

精緻な車両挙動と道路形状を用いた 車線逸脱危険性の評価に関する研究

竹下 裕貴¹・千葉 史隆²・佐田 達典³・石坂 哲宏⁴

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:csyu12014@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 三井住友建設株式会社 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号)
E-mail:f-chiba@smcon.co.jp

³正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

⁴正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

交通安全対策の一環として実践型の交通安全教育を推進する取り組みが計画されており、ドライバーに対する交通安全対策として自身の運転を客観的に評価する方法がある。従来、自身の運転を把握するためにはドライビングシミュレータを用いていたが、GPSや道路地図の精度向上により走行挙動を詳細に把握できれば自身の運転履歴から運転の安全性を客観的に評価できる可能性がある。

本研究では高精度衛星測位による車両走行挙動とモバイルマッピングシステムで取得される3次元点群情報から作成される精確な道路形状を組み合わせて、車線逸脱危険性を客観的に評価する手法を構築した。構築した手法から、個々のドライバーの走行位置と設計値に対する横方向力から車線逸脱危険性の評価を行えることが確認された。

Key Words :Real-Time Kinematic Positioning, Mobile Mapping System, Risk of Lane Departure, Vehicle position on the lane, Transverse Force

1. はじめに

我が国の交通事故死者数は年々減少しており、この傾向を維持するためにも新たな安全対策を講じていく必要がある。交通安全対策の一環として交通安全思想の普及徹底があり、実践型の交通安全教育を推進する取り組みが計画されている¹⁾。

ドライバーに対する交通安全教育として、自身の運転を客観的に評価する方法がある。従来はドライビングシミュレータなど、特殊な機器を用いて車両挙動を詳細に把握し、自身の運転を客観的に評価している。しかし、今後、ナビゲーションに用いられるGPSや道路地図の精度向上により挙動を詳細に把握できれば、日常的な運転履歴から客観的に個人の運転特性を分析し運転の安全性を評価できると考えられる。

GPSによる走行位置の計測としては高精度かつリアルタイムに測位が可能であるRTK (Real-Time Kinematic) 測位の利用が考えられる。これに加えて、精確な道路形

状はモバイルマッピングシステム (以下 MMS) で取得される3次元点群情報により作成されるので、この両者を用いることで客観的に評価できる可能性がある。

本研究では高精度衛星測位による車両挙動とMMSにより取得される精確な道路形状から、車線逸脱危険性を客観的に評価する手法を構築する。

2. 既存研究の整理と提案手法

自動車における車線逸脱事故は主にカーブ走行時に多く確認される²⁾。そこでカーブ走行時の安全を向上させるための研究を整理した。既存の研究ではカーブ緩急の見誤りを防ぐ効果的な道路施設³⁾や白線を検知する車載センサを用いた走行支援技術⁴⁾が検討されている。しかし、日常的に使用する道路では見誤りを防ぐ道路施設整備を行ったとしても効果が低く、センサが白線を検知しなければ支援できないなど課題がある。ドライバーを主体とした研究では、シミュレータを用いて運転行動を把握

する研究⁹⁾がある。しかし、心拍数、眼球運動、ハンドル操舵角からドライバの疲労度を評価するものであり、運転特性や危険性の評価は行われていなかった。そこで、走行挙動から逸脱危険性を評価することで、既存研究の留意事項を補完できる可能性がある。

カーブでは、車線中央を横すべりや転倒の恐れのない速度による走行が逸脱しない理想的な運転と考えられる。車線内の走行位置と車体に作用する横方向の力から逸脱危険性の評価に至ることで、ドライバの癖や傾向の改善による事故対策となる可能性がある。

ドライバ毎に評価する条件として、評価項目の算出に用いる走行位置から個人差を検出する必要がある。そこで、高精度衛星測位により走行位置を取得し、個人差の検出可否を統計的に分析する。さらに、検討した評価方法により逸脱危険性を評価することで、個々のドライバを客観的に評価する手法としての適用性を明らかにする。

3. 個人差の検出可否の検討

高精度衛星測位の位置情報から個人差の検出可否を明らかにするため、実際に取得した車両挙動から個人差の検出状況を確認した。

(1) 高精度衛星測位による車両挙動取得実験

a) 実験概要

挙動の取得には GPS 受信機を設置した車両で、車線幅員 3m の直進路と交差点右左折路を複数回走行する実験を行った。GPS アンテナを車体中央のルーフに設置し、RTK 測位により 20Hz で計測した。なお、受信機には 5mm~20mm の測位精度で測位が可能であるトプコン社製 LEGACY-E+を使用した。実験状況とアンテナの設置位置を写真-1に示す。

ドライバは週に数回運転する3名の大学生とし、直進路と交差点路につき3名ずつ走行した。ドライバに対しては一般道での走行を想定するよう指示し、直進路のみ走行速度を 40km/h と指定した。なお、走行回数は直進路を 40 回、交差点は右左折それぞれ 20 回とした。

b) 各ドライバの走行位置の傾向

図-1 は各走行路における走行位置の分布を箱髭図で示している。なお、箱髭図は図の左から最小値、25%値、中央値、75%値、最大値を表しており、左側線からの距離を基準としている。



写真-1 実験状況とアンテナ設置位置

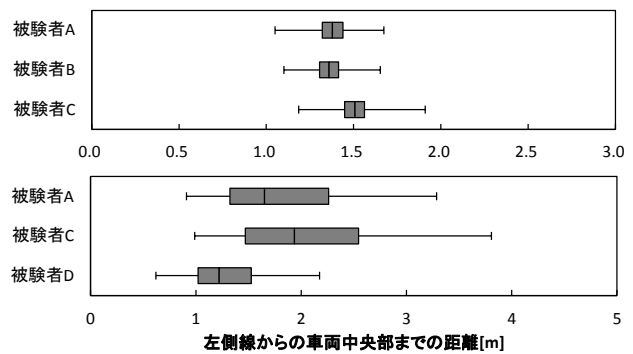


図-1 走行位置分布 (上: 直進, 下: 左折)

表-1 分散分析結果

	変動要因	個人間	個人内	合計
	直進	変動	208.286	376.256
	自由度	2	43956	43958
	分散	104.143	0.009	—
	F値	12166.494	—	—
	P値	0.000	—	—
	F境界値	2.996	—	—
左折	変動要因	個人間	個人内	合計
	変動	1825.480	18825.442	20650.922
	自由度	2	90057	90059
	分散	912.740	0.209	—
	F値	4366.359	—	—
	P値	0.000	—	—
	F境界値	2.996	—	—

RTK 測位より計測した走行位置から、直進、右折、左折の各走行路でドライバの運転特性に違いが現れた。直進路は中央値や分布のばらつきのドライバ毎の差は小さく、概ね類似した傾向であった。一方、交差点左折時は中央値と分布のばらつきに顕著な差が示された。

(2) 分散分析による個人差の確認

RTK 測位で示された個人による走行位置の違いが統計的に有意な差であるかを判定するため、分散分析を用いて検証した。表-1 は走行位置における分散分析結果である。個人間は各ドライバの変動要因であり、個人内はドライバ1人の変動要因を示している。

分散分析は3つ以上の母集団の平均の差を検定することが可能な分析手法である。個人差はドライバに関わらず、走行位置の平均は等しいとする帰無仮説を棄却することで有意と判断できる。

分析の結果、各走行路ともF値がF境界値よりも大きいことが確認され、P値が設定した棄却域の確立(5%)よりも小さい帰無仮説を棄却する結果が得られた。この分析結果は帰無仮説を棄却する結果である。したがって、高精度衛星測位によって示された走行位置の個人の違いは統計的に有意な差を示し、評価に適用できる指標であることが確認された。

4. 車両挙動と道路線形を用いた車線逸脱危険性評価手法の構築

カーブ走行中における車線からの逸脱危険性は、逸脱

に至るまでの車両挙動から評価できると考えられる。逸脱危険性を評価する車両挙動として、車線内における走行位置と車両に対して横方向にかかる遠心力から評価する。

(1) 車線内の走行位置

MMS による取得データに含まれる白線座標値と計測した走行位置の相対的な位置関係から、車線内の走行位置を把握する。この方法によって、車線逸脱有無の確認と車線内における走行位置の傾向を把握できる。

評価基準として、車線逸脱は車体側面が白線の横切りを検出することで判断する。一方、走行位置の傾向は車線内を左寄り、中央、右寄りに3分割し、各区分の走行割合から傾向を把握する。

(2) 横方向力

通常の走行においては、横すべりが転倒の前に起こるため、横すべりの危険性から横方向力を評価する。評価には、横すべりが安定した状態の車両挙動と道路形状の関係性を示した(1)式を用いた。

$$\frac{R}{V^2} \geq \frac{1}{127(f+i)} \quad (1)$$

R : 曲線半径(m), V : 設計速度(km/h),

f : 横すべり摩擦係数, i : 片勾配

(1)式は曲線半径の設計に用いられ、式の条件を満たす曲線半径を設計する。そのため、曲線半径と設計速度に実測値を代入することで、設計横方向力との比較が可能となる。なお、式に代入する値のうち片勾配は MMS によって取得した道路形状から特定し、横すべり摩擦係数は道路構造令の規定値を使用した。

評価は設計値以上の横方向力となった挙動の割合から判断する。特に横すべりによる逸脱はカーブの外側に押し出されるため、評価はカーブ外側の走行が認められたドライバーに対して実施する。

5. 構築した評価手法による車線逸脱危険性評価

構築した評価手法を用いて、実際にカーブ走行時の車両挙動から車線逸脱危険性を評価した。

(1) 実際のカーブにおける車両挙動の取得

車両挙動取得のため、GPS アンテナを車体中央部のルーフに設置した車両で走行した。走行位置の計測には後処理型のキネマティック測位を用いた。この測位手法は RTK 測位と同様に、20Hz にて 5mm~20mm の測位結果を出力することが可能である。

評価対象のカーブは、千葉県船橋市市道である車線幅員 3.5m, 半径 34m, 片勾配 2%の左カーブである。この

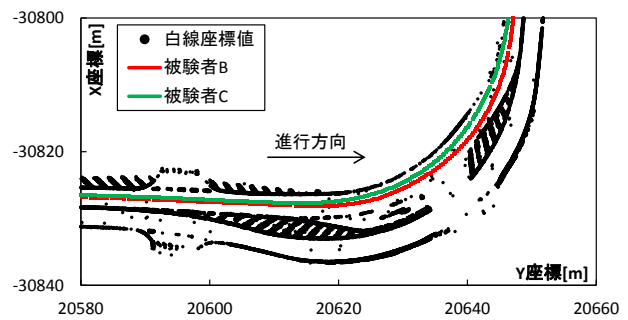


図-2 対象カーブの白線座標と走行軌跡

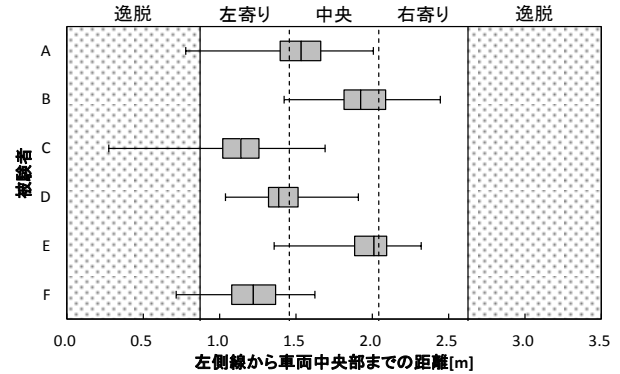


図-3 カーブにおける走行位置分布

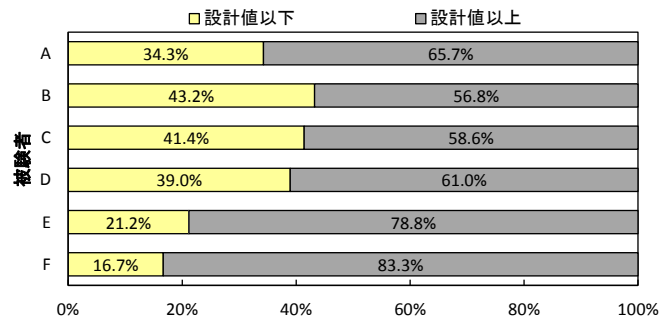


図-4 設計値と比較した横方向力の割合

線形における設計速度は 30km/h であり、それに対する設計上の横すべり摩擦係数は 0.15 であるのでこの数値を用いる。6名のドライバーを対象に、各 10 回の走行を行った。MMS で計測した対象カーブの白線座標と走行軌跡を図-2に示す。

本研究では、普段の運転における車線逸脱危険性の評価を目的としているため、周辺車両の有無や運転環境の差異による車両挙動の変化は考慮しない。そのため、路面が乾燥した日中における自由走行を条件とし、条件を満たした走行回のみを評価に用いた。

(2) 評価項目の算出

a) 車線内の走行位置

図-3は各ドライバーの車線内における走行位置分布を箱髷図で示している。逸脱の判定には、計測に使用した車線の車体幅の半分である 0.873m を左右の側線からそれぞれ離れた範囲内は逸脱と認め、車線内の走行位置の傾向は、幅員 3.5m, のうち車体幅 1.745m を除いた 1.755m を3分割 (左寄り, 中央, 右寄り) にして把握した。なお、計測した走行位置は車体中心の位置である。

走行位置の分布より、ドライバ A, C, F が左側線を超え、逸脱していることが確認された。走行位置の傾向は、ドライバ C, D, F は左寄りを走行し、ドライバ A, B, E は車線中心を走行している傾向が確認された。

b) 横方向力

横方向力を算出するため、対象カーブの横すべり摩擦係数(0.15)と片勾配(2%)を(1)式に代入すると対象カーブでは 0.046 が安定した状態で走行できる限界値となる。この場合、曲線半径を走行速度の 2 乗で除算した結果が 0.046 以上であれば横すべりに対して安定であり、設計値以下の横方向力となる。

設計値と比較した結果を図-4 に示す。全てのドライバから設計値以上の横方向力による走行を確認し、その割合は設計値以下の割合よりも上回っていた。この結果は、道路構造令で規定されている横すべり摩擦係数が、実際に横すべりに至る条件よりも安全側に設定されていることが要因として考えられる。

ドライバ毎に横方向力の傾向を確認すると、ドライバ毎に割合が異なっていた。ドライバ B は設計値以下の横方向力の割合が 43.2% と最も高く、ドライバ F は 16.7% で最も低い割合を示した。

(3) 構築した手法による車線逸脱危険性評価

車線内の走行位置と横方向力から車両挙動の傾向をド

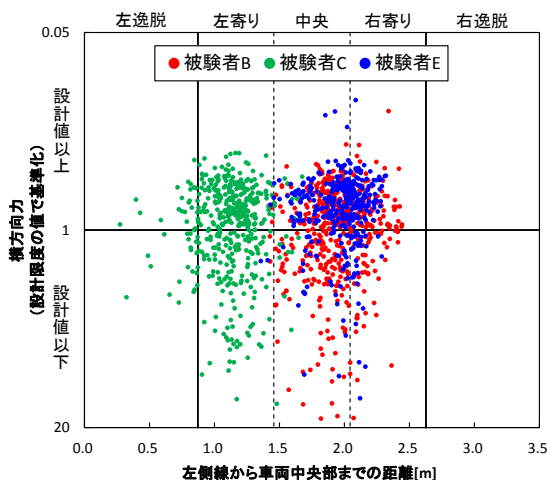


図-5 車両挙動の傾向と評価区分

表-2 走行位置ごとの割合

被験者	走行位置				
	左逸脱	左寄り	中央	右寄り	右逸脱
A	0.8% (0.5%)	31.7% (20.5%)	67.5% (44.8%)	0.0% (0.0%)	0.0% (0.0%)
B	0.0% (0.0%)	1.3% (0.8%)	68.8% (37.3%)	30.0% (18.6%)	0.0% (0.0%)
C	10.2% (5.0%)	85.2% (51.7%)	4.6% (1.7%)	0.0% (0.0%)	0.0% (0.0%)
D	0.0% (0.0%)	67.5% (42.9%)	32.5% (18.2%)	0.0% (0.0%)	0.0% (0.0%)
E	0.0% (0.0%)	0.8% (0.3%)	59.5% (48.3%)	39.7% (30.3%)	0.0% (0.0%)
F	2.0% (2.0%)	89.7% (73.5%)	8.3% (7.8%)	0.0% (0.0%)	0.0% (0.0%)

※括弧内は設計値以上の横方向力の全体に占める割合を示す
 ※赤字は各被験者の中で最も高い割合を示した走行位置

ライバ毎に把握し、車線逸脱危険性を評価した。図-5 はドライバ B, C, E の車線内の走行位置と横方向力の関係性を示し、各々の評価基準で区分けしている。なお、横方向力は設計限度の値(0.046)で基準化し、対数目盛で示している。

図-5 よりドライバの傾向を比較すると、ドライバ C は左逸脱、ドライバ B と E は設計値以上の横方向力で車線中央から右寄りにかけて走行している。この傾向は、評価基準で区分した領域内の割合を示した表-2 から確認される。

ドライバ毎に車線逸脱危険性を評価すると、ドライバ A, C, F は逸脱が認められた。ドライバ D は車線中央から左寄りにかけて走行している。そのうち左寄りを 67% の割合で走行していることから、左側線から路外に逸脱する危険性を有していると評価できる。ドライバ B と E からはカーブの外側にあたる右寄りの走行が認められ、両ドライバに対しては走行位置に加え横方向力を用いて危険性を評価すとドライバ E は設計値以上の横方向力による右寄り走行が、ドライバの中で最も高い傾向を示した。そのため、ドライバの中で最も右側線から対向車線に逸脱する危険性を有していると評価できる。

6. まとめ

本研究では高精度衛星測位による車両挙動と MMS による道路形状より、車線逸脱危険性を客観的に評価する手法について検討を行った結果、個々のドライバの走行位置と設計値に対する横方向力からドライバの車線逸脱危険性の評価が行えた。したがって、構築した評価手法は、個々のドライバに対して客観的な評価が行えることが明らかとなった。

今後の検討として、画一的な評価基準を構築するために多くのサンプル数を取得する予定である。

参考文献

- 1) 内閣府中央安全対策会議：第 9 次交通安全基本計画の概要、9p, 2011.
- 2) 勝岡秀明：四輪車の正面衝突事故発生状況と特徴の分析、交通事故分析センター第 13 回交通事故調査・分析研究発表会、2010.
- 3) 古市朋輝, 門間健, 岩崎征人：都市高速道路曲線区間における運転者の注視挙動と運転特性、土木学会論文集, No.772, pp.153-167, 2004.
- 4) 第 4 期先進安全自動車(ASV)推進計画報告書：国土交通省自動車交通局先進安全自動車推進検討会、2006 年.
- 5) 大久保堯夫, 永田雅典, 青木通佳, 朴根相：運転シミュレーターによる道路線形と運転者の運転行動の基礎的研究, 人間工学, vol.29, pp.370-371, 1993.