

# 夜間における路面照度が 自転車走行時の挙動に及ぼす影響

浅田 拓海<sup>1</sup>・谷下 雅義<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 室蘭工業大学助教 建築社会基盤系学科 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

E-mail:asada@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>2</sup>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

夜間の実環境において、被験者30名を対象に、自転車走行時の走行速度、路面手前部からの視線角度、路上障害物の回避行動時間について計測を行い、これらと照度（平均路面照度）および安全意識との関係について分析した。その結果、走行速度および視線角度は平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると有意に小さくなること、回避行動時間は16.6lxでは約2.8秒となるのに対し3.5lxでは約0.3秒となり、路上障害物の発見が著しく遅くなることが分かった。安全意識に関しては、「速度の出しすぎ」、「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い、それぞれ走行速度、視線角度が小さくなり、このような個人の有する安全意識の違いが実際の挙動に影響を与えることがわかった。

**Key Words :** *bicycle, nighttime, luminance, eye fixation, avoidance action, awareness of safety*

## 1. はじめに

近年、我が国では、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、自転車事故は、減少傾向にあるものの、未だ、年間に約15万件発生している。その約9割は対四輪車事故であり、特に、通勤や通学などの時間帯、夕方、夜間に死亡事故の発生が多い<sup>1)</sup>。夜間における交通安全対策としては、道路照明がその重要な役割を担っているが、自転車利用者が安全、快適に走行できる照度設定についてはほとんど検討されていないのが現状である。また、平成24年11月に国土交通省と警視庁が発表した「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」では、走行空間の積極的な整備や利用ルールの徹底などが掲げられているが、夜間利用時の速度抑制や照度設定など具体的な対策については言及はされていない<sup>2)</sup>。現在、自転車利用者の増加、利用目的の多様化が進んでいることから、夜間においても自転車走行の安全性を確保することは極めて重要であり、照度設定や新たなルールづくりなどを検討する必要がある。

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。主なアプローチとしては、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<sup>3)5)</sup>、ア

イマークレコーダを用いた運転者の注視挙動分析<sup>6)7)</sup>などがあり、測定や解析に関する知見も蓄積されているが、これらの研究のほとんどは、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<sup>8)</sup>や知花<sup>9)</sup>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自転車はどう見えるかなどについて検討したものである。自転車運転者の立場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、夜間の自転車走行に関するアンケート調査から「道路状況がよく見えない」と回答した被験者が約90%に達し、「暗さ」は自転車利用に影響を及ぼすことを示唆している<sup>10)</sup>。このように心理学的なアプローチから夜間走行の安全性を評価した事例は幾つか報告されているが、夜間における「暗さ」が走行時の挙動に及ぼす影響について検討した事例はほとんど見受けられない。

夜間における「暗さ」は、その走行環境に対する印象に加え、走行速度、運転者の注視挙動、路上障害物への反応などに影響を与えると考えられる。また、夜間走行に対する安全意識には個人差があり、それによって、上記のような挙動の違いが生じると予想される。このように、個人差を踏まえた上で、暗さによる影響の有無を明らかにし、さらにはどの程度の暗さになれば影響が現れるのか、を把握することができれば、道路照明の照度設定やルールづくりなどに役立つ有用な情報となる。

本研究では、夜間の実環境において、走行速度、運転者の注視挙動、路上障害物の回避行動時間の計測および印象評価試験を行い、これらの結果と暗さとの関係について明らかにする。さらに、夜間走行に対する安全意識に関するアンケート調査を行い、上記のような挙動と安全意識の関係について検討する。

## 2. 方法

夜間の実環境において、自転車の走行速度、運転者の視線角度、路上障害物の回避行動に関する走行実験を実施した。また、実験直後に、走行区間の印象及び夜間走行に対する安全意識についてのアンケート調査を行った。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年秋季（10月～12月）の18時から22時の時間帯に実施した。なお、注視挙動の計測のため、被験者の視力は1以上とした。

### a) 実験環境

本研究では、「暗さ」の指標として、走行区間の平均路面照度（水平面照度）を用いる。実験は、上野駅周辺において、平均路面照度の異なる3つの区間（A、B、C）を設け、区間AとCにおいては、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（図-2）。なお、区間の選定は、景色や幅員構成に大きな違いがないこと、交通量が少ないこと、を条件に行った。

### b) 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。その後、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。十分な休憩をとった後、再度、各区間に出向き本計測を行う。以上の走行実験を終え、最後に、夜間走行に対する安全意識および各区間の印象に関するアンケート調査を行って終了とする。

### c) 計測方法

#### ・走行速度

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。

#### ・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視点（右目）についての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前方映像が変化する、などの問題がある。そこで、本研究では、自転車に設置したレーザポイントの照射光を基準点とするように視線角度を補正した。さらに、x、y軸方向の視線角度をそれぞれ2乗して加算した値の



図-1 実験区間

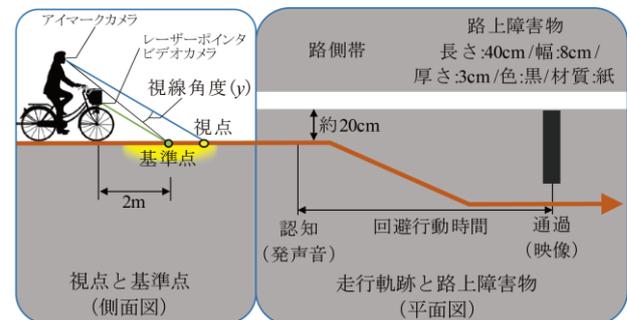


図-2 走行実験の概要

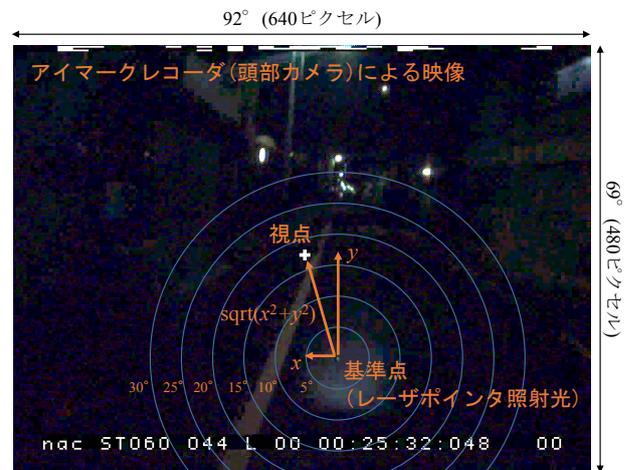


図-3 基準点と視点の関係

平方根（図-3）を求めることで、「視点が路面手前部（基準点）からどの程度離れるか」を定量化した。

#### ・路上障害物の回避行動

高感度ビデオカメラで前方を撮影し、障害物の発見と同時に発声してもらった音声記録とあわせて、障害物の認知から通過までを回避行動とした時間（以下、回避行動時間）を求めた（図-2）。

#### ・走行区間の印象および安全意識

実験終了後に各区間の印象についてのアンケート調査を行った。また、同時にアンケート調査では、「夜

間走行における安全意識」についても質問した。アンケート調査の質問項目を表-1に示す。印象評価では、当てはまる回答を選択する（複数選択可）。安全意識に関しては、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。

#### d) 実験条件

走行速度は自由速度、走行位置は左側路側帯の右側約20cmと指示し、普段通りの走行を心がけてもらった。疲労や目の順応などの影響を考慮して、区間の走行前には5分程度休憩してもらうよう指示した。また、回避行動に関しては、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、音声記録については路面障害物以外のことも含めて何らかに気づいたら発声するように指示した。

プレ実験では、備え付けの前照灯では照度が不足、安全面に問題があったことから、市販のもので最もグレードの高いキャットアイ社製のLEDライトECONOM FORCEに取り替え、約4000cdの強力な光を前方2mの路面（図-2）に照らした状態で計測を行うこととした。

#### e) データの処理

走行速度および視線角度については、区間内の平均値（以下、平均走行速度、平均視線角度）を用いて、平均路面照度との関係を求める。ただし、区間内には、交差点付近やすれ違いによる減加速、停止時のデータも含まれるため、これらのデータは結果に影響を与えるため、映像や速度データをもとに検出し、分析から除外した。

### 3. 平均路面照度が自転車走行時の挙動および印象に及ぼす影響

#### (1) 走行速度への影響

走行速度については、被験者30名のうち1名のデータに欠陥があったため、残りの29名のデータを分析に用いた。個人別の平均走行速度を図-4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。また、男性と女性を比べると、男性の方が概して大きい。そこで、t検定を行って、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AではB、Cよりも平均走行速度が小さくなった。しかしながら、その差は、1km/hにも満たなく、実際に体感して分かるほどの違いとはいえない。なお、山本らの研究では、昼間（細街路）における自転車の旅行速度は14.7km/hと報告している<sup>3)</sup>ことから、区間B、Cのような平均路面照度（8.6～16.6lx）

表-1 アンケート調査の概要

・ 区間についての印象（複数選択可）	
質問項目	1・2・3・4・5
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く思う・照度を上げる必要があると思う	
・ 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

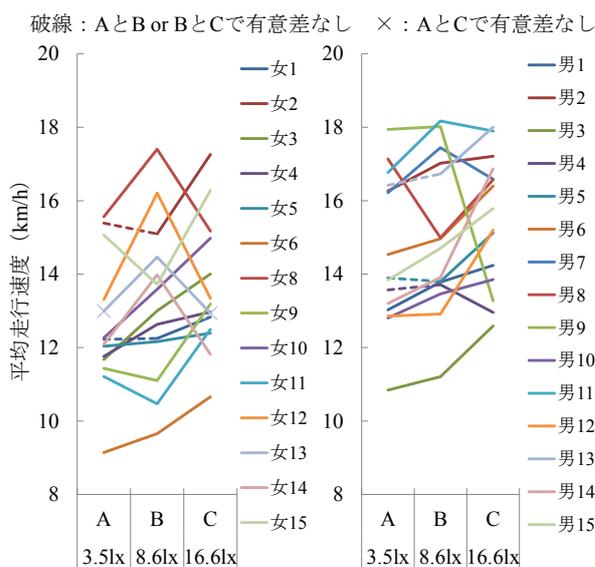


図-4 被験者個人の平均走行速度

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				

では、昼間と同程度の走行速度となると言える。次に、性差については、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かった。

走行速度は、注視挙動や回避行動に影響を及ぼすと考えられることから、個人内において、3つの区間の平均走行速度がどの程度ばらつくのかを確認した。各被

験者の平均走行速度のレンジを図-5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。このように、区間によって平均走行速度が大きくばらついた2名のデータは、以後の注視挙動と回避行動の分析から除外することとした。

## (2) 注視挙動への影響

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<sup>11)</sup>。そこで、計測データから消失率を求めたところ、上記の3名を除く27名中4名の消失率が20%を超えた。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うこととした。

被験者23名の各区間の平均視線角度を図-6に示す。平均視線角度は、個人差が大きいものの、区間Aでは小さく、B、Cになるにつれて大きくなる傾向が見られる。t検定を行ったところ、図-7に示すように、全体で見ると、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。

山中らは、昼間の実空間における自転車走行時の視線特性を分析し、高齢者は若年者よりも路面を見がちになり、視距離が短いため、危険に対する反応が遅くなることを示唆している<sup>12)</sup>。図-3に示したように、視線角度が大きいほど、前方や側方に視線が向き、対向車や交差点からの飛び出しなどに対する反応性が高まるが、逆に小さくなると、手前の路面を見がちになり、上記のような反応性は低下すると考えられる。本研究では、平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下した場合、視線角度が小さくなることを明らかにしたが、それが対向車などに対する反応性にどのように影響を及ぼすのかについては検討できない。これについては今後の課題としたい。

## (3) 回避行動への影響

走行時の映像と音声から、路上障害物を認知し、それを通過する瞬間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における回避行動時間（認知せずに回避できなかった場合は0秒とした）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行動距離も示してある。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。また、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、認知してから通過ま

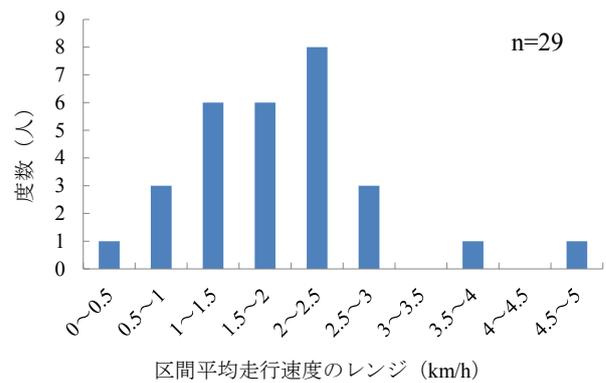


図-5 平均走行速度のレンジ

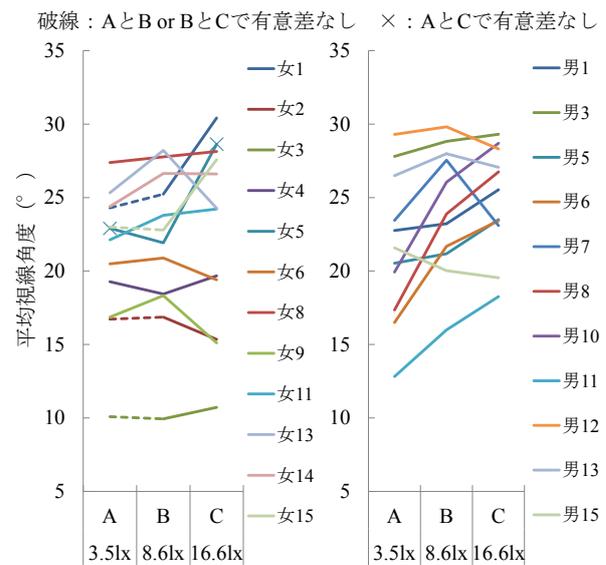


図-6 各被験者の平均視線角度

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	平均	21.1	21.7	22.5
n=12	標準偏差	4.55	5.05	6.08
男性	平均	21.7	24.2	24.9
n=11	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				

で約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。走行時の映像を確認したところ、このような回避行動時間が短い場合は、路面障害物の直前でハンドルを突然大きく振る様子が見られた。

図-2で示したように、平均路面照度が16.6lxから3.5lxになると、平均走行速度は有意に低下するものの、その差は1km/h程度である。それを踏まえると、平均路面照度が3.5lx程度の区間において路上障害物に対する安全

対策としては、道路照明の照度の向上に加え、速度抑制の注意喚起や経路誘導などが有効であると考えられる。照度が大きい前照灯の購入やハイビーム化も有効であろう。ただし、それは、今回用いた市販のハイグレードの前照灯より照度が大きいものを利用することとなるが、その有効性ととも、対向車への迷惑など他者への影響について検証を行う必要がある。

#### (4) 走行区間に対する印象

実験終了後に行ったアンケート調査では、走行区間の印象について全被験者30名に聞いている。図-8に示すように、「街灯の明るさが不足していると思う」「路面が見えにくい」「街灯の明るさを上げるべき」の回答率は、区間Aが最も高く、区間Bの倍程度になった。その一方で、「速度を抑えた方がよい」は、全区間において20%を下回った。以上のことから、区間Aのような平均路面照度(3.5lx)に対して、「明るさが足りなく、路面が見えにくいと感じているが、速度を抑えようと思わない」人が多いと言える。したがって、暗い道では速度を抑えることへの意識の改善、注意喚起は極めて重要と考えられる。

### 4. 個人の安全意識が走行時の挙動に与える影響

自転車走行時の挙動は、個人が有する安全意識に起因すると考えられる。そこで、夜間走行に対する安全意識に関するアンケート調査で得られた結果を基に、意識スコアと各挙動との関係について分析した。

まず、全被験者の意識スコアの集計結果を図-8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、夜間では、このようなサイン類への意識は低下すると言える。

図-8に示したように、意識スコアにはばらつきが生じる。そこで、そのような個人差を考慮して、意識スコア別に走行速度および視線角度の平均値を求めた。なお、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、これらとアンケート項目の「速度の出しすぎ」および「路上障害物」との関係について検討した。図-9に示すように、「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。特に、スコアが3以上の被験者に関しては、その傾向が強いことから、平均路面照度が16.6lxから

表-4 路上障害物の回避行動時間

	回避行動時間(s)		回避行動距離(m)	
	区間A	区間C	区間A	区間C
全体 n=18	3.5lx	16.6lx	3.5lx	16.6lx
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

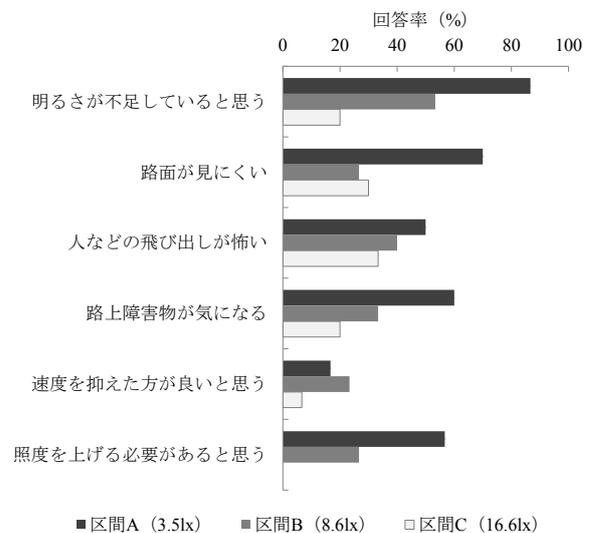


図-7 各区間の印象 (全被験者)

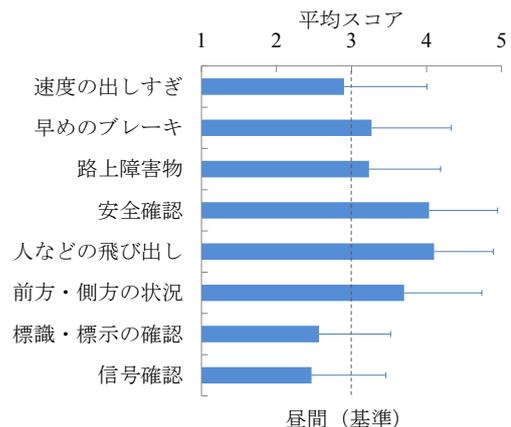


図-8 夜間走行に関する意識スコア (全被験者)

3.5lxまで低下すると、1km/h程度ではあるが走行速度の抑制が生じる。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きわめて大きい、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なる。したがって、

夜間において路上障害物への意識が高い人は、3.5lx程度の平均路面照度になると、視線が手前の路面側を向くようになると言える。

以上のように、個人が有する安全意識と実際の走行時の挙動について、一定の関係性が見られた。しかしながら、ばらつきが大きく、逆の関係性を示す被験者も存在する。夜間走行の安全対策を効果的なものとするためには、上記のような意識と実際の挙動のギャップを十分に加味することが重要である。今後は、そのような点について、より詳細なデータを揃えて検討したい。

## 5. 結論

本研究では、夜間の実環境において、走行速度、視線角度、回避行動に関する走行実験および走行区間の印象評価試験を行い、照度や個人の有する安全意識がこれら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。

- 平均路面照度が8.6lxから3.5lxに低下すると、平均走行速度および平均視線角度が有意に低下する。平均視線角度の低下については、女性よりも男性の方が、平均路面照度による影響が大きい。
- 路上障害物の回避行動時間については、16.6lxの区間では認知から回避までに約3秒の余裕があるが、3.5lxの区間では0.5秒ときわめて短くなり、障害物の直前で急かつ大きなハンドル操作を行う人が多いことがわかった。
- 走行後に各区間の印象を被験者に聞いたところ、「街灯の明るさが不足していると思う」「路面が見えにくい」「街灯の明るさを上げるべき」の回答率は、3.5lxの区間が最も高く、8.6lxの区間の倍程度となった。その一方で、「速度を抑えた方がよい」は、全区間において20%を下回った。
- 夜間走行に対する安全意識と実際の走行時の挙動の関係について検討した。「速度の出しすぎ」「路上障害物」への意識スコアが高い人ほど、平均路面照度の低下による平均走行速度および平均視線角度の低下が大きくなった。

本研究では、30人のデータから、平均路面照度が3.5lxになると自転車走行時の挙動に影響が生じることを明らかにしたが、この照度が設計値として適切かどうかについては議論できない。今後は、一人あたりの計測回数を増やし、走行時の挙動の詳細な分析、個人内変動、視線角度の低下が及ぼす影響などについて検討するとともに、高齢者や子供の特性などについても考えたい。さらに、自動車や歩行者側からの視点も踏

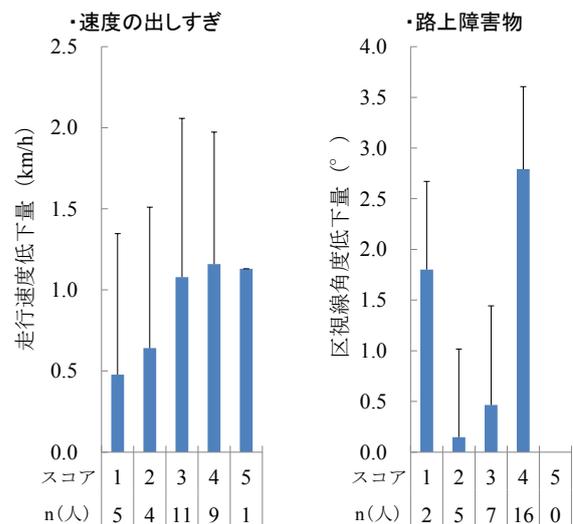


図-9 意識スコアと挙動の関係

まえた上で、夜間の各種照度設定や安全な自転車走行環境づくりについて検討したい。

**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。

## 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](http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info23/info23_1.html)) 閲覧日：2013年12月20日
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 齊藤健治，清田勝：プロップ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。
- 5) 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。
- 6) 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支店挙動解析，土木学会第56回学術講演会講演概要集，2001。
- 7) 相知敏行，山中英生，北瀬弘康，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），I\_909-I\_916，2012。
- 8) 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－夜間における歩行者の視認性に関する研究 その1－，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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- (2014.●●● 受付)

## EFFECT OF NIGHTTIME ILLUMINANCE ON BEHAVIOR OF BICYCLE DRIVER

Takumi ASADA and Masayoshi TANISHITA

In this study, we analyzed for the relationship between the nighttime road surface illuminance and behavior of bicycle driver (driving speed, visual line angle, avoidance action time).

As a result, the driving speed and visual line angle are reduced significantly by the road surface illuminance is reduced to 3.5 from 8.6lx. In addition, avoidance action time is reduced to approximately 0.3 seconds illuminance becomes 3.5lx, the perception of road obstacle is very slow. Furthermore, we conducted a survey of safety awareness on nighttime bicycle driving, it was found that the driving speed and visual line angle of the actual are reduced more the subject is large awareness of "speed" and "road obstacle"