

IV-24 障害物、カーブにおけるドライバーモデルに関する研究

北海道大学工学部 学生員 野見山 尚志  
 学生員 横山 貴士  
 正員 中辻 隆  
 正員 小野寺 雄輝

1. まえがき

近年急増している交通事故を未然に防ぐために有効な予防安全技術の開発が注目されている。このような状況に対して、自動車の高知能化を狙いとした安全実験車の開発が推進されている。そのために、人間の運転動作のモデル化は非常に重要である。人間の運転動作のモデル化とは、ドライバの操縦動作を数学的に表現することである。モデル化によって事故の防止、事故の再現、道路の線形設計、あるいは人間の運動特性をとらえることができる。

ドライバーモデルに関する研究には、直線モデル、曲線モデル、車線変更モデル、追従モデルなどがある。本研究では、既存の直線減速モデルについて運転歴の違い、夏道、冬道の違いを実車走行試験を行ってモデルの妥当性の評価を行った。

2. ドライバーモデル

本研究では、吉本<sup>1)</sup>らが提案した予見追跡制御則に基づく積分制御を基本構造とした直線減速モデルを用いた。このモデルは、周りの車などの影響を全く受けずに運転者が前方に障害物を発見して、それに追突しないように停止するというものである。

運転者は、現在の車速 $V$ と、加速度 $a_x$ 、障害物との距離 $D$ によって、車速制御動作を決定するものとする。減速方法は障害物の手前に安全に停止するために、障害物の状態を把握できる地点まで十分に減速する前半と、その後停止位置を決め、そこに停止するように車速制御をする後半に分けてモデルを作った。

2. 1 減速動作の前半

図1のように、現在の車速 $V$ と加速度 $a_x$ を維持したまま減速していき、減速動作が前半から後半に切

り替わる速度偏差判断地点 $D_v$  (m) に到達したときの車速を $V_1$ を予測すると、

$$V_1 = \sqrt{V^2 + 2a_x(D - D_v)} \quad (1)$$

と求められる。次に、運転者が速度偏差判断地点において十分安全であると感じられる速度 $V_s$ が存在すると仮定する。この安全速度 $V_s$ に対する予測速度 $V_1$ の偏差 $e_v$ をとり、これに速度偏差しきい値 $e_{v,min}$ を考慮する。ここで $e_v \leq e_{v,min}$ であれば偏差をゼロにする。 $e_v \geq e_{v,min}$ ならば偏差はそのまま $e_v$ とする。こうして得られた偏差にゲインをかけて、無駄時間のある積分動作を行うことによってブレーキ指令値を決定する。無駄時間とは、運転者が状況を判断してから実際に行動を起こすまでの判断遅れの時間である。速度偏差しきい値 $e_{v,min}$ に関しては、速度偏差判断地点が近づくにつれて、運転者はより小さな速度偏差でも判断できると考え、 $D - D_v$ に比例するものとし、ブレーキゲインについては逆に障害物に近づくにつれて大きくなると考えて $D - D_v$ に反比例するものとした。以上のことを繰り返し、障害物との距離 $D$ が切り替え距離 $D_c$ 地点まで行われる。

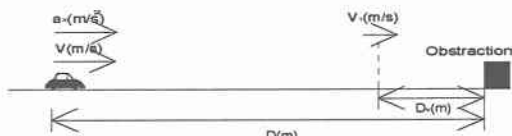


図1. 減速動作の前半

2. 2 減速動作の後半

減速動作の後半は停止するための減速動作である。前半から後半の切り替えは、障害物との距離 $D$ が切り替え距離 $D_c$ を下回った地点で行われる。この距離は減速開始前の車速によらず一定である。

図2のように、停止位置を決めるための減速動作では、運転者は現在の加速度を維持して停止した場合の、停止した地点での障害物との距離 $D_1$ を予測すると、

A Study of Driver Models for Obstacles and curves  
 by H. NOMIYAMA, T. YOKOYAMA, T. NAKATUJI, Y. ONODERA

$$D_1 = D - V^2 / 2a_x \quad (2)$$

と求められる。これに対し、運転者は障害物の手前  $D_s$  (m) の地点に停止目標を定める。減速動作の前半と同様にして後半では目標位置に対する予測位置の偏差に応じてブレーキ踏力の制御が行われる。 $D_s$  に対する予測停止距離  $D_1$  の偏差  $e_d$  をとり、これに距離偏差しきい値  $e_{d\min}$  を考慮する。ここで、

$e_d \leq e_{d\min}$  であれば偏差をゼロにして、 $e_d \geq e_{d\min}$  ならば偏差はそのまま  $e_d$  とする。この偏差にゲインをかけて無駄時間のある積分動作を行うことによってブレーキ指令値を決定する。距離偏差しきい値は障害物との距離  $D$  に比例し、ゲインは反比例する。以上のことを停止するまで繰り返す。

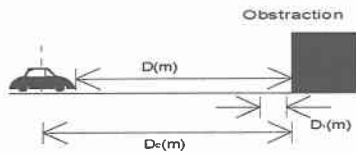


図2. 減速動作の後半

### 3. 実車走行実験

#### 3. 1 実験コース

本研究で使用したコースは、図3で表されるような一般公道を使用した。この一般公道は非常に交通量が少なく、実験最中に他の車の影響を受けることは全くなかった。

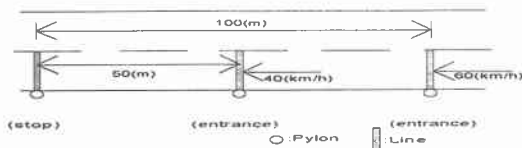


図3. 直線減速試験の実験コース

実験車両として用いた車は、後輪駆動状態でのNISSANサファリを使用した。実験は60 (km/h) で進入し100 m先の停止線に停止するのと、同様に40 (km/h) で進入し50 m先の停止線に停止する実験を夏道、冬道それぞれ行った。運転者には通常運転しているのと同じような走行を心がけてもらった。実験前には何度か実験車両を運転してもらい、十分慣れてから熟練ドライバ (冬道も含めて運転歴10年以上) 3名と一般ドライバ (冬道も含めて運転歴3年以内) 4名に対して実験を行った。冬道は圧雪路面で気温は3°Cであった。実験では、重心X

方向と重心Y方向、ヨー角、操舵角、操舵力、ブレーキ圧、アクセル開度を測定し、速度、距離は試験車の後ろに第5輪を設置して測定した。

### 4. 実験結果

全体的に見て両レベルでの大きな違いというと、ブレーキを踏むタイミングが熟練ドライバよりも一般ドライバの方が早くなっている。そして、一般ドライバは何回かブレーキを強く踏んで停止しているのに対して熟練ドライバは強い踏み込み一回で停止している。従って速度の変化も熟練ドライバの方が障害物により近い位置で急激に減速している。この特徴は停止位置までの距離が短ければ短いほど顕著に現れて、両レベルの差が大きくなっている。

冬道の速度のグラフの大きなぶれは、冬道の路面が凸凹だった影響だと思われる。全体的に見て冬道の方がアクセルを放してブレーキを踏むタイミングが早く、何回かポンピングブレーキをかけているのをかけているので速度も非常にだらかである。

両レベルでの差は夏道と同様でブレーキを踏むタイミングが熟練ドライバよりも一般ドライバの方が早くなっている。しかし、距離の差によってのレベルの差は夏道と比べてそれほど変わらない。

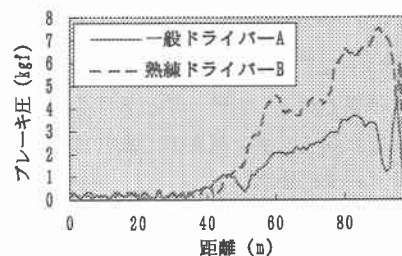
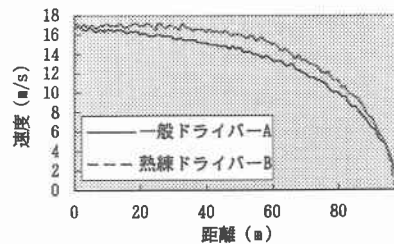


図4. 夏道 (100m-60km/h)

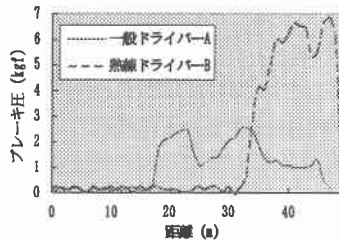
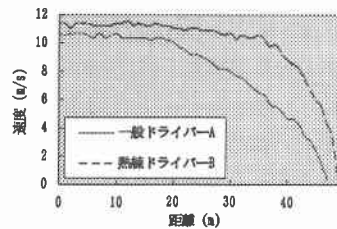


図4. 夏道 (50m-40km/h)

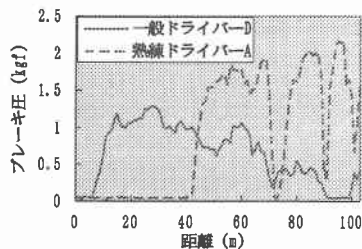
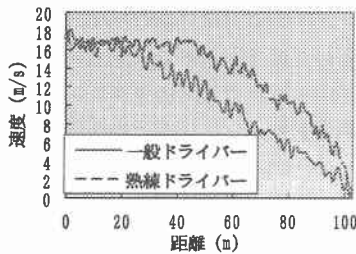


図6. 冬道 (100m-60km/h)

## 5. ドライバーモデルと実験結果の比較

ここでは3章で測定したデータとドライバモデルを用いたシミュレーション結果の比較をおこなう。

### 5. 1パラメータの決定

まず、実験結果よりドライバモデルに必要なパラメータを求める。安全速度 $V_s$ は、障害物の手前に安全に停止するために、障害物の状態を把握できる地点での速度を求めた。ここでは速度-時間曲線の変

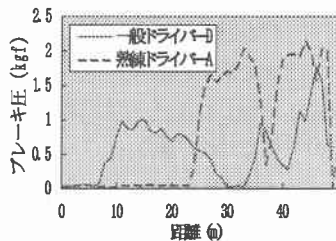
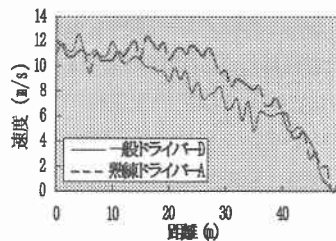


図7. 冬道 (50m-40km/h)

曲点とした。速度偏差判断地点 $D_v$  (m)は、減速動作が切り替わる地点なので実験結果の距離-速度曲線より求め同様に切り替え距離 $D_c$  (m)は、障害物の状態を把握できる地点なので実験結果の距離-ブレーキ圧曲線より求めた。

以上より、実験から求めたパラメータを表1で表す。

表1. 決定したパラメータ

夏 100m-60km/h

	$V_s$	$D_v$	$D_c$
熟練	7	7	20
一般	7	10	20

冬 100-m60km/h

	$V_s$	$D_v$	$D_c$
熟練	7	10	55
一般	7	30	75

次に、速度偏差しきい値ゲイン ( $G_v$ )、距離偏差しきい値のゲイン ( $G_d$ )、ブレーキゲイン ( $G_B$ ) を実測値と推定値の偏差二乗和が最小になるように設定し、すべての被験者について平均を求めると表2のようになった。

表2. しきい値ゲイン、ブレーキゲイン

	$G_v$	$G_d$	$G_B$
熟練	0.12	0.11	1.79
一般	0.10	0.08	1.76

夏道 (100m-60km/h)

表3. しきい値ゲイン、ブレーキゲイン

	$G_v$	$G_d$	$G_B$
熟練	0.11	0.11	1.77
一般	0.11	0.12	1.81

冬道 (100m-60km/h)

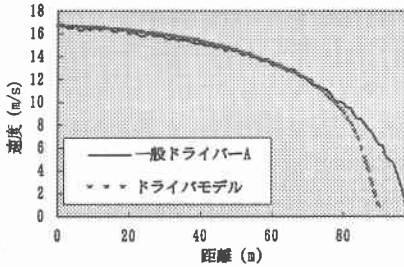
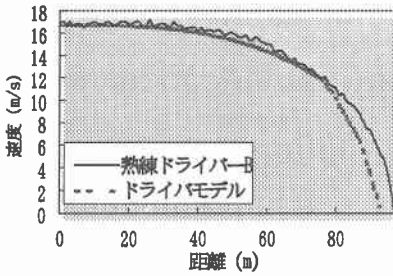


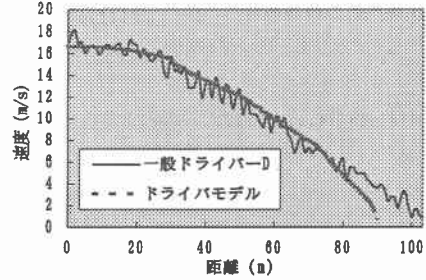
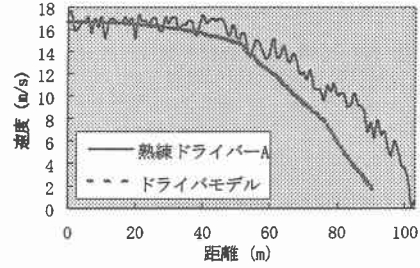
図8. 夏道 (100m-60km/h)

### 5. 1モデルの比較

図9、10は実験結果とシミュレーション結果を比較したものである。

表2を見ると両レベルの差はほとんどなく、夏道、冬道でも差はほとんど見られなかった。したがってモデルにおける感度の高いパラメータは安全速度、速度偏差判断距離、切り替え距離と思われる。夏道に比べ冬道では安全速度の推定が難しかったため、前半の減速動作の再現性が劣ったと思われる。

後半の減速動作は、切り替え距離を推定するブレーキ圧が非常にばらついていたので再現性が劣ったと思われる。したがって、安全速度、速度偏差判断距離、切り替え距離がより正確に把握できればこの



冬道 (100m-60km/h)

モデルの再現性は十分に可能だと思われる。

### 6. 結論

- (1) 夏道、冬道共に、距離が短ければ短いほどドライバレベルによって大きな差が出る。
- (2) 夏道は強い踏み込み一回で停止するのに対して、冬道は何回かポンピングブレーキをかけているので減速も非常に遅い。
- (3) モデルにおける感度の高いパラメータである安全速度、速度偏差判断距離、切り替え距離が正確に推定できれば、この直線減速モデルの再現性が高くなる。

### 7. 参考文献

- (1)吉本他；自動車の運転における車速制御動作のモデリング、自動車技術会学術講演会前刷集936 NO. 9306552
- (2)天野他；過減速を含むドライバモデルの研究、自動車技術会学術講演会前刷集924 NO. 924046
- (3)吉本他；運転動作モデルの改良、自動車技術会学術講演会前刷集892 NO. 892138