

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12082

研究課題名（和文）日中と夕暮れとの視行動の相違とその判断・印象への影響に関する研究

研究課題名（英文）A study on differences in visual behavior between daytime and twilight and their effects on judgement and impression

研究代表者

野本 弘平（Nomoto, Kohei）

山形大学・大学院理工学研究科・客員教授

研究者番号：60456267

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：薄暮には、歩行者と車両との交通事故が多発する。本研究は、この問題を歩行者の側から、薄暮特有の視行動に注目して検討したものである。

実験参加者が視線計測装置を装着して、日中、薄暮、夜間に歩行する実験を行った。視線は、空間座標上の数値データに変換して定量的に解析した。また、歩行者と車両との距離を視線計測データから推定する方法を開発した。さらに、ETTCという指標を定義して危険回避までの時間的余裕を評価した。

解析の結果、薄暮は日中や夜間に比較して、視行動は見つめる傾向が増し、探索空間が左右方向で狭まり、そして対向車両に気づく時点での危険回避までの時間的余裕が少なくなることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

薄暮には歩行者と車両との事故が多発する。従来は運転者の側からの研究が多かったこの問題を、本研究は歩行者の側から扱ったものである。また、薄暮の視行動は日中と夜間との中間的なものではない特有のものであり、これが歩行者の側の問題になっている、という仮説に基づいている。

本研究の解析は、以下の特徴を持つ：(1)視線計測装置の出力を数値データとして定量的に解析した。(2)歩行者と車両との距離を、視線計測データから推定する方法を開発して用いた。(3)ETTCという指標を定義して危険回避までの時間的余裕を評価した。

研究の結果明らかになった事実は、無意識の視行動であり、交通事故の削減に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：Traffic accidents between pedestrians and vehicles occur frequently during twilight. This study examined this issue from pedestrian's perspective, focusing on visual behavior specific to twilight.

Experiments were conducted in which participants wore an eye tracker and walked during daytime, twilight, and nighttime. Gaze point was converted into numerical data in spatial coordinates and analyzed quantitatively. We also developed a method for estimating the distance between a pedestrian and a vehicle from eye tracking data. Furthermore, we defined an index called ETTC to evaluate the time margin to avoid danger.

The analysis revealed that, compared to daytime and nighttime, during twilight, visual behavior is more likely to involve staring, the search space narrows in the left and right directions, and there was less time available to avoid danger when pedestrians notice oncoming vehicles.

研究分野：感性情報学関連

キーワード：視線計測 薄暮 歩行者 交通事故 Time to Collision 視行動

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

警察庁の分析によると薄暮の時間帯には交通事故が増加し、その内容は歩行者対車両の事故の比率が高い。このことは、世界的にも報告されている。一方、日中には普通に見えていた景色が、薄暮になると印象的に感じることは、私たちがしばしば経験することである。これらの現象は同じ原因に依っており、それは薄暮独特の視行動である、という仮説に基づき、本研究を開始した。また、薄暮における歩行者と車両との交通事故を扱った研究は、これまで運転者側からのものに偏っており、これを歩行者の側から扱う研究の必要性が意識された。

### 2. 研究の目的

薄暮の視行動は、日中と夜間の視行動の中間的なものではなく、独特の特性を有するものであること予想した。この特性を、実験データに基づき、客観的かつ定量的に明らかにすることが、本研究の第一の目的である。そして、その特性に基づき、薄暮に歩行者と車両との交通事故が増加する原因を、歩行者の側から考察することが、第二の目的である。

### 3. 研究の方法

実験参加者が視線計測装置を装着して、日中、薄暮、夜間に実環境で歩行する実験を行った。その歩行ルートは、歩行者や車両が多数行き交う道路で、実験参加者は車両とすれ違う側の歩道を歩行した。また、薄暮の時間帯に正面から太陽に照らされないように、北向きの進行方向とした。

視線計測装置の計測結果の解析は、視野画像の目視確認だけでなく、数値データとして出力される視野画像上の直交座標系での視線方向情報を用いた。まず、これを、空間座標での方位角と仰角に変換し、それが一定範囲内に一定時間停留した状態を注視として抽出した。そして、注視点の空間座標上での分布や注視時間の分布を求め、統計的に比較した。

一方、視距離(目の位置と注視点の位置との距離)を視線計測装置の出力データから推定する方法を開発し、これを利用して、車両を見た時点での歩行者と車両との間の距離を求めた。さらに、ETTC (Extended Time to Collision) という危険回避までの時間的余裕を評価する指標を定義して、接近車両に気づくタイミングを解析した。

### 4. 研究成果

#### (1) 日中および薄暮における注視の時間分布と空間分布の比較

視線計測装置を装着した実験参加者が、日中と薄暮に、車両とすれ違う側の歩道を北に向かって歩行する実験を行った。この歩道は車道との間に分離帯がなく、幅が狭いため歩行者のすぐ横を車両が対向方向に行き過ぎる。

視線計測装置からサンプリング時刻ごとに出力される視線データ(サンプリング時刻、視野座標系  $x, y$  座標、等)から、視線が一定範囲に留まり視覚が働く注視を抽出し、各注視の発生時刻、注視時間(1回の注視の持続時間)、注視点の空間座標系での方位角、仰角座標を、それぞれの時系列として算出した。

そして、注視時間の分布を調べたところ、薄暮は日中に比較して短い注視時間の注視が少なく、長い注視時間の注視が多いことが分かった。これは、薄暮になると1回あたりの注視が長くなり、その分注視の回数が減少することを意味する。また、短い注視と長い注視の空間分布を比較したところ、日中、薄暮ともに、長い注視は短い注視に比較して左右に狭い分布になっていることが明らかになった。つまり、薄暮の注視は、注視時間が長く、回数が少なく、左右の空間分布が狭い。このことは、探索的視行動が薄暮には減少することを意味する。

#### (2) 歩行者と車両との距離を視線計測装置の出力から推定する方法の開発

上記(1)の研究結果は、薄暮には歩行者が車両を発見するタイミングが遅れることを、予想させる。このことを実験により確認するためには、歩行者と車両との距離を実験データから算出する方法が必要になる。

この方法としてまず考えられることは、距離検出あるいは位置検出のための計測器を、視線計測装置と並行して用いることである。しかし、これらの計測器を、俊敏な視線移動を記録する視線計測装置と正確に同期させることは非現実的であった。

そこで、視線計測装置の出力からこの距離を推定する方法を考案し、開発した。この方法は、視線計測装置を付けている人が車両を見た時の車両までの距離を、地図情報との照合により、視距離として推定する方法である。注視対象(例えば車両)の位置は、視線計測装置の視野画像を用いて地図情報に特定できる。したがって、その人の自己位置を求めれば、視距離の算出が可能となる。考案した方法は、注視点およびその他の2つの参照点を、視野画像上と地図上で対応させ、それらの幾何学的制約を意味する方程式を解くことにより、自己位置を推定するものである。実験の結果、開発したこの方法は、この研究の目的を達成するために必要な精度で、歩行者と車両との距離を推定できることが確認された。

### (3) 日中、薄暮および夜間における歩行者の視行動の比較

上記(1)の研究により、もうひとつ予想されたことは、薄暮の視行動は日中と異なるだけでなく、夜間とも異なり、しかも日中と夜間との中間的なものではない独特の特性を持つものである、ということである。このことを明らかにするために、視線計測装置を装着した実験参加者が、日中と薄暮と夜間に歩行する実験を行った。この実験の結果、薄暮の注視時間は、日中だけでなく夜間と比較しても、短い注視時間の注視が少なく、長い注視時間の注視が多いことが明らかになった。さらに、薄暮の注視点の空間分布も、日中だけでなく、夜間と比較しても、左右方向で狭くなっていることが明らかになった。

さらに、上記(2)で開発した視距離を推定する方法を用いて、視距離の分布を調べたところ、薄暮の視距離は日中や夜間に比較して短く、遠くよりも近いところを見る傾向が強いことが分かった。

### (4) 危険回避のための時間的余裕を評価する指標 ETTC の定義

上記予測、すなわち薄暮には歩行者が車両を発見するタイミングが遅れるところを、実験により明らかにしようとする、(2)の歩行者と車両との距離の推定法のほかにもう一つ足りないものがある。それは、そのタイミングが十分であるか否かを定量的に評価するための指標である。

歩行者と車両とは別々のコースを移動しており、正常であれば両者は接触しない。しかし、事故は車両がこのコースから逸脱して両者が接触する場合に生ずる。このため、歩行者は接近してくる車両に注意を払っておく必要があり、その注意の度合いは、起こり得る接触までの時間的余裕の減少に応じて高まると考えられる。そこで、歩行者と車両との相対距離とそれらの相対速度（負の値）を 2 次元空間上で扱って、危険回避のための時間的余裕を評価する指標が必要となる。この指標は、1 次元上で衝突余裕時間として定義されている TTC (Time to Collision) という自動運転の開発などで利用されている指標を、2 次元問題に拡張することにより、ETTC (Extended Time to Collision) として定義した。

### (5) 日中、薄暮および夜間における歩行者が車両に気づくタイミングの比較

(2)に述べた歩行者と車両との距離を視線計測装置の出力から推定する方法と、(4)に述べた危険回避のための時間的余裕を評価する指標を用いて、日中、薄暮および夜間に、歩行者が車両に気づくタイミングの比較を行った。横軸に歩行者と車両との相対距離、縦軸にそれらの相対速度を配したグラフ上で、ETTC 一定の軌跡は原点を通る直線を描く。そして、危険回避のための時間的余裕が減少するに従って、この ETTC 一定の直線の傾きは大きくなる。そのグラフ上に、次々にすれ違う対向車両を歩行者が初めて見た時点の値を点としてプロットすると、散布図が構成される。この散布図を、日中、薄暮および夜間で比較すると、薄暮の点が日中や夜間の点よりも高 ETTC 領域に分布していることが確認された。

### (6) 日中、薄暮および夜間の定義の再定義とそのための計算処理

(5)の結果は予想通りのものであったが、予測していたほどの高い差異ではなかった。その原因は、日中、薄暮および夜間の定義が人間の感覚と必ずしも一致せず、ヒトにとっての日中、薄暮および夜間となっていないことであると考えられた。

日本の警察庁をはじめ世界の多くの機関が採用している薄暮の定義は、日没前後 1 時間というものであり、この研究もこれに従っていた。しかし実際に実験をしてみると、晴れた日には日没近くまで日中と同じくらい明るく、曇った日には日没を過ぎるとすぐに夜間と同じくらい暗くなってしまうことが度々あった。ヒトの視行動は、この実際の明るさに影響されており、前述の時間による定義には従わないはずである。このことが問題であると考えられた。このため、人間の感覚に合致した日中、薄暮および夜間の再定義を行い、改めて解析を行う事とした。

この再定義の基準としてまず検討したことは、実験時に計測していた照度である。しかしこれは、位置により大きく変化し、時間的にも変動が激しく、実験中の全区間と全時間の代表値とはしにくい。しかも、実験参加者の位置の照度は、その実験参加者が見ている空間の明るさとは一般に異なるものである。

最終的に採用した方法は、視線計測装置の記録として得られた視野画像を元データとして、実験参加者が見ている空間の明るさを算出して実験の全区間で集計し、それらの値に応じて日中、薄暮および夜間を再定義する方法である。そして、その再定義により、既に行った実験によるデータを改めて分類し、集計、解析をやり直すこととした。

### (7) 現状と今後

(6)で述べた再定義の方法は、視野画像を構成する各画素の表色系の値から画素の明るさを定義し、その全画素を集計して各画面の明るさを求め、その全画面の明るさを集計して実験を行った時間全体の明るさとするというものである。この計算は、膨大な計算を要した。さらに、(2)に述べた歩行者と車両との距離を視線計測装置の出力から推定する方法も、視野画像と地図情報との対応付けは人手による必要があるため、これを全観測データに対して実施するために、多くの手間と時間を要した。

これらの作業のために、実験データの解析は、当初の予定をはるかに上回った。

そしてその研究を完成するために、本研究は実施期間を1年延長する計画であった。そのために必要となる研究予算も残っていた。しかし、これを断念しなければならなくなった。

大学の事務部門には、何度も実施延長の手続きはまだしなくともよいのか確認をしていたが、ある日になって突然、既に期限が過ぎているから研究を終了するようにと、事務部門から通達があった。他の人には連絡をしたが、私への連絡が抜けていたとのことであった。このことに抗議し、交渉をしたが、自分で確認しなかった研究者の方が悪いとのこと、それ以上議論を続けてもらえず、結局認められなかった。これまでは必ず連絡が来て、それに応じて作業をしていたので、自分には思いもつかないことであった。

誠に無念であるが、個人としてはどうしようもなかった。

今後は別の予算を流用して、続けられるだけは研究を続けるつもりである。

この「研究成果」は、現在論文として投稿中の内容に関することは、記載していない。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 RAO Jinyan, NOMOTO Kohei	4. 巻 35
2. 論文標題 Comparison Between Daytime, Twilight and Nighttime on Detection of Approaching Vehicles by Pedestrians	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 598 ~ 602
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3156/jssoft.35.1_598	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 饒晋炎, 野本弘平
2. 発表標題 日中, 薄暮, 夜間における歩行者の対向車両発見の比較
3. 学会等名 第38回ファジィシステムシンポジウム講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Nomoto, Tomoki Oshima
2. 発表標題 Viewing Distance Estimation in Eye Tracking Based on Self-Point Estimation on Map
3. 学会等名 SCIS & ISIS 2022 (2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陳逸凡, 野本弘平
2. 発表標題 日中, 薄暮, 夜間に歩行者が接近車両に気づくタイミング
3. 学会等名 令和4年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会講演論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲月 慎, 野本弘平
2. 発表標題 日中と薄暮との注視時間, 分布, 及び密度の比較
3. 学会等名 第37回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島友輝, 野本弘平
2. 発表標題 視線計測装置を用いた視距離推定のためのインタフェース開発
3. 学会等名 第37回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲月 慎, 軽部暢之, ジョウシンエン, 野本弘平
2. 発表標題 日中, 薄暮, 夜間における歩行者の対向車両に対する状況認識
3. 学会等名 令和3年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野本弘平
2. 発表標題 歩行者の視覚特性の時刻による違い - 接近車両に気づくタイミング -
3. 学会等名 令和5年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会講演論文集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 稲月 禎, 野本 弘平
2. 発表標題 日中と薄暮における視行動の静的・動的解析
3. 学会等名 令和2年度日本知能情報フアジィ学会東北支部研究会講演論文集
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関