

〈一般研究課題〉 歩行者のサービスの質改善のための
交通信号制御に関する研究
助成研究者 名古屋大学 井料 美帆



歩行者のサービスの質改善のための 交通信号制御に関する研究

井料 美帆
(名古屋大学)

Traffic Signal Control for Improving Pedestrians' Quality of Services

Miho IRYO
(Nagoya University)

Abstract :

Traffic signal control in Japan only considers securing traffic capacity and reducing delay for vehicles and does not consider quality of service for pedestrians. The components and characteristics of quality of service themselves at signalized intersections for crossing pedestrians are not well understood within the regulation and traffic control in Japan. This study aims to clarify the effects of traffic conditions, such as delay, indication of pedestrian flashing green and potential conflicts with vehicles resulting from traffic signal control, on pedestrians' perception of traffic services. Through a questionnaire survey showing videos of different traffic conditions, an evaluation model was developed to describe the quality of service perceived by crossing pedestrians at signalized intersections. The results showed that delay, flashing green indication, and crossing with right- and left-turning vehicles significantly affected users' perceived quality of service in younger age groups, while sensitivity regarding crossing was limited in elder groups. The model has been applied to pedestrian signal phasing plan, and demonstrated that Lead Pedestrian Interval plan significantly improved the quality of services of pedestrians.

1. はじめに

近年、自動車と歩行者が混在する道路空間では、歩行者が受ける「サービスの質」の向上が課題

となっている。その中でも、信号交差点は自動車と歩行者が同一空間で交錯することから、歩行者の安全性と円滑性を重視したサービスの質の向上が必要である。しかし我が国の信号制御では、車両の交通容量確保のみに力点が置かれることが多く、信号制御において歩行者が受けるサービスの質は考慮されていない。近年のウォークアブルなまちづくりの検討においては、歩行者を優先する道路ネットワークや、それを繋ぐ信号交差点の横断の質にも着目した検討が必要といえる。

米国で出版されているHighway Capacity Manual 7th Edition (2022, 以後 HCM)では、このサービスの質(Quality of Service)を「交通施設や交通サービスが利用者の視点から見てどれだけうまく機能しているかを表すもの」と定義している。サービスの質は、安全性、円滑性、快適性などの観点から説明される。HCMでは信号交差点において歩行者のサービスの質を評価する定量的なサービス指標(Service Measure)として、信号待ち時間や車両との交錯頻度等の影響要因を用いてスコア化する手法が提案されている。米国ではこのスコアをもとに、サービスの質をA~Fの6段階のサービス水準で交通環境を評価し、交通サービスの検討に用いている。

このような海外のマニュアルは、現地踏査またはビデオ映像の視聴によるアンケート調査から、横断歩行者が受ける信号交差点のサービスの質に影響を与える要因を明らかにし、サービスの質を定量的に評価するモデル(サービス水準予測モデル)に基づいているが、道路環境や交通運用は各国で異なり、そのままのモデルを日本に適用することはできない。例えば、井料(浅野)(2014)に示す通り、信号表示の意味や表示時間の設定方法、それらに対する道路利用者の認識が国によって異なるため、その国の交通運用方法に応じた評価モデルが必要となる。しかし、日本の道路環境下で行われた研究はMuraleetharan et al. (2005, 2006)等、極めて限定的である。

そこで、本研究では信号交差点における道路交通状況が横断歩行者の交通サービスに関する認識に与える影響を明らかにしたうえで、利用者認識を反映した信号制御のパフォーマンス評価を行うことを目的とする。

2. 信号交差点のサービスの質に関するアンケート調査

2.1 調査概要と対象交差点

HCMでは信号交差点のサービス指標の構成要素として、横断歩道長などの構造要因と、信号待ち時間、車両との交錯頻度、車両速度などの交通運用状態に関する要因が提示されている。信号制御による交通運用で改善可能なのは、後者の交通運用状態の一部である。そこで、本研究ではまず対象となる信号交差点を1つに絞り、歩行者の交差点到着タイミングに応じた信号待ち時間と青点減遭遇の有無、右左折車両との交錯の有無が歩行者の認識に与える影響を調べることにした。

信号制御の状況や自動車との交錯状況は歩行者が歩くたびに異なるため、実道で被験者にサービス評価を行ってもらおうとすると、影響要因の条件をコントロールすることが難しい。そのため本研究では、事前に条件に合わせたビデオ映像を撮影しておき、それを被験者に視聴させることで、交通条件の異なる横断の評価を行うことにした。ビデオは、360度カメラによって横断歩行者の視点から撮影したうえで、240度の角度までが見えるように平面に投影した。

対象となる横断歩道は名古屋市中村区鳥居西通交差点の南北方向の横断である。対象交差点の平面図と信号現示を図1、2に示す。対象交差点は南北方向の2車線の道路と東西方向の4車線の道路が垂直に交わった構造となっている。対象交差点の東西にある4車線の道路は東側が名駅方面、西側が大治町方面につながっており、南北方向から来る車両は各方面へ向かう車両が多く、対象交差

点を右左折することが多い。

2.2 シナリオの設定

使用したビデオシナリオの因子・水準を表1に示す。HCMでは歩行者のサービス水準が遅れや車両との交錯状況で説明されることから、それを参考に因子を設定した。横断歩道の奥側で自動車との交錯が起きる横断方向をFar、手前側で起きる横断方向をNearと定義した。到着時刻は図2の第8階梯(対象方向の歩行者青表示)終了時刻を基準として設定した。到着時刻に応じて、信号による遅れ時間や、横断中に信号が青点減に切り替わるかどうか異なる。表-3.2の青点減の前半・後半は、それぞれ横断の前半・後半で青点減が開始する状況を示している。また車両の交錯では、譲りを右左折車が横断歩道前で停止し、歩行者の横断が優先されている状態とし、通過を右左折車が接近する歩行者を優先せず横断歩道を通している状態と定義した。通過は歩行者と車両との距離が離れ過ぎると、歩行者が車両との交錯を認識しない可能性があるため、横断方向がFar側では歩行者が横断歩道の手前2車線から3車線の横断歩道上にいるときに車両が横断歩道を通している状態を通過とみなし、横断方向がNear側では歩行者が東西方向の車線と並行した歩道にいるときに車両が横断歩道を通している状態を通過とみなした。評価対象シナリオは合計29パターンとなった。

アンケートでは、1本のビデオについて4問の設問に回答をする。設問1では遅れ時間に対する不快、設問2では自動車との交錯に対する不快、設問3では横断を急かされることへの不快、設問4では横断における総合的な不快についてそれぞれ5段階で評価をもらった。総合評価を横断歩行者が感じる信号交差点全体のサービスの質として扱う。実験ごとのアンケートを表2に示す。

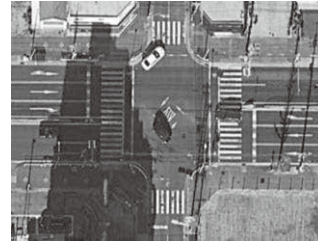


図1. 対象交差点の平面図 (Google mapより)

		時間長 (秒)												サイクル長
		Φ1					Φ2					Φ3		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
南 北	車両	[Timeline]					[Timeline]					[Timeline]		青表示
	歩行者	[Timeline]					[Timeline]					[Timeline]		
東 西	直進左折	[Timeline]					[Timeline]					[Timeline]		黄表示
	右折	[Timeline]					[Timeline]					[Timeline]		赤表示
	歩行者	[Timeline]					[Timeline]					[Timeline]		
表示時間(s)		40	6	2	3	3	84	3	2	3	9	3	2	160
信号現示		[Signal Diagram 1]				[Signal Diagram 2]				[Signal Diagram 3]				

図2. 信号現示

表1. ビデオシナリオの因子・水準信号現示

横断方向	到着時刻	遅れ時間	横断中 青点減	車両交錯
Far Near	0秒	120秒	無	交錯無し 通過左折 譲り左折 通過右折 譲り右折
	30秒	90秒	無	
	60秒	60秒	無	
	90秒	30秒	無	
	120秒	0秒	無	
	140秒	0秒	無	
	152秒	0秒	後半	
157秒	0秒	前半		

表2. 実験ごとのアンケート

設問	回答
Q1.遅れ時間を不快に感じた	1:そう思わない 2:あまりそう思わない 3:どちらでもない 4:ややそう思う 5:そう思う
Q2.横断時に右左折する車を不快に感じた	
Q3.交差点を急いで渡る必要があると感じた	
Q4.総合的に見て、交差点の横断は不快であると感じた	

アンケート調査は2023年11月15日から2023年12月7日で行った。実験参加者は若年層と高齢層とし、若年層は機縁法、高齢層はシルバー人材センターにて募集をした。若年層90名(男性70名, 女性20名, 18~35歳)と高齢層30名(男性15名, 女性15名, 65~81歳)が参加し, 24回に渡り実験を行った。実験時の様子とビデオ映像を図-3.5, 3.6に示す。被験者には, 「①大きな荷物を持つことなく, 一人で交差点を横断している②友人との待ち合わせに向かっており, 10分前に到着できるほどの余裕がある③天気は晴れており, 秋の過ごしやすい気温である」という歩行状況と, 映像を見て回答する設問を与えた。被験者は, スクリーンに映しだされる30秒から2分の映像を見て, 横断に対する不快評価を回答する。映像の視聴から回答までの一連の流れに慣れてもらうことを目的とした練習用の映像を2本映した後, 本番の映像26本を映した。映像の視聴順は, 対象の交差点で撮影された映像29種のうち20本を実験回ごとにランダムに変えて表示したほか, 対象交差点以外の映像6本も表示した。実験終了後, 個人属性に関するアンケートを実施した。本実験は, 名古屋大学環境学研究科「人を対象とする研究倫理委員会」の承認を得て実施した。

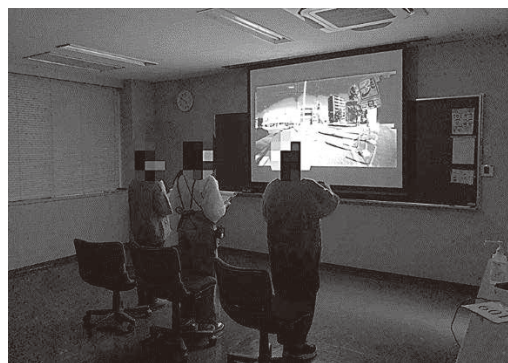


図3. 実験時の様子



図4. ビデオ映像の例

3. アンケート結果分析とサービスの質の評価モデル

3.1 アンケート結果の基礎分析

図5から図8は車両との交錯がない場合の, 遅れ時間別の遅れ評価(Q1)と総合評価(Q4)の平均値を示している。図から分かるように, 若年層は遅れ時間が長くなるほど遅れ評価と総合評価が悪くなる傾向がみられ, 高齢層は若年層と比べると遅れ評価では似た傾向がみられたが, 総合評価ではあまり違いはみられなかった。遅れ時間を独立変数とし, 遅れ評価と総合評価を従属変数とした一元配置分散分析およびTukey法による多重比較を行った結果, どちらの評価も有意な差がみられた。ただし, 高齢層では総合評価で有意差があるのは遅れ時間が0秒と120秒の場合の間のみであり, 若年層の方が遅れ時間の大小による総合評価への影響が明確に出ていることが分かる。

また, 図9~14は, 横断方向がNear側の時の右左折車両との交錯種類別の交錯に対する不快度(Q2), 急いで渡る必要性(Q3), 総合評価(Q4)である。交錯に対する不快は, 若年層, 高齢層ともに左折車よりも右折車に対する不快感の方が大きい。若年層では譲り, 高齢層では通過車両に対してより不快感が大きいことが分かる。また, 交錯車両, 特に譲り車両の存在により若年層は有意に急かされる感覚があるが, 高齢層では車両の有無による有意差は見られない。これらを総合的に見た結果として, 若年層では交錯車両の影響が総合評価に有意に影響するものの, 高齢層では通過右折のみが有意差が見られる結果となった。

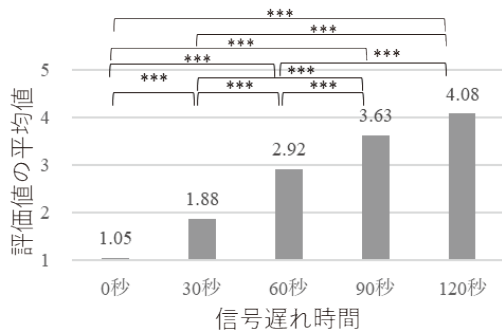


図5. 若年層の遅れ時間別遅れ評価(Q1)

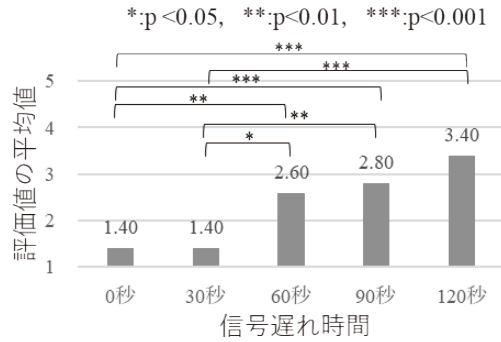


図6. 高齢層の遅れ時間別遅れ評価(Q1)

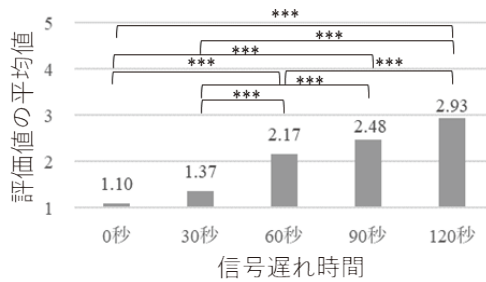


図7. 若年層の遅れ時間別総合評価(Q4)

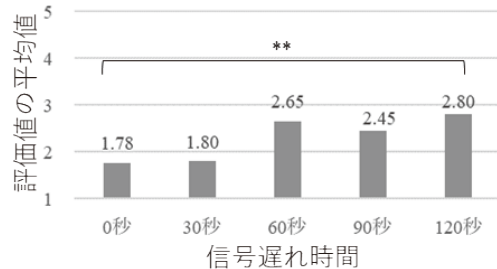


図8. 高齢層の遅れ時間別総合評価(Q4)

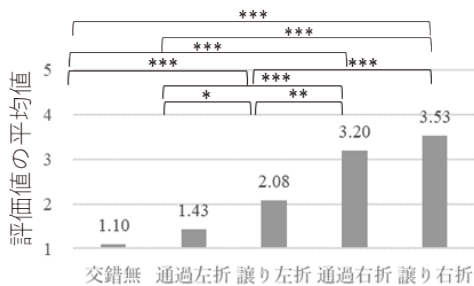


図9. 若年層の車両交錯別交錯評価(Q2)

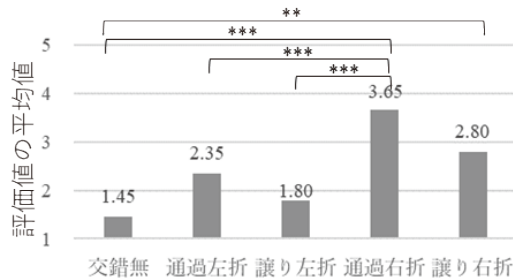


図10. 高齢層の車両交錯別交錯評価(Q2)

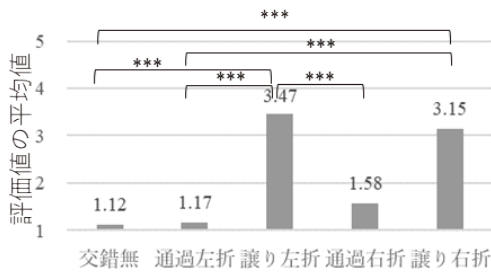


図11. 若年層の車両交錯別急かされ評価(Q3)

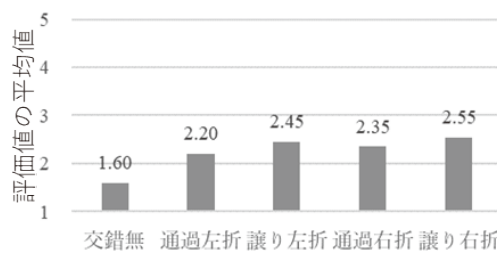


図12. 高齢層の車両交錯別急かされ評価(Q3)

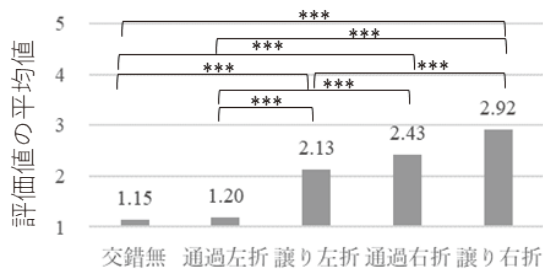


図13. 若年層の車両交錯別総合評価(Q4)

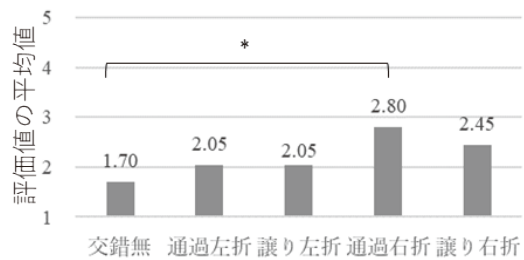


図14. 高齢層の車両交錯別総合評価(Q4)

3.2 パス解析による構造分析

分析結果をふまえて、交通条件や個人属性が直接、または3つの評価(遅れ評価、交錯評価、急かされ評価)を通して総合評価に影響するという一連の因果関係を想定したモデルを検証するため、パス解析を行った。一元配置分散分析の結果や適合度指標を踏まえ、最終的に選択されたモデルを図15、16に示す。前節の分析のとおり、高齢層と若年層で交通状況への感度が大きく異なるため、年齢層ごとに分けて解析を行った。適合度指標は若年層：GFI=0.917, AGFI=0.863, CFI=0.829, RMSE=0.132, 高齢層：GFI=0.939, AGFI=0.870, CFI=0.884, RMSE=0.120であった。ここに、性別は男性:0, 女性:1, 点減開始位置は横断前半で青点減開始時に1, 後半で青点減開始時に1(それ以外は0), 運転頻度は、月に1回以上運転をする人は1,それ以外は0とした。

若年層と高齢層どちらも3つの評価と総合評価に強い正の相関がみられた。若年層の遅れ評価では遅れ時間で正の相関がみられ、高齢層の遅れ評価では正の相関、運転頻度は負の相関がみられた。若年層の急かされ評価では点減開始位置、譲り左折、譲り右折で正の相関がみられ、高齢層の急かされ評価では点減開始位置で正の相関、運転頻度で負の相関がみられた。また、若年層の交錯評価では通過左折、譲り左折、通過右折、譲り右折で正の相関、性別で負の相関がみられ、高齢層の交錯評価では通過右折で正の相関が見られた。また、若年層、高齢層ともに急かされ評価と交錯評価で正の相関があった。さらに、点減開始位置は急かされ評価から総合評価へ向かうパスだけでなく、直接総合評価につながるパスに対しても正の相関がみられた。

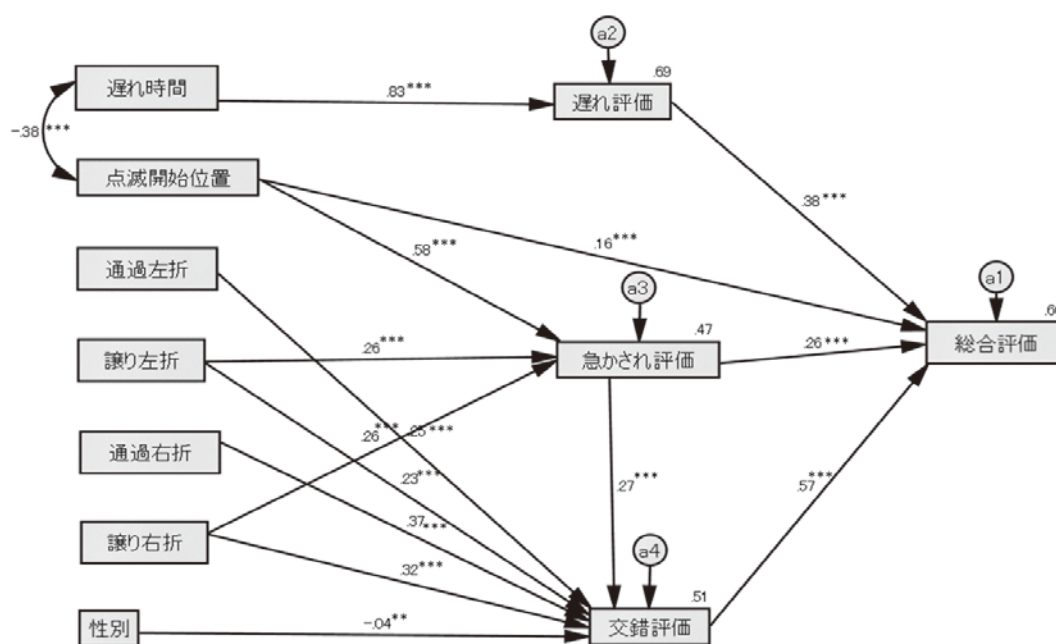


図15. パス解析結果(若年層)

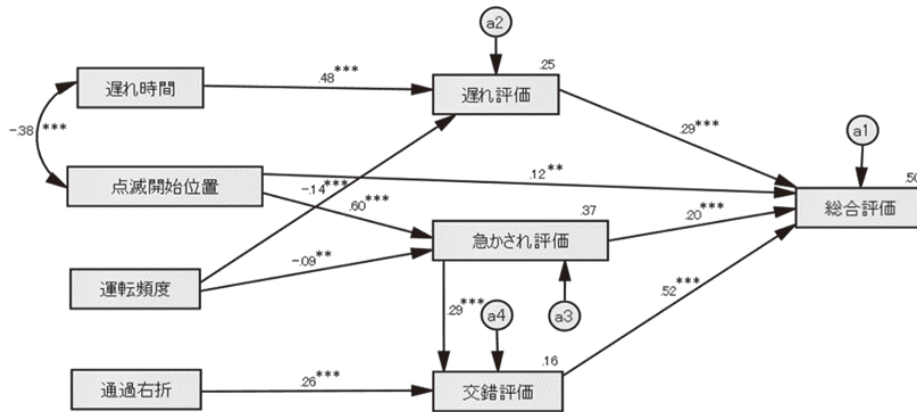


図16. バス解析結果(高齢層)

3.3 重回帰分析による評価モデル

バス解析では信号制御が歩行者に与える不快感の構造を知ることができるが、信号制御に反映させるための簡便な評価モデルとして、重回帰分析を行った。総合評価値を従属変数として、若年層、高齢層それぞれの評価モデルの推計結果を表3、4に示す。遅れ時間以外はダミー変数であり、前半/後半点減ダミーはそれぞれ横断前半・後半で青点減が始まった時に1,それ以外は0, 性別は男性1,女性0, 運転頻度は月一度以上運転する人は1でそれ以外は0とした。また、複数のダミー変数の交互作用項を導入した。例えば前半点減×交錯では、横断前半で青点減が始まり、かつ何らかの車両との交錯があった場合に1とし、それ以外は0とした。推計結果は全体としてバス解析の結果と整合したものである。

表3. 若年層の重回帰モデル

	係数	t 値
切片	1.19	16.1
遅れ時間 (秒)	0.014	15.6
前半点減ダミー	1.79	10.6
後半点減ダミー	0.710	8.46
通過左折ダミー	0.579	6.16
譲り左折ダミー	0.618	7.17
通過右折ダミー	1.41	10.5
譲り右折ダミー	1.23	11.9
性別ダミー	-0.230	-3.26
Near 横断×通過右折	-0.920	-5.69
前半点減×交錯	-0.457	-2.44
補正後重決定係数	0.276	
標準誤差	1.18	
サンプル数	1620	

表4. 高齢層の重回帰モデル

	係数	t 値
切片	2.16	21.3
遅れ時間 (秒)	0.008	5.36
前半点減ダミー	1.16	8.21
後半点減ダミー	0.362	2.10
通過右折ダミー	0.597	4.01
運転頻度ダミー	-0.319	-3.13
Near 横断×通過右折	0.933	3.04
後半点減×通過左折	0.734	2.39
後半点減×譲り右折	2.16	21.3
補正後重決定係数	0.171	
標準誤差	1.17	
サンプル数	450	

3.4 分析結果の考察

全体として若年層は総合評価に対する交通環境の感度が高く、遅れ時間、点滅開始位置、右左折車両との交錯のいずれも有意に影響した。右左折車両は交錯の種類によりその影響度合いが異なる。また、通過右折は横断方向がFar側、Near側で総合評価に与える影響度が異なった。これは、横断方向Near側の右折車は歩行者(被験者)の前方から来るため、歩行者が「右折車が先に横断方向を通過する」と予測しやすい一方、横断方向Far側の右折車は歩行者(被験者)の後方から来ることから、歩行者が「右折車が先に横断歩道を通過する」という予測が難しいため評価が悪くなったと考える。

高齢層では有意な影響要因が限定的であり、車両との交錯は通過右折のみ影響があった。本来歩行者は右左折車両に対して優先的に通行権があるので、歩行者は車両に対するリアクションを取る必要はないはずである。高齢者の場合、自分の行動に直接影響する遅れ時間や青点滅の開始状況のみが総合評価に影響すると解釈される。

パス解析から、総合評価は3つの評価(遅れ評価、交錯評価、急かされ評価)に影響を受けることが分かる。青点滅開始は急かされ評価から総合評価につながるパスだけでなく、直接総合評価影響を与えている事が分かった。これは、点滅開始位が急かされることへの評価で表すことができない別の不快、または不安評価があると考えられる。また、若年層と高齢層どちらも、急かされることにより交錯への不快をより強く意識することが分かった。

また、重回帰モデルの係数を見ると、点滅ダミーの影響が大きいことがわかる。横断前半で青点滅が始まることの総合評価への影響は、通過右折よりも大きく、また今回のシナリオの最大待ち時間である120秒待つよりも大きい。青点滅の影響はHCMやその他の既往研究では検討されておらず、日本ならではの特性ともいえる。海外では点滅時間が長いことから、日本に比べ点滅による急かされることへの不快を感じづらいことにあると考えられる。

4. サービスの質評価モデルの信号制御への適用

推計した重回帰モデルは、歩行者の個々の横断経験に対して、横断による不快の総合評価値を推計するものである。個々の歩行者の評価値を集計することで、交通状況や信号制御条件に応じた歩行者の横断による不快感を評価することが可能となる。ここでは、簡便な計算法にて、信号制御パターンごとの評価値の試算を行った。

まず、仮想的な条件として、車両は一様到着とし、交差点を通過する車両は直進または左折車のみとした。また、横断歩道上で横断歩行者と左折車の動線が交錯する区間を交錯エリアと定めた。左折車は、交差点流入時に歩行者が交錯エリアにいないければ左折し、そうでなければ停止する。この状況を交錯エリア上の歩行者から見て譲り左折とする。左折車が交錯エリアを通過する際に、歩行者が交錯エリアの手前(通過左折判定エリア)にいるときは、通過左折とした。このような条件下で、歩行者1人が任意の時刻に交差点に到着した時に歩行者が被る遅れ、交錯、青点滅の状況に応じて評価モデルを適用した。最後に評価値の平均値を求め、当該制御条件下での評価値の代表値とした。入力パラメータを表5に示す。これらの値は調査対象交差点での実態を踏まえて設定した。また、歩行者はいずれも若年層男性とした。

この計算では、一様到着を仮定していること、一度に1人の歩行者のみを考慮していることか

ら、特定の時刻に到着する歩行者の評価値は一意に定まる。実際の検討には複数の歩行者が存在することによる相互作用やランダム到着の影響が考えられるため、交通シミュレーション等を用いた精査が必要となるが、あくまでこの検討では、提案した評価値の適用イメージを示すための試算であることに留意されたい。

表5. 入力パラメータ

パラメータ	設定値
飽和交通流率 (台/有効青 1 時間)	1800
南北方向自動車交通量 (台/時)	200
左折率 (%)	30
歩行速度 (m/s)	1.2
左折車の交錯エリア通過時間 (秒)	3
歩行者の交錯エリア通過時間 (秒)	5
歩行者の通過左折判定エリア通過時間 (秒)	5

この計算では、一様到着を仮定していること、一度に1人の歩行者のみを考慮していることから、特定の時刻に到着する歩行者の評価値は一意に定まる。実際の検討には複数の歩行者が存在することによる相互作用やランダム到着の影響が考えられるため、交通シミュレーション等を用いた精査が必要となるが、あくまでこの検討では、提案した評価値の適用イメージを示すための試算であることに留意されたい。

比較対象として、調査対象交差点での既存の信号パラメータ設定(図2)、歩行者先行信号、歩行者専用現示の3種類を検討した。歩行者先行信号(LPI, Lead Pedestrian Interval)は、歩行者青表示を自動車の青表示よりも前に開始させ、数秒遅れて車両用信号が青になるものである。愛知県内の事例を踏まえ、7秒の時間差を置いて車両用信号の青が開始する設定とした。歩行者専用現示は、歩行者信号のみが青となる現示を新たに追加するものである。南北方向の自動車現示を24秒、歩行者専用現示を21秒(青15秒+青点減6秒)、東西方向とサイクル長の設定は図2と同様とした。図17に各制御での歩行者の不快感評価の平均値と、その構成要素の内訳を示す。現状の制御に比べて、LPIでは青開始直後の左折車両との交錯がないため、交錯による不快感が大きく減少している。歩行者専用現示では交錯はなくなるものの、赤時間が長くなるため遅れ時間の評価値が悪化する。なお、今回の条件はいずれも車両の交通容量は充足している。この評価方式では、制御方式に対する横断歩行者の認識を重みづけして総合評価することにより、歩行者側からみた制御の是非を検討するのに役立つと考えられる。

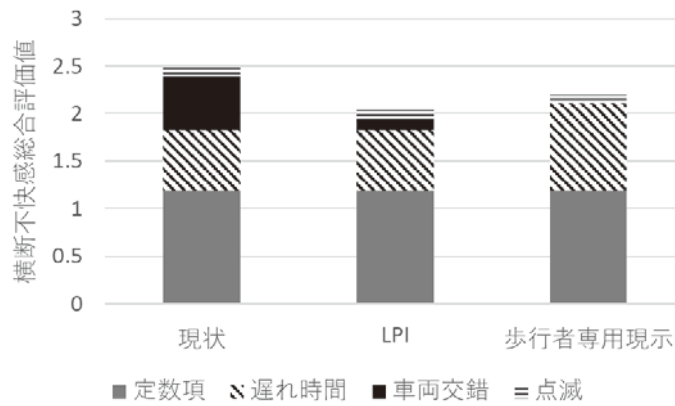


図17. 制御方式ごとの評価値の試算結果

5. まとめと今後の課題

本研究では、映像を視聴した被験者に対するアンケートの結果に基づき、信号交差点の交通環境が歩行者横断時の不快感に与える影響要因を明らかにした。海外の研究検討された遅れ時間や車両との交錯に加えて、青点滅による急かされ感も有意な要因であること、高齢者と若年者とは認識に差があることを示した。また、ケーススタディとして信号制御方式の違いに応じた歩行者の不快感を試算し、横断歩行者の評価に基づく信号制御方式の選択の可能性を提示した。

本研究では単一の信号交差点を対象に分析を行ったが、車線数が異なる場合は横断歩道長も変わるため、横断の負担が変わると考えられる。交差点の幾何構造改良に伴う歩行者の負担感・不快感の変動を調べることは、今後の歩行者空間の検討において必要と考える。また、歩行者交通量が大きい時の他の歩行者による影響を考慮することも今後の課題である。

参考文献

Transportation Research Board(2022) : Highway Capacity Manual 7th Edition Volume 3: Interrupted flow

井料(浅野)美帆 (2014) : 信号付横断歩道における歩行者クリアランス時間設定方法の日米比較, 生産研究, Vol.66, No.4, pp.383-387.

Muraleetharan, T., Adachi, T., Uchida, K., Hagiwara, T. and Kagaya, S. (2004) : A study on evaluation of Pedestrian level of service along sidewalks and at crosswalks using conjoint analysis, Journal of Infrastructure Planning, Japan Society of Civil Engineers, Vol.21, No.3, pp.727-735

Muraleetharan, T., Adachi, T., Hagiwara, T. and Kagaya, S. (2005) : Method to determine pedestrian level-of-service for crosswalks at urban intersections, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.127-136