

先取喚呼を利用した速度超過防止法

佐藤 文紀* 小野間 統子* 増田 貴之*

A Method for Preventing Train's Excessive Speed Using Prospective Calling

Ayanori SATO Noriko ONOMA Takayuki MASUDA

This article proposes prospective calling as a method for preventing train's drivers from exceeding speed limits. The prospective calling consists of Imagining Calling (IC) or Repeating Calling (RC). IC refers to an action where a driver voices the image how he is driving trains with restricted speed. RC involves driver to move a train, speaking something during his operation. The effects of these two prospective callings for improving prospective memory remembering were confirmed experimentally. In addition, the effect of prospective calling for preventing train's excessive speed was confirmed by an experiment for train drivers, using a train driving simulator.

キーワード：先取喚呼，速度超過，展望的記憶，運転シミュレータ

1. はじめに

列車が制限速度を超えた速度で走行する速度超過は、脱線事故などの列車事故につながる可能性があり、その防止は重要である。

速度超過の防止には、ATSなどのハード対策だけでなく、運転士のエラー防止などのソフト対策も重要であり、両面からの対策をとることで、より高い安全を目指すことが可能となる。

そこで本稿では、運転士個人でも実施可能な速度超過の防止対策として、先取喚呼を提案する。初めに速度超過の原因について触れ、先取喚呼の概要を説明したうえで、その効果検証実験について報告する。

2. 速度超過の原因

制限速度は直線や曲線などの線路条件に応じて規定されており、運転士はそれ以下の速度で列車を走行させる必要がある。速度超過は、その制限速度を超えて走行することを指す。

速度超過が生じやすい箇所として考えられるのは、徐行区間である。徐行区間とは、普段は制限がないが、工事が行われている場合や、雨や風が強い時に、列車を安全に走行させるために一時的に制限が設けられる区間で

ある。

速度超過の原因を調べるために、ある鉄道事業者において平成21年から平成28年の間に生じた速度超過事象を調査した。収集した18件の事例の中で、徐行区間での発生割合が、72%を占めた(図1)。

また、速度超過の原因で、多くに共通していたものは、運転士が速度制限区間の存在を知っていたにも拘らず、当該区間に接近した時に、それを思い出すことができず、速度超過に至るといった記憶のエラーによるものであった。「速度制限区間の手前に来たら、減速する」といった予定に関する記憶は、展望的記憶と呼ばれる。徐行区間での速度超過で、展望的記憶のエラーが関与していたと考えられる割合は、69%と多数を占めた(図2)。このことから、速度超過の防止には、この展望的記憶エラーをどのように防ぐのが重要な課題と考えられる。

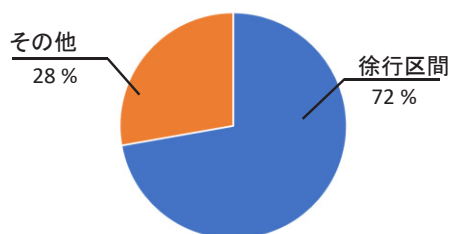


図1 速度超過の発生割合

* 人間科学研究部 安全心理研究室

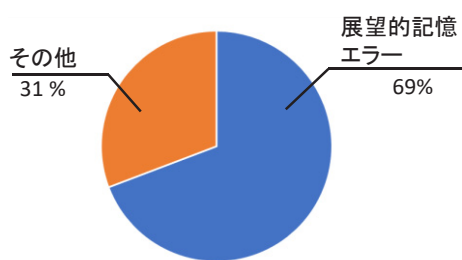


図2 徐行区間での速度超過の原因

3. 先取喚呼

上記のような失念の防止には、まず、予定を実行できる適切なタイミングで、展望的記憶を想起する必要がある。そして、想起した後は、予定を実行するまで、その内容を意識上に維持する必要がある。この展望的記憶の「適切なタイミングでの想起」と「想起した内容の維持」の2つが、予定通りに実行するためには必要である。

先取喚呼は、忘れてはいけない行為の予定やそれに関連する情報について、事前に喚呼することで、展望的記憶の「適切なタイミングでの想起」と、「想起した内容の維持」を支援する方法である。予定を実際に行う前に、先取って喚呼するために先取喚呼と名付けた。

先取喚呼は、イメージング型先取喚呼と反復型先取喚呼の2種類がある(図3と図4)。これ以降、本稿ではそれぞれをイメージング型喚呼と反復型喚呼と記す。

イメージング型喚呼は、適切なタイミングでの想起を支援するものである。その行い方は、徐行区間などを、



乗務前に制限速度を守って運転する過程をイメージ

図3 イメージング型喚呼

列車操縦中は、反復型喚呼

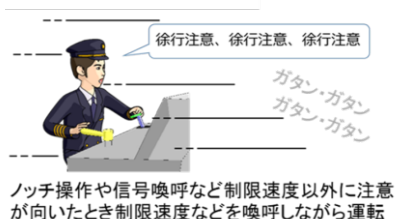


図4 反復型喚呼

制限速度を守って運転しているところを頭の中でイメージして、その内容について喚呼するというものである。例えば、臨時信号機(徐行予告信号機、徐行信号機、徐行解除信号機)による徐行の場合は、その直近駅を進入する時には何キロまで力行するのか、どのあたりから減速するのか、徐行解除信号機を通過した後、どのあたりから速度向上するのかなどをイメージして喚呼する。このようにイメージをすることで、徐行の速度を守って運転するという予定が頭の中に強く記憶され、実際にその直近駅に到着した時(予定を行うのに適切なタイミング)に、その予定を思い出しやすくなる。

イメージング型喚呼は、行動を頭の中でイメージしなければならないために、列車走行中に行くと、運転作業に影響を及ぼす可能性がある。そのため、区所や詰所にいる時や、ホームに出場して、自列車が来るのを待っている時のように、列車を運転していない時に行う。

一方の反復型喚呼は、想起した内容を意識上に維持することを支援するものである。これは、英国の鉄道で行われているコメンタリー運転法を基にしている¹⁾。忘れてはいけない内容を継続的に喚呼することで、失念を防ぐ方法であり、いつ何を喚呼するのかについての規定は特にない。一方、本稿で提案している反復型喚呼は、信号の喚呼直後や、加減速をした直後のように、徐行以外に注意が向いた時に、速度制限区間と、そこでの制限速度などについて喚呼するというものである。実行すべき予定について、それが意識上にあったとしても、何らかの理由で、別のことに注意が向いて、その予定が一時的に意識上からなくなると、失念が生じやすくなることが報告されている²⁾。列車の運転中は、走行速度、運転時分、信号現示、線路の状況など様々なことに注意を向ける必要があり、常に徐行のことを意識上に維持しておくことが難しい。しかし、信号確認などをして、徐行のこと以外に注意が向いた後に、速度制限区間と制限速度を喚呼することで、その情報を意識上に保持し続け易くなる。

次章以降では、先取喚呼の効果を確認するために行った実験について報告する。はじめに、イメージング型喚呼による適切なタイミングでの展望的記憶の想起の促進効果を検証した実験を報告する。次に、反復型喚呼による想起内容の維持効果を検証した実験を報告する。

また、上記の各実験では、先取喚呼の阻害効果についても検証した。実際の運転状況で、先取喚呼をすることばかりに注意が向きすぎると、運転作業に影響を及ぼす可能性が考えられる。そこで、イメージング型喚呼や反復型喚呼が、喚呼対象以外の課題成績を低下させるか否かについて検証した。

4. イメージング型喚呼による想起の促進効果の検証

4.1 目的

ここでは、イメージング型喚呼によって、適切なタイミングでの展望的記憶の想起が促進されるかを検証した。この効果は、列車の運転状況に限ったものではないと考えられることから、まず試行として、運転士ではなく、大学生を被験者とした実験で検証を行った。

この実験では、あるパソコン課題の実施中に、特定の単語が画面に現れた時に、特定のキーを押すように被験者に教示された。ここでは、この特定のキーを適切なタイミングで押す課題のことを展望的記憶課題と呼び、パソコン課題のことを同時遂行課題と呼ぶ。

このような展望的記憶課題の成績を、イメージング型喚呼をした場合としなかった場合とで比較した。イメージング型喚呼に、適切なタイミングでの展望的記憶の想起の促進効果があるのであれば、イメージング型喚呼をした場合に、展望的記憶課題の成績が向上すると考えられた。

また、イメージング型喚呼が同時遂行課題に与える阻害効果についても検討した。イメージング型喚呼をすることで、展望的記憶課題ばかりに注意が向くと、その分、同時遂行課題にあまり注意が向かなくなる可能性が予測された。そこで、同時遂行課題の成績を、イメージング型喚呼をする場合としない場合とで比較した。イメージング型喚呼をすることで、同時遂行課題に向けられる注意が少なくなるのであれば、イメージング型喚呼をした時に、同時遂行課題の成績が低下すると考えられた。

4.2 方法

4.2.1 実験デザイン

イメージング型喚呼あり条件とイメージング型喚呼なし条件の1要因2水準の被験者間計画とした。

4.2.2 被験者

大学生42名が実験に参加した(男性22名,女性20名)。平均年齢は、21.50歳で、標準偏差は1.93歳であった。イメージング型喚呼あり条件には22名が、イメージング型喚呼なし条件には20名が無作為に割り当てられた。

4.2.3 課題

同時遂行課題は、語彙判断課題であった。語彙判断課題は、パソコン画面に連続呈示される文字列が、単語(例:すいか)か非単語(例:ゆさて)かをできるだけ早く判断する課題である。単語の時は、キーボードの「J」キーを、非単語の時は「F」キーをできるだけ早く押すことが求められた。

展望的記憶課題は、語彙判断課題中に、事前に教示された特定の単語(例:えんぴつ, さくら)を見た時に、

テンキーの「5」を押すという課題であった。

語彙判断課題の問題数(試行数)は204であり、単語が呈示される試行と非単語が呈示される試行が102試行ずつ含まれていた。また、単語が呈示される102試行の内、上述の特定の単語が呈示されたのは4試行であった。呈示順序はランダムに決められた。

4.2.4 手続き

実験は各被験者個別に実験室で行われた。パソコンの前に被験者を座らせ、課題の説明を行った。

課題の説明を行った後、特定の単語の2単語について教示した。そして、上述の教示に加え、イメージング型喚呼あり条件の被験者には、「えんぴつとさくらが出た時はテンキーの5を押す」などと3回言わせた後、実際に自分がテンキーの「5」を押しているところを30秒間イメージさせた。

その後、同時遂行課題と展望的記憶課題とは関係のない別の課題を15分程度させた後に、同時遂行課題と展望的記憶課題を行わせた。別課題をさせたのは、展望的記憶課題のことを被験者の意識上から、一旦、なくすためであった。

4.3 結果と考察

実験後に、被験者42名中9名が、特定の単語を正しく覚えていなかったため、分析から除外した。よって、33名を分析対象とした(イメージング型喚呼あり条件19名, イメージング型喚呼なし条件14名)。また本稿では、以降の分析全てにおいて、有意確率を10%とした。

4.3.1 展望的記憶課題

同時遂行課題中に呈示される特定の単語に対して、テンキーの「5」を押せた反応を正反応とした。その結果を図5に示す。イメージング型喚呼あり条件とイメージング型喚呼なし条件とで、その正反応数に対して t 検定を行ったところ、イメージング型喚呼あり条件の方がイメージング型喚呼なし条件よりも展望的記憶課題の成績が有意に高かった($t(31) = 2.09, p = 0.04$)。このことから、イメージング型喚呼には、適切なタイミングでの展望的記憶の想起を促進する効果があることが示された。

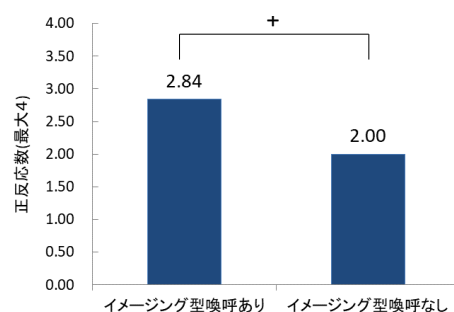


図5 展望的記憶課題の成績 (+: $p < 0.10$)

4.3.2 同時遂行課題

同時遂行課題として行った語彙判断課題の1人あたりの平均正反応数と反応時間を表1に示す。イメージング型喚呼あり条件とイメージング型喚呼なし条件とで、正反応数と反応時間に対して、それぞれ t 検定を行ったところ、有意差はなかった(正反応数: $t(31) = 0.87, p = 0.39$, 反応時間: $t(31) = 0.76, p = 0.45$)。この結果より、本実験では、イメージング型喚呼の同時遂行課題への阻害効果は確認されなかった。

表1 同時遂行課題の平均正反応数と割合(%)と反応時間

イメージング型喚呼	あり	なし
正反応数	189.05 (96.46%)	190.36 (97.12%)
反応時間(ミリ秒)	800.59	769.79

5. 反復型喚呼の想起内容の維持効果の検証

5.1 目的

ここでは、反復型喚呼による、展望的記憶の想起内容の維持効果を検証する。この効果は、列車の運転状況に限ったものではないと考えられることから、試行として、被験者を運転士ではなく、大学生を対象とした実験で検証を行った。

前章と同様、同時遂行課題と展望的記憶課題で実験を構成した。4章の実験では、特定の単語のような展望的記憶課題の合図が提示された時に、被験者はすぐに反応することが求められたが、今回の実験では、展望的記憶課題の合図が提示されてから、一定時間経過後に反応する条件設定とした。すなわち、被験者は、反応しなければならぬことを、一定時間、意識上に維持することが求められた。この実験における展望的記憶課題には、被験者が容易に気づけるように目立つ合図を使用した。

この展望的記憶課題の成績を、反復型喚呼をした場合としない場合とで比較した。反復型喚呼に展望的記憶の維持効果があるのであれば、反復型喚呼をした場合に展望的記憶課題の成績が高くなると考えられた。

また、反復型喚呼が、展望的記憶課題及び同時遂行課題とは別の課題に与える阻害効果についても検討した。反復型喚呼をすることで、展望的記憶課題ばかりに注意が向くと、その分、別の課題にあまり注意が向かなくなる可能性が予測された。そこで、別の課題の成績を反復型喚呼をする場合としない場合とで比較した。反復型喚呼をすることで、別の課題に向けられる注意が少なくなるのであれば、反復型喚呼をした時の方が、そうでない時よりも、別の課題の成績が低下すると考えられた。

5.2 方法

5.2.1 実験デザイン

反復型喚呼あり条件と反復型喚呼なし条件の1要因2水準の被験者間計画とした。

5.2.2 被験者

4章の実験の被験者とは別の大学生41名が実験に参加した(男性20名,女性21名)。平均年齢は,21.00歳で,標準偏差は1.80歳であった。先取喚呼あり条件には21名が,先取喚呼なし条件には20名が無作為に割り当てられた。

5.2.3 課題

同時遂行課題は,パソコン画面に呈示される設問に回答するものとした。設問は単語の好感度を評定するなどの簡単なものであり,その種類の数は8であった。同じ種類の設問が連続で呈示され,2分毎に,設問の種類が切り替わった。これを1セットとし,計16セットが行われた。各種の設問は2セットずつ行われた。設問の種類は,被験者毎にランダムであったが,同じ種類の設問が2セット以上連続することは避けた。

展望的記憶課題は,赤色の文字で書かれた同時遂行課題の設問を見た後で,当該の設問の種類が切り替わった時に,キーボードのスラッシュキーを押すというものであった。この赤文字の同時遂行課題の設問が,展望的記憶課題の合図であった。この合図を見た被験者は,設問の種類が切り替わるまで,スラッシュキーを押すのを待つ必要がある。この合図以外の同時遂行課題の設問は,全て黒色の文字で提示された。そのため,この展望的記憶課題の合図を,被験者は容易に気づくことができると考えられた。展望的記憶課題の合図が提示されたのは,各被験者4回であった。

また,被験者は,同時遂行課題と展望的記憶課題を行いながら,数字監視課題も行うことが求められた。これは,同時遂行課題を行っているパソコン画面の右上に,1から10までカウントアップする数字が呈示され,それが10になった時にスペースキーを押すというものであった。数字が10までカウントアップすると,次は1に戻り,また10までカウントアップされた。カウントアップするタイミングは,一定ではなく,2秒~12秒の間で変動した。そのため,被験者はカウントアップするタイミングを事前に予測することは困難であった。しかし,数字の10が呈示される時間は常に3秒間であった。また,10が呈示される回数は,各被験者51回であった。

5.2.4 手続き

実験は各被験者個別に実験室で行われた。パソコンの前に被験者を座らせ,課題の説明を行った。反復型喚呼あり条件の被験者には,展望的記憶課題の合図を見たら,設問の種類が切り替わるまで,「設問の種類が変わったらスラッシュキーを押す」と反復喚呼をするように教示

した。喚呼のペースは特に指定しなかった。反復型喚呼なし条件の被験者には、反復型喚呼に関する教示は行わなかった。その後、課題を開始した。

5.3 結果と考察

課題内容を誤解していた被験者が5名いたため、分析対象から除外した。分析対象者は36名であった(イメージング型喚呼あり条件18名、イメージング型喚呼なし条件18名)。

5.3.1 展望的記憶課題

展望的記憶課題の合図が呈示された後、同時遂行課題の設問の種類が変わってからスラッシュキーを押せたものを展望的記憶課題の正反応とした。その結果を図6に示す。反復型喚呼の有無で、正反応数に対して t 検定を行ったところ、反復型喚呼をした場合の方が、反復型喚呼をしなかった場合よりもその正反応数が有意に高かった($t(34) = 2.01, p = 0.05$)。この結果から、反復型喚呼の想起内容の維持効果が示された。

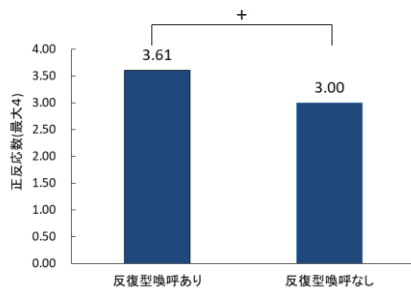


図6 展望的記憶課題の成績 (+: $p < 0.10$)

5.3.2 数字監視課題

数字監視課題の数字が10である時にスペースキーを押すことができた1人あたりの平均正反応数について表2に示す。

正反応数に対して、反復型喚呼の有無で t 検定を行ったところ、有意差はなかった($t(34) = 1.40, p = 0.17$)。

反復型喚呼の有無による差が見られなかったことから、本実験では、反復型喚呼をすることによる別の課題への阻害効果は確認されなかった。

表2 数字監視課題の平均正反応数と割合 (%)

	反復型喚呼あり	反復型喚呼なし
正反応数	39.22 (67.62%)	47.17 (81.32%)

6. 先取喚呼の速度超過防止効果の検証

6.1 目的

これまでの大学生を対象とした実験により、イメージング型喚呼と反復型喚呼による、展望的記憶の「適切な

タイミングでの想起」と「想起内容の維持」の促進効果が確認された。これらの結果から、先取喚呼には、展望的記憶の想起や維持の失敗が原因による、速度超過の防止効果が期待された。

そこで実際に、先取喚呼が速度超過の防止に有効であるかを検証するため、運転士を被験者とし、運転シミュレータを使用して、現実の運転に近い状況下で、実験を行った。先取喚呼に速度超過の防止効果があれば、先取喚呼を行った場合の方が、行わない場合よりも速度超過に至る割合が、少なくなると予測された。

また、本実験では、先取喚呼が、他の作業の失念を誘発するかについても検討した。先取喚呼を過度に行くと、喚呼内容ばかりに注意が向き、他の作業への注意が行き届かず、失念が誘発される可能性が考えられる。そこで、先取喚呼の頻度を、運転士自ら調整できるようにした状態で、他作業において失念が誘発されるかを検討した。

6.2 方法

6.2.1 実験デザイン

先取喚呼あり条件と先取喚呼なし条件の1要因2水準の被験者間計画とした。

6.2.2 被験者

30名の現役運転士(男性24名、女性6名)が被験者として参加した。平均年齢は34.40歳であった。標準偏差は8.30歳であった。被験者30名を無作為に15名ずつ、先取喚呼あり条件と先取喚呼なし条件に割り振った。

6.2.3 課題

被験者は、異常事態が生じなければ20分程度で運転可能な行路を、シミュレータで運転することが求められた。このシミュレータは実際に存在する行路を模擬しており、被験者は日頃からその行路を運転していた。

本実験では、速度超過を誘発しやすい状況を作るために、徐行区間を走行中に様々な異常事態を発生させた。まず、駅停車中の被験者に、指令員から、2駅先のA駅から、さらに2駅先のC駅までの徐行の通告がなされた。そして、A駅に進入時に、実験者がシミュレータを操作して、ホーム行き過ぎの停止位置不良を生じさせた。また、次のB駅では、駅を進出する際に、出発信号機の現示を進行から停止にし、その信号機を行き過ぎる信号違反を生じさせた。そして、被験者が、それらの異常事態に対処しながらも、徐行のことを忘れずに、徐行の制限速度以下で走行できるかを検証した。

また、別の作業の失念を検証するために、被験者には、徐行区間内にある踏切の安全確認を行わせた。B駅停車中に、被験者は指令員から、B駅とC駅の間にある踏切の安全確認をするため、踏切手前で一旦停止し、指令員に無線で連絡するよう通告された。徐行区間を走行中に、踏切手前で一旦停止できるかを検証した。

特集：人間科学

実験は、踏切手前で一旦停止し、指令員から運転再開の指示を受け、C 駅まで運転したところで終了した。

実験開始前に、先取喚呼あり条件の被験者は、先取喚呼の説明を受けた。徐行の速度制限について、駅間走行中は反復型喚呼を、駅停車中はイメージング型喚呼をするように教示された。先取喚呼なし条件の被験者は、普段と同様に運転するようにと教示された。

6.3 結果と考察

先取喚呼あり条件で、徐行区間を勘違いしていた者 1 名と、先取喚呼なし条件で、徐行区間と速度などを声に出しながら運転したものの 2 名を分析対象から外した。このため、分析対象者は 27 名であった（先取喚呼あり条件 14 名、先取喚呼なし条件 13 名）。

6.3.1 速度超過

徐行区間の存在を忘れて、速度超過した被験者の人数を条件別に表 3 に示す。フィッシャーの直接確率検定を行ったところ、先取喚呼あり条件の方が、なし条件よりも、速度超過に至る人数が有意に少なかった ($p = 0.04$)。この結果から、先取喚呼には速度超過防止効果があることが示された。

表 3 条件別の速度超過した者としなかった者の人数と割合 (%)

速度超過	した者	しなかった者
先取喚呼あり条件	0 (0.00 %)	14 (100.00 %)
先取喚呼なし条件	4 (30.77 %)	9 (69.23 %)

6.3.2 他作業（踏切確認）のし忘れ

踏切の安全確認をするのを忘れた人数を、条件別に表 4 に示す。フィッシャーの直接確率検定を行ったところ、有意差は認められなかった ($p = 0.22$)。この結果から、先取喚呼により、他作業の失念が増加するということは確認されなかった。

表 4 条件別の踏切確認した者としなかった者の人数と割合 (%)

踏切確認	しなかった者	した者
先取喚呼あり条件	0 (0.00%)	14 (100.00%)
先取喚呼なし条件	2 (15.38%)	11 (84.62%)

7. おわりに

本稿では、速度超過の防止法として、先取喚呼を提案した。イメージング型喚呼は適切なタイミングでの想起

を支援し、反復型喚呼は一旦想起した内容を、その行為を実行するまで、それを意識上に維持する効果を期待するものである。

先取喚呼による、展望的記憶の「適切なタイミングでの想起」と「想起内容の維持」の促進効果を、大学生を対象とした実験で確認した。また、速度超過防止効果も、現役運転士を対象とした実験で確認した。これらの結果から、展望的記憶エラーを原因とする速度超過の防止に、先取喚呼は有効な手段であると考えられる。

また、それぞれの実験において、先取喚呼を行うことで、他の課題に悪影響を及ぼすことがあるかを検証したところ、今回報告した実験では、先取喚呼の有無で有意な差は確認されなかった。特に反復型喚呼については、喚呼の頻度などを被験者が任意に調節できたことが、その理由の 1 つとして推測される。しかし、今回の結果から、先取喚呼には他の課題（作業）に全く影響を及ぼさないとまでは結論づけられない。先行研究において、シミュレータを運転中に、過度に同じ文言を喚呼させ続けると、自分で喚呼している内容が分かりにくくなったり、運転中に感じる単調度が増加したりすることが示されている^{3) 4)}。そのため、長時間にわたって同じ文言の喚呼を頻繁に行うと、他の作業に影響を及ぼす可能性が考えられる。

先取喚呼を適切に用いることで、展望的記憶エラーの防止効果を期待できる。今回は、速度超過防止に焦点を当てたが、速度超過防止以外にも、展望的記憶エラーを原因とする事故防止に応用できる可能性がある。しかし、応用するためには、実施者が先取喚呼のエラー防止メカニズムを知っておくことが望ましい。現在は、先取喚呼を行う時期や頻度などの実施方法や、そのメカニズムなどを学ぶための教材作りを進めている。

文 献

- 1) RSSB, “Risk Triggered Commentary Driving,” Fact sheet, 2008.
- 2) Einstein G.O., McDaniel M.A., Williford C.L., Pagan J.L., and Dismukes R.K. “Forgetting of intentions in demanding situations is rapid,” Journal of Experimental Psychology: Applied, Vol.9, pp.147-162, 2003.
- 3) Ayanori S., and Nicholas B., “Investigating an effective method of using Risk Triggered Commentary Driving and Point and Call Checks,” Fifth international Rail Human Factors Conference. Book of proceedings pp. 466-476. 2015.
- 4) 佐藤文紀：イギリスの鉄道事情と英国鉄道安全標準化機構 (RSSB) との共同研究, RRR, Vol.73, No. 5, pp.24-27, 2016