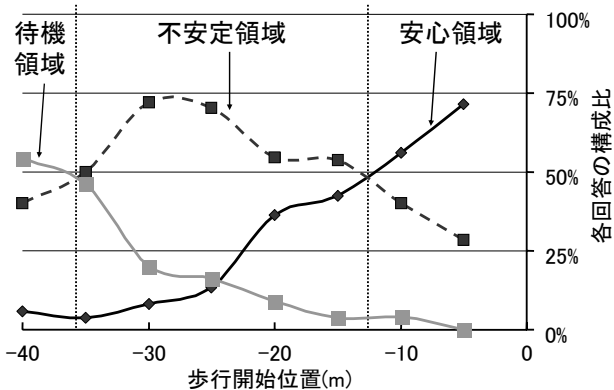


図-4 歩行開始位置と各領域の回答構成比

b) 「焦り」と歩行開始位置との関係

次に、横断歩道を1度で渡りきった歩行者に対して、歩行開始地点に応じてどの程度「焦り」を感じていたかを質問bから調べ、図-5に示した。

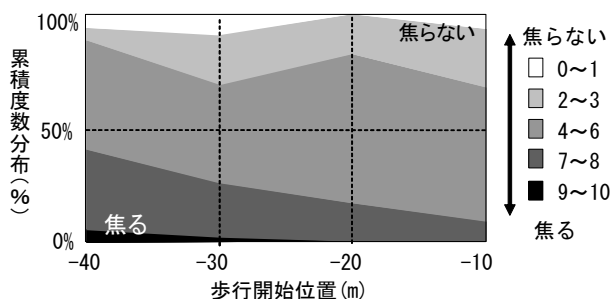


図-5 歩行開始位置と各領域の回答構成比

これより、歩行開始位置が遠くなるに従って、被験者が焦る様子が理解できる。なお、「焦り」に関する評価値と歩行開始位置には相関係数 $r = 0.49$ と弱くはない相関が確認された。また、質問aにおいて「安心領域」と答えた被験者と「不安定領域」と答えた被験者の「焦り」に関する平均評価値は1.87と5.08で後者が有意 ($t = 11.9, p \ll 0.01$) に大きい値を示している。

6. サイクル短縮の可能性の考察

本研究では、横断歩道の手前空間から歩行者は歩行速度を調整していると考え、それによって導き出される仮説を検証し、説明可能な部分が多いことを示した。そこで、本研究で得られた知見をもとに、交差点のサイクル短縮の可能性を考察する。

本研究の原理を用いて、仮に現状の75%までサイクル短縮を行った場合の領域を定義すると図-6のようになる。これより、待機領域における最大の待

ち時間は減少し、不安定領域の面積も減少しているため、以上の2つの不快感を与える領域において経験される不快感はいずれも軽減されると考えられる。

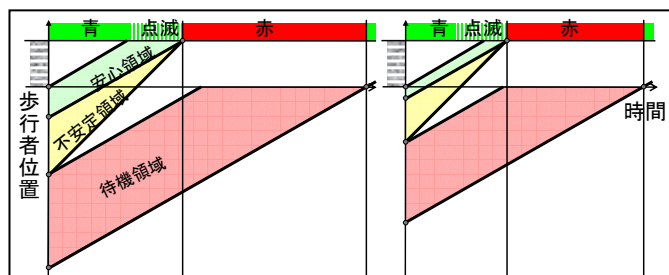


図-6 現状とサイクル75%短縮時の領域比較

以上より、特別な工夫を施さなくとも、横断歩道の手前の歩行者行動を考慮すれば、サイクル短縮はある程度は可能となる可能性が示唆される。

7. まとめと今後の課題

本研究から、歩行者は横断歩道の手前から歩行速度を設計しているおり、そこには「安心領域」「不安定領域」「待機領域」の3つの領域が存在する可能性が説明され、サイクル短縮により不快感が軽減される可能性が示唆された。しかし、サイクル短縮によって「安心領域」自体も縮小されることには注意が必要であり、中央帯前後で現示を切り分けるなどの工夫が必要となるだろう。また、本研究では残存時間に関する完全情報下での行動を仮定したが、実験からは情報提供の程度が与える影響を考慮できていないため、今後検討が必要となる。

参考文献

- 1) 桑原雅夫:期待される次世代信号制御ロジックの開発, 交通工学, Vol. 30, No. 6, pp.3-6, 2000
- 2) 熊井大ら:交通処理方法が歩行者の横断挙動に与える影響に関する研究, 学会第55回年次学術講演会IV-32, pp.64-65, 2000
- 3) 家田仁ら:横断歩行者の視点からみた高齢化社会に向けた信号交差点の設計・制御法に関する基礎実験, 交通工学, Vol. 37, No. 6, pp.51-60, 2002
- 4) 鳩山紀一郎ら:時空間インフォーマティビティの概念による歩行者指向型交差点の設計法, 第27回土木計画学研究発表会講演集, No.92, 2003