

トンネル進入時におけるドライバーの挙動および反応の分析

Research of the Driver's Performance at the Entrance of Tunnels

飯田 克弘^{*}・森 康 男^{**}・三木 隆史^{***}・三井 大生^{****}

by Katsuhiro IIDA, Yasuo MORI, Takashi MIKI and Daisei MII

1. はじめに

東名高速道路や名神高速道路など、国内の主要幹線における渋滞の慢性化や長大化が問題となっている。特に料金所やインターチェンジ、ジャンクション、トンネル、サグなどは、交通集中による渋滞の発生現場として有名である。ここで、料金所やインターチェンジ、ジャンクションなどは、交通容量自体が低いため、渋滞の発生現場となることはある程度やむを得ないと考えられるが、トンネルやサグでは、車線数の変化や交通量の増加がないにも係らず渋滞発生現場となってしまう。その中でもとりわけトンネルは、交通集中による渋滞の発生箇所における割合が高く¹⁾、渋滞の対策や緩和が急務である。

トンネルでの渋滞発生の原因に対し佐野らは、トンネル進入部の視環境や道路幅員の縮小、坑口形状などが、ドライバーの行動に心理的な影響を与え、その結果走行車両の速度が低下することを指摘し²⁾、さらに越は、このような減速波が次々と追従走行車両に伝播するためであるという仮説を提示すると同時に、ボトルネックとなるトンネルにおける隘路現象として観測された事例を紹介している³⁾。

これに対して現状では、速度低下により発生する渋滞を解消するために、車線を拡幅し交通容量自体を増加させる方策が基本的にとられているが、今後も増加が予想される交通量への対応や、第二東名、名神などの新規路線におけるトンネルの建設に備えるためにも、ドライバーの行動に影響を与える要因を抽出し、それらとドライバーの挙動の関係を分析し、渋滞現象を解明する必要がある。

このようなトンネルの諸要因とドライバーの行動に

ついて分析した研究としては、佐野・米川らがトンネル内部の視環境に着目し、内装版の改良等の視環境を改善することが速度低下解消に効果があると報告している⁴⁾が、既往例はあまり多くない。また、中園らはトンネル坑口形状の設計に対する留意点を把握するため、アンケートによって坑口形状が与えるイメージの比較を形状に対する印象および好感度の観点から行っている⁴⁾が、ドライバーの運転行動との関係にまでは言及していない。

本研究では、トンネルの坑口に注目し、トンネル坑口形状の違いによるドライバーの挙動変化、さらに挙動変化時のドライバーの注視点の分析し、その関係について考察することを目的とする。具体的には、トンネル進入時におけるアクセル使用量の減少、ブレーキ使用量の増加、走行速度の低下、および心拍数の上昇を、ドライバーが心理面に影響を受けた場合の挙動変化の指標として用いることとした。また、それらの挙動変化が起きている時の視点状況を調査するために、アイマーカーレコーダーを用いて視点の追跡を行った。

2. 実験概要

本研究では、上述したデータを高速道路上での実走実験によって収集するが、対象としては晴天時の昼間とした。ここで、実験対象区間の選定にあたり必要な条件として挙げられるのが昼間の交通量の少なさである。このことは、周辺走行車両の台数がドライバーの挙動に影響を及ぼすとする、アイマーカーレコーダーを用いた実験に基づく既往の研究⁵⁾で指摘されている。

また、できるだけ多くの種類の坑口形状に対して実験を行えることや、実験行程の組み易さなども条件として必要な条件である。これらの条件を考慮した結果、路線として北陸自動車道を候補として抽出した。

次に、実験区間および実験対象トンネルを選定するために、平成8年6月12日から平成8年6月14日の期間で、北陸自動車道の新全線（米原ジャンクションから新潟中央ジャンクション）について予備調査を行った。

キーワード：トンネル坑口、運転挙動、実走実験

* 正会員 博士(工学) 大阪大学工学部土木工学科
(〒565 吹田市山田丘2-1 TEL. 06-879-7611)

** 正会員 工博 大阪大学工学部土木工学科

*** 学生会員 大阪大学工学部土木工学科

**** 正会員 工修 (株)三和総合研究所

この予備調査から、実験区間を北陸自動車道の刀根P.A.から今庄I.C.間の往復とした。この区間は昼間の交通量が少なく、また現行の坑口形状のほとんどが存在する(図-1参照)。また、データ収集を行うトンネルは、実験期間中に補修工事が行われていたトンネルと、連続するためトンネル間の距離が短いトンネルを除外した結果、図-1に示す10トンネルとなった。なお、実験中の注意事項や、各地点での作業内容を図-2に整理した。実験期間は平成8年10月6日から10月11日であり、被験者は免許取得後1年以上経過した20歳から23歳までの男子学生25名である。また各被験者には、実験日前日に対象区間を試走してもらい、当該区間の走行経験の差を軽減するよう留意した。

3. トンネル進入時におけるドライバーの挙動変化の分析

トンネル手前500mからトンネル進入時までのドラ

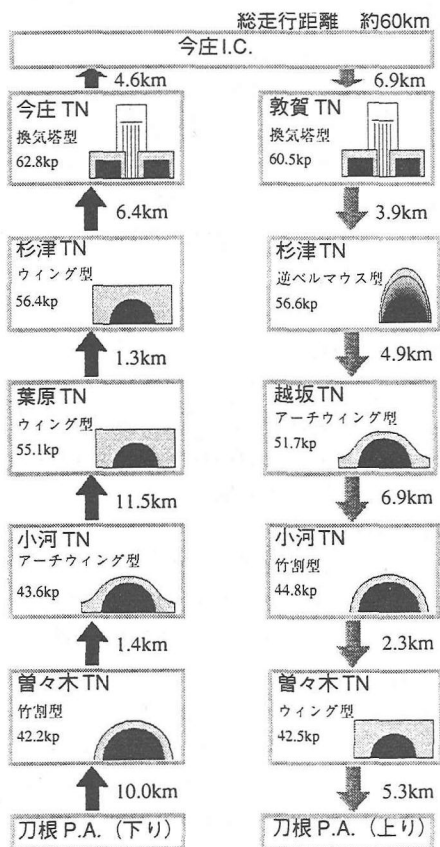


図-1 実験対象区間および対象トンネル

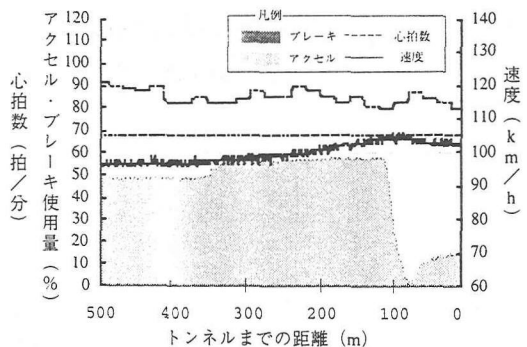


図-3 トンネル進入までのドライバーの挙動変化(例)

イバーの挙動について、心拍数、速度、アクセルおよびブレーキ使用量を、対象トンネルごとに全被験者についてそれぞれグラフ上で統合した。なお、図-3に示したグラフは、ある被験者の上り敦賀トンネルでの挙動変化である。ここでアクセルおよびブレーキの使用量とは、それぞれペダルを全く踏んでいない状態を0、

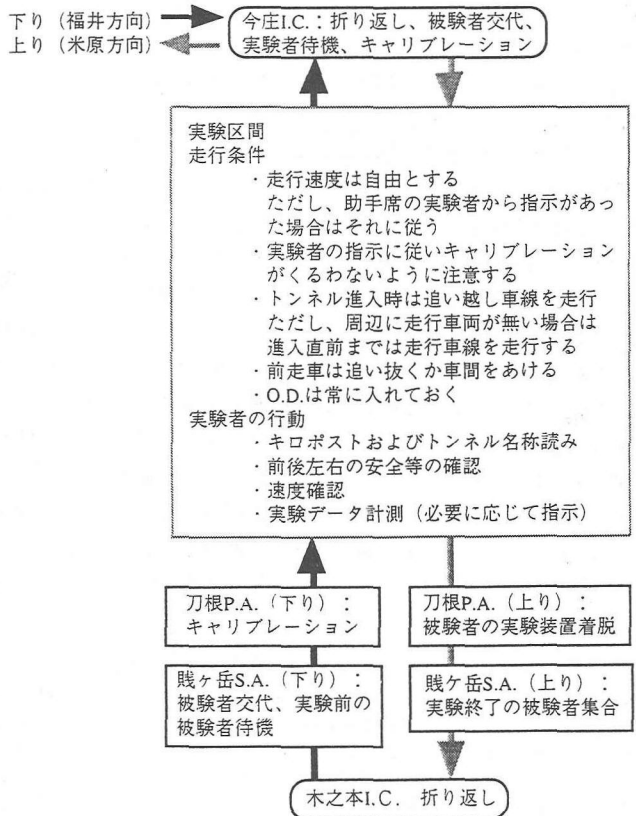


図-2 実験内容

表-1 坑口形状毎の挙動変化を起こした被験者数

トンネル名	坑口形状	心拍数	アクセル
上り敦賀TN	換気塔	20	19
上り杉津TN	逆ベルマウス	20	18
上り越坂TN	アーチウイング	20	14
上り小河TN	竹割	22	12
上り曾々木TN	ウイング	21	19
下り曾々木TN	竹割	19	16
下り小河TN	アーチウイング	21	18
下り葉原TN	ウイング	22	15
下り杉津TN	ウイング	23	12
下り今庄TN	換気塔	20	16
合計		208	159



図-4 トンネル進入部における構成要素⁷⁾

表-2 トンネル進入部の構成要素の注視率

	換気塔	逆ベルマウス	アーチウイング	竹割	ウイング
レーンマーク	18%	14%	16%	14%	13%
ガードレール	10%	17%	14%	9%	11%
路面	16%	15%	18%	22%	22%
周辺風景	19%	27%	23%	24%	21%
看板	1%	1%	2%	2%	3%
電灯	1%	1%	0%	1%	0%
その他	16%	8%	11%	14%	10%
坑口部全体	20%	17%	15%	15%	20%
合計	100%	100%	100%	100%	100%

踏み切っている状態を100としてペダルを踏んだ割合をパーセントで表したものであり、心拍数は1/30秒で記録されたものを、拍/分に換算した。

このグラフから被験者の挙動変化数を集計した結果を表-1に示す。ただし、表中の心拍数とは心拍数に上昇のみられた被験者数であり、アクセルとはアクセル使用量に減少の見られた被験者数である。また、ブレーキの使用が認められたデータは1つだけであったため、この表には掲載しなかった。

次に、トンネル坑口形状によるドライバーの挙動変化特性の差を把握するために、トンネル手前500mから進入時までの区間における各構成要素に対する被験者の注視時間の割合を指標として、坑口の形状に対する評価を行った。この結果を表-2に示す。また、本研究で取り扱うトンネル進入部における構成要素の名称は文献⁷⁾に準ずるもので、これらを図-4に整理した。

この結果、換気塔型やウイング型のトンネルは、坑口部全体（坑口上部、坑口右側、坑口左側、暗部）に対する注視時間の割合が高かった。これに対し、竹割型やアーチウイング型は、坑口部全体の注視時間の割合も小さいことが分かった。このことから、坑口部のうちコンクリート部の面積が大きい坑口形状は、ドライバーの注視対象となりやすいと考えられる。

さらに、坑口部全体の注視時間を坑口右側、坑口左

表-3 坑口各部の注視時間の割合

	換気塔	逆ベルマウス	アーチウイング	竹割	ウイング
坑口右側	19.7%	20.2%	26.1%	16.5%	19.3%
坑口上部	21.8%	11.7%	6.9%	9.8%	10.4%
坑口左側	3.6%	9.0%	9.7%	5.8%	9.6%
暗部	54.8%	59.1%	57.3%	67.9%	60.7%

側、坑口上部、暗部に分け、それぞれに対する被験者の注視時間の割合を求めた。この結果を表-3に示す。ただし、ここで用いる注視時間の割合は、各トンネルにおいて坑口の各部分に対する全被験者の注視時間の合計を、これら4部分の総和で割った割合である。

この結果、全てのタイプのトンネルで、暗部への注視時間が長く、坑口右側に対する注視時間も比較적으로長くなっていることが分かった。ここで坑口右側の注視時間の割合は、走行条件の関係で道路線形に影響を受けている可能性があるため、坑口右側に対する注視時間の割合と、トンネル進入部の曲線半径との間で相関係数を求めた。その結果、相関係数の値は-0.712となりトンネル進入部の曲線半径が小さいほど割合が増加する傾向があることが分かった。

また、坑口の各部分のうちで、アーチウイング型坑口形状や換気塔坑口形状のように、ある部分の面積が他の部分と比べて大きいトンネルでは、その部分の注視時間の割合が他のトンネルと比べて高い値を示すことも分かった。

またこれらの結果と同時に、トンネル進入部における構成要素とドライバーの挙動変化との関係についての考察を行うために、図-3に示したグラフから、被験者に心拍数の上昇やアクセル使用量の減少という挙動変化が起きた地点での被験者の注視点状況を抽出した。

表-4 心拍数に上昇がみられた時点での注視対象物

	換気塔	逆ベルマウス	アーチウイング	竹割	ウイング	合計
右レーンマーク	5	3	7	4	5	24
中央レーンマーク	1	4	2	1	1	9
左レーンマーク	1	0	0	0	1	2
右ガードレール	2	1	4	4	5	16
左ガードレール	1	3	1	2	1	8
坑口右側	4	5	5	3	4	21
坑口上部	6	0	2	3	1	12
坑口左側	1	2	3	3	3	12
トンネル看板	0	0	1	3	4	8
電灯	0	1	1	1	0	3
暗部	8	6	9	11	11	48
暗部と路面の境目	3	3	1	1	2	10

表-4には、この集計結果のうち心拍数の上昇に関して、各坑口形状ごとに平均をとった結果を示す。ただし同一被験者が2箇所以上の地点で心拍数の上昇が起きた場合は、それぞれを1サンプルとして集計した。

この結果をみると、心拍数の上昇時に最もよく注視されていた要素は暗部であることが分かる。これは、暗部が明暗の差や側方および上方余裕の減少といった特徴からドライバーに不安感などの心理的影響を与えるためであると考えられる。また側方余裕の急激な減少を起こす坑口右側についても、実験が追い越し車線走行としていたため心拍数の上昇時に注視対象物となる頻度が高かったと考えられる。

右ガードレールや右レーンマークはドライバーにとって視線誘導の働きをもつことが知られている⁷⁾が、本研究における分析結果も同様の意味をもつと考えられる。これ以外には、換気塔型トンネルにおける坑口上部の頻度が高いことが分かった。本研究で対象とした換気塔型トンネルの坑口上部は、他の坑口上部が半円形であるのに対して長方形形状となっている。また他の坑口上部と比べてコンクリート壁の面積が広い。これらのことから、他のトンネルと比べてトンネル進入の際に上方余裕が急激に減少するようにドライバーが感じるのではないかと考えられる。

4. 結論および今後の課題

心拍数の上昇やアクセル使用量の減少といった挙動変化は、一般にドライバーが心理的影響、特に危険を感じた時に起こる現象である。これらの現象が起きた時のドライバーの視点状況を調査した結果、暗部や右レーンマーク、右ガードレール、坑口右側そして換気塔型トンネルの坑口上部が注視頻度の高い要素であることが分かった。また、坑口形状の差によるドライバーの視点状況の違いについて調査した結果、坑口のある部分が他の部分と比べて面積が大きい場合は、ドライ

バーの注視時間も長くなることが分かった。これらのことから、ドライバーの視点を集める要素というのは、心拍数の上昇などドライバーに心理的影響を与える可能性が高く、検討が必要な部分であると考えられる。

しかし、先の要素がどの程度ドライバーの挙動変化に影響を与えているのか、また挙動変化の発生時と注視時との定量的な関係については、本稿では明らかにしていない。今後は、これらの定量的な関係を分析し、ドライバーの受ける心理的影響が軽減されるような構造物や坑口形状といったものについて、支援情報を提案することが課題となる。

また、高速道路を使った実走実験では、天候や周辺走行車両などの影響により、実験条件を統一する事は困難である。そして速度低下が顕在するであろう高齢者ドライバーなどについても体力面や、交通安全面などから今回は実験を行う事は出来なかった。

このような点を克服し、また先に述べた提案に対する検証を行うことのできる室内実験システムを現在構築中である。

謝辞 本研究を実施するにあたり、数々のご協力を頂いた日本道路公団試験研究所交通・環境研究室ならびに実走実験に際して技術協力を頂いた(株)東京道路エンジニア各位に紙上を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐野・嘉指・米川・富高：トンネル部における走行円滑性に関する一考察，高速道路と自動車，第38巻，第3号，pp.20-29，1995.3.
- 2) 越：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，No.371/IV-5，pp.1-7，1986.7.
- 3) 米川・永井・山本・山内：トンネル視環境が交通容量に及ぼす影響，高速道路と自動車，pp.26-30，第38巻，第11号，1995.11.
- 4) 中國・鈴木・古川・中川：トンネル坑門デザインの心理評価構造に関する実験的研究，土木学会論文集，No.474/VI-20，pp.85-94，1993.9.
- 5) 杉山・巻上：都市高速道路における自動車運転の注視挙動，土木計画学研究・講演集 No.1(1)，1992.
- 6) 巻上・安田：アイカメラを用いた注意喚起標識に関する調査研究，土木計画学研究・講演集 No.18(1)，1995.
- 7) 日本道路公団・東京道路エンジニア株式会社：高速道路におけるドライバーの視覚環境基礎調査，1985.2.