

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：83909

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04297

研究課題名(和文)身体挙動と脳活動を踏まえた無信号交差点通過時の空間認知モデル構築の試み

研究課題名(英文)An attempt to construct a spatial cognition model for passing through an unsignalized intersection based on physical behavior and brain activity

研究代表者

三村 泰広 (Mimura, Yasuhiro)

公益財団法人豊田都市交通研究所・その他部局等・主幹研究員

研究者番号：20450877

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高齢運転者の無信号交差点通過時における身体挙動に影響を与える身体機能および脳活動の実態を踏まえた空間探索プロセスの特性について、知見を積み上げようとする。具体的には、無信号交差点通過時における(1)高齢運転者の身体機能と空間探索の関係性、(2)高齢運転者の脳活動についての知見を得るものである。身体機能と空間探索及び脳活動の成果を通じて、高齢運転者は、特に鋭角といった変形交差点において、他の年代では増加する交差点進入後の空間探索が減少し、注意そのものの意識が低くなるということが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果により、今後の高齢運転者の無信号交差点における出会い頭事故対策を考える上で、特に注目すべき交差点形状や、通過時のポイントを特定できたと考える。これらの特徴を踏まえた高齢運転者に対する安全運転支援技術の開発や、GPSを利用した経路提供の開発は、一定程度有益であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to build up knowledge of the characteristics of the spatial search process based on the actual physical functions and brain activities that affect the physical behavior of elderly drivers when they pass through unsignalized intersections. Specifically, this study aims to obtain knowledge on (1) the relationship between physical functions and spatial search of elderly drivers and (2) the brain activities of elderly drivers when they pass through unsignalized intersections. Through the results of physical function, spatial search, and brain activity, it was confirmed that elderly drivers decrease their spatial search after entering an intersection, which increases in other age groups, especially at deformed intersections such as sharp corners, and that they are less aware of the importance of attention itself.

研究分野：交通工学

キーワード：高齢運転者 無信号交差点 空間探索 脳活動 身体機能

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 今後さらなる増加が予想される高齢運転者が関与する無信号交差点における出会い頭事故の削減に向けて、高齢運転者が当該空間をどのように認知しているかの特性を踏まえた安全施設整備のあり方や教育の方法等について、一層議論を重ねることが重要である。

(2) 加齢は、視機能以外の身体機能も同様に低下させることが多い。無信号交差点のような空間を走行する際においては、加齢とともに視機能のみならず、それ以外の身体機能の重要性も高まるものと推察されるが、その影響に関する学術的知見は決して多いとは言えない。

(3) 無信号交差点は自動車や歩行者、自転車といった他の交通の状況を絶えず認知しながら、自身の動きを判断・操作しなければならないこともあって、脳活動のひとつであるワーキングメモリがフル活用される場面である。すると、無信号交差点のような空間を走行する際において、脳活動の実態がどのようなものであるかも併せて捉えていくことも重要と推察されるが、そのような学術的知見はほとんど見られない。

2. 研究の目的

本研究は、高齢運転者の無信号交差点通過時における身体挙動に影響を与える身体機能および脳活動の実態を踏まえた空間探索プロセスの特性について、知見を積み上げようとする。具体的には、無信号交差点通過時における(1) 高齢運転者の身体機能と空間探索の関係性、(2) 高齢運転者の脳活動についての知見を得るものである。

3. 方法

3. 1. 身体機能と空間探索

様々な道路条件や交通条件の影響を効率的に捉えるため、実験計画法を用いて対象交差点を選定した。実験計画法で考慮した要因は、交差点の脚の数、交差点の接続角度、歩行者の有無、自動車の交通量である。表1に、作成した映像の概要を示す。映像は該当する条件の実際の交差点の走行映像を撮影したものである。

本研究は360度カメラの映像をHMD(Head Mounted Display)で視聴する手法を採用した。VR(Virtual Reality)空間視聴時の視線計測には、視線追従機能のあるFOVE社製のHMDであるFOVE0を使用した。空間探索の定量化では、便宜的に「注視行動量=空間探索量」という仮説を設定した。走行空間と空間探索の関係を把握するために、注視点挙動の角速度(Angular Velocity(AV))を算出した。本研究では、交差点空間における空間探索に特に重要と考えられる水平方向のAVについて、解析区間ごとの平均値を算出し、当該平均値を分析の単位とした。

身体機能は、視機能、柔軟性、平衡感覚、敏捷性を計測した。具体的には、視力、視野(MD(Mean Deviation), PSD(Pattern Standard Deviation), VFI(Visual Field Index), UFOV(Useful Field Of View)), 長座体前屈(LSFB), 中指-中指間距離(MMD), 片足立ち(SOL), ステッピング・テスト(ST), 全身反応時間(RT)である。

表1 構築した実験映像(身体機能と空間探索)

video id	structure		ped. dummy		num. of veh.(after stop line)		
	intersection	leg	angle	left to right	right to left	left to right	right to left
1	3-way		acute		1		2
2	3-way		right			0	0
3	3-way		obtuse	1		1	2
4	4-way		acute			3	7
5	4-way		right	1		1	1
6	4-way		obtuse		1	0	0
7	5-way		obtuse		1	4	1
8	5-way		acute	1		0	0
9	5-way		right		1	2	1
10	5-way		obtuse			1	0

実験参加者は合計 62 名で、高齢者 30 名（うち男性 23 名、74.2±3.4 歳）、中高年 21 名（うち男性 9 名、37.2±8.9 歳）、若年成人 11 名（うち男性 8 名、21.3±0.5 歳）である。

実験では、被験者の臨場感を高めるため、ドライビングシミュレータの座席に座ってもらい、普段運転しているようにハンドルを握りながら映像を見てもらった。すべての動画を視聴した後、実験内容に関するアンケート調査を実施した。その後、身体機能の調査を行った。測定は LSFB, MMD, SOL, ST, 視機能, RT の順に実施した。

分析は、まず車両走行区間別の空間探索の傾向を整理した。分析区間を図 1 に示す。「区間 5」は、実験車両が非優先道路に流出した場合は、その道路の停止線を通過したときまでとし、優先道路（区間 5'）への流出する場合は、実験車両が車線と平行となるまでとした。次に、上記の整理をもとに、身体的特性、道路状況、交通状況が AV に与える影響要因を分析した。なお区間によって、データが取得できた被験者と取得できなかった被験者が混在していたため、分析対象は区間ごとに同一とはなっていない。

3. 2. 脳活動

脳活動の計測は、株式会社 NeU 社の HOT-2000 を使用した。HOT-2000 は脳活動をリアルタイムに計測できるウェアラブルデバイスである。脳活動の代替指標の一つと考えられる脳血流反応の変化に比例するトータルヘモグロビンの変化を計測できる。

VR 空間は、フォーラムエイト社の UC-win/Road を使用し作成した。対象とした空間は愛知県豊田市幸町隣松寺の無信号交差点である（図 2）。本交差点は、鋭角に接続している。当該区間は伊勢湾岸自動車道の高架を並走する道路である。

実験参加者は、3. 1 と同様である。被験者は、構築した VR 空間をドライビングシミュレータを通じて運転する。西側のスタート地点から単路を走行し、一時停止のカラー舗装化された無信号交差点を直進する。なお、便宜的に単路走行時や交差点での対向車はランダムに発生させる手法を採用した。

評価対象とする区間は、表 2 に示す通り、「単路走行時」・「交差点手前減速・停止確認

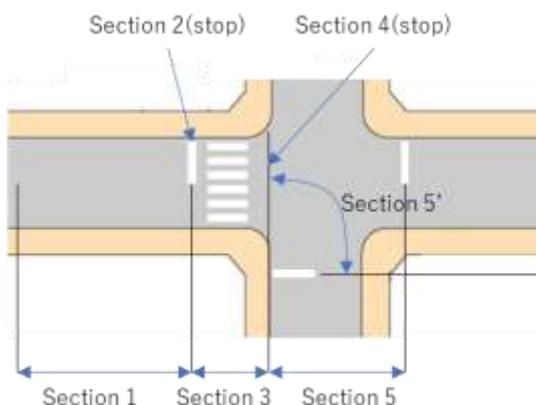


図 1 分析区間（身体機能と空間探索）

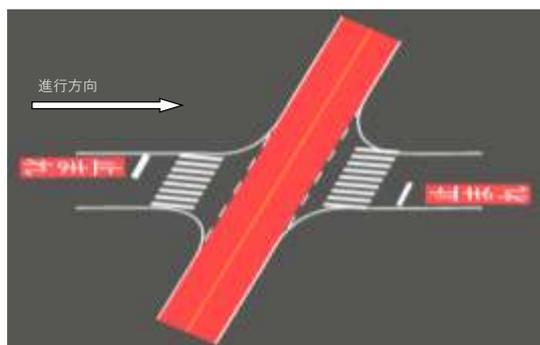


図 2 実験対象（脳活動）

表 2 評価対象区間（脳活動）

	区間	特徴
単路走行時	区間①	<ul style="list-style-type: none"> STARTからダイヤマークの手前までの単路の区間 区間の長さは290m 実験開始地点には速度制限標識を設置 反対車線にランダムに自動車が走行
交差点手前減速・停止確認時	区間②-1	<ul style="list-style-type: none"> 一時停止線50m手前から一時停止線までの区間 他の区間と比べて標識・標示が多い 交差点付近に建物 止まれる路面標示がカラー化 反対車線にランダムに自動車が走行
	区間②-2	<ul style="list-style-type: none"> 左右確認を行う交差点内の区間 優先道路にはランダムに自動車が走行 路面がカラー舗装化
停止確認後発進時	区間③-1	<ul style="list-style-type: none"> 交差点内の左右確認を終え発進する区間 路面はカラー舗装化
	区間③-2	<ul style="list-style-type: none"> 交差点通過後からGOALまでの区間 区間の長さは30m 周囲には建物、標識、標示がない 対向自動車は走行しない

時」「停止確認後発進時」の3区分・5区間である。

脳血流反応を計測する HOT-2000 の出力値 (fNIRS 信号) は、被験者毎に標準得点化を行い区間ごとの加算平均により評価を行った。なお、分析は、脳血流反応の値が計測できなかった被験者と交差点停止時に交差点道路に自動車が行き通らなかった被験者を除いた 33 名を対象に実施した。

4. 研究成果

4. 1. 身体機能と空間探索

分析の応答変数は単位時間当たりの AV (単位: 度/秒)、説明変数は性別を含む身体的特性、道路・交通状況とした。モデルは年齢層別に構築した。モデルに採用する説明変数の選択は、AIC を用いた変数増減法によって行った。検討したモデルは、線形モデルと被験者のランダム効果を考慮した線形混合モデルである。その結果、線形混合モデルの精度が高いことが確認された。他方、若年群においてはいくつかの区間で線形混合モデルの適切な推定ができなかった。以上より、中年群及び高齢群においては線形混合モデルの結果を、若年群においては線形モデルの結果を用いて分析を進めることとした。結果を表 3 に示す。得られた成果は以下のとおり。

(1) 視機能 (視力, 視野) はいずれの年齢層においても AV と有意な関係性がある一方、視機能以外の身体機能は、中年層のみ有意に影響する。

(2) 高齢者群は、身体的特性や交通状況の影響を考慮しても、鋭角及び鈍角の交差点において、他車両との交錯が生じる交差点進入後の区間 5 で AV が有意に低い。これは AV が有意に高くなる他の年齢群との唯一の決定的な差となっている。

今回の分析では、調査全体を通して、高齢者群の空間探索量は、他の年齢群に比べ多い場合がほとんどであった。この点は、高齢者群の安全運転傾向、いわゆる身体機能の低下を補う補償運転が観測された可能性を示している。一方、道路状況や交通状況などの要因を考慮すると、特に鋭角や鈍角といった見通し範囲が広い交差点での進入後の空間探索において、高齢運転者の課題が生じるものと考えられる。この高齢運転者の特性が身体機能によるものか、もしくは高齢運転者特有の運転特性を表象するものなのかは課題が残るものの、この結果は、今後の高齢ドライバーの交差点対策を考える上で、注目に値する有益な知見であると考えられる。

表 3 区間別年齢階層別の AV への影響要因 (身体機能と空間探索)

	sec.1			sec.2			sec.3			sec.4			sec.5		
	younger	middle	older												
Intercept	+	+	+	+			-		+				-	+	+
Men dummy (men =1)							+						+		
Vision (max=2.0=20/10)	-		+				-		+				-		+
MD (db)	-			-			-						-		
PSD (db)														-	-
VFI (%)															-
UFOV (%)															
MMD (cm)														-	
LSFB (cm)														-	
SOL															
ST (times)									-						
RT (sec.)															
Num. of leg	-	-			-	-			-						+
Acute_dummy (acute=1)			+	+				+		+				+	+
Obtuse_dummy (obtuse=1)			+												-
Speed_at before slowdown (km/h)			-	-			-	-							
Ped. left to right dummy (ped.=1)									-				+		+
Ped. right to left dummy (ped.=1)	-				-	-	-		-	-				-	-
Num. of veh. (left to right)														+	+
Num. of veh. (right to left)	-		+						-						

※+:当該値の上昇とともに AV が有意($p<.05$)に上昇, -:当該値の上昇とともに AV が有意($p<.05$)に低下

4. 2. 脳活動

標準得点を区間別に加算平均値を算出し、区間別の脳血流反応を算出した。結果を図3に示す。単路走行時（区間①）が最も脳血流反応の変動が多く、停止確認後発進時の区間③-1が最も脳血流反応の変動が少ない。クラスカル=ウォリス検定と多重比較（シャリー=ウィリアムズ）を行い、各区間同士に有意な差があるかを確認した結果、すべての区間において脳血流反応の平均値に有意な差があった。また、区間①が他の区間と比べて有意に脳血流反応の値が高く、区間③-2が区間③-1、区間②-2が区間②-1に比べて有意に値が小さいことが示された。

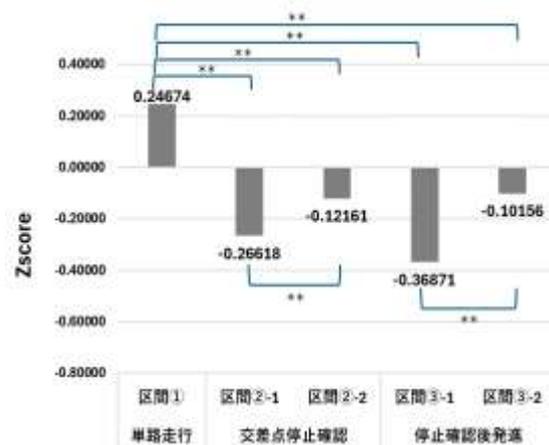


図3 区間別脳活動（脳活動）

次に、年齢との関係性を明らかにするため、区間別の脳血流反応の値を高年齢者群（n=13）と非高年齢者群（n=20）に分け、区間別に群ごとの平均値を算出した。結果を図4に示す。単路走行時は年齢の影響はなく高年齢者群も非高年齢者群も脳活動量が高い。一方、脳活動量が低下している「交差点停止確認時」においては、左右確認区間（区間②-2）において高年齢者の脳活動量が大きく、「停止確認後発進時」における単路走行区間（区間③-2）では非高年齢者の脳活動量が高いことが示された。

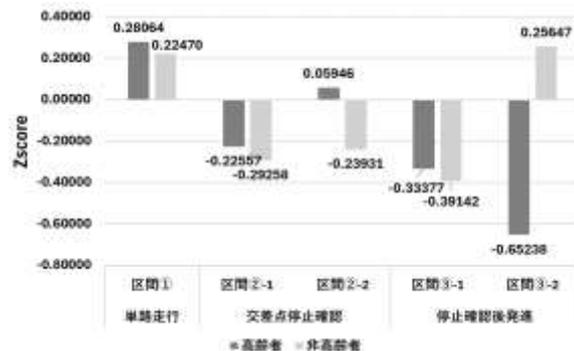


図4 年齢別区間別脳活動（脳活動）

以上より、高年齢者は左右確認時に脳活動量は高まるものの、交差点を通過し終わった後であっても脳活動量が低下したままになり、交差点付近での飛び出しや突発的な事象に対する注意が散漫になっている可能性があるといった知見を得ることができた。

4. 3. さいごに

身体機能と空間探索及び脳活動の成果を通じて、高年齢運転者は、特に鋭角といった変形交差点において、他の年代では増加する交差点進入後の空間探索が減少し、注意そのものの意識が低くなるということが確認された。本成果により、今後の高年齢運転者の無信号交差点における出会い頭事故対策を考える上で、特に注目すべき交差点形状や、通過時のポイントを特定できたと考える。これらの特徴を踏まえた高年齢運転者に対する安全運転支援技術の開発や、GPSを利用した経路提供の開発は、一定程度有益であると考えられる。

本研究はあくまで限定的な条件下で実施されたものであり、その限界を踏まえた成果の利活用にかかる判断が求められる。成果の一般化に向けては、被験者や対象空間のさらなる多様化など、実験規模の拡大が不可欠である。また、本研究はHMDやVRで再現された仮想空間での実験であり、今後、安全性が確保された実空間での追試を試みる意義は大きいものとする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Mimura Yasuhiro, Higuchi Keiichi, Tomura Ryo, Yoshida Shinji	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of physical functional characteristics of older drivers on spatial cognition at unsignalized intersections	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Asian Transport Studies	6. 最初と最後の頁 100140 ~ 100140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.eastsj.2024.100140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 三村泰広
2. 発表標題 Effects of Physical Functional Characteristics of Older Drivers on Spatial Cognition at Unsignalized Intersections
3. 学会等名 Eastern Asia Society for Transportation Studies（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤純
2. 発表標題 カラー舗装走行時の脳活動に関する基礎的研究
3. 学会等名 交通工学研究会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
連携研究者	樋口 恵一 (Higuchi Keiichi) (80631035)	大同大学・建築学部・准教授 (33907)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	伊藤 僚 (Ito Ryo) (60611118)	大同大学・情報学部・准教授 (33907)	
連携研究者	山岸 未沙子 (Yamagishi Misako) (50552022)	公益財団法人豊田都市交通研究所・研究部・主席研究員 (83909)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関