

走行環境に着目した 安全面からの適切な評価指標に関する研究

割田 博¹・高島 知之²・深井 靖史³・福島 賢一⁴・山下 賢一郎⁵

¹正会員 首都高速道路株式会社 神奈川管理局（神奈川県横浜市神奈川区東神奈川1-3-4）
E-mail:h.warita1116@shutoko.jp

²正会員 首都高速道路株式会社 西東京管理局（東京都千代田区平河町2-16-3）
E-mail:t.takashima88@shutoko.jp

³正会員 株式会社福山コンサルタント 東日本事業部（東京都江東区亀戸2-25-14立花アネックスビル）
E-mail:y-fukai@fukuyamaconsul.co.jp

⁴E-mail:k.fukushima@fukuyamaconsul.co.jp

⁵E-mail:k.yamashita@fukuyamaconsul.co.jp

運転者は、周辺車両や幾何構造のみならず、標識・看板、可変情報板や周辺の景色等、様々な情報を処理しつつ車を操作している。また、最近では前車追従やクルーズコントロール等の運転負荷軽減に資する機能等が実用化されている。一方、「漫然運転」による事故が散見されるものの、このメカニズムに関する分析は殆ど見られない。このような状況下、本研究では「適度な負荷」に対する分析の足掛かりとして、まずは「漫然運転」に陥るメカニズム（走行環境と「漫然運転」の関連性）について着目し、道路構造とドライバーの心拍数、視認性についてアイカメラと心拍計を用いて調査を行った。その結果、道路構造と心拍数について一定の関係がある結果を得た。

Key Words : *rambling drive, Heart rate, Visibility, driving environment, road safety*

1. 研究の背景と目的

首都高速道路の利用台数は110万台/日を超え、我が国の経済産業活動の基盤として大きな役割を果たしている。しかし、既成市街地という限られたスペースの中で公共用地（一般道路、運河、河川等）を活用しながら建設されてきたため、他の高速道路とは異なりカーブ部や分合流部が多い構造的特徴を有する。このように構造的条件が厳しい箇所は、交通事故多発箇所となっている¹⁾。その一方で、交通事故は、直線部などの構造的条件が厳しくない箇所においても発生しており、交通事故の発生には道路構造条件のみでは決定されない要因が存在していると想定される。

ドライバーの運転行動や意思決定は、一般的に「認知」「判断」「操作」の繰り返しによって行われている²⁾が、まず「認知」が正しく行われなければ、その情報を基に行われる「判断」、「操作」は適切に行われないため、走行安全上は「認知」の段階が最も重要となる。実際に、交通死亡事故の発生原因は、人的要因別に見ると、大半が「発見の遅れ」によるものとの報告がなされており³⁾、この「発見の遅れ」はまさに「認知」段階のエラーといえる。また、法令違反別の要

因を見ると、意識や注意力が低下傾向にある「漫然運転」の割合が最も高く⁴⁾、「発見の遅れ」に繋がる主要因として想定されるため、今後は、「漫然運転」防止対策の確立が望まれる。

このような「漫然運転」は、走行時間帯や体調等のドライバー側の要因と、道路構造条件や沿道状況、交通量、情報量等の走行環境側の要因とが複雑に絡み合っていると考えられる。

近年、ドライバーの運転負荷軽減を目的とした運転支援システムの導入や関連研究が進んでいるが、人間にはリスク恒常性維持の傾向があるとの指摘がなされている⁵⁾ように、過度な運転負荷軽減は、ドライバーを漫然状態へと誘導する可能性が高くなるとも考えられる。これは、走行環境側から見ても同様であり、特に注意すべき対象物が無く、比較的安全的な走行環境が長時間続くと、「漫然運転」へと陥りやすいと考えられる。

これらを踏まえると、「漫然運転」に陥らないためには「適度な緊張感」が必要と考えられ、また、その「適度な緊張感」をもたらすための「良好な走行環境」が存在すると想像される。よって、道路サービスを提供する立場としては、この「良好な走行環境」を見出すことが、「漫然運転」防止対策を考えていく上で極めて重要であ

ると認識している。そのためには、まず「漫然運転」と走行環境との関連性に関する知見を得ることが有効であると考えている。

既往研究等を見ると、「漫然運転」検知に関する研究や技術開発は積極的になされており、ドライバーの状態を推定する指標としては、脳波や心拍、発汗、体温、眼球運動などの生理的な指標を用いることが有効であるとされている⁹⁾。しかしながら、「漫然運転」そのものを引き起こす要因に関する研究はほとんど行われていない。

よって、本研究では、首都高速道路上の交通安全にとって、「漫然運転」を生じさせないための“適度な走行環境”を実現する要因とは何か、それを評価する適切な指標は何かを今後見極めていくために、その足がかりとして「適度な眼球運動」「適度なストレス」に着目し、比較的容易に計測可能な「視認状況」と「心拍数」について、アイマークカメラ及び心拍計を用いた走行実験により把握を試みた。また、走行環境要因として、首都高速道路の道路構造や視対象物を取り上げ、実験により得られた「視認状況」や「心拍数」との関係性について一考察を試みた。

2. 走行実験の概要

(1) 取得データと取得方法

注視状況、心理的負荷、車両挙動を把握するための定量的指標として、主として注視時間、心拍数、前後加速度の詳細なデータを収集した。

走行中における「視認状況」については、NAC社製のアイマークレコーダー（EMR-8）（図-1）を用いて把握をおこなった。この機器では、ドライバーの額中心に装着した小型カメラ（図-2）によって、常に真正面の映像が映し出され、注視点はこの真正面の映像にドットとして表示される。本調査では、この注視点（ドット）が映し出された映像を録画し、目視により0.5秒ピッチで視対象を読み取った上で、各視対象に対する注視時間を集計した。なお、読み取りを行う視対象については、表-1に示す20項目とした。

また、走行中の心拍数については、CASIO社製の時計型心拍計を装着した状態で走行し、心拍数が表示されるディスプレイをビデオカメラで常時撮影し、撮影映像から0.5秒ピッチで目視により読み取った。なお、通常時の心拍数については、座位安静時に計測している。なお、これまでの研究成果を見ると、運転中の心理的負担を計測する指標としては、一般的に心拍間隔（RRI）が用いられているが、計測機器が高価であることなどから、本研究では、比較的安価な上記時計型心拍計をもとに計測される心拍数を指標として用いることとした。

速度および加速度については、データ・テック社製の

車両挙動センサー（セーフティレコーダー、以下SR）を試験車両に搭載し収集した。なお、このSRは、機器内部に加速度計およびGPSセンサーを装備したデータ収集装置であり、試験車両のシガレット電源（直流12V）で稼動する。1秒ピッチの加速度が計測され、メモリースティックにその情報を蓄積することができる。



図-1 アイマークカメラ機材(NAC製)

図-2 アイマークカメラ装着状況

表-1 視対象項目一覧

コードNo.	視対象項目	コードNo.	視対象項目
1	前面(通常状態)	11	壁面・中央分離帯など
2	路面	12	柱・街灯など
3	前方車両	13	その他構造物
4	追越車両	14	バックミラー
5	案内標識	15	右サイドミラー
6	規制標識	16	左サイドミラー
7	文字情報板	17	メーター
8	横断幕	18	カーナビ
9	その他看板類	19	景色
10	路面表示	20	欠損・不明



図-3 時計型心拍計



図-4 セーフティレコーダー(データテック製)

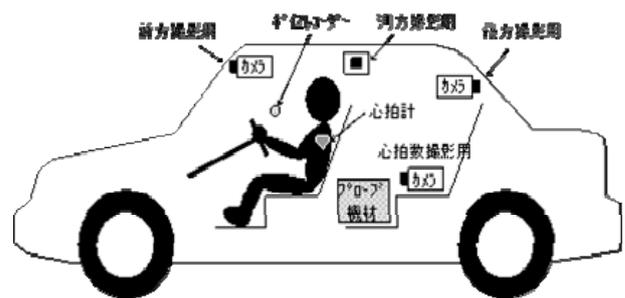


図-5 各種計測機材の設置イメージ

(2) 走行日時等

本実験は、平成23年5月14日（土）および5月15日（日）の2日間で実施した。走行安全性や走行環境の統一を図るため、本実験は昼間（7:00～17:00）に実施した。また、各被験者の走行時間帯については、一般的に人間の心拍数は時間変動を生じていることから、この時間変動の影響を極力小さくするため、各被験者の走行は、2日間とも同一時間帯とした。なお、天候については両日とも終日晴天であった。

(3) 走行ルート

本研究では、首都高速道路神奈川1号横羽線下り（ルートA）、高速湾岸線東行き（ルートB）の各々約20kmの実験ルートを設定した。神奈川1号横羽線は、片側2車線の路線であり、入口合流部7箇所、JCT合流部1箇所、出口分岐部8箇所、JCT分岐部2箇所が存在し、比較的カーブ区間の多いルートである。

一方、高速湾岸線は、片側3車線の路線であり、入口合流部1箇所、JCT合流部4箇所、出口分岐部3箇所、JCT分岐部3箇所と1号横羽線に比べ合流部が少なく、比較的平坦かつ直線区間が大半を占めるルートである。

表-2には、各ルートの道路構造条件等の特徴を示す。なお、緩カーブ部と急カーブ部の線引きは、道路構造令において曲線部の拡幅が必要となる曲率半径の下限値：280を閾値とし、緩勾配と急勾配の線引きに際しては、道路構造令における各ルートの設計速度に応じた勾配の上限値を閾値として分類している。

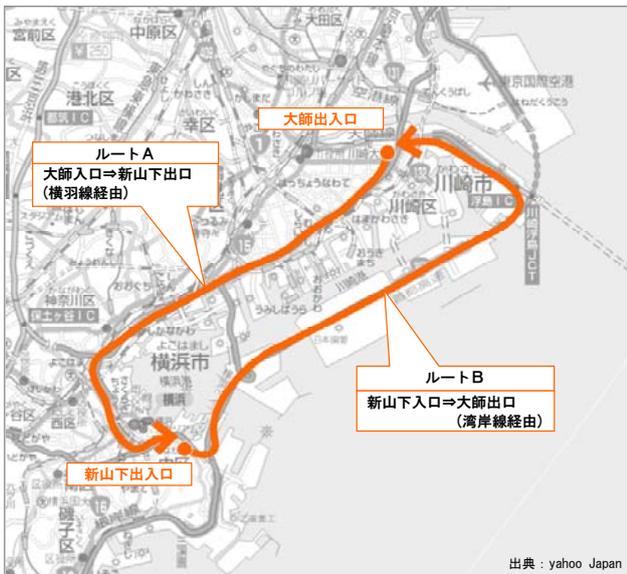


図-6 走行実験ルート図

表-2 走行実験ルートの道路構造条件

ルート	車線数	幅員(m)	総延長	延長(km)				分岔箇所			
				平面線形別	縦断線形別	合流部	分流部				
				緩カーブ r ≥ 280	急カーブ r < 280	平坦 i = 0%	緩勾配 i ≤ 3%	急勾配 i > 3%			
横羽線	2	8.25	19.5	10.1	9.7	2.7	1.3	18.3	1.9	8	10
湾岸線	3	13.50 ~14.25	20.3	19.1	1.2	0.0	0.7	17.8	1.8	5	6
				94.1%	5.9%	0.0%	3.4%	87.7%	8.9%		

r : 曲率半径 i : 縦断勾配

(4) 被験者

被験者は計4名である。被験者は全て40歳前後の男性で、運転経験は豊富（免許取得20年前後）であるが、首都高速道路の利用頻度は比較的少なく（月1回程度以下）、実験ルートの走行は今回が初めてである。上述のとおり、本研究では、年齢や性別、利用頻度等についてある程度統一を図った。これは、走行中の注視状況が、外的条件（天候、時間帯、道路構造、交通状況など）だけでなく、ドライバーの内的条件（年齢、性別、運転経験、利用頻度、健康状態など）によっても大きく異なることが予想され、本研究では、あくまで外的条件との関連性を明確にすることを主目的としたためである。

(5) その他の条件

被験者には事前に出発地点と目的地点および主要な経由地点のみを伝え、カーナビについては、地図情報の表示のみ認め、ナビゲーションシステムの使用は禁止した。

3. 分析概要

(1) データ整理

実験により得られた各種データ（加速度、速度、注視点、心拍数）、各ルートの道路構造条件（縦断線形勾配、曲率半径、トンネル部か否か）、走行位置（キロポスト：100mピッチ）について、時系列に整理を行った。

なお、道路構造条件については、首都高速道路柵所管の線形台帳を基に整理を行い、また、キロポスト位置については、走行実験において試験車両側方に設置したビデオカメラ映像から、目視により読み取った。

(2) 心拍数の状況

まず、走行環境の変化が心拍数にどのような影響を与えているのかを把握するため、心拍数の変化と道路構造条件や注視状況との関連性について分析を行った。

a) 心拍数への影響要因

まず、被説明変数として心拍数、説明変数を縦断勾配、曲率半径、注視点、明暗とし、重回帰分析を行った。

図-7および表-3には、被験者別、走行ルート別の標準偏回帰係数を示しており、以下の点が読み取れる。

- 被験者やルートによって標準偏回帰係数の値はまちまちである。
- 明暗（トンネル部か否か）および縦断線形勾配の標準偏回帰係数は、各被験者、各ルートとも他の影響要因に比べ大きく、心拍数との関連性が大きかった。
- 一方、注視点（何をみているか）については、標準偏回帰係数が極めて小さく、心拍数との関連性はほとんど見られなかった。

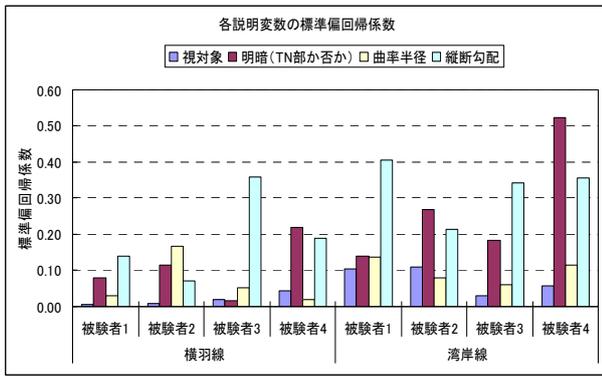


図-7 各説明変数の標準偏回帰係数

表-3 各説明変数の標準偏回帰係数

	横羽線				湾岸線			
	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4
視対象	0.0054	-0.0084	0.0203	-0.0447	-0.1054	-0.1103	-0.0293	-0.0575
明暗 (TN部か否か)	-0.0801	0.1139	0.0162	-0.2204	0.1389	0.2695	0.1841	0.5221
曲率半径	-0.0297	-0.1677	-0.0513	-0.0199	0.1360	-0.0784	0.0606	-0.1141
縦断勾配	0.1398	0.0716	-0.3591	0.1896	0.4057	0.2131	0.3429	0.3571

b) 道路構造別の平均心拍数

図-8には、被験者別、ルート別、道路構造別の平均心拍数を示す。これより、明らかになった点を以下に示す。

- 各被験者とも、ルートAに比べ、ルートBの方が心拍数が低くなっており、両ルートの道路構造や周辺環境など、走行環境の違いが心拍数に大きな影響を及ぼしていることが窺える。
- 各ルートについて、道路構造による心拍数の変化を見てみると、ルートAでは、各被験者とも直線部および平坦部の平均心拍数が最も高く、一方、ルートBでは、急カーブ部、急勾配部の平均心拍数が高くなっており、両ルート間で道路構造が心拍数に与える影響の傾向が大きく異なっている。
- これは、心拍数の変化が道路構造だけで決定しないことを示唆していると考えられ、交通量や走行速度等の交通条件が影響している可能性も考えられる。

(2) 注視時間の状況

各被験者の走行中の注視割合について整理を行った。ここで、注視割合とは、走行時間に対する任意の視対象物の注視時間の割合であり、また、注視時間とは、アイマークカメラの映像から読み取った、ある視対象物を継続的に注視した時間である。

図-9は、各被験者のルート別の注視割合を示したものである。これにより、以下の点が明らかとなった。

- 「前方」の注視割合はルートAの方が高くなっている。これは、ルートBに比べ、平面線形および縦断線形が大きく、車線数も少ないことなどの道路構造上の理由によるものと考えられる。

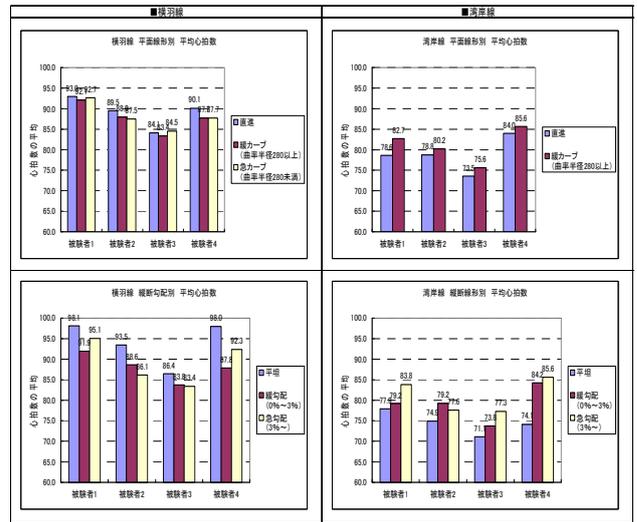


図-8 道路構造別の平均心拍数

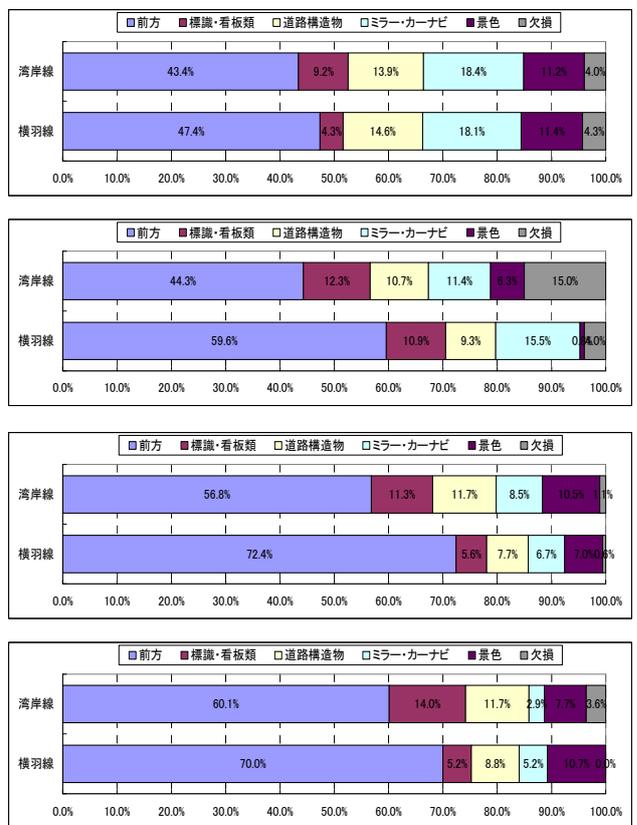


図-9 各被験者のルート別注視割合の比較

- 一方で、「標識・看板類」や「道路構造物」、「ミラー・カーナビ類」の注視割合は、ルートBの方が高くなっている。なお、被験者No.3については、上記の傾向は見えづらいが、これは他の被験者に比べデータの欠損の割合が多かったためと考えられる。
- また、「景色」については、平坦かつ直線区間が大半を占め、海に面し見晴らしも良いルートBの方が、注視割合が高くなると思われていたが、結果的にはルートAと大きな差は認められず、被験者によっては、ルートAの方が高い状況にある。

4. まとめ

本研究では、漫然状態と示す指標として、「視認状況」と「心拍数」を、走行環境としては、「道路構造条件」と「情報量（案内標識等）」に着目し、それぞれの関連性について分析を行ったところ、以下の点が明らかとなった。

- ① 走行中の心拍数の変化に道路構造条件等の走行環境がどの程度影響しているかについて分析を行ったところ、各被験者、各ルートともに概ね同じような傾向が見られ、明暗（トンネル部か否か）および縦断線形勾配の影響が比較的大きく、注視点（何を見ているか）については、関連性はほとんど見られなかった。
- ② また、道路構造条件毎に分類し、平均心拍数の違いを分析したところ、各被験者とも、直線区間が大半を占め、比較的縦断線形勾配も緩やかなルートBの方が、ルートAに比べ心拍数が低くなっており、走行環境の違いが心拍数に大きな影響を及ぼしていることが窺えた。また、ルートAでは、各被験者とも直線部および平坦部の心拍数が高いが、ルートBでは、急カーブ部、急勾配部の心拍数が高くなる傾向にあり、道路構造条件以外の要因（交通量や走行速度など）が影響している可能性があることが分かった。
- ③ また、運転中の視認状況について、視対象ごとの視認割合を分析したところ、被験者によってその割合は大きく異なるが、走行ルートの違いによる変化については、各被験者とも概ね同じような傾向が窺えた。「前方」の注視割合については、ルートAの方が高くなり、一方で、「標識・看板類」や「道路構造物」、「ミラー・カーナビ類」については、「前方」とは逆の傾向が見られた。また、「景色」については、両ルートに大きな差は見られなかった。

5. 今後の課題

本研究では、「漫然運転」の発生要因に関する知見を得るため、ドライバーの状態と走行環境要因との関連性について分析を行ったが、ここで取り上げた走行環境要因はごく一部に過ぎず、また、ドライバー側の要因については言及していない。

今後“適度な緊張感”を保持しうる“良好な走行環境”の実現を目指すためには、以下の点に留意し、引き続き「漫然運転」の発生要因やメカニズムに関する知見をより深めていく必要がある。

- ・ 走行環境側の要因として、道路構造や案内標識などの情報量を取り挙げたが、その他、ドライバーに心理的な影響を及ぼしていると考えられる周辺の交通状況（大型車交通量、走行速度など）や沿道状況等についても、心拍数等のドライバーの状態を説明しうる適切な指標との関連性について分析を行う必要がある。
- ・ 漫然状態を示す指標としては、「心拍数」と「注視状況」を取り挙げたが、既往研究等によれば、脳波や発汗、体温なども人間の心理状態を示す指標として有効であるとされている。今後はこれらの指標についても走行環境との関連性を分析し、運転時の漫然状態を説明しうる指標か否か検討する必要がある。
- ・ 本研究で分析したサンプル数（被験者数×走行ルート）は、8サンプルと少なく、分析結果についても信頼性に乏しい。今後は、上記の分析を行っていくためには、走行環境や被験者属性のバリエーションを増やし、各種データを蓄積していく必要がある。
- ・ 走行中における“適度な緊張感”を上記のような計測可能な指標で示すことができたとしても、その指標がどの程度であれば“適度な緊張感”といえるかが明確でなければ、判断材料として用いることはできず、“良好な走行環境”を見出すことはできない。今後は、“適度な緊張感”の定義に関する知見を深めていく必要がある。
- ・ “適度な緊張感”を保持しうる“良好な走行環境”を見出す最大の目的は、走行安全性の確保である。これは、走行中の心理状態が交通事故と密接に関連していることを前提としているが、これはあくまで想定であり、根拠に基づくものではない。本研究の目的を裏付けるためにも、交通事故の発生状況と心理状況との関連性について分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 首都高速道路株式会社 HP : <http://www.shutoko.jp/>
- 2) 稲垣：状況・意図理解によるリスクの発見と回避，ヒューマンインタフェース学会研究報告集，Vol.7，No.1，pp.13-18，2005
- 3) 田久保：交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察，IATSS Review，Vol.30，No.3，pp.23-32，2005
- 4) 警察庁交通局：平成 22 年中の交通事故の発生状況，pp.32，2011
- 5) Wild, G.J.S. : Risk homeostasis theory and traffic accidents; Ergonomics, Vol.31, No.4, pp.441-468, 1988
- 6) 柳平雅俊，他：運転状態推定技術の開発-心拍解析による眠気状態の検出，PIONEER R&D Vol.13, No.2, pp.75-82, 2003

(2011.8.5 受付)