

自動車を運転する人間のモデル化に関する研究

日大生産工（院） ○岡田 和幸 日大生産工 景山 一郎

1. はじめに

自動車が発明されてから自動車は飛躍的な発展を遂げ、多くの人々にとって代表的な乗り物として、また生活物資の輸送手段として必要不可欠な道具となり社会に密接な関係を持つようになっている。特に自動車が我々の生活に密着した乗り物となって定着した理由として、他の公共交通に比べ目的地まで直接移動が可能で、手軽に所有できる点が挙げられる。しかし、人々に快適性、便利さから急速に発展してきた自動車であるがその一方で、自動車による交通事故の死者数は年々減少し、平成 18 年度では 6352 人となっているものの、事故件数は依然として増加する傾向にあり 100 万件近く発生している。そこで各自動車メーカーは交通事故の対策として、事故を未然に防ぐ予防安全技術に力を入れている。また自動車を運転するドライバーは車両の運動性能を確保するために時々刻々自らの特性を変化させて運転しているとされているため、ドライバーにとって肉体的、精神的に負担になる可能性が考えられる。そこで本研究では、負担軽減のサポートシステム構築の初期段階の方策として、ドライバーのハンドル操作を出力としたドライバモデルを構築し、その入力パラメータの値を時系列で観察することでパラメータ変動からドライバーの負担をリアルタイムで評価する手法確立に移行するための初期段階の報告である。

2. ドライバの情報取得に関する検討

ドライバーの制御動作は種々の情報を取得し、判断することで行われると考えられるため、ドライバーの取得情報に着目して制御動作を推測する必要がある。ドライバーが通常行う操舵を考えると、1)道路などの環境情報、2)自車両と周りの道路環境(実験コース)との相対的な位置情報、3)自車両の過去及び現在の情報の 3 つに分類される。これらを逐一認識して運転していると考えられる。そこでこれらの情報についてドライバーの取得方法を確認するため、実車を用いた実験を行った。

2.1 実車実験に関して

ドライバーの取得情報を変化させるため、コース幅を 2 種類用意して環境情報を変化させた。ハンドル操作にどのような変化が現れるかを明らかにするために、パイロンを壁に見立てることで擬似的にダブルレーンチェンジの狭路を作り出し実験を行った。図 1 に実験コースを示す。また(1)式にレーンチェンジ部の関数を示す。このコースを目標速度の 30 及び 50km/h まで加速し、そのまま一定速度走行してもらった実験を 10 本程度繰り返した。実験は国産 3000cc の普通乗用車を用いて行い、被験者は高齢者ドライバー 3 名で行った。計測項目はヨーレート等の車両状態量、GPS (車両位置)、ドライバーの操作量として操舵角、操舵トルクとした。

$$y = \frac{a}{b}x - a \sin\left(\frac{2\pi x}{b}\right) / 2\pi \quad (1)$$

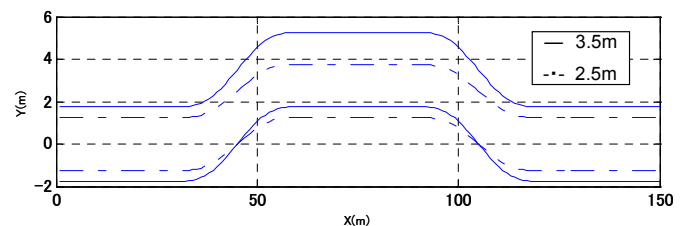


Fig.1 Experimental course

まず検討を行うにあたり、上図 1 のような車線変更路の走行環境において、ハンドル操作を行うにあたりドライバーが取得している情報において、それぞれ列挙する。環境情報においては、ドライバーが比較的認識しやすい道路センターラインのヨー角速度(これを以下道路ヨーレートとする)があげられる。次に相対位置情報においては、ドライバーは走行中絶えず車両位置や車両の姿勢を修正していると考えられるため、道路ヨーレートと車両ヨーレートとの偏差、RTK-GPS による車両の横方向位置座標と道路とのセンターラインからの偏差差、及び、それらの微分値、積分値が上げられる。

列挙した情報とハンドル操作との結びつきを調べるため、統計学的手法の1つである重回帰分析を用いて検討を行った。重回帰分析における検討式を以下の式(2)に示す。

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

ここで重回帰分析は、結果となる目的変数 y とその原因となる説明変数 x を結ぶ線形関係式を導き出し、因果関係を偏回帰係数 a_n によって分析する手法である。本検討では、目的変数にハンドル角、説明変数に上記で列挙した情報とした。ドライバの取得情報をまとめると、ハンドル操作において主に用いている道路環境情報は、自車両の動きに依存しないためにフィードフォワード(以降FF)情報として取得しており、車がドライバの意図しない位置にいるなど修正を加える場合に、FF情報の補足情報としてそれ以外の情報を用い、これは自車両の動きに依存するためにフィードバック情報として取得していると考えられる。これらの結果から図2にモデルの概念図を示す。次章では実験データを基にドライバのモデル化に関して検討する。

3. ドライバモデル

図2を元にドライバのハンドル操作のモデル化を行う。モデル化は、まず実験データからFF情報を用いてモデルの同定を検討し、さらにFF情報のみでは表現できなかった操作量をFBモデルとして検討する。初めに試験コースの中心線を目標コースとして定めた。ドライバはハンドル操作において、最初に環境情報を取得し操縦していると考ええる。その中で操舵角との相関が高い道路ヨーレイトをFF情報として採用する。またFF情報の補足情報をFB情報として採用し、車両情報の中で相関の高い自車両の位置偏差(相対横偏差)、自車両の向き(相対ヨー角)をFB情報として採用した。(1)ここで運転に慣れているドライバはFF情報を多く受けて運転している。

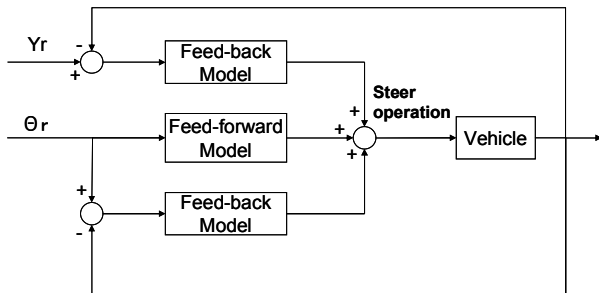


Fig.2 Construction of the driver model

3.1 フィードフォワードモデル

通常ドライバは道路を走行する際道路形状に合わせて運転をするが、このとき目標コースに自車を合わせる時に必ず道路形状に対して操作の遅れが生じると考えられる。そこでこの遅れ時間を考慮するために相互相関関数を用いて時間をずらしながら相関係数を求め解析を行った。その結果、道路ヨーレイトと操舵角の相関係数のピーク値はどの被験者とも約-0.3秒であった。つまり道路形状に対してドライバのハンドル操作は0.3秒程度の遅れをもって操作していることになる。さらに道路形状に対して緩やかなハンドル操作になるようにドライバの遮断周波数も変化すると考え、これも考慮に入れ解析した。遮断周波数は目標コースに移動平均を適応し、これとハンドル角との相関が一番高いときの値で求められ、算出式を式(3)に示す。

$$f = \frac{0.443 \cdot f_s}{M} \quad (3)$$

ここで、 f が求める遮断周波数、 f_s がサンプリング周波数の逆数、 M は相関が一番高くなる移動平均個数である。

被験者ごとにこの遮断周波数を求めたところ、全ての被験者が0.25Hz付近の値を示したことから、本検討では、目標コースに0.25Hzの遮断周波数を適応しFFモデルの入力とする。

ここでは遅れ時間、遮断周波数を考慮したFF部のモデル化を式(2)を用いて検討した。モデルの目的変数に操舵角、説明変数に遅れ時間、遮断周波数を考慮に入れた道路ヨーレイトを採用した。構築した結果を図3に示す。実験値とモデル結果の相関係数は0.9以上と高い値を示し、これによりドライバはレーンチェンジを行う際、主にFF情報を取得して運転していることを確認できた。

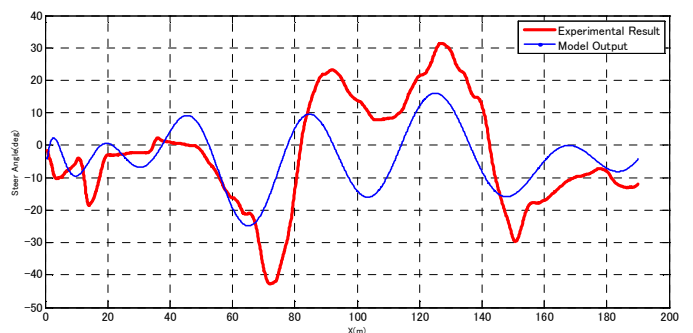


Fig.3 Result for FF model

3.2 フィードバックモデル

前述のFFモデル部のみでは通常操舵できないため、モデル結果と実験値の差分を何かほかの情報で補って

運転していると考えられる。これをFB情報による操舵角として重回帰分析をする際の目的変数とした。また説明変数には相対横偏差、相対ヨー角、およびそれらの微分項、積分項を入力情報として採用した。構築したモデル結果を図4に示す。実験値とモデル結果の相関係数は0.87と高い値を示し、このことからドライバのレーンチェンジを行う際のFB部として表現できていると確認できた。

最後にFF部とFB部の足し合わせたモデルを図5に示す。モデル結果と実験値の相関係数は0.9と高い値を示し両者を足し合わせることでドライバの操縦動作を表現することができたと考える。

本概要では例として一人の被験者の結果のみを示しているが、他の被験者に関しても同様の結果が得られており、このことより、本モデルがドライバの操縦動作を適切に表現できると言える。

4. 運転特性解析

前章までで、図1のドライバモデルを用いた結果より本モデルでドライバの操縦動作を表現できることを確認できた。また3章で述べたようにドライバは通常FF情報のみではなく、車両の姿勢をFB情報で補償している。そこで本節では、ドライバに同一コースを繰り返し走行した場合に運転動作の変化をFB情報パラメータの変動から明らかにし、解析をした結果を示す。

4.1 因子解析

通常FB係数は次元が異なるため、単純に大きさを比較することはできない。そこで大きさのみを比較できるように標準化した係数を図6、7に示す。Yは横変位、Yawはヨー角を示し、PIDはそれぞれ比例、積分、微分を表す。また走行回数の奇数番号がコース幅2.5m、偶数番号が3.5mである。両被験者をみるとコース幅によって重視しているFB情報が異なっていることが分かる。被験者Dは2.5m時にはヨー角と横偏差に対する補償動作がほぼ50:50の割合になっているが、3.5mになるとヨー角に対する補償動作が横偏差を上回りヨー角の偏差に対してフィードバックしていることが分かる。また2.5mと3.5mを比べると変動の大きいパラメータはヨー角の比例動作で6回目を除いて制御の大半をこれに費やし、車両挙動を安定化させるために、この情報を重視している。被験者Eは多少の変動があるものの、全ての走行回でヨー角と横変位を同様に重視して運転している。しかしコース幅の違いにより、ヨー角の比例項と横変位の積分値、微分値に変動が見られる。2.5m幅のときは積分項の比率が低いが3.5mでは増えている。この傾向は同様に比例項、微分項でもみ

られる。そこで特徴的なこの被験者Eに関して、運転動作のパラメータ図8に示す。走行回数ごとの各パラメータをみるとマイナスの係数がある。通常のシステムを考える場合、フィードバック係数がマイナスであるということは、そのシステムは発散系であり不安定なシステムとなることを意味する。しかしドライバモデルのフィードバック係数はマイナスを表している。これはドライバにいろいろな動作を行わせると基本的には不安定に近い動作になるという考えに由来する。そこで次節で1回の走行中にドライバのフィードバック係数がどれほど変動するかを時系列的に表し解析する。

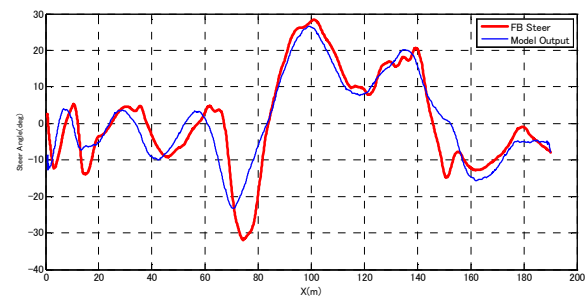


Fig.4 Result for FB model

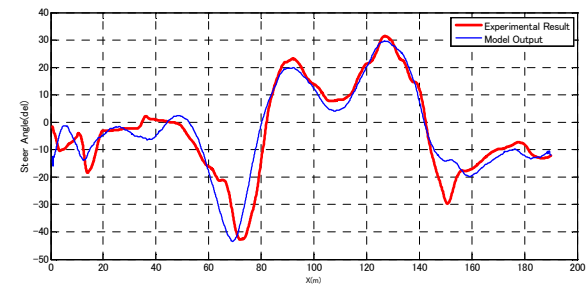


Fig.5 Result for combined model

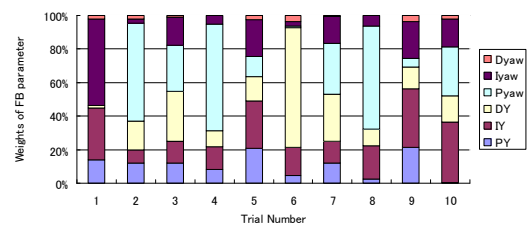


Fig.6 Weights of FB parameters (Subject D)

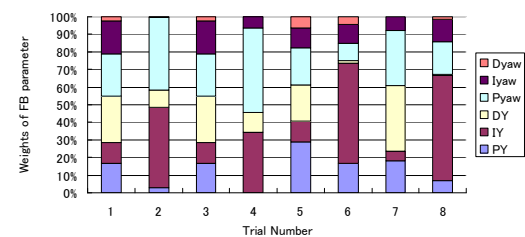


Fig.7 Weights of FB parameters (Subject E)

4.2 時系列パラメータ変動

2章の式(2)で構築したドライバモデルのフィードバックパラメータを時系列で並べたのが図9、10である。データの作成は計測した生データを200個(100Hzのサンプリングなので2秒間)一区切りにし、それをサンプリング時間ずつずらして、重回帰分析を適応した。なお事前に200個程度のデータ数でモデル結果の相関が0.8以上あることを確認してある。図9はコース幅2.5m時の結果である。パラメータの変動が大きいのは走行開始後10秒を過ぎたあたりであり、これ以降でパラメータの値がプラスとマイナスを激しく往復しているのがわかる。ここでマイナスのフィードバック係数を掛けているのは、ドライバが目標位置にできるだけ素早く収束させようとしていると考えられる。そこでコースに対する横偏差とコースヨー角に対する角偏差を図10に示す。これをみるとパラメータ変動の激しい10秒前後から20秒程度をみると共に偏差が大きく、希望する進路に収束させるため偏差に対して補償制御をしていると考える。図6の標準偏帰係数をみても走行回数ごとに変動している係数は、時系列的にみても横偏差の比例項など変動が激しいことがわかる。

図10にコース幅3.5mの結果を示す。これも2.5mと同様にパラメータの変動がみられ、この場合走行開始初期に変動が見られる。図12に示す横偏差とヨー角偏差を見ると走行初期にヨー角偏差に誤差を0にするような振動がみられる。これがヨー角偏差のパラメータ変動に影響していると考えられる。また走行開始後8秒後に誤差が大きくなるが、パラメータの変動はあまりない。これはコース幅が3.5mであるためコース通過に余裕があり目標として定めているコース中心を通らず、遮断周波数の関係でコースを滑らかに通過しているため誤差が大きくなっていると考えられる。

5. まとめ

本概要では、ドライバの取得情報に着目し、実験結果を元にドライバのハンドル操作に関して検討を行ってきた。その結果、ドライバの運転動作について重回帰分析を用いて構築し、その妥当性を確認できた。さらに構築したモデルを用いた特性解析から運転中に重視している情報を明らかにし、時系列で表現できることを確認した。

以上のことより本モデルを用いてパラメータ変動を時系列に表現してもその変動より、ある程度のドライバの運転動作における目標コースにおける収束性や微分動作による運転の負担度合いなどを測ることができる可能性があることが明らかになった。今

後は本モデルを走行中に監視しパラメータの変動をオンラインで観察できるように検討する。

参考文献

景山一郎：ドライバモデルを用いた操縦動作解析、自動車技術会前刷り集、No. 117-06、p. 1-4 (2006)

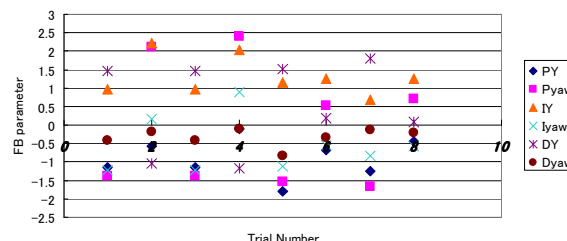


Fig.8 FB parameters (Subject E)

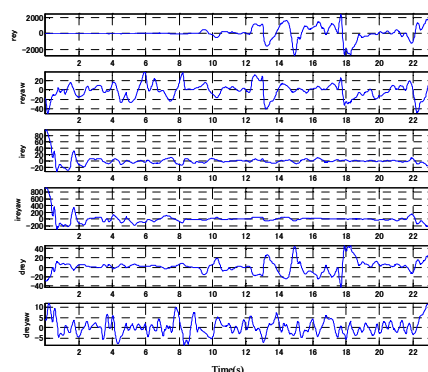


Fig.9 FB parameters (time series)

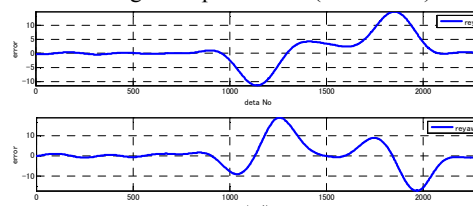


Fig.10 error

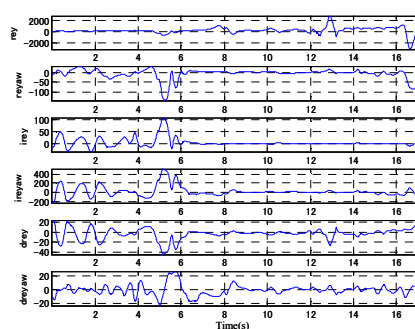


Fig.11 FB parameters (time series)

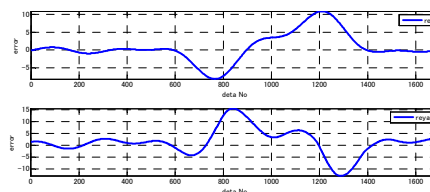


Fig.12 error