

運転動作解析を目的としたドライバモデル構築について

○日大生産工 景 山 一 郎

1. まえがき

先進国を中心とした高齢化が大きな社会問題となってきた。我が国においても、現在5人に一人が65歳以上の高齢者となっており、10年後の2014年には4人に1人になると推計されており、すでに高齢社会に突入している。これに伴い、高齢ドライバが急増しており、とりわけ70才以上のドライバは今後5年間で倍増する見通しである。この傾向を事故発生率で見ると、高齢者免許保有数の増加率を高齢者による事故増加率が上回っている。これは、実際に運転をする高齢ドライバの増加や運転距離の増加などが考えられている¹⁾。

高齢者の自動車使用状況を確認するために、高齢者の外出時の移動手段について内閣府で行われた平成12年度総合調査「高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査結果」によると、全高齢者の移動手段としては、徒歩、自動車を運転、自転車を運転など高齢者自身によって移動している比率が非常に高いことがわかる。特に自動車を運転して移動すると答えた人の比率は、年齢層の増加に伴い大きく減少しているものの、前期高齢者（75才未満）では徒歩に継ぐ比率となっている。また、生活する都市規模で見ると、大都市部ではバスや電車等の公共交通機関が発達しているためこれら公共交通の利用率が徒歩につづき高いと考えられるが、都市規模が小さくなるに従いこの比率が減少し、小都市や町村では圧倒的に高齢者自身が自動車を運転して移動する比率が高いことが分かる²⁾。このように、高齢者ができるだけ長く社会で自立するためには、自動車の使用が欠かせない事になり、そのサポート体制確立が急務となる。一般的に高齢ドライバの特徴として、視野狭窄や反応時間の遅延等があげられるが、実際に高齢者

の特性を計測してみると個人差が大きいと、個々のドライバに合わせたサポートシステムの構築が必要となり、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による「高齢運転者に適応した高度運転支援システム技術開発」という研究プロジェクトが平成14年度よりスタートした。しかしこのようなドライバの運転能力を解析するための手法が必ずしも確立しているわけではない。

このような状況から、本研究では、ドライバの運転行動を解析する手法を確立するための第一段階として、人間が環境情報、車両情報をどのように処理しているかに関する解析を目的とした運転動作解析モデルの構築を行う。

2. ドライバモデルの基本構成

ドライバが通常行う操舵を考えると、次のように分類することができる。

- (1) 道路に沿って車両の位置を規定する。
 - (2) 車両の安定性を確保する。
 - (3) 外乱に対する修正や不随意に行う操舵外乱。
- ドライバが行う第一のタスクは(1)の内容にな



図1 VTIドライビングシミュレータ

る。また(2)の内容は車両の挙動変化に対するものであり、雪道等におけるスリップ時のカウンターステアがこの代表的な操舵となる。そこで、これらの要素を含むドライバモデル検討を行う必要がある。なお、本研究で用いるドライバのデータは、図1に示すスウェーデン国立道路・交通研究所のドライビングシミュレータで計測されたものを用いた。コースは自動車専用道路走行時のものであり、片側1車線の道路を約40km区間運転したものである。

2. 1 道路に沿った位置規定操舵

上記40km区間を走行した結果を用い、ドライバへの各種入力と出力である操舵角について相関を取った。検討に用いた入力は位置規定情報と考えられる路面形状(カーブ曲率, センターラインのヨー角, センターラインのヨー角速度)および相対変位(センターラインからの横位置, センターラインとの相対角, 相対角速度, 一次予測偏差, 二次予測偏差)である。これらの値と操舵角との散布図および相関係数を図2に示す。この図より、相関係数が0.8を越える要素は、道路センターラインのヨー角速度および曲率であり、それ以外の要素は比較的相関が低い事が分かる。この結果より、このドライバの操舵に対する主情報が路面形状であり、これは通常走行においてフィードフォワードを主構成要素と考える必要があることを意味する。そこで、本研究ではドライバが情報として比較的認識しやすい道路センターラインのヨー角速度を採用する。また、この値は前方の

道路形状から事前に認識しているものと思われるが、この値をどの段階で実際の操舵に反映しているかを検討する必要がある。そこで、図3にこの時間的な影響(進みまたは遅れ)について検討した結果を示す。これは入力情報について時間的なずれをパラメータとして相関を取った図である。この被験者の場合、フィードフォワードを操舵角に反映するために、約0.4秒程度の遅れが生じていることが分かる。

2. 2 位置規定のためのフィードバック操舵

車両を道路に対して走行させるためには、主成分としてフィードフォワードが大きいことが分かった。しかし、この値だけでは安定した操縦は行えない。つまり、位置決めのためのフィードバックを必要とする。そこで、実験で得られた舵角より、前述のフィードフォワードによる成分を差し引くことにより、それ以外の操舵について検討することができる。

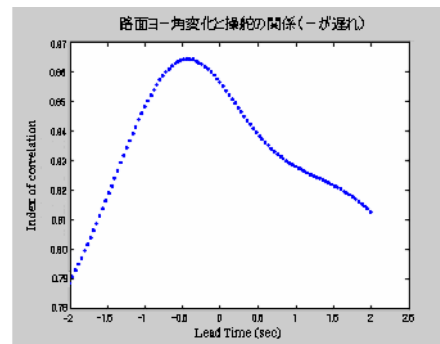


図3 フィードフォワードの遅れ時間

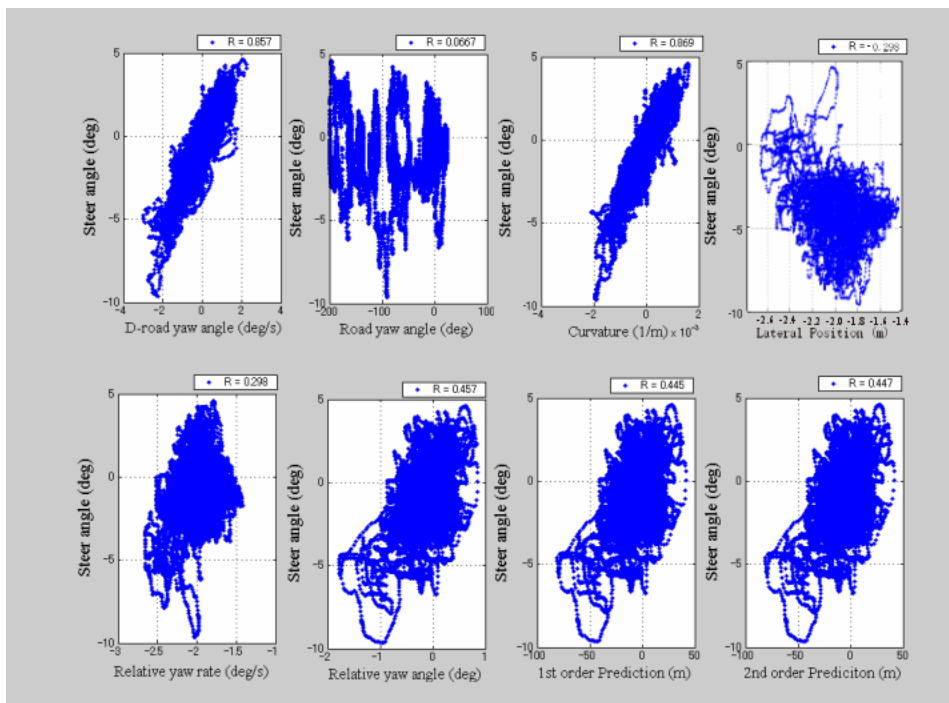


図2 操舵角に対する各種情報の相関

図4にフィードバックによる操舵との関係について検討を行った結果を示す。採用した情報は、道路との相対ヨー角、相対横変位、一次予測偏差、二次予測偏差である。この結果、これらの値の相関は比較的低いことが分かり、これらをフィードバック要素として採用できないことがわかる。そこで、幾つかの情報に対する重回帰分析を行う。フィードバックパラメータとして、道路センターラインとの相対ヨー角、同ヨー角速度、相対変位、相対速度の4項目を用いた重相関解析の結果、この被験者の場合、0.944という高い重相関係数を得ることができた。そこで、フィードバック要素として、これらを採用することとした。また、前述のフィードフォワードの解析同様、この遅れ時間について検討を行った結果、被験者により異なるが、わずかな遅れが存在することが確認できた。そこで、フィードバック要素として、遅れを伴うこれらの値を採用することとした。

2. 3 安定化のための状態フィードバック

次にドライバーが行う操縦の中で、車両の安定化のために行う操舵を考える。そこで、前述のフィードバック操舵から、位置制御のためのフィードバック操舵成分を差し引いた値について検討を行う。幾つかの状態量について検討を行った結果、ヨーレイトおよびヨー角加速度と操舵角の相関が高いことが分かり、これらをフィードバックすることが有効となる。また、これら2つ

の応答と操舵角について重相関を取った結果、図6に示すように時間遅れに対し2つのピークが現れることがわかる。1つが時間遅れ、もう一つが時間進みとなった。この進みは約0.15~0.2秒程度であることから、操舵に対するヨーレイト等の応答を表しているものと判断される。そこで、本研究では、位相遅れ項を採用することとする。この場合の相関係数はこの被験者の場合、約0.94程度と非常に高い値となった。また図にしめされるように、この計測の分解幅の関係で遅れ時間は0となったが、実際にはわずかな遅れが存在するものと判断される。

2. 4 モデルの結果

上記の3つの操舵成分が操縦に直接関わる項目と考えられる。そこで、これらによる操舵成分を

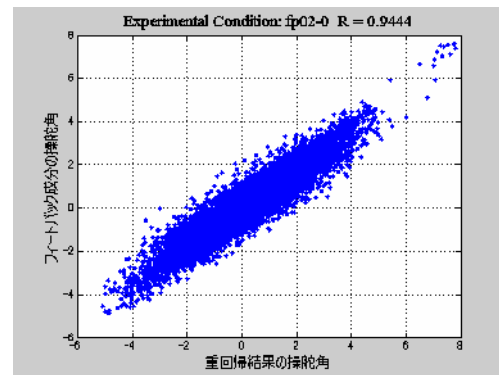


図5 フィードバック操舵と相対位置情報との重相関解析結果

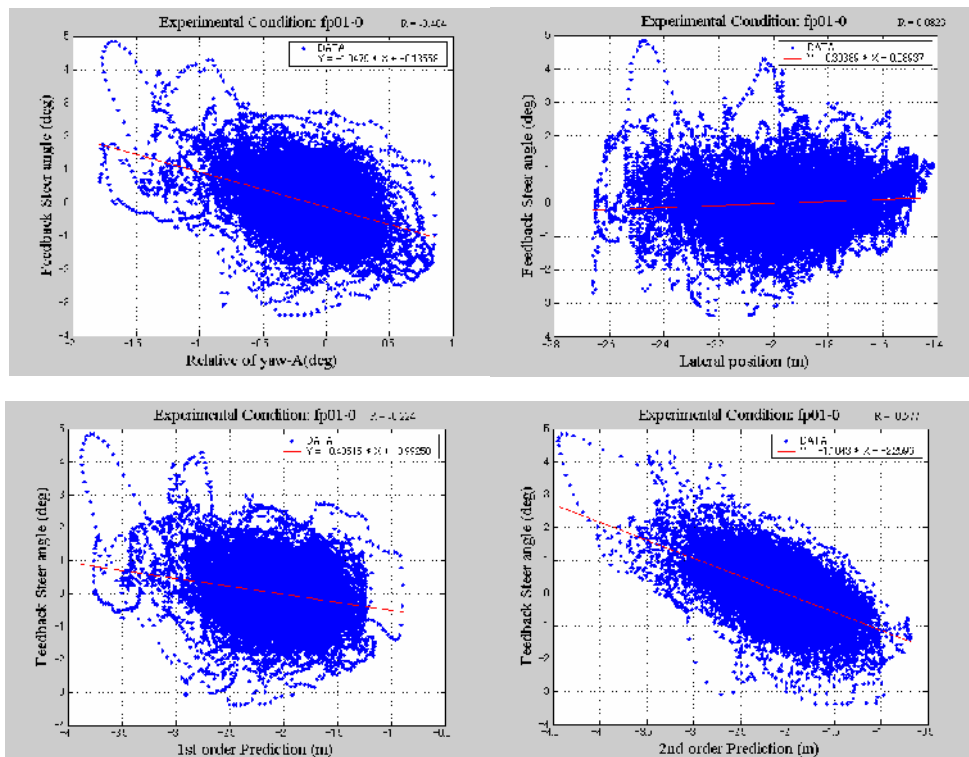


図4 フィードバック操舵と各種情報との相関

加え合わせたものと、実際の操舵の関係を図7に示す。図より明らかなように、全コース(約40km)における操舵角と解析モデルの結果が非常に良く一致していることが分かる。このことから、本解析モデルにより、ドライバの操舵特性を良く表現出来ているものと判断される。また、本解析を用い、他の8名の被験者について同様な解析を行ったところ、同様な結果を得ることができた。

次に、図8に個々の操舵要素を全コースについて示す。この結果は各1km区間事に求めたものであるが、この図より、走り始めにはフィードフォワード成分が若干小さくなっており、変わりに位置フィードバック成分が大きくなっていることがわかる。これより、本解析手法が学習過程を表現できるものと考えられる。

3. ドライバモデル構築

前述のドライバの基本動作を用いてドライバモデルを構築する。高速道路等の直線路が多い道路走行時のモデル構築を行う。モデルへの環境情報として、道路センターラインのヨー角およびセンターラインに直交する方向の横変位とする。これにより、フィードフォワード成分とフィードバック成分について遅れ時間を考慮した伝達関数で記述する。また、安定化制御としては、上記操舵に対するヨーレート成分から実際のヨーレート成分

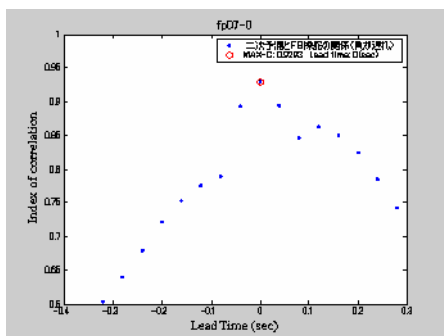


図6 状態フィードバックの遅れ解析

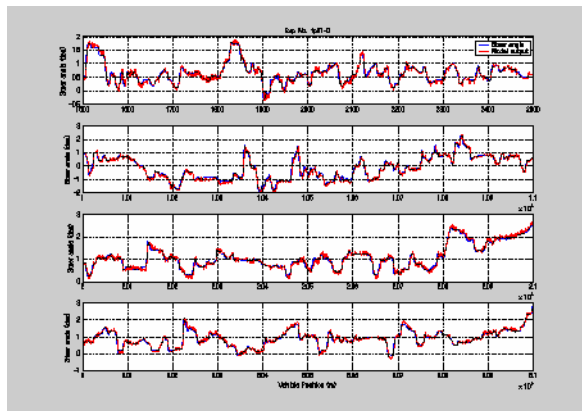


図7 解析結果と実操舵角の比較

を差し引いた値に対しPD制御を行うものとする。またこの伝達関数には無駄時間項を考慮した。これに対し、レムナントを考慮したモデルを図9に示す。なお、ドライバの運転動作解析には、個々の無駄時間、ゲイン、各要素間比率(フィードフォワード、フィードバック等の比率)などを用いて評価ができるものと考えられる。

4. 結論

本研究は、ドライバの制御動作解析の試みとして、時系列的な応答に対し重回帰分析を行ったものである。その結果、下記の結論を得た。

- ・フィードフォワード、フィードバック等を用い、ドライバの制御動作解析モデルの構築を行った。
- ・ドライバの制御動作を定量的・定性的に表現できることを示した。
- ・本モデルを用いることにより、ドライバの動作別因子解析が行えることを示した。

参考文献

- 1) 日本損害保険協会編:自動車保険データにみるシニアドライバー事故の現状と予測, 2004
- 2) 内閣府平成12年度総合調査「高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査結果」

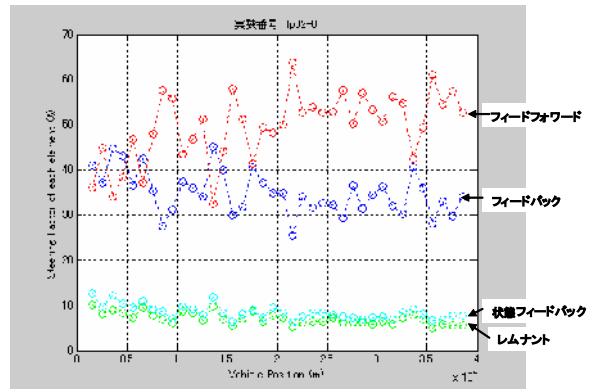


図8 実操舵に対する操舵成分ごとの比較

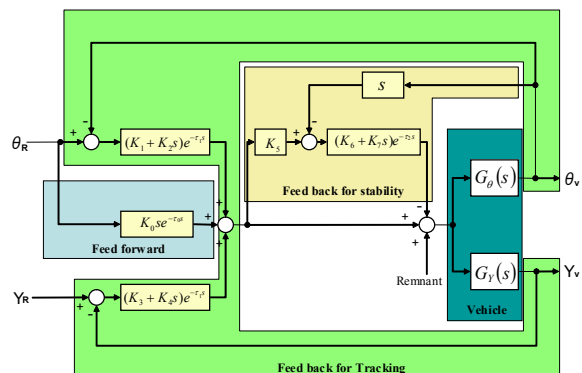


図9 構築したドライバモデル