

〈一般研究課題〉 ドライバの視線・心拍特徴量を用いた飲酒運転
検出手法の検討

助成研究者 大同大学 宮島 千代美



ドライバの視線・心拍特徴量を用いた飲酒運転 検出手法の検討

宮島 千代美
(大同大学)

Drunk Driving Detection Using Driver Gaze and Heart Rates

Chiyomi Miyajima
(Daido University)

Abstract :

This study investigates a method for detecting drunk driving using driver's gaze and heart rate data. We analyzed how gaze directions, blink rate, heart rate, blood pressure, and other features, change with alcohol consumption levels. We extracted gaze features such as the variance of vertical and horizontal gaze angles, as well as the duration and frequency of eye closure. We also trained a Gaussian Mixture Model (GMM) on the two-dimensional distribution of gaze directions under sober conditions and calculated the log-likelihood against the sober GMM to detect drunk driving. Using the RR intervals in heart rate data, we calculated the mean heart rates and the LT ratios by applying principal component analysis to the Lorenz plots, which are scatter plots of consecutive RR intervals. We investigated how these features change with alcohol consumption levels while driving.

Regarding gaze features, the distribution of gaze direction angles broadened with alcohol consumption, and the variances increased with higher levels of intoxication. Also, the log-likelihoods of the GMM decreased after reaching a mild intoxication level. The frequency and duration of eye closure increased with alcohol levels. Regarding heart rate features, the mean heart rate increased with alcohol consumption. However, the LT ratio, an indicator of stress, did not show a consistent trend. Blood pressure tended to decrease with increasing alcohol consumption. Experimental results indicated that some of these metrics could be useful for detecting drunk drinking. Future challenges include increasing the number of subjects to study individual differences. Since our experiments were

conducted using a driving simulator, it is also necessary to investigate the impact of differences in conditions between simulated and actual driving on the features.

1. はじめに

日本の飲酒運転による事故の発生件数は、年々減少傾向にあり、2007年に飲酒運転の罰則が強化されて以降、事故の発生件数が大きく減少した[1,2]。また、飲酒運転をする恐れがある者への車両や酒類の提供など、周囲の者にも罰則が設けられ、飲酒運転をさせないような環境づくりが行われたことも、飲酒運転の減少の理由の1つとして考えられる。しかし、2023年に国内で発生した飲酒運転による交通事故2,346件の内112件が死亡事故、重傷事故が323件であり、依然悲惨な事故は後を絶たない。また、米国においては、2023年の飲酒運転による死亡事故は1万件以上発生している状況である。日本では、2022年4月の道路交通法の改正により、社用車のドライバの運転前後の目視によるアルコールチェックが義務化され、2023年12月にはアルコール検知器を用いた確認も義務化されるなど、規制は更に強化され、飲酒運転検出技術の必要性が高まる方向にあるものの、ドライバの負担が少なく効率的に飲酒運転を検出する一般的な手法はいまだ確立されていない。飲酒行為が運転行動及ぼす影響に関しては、多くの研究が存在し、操作の誤りや反応遅れ・車線維持機能の低下等が起こることが分かっている[3]。一方、飲酒運転を検出する手法としては、車両の走行位置のずれやハンドル操舵角の情報など、ドライバの運転行動の変化の情報を用いる方法や、車室内の気体の拡散状態やドライバの呼気を直接測定する方法、赤外線光照射で指先の皮膚表面下の血中アルコール濃度を測定する方法など様々な方法が提案されているが[4]、センサの車内への搭載の難しさや検出精度の問題等から、広く受け入れられる検出手法はまだ存在しない。

ここで近年、運転支援システムの普及に伴い、自動車内でドライバの顔や視線をセンシングするドライバモニタリングシステムが普及するとともに、ドライバの心拍を計測できるドライバシート、ミリ波レーダを用いて、ドライバの心拍データを非接触で精度よく計測できるセンサも開発されている[5,6]。このような背景から本研究では、ドライバの視線や心拍データを用いて、飲酒運転を検知する手法について検討を行う。ドライバの視線データから得られる視線角度や瞬きの情報、またドライバの心拍データから得られる特徴量や血圧の情報が、飲酒レベルに伴いどのように変化をするかについて調査するとともに、非飲酒状態における特徴量を機械学習で学習し、非飲酒状態からの乖離度を定量化することで、飲酒状態を検出する手法について検討する。

2. 飲酒運転時の視線特徴の分析

2.1 視線データの収集

本研究では、ドライバの視線および心拍データから飲酒状態を検出する方法について検討する。本実験は飲酒を伴い、実車でデータ計測は難しいため、ドライビングシミュレータを用いてデータを収集した。ドライビングシミュレータにはCity Car Drivingを用い、運転操作に用いるハンドルとペダルにロジケールのG923、シフトレバーには同じくロジケールのDRIVING FORCE SHIFTERを使用した。実験協力者は21歳と22歳の一般男性2名で、ともに普通自動車第一種運転免許を所持している。まず、飲酒運転時に視線特徴がどのように変化するかについて調査するため、非飲酒時と飲酒時の視線データを計測した。視線計測には非接触型の視線計測器Talk Eye

Freeを使用した。本研究ではTalk Eye Freeで記録可能なデータの内、両眼の合成角度と閉眼状態のデータを分析に使用した。視線計測のサンプリング周波数は25Hzとし、ドライバの視線情報の記録と同時に、ドライビングシミュレータのモニタ画面を記録した。

2.2 飲酒レベル

本実験では、アルコール健康医学協会が基準として示す1～6段階の飲酒量のレベル[7]のうち、「1. 爽快期」、「2. ほろ酔い期」「3. 酩酊初期」の3段階のレベルに相当する飲酒量、及び「飲酒なし」の状態において、それぞれドライビングシミュレータで運転をしてもらい、運転時の視線を計測した。アルコールが体内へ吸収される時間を考慮し、飲酒するたびに20分の間隔を空けてから運転を行ってもらった。また、飲酒後20分経過した時点で、呼気アルコール濃度をタニタのアルコール検知器HC-211で計測した。

ここで、ドライバ2名の普段の飲酒量を表1に示す。ドライバA、Bはともに普段から比較的頻繁にお酒を飲み、飲酒には慣れている。しかし、実験の安全性を考慮し、飲酒量は各ドライバに無理のない範囲(酩酊初期のレベルまで)で、測定を行った。

ドライバA、Bが実験で飲んだお酒の量をそれぞれ表2、3に示す。ドライバAは普段から飲み慣れているワインを飲酒して実験を行った。実験では、2. ほろ酔い期、3. 酩酊初期の摂取純アルコール量の累積が、1. 爽快期の2倍、3倍となるように飲酒をしてもらった。ドライバBにはアルコール濃度5%のチューハイを1本ずつ増やしながらか合計3本飲んでもらい計測を行った。なお、ドライバBはAに比較すると普段の飲酒量が少ないため、ドライバAの6割程度のアルコール摂取量で実験を行った。ここで、表に示す呼気アルコール濃度とは呼気1リットル中に含まれるアルコール濃度のこと、ドライバAの爽快期の0.18mgはすでに0.15mgを超えているため、取り締まりの対象となる。ドライバBの爽快期の0.12mgは取締り基準の0.15mgに満たないため、違反には該当せず罰金は科されないものの、酒気帯び運転であることに変わりはないため、嚴重注意を受けることとなる。なお、酩酊初期の実験については、ドライバの負担を考慮して、異なる日に実施した。

2.3 走行コース

本実験では、飲酒を伴うため、過度に複雑なコースや悪天候での走行は行わず、比較的走りやすいコース・環境条件を選択した。走行コースは建物が多く並ぶ近代地域を經由した後、高速道路を走行するルートとし、天候や時間帯は晴れた昼間(13～15時)とした。また、交通の密度は少なめとし、他車の運転の挙動は通常に設定した。また、ドライビングシミュレータに慣れるため、実験の前に慣熟走行を行った。ドライバには安全運転を心掛けてもらうように指示をした。各飲酒レベルにおける走行時間は5分間とし、データの同期の関係で、冒頭部分をカットし、4分32秒の長さのデータを分析に使用した。

2.4 視線角度の特徴の分析結果

まず図1に、ドライバA、Bの4つの飲酒飲酒レベルにおける視線角度(両眼合成角度)を比較する。これらは、水平・垂直方向の視線の角度をそれぞれ横軸・縦軸に示した散布図で、左から「飲酒なし」「爽快期」「ほろ酔い期」「酩酊初期」の視線分布を示している。散布図から、ドライバAは

飲酒量に伴って、垂直方向の視線角度が下に下がる傾向があることがわかる。更に、ほろ酔い期、酩酊初期になると散らばりが目立つこともわかる。また、ドライバBについても、ほろ酔い期以降は、視線角度のばらつきが大きくなっている。また、酩酊初期では特に左側の方向に視線の分布が広がっていることがわかる。

ばらつきを定量的に比較するために、水平方向・垂直方向の視線角度の分散を図2に示す。分散は視線角度の広がり具合を表しており、ほろ酔い期以降は飲酒によって視線の安定性が悪くなることがわかる。また、個人差はあるが爽快期程度の飲酒量では、逆に前方への集中度が増す傾向も見られた。

表1. 実験参加者の普段の飲酒量

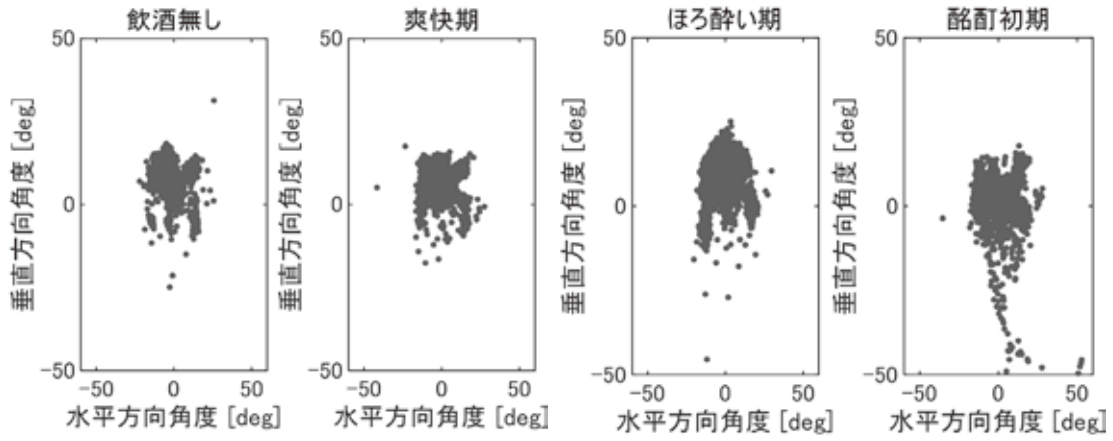
	ドライバ A	ドライバ B
1 週間の飲酒頻度	5 回/週	5 回/週
普段の飲酒量	缶ビール 1.5 本 500ml	日本酒 1 合 180ml
普段飲むお酒の最大量の目安	ワイン 1 本 750ml	日本酒 1 升瓶半分 900ml
心地よく飲める量	ワイン 2/3 本 500ml	日本酒 1 合 180ml

表2. 実験時のドライバAの飲酒量

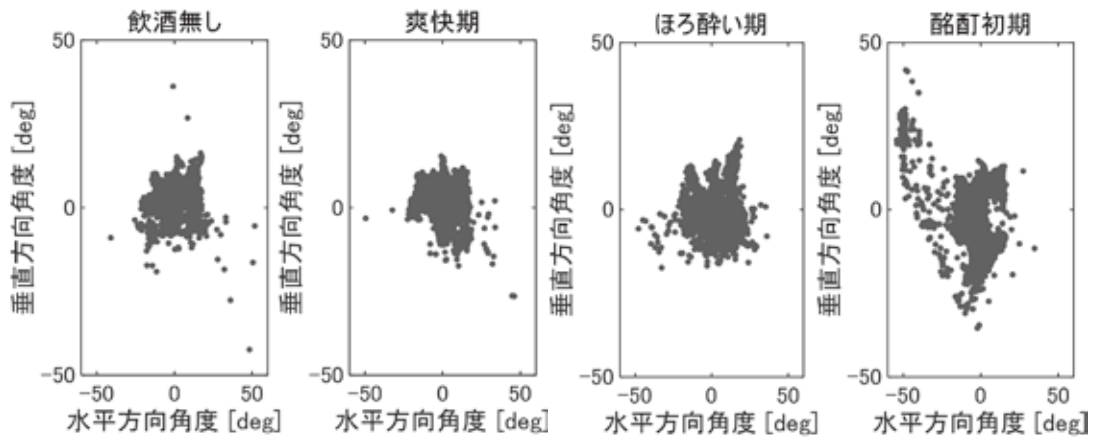
飲酒レベル	飲酒量	純アルコール量	呼気アルコール濃度
0. 飲酒なし	—	0.0g	0.00 mg/L
1. 爽快期	14.5%のワイン 200ml	約 23.2g	0.18 mg/L
2. ほろ酔い期	14.5%のワイン計 400ml	約 46.4g	0.38 mg/L
3. 酩酊初期 (別日に計測)	13%のワイン 670ml	約 69.7g	0.38 mg/L

表3. 実験時のドライバBの飲酒量

飲酒レベル	飲酒量	純アルコール量	呼気アルコール濃度
0. 飲酒なし	—	0.0g	0.00 mg/L
1. 爽快期	5%のチューハイ 1 本 350ml	約 14.0g	0.12 mg/L
2. ほろ酔い期	5%のチューハイ 2 本計 700ml	約 28.0g	0.16 mg/L
3. 酩酊初期 (別日に計測)	5%のチューハイ 3 本計 1050ml	約 42.0g	0.32 mg/L



(a) ドライバA



(b) ドライバB

図1. 各飲酒レベルにおける視線の水平・垂直方向角度の分布

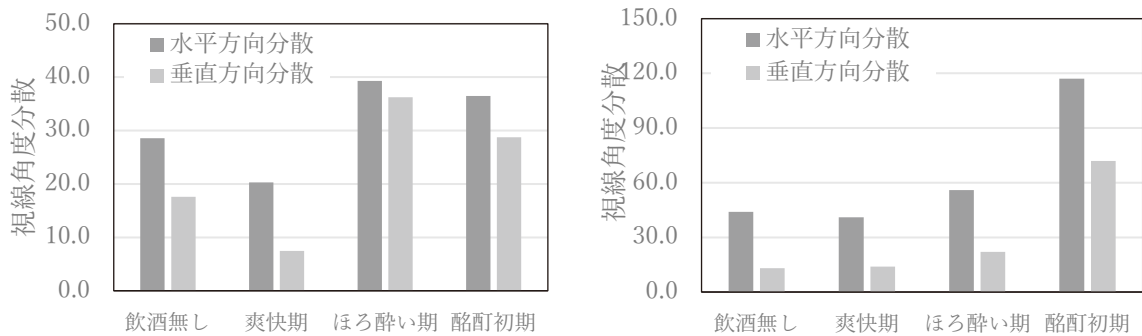


図2. 飲酒レベルごとの視線角度の分散の変化
(左: ドライバA, 右: ドライバB)

2.5 非飲酒時視線分布モデルからの乖離度の比較

以上に述べた通り、飲酒時の視線方向の分布が非飲酒時と異なることから、機械学習を用いて飲酒運転を検出できるかについて検討する。ここでは、非飲酒時の視線分布をガウス混合モデル (GMM: Gaussian Mixture Model) [8] で表現し、視線分布がGMMの確率分布からどの程度乖離しているかで飲酒の検出ができるかについて検討する。GMMは複数の多次元正規分布の重ね合わせで複雑な分布を表現できる確率モデルである。実験では計測した非飲酒時の視線データで学習した非飲酒時のGMMに対して、各飲酒レベルの視線角度のデータの対数尤度を計算することで非飲酒状態の視線分布からの乖離度を比較する。図3にドライバAの非飲酒時の視線角度データで学習したGMMの確率分布を等高線プロットで示す。データが集中する視線角度の領域はデータの存在確率が高くなるため、色が濃く表示されている。実験では、各飲酒レベルの視線データを2分割し、非飲酒時については、データの半分をGMMの学習用として扱い、残りの半分のデータを評価に用いた。つまり、非飲酒時では学習、テストを入れ替えて1回ずつ、合計2回の対数尤度を算出し平均値を求めた。飲酒時の評価データについても、非飲酒時の評価用データの量に合わせて半分に分割し、飲酒時の前半・後半のデータについて、前半の非飲酒データで学習したGMMと、後半の非飲酒データで学習したGMMそれぞれに対して対数尤度を求め、各飲酒レベルについて対数尤度の平均を求めた。結果を図4に示す。

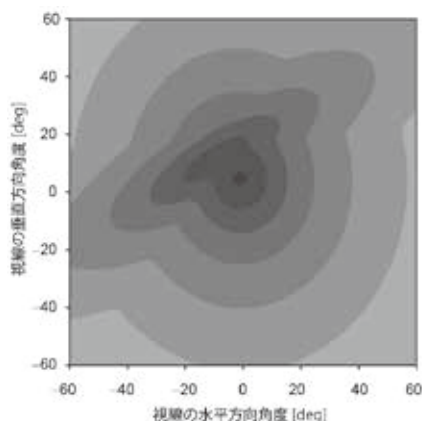


図3. 非飲酒時の視線方向データで学習したGMMの例

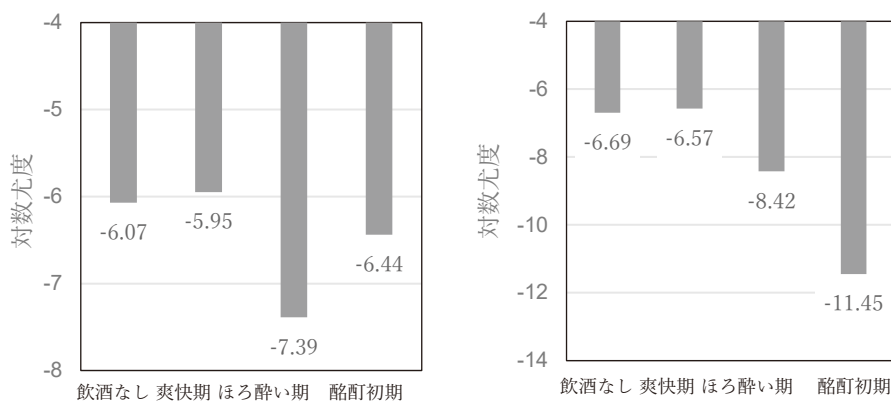


図4. 非飲酒時のGMMに対する各飲酒レベルの視線データの対数尤度の比較 (左:ドライバA, 右:ドライバB)

各飲酒レベルにおけるGMMの対数尤度を比較すると、ドライバA、Bともに爽快期は飲酒なしのときより尤度が若干大きくなっており、ほろ酔い期と酩酊初期には飲酒なしのときより対数尤度が小さくなっている。学習用データは飲酒なしの状態であるため、そのGMMと評価用の視線角度の分布が類似していればしているほど、評価用データが飲酒をしていない状態である確率が高くなる。つまり、対数尤度が大きいほど、評価用データが飲酒をしていない状態である確率が高くなるということである。ドライバA、Bの結果で、ほろ酔い期と酩酊初期の尤度が飲酒なしの評価用データの尤度に比べて小さくなっており、ほろ酔い期・酩酊初期はGMMの尤度を利用して飲酒の有無を推定できる可能性があるが、爽快期に関しては、逆に飲酒なしの場合より尤度が大きくなっており、微量の飲酒については、GMMの尤度に変化は現れないことが分かった。

2.6 瞬き頻度と閉眼時間の比較

飲酒運転時には、眠気等も伴うため瞬きのしかたにも変化が現れるものと考えられる。そこで、ドライバの瞬きの回数や閉眼時間について比較を行った。瞬きの回数は視線計測器で得られる「右眼瞬き」または「左眼瞬き」のデータを用いる。このデータは1が目を閉じている状態、0が目を開けている状態を表す2値データである。視線計測のサンプリング周波数は25Hzであるため、1つのデータの時間長は0.04秒に相当する。本実験では、閉眼状態のデータが2個(0.08秒)以上連続して観測された場合に、瞬きを1回したとみなし、瞬きの回数の計測を行った。また、連続する閉眼状態のデータから瞬き1回当たりの閉眼時間を算出し、各飲酒レベルにおける閉眼時間の平均を求めた。瞬きの回数と平均閉眼時間の結果をそれぞれ図5、6に示す。

図5より、飲酒レベルが上がるにつれて瞬きの回数も増加していることがわかる。ドライバAは瞬きの回数が、爽快期には非飲酒時の2倍以上になり、酩酊初期には非飲酒時の3倍以上まで増加している。ドライバBについても、飲酒に伴って瞬きの回数が増加している。また、非飲酒時から爽快期は大きな増加は見られないものの、ほろ酔い期には非飲酒時の3.5倍以上、酩酊初期には非飲酒時の5.5倍以上まで増加した。

また図6より、ドライバAは、瞬き1回当たりの閉眼時間も飲酒レベルに伴って増加している。また、非飲酒時から爽快期にかけて閉眼時間の平均の増加量が一番大きく、飲酒をすると閉眼時間が長くなると考えられる。ドライバBについてはドライバAに比較すると変化は小さいが、飲酒レベルに伴って閉眼時間の平均の増加が見られた。また、ほろ酔い期、酩酊初期には1回の瞬きで3秒ほど目を瞑っているデータも存在した。

上記の通り、ドライバA、Bのいずれも飲酒によって瞬きの回数と瞬き1回当たりの閉眼時間に明らかな増加が見られ、飲酒時の特徴として有効な特徴量であると考えられる。

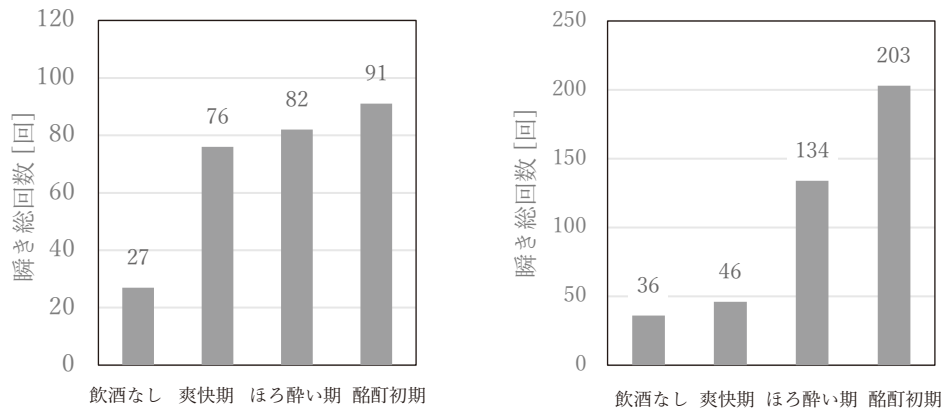


図5. 各飲酒レベルにおけるドライバの瞬きの回数の変化
(左:ドライバA, 右:ドライバB)

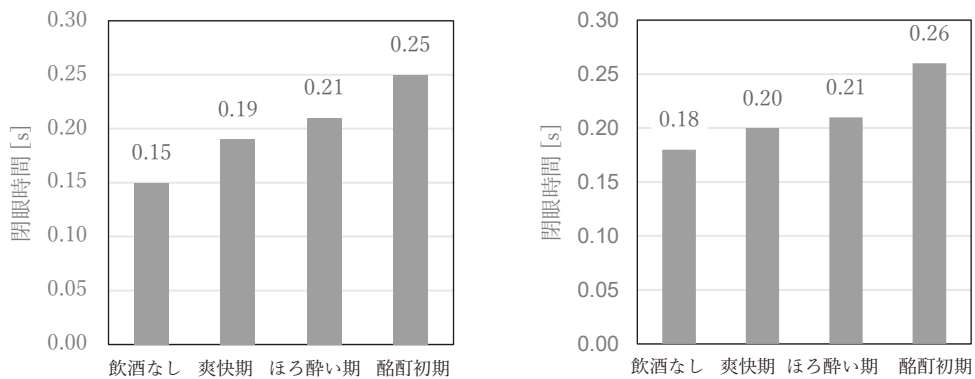


図6. 各飲酒レベルにおけるドライバの瞬き1回当たりの閉眼時間の変化
(左:ドライバA, 右:ドライバB)

3. 心拍データの特徴分析

3.1 心拍データの収集

次に、飲酒運転における心拍特徴量の変化について分析する。ここでは、平均心拍数、LT比、血圧の3つの指標が、飲酒レベルによってどのように変化するかについて調査を行う。ここでLT比とは、値が大きければ緊張状態を表し、小さければリラックスしている状態を表すとされる指標である。なお、LT比は、心電波形中の連続するR波とR波の間隔であるRR間隔について、2連続データを横軸と縦軸にプロットした散布図であるローレンツプロット[9]の分布に対して、主成分分析を行って得られる第1,2主成分の固有値の平方根の比として求めることができる。

実験では、免許を持つ成人男性1名(視線計測実験に参加したドライバBに同じ)に協力いただいた。ドライバは、飲酒なしの状態から、アルコール度数5%の350mlのチューハイを1本ずつ、累積飲酒量を段階的に増やしながら飲んでもらい、ドライビングシミュレータにて、片側一車線・交通量多めのコースを各飲酒レベルについて5分間ずつ走行した。

視線計測実験と同様に、アルコールが体内へ吸収される時間を考慮し、飲酒するたびに20分の間隔を空けてから運転を行った。各走行直前における呼気アルコール濃度は表4の通りであった。

また、心拍データの計測には、スポーツ用の心拍センサPolarのH10とレーサーVantage V2を用いた。血圧の測定には、オムロンの上腕式自動タイプの血圧計HEM-1022を用いた。なお、血圧計は上腕を固定する必要があるため、運転中に計測することが困難なため、運転の前後に計測を行った。

また、比較のために、運転を行わない安静時のデータの計測も行った。

表4. 実験時の呼気アルコール濃度 [mg/L]

	飲酒無し	飲酒 350ml	飲酒 700ml	飲酒 1050ml
実験 1 回目	0	0.13	0.21	0.29
実験 2 回目	0	0.10	0.17	0.24

3.2 平均心拍数の比較

まず図7に、飲酒量による平均心拍数の変化を示す。計測は異なる日に2回行っており、左のグラフが1回目、右のグラフが別日に行った2回目の実験の結果である。それぞれ、左から飲酒なし、飲酒量350、700、1050mlの平均心拍数で、運転時の他に参考までに安静時の結果も示している。

1回目の計測では、飲酒なしの運転に比べ350ml飲酒後の運転で心拍数が減少しているが、それ以降は安静時、運転時ともに飲酒量に伴って心拍数が増加した。2回目の計測では、心拍数は飲酒量に伴い単調増加した。つまり、一部例外はあるが、全体的に心拍数は飲酒量に伴って増加する傾向がみられた。安静時と運転時を比較すると、実験1回目の飲酒無しにおいては、運転することで安静時より心拍数が増加したが、実験2回目の飲酒無しでは、運転中の方が心拍数が減少するなど、傾向に一貫性が見られなかった。本実験では、飲酒と運転の相乗的な影響による変化はみられず、運転中か否かに関わらず、飲酒によって心拍数が増加するという結果となった。

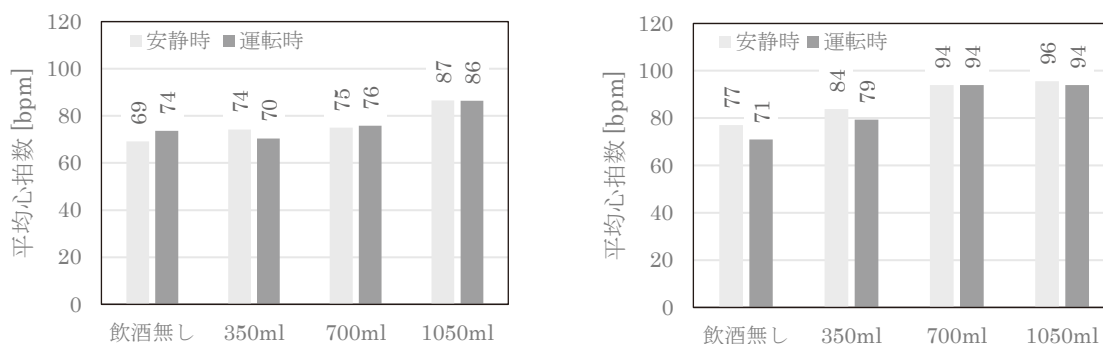


図7. 飲酒量による平均心拍数の比較(左:1回目, 右:2回目)

3.3 ストレス指標の比較

次に、図8に心拍データから得られるストレス指標であるLT比の結果を示す。図より、全体的に700ml、1050mlの場合のLT比が、飲酒なしや飲酒量350mlの場合に比べ、高い傾向にあるものの、左の1回目の実験結果については、飲酒量の違いによるLT比の変化はほぼ見られないという結果となった。実験結果より、一般にストレスレベルの指標として用いられるLT比を、飲酒状態の検出の指標として用いることは、少なくともこのドライバについては、難しいことが分かった。これらの特徴量の有効性については、更に被験者数を増やして検討する必要がある。

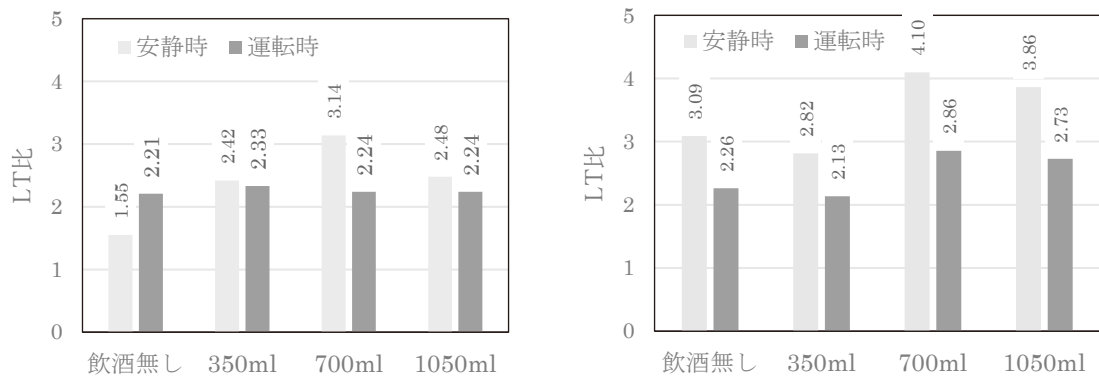


図8. 飲酒量によるLT比の比較(左:1回目, 右:2回目)

3.4 血圧の比較

最後に、血圧の結果を図9に示す。血圧については、2回目の実験で一部のデータが正しく得られなかったため、1回目のデータのみを示している。心拍数に比べると変化は小さいものの、飲酒量に伴って血圧(特に最低血圧)が下降する傾向が見られた。飲酒と循環器疾患に関する研究 [10] によると、継続的な飲酒の習慣は高血圧の原因となるが、逆に一時的な飲酒においては、飲酒することで血圧が低下する傾向があると報告されており、本実験においても[10]の見解に一致する結果となった。

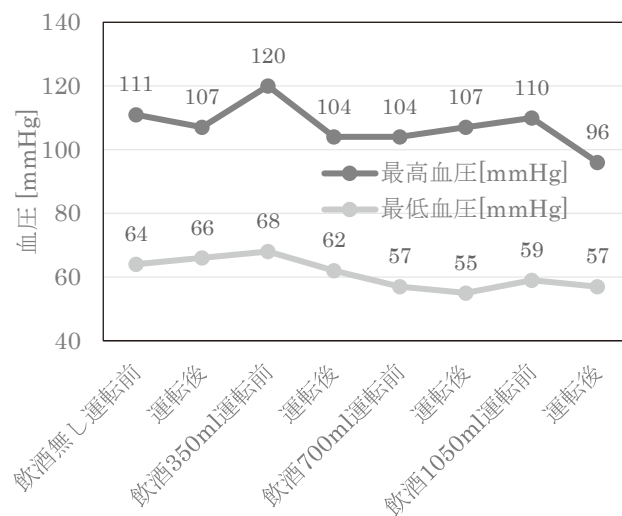


図9. 飲酒レベルによる血圧の比較

4. 結論

以上のように本研究では、飲酒運転の検出に向けて、飲酒運転時のドライバの視線特徴量及び心拍特徴量の変化について分析した。まず視線特徴量については、飲酒時は非飲酒時に比べ視線角度の分布が広がり、飲酒レベルが上がるにつれて分散が大きくなる傾向が見られた。また、ほろ酔い期以降は、GMMの対数尤度が減少する傾向が見られた。さらにドライバの瞬きの回数や閉眼時間も飲酒レベルに応じて増加し、爽快期程度の飲酒量でも検出に使用できる可能性があることがわかった。次に心拍特徴量については、平均心拍数は飲酒量に伴い上昇したが、ストレス指標のLT比については、アルコール摂取量との関係に一貫した傾向を読み取ることはできなかった。また、

血圧については、飲酒量に伴い減少する傾向がみられた。

本実験は被験者2名に協力いただいたが、個人差について調査するため、被験者数を増やす必要がある。また、本実験は飲酒を伴うためドライビングシミュレーターで実験を行ったが、実車運転時との結果の違いの影響についても調査の必要がある。

参考文献

- [1] e-Stat 政府統計の総合窓口：道路の交通に関する統計/交通事故の発生状況,
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000040145577&fileKind=2>
(参照日：2024年5月28日)
- [2] 道路交通法の一部を改正する法律について 第65条,第117条, 警察庁, 2007年7月5日,
<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku9/taisyuu.pdf> (参照日：2024年5月28日)
- [3] K. A. Sanghvi, “Drunk Driving Detection,” *Computer Science and Information Technology*, 6(2), 24-30, 2018.
- [4] 岩城亮, 藤田裕一, 吉田智幸, “飲酒による運転行動影響についての基礎的検討,” *JARI Research Journal*, 20230306, 2023.
- [5] 住友理光株式会社, “ドライバーモニタリングシステムのプロトタイプが完成,”
<https://www.sumitomoriko.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2021/03/n51910569.pdf>
(参照日：2024年5月28日)
- [6] 村上洋平, 黒田淳, 佐藤徹, 伊東敏夫, 増田怜, “ミリ波レーダーを用いた運転者のバイタルモニタリングに関する研究,” *自動車技術会2022年春季大会学術講演会講演予稿集*, No. 82, pp. 1-3, 2022.
- [7] 公益社団法人アルコール健康医学協会, “お酒と健康を考える;アルコール血中濃度と酔いの状態,” <https://www.arukenkyo.or.jp/health/base/index.html> (参照日：2024年5月28日)
- [8] D. A. Reynolds, and R. C. Rose, “Robust Text-Independent Speaker Identification Using Gaussian Mixture Speaker Models,” *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 3(1), 72-83, 1995.
- [9] M. Toichi, T. Sugiura, T. Murai, A. Sengoku, “A new method of assessing cardiac autonomic function and its comparison with spectral analysis and coefficient of variation of R-R interval,” *Journal of the Autonomic Nervous System*, 62, 79-84, 1997.
- [10] 河野雄平, 飲酒と循環器疾患, *日本循環器病予防学会誌*, 総説, 55(2), 87-96, 2020.