

一般道路を運転するドライバの制御パラメータ推定に関する研究

日大生産工(院) ○清水 俊喜
 日大生産工 栗谷川 幸代
 日大生産工 景山 一郎

1.緒言

自動車は移動手段や輸送手段として利用され、現在では手軽さや利便性から必要不可欠な道具として人々の生活に定着している。その一方で、自動車による交通事故が後を絶たず、近年死者数は減少傾向にあるものの、依然として多いままとなっている。そこで各自動車メーカーでは安全性や快適性、利便性の向上のために様々な支援システムが開発されている。支援システムとしてABSや横滑り防止装置など自動車の動きを制御するシステムや、居眠り防止装置、レーンキーピングアシストなどドライバの補助、警告を行う支援システムなどが開発されている。さらに自動車を運転する人間との協調性が近年大きく取り上げられ、各個人の特性に適応した支援システムの開発も行われている。

過去、人間を表現したドライバモデルとして様々なモデルが構築されてきたが、これらの多くは人間を平均的な特性を取り扱っており、ドライバ個々の特性や個人の時々刻々変化する特性の取扱いは十分とは言えない。この人間の制御パラメータの変化を解析することが出来れば、各個人の運転の特徴や、ドライバの状態を推定することが可能になる。

そこで本研究では自動車を運転する人間の時々刻々の制御パラメータの変化に注目し、一般道を走行するドライバの特性変化をリアルタイムで評価する手法の検討を行う。

2.解析用ドライバモデル

自動車を運転する人間は様々な周辺情報を取得し、それらの情報から目標コースや制御動作を決定しているものと考えられる。過去の研究¹⁾よりコースをトラッキングする際には、ドライバの操舵特性は主に道路形状から

決定されるフィードフォワードと運動状態からのフィードバックから記述出来ることを示した。その際の実験コースとして、クローズドコースでのパイロンを壁に見立てることで擬似的に狭路を作り出し、ダブルレーンチェンジの実験を行い、コース情報に対して特性の変化を確認した。本研究では実験コースを一般道に拡張し、一般道でのモデルの妥当性を検討し、ワインディング路でのドライバの運転特性を明らかにする為に、一般道での実車実験を行う。

2.1.実車実験

実験コースとして、以下の条件を元にコース選定を行った。1)比較的緩やかなワインディング路であること、2)対向車、障害物が少ないこと、3)高低差が少ないことを選定条件とし、これに合ったコースを選定した。選定したコースは全長約2.9km、道路幅5~6.5m、最小曲率半径65mのセンターラインの無い道路となり、解析には走行開始から累計走行距離が約1.4kmまでの部分を切り出して検討を行った。図1に実験コースを示す。被験者は比較的自動車の運転に慣れた23歳男性(被験者A)と、普段からあまり自動車に乗らない28歳男性(被験者B)である。

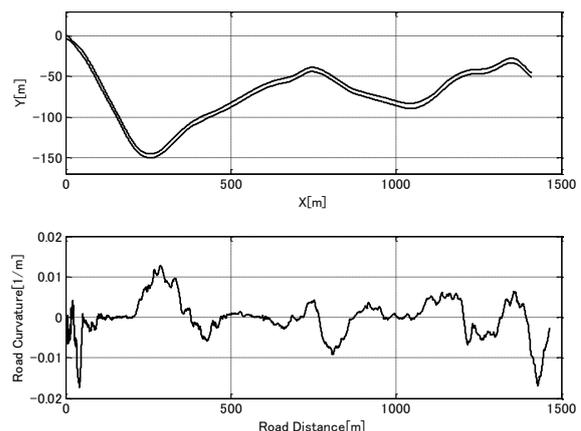


Fig.1 Experimental Course

Study on estimation of driver model parameter at general road.

Toshiki SHIMIZU, Yukiyo KURIYAGAWA, and Ichiro KAGEYAMA

走行時、対向車もいるため安全を優先しつつ、速度、走行コース共に自由な条件で走行を行った。試験車両は国産2500ccの普通自動車を用い、計測機器として光学式2軸車速計、ハンドル力角計、RTK-GPS、3軸光ファイバジャイロスコープ、3軸加速度計、前方カメラを用い計測を行った。自動車の運動として車両状態量と車両軌跡、ドライバの入力として、操舵角、操舵トルク、アクセル開度、ブレーキ踏力を計測した。図2に被験者Bの走行距離に応じた各車両状態量を示す。

2.2.モデル概要

人間は自動車を周辺環境に合わせて運転すると考えられ、まず周辺環境と人間の動作の関係性を明らかにする必要がある。また、ドライバは周辺環境に応じたフィードフォワード制御と自車両の位置などに対する修正動作となるフィードバック制御をしているものと考えられる。フィードフォワード項とフィードバック項の比率を見ることにより、ドライバの特性を解析することが出来る。そこでまず実車実験より得た周辺環境情報と車両運動状態の関係性の比較を行う。ドライバの出力を操舵角とし、その他の周辺環境情報との散布図を取った。散布図を図3に示す。ここでは入力情報をドライバが車両の位置規定に用いている。道路曲率、センターラインのヨー角、センターラインのヨー角速度とした。相対変位としてセンターラインからの横偏差、相対角、相対角速度を用いた。なお、実験に用いた道路にはセンターラインが無いいため、道路幅の中心に仮想センターラインを仮定し、各相対変位を求めた。図3より、操舵角に対する道路曲率、道路ヨー角速度の相関が非常に高いことが分かる。また、横位置や相対ヨー角速度は車両との相対変位であるためフィードバック情報であり、道路曲率と道路ヨー角速度は車両の運動や位置とは関係の無い情報であるため、ドライバに対するフィードフォワード情報として扱う。本研究では道路ヨー角速度をフィードフォワード項の主入力とした。

2.3.フィードフォワードモデル

道路ヨー角速度を入力、出力を操舵角としたフィードフォワードモデルの構築を行った。入力と出力の間に遅れ時間があると考え、相互相関関数を用いて、最大値における遅れ時間を算出した。ここで被験者A,B共に遅れ時間が約0.6秒となった。これは道路形状に対して0.6秒の遅れを持っていることとなり、過去の研究でダブルレーンチェンジを行った際の遅れ時間より大きくなっている。これは実験コースが一般道になったことにより道幅が増えたために、余裕を持った操作をしていると考えられる。次にドライバは前方の道路形状に対して逐一操舵は

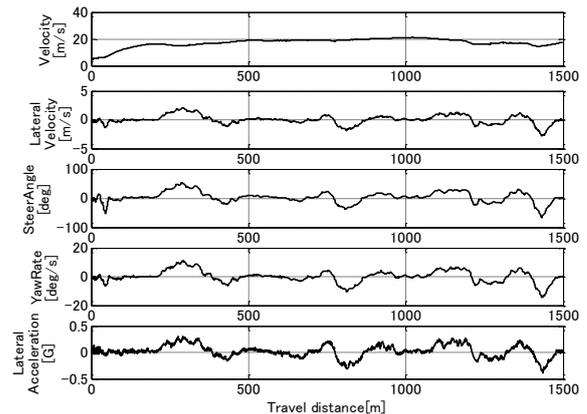


Fig.2 Experimental Data

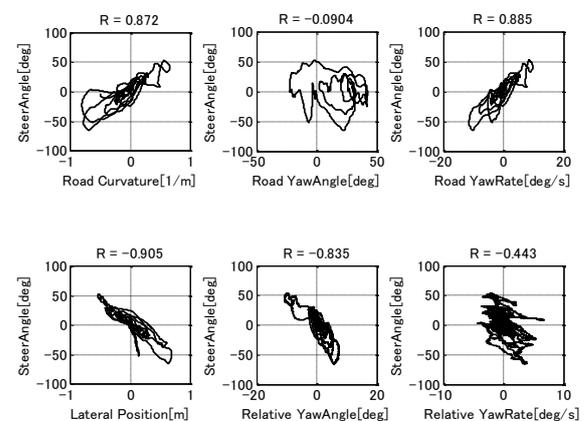


Fig.3 Scatter chart of Relation between Steer Angle and Each Course Information

せず、なめらかな操舵をされると考えられる為、ドライバの遮断周波数を変化していると考えられる。そこで道路ヨー角速度に移動平均を用い、操舵角との相関係数が高くなる移動平均個数を求め、低周波成分の抽出を行った。遮断周波数の算出法を式(1)に示す。

$$f_c = \frac{0.443 f_s}{N} \quad (1)$$

ここで、 f_c : 遮断周波数、 f_s : サンプル周波数の逆数、 N : 移動平均個数を表す。

計測結果を見るとすべてのデータで遮断周波数が0.20Hz付近の値を示した。この値を元に操舵角を目的変数に、遮断周波数を適用した道路ヨー角速度を説明変数として回帰分析を行い、線形モデル化を行った。操舵角の実験値とモデル値の相関係数は0.9以上の値となるため、本モデルをフィードフォワード項として採用する。

2.4.フィードバックモデル

ドライバは目標コースとの偏差に対して修正操舵を加えている。操舵角の実験値より前述で求めたフィードフォワード項を差し引くことでフィードバック項を求める。

フィードバックモデルとして、車両とセンターラインの相対横偏差、相対ヨー角に加え、それぞれの微分値、積分値を説明変数に、

フィードバック項を目的変数に重回帰分析を行った。用いた重回帰分析式を式(2)に示す。

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad (2)$$

ここで、 y : 目的変数, a_n : 偏回帰係数, x_n : 説明変数, a_0 : 切片を示す。実験値とモデル結果の重相関係数が0.8を超えたことから、一般道を走るドライバのフィードバック動作を表現できていると考える。フィードフォワード項, フィードバック項により構築したドライバモデルを図4に示す。上記より得た, フィードフォワードモデルとフィードバックモデルを足し合わせたモデルを図5に示す。これを見ると, 足し合わせたモデルの相関係数が0.8と高い値を示し, 本モデルがドライバの特性を表現しているものと考えられる。

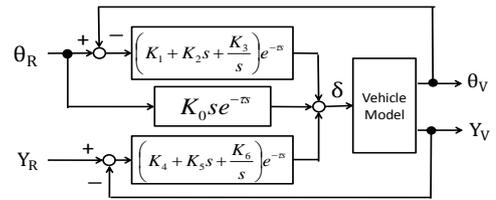


Fig.4 Driver Model

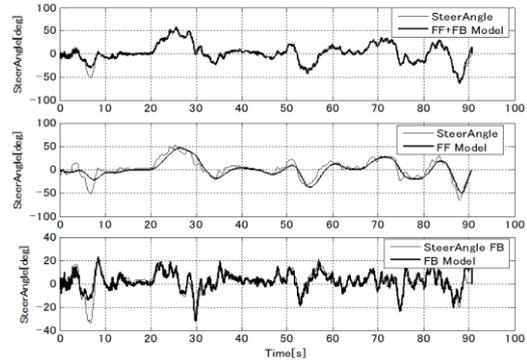


Fig.5 Result of Driver Model

3. ドライバ特性検討

3.1. モデル結果の検討

前項より, 構築したドライバモデルがドライバの制御動作を表現できていることを確認した。これより構築したモデルを用いてドライバが一般道を走行した時場合のパラメータを求める。モデルに実験結果より操舵角のフィードバック成分を目的関数として入力し, 説明変数として相対ヨー角, 相対ヨー角の微分値, 相対ヨー角の積分値, 相対位置, 相対位置の微分値, 相対位置の積分値を入力し重回帰分析を行った。これにより, ドライバが操舵角を決定する際の道路情報, 相対位置情報との関係性をパラメータの大小で比較を行うことが出来る。各フィードバックパラメータは次元を持つため, 標準偏回帰係数を求め比較を行った。図6にモデルより得たフィードバックパラメータの絶対値を示す。なお, 図中のYは相対横位置, Yawは相対ヨー角を表し, P,I,Dはそれぞれの比例ゲイン, 微分ゲイン, 積分ゲインを表す。図より, 被験者A,B共に相対横位置と相対ヨー角の比例ゲインが強く重視している事がわかる。また全体を見ると被験者Bに比べ被験者Aの方がフィードバックゲインが小さいことが分かる。これは, 被験者Aは日頃から運転に慣れていることからこのような結果となったものと考えられる。

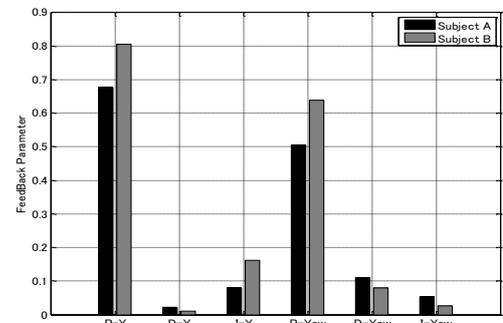


Fig.6 Feed Back Parameter

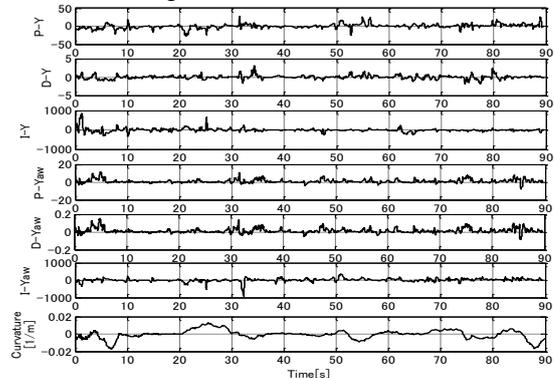


Fig.7 FB Parameter Variations (Subject A)

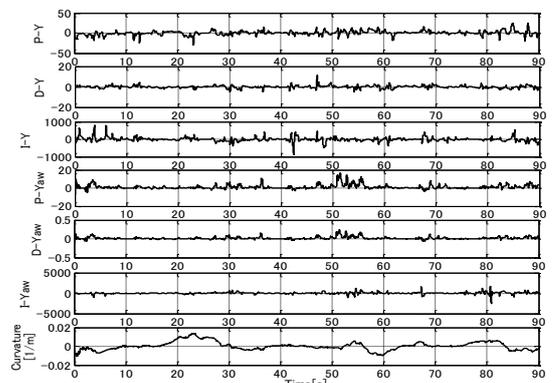


Fig.8 FB Parameter Variations (Subject B)

3.2. パラメータの時系列変動

図6ではある走行データ全体で検討を行った。しかし, ドライバは運転特性を固定ではなく, 周辺環境等に応じて変化させつつ走行していると考えられるため, 次に毎時間ごとに解析を行った。データを1秒(データ数100点)を一区切りとし, サンプリング時間ずつずらして重回帰分析を行った。解析したフィードバックゲインの出力値を図7,8に示す。横軸に時間, 縦軸

に標準偏回帰係数を示す. 図中の一番下は実験コースの曲率を示す. 2つの図より, 走行する時間に対し, 各パラメータのゲインを変えながら走行していることが読み取れる. これらは相対位置情報に対し, ドライバが特性を変化させて運転を行なっていることを表している. また全体を見てみると被験者Bの方が全体のフィードバックゲインが大きいことが分かる. これは前述の通り, 被験者Bは運転に慣れていないため, 修正操舵が多い為と考えられる.

3.3.パラメータ変動の検討

前項で求めたパラメータ変動を見ると各部分ごとに被験者によりゲインが大きく変化している部分がある. そこでこれらの要因の検討を行う. まず図7より走行開始時間で約30秒から40秒の範囲を見ると, 被験者Aは各フィードバックパラメータが大きく変動しているが, 被験者Bではパラメータ変化が現れていない. この要因を確認するために実験時の前方画像, GPS軌跡を見ると, 被験者Aの走行中に対向車2台とすれ違っていることを確認した. コース形状と走行軌跡を図9に示す. 道幅が5.5mのセンターラインの無い道であるため, 対向車に対して左白線に近づき距離を開ける必要がある. 図より被験者Aは左白線に寄せた際に相対横位置とその微分値, 相対ヨー角とその微分値を重視していることがわかる. 次に被験者A,Bの走行開始時間で約50秒から60秒の範囲を見ると被験者Bのパラメータに大きな変動が現れている. 同じく前方画像とGPS軌跡で確認を行うと, 被験者Aは実験コースに対し, 道路の中心付近を緩やかに走行しているのに対し, 被験者Bは左道路端に沿って走行しているのがわかる. 図10にその時の被験者ごとのコース形状と走行軌跡を示す. 被験者Bのフィードバックパラメータを見ると, 相対横位置には変動があまり見られず, 相対ヨー角度と相対ヨー角の微分値のパラメータが変動している. 被験者Bは図中のコースを走行する際に相対ヨー角と相対ヨー角の微分値を相対位置情報として処理し, コースへのトラッキングを行なっていると考えられる. そこで, 本モデルを用いることで各ドライバの特性の違いや, 時々刻々変化する特性の解析に応用可能であると考えられる.

4.結言

本研究では, 一般道において自動車を運転する人間の制御パラメータについて, ハンドル操作と周辺環境情報, 相対位置情報の関係について検討を行った. 重回帰分析を用いてフィードフォワードモデルとフィードバックモデルを構築し, その妥当性を確認した. また, 構築したモデルからドライバの各フィードバックゲインの変動を時系列表現を行った.

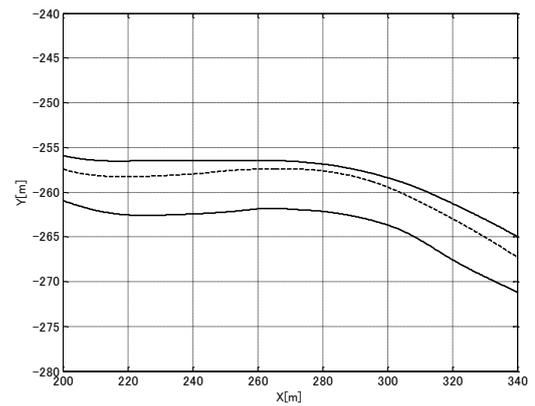


Fig.9 Driving course (Subject A)

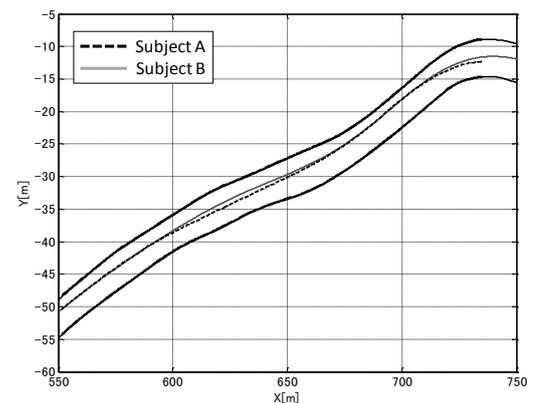


Fig.10 The difference between driving course for each subject

時系列の変動を追って周辺環境との関係性を検討した結果, 各ドライバの特性だけでなく, 対向車などの周辺環境に応じて操舵特性を変えて運転をしていることを明らかにした. 先行研究のドライバモデルの適応性の確認を行い, 一般道でもドライバの特性を表現可能であることを示した.

以上のことより, 本モデルを用いてパラメータ変動を解析することにより, 各ドライバの制御特性の違いを明らかにし, ドライバの状態推定等に応用可能であると考えられる. 今後, 被験者数を増やし, 走行回数に応じた特性変化, 実験コースによる特性の変化などを明らかにする必要がある.

参考文献

- (1)景山ほか:ドライバモデルを用いた操縦動作解析,自動車技術会学術講演梗概集, No.117-06, (2006)
- (2)岡田ほか:ドライバモデルパラメータのオンライン推定に関する研究, 日本機械学会, 交通物流部門論文集, No. 07-51, (2007)
- (3)磯村ほか:ドライバのハンドル操作におけるヒューマンファクタ, 自動車技術会論文集, Vol.27, No.1, (1996)