

## 異常事象に気付く運転士の注視行動

鈴木 大輔\* 山内 香奈\* 松浦 理\*\*

Effective Visual Behavior by Railway Drivers upon the Recognition of Extraordinary Events

Daisuke SUZUKI Kana YAMAUCHI Satoru MATSUURA

The purpose of this study is to investigate the effective visual-searching behaviors for recognizing the extraordinary events based on the eye movements of railway drivers. The subsidence of the railway track in front of the drivers was set as an extraordinary event. Associated with the setting of the extraordinary events, two driving scenarios of high velocity (approximately 90km/h) and low velocity (approximately 15km/h) were set. In the high velocity driving scenario, the drivers with longer gaze duration and larger dispersion during each visual-searching recognized the subsidence easily. In the low velocity driving scenario, the drivers with larger dispersion of gaze position in the horizontal direction during each visual-searching recognized the subsidence easily.

キーワード：異常事象，発見，運転士，注視行動，運転シミュレータ，訓練

### 1. はじめに

運転中に前方に発生する異常事象にいかに関心を持つかに着目すると、運転士の注視行動のあり方が重要だと考えられる。鉄道運転士の注視行動について、水田ら<sup>1)</sup>は列車運転中の注視割合を算出し、車外のうち前方は約50%、信号は約25%、その他は約25%であった。西本ら<sup>2)</sup>も注視割合を算出し、車外のうち前方は約65%、信号は約10%、標識は約10%、その他は約15%であった。しかしながら、通常運転時の注視配分については研究されている一方、異常事象の発見と注視行動の関係は検討されてこなかった。

自動車分野の研究<sup>3)</sup>では、周囲に他の車両がない場合と比較して、複雑な状況の走行場面では一回あたりの注視時間が短くなると言われている。これは他の車両の進路変更などの異常事象を発見するために様々な注視対象を確認するためだと考えられている。また、船舶分野の研究<sup>4)</sup>では、出港時と比較して洋上では一回あたりの注視時間が長くなると言われている。これは特定の注視対象がない海面から異常物を探し出そうとするためだと考えられている。

筆者らは、異常事象に気付く運転士の注視行動を明らかにするために、異常時対応シミュレータ訓練において運転中に前方に発生する異常事象を発見できた運転士とできなかった運転士の視線の動きについて検討してきた<sup>5) 6) 7)</sup>。本稿では、高速走行と低速走行における運転士の注視行動と異常事象の発見の関係について得られた

知見を報告する。

### 2. 高速走行における検討

#### 2.1 方法

##### 2.1.1 装置

列車運転の模擬及びデータ収集には視線検知装置付き運転シミュレータ<sup>8)</sup>(三菱プレジジョン株式会社製)を使用した(図1)。視線計測には、シミュレータに搭載された非接触型の視線検知装置を使用した。計測前にキャリブレーションを行い、運転開始後にサンプリングレート30Hzで視線データを記録した。

前方映像は運転席から900mm離れた42インチディスプレイ(幅930mm×高さ520mm)に映し出した。ディスプレイの視角は54.7度×32.2度であった。



図1 視線検知装置付き運転シミュレータ

\* 人間科学研究部 人間工学研究室

\*\* 北海道旅客鉄道株式会社 運輸部 運用課

特集：人間科学

2.1.2 参加者

参加者は鉄道事業者の運転士 121 名（全て男性）、年齢は 23～59 歳（平均 41 歳、標準偏差 11 歳）であった。半年に 1 回、職場で実施される定期的なシミュレータ訓練の一環として参加した。

2.1.3 運転シナリオ

運転シナリオは、高速走行において前方の異常事象に気付きにくい状況とするために、二つの異常事象に同時に対応する課題とした（図 2）。

まず、Y 駅で「Z 駅手前の ATS 地上子が故障している」ことを通告した。ATS 地上子故障の場所では一旦停止することになっている。そのため、運転士は当該の場所を探すために、線路脇のキロ程標識等に注意を向ける必要があり、前方注視に集中できない状況となる。次に、ATS 地上子故障の場所の手前で右側の隣接線が陥没している設定とした（図 3）。約 90km/h まで加速しノッチオフ後、惰行運転中に当該の陥没箇所へ到達する。陥没を発見した場合、直ちにブレーキをかけることになっ

ている。ATS 地上子故障への対応を考えながら運転している状態で、陥没に気付くことができるかというシナリオ構成になっている。なお、ATS 地上子故障への対応を確認するために、陥没を発見しブレーキをかけて停止した場合でも、その後に運転を再開し ATS 地上子故障の場所まで運転を継続した。

2.1.4 分析方法

陥没箇所を通り過ぎる前に停止した運転士を発見群、ブレーキをかけずに陥没箇所を通り過ぎた運転士を非発見群と分類した。分析区間は陥没箇所の手前の直線区間 30 秒程度とした。異常事象に気付いたことによる影響を除くため、両群とも陥没箇所が見える前の区間を分析対象として、影響を受ける前の視線データを分析に用いた。

視線検知装置は、眼球や目蓋の個人差、眼鏡やコンタクトレンズの種類により視線検知率が 100% にならない。このため、参加者 121 名のうち高い検知率で視線を検知できていた 66 名を分析対象とした。

視線データの分析には Sight Tracker Editor（株式会社エモヴィス製）を用いて、一コマずつコマ送り再生し注視点を抽出した。注視点に関する先行研究<sup>9)</sup>を参考に、ある視対象に対して 4 ビデオフレーム（0.133 秒）以上、視線が停留していた場合を注視点と定義した。上記により抽出した注視点について、注視位置と注視時間を計測した。

2.2 結果

ATS 地上子故障の場所で一旦停止をしなかった運転士はいなかった。参加者 121 名のうち陥没箇所を通り過ぎる前に停止した運転士（発見群）は 91 名（75%）、ブレーキをかけずに陥没箇所を通り過ぎた運転士（非発見群）は 30 名（25%）であった。視線データの分析対象者 66 名のうち、発見群は 47 名（71%）、非発見群は 19 名（29%）であった。

運転士毎の注視時間の平均値について、各群の平均値を比較したところ、発見群は 1.0 秒、非発見群は 0.6 秒であった（図 4）。各群の注視時間の平均値の平均値を比較するために  $t$  検定を行ったところ、発見群の注視時間の平均値は有意に長かった（1% 水準）。運転士毎の注視時間の標準偏差について、各群の平均値を比較したところ、発見群は 1.3 秒、非発見群は 0.6 秒であった（図 5）。各群の注視時間の標準偏差の平均値を比較するために  $t$  検定を行ったところ、発見群の注視時間の標準偏差は有意に大きかった（1% 水準）。

運転士毎の注視点の X 座標（左右方向）の平均値について、各群の平均値を比較したところ、発見群は -32mm、非発見群は -57mm であった（図 6）。各群の X 座標の平均値の平均値を比較するために  $t$  検定を行ったところ、発見群の X 座標の平均値は有意に大きく正面

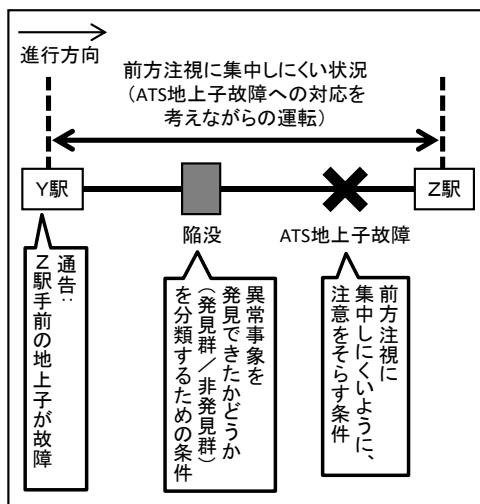


図 2 高速走行における運転シナリオの概要

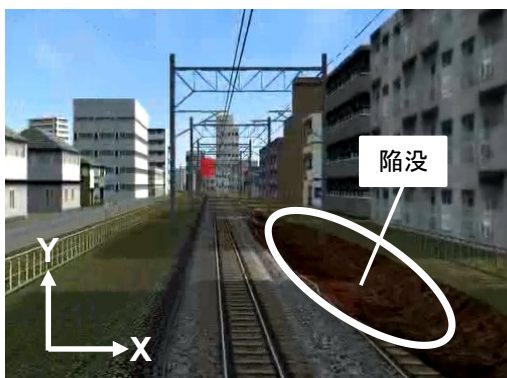


図 3 陥没箇所の様子（赤印は注視点の例）

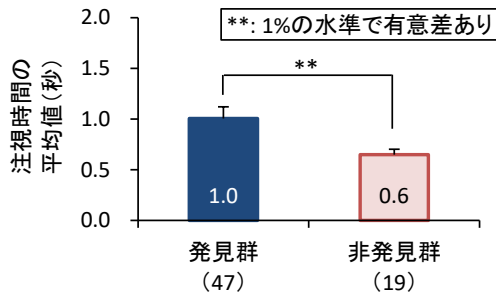


図4 注視時間の平均値の平均値

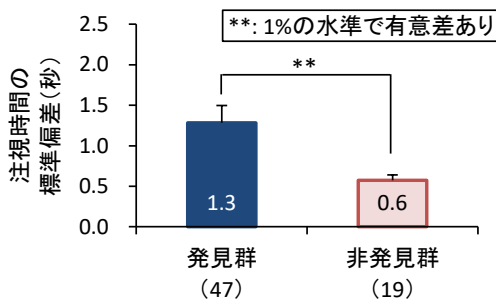


図5 注視時間の標準偏差の平均値

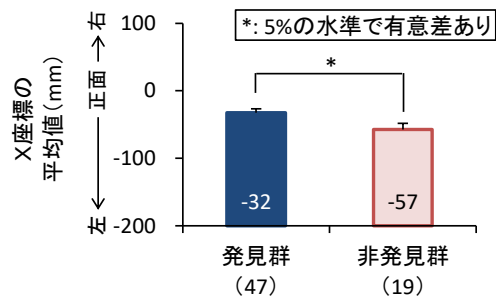


図6 注視点の X 座標の平均値の平均値

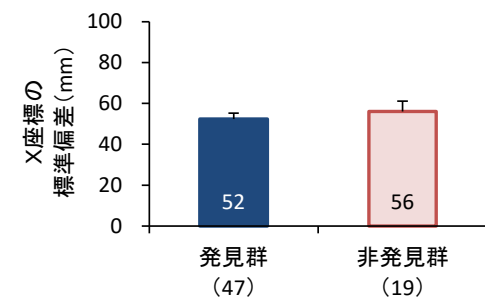


図7 注視点の X 座標の標準偏差の平均値

に寄っていた (5%水準)。運転士毎の注視点の X 座標の標準偏差について、各群の平均値を比較したところ、発見群は 52mm、非発見群は 56mm であった (図7)。各群の X 座標の標準偏差の平均値を比較するために t 検定を行ったところ、有意差は見られなかった。

各群における注視時間と注視位置の違いがわかる例を図8、図9に示す。図8は発見群、図9は非発見群の注視点の例であり、それぞれ1名の結果例である。散布図の横軸は視線の左右方向の位置、縦軸は注視時間を示し、各プロットは注視点を意味する。これらの散布図は左右方向のどの位置をどの程度の長さ注視していたかを示している。両群とも正面付近に長い注視があり、左右にそれると注視が短くなる傾向であった。これは、前方正面の比較的遠くを長い時間注視し、短時間の注視で左右の標識や信号等を確認していたためと考えられる。各群の特徴を見てみると、発見群は2秒以上の長い注視と1秒以下の短い注視が混在しているのに対して、非発見群では2秒以上の長い注視が少ない傾向であった。また、非発見群は発見群と比較して、注視点が左側に寄っている傾向であった。他の運転士においても、同様の傾向が見られた。

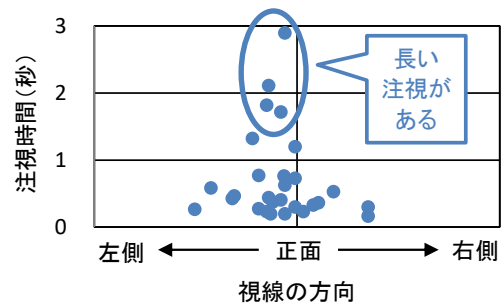


図8 発見群の注視点の例 (1名)

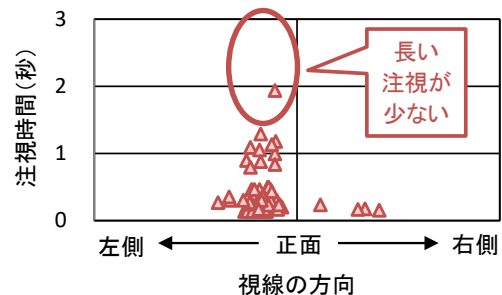


図9 非発見群の注視点の例 (1名)

### 2.3 考察

以上の結果より、高速走行において、発見群は非発見群と比較して正面を注視している際の一回あたりの注視時間が長く、ばらつきが大きいことがわかった。比較的遠くの正面を注視していることが多く、前方を奥行方向に深く見ていたと考えられる。このことから、長い注視と短い注視がバランスよく混在していることが、高速走行において様々な視対象を確認したうえで、特定の視対象が少ない前方正面の異常事象にも気付くのに適した注

特集：人間科学

視行動であると考えられる。

また、非発見群は注視点の X 座標が左側に寄っていることがわかった。当該運転士にヒアリングはできていないが、キロ程標識を注視することが多く、ATS 地上子故障の場所を確認しながら運転していた可能性がある。知識不足や準備不足等により不安を抱えたまま運転を開始し、運転中に特定の注視対象を頻繁に確認するといった状況で一回あたりの注視時間が短くなり、異常事象に気付かなかったと考えられる。

### 3. 低速走行における検討

#### 3.1 方法

##### 3.1.1 装置

2章と同様の視線検知装置付き運転シミュレータを使用した。

##### 3.1.2 参加者

参加者は鉄道事業者の運転士 128 名（全て男性）、年齢は 24～65 歳（平均 41 歳，標準偏差 12 歳），経験年数は 0～31 年（平均 14 年，標準偏差 7 年）であった。半年に 1 回，職場で実施される定期的なシミュレータ訓練の一環として参加した。

##### 3.1.3 運転シナリオ

運転シナリオは，低速走行において前方の異常事象に気付きにくい状況とするために，複数の異常事象に次々と対応する課題とした（図 10）。場内信号機の停止現示，出発手信号，線路上に作業員，閉そく指示運転に対応した後，通常運転となり約 15km/h から加速する場面において，隣接線が陥没しているというシナリオとした。

##### 3.1.4 分析方法

2章と同様に，陥没箇所を通り過ぎる前に停止した運転士を発見群，ブレーキをかけずに陥没箇所を通り過ぎた運転士を非発見群と分類した。分析区間は陥没箇所の手前の直線区間 30 秒程度とし，注視位置と注視時間を

計測した。参加者 128 名のうち高い検知率で視線を検知できていた 73 名を分析対象とした。

### 3.2 結果

参加者 128 名のうち陥没箇所を通り過ぎる前に停止した運転士（発見群）は 85 名（66%），ブレーキをかけずに陥没箇所を通り過ぎた運転士（非発見群）は 43 名（34%）であった。視線データの分析対象者 73 名のうち，発見群は 51 名（70%），非発見群は 22 名（30%）であった。

運転士毎の注視時間の平均値について，各群の平均値を比較したところ，発見群は 0.7 秒，非発見群も 0.7 秒で同じであった（図 11）。各群の注視時間の平均値の平均値を比較するために *t* 検定を行ったところ，有意差は見られなかった。運転士毎の注視時間の標準偏差について，各群の平均値を比較したところ，発見群は 0.8 秒，非発見群も 0.8 秒で同じであった（図 12）。各群の注視時間の標準偏差の平均値を比較するために *t* 検定を行ったところ，有意差は見られなかった。

運転士毎の注視点の X 座標の平均値について，各群の平均値を比較したところ，発見群は -47mm，非発見群も -47mm で同じであった（図 13）。各群の X 座標の平均値の平均値を比較するために *t* 検定を行ったところ，有意差は見られなかった。運転士毎の注視点の X 座標の標準偏差について，各群の平均値を比較したところ，発見群は 74mm，非発見群は 56mm であった（図 14）。各群の X 座標の標準偏差の平均値を比較するために *t* 検定を行ったところ，発見群の X 座標の標準偏差は有意に大きかった（5% 水準）。

各群における注視時間と注視位置の違いがわかる例を図 15，図 16 に示す。図 15 は発見群，図 16 は非発見群の注視点の例であり，それぞれ 1 名の結果例である。2章と同様，散布図の横軸は視線の左右方向の位置，縦軸は注視時間を示し，各プロットは注視点を意味する。発見群は注視点の左右方向の移動範囲が広いのに対して，

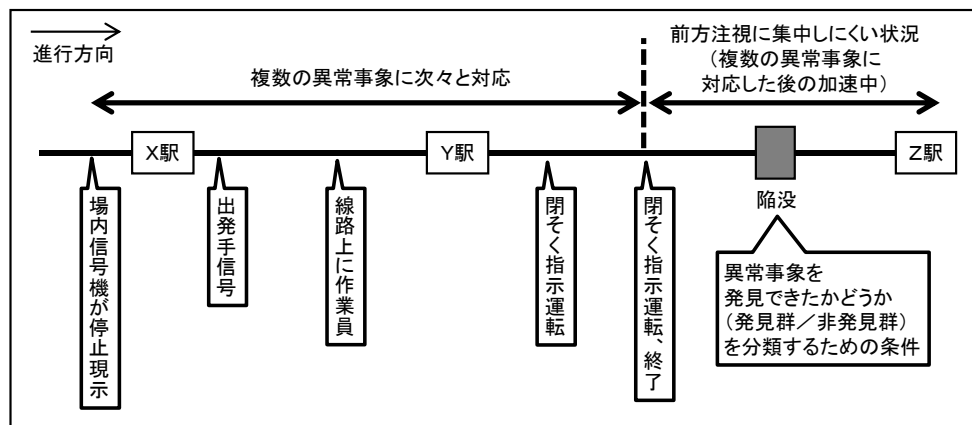


図 10 低速走行における運転区間とシナリオの概要

非発見群では狭い傾向であった。他の運転士においても、同様の傾向が見られた。

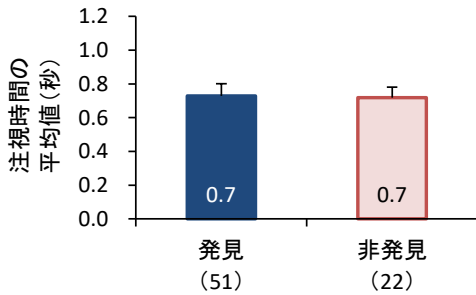


図 11 注視時間の平均値の平均値

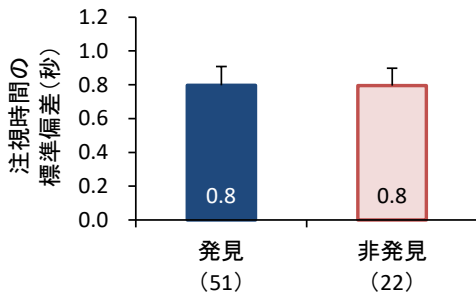


図 12 注視時間の標準偏差の平均値

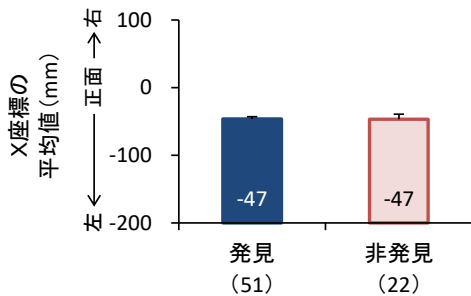


図 13 注視点の X 座標の平均値の平均値

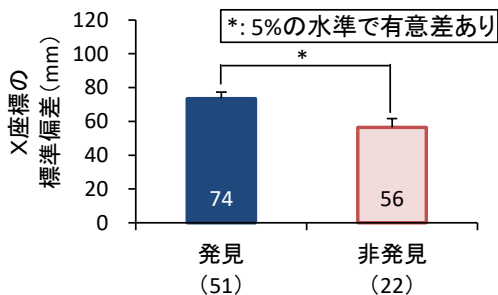


図 14 注視点の X 座標の標準偏差の平均値

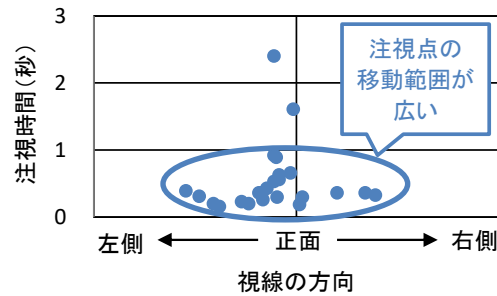


図 15 発見群の注視点の例 (1名)

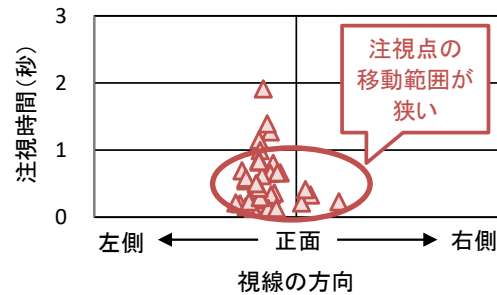


図 16 非発見群の注視点の例 (1名)

### 3.3 考察

以上の結果より、低速走行において、発見群は非発見群と比較して、注視点の移動範囲が広いことがわかった。比較的近くで正面以外にも風景や線路を注視していることが多く、前方を左右方向に広く見ていたと考えられる。このことから、視線を広く移動させることが、低速走行において様々な注視対象を効率的に確認し異常事象に気付くのに適した注視行動であると考えられる。

また、非発見群は注視点の左右方向の移動範囲が狭かった。本シナリオにおいては様々な異常事象に対応した後であったことから、加速することに過度に集中して運転していた可能性や気を抜いて適切な視線配分を行う意識が低下していた可能性がある。先を急ぐような状況で注視点の移動範囲が狭くなり、異常事象に気付かなかったと考えられる。

## 4. おわりに

本研究では異常時対応シミュレータ訓練における視線データを分析し、異常事象を発見できた運転士と発見できなかった運転士の注視行動の違いを明らかにすることを目的とした。走行速度の異なる2つのシナリオ(高速と低速)を分析対象とした。発見群は、高速走行では比較的遠くの正面を長い時間注視していることが多く、前方を奥行方向に深く見ていると考えられた。低速走行では比較的近くの注視点の移動範囲が広く正面以外にも風

## 特集：人間科学

景や線路を注視していることが多く、前方を左右方向に広く見ていると考えられた。これらは、運転士の育成において、「事象が重複した場合に、どこに注意が向いていたのか」や「気になる一点に集中し過ぎていないか」を指導する際に参考となる視線データであると思われる。これらの知見を運転士の教育に活用するためには、視線データを当該運転士にフィードバックすることが考えられる。効果的なフィードバック方法については今後の課題である。

また、本研究の運転シナリオでは前方の注視に着目したが、他のシナリオでは運転室内の計器や時刻表等の注視が重要となる場合も想定される。今後は、前方から視線が逸れる箇所や前方以外を含めた視線移動パターン等について研究を進める予定である。

## 文献

- 1) 水田淳一他：列車運転における視作業分析，人間工学，Vol.11, No.2/3, pp.55-61, 1975
- 2) 西本嗣史他：運転士の注視行動に関する研究（2）－夜間および日中走行結果の比較－，JREA, Vol.56, No.11, pp.31-34, 2013
- 3) 三浦利章：行動と視覚的注意，風間書房，pp.86-90, 1996
- 4) 福田忠彦他：ヒューマンスケープ，日科技連，pp.192-193, 1996
- 5) 鈴木大輔他：異常時対応シミュレータ訓練における列車運転士の視線の動き，人間工学，Vol.52, Supplement, pp.382-383, 2016
- 6) 鈴木大輔他：異常時対応シミュレータ訓練における列車運転士の注視行動，人間工学，Vol.53, Supplement, pp.192-193, 2017
- 7) 鈴木大輔他：異常時対応シミュレータ訓練における列車運転士の注視行動－列車の加速過程を対象とした検討－，人間工学，Vol.54, Supplement, 2F2-5, 2018
- 8) 石坂直弘：運転士対応力向上シミュレータの導入，サイバネティクス，Vol.20, No.3, pp.4-7, 2015
- 9) 福田亮子他：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