

車線変更場面におけるドライバ優良化支援に向けた運転行動評価指標

竹本 雅憲*¹

Evaluation Index of Lane Change Behavior for Driver Support to Improve Unsafe Behavior

Masanori TAKEMOTO*¹

ABSTRACT : Using a driving simulator, we conducted an experiment in which skilled drivers comprehensively evaluated a danger/disturbance level of various lane change behaviors from the viewpoint of the following vehicle driving in the passing lane. Using multiple regression analysis, we specified danger/disturbance factors, quantitatively identified the condition of each factor occurrence, and found some physical quantities that strongly influence the danger/disturbance level. Finally, we obtained an overall index for evaluating danger/disturbance level of lane change behavior.

Keywords : driver behavior, preventive safety, driver support, driving simulator, lane change, human factors

(Received September 21, 2011)

1. はじめに

交通事故件数を事故類型別にみると、追突事故や交差点での事故が大半を占める⁽¹⁾。一方で、東京都内のタクシーにドライブレコーダを搭載して収集したデータの調査⁽²⁾では、ニアミス類型別の内訳は合流・車線変更が最も多く、追突事故を上回る。これは交通事故統計データが人身事故のみを対象として、合流や車線変更の前後での追突は追突事故として計上されることに起因する。よって、交通事故件数には表面化していないが、車線変更の事故は大きな問題と考えられる。また、車線変更事故の防止策は、車線変更を原因に含む追突事故の減少にも間接的に貢献すると思われる。

車線変更事故の防止策としては、運転時の支援や運転前後でのドライバへの教育が考えられる。しかし、危険な車線変更を定量的に評価できる指標がなく、具体的な問題点を特定できないことが現状の課題である。既に導入されている車線変更支援システムでは、車線変更を開始する時点における進入先車線の後続車両との車間情報を危険度判定の基準としている⁽³⁾。しかし、一般ドライバは高速道路での合流や車線変更場面で、隣接車線進入

時の加速が弱い⁽⁴⁾、急な操舵をするなどの傾向があるため、車線変更開始後のドライバ操作も評価指標に含めるべきである。これは、追越車線を走行時に、走行車線の車両が自車両の前方に車線変更してくる時に感じる危険感が、車間情報だけでは決まらないという日常の体験でも実感できる。

本研究では、進入先後続車ドライバが感じる危険感や迷惑感を定量的に表現し、車間距離に加えて周辺車両との位置関係や操舵および加速操作に起因する物理量を含む、車線変更開始から終了までの総合的な評価指標の作成を目的とした。また、作成した評価指標を走行時の運転支援システムや、走行後の安全運転教育に応用する考え方についても簡単に議論する。

2. 車線変更評価実験

2.1 実験方法

車線変更支援システムでは、進入先の後続車との衝突を回避する情報をドライバに提供する。よって、車線変更の善し悪しは、特に進入先車線の後続車ドライバが感じる危険感や迷惑感により評価できると考えられる。そこで、二車線の高速道路で左側の走行車線から右側の追越車線へ車線変更する場面を想定し、追越車線後続車ド

*¹ : エレクトロメカニクス学科助教(m-takemoto@st.seikei.ac.jp)

ライバの視点で車線変更の危険度や迷惑度を評価する実験を行った。

図1に示すように、実験に用いたドライビングシミュレータは、前方に3枚、左右に1枚ずつのスクリーンによって225度程度の視界を持つ。サイドミラーの位置には小型ディスプレイを、ルームミラーに映し出される後方にもスクリーンを配置し、ドライバが後側方の状況を確認できるようにした。また、実際の車両のcockpitおよびボディから構成される。

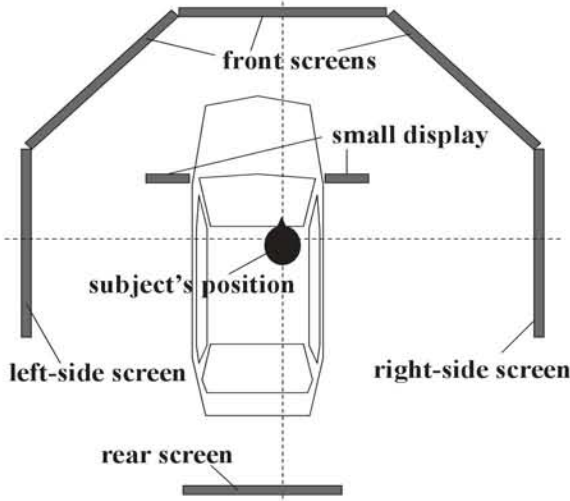


Fig. 1 Driving Simulator

本実験では、図2に示すように、車線変更車両が走行車線を走行中に速度の遅い先行車との車間距離が詰まり、追越車線を走行する2台の車両の間に、加速しながら左から右へ車線変更する場面を対象とした。すなわち、以下に略記する4台の車両の挙動をシミュレータ上で再現した。

- LCV (Lane Change Vehicle) : 車線変更する車両
- LLV (Left lane Leading Vehicle) : 走行車線の先行車
- RLV (Right lane Leading Vehicle) : 追越車線の先行車
- RFV (Right lane Following Vehicle) : 追越車線の後続車

映像再生時にはシミュレータ側ですべての車両の制御を行い、被験者のペダル操作は車両の挙動に反映されないようにした。これは、被験者間で車間距離などの状態を統制するためである。ただし、実際に運転している状況をイメージできるように、被験者にはアクセルおよびブレーキペダルを踏む、放すという動作を自由に行わせた。また、ステアリング操作は映像に反映させたが、被験者には普段の運転で追越車線を走行するときの横方向位置を予備実験で決めてもらい、実験中は同じ位置で走行するよう指示した。

1回の映像再生時間は1分程度であり、被験者は映像をすべて見終えた後に後述するアンケートに回答した。被験者はRFVの視点で、LCVの操作や挙動および周辺車両との位置関係に関して、危険度と迷惑度の総合評価、

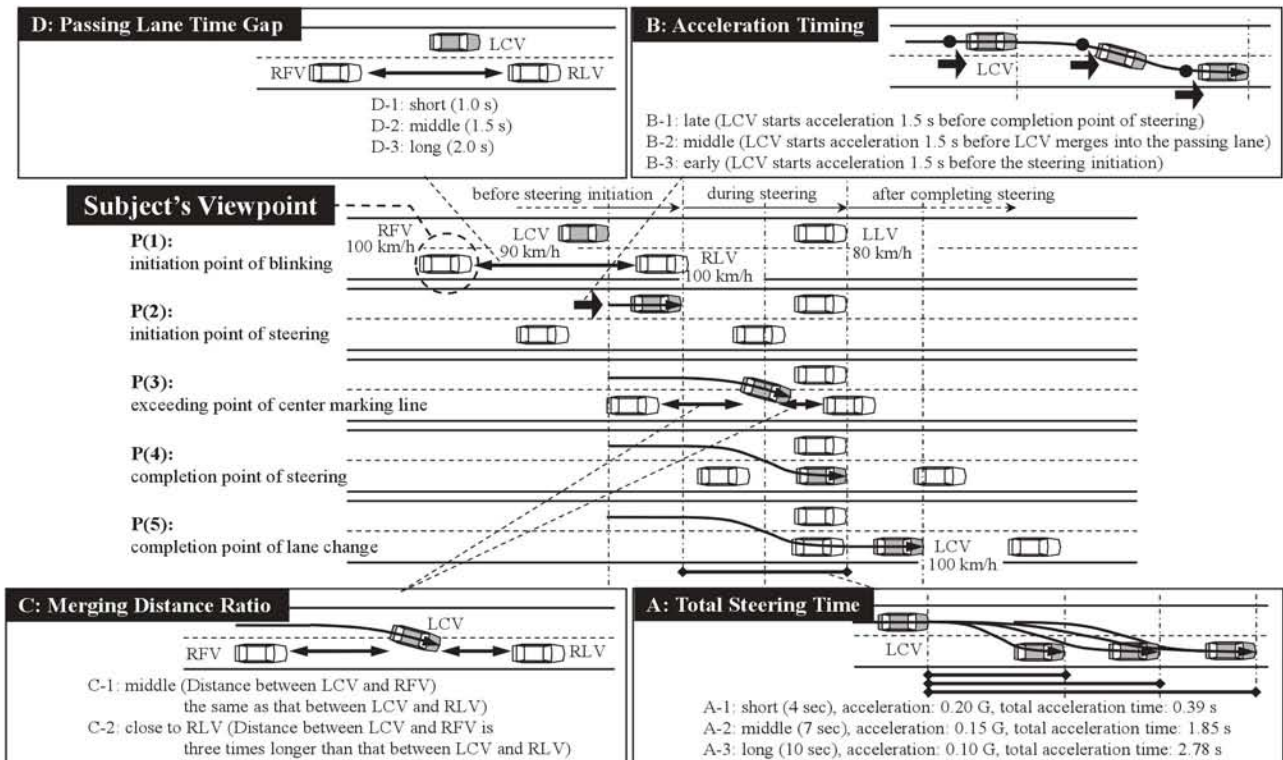


Fig. 2 Four Vehicle Positions at Five Base Points and Explanation of Fluctuant Parameters

および危険や迷惑と感じた具体的な理由を回答した。このとき、被験者は、LCVが車線変更を開始する前にRFVとRLVの間に進入する望ましい車線変更をイメージし、実際に映像が再生された車線変更とのギャップを基準にして評価した。危険度はLCVと他の3車両との危険の度合いを、迷惑度はLCVによるRFVへの迷惑の度合いを、総合的に評価した。危険度および迷惑度はそれぞれ5段階で評価を行い、問題ないと感じた場合を0点、非常に危険あるいは迷惑と感じた場合を4点とした。RFVの視点からは、LCVの横方向の動きから操舵開始時点と操舵終了時点とを判断できる。被験者はこれら2点を基準として、危険や迷惑と感じた地点もしくは区間と、具体的な内容を説明した。

2.2 実験条件

走行条件を決めるパラメータの設定および後述する分析のために、5つの基準点を設けた。各基準点における4台の車両の位置関係を図2に示した。基準点は、(1)ウィンカ操作開始時、(2)操舵開始時、(3)車線跨ぎ時、(4)操舵終了時、および(5)車線変更完了時である。地点(3)車線跨ぎ時は、LCVの重心が中央線に乗った時点である。地点(5)車線変更完了時は、LCVが操舵および加速の両方を終えた時点であり、操舵終了前に加速を終了した場合は地点(4)操舵終了時と同じになる。操舵終了後に加速を終了した場合は、地点(4)に続いて地点(5)となる。

走行条件を決める際、車線変更の評価に強く影響すると考えた以下の4種類を変動パラメータとした。

- A. 操舵所要時間：走行車線で操舵を始めてから追越車線で直進操舵位置へ戻すまでの時間(図2に示すように、操舵所要時間に合わせて、加速度および加速所要時間も個別に設定)
- B. 加速タイミング：加速を開始するタイミング
- C. 車線跨ぎ時の前後位置取り：地点(3)車線跨ぎ時におけるLCVとRLVおよびRFVとの車間距離の比 (0：RLVとの車間距離=0, 1：RFVとの車間距離=0)
- D. 追越車線車間時間：RLVとRFVの車間時間

図2に示したように、パラメータA、BおよびDは3水準、パラメータCは2水準とした。ここで、高速道路の交通実態を調査した報告(5)では、先行車追従時の車間距離は20~45m(車速を80km/hとすると車間時間は0.9~2.0sec)に集中するとしている。この報告を参考にして、追越車線車間時間を設定した。

また、実験所要時間による被験者への負担を考慮して走行条件数を絞り込むため、以下のパラメータは固定とした。

- LCV以外の車両は一定速度で走行させ、LLVは80km/h、RLVとRFVは100km/hとする
- LCVは初期速度が90km/hで、ウィンカ点灯開始後に追越車線の車両と同じ100km/hまで加速する
- ウィンカ点灯開始は操舵開始の2秒前とする
一般的に、教習所では操舵を開始する3秒前にウィンカの点灯を開始するよう教わる。しかし、日常の運転の中でも観察されるように、これより短いウィンカの点灯時間で車線変更を開始する車両は多い。そのため、3秒よりは短く、かつ設定した追越車線車間時間において不自然ではないタイミングとして、操舵開始の2秒前に固定した。

LCVの初期位置は、車線跨ぎ時に、パラメータCで決められた前後位置取りを通るように計算した。LLVの初期位置は、操舵終了時にLCVとLLVが横に並ぶように計算した。4種類のパラメータの組合せとなる54走行条件(3×3×2×3)のうち、明らかに問題ない場合と車線変更の途中でLCVが他車両に衝突する場合を除いた39走行条件を評価の対象とした。各走行条件の評価は3回ずつ行い、映像の再生順番はランダムとした。シミュレータでは、再生された走行条件での各車両の位置や速度に関するデータを記録した。

本実験では、車線変更の善し悪しを評価できる指標の作成を目的とするため、被験者には車線変更を適切に評価できることが要求される。よって、車線変更に関して規範的な運転行動をとり、かつ適切な評価を期待できる3名の熟練ドライバを被験者とした。被験者はいずれも、自動車メーカーでの試験車運転に関する中級もしくは上級の資格を取得していた。この資格試験では、進入先車線の走行車両との速度差が大きいなど車線変更が困難な状況でも、安全に車線変更を遂行するノウハウの習得および実技が要求される。

また、評価に関しては、実際に被験者自身が運転をするのではなく、他者の車線変更を第三者として評価するだけである。加えて、被験者全員が車線変更のノウハウを熟知している。よって、熟練ドライバであれば評価における個人差は小さいと考え、3名の被験者で十分と考えた。

3. 危険・迷惑要因

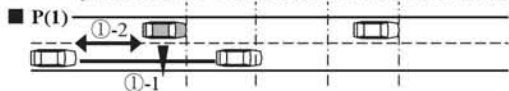
3.1 危険・迷惑要因と要因発生条件

危険や迷惑な車線変更の具体的な理由は、図3に示す7種類の要因(「危険・迷惑要因」と称する)に集約された。アンケート回答時のコメントに基づいて各要因の意

Factor ①: Inappropriate position of the blinking turn signal initiation

Occurrence condition: ①-1 or ①-2

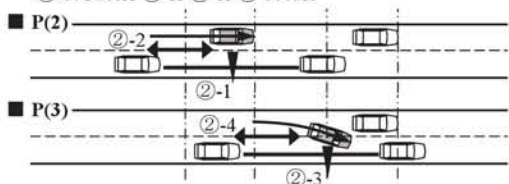
- ①-1: Distance ratio in passing lane time gap at P(1) > -0.11 (in case that distance to RFV at P(1) ≤ 47.2 [m])
- ①-2: Distance to RFV at P(1) ≤ 36.8 [m] (in case that LCV cannot maintain the sufficient distance)



Factor ②: Inappropriate position of the steering initiation

Occurrence condition: ②-1 or ②-2 (Direct factor)
: ②-3 or ②-4 and ②-5 (Indirect factor)

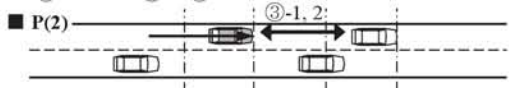
- ②-1: Distance ratio in passing lane time gap at P(2) > 0.25 (in case that distance to RFV at P(2) ≤ 35.1 [m])
- ②-2: Distance to RFV at P(2) < 22.8 [m] (in case that LCV cannot maintain the sufficient distance)
- ②-3: Distance ratio in passing lane time gap at P(3) > 0.25 (in case that distance to RFV at P(3) ≤ 25.3 [m])
- ②-4: Distance to RFV at P(3) ≤ 17.1 [m] (in case that LCV cannot maintain the sufficient distance)
- ②-5: Factor ⑤ or ⑥ or ⑦ occurs



Factor ③: Insufficient distance from the LLV

Occurrence condition: ③-1 (Direct factor)
: ③-2 and ③-3 (Indirect factor)

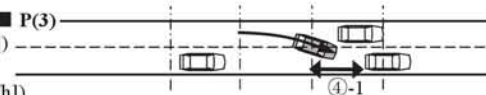
- ③-1: Distance to LLV at P(2) ≤ 17.6 [m]
- ③-2: Distance to LLV at P(2) < 26.3 [m]
- ③-3: Factor ⑤ or ⑦ occurs



Factor ④: Insufficient distance from the RLV

Occurrence condition: ④-1(1) or ④-1(2)

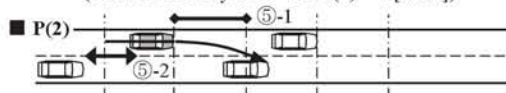
- ④-1(1): Distance to RLV at P(3) < 18.4 [m] (Relative velocity to RLV at P(3) = 0 [km/h])
- ④-1(2): Distance to RLV at P(3) < 11.4 [m] (Relative velocity to RLV at P(3) = -10 [km/h])



Factor ⑤: Insufficient steering time with insufficient distance from the RFV

Occurrence condition: ⑤-1 and (⑤-2(1) or ⑤-2(2))

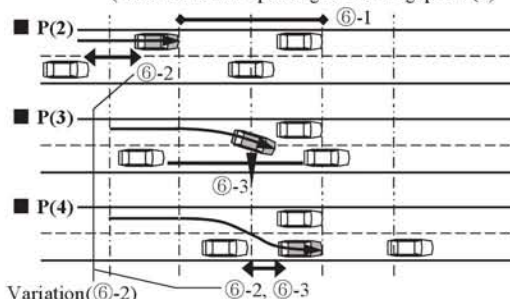
- ⑤-1: Former-half total steering time < 3.5 [sec]
- ⑤-2(1): Distance to RFV ≤ 33.1 [m] (Relative velocity to RFV at P(2) = -10 [km/h])
- ⑤-2(2): Distance to RFV < 25.3 [m] (Relative velocity to RFV at P(2) = 0 [km/h])



Factor ⑥: Excessive steering time with insufficient acceleration

Occurrence condition: ⑥-1 and ⑥-2 and (⑥-3(1) or ⑥-3(2))

- ⑥-1: Total steering time > 4.0 [sec]
- ⑥-2: Distance variation to RFV between P(2) and P(4) ≥ 8.1 [m]
- ⑥-3(1): Distance to RFV at P(4) ≤ 25.2 [m] (Distance ratio in passing lane time gap at P(3) = 0.50)
- ⑥-3(2): Distance to RFV at P(4) < 17.1 [m] (Distance ratio in passing lane time gap at P(3) = 0.25)



Factor ⑦: Insufficient acceleration after the steering initiation

Occurrence condition: ⑦-1 and ⑦-2

- ⑦-1: Distance variation to RFV between P(2) and P(5) > 3.2 [m]
- ⑦-2: Distance to RFV at P(5) < 24.5 [m]

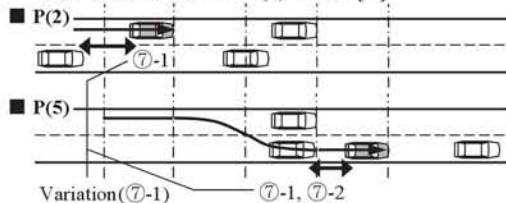


Fig. 3 Occurrence Conditions of Danger/Disturbance Factors

味を検討し、要因の発生に関係すると考えられる物理量を絞り込んだ。39種類の走行条件における各物理量の値と、被験者が危険や迷惑の具体的な理由としてその要因を回答したか否かとの関係を分析し、図3に示すように、要因発生条件となる物理量および閾値を求めた。分析の詳細は、次節3.2で具体例を用いて説明する。ここで、閾値とは危険や迷惑を感じなくなる値である。ある区間の車間距離の減少量など、物理量が大きいほど危険度や

迷惑度が高くなる場合は、物理量が閾値より大きい場合に要因が発生する。逆に、ある地点での車間距離など、物理量が小さいほど危険度や迷惑度が高くなる場合は、物理量が閾値より小さい場合に要因が発生する。要因発生条件となる物理量は3名の被験者で共通していた。閾値は被験者間で類似していたため、いずれかの被験者が危険や迷惑と感じた値とした。以下に、各要因の内容を説明する。

● 要因①：ウィンカ開始位置不適切

走行車線から追越車線への車線変更には加速を伴うことが多く、基本的には操舵開始後にRFVとの車間距離が減少しやすい。車線変更の実行意図を進入先後続車に報せるには、ウィンカの点灯開始位置がRFV寄りである、あるいはRFVとの車間距離が絶対的に不十分である。

● 要因②：操舵開始位置不適切

要因①と同様に、操舵開始位置がRFV寄りである、あるいはRFVとの車間距離が絶対的に不十分である。また、操舵開始後の不適切な操舵や加速によって後述する要因⑤、⑥、⑦のいずれかが発生した場合、車線跨ぎ時の前後位置取りがRFV寄りであると、その後の要因を誘発した原因と評価される。

● 要因③：走行車線先行車車間不十分

操舵開始時にLLVに接近しすぎて車間距離が不十分である。また、LLVとの車間距離に余裕がない場合、操舵開始直後に加速ができない、あるいは急操舵になりやすいため、その後の要因を誘発した原因と評価される。

● 要因④：追越車線先行車車間不十分

車線跨ぎ時にRLVに接近しすぎて、車間距離が不十分である。

● 要因⑤：追越車線後続車車間不十分での急操舵

操舵開始時におけるRFVとの車間距離が十分でない状況で、急操舵により追越車線に進入する。

● 要因⑥：加速不足状態での緩操舵

加速が不十分な状態で、追越車線への進入に時間をかけ過ぎる。このため、操舵開始後にRFVとの車間距離が減少して後続車ドライバにブレーキ操作を要求する時間が長い。

● 要因⑦：操舵開始後の加速不足

操舵開始後の加速が不十分で、特に車線跨ぎ後にRFVとの車間距離が減少して不十分になる。

3. 2 要因発生条件の分析例

要因発生条件に関する物理量および閾値を特定した分析方法について、要因⑦を例として説明する。被験者のコメントから、要因⑦には操舵開始から車線変更完了までのRFVとの車間距離変化量、および最終的なRFVとの車間距離が関係すると仮説が立った。図4は、要因⑦が多く回答された操舵所要時間が10secの各走行条件での以下の物理量および評価結果を示す。

- 区間(2)~(3), (3)~(4), および(4)~(5)でのRFVとの車間距離変化量
- 地点(5)でのRFVとの車間距離
- 要因⑦が回答されたか否か

図4より、区間(2)~(5)でのRFVとの車間距離変化量が大きく、地点(5)での最終的なRFVとの車間距離が大きい場合に、要因⑦が回答されていることが分かる。このとき、走行条件15の物理量は走行条件33とほぼ同じため、要因発生条件を満たしていると考えた。以上より、要因⑦は次の二つの条件が揃った場合に発生する。

- ⑦-1：区間(2)~(5)でのRFVとの車間距離変化量 > 3.2m
- ⑦-2：地点(5)でのRFVとの車間距離 < 24.5m

他の要因についても同様の分析を行い、図3に示す各要因の発生条件を特定した。

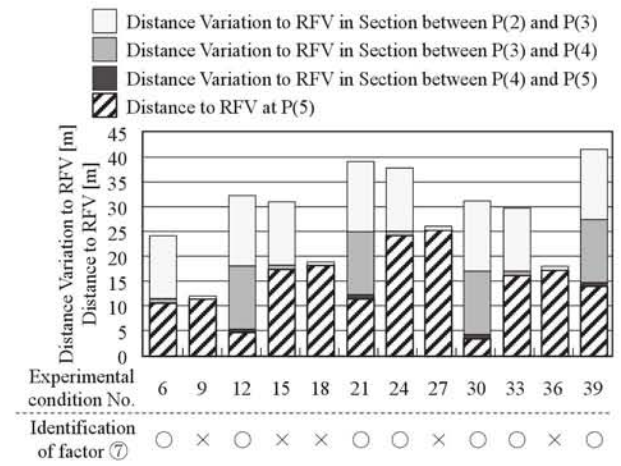


Fig. 4 Distance Variation to RFV and Distance to RFV

4. 危険度および迷惑度の評価指標

4. 1 危険度および迷惑度の考え方

本研究では、危険度および迷惑度を以下に分解して考えた。

- (a) 操舵開始時付近でのLCVとRFVとの車間による危険度および迷惑度
- (b) 周辺車両との位置関係、操舵開始後の不適切な操作による危険度および迷惑度の増分

(a)に関しては、他の物理量に関係なく、操舵開始時付近のある時点で進入先後続車ドライバが絶対的に感じる危険度および迷惑度の度合いである。よって、先行車追従時における後続車ドライバの危険度を表現するRF (Risk Feeling) (6)の考え方にならい、操舵開始時付近におけるLCVとRFVとのTTC (Time To Collision：衝突余裕時間) およびTG (Time Gap：車間時間) の逆数を物理量の候補とした。

(b)に関しては、LCVと他車両 (特にRFV) との車間距離がある閾値以下、かつその物理量自身が要因発生条件を満たしている場合のみ、危険度や迷惑度に影響する。

例えば、要因⑦に関して、地点(5)におけるRFVとの車間距離が非常に大きければ、操舵開始後にRFVとの車間距離がいくら減少しても後続車ドライバは加速不足による危険や迷惑を感じない。この考え方に基づき、周辺車両との位置関係やLCVの挙動に関する物理量は、要因発生条件を満たす場合のみ、危険度や迷惑度の増分になると考えた。すなわち、以下のように補正して、物理量の候補とした。

$$\begin{cases} |\text{物理量} - \text{閾値}| & (\text{要因発生条件を満たす場合}) \\ 0 & (\text{要因発生条件を満たさない場合}) \end{cases}$$

4.2 危険度および迷惑度の評価指標の導出

4.1 で説明した物理量の候補を説明変数、評価実験で3名の被験者が回答した危険度および迷惑度の主観評価値の平均値を目的変数として、重回帰分析を行った。ここで、要因発生条件に関する以下の物理量は説明変数から除外した。

- ウィンカ操作開始は操舵開始時の 2 秒前で固定したため、要因①と要因②に関する物理量は互いに相関が高く、要因①に関する物理量を除外した
- 要因④に関する地点(3)でのRLVとの相対速度、お

よび要因⑤に関係する地点(2)でのRFVとの相対速度は、RFVとの車間距離変化量と相関が高く、目的変数との単相関がRFVとの車間距離変化量より低いため、除外した。

- 要因⑦に関する地点(5)でのRFVとの車間距離は他の多くの物理量との相関が高く、重回帰分析を困難にし、かつ他の要因により生じる最終的な結果であり、それらの要因を特定することの方が重要と考えたため、除外した
- 要因⑦と類似するため、要因⑥に関する物理量は除外した
- 区間(2)~(5)でのRFVとの車間距離変化量は、LCVがRFVと衝突する領域、すなわち車線を跨ぐ前後でRFVへの影響が異なると考え、区間(2)~(3)と区間(3)~(5)に分けた。

重回帰分析に用いた説明変数、および重回帰分析の結果を表1に示す。また、重回帰分析により得られた危険度および迷惑度の評価指標を図5および図6に示す。このとき、F値から判断すると 1/TTCは残らないが、LCVとRFVの速度差が大きい状況への将来的な拡張を考慮して、1/TTCを追加して評価指標を得た。

Table 1 Details of Multiple Regression Equations for Danger Level and Disturbance Level

	Coefficient of determination		F-test	Explanatory variables																
	F value			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
Danger Level	0.64	15.4	**	1 / TG to RFV at P(2) [1/sec]			0.52	1.76										Partial regression coefficient		
				1 / TTC to RFV at P(2) [1/sec]			0.47	0.24												Standardized partial regression coefficient
				1 / TG to RFV at P(3) [1/sec]			18.9	3.6								20		5.9	0.3	F value
							**									**		*		Judgment
Disturbance Level	0.81	27.5	**				0.7	0.07			2.53	-0.03				0.12		Partial regression coefficient		
							0.53	0.01		0.47	-0.26						0.65		Standardized partial regression coefficient	
							38.7	0.01		34.4	7.9						37.5	2.5	F value	
							**			**	**					**			Judgment	

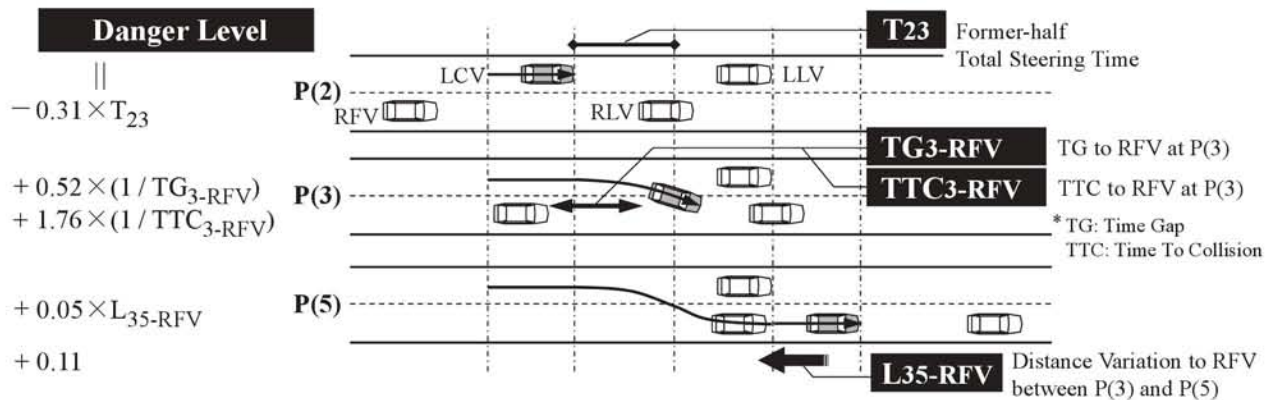


Fig. 5 Evaluation Index of Danger Level and Related Physical Quantities

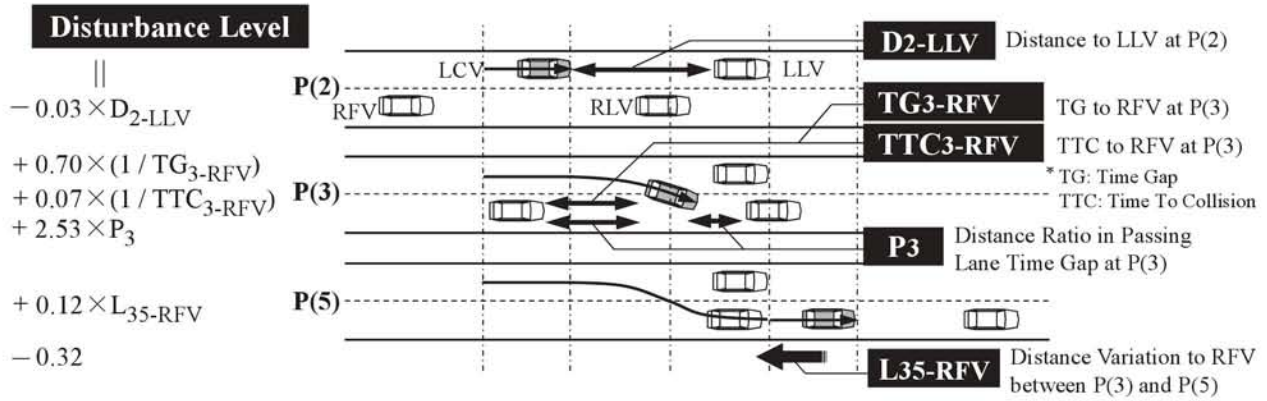


Fig. 6 Evaluation Index of Disturbance Level and Related Physical Quantities

5. 考察

5. 1 評価指標の解釈

図5より、危険度評価指標の解釈について考察する。地点(3)でのRFVとのTTCおよびTGは操舵開始直後に進入先後続車ドライバがブレーキをどの程度踏むかを、区間(2)~(3)での操舵前半所要時間はブレーキ反応時間の余裕を、区間(3)~(5)でのRFVとの車間距離変化量は最終的にどれだけブレーキを踏み続けるのかを意味すると考えられる。よって、これらの物理量から成る危険度評価指標は、進入先後続車ドライバのブレーキ回避余裕の小ささを表現すると解釈できる。

一方、図6より、迷惑度評価指標の解釈について考察する。地点(3)でのRFVとのTTCおよびTC、地点(3)での前後位置取りは、進入先後続車に対して操舵開始後の車間距離減少を配慮しているかを意味すると考えられる。また、地点(2)での走行車線先行車との車間距離は操舵開始後の急操舵や加速不足を誘発する間接的な原因になっていないかを、区間(3)~(5)でのRFVとの車間距離変化量は不適切な加速により後続車ドライバに不必要なブレーキを踏ませているかを意味すると考えられる。よって、迷惑度評価指標は、改善可能な不適運転行動の程度を表現すると解釈できる。

5. 2 従来指標との比較

図7は、評価実験に用いた39種類の走行条件について、従来指標としての操舵開始時におけるRFVとのTTCと、危険度の主観評価値の相関を示したものである。同様に、図8は本研究で作成した危険度評価指標の値と、危険度の主観評価値の相関を示す。危険度の主観評価値について、危険な場合と危険でない場合の境界を1.5と仮に定義した。図7より、特に1/TTCが0.07から0.13のとき、1/TTCが同程度でも危険度が大きく異なる場合がある。これは、開始後の操作の善し悪しによって、開始時の後

続車車間による危険度と最終的な危険度が異なったためと考えられる。一方、図7より、危険な場合と危険でない場合の境界が多少判別し切れていないが、相関係数は0.64であり、作成した評価指標は従来指標よりも適切に評価できていることが分かる。また、従来研究には見られない新たな試みである迷惑度に関しても同様に、作成した迷惑度評価指標の値と、迷惑度の主観評価値の相関を調べると、同程度の相関が得られた。

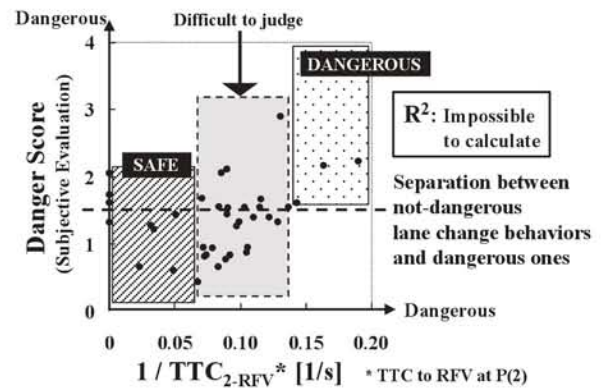


Fig. 7 Correlation between Conventional Index and Danger Score

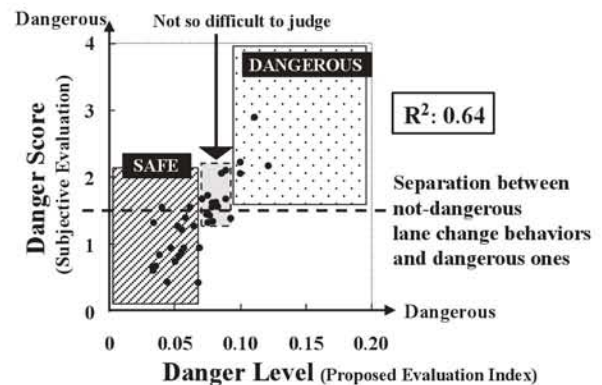


Fig. 8 Correlation between Proposed Index and Danger Score

6. 運転支援への応用

6.1 規範的な車線変更

表1に示した危険度および迷惑度の評価式から、これらの値が低くなる規範的な車線変更について考える。

表1より、危険度、迷惑度ともに地点(3)車線跨ぎ時における追越車線後続車RFVとの車間時間が大きく影響する。また、迷惑度評価指標より、同じく地点(3)での前後位置取りも影響度が高い。これらを合わせると、地点(3)車線跨ぎ時には、追越車線後続車RFVとの車間を十分に保ち、かつ、できるだけ先行車寄り位置取りをして隣接車線に進入すべきことが分かる。

次に、区間(3)~(5)における追越車線後続車RFVとの車間距離変化量も、危険度、迷惑度ともに強く影響する。この区間における車間距離の変化量を小さくするためには、車線を跨ぐまでにできる限り加速を行い、追越車線を走行する車両との相対速度を小さくすべきである。ここで、車線を跨ぐ前、すなわち走行車線にいる間に加速するためには、走行車線先行車LLVとの車間距離を十分にとっておく必要がある。これにより、迷惑度に影響する地点(2)での走行車線先行車LLVとの車間距離を大きくすることができる。

これらを満たした上で、危険度に影響する区間(2)~(3)での操舵前半所要時間を大きくするために、穏やかな操舵により隣接車線へ進入すればよい。

以上より、規範的な車線変更は次のように整理できる。このときの車線変更の手順を図9に示す。

- 加速を開始する前の操舵開始時付近では、走行車線先行車LLVとの車間距離を十分に保つ

- 追越車線に進入する前に加速することを考慮した上で、車線跨ぎ時の位置取りを予測し、追越車線後続車RFVと先行車RLVの走行に合わせたタイミングで加速および操舵を開始する
- 追越車線に進入する前にできる限り加速して、追越車線後続車RFVとの相対速度を小さくする
- 緩やかな操舵で隣接車線に進入する
- 車線跨ぎ時に追越車線後続車RFVとの車間を保ち、先行車RLV寄りの位置取りで追越車線に進入する

6.2 運転支援システムへの応用

車線変更実行中の運転支援システムでは、危険度および迷惑度の評価指標は、車線変更を安全に実行できない可能性が高い場合の警報作動の判定基準として用いることができる。

すなわち、操舵開始時点で、車線変更車両LCVと追越車線走行車両RFVおよびRLVとの相対速度を計測し、残りどれだけ加速が必要か、その加速を車線跨ぎ前に行うのに走行車線先行車LLVとの車間距離は十分であるかも判定する必要がある。これを踏まえた上で、追越車線後続車RFVとの車間が十分であるか、車線跨ぎ時に追越車線走行車両の2台の間に適切な位置取りで進入することが可能かを予測して、総合的に判定する必要がある。

以上の判定を行った上で、車線変更実行可否の警報を作動させる。さらに、危険と判定して警報を作動させたときには、次節6.3で説明するような安全運転教育を後に行うことで、どのような危険性が高かったために警報を作動させたかを示すことができ、ドライバの優良化につながる支援が可能になる。ただし、リアルタイムでこ

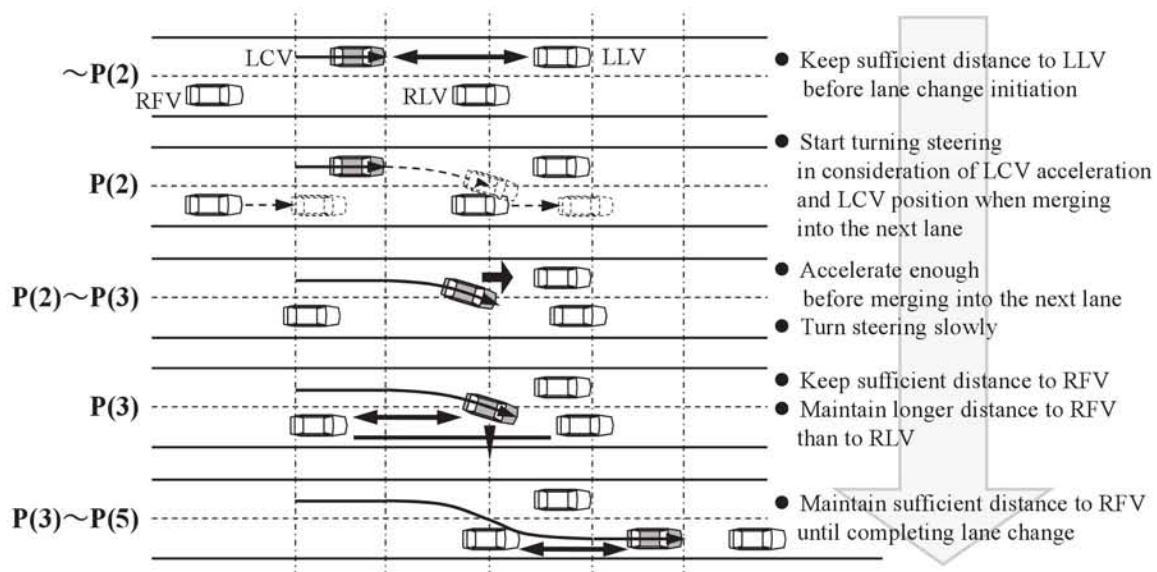


Fig. 9 Procedure of Conducting Desirable Lane Change Behavior

これらの測定および予測を行うには、センサ技術や車両挙動予測技術が高い精度で求められる。

6.3 安全運転教育への応用

前節 6.2 で議論した車線変更実行中の運転支援システムが実現する環境であれば、実際にとられた運転行動の計測データを評価、診断して、車線変更実行後にドライバーへフィードバックする安全運転教育も実現する。

作成した評価指標は、総合的な危険度および迷惑度の値に加えて、各物理量により構成される評価式の各項の値も求められる。すなわち、どの物理量が原因で危険度や迷惑度が高くなったかを特定できるので、具体的な問題をドライバーに示すことができる。そして、6.1 で考察した規範的な運転行動と比較して、どのように運転を改善すればよいかという安全運転教育を行うことができる。

また、ドライビングシミュレータを用いれば、車線変更が難しい状況でのトレーニングも可能である。この場合、運転支援システムのように危険の可能性が高い場合に車線変更を中止させる支援だけでなく、周辺車両との車間距離の取り方、加速や操舵の強さおよびタイミングを時系列でドライバーに提示することで、ドライバー自身が規範的な車線変更を練習して習得できるようなトレーニング形式の安全運転教育もできると考えられる。

7. まとめ

本研究では、ドライビングシミュレータを用いた車線変更の評価実験により、危険度および迷惑度を定量的に表現する評価指標を作成した。そして、以下を明らかにした。

- 危険度は進入先後続車ドライバーのブレーキ回避余裕の小ささを表現し、車線跨ぎ時における進入先後続車とのTTCおよびTGに加えて、操舵前半所要時間および進入先後続車との車間距離変化量が影響する
- 迷惑度は改善可能である不適切な運転行動の程度を表現し、車線跨ぎ時における進入先後続車とのTTCおよびTGに加えて、車線跨ぎ時の前後位置取りが影響し、また、不適切
- 3 車加速操作に関する走行車線先行車との車間距離および進入先後続車との車間距離変化量が影響する
- 操舵開始時における進入先後続車とのTTCのみを用いた従来の評価指標と比較して、開始後操作を含めた危険度を適切に評価できる
- 高度なセンサ技術の開発が進めば、車線変更実行中の

運転支援システムや、車線変更実行後の安全運転教育にも応用可能な実用性の高い評価指標である

本評価指標は、ドライビングシミュレータと実際の運転状況とで距離感および速度感が異なる可能性があること、実験での走行条件にはない状況、特に車両間の速度差が大きい状況で適用できるかが未検証であることが課題である。

本研究は、著者が(株)豊田中央研究所に在職中に行われた研究である。

参考文献

- 1) 財団法人交通事故総合分析センター、「交通事故統計年報」、平成20年度版、2009年
- 2) 国土交通省自動車交通局、「平成17年度映像記録型ドライブレコーダーの搭載効果に関する調査報告書」、2006年
- 3) 信時宜和、高橋達朗、清水賢治、松本成司、花田充基、「後側方障害物警報システムの開発」、マツダ技報、No.26、pp.124-130、2008年
- 4) 森岡俊之、上地正昭、佐々木和也、小坂洋明、西谷紘一、「合流支援のための運転行動解析」、自動車技術会論文集、Vol.37、No.6、pp.213-218、2006年
- 5) 谷口実、「高速道路の車間距離」、自動車技術、Vol.37、No.5、pp.518-523、1983年
- 6) 近藤崇之、山村智弘、北崎智之、「先行車接近時におけるリスク感の定量化に関する研究」、自動車技術会秋季学術講演会前刷集、No.99-05、pp.23-26、2005年