

視線誘導を導入した自動車運転時の気づき支援環境

内藤弘望^{*1}, 松浦健二^{*1}, 柏原昭博^{*2}, 齊藤玲^{*2}

戸井健夫^{*3}, 栗田弦太^{*3}

^{*1} 徳島大学, ^{*2} 電気通信大学

^{*3} 三菱プレシジョン株式会社

Awareness support in driving simulation with gaze navigation

^{*1}Tokushima University, ^{*2}The University of Electro-Communications

^{*3}Mitsubishi Precision co., ltd.

自動車運転の際に発生する事故事例の半数以上に、安全確認不足や不注意等の判断の誤りが原因として含まれる。そのため、運転手の過失による事故を減らすためには、認知や判断といった人間の内的処理にアプローチしていく必要がある。本研究では運転手が注視すべき対象や領域に気づかせるために、自動車運転シミュレータ利用者の画面上に、運転中の見るべき場所を示す視線誘導機能の導入を図る。特に、本稿では、機能実現のための誘導のモデル化と判定手法部分の設計を述べる。

キーワード: 視線誘導, 自動車運転シミュレータ, 危険識別, 学習支援

1. はじめに

自動車事故原因の半数以上が運転手側の安全義務違反によって引き起こされている⁽¹⁾。これは安全確認不足や不注意等の運転手による過失が原因として含まれる。自動車や自動二輪車の運転は、外界の情報の認知、認知による正しい運転操作の判断、判断による自動車や二輪車の操作、そして操作によって生まれる外界変化の認知、という認知・判断・操作のプロセスを繰り返すことによって行われる⁽²⁾。しかし、事故を起こしたドライバーの過失要因をこの3つのプロセスに当てはめると、その半数以上を認知・判断ミスが占めるといデータがある⁽³⁾。

また、自動車事故を一度起こした方が再度事故を引き起こす事象は交通安全の大きな課題となっている。運転違反者には違反講習が義務付けられ、数時間の講義と実車やシミュレータを用いた運転講習が行われる。違反講習を受ける者を本稿では学習者と呼ぶが、過去に違反を犯したことがあるドライバーは、その違反回数が多いほど再犯確率は高く⁽⁴⁾、現状の講習では事故回避の意識改善には不十分であると考えられる。

これらのことから、運転違反者には危険の認識力や危険回避の意識が不足している場合があり、それが原因となる過失による事故を減らすためには、認知や判断といった人間の内的処理にアプローチしていく必要があると考えられる。しかし、状況の認識及び理解を適切に行えているか学習者自身が判断することは困難である。そのため、運転講習においては、学習者が注視すべきオブジェクトやエリアを認識しているかシステムで判別し、客観的判断を行う機能があれば、運転講習の高度化につながる可能性がある。

ここで、人間が認識を行う過程においては、その主要な知覚の一つとして視覚から得られる映像・画像の情報から物体の運動状態を認識し、認知するという流れで行われている⁽⁵⁾。つまり、聴覚等の知覚も考慮すべき状況はあるものの、主なオブジェクトの認識として視覚の情報に基づいて行われる部分に着目する。すなわち、人間の物体、運動に対しての認知を外部から判断するには、本稿では視線情報を用いることとする。

そこで、本研究では運転手が注視すべき対象や領域に気づかせるために、アイトラッカーを用い、視線情報を取得することにより、自動車運転における危険識

別の可否を推定する識別器の開発を行い、自動車運転シミュレータ（以下 DS, Driving Simulator）を体験する運転手に対し、DS の画面上に、危険識別を行うための運転手の見るべき場所を示す視線誘導機能の導入を図る。

2. 関連研究

2.1 交通事故の疑似体験を適応的に引き起こすための運転シミュレーションのデザイン

齊藤ら⁽⁶⁾は DS を用いて、運転手の運転操作状態を取得し、不足したと判断可能なプリミティブな操作要素の有無を判定する機構を提案している。不足している操作要素に応じた交通事故の危険がある場面を適応的に DS 上で提示する手法の設計を行っている。運転手が交通事故を起こした場合には、システムが事故要因の特定を行い、運転手にフィードバックを行うシステムを提案し、それによって運転手の安全運転意識向上を促す運転能力向上支援の研究を行っている。

2.2 AR を用いたカーブの運転スキル学習支援システムの設計・開発

山元ら⁽⁷⁾は、教本などから学ぶことが難しいカーブの運転技術に着目し、AR を用いて、カーブ運転時にどのように運転操作を行えば安全な走行を行えるかを学習させる走行練習用システムを設計・開発した。このシステムではカーブ時の適正速度や、GPS と Google Maps API を用いた位置情報から算出した進行方向の地図をリアルタイムに視野内に表示させることで学習支援を促している。

2.3 構造化モデリング法を用いた列車運転士の注視行動分析

鈴木ら⁽⁸⁾は列車運転士の計器、標識等の注視順序から推測される因果構造から生じる情報獲得スキルの違いに着目し、運転士の注視行動データに対して構造化モデリングを行うことで運転士間の注視行動の共通点と差異を明らかにできると考えた。そこで、アイトラッカーを用いて取得した運転士の注視行動に対して構造化モデリング法を用いることによってパターンの抽出を試み、技量の異なる運転士間での注視行動パターンの違いを分析した。

2.4 本研究の位置づけ

自動車運転は認知・判断・操作の三つのプロセスのサイクルによって成り立つと想定し、操作につながる前段の認知・判断に問題があれば自動車事故が生じる可能性があると考えている。したがって、本研究は、2.1 節の文献と同様に、VR(仮想現実)上で実際の運転体験に近い運転操作を体験できる DS の利用を前提とする。ただし、アクセル、ブレーキやハンドル操作のような直接的な運転対象の操作ではなく、認知に関わる視線情報を用いて運転手の状態を読み取る。

また、2.2 節の文献のように、特定場面に焦点を当てることなく、運転手の視線情報から危険識別の状態を推定する識別器により識別された結果に外在的フィードバックを加えて学習者に返し、識別能力の向上を促す。これにより、効率よく学習を行うことができる。さらに、2.3 節の研究では、列車を前提としており、運転対象が異なり、提案手法も異なるものの、着目点としては同種の研究と言える。

3. 提案手法

3.1 危険対象

本研究では、学習者の DS 上での危険対象オブジェクトまたはエリアに対する認知状態を判別するためにアイトラッカーを用いて視線を測定し、危険対象オブジェクトやエリアの認知能力を視線誘導によって向上させることを目的とする学習支援を行う。このとき、視線データから危険識別の程度を推定し、危険注意を促すシステムの開発が求められる。

危険対象としては、対象自体が能動的に動く前提をもち、その動作を予測する必要がある歩行者、自動車等の動体オブジェクトがある。また、これら動体オブジェクトが潜んでいる可能性がある交差点等の危険対象エリアといった 2 種類に分類される。これらから、認知（認識）力の不足は、まず動体オブジェクトの認識力を向上させることによって改善されると考える。

また、非動体危険対象エリアでは、動体オブジェクトが視認できず動体の認識はできない。そこで、このようなエリアに対する危険回避の知識または意識不足に対しては、動体が潜んでいる可能性のある非動体危険対象エリアへの注意力も向上させることによって改

善が期待できる。

3.2 危険対象の推定

危険識別程度の推定については、事前定義可能な多角形（ポリゴン）があればそこへの視線の侵入や滞留のみで実施することも考えられる。一方、視線を軌跡としてとらえた場合には、面より線での解析となり、より粒度の細かい推定が可能と考える。このため、本研究では軌跡の方に着目する。

また、学習者によって危険対象オブジェクトを認知する順番が異なる場合も想定しなければならない。そこで、時系列データに対する柔軟なアライメントが可能手法として、動的時間伸縮法(DTW, Dynamic Time Warping)を導入する。本手法適用時には、運転熟練者から事前取得したモデル軌跡と学習者の視線軌跡との類似度を求める。そして、モデルと学習者の視線情報が低い類似度を示した場合、危険識別ができていないと判定し、学習支援を行うことにする。このとき、モデル軌跡と学習者の視線軌跡は、画面上を x, y 軸に従う座標データとして処理する。時系列で並べられたシーケンスデータで表される 2 つのシーケンス間の DTW 距離は、それらのシーケンス長を調整した後の距離の和であり、以下のように表される。

長さ n のシーケンス $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ と長さ m のシーケンス $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ を考える。これらの DTW 距離 $D(X, Y)$ は以下のように定義される⁹⁾。

$$D(X, Y) = d(n, m)$$

$$d(i, j) = \|x_i - y_j\| + \min \begin{cases} d(i, j-1) \\ d(i-1, j) \\ d(i-1, j-1) \end{cases}$$

$$d(0, 0) = 0 \quad d(i, 0) = d(0, j) = \infty$$

$$(i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m)$$

ここで $\|x_i - y_j\| = (x_i - y_j)^2$ は 2 つの数値の距離を表す。なお、上記は一次元データ系列間の処理であるが、多次元拡張も提案されている¹⁰⁾。

3.3 識別処理

学習者が DS を体験している際に取得した視線情報を用いてオブジェクト認知状態を判別する処理のイメージを図 1 に示す。DS で提示するアニメーション(例: 30fps)の総フレーム数を N とした際に、類似度を求め

る際には、現時点のフレームから直前 M フレーム間で、教師座標モデル系列と学習者系列の間で計算する(本稿では $M=20$ とする)。このデータは時系列で並べられたシーケンスデータで表されるが、 M 個の座標を画面にプロットする際には軌跡のような形状で出力される。このときの判別に用いるフレーム数は、人間の自動車運転中の先行車両の制動に対する反応時間はおよそ 0.5 秒から 0.7 秒¹¹⁾とされるため、例えば、30fps の場合には、その約 0.6 秒にあたる 20 フレームの視線情報を用いることとする。その 0.5 秒から 0.7 秒間に動体オブジェクト、非動体エリアの認知及びそれらの危険識別が行われ、人間の内的処理である物体の認知判断処理の分析ができると考える。

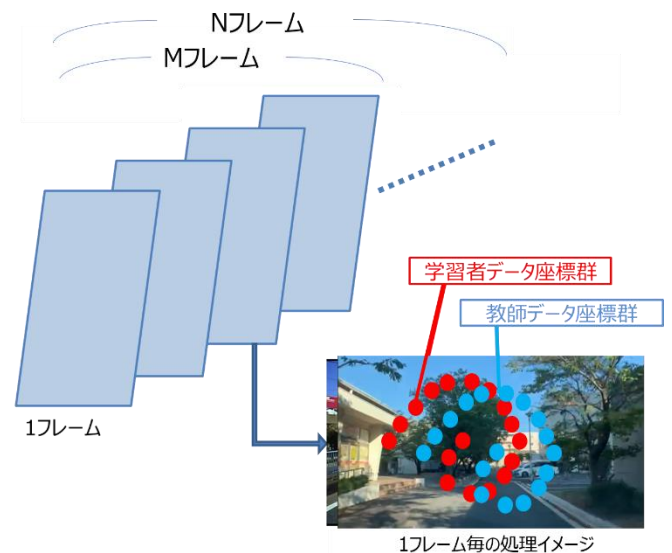


図 1. タイムラインにおけるデータ処理イメージ

3.4 類似度算出例

以下に類似度算出画面の実行例を示す。図 2 に描画されている青色の点群は事前に作成したモデル軌跡の表示であり M 個の座標群を表し、赤色の点群は学習者の視線座標群を表している。画像の上部に表記されている値がモデル軌跡と学習者軌跡の類似度の計算結果であり、フレーム毎に計算結果が描画される。この値が小さければ小さいほど、それら 2 つの系列データ間の類似度が高く、学習者は危険の識別ができていないと判定する。

図 2 の画像は運転手の視野内に交差点もカーブミラーもなく、他の動体オブジェクトもないため、学習者視線軌跡もモデル軌跡も、いずれも同様に前方周辺に位置しており、視線が大きくぶれていないことが分か

る。よって DTW によって算出される類似度も低い値を示しているため、危険の認識が同等と考えられる。一方、図 3 の画像は運転手の視野内に交差点もカーブミラーもなく、他の動体オブジェクトもないが、学習者の視線が大きく上にぶれてしまっている。そのため、DTW によって算出される類似度も図 2 に比べ大きな値を示しており、異なる危険の認識または、異なる注視を表している。

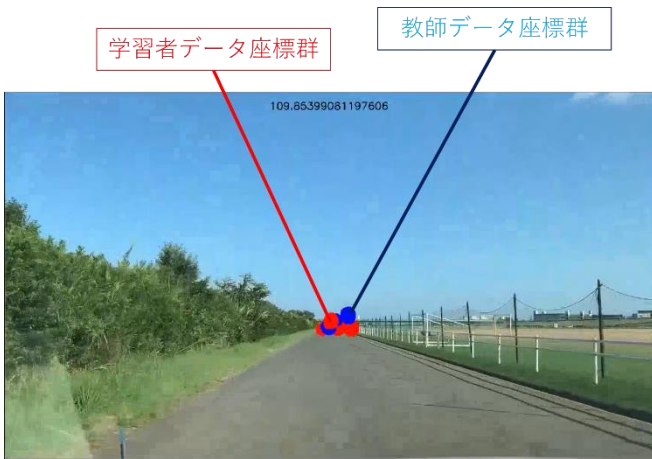


図 2 類似度算出例 1

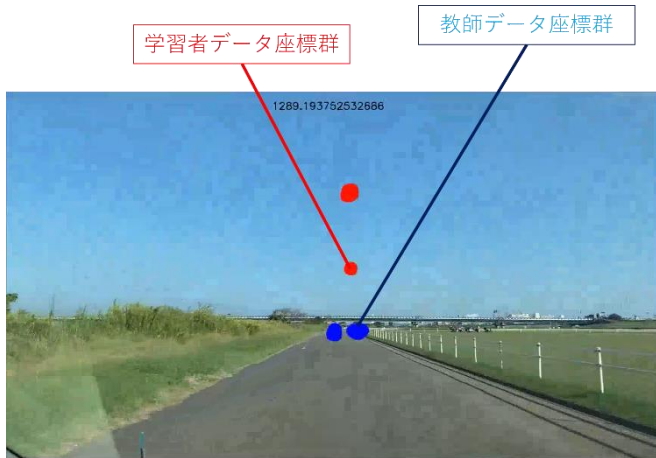


図 3 類似度算出例 2

3.5 モデル軌跡の作成

類似度の算出に用いるモデル軌跡は、予め動体オブジェクトや非動体エリア等の危険対象が明らかでそれが注視すべきであれば、任意の人工的作図により事前定義することも可能である。例えば、自然画像であれば、画像処理技術を用いてオブジェクト抽出をすることになるが、VR 空間であればオブジェクト描画位置の検出も容易である。

一方で、人工的作図ではなく、人間のふるまいからの作成手法としては、学習者同様に、運転熟練者が自

動車運転シミュレータで実際に運転したときの視線情報を用いて作成することができる。具体的には同じ運転コースに対して運転熟練者には目視による危険識別を意識した視線の動きと運転操作を複数回行ってもらい、同時にリアルタイムで視線データを取得する。その取得した複数データが大量である場合はクラスタリングによって前処理を行う必要がある。また、量の大小によらず欠損や観測誤差によるノイズを含むデータがあれば平滑化処理などの適用も考慮する必要がある。それらを用いて本稿では、前者に相当する処理として、動体オブジェクト、非動体エリア抽出を行う。その後、1 フレーム毎の取得した複数の熟練者からなる視線データに対して、同じフレーム表示したときの座標群の重心位置をモデル座標として生成することによって教師データ作成を行う。図 4 は同じフレーム番号を前提とするイメージ図であるが、熟練者のサンプル 7 点からなるモデル座標生成を示している。

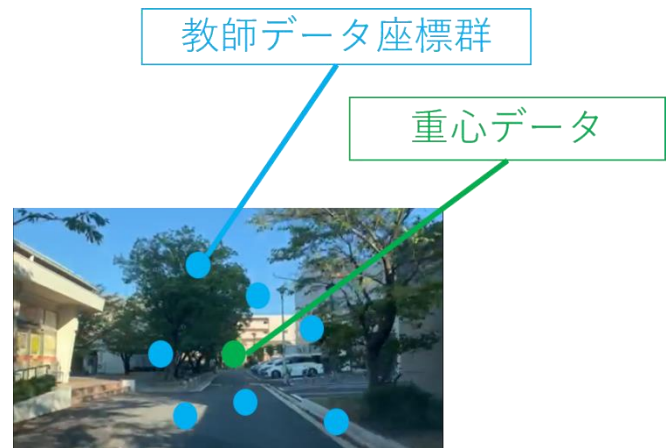


図 4 教師データ作成イメージ

4. 危険識別判定評価

作成した危険識別判定の評価に関しては、まず運転熟練者が教師データ作成の際に視線計測を行った運転シナリオと同様のシナリオで熟練者が体験する。その際、視線のトラッキングを行う。その後、危険識別判定機能を組み込んだ自動車運転シミュレータを用いて再度体験してもらい、運転熟練者には、目視による危険識別を意識した運転操作を行ってもらい、再体験時に、同時にアイトラッカーによって視線情報をリアルタイムで取得し、運転体験中の危険識別状況の判定評価を行う。そこから、危険識別に重要であると判断で

きる動体オブジェクトや非動体エリアが視野内に出現するシーンを抽出する。それらのシーンにおける運転熟練者データを用いて、システムとしての危険識別判定との一致率によって精度評価とする。

5. システム概要

本研究は、自動車運転手を対象とした、運転時の危険識別能力向上のためのシステム開発を目的としている。実際の運転に近い運転体験を行える自動車運転シミュレータを用いて学習支援を行うことによって視覚的かつ直観的に運転操作及び注意を向けるべき危険への理解が深まる。

危険識別能力向上のためのシステムの流れを図5に示す。システムによる支援の流れとしては、まず、システムがアニメーションによる運転体験を学習者に提示する。学習者はそれに対し、刺激の同定、反応選択といった流れで内的処理を行い、運転動作や物体認識の状態を視線で捉えたとの前提の下、システム側はその視線データを取得する。システムはそれに対して運転操作に対応するアニメーションを返すが、同時に視線の計測を行い、運転手の危険識別状態を判定する。

その際に映像中の危険対象を識別できていないと判断された学習者に対して、運転体験が終わった後に視線誘導によるフィードバックを用いた学習支援を行う。これによって、気づきを促進し、識別能力の向上を図る。

なお、今後の展開として、仮想空間上での動体オブジェクト同士の位置関係、学習者が入力した運転操作などのデータも複合的に扱うことで、学習者の内部で処理されている認知、判断といった外部から認識しづらい処理プロセスを分析できると考えられる。

6. システム運用方法

現時点で想定している学習シナリオを図6に示す。システムの流れとしては、最初に、学習者に歩行者との接触、自動車との衝突などの事故を起こす可能性がある場面を含んだ運転シナリオを自動車運転シミュレータで体験してもらい、その際に運転体験中の1フレーム毎の視線座標情報をアイトラッカーで取得する。

その後、取得したデータから動体オブジェクトや非

動体エリアの認識の程度を判定する。そして認知できていなかった部分のシミュレータ画面に実際に見るべきだった箇所を濃淡をつけて着色したアニメーションを学習者に図7のように提示する。下記の図は画面左側、奥、右側に危険対象が位置している状況を想定している。これらは、能動的に動くオブジェクト、またはオブジェクトが出てくる可能性があるエリアであるため、運転手はこれら3つのオブジェクト、エリアを視認すべきと考えられる。よってシステムは、学習者に対しこれらのオブジェクト、エリアを認知できるような視線誘導を行い、運転体験の際に認知できていなかった部分のフィードバックを行う。このとき見るべき箇所に近いほど色を濃く描画する。

最後に、もう一度同じシチュエーションでの運転シナリオを自動車運転シミュレータで体験してもらい、事故回避ができるかどうかの確認を行い、視線誘導による学習支援の効果を確認する。

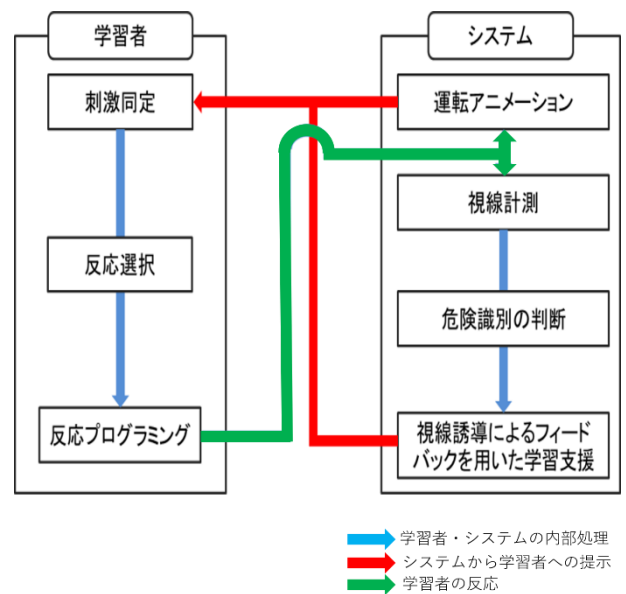


図5. システム概要

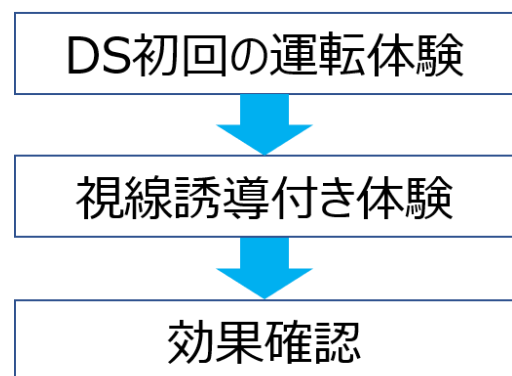


図6. 想定学習シナリオ



図7 視線誘導イメージ

7. まとめ

本稿では自動車運転シミュレータを用いて運転手が注意すべき対象や領域に気づかせるために、アイトラッカーを用いた視線誘導機能を導入した支援環境の機能設計を行った。本環境では、視線誘導を用いて学習者に対して自動車、歩行者等の動体オブジェクト、交差点、カーブミラー等の非動体エリアへ注意を向けさせる学習支援を行うことにより、認知及び認識力の向上や危険回避の知識または意識の改善が期待できる。

今後の課題として視線の滞留時間や視野角なども物体認識の評価軸として用いることができると考えられるため、それらを考慮した識別手法の改善方法が挙げられる。視線誘導における誘導の表現手法や優先性、順序性などを考慮した学習支援戦略の構成手法も検討する必要がある。また、音声などの視覚以外の知覚の導入も考慮したい。

参考文献

(1) 内閣府 令和元年交通安全白書(全文) 交通事故の状況及び交通安全施策の現状 特集「交通安全対策の歩み～交通事故のない社会を目指して～」,
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html (2020年10月8日確認)

(2) トヨタ名古屋教育センター: “THE MASTER OF YOUR DRIVING 学科教本 統合版”

(3) 公益財団法人 交通事故総合分析センター: “イタルダ・インフォメーション No.33 人はどんなミスをして交通事故を起こすのか”, (2001)

(4) 公益財団法人 交通事故総合分析センター: “イタルダ・インフォメーション No.73 事故と違反を繰り返すドライバー”, (2008)

(5) 大津展之, 國吉康夫: “人間行動の認識と遂行のための実世界知能情報学”, 東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻, 平成14年度報告書, (2002)

(6) 斎藤 玲, 柏原 昭博, 内藤 弘望, 松浦 健二, 戸井 健夫, 栗田 弦太: “交通事故の疑似体験を適応的に引き起こすための運転シミュレーションのデザイン”, 教育システム情報学会第45回全国大会講演論文集, pp.263-264, (2020)

(7) 山元 翔, 講元 淳, 荻原 昭夫: “ARを用いたカーブの運転スキル学習支援システム的设计・開発”, 人工知能学会全国大会 (2016)

(8) 鈴木 貴之, 堀口 由貴男, 榎木 哲夫, 中西 弘明, 中村 哲也, 宗重 倫典, 福田 啓介: “構造化モデリング法を用いた列車運転士の注視行動分析”, ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol.29, pp.546-551, (2013)

(9) 櫻井保志, Christos Faloutsos, 山室雅司: “ダイナミックタイムワーピング処理に基づくストリーム処理”, 電気情報通信学会 論文誌.D, 情報・システム, J92-D(3), pp.338-350, (2009)

(10) 岡部 臨, 浦本 明, 尾崎 知伸: “多次元軌跡データに対する類似部分軌跡検索の高速化”, 人工知能学会 第18回インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング研究会, SIG-AM-18-02, pp.7-12, (2018)

(11) 牧下 寛, 松永勝也: “自動車運転中の突然の危険に対する制動反応の時間”, 人間工学, Vol.38, No6, pp.324-332, (2002)