

# 博士論文（要約）

横断歩行者に対する認知エラーに繋がる  
交差点右折中の運転行動に関する研究

吉武 宏



# 目次

第1章	序論	13
1.1	交通事故の発生状況	15
1.2	人对車両事故の発生状況	18
1.3	人对車両事故対策の現状	23
1.4	本研究の着目点	25
1.5	従来研究	27
1.6	本研究の目的	29
1.7	本論文の構成	32
第2章	交差点右折時の対歩行者事故の特徴	35
2.1	はじめに	37
2.2	事故特徴の分析方針	37
2.3	マクロデータによる特徴分析	38
2.3.1	分析対象	38
2.3.2	分析結果	38
2.4	ヒヤリハットデータによる特徴分析	43
2.4.1	分析対象	43
2.4.2	分析結果	44
2.5	対象とする交差点右折環境	49
2.6	本章のまとめ	51
第3章	単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説構築	53
3.1	はじめに	55
3.2	単独走行右折シーンの特徴	55
3.2.1	分析方針	55
3.2.2	分析結果	57
3.3	横断歩行者に対する認知エラーに至るパターン	63

---

3.4	交差点右折中のドライバの視行動の特性 . . . . .	65
3.4.1	ドライバの旋回時の注視 . . . . .	65
3.4.2	ドライバの注意配分 . . . . .	65
3.5	認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説構築 . . . . .	70
3.5.1	認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説 . . . . .	70
3.5.2	運転行動特徴を反映する運転行動指標 . . . . .	72
3.6	本章のまとめ . . . . .	77
<b>第4章</b>	<b>単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証</b>	<b>79</b>
4.1	はじめに . . . . .	81
4.2	方針 . . . . .	81
4.2.1	認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証 . . . . .	81
4.2.2	歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響評価 . . . . .	85
4.3	認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証 (実験 A) . . . . .	86
4.3.1	実験概要 . . . . .	86
4.3.2	実験結果 . . . . .	97
4.3.3	考察 . . . . .	107
4.4	歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響 (実験 B) . . . . .	110
4.4.1	実験概要 . . . . .	110
4.4.2	実験結果 . . . . .	117
4.4.3	考察 . . . . .	120
4.5	本章のまとめ . . . . .	123
<b>第5章</b>	<b>認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づく運転行動変化による衝突リスク低減</b>	<b>125</b>
5.1	はじめに . . . . .	127
5.2	運転行動を変化させる操作介入手法 . . . . .	127
5.3	評価方法 . . . . .	130
5.3.1	評価対象データ . . . . .	130
5.3.2	衝突リスク指標 . . . . .	131
5.3.3	シミュレーション条件 . . . . .	132
5.4	運転行動変化が衝突リスクに及ぼす影響 (実験 C) . . . . .	136
5.4.1	実験概要 . . . . .	136
5.4.2	実験結果 . . . . .	140

---

5.4.3	考察 . . . . .	153
5.5	本章のまとめ . . . . .	157
<b>第 6 章</b>	<b>交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響</b>	<b>159</b>
6.1	はじめに . . . . .	161
6.2	評価対象と評価方針 . . . . .	161
6.3	単独走行右折シーンとは異なる運転シーンの運転行動特徴 . . . . .	163
6.3.1	対向直進車が存在する対向車間右折シーン . . . . .	163
6.3.2	先行右折車が存在する先行車追従右折シーン . . . . .	165
6.4	対向直進車の影響 (実験 D) . . . . .	168
6.4.1	実験概要 . . . . .	168
6.4.2	実験結果 . . . . .	173
6.4.3	考察 . . . . .	178
6.5	先行右折車の影響 (実験 E) . . . . .	180
6.5.1	実験概要 . . . . .	180
6.5.2	実験結果 . . . . .	186
6.5.3	考察 . . . . .	192
6.6	交差点車道幅の影響 (実験 F) . . . . .	196
6.6.1	実験概要 . . . . .	196
6.6.2	実験結果 . . . . .	202
6.6.3	考察 . . . . .	207
6.7	交通環境が及ぼす影響のまとめ . . . . .	209
6.8	本章のまとめ . . . . .	211
<b>第 7 章</b>	<b>認知エラーに繋がる運転行動特徴の実環境における評価</b>	<b>213</b>
7.1	はじめに . . . . .	215
7.2	評価方法 . . . . .	215
7.2.1	評価対象データ . . . . .	215
7.2.2	運転行動指標の算出方法 . . . . .	216
7.3	評価結果 . . . . .	222
7.4	考察 . . . . .	224
7.5	運転行動特徴の適用範囲 . . . . .	227
7.6	本章のまとめ . . . . .	228
<b>第 8 章</b>	<b>結論</b>	<b>229</b>

---

8.1	本論文の結論 . . . . .	231
8.2	今後の課題 . . . . .	233
8.3	今後の展望 . . . . .	234
	参考文献	235
	謝辞	249
付録 A	ドライバの意識・特性が運転行動に及ぼす影響	253
A.1	評価対象データ . . . . .	255
A.2	評価方法 . . . . .	258
A.3	評価結果 . . . . .	259
付録 B	ドライバに合わせた余裕のある対向車間ギャップの設定方法	261
B.1	設定方法 . . . . .	263
B.2	設定結果 . . . . .	264
付録 C	公道における交差点右折データの収集実験 (実験 G)	265
C.1	実験方法 . . . . .	267
C.2	運転シーンの抽出条件と分析区間 . . . . .	273
C.3	実験結果 . . . . .	274
付録 D	運転行動特徴に基づく衝突リスク評価タイミングの検討	281
D.1	検討方法 . . . . .	283
D.2	検討結果 . . . . .	285
D.3	考察 . . . . .	288

## 目次

1.1	Transition of traffic accidents . . . . .	16
1.2	Proportion of accident pattern (Traffic accidents, 2016) . . . . .	16
1.3	Proportion of accident pattern (Fatal accidents, 2016) . . . . .	17
1.4	Proportion of age group (Fatalities while walking, 2016) . . . . .	17
1.5	Relation between road shape and behavior pattern (Fatal accidents, 2012–2016)	19
1.6	Relation between road shape and behavior pattern (Severe injury accidents, 2012–2016) . . . . .	20
1.7	Relation between road shape and behavior pattern (Slight injury accidents, 2012–2016) . . . . .	20
1.8	Proportion of accident type (2012–2016) . . . . .	21
1.9	Proportion of pedestrian behavior (Fatal accidents, 2012–2016) . . . . .	21
1.10	Relation between behavior pattern and pedestrian behavior (Low-speed fatal accidents, 2012–2016) . . . . .	22
1.11	Relation between behavior pattern and pedestrian behavior (Mid-high-speed fatal accidents, 2012–2016) . . . . .	22
1.12	Occurrence process of vehicle-pedestrian accident and barriers . . . . .	26
1.13	A simplified task analysis model of driver behavior . . . . .	31
2.1	Proportion of signalized and non-signalized intersection (2012–2016) . . . . .	39
2.2	Proportion of entrance road widths of intersection (2012–2016) . . . . .	39
2.3	Proportion of pedestrians' crossing direction (2012–2016) . . . . .	41
2.4	Proportion of vehicles' collision part (2012–2016) . . . . .	41
2.5	Relation between pedestrians' crossing direction and vehicles' collision part (Fatal accidents, 2012–2016) . . . . .	42
2.6	Relation between entrance road width of intersection and vehicles' collision part (Fatal accidents, 2012–2016) . . . . .	42

2.7	Camera image sample of TUAT near-miss incident database . . . . .	43
2.8	Frequency distribution and proportion of typical scene . . . . .	44
2.9	Overview of typical scenes . . . . .	47
2.10	Overview of target right-turn intersection environment . . . . .	50
3.1	Definition of gaze target areas . . . . .	56
3.2	Near-miss incident example of TS1-1 scene with L type pedestrian (Incident ID: 261307) . . . . .	58
3.3	Frequency distribution of speed transition type (TS1-1, L type pedestrian) . . . . .	59
3.4	Face direction transition example of TS1-1 scene (Incident ID: 261307) . . . . .	61
3.5	<i>GDR</i> of each gaze target (TS1-1, L type pedestrian) . . . . .	61
3.6	Frequency distribution of pedestrian crossing start timing (TS1-1, L type pedestrian) . . . . .	62
3.7	Model scene for recognition error pattern investigation . . . . .	64
3.8	A two-dimensional framework for the role of attention in driving . . . . .	67
3.9	The four components of the SEEV model . . . . .	67
3.10	Concept model of top-down attention allocation in cruising right-turn scene . . . . .	69
3.11	Angle between crosswalk and drivers' gaze direction . . . . .	71
3.12	Relation between curvature of trajectory and drivers' gaze direction . . . . .	73
3.13	Setting of right-turn vehicle trajectory and representative point of crosswalk for investigation . . . . .	74
3.14	Transition of angle between gaze direction and crosswalk . . . . .	75
3.15	Relation between $R$ of vehicle trajectory and average angle between gaze direction and crosswalk . . . . .	75
3.16	Model scene for $\varphi_{cl}$ definition . . . . .	76
4.1	Definition of gaze direction angle ( <i>GDA</i> ) . . . . .	83
4.2	Model scene for $TTC_{brake}$ definition . . . . .	84
4.3	Appearance of JARI-ARV . . . . .	87
4.4	View from inside JARI-ARV . . . . .	87
4.5	System outline of JARI-ARV . . . . .	88
4.6	CG objects superimposed on real outer view . . . . .	88
4.7	Overview of test course (Exp. A) . . . . .	90
4.8	Appearance of target intersection (Exp. A) . . . . .	91



4.9	Dimension of target intersection . . . . .	91
4.10	Overview of test scenario (Exp. A) . . . . .	93
4.11	Post-experiment questionnaire . . . . .	95
4.12	Degree of anticipation about crossing pedestrian appearance . . . . .	97
4.13	$TTC_{brake}$ result of each participant (Exp. A) . . . . .	98
4.14	Relation between $TTC_{brake}$ and maximum braking deceleration (Exp. A) . . . . .	100
4.15	Relation between $V_{avg}$ and $MT$ (NS scenario) . . . . .	102
4.16	Definition of areas on displays of JARI-ARV for $GDA$ computation . . . . .	102
4.17	Relation between $GDA_{avg}$ (Last NS scenario before RS scenario) and $LT$ (RS scenario) . . . . .	103
4.18	Relation between $V_{cl}$ and $V_{avg}$ (NS scenario) . . . . .	104
4.19	Relation between $\varphi_{cl}$ and $GDA_{avg}$ (NS scenario) . . . . .	104
4.20	Relation between $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ in three risk levels classified with $TTC_{brake}$ . . . . .	105
4.21	Relation between $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ with discriminant line (Exp. A) . . . . .	106
4.22	Relation between $\varphi_{cl}$ and $\kappa_{avg}$ (NS scenario) . . . . .	107
4.23	Relation between $\varphi_{cl}$ and $TTC_{brake}$ . . . . .	109
4.24	Relation between $V_{cl}$ and $TTC_{brake}$ . . . . .	109
4.25	Appearance of driving simulator . . . . .	111
4.26	Configuration of driving simulator . . . . .	111
4.27	Overview of test course (Exp. B) . . . . .	113
4.28	Appearance of target intersection (Exp. B) . . . . .	113
4.29	Post-driving questionnaire . . . . .	116
4.30	Comparison of $GDA_{avg}$ between RT05–RT08 and RT09–RT12 . . . . .	119
4.31	Comparison of $GDR_{td}$ between RT05–RT08 and RT09–RT12 . . . . .	119
4.32	Comparison of $GDR_{cw}$ between RT05–RT08 and RT09–RT12 . . . . .	119
4.33	Comparison of $RT_{spot}$ between RT08 and RT12 . . . . .	120
4.34	Comparison of $V_{cl}$ between RT05–RT08 and RT09–RT12 . . . . .	122
4.35	Comparison of $\varphi_{cl}$ between RT05–RT08 and RT09–RT12 . . . . .	122
5.1	Walking route conditions of crossing pedestrian . . . . .	133
5.2	Definition of parameters for crossing-pedestrian-spot decision . . . . .	135
5.3	Comparison of $V_{cl}$ distribution between Exp. A and Exp. C . . . . .	140
5.4	Comparison of $\varphi_{cl}$ between OI1 and OI2 . . . . .	141
5.5	Comparison of $V_{cl}$ between OI1 and OI3 . . . . .	141

5.6	Comparison of average $RBR$ between OI1 and OI2 . . . . .	143
5.7	Comparison of $D_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI2 (C01) .	143
5.8	Comparison of $D_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI2 (C02) .	144
5.9	Comparison of $D_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI2 (C03) .	144
5.10	Comparison of $D_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI2 (C06) .	145
5.11	Comparison of $D_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI2 (C07) .	145
5.12	Comparison of average $POR$ between OI1 and OI2 . . . . .	146
5.13	Comparison of average $RBR$ between OI1 and OI3 . . . . .	147
5.14	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C03) .	148
5.15	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C04) .	148
5.16	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C05) .	149
5.17	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C06) .	149
5.18	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C09) .	150
5.19	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C11) .	150
5.20	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C13) .	151
5.21	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C14) .	151
5.22	Comparison of $V_{spot}$ accumulative distribution between OI1 and OI3 (C15) .	152
5.23	Comparison of average $POR$ between OI1 and OI3 . . . . .	152
5.24	Comparison of $RBR$ of OI2 condition (C02) . . . . .	153
5.25	Comparison of speed transition of OI2 condition (C02) . . . . .	154
5.26	Comparison of average $GDR_{cw}$ between OI1 and OI3 . . . . .	155
5.27	Difference of average $GDR_{cw}$ between OI1 and OI3 . . . . .	155
6.1	Frequency distribution of last confirmation timing towards oncoming lane direction . . . . .	164
6.2	Model scene for $ET^{-1}$ definition . . . . .	164
6.3	$GDR$ of each gaze target (TS2-1) . . . . .	166
6.4	Frequency distribution of $THW$ between preceding vehicle . . . . .	166
6.5	Model scene for $THW_{pv}^{-1}$ definition . . . . .	167
6.6	Overview of test scenario (Exp. D) . . . . .	171
6.7	$TTC_{brake}$ result of each participant (Exp. D) . . . . .	175
6.8	Relation between $TTC_{brake}$ and maximum braking deceleration (Exp. D) . .	175
6.9	Relation between $TTC_{brake}$ and $ET^{-1}$ . . . . .	177
6.10	Relation between $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ with discriminant line (Exp. D) . . . . .	177

6.11	$ET^{-1}$ result of each participant . . . . .	178
6.12	$LT$ result of each participant (Exp. D) . . . . .	179
6.13	Overview of test course (Exp. E) . . . . .	182
6.14	Appearance of target intersection (Exp. E) . . . . .	182
6.15	Overview of test scenario (Exp. E) . . . . .	184
6.16	$TTC_{brake}$ result of each participant (Exp. E) . . . . .	188
6.17	Relation between $TTC_{brake}$ and maximum braking deceleration (Exp. E) . . .	188
6.18	Relation between $GDR_{pv}$ and $TTC_{brake}$ . . . . .	190
6.19	Relation between $THW_{pv}^{-1}$ and $TTC_{brake}$ . . . . .	190
6.20	Relation between $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ with discriminant line (Exp. E) . . . . .	191
6.21	$GDR_{pv}$ result of each participant . . . . .	191
6.22	$LT$ result of each participant (Exp. E) . . . . .	192
6.23	Series of events from pedestrian appearance to braking against pedestrian (E05)	193
6.24	Relation between $\varphi_{cl}$ and $LT$ (Exp. A) . . . . .	195
6.25	Relation between $\varphi_{cl}$ and $LT$ (Exp. E) . . . . .	195
6.26	Appearance of right-turn intersections (Exp. F) . . . . .	198
6.27	Overview of right-turn intersections . . . . .	199
6.28	Overview of test course (Exp. F) . . . . .	200
6.29	Relation between average $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ of each road width condition (NS scenario)	202
6.30	$TTC_{brake}$ result of each participant (Exp. F) . . . . .	203
6.31	Relation between $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ (Exp. F) . . . . .	206
6.32	Sample scene with a pedestrian appearing from behind A-pillar blind spot . .	208
6.33	Vehicle position where pedestrians become visible from A-pillar blind spot .	209
7.1	Distance measurement tool of TUAT near-miss incident database . . . . .	217
7.2	Example of reference points selected for position and direction estimation (Incident ID: 261307) . . . . .	218
7.3	Example of estimated position and direction of host vehicle (Incident ID: 261307) . . . . .	220
7.4	Relationship between $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ (TS1-1, L type pedestrian) . . . . .	223
7.5	Proportion of speed transition between center line pass to brake start . . . . .	225
7.6	Combination of average $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ of different road width intersections (TS1-1)	226
7.7	Pedestrian under shade with low visibility (Incident ID: 314945) . . . . .	228

---

A.1 Driving Style Questionnaire (DSQ) . . . . .	256
A.2 Driving Behavior Questionnaire (DBQ) . . . . .	257
A.3 DSQ result of each participant . . . . .	259
A.4 DBQ result of each participant . . . . .	259
B.1 Overview of gap measurement scenario . . . . .	263
C.1 Appearance of test vehicle (Honda Civic) . . . . .	267
C.2 Overview of test course (Exp. G) . . . . .	268
C.3 Appearance of right-turn intersections (Exp. G) . . . . .	269
C.4 Gaze behavior recorder (Tobii Pro Glasses 2) . . . . .	272
C.5 Recorded image sample of drive recorder . . . . .	272
C.6 Comparison of speed choice behavior between different intersection entrance road widths . . . . .	276
C.7 Comparison of speed choice behavior between different intersection exit road widths . . . . .	276
C.8 Relation between preceding vehicle's speed and driver's behavior selection . .	278
C.9 Relation between preceding vehicle's start acceleration and driver's behavior selection . . . . .	278
C.10 Relation between $GDR_{pv}$ and preceding vehicle's behavior . . . . .	279
D.1 Estimation events of driving behavior indices before center-line pass . . . . .	284
D.2 $R_{adj}^2$ of multiple linear regression equations for driving behavior indices based on driving behavior of estimation events . . . . .	286
D.3 Relation between $\varphi_{cl}$ and $V_{cl}$ estimated based on driving behavior of SS event with discriminant line . . . . .	287
D.4 Estimation of $V_{sl}$ and $V_{cl}$ based on driving behavior of BS event . . . . .	289

## 表目次

4.1	Detail of participants (Exp. A)	89
4.2	Test procedure (Exp. A)	94
4.3	Measured items (Exp. A)	96
4.4	Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. A)	99
4.5	Regression results for $TTC_{brake}$ (Exp. A)	106
4.6	Collision risk range represented by each driving behavior index	108
4.7	Detail of participants (Exp. B)	112
4.8	Test procedure (Exp. B)	114
4.9	Measured items (Exp. B)	115
4.10	Post-driving questionnaire result	117
5.1	Vehicle dimension parameters	131
5.2	Simulation conditions of crossing pedestrian	132
5.3	Fixed parameters for crossing-pedestrian-spot decision	135
5.4	Detail of participants (Exp. C)	137
5.5	Operation intervention conditions	138
5.6	Order of operation intervention condition	139
5.7	Measured items (Exp. C)	139
6.1	Detail of participants (Exp. D)	169
6.2	Test procedure (Exp. D)	172
6.3	Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. D)	174
6.4	Discrimination result of high- and low-risk driving behavior (Exp. D)	176
6.5	Detail of participants (Exp. E)	181
6.6	Start acceleration condition of preceding vehicle	183
6.7	Test procedure (Exp. E)	185
6.8	Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. E)	187

---

6.9	Discrimination result of high- and low-risk driving behavior (Exp. E)	190
6.10	Detail of participants (Exp. F)	197
6.11	Road width conditions	198
6.12	Test procedure (Exp. F)	201
6.13	Significant test result between different road width conditions	202
6.14	Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. F)	204
6.15	Discrimination result of high- and low-risk driving behavior (Exp. F)	205
7.1	Regression results for $TTC_{brake}$ (TS1-1, L type pedestrian)	223
A.1	List of driver attitude and characteristic indices	258
A.2	Correlation between driving behavior and driver attitude/characteristic	260
B.1	Gap measurement result and set $T_{gap}$	264
C.1	Property of right-turn intersections	270
C.2	Detail of participants (Exp. G)	270
C.3	Measured items (Exp. G)	271
C.4	Detail of collected data	274
D.1	Property of multiple linear regression equations for driving behavior indices based on driving behavior of estimation events	286

# 第 1 章

## 序論





## 1.1 交通事故の発生状況

日本における交通事故は、平成 28 年中に 49 万件以上発生しており、それらの事故における死傷者数は 62 万人以上である<sup>[1]</sup>。事故発生件数および死傷者数は年々減少しているが、依然として高い水準にある。これまでの交通事故死者数の推移<sup>[2]</sup>を見ると(図 1.1)、1970 年をピークに減少している。このような死者数の減少は、交通安全が社会問題と認識され、国を挙げて交通安全対策が進められたことと、衝突時のドライバーへの衝撃を軽減する SRS エアバックや車体で衝撃を吸収する衝撃吸収ボディ等の衝突安全技術の普及による効果が大いと考えられる。そして、平成 28 年にはピーク時の 4 分の 1 以下となり、1949 年以来 67 年ぶりに 4,000 人を下回って 3,904 人であった。交通事故死者数は近年減少傾向にあるが、第 10 次交通安全基本計画<sup>[3]</sup>では、より一層の死者数の減少に取り組むことが示されており、2020 年までに 24 時間死者数を 2,500 人以下とする具体的な数値目標が掲げられている。この目標を達成するためには、交通死亡事故の発生を防止できる対策がさらに必要である。

交通事故発生件数を事故類型別に見ると(図 1.2)、平成 28 年では追突事故(184,567 件、構成率 37.0%)が最多であり、出会い頭事故(120,679 件、構成率 24.2%)と人対車両事故(51,551 件、構成率 10.3%)が続いている<sup>[1]</sup>。一方で、交通死亡事故件数を事故類型別に見ると(図 1.3)、平成 28 年では交通事故発生件数と傾向が異なり、人対車両事故(1,303 件、構成率 34.4%)が最多であった<sup>[4]</sup>。交通事故全体における死亡事故率が 0.76%であるのに対して、人対車両事故については 2.52%と約 3.3 倍であり、事故が発生した際に、死亡事故に繋がりやすいことがわかる。また、歩行中死者の年齢層別割合を見ると(図 1.4)、65 歳以上の高齢者の割合が 74%を占めている<sup>[4]</sup>。今後も高齢者人口および高齢化率が増大すると推計されており<sup>[5]</sup>、更なる歩行中の事故による死者数の増加が予想される。以上のことを踏まえ、日本国内の交通死亡事故の発生件数を削減するためには人対車両事故への対策が重要であると言える。

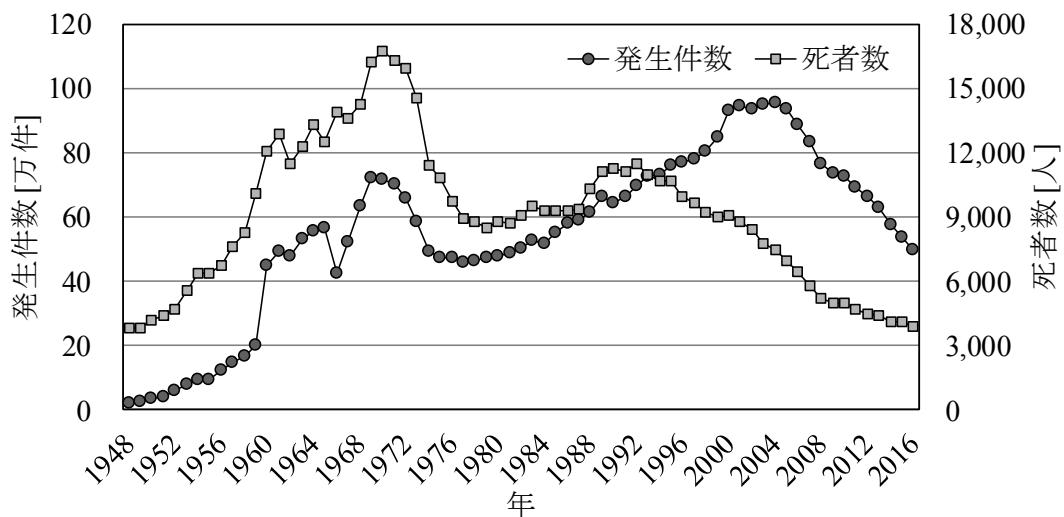


Fig. 1.1 Transition of traffic accidents

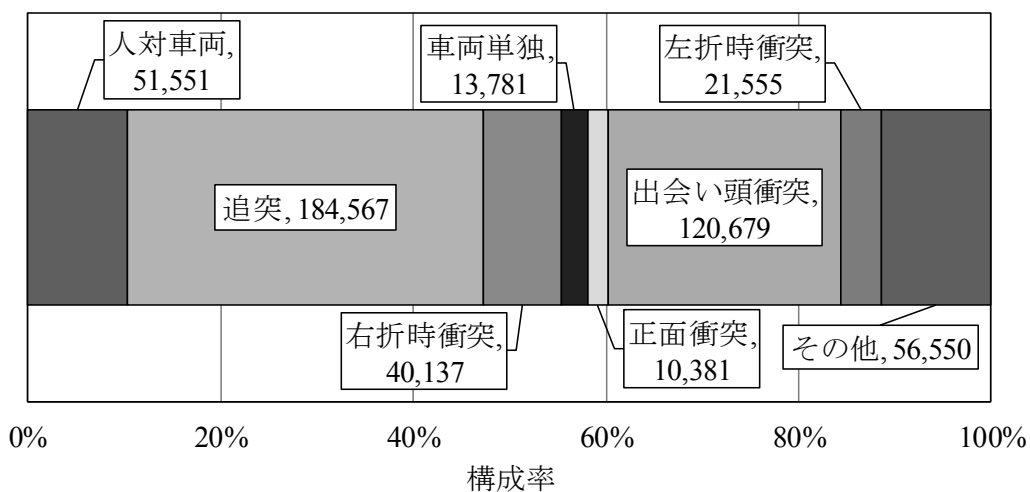


Fig. 1.2 Proportion of accident pattern (Traffic accidents, 2016)

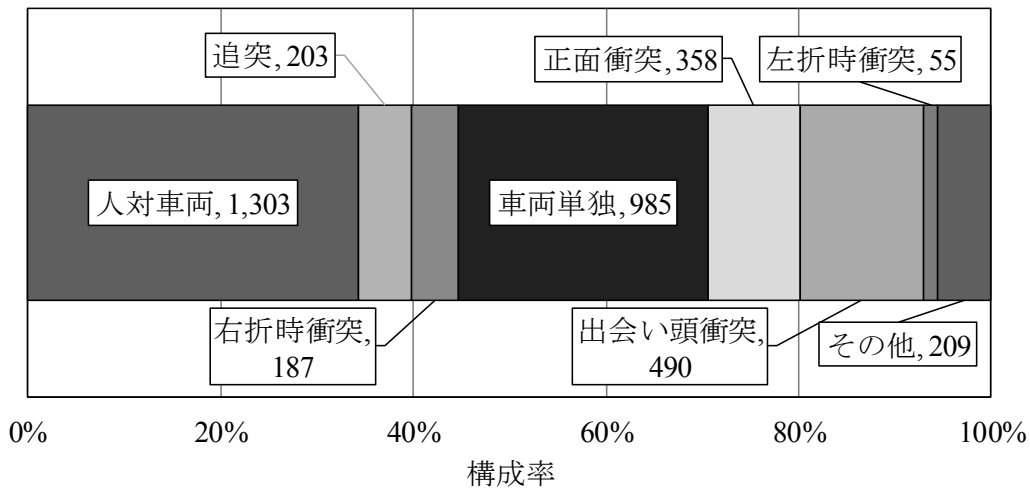


Fig. 1.3 Proportion of accident pattern (Fatal accidents, 2016)

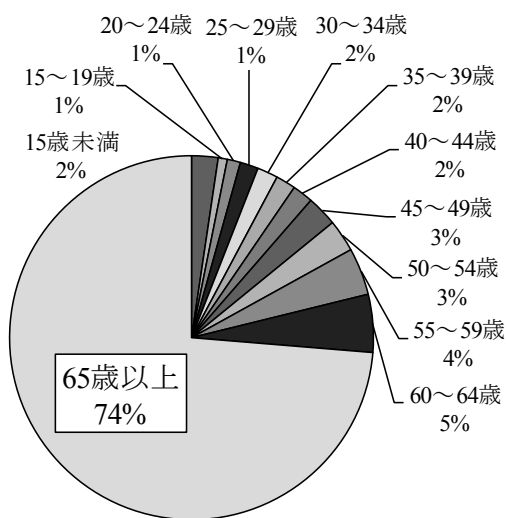


Fig. 1.4 Proportion of age group (Fatalities while walking, 2016)

## 1.2 人対車両事故の発生状況

死亡事故率の高い人対車両事故の発生状況を把握するため、交通事故統計データ(以下、マクロデータ)を用いて、道路形状や行動類型等の特徴について調査した。対象としたマクロデータの抽出条件を以下に示す。下記条件に該当する死亡事故 4,440 件、重傷事故 30,617 件、軽傷事故 161,643 件を対象として調査を行った。

### 人対車両事故マクロデータの抽出条件

1. 集計年：平成 24 年–平成 28 年(5 カ年)
2. 事故内容：死亡，重傷，軽傷
3. 事故類型：人対車両
4. 当事者種別(1 当)：乗用車–普通車，乗用車–軽自動車

人対車両事故が発生した際の状況を把握するため、道路形状と行動類型(1 当)について集計した(図 1.5–1.7)。死亡事故(図 1.5)および重傷事故(図 1.6)では単路直進(直線単路×直進，カーブ単路×直進)の構成率がそれぞれ約 43%と約 31%で最高であり，軽傷事故(図 1.7)では交差点右折(信号交差点×右折，無信号交差点×右折，交差点付近×右折)の構成率が約 34%で最高であり，単路直進においては重傷度の高い事故が発生しやすく，交差点右折では軽傷事故を含めた事故自体が発生しやすいことがわかる。各事故程度における集計を見ると，「単路直進」，「交差点直進」，「交差点右折」が主要な事故形態であり，死亡事故においてこれら三つの事故形態で全体の 90%以上を占めている(図 1.8)。

死亡事故における主要な事故形態の歩行者行動について集計した(図 1.9)。単路直進および交差点直進は事故が発生した道路形状は異なるが，歩行者行動としてともに「横断中–その他」の構成率が最高であり，横断歩道以外の場所を横断中の歩行者への衝突が多かった。これに対して交差点右折では，「横断中–横断歩道」の構成率が最高であり，歩行者が存在することが予想できる横断歩道上の歩行者との衝突が多かった。

単路直進と交差点直進が類似した傾向であることから，「直進」と「右折」の行動類型に注目し，これらの事故形態がどのような速度帯で発生しているかを把握するため，行動類型(1 当)と危険認知速度(1 当)との関係について集計した。公益財団法人交通事故総合分析センター(以下，ITARDA)の集計<sup>[6]</sup>を参考にし，歩行者死亡事故の危険認知速度が 20 km/h 以下である事故を「低速死亡事故」，危険認知速度が 31 km/h 以上で 60 km/h 以下である事故を「中高速死亡事故」と分類し，それぞれの事故における行動類型(1 当)と事故類型(歩行者行動)について集計した(図 1.10–1.11)。中高速死亡事

故では横断歩行者に対する直進事故の割合 (73.9%) が最高であったのに対して、低速死亡事故では横断歩行者に対する右折事故の割合 (35.1%) が最高であった。田久保<sup>[7]</sup>によると人対車両事故全体の人的要因の約 78%以上が「発見の遅れ」であり、さらに萩田ら<sup>[8]</sup>によると交差点右折時について見ると「発見の遅れ」の割合が9割以上を占める。このことより、右折事故では横断している歩行者への発見の遅れが速度の低い状態でも発生し、横断歩行者との衝突が発生していることから、衝突対象である歩行者が車両の近くに来るまでドライバは発見できていなかったと推察できる。

交差点右折時の対歩行者事故は、人対車両事故の主要な事故形態であり、その発生件数は人対車両事故全体において最も高い構成率を占めている。さらに、交差点を通過する行動は複雑なタスクであり<sup>[9]</sup>、右折する行動はワークロードが高く<sup>[10]</sup>、安全確認のエラーが多い<sup>[11]</sup>ことが言われており、ドライバにとって運転の難易度が高く、事故の対策が必要な事故形態である。そこで本研究では、交差点右折時の人対車両事故を対象とする。

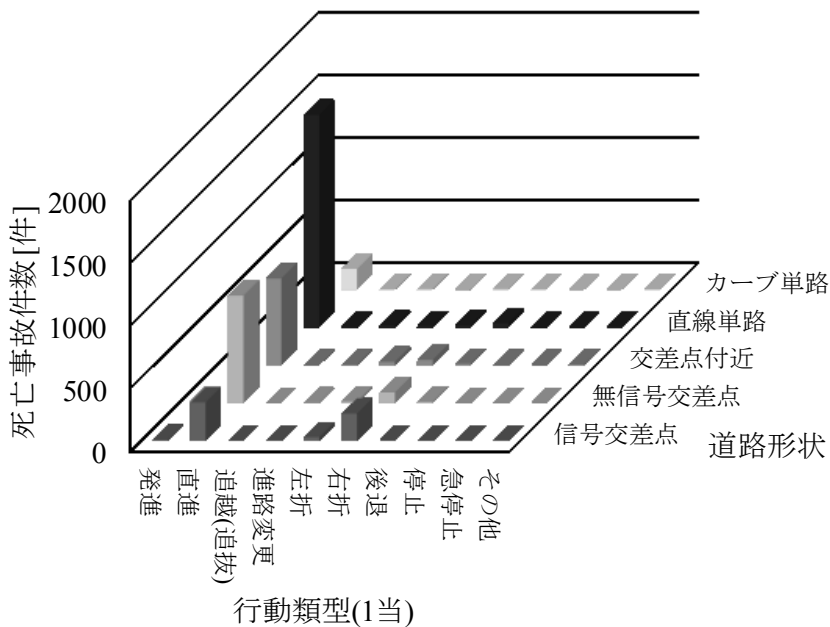


Fig. 1.5 Relation between road shape and behavior pattern (Fatal accidents, 2012–2016)

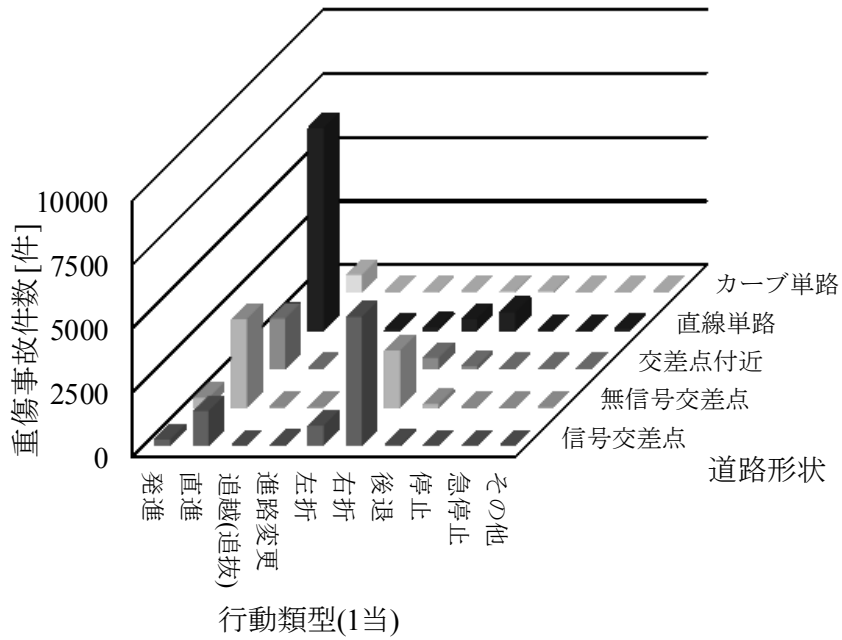


Fig. 1.6 Relation between road shape and behavior pattern (Severe injury accidents, 2012–2016)

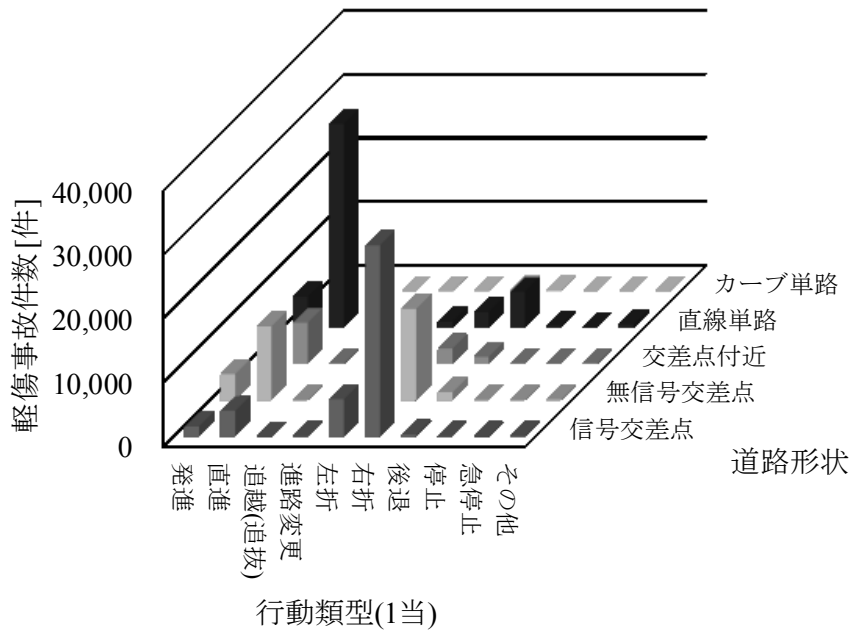


Fig. 1.7 Relation between road shape and behavior pattern (Slight injury accidents, 2012–2016)

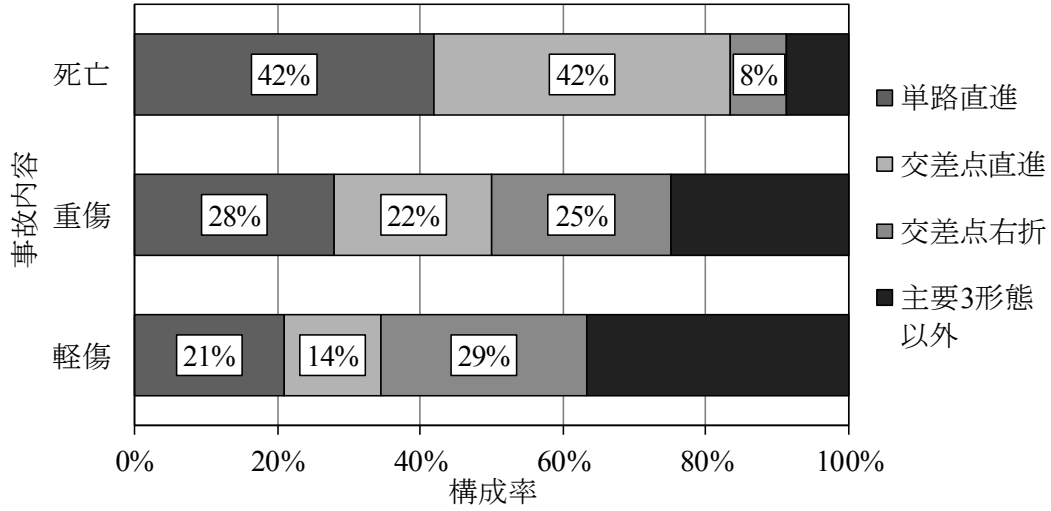


Fig. 1.8 Proportion of accident type (2012–2016)

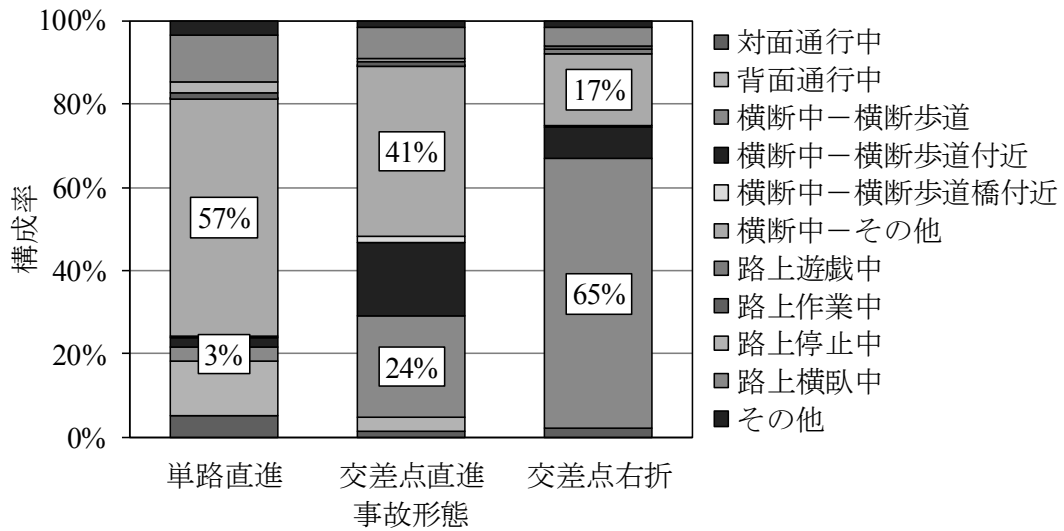


Fig. 1.9 Proportion of pedestrian behavior (Fatal accidents, 2012–2016)

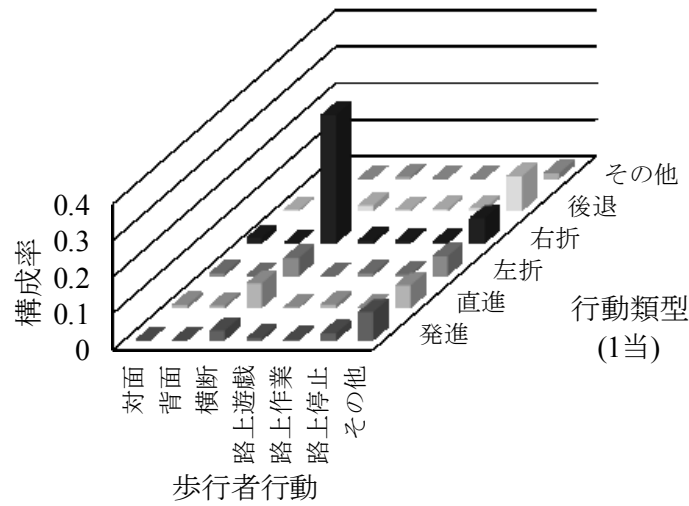


Fig. 1.10 Relation between behavior pattern and pedestrian behavior (Low-speed fatal accidents, 2012–2016)

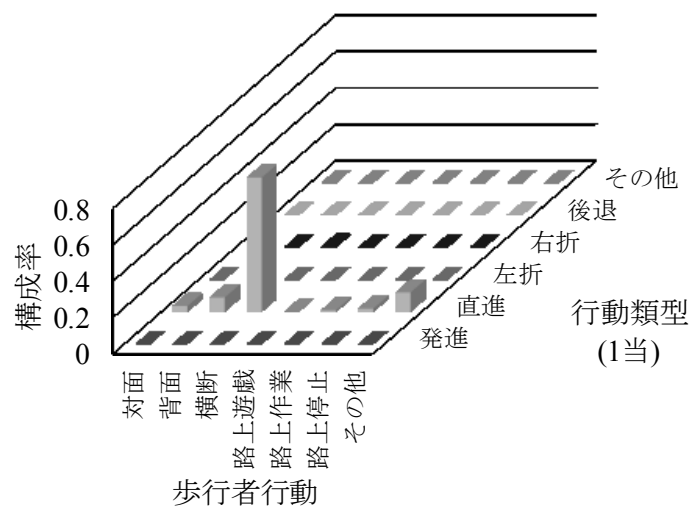


Fig. 1.11 Relation between behavior pattern and pedestrian behavior (Mid-high-speed fatal accidents, 2012–2016)



## 1.3 人対車両事故対策の現状

交差点右折時を含む歩行者と遭遇する場面における歩行者と車両の衝突事故を防ぐため、「環境」・「ドライバ」・「車両」の各方面から対策が行われている。「環境」へのアプローチとしては、自動車と歩行者の交通を分離するために既存信号交差点への歩車分離信号の設置や歩行者の視認性を高めるための見通しの改善等が挙げられる。これらの対策を実施するためには工事費等のコストが掛かるとともに、歩車分離信号に関しては既存の状態と比較して自動車や歩行者の待ち時間を増大させないように配慮する必要がある<sup>[12]</sup>等、全ての環境に適用出来るとは限らない。「ドライバ」へのアプローチとしては、ドライバへの歩行者に関する情報提供・注意喚起等が、「車両」へのアプローチとしては、歩行者に対する衝突被害軽減ブレーキ (AEB: Automatic Emergency Brake) 等が挙げられる。

衝突する可能性のある歩行者に関する警報機能と AEB 機能を有する予防安全システムは、日本および海外の各自動車メーカーで開発され、既に商品として市場に投入されている<sup>[13]-[19]</sup>。これらのシステムにおける歩行者検出は主にカメラが用いられているが、単眼カメラ<sup>[20][21]</sup> やステレオカメラ<sup>[22][23]</sup>、赤外線カメラ<sup>[24]</sup> 等、様々な種類のカメラから取得した画像に基づく歩行者の検出の研究が行われている。そして、歩行者の認識性能を改善するために様々な検出手法の改善も進められている<sup>[25][26]</sup>。この他にも歩行者検出にはレーザスキャナ<sup>[27][28]</sup> やレーダセンサ<sup>[29]</sup> 等が用いられており、カメラとレーザスキャナをフュージョンさせて歩行者を検出するシステム<sup>[30][31]</sup> もある。

既に市場に出ているシステムの多くは、歩行者を検出するセンサが車両に搭載されている自律型のシステムであるが、歩行者を検出するセンサの検出範囲と検出時間に問題があると指摘されている。センサが車両に搭載されているため、交差点や駐車車両で出来た死角に隠れて不可視な歩行者を検出できなかつたり、歩行者自身は可視であるが、車両が右折等に伴って旋回し、センサの検出範囲が車両とともに移動していくことで歩行者が検出範囲に入らず、検出できなかつたりすることが想定される<sup>[32]</sup>。また、たとえ歩行者がセンサの検出範囲内にあったとしても、システムが歩行者を検出するまでに時間を要することで自動的に作動するブレーキ等が遅れ、歩行者との衝突を回避できない場合が考えられる。自動運転に向けて車両周辺の全周囲をカバーできるセンサや、センサの検出時間を短縮する画像処理用ボード等が開発されており、これらの問題を解決できると考えられるが、現時点で一般車に搭載する予防安全システムとしてはコストの面で現実解とは考えにくい。

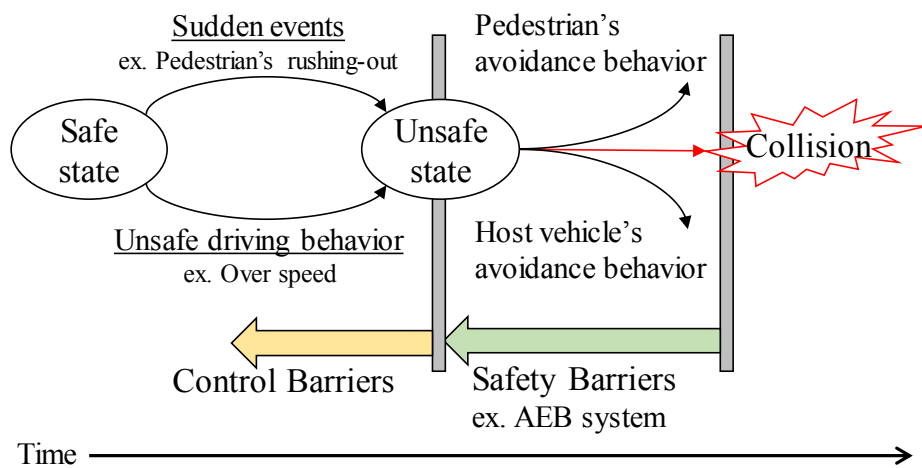
センサの検出範囲の問題を解決する別の方法として、インフラや他車両が検出した歩

行者の情報を路車間通信<sup>[33]</sup> や車車間通信<sup>[34]</sup> で受信する協調型のシステムの研究も行われている。最近では、歩行者が携帯しているスマートフォン等との通信<sup>[35]</sup> や Wi-fi への接続状況<sup>[36]</sup> から位置を同定する研究も進められており、交通インフラや他車両を介さずに自車が歩行者の位置を把握できる可能性がある。しかし、路車間通信を実現するためには交通インフラ側の整備が必要であるとともに、車両側もインフラからの情報を受信できる設備が必要である。また、車車間通信については、情報を送受信できる車両が一定数存在しない限り、十分な効果は表れないと考えられる。歩車間通信についても全ての歩行者が位置を特定可能な通信端末を有しているとは限らないため、自律型のシステムが抱えている問題を全て解決できるとは考えにくい。

以上のことより、現状ではセンサの検出範囲や検出時間が問題となり、歩行者の検出ができないことや、検出が間に合わないことに起因して歩行者との衝突を回避できないケースがある。高精度で高コストなセンサや、協調型システムとすることで、この問題を解決する方法が考えられる一方で、直接この技術的課題を解決するのではなく、別のアプローチで歩行者との衝突事故を防ぐ方法もあると考えられる。

## 1.4 本研究の着目点

交差点右折時を含む車両と歩行者が遭遇する場面において、歩行者との衝突に至る過程は図 1.12 のように考えられる。歩行者の飛び出し等のイベントや速度超過等の自車の不安全な行動が単独あるいは複合的に作用し、歩行者と衝突しない安全な状態 (Safe state) から回避行動なしでは衝突を避けられない危険な状態 (Unsafe state) に遷移する。危険な状態でドライバーが回避行動を取らず、かつ衝突対象である歩行者が回避しなかった場合に車両と歩行者の衝突が発生する。このような衝突を防ぐ Barrier として二つ挙げられる<sup>[37][38]</sup>。一つ目は、衝突という結果を回避する Safety Barriers である。この Barrier の代表例は歩行者検出に基づくドライバーへの注意喚起や AEB システムであり、フェールセーフの観点では非常に重要である。しかし、前節で示したように、現状の予防安全システムの歩行者の検出範囲や検出時間では歩行者を適切に検出できず、衝突を避けられない可能性がある。二つ目の Barrier は、ドライバーが危険な状態に遷移することを防ぐ Control Barriers である。熟練ドライバーの駐車車両脇の通過行動を例に考えると、熟練ドライバーは駐車車両の死角からの歩行者の飛び出しを予測し、側方距離や速度を事前に調整して危険な状態に陥ることを防いでいる。運転支援システムがドライバーの危険な運転を検出し、ドライバーの運転行動を安全な方向に変化させ、危険な状態への遷移を防ぐことにより、早い段階で、かつドライバーの運転行動に基づいて横断歩行者の挙動に依らずに歩行者との衝突を防止できると考えられる。また、Control Barriers を持つことで現状の予防安全システムが作動する状況を減らしたり、あるいはシチュエーションを限定したりすることにより、現状の性能でも衝突事故を防ぐことができるようになる可能性がある。このような運転支援を実現するためには、現在の運転行動が歩行者に対して危険であるかを予見的に評価できる方法が必要である。



Note Safe state: No possibility of colliding with pedestrian  
 Unsafe state: Colliding with pedestrian unavoidable without avoidance behavior

Fig. 1.12 Occurrence process of vehicle-pedestrian accident and barriers

## 1.5 従来研究

前節で述べたような運転支援を交差点右折時の人対車両事故に対して実現する上では、交差点右折時を含む人対車両事故の特徴や発生要因に関する知見が重要である。人対車両事故を対象とし、その特徴や発生要因について取り扱う研究はこれまでに多く行われてきた。Lordら<sup>[39]</sup>は信号交差点左折時(右側通行)の人対車両事故に関する既存研究をレビューし、ドライバの歩行者を発見するための Visual search に問題があるとし、静的な環境の中で動いている他の交通参加者の知覚や周辺視野での対象の知覚が難しいと述べている。内田ら<sup>[40]</sup>は交差点右折時におけるドライバの視線移動を記録・分析し、右折先の横断歩道への注視は他車両の有無といった交通状況の影響を受けやすく、この横断歩道への注視が省略あるいは減少することが横断歩行者の発見遅れに繋がる可能性を指摘している。Langhamら<sup>[41]</sup>は歩行者の Conspicuity(視認性)が人対車両事故の要因の一つであると指摘している。平松ら<sup>[42]</sup>はマクロデータを用いて歩行者事故の発生シナリオについて検討し、直進時に発生する対歩行者事故において、左から横断する歩行者との衝突は主に歩行者の飛び出しにより発生し、右から横断する歩行者との衝突は主に運転者の不注意によって発生していると述べている。内田ら<sup>[43]</sup>はドライブレコーダにより収集した対歩行者ニアミス事例を分析し、歩行者認知遅れのパターンが走行場面(e.g., 交差点右左折, 交差点直進)により異なる可能性を示している。また、先行車に追従して交差点を左折する際に横断歩行者と遭遇するシーンを実車と移動型ロボットを用いて再現した結果、横断歩行者に対する反応時間の遅れは周囲の安全確認の不足よりも、横断歩行者(あるいは横断歩行者が現れそうな方向)への注意配分の影響を指摘している。田川ら<sup>[44]</sup>はドライブレコーダから得られた交差点直進時の特徴的な場面である対向車の背後から歩行者が横断するシーンにおいて、再現実験を実施し、他の注視対象物への注視が横断歩行者に対する回避行動に影響することを述べている。川越ら<sup>[45]</sup>はDREAM(Driving Reliability and Error Analysis Method)手法<sup>[46][47]</sup>を用いてドライブレコーダで得られたニアミス事例を分類して対歩行者シーンの要因について検討し、交差点右折時、交差点直進時、単路直進時の三つの走行場面における共通の特徴として、歩行者の認知の失敗とその背景要因として対象となる歩行者以外への注意配分と一時的な視界障害を挙げている。そして内田ら<sup>[48]</sup>は、川越らが得た対歩行者ニアミスの要因を踏まえて、具体的な対策案について検討している。Matsuiら<sup>[49]</sup>は歩行者に対するニアミスデータを分析し、ニアミスデータに基づいた事故状況把握の可能性について検討するとともに、単路直進時の歩行者までの衝突余裕時間を分析し、歩行者の位置によりその傾向が異なることを述べている。Marnellら<sup>[50]</sup>はド

ライビングシミュレータにおける実験結果として、交差点左折時(右側通行)のドライバの4-7%は横断歩行者がいる状況でもその歩行者を注視することなく左折し、歩行者がいない状況では39%が歩行者の出現する可能性のある場所を注視しなかったと述べている。安部ら<sup>[51]</sup>は単路直進時に視界障害やドライバの注意を引き付ける要因が周囲に存在する場面におけるドライバの歩行者に対する注視や反応時間について検討している。Qiら<sup>[52]</sup>は交差点左折時(右側通行)の人対車両事故に影響する環境要因に着目し、ライビングシミュレータで検討した結果、トラックの追従が危険な事象を誘発すると述べている。これはトラックにより視界が障害されるためであると推察できる。

また、人対車両事故と類似する自転車対車両事故についても同様な研究が行われている。Summalaら<sup>[53]</sup>は丁字交差点の右左折時に横断してくる自転車と衝突する事故に着目し、公道の交差点におけるドライバの視行動を観察した結果、右折するドライバが、左折するドライバと比較して左側からやってくる衝突する可能性のある交差車の方向を多く見て、自転車が登場する可能性のある交差点の右側を注視する回数が少なかったと述べている。そして同じ研究グループのRäsänenら<sup>[54]</sup>はSummalaらが公道において確認したドライバの注視の傾向を、同様の事故を起こした当事者へのインタビューに基づいて確認したと述べている。Wangら<sup>[55]</sup>は、交通事故データを分析した結果、車道幅が交差点右折時に自転車と衝突するリスクに寄与することを示しており、対向車と自転車を同時に見ることが難しいためであると述べている。

人対車両事故に限らず、衝突対象の発見の遅れが事故要因となっており、ドライバがある対象を見落とすエラーについても数々の研究が行われてきた。その中でもドライバが対象の存在する方向を向いたが、その対象を認識しない Looked-but-failed-to-see<sup>[9]</sup>(LBFTS) エラーについて多くの研究が行われてきた。Herslundら<sup>[56]</sup>はLBFTS エラーと関連する要素として、ドライバの Visual search strategy と Mental processing の失敗を挙げている。Koustanaiら<sup>[57]</sup>はLBFTS エラーに影響する項目として Perceptual failure と Processing failure を挙げており、Perceptual failure が発生する理由としてドライバの Visual search strategy が現在の状況に合っていないことを挙げている。Whiteら<sup>[58]</sup>はLBFTS エラーは Cognitive distraction と Attentional failure によるものだと述べている。Crundallら<sup>[59]</sup>はLBFTS エラーの要因として、Failure to fixate ではなく、Fixation without perception, すなわちドライバは視線を向けているが、何に視線を向けているかわからない状態であることが原因ではないかと指摘している。

従来研究の知見を踏まえると、運転場面や周囲の交通環境によりその特徴は異なるが、衝突対象(人対車両事故であれば歩行者)への注視が重要である。そして、歩行者やその他交通参加者への不適な注意配分や視界障害、ドライバの内的な状態や処理に起因する認知の失敗が交差点右折時の人対車両事故の要因となっていると言える。

## 1.6 本研究の目的

交差点右折時を含む人対車両事故は、ドライバが運転する車両の挙動やドライバの運転操作や確認行動だけでなく、衝突対象である歩行者の挙動、周囲の交通参加者の存在や挙動、車両に乗っているドライバからの歩行者や周囲環境の見え方等、様々な要素が複合した結果として発生する複雑な事象である。ただし、人対車両事故を含む交通事故の発生要因の90%以上はドライバ要因であると言われており<sup>[60]</sup>、交差点右折時の人対車両事故においては1.2節で示したように、人的要因として「発見の遅れ」が90%以上を占め、ドライバの横断歩行者に対する認知エラーが歩行者との衝突を引き起こしていると言える。そのため、もし衝突対象である歩行者の挙動に依らずに、ドライバの横断歩行者に対する認知エラーに繋がりやすい観測可能な運転行動を明らかにすることができれば、ドライバの横断歩行者に対する認知エラーの発生可能性、すなわち運転行動の衝突リスクが評価可能になる。また、明らかにした運転行動に基づいて横断歩行者との衝突を回避できる安全な方向に、ドライバの運転行動を誘導するControl Barrierに相当する運転支援が可能になる。ドライバの横断歩行者に対する認知エラーの発生は、前節で示したように、従来研究の知見よりドライバの周囲環境への不適な注意配分や障害物等による視界阻害等が要因となっていることが示されている。人対車両事故に至る認知エラーの要因は明らかにされているが、ドライバのどのような運転行動の結果として横断歩行者に対する認知エラーが発生し、衝突に至ったかまでは明らかになっていない。

以上のことより、ドライバが危険な状態に至ることを防ぐ運転支援を実現するため、交差点右折時の横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動の特徴を明らかにすることを本研究の目的とする。ドライバが横断歩行者に対する認知エラーに至るケースとして、車両の位置や向き、速度、ドライバの視線の向きによって横断歩行者の発見が遅れやすい状態(e.g., ドライバから横断歩行者が見えにくい、車両から横断歩行者までの距離が近い)となり、横断歩行者の発見が遅れるケースや、前節で述べたLBFTSエラーのように横断歩行者がドライバの視野内に入っているのにも関わらず、ドライバの内的な状態や処理(e.g., Cognitive distraction, Mental processing)が影響して横断歩行者を見落とすケースが挙げられる。ドライバが衝突する可能性のある危険な状態に至ることを防ぐためには、仮に横断歩行者が存在した場合に、ドライバにとって横断歩行者を発見できる状態であるかを観測できることが重要である。前者のケースはドライバの視行動を含む運転行動として観測できる可能性があるのに対して、後者はドライバの内的な状態や処理であるため、直接観測することは困難である。また、ドライバ

の内的な状態や処理が正常で横断歩行者を発見できる状態であっても、ドライバの運転行動に起因して横断歩行者の発見が遅れやすい状態である場合に横断歩行者に対する認知エラーが発生する可能性がある。そこで本研究では、ドライバの運転行動に起因して横断歩行者の発見が遅れる認知エラーを対象とし、認知エラーに繋がる運転行動の特徴を明らかにする。また、将来的な運転支援への適用を目指すことから、本研究では運転行動の特徴を明らかにするとともに、明らかにした運転行動特徴に基づいて横断歩行者に対する衝突リスクを評価できるか、そして運転行動特徴に基づいて衝突リスクを低減できるかについても検討する。ドライバの運転行動は周囲環境への適応的な行動であるため、交通環境が異なれば、ドライバが選択する運転行動が異なり、本研究で対象とする認知エラーに繋がる運転行動の特徴も異なる可能性がある。そこで本研究では、前記目的を達成するため、まず対象とする交差点右折環境を選定し、その右折環境においてどのような特徴を有する運転行動の結果として認知エラーに至っているかについて仮説を構築し、検証するとともに、検証した運転行動特徴に基づいて横断歩行者に対する衝突リスクを評価できるか検討する。次に、運転行動特徴に基づく衝突リスクの低減可能性を把握するため、運転行動特徴に基づくドライバの運転行動変化と衝突リスクの低減の関係性について評価する。続いて、交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響を把握するため、対象とした右折環境とは異なる右折環境 (e.g., 運転シーン, 車道幅) における認知エラーに繋がる運転行動特徴および運転行動特徴に基づく衝突リスク評価について検討する。最後に、検討した運転行動特徴が実環境における交通事故に対する適用可能性を明らかにするため、運転行動特徴と衝突リスクの関係について実環境における走行データを用いて評価する。

ドライバの運転行動は、従来提案されてきた運転行動モデル<sup>[61][62][63]</sup>が示すように、ドライバの内的過程である周囲の交通環境や交通参加者の「知覚」(i.e. Perception<sup>[61]</sup>, Information intake<sup>[62]</sup>, Sensory processes<sup>[63]</sup>)と将来に対する予測を踏まえた操作や行動の「判断」(i.e. Decision<sup>[61]</sup>, Decisions taken<sup>[62]</sup>, Decision processes<sup>[63]</sup>)を経て選択されると考えられている。一例としてWilde<sup>[62]</sup>の運転行動モデルを図1.13に示す。モデル図が示すように、ドライバの運転行動が選択される過程において、ドライバ個人で異なる運転経験<sup>[64][65]</sup>や、時間とともに変化する疲労・眠気<sup>[66]</sup>等の背景要因(Underlying variables)、ディストラクション<sup>[67][68]</sup>による漫然状態や時間的制約<sup>[69]</sup>による急ぎ状態等のドライバの状態(Cognitive states & Motivational states)が影響し、選択される運転行動が変化すると考えられている。ドライバが選択する運転行動は、前記のように様々な要素の影響を受けるが、本研究においては交差点右折時に横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動の特徴を明らかにすることが目的であるため、ドライバの運転行動は様々なドライバの背景要因や状態を反映した行動であると捉え、背景要因や



ドライバ状態が運転行動に及ぼす影響には焦点を当てず、主として観測されるドライバの運転行動を取り扱うこととする。なお、本研究では、ドライバの車両に対する運転操作 (e.g., ハンドル操作, ペダル操作) とともに、車両に対するドライバの運転操作の結果として得られる車両挙動 (e.g., 速度, 車両ヨー角度), そしてドライバの視行動をドライバの「運転行動」として取り扱う。

また、ドライバの特性として高齢者<sup>[70]</sup>は認知機能低下等、初心運転者<sup>[64][65]</sup>は認知スキルの不足等により事故につながりやすいことが示されており、これらのドライバについてはドライバ要素が運転行動に大きく影響すると考えられる。そのため、本研究では日常的に (週に1回程度) 自動車を運転する65歳未満のドライバを研究対象のドライバとする。

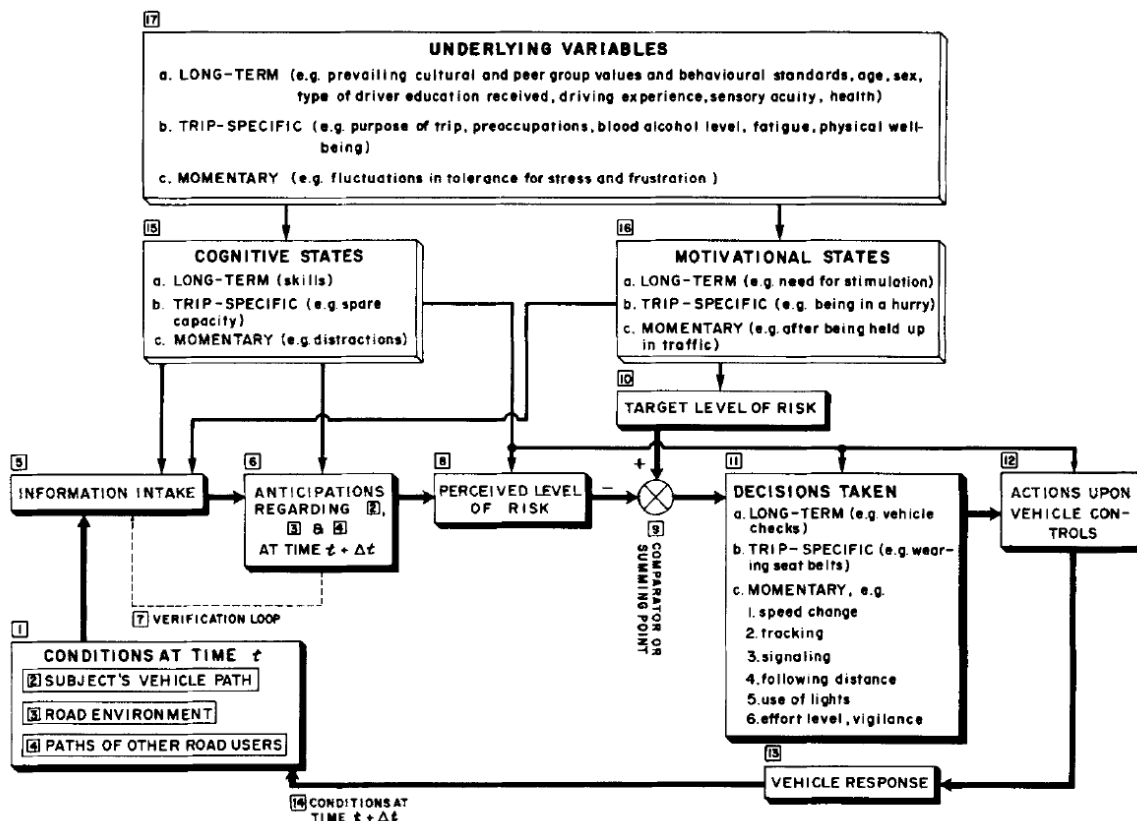


Fig. 1.13 A simplified task analysis model of driver behavior<sup>[62]</sup>

## 1.7 本論文の構成

本論文は以下のように構成されている。

第1章「序論」では、交通事故および人対車両事故の発生状況について述べ、人対車両事故に対する既存の対策とその課題を踏まえ、本研究で着目した運転支援の考え方を示し、人対車両事故やドライバの認知エラーに関する従来研究について示した上で、本研究の目的について述べた。

第2章「交差点右折時の対歩行者事故の特徴」の目的は、交差点右折時の横断歩行者に対する認知エラーの要因および認知エラーに繋がる運転行動の特徴に関する検討に先立ち、交差点右折時の対歩行者事故がどのような交通環境下で発生しているかを明らかにし、本研究で対象とする運転シーンおよび交通環境条件を選定することである。具体的には、マクロデータとドライバが歩行者との衝突を急制動で回避したヒヤリハットデータの分析に基づき、事故時の交通環境特徴および発生頻度の高い典型的な運転シーンを整理した結果について述べる。

第3章「単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説構築」の目的は、横断歩行者に対する認知エラーに繋がる可能性のある交差点右折時のドライバの視行動を含む運転行動特徴の仮説を構築することである。具体的には、2章で述べる交差点右折事故の典型運転シーンのうち、他の交通参加者が存在しない環境下で右折を行う単独走行右折シーンを対象とし、ヒヤリハット分析に基づいてシーンの特徴を明らかにし、横断歩行者に対する認知エラーに至るパターンの検討およびドライバの交差点右折中の視行動に関する既存研究の調査分析に基づいて検討した認知エラーを引き起こすドライバの運転行動特徴の仮説について述べる。

第4章「単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証」の目的は、3章で構築した単独走行右折時の横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を検証することである。具体的には、単独走行右折時に横断歩行者が出現する場面を実験的に再現し、運転行動特徴を反映する運転行動指標と、認知エラーと関連するドライバが歩行者を発見するまでの時間や、出現した横断歩行者に対するブレーキ時の横断歩行者までの衝突余裕時間の関連性を評価した結果について述べる。

第5章「認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づく運転行動変化による衝突リスク低減」の目的は、4章で検証した運転行動特徴に基づき、ドライバの運転行動を変化させた際の衝突リスク低減効果を評価することである。具体的には、4章で検証した運転行動特徴を反映する運転行動指標が示す衝突リスクが低減する方向に運転行動を変化させる操作介入手法を設定し、設定した操作介入手法による横断歩行者に対する衝突

リスクの変化を実験とシミュレーションを用いて評価した結果について述べる。

第6章「交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響」の目的は、4章で検証した単独走行右折時の運転行動特徴を、単独走行右折シーンとは異なる運転シーンあるいは異なる道路環境における交差点右折に適用し、実験により交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響を明らかにすることである。具体的には、4章で単独走行右折シーンにおいて実施した横断歩行者が右折中に出現する再現実験を、典型シーンである先行車追従右折シーン、対向車間右折シーン、交差点車道幅の異なる単独走行右折シーンに対して実施し、各実験において設定した運転行動特徴と衝突リスクの関連性を評価した結果について述べる。

第7章「認知エラーに繋がる運転行動特徴の実環境における評価」の目的は、4章で検証した単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴が、実環境下において衝突リスクの高い事象を説明できるかを明らかにすることである。具体的には、実環境における衝突リスクの高い事象として単独走行右折シーンのヒヤリハット事象を対象とし、単独走行右折シーンの運転行動特徴を反映する運転行動指標と衝突リスクの関係を評価した結果およびその考察について述べる。

第8章「結論」では、本論文の結論と今後の課題と展望について述べる。



## 第 2 章

### 交差点右折時の対歩行者事故の特徴



## 2.1 はじめに

交差点右折時の対歩行者事故の特徴分析を行い、当該事故の特徴を明らかにし、本研究で対象とする交差点右折環境を選定することが本章の目的である。

本章では、まず交差点右折時の対歩行者事故の特徴を分析する方針について述べる。次に、マクロデータを用いた分析による交差点右折時対歩行者事故の特徴について述べる。続いて、ヒヤリハットデータを用いた分析による交差点右折時対歩行者事故の特徴について述べる。最後に、特徴分析に基づいて選定した本研究で対象とする交差点右折環境について述べる。

## 2.2 事故特徴の分析方針

自動車の運転は周囲の交通環境への適応的な行動であり、周囲の状況によって事故の発生しやすさや発生要因が変わると考えられる。長山<sup>[71]</sup>によると実際の交通場面においてドライバが適応しなければならない交通環境は、「道路交通環境」、「意味交通環境」、「対人交通環境」に区分できる。道路交通環境とは、道路幅員や線形等、道路の物理的な特性に関するものである。意味交通環境とは、信号機や標識等、道路におけるルールを示すものである。対人交通環境とは、自車以外の先行車や対向車、歩行者等の交通参加者のことである。交差点右折時の対歩行者事故の特徴を把握する上では、事故発生時に前述した交通環境がどうであったかを分析することが可能なデータソースが必要である。

有効なデータソースの一つは1.2節で用いたマクロデータである。マクロデータでは、道路形状等の道路交通環境や信号有無等の意味交通環境、衝突した状況について把握が可能である。しかし、先行車や対向車等の対人交通環境の存在有無や衝突に至った過程までは把握することができない。衝突に至るまでの過程や事故前の周囲の環境を把握する方法として、ドライブレコーダを用いる方法が考えられる。しかし、事故の発生頻度は決して高くなく、事故データを統計的に分析できる件数だけ収集することは困難である。そこで本研究では、運転中のヒヤリハットデータに着目した。ヒヤリハットとは、「事故には至らなかったがヒヤリとしたりハッとしたりした事象」のことを指す。ハインリッヒの法則によると、「1件の重大事故発生の背景には29件の小規模事故の発生があり、さらにその背景には障害までに至らない300件に及ぶ事故がある」と言われており、ヒヤリハットは障害までに至らなかった事象であると考えられる。本研究では、運転中のヒヤリハットを交通事故との対比で「衝突には至らなかつ

たが、ドライバが危険を感じて急ブレーキを踏んだ事象」と定義する。このようなヒヤリハットであればドライブレコーダを用いて分析に足るデータ量を確保することができると考えられる。本研究では、東京農工大学が所有するヒヤリハットデータベース<sup>[72][73]</sup>を用いることにした。当該データベースの詳細については後述する。本データベースを用いることで衝突に至ってはいないが、衝突しそうになった際の対人交通環境の状況や、ドライバが急ブレーキに至った過程を把握することができる。以上のことを踏まえ、本章ではマクロデータとヒヤリハットデータの二つのデータソースを用いて交差点右折時の人対車両事故の特徴について分析した。

## 2.3 マクロデータによる特徴分析

マクロデータを用いて交差点右折時の対歩行者事故における道路環境の属性および衝突形態の特徴について分析した。本研究で取り扱う事故形態である交差点右折時では、道路環境の属性として交差点の属性に注目して分析を行った。

### 2.3.1 分析対象

対象としたマクロデータの抽出条件を以下に示す。下記条件に該当する死亡事故 252 件、重傷事故 5,391 件、軽傷事故 29,256 件を対象として分析を行った。

#### 交通事故マクロデータの抽出条件

1. 集計年：平成 24 年–平成 28 年 (5 ヶ年)
2. 事故内容：死亡，重傷，軽傷
3. 事故類型：人対車両–横断中
4. 当事者種別 (1 当)：乗用車–普通車，乗用車–軽自動車
5. 当事者種別 (2 当)：歩行者
6. 道路形状：交差点
7. 行動類型 (1 当)：右折

### 2.3.2 分析結果

#### 交差点属性の特徴

マクロデータにおいて得られる交差点属性として「信号の有無」と「交差点の車道幅」に注目し、分析を行った。まず、図 2.1 に各事故内容における信号交差点と無信号



交差点の割合を示す。死亡事故の80%以上が信号交差点で発生していた。重傷事故および軽傷事故では、死亡事故と比較して信号交差点の割合は若干小さいが、概ね同様の傾向であった。これより、交差点右折時の対歩行者事故が信号交差点でより発生していることがわかる。

次に、各事故内容における第1当事者である自動車が交差点に進入する道路の車道幅の構成率を図2.2に示す。車道幅が中分類(5.5m以上, 13m未満)である割合が、いずれの事故内容でも最高であり、車線幅が3.0m程度の片側1車線あるいは片側2車線の道路で右折時の人対車両事故が最も発生していることがわかる。

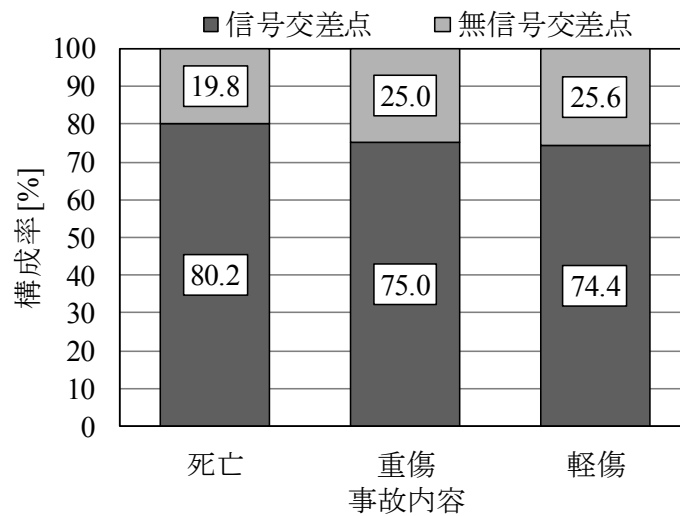


Fig. 2.1 Proportion of signalized and non-signalized intersection (2012–2016)

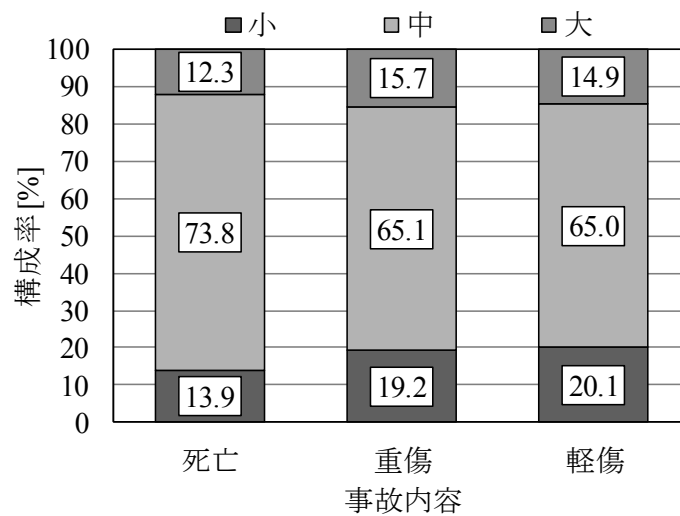


Fig. 2.2 Proportion of entrance road widths of intersection (2012–2016)

### 衝突形態の特徴

マクロデータにおいて把握可能な衝突形態として、衝突した「歩行者の横断方向」と衝突時の「自動車の衝突部位」に注目し、分析を行った。既存研究<sup>[8]</sup>のように右折先の横断歩道を横断する歩行者を、車両の左側から右側へ向かう歩行者を「L型歩行者」、車両の右側から左側へ向かう歩行者を「R型歩行者」と定義する。図2.3に各事故内容における歩行者の横断方向の割合を示す。全ての事故内容で共通して、対L型歩行者事故が過半数を占めた。Sullivanら<sup>[74]</sup>のアメリカにおける交通事故の調査分析においても左折中(右側通行)の車両から見て横断歩道の奥からやってくる歩行者との衝突件数が多く、Kazaziら<sup>[75]</sup>が実施した統制環境下実験においても横断歩道の奥から横断して来る歩行者との衝突が多い傾向にあった。横断方向により事故件数に差異が見られるのは、それぞれの歩行者が横断を開始する位置から、右折車両と衝突する地点までの距離の差異の影響であると考えられる。R型歩行者の横断開始地点から右折車両と衝突する地点までの距離と比較して、L型歩行者のそれが短い。そのため、ドライバおよび歩行者が互いの、右折を開始してから、あるいは横断を開始してから発見できるまでの時間が短くなっており、対L型歩行者の事故件数が多くなっていると推察できる。

次に、図2.4に事故内容毎の自動車が歩行者と衝突した車両部位の割合を示す。重傷事故と軽傷事故は概ね同じ傾向であるが、これらの事故と比較して死亡事故では歩行者が自動車の正面に衝突しているケースが20%程度高い。よって、他の衝突部位と比較して自動車の正面と歩行者が衝突することが、死亡事故に繋がりやすいと考えられる。また、歩行者が自動車の正面と衝突していることから、ドライバは横断している歩行者の存在を見落とし、衝突してしまったと類推できる。死亡事故における歩行者の横断方向と衝突部位の関係について見ると(図2.5)、R型歩行者と比較してL型歩行者のほうが自動車の正面と衝突する割合が高く、L型歩行者に対してより認知エラーが発生していることが示唆される。また、死亡事故における衝突部位と交差点の流入側車道幅について見ると(図2.6)、車道幅によって車両と歩行者との衝突部位の構成率が異なっており、右折する交差点の規模によって歩行者との衝突の仕方が異なる可能性がある。

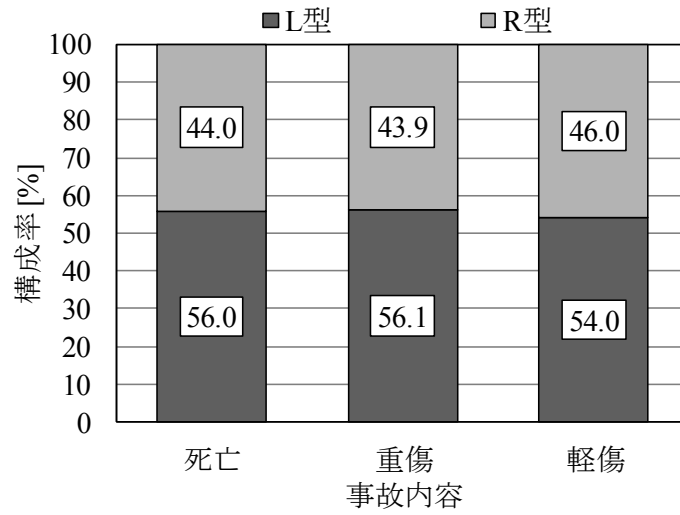


Fig. 2.3 Proportion of pedestrians' crossing direction (2012–2016)

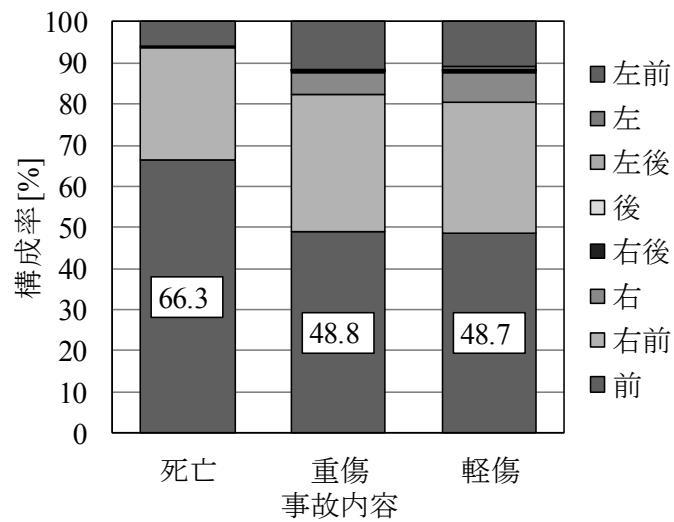


Fig. 2.4 Proportion of vehicles' collision part (2012–2016)

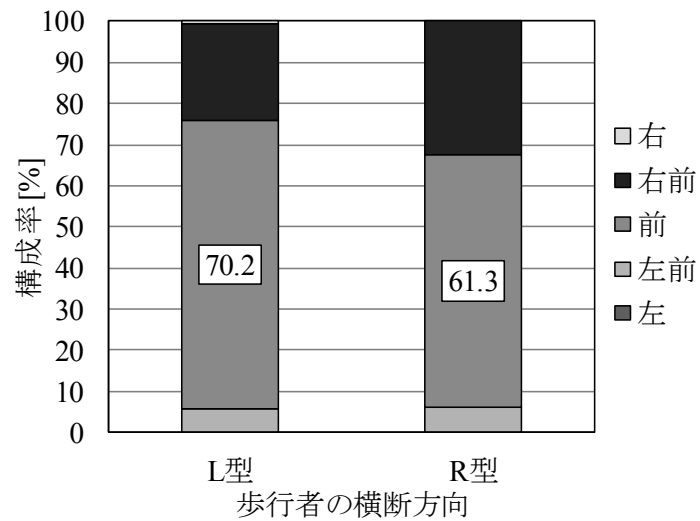


Fig. 2.5 Relation between pedestrians' crossing direction and vehicles' collision part (Fatal accidents, 2012–2016)

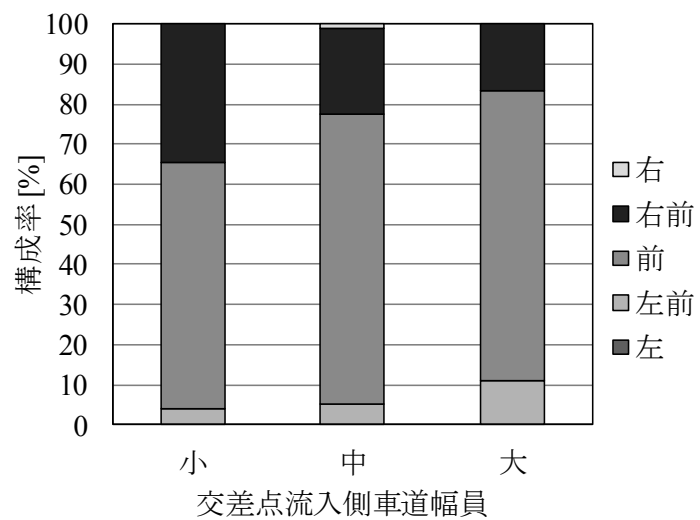


Fig. 2.6 Relation between entrance road width of intersection and vehicles' collision part (Fatal accidents, 2012–2016)

## 2.4 ヒヤリハットデータによる特徴分析

### 2.4.1 分析対象

前述した東京農工大学が所有するヒヤリハットデータベースを用いた。このデータベースは東京や静岡，福岡，札幌といった全国各地のタクシー会社の協力のもと，タクシーにイベント型のドライブレコーダを搭載して収集されたものであり，2015年末時点で114,116件のヒヤリハットが収録されている。本分析では，2015年までに収集されたヒヤリハットデータを用いた。搭載されたドライブレコーダは0.45g以上の前後加速度を記録開始トリガとし，前方映像や車内映像(一部)，車両速度，前後・左右加速度，ブレーキ操作，ウィンカー操作，GPSによる位置情報をトリガ前10秒間とトリガ後5秒間記録する。本データベースのヒヤリハットデータは，交通事故データと事故類型の構成が類似している特徴がある<sup>[76]</sup>。そのため，本データベースは事故事例に近い客観的なデータとして，安全技術の効果予測<sup>[77][78]</sup>や黄色信号時におけるドライバーのジレンマゾーンの行動分析<sup>[79]</sup>等に用いられている。さらに，交通事故の発生要因の分析にも活用されており，これまで車両相互事故の追突<sup>[80]</sup>や出会い頭<sup>[81]</sup>，右直<sup>[82]</sup>，対歩行者・自転車事故の単路走行時<sup>[49][83]</sup>，交差点直進時<sup>[84]</sup>，交差点左折時<sup>[85]</sup>が検討されている。

本研究では，歩行者の発見が遅れるというドライバーの認知エラーに着目しているため，ドライバーが右折中にどこを向いていたかが重要である。そのため，ヒヤリハットデータベースに収録されているデータのうち，前方映像と車内映像が揃っている2カメラデータを対象とした(図2.7)。車内映像から正確なドライバーの視線方向を把握することは困難であるが，ドライバーの顔向きおよび眼球の向きからある程度類推できる。



Fig. 2.7 Camera image sample of TUAT near-miss incident database  
(Left: front camera image; Right: driver face camera image)

前節の分析結果である交差点右折時の対歩行者事故の8割近くが信号交差点で発生していることを踏まえ、本分析では信号交差点を対象とした。対象としたデータの抽出条件を以下に示す。下記条件に当該するデータは220件あった。これらのうち、発生場所が条件と相違する事例や歩行者が明らかに信号を無視した事例、前方カメラの不具合事例は分析対象から除外した。さらに、五差路などの複雑な形状における事例では、走行軌跡や視線を向ける対象が十字路や丁字路と大きく異なる事例も含まれたため、これらの事例も除き153件を分析対象とした。

#### ヒヤリハットデータの抽出条件

1. ヒヤリハットレベル：全て
2. 道路形状：交差点
3. 自転車行動：右折(準備段階を除く)
4. 対象：歩行者
5. 周囲の状況：信号-有り
6. カメラ：2カメラ

#### 2.4.2 分析結果

各ヒヤリハット事例を目視で確認し、先行車や対向車、歩行者等の対人交通環境を含むヒヤリハットに寄与したと考えられる環境要素に着目し、典型シーンの分類を行った。ただし、事例によっては環境要素が存在していても交差点右折中の自転車への影響が小さいと考えられる場合(e.g., 交差点に到達する前にすれ違う対向車)は当該要素が存在しないシーンとして分類した。シーン分類を行った結果、分析対象データに影響する対人交通環境で5シーングループ(TS1-TS5)に分類し、さらに影響する環境要素の属性を考慮して9シーンの典型シーンに分類した(図2.8)。各典型シーンの概要について以下で述べる。

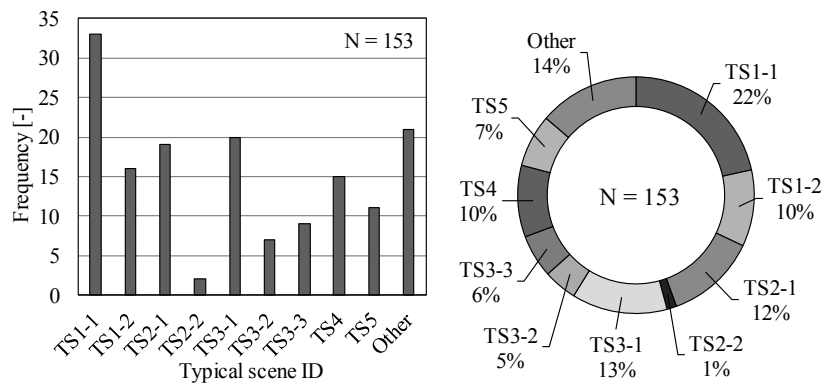


Fig. 2.8 Frequency distribution and proportion of typical scene

TS1: 対人交通環境が影響しないシーン (図 2.9(a))

- TS1-1：単独走行右折時に歩行者が現れるシーン  
先行車や対向車等の対人交通環境が存在しない状況で横断してきた歩行者に対するヒヤリハットである。ドライバの顔が右折先の進行方向に長く向けられたり、加速もしくは相対的に高速で走行したりしている場合が多く見られた。
- TS1-2：低照度環境下で歩行者が現れるシーン  
TS1-1と同様に対人交通環境が存在しなかったが、夜間に街灯が少ない、あるいは無い暗い環境下で横断してきた歩行者に対するヒヤリハットである。カメラ映像で見ても歩行者を認識することが困難な事例もあった。ドライバの多くは低速で、かつ横断歩道方向にも顔を向けていたが、歩行者の視認性が低く、歩行者が自車に接近してから発見し、ブレーキを踏んだために急制動になったと考えられる。

TS2: 先行車が影響するシーン (図 2.9(b))

- TS2-1：先行車追従時に先行車との車間に歩行者が現れるシーン  
先行車に追従して横断歩道を通おうとした際、先行車の背後から横断してきた歩行者に対するヒヤリハットである。多くの事例が信号待ちや対向車待ち後に発進した先行車に合わせて加速している最中に発生していた。
- TS2-2：停止先行車の追越時に先行車の死角から歩行者が現れるシーン  
右折先の横断歩道の手前で歩行者の横断待ちをしている先行車を、追い越して横断歩道に進入しようとした際に、先行車の死角から出現してきた歩行者に対するヒヤリハットである。ドライバは先行車脇の方向を見ながら、低速で走行していたが、歩行者までの距離が非常に短かったため、ブレーキによる減速度が大きくなったと考えられる。

TS3: 対向車が影響するシーン (図 2.9(c))

- TS3-1：対向直進車通過待ち後の発進時に歩行者が現れるシーン  
対向直進車の通過待ち後に発進したタイミングで横断を開始した歩行者に対するヒヤリハットである。多くの事例で通過した対向車に続いて接近している対向車があり、ドライバは急加速で発進する傾向にあった。
- TS3-2：対向左折車追従時に対向左折車との車間に歩行者が現れるシーン  
対向左折車に追従して横断歩道を通おうとした際に、対向左折車の背後から横断してきた歩行者に対するヒヤリハットである。また、ほとんどの事例が対向左折車の加速に合わせてドライバが加速した最中に発生していた。

- TS3-3：対向右折待ち車存在時の旋回開始時に歩行者が現れるシーン

対向右折待ち車が存在する状況において、自車が旋回を開始するタイミングで横断を始めた歩行者に対するヒヤリハットである。ドライバの顔は対向車線方向に向いている場合が多く、対向右折車脇から出現するかもしれない対向直進車に視線を向けていたと考えられる。多くの事例が加速中に起こったヒヤリハットであり、出現するかもしれない対向直進車よりも先に対向車線を横断するために加速していたと考えられる。

#### TS4: 歩行者が影響するシーン (図 2.9(d))

- TS4：歩行者に対する減速後に別の歩行者が現れるシーン

横断中の歩行者を発見し、停止または徐行を行った後、発進する際に新たに横断してきた別の歩行者に対するヒヤリハットである。ドライバの顔は先に発見した歩行者や進行方向に向いている割合が高かった。

#### TS5: 横断歩道脇の特殊な障害物が影響するシーン (図 2.9(e))

- TS5：横断歩道脇の障害物の死角から歩行者が現れるシーン

交差点内に取り残された車両や雪かきの山等一般的な交差点では見られない障害物が横断歩道脇に存在し、その側方を通過時に障害物の死角から横断してきた歩行者に対するヒヤリハットである。障害物の側方を通過する際、ドライバは低速で走行し、障害物の死角に顔を向けていたが、出現した歩行者までの距離が非常に短かったため、ブレーキ減速度が大きくなったと考えられる。

#### Other: 典型的な 9 シーンに分類されないシーン

前記 9 シーン以外で複数事例見られたシーンについて概要を説明する。

- Other1：歩車分離信号交差点通過中に信号が変化するシーン

歩車分離信号の交差点において、黄信号での進入や対向直進車の通過待ちの影響で横断歩道を通過する前に歩行者信号が青になり、横断し始めた歩行者に対するヒヤリハットである。信号の変わり目であり、交差点に取り残されないように加速する傾向にあったため、歩行者に対するブレーキによる減速度が大きくなったと考えられる。

- Other2：歩行者が予想外の行動をするシーン

横断歩道を横断中に突然引き返す等の予想外の行動をとった歩行者に対するヒヤリハットである。ドライバは横断歩道接近時に歩行者の通過を待つための速度設定を行っており、おそらく歩行者を認知していたと考えられるが、歩行者の行動変化が突然であったことが影響して強くブレーキを踏んだと考えられる。



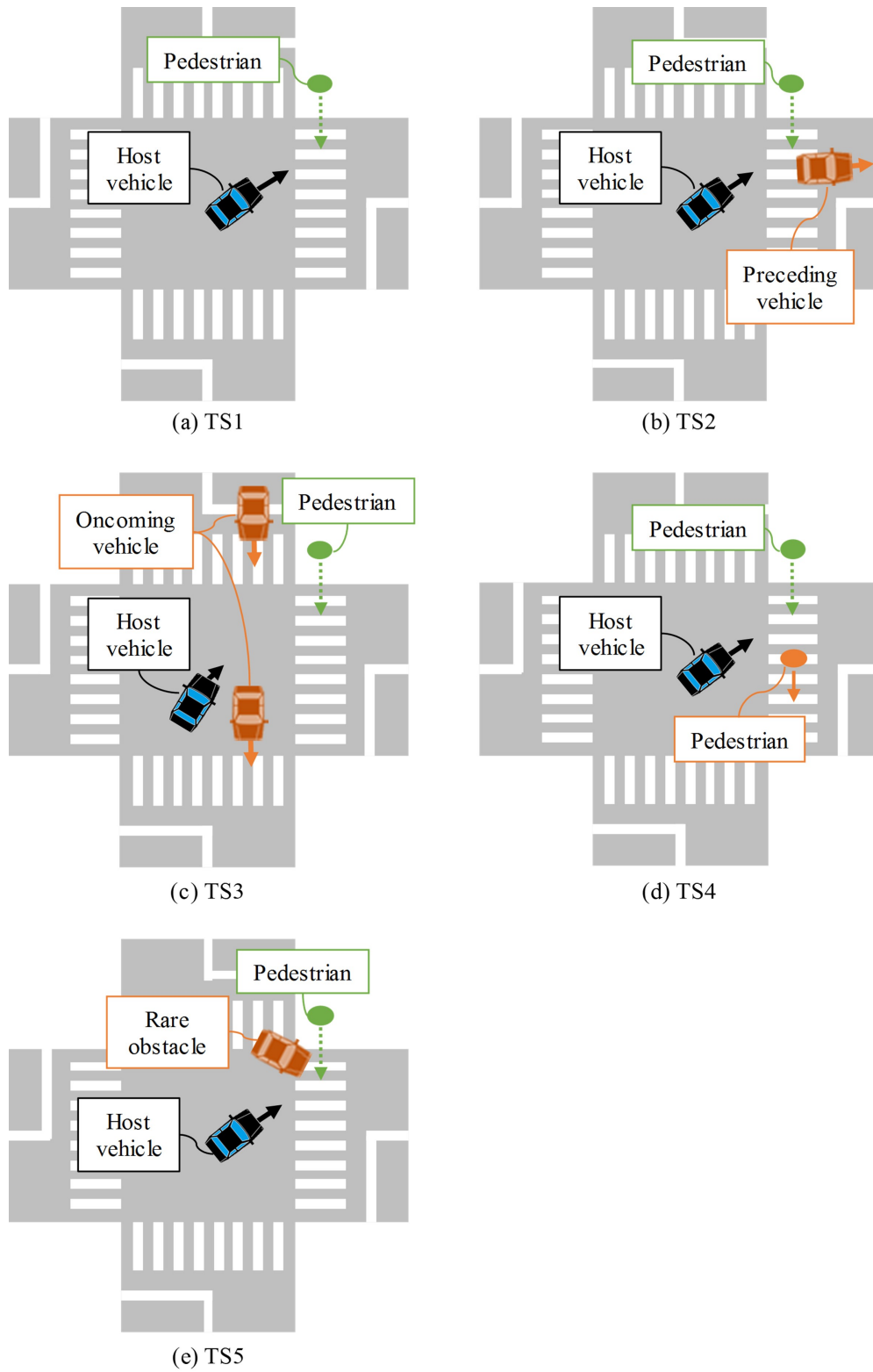


Fig. 2.9 Overview of typical scenes

典型シーンとして対人交通環境が影響しない TS1-1 が最も件数が多かった。これに続いて対向直進車が影響する TS3-1 と先行右折車が影響する TS2-1 の頻度が高かった。また、典型シーンの中では互いに類似しているシーンが見られた。対向右折待ち車がいるシーン (TS3-3) では、対向右折車の背後から新たな対向車が出現するかもしれないため、対向車線方向をよく見ていたが、このような行動は対向直進車が影響したシーン (TS3-1) と類似していた。さらに、対向左折車が影響したシーン (TS3-2) では、対向左折車に続いて右折を行ってヒヤリハットに至っていたが、先行車に続いて右折を行っていたシーン (TS2-1) と行動が類似していた。また、典型シーンの中では、ドライバは速度を下げ、様々なところに顔を向け注意していたのにも関わらず、歩行者を発見した際の歩行者までの距離が短かったために急制動に至った場合が見られた (TS1-2, TS2-2, TS4, TS5)。これらのシーンでは、ドライバは横断歩行者に対して配慮した運転を行っており、ドライバの運転行動が認知エラーを起こす要因となったとは考えにくい。以上より、全体の中でも発生頻度が高く、ドライバの運転行動がヒヤリハットを引き起こす認知エラーに影響したと考えられる対人交通環境が影響しないシーン TS1-1、対向直進車が影響するシーン TS3-1、先行右折車が影響するシーン TS2-1 の 3 シーンを、交差点右折時の対歩行者事故における主要な典型シーンとした。交差点右折時対歩行者事故の主要な典型シーンのうち、TS1-1 は先行車や対向車等の対人交通環境が存在しておらず、他の典型シーンと比較してドライバが適応する必要のある対象が少なく、相対的に難易度が低いシーンであると考えられるが、ヒヤリハットにおいて比較的高い割合を占めた。TS1-1 以外の典型シーンは単純なシーンである TS1-1 に先行車や対向車、歩行者等の対人交通環境が加わったシーンであると解釈でき、TS1-1 における運転行動の特徴がその他のシーンにおける運転行動の特徴と部分的に一致すると考えられる。そのため、交差点右折時の対歩行者事故について取り扱う上で、まず単純な運転シーンである TS1-1 に注目することが重要であると言える。

## 2.5 対象とする交差点右折環境

前述したように、ドライバの運転行動は交通環境に対する適応的な行動であるため、運転シーンや交差点環境が異なれば、ドライバが適応する対象が異なり、ドライバが選択する運転行動や認知エラーに繋がる運転行動特徴が異なる可能性がある。そのため、運転シーンや交差点環境に分けて検討していく必要がある。本研究では、まずヒヤリハットデータの分析結果を踏まえ、運転シーンとして交差点右折時の対歩行者場面の中でも高い割合を示す信号交差点における対人交通環境が影響しないシーン (TS1-1, 以下、単独走行右折シーン) を対象として選定した。単独走行右折シーンは対向車や先行車等が影響しないシーンであり、この運転シーンで得られる知見が、対人交通環境が影響するその他の典型シーンのベースになると考えられるとともに、単独走行右折シーン自体がヒヤリハットの中で最も高い発生割合 (ヒヤリハット構成率 22%) を占めているため、対象運転シーンとして選定した。また、運転シーンと同様にドライバの運転行動に影響を及ぼす可能性のある交差点環境の要素として、交差点の流入側車道幅と横断歩行者の横断方向を考え、それぞれ交差点右折時の対歩行者事故の構成率が最も高かった中分類の車道幅 (5.5 m 以上 13 m 未満) と、右折車両から見て左側からの横断 (L 型歩行者) を対象とした。中分類の車道幅に該当する交差点は、車線幅が 3 m 程度の片側 1 車線あるいは片側 2 車線の交差点である。以上より、本研究において対象とする交差点右折環境を図 2.10 のように、片側 1 車線あるいは片側 2 車線の信号交差点において、車両から見て左側から横断してくる歩行者のみが存在する交差点右折環境とした。なお、認知エラーに繋がる運転行動特徴を検討するために設定した対象とする交差点右折環境は、交通事故の構成率およびヒヤリハットの構成率に基づいて概算すると、交差点右折時の対歩行者事故の約 6% を占めると考えられる。

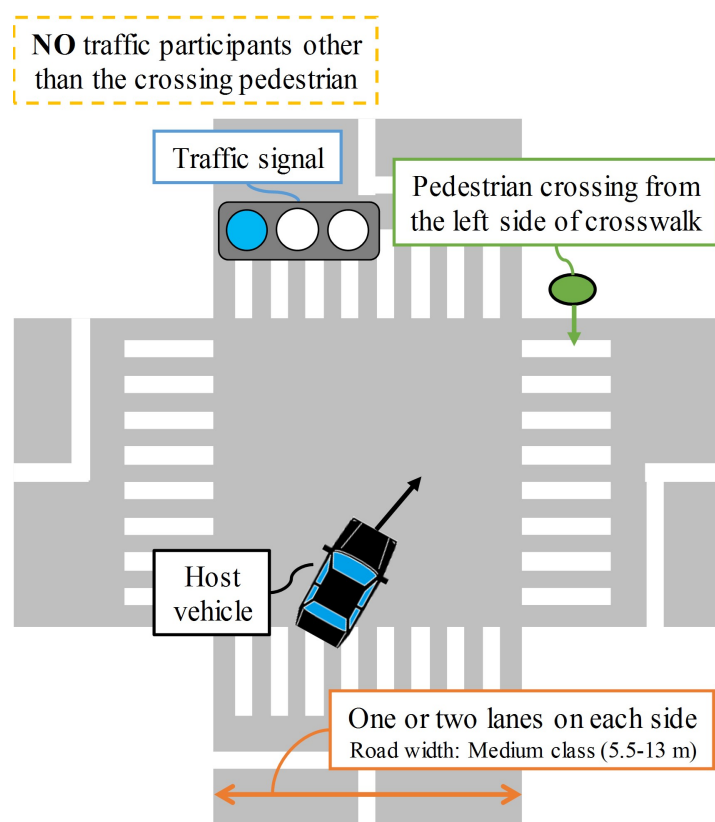


Fig. 2.10 Overview of target right-turn intersection environment

## 2.6 本章のまとめ

本章では、まず交差点右折時の対歩行者事故の特徴分析に用いるデータソースとして、事故発生時に周囲の交通環境の状況を分析することが可能な「マクロデータ」と「ヒヤリハットデータ」を選定した。

次に、マクロデータを用いて交差点右折時の対歩行者事故の特徴を分析した結果を以下に示す。

- 信号交差点における死亡事故が 80%以上を占める。
- 約 65%以上の事故が交差点の流入側車道幅が中分類 (5.5 m–13 m) の交差点で発生している。
- 右折車両から見て、右から横断してくる R 型歩行者より左から横断してくる L 型歩行者との事故が多く、車両の正面と衝突する事例も多い。

続いて、ヒヤリハットデータを用いて交差点右折時の対歩行者事故の特徴を分析した結果、交差点右折時の対歩行者場面の典型的な 9 シーンを得た。これらの典型シーンのうち、ドライバの運転行動がヒヤリハットの要因と考えられる主要な 3 シーンは以下である。

- TS1-1：対人交通環境が影響しない単独走行右折時に歩行者が現れるシーン
- TS3-1：対向直進車通過待ち後の発進時に歩行者が現れるシーン
- TS2-1：先行車追従時に先行車との車間に歩行者が現れるシーン

最後に、マクロデータおよびヒヤリハットデータを用いた交差点右折時の対歩行者事故の特徴分析の結果を踏まえ、本研究で対象とする交差点右折環境を、片側 1 車線あるいは片側 2 車線の信号交差点と設定した。また、横断する歩行者は車両の左から横断してくる「L 型歩行者」とし、運転シーンとして他の対人交通環境が影響せず、他の主要な典型シーンのベースとなる単独走行右折シーンを設定した。

次章では、本章で設定した交差点右折環境において、横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を構築する。



## 第 3 章

# 単独走行右折時の認知エラーに繋がる 運転行動特徴の仮説構築





## 3.1 はじめに

単独走行右折シーンにおけるドライバの横断歩行者に対する認知エラーに至る運転行動特徴を明らかにする上で、事故に近いヒヤリハットデータおよび既存研究の知見を踏まえ、認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を構築することが本章の目的である。

まず、事故に近く、衝突リスクの高いと考えられるヒヤリハットデータを分析し、単独走行右折シーンにおいて横断歩行者の発見遅れが発生する状況について検討した結果について述べる。次に、ヒヤリハット分析の結果を踏まえ、ドライバが横断歩行者に対する認知エラーに至るパターンについて述べる。続いて、認知エラーに繋がる可能性のある運転行動としてドライバの視行動に着目し、交差点右折時を含む旋回時の特性と注意配分の特性について既存研究を調査した結果について述べる。最後に、本章における検討に基づいて構築した横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説と、設定した運転行動特徴を反映する運転行動指標について述べる。

## 3.2 単独走行右折シーンの特徴

単独走行右折シーンにおいて発生している横断歩行者に対するドライバの認知エラーについて検討するため、単独走行右折シーンの特徴を把握することを目的とし、衝突リスクが高いと考えられる単独走行右折シーンのヒヤリハットデータの分析を行った。

### 3.2.1 分析方針

2.4 節において分類した単独走行右折シーン (TS1-1) に該当する 33 件のうち、L 型歩行者に対して急ブレーキを踏んだ 15 件を対象として分析を行った。横断歩行者に対する認知エラーが発生する状況を明らかにするため、ドライバの運転行動 (車両挙動, 視行動) と歩行者の行動に着目して分析した。具体的には、車両挙動として車両速度推移 (加速, 定速, 減速), 視行動として各注視対象への注視時間割合  $GDR$  (Gaze Duration Rate), 歩行者の行動として横断開始タイミングについて分析した。交差点右折中のある注視対象への注視時間割合  $GDR$  は式 3.1 のように定義し、算出した。式中の  $T$  は分析区間の時間,  $n$  は分析区間内である注視対象に向けられた注視の回数,  $t$  はある注視対象に向けられた各注視の時間を表す。ヒヤリハットデータにおいては、ドライバ顔カメラより顔向きのみが把握可能であるため、図 3.1 のように注視対象を設定して分類し、図中の注視対象に分類されない場合はその他 (Others) に分類した。分析区間内の

ドライバ顔カメラ映像の各フレームで注視対象を分類し、各注視対象の  $GDR$  を算出した。なお、注視時間割合の分析区間は、自車が対向車線に進入した時点である中央線を通り過ぎた時点から、歩行者に対してブレーキを踏むまでの区間とした。車両速度推移についても同様の分析区間について分析を行った。

$$GDR = \frac{\sum_i^n t_i}{T} \quad (3.1)$$

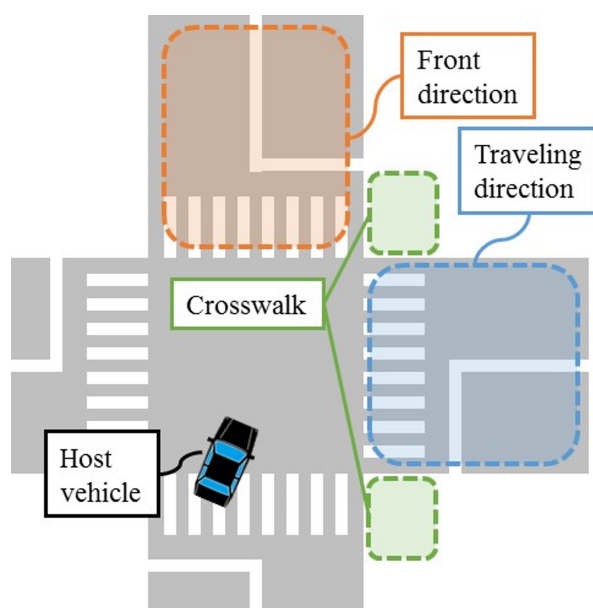


Fig. 3.1 Definition of gaze target areas

### 3.2.2 分析結果

図 3.2 に代表的な事例の推移を示す。ドライバは前方カメラ映像で横断歩行者を確認できる状況であったのにも関わらず、右折を開始した。そして、横断歩道に接近したところで横断歩行者に気づき、急ブレーキを踏んだ。図 3.2 の事例のように、ドライバが右折を開始する時点の前方カメラ映像内に、急ブレーキを踏む対象である横断歩行者を確認できる事象が多かった。このことより、ヒヤリハットに至ったドライバは横断歩行者を認識していなかった、あるいは認識していたが衝突する可能性が低いと判断し、右折を開始したと推察できる。そして、急ブレーキを踏む前まで歩行者が横断してきていることに気づいていなかったと考えられる。以上のように、ドライバは交差点右折中に横断歩行者に気づいてブレーキを踏むまで、衝突する可能性のある対象として横断歩行者を認識していなかった区間があったと考えられる。右折を開始する前にドライバが横断してくる歩行者を認識していれば、ヒヤリハットにはならなかったと考えられるが、このような事象では歩行者に気づかずに車両が横断歩道に接近してしまったこと、すなわちドライバが右折を開始して横断歩行者を衝突する対象として認識するまでの区間が長かったことが問題であったと言える。また、ヒヤリハット事象に至ったもう一つの要因は、多くの歩行者が青信号であることを踏まえ、右折車両は自身を認識してくれていて、回避してくれると予想し、周囲の安全確認をあまりせずに横断していることが挙げられる<sup>[39]</sup>。ドライバは横断する歩行者を認識しておらず、歩行者は右折してくる車両を認識していても、横断歩道の手前等で減速あるいは停止すると予想し、歩行を続けるために、このようなヒヤリハット事象に至ったと考えられる。仮にドライバが横断歩行者の存在に気づかずに右折を開始したとしても、横断歩道に接近するまでの早いタイミングで歩行者を認識することができれば、大きな減速度を伴わない制動で歩行者を回避できたと考えられる。そこで本研究では、交差点右折開始時に横断する歩行者の存在をドライバが認識していない場面を前提とし、当該場面の右折中に横断歩行者の発見が遅れる認知エラーを対象とすることにした。

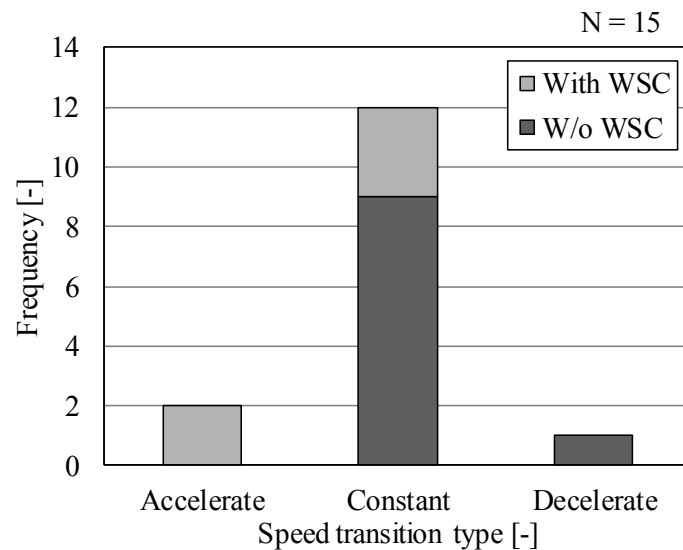
Front view camera	Driver face camera	Description
		<p><u>-4.257 s</u></p> <p>Approaching to an intersection with no other traffic participants.</p>
		<p><u>-2.112 s</u></p> <p>Vehicle enters opposite lane (Center line pass timing). Crossing pedestrian visible at the end of crosswalk.</p>
		<p><u>-0.990 s</u></p> <p>Driver looking toward traveling direction through side window without any braking maneuver.</p>
		<p><u>-0.264 s</u></p> <p>Driver recognizes pedestrian and starts pressing the brake pedal. (Max. deceleration value 0.81 g at 0.033 s)</p>
		<p><u>1.188 s</u></p> <p>Vehicle stops (speed 0 km/h) in front of the crosswalk.</p>

Note Time origin (0.000 s) is record start trigger timing (Absolute longitudinal acceleration over 0.45 g)

Fig. 3.2 Near-miss incident example of TS1-1 scene with L type pedestrian (Incident ID: 261307)

### 車両挙動

中央線を通過してからブレーキを踏むまでの各事象の速度推移を、中央線通過からブレーキ開始までの区間平均加速度  $a_{avg}$  が  $0.1 \text{ g}$  以上の事象を「加速」、 $-0.1 \text{ g}$  以下の事象を「減速」、区間平均加速度の絶対値が  $0.1 \text{ g}$  未満の事象を「定速」の三つに分類した。なお、中央線通過タイミングは各ヒヤリハット事象の前方カメラ映像より車両が対向車線に進入したタイミングを判断し、設定した。また、ヒヤリハット事象を分析したところ、信号待ち後に交差点右折する事象とそうでない事象が見られた。速度推移分類と信号待ち有無を集計した結果を図 3.3 に示す。加速および減速する事象は数件見られたが、全体の 80% は中央線通過から横断歩行者に対するブレーキを踏み始めるまでほぼ定速で進行していた。また、全事象の約 7 割が信号待ちなく交差点を右折する事象であったが、信号待ち後に交差点を右折した事象では加速しながら右折する事象が見られた。



Note WSC: Waiting for signal change, Accelerate:  $a_{avg} \geq 0.1 \text{ g}$ ,  
Constant:  $-0.1 < a_{avg} < 0.1 \text{ g}$ , Decelerate:  $a_{avg} \leq -0.1 \text{ g}$

Fig. 3.3 Frequency distribution of speed transition type (TS1-1, L type pedestrian)

## 視行動

図 3.4 に図 3.2 で示した事象におけるドライバの注視対象への顔向き推移を示す。グラフの横軸は記録開始トリガである前後加速度の閾値を超えた時点から 0 秒とした時間を示しており、縦軸は各時点におけるドライバの注視対象を示す。ドライバは停止線を通り、中央線を通る前に、フロントウィンドウ越しに正面方向に顔を向けている状態から、サイドウィンドウ越しに右折先の進行方向に顔を向け始める。中央線を通り、以降に横断歩道方向へ顔を向ける事象も一部見られたが、多くの事象で同様な顔向きの推移が見られた。前述した事象を含む分析対象とした事象における各注視対象への *GDR* の集計結果を図 3.5 に示す。ドライバや周囲の交通環境に起因して各対象への *GDR* のばらつきは大きいですが、分析対象としたデータにおける平均値に着目すると右折先の進行方向への顔向きが約 70% を占めるのに対して、横断歩道方向は 13% 程度、正面方向は 16% 程度であり、割合として右折先の進行方向への顔向きが高かった。よって、衝突リスクが高いと考えられるヒヤリハット事象において、ドライバは中央線を通り、右折を開始して以降、視線 (顔向き) が右折先の進行方向に長く向く傾向にあった。

## 歩行者行動

ドライバが中央線を通り、横断歩道を渡るタイミングを 0 秒とし、歩行者の横断開始タイミングを 1 秒間隔で集計した結果を図 3.6 に示す。なお、横断歩行者が横断歩道を渡り始めたタイミングは、ヒヤリハット事象の前方カメラ映像を目視し、判断した。図に示したように、約 7 割の事象においてドライバが右折を開始して中央線を通り、横断歩道を渡るタイミングの前後 1 秒間で歩行者が横断を開始していた。

単独走行右折シーンの対 L 型歩行者ヒヤリハット事象を分析した結果、横断歩行者がドライバから見て可視であるのにも関わらず、ドライバが特に減速を行わず、歩行者を認識していないと考えられる区間があることがわかった。このことを踏まえ、本研究ではドライバが横断する歩行者の存在を認識せずに右折を開始する場面を前提とし、当該場面の右折中に横断歩行者の発見が遅れる認知エラーを対象とすることにした。また、ヒヤリハット事象を分析した結果、交差点右折中に認知エラーが発生する状況としてドライバの約 7 割は信号待ちせずに交差点を右折しており、横断歩行者の約 7 割はドライバが中央線を通り、横断歩道を渡り始めていることがわかった。さらに、運転行動の傾向として、ドライバは大きな加減速なく右折し、右折を開始して以降、右折先の進行方向に視線 (顔) を向ける傾向にあった。

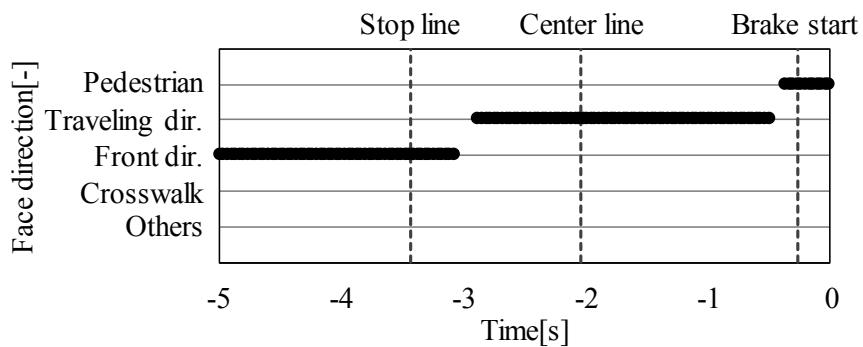


Fig. 3.4 Face direction transition example of TS1-1 scene (Incident ID: 261307)

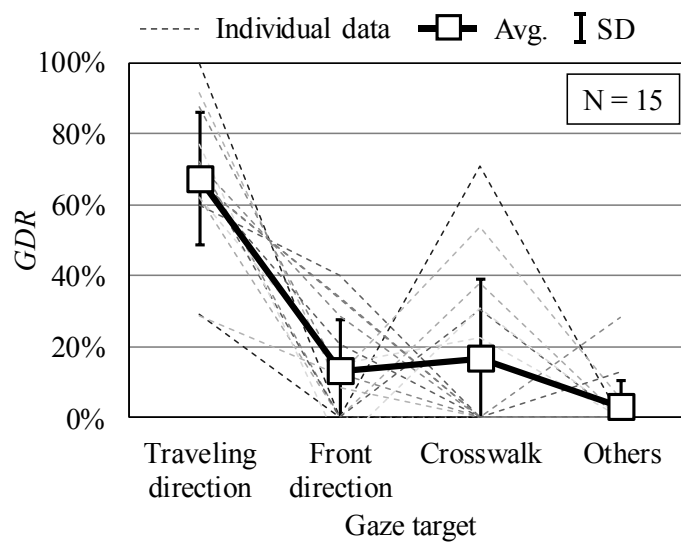


Fig. 3.5 GDR of each gaze target (TS1-1, L type pedestrian)

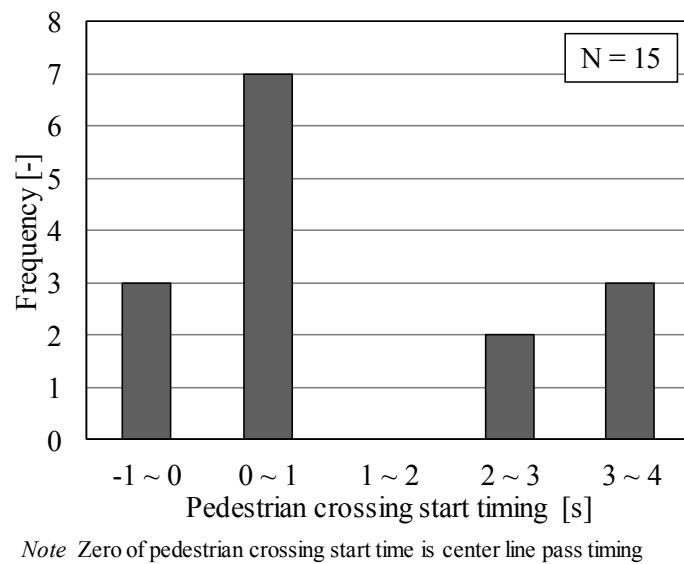


Fig. 3.6 Frequency distribution of pedestrian crossing start timing (TS1-1, L type pedestrian)



### 3.3 横断歩行者に対する認知エラーに至るパターン

前節のヒヤリハット分析の結果より、ドライバが横断する歩行者の存在を認識せずに右折を開始する場面における横断歩行者の発見が遅れる認知エラーを対象とする。前述した場面における認知エラーに繋がる運転行動の特徴について検討するため、ドライバが歩行者の存在を認識していない場面において、歩行者に対する発見遅れに至るパターンについて考えた。単独走行右折中に横断歩行者が出現し、自動車と衝突する可能性のあるモデルシーンとして図 3.7 のような状況を考えた。図 3.7 のように交差点右折中の自動車と横断歩行者がそれぞれ存在し、自動車を運転するドライバは歩行者に気づいておらず、両者がこのまま等速で進行した場合、 $T_{col}$  秒後に衝突するとする。この右折中の自動車が横断歩行者との衝突を回避するためには、歩行者の存在を発見し、ブレーキやステアリングで歩行者との衝突を回避する必要がある。仮にブレーキによる減速を考えると、自動車の速度を  $V_{vec}[\text{m/s}]$ 、ブレーキ時の減速度を  $a_{brake}[\text{m/s}^2]$  であるとする、自動車がブレーキを踏み始めてから停止するまでの所要時間  $T_{stop}$  は式 3.2 のようになる。ドライバが歩行者を発見してからブレーキを踏むまでの反応時間を  $T_{brake}$  とすると、ドライバが歩行者との衝突を避けるために、ドライバが歩行者を発見するまでに許される余裕時間  $T_{margin}$  は式 3.3 のように表現できる。ドライバが歩行者を発見するまでに経過した時間  $T_{lapse}$  が  $T_{margin}$  を超えた場合、自動車と横断歩行者は衝突に至る。ドライバの運転行動が影響すると考えると、このような状況に至るパターンは二つ考えられる。一つは歩行者を発見するまでの経過時間 ( $T_{lapse}$ ) が長いケースである。もう一つは自動車の速度 ( $V_{vec}$ ) が高く、歩行者を発見するまでの余裕時間が短いケースである。以上の検討より、自動車の速度が高いことが認知エラーに繋がる運転行動の特徴であると考えられる。また、ドライバが歩行者を発見するまでの経過時間が長くなる、すなわち歩行者を発見できないことは、ドライバの交差点右折中の視行動が影響している可能性が高い。そのため、次節では歩行者を発見するまでの経過時間が長くなり、認知エラーに至る場合の運転行動の特徴を明らかにするため、交差点右折中のドライバの視行動の特性について検討した。

$$T_{stop} = \frac{V_{vec}}{a_{brake}} \quad (3.2)$$

$$T_{margin} = T_{col} - T_{brake} - T_{stop} = T_{col} - T_{brake} - \frac{V_{vec}}{a_{brake}} \quad (3.3)$$

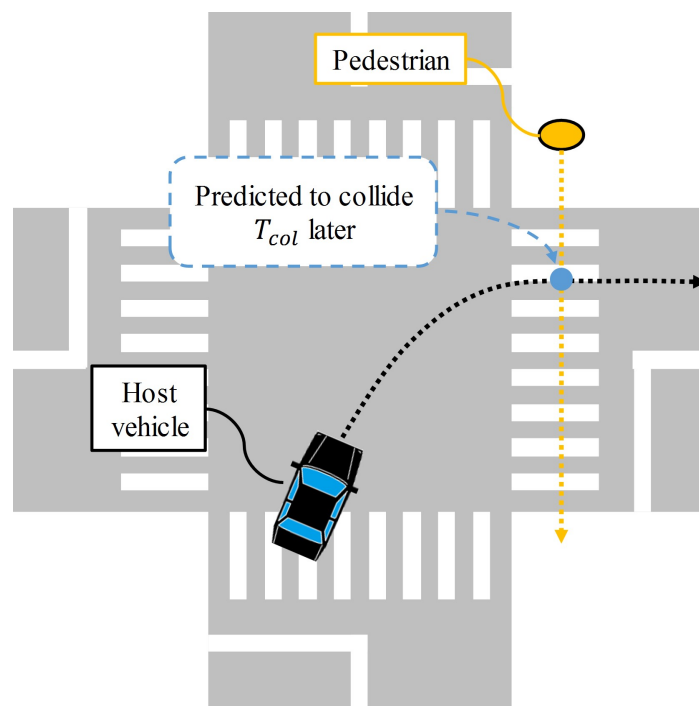


Fig. 3.7 Model scene for recognition error pattern investigation

## 3.4 交差点右折中のドライバの視行動の特性

前節で示したように、交差点右折中に認識していない横断歩行者を発見するまでの経過時間が長くなるのは、ドライバの視行動が影響している可能性が高い。そこで、旋回時・曲線走行時の注視特性および運転中の注意配分 (Attention allocation) の特性に基づき、単独走行右折シーンにおいて横断歩行者を発見するまでの経過時間を長くし、認知エラーに繋がる視行動の特徴について検討した。

### 3.4.1 ドライバの旋回時の注視

歩行中に方向を転換するとき、人間は体の向きを進行方向に向ける前に、まず予見的に視線を進行方向に向けると言われている<sup>[86]</sup>。このことは運転中および交差点右折時においても同様であると考えられ、車両を旋回させ始める前に、ドライバは将来進行していく方向に視線を向けると考えられる。そして旋回中を含む曲線走行中には、視点を通る直線と走行する曲線の内側との接点である Tangent point をドライバが見ることが報告されている<sup>[87]</sup>。このように進行していく方向の曲線軌跡上を見ることにより、移動方向と視方向が一致し、網膜上のフローが線形化され、旋回方向の知覚精度が向上すると言われている<sup>[88][89]</sup>。また舟川<sup>[90]</sup>は、ドライバは一般的に旋回中にドライバの座標系を安定した地表に留めておくために、アンカーポイントとして環境中の静止物 (e.g. 白線, 歩道) を追視すると述べている。以上のことより、ドライバは旋回中に主として移動経路の進行方向に視線を向けると考えられる。

### 3.4.2 ドライバの注意配分

運転中にドライバが横断歩行者等の対象を発見する上で重要となるのは、ドライバの視野内に入る情報から必要な情報を取得することである。視覚的注意 (Visual attention) は、ある場面における特定の場所や要素に注目することにより、特定の情報を優先し、他の情報を無視して選択的に情報を処理することを可能にする<sup>[91]</sup>。このように人間が特定の領域に注目することはスポットライト<sup>[92]</sup>やズームレンズ<sup>[93]</sup>と結び付けられており、この注目する領域の範囲は、自発的に調節できると言われている<sup>[91]</sup>。注意配分には Endogenous と Exogenous の二つの種類がある<sup>[91]</sup>。前者は観測者の意図・ゴールによる能動的な配分であり、後者は発生した外的刺激により誘発される受動的な配分である。これらの種類をそれぞれ Goal-directed と Stimulus-driven<sup>[94]</sup>や Top-down と Bottom-up<sup>[95]</sup>と表現している研究もある。本研究ではこれらの注意配分の種別を

Top-down と Bottom-up と表現することにする。Top-down な注意配分が優位になることで Bottom-up な注意配分が抑制されることが示されている<sup>[96][97][98]</sup>。Summala ら<sup>[99]</sup>は、ラウンドアバウトにおける自転車事故においてこのような現象が発生していると指摘している。また、一方で High salience な視覚刺激により意識的な Top-down な注意配分が取り除かれることも言われている<sup>[100]</sup>。Corbetta ら<sup>[94]</sup>は、Goal-directed(Top-down) な注意配分および Stimulus-driven(Bottom-up) な注意配分に対応する脳内のシステムをモデル化しており、特に Bottom-up は Top-down に対して割り込むシステムとして表現している。

運転における注意配分の考え方について目を向けると、Trick ら<sup>[101]</sup>は、注意配分を分類する軸として Automatic と Controlled の軸と Exogenous(Bottom-up) と Endogenous(Top-down) の軸があると述べている。Automatic は無意識で速く、努力を要しない注意配分であり、他のプロセスと並行できるのに対して、Controlled は意識を伴い、遅く、努力を要するため、同時に他のプロセスと並行することは難しい注意配分である。これらの2軸の組合せで注意配分を4モード (Reflex, Habit, Exploration, Deliberation) に分けて解釈している(図 3.8)。Wickens<sup>[102]</sup>らは、一般的な注意配分を表現する SEEV モデルを提唱し、運転にも適用できるとしている<sup>[103]</sup>(図 3.9)。SEEV はそれぞれ注意配分に影響する要素の頭文字である (Salience, Effort, Expectancy, Value)。こちらのモデルも Top-down(Expectancy & Value) と Bottom-up(Salience & Effort) に分類できるとしている。

本研究において想定する交差点右折中では、ドライバが横断歩行者を認識していない場面を想定しているため、刺激に誘発されてどこを見たか (Bottom-up) ではなく、右折するというゴールを達成するためにドライバがどこを見ていたか (Top-down) が関係してくると思われる。そこで Top-down な注意配分に注目する。Trick らが言うところのモードをドライバの注意配分として解釈した Engström ら<sup>[104]</sup>によると、Habit とは習慣的な注意配分であり、例えば衝突した場合に損害が大きい他車両や車両をコントロールする上で必要な目標経路に注意を配分することである。すなわち、ドライバにとって価値の高い対象に注意を配分するということであり、Wickens らの Value の要素と対応する。これに対して Deliberation とは意識的な注意配分であり、歩行者や自転車等の出現可能性が低く、相対的に自車への損害が小さい対象に注意を配分することである。出現可能性が低く、損害は小さい対象に注意を向けるためには、ドライバがその出現を意識したり、予測したりしていることが必要であり、Wickens らの Expectancy の要素と対応する。

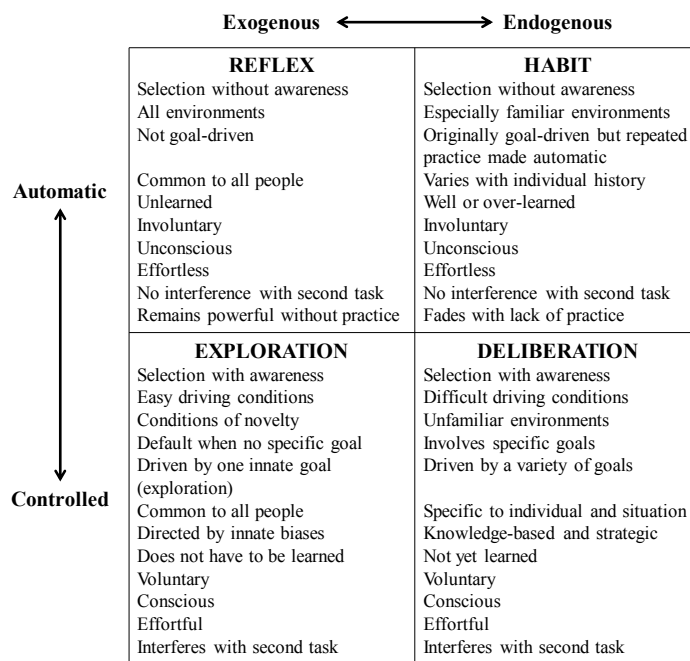


Fig. 3.8 A two-dimensional framework for the role of attention in driving [101]

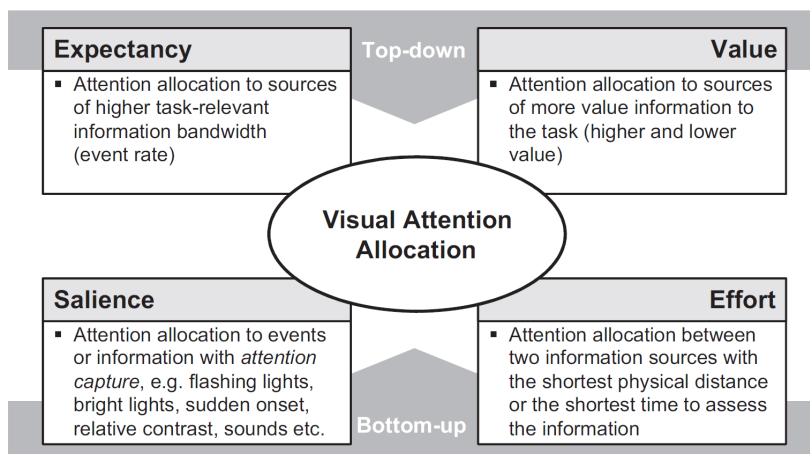


Fig. 3.9 The four components of the SEEV model [105]

以上の既存の Top-down な注意配分に関する知見より単独走行右折シーンにおける Top-down な注意配分は図 3.10 のようにまとめられると考えた。ドライバが行動を選択するプロセスの中に視行動を決定する注意配分のプロセスがあると考えられ、知覚・認識のプロセスから得られる周囲の環境情報を入力とし、行動を実行するプロセスにどこに視線を向けるかを出力する。Top-down な注意配分に分類されている習慣的な注意配分 (Habit) と意識的な注意配分 (Deliberation) がそれぞれ注意を向ける先は入力である周囲の環境情報に基づいて決定される。例えば、単独走行右折シーンであれば、習慣的な注意配分は前項の結果より右折先の進行方向を、意識的な注意配分は、出現可能性は低いですが、歩行者が出現する横断歩道方向を出力とすると考えられる。ここで Trick らや Wickens らとともに他の研究<sup>[9] [105]</sup>もドライバの予測の重要性を指摘しており、この予測により配分する注意の方向が変わると考えられる。図に示したモデルの中では、ドライバの予測の程度によって習慣的な注意配分および意識的な注意配分の出力にかかるゲイン ( $w_h$ ,  $w_d$ ) が変化すると考えた。例えば、ドライバが歩行者の出現可能性を予測している場合には、それぞれのゲインの大小関係が  $w_h < w_d$  となり、歩行者との衝突を回避するために積極的に横断歩道方向に視線を向けることが考えられる。しかし、もしドライバが歩行者の出現可能性を予測できていない場合、あるいはその予測の程度が低い場合、ゲインの大小関係は  $w_h > w_d$  となり、右折先の進行方向に視線が偏ることが想定される。進行方向にドライバの視線が偏ることは、3.2 節におけるヒヤリハット分析結果とも符合する。

ドライバの旋回時の注視特性に関する検討より、ドライバは進行先の経路、すなわち将来進行していく方向を見る傾向にあることがわかった。また、ドライバの注意配分の特性に関する検討より、Top-down な注意配分は習慣的な注意配分と意識的な注意配分に大別され、特にドライバが出現可能性の低い事象に対する予測の程度が低い場合に、習慣的な注意配分に偏る可能性があることがわかった。これらの知見をまとめると、単独走行右折シーンにおいては、横断歩行者の出現に対する予測が低い場合に、ドライバの視線方向は習慣的に目を向けやすい右折先の進行方向に偏ると考えられる。

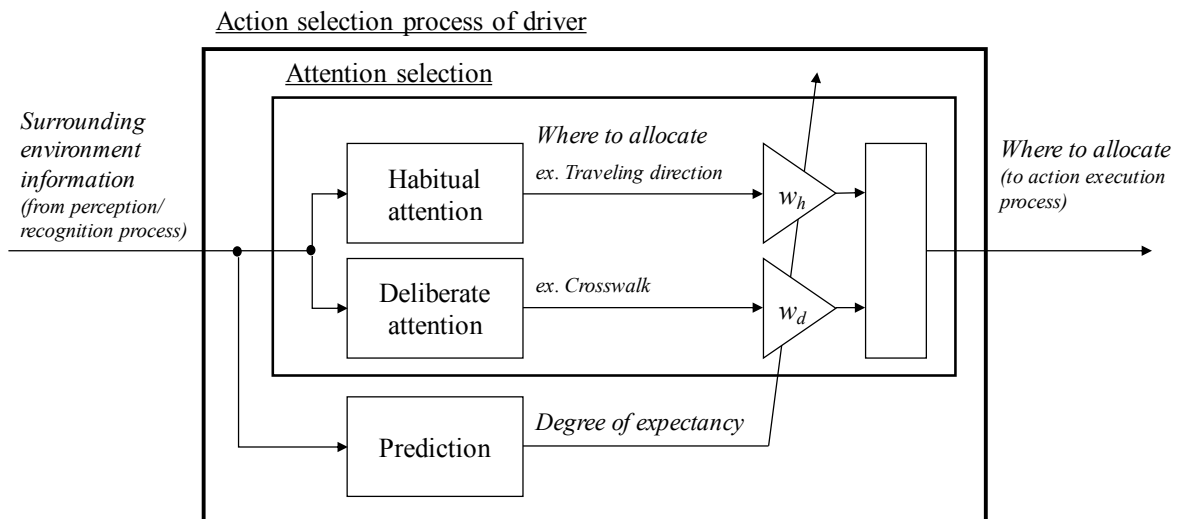


Fig. 3.10 Concept model of top-down attention allocation in cruising right-turn scene

## 3.5 認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説構築

前節までの検討を踏まえ、単独走行右折シーンにおける認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を構築した。さらに、運転行動特徴に基づいて衝突リスクが予見的に評価できる、運転行動特徴を反映する運転行動指標を設定した。

### 3.5.1 認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説

3.3 節における認知エラーが発生するパターンの検討より、「横断歩行者を発見するまでの余裕時間が短くなること」と「横断歩行者を発見するまでの経過時間が長くなること」が認知エラーに繋がることを示した。ドライバが横断歩行者を発見するまでの余裕時間については、3.3 節で述べたように交差点右折中の走行速度が影響すると考えられる。Summala ら<sup>[99]</sup>は上記の内容と同様に低い速度はドライバに確認するための余裕を与えると述べている。また Tsuda<sup>[106]</sup>は、高い速度で走行中には自転車にとって脅威となる大きい対象を探すのに忙しく、より小さい対象に気づかず、ドライバはその対象を認識しない可能性が高くなる、あるいは認識したとしてより距離が短くなってから認識すると述べている。既存研究の知見も踏まえ、横断歩行者を発見するまでの余裕時間は、交差点右折中の走行速度に影響されると言える。

交差点右折中の視行動について前節より、単独走行右折シーンにおいて、ドライバの横断歩行者の出現に対する予測が低い場合に、視線方向が右折先の進行方向に偏ることが示唆された。この視行動の特徴は、3.2 節で衝突リスクが高いと考えられるヒヤリハットを分析して得られたドライバの視行動の傾向とも合致する。また、ヒヤリハット分析結果が示すように、ドライバは右折開始前に横断歩行者を認識しておらず、さらに右折先の進行方向に視線を向け始めていた。これより、ドライバが横断歩行者の存在を認識せずに右折を開始した場合、ドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏ることが、横断歩行者の発見遅れ、すなわち発見するまでの経過時間を長くする要因であると考えられる。図 3.11 に示すようにドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏る、すなわちより進行方向を向くことにより、ドライバの視線方向と歩行者の存在する可能性のある横断歩道方向とがなす角度が大きくなる。人間の視野における刺激に対する感度は、視野の中心を離れれば離れるほど低くなる<sup>[107]</sup>ことが知られおり、ドライバが横断歩道方向から離れた右折先の進行方向に視線を向けることにより、仮に横断歩行者が可視であってもドライバの視野中の感度の低い領域で横断歩行者を知覚するため、Bottom-up な注意配分による歩行者の認識が遅くなり、ドライバの横断歩行者を発見するまでの経過時間が長くなることが考えられる。



以上のことを踏まえ、単独走行右折シーンにおける運転行動特徴の仮説を以下のように設定した。

- 交差点右折中の走行速度が高いことにより、横断歩行者を発見するまでの余裕時間が短くなる
- 交差点右折中のドライバーの視線方向が横断歩道方向から離れて右折先の進行方向に偏ることにより、横断歩行者を発見するまでの経過時間が長くなる

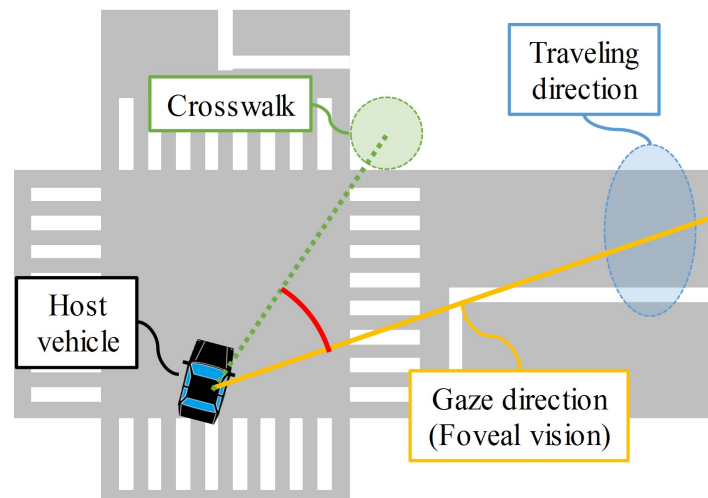


Fig. 3.11 Angle between crosswalk and drivers' gaze direction

### 3.5.2 運転行動特徴を反映する運転行動指標

※ 特許申請にかかわるため、**3.5.2** 項の内容 (pp.72-76) および図 **3.12-3.16**,  
式 3.4 を除外

Fig. 3.12 Relation between curvature of trajectory and drivers' gaze direction

Fig. 3.13 Setting of right-turn vehicle trajectory and representative point of crosswalk for investigation

Fig. 3.14 Transition of angle between gaze direction and crosswalk

Fig. 3.15 Relation between  $R$  of vehicle trajectory and average angle between gaze direction and crosswalk

(3.4)

Fig. 3.16 Model scene for  $\varphi_{cl}$  definition

### 3.6 本章のまとめ

本章では、まず単独走行右折シーンの対L型歩行者ヒヤリハットデータを分析した。その結果、ドライバが可視である横断歩行者を認識せずに、急制動に至っている事象が多く見られた。このことを踏まえ、本研究ではドライバが横断する歩行者の存在を認識せずに右折を開始する場面を前提とし、その場面において発生する横断歩行者の発見が遅れる認知エラーを対象とすることにした。

次に、前記場面においてドライバが横断歩行者に対する発見遅れに至るパターンについて検討し、「歩行者を発見するまでの経過時間が長い」ケースと「車両の速度が高く、歩行者を発見するまでの余裕時間が短い」ケースがあることを示した。

続いて、歩行者を発見するまでの経過時間が長くなることは、ドライバの視行動が影響すると考え、交差点右折時を含む旋回時の注視特性と注意配分の特性について既存の知見について調査を行い、以下に示す知見を得た。

- ドライバの旋回時の注視特性より、ドライバは将来進行していく方向を見る傾向にある。
- ドライバの注意配分の特性より、Top-down な注意配分は習慣的な注意配分と意識的な注意配分に大別され、特にドライバが出現可能性の低い事象に対する予測の程度が低い場合には習慣的な注意配分に偏る。

上記の視行動の特性より、単独走行右折シーンにおいて歩行者を発見するまでの経過時間が長くなる運転行動の特徴として「視線方向が右折先の進行方向に偏ること」を抽出した。ドライバの視線方向が歩行者が存在する横断歩道方向から離れて、右折先の進行方向に向くことにより、歩行者を発見するまでの経過時間が長くなる可能性がある。

以上の検討結果より、単独走行右折シーンにおける横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説として、以下を設定した。

- 交差点右折中の走行速度が高いことにより、横断歩行者を発見するまでの余裕時間が短くなる
- ドライバの視線方向が歩行者が存在する横断歩道付近から離れて右折先の進行方向に偏ることにより、横断歩行者を発見するまでの経過時間が長くなる

最後に、各運転行動特徴を反映し、予見的に衝突リスクを評価できる運転行動指標として中央線通過時速度  $V_{cl}$  と中央線通過時の位置に基づく右折軌跡曲率  $\varphi_{cl}$  を設定した。

次章では、実験に基づき、構築した運転行動特徴の仮説を検証し、ドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響について評価する。





## 第 4 章

# 単独走行右折時の認知エラーに繋がる 運転行動特徴の仮説検証



## 4.1 はじめに

前章で設定した単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を検証することと、ドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響について評価することが本章の目的である。

本章では、まず運転行動特徴の仮説を検証する方針および予測が視行動に及ぼす影響を評価する方針についてそれぞれ述べる。次に、認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証と、運転行動特徴を反映する運転行動指標の妥当性を評価するために実施した実車を用いた単独走行右折シーンの再現実験の内容および結果について述べる。さらに、ドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響を評価するために実施したドライビングシミュレータ (以下, DS) を用いた単独走行右折シーンの再現実験の内容および結果について述べる。

## 4.2 方針

### 4.2.1 認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証

交差点右折中に歩行者が出現しない非危険場面シナリオと、歩行者が出現する危険場面シナリオを含む単独走行右折シーンの再現実験を実施し、認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を検証するため、交差点右折中の走行速度と横断歩行者を発見するまでの余裕時間の相関性と、交差点右折中のドライバの視線方向の右折先の進行方向への偏りと横断歩行者を発見するまでの経過時間の相関性をそれぞれ評価した。それぞれの相関関係が有意 (有意水準 5%) であった場合に、運転行動特徴に関する仮説が検証されるとした。相関性を評価するため、交差点右折中の走行速度と交差点右折中のドライバの視線方向の右折先の進行方向への偏り、横断歩行者を発見するまでの余裕時間、横断歩行者を発見するまでの経過時間をそれぞれ以下のように設定した。

#### 交差点右折中の走行速度

ドライバが交差点を右折する区間を、中央線を通過してから右折先の横断歩道に到達するまでの区間と考え、交差点右折中の走行速度を、横断歩行者が出現しない非危険場面シナリオにおける前述した区間の区間平均速度  $V_{avg}$  とした。

### 交差点右折中のドライバの視線方向の右折先の進行方向への偏り

ドライバの視線方向の右折先の進行方向への偏りを，ドライバの視線方向角度  $GDA$ (Gaze Direction Angle) として図 4.1 のように定義し，横断歩行者が出現しない非危険場面シナリオの右折区間におけるドライバの区間平均視線方向角度  $GDA_{avg}$  とした．なお，右折区間は中央線を通過してから右折先の横断歩道に到達するまでの区間である．交差点右折時の  $GDA$  は，ドライバの視線方向と進行方向がなす角度と等価であり， $GDA$  が小さければ，ドライバの視線方向がより右折先の進行方向に偏っていることを示す．

### 横断歩行者を発見するまでの余裕時間

ドライバが横断歩行者を発見する必要があるのは右折を開始してから，右折先の横断歩道に到達するまでの区間である．そこで，右折開始時点をドライバが中央線を通過する時点として考え，横断歩行者を発見するまでの余裕時間のリファレンス指標  $MT$ (Margin time) を，横断歩行者が出現しない非危険場面シナリオにおける中央線を通過してから横断歩道に到達するまでの時間とした．

### 横断歩行者を発見するまでの経過時間

ドライバが横断歩行者を発見できるのは横断歩行者が出現し，可視となってからである．また，ドライバは横断歩行者を発見し，衝突する可能性を認識した場合，ブレーキを踏み回避行動を取ると考えられる．以上のことより，横断歩行者を発見するまでの経過時間のリファレンス指標  $LT$ (Lapsed time) を，横断歩行者が出現する危険場面シナリオにおいて歩行者が出現してからドライバがブレーキを踏むまでの時間とした．

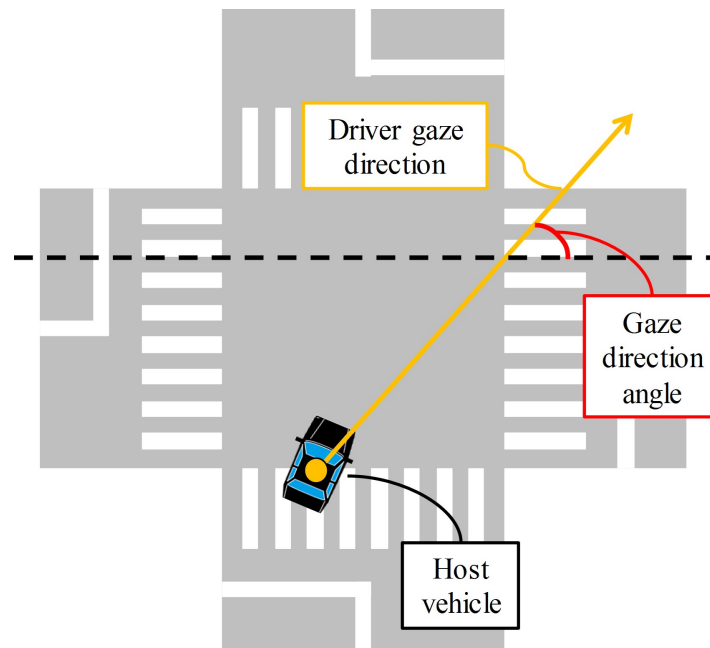


Fig. 4.1 Definition of gaze direction angle (*GDA*)

また、設定した運転行動特徴を反映する運転行動指標の妥当性を評価するため、まず  $\varphi_{cl}$  と交差点右折中のドライバの視線方向の進行方向への偏り  $GDA_{avg}$  の相関性と、 $V_{cl}$  と交差点右折中の走行速度の相関性を、非危険場面シナリオのドライバの運転行動に基づいてそれぞれ評価した。そして、次に運転行動指標と衝突リスクの関係性を評価した。3.3 節で示したように、衝突リスクに対して横断歩行者を発見するまでの余裕時間と経過時間がそれぞれ作用していると考えられる。認知エラーに繋がる運転行動特徴は余裕時間および経過時間と関連すると想定され、運転行動指標はその運転行動特徴を反映することから、二つの運転行動指標 ( $\varphi_{cl}$ ,  $V_{cl}$ ) も同様に衝突リスクに対してそれぞれ作用する可能性がある。そこで、運転行動指標と衝突リスクの関係性を評価するため、危険場面シナリオにおけるドライバの運転行動を、衝突リスクの高い運転行動と低い運転行動の2群に分類し、運転行動特徴を反映する運転行動指標を用いて正しく判別できるか評価した。なお、横断歩行者に対する衝突リスクのリファレンス指標は以下のように設定した。

## 衝突リスクのリファレンス指標

一般的に他車両や歩行者に対する衝突リスクを表現する指標として衝突余裕時間TTC(Time-to-collision)<sup>[111][112]</sup>が用いられている。TTCの基本的な算出方法は自車から対象までの距離を相対速度で除すことである。しかし、交差点右折場面においては、車両は旋回しながら右折先に向かい、車両軌跡が直線とはならないため、車両と歩行者間の距離や車両と歩行者間の相対速度を用いて算出することは現実的ではない。交差点を右折する際にドライバーは右折先のある車線に向かって進行しようとするため、仮に横断歩道を横断してくる歩行者と衝突する場合を考えると、ドライバーは横断歩道と進行先の車線が交差する辺りで衝突すると考えられる。そこで、図4.2のように、横断歩道とドライバーが右折後に進行する車線との交点に仮想衝突地点を設定し、自車からこの仮想衝突地点までの距離と自車速度の仮想衝突地点方向への成分に基づいて衝突リスクを考えた。運転行動の衝突リスクを反映するタイミングとして、ドライバーが横断歩行者に対してブレーキを踏んだ時点を考え、式4.1のように対歩行者ブレーキ時の衝突余裕時間( $TTC_{brake}$ )を衝突リスクのリファレンス指標とした。なお、式4.1中の $D_{cp}$ は車両の重心点から仮想衝突地点までの距離、 $\theta_{cp}$ は車両の正面方向と仮想衝突地点がなす角度、 $V_{hv}$ は車両の速度、 $FL_{hv}$ は車両の重心点から前端までの長さをそれぞれ表す。

$$TTC_{brake} = \frac{D_{cp} - FL_{hv}}{V_{hv} \cos \theta_{cp}} \quad (4.1)$$

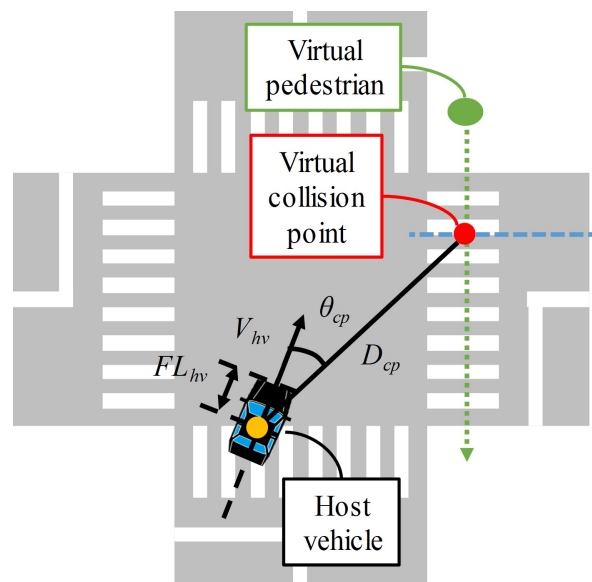


Fig. 4.2 Model scene for  $TTC_{brake}$  definition

### 4.2.2 歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響評価

ドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響を評価するためには、交差点右折中の横断歩行者の出現をドライバが予測している状態と、予測していない状態を作り出すことが必要である。このような状態を模擬するため、運転行動特徴の仮説を検証するために実施した実験と同様に、横断歩行者と衝突する可能性のある危険場面再現実験を行い、ドライバが予測していない状態として危険場면을体験する前の走行と、予測している状態として体験した後の走行における視行動を含む運転行動を比較した。

運転行動特徴の仮説は、後述する JARI-ARV 車両を用いた単独走行右折シーンの再現実験 (実験 A) に基づいて検証した。そしてドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響は、後述する DS を用いた単独走行右折シーンの再現実験 (実験 B) に基づいて評価した。

## 4.3 認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証 (実験 A)

本実験は、単独右折シーンにおいて交差点右折中に横断歩行者が出現しない場面と出現する場面をそれぞれ再現し、認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を検証するとともに、運転行動特徴を反映する運転行動指標の妥当性を評価することが目的である。

### 4.3.1 実験概要

#### 実験車両および実験場所

本実験は一般財団法人日本自動車研究所 (以下, JARI) が所有する拡張現実実験車 JARI-ARV を用い、同所つくば研究所内の模擬市街路東コースで実施した。図 4.3 に JARI-ARV の外観, 図 4.4 に JARI-ARV の車内から見える前方風景, 図 4.5 に JARI-ARV のシステム構成を示す。本車両は実車のボンネット上に前方映像を撮影するビデオカメラと、取得した映像を映し出すディスプレイをそれぞれ 3 台ずつ搭載しており、ドライバーは実際の周囲の景色をディスプレイ越しに見ながら運転することができる。実車を用いているため、DS では再現できない現実感のある車両挙動が得られ、同時に拡張現実技術を用いてコンピュータ・グラフィックス (CG) の車両や歩行者を図 4.6 のように実際の風景に任意のタイミングで重畳することができ、安全かつ容易に危険場面を再現できることが特徴である。本実験では危険場面を安全にかつ繰り返し同一条件で再現することが必要であるため、JARI-ARV を実験車両として選定した。また、本車両の実験車両としての妥当性は、通常時における運転感覚と危険場面の再現可能性について検討されている<sup>[113]-[116]</sup>。特に、今回対象とする交差点右折時における車両軌跡と操作行動、車両挙動が実車と同様であることが報告されている<sup>[114][116]</sup>。

#### 実験参加者

平均年齢  $32.6 \pm 6.6$  歳の日常的に自動車の運転を行う成人男女 26 名 (A01-A26) に対し、実験を実施した。表 4.1 に各参加者の詳細を示す。なお、実験参加者には実験前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。





Fig. 4.3 Appearance of JARI-ARV



Fig. 4.4 View from inside JARI-ARV

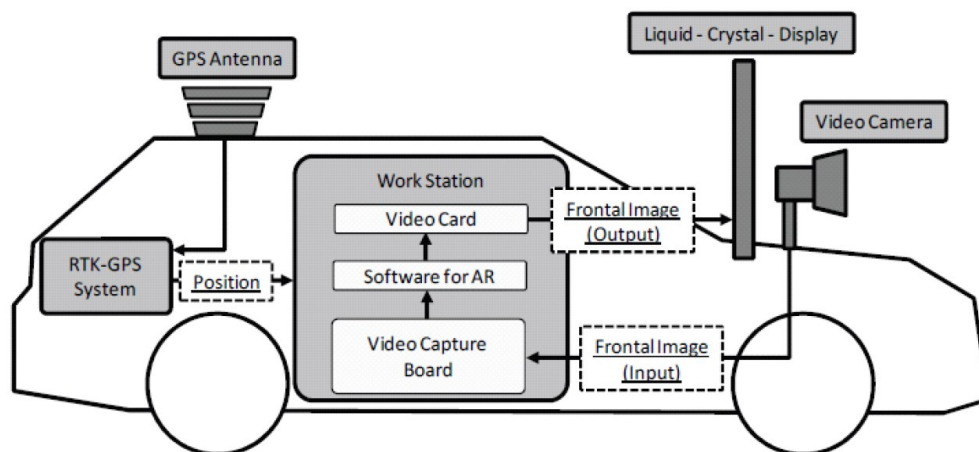


Fig. 4.5 System outline of JARI-ARV [114]



Fig. 4.6 CG objects superimposed on real outer view

Table 4.1 Detail of participants (Exp. A)

ID	Sex	Age	Annual mileage [km]
A01	M	23	14,000
A02	M	28	1,500
A03	M	24	Under 1,000
A04	M	22	5,000
A05	F	37	9,000
A06	M	25	7,200
A07	F	41	5,000
A08	F	32	Under 1,000
A09	F	42	3,000
A10	M	38	12,000
A11	F	38	3,000
A12	F	34	4,000
A13	M	38	4,000
A14	F	38	Under 1,000
A15	M	37	10,000
A16	M	22	8,000
A17	M	35	20,000
A18	M	23	1,000
A19	M	31	6,000
A20	M	38	20,000
A21	F	37	Under 1,000
A22	M	23	1,000
A23	F	39	1,000
A24	M	34	1,000
A25	F	34	1,000
A26	F	35	Under 1,000

### 実験コース

模擬市街路東コース内に片側 2 車線の対象交差点を含む 1 周約 500 m の周回コースを設定した。また、対象交差点の隅には、交差点の見通しを制限することで歩行者が横断してくる可能性を提示できる壁を設置した。本実験では、認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説を検証することが目的であり、その運転行動特徴の一つが交差点右折中のドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏ることである。運転行動特徴の仮説を検証するためには、ドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏った場合と偏らなかった場合のそれぞれの事象が必要である。しかし、交差点に自車以外の交通参加者が存在しない状況で右折する場合、3.4 節で述べたように習慣的な注意配分に偏り、ドライバの視線方向が過度に右折先の進行方向に偏ってしまう可能性が考えられる。そこで、ドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏らずに、横断歩行者が存在する可能性のある横断歩道付近にも視線を向けられるようにするため、見通しを制限し、間接的に歩行者が横断してくる可能性を示唆できる壁を設置した。図 4.7 に実験コースの鳥瞰図、図 4.8 に対象交差点の外観、図 4.9 に対象交差点の寸法を示す。なお、2.5 節で述べたように、本研究で対象とする交差点は、交差点流入側車道幅が中分類 (5.5–13 m) の交差点であるが、前述した車道幅の分類に該当し、模擬市街路内にある信号交差点で、かつ交差点進入までの距離を十分に確保できる交差点がなかったため、流入側車道幅が 14 m の片側 2 車線の交差点を対象交差点として選定した。本実験の対象交差点の仕様を基準とし、他の実験においても同様の交差点における実験を実施した。

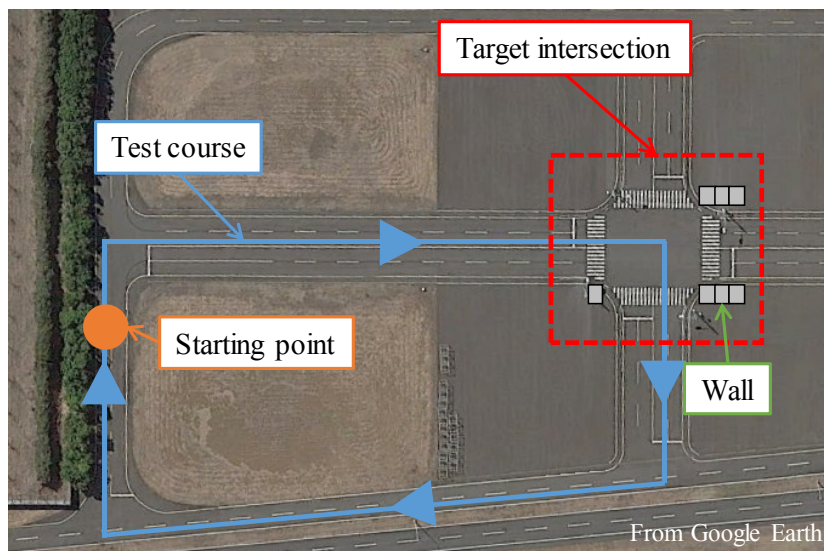


Fig. 4.7 Overview of test course (Exp. A)



Fig. 4.8 Appearance of target intersection (Exp. A)

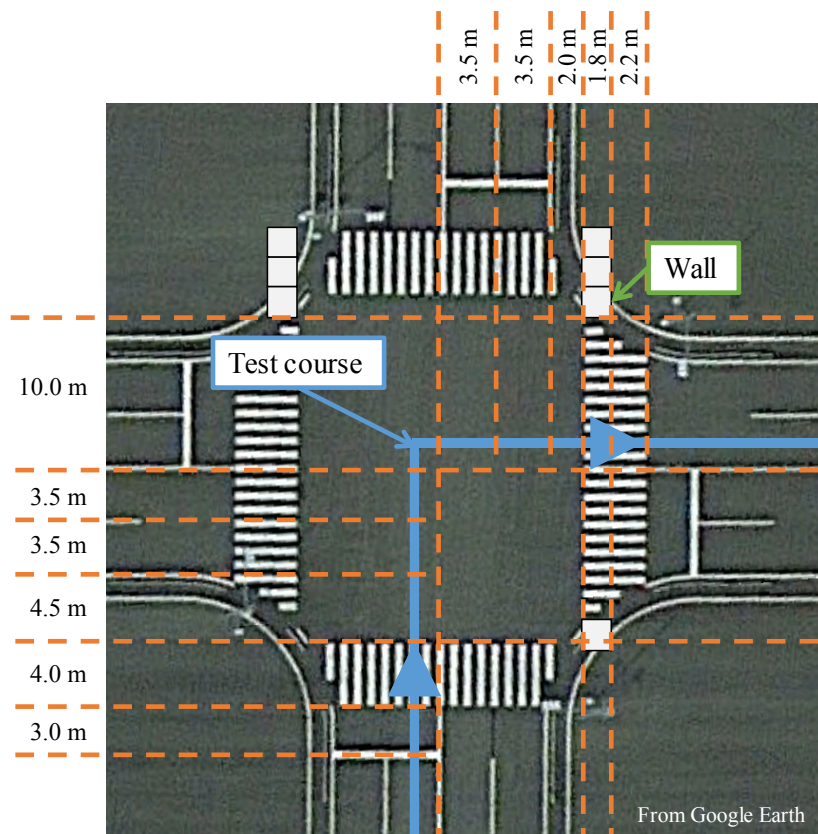


Fig. 4.9 Dimension of target intersection

### 実験シナリオ

単独走行右折の状況を再現するため、交差点右折時に先行車や対向車が存在しないシナリオを設定した。先行車や対向車が存在しないシーンのシナリオであるが、他交通参加者を全く存在させないことにより、公道での運転と乖離することを防ぐため、自車の交差点右折と干渉しないタイミングで対向車を出現させた。なお、対向車は40 km/hの定速走行とした。さらに、交差点右折中に横断歩行者が横断歩道に出現する危険場面 (Risk scene: RS) シナリオと横断歩行者が出現しない非危険場面 (Non-risk scene: NS) シナリオをそれぞれ設定した。3.2節の単独走行右折シーンのヒヤリハット分析において示したように、単独走行右折シーンにおけるヒヤリハットでは、ドライバが交差点の右折を開始するよりも前から横断歩行者が横断歩道付近に存在しており、ヒヤリハットに至ったドライバは、この横断歩行者を認識せずに右折を開始していた可能性が高い。しかし、テストコース内における実験でヒヤリハットの状況と同様にドライバが交差点右折を開始するよりも前から横断歩行者を横断歩道付近に出現させた場合、横断歩行者以外の交通参加者が交差点付近に存在しないため、実験参加者は横断歩行者を認識しやすく、ヒヤリハットのような状況を再現することが難しいと考えられる。そこで、ヒヤリハットに近い衝突リスクの高い状況を再現するため、危険場面シナリオでは車両が中央線を通過したタイミングでそれまでは可視でなかった横断歩行者を横断歩道端に出現させ、横断を開始させた。なお、横断歩行者を出現させるタイミングは3.2節における単独走行右折シーンのヒヤリハット分析結果に基づいて中央線通過時とした。実験シナリオの時系列の流れを以下に示す (図 4.10)。

1. 自車が対象交差点の手前の停止線に到達する前に対向車とすれ違う
2. <危険場面シナリオのみ>自車が中央線を通過すると同時に歩行者が壁の裏から歩行を開始する

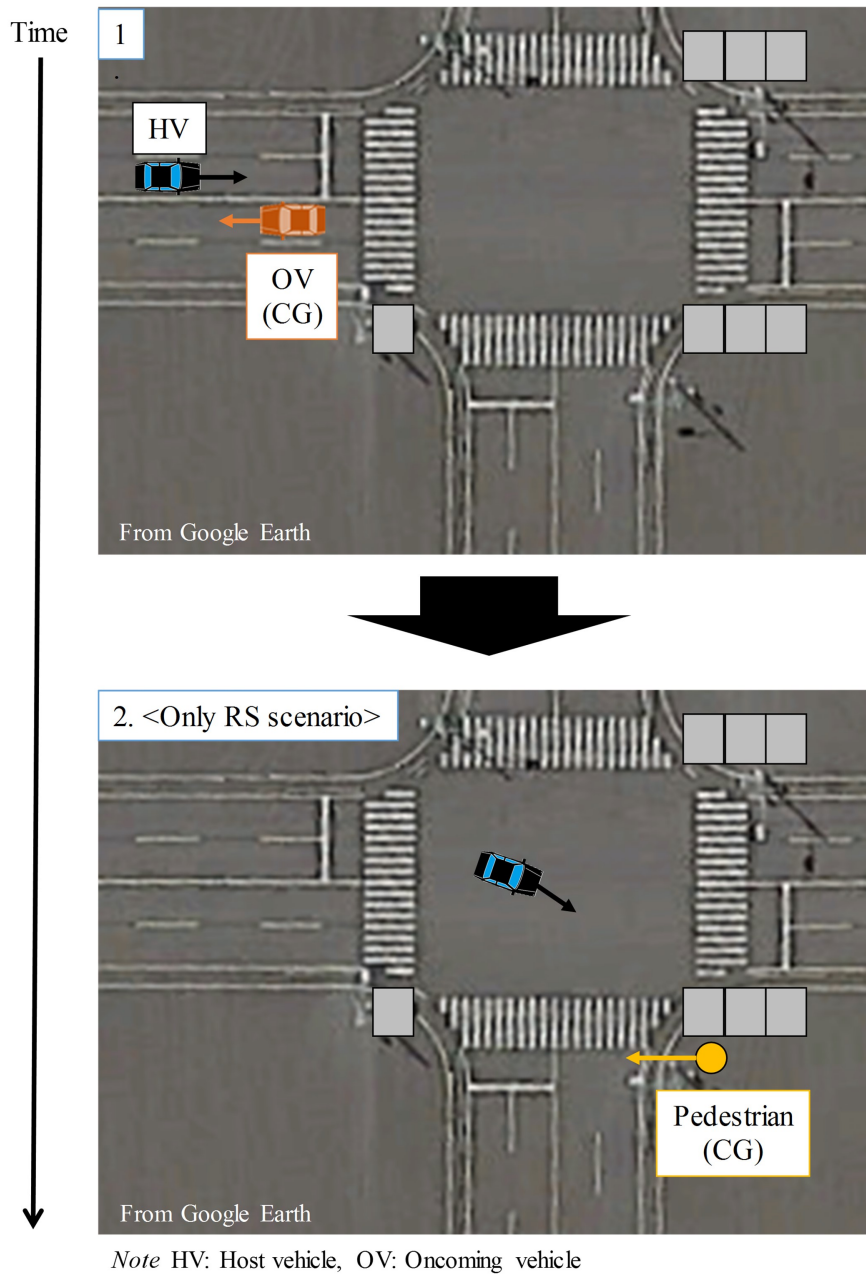


Fig. 4.10 Overview of test scenario (Exp. A)

### 運転条件

本実験では、ドライバーが歩行者に衝突しそうになる衝突リスクの高い運転を再現することが目的である。しかし、日常の運転で危険事象に遭遇することは珍しい。そこで、三つの異なる運転条件を設定し、各参加者はいずれかの条件で実験に参加した。各条件の内容を以下に示す。

- 通常運転条件 (Normal) :  
普段通りの運転を心がけるように教示する条件
- 急ぎ運転条件 (Hurry) :  
急ぐ気持ちを持って運転することを教示する条件
- 注意散漫運転条件 (Absent-mind) :  
運転とともに N-back タスク<sup>[117][118]</sup>を用いた副次タスクを課す条件

### 実験手順

表 4.2 に示す手順で実験を実施し、参加者は実験コースを連続して 4 周走行し、走行後に実験後アンケートに回答した。回答した実験後アンケートを図 4.11 に示す。なお、参加者は表 4.2 の手順に入る前に実験車両および実験シナリオに慣れるための十分な練習走行を実施した。通常運転教示条件および注意散漫運転条件では「普段の運転を思い出し、いつも通りの運転を心がけること」を教示し、急ぎ運転教示条件では「友人との待ち合わせ等に遅れることを思い浮かべ、急ぐ気持ちを持って運転すること」を教示した。また、出発前に実験コースは公道における制限速度 40 km/h 道路であると想定して運転することと、片側 2 車線のうち右側の車線を走行することを教示し、歩行者が出現する可能性や交差点に設置した視界制限壁の存在については事前に一切教示しなかった。

Table 4.2 Test procedure (Exp. A)

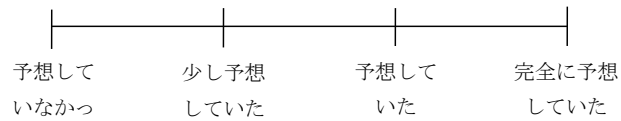
Order No.	Content
1	Drive 3 laps of test course with NS scenario
2	Drive 1 lap of test course with RS scenario
3	Answer post-experiment questionnaire



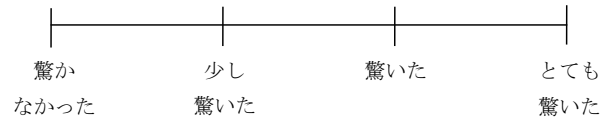
実験参加者 ID :

## 実験後アンケート

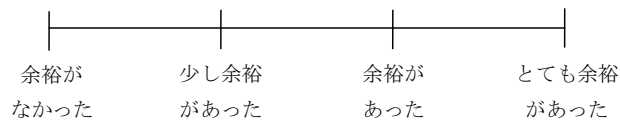
○歩行者が出現することをどの程度予想していましたか？ (○を記入)



○歩行者が出現した際、どの程度驚きましたか？ (○を記入)



○上記のように感じた理由を出来る限り詳細に記入してください。(自由回答)

○右折を行う際、対向直進車に対してどの程度余裕を感じましたか？  
(○を記入)

以上です。ありがとうございました。

Fig. 4.11 Post-experiment questionnaire

## 計測項目

本実験の主な計測項目を表 4.3 に示す。操作行動や車両挙動，車内映像は JARI-ARV に搭載された計測システム，JARI-ARV のディスプレイの映像をウェアラブルカメラ GoPro HERO3(GoPro 社製)，ドライバの視行動はモバイル型アイマークレコーダ EMR-9(株式会社ナックイメージテクノロジー製) を用いて取得し，映像を記録した。

Table 4.3 Measured items (Exp. A)

Item	Sampling [Hz]
Vehicle position [m]	50
Vehicle yaw angle [°]	50
Vehicle speed [km/h]	50
Vehicle yaw rate [°/s]	50
Vehicle acceleration [g]	50
Accelerator pedal aperture [%]	50
Brake pedal signal [-]	50
Steering wheel angle [°]	50
Driver face / pedal operation image	30
JARI-ARV display image	60
Driver gaze behavior image	30

### 4.3.2 実験結果

#### ドライバの歩行者出現に対する予測

危険場面シナリオの走行後に実施した実験後アンケートのうち、「歩行者が出現することをどの程度予想していましたか?」という設問に対する実験参加者の回答を集計した結果を図 4.12 に示す。アンケート回答の集計結果より、実験環境を見て走行した実験参加者の約 70%が歩行者の出現する可能性を予想していたと回答した。対象交差点の隅に設置した視界制限壁のみの効果ではないと考えられるが、他の交通参加者が存在しない統制環境であるテストコース内の交差点の隅に壁を設置して歩行者の出現する可能性を提示することで、実験参加者が横断歩行者の出現を全く予想しないという公道における一般的な運転から乖離した結果は回避できたと言える。

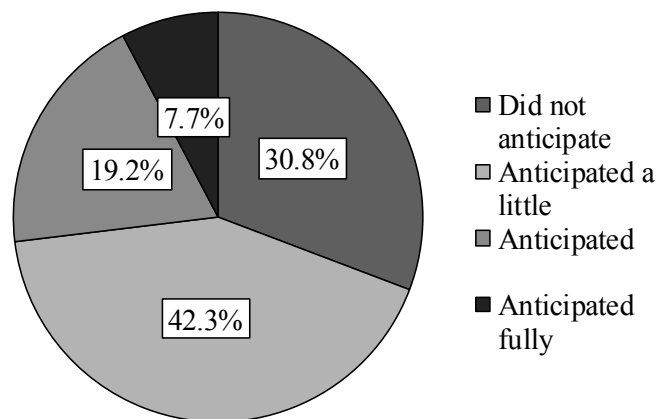


Fig. 4.12 Degree of anticipation about crossing pedestrian appearance

危険場面シナリオにおける対歩行者回避行動

表 4.4 に示すように危険場面シナリオの走行において 26 名中 4 名は歩行者に気づいたもののブレーキを踏まずに、歩行者を操舵で回避する等して歩行者より先に横断歩道を通じた。また、A24 は歩行者を発見した際に既にブレーキを踏んでおり、歩行者に対するブレーキを判断できなかった。そのため、5 名について  $TTC_{brake}$  を算出できず、この 5 名を分析対象外とした。

図 4.13 に各参加者の  $TTC_{brake}$  の算出結果を示す。最も衝突リスクが高いと考えられる  $TTC_{brake}$  の最小値が 0.48 秒であり、最大値が 3.39 秒であった。実験により相対的に衝突リスクの高い運転から衝突リスクの低い運転まで取得することができた。なお、異なる三つの運転条件間において  $TTC_{brake}$  に有意差は見られなかった。これは運転条件による作用よりもドライバ間のばらつきが大きかったためであると考えられる。

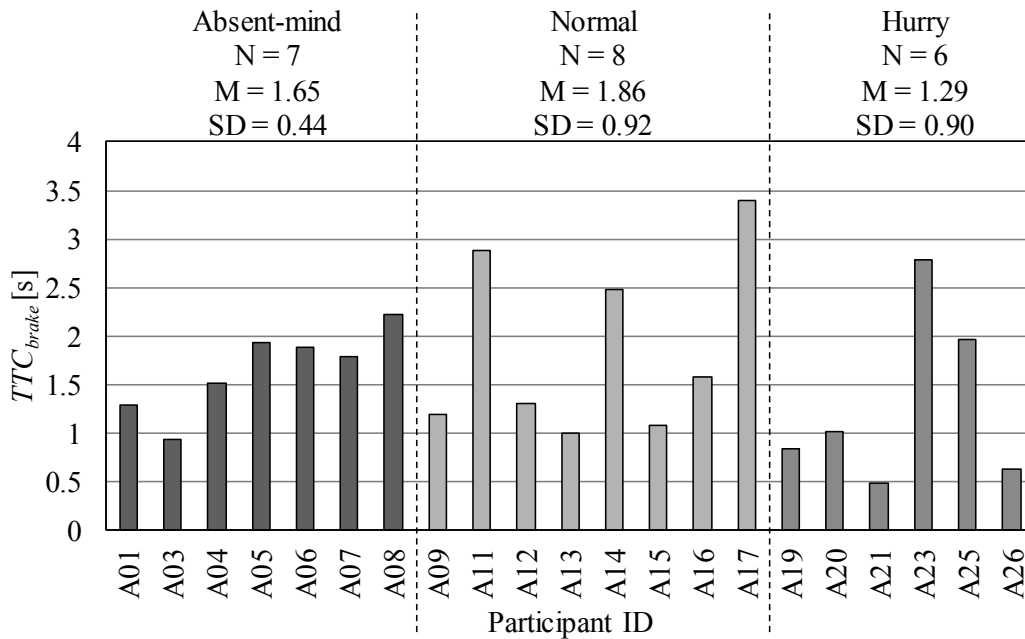


Fig. 4.13  $TTC_{brake}$  result of each participant (Exp. A)

Table 4.4 Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. A)

ID	Driving condition	Avoidance behavior	$TTC_{brake}$ [s]
A01	Absent-mind	Stop	1.29
A02	Absent-mind	Pass (W/o brake)	-
A03	Absent-mind	Decelerate	0.93
A04	Absent-mind	Decelerate	1.52
A05	Absent-mind	Stop	1.94
A06	Absent-mind	Stop	1.88
A07	Absent-mind	Stop	1.78
A08	Absent-mind	Stop	2.23
A09	Normal	Pass (With brake)	1.19
A10	Normal	Pass (W/o brake)	-
A11	Normal	Stop	2.88
A12	Normal	Stop	1.30
A13	Normal	Stop	1.01
A14	Normal	Stop	2.48
A15	Normal	Pass (With brake)	1.07
A16	Normal	Pass (With brake)	1.57
A17	Normal	Stop	3.39
A18	Hurry	Pass (W/o brake)	-
A19	Hurry	Stop	0.84
A20	Hurry	Pass (With brake)	1.02
A21	Hurry	Pass (With brake)	0.48
A22	Hurry	Pass (W/o brake)	-
A23	Hurry	Stop	2.79
A24	Hurry	Stop <sup>*1</sup>	-
A25	Hurry	Stop	1.97
A26	Hurry	Pass (With brake)	0.63

Note \*1 Pressed brake pedal before pedestrian appearance

出現した横断歩行者の前で停止あるいは減速したドライバの  $TTC_{brake}$  とブレーキ時の最大減速度の関係を図 4.14 に示す。  $TTC_{brake}$  が 2.0 秒を超える運転行動のブレーキ時最大減速度はヒヤリハットデータベースの記録開始トリガである  $0.45 \text{ g}$ <sup>[76]</sup> を下回っていた。これは横断歩行者に対して踏んだブレーキが緊急性を伴っていなかったことを示唆しており、  $TTC_{brake}$  が 2.0 秒を超える運転行動が相対的に安全な行動であったと言える。

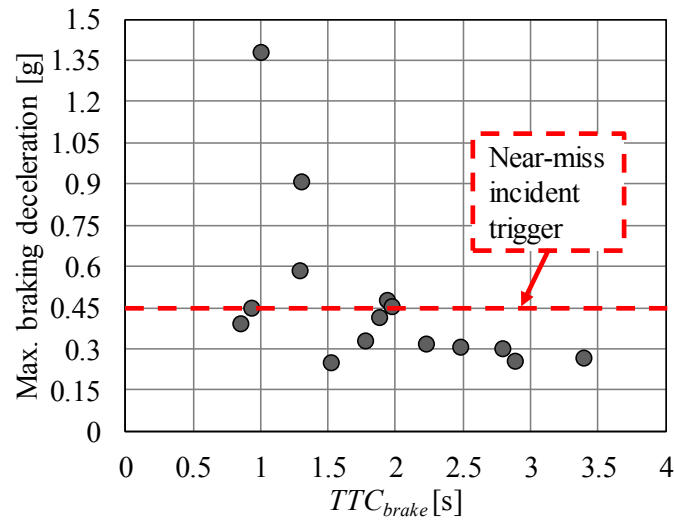
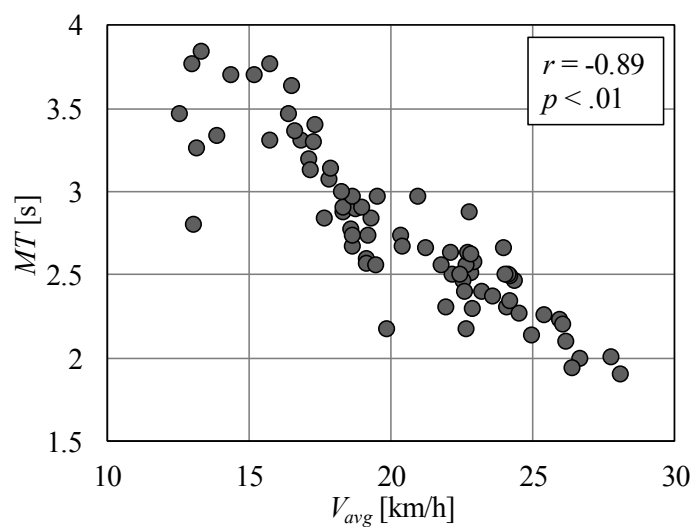
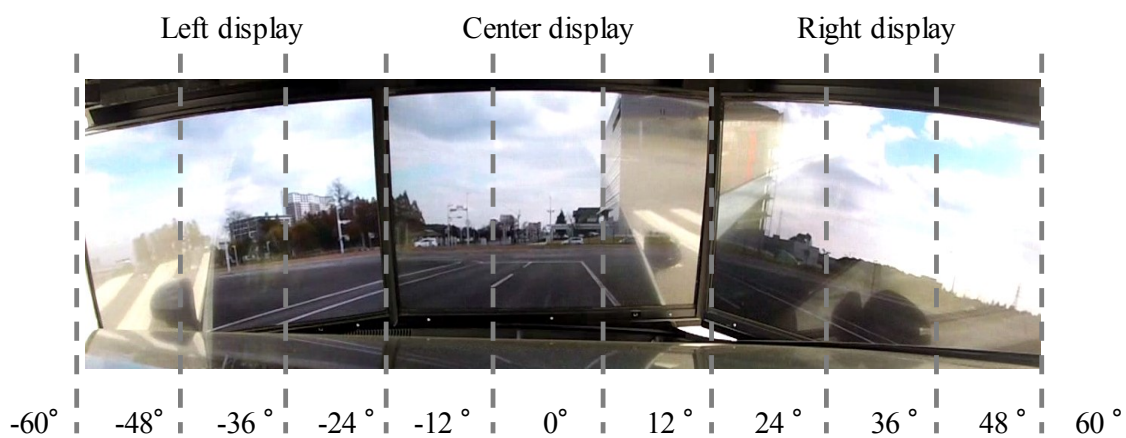


Fig. 4.14 Relation between  $TTC_{brake}$  and maximum braking deceleration (Exp. A)

## 運転行動特徴の仮説検証

まず、非危険場面シナリオにおける、交差点右折中の走行速度  $V_{avg}$  と横断歩行者を発見するまでの余裕時間  $MT$  の関係を図 4.15 に示す。  $V_{avg}$  と  $MT$  には有意な相関関係が見られた ( $r = -0.89, t(74) = -16.83, p < 0.01$ )。この関係性より、ドライバの走行速度が、歩行者の発見や回避に適用できる時間に影響することを示している。これより、「走行速度が高いこと」が認知エラーに影響する運転行動特徴であることが示された。

次に、非危険場面シナリオにおける交差点中のドライバの視線方向の右折先の進行方向への偏り  $GDA_{avg}$  と、危険場面シナリオにおける横断歩行者を発見するまでの経過時間  $LT$  の相関性を評価した。本実験では  $GDA_{avg}$  を、絶対座標系における車両の向きと車両座標系におけるドライバの視線方向を用いて算出した。車両座標系におけるドライバの視線方向角度を取得するため、JARI-ARV 車両に搭載された 3 画面のディスプレイを運転席から見た視野角が約  $110^\circ$  である特徴を用いた。図 4.16 のように JARI-ARV 車両のディスプレイに 11 分割した領域を設定し、視線計測装置のカメラ映像を用いて注視点が入る領域を判断して  $12^\circ$  の分解能で車両座標系におけるドライバの視線方向角度を算出した。なお、 $GDA_{avg}$  は非危険場面シナリオ、 $LT$  は危険場面シナリオの運転行動についてのみ算出可能であるため、各実験参加者の危険場面シナリオ走行直前の非危険場面シナリオにおける  $GDA_{avg}$  と危険場面シナリオにおける  $LT$  を対として用いて評価した。図 4.17 に示したように、 $GDA_{avg}$  と  $LT$  は有意に相関した ( $r = -0.54, t(19) = -2.78, p < 0.05$ )。これは  $GDA_{avg}$  が小さく、より右折先の進行方向にドライバの視線が向くことにより、横断歩行者を発見するまでの時間が掛かっていることを示している。よって、「ドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏ること」が認知エラーに繋がることを示された。以上の結果より、構築した仮説の運転行動特徴と、認知エラーに繋がる横断歩行者を発見するまでの余裕時間および経過時間が有意に相関することが示され、単独走行右折シーンにおける認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説が検証された。

Fig. 4.15 Relation between  $V_{avg}$  and  $MT$  (NS scenario)Fig. 4.16 Definition of areas on displays of JARI-ARV for  $GDA$  computation



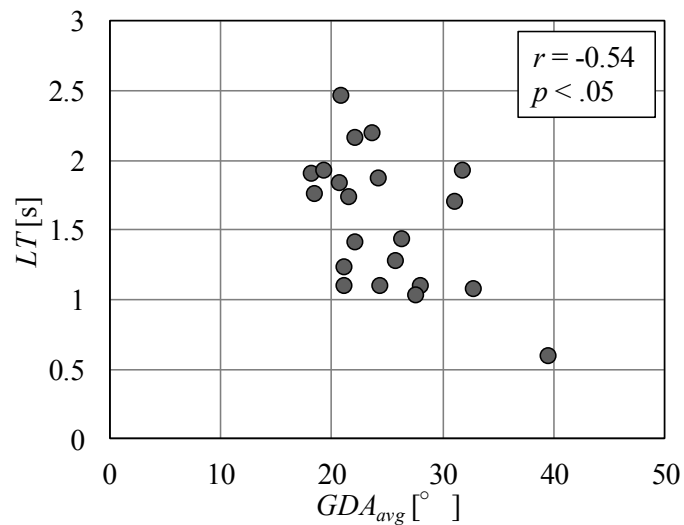
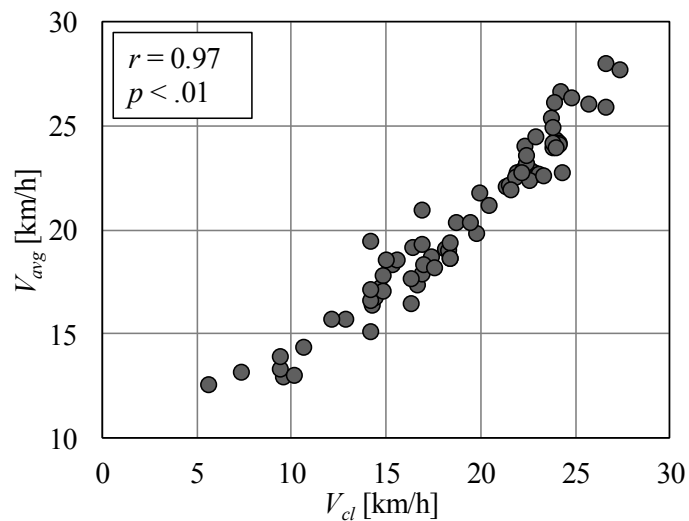
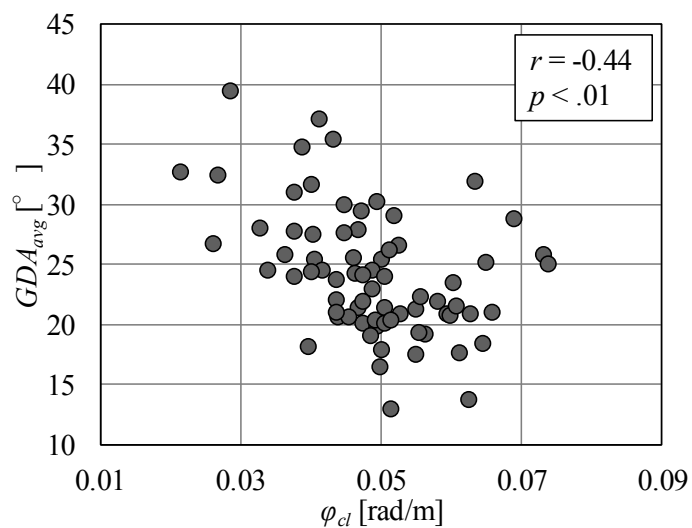


Fig. 4.17 Relation between  $GDA_{avg}$  (Last NS scenario before RS scenario) and  $LT$  (RS scenario)

#### 運転行動特徴を反映する運転行動指標の妥当性評価

運転行動指標の妥当性を評価するため、まず各運転行動指標と各指標が反映すると設定した運転行動の関係性を評価した。図 4.18 に非危険場面シナリオにおける交差点右折中の走行速度  $V_{avg}$  と  $V_{cl}$  の関係を示す。  $V_{avg}$  と  $V_{cl}$  には有意な相関関係が見られた ( $r = 0.97, t(74) = 32.9, p < 0.01$ )。この関係性より、設定した運転行動指標  $V_{cl}$  が交差点右折中の走行速度を反映することがわかった。図 4.19 に非危険場面シナリオにおける交差点右折中のドライバの視線方向の右折先の進行方向への偏り  $GDA_{avg}$  と  $\varphi_{cl}$  の関係を示す。  $GDA_{avg}$  と  $\varphi_{cl}$  は有意に相関した ( $r = -0.44, t(71) = -4.09, p < 0.01$ )。よって、設定した運転行動指標  $\varphi_{cl}$  が交差点右折中のドライバの視線方向の進行方向への偏りを表すことが示された。以上の結果より、運転行動指標が認知エラーに繋がる運転行動特徴を反映することが確認できた。

Fig. 4.18 Relation between  $V_{cl}$  and  $V_{avg}$  (NS scenario)Fig. 4.19 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $GDA_{avg}$  (NS scenario)

次に、運転行動指標と衝突リスクの関係性について評価した。3.3節で述べたように、二つの運転行動指標が歩行者に対する衝突リスクにそれぞれ関連すると考えられる。まず、この可能性を確認するため、 $TTC_{brake}$  を用いて三つの異なる衝突リスクレベルに分類し、衝突リスクレベルと  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の組合せの関係について検討した (図 4.20)。異なる衝突リスクレベルのプロットが視覚的に分離可能であった。さらに、二つの運転行動指標と衝突リスクの関係性を評価するため、 $TTC_{brake}$  を目的変数、二つの運転行動指標を説明変数として、危険場面シナリオの走行データを用いて回帰分析を行った。回帰分析結果を表 4.5 に示す。二つの運転行動指標を用いた  $TTC_{brake}$  の回帰式は有意 ( $p < 0.01$ ) であり、かつ二つの運転行動指標の係数がいずれも有意であることが示された ( $p < 0.01$ )。よって、二つの運転行動指標が衝突リスクと関連することを確認した。

次に、二つの運転行動指標により衝突リスクを評価できるか明らかにするため、2指標をパラメータとして衝突リスクの高い運転行動と衝突リスクの低い運転行動を判別する式を危険場面シナリオの走行データを基に算出した。なお、前述した危険場面シナリオにおける回避行動中の最大減速度の傾向を踏まえ、衝突リスクの高い運転行動と衝突リスクの低い運転行動の  $TTC_{brake}$  の閾値を 2.0 秒と設定した。また、二つの運転行動を判別する手法としてフィッシャーの線形判別<sup>[119]</sup>を用いた。図 4.21 に危険場面シナリオの走行データを用いて算出した判別線と、 $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の組合せの関係性を示す。Leave-one-out 法を用いた交差検証の結果、 $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  を用いて運転行動の衝突リスクの高低を、判別率 95%以上の高い精度で判別できた。以上の結果より、 $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の二つの運転行動指標により単独走行右折シーンにおける運転行動の衝突リスクを評価できることがわかった。

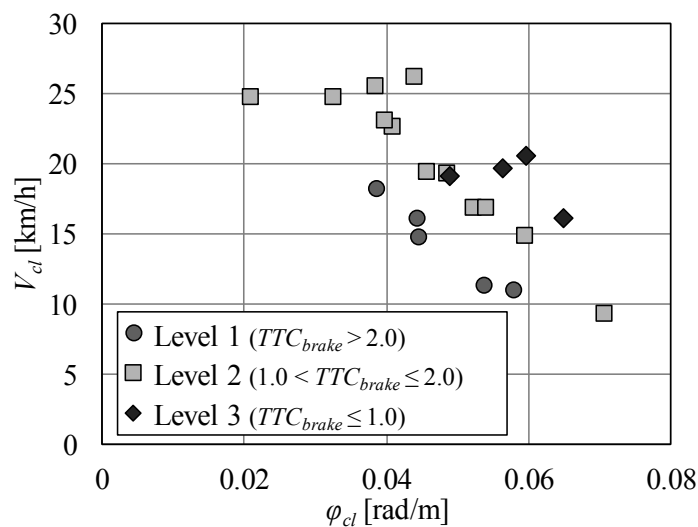
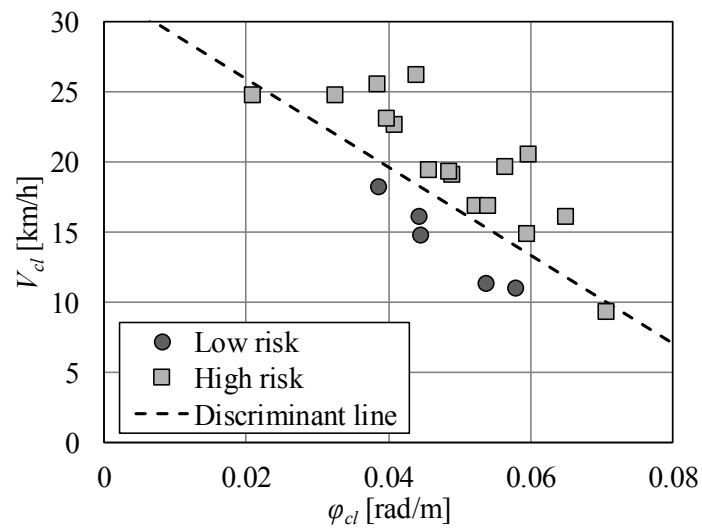


Fig. 4.20 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  in three risk levels classified with  $TTC_{brake}$

Table 4.5 Regression results for  $TTC_{brake}$  (Exp. A)

Constant	8.18** (1.25)
$\varphi_{cl}$	-69.9** (14.5)
$V_{cl}$	-0.171** (0.034)
$R^2$	0.61
$R^2_{adj}$	0.56
F-statistic	13.9**
No. observations	21

Note \*\*  $p < 0.01$

Fig. 4.21 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  with discriminant line (Exp. A)

## 4.3.3 考察

## 運転行動指標とドライバの運転行動の関係

運転行動指標  $\varphi_{cl}$  は交差点右折中の走行軌跡を反映するように 3.5 節において設定した。非危険場面シナリオの運転行動データに基づき、 $\varphi_{cl}$  と右折軌跡の曲率との関係性について検討した。 $\varphi_{cl}$  と右折軌跡との関係性を検討するため、既存研究<sup>[120][121]</sup>を参考にし、右折中の車両速度とヨーレートを用いて走行軌跡の平均曲率  $\kappa_{avg}$  を式 4.2 のように定義した。なお、式 4.2 中の瞬間曲率半径  $R_m(l)$  は式 4.3 のように表され、 $L$  は右折区間の長さである。また、右折区間は自車が中央線を通り過ぎてから横断歩道に到達するまでとした。図 4.22 に  $\varphi_{cl}$  と  $\kappa_{avg}$  の関係を示す。 $\varphi_{cl}$  は  $\kappa_{avg}$  と有意な相関 ( $r = 0.97, t(74) = 32.4, p < 0.01$ ) があり、中央線通過時における車両挙動に基づいて将来の右折軌跡を表現できていると言える。

$$\kappa_{avg} = \frac{L}{\int_0^L R_m(l) dl} \quad (4.2)$$

$$R_m(l) = \frac{V(l)}{\gamma(l)} \quad (4.3)$$

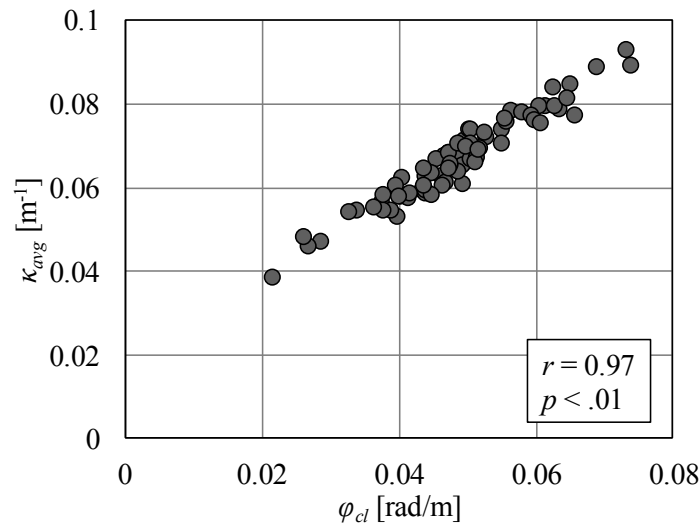


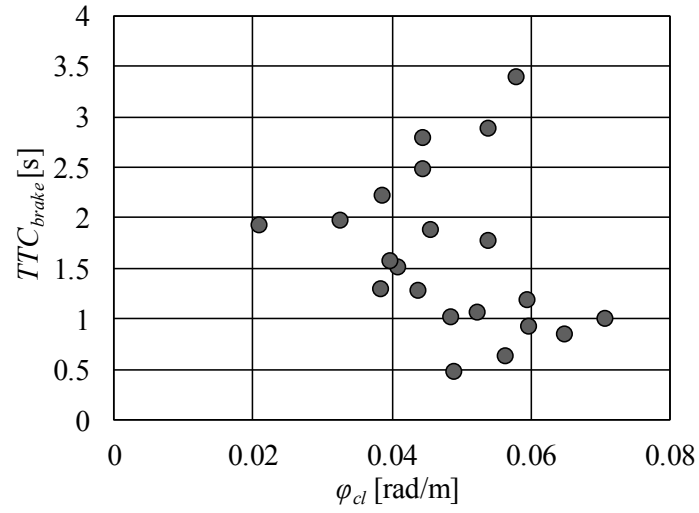
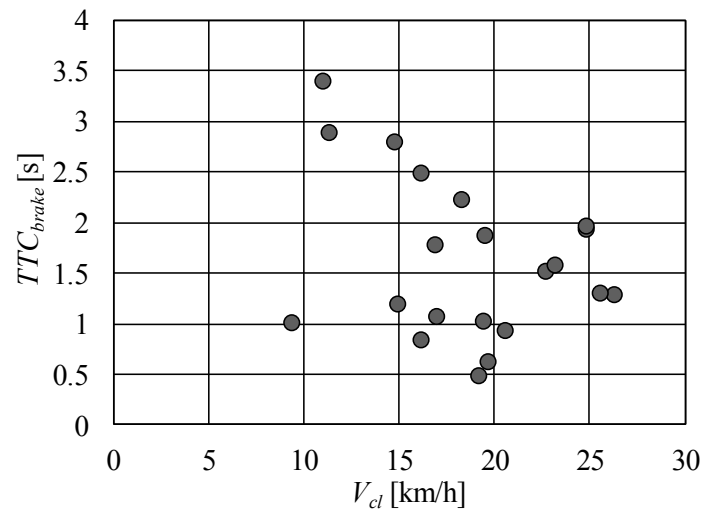
Fig. 4.22 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $\kappa_{avg}$  (NS scenario)

## 各運転行動指標と衝突リスクの関係

二つの運転行動指標の組合せが衝突リスクを反映することは示したが、各運転行動指標が衝突リスクとどのような関係を有するか考察した。図 4.23 に  $\varphi_{cl}$  と  $TTC_{brake}$  の関係を、図 4.24 に  $V_{cl}$  と  $TTC_{brake}$  の関係をそれぞれ示す。いずれの指標も  $TTC_{brake}$  と有意な相関は見られなかった。 $\varphi_{cl}$  が小さいときに衝突リスクが低く、 $TTC_{brake}$  が長くなると想定されるにも関わらず、 $\varphi_{cl}$  が大きく  $TTC_{brake}$  が相対的に長い事例が見られた。また、低い  $V_{cl}$  が衝突リスクの低い運転行動であると想定したが、相対的に  $TTC_{brake}$  が短い事例が見られた。これらの事例が示すように、二つの指標は部分的に歩行者と衝突するリスクを表現できるが、一つの指標単独では衝突リスクを十分に表現できなかった。ただし、各運転行動指標が正しく衝突リスクを反映できた範囲について見ると (表 4.6)、二つの指標は補完関係にあると考えられる。このような特性を有していたことから、この 2 指標の組合せにより衝突リスクを表現できたと推察できる。

Table 4.6 Collision risk range represented by each driving behavior index

Collision risk	Index	
	$\varphi_{cl}$	$V_{cl}$
High risk (Short $TTC_{brake}$ )	✓	×
Low risk (Long $TTC_{brake}$ )	×	✓

Fig. 4.23 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $TTC_{brake}$ Fig. 4.24 Relation between  $V_{cl}$  and  $TTC_{brake}$

## 4.4 歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響 (実験 B)

本実験は、単独走行右折シーンにおける認知エラーに繋がる運転行動特徴の一つであるドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏ることと関連し、ドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響を評価することが目的である。

### 4.4.1 実験概要

#### 実験装置

本実験で使用した DS の外観を図 4.25 に示す。本 DS は 4 画面のスクリーン、ドライバのペダルやハンドルの操作量を計測するセンサ部、センサからの情報を入力として車両挙動を計算する演算部、計算された位置情報に基づいて車両から見える外界環境を、プロジェクタを用いてスクリーンに投影する描画部、車両挙動に基づいて 6 軸動揺装置 (三菱プレジジョン社製) を制御するモーション制御部から構成されている (図 4.26)。センサ部-演算部間の D/A および A/D 変換には DS1103 ボード (dSpace 社製) を用いた。また、車両挙動の計算は Carsim ver.6.02 (バーチャルメカにクス社製) の車両モデルを用い、DS1103 ボード上で演算した。車外環境およびサイドミラー、ピラー等の描画には UC-win/Road Driving Sim ver.10.0.0 (フォーラムエイト社製) を用いた。本実験では車両挙動に応じた動揺装置の駆動は行わず、中立位置で静止した状態で実験を実施した。

#### 実験参加者

平均年齢  $23.1 \pm 1.4$  歳の普通免許を所有する成人男女 15 名 (B01-B15) に対し、実験を実施した。表 4.7 に各参加者の詳細を示す。なお、実験参加者には実験前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。





Fig. 4.25 Appearance of driving simulator

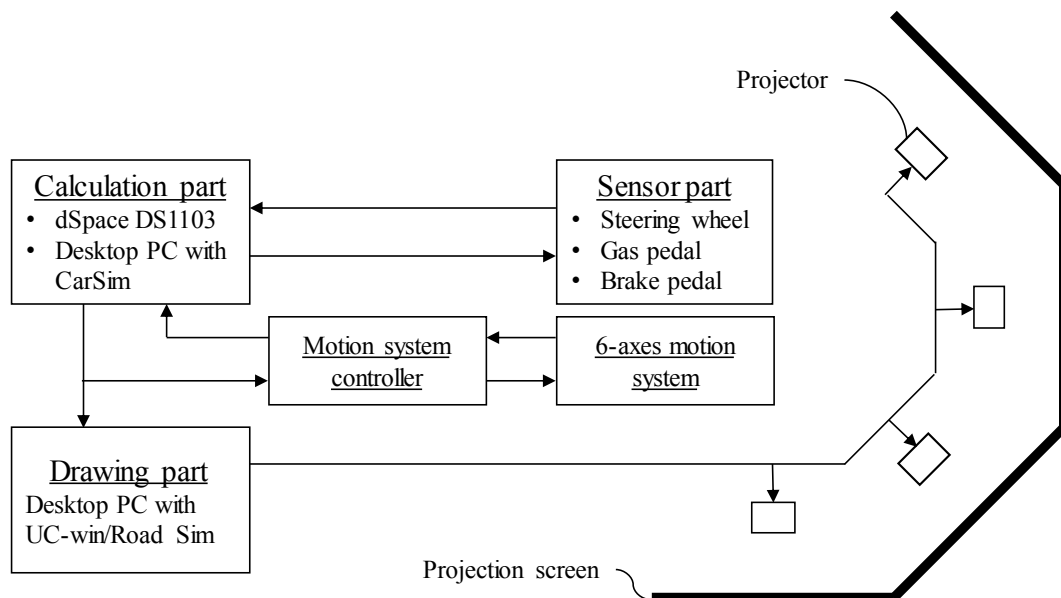


Fig. 4.26 Configuration of driving simulator

Table 4.7 Detail of participants (Exp. B)

ID	Sex	Age	Annual mileage [km]
B01	M	23	Under 1,000
B02	M	23	Under 1,000
B03	M	21	Under 1,000
B04	M	24	Under 1,000
B05	M	22	Under 1,000
B06	M	24	1,000
B07	M	22	2,000
B08	M	22	Under 1,000
B09	M	24	Under 1,000
B10	M	23	4,000
B11	M	22	1,000
B12	M	27	5,000
B13	F	24	Under 1,000
B14	M	23	Under 1,000
B15	M	23	Under 1,000

#### 実験コース

片側2車線の対象交差点における右折を4回含む1周約1.2kmの周回コースを設定した。交差点形状および横断歩道位置、信号位置は実験Aの対象交差点に準じて設定した。なお、実験Aと同様に死角から歩行者が出現する可能性のある環境を再現するため、交差点の見通しを制限する壁を交差点の隅に設置した。また、速度知覚を容易にすることを目的として道路脇に一定間隔で植わった街路樹を配置した。図4.27に実験コースの鳥瞰図、図4.28に対象交差点の外観を示す。

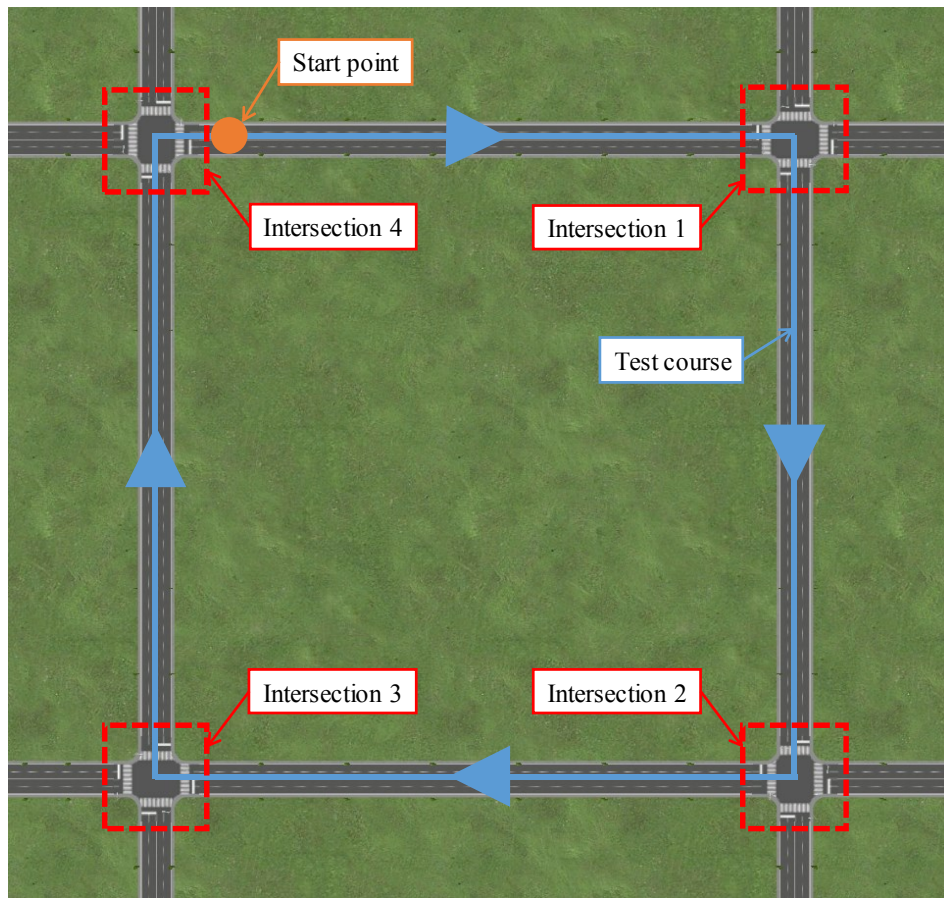


Fig. 4.27 Overview of test course (Exp. B)



Fig. 4.28 Appearance of target intersection (Exp. B)

### 実験シナリオ

実験シナリオは実験 A と同様であり，単独走行右折シーンにおける危険場面 (RS) シナリオと非危険場面 (NS) シナリオを設定した。

### 実験手順

表 4.8 に示す手順で実験を実施した。各参加者で横断歩行者に対する予測の程度が低い条件と高い条件を模擬するため，非危険場面シナリオと危険場面シナリオのセットを一度走行した後に，再度非危険場面シナリオと危険場面シナリオのセットを走行するように設定した。なお，各走行前にはドライバに「普段の運転を思い出し，いつも通りの運転を心がけること」を教示した。また，出発前に実験コースは公道における制限速度 40 km/h 道路であると想定して運転することと，片側 2 車線のうち右側の車線を走行することを教示し，歩行者が出現する可能性や交差点に設置した視界制限壁の存在については事前に一切教示しなかった。ただし，1 回目の危険場面シナリオの走行後，2 回目の非危険場面シナリオの走行を開始する前に，横断歩行者が再度出現する可能性があることを教示した。

Table 4.8 Test procedure (Exp. B)

Order No.	Content
1	Drive 7 right turns with NS scenario (RT01–RT07)
2	Drive 1 right turn with RS scenario (RT08)
3	Answer post-driving questionnaire
4	Drive 3 right turns with NS scenario (RT09–RT11)
5	Drive 1 right turn with RS scenario (RT12)
6	Answer post-driving questionnaire

## 計測項目

本実験における主な計測項目を表 4.9 に示す。ドライバの操作行動や車両挙動は DS1103 ボードの演算結果を記録し、横断歩行者の位置は UC-win/Road のログ出力プラグインを用いて記録した。また、ドライバの運転中の様子をアナログカメラ、スクリーン映像を GoPro HERO3 で撮影し、ドライバの視行動は EMR-9 を用いて取得し、映像を記録した。さらに、各危険場面シナリオ走行後に実験参加者には図 4.29 の質問紙に回答してもらい、主観的な歩行者の予測の程度および歩行者が出現した際の驚愕度等について調査した。

Table 4.9 Measured items (Exp. B)

Item	Sampling [Hz]
Vehicle position [m]	100
Vehicle yaw angle [°]	100
Vehicle speed [km/h]	100
Vehicle yaw rate [°/s]	100
Vehicle acceleration [g]	100
Accelerator pedal aperture [%]	100
Brake cylinder pressure [MPa]	100
Steering wheel angle [°]	100
Pedestrian position [m]	100
Driver face / pedal operation image	30
Simulator screen image	60
Driver gaze behavior image	30

Q1 走行開始当初は、横断歩道に歩行者が出現することはどの程度予想していましたか？

1. 予想していなかった
2. 少し予想していた
3. 予想していた
4. 完全に予想していた

Q2 最後の右折は、横断歩道に歩行者が出現することはどの程度予想していましたか？

1. 予想していなかった
2. 少し予想していた
3. 予想していた
4. 完全に予想していた

Q3 横断歩道に歩行者が出現した時、どの程度驚きましたか？

1. 驚かなかった
2. 少し驚いた
3. 驚いた
4. とても驚いた

Q4 Q3のように感じた理由を出来る限り詳細に記入してください。(自由回答)

Q5 歩行者がどの辺りにいるときに歩行者に気づきましたか？

1. 横断歩道に入る前
2. 横断歩道に入ったところ
3. 横断歩道の中

Q6 右折交差点の横断歩道付近に、壁によって出来た死角があることは気づきましたか？

1. 気づいていた
2. あったような気がする
3. 気づかなかった

Q7 運転するときに壁によって出来た死角の辺りは、どの程度気にしていましたか？

1. 気にしなかった
2. 少し気にしていた
3. 気にしていた
4. とても気にしていた

Fig. 4.29 Post-driving questionnaire

## 4.4.2 実験結果

ドライバの横断歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響を明らかにするため、1回目の危険場面シナリオまでの走行 (RT05-RT08) と2回目の非危険場面シナリオ以降の走行 (RT09-RT12) を比較した。

## 走行後アンケート回答の比較

それぞれの危険場面シナリオ走行後に実験参加者が回答したアンケート結果を表4.10に示す。危険場面シナリオを走行する直前の横断歩行者の出現に対する予測の程度を表しているQ2に注目すると全ての参加者の予測の程度が上昇していた。よって、個人内で1回目の危険場面シナリオまでの走行を「横断歩行者の出現に対する予測が低い走行」、2回目の非危険場面シナリオ以降の走行を「横断歩行者の出現に対する予測が高い走行」と捉えることは妥当である。

Table 4.10 Post-driving questionnaire result

Participant	Questionnaire after RT08						Questionnaire after RT12					
	Q1	Q2	Q3	Q5	Q6	Q7	Q1	Q2	Q3	Q5	Q6	Q7
B01	4	<b>2</b>	2	1	1	2	4	<b>3</b>	2	1	1	3
B02	3	<b>2</b>	2	2	1	4	3	<b>3</b>	1	1	1	3
B03	3	<b>1</b>	4	2	3	1	4	<b>3</b>	1	1	1	4
B04	3	<b>1</b>	2	1	3	2	4	<b>3</b>	1	1	1	4
B05	1	<b>1</b>	3	2	2	1	4	<b>4</b>	1	1	1	4
B06	1	<b>1</b>	3	2	1	3	2	<b>2</b>	1	1	1	3
B07	2	<b>1</b>	2	2	1	2	4	<b>4</b>	1	1	1	4
B08	2	<b>1</b>	2	2	3	1	3	<b>2</b>	1	2	1	2
B09	1	<b>1</b>	3	1	2	1	4	<b>3</b>	1	1	1	2
B10	3	<b>1</b>	3	1	1	3	3	<b>2</b>	2	1	1	3
B11	3	<b>1</b>	3	1	1	4	4	<b>4</b>	1	1	1	4
B12	1	<b>1</b>	3	3	1	1	3	<b>3</b>	2	1	1	3
B13	1	<b>1</b>	2	2	1	2	4	<b>2</b>	1	1	1	3
B14	2	<b>1</b>	3	3	2	2	4	<b>3</b>	2	2	1	3
B15	1	<b>1</b>	2	2	1	1	4	<b>2</b>	3	1	1	2

### 歩行者の出現に対する予測と視行動の関係

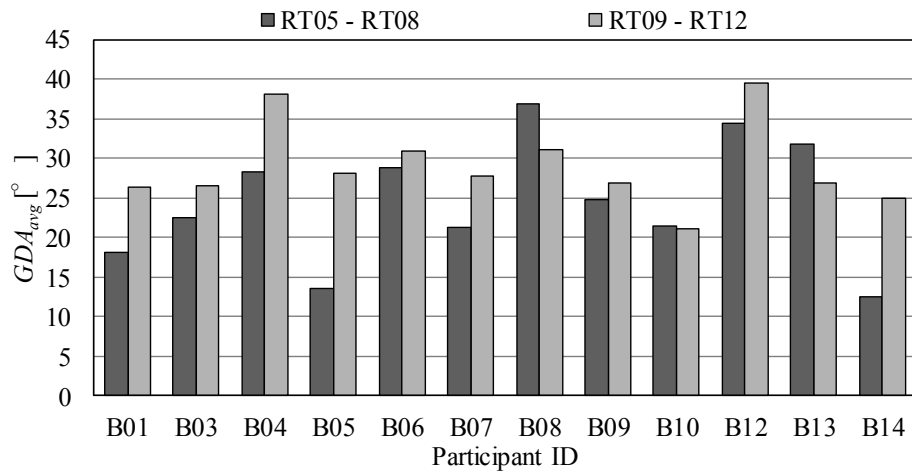
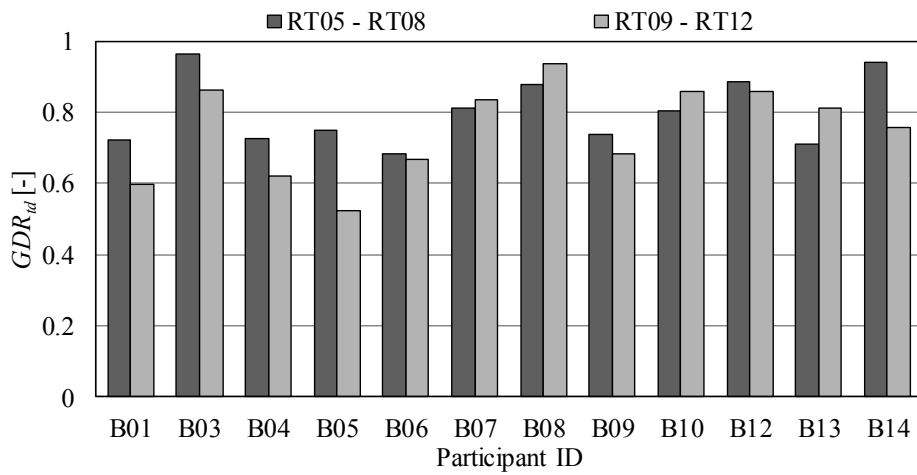
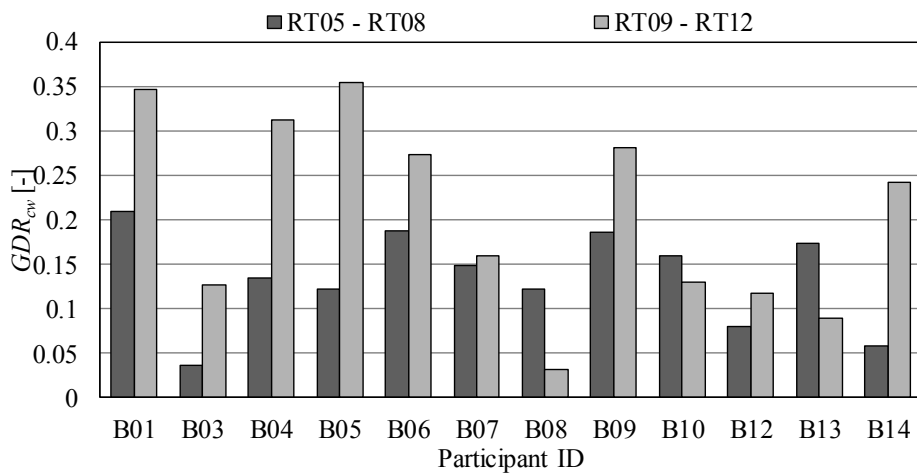
右折先の進行方向への注意配分を含むドライバの交差点右折中の視行動と歩行者の出現に対する予測の関係性を明らかにするため、4.3 節で交差点右折中のドライバの視線方向の進行方向への偏り  $GDA_{avg}$  について評価した。また、同じ実験参加者の異なる予測状態における右折先の進行方向への注視時間割合  $GDR_{td}$  と予測によって注意が配分されやすくなると考えられる横断歩道方向への注視時間割合  $GDR_{cw}$  についても比較した。なお、 $GDR_{td}$  と  $GDR_{cw}$  の算出方法は3.2 節と同様であり、分析区間は中央線を通り過ぎてから右折先の横断歩道に到達するまでの区間である。ただし、B02, B11, B15 の3名の視線計測データに不備があったため、分析対象外とした。

まず、ドライバの視線方向の右折先の進行方向への偏りを示す  $GDA_{avg}$  を異なる予測状態で比較した結果を図4.30に示す。歩行者の出現に対する予測の程度が高くなることにより、ドライバの視線方向角度が大きくなる傾向にあり、ウィルコクソンの符号付順位検定を実施した結果、有意差が見られた ( $N = 12, T = 13, p < 0.05$ )。よって、ドライバの歩行者の出現に対する予測が、進行方向への視線の向け方に影響することがわかった。このように変化するのは、進行方向を確認することが交差点を右折する上では不可欠であり、進行方向に注意を配分しつつ、出現するかもしれない歩行者に注意を配分できるように、横断歩道の近い方向に視線を向けようとしたためであると推察できる。

次に、ドライバの進行方向への注視時間割合 ( $GDR_{td}$ ) と横断歩道への注視時間割合 ( $GDR_{cw}$ ) の比較結果をそれぞれ図4.31と図4.32に示す。ウィルコクソンの符号付順位検定を実施した結果、横断歩道への注視時間割合  $GDR_{cw}$  には有意差が見られた ( $N = 12, T = 13, p < 0.05$ )。これに対して、進行方向への注視時間割合  $GDR_{td}$  には有意差が見られなかった。 $GDR_{cw}$  が高くなったのは、前述したように予測の程度が高くなったことにより、横断歩道方向をドライバが見ようとしたためであると考えられる。一方で、 $GDR_{cw}$  に対して  $GDR_{td}$  が有意に低下傾向にならなかったことは、個人のばらつきの影響も考えられるが、前述したように交差点を右折する上で進行方向への注視が最低限必要であることを示唆していると考えられる。

以上の結果より、右折先の進行方向への注意配分は、ドライバの横断歩行者の出現に対する予測によって横断歩道方向に配分される注意の影響を受け、間接的に進行方向への視線の向け方に影響する。ただし、右折先の進行方向への注意配分は車両を操作する上では必要であると考えられ、進行方向に注意を配分する時間は予測に有意に影響されないことが示唆された。

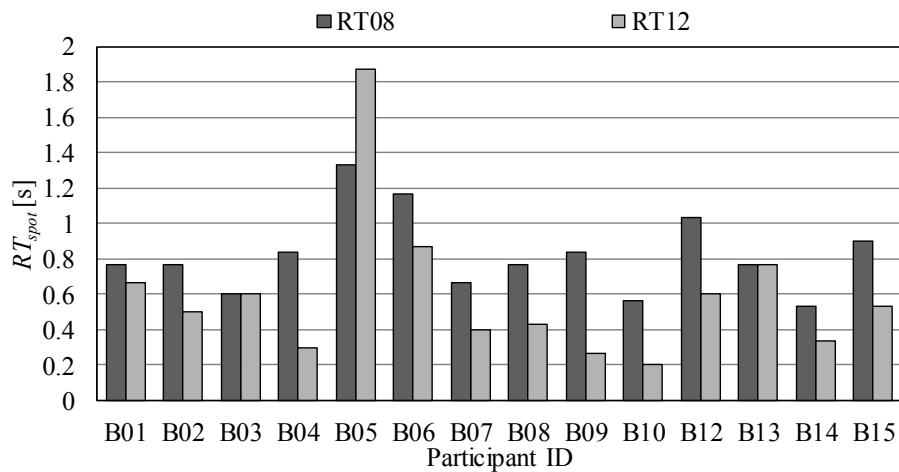


Fig. 4.30 Comparison of  $GDA_{avg}$  between RT05–RT08 and RT09–RT12Fig. 4.31 Comparison of  $GDR_{td}$  between RT05–RT08 and RT09–RT12Fig. 4.32 Comparison of  $GDR_{cw}$  between RT05–RT08 and RT09–RT12

## 4.4.3 考察

## ドライバの歩行者の出現に対する予測と認知エラーの関係

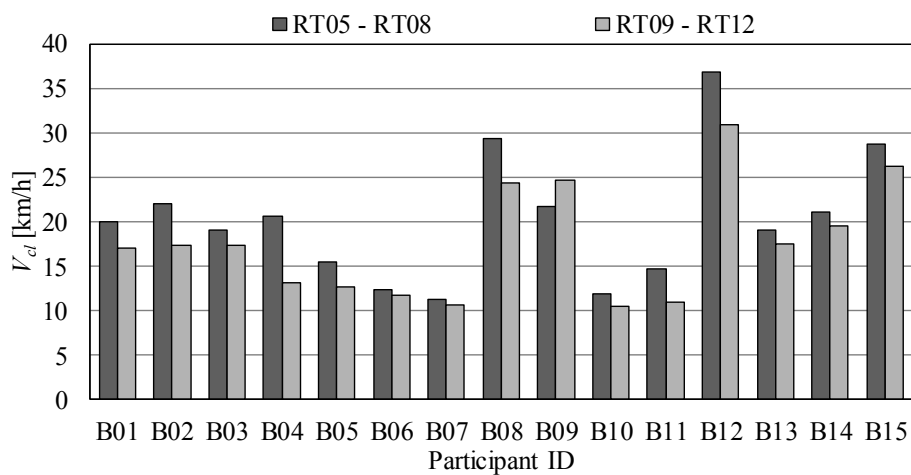
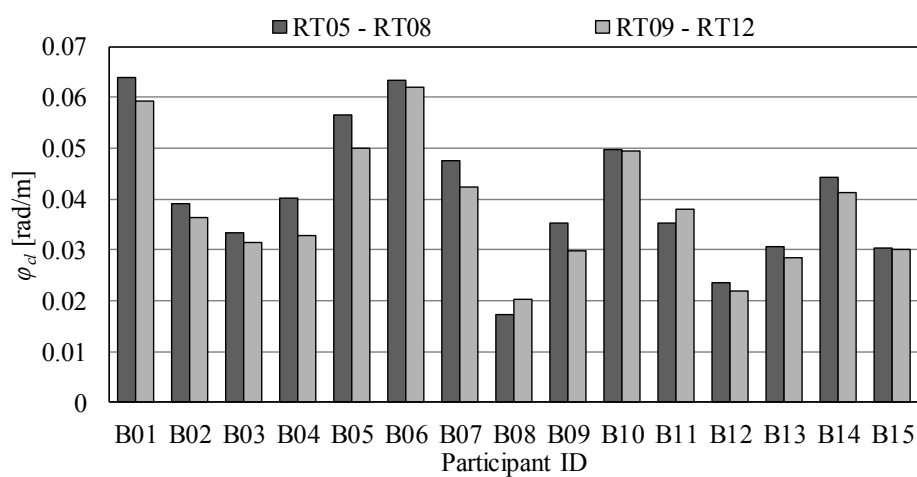
ドライバの横断歩行者の出現に対する予測が、横断歩行者に対する発見遅れである認知エラーに影響したかを把握するため、1回目の危険場面シナリオ (RT08) と2回目の危険場面シナリオ (RT12) の走行を比較した。図 4.33 に歩行者が出現してから発見するまでの時間  $RT_{spot}$  の比較結果を示す。なお、ドライバの横断歩行者の発見タイミングは、視線計測装置の映像を見て、ドライバの注視点が横断歩行者付近に停留した時点を抽出した。ただし、B11 は視線計測装置の計測不備のため、分析対象外とした。横断歩行者に対する予測が低い RT08 と予測が高い RT12 の  $RT_{spot}$  を比較すると、予測が高くなることにより、横断歩行者を発見するまでの時間が短くなり、余裕を持って横断歩行者を発見できており、認知エラーが起きにくくなっていることがわかる。ウィルコクソンの符号付順位検定を実施した結果、有意差が見られた ( $N = 14, T = 15, p < 0.05$ )。したがって、横断歩行者の出現に対するドライバの予測が認知エラーに影響すると言える。

Fig. 4.33 Comparison of  $RT_{spot}$  between RT08 and RT12

### ドライバの歩行者の出現に対する予測と運転行動指標の関係

ドライバの横断歩行者の出現に対する予測により、ドライバの運転行動選択がどのように変化したかを把握するため、単独走行右折シーンにおける運転行動特徴を反映する運転行動指標に注目し、予測が低い走行として RT05–RT08 の 4 回を、予測が高い走行として RT09–RT12 の 4 回の走行を比較した。まず、ドライバの速度選択を反映する中央線通過時速度  $V_{cl}$  を比較した結果を図 4.34 に示す。横断歩行者の出現に対する予測が高くなることで、ドライバは安全に横断歩行者を回避するために速度を低下させる傾向にあった。ウィルコクソンの符号順位検定を実施した結果、有意差が見られた ( $N = 15, T = 9, p < 0.01$ )。また、図 4.35 に示すように右折中の走行軌跡の曲率を反映する  $\varphi_{cl}$  もドライバの予測によって小さくなる傾向にあり、有意差があった ( $N = 15, T = 10, p < 0.05$ )。ドライバが意識的に横断歩道方向に注意を配分するようになり、横断歩道方向が見やすいように走行軌跡を変化させたためであると考えられる。

以上の結果より、3.4 節において予想したように、ドライバの歩行者の出現に対する予測がドライバの右折先の進行方向への注意配分を含むドライバの視行動に影響することを確認した。さらに、ドライバの予測が認知エラーおよび認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づいて設定した運転行動指標にも有意に影響することがわかった。

Fig. 4.34 Comparison of  $V_{cl}$  between RT05–RT08 and RT09–RT12Fig. 4.35 Comparison of  $\varphi_{cl}$  between RT05–RT08 and RT09–RT12

## 4.5 本章のまとめ

本章では、まず前章で構築した横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証の方針と、ドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響評価の方針についてそれぞれ述べた。運転行動特徴の仮説検証は、単独走行右折シーンの再現実験を実施し、歩行者を発見するまでの余裕時間と経過時間のリファレンス指標と運転行動指標との相関性を評価した。歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響評価は、仮説検証と同様に再現実験を行い、ドライバが予測していない状態と予測している状態を模擬し、各状態における走行の視行動を含む運転行動を比較評価した。

次に、運転行動特徴の仮説検証と運転行動特徴を反映する運転行動指標の妥当性評価のため、実車を用いた単独走行右折シーンの再現実験を実施し、以下の結果を得た。

- 走行速度は歩行者を発見するまでの余裕時間と、ドライバの右折先の進行方向への視線方向の偏りは歩行者を発見するまでの経過時間と有意に相関する。
- $V_{cl}$  は交差点右折中の走行速度と、 $\varphi_{cl}$  はドライバの右折先の進行方向への視線方向の偏りと有意に相関する。
- $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の2指標は衝突リスクに有意に影響し、衝突リスクの高低を95%以上の精度で判別できる。

以上より、前章で構築した単独走行右折時の横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説が検証された。また、設定した単独走行右折シーンの運転行動特徴を反映する運転行動指標は妥当であり、衝突リスクを評価できることが示された。

続いて、ドライバの歩行者の出現に対する予測が視行動に及ぼす影響を評価するために、DSを用いた単独走行右折シーンの再現実験を実施し、以下の結果を得た。

- 横断歩行者の出現に対する予測の程度が高い走行と低い走行を比較すると、ドライバの視線方向の進行方向への偏りに有意差があり、さらに横断歩行者が出現する可能性のある横断歩道方向への注視時間割合にも有意差がある。
- 横断歩行者の出現に対する予測の程度が高い走行と低い走行を比較すると、歩行者発見までの経過時間と運転行動特徴を反映する運転行動指標に有意差がある。

以上の結果より、ドライバの右折先の進行方向への注意配分を含むドライバの視行動がドライバの歩行者の出現に対する予測に影響されることを示した。また、ドライバの予測が認知エラーおよびドライバの運転行動選択にも影響することがわかった。

次章では、単独走行右折時の横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づき、ドライバの運転行動を変化させた際の衝突リスクの低減効果について評価する。



## 第5章

認知エラーに繋がる運転行動特徴に  
基づく運転行動変化による  
衝突リスク低減





## 5.1 はじめに

本章では、4章で検証した単独走行右折シーンにおける横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づき、ドライバの運転行動を変化させた際の衝突リスク低減効果を評価することが目的である。

まず、横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づき設定した衝突リスクが低減される方向に運転行動指標を変化させる操作介入手法について述べる。次に、操作介入手法による運転行動変化によって衝突リスクが低減されたか評価する方法について述べる。続いて、設定した操作介入方法をDSに実装し、DSを用いた単独走行右折シーンの再現実験を実施して運転行動変化による衝突リスクの低減効果について評価した結果を述べる。

## 5.2 運転行動を変化させる操作介入手法

※ 特許申請にかかわるため、5.2節の内容 (pp.127–129) および式 5.1–5.3 を除外

$\varphi_{cl}$  を変化させる操舵介入

(5.1)

$V_{cl}$  を変化させるブレーキ介入

(5.2)

(5.3)

## 5.3 評価方法

操作介入により運転行動の衝突リスクが低減されたかどうかは、横断歩行者が出現する危険場面シナリオにおける走行を、操作介入有無条件間で比較することにより明らかにできる。しかし、ドライバーが一度危険場面シナリオを体験することで短期的に運転行動が変容する可能性があり、繰り返し危険場面シナリオを走行する方法で衝突リスクの変化を評価することは難しい。交差点右折時の非危険場面シナリオにおける走行が、危険場面シナリオにおける回避行動と対応関係にあることが既存研究<sup>[122][123]</sup>で報告されているため、非危険場面シナリオの走行に基づいて運転行動の衝突リスク低減を評価する方法を設定した。

非危険場面シナリオにおける走行で操作介入を行うことにより、車両挙動およびドライバーの視行動も変化すると考えられる。この行動変化が横断歩行者の発見やブレーキのタイミングにどのような影響を及ぼしたかを評価する。そこで、各非危険場面シナリオ走行の衝突リスクを評価するため、取得した非危険場面シナリオの時系列走行データに、仮想的に横断歩行者を出現させ、ドライバーの顔向きおよび視線のデータに基づいて歩行者の発見とブレーキタイミングを模擬して衝突リスクを算出した。各走行データに対し、様々な横断歩行者条件における衝突リスクを算出し、走行データ毎に集計して走行データの衝突リスクを算出した。算出した走行データの衝突リスクを操作介入の有無条件間で比較することにより、運転行動変化による衝突リスクの低減効果を評価した。

### 5.3.1 評価対象データ

本実験では、運転行動指標の変化が運転行動の衝突リスクの低減に寄与するか評価することが目的である。そのため、操作介入により走行時の運転行動指標が有意に変化した参加者、すなわち操作介入により注目している運転行動が有意に変化した参加者のデータを評価対象とし、運転行動の衝突リスクの低減を評価した。

### 5.3.2 衝突リスク指標

歩行者の出現タイミングや歩行位置等の条件を変化させることにより、様々な条件の歩行者に対するドライバの発見およびブレーキタイミングをシミュレートすることが可能である。しかし、シミュレートした条件の中には、例えばドライバの運転する車両が横断歩道に到達する直前に出現する横断歩行者等の条件も含まれ、車両と横断歩行者が衝突する可能性が低い条件も含まれる。走行データ毎に集計して衝突リスクを評価する上で、このような条件が母数として入ることにより、走行データの衝突リスクを過度に低く見積もってしまい、適切な評価を阻害する可能性が考えられる。そこで、評価対象とする歩行者条件を「車両と歩行者が衝突する」条件に限定した。このように評価対象の歩行者条件を設定することにより、母数が回避する必要のある条件のみとなり、この条件においてドライバの横断歩行者に対する発見やブレーキタイミングを評価することで衝突リスクを評価できると考えた。歩行者が出現してから車両が横断歩道に到達するまでに車両の重心座標系 ( $x'$  軸正が車両正面方向,  $y'$  軸正が車両左方向) から見た歩行者の位置 ( $x'_{ped}, y'_{ped}$ ) が式 5.4 と式 5.5 を同時に満たした場合に「衝突」と定義した。なお、式中の  $w_{vec}$  は車両重心から車両側端までの長さ,  $fl_{vec}$  は車両重心から車両前端までの長さ,  $rl_{vec}$  は車両重心から車両後端までの長さである。車両寸法の各パラメータは表 5.1 のように設定した。

$$(fl_{vec} - x'_{ped}) \cdot (-rl_{vec} - x'_{ped}) \leq 0 \quad (5.4)$$

$$(w_{vec} - y'_{ped}) \cdot (-w_{vec} - y'_{ped}) \leq 0 \quad (5.5)$$

Table 5.1 Vehicle dimension parameters

Parameter	Value
$w_{vec}$ [m]	0.8
$fl_{vec}$ [m]	1.75
$rl_{vec}$ [m]	2.25

衝突リスクはこれまでの実験と同様に、ドライバが横断歩行者に対してブレーキを踏んだタイミングにおける衝突余裕時間 ( $TTC_{brake}$ ) で評価する。特に 4.3 節で示したように  $TTC_{brake}$  が 2.0 秒未満では緊急性の高いブレーキになる傾向があり、衝突リスクの高い運転行動であったと言える。また、本実験の設定では、衝突する横断歩行者を発見できないことも運転行動の衝突リスクを押し上げる要因である。以上のことを踏まえ、衝突リスク指標として  $TTC_{brake}$  が 2.0 秒未満のブレーキを踏んだ割合を示す危険ブレーキ率  $RBR$ (Risky Brake Rate) と横断歩行者の見落とし率  $POR$ (Pedestrian Oversight Rate) をそれぞれ式 5.6 と式 5.7 のように定義した。式中の  $N_{col}$  は横断歩行者と車両が衝突する条件数、 $N_{po}$  はドライバが横断歩行者を発見できなかった条件数、 $N_{rb}$  は  $TTC_{brake}$  が 2.0 秒未満であった条件数とした。なお、ドライバの横断歩行者の発見条件については後述する。

$$RBR = \frac{N_{rb}}{N_{col} - N_{po}} \quad (5.6)$$

$$POR = \frac{N_{po}}{N_{col}} \quad (5.7)$$

### 5.3.3 シミュレーション条件

#### 横断歩行者条件

横断歩行者はある任意のタイミングで出現し、一定の歩行速度で歩行経路を歩くように設定した。様々な横断歩行者に対するドライバの発見およびブレーキタイミングをシミュレートするために、横断歩行者の出現タイミングおよび歩行経路、歩行速度を変えた。歩行経路および歩行速度についてはそれぞれ各 5 条件設定し、歩行者の出現タイミングについては、操作介入が作動するドライバの操舵開始時点から車両が横断歩道に到達する時点までの各データフレームで出現させ、ドライバの横断歩行者の発見タイミングを算出した。表 5.2 に横断歩行者条件をまとめて示す。

Table 5.2 Simulation conditions of crossing pedestrian

Item	Condition
Appear timing	Each data frame between steering start and crosswalk arrival
Walking route	5 conditions (WR1–WR5, see Fig.5.1)
Walking speed	5 conditions (4, 5, 6, 7 and 8 km/h)

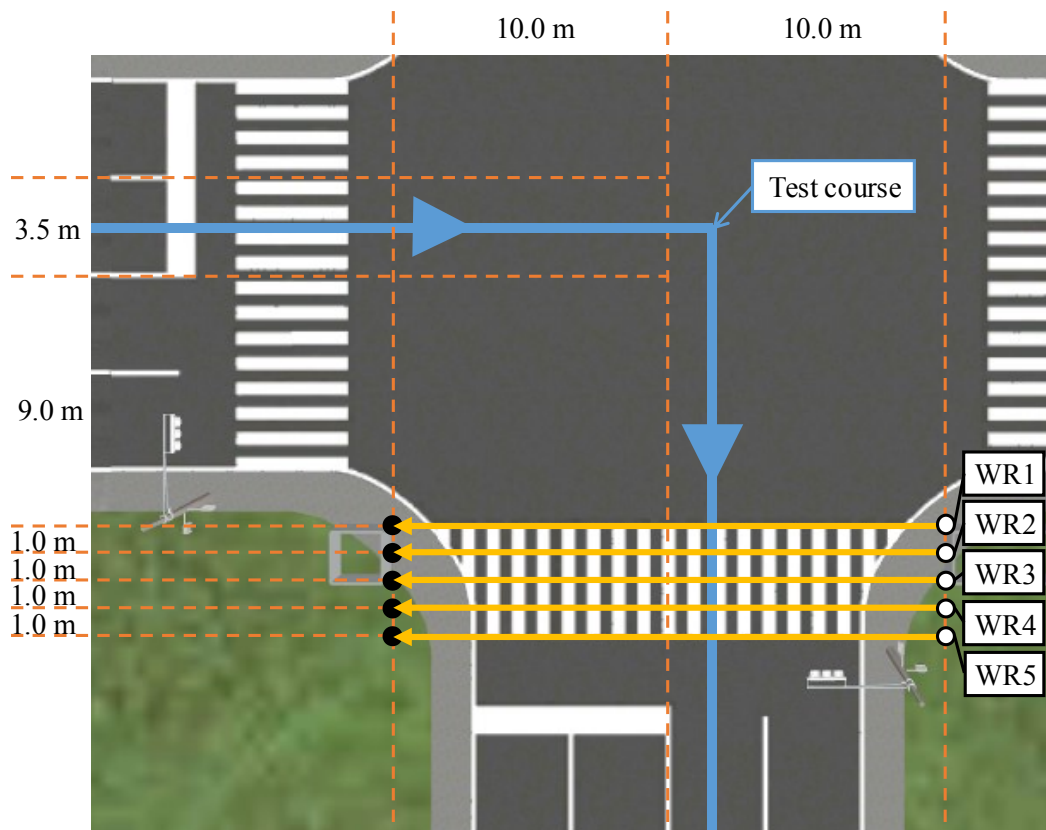


Fig. 5.1 Walking route conditions of crossing pedestrian

### ドライバの横断歩行者の発見条件

ドライバの有効視野は  $4^{\circ}$ – $20^{\circ}$  程度であり、周辺視野は  $180^{\circ}$ – $210^{\circ}$  程度である<sup>[126]</sup>。様々な要因を受けてこの視野の大きさは変動することが知られているが、本実験では様々な視野条件を設定し、各視野条件における評価結果を集計することで、変化する視野の大きさも含めて評価できると考えた。本実験で対象とする歩行者は、中心視や有効視野の中だけではなく、周辺視野でも十分に検出できると考え、ドライバの視野角  $\theta_{fov}$  を  $20^{\circ}$ – $180^{\circ}$  の範囲で  $20^{\circ}$  間隔の 9 条件設定した。

横断歩行者がドライバの視野角内に存在し、かつ車両の A ピラーで出来る死角に入っていないときに、ドライバが横断歩行者を発見可能であるとした。図 5.2 の状況において、ドライバのアイポイント位置から歩行者までの距離  $D_{ped}$ 、車両正面と横断歩行者がなす角度  $\theta_{ped}$ 、ドライバの視線方向  $\theta_{gaze}$ 、ドライバが視認できる距離  $D_{gaze}$ 、A ピラーの死角により出来る死角の範囲  $(\theta_{bsl}, \theta_{bsu})$  が、以下の式 5.8–式 5.10 を全て満たすことを、ドライバの横断歩行者の「発見」と定義した。表 5.3 に発見判定において用いた固定パラメータの数値を示す。

$$D_{ped} \leq D_{gaze} \quad (5.8)$$

$$(\theta_{bsu} - \theta_{ped}) \cdot (\theta_{bsl} - \theta_{ped}) > 0 \quad (5.9)$$

$$|\theta_{ped} - \theta_{gaze}| < \frac{\theta_{fov}}{2} \quad (5.10)$$

### ドライバの横断歩行者に対するブレーキ開始条件

ドライバが横断歩行者を発見したと判定されてから、一定時間後にドライバがブレーキを踏み始めると設定した。ドライバが横断歩行者を発見後にブレーキを踏むまでの時間をブレーキ反応時間と考えた。ドライバのブレーキ反応時間について計測した研究として Johansson ら<sup>[124]</sup>の研究や牧下ら<sup>[125]</sup>の研究等があるが、本研究では牧下らの研究で得られたブレーキ反応時間の中央値 0.63 秒を用いた。なお、ドライバが横断歩行者を発見したと判定されてから、ブレーキ反応時間が経過するまで、車両は元の走行データに従って進行するものとした。



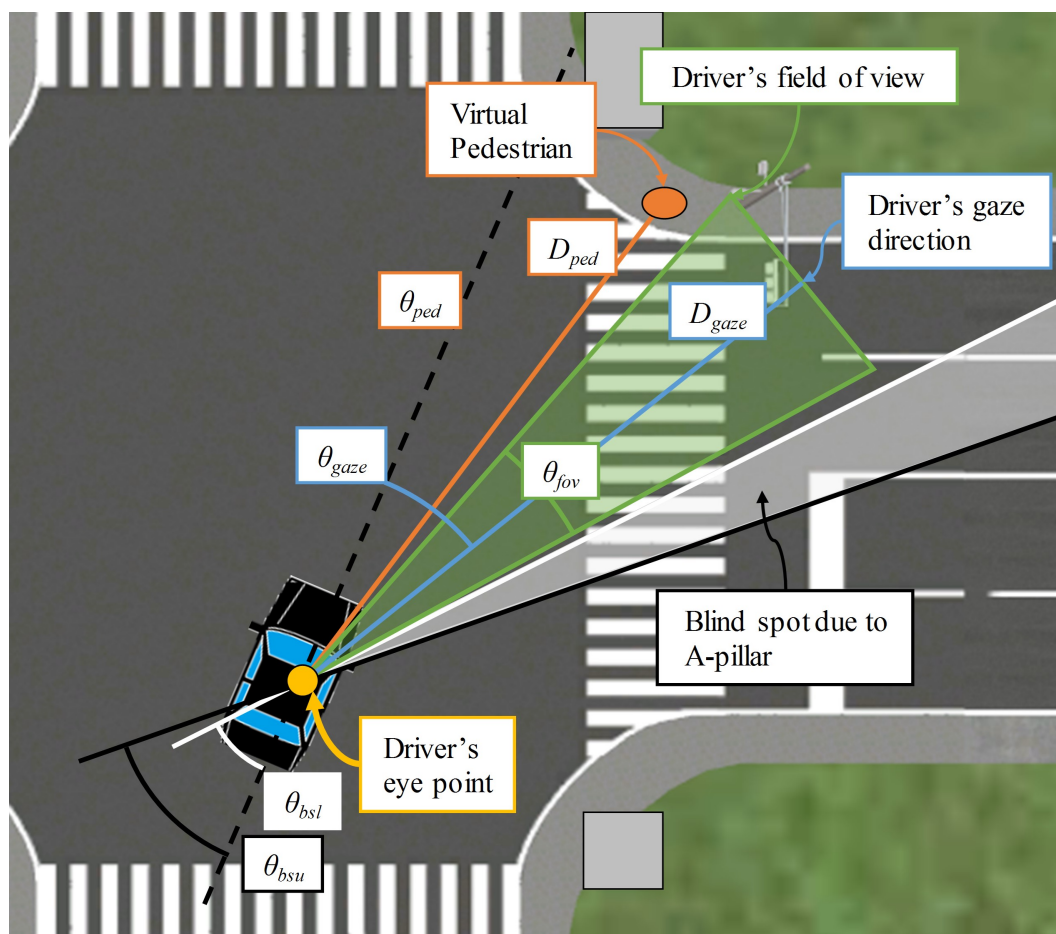


Fig. 5.2 Definition of parameters for crossing-pedestrian-spot decision

Table 5.3 Fixed parameters for crossing-pedestrian-spot decision

Parameter	Value	Unit
$D_{gaze}$	50	m
$\theta_{bsl}$	22.5	°
$\theta_{bsu}$	31.5	°

## 5.4 運転行動変化が衝突リスクに及ぼす影響 (実験 C)

単独走行右折シーンにおける運転行動特徴に基づく運転行動の変化が、横断歩行者に対する衝突リスクを低減することを評価することが本実験の目的である。前節で設定した各操作介入有無条件下で単独走行右折シーンの再現実験を実施し、操作介入有無条件間の運転行動の衝突リスクを比較した。

### 5.4.1 実験概要

#### 実験装置

本実験では、前節で設定した操作介入手法を簡易的に実装できるため、DS を実験装置として選定した。なお、使用した DS は実験 B で使用した DS と同様の装置である。

#### 実験参加者

平均年齢  $24.5 \pm 5.5$  歳の普通免許を所有する成人男女 16 名 (C01–C16) に対し、実験を実施した。表 5.4 に各参加者の詳細を示す。なお、実験参加者には実験前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。

#### 実験コース

実験コースは実験 B と同様のコースである。

#### 実験シナリオ

実験シナリオは実験 B と同様であり、単独走行右折シーンにおける非危険場面 (NS) シナリオのみを設定した。

Table 5.4 Detail of participants (Exp. C)

ID	Sex	Age	Annual mileage [km]
C01	M	23	Under 1,000
C02	M	23	Under 1,000
C03	M	21	Under 1,000
C04	M	24	Under 1,000
C05	M	22	Under 1,000
C06	M	24	1,000
C07	M	22	2,000
C08	M	22	Under 1,000
C09	M	24	Under 1,000
C10	M	23	4,000
C11	M	22	1,000
C12	M	27	5,000
C13	F	24	Under 1,000
C14	M	23	Under 1,000
C15	M	23	Under 1,000
C16	F	45	10,000

### 実験手順

各参加者は DS および実験シナリオに慣れるための練習走行を十分に行った上で、連続して交差点右折を 16 回 (実験コース 4 周) 走行した。なお、各走行前にはドライバに「普段の運転を思い出し、いつも通りの運転を心がけること」を教示した。また、出発前に実験コースは公道における制限速度 40 km/h 道路であると想定して運転することと、片側 2 車線のうち右側の車線を走行することを教示し、歩行者が出現する可能性や交差点に設置した視界制限壁の存在については事前に一切教示しなかった。

### 操作介入条件

5.2 節で設定した操作介入手法を用いて表 5.5 のように異なる三つの操作介入条件 (OI1–OI3) を設定した。各参加者は OI1 条件で 6 回、OI2 条件および OI3 条件でそれぞれ 5 回ずつ交差点の右折を行った。また、ドライバの操作介入手法に対する慣れを抑制するため、表 5.6 のように冒頭を除いて同一の操作介入条件が連続しないように順番を設定した。

### 計測項目

本実験における主な計測項目を表 5.7 に示す。実験 B の計測項目に加え、車両座標系から見たドライバの視線方向を算出するため、ドライバの運転中の頭部姿勢角度を取得できるワンボードマイコン Arduino Uno と Arduino 9 軸モーションシールド (共に Arduino 社製) を用いた。マイコンおよびシールドを視線計測装置 EMR-9 に取り付け、USB ケーブルを通して計測値をシリアル通信にてノート型 PC に転送し、記録した。

Table 5.5 Operation intervention conditions

ID	Steer intervention	Brake intervention	Right turn frequency
OI1	×	×	6
OI2	✓	×	5
OI3	×	✓	5

Table 5.6 Order of operation intervention condition

Lap	Intersection			
	1st int.	2nd int.	3rd int.	4th int.
Lap1	OI1	OI1	OI2	OI3
Lap2	OI1	OI3	OI2	OI1
Lap3	OI3	OI2	OI3	OI1
Lap4	OI2	OI1	OI3	OI2

Table 5.7 Measured items (Exp. C)

Item	Sampling [Hz]
Vehicle position [m]	100
Vehicle yaw angle [°]	100
Vehicle speed [km/h]	100
Vehicle yaw rate [°/s]	100
Vehicle acceleration [g]	100
Accelerator pedal aperture [%]	100
Brake cylinder pressure [MPa]	100
Steering wheel angle [°]	100
Pedestrian position [m]	100
Driver face / pedal operation image	30
Simulator screen image	60
Driver gaze behavior image	30
Head rotation angle [°]	20

### 5.4.2 実験結果

#### 操作介入有無による運転行動変化

全参加者について、実験手順通り 16 回の交差点右折行動のデータを取得した。しかし、操作介入無条件 (OI1) の走行と 4.3 節の実験 A における実車に近い JARI-ARV を用いた非危険場面シナリオの走行を比較すると、中央線通過時速度  $V_{cl}$  が 30 km/h 以上である割合が大きかった (図 5.3)。特に、C12 は  $V_{cl}$  の平均も 30 km/h を超えていた ( $M = 34.0$  km/h,  $SD = 4.4$  km/h)。C12 は実車では走行しない速度で DS を走行しており、DS 走行において速度感覚が掴めず、現実の運転から逸脱した運転をしていたと考えられるため、分析対象外とした。

まず、各参加者の  $\varphi_{cl}$  を操舵介入有無条件間で比較した結果を図 5.4 に示す。15 名中 10 名の  $\varphi_{cl}$  の平均値が減少しており、マン・ホイットニーの U 検定の片側検定で 5 名が有意水準 5% で減少した (C01, C02, C03, C06, C07)。 $\varphi_{cl}$  の変化による衝突リスク低減については、この 5 名の走行データを用いて評価を行った。

次に、各参加者の  $V_{cl}$  をブレーキ介入有無条件間で比較した結果を図 5.5 に示す。全ドライバの  $V_{cl}$  の平均値が低下しており、マン・ホイットニーの U 検定の片側検定で 9 名が有意水準 5% で低下した (C03, C04, C05, C06, C09, C11, C13, C14, C15)。 $V_{cl}$  の変化による衝突リスク低減については、この 9 名の走行データを用いて評価を行った。

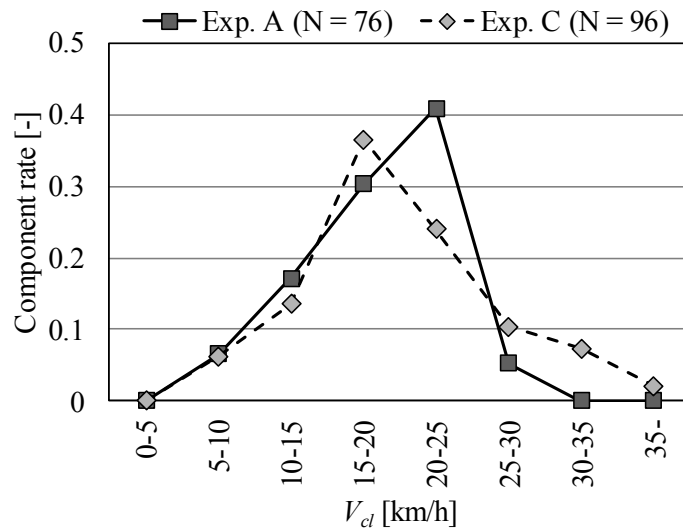
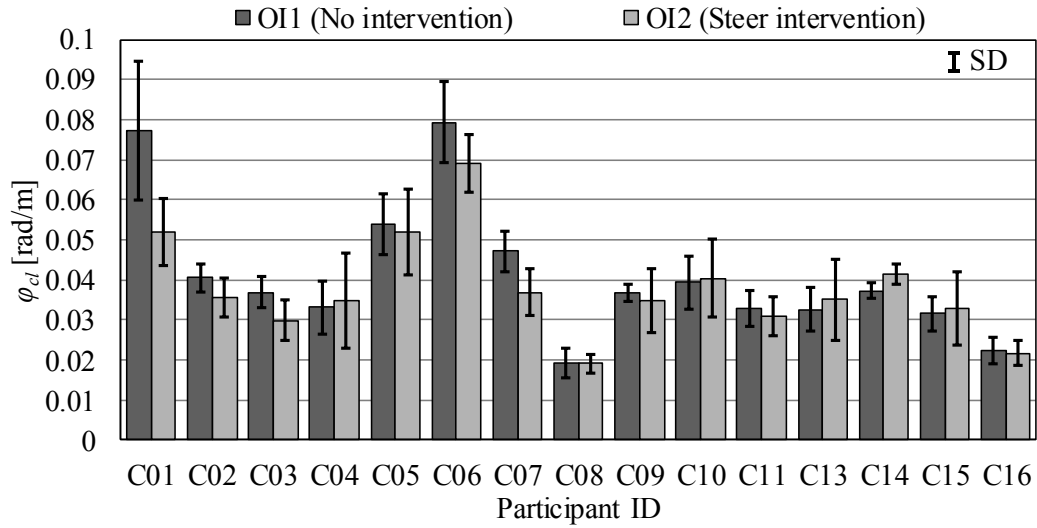
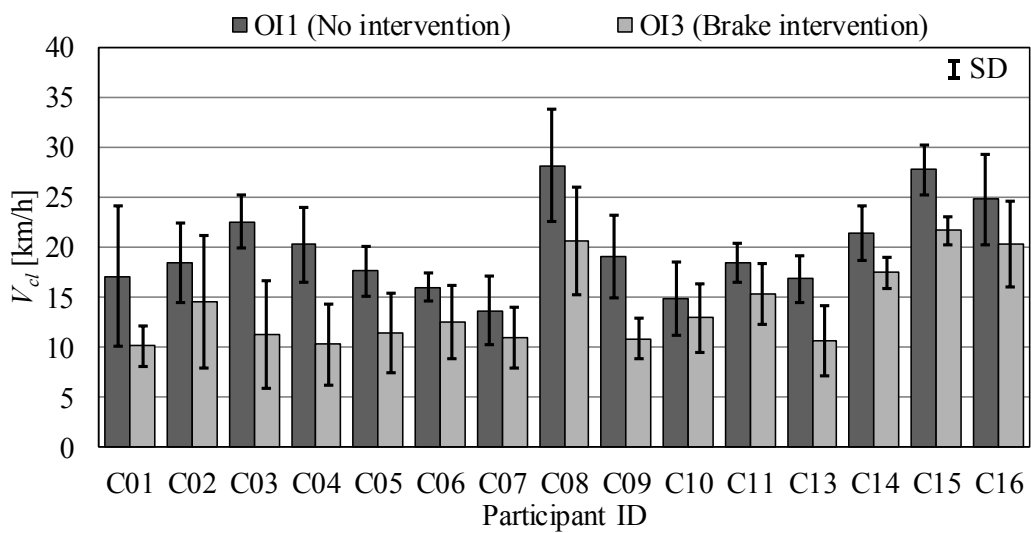


Fig. 5.3 Comparison of  $V_{cl}$  distribution between Exp. A and Exp. C

Fig. 5.4 Comparison of  $\varphi_{cl}$  between OI1 and OI2Fig. 5.5 Comparison of  $V_{cl}$  between OI1 and OI3

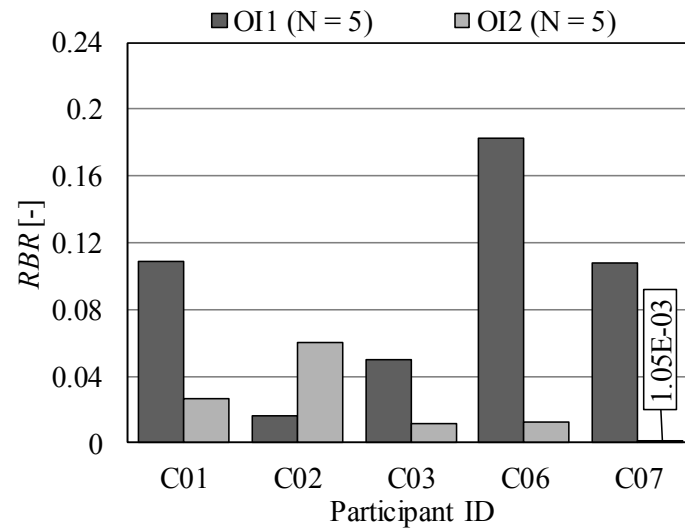
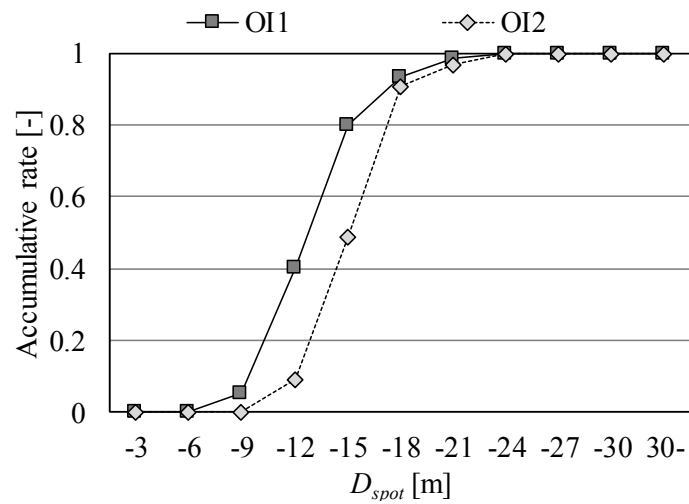
$\varphi_{cl}$  変化による衝突リスク低減

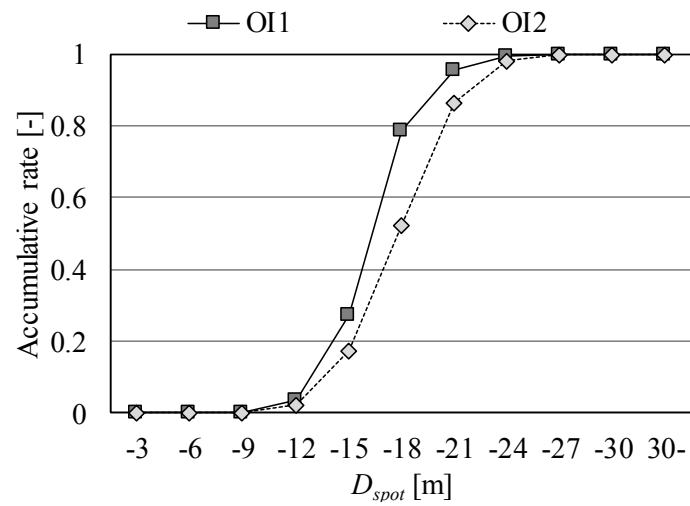
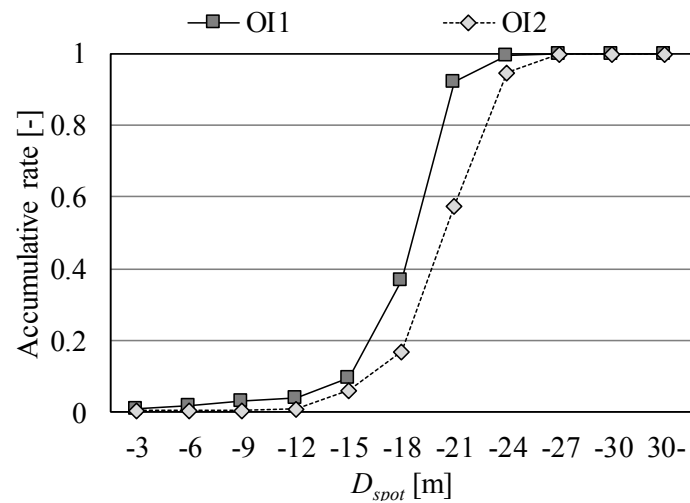
$\varphi_{cl}$  が操作介入有無で有意に変化した 5 名について  $TTC_{brake}$  が 2.0 秒未満であった割合である危険ブレーキ率  $RBR$  を走行データ毎に集計し、操舵介入無条件 (OI1) と操舵介入有条件 (OI2) における平均値を算出した (図 5.6)。C02 を除く 5 名中 4 名の  $RBR$  が平均的に減少した。 $RBR$  が減少した 4 名のうち、特に C06 は有意に減少した ( $p < 0.01$ )。この結果は、 $\varphi_{cl}$  を減少させる操舵介入をしたことにより、視行動を含む運転行動が変化し、緊急性の高いブレーキを踏む必要のある事象の割合が減少したことを示している。なお、C02 の  $RBR$  が増大した理由については次項で考察する。

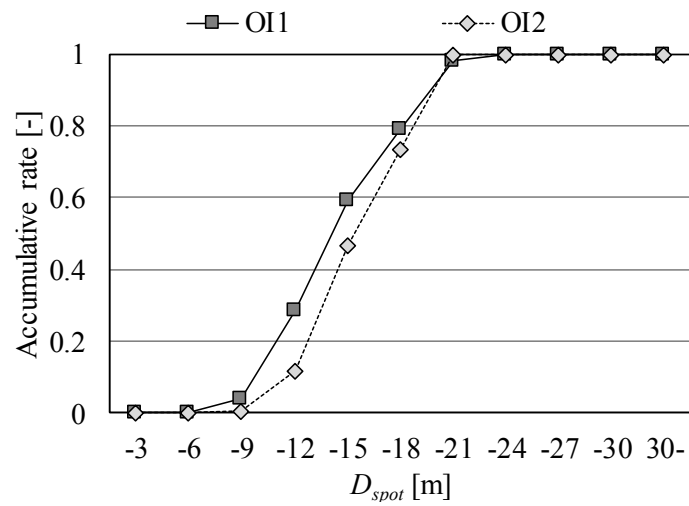
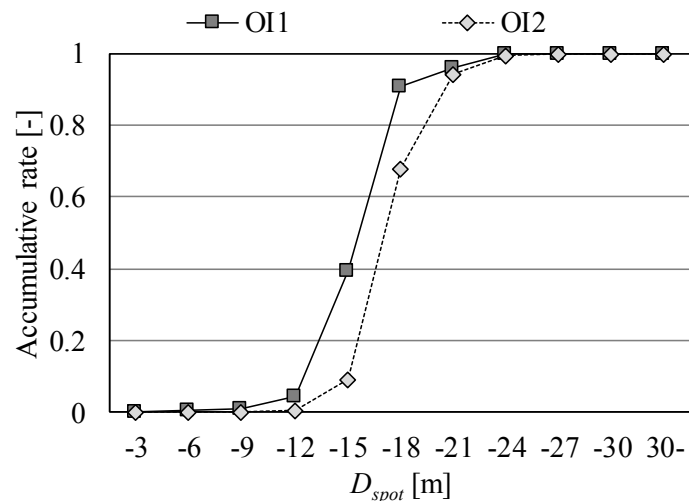
操舵介入を加えることにより、早めに右折を開始させ、右折軌跡の曲率を小さくし、視線方向が右折先の進行方向に偏ることを防ぐことにより、ドライバが余裕を持って横断歩行者を発見できることを期待した。図 5.7–図 5.11 に各参加者の横断歩行者発見時の仮想衝突点までの距離  $D_{spot}$  の累積分布を示す。なお、仮想衝突地点とは、仮想的に出現させた横断歩行者の歩行経路と、ドライバが走行した右折軌跡の交点である。全ての参加者において操舵介入条件 (OI2) の累積分布が、発見時距離の長い方向 (グラフ上右方向) にシフトした。このように期待したとおり、発見時の距離が長くなった。これにより、歩行者に近づいてから発見して発見が遅れる認知エラーを防ぎ、余裕を持った距離でブレーキを踏むことが可能になった結果、 $TTC_{brake}$  の短い衝突リスクの高いブレーキが減ったと考えられる。

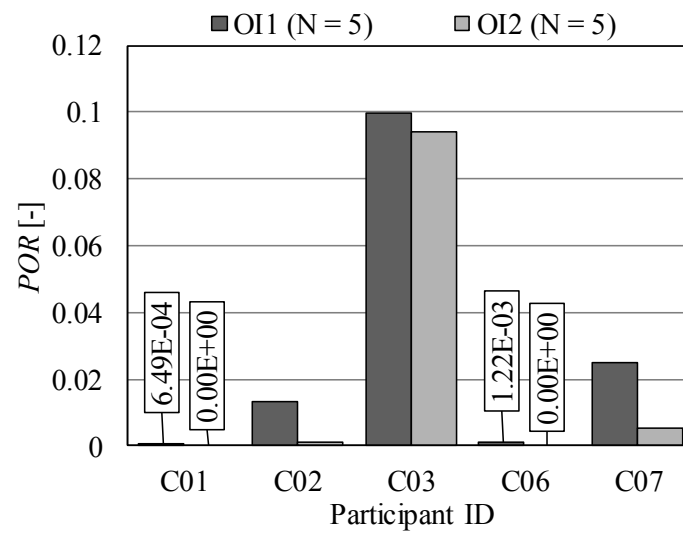
ドライバが回避しなかった場合に衝突する横断歩行者を見落とした割合  $POR$  を図 5.12 に示す。横断歩行者を見落とす割合はドライバ間で大きく異なったが、共通して全員の横断歩行者の見落とし率  $POR$  が低下した。このように変化したのは、危険ブレーキ率  $RBR$  が低下したのと同様に、横断歩行者が存在する方向を余裕のあるタイミングで見られるようになったことが影響したと推察できる。



Fig. 5.6 Comparison of average  $RBR$  between OI1 and OI2Fig. 5.7 Comparison of  $D_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI2 (C01)

Fig. 5.8 Comparison of  $D_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI2 (C02)Fig. 5.9 Comparison of  $D_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI2 (C03)

Fig. 5.10 Comparison of  $D_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI2 (C06)Fig. 5.11 Comparison of  $D_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI2 (C07)

Fig. 5.12 Comparison of average *POR* between OI1 and OI2

### $V_{cl}$ 変化による衝突リスク低減

$V_{cl}$  がブレーキ介入有無で有意に変化した 9 名について  $RBR$  を走行データ毎に集計し、ブレーキ介入無条件 (OI1) とブレーキ介入有条件 (OI3) における平均値を算出した (図 5.13). C11 と C13 を除く 9 名中 7 名の  $RBR$  が平均的に減少した.  $RBR$  が減少した 7 名のうち、特に C06 と C15 は有意に減少した ( $p < 0.05$ ). この結果は、操舵介入と同様に  $V_{cl}$  が低下するようにブレーキ介入したことにより、運転行動が変化して余裕のないタイミングにおけるブレーキの割合が減少したことを示している. なお、C11 および C13 の  $RBR$  が増大した理由については次項で考察する.

ブレーキ介入として追加的にブレーキ圧を加えることにより、車両の速度が低下し、ドライバーが余裕を持って横断歩行者を発見できることを期待した. 図 5.14-図 5.22 に各参加者の横断歩行者発見時の速度  $V_{spot}$  の累積分布を示す. 全ての参加者においてブレーキ介入条件 (OI3) の累積分布が速度の低い方向 (グラフ上で左方向) にシフトした. 想定通りに発見時の速度が低くなったことにより、ブレーキ時の速度も低くなり、 $TTC_{brake}$  も長くなったと考えられる.

ドライバーが回避しなかった場合に衝突する横断歩行者を見落とした割合 ( $POR$ ) を図 5.23 に示す. 操舵介入時とは異なり、 $POR$  が低下したドライバーが過半数を占めたが、3 名のドライバーの見落としが増えた. 3 名の  $POR$  が高くなった理由についても次項で考察する.

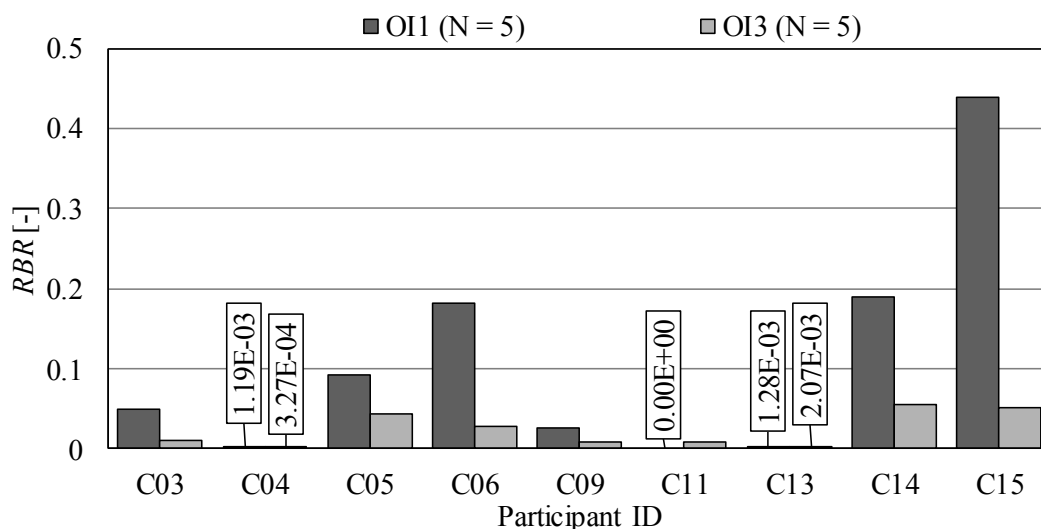
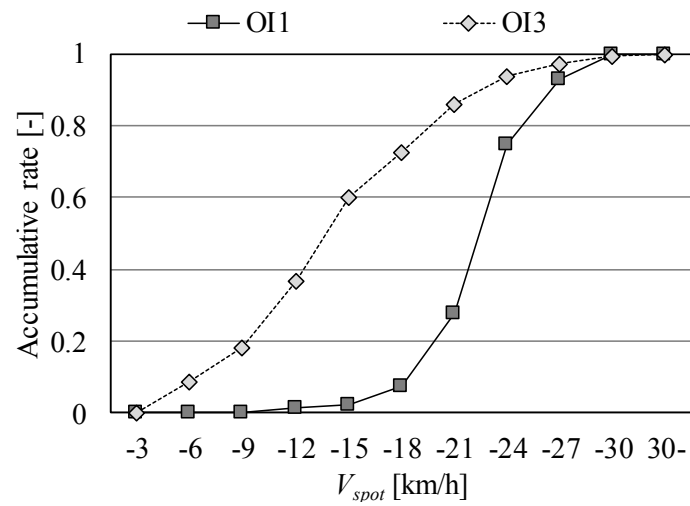
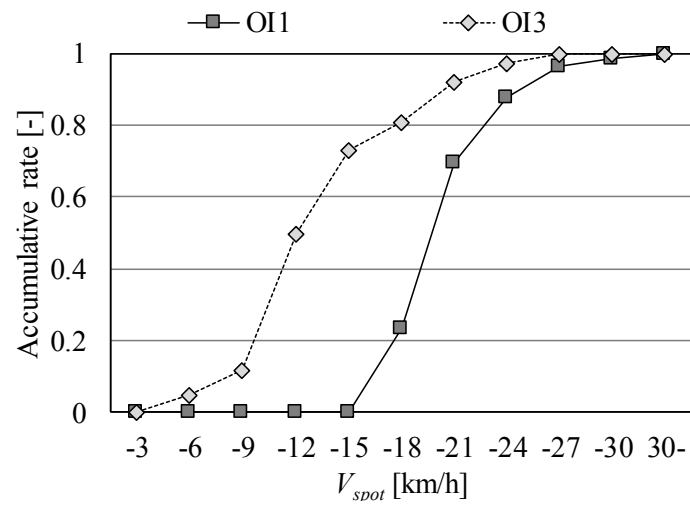
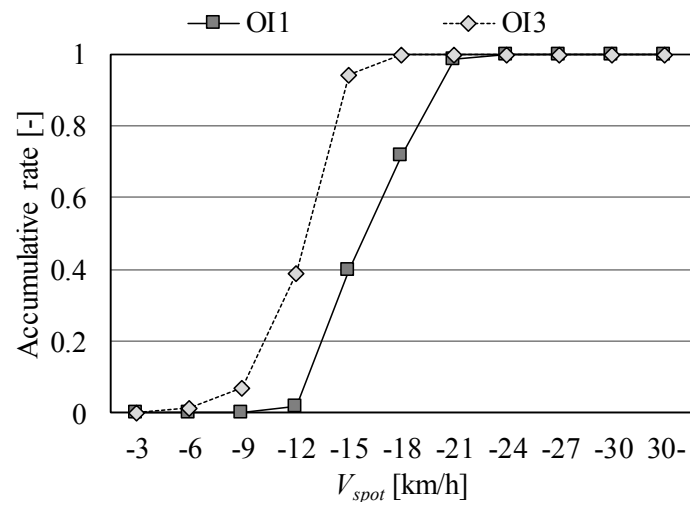
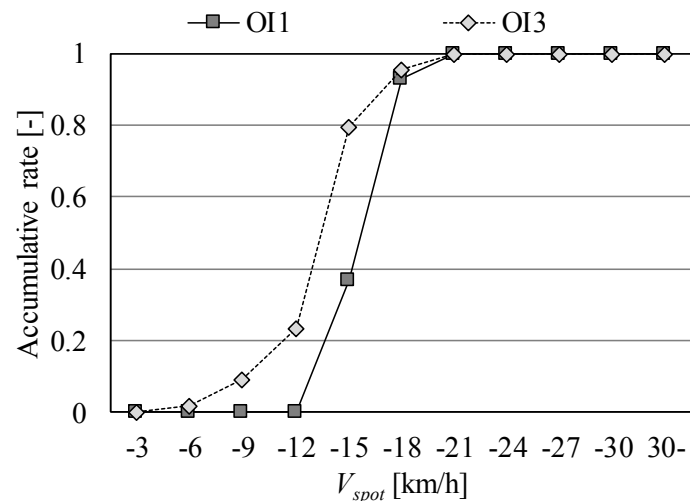


Fig. 5.13 Comparison of average  $RBR$  between OI1 and OI3

Fig. 5.14 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C03)Fig. 5.15 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C04)

Fig. 5.16 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C05)Fig. 5.17 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C06)

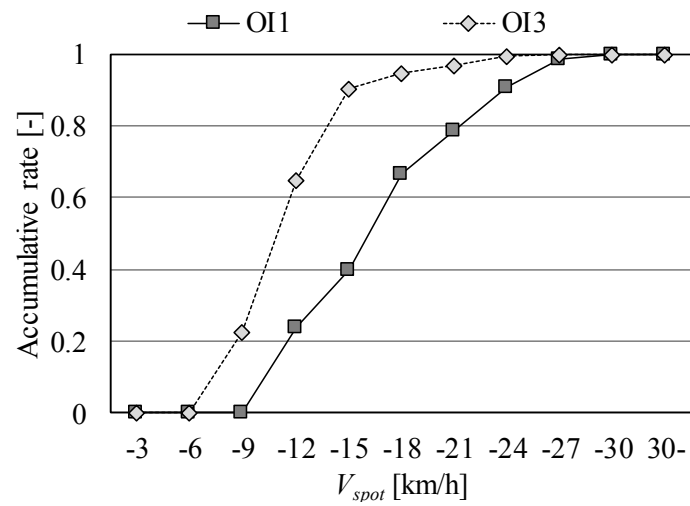


Fig. 5.18 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C09)

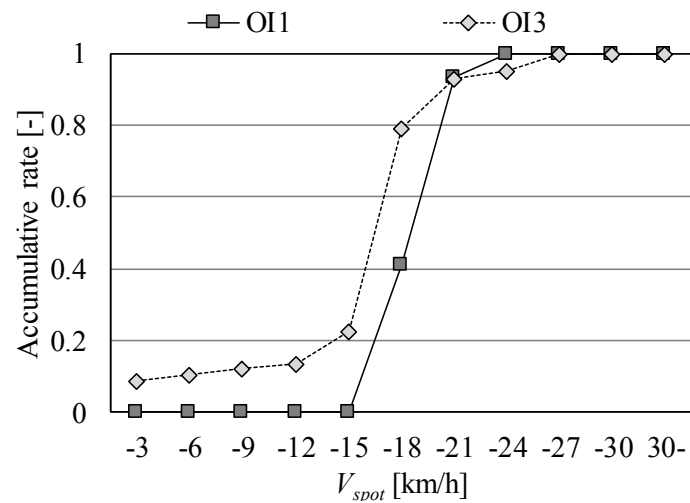
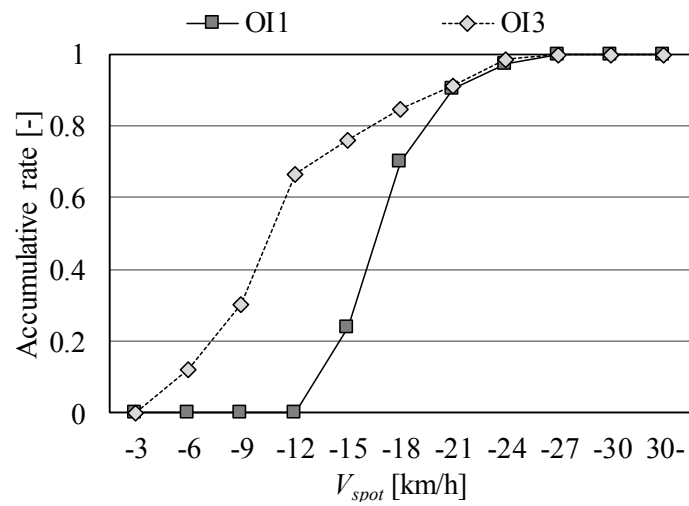
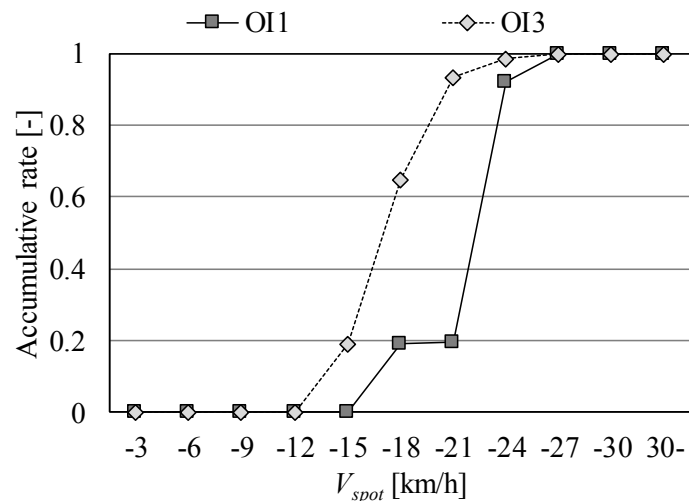


Fig. 5.19 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C11)



Fig. 5.20 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C13)Fig. 5.21 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C14)

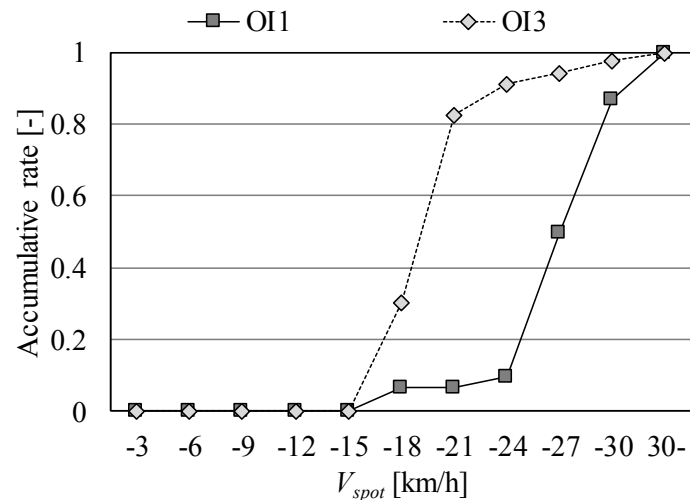


Fig. 5.22 Comparison of  $V_{spot}$  accumulative distribution between OI1 and OI3 (C15)

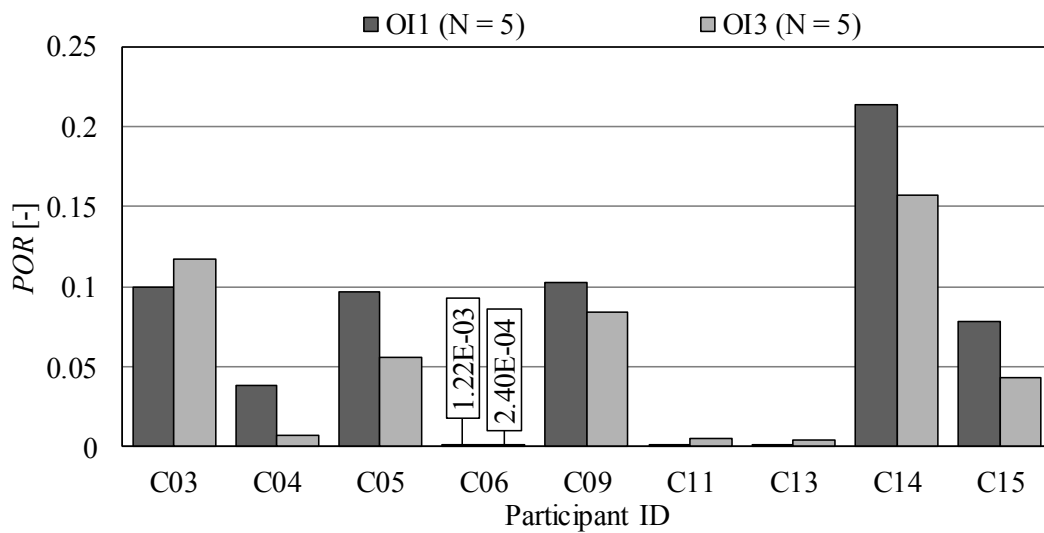
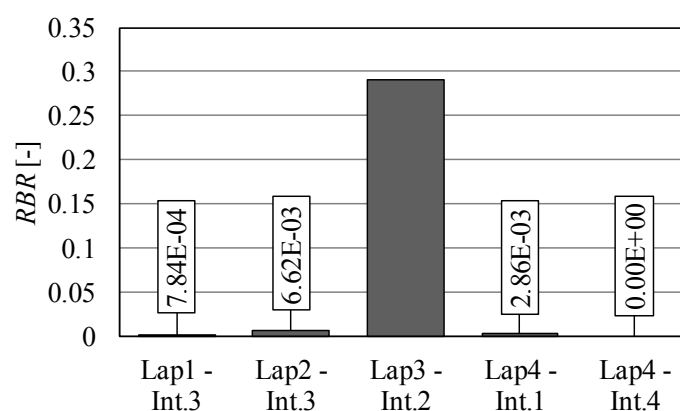


Fig. 5.23 Comparison of average  $POR$  between OI1 and OI3

## 5.4.3 考察

 $\varphi_{cl}$  変化により衝突リスクが低減されない要因

操舵介入により  $\varphi_{cl}$  が減少したのにも関わらず、1名だけ危険ブレーキ率  $RBR$  が増大したドライバ (C02) が見られた。このドライバの  $RBR$  が低減されなかった要因について考察した。各ドライバは操舵介入条件 (OI2) の交差点右折を5回走行している。図 5.24 にドライバ C02 の各 OI2 条件における  $RBR$  値を示す。図に示したように、OI2 条件の3回目の走行の  $RBR$  が他の走行と比較して格段に高く、この1回の数値がこのドライバの平均値を押し上げたと言える。 $\varphi_{cl}$  を減少させる操舵介入により、ドライバ C02 は他のドライバと同様に横断歩行者の発見時距離は長くなる傾向にあったため、 $RBR$  が増大したのは、走行速度の影響と考え、OI2 条件の各走行における速度を比較した (図 5.25)。図 5.25 における 0 秒は中央線通過時であり、その前後 1 秒の範囲における速度推移を示している。各走行の速度を比較すると、OI2 条件の3回目の走行が、他の走行と比較して減速の度合いが小さかった。このように3回目のみ十分に減速されていなかったことにより、ブレーキ時の衝突余裕時間が短くなり、危険ブレーキの割合が高くなったと推察できる。

Fig. 5.24 Comparison of  $RBR$  of OI2 condition (C02)

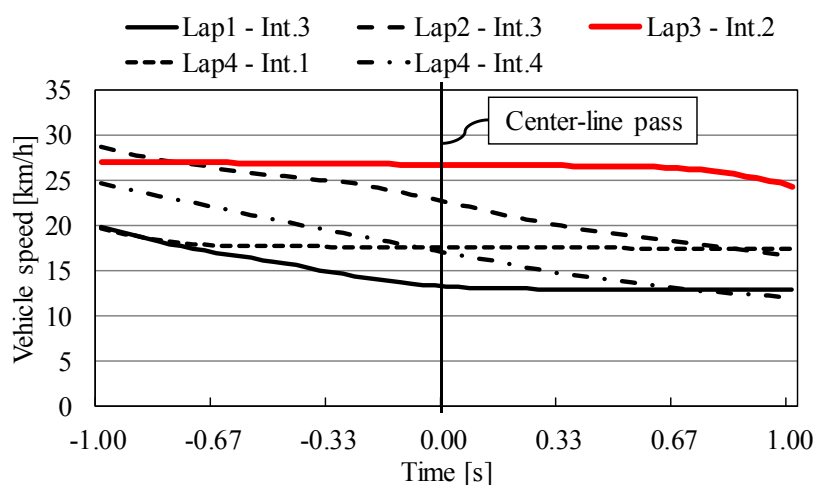
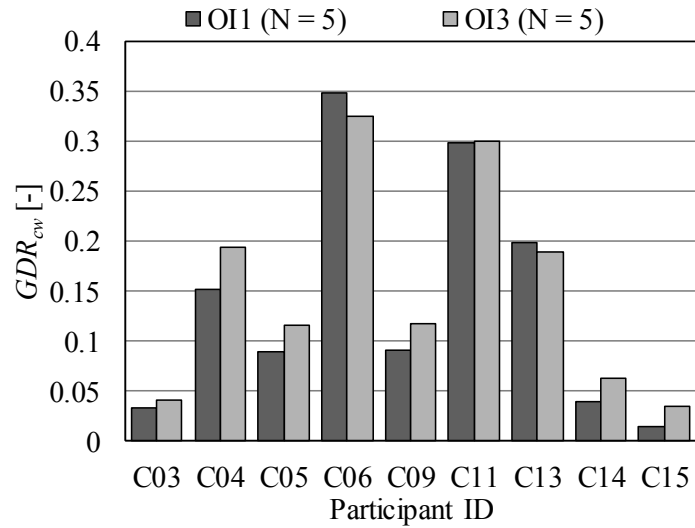
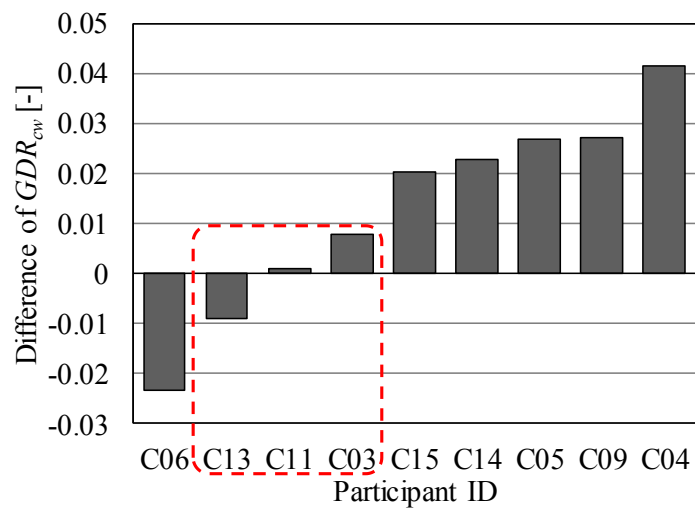


Fig. 5.25 Comparison of speed transition of OI2 condition (C02)

#### $V_{cl}$ 変化により衝突リスクが低減されない要因

ブレーキ介入において  $V_{cl}$  が低下したのにも関わらず、 $RBR$  が低下しなかったドライバが2名 (C11, C13),  $POR$  が低下しなかったドライバが3名 (C03, C11, C13) 見られた。いずれのドライバも介入の影響で速度は低下したが、衝突リスクの低減にはつながらなかった。これらのドライバは歩行者が視野内に入っておらず、衝突リスクを低減できなかったと推察できる。このことを確認するため、各ドライバの交差点右折中の視行動について分析を行った。具体的には、交差点右折中の注視対象を分類し、注視時間割合 ( $GDR$ ) を算出した。図 5.26 に横断歩道方向への注視時間割合  $GDR_{cw}$  の各ドライバの平均値を示し、図 5.27 にブレーキ介入無条件 (OI1) とブレーキ介入有条件 (OI3) の平均値の差を示す。図 5.27 を見ると衝突リスクが低減しなかった3名は、横断歩道方向への注意配分が減少した、あるいは増大してもわずかであった。 $V_{cl}$  が低下し、横断歩行者を発見する余裕が生まれたのにも関わらず、歩行者が出現する可能性のある横断歩道方向に視線を向けなかったことにより、却って見落とす歩行者が増え、車両の近くまで来てから発見する歩行者が増えたと考えられる。その結果、見落とし率  $POR$  および危険ブレーキ率  $RBR$  が増大したと考えられる。なお、OI1 条件と比較して C06 の  $GDR_{cw}$  が最も低下しているが、図 5.26 を見てわかるように、C06 は低下した OI3 条件でも  $GDR_{cw}$  が約 30% を超えており、低下したとはいえ、十分に横断歩道方向に視線を向けていたと考えられ、いずれの衝突リスク指標にもその影響は見られなかった。

Fig. 5.26 Comparison of average  $GDR_{cw}$  between OI1 and OI3Fig. 5.27 Difference of average  $GDR_{cw}$  between OI1 and OI3

$\varphi_{cl}$  変化および  $V_{cl}$  変化により衝突リスクが低減されなかった事例について考察した結果、いずれの事例も期待した運転行動の変化が見られたが、発見時の歩行者までの距離が長くなった事例では速度が高く、発見時の速度が低くなった事例では横断歩道方向に視線が向いておらず、衝突リスクが低減されなかった。いずれか一つの運転行動指標の変化により衝突リスクが低減されたドライバーも見られたが、4.3 節で述べたように衝突リスクは  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の組合せで評価できたように、効果的に衝突リスクを低減するためには走行速度およびドライバーの視線方向の両者の考慮が不可欠であると考えられる。このことを踏まえると、本研究で明らかにした運転行動特徴に基づいて衝突リスクを低減するためには、走行速度および視行動を変化させることができる運転支援手法を考案する必要がある。

$\varphi_{cl}$  を減少させる操舵介入および  $V_{cl}$  を低下させるブレーキ介入をそれぞれ DS に実装し、DS を用いた交差点右折再現実験と仮想的な横断歩行者に対する発見およびブレーキをシミュレートした。その結果、 $\varphi_{cl}$  の減少により横断歩行者発見時の距離が長くなり、認知エラーである横断歩行者の発見遅れと見落としが減少し、衝突リスクが低減した。また、 $V_{cl}$  の低下により横断歩行者発見時の速度が低下し、歩行者に対して余裕を持ってブレーキを踏めるようになり、衝突リスクが低減した。以上のように、単独走行右折シーンにおける運転行動特徴に基づいて運転行動を変化させることにより、衝突リスクが低減されることを確認した。

## 5.5 本章のまとめ

本章では、まず単独走行右折シーンにおいて、運転行動特徴を反映する各運転行動指標 ( $\varphi_{cl}$ ,  $V_{cl}$ ) が示す衝突リスクが低減される方向に、運転行動を変化させる操作介入手法をそれぞれ以下のように設定した。

- $\varphi_{cl}$  を減少させるために操舵系のギア比を一時的に大きくする操舵介入
- $V_{cl}$  を低下させるために強制的な減速を行うブレーキ介入

次に、操作介入による運転行動変化によって衝突リスクが低減されるか評価する方法を設定した。具体的には、横断歩行者が出現しない非危険場面シナリオの走行データにおける様々な横断歩行者に対する発見やブレーキをシミュレートし、衝突リスクを評価した。

続いて、設定した操作介入方法を DS に実装し、DS を用いた単独走行右折シーンの再現実験を実施した。上記評価方法で衝突リスクを評価し、操作介入有無条件間の衝突リスクを比較して以下の結果を得た。

- $\varphi_{cl}$  を減少させる操舵介入により、介入無条件と比較して横断歩行者を発見する距離が長くなり、緊急性のあるブレーキを踏む割合が減るとともに、衝突する可能性のある横断歩行者の見落としが減り、衝突リスクが低減された。
- $V_{cl}$  を低下させるブレーキ介入により、介入無条件と比較して横断歩行者を発見する速度が低くなり、余裕のある状態での横断歩行者に対してブレーキを踏む割合が増え、衝突リスクが低減された。

以上の結果より、単独走行右折シーンの認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づいて、運転行動を変化させることにより、衝突リスクが低減されることを示した。

次章では、横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴に対して、交通環境が及ぼす影響について検討する。





## 第 6 章

交通環境が認知エラーに繋がる  
運転行動特徴に及ぼす影響



## 6.1 はじめに

4章で単独走行右折時の横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴を示した。しかし、運転支援を考える上では様々な交差点右折環境において支援する可能性があり、運転行動は交通環境への適応的な行動であることから、右折環境が異なれば認知エラーに繋がる運転行動特徴も異なる可能性がある。そこで、本章では交通環境(e.g., 運転シーン, 道路環境)が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響を明らかにすることが目的である。具体的には、交通環境が異なるとこれまで検討してきた単独走行右折時の運転行動特徴とどのように異なるか、また単独走行右折時の運転行動特徴が異なる交差点右折環境で適用可能か、すなわち運転行動指標により衝突リスクを評価できるかを、単独走行右折時の運転行動特徴を異なる交差点右折環境に適用して評価した。

本章では、まず前章まで対象とした交差点右折環境とは異なり、本章で評価対象とする交通環境と、交通環境の影響を評価する方針について述べる。次に、単独走行右折シーンとは異なる運転シーンの認知エラーに繋がる運転行動特徴について検討した結果について述べる。続いて、選定した評価対象とした各交差点右折環境における再現実験を実施し、単独走行右折シーンの運転行動特徴を適用した結果について述べる。最後に、実験結果を踏まえ、交通環境の差異が認知エラーに繋がる運転行動の特徴に及ぼす影響についてまとめる。

## 6.2 評価対象と評価方針

交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響について検討するため、これまで検討してきた単独走行右折時の運転行動特徴が異なる交差点右折環境に適用可能であるか、すなわち運転行動特徴を反映する運転行動指標により衝突リスクを評価できるか検討した。評価対象とした交通環境および評価方針について以下に示す。

### 評価対象

ドライバの運転行動を変化させる交通環境要素として、他の交通参加者や道路構造があると考え、運転シーンおよび道路環境に注目した。2.4節で明らかにしたように、最も発生頻度の高いシーンは単独走行右折シーン(TS1-1)であったが、これに続いて頻度が高かったのは、TS3-1とTS2-1であった。TS3-1はドライバが対向直進車の通過を待

ち、さらにもう一台の対向直進車が接近している中で右折し、歩行者が出現するシーン(以下、対向車間右折シーン)であり、TS2-1はドライバが先行右折車に追従して右折する際に歩行者が出現するシーン(以下、先行車追従右折シーン)であった。これらのシーンは単独走行右折シーンよりは頻度は低かったが、典型シーンの中では頻度が比較的高く、対人交通環境が存在しない単独走行右折シーンに対して、それぞれ対向直進車あるいは先行右折車が存在するシーンとして解釈できる。そこで、対向車間右折シーンと先行車追従右折シーンを本章で対象とする運転シーンとして選定した。

1.2節において交差点右折時に交差点の車道幅が異なることにより、歩行者と車両の衝突部位の傾向が異なることを示したが、道路環境パラメータの一つである車道幅が異なることにより、ドライバの認知エラーに至る運転行動および衝突に至る過程が異なる可能性がある。加えて、ITARDA<sup>[127]</sup>は信号交差点の右折事故において車道幅が狭い道路から交差点に進入する場合、全体における対歩行者事故の割合が高くなることを示している。以上のことを踏まえ、交差点車道幅を本章で対象とする道路環境として選定した。

## 評価方針

運転シーンおよび道路環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響を評価するための方針をそれぞれに設定した。

### ■ 運転シーン

運転シーンが異なる場合、交差点内に存在する交通参加者が異なり、ドライバが運転行動を適応的に選択する対象も異なる可能性があり、単独走行右折時とは異なる認知エラーに繋がる運転行動特徴が存在する可能性が高い。そこで、まずヒヤリハット分析に基づき、各運転シンの特徴および運転行動特徴の候補を抽出する。次に、各運転シーンにおける再現実験を実施する。そして、取得した実験データにおいて、単独走行右折シーンの運転行動特徴と各運転シーンの運転行動特徴により衝突リスクを評価できるか検討する。

### ■ 交差点車道幅

交差点車道幅が異なることによりドライバの運転行動の選択は異なる可能性はあるが、運転シーンは単独走行右折シーンを想定するため、交差点車道幅が異なる実験条件を設定し、再現実験を実施する。そして、取得した実験データにおいて、単独走行右折シーンの運転行動特徴により衝突リスクが評価できるか検討する。

## 6.3 単独走行右折シーンとは異なる運転シーンの運転行動特徴

### 6.3.1 対向直進車が存在する対向車間右折シーン

#### 分析方針

2.4 節において分類した対向車間右折シーン (TS3-1) に該当する 20 件を対象として分析を行った。本シーンの事例の多くでは、ドライバーが対向直進車の通過を待った後、再発進して右折しており、そのときに通過した対向直進車に続いて接近している対向直進車が存在したことから、ドライバーの視線が対向車線方向に偏ったことにより認知エラーが発生し、横断歩行者に対して急制動になったと考えられる。そこで、ドライバーの対向車線方向への視線 (顔向き) に着目し、分析を行った。

#### 分析結果

対向車確認の切り上げタイミングを分析すると図 6.1 に示す結果となった。なお、横軸は中央線通過時を 0 秒とし、通過前を負値、通過後を正值として表す。ただし、20 件中 1 件はドライバー顔カメラの設置不備があり、ドライバーの顔方向を判断できなかったため、分析対象外とした。図に示したように半数以上の事例で自車が中央線通過後も対向車線方向を確認していた。このように対向車確認の切り上げタイミングが遅れると、右折先の進行方向の確認開始が遅れ、歩行者の発見も遅れたと考えられる。よって、対向車間右折シーンにおける認知エラーに繋がる運転行動特徴として「視線方向が対向車線方向に引き付けられ、右折先の進行方向に移るのが遅れること」が挙げられる。

#### 運転行動指標の設定

※ 特許申請にかかわるため、6.3.1 項内の「運転行動指標の設定」の内容 (pp.163–164) および式 6.1, 図 6.2 を除外

(6.1)

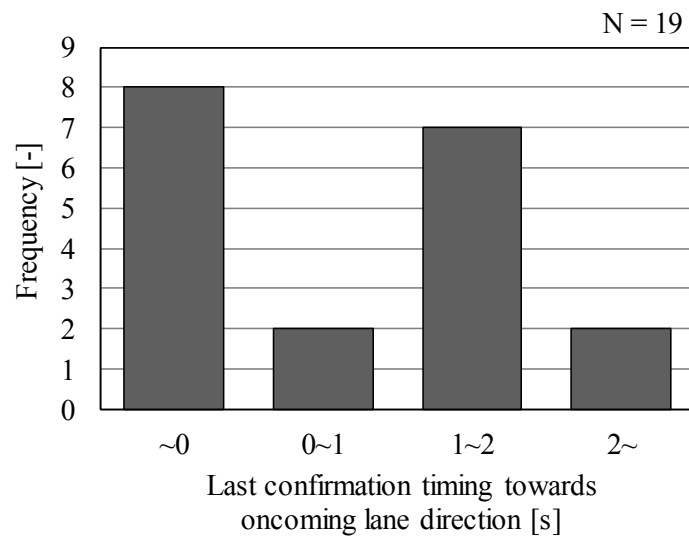


Fig. 6.1 Frequency distribution of last confirmation timing towards oncoming lane direction

Fig. 6.2 Model scene for  $ET^{-1}$  definition

### 6.3.2 先行右折車が存在する先行車追従右折シーン

#### 分析方針

2.4 節において分類した先行車追従右折 (TS2-1) に該当する 19 件を対象として分析を行った。先行車に追従して交差点を右折する場合、右折先の歩行者と衝突しないことと、先行車に追突しないことも注意しなければならない。このことより、ドライバの視線が先行車方向に偏ったことにより認知エラーが発生し、横断歩行者に対して急制動になったと考えられる。そこで、ドライバの各注視対象への注視 (顔向き) 時間割合に着目し、分析を行った。なお、3.2 節で実施したヒヤリハット事例分析時の図 3.1 に示した注視対象に先行車を加えて映像の各フレームにおける注視対象を分類し、分析区間は自転車線の停止線を自車が通過してから、急ブレーキを踏むまでとした。また、先行車に近づいて追従する場合には特に先行車に注意が集中すると考え、先行車の追従の仕方を表現する指標の一つである *THW*(Time Head-Way) にも着目して分析を実施した。

#### 分析結果

先行車や横断歩道方向、正面方向等、各方向への顔向き時間割合の各事例の結果と全事例で平均した結果を図 6.3 に示す。この結果より衝突リスクの高いヒヤリハット事例においては、先行車方向への顔向き時間が大半を占めることがわかった。また、本シーンにおいて歩行者が出現したタイミングである先行車の前端が右折先の横断歩道を通じた際の *THW* を分析した結果を図 6.4 に示す。ただし、2 件についてはヒヤリハットデータベースの解析ツールにより先行車までの距離を算出できなかったため、17 件について集計した結果を示した。この結果より衝突リスクの高いヒヤリハット事例においては、*THW* が 1-2 秒と短い事例が多いことがわかった。以上のことより、先行車に近づいて追従した場合を含めて、先行車方向に注意が集中することで歩行者の発見が遅れて急ブレーキになったと考えられる。よって、先行車追従右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴として「視線方向が先行車方向に偏ること」が挙げられる。

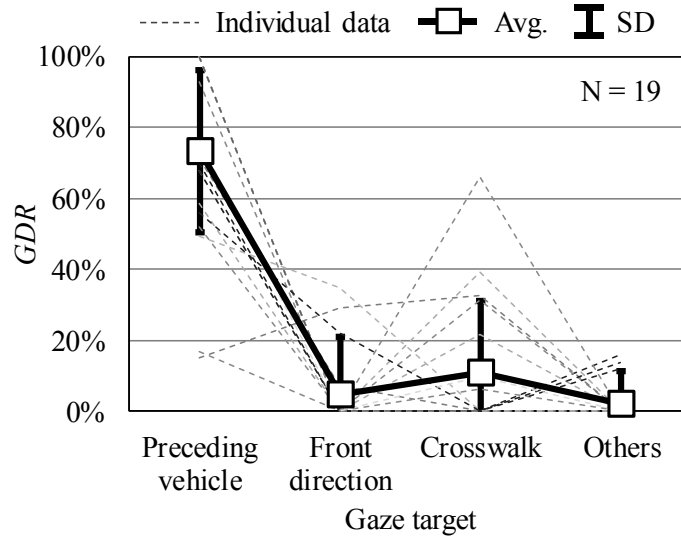


Fig. 6.3 GDR of each gaze target (TS2-1)

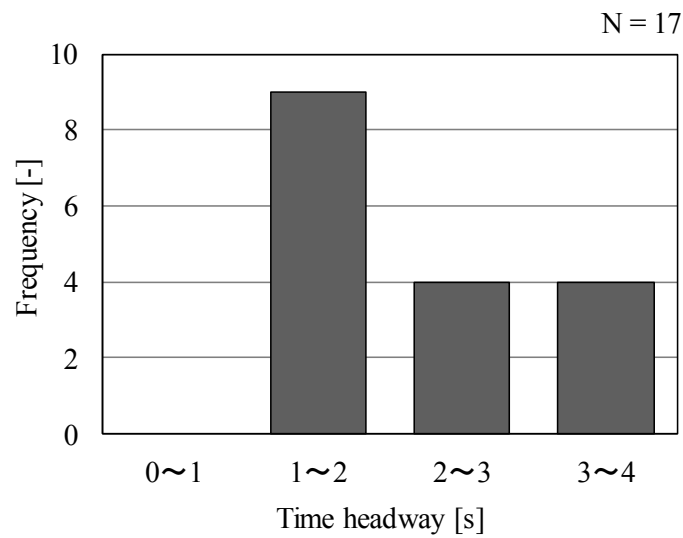


Fig. 6.4 Frequency distribution of THW between preceding vehicle



運転行動指標の設定

※ 特許申請にかかわるため、**6.3.2** 項内の「運転行動指標の設定」の内容 (p.167)  
および式 6.2–6.3, 図 6.5 を除外

(6.2)

(6.3)

Fig. 6.5 Model scene for  $THW_{pv}^{-1}$  definition

本章で評価対象とした運転シーンと交差点車道幅における交差点右折の再現実験をそれぞれ実施し、交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響について評価した。

## 6.4 対向直進車の影響 (実験 D)

### 6.4.1 実験概要

#### 実験車両および実験場所

本実験は実験 A と同様に JARI が所有する拡張現実実験車 JARI-ARV を用い、同所つくば研究所内の模擬市街路東コースで実施した。

#### 実験参加者

平均年齢  $35.0 \pm 10.1$  歳の日常的に自動車の運転を行う成人男女 27 名 (D01-D27) に対し、実験を実施した。表 6.1 に各参加者の詳細を示す。なお、実験参加者には実験前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。

#### 実験コース

実験コースは実験 A と同様の周回コースを設定した。

Table 6.1 Detail of participants (Exp. D)

ID	Sex	Age	Annual mileage [km]
D01	F	39	Under 1,000
D02	F	41	14,000
D03	F	42	Under 1,000
D04	F	36	10,000
D05	F	41	6,000
D06	M	42	16,000
D07	M	37	15,000
D08	M	40	5,000
D09	M	30	10,000
D10	M	35	5,000
D11	M	24	20,000
D12	M	21	10,000
D13	M	23	10,000
D14	F	48	Under 1,000
D15	M	58	20,000
D16	M	24	2,000
D17	M	25	10,000
D18	M	39	20,000
D19	M	21	Under 1,000
D20	M	23	1,000
D21	M	51	3,000
D22	M	25	4,000
D23	M	39	2,000
D24	M	32	10,000
D25	M	33	10,000
D26	F	50	20,000
D27	M	26	5,000

### 実験シナリオ

対向車間右折シーンの状況を再現するため、交差点右折時に対向車が存在するシナリオを図 6.6 に示すように設定した。自転車 (HV) が交差点内で右折待ちする状況を再現するために複数の対向車 (OV) を出現させ、ドライバーが対向車 3 と対向車 4 の間で右折できるように対向車間ギャップを設定した。対向車間ギャップ条件については後述する。なお、全ての対向車は 40 km/h の定速走行とした。さらに、実験 A と同様に横断歩行者が横断歩道に出現する危険場面 (RS) シナリオと横断歩行者が出現しない非危険場面 (NS) シナリオを設定した。2.4 節における対向車間右折シーンのヒヤリハット分析結果を踏まえ、危険場面シナリオでは対向車が自転車の側方を通過したタイミングで横断歩行者を出現させた。実験シナリオの時系列の流れを以下に示す。

1. 自転車が交差点に接近すると 4 台の対向車が出現する。
2. 対向車 3 が通過するまで自転車は交差点内で停止する／徐行する。
3. 対向車 3 と対向車 4 のギャップで右折するために発進する。
4. <危険場面シナリオのみ>対向車 3 が交差点中心を通過すると同時に歩行者が壁の裏から歩行を開始する。

### 対向車間ギャップ条件

実験 A と同様に本実験ではドライバーが歩行者衝突リスクの高い運転を再現することが必要である。そこで、衝突リスクの高い運転行動と比較対象として衝突リスクの低い運転行動を取得するため、異なる対向車間ギャップ条件で実験を実施した。衝突リスクの高い運転の再現条件 (GT1) では、既存研究<sup>[128]</sup> で約 30%のドライバーが右折を行わなかった比較的余裕のない対向車間ギャップ 7 秒を設定した。これに対し、衝突リスクの低い運転の再現条件 (GT2) では、実験参加者が右折する最小対向車間ギャップを予め計測し、計測値に基づいて右折する余裕が十分にある対向車間ギャップを参加者毎に設定した。GT2 条件で個人毎に対向車間ギャップを走行実験に基づいて設定する方法および対向車間ギャップとして設定した値は付録 B に示す。

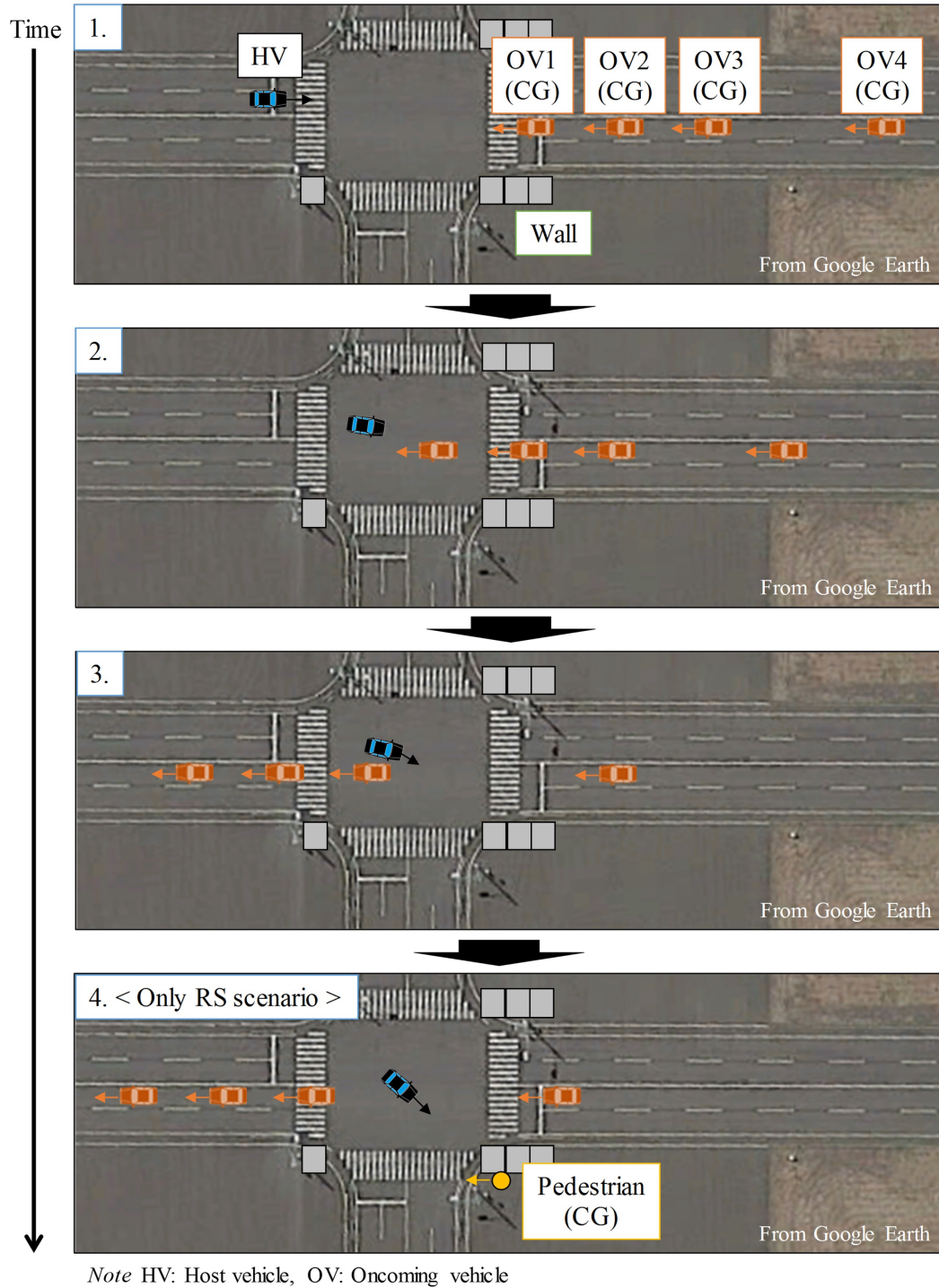


Fig. 6.6 Overview of test scenario (Exp. D)

### 実験手順

表 6.2 に示す手順で実験を実施し、実験参加者は実験コースを連続して 4 周走行した。なお、実験参加者は表 6.2 の手順に入る前に実験車両および実験シナリオに慣れるための十分な練習走行を実施した。走行時には「普段の運転を思い出し、いつも通りの運転を心がけること」を教示した。また、出発前に実験コースは公道における制限速度 40 km/h 道路であると想定して運転することと、片側 2 車線のうち右側の車線を走行することを教示し、歩行者が出現する可能性や交差点に設置した視界制限壁の存在については事前に一切教示しなかった。

Table 6.2 Test procedure (Exp. D)

Order No.	Content
1	Drive 3 laps of test course with NS scenario
2	Drive 1 lap of test course with RS scenario

### 計測項目

本実験の計測項目は実験 A と同様である。

## 6.4.2 実験結果

### 危険場面シナリオにおける対歩行者回避行動

表 6.3 に各参加者が走行した危険場面シナリオの対向車ギャップ条件および歩行者に対する回避行動,  $TTC_{brake}$  を示す. 危険場面シナリオの走行で 27 名中 3 名は歩行者に気づいたがブレーキを踏まずに, 歩行者を操舵で回避する等して歩行者より先に横断歩道を通じた. また, D11 は接近してくる対向車 4 の通過を待ち, 対向車間ギャップで右折しなかったため, 歩行者に対するブレーキを判断できなかった. そのため, この 4 名については  $TTC_{brake}$  を算出できず, 分析対象外とした.

図 6.7 に示すように, GT2 のほうが想定通り  $TTC_{brake}$  の長い衝突リスクの低い運転行動が得られ, 条件間で有意差が見られた ( $t(21) = 3.92, p < 0.01$ ). このような条件設定により相対的に安全な運転行動と不安全な運転行動を得ることができた. しかし, 個人に合わせて対向車間ギャップを設定したにも関わらず  $TTC_{brake}$  が短い事象 (e.g., D26, D27) も得られており, 不安全な運転行動になるのは対向車間のギャップ時間の影響だけではないことを示唆している.

出現した横断歩行者の前で停止あるいは減速したドライバの  $TTC_{brake}$  とブレーキ時の最大減速度の関係を図 6.8 に示す. ヒヤリハットデータベースの記録開始トリガ値  $0.45\text{ g}$  をドライバの対歩行者ブレーキが緊急性を有していたか判断する基準とすると, 対向車間右折シーンにおいては  $TTC_{brake}$  が 2 秒程度よりも短い場合にドライバは相対的に強くブレーキを踏み込んで歩行者を回避しており, 相対的に運転行動が不安全であったと考えられる. 単独走行右折シーンと比較すると対歩行者ブレーキ時の最大減速度の平均値が小さかった. これは対向車間右折シーンでは, 発進後の比較的低速な状態で歩行者に遭遇するため, 歩行者を回避するためのブレーキ減速度も小さかったと推察される.

Table 6.3 Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. D)

ID	GTC	Avoidance behavior	$TTC_{brake}$ [s]
D01	GT1	Stop	1.22
D02	GT1	Stop	1.10
D03	GT1	Pass (With brake)	0.92
D04	GT1	Stop	1.54
D05	GT1	Stop	3.13
D06	GT1	Pass (With brake)	0.92
D07	GT1	Decelerate	6.01
D08	GT1	Stop	1.30
D09	GT1	Pass (With brake)	0.69
D10	GT1	Stop	2.03
D11	GT1	Stop* <sup>1</sup>	-
D12	GT1	Pass (With brake)	0.71
D13	GT1	Pass (With brake)	0.68
D14	GT2	Pass (W/o brake)	-
D15	GT2	Stop	4.18
D16	GT2	Stop	4.6
D17	GT2	Decelerate	5.81
D18	GT2	Pass (W/o brake)	-
D19	GT2	Pass (W/o brake)	-
D20	GT2	Stop	4.16
D21	GT2	Stop	6.68
D22	GT2	Stop	3.84
D23	GT2	Stop	5.27
D24	GT2	Decelerate	4.87
D25	GT2	Stop	5.43
D26	GT2	Stop	1.92
D27	GT2	Pass (With brake)	0.81

Note GTC: Gap time condition

\*1 Waited for oncoming vehicle 4 to pass by



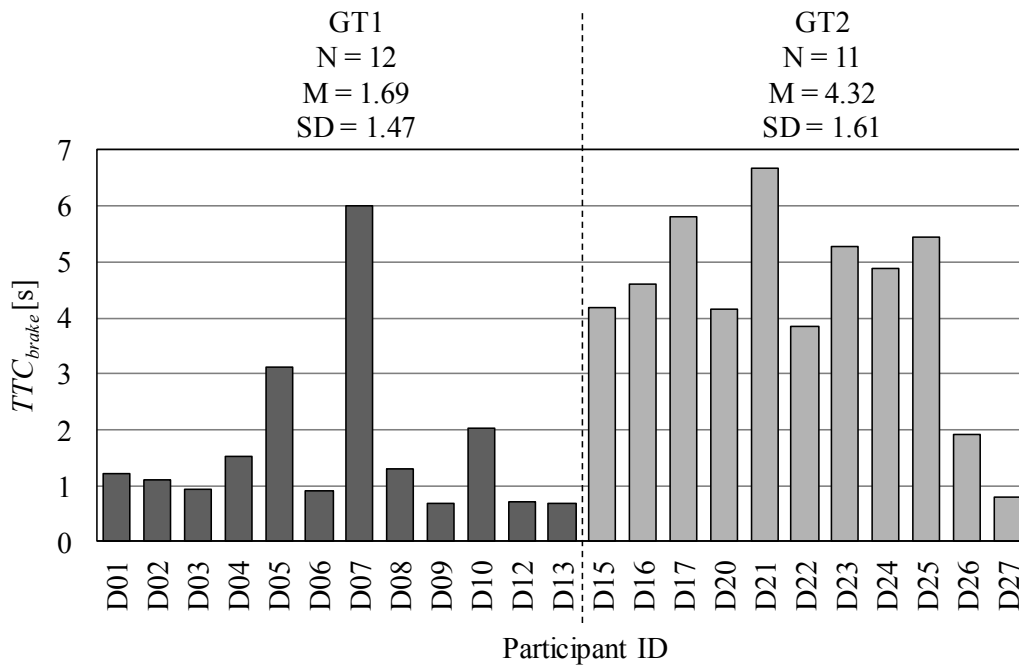


Fig. 6.7  $TTC_{brake}$  result of each participant (Exp. D)

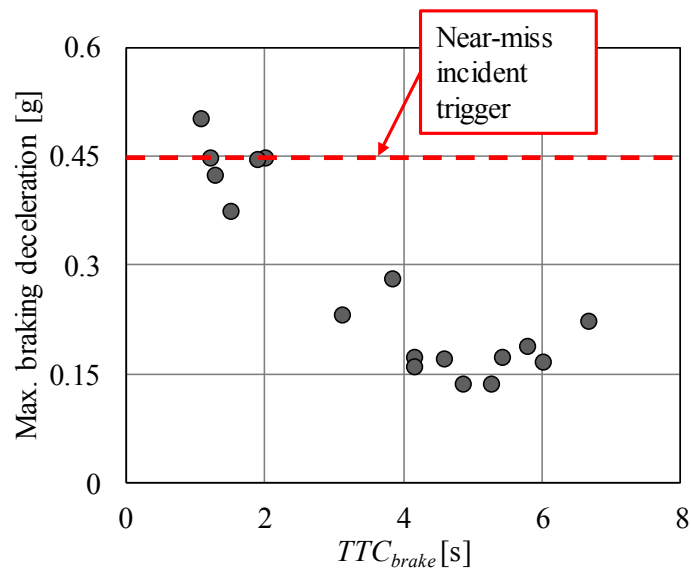


Fig. 6.8 Relation between  $TTC_{brake}$  and maximum braking deceleration (Exp. D)

### 運転行動指標と衝突リスクの関係

まず、対向車間右折シーンにおける特異的な運転行動指標である推定所要時間の逆数  $ET^{-1}$  と  $TTC_{brake}$  の関係を図 6.9 に示す。  $ET^{-1}$  と  $TTC_{brake}$  は強く、かつ有意な相関を示した ( $r = -0.71, t(19) = -4.44, p < 0.01$ )。 よって、対向車間右折シーンでは単独走行右折シーンとは異なる運転行動特徴が認知エラーに影響していることがわかる。

次に、対向車間右折シーンの運転行動の衝突リスクの高低群の判別を、単独走行右折シーンの運転行動指標 ( $\varphi_{cl}$ ,  $V_{cl}$ ) を用いた場合と、2 指標に  $ET^{-1}$  を加えた場合で判別し、その結果を比較した。なお、対向車間右折シーンの衝突リスクの高低群の  $TTC_{brake}$  の閾値は、前述した危険場面シナリオにおける  $TTC_{brake}$  とブレーキ時最大減速度の関係より 2.5 秒に設定した。また、判別手法としてフィッシャーの線形判別を用い、判別式の導出のためには危険場面シナリオにおける運転行動データを用いた。表 6.4 に線形判別に用いたパラメータの組合せと判別率を示す。単独走行右折シーンの運転行動指標のみでも判別率が 85% 以上であり、単独走行右折シーンの運転行動指標でも高い精度で対向車間右折シーンにおける運転行動の衝突リスクを判別できた。これに対して判別式に  $ET^{-1}$  を加えることでさらに判別率が向上し、約 95% となった。図 6.10 に危険場面シナリオにおける  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の関係とこの 2 指標を用いて衝突リスクの高低群を判別した直線を示す。図中に赤点線で印をつけたデータが  $ET^{-1}$  を加えることによって正しく識別できるようになった運転行動を示している。各参加者の  $ET^{-1}$  を降順で並べた結果を見ると (図 6.11)、該当する参加者の  $ET^{-1}$  は参加者全体の平均よりも大きく、この指標を加えることで対向車線方向に注意が残り、右折先の進行方向への注意の遷移が遅れたことが加味され、正しく判別できるようになったと考えられる。

以上より、対向車間右折シーンにおいて、単独走行右折シーンの運転行動特徴に基づいて運転行動の衝突リスクを 85% 程度説明できることがわかった。さらに、単独走行右折シーンの運転行動特徴に加えて、対向車間右折シーンの運転行動特徴を考慮することで、衝突リスクを説明できる程度が向上することがわかった。

Table 6.4 Discrimination result of high- and low-risk driving behavior (Exp. D)

No.	Parameters			Hit rate
	$\varphi_{cl}$	$V_{cl}$	$ET^{-1}$	
1	✓	✓	×	0.86
2	✓	✓	✓	0.95

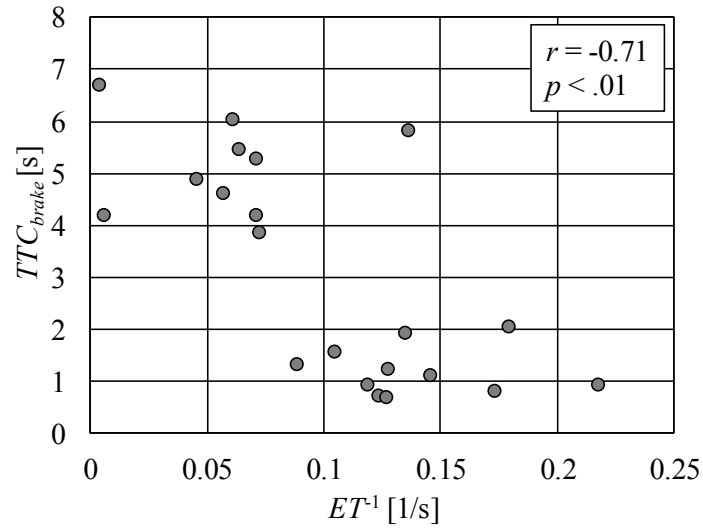
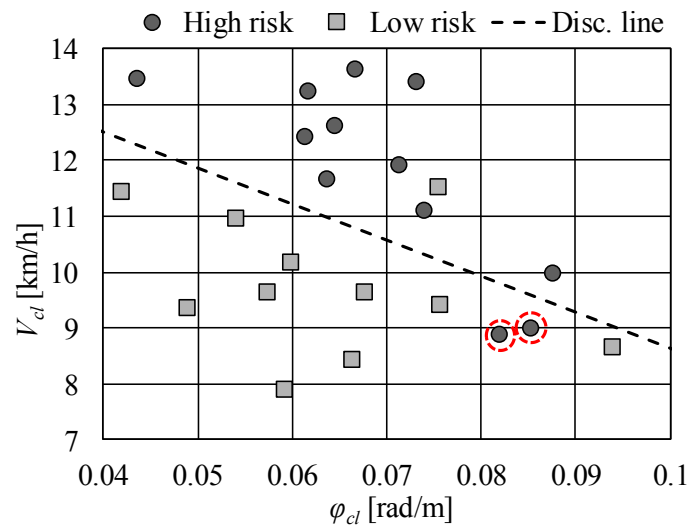
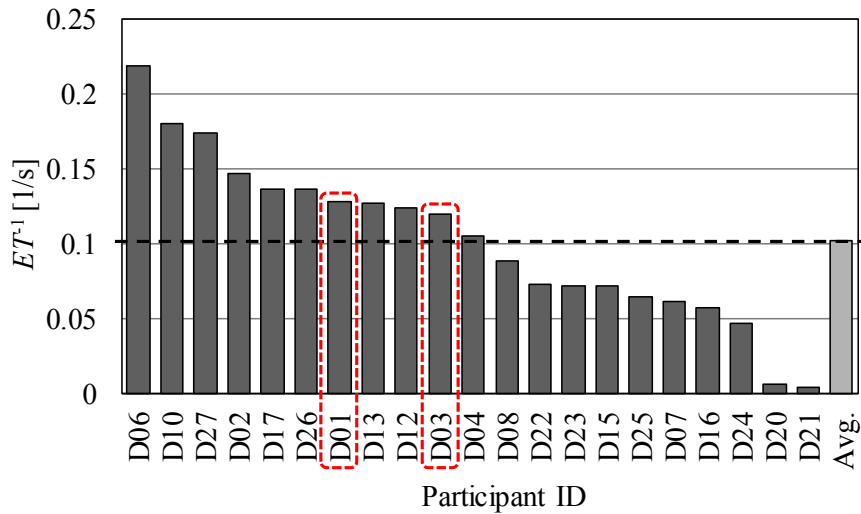


Fig. 6.9 Relation between  $TTC_{brake}$  and  $ET^{-1}$



Note Disc. line: Discriminant line

Fig. 6.10 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  with discriminant line (Exp. D)

Fig. 6.11  $ET^{-1}$  result of each participant

### 6.4.3 考察

対向車間右折時の指標  $ET^{-1}$  を考慮に入れても正しく判別できなかった事例が 1 名 (D17) だけであった。この 1 名は  $TTC_{brake}$  が 5 秒を超えており、衝突リスク低群と分類されていたが、衝突リスク高群として判別された。このドライバの運転行動が正しく判別されなかった理由について考察した。 $\varphi_{cl}$  および  $V_{cl}$ 、 $ET^{-1}$  の数値を見る限り、いずれも参加者全体の平均値よりも大きい、あるいは高く、他のドライバと比較して衝突リスクの高い運転であったと言える。横断歩行者が出現してから、各参加者がブレーキを踏むまでに要した時間  $LT$  を図 6.12 に示す。ドライバ D17 の  $LT$  が最も短く、さらに D17 の数値は、同じ危険場面シナリオを走行したドライバの平均値より有意に短かった ( $t(20) = -2.73, p < 0.05$ )。よって、ブレーキが他のドライバよりも早かったために、運転行動指標では衝突リスクが高いと判別されたのにも関わらず、比較的長い  $TTC_{brake}$  のタイミングでブレーキを踏めたと考えられる。したがって、正しく判別できなかった D17 は、歩行者が出現してからの回避行動が素早かったことが影響して衝突する危険性が低くなっており、運転行動指標に基づいて衝突リスク高群として判別した評価は妥当であったと推察できる。

各指標が認知エラーおよび衝突リスクにどの程度寄与するかを明らかにするため、各指標を標本の平均と分散を用いて標準化し、衝突リスクの高低を判別するロジスティック回帰分析を実施して各指標の標準化偏回帰係数を比較した。式 6.4 に得られた回帰式を示す。この数式は左辺が大きくなると衝突リスクの高い運転行動として判別される確率が高くなることを示しており、例えば右辺の  $\varphi_{cl}$  の係数が正であることから、 $\varphi_{cl}$

が仮に大きくなると左辺も大きくなり、衝突リスクの高い運転である可能性が高くなることを示す。各指標の係数を比較すると  $ET^{-1}$  の係数が最大であり、対向車間右折シーンにおいては衝突リスクへの寄与度が最も高いことを示している。よって、対向車間右折シーンにおいては単独走行右折シーンの指標だけでなく、対向車間右折シーンの指標の考慮が必要であることを示唆している。

$$\ln\left(\frac{p_{high}}{p_{low}}\right) = 0.370 + 0.159 \cdot \varphi_{cl} + 0.803 \cdot V_{cl} + 3.22 \cdot ET^{-1} \quad (6.4)$$

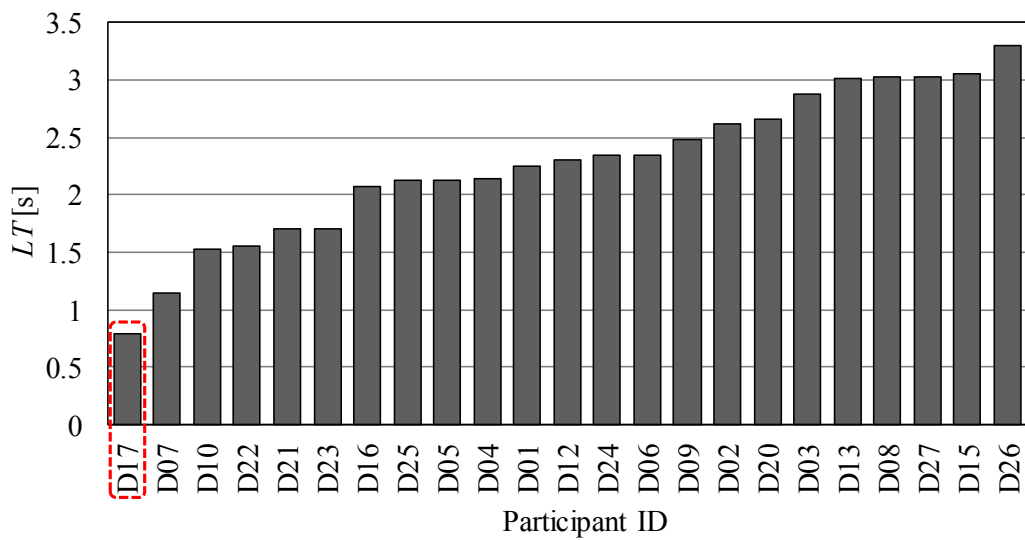


Fig. 6.12  $LT$  result of each participant (Exp. D)

## 6.5 先行右折車の影響 (実験 E)

### 6.5.1 実験概要

#### 実験車両および実験場所

本実験は実験 A および実験 D と同様の JARI が所有する拡張現実実験車 JARI-ARV を用いたが、本実験は同所つくば研究所内の模擬市街路西コースで実施した。

#### 実験参加者

平均年齢  $31.6 \pm 10.2$  歳の日常的に自動車の運転を行う成人男女 25 名 (E01–E25) に対し、実験を実施した。表 6.5 に各参加者の詳細を示す。なお、実験参加者には実験前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。

#### 実験コース

模擬市街路西コース内に片側 2 車線の対象交差点を含む 1 周約 350 m の周回コースを設定した。なお、実験 A と同様に死角から歩行者が出現する可能性のある環境を再現するため、交差点の見通しを制限する壁を交差点の隅に設置した。図 6.13 に実験コースの鳥瞰図、図 6.14 に対象交差点の外観を示す。

Table 6.5 Detail of participants (Exp. E)

ID	Sex	Age	Annual mileage [km]
E01	F	39	2,000
E02	M	28	Under 1,000
E03	M	24	Under 1,000
E04	M	30	2,000
E05	F	30	2,500
E06	M	22	15,000
E07	M	59	10,000
E08	M	23	20,000
E09	M	24	Under 1,000
E10	M	39	5,000
E11	F	44	Under 1,000
E12	F	42	1,000
E13	F	44	5,000
E14	M	23	10,000
E15	M	23	3,000
E16	M	36	10,000
E17	M	24	1,000
E18	M	23	Under 1,000
E19	M	23	5,000
E20	F	42	4,000
E21	M	22	1,000
E22	M	22	10,000
E23	M	21	20,000
E24	M	40	15,000
E25	M	44	3,000

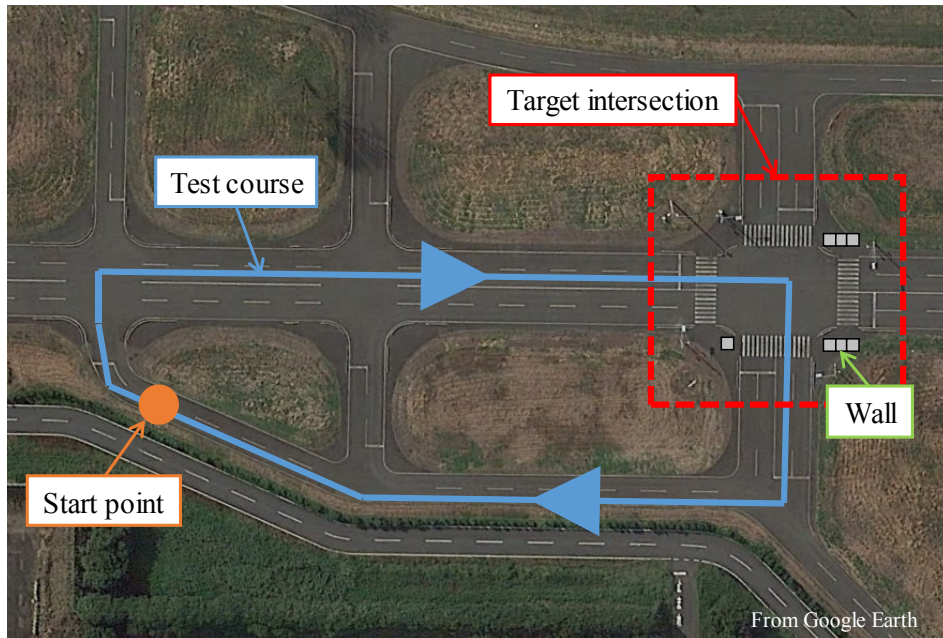


Fig. 6.13 Overview of test course (Exp. E)



Fig. 6.14 Appearance of target intersection (Exp. E)



### 実験シナリオ

先行車追従右折シーンを再現するため、図 6.15 に示す交差点右折時に対向車待ちのために一旦停車し、先行車に続いて右折するシナリオを作成した。さらに、実験 A と同様に横断歩行者が横断歩道に出現する危険場面 (RS) シナリオと横断歩行者が出現しない非危険場面 (NS) シナリオを設定した。2.4 節における先行車追従右折シーンのヒヤリハット分析結果を踏まえ、危険場面シナリオでは先行車が右折先の横断歩道に到達するタイミングで横断歩行者を出現させた。実験シナリオの時系列の流れを以下に示す。

1. 2 台の先行車が 2 台の対向車の通過を待つ
2. 2 台の対向車の通過後、2 台の先行車が一定加速度で発進し、右折を開始する
3. <危険場面シナリオのみ> 2 台目の先行車が横断歩道に到達すると同時に、歩行者が壁の裏から歩行を開始して出現する

### 先行車発進加速度条件

実験 A や実験 D と同様に本実験ではドライバーの歩行者衝突リスクの高い運転を再現することが必要である。付録 C に示す公道を走行した一般ドライバーの運転行動を分析した結果、先行車の発進加速度が追従する自車速度の選択に影響を及ぼすことがわかった。そこで、異なる先行車の発進加速度条件を表 6.6 のように設定した。各実験参加者は、全ての発進加速度条件の非危険場面シナリオを走行し、SA1 または SA3 のいずれかの発進加速度条件における危険場面シナリオを走行した。

Table 6.6 Start acceleration condition of preceding vehicle

ID	Start acceleration [m/s <sup>2</sup> ]
SA1	0.5
SA2	1.0
SA3	1.5
SA4	2.0



Fig. 6.15 Overview of test scenario (Exp. E)

### 実験手順

表 6.7 に示す手順で実験を実施し、参加者は実験コースを合計で 9 周走行した。非危険場面シナリオを走行した 8 周では、先行車の各発進加速度条件を 2 回ずつ予め設定した順番で走行した。なお、参加者は表 6.7 の手順に入る前に実験車両および実験シナリオに慣れるための十分な練習走行を実施した。走行時には「友人等との待ち合わせに遅れそうな場면을思い浮かべて、安全の範囲内で急ぐ気持ちを持って運転すること」を教示した。また、出発前に実験コースは公道における制限速度 40 km/h 道路であると想定して運転することと、片側 2 車線のうち右側の車線を走行することを教示し、歩行者が出現する可能性や交差点に設置した視界制限壁の存在については事前に一切教示しなかった。

Table 6.7 Test procedure (Exp. E)

Order No.	Content
1	Drive 4 laps of test course with NS scenario
2	Recess (Few minutes)
3	Drive 4 laps of test course with NS scenario
4	Drive 1 lap of test course with RS scenario

### 計測項目

本実験の計測項目は実験 A および実験 D と同様である。

## 6.5.2 実験結果

### 危険場面シナリオにおける対歩行者回避行動

各参加者が走行した危険場面シナリオの先行車の発進加速度条件と危険場面における横断歩行者に対する回避行動,  $TTC_{brake}$  を表 6.8 に示す. 全ての参加者が出現した横断歩行者に気づいてブレーキを踏んだ. 横断歩行者の手前で停止したり, 減速したりして横断歩行者を回避できた参加者がいた一方で, ブレーキを踏んだが間に合わずに CG 歩行者と衝突する事象も発生した.

図 6.16 に各参加者の  $TTC_{brake}$  を示す. 先行車の発進加速度が異なることにより,  $TTC_{brake}$  に差異が現れると予想したが, 条件間に大きな差は認められず, 発進加速度条件間に有意差は見られなかった. しかし,  $TTC_{brake}$  が 1 秒を切る衝突までの余裕のない運転から, 4 秒の比較的余裕のある運転まで取得することができた.

出現した横断歩行者の前で停止あるいは減速したドライバの  $TTC_{brake}$  とブレーキ時の最大減速度の関係を図 6.17 に示す. 先行車追従右折シーンにおいては  $TTC_{brake}$  が 1 秒程度の群が, 緊急性のあるブレーキの基準とした 0.45 g のブレーキ時減速度を超えていた. この結果より  $TTC_{brake}$  が 2 秒よりも短い場合にドライバは歩行者に対して緊急性の高いブレーキを踏んでいたと考えられる.

Table 6.8 Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. E)

ID	SAC	Avoidance behavior	$TTC_{brake}$ [s]
E01	SA1	Decelerate	3.24
E02	SA1	Pass* <sup>1</sup>	0.32
E03	SA1	Pass* <sup>1</sup>	0.63
E04	SA1	Stop	1.16
E05	SA1	Pass* <sup>1</sup>	1.19
E06	SA1	Stop	3.26
E07	SA1	Pass* <sup>1</sup>	0.50
E08	SA1	Stop	2.59
E09	SA1	Decelerate	4.75
E10	SA1	Stop	3.34
E11	SA1	Stop	3.21
E12	SA1	Stop	3.15
E13	SA1	Pass* <sup>1</sup>	0.57
E14	SA1	Stop* <sup>1</sup>	0.75
E15	SA1	Pass* <sup>1</sup>	0.71
E16	SA3	Decelerate	2.97
E17	SA3	Decelerate	2.93
E18	SA3	Stop	0.88
E19	SA3	Stop	0.96
E20	SA3	Stop	4.26
E21	SA3	Stop	3.19
E22	SA3	Stop	2.58
E23	SA3	Stop	1.15
E24	SA3	Stop	3.31
E25	SA3	Pass* <sup>1</sup>	0.00

Note SAC: Start acceleration condition

\*1 Collided with CG pedestrian

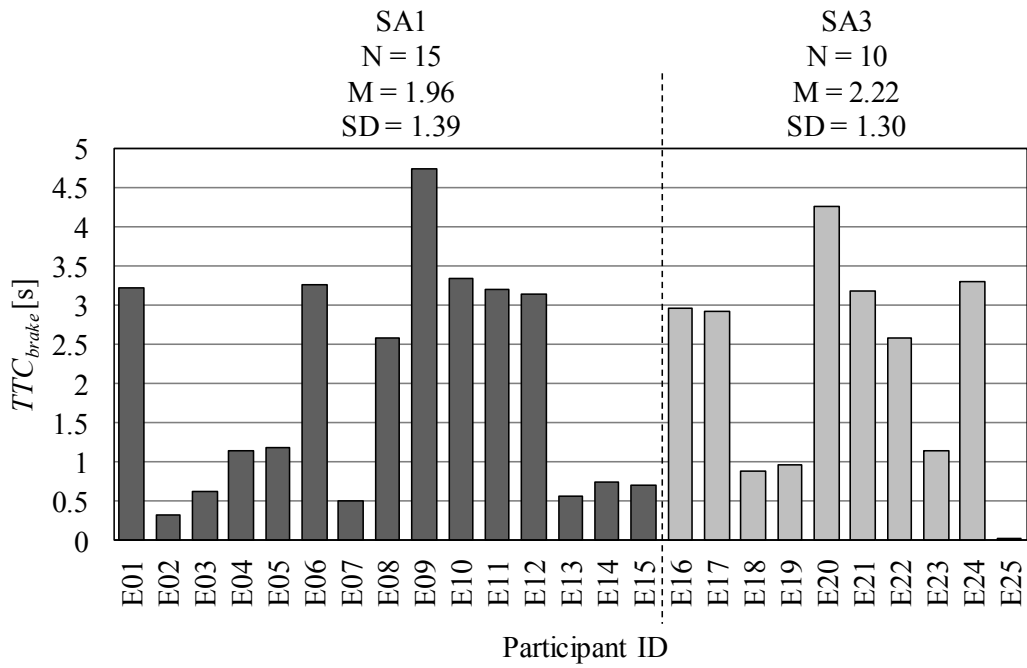


Fig. 6.16  $TTC_{brake}$  result of each participant (Exp. E)

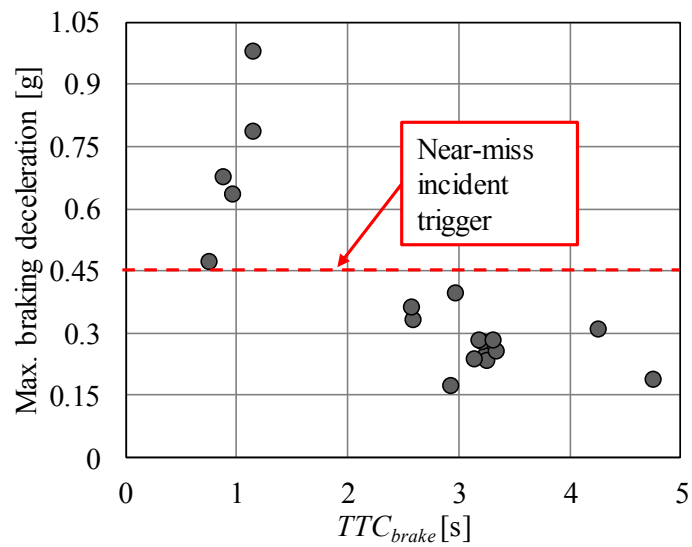


Fig. 6.17 Relation between  $TTC_{brake}$  and maximum braking deceleration (Exp. E)

### 運転行動指標と衝突リスクの関係

まず、先行車追従右折シーンにおける特異的な運転行動指標である先行車への注視時間割合  $GDR_{pv}$  と先行車に対する車間時間の逆数  $THW_{pv}^{-1}$  の  $TTC_{brake}$  との関係をそれぞれ図 6.18 と図 6.19 に示す。各指標にばらつきが見られるが、 $TTC_{brake}$  との間に関連が見られた ( $GDR_{pv} : r = -0.57, t(21) = -3.20, p < 0.01; THW_{pv}^{-1} : r = -0.57, t(21) = -3.21, p < 0.01$ )。したがって、先行車追従右折シーンでは設定した運転行動指標が衝突リスクと関連しており、単独走行右折シーンとは異なる運転行動の特徴が衝突に至る認知エラーに繋がっていることがわかった。

次に、先行車追従右折シーンの危険場面シナリオにおける運転行動の衝突リスクの高低群の判別を、単独走行右折シーンの運転行動指標 ( $\varphi_{cl}, V_{cl}$ ) を用いた場合と、二つの指標に  $GDR_{pv}$  あるいは  $THW_{pv}^{-1}$  を加えた場合で実施し、比較した。なお、先行車追従右折シーンの衝突リスクの高低群の  $TTC_{brake}$  の閾値は、前述した危険場面シナリオにおける  $TTC_{brake}$  とブレーキ時最大減速度の関係より 2.0 秒に設定した。また、判別手法としてフィッシャーの線形判別を用い、判別式の導出のためには危険場面シナリオにおける運転行動データを用いた。表 6.9 に線形判別に用いたパラメータの組合せと衝突リスク高低群の判別率を示す。単独走行右折シーンの運転行動指標のみでは判別率が 57%程度であったのに対し、 $GDR_{pv}$  あるいは  $THW_{pv}^{-1}$  判別式に加えることで 20%程度向上した。図 6.20 に先行車追従右折シーンの危険場面シナリオにおける  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の関係とこの 2 指標を用いて衝突リスクの高低群を判別する直線を示す。図中に赤点線で印をつけたデータが  $GDR_{pv}$  を加えることで正しく衝突リスク高と判別されたデータであり、青点線で印をつけたデータが正しく衝突リスク低と判別されたデータである。判別線の近傍では衝突リスク高群と低群のデータが混在しており、単独走行右折シーンの指標のみでは十分に判別できていないことがわかる。 $GDR_{pv}$  を判別式に加えることによって正しく衝突リスクが判別された参加者の  $GDR_{pv}$  について見ると (図 6.21)、正しく衝突リスク高群と判定された参加者は参加者全体の平均よりも多く先行車方向を見ており、逆に正しく低群に判別された参加者は相対的に先行車を見る割合が低かった。このように単独走行右折シーンの指標に基づいて車両の軌跡と速度に、先行車への視線方向の偏りが加味されたことにより、正しく判別できるようになったと推察できる。

以上より、先行車追従右折シーンにおいて、単独走行右折シーンの運転行動特徴に基づいて運転行動の衝突リスクを 6 割程度説明できることがわかった。さらに、単独走行右折シーンの運転行動特徴に加えて、先行車追従右折シーンの運転行動特徴を考慮することで、衝突リスクを説明できる程度が向上することがわかった。

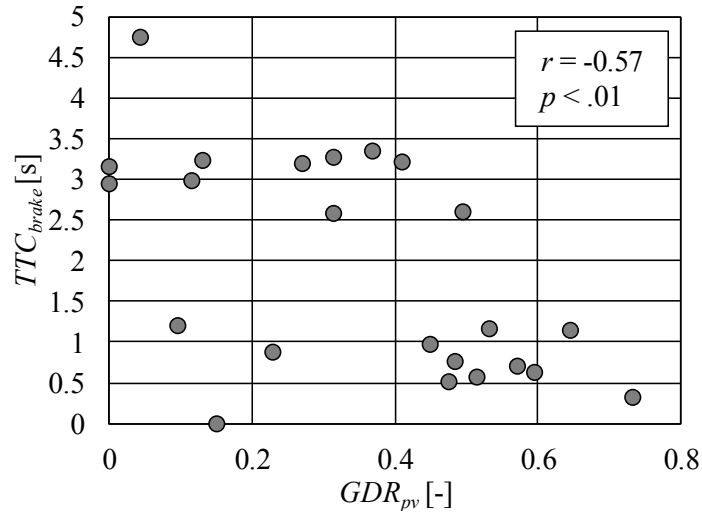


Fig. 6.18 Relation between  $GDR_{pv}$  and  $TTC_{brake}$

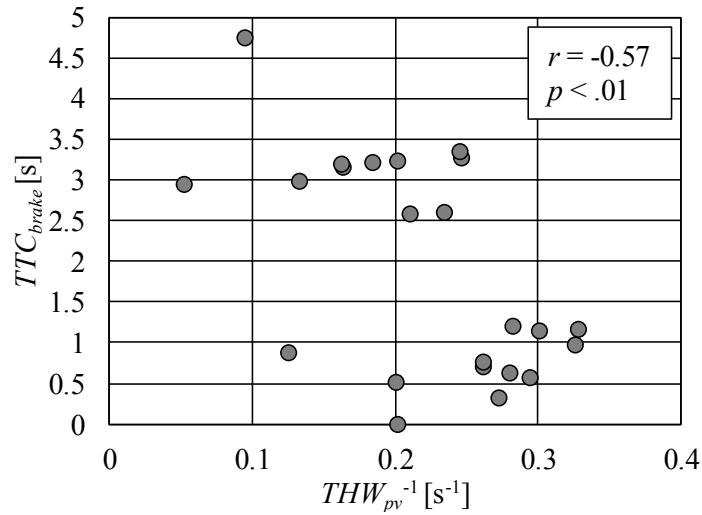


Fig. 6.19 Relation between  $THW_{pv}^{-1}$  and  $TTC_{brake}$

Table 6.9 Discrimination result of high- and low-risk driving behavior (Exp. E)

No.	Parameters				Hit rate
	$\varphi_{cl}$	$V_{cl}$	$THW_{pv}^{-1}$	$GDR_{pv}$	
1	✓	✓	×	×	0.57
2	✓	✓	✓	×	0.74
3	✓	✓	×	✓	0.83



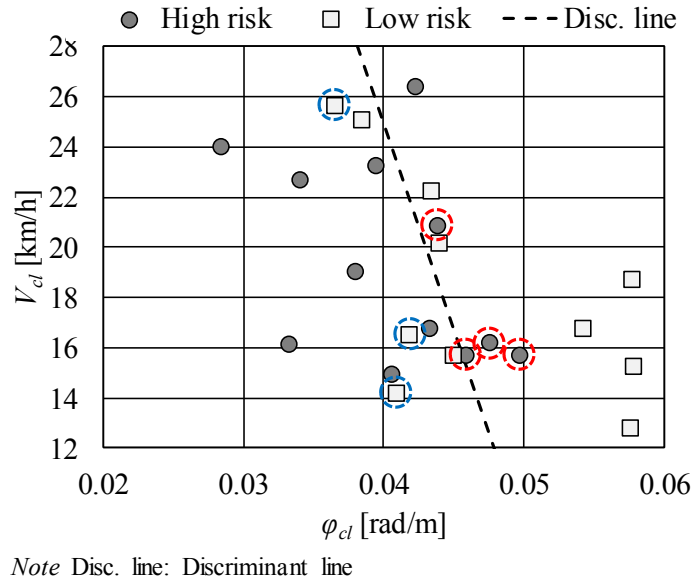


Fig. 6.20 Relation between  $\phi_{cl}$  and  $V_{cl}$  with discriminant line (Exp. E)

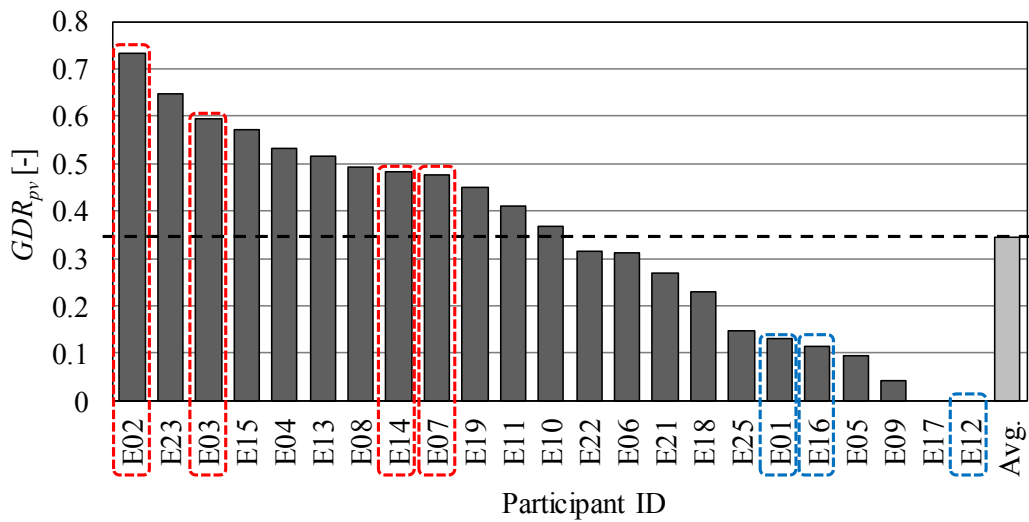


Fig. 6.21  $GDR_{pv}$  result of each participant

## 6.5.3 考察

先行車追従右折時の指標  $GDR_{pv}$  を考慮に入れても正しく判別できなかった事例が4件あった。2件は衝突リスクの低い運転を高群と判別した事例であり、残り2件は衝突リスクの高い運転を誤って低群と判別した事例である。

まず、衝突リスク高群と誤判別された事例 (E08, E22) について考察する。図 6.16 を見ると高群と誤って判別されたドライバの運転行動は、低群に分類された中では 2.0 秒に近く相対的に衝突リスクの高い運転であった。また、前節の実験における考察と同様に、歩行者の出現からのブレーキ踏み始めるまでの時間  $LT$  (図 6.22) を見ると、2名のドライバの  $LT$  は参加者の中でも相対的に短かった。この2名のドライバも実験 D の D17 と同様に、運転行動指標では衝突リスクが高いと判別されたが、歩行者が出現してから気づいてブレーキが相対的に早かったために、 $TTC_{brake}$  が閾値 2.0 秒を超え、衝突リスク低群と分類されたと考えられる。

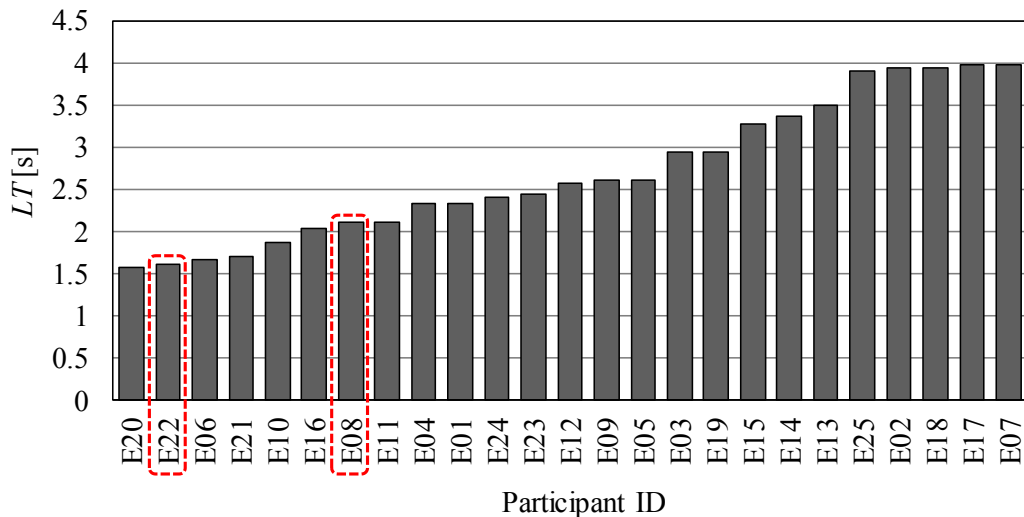


Fig. 6.22  $LT$  result of each participant (Exp. E)

次に、衝突リスク低群と誤って判別された事例 (E05, E25) について考察する。2名の運転行動について詳細に分析した結果、ともに歩行者が出現したタイミングでは、歩行者がAピラーで出来た死角に入り、不可視であった可能性がある。図6.23に歩行者が出現してから、E05が歩行者を発見し、ブレーキを踏むまでの流れを示す。図に示したように、ドライバーの視野からでは、歩行者を発見できなかったためにブレーキが遅れ、 $TTC_{brake}$ が短くなったことが推察される。不可視である状況は、単独走行右折シーンの運転行動指標および先行車追従右折シーンの運転行動指標でも考慮されていないため、衝突リスク低群と判別されていたと考えられる。このように横断歩行者が車両のAピラーで出来た死角で見えないような事象について正しく衝突リスクを評価するためには、車両が交差点に対してどのような位置および向きになっているかを考慮していく必要があると考えられる。

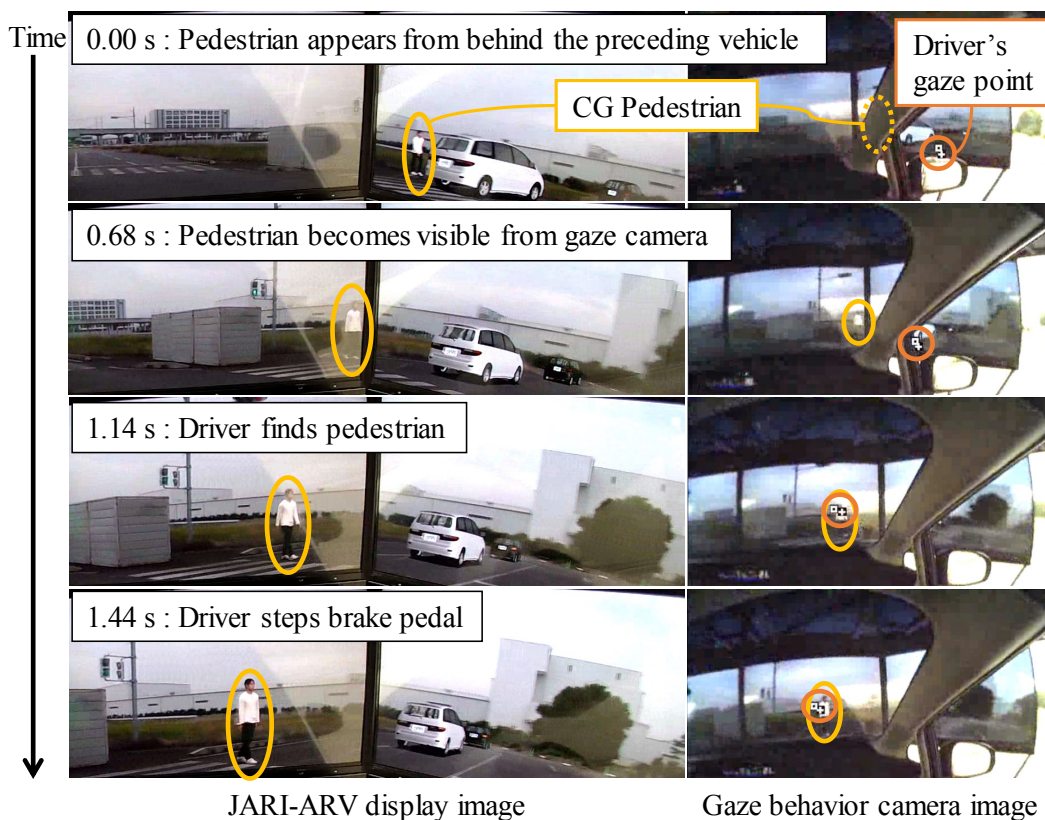


Fig. 6.23 Series of events from pedestrian appearance to braking against pedestrian (E05)

各指標が衝突リスクに寄与する程度を明らかにするため、各指標を平均と分散を用いて標準化し、衝突リスクの高低を判別するロジスティック回帰式を算出して各指標の標準化偏回帰係数を比較した。単独走行右折シーンの二つの指標にそれぞれ  $GDR_{pv}$  と  $THW_{pv}^{-1}$  を加えた回帰式を算出し、式 6.5 と式 6.6 に得られた回帰式それぞれを示す。各回帰式における指標の係数を比較すると  $GDR_{pv}$  と  $THW_{pv}^{-1}$  の係数の絶対値が最大であり、先行車追従右折シーンにおいてはそれぞれの指標の衝突リスクへの寄与度が高いことを示している。よって、先行車追従右折シーンにおいては単独走行右折シーンの指標に加えて、先行車追従右折シーンの指標の考慮が必要であることを示唆している。

$$\ln \left( \frac{P_{high}}{P_{low}} \right) = 0.198 - 1.46\varphi_{cl} + 0.119V_{cl} + 2.31THW_{pv}^{-1} \quad (6.5)$$

$$\ln \left( \frac{P_{high}}{P_{low}} \right) = 0.214 - 1.43\varphi_{cl} - 0.170V_{cl} + 1.56GDR_{pv} \quad (6.6)$$

式 6.5 と式 6.6 において、 $\varphi_{cl}$  の係数が負になっているが、単独走行右折シーンの再現実験 (実験 A) のデータを用いて同様にロジスティック回帰式を算出すると式 6.7 のようになり、 $\varphi_{cl}$  の係数は正である。単独走行右折シーンと先行車追従右折シーンで  $\varphi_{cl}$  が衝突リスクに寄与する方向が変わっている。図 6.24 に示すように、単独走行右折シーンでは  $\varphi_{cl}$  は歩行者が出現してからブレーキを踏むまでの時間  $LT$  と正の相関を示したが、先行車追従右折シーンにおいて同様の指標との関係性を見ると (図 6.25)、有意な相関関係はなく、さらに弱い負の相関を示していた。単独走行右折シーンでは  $\varphi_{cl}$  の小さい緩やかな右折をすることにより、横断歩行者を発見しやすくなるが、先行車追従右折シーンにおいては、先行車が存在しており、緩やかな右折を選択することによって却って歩行者が先行車により遮蔽された可能性があり、結果として  $\varphi_{cl}$  が小さくなると発見してブレーキを踏むまでの時間が長くなったと考えられる。このように同じ指標であっても、運転シーンが異なることにより、各指標が衝突リスクに及ぼす影響が変化する可能性があることがわかった。

$$\ln \left( \frac{P_{high}}{P_{low}} \right) = 13.5 + 16.1\varphi_{cl} + 21.7V_{cl} \quad (6.7)$$

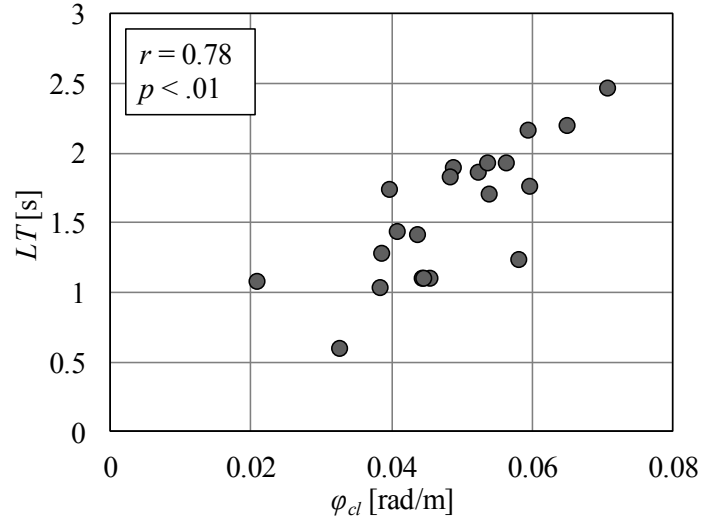


Fig. 6.24 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $LT$  (Exp. A)

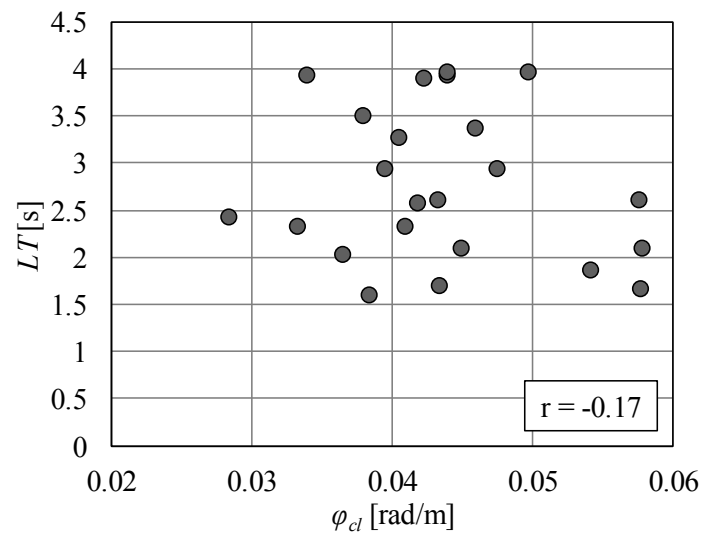


Fig. 6.25 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $LT$  (Exp. E)

## 6.6 交差点車道幅の影響 (実験 F)

### 6.6.1 実験概要

#### 実験装置

本実験では、異なる車道幅条件における交差点右折を計測するため、交差点の形状を変更できることが必要である。この要件を踏まえ、本実験では実験 B および実験 C と同様の DS を用いた。

#### 実験参加者

平均年齢  $33.4 \pm 10.5$  歳の日常的に自動車の運転を行う成人男女 41 名 (F01-F41) に対し、実験を実施した。表 6.10 に各参加者の詳細を示す。なお、実験参加者には実験前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得た上で実施した。

#### 車道幅条件

異なる車道幅条件として表 6.11 に示す交差点出入口の車道幅が異なる交差点を設定した。各交差点の外観を図 6.26 に、各交差点の鳥瞰図を図 6.27 に示す。各参加者は、全ての車道幅条件の交差点における非危険場面シナリオを走行し、いずれかの車道幅条件の交差点における危険場面シナリオを走行した。

Table 6.10 Detail of participants (Exp. F)

ID	Sex	Age	Annual mileage [km]	ID	Sex	Age	Annual mileage [km]
F01	M	24	3,000	F22	M	41	1,000
F02	M	39	7,000	F23	F	43	1,000
F03	M	25	1,000	F24	M	22	Under 1,000
F04	F	34	10,000	F25	M	24	6,000
F05	M	43	30,000	F26	M	40	Under 1,000
F06	F	30	3,000	F27	F	47	3,000
F07	M	22	2,000	F28	M	25	Under 1,000
F08	F	55	5,000	F29	F	36	2,000
F09	M	23	Under 1,000	F30	M	48	5,000
F10	M	24	2,000	F31	M	24	Under 1,000
F11	F	24	Under 1,000	F32	F	52	2,400
F12	M	22	Under 1,000	F33	M	24	24,000
F13	M	27	20,000	F34	M	24	2,000
F14	F	35	18,000	F35	M	22	5,000
F15	M	27	15,000	F36	M	24	10,000
F16	M	39	Under 1,000	F37	F	49	5,000
F17	F	39	6,000	F38	F	52	7,000
F18	M	24	12,000	F39	M	37	2,500
F19	F	56	1,200	F40	M	26	10,000
F20	F	36	12,000	F41	M	26	10,000
F21	M	37	7,000				

Table 6.11 Road width conditions

ID	Intersection entrance	Intersection exit
RW1	2 lanes on one side (14m)	2 lanes on one side (14m)
RW2	2 lanes on one side (14m)	1 lane on one side (7m)
RW3	1 lane on one side (7m)	1 lane on one side (7m)
RW4	1 lane on one side (7m)	2 lanes on one side (14m)

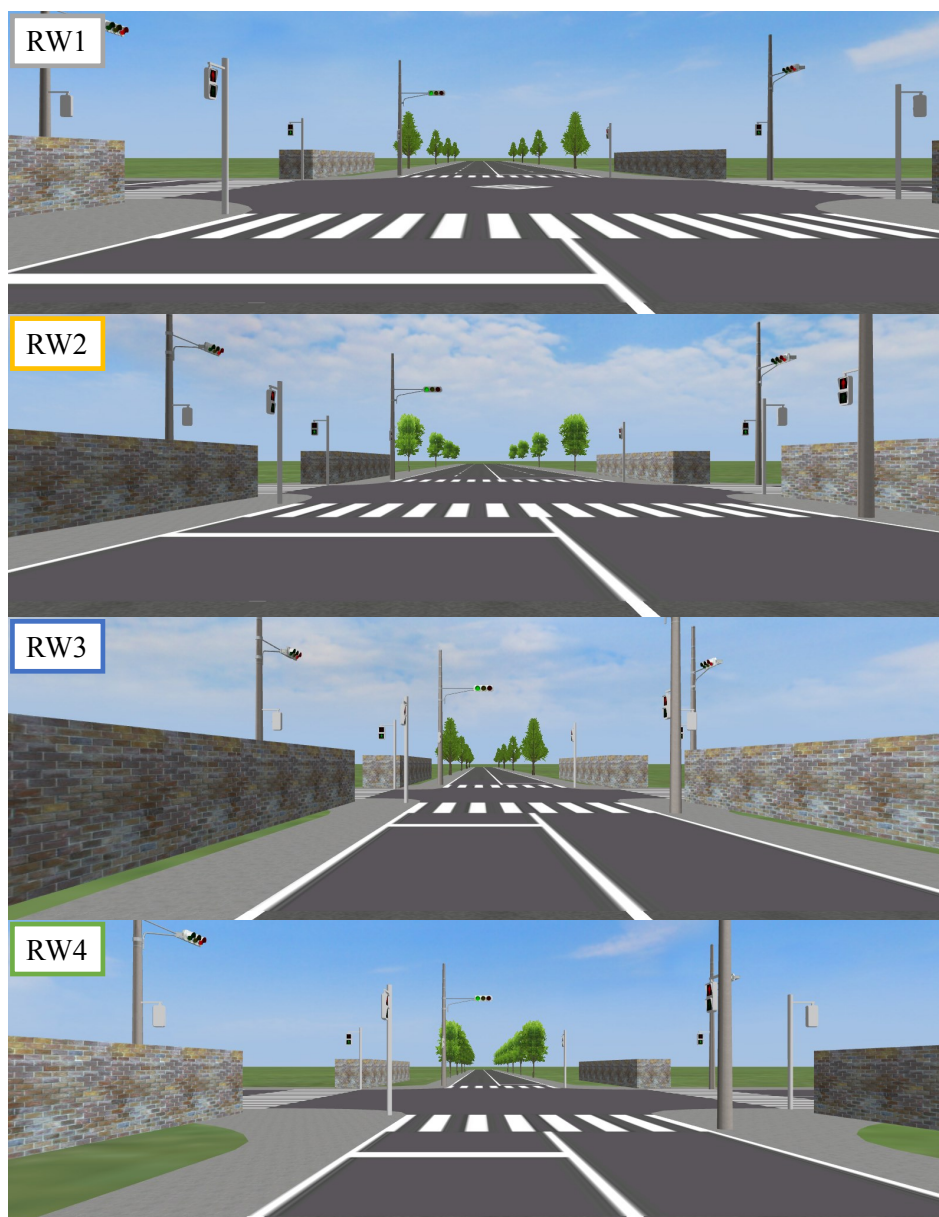


Fig. 6.26 Appearance of right-turn intersections (Exp. F)



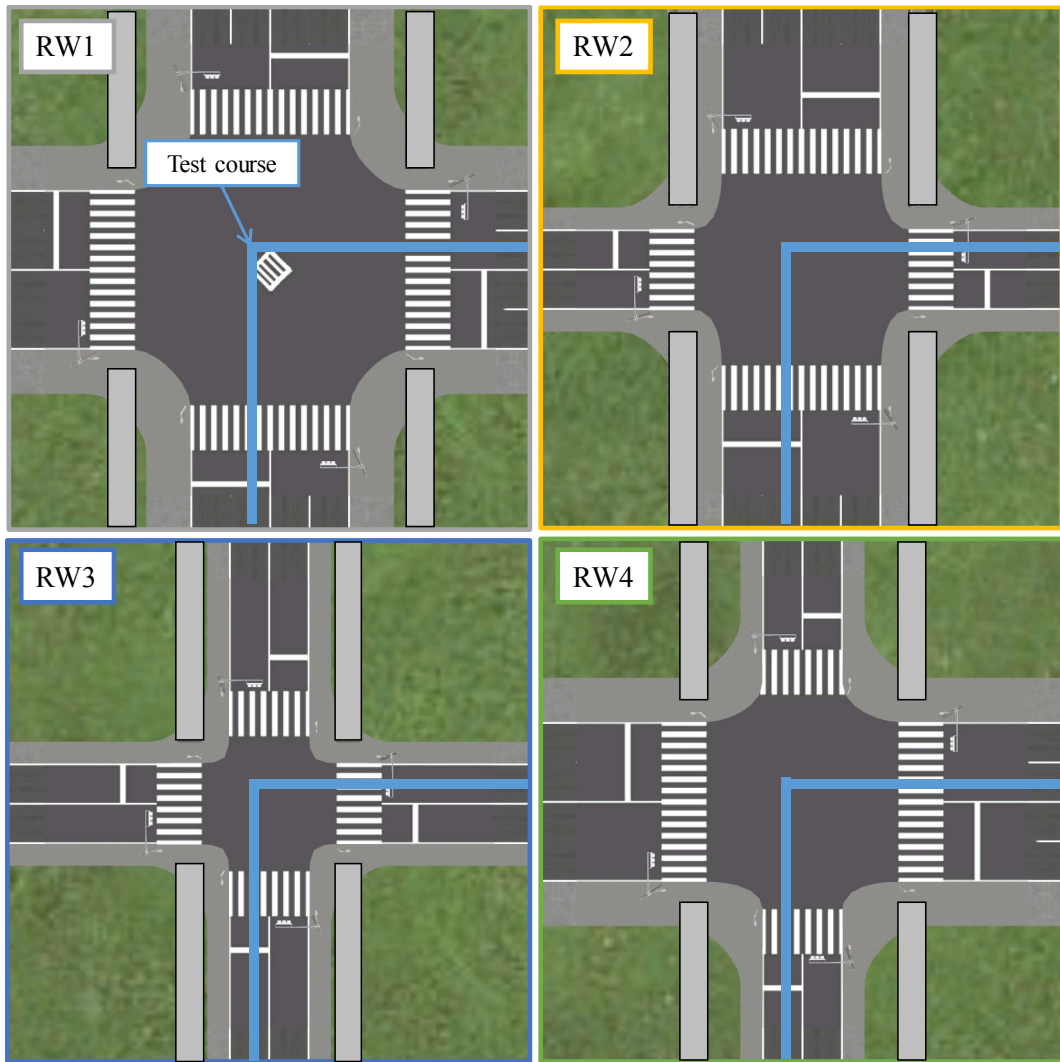


Fig. 6.27 Overview of right-turn intersections

## 実験コース

出入口の車道幅が異なる4条件の交差点を含む1周約1.2 kmの周回コースを設定した。なお、実験Bと同様に死角から歩行者が出現する可能性のある環境を再現するため、交差点の見通しを制限する壁を交差点の隅に設置した。また、速度知覚を容易にすることを目的として道路脇に一定間隔で植わった街路樹を配置した。図6.28に実験コースの鳥瞰図を示す。

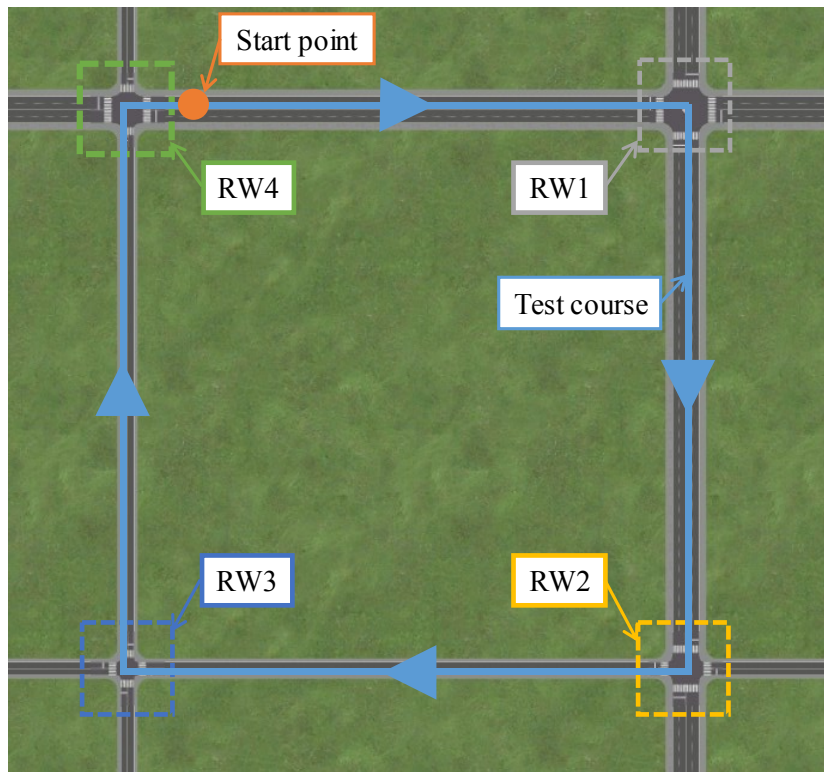


Fig. 6.28 Overview of test course (Exp. F)

### 実験シナリオ

実験シナリオは実験 A および実験 B と同様であり，単独走行右折シーンにおける危険場面 (RS) シナリオと非危険場面 (NS) シナリオを設定した。

### 実験手順

表 6.12 に示す手順で実験を実施し，実験参加者は連続して交差点を 13 回右折した。非危険場面シナリオを走行した 12 回では，異なる車道幅条件の交差点をそれぞれ 3 回ずつ走行した。参加者は表 6.12 の手順に入る前に実験車両および実験シナリオに慣れるための十分な練習走行を実施した。なお，各走行前にはドライバに「普段の運転を思い出し，いつも通りの運転を心がけること」を教示した。また，出発前に実験コースは公道における制限速度 40 km/h 道路であると想定して運転することと，片側 2 車線の道路では右側の車線を走行することを教示し，歩行者が出現する可能性や交差点に設置した視界制限壁の存在については事前に一切教示しなかった。

Table 6.12 Test procedure (Exp. F)

Order No.	Content
1	Drive 12 right turns with NS scenario
2	Drive 1 right turn with RS scenario

### 計測項目

本実験の計測項目は実験 B と同様である。

### 6.6.2 実験結果

#### 車道幅条件が運転行動選択に及ぼす影響

車道幅が単独走行右折シーンの運転行動特徴に影響するか確認するため、異なる車道幅条件における  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  を比較した。非危険場面シナリオにおける  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の各車道幅条件における平均値を図 6.29 に示す。運転の仕方が異なるドライバーの運転行動を平均化しているため、各車道幅条件における値は大きなばらつきを有した。しかし、顕著な傾向として、交差点の流入部または流出部の車道幅が狭くなることにより、中央線通過時速度が低くなり、走行軌跡の曲率が大きくなっている。そして交差点の流入部と流出部の車道幅がともに狭い RW3 条件では  $\varphi_{cl}$  がさらに小さく、 $V_{cl}$  が低くなっている。RW2 条件と RW4 条件間を除いて  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  について有意差が見られた (表 6.13)。以上より、交差点の車道幅条件が運転行動特徴に影響を及ぼすことがわかった。

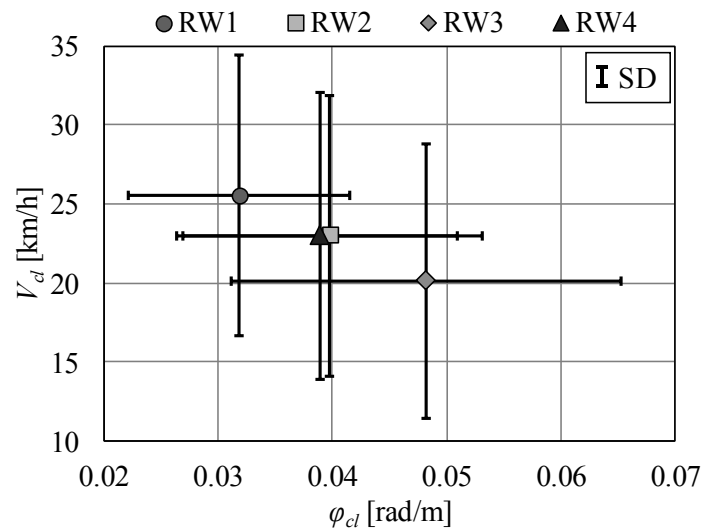


Fig. 6.29 Relation between average  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  of each road width condition (NS scenario)

Table 6.13 Significant test result between different road width conditions

		$\varphi_{cl}$				$V_{cl}$			
		RW1	RW2	RW3	RW4	RW1	RW2	RW3	RW4
Road width condition	RW1	-	**	**	*	-	*	**	*
	RW2	-	-	**	n.s.	-	-	**	n.s.
	RW3	-	-	-	**	-	-	-	**
	RW4	-	-	-	-	-	-	-	-

Note \*\*  $p < .01$ , \*  $p < .05$ , n.s. No significant difference, - No test

## 危険場面シナリオにおける対歩行者回避行動

表 6.14 に各参加者が走行した危険場面シナリオの車道幅条件および横断歩行者に対する回避行動,  $TTC_{brake}$  を示す. 多くの参加者が出現した横断歩行者に気づき, ブレーキを踏んだが, 41 名中 7 名の参加者は横断歩行者を認識したが, そのままブレーキを踏まずに横断歩行者の側方を通過した. そのため, この 7 名については歩行者衝突リスクのリファレンス値である  $TTC_{brake}$  を算出できず, 分析対象外とした. また 1 名は設定不備で正しいタイミングに歩行者が出現しなかったため, 分析対象外とした.

危険場面シナリオにおける各参加者の  $TTC_{brake}$  を見ると (図 6.30), RW3 条件の F22 のみ同条件のドライバと比較して  $TTC_{brake}$  が相対的に長くなっていた. このドライバは中央線を通過して対向車線に進入したときの速度が 6 km/h を下回っており, いずれの条件のドライバと比較しても極めて低い速度で走行し, 横断歩行者を発見してブレーキを踏んだため,  $TTC_{brake}$  が長かった. 横断歩行者との間のマージンを保つことのできる安全な運転傾向であると言えるが, 他ドライバと比較して速度選択という観点では異なる傾向を示していた. この F22 を除外して車道幅条件毎の  $TTC_{brake}$  の傾向を比較すると, 交差点出口の車道幅が狭い条件 (RW2, RW3) の  $TTC_{brake}$  が相対的に短く, 衝突リスクが高い傾向にあった.

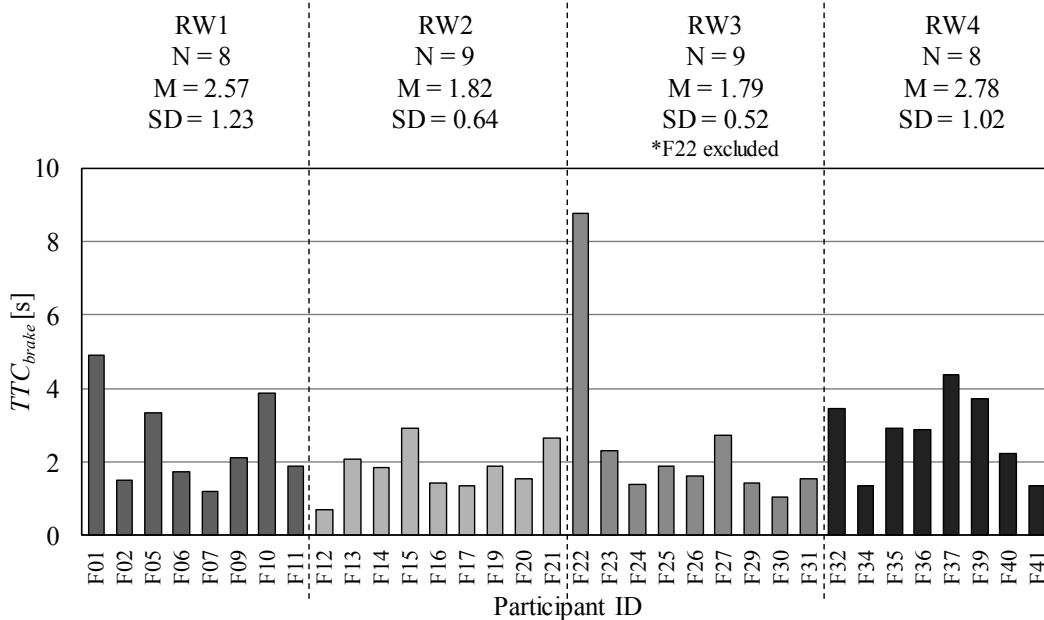
Fig. 6.30  $TTC_{brake}$  result of each participant (Exp. F)

Table 6.14 Experiment condition and avoidance behavior in RS scenario (Exp. F)

ID	RWC	Avoidance behavior	$TTC_{brake}$ [s]	ID	RWC	Avoidance behavior	$TTC_{brake}$ [s]
F01	RW1	Stop (WB)	4.89	F22	RW3	Stop (WB)	8.75
F02	RW1	Stop (WB)	1.52	F23	RW3	Stop (WB)	2.30
F03	RW1	Pass (NB)	-	F24	RW3	Stop (WB)	1.39
F04	RW1	Pass (NB)	-	F25	RW3	Stop (WB)	1.87
F05	RW1	Stop (WB)	3.34	F26	RW3	Stop (WB)	1.63
F06	RW1	Pass (WB)	1.72	F27	RW3	Stop (WB)	2.71
F07	RW1	Pass (WB)	1.20	F28	RW3	Pass (NB)	-
F08	RW1	Pass (NB)	-	F29	RW3	Stop (WB)	1.42* <sup>1</sup>
F09	RW1	Stop (WB)	2.13	F30	RW3	Pass (WB)	1.05
F10	RW1	Stop (WB)	3.88	F31	RW3	Stop (WB)	1.54
F11	RW1	Stop (WB)	1.87	F32	RW4	Stop (WB)	3.44
F12	RW2	Stop (WB)	0.70	F33	RW4	Pass (NB)	-
F13	RW2	Stop (WB)	2.06	F34	RW4	Stop (WB)	1.33
F14	RW2	Stop (WB)	1.85	F35	RW4	Stop (WB)	2.93
F15	RW2	Stop (WB)	2.93	F36	RW4	Stop (WB)	2.88
F16	RW2	Stop (WB)	1.41	F37	RW4	Stop (WB)	4.37
F17	RW2	Stop (WB)	1.35	F38	RW4	Pass (NB)	-
F18	RW2	Pass (NB)	-	F39	RW4	Stop (WB)	3.71
F19	RW2	Stop (WB)	1.88	F40	RW4	Stop (WB)	2.22
F20	RW2	Stop (WB)	1.56	F41	RW4	Pass (WB)	1.37
F21	RW2	Stop (WB)	2.63				

Note RWC: Road width condition, WB: With brake, NB: W/o brake

\*1 Crossing pedestrian did not appear in set timing due to setting fault.

### 運転行動指標と衝突リスクの関係

車道幅条件毎に単独走行右折シーンの二つの指標を用いた運転行動の衝突リスク高低群の判別を行った。衝突リスクの高低群は危険場面シナリオにおける  $TTC_{brake}$  を用い、4.3 節と同様に閾値を 2.0 秒として区別した。また、判別手法はフィッシャーの線形判別を用い、判別式を導出するために危険場面シナリオにおける運転行動データを用いた。図 6.31 に各車道幅条件の危険場面における  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の関係を示す。交差点流出側の車道幅が広い条件 (RW1 と RW4) では衝突リスクの高低群が比較的離れているのに対して、狭い条件では高低群が混在している箇所が見られる。各車道幅条件における衝突リスク高低群の判別率を見ると (表 6.15), 流出側車道幅が広い条件では全て正しく判別できていたのに対して、狭い条件では正しく判別できない事例が見られた。以上の結果より、交差点流出側車道幅が広い場合に、これまで検討した単独走行右折シーンの指標を用いて衝突リスクを評価できることがわかり、交差点流入側の車道幅の衝突リスクおよび認知エラーへの影響は大きくないことがわかる。これに対して、線形判別の結果より交差点流出側の車道幅は認知エラーの発生に寄与していると考えられる。次項でその要因について考察する。

Table 6.15 Discrimination result of high- and low-risk driving behavior (Exp. F)

Road width condition	Hit rate
RW1	1.00
RW2	0.89
RW3	0.78
RW4	1.00

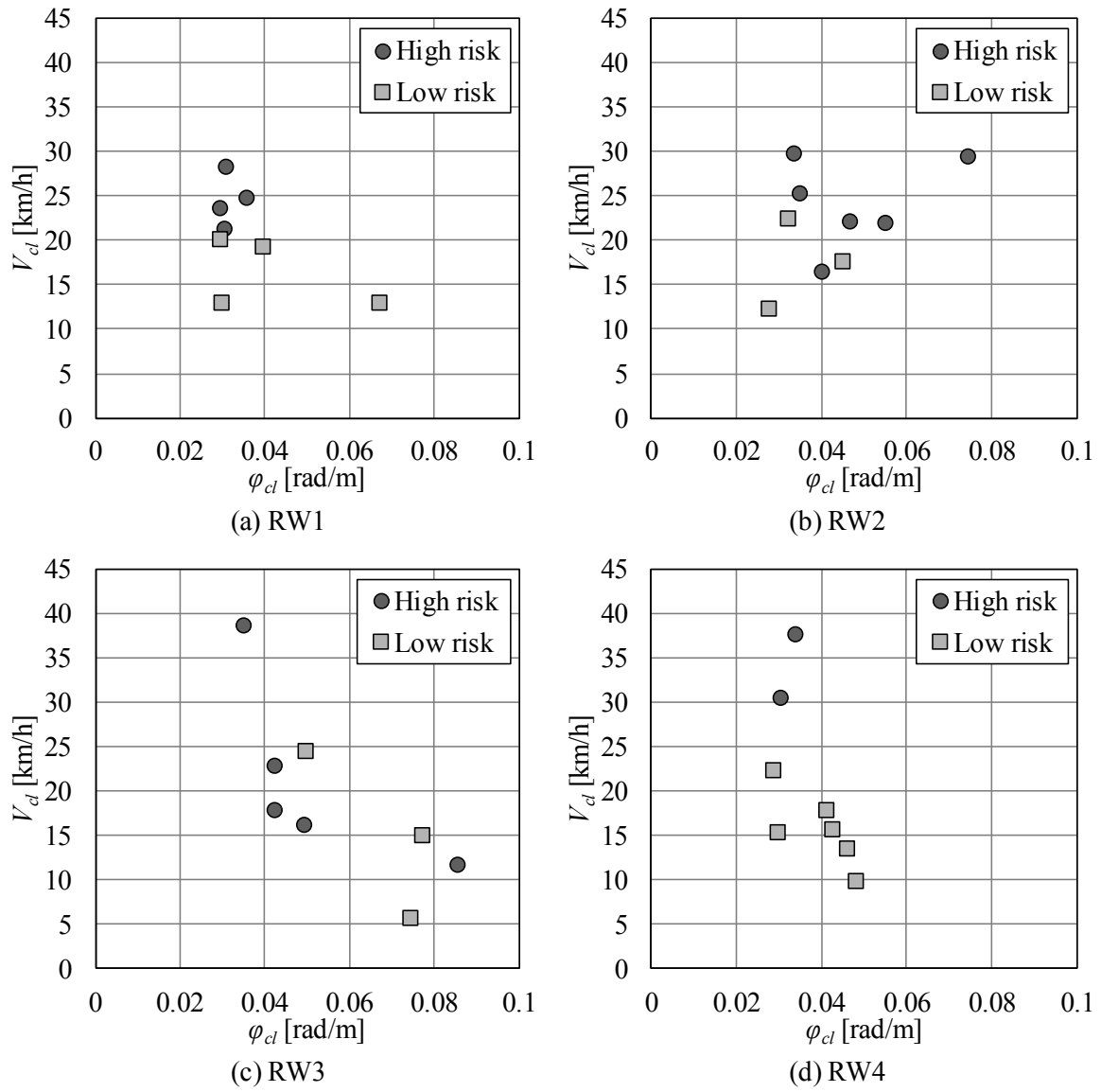


Fig. 6.31 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  (Exp. F)



### 6.6.3 考察

交差点流出側の車道幅が狭い条件 (RW2 と RW3) で衝突リスクの高低が正しく判別できなかった 5 事例 (RW2 条件 : 1 事例, RW3 条件 : 4 事例) について分析を行った. 分析の結果, 5 事例中 4 事例で図 6.32 に示すように横断歩行者が出現したのにも関わらず, 自車の A ピラーで出来た死角に横断歩行者が入り, ドライバから可視な状態になるのが遅れ, 歩行者に対するブレーキが遅れていた. 交差点流出側の車道幅が狭くなると, 横断歩行者が存在する位置である横断歩道端が交差点中心に近くなるとともに, ドライバがより交差点中心に近づいてから右折を開始する傾向にあるため, 歩行者出現位置が右折中の車両に相対的に近くなる. その結果, 図 6.33 に示すように交差点流出部の車道幅が広い場合と比較して狭い場合に, 歩行者出現位置により接近してから, 歩行者出現位置が A ピラーにより生じる死角を抜けて可視になる. そのため, 流出側車道幅が狭い交差点では, ドライバはより接近してから可視になった横断歩行者を発見し, ブレーキを踏むため,  $TTC_{brake}$  が短くなったと考えられる. よって, 交差点流出側の車道幅が狭いことが影響し, ドライバからは見えない死角領域に横断歩行者が入り, 認知エラーに繋がることを示された. 横断歩道を横断する歩行者が存在する場所がドライバから見た死角に入るかどうかは, 交差点における車両の位置や向きを把握することで判断できる. そのため, 進入する交差点において横断歩道端がドライバから見た死角領域に入る際の運転行動特徴を明らかにし, 考慮することができれば, 車道幅が異なる条件においても単独走行右折シーンの運転行動特徴に基づいて衝突リスクを評価できると考えられる.

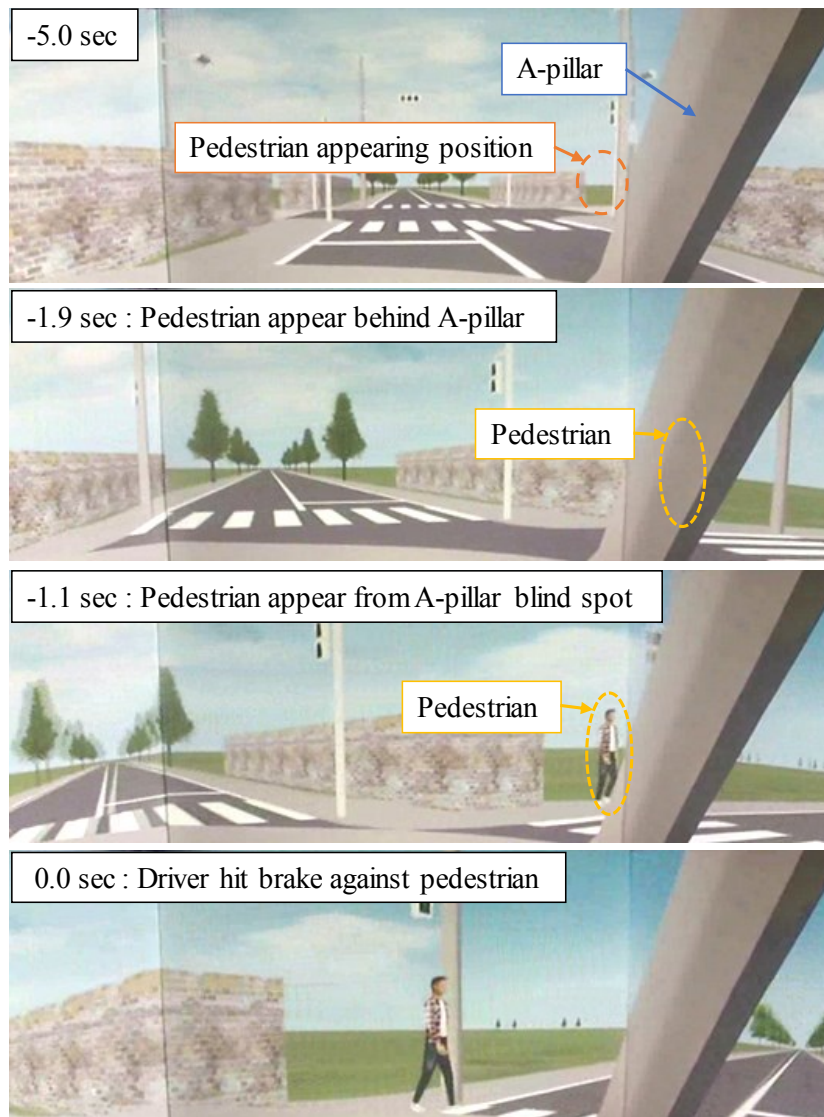


Fig. 6.32 Sample scene with a pedestrian appearing from behind A-pillar blind spot

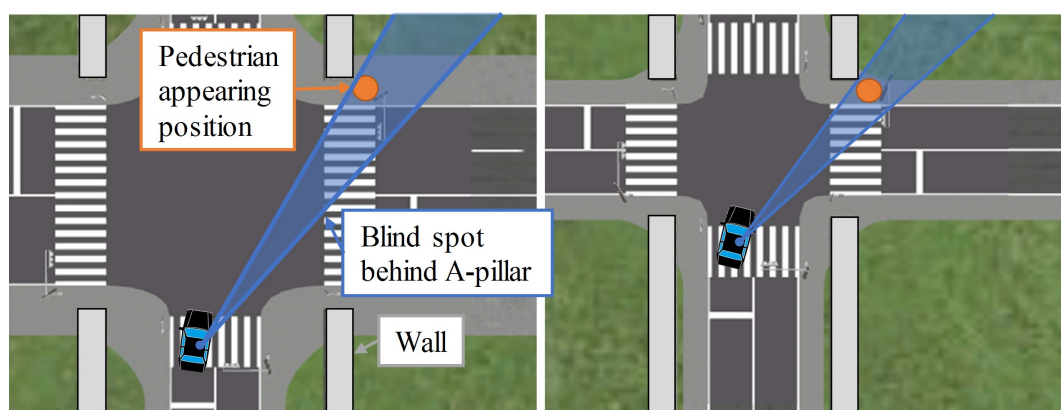


Fig. 6.33 Vehicle position where pedestrians become visible from A-pillar blind spot (Left: Wide exit road; Right: Narrow exit road)

## 6.7 交通環境が及ぼす影響のまとめ

交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響を明らかにするため、本研究の対象とした交差点右折環境とは異なる運転シーンおよび交差点車道幅における運転行動特徴を検討し、再現実験を実施して運転行動特徴に基づく衝突リスク評価について検討した結果、以下の結果が得られた。

- 対向直進車の影響 (対向車間右折シーン)
  - 単独走行右折シーンとは異なる認知エラーに繋がる運転行動特徴として、「視線方向が対向車線方向に引き付けられ、右折先の進行方向に移るのが遅いこと」が見られた。
  - 単独走行右折シーンの運転行動特徴のみで運転行動の衝突リスクを約 85% 正しく評価できたが、進行方向の確認開始タイミング指標  $ET^{-1}$  を加えることで、運転行動の衝突リスクの評価精度がさらに向上した。
- 先行右折車の影響 (先行車追従右折シーン)
  - 単独走行右折シーンとは異なる認知エラーに繋がる運転行動の特徴として、「視線方向が先行車方向に偏ること」が見られた。
  - 単独走行右折シーンの運転行動特徴のみで運転行動の衝突リスクを約 60% 正しく評価できたが、先行車に向けた注意の程度を表す先行車への注視時間割合  $GDR_{pv}$  または先行車に対する車間時間の逆数  $THW_{pv}^{-1}$  を加えることで、運転行動の衝突リスクの評価精度がさらに向上した。

- 交差点車道幅の影響
  - 交差点流出側の車道幅が広い場合に、単独走行右折シーンの運転行動特徴を用いて衝突リスクを正しく評価できた。
  - 交差点流出側の車道幅が狭い場合に、横断歩行者が車両の A プレーで出来た死角に入り、不可視な状態であることが認知エラーに繋がる事例が見られた。

上記の結果より、運転シーンが異なる、あるいは道路環境が異なる交差点右折環境において、単独走行右折時の運転行動特徴とは異なる認知エラーおよび衝突リスクに繋がる運転行動の特徴が見られた。また、単独走行右折シーンではない交差点右折環境においても、単独走行右折シーンの運転行動特徴を反映する運転行動指標を用いて衝突リスクをある程度評価することができた。そして、交差点右折環境に応じて認知エラーに繋がる運転行動特徴を反映する指標を加えることにより、衝突リスクの評価精度は向上した。以上より、交通環境が異なることにより、認知エラーに繋がる運転行動特徴が異なる可能性はあるが、単独走行右折シーンにおける認知エラーに繋がる運転行動特徴に加えて、異なる運転シーンや道路環境の認知エラーに繋がる運転行動特徴を、適切な重みを設定し、考慮することにより、様々な右折環境において衝突リスクを評価できる可能性が示唆された。

## 6.8 本章のまとめ

本章では、まず本章で評価対象とする本研究において対象とした交差点右折環境とは異なる交通環境として、2.3節のマクロデータ分析と2.4節のヒヤリハットデータ分析の結果から以下の運転シーンと道路環境を選定した。

- 運転シーン：対向車間右折シーン (TS3-1)，先行車追従右折シーン (TS2-1)
- 道路環境：交差点車道幅

異なる運転シーンでは、単独走行右折時と異なる運転行動特徴が存在する可能性があるため、各運転シーンにおける運転行動の特徴をヒヤリハット分析に基づいて検討した上で、各運転シーンにおける再現実験を実施し、運転シーンが運転行動特徴に及ぼす影響について評価した。異なる交差点車道幅では、運転シーンとして単独走行右折シーンを想定し、交差点車道幅を条件とする再現実験を実施し、交差点車道幅が運転行動特徴に及ぼす影響について評価した。

各再現実験の結果より、単独走行右折シーンとは異なる交差点右折環境では、横断歩行者に対する認知エラーが発生する要因が単独走行右折シーンとは一部異なり、単独走行右折シーンの運転行動特徴とは異なる認知エラーに繋がる運転行動特徴が見られた。ドライバの運転行動の横断歩行者に対する衝突リスクは、単独走行右折シーンの運転行動特徴を反映する運転行動指標のみでもある程度評価できた。さらに、運転シーンや道路環境条件に応じた各特徴を反映する指標を加え、各指標の重みを適切に設定することでより精度高く評価することができた。

次章では、単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴が、実環境下において衝突リスクの高い事象を説明できるかについて検討する。



## 第7章

# 認知エラーに繋がる運転行動特徴の 実環境における評価





## 7.1 はじめに

本章では、4章において検証した単独走行右折時の認知エラーに繋がる運転行動特徴および設定した運転行動特徴を反映する運転行動指標が、実環境下において衝突リスクの高い事象を説明できるかを明らかにすることが目的である。

まず、実環境における衝突リスクの高い事象のデータとしてヒヤリハットデータを用い、単独走行右折シーンにおける運転行動指標に基づいて衝突リスクを評価する方法について述べる。次に、単独走行右折シーンにおける運転行動指標を用い、対象とする単独走行右折シーンのヒヤリハット事象の衝突リスクを評価した結果およびその考察について述べる。

## 7.2 評価方法

4章で示したように、単独走行右折シーンにおいて認知エラーに繋がる運転行動特徴を反映する運転行動指標 ( $\varphi_{cl}$ ,  $V_{cl}$ ) を用いることで、統制環境下の交差点右折データの衝突リスクを説明できた。本章では、実環境における衝突リスクの高いヒヤリハット事象の運転行動の運転行動指標をそれぞれ算出し、横断歩行者に対する衝突リスクを表す、ドライバが横断歩行者に対してブレーキを踏んだ時点における衝突余裕時間 ( $TTC_{brake}$ ) を説明できるか線形重回帰分析を用いて評価した。本節では、まず評価対象とするヒヤリハットデータについて述べ、次にヒヤリハットデータの制約を踏まえて用いた運転行動指標の算出方法について述べる。

### 7.2.1 評価対象データ

本章の目的を達成するためには、実環境において横断歩行者に遭遇し、結果的に衝突リスクが高かった事象のデータが評価対象として適している。時系列データを含む交通事故データは少ないため、衝突には至っていないが、ある程度のデータ数を確保可能なヒヤリハットデータを交通事故データの代用として評価対象データとした。ヒヤリハットデータとして2.4節と同様に東京農工大学が所有するヒヤリハットデータベースを用い、衝突リスク評価に用いる運転行動指標は単独走行右折シーンにおける指標であることを踏まえ、2.4節で分類した典型シーン TS1-1 に該当する対L型歩行者事象15件を評価対象とした。なお、評価対象ヒヤリハットは交差点流入側の車道幅が中分類でない事象も含み、かつ車道幅が中分類である事象の中でも、本研究の再現実験におい

て主に対象とした片側 2 車線の交差点だけでなく、片側 1 車線の交差点も含んでいる。

### 7.2.2 運転行動指標の算出方法

農工大ヒヤリハットデータベースのヒヤリハット事象データは、速度や加速度等の状態量と映像データを含んでいるが、運転行動指標  $\varphi_{cl}$  を算出するために必要な車両位置や車両向き情報は含まれていない。しかし、当該ヒヤリハットデータベースは後述するカメラ映像を利用した距離計測ツールを有しており、自転車から交通環境内の道路標示や電柱等の任意の位置までの距離を測定できる。そこで、この距離計測ツールから取得できる道路標示や構造物等の参照地点から自転車までの距離と、地図情報から取得できる参照地点の位置関係を活用し、運転行動指標算出に用いる中央線通過時の車両位置および車両向きを推定した。ヒヤリハットデータから得られる速度情報と、推定した車両位置および車両向きを用いて  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の二つの運転行動指標を算出した。

#### 農工大ヒヤリハットデータベースの距離計測ツール

ヒヤリハットデータベースの距離計測ツールの画面を図 7.1 に示す。測定画面右のカメラパラメータを調整し、前方映像内のキャリブレーションポイントを自転車のミラーの位置に合わせ、前方映像内の任意の位置を指定することにより、実世界における自転車前端を原点とし、 $x$  軸を車両右方向、 $y$  軸を車両正面方向とした座標系における位置座標が得られ、この位置座標に基づき任意の地点までの距離を算出できる。画像に基づいて距離を算出しているため、指定位置が自転車から離れれば離れるほど距離精度は低下するが、20 m 程度であれば指定位置までの距離をある程度の誤差範囲内で測定することができる。

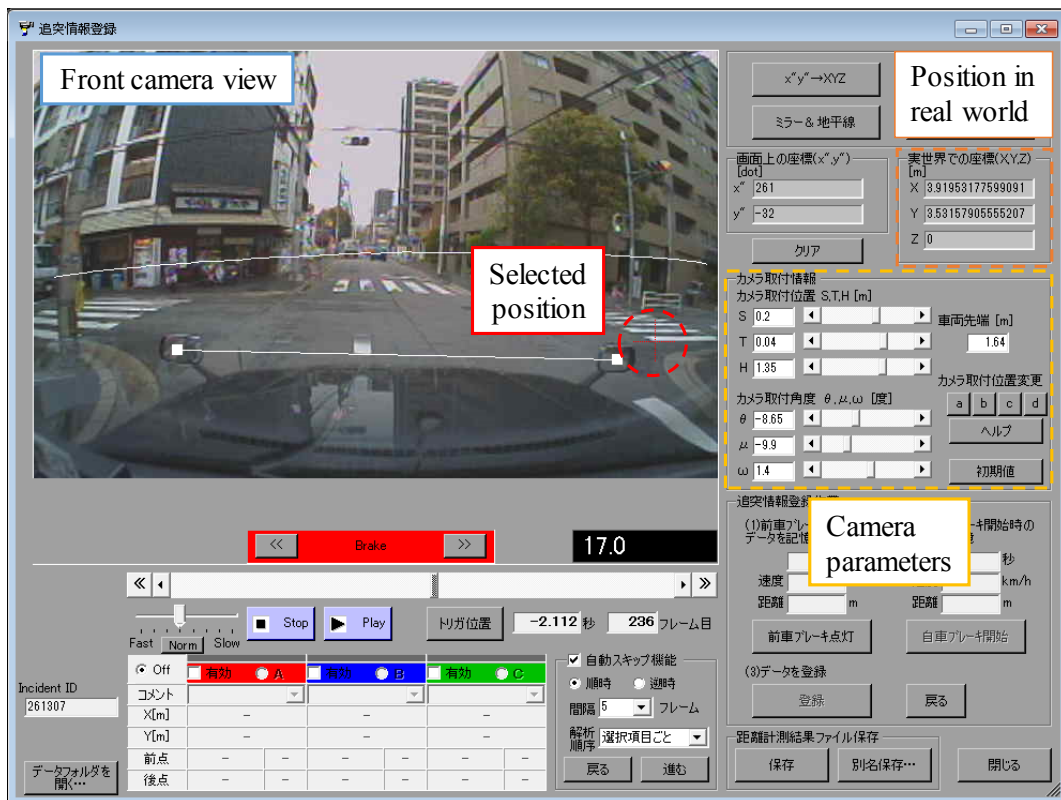


Fig. 7.1 Distance measurement tool of TUAT near-miss incident database

### 中央線通過時の車両位置および車両向き の推定

中央線通過時の車両位置および車両向きは以下の手順(1.-7.)で推定した。

#### ■ 1. ヒヤリハット事象の中央線通過時フレームの同定

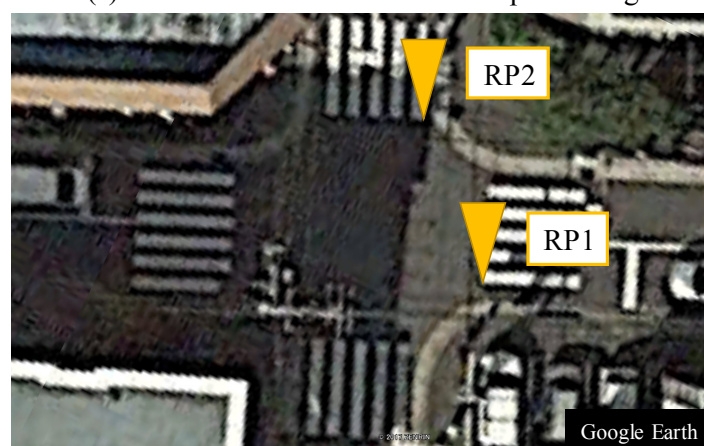
前方カメラ映像より自車が対向車線に進入した時点のフレームを中央線通過時フレームとして同定する。

#### ■ 2. 中央線通過時フレームの前方カメラ映像内で可視な参照地点の選定

前方カメラ映像内で可視である，すなわち自車までの距離を測定可能な道路標示や構造物を参照地点として2点選定する(図7.2)。



(a) Front camera view at center line pass timing



(b) Overview of incident intersection

Note RP: Reference Point

Fig. 7.2 Example of reference points selected for position and direction estimation (Incident ID: 261307)

### ■ 3. 参照地点の車両座標系における位置情報の取得

選定した参照地点の車両前端を原点とする車両座標系における位置を、ヒヤリハットデータベースの距離測定ツールを用いて測定する。

### ■ 4. 参照地点の地図における位置情報 (緯度, 経度) の取得

選定した参照地点の地図における位置情報を Google 社の Google Earth を用いて取得する (図 7.2).

### ■ 5. 参照地点の地図における位置情報の平面直角座標への換算

選定した参照地点の地図における位置情報を平面直角座標に換算する。換算には国土地理院が公開している換算ツール<sup>[129]</sup>を用いた。

### ■ 6. 車両位置の推定

自車は各参照地点の座標を中心とし、自車から参照地点までの距離を半径とする二つの円の交点に位置する。この関係性を利用し、式 7.1 を満たす自車座標  $(X_{hv}, Y_{hv})$  を推定する。式中の  $(X_{refi}, Y_{refi})$  は参照地点  $i$  の位置座標であり、 $R_{refi}$  は自車から参照地点  $i$  までの距離である。なお、使用する座標系は日本国内のある地点に設定されたメートル次元の平面直角座標系である。また、二つの円の交点として自車位置の候補座標が基本的に二点得られるが、ヒヤリハットデータの前方映像カメラから判断できる状況を考慮し、適当な位置座標を選択する (図 7.3).

$$(X_{hv} - X_{ref1})^2 + (Y_{hv} - Y_{ref1})^2 - (X_{hv} - X_{ref2})^2 - (Y_{hv} - Y_{ref2})^2 = R_{ref1}^2 - R_{ref2}^2 \quad (7.1)$$

### ■ 7. 車両向きの推定

ある参照地点の平面直角座標系における位置座標  $(X_{ref}, Y_{ref})$  と自車前端座標系における位置座標  $(x_{ref}, y_{ref})$  は同一地点を指すため、自車の平面座標系における位置座標  $(X_{hv}, Y_{hv})$  と向き  $\theta_{hv}$  を用いた式 7.2 を満たす。この関係性を利用し、式 7.3 に示す評価関数  $E(\theta)$  を最小化する自車向き  $\theta_{hv}$  を算出する。

$$\begin{pmatrix} X_{ref} \\ Y_{ref} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \theta_{hv} & -\cos \theta_{hv} \\ \cos \theta_{hv} & \sin \theta_{hv} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ref} \\ y_{ref} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{hv} \\ Y_{hv} \end{pmatrix} \quad (7.2)$$

$$E(\theta) = \left\| \begin{pmatrix} \sin \theta_{hv} & -\cos \theta_{hv} \\ \cos \theta_{hv} & \sin \theta_{hv} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ref} \\ y_{ref} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{hv} \\ Y_{hv} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_{ref} \\ Y_{ref} \end{pmatrix} \right\| \quad (7.3)$$

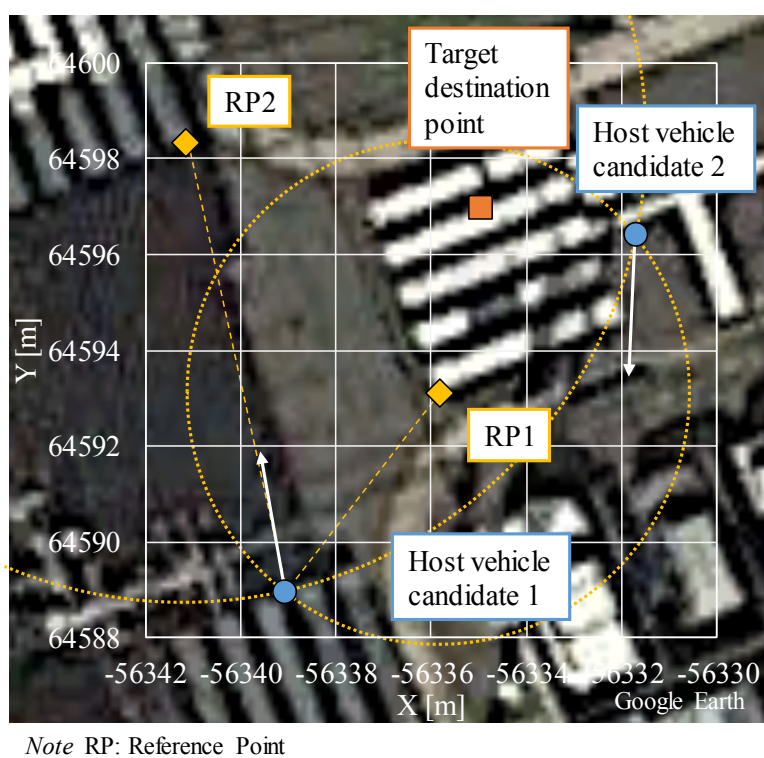


Fig. 7.3 Example of estimated position and direction of host vehicle (Incident ID: 261307)

$\varphi_{cl}$  の算出

推定した平面直角座標系における自車の位置座標  $(X_{hv}, Y_{hv})$  と向き  $\theta_{hv}$  と、同じ平面直角座標系における目標到達地点の位置座標  $(X_{dst}, Y_{dst})$  を用いて式 7.4 のように中央線通過時の曲率指標  $\varphi_{cl}$  を算出した。なお、目標到達地点として図 7.3 のように右折先の横断歩道中心と自車が進行する車線中心の交点を設定した。目標到達地点についても参照地点と同様に地図における位置情報を取得し、平面直角座標に換算した。

$$\varphi_{cl} = \frac{\theta_{hv} - \arctan\left(\frac{Y_{dst} - Y_{hv}}{X_{dst} - X_{hv}}\right)}{\sqrt{(X_{dst} - X_{hv})^2 + (Y_{dst} - Y_{hv})^2}} \quad (7.4)$$

 $V_{cl}$  の算出

中央線通過時フレームの速度値を中央線通過時速度  $V_{cl}$  とした。

なお、地図から取得できた参照地点間の距離  $D_{map}$  とヒヤリハットデータから取得できた参照地点間の距離  $D_{nmi}$  が以下の式 7.5 を満たすとき、 $D_{map}$  と比較して  $D_{nmi}$  の誤差が大きく、ヒヤリハット事象において位置および向きを同定可能な適切な参照地点を設定できなかったとして、分析対象外とした。

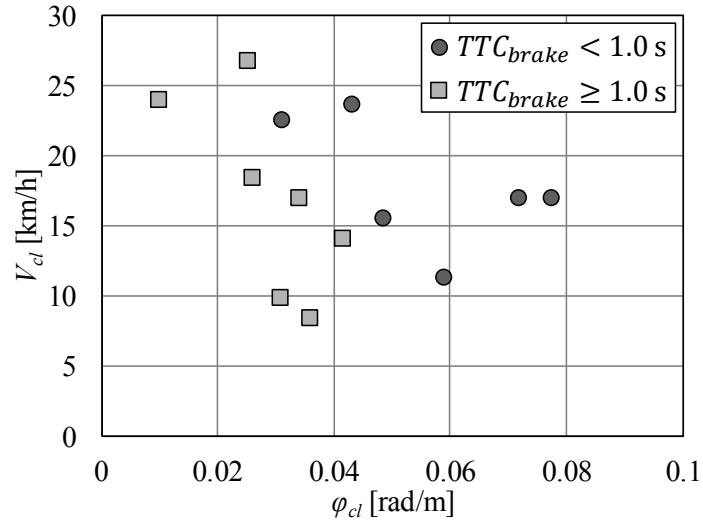
$$\left| \frac{D_{map} - D_{nmi}}{D_{map}} \right| > 0.2 \quad (7.5)$$

## 7.3 評価結果

対L型歩行者のヒヤリハット事象15件について単独走行右折シーンにおける運転行動指標を算出した。しかし、1件は夜間かつ積雪環境のデータであったため、二つの参照地点間の距離誤差が条件を満たす参照地点の組合せを設定できず、評価対象外とした。また、1件は横断歩行者を発見し、急制動に至る前からブレーキペダルを踏み込んでいたため、横断歩行者に対するブレーキを判断できず、評価対象外とした。

まず、運転行動指標と衝突リスクの関係性を定性的に評価するため、衝突リスクを示す  $TTC_{brake}$  の境界値を1秒としてヒヤリハット事象を分類し、運転行動指標の組合せをプロットした結果を図7.4に示す。4章で得られた結果(図4.20)と同様に、 $\varphi_{cl}$  および  $V_{cl}$  がそれぞれ大きく、高くなることにより衝突リスクが高くなる傾向が確認できた。次に、二つの運転行動指標と衝突リスクの関係性を定量的に評価するため、 $TTC_{brake}$  を目的変数、二つの運転行動指標を説明変数として、ヒヤリハット事象を用いて線形重回帰分析を行った。回帰分析結果を表7.1に示す。二つの運転行動指標を用いた  $TTC_{brake}$  の回帰式は有意であった ( $p < 0.05$ )。この結果より、統制環境下における実験走行データに限らず、実環境における衝突リスクの高い事象についても運転行動特徴を反映する運転行動指標により衝突リスクを説明できることが示された。しかし、4章で得られた結果とは異なり、 $TTC_{brake}$  の回帰式において  $\varphi_{cl}$  の偏回帰係数は有意 ( $p < 0.05$ ) であったが、 $V_{cl}$  の偏回帰係数は有意ではなかった。次節でこのような差異が見られた要因について考察する。また、評価対象データは交差点流入側の車道幅が中分類でない交差点や、車道幅が中分類でも片側2車線の交差点だけでなく、片側1車線の交差点も含んでおり、交差点の車道幅に多様性のあるデータであったが、運転行動指標によりヒヤリハット事象の衝突リスクを説明することができた。交差点の車道幅はドライバーの運転行動に影響を及ぼすと考えられるが、評価対象データにおいてこのように運転行動特徴に基づいて衝突リスクを評価できた理由についても次節で考察する。



Fig. 7.4 Relationship between  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  (TS1-1, L type pedestrian)Table 7.1 Regression results for  $TTC_{brake}$  (TS1-1, L type pedestrian)

Constant	2.81*
	(0.901)
$\varphi_{cl}$	-30.9*
	(10.8)
$V_{cl}$	$-1.95 \times 10^{-3}$
	$(3.62 \times 10^{-2})$
$R^2$	0.478
$R^2_{adj}$	0.373
F-statistic	4.57*
No. observations	13

Note \*  $p < 0.05$

## 7.4 考察

衝突リスク  $TTC_{brake}$  に対して運転行動指標  $V_{cl}$  が有意に影響しない要因

前節で示したように、単独走行右折時の運転行動指標 ( $\varphi_{cl}, V_{cl}$ ) を説明変数として  $TTC_{brake}$  の線形重回帰分析を実施した結果、 $V_{cl}$  の偏回帰係数は有意ではなかった。4.3 節で統制環境下実験において示した結果と異なっており、実環境におけるヒヤリハット事象データにおいて運転行動指標  $V_{cl}$  が衝突リスクを示す  $TTC_{brake}$  に有意に影響しなかった要因について考察した。JARI-ARV 車両を用いた統制環境下実験と実環境におけるヒヤリハットデータの大きな違いは、運転する環境が統制されていることであり、この差異が影響した可能性が高い。4.3 節で示したように、ヒヤリハットデータの分析結果を踏まえ、実験において再現する運転シナリオを、信号待ちなしの交差点右折と設定した。これに対してヒヤリハットデータは信号待ちの事象を含んでおり、統制環境下実験とは異なる速度推移のデータが含まれていたと考えられる。図 7.5 に、中央線を通り過ぎてから横断歩行者に対するブレーキを踏み始めるまでを区間とし、算出した区間平均加速度  $a_{avg}$  の構成を、ヒヤリハットデータと 4.3 節の JARI-ARV を用いた実験データについてそれぞれ示す。統制環境下実験データにおいては、 $a_{avg}$  の絶対値が 0.05 g 以下の事象が 90% 以上を占めており、ドライバの多くは中央線を通り過ぎてからほぼ一定速度で横断歩行者を発見し、ブレーキを踏んでいた。一方で、ヒヤリハットデータでは、統制環境下実験データのようにほぼ一定速度であったのは約 5 割であり、中央線通過後により大きな加速や減速を伴った速度推移であった。このようなデータ間の差異が影響し、衝突リスクに対して、ある時点における速度を表す運転行動指標  $V_{cl}$  が有意に影響しなかったと推察できる。以上のことより、信号待ちなしの交差点右折だけでなく、信号待ち後の交差点右折等、より速度推移を伴う交差点右折事象に対して運転行動特徴に基づいて衝突リスクを評価するためには、他の運転行動指標を設定する必要があると考えられる。ただし、本研究で明らかにした認知エラーに繋がる運転行動特徴である「速度が高いこと」が、横断歩行者を発見するまでの余裕時間に影響することは実環境においても変わらないと考えられ、実環境においても「速度が高いこと」と「ドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏ること」の二つの運転行動特徴に基づいて単独走行右折時の横断歩行者に対する衝突リスクを説明できると考えられる。

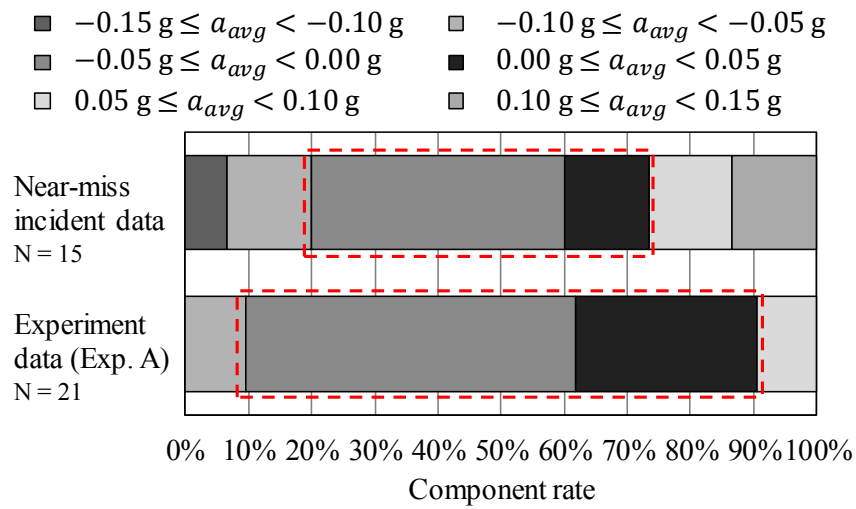
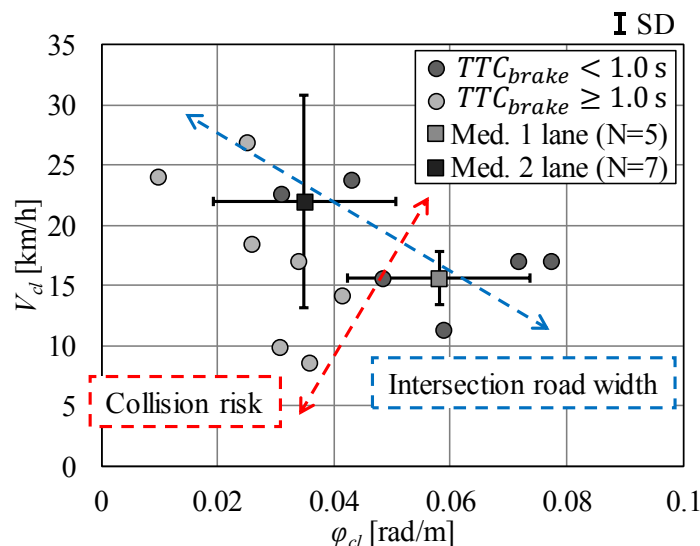


Fig. 7.5 Proportion of speed transition between center line pass to brake start

### 交差点車道幅が運転行動特徴に基づく衝突リスク評価に及ぼす影響

本研究では、2.5 節で選定したように統制環境下実験においては交差点車道幅が中分類である交差点を対象としてきたが、前節で示したように実環境における多様性のある交差点環境のデータにおいても単独走行右折時の運転行動特徴により横断歩行者に対する衝突リスクを説明することができた。交差点環境にばらつきがある中で衝突リスクを運転行動特徴により評価できた理由について考察した。評価対象ヒヤリハット事象のうち、走行する交差点の流入側車道幅が中分類 (5.5–13 m) かつ片側 1 車線である交差点 (Med. 1 lane) と流入側車道幅が中分類かつ片側 2 車線である交差点 (Med. 2 lane) の事象を抽出し、それぞれの交差点環境における運転行動指標の平均値を算出した。図 7.6 に各交差点環境の運転行動指標の平均値と  $TTC_{brake}$  1 秒で分類した各事象のデータをプロットした結果を示す。車線数が増え、車道幅が広くなることにより図中に示した青破線のように、 $V_{cl}$  が高く、 $\varphi_{cl}$  が小さくなる傾向にあった。これに対して衝突リスクの高低は、衝突リスクを示す  $TTC_{brake}$  に基づいて二群に分類した各データのプロット傾向より、図中に示した赤破線のような方向であると考えられる。図中に青破線で示した交差点環境の差異による運転行動指標の変化方向と、赤破線で示した衝突リスクの高低の方向がなす角度が直角に近かったため、多様性のある交差点環境においても運転行動特徴に基づいて衝突リスクを説明できたと推察できる。以上のことより、単独走行右折時の運転行動特徴に基づいて交差点車道幅に多様性がある中でも、衝突リスクを評価できる可能性が示された。



Note Med.: Medium class of intersection road width (5.5–13 m)

Fig. 7.6 Combination of average  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  of different road width intersections (TS1-1)

## 7.5 運転行動特徴の適用範囲

2.5 節で選定したように、本研究で対象とした交差点右折時の運転シーンは信号交差点における単独走行右折シーンであり、当該運転シーンにおいて検討および評価を実施しているため、得られた運転行動特徴である「走行速度が高いこと」と「ドライバの視線方向が右折先の進行方向に偏ること」はこの運転シーンに対して適用可能であると考えられる。一方で、当初対象右折環境として交差点の車道幅は中分類であることを設定したが、前節で示したように単独走行右折シーンにおいて運転行動特徴に基づいて交差点車道幅に多様性のあるヒヤリハット事象の衝突リスクが説明できたことから、交差点の車道幅に関係なく、実環境において運転行動特徴に基づいて認知エラーおよび衝突リスクを説明できることが示唆された。このことを踏まえると、本研究で明らかにした認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づいて横断歩行者に対する衝突リスクを説明できる交差点右折環境は、交通事故およびヒヤリハットの構成率に基づいて概算すると、交差点右折時の対歩行者事故の約 9% を占めるようになると考えられる。

本研究ではドライバが衝突に至る可能性のある危険な状態に遷移することを防ぐ Control Barrier を実現することを目指し、ドライバの横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴を明らかにすることにより、様々な要素が影響する実環境においても二つの運転行動指標を用い、ドライバの交差点右折開始時に横断歩行者に依らずに衝突リスクを説明できることを示した。ドライバの運転行動により判断できるのは、ドライバの運転行動が横断歩道を渡る歩行者に対して認知エラーに繋がりやすいかどうかである。ただし、交差点右折時の人対車両事故は、本研究で注目している車両挙動やドライバの運転操作、視行動だけでなく、様々な要素が複合した結果として発生する複雑な事象である。そのため、ドライバの運転行動と関連しない要素については適切に評価できない場合が想定される。例えば、7.3 節の評価結果において図 7.7 に示すような横断歩行者がビル陰の中に存在するような視認性が低い事象においては、回帰分析結果より得られる回帰モデルにより推定される衝突リスクを示す  $TTC_{brake}$  が、実際の  $TTC_{brake}$  よりも長くなる場合が見られた。また、本研究の運転行動特徴ではドライバの視野の特性に基づき、歩行者の存在が視野中心から離れることによる認知エラーの繋がりやすさを考慮しているが、この他にも Inattention blindness<sup>[130][131][132]</sup> や Change blindness<sup>[130][131][133][134]</sup> といったドライバの横断歩行者に対する認知エラーに繋がる要素があると言われている。以上より、本研究で明らかにした認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づき、実環境において衝突リスクを評価できることは示されたが、ドライバの運転行動とは関連しない要素が影響し、一部衝突リスクを適切に評

価できない可能性がある。よって、本研究が目指した認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づく横断歩行者の存在に依らない Control Barrier に相当する運転支援は、横断歩行者を検出し、衝突を防ぐ AEB システム等を含む Safety Barrier に相当する運転支援と併用することが必要であると考えられる。



Fig. 7.7 Pedestrian under shade with low visibility (Incident ID: 314945)

## 7.6 本章のまとめ

本章では、まず評価対象データとしてヒヤリハットデータを選定し、ヒヤリハットデータにおいて運転行動特徴を反映する運転行動指標を算出する方法を設定した。

次に、評価対象データである単独走行右折シーンのヒヤリハット事象の運転行動指標をそれぞれ算出し、衝突リスクとの関係性を重回帰分析により評価した。その結果、運転行動特徴を反映する運転行動指標により、交差点の車道幅に関係なく、単独走行右折シーンの対 L 型歩行者ヒヤリハット事象の衝突リスクを説明できることが示唆された。

そして、本研究で明らかにした認知エラーに繋がる運転行動特徴の適用範囲を示すとともに、その制限についても示した。

以上より、本研究で明らかにした認知エラーに繋がる運転行動特徴により、信号交差点の単独走行右折シーンの対 L 型歩行者事象の衝突リスクを、横断歩行者に依らず、交差点右折開始時に実環境において説明できることを示した。

## 第 8 章

### 結論





## 8.1 本論文の結論

人対車両事故の典型的な事故形態である交差点右折を対象とし、運転支援実現のための運転行動に基づいた歩行者との衝突可能性(衝突リスク)の評価を目指し、ドライバの横断歩行者に対する発見の遅れ(認知エラー)を引き起こす運転行動の特徴について検討した。人対車両事故は交通事故全体と比較し、人対車両事故の死亡事故率が高く、死亡事故の低減にあたっては人対車両事故の低減が重要である。人対車両事故の発生頻度の高い事故形態は「単路直進」、「交差点直進」、「交差点右折」であり、ドライバの横断歩行者に対する認知エラーが共通して事故の主要因であるが、特に交差点右折事故では他形態と比べて危険認知速度が相対的に低く、ドライバは比較的視認しやすい横断歩道を横断中の歩行者が車両の近傍に接近するまで発見できていない特徴があり、ドライバの選択した運転行動が横断歩行者に対する認知エラーに影響していると推察できる。また、交差点右折時の人対車両事故の発生件数が最多であり、さらに交差点右折時の運転は他場面と比較して難易度が高いため、事故対策が必要である。このような人対車両事故を防ぐ上で、衝突被害軽減ブレーキのように歩行者を検出し、自動的に衝突を回避する支援は有効であるが、現状の技術では周囲環境の状況やセンサの検出範囲によっては歩行者との衝突を回避できない場合がある。歩行者との衝突を直接回避するのではなく、ドライバの運転行動を、衝突リスクの高い危険な運転行動から安全な運転行動へと変化させ、衝突する可能性のある状態への遷移を未然に防ぐことで結果的に歩行者との衝突を防止できると考えられる。このような運転行動を変化させる支援の実現には、ドライバの運転行動が歩行者と衝突する可能性が高いか予見的に評価できる必要がある。ドライバの横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づき、認知エラーに起因する衝突リスクを予見的に評価できる可能性があるが、人対車両事故等に関する従来研究では、事故の特徴やその発生要因については検討され、横断歩行者に対する認知エラーはドライバの不適な注意配分や障害物による視界阻害等が影響することが指摘されているが、どのような運転行動の結果として認知エラーおよび衝突に至ったかについては明らかになっていない。そこで本研究は、他の事故形態と比較して運転行動が認知エラーの発生に寄与すると考えられる交差点右折を対象とし、横断歩行者に対する認知エラーに繋がるドライバの運転行動の特徴を明らかにすることを目的として実施した。本研究にて得られた知見と結論を以下に示す。

#### 1. 認知エラーに繋がる運転行動特徴と運転行動特徴に基づいた衝突リスク評価

先行車や対向車等のその他の対人交通環境が存在しない単独走行右折シーンにおいて、交差点右折中の走行速度とドライバの視線方向がそれぞれ横断歩行者を発見するまでの余裕時間と経過時間と関係しており、横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動の特徴は、「走行速度が高いこと」と「視線方向が右折先の進行方向に偏ること」である。そして、これらの行動特徴をそれぞれ反映する運転行動指標である走行速度と右折軌跡の曲率の組合せにより衝突リスクを評価できる。

#### 2. 認知エラーに繋がる運転行動特徴に基づいた衝突リスク低減

単独走行右折シーンの運転行動特徴に基づいて、ドライバの運転行動を変化させることにより、横断歩行者に対する認知エラーの発生および横断歩行者との衝突リスクを低減できる。

#### 3. 交通環境が認知エラーに繋がる運転行動特徴に及ぼす影響

交通環境の異なる交差点右折では、異なる認知エラーに繋がる運転行動特徴が見られる。しかし、単独走行右折シーンと異なる右折環境において、単独走行右折シーンの運転行動特徴を反映する運転行動指標により横断歩行者に対する衝突リスクを一部評価できる。さらに、交通環境に応じた運転行動特徴を反映する運転行動指標を加えることで衝突リスクをより精度高く評価できる。

#### 4. 実環境における認知エラーに繋がる運転行動特徴の適用可能性

単独走行右折シーンの運転行動特徴により、実環境においても信号交差点における単独走行右折シーンの対L型歩行者事象の衝突リスクを説明できる。

以上より、交差点右折時の対歩行者場面を対象とし、横断歩行者に依らず、交差点右折開始時に予見的に横断歩行者に対する衝突リスクを評価でき、かつ運転行動特徴に基づいた運転行動変化により横断歩行者に対する衝突リスクを低減できる、ドライバの横断歩行者に対する認知エラーに繋がる運転行動特徴とその運転行動特徴が周囲の交通環境から受ける影響を明らかにし、運転行動に基づいてドライバが危険な状態に陥ることを防ぐ運転支援の実現に寄与する運転行動の特徴に関する知見を得た。

## 8.2 今後の課題

7章において本研究で明らかにした運転行動特徴が、本研究の対象シーンとして選定した単独走行右折シーンにおいて交差点の車道幅に影響されず、実環境において衝突リスクを評価できる可能性を示した。しかし、現時点では対象とした単独走行右折シーンの範囲であり、交差点右折時の対歩行者事故の様々な環境に適用していくためには、カバーできる範囲を拡張していくことが課題である。6章において検討した先行車追従右折シーンや対向車間右折シーンにおける結果が示すように、単独走行右折シーンにおける運転行動特徴をベースとして考え、各運転シーンにおいて考慮すべき項目を明らかにし、考慮することで多様な環境において適用可能な運転行動の衝突リスク評価が実現できると考えられる。また、6章で述べたように、交差点右折中に歩行者と衝突する事例では、車両のAプレイヤーにより出来た死角が影響することがあり、このAプレイヤーで出来た死角とドライバから不可視な領域を、衝突リスク評価において考慮することも課題の一つとして挙げられる。本文内でも述べたが、ドライバから見て不可視な領域は、道路座標系における車両の位置および向きと、横断歩行者が存在する可能性のある横断歩道端の位置により把握でき、これらのパラメータに基づいてAプレイヤーによる衝突リスクへの影響を数値化し、考慮できる可能性がある。さらに、この他にも実際の交通環境ではばらつきが多く、このばらつきが認知エラーの発生および衝突リスクにどのような、あるいはどの程度の影響を及ぼすか、本研究で実施したような再現実験だけでなく、NDS(Naturalistic Driving Study)等を用いた検討を進めていく必要がある。

### 8.3 今後の展望

本研究で明らかにした認知エラーに繋がる運転行動特徴を、運転支援に活用することが期待される。4章で示したように運転行動特徴を反映する運転行動指標を用いて衝突リスクの高いドライバの運転行動を予見的に検出でき、5章で示したように運転行動指標に沿って衝突リスクを低減する方向に運転行動を変化させることで衝突リスクを低減できることから、明らかにした運転行動特徴を操作介入支援に活用できると考えられる。運転行動指標に基づいて近い将来の交差点右折時の運転行動の衝突リスクを判定し、衝突リスクが高いと判定された場合に、その予想された運転行動を抑制するように操作介入を施すことにより、横断歩行者との衝突の可能性を低くすることが期待できる。ただし、5章でも言及したように、操作介入としてドライバの走行速度と視行動の両者を考慮する必要がある。また、本研究で得られた認知エラーに繋がる運転行動特徴は、言い換えれば危険な運転行動の特性であり、車両がドライバに代わって安全を確保するために作動する操作介入支援だけでなく、危険な運転行動をシステムが検出し、ドライバに情報支援を行い、安全な運転行動を維持できるように促すシステムの形態も考えられる。さらに、運転教育での活用も期待される。例えば、バス会社では既に交差点右左折時において横断歩道の手前で一時停止することを必須化した事例<sup>[135]</sup>があるが、本研究で得られた知見と照らし合わせてみると、横断歩行者に対する認知エラーの発生は速度とドライバの視行動と関連する走行軌跡の曲率により説明できるが、バスはその車両全長が普通車と比較して長く、この車両特性が影響して右折中に曲率の小さい軌跡を、すなわち横断歩行者を発見しやすい軌跡を取ることができない。そのため、横断歩行者の見落としや発見の遅れを防ぐためには速度を下げる方策しか取ることができなかつたと解釈できる。このように本研究で得られた知見が、交差点右折時の対歩行者場面における事故対策として操作介入支援だけではなく、情報支援や運転教育を通して事故発生の低減に寄与することが期待できる。

本研究では交差点右折時を対象とし、人対車両事故におけるドライバの視行動にも注目したが、運転中に処理する情報の多くは視覚情報である<sup>[9][136]</sup>と言われており、交差点右折以外の人対車両事故だけでなく、他の事故類型においてもドライバの視行動は重要な要素であると考えられる。そのため、今後の展望として、本研究において得られた知見が他の事故形態および事故類型における交通事故を防ぎ、死者数を低減させる予防安全システムの開発に資する知見となることが期待される。

## 参考文献



## 第 1 章

- [1] 警察庁, 平成 28 年における交通事故の発生状況, (2017).
- [2] 内閣府, 平成 29 年版交通安全白書, (2017).
- [3] 内閣府, 第 10 次交通安全基本計画, (2017).
- [4] 警察庁, 平成 28 年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について, (2017).
- [5] 内閣府, 平成 29 年版高齢社会白書, (2017).
- [6] 公益財団法人交通事故総合分析センター, 低速域歩行者死亡事故の特徴, *ITARDA INFORMATION*, No.79 (2009).
- [7] 田久保宣晃, 交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察, *国際交通安全学会誌*, Vol.30, No.3 (2005), pp.299–308.
- [8] 萩田賢司ほか, 運転者の視線を考慮した歩行者事故の分析, *土木計画学研究・論文集*, Vol.21, No.4 (2004), pp.1027–1034.
- [9] Hills, B.L., Vision, visibility, and perception in driving, *Perception*, Vol.9, No.2 (1980), pp.183–216.
- [10] Hancock, P.A., et al., Driver workload during differing driving maneuvers, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.22, No.3 (1990), pp.281–290.
- [11] Gstalter, H., et al., Reliability of drivers in urban intersections, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.42, No.1 (2010), pp.225–234.
- [12] 警察庁, 歩車分離信号に関する指針, (Online), Available from <<https://www.npa.go.jp/pdc/notification/koutuu/kisei/kisei20020912.pdf>>, (Accessed 2017-10-1).
- [13] トヨタ自動車株式会社, プリクラッシュセーフティシステム, (Online), Available from <[https://toyota.jp/anzen\\_anshin/tss/p/pcs/](https://toyota.jp/anzen_anshin/tss/p/pcs/)>, (Accessed 2017-10-1).
- [14] 日産自動車株式会社, エマージェンシーブレーキ, (Online), Available from <[http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/emergency\\_brake.html](http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/emergency_brake.html)>, (Accessed 2017-10-1).
- [15] 本田技研工業株式会社, 衝突軽減ブレーキ〈CMBS〉, (Online), Available from <<http://www.honda.co.jp/safety/technology/active/ncmb/>>, (Accessed 2017-10-1).
- [16] マツダ株式会社, i-ACTIVSENSE, (Online), Available from <<http://www.mazda.co.jp/cars/axela/feature/safety/i-activsense/>>, (Accessed 2017-10-1).

- 
- [17] 株式会社 SUBARU, アイサイト, (Online), Available from <<https://www.subaru.jp/safety/function/>>, (Accessed 2017-10-1).
- [18] Coelingh, E., et al., Collision warning with full auto brake and pedestrian detection—a practical example of automatic emergency braking, *Proceedings of 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, (2010), pp.155–160.
- [19] Keller, C.G., et al., Active pedestrian safety by automatic braking and evasive steering, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.12, No.4 (2011), pp.1292–1304.
- [20] Elzein, H., et al., A motion and shape-based pedestrian detection algorithm, *Proceedings of 2003 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, (2003), pp.500–504.
- [21] Wu, B., et al., Detection and tracking of multiple, partially occluded humans by bayesian combination of edgelet based part detectors, *International Journal of Computer Vision*, Vol.75, No.2 (2007), pp.247–266.
- [22] Nedeveschi, S., et al., Stereo-based pedestrian detection for collision-avoidance applications, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.10, No.3 (2009), pp.380–391.
- [23] Llorca, D.F., et al., Stereo-based pedestrian detection in crosswalks for pedestrian behavioural modelling assessment, *Proceedings of 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, (2014), pp.102–109.
- [24] Broggi, A., et al., Pedestrian detection on a moving vehicle: an investigation about near infra-red images, *Proceedings of 2006 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, (2006), pp.431–436.
- [25] Gerónimo, D., et al., Survey of pedestrian detection for advanced driver assistance systems, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.32, No.7 (2010), pp.1239–1256.
- [26] Bila, C., et al., Vehicles of the future: A survey of research on safety issues, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.18, No.5 (2017), pp.1046–1065.
- [27] Gidel, S., et al., Pedestrian detection and tracking in an urban environment using a multilayer laser scanner, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.11, No.3 (2010), pp.579–588.
- [28] Hernández, D.C., et al., Laser based collision warning system for high conflict vehicle-pedestrian zones, *Proceedings of 2016 IEEE 25th International Symposium on Industrial Electronics*, (2016), pp.935–939.



- [29] Schubert, E., et al., High resolution automotive radar measurements of vulnerable road users — pedestrians & cyclists, *Proceedings of 2015 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility*, (2015), pp.1–4.
- [30] García, F., et al., Joint probabilistic data association fusion approach for pedestrian detection, *Proceedings of 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, (2013), pp.1344–1349
- [31] García, F., et al., Context aided pedestrian detection for danger estimation based on laser scanner and computer vision, *Expert Systems with Applications*, Vol.41, No.15 (2014), pp.6646–6661.
- [32] Hamdane, H., et al., Issues and challenges for pedestrian active safety systems based on real world accidents, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.82 (2015), pp.53–60.
- [33] Becker, D., et al., Vehicle and pedestrian collision prevention system based on smart video surveillance and C2I communication, *Proceedings of 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, (2014), pp.3088–3093.
- [34] Tang, B., et al., Pedestrian protection using the integration of V2V and the pedestrian automatic emergency braking system, *Proceedings of IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, (2016), pp.2213–2218.
- [35] 岡本広大ほか, 2.4GHz 帯と 700MHz 帯を用いた車両対歩行者事故回避システムの提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-ITS-53, No.7 (2013), pp.1–5.
- [36] Ho, P., et al., WiSafe: Wi-fi pedestrian collision avoidance system, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.66, No.6 (2017), pp.4564–4578.
- [37] Hollnagel, E., Accidents and barriers, *Proceedings of 7th European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control*, (1999), pp.175–180.
- [38] Hollnagel, E., *Barriers and Accident Prevention*, (2004), Ashgate.
- [39] Lord, D., et al., Pedestrian accidents with left-turning traffic at signalized intersections: Characteristics, human factors, and unconsidered issues, *Proceedings of 77th Annual Transportation Research Board Meeting*, (1998).
- [40] 内田信行ほか, 交差点右折時における運転者の視線移動パターン—横断中の歩行者などの発見遅れに関する予備的検討—, 自動車研究, Vol.24, No.9 (2002), pp.21–24.
- [41] Langham, M., et al., Pedestrian conspicuity research: a review, *Ergonomics*, Vol.46, No.4 (2003), pp.345–363.
- [42] 平松真知子ほか, 行動分析からみた歩行者横断中の事故発生シナリオ, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.100-04 (2004), pp.13–17.

- [43] 内田信行ほか, 予防安全研究用ドライブレコーダを用いた歩行者認知遅れ要因の検討—対歩行者ニアミスの特徴抽出と再現実験の試み—, 自動車技術会論文集, Vol.41, No.1 (2010), pp.135–140.
- [44] 田川傑ほか, 交差点直進時の対歩行者事故の発生要因に関する実験検討, 自動車研究, Vol.33, No.11 (2011), pp.33–36.
- [45] 川越麻生ほか, ドライブレコーダのフィールド走行データによる車両対歩行者事故の要因分析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.57-12 (2012), pp.1–4.
- [46] Aust, M.L., Generalization of case studies in road traffic when defining pre-crash scenarios for active safety function evaluation, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.42, No.4 (2010), pp.1172–1183.
- [47] Habibovic, A., et al., Driver behavior in car-to-pedestrian incidents: An application of the Driving Reliability and Error Analysis Method (DREAM), *Accident Analysis & Prevention*, Vol.50 (2013), pp.554–565.
- [48] 内田信行ほか, ニアミス再現実験による車両対歩行者事故の防止方策に関する研究—注意喚起情報の提供タイミングが横断歩行者の認知能力に及ぼす影響—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.57-12 (2012), pp.5–8.
- [49] Matsui, Y., et al., Features of pedestrian behavior in car-to-pedestrian contact situations in near-miss incidents in Japan, *Traffic Injury Prevention*, Vol.14, No.sup1 (2013), pp.S58–S63.
- [50] Marnell, P., et al., Permissive left-turn behavior at the flashing yellow arrow in the presence of pedestrians, *Proceedings of 7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*, (2013), pp.488–494.
- [51] 安部原也ほか, 歩行者事故防止のための運転時注意分散の影響評価, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.2 (2015), pp.515–520.
- [52] Qi, Y., et al., Pedestrian safety under permissive left-turn signal control, *International Journal of Transportation Science and Technology*, Vol.6 (2017), pp.53–62.
- [53] Summala, H., et al., Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.28, No.2 (1996), pp.147–153.
- [54] Räsänen, M., et al., Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: An in-depth study, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.30, No.5 (1998), pp.657–666.
- [55] Wang, Y., et al., Estimating the risk of collisions between bicycles and motor vehicles at signalized intersections, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.36, No.3 (2004), pp.313–321.

- 
- [56] Herslund, M.B., et al., Looked-but-failed-to-see-errors in traffic, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.35, No.6 (2003), pp.885–891.
- [57] Koustanai, A., et al., Statistical analysis of “looked-but-failed-to-see” accidents: Highlighting the involvement of two distinct mechanisms, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.40, No.2 (2008), pp.461–469.
- [58] White, C.B., et al., The blind date: The effects of change blindness, passenger conversation and gender on looked-but-failed-to-see (LBFTS) errors, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.42, No.6 (2010), pp.1822–1830.
- [59] Crundall, D., et al., Why do car drivers fail to give way to motorcycles at t-junctions?, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.44, No.1 (2012), pp.88–96.
- [60] Treat, J.R., et al., Tri-level study of the causes of traffic accidents, Report No. DOT HS 805 099, (1979).
- [61] Näätänen, R., et al., A model for the role of motivational factors in drivers’ decision-making, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.6, No.3 (1974), pp.243–261.
- [62] Wilde, G.J., The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health, *Risk Analysis*, Vol.2, No.4 (1982), pp.209–225.
- [63] Rumar, K., The role of perceptual and cognitive filters in observed behavior, *Human behavior and traffic safety*, (1985), Springer, pp.151–170.
- [64] Deery, H.A., Hazard and risk perception among young novice drivers, *Journal of safety research*, Vol.30, No.4 (1999), pp.225–236.
- [65] McKnight, A.J., et al., Young novice drivers: careless or clueless?, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.35, No.6 (2003), pp.921–925.
- [66] Philip, P., et al., Fatigue, sleep restriction and driving performance, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.37, No.3 (2005), pp.473–478.
- [67] Harbluk, J.L., et al., An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers’ visual behavior and braking performance, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.39, No.2 (2007), pp.372–379.
- [68] Caird, J.K., et al., A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.40, No.4 (2008), pp.1282–1293.
- [69] Rendon-Velez, E., et al., The effects of time pressure on driver performance and physiological activity: A driving simulator study, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.41 (2016), pp.150–169.
- [70] McGwin Jr, G., et al., Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.31, No.3 (1999), pp.181–198.

## 第2章

- [71] 長山泰久, 交通心理学とは, 国際交通安全学会誌, Vol.1, No.2 (1975), pp.325–335.
- [72] 永井正夫ほか, ドライブレコーダ活用によるヒヤリハット研究, 自動車技術, Vol.60, No.12 (2006), pp.51–58.
- [73] 永井正夫, ドライブレコーダ・データベースの現状と活用可能性, 自動車技術, Vol.67, No.2 (2013), pp.47–53.
- [74] Sullivan, J.M., et al., Differences in geometry of pedestrian crashes in daylight and darkness, *Journal of Safety Research*, Vol.42, No.1 (2011), pp.33–37.
- [75] Kazazi, J., et al., The influence of attention allocation and age on intersection accidents, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.43 (2016), pp.1–14.
- [76] 藤田光伸ほか, ドライブレコーダを用いたヒヤリハット分析に関する研究(第2報) —収集データによる分析手法とデータベースの構築—, 自動車技術会論文集, Vol.38, No.4 (2007), pp.145–150.
- [77] 御室哲志ほか, ヒヤリハットデータベースの活用による予防安全対策の効果予測手法, 自動車技術会論文集, Vol.42, No.3 (2011), pp.777–782.
- [78] 岡野裕樹ほか, ヒヤリハットデータを用いた前方車両に対する事故低減手法の研究, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集, Vol.16 (2007), pp.263–266.
- [79] 道辻洋平ほか, ドライブレコーダーを活用した交差点黄信号における急停止判断要因の分析, 国際交通安全学会誌, Vol.33, No.4 (2008), pp.355–362.
- [80] 三栗谷祥ほか, 前車追従時における追突ヒヤリハット発生要因の解明, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集, Vol.17 (2008), pp.305–308.
- [81] 畔蒜卓弥ほか, 無信号交差点における出会い頭ヒヤリハット発生要因の分析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.98-09 (2009), pp.15–18.
- [82] 藤田浩徳ほか, 信号交差点通過時の右直ヒヤリハットデータに基づく運転行動分析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.98-10 (2010), pp.17–20.
- [83] 徐敏ほか, ヒヤリハットデータベースを用いた歩行者対車両事象における環境要素と発生要因の把握, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集, Vol.19 (2010), pp.183–186.
- [84] 道辻洋平ほか, 信号切り替わり時の横断歩行者に対する運転リスク評価指標の提案, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.2 (2013), pp.555–560.
- [85] 竹本雅憲ほか, 信号交差点左折時における横断自転車とのヒヤリハット事例の

分析, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.3 (2014), pp.533–539.

### 第 3 章

- [86] Hollands, M.A., et al., “Look where you’ re going!” : gaze behaviour associated with maintaining and changing the direction of locomotion, *Experimental Brain Research*, Vol.143, No.2 (2002), pp.221–230.
- [87] Land, M.F., et al., Where we look when we steer, *Nature*, Vol.369, No.6483 (1994), pp.742–744.
- [88] Kim, N.G., et al., Eye movements and a rule for perceiving direction of heading, *Ecological Psychology*, Vol.11, No.3 (1999), pp.233–248.
- [89] Wann, J., et al., Steering with or without the flow: is the retrieval of heading necessary?, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.4, No.8 (2000), pp.319–324.
- [90] 舟川政美, 視野シミュレーションに基づくドライバの視環境評価, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.4 (2008), pp.159–164.
- [91] Carrasco, M., Visual attention: The past 25 years, *Vision Research*, Vol.51, No.13 (2011), pp.1484–1525.
- [92] Posner, M.I., et al., Attention and the detection of signals, *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol.109, No.2 (1980), pp.160–174.
- [93] Eriksen, C.W., et al., Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model, *Perception & Psychophysics*, Vol.40, No.4 (1986), pp.225–240.
- [94] Corbetta, M., et al., Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain, *Nature Reviews. Neuroscience*, Vol.3, No.3 (2002), pp.201–215.
- [95] Desimone, R., et al., Neural mechanisms of selective visual attention, *Annual Review of Neuroscience*, Vol.18, No.1 (1995), pp.193–222.
- [96] Sprague, N., et al., Eye movements for reward maximization, *Advances in Neural Information Processing Systems*, (2004), MIT Press, pp.1467–1474.
- [97] Chen, X., et al., Real-world visual search is dominated by top-down guidance, *Vision Research*, Vol.46, No.24 (2006), pp.4118–4133.
- [98] Jovancevic, J., et al., Control of attention and gaze in complex environments, *Journal of Vision*, Vol.6, No.12 (2006), pp.1431–1450.
- [99] Summala, H., et al., Top-down and bottom-up processes in driver behavior at roundabouts and crossroads, *Transportation Human Factors*, Vol.2, No.1 (2000), pp.29–37.

- [100] Engel, F.L., Visual conspicuity, visual search and fixation tendencies of the eye, *Vision Research*, Vol.17, No.1 (1977), pp.95–108.
- [101] Trick, L.M., et al., Paying attention behind the wheel: a framework for studying the role of attention in driving, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, Vol.5, No.5 (2004), pp.385–424.
- [102] Wickens, C.D., et al., Pilot task management: Testing an attentional expected value model of visual scanning, Technical Report ARL-01-14/NASA-01-7, (2001).
- [103] Horrey, W.J., et al., Modeling drivers' visual attention allocation while interacting with in-vehicle technologies, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.12, No.2 (2006), pp.67–78.
- [104] Engström, J., et al., Attentional selection and multitasking in everyday driving: A conceptual model, *Driver Distraction and Inattention*, (2013), CRC Press, pp.27–54.
- [105] Werneke, J., et al., What does the driver look at? The influence of intersection characteristics on attention allocation and driving behavior, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.45 (2012), pp.610–619.
- [106] Tsuda, H., Commentary on "Car drivers' adjustments to cyclists at roundabouts", *Transportation Human Factors*, Vol.2, No.1 (2000), pp.27–28.
- [107] McKee, S.P., et al., The detection of motion in the peripheral visual field, *Vision Research*, Vol.24, No.1 (1984), pp.25–32.
- [108] Yoshimoto, K., Simulation of man-automobile systems by the driver's steering model with predictability, *Bulletin of JSME*, Vol.12, No.51 (1969), pp.495–500.
- [109] MacAdam, C.C., Application of an optimal preview control for simulation of closed-loop automobile driving, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.11, No.6 (1981), pp.393–399.
- [110] Ungoren, A.Y., et al., An adaptive lateral preview driver model, *Vehicle System Dynamics*, Vol.43, No.4 (2005), pp.245–259.

## 第 4 章

- [111] Minderhoud, M.M., et al., Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.33, No.1 (2001), pp.89–97.
- [112] 北島創ほか, リスク認知に関する評価指標の比較検討—先行車に対する追突リスクの認知—, 自動車技術会論文集, Vol.40, No.2 (2009), pp.597–602.

- [113] 田川傑ほか, 実車を用いた危険場面再現手法に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.42, No.6 (2011), pp.1391–1396.
- [114] 田川傑ほか, 実車両を用いた危険場面再現手法の研究—拡張現実技術を適用した実験車両の開発—, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.2 (2014), pp.419–424.
- [115] 田川傑ほか, 実車両を用いた危険場面再現手法の研究(第2報)—交差点右折場面における運転操作及び車両挙動の検討—, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.3 (2015), pp.665–670.
- [116] Uchida, N., et al., Development of an augmented reality vehicle for driver performance evaluation, *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol.9, No.1 (2017), pp.35–41.
- [117] Owen, A.M., et al., N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies, *Human Brain Mapping*, Vol.25, No.1 (2005), pp.46–59.
- [118] 中田透ほか, 注意散漫と道路環境が眼球停留関連電位に与える影響, 自動車技術会論文集, Vol.42, No.4 (2011), pp.979–984.
- [119] C.M.ビショップ, パターン認識と機械学習 上, 元田浩ほか監訳, (2007), シュプリンガー・ジャパン.
- [120] 高橋昭彦ほか, 運転行動データベースを用いた一般道カーブ進入速度の選択行動モデルの構築, 自動車技術会論文集, Vol.41, No.5 (2010), pp.981–986.
- [121] Shino, M., et al., Deviated state detection method in driving around curvers based on naturalistic driving behavior database for driver assistance systems, *International Journal of Automotive Technology*, Vol.15, No.5 (2014), pp.749–755.

## 第5章

- [122] 平松真知子ほか, 交差点右折時のドライバのヒヤリハット・リスク定量化手法の研究, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.6 (2014), pp.1129–1134.
- [123] 安部原也ほか, 交差点右折時の対向直進車のない状況における運転行動と対向直進車接近時の回避行動との関係, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.6 (2014), pp.1135–1140.
- [124] Johansson, G., et al., Drivers' brake reaction times, *Human Factors*, Vol.13, No.1 (1971), pp.23–27.
- [125] 牧下寛ほか, 自動車運転中の突然の危険に対する制動反応の時間, 人間工学,

Vol.38, No.6 (2002), pp.324–332.

- [126] 公益財団法人自動車技術会, 自動車技術ハンドブック 人間工学編<第3分冊>, (2016), 精興社.

## 第6章

- [127] 公益財団法人交通事故総合分析センター, 信号交差点における右折事故～右折先の自転車, 歩行者に注意～, *ITARDA INFORMATION*, No.95 (2012).
- [128] 森健二ほか, 信号交差点における右折車のギャップアクセプタンス特性のモデル化, *土木計画学研究・論文集*, No.13 (1996), pp.901–906.

## 第7章

- [129] 国土地理院, 平面直角座標への換算, (Online), Available from <<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/bl2xyf.html>>, (Accessed 2017-12-1).
- [130] Rensink, R.A., When good observers go bad: Change blindness, inattention blindness, and visual experience, *Psyche*, Vol.6, No.9 (2000).
- [131] Jensen, M.S., et al., Change blindness and inattention blindness, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, Vol.2, No.5 (2011), pp.529–546.
- [132] Pammer, K., et al., Attentional differences in driving judgments for country and city scenes: Semantic congruency in inattention blindness, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.50 (2013), pp.955–963.
- [133] Galpin, A., et al., Change blindness in driving scenes, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.12, No.2 (2009), pp.179–185.
- [134] Beanland, V., et al., Change detection in urban and rural driving scenes: Effects of target type and safety relevance on change blindness, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.100 (2017), pp.111–122.

## 第8章

- [135] 国土交通省, 運輸安全取組事例：横断歩道右折時における重大事故の多角的な事故分析と再発防止への低減, (Online), Available from <<http://www.mlit.go.jp/common/001085912.pdf>>, (Accessed 2017-10-6).



- [136] Sivak, M., The information that drivers use: is it indeed 90% visual?, *Perception*, Vol.25, No.9 (1996), pp.1081–1089.

## 付録 A

- [137] 石橋基範ほか, 運転者特性把握のための運転スタイル・運転負担感受性チェックシートの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.55-02 (2002), pp.9–12.
- [138] Ishibashi, M., et al., Indices for characterizing driving style and their relevance to car following behavior, *Proceedings of IEEE SICE 2007 Annual Conference*, (2007), pp.1132–1137.
- [139] Reason, J., et al., Errors and violations on the roads: a real distinction?, *Ergonomics*, Vol.33, No.10-11 (1990), pp.1315–1332.
- [140] 駒田悠一ほか, 運転行動の自己報告による運転行動と行動特性の分類の試み, 国際交通安全学会誌, Vol.34, No.2 (2009), pp.106–113.



# 謝辭



本研究を進めるにあたり、指導教員である東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻の小竹元基准教授には、大変お世話になりました。本当に長い時間研究に関して議論させていただき、そのおかげもあり研究を無事進めることができました。一度研究室を出て就職してからも研究に関しての相談に乗っていただき、さらに再び研究室に戻って研究に従事する機会をくださり、そして戻ってきてからも研究に関してたくさんのことを教えていただきましたし、様々なことを経験する機会もいただきました。また、本論文の主査として論文のまとめ方についてもたくさんのご指導をいただきました。心より感謝しております。

また、副査として沢山のご指導を頂きました。同大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻の鎌田実教授、同大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻の割澤伸一教授、同大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻の須田義大教授、産業技術総合研究所 自動車ヒューマンファクター研究センターの北崎智之センター長の先生方にも大変感謝しております。誠にありがとうございました。

鎌田教授には、学部生の頃より大変お世話になっており、博士後期課程で再び研究室に戻ってきてからも、度々ミーティングをさせていただきました。先生との議論を通じて気づいたことも多くあり、また本論文をまとめるにあたってもたくさんのご助言をいただきました。心より御礼を申し上げます。

同大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻の二瓶講師には、学部生の頃より大変お世話になっており、博士後期課程で戻ってきてからも、研究会で発表した際には貴重なコメントいただきました。また、研究に限らず、いろんな話もさせていただきました。とても感謝しております。

本研究を進めるにあたり、日本自動車研究所の方々には多大なるご協力を賜りました。安全研究部の内田信行様、今長久様、水野将弘様、山田善之様には、本研究の一部を経済産業省からの委託事業の一環として実施させていただくにあたり、実験計画や実験結果について議論させていただき、ご意見をいただきました。また、拡張現実実験車 JARI-ARV を用いた実験を実施させていただくにあたっては、福山慶介様、河島宏紀様、山口伊織様のご協力を賜りました。皆様のおかげで実験を進め、研究をまとめることができました。本当にありがとうございました。

本研究は、自動車やドライビングシミュレータの実験にご参加いただいた皆様に多大なるご協力をいただきました。深く感謝しております。

東京大学 高齢社会総合研究機構の伊藤太久磨様，日本自動車研究所の田川傑様，産業技術総合研究所の郭鐘声様には，同じ研究室の博士課程の先輩として，様々なアドバイスを頂きました。先輩方からのご助言のおかげもあって，不安な気持ちを抱えつつも，なんとか論文をまとめることができましたと思っています。大変感謝しております。

秘書の小沼さんには日頃から大変お世話になりました。被験者実験に伴う謝金の事務的処理から，日常の何気ない相談まで，いろんな面でお世話になりました。おかげさまで研究を円滑に進めることができました。とても感謝しております。本当にありがとうございました。

鎌田・小竹・二瓶研究室の博士後期課程の喜くん，M2の後輩たち，M1の後輩たち，B4の後輩たち，そして既に研究室を修了・卒業した後輩たちには，実験の補助や実験の被験者をたくさんお願いさせていただきました。皆様のご協力があったおかげで，実験を実施し，研究を進めることができました。ここでは，名前を挙げきれませんが深く感謝しております。

そして最後に，修士課程を修了して一度就職したのにも関わらず，退職して大学院に戻ることを応援し，陰ながらいつも支えてくれた家族と両親，そして誰よりも近くで支えてくれた妻の明日翔に心より感謝致します。

吉武 宏

## 付録 A

ドライバの意識・特性が  
運転行動に及ぼす影響





本研究では、ドライバの意識や特性は運転行動を選択する認知および判断の過程で運転行動に反映されると考え、ドライバの意識・特性と運転行動の関係性については特に評価を行わなかった。しかし、ドライバの意識や特性が背景要因となり、運転行動に大きな影響を及ぼすことも考えられるため、本付録はドライバの意識や特性が運転行動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## A.1 評価対象データ

4.3 節で実施した単独走行右折シーンの再現実験(実験 A)の危険場面シナリオの走行データと実験後に実験参加者が回答したアンケートを評価対象とした。各実験参加者は、4.3 節にも示した実験後アンケートと DSQ(Driving Style Questionnaire)<sup>[137][138]</sup>、DBQ(Driving Behavior Questionnaire)<sup>[139][140]</sup>の三つのアンケートにそれぞれ回答した。DSQ および DBQ の詳細を以下に示す。

### ■ DSQ (Driving Style Questionnaire)

DSQ とは、HQL(人間生活工学研究センター)が作成した運転スタイルチェックシートであり、運転行動の背景にある心理的側面に着目し、運転スタイルを数量化することができる。質問紙は図 A.1 のように 18 問に対して、「全く当てはまらない(1)」-「非常に当てはまる(4)」の 4 段階で回答する形式である。回答した結果より、「運転スキルへの自信の有無 (Confidence in driving skill)」および「運転に対する消極性 (Hesitation for driving)」, 「せっかちな運転傾向 (Impatience in driving)」, 「几帳面な運転傾向 (Methodical driving)」, 「信号に対する事前準備的な運転 (Preparatory maneuvers at traffic signals)」, 「ステータスシンボルとしての車 (Importance of automobile for self-expression)」, 「不安定な運転傾向 (Moodiness in driving)」, 「心配性的な運転傾向 (Anxiety about traffic accidents)」の各項目を 1-4 の範囲で数量化する。

### ■ DBQ (Driving Behavior Questionnaire)

DBQ とは、ドライバが運転行動の特性を自己評価する質問紙である。質問紙は図 A.2 のように 9 問に対して、「0.全くない」-「5.大抵そうだ」の 6 段階で回答する形式である。回答した結果より、回答者が「危険エラー (Dangerous error)」および「違反 (Violation)」, 「非危険エラー (Silly error)」に分類される危険事象との遭遇しやすさを 0-15 の 16 段階で評価する。DBQ のオリジナル版は英語であるが、本研究では駒田ら<sup>[140]</sup>が翻訳し、用いた日本語版 DBQ を用いた。

氏名 \_\_\_\_\_ 年齢 \_\_\_\_\_ 歳 性別 男性・女性 S-A

	全く当てはまらない	少し当てはまる	かなり当てはまる	非常に当てはまる
<p><b>【記入のしかた】</b>                      あなたの運転や、車の使い方についてお聞きします。                      下にある文章に、あなたは<b>ふだんのくらい当てはまりますか？</b>このわくの右側を見て、当てはまる程度をもっともよく表わすように<b>1つ選び</b>、それぞれの文章の右の数字に○をつけていってください。                      どれが良いとか悪いとか正解はありませんので、正直に答えてください。また、あまり深く考えこまずに直感で答えてください。</p>				
1. 渋滞しているときの車線変更は苦手だ	1	2	3	4
2. 所要時間があまり変わらないときは、車よりもバスや電車を使う	1	2	3	4
3. 割り込まれることをあまり気にせず、車間距離を十分にとる	1	2	3	4
4. 徐行、一時停止などの運転操作を確実に行う	1	2	3	4
5. 先の信号を見て、かなり先からスピードを落としたり、速めたりする	1	2	3	4
6. 車は移動手段でとにかく走ればよいと思う	1	2	3	4
7. 悩みなど問題を抱えたとき、運転に身が入らないことがある	1	2	3	4
8. 歩行者をひいてしまわないか、いつも心配している	1	2	3	4
9. 短い時間であっても、駐車禁止の場所に停めるのはさける	1	2	3	4
10. 車幅感覚に自信がある	1	2	3	4
11. 車で移動するとき、裏道ではなく、できるだけ信号のある整備された広い道を選ぶ	1	2	3	4
12. 車線変更してでもできるだけ前に行きたい	1	2	3	4
13. 車線変更や交差点などでは、安全確認を慎重に行う	1	2	3	4
14. 先の信号に引っかからないように速度調節する	1	2	3	4
15. 車が自分のステイタスである(カッコいい車がいい)と思う	1	2	3	4
16. 気分の良し悪しなどによって、車の運転がおそろかになったり飛ばしたりする	1	2	3	4
17. 自分が車の事故を起こすことを気にしている	1	2	3	4
18. 制限速度はいつも必ず守っている	1	2	3	4

記入もれがないか、ご確認ください

Fig. A.1 Driving Style Questionnaire (DSQ)

氏名 \_\_\_\_\_ 年齢 \_\_\_\_\_ 性別 男性・女性

記入の仕方

直近の3年間に、以下の項目がどれくらいの頻度であったかについて、教えて下さい。あまり深く考え込まずに、第一印象で回答頂ければ幸いです。

1. ほとんど動かない車の列を追い越したところ、道路工事や一車線の道路を通過するための列だったことに気づいた。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

2. ルートの選択が悪かったために、避けることのできた渋滞に巻き込まれてしまった。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

3. 考え事に夢中になったり、あるいは注意がそれたりして、横断歩道で横断待ちをしている人や、赤に変わったばかりの歩行者信号に気づかなかった。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

4. 夜遅くあるいは早朝に、わざと制限速度を無視した。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

5. 発進したり、車線変更したり、曲がったりする際、ミラーを確認し忘れた。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

6. 幹線道路から横道に曲がる時、横断している歩行者に気づかなかった。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

7. 追い越し車線の遅いドライバーにイライラして、内側から追い抜いた。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

8. 立体駐車場の中の、どこに車を止めたかを忘れた。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

9. 片側一車線の道路でゆっくりと運転する車の後ろにつき、いらいらして、危険状況なのに追い越そうとする衝動に駆られた。

0. 全くない	1. めったにない	2. たまにある	3. よくある	4. 頻繁にある	5. 大抵そうだ
---------	-----------	----------	---------	----------	----------

以上です。ご回答ありがとうございました。

Fig. A.2 Driving Behavior Questionnaire (DBQ)

## A.2 評価方法

ドライバの意識および特性が運転行動に及ぼす影響について評価するため、4.3節で実施した単独走行右折シーンの危険場面シナリオにおける運転行動指標 ( $\varphi_{cl}$  &  $V_{cl}$ ) および衝突リスクのリファレンス指標  $TTC_{brake}$  と、アンケート回答から得られる表 A.1 に示す 12 項目の相関係数を算出した。

Table A.1 List of driver attitude and characteristic indices

No.	Index	Alias	Source	Range
1	Anticipation of pedestrian appearance	Anticipation	PEQ	1–4
2	Confidence in driving skill	Confidence	DSQ	1–4
3	Hesitation for driving	Hesitation	DSQ	1–4
4	Impatience in driving	Impatience	DSQ	1–4
5	Methodical driving	Methodical	DSQ	1–4
6	Preparatory maneuvers at traffic signals	Prepatory	DSQ	1–4
7	Importance of automobile for self-expression	Self-expression	DSQ	1–4
8	Moodiness in driving	Moodiness	DSQ	1–4
9	Anxiety about traffic accidents	Anxiety	DSQ	1–4
10	Dangerous error	Dangerous error	DBQ	0–15
11	Violation	Violation	DBQ	0–15
12	Silly error	Silly error	DBQ	0–15

Note PEQ: Post-Experiment Questionnaire

## A.3 評価結果

### ドライバ特性のドライバ間比較

各実験参加者の DSQ の回答結果を図 A.3 に，DBQ の回答結果を図 A.4 に示す．それぞれのグラフが示すように，各項目におけるばらつきは大きく，今回の実験に参加したドライバの特性は様々であったと言える．

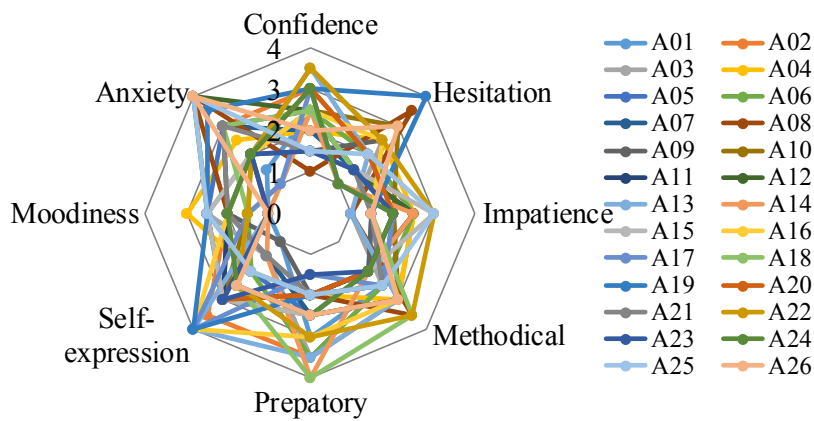


Fig. A.3 DSQ result of each participant

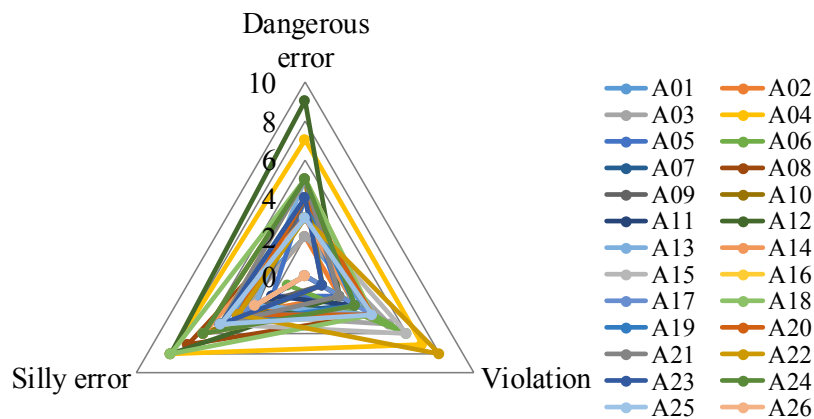


Fig. A.4 DBQ result of each participant

### 運転行動指標とドライバの意識・特性指標の相関関係

運転行動指標 (3 項目) とドライバの意識・特性指標 (12 項目) との相関関係を表 A.2 に示す. 中央線通過時速度  $V_{cl}$  と非危険エラー (Silly error) の組合せのみ有意な相関を示した ( $p < 0.05$ ). 一つの組合せについて有意な相関は見られたが, 他の組合せにおいて運転行動とドライバの意識および特性間に関連性は認められなかった. 以上の結果より, ドライバの意識や特性は運転行動選択に影響すると考えられるが, ドライバの運転行動に顕著な影響を及ぼすドライバの意識または特性の項目は見られなかった. また一方で, 4.3 節における単独走行右折シーンにおける認知エラーに繋がる運転行動特徴の仮説検証や運転行動指標と衝突リスクの関係性評価は, 前述したようなドライバの特性が様々で, かつ運転行動とドライバの意識や特性の関係性が特に見られない実験参加者を対象とした実験における結果であることから, 実験に基づいて関係性が示された運転行動特徴および運転行動指標はドライバの要素を考慮せずに適用できると考えられる.

Table A.2 Correlation between driving behavior and driver attitude/characteristic

No.	Attitude/characteristic index (Alias)	Driving behavior indices		
		$\varphi_{cl}$	$V_{cl}$	$TTC_{brake}$
1	Anticipation	-0.07	-0.01	0.25
2	Confidence	0.33	-0.10	-0.14
3	Hesitation	0.22	0.11	-0.42
4	Impatience	-0.30	0.16	0.31
5	Methodical	0.03	0.20	-0.14
6	Preparatory	0.00	0.17	-0.21
7	Self-expression	0.21	-0.33	0.18
8	Moodiness	-0.25	0.26	-0.14
9	Anxiety	-0.25	0.34	-0.34
10	Dangerous error	-0.24	0.36	-0.34
11	Violation	-0.02	0.09	0.04
12	Silly error	-0.26	0.39*	-0.05

Note \*  $p < 0.05$

## 付録 B

ドライバに合わせた余裕のある対向車間  
ギャップの設定方法





## B.1 設定方法

JARI-ARV を用いて各参加者の最小対向車間ギャップ (右折が可能だと判断する 2 台の対向車間の最小車間時間) を測定し, 測定値の平均値  $\bar{T}$  と標準偏差  $\sigma$  を用いて, 式 B.1 のように対向車間ギャップ  $T_{gap}$  [s] を参加者毎に設定した.

$$T_{gap} = \bar{T} + \sigma + 1.0 \quad (\text{B.1})$$

各参加者の最小対向車間ギャップを測定するために, 図 B.1 に示すシナリオを JARI-ARV で再現し, 以下の 3 点を教示し, 最小対向車間ギャップを測定した. 各参加者は図に示したシナリオを合計で 6 回走行した. なお, 最小対向車間ギャップを測定する前に, ドライバは JARI-ARV に乗って十分な練習走行を行った.

1. 出現する 2 台の対向車間を右折すること
2. 交差点内で一旦停止し, 2 台目の対向車の接近を待つこと
3. 普段の運転の中で右折が可能だと判断するギリギリのタイミングまで 2 台目の対向車を引きつけて右折すること

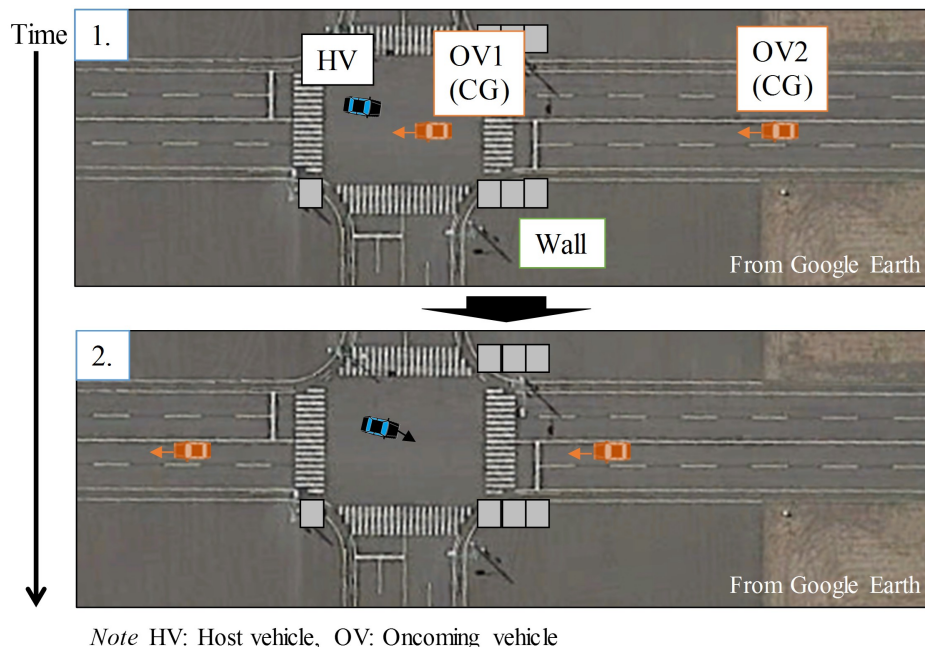


Fig. B.1 Overview of gap measurement scenario

## B.2 設定結果

6.4 節の実験 C において、対向車間ギャップ条件が GT2 であった参加者 14 名に対して最小対向車間ギャップの測定を実施した。表 B.1 に測定結果および設定した対向車間ギャップ  $T_{gap}$  を示す。ただし、 $T_{gap}$  はシステムの制約上、0.5 秒刻みでしか設定できなかったため、式 B.1 により算出される値より大きく、かつ最も近い数値を設定した。

Table B.1 Gap measurement result and set  $T_{gap}$

ID	$\bar{T}$	$\sigma$	$T_{gap}$
B14	7.4	1.0	9.5
B15	10.2	0.2	11.5
B16	6.8	0.9	9.0
B17	5.3	0.9	7.5
B18	9.4	0.3	11.0
B19	6.1	0.3	7.5
B20	7.1	0.3	8.5
B21	7.2	0.4	9.0
B22	4.0	0.2	5.5
B23	10.3	0.2	11.5
B24	6.3	0.9	8.5
B25	8.2	0.4	10.0
B26	10.1	0.6	12.0
B27	6.8	0.5	8.5

## 付録 C

公道における交差点右折データの  
収集実験 (実験 G)



公道における交差点右折時の運転行動特性を把握するため、ドライブレコーダ等を搭載した実験車両を用いて、日常的に自動車を運転する参加者が公道を走行し、交差点右折データを収集する実験を実施した。本付録では、実験方法および単独走行右折シーンと先行車追従右折シーンに関する運転行動の分析結果を示す。

## C.1 実験方法

### 実験車両

本実験では、本田技研工業株式会社製シビックの実験車両 (図 C.1) を用いてデータ収集を行った。本実験車は株式会社アイティエス 21 企画社製ドライブレコーダシステムと SICK 社製マルチレイヤースキャナ LD-MRS を搭載している。各実験参加者は本実験車に乗車し、実験コースを繰り返し走行した。



Fig. C.1 Appearance of test vehicle (Honda Civic)

## 実験コース

東京大学柏キャンパスを始点および終点とする全長約 21 km（所要時間約 60 分）のコースを実験コースとした。本実験コースは、信号交差点における 8 回の右折を含む周回コースを 3 周するコースである。図 C.2 に実験コース内の右折交差点を示す。なお、図中の番号は各右折交差点の ID であり、実験コース内で通過する順番である。図 C.3 に各右折交差点の外観を、表 C.1 に各右折交差点の属性を示す。なお、車道幅とは自転車線および対向車線、中央分離帯等の幅を合計した値である。



Fig. C.2 Overview of test course (Exp. G)

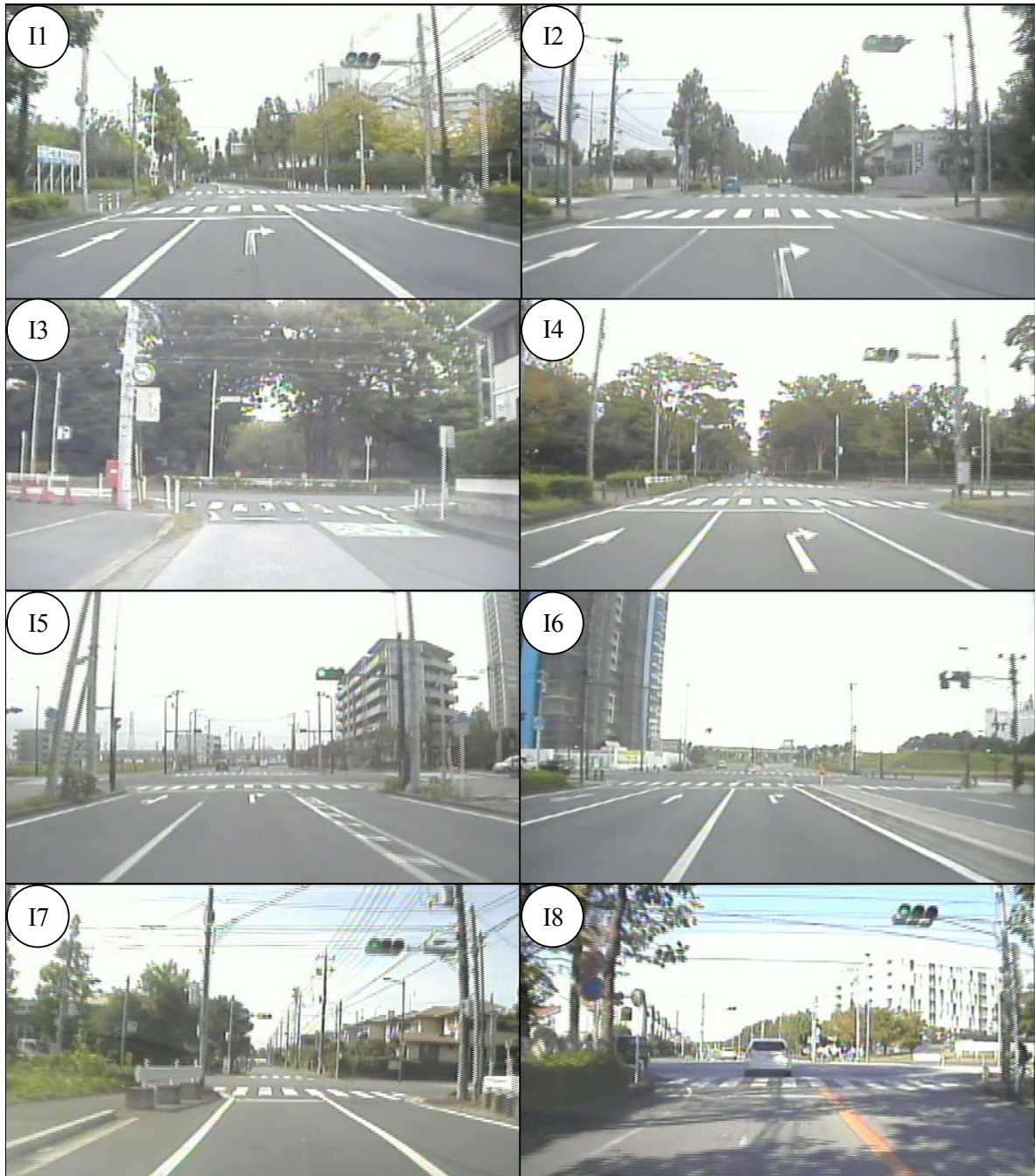


Fig. C.3 Appearance of right-turn intersections (Exp. G)

Table C.1 Property of right-turn intersections

ID	Shape	Right -turn lane	Right -turn signal	Time -difference signal	Entrance road width [m]	Exit road width [m]
I1	T-junction	✓	×	✓	9.0	9.0
I2	Cross-road	✓	×	×	9.0	5.5
I3	Cross-road	×	×	×	5.0	6.0
I4	T-junction	✓	×	✓	9.0	9.0
I5	Cross-road	✓	×	×	10.0	20.0
I6	Cross-road	✓	✓	×	19.0	9.0
I7	Cross-road	×	×	×	6.0	9.0
I8	Corss-road	×	×	×	6.0	9.0

### 実験参加者

平均年齢  $43.8 \pm 10.7$  歳の日常的に自動車を運転する成人男女 6 名 (G01–G06) に対して実験を実施した。表 C.2 に各参加者の詳細を示す。なお、参加者には実施前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。

Table C.2 Detail of participants (Exp. G)

ID	Sex	Age	Annual mileage [km]
G01	F	51	20,000
G02	M	26	15,000
G03	M	41	5,000
G04	M	59	4,000
G05	F	49	3,000
G06	M	37	7,000



## 実験手順

実験参加者には普段通りの運転を意識することを教示し、実験車両に乗って実験コースを走行し、交差点右折データを収集した。実験者は助手席に同乗し、実験コースを随時指示した。各実験参加者は実験コースを一日あたり1回、もしくは十分な休憩時間を設けて2回走行した。

## 計測項目

本実験の主な計測項目を表 C.3 に示す。ドライバの操作行動や車両挙動、車内外映像は搭載しているドライブレコーダシステムを用いて取得し、ドライバの視行動はトビー・テクノロジー株式会社製 Tobii Pro Glasses 2(図 C.4) を用いて取得し、映像を記録した。図 C.5 にドライブレコーダシステムで記録されるカメラ映像を示す。また、車両前端に搭載したマルチレイヤースキャナで得られる車両前方方向の距離情報をノート型 PC を用いて記録した。

Table C.3 Measured items (Exp. G)

Item	Sampling [Hz]
Vehicle speed [km/h]	30
Vehicle acceleration [g]	30
Brake pedal signal [-]	30
Vehicle front camera image	30
Driver face / pedal operation image	30
Driver gaze behavior image	30
Laser scanner data	125



Fig. C.4 Gaze behavior recorder (Tobii Pro Glasses 2)

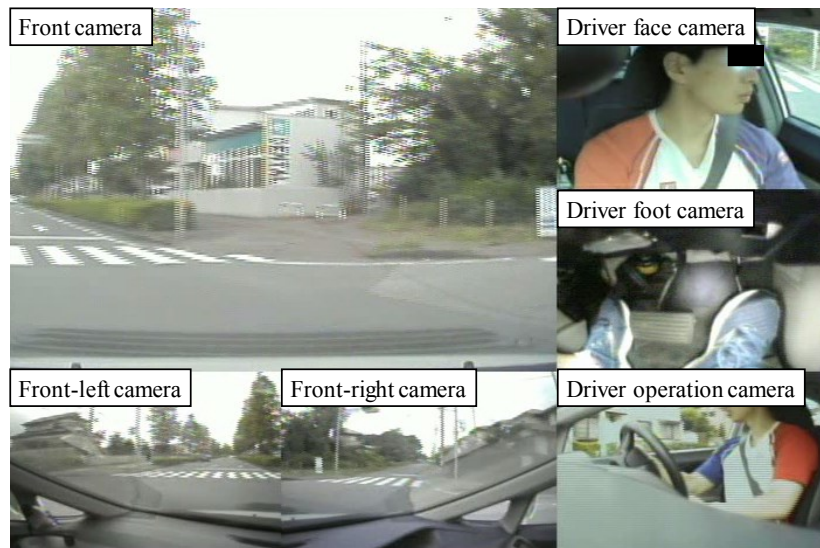


Fig. C.5 Recorded image sample of drive recorder

## C.2 運転シーンの抽出条件と分析区間

### 単独走行右折シーン

単独走行右折シーンの抽出条件は、当該シーンの特徴から以下のように設定した。なお、自車の交差点内走行とは、自車が停止線を通じた時点(交差点に進入した時点)から右折先の横断歩道に到達した時点(交差点を退出した時点)までの走行を指す。

1. 交差点内走行中に自車以外の交通参加者が交差点内に存在しないこと
2. 信号待ち後の交差点進入ではないこと

また、分析対象区間の始点と終点をそれぞれ以下のように設定した。

- 始点：停止線を通じた時点(交差点に進入した時点)
- 終点：右折先の横断歩道に到達した時点(交差点を退出した時点)

### 先行車追従右折シーン

先行車追従右折シーンの抽出条件は、当該シーンの特徴から以下のように設定した。

1. 先行車が存在すること
2. 対向車通過待ちまたは信号待ちで自車が停止または徐行していること
3. 交差点内に自車と先行車以外の交通参加者が存在しないこと

また、分析対象区間の始点と終点をそれぞれ以下のように設定した。先行車追従右折シーンでは、自車と先行車が対向車待ちあるいは信号待ちを経て、加速しながら交差点を右折する状況が多くを占めたため、区間の始点としてドライバーの発進意思決定を反映する時点であるブレーキペダルを離れた時点を設定した。本シーンではドライバーが必ずしもブレーキペダルを離して、すぐにアクセルペダルに踏み替えるとは限らなかったため、アクセルペダルを踏んだ時点ではなく、ブレーキペダルを離れた時点を設定した。

- 始点：ブレーキペダルを離れた時点(発進の意思決定をした時点)
- 終点：右折先の横断歩道に到達した時点(交差点を退出した時点)

## C.3 実験結果

### 交差点右折データの収集結果

表 C.4 に各参加者の実験コースの走行回数および信号交差点の右折回数，抽出できた単独走行右折シーンの区間数，抽出できた先行車追従右折シーンの区間数を示す．実験コース 1 回あたりの走行で 24 回の信号交差点における交差点右折データを収集できるが，ドライブレコーダシステムの動作不調等の影響により，一部の交差点右折データを取得できなかった．また，G04 に関しては，視線計測装置のキャリブレーションを正常に実行できなかったため，G04 の視行動データは分析対象外とした．

Table C.4 Detail of collected data

ID	Course-driving frequency	Right-turn frequency	Cruising right-turn frequency	Following right-turn frequency
G01	6	143	13	13
G02	6	142	13	12
G03	6	144	14	18
G04	6	141	15	19
G05	6	139	9	16
G06	6	135	11	10

## 単独走行右折シーン

単独走行右折シーンは交差点の車道幅と運転行動の関係に注目して分析を行った。ドライバが右折する交差点の流入部と流出部の車道幅がそれぞれドライバの運転行動選択に異なる影響を及ぼす可能性があるため、流入部と流出部の車道幅についてそれぞれ分析を行った。

### ■ 交差点流入側の車道幅とドライバの運転行動選択

実験コースに含まれる右折交差点のうち、交差点流出側の車道幅が等しく、交差点流入側の道路幅が異なる交差点におけるドライバの右折中の走行速度選択について分析した。交差点流入側の車道幅が9.0 mであるI4と、交差点流入側の車道幅が6.0 mである交差点I8とI9における走行速度を比較した。図C.6に右折時の区間平均速度、区間最高速度、停止線通過時速度の比較結果を示す。図に示した結果は同一交差点における全実験参加者の走行を集計した結果であるが、交差点流入側の車道幅が異なる交差点間に有意差が見られた。特に右折中の停止線通過時速度に有意差があり、交差点流入側の車道幅が交差点進入時のドライバの速度選択に影響を及ぼすことが示された。

### ■ 交差点流出側の車道幅とドライバの運転行動選択

実験コースに含まれる右折交差点のうち、交差点流入側の車道幅が等しく、交差点流出側の車道幅が異なる交差点におけるドライバの右折中の走行速度選択について分析を行った。交差点流出側の車道幅が9.0 mであるI4と、交差点流出側の車道幅が5.5 mであるI2におけるドライバの走行速度を比較した。図C.7に右折時の区間平均速度、区間最低速度、右折先横断歩道到達時速度の比較結果を示す。異なる流入側車道幅の交差点の比較と同様に、図に示した結果は同一交差点における全実験参加者の走行結果を集計した結果であるが、交差点流出側の車道幅が異なる交差点間に有意差が見られた。特に右折先横断歩道到達時速度に有意差があり、交差点流出側の車道幅が交差点退出時の走行速度選択に影響することがわかった。

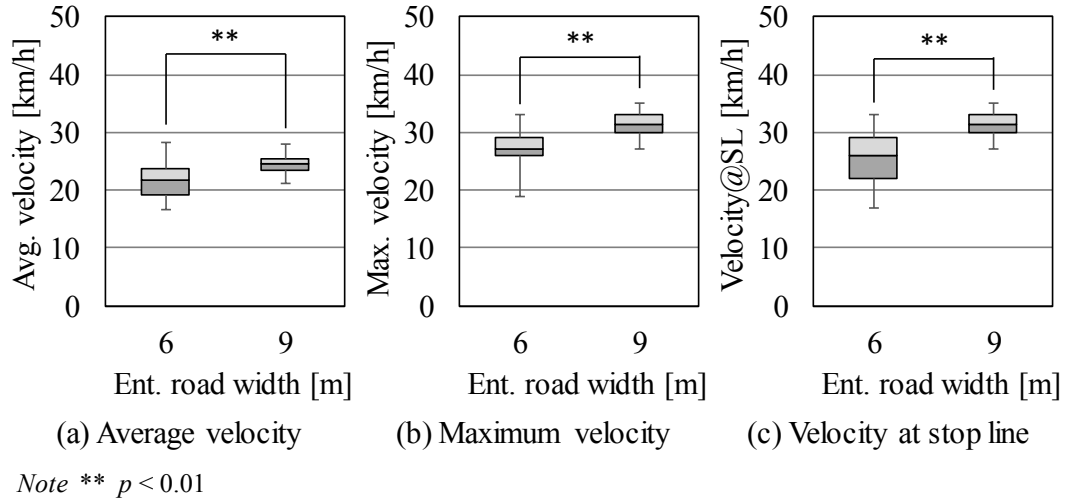


Fig. C.6 Comparison of speed choice behavior between different intersection entrance road widths

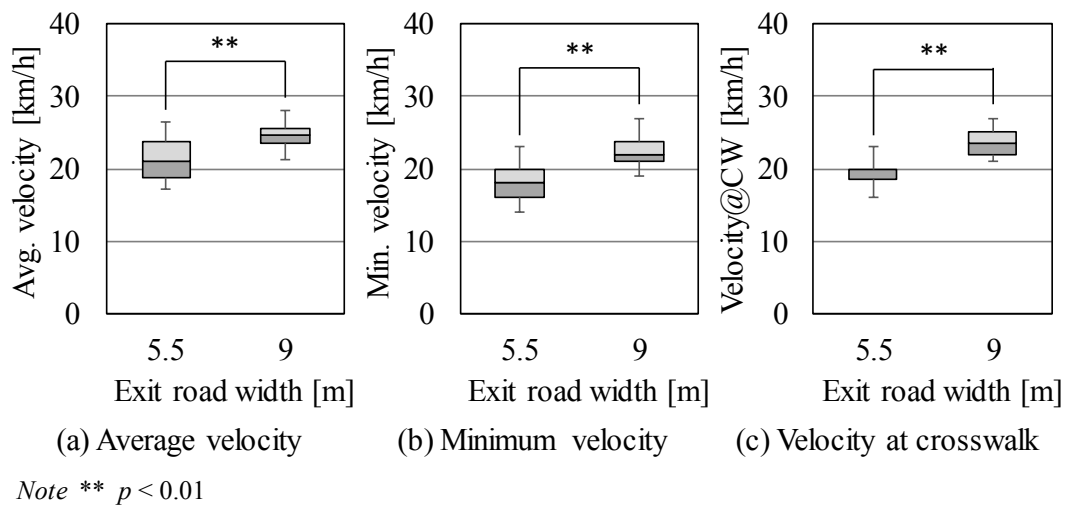


Fig. C.7 Comparison of speed choice behavior between different intersection exit road widths

### 先行車追従右折シーン

先行車追従右折シーンは先行車挙動と運転行動の関係に注目して分析を行った。先行車の挙動を表すパラメータとして分析対象区間における先行車の速度と発進加速度に注目し、ドライバが右折中に選択する走行速度および車間距離との関係性について分析した。図 C.8 に先行車の区間平均速度と、自車の区間平均速度および区間平均車間距離との関係を、図 C.9 に先行車の発進加速度と自車の区間平均速度および区間平均車間距離の関係を示す。なお、先行車の発進加速度は、分析対象区間の始点から 2 秒後までの先行車の前後加速度の平均値である。分析対象区間には異なる交差点における、異なるドライバの先行車追従右折時の走行データが含まれている。また、分析対象区間の右折走行データは、前述した抽出条件および区間の定義に従って抽出しているが、自車および先行車の初期速度や自車と先行車間の初期車間距離は統制されておらず、図に示した結果のようにばらつきが見られる。このようなばらつきが存在するデータではあるが、自車の区間平均速度と先行車の区間平均速度の間 ( $r = 0.62, t(86) = 7.23, p < 0.01$ ) と、自車と先行車間の区間平均車間距離と先行車の区間平均速度の間 ( $r = 0.23, t(86) = 2.15, p < 0.05$ )、自車の区間平均速度と先行車の発進加速度の間 ( $r = 0.35, t(86) = 3.45, p < 0.01$ ) にそれぞれ有意な相関が見られた。また、ドライバの先行車への注視時間割合  $GDR_{pv}$  と先行車の速度と発進加速度の関係について分析した。なお、 $GDR_{pv}$  はドライバがブレーキペダルを離してから右折先横断歩道に到達するまでの区間における注視対象を、視線計測装置で取得した画像を分析し、集計した結果である。図 C.10 に実験参加者 2 名の結果を示す。ドライバ間で  $GDR_{pv}$  の傾向が異なっており、各ドライバ内でも  $GDR_{pv}$  と先行車の速度や発進加速度との間に有意な相関は見られなかった。よって、先行車の挙動がドライバの先行車に対する注視行動に影響することは確認できなかった。以上より、先行車の挙動のパラメータである先行車の走行速度と発進加速度が交差点右折中のドライバの運転行動選択に影響することがわかった。

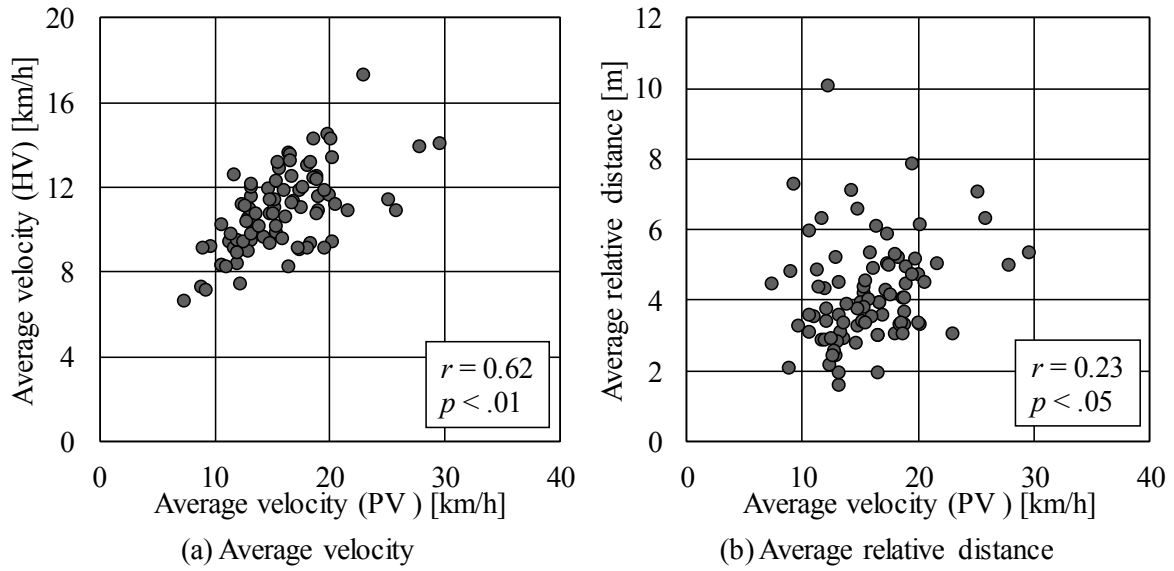


Fig. C.8 Relation between preceding vehicle's speed and driver's behavior selection

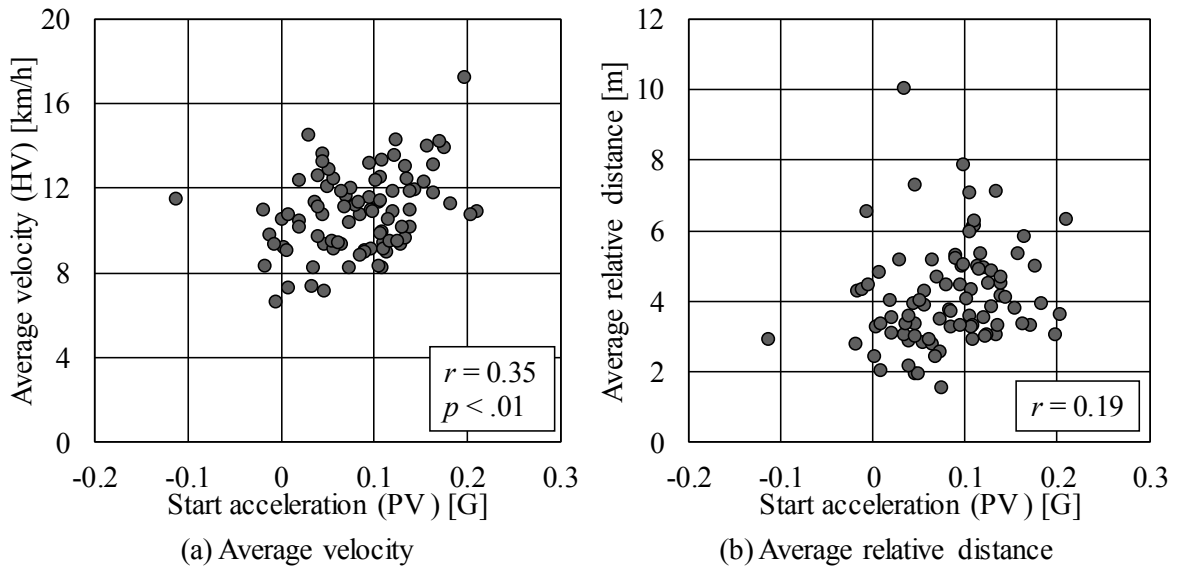
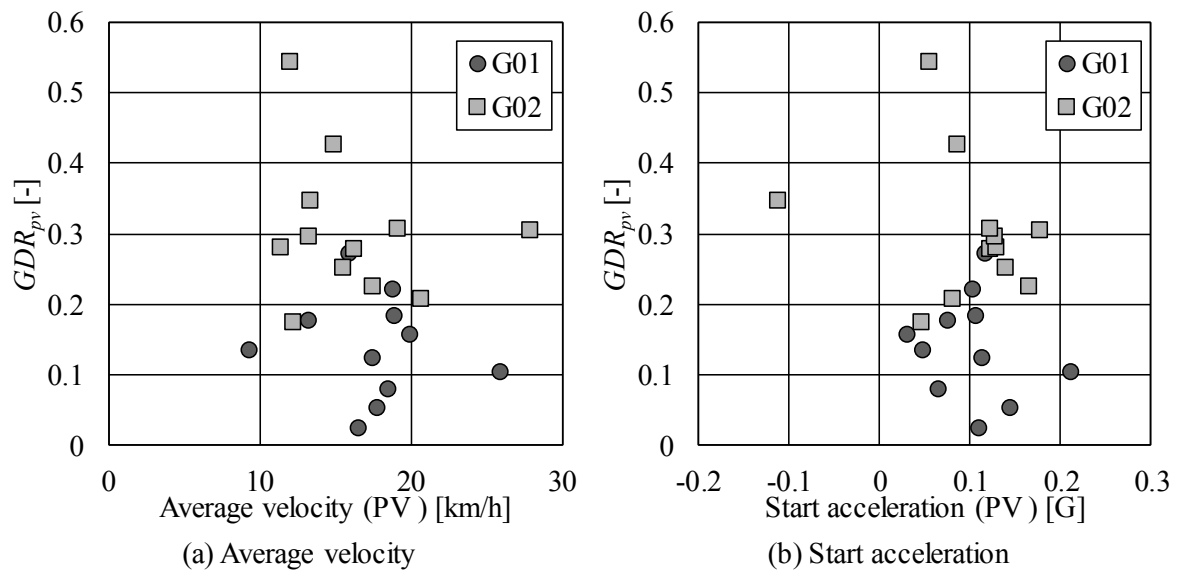


Fig. C.9 Relation between preceding vehicle's start acceleration and driver's behavior selection



Fig. C.10 Relation between  $GDR_{pv}$  and preceding vehicle's behavior



## 付録 D

### 運転行動特徴に基づく 衝突リスク評価タイミングの検討



4章において単独走行右折シーンにおける運転行動特徴を反映する運転行動指標に基づいて衝突リスクの高い運転行動を判別できることを確認し、中央線通過時の運転行動に基づいて評価できることは既に確認した。しかし、運転支援においてはより早いタイミングで衝突リスクを評価することが要求される場合も考えられるため、中央線通過時より前に衝突リスクの高い運転行動を評価できるタイミング、すなわちドライバの将来の運転行動が決定されるタイミングについて検討した。

## D.1 検討方法

単独走行右折シーンにおける認知エラーに繋がる運転行動特徴を反映する運転行動指標に基づいて歩行者衝突リスクを中央線通過時より前に評価する方法として、中央線通過前の運転行動に基づいて衝突リスクの高い運転と低い運転を二段階で判別する方法について検討した。まず、単独走行右折シーンにおける運転行動指標 ( $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$ ) を中央線通過前の特定のイベントにおける車両挙動をパラメータとした線形重回帰式を用いて推定した。次に、推定した二つの運転行動指標を、 $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  をパラメータとした線形判別式に適用して衝突リスクの高い運転と低い運転に判別した。

### 運転行動指標の線形重回帰式

中央線通過時における運転行動指標を推定するために用いるイベント(以下、推定イベント)は中央線通過前に発生するイベントである必要がある。このような条件に合致する推定イベントとして図 D.1 に示す減速を開始するイベント (BS; Braking start), 操舵を開始するイベント (SS; Steering start), 停止線を通るイベント (SP; Stop-line pass) を選定した。BS イベントと SS イベントはそれぞれドライバが操作を開始するイベントであり、SP イベントは交差点に進入することと関連するため、それぞれ選定した。ここで、SS イベントはドライバが右折開始するにあたり、ハンドル操舵角度が初めて 30 度を超えたときと定義した。

各推定イベントは交差点に進入する前の単路における運転行動であるため、運転行動指標を推定するための説明変数とし、交差点中心までの距離  $D$ , 車両速度  $V$ , 前後方向加速度  $a$  を用いることにした。回帰式は 4.3 節の実験 A で取得した非危険場面シナリオの運転行動データを用いた。また、説明変数の組合せは AIC(Akaike's Information Criterion) が最も小さい組合せを選定した。

## 衝突リスクの高低を判別する線形判別式

$\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  をパラメータとし、衝突リスクの高い運転行動と衝突リスクの低い運転行動を判別する式である。判別式は実験 A で取得した危険場面シナリオにおける運転行動データを用いて設定した。なお、衝突リスクの高低群は  $TTC_{brake}$  を用い、4.3 節と同様に 2 秒を基準として 2 群に分けた。

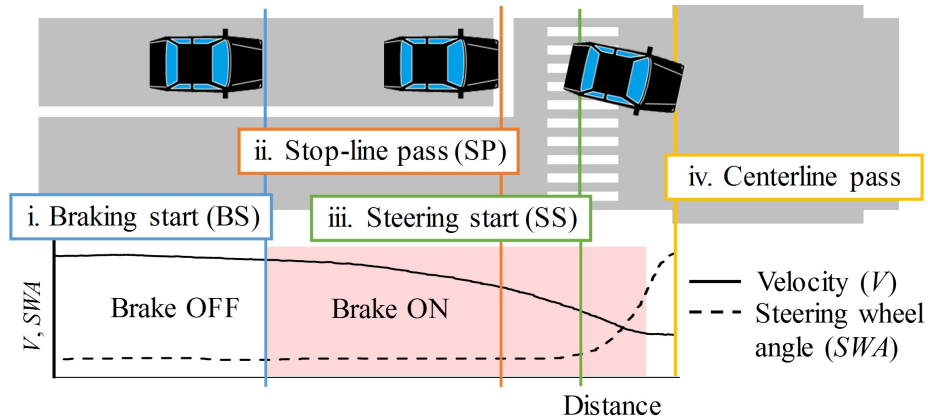


Fig. D.1 Estimation events of driving behavior indices before center-line pass

## D.2 検討結果

### 運転行動指標の推定

各推定イベントにおける AIC が最小となる重回帰式のパラメータの組合せを表 D.1 に示し、図 D.2 に各推定イベントにおける重回帰式の自由度調整済み決定係数  $R_{adj}^2$  を示す。  $R_{adj}^2$  は各回帰式の推定精度を示しており、操舵開始イベントの回帰式の決定係数はいずれも 0.9 程度と比較的高い値であった。これに対して他の推定イベントではいずれも 0.5 を超えなかった。これはブレーキ開始イベントおよび停止線通過イベントの運転行動では、中央線通過時の運転行動を定式化できなかったことを示している。以上の結果より、中央線通過時の運転行動指標を推定する上で操舵開始イベントが有効であることがわかった。

### 衝突リスクの高低の判別

前述した操舵開始イベントの回帰式を用い、危険場面シナリオの運転行動に基づいて推定した  $\varphi_{cl}$  と  $V_{cl}$  の組合せと、予め設定した衝突リスクの高低を判別する判別式を図 D.3 に示す。中央線通過時の運転行動指標を直接用いた場合と比較すると判別率は低下したが、衝突リスクの判別率は 85% を超えており、高い精度で運転行動を判別することができた。このことより、横断歩行者に対する衝突リスクは、中央線通過時の運転行動に基づいてではなく、それよりも手前の操舵を開始した時点で予測できることがわかった。実験 A の設定では、運転行動の衝突リスクの高低の判別が中央線に到達するよりも平均で 1.28 秒 ( $SD = 0.29$  秒) 前に実施できた。ドライバが中央線から横断歩道に到達するまでの時間は平均で 2.76 秒 ( $SD = 0.47$  秒) であることから、操舵開始時に衝突リスクを予測することにより、中央線通過時に予測する場合と比較して運転支援の判断や実行に充てられる時間を約 50% 延長することができる。

Table D.1 Property of multiple linear regression equations for driving behavior indices based on driving behavior of estimation events

Dependent variable	Estimation event	Independent variable			$R^2_{adj}$
		$D$	$V$	$a$	
$\varphi_{cl}$	BS	×	✓	✓	0.06
	SS	✓	✓	✓	0.89
	SP	×	✓	✓	0.04
$V_{cl}$	BS	×	✓	✓	0.50
	SS	✓	✓	✓	0.90
	SP	×	✓	✓	0.17

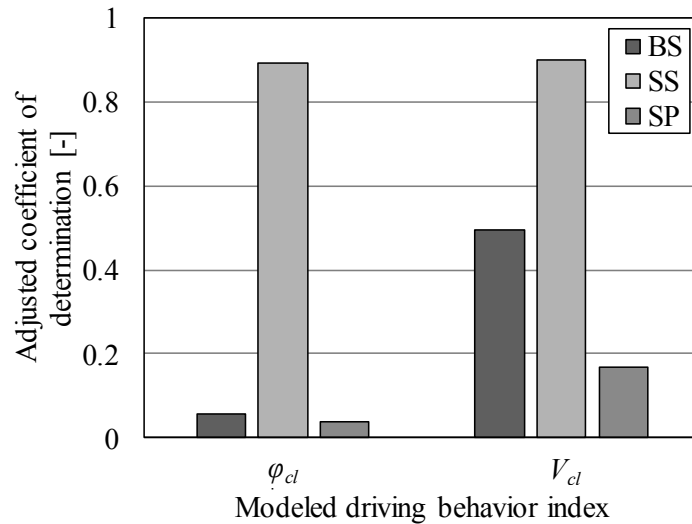


Fig. D.2  $R^2_{adj}$  of multiple linear regression equations for driving behavior indices based on driving behavior of estimation events



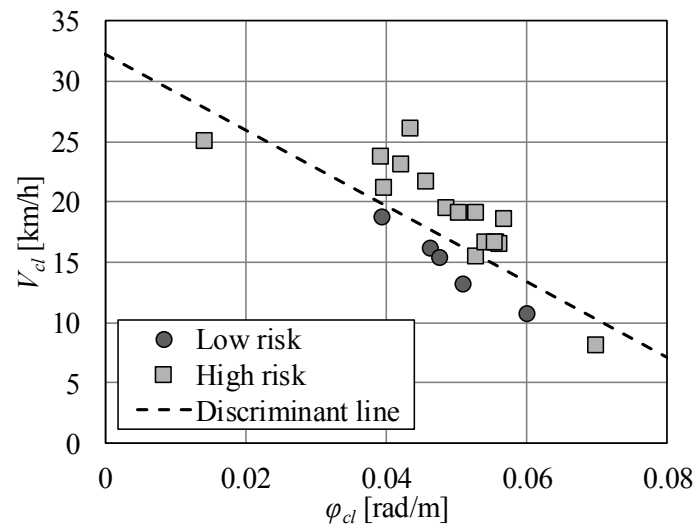


Fig. D.3 Relation between  $\varphi_{cl}$  and  $V_{cl}$  estimated based on driving behavior of SS event with discriminant line

## D.3 考察

前項の結果より、交差点右折において操舵開始イベントがドライバーにとって意味のあるイベントであることがわかった。ドライバーが操舵を開始したということは車両を右折先に向かわせており、このような操作は将来の目標地点を設定せずには出来ない。そのため、ドライバーは操舵開始時には定まった目標地点があると考えられ、このような特徴のあるイベントであるため、次の中央線通過時の運転行動指標を予測するのに有効であったと推察できる。これに対してブレーキ開始イベントおよび停止線通過イベントはいずれも有効ではなかった。ブレーキ開始イベントについては、ドライバーのブレーキ操作と関連するため、操舵開始イベントと同様に将来の行動と関連すると想定した。ブレーキを踏むという行動は交差点に到達する前に速度を低くするためであるが、ここで設定する速度目標はあくまでも習慣的なものであり、操舵と比べると曖昧な目標であると考えられる。図 D.4 にブレーキ開始イベントの車両挙動を説明変数とし、停止通過時速度 ( $V_{sl}$ ) と中央線通過時速度 ( $V_{cl}$ ) を目的変数として算出した重回帰式の  $R_{adj}^2$  を示す。交差点右折の行動を象徴する  $V_{cl}$  と比較して  $V_{sl}$  の  $R_{adj}^2$  が高いことから、ドライバーは右折するためではなく、交差点への接近に合わせて減速していたと考えられる。

前項の結果は交差点右折走行中の操舵開始時に運転支援を実行できることを示している。しかし、図 D.3 に示したように3名のドライバーを誤って判別しており、いずれも衝突リスクの高い運転であるのにも関わらず、低く判別された。このような場合には操舵開始時の車両挙動に基づいた運転行動指標の推定では、運転支援を判断できない。ただし、この3名の運転行動は、中央線に近づくにつれて推定した運転行動から逸脱し、衝突リスクの高い運転になっていくことが予想される。本付録で示したように、操舵開始時の車両挙動に基づいて中央線通過時の指標が推定できたことから、この区間における連続的な運転行動モデルを構築できる可能性がある。このような運転行動モデルを構築できれば、運転行動の衝突リスクの高低は、特定のイベントに基づいてではなく、様々なタイミングで理想的な運転行動と計測された運転行動を比較することにより判別でき、運転行動の誤判別を低減できると考えられる。

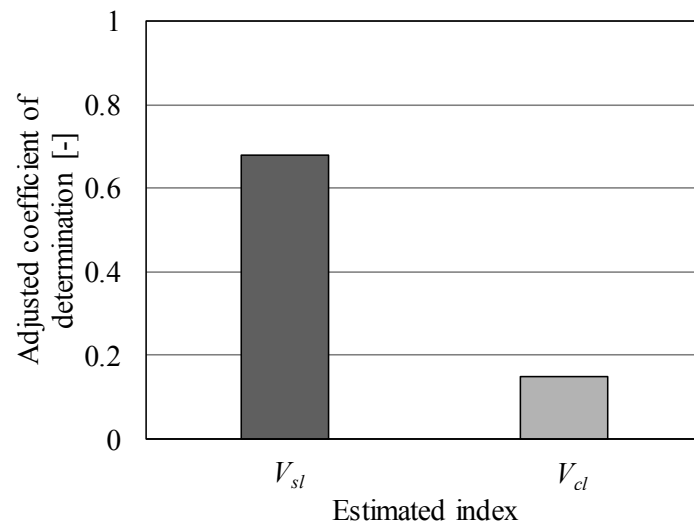


Fig. D.4 Estimation of  $V_{sl}$  and  $V_{cl}$  based on driving behavior of BS event