

車と道路の照明協調に関する研究調査  
報告書

平成 26 年 3 月

車と道路の照明協調に関する研究調査  
委員会

一般社団法人照明学会

# 目次

章	節	項	細目	タイトル	頁
<b>1</b>				<b>はじめに</b>	<b>1</b>
	1.1			委員会の設立主旨と活動成果の概要	1
	1.2			委員会の構成	1
	1.3			活動スケジュールと内容（車と道路の照明協調に関する研究調査委員会）	3
	1.4			活動経緯（車と道路の照明協調に関する研究調査委員会）	3
<b>2</b>				<b>取り巻く環境；夜間交通事故の現状</b>	<b>5</b>
	2.1			交通事故の現状と特徴	5
		2.1.1		近年の夜間事故状況の推移	5
			2.1.1.1	死傷事故件数，死亡事故件数の推移	5
			2.1.1.2	昼夜間死亡事故率の推移	5
			2.1.1.3	事故類型別に見た事故状況	6
			2.1.1.4	交差点および交差点付近での事故件数	8
			2.1.1.5	道路横断中の事故件数	8
		2.1.2		現在の交通事故の特徴	9
			2.1.2.1	事故類型別の交通事故状況	9
			2.1.2.2	時間帯別の交通事故状況	10
			2.1.2.3	横断中の事故状況	12
			2.1.2.4	高速道路等の交通事故	15
		2.1.3		欧米諸国と日本との比較	17
		2.1.4		トンネル区間の交通事故の特徴	17
		2.1.5		夜間の交通事故状況についてのまとめ	18
			2.1.5.1	全体的傾向	18
			2.1.5.2	一般道	18
			2.1.5.3	高速道路	18
			2.1.5.4	トンネル	19
	2.2			交通事故関連研究事例紹介	20
		2.2.1		日没前後の交通事故分析	20
			2.2.1.1	活用した交通事故データ	20
			2.2.1.2	太陽位置の表現方法と算出方法	20
			2.2.1.3	分析方法	20
			2.2.1.4	全交通事故の分析結果	20

2.2.2	乱横断者の横断実態調査	24
2.2.2.1	目的	24
2.2.2.2	調査概要	24
2.2.2.3	乱横断と接近車両との時空間分析	26
2.2.2.4	まとめ	29

章	節	項	細目	タイトル	頁
		2.2.3		ドイツと日本の交通環境の比較	30
		2.2.3.1		調査地域とその調査項目・内容	30
		2.2.3.2		調査結果 1 ; 国土・集落（居住）地域特性	31
		2.2.3.3		調査結果 2 ; 居住地域外の交通視環境と交通状況	32
		2.2.3.4		調査結果 3 ; 居住地域内の交通視環境と交通状況	34
		2.2.3.5		調査結果 4 ; 日独の交通規制と運転者行動	36
		2.2.3.6		まとめ ; 交通事故低減に向けて	37
		2.2.4		夜間の視環境条件が運転者の歩行者視認性に及ぼす影響の評価	38
		2.2.4.1		はじめに	38
		2.2.4.2		実験の概要	38
		2.2.4.3		各視環境条件における評価	39
		2.2.4.4		各視環境条件による回帰分析	40
		2.2.4.5		おわりに	41
	2.3			まとめと課題	42
		2.3.1		まとめ	42
		2.3.2		課題	42
<b>3</b>	<b>技術動向</b>				<b>44</b>
	3.1			車社会の進展	44
		3.1.1		車社会の進展 1 ; ITS 進展と交通社会の将来イメージ	44
		3.1.1.1		2030 年の交通社会	44
		3.1.1.2		ITS の新たな動き	45
		3.1.1.3		自動運転システム	46
		3.1.2		車社会の進展 2; ITS と道路交通情報	49
		3.1.2.1		ITS のための路車間無線通信システム	49
		3.1.2.2		カーナビと VICS	49
		3.1.2.3		プローブ情報	49
		3.1.2.4		道路交通量データ	49

	3.1.2.5	照明と無線通信の協調システム	50
	3.1.3	車社会の進展 3 ; 超小型自動車の開発動向	51
	3.1.3.1	主要国の自動車の電動化の動き	51
	3.1.3.2	超高齢社会での高齢者の自動車への期待	52
	3.1.3.3	事故による高齢者死亡の増加, 及び悲惨な事故	52
	3.1.3.4	今後の技術開発・ビジネス展望	54
	3.1.4	車と道路の照明協調システムの研究動向	55
3.2		視認性評価技術	57
	3.2.1	道路照明における視認性	57
	3.2.1.1	視認性の評価指標	57
	3.2.1.2	視認性の評価指標に関する考察	59

章	節	項	細目	タイトル	頁
		3.2.2		自動車前照灯とトンネル照明の融合時の視認性評価	61
			3.2.2.1	自動車前照灯を考慮した視認性評価	61
			3.2.2.2	トンネル照明の照明方式	62
			3.2.2.3	自動車前照灯及びトンネル照明灯の光学特性	63
			3.2.2.4	総視認率による視認性評価	65
			3.2.2.5	考察	69
		3.2.3		写真測光による道路照明環境評価について	71
			3.2.3.1	写真測光によるグレア評価について	71
				①グレアと等価光幕輝度	72
				②写真測光による等価光幕輝度の測定原理	72
				③基礎実験による等価光幕輝度の測定精度の検証	73
				④写真測光ソフトの概要	75
				⑤実フィールドでの測定結果	75
				⑥活用事例	76
				⑦まとめ	77
			3.2.3.2	動画像解析を用いた路面輝度解析システムについて	77
		3.2.4		薄明視測光システムについて	80
3.3				車載技術動向	82
		3.3.1		車載安全技術の全体像	82
			3.3.1.1	車載安全技術の枠組みと予防安全技術	82
			3.3.1.2	予防安全を支えるセンサ技術	83
			3.3.1.3	予防安全を支える車載ネットワーク	83

3.3.2	自動車用前照灯に関する法規	84
(1)	欧州型配光の法規	84
(2)	北米型配光の法規	86
(3)	法規動向	87
3.3.3	前照灯用光源および前照灯の技術動向	88
(1)	前照灯用光源の技術動向	88
(2)	前照灯の技術動向	89
3.3.4	車載信号・表示装置の開発動向	92
(1)	Emergency stop signal Lamp	92
(2)	レーザ触覚衝突緩和システム	93
(3)	リアランプによる追突防止と車車間通信	94
(4)	二輪車の近接状態表示ランプ	94
(5)	フロントパネル発光	95
3.4	道路照明技術	96
3.4.1	道路照明に関する規格・基準（海外を含めて）	96
3.4.1.1	道路照明に関する国内基準	96
3.4.1.2	道路照明に関する海外基準	97
3.4.1.3	道路照明の整備における課題	98

章	節	項	細目	タイトル	頁
		3.4.2		道路照明の光源技術動向	99
		(1)		道路照明	99
		(2)		トンネル照明	99
		3.4.3		道路照明（連続照明）	102
		3.4.3.1		連続照明の設置目的と要件	102
		3.4.3.2		連続照明方式	102
		3.4.3.3		照明器具	104
		3.4.3.4		電源装置	105
		3.4.3.5		照明システム	106
		3.4.4		局部照明①（交差点照明，横断歩道の照明）	107
		3.4.4.1		交差点照明と横断歩道照明の設置目的	107
		3.4.4.2		照明の要件	107
		3.4.4.3		照明水準について	111
		3.4.4.4		交差点照明の動向	112
		3.4.5		局部照明（インターチェンジ，料金所広場，休憩施設）	114
		3.4.5.1		インターチェンジ	114

3.4.5.2	料金所広場	114
3.4.5.3	休憩施設	115
3.4.6	トンネル照明	116
3.4.6.1	トンネルの特殊性	116
3.4.6.2	トンネル照明の構成	116
3.4.6.3	照明方式	118
3.4.6.4	トンネル照明の制御	119
3.4.6.5	新しい光源によるトンネル照明	119
3.4.7	道路・トンネル照明の展望	120
(1)	道路照明に関する規格・基準	120
(2)	光源技術	121
(3)	道路照明技術（連続照明）	121
(4)	局部照明技術（交差点，横断歩道）	122
(5)	局部照明技術（IC，料金所，休憩施設）	122
(6)	トンネル照明技術	122
3.5	まとめと今後の課題	124

## 4 車と道路の照明協調システム 125

### 4.1 道路照明 125

#### 4.1.1 交通と道路照明 125

4.1.1.1 交通量に応じて配光切り替える道路照明システム 126

4.1.1.2 車両の有無を検知して調光する道路照明システム 126

4.1.1.3 車両走行速度に応じて外側線を投影する照明システム 127

4.1.1.4 照明器具に注意喚起用光源を内蔵する道路照明システム 127

章	節	項	細目	タイトル	頁
		4.1.2		環境と道路照明	127
			4.1.2.1	雨天時に配光特性を可変できるシステム	127
			4.1.2.2	低視程時に道路境界を表示するシステム	128
			4.1.2.3	事故発生率の高い「日没直後」における道路照明制御	128
		4.1.3.		前照灯との協調による道路照明	129
			4.1.3.1	総視認率を高い水準で維持するシステム	129
			4.1.3.2	暗視装置の補助光となる近赤外線放射を含むシステム	129
	4.2			局部照明	130
		4.2.1		交差点照明の配光切替システム	131
		4.2.2		交差点照明の照度調整システム	131

4.2.3	自動車前照灯の自動消灯システム	131
4.2.4	路車間通信による交差点における歩行者存在情報伝達システム	132
4.3	トンネル照明	133
4.3.1	交通量に応じて照明方式を切り替えるシステム	133
4.3.1.1	対称照明とプロビーム照明を切り替えるシステム	133
4.3.1.2	前照灯とトンネル照明の照明効果を融合可能なシステム	134
4.3.1.3	基本部光量を交通量で調光するシステム	135
4.3.2	トンネル内走行車両に注意喚起を行うシステム	135
4.3.2.1	トンネル内速度急変箇所追突防止照明システム	135
4.3.2.2	トンネル内事故発生箇所の視覚的伝達システム	136
4.3.2.3	運転者に速度超過や速度不足を伝えるシステム	136
4.3.2.4	トンネル内のプロジェクションマッピングシステム	136
<b>5</b>	<b>おわりに</b>	137
5.1	本委員会立ち上げ経緯のレビュー	137
5.2	本委員会立ち上げの活動目的と目標	137
5.3	本委員会の活動結果と成果	138
5.4	今後の課題	139
付録資料 1	『第9次交通安全基本計画』	140
付録資料 2	『JAF（一般社団法人日本自動車連盟）の提言』	142

# 1 はじめに

## 1.1 委員会の設立主旨と活動成果の概要

日本では、平成20年以降、歩行中の死亡者数が、自動車運転中を抜いてトップとなっており、歩行中の死亡事故の約7割が夜間に発生している。夜間の歩行者事故は、ドライバーの見落としによって起きる場合が多く、夜間の視環境の改善が必要である。そのため、交差点照明の改善や都市内の道路照明の設置などの改善対策が実施されている。しかし、夜間における歩行者の被視認性を高めるなど、安心かつ安全な道路環境に資するトータル照明システムに関する画期的かつ斬新な技術は生まれていない。

本研究調査委員会は、安心かつ安全な道路環境に貢献するトータル照明システムの技術革新を促すことを目的とし設立された。具体的には、交通視環境から見た交通事故の特徴、夜間の視認性評価技術の動向、道路照明および自動車用前照灯の過去から現在に至る技術動向などに関する調査を行い、固定照明（道路照明）と移動照明（前照灯）のお互いの短所を補完し、夜間の交通事故を軽減する照明協調技術を提案することを目指している。

最初に、研究の背景として、交通視環境に起因する交通事故の特徴を把握した。主に、交通事故統計を基に夜間の歩行者事故を分析するとともに、横断歩行者に関連する調査研究事例を加え、夜間の歩行者の被視認性改善の必要性を明らかにした。

次に、路車間の照明協調に関連する自動車の技術動向について調査した。具体的には、自動車の予防安全、前照灯、自動運転、路車間通信、超小型モビリティ、車と道路の照明協調システムについての技術動向をレビューした。車両の予防安全技術はドライバーの視覚能力を超える安全につながる手段に向かっていること、前照灯の技術動向として道路および交通状況に対応した配光システムを実現していることなどを示した。

第3に、道路照明に関する技術動向を明らかにした。道路照明における視認性の定義を最初に記述し、視認性評価・視環境計測・道路照明に関する技術動向を調査した。最新の視認性評価手法の一つとして、シルエット視と（前照灯を含めた）逆シルエット視を考慮した総視認率を詳しくレビューした。次に、道路照明に係る基準、光源、連続照明、局部照明（交差点、横断歩道、料金所等）、トンネル照明について変遷・現況を概説した。また、視認性評価手法の進展から、視認に関する性能を高めつつ照明に必要なエネルギーや光の拡散を抑止する新しい照明方式が実現されつつあることを示した。

第4に、道路、交差点およびトンネル施設を対象に、前照灯と道路照明の近年の動向を踏まえた車と道路照明の協調システム案を提案した。ここで取り上げる照明協調のシステム案は、LED照明の特性を活かし、交通事故対策・渋滞対策・運転者のストレス回避などをねらいとした。

最後に、これらの調査成果から、固定照明と移動照明の照明協調を例とし、安心かつ安全な道路環境に貢献するトータル照明システムの技術革新とインフラ整備が必要であることを提言としてまとめた。

（文責：萩原 亨）

## 1.2 委員会の構成

委員会委員の役職・氏名並びに勤務先・所属を表1に示す。各種研究機関・大学・民間企業から道路交通研究者、交通事故研究者、自動車技術者、道路照明技術者、前照灯技術者が委員として研究調査活動に参加した。

表1 車と道路の照明協調に関する研究調査委員会名簿（平成26年3月末現在）

役職	氏名	勤務先・所属
委員長	萩原 亨	北海道大学 大学院工学研究院 教授
幹事	小林 正自	HCL 研究企画
委員	明石 行生	福井大学 大学院工学研究科建築建設工学専攻 教授
委員	安藤 和彦	(一財)土木研究センター 道路研究部 部長
委員	池原 圭一	国土技術政策総合研究所 道路研究部道路空間高度化研究室 主任研究官
委員	石田 裕之	(株)小糸製作所 研究所研究1G 主管
委員	小山 敏	(一社)電波産業会 研究開発本部 ITS グループ 主任研究員
委員	斎 尚樹	(株)因幡電機製作所 照明事業部羽曳野工場技術開発グループ
委員	内田 信行	(一財)日本自動車研究所 安全研究部予防安全グループ 主席研究員
委員	江湖 俊介	岩崎電気(株) 営業技術部 照明研究課長
委員	斉藤 孝	パナソニック(株) エコソリューションズ社ライティング事業グループ参事
委員	嵯峨根義行	建設電気技術協会 建設電気技術研究所 技師長
委員	坂本 正悦	西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 顧問
委員	中田 圭裕	パシフィックコンサルタンツ(株) エンジニアリング部 技術課長
委員	津川 定之	名城大学 理工学部情報工学科 教授
委員	塚田 敏彦	(株)豊田中央研究所 情報・通信研究部光応用研究室 主任研究員
委員	土居 俊一	香川大学 工学部交通予防安全コンソーシアム 顧問
委員	萩尾 朋和	(株)高速道路総合技術研究所 施設研究部施設研究室
委員	萩田 賢司	科学警察研究所 交通科学部交通科学第一研究室 主任研究官
委員	浜岡 秀勝	秋田大学 工学資源部土木環境工学科 教授
委員	樋口世喜夫	早稲田大学 環境総合研究センター参与&日中自動車交流協会 理事長
委員	平川 恵士	西日本高速道路(株) 技術本部技術統括課 課長代理
委員	平山 智良	日鐵住金建材(株) ポール商品事業部門 シニアマネージャー
委員	古川 一茂	星和電機(株) 生産本部照明事業部 技術部技術課 課長
委員	皆川 考司	東芝ライテック(株) 商品統括部施設・屋外照明部 屋外照明担当参事

(文責：小林 正自)

### 1.3 活動スケジュールと内容

委員会の活動スケジュールを図1に示す。

活動は平成24年度から平成25年度の2年間実施し、その間、研究調査委員会は年4回・計8回開催した。

当該委員会には道路交通、交通事故、自動車照明そして道路照明という研究分野の異なる委員が多く参加している。そこで研究調査活動は委員の研究活動の相互理解を図りながら実施した。具体的には各委員会の議題討議の他に、毎回2名の委員に委員が学会などで研究発表した内容を話題提供&研究事例として報告するようにした。

また、委員会で研究調査項目が決定した未調査の研究調査課題については、分科会を組織し、調査検討を実施した。

	H24年度(2012)				H25年度(2013)			
活動計画の立案	→							
話題提供&研究事例報告		→						
調査項目選定と調査		→						
分科会活動			調査検討	→				
				まとめ	→			
報告書の作成						→		

図1 委員会の活動スケジュール

### 1.4 活動経緯

2年間計8回の委員会において討議した議題及び話題提供・研究事例紹介を以下に記す。

#### 第1回委員会；2012.6.5(火) 13:30～17:00，照明学会第1会議室

議題1；委員長開会の挨拶，名簿確認と自己紹介

議題2；当該委員会（車と道路の照明協調）を取り巻く環境と活動計画案について

議題3；当該委員会に関わる活動内容，方針，進め方等に関する協議

話題提供・研究事例紹介1；交差点における横断歩行者の視認性について（江湖委員）

話題提供・研究事例紹介2；太陽の眩しさが歩行者事故に与えた影響（萩田委員）

#### 第2回委員会；2012.9.25(火) 13:00～17:00，照明学会第1会議室

話題提供・研究事例紹介1；生活道路で求められる人とクルマの共生（樋口委員）

話題提供・研究事例紹介2；安心・安全の光とは（福多佳子氏；中島龍興照明デザイン）

協議事項1；今後の活動内容・計画と役割分担について（小林幹事）

協議事項2；知的財産（発明考案）と機密事項の取り扱いについて（小林幹事）

協議事項3；関連学会研究会（自技会 ITS 部会）との連携について（津川委員）

#### 第3回委員会；2012.12.11(火) 13:00～17:00（榊原電機製作所大阪本社会議室）

トピックス紹介；英国BBCで放映された路車協調照明&標示システムについて（小林幹事）

話題提供・研究事例紹介1；夜間における歩行者の視認性（河合委員）

話題提供・研究事例紹介2；小樽における乱横断の実態調査結果について（萩原委員長）

協議事項；車と道路の照明協調システムに関する総合討論「たたき台の説明」（小林幹事）

**第4回委員会；2013.3.8(火) 13:00～17:00 照明学会第1会議室**

トピックス紹介；Lighting Fair プレゼン内容の紹介と CIE 活動状況などの紹介 (斉藤委員)  
話題提供・研究事例紹介1；道路照明におけるプロビーム照明手法の実施例紹介 (皆川委員)  
話題提供・研究事例紹介2；道路照明の総視認率と視認性 (萩尾委員)  
協議事項；これまでの活動実績，次年度研究計画と進め方について (小林幹事)

**第5回委員会；2013.6.3(月) 13:30～17:00 照明学会第1会議室**

話題提供・研究事例紹介1；自技会歩行者の安心安全 ITS プレゼン内容の紹介 (萩原委員長)  
話題提供・研究事例紹介2；LED 道路照明装置 (斉委員)  
話題提供・研究事例紹介3；LED トンネル照明装置と第2 東名の低位置照明装置 (古川委員)  
話題提供・研究事例紹介4；交通事故の現状レビューと交通安全システム開発動向 (小林幹事)  
協議事項；車と道路の照明協調で取り上げる範囲

**第6回委員会；2013.9.3(月) 13:30～17:00 日本橋くりはらビル 2階ルビコン 201号室**

話題提供・研究事例紹介1；事故防止のためのドラレコ活用の視点  
招待講師 東京海上日動リスクコンサルティング(株) 主席研究員 北村氏  
話題提供・研究事例紹介2；安心安全のための自動車照明技術 (塚田委員)  
協議事項1；委員会報告書作成に関する協議  
協議事項2；公開シンポジウムの開催などについて

**第7回委員会；2013.12.3(月) 13:30～17:00 照明学会第1会議室**

話題提供・研究事例紹介1；日没前後の交通事故分析 (萩田委員)  
話題提供・研究事例紹介2；前照灯と道路・トンネル照明融合時の視認性評価 (平川委員)  
協議事項1；委員会報告書作成に関する協議  
協議事項2；公開シンポジウムの開催などについて

**第8回委員会；日時&場所；2014.3.11(火) 13:30～16:00 照明学会第1会議室**

話題提供・研究事例紹介；「車載カメラによる歩行者検知」  
招待講師 東大生産技術研究所 教授 上條氏  
協議事項1；委員会報告書の作成スケジュールについて  
協議事項2；H26 年度照明学会全国大会における公開シンポジウム開催について

(文責；小林正自)

## 2 取り巻く環境；夜間交通事故の現状

### 2.1 交通事故の現状と特徴

#### 2.1.1 近年の夜間事故状況の推移

全国における近年の夜間事故状況として、過去 11 年間（2001（平成 13）年～2011（平成 23 年））に着目し、交通事故統計<sup>1)~11)</sup>をもとに全体及び昼夜別交通事故についてみる。

なお、以下で示す死傷事故，死亡事故，事故類型，昼夜，道路構造，天候等の定義は，交通事故統計に基づいている。

##### 2.1.1.1 死傷事故件数，死亡事故件数の推移

図 2.1.1-1 は，過去 11 年間の事故の推移を示したものである。

この図から，死傷事故，死亡事故ともに着実に減少していることがわかる。

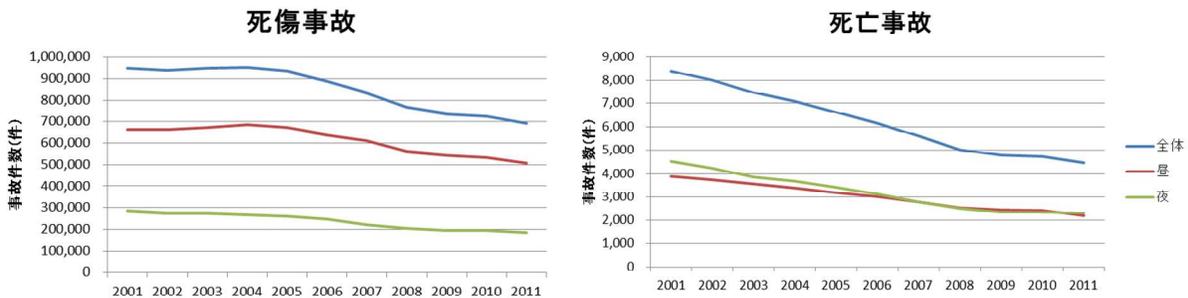


図 2.1.1-1 死傷事故件数及び死亡事故件数の推移

図 2.1.1-2 は，2001 年を 1 とし全体及び昼夜別の事故の増減割合を見たものである。昼間に比べ夜間の事故減少割合が比較的大きい。

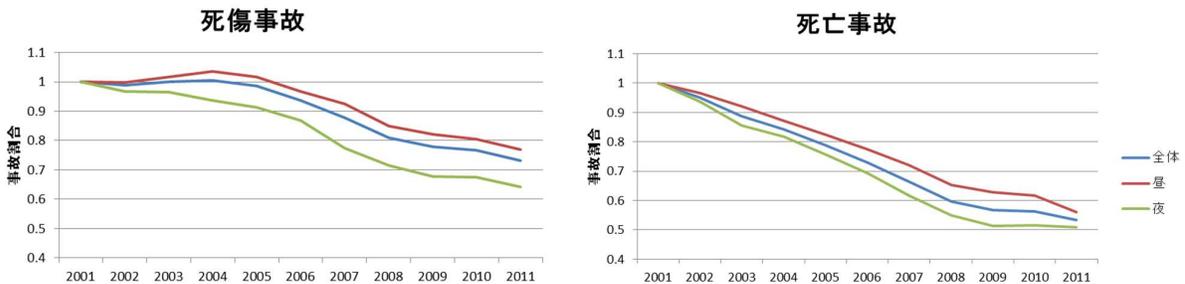


図 2.1.1-2 昼夜別死傷別及び死亡事故の増減割合の推移（2001 年件数 = 1）

##### 2.1.1.2 昼夜間死亡事故率の推移

死傷事故および死亡事故の昼夜別発生割合の推移を示したものが図 2.1.1-3 である。

死傷事故の昼夜別発生割合は 7:3 程度，死亡事故の昼夜別発生割合は 5:5 程度を推移している。

次に，事故発生により死亡に至る危険性を示す指標として，同じ抽出条件での死亡事故と死傷事故の比率を死亡事故率として以下の式により求めた。

$$\text{死亡事故率} = \text{死亡事故件数} / \text{死傷事故件数} \quad (\text{式 2.1.1})$$

死亡事故率を昼夜別に比較したものが図 2.1.1-4 である。夜間の死亡事故率は減少傾向にあるものの，夜間は昼間に比べて依然高い値を推移している。なお昼間の死亡事故率を 1 とした場合の夜間の死亡事故率の割合（夜間の死亡事故率 / 昼間の死亡事故率）を求めたところ，夜間は昼間の 2.7 倍程度の割合となっており，経年による変動は少ない結果となった。

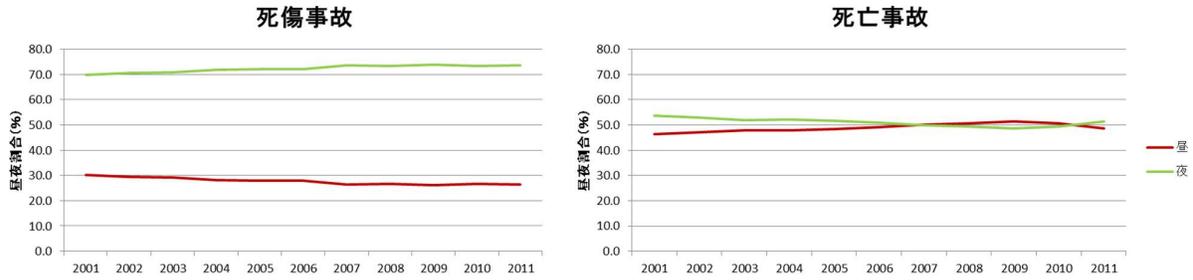


図 2.1.1-3 死傷事故及び死亡事故の昼夜別発生割合

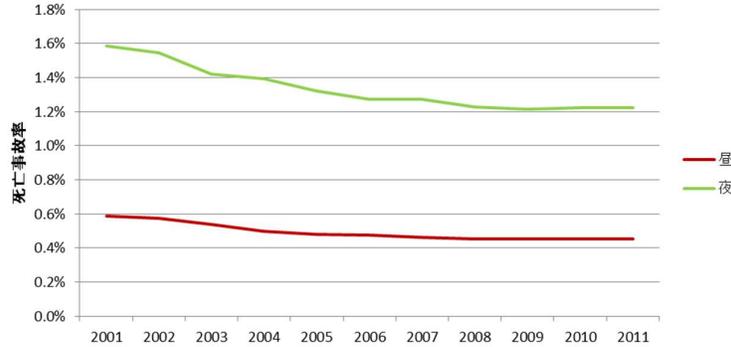


図 2.1.1-4 昼夜別死亡事故率の推移

### 2.1.1.3 事故類型別に見た事故状況

事故類型別の事故発生状況について比較したものが図 2.1.1-5, 図 2.1.1-6 である。

これらの図を見ると、死傷事故では昼夜とも車両相互事故が大幅に減少し、これが近年の事故数の減少に大きく寄与していることがわかる。

同様に死亡事故でも車両相互事故の減少は大きいですが、夜間の人対車両の事故減少割合が、他の類型と比べ比較的少ない。これを死亡事故率で比較すると（図 2.1.1-7）、夜間の人対車両事故は他の類型に比べて事故が起こると死亡事故に至る危険性が高いことがわかる。また車両単独事故が全事故に占める割合は、一度減少する傾向がみられたものの、ここ数年再度増加してきている。

次に、事故類型別の死亡事故割合について見たものが図 2.1.1-8 である。昼間は、車両相互事故が 6 割程度を占めている。一方夜間は、近年、人対車両の割合が増加している。

また、夜間の人対車両死亡事故に着目し、事故類型別に示したものが図 2.1.1-9 である。夜間の人対車両死亡事故では、事故件数自体は減少しているものの、横断中の事故が大半を占める傾向が続いている。

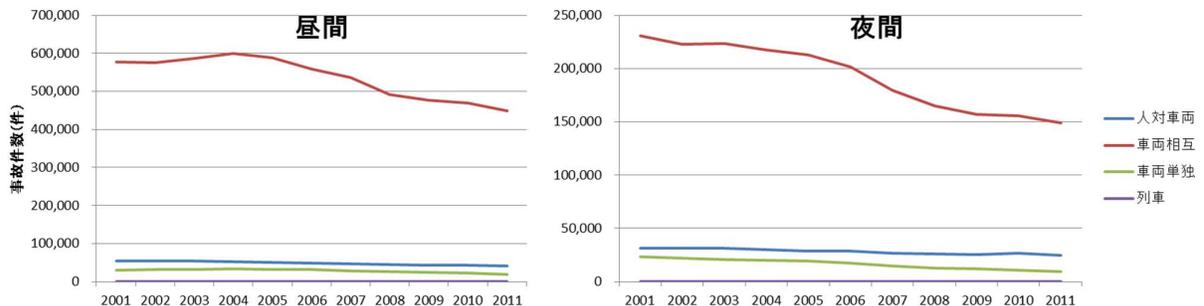


図 2.1.1-5 事故類型別死傷事故件数

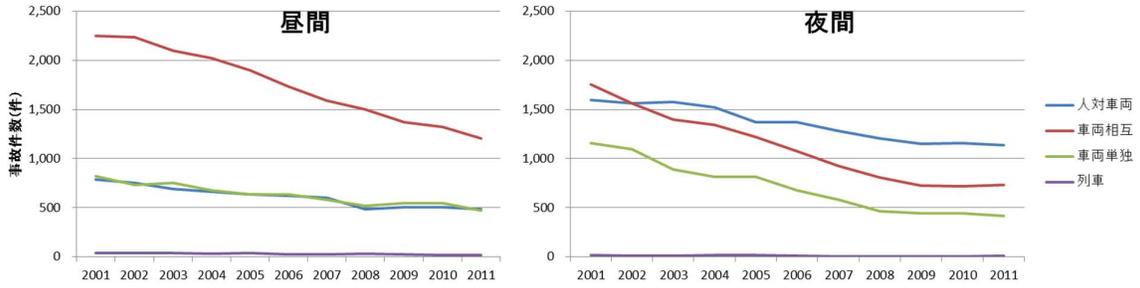


図 2.1.1-6 事故類型別死亡事故件数

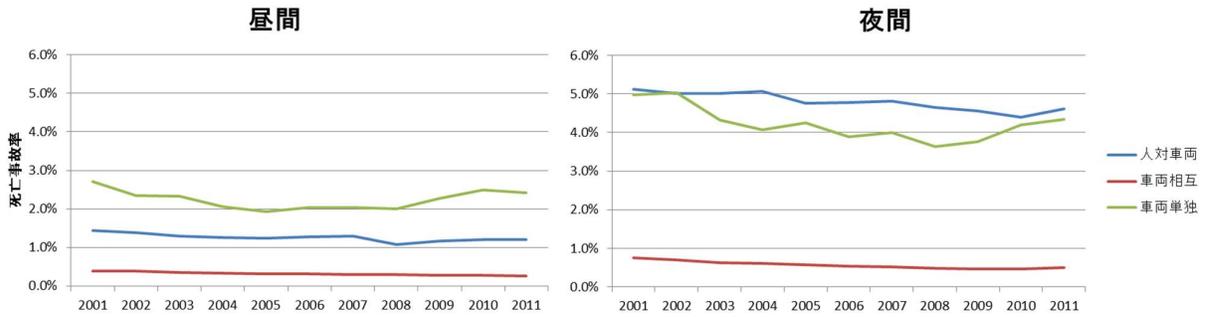


図 2.1.1-7 事故類型別死亡事故率

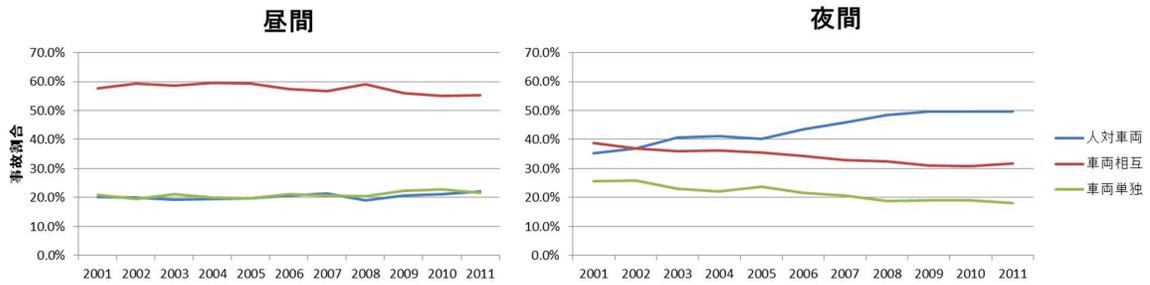


図 2.1.1-8 事故類型別死亡事故割合の推移

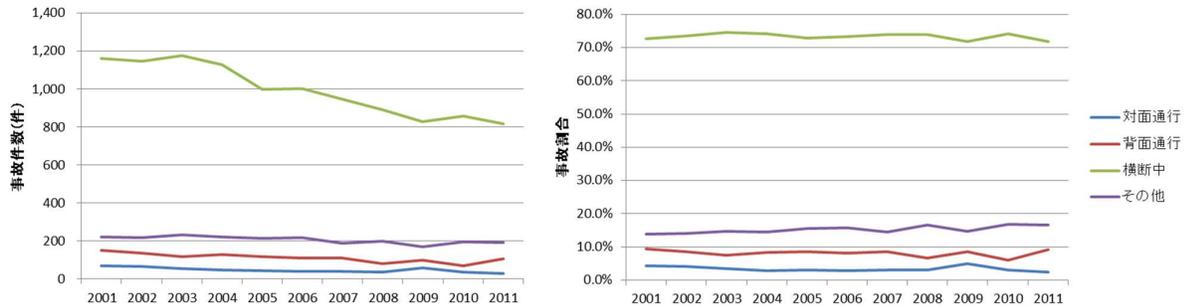


図 2.1.1-9 人対車両の死亡事故件数および事故割合の推移（夜間）

### 2.1.1.4 交差点および交差点付近での事故件数

人対車両の事故が発生しやすい交差点及び交差点付近の事故発生割合を示したものが図 2.1.1-10 である。

死傷事故では昼夜による割合の変化はほとんどなく、全体の事故件数の6割が交差点およびその付近で発生していることがわかる。死亡事故でも、5割程度の事故が交差点およびその付近で発生しており、交差点および交差点付近での事故対策が重要であるといえる。

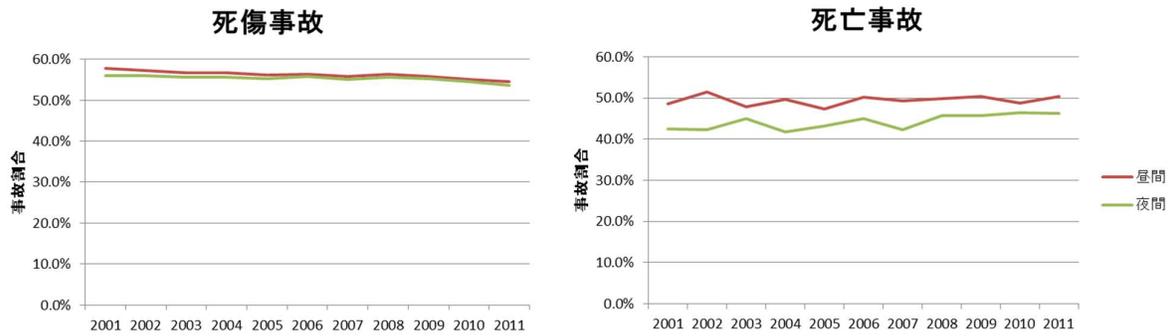


図 2.1.1-10 全事故に対する交差点および交差点付近での事故割合の推移

### 2.1.1.5 道路横断中の事故件数

近年事故割合が増加している人対車両事故のうち、最も事故割合の多い道路横断中の死亡事故に着目して昼夜別に整理したものが図 2.1.1-11 である。

昼間に比べて夜間の横断事故が多い。

また、昼間では「その他」と「横断歩道」横断中の事故がほとんどであり、夜間は「その他」横断中の事故が多数を占めている。

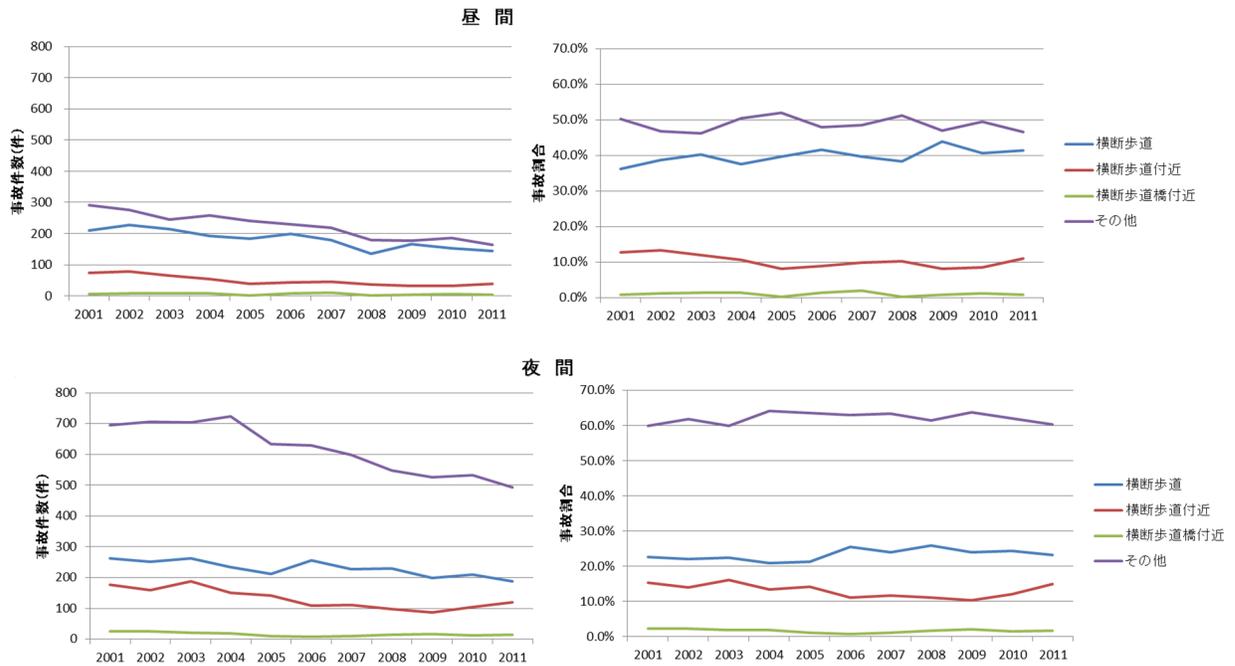


図 2.1.1-11 道路横断中の昼夜別死亡事故件数及び割合

## 2.1.2 現在の交通事故の特徴

### 2.1.2.1 事故類型別の交通事故状況

2011年における事故類型別の死傷事故、死亡事故について、同一類型での死傷事故全体に占める夜間事故の割合を示したものが図2.1.2-1である。

死傷事故では、夜間事故は昼夜全体の30%弱を占めているが、人対車両の事故が他の類型より若干多くなっている。

一方死亡事故は、死傷事故に比べ夜間の死亡事故割合が増加しており、特に、人対車両事故は夜間が7割を占めている。

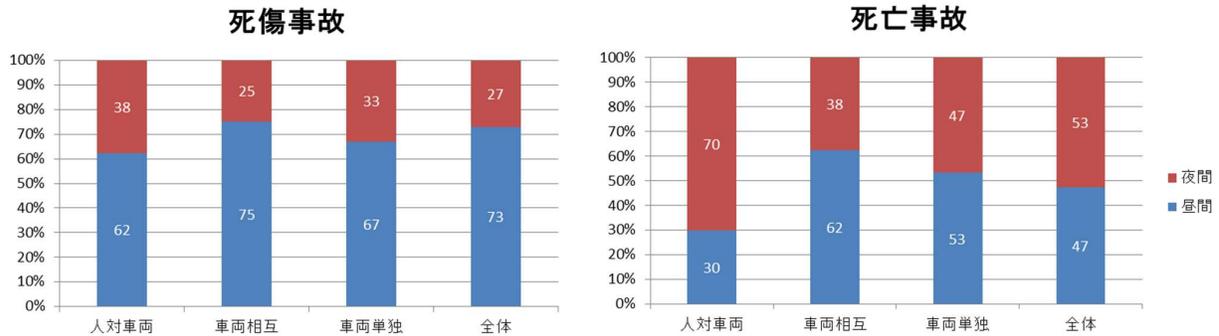


図 2.1.2-1 事故類型別の夜間事故割合

表 2.1.2-1 は、事故類型別で夜間事故の占める割合が事故全体での夜間事故割合(52.8%)を超える組み合わせについて、夜間事故割合の多い順に示したものである。

人対車両の事故が夜間に増加する傾向は、この表からも明かであり、車両単独事故の増加が次いで多い。

また夜間の人対車両事故では、車道通行中(特に背面通行中)の歩行者と車両との事故割合が非常に多くなっていること、事故件数ではその他横断中の件数が非常に多いことがわかる。

表 2.1.2-1 夜間事故が占める割合の多い類型別事故

事故類型			事故件数			夜間事故の占める割合
			昼	夜	合計	
全体			5542	6195	11737	52.8%
人対車両	背面通行	車道	17	99	116	85.3%
人対車両	対面通行	車道	5	25	30	83.3%
人対車両	横断中	横断歩道橋付近	3	14	17	82.4%
人対車両	横断中	横断歩道付近	39	121	160	75.6%
人対車両	横断中	その他	163	492	655	75.1%
車両単独	駐車車両	駐車車両	13	31	44	70.5%
人対車両	その他	その他	61	145	206	70.4%
車両相互	追突	進行中	59	114	173	65.9%
人対車両	路上停止中	路上停止中	16	30	46	65.2%
人対車両	背面通行	交差点内	2	3	5	60.0%
人対車両	横断中	横断歩道	145	189	334	56.6%
車両単独	工作物衝突	電柱	64	75	139	54.0%

### 2.1.2.2 時間帯別の交通事故状況

図 2.1.2-2 は、2011 年における時間帯別の交通事故発生状況を見たものである。

死傷事故では、8～10 時、16～18 時の二つにピークが見られる。通勤時間帯で交通量が多くなることが影響しているものと考えられる。一方死亡事故では、18～20 時にピークがあり、その他の時間帯との差は、死傷事故に比べて少ない。夕方薄暮時の視認性低下と通勤時間帯が重なることで重大事故が発生しやすくなることが推定される。これについては 2.2.1 節でさらに述べる。

図 2.1.2-3 は時間帯別の死亡事故率を示したものである。18 時頃から増加し始め、0～6 時に死亡事故割合は大きく増加している。

交通量の多い昼間時間帯には少ないことから、夜間の視認性低下と、交通量が減ることによる速度増加が影響している可能性が高い。

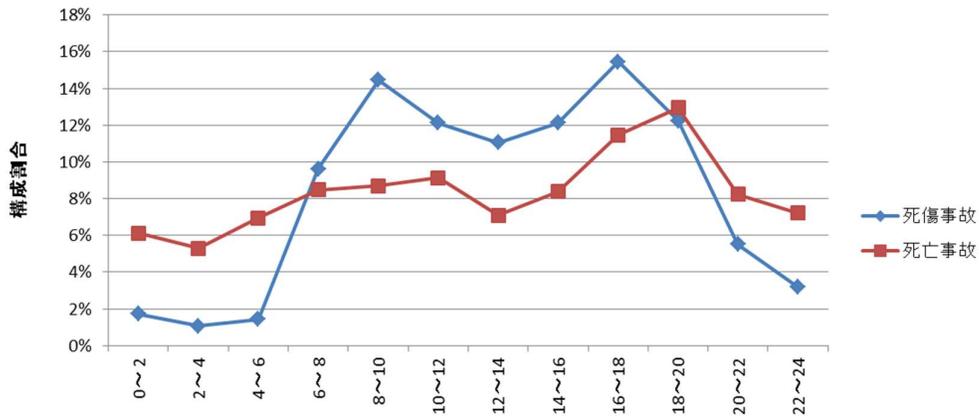


図 2.1.2-2 時間帯別の交通事故発生状況

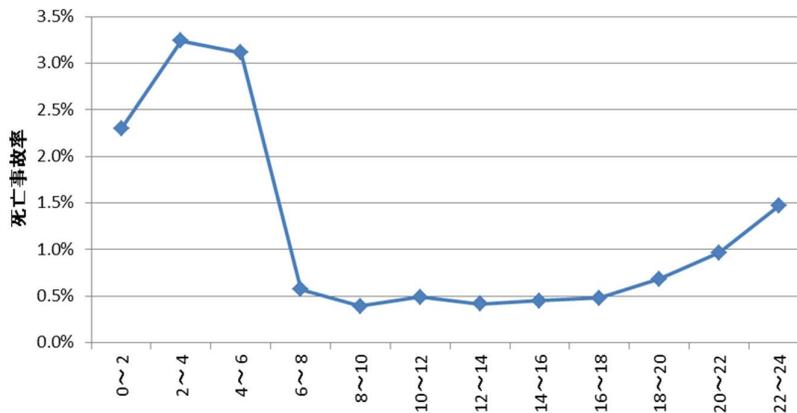


図 2.1.2-3 時間帯別の死亡事故率

図 2.1.2-4 は、15 歳以下の子どもの死傷者数を時間帯別に見たものである。

事故のピークが夕方に集中していることがわかる。朝の通学時間帯は集団登校することや、保護者等による交通整理など、安全に配慮した通学が行われるものの、夕方は帰宅時間帯が分散することや屋外での活動等が理由として考えられる。

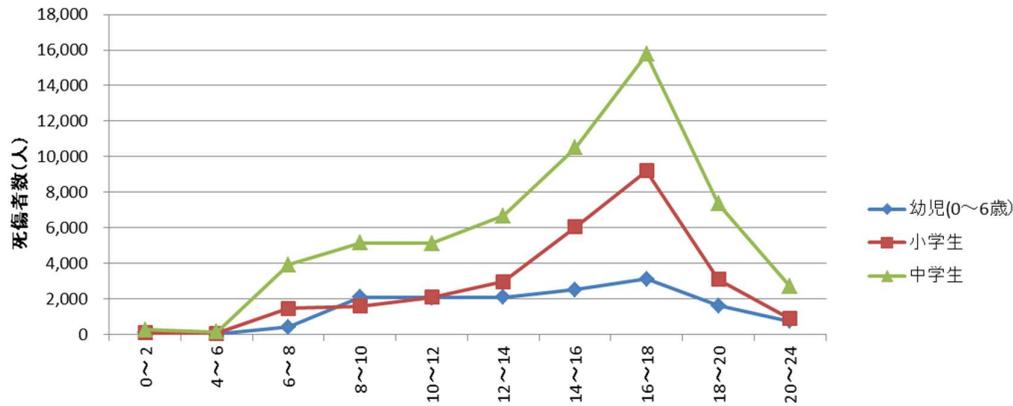


図 2.1.2-4 時間帯別の 15 歳以下の子どもの死傷者数

次に夕方の視認性低下に着目し、夕方の月別、時間帯別事故発生状況を、日の入り前後に分けて示したものが表 2.1.2-2 である<sup>12)</sup>。日の入り時刻は地域毎に異なってくるので、表では日本の経度の中央的な地域として名古屋の場合で区分している。なお表内の赤字は、各月別・時間帯別の最大値である。

表 2.1.2-2 時間帯別事故発生状況(16 時~21 時)<sup>12)</sup>

	時台	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
全 人 身 事 故 (件)	16	17615	17552	21339	21677	22310	22332	23794	22010	21360	22382	21838	21943
	17	<b>23606</b>	19906	<b>22441</b>	<b>23487</b>	<b>25064</b>	<b>25982</b>	<b>27822</b>	<b>25173</b>	<b>23683</b>	<b>30626</b>	<b>32846</b>	<b>32834</b>
	18	21374	<b>20569</b>	21994	19427	18745	19451	20676	19337	23679	28257	25558	25332
	19	14106	13804	13804	16820	16980	15863	14793	15464	16545	17019	15909	15878
	20	9578	9243	10876	10879	11433	11615	12331	11319	10500	10847	10667	10608
	21	8034	7545	9005	8825	9073	9132	9786	9515	8463	8964	8764	8944
死 亡 事 故 (件)	16	78	80	101	93	98	101	120	100	102	109	146	153
	17	<b>171</b>	102	90	92	77	87	103	107	104	<b>259</b>	<b>342</b>	<b>346</b>
	18	168	<b>172</b>	<b>206</b>	133	79	75	91	128	<b>182</b>	229	217	184
	19	115	126	169	<b>150</b>	<b>143</b>	<b>106</b>	140	<b>166</b>	145	139	149	128
	20	86	108	103	113	111	25	<b>142</b>	111	97	98	119	110
	21	105	80	134	116	110	90	120	127	86	127	98	115

凡例  

 赤字: 最大値

全人身事故は、昼間、夜間の別にかかわらず、ほとんどの月で 17 時台にピークがあり、16~18 時の時間帯が多い。しかし死亡事故では、日の入り時やその後の日没時間帯に多くなっている。

図 2.1.2-5 は、晴天時に日の入り時前後の照度の変化を計測した結果の例である。

日の入り時は 100lx 程度あったものが、急激に照度は低下し 40 分程度で夜間照度 (0.1lx) 程度に達している。日の入り後の照度変化時間帯として 20~30 分程度とする報告もある<sup>12),13)</sup>。従って死亡事故は、日の入り後の急激に照度が減少する時間帯 (数十分程度) に多発していることも考えられる。

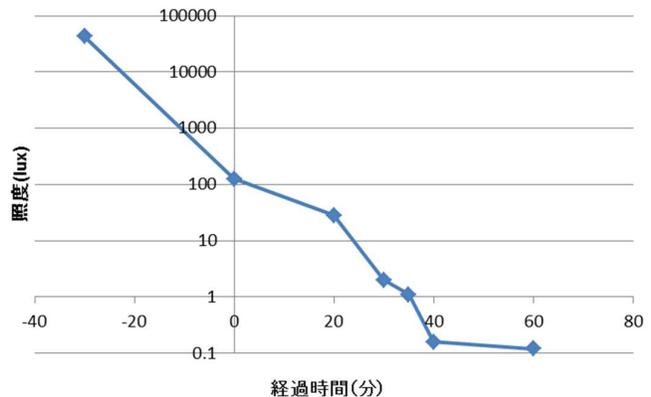


図 2.1.2-5 日の入り時からの経過時間と屋外照度との関係 (計測例)

### 2.1.2.3 横断中の事故状況

#### (1) 市街地/非市街地の道路幅員，年齢別

2011年の横断中の死亡事故件数を対象に，単路/交差点別，市街地/非市街地別の昼夜の傾向について，天候及び年齢層毎に整理した<sup>14)</sup>。

表 2.1.2-3 は天候別の夜間事故割合を示したものである。「晴・曇」及び「雨」ともに夜間事故割合が多く、「雨」では75.6%となる。一方で「霧」や「雪」は昼夜ともに事故の発生は少ない。

図 2.1.2-6 は全件数をプロットしたものである。最も件数が多いのは夜間の市街地であり，歩行者交通量が多いことなどが影響していると考えられる。また，夜間の非市街地は総じて歩行者交通量が少ないと想定されるものの，昼間の市街地と同程度の件数となっている。

表 2.1.2-3 天候別の夜間事故割合<sup>14)</sup>

	昼 (①)	夜 (②)	夜間事故の割合 ②/(①+②)
晴・曇	314	715	69.5%
雨	33	102	75.6%
霧	1	0	0.0%
雪	2	4	66.7%
合計	350	821	70.1%

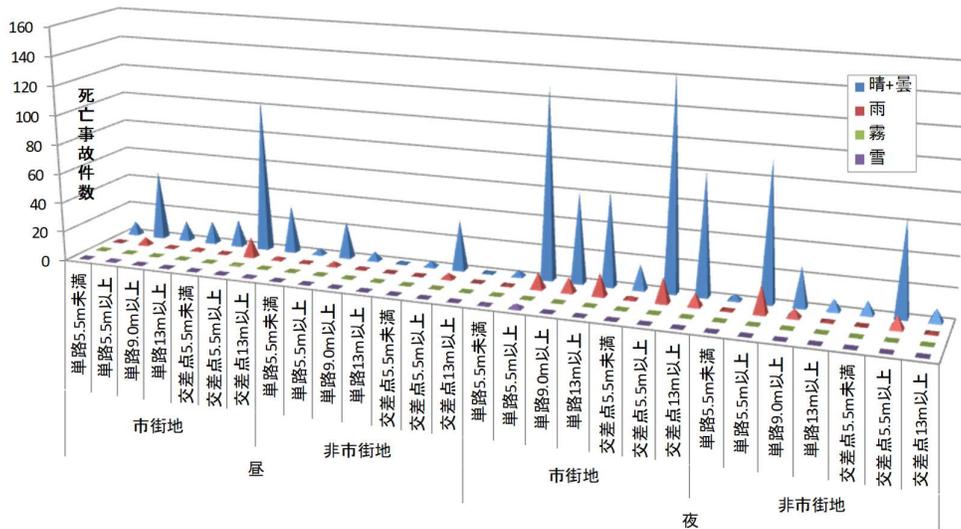


図 2.1.2-6 天候別の発生件数<sup>14)</sup>

表 2.1.2-4 は横断中の死亡事故を，横断歩行者の年齢層別に比較したものである。合計値で比較すると横断歩行者が高齢者である割合は73.6%となる。昼夜を比較すると昼に横断歩行者が高齢者である割合が多い。昼間は高齢歩行者の運動能力の低下などが事故の発生に影響していると考えられ，夜間はこれに加え視認性悪化も影響していると考えられる。

表 2.1.2-4 昼夜別の高齢者事故割合<sup>14)</sup>

		非高齢者 64歳以下 (①)	高齢者 65歳以上 (②)	高齢者事故割合 ②/(①+②)
単路	昼	29	105	78.4%
	夜	132	326	71.2%
交差点	昼	30	186	86.1%
	夜	118	245	67.5%
合計		309	862	73.6%

全件数のプロットとして単路を図 2.1.2-7 に、同じく交差点を図 2.1.2-8 に示す。単路の場合は夜間の市街地に次いで多いのが夜間の非市街地となり、交差点の場合は夜間の市街地に次いで多いのが昼間の市街地となっている。

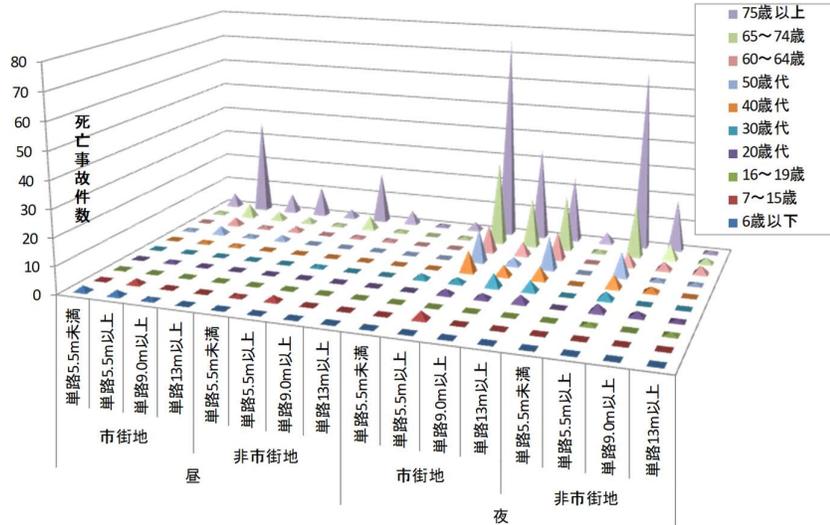


図 2.1.2-7 単路における年齢層別の発生件数<sup>14)</sup>

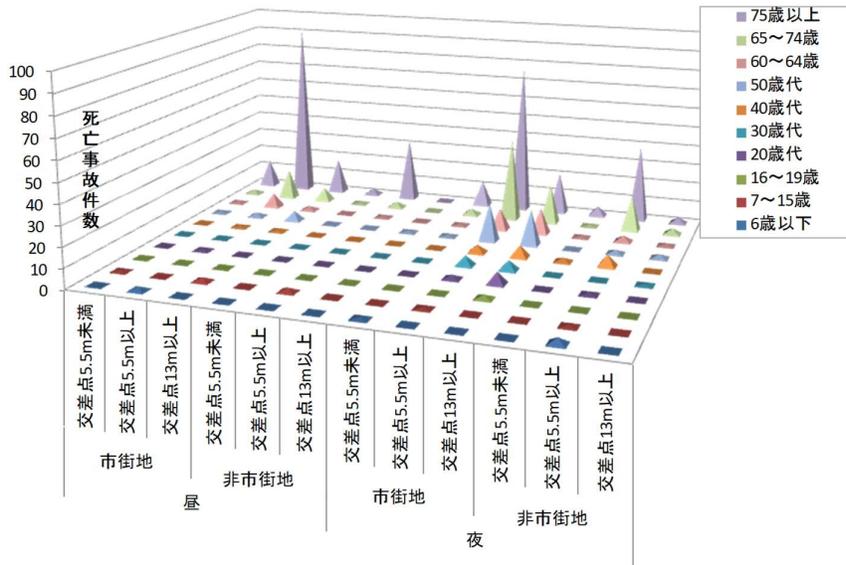


図 2.1.2-8 交差点における年齢層別の発生件数<sup>14)</sup>

## (2) 右折事故における歩行者・自転車の進行方向別割合

図 2.1.2-9 は、2007 年～2011 年の 5 年間のデータをもとに、交差点における右折車と歩行者または自転車が衝突した事故について、歩行者・自転車の進行方向別の割合を見たものである<sup>15)</sup>。

昼間は、対向、同方向ともに同程度の事故割合にあるが、夜間は同方向を進行する際の事故が増加していることがわかる。またこの割合は、歩行者、自転車ともにほぼ同等になっている。

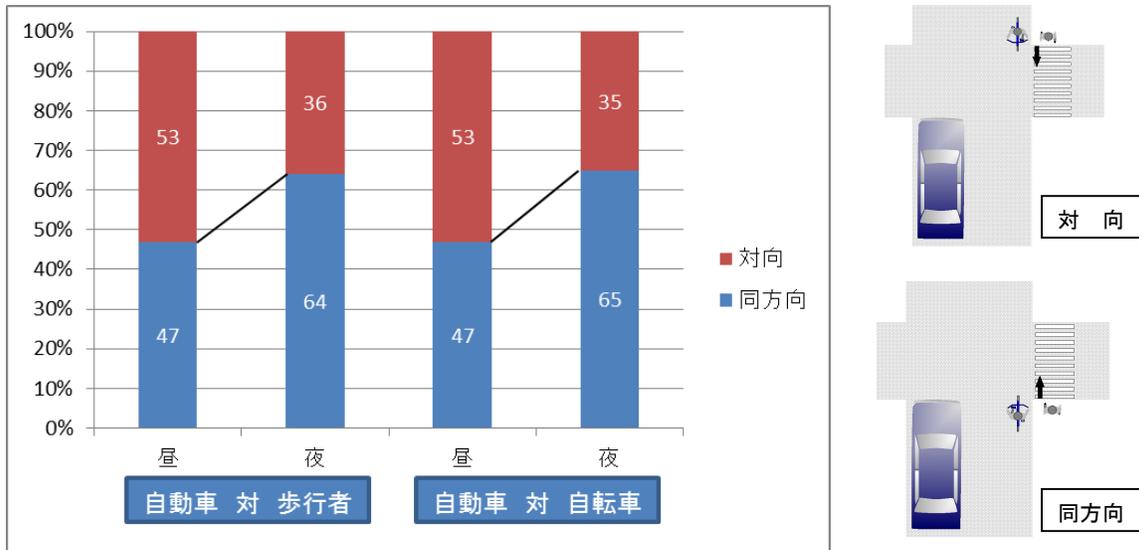


図 2.1.2-9 歩行者横断方向別の右折死傷事故割合<sup>15)</sup>

図 2.1.2-10 は、2009 年の事故データをもとに、自動車が交差点を直進するとき引き起こした人対車両の死亡事故について、自動車の進行方向に対して左から歩行者が進入した場合、右から進入した場合に分けて割合を示したものである<sup>16)</sup>。夜間になると、右から進入時の事故が 7 割を占めていることがわかる。

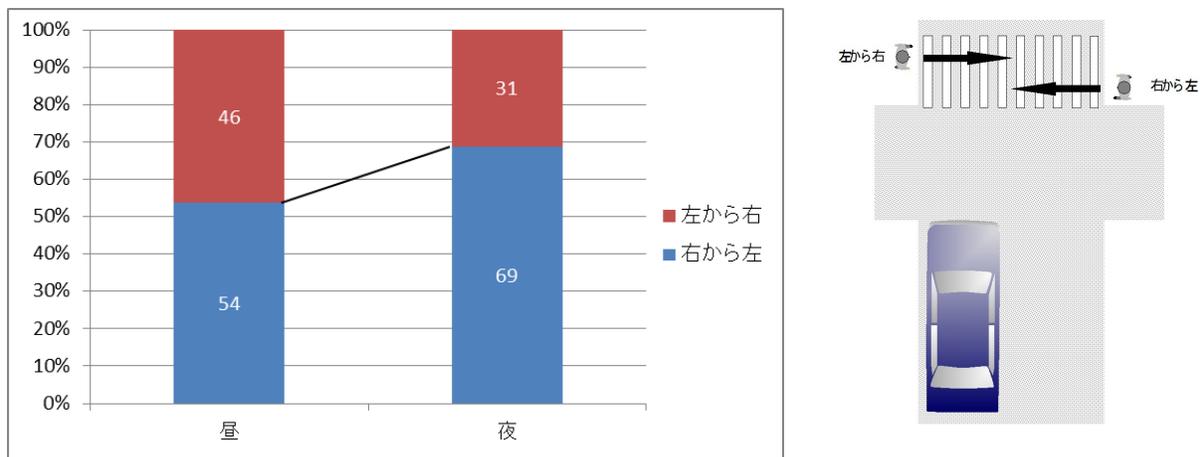


図 2.1.2-10 自動車直進時の歩行者死亡事故における横断方向の割合<sup>16)</sup>

### (3) 歩行者乱横断時の方向別事故割合（夕方）

2001～2004 年の事故を基に、乱横断で発生した夕方の死亡事故について、車両の進行方向に対して右から車道内に進入した事故と左側から進入した事故の割合を図 2.1.2-11 に示した。

乱横断時の死亡事故は、車両の進行方向に対して右側からの事故が多くなっている。歩行者が右側から進入する場合、反対側の横断歩道に到達する前に事故に遭っていることになり、歩行速度、運転者側からみた歩行者の視認性、右方向に対する前照灯の照射光量等が関係していることが予想される。

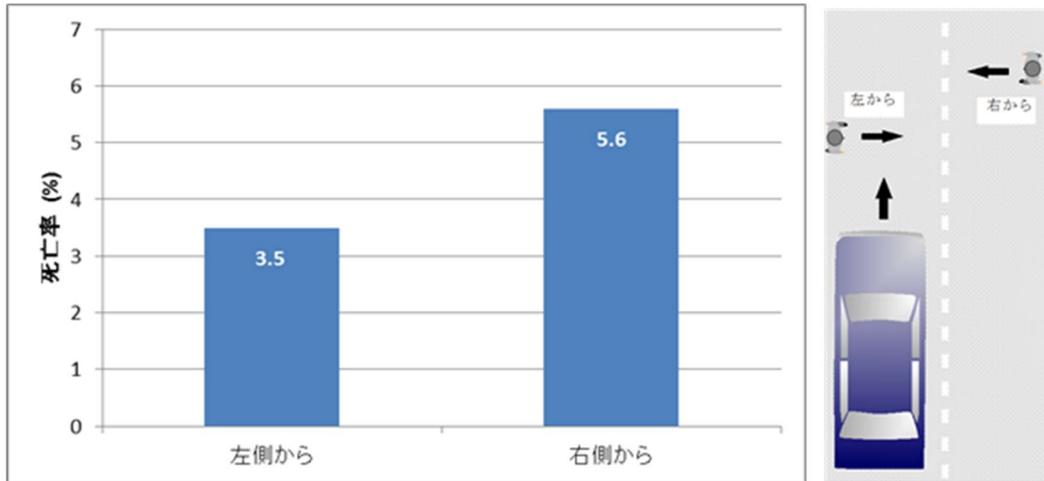


図 2.1.2-11 タ方の乱横断時の進入方向別死亡率比較<sup>12)</sup>

#### 2.1.2.4 高速道路等の交通事故

##### (1) 昼夜別事故状況

高速道路等（高速道路および自動車専用道路）における 2011 年の事故データによれば、夜間の死傷事故割合は全体の 3 割程度であるが、死亡事故割合では約 6 割を占めた（図 2.1.2-12）。

そこで、高速道路等の昼夜の死亡事故率を求めると

$$\text{死亡事故率（昼）} = \text{死亡事故件数} / \text{死傷事故件数} = 79 / 8138 \times 100 = 0.97\%$$

$$\text{死亡事故率（夜）} = \text{死亡事故件数} / \text{死傷事故件数} = 109 / 3570 \times 100 = 3.05\%$$

$$\text{夜間割合} = 3.05 / 0.97 = 3.14$$

となり、夜間事故が死亡事故に至る危険性は、昼間の 3 倍以上であった。

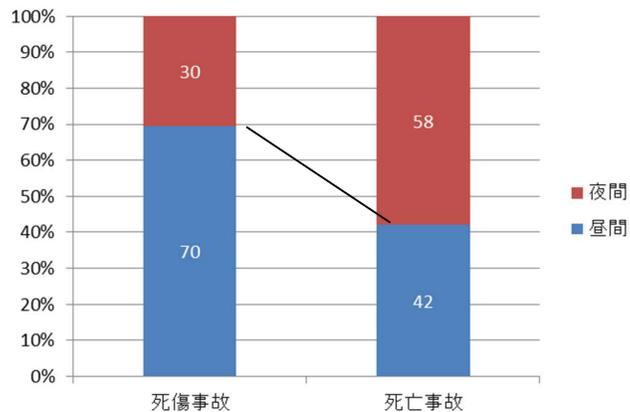


図 2.1.2-12 高速道路等における昼夜別交通事故割合

##### (2) 時間帯別の事故状況

時間帯別の事故状況を見たものが、図 2.1.2-13 である。

死傷事故の時間帯別割合では、朝、夕の通勤・帰宅時間帯をピークに日中に事故が多く発生しており、一般道路の時間帯別事故発生状況と同様の傾向が見られる。一方死亡事故では、時間帯別の変動が大きく、事故件数自体が少ないためこのような変動が生じているものと考えられるが、死傷事故に比べ夜間に事故が増加する特徴が見られる。

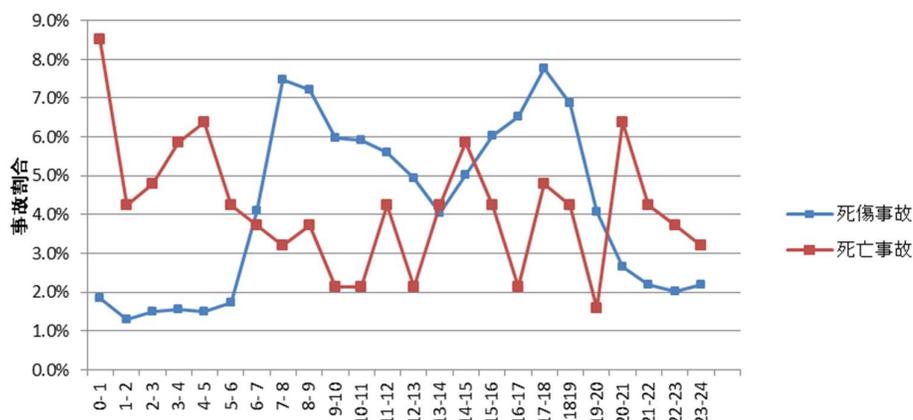


図 2.1.2-13 高速道路等における時間帯別交通事故割合

### (3) 昼夜別、天候別の事故状況

次に、昼夜別、天候別の事故発生割合を見たものが図 2.1.2-14 である。

昼夜ともに晴での事故が半数以上を占めるが、夜間は昼間に比べ曇天、雨天での事故が増加している。夜間雨天時は照明光がグレアになりやすい等、視環境の悪化が影響していることも考えられる。一方夜間曇天での事故増加は、一般道路と同様に、夜間の時間帯でも特に夕方の、視環境が変化し始める時間帯の増加が予想される。



図 2.1.2-14 高速道路等における天候別死亡事故割合

### 2.1.3 欧米諸国と日本との比較

IRTAD Road Safety Annual Report 2013<sup>17)</sup>をもとに、欧米諸国と日本との状態別の交通事故発生状況を比較した。図 2.1.3-1 に交通事故死者数の状態別構成比、図 2.1.3-2 に交通事故死者数の年齢別構成比を示す。欧米諸国と比べ日本は、歩行中及び高齢者の死者数の割合が高い傾向にあることがわかる。

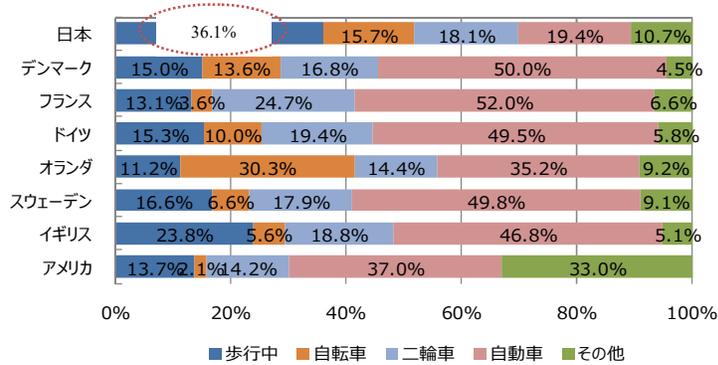


図 2.1.3-1 交通事故死者数の状態別構成比

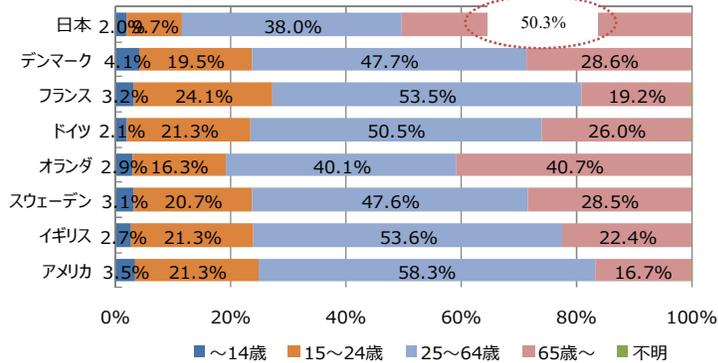


図 2.1.3-2 交通事故死者数の年齢別構成比

### 2.1.4 トンネル区間の交通事故の特徴

トンネル区間で発生した事故や視環境に関する調査研究事例について整理を行った。

以下に、調査研究結果から得られたトンネル区間での特徴を挙げる。

- ・トンネル区間で発生する事故は追突事故が最も多く次いでその他車両相互の事故であり、これらが全体の9割を占める<sup>18)</sup>。
- ・ほとんどが昼間に発生している<sup>18)</sup>。
- ・車両の前照灯は、75%程度の車両が点灯状態であった<sup>18)</sup>。
- ・事故発生区間としては、流入口、流出口付近で発生している<sup>18),19)</sup>。
- ・トンネル内に縦断勾配変曲点があるとその周辺で事故が起こる可能性が高い<sup>20),21)</sup>。
- ・入り口部の照明環境を変える(対称照明→プロビーム照明)と事故は減少した<sup>20)</sup>。
- ・入り口部の照明環境対策により視認性が改良された<sup>22)</sup>。
- ・基本照明区間の照明環境を変える(対称照明→プロビーム照明)と視認性を確保しつつ省電力が図れる<sup>23)</sup>。
- ・交通挙動として、トンネルに入るときに一度速度が低下し、その後再度加速して一定速度となる。また、トンネル出口付近でさらに加速し速度が高くなる<sup>24)</sup>。

- ・トンネル入口内での加速区間は数十メートルである。この数十メートル間では、ブレーキ点灯率も高くなる<sup>24)</sup>。
- ・トンネル内の照度・輝度を高めると、上記の速度変動、ブレーキ点灯率は少なくなる<sup>24)</sup>。
- ・対称照明よりプロビーム照明の方が車両前照灯による影響が少なく、視認性を保持できる<sup>25)</sup>。

これらの調査研究は一事例であるが、昼間で視環境が急激に変化するトンネル入口、出口付近の危険性が高く、また先行車への追突事故の危険性が高くなっている。

上記では前照灯の点灯有無と事故との因果関係は明かでないが、先行車両の後部の視認性を高める工夫をしているプロビーム照明等により視認性を高めることで一定の効果が得られることが示されている。現段階では道路照明と車両前照灯はそれぞれ独立して機能を発揮することとなっているが、お互いが協調することでさらに視認性が高まるものと予想される。

## 2.1.5 夜間の交通事故状況についてのまとめ

### 2.1.5.1 全体的傾向

- ・近年死傷事故、死亡事故ともに減少傾向にあり、この傾向は昼間より夜間で大きい。
- ・夜間の死亡事故率は昼間の3倍程度と、夜間事故は昼間より死亡事故に至りやすい。

### 2.1.5.2 一般道

#### (1) 時間帯別

- ・死傷事故は、6時、18時を中心とした時間帯に多くなり、死亡事故は夕方に多く、特に日没時間帯に多くなる。
- ・深夜は昼間に比べ死亡事故に至る危険性が高い。

#### (2) 箇所別

- ・死傷事故、死亡事故ともに、交差点及び交差点付近での事故が多い。

#### (3) 状態別

- ・日本は欧米各国に比べて、歩行中、高齢者の死亡事故の割合が高い。
- ・死傷事故は車両相互事故が多く、死亡事故では人対車両の事故が最も多い。
- ・夜間は昼間より死亡に至る危険性も高い。
- ・人対車両の中で最も事故割合が多いのは横断中であり、中でも乱横断（その他横断中）の事故割合が多い。
- ・横断事故では、横断歩道での横断、乱横断ともに、車両進行方向に対して右側から歩行者が進入した場合に死亡に至る危険性が高い。
- ・交差点を右折する車両は、交差点進入前に同一方向に進行していた歩行者・自転車との事故割合が多い。
- ・歩行者横断中の死亡事故は、単路部、交差点部にかかわらず大多数が夜間に発生している。
- ・横断中の事故で最も事故割合が多い年齢は75歳以上であり、道路幅員5.5m以上～13m未満の生活道路での事故が多い。
- ・横断中の夜間事故は、雨天時の場合、単路部での事故が増加する傾向が見られる。

### 2.1.5.3 高速道路

#### (1) 時間帯別

- ・死傷事故は6時、18時を中心とした時間帯をピークとして事故が発生し、夜間は減少する。
- ・死亡事故では深夜に事故が多くなる。

## (2) 天候別

- ・夜間雨天時は、事故が増加する。
- ・曇天時は、夕方薄暮以降の視認性が低下し始める時間帯に事故が増加する傾向が伺える。

### 2.1.5.4 トンネル

- ・昼間に視環境が急激に変化する入口、出口付近での事故が多い。
- ・先行車への追突事故がおおい。
- ・トンネル内で縦断勾配変曲点があるとその周辺で事故が起こる可能性が高い。
- ・照明方式を工夫することで視認性は向上する。

(文責；池原圭一，安藤和彦)

#### 参考文献；

- 1) 公益財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 23 年版，平成 24 年 7 月
- 2) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 22 年版，平成 23 年 6 月
- 3) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 21 年版，平成 22 年 6 月
- 4) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 20 年版，平成 21 年 6 月
- 5) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 19 年版，平成 20 年 6 月
- 6) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 18 年版，平成 19 年 6 月
- 7) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 17 年版，平成 18 年 6 月
- 8) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 16 年版，平成 17 年 4 月
- 9) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 15 年版，平成 16 年 4 月
- 10) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 14 年版，平成 15 年 4 月
- 11) 財団法人交通事故総合分析センター；交通統計 平成 13 年版，平成 14 年 4 月
- 12) 財団法人交通事故総合分析センター；イタルダイインフォメーション，No.62，2006 年
- 13) 鈴木，荻野，野田；薄暮時におけるライト点灯率と交通特性に関する研究，第 26 回土木計画学発表会，2002
- 14) 池原，安藤；夜間における横断中死亡事故の発生状況，照明学会第 47 回全国大会講演論文集（掲載予定），2014 年 9 月
- 15) 財団法人交通事故総合分析センター；イタルダイインフォメーション，No.95，2012 年 7 月
- 16) 財団法人交通事故総合分析センター；イタルダイインフォメーション，No.83，2010 年 5 月
- 17) International Traffic Safety Data and Analysis group；Road Safety Annual Report 2013, OECD International Transport Forum, 2013
- 18) 田村，三上；トンネル区間の交通事故に関する研究，山口大学工学部研究報告，Vol55, No2，2004
- 19) 松原洋；高速道路のトンネルと交通事故，国際交通安全学会誌 Vol19, No1，昭和 59 年 3 月
- 20) 及川，松尾，田口；プロビーム照明方式による東京港トンネルの照明施設，第 26 回日本道路会議，平成 17 年 10 月
- 21) 国土交通省川崎国道事務所；東京港トンネル技術検討会検討結果（概要），平成 15 年 3 月
- 22) 楠，杉岡，玉井；連続トンネル区間におけるトンネル進入時の視認性改善について，第 30 回日本道路会議，平成 25 年 10 月
- 23) 宇留野，萩尾，平川；プロビーム照明方式の LED トンネル照明における視認性とエネルギー削減効果，第 30 回日本道路会議
- 24) (財) 高速道路調査会；平成 4 年度トンネル入口照明に関する検討報告書（その 4），平成 5 年 2 月
- 25) 平川，早川，岡田，瀬戸山；自動車前照灯を考慮したトンネル照明の視認性評価と導入事例，第 30 回日本道路会議，平成 25 年 10 月

## 2.2 交通事故関連研究事例紹介

### 2.2.1 日没前後の交通事故分析

#### 2.2.1.1 活用した交通事故データ

交通事故統計には全ての人身事故が記録されており、2007～2011年の5年間に千葉県内で発生した全交通事故は134,339件である。これらの交通事故統計の原票には、緯度経度情報や発生日時、天候(晴、曇、雨、雪、霧)や路面等の交通環境、事故類型(追突、出会い頭、右折直進等)、性別や年齢等の当事者属性、車種(大型車、普通車、二輪車)や装備等の車両属性などの項目が記録されている。本稿では、千葉県内で発生したこれら5年間の交通事故を分析した。

#### 2.2.1.2 太陽位置の表現方法と算出方法

交通事故発生地点における太陽の位置の表し方は、図2.2.1-1に示すように天頂角 $\theta$ と方位角 $\chi$ で表した。天頂角とは、交通事故発生地点から天頂への垂線と交通事故発生地点と太陽位置を結ぶ直線の交差角である。すなわち、天頂角が大きいほど太陽の位置が低いことになる。

方位角は交通事故発生地点の平面上における、交通事故発生地点から真北への直線と交通事故発生地点と太陽位置を交通事故発生平面に投影した点を結んだ直線の交差角である。太陽の方位角は、真北方向を $0^\circ$ とし、時計回りに $0\sim 360^\circ$ で表すこととした。交通事故発生時の太陽の天頂角と方位角は、交通事故発生地点の緯度経度情報、発生日時を活用し、地球赤道上の基準地点で測定される南中時の天頂角をもとに、基準地点と測定地点の経度と緯度の違いを考慮すれば推定することができることとした文献<sup>1)</sup>の簡便な計算式を用いて計算した。

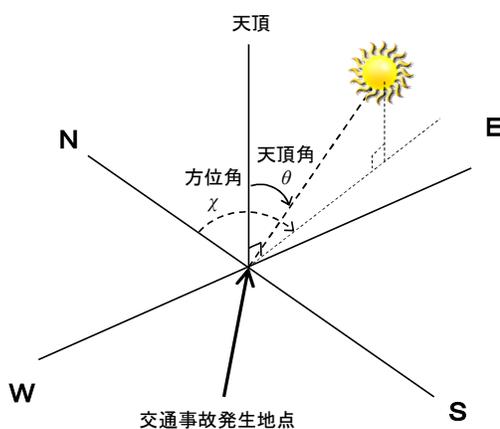


図 2.2.1-1 太陽の位置の表現方法

#### 2.2.1.3 分析方法

最初に、簡易的な太陽位置の計算方法<sup>1)</sup>により、死傷事故の交通事故発生時における発生地点の太陽の方位角と天頂角を算出した。太陽の方位角を基準として、交通事故発生地点の太陽位置を東側、西側の2種類に分類した。そのうえで、太陽が西側に存在する時間帯を、昼間(太陽が高い)、昼間(太陽が低い)、日没直前、日没直後、夜間の5種類に分類した。一般的には、日没は太陽が完全に沈んだ時刻とされているが、本分析では、日没の定義を太陽の天頂角が $90^\circ$ 以上になったときと定義した。天頂角が $50^\circ$ 未満の場合を昼間(太陽が高い)、 $50\sim 80^\circ$ 未満を昼間(太陽が低い)、 $80\sim 90^\circ$ 未満を日没直前、 $90^\circ$ 以上 $110^\circ$ 未満である場合を日没直後、 $110^\circ$ 以上である場合を夜間と定義した。

そして、これらの事故を事故形態別(大型車、普通車、二輪車、自転車、歩行者)に分類した。そのうえで、代表地点としての千葉県庁における太陽の存在時間を天頂角別に集計して、時系列的に事故形態別の交通事故率や死亡事故率を算出した。また、日没直後の事故として、交通事故率が高いことが示された歩行者事故について、各種分析を行った。

#### 2.2.1.4 全交通事故の分析結果

##### (1) 全交通事故率の算出結果

太陽の天頂角は、季節、時刻や場所によって変動し、ある天頂角の範囲内に太陽が存在する時間(以下、存在時間)は、角度によって一定ではない。

簡易的な太陽位置の計算方法を用いて、千葉県庁における太陽位置を2分毎に算出し、その値を各2分間の代表値として、1年間の天頂角別の太陽存在時間を算出した。

図2.2.1-2は、横軸に太陽の天頂角、縦軸に天頂角別の交通事故率(件/時)を示したものである。天頂角別の交通事故率の算出方法は以下の(式2.2.1)に示すとおりであり、千葉県全体で太陽の天頂角別に5年間の交通事故件数と1年間の太陽存在時間を算出して、1時間当たりの交通事故率(件/時)を算出した。天頂角は、10°単位で集計しており、25°というのは、天頂角が20°~30°であることを示している。

$$Ar = An / ZA / 5 \quad (\text{式 2.2.1})$$

Ar : 天頂角別の交通事故率(件/時)

An : 天頂角別の全交通事故件数(2007~2011)

ZA : 千葉県庁における1年間の天頂角別の存在時間

この結果としては、日没前後に交通事故率が高くなっていることが示されており、特に、日没直後の95°が最も高くなっている。また、日没前の75°から日没直前の85°で交通事故率が減少している。この要因としては、地形などの影響により、実質的には太陽が沈んでしまった状態になることが多く、太陽の眩しさによる交通事故が日没直前には発生しにくいことによるものではないかと考えられる。

## (2) 死亡事故率の算出結果

図2.2.1-3は、横軸に太陽の天頂角、縦軸に死亡事故率(件/時)を示したものである。死亡事故率の算出方法は以下の(式2.2.2)に示すとおりであり、5年間の死亡事故件数と1年間の太陽存在時間を算出して、1時間当たりの死亡事故率(件/時)を算出した。死亡事故を分析すると、日没直後に死亡事故率が極めて高くなっていることが示された。これは、歩行者事故に起因していることが明らかであり、日没直後の歩行者事故に対する対策が極めて重要であることが示されている。

$$FAr = FAn / ZA / 5 \quad (\text{式 2.2.2})$$

FAr : 天頂角別の死亡事故率(件/時)

FAn : 天頂角別の死亡事故件数(2007~2011)

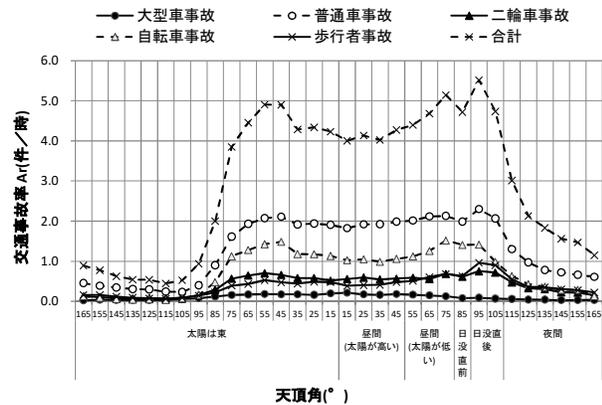


図 2.2.1-2 天頂角別・事故形態別の交通事故率

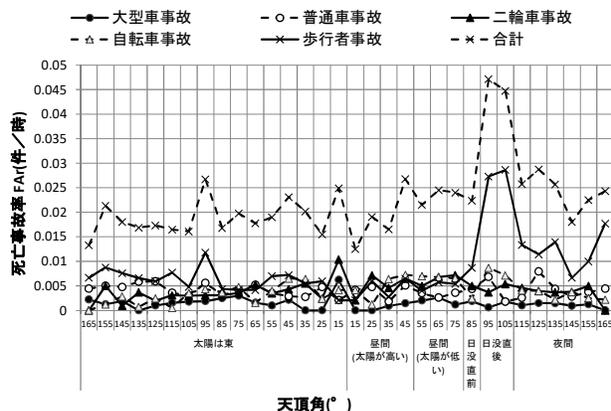


図 2.2.1-3 天頂角別・事故形態別の死亡事故率

### (3) 歩行者事故率の算出結果

図 2.2.1-4 は、横軸に太陽の天頂角、縦軸に天候別の歩行者事故率(件/時)を示したものである。天頂角別の歩行者事故率の算出方法は以下の(式 2.3.3)に示すとおりであり、千葉県全体で5年間の死亡事故件数と1年間の太陽存在時間を算出して、1時間当たりの歩行者事故率(PAr)を算出した。

$$PAr = PAn / ZA / 5 \quad (\text{式 2.2.3})$$

PAr：天頂角別の歩行者事故率(件/時)

PAn：天頂角別の歩行者事故件数

(2007~2011)

この結果としては、日没直後に歩行者事故率が急激に高くなっていることが示されており、特に、日没直後の95°が最も高くなっている。この原因としては、当然のことであるが、日没により交通視環境が悪くなったことが挙げられる。

図 2.2.1-5 は、太陽が西側に存在していたときに発生した歩行者事故を5つの時間帯に分類して、天候別発生割合を示したものであるが、日没直後に、歩行者事故における悪天候時(雨、霧、雪)の占める割合は、急激に上昇しており、悪天候により歩行者が発見しづらくなっていることが窺える。

### (4) 歩行者事故の車両の進行方向別分析

図 2.2.1-6 は、第一当事者が自転車、歩行者、又は当て逃げ等により不明である歩行者事故を除外し、太陽が西側に存在していたときに発生した歩行者事故10,602件を5つの時間帯に分類して、第一当事者の進行方向別に集計したものである。これを確認すると、大半が直進(停止)か右折であることがわかる。そのため、これらの歩行者事故から、第一当事者が直進(停止)か右折であるものを抽出して、歩行者の横断方向別に比較したものが、図 2.2.1-7 と図 2.2.1-8 である。

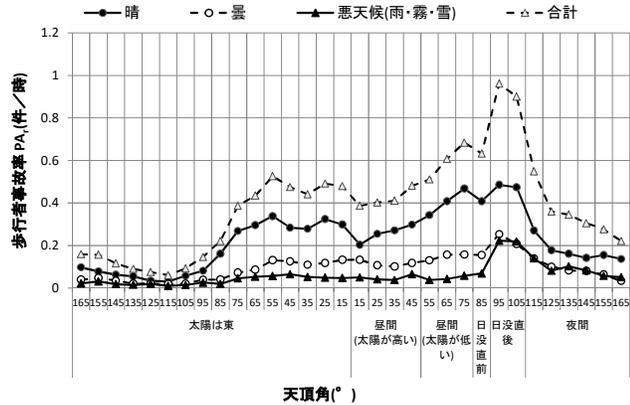


図 2.2.1-4 天頂角別・事故形態別の歩行者事故率

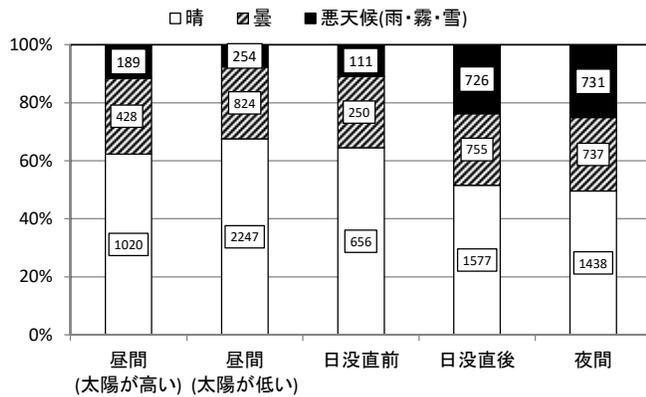


図 2.2.1-5 天候別歩行者事故発生割合(太陽は西)

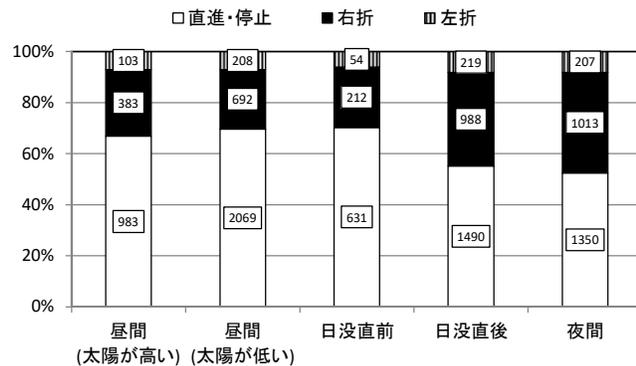


図 2.2.1-6 進行方向別歩行者事故発生割合(太陽は西)

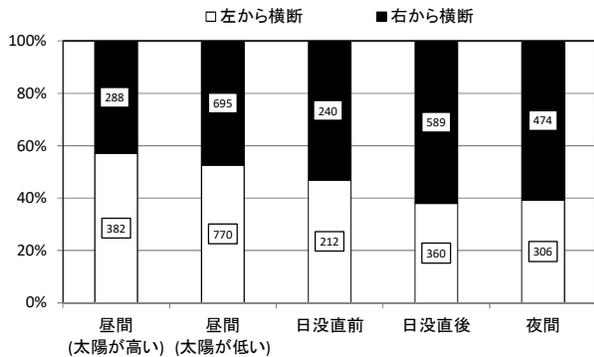


図 2.2.1-7 歩行者事故の横断方向別発生割合 (直進車対歩行者, 太陽は西)

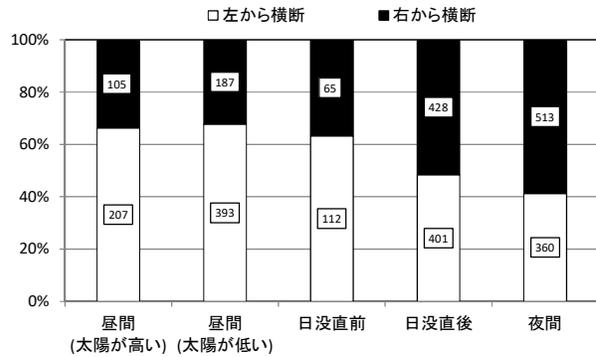


図 2.2.1-8 歩行者事故の横断方向別発生割合 (右折車対歩行者, 太陽は西)

一般的に、昼間には歩行者事故は車両の運転者から見て左側からの横断歩行者と衝突する事例が多く、夜間には右側からの横断歩行者と衝突する事例が多い。本分析も同様の傾向を示しているが、日没直後については、夜間とほぼ同様の傾向を示している一方、日没直前においては、右側からの横断歩行者との事故の割合は、夜間よりやや低くなるものの、昼間よりやや高くなっているという傾向が見られる。

#### (5) 歩行者事故発生時の前照灯の点灯状況及び早め点灯が与える影響について

図 2.2.1-9 は、第一当事者が自転車, 歩行者, 又は当て逃げ等により不明である歩行者事故を除外して、太陽が西側に存在していたときに発生した歩行者事故 10,602 件を 5 つの時間帯に分類して、第一当事者のライトの点灯状況別に集計したものである。

昼間時の歩行者事故発生時には前照灯はほとんど点灯されていないものの、前照灯の点灯が必要となってくる日没直後の歩行者事故発生時には大多数の車両の前照灯が点灯されていることが示された。すなわち、日没直後においては、このように大多数の事故当事車両の前照灯が点灯されているにもかかわらず、歩行者の死亡事故が多発していることが示された。

前照灯を早めに点灯することは重要であるが、日没直後の歩行者事故の点灯状況を確認すると、日没時には大半の車両が点灯されているのではないかと考えられた。すなわち、日没直後の歩行者事故のより一層の削減のためには、様々な手法を組み合わせ、運転者に歩行者を認知させる対策が必要であると考えられる。

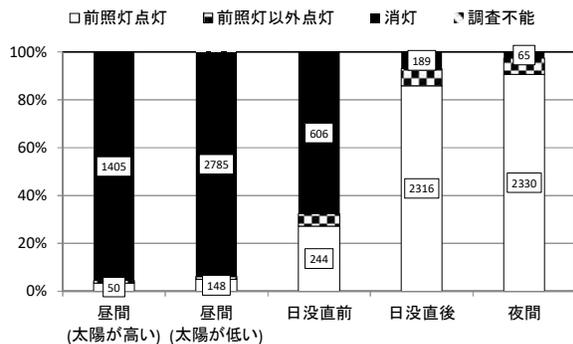


図 2.2.1-9 歩行者事故の前照灯点灯状況 (太陽は西)

(文責；萩田賢司)

参考文献；

- 1) 村上拓彦；太陽天頂角・太陽方位角の算出方法, <http://www.agr.niigata-u.ac.jp/~muratac/>
- 2) 萩田賢司；日没前後の交通事故分析, 自動車技術会 2013 年秋季大会, 学術講演会前刷集 No.102-13, 講演番号 13, 2013

## 2.2.2 乱横断者の横断実態調査

### 2.2.2.1 目的

横断歩行者は、信号機のないところで道路を横断しようとするとき（以降、乱横断と呼ぶ）、接近する車両の距離および速度を短時間に勘案し、自分の横断速度を比較して、横断できるかどうかを判断している。本調査は、乱横断の発生を時期別・時間別・年齢別に把握するとともに、乱横断が発生した際の、横断歩行者と接近車両との距離および時間差などを計測し、乱横断の実態を把握する基礎資料の作成を目的として実施した。

### 2.2.2.2 調査概要

調査は、北海道小樽市の一般国道5号小樽市稲穂2丁目区間において、2009年11月、2009年12月、2010年1月と1ヶ月毎に、雨天等を避けた平日（木曜、水曜）の6:00-20:00に実施した。調査区間付近の沿道は、個人商店が連なる商業地区で、比較的歩行者交通量の多い箇所である。なお、乱横断の発生状況の観測は、図2.2.2-1の「わき道」箇所に着目して実施した。当該区間のわき道箇所は、信号交差点横断歩道間約180mの中間に位置している。調査項目は、周辺状況に関する基礎データとして車両交通量、周囲の明るさ、冬期雪堤形成状況である。乱横断の発生状況把握にかかる調査測定項目は、乱横断者属性（年齢、性別）、乱横断発生時刻、乱横断発生時の接近との時空間情報を調査した。

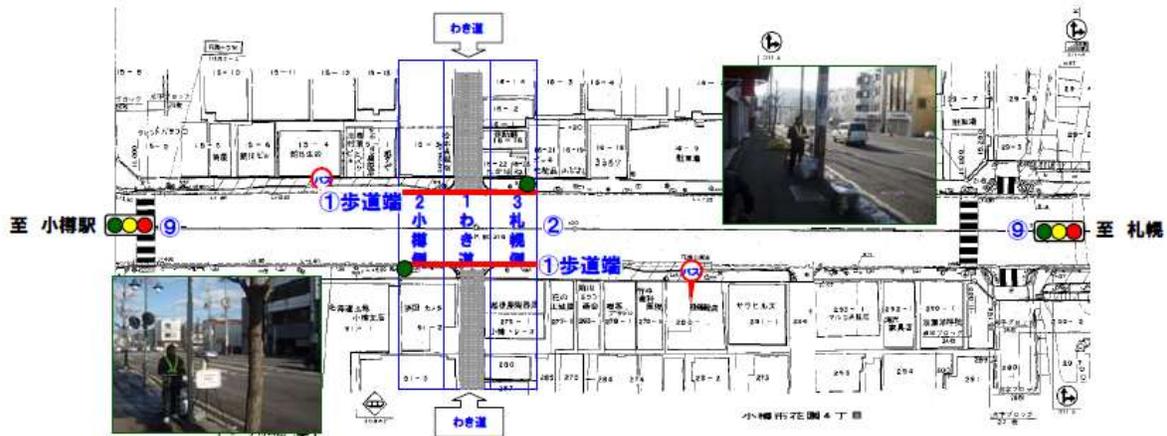


図2.2.2-1 調査区間概況

図2.2.2-2は、調査区間における乱横断発生数と箇所別の構成比を示している。

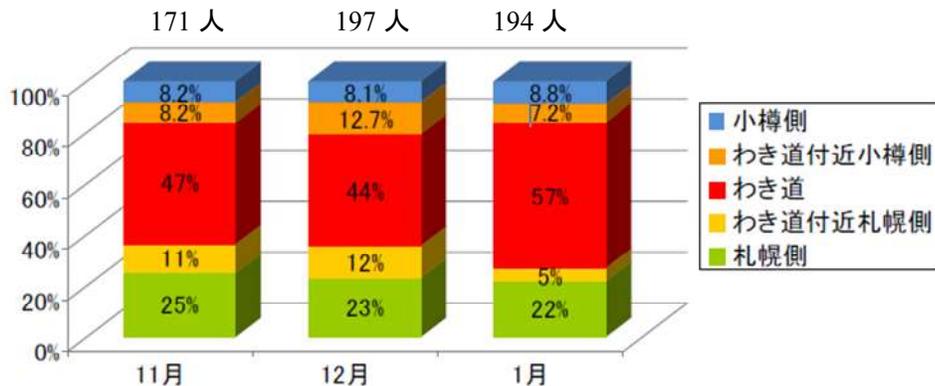


図2.2.2-2 月別乱横断発生件数と箇所別構成比

乱横断数は、月別で大差なかった。調査区間の乱横断の5割弱が図2.2.2-1に示すわき道箇所での横断となっていた。特に積雪期で雪堤の形成されていた1月においては6割弱がわき道箇所での乱横断となっていた。なお、乱横断者の男女比はほぼ同等で、高齢者の割合は2～3割程度であった。

図2.2.2-3は、乱横断時の当該区間両側の信号交差点における信号現示の割合を示している。札幌側・小樽側のどちらも赤の状況が約9割であり、ほとんどの乱横断発生時の信号は、両側とも赤であった。



図2.2.2-3 乱横断発生時の信号現示

図2.2.2-4は乱横断の所要時間を示している。車道幅員は路側を含めて16mである。非高齢者の平均横断所要時間は10秒、高齢者は14秒であった。高齢者の方が長く、ばらつきが大きかった。なお、乱横断者のうち、乱横断中に中央帯で待機した乱横断者は約3%とごくわずかで、年齢による違いはなかった。

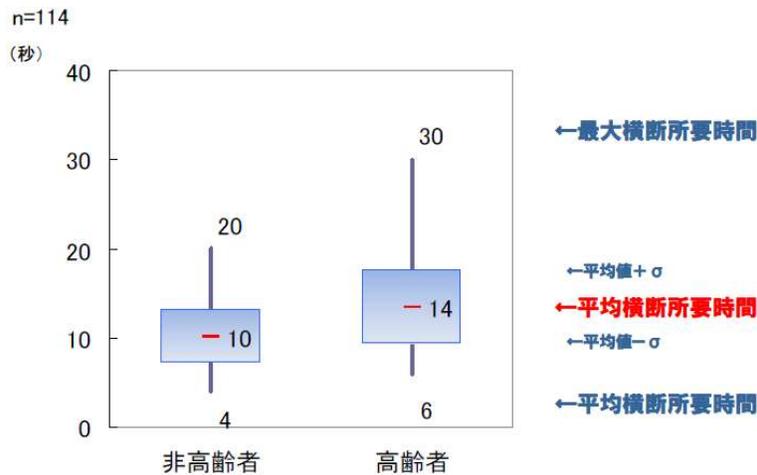


図2.2.2-4 年齢別の乱横断所要時間

図2.2.2-5は、月別・時間帯別の乱横断者数を示している。非高齢者と高齢者に分類した。非高齢者の乱横断が朝・夕のピーク時に集中しているのに対し、高齢者の乱横断は昼時間帯に多く、ピーク時間帯や夜時間帯（17時以降）には少なかった。また、月別の時間帯別車両交通量はほぼ同じであった。

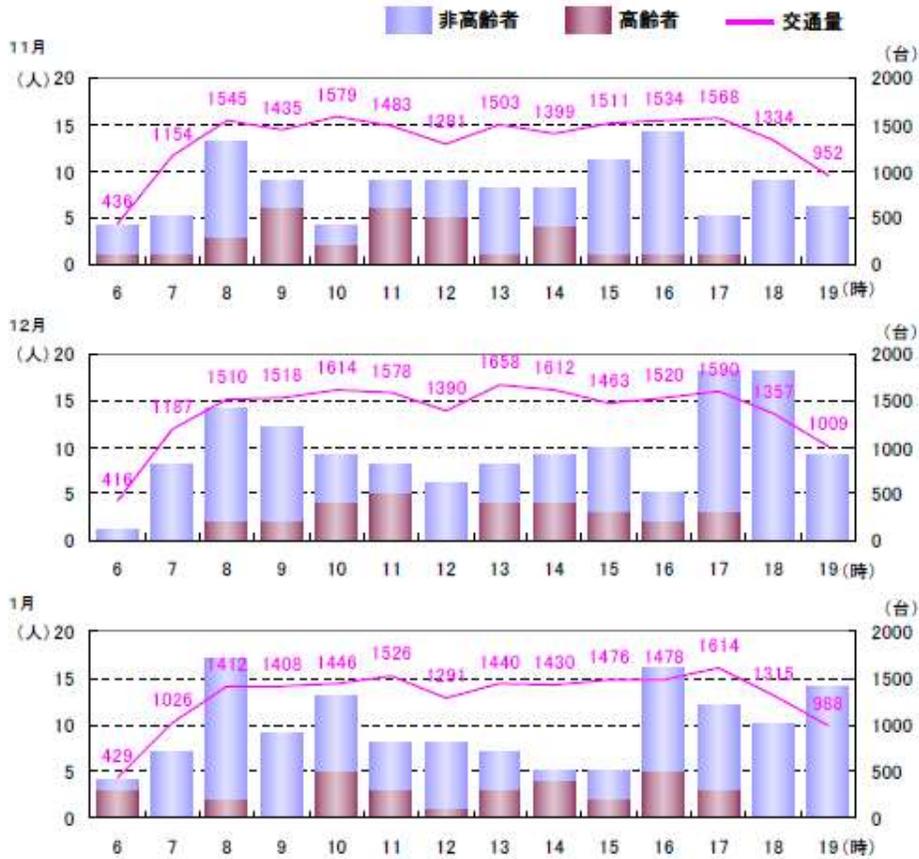


図2.2.2-5 月別・時間帯別の乱横断者数（年齢別）

### 2.2.2.3 乱横断と接近車両との時空間分析

#### (1) 乱横断開始時の車両速度と位置

図2.2.2-6は、乱横断開始時の接近車両の位置と速度の構成率を示している。わき道箇所における乱横断発生時の接近車両の位置は、約50m～70mに半数以上が集中していた。高齢者・非高齢者の別において、目立った違いはみられなかった。一方、乱横断発生時の車両速度は、30～40km/hであることが多かった。高齢者は、速度が遅いときの構成率が高かった。ただし、速度が速い車両が接近しているときの乱横断も高齢者には見られた。

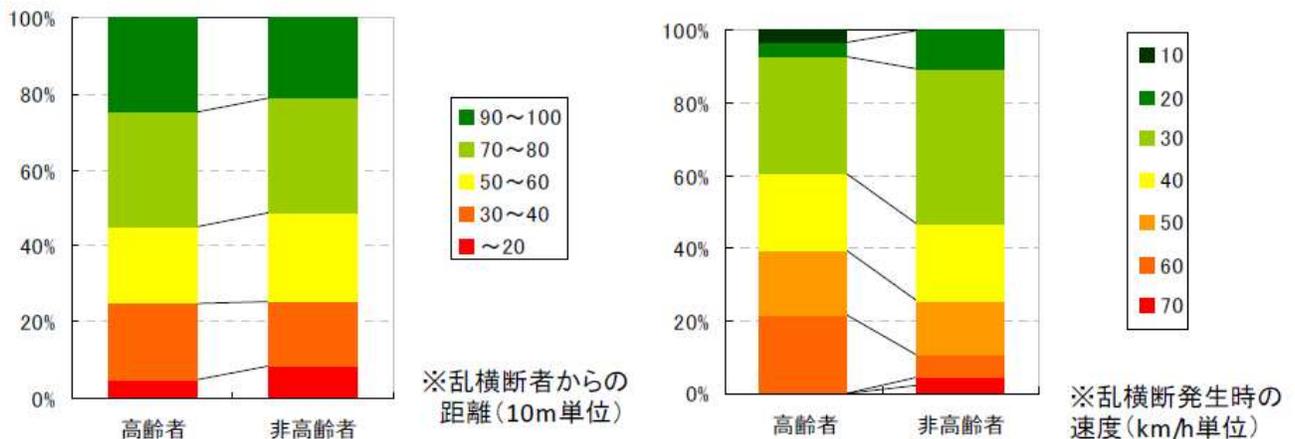


図2.2.2-6 乱横断開始時の車両位置とそのときの車両速度

(2) 乱横断者横断速度と接近車両位置・速度から～想定衝突危険レベル

車両が接近している場合の乱横断発生時における衝突危険を評価するため、乱横断者の横断速度から算出した乱横断者の想定車線到達時間と、車両位置および速度から算出した接近車両の想定到達時間を求めた (図2.2.2-7)。

図2.2.2-8は、右からと左からの車両が接近する場合の乱横断者の想定到達時間と接近車両の想定到達時間の分布を示している。右から車両が接近する場合 (手前側車線) は、多くの乱横断者が車両通過前に横断しており、安全といえた。一方、左から車両が接近する時 (奥側車線)、プロットは全体に分散しており、車両が先に衝突地点に到達する 경우가半数近くあり、想定として危険な状況で横断を開始している結果となった。また、高齢者の場合、両者の想定時間が長いところのデータが多くなった。



図2.2.2-7 乱横断者の想定到達時間と接近車両の  
想定到達時間の考え方

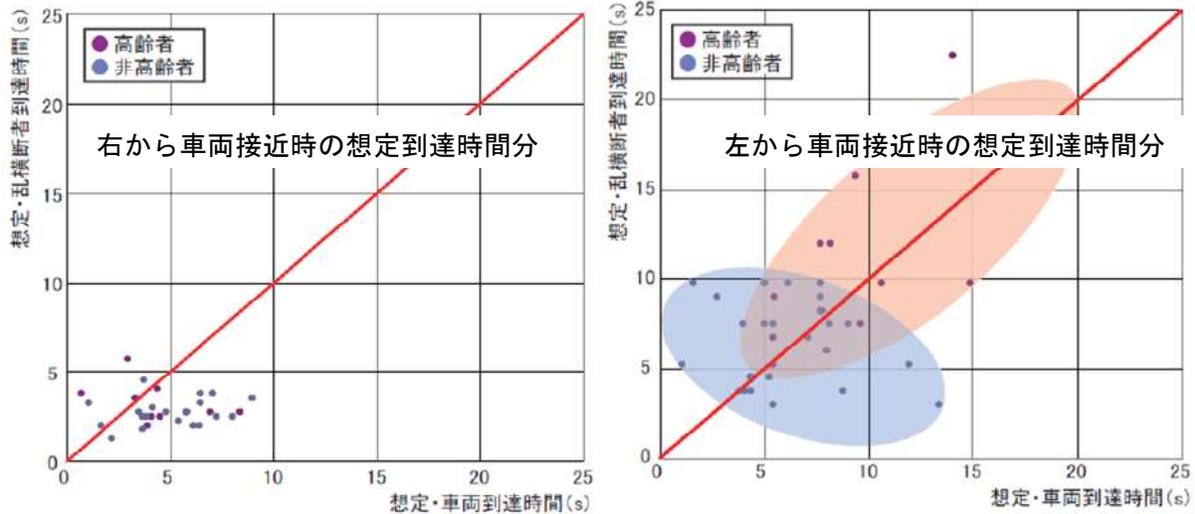


図2.2.2-8 左右別の横断歩行者と接近車両の想定到達時間分布

日中と夜間 (100 lx以下、照度計で計測) に分け、想定車両到達時間と想定歩行者到達時間の関係を図2.2.2-9に示す。夜間、両者の衝突時間が短くところにプロットが集中した。日中において、両者とも長い到達時間のデータが多くなった。一方、どちらの場合も想定歩行者到達時間が想定車両到達時間より短い場合があり、危険なケースがあった。また、高齢者は夜間の乱横断が少ないことから、年齢の違いは分からなかった。

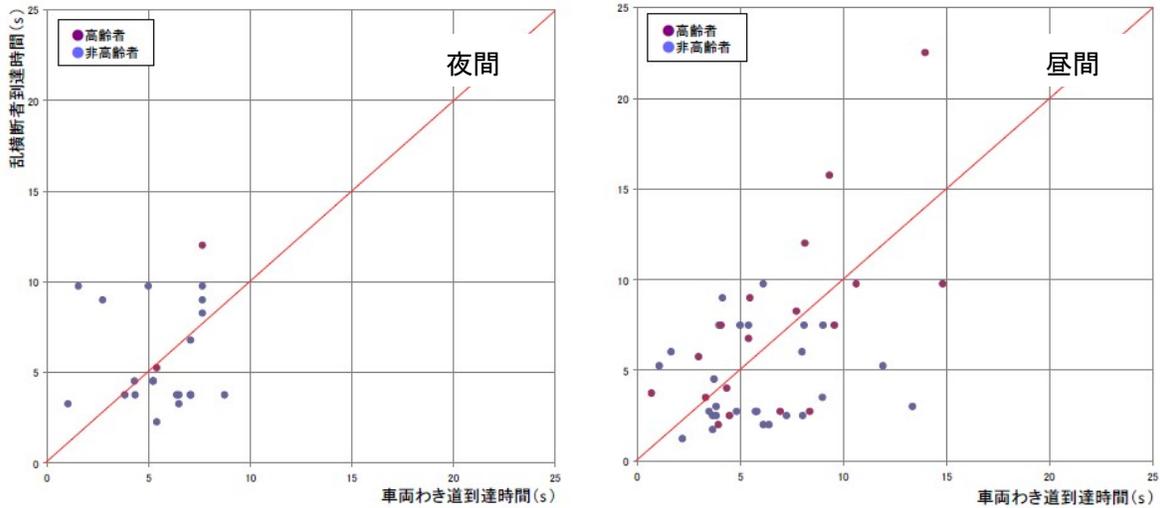


図2.2.2-9 昼夜別の横断歩行者と接近車両の想定到達時間分布

### (3) 乱横断者と車両の実際の移動時間から～実衝突危険レベル

乱横断者の実際の到達時間と接近車の実際到達時間をプロットした結果を図2.2.2-10に示す。図2.2.2-8と比べて、左右の方向別の差はあまりなく、両者の時間が同じとなる線から右下にプロットされるデータとなり、横断者が先に到達していたことがわかる。

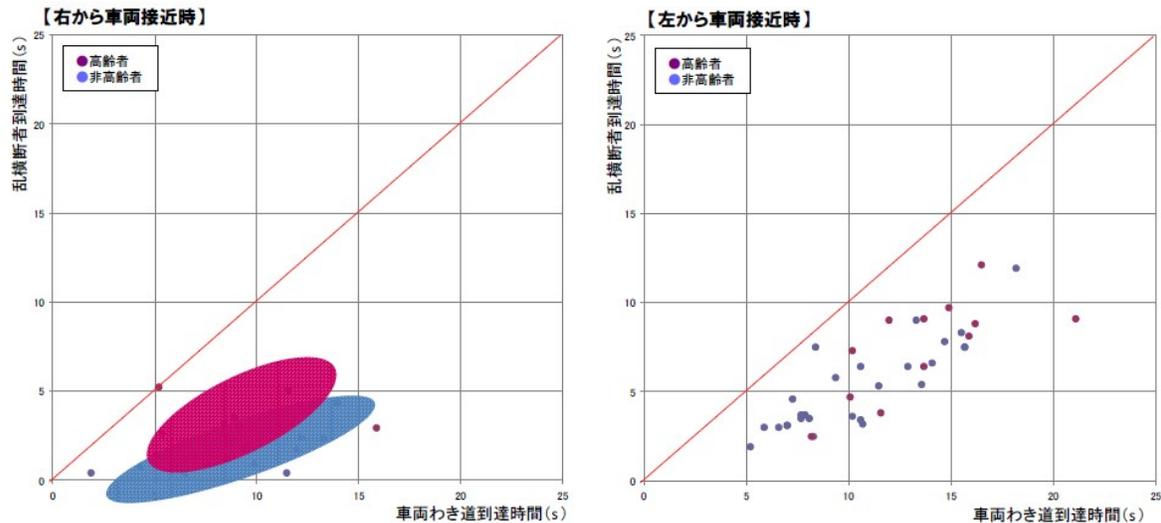


図2.2.2-10 接近車両左右別の横断歩行者と接近車両の実到達時間分布

### (4) 横断者と接近車両の回避行動

実測された衝突地点までの乱横断者到達時間と、車両到達時間から、各々の想定到達時刻との差をとり、乱横断者と車両の加減速度を計測した。図2.2.2-11に、横断者と接近車両の加減速度をプロットした。右から車両が接近する時（手前側車線）は、主に車が減速して回避する傾向にあり、その傾向はとりわけ高齢者に顕著であった。また、左から車両が接近する時（奥側車線）は、回避しない群と、どちらかが回避する群に分れた。奥側車線では、車両の挙動と自らの横断速度の時空間関係を把握せず横断している傾向が見られたことから、十分な間隔をとって両者とも減速の必要がない場合と、どちらか（もしくは両者）が回避行動を行った場合のどちらかであったと考えられる。車両の減速度は、右からの接近に比べてかなり高くなった。また、横断歩行者

も途中で走り出すケースが右に比べ多くなった。

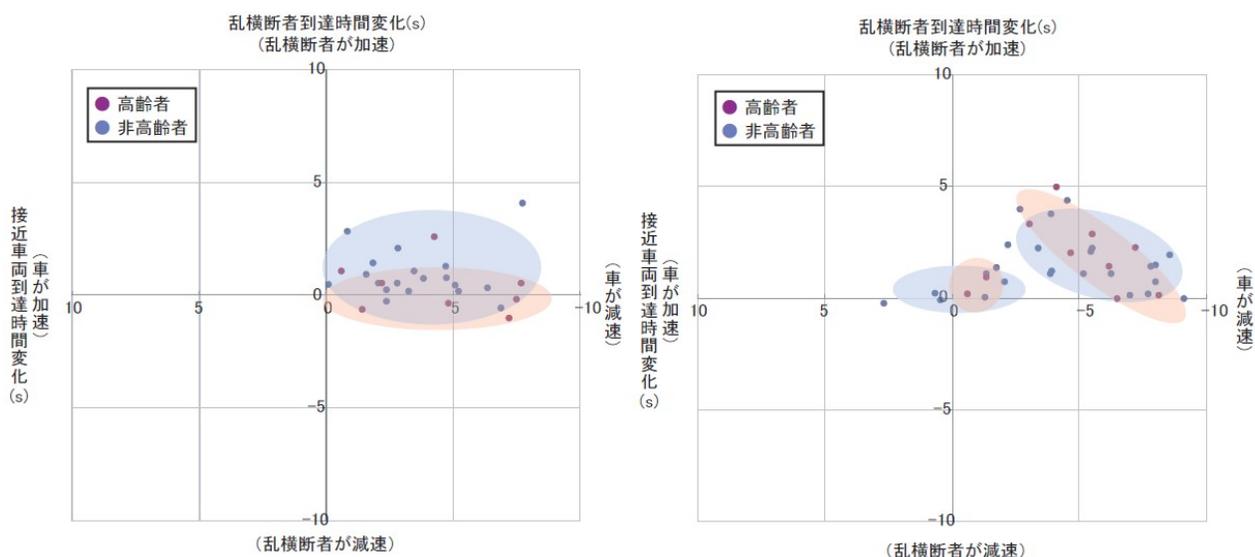


図2.2.2-11 横断者と接近車両の加減速

#### 2.2.2.4 まとめ

北海道小樽市の一般国道5号小樽市稲穂2丁目区間において、乱横断の発生件数は、季節や路面状況に影響されなかった。1時間に10人から20人程度であり、朝と夕方の時間帯に多くなった。横断時の交通状況の特徴として、約9割の乱横断者が、直近交差点が赤信号の場合に乱横断していた。また、夜間において高齢者の乱横断はほとんど見受けられなかった。予め、危険を回避する行動を高齢者は選択していたものと思える。

横断歩行者と接近車両との時空間分析を行った。右から車両が接近する場合（手前側車線）には基本的に乱横断者が安全なタイミングを見計らって横断を開始するとともに、接近車両が減速することで衝突を回避していた。一方、左から車両が接近してくる場合（奥側車線）、車両の接近と自らの横断の関係を把握せずに横断している傾向が見られ、特に高齢者に、その傾向は特徴的であり、加速（小走り）する、または車両が大幅に減速することで、衝突が回避されていた。

乱横断者の行動を考察すると、信号が赤のときに行動を起こすなど、危険を回避する努力がみられる一方、運転者が自分（歩行者）を見えていて回避することを前提とする横断が多い実態がみられた。当然であるが、事故対策として、横断させないような構造とすることが最も効果的と言えた。また、両側が赤信号となることから、車両が通過しない時間帯ができてしまい、乱横断を誘発している。歩行者側に危険であることを啓蒙する必要がある。さらに、このような個所での車両の走行速度を30km以下に抑制すること、夜間の横断者の被視認性を高めることなど工学的な事故対策も欠かせない。

（文責；萩原 亨）

参考文献；

- 1) 萩原, 平澤, 鈴木, 菅藤；「北海道小樽市における高齢者の交通問題とその利用実態に関する研究」, 第39回土木計画学研究・講演集 Vol.39, 2009
- 2) 高山, 中山, 福田；「高齢者の横断歩道外における横断行動の実態およびその意識に関する調査分析」, 土木計画学研究・講演集 Vol.21, 2004

### 2.2.3 ドイツと日本の交通環境の比較

日本と欧米諸国の状態別交通事故死者数の構成率は、2.1 節で述べたとおり、日本では乗用車乗車中の死者数の構成率が低く、歩行中死者数の構成率が高いことが特徴である。

上記の交通死者数構成率の相違はどのような要因に起因するのか、その相違を探るために本学会の「市街地交差点の交通視環境に関する研究調査委員会（2003年4月～2005年3月）」の有志メンバーにてドイツの交通視環境と道路交通（含む規則）を2011年9月下旬に調査した。

ドイツを調査対象とした理由は、自動車専用高速道路（アウトバーン）が戦前から整備されている道路先進国であると共に、欧州において道路交通規制や自動車安全規制改訂においてリーダーシップを発揮しているからである。ドイツ国内調査後、国内の対比調査を静岡・清水地域において行った。本節ではそれらの調査内容、調査結果と比較結果を概説する。

#### 2.2.3.1 調査地域とその調査項目・内容

##### (1) 調査地域

調査地域は大きくは2地域である。第1の地域はドイツ中部に位置するバンベルグ（Banberg；フランクフルトの東方約120km）、ダルムシュタット（Darmstadt；フランクフルトの南方約20km）、トリール（Trier；フランクフルトの西方約80km）の各地方都市とその近郊居住地域（町村）。そしてこれらの都市間を結ぶ高速道路（A1、A3、E35等）と地方道、市町村道（生活道路）である。

第2の地域はドイツ南部大都市シュトゥットガルトとミュンヘン、ドイツ南アルプスの地方観光都市コッヘル（Kochel）。そしてこれらの都市を結ぶ高速道路（A8、E533等）と市町村道である。

図2.2.3-1にドイツ国内の調査地域を示す。図中の赤点線が主要走行道路である。全走行距離は地方道・生活道路を含め約2000kmである。



図 2.2.3-1 ドイツの国内の調査地域

##### (2) 調査項目・内容と方法

調査項目は下記の4項とした。

- ① 国土・集落（居住）地域特性と道路網
- ② コロニー外（集落外；居住地域外）の交通視環境と交通状況
- ③ コロニー内（同内；居住地域内）の交通視環境と交通状況
- ④ 日独の交通規制と運転者行動

##### (3) 調査・比較・考察の着眼点

①は都市などの大集落から地方の小集落と道路・交通との関係を把握するために調査した。次に②と③であるが、自動車運転に必要な情報のうち視覚情報の占める割合は90%以上と言われている<sup>1)</sup>。運転ししやすい交通視環境であれば安全に走行できると考えられる。そこでコロニー（居住地域）内外について道路景観・都市景観そして交通視環境の調査を調査した。また交通視環境に影響を与える道路付属物（道路照明、道路標識、等）と交通安全施設の設置状況等も調査した。同時に④の交通規制と運転者行動についても可能な限り調査した。これは交通規則が適切で、それが運転者により遵守されていれば交通事故が減ると考えられる。

なお、これらの調査は写真記録により行い、同様の調査を国内でも行った。国内調査は静岡県静岡・清水地区を中心に実施した。

### 2.2.3.2 調査結果 1；国土・集落（居住）地域特性

表 2.2.3-1 に日独国土面積，人口，人口密度，都市化率，都市人口比率，100 万都市人口比率，自動車保有率を示す。本表のデータのうち国土面積，人口，人口密度とその世界ランク（括弧内）は 2012 年総務省統計局データ<sup>2)</sup>を引用した。残る 100 万都市人口比率，自動車保有率は総務省統計局 2005 年の同データ<sup>3)</sup>を引用し，都市化率のうち国連統計<sup>2010</sup>は国立社会保障・人口問題研究所人口統計資料集<sup>4)</sup>からの引用で，独基準による試算<sup>2005</sup>は日本銀行ワーキングペーパー<sup>5)</sup>からの転載である。

表 2.2.3-1 日独の国土面積と人口密度<sup>2),3),4),5)</sup>

		日本	ドイツ
国土面積(km <sup>2</sup> ) <sup>2012</sup>		377,955 (62 位)	357,000 (63 位)
人口(百万人) <sup>2012</sup>		127.34 (10 位)	80.80 (16 位)
人口密度(人/km <sup>2</sup> ) <sup>2012</sup>		336.92 (19 位)	226.33 (34 位)
都市化率	国連統計 <sup>2010</sup>	66.8%	73.8%
	独基準による試算 <sup>2005</sup>	98.7%	73.4%
100 万都市人口比率 <sup>2005</sup>		48%	8%
自動車保有率(台/千人) <sup>2005</sup>		586	585

【都市化率；日本基準】基本単位区の人口密度が 4000 人/km<sup>2</sup> 以上で，隣接する基本単位区との合計人口が 5000 人以上の地域の合計人口（DID 人口）を総人口で割り，100 倍した値。

【都市化率；ドイツ基準】可住地面積人口密度 150 人/k m<sup>2</sup>以上の市町村の合計人口（DID 人口）を総人口で割り，100 倍した値。

図 2.2.3-2 は日独の国土利用比較である<sup>4),5)</sup>。両国の国土面積はほぼ同等の面積であるにも係わらず日本は「森林・原野」が全国土の 7 割近くを占めており，ドイツに比べ農用地・生産工場に利用できる土地は非常に狭いことが言える。

次に国土面積における宅地面積を比較するとドイツは 8% であるのに対して日本は 5% と狭い。これがドイツに比べ狭い住宅地域に住居が密集する原因となっている。また，道路面積はドイツ 5% に對して日本は 3% と狭い。

表 2.2.3-2 に日独の道路延長と道路密度の比較結果をしめす<sup>6),7)</sup>。道路密度は日本が高い。一方，高速道路を含む主要幹線道路の道路総延長に対する施設率はドイツが約 2 倍と高い。日本の道路総延長がドイツに比べ長いことを考慮すれば狭い国土に道路が密集していると言える。

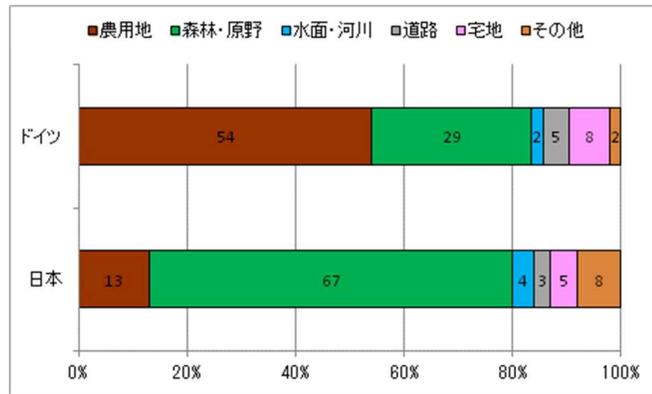


図 2.2.3-2 日独の国土利用比較<sup>4), 5)</sup>

補足 1；日本のその他は原野 1% を加算し，8% とした。

表 2.2.3-2 日独の道路延長と道路密度（2012 年）<sup>6),7)</sup>

		日本	ドイツ
道路延長 (km)	合計（総延長）	1,207,867 km(5 位)	643,969 (11 位)
	主要幹線道路（高速道路）	62,432 (9,208)	52,700 (12,718)
	二級道路	129,377	178,269
	その他	1,016,058	413,000
道路密度(km/km <sup>2</sup> )		3.20	1.80
舗装率 (%)		80.11	...

図 2.2.3-3 は日独の農用地に商工・居住地を含む地域の航空写真である。日本は集落(コロニー)と集落を結ぶ(貫く)ように道路が施設されている。そして国道や主要地方道などは集落の中心を縦断している。また集落間の道路沿いにも住居や商工業施設が点在している。

一方、ドイツでは道路は集落中心を起点に縦横に施設されているが、国道や主要地方道などは集落中心を縦断するように施設はされていない。また、集落間(農用地)の道路沿いには農商工施設や住居も皆無である。ドイツは機能分離した土地利用となっている。もう一つ特徴的なことはドイツ国内における急峻な山岳部は南部の南ドイツアルプス地方のみで、その国土の大部分が平野部・丘陵地である。そのため道路はほぼ平坦で、トンネル・橋梁部少ないことも特徴である。

ドイツの人口密度は日本に比べやや低い、ドイツ基準を算出基準にした都市化率の比較では日本に比べドイツが低いという特徴がある。100 万人以上の都市人口比率は日本が圧倒的に高く、日本は大都市人口集中型で、ドイツは中小規模の都市に人口が分散している傾向が伺われる。



図 2. 2. 3-3 日独の地方都市郊外における土地利用状況 (Google Map 航空写真より)

### 2.2.3.3 調査結果 2 ; 居住地域 (コロニー) 外の交通視環境と交通状況

ドイツ国内のコロニー外(居住地域外)の道路景観を道路クラス別に図 2.2.3-4~5 に、ドイツと国内の代表的な昼夜の交通視環境の比較例を図 2.2.3-6 に示す。

#### (1) ドイツ高規格道路の道路景観 ; アウトバーン (高速道路) や自動車専用道路

図 2.2.3-4 に一例としてフランクフルト西方約 80km の都市トリール近郊のアウトバーン A1 (高速道路) の道路景観を示す。



図 2.2.3-4 ドイツ高規格道路の道路景観 ; アウトバーン (高速道路) や自動車専用道路

ドイツの主要都市間にはアウトバーン (高速道路) や自動車専用道路の道路網が整備されている。日本の高速道路は平野部や山間部と変化の激しい地形に施設されているが、ドイツの高速道路、自動車専用道路は緩やかな丘陵部を走る。その結果、見晴らしの良い道路景観となっている。なお、そのドイツ国内の交通量は日本並み以下のレベルであると思えた。

次に道路照明など道路附属施設の設置状況について述べる。日本の高速道路では道路照明はカーブ区間やインターチェンジ部にほぼ完備されている。一方、ドイツではそれらの何れの箇所・区間においても設置は少なく、道路照明装置やトンネルの照明設備は設置されていてもそれらの性能は日本に比べると低いレベルであると感じた。案内表示などの反射表示器も日本と同様レベルに設置されている。その反射性能も日本に比べ低いレベルではあったが、運転操作に影響を与えるレベルではなかった。なお、約 2000km 走行区間で遭遇したトンネルは数カ所であった。

## (2) 居住地域（コロニー）外の国道・主要県道の道路景観

図 2.2.3-5 に一例としてミュンヘン郊外（居住地域外）国道・主要県道の道路景観を示す。

ドイツの国道・主要地方道もドイツの高速道路と同じく平野部や緩やかな丘陵地に施設されている。住宅や商工業施設はコロニー（集落）を離れると次のコロニーまで存在しない。それ故、見晴らしも良く、道路線形も非常に分かり易い道路景観となっている。その交通量は日本並み以下のレベルと感じた。また、国道・県道に係わらず道路の平面交差は非常に少ない。幹線道路での平面交差の多くはインターチェンジ方式もしくは分岐路を採用している。

次にドイツの国道・県道の交通量と走行速度について述べる。交通量はコロニーから遠ざかるに従い、交通量も減少する。そして、車両の走行速度も高くなる。昼夜ともに遅い車で 60km/h、早い車両で 100km/h 程度となる。なお、国道・県道に係わらずコロニーを離れば道路照明はほとんど設置されていない。



図 2.2.3-5 居住地域（コロニー）外の国道・主要県道の道路景観；ミュンヘン郊外

## (3) コロニー外（居住地域外）国道・主要県道の道路景観

図 2.2.3-6 に一例としてドイツアルプス及びエルベ川近郊の地方道の道路景観と再帰反射表示器を示す。ドイツは霧の発生が非常に多い。



図 2.2.3-6 コロニー外の地方道の道路景観と再帰反射表示器；ドイツアルプス及びエルベ川近郊

## (4) 日独の郊外道路（居住地域外）昼夜の交通視環境の比較

日独のコロニー外道路の昼夜の交通視環境を図 2.2.3-7 に示す。

ドイツの地方道ではコロニーを抜ければ暗黒の世界となる。そのため頼りは前照灯のみの状況となる。そして交通量が少ないため、日本以上に走行ビームを利用する割合が高い。時折すれ違う対向車への防眩対策のためすれ違いビームに切り替えるが、走行速度も高いため、その際の前方視距不足を強く感じる。

特にカーブ区間ではガードレールに巻き付けられ設置されている再帰反射テープ、ポール先端に取り付けられた再帰反射表示器からの前照灯反射光が道路線形を認識する頼りとなる。

なお、コロニー外では人・二輪車の往来はほとんどない。

一方、日本においては市街地を抜けても交通量（含む歩行者）が多いため、ビームの切換頻度が高い。また、路側には視覚ノイズとなる商業サインなどが多い。これらは眼の順応状態を頻繁に変化させる原因ともなり、運転に係わる視作業負荷を増加、即ち視覚疲労の原因ともなりうる。



図 2.2.3-7 日独コロニー外道路の交通視環境の比較

#### 2.2.3.4 調査結果 3；居住地域（コロニー）内の交通視環境と交通状況

ここでは①都市（大規模集落）、②地方の小規模集落に分け居住地域内の街路景観・交通視環境の調査結果を示す。

##### (1) 大規模集落（大都市）の街路景観・交通視環境

ミュンヘン（上段）と京都二条城・嵐山（下段）の道路景観を図 2.2.3-8 に、フランクフルト南方 25km の学園都市ダルムシュタット（上段）と下段は静岡市（下段）の道路景観を図 2.2.3-9 に示す。日独での夜間撮影条件であるが、絞りは共に開放としていた。一方、シャッター速度は日本よりドイツの方が暗かったため、遅いシャッター速度にて撮影した。

これらの写真より下記 3 項が確認できる。

##### ① 道路照明器具の配置

- ドイツ；区間全体に道路照明装置を道路中央に吊り下げ配置（連続照明）
- 日本；交差点を主体に道路照明装置を路側帯に配置（照明分散）

##### ② 街路景観（都市の街並み）

- ドイツ；街路に面しているビル地上高が統一・・・道路線形が確認しやすい
- 日本；街路に面しているビル地上高が不統一・・・道路線形が確認しづらい

##### ③ 道路空間の明るさ

- ドイツ；運転操作上の視覚ノイズとなる商業サインが少なく、歩道背景（ビル）が均一に照明されている。そのため歩道待機者の視認性が良いと思われる。

- 日本；運転操作上の視覚ノイズとなる高輝度商業サインが多く、歩道背景（ビル）の明るさは不均一である。そのため歩道待機者の視認性は両校ではないと思われる。

全体印象として、ドイツの都市道路空間は日本の都市より暗い（平均輝度が低い）のにもかかわらず、明るく道路線形が確認しやすいという印象を写真からも受ける。この原因の一つには日本の高輝度商業サイン・店舗照明があると思われる。また建築照明の観点から考察するとドイツの都市道路空間に存在する建築物は明度（反射率）の高い建材が多く使われている。そのため、歩道背景が明るく、歩行者を確認しやすい光環境となっている。また壁面における窓面積が日本に比べ小さいため照明装置からの光束を有効的に活用していると言える。

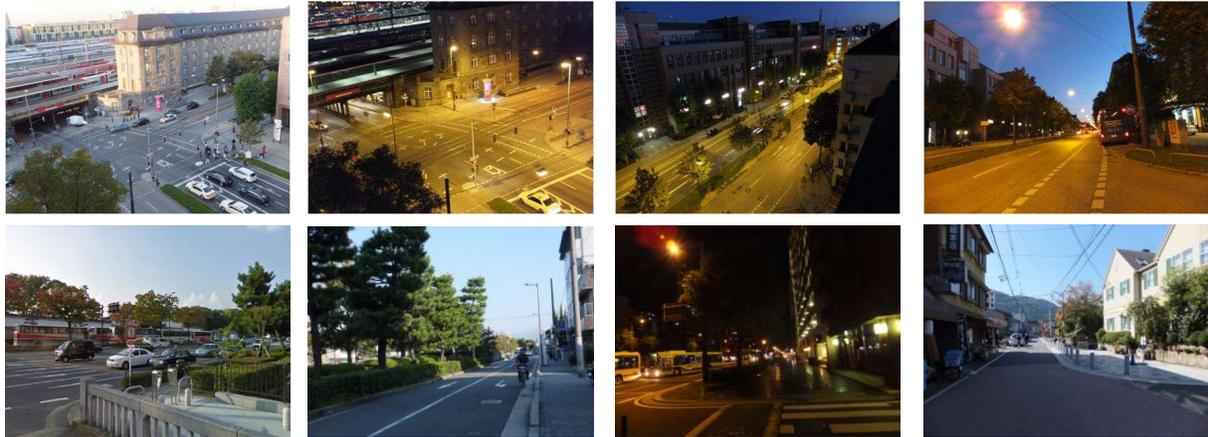


図 2.2.3-8 ミュンヘン（上段）と京都二条城・嵐山（下段）の道路景観



図 2.2.3-9 ダルムシュタット（上段）と静岡市（下段）の道路景観

## (2) 地方の小規模集落の街路景観・交通視環境

図 2.2.3-10 に地方の小規模集落の街路景観例としてルクセンブルク国境の地方都市トリール近郊の小集落（図の上段）と旧東海道宿場町蒲原（下段）を示す。

本ドイツ集落内の街路景観は前項(1)の大規模集落（大都市）の街路景観・交通視環境の①と②に記載した内容とほぼ同じである。ただし、集落規模が縮小に比例して商業施設や住宅の規模が縮小している。

前項(1)の大規模集落（大都市）の街路景観・交通視環境で未記載の特徴を追記すれば、ドイツの道路はこのような小規模集落内においても道路（もしくは歩道）と建物境界がほぼ平行となっていることである。これは路側の建築物の確認によっても道路線形が推測できることを意味する。また、歩道と路側建築物の間に歩行者の確認を妨げる障害物もない。

一方、日本では居住地域においても曲路が存在する。また、住宅敷地の道路境界側に庭・壁・駐車スペースや電柱などが存在しているため、建物のみでは道路線形が分かりづらい構造となっている。同時に壁や駐車スペースにより運転者の死角を作り出している。また、住宅の屋根、窓、壁面にはドイツに比べ比較的明度が低い建材が使用されている住居も多い。そのため夜間において道路照明や前照灯の照明効果を低下させる要因ともなっている。



図 2.2.3-10 ドイツ小集落（上段；トリール近郊）と静岡市蒲原（下段）の道路景観

### (3) その他

図 2.2.3-11 に富士市内とミュンヘン市内における街路樹・生垣と道路照明装置の配置関係を示す。道路照明装置設置箇所については街路樹を生垣に変更するか、ミュンヘンの道路照明装置のように道路中央に吊り下げ方式として照明効果を保持することが望まれる。



図 2.2.3-11 街路樹と道路照明装置の配置；左・富士市，中央・同夜間，右・ミュンヘン

#### 2.2.3.5 調査結果 4；日独の交通規制と運転者行動

ドイツの運転者は日本の運転者と比べ、制限速度は基より黄色信号も良く遵守する。

ドイツのアウトバーンは一部に速度無制限区間があるが、それらの自動車専用道路の最高速度は 130km/h に制限されている。また、国道・地方道はコロニー内では一般的に 50km/h に、コロニー外では 100km/h に制限されている。ドイツの運転者はそれまで規制速度以上で走行していても、速度規制標識やコロニー境界標識を発見すると制限速度を遵守する。これらの標識例を図 2.2.3-12 に示す。

ドイツの運転者が速度規制および信号も良く遵守する理由の一つはそれらの標識や信号機の多くに監視装置が取り付けられているからである。ドイツは交通監視社会とも言われている。因みに信号無視の罰則は1回で免許停止となっている。



図 2.2.3-12 ドイツ国内の速度規制標識およびコロニー境界標示例

#### 2.2.3.6 まとめ；交通事故低減に向けて

我が国とドイツの国土面積と一人あたりの車両保有台数とはほぼ同じ、総人口は我が国がやや多い。このような状況の中で我が国は歩行者事故がドイツの2倍強と多い。我が国は歩行者事故に関する有効な対策を実施する必要がある。その対策案を以下に記す。

- ① 市街地歩行者事故多発地点への道路照明の充実  
ドイツでは居住地域にはほぼ道路照明が完備している。我が国でも同様な対応が望まれる。
- ② 視覚ノイズとなる各種商業サインの規制
- ③ 市街地での走行速度規制・取締などの強化
- ④ 明るい夜間街路環境を実現するための各種施策の提言

(文責；小林正自)

参考文献；

- 1) M. Sivak: The information that drivers use ; Is it indeed 90 percent visual?, Perception, Vol. 25, 1081-1089 (1996).
- 2) 世界の人口ランキング-世界経済のネタ帳 (2012) ; [http://ecodb.net/ranking/imf\\_lp.html](http://ecodb.net/ranking/imf_lp.html)
- 3) 総務省統計局；都市化・交通の状況 (2005), ドイツ  
<http://www8.cao.go.jp/koutu/chou-ken/h22/pdf/ref/1-3.pdf>
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所人口統計資料集(2012)；表 9-21 主要国の都市人口割合：1950～2050年；<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/Popular2012.asp?chap=0>
- 5) 土屋宰貴；わが国の「都市化率」に関する事実整理と考察—地域経済の視点から—, 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ No.09-J-4, PP.30, 2009 ;  
[http://www.boj.or.jp/research/wps\\_rev/wps\\_2009/data/wp09j04.pdf](http://www.boj.or.jp/research/wps_rev/wps_2009/data/wp09j04.pdf)
- 6) 国土交通省, 世界の道路延長, 舗装率 (2012) ; <http://www.mlit.go.jp/statistics/pdf/23000000x023.pdf>
- 7) 道路総延長 国際比較統計・ランキン推移・global Note (2013) ;  
<http://www.globalnote.jp/post-3802.html>

## 2.2.4 夜間の視環境条件が運転者の歩行者視認性に及ぼす影響の評価

### 2.2.4.1 はじめに

夜間の道路空間の明るさは、道路照明や走行する車両の前照灯、道路沿道の商業施設からの光などが重なり合っている。均一な光環境であれば運転への影響は小さいが、それが不均一であると、対象物の見落としから運転者にとって危険の発見が遅れてしまうことになりかねない。

日本の夜間視環境の現状は、図 2.2.4-1、2.2.4-2 に示すとおり、ネオンサインなどの高輝度ノイズ光が明るさを暗く感じさせる等の原因により、空間の明るさが不均一となる。一方でドイツの夜間視環境は、建築物の壁面に明度の高い材料の利用等により、光の反射で周りが明るくなる。そして、日本と比べ店舗などのネオンサインが少ない。さらに、道路中央の吊り下げ方式の道路照明により空間を明るくできている。このことから、ドイツでは明るさが均一で道路の明るさだけで、歩行者が視認しやすく走行しやすい。

以上の状況をふまえ、本研究では、様々な夜間の道路視環境が運転者の運転しやすさ、及び歩行者視認性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。



図 2.2.4-1 日本の夜間視環境



図 2.2.4-2 ドイツの夜間視環境

### 2.2.4.2 実験の概要

運転者の視認性に関するデータを取得するために、あらかじめ撮影した映像を室内で再生し、映像の視認性を評価する実験を行った（表 2.2.4-1）。実験では、実際のフロントガラスの大きさを再現したスクリーンの手前にハンドルとアクセルブレーキペダルを設置し、できるだけ実際の運転環境と同じくするよう配慮した（図 2.2.4-3）。なお、図 2.2.4-4 は走行映像の例である。

表 2.2.4-1 実験の概要

実験日	2013年12月1日（日）～12月7日（土）
場所	秋田大学 総合研究棟7階 ゼミ室
被験者数	35名（男性：18名 女性：17名）
実験内容	夜間自動車走行映像を視聴し、歩行者を視認した際にベルを鳴らす。視聴後アンケート回答
実験時間	16：30開始（一人あたり60分）

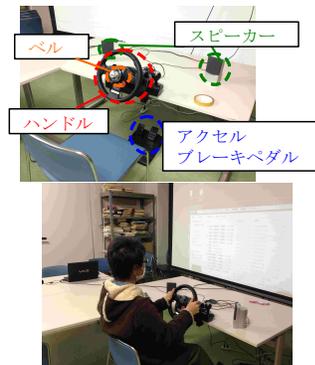


図 2.2.4-3 実験風景

表 2.2.4-2 走行映像のパターン

道路照明照度	7.5lx～14lx	14lx～20lx	20lx～30lx	30lx～40lx	なし
ヘッドライト	有無	有無	有無	有無	有無
沿道の明るさ	明暗	明暗	明暗	明暗	明暗
交通量	多少	多少	多少	多少	多少

歩行者位置を加えて45本

実験では、視聴映像ごとに明るさ・走行しやすさ等の点数を5段階評価にてつける。なお、視聴映像中に歩行者を発見したときは、被験者がベルを鳴らすことでその発見タイミングを取得した。このとき、ベルを鳴らしてから歩行者を通り過ぎるまでの時間を測定し、歩行者を確認した際の余裕距離を求める。

### 2.2.4.3 各視環境条件における評価

#### (1) 明るさに関する評価

被験者の視環境条件ごとの明るさ評価を得点化し、その傾向を把握する。得られたアンケートデータは5段階評価であるため、得点を2（非常に明るい）から-2（暗い）と点数をつけた。

図 2.2.4-5 は各視環境条件での明るさの評価を得点化したものである。得点化により、前照灯有無による明るさ評価への差を確認できる。しかし、前照灯なしでは得点が負になっていないことから、前照灯は明るさには大きな影響を与えていないと思われる。

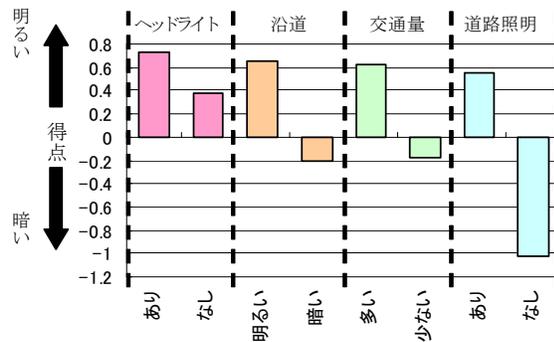


図 2.2.4-5 明るさに関する評価

一方で、沿道の明るさについては、得点に明解な傾向が示されている。沿道が暗い場所は、得点が負となっており、被験者はこの状況を比較的暗いと感じているようである。このことから、沿道の明るさ評価は「明るさ」に強く影響を受けていることがわかる。また、沿道の明るさと同様に、交通量が少ない状況では対向車の前照灯による明かりがなくなるため、得点が負となっている。すなわち被験者評価として、「暗い」と評価されているようである。得点を道路照明の有無別に比較すると、照明なしの状況において得点が負値となっており、被験者にとって「暗い」と感じる人が多いと考えられる。やはり、道路照明のない状況では遠方を視認しづらく、前照灯だけでは不安に感じてしまうことが影響したと考えられる。

#### (2) 歩行者視認性に関する評価

図 2.2.4-6 は各視環境条件での歩行者視認性の評価を得点化したものである。なお、図中に記している歩行者視認距離とは、被験者が歩行者を視認した時間をもとに、その地点から歩行者までの距離を算出した値である。

歩行者視認距離を前照灯の有無別に比較すると、前照灯の有無による歩行者視認距離の差は小さくなっている。つまり、前照灯は主として道路を照らすことが主目的であることを確認できる。沿道の明るさに関する得点をみると、その有無により得点が大きく異なり、その影響の大きさを確認できる。ここで沿道の明るさとは、道路に隣接する店舗からの明かり等を指すため、これが歩行者への視認性に大きく影響していることがわかる。交通量の多少による歩行者の視認性については、沿道の明るさのときと同様に、得点の差違が大きく見られる。加えて、交通量が少ない場所においては、

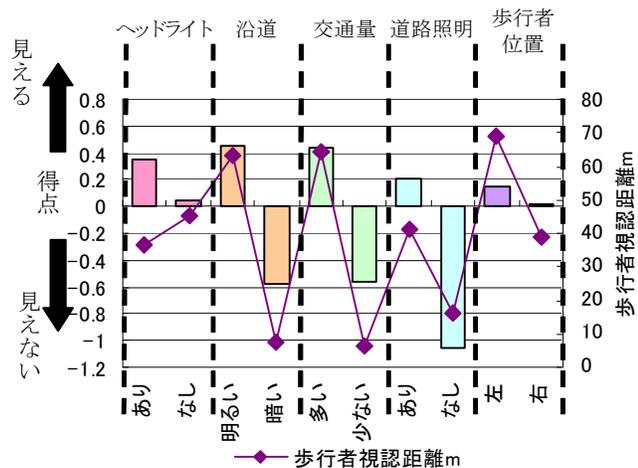


図 2.2.4-6 歩行者視認性に関する評価

得点が負であるため、この状況では歩行者が見えにくいことがわかる。得点を道路照明の有無別に比較すると、道路照明のある状況での得点は、ほかの評価項目と比べて小さいことがわかる。このことから、道路照明がただあるだけでは、歩行者の視認しやすさへの効果が小さいことがわかる。以上のことから、幹線道路の道路照明では、歩道の歩行者というよりは、車道の明るさを主眼において照らすことを主目的としていることを確認できる。

#### 2.2.4.4 各視環境条件による回帰分析

##### (1) 回帰分析による各評価への重みの検討

これまでの分析結果を踏まえ、各要素が明るさ評価などへ対する影響を定量化するため、回帰分析を行った。その分析結果をもとに、各要素間の比較を行う。

表 2.2.4-3 は、それぞれ、明るさ評価、走行性、歩行者視認性の得点を目的変数とした回帰分析結果を示したものである。この結果をみると、得られたパラメータは定数項以外全て正となっていることがわかる。すなわち、各視環境条件が良くなるにつれ得点が増加し、明るく感じる評価へとなることがわかる。

表 2.2.4-3 各評価に対する回帰分析の結果

	明るさ	走行性	歩行者視認性
前照灯	0.330(1.70)	0.368(1.82)	0.129(0.55)
交通量	0.302(1.04)	0.123(0.74)	0.579(1.66)
沿道	0.702(2.42)	0.594(3.60)	0.736(2.11)
道路照明	1.785(7.50)	1.710(9.76)	1.526(5.34)
定数項	-1.932(-6.67)	-1.621(-6.73)	-1.888(-5.43)
重相関 R	0.925	0.989	0.904
寄与率 R <sup>2</sup>	0.856	0.979	0.818

各パラメータの t 値に着目すると、道路照明の t 値は 3 つのモデルとも大きく有意な値であり、他の視環境条件と比べて影響が大きいことがわかる。また、3 つのモデルにおいて、t 値をその他の視環境条件間にて比較すると、前照灯と交通量の t 値は、明るさ評価・走行性と歩行者視認性でその値の大きさが逆の傾向を示すことがわかる。この結果から、前照灯の効果は歩行者視認性に対して大きくないと考えられる。また、沿道の明るさを 3 モデルの t 値で比較すると、走行性への影響が大きいことがわかる。さらに、走行性モデルでは、道路照明においても 3 つのモデルの中で最も大きい t 値が得られており、評価の中で一番顕著に影響していることがわかる。歩行者視認性の評価では、交通量の t 値が比較的大きく出ている。これは、歩行者の視認においては空間の明るさが重要であることが明らかになった。

##### (2) パラメータの組み合わせによる影響の把握

これまでに構築した回帰分析の結果を踏まえ、パラメータの大小を基に視環境を満たすための変数の組み合わせについて考察する。

図 2.2.4-7 は明るさを目的変数としたモデルにおいて、パラメータの組み合わせによる合計値を示したものである。なお、図中の赤線は定数項のパラメータを示しており、各変数のパラメータの合計値がこの赤線を超過する状況において、被験者にとってこの視環境が運転において許容できることとなる。この図から、道路照明とほかの視環境が 1 つでも合わさると、夜間の運転に対して許容できる明るさになることがわかる。すなわち、道路照明と沿道の明るさが合わさる状況では、前照灯なしでも許容できる明るさになることもできる。また一方で、道路照明のパラメータが加わらない状況では、他の視環境条件すべてが合わさったとしても、定数項のパラメータより大きくなることはない。したがって、道路照明がない状況では、夜間の運転に対して許容できる明るさにはならないことになる。このことから、夜間の運転に対して道路照明が重要であることが明らかになった。

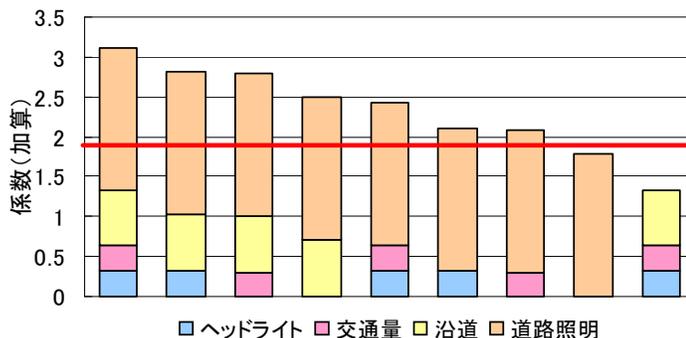


図 2.2.4-7 明るさに対するパラメータの組合せ

図 2.2.4-8 は歩行者視認性の評価を目的変数としたモデルにおいて、パラメータの組み合わせによる合計値を示したものである。この結果から、これまで考察した明るさ及び歩行者視認性を目的変数としたモデルの結果と同様に、道路照明の重要性を確認できる。ただ、歩行者視認性評価

を目的としたモデルにおいては、道路照明と前照灯の組み合わせでは、被験者にとって許容できる環境にならないことが、他の2モデルの分析結果とは異なる特徴である。これは、前照灯の照射が横断する歩行者への明かりとなっていないことが原因と考えられる。すなわち、近年多発交通事故における一因をこの分析結果において示すことができた。なお、明るさ及び歩行者視認性の分析結果と同様に、道路照明のパラメータが加わらない状況においては、他の視環境条件すべてが合わさったとしても、許容できる走行環境にならないことがわかる。

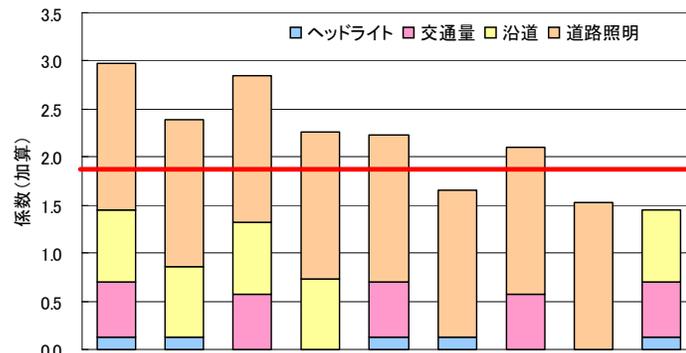


図 2.2.4-8 歩行者視認性に対するパラメータの組合せ

#### 2.2.4.5 おわりに

本研究では、夜間における様々な光源からの明るさが、運転環境へどのような影響を及ぼすか明らかにすることを目的に、映像調査からの分析により、各視環境要素の重要度を明らかにした。回帰分析の結果から、夜間走行時の重要性は、道路照明>沿道>前照灯>交通量の順に高いことを明らかにできた。なお、歩行者視認性に影響を与えている視環境条件としては、道路照明>沿道>交通量>前照灯の順となっており、明るさ及び歩行者視認性評価とは異なる傾向を示すことが明らかになった。

また、回帰分析のパラメータの組み合わせより許容できる環境条件を評価した結果から、走行性を目的とする状況では、道路照明があるだけで走行性が許容できることがわかった。歩行者視認性では、道路照明と前照灯以外の視環境が合わさると、歩行者視認性に対して許容できる結果になった。このことから、夜間の運転に対して、道路照明が重要であることを確認できた。

今後の課題として、他の視環境条件を追加し、夜間の視環境についてより広範囲に検討すること、および高齢者など調査対象属性を増やすことにより、より現実の道路環境にて生じる問題を明らかにすることが挙げられる。夜間の道路における望ましい光環境の構築においては、それぞれの光をうまく調和させることが重要である。その実現に向け、各種光源の適切な利用を図るための方法論を構築する必要がある。

(文責；浜岡秀勝)

参考文献；

- 1) 日本工業標準調査会；照度基準 (JIS Z 9110)
- 2) 日本工業標準調査会；道路照明基準 (JIS Z 9111)
- 3) 宇津木涼子, タムパイアヤ ムラリーダラン, 内田賢悦, 萩原亨, 加賀屋誠一；運転者から見た夜間における交差点視環境評価に関する研究, 第26回土木計画学演習・講演集, Vol.26, 2002
- 4) 柳沼正憲, 浜岡秀勝；運転者の視認性改善が夜間時の交差点右折事故に及ぼす影響, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, 2009
- 5) 三木克則, 萩原亨, ムラリーサラタンピア, 梶座邦朝；夜間の交差点右折時における歩行者に対する視認困難性評価に関する実験的研究, 第31回土木計画学研究・講演集, Vol.31, 2005
- 6) 堀井泰聡, 土居俊一；夜間運転時における歩行者視認性と運転行動の解析, デンソーテクニカルレビュー, Vol.17, 2012

## 2.3 まとめと課題

### 2.3.1 まとめ

欧米では都市間の幹線道路と都市内の生活道路との区分が明確であり、都市内生活道路等では、沿道照明等により比較的夜間視環境が整備されている。一方我が国では、幹線道路が生活道路として利用されることも多く、これら幹線道路では歩行者等にとって十分な視環境となっていない場合も多い。車両と歩行者が混在することで、歩行者等に係わる交通事故も多く発生している。加えて、我が国は超高齢化社会に突入し、高齢者の事故が多くを占めるようになってきた。近年の交通事故の特徴としては、夜間事故数自体は減少しつつあるものの、人対車両の事故が多く発生し、中でも幅員が5.5m～13m程度の道路で、高齢者が道路横断時に巻き込まれる事故が目立っている。

夜間の人対車両事故の発生箇所に着目すると、道路横断時（横断歩道横断、乱横断とも）に車両進行方向に対して右から左に横断する歩行者との事故が重大事故に至りやすくなっている。車両進行時には道路の左側がより明るく照射されるのに対して右側の光量は少なくなり、右側の歩行者が見えにくくなる。また、右側から進入する乱横断歩行者は、車両との距離が十分に把握できていない可能性も指摘されている。これらの要因が重なって、右から進入する横断歩行者の危険性が高まっていることが考えられる。

交差点での車両右折時の事故で、右折後、右から進入する横断歩行者との事故が多いが、これも道路横断時と同様に、前照灯光量が進行方向右側で少ないことが一因になっていることが予想される。

交通事故が発生する時間帯としては、一般道路、高速道路ともに朝、夕に多いが、死亡事故等の重大事故は日没時の視認性が急激に変化（低下）する時間帯に増加しており、周辺環境照度が交通事故に影響を与えていることは明かである。また、深夜は死亡事故に至る危険性が高くなっている。

空間的に環境照度が著しく変化するトンネルについてみると、昼間に、トンネル内の流入部付近・流出部付近やトンネル内で道路線形が変化する箇所等で事故が多くなっており、環境照度の高さや照度の変化が事故に影響を与えていることがわかる。

### 2.3.2 課題

上述の整理結果からは、一般部では日没後の時間帯、トンネル部では流入部、流出部といった、時間的、空間的照度変化時に危険である、といえる。“暗くなり始める～暗い”時間的変化、空間的変化に対しての視環境整備、特に被対象物と周辺環境とのコントラストの確保等が重要となるものと考えられる。

一方人対車両の事故状況をみると、車両前照灯で十分照射できていない箇所での被対象物の照度確保も重要である。現在の技術基準は、夜間の走行環境、視環境確保のため被対象物の視認性確保、グレアなど種々要件を考慮して、車両の前照灯照度・配光、道路照明の照度・配光等が定められているが、現在の事故発生状況を考えた場合、さらに工夫が求められているといえる。具体的には、薄暮などで周辺環境が夜間より明るい場合の被対象物視認向上方策（前照灯の照度引き上げ・配光の工夫、道路照明の照度引き上げ・配光の工夫、前照灯と道路照明の協調による照度向上等）、前照灯で十分照射できない位置の照度確保（歩道照明、右折時の前照灯の配光工夫等）等について検討が望まれる。

道路照明は、夜間の視環境整備対策として道路利用者（運転者、歩行者）の評価が最も高い。歩行者が多く利用する道路では、車両前照灯を補完するものとして、歩行者照明の整備も望まれるところである。

一方、高齢者対策や乱横断対策として、車両との距離感が十分把握されていないなど、視環境整備のみで対応することは困難であり、道路照明、前照灯のみならず歩行者自身の自衛など、三位一体の対策について検討すること必要である。さらに、高齢歩行者の運動能力の低下への対策を想定すると、主要箇所交通島を設置するなど横断距離を短くする対策や信号現示の時間設定の見直し、乱横断が多い道路での車両速度を抑制する方策の実施、さらには乱横断防止施設（柵、植樹帯）の設置等、種々対策を勘案して適切な方策を講じていくことが必要であると考えられる。

また、今後さらに交通事故を減少させるためには、事故対策に寄与する事故分析への工夫が求められる。現在の交通事故分析における課題としては、より正確な道路地図や道路地図にリンクしている道路照明設置運用情報が整備されることにより、道路照明や前照灯の交通事故防止効果がより正確に分析できるようになると考えられる。現状において、交通事故発生地点を特定するために利用されている地図のうち、最も正確なものはゼンリンの住宅地図である。この地図は道路と民地の境界線は、ほぼ正確に作成されていると考えられ、交通事故発生地点の概ねの位置は特定できる。ただし、歩行者が横断歩道を通っていたかどうか、道路照明と交通事故発生地点の正確な位置関係(道路照明の手前、真下、奥)などは、必ずしも正確に記録されていないと考えられる。住宅地図、道路基盤地図、航空測量地図、ストリートビューなどが組み合わさっている道路地図情報が交通事故入力システムに提供されることにより、より正確な交通事故発生地点が記録される。そのうえで、交通安全施設等が記録されている道路基盤地図情報やストリートビューなどを重ね合わせて、各種照明の交通事故防止効果を分析していく必要がある。

### 3 技術動向

#### 3.1 車社会の進展

##### 3.1.1 車社会の進展 1 ; ITS 進展と交通社会の将来イメージ

ITS（高度道路交通システム）とは、情報通信技術を用いて事故と渋滞を解消し、快適なモビリティを提供する自動車交通システムである。既にカーナビゲーションシステム、VICS、ETC は広く普及している。近年になって自律型や協調型の運転支援システムの導入が始まり、自動運転システムにも高い関心が集まっている。

##### 3.1.1.1 2030 年の交通社会

2030 年のわが国を特徴付けるのは、人口の減少および高齢化の進展とエネルギー・環境問題であろう。これを踏まえて ITS Japan は、図 3.1.1 のような 2030 年の交通社会の例を示している<sup>1)</sup>。

 <ul style="list-style-type: none"> <li>●高度運転支援や生活道路での交通弱者対策により、高齢者・子供等に快適なモビリティが担保される。</li> <li>●様々な官民情報が有機的に統合され、交通事故・渋滞が無く、効率的で快適なシームレスな移動が実現する</li> </ul> <p>1) 誰もが安全安心な移動環境の確保</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>●多様なライフスタイルを支える古業異形態が実現する。</li> <li>●環境負荷を軽減しつつ、正確で高効率な物流システムにより産業競争力が向上する。</li> <li>●災害対応でグローバルサプライチェーンが拡大する。</li> </ul> <p>2) ネットワーク社会を支える移動の確保</p>
 <ul style="list-style-type: none"> <li>●電動車の蓄電力を家や社会と接続し、エネルギー源の転換と需給構造変化の一翼を担う。</li> <li>●災害時にも、移動電源や移動通信局として自助・共助を支援する。</li> </ul> <p>3) モビリティとエネルギーの最適化</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>●路交通を最適にマネジメントし、多様な移動手段の組み合わせで、移動ニーズに対応した情報を提供する。</li> <li>●個々が選んだ移動と道路空間有効活用が両立し、道路の実質交通容量が拡大する。</li> </ul> <p>4) 道路交通流・交通モード連携の最適化</p>

図 3.1.1 2030 年の交通社会

(ここに示した 4 枚のイメージ図は、2013 年 10 月 ITS Japan 発行「ITS による未来創造の提言」から許可を得て転載したものである。)

### 3.1.1.2 ITS の新たな動き

2010 年頃以降自律型運転支援システムの導入が進み、2013 年からは自動運転システムに関心が集まっている。

#### (1) 安全運転支援システムの動向

運転支援技術とは、運転者が自動車を運転中に行う、認知・判断・操作の行動のうち、一部を支援するシステムで、運転時の主権は運転者にある。1990 年代以降各種運転支援 し、2010 年以降、運転支援システムの普及が顕著になってきた。2010 年 5 月に発売されたステレオカメラによる運転支援システムは、2013 年 3 月までに 10 万台以上の売り上げがあり、装着可能な車種では装着率が約 70%である。この運転支援システムは、自動車だけでなく歩行者や自転車も対象とした前方衝突被害の回避・軽減（速度差 30km/h 以内）や全車速追従機能つきクルーズコントロールの機能を持ち、その価格は 10 万円である。これらのすぐれた機能と低価格によって装着率が高くなっている（富士重工広報資料による）。

さらに最近ではさらに低価格の衝突被害軽減などの機能をもったシステムが軽自動車を中心に普及しつつある。しかしその機能は限定的で、あるシステムでは、車速 4km/h～30km/h の範囲で、低速域衝突回避支援ブレーキ機能、誤発進抑制制御機能、先行車発進お知らせ機能があるが、歩行者には対応していない（ダイハツ広報資料による）。

上述した運転支援システムは車載装置だけで機能する自律型であるが、通信を用いた協調型安全運転支援システムが実施あるいは提案されている。路車間通信を用いた ITS スポットは、すでに全国の高速道路 1600 個所に設置され、安全運転情報を路車間通信で車に伝達するが、対応する車載装置の普及が遅れている。車車間通信を利用した安全運転支援システムは、実験は行われているが、商品化はまだされていない。

ACC（アダプティブクルーズコントロール）は、1990 年代半ばに商品化されているが、乗用車では高級車を中心に装備されており、その普及率は現在 1%程度である。ACC は、先行車との車間距離と相対速度に応じて自車の速度を制御する機能を持ち、高速道路のサグ部で発生する渋滞を防止することが可能であるが、そのアルゴリズムは各社各様で、場合によってはかえって渋滞の限院となる可能性もある。そのため 2015 年完成を目標に標準アルゴリズムの作成が行われている。

先行車から車車間通信で得た加速度情報を利用する ACC を CACC（コオペラティブ（協調型）ACC）といい、ACC よりも小さな車間距離での走行を可能にする。したがって高速道路のサグ部で発生する渋滞を防止する効果は ACC に比べて大きくなる。車車間通信だけでなく、ACC の使用を運転者に伝える路車間通信（ITS スポットの利用）を用いた CACC も計画されている。

ACC は乗用車だけでなく大型トラックにも普及している。その普及率は約 10%といわれているが、十分には利用されていない。その理由として、ACC 使用時には、追突事故が多くなり、燃費も運転者がアクセル、ブレーキ操作をするよりも、悪くなることが挙げられている。

#### (2) 運転支援技術の展望と課題

最初に紹介した安全運転支援システムは、道路側や他車の設備が不要な自律型であり、通信を用いた協調型とは異なって、普及が容易である。運転者の安全安心の意識の高まりと低価格化や将来の高齢者運転者の増加を考えると、将来にわたって普及することが予想される。

しかしこれらの支援システムは、エンジンやブレーキなどの制御を含むため、アフターマーケットは存在せず、工場出荷時の設定であるためメーカーナビゲーションシステムや ETC とは異なって、急速に普及することはなく、普及には時間を要する。

協調型支援システムやCACCは、「鶏と卵」問題の解決が普及に必須である。路車協調型は、VICS、ETCに見るように、車載装置（VICS）または路上装置（ETC）の普及が「鶏」となってシステムとして広く使用されるに至っている。しかしながらITSスポットについては運転者側のニーズに必ずしも応えていないため普及が遅れている。

いっぽう車車間通信は、通信の可能性が普及率の二乗（1対1通信の場合）で効くため、特に乗用車対象では車車協調型支援の効果の発揮が非常に困難である。乗用車では、見知らぬ相手との通信という観点から運転者受容性が期待できない。車車間通信は、フリートの管理が容易な、物流のトラックや高速道路を走行するバス（長距離バス、観光バス）に導入するのが適切である。長距離を移動するトラックやバスの中でCACCを行うことによって、運転者の負担を軽減して安全運転を促進し、省エネルギーにも寄与することができる。

安全運転支援システムでは、運転者が、認知・判断・操作という制御ループに含まれるため、ヒューマンファクタが重要な課題となる。運転者が支援に対して過信も不信もしないような支援を行う必要がある。リスク・ホメオスタシス理論<sup>2)</sup>によれば、運転環境が安全になれば運転者は却って危険な行動をとるため、結果としては安全にはならない。個々の運転者がもっている安全基準をより安全な方向にシフトさせるような運転者教育が必要である。

### 3.1.1.3 自動運転システム<sup>3)</sup>

運転者が自動車を運転中に行う、認知・判断・操作の行動のすべてを行うシステムで、運転時の主権はシステムにある。自動車交通へのオートメーションの導入であり、その目的は、事故と渋滞という自動車交通問題を解決し、自動車交通のパフォーマンスを向上させることにある。

#### (1) 自動運転システムの動向

自動運転の研究は1950年代に開始され、20世紀の間は主として単独乗用車の自動運転であった。21世紀になると、近い将来の導入を目指してトラック、路線バス、小型低速車両の自動運転や自動隊列走行が取り上げられている。主なプロジェクトには、省エネルギーを目的とした自動運転トラック隊列走行のChauffeur（欧）、KONVOI（独）、カリフォルニアPATH（米）、エネルギーITS（日）；同じく省エネルギーを目的とした、先頭車が手動運転のトラック、後続車群が自動運転の乗用車のSARTRE（欧）；プレジジョンドッキング（停留所への精密な横つけ）と狭い専用レーンでの走行を目的とした路線バスの自動運転のカリフォルニアPATH（米）；交通弱者の移動手段を目的とした小型低速車両の自動運転のCyberCar（欧）；自動運転に近い運転支援を目的としたHAVE-it（欧）がある。

さらに2009年頃Googleが自動運転の乗用車を発表したのを契機に2013年になっていくつかの自動車会社や部品会社が乗用車の自動運転の商品化や都市内での実証実験の計画を発表している。たとえばスウェーデンのVOLVOは2017年までに100台の自動運転車でイエテボリ市内の市街路対象として実証実験を行う計画である。Googleの車両は、米国内のいくつかの州で公道上での走行が認められている。国内の自動車メーカーは、自動運転について以下のような発表を行っている。

- ・日産：2020年に公道で完全自動運転実用化
- ・トヨタ：運転者が運転操作をしなくても走行する「自動運転車」を2015年にも実用化
- ・ホンダ：クルマの周辺情報をセンサが捉え、障害物や危険を判断し回避する技術「協調型自動運転技術」、自動的に駐車位置に停まったり、買い物終了時に自動的にクルマが迎えにくる技術「自動バレーパーキング」を発表
- ・富士重工：2020年に自動運転車を実用化

日本政府は、『新たな成長戦略 ～「日本再興戦略-JAPAN is BACK-」～ 戦略市場創造プラン』を2013年6月14日閣議決定した。この中の「テーマ3：安全・便利で経済的な次世代インフラの構築」の中に「ヒトやモノが安全・快適に移動することのできる社会に向け、安全運転支援システム、自動走行システムの開発・環境整備、車両関連ビッグデータによる情報サービス環境の整備、物流システムの高度化などを実施します。」と自動システムの開発・環境整備が位置づけられている。

## (2) 自動運転システムの必要性和効果

自動運転は将来導入される方向にあるが、まず自動運転の対象車種や自動運転を行う場面について考える必要がある。

### ① 安全

交通事故の原因はヒューマンエラーが90%以上をしめるとされているが、事故統計データはヒューマン運転者がきわめて優秀であることを示している。平成24年版交通安全白書によれば、我が国の交通事故死者数は、近年、1億走行台キロあたり約0.7人、交通事故死傷者数は1億走行台キロあたり約100人である。これを30km/hで走行する1台の車両で考えると、死亡事故についてのMTBF（1名の死亡事故の発生間隔）は、約 $4.7 \times 10^6$ 時間（約535年）、死傷事故についてのMTBF（1名の死傷事故の発生間隔）は、約 $4.2 \times 10^4$ 時間（約5年）となる。これは、しかしながら、居眠り運転時や脇見運転時にはこのMTBFは年のオーダーから秒や分のオーダーに極端に小さくなり、これが運転支援システムや自動運転システムが必要な所以である。

事故の重大さと、道路の閉鎖など事故の影響の甚大さを考えると、自動運転の導入は、高速道路を長距離走行するトラックから始めるのが妥当である。トラックは、職業運転者が運転する、保守点検が十分に行われる、乗用車に比べて稼働率が高い、車両単価が高価である、隊列走行を行えば燃料代の節約が可能である、といったこともトラックへの導入を容易にする。逆に乗用車の自動運転は、トラックの場合と逆で、自動運転システムの価格にもよるが、普及は容易ではない。

### ② 人間にとって困難な作業の自動化

オートメーションによって人間には困難な、または不可能な作業を機械に行わせることができる。路線バスのプレジジョンドッキング、小さな車間距離での隊列走行、駐車などは、自動化する意義が十分にある。自動駐車システムはすでに商品化されている。小さな車間距離での隊列走行では、後続車からは先行車の陰になって路面が見えないために自動運転を行わざるを得ない。

### ③ 運転負荷の低減

自動運転によって長距離を走行するトラック運転者の運転負荷の低減を図ることができるだけでなく、現在すでに乗用車やトラックに商品化されているACCや将来導入が考えられているCACCによっても運転者の運転負荷を減らすことができる。ACCやCACCは、運転者の負荷を減らすだけでなく、交通流を円滑化し、とくにCACCは道路容量を増すことができ、渋滞発生を抑制する効果がある。

### ④ 隊列走行による省エネルギー化

複数の車両を小さな車間距離で走行させると空気抵抗が減少して省エネルギー効果が生じる。わが国のプロジェクト「エネルギーITS」の走行実験結果は、3台の大型トラックを車間距離4.7m、走行速度80km/h、空荷状態で走行させると、先頭車9.0%、中間車22.5%、最後尾車15.8%、平均15.8%の省エネルギー効果が生じることを示している。

### ⑤ 運転者が急病・急死時の二次事故回避

我が国において運転者が急病・急死したために発生する事故は、死亡事故の1%程度を示しているとされている。このようなときに短時間、短距離の自動運転を行って車両を路側などに安全に停止させれば、二次事故の発生を防ぐことが可能となる。

### ⑥ 移動困難者の移動手段

自動運転は、身体障害者や高齢者の移動手段となりうる。この場合、通常は短距離の移動が主体であるから、車両は1人または2人乗りの小型低速車両で十分で、安全性に対する要件も緩和することができる。

## (3) 自動運転システムの展望と課題

自動運転システムは、現在は日本国内では法律、制度で認められていないが、近い将来、特などでの運用が認められる可能性がある。しかしながら商品化が進んでいる運転支援システムとは異なって、法律、制度上の課題のほかに、技術的課題がある。

### ① 技術的課題

自動運転のための機器の信頼性やMTBF、センサの限界性能を定量的に定める必要がある。上述したようにヒューマン運転者のMTBFは通常非常に長く、機器のMTBFをヒューマン運転者と同等にすることは現実的ではないが、現行の自動車用安全機器のMTBFよりも長くし、より高信頼化する必要がある。エネルギーITSではセンサ、アクチュエータ、通信装置を二重系にし、制御用コンピュータには故障検出機能をもたせた。

### ② ヒューマンファクタに関する課題

人が制御ループに含まれない自動運転（常時自動運転、たとえば運転者のいないタクシー）では問題にならないが、人が制御ループに含まれる自動運転（手動運転と自動運転を適宜切り替える）では、特に自動運転から手動運転に切り替えるときに問題が発生する可能性がある。既に自動操縦が導入されている航空機では自動操縦から手動操縦への切り替えに際して事故が発生している。

### ③ 法律・制度上の課題

自動運転は、米国のいくつかの州では認められているが、「自動車はヒューマン運転者が運転しなければならない」というウィーンコンベンションがあってわが国ではまだ認められていない。事故時の責任の所在が大きな課題である。しかし2013年5月の安倍首相の発言があってわが国でも公道での走行に関して検討が始まっている。

（文責；津川定之）

参考文献；

- 1) ITS Japan；ITSによる未来創造の提言～誰でも、どこでも快適に移動できる社会の実現～，2013年10月
- 2) G.J.S.ワイルド（著），芳賀繁（訳）；交通事故はなぜなくなるのか，新曜社，東京，2007
- 3) 津川定之；自動運転システムの展望，IATSS Review，Vol.37, No.3, pp. 199-207, 2013
- 4) 本澤養樹，横山朋子，一杉正仁，徳留省悟；剖検例から見た運転中の病死例について，自動車技術会学術講演会前刷集20045097，2004

## 3.1.2 車社会の進展 2; ITS と道路交通情報

### 3.1.2.1 ITS の為の路車間無線通信システム

狭域専用通信 (Dedicated Short Range Communication: DSRC)は ITS アプリケーションのために開発された路車・車車間無線通信システムが国際標準化されている。例えば世界中で有料道路の料金収受サービスに ETC に使われている。日本の ETC は 5.8GHz 帯が使われており、車載機は既に 4500 万台以上、利用台数は約 700 万台/日。世界では車載器は 1 億台以上が使われている。更に日本では、ETC の次のサービスとして国土交通省が推進する ITS スポットサービスの展開が始まっている。ITS スポットサービスは現時点での車載器の普及台数は少ないが、高速道路や道の駅に設置された DSRC 路側器と車載器との間の通信によって、道路交通情報や安全運転支援を実現するシステムであり、道路照明との連携も期待される。

ITS 情報通信システム推進会議では 700MHz 帯、欧米では 5.9GHz DSRC を使った安全運転支援システムなどの ITS マルチアプリケーションシステムが実用化に向けて標準化や開発が進められている。

ITS のための無線通信方式として急激に進化している携帯電話がある。ドイツなどでは携帯電話と GPS の組み合わせによる ETC が導入されている。今後、携帯電話を使った ITS アプリケーションも登場してくるものと予測されている<sup>2)</sup>。

### 3.1.2.2 カーナビと VICS

カーナビは GPS や無線通信との組み合わせによりモニタ画面上の地図に道路交通情報を提供することから広く普及している。カーナビは日本で普及しているラインインストール型と欧米などで普及している普及型の PND (Personal Navigation Device) 型に分けられる。

VICS は日本が世界に先駆けて導入した交通渋滞情報提供システムである。通信手段としては電波ビーコン、光ビーコン、FM 多重放送の 3 方式が使われている。例えば、電波ビーコン方式は 2.5GHz または 5.8GHz を使って路側器と車載機の間で通信を行っている。

### 3.1.2.3 プローブ情報

プローブ情報は車をセンサとしていろいろな情報を集め無線通信を介してセンタに集め、解析された情報を無線や放送を通じて車のカーナビに送ったりするもので、交通情報サービスなどに利用されている。2011 年 3 月、東日本大震災の直後には、現地で自動車メカ各社が協力して車のプローブ情報を集め、被災地の通行可能と不可能の道路情報やその他の用途に活用されている。また、プローブ情報はタクシーやトラックなどの運送業者による物流効率向上への適用も進められている<sup>3)</sup>。

2020 年の東京オリンピックを目指して、リアルタイムダイナミックルートガイダンスの検討も国土交通省、VICS センタなどによって始まっている。

### 3.1.2.4 道路交通量データ

今後の照明と無線通信システムの協調システム検討にあたり、道路交通量に関するデータが必要となる。この種のデータはかねてより、道路管理者などによって収集されており、解析や応用も進んでいる。

例えば、国土交通省では各地方の道路に対する整備効果事例や様々な状況データ(交通量・渋滞・環境等)をウェブサイトで公開している<sup>4)</sup>。

### 3.1.2.5 照明と無線通信の協調システム

ガイドライトはインフラと車が協調して道路照明を作動、もしくは光量を調節するものである。不要な照明を点灯しないため省エネに貢献できる。

車からその存在 DSRC を使って車載器から路側器に送ることによって、車両照明と道路照明を融合させることができる。例えば ITS スポットサービスによるアプリケーションとして検討可能である。関連の研究が米国のバージニア工科大学で運輸省連邦高速道路局の支援を受けて積極的に進められている<sup>5)</sup>。

アプリケーションとして対向車警戒・道路線形表示システム、T 字路における交差点進路警戒システム、霧中走行支援システムなどが検討されており、日本では既に実用化されているガイドライトシステムもあるが、通信は使われていない<sup>6)</sup>。



ガイドライトシステム：一般国道 160 号 石川県七尾市大田町地先  
(出典：(一財)国土技術研究センター ホームページ)

また、自動運転や路車間通信が普及した時の照明、例えば事故発生場所付近の照度を自動的に上げるシステムや、運転が単調になりがちなので、変化を付けて眠気を防止する照明なども考えておく事や、歩車間通信によって、歩行者の存在を車に認知させる照明なども有効である。

(文責；小山 敏)

参考文献；

- 1) ITS 情報通信システム推進会議；<http://www.itsforum.gr.jp/>
- 2) 小山敏；ITS 情報通信システムの国際標準化，信学誌 Vol.95, No.8, pp.684-689, 2013.
- 3) 横田孝義；次世代交通情報通信システムを担うプローブ技術，信学誌 Vol.95, No.8, pp.718-723, 2013.
- 4) 一般財団法人国土技術研究センター；地域の ITS -ガイドライトシステム，[http://www.jice.or.jp/itschiiki-j/deployment/areas/11\\_1.html](http://www.jice.or.jp/itschiiki-j/deployment/areas/11_1.html)
- 5) バージニア工科大学交通研究所；<http://www.vtti.vt.edu/research/cibss/index.html>.
- 6) 国土交通省；整備効果事例／道路関係データ（交通量・渋滞・環境等），<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/ir-data.html>.

### 3.1.3 車社会の進展3；超小型自動車の開発動向

主要各国は、2008年のリーマンショックに端を発した景気後退対策のなかで、エコカーの普及と自動車の電動化への取り組みを進めてきている。その背景については、地球温暖化防止に向けた燃費規制強化への対応、従来の石油起源燃料への依存からの脱却、自動車ビジネスの国際競争力の強化、スマートシティとの連動、新産業育成と雇用創造など多様である。このような動きの中で、超高齢社会先進国の日本は、自助努力を希望している健常高齢者の移動の足を確保し、生活道路での歩行時や自転車利用時に多い高齢者の交通事故死を減らすために、超小型モビリティへの要望が出ている。欧州、米国、中国では、それぞれ、クワドリシクル、近隣EV、低速EVとして普及しており、高齢者に限らず、近場で小回りのきくモビリティとして、また地域活性化の手段として活用されている。

自動車の電動化とICTの利用、そしてゾーン30などの道路利用の仕組みと合わせ、自立する高齢者の自転車より安全な足として、連絡・配達・農業などの作業用として、また、環境重視の観光地での移動用として、安全で使いやすい超小型モビリティが注目されている。静かで小さい車体の超小型モビリティは、自動車や歩行者などからの視認性を確保する照明が推奨される。

#### 3.1.3.1 主要国の自動車の電動化の動き

ドイツは、CO<sub>2</sub>削減と交通社会のパラダイムシフトを視野に、2014年にBMWとVWがEVの本格的導入を始めた。規格化については、ドイツが先導し、米、中と協力関係を強めている。

米国は、スマートグリッドでの電力配給の安定化、バッテリー産業の創出、及び雇用確保を狙ったが、シェール・ガスやシェール・オイルの実用化もあり、当面、大型車に回帰している。

中国は、小型乗用EVと小型バスからスタートとし、HEVで当面の省エネを狙いつつ、2020年のEVの本格普及を狙っている。

日本は世界に先駆け1997年にHEVを、2009年にEVの専用車を発売し、開発とバリューチェーンは、従来通り、垂直統合とインテグラル方式をとっており、欧、米、中の水平分業とモジュール化との違いを示している。二次電池の開発と燃料電池自動車に注力し、スマートシティでの移動手段、V2Hでの災害対策にも注目している。急速充電器の規格では、チャデモ協議会が主体となり、普及に努め、ユーザの便益に努めている。2020年以降の厳しい燃費規制に適合するためには、各国は自動車の電動化を避けて通れない状況になっている(表3.1.3-1)。

表3.1.3-1 主要各国の電動化の特徴

	日 本	中 国	米 国	ド イ ツ
推進力	民間	政府	政府	政府
政 策	電池の開発、充電システムとインフラの整備、タウン構想等普及促進等	自動車メーカー育成技術開発、補助金・減税、標準化、レアース輸出制限等	自動車メーカー向け低利融資、スマートグリッド、電池の開発、等。シェールガス等	車両・電池の開発、普及対策、エネルギー管理、標準化、レアタールのリサイクル等
	地球温暖化対策	産業育成、環境	産 業 育 成	競 争 力 強 化
開発方式	垂 直 統 合 インテグラル	水 平 分 業 モジュール	水 平 分 業 モジュール	水 平 分 業 モジュール
標準化	デファクト⇒規格	規 格 化	規 格 化	規 格 化
事業	燃 費 規 制 対 応	企業競争力強化	ベンチャー	燃費規制対応
ステップ	HV、EV本格対応	EV/PHV目標 HVは期間対応	PHV/EV (加州ZEV規制等)	EV/PHV HV消極的
エネルギー	夜間電力活用	エネルギーセキュリテイ、原子力発電所等増設	スマートグリッドと原子力発電の推進	再生可能エネルギーとEVの統合

### 3.1.3.2 超高齢社会での高齢者の自動車への期待

#### (1) 日本は世界に先駆けた超高齢社会

日本は、1970 年高齢化社会、1994 年高齢社会、2007 年超高齢社会を迎え、国立社会保障・人口問題研究所の将来推計(2011 年 4 月 11 日発表)によると、2035 年には高齢世帯は 40%を超え、核家族が進み、一人暮らしが増加し 1845 万人とされている。健康な生活を維持するために高齢者が自立して活動し続けることができる環境が必要とされる。

#### (2) 高齢者の自動車への期待

日本自動車工業会の 2011 年度軽自動車使用実態調査によると、60 歳以上の軽自動車保有者は独居と夫婦のみの世帯が 58%、用途は日常の買物が 84%、通院や病院への送迎が 62% となっており、少ない乗車定員でよいと言うのが軽自動車の保有理由となっている。人口規模や密度が少なく公共交通機関の不便な地方では、軽自動車を足に使っている。また、60 歳以上の 60%のユーザは、農業に軽トラックは必需品としている。

高齢者にやさしい自動車開発推進知事連盟の高齢者 1 万人へのアンケート(2009 年 11 月～2010 年 1 月に実施)によると、1 日の最大運転距離 30km 以下が 93%、普段の乗車定員 2 人以下が 93.6%、一方、家族構成では 2 人が 48.9%、1 人が 7.3%である(図 3.1.3-1)。

高齢運転者は事故防止と運転補助を強く要望しており、この年齢になって加害者になりたくないと思っている人が多い。

高齢者にやさしい自動車開発推進知事連盟が実施した高齢者ドライバーアンケート

調査地域：知事連盟35道府県、調査期間：2009年11月～2010年1月、回収数：10,856件  
 回答者：65歳未満10.1%、65～74歳44.6%、75歳以上45.3%；男性79.8%、女性20.2%；  
 都市部33.0%、地方都市34.1%、農村部32.9%

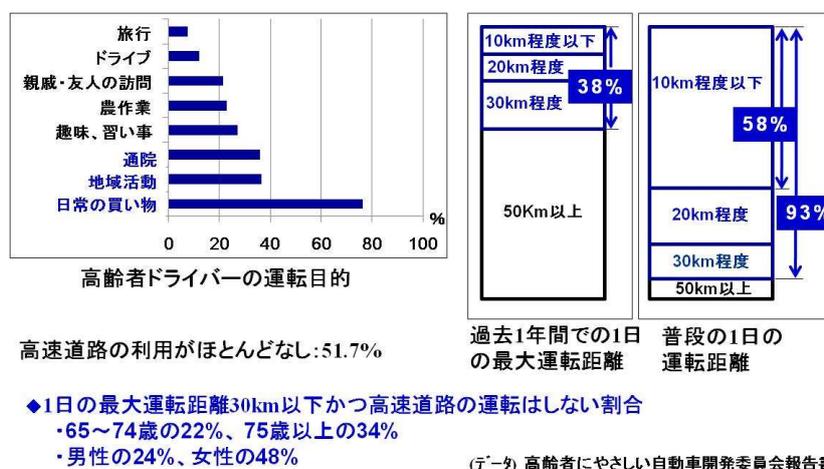


図 3.1.3-1 高齢者運転者アンケート結果

### 3.1.3.3 事故による高齢者死亡の増加、及び悲惨な事故

#### (1) 生活道路の事故が課題

交通事故件数では 52%は生活道路で発生し、歩行者と自転車の生活道路での死傷事故率は幹線道路の 4.7 倍 である。2010 年の年齢層別交通事故死者数では、65 歳以上の高齢者が 50.5%を占め、そのうち、歩行中 50.1%、自転車乗車中 23.9%と両者で 74%である。歩行者と自転車利用者の交通事故死者は、自宅から 500m 以内で 49%と最も多く発生している。登下校時の児童の列で悲惨な死傷事故が 2012 年 4 月から 1 年半の間に 5 件も発生している。

一方、ガソリンスタンドの数は、最多の 1994 年度末の 6 万 421 店から、2012 年度末には 3 万 6349 店となり、ガソリンスタンド過疎地と呼ばれる自治体は全国で 200 を超えた。EV やプラグイン HV は家で充電できる利便性を持つ。

## (2) 高齢者にやさしい自動車開発推進知事連合の提案

知事連合は、35道府県の高齢者1万人超の声を背景にして、高齢者が自立し易い2人乗りの近距離用超小型電気自動車を要請した。これは近距離用で小回りが利いて運転しやすく、軽自動車より小さく、手荷物も積み、自転車より安全で、最高速度は60km/h、かつ、高速道路は通行不可という要件である（表3.1.3-2）。

表 3.1.3-2 新規格車の要望

	軽自動車	提案新規格車(要望)	ミニカー	シニアカー
定員	4人	2人	1人	1人
衝突安全基準	あり	軽より緩い (2011年度策定予定)	なし	なし
最高速度	—	時速60Km以下	時速60Km以下	時速6Km以下
高速道路等	走行可能	走行不可	走行不可	(歩道走行)
全長	3.40m以下	2.3~2.8m	2.50m以下	1.20m以下
全幅	1.48m以下	1.3~1.4m	1.30m以下	0.70m以下
全高	2.00m以下	1.5~1.6m	2.00m以下	1.09m以下
原動機	660cc以下(注)	電動機(10~20kW)、他	20~50cc又は 250~600W	電動機

## (3) 超小型モビリティ

国土交通省は2011年に6地域で用途別に実証実験で確認後、超小型モビリティ導入ガイドラインを発表（2012年）、公道走行用の認定制度を設置した（2013年1月）。それは、安全性の確保を最優先に、高速道路等は運行しないこと、交通の安全等が図られている場所において運行すること等を条件に一部保安基準を緩和し、運転者への速度警報装置、衝突警報など事故防止装置の装備を推奨している（図3.1.3-2）。

2012年2月に実証実験の公募を開始した。そして、自治体を中心となり、地域産業の育成を狙い、高齢者や子育て支援、環境重視の観光、都市の配達・通勤・見回りなどに向けた超小型モビリティの実証実験が開始されている。

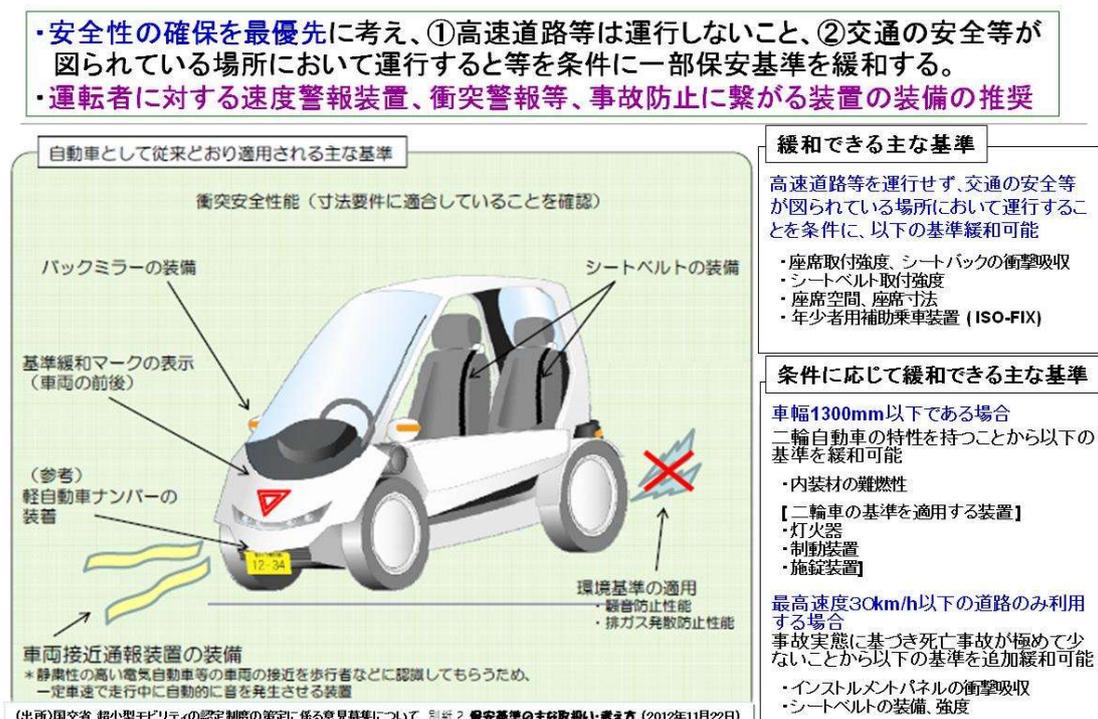


図 3.1.3-2 超小型モビリティ認定要旨

#### (4) 主要国の実態

欧州は、国連 ECE が、乗用車構造要件を大幅に規制緩和し、最高速度 45km/h 以下のカテゴリー L6 と L7 を規定している。L6 区分(軽 quadricycle) は、車両重量(除:電池) 350kg 以下、モーター 4 kw 未満(エンジン 50cc 以下) , L7 区分 (quadricycle)は、車両重量(除:電池) 400kg 以下、商用車は 550kg 以下、15kw 以下のモーターである。欧州では毎年 3.5 万台販売され、30 万台以上使用され、地方の年配者、自動車運転免許取得年齢以下の若者などが利用している。

米国では Neighborhood Electric Vehicle (NEV) と称し、ゴルフカートが使われている特定道路と高齢者住宅地域での走行から発達、今は短距離用途として、一部の一般道路でも使用されている。車両は、43 州の最高速が 40km/h (ワシントン州とモンタナ州は 55 km/h)、一充電走行距離は 48km 以上、バッテリー保証期間は 3 年などが規定されている。安全は MVSS500 要件として 前照灯、ストップランプ、テールランプ、反射器、 駐車ブレーキ、 バックミラー、 前面ガラス、シートベルト、車両認識番号を装備し、追加の車両要件等は各州に委ねる。

中国は、2006 年米国の NEV 生産の商談を受け宝雅汽車が 2007 年試作、2008 年量産し、2010 年では 3 千台弱を輸出した。山東省は、安全性を確保し、クリーンで、一般道路で支障をきたさないことを条件に低速電動車普及モデル地域に指定されている。山東省低速電動車管理法では、乗員 4 人以下、最高速度は 50km/h 以下、一充電航続距離は 100km 以上などが規定されている。山東省には 20 を超える低速 EV 生産メーカーがあり欧米へも輸出している。2009 年 15,896 台、2010 年 27,613 台、2011 年上半期 34,000 台と急増、2020 年に 200 千台に拡大が予想されている。

#### 3.1.3.4 今後の技術開発・ビジネス展望

高齢者からは、ぶつからない・ぶつけない安全技術が求められ、認知支援技術、衝突回避・被害軽減技術、運転支援技術を取り入れ、ヒューマンエラーを防止し、生活道路で人命を第一義とした超小型モビリティが求められている。生活道路ゾーン 30 での走行や複数の交通手段が共生する道路で使用するため、安全確保に、次の技術開発、使用環境整備が望まれる。

- ・見える・みられる照明、自動緊急ブレーキ、 緊急通報システム , 障害物接近警報
- ・制限速度、信号、標識の車内表示、車両の速度抑制システム、
- ・つながる車 (Connected Car)、スマホ連携

今後は、モビリティと ICT とエネルギー多様化が一体となり、多くの異業種がパートナーとなり、ソリューションビジネスが進展、2020 年以降は地域や道路を限った自動運転も期待される。

(文責;樋口世喜夫)

参考資料;

- 1) 経済産業省;次世代自動車戦略 2010, 次世代自動車戦略研究会, 2010 年 4 月
- 2) 高齢者にやさしい自動車開発推進知事連合;高齢者にやさしい自動車のコンセプト, 高齢者にやさしい自動車開発シンポジウム, 2011 年 2 月
- 3) 国土交通省;超小型モビリティ導入に向けたガイドライン, 2012 年 6 月
- 4) 国土交通省;超小型モビリティの認定制度について, 2013 年 1 月
- 5) 樋口世喜夫;生活道路で求められる人とクルマの共生, 第 2 回車と道路の照明協調に関する研究調査委員会, 2012 年 9 月
- 6) 樋口世喜夫; Low Speed Electric vehicle 内外動向, 第 9 回日中自動車技術研究会, 2012 年 7 月
- 7) 生活道路におけるゾーン対策推進調査研究検討委員会;生活道路におけるゾーン対策推進調査研究, 2011 年 3 月

### 3.1.4 車と道路の照明協調システムの研究動向

車の走行状況に応じて道路照明を制御しようという試みは特許公開資料においても見受けられる。ここでは下記3件の特許出願を代表としてその概要を紹介する。

- ① 日産自動車；道路照明システム，公開特許平 6-52701（出願日；1992年7月18日）
- ② 小糸製作所；道路照明制御装置および道路照明制御システム，公開特許 2010-52527（出願日；2008年8月27日）及び公開特許 2010-61873（出願日；2008年9月1日）
- ③ VALEO；Procédé de Commande de Faisceau D'éclairage pour Vehicules（照明装置を車用に制御する方法，欧州特許公開資料 EP2947223A1（出願日；2009年6月29日）

#### (1) 日産自動車；道路照明システム

これを図 3.1.4.1 に示す。

障害物センサが接続された道路コントローラが車両から送信される位置および速度情報を受けて時々刻々必要照明区間を算出し，その区間内にある未点灯の道路照明灯を順次点灯させる指令を道路照明制御装置に発する。その際，点灯しようとする道路照明灯の照明範囲内に障害物があるときはこの道路照明灯を瞬時に点灯

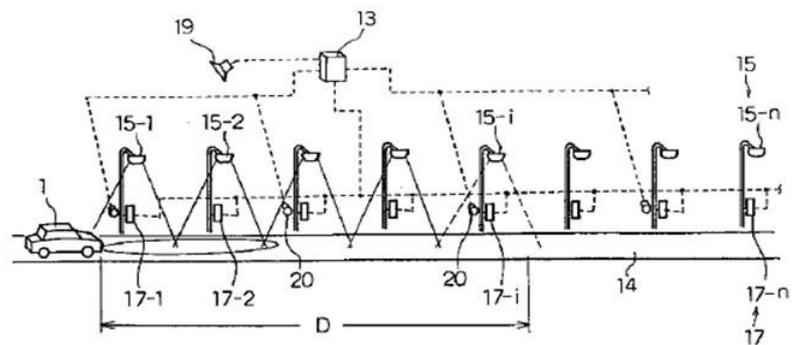


図 3.1.4.1 日産自動車；公開特許平 6-52701

させ，障害物がないときには数秒の時定数をもって点灯させる。これにより，通常は運転者にちらつき感を与えず，障害物があるときは照明されるその障害物の輝度変化が大きくなって，確実容易に認識される。また，車両の存否を検知して道路照明灯を制御するので，電力消費量問題，環境問題，省資源の点からも問題が少ない。

#### (2) 小糸製作所；道路照明制御装置および道路照明制御システム

当該公開特許に記載されている交通状況と視認性に関する問題（推測）を図 3.1.4.2-1 に示す。



- (a) 交差点内の歩行者はよく見える (b) 歩道の横断歩行者が見えない (c) 雨天時には道路照明光が路面反射が交差点の先が見えない  
グレアとなり，路上物体が見づらい

図 3.1.4.2-1 交通状況と横断歩行者視認性の問題

上記の推測問題に対応するために当該公開特許ではその対応として下記を記載している。

#### 【公開特許 2010-52527】道路照明装置側で状況を判定し，道路照明を制御

- 周辺の交通状況の情報に基づいて通常時よりも歩道を明るく照らす状況か否かを判定する判定手段と，を備え，前記制御手段は，歩道を明るく照らす状況と判定された場合，歩道の明るさが通常時よりも増すように前記照明ユニットの配光を制御する。

- 第1項の判定は、照明ユニットが照らす道路の交通量を交通状況を示す情報として取得し、その交通量が所定量より多い場合には歩道を明るく照らす状況であると判定する。
- 第1項の判定は、信号装置の点灯情報を前記交通状況の情報として取得し、その信号装置が青になってからの経過時間が所定時間より長く、かつ、前記交通量が前記所定量よりも多い場合には歩道を明るく照らす状況であると判定する。
- 第1項の判定は、天候情報を入手し、天候が雨天と判定した場合には歩道を明るく照らす状況であると判定する。

当該公開特許のシステム構成図を図3.1.4.2-2に示す。

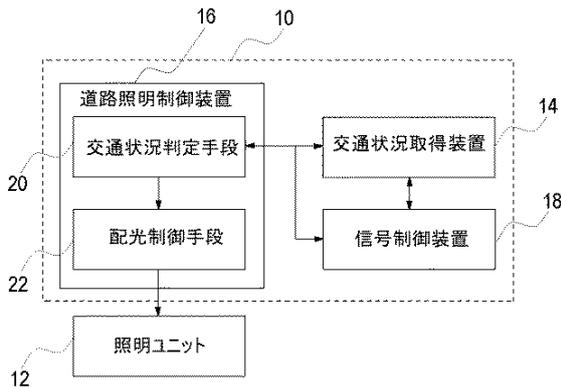


図 3.1.4.2-2 小糸製作所  
公開特許 2010-52527

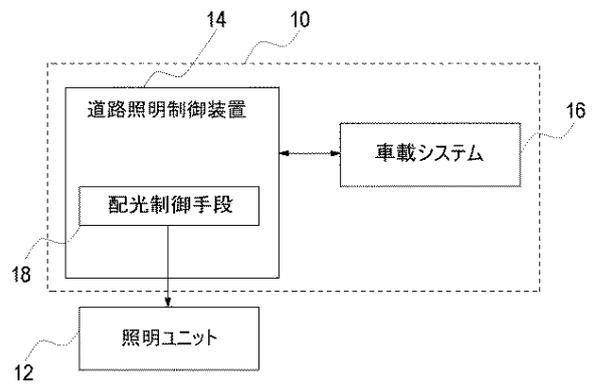


図 3.1.4.2-3 小糸製作所  
公開特許 2010-61873

【公開特許 2010-61873】車両の車載カメラで交通状況を判定し、道路照明をオンデマンド制御  
車両が車載カメラで取得した情報に基づいて道路照明をオンデマンド制御する。車載カメラによる走行車両の直近情報で道路照明装置を制御する、また、車両から直接に道路照明装置を制御するところが公開特許2010-52527と異なる。当該公開特許のシステム構成図を図3.1.4.2-3に示す。

### (3) VALEO ; Procédé de Commande de Faisceau D'éclairage pour Vehicules

自車のカーナビシステムと自車の種々のセンシング手段を組み合わせ、道路脇の道路照明装置に働きかけて道路照明装置の配光を制御し、自車の走行に利用する。これを図3.1.4.3に示す。

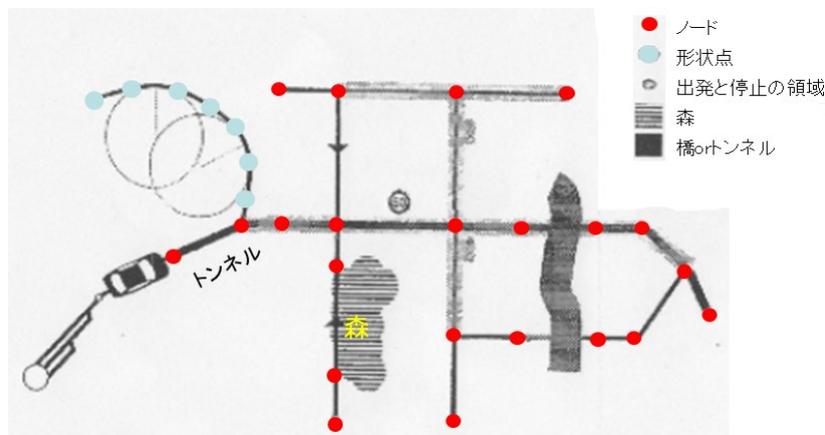


図 3.1.4.3 VALEO ; 欧州特許公開資料 EP2947223A1

(文責 ; 小林正自)

## 3.2 視認性評価技術

### 3.2.1 道路照明における視認性

道路照明は交通安全施設の一つであり，その主目的である安全確保のためには，対象物が視認できることが必要である．ここでいう対象物とは，路上の落下物や先行車などである．対象物が“視認できる”というレベルは次の3つに分類される<sup>1)</sup>．

「検出(Detection)」：何かがあることがわかる．

「定位(Localization)」：どこにあるかがわかる．

「同定(Identification)」：何であるかが認識できる．

従来の道路照明においては，「検出」乃至は「定位」が視認性の対象とされてきたが，ここでは，「検出」を対象として考察する．なお，「同定」については約20年前から検討されている．

#### 3.2.1.1 視認性の評価指標

##### ①「検出」を前提とした評価指標

「検出」を前提とした視認性の性能指標として，対象物とその背景との輝度対比（または輝度差）がある．また，対象物をその背景との輝度対比（または輝度差）で視認する場合，シルエット視（対象物が背景より暗い）と逆シルエット視（対象物が背景より明るい）の2つの形態がある．シルエット視と逆シルエット視のイメージを図3.2.1-1に示す．何れの形態で視認されるかは，対象物と背景それぞれの反射率や照明手法などによって左右される．

道路照明における対象物としては，落下物・歩行者・先行車等があり，それぞれの反射率も異なっている．図3.2.1-2の細線はSmithが提案した，歩行者の衣服の反射率とそれらの累積存在確率曲線である<sup>2)</sup>．反射率20%の対象物がシルエット視で視認されれば，それ以下の反射率の対象物は，さらに輝度対比（または輝度差）が大きくなって視認が容易であり，図3.2.1-2から，反射率20%におけるシルエット視での視認率（Revealing Power）は約90%となる．以上の前提を踏まえ，道路照明では，限界対象物のサイズを20×20cm，反射率を20%として，シルエット視による視認性のみを考慮してきた．



図 3.2.1-1 シルエット視と逆シルエット視のイメージ

次に、図 3.2.1-2 の太線は、高速道路上の落下物の累積存在確率曲線である<sup>3)</sup>。両者を比較すると、高速道路上の落下物には Smith のデータ（細線：歩行者の衣服）よりも相対的に反射率の高いものが多く存在することがわかる。このような対象物の反射率に対する存在確率に対し、シルエット視と逆シルエット視の両方を考慮したトータルの視認性を表わす評価指標として総視認率（Total Revealing Power）がある<sup>4)</sup>。総視認率 TRP は、視認できる対象物の、路上に存在する対象物に対する比率であり、次式で表わされる。ここで、高速道路上の落下物を対象とした場合にも、依然としてシルエット視による視認率 RP が、逆シルエット視によるそれ RP' よりも高いことに留意する必要がある。

$$TRP = RP + RP' \quad [\%]$$

RP：シルエット視による視認率 [%]

RP'：逆シルエット視による視認率 [%]

以上のとおり、「検出」を前提とした視認性の性能指標として輝度対比（あるいは輝度差）があり、さらに、道路照明における対象物の存在確率を考慮した視認性の評価指標として総視認率 TRP（シルエット視のみを対象とする場合は視認率 RP）があると言える。さらに、設計上の性能指標として、一定の総視認率を確保することを前提とした路面輝度が用いられる。

## ②「同定」を前提とした評価指標

「同定」は上述したとおり、“何であるかが認識できる”ことを意味する。すなわち、「検出」が対象とする“何かがあることがわかる”はクリアしたうえで、その対象物が何であるかが評価対象となる。

従来、道路照明においては「検出」を対象とし、さらにシルエット視を基本に視認性を検討してきた。しかし、首都高速道路等の重交通路線においては、運転者は「検出」レベル、即ち、前方に先行車が存在することは既にわかっており、車間距離、車道内での先行車の存在位置、追越し等の挙動など、さらに詳細な情報を必要としている。これがまさに「同定」レベルの視認性である。

「同定」を前提とした視認性の評価指標の一つとしてブライトネスがある。ブライトネス B は、目の順応を考慮したうえで、対象物の明るさを表わすものであり、次式で表わされる<sup>5)</sup>。

$$B = 1.2 (L_o^{0.4} - 3 \Delta L_{\min}^{0.7})$$

$L_o$ ：対象物の輝度 [cd/m<sup>2</sup>]

$\Delta L_{\min}$ ：輝度差弁別閾 [cd/m<sup>2</sup>]

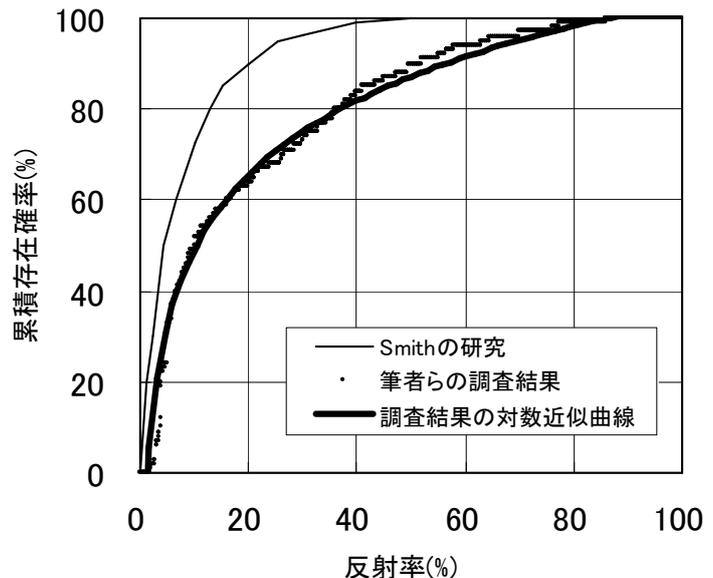


図 3.2.1-2 歩行者と路上落下物の累積存在確率曲線

ブライトネスは道路上の先行車のように、その対象物が存在することが既知であり、そのディテールが知りたい場合の視認性である「同定」の評価指標である。ブライトネスとトンネル入口における先行車視標の主観評価値との間に、図 3.2.1-3 の関係が得られている。なお、先行車を前提とした視標のサイズは縦 140cm 横 170cm、反射率は 20% である。

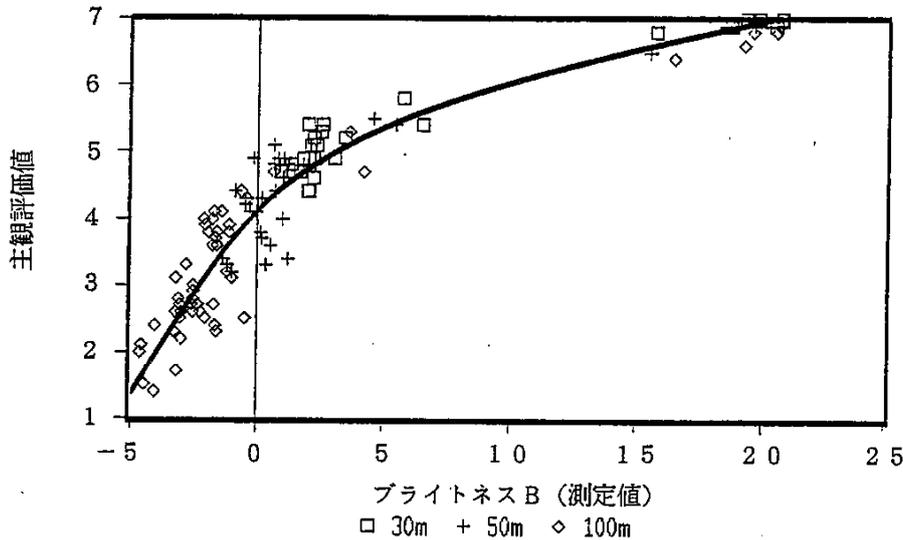


図 3.2.1-3 ブライトネスと先行車視標の主観評価値との関係

「同定」を対象とした先行車の視認性において、先行車の背面の鉛直面照度が設計上の性能指標となることが明らかにされている。トンネル入口部における先行車の視認性と鉛直面照度との関係を図 3.2.1-4 に示す<sup>6)</sup>。この図は、先行車視標の主観評価値「4」、ブライトネス 0 の条件を前提としている。トンネル基本照明下においても同様の検討が実施されている<sup>7)</sup>。なお、先行車とその背景（路面、壁面、天井面）との輝度対比と、先行車の「同定」レベルの視認性との間には相関がない。

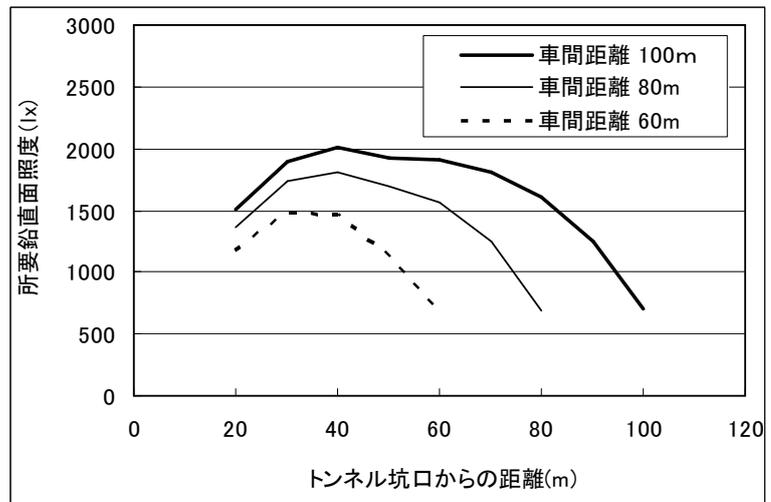


図 3.2.1-4 先行車を視認するための所要鉛直面照度

### 3.2.1.2 視認性の評価指標に関する考察

前述したとおり、従来の「検出」をベースとした視認性評価では、シルエット視が基本となっているが、実際の照明施設において専らシルエット視で視認性が確保されているかという点、必ずしもそうとは言えない。ポール照明の場合、ポール直下から手前側（運転者側）では、路面輝度が高く鉛直面照度が低いため、シルエット視で視認されるウエートが相対的に高い。逆に、ポール直下から遠方では路面輝度が低く鉛直面照度が高いため、逆シルエット視で視認されるウエートが相対的に高くなる。この結果、ポール直下を境界として、その手前側と遠方では異なる視覚情報を交互に獲得していると言える。

自動車前照灯と道路照明とのシステムを考える場合、自動車前照灯が鉛直面照度を確保しやすい特徴を有するため、『道路照明も鉛直面照度を重視した照明方式が望ましい』との意見があるが、上記の道路照明の特徴を踏まえて慎重に判断する必要がある。何故なら、自動車前照灯は直接的な対象物の視認を主目的としているが、道路照明は上述の特徴に加え、対象物の視認性ととも、誘導性の確保（道路線形表示）を今一つの重要な目的としているからである。

鉛直面照度を重視した照明方式として、プロビーム照明方式がある。この照明方式は、器具配光を道路軸方向に非対称とし、器具直下より進行方向に主たる配光を有するもので、鉛直面照度が得やすいことから、一方交通の道路において採用されている。しかし一方で、一定の路面輝度を得るための水平面照度（平均照度換算係数）が大きくなり、不経済な面も否定できない。また、上述の誘導性の確保（道路線形表示）のためには、プロビーム照明方式においても、カウンター方向（進行方向と対向する方向）に一定の器具光度を確保する必要がある。

「検出」を目的とした視認性の評価指標と、「同定」を目的とした評価指標をどう位置付けるかは今後の課題である。単純に前者を“最低基準”，後者を最低基準より裕度のある“推奨基準”と考えるのは早計である。「検出」は安全停止距離、「同定」は安全車間距離を対象とし（安全停止距離＞安全車間距離）、対象物のサイズも異なる（「検出」は20×20cm＜「同定」は140×170cm）ため、後者を対象とした方が前者を対象とするよりも低コストとなる可能性もある。高速道路では、追突事故等の車両の相互関係に依る事故が全体の約半数を占め、路上落下物に依る事故は20%未満である。重交通路線における追突事故等の対策として、「同定」を前提に鉛直面照度を増加して先行車の視認性を改善することは効果的な手段である。一方、自由走行が前提となる閑散（少交通）路線においては、従来どおり「検出」を対象とした視認性確保が適切と考えられる。

表 3.2.1 視認性の評価指標，設計上の性能指標

視認性の グレード	視認性の 評価指標	設計上の 性能指標	交通量		
			多	中	少
検出	総視認率（輝度対比）	路面輝度	△	○	○
同定	ブライトネス	鉛直面照度	◎	○	△

交通量ごとに視認性の評価指標および設計上の性能指標を定性的に分類して表 3.2.1 に示す。交通量「中」における路面輝度が現行の照明基準に規定されるレベルであり、交通量「多」においては鉛直面照度を強化する代りに路面輝度を低減、交通量「少」においては路面輝度を確保し、鉛直面照度は補助的な位置付けとする方向となる。

（文責；坂本正悦）

参考文献；

- 1) 阿山みよし：視認性の評価指標（概論）照学全大（2011）
- 2) F. C. Smith：Trans. Illum. Engng. Soc.(London)pp.196～206(1938)
- 3) 戸枝邦夫ら：高速道路照明設計に用いる限界対象物，照学全大（2003）
- 4) 岡田晃夫ら：トンネル照明における総視認率の検討，照明学会誌，Vol.90, No.8A, pp.495(2006)
- 5) Takeuchi T.:The brightness of objects in non-uniform luminance fields. Proc. of CIE 23<sup>rd</sup> Session (1995)
- 6) 武田祐之：プロビーム照明設置概要，建設電気技術（1997）
- 7) 唐澤宣典ら：トンネル基本照明下における先行車の視認性，照学全大（2002）

### 3.2.2 自動車前照灯とトンネル照明の融合時の視認性評価

#### 3.2.2.1 自動車前照灯を考慮した視認性評価

##### (1) トンネル照明の総視認率 (TRP: Total Revealing Power)

トンネル照明における総視認率 TRP は、路上のある地点に“存在する可能性のある”対象物に対する、“見える”対象物の割合(%)を表す。そして、任意の地点における背景の路面輝度よりも対象物の輝度が低い“シルエット視”における視認率  $RP_s(\%)$  の値と、背景の路面輝度よりも対象物の輝度が高い“逆シルエット視”における視認率  $RP_{rs}(\%)$  の値の和が総視認率 TRP(%)である。

$$TRP = RP_s + RP_{rs} \dots (1)$$

TRP(%)は、図 3.2.2-1 に示すとおり路上の物体の反射率  $\rho$  の累積存在確率を表す累積関数  $F(\rho)$  を用いて、式(2)で求められる。

$$TRP = F(\rho_s) + \{100 - F(\rho_{rs})\} \dots (2)$$

$\rho_s$  : 対象物をシルエット視で視認し得るための限界反射率 (%)

$\rho_{rs}$  : 対象物を逆シルエット視で視認し得るための限界反射率 (%)

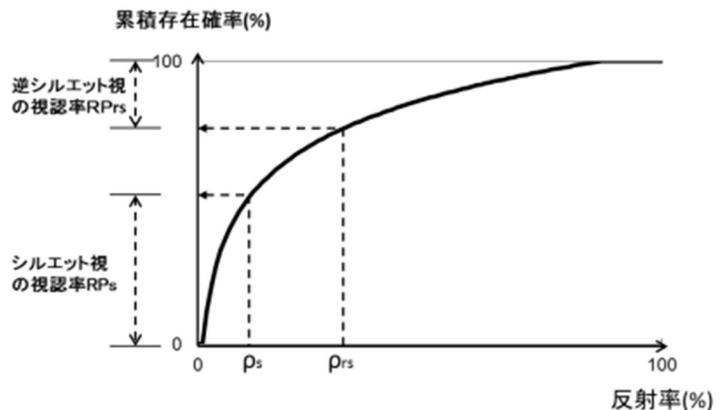


図 3.2.2-1 限界反射率と視認率

本稿では、高速道路のトンネル照明を対象とするため、路上の物体の累積関数は、戸枝ら<sup>6)</sup>により算出された式(3)を用いて各地点の TRP を算出し、灯具 1 スパン内における TRP の分布から視認性を評価する。

$$F(\rho) = 23.6 \ln(\rho) - 5.2 \dots (3)$$

##### (2) 前照灯を考慮した路上対象物の限界反射率

式(2)より、TRP は、限界反射率が決まれば一意に求まるため、トンネル照明と前照灯が融合した状態における対象物の限界反射率が求まれば、その状況下における視認性を評価できる。そこで自動車の前照灯を考慮したシルエット視での限界反射率： $\rho_s$ 、及び逆シルエット視での限界反射率： $\rho_{rs}$ を導出する。

まず、トンネル照明施設及び自動車の前照灯は独立した存在であるため、路上対象物の背景輝度  $L_b$ 、空間の等価光幕輝度  $L_{eq}$  及び鉛直面照度  $E_v$  は、それぞれ式(4)、(5)及び(6)で表すことができる。

$$\text{背景輝度 (cd/m}^2\text{)} : L_b = L_{bi} + L_{bv} \dots (4)$$

$$\text{等価光幕輝度 (cd/m}^2\text{)} : L_{eq} = L_{eqi} + L_{eqv} \dots (5)$$

$$\text{対象物の鉛直面照度 (lx)} : E_v = E_{vi} + E_{vv} \dots (6)$$

なお、

$L_{bi}$  : トンネル照明灯による路面輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

$L_{bv}$  : 自動車前照灯による路面輝度 (=  $E_{vv} / K$  (K : 輝度係数<sup>(11)</sup>)) (cd/m<sup>2</sup>)

$L_{eqi}$  : トンネル照明灯による等価光幕輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

$L_{eqv}$  : 自動車前照灯による等価光幕輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

$E_{vi}$  : トンネル照明灯による対象物 (地上高さ 0.1m) の鉛直面照度 (lx)

$E_{vv}$  : 自動車前照灯による対象物 (地上高さ 0.1m) の鉛直面照度 (lx)

対象物の反射率を  $\rho$  とし、その受光面を均等拡散面とすると、運転者から見た対象物の輝度  $L_o(\text{cd}/\text{m}^2)$  は、対象物の受光面に入射する鉛直面照度  $E_v$  を用いて、式 (7) で表される。

$$L_o = \rho \times (E_{vi} + E_{vv}) / \pi \quad \dots (7)$$

ある順応状態における路上対象物を視認するための輝度差弁別閾<sup>12)</sup> ( $\Delta L_{\min}(\text{cd}/\text{m}^2)$ ) は、中心窩順応輝度 ( $L_{af}(\text{cd}/\text{m}^2)$ ) (本稿では、平均路面輝度  $L_r(\text{cd}/\text{m}^2)$  とする) による輝度差弁別閾  $\Delta L_{\min1}(\text{cd}/\text{m}^2)$  及び背景輝度及び等価光幕輝度による輝度差弁別閾  $\Delta L_{\min2}(\text{cd}/\text{m}^2)$  から算出される。(式(8))

$$\Delta L_{\min} = \alpha \times (\Delta L_{\min1} + \Delta L_{\min2}) \quad \dots (8)$$

ここで、背景と対象物の輝度差  $\Delta L (= |L_b - L_o|)$  が  $\Delta L_{\min}$  となる時の対象物の輝度  $L_o$  は、式(9)及び(10)となる。

$$L_o = L_b - \Delta L_{\min} \quad (\text{ただし, } L_b > L_o: \text{シルエット視}) \quad \dots (9)$$

$$L_o = L_b + \Delta L_{\min} \quad (\text{ただし, } L_o > L_b: \text{逆シルエット視}) \quad \dots (10)$$

したがって、式 (7) 及び (9), (10) より、車両の前照灯を考慮したシルエット視での限界反射率  $\rho_s(\%)$ 、及び逆シルエット視での限界反射率  $\rho_{rs}$  は、式(11)及び(12)となる。

$$\rho_s = 100 \times \pi \times ((L_{bi} + L_{bv}) - \Delta L_{\min}) / (E_{vi} + E_{vv}) \quad \dots (11)$$

$$\rho_{rs} = 100 \times \pi \times ((L_{bi} + L_{bv}) + \Delta L_{\min}) / (E_{vi} + E_{vv}) \quad \dots (12)$$

なお、本研究では式(8)中の  $\Delta L_{\min1}$  及び  $\Delta L_{\min2}$  を式(13)及び式(14)より算出する<sup>13)</sup>。

$$\log \Delta L_{\min1} = 0.089 \times \log(L_{af})^2 + 0.13 \times \log(L_{af}) - 0.69 \quad \dots (13)$$

$$\log \Delta L_{\min2} = \log(L_{eq} + L_b) - 0.77 \quad \dots (14)$$

ここで式(13)及び式(14)には道路照明環境での評価を前提に、フィールドファクタ (以下、FF) として、 $FF_{\text{Road}}=3$  が考慮されている。FF とは、対象物を視認し得る背景と対象物の輝度差の所要値において、路上対象物の存在を予期している場合と予期していない場合との所要値の比である<sup>14)</sup>。道路とトンネルでは、運転者の視環境や、対象物の視認性に関わる条件が異なるため、FF を個別に設定する必要がある<sup>15)</sup>。本稿では、トンネル照明を対象とするため、既往研究<sup>16)17)</sup>を考慮し、 $FF_{\text{Tunnel}}=6$  とする。(したがって、式(8)中の  $\alpha=2$  とし、以下における輝度差弁別閾の算出時も同様とする)。

### 3.2.2.2 トンネル照明の照明方式

トンネル照明には、図 3.2.2-2 に示す 3 つの照明方式がある<sup>1)</sup> (道路照明は基本的に対称照明方式であり、一部にプロビーム照明方式の採用例がある)。

対称照明方式は、文字どおり灯具直下から道路軸方向前後に対称な配光を有し、路面輝度、路上空間の照度を含め総合的にバランスのとれた照明方式であり、多くの場合に採用される。非対称照明方式には、カウンタービーム照明方式とプロビーム照明方式がある。カウンタービーム照明方式は運転者と向き合う (counter) 方向に主たる配光を有し、効率的に路面輝度が確保できるため、交通量の少ないトンネルの入口照明に採用されている。対称照明方式のコントラスト係数 (路面輝度/鉛直面照度) は 0.2 以下、カウンタービーム照明方式のそれは 0.6 以上と定義されている<sup>14)</sup>。

プロビーム照明方式は進行 (pro-) 方向に主たる配光を有し、鉛直面照度を強化することにより、先行車の視認性を改善することを目的とした方式である。この方式については、特にコントラス

ト係数のような定義はなく、鉛直面照度について照度基準が示されている。これは、先行車のように対象物の存在が既知である場合の視認性は、対象物と背景との輝度対比ではなく、対象物自体の輝度（照度）との間に高い相関があることが明らかになっているためである。

従来、プロビーム照明方式は先行車の視認には優れた方式である半面、路上障害物を前提とした限界対象物（サイズ 20×20cm、反射率 20%）の視認性は劣るとされてきた。しかし、最近の既往研究において、対称配光のトンネル照明の場合、鉛直面照度を加えると、総視認率はある程度まで低下した後一定となり、必ずしも視認性は低下するとは言えないことが明らかにされている。

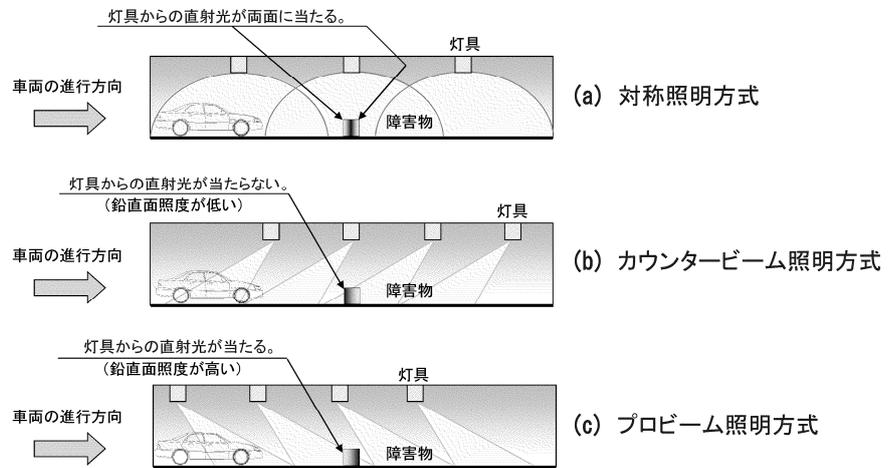


図 3.2.2-2 トンネル照明方式

### 3.2.2.3 自動車前照灯及びトンネル照明灯の光学特性

#### (1) 自動車前照灯

##### ①すれ違いビームの光学特性

すれ違いビームの光学特性を図 3.2.2-3 に示す。図 3.2.2-3 より、前方 40m 地点において、すれ違いビームによる水平面照度は 1 lx 以下、鉛直面照度は、走行車線で約 20 lx、追越車線で約 10 lx 程度となる。前方 100m 地点では、水平面照度及び鉛直面照度ともに 1 lx 未満となる。したがって、前方 100m 地点での

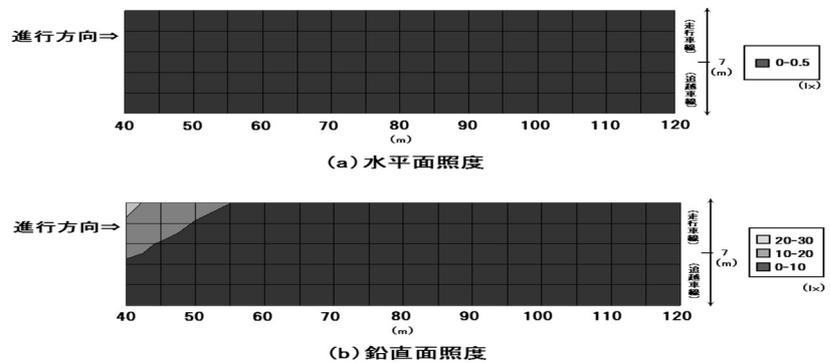


図 3.2.2-3 照度分布（すれ違いビーム）

対象物の視認を前提とする高速走行領域では、式(11)及び式(12)に示した対象物の限界反射率への影響が少ないため、すれ違いビーム単独での視認はほとんど期待できないことが推察される。なお、ここで述べている対象物の視認とは、1 辺 20cm の平面体が「検出」できることを指す。

##### ②走行ビームの光学特性

走行ビームの光学特性の測定結果を図 3.2.2-4 に示す。図 3.2.2-4 より水平面照度は、40m 付近では走行車線で 1 lx 程度であり 90m 以遠は 0.4 lx 以下であった。鉛直面照度は、80m 付近で、走行車線 20~40 lx 程度、追越車線 20 lx 以下、90m 付近で走行車線側約 15 lx、追越車線側 10 lx 以下、120m 付近で走行、追越車線ともに 10 lx 程度であった。100m 付近において、水平面照度が 1 lx 以下であることから、路面輝度はほぼゼロとなるのに対し、鉛直面照度が 10 lx 程度あることは、例えば反射率 20% の対象物の輝度は、式(7)より約 0.6cd/m<sup>2</sup> となるため、前照灯単独で視認で

きることが推察される。このことから走行ビームの場合、路上対象物は、逆シルエット視で、ある程度視認できることが推測される。また、鉛直面照度が走行車線と追越車線で異なることから、トンネル照明との融合時における路上対象物の視認性は、車両が走行する車線と隣接車線で異なることが予想される。

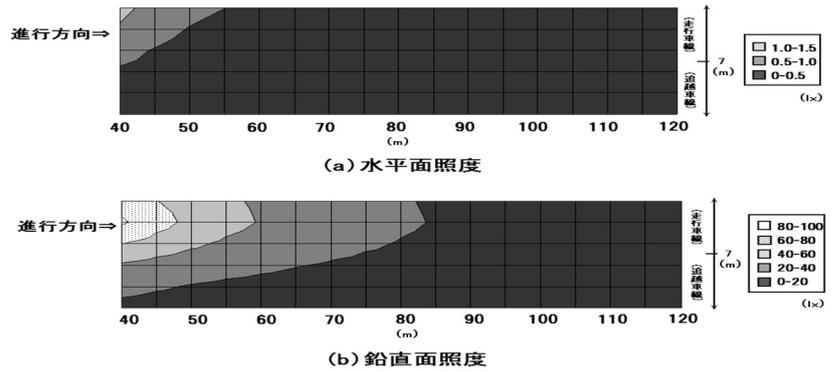


図 3.2.2-4 照度分布（走行ビーム）

(2) トンネル照明灯

① 対称照明方式灯具の光学特性

対称照明方式のトンネル照明灯について、照明条件を2車線断面のトンネル（一方交通、道路幅員7m）、灯具配光（蛍光灯：図3.2.2-5）、灯具配置：向合せ、路面反射特性：CIE C<sub>2</sub>（アスファルト）、灯具高さ5.0m、灯具間隔10.0m、平均路面輝度4.5cd/m<sup>2</sup>のときの光学特性（水平面照度、鉛直面照度）を図3.2.2-6に示す。（図3.2.2-5のA断面及びB断面は、道路横断方向及び縦断方向の配光特性を示す。）

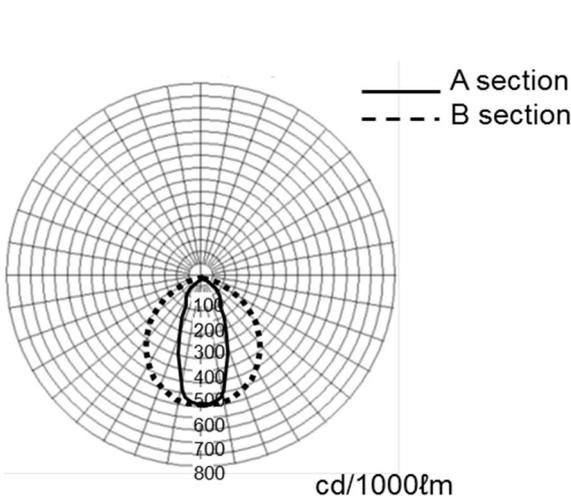


図 3.2.2-5 配光曲線（対称照明方式）

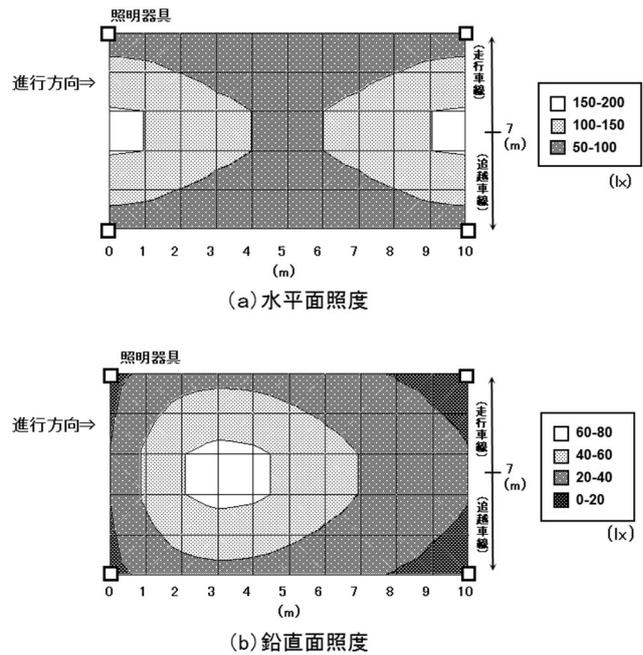


図 3.2.2-6 照度分布（対称照明方式）

図 3.2.2-6 より、対称照明方式の光学特性の特徴として、水平面照度は縦断方向灯具位置の車線中央付近が最大となり、灯具間中央付近で最小となる。一方、鉛直面照度は、灯具の直下及び路肩で最小となり、進行方向の手前の灯具から約 1/3 スパン前方で最大となることがわかる。

② プロビーム照明方式灯具の光学特性

2車線断面のトンネル（一方交通、道路幅員7m）、灯具配光（プロビーム配光：図3.2.2-7）、灯具配置：向合せ、路面反射特性：CIE C<sub>2</sub>（アスファルト）、灯具高さ5.0m、灯具間隔10.0mにおいて、平均路面輝度：4.5cd/m<sup>2</sup>のときのトンネル照明の光学特性（水平面照度、鉛直面照度）を図3.2.2-8に示す。図3.2.2-8より、水平面照度及び鉛直面照度ともに灯具間中央付近で高くな

っている。また灯具1スパン内において、対称照明方式に比べ、鉛直面照度が路面輝度に対して高い照明特性となっていることがわかる。

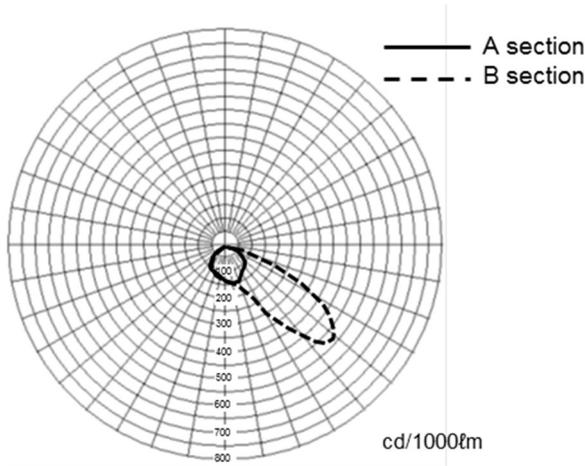


図 3.2.2-7 配光曲線（プロビーム照明方式）

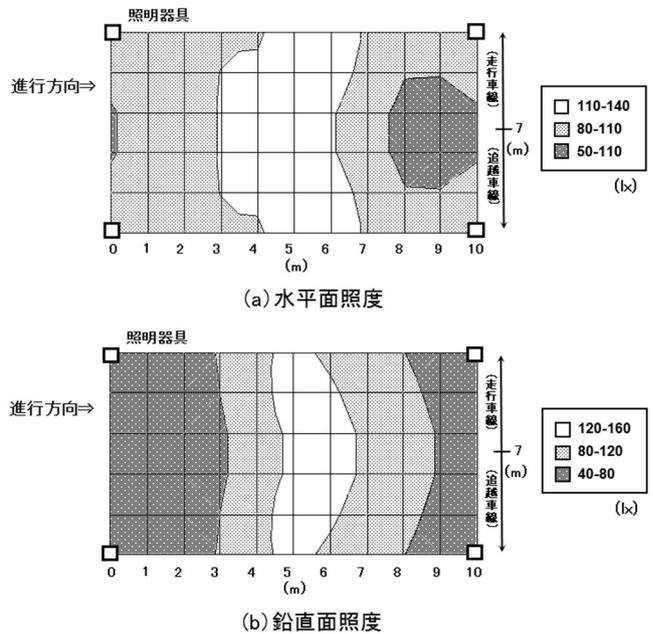


図 3.2.2-8 光学特性（プロビーム照明方式）

### 3.2.2.4 総視認率による視認性評価

#### (1) 対称照明方式の TRP

図 3.2.2-9 及び図 3.2.2-10 に平均路面輝度が  $1.1\text{cd/m}^2$ 、及び  $4.5\text{cd/m}^2$  のときの照明灯具1スパン内の TRP を示す。なお、背景輝度は図 3.2.2-6 から逐点法により算出した。なお、観測距離は  $40\text{m}$  及び  $100\text{m}$  とし、等価光幕輝度は、トンネル照明設置条件下において平均路面輝度  $1.1\text{cd/m}^2$  及び  $4.5\text{cd/m}^2$  でそれぞれ算出した。また前照灯の光学特性については、観測距離が  $40\text{m}$  のとき、すれ違いビーム、観測距離が  $100\text{m}$  のとき、走行ビームを用いて算出した。観測距離  $40\text{m}$  及び  $100\text{m}$  とした理由は、すれ違いビーム及び走行ビームの性能基準に対する比較と、市街地及び高速道路（設計速度  $40\text{km/h}$  及び  $80\text{km/h}$ ）を想定した評価を試みるためである。

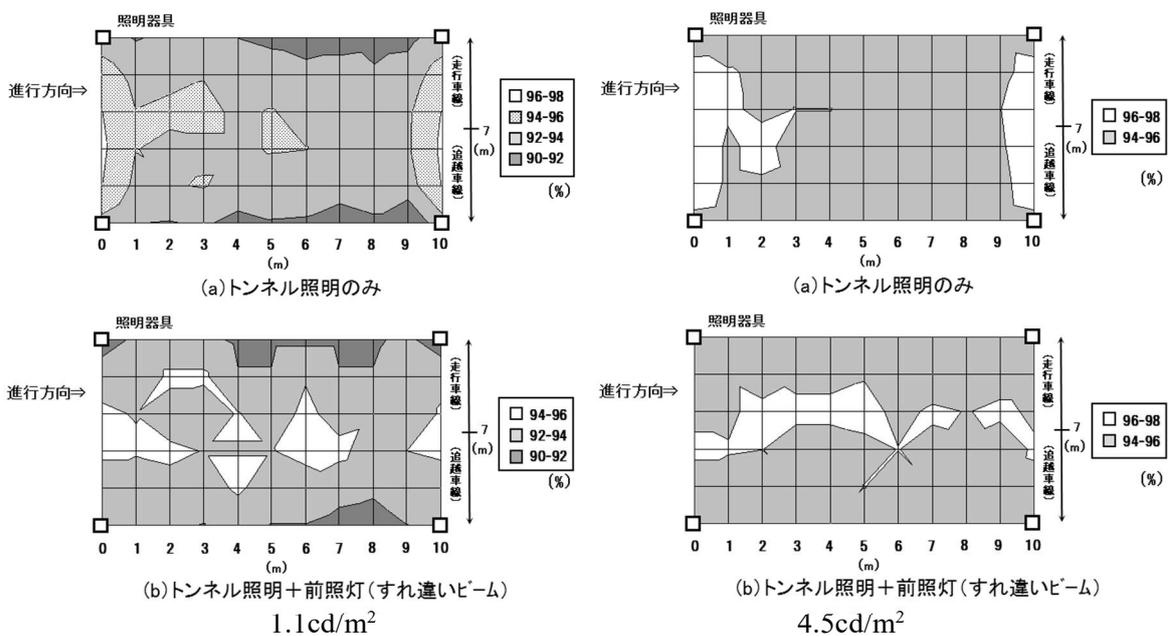


図 3.2.2-9 TRP の分布（対称配光）観測距離  $40\text{m}$

図 3.2.2-9 (a)よりトンネル照明単独による TRP は、観測距離 40m においてスパン全体で高いことがわかる。これにすれ違いビームが加わっても、TRP は融合前後でほとんど変化していない。

一方、観測距離 100m において、図 3.2.2-10 (a)より、トンネル照明単独による TRP は、照明灯具近傍で高く、照明器具近傍を除く車線の縦断方向において一様となる。走行ビームが加わる(同図(b))ことで、TRP は灯具近傍で同図(a)と比較して低下し、道路縦断方向で一様となることがわかる。また、平均路面輝度が  $4.5\text{cd/m}^2$  の場合、前照灯の有無に関わらず TRP は灯具スパン内で概ね一様となるのに対し、平均路面輝度が  $1.1\text{cd/m}^2$  の低い場合、TRP は道路車線中央の灯具位置付近で高く、進行方向の手前灯具から  $2/3$  スパン前方付近(図 3.2.2-9 の 6~8m の位置)で低くなることがわかる。

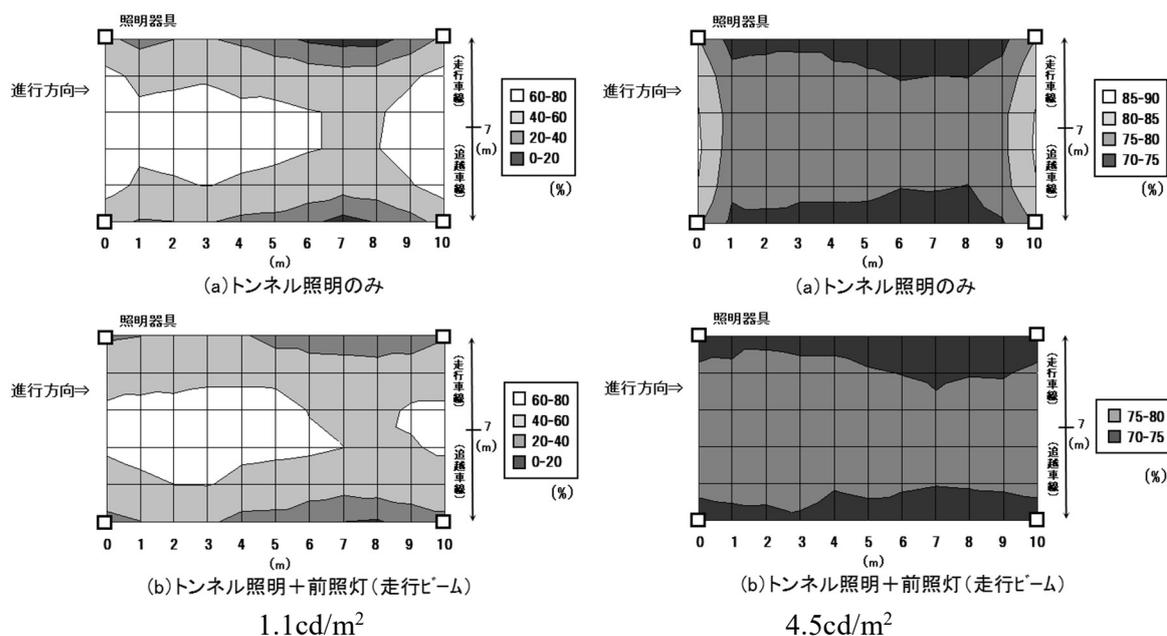


図 3.2.2-10 TRP の分布 (対称配光) 観測距離 100m

表 3.2.2-1 に各地点の TRP の基本統計量を示す。同表から、観測距離が 40m の場合、灯具 1 スパン内 TRP の平均値(以下、 $\text{TRP}_{\text{ave}}$ )は、平均路面輝度かつ前照灯の有無によらず 90% を超えており、高い視認性が確保されることがわかる。なお、別途実施した検討より、観測距離 40m における、すれ違いビームのみによる TRP は約 90% であった。このことから、トンネル照明の  $\text{TRP}_{\text{ave}}$  と前照灯の TRP との間に加法性はなく、シルエット視による視認率  $\text{RP}_s$  と逆シルエット視の視認率  $\text{RP}_{rs}$  の比率が変わるのみであることに留意されたい。

表 3.2.2-1 TRP の基本統計量 (対称照明方式)

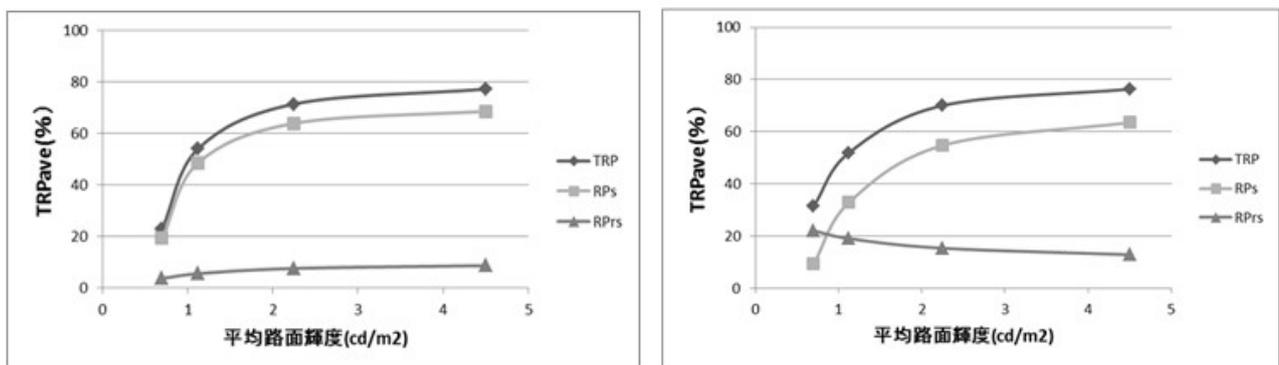
観測距離	40m (すれ違いビーム)				100m (走行ビーム)			
	1.1cd/m <sup>2</sup>		4.5cd/m <sup>2</sup>		1.1cd/m <sup>2</sup>		4.5cd/m <sup>2</sup>	
平均路面輝度	前照灯無	前照灯有	前照灯無	前照灯有	前照灯無	前照灯有	前照灯無	前照灯有
平均	93.0	93.0	95.7	95.6	50.4	49.9	76.3	75.2
標準偏差	1.4	1.0	0.5	0.4	15.8	13.2	3.2	2.1
分散	1.9	1.0	0.3	0.2	250.4	175.4	10.1	4.3
最小	87.6	90.5	94.9	94.6	11.8	18.0	71.2	71.3
最大	96.4	94.5	97.6	96.5	73.6	65.1	85.7	78.0

観測距離が 100m の場合、 $\text{TRP}_{\text{ave}}$  は平均路面輝度により大きく異なることがわかる。走行ビームによる  $\text{TRP}_{\text{ave}}$  の変化は、約 1 ポイント以内の変化であった。また、走行ビームが加わることにより TRP の分散が小さくなる傾向が見られ、かつ TRP の最大値と最小値の間隔が狭まっている。

このことから、1 スパン内で照度分布があるトンネル照明に対し、前照灯は、観測距離だけ離れた地点での照度（一定）を用いたため、トンネル照明単独時の照度分布により生じる TRP の分布のムラを改善する効果があると考えられる。

なお、別途実施した検討より、観測距離 100m における、走行ビームのみによる TRP は約 50% であった。このことから、TRP に基づく視認性評価では、走行ビームは、平均路面輝度  $1.1 \text{ cd/m}^2$  のトンネル照明とほぼ同等の視認性が確保できると言える。

次に、照明設置条件は一定とし、平均路面輝度を  $0.7 \sim 4.5 \text{ cd/m}^2$  の範囲で変化させたときの  $\text{TRP}_{\text{ave}}$  を図 3.2.2-11 に示す。同図より、対称照明方式の場合、トンネル照明単独の  $\text{TRP}_{\text{ave}}$  は、平均路面輝度に依存し、シルエット視による視認率  $\text{RP}_s$  が支配的であることがわかる。また、前照灯融合時は、逆シルエット視による視認率  $\text{RP}_{rs}$  の割合が増加し、平均路面輝度  $0.8 \text{ cd/m}^2$  以下で逆シルエット視による視認率  $\text{RP}_{rs}$  が支配的となることがわかった。



(a)トンネル照明のみ

(b)トンネル照明+前照灯(ハイビーム)

図 3.2.2-11 平均路面輝度と  $\text{TRP}_{\text{ave}}$ (対称照明方式)

## (2) プロビーム照明方式の TRP

プロビーム照明方式の TRP の分布及び各地点の TRP の基本統計量をそれぞれ図 3.2.2-12、図 3.2.2-13 及び表 3.2.2-2 に示す。

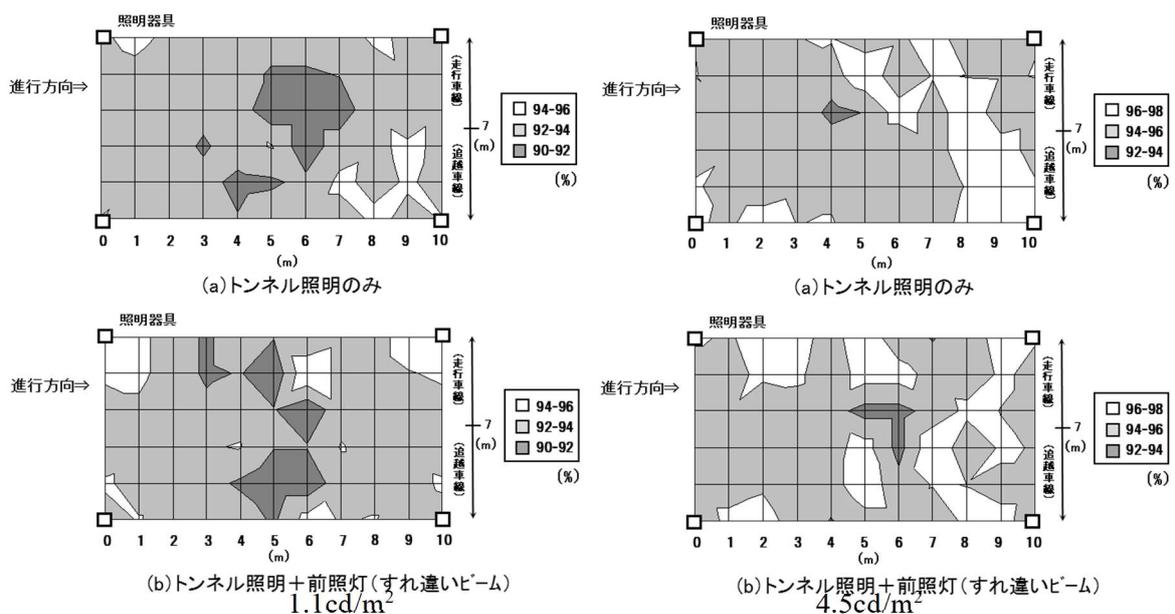


図 3.2.2-12 TRP の分布（プロビーム配光）観測距離 40m

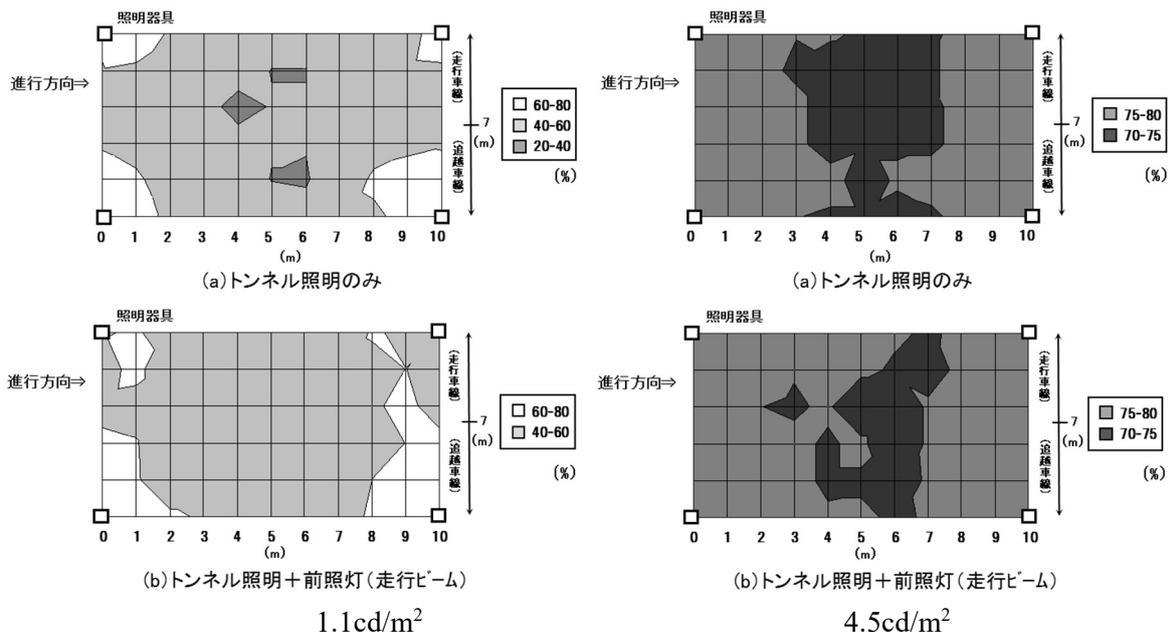


図 3.2.2-13 TRP の分布 (プロビーム配光) 観測距離 100m

表 3.2.2-2 基本統計量 (プロビーム照明方式)

観測距離	40m (すれ違いビーム)				100m (走行ビーム)			
	1.1cd/m <sup>2</sup>		4.5cd/m <sup>2</sup>		1.1cd/m <sup>2</sup>		4.5cd/m <sup>2</sup>	
平均路面輝度	前照灯無	前照灯有	前照灯無	前照灯有	前照灯無	前照灯有	前照灯無	前照灯有
平均	93.1	93.0	95.6	95.6	53.2	54.2	75.6	75.8
標準偏差	1.0	1.1	0.8	0.9	7.7	6.2	1.6	1.9
分散	1.0	1.3	0.6	0.9	58.7	38.3	2.5	3.5
最小	90.5	90.5	93.3	93.3	34.3	42.6	72.4	69.6
最大	94.4	95.7	97.2	97.5	62.3	64.1	77.8	78.3

図 3.2.2-12 及び図 3.2.2-13 よりプロビーム照明方式は対称照明方式に比べ、前照灯の有無に係らず灯具直下付近の TRP の変化が少なく、平均路面輝度 1.1cd/m<sup>2</sup> のとき、道路中央の灯具付近で TRP が変化していることがわかる。また、表 3.2.2-2 より、観測距離が 40m の場合、TRP<sub>ave</sub> は、平均路面輝度に関わらず前照灯の融合時にも変化しないことがわかる。同表の分散も 1 程度と非常に小さく TRP の分布にムラがないことがわかる。一方、観測距離が 100m の場合、対称照明方式と同様に、TRP<sub>ave</sub> は平均路面輝度により大きく異なることがわかる。走行ビームによる TRP<sub>ave</sub> の変化は、約 1 ポイント以内の変化であった。TRP の分散、最大値、最小値からも変化が少なく、路上対象物の灯具 1 スパン内の平均的な視認性にはほとんど影響しないことがわかる。

図 3.2.2-14 にプロビーム照明方式の平均路面輝度に対する TRP<sub>ave</sub> を示す。同図より、プロビーム照明方式の場合、トンネル照明のみの場合と前照灯が加わった場合のシルエット視の視認率 RP<sub>s</sub> と逆シルエット視の視認率 RP<sub>rs</sub> の比率の変化が対称照明方式よりも少ないことがわかる。これは、図 3.2.2-7 及び図 3.2.2-8 に示したとおり、プロビーム照明は前照灯と同様、道路軸方向前方に主たる配光を有するためであり、主たる視認方法が逆シルエット視となるためである。

なお前述したとおり、前照灯単独のみによる TRP は、観測距離 40m におけるすれ違いビームにおいて約 90%、観測距離 100m における走行ビームにおいて約 50% であり、プロビーム照明方式においてもトンネル照明のみによる TRP<sub>ave</sub> との間に加法性は成立しない。

以上より、対称照明方式及びプロビーム照明方式ともに灯具 1 スパン内の TRP<sub>ave</sub> は、前照灯融合時においてもほとんど変化せず、平均路面輝度に依存することがわかった。さらに、トンネル

照明と前照灯の融合時の効果としてトンネル照明単独時の照度分布により生じる TRP の分布のムラを改善する効果が示唆された。

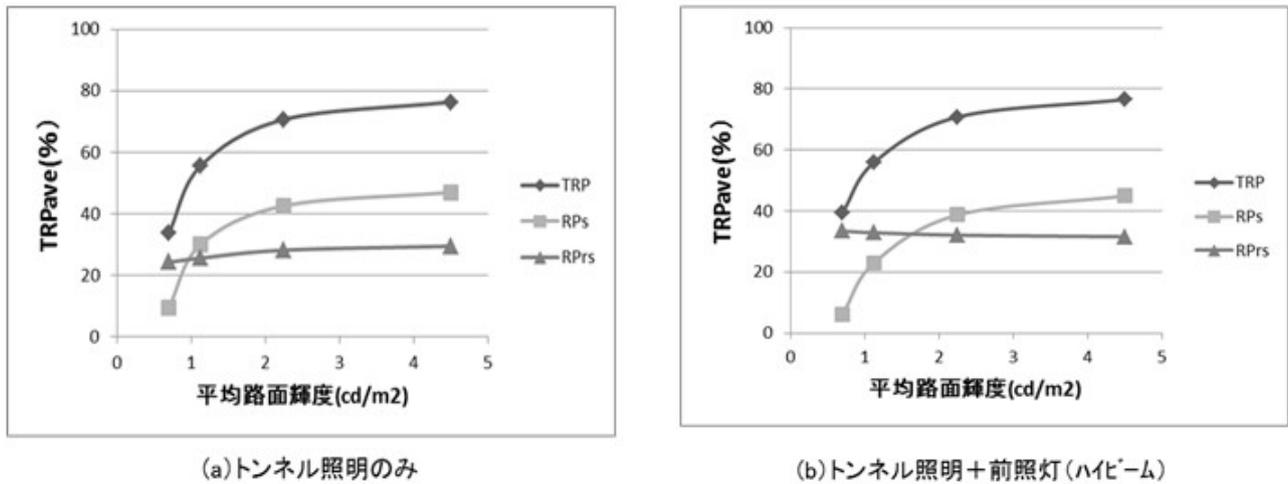


図 3.2.2-14 平均路面輝度と TRP<sub>ave</sub> (プロビーム照明方式)

### 3.2.2.5 考察

これまでトンネル照明と自動車前照灯における対象物の視認性評価は、それぞれ別の方法・基準により実施されてきた。そこで、本研究では、総視認率 TRP に基づき、トンネル照明と前照灯との融合時における対象物の視認性の定量的な評価を行った。

その結果、灯具 1 スパン内の TRP の平均値 (TRP<sub>ave</sub>) による評価より、照明方式、平均路面輝度に関わらず、前照灯の有無によって視認性はほとんど変化しないこと、TRP<sub>ave</sub> は平均路面輝度に依存し、かつ、平均路面輝度が高いほどシルエット視が支配的であり前照灯の影響を受けにくいことを明らかにした。また、対称照明方式の場合、平均路面輝度が低いほど前照灯による逆シルエット視の割合が高まることを示した。一方、プロビーム照明方式は、前照灯融合時における対象物の視認性への影響が少ないことが示唆された。このような照明方式ごとの前照灯の影響の違いの評価は今後の検討課題である。

トンネル照明単独の TRP、前照灯単独の TRP と、両者が融合した場合の TRP には単純な加法性は成立しない。本報告では前照灯のみによる TRP の説明は割愛したが、前述したとおり、すれ違いビームによる観測距離 40m の TRP は約 90%、走行ビームによる観測距離 100m の TRP は約 50%となる。観測距離 40m においては、すれ違いビームによりトンネル照明と同程度の TRP が得られるが、観測距離 100m の場合には、トンネル照明のみによる TRP (約 75%) と比較すると、前照灯のみによる TRP はやや低い傾向にある。

トンネル照明は壁面上部に設置された“固定照明”に対し、自動車前照灯は“移動照明”である。今回は道路照明基準の安全停止距離の観点から、静的なトンネル照明に、40m (すれ違いビーム)、100m (走行ビーム) を観測距離とする前照灯が動的に (移動しながら) 加わるという考え方により検討した。しかしながら自動車前照灯のみでも、すれ違い・走行ビームに対応するエリア内において、一定の視認性が確保されていることは事実である。したがって、今後さらなる検討を行うにあたっては、融合時の評価条件の設定についても検討の余地がある。

以上から、今回検討した総視認率 TRP は、トンネル照明と自動車前照灯の融合時における視認性をある程度評価できることを示した。しかし、前照灯のみの TRP 算出については、路面輝度算出方法などのいくつか課題があり、検討する必要がある。

なお、本研究では路上の対象物のみに着目した視認性評価を対象に行っており、トンネル照明の性能要件である誘導性及びトンネル壁面の明るさ感、また前照灯の性能要件である自車両前方の明るさ感及び路肩の視認性などの走行環境が考慮されていない。今後の実用化に向けた課題として、3.2.1 で述べたような走行環境の要素を組み合わせた総合的な視環境評価についても検討する必要がある。

(文責；平川恵士)

参考文献；

- 1) 道路照明施設設置基準・同解説，2007（社）日本道路協会
- 2) Waldram, J. M., The revealing power of street lighting installations. Trans. Illum. Eng. Soc. (London), 173-186, 1938
- 3) Harris, A.J. & Christie, M. A., The revealing power of street lighting installations and its calculation, Trans. Illum. Eng. Soc. (London), Vol.19, pp.120-128, 1951
- 4) Narisada K, Karasawa Y, Shirao K. Design, Parameters of road lighting and revealing power: Proceedings of the CIE, 25th Session. San Diego, Vienna: CIE, 2003.
- 5) Karasawa, Y., Narisada, K., New Method of Road Lighting Design, Proceeding of CIE Session in Beijing, 2007
- 6) 平川，唐澤，舟木，吉田；トンネル照明の視認性評価指標に関する検討，照明学会誌 Vol.97, No.5, 平 25
- 7) 道路運送車両の保安基準（国土交通省）
- 8) Smith, F. C., Reflection factors and revealing power, Trans. Illum. Eng. Soc. (London), 3, pp.196-206, 1938
- 9) 戸枝ら：高速道路照明設計に用いる限界対象物（第二報），平成 15 年度照明学会全国大会, p67, 2002
- 10) 岡田，加賀，伊東，坂本；トンネル照明における総視認率の検討，照明学会誌 Vol.90, pp.495-503(2006)
- 11) 小松，小林，八木：路面・レーンマークの反射特性について，照明学会全国大会, pp159, 1998
- 12) Narisada, K., Yoshimura, Y. Adaptation luminance of driver's eyes at the Entrance of Tunnel---an Objective Measuring Method, Transactions of the 3<sup>rd</sup> International Symposium of Road Lighting Effectiveness, Karlsruhe, on 5-6, July, 56-73(1977)
- 13) 唐沢ら；照明器具の取付間隔が道路照明施設の視認性に及ぼす影響，照明学会全国大会，平 12
- 14) Narisada, K., Perception under Road Lighting Conditions with Complex Surroundings, J.Light & Vis Env. Vol.19, No.12, 1995
- 15) Narisada, K., Perception in complex field under road lighting conditions, Light. Res. & Tech., 21, 4, 171-179, 1989
- 16) Roper, V. J., and Howard, E. A., Seeing with Motor Car Headlamps. Transactions of the Illuminating Engineering Society, 33(5), 417-438, 1938
- 17) 坂本ら：自動車トンネル内の光幕現象と視認性，National Technical Report Vol.38 No.6 Dec.1992 pp.87-88

### 3.2.3 写真測光による道路照明環境評価について

道路照明では、路面上の障害物の有無や道路標識が見えるかといった、モノの見え方、すなわち「視認性」の評価が重要とされている。視認性は、対象物と背景との輝度対比によって評価する手法が一般的である。視対象と背景輝度を含む空間の輝度分布は、デジタルカメラを用いて簡易的に測定することができる。写真測光と言われるこの方法は、あらかじめ校正したデジタルカメラを用いて、露出の異なる画像を複数枚撮影し、パーソナルコンピュータを用いて合成することで輝度画像を得ることができる（図 3.2.3-1 参照）。近年、デジタルカメラおよびパーソナルコンピュータの高性能化により、容易に高解像度な輝度分布の解析が可能になった。また静止画の写真だけではなく、動画画像からも空間の輝度分布の解析が可能となってきている。

そこで本節では、道路照明環境評価の最新技術トピックスとして、写真測光（デジタル画像測光）を活用した道路照明環境の評価手法として、写真測光法を用いたグレア評価技術と、動画画像解析を用いた路面輝度解析システムの概要について紹介する。

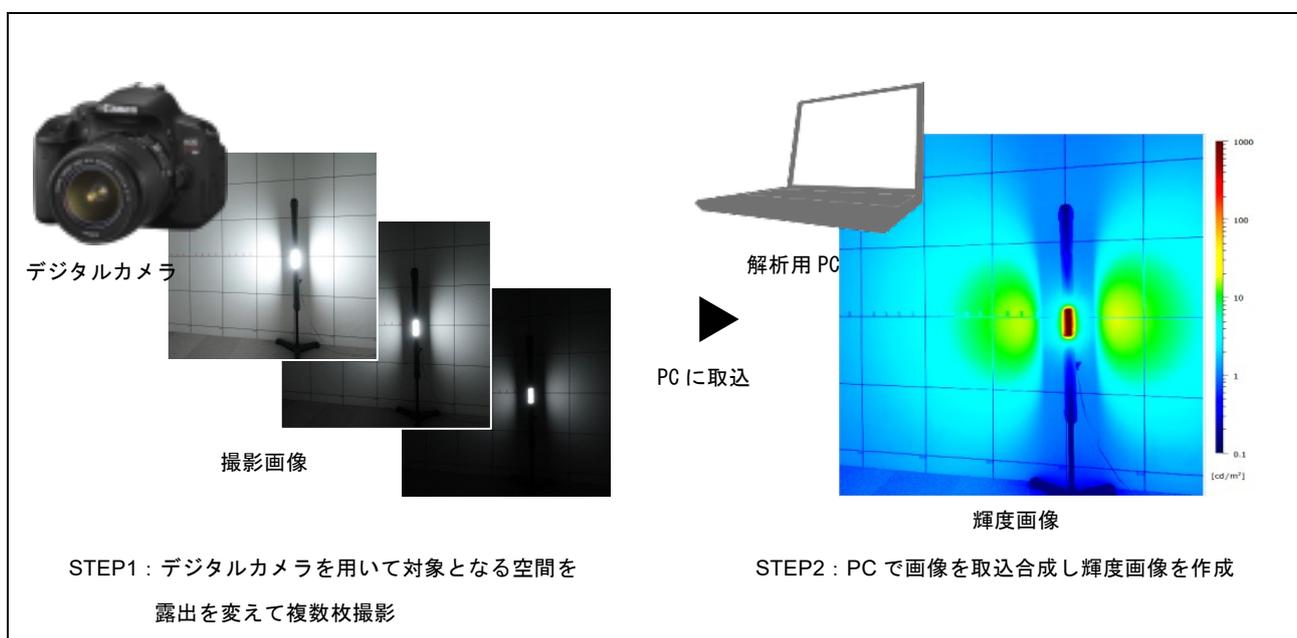


図 3.2.3-1 写真測光の概要

#### 3.2.3.1 写真測光によるグレア評価について

道路照明において、照明器具のグレアを適切に評価することは、歩行者や車の運転者に良好な視環境を確保するだけでなく、照明エネルギーの最適化を図るうえで重要である。一般的にグレアは、眼球内散乱の程度を表す等価光幕輝度を計算、または測定することで求めることができる。この等価光幕輝度の測定には、グレアレンズといわれる特殊なレンズを輝度計に装着する必要がある（図 3.2.3-2 参照）。しかしながらグレアレンズは現在入手することが困難なため、実測によるグレア評価が行われる機会は少ない。そこで本項では、写真測光を用いた等価光幕輝度の測定手法について紹介する。本節では、はじめに写真測光による等価光幕輝度の測定原理について紹介する。次に実際の写真測光ソフトウェアの概要と実フィールドでの活用結果を紹介する。



図 3.2.3-2 等価光幕輝度計

### ① グレアと等価光幕輝度

照明器具のグレアが大きくなると視野内に等価光幕輝度<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>が発生し目の視機能が低下する。これを視機能低下グレアという。図 3.2.3-3 は、等価光幕輝度の発生原理を示したものである。目に強い光が入射すると、眼球内で光が散乱し視野内にベールがかかったように見える。このときの眼球内の散乱光を光幕といい、この光幕と等価な作用をもつ一様な輝度を等価光幕輝度<sup>(1)</sup>という。グレアが発生すると、この等価光幕輝度により対象物と背景とのコントラスト（輝度比）が落ちるため、対象物の視認性が下がってしまう。ここで対象物の視認性を、グレアが発生しない場合と同等にしようとするとき、対象物の輝度を上げる必要があり、余分な照明エネルギーが必要となる。そのため等価光幕輝度を測定し、グレアを適切に評価することは、照明エネルギーの最適化を図るうえで重要である。しかしながら先に述べた通り、等価光幕輝度を実測することによるグレア評価は現在行われていない場合が多い。したがって現在は、照明設計の段階で照度計算によりグレア評価を実施している。等価光幕輝度は、光源からの直接光による等価光幕輝度（以下、 $L_{vl}$ ）と、床や壁などからの反射光による等価光幕輝度（以下、 $L_{ve}$ ）に分類できる。ここで  $L_{vl}$  は、観測者の視点位置、照明器具の位置と配光データから、各照明器具から視点への直射照度を求めることにより計算することができる。しかし  $L_{ve}$  は、間接照度になるため、照度計算からは正確に求めることはできない。そのため、計算で正確なグレアを評価することは難しい。そこで、次節ではデジタル画像解析技術を用いた写真測光法による直接光および間接光による等価光幕輝度の測定手法とグレアの評価手法を紹介する。

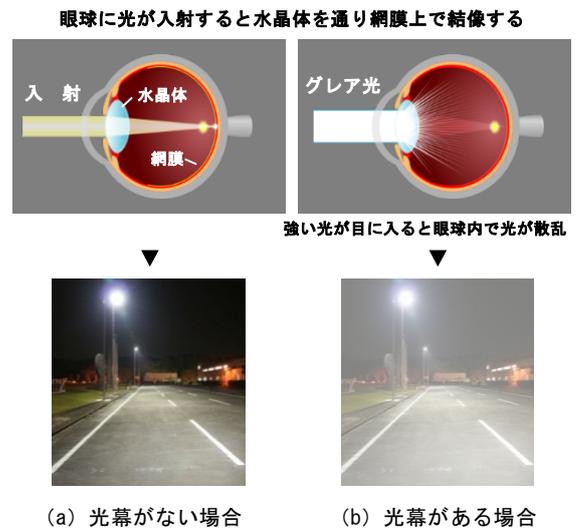


図 3.2.3-3 グレア光による等価光幕輝度の発生イメージ

### ② 写真測光による等価光幕輝度の測定原理

図 3.2.3-4 は、観測者の視線方向と個々の照明器具との角度との位置関係を示したものである。このとき、個々の照明器具によって生じる  $L_{vl}$  は、式(1)によって求められる。式(1)より、 $L_{vl}$  を測定するには、光源の位置情報が必要であることがわかる。

$$L_{vl} = \frac{10}{\theta^2} \times E_V \quad (1)$$

$L_{vl}$  : 直射光による等価光幕輝度( $\text{cd}/\text{m}^2$ )

$\theta$  : 観測者の視線と個々の照明器具とのなす角度(deg)

$E_V$  : 観測者の視線に垂直な面

つぎに観測者の位置にカメラを設置し、観測者の視線方向を画像中心としたときの輝度画像を考える。なお輝度画像はデジタル画像から写真測光により求めることが可能である。

図 3.2.3-5 は、輝度画像と各ピクセルの位置関係を示したものである。このとき、画像の各ピクセルからカメラ設置位置への照度  $E_p(i, j)$  は式(2)により計算することができる。

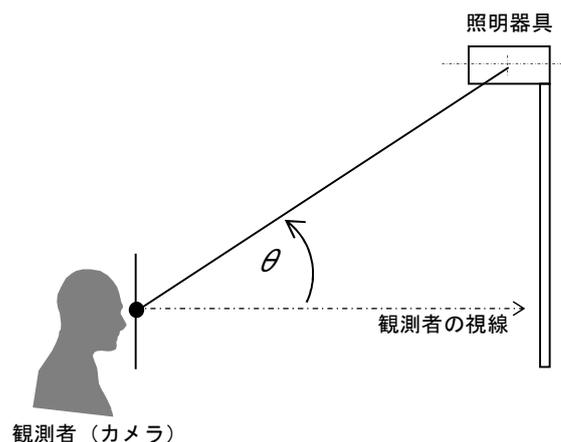


図 3.2.3-4 視線方向と個々の照明器具との角度

$$E_P(i, j) = L_P(i, j) \cdot \Delta\omega \cdot \cos \theta(i, j) \quad (2)$$

$L_P(i, j)$  : ピクセル位置  $(i, j)$  の輝度(cd/m<sup>2</sup>)

$\Delta\omega$  : 各ピクセルの立体(sr)

$\theta(i, j)$  : 画像中心とピクセル位置  $(i, j)$  とのなす角度

したがって  $E_V$  は、各ピクセルの輝度の総和として式(3)により求めることができる。

$$E_V = \sum L_P(i, j) \cdot \Delta\omega \cdot \cos \theta(i, j) \quad (3)$$

式(1), (3)より輝度画像による等価光幕輝度は式(4)により求めることができる。ここで、 $L_P(i, j)$  が  $k$  cd/m<sup>2</sup> 以上であれば  $L_{v1}$ , 以下であれば  $L_{ve}$  とする。

$$L_V = \frac{10}{\theta(i, j)^2} \sum L_P(i, j) \cdot \Delta\omega \cdot$$

$$\cos \theta(i, j) \quad (4)$$

if  $L_P(i, j) > k$  cd/m<sup>2</sup>

$$L_{v1} = L_V$$

Else

$$L_{ve} = L_V$$

このように、輝度画像を用いて  $L_V$  を求めることで、画像のピクセル位置から光源位置を特定することができ、各ピクセルの輝度によって  $L_{v1}$ ,  $L_{ve}$  の分離も可能になる。

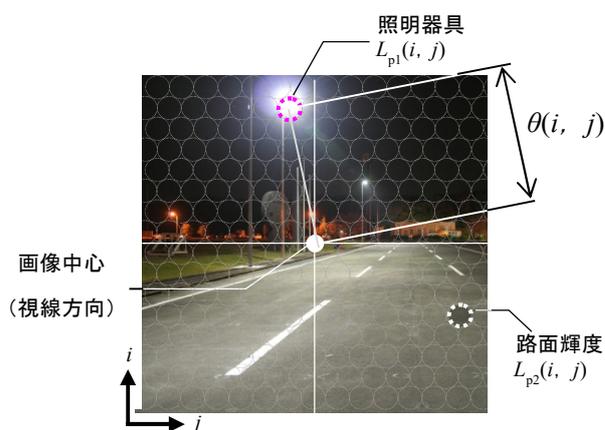


図 3.2.3-5 デジタル画像と各ピクセルの位置関係

### ③ 基礎実験による等価光幕輝度の測定精度の検証

#### i. 実験装置

本項では、写真測光による  $L_{v1}$  の測定精度の検証のため実験室で基礎実験結果について紹介する。図 3.2.3-6 は実験装置を示したものである。実験装置はグレア源となる光源と、その  $L_{v1}$  を測定する等価光幕輝度計およびカメラにより構成されている。光源は、視線方向によって発光面の見かけの大きさが変化しないように、直管型の蛍光ランプ (FL D65) を立てて使用した。光源の光度  $I$  は、発光面の輝度と面積から求めた結果、41(cd)であった。等価光幕輝度計は輝度計 (TOPCON BM-5AS) にグレアレンズ(GL-1961)を装着したものである。表 1 は、写真測光に使用したカメラおよびレンズの型番である。レンズは輝度画像の画素分解能の違いによる測定精度を検証するために透視射影の「広角レンズ」と等立体角射影の「魚眼レンズ」を用意した。画素分解能は 1 画素あたりの画角 (deg/pixel) で表される。

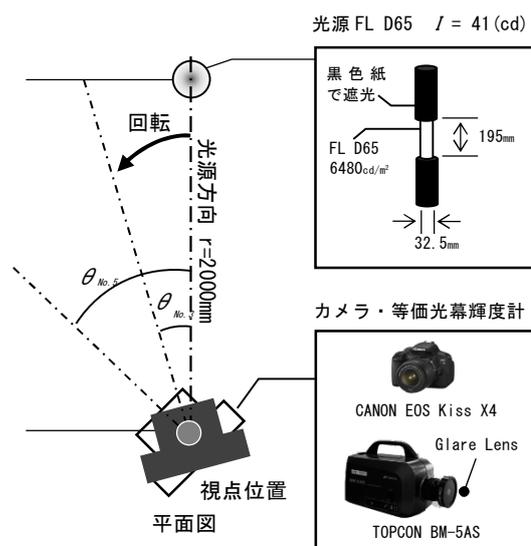


図 3.2.3-6 基礎実験装置

## ii.測定方法

等価光幕輝度  $L_{v1}$  の測定は、視線方向と光源方向とのなす角( $\theta$ )を任意の値となるように、等価光幕輝度計とカメラの視線方向を回転させて行った。図 3.2.3-7 は、角( $\theta$ )が  $11^\circ$ 、 $17^\circ$ 、 $22^\circ$  のときの撮影画像である。図より、撮影画像中の光源位置が角( $\theta$ )に応じて変化していることが確認できる。この撮影画像から写真測光(図 3.2.3-8 参照)により求めた  $L_{v1}$  と、等価光幕輝度計の測定結果と計算値との比較を行った。

## iii. 測定結果

図 3.2.3-9 は、 $L_{v1}$  の測定結果を示したものである。図 3.2.3-9 (a) は、角( $\theta$ )に対する  $L_{v1}$  の測定結果を示したものである。図は、角( $\theta$ )が  $5^\circ$  以上の場合では、いずれの測定結果も計算値に近似した結果となっていることを示している。しかし、等価光幕輝度計による測定結果は、角( $\theta$ )が  $5^\circ$  以下になる場合(図中、赤破線円)、計算値ならびに写真測光による測定結果よりも低い値となっていることがわかる。図 3.2.3-9(b) は、計算値と測定値を直接比較したものである。図は、写真測光による測定結果は、画像の画素解像度(広角レンズ、魚眼レンズ)によらず、等価光幕輝度計の測定結果、計算値ともによく近似しており、計算結果(理論値)に対して約 10% 以内の差で測定が可能であることを示している。以上の結果より、写真測光による  $L_{v1}$  の測定は、等価光幕輝度計と同等程度の測定精度を有しており、視線方向が光源に近い場合( $\theta$  が  $5^\circ$  以下)の測定では、より正確な測定が可能であることが確認できた。

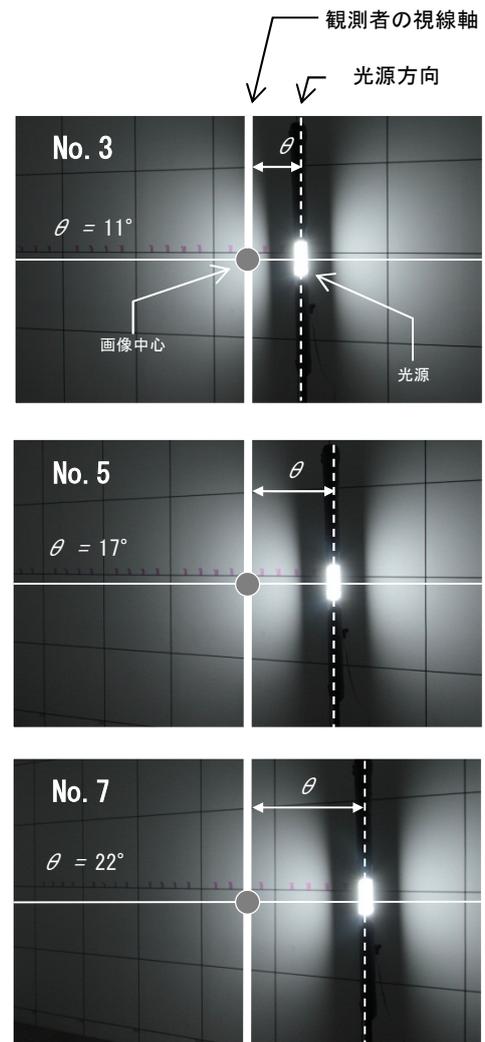
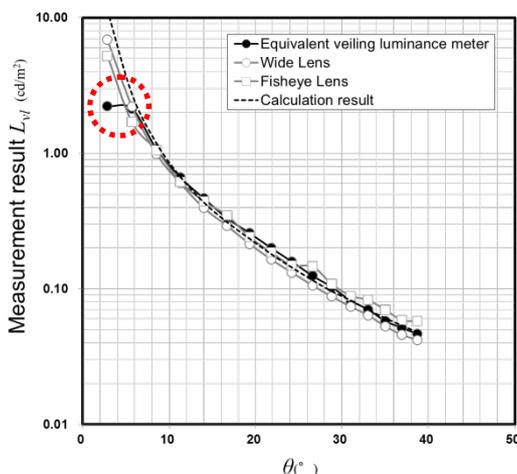
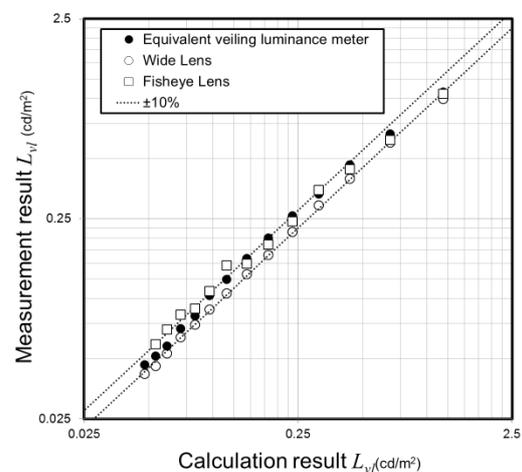


図 3.2.3-7 撮影画像の例



(a) 角  $\theta$  に対する  $L_{v1}$  の測定結果



(b) 計算結果と測定結果の比較

図 3.2.3-9  $L_{v1}$  の測定結果(基礎実験)

#### ④ 写真測光ソフトの概要

本項では、写真測光ソフトの概要について紹介する。

図 3.2.3-10 は写真測光ソフトウェアの起動画面である。ソフトウェアは、以下の手順で輝度画像を計算する。

(i) デジタルカメラにより撮影された異なる露出の複数枚の画像を取り込む。

(ii) 取込まれた画像の中から視線方向となる計算の中心点（図中、緑十字線）と計算範囲（図中、赤線）を設定する。

(iii) 撮影時に用いた減光フィルタの透過率などを入力する。

(iv) 輝度画像を計算する。

図 3.2.3-11 は、計算された輝度画像の解析画面である。この輝度画像からグレアを評価する。ソフトウェアでは、輝度画像から求められた等価光幕輝度より、視機能低下グレアの評価尺度である T I 値の算出が可能である（図中、赤破線）。さらに輝度画像を用いることで車のルーフを考慮した 20°遮光の有無などを任意に設定することができる。このようにデジタル画像測光では、グレア評価の際に重要なパラメータとなる視線方向などを任意に調整することができ、簡単なだけでなくより正確なグレア評価を可能としている。

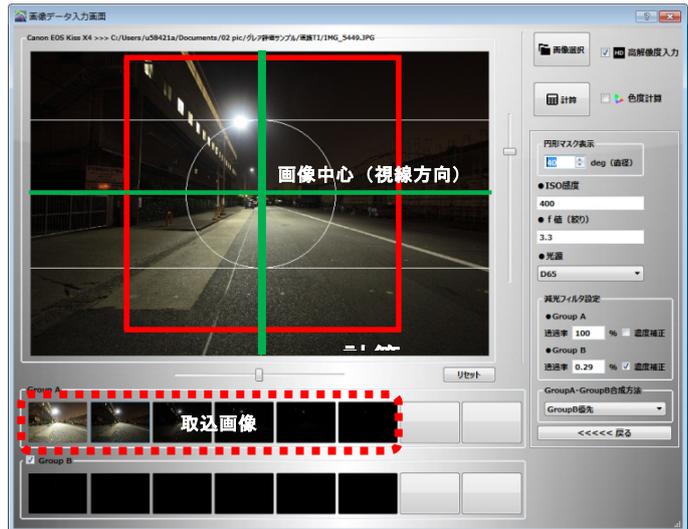


図 3.2.3-10 ソフトウェア起動画面

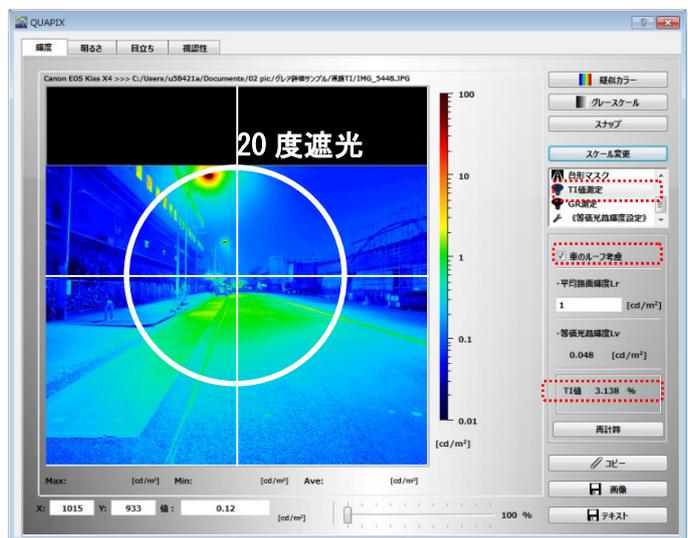


図 3.2.3-11 輝度データ解析画面

#### ⑤ 実フィールドでの測定結果

図 3.2.3-12 は、実際の道路照明の施工環境にて、T I 値の測定を等価光幕輝度計とデジタル画像測光（広角レンズ）で行い、結果を比較したものである。

図より、等価光幕輝度計による測定結果は写真測光の測定結果よりも高くなる傾向にあることが確認できた。これはデジタル画像の測定範囲（画角）がグレアレンズよりも狭いため測定値が低くなったためであると考えられる。そのため、より広範囲の輝度情報が取得できる魚眼レンズでの測定が必要になってくる。

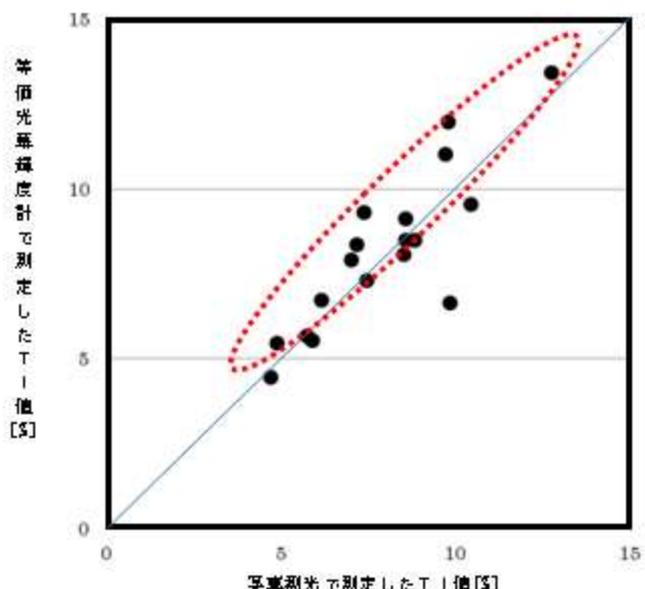


図 3.2.3-12 実フィールドでの TI 値の測定結果

## ⑥ 活用事例

開発した写真測光ソフトウェアの実際の活用イメージを示す（図 3.2.3-13 参照）。測定対象となる空間のデジタル画像の測定は、写真撮影の要領で行うことができる。そのため、測定を容易におこなうことが可能である（図 3.2.3-13 (a)(b)参照）。また撮影した画像からグレアを評価する手順は4節に述べたようにソフトウェア上で簡単におこなうことができる（図 3.2.3-13 (c)(d)参照）。

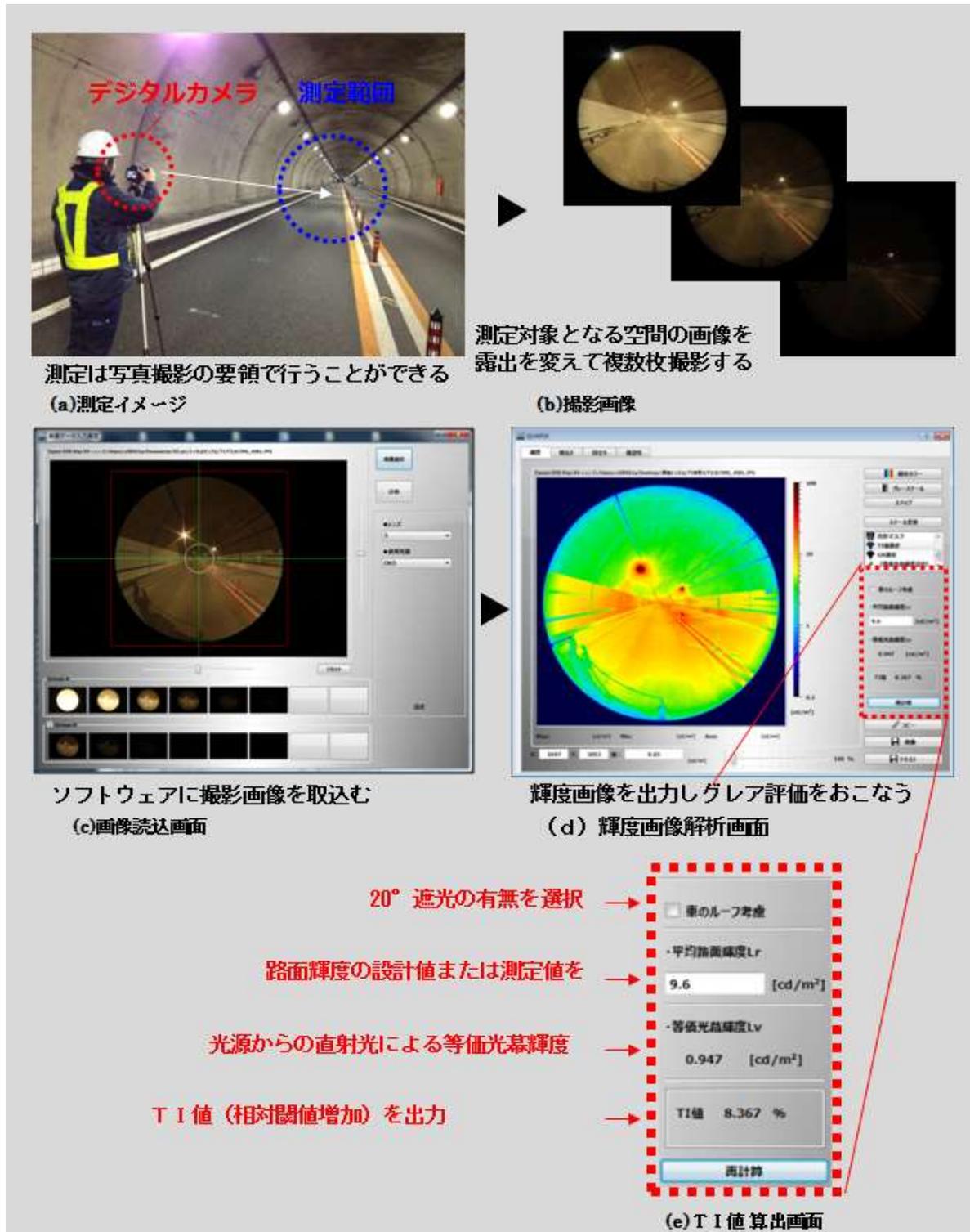


図 3.2.3-13 ソフトウェアの活用イメージ  
（トンネル照明での測定実施例）

## ⑦ まとめ

本項では、実験室で写真測光とグレアレンズを用いた場合の等価光幕輝度の測定結果を比較し、測定精度の検証を行った。その結果、写真測光による  $L_{v1}$  の測定は、等価光幕輝度計と同等程度の測定精度を有しており、視線方向が光源に近い場合 ( $\theta$  が  $5^\circ$  以下) の測定では、より正確な測定が可能であることを紹介した。また実フィールドにおける測定においては、画角の広いレンズを用いることが望ましいことを紹介した。

以上より、写真測光により等価光幕輝度を測定することで、これまで実測が困難であった実環境でのグレア評価を可能にし、その妥当性を確認した。

### 3.2.3.2 動画像解析を用いた路面輝度解析システムについて

近年、道路・トンネルにおいても LED 光源を用いた照明器具が急速に普及してきている。LED 光源は、寿命末期にこれまでの HID などの放電灯のように不点灯とならず、徐々に光束が低下しながらも、寿命時間経過後も点灯し続けると予測されている。そのため、LED 照明器具を長期運用していくためには、定期的に照明要件を満たしているかを確認する検査・保守管理が必要であると考えられる。

道路・トンネルの照明要件は道路照明施設設置基準（以下、設置基準）により、平均路面輝度、輝度均斉度等の性能指標が定められている<sup>(6)</sup>。平均路面輝度および輝度均斉度は、計算方法に定められた複数の計算点の輝度値より算出される。設計段階では、各計算点の輝度値は、標準化された路面の光反射特性を用いて算出される。照明設備の施工後の性能検査では、実際に計算点の路面輝度を測定し、照明性能の確認を行うことが望ましいとされている。しかし、スポット輝度計を用いた路面輝度測定方法は煩雑であるため（図 3.2.3-14 参照）、実際には計算点の水平面照度を測定し、照度-輝度換算係数により平均路面輝度を算出する 경우가ほとんどである。特に運用中の道路・トンネルでは、輝度測定のために長時間の交通規制が必要になることから、保守管理業務の中で輝度測定が実施されることはほとんどない。しかし、実際の運転者の視環境は路面状態の変化を含んだ輝度情報から構成されており、直接輝度測定を行う方法がより正確に照明要件を評価できると考えられる。そのため、簡易な路面輝度測定方法があれば、運転者の視環境を正確に評価し、道路安全を確保するのに役立つと考える。そこで、本項では、車に搭載したデジタルカメラにより撮影された動画像を解析することで路面輝度を算出するシステムを紹介する（図 3.2.3-15 参照）。

本システムは、動画の撮影に車載カメラを用いるため、交通規制を行うことなく路面輝度分布を取得することが可能である。また、照明器具の輝度を判別することにより照明器具の点灯状態を判断することも可能である。以下に、システムの機能の概要を述べる。

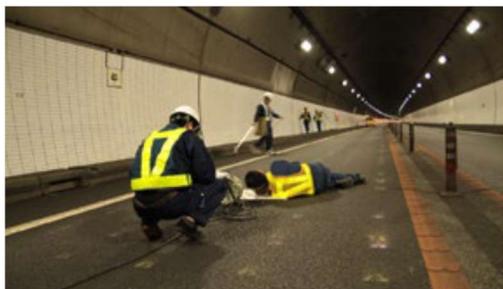


図 3.2.3-14 スポット輝度計による路面輝度測定方法

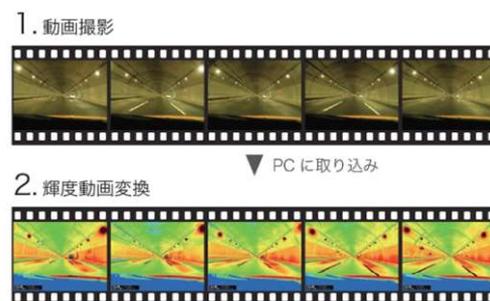


図 3.2.3-15 動画測光イメージ

図 3.2.3-16 は、車載カメラの取り付け例および撮影イメージである。撮影には、市販の一眼レフカメラを用い、フロントガラスの反射を減少させるため暗幕を設置する。動画像は、一定速度で走行し撮影する。

図 3.2.3-17 は、動画像処理による路面輝度の解析結果画面である。動画像解析により、①「路面輝度分布」、②「平均路面輝度グラフ」、③「ランプ状態」が出力される。路面輝度分布は、走行区間すべての路面を透視変換し、合成したものである。



(a) カメラの設置位置



(b) 撮影イメージ

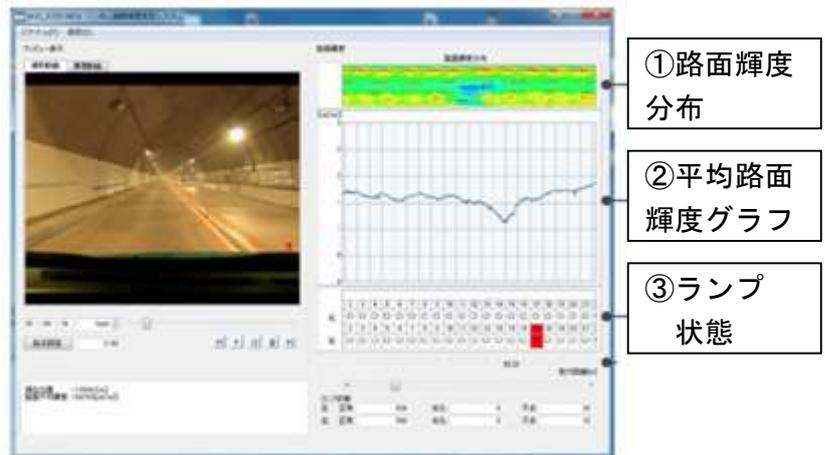


図 3.2.3-17 解析結果画面

図 3.2.3-16 カメラの取り付け状況

図 3.2.3-18 に路面輝度分布の作成イメージを示す。路面輝度分布は、動画像から灯具の設置間隔と走行速度から、一定間隔毎に 1 フレームの輝度画像を切り出し、測定区間の路面輝度分布を、路面を真上から見た視点の画像に透視変換し合成することで作成する。このとき、ランプの不点灯があった場合は、図中の赤丸で示すように路面輝度が低くなっている場所を路面輝度分布により判断が可能である。したがって、走行区間のどの位置でランプの劣化が発生しているか、およその位置を簡単に特定することができる。

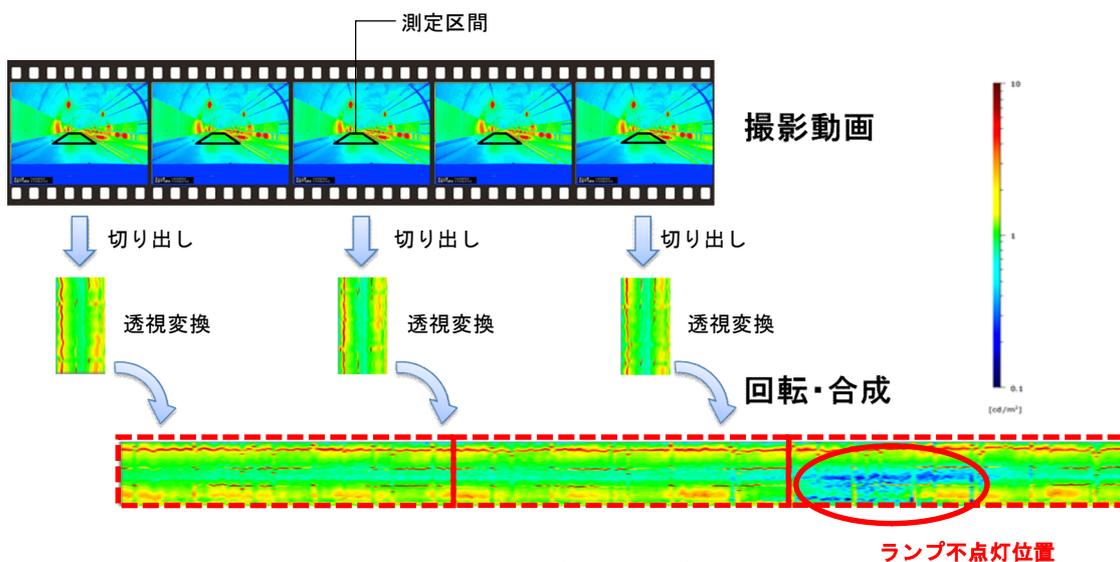


図 3.2.3-18 路面輝度分布作成イメージ

図 3.2.3-19 に平均路面輝度グラフを示す。平均路面輝度グラフは、横軸を走行距離、縦軸を平均路面輝度として表示する。また、走行距離、平均路面輝度はテキストで保存するが可能なため、定期的に解析を行い、路面輝度を比較することで輝度の経年変化を把握することができる。

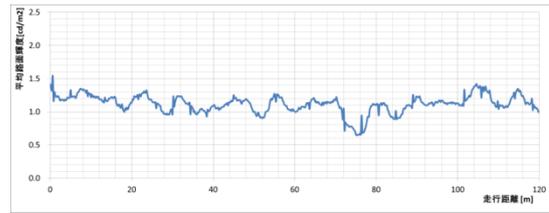


図 3.2.3-19 平均路面輝度グラフ

ランプ状態は、不点灯ランプを検出し結果を表示する。図 3.2.3-20 に設定画面を示す。左右の赤四角で示す照明器具の検知範囲や、ランプの取り付け間隔などを設定することで、検知範囲内の輝度を一定間隔で確認し、ランプ状態を判断する。図 3.2.3-21 に示すように正常点灯は「○」、不点灯は赤塗り「×」で表示される。表示の下には、走行距離が表示され、不点灯ランプの位置を把握することが可能である。



図 3.2.3-20 解析設定

このように、本システムを用いると、交通規制を行わない状況下でも、走行しながら路面輝度解析を行うことが可能となる。そのため、照明要件を満たしているかを確認する保守管理が比較的簡単に実施することができる。

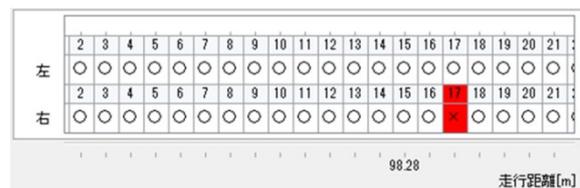


図 3.2.3-21 ランプ状態判定結果

(文責；江湖俊介)

参考文献；

- (1) CIE 146 : 2002. CIE COLLECTION on GLARE:CIE.
- (2) L.L.Holladay : The fundamentals of glare and visibility, Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instruments, Vol.12, No.4, pp.271-319 (1926).
- (3) L.L.Holladay : Action of a light-source in the field of view in lowering visibility, Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instruments, Vol.14, No.1, pp.1-15 (1927).
- (4) CIE : Glare Evaluation System for Use within Outdoor Sports and Area Lighting, CIE TECHNICAL REPORT, 112-1994, (1994)
- (5) K.Kawakami:Applicability of CIE's Glare(GR) Evaluation System for the Outdoor Facilities to Indoor Sports Facilities, J.Light & Vis.Env. Vol.23, No.2 1999 pp31-37
- (6) 社団法人 日本道路教会 : 道路照明施設設置基準・同解説, 第 8 章 検査・第 9 章 維持管理, 2006-10
- (7) CIE : CALCULATION AND MEASUREMENT OF LUMINANCE AND ILLUMINANCE IN ROAD LIGHTING, Publication CIE No.30-2 (1982), pp60-62

### 3.2.4 薄明視測光システムについて

道路照明や街路照明が点灯するような順応輝度が 0.005~5.0cd/m<sup>2</sup> の状態は“薄明視”と呼ばれる。薄明視の状態は、目の受光器である錐体とかん体の両方が活動するため、目の感度が明所視のピークである 555nm から暗所視のピークである 507nm の短波長側にシフトする（図 3.2.4-1 を参照）。この現象はプルキンエ現象としてよく知られているが、現在の照度や輝度は明所視の目の感度に合わせて定義されていて、このプルキンエ現象を考慮していないため、短波長成分が多く含んでいる光源については、測光値よりも明るく感じる現象が発生していた。この課題を解決するため、CIE（国際照明委員会）では、2010 年に CIE191（薄明視測光システムに関するテクニカルレポート）を発行した<sup>1)</sup>。

このレポートでは、薄明視環境での目の感度特性を、明所視の分光視感効率である  $V(\lambda)$  と暗所視の分光視感効率である  $V'(\lambda)$  を線形で組合せた計算式で導出できるとしている。

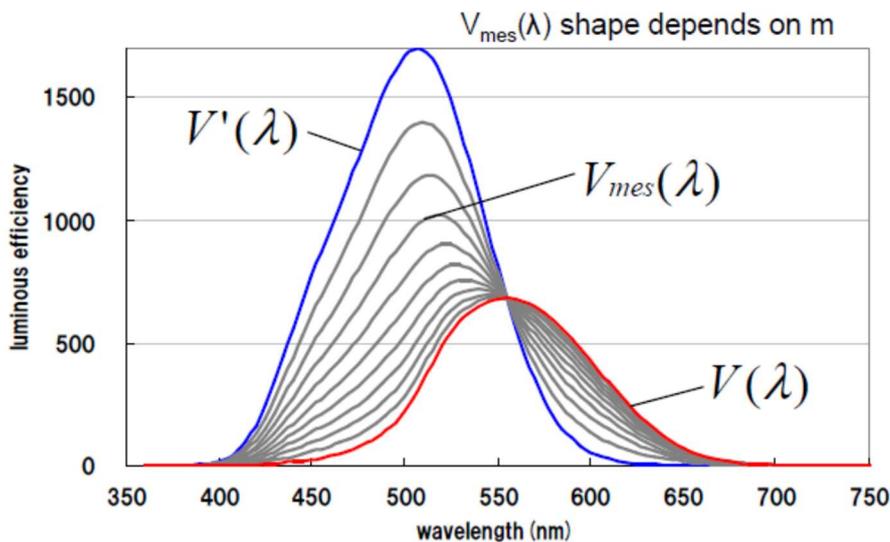


図 3.2.4-1 明所視・暗所視・薄明視での分光視感効率

薄明視の分光視感効率  $V_{mes}(\lambda)$ 、および薄明視輝度  $L_{mes}$  は、以下の式で計算できる。

$$M(m)V_{mes}(\lambda) = mV(\lambda) + (1-m)V'(\lambda) \quad \text{for } 0 \leq m \leq 1$$

$$L_{mes} = \frac{683}{V_{mes}(\lambda_0)} \int V_{mes}(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda$$

薄明視輝度は、順応輝度（明所視）と光源の分光分布から計算できることを示している。光源の分光分布から S/P 比と呼ばれる明所視輝度と暗所視輝度の比率である以下の式で算出される。

$$S/P = \frac{K'_m \int S(\lambda) V'(\lambda) d\lambda}{K_m \int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

S/P 比は短波長成分が豊富な光源や高色温度の光源ほど数値が高くなりやすく、S/P 比が高くなるほど、同じ順応輝度でも薄明視輝度が大きくなる（すなわち実際に明るく感じる）。この特性を活用して、国内では薄明視環境配慮型 LED 防犯灯（図 3.2.4-2 を参照）が開発された事例がある<sup>2)</sup>。



図 3.2.4-2 薄明視環境配慮型 LED 防犯灯

薄明視環境配慮型 LED 防犯灯では、一般的な防犯灯の光源の色温度が 5000K であるのに対して、8000K の白色 LED を使用することで S/P 比を約 2 割アップさせた結果、同照度で照明した場合でも明るく感じたり、空間の明るさの均一性が向上する効果が得られることがわかっている<sup>3)</sup>。また、海外では、イギリスにおいて  $Ra > 60$  でかつ、S/P 比の高い光源を使用することで照度レベルを低減できる BS 標準を検討中である<sup>4)</sup>。

今後は薄明視輝度をもとに設計することで照明の質と省エネを両立した屋外照明空間の設計が普及し、およびそれに適した照明器具やシステムの開発が加速すると予想される。

(文責；斎藤 孝)

参考文献；

- 1) CIE191 : Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance, 2010
- 2) 斎藤孝:薄明視の目の分光感度に適応した防犯灯とは？, 照明学会誌, 第97巻4号, pp.222-225, 2013
- 3) 白倉, 明石, 斎藤 : 街路照明の分光特性が空間の明るさに及ぼす影響, 照明学会誌, 96 巻第 5 号, pp.259-271, 2012
- 4) CIE206 : The Effect of Spectral Power Distribution on Lighting for Urban and Pedestrian Areas, 2014

### 3.3 車載技術動向

20世紀の終盤以降、自動車の安全性に対する社会的ニーズの高まりと、エレクトロニクス技術の発展により、様々な安全システムが開発され車載されるようになってきた。本節では、3.3.1で車載安全技術の全体像を、3.3.2と3.3.3では前照灯法規動向と開発動向を、3.3.4ではその他の信号・表示装置による車載安全技術の動向を、具体例を提示しながら説明する。

#### 3.3.1 車載安全技術の全体像

本項では車載安全技術全体像を概説し、実用化済みの種々のシステム、それらのシステムを支える要素技術とシステム間でセンサ情報を共有する車載ネットワークの動向について紹介する。

##### 3.3.1.1 車載安全技術の枠組みと予防安全技術

図 3.3.1.1 に車載安全技術の大枠を示す。車載安全技術は衝突を起点として、その直前に動作する(1)プリクラッシュセーフティ、衝突時の(2)衝突安全、通常運転時の(3)予防安全に分類される。

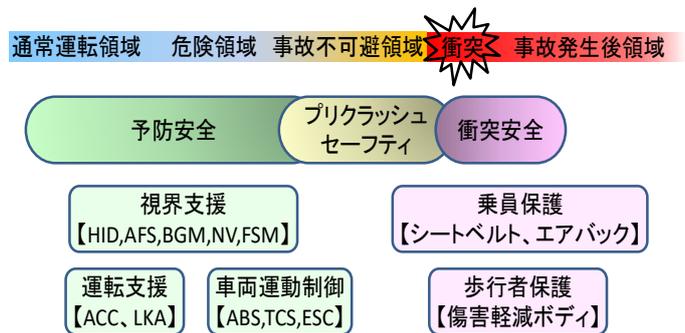


図 3.3.1.1 車載安全技術の枠組み

(1) **プリクラッシュセーフティ**；衝突の可能性を事前に検知して運転者へ知らせるとともに、衝突が避けられないと判断した場合には必要な装備を衝突に備えて作動させることにより、乗員の被害を軽減させる。

(2) **衝突安全**；エアバックやシートベルトが代表的で、乗員の衝突時のダメージを軽減させるよう衝撃を吸収するように設計されたボディ構造も含まれる。近年は歩行者を対象とした歩行者保護エアバックや衝撃吸収構造を盛り込んだボンネットフードなどの開発も精力的に進められている。

(3) **予防安全**；運転操作の「認知、判断、操作」の各段階の手順に対して支援を行うものである。予防安全システムとしては、① 視界支援システム（認知を支援）、② 運転支援システム（操作までを支援）、③ 車両運動制御システム（走行安定性の確保を目的）、の3システムがある。

上記①～③のシステム例を説明する。

① **視界支援システム**；代表例としては、明るい前方視界を提供する HID（High Intensity Discharge Lamp）、曲路走行時に車速と操舵角とから前照灯ビームを曲路走行に適した照射位置にスイブルさせる AFS（Adaptive Front Lighting System）、すれ違いビームでは見え難い遠方の歩行者などの存在を知らせる NV（Night Vision System）、運転者の死角領域の視界を提供する BGM（Back Guide Monitor）、FSM（Front Side Monitor）などのシステムが実用化されている。

② **運転支援システム**；運転支援システムの代表例は ACC や LKA などである。

1) ACC（Adaptive Cruise Control）；ACC は設定した車速維持だけでなく、先行車との車間距離を検出して車速を制御するシステムに発展してきた。ACC は追従走行時の運転付加（ブレーキ&ハンドル操作）を低減する。最近では発進時から機能する ACC も開発されている。

2) LKA（Lane Keeping Assist System）；LKA は車線からの逸脱が予想される場合、警報により運転者に注意を促す。また、ハイグレードのシステムでは車線内中央付近を走行させるために、小さい操舵力を連続的に制御することで車線維持支援を行っている。

③ **車両運動制御システム**；制動時の車輪ロック防止の ABS（Anti-lock Brake System）、発進・加速時のホイールスピン防止の TCS（Traction Control System）等が実用化されている。

### 3.3.1.2 予防安全を支えるセンサ技術

予防安全による安全運転を支援する技術が進歩し、ACCなどのADAS（先進運転支援システム）への取り組みが活発になり、周辺環境を認識するためのカメラや各種センサや運転者の状態をモニタするセンサ等の車両への搭載数が増加している。図 3.3.1.2 に、主な車載周囲環境認識センサの例を示す。



図 3.3.1.2 主な車載周囲環境認識センサ

自動車周辺の走行環境を認識するためのセンサは、センシングをするための媒体のエネルギー放射の有無（アクティブかパッシブ）、空間の走査方法などにより分類できる。

アクティブ方式には、ミリ波レーダ、レーザーレーダ、超音波センサがある。パッシブ方式の代表例はテレビカメラによる画像認識である。アクティブ方式はパッシブ方式に比べて、天候や照明条件の変動にロバストで、放射したエネルギーが反射して戻ってくるまでの時間を計測することにより距離を計測することも可能である。しかし、対象が反射率の高いものに限定されることや他のセンサとの干渉の問題もある。光に対して波長が長いミリ波は、雨や霧の影響を受けにくいという特長があるが、波長が長い分空間分解能は低下する。テレビカメラによる画像認識は、灯火や道路レーンマークなどを検出できる利点はあるが、天候や照明条件の影響を受けやすく、遠方での距離推定精度が低いという課題がある。

### 3.3.1.3 予防安全を支える車載ネットワーク

前述の各種システムは車載ネットワークで各種センサ情報を共有する。この車載通信環境は予防安全技術の発達とともに複雑化してきた。

図 3.3.1-3 に車載ネットワークシステムの概要を示す。各機能に対応するために様々な通信規格（プロトコル）も、これまで CAN, LIN, MOST, FlexRay といった各種の規格が実用化されてきた。

表 3.3.1-1 に、通信規格とその主な用途をまとめて示す。自動車では、特に制御系に於いて信号の遅延が致命的になるため、遅延保証と信頼性確保（フェールセーフ）機能が大変に重要となる。これらの背景から、近年では車載ネットワークとして Ethernet（イーサネット）が注目されている。

Ethernet は家庭やオフィスで一般的に使用される

LAN で最も普及している通信規格である。高速通信に対応しており、制御系、安全系、情報系の複数のネットワークを Ethernet でつなげることにより、ネットワーク全体の効率化、診断の迅速化が期待される。さらに、インターネットで成熟した技術や部品を用いることで低コスト化へも貢献できる。また、ネットワークの配線には、UTP（非シールドの捩り対線）や光ファイバなどによる通信が可能となるため、機能拡張により増大する配線重量を抑制することが期待される。今後、Ethernet が各ネットワークを繋ぐとともに、CAN などの既存ネットワークの一部を代替して普及していくものと思われる。

（文責；塚田敏彦）



図 3.3.1-3 車載ネットワークシステムの概要

規格	CAN	LIN	MOST	FlexRay	Ethernet
用途	エンジン、ブレーキ、ABS、エアコン、ワイパ	ドアミラー、ウインドウ、ライト	ナビ、ビデオ	エンジン、ブレーキ	安全系、制御系、情報系、診断系、バックボーン

表 3.3.1-1 通信規格とその主な用途

### 3.3.2 自動車用前照灯に関する法規<sup>1)</sup>

自動車用前照灯は安全に運転できるように、法規で最低限の性能および装備基準が定められている。各国で道路事情が異なるため、各国はそれぞれ法規を規定しているが、配光パターンについては「グレア抑制に重点を置いた欧州型」と「前方の視認性に重点を置いた北米型」の2種に大別される。

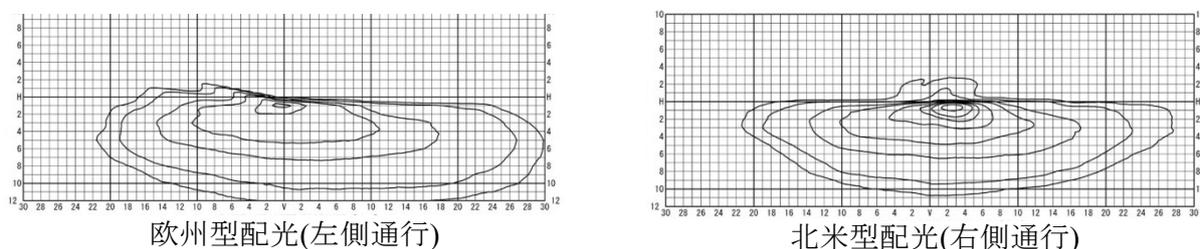


図 3.3.2-1 前照灯の配光

#### 3.3.2.1 欧州型配光の法規

多くの国が採用している欧州型配光は、国際基準「UN 規則」として規定されている。「UN 規則」は自動車技術基準の国際調和のもと、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム (WP29) の中で審議され制定される。

制定された規則は、自動車の構造及び装置の安全・環境に関する統一基準の制定と相互承認を図る目的で 1958 年に締結された、国連欧州委員会の多国間協定「国連の車両・装置等の型式認定相互承認協定(58 年協定)」の加盟国間で認証の相互承認が義務付けられている。この協定は欧州各国を含む 50 以上の国が加盟しており、日本も 1998 年に加盟している。

「UN 規則」は表 3.3.2-1 の様に灯具、光源に対し、それぞれ規定されている。加盟国はこれらの規定を各国の交通事情に合わせ、任意に採用することができる。たとえば昼間に自車両の存在を示すための昼間走行灯 (Daytime Running Lamp, 以下 DRL) は、日本においては二輪車の前照灯昼間点灯が普及し二輪車の事故防止に貢献しており、四輪車に DRL を装着すると二輪車事故の防止効果減が懸念されるため DRL は採用されていない。日本でも四輪車が昼間点灯しているケースが見受けられるが、それらは国内独自ランプとして認められている 300cd 以下の灯火として設計、装着されている。

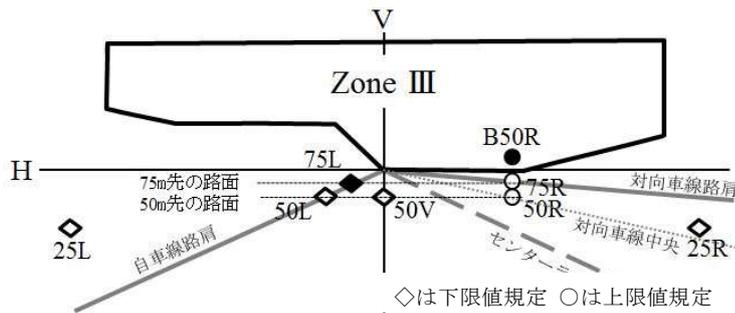
表 3.3.2-1 主な UN 規則

UN 規則 No.	規則名	UN 規則 No.	規則名
3	反射器	48	ランプ取り付け
4	番号灯	87	昼間走行灯 (DRL)
6	方向指示器	91	側方灯
7	車幅灯, 尾灯, 制動灯等	98	前照灯 (HID 光源)
19	前部霧灯	99	放電灯光源
23	後退灯	112	前照灯 (ハロゲン電球, LED)
37	電球	119	側方照射灯
38	後部霧灯	123	配光可変型前照灯 (AFS) (Adaptive Front-Lighting System)

日本では自動車用前照灯について規定する法規として「道路運送車両法の保安基準」がある。保安基準は主にランプの装着要件 (任意/義務) を規定しており、ランプの性能要件については「道路運送車両法の保安基準の細目を定める告示 (通称, 細目告示)」の中で規定されている。こ

の細目告示は、新型車両の型式の指定を行う際に用いる、通称「型式指定告示」、並行輸入車等の少数車両の審査を行う際に用いる、通称「新車告示」、及び、使用過程にある車両の検査に用いる、通称「使用過程車告示」の3節で構成されており、この中の「型式指定告示」の中で先に述べた「UN規則」を引用している。

以下、欧州型配光で最も一般的な配光規格である「UN規則 No.112」を例に概略を紹介する。「UN規則」における配光性能は、図 3.3.2-1 の様なスクリーンに設定されたポイントの光度で規定されている。

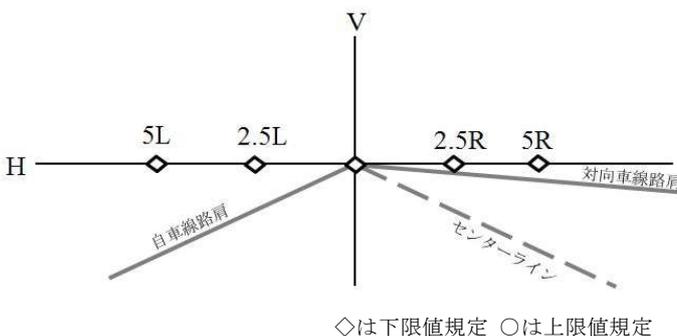


ポイント	角度座標	規格値
B50R	0.57U-3.43R	350cd Max
75L	0.57D-1.15L	10100cd Min
75R	0.57D-3.43R	10600cd Max
50L	0.86D-1.72L	10100cd Min
50R	0.86D-3.43R	13200cd Max
50V	0.86D-V	5100cd Min
25L	1.72D-9L	1700cd Min
25R	1.72D-9R	1700cd Min
Zone III	全域	625cd Max

図 3.3.2-2 すれ違いビーム(左側通行)の主な配光規格値

すれ違いビームは75 m, 50 m, 25m先に視対象を想定し光度値を設定しており、水平線(図中H)近傍に明瞭な Cut off (明暗の境界)を有している。この Cut off Line より上方のゾーンは対向車両、先行車両、歩行者へ与えるグレアを厳しく抑制しており、Zone IIIと呼ばれている。Zone III内の B50R:0.57U-3.43R (図 3.3.2-2 の●位置; 約 50m 前方対向車運転者の眼の位置)における光度値を 350cd 以下(前照灯 1 灯あたり)としている。Cut off line より下方は、路面や路肩、その近傍に存在する歩行者や各種視対象物を照明することを目的としている。その範囲内の代表的な配光規定点 75L: 0.57D-1.15L (図 3.3.2-2 の◆位置)は 10100cd 以上と規定している。

走行ビームの主な配光規格値を図 3.3.2-3 に示す。走行ビームは遠方の視認が目的であるためすれ違いビームとは異なり規定されているポイントはそれほど多くない。左右方向は 5.0L-5.0R の範囲まで規定されており、遠方視認に最も影響する最大光度は 40500cd ~215000cd と幅があり設計次第では 300m 以上先の視対象も視認可能である。



ポイント	角度座標	規格値
H-5L	0-5.0L	5100cd Min
H-2.5L	0-2.5L	20300cd Min
最大光度	---	40500cd ~ 215000cd
H-2.5R	0-2.5R	20300cd Min
H-5R	0-5.0R	5100cd Min

図 3.3.2-3 走行ビームの主な配光規格値

法規には配光規格値以外にも前照灯の視認性に関する装置としてクリーナ、レベリング装置の取り付けが規定されている。クリーナは前照灯の表面が汚れた場合、視認性の低下、及び光が散乱してグレアになるのを防ぐために前照灯表面を洗浄する装置である。レベリング装置は前照灯の光軸を適正に保ち対向車などへのグレアを抑え、適切な視認状態を得るためのものである。

レベリング装置には手動式と自動式がある。手動式は運転席近くのスイッチで車両姿勢に合わせて運転者が調節、自動式は車両姿勢を車高センサで検知し光軸を自動で調節するものである。一般的な車両にはレベリング装置の装着が義務付けられている。通常は手動式であるが、すれ違いビームの光源が 2000lm 以上の場合には自動式レベリング装置とクリーナの装着が、また光源が LED の場合や 3.3.3 項で示す配光可変型前照灯では自動式レベリング装置の装着が義務付けられている。

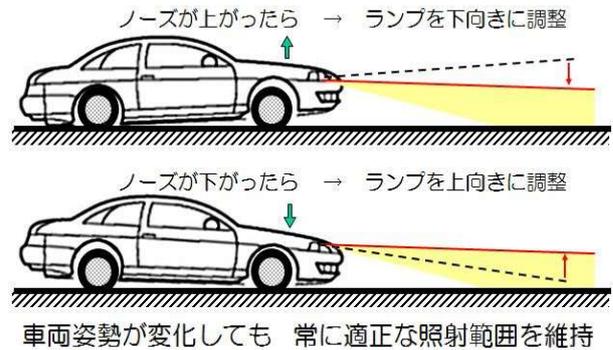


図 3.3.2-4 レベリング装置

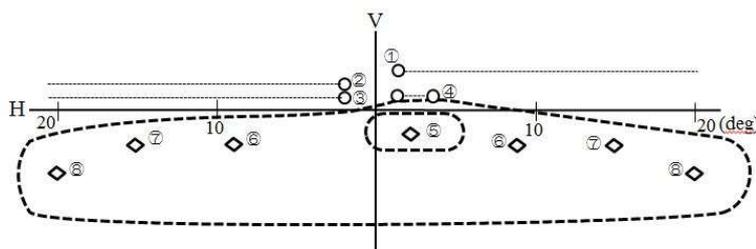
また、以前は保安基準で、走行ビームは「夜間にその前方 100m の距離にある交通上の障害物を確認できる性能を有し（後略）」、すれ違いビームは「その照射光線が他の交通を妨げないものであり（中略）、夜間にその前方 40m の距離にある交通上の障害物を確認できる性能を有すること。」と障害物を確認できる距離が示されていたが、現在は「UN 規則」で規定される配光規格値に置き換わっている。

### 3.3.2.2 北米型配光の法規

北米型配光は米国、カナダ、メキシコなど北米各国を中心に採用されており、米国の法規を基礎としている。米国では米国運輸省の機関 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)で制改訂される「FMVSS No.108」という法規で配光、機械的性能、車体への取り付けなどが規定されている。装着義務付けされていないフロントフォグランプ、コーナリングランプなどの任意ランプは「FMVSS No.108」には規定が無く、各州法に従うことになる。

米国は PL（製造者責任）の精神から、日本、欧州の様な認証制度が存在しない。ランプの性能については製造者が自ら性能を保証する自己保証制度をとっている。但し、米国当局は定期的に市場に流れているランプの抜取検査（サーベランス）を行い、ランプの性能確認を行っている。

配光規格は米国も欧州と同様にスクリーン上のポイントで規定されている。すれ違いビームの主な配光規格値を図 3.3.2-5 に示す。欧州型配光とは異なり自車の視認性を重視した配光である。



◇は下限値規定 ○は上限値規定

	角度座標	規格値
①	1.5U-1R~R	1400cd Max
②	1U-1.5L~L	700cd Max
③	0.5U-1.5L~L	1000cd Max
④	0.5U-1R~3R	500cd~2700cd
⑤	1.5D-2R	15000cd Min
⑥	2D-9L	1250cd Min
⑦	2D-9R	1250cd Min
⑧	2D-15L	1000cd Min
⑨	2D-15R	1000cd Min
⑩	4D-20L	300cd Min
⑪	4D-20R	300cd Min

図 3.3.2-5 すれ違いビーム(右側通行)の主な配光規格値

対向車へのグレアを規制する 0.5U-1.5L~L の値は 1000cdMax であり，欧州に比べ高い値が設定されている．また，左右方向は±20 度まで規定されており広い照射範囲が求められる．車線数が多く道路が広い交通事情を反映していると思われる．

走行ビームの主な配光規格を図 3.3.2-6 に示す．最高光度規制値は 75000cd で欧州型配光より低いものの左右方向は±12 度まで規定されており，すれ違いビームと同様に欧州型配光より広い照射範囲が求められている．

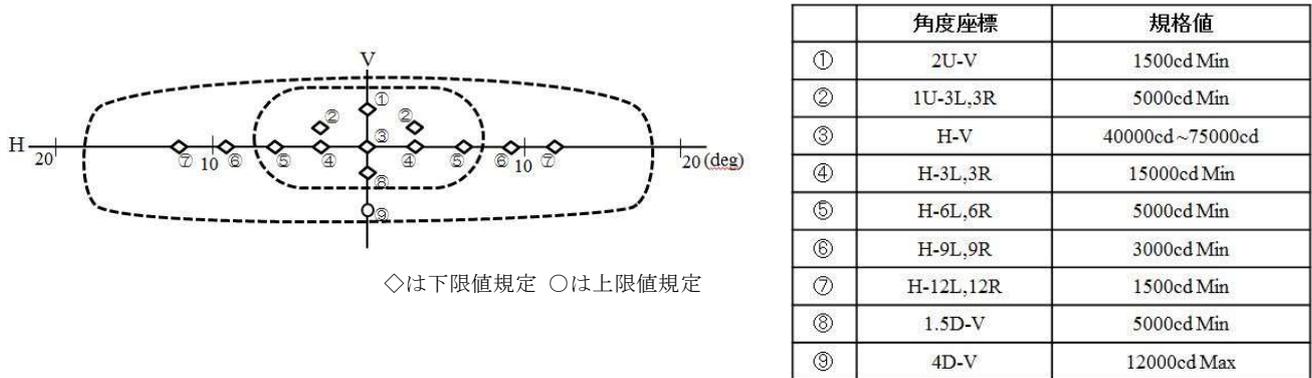


図 3.3.2-6 走行ビーム(右側通行)の主な配光規格値

### 3.3.2.3 法規動向

先に示した通り前照灯配光法規は欧州型と北米型に大別される．各国がそれぞれの法規を持つと国ごとに仕様の変更が必要でコストアップにつながってしまう．最終的にはユーザへの車両価格にも少なからず影響をおよぼすため，国際的に統一された基準での運用が望ましい．1990 年頃から国際調和の思想のもと，統一基準を目指した検討が行われ<sup>2)</sup>，米国も 1990 年代後半まで 58 年協定への加盟を検討していたが，自己保証制度と認証制度の考え方，交通事情などの違いから断念しており，前照灯配光に関しては今日も国際整合化の状況に大きな変化は見られない．

「UN 規則」の法制化では審議組織である WP29 が毎年 3 回開催され，タイムリーに新技術に対する法整備が行われている．一方，米国では欧州のような法制化のための決まった会議がなく，制度と交通事情の違いもあり，欧州と米国で新技術の導入が一致しないケースも出ている．例えば配光可変型前照灯 (3.3.3 参照) において米国の法規で許されているものは，すれ違いビームを進行方向に合わせて配光を左右に移動させる AFS (Adaptive Front-lighting System) の「ベンディングモード」のみである．現在，「UN 規則」で規定されている AFS の各 class や配光可変型の走行ビーム ADB (Adaptive Driving Beam) は米国では許されておらず，これらの解禁に向け業界団体から NHTSA に働きかけが行われている．

近年，LED を代表とする半導体光源やセンシング技術が急速に進歩し，それらを応用した前照灯や安全装置の開発が急ピッチで進んでいる．新技術をタイムリーに製品化し，安全な交通環境の実現に貢献できるよう，技術開発と歩調を合わせた法制化が期待される．

(文責：石田裕之)

#### 参考文献；

- 1) 植木雅哉；自動車用ランプについて，照明学会誌，Vol.86, No.12, 2006
- 2) 横井清和；前照灯すれ違いビームの基準調和の動向，自動車技術，第 13 巻，第 3 号，1991

### 3.3.3 前照灯用光源および前照灯の技術動向

#### 3.3.3.1 前照灯用光源の技術動向

20世紀初頭にろうそくの明かりから始まった前照灯は、夜間、安全に走行するために、自動車の進化とともに明るさを向上させてきた（図 3.3.3-1 参照）。

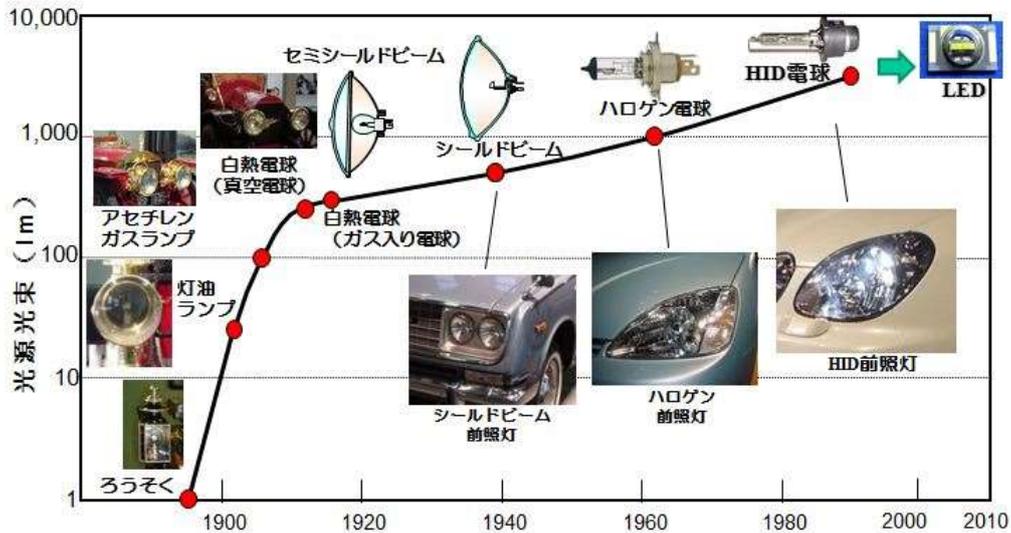


図 3.3.3-1 前照灯用光源の進化

現在、前照灯に使用されている光源にはハロゲン電球、HID電球（メーカーによりディスチャージ、キセノンなどの呼称がある）、LEDの3種類がある。ハロゲン電球は1960年代に登場し、それまでの白熱電球に比べて明るさ向上と長寿命を同時に実現する光源として広く普及し、現在でも最も多く使用されている光源である。HID電球は1990年代に実用化され、ハロゲン電球に比べ3倍以上の光束が得られるため遠方への照射や左右の照射幅が増加し、夜間の交通安全に大きく貢献している（図 3.3.3-2 参照）。HID前照灯搭載車両はハロゲン前照灯搭載車両に比べ夜間の交通事故が少ないとの調査結果もある<sup>1)</sup>。

2007年には白色LEDが初めて前照灯用光源として採用された。その後の技術革新により年々性能が向上し、現在、図 3.3.3-3 の様に光束、輝度ともにHID電球と同等性能に近づきつつある。

	ハロゲン前照灯	HID前照灯
路面視認性 (ロービーム)		
照射距離	60~80m	90~105m
照射幅	12~18m	20~30m
平均寿命	1,000時間	3,000時間
色温度	3,200ケルビン	4,200ケルビン
消費電力*	120W	90W

\*:消費電力は左右ランプの合計値、HIDはバラスト(電子点灯回路)を含む

図 3.3.3-2 HID前照灯による照明性能の向上

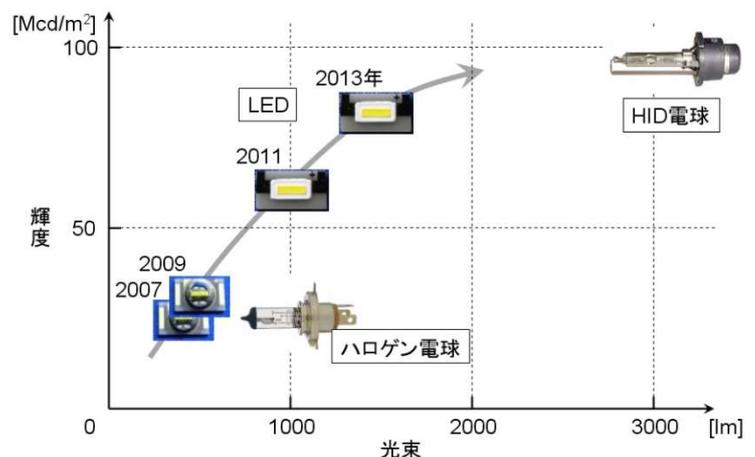


図 3.3.3-3 前照灯用光源とその明るさ

前照灯用光源には、全体を明るく照らすための光源光束だけでなく、遠方を照射するためには光源輝度も必要である。光源数を増やすと灯具光束を増やすことはできても限られたランプサイズでは、遠方照射に必要な高光度は得られない。この点が、一般照明用光源とは異なる前照灯用光源に求められる特有の光源性能である。

また、LED から出る光には熱線が含まれないが、LED 自身は通電による発熱で温度が上昇する。この熱を取り除く必要があり、ランプ内に図 3.3.3-4 のような放熱フィンを用意している。



LED 前照灯外観



すれ違いビームユニット 背面の放熱フィン

図 3.3.3-4 レクサス LS600h に搭載された世界初の LED 前照灯とすれ違いビームユニット

LED は光源として省電力、高い色温度による明るさ感の向上、瞬時点灯などの優れた特性があり、前照灯としても多灯による新しいデザインや後述する配光可変型前照灯が構成しやすいという特長を持つ。現在、LED 前照灯の採用比率は数%と少ないが今後、HID 前照灯やハロゲン前照灯からの置き換えが急速に進むと予想される。

さらには、レーザーダイオードを前照灯に用いる検討が行われており、高輝度という特長を活かした遠方照射機能や超小型前照灯などが提案、開発されている。

### 3.3.3.2 前照灯の技術動向

前照灯の基本機能は運転者が安全走行できる夜間視界の提供である。ただし、他の道路利用者にグレアを与えないようにしなければならない。モータリゼーション黎明期に走行ビームでの走行を基本とし、他車とすれ違う際にすれ違いビームに切り替えるという考え方から現在の2ビーム方式ができあがった。交通量が多い現代では切り替えの煩雑さもありすれ違いビームでの走る事が多く、すれ違いビームでは対向車・先行車へのグレアを抑えるために上方向への照射を抑制しているため、照射距離は限定的である。

光学技術やセンシング技術が進歩し走行ビーム・すれ違いビームの2種だけでなく、走行状況にあわせて配光を変化させる配光可変型前照灯の開発が1990年代後半から本格化し、安全性の向上に貢献している。以下、それらを中心に前照灯の技術動向を示す。

#### ① 走行ビーム

走行ビームは遠方視認性を重視した配光であり、遠方を照射するためのホットゾーンの最高光度は5万~10万cd程度である。照射イメージを図3.3.3-4に示す<sup>2)</sup>。

#### ② すれ違いビーム

すれ違いビームの照射イメージを図3.3.3-5<sup>2)</sup>に示す。すれ違いビームは自車両が安全に走行するための路面照度を確保しつつ対向車・先行車へのグレアを抑えるために水平線の上下で大きな明暗比が要求される。遠方の視認性を左右するホットゾーンの最大光度は2万~3万cd程度(前照灯片側あたり)であるが、Cut off Line と呼ばれる明暗境界線より上方は625cd以下(前照灯片側あたり)に抑えなければならない。

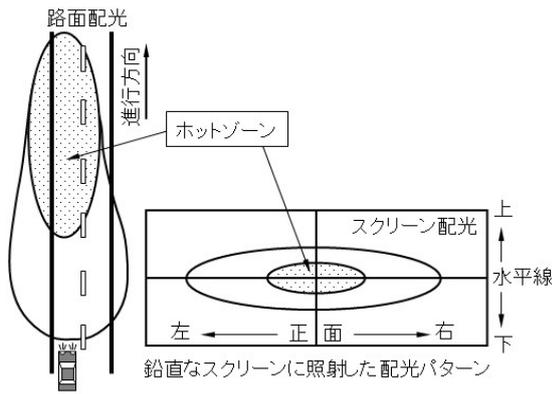


図 3.3.3-5 すれ違いビームの配光パターン

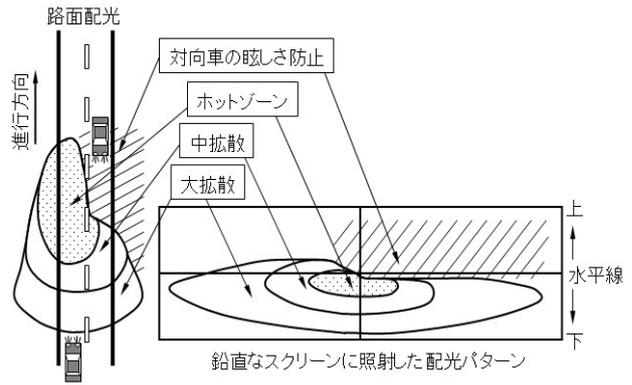


図 3.3.3-5 走行ビームの配光パターン

Cut off line の形状は対向車側では水平に、左路肩側は先行車や歩行者にグレアを与えず、かつ歩行者や障害物を視認するために、水平から斜め上へ伸びる形状に規定されている。

車両装着時には Cut off line の位置は水平線より、おおよそ 1% 下向きに照準される。例えばランプ取付け高さ 65cm のロービームでは 1% 下向きにすることで照射距離は 65m となる。

### ③ 走行ビーム/すれ違いビーム自動切替え

交通量が多く、交通環境が複雑な現状では走行ビームとすれ違いビームの煩雑な切り替えを避けすれ違いビームでの走行が主体となっているが、安全性を考えると他の交通利用者に迷惑にならないければ、より遠方を視認できる走行ビームでの走行が好ましい。

運転者への負担を減らし走行ビームでの走行を増やすシステムとして、走行ビーム/すれ違いビームを自動切替するシステムが開発され近年、搭載する車両が増えてきている。自動切替えの考え方は古くからあったが、車載カメラ・画像処理の技術進歩と低価格化でコンパクトカーにも広がりつつある<sup>3)</sup>。

### ④ コーナリングランプ

現在の前照灯の側方照射範囲は、ランプ個々により異なるが、おおよそ片側 30° 程度であり、この照射範囲では右左折時における横断歩行者や道路縁石が視認しづらい場合がある。そこで交差点などで側方視認性を向上させるためにコーナリングランプの装着が任意で認められている。

このランプは車両前方側面側に取り付けられ、その照射光軸は車両進行方向に対して概ね 45° 方向に向けられており、点灯することで照射範囲を 80° 程度まで拡大できる。

さらに、交差点右左折時での横断待機者などを視認するには照射範囲をさらに広げる必要があり、照射範囲を 120° まで拡大した研究において視認性向上が確認された<sup>4)</sup>。

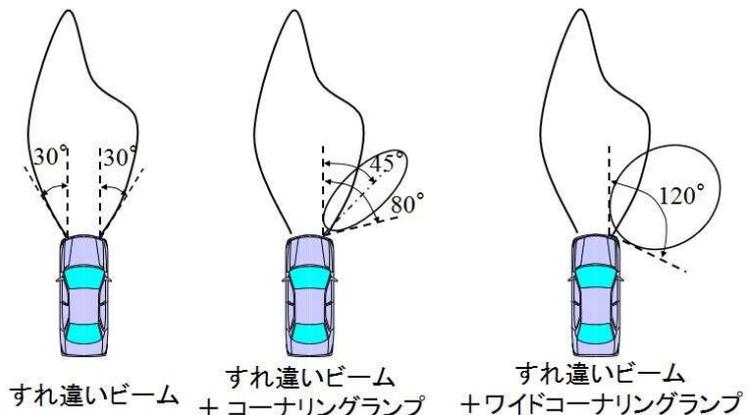


図 3.3.3-6 コーナリングランプの配光パターン

### ⑤ AFS(Adaptive Front-lighting System)

走行ビーム・すれ違いビームの2ビームからなる前照灯では種々の走行条件下で十分な性能要件を満足しているとは言い難く、状況によって配光を自動で変化させるシステムがAFSである。AFSのすれ違いビームは4つのクラスで定義されており、追加機能として曲路で進行方向を照射するためのベンディングモードがある。各クラスの配光の概要を下に記す。

- Class C ;すれ違いビームに相当しClass E, Class V, Class W以外の基本状態。
- Class E ;防眩柵などがある高速道路や高速走行時に使用するビームで遠方照射距離を伸ばした配光。
- Class V ;低速での走行、または道路照明があることを前提にした市街地走行用ビームであり、すれ違いビームより低い光度が設定されている。
- Class W ;雨天などの濡れた路面で使用するビームで、自車両手前への照射を減らし対向車への路面反射グレアを抑制する配光。

### ⑥ ADB (Adaptive Driving Beam)

前照灯は走行ビームで走る時に最も良好な視認距離を得る事ができ、先行車や対向車が存在する際には、すれ違いビームに切り替えるため視認距離が制限されてしまう。そこで、走行ビームの状態を基本とし、他の車両が存在する場所だけを遮光するという前照灯がADBである。ADBはAFSの走行ビーム機能として定義され、先行車や対向車にグレアを与えないことから、グレアフリーハイビームと呼ばれることもある。

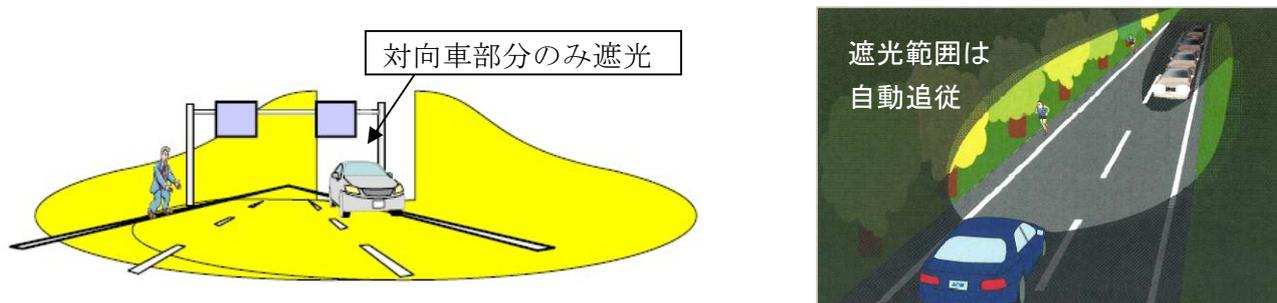


図 3.3.2-7 ADB 配光のコンセプト<sup>5)</sup>

部分的に遮光するには光学系の部品を可動させる方式、多数のLEDをON/OFFさせる方式、それらを組み合わせた方式など様々な方式が提案、検討されている。

今後はセンシングと前照灯のインテリジェント化がさらに進み、よりきめ細かい配光制御に加え、路上障害物・乱横断者などに光線に向け運転者に知らせる情報表示などの新たな安全機能が実現されてゆくであろう。

(文責：石田裕之)

参考文献；

- 1) Frank Schierge ほか；Investigation on the influence of car lighting on night accidents in Germany, The International Symposium on Automotive Lighting, 2007
- 2) 佐々木勝；白色LEDの自動車照明への応用，応用物理 第74巻，第11号，2005
- 3) [https://toyota.jp/corollaaxio/002\\_p\\_003/safety/active/](https://toyota.jp/corollaaxio/002_p_003/safety/active/)
- 4) 橋本博, 大川正夫, ほか; 前照灯の照射範囲と視認性に関する研究, 自技会予稿集 No.20135097, pp.7-12, 2013
- 5) 小糸製作所 2012年10月12日 プレスリリース

### 3.3.4 車載信号・表示装置の開発動向

前節の 3.1.2 では車車間通信，路車間通信などのカーナビ ITS を活用した予防安全技術や事故防止技術，車載カメラを活用した運転支援・交通規制対応装置や運転者監視装置などが紹介された。また，前項 3.3.3 ではコーナリングランプや ADB 配光可変型前照灯などが紹介された。

本項では上記以外の車載信号・表示（発光含む）装置の開発動向として下記 5 項を説明する。

- ① Emergency Stop Signal Lamp
- ② レーザ触覚衝突緩和システム
- ③ リアランプによる追突防止と車車間通信
- ④ 二輪車の近接状態表示ランプ
- ⑤ フロントパネル発光

#### 3.3.3.1 Emergency stop signal Lamp

ITARDA info. No.43 の平成 14 年事故類型別分析では以下を報告している<sup>1)</sup>。

- 自動車乗車中の軽傷者数を事故類型別に分類すると，追突事故が全体の 55% を占め，二番目の出会い頭事故の 21% に比べ圧倒的に多数を占めている。従って，軽傷者数の低減のためには，自動車同士の追突事故に重点を置いた対策の検討が重要と考えられる。
- その追突事故の約 60% が信号のない単路で発生し，残る約 40% が交差点及び交差点付近で発生し，そのうちの更に 2/3 が信号のある場所で発生している。

単路や信号のある交差点近傍での追突事故対策が望まれる。

欧州では EUREKA（ユーレカ；欧州先端技術共同研究計画）の中で交通事故防止やより走行の安全を向上させる自動車灯火器の研究開発が 1990 年前後から進められた。一つは AFS（Adaptive Front-lighting System）であり，もう一つは後部標識灯の機能向上を対象とした ARS（Adaptive Rear Lighting System）である<sup>2)</sup>。ARS 研究開発成果は 2007 年 6 月，ECE 自動車用灯火器法規 E Reg48<sup>3)</sup> の改訂に反映され，後部標識灯に下記の新たなに 2 つの機能を追加することが認められた。

- ◇ Variable Rear Lamp（環境対応光度変化ランプ）；環境条件（夜/昼，霧などの天候）に応じて信号灯火の光度を制御する光度可変方式のリアランプシステムである。
  - ◇ Emergency Stop Signal Lamp（緊急減速ストップランプ；略称 ESS）；緊急制動時にストップランプなどをハザードランプの点滅速度より速い条件で自動点滅させるシステムである。
- ここではここで国産車にも一部採用されている ESS について概説する。

ESS の点灯表示方式の一例を図 3.3.3.1-1 に示す。1 は消灯時，2 は通常の制動時，3 はシステム作動時であり，ストップランプとターニングナルランプを点滅させる<sup>4)</sup>。その点滅周波数は LED で  $4 \pm 1\text{Hz}$ ，白熱電球は 3~4Hz と規定されている。

点滅の有効性については研究結果が一部公表されている<sup>5)</sup>。

図 3.3.3.1-2 は点滅光の周波数（横軸）と光覚閾（視野角度閾；縦軸）の関連を，図 3.3.3.1-3 は点滅色光の周波数（横軸）と刺激強度（誘目性；縦軸）の関連を白，赤，緑，青，黄の 5 色に対して研究した結果である。



図 3.3.3.1-1 Emergency Signal Lamp 例<sup>4)</sup>

点灯状態（点滅周波数 0Hz）より光覚閾（視野角度閾）が拾い点滅周波数は 1Hz と報告されている。また、点滅周波数 1~3Hz は点滅周波数 0Hz（点灯状態）より刺激強度（誘目性）が高いと報告されている。これらの結果を基にして視野角度閾が広い低周波数点滅と、刺激強度の高い高周波数点滅を組み合わせた点滅方式も検討されている<sup>6)</sup>。これを図 3.3.3.1-4 に示す。

横軸は時間経過、塗りつぶしは点灯を意味する。

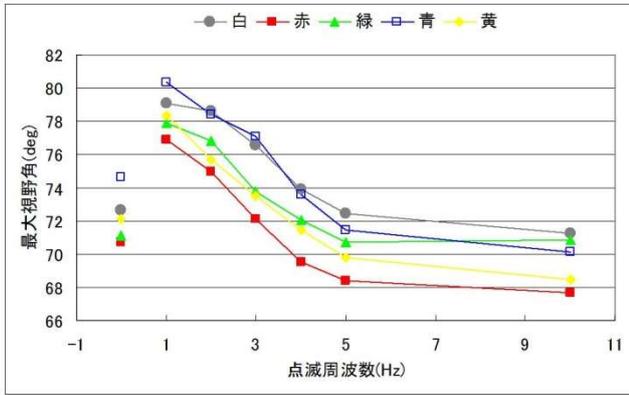


図 3.3.3.1-2 点滅色光の周波数と光覚閾<sup>5)</sup>

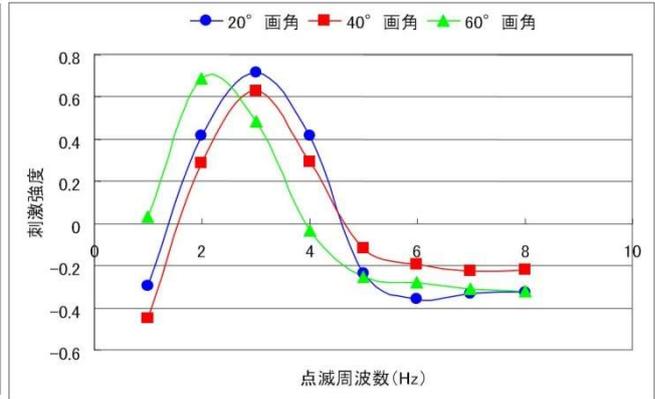


図 3.3.3.1-3 点滅光の周波数と刺激強度<sup>5)</sup>

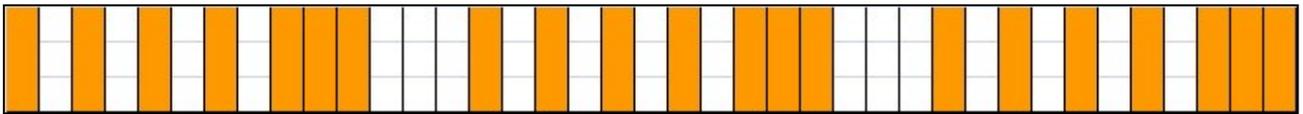


図 3.3.3.1-4 複合周波数点滅によるリアランプ緊急表示<sup>6)</sup>

### 3.3.3.2 レーザ触覚衝突緩和システム

自車の予想軌跡などの情報を、レーザ光などを用いて路面に投光し、周辺に存在する車や人に様々な形で利用してもらおうというシステムである<sup>7)</sup>。このシステムの活用案を図 3.3.3.2 に示す。

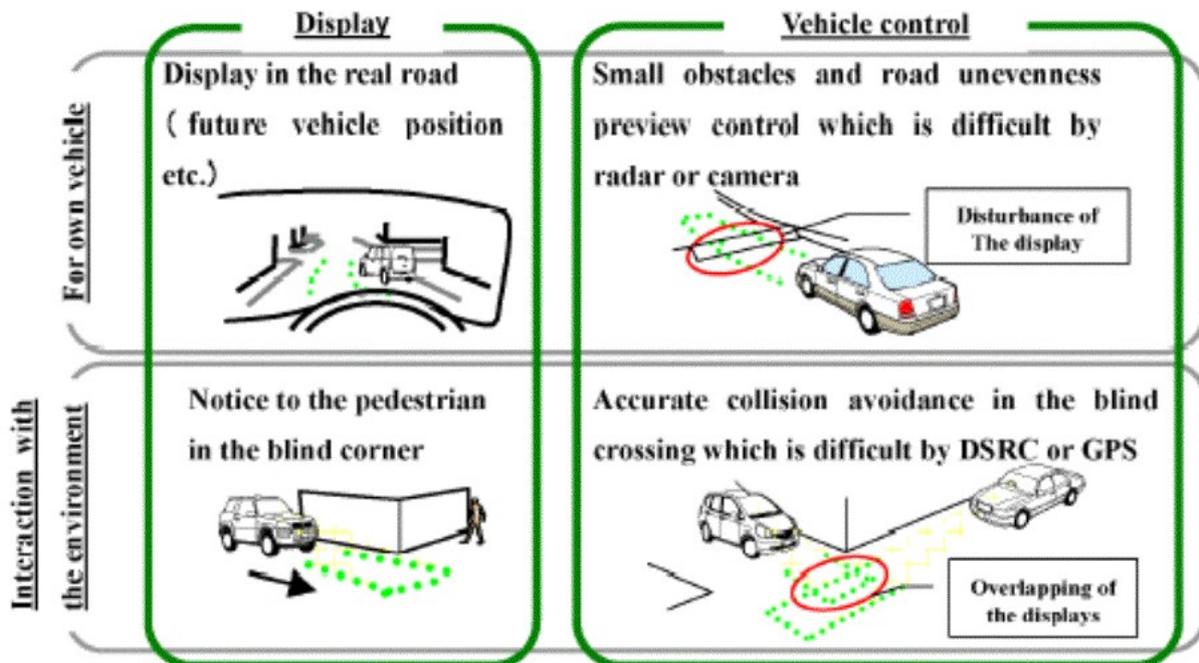


図 3.3.3.2 レーザ触覚衝突緩和システムの活用案<sup>7)</sup>

この代表的活用案は下記の4項である。

- ① 自車の存在と進行方向を先行車両に提供し、近接車両の存在を提供する。
- ② 自車の存在と進行方向を死角に存在する歩行者に提供し、人身事故を未然に防止する。
- ③ 路面に投影されたパターンの変形により、前方路面に存在する障害物や路面の凹凸を検知し、車両を制御する。
- ④ 死角のある交差点に進入してくる交差車両の存在を検知して、運転者に警告をすると共に車両を制御する。

このような実用化されれば、交差点における出会い頭事故の低減に効果が期待される。

### 3.3.3.3 リアランプによる追突防止と車車間通信

現在は、運転者が先行車両のストップランプやハザードランプを認識してブレーキ操作を行っている。この場合、特に運転者の意識低下時や脇見時などはブレーキ操作が遅れ、追突事故の原因となっている。そこで先行車両のリアランプを車載カメラで認識し、運転者に注意を喚起し、安全運転支援を行うシステムが検討されている<sup>8)</sup>。これを図3.3.3.3に示す。

このシステムではリアランプの一区画を運転者には視認できない赤外線発光表示区画とし、現状のリアランプでは伝達することの出来ない情報を伝達することも提案されている。その方式は前述の赤外線発光区画をモールス信号形態で点滅させる。この点滅状態を後続車両の車載カメラで検出し、現状のリアランプよりも多くの情報を伝達させるのである。

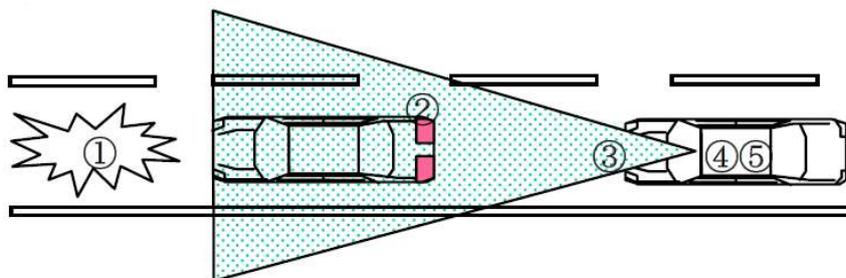


図 3.3.3.3 リアランプ点滅検知による追突防止と車車間通信<sup>8)</sup>

### 3.3.3.4 二輪車の近接状態表示ランプ

丸山<sup>9)</sup>、植松<sup>10)</sup>、菅原<sup>10)</sup>らは平成10年度の交通事故統計から二輪車死亡事故のうち四輪車が第一当事者のものを抽出し、その原因主に二輪車の交通事故原因を調査した。そしてその原因は四輪車運転者の二輪車速度・距離誤認が見落としとともに主要因であると報告している。そこで彼らはその誤認を低減させるために、距離感、速度感に関する被視認性を向上させる手法としての灯火器を提案した。

ここでは一例として彼らが提案している二輪車の近接状態表示ランプを概説する。これを図3.3.3.4に示す。

彼らは夜間において二輪車の近接状態を正確に認識できない原因の一つを二輪車前照灯の配置と構成にあるとしている。一般に二輪車の前照灯はハンドルセンター部分に1灯で装着されている例が多い。

一般に距離の変化は眼の輻輳変化により認識される。そのため二輪車前照灯が1灯式の場合には、その輻輳変化が四輪車のそれに比べて少なく、距離の変化が認識しづらくなると述べている。そこで図3.3.3.4に示したように二輪車前照灯と離間する位置に追加の灯火器を設置することを提案している。具体的にはタイヤ車軸に追加の灯火器を取り付ける。

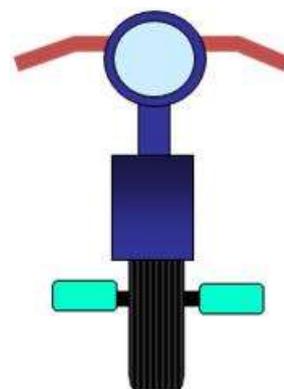


図 3.3.3.4 二輪車の近接状態表示ランプ<sup>9)</sup>

その他、菅原らは顔認識能力が他のモノより注意力が高いことに着目して、自動車灯火器の点灯時における発光デザインを人の顔に近づけることを提案している<sup>10)</sup>。

### 3.3.3.5 フロントパネル発光

夜間、横断歩行者の背後に停止車両が存在する場合、対面する車両運転者から歩行者の確認がしづらい。その原因は、前照灯が高輝度で点灯しているためグレアとなること、特に歩行者が左右前照灯の間に位置した場合に視認しづらくなる。

そこで前照灯の取り付けられているフロントグリルやバンパーなどのフロントパネル全体をすれ違いビームよりも低い輝度で発光させる案が提案されている<sup>12)</sup>。

このような発光パネルを車両の前面に装着し、停車時に発光させれば車両の前を横切る歩行者はシルエットで確認できる。

前照灯をカーナビや車速と連動させて減光させる。またフロント発光パネルを同様に交差点近傍および交差点先頭車両で発光させれば横断歩行者の確認がし易くなると考えられる。



図 3.3.5.3 フロント発光パネル<sup>12)</sup>

(文責；小林正自)

参考文献；

- 1) ITARDA info. No.43；追突事故はどうして起きるのか～その時の運転者のエラーは～，2003
- 2) 林一美，高田福夫；ISO/TC/SC8 & GTB（自動車ランプ専門家会議）活動報告，自動車技術，Vol.60，No.3，P.96-97，2006
- 3) <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r48r6e.pdf>
- 4) J. Friedrich; Brake Light of the Future, Efficiency of Deceleration Signalling Principles, International Symposium on Automotive Lighting, 2005
- 5) 上條正義，小林正自，他；点滅刺激色光と誘目性，照明学会全国大会論文集，2003
- 6) 小糸製作所；公開特許 2006-111031 乗物用灯具
- 7) 小池伸；レーザ触覚による衝突緩和システム，自動車技術，Vol.60，No.5，P.49-53，2006
- 8) 道風美千夫，津川定之；テールランプとマシンビジョンを用いた車々間通信，第48回自動制御連合講演会，P.1～2，2005
- 9) 丸山一幸，他；二輪車の被視認性を向上させる灯火器の一考察，自動車技術会学術講演会前刷集，20055801
- 10) 植松功，他；混合交通において車両の被視認性を統一させる灯火器の提案，自動車技術会学術講演会前刷集，20055845
- 11) 菅原ほか；顔ハタンに誘発される脳活動を利用した二輪車の被視認性向上の研究，自動車技術会学術講演会前刷集，50-05,2005-5，p.1-6，2005
- 12) 小糸製作所；公開特許 2011-11569，車両発光システム

### 3.4 道路照明技術

#### 3.4.1 道路照明に関する規格・基準（海外を含めて）

##### 3.4.1.1 道路照明に関する国内基準

道路照明施設は、道路法第30条に基づく道路構造令第31条において、視線誘導標、横断歩道橋等と共に交通安全施設として位置付けられている。さらに、道路構造令第34条において「トンネルには、安全かつ円滑な交通を確保するため必要がある場合においては、当該道路の設計速度等を勘案して、適当な照明施設を設けるものとする。」として、トンネルの照明施設が規定されている。この法令を基に、照明施設の計画、設計、施工および維持管理を行うために必要な技術的基準として「道路照明施設設置基準」（以下「設置基準」という）が定められており、照明施設の合理的な整備、維持管理が図られている。「設置基準」の変遷と主な改訂内容を表3.4.1-1に示す。

表 3.4.1-1 道路照明施設設置基準の変遷と主な改訂内容

通達年月	通達者	主な改訂内容等
昭和42年4月	建設省 道路局長	・明るさのレベルを「照度」で規定 ・仕様規定により灯具の配置計画に制限
昭和56年3月	建設省 都市局長, 道路局長	・明るさのレベルを「輝度」で規定 ・基準輝度を道路分類と沿道の明るさの程度に応じて設定
平成19年9月	国土交通省 都市・地域整備局長, 道路局長	・性能規定に転換し、道路照明施設の性能を規定 ・社会ニーズの変化に対応し、歩道の照明等を新設 ・トンネル照明の新しい照明方式の採用等、新技術を導入

道路照明の目的は、夜間あるいはトンネル等の明るさが急変する場所において、道路状況、交通状況を的確に把握するための良好な視環境を確保し、道路交通の安全、円滑を図ることである。また、道路照明（連続照明）の性能指標は、平均路面輝度、輝度均斉度、機能低下グレア、誘導性の4要素とし、平均路面輝度は道路分類および外部条件に応じて0.5, 0.7, 1.0cd/m<sup>2</sup>、輝度均斉度は0.4以上を原則としている。

連続照明の性能指標は、平均路面輝度、輝度均斉度、視機能低下グレア、誘導性とする。

(1) 平均路面輝度

平均路面輝度は、道路分類および外部条件に応じて、表3-1の上段の値を標準とする。

ただし、高速自動車国道等のうち、高速自動車国道以外の自動車専用道路にあっては、状況に応じて表3-1の下段の値をとることができる。

また、一般国道等で、中央帯に対向車前照灯を遮光するための設備がある場合には、表3-1の下段の値をとることができる。

表 3-1 平均路面輝度 (単位 : cd/m<sup>2</sup>)

道路分類		外部条件		
		A	B	C
高速自動車国道等		1.0	1.0	0.7
		—	0.7	0.5
一般国道等	主要幹線道路	1.0	0.7	0.5
		0.7	0.5	—
	幹線・補助幹線道路	0.7	0.5	0.5
		0.5	—	—

なお、特に重要な道路、またはその他特別の状況にある道路においては、表3-1の値にかかわらず、平均路面輝度を2cd/m<sup>2</sup>まで増大することができる。

(2) 輝度均斉度

輝度均斉度は、総合均斉度0.4以上を原則とする。

※枠内は「設置基準」より抜粋

- (3) 視機能低下グレア  
視機能低下グレアは、相対閾値増加を原則として表 3-2 の値とする。

**表 3-2 相対閾値増加** (単位：%)

道路分類		相対閾値増加
高速自動車国道等		10 以下
一般国道等	主要幹線道路	15 以下
	幹線・補助幹線道路	

- (4) 誘導性  
適切な誘導性が得られるよう、灯具の高さ、配列、間隔等を決定するものとする。

また、交差点などの交通流が複雑となるような場所、道路の平面線形や縦断線形が複雑な場所等には、交通状況、道路状況等を明確にすることを目的として局部照明が整備される。

トンネル照明の性能指標は、平均路面輝度、輝度均斉度、機能低下グレア、誘導性の 4 要素であるが、排気ガスにより見え方が低下するため、設計速度に応じた平均路面輝度が設定されている。

- (1) 平均路面輝度  
トンネル内の平均路面輝度は、設計速度に応じて表 5-1 の値を標準とする。

**表 5-1 基本照明の平均路面輝度**

設計速度 (km/h)	平均路面輝度 (cd/m <sup>2</sup> )
100	9.0
80	4.5
70	3.2
60	2.3
50	1.9
40 以下	1.5

なお、交通量、トンネル延長に応じて、平均路面輝度は表 5-1 に示す値より低い値とすることができる。ただし、この場合においても 0.7cd/m<sup>2</sup> 未満であってはならない。

道路照明およびトンネル照明の設計においては、前述した性能指標を満足するよう灯具の選定や配置計画等を行っている。最近では道路照明分野の LED 灯具の性能向上から、「道路照明施設設置基準・同解説」(社)日本道路協会(平成 19 年 10 月)(以下「設置基準・同解説」という)に加えて、「LED 道路・トンネル照明導入ガイドライン(案)」(国土交通省)(平成 23 年 9 月)が制定され、ライフサイクルコスト(LCC)算定などの考え方に基づく道路・トンネル照明の省電力化及び維持費低減を図った設計が行われている。

#### 3.4.1.2 道路照明に関する海外基準

海外における各国の基準は、交通量、設計速度、道路分類などの道路形態および周囲環境に応じて照明レベルが規定されている。またその分類においては、設計速度の大小、道路分類や周囲環境などを考慮しているが、その内容はそれぞれ異なっている。

照明レベルを決定する手法として、我が国では前掲の通り、道路分類と外部条件(沿道の光環境)及び対向車の前照灯の影響によって決定するが、CIE 及び CEN では、設計速度、交通量、道路の利用形態、沿道の光環境など要件別に重み付けを行い、点数化して決定している。また中国では、道路分類を基本に、政府機関や大規模公共建築の存在、市街中心地や商業中心地も考慮して、照明レベルを決定している。

海外の道路照明基準と国内基準の対比を、「欧州統一規格(CEN)」、「中国規格」および「国際照明委員会(CIE)による勧告」と共に表 3.4.1-2、表 3.4.1-3 に示す。

表 3.4.1-2 各国の道路照明における設定条件の比較

基準\要因	交通量・区分等	道路形態	周囲環境
(日本) 設置基準・同解説 2007	日交通量 25,000 台以上に設置 することが望ましい	分離帯・流出入制限 利用者の分離 道路分類 3 段階	沿道の光環境 3 段階
CIE CIE 115-2010	5 段階 (極多・多・中・少・極少)	分離帯・流出入制限 利用者の分離 設計速度 3 段階	沿道の光環境 3 段階
欧州統一規格 CEN/TR 13201-1:2004 EN 13201-3:2003	日交通量 3 段階 15,000 台未満 15,000~25,000 台 25,000 台超	分離帯・流出入制限 利用者の分離 設計速度 3 段階	沿道の光環境 3 段階
中国 CJ45-2006	規定なし	道路分類 3 段階	沿道の立地や大規模 建築物の存在

表 3.4.1-3 各国の道路照明における照明特性値の比較

国名等	平均路面輝度			総合均斉度		車線軸均斉度	
	路面輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	段階数	備考	値	段階数	値	段階数
(日本) 設置基準・同解説 2007	(2.0),1.0,0.75, 0.5	3 段階	0.25 おき 等差	0.4	1 段階	0.7, 0.5	2 段階
CIE CIE 115-2010	2.0,1.5,1.0, 0.75,0.5,0.3	6 段階	係数 1.5 ほぼ等比	0.4,0.35	2 段階	0.7, 0.6, 0.4	3 段階
欧州統一規格 CEN/TR 13201-1:2004 EN 13201-3:2003	2.0,1.5,1.0, 0.75,0.5,0.3	6 段階	係数 1.5 ほぼ等比	0.4,0.35	2 段階	0.7,0.6 0.5,0.4	4 段階
中国 CJ45-2006	2.0,1.5,1.0, 0.75,0.5	5 段階	係数 1.5 ほぼ等比	0.4	1 段階	0.7,0.5	2 段階

注) CIE115:2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic  
 CEN/TR 13201-1:2004 Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes  
 EN 13201-2:2003 Road lighting - Part 2: Performance requirements  
 CJ45-2006 都市道路照明設計標準 (和訳)

### 3.4.1.3 道路照明の整備における課題

道路照明の設計では、性能指標を満足するための路面輝度の計算を実施することが必要であり、「国際照明委員会の技術報告書」を基に行っている。国際照明委員会の路面輝度計算手法としては、CIE Pub №30.2-1982 と道路横断方向の計算点数が少ない CIE Pub №140-2000 があり、計算結果の検証が可能という点で、国内では CIE Pub №30.2 に準拠している。なお、「LED 道路・トンネル照明導入ガイドライン (案)」では、簡易設計において CIE Pub №140 の使用を認めている。特に新規参入や海外のメーカーでは、CIE Pub №140 により灯具設計を行っている場合があり、現時点では一律の計算手法で評価できない。CIE Pub №140 については、検証可能なテストデータが公表され、正式に制定される予定となっている。照明性能の確認において、計算手法が 2 種類あることで、灯具間隔の計算結果が異なり、照明施設の省電力化や LCC 比較への影響が懸念される。

(文責；中田圭裕)

### 3.4.2 道路照明の光源技術動向

#### (1) 道路照明

道路照明で使用される光源の変遷について記述する。今から約 100 年前の 1917 年には道路照明はまだなく（と言うより車両交通を前提とした道路がほとんどなく）、街路照明のみであり、その当時の光源はガス(灯)や白熱ランプが主流であった<sup>1)</sup>。

道路照明という言葉は 1937 年頃から使われ始めたと思われる<sup>2)</sup>。その当時から道路照明に高圧水銀ランプとナトリウムランプ（低圧ナトリウムランプの略称）は使用されていた。

その後、第二次世界大戦を経て、1960 年代の道路、特に高速道路の整備によって、道路照明が普及した。1963 年に道路照明基準（JIS Z 9111）が制定され、その中で、道路照明光源として、“高圧水銀ランプ”、“蛍光ランプ”、“ナトリウムランプ”、“白熱電球”が規定され、さらに 1967 年に道路照明施設設置基準（旧 建設省）が制定され、その中でも道路照明用光源として、“蛍光水銀ランプ”、“ナトリウムランプ”、“蛍光ランプ”のうちから選択することとされたため、特に、蛍光水銀ランプとナトリウムランプの普及が加速した。

1970 年初頭のエネルギー危機により、高圧水銀ランプよりもエネルギー効率が良かったナトリウムランプ（低圧・高圧）が世界的に道路照明用光源の主流となった。海外でも省エネを目的に、非常に多くの箇所で水銀ランプがナトリウムランプに取替えられた<sup>3)</sup>。さらに国内では 1981 年に道路照明設置基準が改訂され、高圧ナトリウムランプが使用光源として追加された。

2000 年代に入り、2009 年に名古屋市道・江川線に従来光源に比べて効率性に優れた上、ランプ光色が白色であることが特徴であるセラミックメタルハイドランプを使用した道路照明が設置された<sup>4)</sup>。

2008 年に日本初の白色 LED を使用した道路照明が大阪府道 14 号・大阪高槻京都線に設置された<sup>5)</sup>。LED は他の光源に比べて長寿命であり、また発光部も小さいことから、照明器具の形状やデザインが、その求められる機能に合わせて変更しやすい。また、調光制御が他光源に比べて容易であり、始動・再始動性に優れているなど、様々な長所を有している。2011 年に阪神高速 11 号池田線、圏央道・海老名ジャンクション、福島県・国道 289 号・常磐線跨道橋などで使用され<sup>6)</sup>、現在の道路照明の光源の主流となっている。

#### (2) トンネル照明

道路トンネルについては、1958 年に国道 2 号・関門トンネルに蛍光ランプを、1963 年に首都高速道路 1 号線の汐留トンネルに蛍光ランプとナトリウムランプを使用したのが国内初期の事例である<sup>7,8)</sup>。1964 年の高速道路調査会の研究により<sup>9)</sup>、ナトリウムランプが他の光源に比べて、煤煙が発生したトンネル内での視認性に優れるとの結果を得たことから、ナトリウムランプがトンネル照明の光源の主流となった。1963 年供用の名神高速道路では全トンネル（天王山トンネル、千里山トンネル、梶原トンネルなど）で低圧ナトリウムランプを使用した<sup>10)</sup>。

その後、1976 年に東京都・愛宕トンネルでは、トンネル内の歩行者のための演色性を確保するため、高圧ナトリウムランプが使用された。1976 年 8 月に完成した当時、自動車専用トンネルとして日本最長（世界 2 位）の中央自動車道・恵那山トンネルでは基本照明に低圧ナトリウムランプ、非常駐車帯に 40W 蛍光ランプ、入口照明に高圧ナトリウムランプが使用された。

蛍光ランプは、ナトリウムランプに比べると当初はあまり使用されていなかったが、海外では 1970 年頃にオランダ・アムステルダムのアイトンネルやスウェーデンのテイグスタンドトンネルなどで本格的に使用され、スイスにある 1981 年当時の世界最長トンネルであるゴットハルトトンネルでも使用されている。日本でも 1965 年時点の首都高速道路において主光源として蛍光ランプを採用した。2000 年の東名高速道路・日本坂トンネルにおいて、基本照明に通常の蛍光ランプ

よりも大幅に効率が改善した Hf 蛍光ランプを，2003 年に福島県道 15 号・中ノ作北トンネルでは電球色の 45W・Hf ツインランプを使用した<sup>11)</sup>。

その他の光源の事例として，無電極放電ランプがある。無電極放電ランプは寿命 60000 時間以上と他の光源に比べて寿命が非常に長く，また演色性に優れ，瞬時再始動にも対応するなどの長所を有している。2001 年の青森県・国道 4 号・久栗坂トンネルで 50W 無電極放電ランプを初めて使用した<sup>12)</sup>。また，セラミックメタルハライドランプも，2009 年に新名神高速道路・金勝山トンネルや東海北陸道・平山トンネルなどで使用された<sup>4)</sup>。

その後，白色 LED を用いたトンネル照明が開発され，2012 年に横須賀市道・田浦臨港線・比与宇トンネルで使用され<sup>13)</sup>，高速道路でも上信越自動車道・日暮山トンネルで採用されるなど<sup>14)</sup>，道路照明同様，主流となりつつある。

2013 年 3 月時点の日本の高速道路 (NEXCO 3 社) における光源の使用比率を図 3.4.2.1 に示す。

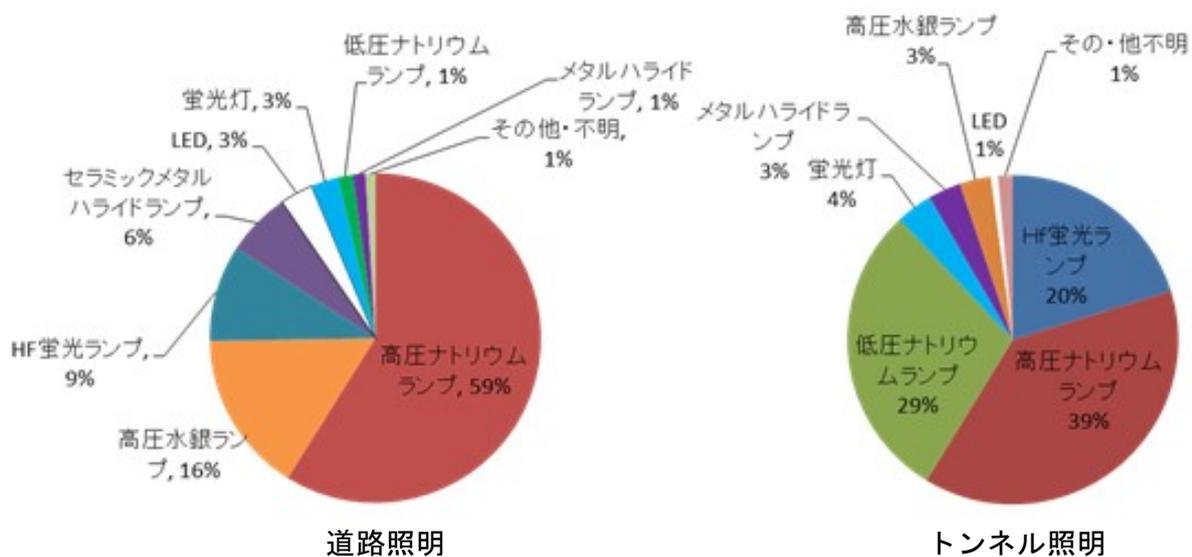


図 3.4.2-1 日本の高速道路 (NEXCO 3 社) における光源の使用比率

道路，トンネル分野で使用されてきた各光源の特徴 (代表) を表 3.4.2-1 に示す。また，表内にある色温度についての光色のイメージを図 3.4.2-2 に示す。



図 3.4.2-2 光源の色温度のイメージ

表 3.4.2-1 各光源の特徴

ランプの種類	効率 [lm/W]	演色性 <i>Ra</i>	色温度 [K]	平均寿命 [時間]	特徴 (○：長所，●：短所)
蛍光水銀ランプ <sup>°</sup>	32~59	40~50	3900~ 4200	12000	○大光束 ●瞬時再始動ができない
低圧ナトリウムランプ <sup>°</sup>	131~ 175	—	—	9000	○大光束 ○効率が非常に良い ●単一波長光のため，演色性が著しく悪い
高圧ナトリウムランプ <sup>°</sup>	77~ 110	25	2150	9000~ 24000	○大光束 ○蛍光水銀ランプよりも効率が良く，演色性も良い ●光色が黄色っぽいいため嗜好が分かれる
蛍光ランプ・ Hf 蛍光ランプ <sup>°</sup>	46~110	60~84	3000~ 7200	15000	○効率が良い，光色が白色，グレアが小さい ●光束が他光源よりも小さい
メタルハライド <sup>°</sup> ランプ・セラ ミックメタルハライド <sup>°</sup> ランプ	100~ 130	50~90	2800~ 3500	12000~ 18000	○大光束 ○効率が良い，光色が白色
無電極放電ランプ <sup>°</sup>	83	75	4200	90000	○長寿命，グレアが小さい
LED	~140	60~70	3500~ 7000	60000~ 90000	○効率が良い，長寿命，器具デザインの自由度が高い ●グレアが大きい

(文責；斎藤 孝)

参考文献；

- 1) 内坂素夫：街路照明に就いて，照明学会雑誌，Vol. 3，No. 3，PP.203-252\_7，1919
- 2) 尾本義一：最近に於ける道路照明の諸問題，照明学会雑誌，Vol. 22，No. 9，PP.1-30，1938
- 3) 伊賀秀雄：道路照明—欧州の近況と傾向，照明学会雑誌，Vol. 62，No. 9，1978
- 4) 照明年報，照明学会誌，Vol.93，No.8B，PP.613-615，2009
- 5) 照明年報，照明学会誌，Vol.94，No.8B，PP.547-549，2010
- 6) 照明年報，照明学会誌，Vol.95，No.8B，PP.547-549，2011
- 7) 黒沢涼之助：道路，トンネルの照明，照明学会雑誌，Vol. 42，No. 5，PP.189-194，1958
- 8) 内藤裕義：首都高速道路，Vol. 49，No. 3，PP.158-162，1965
- 9) 伊賀秀雄：トンネル換気照明総合試験研究報告書，Vol. 48，No. 8，PP.403-411，1964
- 10) 照明年報，照明学会雑誌，Vol.48，No.7，PP.323-336，1964
- 11) 照明年報，照明学会誌，Vol.87，No.8B，PP.683-684，2003
- 12) 照明年報，照明学会誌，Vol.85，No.8B，P.709，2001
- 13) 照明年報，照明学会誌，Vol.96，No.8B，PP.563-565，2012
- 14) 照明年報，照明学会誌，Vol.97，No.8B，PP.561-563，2013

### 3.4.3 道路照明（連続照明）

#### 3.4.3.1 連続照明の設置目的と要件

連続照明は、単路部のある区間を連続的に照明する照明施設を指し、道路照明施設設置基準・同解説<sup>1)</sup>（平成19年10月版）によると、道路照明の目的は、夜間において、道路交通の安全かつ円滑を図ることであり、良好な視環境を確保するものでなければならないとしている。

- 道路上の障害物または歩行者などの存否および存在位置
- 道路幅員および道路線形などの道路構造
- 道路上の特殊箇所(交差点, 分岐点, 屈曲部など)の存否および存在位置
- 車道内の路面の状態(乾湿, 凹凸など)
- 車両の存否および種類, 速度, 移動方向
- 道路周辺の状況

といった視覚情報を確保するために、以下の照明要件が定められ、設計するための性能指標として、具体的数値による規定が困難な誘導性を除き、何れも満足すべき定量的な値（規定値）が定められた。

- (1) 平均路面輝度が適切であること
- (2) 路面の輝度均斉度が適切であること
- (3) グレアが十分抑制されていること
- (4) 適切な誘導性を有すること

これらの性能要求を満足するため、照明器具の配光性能をもとに、光源光束や器具高さ、設置間隔などを検討し設計することが求められている。

#### 3.4.3.2 連続照明方式

連続照明としての道路照明方式は、わが国ではガス灯の発展型としてのポール方式が一般的に用いられてきている。「設置基準・同解説」<sup>1)</sup>では、原則としてポール方式を推奨している。

ヨーロッパで用いられているカテナリー方式も試行されたが、日本の気候、道路構造、保守性などの点から、普及には至らなかった。ハイマスト方式については、広幅員の道路で採用され、実施事例もあったが、維持管理上の理由から拡大には至らず、近年は採用されなくなった。また、高速道路では、遮音壁上部に取り付ける方式や、光害を考慮した構造物取付照明方式や高欄照明方式なども実用化されており、景観や環境に配慮しつつ道路視環境を改善する取り組みもされてきている。



図 3.4.3.2-1 カテナリー照明

連続照明としての方式は、主に以下のものがある。

##### ① ポール方式

連続照明では、戦後の高度成長期に普及拡大したテーパーポールを用いた長円形ポールを用い、そのオーバーハングを±1m 以内、すなわち側線上に照明器具を配置することで、道路線形の表示と湿潤路面での照明特性を考慮していた。近年、照明器具の配光制御性の向上により、長円形ポールから直線ポールに主流が移行してきた。テーパーポールも、応力緩和の視点から、開口部の形状、ベースプレートの形状などの改善が進み、長期使用による疲労等級の向上が成されている。



図 3.4.3.2-2 テーパーポール<sup>2)</sup>

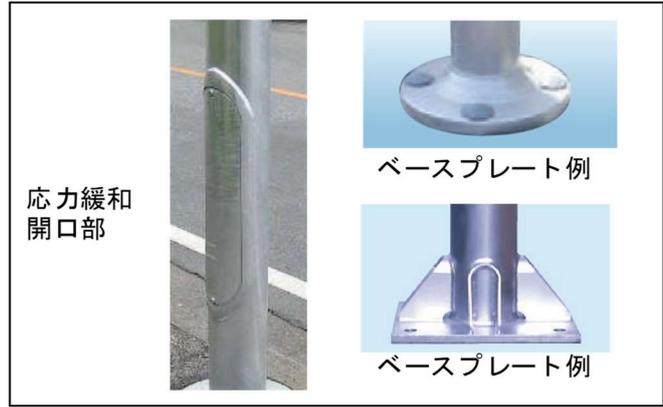


図 3.4.3.2-3 応力緩和開口部・ベースプレート<sup>3)</sup>

## ② 構造物取付照明方式

高速道路の遮音壁や投てき防止柵といった道路に附帯する構造物に取付ける方式は、ポールを設置するスペースが無い場合や、強度が十分確保できない場合に有効であるが、取付位置や器具の形状に制限があり、取付高さもポール方式ほど高くできないことから、均斉度やグレアに対する考慮が必要となる。



図 3.4.3.2-4 構造物取付照明<sup>4)</sup>

## ③ 高欄照明方式

高欄照明方式は、低位置照明を道路高欄上部に設置する方式で、道路構造上の複雑な線形での誘導性や、光害の点から航空路や船舶航路のほか周辺環境への漏れ光抑制が必要な山間部や橋梁などに、都市部においては、景観上の配慮から用いられている。また、道路構造物の老朽化により高欄に照明ポールを設置できない場合の代替方式としても注目されている。



図 3.4.3.2-5 高欄照明<sup>5)</sup>

## ④ ハイマスト照明方式

高さ 20m 以上のマスト（ポール）に大光束光源を内蔵した照明器具を複数個取付けた方式、設置間隔が広く取れ、均斉度の高い照明が可能で、遠方からの視認性もよい反面、周辺への漏れ光が問題になりやすい。また、冒頭でも述べたとおり、保守点検管理も考慮すべき問題である。



図 3.4.3.2-6 ハイマスト照明

### 3.4.3.3 照明器具

主なものについて以下に記載する。

#### ① ポール照明方式

連続部の照明は、1957年 GE 社の発表したコブラヘッド<sup>9)</sup>といわれる下面プリズムガラスをもった形状 (KSC-4 等) から、環境配慮型といわれる下面平面ガラスによる形状 (KSH-2 等) に移行し、前出の直線ポールと合せて、高圧ナトリウムランプ、セラミックメタルハライドランプといった HID 光源との組合せで、取り付け高さに対する設置間隔を広げるようになって来ていた。

また、「道路照明施設設置基準」が平成 19 年 (2007 年) に改訂され、性能規定になったことで、光源、器具形状に囚われない設計がされるようになった。



図 3.4.3.3-1 コブラヘッド照明器具<sup>2)</sup>



図 3.4.3.3-2 環境配慮型照明器具<sup>6)</sup>

LED の急激な性能向上に伴い光束が増大し、道路照明への実用化が進み、LED 道路灯として、2007 年に大阪府下で設置された一般道での実用化を皮切りに、全国で実証実験が行われ、2011 年の国土交通省による LED 道路・トンネル照明導入ガイドライン(案)の施行に伴い、現在では新設、改修とも LED 道路灯を用いるようになっている。

高速道路では、2008 年に首都高速道路・晴海線で、景観上への配慮と省エネの観点から LED 道路灯が採用され、以降、本格採用されてきている。



図 3.4.3.3-3 LED 照明器具<sup>3)</sup>



図 3.4.3.3-4 LED 照明器具施工例<sup>7)</sup>

また、光学系の工夫により、従来の環境配慮型の形状に囚われない、LEDらしいデザインの器具が登場してきており、器具の小型、軽量化により受圧面積の縮小と合せて、ポールへの負担の低減、施工時間の短縮といった利点が見られるようになってきている。一方、採用当初は効率を重視していたLEDも、光色・演色性の改善が進み、Ra70以上の製品や4000K以下の低色温度の製品を用いる事例も出てきている。

## ② 高欄照明方式

箱型器具では当初、光源として低圧ナトリウムランプが使用されていたが、蛍光灯による方式に移行し、現在では白色LEDによる方式が実用化されてきている。一方、連続導光管を用いた器具やプロビーム方式では、高圧ナトリウムランプやセラミックメタルハライドランプが使用されている。特に、LEDによる箱型器具では、複数車線の広幅員道路にも使用され、平均路面輝度、総合均斉度、車線軸均斉度といった、道路照明施設設置基準による要求性能を満足した上、上方漏れ光を上方光束比5%以下、運転者へのグレアを抑制した器具が導入された<sup>10)</sup>。

また、プロビーム配光を持たせた器具では、先行車両と路上障害物の視認性向上のため自動車の前照灯と協調し、視環境を改善した事例もある。



図 3.4.3.3-5 LED 高欄照明<sup>8)</sup>

## 3.4.3.4 電源装置

LED 道路灯の実用化に伴い、電源装置も従来の巻き線型から電子式になった。LEDの直流点灯に必要な方式も、一般的な直流電源で用いられていた定電圧型から、LEDを安定して点灯するために定電流型が主流になっている。電子化により、調光制御が容易になり、道路照明ではあまり用いられていなかった初期光束補正制御が可能となった。それによりLEDの寿命の延伸に寄与した。また連続的な調光制御により、必要ときに必要な明るさを提供することで、省エネ性の向上にも繋がってきている。一方、電子化に伴い、屋外での使用において雷サージによる故障が増加しており、現在では雷サージ耐性を高くしたものが使われ、保守管理の向上に繋がっている。

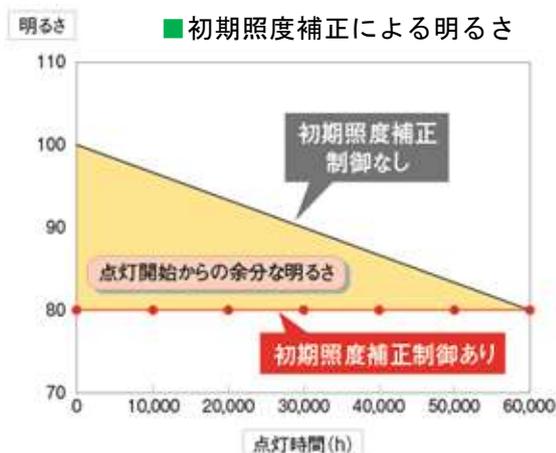


図 3.4.3.4 初期光束補正概念図<sup>3)</sup>

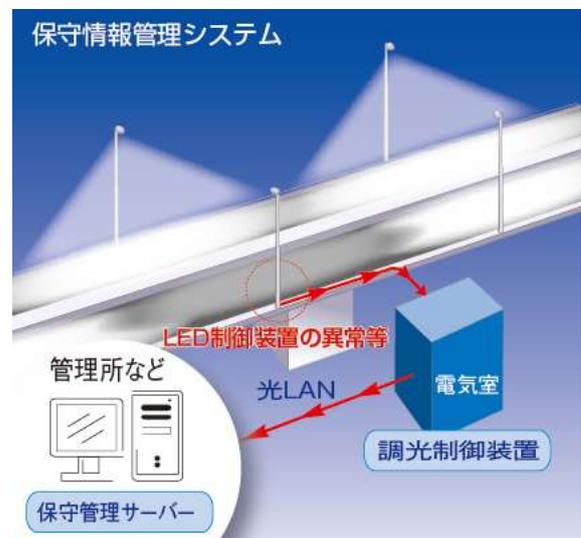


図 3.4.3.5 照明システム例<sup>3)</sup>

### 3.4.3.5 照明システム

これまで連続照明では交通量を考慮して段階調光を行う方式が、高速道路などで広く用いられてきた。具体的には区間全体の照明器具の段階的点灯電圧制御や、一部区間照明器具の ON/OFF などといった単純なものが一般的に用いられており、省エネにつながってきた。

一方、道路照明への LED の普及に伴い、従来の放電灯では実用化しづらかった電子制御が可能となった。この電子制御により交通量を考慮した無段階の連続調光に加え、LED 点灯装置内で各種の補正機能が可能となった。点灯時の突入電流を制御する機能（初期光束維持制御）、また点灯後の LED 素子温度上昇に伴う光束低下に合わせて光束を一定に保つ制御機能などである。

近年、調光を通信により行う方式が実用化された。具体的には RS485 等の通信規格を用いた長距離伝送方式により、変電塔単位で故障状態や劣化状況などの情報を同時に扱う。これにより、巡回監視の低減や保守管理などの向上に繋がる。また、変電塔で集約された情報を光ファイバケーブルによる LAN 網を用いて中央管制室に集中管理する事例も報告されている。

また、インフラとして無線通信を用いる検討も試みられてきており、一般国道などの複雑な配灯環境にも適合でき、センサーや情報系との融合が今後実用化されていくと思われる。

(文責；齊 尚樹)

参考文献；

- 1) 道路照明施設設置基準・同解説，社団法人日本道路協会，平成 19 年 10 月
- 2) 国立科学博物館 産業技術史資料データベース  
<http://sts.kahaku.go.jp/sts/result.php?c=&y1=&y2=&id=&pref=&city=&org=&word=&p=756>
- 3) (株)因幡電機製作所 カタログ
- 4) 伊東勇人，交通施設，照明学会誌 照明年報号，Vol.93，No.8B，pp.613-614，2009 年
- 5) 白尾和久，交通施設，照明学会誌 照明年報号，Vol.88，No.8B，PP.629-630，2004 年
- 6) 田沼清昭，HID 器具，ナトリウム器具，照明学会誌 照明年報号，Vol.83，No.8B，pp.619-620，1999 年
- 7) 齊 尚樹，阪神高速京都線（鴨川東～上鳥羽）の照明，照明学会誌 照明のデータシート，Vol.94，No.8B，pp.1-2，2013 年
- 8) 伊東勇人，交通施設，照明学会誌 照明年報号，Vol.95，No.8B，pp.547-549，2011 年
- 9) History of street lighting in the United States  
[http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_street\\_lighting\\_in\\_the\\_United\\_States](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_street_lighting_in_the_United_States)
- 10) 江口傑，山本浩司，新東名高速道路新清水 JCT における低位置照明設備の導入，高速道路と自動車，Vol.56，No.8，pp.34-38，2013 年

### 3.4.4 局部照明①（交差点照明，横断歩道の照明）

#### 3.4.4.1 交差点照明と横断歩道照明の設置目的

道路照明施設設置基準・同解説<sup>1)</sup>（平成19年10月版）によると，交差点の照明は，自動車の前照灯効果の及ばないところを補い，交差点に接近，進入，通過する自動車の運転者に対して以下の役割を果たすことを目的としている。

- (Ⅰ) 灯具を適切に配置し，遠方から交差点の存在がわかること
- (Ⅱ) 交差点付近に存在する他の自動車及び歩行者等が，交差点の手前から識別できるよう灯具を適切に配置すること
- (Ⅲ) 交差点内に存在する他の自動車及び歩行者等が，交差点内において識別できること

一方，単路部に独立に存在する横断歩道は，歩行者等が車道を横断する場合に指定された場所であり，特に歩行者等の安全を確保しなければならない重要な場所である。従って，その照明は自動車の運転者が横断歩道の存在を知り，そこを横断中の歩行者がよく見え，また，横断しようとして歩道の縁石あるいは路端に立っている歩行者も良く見えるようにすることが重要である。

#### 3.4.4.2 照明の要件

交差点照明および横断歩道照明に関する基準・既往研究・実態調査などを以下に紹介する。なお多種多様な交差点が存在するが，ここでは横断歩道が付帯し，かつ同程度の幅員を有する道路の十字路を対象とする。

##### (1) 道路照明施設設置基準・同解説

交差点内の照明範囲は，原則として平面交差する道路部分（図3.4.4-1）を対象とし，横断歩道がある場合には歩行者等の見え方が交通事故防止に特に重要であることから，横断中および横断しようとしている歩行者等の見え方を考慮して，横断歩道部と歩行者等の待機場所（1m程度）までを含む範囲を指定している（図3.4.4-2）。

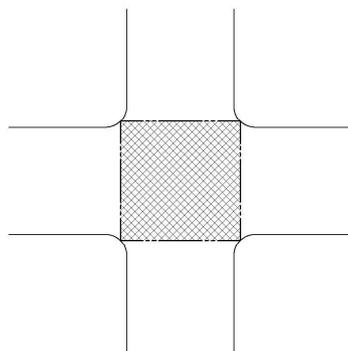


図 3.4.4-1 交差点内の範囲

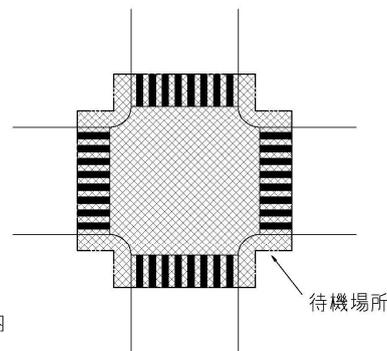


図 3.4.4-2 横断歩道のある交差点内の範囲

交差点内の明るさは，次の値を確保することが望ましいと規定している。

- 交差点内の明るさは，平均路面照度 20 (lx) 程度，かつ照度均斉度は 0.4 程度（路面上の最小照度を平均路面照度で除した値）を確保することが望ましい。
- 車両や歩行者等の交通量が少なく，周辺環境が暗い交差点においても平均路面照度は 10 (lx) 以上を確保することが望ましい。
- 交差点内の横断歩道上の平均路面照度は，交差点内と同程度の値を確保することが望ましい。
- 交差点が連続照明区間内に存在する場合には，交差点内を連続照明区間より明るくすることが望ましい。

次に交差点照明の配置例を示す.

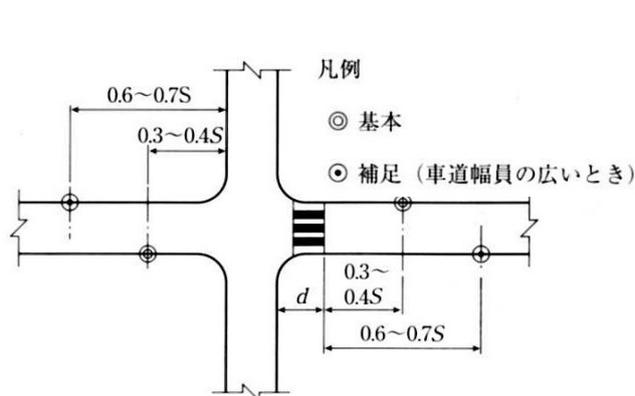


図 3.4.4-3 横断歩道のある十字路  
における灯具の配置例

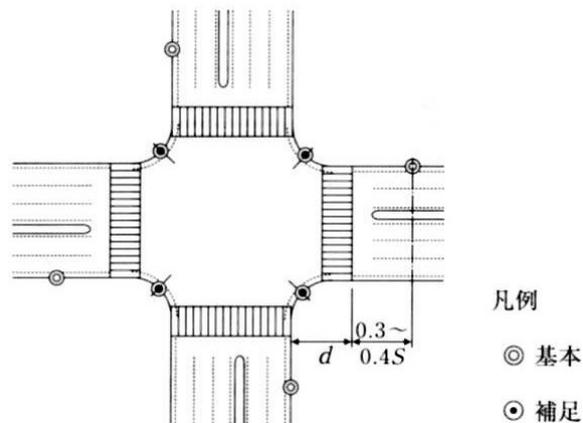
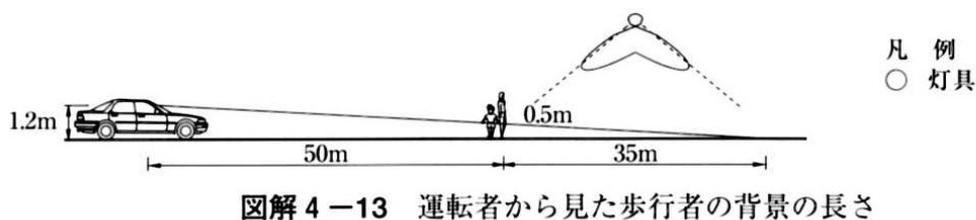


図 3.4.4-4 隅切り部への灯具の配置例

横断歩道の照明方式は、運転者から見て歩行者の背景を照明する方式（図 3.4.4-5）を原則とするが、背景の明るさを確保することが難しい場合などには、歩行者自身を照明する方式を選定することができるが示されている。



図解 4-13 運転者から見た歩行者の背景の長さ

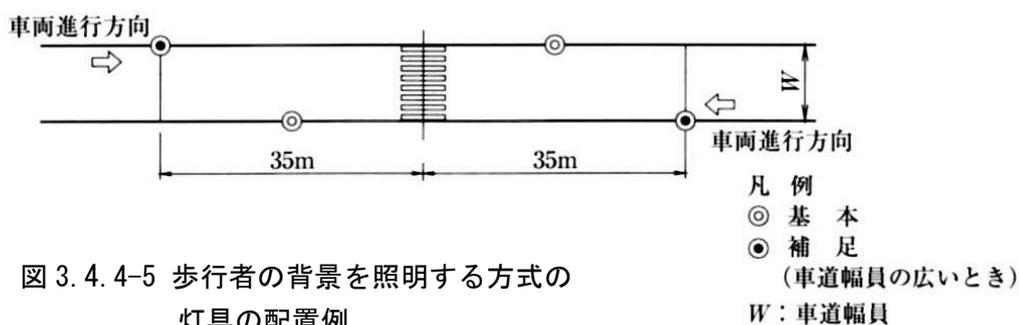


図 3.4.4-5 歩行者の背景を照明する方式の  
灯具の配置例

前者の方式では、横断歩道上またはその付近にいる人物の路面上 0.5m までの高さを 50m 手前の運転者から視認できることが求めている。有効な背景として横断歩道の後方 35m 以上の路面を明るくする必要があるが、明るい路面を背景とする人物のシルエット効果を良くするためには、横断歩道の後方に灯具を配置し、横断歩道の直前には設置しない方がよい。平均路面照度は、横断歩道の前後それぞれ 35m の範囲は 20 (lx) 程度を確保することが望ましく、交通量が少なく、周辺環境が暗い場合においても 10 (lx) 以上を確保することが望ましいと規定している。

後者の方式では、横断歩道上およびその付近の歩行者等を視認するには、運転者方向の鉛直面照度が必要であり、横断歩道中心線上 1mの高さにおいて、鉛直面の平均照度は、20 (lx) 程度を確保することが望ましいとし、交通量が少なく、周辺環境が特に暗い場合などにおいても 10(lx) 以上を確保することが望ましいとしている。

なお、ここに紹介した基準は平成 19 年 10 月に改訂されている。それ以前は、昭和 56 年 4 月の改訂版<sup>2)</sup> が長年運用されてきた。主要な改訂内容は、交差点照明の①明るさが示されたこと、②隅切り部への灯具の配置例が示されたこと、横断歩道照明の③明るさが示されたこと、④歩行者自身を照明する方式が追加されたことである。

### (2) 自動車及び歩行者交通のための照明に関する勧告 CIE115-1995<sup>3)</sup>

交通秩序の乱れるエリアの必要照度について表 3.4.4-1 に示すように規定している。

なお、交通秩序が乱れるエリアとは、想定する速度で 5 秒間に移動するのに十分な距離としている。(例えば、50[km/h]の時で約 70[m]) また、照明区分は、経済的な道路照明に関する検討業務<sup>4)</sup> によると、C0 と C1 は主要幹線道路 (バイパス)、C1 と C2 は主要幹線道路、C3 と C4 は幹線・補助幹線道路と分類される。

表 3.4.4-1 交通秩序が乱れるエリアでの照明の必要条件

照明区分	平均照度 E [lx] 最小維持値	照度均斉度 U <sub>0</sub> (最小/平均)
C0	50	0.4
C1	30	0.4
C2	20	0.4
C3	15	0.4
C4	10	0.4

### (3) 道路照明基準 JIS Z 9111-1988<sup>5)</sup>

次に JIS に示されている照度基準を表 3.4.4-2 に示す。

表 3.4.4-2 照度基準

夜間の歩行者交通量	地域	照度 [lx]	
		水平面照度	鉛直面照度
交通量の多い道路	住宅地域	5	1
	商業地域	20	4
交通量の少ない通路	住宅地域	3	0.5
	商業地域	10	2

### (4) 旧横断歩道照明基準 JIS Z 9114-1969<sup>6)</sup>

旧横断歩道照明基準は、1969 年～1988 年の間施行されていた JIS 規格である。これを表 3.4.4-2 に示す。この規格は、交通安全のために、横断歩道の付近に施す直射照明の基準について規定している。

表 3.4.4-3 横断歩道の明るさの推奨値

横断歩道上 0.6W の範囲		歩道上
平均	最小	最小
40 [lx] 以上	25 [lx] 以上	40 [lx] 以上

注記) 照度は、横断歩道中央線上 1mの高さの鉛直面照度を示す。

### (5) 道路の移動円滑化整備ガイドライン<sup>7)</sup>

歩行者用照明の必要照度に関する研究<sup>8)</sup>において、交通弱者(高齢者、車イス利用者)を含む歩行者にとって安全で快適な歩行を実現するための照度レベルの実験検討が行われている。この検討などを背景に、高齢者や身体障害者等の身体特性に考慮した、円滑な移動通行ができる明るさとして水平面照度 10[lx]以上を確保することが望ましいとしている。

### (6) 横断歩道部における照明手法と歩行者の視認性に関する研究<sup>9)</sup>

石倉らは運転者が横断歩道を横断中あるいは横断しようとしている人を発見する際に、どの程度の明るさが必要なのかを実験により検討し、逆シルエット視の場合は、横断歩道上の鉛直面照度が 20[lx]以上であれば、80%以上の視認確率で歩行者を視認できるとの結論を得ている。

### (7) 照明と交通事故の関係

大屋ら<sup>10)</sup>は効果的な夜間事故削減対策の一つである交差点照明に着目し、基準の調査および照明による事故対策の前後の調査を実施し、次のように報告している。照明対策箇所の分析結果からは、平均路面照度が 20[lx]以上であれば、夜間事故削減効果が現れる傾向が見られると結論付けた。また 30[lx]を超えると照明の効果はより明らかになるとし、交差点照明の必要水準を右表のようにまとめている。

【交差点照明の必要水準】	
◎	基本水準：平均路面照度 20[lx]
○	推奨水準：平均路面照度 30[lx]

### (8) 経済的な道路照明に関する検討業務<sup>4)</sup>

「道路照明の高機能化に関する検討業務」と「自動車及び歩行者交通のための照明に関する勧告」を基に、交差点の明るさの推奨値(表 3.4.4-4)を示している。また、一般箇所では幹線道路の設計輝度の 2 倍程度(平均照度換算係数を 15 とした)にし、事故多発交差点などの重要箇所については 1 段高い照度レベルを推奨した。

表 3.4.4-4 交差点の明るさの推奨値

幹線の基準輝度	交差点内の平均路面照度[lx]	
	一般箇所	重要箇所
1.0[cd/m <sup>2</sup> ]	30	50
0.7[cd/m <sup>2</sup> ]	20	30
0.5[cd/m <sup>2</sup> ]	15	20

注) 1. 幹線の基準輝度は交差する道路のどちらか高い値  
 2. 交差点内とは付属されている横断歩道を含んだ範囲  
 3. 重要箇所とは、]①明るくした方が著しく安全性が向上すると予想される箇所(事故多発交差点等)や②都市内の交通量が多く周囲が明るく、交差点面積が大きな箇所等。

### (9) 電気通信施設設計要領・同解説(電気編)<sup>11)</sup>

設計要領において、連続照明区間に存在する交差点の明るさの参考値が明記されているので、その値を表 3.4.4-5 に示す。この値は、表 3.4.4-4 よりも一段階低い明るさとなっている。

表 3.4.4-5 連続照明区間内に存在する交差点内の明るさ(参考値)

連続照明の平均路面輝度 [cd/m <sup>2</sup> ]	交差点内の平均路面照度 [lx]
1.0	20
0.7	15
0.5	10

備考 1. 連続照明の路面輝度は交差するどちらか高い値とする。

備考 2. 交差点内の明るさは CIE Pub.115-1995 を参考に設定した。

(10) 夜間の横断歩道における事故と安全な照明整備方法に関する分析<sup>12)</sup>

夜間に発生する横断歩道横断中の事故と照明環境との関係について調査分析し、実態を右のように整理している。

◆横断歩道部平均照度と事故率の関係
・ 20[lx]以上の断面では、事故率が大きく減少する傾向が確認できる。
◆横断歩道部最小照度と事故率の関係
・ 10[lx]以上の断面では、事故率が大きく減少する傾向が確認できる。
◆中央帯部平均照度と事故率の関係
・ 30[lx]以上の断面では、事故率が大きく減少する傾向が確認できる。

3.4.4.3 照明水準について

本報において、国内外の基準・指針、既往研究、実態調査の報告などを調査した。これらは、交差点と交通事故の関係を重要視したものが多く、次のようなことを述べている。

- ① 運転者が交差点を認知できるように、交差点を幹線道路の2倍程度に明るくする必要がある。
- ② 事故多発交差点などの重要箇所については1段高い照度レベルを推奨。
- ③ 交差点内の水平面照度が30[lx]を超えると、事故削減対策としての照明の効果は大きい。
- ④ 横断歩道上の鉛直面照度が20[lx]以上だと、80%以上の視認確率で歩行者を視認できる。
- ⑤ 主要幹線道路(C2)では、 $E_h(\text{ave}) \geq 20[\text{lx}]$ 、 $E_h(\text{min})/E_h(\text{ave}) \geq 0.4$ が必要。
- ⑥ 交差点内の水平面照度が20[lx]以上では、事故率が大きく減少する。

交差点内の空間を明るくすることが、運転者が安全走行する上で不可欠な正しい認知と判断を助け、事故軽減に繋がるものと考えられる。また照明計画は、運転者からの交差点の認知のしやすさの向上や車両相互の事故対策を考える「交差点内」と、主に人対車両の事故対策を考える「横断歩道および横断歩道への流入部」に分けて考える必要があると思われる。

本調査に基づき、交差点の照明要件を満足する視環境を得るのに必要とされる照度を表3.4.4-6と表3.4.4-7に整理した。ここに示す数値を満たすことで、照明が交通事故削減に寄与する一助になるともの考える。なお、横断歩行者の認知に必要な明るさは、輝度値あるいは背景とのコントラストで規定されるべきであるが、計算や測定の簡便さから鉛直面照度が採用されている。またJIEC-006では、半円等面照度の方が適切であるとの考えから、鉛直面照度とともに半円等面照度を併記して推奨値を示している<sup>13)</sup>。本報告書では、横断歩道内の明るさは、より高い水準が求められる「周囲が明るく、かつ交通量が多い交差点」では $E_c(\text{ave})$ （横断歩道中央線上1mの地点における交差点内側方向の半円筒面照度もしくは鉛直面照度）、それ以外の交差点は $E_h(\text{ave})$ で示した。

表 3.4.4-6 交差点内の視認性を高める明るさ

交通量 周囲の明るさ	多い	少ない
	(事故多発地点)	
明るい (都市部)	$E_h(\text{ave}) \geq 30[\text{lx}]$ $E_h(\text{min})/E_h(\text{ave}) \geq 0.4$	$E_h(\text{ave}) \geq 20[\text{lx}]$ $E_h(\text{min})/E_h(\text{ave}) \geq 0.4$
暗い (都市周辺部)	$E_h(\text{ave}) \geq 20[\text{lx}]$ $E_h(\text{min})/E_h(\text{ave}) \geq 0.4$	$E_h(\text{ave}) \geq 15[\text{lx}]$ $E_h(\text{min})/E_h(\text{ave}) \geq 0.4$

表 3.4.4-7 横断歩道内・歩道の視認性を高める明るさ

交通量 周囲の明るさ	多い (事故多発地点)	少ない
明るい (都市部)	$E_c(\text{ave}) \geq 20[\text{lx}]$	$E_h(\text{ave}) \geq 20[\text{lx}]$
暗い (都市周辺部)	$E_h(\text{ave}) \geq 20[\text{lx}]$	$E_h(\text{ave}) \geq 15[\text{lx}]$

注記)  $E_c$ :空間の照度(半円筒面照度または鉛直面照度),横断歩道中央線上 1mの高さとする.

### 3.4.4.4 交差点照明の動向

交差点の光環境は,従来の照明手法(図 3.4.4-3)に,図 3.4.4-4 に示した新たな照明手法が加わったことや,使用される光源の主体が HID ランプから LED に移行したことにより大きく変化した. 図 3.4.4-6 と図 3.4.4-7 に照明手法の違いにより得られる光環境(照度分布)の違いを図示する(計算条件:ランプ NH180LS, 灯高 10m).

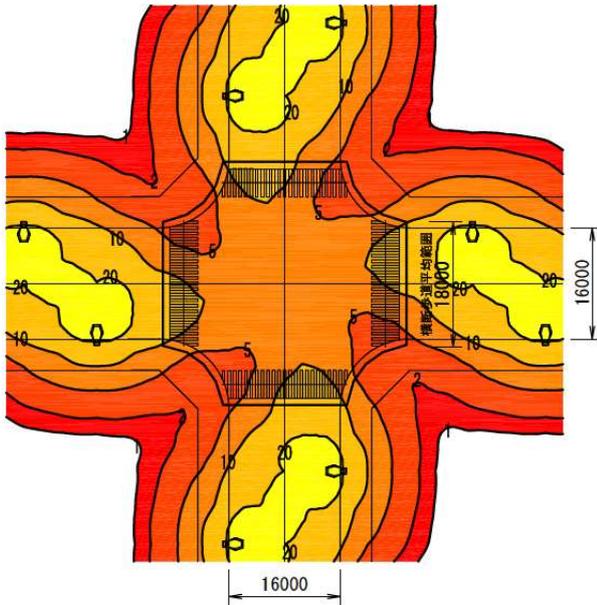


図 3.4.4-6 従来の灯具配置

交差点内部  $E_h(\text{ave}) = 7.2\text{lx}$   
横断歩道内部  $E_v(\text{min}) = 0.46\text{lx}$

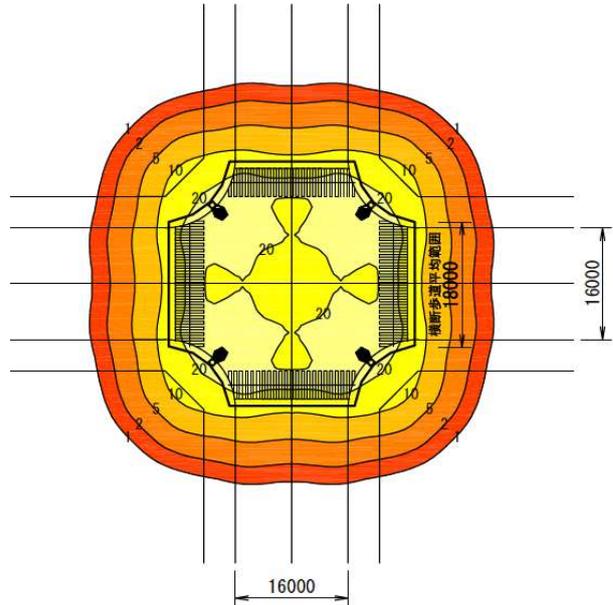


図 3.4.4-7 隅切り部への灯具配置

交差点内部  $E_h(\text{ave}) = 21.0\text{lx}$   
横断歩道内部  $E_v(\text{min}) = 12.0\text{lx}$

図示したように隅切り部にフロントワイド配光を有する交差点専用照明器具を配置することで次の効果が得られている.

- 交差点内の平均照度や照度均斉度が向上→交差点の存在がと形状が認知しやすい
- 横断歩道部の鉛直面照度( $h=1.0\text{m}$ )が向上  
→横断中の歩行者や自転車の存在や挙動が認識しやすい
- 横断待機位置の水平面照度が向上→横断待機者の存在が認識しやすい

また、近年では交差点専用照明器具の LED 化にともなう配光改善により、大規模交差点（6 車線×6 車線（42m×42m））においても交差点の隅切り部の 4 カ所に各 1 灯の照明設備を配置することで、平均水平面照度 20lx の明るさ性能を確保するとともに横断歩道部の鉛直面照度も高い水準で照射できるようになった（図 3.4.4-8）。

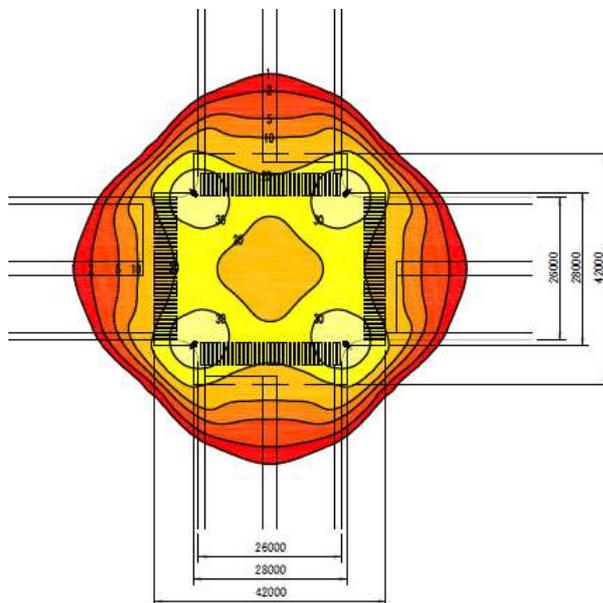


図 3.4.4-8 大規模交差点への対応

交差点内部  $E_h(\text{ave}) = 24.0\text{lx}$

横断歩道内部  $E_v(\text{min}) = 8.5\text{lx}$

（文責；江湖俊介）

参考文献；

- 1) 道路照明施設設置基準・同解説，社団法人日本道路協会，平成 19 年 10 月
- 2) 道路照明施設設置基準・同解説，社団法人日本道路協会，昭和 56 年 4 月
- 3) 自動車及び歩行者交通のための照明に関する勧告，CIE115-1995
- 4) 経済的な道路照明に関する検討業務，社団法人建設電気技術協会，平成 12 年 3 月
- 5) 道路照明基準（JIS Z 9111-1988）
- 6) 旧横断歩道照明基準（JIS Z 9114-1969）
- 7) 道路の移動円滑化整備ガイドライン 国土交通省 道路局企画課 平成 15 年 1 月
- 8) 林堅太郎ほか，歩行者用照明の必要照度に関する研究，平成 14 年度照学全大，No.119，pp.214-215
- 9) 石倉丈士ほか，横断歩道部における照明手法と歩行者の視認性に関する検討，第 17 回交通工学研究発表会論文集，No.37，pp.145-148
- 10) H. Ohya, K. Ando, H. Kanoshima, A Research on Interrelation between Illuminance at Intersections and Reduction in Traffic Accidents, J Light & Vis Env. Vol.26 No.1 pp29-34(2002)
- 11) 電気通信施設設計要領・同解説（電気編），社団法人建設電気技術協会，平成 20 年版
- 12) 夜間の横断歩道における事故と安全な照明整備方法に関する分析 中部地方整備局
- 13) 歩行者のための屋外公共照明基準，照明学会 技術基準 JIEC-006(1994)

### 3.4.5 局部照明②（インターチェンジ，料金所広場，休憩施設）

#### 3.4.5.1 インターチェンジ

インターチェンジ照明は，ポール先端に灯具を取り付け，道路に沿ってポールを配置するポール照明方式が一般的に採用されている．照明用の光源については，高圧ナトリウムランプやメタルハライドランプといった大光束の高輝度放電ランプがこれまで一般的に使用されてきたが，近年のLEDランプの長寿命化，高効率化，大容量化，大光束化およびLED道路照明器具の製品化が進んできたことにより，インターチェンジ照明も連続照明と同様にLED化され始めており，インターチェンジ照明の省エネルギー化，メンテナンスフリー化が可能となってきた．

また，インターチェンジ周辺への漏れ光を抑える必要がある場所やポールの設置や検査が困難な場所（高架部）においては，高欄（低位置）照明方式が採用されることがあり，この方式においてもLEDランプを光源とした照明器具が使用されており，従来の蛍光ランプを光源とした照明器具よりも，省エネルギー化，メンテナンスフリー化を図ることが可能となってきた．

LED道路照明器具を用いたインターチェンジ（ジャンクション）照明の施工例を図3.4.5.1-1，図3.4.5.1-2に示す．



図 3.4.5.1-1 ポール照明方式



図 3.4.5.1-2 高欄（低位置）照明方式

#### 3.4.5.2 料金所広場

料金所広場においては，これに出入りする自動車の運転者はゲートを中心にして，他の自動車の動向に注意しながら，分岐，一旦停止，発進加速，合流などの一連の複雑な動作を行う必要がある．これを正確に行うための視覚情報を自動車の運転者が得るための照明が設置されている．

料金所広場では，水銀ランプ，メタルハライドランプ，といった白色の光色を有する光源を使用した照明器具が採用されており，これら白色系の光源は演色性が比較的高く，自然な色合いの視覚情報を得ることができるメリットがある一方で，波長特性上，誘虫性が比較的高いことから，特に山間部や農地付近に位置する料金所においては，昆虫類の飛来による農作物への影響（虫害）や料金徴収員の作業環境が悪化する等のデメリットがある．

近年では，料金所広場用の照明として使用可能なLED照明器具（道路照明器具，投光器等）が製品化されたこともあり，白色の照明でありながら，誘虫性の比較的低い照明計画が実現可能となったため，料金所広場用照明のLED化が進んでいる．また，ETC専用のインターチェンジ（スマートインターチェンジ）の整備も進んでおり，ここでは料金収受員が不在（無人）のため，投光照明が不要であり，車両走行に必要な最低限の路面照度を確保するための道路照明のみを設置する計画とし，照明設備コスト，電力使用量の削減を図っている．

LED 照明器具を用いた料金所広場照明の施工例を図 3.4.5.2-1 に、スマートインターチェンジ照明の施工例を図 3.4.5.2-2 に示す。



図 3.4.5.2-1 料金所広場照明

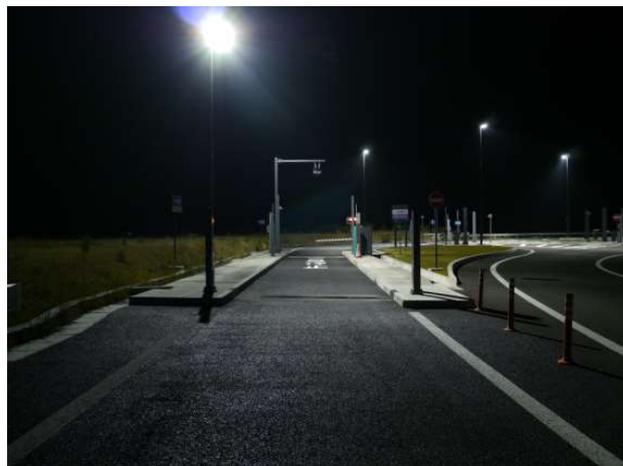


図 3.4.5.2-2 スマートインターチェンジ照明

### 3.4.5.3 休憩施設

休憩施設照明には、パーキングエリア、サービスエリア、道の駅等の照明があり、駐車場へ出入りする自動車および歩行者等の安全確保を目的として設置されている。これら施設は駐車場を有し、比較的照明エリアが大きいので、高所に照明器具を取り付け、広いエリアを照明するポール照明方式が一般的に採用されている。従来は、ポール 1 基に複数の投光器を取り付け、投光器の角度調整によりエリアの周囲から駐車場の広い範囲を照明する方式が主流であったが、取付条件によっては天空への漏れ光が多くなる、発光部が利用者の眼に入り眩しさを与えてしまうことがあること、景観が損なわれる等の理由により投光器の採用は減少傾向にあり、現在では、道路照明器具をエリア内に複数配置するポール照明方式が標準的な照明方式となっている。

照明用の光源については、これまで、白色光源である水銀ランプやメタルハライドランプが採用されていたが、近年は LED ランプの採用が増加傾向にある。また、LED ランプは色温度の選択が可能のため、落ち着いたイメージを演出するために電球色（2,800 ケルビン程度）を採用することもできる。従来の投光器による休憩施設照明の施工例を図 3.4.5.3-1 に、近年の LED 道路照明器具による施工例を図 3.4.5.3-2 に示す。



図 3.4.5.3-1 従来の休憩施設照明

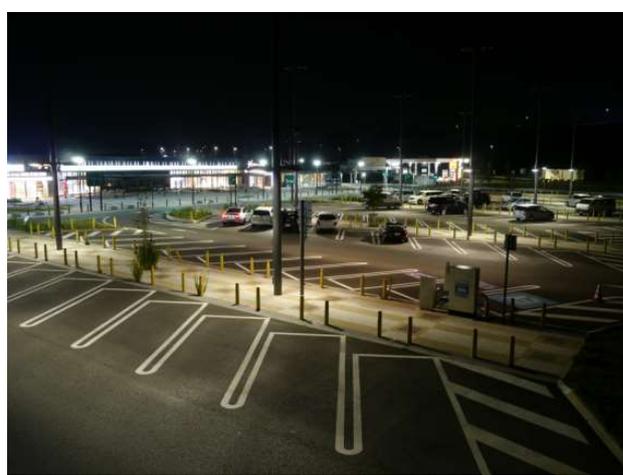


図 3.4.5.3-2 LED による休憩施設照明

(文責；古川一茂)

### 3.4.6 トンネル照明

道路照明は運転者が視覚情報を得るために昼光の無い夜間に点灯されるが、トンネルでは昼夜間とも照明を必要とする。またトンネルは、周囲が側壁や天井で閉鎖されており、事故が発生した場合は被害が大きくなる可能性が高い。このような環境からトンネル照明は特に経済性や安全性を追求した検討が行われている。

#### 3.4.6.1 トンネルの特殊性

昼間にトンネルに進入しようとする運転者の眼は明るい野外の輝度に順応しており、トンネル内は黒い穴として感じられる。トンネル内に進入した後もしばらくこの現象が継続するため、路上障害物の視認性は著しく低下する。トンネル内は密閉された空間であるため、自動車の排気ガスや浮遊した砂塵に照明光が当り、光幕が発生することでも障害物の視認性は悪くなる。また、運転者の視野には路面だけでなく壁面や天井面があり、白線の見え方や先行車の明るさも走行環境の一部となっている。出口付近ではトンネル内の暗い環境に眼が順応しているため、坑口が眩しく感じられ外の状況を識別できなくなる現象が起こる。このようにトンネルは明かり部と異なり特殊な環境にある。

#### 3.4.6.2 トンネル照明の構成

トンネルの特殊性から、照明は目的に合わせて、基本照明、入口部照明、出口部照明により構成され、基本照明の一部は停電時にも点灯を維持する停電時照明として区分される。



図 3.4.6.2-1 トンネル照明の構成

##### (1) 基本照明

トンネル全長にわたり等間隔で配置される照明。トンネル内を走行する運転者が前方の路上障害物を安全な距離から視認するのに必要な明るさを得るための照明であり、障害物は明るい路面に対して暗いシルエット（シルエット視）として認識される。

「道路照明施設設置基準・同解説（平成 19 年 10 月）」では、路面の明るさは視認する障害物までの距離を決める車両の速度（設計速度）と、光幕により視認性が低下することを考慮する指標の煤煙透過率（交通量）により基準化されている。また、路面の輝度ムラは障害物の見え方に影響するため最少輝度と平均輝度の比（総合均斉度）の基準があり、壁面は障害物の背景となる場合があるため路面輝度との比で基準が設定されている。

障害物はその反射率と照射される光量で路面の明るさと同等になり見えなくなる、または、路面より明るく見える場合（逆シルエット視）がある。現行の基準はシルエット視を前提として設定されているが、シルエット視と逆シルエット視で見える合計の視認率（総視認率）で基準を決める研究が行われている。

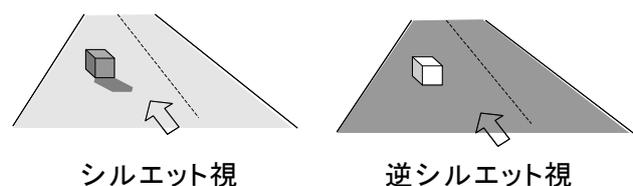


図 3.4.6.2-2 シルエット視と逆シルエット視の障害物の見え方

その他に、視線誘導効果を高めるため、照明器具の間隔を狭くライン状に配置してトンネル線形の変化を示す手法（ライン照明）や、施工コスト削減のためにトンネル縦断方向の配光を改善して器具の間隔を広げて台数を減らす手法（広スパン照明）が研究され施工されている。

照明器具の光源は昼夜点灯するためエネルギー消費効率が高い低圧ナトリウムランプが使われていたが、高周波点灯の技術で高効率になった Hf 蛍光灯や、更に効率の高いセラミックメタルハライドランプに変わり、現在では LED による施工が一般的になっている。これらの光源は演色性が高いことでトンネル内の視環境も向上している。



基本照明：低圧ナトリウムランプ



基本照明：Hf 蛍光灯

図 3.4.6.2-3 低圧ナトリウムランプと Hf 蛍光灯の基本照明の例

## (2) 入口部照明

昼間、運転者がトンネルに接近する際に生じる急激な輝度の変化と、進入直後から起きる眼の順応の遅れを緩和するために坑口付近に集中して配置する照明。トンネル内に入るに従い運転者の眼の順応に応じて順次明るさを下げて基本照明の明るさになるまで設置する。入口照明の明るさや設置する区間は、運転者が坑外で順応していた眼の状態と、視認する障害物までの距離を決める車両の速度（設計速度）により基準化されている。

従来、坑外にいる運転者が暗いトンネル坑内を注視してから暗順応は始まるとされていたが、暗い坑内を見続ける時間で変化していく順応輝度よりも、太陽光や空等の高輝度対象物によって引き起こされる眼球内の光散乱現象による影響の方が支配的であることが最近明らかにされたことで新しい入口照明の基準も研究されている。

照明器具は高出力でコンパクトな高圧ナトリウムランプが使われていたが、効率や寿命が改善されたセラミックメタルハライドランプが使われるようになったことで、光色もオレンジ色から白色に変わってきている。LED の高出力化も進み、一部で採用が始まっている。



入口照明：高圧ナトリウムランプ



入口照明：セラミックメタルハライドランプ

図 3.4.6.2-4 高圧ナトリウムランプとセラミックメタルハライドランプの入口照明の例

### (3) 出口部照明

運転者の眼は暗いトンネル内に順応しており、出口に接近したとき坑口が明るく白い穴のように見えて坑外の状況が識別できなくなる。また、先行車の背面が暗く見えて車種の判別も難しい。出口部照明は出口付近に器具を追加し、先行車の背面や障害物の見え方を改善する照明である。

### (4) 停電時照明

トンネル内で突如停電した場合には大変危険な状態となる。そのため器具内に非常用電源装置を搭載する、または、電気室に無停電電源装置を設備することで停電時に全灯消灯することを回避している。基本照明の一部をこの停電時照明とし、全体数量の1/4または1/8を点灯させる。

#### 3.4.6.3 照明方式

トンネル照明は設計速度、交通方式、交通量、トンネル断面形状などの条件で最適な照明方式が異なり、器具の配光形状により以下のように分類される。

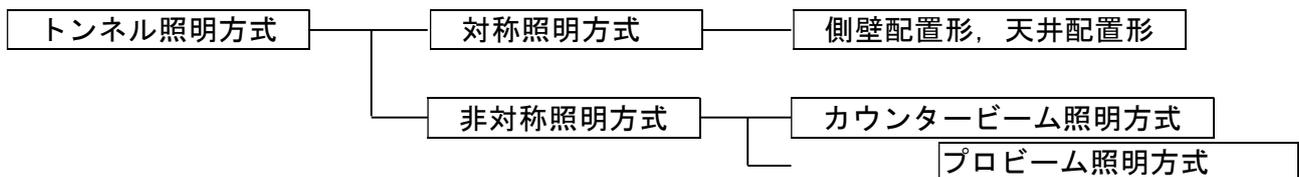


図 3.4.6.3-1 照明方式の種類

#### (1) 対称照明方式

道路縦断方向の配光が対称である照明方式。総合的にバランスのとれた方式であるため原則的にはこの方式が採用される。また、道路横断方向の配光は照明器具を取り付ける位置が側壁か天井かで側壁配置形と天井配置形に分けられる。

#### (2) カウンタービーム照明方式（非対称照明方式）

カウンタービーム照明方式とは前方の器具からの光を運転者の方向へ向ける照明方式であり、路面の反射特性との関係から高い路面輝度が得られる。また、路上障害物の運転者側の面に光が当たらないことによりシルエット視の効果が高く、視認性が向上することで光量（器具台数）を減らすことができる。この方式は高い路面輝度が必要となる入口照明に用いられるが、先行車の背面が暗くなり車両の形状によっては後続車から見た視認性が低下するため、交通量の多いトンネルでは採用されていない。

#### (3) プロビーム照明方式（非対称照明方式）

プロビーム照明方式とは照明器具からの光を進行方向前方に向ける照明方式であり、路面輝度は得にくい先行車の背面を照らすことで後続車からの視認性が改善される。このため設計速度が高く、交通量の多いトンネルの入口照明に用いられ、出口部照明にも有効な方式である。

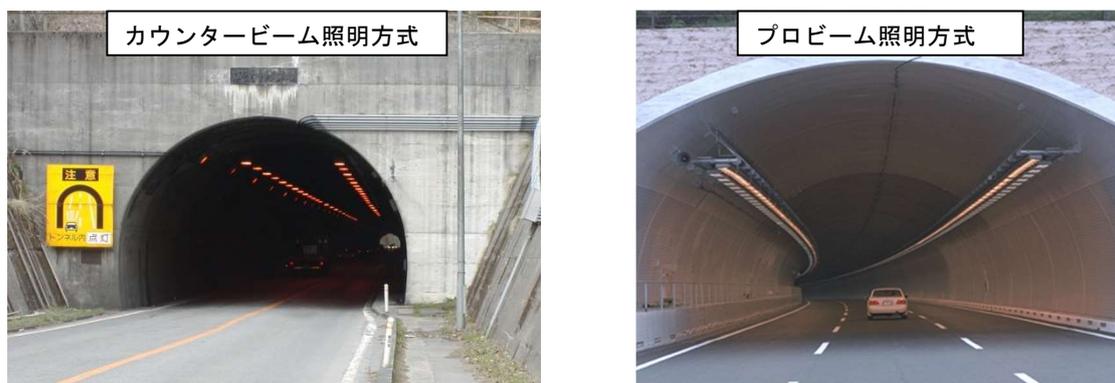


図 3.4.6.3-2 カウンタービーム照明方式とプロビーム照明方式の例

### 3.4.6.4 トンネル照明の制御

基本照明，入口照明にはそれぞれ別の制御が行われる．基本照明は明るさの基準の条件に煤煙透過率が関係するため，交通量の少ない夜間や深夜に路面輝度を下げる制御が行われる．使用する光源が光出力を調節できる場合は減光し，調節できない場合は減灯することで明るさを調節する．通常，昼間から夜間で1/2に調光し，夜間から深夜で更に1/2に調光する．但し，路面輝度には下限値が設定されているため，点灯パターンは昼間・夜間・深夜の3種類，昼間・夜間の2種類，もしくは減光ができない場合がある．入口照明は明るさの基準の条件にトンネル進入前の運転者の目の順応が関係するため，晴天(明るいとき)と曇天(暗いとき)では必要とされる明るさが異なる．照明設備は天空輝度が最も高い6月から8月の晴天日のトンネル坑口付近の輝度により設計され，坑口から150m離れた位置にトンネル方向に向けて設置した野外輝度センサーで季節や時間，天候による輝度の変化に従い明るさの調節を行う．

入口照明の基準輝度が高いため，高出力光源である高圧ナトリウムランプやセラミックメタルハライドランプが使われる．調光は間引き点灯で行われ，明るさは4段階または2段階の制御とし，日没後は全灯消灯する．

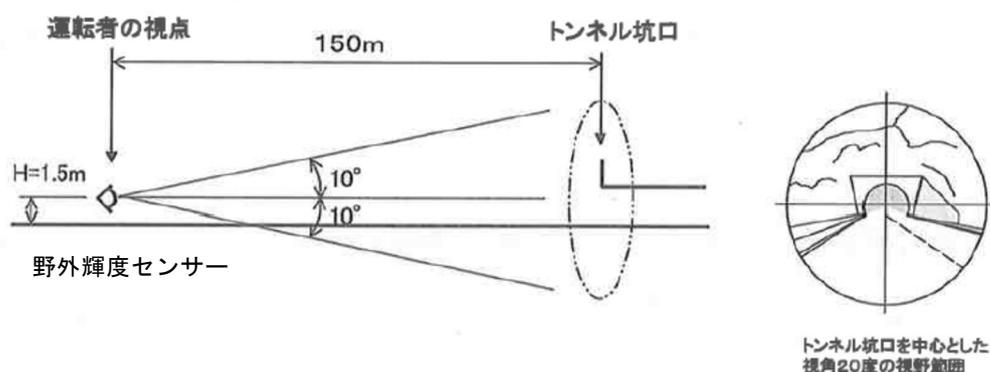


図 3.4.6.3-3 トンネル入口部における野外輝度センサー

### 3.4.6.4 新しい光源によるトンネル照明

近年，LEDの発光効率が向上してトンネル照明にも採用されるようになった．LEDを使用した場合の特徴として，省電力，長寿命，瞬時点灯，調光，光色の可変，低誘虫，光出力や配光形状，照明器具形状の自由度が高い等がある．これらは安全性と経済性が求められるトンネル照明にとって有効であり，更なる技術の向上が期待されている．

基本照明では，輝度ムラが少なくなるような配光をトンネル形状や取付位置に合わせて設計することができる．入口照明の用途ではカウンタービーム照明方式，プロビーム照明方式の設計が容易であり，シルエット視，逆シルエット視で障害物を見せることができる．また，光出力を自由に設定できるため，坑口からトンネル内に入るに従い明るさが変わる入口照明の基準に対しても滑らかに明るさを変化させていく照明設計が可能である．

このようにLEDを使用したトンネル照明器具は，従来の光源でできなかった照明理論に対して精度の高い照明の実現が可能となっただけでなく，新しい照明理論の検証にも大きく役立つことが期待される．

(文責;皆川考司)

### 3.4.7 道路・トンネル照明の展望

道路・トンネル照明施設は、夜間、あるいはトンネルなど明るさが急変する道路構造において、道路状況、交通状況を的確に把握するための良好な視環境を確保し、道路交通の安全、円滑を図ることを目的とした施設であり、交通事故防止に極めて効果の高い交通安全施設である。<sup>1)</sup>

前項「3.4.1～3.4.6」において各々「道路照明の役割と技術」について詳述した。

本項においては、前項を基に、各照明施設において期待される技術・展望を述べる。

#### 3.4.7.1 道路照明に関する規格・基準

3.4.1 において「道路照明に関する規格・基準類」について述べた。

##### ① 現行設置基準の適合

現在、わが国の道路においては、平成 19 年 9 月に通達された「道路照明施設設置基準」及びこれに基づく「道路照明施設設置基準・同解説」<sup>1)</sup>（以下「設置基準・同解説」という。）により各道路管理者は道路照明施設の整備・維持管理を行っている。

この技術基準は、昭和 42 年 4 月に建設省道路局長より通達され、昭和 56 年 3 月に同基準の改訂がなされ、平成 19 年 9 月の通達に至っている。よって、道路照明施設の多くは平成 19 年 9 月の通達に基づく照明施設に移行されつつあるが、供用年次が古い道路にあつては、昭和 56 年 3 月の基準に基づき整備された照明施設も多く現存している。現行基準に沿った道路照明施設への改良（移行）が早期に進むことが期待される。

なお、現行「設置基準・同解説」は 3.4.1 に述べたとおり「性能要求規定」となっていることから、光源、器具形状、灯具取付位置等に関する制約は少ない。「設置基準・同解説」策定当時においては、放電灯、蛍光灯が光源の主流であったが、現在は LED 照明灯具を中心に新設、改修・更新等が行われている。

##### ② 視認性評価指標及び対象物の見え方に対する改善への期待

「設置基準・同解説」では、横断歩道の照明において歩行者自身を直接照明する方式、トンネル照明においては先行車の背面を照射するプロビーム照明方式を 1 つの照明方式として示しているものの、道路照明設計の基本は昭和 42 年通達当初から、対象物をその背景との輝度対比で視認する「シルエット視」を前提とし、照明器具の配置もこれによってきた。しかし、交通量の多い高速道路トンネルにおいては、先行車の後部の視認性を高めるプロビーム照明方式が視認性向上、事故軽減に効果を上げている<sup>2)</sup>。



改修前（対称照明）



改修後（プロビーム照明）

図 3.4.7-1 プロビーム照明方式を採用した出口部照明（川崎航路トンネル）

また近年、車両前照灯の高性能化により、道路照明との相乗効果による視認性改善が期待されている。視認性に対しシルエット視のみによる評価に加え、逆シルエット視を考慮した基準への改善が望まれる。これにより視認性改善に加え、車両前照灯と協調した視認性評価、照明設計が可能となることが期待できる。

図 3.4.7-1<sup>3)</sup>にプロビーム照明方式を採用した出口照明の例を示す。先行車背面の鉛直面照度が向上し、先行車の視認性が改善されていることが確認できる。

### 3.4.7.2 光源技術

3.4.2 において「道路照明の光源技術動向」を示し、光源の変遷、現行道路照明における光源の使用比率を示した。また、今後は LED 照明が道路照明の主流を占めるであろうことを述べた。

LED 照明は、瞬時点灯、連続調光、小型化、配光制御の容易化、省電力等の特徴を有し、更なる性能向上に向けて技術開発が進められている。

以下に道路照明用光源に期待される技術・展望を示す。

#### ① 光源性能の改善・向上

ランプ効率の向上、長寿命化、コスト縮減

#### ② 視機能低下グレアの低減

同じ照度であっても、光源によって眩しさの感じ方が異なる。視機能低下につながるグレアの低減を目指した光源及び灯具の究明・開発が期待される。

#### ③ 高演色性及び最適色温度の究明

光源の変遷において、道路・トンネルにおいて高演色性を求めた施設整備の取り組みが行われていることを述べた。照度が同じであっても演色性が高いと明るさ感が増大するとの報告がある。道路照明が目指すべき演色性の究明に加え、運転しやすい色温度の究明が望まれる。

#### ④ 保守率の適正化

道路照明施設は、光源の光束低下、灯具の汚れ及び壁面反射率の低下等によって路面輝度・照度が設置当初の値より減少する。この減少の程度を設計時点で見込む係数として「保守率」を用いている。

近年、車の排出ガス削減等により周囲環境は改善傾向にある。一方、LED 化による大幅な寿命改善により、結果としてランプ交換時に実施していた灯具清掃頻度の低下が懸念される。

最適な保守率の設定に加え、電子制御等による光源の光束維持制御の普及が期待される。

### 3.4.7.3 道路照明技術（連続照明）

3.4.3 において「道路照明（連続照明）」に係る照明設備の変遷及び技術動向について述べた。

以下に、期待される技術・展望を示す。

#### ① LED 照明灯具の高性能化

平成 23,24 年頃においては、LED 灯具では路肩側から 3 車線をカバーすることは困難な面が多かった。現在においては、灯具性能向上及び大出力化により、各所において 3 車線を含めた整備が始まっている。更なる大出力化により、広スパン化、明るさ性能の均質化が期待される。

#### ② 遠隔監視システムの導入による維持管理の改善

高架構造や路肩部に保守作業用スペースを確保できない道路等においては、保守の省力化、頻度低減が特に重要である。

一部の道路照明では、電源部の二系統化や故障、LED モジュールの動作状態等を情報伝送し、遠隔監視するシステム整備により維持管理の改善の取り組みが行われている。維持管理の効率化、維持費用の削減を目的とした遠隔監視システムの効果的活用が期待される。

### ③ 更なる高度化に向け、期待される技術

光源、照明制御、センサー技術等の改善に伴い、照明制御システムの構築が容易となりつつある。薄暮時や雨天時等に明るさ性能を増強する、視程の悪い雨天時等において配光特性を変更する、交通量・車両の有無等を検知し調光する等、高度化に向けた技術開発、早期の実用化が期待される。

#### 3.4.7.4 局部照明技術（交差点照明、横断歩道照明）

3.4.4 においては「交差点照明、横断歩道照明」を中心に各種基準類に規定する照明要件を分析し、望ましい照明水準について提案した。また、交差点照明の動向を示し、近年 交差点専用照明器具の LED 化、配光改善に伴い、交差点内・横断歩道の光環境が改善され、大規模交差点への少数灯具対応が可能となったことを述べた。以下に期待される技術・展望を示す。

##### ① 交差点改良による暗い交差点の解消

近年、事故多発地点等の交差点改良が進められ、極端に暗い交差点や、設置基準を満たさない交差点は解消されつつある。引き続き交差点改良が進み、暗い交差点の解消が期待される。

##### ② 現行照明システムの高度化に向けた期待

前項(3)において述べた「薄暮時や雨天時等の明るさ性能の増強、雨天時等の配光可変、交通量・車両の有無等に応じた調光システム」等は、交差点・横断歩道照明への適用により、歩行者・車両双方の視環境の改善が期待できる。

#### 3.4.7.5 局部照明技術（インターチェンジ、料金所・広場、休憩施設）

3.4.5 において「インターチェンジ、料金所・広場、休憩施設」を中心に、現行照明設備の概要及び技術動向について述べた。以下に、期待される技術・展望を示す。

##### ① ジャンクション、インターチェンジにおいては高い視線誘導効果が必要

近年、ハイポール照明によりジャンクション等の全景を照らす照明方式が維持管理の困難性等の面から少なくなった。一方、用地確保の困難性、複数道路の多元接続等により、ジャンクション、インターチェンジ等の線形が多様化・複雑化している。明るさ性能に加え、視線誘導効果の高い照明施設の整備が求められている。加えて、明るさ性能は数値化が可能であるが、視線誘導効果（性能）は定量化手法が明らかでない。視線誘導効果を定量化し、道路構造に応じた性能確保が重要である。

##### ② 農作物への影響軽減や低誘虫性照明への期待

農地付近に隣接する個所においては、農作物への影響、白色光を用いる休憩施設、料金所等においては照明灯への昆虫類の飛来に対する対策が課題となっている。

近年、農作物への影響や低誘虫性等と明るさ・波長等の関係が明らかになりつつある。積極的な照明設備の環境適用設計が期待される。

#### 3.4.7.6 トンネル照明技術

3.4.6 において「トンネル照明技術」を中心に、現行照明設備の概要及び技術動向について述べた。トンネルは、一般部と異なり昼間においても照明を必要とすることや、周囲が側壁等で閉鎖され、さらに道路幅員が一般部よりも縮小されている場合がある等により、トンネルには設計速度、交通量、延長、構造、線形等に応じた照明施設の設置が必要とされている。以下に、期待される技術について概観する。

### ① 高出力 LED 入口照明灯具の市場化

平成 24 年頃においては、入口照明に採用可能な高圧ナトリウム灯相当の高出力 LED は開発途上にあった。よって、基本照明のみを LED 灯具とし、入口照明においては従来からの放電灯具との併用が必要であったが、平成 26 年現在においては、各社から入口照明用の高出力 LED 灯具が供給可能となり、各トンネル等において採用が始まっている。

更なる高出力化、灯具の小型化、コスト削減等が進み、明るさ性能の均質化向上が期待される。

### ② 長寿命化

現在の LED 光源寿命は、基本照明用灯具: 90,000 時間、入口照明用: 75,000 時間を確保するに至っている。

基本照明は 24 時間常時点灯であり、90,000 時間は約 10 年間に相当し、器具寿命の 1/2 程度に相当する。また、入口照明用の 75,000 時間は、10 時間/日の点灯と仮定し、ほぼ器具寿命相当の 20 年に相当する等、灯具の寿命途中における LED モジュール交換が激減又は不要となり、大幅に維持管理性が改善されつつある。更なる長寿命化、灯具との寿命協調、コスト削減が期待される。

### ③ 照明システムの高度化に向けた期待

改善・高度化が期待される主な照明制御技術を以下に示す。

- ▶ 交通量に応じてプロビーム照明とカウンタービーム照明を使い分け、又は配光制御する照明設備
- ▶ 交通量の少ない道路で、車両の有無を検知して調光する照明システム
- ▶ 推奨走行速度に応じた順次発光により有彩色の光を流す等、運転者が走行速度の目安としやすいガイドライン照明機能を包括したトンネル照明設備。 etc

以上、道路・トンネル照明において期待される技術・展望を述べてきた。道路照明技術は道路及び交通工学の進展とともに変化してきている。近年、LED 照明技術の進展に伴い、従来の放電灯においては実現困難であった各種技術課題の解決が容易となりつつある。

一方車両は、前照灯を中心に配光可変前照灯 (ADB) 等の技術を搭載した車両が市場化される等、照明技術に大きな変化が始まっている。また車両灯火は視認性確保の他に、自分の存在を示す、パッシング等によるコミュニケーション等、車対車の通信手段としても用いられている。

車両前照灯と協調した道路照明の整備が望まれる。加えて、事故発生時等の注意喚起を促したい地点においては、道路照明を調色・増光・点滅制御する等、道路と車とのコミュニケーション手段としての活用も可能である。

道路、車、歩行者が照明技術を介して協調し、安全・快適な道路利用につながることを期待したい。

(文責；嵯峨根義行)

### 参考文献；

- 1) 道路照明施設設置基準・同解説，社団法人日本道路協会，平成 19 年 10 月
- 2) 及川宗敏，松尾俊寛，田口裕数:プロビーム照明方式による東京港トンネルの照明施設，第 26 回日本道路会議 (2005)
- 3) 坂本正悦：高速道路の照明，照明学会誌，第 95 巻第 9 号平成 23 年

### 3.5 まとめと今後の課題

本章では、車社会の進展を概観してその課題として交通事故を取り上げ、その発生状況についての調査検討を行い、交通事故の主な原因として Human Error がその多くを占めていること、特に夜間に発生する交通事故については、公共施設、及び車載システムの援助によって Human Error を低減することにより、事故の減少または被害の軽減の可能性について提言した。

そして、3.2 節に於いては Human Error を考える上で欠かすことができない視認性に関してその評価技術の現状を概観した。新規のシステム開発のため、あるいは、開発したシステムの評価のために視認性の評価は大変重要であることを報告した。

3.3 節に於いては近年、各自動車メーカーが開発に重点を置く、安全システムに関してその動向と技術を紹介した。事故の発生時点を起点として衝突直前の『プリクラッシュセーフティ技術』、衝突時の『衝突安全技術』、そして通常運転時の『予防安全技術』とシチュエーションに応じた目的別の安全技術について紹介した。特に、『予防安全技術』は、事故を未然に防ぐことで危険に近づけないようにするための技術であり、交通事故低減には有望な技術であると思われる。

夜間ドライブ時の安全性向上に資する照明技術では、光源の改良による明るさ、色、寿命の向上に合わせて、進行方向に合わせて照明方向を制御する技術など視認性の向上に大いに貢献している。さらに、カメラ等を用いた外部環境の認識技術を合わせることによる認知支援技術の開発状況についても合わせて報告した。

3.4 節では、運転者の視認性確保を目的とした道路照明技術について、その規格・基準から光源技術について解説し、それらに基づく具体的な照明技術と適用事例を、道路連続照明、交差点・横断歩道や高速道路のインターチェンジ・料金所・広場・休憩施設での局部照明、および、昼夜間を通して照明が必要とされるトンネル照明について紹介した。そして、最後に、過去から現状照明技術までの進展を踏まえて、今後の技術の進展を予測し、課題解決へ向けた取組み状況について現状を述べ、道路照明の将来を展望した。

本章で報告されているように、視認性評価技術、車載安全技術、道路照明技術は、これまではそれぞれが独立してめまぐるしい進展を遂げてきている。そして今後もそれぞれは独自の進展を遂げ続けていくことは確実なことと思われる。

一方、夜間の交通事故低減に於いては、これらの技術を有機的に融合させて、それぞれの短所を補いながら、長所を高め合うことで個別の進展以上の効果を創出することが期待される。そのためには、本章で検討を行った各技術の特徴を踏まえた、「融合させた協調システム」の検討が有効と思われる。次章以降では、現状考えうる協調システムについて提案を行っていく。

(文責；塚田敏彦)

## 4 車と道路の照明協調システム

本報告書では、2章で交通事故の現状とその特徴を統計データから紹介し、さらに交通事故関連の研究事例を通して運転者や横断者の挙動および視環境に関して述べた。3章では、まず、車と道路を取り巻く技術の動向として、ITS技術・視認性評価技術・車載予防安全技術・前照灯の開発動向を紹介している。次に、道路照明技術の動向として、国際的な情報を含む規格・基準の変遷や、使用される光源の変遷、および道路照明・局部照明・トンネル照明などの現状が報告され、LED化などによる技術の展望が示された。

本章では、前章までの検討と報告を基に、車と道路の照明協調について、いくつかのシステムを提案する。ここで取り上げるシステム案は、実現するには更なる技術の進化を待たなければならないものも含まれるが、今後の照明協調の方向性を考えてみたい。

### 4.1 道路照明

道路照明は、交通事故の減少を目的として、改善が進んできた。光源もLED化が進み、配光、点灯制御などの新しい取り組みがなされてきている。一方、車両では、前照灯の性能向上やインテリジェント化により、運転者が獲得できる視認情報が増えている。また、予防安全技術としてのミリ波レーダーや車載カメラによる運転支援は、視覚情報以上の安全につながる手段を提供してきている。

そういった技術改善が進む中、「日没直後」や「乱横断」といった死亡事故の多発する状況に対して、道路照明として安全支援につながる考えをいくつか検討した。

#### 4.1.1 交通と道路照明

3.2において視認性のレベルについて解説している。そして交通量に応じた視認性の提案を行っている。以下に、この観点からのシステムを提案をする。

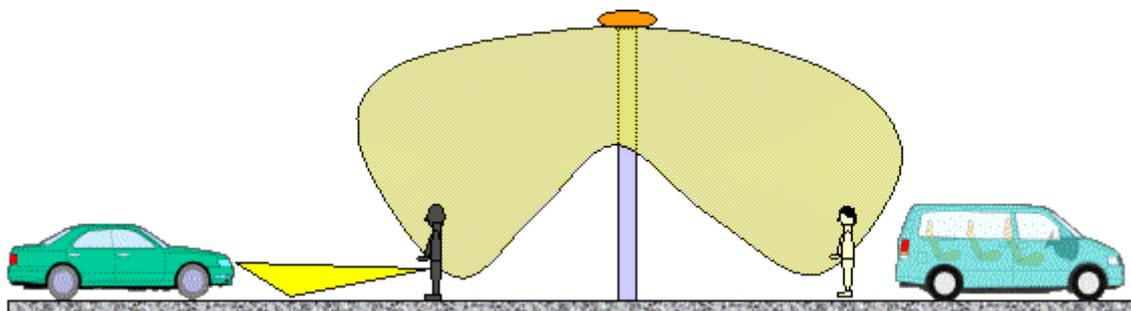


図 4.1.1.1-1 対称配光イメージ

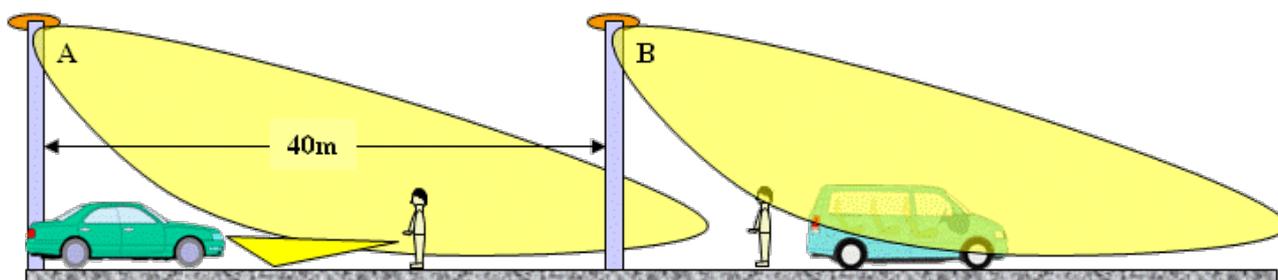


図 4.1.1.1-2 単路におけるプロビーム配光イメージ

#### 4.1.1.1 交通量に応じて配光を切り替える道路照明システム

現状の道路照明は、対称配光により路面輝度を一定以上の基準に保ち、シルエット視による路上の落下物等を視認するとの考えに基づく「検出」を優先していた。

しかしながら、交通量の多い道路では、先行車両の背面や、歩道からの乱横断といった歩行者などの飛び出しに対して、車両前方の鉛直面照度を高く確保し「同定」のレベルで視認できる必要がある。そこで交通量に応じて照明器具の配光を制御し、対称配光（図 4.1.1.1-1 参照）からプロビーム配光（図 4.1.1.1-2 参照）にする制御機能を持った道路照明システムが考えられる。

道路交通量に関しては、画像認識などにより、リアルタイムに計測する技術が進んでいるため、この情報を交通量の増加している区間の道路照明に伝達し、それに応じて、照明器具の配光を可変する。配光の可変はミラーによって制御する方式や、複数の配光を持つ光源の点灯パターンを組み合わせるといった方式が考えられる。配光可変道路照明装置構成の一例を図 4.1.1.1-3 に示す。

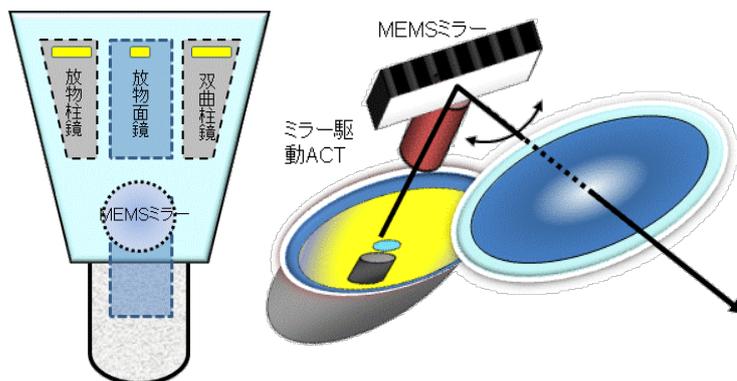


図 4.1.1.1-3 配光可変道路照明装置構成の一例

#### 4.1.1.2 車両の有無を検知して調光する道路照明システム

連続照明された高速道路では、交通量を考慮して段調光を行う照明方式が広く採用され、有電圧による ON/OFF や段階調光といった単純なものが一般的に用いられており、省電力につなげている。しかしながら、交通量の少ない一般国道などでは、こういった調光制御はあまり行われておらず、交通量の多い時間帯に合わせた照明が整備されてオーバースペックにはなっていない。そのため、前項での交通量検出での情報を用いて、適切な路面輝度に調光することで、均斉度を確保しつつ誘導性も損なわない照明が可能となる。

特に、LED 道路照明器具では、連続的な調光が可能なることから、容易に実現できる。同時に、路面輝度に合わせた車両側の配光可変機能があれば、安全走行の確保に繋がる。

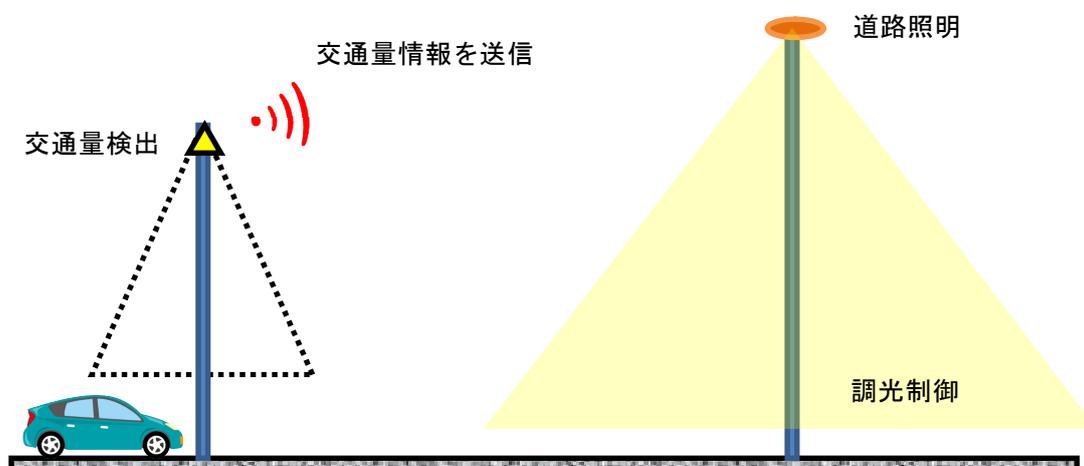


図 4.1.1.2 交通量に応じた調光の一例

#### 4.1.1.3 車両走行速度に応じて外側線を投影する照明システム

路側の自発光視線誘導灯の明滅速度を調整して走行速度を制限する取り組みは、一部実験的に行われている。ここに紹介するシステムは、走行車両が法定速度よりも著しく早い場合、道路が狭く（＝体感速度が速く）感じられよう外側線を投影することで速度超過を抑制するものである。

投影は路面凍結や事故情報といったものに応用できる手法であり、道路照明を注意喚起にも活用できる考えである。



図 4.1.1.3 投影の一例<sup>1)</sup>

#### 4.1.1.4 照明器具に注意喚起用光源を内蔵する道路照明システム

このシステムは、照明器具に赤色のLEDを別途内蔵し、事故などの非常時にその付近の道路灯が赤色でフリッカすることで、遠方の運転者に注意喚起するものである。



図 4.1.1.4 注意喚起光源内蔵道路照明の一例<sup>2)</sup>

### 4.1.2 環境と道路照明

2章での統計結果から、光環境が大きく変化する日没直後や急激な天候の変化と死亡事故の関連が読み取れる。以下に、光環境の変化に対する道路照明システムを提案する。

#### 4.1.2.1 雨天時に配光特性を可変できるシステム

現状の道路照明が対称配光により路面輝度を一定以上の基準に保ち、シルエット視による路上の落下物等を視認するとの考えに基づくため、悪天候時には水はけの悪い路面の水膜による鏡面反射が生じ、運転者の視認性を著しく低下させる。

そこで、一方通行で水はけが悪い路面では、天候や路面の湿潤状況に応じて対称配光からプロビーム配光に切り替えるなどにより対応することが考えられる。



図 4.1.2.1-1 鏡面反射例

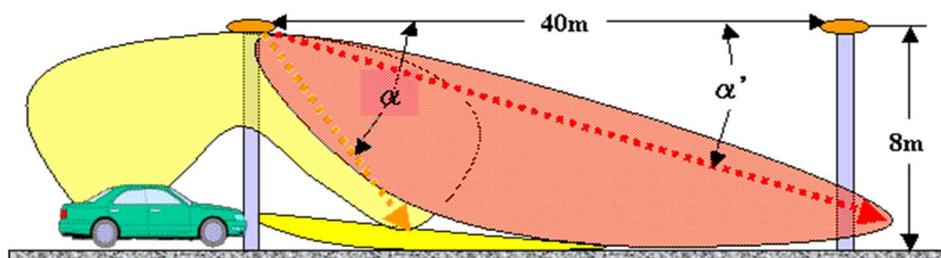


図 4.1.2.1-2 対称配光からプロビーム配光に切り替える例

#### 4.1.2.2 低視程時に道路境界を表示するシステム

雪道において道路境界（路側帯など）を運転者に知らせるため、投影を行う試みを実施されているが、視程の悪い状況下で道路照明にこの機能を持たせ、輝度の違いや、光色の違いなどで識別できるような照明を行うことで、誘導性の向上に繋げる。機能的に 4.1.1.3 に記載したシステムと同様のシステムである。

なお、上述照明器具の側面などを有彩色で発光させれば、道路線形の認識を高めることができ、更に有効なシステムとなる。



図 4.1.2.2 雪道での道路境界投影例<sup>3)</sup>

#### 4.1.2.3 事故発生率の高い「日没直後」における道路照明制御

日没後の 18 時から 20 時における死亡事故の増加は著しいものがあり、特に日没直後の天空輝度が未だ高い状況では、道路照明と前照灯が点灯していても、視認性が低下している状況が発生してしまう。

そこで、日没後の時間帯にのみ路面輝度を増加させることで鉛直面照度も向上し、「同定」の改善に繋げていく。また更に、悪天候などで照度が低下するような場合にも対応可能とすれば、システムの有効性は高まる。

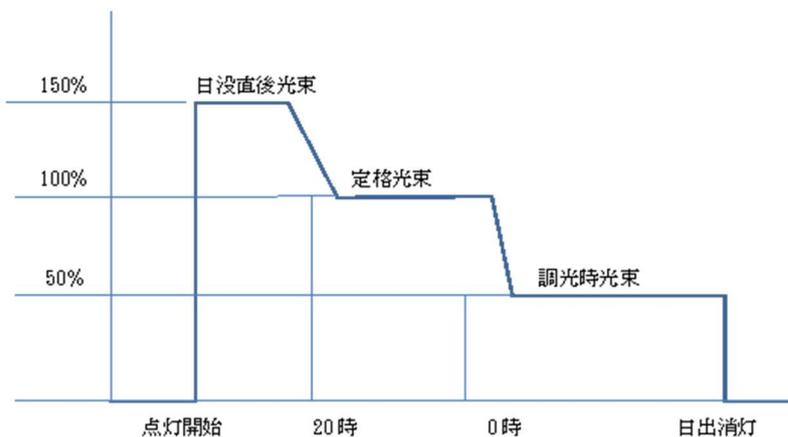


図 4.1.2.3-1 日没直後光束 UP の一例



(a)日没直後の光束 UP 状態

(b)定格点灯状態

(c)深夜調光状態

図 4.1.2.3-2 光束制御パターン例

### 4.1.3 前照灯との協調による道路照明

3.3 で前照灯の現状について検証した結果、前照灯の性能は格段に向上してきている。ここでは、そのような前照灯との協調システムについて検討した。

#### 4.1.3.1 融合時の総視認率を高い水準で維持するシステム

前照灯は、逆シルエット視による視認を前提としている。しかしながら、視認性の観点から総視認率として路面状況を考えた場合、ある程度の路面輝度を確保する必要がある。

また、前照灯は車種や光源により出力が異なるため、前照灯の出力を検知して（走行状況に合わせた）道路照明の配光を行うことで、路面の鉛直面照度などと連動して総視認率の高い水準で維持制御する照明を提供する。

一方、前照灯側では、前方の路面の明るさをフィードバックして総視認率の高い状態を維持する機能の提案もできる。

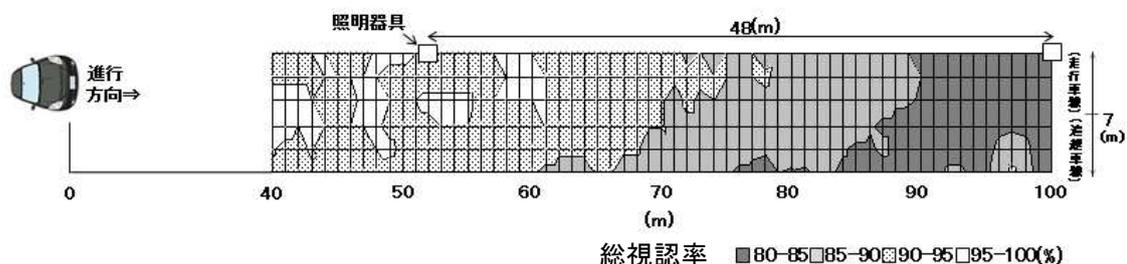


図 4.1.3.1 道路照明と前照灯による総視認率の例

#### 4.1.3.2 暗視装置の補助光となる近赤外線放射を含むシステム

ナイトビジョン（暗視装置）は、近赤外線放射を検知するカメラ画像により検知するものであり、車両からの近赤外線照射では検知領域が限定されるため、道路照明からも、近赤外線放射の波長を含む照明を行うことで、ナイトビジョンの検知領域を広げ、歩道などからの乱横断者などの早期発見を促し、安全走行に寄与していくことができる。



(a) 可視光による映像

(b) 近赤外線方式

(c) 遠赤外線方式

図 4.1.3.2 各種ナイトビジョンシステムの映像比較

(文責； 齋 尚樹)

## 4.2 局部照明

局部照明には、交差点、横断歩道、歩道等に設置する照明が含まれる。特に、交差点の照明は下記3項の機能を果たす必要がある。

- i) 遠方から交差点の存在がわかること
- ii) 交差点付近に存在する他の自動車、歩行者等が、交差点より手前から識別できること
- iii) 交差点内に存在する他の自動車、歩行者等が、交差点内において識別できること

更なる夜間交通事故防止の観点から、これらの交差点照明の高機能化、自動車との協調等が重要であると考えられる。

本節では委員会で提案・協議された4システムを説明する。

### 4.2.1 交差点照明の配光切替システム

交差点の信号現示状態、横断歩行者の存在状況、交通量など交通環境に応じた最適な配光に切替制御できれば、交通安全上有効であると共に省エネにも貢献可能であると考えられる。

具体的な照明イメージ（モード）と対応する交通環境、役割機能を図4.2.1に示す。

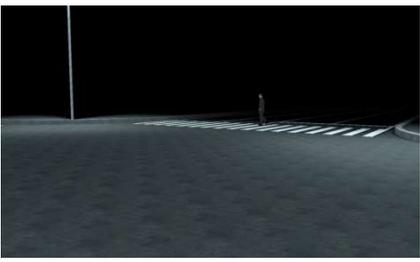
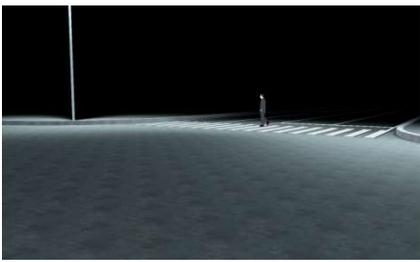
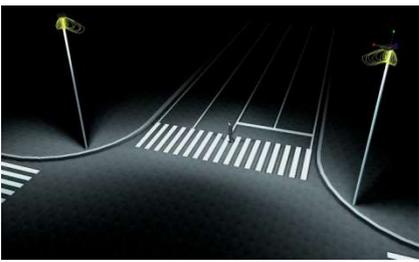
		
<p>①省エネモード</p>	<p>②通常モード</p>	<p>③混雑時モード</p>
<p>歩行者の存在しない深夜帯などの照明モード。交差点中央部を主に照明する</p>	<p>通常の照明モードであって、①の省エネモードに追加して横断歩道とコーナー部を追加照明する</p>	<p>交通量の多い時間帯の照明モードであって、横断歩道部とコーナー部の照度を更にアップさせる</p>

図 4.2.1 交差点照明の配光切替システムと照明イメージ

次に、このような配光切替型照明システムのランプ構成例を述べる。照明器具は3つの発光部で構成するのが一般的と考えられる。

- 第1の発光部；交差点中央部を主に常時照明する。①の省エネモードの照明を形成する。
- 第2の発光部；横断歩道とコーナー部を主に照明する。第2の発光部を第1の発光部（省エネモード）に追加して点灯させることにより、②の通常モードの照明を形成する。
- 第3の発光部；混雑時や信号現示状況に対応して横断歩道部やコーナー部の照度を追加上昇させる。第1、第2の発光部に追加点灯させることにより、③の混雑時の照明モードを形成する。これにより横断歩行者の視認性を更に向上させることができる。

なお、③の混雑時モードは第2の発光部の発光輝度を上昇させて実施する方法も考えられる。

具体的な配光切替制御は時間帯、歩行者及び走行車両の存在状況（存否と存在密度）、信号現示などの情報を基に実施する。信号現示状態制御では、青信号に対応する横断歩道のみを重点的に照明可能とする機能が考えられる。青信号横断歩道をその近傍交差点のコーナー一部から照明すると、交差点照明の歩道照明光と走行車両前照灯の照射方向が同一方向となる。前照灯との相乗効果により、歩行者等を逆シルエット視で更に良く視認させる可能性が高まる。

従来の高圧ナトリウムランプ等の放電灯では上記のような配光切替は実現が困難であったが、コンパクト光源（LED）では調光制御が容易なため実用化の可能性が高まっている。

#### 4.2.2 交差点照明の照度調整システム

現状の交差点照明の点灯運用は、日没～日出の夜間において一定の明るさとしている。

交通事故の発生状況としては、日没直後の18～20時における事故発生件数が他の時間帯と比較して非常に多くなる傾向がある。そこで日没後の2時間程度は交差点照明の照度を通常（平均路面照度20 lx）よりも50%向上（平均路面照度30 lx）させる。これにより歩行者等の視認性が高められると考えられる。一方で、歩行者が少なくなる深夜の時間帯においては、交差点照明の照度を通常よりも50%低減（平均路面照度10 lx）させる。これにより交差点照明の総使用電力量の増加を抑制することができる。

本システムは、調光が可能なLEDを照明器具の光源に採用し、調光形電源装置、自動点滅器、タイマー、制御回路等を組み合わせることによって比較的容易に具体化することができる。

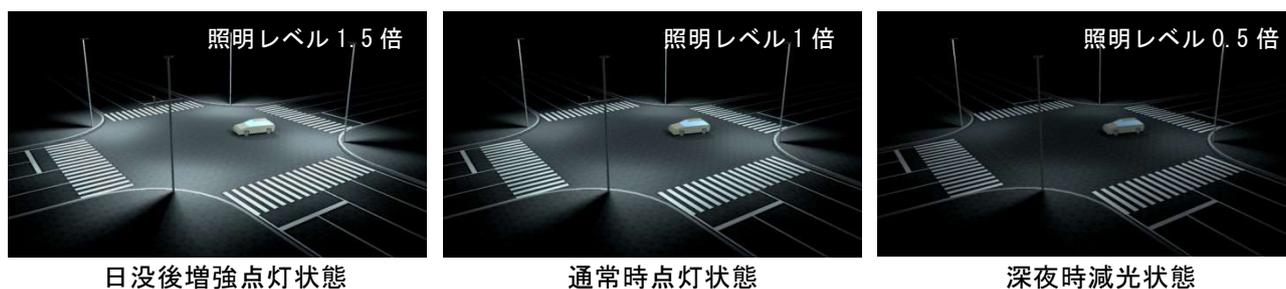
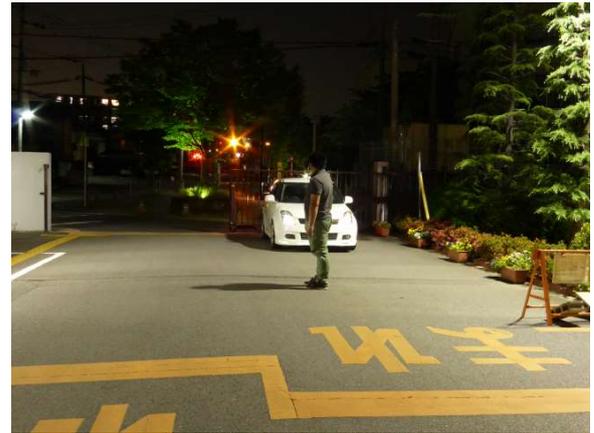


図 4.2.2 交差点照明の照度調整システム

#### 4.2.3 自動車前照灯の自動消灯システム

前照灯を点灯していると対向車前照灯のグレアにより横断歩道上の歩行者が見えづらくなる時がある。これを前照灯グレアによる蒸発現象と呼ぶ。

具体例を図 4.2.3 に示す。図の左側は、前照灯すれ違いビームが点灯し、歩行者蒸発現象が発生している状態である。図の右側は、消灯状態で、歩行者蒸発現象が発生していない。この歩行者蒸発現象の発生を防止するために、交差点の先頭に停止している自動車の前照灯を強制的に消灯または減光する。現時点ではこのようなシステムの運用は不可能であるが、将来的には路車間通信システムにより交差点照明設備と自動車が通信可能となれば、このような運用も可能になるものとする。



すれ違いビーム点灯；歩行者蒸発現象有り

すれ違いビーム消灯；歩行者蒸発現象無し

図 4.2.3 すれ違いビームの点灯/消灯による横断歩行者の見え

#### 4.2.4 路車間通信による交差点における歩行者存在情報伝達システム

交差点とその周辺に存在する歩行者情報を運転者に適切に伝達できれば人対車事故を低減できる。具体的には現状の交差点照明設備に通信機能を付加する。そして路車間通信を介して歩行者の存在を音声情報として自動車運転者に伝達する。音声情報としては「右側の横断歩道内に横断中歩者がいます」、「交差点の右手後方に歩者がいます」、などである。

本システムのイメージ図を図 4.2.4 に示す。本システムは、交差点照明設備からの音声信号をカーナビ等の車載端末で受信できれば、実現可能と考える。

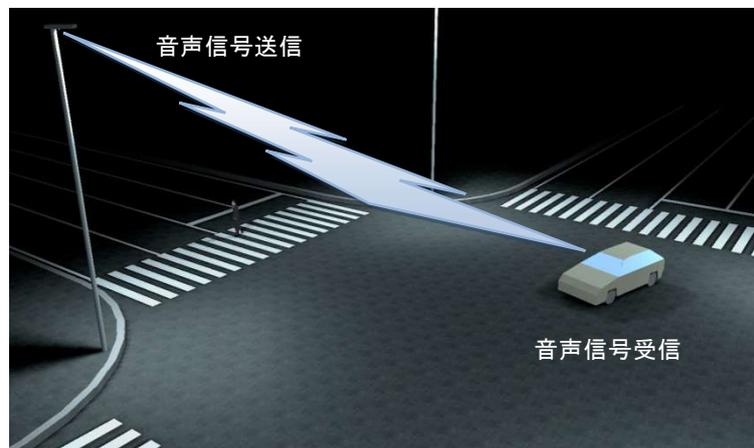


図 4.2.4 歩行者存在情報伝達システムのイメージ  
(交差点照明－自動車)

(文責：古川一茂)

## 4.3 トンネル照明

明かり部と異なり、トンネル内には交差点や分合流部等の車道が交差する箇所はない。また、歩道が併設されている場合も柵が設置されていて横断歩道は無い。トンネル内で発生する事故は車両と歩行者ではなく、車両と車両や路上障害物との事故になる。

道路照明と同様にトンネル照明においても LED 化が進み、比較的少ない光量の基本照明だけでなく、高出力が要求される入口照明においても実用化されるようになってきた。

トンネル内の全ての照明器具を LED 化させることで点滅や調光の制御が容易になり、様々なシステムを実現できる可能性が高まっている。

この章ではトンネル照明におけるシステムの可能性について検討した。

### 4.3.1 交通量に応じて照明方式を切り替えるシステム

トンネル照明においても、「検出」と「同定」の観点から、交通量に応じて照明を変化させるシステムが考えられる。

#### 4.3.1.1 対称照明とプロビーム照明を切り替えるシステム

4.1.1.1 の道路照明で紹介された「交通量により対称照明とプロビーム照明を切り替えるシステム」はトンネル照明でも有効である。通常は一般的な対称照明方式とする（図 4.3.1.1-1 参照）。これに対して交通量が増えた場合は、車両が集中している時間帯をプロビーム照明に切り替えて先行車の背面を照らし、視認性を高める（図 4.3.1.1-2 参照）。

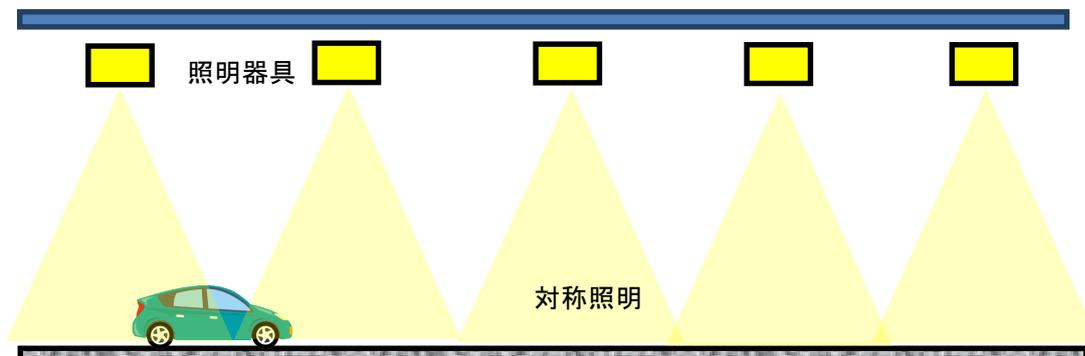


図 4.3.1.1-1 交通量が少ない場合の対称照明方式

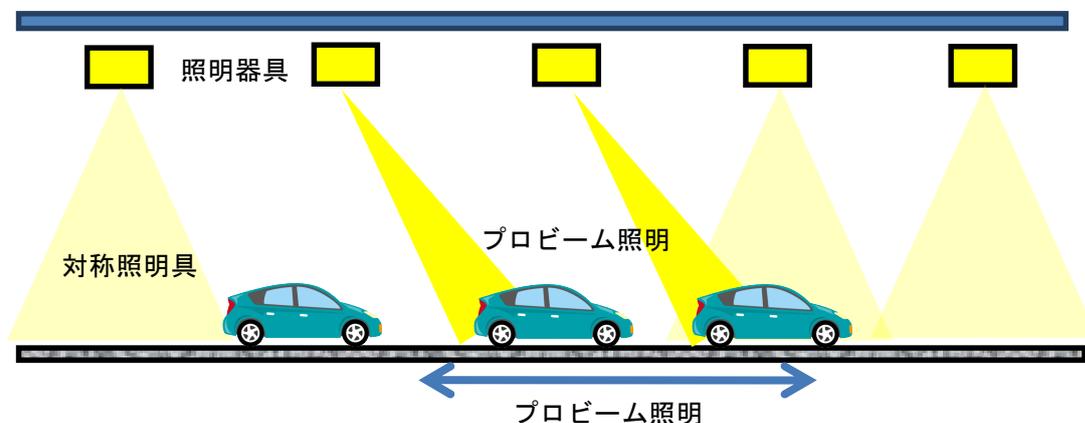


図 4.3.1.1-2 交通量が多い場合のプロビーム照明方式

照明設備は、交通量が少ない場合は「検出」を目的とし、交通量が多い場合は「同定」を目的とする。照明設計においては3.2.1「道路照明における視認性」で紹介された総視認率やブライトネスが評価指標となる。

照明器具は対称照明用の配光特性を持った点灯ユニットとプロビーム照明用のユニットを器具に内蔵させて切り替えるシステムが考えられる。発光部が小さいLEDであれば器具の寸法は大きくなり、瞬時の点灯・再点灯が可能であるため制御も容易である。



図 4.3.1.1-3 対称照明用とプロビーム照明用のユニットを内蔵した器具の例

#### 4.3.1.2 前照灯とトンネル照明の照明効果を融合可能なシステム

前項の対称照明とプロビーム照明を切り替えるシステムに前照灯による照明効果を加えることで、その場の状況に適した質の高い照明環境を得ることができると考えられる。ここで理想の照明環境は交通量や時間帯、トンネル坑外の状況によって異なるため、照明設備と車両がこれらの情報を逐次共有して、それぞれがお互いの長所・短所を補うことが理想となる。

①交通量小の場合（図 4.3.1.1-4 参照）；照明設備は最低限の路面輝度と視線誘導効果等の視環境を整える照明に徹する。車は走行ビームに切り替えて路上障害物の視認性を確保する。

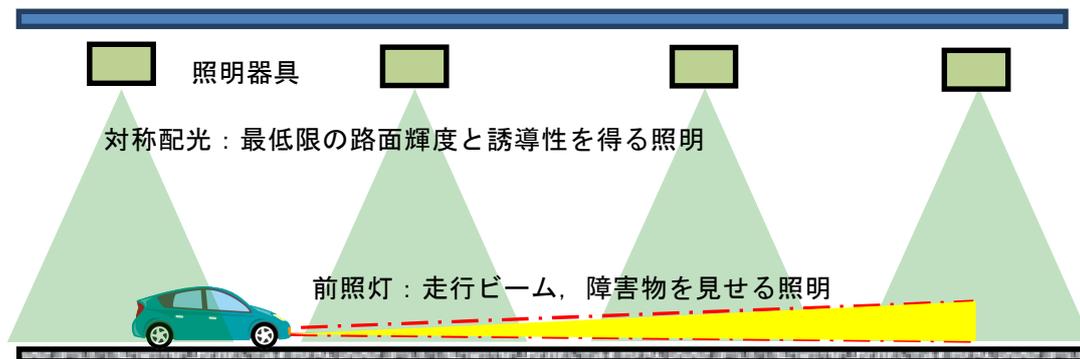


図 4.3.1.1-4 交通量が少ない場合の車両と照明設備の協調システム

②交通量大の場合（図 4.3.1.1-5 参照）；照明設備はプロビーム配光に切り替えて先行車の視認性を高める。車はすれ違いビームもしくは、トンネル内の壁面等の視環境を高める照明に徹する。

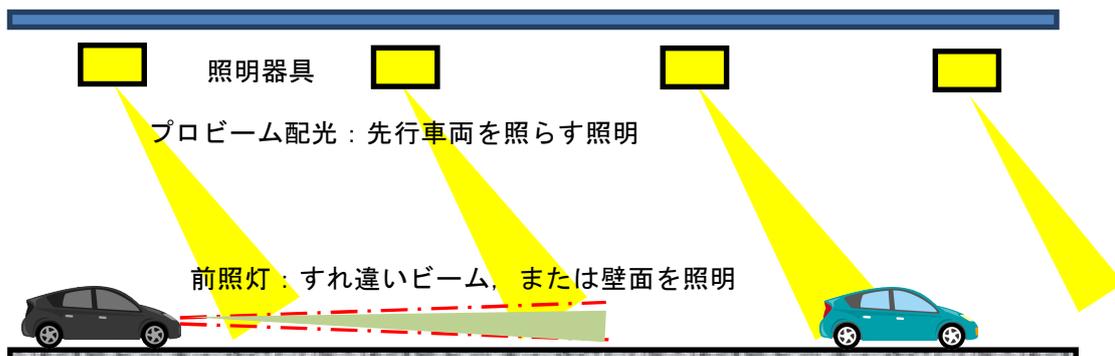


図 4.3.1.1-5 交通量が多い場合の車両と照明設備の協調システム

トンネル内の視環境を高める車載照明機器の一例を図4.3.1-6に示す。

前照灯内に設置した壁面照射ビームにより壁面や白線等を照らし、運転者がトンネル内の自車側方位置を確認しやすくする。また、ドアミラーなどにLED方式の赤外ビーム照射ランプを設置し、同じくドアミラーに内蔵した側方監視カメラによる道路区画線の検出をし易くする。

照明設備と車両側の照明装置類は、お互いに交通量の状態を監視しながら同じタイミングで照明方式を切り替える相互協調システムとして構築することが必要になると思われる。なお、前照灯とトンネル照明の融合時の視認性評価は、3.2.2項で紹介されているとおり現在研究中であり、今後、視環境評価も含めた研究の深耕が期待されている。

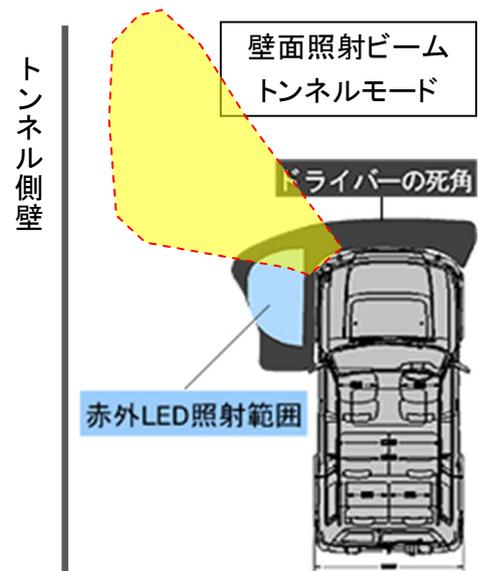


図 4.3.1-6 車載側方照射灯の例

#### 4.3.1.3 基本部光量を交通量で調光するシステム

トンネルの基本照明は、夜間や深夜に交通量が減ることを前提に坑外の明るさ（昼間→夜間）や、時間帯（夜間→深夜）で明るさを調節しているが、昼間でも交通量の少ない場合は余分な電力を消費していると言える。明るさの調節を交通量や煤煙透過率で直接行えばシステムの省電力につながる。更に照明器具の光源をLEDにすれば光出力を連続的に、また瞬時に調節できるため、きめ細かい制御が可能となる。

#### 4.3.2 トンネル内走行車両に注意喚起を行うシステム

トンネル照明設備は車両の速度や交通量、昼間時の野外の明るさ等の条件をもとに設計されるが、実際の運用中には車両の走行状態やトンネル内の状況が通常時と異なる場合がある。このような特殊な状況に対して、運転者に照明設備で視覚的に注意喚起を行うシステムが考えられる。

##### 4.3.2.1 トンネル内速度急変箇所追突防止照明システム

現在のトンネル照明ではトンネル進入時の野外の輝度や、坑内から見た出口の明るさも考慮に入れて設計されている。しかし、2章の統計結果から、トンネル内では車両相互の追突事故が最も多い。具体的には先行車が速度を落としたところに後続車が追突する例が多い。そしてその時間帯や場所は坑外が明るい昼間の入口や出口で多いことが分かっている。

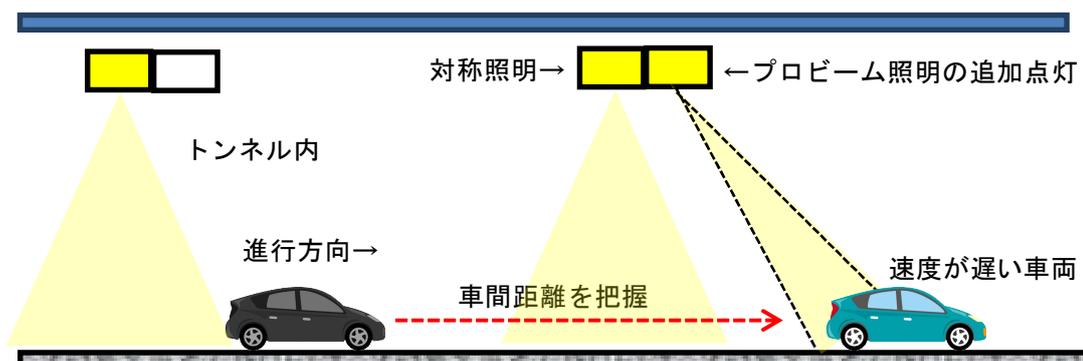


図 4.3.2-1 プロビーム照明を追加点灯するシステム

そこで、トンネル入口や出口で車両の速度が急激に落ちている場合、坑外に交差点等が有り坑内にまで渋滞が連続している場合、また、極端な低速走行をしている車両の影響で後続車の走行速度が落ちている箇所がある場合には、通常の照明の他にプロビーム照明を追加点灯させるシステムが有効であると考えられる。先行車の背面を積極的に照らすことで、運転者は車間距離を把握し易くなる。制御は、トンネルを入口部、出口部、中央部の数箇所のブロックに分けて車両の速度変化を検知し、ブロック毎に行う。

#### 4.3.2.2 トンネル内事故発生箇所の視覚的伝達システム

事故が起きてしまった場合、照明器具の一部を赤色にフリッカさせて注意喚起する方法がある。器具に赤色のLEDを内蔵させ、事故発生場所付近に制御をかけることで遠方から運転者に視覚的に知らせる。



図 4.3.2.2 注意喚起用表示内蔵 LED 照明器具の例

#### 4.3.2.3 運転者に速度超過や速度不足を伝えるシステム

4.3.2.2 と同様に、照明器具に有彩色の LED を内蔵させ、車両進行方向へ順次点灯させるシステム。トンネル照明は道路照明と比べて器具の間隔が狭いため、運転者には光が流れるように見せることができる。

器具の点灯時間をそれぞれ個々に設定して、光が進む速度をそのトンネルの設計速度に合わせれば、運転者は自車が速度超過、または速度不足を判断できる。また、光が動くことでトンネルの線形を示し、視線誘導の効果も高くなる。

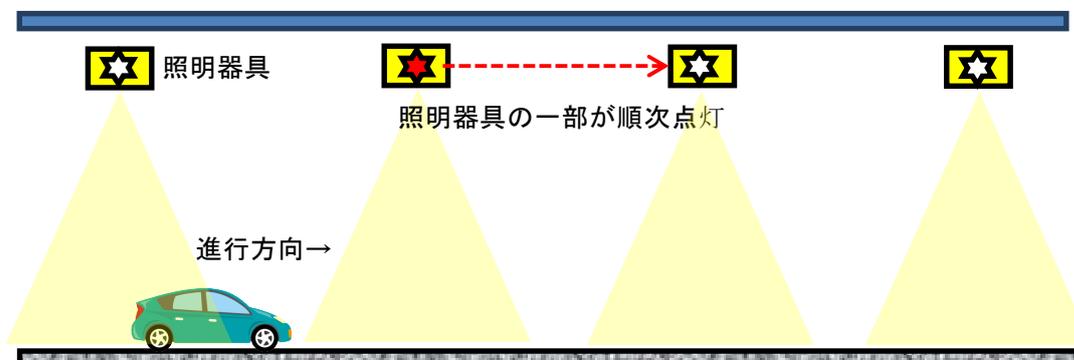


図 4.3.2-3 光が流れていくように見せるシステム

#### 4.3.2.4 トンネル内のプロジェクションマッピングシステム

4.1.1.3 の道路照明で紹介したプロジェクションマッピングシステムはトンネル内でも有効である。白線を投影することで走行車両の速度超過を抑制することができる。

(文責；皆川孝司)

参考文献；

- 1) <http://www.studioroosegaard.net/project/smart-highway/>
- 2) 株式会社因幡電機製作所 カタログ
- 3) 佐々木，ほか：帯状ガイドライト装置の開発，第 30 回道路会議，論文番号：1048，2013.10.
- 4) 道路照明施設設置基準・同解説，社団法人 日本道路協会，平成 19 年 10 月

## 5 おわりに

本委員会の調査並びに討議・提案結果は各章・節のまとめに詳細に記述されている。ここでは本委員会の立ち上げ経緯をレビューすると共に、本委員会の活動トピックス事項と次世代の「車と道路の照明協調システム」実用化に向けての今後の課題を述べる。

### 5.1 本委員会立ち上げ経緯のレビュー

本委員会は平成24年4月に立ち上げた。本委員会立ち上げの契機は下記の4項である。

- 1) 内閣府が前年の平成23年3月に発表した第9次交通安全基本計画
  - 2) JAF（一般社団法人日本自動車連盟）の上記計画に盛り込むべき事項の提案
    - 政府はこの策定に向けて平成22年10月に中間案を発表し、国民の意見を募集
    - JAFは上記募集に対応し、第9次交通安全基本計画に盛り込むべき事項として平成21年11月24日内閣府へ5件を提案
  - 3) 東日本大震災（平成23年3月11日に発生）とその後の省エネ意識の高まり
  - 4) 省エネ光源LEDの交通照明（道路、車）や一般照明への採用拡大
- ※1) の第9次交通安全基本計画とそれに対応した2) のJAF提案の概要は、付録資料1、2として本報告書巻末に掲載したのでそれを参照して頂きたい。

### 5.2 活動目的と目標

上記社会経済情勢のもと、我々（委員長・幹事数名の交通照明技術者と交通事故研究者の有志）は平成23年度に数回会合を行った。そして下記4項を目的に委員会（本委員会）を立ち上げることに合意した。

- ① 第9次交通安全基本計画の交通事故削減に向けた交通照明技術者の貢献
- ② 東日本大震災後の省エネ意識の高まりに対する交通照明分野の貢献
- ③ 省エネ光源（LED）の道路照明（道路、車）への採用拡大方策の立案
- ④ 道路照明技術者と自動車照明技術者が協業してより良い交通照明の構想立案

そして上記4項の目的を達成するために、道路交通関連の社会ニーズと我々交通照明系技術者がなすべき検討項目と対応策と検討項目案として表5.1を作成した。この表5の社会ニーズへの対応策と検討項目案に対して当該委員会活動で下記を調査し、議論・集約することを目標にした。

表 5.1 道路交通関連の社会ニーズと交通照明系における検討項目案と対応策案

道路交通関連社会ニーズ		検討項目案と対応策案（交通照明系）
交通 事故 削減	交差点とその近傍の歩行者事故	道路照明の拡充による歩行者視認性の向上
	交差点近傍の乱横断事故	前照灯照明性能を考慮した道路照明配光の検討
	高齢者歩行者の事故	歩行者の視認性を高める照明方式と路側建築物
	生活道路の事故	生活道路における死角の除去
道路照明の省エネ		車両非存在時の省エネ
保安向上（夜間歩行者の防犯対策）		道路照明装置への歩道照明機能の向上
快適性向上		道路空間の明るさ感向上 前照灯との合成時における路面輝度均斉度向上

そして委員会活動の具体的調査項目・協議項目として下記6項を設定した。

- 1) 交通照明技術者と交通事故研究者に有効な夜間交通事故データの調査
- 2) 夜間交通事故対策に有効な夜間交通視環境問題の調査
- 3) 照明方式の有効性を評価する視認性評価手法の調査
- 4) 交通事故削減及び省エネに貢献する海外の最新研究開発動向の調査
- 5) LED の従来光源（放電灯，蛍光灯など）に対する光学系・構造系の利点調査
- 6) 上記をベースに次世代の照明方式の協議と提案

### 5.3 活動結果と成果

本委員会 2 年間の活動成果として下記 6 項が得られた。

- ①交通照明関係者間における夜間交通事故対策対象の見直しと対象の共有化  
 広範な交通事故調査結果から，交差点近傍の歩行者事故が多発していること，また，単路における夜間乱横断事故が多発していることが判明し，これらの対策が重要であるとの共有化が図れた。
- ②交通照明関係者間における夜間事故発生事故時間帯の見直し  
 これまで交通照明関係者間では歩行者事故は夜間に多いとの認識であった。しかし交通事故の詳細な調査結果から，歩行者事故は夕方の薄暮時から 20 時頃までの時間帯が多いとの調査結果が得られた。そしてその時間帯に有効な対策を検討すると共に，それ以外の時間帯には歩行者の視認性・保安も考慮しつつ省エネを進めることで，交通照明関係者間で共通認識を持つことが出来た。
- ③交通事故発生場所の交通視環境調査の重要性の認識  
 今回の委員会では日本・ドイツの交通事故発生状況と交通視環境の比較報告があった。その結果からは路面照度のみならず歩道背景・道路空間全体の明るさが歩行者視認性に大きな影響を与えていることが指摘され，今後の改善に対して重要であるとの知見が共有化された。
- ④交通照明関係者間で現状の道路照明並びに前照灯の照明方式と照明性能の共通理解  
 これまで道路照明関係者は前照灯の照明方式や照明性能を十分理解していなかった。逆に自動車照明技術者も同様に道路照明装置の照明方式や照明性能を十分理解していなかった。今回の委員会活動で相互理解が図れた。
- ⑤道路および自動車の交通関係者間で最新の ITS（高度道路交通システム）技術動向，同自動車の最新の技術動向の共有化  
 これまで道路関係者は自動車の技術動向を，自動車関係者は道路の技術動向を十分理解していなかった。今回の委員会活動で相互に技術動向報告を行い，知識の共有化が図れ，車と道路の照明協調システムのアイデア出しと協議の活性化が図れた。
- ⑥総視認率を活用した道路照明・前照灯融合時の視認性評価方法の検討  
 道路照明と前照灯融合時における視認性評価に総視認率を採用することとした。自動車照明関係者もそれを活用した視認性評価手法の開発協議に加わり，今後の照明協調システムの視認性評価に有効な議論となった。

## 5.4 今後の課題

本委員会では①夜間交通事故の調査，②現状の道路照明並びに自動車照明の技術動向，および法規動向の調査，③視認性評価方法の調査，④車と道路照明が協調して視認性を高めるトータル照明方式の提案を行った。

今後の課題として未だ下記がある。

### 1) 車と道路の照明協調システムの効果の検証

提案された車と道路の照明協調システムについてシミュレーションなどにより効果の検証を実施し，問題点の抽出を行う必要がある。

### 2) 将来の車と道路の照明協調システムの実用化に向けたロードマップの作成

①構築に必要な ITS データ仕様の明確化とロードマップの作成

②道路分野，自動車分野における道路照明および前照灯性能の規定化

(文責；萩原亨，小林正自)

## 研究調査委員会・公開研究会資料の著作権について

本資料の著作権は（一社）照明学会に帰属します。

### 複写をされる方に

本公開研究会資料に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。

## 1 第 9 次交通安全基本計画の概要

平成 22 年 2 月から中央交通安全対策会議専門委員会会議を開催し、検討・議論を踏まえ、平成 23 年 3 月、政府は世界一安全な道路交通を実現するために中央交通安全対策会議において第 9 次交通安全基本計画を決定した。

その第 9 次交通安全基本計画の道路交通に関わる計画のポイント（概要）を以下に記す。

- 計画期間；平成 23 年度～平成 27 年度（5 か年）
- 第 1 ポイント；計画の基本理念
  1. 人命尊重の理念に基づき、交通事故被害者の存在に思いをいたし、また交通事故がもたらす大きな社会的・経済的損失をも勘案して、究極的には交通事故のない社会を目指すべきである。
  2. 高齢者、障害者、子ども等の交通弱者に配慮し、思いやる「人優先」の交通安全思想を基本とし、あらゆる施策を推進する。
- 第 2 ポイント；道路交通の安全
  1. 【道路交通の安全についての目標】
    - ① 平成 27 年までに 24 時間死者数を 3,000 人（平成 22 年比 38%減）以下とし、世界一安全な道路交通を実現する。（この 3,000 人に平成 22 年中の 24 時間死者数と 30 日以内死者数の比率を乗ずるとおおむね 3,500 人）
    - ② 死傷者数を 70 万人以下（平成 22 年比 21.9%減）にする。
  2. 【道路交通の安全についての対策】

＜視点＞	＜対策の柱＞
①高齢者及び子どもの安全確保 ②歩行者及び自転車の安全確保 ③生活道路及び幹線道路における安全確保	①道路交通環境の整備 ②交通安全思想の普及徹底 ③安全運転の確保 ④車両の安全性の確保 ⑤道路交通秩序の維持 ⑥救助・救急活動の充実 ⑦損害賠償の適正化を始めとした被害者支援の推進 ⑧研究開発及び調査研究の充実

## 2 第 9 次交通安全基本計画における対策の柱

ここでは第 9 次交通安全基本計画において、自動車業界および道路照明装置を主とした道路付属施設製造業界にどのような取組が求められているか前項の＜対策の柱＞に沿って記す。

- 道路交通環境の整備において要望される主な取組
  - ・ 生活道路等における人優先の安全・安心な歩行空間の整備
  - ・ 生活道路における最高速度、原則時速 30 キロメートル
  - ・ 「あんしん歩行エリア」の形成等による交通安全対策の推進
  - ・ 幹線道路における交通安全対策の推進、事故ゼロプラン（事故危険区間重点解消作戦）の推進
  - ・ IT 化の推進による安全で快適な道路交通環境の実現、高度道路交通システムの活用、など

- **交通安全思想の普及徹底において要望される主な取組**
  - ・ 参加・体験・実践型の交通安全教育の推進，自転車の安全利用の推進
  - ・ すべての座席におけるシートベルトの正しい着用の徹底，反射材用品等の普及促進，など
- **安全運転の確保において要望される主な取組**
  - ・ 高齢運転者対策の充実（高齢者に対する教育の充実，臨時適性検査の確実な実施，など）
  - ・ 安全運転の確保に資する機器の普及及び活用策の充実，など
- **車両の安全性の確保において要望される主な取組**
  - ・ 先進安全自動車(A S V)の開発・普及の促進
  - ・ 車両の安全性等に関する日本工業規格の整備，自動車の点検整備の充実，など
- **道路交通秩序の維持において要望される主な取組**
  - ・ 悪質性,危険性,迷惑性の高い違反に重点を置いた取締りの強化等
  - ・ 自転車利用者に対する指導取締りの推進，など
- **研究開発及び調査研究の充実において要望される主な取組**
  - ・ 安全運転の支援，高齢者の交通事故防止に関する研究の推進
  - ・ 道路交通事故原因の総合的な調査研究の充実強化

以上，第9次交通安全基本計画に関する記述の出典は下記 web site である．

<http://www.jaf.or.jp/data/naikakufu-teigen2009/index.htm>，平成21年11月24日

## 付録資料 2 『JAF（一般社団法人日本自動車連盟）の提言』

JAF ではこの第 9 次交通安全基本計画に盛り込むべき事項として 5 件提案し、内閣府へ平成 21 年 11 月 24 日に提出している。その道路交通の安全関連の 3 項を以下に記す。

### (1) 高齢社会を見据えた上での道路環境の改善

我が国人口の年齢構造をみると、65 歳以上の老年人口比が 22.58%に達するなど（総務省「推計人口」平成 21 年 5 月 1 日現在）、高齢化が急速に進展している。それに伴い、いわゆる高齢ドライバー数や、交通事故に占める高齢者の割合も増えつつある。

それに合わせて、高齢者の安全・安心な移動の確保を目指した各種計画や施策等が策定・実行されているが、これらは主として歩行者の立場である高齢者の安全確保を主眼としたものが多く、高齢運転者の安全・安心に資する施策については、その数も少ない上に、具体性のある対策は非常に限られているのが現状である。

そこで例えば、高齢化に向け対策が進められている視認性の問題についても、単に標識や表示を大きくしたり明るくしたりすることだけが解決方法とは言えず、最適な文字サイズや具体的設置位置、予告のタイミング及び回数、車のヘッドライトの適切な照射範囲等について、各項目の効果的な組み合わせやその具体的内容の考察といった多角的な検討とあわせ、そのロケーションに応じたインフラ整備が必要である。

### (2) 生活道路における道路環境の改善

過去に JAF が実施した「道路の満足度と今後のあり方に関するアンケート調査」において、改良を最優先ですすめて欲しい道路として「身近な生活道路」をあげた回答者が約 4 割と最も多い。さらに望まれる施策においては「歩道の拡幅・車道との分離」をはじめ、主に安全面に関する意見が多かった。また、全体の交通事故が減少している中、幅員 5.5m未満の生活道路での事故は増加傾向にあるといわれている。これらのことから、生活道路における自動車ユーザーの要望が高い以下の項目について、安全面に関するインフラ整備の早急な実施が必要である。

- ① 歩道・自転車通行帯・路側帯設置・拡幅
- ② 車道幅拡幅
- ③ 見通しの悪い箇所での道路形状改良・カーブミラー設置
- ④ 見通しを良くする等交差点改良
- ⑤ 道路照明の増設・改良

### (3) 環境に配慮した道路（自動車）交通時代に応じた、新しい交通と安全のあり方の啓発と実践

いわゆるエコカー、特に電気自動車やプラグインハイブリッド車など新しい動力システムや装備を持つ車両について、環境保全面を重視するあまり、安全対策がおろそかになることがあってはならない。車両破損時の乗員や救出者の安全（感電、爆発、有害物質の飛散流出などに対する）の確保や、静音ゆえの弊害、その他について、安全確保対策と利用者をはじめとした一般市民に対する啓発が必要と考える。

以上、JAF（一般社団法人日本自動車連盟）の提言に関する記述の出典は下記 web site である。

<http://www.jaf.or.jp/data/naikakufu-teigen2009/index.htm>, 平成 21 年 11 月 24 日