

## 直進走行における危険レベルの定量化手法の構築

日大生産工(院) 清田 修 日大生産工 栗谷川 幸代  
日大生産工 景山 一郎

### 1 まえがき

車両の通常走行時において、ドライバーは道路のどこを走行するか時々刻々決定して操縦している。この決定過程を解析することは、特に障害物回避や事故解析などにおいて重要な部分である。ここで、ドライバーが行っている情報処理プロセスはまだ完全には明らかになっていない。著者等はプロセスに対し、危険感を考慮したコース決定プロセスとコース追従プロセスを組み合わせたモデルの構築を進めている。本論文では、その1歩目として、危険感を含めたコース決定過程に着目し、危険感を定量的に評価する手法を提案する。

また近年の研究<sup>1)</sup>で、高齢者において狭路走行における走行が苦手という調査結果が得られている。走行場面は狭路とし、急激な道路幅変化でドライバーに与える影響を検討し、その原因についての検討を行うことが望まれる。文献2)では走行環境に対するドライバー固有の特性の変化、その結果得られる操縦特性の変化を周波数解析により示した。本論文では、周波数特性と人間自動車系としてみた場合の固有振動数の関係についての検討を行った。

その結果、走行時の、操舵の周波数特性に変化から人間自動車系の特性の評価を行える可能性を示すことができた。

### 2 前方注視モデルを用いた評価

走行環境に対する操舵特性の關係の検討を行う。ここでは、ドライバーは車両の将来の位置と目標とする位置の差に比例して操舵を行うとする。その比例定数は操舵ゲインと呼ばれる。将来の横方向位置は以下のように表せる。

$$y = y_r + V(\beta + \theta)T + \frac{1}{2}\omega VT^2 \quad (1)$$

また、図2に示した $y_r$ に対する $y$ の伝達関数を以下に示す。ここで人間の遅れ時間を $1/(1+\tau s)$ としている。

$$\frac{y}{y_r} = \frac{G_y K}{s + \tau s^2 + G_y K + KVT \left\{ G_\beta + G_\theta + \frac{1}{2}T(G_\omega + G_\theta s) \right\}} \quad (2)$$

ここで $y$ : 車両の横変位,  $y_r$ : 目標の横変位,  $V$ : 車両速度,  $\beta$ : 車両横すべり角,  $\omega$ : ヨーレート,  $\theta$ : ヨー角,  $K$ : 操舵ゲイン,  $T$ : 前方注視時間,  $L$ : 前方注視距離,  $\tau$ : 人の無駄時間,  $t_r$ : 車両の応答遅れ時間,  $G_y, G_\theta, G_\omega, G_\beta$ : 操舵角 $\delta$ に対する、それぞれ $y, \theta, \omega, \beta$ の伝達関数である。各伝達関数を近似式で表し、特性方程式を求めると以下の4次式となる。

$$t_r \tau s^4 + (t_r + \tau)s^3 + s^2 + \frac{1}{l}KV^2 T^2 s + \frac{1}{l}KV^2(1+T) = 0 \quad (3)$$

実験で得られる操舵角より直接ゲインを算出することができない。そこで、線形車

Construction of A Quantitative Method of Estimating  
Driver's Risk Level for Driving Straight Course  
Osamu KIYOTA, Yukivo KURIYAGAWA, Ichiro KAGEYAMA

両モデルを用いて、操舵角の等価的なゲインを求める。(1)式で表わされる前方2次予測モデルを用い、そのモデルの操舵ゲインを変化させたときのシステム全体の減衰固有振動数を算出する。(2)式において、50 [km/h]一定とし、 $T = 2.0[s]$ ,  $t_r = 0.1[s]$ ,  $\tau = 0.3[s]$ として、 $K$  を変動させたときの固有値と固有振動数の変化の例を図2に示す。左図において、操舵ゲイン  $K$  を増加させると矢印の方向に根は移動する。右図には、 $K$  の増加とシステム全体の固有振動数の関係を示す。これより、人間自動車系の固有特性の変化とそれに対する操縦特性の決定プロセスを見ることが出来る。

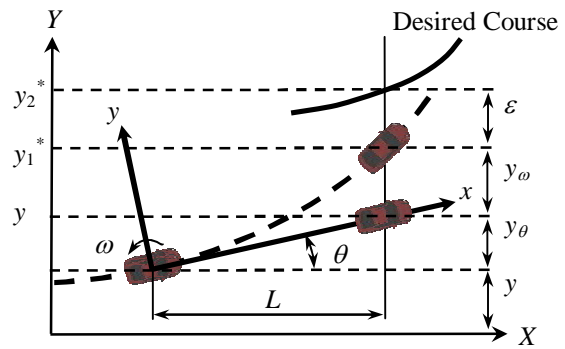


Fig. 1 Narrow Straight Course with Pylons Set along Load Edge

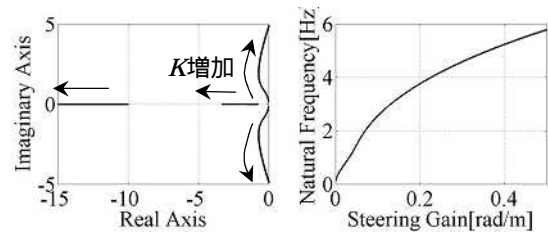


Fig. 2 Root Locus and Eigenfrequency in Varying Steering Gain

### 3 走行実験によるドライバ特性評価

#### 3.1 実験参加者の特性調査

危険感とは、ドライバを受ける危険という“感情”であり、一般的に、環境、車内環境等、個人差、熟練度、操縦者の精神状態・体調、環境に対する認識の正確さ等により大幅に異なる。一定の走行技術を持つ被験者に十分な練習走行を行わせ、個人差、熟練度、環境に対する認識の正確さの違いといった影響を減らし、実験車両を統一することで、車内環境の差による影響が減らした。本実験の被験者は、これらの影響が少ない人である必要がある。実験前、男性1名アンケートをとり、被験者情報の確認を行った。

免許取得後満4年で週1~2回運転する成人男性1名に、(株)人間生活工学研究センター(以下、HQL)提唱の運転スタイルチェックシート<sup>(3)</sup>(以下、DSQ)と運転付加チェックシート<sup>(3)</sup>(以下、WSQ)を回答させた。DSQは、個々のドライバが運転に取

Table 1 Result of DSQ and WSQ

	W1	W2	D1	D2	D3	D4
Sub. 1	4	3	3	2	4	4
+SD(HQL)	3.66	3.47	3.49	2.89	3.62	3.36
-SD(HQL)	2.34	2.07	2.07	1.55	1.98	1.98

り組む態度や志向、考え方を、個人特性として調べるためのものである。WSQは、個々のドライバがどのような種類の運転負担を強く感じるかを、個人特性として調べるためのものである。

DSQの評価項目やWSQの評価項目において、本実験に関係性が高いと考えられる項目を取り出し、そのまとめを表1に示す。ここで、W1: 交通状況把握、W2: 道路状況把握、D1: 運転スキルへの自信、D2: せっかちな運転傾向、D3: 几帳面な運転傾向、D4: 信号に対する事前準備的な運転、D5: 不安定な運転傾向を示している。

表1中の+SD(HQL)、-SD(HQL)はHQLが公開している比較用の男性の標準値+標準偏差、標準値-標準偏差(公開されている結

果の被験者数は WSQ:326 名, DSQ:326 名) である。この値と本アンケート対象者と比較を行った。W1, W2, D4 などは HQL 結果と比較しても高い傾向にある。そこで、ドライバは環境に対して熟練度の高い走行ができる可能性があり、また D2 が低いことから安定して走行ができる可能性があることが結果から推測される。その結果、本実験に適したドライバであると確かめられた。

3.2 狭路コースを用いた実験

本研究では、パイロンを用いて狭路コースを作成した。

図 3 に設定したコースを示す。スタート位置において指定する速度 (30, 50 [km/h]) を出し、その速度を、スタート位置から最後のパイロンまで保持したまま直進するように指示した。なお、実験車両は国産ミニバンを用いた。各速度で、3 回走行し、解析には、3 回目の結果を用いた。計測項目は、走行軌跡と操舵角とした。

### 3.3 操舵角の周波数解析

ウェーブレット変換は、マザーウェーブレットと呼ばれる小さな波  $\psi(x)$  を平行移動、伸縮させた波  $\psi_{m, n}(x)$  をいくつか用意し、これらと解析したい波形  $f(x)$  との関係を探る解析手法である。

離散ウェーブレット変換は離散化信号  $f(n)$  と離散ウェーブレット関数  $\psi_{j, k}(n)$  を用いて次式で与えられる。

$$W(k, j) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \psi_{j, k}(n) \quad (4)$$

ここで、 $\psi_{j, k}(n)$  は  $2^{j/2} \psi(2^{-j} x - k)$  で表せる。 $j$  は解像度レベル、 $k$  は時間パラメータ、 $N = 2^M$  ( $M$ : 整数) は生成指数である。離散ウェーブレット変換を用いて任意の信号  $f_j(n)$  は次のように分解できる。

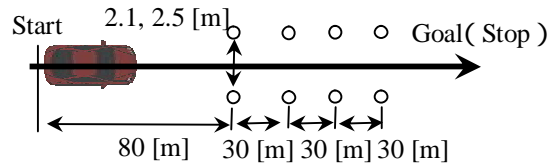


Fig. 3 Narrow Straight Course with Pylons Set along Load Edge

$$f_j(x) = f_j(x) + \sum_{j=1}^J g_j(x) \quad (5)$$

ここで  $f_j(x)$  はレベル  $J$  の信号の近似関数で

$$g_j(x) = \sum_k w_k^{(j)} \psi_{j, k}(x) \quad (6)$$

あり、 $g_j(x)$  は各レベル  $j$  におけるウェーブレット成分である。さらに  $g_j(x)$  は以下式で表せる。

ここで、 $w_k^{(j)}$  はウェーブレット展開係数である。この係数により信号の特徴を表す。マザーウェーブレット  $\psi(x)$  は Daubechies のウェーブレット<sup>4)</sup>を用いる。このマザーウェーブレットを用いれば、不連続点の表現に有利とされている。このウェーブレットの生成指数  $N$  は、 $N = 2$  とした。

図 4 に道路幅 2.1 [m] とし、速度 50 [km/h] における走行軌跡と、操舵角とそのウェーブレット変換の結果を示す。ここで 3 回走行の最後の結果を示している。進行方向の距離に対する操舵特性の変動をみている。ウェーブレット変換により信号を周波数の大きさでいくつかの成分に分解できる。レベルを 7 まで  $w_1 \sim w_7$  に分解し、数字が小さい方が高周波成分、大きい方が低周波成分とした。 $w_1$  は、両方の速度共に、パイロンあり(狭路)、なしに関わらず変動(振幅や、距離に対する周期の変化)が少ない。したがって、操舵特性と無関係のノイズと捉えられる。

$w_2 \sim w_4$  は、両方の速度共に、変動の仕方が似通っていて、操舵特性を扱う場合にお

いて、同じ周波数領域とみることにする。  
 $w_2 \sim w_4$  は高周波数領域である。30 [m]付近での信号の変動はすなわち、その瞬間に人間機械系の固有振動数を変化させて操舵ゲインを大きくしていることがわかる。 $w_5 \sim w_7$  すなわち低周波数領域における変動の仕方については、走行軌跡全体にわたって緩やかに起きており、ドライバは、常に固有振動数を微小に変化させていることがわかる。

### 3.4 操舵ゲインの推定

走行軌跡と操舵角の結果を用いてドライバモデルの操舵ゲインの算出を行った。注視時間は2 [s]とし、道路幅2.1 [m]の場合と、2.5 [m]の場合での変動を見た。その結果、操舵ゲインが変化していることが見て取れることができた。黒丸が2.1[m]のとき、三角は2.5[m]の場合を表している。

## 4 結論

人間自動車系全体の特性の変化によって、走行環境の影響を評価することができることを前方注視モデルと操舵角のウェーブレット解析で示した。

### 「参考文献」

- 1) 景山一郎, 栗谷川幸代, 大須賀美恵子, 堀江良典, 下山修, 狭路走行におけるドライバの運転挙動評価に関する研究, 自動車技術会 2005 年秋季大会学術講演会前刷集, No. 129-05, (2005), pp.5-10.
- 2) 清田修, 栗谷川幸代, 景山一郎, 直進走行における危険レベルの定量化手法の構築, 自動車技術会2009年春季大会学術講演会前刷集, No.1-09,(2009), pp. 17-21
- 3) 石橋基範, 大桑政幸, 赤松幹之, 運転

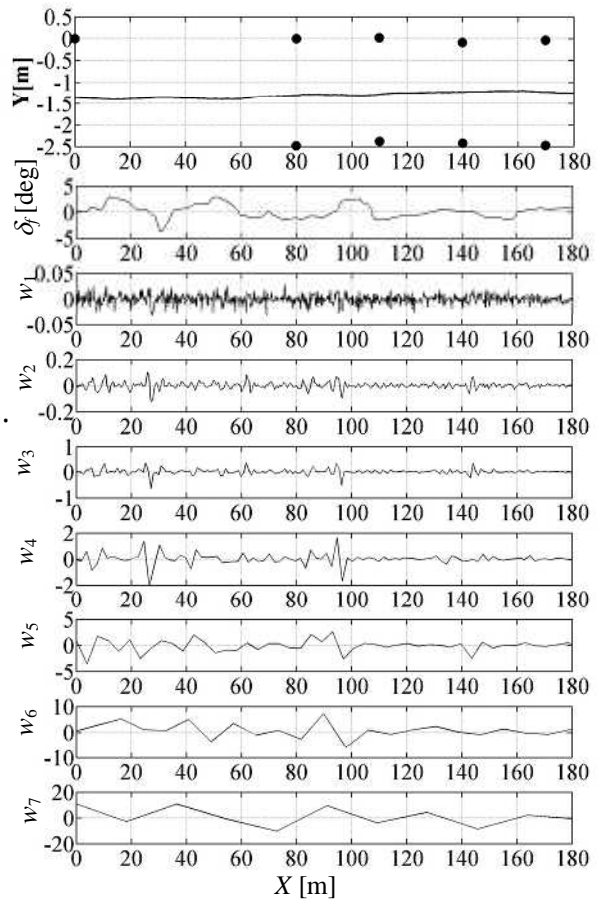


Fig.4 Steering Angle for Vehicle Speed of 50 [km/h]

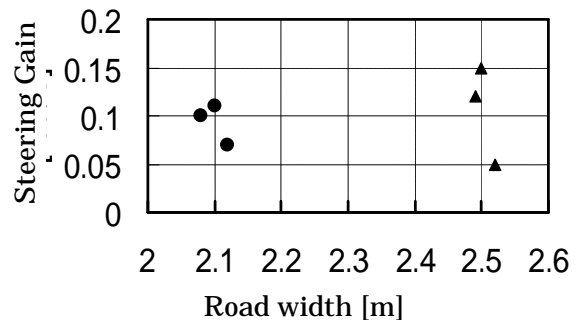


Fig. 5 Relation between Steering Gain and Road width

- 者特性把握のための運転スタイル・運転負担感受性チェックシートの開発, 自動車技術会2002 年春季大会学術講演会前刷集, No.55-02, (2002), pp.9-12
- 4) I. Daubechies, Ten Lectures on Wavelet, SIAM, (1992)