

# 運転スタイル特徴空間及び反応時間を利用した加減速時の運転行動分析

柴田 千里 指導教員：小栗 宏次

## 1 はじめに

昨年の交通事故死者数は 4,117 人で 15 年ぶりに増加し、世界一安全な道路交通を実現するには、これまでの安全技術に加えて新たな安全技術が必要だと考えられる。事故を未然に防ぐために、道路や車といった環境要因に加えて、ドライバの状態に応じて運転を支援するシステムの研究が進められ、一部は実用化される [1]。

ドライバの状態は、脇見、漫然、覚醒度、体調、疲労、飲酒などのような一時的に変化する要因と、一時的ではないドライバ固有の要因に分けることができる。ドライバ固有の要因に関しては、性別、年齢、運転経験年数、事故歴などの特性の他、運転スキル、事故や違反につながりやすい行動傾向などのドライバの内面の特性が挙げられる。これらの特性をドライバの運転から客観的に評価し、事前にシステムが把握することで、ドライバ個人に合わせた支援が可能となる。本研究では、質問紙調査により得られた運転スタイルを、自転車と先行車の車両挙動から推定することを目的とする。

## 2 本研究で使用する車両挙動指標

本研究では、丸茂ら [2] が定めた先行車減速時の車両挙動指標を用いる。自転車の位置、速度をそれぞれ  $x_f$ ,  $v_f$ 、先行車の位置、速度をそれぞれ  $x_p$ ,  $v_p$  とする。

TTC(Time-To-Collision：衝突余裕時間) は現在の相対速度  $v_f - v_p$  が維持されると仮定して、自転車が先行車に衝突するまでの時間  $TTC$  を示す指標であり、(1) 式で表現される。

$$TTC = -\frac{x_f - x_p}{v_f - v_p} \quad (1)$$

THW(Time-Head Way：車間時間) は現在の自転車速度  $v_f$  で現在の先行車位置に到達する時間  $THW$  を示す指標であり、(2) 式で表現される。

$$THW = -\frac{x_f - x_p}{v_f} \quad (2)$$

## 3 データ計測

安全運転自己診断 SAS1015 で測定される運転スタイルの度合いとそのドライバが運転する車両挙動との関係を、DS を用いたデータ計測により調査することを目的とし、データ計測を行った。24 名 (男性 18 名、女性 6 名、 $23.0 \pm 2.7$  歳) の被験者に対し、図 1 に示すような実車 (トヨタ自動車「AQUA」) 型の DS を用いて車両操作情報を取得した。データ計測は被験者ごとに 3 日間行い、1 日につき高速道路において先行車を追従する運転タスクを 10 分間行った。また、各被験者は安全運転自己診断を回答した。

被験者に対して片側二車線の第一車線を走行し、車線変更は



図 1: ドライビングシミュレータ 図 2: 運転席から見た模擬視界

行わないように乗車前に指示した。先行車は図 3 に示すように、60~100 [km/h] の速度に対してランダムなタイミングで様々な加減速度を与えた。なお、計測する日ごとに実験用シナリオ (先行車の速度変化のタイミング) は異なるように設定し、使用する実験用シナリオの順番も被験者ごとに異なるように設定した。図 3 の横軸は先行車の走行距離 [km]、縦軸は先行車の速度 [km/h]、図中に書き込まれている青吹き出しが加速度、赤吹き出しが減速度を表している ( $G=9.8 \text{ m/s}^2$ )。

## 4 実験結果

### 4.1 先行車減速時の自転車の車両挙動の変化

先行車減速時における被験者の車両挙動の例を図 4 に示す。図 4 の横軸は先行車が減速し始めた時刻を 0 [s] としたときの時刻 [s]、縦軸は上段のグラフでは黒色が先行車の速度 [km/h]、緑色が自転車の速度 [km/h]、中段のグラフでは青色がアクセル量 [0-100]、赤色がブレーキ量 [0-100]、下段のグラフでは黒色が TTC [s]、緑色が THW [s] を表している。

図 4 から、先行車の減速に対応してドライバの車両操作が行われており、ドライバは先行車の減速に対応して、まずアクセルペダルを放し、ブレーキ操作を行っていることが確認できる。この間の TTC は、まず減少し、ある最小値を経て再度増加していることがわかる。

### 4.2 先行車減速時の車両挙動指標と運転スタイルの度合いとの相関

先行車減速時から 20 秒間の車両挙動に着目し、以下に示す車両挙動指標を抽出し、安全運転自己診断で診断された運転スタイルの度合いと先行車減速時における車両挙動指標との相関係数を算出した。その結果、TTC の最小値 (以下、 $TTC_{\min}$ ) の平均と「慎重さ」の度合いとの相関係数が 0.51 で危険率 5% で有意であった。

「慎重さ」の度合いによる  $TTC_{\min}$  の度数分布の違いを図 5 に

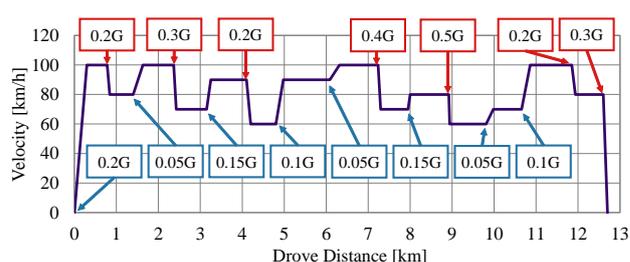


図 3: 先行車の速度・加速度変化の一例

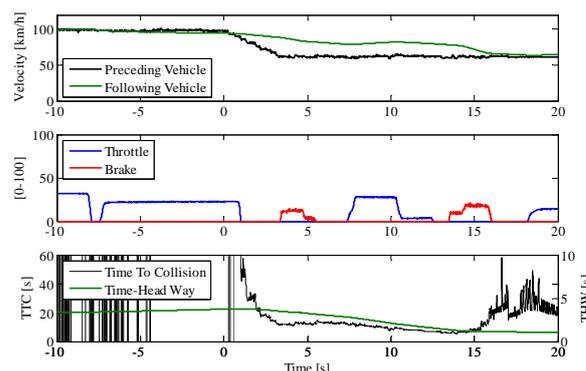
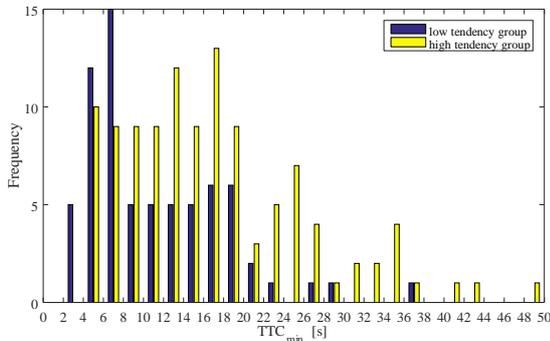


図 4: 先行車減速時における車両挙動の例

図 5: 「慎重さ」の度合いによる  $TTC_{\min}$  の度数分布

示す。図 5 は被験者 24 名を、「慎重さ」が高い群と低い群の 2 群に分け、それぞれの群の被験者の  $TTC_{\min}$  の度数分布を示したものである。ここで、「慎重さ」の高い群は、安全運転自己診断の「慎重さ」に関する質問の中で「はい」と回答した数が 3 以上の被験者 (8 名) とし、「慎重さ」の低い群は、1 以下の被験者 (6 名) とした。図 5 の横軸は、目盛りが  $k$  から  $k+2$  の間は  $k$  [s] 以上  $k+2$  [s] 未満のビンを表している。図 5 より、「慎重さ」の高い群のほうが、低い群よりも  $TTC_{\min}$  が高い側に分布していることが分かる。

以上の結果から、ドライバの「慎重さ」の度合いは、先行車減速時の  $TTC_{\min}$  の分布と関係が見られ、 $TTC_{\min}$  は「慎重さ」の度合いが高いほうが大きい側に分布する傾向があることが確認された。

### 4.3 運転スタイルの度合いの推定モデル

#### 4.3.1 推定手法

先行研究 [3] に基づいて、観測された  $TTC_{\min}$  の値から、ドライバが「慎重さ」の高いドライバであるか否かを、ベイズの定理に基づく式 (4) を用いて推定する。

$$P(B|TTC_{\min}) = \frac{P(B)P(TTC_{\min}|B)}{P(TTC_{\min})} \quad (3)$$

$$P(TTC_{\min}) = P(B)P(TTC_{\min}|B) + (1 - P(B))P(TTC_{\min}|\bar{B}) \quad (4)$$

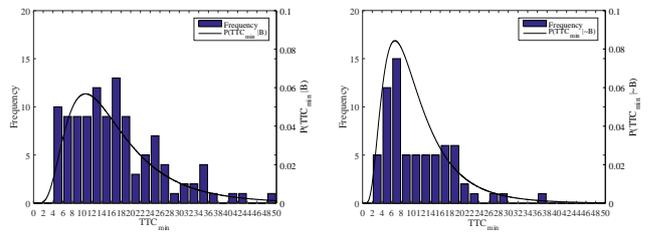
ここで、 $TTC_{\min}$  は  $TTC_{\min}$  の観測値を、 $B$  は「慎重さ」の高いドライバであるという仮説を、 $P(B)$  は「慎重さ」の高いドライバである確率を示す。 $TTC_{\min}$  を観測することにより、「慎重さ」の高いドライバである確率  $P(B)$  は、式 (4) により、事後確率  $P(B|TTC_{\min})$  に更新される。以後、 $TTC_{\min}$  を観測する毎に、先の事後確率  $P(B|TTC_{\min})$  を事前確率  $P(B)$  とし、式 (4) を繰り返し適応することにより、「慎重さ」の高いドライバである確率を推定する。

次に、測定データに基づいて式 (4) に必要となる確率分布  $P(TTC_{\min}|B)$  及び  $P(TTC_{\min}|\bar{B})$  のモデルを作成する。実験で得られた  $TTC_{\min}$  の度数分布について、対数正規分布を候補として表現形式の妥当性を検討した。1 標本コルモゴロフ・スミルノフ検定の結果、 $p < 0.05$  において、実験で得られた  $TTC_{\min}$  の分布は、対数正規分布とは有意差が見られないと判定された。この結果から、 $TTC_{\min}$  の分布を対数正規分布の関数形式で表現することとした。

$$P(TTC_{\min}|B) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_B TTC_{\min}} \exp\left\{-\frac{(\ln TTC_{\min} - \mu_B)^2}{2\sigma_B^2}\right\} \quad (5)$$

$$P(TTC_{\min}|\bar{B}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\bar{B}} TTC_{\min}} \exp\left\{-\frac{(\ln TTC_{\min} - \mu_{\bar{B}})^2}{2\sigma_{\bar{B}}^2}\right\} \quad (6)$$

実験データから求めた  $P(TTC_{\min}|B)$  及び  $P(TTC_{\min}|\bar{B})$  のモデルを図 6 に示す。図 6 において、横軸は  $TTC_{\min}$  を、縦軸



(a) 「慎重さ」の度合いが高い群 (b) 「慎重さ」の度合いが低い群

図 6: 「慎重さ」の度合いの高低を表す確率モデル

は  $P(TTC_{\min}|B)$  及び  $P(TTC_{\min}|\bar{B})$  を示す。なお、図 6(a) の棒グラフは「慎重さ」の高い群の度数分布を、図 6(b) の棒グラフは低い群の度数分布を示している。

#### 4.3.2 評価結果

提案した推定手法を実験で得られた測定データを用いて評価した。評価では、「慎重さ」が 3 以上の被験者 (計 8 名) を高い群、「慎重さ」が 2 未満の被験者 (計 6 名) を低い群とした。推定性能の評価は、leave one out cross validation 法により行った。すなわち、14 名から 1 名を除いたデータを用いて  $TTC_{\min}$  の分布のモデルのパラメータを求め、このモデルと式 (4) を用いて、除いた 1 名のデータをテストすることを、計 14 回繰り返した。なお、事前確率  $P(B)$  は 0.5 とした。

被験者 14 名についての推定結果をまとめると、14 名中 9 名について、「慎重さ」の高いドライバであるか否かを正しく推定できた。14 名中の 4 名については誤った推定結果となり、また 1 名については推定確率が 90% 以上及び 10% 以下となることがなかった。推定誤りの原因としては、 $P(TTC_{\min}|B)$  及び  $P(TTC_{\min}|\bar{B})$  のモデルの誤差、安全運転自己診断による測定誤差などが考えられる。

### 5 おわりに

本研究では、質問紙調査により得られた運転スタイルの度合いとそのドライバの車両挙動との関係を、ドライビングシミュレータを用いたデータ計測により調査した。高速道路での先行車追従走行時での車両挙動データを収集し、抽出した車両挙動指標と運転スタイルの度合いの相関を求めた。すると、先行車減速時における  $TTC_{\min}$  の平均と安全運転自己診断による「慎重さ」の度合いに相関を確認した。この結果に基づき、 $TTC_{\min}$  から、自車ドライバが「慎重さ」の高いドライバであるか否かをベイズの定理を用いて 14 名の DS 実験データについて評価した結果、9 名について正しく推定された。

本研究の結果は、車両挙動からドライバの運転スタイルの度合いを推定できる可能性を示し、質問紙への回答から推定する方法よりも客観的な推定が可能である効果があると考えられる。実車において車両挙動から運転スタイルの度合いを推定することができれば、事故防止のための個人に合わせた運転支援に利用できる可能性があると考えられる。

### 参考文献

- [1] 田中宏明, “知覚運転支援システムによる安全性向上技術”, 自動車技術, Vol.58, No.5, pp.88-94, 2004.
- [2] 丸茂喜高 他, “先行車に対するドライバのリスク認知評価指標”, 自動車技術, Vol.62, No.12, pp.59-64, 2008.
- [3] 紀平和俊 他, “車両挙動からの後続車両ドライバの不注意運転傾向の推定”, 電気学会論文誌 C, Vol.130, No.6, pp.1003-1009, 2010.