

鉄道車両運転における視線の振る舞い学習支援に関する一考察

A Study on Learning Support for Mastering Fundamental Gaze Behavior of Train Drivers

眞利 拓未^{*1}, 竹内 寛典^{*1}, 松浦 健二^{*1}, 廣瀬 岳^{*2}, 柏原 昭博^{*2}

Takumi MARI^{*1}, Hironori TAKEUCHI^{*1}, Kenji MATSUURA^{*1}, Gaku HIROSE^{*2}, Akihiro KASHIHARA^{*2}

^{*1}徳島大学

^{*1}Tokushima University

^{*2}電気通信大学

^{*2}The University of Electro-Communications

Email: c612101903@tokushima-u.ac.jp

あらまし：鉄道車両運転士には、実際の路線における実車両で運転する訓練機会の困難さから、シミュレータによる訓練が有用である。乗客の安全と正確な運行計画を遂行するためには様々な外界の注視対象物や運転時の計器類と操作機器に適切な目配りが求められる。そこで、本研究では、単一の注視対象に気づいてからの視線の振る舞い方に関する議論の下、その学習支援環境の設計・実装を考察する。

キーワード：鉄道車両運転士、視線振る舞い、鉄道運転シミュレータ、アイトラッキング

1. はじめに

鉄道車両の運転士は、乗客の生命安全と正確な運行計画の実践のために、異常事象がある場合には早期発見と適切に対応する運転操作が求められる。ただし、異常事象を実際の路線で生じさせる訓練は困難な場合が多く、その訓練には鉄道車両の運転シミュレータ(以下 TS)を用いることが有用である。

TS 上の仮想運転区間を走行する訓練では、鉄道車両の基本的な操作とともに、可視空間内で適切に注意を払いながら模擬運転を行う。異常事象が発現した際には、その早期発見が重要である。鈴木ら⁽¹⁾は、異常事象の早期発見において、鉄道運転中の前方への注視行動のあり方が重要であると考え、そのためには「シミュレータ体験後に、運転中の注視行動を振り返ること」が有効な教育と述べている。また、津留ら⁽²⁾が、鉄道運転士は運転の際に獲得する情報のうち、80%以上が視覚からの情報と述べている。よって、鉄道車両の運転中に信号機や標識などの注視対象物に目を向けるタイミングや時間とその頻度といった、視線の振る舞い方は鉄道車両の安全運転に重要である。しかし、正しい視線の振る舞い方の統一的な定義(モデルケース等)が具体化されておらず、運転士は鉄道運転中の視線の振る舞い方をモデルケースから真似ることが困難である。そこで、本研究では鉄道運転シミュレータを用いて、鉄道運転中の注視対象物に対する制約付きで一定の自由探索視が行える学習支援システムの考察・設計を行う。

2. 前提 TS 環境

本研究では運転の模擬映像により、鉄道運転知識を持たずとも鉄道車両運転を学べる環境を前提とする。以下では本研究で用いる前提環境を述べる。

本研究では、三菱プレジジョン社製の TS 環境に対し、視線トラッキングツールを組み合わせることで運転

訓練を行い、事後の振り返り時にはその重畳表示を可能とするシステム設計・実装を行った。

運転士の視点データの取得には自動車運転学習支援⁽³⁾でも用いられている非接触型アイトラッカーである Tobii Pro nano を用いた(図 2.1)。また、運転士から 400mm 離れた場所に前方路線映像のモニタを設置し、時刻表を右のモニタに配置することで、実際の運転環境を模した(図 2.2)。速度計などの計器類やブレーキなどの操作系は路線映像下部にタッチセンサ付きモニタで実現した。視線トラッキングツールは路線映像を対象とするべく、その下部に配置したが、実際には計器類等も見ることとなるため、双方計測できることがより適切である。なお、同図の路線映像左側のモニタは運転指導員用であるが、実際には運転士用とは離すことが可能である。これらのモニタに対応する機能を有するホストの筐体をそれぞれ接続する。



図 2.1 非接触アイトラッカー

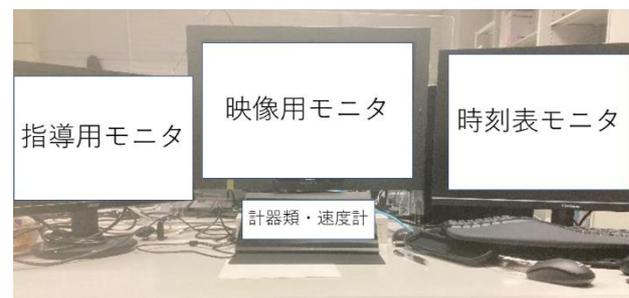


図 2.2 研究環境

3. 視線の振る舞い学習

3.1 フィードバックプロセスの概要

仮想駅 A から B までの一駅区間の運転映像を用意し「振り返り前」の視線データを取得する。フィードバック素材を作成するために、自車両に接近してくる信号機などの注視対象オブジェクトを内部関数で軌跡をモデル化し、映像への重畳表示用に円で表現する。また、運転士の視点データから、有効視野(本環境では 10°)の範囲を半径 R の円で描画し、オブジェクトの円と有効視野の円に重なりがあるかどうかを判定する。有効視野の円の半径 R は、運転士の顔からモニタまでの距離を $L=40[\text{cm}]$ とすると以下のように算出できる。これは顔の位置を微細なズレを無視できるものとして、運転の時刻に依存せず一定値と本研究ではみなすことにする。

$$R = L \times \tan 10^\circ \dots (1)$$

また、人間が視覚刺激として得た情報を処理して反応操作するまでに約 200ms 必要⁽⁴⁾とされていることから、二つの円の重なり時間が 200ms 以上続いた場合に注視と判断する。注視していない時間が一定以上続いた場合は、再注視を要するとし、その上限時間 (S) 以上注視できていないことを運転士にフィードバックする機能を実現する。

フィードバックの後に再度模擬運転を行い、その時の視点データを取得し、視線の振る舞い方が改善されたかどうかを確認する。ここで S は、図 3.1 のように注視対象オブジェクトと運転士の有効視野の円の重なりがなくなった瞬間から繰り返し計測する。

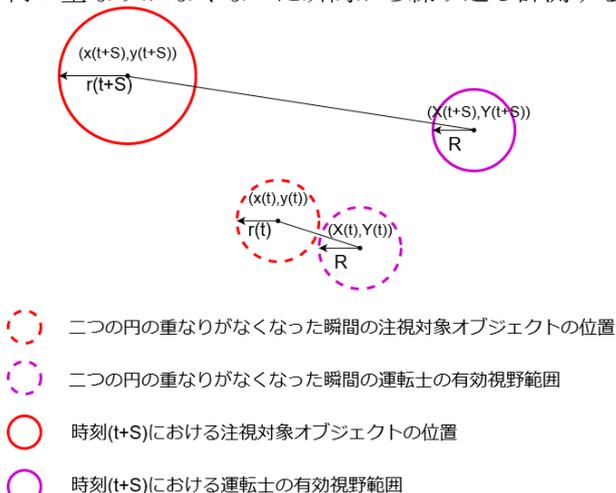


図 3.1 注視しているかの判定方法

また、上限時間 S は運転中の速度に依存した変数とする。鉄道車両は自動車と摩擦係数が同様ではなく、したがって空走距離の後の停止までの制動距離は自動車に比べて長くなり、 $60[\text{km/h}]$ で約 $170[\text{m}]$ 、 $80[\text{km/h}]$ では約 $320[\text{m}]$ 要する。さらに、気づきからブレーキまでもその遅れに伴って空走距離が長くなり、トータルした停止までの距離が長くなる。

ここで、例えば閉そく信号機を取り上げると、その状態は $800[\text{m}]$ 離れていても認識できることとさ

れている。つまり、閉そく信号の灯火の色は $800[\text{m}]$ 前から認識可能に設計されているため、車両速度が $60[\text{km/h}]$ の場合なら前述の制動距離を考慮すると残り $630[\text{m}]$ 、時間にして $37.8[\text{s}]$ となる。 $80[\text{km/h}]$ の場合は同様に $480[\text{m}]$ 、 $21.6[\text{s}]$ である。この間の注視頻度を n 回と仮定すると、上限時間がそれぞれ $37.8/n[\text{s}]$ と、 $21.6/n[\text{s}]$ である。ここで、閉そく信号機を視認した時点での速度を $V[\text{km/h}] = V/3.6 [\text{m/s}]$ 、その速度でその時点でブレーキしてからの停止するまでの距離を $M[\text{m}]$ とおく。また、人間の視覚から得た情報を処理して行動するまでに要する時間 $200[\text{ms}]$ を考慮すると、要再注視の上限時間 S はこの間を等速とみなして、下記で計算する。

$$S = \frac{(800 - M) \times 3.6}{V} \times \frac{1}{n} + 0.2 \dots (2)$$

3.2 フィードバック実装例

映像は加速後の最大速度が時速 60km とした時に、 $n=15$ とすると、制限時間は(2)式より 2.72 秒となる。 n を定める際に、注視対象に対する時間のみを考慮するのではなく、その他の注視対象や運転操作上必要な対象への注視も考慮する必要があるため、そのバランスを考慮する。例えば、上限時間が短い場合は他の注視対象物を探索視する時間が短くなり、長い場合は注視対象の変化を見落とす可能性が懸念される。このため、基礎実験等を経るまでは試行錯誤の上で定めることとする。運転士へのフィードバックには図 3.1 の二種類の円をシミュレータ映像に重畳表示させるが、その際、二円の重なりがない間は画面上部にバー状の経時変化するインジゲータを設け、上限に達したら振り返り映像を止めて注視できていない注視対象物を示し、運転士に確認させる。

4. おわりに

本研究は、鉄道運転士の視線の振る舞い方の学習支援として、多少自由度を保ちながら、注視対象に対する制約条件として一定時間内の注視を促す環境を設計した。今後、この評価を実施する予定である。

謝辞

鉄道運転シミュレータの環境提供と議論の場をいただいた三菱プレジジョン株式会社に謝意を表す。

参考文献

- (1) 鈴木大輔, 松浦理, 小池隆治, 松鶴邦征: “鉄道運転シミュレータにおける視線データフィードバックシステム,” 55 巻, Supplement 号, p. 1B1-5 (2019).
- (2) 津留直彦, 伊佐治和美, 金子弘, 土居俊一: “運転者の視覚認知機能の解明とモデル化の研究,” 計測と制御, 45 巻, p.1 (2006).
- (3) 松浦健二, 竹内寛典, 柏原昭博, 山崎健一, 栗田弦太: “安全運転講習における意識・認知の向上支援,” 教育システム情報学会 2022 年度第 4 回研究会, Vol. 37, No. 4, pp. 97-103 (2022).
- (4) 永井大介, 長谷川賢一: “聴覚・視覚刺激反応時間に関する研究,” 昭和医学会雑誌, 46 巻, 1 号, pp.29-32 (1986).