

動揺病の影響による生体生理信号の変化

Changes of biological signals reflecting the incidence of motion sickness

加藤 幸洋 榎原 瞳 石崎 千穂 河合 敦夫 井須 尚紀

Yukihiro Kato Hitomi Sakakibara Chiho Ishizaki Atsuo Kawai Naoki Isu

1. はじめに

新たな乗り物が開発されるのに伴って動揺病の種類も増してきている。宇宙酔やバーチャル酔のように、いわゆる乗り物酔とは呼ばれないものも、動揺病として考えられている。動揺病は高速化や安全性に次いで重要な項目である。快適性を求めるためにも動揺病を極力抑えることが望ましい。しかし、動揺病の発症を客観的に測ることができないため明確な対策が取れないのが現状である。^[1]

動揺病が発生すると、注意力や感覚・知覚能力、快適性、精神活動などの低下が起こり、事故を発生しやすくなるため、本人が不快を感じる前に動揺病を予測、検出し未然に動揺病発症を防ぐことができれば、事故件数を減らすことができると考えられる。

そこで、動揺病の発症を検出するデバイスを開発することを目的として、動揺病発症時の生体生理信号を解析した。

2. 実験方法

2.1 被験者

本研究は三重大学工学研究科倫理委員会の承認の下に実施した。被験者には実験の目的、方法、予期される影響、人権の保護に関することなどの説明をした後に書面による同意を得た、20 歳前後の健康男女 39 名（男性:30 名、女性:9 名）を被験者に用いて実験を行った。39 名の内、17 名は 1 回、22 名は 2 回の実験を行い総計 61 試行の実験を実施した。なお、実験途中で受忍限界を超えた被験者 5 名は中途離脱させた。

2.2 実験システム

室温 25℃に調整された暗室内で実験を実施した。軽度の動揺病を発症させるために、3D ドライビングシミュレータ・システムを用いて視運動刺激を与えた。円筒型スクリーン（高さ 2.6m、幅 10m）に 7 台の映像投影用コンピュータと 6 台のプロジェクタを使って映像を投影し、偏光フィルタを用いて 3D 映像を実現した。シミュレータを運転するために、スクリーンから約 4m 手前の位置にステアリングコントローラを 5 台設置し、一度の実験で 2~5 人の被験者を同時に計測できるようにした。カーステレオから BGM を聞きながら運転しているような感覚をイメージさせるため、走行音と BGM をスピーカーから出力した。刺激開始 10 分前から刺激終了まで約 40 分間、生体生理信号を計測用コンピュータに入力し、リアルタイムでモニタリングしつつデータを保存した。

2.3 視運動刺激

サイバー酔いを誘起させるために、被験者に仮想環境内を 30 分間、車で運転させた。100m 毎に交差点のある基盤目状の市街地を、ステアリングコントローラを使い、40 km/h 前後で道路交通法の規則に則り自由に運転させた。一度の実験で 2~5 名の被験者を用い、約 10 秒ごとに映像内の標識の指示に従ってランダムに運転者を交替させた。

2.4 計測信号

2.4.1 心電図

電極を左わき腹（陽極、アース）と右鎖骨上（陰極）に付け、1kHz でサンプルした心電図波形信号を半幅 5 点の単純移動平均により平滑化した後、波形のピーク（R 波）検出により R-R 間隔を測定して心拍周期を求めた。5 秒毎に 1 分間の平均と標準偏差を求めて、心拍周期の平均と変動を調べた。また、3 次エルミート補間により心拍周期波形を 2 Hz でリサンプルし、5 分間の心拍周期変動の周波数解析を 5 秒毎に行った。スペクトルの低周波成分 LF（0.04~0.15Hz）と高周波成分 HF（0.15~0.5Hz）のパワーから、自律神経活動を計測した。計測した信号は心拍周期の平均、心拍周期変動、交感神経活動、副交感神経活動である。

2.4.2 呼吸

ネイザルアダプタを鼻孔内と口の直前に装着し、呼吸二酸化炭素分圧を 1kHz でサンプルした。呼吸相の開始点間隔を呼吸周期とし、5 秒ごとに 1 分間の呼吸周期の平均と標準偏差を求め、標準偏差を平均で割ることにより呼吸周期変動を計測した。また、呼吸相毎に呼吸二酸化炭素分圧の最大値を呼吸終末二酸化炭素分圧（以下 ETCO_2 ）として計測し、3 次エルミート補間により 1 Hz でリサンプルして ETCO_2 波形を得た。計測した信号は呼吸周期の平均、呼吸周期変動、 ETCO_2 である。

2.4.3 体温

シリコンにより柔軟に湾曲する鼓膜温用サーモパイルセンサを外耳道に挿入し、0.5Hz で鼓膜温をサンプルして測定した。また、右手の拇指球にデジタル温度センサを装着し、0.5Hz で手掌部皮膚表面温を測定した。体温は 1 回の実験につき 1 名の被験者から測定した。

2.4.4 唾液

食事等の影響を受けないようにするため、実験開始前に被験者にうがいさせた。サリベット管を用いて、刺激開始 10 分前から刺激終了時まで 5 分間隔で唾液を採取した。唾液を染み込ませる時間は 1 分間とした。実験終

了後、遠心分離を行い唾液の pH、アミラーゼ活性、 Na^+ 濃度、 K^+ 濃度、 NO_3^- 濃度を pH メータ、酵素分析器、各イオンメータを用いて測定した。また、十分な唾液量を得られた 4 名の被験者については、クロモグラニン A 濃度 (以下 CgA) と免疫グロブリン A 濃度 (以下 s-IgA) の測定も行った。

2.5 動揺病の評価方法

動揺病感受性調査票 (MSSQ) ^[2] を実験開始前に記入させ、被験者の動揺病に対する感受性を調査した。シミュレータ酔い調査票 (SSQ) ^[3] を実験開始前、および終了後に記入させ、動揺病の症状から被験者の動揺病強度を調査した。刺激開始 10 分前、5 分前、刺激開始時、および刺激中 2 分間隔でマグニチュード評価法を用い、全く不快を感じない状態を 0、受忍限界の状態を 100 として、被験者に不快感を回答させた。

3. 結果

3.1 動揺病感受性調査とシミュレータ酔い調査

動揺病感受性調査票 (MSSQ) を用いて、子供の頃 (12 歳以前) と最近 10 年間に於ける、9 種類の乗物や遊具での動揺病経験に基づいて MSSQ 素点を求めた。MSSQ の集計では、各乗物・遊具で「気持ち悪くなった」吐き気を催した頻度」について「ない」=0、「稀に」

=1、「時々」=2、「頻繁に」=3、「いつも」=4 の点数を与え、「各乗物・遊具で嘔吐した頻度」については上記と同じ点数を加点した。子供の頃と最近 10 年間のそれぞれで、上記点数を利用経験のある乗物・遊具について平均し、これを足し合わせたものを MSSQ 素点、MSSQ 素点を 1/2 にした値を感受性スコアとした。感受性を自己評価させる項目「あなたは乗物に酔いやすいですか」の設問に、「全く酔わない」=0、「少し酔う」=1、「人並み程度に酔う」=2、「かなりよく酔う」=3 で答えさせた。感受性スコアと自己評価のヒストグラムおよび相関を図 1 に示す。感受性スコアは平均的には、幾種類かの乗物・遊具に稀にないしは時々酔う程度の感受性であった。最大値は 2.31 で頻繁に酔う乗物・遊具があり嘔吐経験もある被験者がいたが、一方でスコア 0.00 の動揺病経験がない被験者も 4 名あった。自己評価は「かなりよく酔う」と回答した被験者も 4 名いたが、概ね人並み程度あるいは以下と自己評価している人が被験者として実験に参加した。感受性スコアと自己評価の相関は Spearman の順位相関係数を求めると 0.67 ($p=3.3 \times 10^{-6}$) となり、極めて有意な正の相関が得られた。

シミュレータ酔い調査票を用いてシミュレータ酔い強度を調べ、動揺病の諸症状の程度を基に吐き気、眼精疲労、空間識失調の 3 因子と総合評価の評点を求めた。各評点の開始前と終了後の差を SSQ スコアとした。各ヒストグラムを図 2 に示す。いずれも高値に広がり延びる分布を示した。3 因子、総合評価間の Spearman の順位相関係

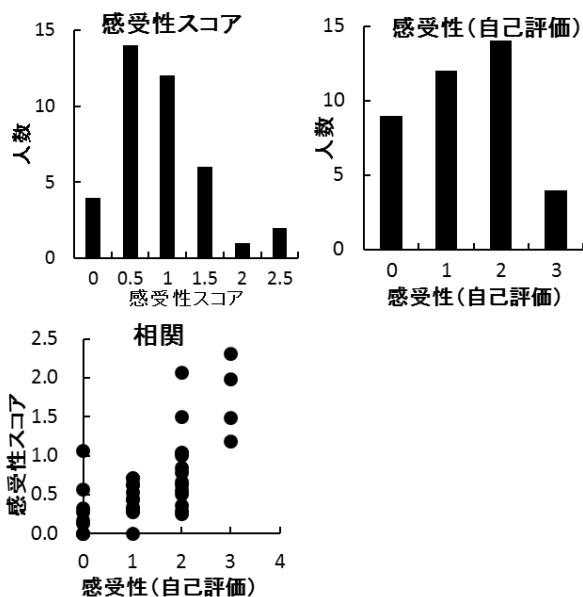


図 1. 動揺病感受性のヒストグラムと相関

表 1. SSQ スコア間の相関 右上部は Spearman の順位相関係数、左下部は有意水準 (p 値) を示す。

	SSQ (総合評価)	SSQ (吐き気)	SSQ (眼精疲労)	SSQ (空間識失調)
SSQ(総合評価)		0.92**	0.95**	0.85**
SSQ(吐き気)	1.6E-25		0.83**	0.69**
SSQ(眼精疲労)	8.4E-32	2.5E-16		0.77**
SSQ(空間識失調)	8.7E-18	1.1E-09	6.6E-13	

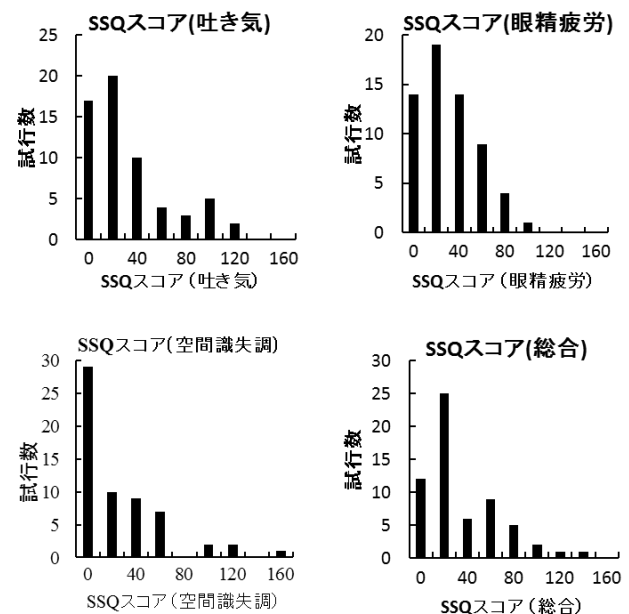


図 2. SSQ スコアのヒストグラム

表 2. SSQ スコアと感受性スコアとの相関 各セルの上段は Spearman の順位相関係数、下段は有意水準 (p 値) を示す。

	SSQ (総合評価)	SSQ (吐き気)	SSQ (眼精疲労)	SSQ (空間識失調)
感受性スコア	0.32* (p=0.013)	0.30* (p=0.020)	0.28* (p=0.031)	0.30* (p=0.018)
感受性(自己評価)	0.17 (p=0.19)	0.20 (p=0.12)	0.17 (p=0.19)	0.12 (p=0.36)

数を表1に示す。以後、関連の表において、危険率5%で有意な相関を示したものについては「*」を、危険率1%で有意な相関を示したものについては「**」を記す。3因子間に高い相関が見られ、3因子の線形和である総合評価とも高い相関を示した。感受性とシミュレータ酔いとのSpearmanの順位相関係数を表2に示す。感受性スコアとSSQスコアとの間には0.3程度の有意な相関が得られた。

3.2 動揺病不快感

刺激開始10分前、5分前、刺激開始時、および刺激中2分間隔でマグニチュード評価法を用い、全く不快を感じない状態を0、受忍限界の状態を100として被験者に不快感を回答させた。不快感の程度毎に、生体生理信号がどのように変化するかを見るため、61試行を不快感強度によって以下のように4グループに分類した。

グループA：全く不快を感じなかった（18試行）

グループB：不快感上昇が20以下（20試行）

グループC：不快感上昇が20を超えた（18試行）

グループD：受忍限界を超え中途離脱した（5試行）

グループ毎に不快感の推移を図3に示す。

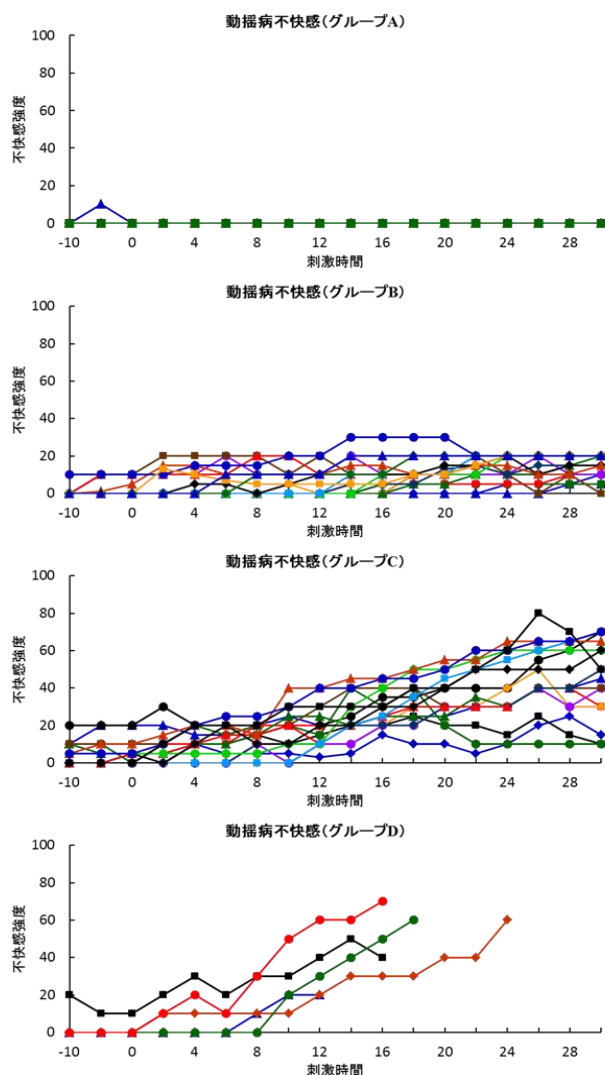


図3.不快感によるグループ分け

各試行で生じた不快感の強度を1つのスカラー値で表現するために、以下のように不快感スコアを定義した。

$$\text{不快感スコア} = (\text{刺激中の評点の平均} - \text{刺激前の評点の平均}) \times (30 \text{ 分} / \text{刺激時間}) \times 2$$

図4に不快感スコアのヒストグラムとSSQとの相関を示す。不快感スコアが0以下の試行では不快を感じていないが、その約半数はSSQの吐き気などが上昇しており、動揺病の症状があっても不快に感じていないことが示された。不快感スコアと動揺病感受性スコアおよびSSQスコアとの間のSpearmanの順位相関係数を表3に示す。SSQスコアとの間には高い正の相関が得られたが、感受性との間には有意な相関は見られなかった。

3.3 心電図

電極の装着不備など計測不可だった9試行を除いた52試行で解析を行った。心拍周期の平均、心拍周期変動、交感神経活動、副交感神経活動は、刺激開始10分前から刺激開始時までの平均に対する比率を求めた。全試行の幾何平均を取り、刺激前に対する増減を変化率で表して図5に示す。

心拍周期の平均は刺激開始直後に急激に短縮した後（刺激前に対して平均で約-7%）、徐々に延長した（刺激前に対して平均で約5%）。心拍周期変動は不快感の増強に対応した変化をしなかった。不快感強度によるグループ分けでグループ毎に平均した結果に相違は見られなかった。また、心拍周期の平均、心拍周期変動ともに5分間隔の周期が観測された。唾液採取のタイミングと一致しているため、

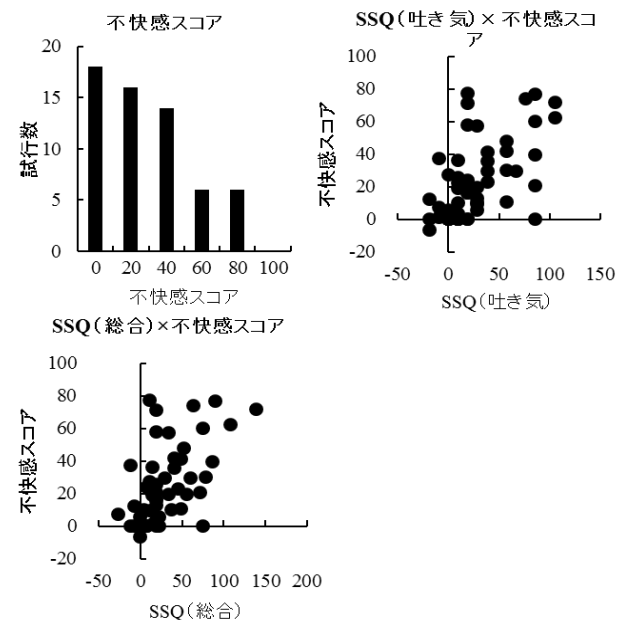


図4.不快感スコアのヒストグラムとSSQスコアとの相関

表3.不快感スコアと感受性スコア、SSQスコアとの相関
各セルの上段はSpearmanの順位相関係数、下段は有意水準(p値)を示す。

	感受性スコア	感受性 (自己評価)	SSQ (総合評価)	SSQ (吐き気)	SSQ (眼精疲労)	SSQ (空間認知)
不快感 スコア	0.20 (p=0.12)	0.15 (p=0.25)	0.64** (p=2.1E-08)	0.64** (p=3.5E-08)	0.61** (p=2.4E-07)	0.49** (p=5.0E-05)

唾液採取の際の行動が影響していると思われる。

低周波成分を高周波成分で割った値を交感神経活動、高周波成分を総パワーで正規化した値を副交感神経活動とした。交感神経活動は刺激開始後上昇し（刺激前に対して平均で約 80%）、副交感神経活動は刺激開始後低下した（刺激前に対して平均で約-10%）。不快感強度の異なるグループ間で相違は見られなかった。これらの自律神経活動にも唾液採取の影響が見られた。

SSQ スコア、不快感スコアとの Spearman の順位相関係数を表 4 に示す。どの信号も動揺病と有意な相関が得られなかった。

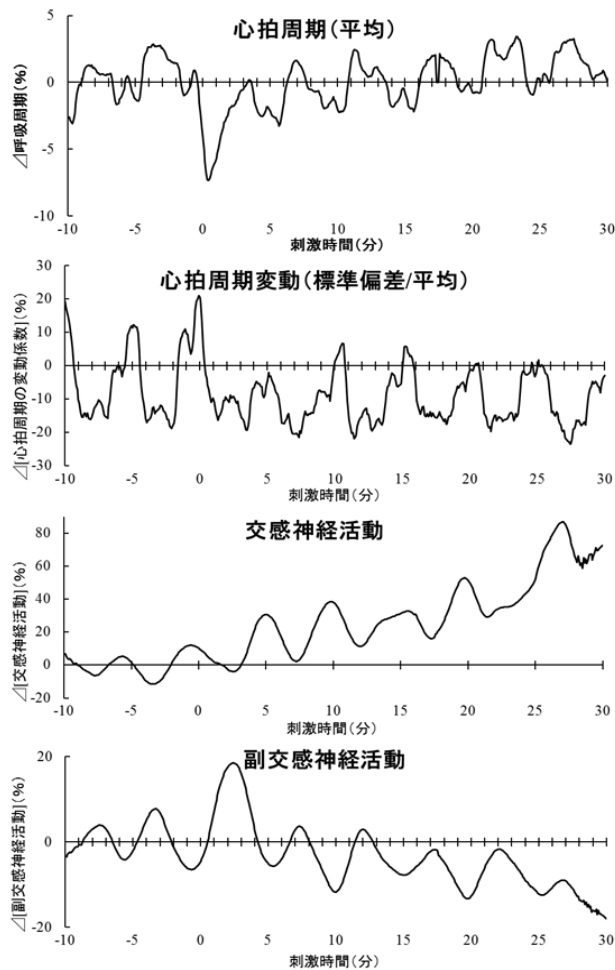


図 5.心拍周期および自律神経活動

表 4.心拍周期および自律神経活動と SSQ スコア、不快感スコアとの相関 各セルの上段は Spearman の順位相関係数、下段は有意水準 (p 値) を示す。

	SSQ (総合評価)	SSQ (吐き気)	SSQ (眼精疲労)	SSQ (空間認知失調)	不快感スコア
心拍周期 平均	-0.16 (p=0.25)	-0.16 (p=0.27)	-0.13 (p=0.37)	-0.15 (p=0.30)	0.07 (p=0.62)
心拍周期 変動	0.06 (p=0.67)	0.10 (p=0.46)	0.01 (p=0.95)	0.08 (p=0.59)	0.11 (p=0.42)
交感神経活動	0.07 (p=0.61)	0.06 (p=0.65)	-0.01 (p=0.95)	0.01 (p=0.94)	0.10 (p=0.46)
副交感神経活動	-0.12 (p=0.38)	-0.11 (p=0.44)	-0.02 (p=0.87)	-0.10 (p=0.50)	-0.15 (p=0.28)

3.4 呼吸

ネイザルアダプタの装着不備を除いた 60 試行で解析を行った。呼吸周期の平均、呼吸周期変動、ETCO₂は、刺激開始 10 分前から刺激開始時までの平均に対する比率を求め、全試行で幾何平均した。刺激前に対する増減を変化率で表わして図 6 に示す。

呼吸周期の平均は刺激開始直後に急激に短縮した後（刺激前に対して平均で約-15%）、徐々に延長した（刺激前に対して平均で約 10%）。呼吸周期変動は刺激開始時に一過性の増大（刺激前に対して平均で約 20%）した後、徐々に増大した（刺激前に対して平均で約 10%）。不快感強度の異なるグループ間で見てみると、不快感の大きさが大きくなるほど呼吸周期の延長が大きくなり、呼吸周期変動の乱れも大きくなった。呼吸周期変動には唾液採取の影響が見られた。ETCO₂は刺激開始後徐々に低下した後、ほぼ一定の値（刺激前に対して平均で約-4%）を示した。グループ間で相違は見られなかった。

SSQ スコア、不快感スコアとの Spearman の順位相関係数を表 5 に示す。動揺病と有意な相関が得られた信号は呼吸周期と呼吸周期変動であった。

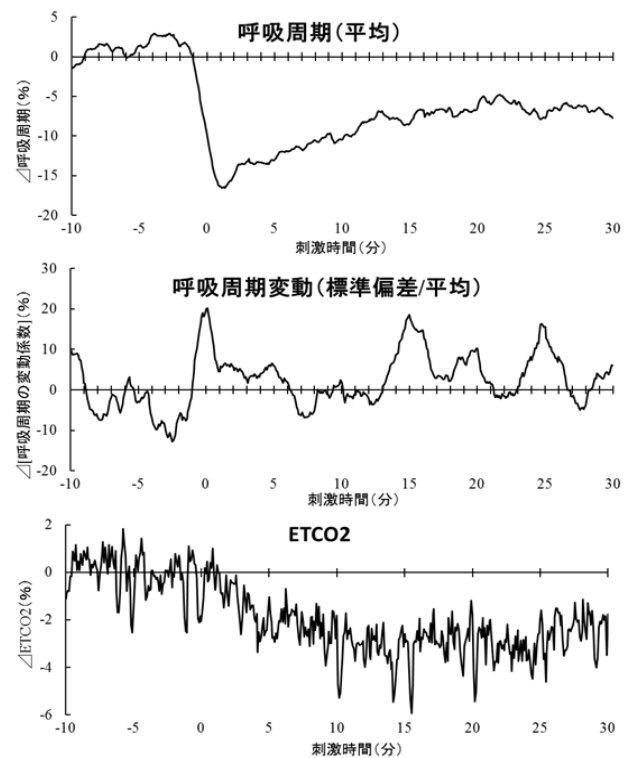


図 6.呼吸周期および ETCO₂

表 5.呼吸周期および ETCO₂ と SSQ スコア、不快感スコアとの相関 各セルの上段は Spearman の順位相関係数、下段は有意水準 (p 値) を示す。

	SSQ (総合評価)	SSQ (吐き気)	SSQ (眼精疲労)	SSQ (空間認知失調)	不快感スコア
呼吸周期 平均	0.48** (p=1.1E-04)	0.50** (p=5.1E-04)	0.43** (p=5.8E-04)	0.41** (p=1.1E-03)	0.29* (p=0.024)
呼吸周期 変動	0.46** (p=2.2E-04)	0.43** (p=5.3E-04)	0.41** (p=1.2E-03)	0.41** (p=1.0E-03)	0.43** (p=6.7E-04)
ETCO2	-0.24 (p=0.067)	-0.18 (p=0.17)	-0.21 (p=0.11)	-0.24 (p=0.066)	0.09 (p=0.48)

3.5 体温

全18試行の内、センサの装着不備を除いた15試行で解析を行った。鼓膜温、手掌部皮膚表面温は、刺激開始10分前から刺激開始時までの平均に対する温度変化を求めた。全試行の算術平均を取り、刺激前に対する体温変化を図7に示す。

鼓膜温は刺激開始後、徐々に低下した（刺激前に対して平均で約0.15deg）。手掌部皮膚表面温は、刺激開始直後に急激に低下した後、ほぼ一定の値（刺激前に対して平均で約-0.8deg）を示した。不快感強度によって分類したグループ間で相違は見られなかった。

SSQスコア、不快感スコアとのSpearmanの順位相関係数を表6に示す。鼓膜温、手掌部皮膚表面温ともに不快感と有意な相関を得られなかった。しかし、鼓膜温は動揺病の症状による評価であるSSQスコア（総合評価、眼精疲労、空間識失調）と有意な相関が得られた。

3.6 唾液

計測に必要な唾液量に満たなかった試行を除いて解析を行った。pH、アミラーゼ活性、Na⁺濃度、K⁺濃度、NO₃⁻濃度は、刺激開始10分前から刺激開始時までの平均に対する比率を求め、全試行について幾何平均した（pHについては、差分を算術平均した）。刺激前に対する増減を変化率（pHについては変化量）で表わして図8に示す。

アミラーゼ活性、K⁺濃度は不快感の増強に対応した変化が見られなかった。Na⁺濃度、pHは刺激中低下し（刺激前に対して平均でNa⁺濃度は約-20%、pHは約-0.1%）、NO₃⁻濃度は上昇した（刺激前に対して平均で約20%）。それぞれ、不快感強度の異なるグループ間で相違は見られなかった。

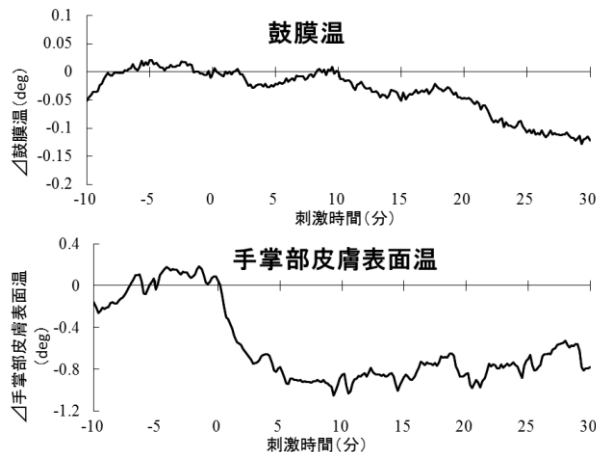


図7.鼓膜温および手掌部皮膚表面温

表6.体温とSSQスコア、不快感スコアとの相関 各セルの上段はSpearmanの順位相関係数、下段は有意水準（p値）を示す。

	SSQ (総合評価)	SSQ (吐き気)	SSQ (眼精疲労)	SSQ (空間識失調)	不快感スコア
鼓膜温	-0.52* (p=0.048)	-0.41 (p=0.13)	-0.52* (p=0.048)	-0.57* (p=0.026)	-0.17 (p=0.54)
手掌部皮膚表面温	0.42 (p=0.12)	0.3 (p=0.28)	0.35 (p=0.21)	0.57* (p=0.027)	0.41 (p=0.13)

また、十分な量サンプルできた4試行ではCgAおよびs-IgA濃度を測定した。尚、4試行の内、1試行は25以下、残りの3試行は60以上の不快感スコアが得られたものであった。CgAは弱い不快感で上昇し、強い不快感で徐々に低下した。s-IgAは刺激中に上昇した。

SSQスコア、不快感スコアとのSpearmanの順位相関係数を表7に示す。どの信号も動揺病と有意な相関を得られなかった。しかし、試行数が少なく、統計的な相関を求めることができなかったが、CgAは弱い不快感で上昇し、強い不快感で徐々に低下したことから、動揺病の程度を表している可能性が考えられる。

3.7 因子分析

各生体生理信号の1分毎の平均を求め、時刻毎のデータをケースとして因子分析を行った。共通性の低いK⁺濃度とアミラーゼ活性、CgA、鼓膜温を除いた12変数から3つの共通因子が得られた。Bi-Quartimin法により斜交回転を行った結果、図9に示す因子得点が求められた。第1因子は刺激開始後に刺激時間が長くなるにつれ上昇した。第2因子は唾液採取と呼応して周期的に変動した。第3因子は刺激開始時に一過性に上昇した後、徐々に低下した。不快感との相関を表8に示す。第1因子と不快感との間に強い相関が得られた。

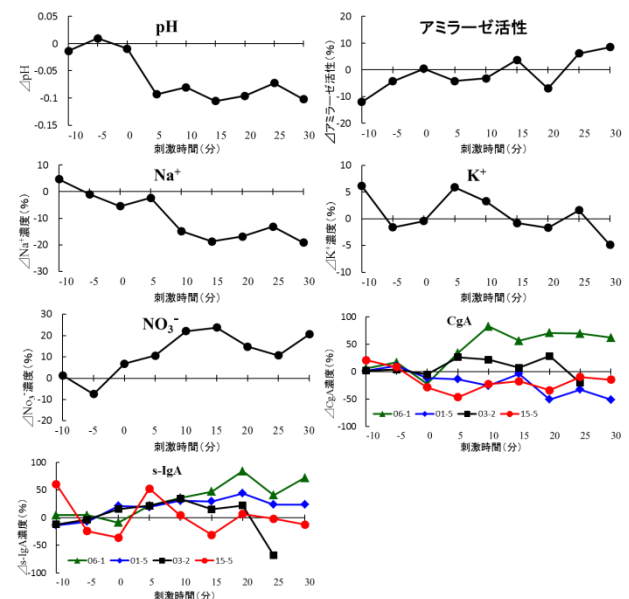


図8.唾液

表7.各唾液信号とSSQスコア、不快感スコアとの相関 各セルの上段はSpearmanの順位相関係数、下段は有意水準（p値）を示す。

	SSQ (総合評価)	SSQ (吐き気)	SSQ (眼精疲労)	SSQ (空間識失調)	不快感スコア
pH	0.02 (p=0.89)	0.06 (p=0.67)	-0.04 (p=0.77)	-0.01 (p=0.91)	0.04 (p=0.74)
アミラーゼ	0.15 (p=0.27)	0.21 (p=0.14)	0.20 (p=0.15)	0.00 (p=0.98)	-0.04 (p=0.75)
Na	0.03 (p=0.85)	0.09 (p=0.52)	0.01 (p=0.92)	0.06 (p=0.68)	-0.01 (p=0.91)
K	-0.04 (p=0.75)	-0.05 (p=0.75)	0.01 (p=0.92)	0.02 (p=0.87)	0.03 (p=0.85)
NO3	-0.07 (p=0.59)	-0.10 (p=0.49)	-0.02 (p=0.91)	-0.16 (p=0.25)	0.06 (p=0.64)

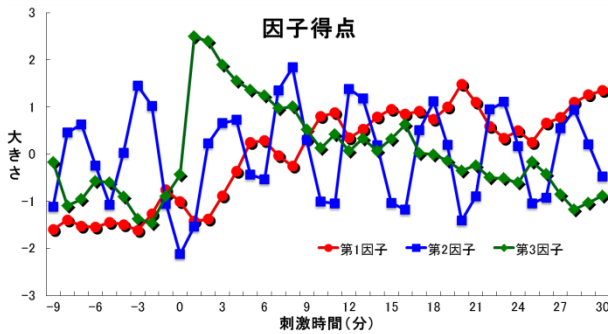


図9.共通因子得点

表8.共通因子と不快感との相関

	第1因子	第2因子	第3因子
不快感	0.874	0.047	-0.206

4. 考察

動揺病を誘起するための刺激として被験者にドライビング・シミュレータを運転させ、約10秒間隔で交替させた。視野映像の道路標識での表示によって運転者をランダムに指名することで、運転をしていない時にも被験者が映像を注視するようにした。心拍周期や呼吸周期の平均や心臓自律神経活動の解析に用いたデータ長、唾液の採取時間、不快感強度の測定間隔は1回の運転時間（約10秒）より充分長いので、被験者が運転を担当したことによる影響は平均化されて結果に表れていないと思われる。一方、唾液採取が影響したと考えられる5分周期の変動が、心拍周期、心拍周期変動、心臓自律神経活動、呼吸周期変動で観察された。2分毎の不快感強度の評価指示および口答に同期した変動は見られないので、唾液採取のための動作・行動が交感神経の興奮と副交感神経の抑制を誘起したと思われる。実用的な動揺病検出の指標を考えると、日常的に行われる動作・行動に敏感に反応する変量を動揺病検出のための指標として使用することに困難が予想される。

さて、SSQスコアは発症した動揺病症状の程度に基づいた評価値であるのに対し、不快感スコアは被験者が感じる不快感に基づいている。SSQスコアと不快感スコアの間には高い正の相関が見られるが、刺激中を通じて不快感が0であった試行（グループA: 18試行）においても約半数はSSQスコアが上昇しており、多少の動揺病症状の発症があっても不快には感じていないと思われる。鼓膜温の低下はSSQスコアと有意な相関が得られたが、不快感スコアとは相関しなかった。すなわち、鼓膜温の低下は不快感よりも動揺病症状とよく対応しており、不快感の発生に先立って動揺病発症を検出しようとする本研究の目的に合致する指標となり得るかも知れない。ETCO₂の低下にも同様な傾向が見られた。有意水準（5%）には達しなかったもののETCO₂はSSQスコアと負の相関を示す一方、不快感スコアとは無相関であった。呼吸流量が測定されていないので二酸化炭素排出量は不明であるが、ETCO₂の低下はエネルギー代謝の低下を反映していることが考えられる。鼓膜温の低下と連動した反応であると考え、不快感の発生に先立つ動揺病発症検出の指標にETCO₂も使用できる可能性がある。

呼吸周期の延長と呼吸周期変動の増大も動揺病強度と有意な相関を示した。唾液のCgA濃度（蛋白補正值）は不快感の弱い試行で上昇し、不快感の強い試行で低下した。鼓膜温やETCO₂の低下に加えて、これらの反応も動揺病検出指標の候補として有力であることが示唆された。しかし、動揺病と相関する反応であっても動揺病のみに依存するとは言えず、動揺病とは必ずしも連動しない精神的作用の影響も受けた反応が観察されたと考えなければならない。動揺病に対応した成分を抽出するためには、動揺病以外の精神的作用（交絡因子）に反応する信号も同時に計測して、交絡因子を反映した成分を取り除くことが重要である。実用性のある動揺病検出法を得るためには、動揺病と共に得る種々の精神的作用について、その影響を打消すために用いる生体生理信号も特定しなければならないことが示唆された。

生体生理信号を1分毎に平均して因子分析を行ったところ、不快感の変化とよく対応した共通因子が得られた。唾液採取の影響を反映した因子や、興奮や覚醒レベルを反映した因子が得られ、これらと分離することができた。多種の生体生理信号の因子分析により、動揺病の程度を評価できる可能性が示唆される。

5. まとめ

本研究では、動揺病発症の検出に利用可能な生体生理信号を探索的に検討するため、軽度の動揺病を発症させながら心電図、呼気二酸化炭素分圧、体温、唾液成分などの生体生理信号を計測した。動揺病誘起には3Dドライビング・シミュレータによる視運動刺激を用いた。また、被験者に動揺病感受性とシミュレータ酔の質問紙調査を行うとともに、マグニチュード評価法によって動揺病不快感強度の心理学的測定を実施した。さて、動揺病誘起のために用いた刺激は、動揺病だけでなく、興奮や緊張、ストレス等の精神的作用も同時に惹き起こしたと考えられる。そこで、発症した動揺病強度の個人差（試行間の差）を用いて、計測された反応と動揺病との相関を調べた。呼吸周期の延長と呼吸周期変動の増大、および鼓膜温の低下が観察され、動揺病強度と有意な相関を示した。ETCO₂の低下には動揺病との有意な相関が得られなかったが、強い不快感が発生した時にはETCO₂の顕著な低下が見られた。試行数が少なく統計的検定は出来なかったが、唾液のCgA濃度（蛋白補正值）は不快感の弱い試行で上昇し、不快感の強い試行で低下した。さらに、生体生理信号を因子分析した結果、不快感とよく対応した共通因子が得られ、動揺病強度の推定に利用できる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] 中川千鶴; 生理反応を用いた動揺病の評価に関する研究, 慶応義塾大学大学院理工学研究科博士学位論文, 2008.
- [2] Golding JF. Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. *Brain Research Bulletin* 1998; 47: 507-516.
- [3] Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG. Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness. *Int J Aviat Psychol* 1993; 3: 203-220.