

都市高速道路曲線区間における運転者の 注視挙動と運転特性

古市朋輝¹・門間健²・岩崎征人³

¹正会員 博士(工) オリエンタルコンサルタンツ (〒213-0011 神奈川県川崎市高津区久本3-5-7)

²正会員 工修 安田倉庫株式会社 (〒108-0022 東京都港区海岸3-23-19)

³正会員 工博 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail: miwasaki@sc.musashi-tech.ac.jp

本研究は首都高速道路曲線区間における運転者の注視挙動と車両の制御挙動とについて述べている。都市高速道路の曲線区間には事故率の高い区間がある。交通事故は運転者のヒューマンエラーが主要な要因の一つである。本研究はこのような運転者のヒューマンエラー発生要因を分析するために、首都高速道路の曲線区間を含むいくつかの路線で走行実験を実施した。実験結果から得られた運転者の眼球運動、曲線部での車両の遠心加速度および曲線線形を含む道路環境とを関連付けて、運転者のヒューマンエラー発生原因について考察を加えている。分析の結果、曲線区間の危険度を運転者の注視挙動と関連付けて評価するモデルを提案することができた。

Key Words: human factor, eye movement, driving behavior, curve passage, highway alignment and running car experiment

1. はじめに

交通事故は稀にしか起こらない交通現象である。交通事故は運転者の錯視や錯覚などに起因する車両の制御エラー（速度制御や進路制御上の誤りなど）が同時あるいは連続して発生した結果おこる現象である¹⁾²⁾。1つのエラーだけで事故になることは稀である。これは、運転時に時々刻々起こる「知覚-判断-反応」の認知過程の中には、各段階で事故回避のための経路がある³⁾⁴⁾ためである。

本研究では交通事故の引き金になるヒューマンエラー発生にかかわる運転者の眼球運動と運転者の車両制御行動（速度と操舵の制御）とに着目した。走行中の車両制御に関する運転行為（アクセル、操舵および制動など）の定量的指標（速度、加速度、ブレーキ踏み量、および操舵角度など）は、運転者が感覚器官から入手したさまざまな情報を処理したあとの出力であり、上述のような認知過程を経た結果である。この過程の中で、運転者は時として錯視あるいは錯覚などのエラーを起こすことがある。

このような観点に立って、本研究では「運転者の眼球運動」、「道路線形」および「運転者の速度および操舵制御」の三者を関連させて捉えることを試みている。

この目的を達成するために、本研究では首都高速道路

上の曲線区間を含むいくつかの道路区間において走行実験を行った。首都高速道路は自由流状態において比較的速度の高い交通流が出現している。一方で曲線部の線形が厳しいため運転者の負荷は大きく、ヒューマンエラーの発生しやすい道路である。この実験から得られたデータを用いて、曲線区間における運転者の注視挙動、運転挙動および道路線形との関係について分析した。具体的には、曲線区間通過時に発生する遠心加速度とその時の運転者の注視挙動との関係を分析した。その上で曲線区間における交通事故発生要因である運転者のヒューマンエラーの発生機構についての説明論理を構築している。

本研究で想定する交通事故は、主に自由流領域で発生する車両単独事故（施設接触、横転など）である。走行中の運転者は、主として、道路および沿道環境と周囲を走行する他の車両によって自車の速度を制御している。自由流領域では他車の影響は低下することになるので、運転挙動への影響は道路線形や沿道の景観などに絞ることが可能である。このように比較的単純な交通条件下での運転者の挙動を分析することによって、交通事故発生の潜在的引き金となるヒューマンエラー発生要因を見出すことが可能になるはずである。

2. 既往の研究の概観

走行中の運転者の特性に関する研究は多岐にわたっている。運転時の情報を獲得する主たる感覚は視覚である。Hartman は運転時の情報取得の 90%以上は視覚から入手しているといっている⁹⁾。この研究成果は本研究の目的を考えたとき、きわめて示唆的である。村田・中村は道路構造と視線誘導のパターンおよび曲線区間と直線区間走行時における注視時間や注視回数の違いを示した⁹⁾。Shinar らは事故発生件数の異なる曲線区間でアイマークカメラを利用した走行実験を行った。その結果、交通事故発生件数の多い曲線区間での注視時間は、発生件数の少ない曲線区間に比べ、長くなる傾向があると指摘している。さらにこの研究の中で、交通事故発生件数の多い区間での注視行動は少ない区間に比べばらつきが大きくなると報告している⁷⁾。景山らは山間部の事故多発地点と非多発地点で走行実験を行い、運転者の眼球の飛越距離や注視時間の検討から事故多発曲線では情報獲得効率が低下することを示唆した⁸⁾。三浦は運転者の注意の範囲は注視点分布だけでは説明しきれないと考え、混雑状態の異なるいくつかの道路で走行実験を実施した。その結果、運転者の注意の深さと広さは両立せず、両者の間にはトレード・オフの関係があるといっている⁹⁾。萩原らは運転者による曲線形状の主観的評価を分析し、運転者は道路線形の緩急に関わらず、自分の視覚から得た情報を信頼する傾向があるといっている¹⁰⁾。

以上の研究はすべて実車実験によるものであり、実在道路走行時における運転者の眼球運動と注視に関して有用な情報を提供している。しかし、いずれの研究の視点も「人-車-道路」を系として捉えた考察は殆どなされていないし、ヒューマンエラー発生の一つの要因である注視挙動と車両制御との関係についてはほとんど触れられていない。

曲線区間における運転者の挙動に関する研究もいくつか報告されている。Brouce らは曲線区間走行時の運転負荷を曲線半径や速度を変えた実験によって測定できることを示した¹¹⁾。Herrin らは、曲線区間走行時の遠心加速度には、運転者が耐えることのできる限界値があり、それは運転者のおかれた状況によって異なるといっている¹²⁾。Shinar は、曲線区間通過時の運転者の曲率に対する誤判断は遠心加速度からのフィードバックによって補正されるといっている¹⁾。これら一連の研究は、「人-車」系に着目したものと云える。これら多くの研究は運転者挙動の一般的傾向について論じているが、具体的な道路区間での記述に乏しいし、事故の多発する区間と少ない区間での運転挙動の比較検討はほとんど行われていない。

本研究では、首都高速道路曲線区間の中で、車両単独

事故の事故率が異なる複数の S 字曲線において走行実験を実施し、運転者の走行挙動および注視挙動について事故率との関係を分析している。また、曲線区間走行時における遠心加速度の大きさを判断指標として導入し、設定した閾値を越えて走行をしていた運転者とその位置を判断し、そこでは「ヒヤリ」が生じていたと考えた。その時の「注視挙動」や「道路線形」、および「速度および操舵制御」の三者を関連させて捉えることを試みたものである。

3. 走行実験

(1) 実験区間と運転者

走行実験の対象は首都高速道路にある複数の S 字曲線区間である。著者らは首都高速道路公団の協力によって曲線区間における事故発生地点別の統計データを入手した。本研究ではこの事故統計データを独自に加工し、曲線区間ごとの車両単独事故の事故率を推定した（以下推定事故率と呼ぶ）。この推定事故率をもとに、放射線道路の中から複数の S 字曲線区間を抽出した。これらの S 字曲線区間の多くは、S 字を構成する第 1 曲線（進行方向上流側曲線）と第 2 曲線（進行方向下流側曲線）とで推定事故率が異なっている（図 - 1 参照）。S 字曲線区間は曲線が連続する区間であるから、中間に出入り口がなければ交通条件は等しいと考えてよい。このため 2 つの曲線間で運転挙動を比較する際は道路構造についてだけ考慮すればよいことになる。

図 - 1 は実験対象にした 4 つの S 字曲線区間の平面線形の概略図である。なお、本研究で分析の対象にしたのは図中矢印で示した方向であり、線形図中に記した垂線の範囲が分析対象区間である。図中に示した S 字曲線には上りと下り方向の実験対象区間の距離 (kp) を示している。また図中に記した括弧内数値は、事故統計データに基づいて著者らが算出した第 1 曲線と第 2 曲線での推定事故率 (件/億台 km) である。

図中に示した平面及び縦断線形形状は首都高速道路公団から竣工図を借用して作成したものである。なお、縦断勾配は、置換勾配図で示している。

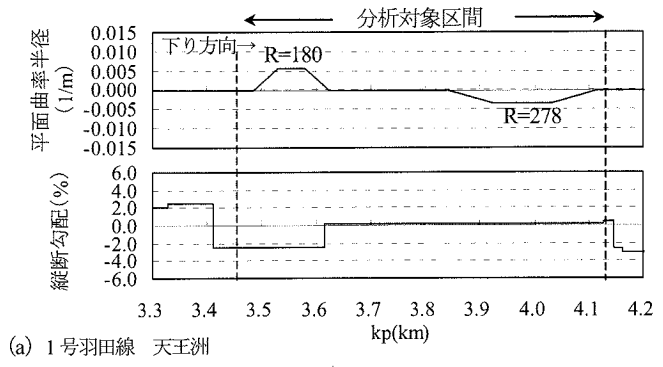
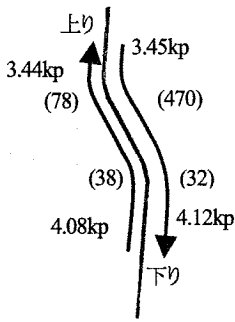
実験は、比較的交通量が少なく運転者が自由走行可能な交通条件下で実施した。実験は各路線 8 人の運転者によって 1 日に 1 路線づつ実施した。運転者はすべて 20 代の男性である。各運転者は実験対象区間を 2 往復した。内訳は、1 回目には走行車線、2 回目には追越車線である。運転者にはコースを指示する以外情報を与えていない。しかし、運転者には同乗者との会話などを許可しており、可能な限り普段の運転状態で走行するよう指示した。

実験では運転者の眼球運動を把握するためにアイマー

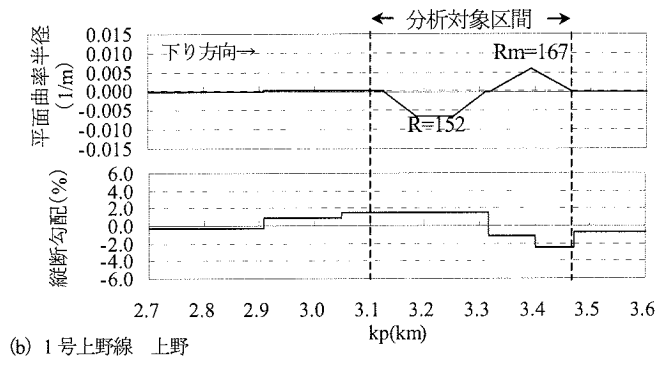
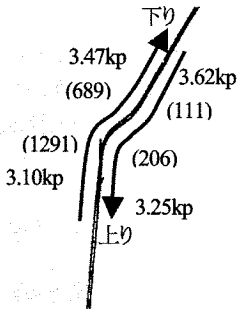
カメラを使用した。実験時間帯は、運転者の危険を避けるため全て日中に行い、夜間での実験は行っていない。

(2) データ収集

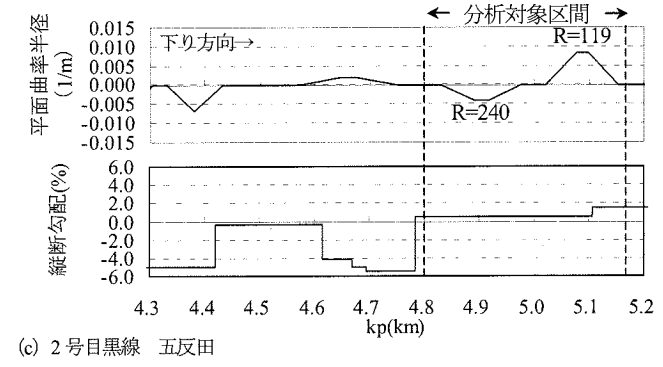
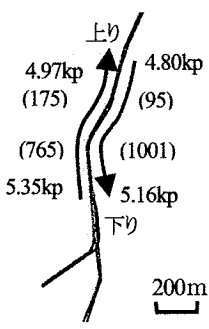
実験には計測機材を搭載した車両（ミニバン）を使用



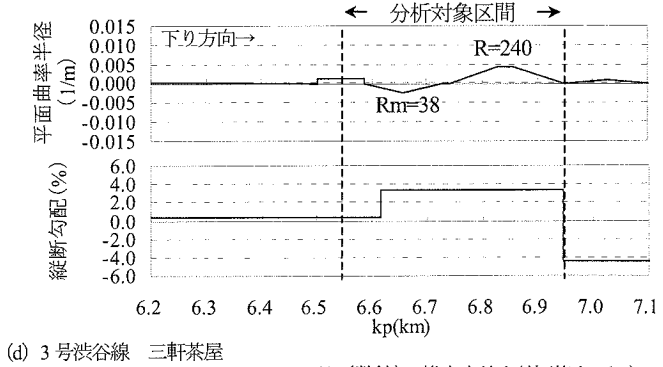
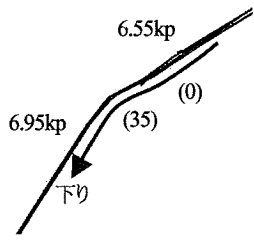
(a) 1号羽田線 天王洲



(b) 1号上野線 上野



(c) 2号目黒線 五反田



(d) 3号渋谷線 三軒茶屋

注(数値): 推定事故率(件/億台・km)

図-1 対象路線の概略線形と推定事故率

した。この車両は、速度、操舵角、アクセル踏み量および走行位置をデジタルデータとして計測できる。すべてのデータは1台のノートパソコンに収録された。この研究では表-1に示した分析項目を使用した。速度と操舵角のデータは10m単位で計測した。運転者の眼球運動はアイカメラ(NAC・EMR-8)で測定した。各運転者の注視時間と注視回数はNAC・EMR-8解析ソフトによって処理した。

測定器具の不具合や実験時の交通条件(車群への巻き込まれや低速車への追従走行など)などのために実験参加運転者すべてから有効データを収集することはできなかった。その結果、分析対象とした各曲線区間の有効サンプル数は3~8のバラツキをもったものとなった(表-3参照)。実験時の交通量は、実験対象区間に埋設されている車両感知器によって常時観測されている週日の実験実施時間帯における平均時間交通量(台/時・2車線)を用いた(表-3参照)。

4. データ集計

(1) 曲線区間における遠心加速度の算出

遠心加速度は曲線区間走行中の車両の速度と操舵角によって規定される状態量である。「道路構造令」¹³⁾は、曲線部設計指標の一つに遠心加速度を用いている。しかし実際の曲線区間での車両の走行速度は設計速度ではないし、走行軌跡も曲線線形そのものではない。このため本研究では、試験車両が曲線区間を通過する際に生じる遠心加速度 α (m/sec^2)を、地点速度、操舵角および片勾配を用いて次式によって算出した(図-2参照)。

$$\alpha = \frac{[v \cdot (l/3.6)]^2}{b \cdot \sin(|h| \cdot \phi_{max} / h_{max})} \cdot \cos \theta - g \cdot \sin \theta \quad (1)$$

ここに、

- v : 10m 毎の地点速度 (km/h)
- b : ホイールベース (m)
- ϕ_{max} : 最大操舵角時の前輪の傾き (deg)

表-1 計測項目

注視特性	時間・回数・対象物
走行特性	操舵角・速度・距離

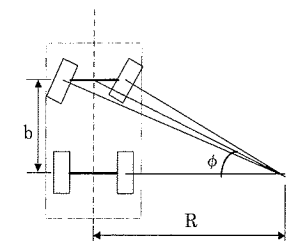


図-2 前輪の傾きと回半径の関係

- h : 10m 毎の地点操舵角 (deg)
- h_{max} : 最大操舵角 (deg)
- θ : 10m 毎の片勾配 (%)
- g : 重力加速度(m/sec^2)

である。

この式ではタイヤとサスペンションの変形さらにタイヤの横滑りなどによる遠心力の吸収を考慮していない。しかし運転者ごとの遠心加速度を相対的に比較するのには問題ないと考えている。

遠心加速度は、速度や操舵角の計測地点(10m 毎)に式(1)を用いて算出し、走行位置(地点)との関係を持たせている。

(2) 運転者の眼球運動

a) 平均注視時間と平均注視回数

本研究では、同一対象物を見ている状態が0.165秒以上続いている状態を注視と定義した¹⁴⁾。運転者の視覚情報収集に関する眼球運動には、飛越運動と追跡運動とがある¹⁴⁾。飛越運動中には情報は取り込まれない。追跡運動は移動する対象物を追跡している時に生じる。ここでは、眼球移動速度が30deg/sec以下のときに同一対象物を注視していると定義した。

アイマークデータ解析ソフトから求めた運転者の曲線区間通過時の平均注視時間と平均注視回数は以下の式によって算出した(図-3参照)。

$$\text{平均注視時間 } (T_a) = T_l / N_l \quad (2)$$

$$\text{平均注視回数 } (N_a) = N_l / T_l \quad (3)$$

ここに、

T_a : 平均注視時間 (sec/回)

N_a : 平均注視回数 (回/sec)

T_l : 対象曲線区間走行時間 (sec)

T_l : 対象区間での総注視時間 (sec) $\{ = \sum T_m (i=1 \sim N_l) \}$ (図-3参照)

N_l : 対象区間での総注視回数

である。

b) 眼球の水平方向角度

走行中の運転者は頭部と眼球を動かしながら周辺の情報を収集している。ここでは、眼球の水平方向注視角度を車両の進行方向を基準として注視位置までの角度と定

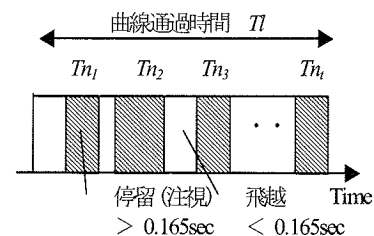


図-3 注視時間概念図

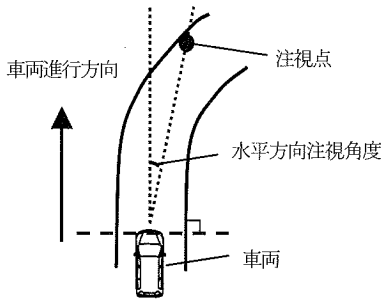


図-4 水平方向注視角度概念図

義した (図-4 参照). 今回の実験では車両の走行軌跡が計測できなかったため次のような方法で眼球の水平方向注視角度を求めた. すなわち, 走行距離 10m 毎の車両の進行方向は道路の中心線に対し直角である, との前提をおいた. その上で道路の平面線形図を利用して, 10m 毎のアイマークカメラに撮影されている運転者の注視対象が車両の進行方向となす角度を計測して水平方向注視角度とした.

5. 事故率の異なる曲線区間における走行挙動

(1) 曲線区間における速度と遠心加速度

図-5は3号渋谷線下りと2号目黒線下りの走行車線の結果を例示している. 図に示した指標は上から順に, 速度, 操舵角, 遠心加速度, 縦断線形および平面線形である.

これらの結果を見ると, 3号渋谷線では各運転者は第2曲線進入前から減速を行ってS字曲線区間を通過していることがわかる. その結果, このS字曲線の2つの曲線区間における遠心加速度には, ほとんど差が認められない. この速度低下の原因としては, S字曲線区間が上り勾配になっていること, および曲線区間通過中の速度に対して視距が不足していることなどが考えられる. また, 各運転者は第1および第2曲線の頂点付近で操舵角をほぼ一定に保っている様子がわかる.

一方, 2号目黒線のS字曲線区間ではほとんど減速行動が認められない. すべての運転者が曲線区間走行時に減速行動を行っていないことは, 運転者が曲線区間の進入速度で当該S字曲線を通過できると判断したと考えられる. 曲線区間通過中の操舵角は, 3号渋谷線とは異なり, 常に変化していることがわかる. とくに, 事故率の高い第2曲線部では運転者間に操舵角のばらつきが見られる.

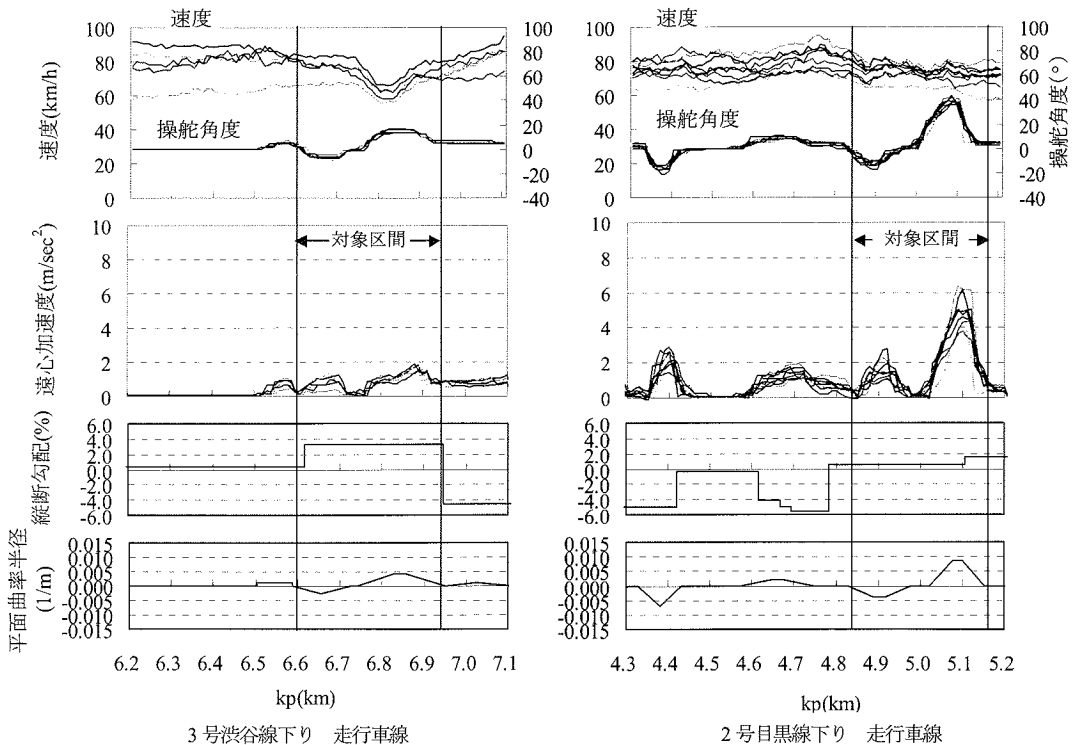


図-5 対象区間における走行状態例

ここで見られるようなハンドル操作は、運転者にとって運転時の負荷が大きい状態であると推測できる。

一般的に運転者は曲線部通過に際しては感覚器官から得られる情報処理を行いながらハンドルを操作する。このとき発生する遠心加速度を体感しながら、フィードバック操作として車両位置を補正していると考えられる。図に示した2つの例を比較すると、これらの曲線区間通過時の運転状態を次のように推測することができる。すなわち、3号渋谷線での運転者は曲線通過時に速度制御を行うことで遠心加速度の値を小さくできたのである。その結果、運転者は余裕を持ってハンドル操作していたと考えられる。一方、2号目黒線では、曲線区間進入前に運転者が予測したのとは異なって曲線半径が厳しかったのである。その結果、運転者は曲線通過中に速度制御を行うのではなく、むしろ体感しつつある大きな遠心加速度からのフィードバック行為としてハンドル操作を行いながら曲線区間を通過した、と推測できる。

表-2はすべての実験対象区間通過時の速度、操舵および遠心加速度の状態について、運転者の平均的な特性を定性的に整理したものである。「速度」欄に記した矢印は区間内における速度の増減状態を、「ハンドル」欄の「有・無」は当該区間内におけるハンドル操作の安定・不安定状態を意味している。また「遠心加速度」欄の「大・小」は区間内で生じた遠心加速度の大きさを意味している。

(2) 曲線区間における平均注視時間と平均注視回数

距離の同じ曲線区間を同じ速度で走行した場合、1回当たりの注視時間が長くなれば注視回数は減少する。逆に、1回当たりの注視時間が短くなれば注視回数は増加する。

三浦は、人間の情報処理容量には限界があり、注意の深さと広さは両立しないといっている⁹⁾。三浦はこの関係を、有効視野における情報処理の深さと広さとの間の「トレード・オフ関係」と呼んでいる。本研究では曲線区間通過時の運転者の「注視時間」と「注視回数」との間には、三浦が言っている関係と同様に、「トレード・オフ」の関係が成立すると考えた。

図-6は、ある一つの曲線区間を走行している時の運転者の平均注視時間と平均注視回数の関係を模式的に表したものである。ここでは、「注視回数が多く、一回の注視時間が短い」状態と「注視回数が少なく、一回の注視時間の長い」状態を、それぞれ「広く浅い」注視と「狭く深い」注視と呼ぶこととする。

平均注視時間と平均注視回数との間に「トレード・オフ」の関係が成り立つとすれば、両者の関係は、

$$T_a \cdot N_a = a \tag{4}$$

と表すことができる。

ここに、

T_a : 平均注視時間 (sec/回)

N_a : 平均注視回数 (回/sec)

a : 回帰係数

表-2 各曲線区間における走行挙動の一覧

路線名	1号羽田線							
対象区間・方向	天王洲・下り				天王洲・上り			
車線	走行車線		追越車線		走行車線		追越車線	
曲線	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2
速度	→	→	↓	→	→	→	→	↓
ハンドル	有	無	有	有	無	有	無	有
遠心加速度	大	小	小	小	小	大	小	大
路線名	1号上野線							
対象区間・方向	上野・下り				上野・上り			
車線	走行車線		追越車線		走行車線		追越車線	
曲線	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2
速度	↓	→	↓	→	→	→	→	→
ハンドル	有	無	有	有	有	無	有	無
遠心加速度	大	大	大	大	大	大	大	大
路線名	2号目黒線下り五反田							
対象区間・方向	五反田・下り				五反田・上り			
車線	走行車線		追越車線		走行車線		追越車線	
曲線	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2
速度	→	→	→	→	→	→	→	→
ハンドル	有	有	有	有	有	有	有	有
遠心加速度	小	大	大	大	大	小	大	小
路線名	3号渋谷線							
対象区間・方向	三軒茶屋・下り							
車線	走行車線		追越車線					
曲線	第1	第2	第1	第2				
速度	→	↓	→	↓				
ハンドル	無	無	無	有				
遠心加速度	小	小	小	小				

である。

図-7 は半径や曲線長が異なる曲線区間を走行するある一人の運転者の平均注視時間と平均注視回数との関係を模式的に表したものである。

図-8 は以上のような考えを実験データに適用した結果の例である。図中には、S字を構成する第1曲線、第2曲線およびS字区間を1つの曲線とみなした3つの場合についてそれぞれの a の値を示している。この結果から平均注視時間と平均注視回数の間には、上記モデルで示した $Ta \cdot Na = a$ の関係があることがわかる。分布の中で両端に位置する点は、「広く浅い」注視または「狭く深い」注視を行っていたと判断できる。しかし、この分布の範囲は今回の走行実験で事故を起こしていないことから、正常な注視挙動の範囲であると考えられる。より極端な「広く浅い」注視または「狭く深い」注視が生じた場合、いずれも偏った注視挙動となり、運転時の認知にエラーが生じやすくなると考えられる。なお、図-8中には、本研究で定義した注視時間の最小値(0.165sec)の位置に垂線を加えている。

表-3は図-8と同様の方法で実験区間で得られた平均注視時間および平均注視回数から推定した曲線区間毎の a を示している。サンプル数はすでに述べたように、アイマークデータを利用できた運転者の数である。網掛した部分はS字を構成する第1曲線と第2曲線とで推定事故率が高い曲線区間を意味している。たとえば、1号羽田線の天王洲下りでは、第2曲線の事故率(32)よりも第1曲線の事故率(470)の方が大きいことから第1曲線を網

掛けしている。各S字曲線の第1曲線と第2曲線間とは連続しているので実験時の交通量は等しいと考えてよい。一つのS字曲線で第1曲線と第2曲線との a と推定事故率の関係を比較すると、全体では14箇所中9箇所推定事故率の高い曲線区間の a が大きいがわかる。

このように a の値が各曲線区間の推定事故率に依存しているとすれば、 a の値が大きくなるということは、推定事故率の高い曲線を走行する運転者の注視については、平均注視時間と平均注視回数のいずれか、あるいは双方が大きくなることを意味している。このことは、推定事故率の大きな区間では運転者の視覚から入力される情報の量が増大することを意味する。その結果推定事故率の大きな曲線では、運転者は眼球を頻繁に移動させる(不安定な注視行動)か、あるいは少数の注視対象に注意を集中しながら走行することになるのである。言い換えるならば、推定事故率の高い曲線区間では、運転者の収集する情報の中に運転者の注意をそらせるような雑音情報が紛れ込みやすいことを意味するものと考えられる。

事実、推定事故率に大きな差のあるS字曲線区間の第1曲線と第2曲線の a の値(たとえば、1号羽田線下り、1号上野線下り、および2号目黒線上りと下り)は推定事故率の大きな曲線の方が大きな値をとっている。

今回の実験ですべての運転者が事故に遭遇していないこと、上述の運転者と道路構造および沿道景観についての考察、および a の値が各運転者の平均値からの推定であることを考慮すると、表-3に示した a の範囲(0.68~0.92)は正常な注視挙動と運転行動の範囲内にあると考え

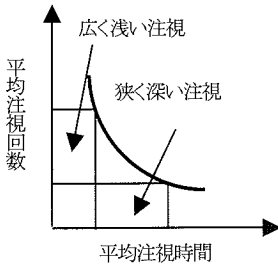


図-6 運転者の注視の仕方

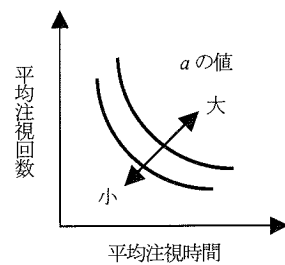
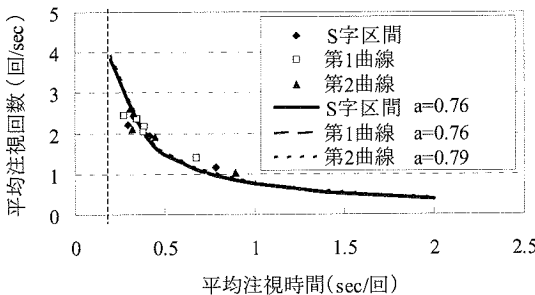
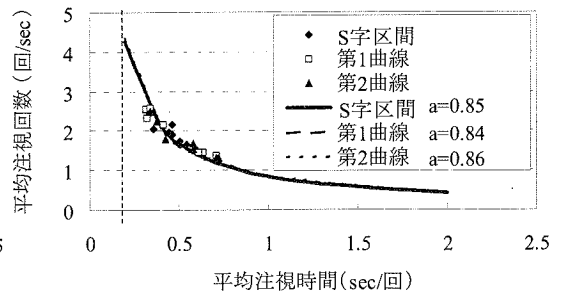


図-7 道路線形と $Ta \cdot Na = a$ との関係



a) 3号渋谷線下り 走行車線



b) 2号目黒線下り 走行車線

図-8 二つの曲線区間における $Ta \cdot Na = a$ 関係の例

ることができる。逆に言えば、 a の値がこの範囲から大きく逸脱する(a の値が大きくなる)ことは、運転者としてもあるいは道路および沿道環境としてもより危険な状態(事故を起こしやすい運転者あるいは事故の起きやすい道路環境)であることを示唆するものと考えられる。また、このとき注視回数または注視時間が極端に大きく(小

さく)なる「広く浅い」注視または「狭く深い」注視であれば、同様に、危険な状態であると考えられる。

(3) 曲線区間における眼球の水平方向角度

図 - 9a), b)は3号渋谷線下りと2号目黒線下りにおける同一運転者の水平方向の眼球の動きを例示したもので

表-3 眼球挙動と推定事故率

路線名 対象区間・方向 平均交通量(台/時/2車線) サンプル数(人) 車線 曲線 推定事故率(件/億台・km)	1号 羽田線											
	天王洲 下り						天王洲 上り					
	1,260						2,160					
	3			4			4			3		
	走行			追越			走行			追越		
	S字	第1	第2	S字	第1	第2	S字	第1	第2	S字	第1	第2
回帰係数 a^* : $Ta \times Na$	0.85	0.91	0.82	0.83	0.85	0.84	0.84	0.86	0.86	0.80	0.83	0.78
Ta: 平均注視時間(sec/回)	0.43	0.40	0.45	0.45	0.42	0.47	0.44	0.46	0.37	0.44	0.41	0.51
標準偏差	0.09	0.11	0.08	0.11	0.10	0.16	0.06	0.06	0.04	0.09	0.05	0.17
Na: 平均注視回数(回/sec)	2.03	2.37	1.87	1.95	2.10	1.97	1.98	1.88	2.41	1.90	2.03	1.77
標準偏差	0.30	0.50	0.17	0.34	0.44	0.46	0.20	0.21	0.20	0.21	0.08	0.39
区間平均速度(km/h)	71.9	74.5	69.9	77.0	75.4	78.5	66.2	64.5	63.8	76.9	78.1	74.6
路線名 対象区間・方向 平均交通量(台/時/2車線) サンプル数(人) 車線 曲線 推定事故率(件/億台・km)	1号 上野線											
	上野 下り						上野 上り					
	360						740					
	6			6			5			6		
	走行			追越			走行			追越		
	S字	第1	第2	S字	第1	第2	S字	第1	第2	S字	第1	第2
回帰係数 a^* : $Ta \times Na$	0.75	0.78	0.72	0.76	0.81	0.68	0.78	0.78	0.80	0.80	0.83	0.79
Ta: 平均注視時間(sec/回)	0.43	0.42	0.46	0.44	0.51	0.35	0.46	0.54	0.42	0.49	0.60	0.42
標準偏差	0.08	0.08	0.15	0.05	0.06	0.03	0.10	0.16	0.09	0.06	0.15	0.06
Na: 平均注視回数(回/sec)	1.84	1.99	1.69	1.72	1.60	1.91	1.76	1.60	1.97	1.64	1.45	1.95
標準偏差	0.29	0.22	0.45	0.35	0.43	0.49	0.39	0.58	0.31	0.33	0.37	0.36
区間平均速度(km/h)	66.6	64.3	69.3	77.7	77.8	77.6	72.9	70.8	75.1	76.8	75.9	77.7
路線名 対象区間・方向 平均交通量(台/時/2車線) サンプル数(人) 車線 曲線 推定事故率(件/億台・km)	2号 目黒線											
	五反田 下り						五反田 上り					
	620						760					
	8			7			6			7		
	走行			追越			走行			追越		
	S字	第1	第2	S字	第1	第2	S字	第1	第2	S字	第1	第2
回帰係数 a^* : $Ta \times Na$	0.85	0.84	0.86	0.74	0.79	0.69	0.83	0.82	0.87	0.88	0.92	0.88
Ta: 平均注視時間(sec/回)	0.46	0.46	0.51	0.38	0.40	0.37	0.42	0.42	0.42	0.49	0.54	0.44
標準偏差	0.09	0.16	0.16	0.05	0.08	0.07	0.10	0.16	0.08	0.14	0.17	0.14
Na: 平均注視回数(回/sec)	1.93	2.04	1.86	2.00	2.05	2.00	2.09	2.17	2.12	1.94	1.83	2.15
標準偏差	0.30	0.53	0.49	0.14	0.23	0.35	0.33	0.44	0.31	0.40	0.48	0.44
区間平均速度(km/h)	73.9	75.2	71.7	80.0	84.4	74.6	73.3	76.5	70.0	80.5	85.0	75.8
路線名 対象区間・方向 平均交通量(台/時/2車線) サンプル数(人) 車線 曲線 推定事故率(件/億台・km)	3号 渋谷線											
	三軒茶屋 下り											
	2,700											
	5			5								
	走行			追越								
	S字	第1	第2	S字	第1	第2						
回帰係数 a^* : $Ta \times Na$	0.76	0.76	0.79	0.74	0.78	0.74						
Ta: 平均注視時間(sec/回)	0.43	0.41	0.46	0.44	0.46	0.43						
標準偏差	0.20	0.15	0.25	0.14	0.14	0.15						
Na: 平均注視回数(回/sec)	2.01	2.08	2.03	1.90	1.90	1.96						
標準偏差	0.51	0.41	0.63	0.38	0.38	0.42						
区間平均速度(km/h)	68.7	72.8	65.5	73.4	77.6	70.1						

ある。図には10m毎の眼球の水平方向角度を示している。この図で、「+」は左方向、「-」は右方向である。図からも明らかなように、運転者の水平方向の注視点は概ね平面線形に沿って移動している様子がわかる。

6. 大きな遠心加速度を発生した運転者の挙動

(1) 遠心加速度の閾値の設定

今回の実験では交通事故を起こした運転者はいなかった。事故は稀に起こる現象であり、事故率が高い曲線(a

が大きくなる曲線)であっても、多くの人は事故を起こすことなく通行している。しかし、事故に至らずとも運転中に「ヒヤリ」を感じる状況というものがある。本研究では、「ヒヤリ」を感じた状況下ではヒューマンエラーが発生していたと考えた。「ヒヤリ」を潜在的な危険の発生の一環と捉えるならば、「ヒヤリ」を起こす要因となったヒューマンエラーはその地点で起こっている事故の要因と同じであると考えることができる。

「ヒヤリ」の発生は実際に事故となる数よりも多く起こっていることが知られている。走行実験の通常走行の中から「ヒヤリ」が起きた状況を見つけることが出来れ

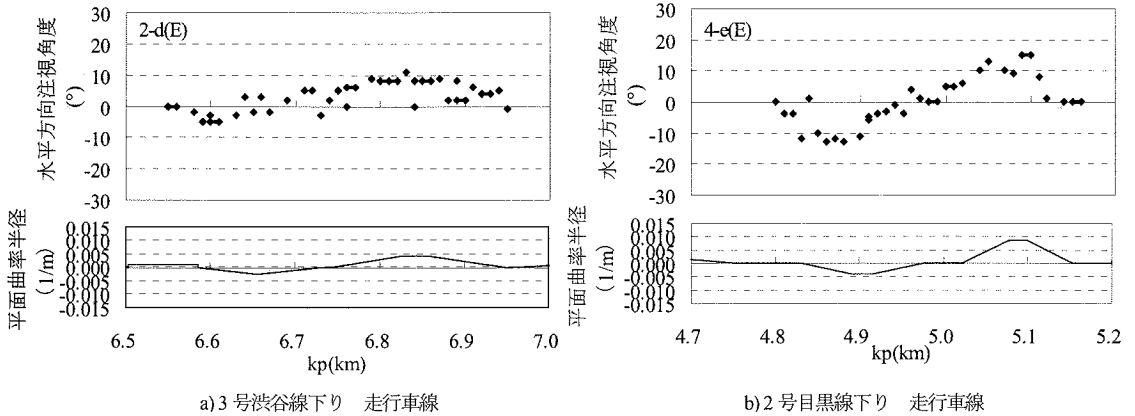


図-9 曲線区間走行時の眼球の水平方向移動の例

表-4 閾値を越えた運転者の注視点移動速度と眼球移動パターン

地点	方向	車線	被験者	曲線 (第1/第2)	水平方向注視点移動速度 (deg/sec)			分類 (ケース)	回帰係数 a	
					直近上流 区間	当該区間	差		被験者 別	平均
1号羽田線 天王洲	上り	追越	1a(C)	2	5.7	3.8	-1.8	—	0.96	0.78
1号上野線 上野	上り	走行	3a(D)	2	18.2	13.7	-4.4	IV	0.84	0.8
			3g(B)	1	4.3	4.8	0.5	II	0.5	0.78
	3g(B)	1	3.3	0.0	-3.3	—	0.5	0.78		
	追越	3c(E)	1	8.3	2.2	-6.2	I	0.93	0.83	
	下り	走行	3b(A)	2	7.3	12.7	5.4	III	0.78	0.72
			追越	3c(E)	2	10.3	12.0	1.7	I・III	0.75
2号目黒線 五反田	上り	走行	4d(L)	1	7.0	0.0	-7.0	II	0.94	0.82
			4g(D)	1	6.9	2.6	-4.3	II	0.88	0.82
			4g(D)	1	6.8	4.9	-1.9	II	0.88	0.82
			4g(D)	2	2.3	3.2	0.9	II	0.85	0.87
			4g(D)	2	7.0	8.0	1.0	IV	0.85	0.87
			追越	4f(K)	2	4.9	0.4	-4.5	IV	0.96
	下り	走行	4a(D)	1	4.4	2.1	-2.3	II	0.87	0.84
			4c(N)	1	9.9	9.9	0.0	III	0.8	0.84
			4c(N)	2	7.4	6.1	-1.3	III	0.84	0.86
			4h(I)	1	6.2	1.1	-5.1	II	0.96	0.84
追越	4e(E)	1	4.9	4.0	-0.9	—	0.58	0.79		
	4c(E)	2	5.3	9.6	4.2	III	0.53	0.69		
4c(E)	2	7.7	22.2	14.5	III	0.53	0.69			

— : 分類できず

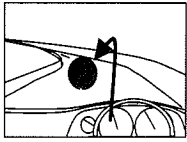
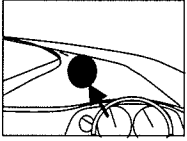
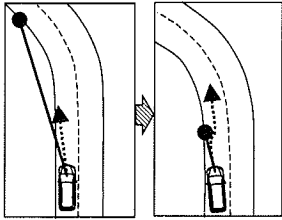
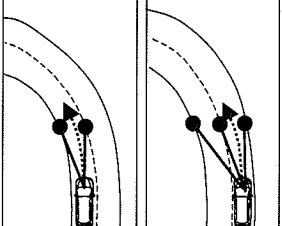
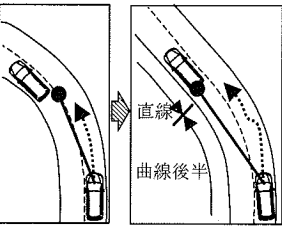
ば、事故の発生要因を明らかにすることが可能であると考える。

本研究では、曲線区間における運転者の「ヒヤリ」走行の判定指標として遠心加速度を用いる。遠心加速度は、運転者が視覚を通して得た情報を認知・判断した結果の行為であるアクセルおよびハンドル操作によって発生する状態量である。本研究ではある運転者の遠心加速度が設定した閾値以上になった場合を、交通事故発生要因の一つであるヒューマンエラーの潜在的条件であるとの前

提に立つ。この前提のもとで、曲線区間において遠心加速度がある閾値を越えた運転行動に着目し分析を進める。

実験走行では、すべての運転者が同じ運転行動をとっていたわけではない。ここでは遠心加速度の閾値として〔平均値+1.64σ〕以上、すなわち発生確率5%以下を採用する。交通事故は稀現象であるから、ここで採用した遠心加速度の発生確率5%は、実際にはかなり大きな割合である。ここで設定した閾値の目的は、運転者の走行状態判定にあたって、平均的な走行状態よりも大きな遠心

表-5 ケース別に見た閾値を越えた遠心加速度を発生した運転者の眼球運動

ケース	発生位置	注視点の変化		状況説明図	人数 / 全運転者数	
I	曲線区間進入前および出口近傍	a	直前	速度計注視		1/75
			遠心加速度が大きくなった時	注視点が前方風景から路上に移動		
		b	直前	速度計注視		1/75
			遠心加速度が大きくなった時	注視点が路上へ移動		
II	曲線区間進入前	直前	進行方向前方注視 (曲線形状の把握)		7/75	
		遠心加速度が大きくなった時	側壁に接近しすぎ、注視点は路上へ移動、走行位置修正のためハンドル操作。			
III	曲線内	直前	進入速度大、注視点不安定で左右に激しく移動		6/75	
		遠心化速度が大きくなった時				
IV	曲線区間出口近傍	直前	前方走行車注視		3/75	
		遠心加速度が大きくなった時	前方走行車直線区間走行開始、実験車車線逸脱の方向へ進行、側壁への衝突回避のためハンドル操作。			

凡例： ●— 運転者の注視点： ◀— 車両進行方向

加速度を発生させた若干名の走行挙動に着目するためである。そして、運転者に平均的な閾値を超える遠心加速度を誘発した交通および道路要因と運転者の眼球運動との関係を知ることが、潜在的なヒューマンエラーの発生要因を明らかにすることにつながるのである。

(2) 閾値以上の遠心加速度を発生させた運転者の眼球運動

閾値以上の遠心加速度を発生させた運転者とその位置を表-4に示した。この表から今回の走行実験では、15回の「ヒヤリ」が生じていたと判断した。この「ヒヤリ」を生じさせた運転者のその曲線区間走行時の a の値を表-3に示した全ての運転者から求めた a の値と比較すると、15回中10回は「ヒヤリ」走行時の方が大きい値となっている。このことは、危険な走行時は a の値が大きくなりやすいことを示唆している。

次に運転者の行動は知覚から反応までの間に反応遅れがあることから、ここではこの反応遅れを考慮して、遠心加速度が閾値を越えた地点（以下「当該区間」と呼ぶ）から運転者の平均的な反応時間に相当する距離分だけ遡った地点（以下「直近上流区間」と呼ぶ）間の運転者の注視挙動と運転行動について分析してゆく。「直近上流区間」の長さは運転者の速度によって異なっているが、ここでは、計測単位が10mであることを考慮して概ね20~30mとした。

具体的には、これら2箇所の区間での運転者の注視対象および水平方向の注視点平均移動速度の変化を分析するとともに、2つの区間の間での運転挙動について考察する。なお、ここでは対象区間における水平方向の注視点平均移動速度を以下のように定義する。

$$E = \sum_{j=1}^n \Delta e_j / (t_n - t_1) = \{(\beta_2 - \beta_1) + \dots + (\beta_i - \beta_{i-1}) + \dots + (\beta_n - \beta_{n-1})\} / (t_n - t_{n-1}) \quad (5)$$

ここに、

E : 対象区間における水平方向注視点の平均移動速度 (deg/sec)

Δe_j : 2つの注視点間移動距離 (deg)

j : 対象区間におけるj番目の注視対象 (j=1, ..., n)

β : 水平注視角度 (deg)

t_1 : 一回目の注視時刻 (sec)

t_n : 最後の注視時刻 (sec)

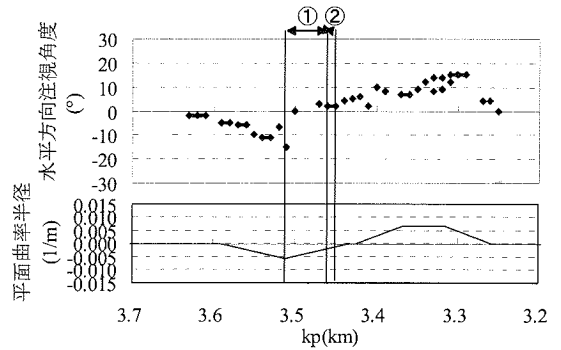
である。

「当該地点」で閾値以上の遠心加速度を発生させた運転者の「直近上流区間」と「当該区間」の間での注視の変化をアイマークカメラの映像から分析した。その結果、「直近上流区間」の位置とそこでの主たる注視対象とに

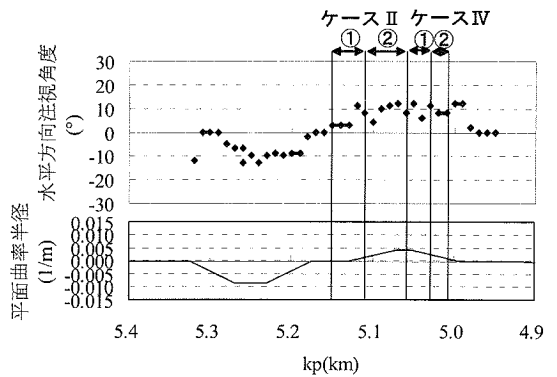
よって概ね以下に示す4つのケースに分類することができた(表-5参照)。

- ・ ケースⅠ：円曲線区間進入前および曲線出口付近
- ・ ケースⅡ：円曲線区間への進入前
- ・ ケースⅢ：円曲線区間走行中
- ・ ケースⅣ：円曲線区間出口付近

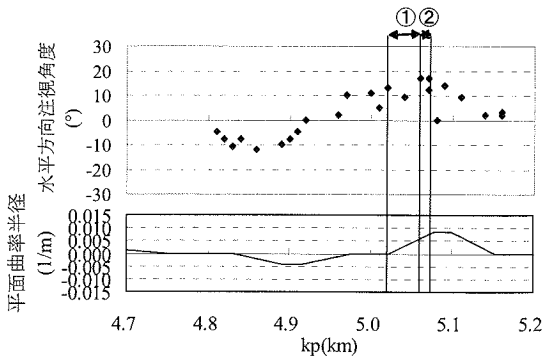
一方、表-4中には「直近上流区間」と「当該区間」における水平方向注視角度の平均移動速度も示している。この表中には同時にこれら2区間間の平均移動速度の



a) ケースⅠ 上野線 上り 追越車線



b) ケースⅡ・Ⅳ 目黒線 上り 追越車線



c) ケースⅢ 目黒線 下り 追越車線

図-10 各ケースでの代表的な水平方向注視角度変化例

「差」も示している。なお表中の「ケース」欄に「-」を記したものは4つのケースに分類できなかったものである。

図-10はいくつかの実験区間で見られた運転者の代表的な水平方向注視角度の状態を示したものである。図中の②は遠心加速度が「当該区間」で閾値を越えていたことを意味しており、①は②に対応して眼球運動を分析した「直近上流」区間を意味している。図中の「ケース」は、そのときの眼球運動が以下に示す分類であったことを意味している。

以下ケース毎に考察を加える(表-5参照)。

ケースⅠ：円曲線区間進入前および曲線出口付近

運転者がダッシュボード上の速度計を注視した後、目を車外に移動したケースは次の2つのパターンa)とb)に分類できた。

a)は速度計を注視(脇見)した後一旦路外に注視を移し、その後進行方向の路面を注視した場合であり、b)は速度計を注視した後、直ちに前方路面に注視を移動させた場合である。

いずれの場合においても、速度計を注視している間は進行方向を注視していない。運転者は直前の情報で車両の進行を制御するため、速度計注視の間に車両の位置は予定していた軌跡から外れることになる。このため進路を補正するためのハンドル操作が必要になる。この際の操作は、通常の操作よりも急激なものとなり易く、結果として遠心加速度は大きくなる。たとえば、60(km/時)で走行中に0.5sec間速度計を注視していたとすると、この間に車両は約8.3m進む。加えて、速度計への注視と速度の判断は瞬時に多くの情報処理を強いられるので、速度計を注視した後に注視点が元(前方路面上)に戻っても前方情報の処理開始が遅れるのである。また、脇見の後の注視対象が前方を走行する車両であった場合は、情報(たとえば、車間距離や相対速度など)を判断するためには長い時間が必要となる。これは、注視対象である車両も移動しているためである。速度計以外に路外への注視(脇見)が行われたときにもこのような状況になりやすい。

ケースⅡ：円曲線区間への進入前

このケースの場合、運転者は前方の線形を把握するために注視点を遠方においている。この間に車両は注視方向にわずかながら進行する。もし、車両が右回り曲線区間の走行車線を走行している場合には車両は左側壁へ寄っていく。これは、狭く深く注視すると視野が狭まるためであると考えられる⁹⁾。次の瞬間に運転者は、注視点を遠方から自車の直前路上に移し車両位置が左側壁へ寄っていることを認知し、ハンドル操作を行い車両の位置を修正するのである。

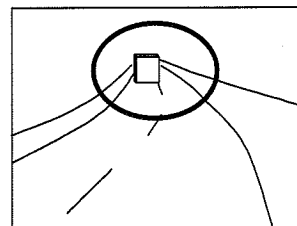
ケースⅢ：円曲線区間走行中

一般に、円曲線区間走行中の運転者の注視点は外側線か車線境界線(センターライン)にある。しかし、遠心加速度が閾値を越えた運転者は、この間に眼球が左右に変動し不安定な眼球運動を示すことが認められた。特に、左へ曲がる曲線区間で越線車線を走行している場合、曲線方向(左方向)に対して道路上に1車線分(走行車線)の空間が存在するため注視点が定まらなると考えられる。注視点が左右に変動して不安定になる原因は、運転者がこれから通過する曲線を過小評価したためであると考えられる。これは、遠くから曲線が完全に見えていても起こりうる現象である¹⁾。このような場合、曲線への進入速度は高くなることが知られている¹⁾。曲線の大きさを過小評価(大きな半径と判断)した運転者は、車両が進むに従い事前に判断したよりも半径の小さいことに気づく。この時、運転者は誤認の結果適正な注視点への注視が遅れる。もしくは、どこに重要な情報があるのか、あるいは適正な注視点はどこなのかの判断をしにくくなる。このような状況下では、運転者は正常な走行時よりも急速な情報処理を強いられる。その結果、眼球移動方向は曲線遠方と自車直前の路上を注視しようとするのだが、半径の小さい曲線通過中の眼球運動は左右方向になり、眼球の移動距離や運転負荷も大きくなるのである。

ケースⅣ：円曲線区間出口付近

前方車両が曲線区間に存在する間は、眼球は前方車両を追跡している。しかし、前方車両が直線区間に進入した後も追跡運動を続けると、運転者自身の車両がまだ曲線区間(緩和区間も含む)を走行中であっても、あたかも直進区間を走行しているような錯覚を起こすのである(図-11参照)。これはケースⅡと同様、注視対象である前方走行車両を狭く深く注視したためであると考えられる。その結果、車両は自車が走行している車線から逸脱する方向へ進行し、運転者は自車の進行方向を修正するためのハンドル操作を強いられることになる。

以上のケース分類から以下のような点を指摘すること



前方車を注視していると、自車があたかも直線区間を走行しているように錯覚する場合がある。

図-11 ケースⅣでの運転者の視点
(先行車両が曲線区間を通過して
しまった後の運転者の視線)

ができる。

ケースⅠ、ⅡおよびⅣでは、「直近上流」区間における運転者の眼球の水平方向移動は比較的頻繁であった。これに対し「当該区間」での注視の範囲は比較的狭くかつ水平方向の注視点移動速度も「直近上流」区間に比べ遅くなっている運転者が多い。「当該区間」におけるこのような眼球挙動は、運転者が車両の走行位置を安定させようとしていると理解できる。アイマーク映像の分析結果では、この時の注視位置は車両の走行位置を確認しやすい直近前方にあることが多かった。

ケースⅢは、他のケースとは異なり「当該区間」で遠心加速度が大きくなっているにもかかわらず、水平方向の眼球移動は頻繁であった。このことは他のケースに比べ運転者の負荷が高いこと、同時に「当該区間」走行中にハンドル補正が行われており（遠心加速度を大きくする運転行動）、車両の走行状態は不安定であったと推測できる。表-4に示した「直近上流」区間と「当該区間」での水平方向の注視点間平均移動速度の「差」からもわかるように、このケースに分類された6人の運転者中5人の水平方向注視点の平均移動速度は「直近上流」区間に比べると等しいか大きくなっており、「当該区間」における運転者の水平方向の眼球移動が頻繁である傾向を裏付けている。

以上の分析結果からケースⅢについて以下の推論を組み立てることができる。

一般に緩やかな曲線区間走行中の運転者は、「狭く深い」注視よりも「広く浅い」注視をしながら走行する。このことは運転者が周囲の状況に広く注意を向けながら走行していることになるから、結果として安全な走行になる。半径の小さな曲線区間の走行では、運転者は車両を安定させるために外側線を手がかりとして走行する傾向があるといわれている⁹⁾。

これに反し、今回の実験で観測されたケースⅢのように、小さな曲線区間走行中に注視回数が多く、かつ左右の眼球変動が多い運転挙動は、曲線区間走行中の運転者の負荷が大きい状態にあることを意味している。このこ

とは、半径の小さな曲線区間ではハンドル操作や遠心加速度の大きさが運転者の心理的に耐えうる限界に近くなるので、運転者の負荷が大きくなると同時に眼球運動による情報の収集と処理量も増加せざるを得ないことを意味している。

運転者がしばしば曲線の大きさを過小評価することはよく知られている。このような過小評価は、遠方上流から曲線全体を見通すことができる場合にも起こるといわれている¹⁾。このことから考えると、運転者が前方の曲線半径を過小評価して曲線に進入すると、運転者は進行するに従って事前の判断に反して半径が小さいことに気づく。この時、運転者は自身の誤判断により適正な注視点への注視移動が遅れるか、あるいは、適正な注視点はどこかの判断をし難くなるのである。このような状況下での車両の速度は、運転者が曲線の大きさを誤って判断したために高くなっているから、運転者に要求される情報処理速度は必然的に高くなるを得ない。その結果、眼球の移動は曲線遠方と手前とを交互に注視しようとする。しかし走行中の曲線半径が小さいため眼球の移動は左右方向になるとともに、移動距離も大きくなるのである。このような眼球運動状態下での運転者の車両制御状態は結果として不安定になり、事故の発生につながり易いといえる。

7. 曲線区間の道路構造と運転者の注視挙動

a の値は曲線区間の最小曲線半径の大きさと交通条件に依存していると考えられる。さらに本研究の分析結果によれば、 a の値は各曲線の半径に依存しており、最小曲線半径が小さくなると a の値は大きくなる傾向を示している（図-12 a）参照）。また、推定事故率も最小曲線半径に依存している（図-12 b）参照）。

図-12 a) , b) に示した関係から考えるならば、曲線区間走行中に運転者が入手すべき情報が増加すること、すな

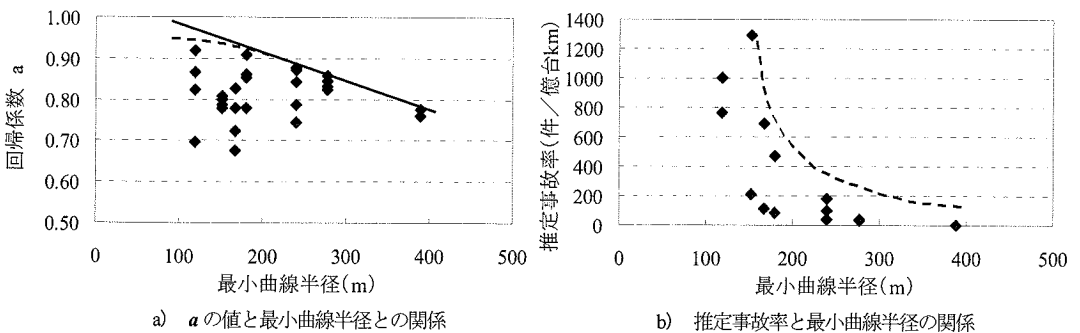


図-12 a の値と最小曲線半径および推定事故率との関係

わちある曲線区間の a の値が大きくなるということは、その曲線区間が事故発生可能性の高い区間であることを意味する。そのため、運転者がその区間を安全に通過するためには、道路の前方の線形形状と交通状況とをよりの確に把握する必要が出てくるのである。このような状況下での運転者の注視は、曲線形状と周辺車両との関係把握に偏りがちであり、路外への注視が減少する。言い換えるならば、小さな曲線半径を持つ曲線区間におけるこのような運転者の注視挙動（道路線形と周辺交通への注視の偏り）は、曲線区間を安全に通過するために必要なことなのである。逆に、曲線半径の小さな曲線区間走行中に運転者が路外や車内の速度計などへ必要以上の注視（不必要な脇見運転）を行うのであれば、交通事故の発生危険度は高まってくることになる。

上述したような曲線半径と推定事故率そして運転者の注視挙動を規定する a の値との関係から、本研究で提案した a の値は曲線区間における運転者挙動（注視挙動や車両制御挙動）と道路形状（ここでは、曲線半径）との関係の評価する指標の一つとして利用できる可能性がある。

8. おわりに

本論文で明らかにできた知見と今後の課題は以下のようである。

- 1) 走行挙動については、車両単独事故の事故率の高い曲線区間では運転者間の操舵角にばらつきが生じやすく、また遠心加速度が大きくなる傾向のあることが判明した。
- 2) 平均注視時間 (Ta) と平均注視回数 (Na) の間には、 $Ta \cdot Na = a$ のトレード・オフの関係があり、交通条件が同じならば事故率の大きな曲線区間通過時には回帰係数 a が大きくなる傾向がある。このことから注視挙動という生理反応は、道路の危険性を判定する 1 つの指標として利用することが可能であると考えられる。ただし、 a の値の絶対値については、路線により実験時の運転者が異なっていることから、今回の結果については比較していない。個人差の影響を無くすためには、同一の運転者で実験を行うことが望ましい。また、個人差の影響がどの程度あるのか把握する必要がある。
- 3) 曲線区間走行時の通常走行データから「ヒヤリ」を判定する方法として、遠心加速度のばらつきに着目し、[平均値+1.64 σ]（発生確率 5%）を閾値として、各地点でそれ以上の遠心加速度が生じた場合を「ヒヤリ」走行と判断した。この方法では遠心加速度を利用していることから、曲線区間における「ヒヤリ」の判定のみ可能である。

- 4) 上記の方法により「ヒヤリ」と判断した地点においても、 a の値が大きくなる傾向のあることがわかった。「ヒヤリ」走行発生時の「直近上流区間」と「当該区間」における注視挙動を分析した結果、運転者挙動を、走行位置を媒介として、4 つのケースに分類することができた。
- 5) 道路線形と事故率には、最小曲線半径が小さいほど a の値は大きくなり、かつ事故率も大きくなる傾向にあることがわかった。
- 6) 本研究では、車両単独事故率の高い曲線区間では、操舵および眼球挙動が不安定になる運転者が少数ながらいることを明らかにできた。しかしながら今回の分析からは、事故率の高い曲線区間でなぜそのような運転者が出現しやすいのか、定量的に明らかにできなかった。著者らは、この疑問は事故発生についての本質的な問題であると考えているが、解明は今後の課題として残されている。

謝辞: 本研究は、(財)国土技術研究センターの受託研究の一部として実施した。さらに、2000 年の実験では、(財)首都高速道路技術センターから物心両面にわたる援助を受けた。北海道大学大学院萩原助教には分析に当たって貴重な助言と示唆を頂いた。記して関係各位に謝意を表す。おわりにあたり、差読者の方々からは本論文の構成に関し有意義なご助言を頂いた、記して感謝する。

参考文献

- 1) Shinar, D.: 交通心理学入門, 野口薫・山下昇共訳, サイエンス社, pp.122-140, 1987.
- 2) 蓮花一己編: 交通行動の社会心理学, 北大路書房, p.29, 2000.
- 3) Reason, J.: Managing the Risks of Organizational Accidents, Ashgate Publishing, 1997.
- 4) 平尾収: 事故防止の新しい視点「見込み違い」, IATSS 創立 10 周年記念誌, pp.61-64, 1984.
- 5) Hartman, E.: Driver Vision Requirement, 1970 International Automobile Safety Conference, New York, SAE, 700392, pp.629-630, 1970.
- 6) 村田隆裕, 中村良夫: 自動車運転者の注視点, 交通工学, Vol.5, No. 5, 1972.
- 7) Shinar, D., McDowell, E. D. and Rockwell, T. H.: Eye movement in curve negotiations, Human Factors, Vol. 19, pp.63-71, 1977.
- 8) 景山一郎, 荒井章好, 栗谷川幸代: 人間の環境情報処理から見た交通事故多発地点の原因解析報告書, 国際交通安全学会, 1999.

- 9) 三浦利章：視覚的注意と安全性，照明学会誌，Vol. 82，No. 3，pp.180-184，1998.
- 10) Hagiwara, T., Suzuki, K., Tokunaga, A. R., Yorozu, N. and Asano, M. : Field Study of Driver's Curve-Detection Performance in Daytime and Nighttime, Transportation Research Record 1779, Paper No. 01-3075, pp.75-85, 2002.
- 11) Brouce, L., McDonald, L.B. and Ellis, N.C. : Driver Work Load for Various Turn Radii and Speeds, TRR, No.530, 高速道路と自動車，鳥居康政訳，Vol.19, No.1, 1976.
- 12) Herrin, G. D. and Neuhardt, J. B. : An Empirical Model for Automobile Driver Horizontal Curve Negotiation, Human Factors, No.16, pp.129-133, 1974.
- 13) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，丸善，pp.227-232，1978.
- 14) 福田亮子，佐久間美能留，中村悦夫，福田忠彦：注視点の定義に関する実験的検討，人間工学，Vol.32, No.4, pp.197-204, 1996.
- 15) 橋本邦衛，遠藤敏夫：生体機能の見かた-人間工学への応用，日本出版サービス，pp.78-80，1983.

(2003. 9. 16 受付)

DRIVER EYE MOVEMENTS AND VEHICLE CONTROL BEHAVIOR AT URBAN MOTORWAY CURVED SECTIONS

Tomoki FURUICHI, Takeshi KADOMA and Masato IWASAKI

This study describes a driver eye movement and vehicle control behavior in an urban motorway curved section passages. In curved section, there are some sections where the accident occurrence frequency is high. Human error is one of the major factors on the cause of traffic accident. In order to analyze human error generating factor, a running car experiment was carried out in some routes with curved section of the Tokyo Metropolitan Expressway. Using the results of analysis, we could consider human error generation factors by relating the motorway environment, eye movement, and centrifugal acceleration in the curved section. As a result, authors propose the model, which evaluates a risk of curved section by relating to the driver eye movement and driving behavior.