

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*

Pedestrian-oriented Intersection Designing by the Concept of Spatio-temporal Informativity*

鳩山紀一郎**・下村新***・家田仁****

By Kiichiro HATOYAMA**・Shin SHIMOMURA***・Hitoshi IEDA****

1. はじめに

これまでのわが国の大規模交差点は、主に自動車交通の視点から設計されてきたため、歩行者への配慮が充分になされてはこなかった。従って、高齢社会やそれに伴う交通バリアフリー法の施行などを考え合わせると、歩行者の安全・安心に配慮した交差点設計が急務となっており、単純には歩行者青時間の延長や横断距離の短縮などの対応が考えられる。

一方、大規模交差点では、長いサイクルタイムも問題視されている¹⁾。具体的には、自動車の長時間アイドリングが環境負荷へ及ぼす影響や、右折車滞留による飽和交通流率の低下、長い待ち時間による苛立ちの増大が交通安全へ及ぼす影響、などが挙げられる。従って、サイクルタイムは短縮が望まれているが、これは青時間の短縮をも意味し、歩行者への配慮という視点と整合的とはいえない。

以上より、今後は交差点を構造・制御の両面で工夫することで、サイクルタイムが短く且つ歩行者への配慮のある交差点設計が必要不可欠となるといえる。そのためには、様々な横断歩道における歩行者の横断行動特性を、歩行速度などの客観的指標からだけでなく生理的・心理的にも十分に把握する必要があると考えられ、本研究は主にバーチャルリアリティ(以下VR)による歩行シミュレータPedECS²⁾を用いた実験でこれらを把握することにした。

2. 歩行者行動原理と時空間インフォーマティビティ

*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工学専攻助手

(東京都文京区本郷7-3-1, TEL:03-5841-6135,

E-mail:kii@trip.t.u-tokyo.ac.jp)

***非会員, 工修, 東海旅客鉄道株式会社

***正員, 工博, 東京大学大学院社会基盤工学専攻教授

(1) 歩行者行動原理に関する仮説

まず、歩行者がどのような行動原理に基づいて横断行動をするのかを理解するために、東京都23区内の主要交差点35箇所について、ビデオ撮影により歩行者観察調査を行った。その結果、横断行動時の歩行者行動原理に関する以下2点の仮説が考えられた。

【仮説A】人はそれぞれ快適に感じる速度で歩き続けることを望む。時間・空間的制約により快適速度から外れることは不快感(苛立ち、慌しさ)に繋がる。(図-1a)

【仮説B】人は時間・空間の物理量を知覚し、その知覚量に基づき行動を計画する。物理量を知覚しにくいと、人は不快感(不安)を感じる。(図-1b)

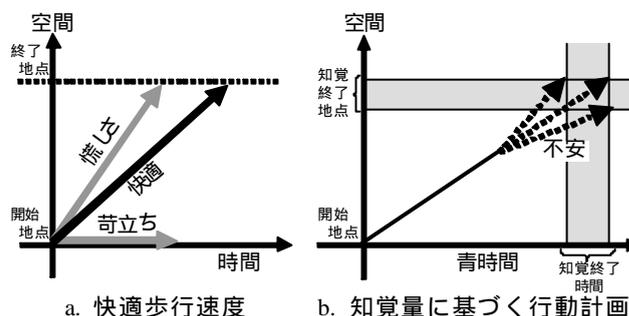


図-1 時空間内の歩行者行動原理

(2) 時空間インフォーマティビティの概念

以上で述べた歩行者の不快感のうち、特に「不安」は、技術的方法で時間・空間知覚を促すことによって軽減できる可能性がある。そこで本研究では、人の時間・空間の知覚を助ける情報の程度を表す概念として、時空間インフォーマティビティ(以下STI: Spatio-temporal Informativity)を提案する。STIは、時間情報(残存青時間・残存赤時間など)と空間情報(残存横断距離など)から構成される。そして、残り時間表示装置や中央帯の設置、歩行者ITSなどの技術が導入され、これらの情報が歩行者に与えられている状態をSTIの高い状態と考えるのである。ここで、人が時間・空間を正確に知覚できている程度を

時空間パーセプティビティ(以下STP: Spatio-temporal Perceptivity)と呼ぶことにすれば、歩行者の横断行動は図-2のように模式化される。歩行者は実際には、各現示の残り時間及び残っている距離を行動設計の判断基準とすることになる。

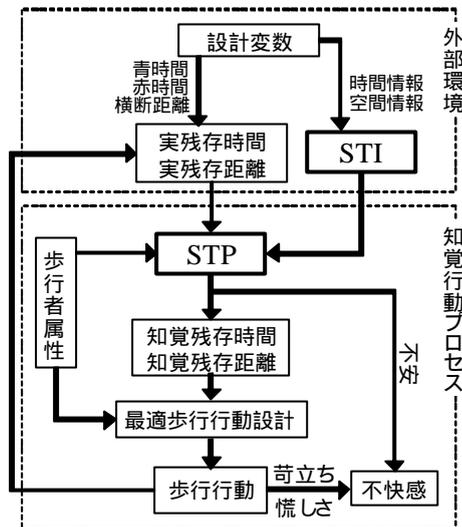


図 - 2 歩行者の横断行動の模式図

このような概念を導入すると、更に以下の仮説が付加できるものと考えられる。

【仮説C】STIの高い状態では、STPも高まり、歩行者は適切な速度で歩行行動設計ができる。(図-3)

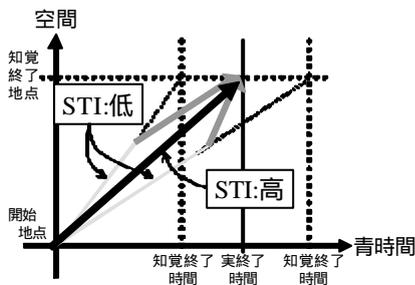


図 - 3 S T I と歩行者の行動設計

(3) 実験仮説

以上の横断行動時の歩行者行動原理仮説 A ~ C を、具体的な実験仮説に書き下すと以下のようなになる。

- a1. 赤の待ち時間が長いと人は「苛立ち」を感じる。
- a2. 青時間が短いと人は歩行時に「慌しさ」を感じ、歩行速度も速くなる。
- b. 距離・時間が知覚しにくい (STIが低い) と人は歩行時に「不安」を感じる。
- c. STIが高いと歩行中の速度変化が小さくなる。

以下では、様々な実験ケースで実験を行うことで、これらの実験仮説に対する検証を行っていく。

3. 実験空間の整備

(1) 実験機材

人の生理・心理を取り扱う実験では、制御変数以外の環境を実験ケースによらず一様に保つ必要がある。従って、VRで実験環境を創出する方法が考えられ、その有効性は家田らの先行的研究³⁾においても確認されている。本研究では、鳩山ら²⁾によって開発されたPedECSと呼ばれるVR歩行シミュレータを用いた。PedECSは従来のトレッドミル方式の歩行シミュレータとは異なり、頭部搭載型ディスプレイと磁気センサを組み合わせることで実際にVR空間内を歩くことができるシミュレータである。

(2) 実験ケースの設定

本研究では、現実とVR空間との間の反応の差異を確認するために、現実に存在する交差点を模擬したVR空間を作成することにした。サンプルとしたのは長いサイクルタイム(148秒)と単純な構造を持つ東京都文京区の湯島1丁目交差点である。(図-4)



図 - 4 VR空間の交差点のイメージ

各実験ケースの制御変数は、現状と同じ設定を基準に表-1に示すものとした。STIに関連する制御変数には2種類の残り時間表示装置を取り入れた。尚、本研究はサイクルタイム短縮を目指しているため、横断歩道には中央帯の設置を基本とした。

表 - 1 実験空間の制御変数

赤時間	120秒(現状)	90秒	60秒	30秒
青時間	28秒(現状)	21.5秒	15秒	
残り時間表示装置	目盛式	数字式	12	

(3) 計測項目

本研究は生理・心理的反応に着眼しているため、以下の3項目を計測指標とした。

(a) 生理的指標

被験者の心電図を計測し、心拍変動をスペクトル解析して得られる高周波成分HF(0.15~0.40Hz)を指標とした。HFは一般に副交感神経に支配され、精神負担を反映するといわれている⁴⁾。

(b) 主観的指標

各実験ケースを体験後、被験者に図-5に示す主観評価を行ってもらい、その評価値を指標とした。また実験終了後、体験した実験ケースの中で「最も好ましいと思うもの」についても被験者に尋ねた。

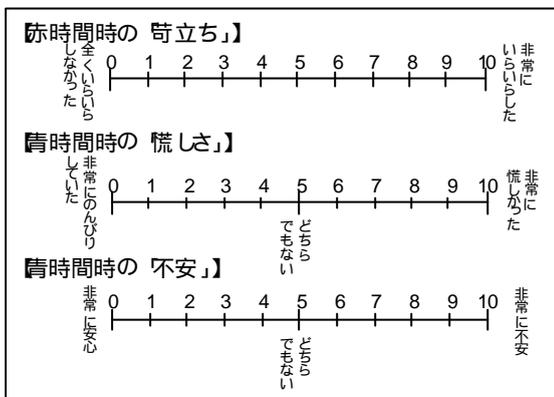


図 - 5 主観的指標の質問例

(c) 行動的指標

実験中の被験者の瞬間歩行速度を計測指標とした。

4. 仮説検証実験の結果と考察

実験では、一人の被験者につき3~4種類の実験ケースを体験してもらった。各被験者は、実験開始直後は信号が赤表示のため待たねばならず、青表示が変わってから歩き始めることになる。

(1) 被験者

20歳代から80歳代に渡る184名(うち女性70名)を被験者とし、そのうち60名(うち女性23名)は63歳以上の高齢者であった。

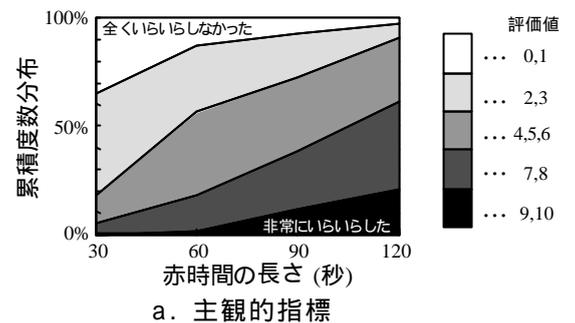
(2) 実験結果の分析

(a) 赤時間の長さとの「苛立ち」の関係 (仮説a1)

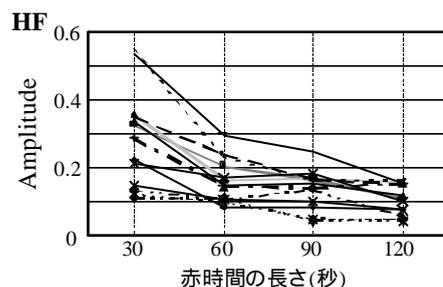
まず、赤時間の長さが待ち時間中の「苛立ち」の主

観評価にどう影響するかを分析し、図-6aを得た。

これにより赤時間が長くなると歩行者がより苛立つ様子がわかる。評価値7以上を示した人を「実際に苛立った人」と考えると、現状の120秒では約60%が苛立っており、赤時間を90秒に短縮するだけでその約20%が苛立たなくなると考えられる。この傾向は生理的指標HFからも明らかである(図-6b)。HFは値が小さいほど精神負担が大きいといわれており、確かに赤時間が長くなるにつれてHFの値も小さくなっている。以上より、赤時間で人が苛立つ様子が心理、生理の両面から示されたことになる。



a. 主観的指標



b. 生理的指標

図 - 6 赤時間の長さとの「苛立ち」の関係

(b) 青時間の長さとの「慌しさ」の関係 (仮説a2)

次に、青時間の長さが歩行時の「慌しさ」に与える影響を分析したところ、表-2を得た。これより、青時間が短くなると、有意に歩行速度、主観評価値ともに大きくなっているといえることができる。

表 - 2 青時間の長さとの「慌しさ」の関係

青時間の長さ(秒)	21.5	15	t値
平均歩行速度 (m/s)	1.207	1.363	3.67
評価値の平均	4.864	7.030	5.27

(c) 残り時間表示装置との「不安」の関係 (仮説b)

また、STIに関連すると考えられる残り時間表示装置と歩行時の「不安」について分析した。図-7は、残り時間表示装置がある実験ケースを体験した場合

とそうでない場合で、「不安」の主観評価値を比較したものである。残り時間表示装置がない場合、即ちSTIが低いと考えられる方が被験者はより「不安」を感じているといえる($t_{(71)}=2.77, p<0.05$)。尚、目盛式と数字式の間には有意な差異は見られなかった。

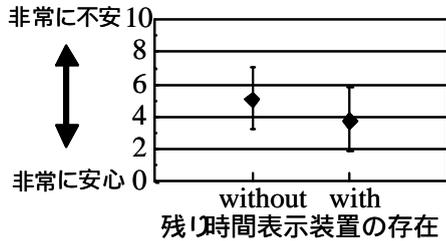


図 - 6 赤時間の長さとの「苛立ち」の関係

(d) 歩行速度とSTIの条件の関係 (仮説c)

更に、STIの条件の差が歩行速度に与える影響も分析したところ表-3を得た。表-3は、残り時間表示装置の有無と、各被験者の瞬間歩行速度の分散値の平均値を示したものである。これにより、残り時間表示装置のある、即ちSTIが高いと考えられる場合の方が、被験者は安定した歩行速度で行動を行っていることがわかる ($t_{(76)}=2.07, p<0.05$)。

表 - 3 STIの条件と歩行速度の関係

残り時間表示装置	歩行速度の分散値
With	0.0265
Without	0.0360

(3) 好ましい交差点設計に関する示唆

最後に、サイクルタイムが短くかつ歩行者に配慮された交差点の設計可能性について考察する。

サイクルタイムの短縮とは、歩行者の赤時間、青時間双方の短縮を意味する。赤時間の短縮は、図-6より歩行者の「苛立ち」の軽減効果を持つことがわかる一方、青時間の短縮は、表-2より歩行者の「慌しさ」の増幅効果を持つ。そこで、この不快感増幅効果と、STIを高めることによる「不安」の軽減効果とを組み合わせることで、青時間が短くかつ歩行者に好まれる交差点が存在し得ないかを調べる。図-7は、赤時間一定のもと、青時間と残り時間表示装置を変数とした3ケースを被験者に体験してもらった場合に、被験者が最も好ましいと思った実験ケースである。

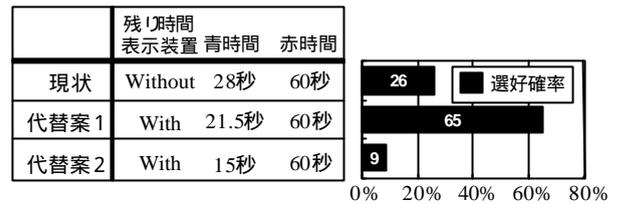


図 - 7 被験者の選好

これにより、青時間の大幅短縮（代替案2）は被験者に好ましくないが、STIを高めた上での若干の短縮（代替案1）は好まれる可能性が高いということが出来る。この結果と図-6aの知見とを合わせると、残り時間表示装置によりSTIを高めることにより、青時間、赤時間ともに現状のサイクルタイムの3/4程度には短縮が可能ということができよう。

5. まとめと今後の課題

本研究の成果は以下のとおりである。

赤時間の長短と「苛立ち」の関係を把握した。

青時間の長短と「慌しさ」及び歩行速度の関係を把握した。

STIの概念と横断時の「不安」の関係を把握した。STIと横断時の歩行速度変化の関係を把握した。STIを高めることで、青時間を短くしても歩行者から好まれる可能性があることが分かった。

今後は、快適速度の計測に加え、今回は特に対象としなかったSTIの空間情報に関する実験と分析を行い、歩行者行動原理の更なる検証を進め、最終的には歩行者の不快感の定式化により歩行者指向型交差点設計モデルの構築を行っていく予定である。

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) 鳩山紀一郎ほか:歩行者追従式バーチャル歩行シミュレータPedECSの開発, 第1回ITSシンポジウム, pp.209-214, 2002.
- 3) 家田仁ほか: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) 早野順一郎:心拍変動による自律神経機能解析, 井上肇編著, 循環器疾患と自律神経機能, 医学書院, 1996.