発汗量によるドリフトコーナリング時におけるドライバの リスク評価に関する一考察*

野 崎 博 路^{*1}

Analysis of Driver's Risk Evaluation during Drift Cornering by Amount of Perspiration

Hiromichi NOZAKI^{*2}

^{*2} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kinki University,
3-4-1 Kowakae, Higashiosaka shi, Osaka, 577 8502 Japan

As for this research, the driver's risk at the time of cornering was evaluated. As a result, the amount of perspiration became a big difference though the change in the amount of the vehicle state of non-drive skill person and the drive skill person did not have a remarkable difference at the time of the drift cornering. That is, the amount of perspiration when the steer is controlled in case of the drive skill person is small. Therefore, it has been understood that it is a steer control of the risk which is not too large.

Key Words: Automobile, Maneuverability, Human Engineering, Human Interface Vehicle Dynamics, Stability

1. まえがき

雪の多い地方では、一般ドライバも頻繁にカウンターステアを当て、“ドリフト走行”を行なっているのを見かける。すなわち、ドリフトもうまくあやつると、前輪がグリップ限界を越えてハンドル操作では車両の向きをコントロールできないコーナリング状態でも、後輪を滑らし、テールスライドさせることにより、車両の向きを変えることができ、狙いのコースどりができるのである。

また、ドライバは、意図的では無くても、緊急回避状態では、後輪がスキッドしてしまい、スピンを回避するため、カウンターステアを必要とするケースが生じることがある。

そこで、本稿では、このような、ドリフトコントロールを対象とし、定置型ドライビングシミュレータを用いた実験を行ない、ドリフトコーナリング時のドライバの発汗量と、車両状態量を計測することにより、ドリフトコントロール時のリスク（ここでは、リスク＝主観的危険感と定義する）の度合いについての考察を試みた。

また、ドライバの熟練度合いによる、ドリフトコントロール時の発汗量の違いから、熟練度合いとリスクの度合いの関係についての考察も行なった。

2. 実験装置（定置型ドライビングシミュレータ）の概要

本研究に用いた定置型ドライビングシミュレータの概要を以下に示す（図1）。

シミュレータは、運転状況を再現するために、視界映像システム、走行時のエンジン音等の車内音発生システムが組み込まれている。

測定できる項目は次のようになっている。

*運転状態データ： 操舵角、操舵トルク、車速、走行軌跡、車体スリップ角、ヨーレイト、ヨー角、ロール角、ピッチ角、横加速度、4輪実舵角等

*生体反応データ： 発汗量

図2は、発汗計のセンシング部であるカプセルを手のひらに装着した様子を示す。

本実験で使用した2チャンネル型発汗計は、構成が簡単かつ取り扱いが容易なルームエアーを基準にした差分方式換気カプセルである。従来のように、乾燥空気や N_2 ガスを必要としないルームエアーをカプセルに供給している新しい方式のものをを用いている。

図3は、発汗量の計測試験の概要を示す。

* 原稿受付 2003年9月18日。

^{*1} 正員、近畿大学理工学部(〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)。

E-mail: nozaki@mech.kindai.ac.jp

Fig. 1 Stationary type driving simulator

Fig. 2 State to install perspiration meter in mere of hand

Fig. 3 Outline of perspiration amount measurement examination

3. 実験方法と車両特性

実験は、ドライビングシミュレータにおいて、半径 7.5 m の定常円旋回コースで行った(図 4)。

ドライバーは、旋回試験において限界コーナリング中にアクセルを踏み込んで後輪をパワースライドさせ、カウンターステアを当て、その後カウンターステアの量をコントロールして、ドリフトアングルを維持しながら 7.5 R のドリフト旋回のコントロールを続ける方式で行った。

車両は、一般的な FR 車の諸元を用いた。タイヤコーナリングフォース特性については、図 5 に示すように、最大コーナリングフォースを越えて、コーナリングフォースが減少傾向となる、一般的なタイヤを装

着した車両 A と、最大コーナリングフォースを越えた後の、コーナリングフォースの減少を抑えたタイヤを装着した車両 B の 2 種類の車両ケースにおいて実験を行った。

ドリフト旋回実験は、表 1 に示す被験者 4 名について行った。車両 A、B の車両仕様の組み合わせ 2 条件を、同じ条件の繰り返しを含めた、5～7 回のランダム化試験とし、実験の順序による影響を排除するようにして行った。また、被験者には、各回の車両特性の条件を伏せた状態で行った。

Fig. 4 Turning course

Fig. 5 Tire cornering force characteristic

Table 1 Subject

Subject*1	Age	Driving experience (Yrs)	How often use a car	How often use driving simulator	Occupation
Sub. A	23	4	Every day	Very often	Graduate student
Sub. B*2	21	3	Every day	Rarely	College student
Sub. C	22	3	Sometimes	Very often	College student
Sub. D	21	2	Rarely	Rarely	College student

*1 All subjects are males.

*2 He is doing Motor Sports.

4. 実験結果

4.1 実験時の発汗量の変化 図6は、ドリフト旋回実験における、実験結果例（被験者Bの1回目の測定結果）を示す。上から順に操舵角、車体スリップ角、発汗量を示す。発汗量は、1分間あたりの発汗の量を示す。車速0km/hから徐々に加速していき、ラインに沿ってグリップ走行に入っていくと共に、発汗量は安静時の発汗量よりわずかに上昇し始める（区間①～②）。事前に、実験を開始しても、アクセルや操舵のコントロールをし始めないと発汗量はほとんど増加しないことを確認している。その後、車体スリップ角は約10°以内のグリップ走行を行い（区間②～③）、その後パワースライドにより、意図的に後輪を滑らせカウンターステア（操舵角の一方方向）を当て、戻し（操舵角の+方向）、更に当てと、ドリフトコントロールを行い、ドリフトアングルを維持し続けるコントロールを行い（区間③～④）、その後、車体スリップ角約40°を越えて、操舵コントロールしきれず、スピンに至っている状態を示す。（点④以降）。スピン以降に発汗量は最大値（点⑤）を示した。以上のような傾向は、ほぼ全ての被験者に見られた。また、ほとんどの被験者が、車体スリップ角40°を越えたところあたり（点④）で、ドリフトアングルを維持することが不可能な状態に陥り、スピンしてしまうと感じる領域であることを、試験直後の被験者のコメントより得ている。その理由は、車体スリップ角40°を越える付近は、前輪に最大カウンターステアを当てようと思っても車両運動上間に合わない領域であるからであると考えられる。スピンし始める地点は、（点④）付近であり、車速は90km/h付近である。（旋回軌跡において、スピンに至る地点を、図7に示す）。

また、車体スリップ角40°を越えたところあたり（点④）から、2～5秒後くらいに、発汗量の最大値（点⑤）が生じている。非運転熟練者ほど、このタイムラグは大きく、発汗量も大きな値を示した（図8、図11）。

すなわち、図6において、安静状態時（発汗量 P_0 ）から、グリップ走行状態（発汗量 P_a ）に移った時の発汗量の変化（ $P_a - P_0$ ）に比べ、ドリフトコーナリングを行いスピンに至ってしまった時（発汗量 P_b ）の発汗量の変化（ $P_b - P_0$ ）は、はるかに大きな変化であり、リスクの度合いが高いことがわかった。

図8は、全被験者について、グリップ走行時の発汗増分量（ $P_a - P_0$ ）と、ドリフト走行時の発汗増分量（ $P_b - P_0$ ）の比較を行った結果を示す

（ P_a, P_b, P_0 は、各被験者の平均値を用いている）。この図より、前述の傾向は、全被験者においてあてはまっていることがわかった。

Fig. 6 Measurement data of turning experiment with drift

P_0 : amount of perspiration at rest

P_a : amount of perspiration when grip running

P_b : amount of perspiration when drift running

Fig. 7 Experiment result of Running trajectory with driving simulator

Fig. 8 Comparison of increments of perspiration (grip running $[P_a - P_0] \sim$ drift running $[P_b - P_0]$)

4.2 車両違いによる相違 最初にドリフト旋回の主観的評価を行った。車両Aケースと車両Bケースの2条件を、1条件につき8回の繰り返しで行った。2条件はランダムにし、先入観を排除する方式で行った。その結果を図9に示す。被験者4名の主観的評価の平均を示すが、明らかに、車両Bケースが車両Aケースに比べ高い評価となっていることがわかった。被験者は、目標ラインから外れることなく、しかも、カウンターステアの当て、戻しの修正操舵量が比較的小なめで済んでいる場合に、ドリフトコーナリングが維持しやすくコントロールし易いという点から良い評価を出している。

次に発汗量等の実測を行った結果を示す。

図10、図11はあまりドリフトコーナリングに慣れていない被験者の実験結果を示す。図より、両被験者において発汗量はほぼ同傾向であり、車両Aケースではドリフト挙動が急激なため、車体スリップ角変化が急激となり、更に、発汗量はかなり増加していることがわかった。一方、車両Bケースでは、車両Aケースと比較すると、ドリフト挙動が穏やかで、従って車体スリップ角変化は穏やかとなり、ドリフトコントロールもある程度はできていることがわかった。ただし、車両Bケースも最終的にはスピンのに至り、やや発汗量が増加する傾向が見られる。車両Bケースは車両Aケースに比べ、ドリフト挙動の急激さは低減されているが、カウンターステアの遅れ等でスピンに至っている。

図12は、全被験者について、車両ケース別のドリフト走行時の発汗増分量($P_b - P_0$)の比較を行った結果を示す(各被験者において平均値と、標準偏差を示している)。この図より、前述の傾向(車両Bケー

スは、車両Aケースに比べ、ドリフトコーナリング時の発汗が低減されている)は、全被験者においてあてはまっていることがわかった。

すなわち、最大コーナリングフォース以降のコーナリングフォースの減少をできるだけ抑えたタイヤを用いることにより、ドリフトコーナリング時の発汗を低減することができ、すなわち、ドライバーの操舵制御のリスクが減少することがわかった。

Fig. 9 Subjective rating average of all subjects

Fig. 10 Tuning experiment result with drift (subject C)

Fig. 11 Tuning experiment result with drift (subject D)

Fig. 12 Comparison of perspiration increments when drift running by difference of vehicle

4.3 運転の熟練度の違いによる相違 発汗量と車両状態量を同時計測することにより、コーナリング時の操舵コントロールのリスク度合いの判別を試みた。

図 10、図 11 はあまりドリフトコーナリングに慣れていない被験者 C、D の実験結果であり、発汗量の急激な増加が見られた。

一方、図 13 は、サーキット走行を頻繁に行っており、ドリフトコーナリングに慣れている被験者 B の実験後半の結果の一例を示す。被験者 B は、表 2 からわかるように、実験に慣れてきた後半においては、どちらの車両においても、ドリフト走行時の発汗量の増加はほとんど見られなかった。他の被験者は実験の前半後半で顕著な差は見られなかった。また、図 13 より、明らかに、ドリフトコーナリングに慣れている被験者 B は、実験後半は、ドリフトコーナリングを行っても、発汗の変化は、あまり見られなくなり、操舵角変動、車体スリップ角変動は共に、ドリフトコーナリングに慣れていない被験者の場合 (図 10、図 11) に比べ、やや緩やかであることがわかった。図 14 は、表 2 における発汗量 P_0 と P_0 (後半) について、運転者熟練者と非運転熟練者の比較を行なったものである。平均値、標準偏差の確認により、上記傾向、すなわち、運転熟練者はドリフトコントロール時の発汗量増加は穏やかであることがわかった。

Fig. 13 Tuning experiment result with drift (subject B)

すなわち、図 10、図 11、図 13、図 14 より、ドリフトコーナリング時において、非運転熟練者と運転熟練者の車両状態量の変化に著しい差が見られない場合でも、非運転熟練者の場合、操舵コントロール時の発汗量は、 $0.3 \text{ mg/cm}^2/\text{min}$ を越え、リスクの大きい操舵コントロールであり、一方、運転熟練者の場合、車両 A、B ケース共に、操舵コントロール時の発汗量(平均値)は、 $0.1 \sim 0.2 \text{ mg/cm}^2/\text{min}$ 程度であり、リスクがそれほど大きくない操舵コントロールの傾向にあることがわかった。

従って、車両状態量だけでは、定量評価できないリスクの度合の評価が、発汗量を計測することにより可能となることがわかった。

Table 2 Average of amount of perspiration P_a , P_b

	P_a ($\text{mg/cm}^2/\text{min}$)	$P_b(\text{mg/cm}^2/\text{min})$	
		Average in the first half four times	Average in the latter half four times
Subject A	0.09	0.14	0.14
Subject B	0.23	0.37	0.25
Subject C	0.09	0.36	0.35
Subject D	0.48	1.02	1.01
Average	0.22	0.47	0.44

(P_a : amount of perspiration when grip running)

(P_b : amount of perspiration when drift running)

Fig. 14 Comparison of perspiration (drive skill person ~ non-drive skill person)

4.4 リスクの要因分析実験 次に、以上の発汗量増加で示されるドライバーのリスクの増加は、①操舵負荷による筋的負担、②視覚的負担、③操舵制御の精神的な負担の3つによるものと判断し、そのうち、どの要因の影響が強いのかについての検討実験を行った。

①操舵負荷による筋的負担の実験

ドリフト旋回は、カウンターの当て、戻しを繰り返して行なって操舵コントロールをしているので、急激なハンドル操作により肉体的な運動をすることになり、発汗量が増加すると考えられた。そこで、その筋的負担のみの発汗量を検出するため、被験者に発汗計を取り付け、ドリフトコントロール時のように、ハンドルを切り、戻しを繰り返し続ける動作を約40秒間続けさせた。被験者4名について実験を行った。その時の発汗量の測定結果を図 15 に示す。更に、安静時の発汗量 P_0 とドリフトコントロール時の発汗量 P_b (共に平均値)との対比を図 16 に示す(各被験者において5~7回の試験の平均値と、標準偏差を示している)。

この結果より明らかなように、発汗量は安静時の発汗量 P_0 に対し、わずかな上昇程度であり、被験者がドライビングシミュレータで行った実際のドリフトコントロール時の発汗量 P_b に対し、はるかに低い値であることがわかった。

Fig. 15 Amount of perspiration by muscular load according to rapid steering wheel operation

Fig. 16 Comparison of perspiration [perspiration by muscular load ~ P_0 , P_b]

(P_0 : amount of perspiration at rest)

(P_b : amount of perspiration when drift running)

②視覚的負担の実験

ドリフト旋回は、急激なハンドル操作で、車体スリップ角、ヨー角、ヨーレイトの急変を伴い、視覚的に、これらの情報が入り、また、視点も変動するので、この視覚情報の刺激により、被験者は、どの程度の発汗が生じているのか実験を行った。被験者に、録画しておいた安定性の異なる2種類（case A：車両Aの場合で安定性良好なケース、case B：車両Bの場合で安定性が劣るケース）のドリフトコーナリングの映像を音声と共に、スクリーン上に映写し、ハンドル操作無しで、この映像による、発汗の変化を実測した。被験者4名について実験を行ったが、共に、発汗量は安静時とほとんど変わらず、視覚的負担の影響は小さいことがわかった。図17は、被験者1名の例を示す。更に、被験者4名の場合については、図18にcase Aとcase Bを含めた平均の安静時発汗量 P_0 との対比で示した（各被験者において5~7回の試験の平均値と、標準偏差を示している）。

Fig. 17 Amount of perspiration by visual stimulation

Fig. 18 Comparison of perspiration
[perspiration by visual stimulation ~ P_0]
(P_0 : amount of perspiration at rest)

①操舵負担による筋的負担の実験、及び、②視覚的負担の実験より、実際にドライビングシミュレータ

で、ドリフト旋回を行った場合に比べ、操舵負担による筋的負担、視覚的負担の影響は、かなり小さいことがわかった。すなわち、ドライビングシミュレータで、ドリフト旋回を行った場合は、被験者にスピンしないように、ドリフトをうまくあやつることが義務づけられているため、発汗は増加しているが、これは、③の操舵制御の精神的な負担の影響が大きいということがわかった。これは、スピンアウトしないようヒヤヒヤしながら操舵コントロールしているというドライバのコメントと対応するものと判断できる。

5. 結論

発汗量と車両状態量を同時計測することにより、ドリフトコーナリング時の操舵コントロールのリスク評価の検討を行った。

(1) ドリフトコーナリング時において、非運転熟練者と運転熟練者の車両状態量の変化は顕著な差が無くても、非運転熟練者の場合、操舵コントロール時の発汗量はかなり大きく、リスクの大きい操舵コントロールであり、一方、運転熟練者の場合、操舵コントロール時の発汗量は小さく、リスクがそれほど大きくない操舵コントロールの傾向が見られることがわかった。

従って、車両状態量だけでは、定量評価できないリスクの度合評価が、発汗量を計測することにより可能となることがわかった。

(2) 最大コーナリングフォースを越えた以降のコーナリングフォースの減少を低減することにより、ドリフトコーナリング時の発汗の低減傾向が見られ、すなわち、ドライバのカウンターステアの維持コントロール時のリスクが減少する傾向となることがわかった。

(3) 操舵負担による筋的負担、及び、視覚的負担がドライバリスクへ及ぼす影響はかなり小さく、逆に、操舵制御の精神的な負担によるドライバリスクへ及ぼす影響はかなり大きいことが、発汗量を測定することによりわかった。

6. あとがき

本研究では、ドリフトコントロール時のドライバのリスク評価についての考察を行った。

今後は、本研究内容を発展させ、ドライバが行った操舵コントロールのリスクの度合いをドライバに警告するデバイス、あるいは、車両側のアシストコントロール等についてさらに検討を進めたい。

さらに、人—自動車系として、人にとって望ましい車両の方向性について、人と車の両面から、検討を行っていきたい。

参考文献

- (1) 澤田東一, 生体反応による車両操舵特性の評価に関する研究, 人間工学, 19-5, (1983), 265-272
  - (2) 神谷公一・濱谷克則・磯村有宏, 運転者の緊張度分析—緊張度モデルと典型的な走行状態への適用—, 自動車技術会論文集, 24-4, (1993), 113-117
  - (3) 上野克己・滝川善治, 皮膚インピーダンス計測における自動車性能評価への適用, 自動車技術, 45-10, (1991), 73-77
  - (4) 大野宏司・山本有造・坂部匡彦・渡邊一矢, ドライバの危険感に基づく危険度表示システムの開発, 機論, 67-663, (2001), 212-217
  - (5) 谷田公二, 制動行動におけるドライバの心拍数変化, Honda R&D Technical Review, 13-2, (2001), 91-97
-