

機関番号：32407

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760151

研究課題名 (和文) 自動車の自動隊列走行に向けた車群安定性向上に関する研究

研究課題名 (英文) Stability and Safety of Vehicle-Platooning for Automated Highway Platoon System

研究代表者

鈴木 宏典 (SUZUKI HIRONORI)

日本工業大学・工学部・講師

研究者番号：20426258

研究成果の概要 (和文)：本研究の最終的な成果は、交通流の衝撃波 (以下、ショックウェーブ) の理論に基づき、追従走行する複数車両の不安定性リスクを評価する方法を確立したことにあ
る。3台の車群走行において2台目と3台目車両の車間距離に重み付けされた相対車速が3台
の車群に伝播するショックウェーブであることが示され、これを車群不安定性リスク評価指標
とした。提案した指標の有用性を検証した結果、提案手法は3台の追従車に作用するショック
ウェーブの安定性、伝搬方向、規模を一元的に評価可能であることが示された。

研究成果の概要 (英文)：This research established a new approach to evaluating instability risk of multiple car-following vehicles based on microscopic shockwave propagation theory. Macroscopic variables such as traffic flow “q” and density “k” are proved to be transformed into the microscopic variables such as inverse of time headway and that of spacing between vehicles. Speed difference weighted by the spacing between vehicles is proved to be the microscopic shockwave speed and used as the instability risk index of three-vehicle car-following. Numerical analysis showed that the proposed risk evaluation model is capable of describing stability, direction and magnitude of the shockwave within one process.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2009年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2010年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| | | | |
| | | | |
| 総計 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：交通機械制御

1. 研究開始当初の背景

車両単体の安全性、すなわち衝突時の安全性や、衝突を防止する予防的な安全性は、技術の飛躍的進歩により高く保たれている。しかし、車両1台のみが高度な安全性を担保できたとしても、その前後の車両の安全性が低ければ多重衝突事故等により車群全体として安全は阻害される可能性がある。したがっ

て、今後の自動車の安全性研究においては、車両単体のみならず車群全体の安全化を図る車両制御を検討する必要がある、として本研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の三項目とした。

(1) 車種別、ドライバ種別の運転行動と車群

安全性との関係を把握すること

(2) 実際の交通流における車群の安全性評価を行い車群が不安全になる要因等を把握すること

(3) 車群の安定化や安全化制御に資するための、車群不安定性リスク指標を構築すること

3. 研究の方法

(1) 一つ目の目的に対しては、まず、車種を乗用車、大型車、見通し車、視界遮蔽車に分類し、ドライバを男性、女性、高齢者に分類した。見通し車とはワンボックスタイプの乗用車、視界遮蔽車とは見通し車の後方を走行する前方の見通しが利かない乗用車とした。次に、上記車種及びドライバを実験参加者としてテストコース上で3台車両の追従走行実験を行い、加速度、速度、車間距離等のデータを取得した。このデータは財団法人日本自動車研究所から提供戴いた。

このデータを基に、ドライバの追従走行を模擬するシミュレーションモデルのパラメータを同定し、その妥当性を検証した後、7台の車群走行をコンピュータシミュレーションで模擬することで車群の危険性を評価することとした。ここで、車両1台の追突に対する危険性を指標化し、この指標の車群内の伝搬を観察することで車群の危険性を評価することとした。この指標は、2台の車両間に仮想的なバネがあると想定し、バネの釣り合いの位置から伸びと縮みにより貯えられるエネルギーで、追突の危険性を定量的に評価しようとするものである。この指標の妥当性は既に検証され、特に極めて危険とも極めて安全とも言えない潜在的な危険性も評価可能であることを実証済みである。

(2) 二つ目の目的に対しては、千葉県我孫子市の国道6号線の歩道橋上で平日朝通勤時間帯の自動車交通流をビデオ計測し、全ての車両の速度、車間距離、車種、運転者属性、車両順序を解析した。実際の幹線道路で観測した車両順序や、初期車間距離、初期速度、ドライバ属性をシミュレーションに入力していると同時に、シミュレーションに用いるドライバモデルのパラメータは、実車走行実験のデータを基にしているため、現実的なシミュレーションが行えることとなる。

車両順序、初期車間距離、初期速度を初期値として入力し、(1)で得たドライバモデルパラメータをモデルに与え、7台の車群追従シミュレーションを行うことにより、実際の道路上での車群安全性を評価した。

(3) 最後の目的に対しては、3台の追従車に作用する衝撃波(ショックウェーブ)を用いて車群不安定性リスクを評価する方法を新たに検討した。まず、自動車交通流のショックウェーブ理論を応用し、3台の追従車に作用するショックウェーブを定式化した。次に、

ショックウェーブの伝搬速度がどのような意味を持つか検討を行い、最後に、(1)で得た車両挙動データを基に、提案した車群不安定性リスク評価指標の妥当性を検証した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

①女性ドライバの車群への混入が増加するにつれて、車群は不安全になる傾向がシミュレーション結果で得られた。これは、女性ドライバは男性ドライバに比べ、減速時の感覚が小さいことが原因と考えられた。

また、前方の視界が遮られるとドライバは減速時の感覚を顕著に大きくする傾向が観察された。危険性を最小限に抑えるために感覚を高くしているのか、または危険な状況になったため結果的に感覚が高くなったのかは明確に区別できなかったが、視界が遮られた自動車が混在する車群は不安全になる傾向がシミュレーションから得られた。

大型車は、車両反応時間を乗用車に比べて短くして減速することにより、車間距離や減速時の感覚を乗用車と同程度に維持していることが観測された。また、車群中の大型車と乗用車がほぼ同じ割合で混入する時、車群は最も危険になる傾向がシミュレーションから得られた。

なお、高齢ドライバについては、身体的能力の限界等もあり、実車実験で信頼度の高い追従挙動データが得られなかったため、一般的なドライバとの比較には至らなかった。

②実際の日本国内幹線道路で車群は潜在的にどの程度危険になっているか、についてシミュレーションで解析した結果、図1に示すように、7台の車群が乗用車で構成される場合、車群後方に危険性が増幅して伝搬する傾向が観察された。また、車間距離の長い車両自体の危険性は低い傾向であった。図の縦軸は追突危険性を示し、値が大きい程危険、小さいほど安全と評価される。

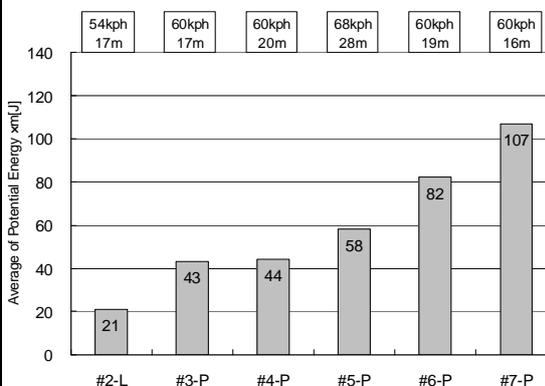


図1 追突安全性の車群内の伝搬評価 (乗用車だけの車群)

図1中、横軸は7台の車群の先頭から数えた車両番号であり、Lとは女性ドライバ、Pとは男性ドライバでいずれも乗用車であることを示す。縦軸は追突危険性を示し値が大きい程危険、小さいほど安全となる。

さらに、図2に示すように、4台目の大型車自身の安全性は高いものの、5台目の大型車直後方を走行する乗用車は顕著に危険となっていることがわかった。図2の横軸と縦軸は図1と同じであるが、Sは見通しのきく車高の高い乗用車、Hは大型車を示す。

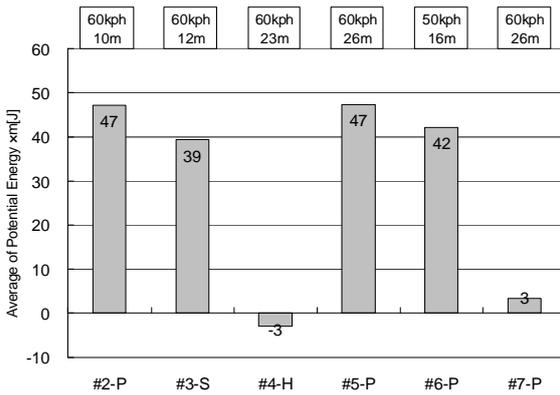


図2 追突安全性の車群内の伝搬評価 (4台目大型車の車群)

③ 不安全で不安定な車群をどのように制御し安全で安定な車群とするか、という将来的な目標に対し、本研究では制御の目的関数となりうる車群の不安定性リスクを定量化する検討を行った。

この結果、3台の車群の2台目と3台目車両の車間距離の逆数の差分を横軸に、同じく車間時間の逆数の差分を縦軸にとる時、このデータプロットが第1～4象限のいずれにあるか、で車群の不安定性リスクを評価できる手法を構築した。図3に各象限の解釈を示す。プロットした各点と原点を結ぶ直線の長さが不安定性リスクのマグニチュードを示し、直線の傾きがショックウェーブの伝搬速度を表す。

第1象限は、車間距離の長い2台目車両の後方から、速度の高い3台目車両が必要以上に車間距離を短くして走行する、いわゆる「煽っている状態」である。後方から覆いかぶさるような不安定な正のショックウェーブが生じる。

第2象限は、ほぼ停止しているほど速度が小さく車間距離も短い2台目車両に、車間距離も速度も大きい3台目車両が接近している、いわゆる「減速を強いられる状態」である。2台目車両の車間距離と速度がトリガーとなって、3台目車両に強制的な減速を促す不安定な負のショックウェーブが生じる。

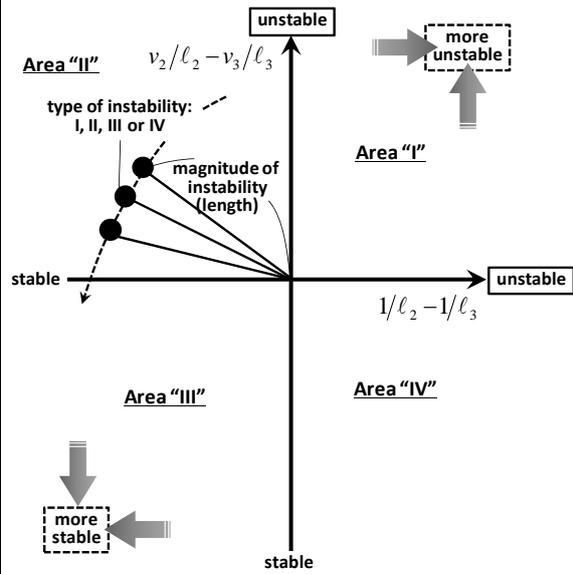


図3 ショックウェーブの4象限

第3象限は、定常走行する2台目車両に車間距離の長い3台目車両が追従する、いわゆる「車間距離を十分確保した状態」である。3台目車両の車間距離は十分確保されているため、安定な正のショックウェーブが生じる。

第4象限は、速度が小さく車間距離も短い3台目車両が、すでに加速した2台目車両に追従する、いわゆる「十分加速可能な状態」である。3台目車両の速度が小さく2台目車両の車間距離が長いから、安定な負のショックウェーブが生じる。

第1象限は3台目車両が必要以上に車間を短くし、車両後方から覆いかぶさる形でショックウェーブが生じる状態であり、第2象限は車両前方から伝搬し、3台目車両の意思とは無関係に強制的な減速を強いられる状態であるため、これらの象限はいずれも3台目車両の追突危険リスクが比較的高い不安定な状態と判断される。第3、第4象限はそれぞれ正と負のショックウェーブが生じるものの、3台目車両の車間距離が大きいまたは速度が小さいために追突危険リスクは小さく安定な状態と判断できる。

図4は、テストコース上で観測したデータプロットの一例である。これは、3台目車両が第1象限で必要以上に車間距離の短い走行をしていたが、2台目車両の減速に伴い不安定な第2象限に相対的に陥り、減速を強いられる状態を回復できないまま第2象限で停止した状態を示している。

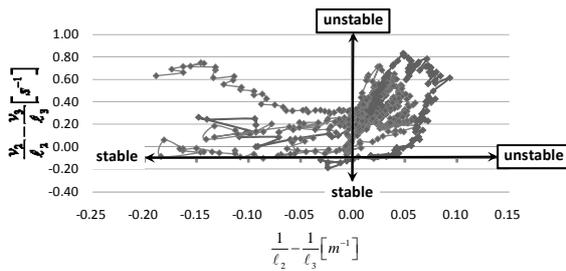


図4 不安定性リスク評価の一例

このように、提案した手法は、今現在、車群の状態がいずれの象限にあるかで不安定性リスクを評価できるだけでなく、そのリスクが今後安定に向かうのか不安定になるのか、短期間予測も同時に行うことのできる手法であることを示した。提案手法の根拠となるショックウェーブの伝搬速度は、交通工学の分野において理論的に導かれたものを基礎としているため、結果の妥当性は確保されると考えられる。

(2) 得られた成果の位置づけとインパクト

車両1台の追突に対する安全性評価指標は数多く提案されている。この車両1台の安全性を複数台の車両で積み重ねることで車群全体の安全性を評価することは現実的ではないという立場では、本研究で提案したショックウェーブの伝搬に基づく車群不安定性リスク評価指標は、マクロ的に車群を扱うという観点から意義は大きいと考えられる。ミクロな車両挙動を積み重ねるという手法とは真逆に、自動車の集合をマクロに扱う分野からのアプローチは、ミクロな車両挙動のマクロな車群不安定性リスクを簡便に評価できるという意味でインパクトも高いと考えられる。

(3) 今後の展望

今後は、提案した車群不安定性リスク評価手法に改良を加えて評価関数を作成し、現代制御工学の知識を応用し、車群の不安定性リスクを最小化するために、車群を構成する各車両はどのような最適制御を行うべきか、理論的な研究を進めると同時に、これを実証する研究へ発展させることが重要である。最適制御アルゴリズムの検討、交通シミュレーションでの評価、1/10スケールモデルカーでの評価、実車での評価の順に行うことが望ましいと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 鈴木宏典、藤井健、福島正夫、実際の交通流における車群追従走行の安全性解析、自動車技術会・学術講演会前刷集、査読無、Vol. 93-09、2009、pp. 15-18
- ② 松永浩一、鈴木宏典、衝撃波の理論を応用した車群安全性評価手法の基礎的検討、自動車技術会・学術講演会前刷集、査読無、Vol. 93-09、2009、pp. 11-14

[学会発表] (計9件)

- ① 鈴木宏典、自動車交通流のショックウェーブ理論を応用した車群安全性評価モデルの提案と検証、計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会、2010年11月25日、キャンパスプラザ京都
- ② Hironori Suzuki、Kouichi Matsunaga、New Approach to Evaluating Macroscopic Safety of Platooned Vehicles Based on Shockwave Theory、SICE Annual Conference 2010、2010年8月19日、The Grand Hotel Taipei
- ③ Hironori Suzuki、Takachika Suzuki、Dynamic Estimation of Speeds and Relative Distances of Platooned Vehicles、SCI'09第53回システム制御情報学会研究発表講演会、2009年5月20日、神戸市産業振興センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 宏典 (SUZUKI HIRONORI)
 日本工業大学・工学部・講師
 研究者番号：20426258