

歩行者を重視した総合的な信号交差点設計・制御ガイドラインの構築*

Guideline Formulation for Signalized Intersection Design Based on a Pedestrian Viewpoint *

鳩山紀一郎**・剣崎聖生***

By Kiichiro HATOYAMA**・Masao KENZAKI***

1. はじめに

我が国の大規模な交差点における長い信号サイクル長が、交通の円滑性、安全性、環境に悪影響を与えていると言われて久しい。特に、待ち時間が長くなると利用者が心理的負荷を感じ、無理な横断行動をとりがちになるという危険性がある。大規模な交差点のサイクル長を短縮するには、歩行者の安全確保の観点から二段階横断方式の導入が考えられることが多く、これにより歩くのが遅い歩行者でも中央帯で一旦休憩し、2サイクルに分けてゆっくり横断することが可能となる。しかしながら、サイクル長の短縮に自動車の待ち時間短縮効果があることは、既に越の研究¹⁾などからある程度明らかになっているものの、二段階横断方式の導入によるサイクル長の短縮が歩行者にどのような影響を与えるのかを定量的に取り扱った研究は見当たらない。そこで本研究では、様々な条件の交差点において二段階横断方式を導入してサイクル長を短縮した場合の歩行者・自動車への効果を定量的に測定し、それをまとめることで実用的な交差点の設計・制御ガイドラインを提案することを目的とした。

具体的な手法としては、まず先行研究によって得られている歩行者の行動特性に関する知見を基に、既存の交通シミュレーションモデルを改良することで歩行者・自動車双方を扱うことのできるシミュレーションモデルを構築する。次に、様々な条件を有する仮想的な交差点に対してシミュレーションを実施し、サイクル長を変動させた場合の歩行者・自動車への効果を測定する。そしてその結果と、中央帯滞留時の歩行者の不快感を調査した先行研究²⁾とを合わせて考えることで、総合的な交差点設計・制御ガイドラインを提案する。

*キーワード：歩行者、サイクル長の短縮、二段階横断方式

**正員、工博、東京大学工学部社会基盤学科

(東京都文京区本郷7-3-1、

TEL 03-5841-6135、FAX 03-5841-8507)

***非会員、工修、水産庁

(東京都千代田区霞ヶ関1-2-1、

TEL 03-3502-8111、FAX 03-3581-0326)

2. 歩行者の横断行動特性の導入

(1) 歩行者の横断行動原理

歩行者は、横断歩道に至る手前から、信号の現示変化の様子を窺いながら歩行速度を設計している可能性が高いことが、先行研究によって既に示唆されている³⁾。その結果を踏まえ、本研究では歩行者の横断行動原理を以下のように考える。

- ① 歩行者には、自分が快適と思う歩行速度がある。(快適歩行速度： v_c)
- ② 歩行者には、自分が歩いてよいと思う最大の歩行速度がある。(限界歩行速度： v_{max})
- ③ 歩行者は、信号を認識した時点から、残っている横断距離(残存距離： $RD(t)$)と残っている歩行者現示時間(残存時間： $RT(t)$)を推測し、信号待ちをあまりしないで済むよう速度 $v(t)$ を v_c と v_{max} の間で逐次調整する。
- ④ 歩行者は、その交差点に充分慣れている場合や残り時間表示装置などにより情報提供が行われている場合などには残存時間 $RT(t)$ を正確に知覚できるが、そうでない場合は正確には知覚できない。

歩行者が残存時間を正確に知覚できる場合の横断行動原理を時空間ダイアグラム上に表したものが図-1である。図の領域①では、歩行者は快適歩行速度で横断を完

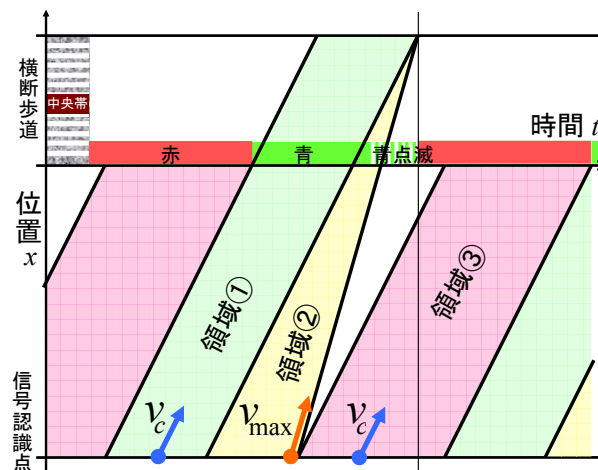


図-1 横断時の速度設計に関する時空間ダイアグラム

了できる。領域②では、歩行者は残存距離と残存時間に
 応じた速度で場合によっては小走りをするこ
 で横断を完了できる。領域③では、歩行者は横断を断念し、次の
 歩行者現示を待つことになる。歩行者が残存時間を正確
 には知覚できない場合には、曖昧な残存時間を用いて同
 様の速度設計を行い、信号の点滅などの状況変化によ
 ってその知覚の精度を上げていくものと考えられる。なお、
 本研究では残存時間を青点滅終了時までの時間とする。

(2) 歩行者速度選択アルゴリズム

次に、上記の横断行動原理をシミュレーションモデル
 に導入する。上記の原理は、基本的には時空間ダイ
 グラム上のどの領域に歩行者がいるかによって場合分け
 を行うことで説明できるため、図-2のフローに示すアル
 ゴリズムによって表現することが可能である。本研究で
 は、これを歩行者速度選択アルゴリズムと呼ぶことにし
 た。ここで Δt はシミュレーションのステップを表して
 いる。また、残存時間を歩行者が正確に知覚できる場合
 は、 $RT(t)$ は真の残存時間($RT^*(t)$ とする)と常に等し
 くなるものとし、正確に知覚できない場合は、 $RT(t)$ は
 平均値が $RT^*(t)$ 、標準偏差が σ (本研究では5秒とし
 た)の正規分布によって確率的に歩行者ごとに知覚され
 るものと考えた。なお、高齢者をシミュレーションする
 場合は、走ることが困難($v_{max} = v_c$)と考えて、領域②
 が存在しないものと考えればよい。

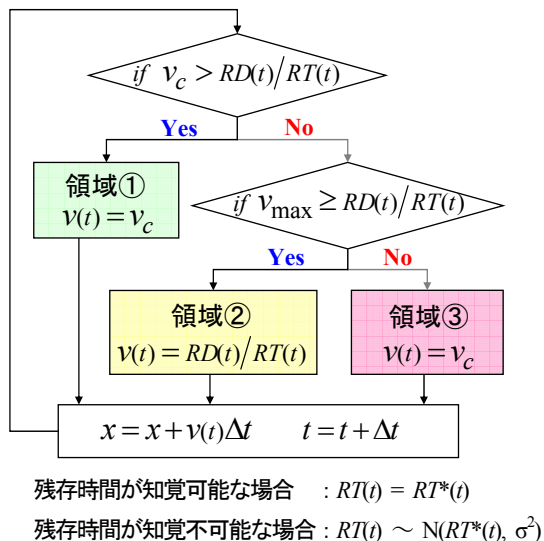


図-2 歩行者速度選択アルゴリズムのフロー図

3. 交通シミュレーションモデルの構築

次に、サイクル長の短縮効果を定量的に測定するた
 めに、TSS社製の交通シミュレータAIMSUNをベースと
 して、歩行者速度選択アルゴリズムを組み込むことによ
 り交差点の総合シミュレーションモデルを構築すること

にした。そのモデルの構造を図-3に示すとおりであり、
 まず交差点構造、歩行者・自動車の交通需要などの交差
 点規模を決定し、同時にサイクル長や中央帯の設置など
 の制御変数として設定した後、現示構成の設計を行う。
 そしてこれらを入力変数にシミュレーションを行い、交
 差点の評価指標として待ち時間の平均値などを出力する。
 なお、自動車の挙動に関してはAIMSUNに実装されて
 いる追従モデル、車線変更モデル、ギャップアクセプタ
 ンスモデルを用い、歩行者も原則同様の挙動モデルに従
 うが、歩行速度決定アルゴリズムにも従うこととした。

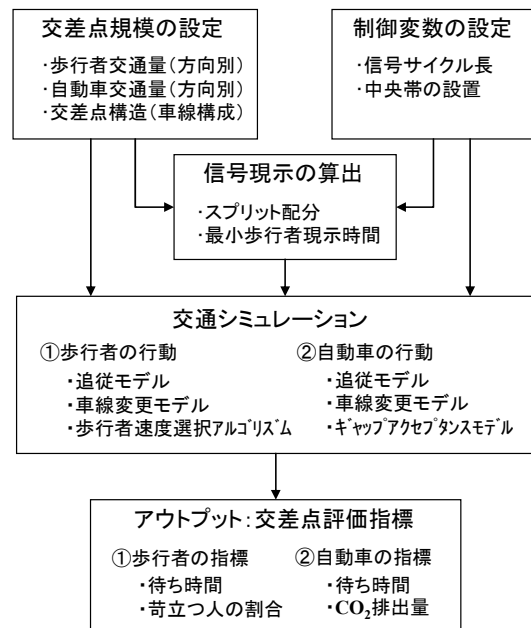


図-3 シミュレーションモデルの構造

なお、実装にあたっては、1万人を超えるサンプル
 の観測調査を行った斎藤らの研究⁹⁾を参考にすることで、
 非高齢者及び高齢者の v_c をそれぞれ平均1.35m/s、
 1.06m/sとし、いずれも標準偏差0.23m/sで正規分布する
 ものとした。非高齢者の v_{max} については、快適歩行速
 度と限界歩行速度の比を同様の研究から1.93と算出でき
 たため、この比を全歩行者に対して当てはめることによ
 って、各歩行者の限界歩行速度とすることにした。

4. シミュレーション分析の実施

このモデルを用いて、表-1に示すケースについて、シ
 ミュレーションを行った。シミュレーションの様子を
 図-4に示す。表中の交通量は、各レグに流入する全交
 通量であり、そのうち右左折車の割合はそれぞれ5%、
 大型車混入率は5%とした。歩行者については、図-4の
 A方向、B方向にそれぞれ150人/hの流入を与えた。シ
 ミュレーションは1時間分のものを10回ずつ行い、歩行
 者・自動車の平均待ち時間を算出することにした。なお、
 ケース1～3はサイクル長の短縮はどの程度の自動車の

表-1 シミュレーションケースの設定

ケース	主道路			従道路			交差点飽和度
	車線数	幅員(m)	交通量(台/h)	車線数	幅員(m)	交通量(台/h)	
1	8	32m	2880	8	32m	2880	0.880
2	8	32m	2400	8	32m	2400	0.737
3	8	32m	1920	8	32m	1920	0.593
4	8	32m	2400	4	19m	1200	0.703
5	8	32m	2400	2	8m	300	0.601
6	8	32m	2400	2	8m	200	0.523
7	4	19m	1200	4	19m	1200	0.669
8	4	19m	1200	2	8m	300	0.567
9	4	19m	1200	2	8m	200	0.490

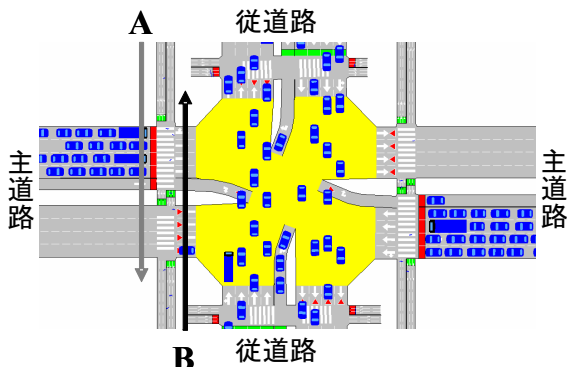


図-4 シミュレーションの様子(ケース2)

交通負荷まで有効かを調べるためのもので、ケース4~9は、どの程度の交差点規模ならサイクル長の短縮が歩行者にとって有効となるかを調べるためのものである。次に、その主な結果について述べることにする。

(1) 自動車の交通負荷とサイクル長の短縮効果

まず、ケース1~3から自動車の交通負荷とサイクル長との関係を調べた結果を図-5に示す。図より、サイクル長の短縮は交差点が飽和に近い状況では渋滞を助長させ、自動車の待ち時間に悪影響を及ぼすことがわかる。これにより、サイクル長を90秒程度以下とするには、交差点飽和度が0.75程度以下である必要があると考えられる。

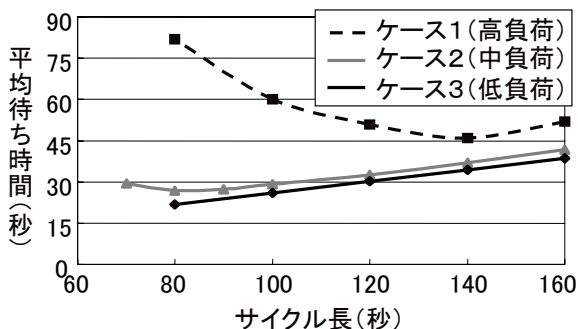


図-5 サイクル長と自動車の平均待ち時間の関係

(2) 歩行者に対するサイクル長の短縮効果

次に、サイクル長の短縮が歩行者に影響を与えるかを交差点規模別に分析する。図-6は、ケース2において非高齢者で残存時間が知覚可能な場合と不可能な場合及び

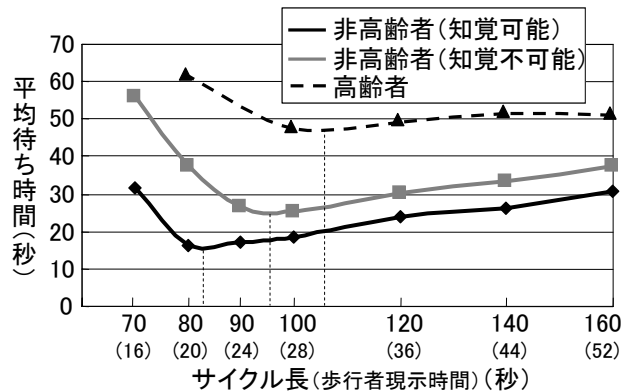


図-6 ケース2における歩行者の平均待ち時間変化

高齢者の場合の3つの歩行者属性について、平均待ち時間の変化を表したものである。これにより、歩行者属性によって平均待ち時間の極値を与えるサイクル長が異なることがわかる。ここで、極値となるサイクル長下における歩行者現示時間で横断歩道幅員を除すことで、各歩行者属性に応じた「見かけの歩行速度」を定義できる。その他のケースにおけるシミュレーション結果とも合わせて、高齢者の場合は0.9m/s、非高齢者で残存時間が知覚不可能な場合は1.2m/s、知覚可能な場合は1.5m/sの「見かけの歩行速度」に対応する歩行者現示時間で平均待ち時間が極値となることが分かった。これらが快適歩行速度 v_c の値と異なるのは、自動車とのインタラクションや歩行者の小走りの影響と考えることができる。

次に、従道路の交通量が主道路に対して著しく少ないケース6について見てみる。この場合、短いサイクル長のもとでは十分な歩行者現示時間を確保するのが困難となる。そのため、本研究では自動車の右折専用現示に合わせて横断歩道の一部に通行権を与える、所謂「現示の切り分け」も合わせて検討した(図-7)。これにより、従道路の交通量が少ない場合でも、現示の切り分けを行うことができれば、少なくとも一方の横断について、サイクル長の短縮に効果が現れることがわかる。

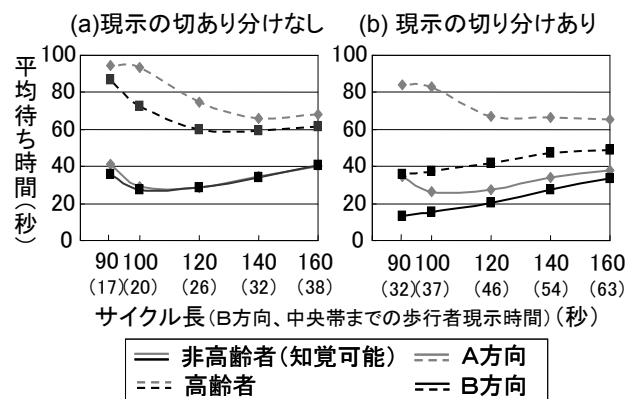


図-7 ケース6における歩行者の平均待ち時間変化

更に主道路が4車線の場合(ケース7~9)は、常に80秒程度までサイクル長を短縮できることが分かった。

5. 交差点設計・制御ガイドラインの提案

最後に、本研究のシミュレーション結果と、中央帯の幅員に関する先行研究²⁾の成果を考え合わせることで、図-8に示す交差点の設計・制御ガイドラインを提案する。なお、先行研究においては、「中央帯には2.5m程度以上の幅員が求められ、2.5m~3.5m程度の場合は防護柵を設けるべきである」ことが明らかとなっている。

ガイドラインにおいて、信号現示方式やクリアランス時間を仮設定し、同時に交通状況から交差点の飽和度を算出するまでは従来通りであるが、ここで交差点の飽和度が0.75以下である場合には、サイクル長を90秒程度以下に仮設定できるものとしている。その上で、更に横断歩道に関して詳細な検討を行う。図中の歩行速度0.9m/s、1.5m/sとは、それぞれ高齢者及び残存時間が知覚可能な非高齢者の「見かけの歩行速度」である。また、ガイドラインには直接表現してはいないが、以下2点について別途留意する必要があると考えている。

- ① 中央帯の幅員が 3.5m 以下の場合には、防護柵を設置すること。
- ② 残存時間が知覚不可能な非高齢者の「見かけの歩行速度」1.2m/s での横断が不可能な場合には、残り時間表示装置などの情報提供設備を設置するべきであること。

以上の方法に基づいて各交差点、各時間帯で検討を行えば、オフピーク時には殆ど全ての交差点において90秒以下のサイクル長が実現できるものと考えている。

6. まとめと今後の課題

本研究では、既存のモデルの改良により歩行者・自動車双方を扱うことのできるシミュレーションモデルを構築し、二段階横断方式の導入とともにサイクル長を短縮した場合の効果を測定し、オフピーク時においてはサイクル長の短縮が歩行者・自動車双方について多くの場合効果を持ち得ることを明らかにした。また、それらの結果から交差点の設計・制御ガイドラインを提案した。

今後更に実用化を目指すためには、複数交差点ネットワークを考えた場合の効果測定や実際の交差点での実証実験などを通じたガイドラインの改善と深度化、実施をする場合の費用対効果の分析などの研究上・実務上の課題について取り組む必要がある。

参考文献

- 1) 越正毅：系統交通信号におけるサイクル制御の研究，土木学会論文報告書，第241号，pp.125-133，1975。
- 2) 板橋慎寛，鳩山紀一郎：滞留歩行者の心理を考慮した中央帯設計に関する基礎実験，土木学会第60回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)，□-289，2005。
- 3) 鳩山紀一郎，杉森秀司：信号現示変化の予測を考慮した歩行者の横断行動分析，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，No.31，124，2005。
- 4) 斉藤威，有菌卓：信号交差点における横断歩行者の横断速度に関する基本的な特性，科学警察研究所報告交通編，Vol.27，No.1，pp.15-27，1986。

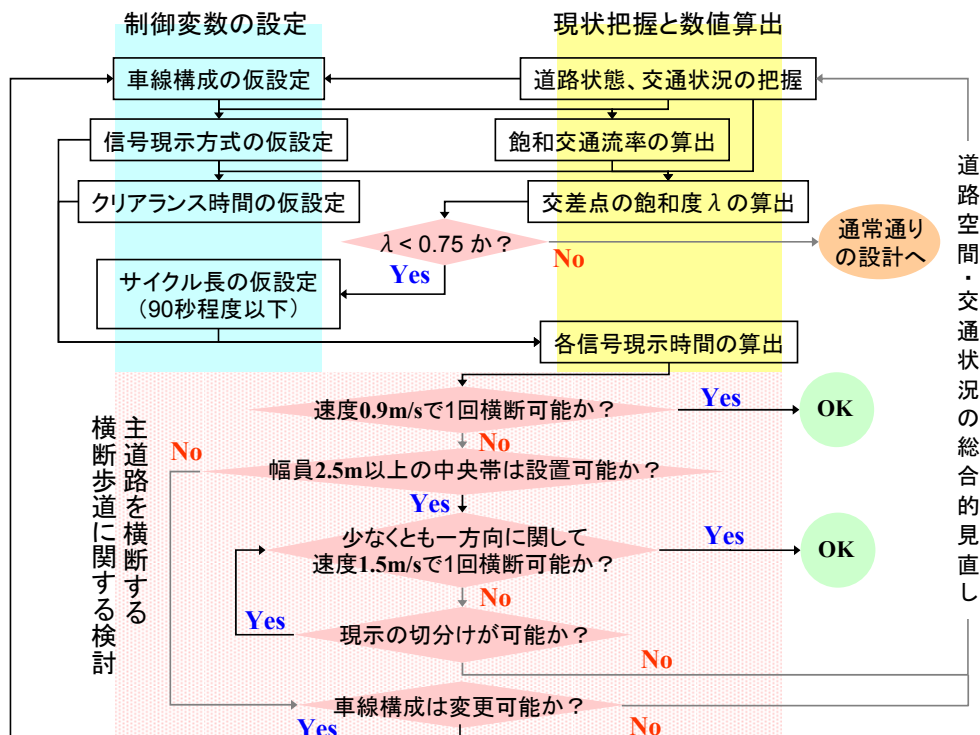


図-8 交差点の設計・制御ガイドライン