



Title	高速追従走行時の運転行動とその危険性に関する基礎的研究
Author(s)	田中, 聖人
Citation	大阪大学, 1987, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/633
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

高速追従走行時の運転行動と その危険性に関する基礎的研究

1987年10月

田 中 聖 人

目 次

第1章 序論

1. 高速道路の安全問題	1
2. 研究の目的と意義	5
3. 従来の研究	6
4. 論文の構成	7
参考文献	8

第2章 追従走行時及び接近走行時の車間距離

1. はじめに	11
2. 追従走行及び追突事故における車種組合せ	11
3. 定点観測による追従走行時の車間距離	16
4. 安定追従走行時の車間距離	21
5. 接近走行におけるアクセル解除時の車間距離	25
6. まとめ	32
参考文献	33

第3章 車間距離と占有領域

1. はじめに	35
2. 追従走行の分類	35
3. 速度欲求伝達型追従走行の存在	36
4. 車間距離に対する反応	39

5. 速度欲求伝達車間距離と安全必要車間距離の対比	47
6. 接近追従走行出現の背景	47
7. まとめ	48
参考文献	49

第4章 高速接近追従走行時の危険補償行動の評価

1. はじめに	51
2. 制動燈点灯に対する反応時間	52
3. 追従走行時の注視行動	56
4. 接近追従走行時の危険補償行動の評価	58
5. まとめ	61
参考文献	62

第5章 トンネル内の視覚環境問題に関する考察

1. はじめに	63
2. トンネル事故の発生地点からみた問題点	64
3. トンネル内の速度感	66
4. 前車の見え方がドライバーの反応に及ぼす影響	77
5. まとめ	85
参考文献	86

第6章 交通混雑下での追突事故発生の背景分析

1. はじめに	89
2. トンネルによる交通流の速度低下	90
3. 交通量と追突事故の関連性	98

4. 渋滞後尾追突事故発生の背景	100
5. まとめ	101
参考文献	101

第7章 結論と追突事故防止策

1. 結論	103
2. 追突事故防止策	104

第1章 序論

1. 高速道路の安全問題

2. 研究の目的と意義

3. 従来の研究

4. 論文の構成

1. 高速道路の安全問題

昭和38年7月にわが国最初の都市間高速道路（以後高速道路という）である名神高速道路の粟東～尼崎間71kmが開通し、高速道路時代が開幕した。その後、年々供用延長が伸び、昭和61年において3900kmが供用されるに至っている。建設当初、観光道路と言われた高速道路も現在では社会経済活動を支える大動脈となっており、また、日常生活においても気軽に利用されるようになっている。高速道路の利用は今後更に進展することが予想される中で、高速道路を快適で安全なものとするのがより一層求められる。

本来、高速道路は安全な道路といえる。1億台キロ当りの人身事故件数を一般道路と比較した場合、約10分の1の値¹⁾である。しかし、致死率（死者数÷死傷者数×100）をみると、高速道路は一般道路の2～3倍¹⁾となっている。高速道路は事故自体は発生しにくい、一度事故が起これば死者の出る可能性の高い道路といえる。したがって、事故の発生そのものを防止することが強く求められる。

高速道路の事故問題は交通量の多寡によってその質を異にする。図1-1は、名神高速道路と中国道の供用後の事故率の変化の様子を示したものである²⁾。名神高速道路は昭和57年まではほぼ一貫して事故率の減少をみたが、昭和58年以降横這い状態となっている。中国道は供用後名神高速道路のような高い事故率とはならず、低い値での増減を繰り返しているが、近年ほぼ横這い状態にあるといえる。昭和55年以降、中国道の方がやや高い事故率となっている。

図1-2は、名神高速道路と中国道について全事故中追突事故の占める件数と比率の経年変化を示したものである²⁾。交通量の変化も同時に示してある。名神高速道路についてみると、供用直後21%程度であった追突事故の比率は年を経るにつれ増大し、昭和52年以降、ほぼ47～53%の範囲で推移している。一方、中国道においては、多少の変動はあるものの、増大傾向がみられる。しかし、追突事故の比率は名神高速道路よりも約20%低い状態にある。また、名神

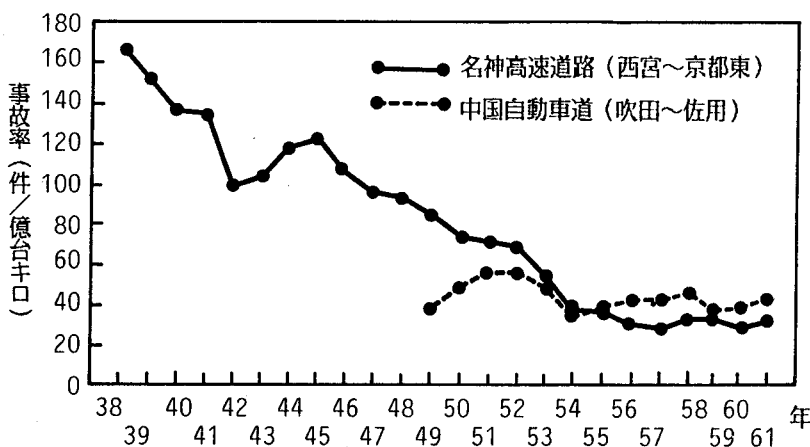


図1-1 事故率の経年変化

注)

- ・西宮～京都東間の全線開通は昭和39年9月
- ・吹田～佐用間の全線開通は昭和50年10月

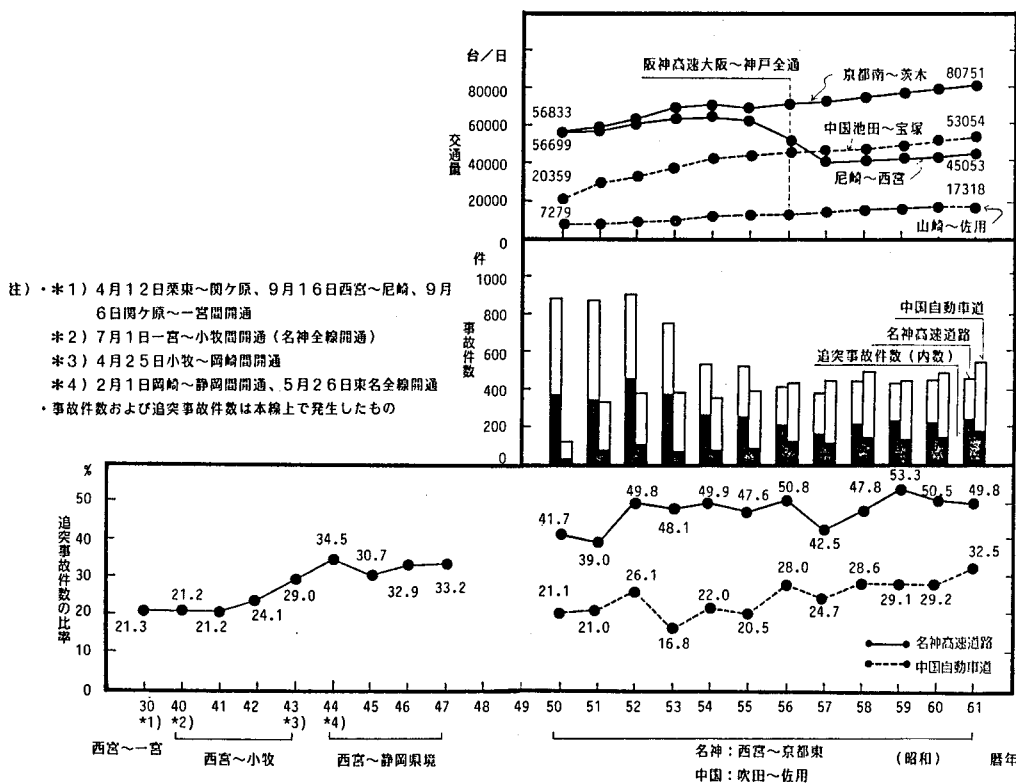


図1-2 追突事故の件数、比率および交通量の経年変化

高速道路について全事故と追突事故の件数の経年変化をみると、両方とも昭和57年まで減少傾向にあり、その後横這い状態となっている。このことは、全事故と追突事故の変化が連動していることを示しており、追突事故の減少は事故全体を拡大減少させることが予想される^{注)}。

以上のことより交通量の多い高速道路において、さらに安全性を向上させるためには追突事故を減少させることが最重要課題である。本研究で追突事故問題を対象とするゆえんもここにある。

つぎに、追突事故はいかなる原因によって発生するかを考える。追突事故の発生はつぎのような要因が関係してくる。

被追突車に關係する要因：急減速、停止

追突車に關係する要因： 短い車間距離、前方不注視、知覚遅れ、反応遅れ

実際に発生している追突事故は、これらの要因のすべてあるいはいくつかと同時に生じたために発生したといえる。例えば、高速道路本線上で減速、停止がおこなわれても追突事故に至るのは極めて希であり、前方不注視、あるいは知覚の遅れがあってはじめて追突事故になるし、前方不注視がなくとも車間距離が短いため前車の急減速だけで追突事故になる場合もある。また、短い車間距離で前方不注視であっても前車の減速がなければ追突事故にならないであろう。表1-1は名神高速道路での事故の人的要因を示したものである。上に示した各要因の組合せをみることはできないが、いずれの要因が卓越しているかが示されており、最も多いのは「運転に必要なミラーや他車を見る」、「運転に関係ないものを探す、見る」など前車への注視を怠ったことによる事故であり、つづいて、「車間距離の狭さ」、「前車の行動の知覚や判断のミス」、「緊急時の操作ミス」などが原因となっている。追突事故の大半は前車に対する注意、注視の怠りが原因となっており、これは人間の持つ特性とも考えられ、いかに安全に設計された高速道路といえども完全に追突事故を防止することは極めて困難であることが予想される。しかしながら、追突事故の発生に狭い車間距離での高速走行、および前車との相対的な速度、車間距離変化の知覚ミスも大きく関与しているものと考えられる。

表 1 - 1 名神高速道路における人身事故の人的要因³⁾

事故原因	内 容	件数
車内で運転に関係ないものを探す、ひろう	料金を探す、タバコを探す	41
車内で運転に関係あるものを探す	ライトのスイッチを探す	3
車内で運転に関係ないものを見る	カセットを見る 足元を見る	5
車内で運転に関係ない作業や動作を行う	カセットテープの交換、ラジオを操作	14
同乗者との関係	同乗者と雑談する	11
車外の運転に関係ないものを見る	事故車を見る、景色を見る	15
操作ミス	ブレーキペダルを踏み外す、スリップ	34
意識水準低下	いねむり、ぼーっと前を見る	33
運転に必要なものを見る	ミラーで右後方集中、左後方に集中	96
判断のミス	ゆるいブレーキで十分と判断	39
確認のない行動	後方の確認無く車線変更	17
不測の事態	予測のできない駐車	3
乱暴な他車の動き	いやがらせ、故意	5
無謀な運転	極端な車間不保持、過剰速度	71
その他	考え事をする、不明	8
合計		395

注) 名神高速道路大阪区間 (497.5kp ~ 525kp) の昭和52年~55年の人身事故データ使用

2. 研究の目的と意義

高速道路は、高速走行するドライバーの快適性および安全性が設計上十分配慮された道路である。一方、車両も道路の高速化とあいまって、高速時においてもすぐれた操縦性、安定性を持つに至っている。ここにおいて、ドライバーは高速走行運転の技倆（技能）を持ちあわせてさえいれば、高速道路を快適にしかも安全に走行できることになる。しかし、上述のことは、あくまでも他車が存在しないあるいは極めて少ない交通状況下においていえることである。先述したように、主要な高速道路においては大量の交通量が間断なく流れており、トンネルやサグでの渋滞も出現するようになり、ドライバーは道路の形状にいかに合わせて運転するかよりも、他車の形成する交通環境の中であって、自車を他車との関係においていかにもっていくかが要求される⁴⁾。拘束性の高い交通状況においてはドライバーはもっぱら、前車の走行状態に合わせて走る追従走行を強いられることになる。そこでは、走行速度決定の自由性はなく、ドライバーは前車との車間距離だけを決定する。そして、前車の走行状態および前方の交通状況を監視しながら走行を維持し続ける。前車に高速追従走行するときの運転行動は、ドライバーの動機体系（いそぎ、あせり、欲求など）や態度によって規定される⁴⁾。速度欲求が強く、安全態度の欠落したドライバーは車間距離を短くして追従走行するであろう。そこには、常に前車への追突の危険性が潜んでいる。

以上のような認識のもとに、本研究は、高速追従走行時の運転行動の面から追突事故発生の背景と防止策を考察したものであり、次のような目的を設定した。

- ①高速での追従走行時および前車に接近しつつあるときのドライバーのとり車間距離の解明と追突危険性の評価
- ②高速での接近追従走行がおこなわれる心理的背景の解明と追突の危険に対する補償行動の評価
- ③トンネルで追突事故が多発する誘因の解明
- ④渋滞後尾での追突事故の発生しやすい交通量の把握

本研究の意義についてはつぎのように考えられる。

①事故の形態は交通状況と密接に関係しており、発生の過程も全く異なるにもかかわらず、事故全体として取り扱われることが多いが、本研究では、事故を形態別にみる視点に立ち、安全対策のとりにくいしかも問題性の高い追突事故を対象としたこと。

②追従走行時の運転行動に潜む追突危険性をドライバーの視知覚特性および心理的欲求の側面から明らかにすることにより、ドライバーの行動特性を踏まえた追突防止策の検討と安全走行教育の素材提供を可能にしたこと。

3. 従来の研究

事故は一般に道路・交通要因、自然環境要因、および人的要因がからみあって発生するものであるが、事故1件1件についてその発生原因を考えたとき、主原因はドライバー自身の認知、判断、操作の不適切さといった人的要因にあるといえる。しかし、統計的見方をすれば道路・交通要因、自然環境要因と事故発生との関連性をみいだすことができる。わが国の高速道路が供用されて以来今日まで、交通事故研究の中心は統計的分析にあるといえる。初期においては、高速道路における事故の実態分析⁵⁾や事故率と幾何構造との関連分析^{6) 7) 8)}が主になされてきた。その後多変量解析手法の発達によって、あらゆる要因を同時に考慮した事故要因分析が可能となり、各要因の相互関連性や事故発生への影響度に関する分析が進められた。日本道路公団⁹⁾は、東名、名神を対象に電子計算機を利用した統計解析システムを開発し、数量化理論、重回帰分析等を用いて事故と道路線形の関係分析を中心に速度、路面状況を考慮した総合的な事故解析をおこなってきている。また、吉田ら¹⁰⁾は中国、九州自動車道を対象に高速道路事故の致死率の高いことに注目し、死傷の有無に及ぼす自然環境、交通環境、人・車系の各要因の影響の度合いを数量化Ⅱ類により分析している。このような多変量解析手法による事故解析は事故影響要因を総合的にとらえることができるものの、重要な要因であるドライバーの心理的要因、視知覚的要因や交通流の状態

要因を取り込むことができず、事故発生メカニズムの追求が困難である。道路構造の改築といった根本的な安全対策は別として、現在の道路構造の下で効果的な事故防止を考えていく場合、ある形態の事故がなぜ発生するのかという事故発生メカニズムが明らかにされなければならない。小島¹¹⁾は車線変更によって引き起こされた事故を対象に、その発生過程を詳細に分析し事故発生を5つのタイプに分類するとともに、主要因が後方安全確認なしにあることを示している。また、車線変更挙動を実測し、事故を誘発する引き金となる車線変更の存在を示している。交通量が多くなるとドライバーと道路の関係で発生する事故よりも車相互の関係で発生する事故（特に追突事故）が多くなる。従って、交通事故の解析も交通流の状態、車の挙動、ドライバーの心理的および視知覚的特性の3要因をからめて解析しなければならない。井上¹²⁾は阪神高速道路を対象に事故発生時の交通状態を円滑部と渋滞部とに分け、さらに渋滞部を内部と後尾部に分けて交通状態別事故率を算定し、交通流状態と事故発生危険度との関係について検討している。

高速道路の事故は交通量の多寡によってその様相も異なってくる。従って、事故の原因を追求し安全対策を考える場合、問題とする事故形態によっておのずとアプローチ方法も異なったものとなる。これまで、追突事故を対象に、その背景を運転行動面から追求したものは極めて少ない。

4. 論文の構成

本論文は、交通量の多い高速道路での追突事故発生の背景を解明するために、つぎの3つの部分から構成されている。

まず、追従走行時の運転行動を観測ならびに実験により分析し、その危険性を評価しているのが第2章、第3章、第4章である。

つぎに、隘路となるトンネルの視覚的問題を検討しており、第5章がこれに該当する。

さらに、隘路において渋滞が発生し、上流より車間距離の短い交通流が流れて

くるときの追突事故発生を検討しており、第6章がこれに該当する。

本論文は、大きくこの様な構成になっているが、各章の内容の概略は次の通りである。

第1章では、本論文で対象とする問題の重要性、目的、方法および従来の研究について述べている。

第2章、第3章、第4章は追従走行時の運転行動を取り扱い、特に車間距離に対するドライバーの反応を問題としている。まず、第2章では高速走行時の追従走行車を多数観測するとともに、安定追従走行実験をおこない、車間距離がどのようにとられているかを示している。また、前車への接近行動が終了する時点の車間距離を実験的に計測し、その特性を示している。さらに、追従・接近走行行動が危険側になることを明らかにしている。

第3章では、高速での接近追従走行をおこなう心理的背景について考察している。ヒアリング調査により、接近追従走行をおこなう心理的理由を明らかにするとともに、車間距離と前車への速度欲求伝達度の関係を分析し、速度欲求の伝わる車間距離を明らかにしている。

第4章では、追従走行実験により、ドライバーの制動燈への反応行動および注視行動を調べ、接近追従走行時の危険補償行動の評価をおこなっている。

第5章では、交通流のスムーズな流れを阻害するトンネルに潜む視覚環境上の問題を、追突事故発生地点分布、ドライバーの奥行き運動の知覚特性および速度感の3つの側面より明らかにしている。

第6章では、トンネル入口部での速度低下現象を観測および理論解析により明らかにするとともに、渋滞後尾追突事故の発生しやすい交通量を見出し、その背景を考察している。

最後に、第7章では、結論と追突事故防止策について整理している。

(参考文献)

1) 総理府：交通安全白書、昭和50年～58年版

- 2) 日本道路公団大阪管理局：交通統計、昭和50年～61年版
- 3) 久間木信夫：高速道路の混雑区間における交通事故、高速道路と自動車、第26巻第9号、1983年
- 4) 長山泰久：NF式安全運転適性テストの標準化、交通科学、VOL.2, NO.2, 1972
- 5) 横山勝信：名神高速道路の事故（上）（下）、交通工学、VOL.1, NO.4, 1966, 1967
- 6) 高速道路調査会：首都高速道路の幾何構造と事故に関する研究、高速道路と自動車、VOL.XI, NO.9, 1968
- 7) 鍛冶晃三、巻上安爾、前田依彦：高速道路の事故解析、交通工学、VOL.8, NO.4, 1973
- 8) 古田滋：都市高速道路の事故と問題点、高速道路と自動車、VOL.XVI, NO.8, 1973
- 9) 木倉正美、松本信吾：高速道路における事故解析（前編）（後編）、高速道路と自動車、VOL.XXI, NO.5
- 10) 古田信夫、堤昌文：高速道路における交通事故の分析とその対策、交通工学、VOL.15, NO.6, 1980
- 11) 小島幸雄：高速道路での車線変更挙動に起因する事故の分析、科学警察研究所報告、交通編、VOL.19, NO.1, 1978
- 12) 井上矩之、若林拓、中谷充宏：都市高速道路の交通状態と事故発生に関する考察、土木学会関西支部年次学術講演概要、1982

注) いま、

A_t : t 年の総事故件数

A_{t+1} : $t+1$ 年の総事故件数

C_t : t 年の追突事故件数

C_{t+1} : $t+1$ 年の追突事故件数

とすると、

総事故における追突事故の比率が両年で等しければ

$$C_t / A_t = C_{t+1} / A_{t+1}$$

全事故が減少しているとすれば

$$\begin{aligned} A_t - A_{t+1} &= A_t - A_t \times C_{t+1} / C_t \\ &= A_t / C_t (C_t - C_{t+1}) \end{aligned}$$

となる。

すなわち、追突事故数を減少させれば、全事故は A_t / C_t 倍だけ拡大減少する。

第2章 追従走行時及び接近走行時の車間距離

1. はじめに

2. 追従走行及び追突事故における車種組合せ

3. 定点観測による追従走行時の車間距離

4. 安定追従走行時の車間距離

5. 接近走行におけるアクセル解除時の車間距離

6. まとめ

1. はじめに

高速道路は交通量の少ない状態では単独事故が多く、人－車対道路線形の関係が安全上重要な問題となる。一方、交通量が増大し前後左右に他車が存在し、車列となって走行する状態になると、車両相互事故なかでも追突事故が多数を占めるようになり、他車との相互関係の中での走行挙動の解明が重要となる。

追突事故を防止するための必要条件は、まず、ドライバーひとりひとりが余裕ある車間距離を維持することである。しかし、実際の交通流においては、極めて余裕のない短い車間距離での追従走行がおこなわれている。夜間において接近追従走行の発生する理由については、ドライバーの視知覚面からの検討もなされている¹⁾が、その結果で昼間の接近追従走行を説明することはできない。近年、車の流れの中での前車と後車の相互作用をプロツキシミクス（近接学）的立場よりアプローチするとともに、カタストロフィー理論を用いて説明づける試み²⁾がなされており、追従走行現象解明の新しい展開が期待される。しかし、車間距離の取り方の解明はこれからの問題である。

本研究では、まず、追従走行時の前車と後車の車種組合せにおいて追突事故発生に違いがみられるかを検討し、つぎに、追突事故発生の主要な要因である車間距離に着目し、ドライバーは高速度での追従走行時及び接近走行時にどのような車間距離の取り方をするのか、その車間距離は安全上余裕があるのかを明らかにすることを目的とした。

2. 追従走行及び追突事故における車種組合せ³⁾

(1) 追従走行時における車種組合せの実態

(a) 車種分類

追突事故における追突車、被追突車の関係および追従走行時の車間距離に及ぼす前車、後車の影響を分析するために、ドライバーの視点高、車高、車幅を考慮

した車種分類が必要である。これらの値を得るために、名神高速道路の吹田SAに駐車している車の実測をするとともに、一般道路を走行中の車を写真撮影し、写真より視点高、車高を計測した。

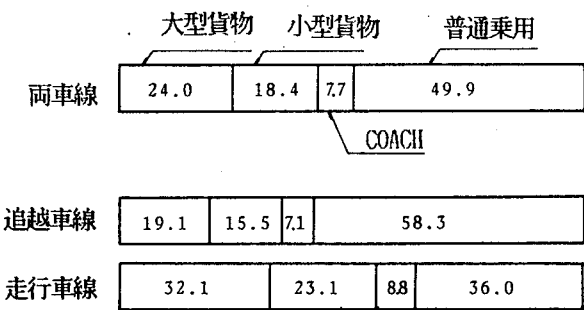
これらの測定値をもとに、4車種（①大型貨物車・大型バス、②小型貨物：普通貨物車・小型貨物車、③COACH：COACH、④普通乗用：普通乗用車類）に分類した。

（b）調査の概要

昭和58年11月2日（晴）8時45分～16時30分の間、507.7kp付近の丘の上より、ビデオカメラで、名神高速道路の交通流を連続撮影記録した。今回は上り線だけについて分析することにし、各時刻帯より10分間のデータ抽出をおこなって、追従走行時の車種組合せを調べた。その場合、車間距離が70m以上ある場合には車群をそこで区切り、車群ごとに車種の組合せを集計した。

（c）車種構成

図2-1は、全体ならびに車線別の車種構成率を示したものである。全体で見ると、普通乗用が最も多く、約5割を占めている。両車線を比較すると、追越車線では普通乗用の割合が高くなるが、走行車線では大形貨物、小型貨物の割合が高くなっている。



単位：%

図2-1 車種構成率

(d) 車種の組合せ

図2-2は、全体および車線別に前車、後車の車種組合せの構成率を示したものである。全体についてみると、普通乗用と普通乗用の組合せがきわだって多く、約3割を占めている。次に、普通乗用が大型貨物に追従（10.0%）、大型貨物が普通乗用に追従（9.6%）の順となっている。

車線別にみると、両車線間で大きく異なっており、追越車線では普通乗用と普通乗用の組合せの割合が極端に高くなっており、走行車線の2倍以上になっている。走行車線では大型貨物と大型貨物、小型貨物と小型貨物の組合せが追越車線に比べて相対的に高い割合となっている。

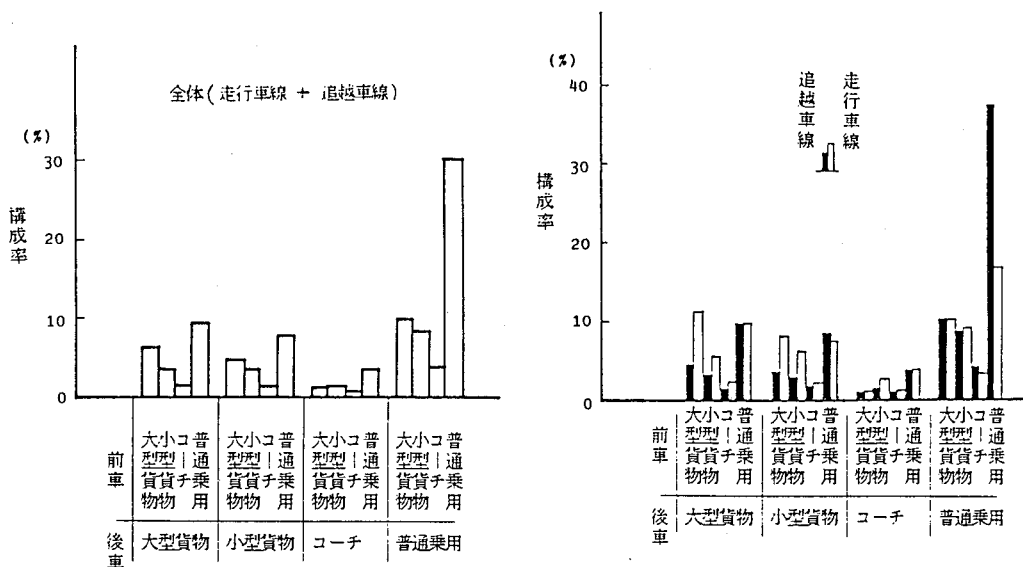


図2-2 車種組合せの構成率

次に、追従するときの車種の組合せにかたよりのあるかどうかをみることにする。表2-1はかたよりの有無をみるために、全体についての車種組合せの実測値と計算値を示したものである。計算値は前車と後車の車種が独立であるとして、実測された車種構成率をもとに計算したものである。適合度の検定 ($\chi^2 = 15$,

$\chi^2 = 73.98 > \chi^2(15, 0.01) = 30.6$ の結果、有意水準 1% で実測値と計算値の間の適合度は棄却され、追従する車種と追従される車種の組合せにはかたよりがあるといえる。

表より実測値が計算値を上回っている組合せは、対角線上の同一車種の組合せおよび大きさのより近い車種の組合せであり、逆に大きさが大きく異なる車種の組合せは、計算値の方が上回っている。このことより、大きな車は小さな車に追従走行することを嫌い、また、小さな車は大きな車に追従走行することを嫌い、

表 2-1 車種組合せ構成率の実測値と計算値

全体（追越車線＋走行車線）

後車 前車	大型 貨物	小型 貨物	COA CH	普通 乗用	計
大型 貨物	6.6 5.8	4.9 4.4	1.5 1.8	10.0 12.0	23.0 24.0
小型 貨物	3.9 4.4	3.9 3.4	1.6 1.4	8.6 9.2	18.0 18.4
COA CH	1.5 1.8	1.6 1.4	0.8 0.7	3.7 3.8	7.6 7.7
普通 乗用	9.6 12.0	7.9 9.2	3.6 3.8	30.3 24.9	51.4 49.9
計	21.6 24.0	18.3 18.4	7.5 7.7	52.6 49.9	100 100

単位：％ 上段値：実測値
下段値：計算値

すなわち、同じ車種の車に追従走行したがる傾向があるといえる。

（２）車種組合せからみた追突事故の特徴

（a）データ

日本道路公団作成の事故処理票から、昭和 55 年～57 年において、名神高速道路西宮 IC～京都東 IC 間で発生した追突事故のみを抽出し、分析データとした。抽出された追突事故は合計 579 件（昭和 55 年 235 件、昭和 56 年 193 件、昭和 57 年 151 件）であった。追突事故 1 件毎に発生時刻、車種を調べた。

(b) 追突車・被追突車の車種組合せ

表2-2は昭和55～57年を総計して、追突車と被追突車の車種組合せの構成率を示したものである。最も構成率の高いのは、普通乗用と普通乗用（35.3%）であり、つづいて、小型貨物と普通乗用（10.7%）、大型貨物と大型貨物（9.8%）、大型貨物と小型貨物（8.7%）となっている。追突車が被追突車より小さい組合せの構成率が全体的に低いことが注目される。

表2-2 追突事故の車種組合せの構成率

昭和55～57年度

後車 前車	大型 貨物	小型 貨物	COA CH	普通 乗用	計
大型 貨物	51 9.8	25 4.8	1 0.2	17 3.3	94 18.1
小型 貨物	45 8.7	37 7.1	3 0.6	21 4.1	106 20.5
COA CH	10 2.0	9 1.7	2 0.4	9 1.7	30 5.8
普通 乗用	39 7.5	55 10.7	11 2.1	183 35.3	288 55.6
計	145 28.0	126 24.3	17 3.3	230 44.4	518 100

上段値：件数
下段値：構成率

(c) 追突事故発生の難易

つぎに、交通流の車種組合せの構成率と追突事故の車種組合せ構成率を比較することにより、いづれの車種組合せにおいて追突事故が発生しやすいかをみる。

追従走行時の、前車、後車の車種組合せの構成率は昼間帯についてのものであり、したがって、ここで対象とする追突事故は昼間に発生したものに限った。表2-3は、昭和55年～57年に上下線で発生した追突事故の車種組合せの構成率と今回調査した交通流の車種組合せの構成率を対比したものである。追突事故の構成率が交通流の構成率を上回っているのは、同一車種の組合せか、前車が後車より小さい組合せの場合であり、前車が後車より大きい組合せにおいては、す

べて、追突事故の構成率が下回っている。このことより、一般に、同一車種の車あるいは、後車より小さい車に追従走行する場合には、追突事故が生じやすくなる。ただし、大形貨物と普通乗用、COACHと普通乗用、COACHとCOACHの組合せは例外である。一方、後車より大きい車に追従走行する場合には、追突事故は発生しにくくなるといえる。

表 2-3 追突事故と追従走行時の車種組合せ構成率

全体（昼間）

後車 前車	大型 貨物	小型 貨物	COA CH	普通 乗用	計
大型 貨物	9.0 6.6	4.2 4.9	0 1.5	2.9 10.0	16.1 23.0
小型 貨物	8.1 3.9	7.6 3.9	0.8 1.6	4.0 8.6	20.5 18.0
COA CH	1.8 1.5	1.6 1.6	0.3 0.8	1.8 3.7	5.5 7.6
普通 乗用	7.4 9.6	11.4 7.9	2.3 3.6	36.8 30.3	57.9 51.4
計	26.3 21.6	24.8 18.3	3.4 7.5	45.5 52.6	100 100

単位：％

上段値：追突事故の車種組合せの構成率

下段値：追従走行の車種組合せの構成率

3. 定点観測による追従走行時の車間距離⁴⁾

(1) 調査地点および撮影データ

調査地点を図 2-3 に示す。今回データを収録したのは、名神高速道路の大阪～京都間のうち

- ①トンネル非影響部として上り線 508kp (A-1) と 503kp (A-2) の 2 地点
- ②トンネル入口部として梶原第 1 トンネルの上り線入口部 (B) と天王山トンネル下り線入口部 (D)

③梶原第1トンネルと第2トンネルの上り線明り部（C）

の5地点である。測定区間は40m（一部30m）とし、この区間の車の流れを8ミリカメラにより24f/sで撮影した。撮影時の交通状況についてはバラエティーがあるように配慮した。収録したデータの概要を表2-4に示す。

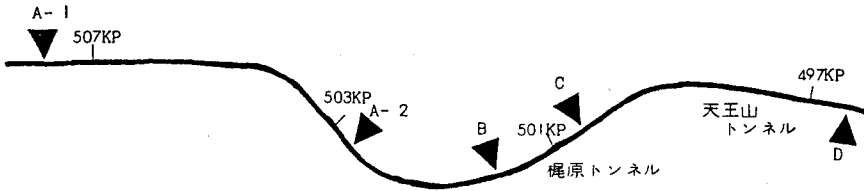


図2-3 名神高速道路における交通流調査地点

表2-4 フィルムデータの内容

地点	地点特徴	目視による 交通状態	撮影日時と時間帯	本数	撮影 区間長
A-1	トンネルの非影響部 上り線（508 KP）	渋滞流	昭和56-11-11、10：45-11：10	4	40m
		通常走行流	56-11-11、14：00-15：35	5	
A-2	トンネルの非影響部 上り線（503 KP）	渋滞流	昭和56-10-20、11：20-11：30	2	40
		通常走行流	56-10-20、11：30-11：40	2	
B	梶原第1トンネル入口 上り線	渋滞流	昭和56-10-15、11：35-11：50	3	40
		渋滞流	66-10-20、10：00-10：15	3	
		渋滞流	56-11-11、11：50-11：55	1	
		通常走行流	56-10-15、12：00-12：10	2	
		通常走行流	56-11-9、14：40-14：55	3	
C	梶原トンネル明り部 上り線	通常走行流	56-10-20、10：35-10：55	4	30
		通常走行流	56-11-9、15：20-15：30	2	
D	天王山トンネル入口 下り線	渋滞流	56-10-14、16：25-17：00	6	40
		渋滞流	56-10-14、15：50-16：00	1	
		渋滞流	56-10-6、16：25-17：00	3	
		通常走行流	56-10-6、16：30-17：15	2	
		通常走行流	56-10-14、15：25-16：15	4	
		通常走行流	56-10-14、17：05-17：10	1	

(2) データ処理方法

撮影したフィルムをスクリーンに投影し、

①車の先端が測定区間に入ったときのコマ数

②車の後尾が測定区間に入ったときのコマ数

③車の先端が測定区間を出たときのコマ数

を順次読取り、速度・車間距離を算出した。ただし、車間距離の算出は当該車の速度を一定としておこなった。

(3) 速度と車間距離の関係

図2-4, 5は、2地点において普通乗用車が大型貨物車および普通乗用車に追従走行しているときの速度と車間距離の関係を示したものである。実際の交通流を固定断面でみて速度と車間距離の関係を求めたとき、高速度域においては、

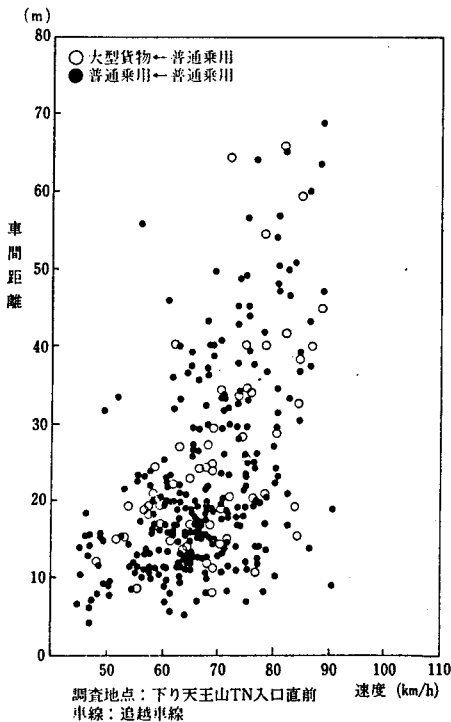


図2-4 速度と車間距離の関係（後車：普通乗用車）

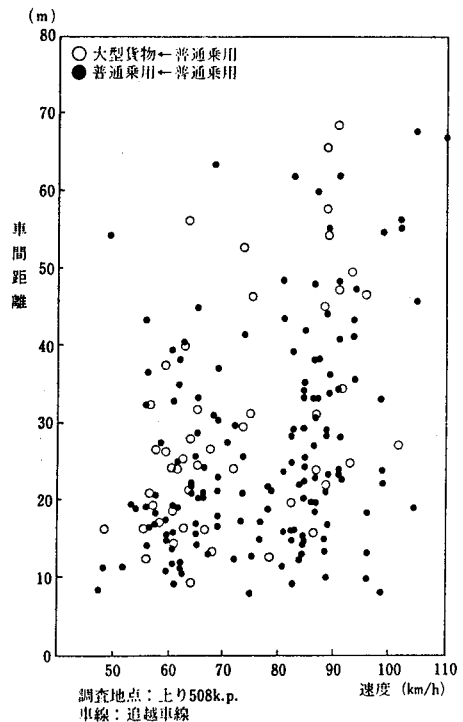


図2-5 速度と車間距離の関係（後車：普通乗用車）

両者の関係はほとんど認められず大きくばらついている。これは、高速度におけ

る車間距離のとり方が個人によって大きく異なることや、追い越し待ちや追い上げなどの接近追従走行が混在していることのためと考えられる。また、大型貨物車の場合と普通乗用車の場合とでは前方の見通しが大きく異なるが、データの分布状態に相違はみられず、前車の車種は後車のとる車間距離に影響を与えないようである。

(4) 接近追従走行の実態

図2-6は、5地点の全データの中で速度70km/h以上の高速車の車間距離分布を車線別に示したものである。追越車線についてみると、車間距離10～20mの比率が32.1%と最も高く、続いて20～30mの22.9%となっている。10m以下の車間距離も7.2%ほど存在している。

このように、実際には多くの車が高速でしかも接近した危険な車間距離で追従走行をおこなっている。

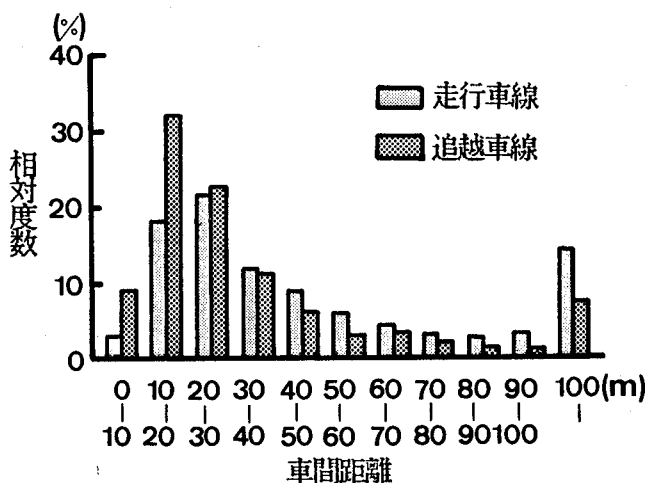


図2-6 通常走行時の車間距離分布

(5) 危険な追従走行車の発生状態

追従走行していて前車が急制動をかけたとき、後車が追突しないための安全必

要車間距離 (l_s) は次式 (1) で表せる。

$$l_s = V_2 \cdot T + (1/2) \cdot [(V_2^2 / \beta_2) - (V_1^2 / \beta_1)] \quad (1)$$

ここで

T : 反応時間

β_1 : 前車の減速度

β_2 : 後車の減速度

V_1 : 前車の速度

V_2 : 後車の速度

T , β_1 および β_2 の値は図 2-7 に示した大阪府警察事故調査票より得られた追突事故直前の速度と車間距離の関係を参考にして、 $T = 1.0 \text{ sec}$, $\beta_1 = 7.8 \text{ m/s}^2$, $\beta_2 = 4.9 \text{ m/s}^2$ と設定した。 β_2 の値が β_1 より小さいのは、後車の減速行動をより危険側で評価したためである。表 2-5 は定点観測した速度と車間距離のデータをもとに、車種組合せ別に車間距離の不足している車の割合

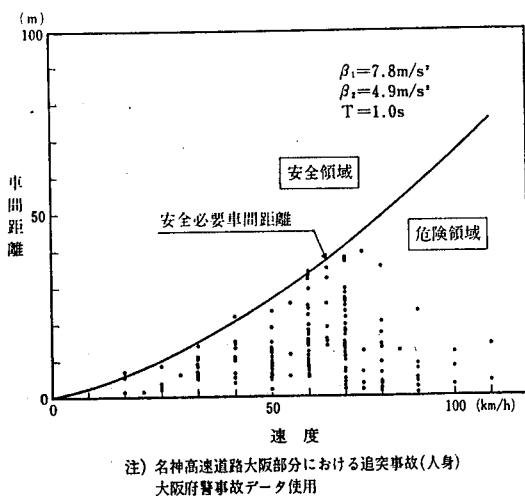


図 2-7 第 1 当事者車両の速度と車間距離の関係

表 2-5 車種組合せ別の車間距離不足車率

後 車	前 車	不足車	全 体	不足車率
普通乗用車	大型貨物車	142台	219台	65%
普通乗用車	普通乗用車	524	681	75
大型貨物車	大型貨物車	78	141	55
大型貨物車	普通乗用車	98	198	49
全 組 合 せ		832	1,239	67

合（不足車率という）を示したものである。全体では67%の車が危険な車間距離で追従走行している。また、大型貨物車よりも普通乗用車の方が危険な車間距離で追従走行する率が高い。車種の組合せについてみると、普通乗用車は大型貨物車よりも普通乗用車に対して危険な車間距離で追従走行する傾向を持ち、一方、大型貨物車は普通乗用車よりも大型貨物車に対して危険な車間距離で追従走行する傾向にある。ドライバーは前方の見通しの良し悪しとは無関係に、同じ車種の車に対して危険な追従走行をおこなう傾向にあるといえる。

4. 安定追従走行時の車間距離⁴⁾

定点観測では、速度と車間距離の安定した追従走行（安定追従走行という）車のデータを得るのは困難である。そこで、安定追従走行の実験をおこなった。

（1）実験の概要

昭和58年11月～12月に名神高速道路の西宮～京都南インター間において安定追従走行実験をおこなった。用いた実験車は普通乗用車（トヨペットクラウン、視点高1.20m）とコーチ（トヨタタウンエース、視点高1.45m）の2台であった。被験者は表2-6に示すような若い男性が中心であり、普通乗用車については12名、コーチについては6名の被験者であった。まず、被験者に通常おこなっているような走行でかつ、前車から目を離さないような追従走行をするよう指示した。その後、運転に慣れさせるためと、指示した安定追従走行を体得させるために、高速道路において予備実験走行を実施した。本実験では、前

表 2-6 被験者一覧

NO	被験者	免許歴	年齢	性別	運転頻度	高速道路 運転経験
1	K T	3年	22	男	毎 日	少
②	Y M	2	22	男	毎 日	少
3	F U	7	26	男	2週1回	少
4	I T	2	23	男	毎 日	少
⑤	H T	3	23	男	週2回	多
6	J S	2	22	男	毎 日	少
⑦	N R	2	21	男	週2回	少
⑧	A H	2	22	男	毎 日	多
⑨	T S	12	34	男	毎 日	多
⑩	G A	8	26	男	毎 日	多
11	D Y	7	25	男	毎 日	多
12	M Y	2	23	男	週3回	少

注) ○印はトヨベツクラウンワゴンとトヨタタウンエースの
車両で実験した被験者

車の車種および速度がばらついたデータを得るよう心がけた。実験車は一般の走行車両にスムーズに接近し、追従走行に移り、安定追従走行状態になった時に被験者は合図を発し安定追従走行を維持した。助手席の実験者は、速度ならびに車間距離が安定しているか常にチェックし、安定した状態においてのみタコグラフの速度を読み取った。また、同時に他の実験者が車間距離測定器（名古屋電気製 MT-100C）により車間距離を読み取った。

（2）実験の結果

図2-8, 9は、被験者が普通乗用車を運転し大型貨物車と普通乗用車に安定追従走行したときの速度と車間距離の関係の一例を示したものであり、図2-8は車間距離最小の被験者、図2-9は最大の被験者についてのものである。図中の曲線は、二次式をあてはめた回帰曲線である。全被験者について求めたこれらの図より、つぎの点が指摘できる。

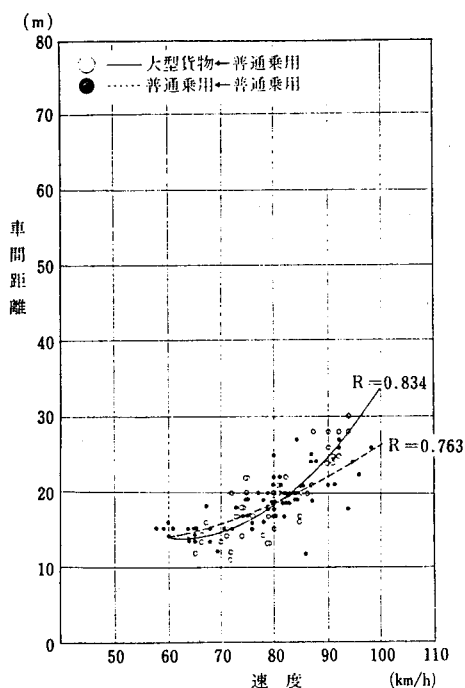
- ①速度が上昇すれば車間距離も増大するとの従来からの一般的な関係が認められ、また、60km/h以上の高速域において定点観測ではほとんどみられない速度と車間距離の関係が、個人についてみると明確にみられる。
- ②安定追従走行を心がけても一定の車間距離を保持することは困難であり、同速

度において20～30mの範囲内で車間距離のばらつきがみられる。

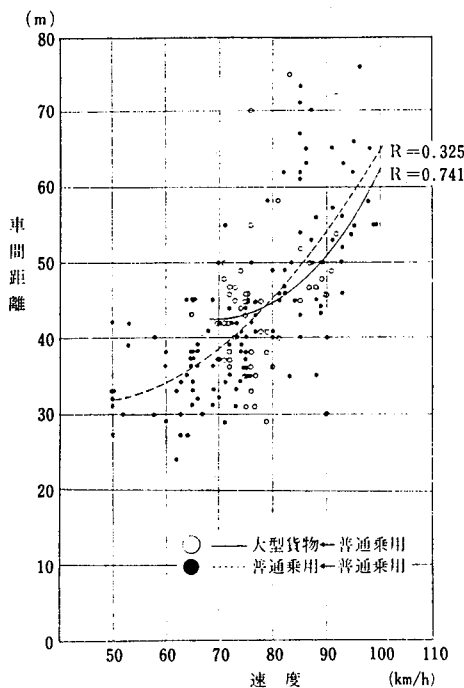
③車間距離を長くとるドライバーほど速度上昇に対して敏感に反応し、車間距離の増加量が大きい。

④車間距離のとり方は個人差が大きく、今回の結果では同一速度において最大と最小の差は20～30mであった。

⑤前車の車種の違いによって車間距離に大差は認められない。ドライバーは前方視界の良し悪しに関係なく車間距離を設定するといえる。



被験者：KT Rは相関係数
図2-8 速度と車間距離の関係（後車：普通乗用車）



被験者：DY Rは相関係数
図2-9 速度と車間距離の関係（後車：普通乗用車）

つぎに、図2-10、11は被験者がコーチを運転し大型貨物車と普通乗用車に安定追従走行したときの速度と車間距離の関係の一例である。コーチは大型貨物車と普通乗用車の中間の視点高であり、普通乗用車に追従走行する場合の方が大型貨物車に追従走行する場合より前方の見通しがはるかに良くなるが、車間距離が短縮されることはなかった。

以上のことより、高速域における車間距離は速度と個人の属性によって大きく規定されるといえる。

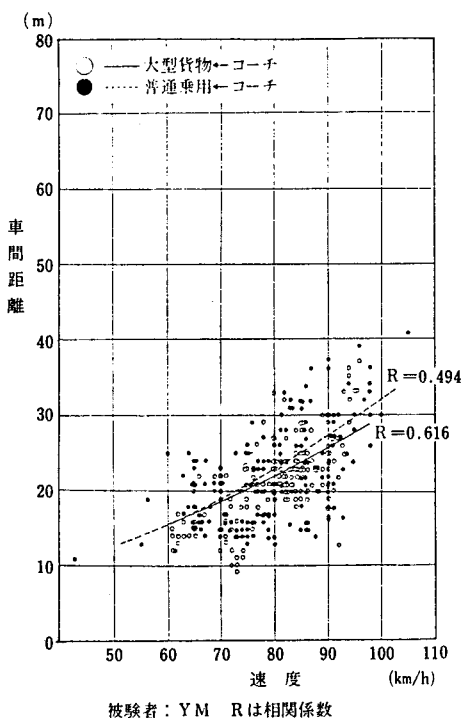


図 2-10 速度と車間距離の関係（後車：コーチ）

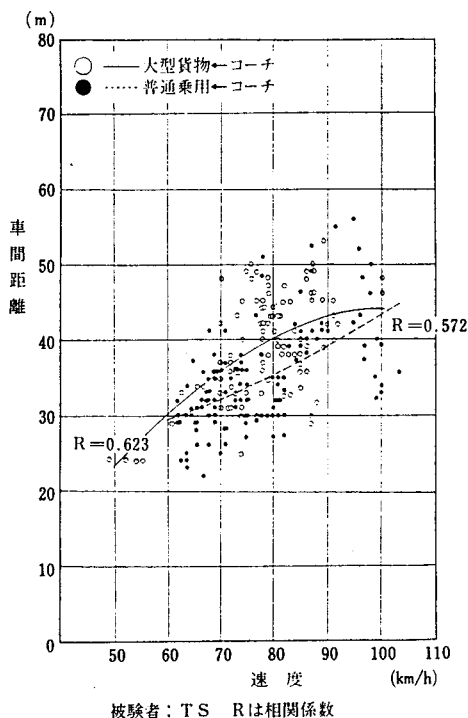


図 2-11 速度と車間距離の関係（後車：コーチ）

（3）安定追従走行時の追突の危険性

ドライバーのとり車間距離は安定追従走行といえども相当ばらついているので、被験者毎に求めた速度に対する車間距離の二次回帰曲線を用いて安全必要車間距離と比較した。安全必要車間距離は第2章の3の（5）で設定したものと同じである。その結果を示しのが図 2-12，13である。これらの図より、ほとんどのドライバーは安定追従走行するとき、前車の車種にかわりなく不足した車間距離で追従走行する傾向を持つといえる。

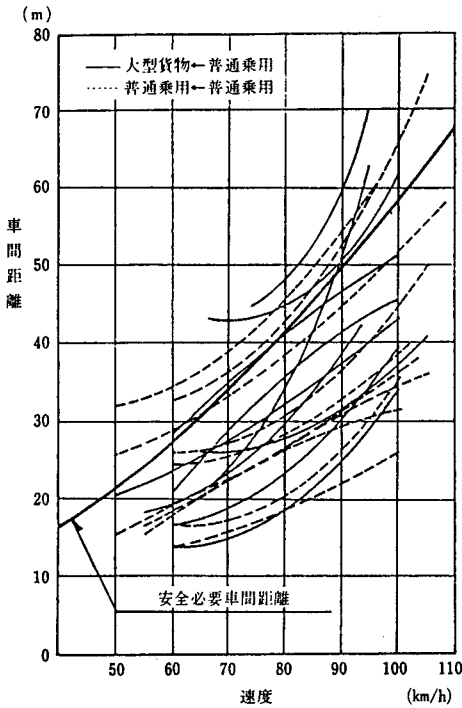


図 2-12 安定追従走行時の車間距離と安全必要車間距離の比較（後車：普通乗用車）

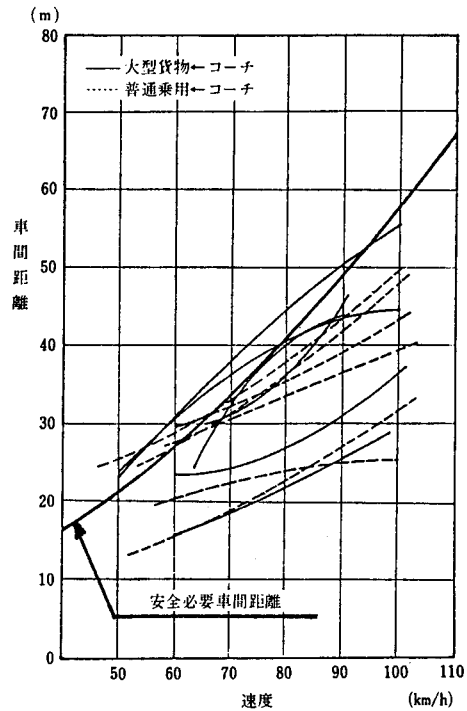


図 2-13 安定追従走行時の車間距離と安全必要車間距離の比較（後車：コーチ）

5. 接近走行におけるアクセル解除時の車間距離⁴⁾

ここでは、前車に高速度で接近しつつある後車のドライバーが最初にアクセルを解除するときの車間距離を実験的に調べた。

（1）接近走行時の前車の見え方の変化

ドライバーは高速度での走行時に、時々刻々と変化する前車と自車との相対的な距離を正確に把握することは極めて困難である。従来より、前車と自車との相対的な距離変化を認知する重要な手掛かりは、図 2-14 に示す視角 θ の変化率とされている。^{5) 6)} この θ の変化率（視角拡大速度という）は、次の式（2）

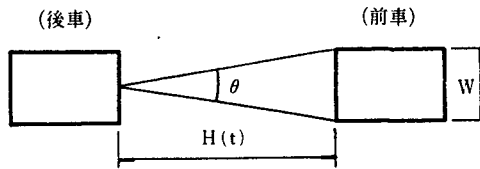


図 2-14 視角

で表すことができる。

$$\dot{\theta} = -W \cdot \dot{H}(t) / H^2(t) \quad (2)$$

ここで $\dot{\theta}$: 視角拡大速度

W : 前車の車幅

$H(t)$: 時刻 t における車間距離

$\dot{H}(t)$: 前車と自車との速度差

すなわち、視角拡大速度は速度差に比例し、車間距離の2乗に反比例することになる。いま、 $W=2.0\text{m}$ とし、速度差10、20、30km/hについての車間距離と視角拡大速度との関係を示したのが図2-15である。車間距離が50m

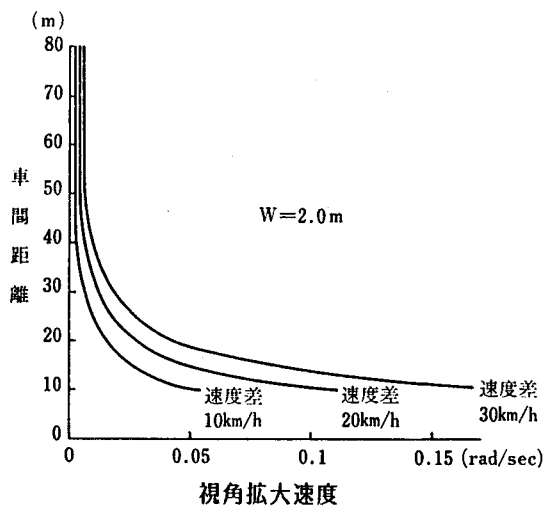


図 2-15 車間距離と視角拡大速度の関係

以上では、いずれの速度差においても前車へ接近することによる視角拡大速度の変化は極めて小さく、恒常現象（位置の変化により網膜像の大きさが変化しても、ほぼ一定の大きさに知覚される現象）が生じていると考えられ、視覚的には車間距離が短くなっていることを認知しにくい運転状態にあるといえる。しかし、車間距離が40→30→20mと短くなるにつれて視角拡大速度は急激に大きくなり、ドライバーは接近していることを視覚的にはっきりと感じ取れるようになる。このことは、奥行き方向の動きに対する視覚特性としてすべてのドライバーに共通した現象であり、渋滞後尾での追突事故発生の一つの誘因と考えられる。

（２）接近走行におけるアクセル解除時の車間距離

（a）実験の目的

各種相対速度の下で前車に接近しつつあるとき、ドライバーが危険を感じて最初にアクセルを解除するときの車間距離を計測することを目的とした。今回の実験では、被験者は自車の速度の方が高く、前車に接近しつつあることを知っており、また、前車が突然減速することのないことも知っており、現実の接近走行過程を反映しているとは必ずしもいえない。

（b）実験の概要

交通量の少ない中国自動車道の西宮I.C.～山崎I.C.間を実験走行区間として、昭和57年12月11日～18日の昼間に実験をおこなった。市販の車間距離測定器（名古屋電気製MT-100C）を用い、被験者は表2-7に示すような運転経験のある男性11名であった。

実験は、前車にトヨペットクラウン（車幅1.7m）、後車にトヨタカローラバンを走らせ、表2-8に示すような実験順序で前車、後車の速度を設定した。供用中の高速道路であったため、速度差は10～30km/hの範囲でしか設定できなかった。

まず、被験者に心理的に危険を感じ始める時点でアクセルを解除することを教示し、数回の予備実験をおこなうことによって実験要領の体得を図った。本実験は一般車のこない時を見計らって、まず、前車が設定された速度に調整する。調整が終われば後車に合図を送る。後車は十分な車間距離を確保しておき、合図と

表 2-7 被験者一覧

被験者	免許歴	年齢	性別	運転頻度
I S	5年	23才	男	毎日
MO	3	21	男	毎日
S I	5	25	男	毎日
Y A	6	25	男	週2回
MA	14	32	男	毎日
CH	5	29	男	毎日
TA	3	23	男	毎日
TN	10	33	男	毎日
FU	6	25	男	2週1回
TK	5	23	男	毎日
GO	7	25	男	毎日

表 2-8 設定速度

実験順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9
前車の速度 (km/h)	60	80	70	60	70	90	80	70	60
後車の速度 (km/h)	80	100	80	90	90	100	90	100	70

ともに素早く速度を上げ、設定速度に調整し、そのままの速度で前車に接近する。そして、アクセルを解除した時点で合図を発するようにし、その時の車間距離を計測した。両車の設定速度への調整は助手席の実験者がタコグラフの速度針を見ながらドライバーへ知らせる方法でおこなった。表 2-8 に示した 9 回の一連の実験を各被験者について 3 回繰り返しおこなった。

(c) 実験結果

図 2-16, 17 は速度差とアクセル解除時の車間距離との関係についての代表例を示したものである。両者の関係は、11 名の被験者間で相当異なるものの、速度差が大きくなるにつれてアクセル解除時の車間距離も増大するという共通の関係がみられた。この関係は、式 (2) によれば速度差が大きくなるにしたがい

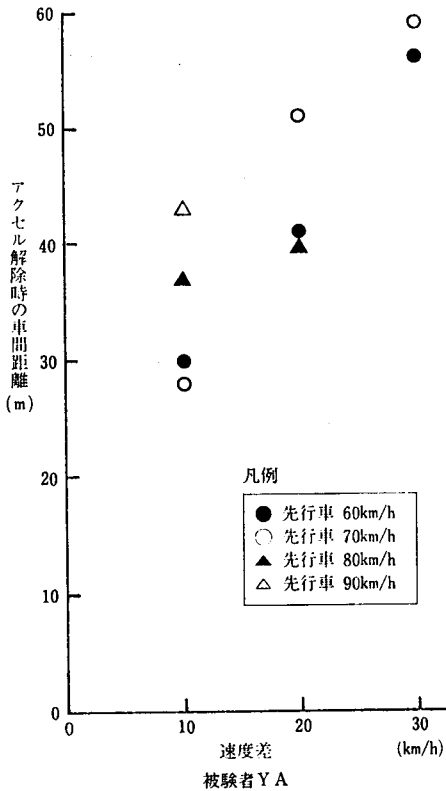


図 2-16 速度差とアクセル解除時の車間距離の関係
被験者 Y A

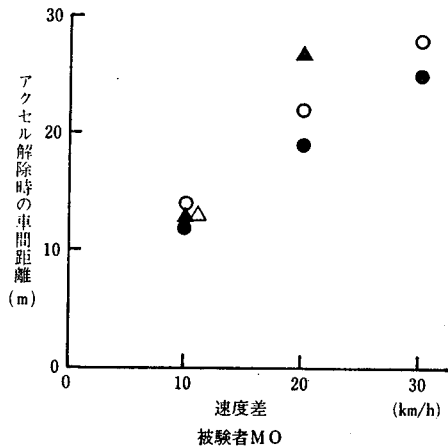


図 2-17 速度差とアクセル解除時の車間距離の関係
被験者 M O

アクセル解除時の車間距離の増加は鈍化してくることが推察されるが、実験データによれば、そのような傾向を示す被験者と、ほぼ直線的な関係を示す被験者との2通りがみられた。また、式(2)によれば前車、後車の速度値はアクセル解除時の車間距離に関与していないが、実験的にも図2-16, 17のように速度別の分離はみられず、速度の絶対値は関係しないことが確かめられた。次に、図2-18, 19は式(2)により計算したアクセル解除時の視角拡大速度と速度差との関係の代表例を示したものである。5. の(1)より、速度差が変化しても同一の視覚拡大速度においてアクセルを解除するのではないかと推察されたが、実験データによれば速度差10km/hと20, 30km/hとではアクセル解除時の視

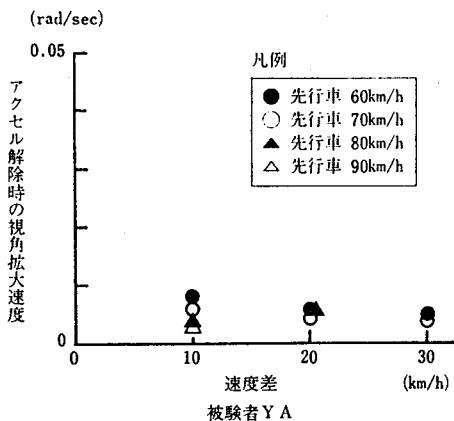


図 2-18 速度差とアクセル解除時の視角拡大速度の関係

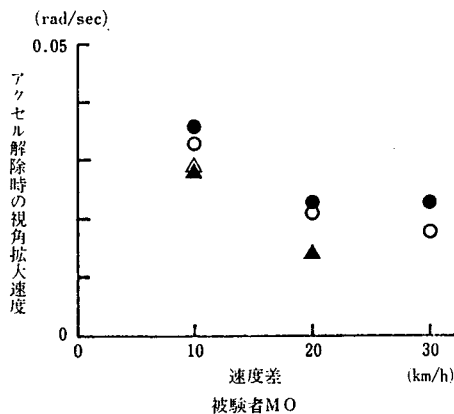


図 2-19 速度差とアクセル解除時の視角拡大速度の関係

角拡大速度に大きな違いがみられ、速度差10km/hにおいて常に大きな視角拡大速度で反応している。しかし、速度差が20、30km/hになると、同一の被験者であればほぼ同じ視角拡大速度でアクセルを解除しているといえる。これら20km/hと30km/hにおけるアクセル解除時の視角拡大速度データを用いて、被験者毎の平均視角拡大速度を求めたのが図2-20である。被験者間に大きな差があり、0.0048~0.0302rad/secの範囲にばらついている。

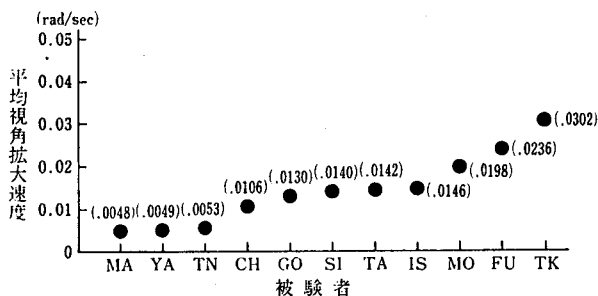


図 2-20 速度差20km/hと30km/hのときの平均視角拡大速度

(3) アクセル解除時の追突の危険性

前車にある一定の速度で接近しつつあるドライバーが危険を感じてアクセルを解除したときに、前車が急制動をおこなったと想定して、そのときの追突の危険性を検討する。

式(2)より、アクセル解除時の車間距離 (l_c) は次のように表せる。

$$l_c = \sqrt{W(V_2 - V_1) / \dot{\theta}} \quad (3)$$

ここで、

W : 前車の車幅

$\dot{\theta}$: アクセル解除時の視角拡大速度

V_1 : 前車の速度

V_2 : 後車の速度

一方、式(1)において、 $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ とすれば安全必要車間距離は次式となる。

$$l_s = V_2 \cdot T + (V_2 - V_1)(V_2 + V_1) / 2\beta \quad (4)$$

式(3)と式(4)からわかるように、 l_c は前車と後車の速度差だけで決定されるが、 l_s は速度差だけでなく後車ならびに前車と後車の速度の和が関係している。このように、実際の車の流れの中で接近走行をおこなっているドライバーがアクセルを解除するときの車間距離と安全のために必要な車間距離とでは、式そのものが異なっており、実際の交通流下において安全な車間距離でアクセルを解除することの困難さがうかがえる。このことを次にみることにする。 l_c は式(3)の $\dot{\theta}$ に図2-20に示した被験者毎の値を入れ、 $W = 1.7\text{m}$ として求めた。安全必要車間距離 (l_s) は第2章の3の(5)で設定したものと同じである。この両者を対比して示したのが図2-21である。11名の全ての被験者が、安全必要車間距離よりも短い車間距離まで接近して初めてアクセルを解除し

ている。このように、前車に接近しつつある車は前車が急制動をかければ追突事故を引き起こすような短い車間距離まで接近してしまう傾向を持つといえる。そして、 l_c は上に凸の曲線となり、 l_s は下に凸の曲線となることにより、速度差が増大すれば増々 l_c と l_s のかい離が大きくなり追突の危険性は高まるものと考えられる。

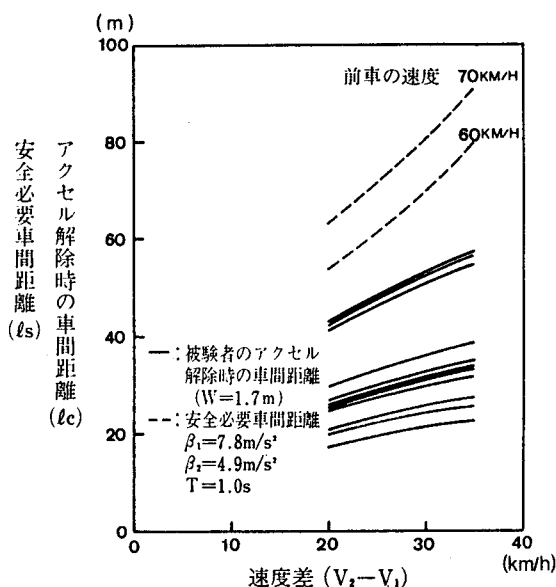


図 2-21 アクセル解除時の車間距離と安全必要車間距離の比較

6. まとめ

追従走行時の前車、後車の車種の組合せに着目して、追突事故の特徴を分析するとともに、ドライバーは、追突事故の要因である車間距離を、追従走行時および接近しつつあるときに、どのように設定するのかを観察と実験により探った。得られた結果をまとめて以下に示す。

(1) 追従走行時の車種組合せにはかたよりがみられ、大きさの異なる車より

も同じ車種の車に追従したがる傾向がある。

- (2) 追突事故は、前車と後車が同一車種あるいは前車が小さい場合に生じやすく、前車が後車より大きい場合には生じにくい。
- (3) 高速域における速度と車間距離の関係は、固定点での実測結果にはみられないが、ドライバー一人一人についてみると、速度の増大につれて車間距離も大きくなる傾向がみられる。
- (4) 前車、後車の車種によって前方の見通しは大きく異なるが、車間距離の取り方にそのことは反映されていなく、ドライバーは不足した車間距離による追突の危険性を、前方の交通状況を事前に知ることによって補償していない。前車が急に減速する事態は起らないとの予測の下に運転しているといえる。
- (5) 自車より速度の低い車へ接近する場合、前車との相対速度や相対距離の変化を知覚し、安全な車間距離の下で前車の速度に調整し始めることが望ましい。しかし、ドライバーは視覚的特性によって、危険な車間距離まで接近してしまった後にアクセルを解除する傾向を持ち、前車が急制動をかければ追突事故を起こす危険性を秘めている。
- (6) ドライバーが追従走行時および接近走行時にとる車間距離は安全上不足したものである。ドライバーは危険領域で走行する傾向を持つといえる。

(参考文献)

- 1) 国際交通安全学会214プロジェクトチーム：視覚反応における後部灯火器の検討、国際交通安全学会誌、VOL. 16、増刊号、昭和55年9月
- 2) 古谷直道：A NEW APPROACH TO TRAFFIC BEHAVIOUR、大阪大学博士論文、1978
- 3) 毛利正光、田中聖人、久間木信夫：高速道路における追突事故と追従走行時の車間距離、第7回交通工学研究発表会、1984年11月

- 4) 毛利正光、田中聖人：高速道路における接近および追従走行行動の危険性、
交通科学、VOL.16, NO.1、1986年8月
- 5) CHRISTOPHER J. COLBOURN 他:DRIVERS' JUDGMENTS OF SAFE DISTANCES IN
VEHICLE FOLLOWING, HUMAN FACTORS, 20(1), 1978
- 6) wiel h. janssen 他:THE PERCEPTION OF LEAD VEHICLES MOVEMENT IN
DARKNESS, ACCID. ANAL. &PREV. VOL.8, 1976

第3章 車間距離と占有領域¹⁾

1. はじめに

2. 追従走行の分類

3. 速度欲求伝達型追従走行の存在

4. 車間距離に対する反応

5. 速度欲求伝達車間距離と安全必要車間距離の対比

6. 接近追従走行出現の背景

7. まとめ

1. はじめに

高速道路は、快適で自由にしかも高速で安全に走行できる道路であるが、近年の交通量の増大とともに、ドライバーは前後左右の車の動きを意識した運転を強いられるようになってきた。また、高速道路の本線上に低速の車の流れや停止した車の列が存在しているような交通状態も頻繁に出現するようになり、ドライバーは片時も前方への注意を怠れない走行状況にある。このような走行状況下にある高速道路では、ドライバーは車をいかに道路線形に合うようにもっていくかよりも、いかに車間距離を設定して前車に追従するか、他車の動きの変化をいかにすばやくつかみ、適切な行動をとるかが安全上極めて重要なこととなる。ところが、実際の高速道路における走行状態を見ると、安全上望ましい走行状態とは大きく異なり、いつ追突事故が発生してもおかしくないような危険な車間距離での追従走行がおこなわれている。

従来より、車間距離を取り扱った研究例は多い。ドライバーの車間距離見積もり能力を扱ったもの^{2) 3) 4)}、夜間の接近追従現象を扱ったもの⁵⁾、前車の視認性と車間距離の関係を扱ったもの⁶⁾、前車・後車の車種と車間距離の関係や追従走行時の車間距離の危険性を扱ったもの⁷⁾などがある。しかし、高速道路において日常的に出現している接近した追従走行の背景説明を取り扱った研究は極めて少ない。

本研究は、接近追従走行はドライバーの速く行きたいという欲求表現の一形態であり、車間距離が前車への欲求伝達的手段となっていると考え、この様な速度欲求の存在することを明らかにするとともに、車間距離に対する前車・後車のドライバーの反応を調べることにより、接近追従走行出現の背景について考察したものである。

2. 追従走行の分類

接近追従走行の出現する背景を検討する場合、追従ドライバーの心理要素を考慮して追従走行を分類しておくことが重要である。追従走行時のドライバーの心理要素としては速く行きたいという欲求（速度欲求という）と安全態度がある。ドライバーはこの二つの心理要素を折り合わせながら、追従走行時の車間距離を決定しているが、大きく分けると表3-1に示すような4つのタイプの追従走行状態が考えられる。タイプⅡは一般に追い上げ走行と呼ばれるものである。接近追従走行となるのは、タイプⅡとタイプⅣであるが、本研究はタイプⅡに着目したものである。

表3-1 追従走行のタイプ

タイプ	速度欲求	安全態度	車間距離	走行状態
I	不満	重視	大	追従
Ⅱ	不満	軽視	小	追い上げ
Ⅲ	満足	重視	大	追従
Ⅳ	満足	軽視	小	追従

3. 速度欲求伝達型追従走行の存在

ドライバーが速度欲求を前車に伝えるためにおこなう接近追従走行が、高速道路において存在していることを示すために、ここでは、高速でしかも20m以下の短い車間距離での追従走行を接近追従走行と定義して、以下のようなドライバーへのヒヤリング調査をおこなった。

（1）調査概要

調査項目：①接近追従走行の頻度、②接近追従走行の理由、③接近追従走行時の危険感、④個人属性

調査日時：昭和60年12月16, 17日

調査場所：名神高速道路下り線吹田サービスエリア内

調査方法：サービスエリア内に休憩中のドライバーに、調査員が直接、接近追従走行の写真および質問内容を提示しながらヒヤリングをおこなった。
ヒヤリングできたドライバーは236人（一般ドライバー145人、職業ドライバー91人）であった。

（２）調査結果

表3-2は接近追従走行をおこなう頻度を示したものである。「よくある」と答えたドライバーは全体の約26%を占め、「時々ある」まで含めると58%を占めており、ドライバーは意識的に接近追従走行をおこなっているといえる。つ

表3-2 接近追従をする頻度

頻 度	データ数
よくある	61 (25.8)
時々ある	76 (32.2)
まれにある	25 (10.6)
ほとんどない	74 (31.4)
合 計	236 (100)

注) 単位：人 （ ）内は%

ぎに、表3-3は接近追従走行時の危険感を示したものである。9割以上のドライバーが危険を感じており、安全を軽視した接近追従走行をおこなっている。図3-1は接近追従走行をおこなう理由を示したものである。図中の指摘率は、ある理由へ反応したドライバー数を全ドライバー数で除したものである。最も多く指摘された理由は「全体の流れに合わせるため」（64.4%）であり、つづいて、「後車が詰めてくるため」（45.8%）、「速度欲求を伝えるため」（35.6%）となっている。積極的理由の中では「速度欲求を伝えるため」の指摘が最も多い。このように、高速道路での接近追従走行は多様な理由によっておこ

なわれているものの、速度欲求を前車に伝えるための接近追従走行も少なからず出現しているといえる。

表 3-3 接近追従をするときの危険感

危 険 感	デー タ 数
非常に危険だと感じている	147 (65.6)
やや危険だと感じている	59 (26.3)
それほど危険であるとは感じていない	14 (6.2)
まったく危険であるとは感じていない	4 (1.8)
合 計	224 (100)

注) 単位：人 () 内は%

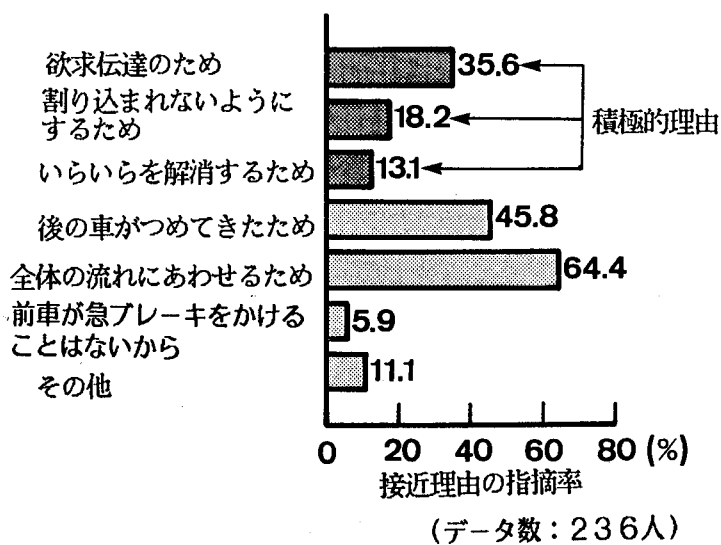


図 3-1 接近理由

4. 車間距離に対する反応

ここでは、ドライバーが速度欲求が前車に伝わると感じるときの車間距離、後車からの追い上げを感じる時の車間距離および両者の大小関係について明らかにする。

(1) 車間距離と占有領域の関係

ドライバーは、図3-2に示すように、安全感覚によって決定される占有領域を前後に設定しながら走行している。後車が、これらの占有領域よりも長い車間距離で追従していれば、前車・後車のドライバーは心理的に安定した走行状態にある。一方、後車が速度欲求を前車に伝えようとすれば、車間距離を短くし、前方占有領域内に前車を取り込むことになるが、その場合、前車の後方占有領域よりも車間距離が長ければ速度欲求は伝達されず、前車ドライバーは心理的に安定した走行を維持するので、後車はさらに車間距離を短くすることになる。しかしながら、これまで前方占有領域と後方占有領域の大きさおよびその大小関係は明らかにされていない。

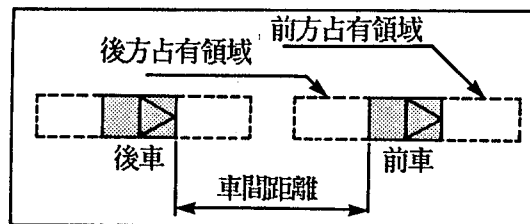


図3-2 ドライバーの占有領域

(2) 実験の概要

今回おこなった2種類の追従走行実験の概要は以下のとおりである。

(a) 実験1

i) 目的

後車ドライバーが接近していき、速度欲求が前車に伝わったと感じるときの車間距離と、そのときの前車ドライバーの反応を得ること。

ii) 実験方法

実験は、昭和60年12月の天気の良い昼間時に中国自動車道においておこなった。用いた器具は、実験車2台（後車：トヨタクラウン、前車：マツダファミリア）、車間距離測定器（名古屋電気製MT-100C）、タコグラフ（矢崎製）、ルームミラー（62×240、5mm、平面鏡）である。被験者は20才代の若い男性10名であった。全員がほぼ毎日運転し、高速道路の走行経験も有していた。測定項目は、後車ドライバーが「速度欲求がなんとか伝わる」および「十分伝わる」と感じるときの車間距離と、そのときの前車ドライバーの反応である。前車ドライバーの反応は、ルームミラーを通して見たときの後車からの追い上げられ感について、「強く感じる」～「全く感じない」の5段階評価により得た。前車の速度条件は60km/h、70km/h、80km/hの3段階とした。実験の手順はつぎの通りである。被験者2人1組となり、それぞれ前車ドライバー、後車ドライバーとなる。2台の実験車は離れた状態で走行しながら、前車は設定された速度に調節し、それを保持する。その後、後車は前車に近づき、「速度欲求がなんとか伝わる」と感じる車間距離まで接近し追従走行する。そのとき、後車に同乗の測定員は車間距離を読み取り、前車の測定員はドライバーの追い上げられ感を聞き取る。続いて、後車は「速度欲求が十分伝わる」と感じる車間距離まで接近し追従走行する。そのとき再び車間距離と追い上げられ感が測定される。このような実験が1人につき、30回（速度水準3×速度伝達欲求水準2×繰返し5回）おこなわれた。

(b) 実験2

i) 目的

後車の設定する車間距離と前車ドライバーの追い上げられ感との関係を得ること。

ii) 実験方法

実験の日時、道路、被験者、実験車、器具等はすべて実験1と同じである。

実験条件は、速度を60km/h, 70km/h, 80km/hの3種類、車間距離を10~40mを5m刻みにした7種類として、 $3 \times 7 = 21$ 通りの追従走行場面を作り出した。

実験の手順は次の通りである。前車は指定された速度に調整し、それを保持する。後車は前車に接近し、指定された車間距離に調整し、それを保持する。両車が安定追従走行状態になったときに、前車に同乗中の測定員がドライバーにルームミラーを見るように指示し、追い上げられ感を聞き取る。同時に、前車に同乗中の他の測定員が速度を、後車の測定員が車間距離を読み取る。

(3) 実験の結果

i) 後車ドライバーの反応

図3-3, 4は2人の被験者について、速度と速度欲求伝達時の車間距離との関係を示したものである。速度欲求伝達車間距離は被験者間で大きく異なるものの、速度の影響は小さいことがうかがえる。表3-4, 5は被験者と速度を要因

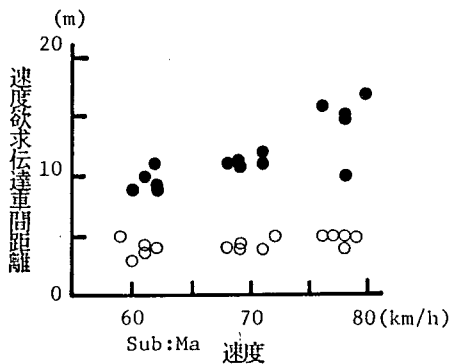


図3-3 速度と欲求伝達車間距離の関係

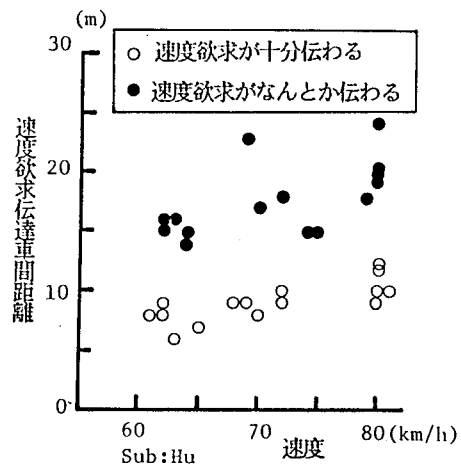


図3-4 速度と欲求伝達車間距離の関係

として、欲求伝達車間距離についての分散分析結果を示したものである。被験者、速度とも有意な変動要因になっているが、被験者の寄与率が極めて高く、「速度欲求がなんとか伝わる」で76%、「速度欲求が十分伝わる」で80%となって

表3-4 速度欲求伝達車間距離の分散分析表
(欲求がなんとか伝わる)

要 因	変動	自由度	分 散	分散比	純変動	寄与率
被験者	3805.42	9	422.82	67.47 ^{**}	3748.99	75.7
速 度	282.72	2	141.36	22.55 ^{**}	270.18	5.4
残 差	864.88	138	6.27		933.85	18.9
合 計	4953.02	149	33.24		4953.02	100

表3-5 速度欲求伝達車間距離の分散分析表
(欲求が十分伝わる)

要 因	変動	自由度	分 散	分散比	純変動	寄与率
被験者	2011.64	9	223.52	100.11 ^{**}	1991.57	80.2
速 度	107.01	2	53.50	23.96 ^{**}	102.55	4.1
速度× 被験者	96.66	18	5.37	2.41 ^{**}	56.52	2.3
残 差	267.93	120	2.23		332.60	13.4
合 計	2483.24	149	16.67		2483.24	100

注)

**は有意水準1%で有意

いる。図3-5は、速度を55～65km/h、66～75km/hおよび76～85km/hの3階級に区分して、各階級の速度欲求伝達車間距離の平均を被験者別に示したものである。また、図3-6は、速度を無視したときの速度欲求伝達車間距離の平均を被験者別に示したものである。これらの図より、つぎのようなことがいえる。

①「速度欲求がなんとか伝わる」および「速度欲求が十分伝わる」と感じる時の車間距離は、速度の増加とともに長くなる傾向がみられるものの、その影響は少ない。

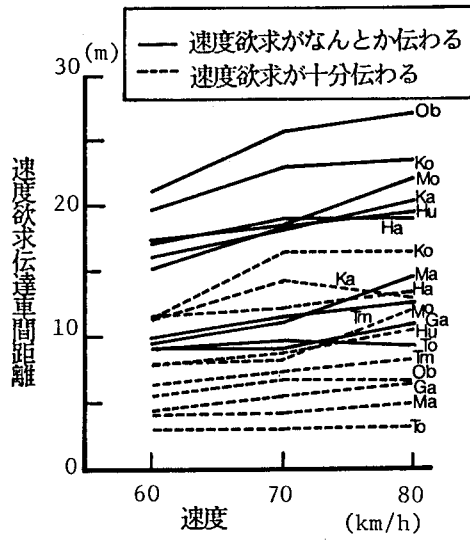


図3-5 速度欲求伝達車間距離の平均

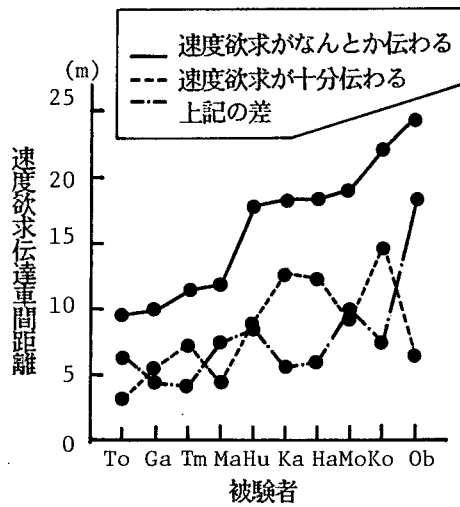


図3-6 被験者別速度欲求伝達車間距離の平均

②「速度欲求がなんとか伝わる」と感じる時の車間距離は、被験者間で大きく異なり、平均値でみると9～25mの範囲にある。また、「速度欲求が十分伝わる」と感じる時の車間距離は3～15mの範囲にある。

③「速度欲求がなんとか伝わる」と感じてから「速度欲求が十分伝わる」と感じるまでに詰める距離は、4～18mの範囲でばらついている。

ii) 前車ドライバーの反応

図3-7, 8は、車間距離の変化によって前車ドライバーの「追い上げられ感」がどのように変化するかを2人の被験者について示したものであり、図3-9は、10人の被験者全員のデータを一括して示したものである。これらの図より、つ

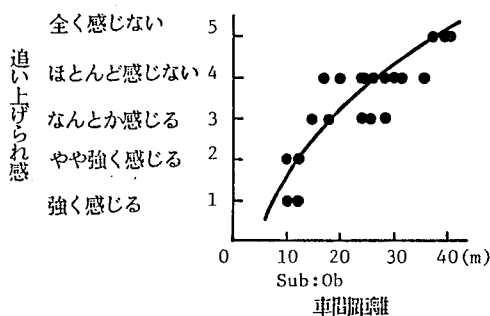


図3-7 前車ドライバーの反応

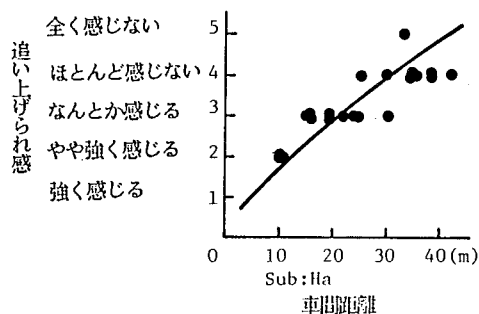


図3-8 前車ドライバーの反応

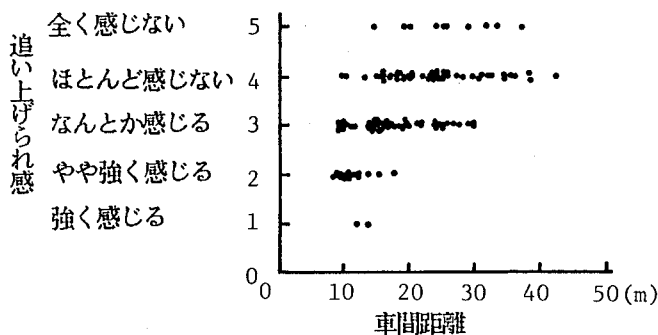


図3-9 前車ドライバーの反応(全被験者)

ぎのことが指摘できる。

①車間距離が長くなるにつれて追い上げられ感も弱まる傾向は、すべての被験者に共通にみられるものの、同じ強さの反応の生じる車間距離は幅広く変動し、その変動は被験者間で異なる。

②追い上げられ感の反応が弱くなるほど、反応の生じる車間距離の変動は大きくなる。

③追い上げられ感の各反応の生じる車間距離の範囲は、およそ表3-6に示す通りである。30m以上になるとドライバーは追い上げを感じなくなる。

表3-6 各反応の生じる車間距離の範囲

追い上げられ感	車間距離
強く感じる	～14m
やや強く感じる	5～18
なんとか感じる	9～30
ほとんど感じない	10～42
全く感じない	14～

iii) 両者の反応の比較

まず、同一被験者について、後車ドライバーの場合と前車ドライバーの場合とで、車間距離に対する反応の強さが異なるかをみることにする。そのために、つぎのようなデータの読取りをおこなった。後車ドライバーが、「速度欲求がなんとか伝わる」（反応尺度値3）と感じるときの平均車間距離に対する前車ドライバーの追い上げられ感の反応尺度値を、各被験者について描いた図3-7をもとに、全被験者について読み取った。また、後車ドライバーが、速度欲求が十分伝わる」（反応尺度値1）と感じる平均車間距離に対しても、同様にして読み取った。後車ドライバーになった場合と、前車ドライバーになった場合の反応を比較したのが図3-10である。両者の反応に大きな差異は見られないが、短い車間距離において、前車ドライバーの反応の方が後車ドライバーに比べてやや弱くなるといえる。次に、前車ドライバーと後車ドライバーの被験者が異なる場合についてみることにする。図3-11は、後車ドライバーが「速度欲求がなんとか伝

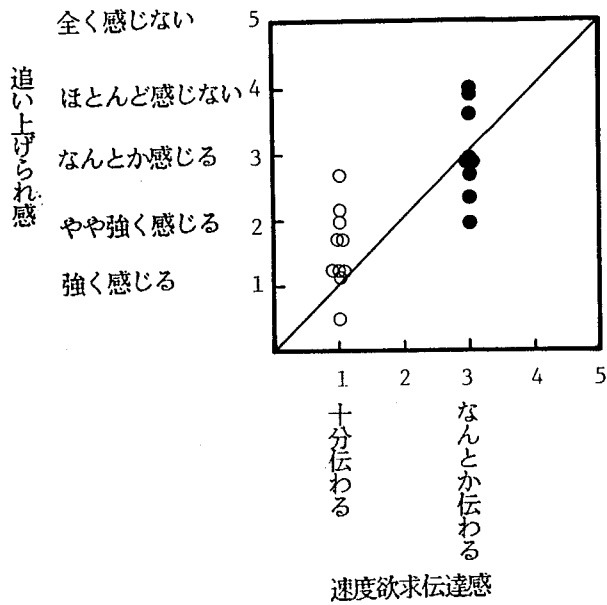


図3-10 前車・後車ドライバーの反応比較
(同一被験者の場合)

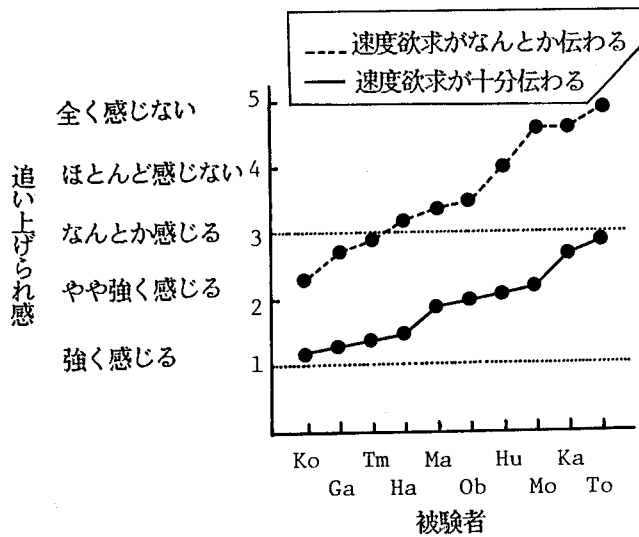


図3-11 前車・後車ドライバーの反応比較
(異なる被験者の場合)

わる」および「速度欲求が十分伝わる」と感じる時の前車ドライバーの反応の平均尺度値を示したものである。後車と前車のドライバー間で反応にややギャップがみられ、後車ドライバーの速度欲求は、前車ドライバーに伝わりにくい傾向にあるといえる。

5. 速度欲求伝達車間距離と安全必要車間距離の対比

第2章の3の(5)で設定した安全必要車間距離と速度欲求伝達車間距離を対比したのが図3-12である。速度欲求伝達車間距離は安全必要車間距離よりはあるかに短く、ドライバーは速く行きたいという欲求を前車に伝えるためには、安全を犠牲にして車間距離を短くしなければならないといえる。

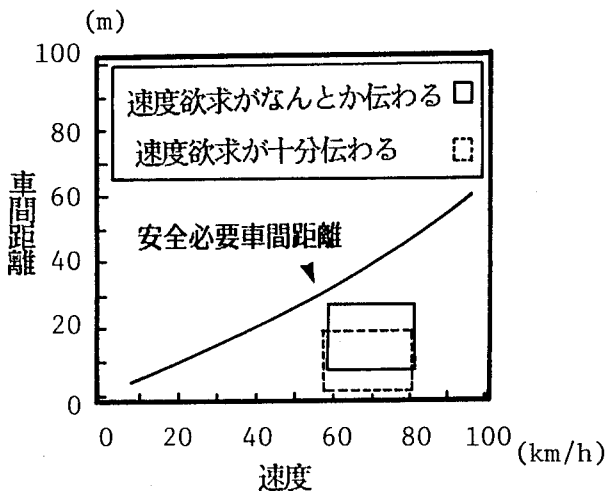


図3-12 速度欲求伝達車間距離と安全必要車間距離の対比

6. 接近追従走行出現の背景

高速道路でのドライバーへのヒヤリング調査より、接近した追従走行がよくお

こなわれていることが判明した。そして、ほとんどのドライバーは、接近追従走行することの危険性を意識していることも明らかになった。ドライバーは安全性を犠牲にして、あるいは軽視して接近追従走行をおこなっているといえる。ドライバーはなぜ、このような接近追従走行をおこなうのであろうか。その理由は、3. で示したように多様であるが、基本的に速く行きたいという欲求があり、その表現と考えられる。この速度欲求を前車に伝える手段として、「ヘッドライトのパッシング」、「クラクションを鳴らす」、「車間距離を短くする」などがあるが、実際には、「車間距離を短くする」手段が最も用いられている。では速度欲求を前車に伝えるためには、車間距離をどの程度まで短くする必要があるのか。本研究の結果によれば、9～25mの短い車間距離にしなければならないといえる。前車ドライバーも、ほぼ同様の車間距離（9～30m）において追い上げられていることを感じ始めるが、その反応は弱く、後車ドライバーは前車の行動変更を促すために、車間距離を更に短くすることになる。高速道路における実際の交通流において、車間距離が非常に短くなっているのも、速度欲求の伝達という面からみれば、理にかなったものといえる。各ドライバーが車間距離を40m以上離して追従すれば、安全で安定した交通流が実現されるが、現実には、ドライバー間の希望速度のばらつきとドライバーの速度欲求の強さが、接近追従走行を出現させ、安全な交通流の形成を阻害しているといえる。

7. まとめ

本研究では、高速道路における追突事故発生に大きく関与する、高速での接近追従走行に着目し、その出現する背景を、ドライバーの速度欲求の側面から説明することを試みた。

得られた結果を要約して示すとつぎのようになる。

- (1) 高速道路におけるドライバーの速度欲求は極めて強いものであり、安全面を犠牲にした接近追従走行が頻繁におこなわれている。
- (2) 後車が速度欲求を前車に伝えるためには、車間距離9～25mの接近追

従走行をおこなわざるを得ない。

(参考文献)

- 1) 田中聖人：高速道路における接近追従走行出現の背景分析、土木計画学研究論文集、NO.4, 1986年10月
- 2) DAVID B. HARTE他:Estimates of Car-Following Distances on Three Types of Two Laned-Roads, HUMAN FACTORS, 18(4), 1976
- 3) 大森正昭：車間距離判断についての実験的研究、第48回日本心理学会発表論文集、1984
- 4) 上野精順：高速道路におけるドライバーの車間距離評価、人間工学、第21巻特別号、1985
- 5) 国際交通安全学会214プロジェクトチーム：視覚反応における後部灯火器の検討、国際交通安全学会誌、vol.5, no.4, vol.6 増刊号、1979, 1980
- 6) 谷口実：高速道路の車間距離、自動車技術、vol. 37, no.5, 1983
- 7) 毛利正光、田中聖人、久間木信夫：高速道路における追突事故と追従走行時の車間距離、第7回交通工学研究発表会論文集、1984年11月

第4章 高速接近追従走行時の危険補償行動の評価¹⁾

1. はじめに

2. 制動燈点灯に対する反応時間

3. 追従走行時の注視行動

4. 接近追従走行時の危険補償行動の評価

5. まとめ

1. はじめに

高速道路の利用が進展する中で、追突事故の大惨事が頻発し、ドライバーの走行行動の中でも追従時の走行行動が大きな問題となっている。現実の走行状態を見ると、高速での接近した追従走行が常態化し、いつ追突事故が発生しても不思議ではない危険な交通流となっている。追従走行時にドライバーが車間距離を短く設定する（risk taking）背景には、速く行きたいという速度欲求を前車に伝達したいという心理的要因が働いている²⁾。一方、接近追従走行には常に追突の危険性が存在しているが、ほとんどのドライバーはその危険性を感じている。ちなみに、高速道路でのドライバーへのヒアリングの結果³⁾によれば、非常に危険と感じている66%、やや危険と感じている26%であった。ドライバーは速く行きたいことを重視しており、追突の危険性を感じながらも接近追従走行をおこなっているといえる。現実には、前車が突然にしかも急激に減速することはほとんど無く、接近追従走行が追突事故に至る確率は極めて小さいが、ドライバーは危険を感じながら接近追従走行していることより、そこには危険を補償するような行動がおこなわれていると考えられる。ドライバーは、接近追従走行に存在する危険を補償するためには、前車に注意を集中させ、また、走行位置を横にずらして前方の状況を把握するなどの行動をとり、前車の減速に対する反応を速めなければならない。

本研究では、危険補償行動の指標として、前車の制動燈点灯に対する反応時間と追従ドライバーの注視行動を取り上げ、これらが車間距離の大小によってどのように変化するかを調べることにより、接近追従走行時の危険補償行動の有無とその程度を明らかにすることを目的とした。

追従走行中のドライバーの反応時間と注視行動に関する従来の研究としては、次のような研究が挙げられる。従来より、運転行動や後部燈火器のデザインを評価するために、各種刺激に対するドライバーの反応時間が調べられた。谷島⁴⁾は前車に5種類の形の刺激を表示し、追従ドライバーの単純反応時間および選択

反応時間が走行時間の増加に伴ってどのように変化するかを調査した。Sivak^{5) 6)} は制動燈の数、配置パターンおよび車間距離の大小が追従ドライバーの制動燈点灯に対する反応時間にいかなる影響を与えるかを解析した。そこでは、本研究で注目している車間距離が要因として取り上げられているものの、車間距離小—低速、車間距離大—高速の組合せで実験がおこなわれており、車間距離の影響を独立してみることはできない。ドライバーの注視行動を取り扱った研究は数多くあるものの、追従走行時のドライバーの注視行動を直接問題としたものは少ない。Sivak⁷⁾ は混雑した低速の流れの中で、追従ドライバーの注視点分布を調べ、補助制動燈の最適な設置位置を検討するとともに、補助制動燈の追突事故防止効果を考察した。

以上のように、追従ドライバーの反応時間や注視行動が研究されているものの、それらを高速追従走行の危険性と関連づけた研究例はみあたらない。

2. 制動燈点灯に対する反応時間

高速度下での追従走行時において、車間距離の変化につれて制動燈点灯に対する反応時間がどのように変化するかを明らかにする。

(1) 実験の概要

(a) 反応時間の測定法

前車制動燈点灯に対する追従ドライバーの反応は「ハイ」という音声を用い、この音声に反応して発光ダイオードが発光するような装置を作成した。後車内にはビデオカメラを据えておき、制動燈と発光ダイオードが1つの画面にはいるようにして、1/100 秒単位のタイマーを組み込んで、2つのランプの点滅状況を撮影記録した。そして、ビデオ画像のコマ送りによって2つのランプの点灯時間差を計測し、反応時間とした。

(b) 走行条件

供用中の中国自動車道において、昼間時に2台の乗用車を用いて追従走行状態を形作った。前車は60～100 km/hの範囲内で順次速度を選びながら一定時間

定速走行をおこなった。後車は速度を前車に合わせ、指示された車間距離を維持しながら前車に追従し続けた。

(c) 測定手順

前車にはドライバーだけが乗り、運転しながら手動式スイッチにより制動燈の点灯（輝度値 $11,000 \text{ cd/m}^2$ ）を繰り返し行った。後車には4人が乗り、被験者が運転をし、他の3人はそれぞれ音声反応時の速度と車間距離を記録し、他の1人はビデオ撮影をおこなった。

被験者は通常の運転状態で運転するように指示され、前車の制動燈が点灯しだいすみやかに反応するように教示された。約3時間の連続追従運転をおこなった。データは被験者1人につき300前後が得られた。被験者は毎日運転し、高速道路の走行経験もある20歳代の男女5名であった。

(2) 反応時間の変動特性

(a) 変動要因

既往の研究によれば反応時間は、人間的要因、心理的・生理的要因、刺激要因などにより大きく変動することが明らかにされているが、車間距離や速度がいかなる影響を与えるかは不明である。表4-1は、追従走行時の前車制動燈点灯に対する反応時間について、車間距離、速度、被験者を要因とした分散分析を示し

表4-1 分散分析表

要因	変動	自由度	分散	分散比	寄与率
車間距離 L	299.260	2	149.63	70.19**	8.0%
速度 V	1.543	1	1.54	0.72	0
被験者 H	265.685	4	66.42	31.16**	7.0
L*V	21.926	2	10.96	5.14	0.5
L*H	25.220	8	3.15	1.48	0.2
V*H	3.459	4	0.86	0.41	0
L*V*H	8.708	8	1.09	0.51	0
残差	3033.728	1423	2.13		84.3

** は有意水準1%で有意

たものである。寄与率は小さいものの、車間距離と被験者が有意な要因となっている。速度は有意な要因となっていない。

以下において、反応時間と速度、車間距離の関係を詳細にみることにする。

(b) 速度と反応時間の関係

図4-1は速度を80km/h以上と以下に区分して、全被験者についての反応時間分布を示したものである。ほとんど両分布に相違はみられず、今回のような高速度域(60~100km/h)においては、反応時間に対する速度の影響はないといえる。一定の車間距離で追従走行する場合、速度が高くなるほど、前車の減速に対する余裕時間は短くなり、ドライバーは制動燈点灯に対する反応を早めなければならないが、速度の高まりに対する補償行動はとられていないといえる。

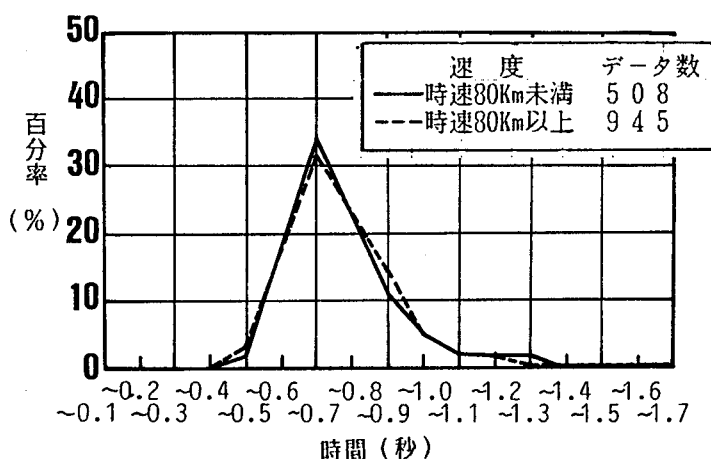


図4-1 速度別反応時間分布(全被験者)

(c) 車間距離による反応時間の変化

図4-2は、車間距離を短(~20m)、中(20~50m)、長(50m~)の3つに区分し、各距離帯の反応時間分布を示したものである。また、図4-3は車間距離帯毎の反応時間の平均と標準偏差を示したものである。図4-3には、停止時の反応時間も比較のため示されている。これらの図より、つぎのことがい

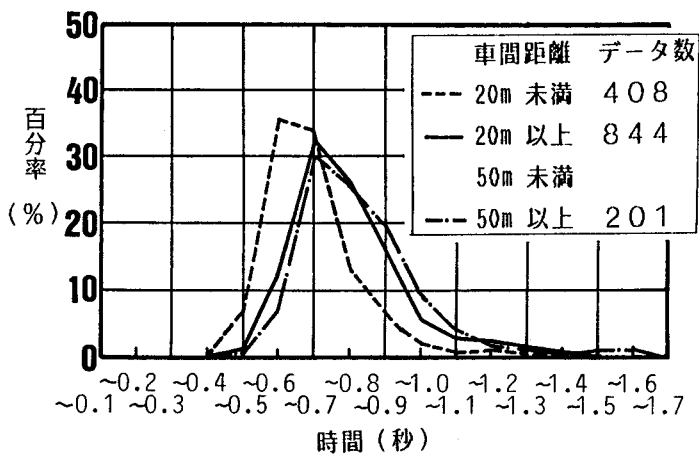


図4-2 車間距離帯別反応時間分布（全被験者）

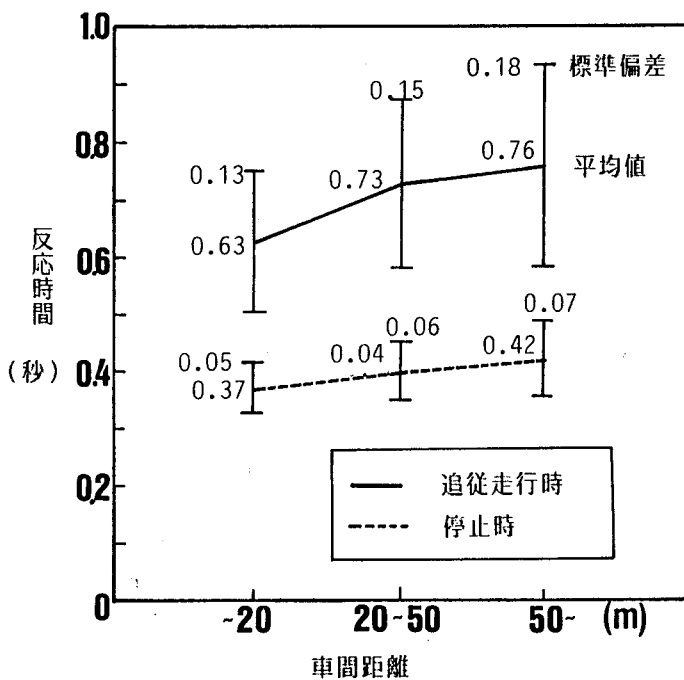


図4-3 車間距離帯別反応時間（全被験者）

える。追従走行時の反応時間は車間距離によって変化し、車間距離が短くなるほど反応時間も短くなる傾向を示し、特に、20m以下の短い車間距離において顕著である。3つの車間距離帯の平均反応時間について、差の多重比較検定⁸⁾をおこなった結果、すべて有意水準5%で有意であった。

車間距離が短くなるにつれて反応が速くなることに対して、刺激である制動燈自体の見え方が大きくなることの影響が考えられるが、車間距離が短くなることによる停止時の反応時間の短縮は小さく、その影響はほとんど無いものとみなせる。したがって、前車制動燈点灯に対する反応が速くなることは、接近追従走行時の危険に対するドライバーの補償行動の現れといえる。

3. 追従走行時の注視行動

車間距離の大小によって、追従走行時のドライバーの注視点分布にどのような相違がみられるか。また、前車の制動燈点灯の認知遅れの可能性は、いずれの車間距離において高くなるかを検討する。

(1) 実験の概要

(a) 実験方法

昼間時に中国自動車道において、被験者が実験乗用車を運転し、定速で走行中の一般乗用車をターゲットとして、安定追従走行状態を形作った。追従走行時の速度は70~100km/hの範囲であった。車間距離は短(15m前後)、中(35m前後)、長(60m前後)の3種類に設定した。被験者は、指定された車間距離を維持して数分間追従走行することを繰返し要請された。そして、その間の被験者の注視点の動きをアイカメラ(ナック製Ⅳ型)と8ミリカメラを用いて18コマ/secで撮影記録した。また、同乗の測定員が、撮影中の車間距離と速度を記録した。被験者は毎日運転している男性3名であったが、1名分のデータは不鮮明で解析不能であった。

(b) データ作成法

撮影されたフィルムの中から、解析対象とする直線区間を数区間抽出した。抽

出された区間のフィルムをスクリーンに映写し、前車、レーンマークおよび1度刻みのメッシュの描かれた透明板を前車の像と一致するようにスクリーン上に重ね、コマ送りしながら注視点の位置を読み取った。

(2) 追従走行時の注視点分布

前車の制動燈を中心とした1度刻みの視野帯を設定し、車間距離毎に各視野帯における注視点の頻度を求めた。図4-4、5は2人の被験者について、車間距離帯別に制動燈を中心とした注視点分布の累積比率を示したものである。車間距離の大小によって注視点の分布に相違がみられる。車間距離の短い場合の方が、制動燈近傍を注視している割合は低い、また、制動燈となす視角が4度以上のところを注視する割合も低くなる傾向がみられる。

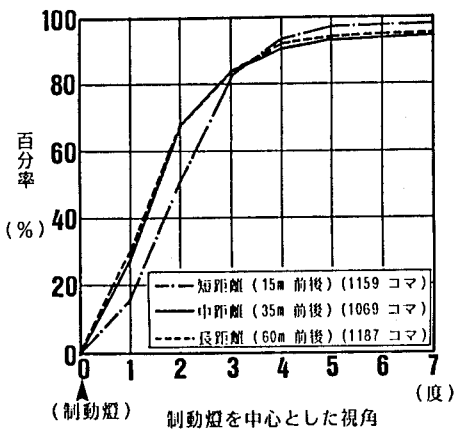


図4-4 車間距離帯別注視点の累積分布 (被験者M)

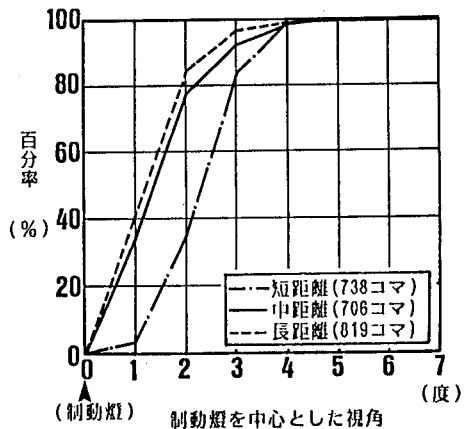


図4-5 車間距離帯別注視点の累積分布 (被験者T)

つぎに、この分布の相違を追従走行の安全性の面から検討する。三浦は⁹⁾は、運転中注視移動をおこなわずにフロントガラス前面の小光点を認知できる視野範囲を求め、視角5度以上において認知率が急激に低下することを明らかにした。したがって、ここでは前車の制動燈から視角5度以上のところを注視している場合には、制動燈点灯に気付かないものと考えことにした。表4-2は、前車制動燈から視角5度以上離れる注視点の比率を車間距離別に示したものである。車間距離が短い場合に、この比率は小さくなっている。このことより、ドライバー

表4-2 前車制動燈から視角5度以上の注視点比率

車間 距離	短 (15m前後)	中 (35m前後)	長 (60m前後)
M	2.6%	6.8	5.8
T	0.4	0.8	1.0

は、接近追従走行時には、注視行動においても追突危険に対する補償行動を多少なりとおこなっているといえる。

4. 接近追従走行時の危険補償行動の評価

ここでは、2. で示した制動燈点灯に対する反応時間の短縮行動について、その補償の程度を評価する。

(1) 平均反応時間を用いた評価

安定追従走行時に前車が減速したとき、追突しないためにはドライバーは次式に示す反応時間（ t ）以下で減速行動をおこなわなければならない。

$$t = l/v - v(1/\beta_2 - 1/\beta_1)/2 \quad (1)$$

l : 車間距離

v : 前車および後車の速度

β_1 : 前車の減速度

β_2 : 後車の減速度

$\beta_1 = \beta_2$ とすると

$$t = l/v \quad (2)$$

いま、2. の反応時間実験において、車間距離短（～20m）、中（20～50m）で出現頻度の高かった $l = 15\text{m}$ と $l = 35\text{m}$ の2つの車間距離について

(2) 式より反応時間を求めることにする。高速道路における通常速度 $v = 80 \text{ km/h}$ について反応時間を求めると、 $l = 15 \text{ m}$ のとき $t = 0.68 \text{ sec}$ 、 $l = 35 \text{ m}$ のとき $t = 1.58 \text{ sec}$ となり、車間距離が $35 \rightarrow 15 \text{ m}$ と短くなることによって反応時間は 0.9 sec 短縮されることが必要となる。一方、車間距離中と短での前車制動燈点灯に対する平均反応時間の短縮時間は 0.1 sec であった。両短縮時間の比を求めると 0.111 となり、ドライバーは、接近追従走行において危険補償行動をおこなっているものの、その補償の程度は小さく、接近追従走行は追突危険性を秘めた危険な走行となっている。

(2) 確率分布を用いた評価

つぎに、前車制動燈に対する反応時間のばらつきを考慮した危険補償行動の評価をおこなった。評価の方法はつぎのように考えた。まず、車間距離帯別の反応時間分布に適合する確率分布を見出す。つぎに、設定された車間距離と速度の下で、前車の減速に対して追突しないための最大反応時間を求め、確率分布を用いてこの反応時間より大きい反応時間の生起する超過確率を求める(図4-6)。そして、車間距離の大、小における超過確率の比を求め、その比が1以上ならば危険補償なし、1以下なら補償有りと評価する。この様な考えの下で、評価をお

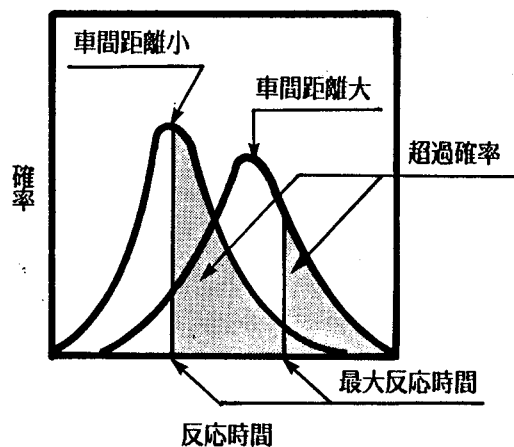


図4-6 反応時間の確率分布と超過確率

こなった結果を以下に示す。反応時間分布には式（３）の対数正規分布をあてはめた。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(t-t_0)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(t-t_0) - \lambda}{\sigma} \right\}^2 \right] \quad (3)$$

σ, λ : パラメータ

t_0 : 最小反応時間（実験データより、0.4secと設定）

その適合度を示したのが図４－７，８であり、あてはまりは良好といえる。ここで、実験時に出現頻度の高かった１５ｍと３５ｍを、車間距離短（～２０ｍ）と中（２０～５０ｍ）の代表車間距離とし、両車間距離における反応時間分布は図４－７，８同じであると考える。追従速度を８０km/hとしたとき、車間距離１５ｍと３５ｍのとき追突しない最大反応時間は４．（１）で示したように０．６８sec と１．５８sec である。ここで、実験で計測した反応時間は制動燈点灯に対する音声反応であり、ブレーキペダルを踏み込むまでの反応時間ではないので別途、両者の差を計測した結果、音声反応の方が０．１６sec 早くなっていた。よ

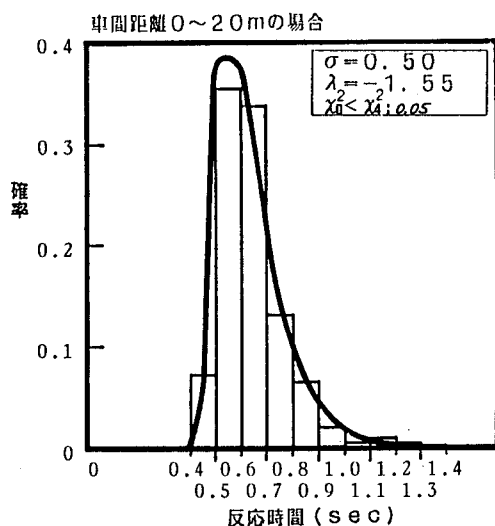


図４－７ 反応時間分布の実測値と理論値

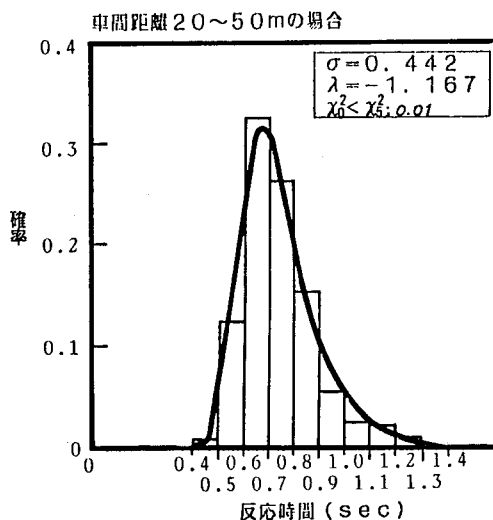


図４－８ 反応時間分布の実測値と理論値

って、追突しない最大反応時間から0.16secを引いた0.52secと1.42secについて、その超過確率を、図4-7, 8に示した対数正規分布を用いて求めた。超過確率は、それぞれ0.873と0.004となり両者の比は $0.873/0.004=218$ となる。

以上のことより、ドライバーは接近追従走行時の危険に対して、制動燈点灯に対する反応を早めるといった補償行動をおこなってはいるが、車間距離15mのときの超過確率は、35mのときのそれに比べ218倍も高くなっていることより、車間距離が35→15mと短くなることにより生じる追突危険の増大をカバーする効果は全くなく、接近追従走行は極めて危険性の高い走行となっている。

5. まとめ

高速道路における交通量の増大とともに、走行車両相互の軋轢も強まってきており、その結果、高速での接近追従走行が常態化している。本研究は、接近追従走行時の追突危険に対して、ドライバーがいかなる補償行動をおこなっているかを実験的に明らかにするとともに、補償行動の評価をおこなったものである。その結果は、次の通りである。

- (1) 車間距離が短くなるにつれて、前車制動燈点灯に対する反応時間は早くなり、特に、20m以下の接近追従走行において顕著となる。
- (2) 追従ドライバーの視線が前車制動燈から視角5度以上の位置にあって、制動燈点灯を発見しにくくなる比率は、車間距離が短くなるほど小さくなっている。
- (3) このように、接近追従走行時には反応行動、注視行動の両面において補償行動がとられている。
- (4) しかし、その補償行動は、接近追従により生じる危険を補う上では微々たるものである。
- (5) 高速時の接近追従走行は、ドライバーがいかに注意レベルを上げ、身構えた運転行動をおこなっていようとも、前車の急減速には対処できない

走行といえる。

(参考文献)

- 1) 田中聖人：高速追従走行時の危険補償行動の評価、土木計画学研究・論文集、NO.5、1987
- 2) 田中聖人：高速道路における接近追従走行出現の背景分析、土木計画学研究・論文集、no.4,1986
- 3) 上記1)
- 4) 谷島一嘉：生体情報の活用、IATSS review vol.2,no.2,1976
- 5) MICHAEL SIVAK, DAVID V. POST, PAUL L. OLSON, & ROBERT J. DONOHUE: DRIVER RESPONSES TO HIGH-MOUNTED BRAKE LIGHTS IN ACTUAL TRAFFIC, HUMAN FACTORS, 23(2), 1981
- 6) MICHAEL SIVAK, DAVID V. POST. & L. OLSON: AUTOMOBILE REAR LIGHTS: EFFECTS OF THE NUMBER, MOUNTING HIGHT, & LATERAL POSITION ON REACTION TIMES OF FOLLOING DRIVERS, PERCEPTUAL & MOTOR SKILLS, 52, 1981
- 7) MICHAEL SIVAK, LARRY S. CONN, & PAUL L. OLSON: DRIVER EYE FIXATIONS & THE OPTIMAL LOCATIONS FOR AUTOMOBIRE BRAKE LIGHTS, JOURNAL OF SAFETY RESEARCH, VOL.17, 1986
- 8) 山内光哉：心理・教育のための統計法、p140~143、サイエンス社、1987
- 9) T. MIURA: COPING WITH SITUATIONAL DEMANDS: A STUDY OF EYE MOVEMENTS & PERIPHERAL VISION PERFORMANCE, VISION IN VEHICLES, 1986

第5章 トンネル内の視覚環境問題に関する考察

1. はじめに

2. トンネル事故の発生地点からみた問題点

3. トンネル内の速度感

4. 前車の見え方がドライバーの反応に及ぼす影響

5. まとめ

1. はじめに

交通量の増大とともに、高速道路のトンネルがボトルネックであることが顕在化してきた。トンネルを先頭にした自然渋滞は日常化しているし、トンネル内での追突事故も目立っている。また、トンネルを中心とした交通流調査¹⁾ 2) 走行調査³⁾ が実施され、トンネル内で速度の低下することが実測されている。これらの問題発生の素因として、一般的にはトンネル特有の暗さ、空間の狭さが指摘できる。これらは、ドライバーにつぎのような影響を与えると考えられる。

一つは、ドライバーの速度感に与える影響である。ドライバーの速度感は、周辺視による景色の流れ、走行音、振動などによって形成されるが、トンネル内ではドライバーから側壁や天井までの距離が短く、周辺視上でのそれらの流れの速度が大きくなることより、速度を速く感じると考えられる。もちろん、走行音の変化も影響すると考えられるが、今回は取り扱わない。

速度感に関する既往の研究は、自車速度の推定問題を取り扱ったものが主であり、外部環境要因やドライバーの内的要因が、速度推定にどのような影響を与えるかが分析されている。外部環境要因としては、路面上の横縞⁴⁾、路端の縦棒⁵⁾、隣接車線上の車⁶⁾、昼夜⁷⁾、前照燈の向き⁸⁾などの影響が分析されている。一方、内的要因としては、音の遮蔽⁹⁾、速度順応¹⁰⁾などの影響が分析されている。しかし、高速道路に出現する問題（事故、渋滞など）の解明という点からは、出口ランプでの事故を速度順応の面から説明したものしか見当たらない。他の一つは、先行車の見え方に対する影響である。トンネル内の照明については、「トンネル照明設計指針（昭和54年）」¹¹⁾により、マニュアル化されているが、これはトンネル内で障害物を発見し、停止できる視距を考えて定められたものであり、先行車の視認性については全く考慮されていない。トンネル照明設計指針によると、トンネル内の路面平均輝度は、設計速度100 km/hで9.0ntと定められており、設計野外輝度の3,000～6,000nt と比べると極めて低い。さらに、トンネルの照明は、煤煙の透過率等を考慮してナトリウム照明が用いられることが多い。この照明下では色の判別がつけにくく、すべて

の色がくすんだ灰色に感じられる。このように、トンネル内では太陽光線下に比べて、物体の明かるさ（存在感）が極めて低下するといえる。前車の見えの低下は前車の動きの変化に対する追従ドライバーの知覚を遅らせることが考えられる。

以上のことより、ここではつぎの3つの目的を設定した。

①トンネル内の追突事故の発生分布をもとに、照明に関する問題点を探る。

②トンネルでの速度低下はドライバーの速度感の変化に1つの原因があるとの考えの下、実験的にそのことを実証する。

③前車の明かるさの変化がドライバーの運転行動、奥行き方向の運動の知覚にいかなる影響を与えるかを明らかにする。

2. トンネル事故の発生地点からみた問題点

交通量の増大とともに追突事故が大きな比率を占めるようになるが、その発生地点にも大きな特徴がみられる。名神高速道路の吹田IC～京都南IC間は現在わが国の高速道路で渋滞が激しい区間の一つであるが、この区間には、天王山トンネルと梶原トンネルの2つのトンネルがある。そして、これらのトンネルをボトルネックとした自然渋滞が日常的に発生し、追突事故発生の誘因となっている。

図5-1は、日本道路公団の事故調書（昭和55年～58年）をもとに、追突事故の発生地点をプロットしたものである。トンネルの入口およびトンネル内で集中的に事故が発生しており、特に、下り線の天王山トンネルの追越車線におけるトンネル入口直後の集中が顕著である。

そこで、下り天王山トンネルで発生している追突事故に着目して、トンネル内のいずれの地点で事故が発生しているかを詳細にみることにする。図5-2は、トンネル内での追突事故発生地点の分布を示したものである。図の（a）は渋滞後尾での追突事故のみを示したものであり、（b）はすべての追突事故を示している。これらの図より次のことが指摘できる。

すなわち、トンネルの長さは1389mであるが、ランダムにいずれの地点においても追突事故が発生するのではなく、入口から中へ入った300mの区間

(入口照明区間)に集中的に発生し、基本照明区間での発生は極めて希である。この現象は、渋滞、非渋滞にかかわらず共通に認められる。なお、図中では、特定の区間に集中しているようになっているが、これは事故調書での発生日点キロポストが100m単位で示されているためである。したがって、入口直前に集中している追突事故も実際には入口直後での追突事故であるのかもしれない。このように、発生日点についてはやや不正確さはあるものの、入口照明区間で追突事故が集中的に発生していることは確かな事実であるといえる。ところで、トンネル照明はドライバーの目の暗順応を考慮して、入口側から、境界部、移行部、緩和部と照明量を徐々に低下させ、基本照明に接続するように設計されている。ここでは、前車や路上の障害物が見え、高速走行を可能とする照明水準が保持され

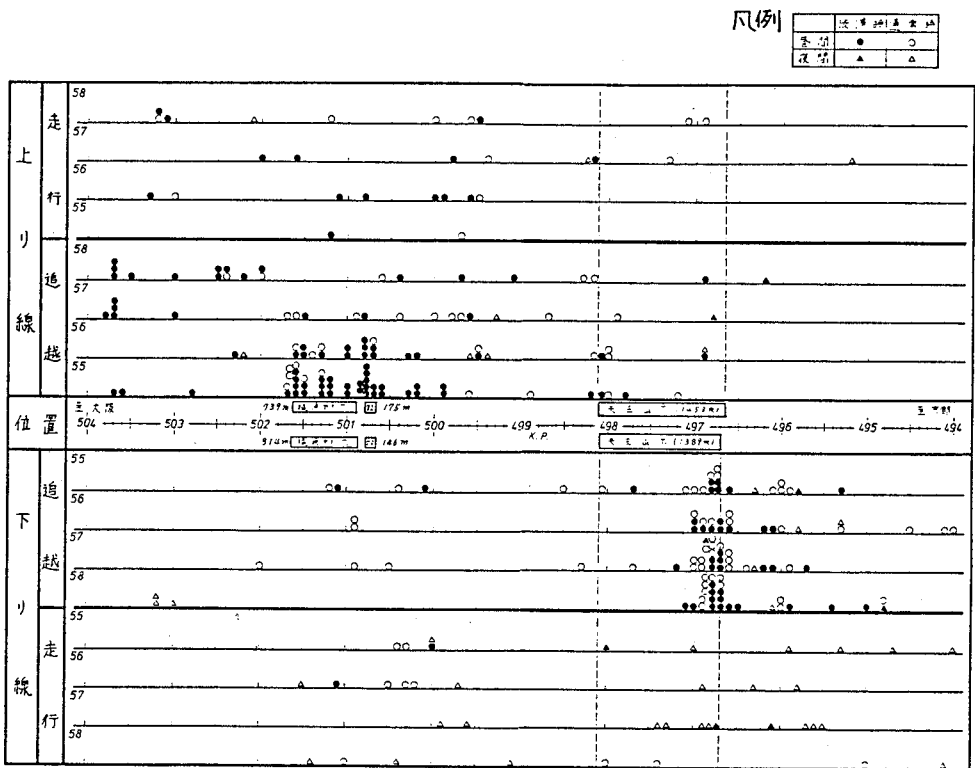
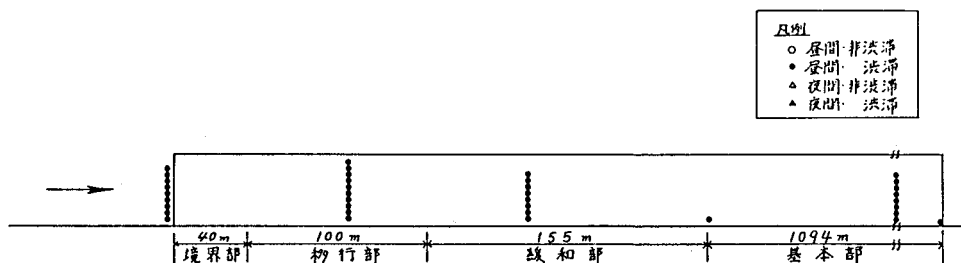
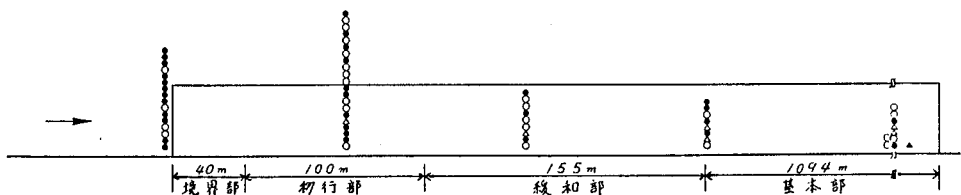


図5-1 梶原・天王山トンネル付近の追突事故の発生日点分布



(a) 渋滞後尾追突事故の発生地点分布 (昭50～54)



(b) 追突事故の発生地点分布 (昭55～58)

図5-2 名神下り天王山トンネル内追突事故の発生地点分布

ているはずである。しかし、追突事故の集中的発生は、この地点に問題があることを示唆するように思える。明解ではないが、追突事故発生地点の分布の特徴より推察すると、緩和部から基本部への移行部に問題がありそうである。緩和照明曲線に問題があるのか、基本照明の照度水準に問題があるのか、現在は不明の状態である。

3. トンネル内の速度感¹²⁾

(1) 目的

トンネル走行時の速度感が明り部と比較して、どの程度上昇するかを定量的に求め、トンネルでの速度低下現象を説明することを目的とした。

(2) 研究の方法

ドライバーの速度感を調べる実験方法として、次の二つが考えられる。

①実際に車両を走行させる

②走行画像を使用する

速度感の形成には、視覚、聴覚、触覚の情報が手掛りとなっており、実験法としては実車走行実験が優れている。既往の研究は、この方法を用いたものが多い。しかし、走行条件の設定や多人数のデータ収集が困難であり、また、視覚情報だけの影響を調べることが難しいといった欠点も存在する。

一方、走行画像を用いた実験は臨場感や走行感に乏しいという大きな欠点があるものの、実験の実施が容易であり、被験者を視覚情報だけに集中させることができるなどの利点をもっている。画像実験では、ビデオ画像を用いることが多く、その有用性が検討されてきた。太田¹³⁾ 14)らは、標準レンズで撮影したビデオ画像を用いてマグニチュード推定法、客観的速度の判断および7段階評定尺度法により速度感を調べ、実走行時のものと比較した。そこでは、ビデオ画像を用いた場合には速度感が低下することが示された。福田¹⁵⁾は、標準レンズと魚眼レンズで撮影された画像を用いて速度判断の実験をおこない、魚眼レンズによる方がより正確な速度判断が得られることを示した。このように、ビデオ画像には再現性にやや問題があるものの、実験が容易であるという大きな利点がある。したがって、本研究では、ビデオ画像を用いた実験法を採用した。

(3) 実験の概要

(a) 評定項目

走行時の前景のビデオ画像（走行画像という）を用いて、つぎの2項目について評定をおこなった。

①2つの走行画像についての速度の大小を評定（「より大きい」、「等しい」、「より小さい」の3件評定）

②各走行画像について速度感を評定（「非常に速い」～「非常に遅い」までの7段階評定）

また、すいている高速道路を安定して走行するときの通常の走行速度を聞き取った。

(b) 走行画像の作成

イ) 使用道路

供用直前の2つの高速道路を使用した。そのため、一般車の影響を全く受けることがなかった。走行区間として3区間を選んだ。1つは片側2車線の明り部（明り部という）、もう1つは片側3車線の明り部、他の1つは一方通行の2車線トンネル部（トンネル部という）である。これら3区間の道路構造特性を表5-1に示した。2車線明り部は右にゆるくカーブした区間であるが、ドライバーの視点から見た場合、直線に近いカーブといえる。トンネル照明は晴天（1）にセットした。追越車線路面照度の測定結果は図5-3に示すとおりであった。

表5-1 使用道路の構造特性

道路 構造	片側2車線 明り部	片側2車線トンネル部 (丹波第2トンネル)	片側3車線 明り部
横断構成			
平面線形	曲率半径 7000m	曲率半径 ∞ トンネル延長1458m	曲率半径 ∞
縦断線形	下り勾配 0.43%	上り勾配 2%	下り勾配 2%+0.338%
写真			

ロ) 走行条件

実験車（トヨタクラウンワゴン）を用いて、安定した単独走行を形作った。設定速度は2車線明り部では60～110km/hの10km/h刻み6種類、3車線明り部では60～100km/hの10km/h刻み5種類、トンネル部では60～90km/hの10km/h刻み4種類とした。走行する車線は3区間とも追越車線とした。走行はすべて昼間時におこない、天候は晴れ又は曇りであった。

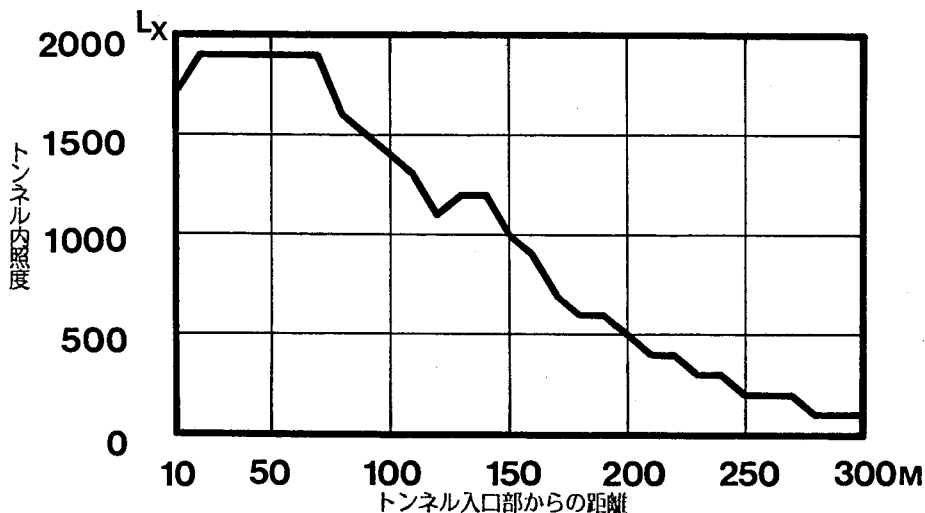


図5-3 トンネル内位置別測定照度

ハ) 撮影の方法

ビデオカメラ（ナショナルVY-4850）をドライバーの横に据え、視点高と同じにし、画角23°にして走行時の前景を撮影録画した。

ニ) 呈示画像の編集

①速度の大小の評定用

2車線明り部の走行画像を標準画像とし、3車線明り部およびトンネル部の走行画像を対比画像として、2画像1組の組合せを作り（組合せ総数は54）、1本のビデオテープにランダムに編集した。編集テープの詳細を図5-4に示した。各走行画像には、走行感を出すためだけに同じ走行音が録音された。

②速度感評定用

3区間のすべての走行画像を1本のテープにランダムに編集するとともに、各画像に同じ走行音を録音した。

（c）実験方法

イ) 速度の大小の評定

走行画像はモニターテレビ（ソニー-KX-20HF1, 20インチ）により呈示した。被

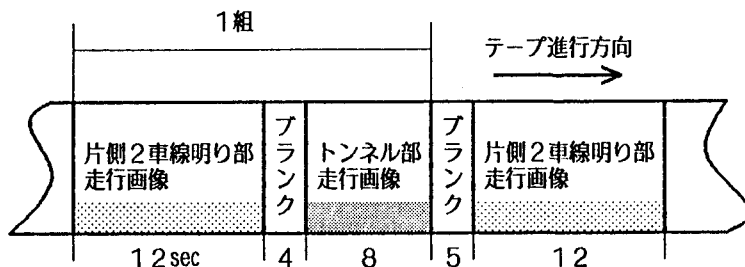


図5-4 ビデオテープの編集要領

験者は、1人ずつ、運転時の視角と同じになるようにテレビ正面100cmの位置で椅子に座し、画像が呈示されたら道路の前方に眼を向け、運転している感じで画面をみるように指示された。実験室はうす暗くして、被験者がテレビ画面に注意を集中するようにした。走行音は、いずれの画像とも被験者の耳元で58～60dBの一定音量となるようにした。被験者は1組毎に速度の大小評定を求められ、連続して54組の評定をおこなった。所要時間は1人約30分であった。

ロ) 速度感の評定

速度の大小の評定実験に引き続き、各走行画像が順次呈示され、被験者はすいた高速道路を安定して走行するときの状況と対比した速度感の評定を求められ、連続して15画像の評定をおこなった。所要時間は1人約7分であった。

(d) 被験者

被験者には、運転経験をもち、高速道路の走行経験ももつドライバーを選んだ。被験者総数は35名であり、20歳代の若い男性が中心であった。

(4) 実験結果と考察

(a) 実験データの再現性

ビデオ画像を用いて、速度感を調べる場合、一番の問題点は実際の走行感の再現性である。従来の画像観察の結果¹³⁾¹⁵⁾によれば、速度判断は実走行よりも画像観察の方が過小評価になることが示されてている。本実験で用いたビデオ画像の画角は23°であり、ドライバーの視野に比べ相当狭いものになっており、過

小評価のデータとなることが考えられる。そこで、実験で得たつぎの2つのデータを利用して、速度感の再現性の検討をおこなった。

①すいた高速道路を安定した状態で走行するときにとると被験者が申告した速度データ

②被験者がすいた高速道路を安定した状態で走行する時の状況と同じと感じた明り部における走行画像の速度データ

図5-5は2つの速度データの対応関係を示したものである。データは45°の線を中心として上下にばらついており、ビデオ画像による速度感の過小評価傾向はみられない。また、多くのデータが45°の線を中心に±10km/hの速度範囲内にはいっており、本実験で得られたデータは、今回の速度域(70~110km/h)では、比較的良く実際の走行状況を表わしているものといえる。

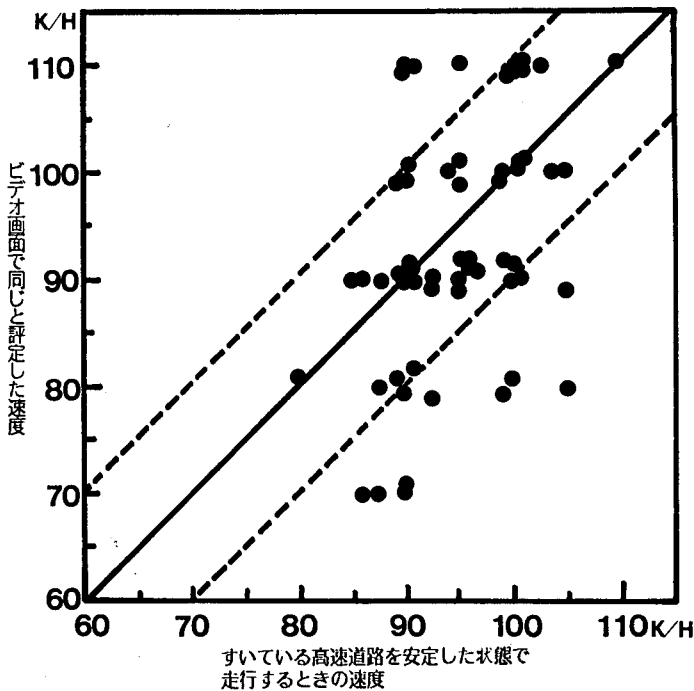


図5-5 2つの速度の対応関係

(b) トンネル部と明り部の速度感の相違

イ) 7段階評定結果

「非常に速い」～「非常に遅い」の7段階に速い方から順次1点、2点、・・・、7点と評点し、各被験者の反応評点をもとに各走行画像の平均評点を求めた。図5-6は、明り部とトンネル部の走行画像の平均評点を対比して示したものである。平均評点による走行画像の並びは速度の順序通りになっており、比較的正しい評定がなされたものといえる。明り部とトンネル部の並びを比較すると、トンネル部の方がいづれの速度においても速い方の評定に偏っており、トンネル部走行時の速度感は明り部に比べ高まるといえる。

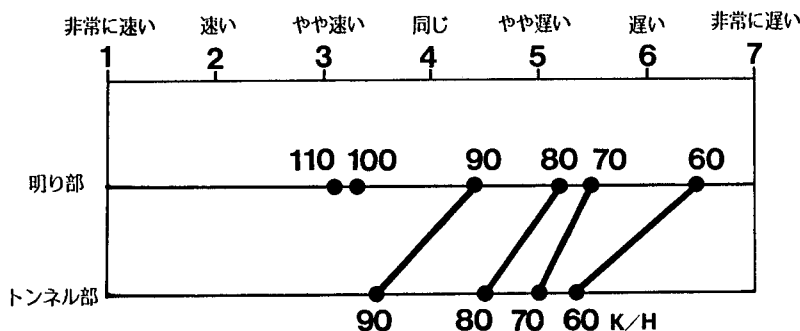


図5-6 明り部とトンネル部の速度感評定結果

ロ) トンネル走行時の主観的等価速度

明り部とトンネル部の走行画像を比較して得られた速度の大小の評定データをもとに、明り部の速度と等しいと感じるトンネルの速度（主観的等価速度という）をつぎの2つの求め方¹⁶⁾で求めた。

①求め方1：被験者が明り部の速度と等しいと反応したトンネルの速度データだけを用いる方法

明り部の速度90km/hの場合を例に説明すると次のようになる。

表5-2は、トンネルの各速度（60，70，80，90 km/h）について明り部の速度90km/hと等しいと反応した被験者数およびその累積割合を示したものである。この表をもとに、明り部の速度90km/hに対するトンネルの主観的等価速度（ $v_{0.5}$ ）を求めると、次のように得られる。

$$v_{0.5} = 65 + \{ (55 \times 0.5 - 15) / 19 \} \times 10 \\ \div 72 \text{ km/h}$$

表5-2 明り部速度90km/hと等しいと反応した被験者数

トンネルの 速度の階級	等しいと反応 した被験者数	等しいと反応した 被験者の累積数	累積 割合
55～65km/h	15人	15人	27.3%
65～75	19	34	61.8
75～85	18	52	94.5
85～95	3	55	100.0

②求め方2：明り部の速度に比べて、トンネルの速度が速いと反応したデータおよび遅いと反応したデータ（ただし、等しいと反応したデータは両者に等分する）を用いる方法。

明り部の速度90km/hを例にして示すと、次のようになる。

図5-7はトンネルの各速度について、明り部の速度90km/hよりも速いと反応した被験者の割合と遅いと反応した割合を示したものである。2つの線が交わる50%の点に対応するトンネルの速度値が、求める主観的等価速度となる。

図5-8は、このようにして求めた明り部の速度に対応するトンネルの主観的等価速度を示したものである。求め方の違いにより主観的等価速度にやや違いがみられるものの、およそ次のことがいえる。

①明り部の速度に対するトンネルの主観的等価速度は、明り部の速度よりも低い値となっている。

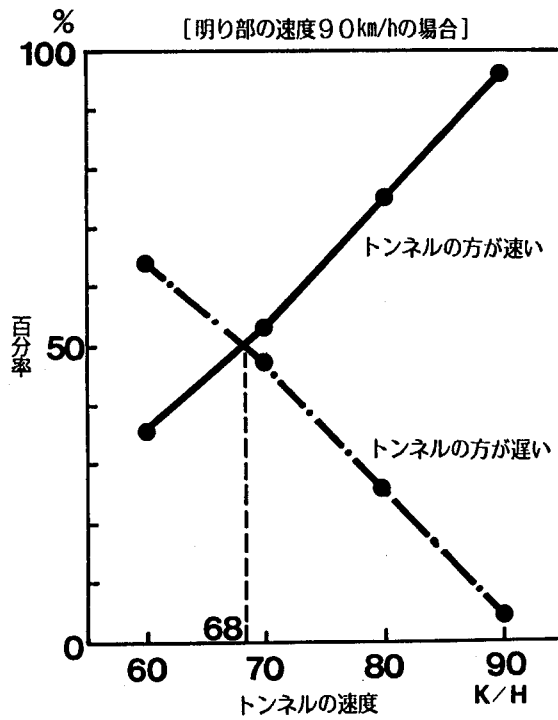


図5-7 明り部速度90km/hに対する
トンネルの速度の大小評定結果

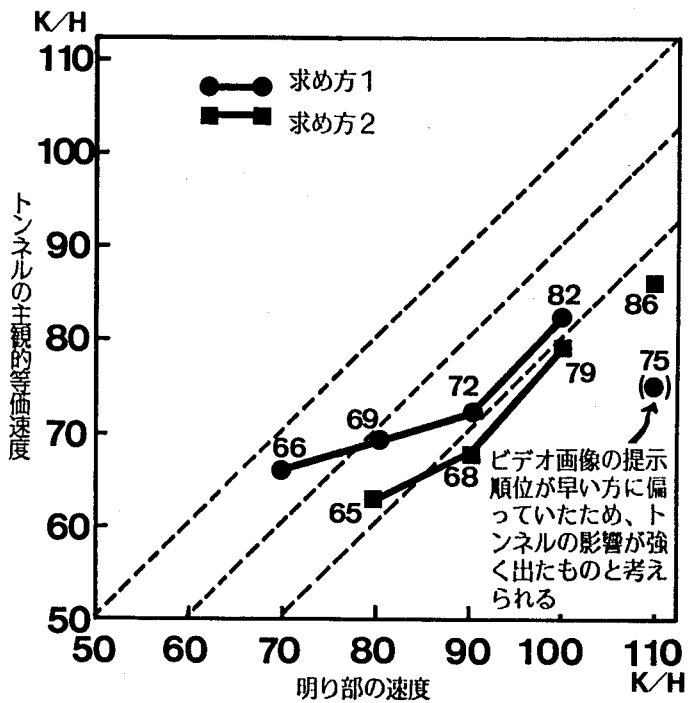


図5-8 明り部の速度に対するトンネルの主観的等価速度

②明り部の速度とトンネルの主観的等価速度との差は、明り部の速度が70→90km/hと大きくなるにつれて増大し、約20km/hの差となり、さらに90→100km/hと増大してもほぼ同じ20km/hの差のままである。明り部の速度が110km/hになった場合、求め方1で求めたトンネルの主観的等価速度は傾向から大きくはずれ、トンネルの及ぼす速度感上昇の影響が強く出ているが、これはビデオ画像の提示順位が最初の方に偏っていたことの影響と考えられる。

③名神高速道路下り線の天王山トンネルで実測された追越車線の非渋滞交通流の平均速度は、昭和58年調査¹⁷⁾で78～80km/h、昭和60年調査¹⁸⁾で63～69km/hの範囲であった(図5-9)。昭和60年に調査された¹⁹⁾明り部の追越車線の平均速度84～91km/hと比較した場合、トンネル内では、およそ10～20km/hの速度低下をきたしていると推察されるが、このことは、今回得られた明り部の速度とトンネルの主観的等価速度との差(10～20km/h)と一致している。このことより、非渋滞時にトンネル内で、走行速度が低下したままの状態が車の流れが移動していくのは、トンネル内で速度感が上昇するためと推察される。

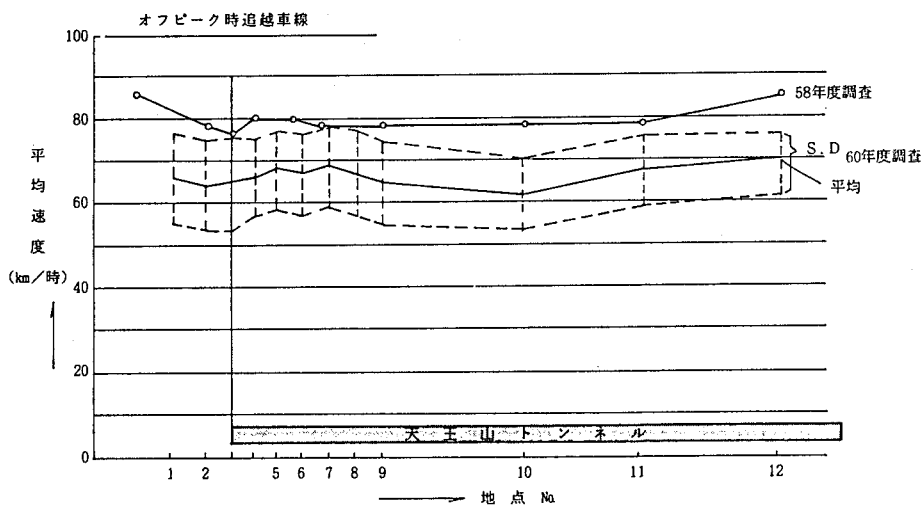


図5-9 平均速度変化図(全車種) 1) 2)

4. 前車の見え方がドライバーの反応に及ぼす影響²⁰⁾

トンネルの照明問題を考える基礎的研究として、明暗条件下における前後方向の動きの知覚および運転行動の変化を実験的に検討する。

(1) 昼・夜間時の前後方向の動きの変化の知覚

(a) 実験目的

静止した前車の前後方向の動きを知覚するまでの遅れ時間を計測し、前車の見え方と前車までの距離が、この遅れ時間にいかなる影響を与えるかを分析する。

(b) 実験方法

①実験日時：昭和59年10月～12月

②実験場所：大阪大学吹田地区キャンパス駐車場跡地

被験者：被験者は表5-3に示すように運転頻度の高い男性5名である。

表5-3 被験者の属性

被験者	免許歴	年 齢	性別	運転頻度	その他
T	13年	35才	男	毎日	コンタクト
Ma	3	22	男	毎日	眼鏡
O	1	20	男	毎日	裸眼
I	3	26	男	月1回	運転時眼鏡
Mi	3	24	男	週3回	眼鏡

(c) 実験条件

実験条件としては、車間距離と前車の見え方の2条件を考え、次のように設定した。

①車間距離：40m, 60m, 80m, 100m, 130m

②前車の見え方：

・昼

・夜間：反射材なし（後車はヘッドライトをロービームで点灯、前車は尾燈のみ点灯）

- ・夜間：反射材あり（後車はヘッドライトをロービームで点灯、前車は尾燈を点灯するとともに、車の輪郭上に反射材を取り付けた）

前車を前進あるいは後退させるときの加速度は、条件として設定することが困難であり、実験車の運転に慣れたドライバーが常に運転し、できるだけ一定の加速状態を作りだすようにした。その結果、前進時は 1.0 m/s^2 前後、後退時は 0.8 m/s^2 前後の加速となり、前進時の方がやや速い動きを作りだしたことになる。

（d）実験の手続き

図5-10に示すように、2台の実験車（乗用車）を、あらかじめ設定した車間距離だけ離して縦列に停止させる。後車には被験者1名、実験者1名が乗車し、前車にはドライバーと実験者2名が乗車する。前車は車間距離設定後、任意の時刻において、できるだけ一定の加速度状態で前進または後退をおこなう。後車の運転席に座っている被験者には、前車の動きを認めたら素早く合図（ヘッドライトを点灯）をすることを課している。後車の実験者は、動きの方向を被験者に聞く。なお、被験者には判断を開始するまでの間目隠しをし、前車が定位置に戻る様子を見えないようにしている。前車の実験者は、前車が動き始めて、後車の被験者がそれを知覚するまでの時間をストップウォッチで計測する。他の1名は、被験者が動きを知覚するまでの移動距離を車間距離測定器（名古屋電気製MT-

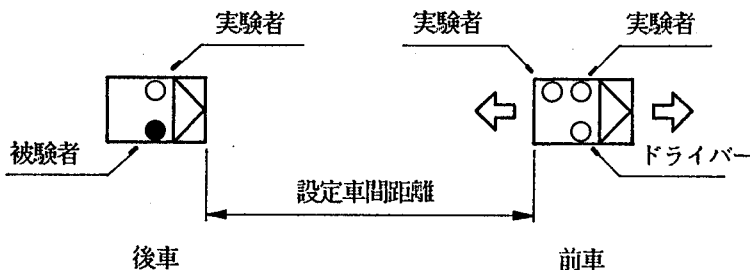


図5-10 実験時の車と人員の配置

1000)で計測する。実験は、被験者1名につき180回(前車の見え方3条件×車間距離5条件×動かし方2条件×繰返し6回)実施した。

(e) 実験結果

実験より得られたデータをもとに、ドライバーの知覚遅れが、車間距離や前車の見え方の違いによってどのように変化するかをみることにする。5名の被験者間で知覚遅れ時間(前車が動き始めてから後車のドライバーがそれを知覚するまでの時間)に多少の相違がみられるものの、前車の見え方および車間距離の変化に対する知覚遅れ時間の増減傾向は同様であった。そこで、5名の被験者の平均を求め、見え方の条件および前進、後退別に車間距離と知覚遅れ時間との関係を示したのが図5-11である。この図より、次のようなことがいえる。

- ①前車の見え方や動きの方向にかかわらず、知覚遅れ時間は、車間距離の増大とともに直線的に増加する。
- ②知覚遅れ時間は、前車の見え方によって大きく異なり、前進、後退のいずれにおいても昼間が最も短く、続いて夜の反射材であり、最も長いのが夜の反射材なしの場合であった。

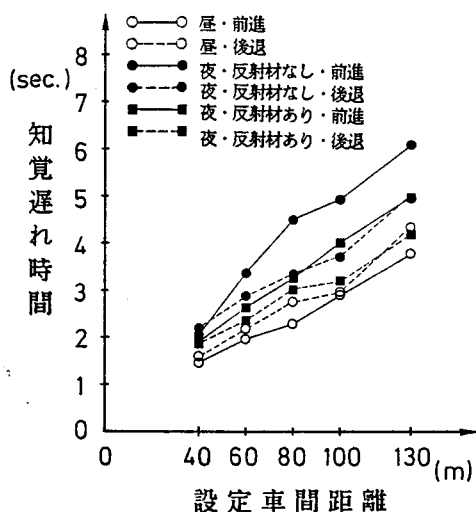


図5-11 前後方向の動きの変化の知覚遅れ
(5名の平均)

次に、前車の見え方の差異が、知覚遅れ時間の増減にどのような影響を与えるかをみることにする。図5-12は5名の平均を求めて示したものである。前車の見え方の影響は前進と後退とで大きく異なっている。まず、前進の場合についてみると、昼間と夜間の知覚遅れ時間の差は、車間距離が80mまでは急激に増加し、それ以後はほぼ一定となる。夜間反射材を取り付け、前車の輪郭が目立つような工夫をしたところ、依然として昼間より知覚遅れ時間は大きいものの、知覚遅れ時間を短くする効果が明瞭に認められた。後退の場合には、昼夜間の知覚遅れ時間の差は、車間距離に関係なくほぼ一定であったが、反射材の効果は認められた。

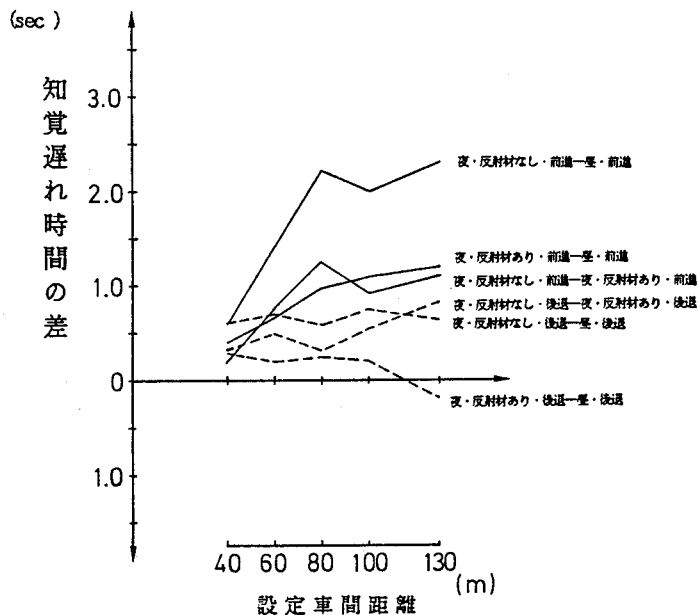


図5-12 前後方向の動きの変化の知覚遅れ時間の条件間差異
(5名の平均)

(2) 昼・夜間時の運転行動の比較

(a) 実験目的

前車の見え方が、追突事故を回避しようとするドライバーの運転行動にいかなる影響を与えるかを明らかにすることを目的として、車線変更行動と減速行動を取り上げ、車線変更の位置と減速行動の開始位置を調べる。

(b) 停止車に対する車線変更行動

イ) 調査の概要

片側2車線の交通量の少ない直線道路の路側寄りに乗用車(トヨペットクラウンワゴン)を停止させた。一般車の中で、上流より、外側車線(路側方)を走行し、停止車両の手前において自由に車線変更できる状態にある車を測定対象車として、車線変更位置・速度・車種を計測記録した。車線変更位置の計測は、4名の測定員を配置し、各自の受け持ち区間を決め、中央のレーンマークを距離測定の手掛かりとしておこなった。速度と車種の測定は、停止車の上流150m付近に配置された測定員が受け持ち、速度はスピードガンにより測定した。調査は、1984年11月～12月の晴れた日の昼および夜間に実施した。調査中、停止車のハザードランプは点滅させず、夜間には尾灯のみ点灯させた。

ロ) 調査結果

・速度

図5-13は、測定対象とした車の速度分布について、昼と夜に分けて示したものである。昼間は、平均49.9km/h、標準偏差8.2、夜間は53.0km/h、標準偏差9.0であり、夜間の方が速度はやや高い。

・車線変更位置

図5-14は、昼と夜の車線変更位置(停止車から車線変更地点までの距離)の分布を対比して示したものである。昼と夜では分布形に相違がみられる。すなわち、昼間は停止車からの距離が遠くなるにつれて頻度が減少する。一方、夜間では、40m以遠の結果は昼と同じであるが、0～40mの距離帯においても車線変更が認められる。特に、0～20mの距離での車線変更は、昼間にはみられない現象である。全体としては、夜間は、昼間よりもわずかに遠い距離で車線を変更するが、極めて近い距離まで接近してから車線を変更する車も存在している。このことから、前車の見えの低下は、大多数のドライバーに安全側の行動をとら

せるが、危険側の行動を誘発させることもあることを示している。

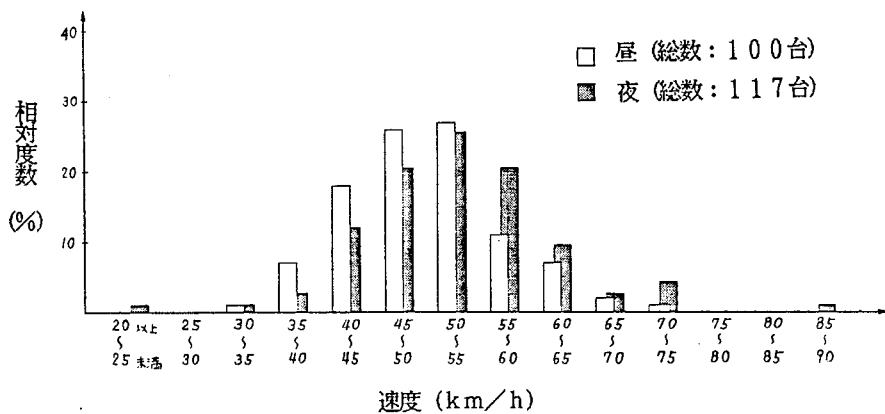


図5-13 速度分布

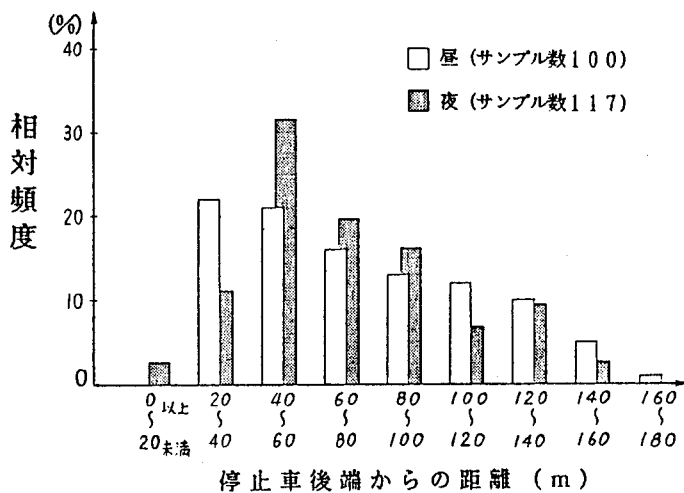


図5-14 車線変更位置の分布

(c) 停止車に接近するときの減速行動

イ) 実験の概要

片側2車線の直線道路において、路側よりに乗用車を停止させ、被験者の運転する実験車は外側車線を上流より走行し、停止車の後ろに停止する実験をおこなった。ドライバーにはできるだけ指示速度(40, 50, 60 km/h)に合わせて走行することと、アクセルを解除した時点で合図を発することを指示した。実験は昼間、夜間(尾燈点灯)、夜間(尾燈点灯+反射材)の3条件についておこない、それぞれについて3回の繰返しをおこなった。被験者は、表5-4に示す20才代の男性9名であった。

表5-4 被験者の属性

被験者	免許歴	年 齢	性別	運転頻度
M	3年	22才	男	毎日
G	9	27	男	週4回
N	3	22	男	週3回
T	13	35	男	毎日
S	3	24	男	週3回
Y	2	23	男	毎日
K	4年	23	男	毎日
H	1	23	男	週3回
C	8	31	男	週4回

ロ) 実験結果

図5-15, 16, 17, 18は、アクセルを解除するときの車間距離が、速度ならびに停止車の見え方によってどのように変化するかの代表例を示したものである。図中の直線は、回帰直線である。全ての被験者に共通してみられた特徴は、速度の増加とともにアクセル解除時の車間距離が、直線的に増加する傾向である。ただし、その距離は、被験者間によって大きくばらついている。停止車の見え方の変化に対するアクセル解除時の車間距離変化については、全被験者に共通した傾向はみられず、次の4つのタイプに分けられた。

タイプ1：夜の反射材の有無別に相違がなく、昼より夜にアクセル解除時の車間距離が長くなるタイプ(図5-15)

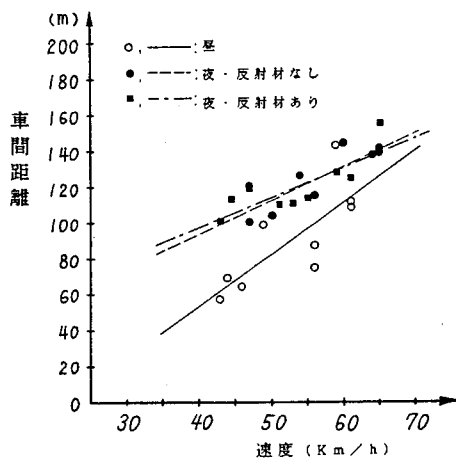


図5-15 速度とアクセル解除時の
車間距離との関係
(被験者：H)

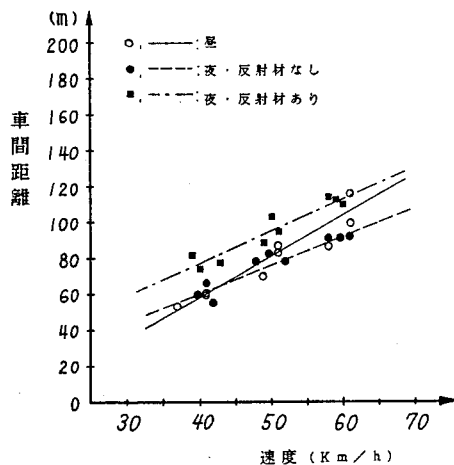


図5-16 速度とアクセル解除時の
車間距離との関係
(被験者：S)

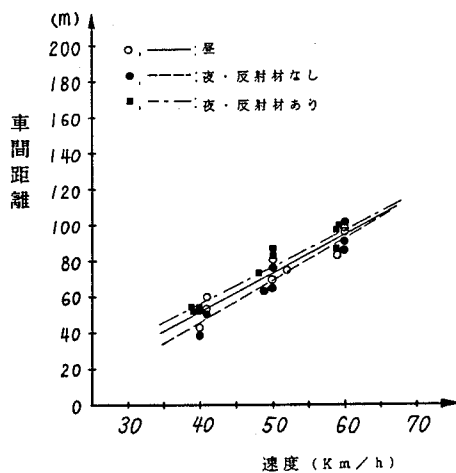


図5-17 速度とアクセル解除時の
車間距離との関係
(被験者：G)

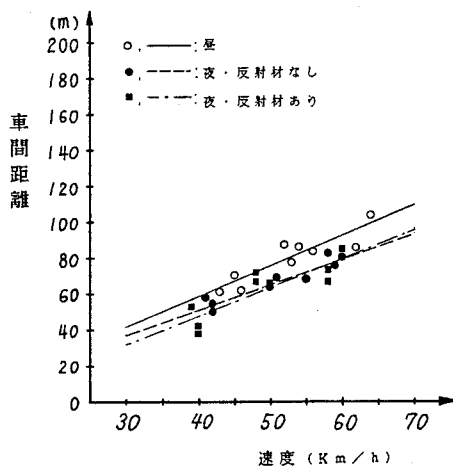


図5-18 速度とアクセル解除時の
車間距離との関係
(被験者：M)

タイプ2：昼と夜の反射材無しの間には差がなく、夜の反射材有りの場合にアクセル解除時の車間距離が長くなるタイプ（図5-16）

タイプ3：昼、夜（反射材無し）、夜（反射材有り）の3条件とも違いがないタイプ（図5-17）

タイプ4：夜の反射材無しと有りの間には差がなく、昼の方が夜よりもアクセル解除時の車間距離が長くなるタイプ（図5-18）

最も多く見られたタイプは、タイプ1で被験者9名中5名がこのタイプであった。全体としては、車の見え方が悪くなる夜間の方が、反射材の有無にかかわらず、昼間よりも遠い位置で減速を開始するといえる。このことは、前車の見えが悪い場合の方がドライバーは安全な行動をとるように見えるが、反面、前車の見え方が悪いことにより自車と前車との間隔が読みにくく、その結果として、昼間よりも安全側の行動をとるとも考えられる。高速道路を走行するドライバーは、実験時の被験者のような構えをもっておらず、また、前車の動きの状況を事前に認知していることもない。このようなドライバーに対して、前車の見えの悪さは上記のような安全側の作用ではなく、危険側の行動、すなわち、前車に対する行動の遅れを引き起こすことが予想される。トンネル内の交通流にみられる加減速行動の繰返しは、このことが原因していると推察される。

5. まとめ

高速道路において、交通量の増加とともに、トンネルが一つの事故多発区間となっている。本章では、名神高速道路の下り線天王山トンネルを対象に、トンネルに潜む問題を見出すために、追突事故の発生位置を調べるとともに、ビデオ画像を用いた実験法により、高速道路におけるトンネル部と明り部の速度感の違いを分析した。さらに、基礎的な実験として、昼と夜での前車の見え方の違いが、ドライバーの知覚や行動にいかなる影響を与えるかを調べた。得られた結果を要約して示すと次のようになる。

（1）追突事故は、トンネル入口から内側300m区間の入口照明部に集中し

ており、トンネル照明状態が追突事故発生に関係していることが示唆される。

(2) トンネル部と明り部の速度感を比較した結果、トンネル部の速度感の方が高く、その差は、明り部の速度が90～100 km/hの速度域において約20 km/hであった。この値は、トンネル部での実速度の低下量とおおよそ一致しており、ドライバーは、トンネル内で速度低下を自覚しないまま走行していると推察される。

(3) 前後方向の動きの知覚遅れは、前車の見え方によって大きく変化する。夜間は昼間に比べ、動きの変化を発見し難くなる。しかし、反射材によって車の輪郭を浮かび出させることをすればやや改善される。

(4) 夜間の車線変更については、昼間にみられないような距離まで接近して車線変更する例が認められた。減速行動については、昼間よりも停止車両から遠い距離で減速を開始する傾向が認められたが、これは、距離変化を把握しにくいことへの対応行動であると考えられる。

(参考文献)

- 1) 日本道路公団大阪管理局：トンネル内走行特性調査報告書、昭和59年3月
- 2) 日本道路公団大阪管理局：名神高速道路天王山トンネル内交通現象調査解析報告書、昭和61年3月
- 3) 日本道路公団大阪管理局：高速道路の安全性に関する調査研究報告書、昭和59年3月
- 4) RUTLEY K. S. : CONTROL OF DRIVERS' SPEED BY MEANS OTHER THAN ENFORCEMENT, ERGONOMICS, VOL. 18, NO. 1, 1975
- 5) 元木正典、飯田健夫、増田直衛：速度および速度変化の知覚その1、日本心理学会発表論文集、1977年
- 6) 元木正典、増田直衛、藤井輝男：速度および速度変化の知覚その3、日本心理学会発表論文集、1978年

- 7) TRIGGS T. J. AND BERENYI J. S. :ESTIMATION OF AUTOMOBILE SPEED UNDER DAY AND NIGHT CONDITIONS, HUMAN FACTORS, 24(1), 1982
- 8) 上記7)
- 9) 上記7)
- 10) SCHMIDT F. AND TIFFIN J. :DISTORTION OF DRIVERS' ESTIMATES OF AUTOMOBILE SPEED AS A FUNCTION OF SPEED ADAPTATION, JOURNAL OF APPLIED PSYCHOLOGY, 53, 1969
- 11) 高速道路調査会：トンネル照明設計指針、昭和54年7月
- 12) 毛利正光、田中聖人、八賀真：高速道路のトンネルにおける速度感について、交通工学、投稿中
- 13) 太田博雄、小松紘：自動車走行時の速度感に関する研究、日本応用心理学会発表論文集、1984年9月
- 14) 太田博雄、小松紘：自動車走行時の速度感に関する研究(2)、日本心理学会発表論文集、1985年7月
- 15) 福田恭介：魚眼レンズで撮影した走行場面のスピード判断の研究、IATSS研究・研修助成報告集、VOL. 5、1986年
- 16) 武藤真介：計量心理学、p.p. 40~47、朝倉書店、1982年
- 17) 上記1)
- 18) 上記2)
- 19) 日本道路公団大阪管理局：名神高速道路渋滞状況調査報告書、昭和60年3月
- 20) 毛利正光、田中聖人：前車の見え方がドライバー反応へ及ぼす影響について、土木学会年次学術講演会講演概要集IV、1985年9月

第6章 交通混雑下での追突事故発生の背景分析

1. はじめに

2. トンネルによる交通流の速度低下

3. 交通量と追突事故の関連性

4. 渋滞後尾追突事故発生の背景

5. まとめ

1. はじめに

高速道路は最も高規格の道路であり、道路線形や構造面では安全性の高い道路といえる。しかし、交通量が増加し道路のもつ交通容量に近くなると、潜在していた道路の弱点が顕在化し、交通のスムーズな流れを乱し、追突事故誘発の大きな原因となる。今回対象とした名神高速道路吹田IC～京都南IC間（37km、図6-1）はこのことが典型的に表われている区間といえる。この区間は、名神高速道路の中でも事故の多発する区間となっているが、それは、交通容量の低下をきたす隘路区間（トンネル）が存在し、その交通容量低下の影響が最も敏感に生じるような大量の交通が流れているために、潜在的な追突の危険性が事故に発展しているものと考えられる。これまで、交通量と事故の関係が分析されてきているが、交通量の大小によって事故の形態やその発生率がどのように変化するかを研究した例は少ない^{1) 2) 3) 4)}。

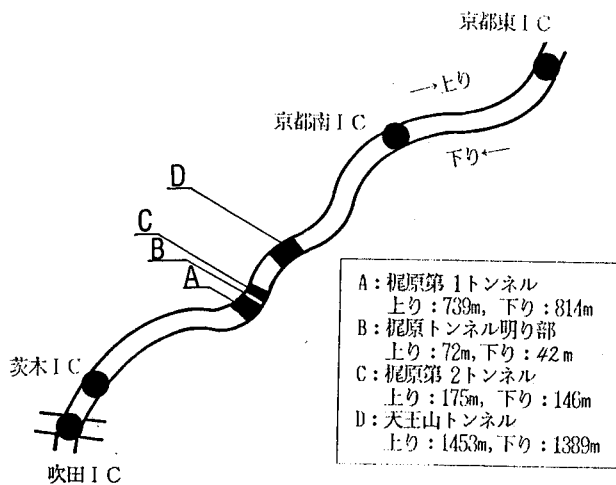


図6-1 対象区間の道路構造

本研究では、対象区間における事故の一つの特徴である渋滞時追突事故、中でも渋滞時の後尾追突事故に注目し、事故の背景となるトンネルによる交通流の速度低下現象および事故を誘発しやすい交通量の存在を明らかにすることを目的とした。

2. トンネルによる交通流の速度低下^{5) 6)}

(1) トンネル入口部での速度低下

用いたデータは、第2章の3の(1)で述べたトンネル入口部とトンネルの影響のない明り部(非影響部)で実測された交通流データである。

図6-2, 3は、非影響部(A-1)と梶原第1トンネル入口部の速度分布を示したものである。これらの図より、次の特徴が指摘される。

- ・ 追越車線、走行車線とも通常流の場合、梶原第1トンネル入口部は、非影響部に比べて10 km/h程度の遅い流れとなる。
- ・ 通常流の場合、各測定地点の速度のパラッキにはほとんど差異はない。
- ・ 渋滞流の場合、梶原第1トンネル入口部と非影響部とでは25~30 km/hの速度差がみられる。
- ・ 通常流の場合、各地点とも追越車線の方が約10 km/hほど速い流れとなっているが、渋滞流になると両車線の差は約5 km/hになる。

図6-4、図6-5は、平均速度と交通量の関係を示したものである。一般に、平均速度と交通量の関係は図6-6で示されるものである。

追越車線においては、図6-6の関係が認められるが、走行車線においては直線関係部分しか認められない。

追越車線における地点間の相違についてみると、非影響部(A-1)と梶原第1トンネル入口部間に比較的顕著な差が認められる。すなわち、1500台/時までの通常の流れにおいては、同一交通量の場合非影響部の方が約10 km/hほど速く流れており、両地点ではそれぞれ異なるQ-V関係を呈するものと推察される。このことは、トンネルの交通流に与える影響を示すものであり、トンネル入

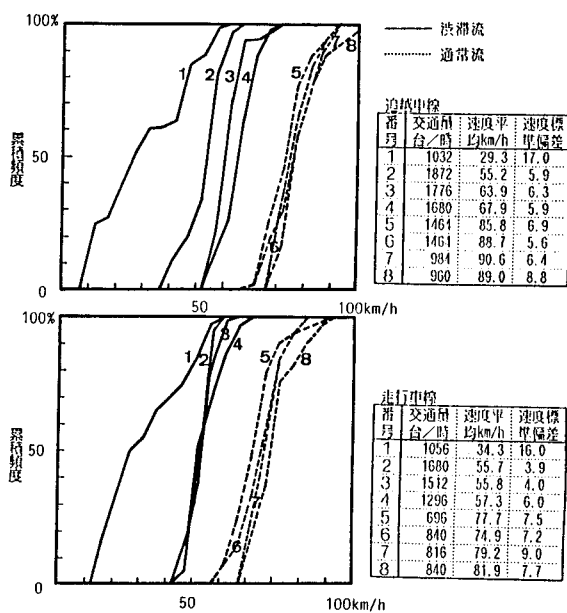


図6-2 非影響部（A-1）における速度分布

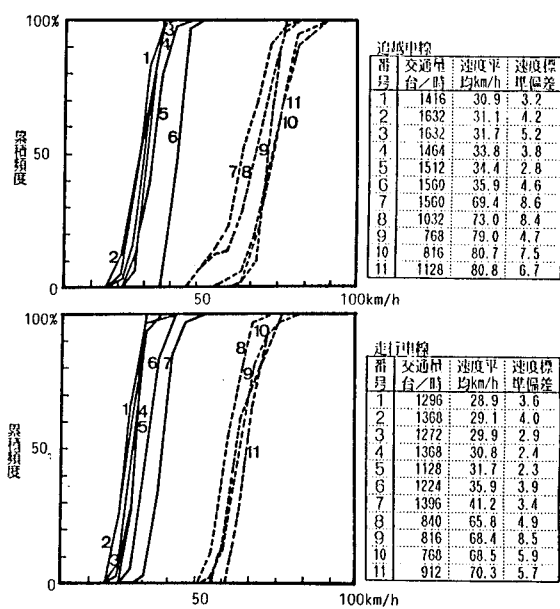


図6-3 梶原第1トンネル入口部における速度分布

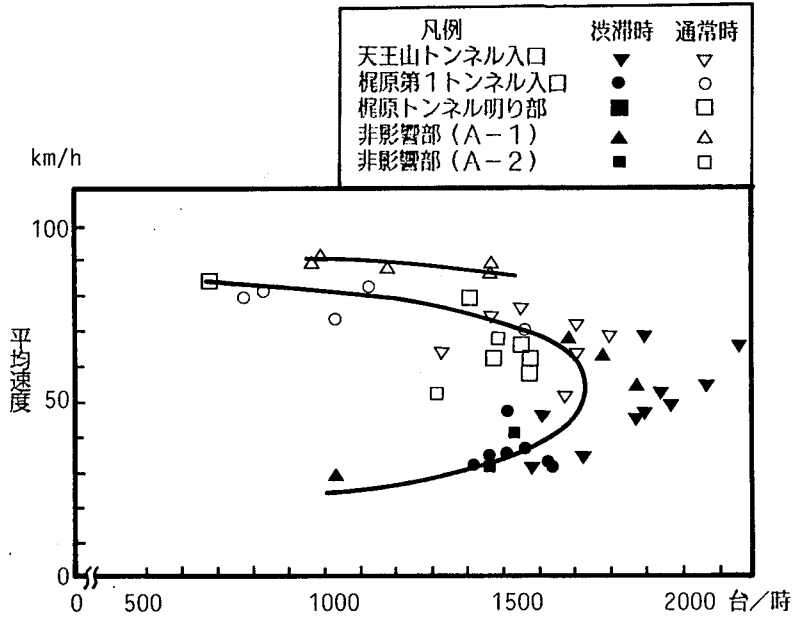


図 6-4 交通量と平均速度の関係（追越車線）

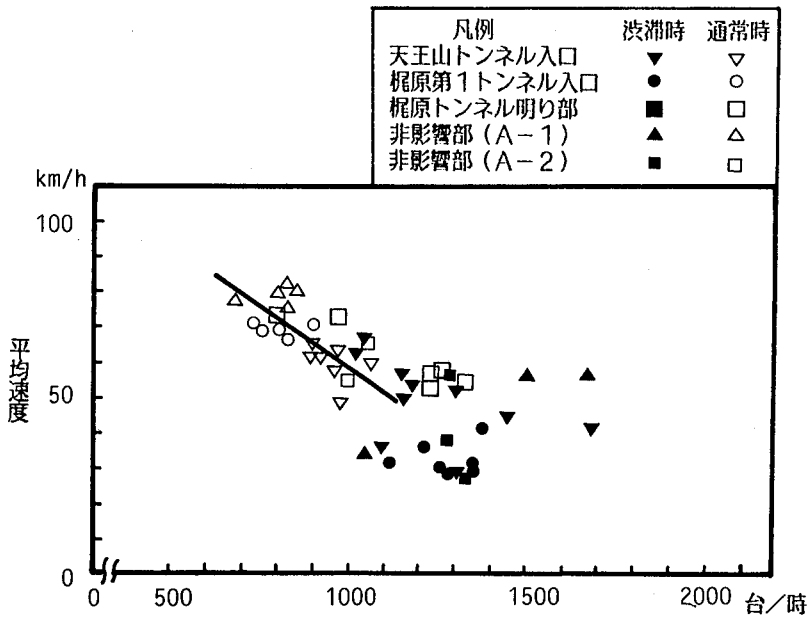


図 6-5 交通量と平均速度の関係（走行車線）

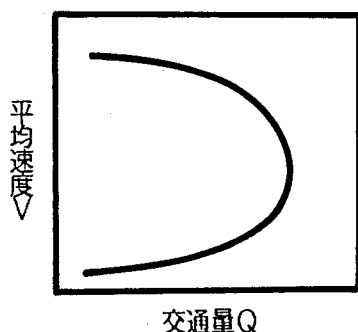


図6-6 交通量と平均速度の関係

口部で渋滞が発生する理由を示しているといえる。

非影響部（A-1）における $Q-V$ 関係に注目すると、1500台/時までの通常の流れの場合には、この地点独自の $Q-V$ 関係を呈しているが、トンネル入口部での渋滞の影響が及んできた場合には、地点独自の $Q-V$ 関係曲線上にあるのではなく、トンネル入口部における $Q-V$ 関係曲線上の流れとなるようである。すなわち、一般部においては、交通量が少ないときはその地点独自の $Q-V$ 曲線の交通流を呈しているが、交通量が多くなり、下流側で渋滞が発生し、その影響が及んでくるときには、その地点独自の $Q-V$ 曲線と異なる交通流を呈することとなり、極めて不連続な交通流が出現することになる。

（2）渋滞後尾での速度低下

（a）隘路の存在する道路の交通流現象

高速道路上に隘路（ここではトンネル）が存在する場合、その前後における交通流の相違は、需要交通量の多寡によって大きく異なる。交通流を一次元の圧縮性流体とみなせば、一般に隘路区間と通常区間の交通状態は図6-7のように上に凸の2本の交通量—交通密度曲線によって表わされる。そして、ある交通密度の波速は、その密度における接線の傾きによって表わされ、走行する車の速度は、原点Oより引いた弦の傾きによって表わされる。需要交通量が隘路の交通容量より小さい場合には、隘路において車の速度低下と交通密度の増加をきたすとともに、また、交通密度波の波速も低下する。しかし、隘路での車の速度と交通密度

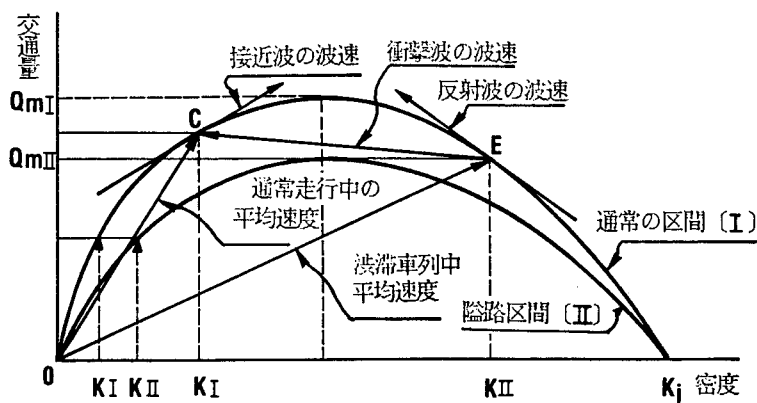


図 6-7 隘路区間を有する道路の交通量と密度の関係

波の波速が一定ならば、車は遅くなるものの衝撃波は生じない。一方、交通需要が隘路の交通容量以上になると、隘路の入口前後での交通量は等しくならなければならないことより、交通密度は瞬時に増加し、図 6-7 の点 E になる。点 E における波速は車の流れと逆方向へ進み、点 C における密度波とぶつかり衝撃波が生じる。この衝撃波は上流へと伝播する。その結果、渋滞車列が発生し上流へ延伸していく。そして、この渋滞車列の後尾には、速度 OC を持つ自由高速走行状態にある車がつぎつぎと接近到着し、ドライバーは、速度 OE への急激な速度低下を強いられることになる。

(b) 渋滞後尾到着時の速度低下量

高速道路において、交通状態を表わす交通量、密度、速度の間には、グリーンシールドのモデルに従う関係があると仮定する。すなわち、密度と速度は直線関係にあるとする。したがって、図 6-7 に示した交通量と密度の関係曲線は、両方とも放物線となる。このことを式で表わすと次のようになる。

(通常区間)

$$V_I = V_{fI} - (V_{fI}/K_J) K_I \quad (1)$$

$$Q_I = V_{fI} K_I - (V_{fI}/K_J) K_I^2 \quad (2)$$

V_I : 空間平均速度
 V_{fI} : 平均自由速度
 K_I : 密度
 K_J : ジャム密度
 Q_I : 交通量

(隘路区間)

$$V_{II} = V_{fII} - (V_{fII}/K_J) K_{II} \quad (3)$$

$$Q_{II} = V_{fII} K_{II} - (V_{fII}/K_J) K_{II}^2 \quad (4)$$

V_{II} : 空間平均速度
 V_{fII} : 平均自由速度
 K_{II} : 密度
 Q_{II} : 交通量

以下、これらの式を用いて、上流よりの需要交通量が隘路の交通容量より小さい場合と大きい場合とに分けて、速度低下量を求めることにする。

イ) 上流より流入してくる需要交通量 Q が隘路交通容量 Q_{mII} より小さい場合
この場合、隘路において速度の低下、密度の増大はきたすものの渋滞は生じない。通常区間における速度と隘路区間における速度の差は次のようにして求められる。式(2)、(4)より交通量 Q のときの両区間における密度は

(通常区間)

$$K_I = \frac{V_{fI} - \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_J)Q}}{2(V_{fI}/K_J)} \quad (5)$$

(隘路区間)

$$K_{II} = \frac{V_{fII} - \sqrt{(V_{fII})^2 - 4(V_{fII}/K_J)Q}}{2(V_{fII}/K_J)} \quad (6)$$

となり、両区間における速度は次のように表される。

(通常区間)

$$V_I = \{V_{fI} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_j)Q}\} / 2 \quad (7)$$

(隘路区間)

$$V_{II} = \{V_{fII} + \sqrt{(V_{fII})^2 - 4(V_{fII}/K_j)Q}\} / 2 \quad (8)$$

したがって、通常区間における速度と隘路における速度の差 (ΔV) は次のように表される。

$$\Delta V = (V_{fI} - V_{fII}) / 2 + \{ \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_j)Q} - \sqrt{(V_{fII})^2 - 4(V_{fII}/K_j)Q} \} / 2 \quad (9)$$

ロ) 上流より流入してくる需要交通量 Q が隘路交通容量 Q_{mII} より大きい場合
隘路区間では交通容量分しか流れることが出来ず、隘路の入口手前において密度が瞬時に増加し、上流に向かって渋滞車列が生じることになる。それでは、上流の通常区間との速度差はどの程度であろうか。以下、それを求めることにする。
通常区間と渋滞車列区間における密度は次のようになる。

(通常区間)

$$K_I = \frac{V_{fI} - \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_j)Q}}{2(V_{fI}/K_j)} \quad (10)$$

(渋滞車列区間)

$$K_{II} = \frac{V_{fI} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_j)Q_{mII}}}{2(V_{fI}/K_j)} \quad (11)$$

両区間における速度は

(通常区間)

$$V_I = \{V_{fI} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_J)Q}\} / 2 \quad (12)$$

(渋滞車列区間)

$$V_{II} = \{V_{fI} - \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_J)Q_{mII}}\} / 2 \quad (13)$$

したがって、通常区間における速度と渋滞車列区間における速度の差は次のようになる。

$$\Delta V = \{ \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_J)Q} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(V_{fI}/K_J)Q_{mII}} \} / 2 \quad (14)$$

これらの式を用いて、今回対象とした名神高速道路茨木IC～京都南IC間について具体的に需要交通量 Q と速度差 ΔV との関係を求めることにする。まず、通常区間と最大の隘路である天王山トンネルの交通容量を算定しなければならない。ここでは、道路構造令に基づき算定した。その結果、通常区間の交通容量は $Q_{mI} = 2000$ 台/時/車線であり、天王山トンネルの交通容量は $Q_{mII} = 1520$ 台/時/車線であった。従来の研究⁷⁾と比較すれば、通常区間においてはやや高めの値となっており、天王山トンネルにおいてはよく似た値となっている。 K_J については決まった値はなく、 100 台/km、 150 台/kmなどの値が用いられているが、今回は 90 台/kmに設定した。したがって、 $V_{fI} = 89$ km/h、 $V_{fII} = 68$ km/hとなる。これらの値を式(7)、(8)、(9)、(12)、(13)、(14)に代入し、需要交通量と速度および速度差との関係をグラフ化したものが図6～8である。これによると、需要交通量がトンネルの交通容量以下の場合には速度差は、ほとんど一定であるが、交通容量に達すると速度差は急激に大きくなり、さらに需要交通量が増大すると

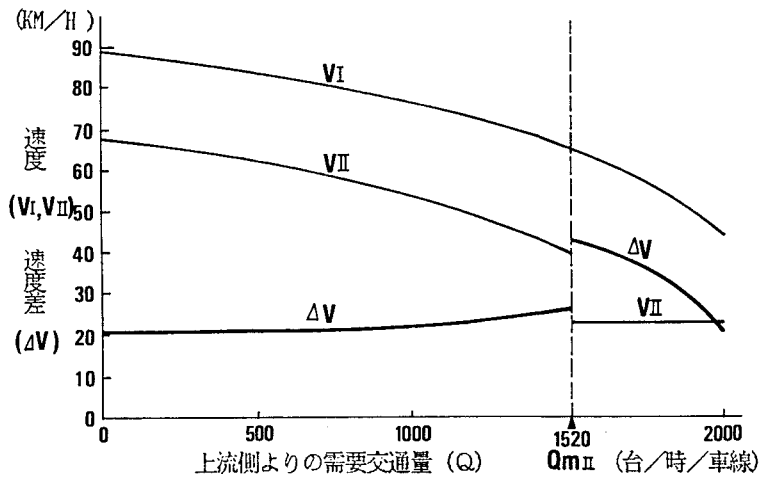


図6-8 需要交通量と速度差の関係

速度差は減少していく。すなわち、隘路の交通容量に等しい需要交通量のときに渋滞後尾到着時の速度差は最大になる。

3. 交通量と追突事故の関連性⁶⁾

前節において、天王山トンネルの交通容量はほぼ3000台/時/2車線と算定され、それと等しい需要交通量が上流から流れてくるとき、渋滞後尾到着時の速度差は最大となることが示された。したがって、約3000台/時/2車線の需要交通量が流れてくるときに追突の危険性は最大となることが予想される。このことを明らかにするために、名神高速道路上り線の茨木IC～天王山トンネル入口区間を対象に、自然渋滞後尾追突事故が発生したときにどの程度の交通量が流れていたかをみることにする。できるだけ自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量を抽出するために、まず道路公団作成の昭和50～55年の事故調書の内容を検討し、自然渋滞後尾追突事故と思われる事故だけを抽出した。その抽出された事故の発生した時間帯の交通量を調べ、交通量からみて渋滞が発生したとみなせるかをチェックし、自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量を厳選した。茨木IC

～天王山トンネル入口の間を3区間に区切り、それぞれの区間について、自然渋滞後尾追突事故の発生した時間帯の交通量を示したのが図6-9である。天王山トンネル入口から梶原トンネル出口（498kp～500.6kp）までの渋滞が発生する初期の頃には、平均値として約2900台/時/2車線と3000台/時/2車線に近い交通量が流れてきたときに渋滞後尾追突事故が発生している。さらに、渋滞長が梶原トンネル内に達すると平均的に約2800台/時/2車線の交通量のときに発生している。渋滞がさらに501.6kp～511kpの区間まで伸びると、後尾追突事故発生時の交通量は平均的に約2600台/時/2車線となっている。このように、渋滞の初期の頃と成長した後とは後尾追突事故の発生している交通量に若干の違いがみられるものの、全体として、おおむね3000台/時/2車線に近い交通量が流れるときに、自然渋滞後尾追突事故の発生する危険性は最も高くなると考えられる。このことより、自然渋滞後尾追突事故は、隘路の交通容量に近い交通量のときに発生しやすくなると推察される。

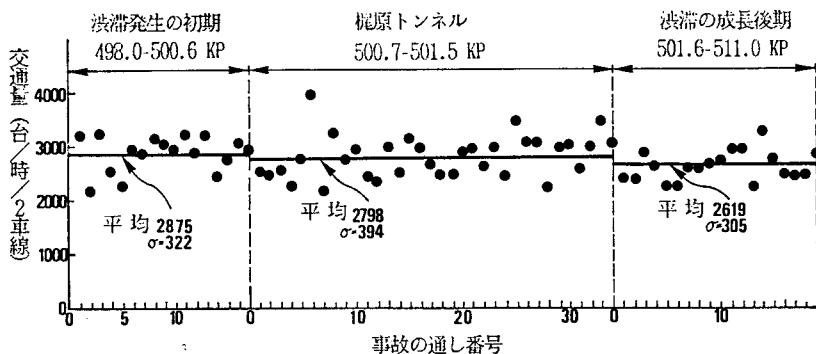


図6-9 上り線498KP-511KP 区間における自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量

4. 渋滞後尾追突事故発生の背景(8)

以上の結果より、自然渋滞後尾追突事故発生の背景は図6-10のように考えられる。車間距離の不足した車の発生が最も多くなる交通量のときに、トンネルで渋滞が発生することになる。渋滞に到着する車は高速で、しかも車間距離の不足した走行状態にあり、渋滞後尾に到着する時点で急激な減速を強いられる。そこに追突危険性が発生する。ほとんどの車は安全に対処しているが、前方不注視、脇見などをしていた車が、前車の減速に気づくのが遅れて渋滞後尾追突事故を起こすことになる。

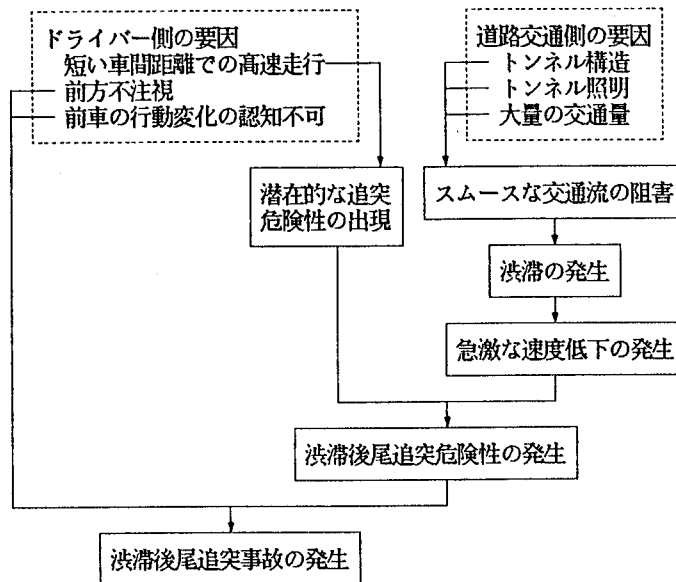


図6-10 渋滞後尾追突事故発生の背景

5. まとめ

本研究は、大量の需要交通量があり、トンネルが隘路となって自然渋滞が発生している高速道路区間を取り上げ、そこで発生している渋滞時追突事故に注目し、発生の1つの誘因である隘路区間あるいは渋滞車列後尾での速度差を交通量との関連で求めた。さらに、自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量を調べ、速度差最大となる交通量との比較をおこなった。得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 通常の高速交通流において、トンネル入口部で速度低下がみられ、トンネル入口部とトンネル非影響部とでは異なる交通量－速度の関係を呈する。
- (2) 渋滞後尾に到着するときの速度低下は、トンネルの交通容量に等しい交通量が上流から流れてくるとき最大となる。
- (3) 自然渋滞時の後尾追突事故は、トンネルの交通容量に近い交通量が流れてくるときに発生しやすい。

(参考文献)

- 1) JASON G. YU: ESTABLISHING RELATIONSHIP OF LEVEL OF SERVICE AND HIGHWAY SAFETY, TRAFFIC ENGINEERING, OCTOBER, 1972
- 2) WALTER J. DIEWALD: INCORPORATING HIGHWAY SAFETY INTO LEVEL OF SERVICE, PROCEEDINGS OF THE AMERICAN SOCIETY OF ENGINEERS, VOL. 100, NO. TE2, MAY, 1974
- 3) AVISHAI CEDER, MOSHE LIVNEH: RELATIONSHIPS BETWEEN ROAD ACCIDENTS AND HOURLY TRAFFIC FLOW- I, ACCID. ANAL. & PREV. VOL. 14, NO. 1, 1982
- 4) AVISHAI CEDER: RELATIONSHIPS BETWEEN ROAD ACCIDENTS AND HOURLY TRAFFIC FLOW- II, ACCID. ANAL. & PREV., VOL14, NO.1, 1982
- 5) 毛利正光、田中聖人、久間木信夫：高速道路における渋滞時追突事故の背景

分析、第6回交通工学研究発表会、1982年11月

6) 毛利正光、田中聖人：高速道路における渋滞時追突事故の発生に関する研究、土木計画学研究・講演集、1984年1月

7) 巻上安爾、中西恒彦、久間木信夫、金世一：高速道路の単路部渋滞モデルについて、交通工学、VOL. 18, NO. 2, 1983

8) 毛利正光、田中聖人：高速道路のトンネル入口部における交通量と追突事故の関係、第16回日本道路会議一般論文集、1985年10月

第7章 結論と追突事故防止策

1. 結論

2. 追突事故防止策

1. 結論

本研究は、交通量の多い高速道路での追突事故を問題として、その発生の背景を追従走行時の運転行動を中心に検討した。得られた結論を各章ごとにまとめると次のようになる。

第2章

- (1) 高速追従走行時および前車への接近終了時の車間距離について分析した。
両車間距離とも、速度が高まるにつれて長くなる傾向を示すものの、車間距離の取り方は個人によって大きく異なることが明らかになった。
- (2) 追従走行時および前車への接近終了時の車間距離は安全上不足したものとなっており、ドライバーは危険領域で走行する傾向を持つことが明らかになった。そこには、視覚的要因および心理的要因が関係していると推察される。

第3章

- (1) 接近追従走行する心理的理由を探ったところ、交通流全体への同調行動を挙げるドライバーが多いものの、積極的理由としては、速く行きたい欲求を前車に伝えるための指摘率が高かった。
- (2) 速度欲求を前車に伝えるための車間距離は、25m以下の短い車間距離であることが判明した。
- (3) 車間距離により速度欲求を伝達しようとするドライバーの走行行動が、短い車間距離の走行車列を出現させる引き金となっていることが判明した。

第4章

- (1) 接近追従走行時のドライバーの危険補償行動を反応行動と注視行動から調べ、いずれの行動においても、補償行動がとられていることが明らかになった。
- (2) しかし、その補償行動を評価したところ、接近追従走行により生じる危

険を補う上では微々たるものであり、接近追従走行の危険性が改めて確認された。

第5章

- (1) トンネルが隘路となっていること、また、追突事故が多く発生することの原因を視覚環境の側面から検討した。その結果、トンネル入口から約300m奥の基本照明の始まるまでの区間に追突事故が集中していること、トンネル内において速度感が10~20 km/h上昇すること、前車の背面が暗くなると動きの変化の知覚が遅れることなどが明らかになった。

第6章

- (1) トンネル入口部で速度低下の生じることを示し、また、トンネル入口部と非影響部とで交通量-速度の関係が異なったものとなることを示した。この結果を踏まえ、渋滞流への到着時の速度低下量を理論的に計算し、その最大となる交通量を求め、また、渋滞後尾追突事故発生時の交通量を調べた結果、隘路の交通容量に近い交通量のときに追突事故が発生しやすいことが判明した。

2. 追突事故防止策

高速道路が建設されてから20年以上が経過し、当時予想されないような大量の車が高速道路を利用するようになり、高速道路の交通混雑が安全上また経済上重大な社会問題となっている。

本研究は、交通量の多い高速道路で頻発する追突事故を問題として、その発生の背景を運転行動および運転環境の側面から説明したものである。ここでは、その結果を踏まえながら、交通量の多い高速道路の追突事故防止対策とその方向についてまとめたものである。

(1) 道路の改善（交通容量の改善）

高速道路は、交通工学、道路工学、人間工学の技術を基に、高速で安全かつ快

適に走行可能なように設計された道路であるが、幹線となる高速道路においては交通量の増大によってトンネル、サグ等で自然渋滞や追突事故が多発しており、高速道路としての本来の機能である高速性、安全性が著しく低下している。これらの問題は交通容量の不足から生じたものであり、根本的な解決は交通容量の増大をはかることである。

そのためには、

①交通量を分担する新しい高速道路の建設

②隘路となっているトンネルやサグの交通容量の増大

をはかる必要がある。

特に、トンネルでの交通容量低下現象は交通工学上新しい問題であり、トンネル空間の大きさおよび照明の明るさとトンネルの交通容量との関係の究明が必要である。

(2) 情報伝達システムの開発

ドライバーが安心して安全な運転をおこなえるためには、目の前の流れの状況だけでなく、さらに下流側の流れの状況、気象状況などの情報をタイミングよく得ることが必要である。現在、電光掲示板などによりこれらの情報が提供されているものの、本線上の流れの停滞や、気象の急変などをタイミングよく知らせ、追突事故の防止をはかる上では十分とはいえない。ドライバーに流れの状況を随時知らせることのできる路側通信、路車間通信の開発が必要である。

さらに、渋滞車列到着時の急激な速度低下による追突事故を防止するためには、走行速度を指示し、逐次速度を低下させる速度コントロールシステムの開発が望まれる。

(3) ドライバー補助装置の開発

ドライバーは、安全に走行するためには安全な車間距離をとり、前車の走行状態を常に監視し、その変化を素早く知覚することが必要である。しかし、追従走行中、このことを完全におこない続けることは困難なことと考えられる。ドライバーの知覚遅れや危険な行動を補うつぎのような装置の開発が必要である。

・減速の強弱のわかる制動燈の開発

- ・車間距離警告装置の開発

- ・いねわり検出・警告装置の開発

ドライバーは、速度欲求を前車に伝えるために短い車間距離での追従走行をおこないがちである。このような危険な追従走行の発生を抑制するために、ドライバー間で意志を伝達する装置の開発が必要である。

(4) 交通の制御

トンネルでの渋滞や追突事故を防止するためには、到着する交通量を常にトンネルの交通容量以下に抑えておくことが重要である。

その手段として、①高速道路に流入する交通量をコントロールする方法と②トンネルの上流側に人為的なボトルネックを設置する方法が考えられる。その場合、どのように交通量をコントロールしていけばよいのか、どの地点にどの程度のボトルネックを設置すれば、安全性と円滑性を最適化できるのかは今後検討されなければならない課題である。しかし、これらの手段は追突事故防止のための対症療法的な対策と位置づけられるものである。

(5) 取締まり

道路交通法により、前車の急停止に対して追突しないだけの車間距離を保つことが規定されているが、現実にはほとんど守られていない。取り締まる方法の開発と、取締まり活動の強化により、安全な追従走行の形成をうながすことが重要である。

(6) ドライバー教育

ドライバーは危険を感じながら接近追従走行をおこなっている。そこには、危険に対するあまい態度が伺われる。前車が急減速すれば確実に追突事故となることを視覚的に訴えることならびに、追突事故の悲惨さを訴えることが必要である。また、奥行き方向の運動変化の知覚特性にみられるようなドライバーの持つ弱点を明らかにし、追突事故発生にどのように結び付いているかを視覚的に教えていくことが重要である。

謝 辞

本論文は、1980年に高速道路の安全問題に着手して以来、8年間の研究成果をまとめたものです。この間、数多くの方々から御指導、御協力を頂きました。

大阪大学工学部教授毛利正光先生には、筆者が大阪大学に奉職して以来、終始暖かい御指導、御激励をいただくとともに、研究者として自立する基礎をお教えいただきました。心より感謝いたします。

大阪大学工学部教授岡田光正先生、同じく松井保先生には、本論文をとりまとめるにあたり有益な御助言をいただきました。また、筆者が在籍する土木教室の室田明教授、榎本亨教授、福本勝士教授には、折りにふれ暖かい励ましをいただきました。また、土木教室の諸先生方との議論も示唆されることが多くあった。ここに深く感謝いたします。

九州工業大学教授秋吉利男先生（現九州工業大学名誉教授）には、研究者として進む道を与えていただきました。また、九州工業大学助教授佐々木昭士先生には、研究の初歩から丁寧に御指導いただきました。厚く感謝いたします。

近畿大学講師三星昭宏先生、岐阜工業高等専門学校助教授渡辺千賀恵先生には、大阪大学奉職当時から今日まで研究を進めていく上での有意義な御助言と暖かい励ましをいただきました。また、大阪大学工学部講師新田保次氏、同講師塚口博司氏、同助手山田稔氏には、研究室の同僚として多くの御助言、御協力をいただきました。心から感謝いたします。

また、本研究を遂行するにあたっては、多くの大阪大学毛利研究室の学生、院生、研究生の方々の協力を得ました。杠典英氏、入口靖弘氏、辻謙一氏、安田扶律氏、高橋利昌氏、棟田達裕氏、石倉亘氏、安藤浩和氏、宮本和氏、荒木浩文氏、東正知氏ほか卒業生の方々に御礼申し上げます。

また、本研究を進める上で、多くの御便宜をお計りいただいた日本道路公団大阪管理局交通技術課の方々に深く感謝いたします。

大阪大学工学部技官合谷敦司氏には、実験、調査の計画、実施において、また、図表の作成やワープロ作業において、お力添えをいただきました。心より感謝い

たします。

以上の方々の他にも、多くの諸先輩、友人の方々から御支援をいただきました。

記して感謝申し上げます。

研究業績記録

論文名	発表年月	雑誌名	共著者
〔論文集・雑誌〕			
(1) 北九州地区の交通流に関する研究 (第1報)	1975年 3月	九州工業大学研究報告 第30号	佐々木昭士, 佐藤伸道
(2) 地区交通の問題点と対策に関する一考察	1977年 6月	都市計画NO.96	毛利正光, 三星明宏, 塚口博司
(3) 市街地幹線道路における運転者の注視特性	1977年11月	関西道路研究会報第3号	毛利正光, ハニ・ハリム
(4) An Experimental Study on the Characteristics of Driver's Eye-Movement	1978年 3月	大阪大学工学報告VOL.28	毛利正光, ハニ・ハリム
(5) 道路標識の設置高さに関する一考察	1980年11月	交通科学VOL.10 NO.1	毛利正光, 安田扶律
(6) 細街路交差点の危険性についての一考察	1982年 8月	交通科学VOL.11 NO.2	
(7) タコグラフを用いた道路走行状態の分析 の基礎研究	1982年 8月	交通科学VOL.11 NO.2	石桁正士, 上田勝彦
(8) 高速道路における追突事故の発生要因	1985年 3月	交通科学VOL.14 NO.1,2	毛利正光
(9) 高速道路における接近および追従走行行 動の危険性	1986年 8月	交通科学VOL.16 NO.1	毛利正光
(10) Risk Evaluation and Sharpness Judgment in Curve Negotiation	1986年 9月	Proceedings of International Seminar on Road Safety	毛利正光
(11) 高速道路における接近追従走行出現の背 景分析	1986年10月	土木計画学研究・論文集 NO.4	
(12) 高速追従走行時の危険補償行動の評価	1987年11月	土木計画学研究・論文集 NO.5	
(13) 高速道路のトンネルにおける速度感について		交通工学投稿中	毛利正光, 八賀真
〔研究発表会〕			
(1) ワイヤロープの衝撃曲げ剛性について	1972年11月	日本鉱業会九州支部 秋季例会	秋吉利男, 佐々木昭士
(2) 土の切削機構に関する基礎的研究 (第1報)	1974年 2月	土木学会関西支部年次学 術講演会	佐々木昭士
(3) 北九州市の交通流について	1975年 2月	土木学会西部支部年次学 術講演会	佐々木昭士
(4) 堺市市街地における駐車実態の調査研究	1976年 5月	土木学会西部支部年次学 術講演会	毛利正光
(5) 市街地幹線道路における運転者の注視特 性	1977年10月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, ハニ・ハリム

論文名	発表年月	雑誌名	共著者
(6) 通勤時の交通手段利用について	1978年 9月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 杠典英
(7) 追越し時の運転者の注視行動について	1978年11月	大阪交通科学研究会発表 会	毛利正光, 入口靖弘
(8) 道路標識の視認性に対する視覚環境の影響について	1979年 6月	土木学会関西支部年次学 術講演会	毛利正光, ハニ・ハリム 辻謙一
(9) 交通流を考慮した道路標識の設置位置につ いて	1980年 6月	土木学会関西支部年次学 術講演会	毛利正光, 安田扶律
(10) 小規模交差点における横断行動と危険性 について	1980年 9月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 高橋利昌
(11) 高速道路における危険区間の抽出とその 特性分析	1981年 6月	土木学会関西支部年次学 術講演会	毛利正光, 榎田達裕
(12) 高速道路における防護柵の設置効果につ いて	1981年10月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 山田稔
(13) 高速道路における渋滞時追突事故の分析 特性分析	1981年10月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 榎田達裕
(14) 細街路交差点の危険性に対する住民意識	1982年 6月	土木学会関西支部年次学 術講演会	毛利正光, 高橋利昌
(15) 区画街路交差点における錯綜発生確率に ついて	1982年10月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 高橋利昌
(16) 地域の特性を考慮した交通事故の要因分 析	1982年10月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 山田稔
(17) 高速道路における渋滞時追突事故の背景 分析	1982年11月	第6回交通工学研究発表 会	毛利正光, 久間木信夫
(18) 地域の特性を考慮した交通事故対策の効 果分析	1982年11月	第6回交通工学研究発表 会	毛利正光, 山田稔
(19) 高速道路において前車に接近しつつある ときの車間距離とその追突危険性の評価	1983年 9月	土木学会年次学術講演会	毛利正光
(20) 横断行動と錯綜の危険性からみた自転車 横断帯の設置効果	1983年 9月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 山田稔
(21) 自転車等の行動特性からみた自転車横断 帯の評価	1983年11月	第15回日本道路会議	毛利正光, 山田稔
(22) 高速道路における渋滞時追突事故の発生 に関する研究	1984年 1月	土木計画学研究・講演集	毛利正光
(23) 一時停止規制交差点における左折車の安 全対策とその評価	1984年10月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 山田稔
(24) 案内標識判読時の追突危険性について	1984年10月	土木学会年次学術講演会	毛利正光
(25) 一時停止規制交差点における左折車の危 険性評価と安全対策の効果について	1984年11月	第7回交通工学研究発表 会	毛利正光, 山田稔

論文名	発表年月	雑誌名	共著者
(26)高速道路における追突事故と追従走行時の車間距離	1984年11月	第7回交通工学研究発表会	毛利正光, 久間木信夫
(27)高速道路における追従走行時の車間距離	1985年 5月	土木学会関西支部年次学術講演会	毛利正光, 合谷敦司
(28)前車の見え方がドライバー反応へ及ぼす影響について	1985年 9月	土木学会年次学術講演会	毛利正光
(29)大都市近郊における住民意識からみた都市内高速道路の評価	1985年 9月	土木学会年次学術講演会	毛利正光, 山田稔, 恩地典雄
(30)市街地における道路建設の評価に関する研究	1985年10月	第16回日本道路会議	毛利正光, 山田稔, 恩地典雄 松田為雄
(31)高速道路のトンネル入口部における交通量と追突事故の関係	1985年10月	第16回日本道路会議	毛利正光
(32)カーブの“きつさ”の視覚的評価	1986年11月	土木学会年次学術講演会	毛利正光
(33)高速道路での車間距離に対するドライバーの反応について	1986年11月	第8回交通工学研究発表会	毛利正光
(34)高速道路での接近追従走行に関するドライバーの意識	1986年11月	大阪交通科学研究会発表会	毛利正光
(35)高速度下での接近追従走行時の危険補償行動	1987年 9月	土木学会年次学術講演会	毛利正光