

トンネル部での注意配分特性に起因する高齢者の追突事故リスク Analysis of Elderly Driver's Collision Risk caused by Attention Allocation around Tunnels

飯田 克弘¹, 坪井 貞洋², 紀ノ定 保礼³, 多田 昌裕⁴

Katsuhiko IIDA¹, Sadahiro TSUBOI², Yasunori KINOSADA³, Masahiro TADA⁴

追突事故多発地点である高速道路トンネル部の入口前後において、高齢者の追突事故リスクが運転過程の何に起因するのか、実走実験で収集したデータを非高齢者と比較することで検討した。外部観測される追突事故リスクでは有意差が認められなかったため、行動の前段階である知覚・認知を検討したところ、先行車両への注視は有意差が認められなかった。一方、発話から先行車両への注意の有無を判別することで求めた、先行車両不注意が高齢者に占める割合も、有意差は認められなかったが、非高齢者より大きいことが示唆された。これより、高齢者の追突事故リスクは、先行車両不注意に起因する可能性があり、その不注意の多くは、トンネル手前の時点からトンネルへの接近・進入を警戒し、先行車両に注意を払う余裕がなくなるため発生していると推察された。

Keywords: トンネル, 高齢者, 交通事故, 高速道路

1. はじめに

現在、日本では、運転免許保有者に占める高齢者の割合¹⁾、及び原付以上運転者が第一当事者となる交通事故発生件数の内、高齢者による交通事故が占める割合²⁾が増加傾向にある。警察・自治体では、高齢者に着目した様々な交通事故対策を実施しており、例えば、警察庁は、Webサイトを通じて高齢者に運転免許の自主返納を呼びかけている³⁾。しかし、本格的なマイカー世代である団塊世代の高齢化⁴⁾等を踏まえると、運転免許保有者に占める高齢者の割合の増加傾向を抑制することは難しい。

ここで、高速道路上での高齢者の交通事故多発地点としてトンネル部が挙げられる⁵⁾。冒頭の現状を踏まえて、非市街地での交通事故発生件数の内、トンネル部での交通事故が占める割合が増加傾向にあること²⁾を考慮すると、高速道路トンネル部での高齢者による交通事故発生件数の増加が予想される。ゆえに、高速道路トンネル部で、高齢者に効果的な交通事故対策を講ずる必要がある。

運転者は、運転中に、知覚、認知、判断、行動という四段階の過程を辿ることが知られている⁶⁾。本研究では、知覚を、視覚などの感覚器官により物事を知ること、認知を、知覚した物事に対して注意を払うこと、判断を、認知の結果、その物事に対してどう行動すべきかを決定することと定義する。これらの過程を経た上で、ハンドル操作等の行動が発現する。交通事故とは、これら一連の運転過程を辿る中で、運転者が事故リスクを伴う挙動をとることで発生すると考えられる。ゆえに、一

連の運転過程を把握し、高齢者の事故リスクが何に起因するかを明らかにできれば、その知見に応じた対策を構築することで、高齢者が事故リスクを伴う挙動をとることを防ぎ、その交通事故発生件数を減じることができる。

そこで、先行研究⁷⁾では、高速道路トンネル部の交通事故の多くを占める追突事故⁴⁾に着目し、トンネル内部での、先行車両への注視、先行車両の存在への意識、外部観測される追突事故リスクを、高齢者と非高齢者で比較した。その結果、高齢者は、トンネル内部において、非高齢者と同程度先行車両を注視しているが、先行車両の存在を意識していないため、車間距離調整において追突事故リスクが生じることがわかった。

表1 宝塚西トンネルでの追突事故発生件数⁸⁾

キロポスト	外部					トンネル内部				外部
	20.8	20.7	20.6	20.5	20.4	20.3	20.2	20.1	20.0	19.9
渋滞最後尾	1	1	3	2	43	51	8	2	0	0
渋滞中	0	0	3	2	3	2	0	2	1	0
自由流	0	0	0	0	3	7	1	1	1	0

追突事故が多く発生している中国道上り線宝塚西トンネルにおける、キロポストごとの追突事故発生件数⁸⁾（表1）を見てみると、入口前後（20.3kp, 20.4kp）において追突事故が集中して発生していることがわかる。先行研究はトンネル内部での運転挙動を検討しており、その結論もトンネル内部に限定されるため、追突事故多発地点である入口前後において、高齢者の事故リスクが何に起因しているのかは明らかにできていない。

1 正会員, 博士 (工学), 大阪大学大学院工学研究科

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 e-mail: iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp Phone: 06-6879-7611

2 正会員, 修士 (工学), ㈱中日本高速道路

3 非会員, 博士 (人間科学) 大阪大学大学院人間科学研究科

4 正会員, 博士 (工学), 近畿大学理工学部情報学科

よって、本研究の目的を、高速道路トンネル部の追突事故多発地点である入口前後と、そこに至るまでの区間（トンネル手前）において、高齢者の一連の運転過程を把握し、その追突事故リスクが何に起因するのかを明らかにすることとする。

2. 高速道路トンネル部での実走実験

追突事故の多い中国道上り線宝塚西トンネルと、追突事故の少ない同宝塚東トンネルを対象に実走実験を実施し、分析で用いるデータを取得した。

被験者は、高齢者男性（65歳以上）15名、非高齢者男性（30～49歳）15名の計30名を一般公募した。一般ドライバーを対象とするため、職業ドライバー経験者（現役含む）は被験者に含めなかった。安全面を考慮し、運転に慣れていない人^{*1}も被験者に含めなかった。



図1 実験走行区間（出典：Google Map）

実験走行区間は、中国道上り線西宮名塩サービスエリア（以下、SA）から、同宝塚東トンネル通過後までとした（図1）。実験走行前に、被験者には、中国道下り線中国吹田ICから同宝塚ICまで機器未装着状態で、宝塚ICから同西宮北IC経由で同上り線西宮名塩SAまで下術のアイカメラを装着した状態で慣熟走行させた。西宮名塩SA出発前には、被験者に、同上り線中国吹田ICを通過した後、名神高速道路に入り、同上り線茨木ICまでアイカメラ装着状態で走行すること、及びSA流出後は宝塚東トンネル通過後まで、追越車線に次いで交通事故が多発している第二走行車線を走行することを指示した。なお、追越車線を走行させなかったのは、安全面を考慮したためである。実験車両には教習車を用い、助手席に同乗した自動車教習所指導員が、周囲の安全確認、及び被験者への進路指示を行った。被験者には、普段通りの運転を心がけてもらうため、助手席に進路案内のスタッフが同乗する旨のみ伝えた。速度については特に定めず、上述の車線指示以外、被験者には普段通りに走行するよう指示した。また、実験は、日中の時間帯に実施し、雨天順延（ただし小雨決行）とした。以上の条件で、被験者に実験走行区間を走行させ、視線座標、車速、発話等のデータを取得した。

視線座標は、アイカメラ（NACイメージテクノロジー社製、EMR-9）を被験者の頭部に装着させることで、両目60Hzでサンプリングした。そして、視線が対象上に165msec以上留まることを注視とする知見⁹⁾に準じて、

専用ソフト（同社製、EMR-dFactory）を用いて視線座標を解析し、各被験者の注視状況を把握した。

車速は、Controller Area Network（以下、CAN）に記録されたものを用い、外部観測される追突事故リスク（PICUD¹¹⁾）の算出に利用した。

被験者の走行中の記憶が薄れないよう、実験走行終了後30分以内に室内で事後ヒアリングを実施し、発話を記録した。事後ヒアリングでは、トンネル入口前500mから100mにかけての区間（トンネル手前）と、トンネル入口前後100m（入口前後）において、EMRで撮影した視野映像（図2左上）、及び実験車両に装着したカメラによる後景、左右後方風景（順に、図2右上、左下、右下）の映像を被験者に見せながら、以下の質問を行った。

- 質問1. 走行中、気になった対象（自由発話）
- 質問2. その対象に感じた危険度（五段階評価^{*2}）
- 質問3. 質問2の回答理由（自由発話）
- 質問4. 区間を走行中に感じた危険度（五段階評価^{*2}）
- 質問5. 質問4の回答理由（自由発話）



図2 ヒアリング映像

事後ヒアリングの具体的な手順を説明する。まず、トンネル手前から入口前後にかけての走行映像を通して見せ、被験者に走行中のことを思い出させた。次に、走行中に気になった対象を述べるよう（質問1）被験者に指示した上で、トンネル手前の映像を再生した。被験者が気になった対象を指摘した場合、映像を一時停止し、質問2, 3を尋ねた。映像終了後、回答した以外に気になった対象がなかったか確認した上で、質問4, 5を尋ねた。以上の手順を、入口前後でも繰り返した。

プロトコル法を用いて、記録した発話から、先行車両への注意が読みとれる発話を抽出することで、各被験者の先行車両への注意の有無を判別した。プロトコル法とは、被験者の意思決定過程を、その都度、自由発話させ、発話内容を整理することで被験者の注意対象・注意動機等を明らかにする手法である。本実験で取得した発話は、走行中にその都度発話させたものではない。しかし、実走後の被験者に走行映像を見せながら発話させ、注意対象を検討することは妥当であると指摘されている¹⁰⁾。本研究はその知見に準じ、事後ヒアリングで記録した発話を元に分析を行った。

3. 追突事故が多いトンネルでの高齢者の運転過程

本章では、追突事故が多い中国道上り線宝塚西トンネルを対象とした分析結果を示す。分析区間は、同トンネル入口前 500m の地点から、トンネル進入後 100m の地点までとし、図 3 に示すように、トンネル手前と入口前後の 2 つに分割する。なお、入口前後のみを対象とする 3.2 節の分析では、同区間をさらに入口前 100m の区間（入口前）と、入口後 100m の区間（入口後）に分割する。



図 3 宝塚西トンネルの分析区間（出典：Google Map）

3.1 分析対象の抽出

各分析区間で、分析対象となる被験者を抽出した。本研究は先行車両との追突事故に着目しているため、分析対象となる被験者は追突事故が起こりうる走行状況にある必要がある。そこで、「時速 80km で走行している時は 80m、時速 100km で走行している時は 100m」という一般的な安全な車間距離の目安に従い、先行車両との車間距離が 100m を超える被験者を除外した。具体的には、EMR の視野映像を、最も車間距離が縮まっていると思われる時刻で一時停止し、実験車両と先行車両の間に存在するレーンマークの個数（1 つあたり 20m）を数えることで、車間距離を概算した。

一般的に、追突事故は渋滞最後尾で多発していることが知られている。しかし、渋滞時における実走実験は、安全確保等の観点から実施困難である。また、宝塚西トンネルの入口前後は、表 1 に示す通り、自由流下でも追突事故が多発する傾向が見られるため、自由流下に限定して検討を行ったとしても、高齢者に効果的な追突事故対策を構築する上で有用な知見が得られると考えられる。よって、自由流下にあることも分析対象の条件とした。具体的には、視野映像を目視で確認し、前方の混雑が原因で明らかに走行に制約を受けている被験者を除外した。

以上より、トンネル手前、入口前後共に、高齢者 6 名、非高齢者 11 名が分析対象として抽出された。なお、No.12（高齢者）は降雨、No.14（高齢者）は機器トラブルにより、EMR を装着していない。よって、視線座標等を用いる 3.2 節、3.3 節では、この 2 名を分析対象から除外した。

3.2 入口前後において外部観測される追突事故リスク

追突事故多発地点である入口前後での高齢者の運転に関して、式(1)に示す PICUD[m]¹¹⁾を指標とし、外部観測される追突事故リスクを評価した。

PICUD は、同一車線上において、先行車両の減速に伴って後続車両が反応遅れを伴い減速した場合の、両者が停車したときの相対的な位置を表している。よって、値が負となる場合、車間距離調整において追突事故リスクがあるとと言える。

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a} + S_0 - \left(V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a} \right) \quad (1)$$

V_1 : 先行車両減速開始時の速度
 V_2 : 先行車両減速開始時の後続車両の速度
 S_0 : 先行車両減速開始時の車間距離
 Δt : 先行車両ブレーキ開始から、後続車両ブレーキ開始までの時間
 a : 減速時の加速度

PICUD の算出には、式(1)中の 5 つの数値を必要とする。そこで、本研究では Δt と a はそれぞれ、1sec、 -3.3m/sec^2 で仮定し、 V_2 は記録された実験車両の車速を用いた。

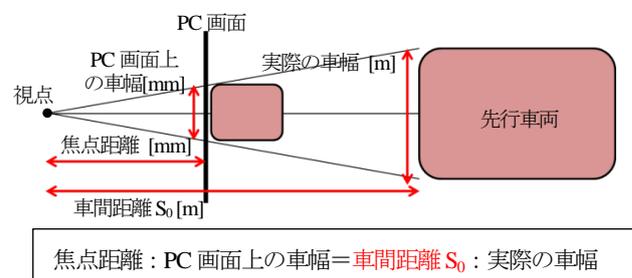


図 4 車間距離の算出方法

S_0 は、図 4 に示すように、PC 画面上の車幅、実際の車幅、焦点距離から、0.5sec ごとに算出した。PC 画面上の車幅は、入口前後の走行を映した視野映像を、0.5sec ごとに一時停止し、その都度、金定規（0.5mm 刻み）により直接測定した。実際の車幅は、乗用車を 1.7m、トラックを 2.3m とした。焦点距離は、視野映像中、車間距離が 20m（レーンマークから判断）となる任意の時刻で映像を一時停止し、その時の PC 画面上の車幅を測定することで算出した。なお、EMR のレンズの画角は常に一定であるため、焦点距離は被験者間、各時刻間で不変である。そこで、車間距離が 20m となった時刻を比較的正確に捉えることができた、No.5、No.6、No.9、No.30 の焦点距離の平均値、273.5mm を使用した。

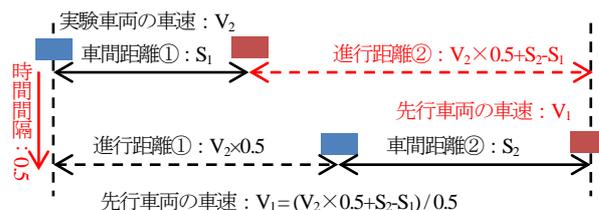


図 5 先行車両の車速の算出方法

V_1 は、図 5 に示すように、上記手順で求めた S_0 と車速から 0.5sec ごとに算出した。具体的には、ある時刻の車

間距離①，その時刻に対応する実験車両の車速，時間間隔 0.5sec 後の車間距離②，時間間隔 0.5sec の間に実験車両が進んだ距離（進行距離①）から，時間間隔 0.5sec の間に先行車両が進んだ距離（進行距離②）を導出し，時間間隔 0.5sec で割ることで先行車両の車速 V_1 を算出した。

以上の手順で求めた 5 つの値を用いて，トンネル内における 0.5sec ごとの PICUD を算出した。

ここで，PICUD の負の値の算出数が全算出数に占める割合（以下，追突危険性割合）は，各区間の通過に要した時間の内，PICUD が負である時間が占める割合を意味すると考えられるため，その値が大きいほど，その被験者は，より長い時間，車間距離調整において追突事故リスクを伴う運転を行っていたと言える。そこで，入口前，入口後において，約 0.5sec ごとに算出された各被験者の PICUD を，値の正負で分類し，高齢者と非高齢者の追突危険性割合の平均値を算出した（表 2）。また，対応のない t 検定（有意水準 5%）を用いて高齢者と非高齢者を比較したところ，入口前 ($t=0.86$, $p=0.40$)，入口後 ($t=0.43$, $p=0.68$) 共に，有意差は認められなかった。

表 2 宝塚西トンネル入口前後での追突危険性割合

	入口前	入口後
高齢者の平均値	43.3%	25.0%
非高齢者の平均値	30.2%	29.9%

ここで，既往研究¹²⁾より，追突事故の要因の多くが先行車両に対する認知エラーだと指摘されている。よって，高速道路トンネル部走行中の高齢者も，外部観測される追突事故リスクにおいて非高齢者と差がなくとも，行動が発現する前の段階である知覚・認知では差がある可能性がある。そこで，次の分析では，分析区間走行中，高齢者と非高齢者がどの程度先行車両を注視していたのか（先行車両注視状況）を，視線座標を元に比較する。

3.3 先行車両への注視

2章で示したように，視線が先行車両上に 165msec 以上留まっている状態を先行車両への注視とみなし，dFactory を用いて抽出した。

先行車両注視状況を表す指標としては，先行車両注視回数（各区間で先行車両を注視した回数），先行車両注視時間（各区間で先行車両を注視した時間の合計^{*)}，先行車両注視割合（各区間で注視に費やした全時間の内，先行車両注視時間が占める割合）の 3 つが考えられる。先行車両注視回数が同じでも，先行車両注視時間が異なるならば，先行車両注視状況が等しいとは言い難い。また，先行車両注視時間が同じでも，区間中の走行速度が異なるなら，先行車両注視状況が等しいとは言い難い。そこで，先行車両注視割合を，先行車両注視状況を表す指標とし，各分析区間において，高齢者と非高齢者の平均値

を算出した（表 3）。また，対応のない t 検定（有意水準 5%）を用いて高齢者と非高齢者の比較を行ったところ，トンネル手前 ($t=0.50$, $p=0.65$)，入口前後 ($t=0.37$, $p=0.71$) 共に，有意差は認められなかった。

表 3 宝塚西トンネルでの先行車両注視割合

	トンネル手前	入口前後
高齢者の平均値	49.4%	48.7%
非高齢者の平均値	37.1%	55.1%

ここで，松田¹³⁾は，「通常なら誰にでも見えたり聞こえたりする刺激であっても，“うわの空”で意識に上らないで終わってしまうことも，しばしば身近に起こっている。（中略）「心，ここにあらざれば見れども見えず，聞けども聞こえず」は，注意（attention）の問題である」と述べている。つまり，先行車両を注視していたとしても，注意を払っていなければ，“うわの空”に視線を向けているだけであり，知覚・認知の段階に追突事故リスクがあると言える。そこで，次の分析では，事後ヒアリングでの発話を元に，各分析区間において，先行車両に注意を払っていない者が高齢者，非高齢者中に占める割合（先行車両不注意者の人数割合）を算出し，比較する。

3.4 先行車両への注意

2章で示したように，プロトコル法を用いて，事後ヒアリングでの発話から，先行車両への注意が読み取れる発話を抽出することで，各被験者の先行車両への注意の有無を判別した。具体的には，以下の条件のいずれかに該当した場合，先行車両に注意を払っていたとみなした。

- 条件 1. 気になった対象に先行車両を挙げた
- 条件 2. 先行車両の存在が前提となる発話を行った

条件 1 の該当者が先行車両に注意を払っていたことは明白である。条件 2 に関しては，「前との距離が開いており，危険に感じない」等の発話が該当する。この発話は，先行車両の存在を前提に危険度を評価しているため，被験者が先行車両に注意を払っていなければ起こりえない。一方，「前方の車の量が多く，危険に感じる」等の発話は条件 2 に該当しない。先行車両に対して明示的に発話を行っていない以上，必ずしも先行車両という特定の一台の存在が発話の前提となっているとは言えないためである。また，自車線直近の先行車両は追突事故リスクを考慮する上で重要な存在である。よって，他車線と自車線直近の車両を区別せずに発話した者は，先行車両に対して明示的に発話した者と比べ追突事故リスクが高いと考えられるため，本研究では先行車両不注意者に数える。

先行車両に注意を払っていた高齢者，非高齢者の人数を数え，有効な総分析対象者数から引くことで，先行車両不注意者の人数を算出した（表 4）。そして，その人数

を有効な総分析対象者数で割り、先行車両不注意者の人数割合を算出した（表4）。また、対応のないz検定（有意水準 5%）を用いて高齢者と非高齢者を比較したところ、トンネル前（ $z=1.20$, $p=0.23$ ）、入口前後（ $z=1.38$, $p=0.17$ ）共に有意差は認められなかった。

表4 宝塚西トンネルでの先行車両不注意者の人数割合

		トンネル手前	入口前後
高齢者	先行車両不注意者の人数	4人	3人
	有効な総分析対象者	6人	6人
	人数割合	66.7%	50.0%
非高齢者	先行車両不注意者の人数	4人	2人
	有効な総分析対象者	11人	11人
	人数割合	36.4%	18.2%

ここで、高齢者の知覚・認知の段階における追突事故リスクが、何に起因しているのかを考察する。まず、先行車両への注視が考えられるが、これは、3.3節の分析より除外された。次に、暗順応（明所から暗所へ移動した際、時間経過と共に視力を確保する能力）の遅れが挙げられるが、宝塚西トンネルはトンネル照明全灯状態で明るく、暗順応の遅れが追突事故リスクに与える影響は小さいと考えられる。最後に、先行車両への注意に関しても、上述の通り、非高齢者との間に有意差は見られなかった。ただし、表4に示す通り、入口前後において、非高齢者の先行車両不注意者が11人中2人に対し、高齢者は6人中3人であり、非高齢者よりも割合が大きいたく見えて取れる。以上より、高齢者の追突事故リスクは、知覚・認知の中でも、先行車両不注意に起因している可能性がある。ただし、この考察は定性的なものであり、統計的な裏付けはないため、サンプルサイズを増やした上で、高齢者の先行車両不注意者の人数割合が、本当に非高齢者と比べて有意に大きいかを確かめることが今後の課題として挙げられる。

注意に関する既往研究を見てみると、注意を容量に限りある資源ととらえ、人間は必要な情報の選択と処理を行う際にその処理資源を配分するという考え方が提唱されている¹⁴⁾。加えて、鈴木¹⁵⁾が、加齢によって、注意を適度に集中・配分し必要かつ適切な情報を収集すること、及び認知・判断の段階で複雑な情報を同時に処理することが困難になると指摘している。これらを踏まえると、入口前後で高齢者が先行車両に注意を払わない理由として、先行車両以外の対象に注意を払う傾向にあり、先行車両に注意を配分する余裕がなくなっていることが考えられる。この仮説が正しければ、入口前後で先行車両に注意を払っていない高齢者は、分析区間内において、先行車両以外の特定の対象に注意を払う傾向にあると考えられる。そこで、次の分析では、入口前後で先行車両に注意を払っていない被験者の注意対象を発話から取得し、高齢者・非高齢者別に整理する。また、入口前後で先行

車両に注意を払っている被験者でも同様の分析を行い、高齢者が、先行車両と同時に別の対象にも注意を払う傾向にあるか検討する。

3.5 先行車両以外の注意対象に対する高齢者の心理

まず、プロトコル法を用いて、入口前後で先行車両に注意を払っていない被験者（高齢者はNo.12, 14, 18の3名、非高齢者はNo.2, 20の2名）の発話から、先行車両以外の対象への注意が読み取れる発話を抽出した。具体的には、3.4節と同様に、以下の条件のいずれかに該当した場合、その被験者はその対象に注意を払っていたとみなした。その結果、表5に示す6つの注意対象に関する発話を取得された。

- 条件1. 気になった対象に挙げた
- 条件2. その対象の存在が前提となる発話を行った

表5 先行車両以外の注意対象

	詳細
トンネル	トンネル
追抜車両	分析区間内で、実験車両を追い抜いた車両
周辺車両（前方）	実験車両の前方、走行車線以外を走行している個々の車両。あるいは、実験車両前方の車両全体
周辺車両（後方）	実験車両の後方を走行している個々の車両、あるいはその全体
トンネル前情報板	トンネル上流に設置されている情報板
坑口の標識	坑口の左右に設置されている、トンネル名と延長を記した標識、点灯を促す標識等

続いて、高齢者・非高齢者別に、各対象に注意を払っていた被験者の人数を数え、表6に整理した。

表6 入口前後で先車両に注意を払っていない被験者の先行車両以外の注意対象の人数（宝塚西トンネル）

	トンネル手前		入口前後	
	高齢者 (3人)	非高齢者 (2人)	高齢者 (3人)	非高齢者 (2人)
トンネル	3	0	2	1
追抜車両	1	0	0	1
周辺車両（前方）	2	1	1	1
周辺車両（後方）	1	0	1	0
トンネル前情報板	2	0	0	0
坑口の標識	1	0	0	0

その結果、高齢者は、トンネル手前、入口前後共に、トンネル、周辺車両（前方、後方）に対して注意を払っていることがわかった。それらの対象への発話をみると、「トンネルが見えてきたので、周辺車両の減速を意識した（No.12）」や、「トンネルでは必ず、後続車両との車間距離と、周辺車両が進入時の点灯を怠らないかを気にしている（No.14）」のように、トンネルへの注意を前提として、周辺車両（前方、後方）について発話しているものが散見された。また、トンネル手前において、No.14、No.18はトンネルの情報が書かれたトンネル前情報板、坑口の標識に注意を払っており、入口前後において、

No.12 はトンネル自体を気になった対象に挙げていた。

以上より、入口前後で先行車両に注意を払っていない高齢者の多くは、トンネル手前から入口前後にかけてトンネルに注意を払う傾向、トンネルへの注意に関連付けて周辺車両等に注意を払う傾向にあると考えられ、この傾向ゆえに先行車両という特定の一台に注意を配分する余裕がなくなっていると推察できる。一方で、非高齢者は、表6を見てもわかる通り、特定の対象を偏って注意する傾向は見られずトンネルに関する発話もNo.20が入口前後で行ったのみだった。また、No.2はどの対象にも注意を払っていなかった。このことから、周囲に全く注意を向けずに運転している非高齢者が、一定数存在する可能性が示唆された。

次に、入口前後で先行車両に注意を払っていない高齢者のトンネルに対する発話を整理し、その注意動機に関して考察を行った。No.12は、トンネル手前では、「トンネルが見えてきたので、周辺車両の減速を意識した」とトンネルの接近を意識した発話をしており、入口前後では、「トンネル進入により狭くなるのを感じたため、少し危険に感じる」と発話していた。No.14は、トンネル手前で、「トンネル前情報板でトンネル内に異常がないか確認した」上で、「トンネルでは必ず、後続車両との車間距離と、周辺車両が進入時の点灯を怠らないかを気にしている」と、トンネルと関連付けて、周辺車両に危険の兆候が見られないか注意を払っていたことを発話した。No.14は、入口前後でも同様の発話を行っており、警戒心をもってトンネルへの接近・進入に臨んでいることが読み取れた。No.18は、トンネル手前で「トンネル内で異常がないか知ることができなかったためトンネル前情報板が気になった」「トンネルの長さを知ることができなかったため、坑口の標識が気になった」とトンネル内部の情報収集を行ったことを発話しており、警戒心をもってトンネルへの進入に臨んでいることが読み取れた。以上より、3名の高齢者全員が、トンネル手前において、トンネルへの接近・進入を警戒しトンネルに注意を払っていたことがわかった。

最後に、入口前後で先行車両に注意を払っている被験者（高齢者はNo.5, 7, 19の3名、非高齢者はNo.1, 3, 4, 16, 23, 25, 26, 28, 29の9名）に関して、高齢者・非高齢者別に、各対象に注意を払っていた被験者の人数を数え、表7に整理した。その結果、トンネルに注意を払っている高齢者は、いずれの区間においても、No.5のみだった。また、他の対象に関しても、2人以上が共通して注意を払っているものはなかった。よって、入口前後で先行車両に注意を払っている高齢者は、先行車両以外の特定の対象に注意を払う傾向はないと考えられる。非高齢者に関しても、それは同様であった。

以上より、入口前後で先行車両に注意を払っていない高齢者は、トンネル手前で、トンネルへの接近・進入を

警戒しているため、トンネルに注意を払う傾向、トンネルに関連付けて周辺車両等に注意を払う傾向にあり、先行車両という特定の一台に注意を配分する余裕がなくなっていると推察できる。一方、入口前後で先行車両に注意を払っている高齢者は、先行車両に集中して注意を払うことができていると考えられる。

表7 入口前後で先車両に注意を払っている被験者の先行車両以外の注意対象の人数（宝塚西トンネル）

	トンネル手前		入口前後	
	高齢者 (3人)	非高齢者 (9人)	高齢者 (3人)	非高齢者 (9人)
トンネル	1	2	1	2
追抜車両	0	0	0	1
周辺車両（前方）	1	3	1	1
周辺車両（後方）	0	2	1	2
トンネル前情報板	0	1	0	0
坑口の標識	1	0	0	1

4. 追突事故が少ないトンネルでの高齢者の運転過程

本章では、追突事故発生件数の少ない中国道上り線宝塚東トンネルを対象に3章と同様の分析を行い、3章の結果と比較する。分析区間は、同トンネル入口前500mの地点から、トンネル進入後100mの地点までとし、図6に示すように、トンネル手前と入口前後の2つに分割する。なお、入口前後のみを対象とする、PICUDの分析では、同区間をさらに入口前100mの区間（入口前）と、入口後100mの区間（入口後）に分割する。



図6 宝塚東トンネルの分析区間（出典：Google Map）

分析対象の条件は3.1節と同じである。該当者を抽出した結果、トンネル手前では高齢者12名、非高齢者14名が、入口前後では高齢者11名、非高齢者14名が分析対象となった。なお、No.14（高齢者）は機器トラブルによりEMRを装着しておらず、No.26（高齢者）は視野映像の画質が悪く車間距離の算出が困難であった。よって、車間距離を用いるPICUDの分析では、No.14, No.26を、視線座標を用いる注視の分析ではNo.14を除外した。

まず、3.2節と同様に、車速と車間距離から各被験者の追突危険性割合を算出し、表8に示すように高齢者と非高齢者の平均値を求めた。そして、対応のないt検定（有意水準5%）を用いて比較したところ、宝塚西トンネルと同様に、入口前（ $t=0.89$, $p=0.38$ ）、入口後（ $t=0.81$, $p=0.43$ ）共に有意差は認められなかった。

表 8 宝塚東トンネル入口前後での追突危険性割合

	入口前	入口後
高齢者の平均値	44.0%	47.1%
非高齢者の平均値	32.6%	39.5%

続いて、3.3 節と同様に、視線座標から各被験者の先行車両注視割合を算出した。そして、表 9 に示すように高齢者と非高齢者の平均値を求め、対応のない t 検定（有意水準 5%）を用いて比較したところ、宝塚西トンネルと同様、トンネル手前 ($t=0.31, p=0.76$), 入口前後 ($t=0.55, p=0.59$) 共に、有意差は認められなかった。

表 9 宝塚東トンネルでの先行車両注視割合

	トンネル手前	入口前後
高齢者の平均値	51.3%	49.0%
非高齢者の平均値	48.1%	42.9%

次に、3.4 節と同様に、プロトコル法を用いて、事後ヒアリングでの発話から、先行車両への注意が読み取れる発話を抽出した。それを元に、表 10 に示すように、高齢者と非高齢者の先行車両不注意者の人数割合を求め、対応のない z 検定（有意水準 5%）を用いて比較した。その結果、宝塚西トンネルと同様に、トンネル手前 ($z=0.70, p=0.48$), 入口前後 ($z=0.81, p=0.21$) 共に有意差は認められなかった。ただし、入口前後において、高齢者の人数割合が非高齢者より大きいように見て取れた表 4 と比べて、表 9 は、入口前後において、高齢者の人数割合が非高齢者より小さいように見て取れる。よって、宝塚東トンネルでは、宝塚西トンネルと比べて、高齢者が先行車両に注意を払っている可能性がある。

表 10 宝塚東トンネルでの先行車両不注意者の人数割合

		トンネル手前	入口前後
高齢者	先行車両不注意者の人数	5 人	3 人
	有効な総分析対象者数	12 人	11 人
	人数割合	41.7%	27.3%
非高齢者	先行車両不注意者の人数	4 人	6 人
	有効な総分析対象者数	14 人	14 人
	人数割合	28.6%	42.9%

最後に、3.5 節と同様に、プロトコル法を用いて、事後ヒアリングの発話から、先行車両以外の対象への注意が読み取れる発話を抽出したところ、3.5 節と同様の 6 つの注意対象に関する発話が抽出されたため、入口前後で先行車両に注意を払っていない被験者に関して、高齢者・非高齢者別に、各対象に注意を払っていた人数を数え、表 11 に整理した。

その結果、入口前後で先行車両に注意を払っていない高齢者は、宝塚西トンネルと同様に、トンネル手前から

入口前後にかけてトンネルに注意を払う傾向、トンネルに関連付けて周辺車両等に注意を払う傾向にあると考えられた。たとえば、宝塚西トンネルと同じく「トンネルでは必ず、後続車両との車間距離と、周辺車両が進入時の点灯を怠らないかを気にしている」と発話した No.14 の他、「入口手前でスピードを落とす車両が多いため、周りの車の速度は気にしている (No.30)」のように、トンネルへの注意を前提として、周辺車両（前方、後方）について発話しているものが散見された。またトンネル手前において、No.14, No.18 は宝塚西トンネルと同様、トンネルの情報が書かれたトンネル前情報板、坑口の標識に注意を払っており、No.30 はトンネル手前、入口前後共にトンネル自体を気になった対象として挙げていた。

以上より、統計を用いた高齢者と非高齢者の比較結果においては、宝塚西トンネルと宝塚東トンネルに差はみられなかった。ただし、先行車両不注意者の人数割合（表 4, 表 10）においては、二つのトンネルでの、高齢者と非高齢者の比較結果が異なることが、定性的に考察できた。よって、宝塚西トンネルにおける高齢者の追突事故の多発は、トンネルへの進入・接近に対する過度な警戒が呼び起こす先行車両不注意に起因する可能性がある。

表 11 入口前後で先行車両に注意を払っていない被験者の先行車両以外の注意対象の人数（宝塚東トンネル）

	トンネル手前		入口前後	
	高齢者 (3 人)	非高齢者 (6 人)	高齢者 (3 人)	非高齢者 (6 人)
トンネル	3	0	2	1
追抜車両	0	0	0	1
周辺車両（前方）	1	1	1	2
周辺車両（後方）	1	2	1	2
トンネル前情報板	2	1	0	0
坑口の標識	0	1	0	0

5. おわりに

本研究は、運転過程の把握により、高速道路トンネル部入口前後における高齢者の追突事故リスクが何に起因するのかを明らかにすることを目的とした。そこで、実走実験で収集した視線座標、車速、発話等のデータを元に、以下に示す分析を行った。

まず、宝塚西トンネルを対象に、PICUD を元に算出した追突危険性割合の平均値を高齢者と非高齢者で比較したところ、入口前後において、有意差が認められなかった。よって、高齢者は、外部観測される追突事故リスクでは非高齢者と差があるとは言えず、行動が発現する前の段階である知覚・認知に差があると考えられた。

そこで、視線座標を元に算出した先行車両注視割合の平均値を高齢者と非高齢者で比較した。その結果、トンネル手前、入口前後共に有意差は認められなかった。

先行車両を注視していたとしても、注意を払っていないければ、知覚・認知の段階に追突事故リスクがある。そ

ここで、発話にプロトコル法を適用することで、各被験者の先行車両への注意の有無を判別し、先行車両不注意者の人数割合を比較したところ、有意差は認められなかった。ただし、表4の通り、高齢者の割合は、非高齢者と比べて大きいように見て取れた。また、暗順応の影響は除外できると考えられるため、高齢者の追突事故リスクは、知覚・認知の中でも、とりわけ先行車両不注意に起因している可能性があると考えられた。

高齢者の先行車両不注意の理由としては、別の対象に注意を払った結果、先行車両に注意を配分する余裕がなくなってしまうことが予想された。そこで、入口前後で先行車両に注意を払っていない被験者の発話を元に、その注意対象を検討したところ、高齢者はトンネルに注意を払う傾向、トンネルに関連付けて周辺車両等に注意を払う傾向にあると考えられた。さらに、トンネルに関する発話から注意動機を検討したところ、トンネル手前において、トンネルの接近による周辺車両の減速や、トンネルの情報が記された情報板・標識についての発話が見られた。このことから、高齢者は、トンネル手前の時点からトンネルへの接近・進入を警戒しているため、トンネルに注意を払う傾向、トンネルに関連付けて周辺車両等に注意を払う傾向にあり、先行車両という特定の一台に注意を配分する余裕がなくなってしまうと考えられた。

また、宝塚西トンネルと同様の分析を、宝塚東トンネルでも行ったところ、高齢者の先行車両不注意者の人数割合は、入口前後において非高齢者より小さいように見て取れた。これは、宝塚西トンネルの結果と異なるため、宝塚西トンネル入口前後で高齢者の追突事故が多発している原因は、先行車両不注意である可能性がある。

以上より、高速道路トンネル部における高齢者の追突事故リスクは、先行車両とトンネルの注意配分に起因する可能性がある。この可能性が正しいのならば、高齢者の追突事故発生件数を減らすためには、高齢者のトンネルへの過度な警戒を抑制し、トンネルへの注意配分を減じることが効果的であると考えられる。

本研究では、実走実験で取得したデータを元に分析を行ったため、分析で使用する被験者数が少なくなった。被験者数を増やし、高齢者の追突事故リスクが本当に注意配分に起因しているのか確かめることが今後の課題として挙げられる。ただし、高速道路トンネル部において、高齢者の一連の運転過程を把握することで知覚・認知に焦点をあて、さらに注視、注意、暗順応といった考えられる可能性を順に検討・考察することで、高齢者の問題を解き明かそうとした研究は前例がなく、このようなアプローチを実践し、注意配分に問題がある可能性を指摘できたことが、本研究の重要な成果であると考えられる。

また本研究では、分析結果に基づき、宝塚西トンネルにトンネルへの警戒を強く誘う何らかの要因がある可能

性を示唆したが、その要因を特定するには至らなかった。この要因の特定も課題として挙げられる。

補注

- *1 自動車の運転頻度が月1回未満の人、あるいは高速道路の利用頻度が年1回未満の人
- *2 まったく危険に感じない/少し危険に感じる/危険に感じる/かなり危険に感じる/非常に危険に感じる
- *3 注視がトンネル前、入口前後の2つの区間をまたぐ場合は、検討している区間内の時間のみを考慮する。

参考文献

- 1) 運転免許統計，警察庁交通局，
<https://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/index.htm>，
2015。（閲覧：2016年3月1日）
- 2) 警察庁交通局，平成26年全事故のまとめ，
<http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm#koutsuu>，2015。
（閲覧：2015年11月4日）
- 3) 防ごう！高齢者の交通事故！，警視庁，
http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/kourei/kourei_jiko.htm，2015。（閲覧：2016年3月1日）
- 4) 佐藤眞一：団塊世代の退職と生きがい，日本労働研究雑誌，No.550，pp.83-93，2006
- 5) NEXCO 西日本事故調書データ解析報告，2012。
- 6) 蓮花一己，向井希宏：交通心理学，pp.30-32，2012。
- 7) 飯田克弘，坪井貞洋，多田昌裕，山田憲浩：高速道路トンネル部での追突事故リスクを高める高齢者の運転挙動，第34回交通工学研究発表会論文集，pp.403-410，2014。
- 8) NEXCO エンジニアリング関西事故データ，2012
- 9) 福田亮子，佐久間美能留，中村悦夫，福田忠彦：注視点の定義に関する実験的検討，人間工学，Vol.32，No.4，pp.197-204，1996。
- 10) 吉川聡一，高木修：プロトコル法による意思決定過程の研究，社会心理学研究，第14巻第1号，pp.31-42，1998。
- 11) 井坪慎二，宇野伸宏，飯田恭敬，菅沼真澄：織り込み部における車線変更時のコンフリクトに関する分析，土木学会第56回年次学術講演会，pp.792-793，2001。
- 12) イタルダ・インフォメーション：追突事故はどうして起きるのか～その時の運転者のエラーは～，2003。
- 13) 松田隆夫：視知覚，培風館，pp.25，1995
- 14) DANIEL KAHNEMAN：Attention and Effort，PRENTICE-HALL，pp.7-12，1973。
- 15) 鈴木春男：高齢ドライバーに対する交通安全の動機付け—交通社会学的視点—，国際交通安全学会誌 Vol.35 No.3，2011