

# 特集 ドライバ属性を考慮したカーブにおける最適スイブル制御に関する研究\*

## Investigation of Optimal Swivel Control on Curves considering Driver Attributes

森下 昌彦

Masahiko MORISHITA

萩原 亨

Toru HAGIWARA

We investigated optimal swivel control on curves of winding roads as a function of driver's age and gender. In a field experiment using a test vehicle at the test track of the Denso Abashiri Test Center in Hokkaido, 36 subjects were surveyed on their preference for the swivel control system under driving situation. In the experiment, we set five swivel control systems varied from no swiveling system to predicting swivel system. The subjects rounded the test truck under a swivel control system and assessed that system subjectively. We applied an ordered logit model for estimating effect of driver's attributes and visual functions on assessments of the five swivel control systems. It was found that the swivel system to illuminate at three seconds ahead of the current position is selected as the best preferred system.

**Key words:** Human engineering, Driver behavior, Visibility, Headlamp, Swivel control system

### 1. はじめに

前方のカーブ線形を容易にドライバが読み取れるかどうかは、山間部を通過する道路の安全性や快適性を左右する要素の一つとなる<sup>1)6)</sup>。日中であれば、ドライバは容易にカーブの方向やきつさを知れるが、夜間は困難となる。車両のロービームが前方のカーブを照射しないことが、その理由の一つとなっている。この問題を解決するため、ロービームを左右に振り、カーブであっても前方の道路を照射する技術が1990年前後から検討されてきた。本稿では、左右にロービームを振ることをスイブル、振れ角をスイブル角(車両の方向に対して、時計回りを正)と呼ぶ。スイブル制御は、アダプティブ・フロントライティング・システム(以後、AFS)の一部として開発され、既に実用化されている。スイブル制御は、カーブなどでのロービームの照射範囲不足を補うことを目的として開発されてきた<sup>7)10)</sup>。現在のスイブル制御システムは、ハンドル操舵と車速に連動している。この方法は、カーブ内を走行しているときの道路線形の視認性改善には有効である。しかし、カーブ進入時の線形認知の支援には効果的とは言えない。ドライバは前方のカーブの深さやきつさを見るためカーブ進入前に視点を移動している。カーブの方向やきつさを読み取ることを支援するなら、ハンドル操舵よりも先にスイブルを開始すべきである。このため、ハンドル操舵に依存しないスイブル制御が提案されている。

Rosiakらは、車両の位置や対向車両を検知し、ダイナミックにスイブル制御するコンセプトを提案している<sup>11)</sup>。Ibrahimは、動的なスイブルアルゴリズムと普及版のカーナビを使ってカーブ進入前にスイブルさせる手法を提案している<sup>12)13)</sup>。

しかし、これらの研究は、スイブルの制御システムを中心にアプローチしており、カーブ進入前におけるドライバの見方を深く考察していない。

カーブの方向・カーブのきつさ・勾配・直前の平面線形などによってドライバが見るところは変わり、それらの影響を踏まえたスイブル制御が望ましい。萩原らは、テスト走路のカーブを使って静止状態で最適なスイブル角を求め、カーブ進入前のどの地点でどの程度のスイブル角を提供すべきかを明らかにした<sup>14)</sup>。しかし、静止実験での観測結果であり、運転状況で評価を行っていない。そこで、ワインディング路を模擬したテスト走路において、5種類のスイブル制御の評価実験を実施した。実車実験の具体的な目的は、以下の2点とした。

- ・5種類のスイブル制御の中でドライバが最も快適と感じるスイブル制御を明らかにする。
- ・スイブル制御の快適感に与える被験者属性を明らかにする。

### 2. 被験者評価試験手法

#### 2.1 日時と場所

実験は、(株)デンソー網走テストセンター内の1周2.8 kmのテスト走路で行った。テスト走路には約30箇所の曲線半径50 mから300 mの左右のカーブがある。被験者評価試験は、延べ10日間実施した。2006年9月25日から29日の5日間と2006年10月30日から11月3日までの5日間である。実験時間は、午後6時から午後12時までの6時間とした。無降雨と乾燥路面の条件とし、実験を実施した。

\* (社)自動車技術会の了解を得て、「自動車技術会誌学術講演会前刷集」20095446No.37-09 pp.5-10より、一部加筆して転載

## 2.2 被験者

被験者総数は、36名(男性20名、女性16名)とした。20代から60代まで10歳刻みに年齢層を設定し、各年齢層が8名、男性4名・女性4名となるようにした。ただし、60代のみ男性4名であった。被験者の平均年間走行距離は11,500 kmであり、近視・老眼を除いて視知覚に異常はなかった。全員がAFSを装備した車両を運転した経験はなかった。被験者属性としてコントラスト感度と動体視力を調べた。年齢と動体視力との間に、負の強い相関があった。年齢が高くなると動体視力が低下した。免許年数と走行距離において男女に有意差があった。男性被験者の方が女性被験者より、免許年数が長く年間走行距離が長くなっていた。

## 2.3 コントラスト感度試験と動体視力試験

コントラスト感度は、明暗のコントラストを識別する明視能力である。本研究では、Vistec -6500 チャートを用いた。6種類の空間周波数があり、識別できたコントラストの逆数を合計した数値を指標とした。数値が大きいとき、小さいコントラストを識別できていることになる。

動体視力は動く対象物に対する明視能力である。実験では、HI-10 (KOWA) を使用し、被験者の水平に指標を動かす方式により測定される Dynamic Visual Acuity (DVA) を計測した。HI-10 では、ランドルト環が半球型のスクリーンを動く。被験者は、回転するランドルト環を眼球運動で追跡し、ランドルト環の切れ目が認識できた時にボタンを押す。実験者は、そのときの速度(回転数)を記録する。実験において初速は40回転/分とした。時計回りと反時計回りを各々3回から4回計測し、平均速度を被験者の代表値とした。

## 2.4 5種類のスイブル制御

Table 1は、実験で使った5種類のスイブル制御の名称とその内容を示している。AFS1は、スイブルしない条件(AFS-OFF)である。AFS2は、実験で使った車両に装備されているハンドルと速度によるスイブル制御(AFS-ON)である。ドライバが見たいと思うところをハンドル制御の前に照らすスイブル制御として、AFS3・AFS4・AFS5を用意した。

AFS3は、静止実験による重回帰モデルにより求めたスイブル角を走行状態で実現した制御を採用している<sup>14)</sup>。萩原らが先行研究<sup>14)</sup>で求めた回帰式を示す。

左カーブ：

$$y = 0.16x_1 - 0.31x_2 + 0.88x_3 - 0.002x_4 \dots \dots \dots (1)$$

Table 1 Five swivel control systems using in this experiment

AFS1	AFS-OFF: Conventional headlights
AFS2	AFS-ON: Swiveling headlights controlled by the steering angles and the driving speed.
AFS3	Swiveling headlights at curves in terms of the multiple-regression models by authors <sup>14)</sup>
AFS4	Swiveling headlights to illuminate at one second ahead of the current position.
AFS5	Swiveling headlights to illuminate at three seconds ahead of the current position.

右カーブ：

$$y = -0.38x_1 + 0.59x_2 - 0.28x_3 + 0.42x_4 \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $y$  はスイブル角 (deg.)、 $x_1$  は曲線半径 (m)、 $x_2$  は接近しているカーブの開始点を -27.6 m としたときの距離 (m)、は連続カーブ (連続カーブのとき1、単独カーブのとき0)、は勾配 (%)。

AFS3は、カーブ開始手前の27.6 m からカーブ開始点までを対象としているスイブル制御であり、部分的な最適スイブル制御となっている。

一方、AFS4とAFS5は、Fig. 1に示すように preview time をスイブル制御に使った。将来において適切なスイブル制御を提案するときの一つの手法となりうるものとなっている。具体的には、AFS4は preview time を1秒を想定し、1秒先の視点位置方向と現在の位置方向とがなす角をスイブルさせる制御とした。AFS5は、preview time を3秒を想定し、視点位置方向と現在位置とがなす角をスイブルさせる制御とした。AFS5は、カーブ開始手前区間においてAFS3に最も近いスイブル制御となっている。

## 2.5 実験車の路面照度分布と水平スイブル制御装置

実験車は、4ドアセダンのレクサス LS430 (2003) とした。実験では、左右のロービームランプを任意の角度にスイブルさせる装置を Labview7.0 によって作成した。RS232C からの I/O 信号を受け取れるようにスイブル制御用 ECU を改造した。これによって、外部からの信号によってスイブ

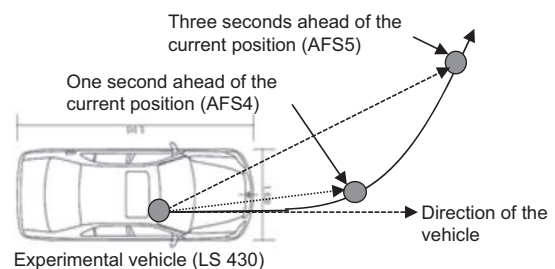


Fig.1 Illuminating postions by the swivel system

ル制御が可能となった。Table 1 の AFS3, AFS4, AFS5 を実現するためにテスト走路のどこを走行しているかを計測し、その値を使って水平スイブル角を制御する装置とした。走行位置は、車両の車輪を使った走行距離データを用いた。車輪を使っているため走行位置はそれほど正確ではない。そこで、走行位置のズレを補正するため、テスト走路のカーブ毎の BC 点に設置した反射板を使って距離の微調整を常時行った。

### 2.6 実験計画

実験計画は、繰り返し被験者計画を用いた。独立変数は、5種類のスイブル制御である。36名の被験者は、全部でコースを5周した。1周毎に異なるスイブル制御とした。5種類のスイブル制御順はランダムとした。従属変数は、Table 2 に示す 11 種類の質問項目の回答である。質問は、総合評価と左右の支援や走行のスムーズさに関するものとした。選択肢は、1から7のスケール尺度を与え、何れの質問についても順序尺度となるようにした。

### 2.7 実験手順

最初に被験者を集めて、安全運転についての注意と実験手順を待機場所で説明した。次に、実験車とテスト走路に慣れるため、各被験者はテスト走路を2周した。実験者が同乗し、細かく被験者に実験手順について説明した。走行実験において被験者は、Table 1 の5種類のスイブル制御条件でテスト走路を周回した。スイブル制御別に1回周回し、Table 2 の質問に回答した。5回の走行を終えた後、被験者に実験の理解度・望ましいスイブル方法などについて待

機場所にてヒアリングした。また、実験の開始前あるいは終了後の待ち時間中にコントラスト感度試験と動体視力試験を実施した。

## 3. 実験結果

### 3.1 各質問項目の単純集計結果

質問に対し、最も「そう思わない」評価を被験者が与えたとき「1」を、最も「そう思う」評価を被験者が与えたとき「7」を付与した。Table 3 (1) は、総合評価の結果を示している。表中の数値は、その評価を与えた被験者数の単純集計を示している。被験者の繰り返しを考慮した1要因の分散分析を行った。

スイブル制御は、有意水準 10% で有意となった。評価 1 や評価 2 とした被験者はほとんどいなかった。スイブルしない AFS1 (AFS-OFF) であっても評価 3 が一番悪い評価となった。その中で、AFS5 (3 秒) の評価 7 の 11 人は、5 種類の AFS の中で最多となった。Table 3 (1) の最下行は、評価を数値とし、スイブル種類別に平均値を求めた結果を示している。AFS5 (3 秒) の平均値が最大となり、AFS4 (1 秒) の平均点が最低となった。AFS5 (3 秒) の平均値は 5.56 であり、最高評点に近くなった。また、AFS4 (1 秒) の平均点は 4.83 点であり、評価点の中央値である 4.0 を上回る値となった。

質問 2 から質問 11 についても同様の分析を行った。ほとんどの質問で、AFS3 (モデル) あるいは AFS5 (3 秒) の評価点が最高値を示した。ただし、質問 4 のライトムラのみ、最もスイブル角が小さい AFS4 (1 秒) が最高の評価となった。各質問項目において被験者の繰り返しを考慮した1要

Table 2 Questionnaire entries

No.	Title	Question	Strongly disagree←Fair→Strongly agree
Q1.	Overall evaluation	I drove comfortable despite the dark condition.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q2.	Assistance for driving on the right curve	The headlights assisted driving on the right curves.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q3.	Assistance for driving on the left curve	The headlights assisted driving on the left curves.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q4.	Discomfort by unevenly illuminance	I felt uncomfortable in unevenly illuminance due to the moving of the headlights.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q5.	Illuminated area	During the driving, the headlights illuminated where I wanted to see.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q6.	Safety	I drove safety despite the dark condition.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q7.	Fatigue	I felt fatigue in driving due to unevenly illuminance of the headlights.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q8.	Smooth driving on the right curve	I drove smoothly on the right curves.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q9.	Smooth driving on the left curve	I drove smoothly on the left curves.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q10.	Visibility of the right curve	It was easy to see the right curves.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Q11.	Visibility of the left curve	It was easy to see the left curves.	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

Table 3 Counting results.

(1) Q1. Overall evaluation ( $p = 0.075$ )

	Evaluated value	AFS1 OFF	AFS2 ON	AFS3 Model	AFS4 1 sec.	AFS5 3 sec.
Strongly disagree	1	0	1	0	0	0
	2	0	2	0	3	0
Fair	3	5	5	3	2	3
	4	14	3	10	12	4
	5	4	11	6	5	10
	6	6	6	9	9	8
Strongly agree	7	7	8	8	5	11
Number of data		36	36	36	36	36
Average		4.89	4.97	5.25	4.83	5.56

(2) The averaged scores of the five AFSs for eleven questions

No.	Title	AFS1 OFF	AFS2 ON	AFS3 Model	AFS4 1 sec.	AFS5 3 sec.
Q1.	Overall evaluation	4.89	4.97	5.25	4.83	5.56
Q2.	Assistance for driving on the right curve*2)	— <sup>1)</sup>	5.06	5.22	4.44	5.56
Q3.	Assistance for driving on the left curve	— <sup>1)</sup>	5.47	5.64	5.19	5.56
Q4.	Discomfort by unevenly illuminance	— <sup>1)</sup>	4.53	4.61	4.92	4.64
Q5.	Illuminated area*2)	4.61	4.81	5.69	4.81	5.58
Q6.	Safety*2)	4.81	5.03	5.72	5.06	5.53
Q7.	Fatigue	5.58	5.44	5.69	5.75	6.00
Q8.	Smooth driving on the right curve	5.03	5.47	5.25	5.28	5.42
Q9.	Smooth driving on the left curve	5.50	5.69	5.78	5.44	5.75
Q10.	Visibility of the right curve*2)	4.56	5.00	5.44	4.72	5.39
Q11.	Visibility of the left curve*2)	5.28	5.69	5.72	5.25	5.75

Note 1: We put this question off due to un-swiveling system.

Note 2: Singnificant level is 0.10.

因の分散分析を行った。スイブル制御の影響が有意(有意水準 10%) となった質問項目は、「右カーブにおけるライト支援」, 「走行中ライトは見たい所を照らしていた」, 「安全感を得ることができた」, 「右カーブの見通しはよかった」, 「左カーブの見通しはよかった」の 5 項目となった。

### 3.2 ドライバ属性が 11 種類の質問項目に与える影響

本調査では、主観的な評価項目を測る連続変数が存在すると考え、その連続変数の代わりに適当な順序尺度を設け、被験者に選択させている。連続変数に区分点を設け、おおまかな値を計測していることに相当する。もし、低い順序が選択されれば連続変数は小さいことを意味し、高い順序が選択されれば連続変数は高いことを意味する。このように連続変数の代わりに順序尺度としてのカテゴリーが与えられたとき、その連続変数に与える説明変数の影響を知るため、順序ロジスティック回帰分析を適用できる。重回帰分析の適用も可能であるが、与えた順序尺度が 1 から 7 までと限られていることから、順序ロジスティック回帰分析を選択した<sup>15)</sup>。

ドライバ属性とスイブル制御が Table 2 に示す質問 1 から質問 11 の評価値に与えた影響を分析する。Table 2 の質問へ回答は 1 から 7 の順序尺度であるが、その尺度を等間隔とみなし、順序ロジスティック回帰分析を適用した。説明変数とし、スイブル制御とドライバ属性(性別、年齢、年間走行距離、コントラスト感度、動体視力)を選択し、順序ロジスティック回帰モデルを構築した。評価  $i$  のとき線形式は、

$$I_i = -\beta_0[i] - (\beta_1[m] + \beta_2 + \beta_3 \times x_3 + \beta_4 \times x_4 + \beta_5 \times x_5 + \beta_6 \times x_6) \dots \dots (3)$$

$I_i$ : ロジット,  $i = 1 \sim 7$

$p_i$ : 出現確率,  $p_i = 1/(1 + e^{-I_i})$ ,  $i = 1 \sim 7$

$\beta_0[i]$ : 評価値,  $i = 1 \sim 7$ ,  $\beta_0[7] = -\sum_{i=1}^6 \beta_0[i]$

$\beta_1[m]$ : スイブル制御,  $m = 1 \sim 5$ ,  $\beta_1[5] = -\sum_{m=1}^4 \beta_1[m]$

$\beta_2$ : 性別, ただし、女性るとき  $-\beta_2$

$\beta_3$ : 年齢,  $x_3$  (year)

$\beta_4$ : 年間走行距離,  $x_4$  (km)

$\beta_5$ : コントラスト感度,  $x_5$

$\beta_6$ : 動体視力,  $x_6$  (m/s)

となる。JMP6.0 (SAS 社)を用いて、パラメータを推定した。

Table 4 は、質問 1 から質問 11 に対する順序ロジスティック回帰式の統計値と説明変数の統計値を示している。質問項目の「右ライト支援」・「安全感」・「右カーブスムーズ」において、モデルは有意(有意水準 10%) とならなかった。説明変数であるスイブル制御が有意(有意水準 10%) となった質問項目は、「総合評価」・「右ライト支援」・「見たい所照射」・「安全感」・「右見通し」であった。性別は、「総合評価」・「ライトムラ」・「疲労感」であった。年齢は、「右ライト支援」・「左カーブスムーズ」・「左見通し」であった。年間走行距離は、「見たい所照射」となった。コントラスト感度は、「安全感」・「疲労感」・「右カーブスムーズ」・「右見通し」、動体視力は「ライトムラ」となった。

モデル全体が有意となった質問項目についてのみ、推定したパラメータを使って評価値の出現確率を求めた。推定したパラメータ  $\beta_0$  から  $\beta_6$  を式 (1) (ロジスティック回帰式) にあてはめ、説明変数であるスイブル制御と被験者属性を代入し、1 (思わない) ~ 7 (思う) の評価値が出現する確率を求めた。

#### (1) 男女別の「総合評価」

性別が総合評価に与える影響を分析した。性別以外の、被験者属性には、各属性の平均値を代入した結果を Fig. 2 に示す。両性とも AFS5 (3 秒) が「満足」となる出現確率

Table 4 Results of ordered logit models

No.	Title	Model	Swivel control system
Q1.	Overall evaluation	**	0.07
Q2.	Assistance for driving on the right	0.17	*
Q3.	Assistance for driving on the left	**	0.60
Q4.	Discomfort by unevenly illuminance	*	0.86
Q5.	Illuminated area	*	**
Q6.	Safety	0.13	0.07
Q7.	Fatigue	**	0.72
Q8.	Smooth driving on the right curve	0.12	0.43
Q9.	Smooth driving on the left curve	**	0.57
Q10.	Visibility of the right curve	*	*
Q11.	Visibility of the left curve	**	0.13

No.	Gender	Age	Driving distance for year	Contrast sensitivity	Dynamic visual acuity
Q1.	*	0.25	0.55	0.84	0.63
Q2.	0.92	0.34	0.58	0.15	0.41
Q3.	0.64	**	0.24	0.72	0.55
Q4.	**	0.11	0.69	0.57	0.09
Q5.	0.50	0.35	0.07	0.64	0.84
Q6.	0.53	0.41	0.52	0.09	0.86
Q7.	**	0.60	0.56	**	0.85
Q8.	0.47	0.06	0.11	0.08	0.35
Q9.	0.11	**	0.39	0.16	0.23
Q10.	0.22	0.11	0.14	0.06	0.12
Q11.	0.14	**	0.45	0.38	0.83

Note: Numerical values in this table mean p-value, \* means that p-value is below 0.05 and over 0.01, and \*\* means that the p-value is below 0.01.

が高くなった。また、男性の方が、女性よりスイブル制御を満足側に評価する出現確率が高くなった。女性は、AFS5（3秒）を除いて「普通」の出現確率が一番高くなった。

(2) 年齢と左カーブに関する3種類の評価

年齢（高齢：55歳，若年：25歳）が左カーブに関する三つの評価項目（「左カーブスムーズ」(Fig. 3), 「左見通し」, 「左ライト支援」）に与える影響について分析した。スイブル制御とし AFS2 (AFS-ON) を選択し、年齢以外の属性値は平均値とした。性別は男性とした。高齢被験者が、三つの質問項目とも肯定的な評価値の出現確率が高くなった。

(3) 年間走行距離と「見たい所照射」

年間走行距離とスイブル制御別に「見たい所照射」の評価値に与える影響を分析した。性別は男性とし、年間走行距離以外の説明変数は平均値を用いた (Fig. 4)。年間走行距離が長くなると、AFS3 (モデル) と AFS5 (3秒) が見たい所を照らしていたとする評価値を選択する確率が高くなった。

(4) コントラスト感度・性別と「疲労感」

コントラスト感度別（高コントラスト感度：400，低コントラスト感度：160）・性別が、疲労感に与える影響を求めた。疲労感においてスイブル制御は有意とならなかったため AFS2 (AFS-ON) を選択し、性別以外の属性値は平均値とした (Fig. 5)。男性の方が、女性に比べて圧倒的に疲

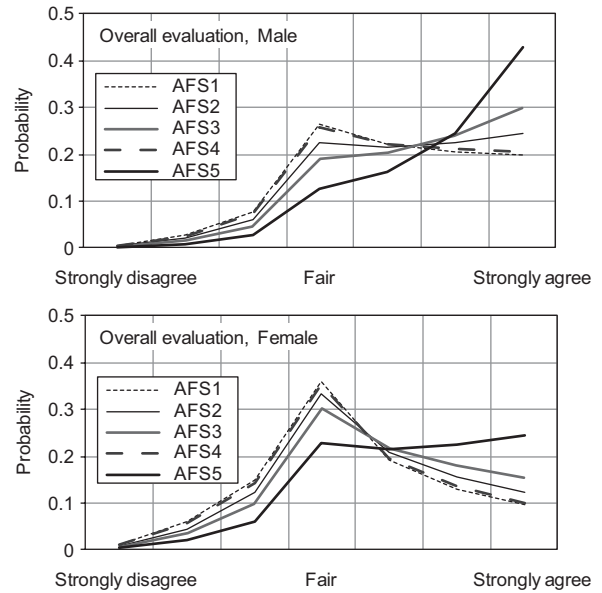


Fig. 2 Effect of gender and five AFSs on overall evaluation.

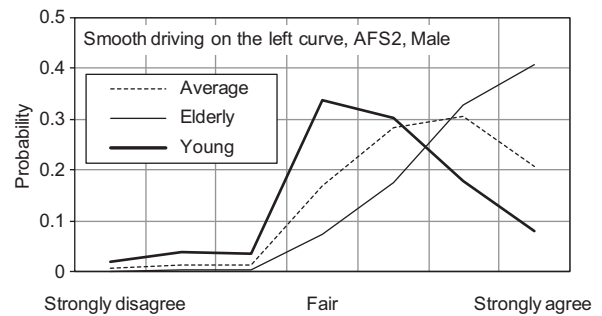


Fig. 3 Effect of age on smooth driving on the left curve.

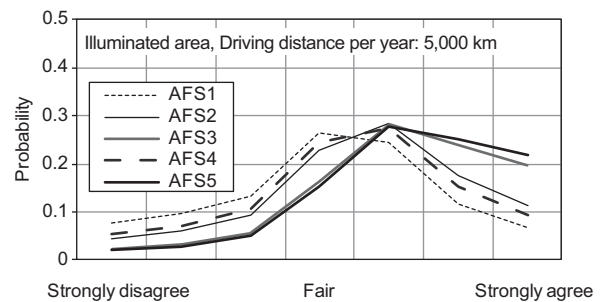
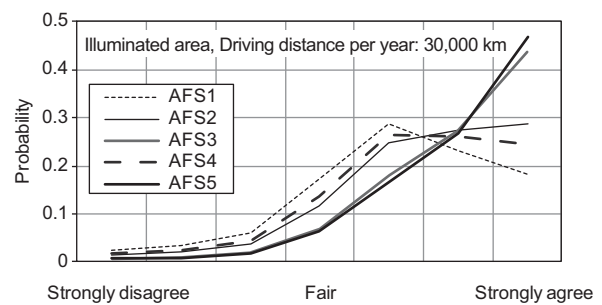


Fig. 4 Effect of five AFSs on illuminated area.

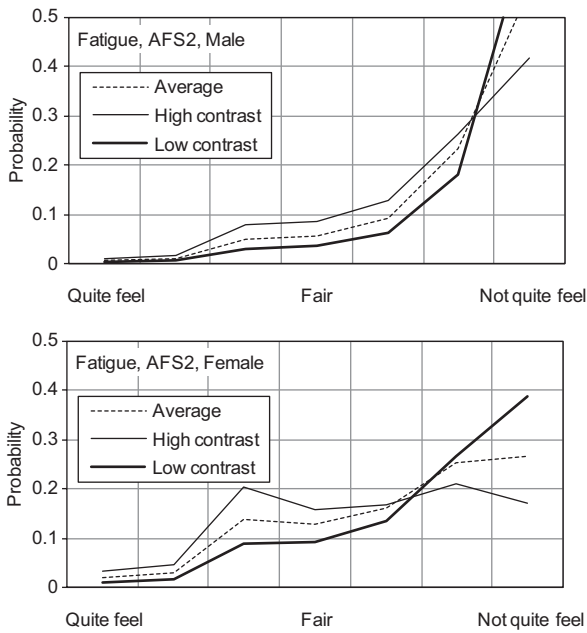


Fig. 5 Effect of gender and contrast sensitivity on fatigue.

疲労感を「感じない」の出現確率が高くなった。両性ともコントラスト感度が低い被験者の方が疲労感を「感じない」の出現確率が高くなった。

(5) コントラスト感度・スイブル制御と「右カーブの見通し」

Fig. 6 は、スイブル制御とコントラスト感度（高コントラスト感度：400，低コントラスト感度：160）が右カーブの見通しに与える影響を示している。コントラスト感度以外の属性値は、平均値とした。性別は男性とした。AFS3（モデル）と AFS5（3 秒）の評価値が「そう思う」となる出現確率が高くなった。また、コントラスト感度が高い被験者の方が、低い被験者より「そう思う」の出現確率が高くなった。

(6) 動体視力・性別と「ライトムラ」

Fig. 7 は、性別および動体視力（高:37 m/s, 低:23 m/s）がライトムラの評価値に与える影響を示している。説明変数の入力値には、スイブル制御は AFS2 (AFS-ON)・男性・平均年齢・平均年間走行距離・平均コントラスト感度を用いた。男性の方が女性より、ライトムラが気になるで「そう思う」の出現確率が非常に高くなった。両性とも、動体視力が低い被験者の方が、ライトムラが気になるで「そう思わない」の出現確率が高くなった。

#### 4. 考察

曲線半径 200 m前後のカーブや上り下りの多い2車線道路（ワイドレーン道路を模擬したテスト走路）で5種類のスイブル制御の評価実験を行った。5種類のスイブル制御は、スイブルしない固定ヘッドライト（AFS-OFF）、ハンドルと車速制御による AFS (AFS-ON)、萩原らによる静止モデ

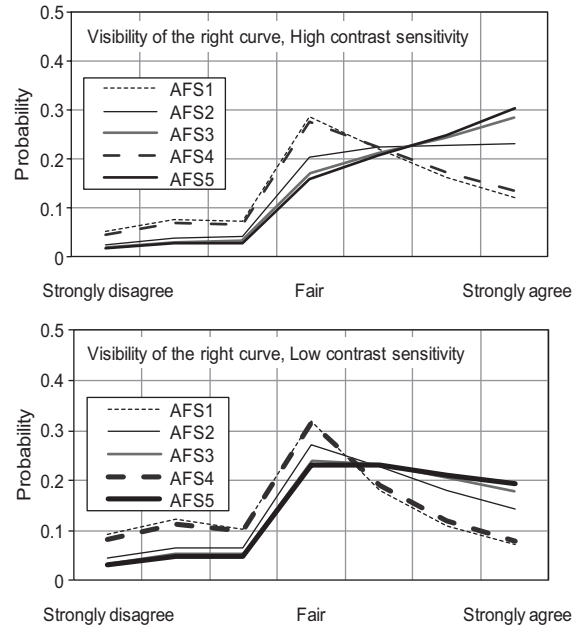


Fig. 6 Effect of contrast sensitivity on visibility of the right curve.

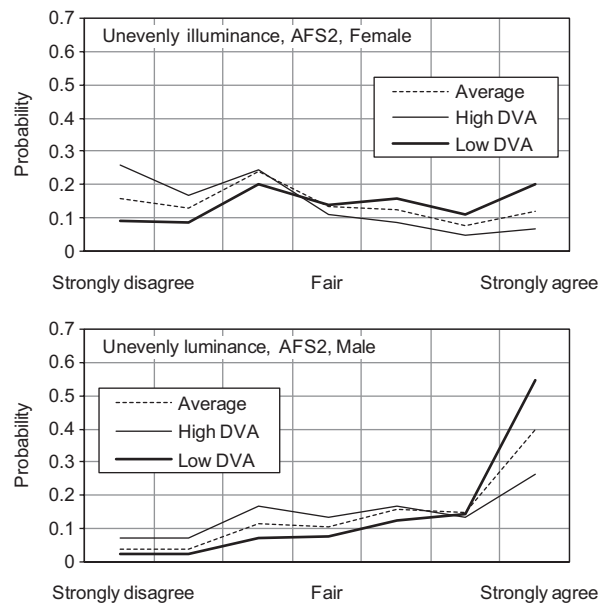


Fig. 7 Effect of DVA and gender on subjective evaluation for unevenly illuminance.

ルをベースとしたカーブ進入前にスイブルを開始する制御（モデル）、preview time 1秒先にヘッドライトをスイブルさせる制御（1秒）、そして preview time 3秒先にヘッドライトをスイブルさせる制御（3秒）である。20歳代から60歳代までの男性と女性の被験者36名を用意し、5種類のスイブル制御で走行後に11種類の質問項目に回答した。

運転を通して道路の見やすさは満足のいくものだったという総合評価では、「3秒」が最も有意に高い評価を得た。「AFS-OFF」でもドライバーの総合評価(満足度)は4.89点(最

高7点)となり、かなり高かった。実験車のヘッドライトの性能が通常の車両よりかなり良好であることが、スイブルしなくても高い評価を得た理由と考えられる。そのような条件であっても、カーブの手前の適切なタイミングでスイブルを開始し、見たいところを明るくする「3秒」や「モデル」が既存のスイブル制御より高い総合評価を獲得した。総合評価以外の質問項目として、「右カーブにおけるライトの支援」、「走行中、ライトは見たい所を照らしていた」、「安全感を得ることができた」、「左右のカーブの見通しはよかった」で「3秒」と「モデル」とは良好な評価を獲得した。「3秒」と「モデル」のスイブル開始タイミングとスイブル量はほとんど同じであり、萩原らによる静止実験による研究成果<sup>14)</sup>を裏付ける結果となった。

一方、ドライバ属性が道路の見やすさに与えた影響について考察する。年間走行距離が長いドライバは、カーブ手前でスイブルさせる制御を評価する傾向が強い。Fig. 8は、スイブル制御が「3秒」における年間走行距離と総合評価の関係を性別にプロットしている。女性であっても運転経験が豊富になると総合評価が高くなることが分かる。また、男性は年間走行距離が15,000 kmを越えるとはほぼ7点をつけており、最大値となっていることがわかる。さらに、年間走行距離が長くなると「見たい所を照らす」という質問項目で「3秒」や「モデル」が高く評価された。

動体視力やコントラスト感度は、疲労感やライトムラの評価と関係が深く、視機能が高いドライバほどヘッドライトの動きに敏感となる傾向が分析から明らかとなった。たとえば、コントラスト感度が高い被験者は、右カーブでスイブルが早く始まることを評価していた。動体視力が低いとライトムラが気にならないとしていた。また、コントラスト感度が低い被験者は疲労感が低くなっていた。

年齢が高いドライバは、スイブル制御にかかわらず左カーブの走行性を非常に高く評価していた。左カーブの最大スイブル角は小さく、スイブル制御にかかわらずあまり明るさは変化しない。また、動体視力と年齢の負の相関は高いが、動体視力と左カーブに関する質問項目の評価との間に明らかな相関はみられなかった。左カーブに対して高い評価を与えた理由として、実験車のヘッドライトが、被験者が毎日乗っている車両よりも左側を広く明るく照らすことが影響していたのかもしれない。しかし、この考察は推測であり、高齢被験者のみが左カーブの評価を高くしたのかは不明であり、今後検討する必要がある。

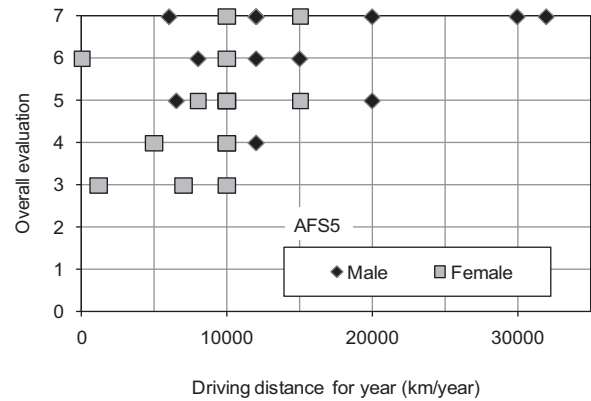


Fig. 8 Effect of driving distance for year and gender on subjective evaluation for over all evaluation under AFS5 condition.

### 5. 結論

36名の被験者によって、1ヵ月に及ぶテストコースを用いたフィールド実験を実施することから、静止状態で求めた最適モデルとそれに最も近い preview time を3秒とするスイブル制御が、運転している状況であっても高い評価を得ることを実証できた。また、ドライバの属性によって好ましいとするスイブルが異なり、性別・年齢・走行距離・視機能の影響を詳細に知ることができた。今後、ドライバの主観的評価を使ってスイブル制御の評価を行ったが、カーブ走行中のハンドル操作や加減速度などから客観的に評価する必要がある。

### 謝辞

本研究を実施するにあたって多数の方々にご協力いただいた。(株)コーワには、動体視力計を利用させていただいた。スイブル制御システムの開発については北海道職業能力大学校の西野先生と(株)デンソーの買場様に、被験者募集については北海道開発局網走開発建設部の西村様に、実験の実施については北海道大学の三木君、大島君、内藤君にご協力いただいた。最後になりますが、実験の実施にご協力くださった皆様に記して謝意を表します。

### <参考文献>

- 1) Road Safety Manual Recommendations from the World Road Association (PIARC). Accession No 00982093, World Road Association - PIARC, 2003.
- 2) Zegeer, C V, et al.: Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves. Journal of the TRB, No.1356, National Research Council, Washington D.C., 1992, pp. 11-19.

- 3) Persaud, B. et al.: Guidelines for Identification of Hazardous Highway Curves. Journal of the TRB, No.1717, National Research Council, Washington D.C., 2000, pp. 14-18.
- 4) Lamm, R. et al: Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. McGraw-Hill, 1999.
- 5) Suzuki, K., Hagiwara, T., et al.: Effects of Traffic Control Devices and Road Scenes on a Driver's Judgment of Curve Sharpness. Proceedings of the 1st International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, 2001, pp. 384-389.
- 6) Hayashi, K. et al.: Effects of Information Provision on Driver's Curve Sharpness Judgment. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, 2003, pp. 2444-2457.
- 7) Wada, K., et al.: Steerable Forward Lighting System. SAE Technical Paper Series, Paper No.890682, 1989, pp. 1-11.
- 8) Kobayashi, S., Takahashi, K. and Yagi, S. Development of New Forward Lighting Systems with Controllable Beams. SAE Technical Paper Series, Paper No.970646, 1997, pp. 19-35.
- 9) Cejnek, M., et al.: Advanced Adaptive Front-lighting system. Proceedings of ISAL 2005 Symposium, Paper A11.6, 2005, pp. 333-342.
- 10) Yamamoto, I.: AFS Light Distribution Control. Proceedings of the 2004 SAE World Congress, Paper No.2004-01-0438, CD-ROM, 2004.
- 11) Rosiak, J., et al.: Active Headlamps for Increased Traffic Safety. Proceedings of ISAL 2005 Symposium, pp. 317-332, (2005).
- 12) Ibrahim, F., et al.: Predictive Advanced Front-lighting system. Proceedings of ISAL 2005 Symposium, 2005, pp. 290-296.
- 13) Sivak, M., Schoettle, B., Flannagan, M.J., and Minoda, T. Optimal Strategies for Adaptive Curve Lighting. Journal of Safety Research, Vol. 36, pp. 281-288, 2005.
- 14) Hagiwara, T., et al.: Investigation of Headlight Swivel-Angle Preference at Curves on Rural Two-Lane Highways, Journal of the TRB, No.2030, 2007, pp. 47-53.
- 15) 一般化線形モデル入門 (原著第2版), 共立出版, 2008.



< 著 者 >

森下 昌彦  
(もりした まさひこ)  
基礎研究所  
ドライバ特性の研究, 車両用遠隔操作デバイスの開発に従事

萩原 亨  
(はぎわら とおる)  
北海道大学 大学院工学研究院 北方圏環境政策工学部門  
准教授 博士(工学)  
交通安全, ドライバ挙動, 道路視環境の研究に従事