室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

夜間の路面照度が自転車走行挙動に与える影響－生活道路を対象とした基礎的実験－

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 土木学会 公開日: 2018-03-14 キーワード (Ja): キーワード (En): bicycle, community road, nighttime, luminance, eye fixation, avoidance action 作成者: 浅田, 拓海, 谷下, 雅義 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009590

土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.72，No.5（土木計画学研究・論文集第33巻），I_585-I_593，2016.

夜間の路面照度が自転車走行挙動に与える影響
－生活道路を対象とした基礎的実験－

浅田　拓海[1]・谷下　雅義[2]

[1]正会員　室蘭工業大学助教　大学院工学研究科（〒050-8585 室蘭市水元町27-1）
E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp

[2]正会員　中央大学教授　理工学部都市環境学科（〒112-8551 東京都文京区春日1丁目13-27）
E-mail: tanishi@civil.chuo-u.ac.jp

生活道路における夜間の自転車走行について，速度，注視挙動，路上障害物の回避時間の計測を行い，これらと平均路面照度との関係について分析した．その結果，平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると，走行速度には大きな変化がない一方，視線が手前路面部に低下すること，障害物の回避時間が0.5秒以下となること，そして「明るさが不足している」「路面障害物が気になる」などの回答者の割合が6割を超え，安心感が低下することがわかった．さらに，路上障害物に対する意識が高い被験者ほど，平均路面照度の低下に伴う視線の低下が見られ，個人の安全意識が実際の走行挙動に影響を与えることが示された．

Key Words : *bicycle, community road, nighttime, luminance, eye fixation, avoidance action*

1.　はじめに

近年，わが国では，安全，快適な自転車走行環境の実現に向けて種々の施策が積極的に進められている一方で，年間約15万件もの自転車事故が発生している[1)]．その約9割は対四輪車事故であり，通勤時間帯に加え，夕方，夜間に生じる死亡事故も少くはない[2)]．オリンピックや海外からの観光客の増加などから，利用の増加が見込まれる夜間の自転車走行の安全対応は喫緊の課題と思われる．そして，夜間においては，上記のような他の車両からの接近，接触などによる事故以外にも，段差やポットホールなどが原因で自転車自身が転倒することも多く，それが死亡事故につながるケースも発生している[3)]．本研究では，このような路上障害物を回避する場合の自転車運転者自身の挙動による自損事故に着目して，夜間における走行挙動や安全意識について検討する．

夜間における自転車事故対策としては，現在，自転車運転者自身の対策として前照灯・尾灯の装着，使用が義務付けられている．ただし，これは，他者に自身の存在を認知させることによる接触等の防止が主たる目的となっている．自転車利用者が安心でき安全，快適に走行できる道路空間を確保するためには，上記のような無灯火対策に加えて，路面状態が視認できる照度の確保などハード側からの対策も検討が必要である．

道路照明は，夜間において道路の状況を的確に把握するための良好な視環境を確保するために設置され，わが国では「道路照明施設設置基準[4)]」により，高速自動車国道，一般国道およびトンネル区間を対象に平均路面輝度が定められている．また歩行者に関しては，日本防災設備協会による「防犯灯の照度基準」において「4m先にいる人の挙動がわかる照度としておおむね3lx以上が必要」と明記されており[5)]，警察庁による「安心・安全まちづくり推進要綱」でも防犯上の観点からこの照度基準が採用されている．これらの照度基準は，幹線道路における自動車や生活道路における歩行者を想定した基準であり，自転車走行を想定した照度基準はほとんど検討されてない．国土交通省と警視庁による「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」（2012年11月）では，自転車走行空間の設計の基本的な考え方として，夜間でも安全な通行のために視認性を向上させること，が挙げられているが，照度など具体的な言及はされていない[6)]．

自転車走行に関する研究としては，近年，計測機器の高度化，簡易化の進展から，様々なアプローチからの分析が行われている．主な研究としては，プローブ自転車を用いた走行速度や回避行動などの分析[7)-9)]，アイマークレコーダを用いた運転者の注視挙動分析[10),11)]などが挙

げられる．このように，測定や解析に関する知見も蓄積されているが，既往研究のほとんどは，昼間の走行を想定したものである．夜間における自転車交通を対象とした研究としては，窪田ら[12]や知花[13]の研究など幾つか報告されているが，これらの研究は，歩行者や自動車側からの視認について検討したものである．自転車運転者の視点に立った研究としては，橋本らの研究がある．この研究では，アンケート調査より，夜間に「道路状況がよく見えない」と回答した自転車利用者が約90%に達し，「暗さ」が自転車走行に影響を及ぼすことを示唆している[14]．しかしながら，自転車運転者自身が安心して走行でき，かつ路面状態を十分に把握でき，障害物等を回避できる照度がどの程度なのかについてはほとんど検討されていない．

そこで，本研究では，夜間における自転車自損事故に着目し，路面照度が走行挙動に与える影響について基礎的な知見を得るために，生活道路を対象とした実走行実験を行う．具体的には，自転車走行中の速度，運転者の注視挙動，路上障害物の回避時間の計測および走行区間の印象評価を行い，これらの結果と路面照度との関係について明らかにする．すなわち，上記の実験により，暗い環境になるほど，走行速度が低下する，視線が手前の路面部に低下する，路上障害物の回避が遅れる，安心感が低下する，という仮説を検証する．さらに，夜間走行に関する安全意識調査を行い，上記のような実際の挙動と個人の安全意識との関係について検討し，これらの結果を合わせて，夜間の路面照度が走行時の挙動に与える影響について考察する．

2. 走行実験および安全意識調査の概要

(1) 実験環境

本研究では，「（帰宅時に）慣れた夜道を走る」という日常的なシチュエーションを想定した．また，実験の安全性への配慮，そして，照度が自転車挙動に与える影響の基礎的な知見を得ることを目的とし，「交通量の少ない生活道路で，自動車による前向きの強い照明が無い」ケースを分析対象とした．これらのシチュエーションを考慮し，以下の実験環境を準備した．

「暗さ」の指標としては，走行区間の平均路面照度（水平面照度）を用い，**図-1**に示すように，上野駅周辺の生活道路に平均路面照度の異なるA，B，C の3つの区間を設けた．区間の選定は，景色や幅員構成に大きな違いがないこと，交通量が極めて少ないこと，防犯灯がほぼ同程度の間隔で設置され明るさに強いムラがないこと，を条件に行った．なお，計測中に自動車交通が生じた場合は，再計測を行うこととした．**図-2**に示す

区間	距離 (m)	幅員 (m)	街路灯 (本/片側)	平均路面照度(lx)
A	500	4.0	13	3.5
B	500	4.2	18	8.6
C	310	4.3	12	16.6

※路面照度は，
左側路側帯の右側20cm（実験自転車走行位置），
街路灯間（縦断方向）の中間点で計測
●：路上障害物設置箇所
（それぞれ平均路面照度と同程度の箇所）

図-1 実験区間

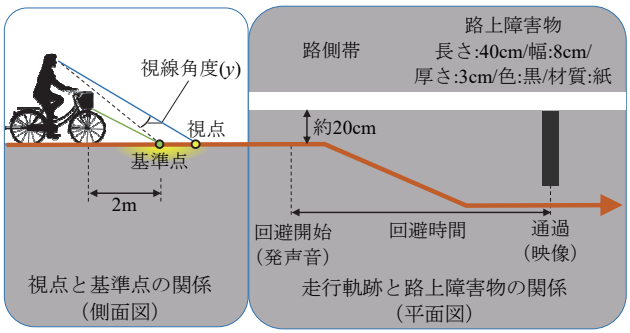

図-2 走行実験の概要

ように，区間AとCにおいては，路上障害物の回避行動について検討するため，長さ40cm，幅8cmの路上障害物を設置した（区間Bには設置していない）．この路上障害物のサイズなどはプレ実験で検討しており，区間Cと同程度となる照度の区間で，回避という対象イベントが30名中25名以上で生じた場合の大きさや色を採用した．なお，路上障害物は，他の一般利用者の通行阻害とならないように，複数名のスタッフを配置し，携帯電話等による合図で被験者が通行する直前に設置し，通過後即座に回収を行った．

被験者は，男女それぞれ15名の計30名（全て大学生）とし，実験は，平成25年10月～12月の18時から22時の時間帯に実施した．注視挙動の計測のため，被験者の視力は1以上とした．

本研究では，「（帰宅時に）慣れた夜道を走る」というシチュエーションを想定していることから，東京在住で調査区間と同じような夜道を普段から走行していることを被験者の条件とした．また，プレ実験により調査区間を複数回に渡って走行していることから，想定するシチュエーションを再現できているものと判断した．

前照灯に関しては，実験の安全性を考慮して備え付けのライトよりも光量の大きいキャットアイ社製のLEDライトECONOM FORCEを使用し，前方2mの路面を

照らすように取り付けた（図-2）．

(2) 実験の流れ

まず，被験者に実験の説明および装置等の準備を行う．次に，装置，走行環境に慣れるため，各区間において下見走行を行う．本実験では，全ての被験者において，区間A，B，Cの順で走行してもらった．走行順が結果に及ぼす影響について考慮し，既往の研究[15,16]を参考に，疲労や視覚の順応の影響を除外するため，実験区間と同程度の照度の箇所で10分以上の休憩した後，各区間に出向き本計測を行った．また，被験者が区間A，B，Cのデータが使用されることを知っていると，「次の区間では暗くなる」などのような心構えやバイアスが生じ，結果に影響を及ぼすおそれがあるため，被験者には分析に使う区間の位置や計測の目的を教えずに，通常通りの走行をしてもらうよう指示した．

以上の各種計測を終え，最後に，各区間の印象評価および夜間走行に関する安全意識調査を行って実験を終了とする．

(3) 計測方法

a) 走行速度

各区間において，区間内の走行速度を計測した．被験者には，自由走行で走行してもらい，普段通りの走行を心がけてもらった．速度の計測には，Garmin社製のサイクルコンピューターEdge510Jを用い，速度データ（サンプリング周波数：1Hz）を取得した．なお，加速時および減速時の速度を除くため，発進後の5秒，停止前の5秒のデータを除外して平均走行速度を算出した．

b) 注視挙動

nac社製のアイマークレコーダーEMR-9を使用し，図-3に示すように，頭部カメラからの前方映像にプロットされる注視点（右目）のx軸，y軸方向の視線角度を計測した．夜間の測定においては，映像の暗さから何を見ているのかが判定しにくい，頭部の動きによって映像範囲が変動する，などの問題がある．そこで，本研究では，レーザポインタを自転車に設置し，前方路面2mの箇所に照射した点を映像内の基準点とするように視線角度を補正した．

全被験者の計測結果から注視点の分布を把握した．図-4に示すように，水平方向に関しては，基準点より若干左側（$x<0°$）に偏っているが，これは，左側の区画線を見ながら走行している傾向が現れているものと考えられる．次に，鉛直方向については，ハンドル部などを瞬間的に確認するなどの挙動があるものの，基準点よりも上側（$y>0°$）の路面や前方を注視する割合が約97%以上を示した．以上の全体の注視傾向を踏まえ，本研究では，図-3に示すように，基準点を原点とするx，

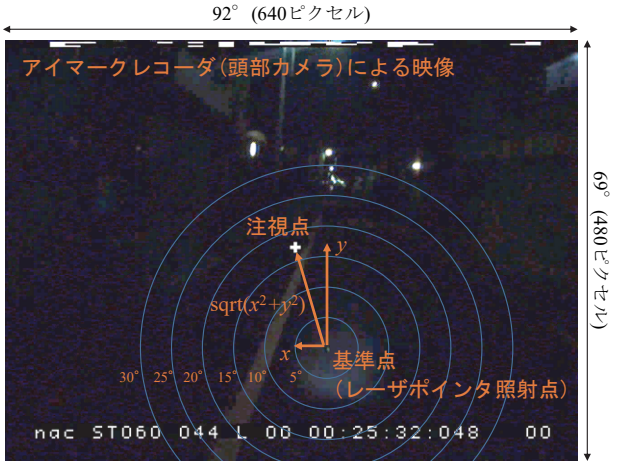

図-3 基準点と注視点の関係

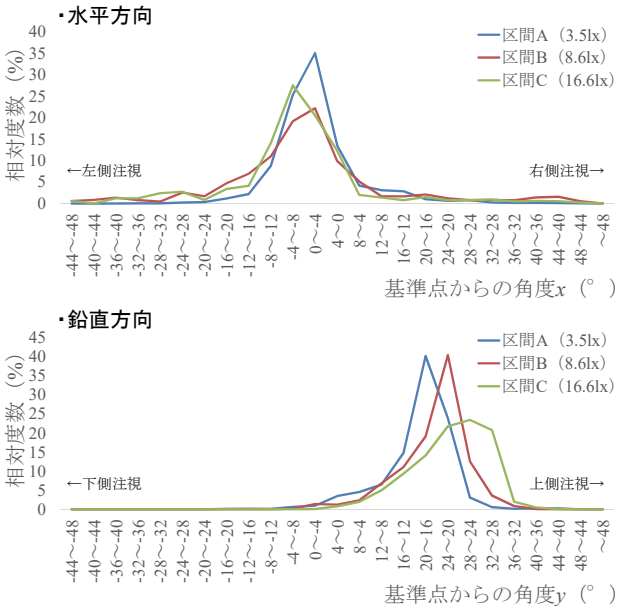

図-4 全被験者の注視点分布

y軸方向の視線角度をそれぞれ2乗して加算した値の平方根（以後，単に視線角度と称する）を求め，この値の区間内平均値を用いて視線低下の度合いを評価（視線角度が小さくなるほど視線が低下）することとした．なお，基準点よりも下（$y<0°$）のデータは，視線低下を意味しないこと，全体の3%程度であることから，以下の分析から除外した．

c) 路上障害物の回避行動

自転車用ドライブレコーダーで前方を撮影し，その映像と音声から路上障害物の回避行動について分析を行った．具体的には，図-2に示したように，障害物の発見を知らせる運転者の発声から回避行動の開始点を，映像から障害物通過点を定め，その2点間の時間を回避に要する時間（以後，回避時間）として求めた．なお，本研究では，障害物のどの程度手前で「回避の動作」が開始できるのかに着目し，認知から動作開始までの

反応時間については考慮していない．

図-2に示したように，障害物の回避が生じるように，被験者には，左側路側帯の右側約20cm付近を走行してもらった．また，障害物に関しては，接触しても被験者が転倒しないよう紙製のものを作成し，先入観の排除のため路面障害物の設置については知らせず，路面障害物を含めて何らかに気づいたら発声するように指示した．

d) 走行区間の印象および夜間走行に関する安全意識

全区間の計測終了後に各区間の印象評価試験および夜間走行に関する安全意識調査を行った．印象評価試験および安全意識調査の概要を表-1に示す．印象評価試験では，当てはまる回答を選択する（複数選択可）．安全意識調査では，昼間を中間の3点として，これを基準に，夜間における意識の度合い（以下，意識スコア）を1から5の5段階で評価する．

表-1　アンケート調査の概要

・走行区間についての印象（複数選択可）

質問項目
明るさが不足していると思う・路面が見にくい・人などの飛び出しが怖い・路上障害物が気になる・速度を抑えた方が良いと思う・照度を上げる必要があると思う

・夜間走行に関する安全意識（昼間を3とする：択一式）

	低い←意識スコア→高
速度の抑制	1・2・3・4・5
早めのブレーキ	1・2・3・4・5
路上障害物	1・2・3・4・5
安全確認	1・2・3・4・5
人などの飛び出し	1・2・3・4・5
前方・側方の状況	1・2・3・4・5
標識・標示の確認	1・2・3・4・5
信号確認	1・2・3・4・5

3. 路面照度と心理評価・走行挙動との関係

(1) 走行空間に対する印象

まずはじめに，走行空間の暗さに対して自転車利用者がどのような印象や評価を有しているのかについて検討した．全被験者の印象評価の結果を図-5に示す．ほぼすべての項目おいて，平均路面照度が低下するほど，回答率が増加することがわかる．そのうち「明るさが不足していると思う」「路面が見えにくい」「照度を上げる必要があると思う」「路上障害物が気になる」は，平均路面照度が3.5lxになると，回答率は8.6lxの場合の倍程度になった．一方，「速度を抑えた方がよい」は，全区間において20%を下回り，多くの人が暗くなっても速度を抑えない傾向にあることがわかった．

以上のように，平均路面照度が3.5lx程度になると，「明るさが不足している」などのような走行空間に対する安心感が大きく低下することが示された．このような心理面だけではなく，照度の低下は実際の走行挙動にも影響すると推測される．以下では，路面照度と走行速度，注視挙動，路上障害物の回避行動との関係について示す．

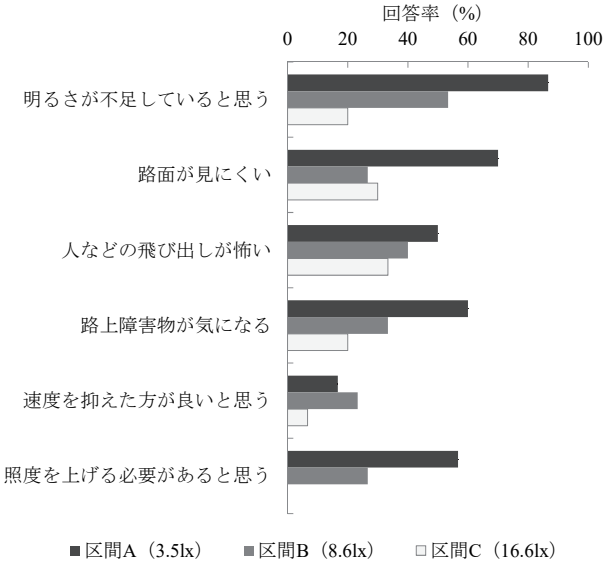

図-5　各区間の印象（全被験者）

(2) 路面照度と走行速度の関係

走行速度については，1名のデータに欠陥があったため，これを除く29名のデータを分析に用いた．被験者別の平均走行速度を図-6に示す．平均走行速度は，個人差が大きいものの，平均路面照度の低下とともに，小さくなる傾向が見られる．そこで，t検定により，これらの有意差について調べた（表-2）．まず，区間で比較すると，区間AとB，AとCでは有意な差が見られ，区間

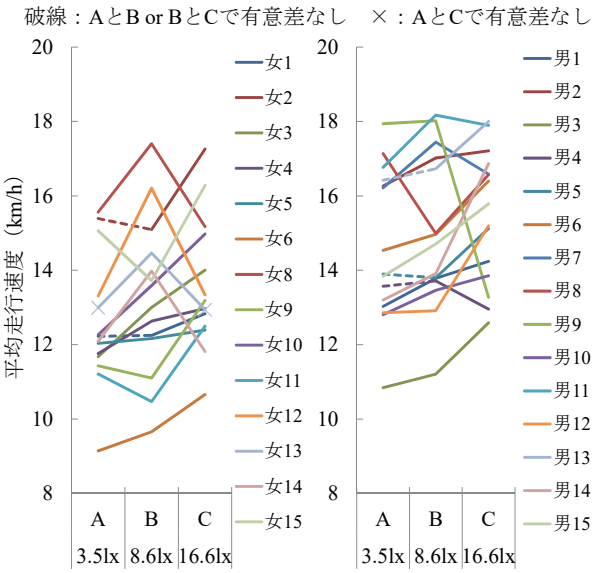

図-6　被験者個人の平均走行速度

表-2　平均走行速度の区間比較

全被験者　n=29		区間A 3.5lx	区間B 8.6lx	区間C 16.6lx
平均値		13.6	14.2	14.6
標準偏差		2.11	2.20	1.97
Aとの差 : p		—	0.5 : 0.009	0.9 : 0.002
Bとの差 : p		—	—	0.4 : 0.209
				※対応のある2群間のt検定
女性 n=14	平均	12.6	13.3	13.6
	標準偏差	1.71	2.06	1.72
男性 n=15	平均	14.6	15.0	15.5
	標準偏差	1.97	1.99	1.72
男女差	差	2.0	1.7	1.9
	p	0.008	0.036	0.008
				※対応のない2群間のt検定

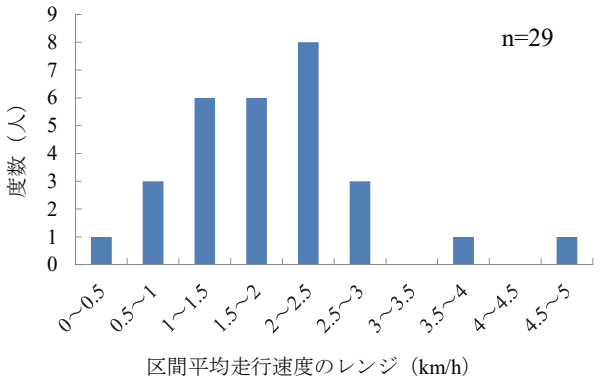

図-7　平均走行速度のレンジ

AではB，Cよりも平均走行速度が小さくなった．また，性差について求めたところ，全区間において有意差が見られ，男性の方が約2km/h大きくなったが，平均路面照度による影響の出方には違いは見られない．

次に，個人内において，3つの区間（平均路面照度）で平均走行速度がどの程度ばらつくのかを確認した．被験者別の平均走行速度のレンジ（3区間の最大値－最小値）を**図-7**に示す．被験者29名中27名はレンジが3km/h以下であるが，残りの2名は3.5km/h以上となった．平均走行速度が大きく異なると，それが注視挙動や回避行動に影響を及ぼしてしまうと考えられることから，走行速度が大きくばらついた上記2名のデータは，以後の分析から除外することとした．

(3)　路面照度と視線角度の関係

アイマークレコーダのデータの信頼性に関して，知花は，頭部カメラの映像から視点が消失する割合（消失率）がおおよそ20%を超えるとデータに問題があると指摘している[17]．そこで，全被験者の計測データから消失率を求めたところ，分析対象の27名中4名の消失率が20%を超えた．したがって，この4名のデータを除外し，残りの23名のデータを用いて視線角度の分析を行った．

被験者23名の各区間の平均視線角度を**図-8**に示す．平均視線角度は，個人差が大きいものの，平均路面照度の低下にしたがって小さくなる傾向が見られる．t検定を行ったところ，**表-3**に示すように，区間BとCでは有意な差はないが，区間AはB，Cよりも有意に小さくなった．性差に関しては，男性においては全体と同様な結果となったが，女性では区間による有意差は見られない．また，男性と女性の間には有意な差は生じなかった．以上のことから，全体としては，平均路面照度が3.5lxまで低下すると，路面手前部の方へ視線が落ち，その傾向は，女性よりも男性の方が強いと言える．なお，視力や反応時間には個人差があるため，グループ間の平均ではなく，照度低下による視線低下の発現率

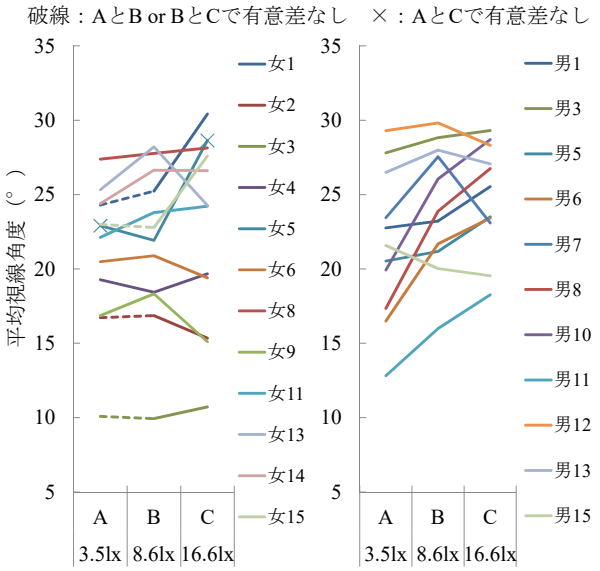

図-8　各被験者の平均視線角度

表-3　平均視線角度の区間比較

全被験者 n=23		区間A 3.5lx	区間B 8.6lx	区間C 16.6lx
平均値		21.4	22.9	23.6
標準偏差		4.67	4.78	5.15
Aとの差 : p		—	1.6 : 0.003	2.3 : 0.004
Bとの差 : p		—	—	0.7 : 0.231
				※対応のある2群間のt検定
女性 n=12	平均	21.1	21.7	22.5
	標準偏差	4.55	5.05	6.08
男性 n=11	平均	21.7	24.2	24.9
	標準偏差	4.78	4.08	3.49
男女差	差	0.6	2.5	2.3
	p	0.768	0.230	0.287
				※対応のない2群間のt検定

（差が生じた被験者の割合）についても検討した．その結果，区間Aと区間Cに有意差があり，かつ区間Aの方が小さい被験者（**図-8**）は，女性で12名中7名（58%），男性で11名中8名（72%）となり，全体で65%以上の被験者で照度低下による視線の低下が生じた．

(4) 路面照度と回避時間の関係

走行時の映像と音声から，路上障害物の回避行動を確認できた被験者は，30名中18名であった．この18名の区間AとCにおける回避時間を**表-4**に示す．なお，同表には，回避行動時の速度データから求めた回避距離も示してある．また，回避できずに接触した場合は0秒とした．全体では，区間Aで約0.3秒，区間Cで約2.9秒となり，有意な差が見られた．性差については，男女ともに，全体と同様な結果となったが，区間Cについては，男性の方が2倍程度大きくなった．個人差はあるが，区間Cでは，回避開始から通過までに約3秒の余裕があるが，区間Aになると，0.5秒以下と著しく短くなる．また，区間AとCについて，被験者毎にどの程度の差が現れたのかを調べた．被験毎の回避時間を**図-9**に示す．区間Cよりも区間Aの方が短くなる被験者は18名中17名（94%）に達しており，3秒（距離に換算すると8m程度）以上短くなるのは約45%を示し，大半の被験者で平均路面照度低下による回避行動の遅れが見られた．

表-4 路上障害物の回避時間・距離

	回避行動時間(s) 区間A 3.5lx	区間C 16.6lx	回避行動距離(m) 区間A 3.5lx	区間C 16.6lx
全体 n=18				
平均値	0.33	2.85	1.20	11.99
標準偏差	0.31	2.63	1.11	11.03
p値	0.001		0.001	
女性 n=9				
平均値	0.41	1.84	1.41	6.89
標準偏差	0.29	1.52	0.97	6.07
p値	0.039		0.044	
男性 n=9				
平均値	0.26	3.86	0.99	17.10
標準偏差	0.31	3.09	1.20	12.42
p値	0.011		0.006	
男女の差 p値	0.318	0.124	0.444	0.059

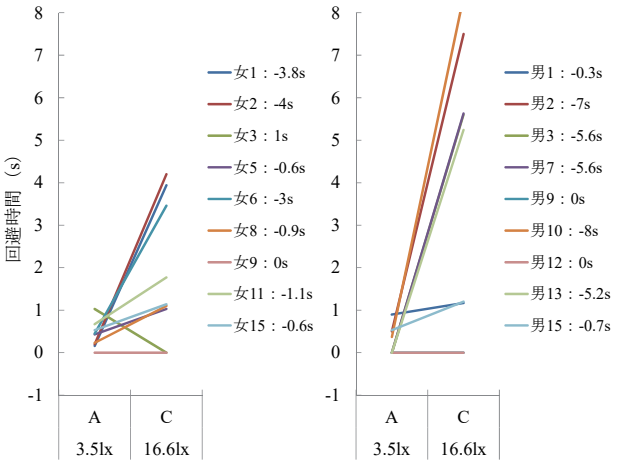

図-9 各被験者の回避時間

4. 考察：個人の安全意識を踏まえて

本章では，夜間走行に対する安全意識と第3章で得られた各種挙動の計測結果との関係について分析するとともに，それらの結果を通して，夜間路面照度が自転車走行挙動に及ぼす影響について考察する．

(1) 安全意識が走行挙動に及ぼす影響

全被験者の意識スコアの集計結果を**図-10**に示す．「安全確認」，「人の飛び出し」，「前方の状況」は，平均スコアが3.5を上回ったことから，特に夜間走行時に意識する項目であると言える．「速度の出しすぎ」，「早めのブレーキ」，「路上障害物」の平均スコアは約3であり昼間と同程度の意識レベルであった．「標識・標示の確認」や「信号の確認」の平均スコアは，約2.5となったことから，夜間においては，このようなサイン類への意識は低下すると言える．

図-10に示したように，意識スコアにはばらつき，すなわち個人差が生じる．そこで，この個人差を考慮して，意識スコアと走行速度および視線角度との関係について検討した．走行速度および視線角度は，区間Cを基準とした区間Aとの差（それぞれ，走行速度低下量および視線角度低下量）とした．なお，ここでは，昼間の走行状況との比較ではなく，単に，夜間走行にどの程度の安全意識を持った人が，夜間に照度が低下するとどのような挙動となるのかを調べる．

その結果，**図-11**に示すように，走行速度低下量と「速度の出しすぎ」，視線角度低下量と「路上障害物」または「人などの飛び出し」の間に関係性が見られた．「速度の出しすぎ」のスコアが高い人ほど，走行速度低下量が大きくなる傾向が見られる．視線角度低下量に関しては，「路上障害物」のスコアを1とした2名のうちの1名は視線角度低下量が大きいが，それを除くと，スコアが高い人ほど視線角度低下量は大きく

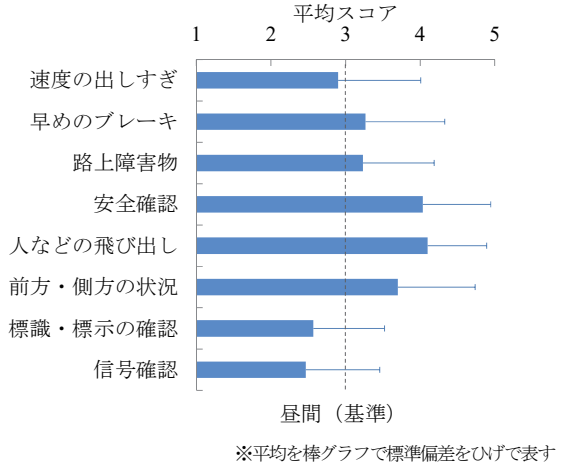

図-10 夜間走行に関する意識スコア（全被験者）

なる．また，「人の飛び出し」のスコアが低い人ほど，視線角度低下量が大きい．

他のアンケート項目に関しては，挙動との関係性が見られなかったが，以上のような項目に関しては，個人の安全意識が実際の走行挙動に影響を及ぼすことがわかった．

(2) 夜間走行時の挙動に関する考察

第3章(2)では，平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると，平均走行速度が低下することがわかり，**図-11**によると，「速度の出しすぎ」の意識スコアが高い人ほどその傾向が強いことが示された．しかし，その速度の平均的な低下は1km/h程度であり，実際に体感してわかるほどの違いがあるとは言い難い．なお，昼間（路面照度はおおよそ10^4～10^5lx）の細街路における自転車の旅行速度は14.7km/hとの報告[7]があることから，平均路面照度が3.5lx程度に低下しても，昼間とほとんど変わらない速度で走行するケースが多いと言える．

次に，第3章(3)では，平均路面照度が3.5lxに低下すると視線が手前の路面部に低下することがわかった．その傾向は「路上障害物」の意識スコアが高い人ほど強く（**図-11**），暗くなるほど，遠方よりも手前側の路面状態を意識する傾向があると言える．さらに，そのような意識が無くても，路面照度が低下すると，ライト照射部と路面とのコントラストが大きくなり，相対的に明るくなる手前路面部に視線が集まることも一因として考えられる．山中らの研究では，昼間を対象として走行実験において，高齢者は若年者よりも路面を見がちになり，危険に対する反応が遅くなると指摘している[18]．夜間においては，路面照度が低下するほど，視線の低下が生じ，そのような危険に対する反応の遅れにつながる．

その「危険」の一つとして，第3章(4)では，路上障害物に着目してその回避実験を行い，平均路面照度が3.5lxに低下すると，回避が著しく遅れることを示した．上述のように，路面照度3.5lxでは，速度が約13km/hと昼間と同程度の速度で走行しており，さらに，視線が路面手前に低下する．このような走行速度で視線が低下することにより，前方から迫る障害物に気付かず，直前での動作開始につながったものと考えられる．

以上を踏まえると，路上障害物の回避という点においては，より明るい走行空間の確保や誘導，もしくは自転車運転者に速度抑制や視線を落とさないといった意識を持たせることが重要となる．なお，走行時の映像を確認したところ，路面照度が小さく回避時間が短くなったケースでは，障害物の直前でハンドルを大きく振る様子が見られた．転倒や接触には至らなかったものの，ヒヤリ・ハットの観点からこのような状況をいかに減らすかが重要となろう．

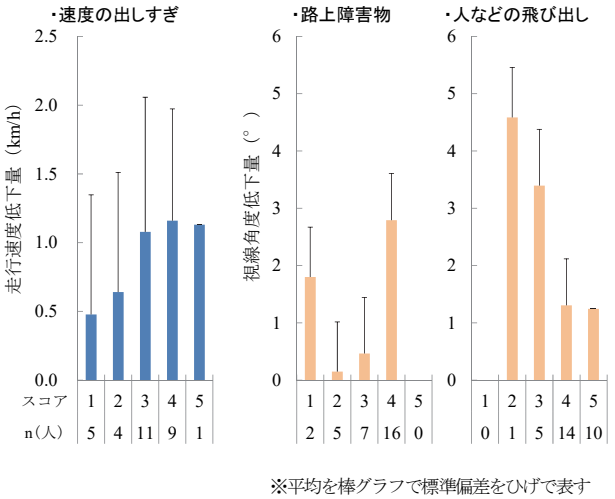

図-11 意識スコアと走行挙動の関係

5. 結論

本研究では，夜間の生活道路において，走行速度，注視挙動，路上障害物の回避行動，走行区間の印象に関する各種計測および夜間走行に関する安全意識調査を行い，路面照度や個人の安全意識が走行時の挙動に与える影響について検討した．得られた結論を以下に示す．

- 走行区間の印象評価を行ったところ，平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると，「明るさが不足していると思う」「路面が見えにくい」「照度を上げる必要があると思う」の回答率が倍増し，60%を上回った．このように，平均路面照度が3.5lxになると，走行空間に対する安心感が大きく低下することが示された．
- 平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると，平均走行速度は有意に低下した．また，「速度の出しすぎ」の意識スコアが高い人ほど路面照度低下に伴う速度低下が見られた．8.6lxと3.5lxの速度差は1km/h程度であり，わずかではあるものの，このような安全意識の高さが，暗い箇所での速度抑制を生じさせると言える．
- 同様に，平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると，平均視線角度は有意に低下した．路面照度が小さくなると，ライト照射部と路面とのコントラストが大きくなり，相対的に明るい箇所に視線が集まることがその要因として考えられる．また，安全意識との関係を調べたところ，「路上障害物」の意識スコアが高い人ほど，路面照度低下に伴う視線角度の低下が見られた．
- 路上障害物の回避時間については，平均路面照度が16.6lxでは動作から回避までに約3秒の余裕があるが，3.5lxでは約0.3秒と短くなり，路上障害物の回避が著しく遅れることがわかった．上述のように，路面照度が小さくなると，路面手前に視線が低下することを示し

たが，その結果として，前方から迫る障害物を見落とし，直前での認知，動作開始となって回避が遅れると考えられる．

以上のように， 学生被験者30名のデータから，平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると，運転者自身による速度抑制が生じるが1km/h程度であること，視線が手前路面部に低下すること，路上障害物の回避が著しく遅れること，そして，安心感が大きく低下すること，が検証された．

日本防災設備協会による「防犯灯の照度基準」では，歩行者の防犯上の観点から「4m先にいる人の挙動がわかる照度としておおむね3lx以上が必要」と言う一定の照度基準が設けられている[5]が，自転車運転者にとっては，人の挙動のみならず，段差や側溝などの道路付属物も含めた路上の障害物も問題であり，自転車の前照灯を使用した（本研究では備え付けのものよりも照度の強い前照灯を使用した）としても3.5lx程度の照度では安全，安心とは言い難い．夜間における安心・安全な自転車走行のためには，視認性の高いサイン類による速度抑制策や道路照明の照度向上策などの検討が必要と思われる．

ただし，本研究では，3段階の照度区分（3.5lx，8.6lx，16.6lx）での実験に留まっているため，現状では，自転車利用者にとって必要な照度がどの程度であるか，すなわち照度基準については議論できない．また，今回は学生に限定した結果であることから，ミスリードを招くことがないように高齢者などを含んだ様々な属性を対象に実験を行う必要がある．今後は，被験者数を増やすとともに照度区分や各種条件（道路種別，前照灯の光量，防犯灯や自動車のライトによる視覚環境の変化，など）をより細分化した実験を行なう予定である．また，今回は，昼間を基準とした夜間走行に関する安全意識と夜間の実際の挙動との関係（**図-11**）を見たが，挙動に関しても昼と夜のデータから議論することも必要と考える．最終的には，自動車や歩行者側からの視点も踏まえた上で，各種の挙動・心理分析を行い，安心・安全な自転車走行環境づくりにつなげたい．

謝辞：東京地下鉄株式会社の城石尚明氏には，実験から解析に渡り多大なる協力を得た．ここに記して感謝の意を表する．

参考文献

1) イタルダ・インフォメーション：特集・自転車事故，1999.(http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info23/info23_1.html) 閲覧日：2013 年 12 月 20 日
2) ITARDA（財）交通事故総合分析センター：イタルダ・インフォメーション，No.88，2011.
3) 一般社団法人 道路新産業開発機構：道路行政セミナーー訴訟事例紹介ー：http://www.hido.or.jp/administration/library/suit_classification.php) 閲覧日：2016 年 2 月 17 日
4) 社団法人日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説，日本道路協会，2007.
5) 日本防犯設備協会：技術標準 SES E 1901（防犯灯の照度基準），2009.
6) 国土交通省道路局，警察庁交通局：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン，2012.
7) 山本彰，小林寛，橋本雄太，上坂克己，岸田真：自転車旅行速度の推定と活用方法に関する提案，土木計画学研究・講演集（CD-ROM），Vo.45，論文番号 269，2012.
8) 斎藤健治，清田勝：プローブ自転車による自転車歩行者道のバリア調査法，土木計画学研究・論文集，Vol.22，No.1，pp.177-182，2005.
9) 浅田拓海，坂本将吾，谷下雅義：自転車のハンドサインに関する意識調査と実走行実験による走行挙動分析，第 33 回交通工学研究発表会発表論文集（研究論文），pp.491-495，2013.
10) 柴田直俊，谷下雅義，鹿島茂：アイマークレーダによる自転車乗車時の視点挙動解析，土木学会第 56 回学術講演会講演概要集，2001.
11) 相知敏行，山中英生，北澗弘康，神田佑亮：自転車走行時の注視分析とサイン種別の評価，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.68，No.5（土木計画学研究・論文集第 29 巻），pp.I_909-I_916，2012.
12) 窪田真哉，梶本豊世，向出篤史，知花弘吉，竹鶴祥夫：直線空間における歩行者の視認性ー夜間における歩行者の視認性に関する研究　その 1ー，日本建築学会学術講演梗概集 E-1，建築計画 1，Vol.2001，pp.759-760，2001.
13) 知花弘吉：夜間の直線空間における歩行者による自転車の視認性，日本建築学会計画系論文集，Vol.572，pp.61-66，2003.
14) 橋本樹，阪田和哉：自転車利用時における街路の暗さの影響に関する研究，第 37 回土木学会関東支部技術研究発表会，IV-12，2010.
15) 塚田由紀，豊福芳典，青木義郎：順応光の明るさが急変したときの視覚特性，交通安全環境研究所報告，Vol.8，pp.31-41，2005.
16) 土屋麻衣，中村芳樹：輝度の時間変化を考慮した視認性に関する研究，日本建築学会 2009 年度大会学術講演梗概集，No. D-1，pp.531-532，2009.
17) 知花弘吉：交差点付近における車イス利用者と健常者の注視特性，日本建築学会計画系論文集，N0.510，pp.155-160，1998.
18) 山中英生，相知敏行，真田純子：自転車走行時の若年者・高齢者の視線特性の比較分析，土木計画学研究・講演集（CD-ROM），Vol.48，論文番号 233，2013.

(2016. 2. 26 受付)

EFFECT OF NIGHTTIME ILLUMINANCE ON BEHAVIOR OF BICYCLE DRIVER—FUNDAMENTAL EXPERIMENT ON COMMUNITY ROAD—

Takumi ASADA and Masayoshi TANISHITA

In this study, we analyzed the relationship between the nighttime illuminance of road surface and cycling behaviors such as driving speed, sight line angle, avoidance time of on-road obstacle. Based on the street experiments of 30 subjects, we found that the angle of sight line lowered when the road surface illuminance declined from 8.6lx to 3.5lx. In addition, when illuminance was 3.5lx, the obstacle avoidance time was reduced to approximately 0.3 seconds. This means that cyclists are hard to avoid the obstacles. Furthermore, the sight line of subjects who have a high awareness of road obstacle decreases when the road surface illuminance decrease.