

自転車事故多発者の走行特性と潜在的危険状況の特定

Identification of Dangerous Situations via Raw data from Driving Simulator

栃木祐太郎 荒井幸代
Yutaro Tochigi Sachio Arai

千葉大学大学院工学研究科都市環境システムコース
Department of Urban Environment Systems, Chiba University

In urban areas, bicycle accidents occupies over 30% in traffic accidents. Therefore, we must identify cause of the accident to decrease accidents. In this study, we focus on method using the traveling data. This method is to analyze trajectory of traveling up to accident. It is possible to take measures to control the bicycle itself, unlike measures using statistical data on only accident point. We quantify the probability of each state can lead to accidents from the statistical information such as the transition frequency of accidents. By specifying the attributes of risk of accidents from the relationship between the attribute values with the respective probability and state, it is possible to provide useful information to avoid accidents. In a previous paper, we found a mistake on the setting, therefore, in this paper, we change the attributes, and show better result.

1. はじめに

自転車事故の件数は、平成 26 年度で交通事故全体の 2 割弱に相当する 12 万件、特に都市部では 3 割を超える高い割合を占めている [1]。路地から大通りへの交差点、路上駐車脇の通り抜けなど、交通法規の無知による比較的想定できる危険箇所以外にも、自動車よりも走行可能な場所が多いことから、想定できない危険が潜在していると思われる。

操作側の人間の不注意を含む潜在的な危険に関しては、従来アンケート [2] などに基づいての意識調査や、シミュレータを用いた仮想体験による教育 [3] が一般的である。自転車シミュレータ [3] はいくつかの危険なシーンを映像化し、被験者は仮想空間の中で実際の自転車进行操作することによって安全教育を実践してきた。また、本シミュレータでは、被験者の走行データを収集することもできるため、筆者らはこれらのデータに基づいて事故を起こした被験者の走行データと、そうでない走行データから、「潜在的に危険」な箇所や状況を抽出することを試みている [4]。これらのデータは、事故が起きた道路のタイプ（路地、交差点等）や、運転者の操作（速度、ブレーキ操作、ハンドル舵角等）が集約されており、統計的手法によって潜在的な状況を含めた事故が起きる状況を特定することが期待できる。本研究では、この特定方法を提案し、抽出された危険箇所を明示することによって自転車走行への注意喚起、教育、さらには、カーブミラーや看板設置の根拠を提供することをめざしている。

具体的には、事故に至る走行状態の時系列データから状態遷移図を生成し、各状態の事故の起こりやすさの指標となる危険確率を求める。自転車に関する属性の事故への影響を定量化し、事故原因を特定する。文献 [4] との変更点としては、属性の追加と削除を行い、走行データの危険、安全の分類法を修正した。

以下、2 章では自転車走行データ収集方法について説明し、3 章では収集したデータを統計的に分類するための状態遷移図の作成法を説明し、4 章では統計的分析の方法の詳細について述べ、5 章には期待される結果を説明し、最後に総括する。

2. 自転車シミュレータを用いたデータ収集

本章では、実験に用いた自転車シミュレータの説明と、実験方法や実験結果、獲得したデータの種類について説明する。

2.1 自転車シミュレータ

自転車走行データの収集は、本田技研工業 (株) の教育用自転車シミュレータ [3] を用いる。自転車シミュレータは被験者

連絡先: 栃木祐太郎, 千葉大学工学研究科, 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1 - 33, 043-251-1111(代表), aaaa3421@chiba-u.jp

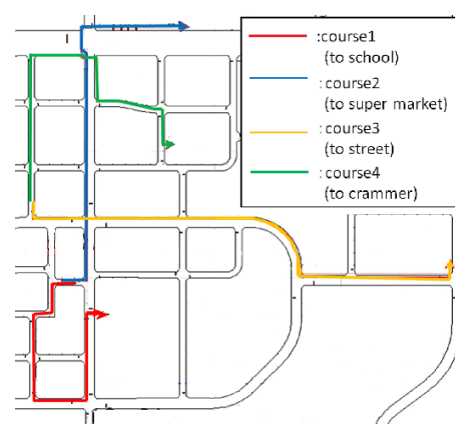


図 1: 自転車シミュレータ実験のコース

の操作を反映する自転車と、周囲の状況を確認するために前後左右に設置した 4 つのモニタによって構成されている。

シミュレータでは日常的に経験する商店街や通学路などを再現した映像を見ながら被験者は自転車を操作し、各時刻、状況におけるスピード、ブレーキ、ハンドル角などのデータを収集することができる。シミュレータの走行コースは、車の往来や歩行者の存在が異なる 2 つのレベル、「やさしい」と「むずかしい」、に分かれており、それぞれ 4 つのコースが設定されている。全コースの概要を図 1 に示す。

2.2 実験方法

被験者は 10 代から 30 代の男女 24 人である。はじめに、被験者にシミュレータでの走行に慣れてもらうため、4 つのコースのうち、「学校へ行くコース」(コース 1) の「やさしい」レベルを用いて 2 回の走行練習を行う。練習後、4 つのコースの「むずかしい」レベルを走行してもらう。1 つのコースを終了するごとに走行軌跡を再生し被験者に見せて、被験者が各場面で認識していた対象物、認識していなかった対象物に対する聞き取りと、実際にとった運転操作の理由の聞き取りを行う。また、各時刻の被験者の状況を表すデータとして、シミュレータの映像と被験者の操作を同時に録画する。

2.3 被験者による実験結果

本実験では 24 人中 22 人が事故に遭遇し、のべ 56 件の事故が発生している。実験中に発生した事故は、自動車や歩行者との接触事故が多く、壁等に衝突する対物事故は 3 件であった。また、事故が発生した場所は 20 箇所あった。

表 1: 走行属性の設定

属性名	属性	属性値
v	速度	$\{0 \sim 5\text{km/h}, \dots, 20\text{km/h}\}$ 5km/h ごとに 9 段階
Δv	加速度	$\{-0.1 \sim 0.01\}$ 5 段階
h	ハンドル角	$\{\text{left} \sim \text{right}\}$ 5 段階
θ	方向	進行方向に対して 3 段階
day	昼夜	$\{\text{day}, \text{night}\}$
obstacle	障害物	$\{\text{nil}, \text{walker}, \text{car}, \text{other}\}$
signal	信号色	$\{\text{green}, \text{red}, \text{nil}\}$

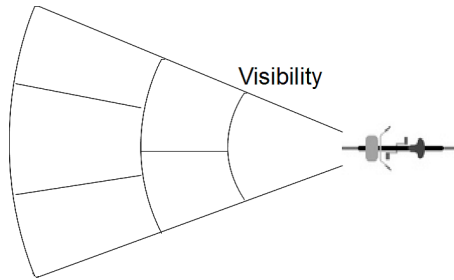


図 2: obstacle の分割

2.4 収集した走行データ

走行データは、シミュレータによって記録される時系列データと被験者の行動を記録した映像データから成る。以下にそれぞれを説明する。

■時系列データ：時系列データは、0.03 秒ごとに被験者の時刻 t 、座標 (X, Y) 、舵角 h 、前後ブレーキ、速度 v がそれぞれ詳細に記録されている。

■映像データ：映像データは、被験者ごとに実験開始から終了までのメインモニターと操作中の被験者の映像を撮影したデータである。このデータから被験者の各操作に対応した昼夜、障害物、信号などの周囲の状況に関する情報を入手する。

3. 状態遷移図の作成

2 章で収集した走行データから状態遷移図の作成方法についての説明を行う。状態遷移図の作成の前処理としてメッシュデータの作成、状態を定義し離散化するというデータの加工と、安全走行者、危険走行者、事故頻出区間ごとのデータの抽出を行う。

3.1 データの加工

■メッシュデータの作成：シミュレータ実験によって得られた時系列データをメッシュデータへ変換する。本研究では、シミュレータ内の地図を座標を基に 0.2m 四方に分割し 0.2m メッシュデータを作成する。

■状態による離散化：表 1 に示す 7 個の属性を用いて状態を定義する。各状態 s を属性ベクトル $\mathbf{x}=(v, \Delta v, h, \theta, \text{day}, \text{obstacle}, \text{signal})$ で表す。ここで v は速度、 Δv は加速度、 h はハンドル角、 θ を進行方向に対する向き、day は昼か夜かを表す。このうち、走行者に依存する属性である $v, \Delta v, h, \theta$ の 4 つを時系列データから離散化し、day, obstacle, signal の 3 つを映像データを用いて離散化する。

obstacle, signal の抽出法は被験者の認識（視界）として実験者が映像データから推定する。obstacle は自動車、歩行者、ゴミ箱や街路樹等の障害物を示す。障害物の遠近を表すために、被験者の視野を離散化したものを図 2 に示す。また、signal も同様に実験者が信号を確認した瞬間から被験者も信号を認識したものとす。信号は、存在のほか、赤、青の色に関する情報も持つ。

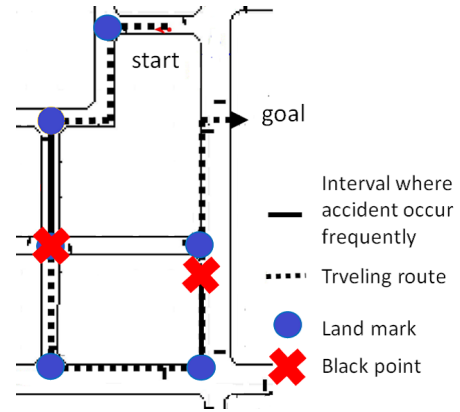


図 3: 事故発生箇所と事故頻出区間

3.2 データ抽出

■安全走行者と危険走行者：自転車シミュレータ実験を通して事故を起こした回数が 3 回以下の被験者を「安全走行者」と呼ぶ。一方、事故を起こした回数が 4 回以上の被験者を「危険走行者」と呼ぶ。全被験者 24 人のうち安全走行者は 16 人、危険走行者は 8 人であった。安全走行者のうち無事故だった被験者は 2 人、危険走行者のうち事故回数が最大の被験者は 9 回の事故を起こした。

収集した走行データは安全走行者、危険走行者ごとに分析を行う。

■事故頻出区間：ランドマークの集合を $\mathcal{L} = \{l_j | 1 \leq j \leq 29, j \in \mathbf{Z}\}$ と定義する。ランドマークとは、交差点と T 字路のことを指す。また、事故発生箇所の集合を $\mathcal{A} = \{a_i | 1 \leq i \leq 20, i \in \mathbf{Z}\}$ と定義する。また、事故発生箇所 a_i とその直前のランドマーク l_j の区間のことを事故頻出区間とする。

図 3 を用いて事故頻出区間の説明を行う。図 3 はコース 1 の拡大図である。破線が走行コース、×印が事故発生箇所 a_i 、●印がランドマーク l_j を示す。×印と直前の●印の間の実線区間が事故頻出区間となる。

3.3 状態遷移図

走行データから各グリッドに対して一つの状態を与え、グリッドを移動する時に次の状態に移す。この状態遷移について状態 s_i から s_j へ遷移した回数を s_{ij} とすると、状態遷移図を状態遷移行列式 (1) によって表現する。

$$\begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1j} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ s_{i1} & \cdots & s_{ij} & \cdots & s_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ s_{n1} & \cdots & s_{nj} & \cdots & s_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

作成した状態遷移図から各状態 s_i の存在確率 $p(s_i)$ 、遷移確率 $p(s_{ij})$ を式 (2)、式 (3) によって求める。存在確率は各状態の危険確率 $p(\text{danger}|s_i)$ を求める際に使用する。

$$p(s_i) = \frac{\sum_j s_{ij}}{\sum_{i,j} s_{ij}} \quad (2)$$

$$p(s_{ij}) = \frac{s_{ij}}{\sum_j s_{ij}} \quad (3)$$

状態遷移図を危険走行者、安全走行者ごとに作成し、事故頻出区間内の状態存在確率をそれぞれ作成する。状態存在確率は事象の統計的分析に使用する。

4. 統計的分析

3章で作成した状態遷移図から走行特性と危険状況を見つけるための統計的分析を行う。統計的分析は三つの段階に分け、一つ目は、状態遷移図から各状態の危険確率を定義することである。二つ目は、危険確率に対する各属性の影響力を数量化を用いて調べ、三つめは、危険に影響する属性を用いて走行特性と危険状況特定する方法を説明する。

4.1 危険確率の算出

危険走行者と安全走行者の二つの走行から生成した状態遷移図を用い、 $p(s_i|danger)$, $p(s_i|safety)$ を算出する。危険走行者が状態遷移した本数を s_{ij}^d とすると、式 (4) により危険走行者の状態存在確率 $p(s_i|danger)$ を求める。安全走行者の状態存在確率 $p(s_i|safety)$ も同様に求める。

$$p(s_i|danger) = \frac{\sum_j s_{ij}^d}{\sum_{i,j} s_{ij}^d} \quad (4)$$

存在確率からベイズの定理式 (5) を用いて、各状態 s_i の危険確率 $p(danger|s_i)$ を算出する。この時、 $p(s_i) = p(s_i, danger) + p(s_i, safety)$ とし、危険、安全に分類された走行データ数から $p(danger)$, $p(safety)$ を求める。

$$p(danger|s_i) = \frac{p(s_i|danger) \cdot p(danger)}{p(s_i)} \quad (5)$$

4.2 数量化

各属性と事故確率の関係を調べるために、統計的手法の一つである数量化を用いる。重回帰分析では、走行状況を含む離散化された属性に対して適用できないこと、また、連続値である $v, \Delta v, h$ には、適正な値域が存在すると仮定しているため、連続量を扱う重回帰分析ではなく、数量化を採用した。

本研究に適用するにあたり目的関数を事故確率 $p(danger|s_i)$ 、カテゴリ変数を自転車走行の属性ベクトル \mathbf{x} とし、以下の式で表現する。 k は全属性数である。

$$p(danger|s) = \sum_k c_k x_k + c_0 \quad (6)$$

この分析によって得られた属性 x_n の係数 c_n が正の場合、その属性 x_i は、危険確率を上昇させる要因となり、負の場合、減少させる要因となる。この係数をその属性値の危険度とする。

4.3 走行特性と状況の特定

数量化を行った結果得られた各属性の重みは、全ての事故頻出区間に対して算出される。より詳細な結果を得るために、事故頻出区間を三つに分類し、交通インフラ構造ごとの危険な状況を算出する。

具体的には、事故頻出区間を「交差点から右左折」、「交差点から直進」、「直線から直進」の三つに分類し、これら三つの場合における各属性値の重みから走行特性と危険状況を特定する。

5. 結果

以下に今回の提案手法によって、以下に示す三つの要素の特定が期待できる。

- 危険走行者の走行特性

危険走行者の状態遷移図と安全走行者の状態遷移図を作成し、比較することにより、危険走行者の走行特性を特定する。このことにより、対策すべき走行方法をみつけ、対策が可能になる。

- 各属性値の危険度

各属性値に対する係数が算出され、それにより各属性値がどれほど危険に関与するかを検証する。最適な速度や加速度が求め、安全な走行方法を提案できる。

- 潜在的な危険状況

危険状態の存在確率と属性値の危険度の組み合わせから、危険状態の抽出を行い、事故につながる危険状況を特定する。今までに見つからなかった新たな事故原因を特定することで、新たな事故回避方法を提案することができる。

以上の結果を用いて、事故削減につながる知見をまとめる。

6. おわりに

本論文では、事故多発者に注目し、既存の研究で行われてきたアンケートや統計データでは発見できない潜在的な危険状況と走行特性を特定するための方法を示した。具体的には自転車シミュレータを用いて時系列データと映像データを収集し、状態遷移図を作成し、統計的な分析を行うことで、危険状況と走行特性を抽出した。

また、文献 [4] から自転車の新たな属性を追加することで向きや他の交通との距離を導入し、より詳細な場面での特徴的な状態を検出することが期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、株式会社本田技術研究所の多大なご協力を得ています。この場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 警察庁：平成 26 年警察白書, p149, (2014)
- [2] 内閣府政策統括官付交通安全対策担当：平成 22 年度自転車交通の総合的な安全性向上策に関する調査報告書, pp.50-95, (2011)
- [3] 本田技研工業 (株)：自転車シミュレーター, <http://www.honda.co.jp/simulator/bicycle/> (2014. 2. 23 アクセス)
- [4] 栃木祐太郎：自転車走行における危険な状況の推定, 電子情報通信学会, Joint Agent Workshop and Symposium2014, No.50, (2014)