

都市高速道路 S 曲線部における注視挙動と運転行動*

On Drivers' Eye Movements and Driving Attitude in Urban Motorway S-Curve Passages

門間健**・岩崎征人***・古市朋輝****

By Takeshi KADOMA**・Masato IWASAKI***・Tomoki FURUICHI****

1. はじめに

都市高速道路は路線構造上の制約から厳しい線形の区間が存在する。いくつかの曲線区間では類似線形にもかかわらず、施設接触事故等の車両単独事故の発生件数に差のある区間が存在する。

一般的に事故の多くはヒューマンエラーにより引き起こされているといわれている¹⁾²⁾。自由流状態の実勢速度は規制速度よりもやや高い傾向がある。しかし、多数の運転者は事故を起こすようなハンドル操作や速度制御等、注意力不足等で走行しているわけではない。

走行中の運転者は、周囲の車の走行状況や道路構造などの情報を視覚で収集しながら走行している。このとき、運転者は視覚から得られる情報を処理した上で、速度制御やハンドルの操作を行う。一方、曲線区間走行中の車両には遠心加速度が発生する。遠心加速度の大きさは、道路の曲線半径、速度およびハンドル操作角度に依存している。

本研究では都市高速道路上での実車走行試験から得られたデータを用いて、事故発生件数の多い曲線区間における運転者の注視特性と運転挙動および道路構造と言う 2 つの側面から分析したものである。具体的には、走行車両の速度と操舵角による遠心加速度と運転者の注視点を分析し、曲線部における運転者の注視・走行挙動と事故との関係について考察を加えたものである。

2. 実験概要

分析対象とした S 曲線区間の事故発生頻度は、首都高速道路公団から入手した事故統計³⁾をもとに著者らが独自に判断したものである。この結果をもとに、首都高速道路の類似線形とみなせる S 曲線区間を対象とし、実車による走行実験を行った。表-1 に実験対象区間の組み合わせを示す。実験にはホンダオデッセイ (AT 車) を使用した。

実験は、各路線 6 人～8 人の運転者を用い 1 日あたり 1 路線を走行した。運転者は 20 代の男性で 1 人あたり 1 回目は走行車線 2 回目は追越車線を走行する 2 往復とした。運転者にはコースを指示する以外は情報を与えず、会話などは許可し、可能な限り普通の走行状況を再現した。運転者の眼球運動を把握するために、アイマークカメラを使用した。

実験時間帯はアイマークカメラを装着して運転するため夜間走行は危険と判断し全て日中に行った。この報文では表-2 に示した分析項目を使用した。走行実験ではこれ以外のデータも計測している。速度・操舵角データは 10m 単位で入手した。運転者の注視状況はアイカメラ (nac 製 EMR-8) で測定した。注視時間は nac 製 EMR-8 解析ソフトを用いて求めた。

表-1 実験対象曲線

対象 S 字	区間	第 1 曲線	第 2 曲線
1 少	A 路線上り	少	多
1 多	A 路線下り	多	少
2 少	B 路線下り	少	多
2 多	C 路線下り	少	多
3 少	D 路線上り	少	多
3 多	D 路線下り	多	少

[多・少]: 事故発生件数の相対的な多・少

表-2 計測項目

注視特性	時間・対象物
走行特性	操舵角・速度制御・距離

*キーワード：交通安全

** 学生員

*** 正員, 工博

**** 学生員, 工修

武蔵工業大学大学院工学研究科土木工学専攻

(東京都世田谷区玉堤 1-28-1,

TEL03-3703-3111, FAX03-5707-1156)

3. 注視特性

(1) 注視特性のデータ

車両の走行中、道路環境や道路線形は時々刻々変化する。本研究では運転者が同一対象物を見ている状態が 0.165 秒以上続く場合を注視とした⁴⁾。運転者の視覚情報収集に係る眼球運動には、飛越運動と追従運動がある⁵⁾。飛越運動中には情報は取り込まれない。追従運動はゆっくり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した。研究対象が曲線部の為大きめの値を取った⁴⁾。

(2) 注視回数と注視時間の関係

各運転者の平均注視時間と平均注視回数との関係を曲線によって回帰した。その結果全ての対象 S 曲線区間および S 曲線を構成する各曲線（第 1 および第 2 曲線）について $xy=a$ なる曲線で近似できることがわかった。

図-1 は A 路線の上り・下りの追越車線走行時の結果を一例として示したものである。表-3 は追越車線走行時の全ての区間と構成曲線部（第 1 および第 2 曲線）に対し同様の回帰曲線で推定した回帰係数“a”

の結果を示している。

回帰の結果は、運転者の注視時間と注視回数の積は曲線区間ごとに一定であり、注視時間が短くなると注視回数は増え、注視時間が長くなると注視回数は減少するというトレード・オフの関係があることが判る。このことは既に三浦⁶⁾が、運転者の「有効視野」と「視覚的要件課題の数」との関係で指摘した運転者の視覚的性質と一致する。本報文では 2 つの状態量の積である回帰係数“a”を「注意の払い方 (attention performance)」と呼ぶことにする。

表-3 において、対象路線ごとに係数“a”を比較すると、交通量の多い区間の方が大きい値となっていることが判る。このことは混雑度が増すと情報が複雑になり「注意の払い方」が大きくなると理解できる。

次に、S 曲線の第 1・第 2 曲線部で比較すると事故件数の多い曲線で係数“a”が大きい値をとることが判明した。2 つの曲線部は連続しているので、交通量は各運転者の走行中は一定と考えてよい。交通量一定時であっても「注意の払い方」が大きくなることは、混雑以外の刺激への注視があることを意味している。つまり事故の多い曲線区間は、道路構造と速度の関係が運転者にとって事故の少ない曲線部より大きい「注意の払い方」が必要だったと考えられる。

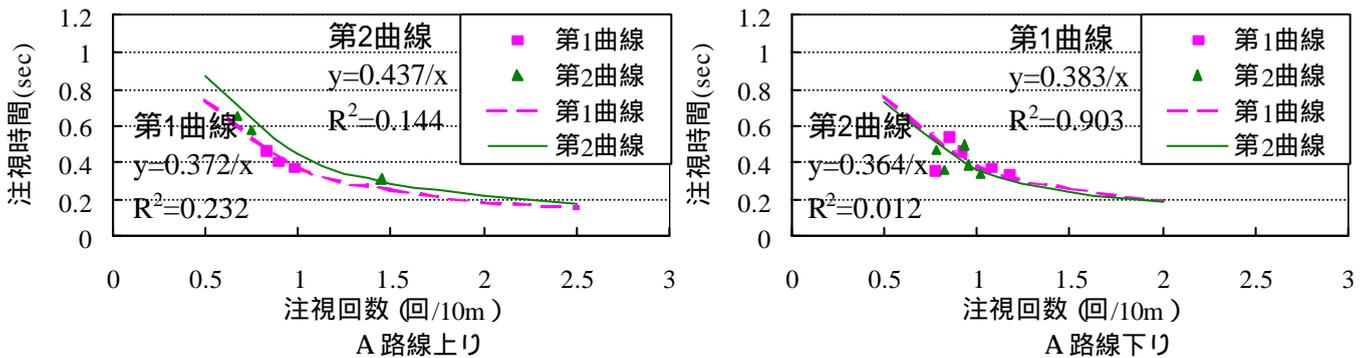


図-1 注視時間と注視回数との関係

表-3 各曲線における平均注視時間と平均注視回数（追越車線）

対象区間 サンプル数(人) 平均交通量(台/時) 曲線	A路線上り			A路線下り			B路線下り			C路線下り			D路線上り			C路線下り		
	S字	第1	第2															
平均注視時間(sec)	0.47	0.41	0.59	0.42	0.41	0.41	0.44	0.39	0.46	0.39	0.36	0.42	0.49	0.55	0.46	0.43	0.41	0.49
分散値	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
平均注視回数(回/10m)	0.84	0.93	0.87	0.87	0.96	0.90	0.93	0.88	1.01	0.94	0.96	0.99	0.74	0.70	0.85	0.76	0.89	0.59
分散値	0.02	0.01	0.15	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.05	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02
回帰係数“a”	0.39	0.38	0.46	0.37	0.38	0.36	0.38	0.33	0.44	0.35	0.33	0.40	0.31	0.25	0.31	0.30	0.34	0.26

網掛け部分は相対的に事故件数の多い区間
平均交通量は実験時間帯での平均交通量

4. 曲線部における遠心加速度の振舞い

「道路構造令」⁷⁾では、曲線部設計指標の一つに遠心加速度を用いている。しかし現実には各運転者の曲線区間通過速度は設計速度ではないし、走行軌跡は円曲線ではない。ここでは、試験車両が曲線区間を通過する際の遠心加速度を、地点速度、操舵角および横断勾配を用いて算出した。これらの指標から、遠心加速度 (m/sec²) は、

$$=v^2 / R \quad (1)$$

ここに、

v : 速度 (m/sec)

R : 半径 (m)

である。走行時半径 R (m)は図-2 に示す車輪の走行軌跡図から近似的に、

$$R=b / \sin$$

ここに、

b : ホイールベース (m) (2)

である。

さらに前車輪のつくる角度 θ が操舵角 h に比例すると考えると、遠心加速度は横断勾配 $\sin \theta$ 及び重力加速度 g (m / sec²)を考慮して、

$$= \frac{[v \cdot (1/3.6)]^2}{b / \sin(h / \phi_{max} / h_{max})} \cdot \cos \theta - g \cdot \sin \theta \quad (m/sec^2) \quad (3)$$

ϕ_{max} : 最大操舵角時の前輪の傾き (°)

h_{max} : 最大操舵角度 (°)

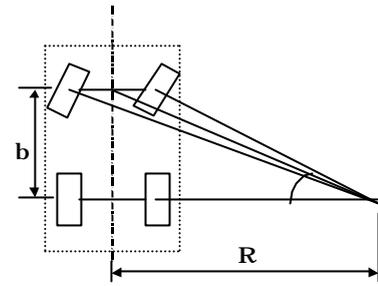


図-2 前輪の傾きと回転半径の関係

表-4 対象 S 曲線の線形

対象	区間	第 1 曲線		第 2 曲線	
		曲線半径(m)	横断勾配(%)	曲線半径(m)	横断勾配(%)
1	A 上り	278	6	180	7
	A 下り	180	7	278	6
2	B 下り	400	5	240	7
	C 下り	240	4	120	10
3	D 上り	166	5.5	152	7
	D 下り	152	6	167	5.5

と表すことができる。図-3 は走行実験で得られたデータを式(3)に代入して求めた結果である。図に示した指標は上から順に、相対速度・操舵角、遠心加速度、平面線形である。相対速度はここに示した区間内のある速度を 1 として表したものである。遠心加速度の図中にある太線はそれぞれの曲線区間を設計速度で走行した場合に生ずる計算値である。

図-3 では上りの第 2 曲線部と下りの第 1 曲線部は同じ地点であり、路線ごとに見ると相対的に事故件数が多いところである。比較すると操舵角はほとんど同じであるが通過速度が異なっている。そのため

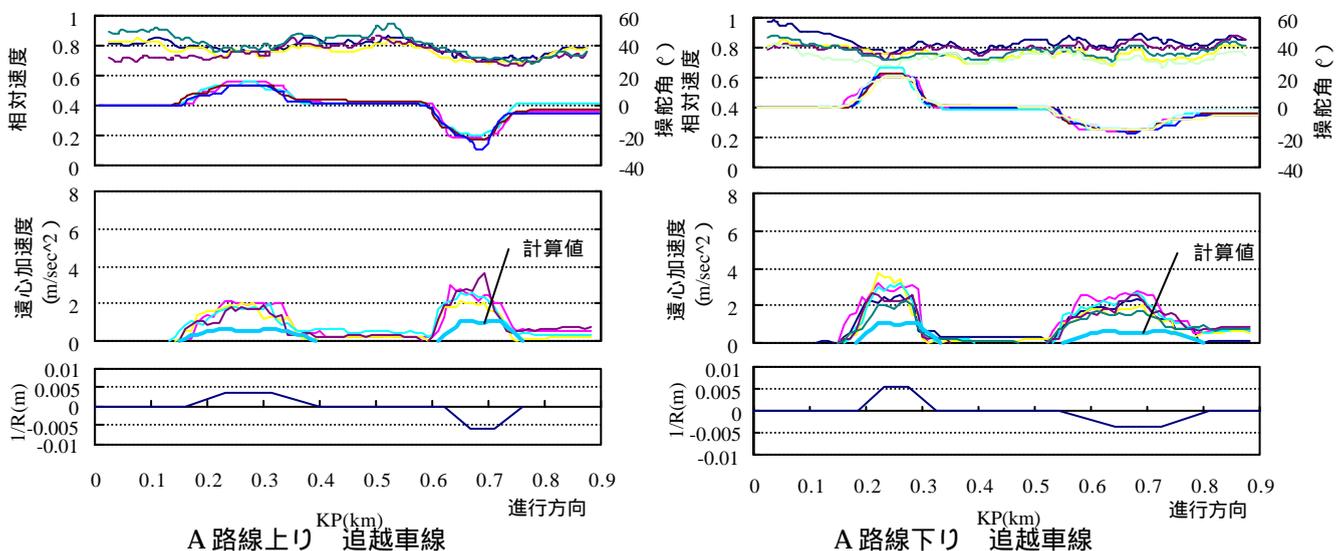


図-3 ある S 曲線区間における相対速度と遠心加速度

表-5 “ 平均値 + 1.64 ” を超える運転者数

対象S曲線	区間	S曲線	第1	第2
1 少	A 上り	0	0	0
1 多	A 下り	2	1	1
2 少	B 下り	1	0	1
2 多	C 下り	2	1	1
3 少	D 上り	1	1	0
3 多	D 下り	2	1	1

に、下り方向は遠心加速度も全体的にやや大きな値になっている。

表-5 は遠心加速度が曲線ごとに平均値 + 1.64 (95%)を超える値となった運転者数である。対象 S 字区間で比較すると事故件数の多いほうが 95%を超える値をとった運転者が多い。事故発生件数の多い地点のほうが少ないところに比べてばらつきが大きいのは走行をする時に必要な情報が多く処理するのに個人の能力差がでるためであろう。つまり、視覚から入力された刺激の出力として速度選択あるいはハンドル操作があり、これら操作の結果として発生する遠心加速度を比較することで、曲線区間の事故発生を評価できると考えてよさそうである。

5. 考察

曲線区間走行中の運転者の「注意の払い方」(注視時間と注視回数の積)にはトレード・オフの関係があると考えてよさそうである。本実験の結果によれば、運転者の「注意の払い方」が大きくなる曲線区間ほど事故が起きやすい区間であると判断できそうである。その理由は以下のように考えることができる。

すなわち、運転者が事故件数の多い曲線区間を走行中には、安全に通過するために多くの情報を視覚から得ようとして注意を集中して走行しているのである。そのため、運転者の「注意の払い方」は大きくなるのである。運転の操作結果(例えば、曲線部での遠心力加速度の発生)は視覚から入力された情報処理の結果と考えることができる。運転者の意志決定過程「知覚・認知・判断及び反応」において「注意の払い方」が大きくなることは、速度・操舵などの車両運動制御系への注意力を低下させることになる。特に、事故発生件数の多い区間において新たな刺激に遭遇した時には、運転者の反応は遅れるので、遅

れを挽回するために短い時間で複雑な情報を処理しようとするのである。そして、結果的に危険な走行状態が発生し易くなるのである。

6. 今後の課題

交通事故はヒューマンエラーによって発生すると考えられている。とくに都市高速道路の曲線区間では前後の道路・交通条件や周辺環境の影響が大きいといえる。このような走行環境下にある、運転者が情報処理に手間取り危険な状態を回避できなかった場合が交通事故につながると考えられる。

本報文では注視挙動と運転挙動の関係に的を絞って分析した。今後は時間的な挙動の変化や 2 つの要因のほかに人間の生理反応などとの関係についても分析を進めてゆく必要がある。

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。記して関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) Shinar, D: 交通心理学入門, 野口・山下共訳, サイエンス社, pp.122-140, 1985
- 2) 蓮花一己他: 交通行動の社会心理学, 北大路書房, p.29, 2000.11.
- 3) 首都高速道路公団計画部: 首都高速道路の単路部における幾何構造と交通特性に関する調査検討(その 2), 1995.2.
- 4) 福田亮子他: 注視点の定義に関する実験的検討, 人間工学, Vol.28(2), pp.197-204, 1996.
- 5) 三浦利章: 行動と視覚的注意, 風間書房, 1996.3.
- 6) 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.
- 7) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 丸善, pp.227-232, 1978.