

先々行車の情報を用いた予測運転支援システムに関する研究

日大生産工 (院) ○田中 健太 日大生産工
日本工業大学

丸茂 喜高
鈴木 宏典

1. 実験概要

近年、自動車の燃費や安全に関する情報をドライバに呈示することにより運転行動を変化させる様々な運転支援システムの研究・開発が進んでいる。ドライバに燃料消費率を呈示することで、ドライバ自らエコ運転を行うようになることが知られており¹⁾²⁾、多くの自動車に搭載されている。また、先行車との追突リスクを呈示するシステムも検討されており、自発的に安全運転を行うようになることもわかっている³⁾⁴⁾。

今後、ドライバへの情報提示により燃費や安全性をさらに向上させるためには、先行車より前方の情報から、早めの減速など予測した運転の支援を行うことが、重要であると考えられる。燃費は自車の走行状態に依存するが燃費を良くするためには、先行車の挙動など前方の情報から、早めのアクセルオフなどしかるべき操作を予測することが重要である⁵⁾。また、先行車との安全性を考えた場合にも、従来の安全支援システムは先行車と自車の状態に依存するが、先行車の挙動が不安定な場合など、先行車と適切な関係にする運転が必ずしも安全であるとは言えない。そのため、先行車の挙動だけでなく先々行車の挙動など先行車より前方の情報から、しかるべき操作を予測した運転が重要であり⁶⁾、先々行車の急減速をドライバに知らせるシステムも開発されている⁷⁾。

そこで、本研究では先行車だけでなく先々行車との相対関係も考慮した運転評価指標を提案し、これをドライバに呈示することにより、先々行車の挙動から運転操作の予測を支援するシステムについて検討する。

2. 実験概要

本研究では先々行車の挙動を考慮することから、図1に示すような3台の追従状態において検討を行う。番号*i*を先頭から1,2,3と振り、*i*番目車両の速度を v_i とする。また、 l を車間距離とし、添え字の数字は車間距離を定義する2車両の車両番号を表す。先行車に対するドライバの主観的なリスクを表す評価指標のひとつにRP (Risk Perception) がある⁸⁾。RPは、先行車に対する視角の増加率の時間変化と等価な、衝突余裕時間TTC (Time To Collision) の逆数と、自車の絶対速度に依存する安全マージンである、車間時間THW (Time HeadWay) の逆数の線形和を、ドライバが主観的に感じているリスクとして定義する指標である⁹⁾。自車(3番目車両)の先行車(2番目車両)に対するRPを次式に示す。

$$RP = \frac{a}{THW_{23}} + \frac{b}{TTC_{23}} = \left(\frac{v_3}{l_{23}} \right) + \left[\frac{5(v_3 - v_2)}{l_{23}} \right] \quad (1)$$

ここで、TTCとTHWの添え字は、車間距離と同様にそれぞれを定義する2車両の車両番号を表す。また、係数はそれぞれ $a=1, b=5$ である。

この指標をもとに、先々行車(1番目車両)の挙動から予測した運転を評価する指標について検討する。無駄な加速や減速を抑制するためには、先々行車との相対速度が小さくなることが望ましい。そのため、相対速度が影響を及ぼす指標であるTTCを先々行車に対して適用する。しかし、これだけでは先行車と衝突する危険性があるため、潜在的な衝突リスクを意味する先行車とのTHWも使用することで安全を補償する。このとき、先々行車とのTTCを使用するため係数 b を2倍する。これを予測運転評価指標PRE3 (PREdiction by PRE-Preceding vehicle) とし次式に示す。

$$PRE3 = \frac{a}{THW_{23}} + \frac{2b}{TTC_{13}} = \left(\frac{v_3}{l_{23}} \right) + \left[\frac{10(v_3 - v_1)}{l_{13}} \right] \quad (2)$$

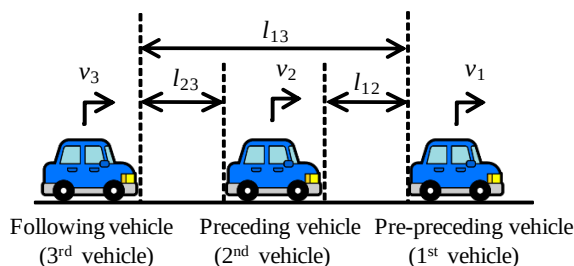


Fig.1 Car following situation

Assistance System to Predict Driving Behavior Using Pre-preceding Vehicle Information
Kenta TANAKA, Yoshitaka MARUMO, Hironori SUZUKI

3. シミュレーションによる評価

提案する PRE3 の特性を明らかにするため、シミュレーションにより従来の指標と比較する。そこで、図 1 に示すような状況において追従特性が異なる二つの条件のシミュレーションを行い、PRE3 と RP の評価結果の比較を行う。

一つ目の状況は、一般的な追従状況を想定し、1 番目車両（先々行車）の速度変化に対して、2 番目車両（先行車）の速度変化に遅れが生じ、さらにそれに対して 3 番目車両（自車）の速度変化が遅れるという状況である。これを「遅れの伝播あり」とする。

二つ目の状況は、先々行車の挙動からしかるべき操作をある程度予測した運転ができていない状況を想定し、1 番目車両の速度変化に対して、2 番目車両の速度変化に遅れは生じるが、3 番目車両は、1 番目車両の速度変化から予測して、2 番目車両と同様の速度変化が生じる状況である。これを「遅れの伝播なし」とする。

車両運動の計算には Mechanical Simulation 社製 CarSim8.1.1 を使用し¹⁰⁾、車両モデルにはアクセル・ブレーキのペダル操作量を入力した。2 番目車両と 3 番目車両の追従アルゴリズムは、追従する車両との目標車間時間による PID 制御を適用した。各ゲインは一般のドライバの運転を模擬し、先々行車の速度に対して無駄な加減速を行い速度差が生じるよう調節した。

図 2 に先々行車の速度パターンを示す。先々行車は 12m/s (43.2km/h) と 10m/s (36km/h) を繰り返すものとする。

図 3 に速度の結果を示す。遅れの伝播なしの場合の方が無駄な加減速が少なく先々行車との速度差が小さい。

次に、PRE3 と RP に着目する。PRE3 は先々行車との TTC を、RP は先行車との TTC をそれぞれ使用する。つまり、評価指標の変動が小さい場合、相対速度が小さく、一定の THW で安定した追従が出来ている状態を意味し、逆に評価指標の変動が大きい場合、THW もしくは相対速度が変化しており不安定な追従状態を意味する。

遅れの伝播の有無による各指標の結果を図 4 に示す。遅れの伝播なしの場合の方が両指標ともに変動が小さい。つまり先々行車の挙動から早めの加減速など予測した運転を行い、PRE3 の変動を小さくすれば、RP の変動も小さくなり、より安全になることを意味している。また、図 4(a)より PRE3 の方が立ち上がりなどの変動が早いことが確認できる。これは、PRE3 は先行車の挙動が変化する前に、先々行車の挙動の変化する前に、しかるべき操作の予測を支援できる可能性が示された。

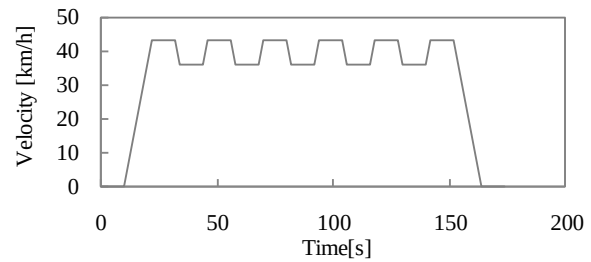


Fig.2 Velocity of pre-preceding vehicle

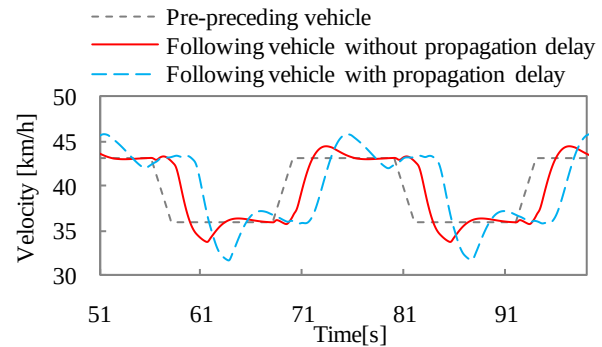
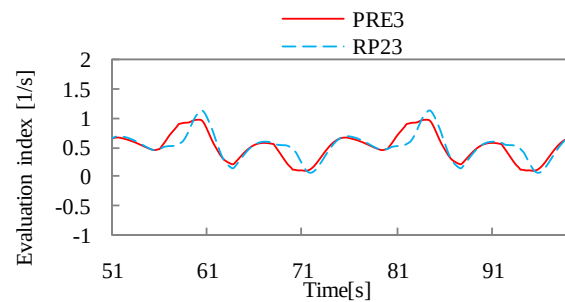
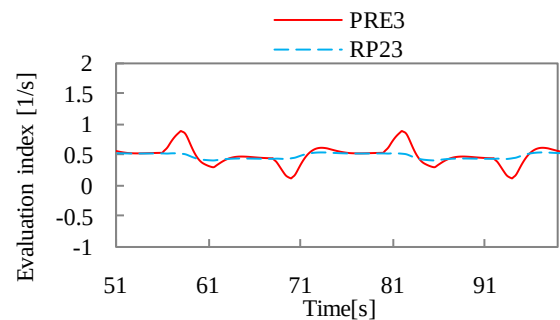


Fig.3 Velocity



(a) With propagation delay



(b) Without propagation delay

Fig.4 Evaluation index

4. シミュレーションによる評価

4.1. 提案する制御系の構築

提案する運転評価指標 PRE3 をドライバに呈示する運転支援システムをドライビングシミュレータ上に構築し、支援なしと支援ありの 2 条件で先行車・先々行車の追従を行い、システムの有効性

について検討する．本研究では，Mechanical Simulation 社製 CarSimDS8.1.1 を使用した¹¹⁾．先々行車の速度パターンと，先行車の追従アルゴリズムは前述の数値シミュレーションと同様のものとした．

図 5 に PRE3 の表示イメージを示す．PRE3 は値によって色が変わり，上下に伸縮するバーで画面の右下に呈示した．バーの色は青，黄，赤の 3 色とし，青の範囲の中心を基準にした．バーは上に伸びるほど衝突リスクが高いことを，下に伸びるほど先行車・先々行車に対し過度に余裕をもっていることを表す．

実験参加者は事前にインフォームドコンセントを得た普通運転免許を持つ男性 7 名（21～25 歳，平均年齢 22.9 歳）である．実験の前に，運転支援システムについて理解してもらい，走行練習を行った．実験は支援あり・支援なしの順に交互に行い，それぞれを 2 走行ずつ計 4 走行行った．支援なしの場合にも先々行車と自車の関係を認識しやすくするために，先々行車は車高の高いバンとし，さらに先行車の位置を自車より左側に配置することとした．

実験参加者には支援の有無にかかわらず，先々行車をよく見て早めの加減速を行うなど予測した運転を行うよう指示をした．そのためには，支援ありの場合はバーが青色になるように，さらに上下の変動も小さくなる運転を，支援なしの場合は支援ありの運転を参考にして運転を行うよう指示をした．また，評価区間は追従が安定する区間とし，先々行車の 2 回目の 12m/s 定速区間の始めから最後の 12m/s 定速区間の終わりまでとした．

4.2. 実験結果

図 6 に，一例として実験参加者 A の第二走行の評価区間における速度を示す．この図より，支援ありの場合の方が無駄な加減速が小さく，さらに小さい遅れで追従出来ていることがわかる．図 7 に，評価区間における先々行車速度差との RMS 誤差の平均を示す．同図は実験参加者 7 名が 2 走行した計 14 走行の結果が示されている．この図より，支援ありの場合の方が先々行車との速度差が 38% 抑制されており，支援システムの有無による有意な差が確認された．これより，システムがあることで，先々行車の挙動の変化をより早く正確に認知でき，無駄な加減速が抑制され速度差が小さくなることがわかった．

次に PRE3 と RP に着目する．評価区間における PRE3 と RP の全 14 走行の平均はそれぞれ，0.50[1/s]，0.48[1/s]程度で支援の有無による差は見られなかった．そこで，PRE3 と RP の変動を比較するために，それぞれの標準偏差に着目する．図 8，

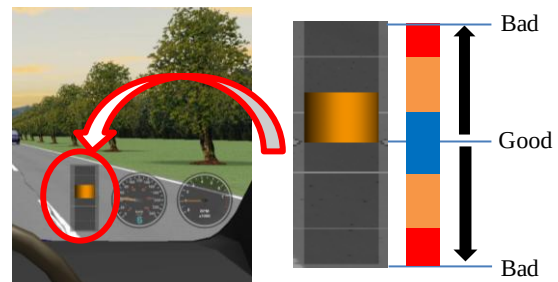


Fig.5 Image of PRE3 indicator

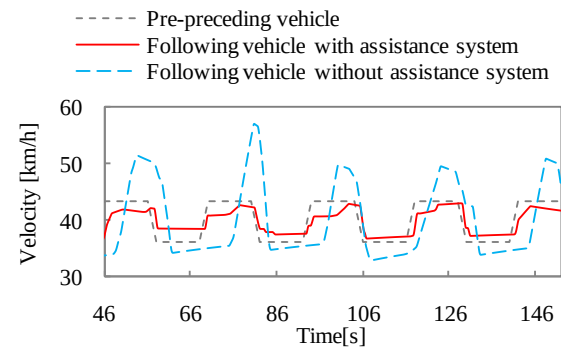


Fig.6 Velocity (Participant A 2nd run)

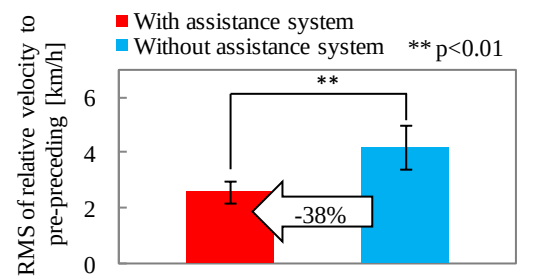


Fig.7 RMS of relative velocity to pre-preceding vehicle

図 9 に評価区間における PRE3 と RP の標準偏差の全 14 走行の平均をそれぞれ示す．支援ありの場合の方が PRE3 は 53%，RP は 34% 小さくなっており，支援システムの有無による有意な差が確認された．

つまり，PRE3 をドライバにリアルタイムに呈示することで PRE3 の変動が小さくなり，適切な速度で追従が行えるようになることで RP の変動も小さくなり追従がより安全になることがわかった．

最後に燃料消費率に着目する．燃料消費率は，燃料消費重量と走行距離およびガソリン密度より算出した．本研究ではガソリン密度は 0.77kg/l とした¹¹⁾．図 10 に評価区間における燃料消費率の全 14 走行の平均を示す．支援ありの場合の方が支援なしの場合と比べ燃料消費率が 24% 向上しており，支援システムの有無による有意な差が確認された．

5. まとめ

本研究では自車・先行車だけでなく先々行車との挙動も考慮した運転評価指標を提案し、シミュレーションより提案する指標の特性について検討した。また、ドライビングシミュレータを用いた追従実験より、提案する指標をリアルタイムにドライバーへ呈示することで、早めの加減速など運転操作の予測を支援するシステムの有効性を検討した。これらの結果より、以下の結論を得た。

- (1) シミュレーションより、しかるべき操作を予測し遅れの伝播がないPRE3の変動が小さい運転を行えば、RPの変動も小さくなり、安全になることがわかった。また、PRE3は先行車の挙動が変化する前に先々行車の挙動の変化により評価結果が変動することが確認された。これより、PRE3をドライバーに呈示することで、しかるべき操作の予測を支援出来る可能性が示された。
- (2) ドライビングシミュレータを用いた追従実験より、PRE3をドライバーに呈示することで、無駄な加減速が抑制された。また、RPの変動も減少しより安全な走行が行えることがわかった。さらに、燃料消費率も向上することが確認された。

今後は、先々行車に対して無駄な加減速が低減することにより、交通流にどのような影響を与えるのかシミュレーションにより検討する予定である。

「参考文献」

- 1) 平岡敏洋ほか，“エコドライブ走行の教示内容および燃料消費量計の呈示が燃料消費率低減効果に与える影響”，ヒューマインタフェース学会論文誌，Vol. 10, No. 1 (2010), pp. 71-80.
- 2) 田ノ上明宏ほか，“燃費情報の視覚呈示が自動車運転に及ぼす影響について”，自動車技術会論文集，Vol. 41, No. 6 (2010), pp. 1421-1426.
- 3) 高田翔太ほか，“衝突回避減速度に基づく前方衝突防止警報システムが運転行動に与える影響”，自動車技術会論文集，Vol. 43, No. 2 (2013), pp. 619-625.
- 4) 北島創ほか，“ドライバーの自発的な安全運転を促すための運転支援方法の検討”，自動車技術会 2011 秋季学術講演会，No. 138-11 (2011), pp. 15-18.
- 5) 小木津武樹ほか，“周辺交通状態を考慮した進行方向速度制御の省エネルギー効果に関する研究”，自動車技術会論文集，Vol. 43, No. 2 (2012), pp. 561-566.
- 6) 鈴木宏典ほか，“ショックウェーブの伝搬に基づく複数車両の追突リスク評価”，自動車技術会論文集，Vol. 42, No. 6 (2011), pp. 1403-1408.
- 7) 日産自動車，Predictive Forward Collision

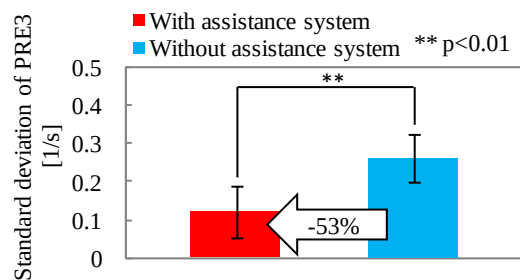


Fig.8 Standard deviation of PRE3

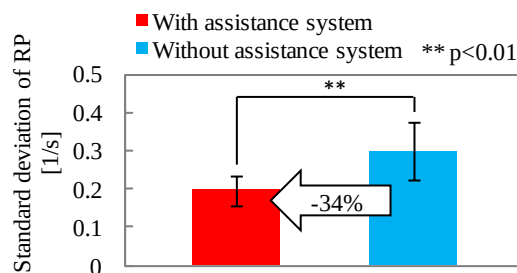


Fig.9 Standard deviation of RP

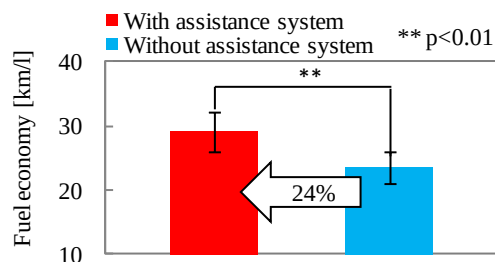


Fig.10 Fuel economy

Warning:

<http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/predictive.html>

- 8) Takayuki KONDOH, et al. "Identification of Visual Cues and Quantification of Drivers' Perception of Proximity Risk to the Lead Vehicle in Car-Following Situations", Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Special issue on Driving Simulation Conference-Asia/Pacific, Vol. 1, No. 2 (2008), pp.170-180.
- 9) 丸茂喜高ほか，“先行車に対するドライバーのリスク認知評価指標”，自動車技術，Vol. 62, No. 12 (2008), pp. 495-498.
- 10) バーチャルメカニクス，CarSim 8.1.1 日本語ドキュメント CD 第 1 版，(2012)
- 11) バーチャルメカニクス，CarSim 8.1.1 Driving Simulator 日本語ドキュメント CD 第 1 版，(2012)