

# 安全対策効果が持続しない箇所におけるアイカメラ等の運転挙動・自動車工学・交通工学の連携による事故発生メカニズムの考察と対策の方向性

\*名城大学都市情報学部 正会員 ○若林拓史  
名古屋高速道路公社 安藤雅則  
(株)東京建設コンサルタント 川口 正  
名城大学大学院 堀江侑生

## 1. はじめに

交通事故の死亡者数は、平成20年には5,155名と『第8次交通安全基本計画』の目標値である年5,500名以下を達成し、平成22年には4,863名と目標値5,000名以下を達成した。今後は、『第9次交通安全基本計画』において、平成27年には3,000名以下とすることが目標である。各方面での一層の尽力が期待される中、対策の効果減効果によって一層の困難が予想される。このため、より効果的な安全対策の取り組みが必要である。

最初に、本研究の動機と目的を述べる。道路上の事故危険箇所では、対策を行って安全対策の効果が発現しても時間経過によって事故抑止効果が低下して事故件数が再度増加して効果が減少し、安全対策と事故発生が『イタチごっこ』のように繰り返される箇所がある。本研究では、都市高速道路のそのような箇所を対象に、事故の発生メカニズムまで遡って『根本的な安全対策のあり方』を運転者の交通心理や自動車工学の分野と連携して考察することを目的としている。安全対策の実務的実行は行っていないので、その効果評価までは行わない。

本研究の構成を述べる。2では、既存研究のレビューを行う。3では、本論で対象とする事故危険箇所での事故対策の経緯と事故事例を紹介する。4では、『タイヤの摩擦円』の理論から2で述べた事故の発生メカニズムを説明する。さらに、事故原因の遠因としての仮説を設定する。5では、事故発生に至るドライバーの挙動について考察し、事故発生削減に至る根本的な対策として交通心理学・自動車工学・交通工学が連携する必要性を述べる。6では、以上の仮説を検証するため、アイマークレコーダを装着した実験走行およびその結果を述べる。7では、路側から観測した1)カーブ走行速度、2)カーブ走行位置の結果について述べる。遠心力の感度分析に基づき、効果的な対策の方向性を考察する。8では以上の研究成果をとりまとめる。

## 2. 既存研究のレビュー

道路における事故発生リスクに関する研究としては、事故リスクを交通状態と関係づけた研究、コンフリクト

解析に基づく研究等が従来から多く提案されている。井上ら<sup>1)</sup>は、阪神高速道路を対象として、相互事故は渋滞時に発生しやすく単独事故は非渋滞時に発生しやすいこと、事故発生率は渋滞時が非渋滞時に比べて高いことを明らかにしている。彦坂・中村<sup>2)</sup>は、東名高速道路を対象に交通流率と交通容量との比率で事故発生リスクを説明している。大口ら<sup>3)</sup>は、東名高速道路を対象に臨界状態、すなわち高密度な非渋滞交通流状態において事故発生リスクが高いことを示している。また、コンフリクト分析に基づく研究としては危険度指標として、Hayward<sup>4)</sup>による衝突までの時間を表すTTC指標、Allenら<sup>5)</sup>による交差点右折車両等現在の危険車両の存在する地点までの自車両の到達時間を表すPET指標、高速・過密交通環境下において先行車の減速によって先行車に後続車が追突する追突リスクを時間単位で表すPTTC指標<sup>6)</sup>、同様の状況を距離単位で表すPICUD指標<sup>7)</sup>等が提案されている。吉井ら<sup>8)</sup>は、上記のような単独要因ではなく、複合要因、すなわち交通流要因、道路幾何構造要因、環境要因の3要因を考慮し、これらの要因が、追突、車両接触、および施設接触の各事故形態別の事故発生リスクに与える影響について、都市内高速道路を対象とした分析を行っている。しかしながら、先に述べた交通安全対策と事故発生とが『イタチごっこ』の関係にある事故危険箇所では、上に述べたような交通流の諸特性だけでは説明できず、交通安全対策は運転者の行動特性や自動車工学等を包含して考慮する必要があると考えられる。このような研究事例はきわめて少ないのが実情であり、本研究は運転者の行動特性や自動車工学と連携させた交通安全研究として行ったものである。

## 3. 名古屋高速道路都心環状線山王カーブの対策経緯<sup>9)</sup>

名古屋高速道路都心環状線山王カーブ(図-1参照)では、慢性的な渋滞対策の一環として平成19年8月に当カーブの拡幅工事を実施し、車線数を2車線から3車線に改良した。その結果、渋滞は概ね解消されたものの第3車線(右側車線)で事故件数が増大し、安全対策は実施したものの効果は一時的なものであった。

事故件数の時系列変化と対策の経緯を図-2に示す。対策は以下の3段階で行われた。平成19年8月の3車線化後、平成20年度に入り事故が急増したため、平成20年

Keywords: 交通安全, 運転行動, タイヤの摩擦円

\* 連絡先: wakabaya@urban.meijo-u.ac.jp

(Phone) 0574-69-0131



図-1 事故発生箇所の位置図（紫色の円内）

7月に安全対策（その1）として、山形減速マークの設置・エスコートラインの延伸・高輝度反射シートの設置を実施し、事故は減少傾向を見せた。この対策前後における事故の増減や走行速度の変化等を分析し、対策効果の検証を行うとともに、ビデオ観測による当カーブ区間の危険走行車両の挙動分析や現況舗装部及び各種路面標示部においてすべり抵抗値を測定し、事故要因を分析してきた。しかし、再び平成21年5月から事故が急激に増加したため、さらなる安全対策として平成21年5月に安全対策（その2）：区画線の改良，同年9月及び10月に安全対策（その3）：カラー舗装の舗装，注意喚起看板の設置といった段階的な対策を行ってきた。しかしながら、平成23年5月から湿潤時の事故が大幅に増加してい



写真-1 衝突0.5秒前の映像(名古屋高速)



写真-2 同じ箇所での走行の様子

る<sup>10)</sup>。

写真-1は、名古屋高速道路の事故多発地点での典型的な事故発生の映像である。自動車がカーブの内側を走行した結果スピンし、内側側壁に衝突している。事故は、ドライバーの注視点（交通心理）にその遠因があると考えている。このカーブでは、写真-2のように、カーブ内側にはみ出して走行する自動車がきわめて多い。これらの観測データは、7で述べる。

山王カーブ付近の平成20年4月～11月の8ヶ月間では48件の事故が発生した。事故発生箇所は、図-3のようにカーブ出口付近（4.0kp）に全件数の85%が集中している<sup>11)</sup>。さらに事故内容は、図-3に示すように施設衝突が29件と最も多い。特に、平成20年6月の1ヶ月間に

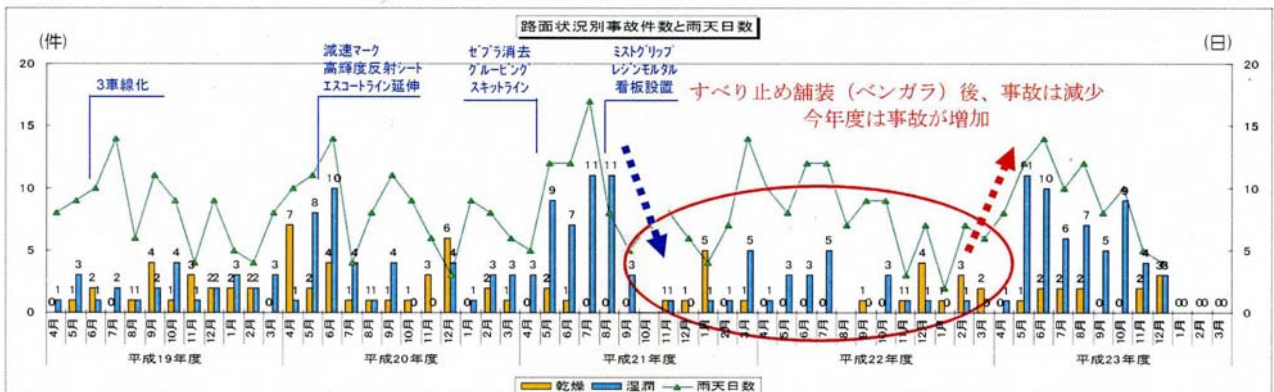


図-2 山王 JCT 北カーブの月別・路面状況別の事故状況と安全対策の時系列変化（H19年4月～H24年3月）

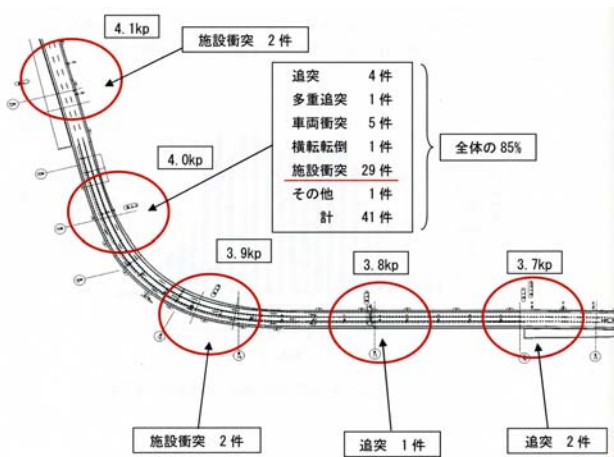


図-3 山王JCT北カーブ事故発生箇所図

は同様の事故が14件発生し、湿潤時での事故が最も多い結果となった。このカーブは、都心環状線の重要部分を担っており、このように特に交通量の多い事故危険箇所においては、事故の発生は人命損失の他に、多重事故への拡大や渋滞発生による時間損失など、社会的に大きな損失と非効率を招くので、効果持続性の高い対策が重要である。

#### 4. タイヤの摩擦円と事故発生のメカニズム

カーブでの施設衝突事故の本質は道路線形とドライバーの反応と自動車の特性の三者が相乗的に作用して破綻への道筋をたどる。この三者を互いに関連づけ、事故を合理的に説明する概念が『摩擦円』の考え方である。

タイヤの摩擦円とは、タイヤと地面の間に働く水平面内のあらゆる方面の力の合力は、そのときの垂直荷重( $W$ )と摩擦係数( $\mu$ )を掛けた摩擦力( $F$ )の値以上になることはできず、合力のベクトルは、半径 $\mu W$ の円内に留まる円のことであり<sup>12)</sup>。概念図を図-4<sup>13)</sup>に示す。

ここに4輪の自動車における摩擦円の性質は次のとおりである。すなわち、

$$F = \mu W g \quad (1)$$

から、

B1)  $\mu$ の性質により摩擦円の半径は、乾燥路面、湿潤路面、雪路面、凍結路面の順に小さくなる。

B2) 荷重( $W$ )が大きく(小さく)なれば摩擦円の半径も大きく(小さく)なる。

その結果、

B3) 加速時には後輪の摩擦円の半径が大きくなる。

B4) 制動時には前輪の摩擦円の半径が大きくなる。

B5) 右(左)旋回時には、左(右)車輪の摩擦円の半径が大きくなる。

以上の予備知識をもとに、コーナリングの限界における車の挙動(図-5参照)<sup>14)</sup>は、

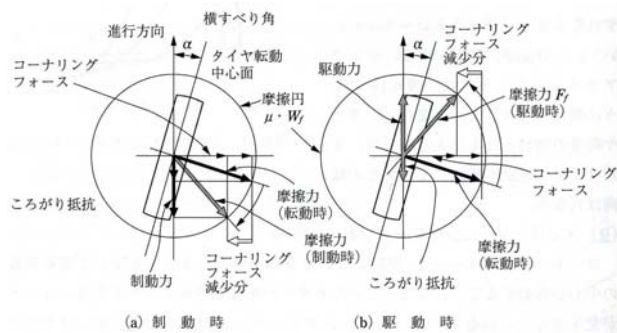


図-4 タイヤの摩擦円<sup>13)</sup>

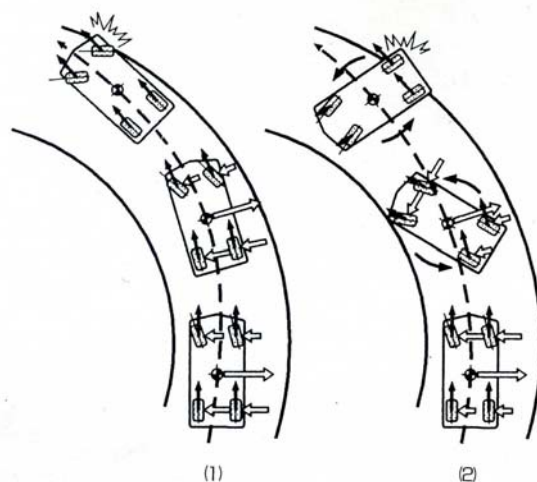


図-5 ドリフト(左図)とスピン(右図)<sup>14)</sup>

C1) 前輪が後輪よりも先に限界に達すると、ドリフトアウトする(図-5左)。

C2) 後輪が前輪よりも先に限界に達すると、スピンを起こす(図-5右)。

この結果、C1の場合には、外側側壁に先に衝突する可能性が高くなり、C2の場合には、内側側壁に先に衝突する可能性が高くなる。写真-1での事故事例では、路面は湿潤時であり、トラックの荷台は空荷に近かったので、B1とB2によりC2の場合の衝突といえる。

次に、自動車がこのような運動をする遠因となるドライバー心理について考察する。遠心力は、速度が高ければ高いほど、回転半径が小さければ小さいほど大きくなるので、同一速度でカーブに進入する場合はカーブの外側を走行の方が安全である。しかしながら、7で観測結果を示すように、このカーブでの第3車線ではカーブ内側走行がきわめて多く、全体車両の33%を占める(6参照)。この事実から、次の仮説を設定する。

A1) ドライバーは、自分の行く手を確認するため、カーブの内側の最先端を見る。

A2) その結果、自動車自体もカーブの内側を走行する結果となる。

この仮説が正しければ、写真-1の事故は、A1→A2→

(B1+B2+B5) →C2 の順序で発生したこととなる。

## 5. 『みち・クルマ・人』の連携による交通安全対策

冒頭でも述べたように、今後の交通安全対策はなお一層の事故件数の削減を目指し、ますます効果発現が困難となることが予想される。一方、交通安全対策は、『みち・クルマ・人』の3要素から構成される。そして、従来の交通安全対策は、『道路は道路だけ、クルマはクルマだけ』のように、3要素が独立して実施されてきた面が大きい。しかしながら、本研究で扱うように道路上では交通安全対策を実施して一時的には効果が発現し、事故件数が減少するものの、再び事故件数が増加する事故危険箇所がある。このような事故危険箇所においては、『みち・クルマ・人』の各分野の学術的成果を効果的に組み合わせ、また関連分野の支援も得て、より効果的・抜本的・持続的な交通安全対策を実施することが重要である。

## 6. アイマークレコーダによる走行実験

ここでは、アイマークレコーダによってカーブ走行時の視線移動を定量化し、同時に、被験者の乗った車両の運動を観測してその走行軌跡を分析する。アイマークレコーダを使用した交通安全に関する研究は最近、増加の傾向にある<sup>15)~20)</sup>。本研究では、ドライバーの視点と自動車の挙動に着目した交通安全研究を行うものである。

研究の計画と方法は次のとおりである。

### (1) 対象区間

名古屋高速環状線のカーブ区間とする。

### (2) 観測の内容

アイマークレコーダによるドライバーの注視点と走行軌跡データの収集は次のように行う。

1) アイマークレコーダ(ナックイメージテクノロジー社製 EMR-9)をドライバー(被験者)に装着してもらい、S1) 最初は何も指示せずにカーブを走行してもらう。そのクルマを後ろから追跡し、走行軌跡をビデオカメラで記録する。

S2) 次に、カーブの内側区画線を見て走行してもらう。走行軌跡を記録する。

S3) 次に、カーブの車線中央を見て運転してもらう。走行軌跡を記録する。

2) アイマークレコーダ解析ソフト(EMR-dFactory およびEMR-dTarget)により視線移動の重心および移動距離等を統計的に解析する。

3) 追従観測車から撮影したビデオにより、注視点と走行軌跡の関連性を分析する。

### (3) 観測の方法と結果

11名の被験者によって走行実験を行った。実験の概要は以下の通りである。

#### 1) 実験日時と被験者

2011年2月26日(土):被験者2名(20代男性)

2011年11月30日(水)~12月4日(日):

被験者11名:20代男性6名・20代女性2名,30代男性1名,40代男性1名,50代男性1名。

なお、これらの被験者は、実験内容を知らされていない部外者で構成した。

#### 2) 実験対象場所

名古屋高速都心環状線の次の4箇所の急カーブ

①鶴舞南JCT北カーブ

②山王JCT北カーブ

③明道町JCT南カーブ

④東片端JCT南カーブ

#### 3) 使用車両と乗車人数

走行車両2台

①前方車両 被験者1名,②追従車両 同乗者2名。

前方車両にはアイマークレコーダを装着した被験者が乗車する。制限速度(安全性の確保)で事故多発地点を実際に走行し、アイマークレコーダによって走行中の眼球移動を記録する。この際に前方車両の走行軌跡を記録するため、追従車両のビデオカメラによって前方車両の走行映像を記録する。

#### 4) 走行方法

走行方法は、名古屋高速都心環状線の4箇所の各急カーブの最も内側の車線を次のように走行した。なお、先述のように本論文では走行車線からみたカーブ内側の『車道外側線』を『内側区画線』、カーブ外側の『車線境界線』を『外側区画線』、これらを合わせたものを『両側の区画線』と呼ぶ。

1 周目:通常走行(普段のように走行)(走行実験S1)

2 周目:内側区画線を注視して走行(走行実験S2)

3 周目:両側の区画線を注視して走行(走行実験S3)

交通安全への配慮から、事前にアイマークレコーダを装着しての練習や名古屋高速都心環状線の下見走行を行っているため、アイマークレコーダの使用や名古屋高速都心環状線の走行についてはある程度慣れてから走行実験を行った。

#### 5) 得られた結果の分析方法

① アイマークレコーダによるデータは、i) 被験者が実験の指示を守って注視対象を見ているかどうか、を確認し、EMR-dFactory および EMR-dTarget によって、ii) アイマーク軌跡、iii) 停留点分析を行う。

② 後続車によるビデオ撮影データは、後述する走行軌跡をビデオ画像の単位コマ数毎に記録する。ビデオ映像は、1秒間に30コマ撮影するので、15コマを1単位として車両の各コマでの位置を内側の区画線から測定した。

代表的な走行軌跡を図-6.7に示す。これらの図でのx軸は、左方向に進行方向を表し、ビデオ画像15コマを



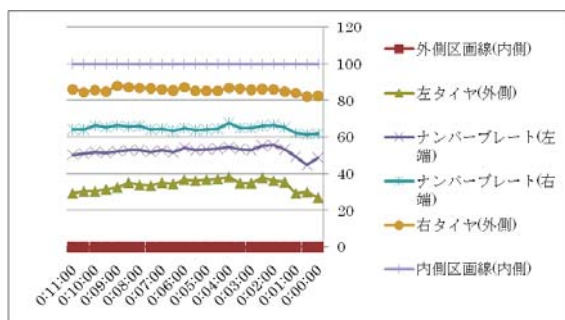


図-6 走行軌跡:車線中央をカーブに沿って並行に走行している(被験者5, 山王カーブ通常走行)

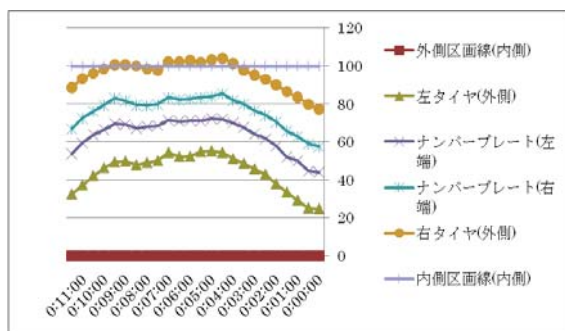


図-7 走行軌跡:内側区画線を踏み越え蛇行して走行している(被験者6, 山王カーブ通常走行)

表-1 各被験者の走行の特長の分類

被験者	S1通常走行	S2内側区画線注視走行	S3両側区画線注視走行
被験者1	内側並行走行	内側蛇行走行	中央蛇行走行
被験者2	内側走行	内側走行	内側蛇行走行
被験者3	中央蛇行走行	中央蛇行走行	中央蛇行走行
被験者4	内側走行	内側並行走行	内側蛇行走行
被験者5	中央並行走行	中央並行走行	中央並行走行
被験者6	内側走行	中央並行走行	中央蛇行走行
被験者A	内側走行	内側並行走行	内側蛇行走行
被験者B	中央蛇行走行	中央並行走行	中央蛇行走行
被験者C	内側蛇行走行	内側並行走行	内側並行走行
被験者D	中央蛇行走行	内側並行走行	内側蛇行走行
被験者E	中央蛇行走行	中央並行走行	中央蛇行走行

『0:01:00, 0:02:00, …』として記している。図-6は、車線中央をカーブに沿って並行に走行している被験者5を示す。図-7は、内側区画線を一時的に踏み越えて蛇行して走行している被験者6を示している。

これらの11名の被験者と走行実験S1～S3をクラスター分析にて分類した。車両位置の最大値(最も外側の位置)、最小値(最も内側の位置)、振幅(最大値と最小値の差)、曲線進入時の初期位置を与えてクラスター分析を行い、デンドログラムによって表-1の結果を得た。

#### (4) 結果の考察

通常走行実験S1と内側区画線を注視する走行実験S2を比較すると、蛇行走行が5件から2件に減少し、走行軌跡が安定するという結果を得た。一方で、走行軌跡がより内側へ変化した事例は少なく、中央走行から内側走行へと変化した事例が1件、その逆が1件で総量では変化がなかった。この両者の結果から、走行位置の内側区

画線からの平均距離は減少し、内側注視によって車両がカーブ内側へ寄って走行することが確認できた。これは、少数サンプルとはいえ4で述べたA1とA2を裏付けるものといえる。

車線中心線を注視して走行する実験S3では、当初、仮説設定としていた安定した走行軌跡が得られるという結果は得られず、蛇行走行が多くなるという結果となった。ただし、蛇行と言っても微小であり、後続車からの観測と観察でも交通安全上の支障はなかった。

この原因は、本来は『車線中央部を注視した走行』の指示が、被験者からの要望で『両側区画線を交互に注視した走行』という指示の変更に変更されたことによるものである。この理由は、人間の中心視野は固定点を見るのが役割であり、固定点を見る方が楽であること、周辺視野は移動や点滅など変化を捉える役割があることに起因していると考えられる。両側の区画線は動的であるがドライバーから見れば固定的であり、一方、車線の中央部には固定しているものがないために、被験者にとって注視することが困難であったからと思われる。この観点から、『車線中央部を注視して走行すれば安定した走行軌跡が得られる』という本研究での仮説の検証は達成できなかった。しかし一方、ドライバーの見た方向に自動車運動するということを示唆されている。このことは、写真-1の事故の遠因が、当車両の運転者がカーブの先の内側を見たことを示唆していると考えられる。

#### 7. カーブ通過速度・位置の路側観測およびその考察

6の走行実験では、サンプル数が少ないので、信頼のあるデータ取得のために路側撮影による観測を併用した。

##### (1) 撮影・分析条件

- ① ビデオ撮影方法：高所撮影
- ② 撮影日：平成23年9月13日(火)
- ③ 分析時間帯：9:00～10:30(走行位置), 11時台, 12時台(速度：事故多発時間帯)
- ④ 路面状況：乾燥

##### (2) 分析項目

- ① カーブ流入・流出・通過後の速度
- ② 車線内での走行位置

##### (3) 分析手法

- ① 走行速度：写真-3での断面A-C間、C-D間及びD-E間の通過時間の差を距離で除して算出。
- ② 走行位置：断面Bおよび断面C(事故多発4.0kp付近)での走行位置を「内側区画線より内側」「内側区画線上」「内側寄り」「中央」「外側寄り」「外側区画線はみだし」の6段階で評価。

##### (4) 走行速度に関する結果(図-8,9)

次の結果を得た。

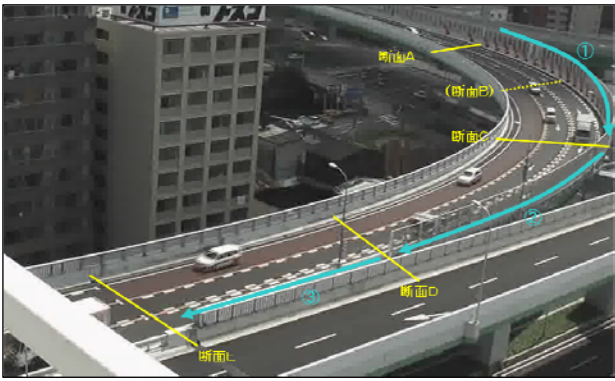


写真-2 山王 JCT 北カーブ撮影状況と分析断面

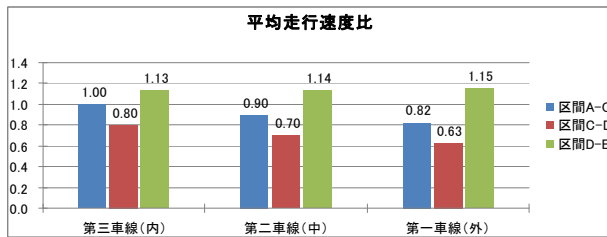


図-8 山王 JCT 北カーブ平均走行速度比：速度比は第3車線(内側)区間 A-C における速度を1.0とした

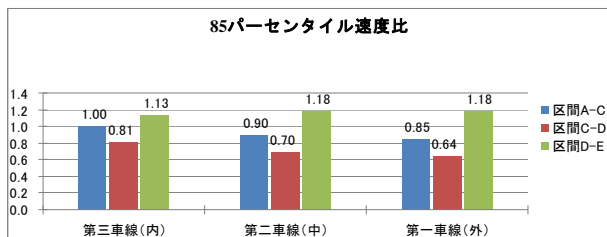


図-9 山王 JCT 北カーブ 85 パーセントイル速度比：速度比は第3車線(内側)区間 A-C における速度を1.0とした

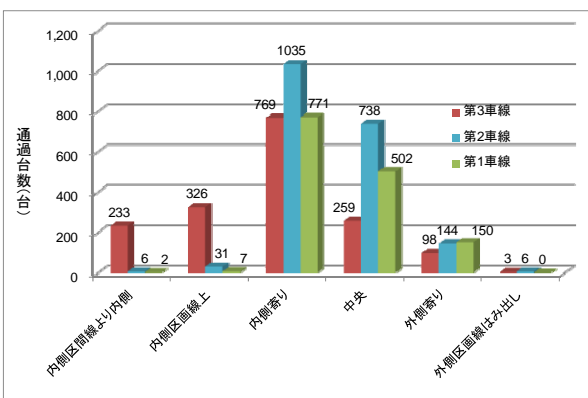


図-10 C断面走行位置図

- カーブ流入速度(区間 A-C) およびカーブ区間内速度(区間 C-D) は、第3車線が最も高い。
- 各車線ともカーブ区間内で減速し、カーブ流出後の直線区間(区間 D-E)で加速している。
- 走行位置に関する結果(図-10) 次の結果を得た。
- 第3車線では、断面 C(図-10)で約79%の車両が車

表-2 遠心力に及ぼす速度と回転半径の感度分析

半径(m)	速度50km/h	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
通過半径90m	27.78	28.90	30.04	31.21	32.40	33.61	34.84	36.10	37.38	38.68	40.00	41.34
91	27.47	28.58	29.71	30.87	32.04	33.24	34.46	35.70	36.97	38.25	39.55	40.89
92	27.17	28.27	29.39	30.53	31.70	32.89	34.09	35.32	36.57	37.84	39.12	40.44
93	26.88	27.97	29.08	30.20	31.35	32.53	33.73	34.94	36.17	37.43	38.71	40.01
94	26.60	27.67	28.77	29.88	31.02	32.18	33.36	34.56	35.79	37.03	38.30	39.59
95	26.32	27.38	28.46	29.57	30.69	31.84	33.01	34.20	35.41	36.64	37.89	39.17
96	26.04	27.09	28.17	29.26	30.38	31.51	32.67	33.84	35.04	36.25	37.50	38.78
97	25.77	26.81	27.88	28.96	30.06	31.19	32.33	33.49	34.68	35.89	37.11	38.36
98	25.51	26.54	27.59	28.66	29.76	30.87	32.00	33.15	34.33	35.52	36.73	37.97
99	25.25	26.27	27.31	28.37	29.45	30.54	31.66	32.82	33.99	35.18	36.38	37.59
100	25.00	26.01	27.04	28.09	29.16	30.25	31.36	32.49	33.64	34.81	36.00	37.21
101	24.75	25.75	26.77	27.81	28.87	29.95	31.05	32.17	33.31	34.47	35.64	36.84
102	24.51	25.50	26.51	27.54	28.59	29.66	30.75	31.85	32.98	34.13	35.29	36.48
103	24.27	25.25	26.25	27.27	28.31	29.37	30.45	31.54	32.66	33.80	34.95	36.13
104	24.04	25.01	26.00	27.01	28.04	29.09	30.15	31.24	32.35	33.47	34.62	35.78
105	23.81	24.77	25.75	26.75	27.77	28.81	29.87	30.94	32.04	33.15	34.29	35.44
106	23.58	24.54	25.51	26.50	27.51	28.54	29.58	30.65	31.74	32.84	33.96	35.10
107	23.36	24.31	25.27	26.25	27.25	28.27	29.31	30.36	31.44	32.53	33.64	34.78
108	23.15	24.08	25.04	26.01	27.00	28.01	29.04	30.08	31.15	32.23	33.33	34.45
109	22.94	23.86	24.81	25.77	26.75	27.75	28.77	29.81	30.86	31.94	33.03	34.14
110	22.73	23.65	24.58	25.54	26.51	27.50	28.51	29.54	30.58	31.65	32.73	33.83

線の内側を走行しており、カーブ流入部(B断面)でも同様の傾向である。

④ 第3車線では、断面C(図-10)で約33%の車両が内側区画線上または内側区画線よりカーブ内側を走行している。

⑤ 第2車線、第1車線では、第3車線と比較して車線中央を走行する車両が多い。

(6) 遠心力の速度成分と半径成分による感度分析

ここでは、カーブ走行時の遠心力の感度分析によって、速度の増加によるリスク増大の効果と内側走行によるリスク増大の効果の定量化する。遠心力  $G$  は、

$$G = mv^2 / r \quad (2)$$

で与えられる。ここに、 $m$ 、 $v$ 、 $r$  は、質量、速度、半径である。簡単のため、 $m = 1$  として、速度成分、半径の逆方向成分で偏微分すると、

$$\frac{\partial G}{\partial v} = \frac{2v}{r} \quad (3)$$

$$-\frac{\partial G}{\partial r} = \frac{v^2}{r^2} \quad (4)$$

として与えられる。それぞれ単位系が異なるので一律な比較ができないが、『カーブ内側走行』から等価な『カーブ走行速度増加』は計算できる。これにより、交通安全対策の効果評価が行える。

仮想的に速度を 50km/h から上の値を設定し、カーブの中心部半径 100m の内側外側に対し±10m の車両通過半径を与えた。式(2)を計算した結果の一部を表-2 に示す。横方向に速度、縦方向に通過半径を表している。時速 50km/h 走行時での走行半径の内側への4mのはみ出しは、同じ走行半径での1km/hの速度増加と等価であり、時速 60km/h 走行時には内側への3mのはみ出しが同様に1km/hの速度増加と等価になることがわかる。この傾向は、速度が増加するとともに顕著となり、式(2)の速度成分の増加率と式(3)の半径成分の増加率は、時速 50km/h での4:1から時速 80km/h での2:1まで減少する。要するに、速度が増加すればするほど、内側走行による遠心力は大きくなり、スリップ事故のリスクが高くなるという

ことが定量化できる。

このことから、カーブでの速度抑止対策が安全対策上最重要であるが、内側走行を抑止する対策も重要であることがわかる。

## 8. まとめ

本論文では、名古屋高速道路都心環状線での事故多発地点である山王カーブを対象に、その交通安全対策のあり方を考察した。事故事例の分析やアイマーク走行実験、走行状態の路側観測から以下のことが明らかとなった。

- (1) 当該箇所では、カーブの特定箇所事故が多発し、しかも湿潤時での事故発生件数が多い。
- (2) 事故の発生メカニズムは、タイヤの摩擦円によって説明できる。すなわち、カーブにおけるコーナリングフォースと制動力（加速力）の合力が、タイヤの摩擦円の半径を超過すると必然的にスリップもしくはドリフトの現象が起こり、かつ湿潤時には摩擦円の半径が小さくなるので事故発生の可能性はきわめて高くなる。
- (3) 遠心力は、カーブのより内側を走行することによって増大する。このカーブの内側走行は、ドライバーの注視点と強い関係がありそうである。
- (4) カーブ走行時の遠心力の感度分析によって、速度の増加によるリスク増大の効果と内側走行によるリスク増大の効果を定量化した。
- (5) (4)でのカーブ走行時の遠心力の感度分析により、当該カーブの交通安全対策の方向性は以下の通りである。すなわち、以下の対策が事故防止に有効である。
  - ① 従来から対策を講じてきた速度抑止対策が最重要である。
  - ② 今後は内側走行抑止対策を併用していくことが重要である。

今後の課題としては、

- (1) アイマーク実験のデータ蓄積とドライバーの注視点に関する研究を展開する必要がある。
- (2) カーブの内側走行抑止策の具体的手法については、今後の検討が必要である。
- (3) カーブ内側走行抑止策を策定・実行し、その効果検証を行う必要がある。

## 謝辞

本研究は、多くの方々のご協力で成り立っています。名古屋高速道路公社北川昭彦氏、森 英和氏、東京建設コンサルタント河崎 亨氏、名城大学都市情報学部野々村英俊君には、多大なご協力を得ました。連名が上限 4 名でありますので謝辞に記させていただきます。また、自動車の運動特性については中日本自動車短期大学の大脇澄男教授にご教示をいただきました。以上、記して感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：阪神高速道路の交通管制に関する研究報告書，交通工学研究会，1978。
- 2) 彦坂崇夫・中村英樹：高速道路単路部における交通状況と事故発生リスクとの関連に関する統計的分析，第 21 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.173-176，2001。
- 3) 大口 敬・赤羽弘和・山田芳嗣：高速道路交通流の臨界領域における事故発生リスクの検討，交通工学，第 39 巻 3 号，pp.41-45，2004。
- 4) Hayward, J.C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 384, 24-34.
- 5) Allen, B.L., Shin, B.T. and Cooper, D.J. (1978). Analysis of traffic conflicts and collision. Transportation Research Record, 667, 67-74.
- 6) 若林拓史・高橋吉彦・新美栄浩・蓮花一己：交通流ビデオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と新しい危険度評価指標の提案，土木計画学研究・論文集，Vol.20, No.4, pp.949-956，2003。
- 7) 宇野伸宏・飯田恭敬・安原真史・菅原真澄：一般道織込み部におけるコンフリクト分析と速度調整モデルの構築，土木計画学研究・論文集，vol.20, 989-996，2003。
- 8) 吉井稔雄・兵頭 知・倉内慎也：都市内高速道路における事故発生リスク要因分析，第 31 回交通工学研究発表会論文集，pp.93-98，2011。
- 9) 茂木帝士・柴田昌弘・森 英和・若林拓史：都心環状線 3 車線カーブの事故状況及び交通安全対策の効果検証，第 30 回交通工学研究発表会論文集，CD-ROM (pp.129-132)，2010。
- 10) 名古屋高速道路公社・財団法人名古屋高速道路協会：平成 23 年度名古屋高速道路の交通マネジメントに関する調査研究委員会報告書，平成 24 年 3 月。
- 11) 名古屋高速道路公社・財団法人名古屋高速道路協会：平成 20 年度名古屋高速道路の交通マネジメントに関する調査研究委員会報告書，平成 21 年 3 月。
- 12) 安部正人：自動車の運動と制御 [第 2 版]，p.26，東京電機大学出版会，2008。
- 13) 樋口健治・横森 求 (監修)・自動車工学編集委員会(著)：自動車工学 [第 2 版]，p.146，東京電機大学出版会，2011。
- 14) 宇野高明：車両運動性能とシャシーメカニズム，p.26，グランプリ出版，1994 年
- 15) 三村泰広・稲垣具志・野田宏治・荻野 弘：眼球運動による生活道路の安全性評価指標の構築に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，土木計画学研究・講演集，No.41，CD-ROM(No.117)，2010。
- 16) 竹内聖人・荻野 弘・池田典弘・木村有希：視認性向上を目的とした地点名標識の評価，第 30 回交通工学研究発表会論文集，pp.73-76，2010。
- 17) 飯田克弘・小島悠紀子・黒田孝志・兒玉 崇：都市高速道路分合流部における運転者の前方不注視と標識の関連性分析，第 30 回交通工学研究発表会論文集，pp.77-80，2010。
- 18) 橋本幸樹・金子正洋・尾崎悠太：交通事故要因分析の高度化に関する調査，土木学会第 65 回年次学術講演会概要集第 4 部，IV-100，pp.199-200，2010。
- 19) 兒玉 崇・飯田克弘・田名部淳：阪神高速道路の分合流区間における走行調査について，土木学会第 65 回年次学術講演会概要集第 4 部，IV-103，pp.205-206，2010。
- 20) 山下大輔・上田 誠・井本智之・荒川太郎：首都高速道路におけるアイカメラ等運転挙動データに基づく既存交通安全施設の課題抽出及び対策案の有効性検討，第 31 回交通工学研究発表会論文集，pp.81-86，2011。