

芦屋大学論叢 第85号

(令和8年3月22日)抜刷

ネガティブ映像刺激に対する自律神経反応の構造的特徴

ー心拍変動の非線形指標を用いた探索的分析ー

端 本 利江子
中 山 誠

ネガティブ映像刺激に対する自律神経反応の構造的特徴

ー心拍変動の非線形指標を用いた探索的分析ー

端 本 利江子 (1)

中 山 誠 (2)

(1) 芦屋大学臨床教育学部非常勤講師

(2) 関西国際大学

1. はじめに

心拍数 (heart rate : 以下, HR) とは, 1 分間に心臓が拍動する回数 (単位 : bpm) を指す。一方, 心拍変動 (heart rate variability : 以下, HRV) は, 心拍間隔 (R-R 間隔) の揺らぎを示す指標であり, 両者は同じ心臓のリズムに関わる生理指標であるものの, 意味する生理的・心理的内容は大きく異なる。

HRV 解析による自律神経機能の評価は, 「走行中の車の速度変化から, 運転者によるアクセルおよびブレーキ操作を推定すること」にたとえられる (早野, 2001)。この比喻では, HR の変化が車速の変化に対応し, 交感神経刺激がアクセル操作, 迷走神経刺激がブレーキ操作に相当する。たとえば車が減速した場合, HR の低下のみでは, アクセルを緩めた結果なのか, ブレーキが作動した結果なのか, あるいは両者の併用によるものなのかを判別することは困難である。こうした自律神経活動の内的操作を推定するには, HRV 解析が不可欠である。HR の変化だけでは捉えきれない情動の価的ニュアンスや調整プロセスを HRV 解析は可能にする。

本稿では, 後述の考察における解釈の前提を共有するため, HRV 解析に登場するいくつかの指標の意味を簡潔に紹介しておく。以下は, 自律神経の調整プロセスの判断材料となりうる指標である。非線形解析に分類されるローレンツプロットの指標 L は, 心拍間隔の長期的な変動を反映する指標であり, 交感神経活動との関連が示唆されている (Guzik et al., 2007)。ただし, 交感神経活動の高まりに伴って一貫して増加するとは限らないため, 解釈には注意が必要である。指標 T は心拍間隔の短期的変動を反映し, 主に副交感神経活動との関連が指摘されている (Guzik et al., 2007)。周波数解析における LF (低周波) は, 交感神経と副交感神経の両方の活動を反映するとされる。安静時には副交感神経の影響も含まれるが, ストレス時には交感神経活動の指標として用いられることがある。ただし, LF は呼吸数などの影響を受けるため, 交感神経活動の単独指標として用いるには限界がある (井上, 2001)。HF (高周波) は, 主に副交感神経活動を反映する指標とされる。特に呼吸性洞性不整脈 (respiratory sinus arrhythmia; 以下, RSA) との関連が深く, RSA は心臓迷走神経による瞬間的な心拍調節を示すものであり, その強さは副交感神経系の活動度を示すと解釈される (井上, 2001; Paton & Pickering, 2012)。HF は呼吸数や呼吸の深さの影響も受けるため, 解釈には呼吸条件の考慮が不可欠であるが, 一般的に HF の振幅が大きい場合は副交感神経活動が高いとされる。LF と HF の比率である LF/HF は, 自律神経活動のバランスを示す指標として用いられることが多い。交感神経活動の単純な指標とすることには慎重な解釈が求められるが, 交感神経優位の状態では値が高くなる傾向がある。また, HF/(LF+HF) は, 全体の HRV のうち副交感神経活動が占める割合を示す指標として用いられ, 副交感神経優位の状態では値が高くなる。この指標は, 副交感神経の相対的な寄与を強調するものである。

2. 問題・目的

フィルムクリップ (film clips) とは、映画や映像作品から特定の場面を抽出した短時間の映像刺激であり、視覚および聴覚の情報を同時に提示する点に特徴がある。このような複合的感覚刺激は、静止画像など他の視覚刺激と比較して、実験室環境においてより強力かつ持続的な情動反応を誘発する手段として広く用いられている (Schaefer et al., 2010)。

中山ら (2023) は、ネガティブな情動喚起を目的としたフィルムクリップを作成し、HR および呼吸振幅の生理的変化を検討した。分析の結果、過干渉な母親が主人公 (大学生) に対して侵襲的な質問を行う場面、および主人公が水中に沈んでいく場面では呼吸振幅の減少が、主人公が意識を回復し水面に出ようともがく場面では呼吸振幅の増加が確認された。また、水中に沈む場面および水面に出ようともがく場面では HR の低下も報告されている。

本研究は、第一著者が中山ら (2023) の実験に関心を持ち、論文化の基礎となるローデータの提供を受けたことを端緒としている。中山らの研究では、心電図データに関して HR の変化が主に分析対象とされており、HRV の検討は行われていなかった。HR の変化だけでは、交感・副交感神経の協調的変化や周期性の乱れなど、自律神経の情動刺激に対する複雑な応答を捉えきれない。そこで本研究では、同実験データを基盤とし、第二著者である中山との協働のもと、動画刺激の場面に応じた自律神経活動の変化を記述的・探索的に検討することを目的とする。HRV 指標を多面的に用い、ネガティブな情動刺激に対する自律神経活動の構造的特徴を探索することで、従来の HR 分析で見落とされがちだった反応の可視化を試みる。これにより、ネガティブな情動刺激に対する自律神経の応答が、従来の平均値分析では捉えきれなかった複雑な構造をもつことが示唆される可能性がある。

3. 方法

以下に、中山ら (2023) の実験手続きのうち、本研究の目的に照らして関連する部分を記載する。

3.1 対象

近畿地方の私立大学に在籍する大学生および大学院生を対象に、講義中に実験協力者の募集を行った。参加者は 18 歳から 47 歳までの 69 名であったが、心拍データに何らかの不具合があり、正常に取得できなかった 5 名を除いた 64 名 (平均年齢 19.69 歳, $SD = 1.24$, 男性 13 名, 女性 51 名) を分析対象とした。除外基準は設けず、全体的な傾向の観察と、そこから浮かび上がる構造的特徴の探索を重視する立場から、全 64 名のデータを用いた。

3.2 実施場所

大学の実験室にて、他者による出入りのない空間でデータを取得した。

3.3 実験手続き

実験参加者に実験の概要を説明した。実験で提示する動画には、主人公が溺れる場面を含むことがあらかじめ伝えられた。実験協力が任意であること、途中での中断も可能であること等の説明を行い、書面による

同意の署名を受けた。次に、心拍を計測するセンサーを取り付け、装置の調整を行った。5分の安静時間を取った後、約8分の動画が提示された。実験後、実験前にはできなかった実験の意義や説明を行った。さらに、実験中に不安や恐怖感を抱いた実験参加者には、実験前の精神状態に戻るようディブリーフィングを行った。

3.4 使用機器

心拍は実験参加者の左足首にプラス電極（ディスプレイザブル電極、メッツ社製ブルーセンサー M-OO-SM）、右足首にマイナス電極、左手首にアース電極を装着し、アナログバッファアンプ（ニホンサンテック製 Polyam 4）で増幅後、A/D 変換機（ニホンサンテック製 MaP 282）に入力して測定した。得られた心拍データは、周波数解析とローレンツプロット解析が同時に可能な自律神経解析プログラム（ニホンサンテック製 MaP 1060）に読み込んだ。統計解析には、心理統計ソフト HAD 18（清水, 2016）を主に使用したが、等分散性の検定（Levene 検定）のみ SPSS Statistics（IBM 社製, Version 29）を用いた。

3.5 刺激

実験には、ホラー映画「テルマ」（ノルウェー・フランス・デンマーク・スウェーデン合作）から場面を切り取り約8分に編集した動画が用いられた。音声はスカンジナビア語で、会話の内容は日本語字幕で表示された。動画刺激の制御には、iiyama 製ノートパソコン STYLE-17 FH 055-i 7-UHSX が使用された。動画には、以下に示す場面が間隙を入れずに提示された。

本研究では、動画刺激に含まれる7つの場面（区間 A～G）における自律神経活動の変化を検討した。各区間の内容は以下の通りである。

- ・区間 A：大学キャンパスを上空から映した映像で始まり、多数の学生が広場を行き交う様子が描かれる。日常的な大学生活の導入場面である。

- ・区間 B：主人公テルマ（女性）が、大学寮の自室で母親からの電話に応答する。母親は開口一番に問題の有無を尋ね、複数回電話をかけたことを告げる。テルマは講義のため応答できなかったと説明するが、母親は講義時間を把握しており、矛盾を指摘する。テルマはため息をつく。

- ・区間 C：テルマが料理中であることを伝えるが、母親はその言葉を遮り、夕食の内容を電話で尋ねる。テルマは「パスタなど」と答え、後ほど掛け直すと告げる。母親は翌日の通話を提案し、テルマは同意して電話を切る。

- ・区間 D：再び大学キャンパスの上空映像が提示された後、テルマが図書館に向かって歩く様子が映される。図書館内では他の学生が勉強しており、テルマは空席を見つけて着席する。

- ・区間 E：数日後、テルマがプールで一人泳ぎ始めたところ、水中で原因不明の痙攣を起こす。顎が上がって視線が天井を向いた直後、テルマは失神して約10秒間プールに沈んでいく。その後意識を取り戻し、両腕を前後に動かしながら浮上する体勢を整え浮上し始める。

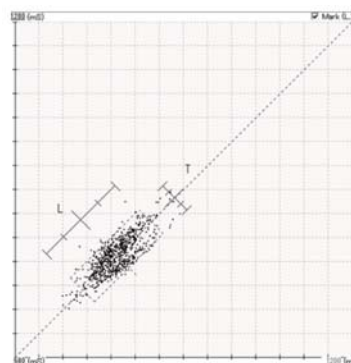
- ・区間 F：水面近くまで浮上するが、プールには見えない蓋がかぶさっているような状態で、テルマは水面に出ることができない。水面を叩いたり、蹴ったりしてもがいた末に、ようやく水面に顔を出すことができる。

- ・区間 G：プールサイドに向かったテルマは壁にしがみつき、自力でよじ登るとプールサイドに横たわって大きく呼吸する。スタッフが異変に気づいて走って駆け寄り、テルマの脇腹に手を添える。その後、場面は街中に変わり、テルマが暗い表情で歩く様子が映される。

3.6 分析

前述の区間 A, B, C, D, E, F, G の 7 区間（各 25 秒間）の心拍データがオフラインで分析された。得られた R-R 間隔データは、心拍変動の非線形特性を可視化するため、ローレンツプロットに変換された。R-R 間隔のローレンツプロットは、一般的に右上がりの楕円形となる。ローレンツプロットの指標は、研究者によって若干異なるのであるが、本研究では Toichi et al. (1997) による指標を採用した。楕円の長軸方向の広がりをも L、短軸方向の広がりをも T とし、楕円の面積的広がりをも表すように L と T の積の対数を取ったものを CVI (Cardiac Vagal Index)、楕円の縦横比 (L を T で除したも) を CSI (Cardiac Sympathetic Index) と呼ぶ (Figure 1 参照)。各区間における L, T, CVI, CSI を算出した。CVI と CSI は直接的な神経活動の測定ではなく、あくまで副交感神経傾向と交感神経傾向を示す指標である。

Figure 1 ローレンツプロットの指標



また同区間（区間 A～G）の周波数解析も実施した。得られた R-R 間隔データに対してパワースペクトル密度 (Power Spectral Density) を算出し、低周波成分 (Low Frequency : LF, 0.04-0.15 Hz) および高周波成分 (High Frequency : HF, 0.15-0.40 Hz) の振幅を評価した。各区間における LF, HF, LF/HF, HF/(LF+HF) を算出した。

3.7 倫理的配慮

中山ら (2023) による当該実験は、中山らが所属する大学の倫理委員会の承認（承認番号：研倫委審 第 R 3-24）を得て実施された。得られた生理反応の結果は、匿名性が守られること、学術大会や学術雑誌の論文にて発表することがあること、情報の管理が徹底されることなどの説明が行われ、実験参加者から同意書に署名を受けた上で実施された。

4. 結果

得られた生理データを自律神経解析プログラム「MaP 1060」に読み込み、区間 A～G において以下の指標を算出した：

- ・心拍数 (HR)
- ・ローレンツプロット指標 : L, T, CVI, CSI
- ・周波数解析指標 : LF, HF, LF/HF, HF/(LF+HF)

各区間における指標の平均値および標準偏差は Table 1 に示した。

Table 1 各区間における生理指標の平均値と標準偏差 ($n = 64$)

	HR		L		T		CVI		CSI		LF		HF		LF/HF		HF/(LF+HF)	
	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)
区間A	80.07	9.77	166.99	71.99	87.43	49.21	4.07	0.38	2.11	0.81	93.74	132.31	97.19	115.73	1.74	3.13	0.55	0.23
区間B	79.27	9.92	189.72	88.19	95.84	52.30	4.17	0.35	2.24	1.17	134.76	209.21	117.67	167.24	2.63	5.94	0.54	0.27
区間C	79.75	10.30	184.74	90.16	96.67	51.21	4.15	0.40	2.05	0.72	153.30	202.42	111.80	131.06	2.29	3.61	0.48	0.24
区間D	82.30	10.05	186.11	86.95	91.41	48.33	4.13	0.39	2.22	0.88	140.97	214.54	106.03	118.80	2.61	6.35	0.52	0.26
区間E	76.78	9.79	183.90	76.41	102.22	43.77	4.20	0.34	1.91	0.70	120.19	141.51	137.42	181.89	1.48	2.54	0.58	0.25
区間F	77.19	10.20	187.91	78.40	113.01	58.41	4.24	0.35	1.87	0.87	117.69	139.45	164.09	231.50	1.36	2.02	0.58	0.25
区間G	78.11	10.22	189.74	93.30	108.91	54.55	4.22	0.38	1.92	0.87	141.17	255.49	148.46	189.04	1.45	2.08	0.58	0.25

Note. HRは心拍数 (bpm), L・T・CVI・CSIはローレンツプロット解析指標, $LF(ms^2) \cdot HF(ms^2) \cdot LF/HF \cdot HF/(LF+HF)$ は周波数解析指標である。

Table 2 一元配置ANOVAの結果

	F値	効果量 (η^2)	有意水準 (p)	多重比較
HR	35.34 **	.359	<.001	A<D** E,F,G<A** B<D** E,F<B** C<D** E,F,G<C** E,F,G<D** E<G**
L	1.41	.022	.216	
T	17.14 **	.214	<.001	A<C* A<B, E, F, G** B<F,G** C<F,G** D<E,F,G** E<F**
CVI	7.04 **	.100	<.001	A<E, F, G**
CSI	4.76 **	.700	<.001	F<B* E,F,G<D**
LF	1.03	.016	.397	
HF	5.91 **	.860	.001	A<G* B<F*
LF/HF	2.61 +	.400	.063	
HF/(LF+HF)	3.07 **	.046	.006	C<E*

+ $p < .10$ * $p < .05$ ** $p < .01$

Note. HRは心拍数 (bpm), L・T・CVI・CSIはローレンツプロット解析指標,
 $LF(ms^2) \cdot HF(ms^2) \cdot LF/HF \cdot HF/(LF+HF)$ は周波数解析指標である。

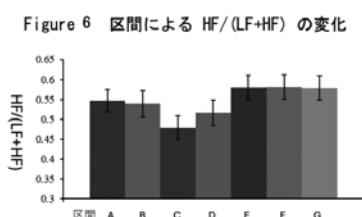
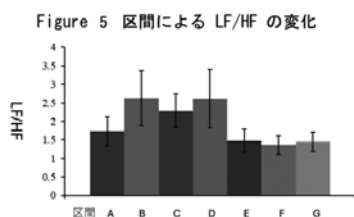
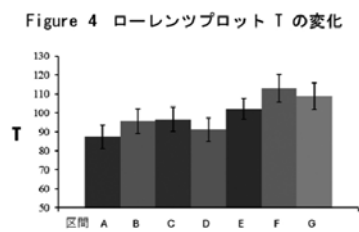
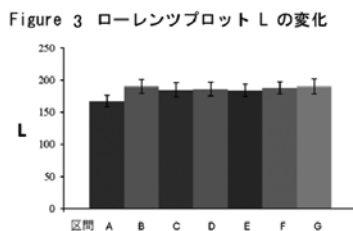
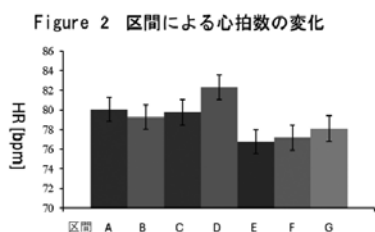
次に、反復測定 ANOVA に先立ち、球面性を Mauchly 検定により確認し、球面性が満たされない場合には Greenhouse-Geisser 補正を適用した。また、分散の等質性については補助的に Levene 検定を実施したところ、各指標において著しい逸脱は認められなかった (各 $p > .34$)。

以上を踏まえ、各区間 (区間 A から G, 7 水準, 参加者内要因) における各生理指標の一元配置分散分析 (ANOVA) を実施した。検定の結果、各区間の主効果は、HR ($p < .001$), T ($p < .001$), CVI ($p < .001$), CSI ($p < .001$), HF ($p = .001$), LF/HF ($p = .063$), HF/(LF+HF) ($p = .006$) において認められた (Table 2)。

多重比較 (Holm 法) の結果、HR は、A と B, A と C, B と C, B と G, E と F, F と G 以外の区間はすべて有意差が認められた (Figure 2)。特筆すべきは、区間 D の HR が最も大きく、その他のすべての区間よりも増加が認められ、区間 E, F, G は、ベースラインの区間 A および区間 D よりも HR の減少が認められたという点である。ローレンツプロットの L はどの区間も有意差が認められなかった (Figure 3)。ローレンツプロットの T は A と D, B と C, B と D, B と E, C と D, C と E, E と G, F と G 以外の区間は有意差が認められた (Figure 4)。特筆すべきは、区間 F の T が最も大きく、ベースラインである区間 A よりも区間 B, C, E, F, G に T の増加が認められたという点である。CVI は区間 A が最も小さく、区間 A よりも区間 E, F, G に CVI の増加が認められた。CSI は区間 B と D が比較的大きく、区間 F よりも区間 B に CSI の増加が認められた。また区間 E, F, G よりも区間 D に CSI の増加が認められた。

周波数解析の LF ではどの区間も有意差が認められなかった。周波数解析の HF では、区間 A が最も小さく、区間 A よりも区間 G に HF の増加が有意に認められた。また、区間 B よりも区間 F の方が HF 値は大きかった。LF/HF については、有意傾向が認められたため、Holm 法による多重比較を探索的に実施した。その結果、調整済み p 値では有意性は示されなかったが、未調整 p 値では一部の区間間比較において有意

差が認められた。したがって、補足的な参考情報として、LF/HF の区間変化を Figure 5 に示した。HF/(L+F+HF)については、区間 C が最も小さく、区間 C は区間 E よりも減少が認められた (Figure 6)。



5. 考察

本研究の目的は、中山ら (2023) の実験で未分析であった心拍変動 (HRV) 解析を多面的に行い、動画刺激の場面に応じた自律神経活動の変化を記述的に検討することであった。動画の各区間で自律神経活動がどのように変化したかを検討する前に、各区間の内容を整理しておく。

各区間の位置づけは次のとおりである。区間 A は、単なる人が行き交う空撮映像であり、情動的な意味づけのない中立的場面 (ベースライン) である。区間 B は、過干渉な母親が主人公の生活領域に踏み込みすぎている様子が描かれる場面である。区間 C は、主人公が母親の関心に応じつつも、会話を早く終わらせたいという意図が感じられる場面である。区間 D は、図書館の場面であるが、編集上は母親との電話終了直後に配置されている。ゆえにその直前の余韻が残る区間である。区間 E は、主人公が溺れて沈下していく生命危機と制御の喪失がメインの場面である。区間 F は、意識を取り戻した主人公が水中でもがく場面である。区間 F は生命の危機が継続しているものの、能動性が戻り回復のための行動をとれているという点で区間 E とは意味合いが異なる。区間 G は、主人公が呼吸を再開し、最悪の事態から脱出した安堵が表現される一方で、残存する不安が漂う場面である。

それでは本研究における二種類の情動喚起場面に着目して、自律神経の変化を検討する。

1. 区間 B および C

区間 B および C の、主人公と母親のやり取りは、心理的ストレスが生起すると予測される状況である。このような状況下で特筆すべきは、HR が区間 B, C では、ベースラインである区間 A とほぼ変わらなかった点である (Figure 2)。ローレンツプロットの L は区間 A, B, C で有意差が認められず (Figure 3), T は区間 A よりも区間 B, C で増加していた (Figure 4)。

また LF/HF は区間 B において増加傾向にあり (Figure 5), HF/(LF+HF) は区間 C で最も低下していた (Figure 6)。冒頭で紹介した「走行中の車の速度」の比喻を用いるならば, 外界から観察される速度は区間 B, C において区間 A と大差なく見えるが, 内実としてはアクセルを緩めず, 同時にブレーキを作動させていた状態と捉えることができる。

すなわち, 実験参加者らは区間 A と表面的には変わらぬ様子で映像を視聴していたが, 実際には交感神経の賦活を維持しつつ, 副交感神経の活性化をより行うことで, 当該場面の心理的ストレスに対処したと考えられる。山下 (1979) は情動の状態と自律神経の反応を 4 つのパターンに分類している。それによれば, 交感・副交感神経の相互活性が生じる場面に関連する情動として, 「持続する不安や緊張」を挙げている。HR の増加といった目に見えるような変化は起こっていないものの, 区間 C における HF/(LF+HF) の低下は, 心理的な落ち着きの余裕のなさを反映している可能性がある。本研究の実験参加者は, 刺激の主人公と同じ大学生であり, 過干渉な母親とのやりとりを視聴させられることは, 静かなストレスにつながったものと考えられる。

区間 D で確認された HR の上昇は, 区間 B, C において副交感神経の活性化によって抑制されていた交感神経の反応が遅延して表出された結果と解釈できる。これは母子関係における緊張からの解放, 自律神経のバランス回復を示唆するものである。なお LF/HF の分散は Levene 検定により統計的には等質と判断されたが, 記述統計においては区間 B および D の標準偏差が他区間よりも相対的に大きく, ばらつきが観察された (Table 1)。このばらつきの背景にある個人差の可能性を補足的に検討するため, 女性参加者 ($n = 51$) のみを対象として再分析を行った。その結果, これらの区間における標準偏差のばらつきは減少し, 性差が生理的応答にばらつきをもたらす一因であることが示唆された。区間 B は, 主人公 (女性) の生活に母親が過干渉的に踏み込む様子が描かれる場面であり, 男性参加者は女性参加者よりも, このような侵入的な質問場面に対する生理的反応に多様性が生じた可能性がある。LF/HF は交感・副交感神経のバランスを示す指標であり, 分母である HF が小さいと, 値が大きく変動しやすい。この数学的特性により, LF/HF は情動刺激に対する反応の個人差が反映されやすいとされる。したがって, 特に母子関係を描いた映像においては, 男性と女性で心理的受容の仕方が異なる可能性があり, 今後は性差を統制した設計や分析が求められる。

2. 区間 E および F

区間 E および F の主人公が溺れる場面は, 生命が危機に瀕する場面であり, 実験参加者には情動的なストレス負荷がかかると予測される状況である。このような状況下で特筆すべきは, 区間 E, F において HR が区間 A よりも有意に低下している点である。HR の低下は, ネガティブなフィルムクリップ刺激に対する生理反応として先行研究でも報告されており (Gomez et al., 2005 ; Palomba et al., 2000), 本研究の結果はその傾向を支持するものであった。

ローレンツプロットの L に関しては, 区間 E, F, G 間で有意差は認められなかった一方で (Figure 3), T は区間 A と比較して区間 E および F で段階的に増加が認められた (Figure 4)。さらに, LF/HF は区間 E, F, G において持続的に低水準を示し (Figure 5), HF/(LF+HF) 比は同区間で持続的に高めの水準を維持していた (Figure 6)。これらの指標が, 一貫して示唆するのは, 副交感神経の優位性である。

「走行中の車の速度」の比喻を用いるならば, 外界から観察される速度は区間 E, F において区間 A よりも減速が認められ, 内実としてはアクセルを緩めず, ブレーキを段々とさらに作動させていた状態と捉えることができる。外から走行中の車を見ているだけでは, 生物が穏やかに休息している状態 (いわゆるリラッ

クス状態)と似たような状況として見えるのであるが、内実は全く異なる。当該区間はリラックスとは対極の、生命が危機に瀕する場面を視聴している状況で生起していることを考慮しなければならない。

中山ら(2023)は、区間E周辺では呼吸振幅が減少し、区間F周辺では呼吸振幅が増加していたと報告している。区間Eにおける呼吸振幅の減少の理由には二つの可能性が考えられる。一つは実験参加者が、危機に瀕した主人公の状況を把握するために受動的な注意集中状態に入った可能性である。人は息を吸う瞬間は、集中力や注意力がうまく働かない傾向があり(Nakamura et al., 2022)、集中すると呼吸が浅くなる傾向がある。この注意処理(attentional processing)が影響したと考えられる。もう一つはミラーリング(mirroring)が起こった可能性である。ミラーリングとは、自己が他者の行動や情動状態を、無意識的に模倣することである。他者の動作を観察する際には、自己のミラーニューロンシステムが活性化するとされる(Rizzolatti et al., 1996)。一部の実験参加者は、無呼吸の主人公を見て、無意識的に呼吸が浅くなった可能性がある。区間Fの呼吸振幅の増加は、区間Eにおける息苦しさを受けて、身体が酸素の需要に応じようとした結果として生じた補償的な生理的調整と解釈できよう。

次に、区間E、Fで認められたHRの低下についてであるが、これは防衛反応の一形態である「すくみ」状態と関連すると考えられる(Bradley et al., 2001)。実験参加者は、主人公が制御を失い生命が危機に瀕するネガティブな場面を受動的に視聴させられることで、防衛システムが活性化しやすい状況に置かれた。しかし、自身は安全な実験室で視聴しているだけであるからその活性度はおのずと弱い水準にとどまる。つまりここでの防衛は、行動は差し迫っておらず、「受動的に」「ある程度に活性化された」程度の防衛となる(Bradley et al., 2001)。脅威に対する防衛反応は、段階的に進行していくのであるが、この動かずじっと受動的に抑制するタイプの防衛は、英語でfreezingと表現され、副交感神経優位の状態でHRの低下をもたらすとされる(Roelofs, 2017)。区間E、Fにおける生理的变化は、Roelofs(2017)が指摘するfreezing反応の特徴と一致しており、「すくみ」状態が生じていた可能性が示唆される。

また、ストレス対処と身体反応については、Obrist(1981)の行動論的接近法から考えることもできる。Obrist(1981)はストレス状況を避ける手段が部分的にせよある能動的対処事態と避ける手段がない受動的対処事態に大別している(澤田, 2006による引用)。前者と後者は血行力学的反応パターンが異なると考えられており、澤田(2006)は前者を心臓優位反応パターン、後者を血管優位反応パターンであると指摘している。本研究の実験参加者にしてみれば、提示されるネガティブな刺激をただ受動的に視聴するほかない区間E、Fの場面は、受動的対処事態に近い状態といえる。血管優位反応パターンは、心拍出量が減少し、全末梢抵抗(血液が身体の末端に流れる際に、血管がその流れを妨げる力が強くなること)が増加する事象が同時に成立する力学的構造をもっていると考えられる(澤田, 2006)。当該事象において、HRが減少したのは、その影響だったと考えられる。

当該区間の指標は一貫して副交感神経の優位性を示している。しかしながら、区間EとFには質的差異が存在する。区間Fでは呼吸振幅が増加しており(中山ら, 2023)、T指標の上昇には呼吸性の心拍変動(つまりRSA)の影響が含まれる。RSAの増加は、心臓迷走神経を介した副交感神経の活性化を意味する。一方、区間Eでは呼吸振幅が減少しているにもかかわらず、T指標は区間Fほどではないにしろ増加が認められる。これは、RSAの影響が制限されている状況下でも、副交感神経系の活性化が生じたことを示す。これは心臓迷走神経とは異なる迷走神経経路の関与が考えられる。さらに、ローレンツプロットのL指標に有意な変化が認められなかったことから、交感神経活動が抑制されたわけではなく、むしろ交感・副交感神経の共同活性化が生じていた可能性がある。以上より、区間EおよびFにおける防衛反応は、単純な副交感神経優位ではなく、複雑な自律神経の協調的な働きによって支えられていたと考えられる。

以上、動画刺激における生命危機場面に対して、HRV が一貫して副交感神経優位を示すこと、ならびにその背後に質的に異なる生理的反応が存在する（副交感神経の反応が一樣ではなく、状況に応じた質的な違いを含むものである）可能性を示した。今後は、迷走神経の多様な機能的側面を踏まえた解析視点が、情動刺激に対する自律神経反応の理解をさらに深めると考えられる。

本研究の限界は、実験参加者が特定の年齢層・文化背景を持つ集団であり、得られた生理反応が他の集団（例えば臨床群）にも同様に見られるかどうかは不明という点である。今後は、より多様なサンプルを用いた検証が求められる。また、本実験時における心理的状況（受動的対処など）は、提示された映像内容と生理指標の変化から理論的に推定されたものであり、参加者の主観的体験や認知的評価を直接測定したわけではない。今後は、自己報告や行動指標（アイトラッキングなど）を併用することで、より多面的な理解が可能になると考えられる。さらに、性差による生理的応答のばらつきが一部の指標において示唆されたことから、今後は性別を統制した設計や分析を導入することで、反応の個人差や関係性の違いをより精緻に検討する必要がある。

最後に、これらの所見は、自律神経調整に関する理論的枠組み、特にポリヴェーガル理論 (Porges, 2017) に照らして解釈することも可能である。同理論は、副交感神経系が機能的に異なる二つの経路を持つとする仮説に基づいている。自律神経の反応を *social engagement*（安心して他者とつながれる状態）、*mobilization*（ストレスに備えて身体が活性化する状態）、*shutdown responses*（極度のストレスで身体が停止する状態）の様式で理解しようとするものである。本稿では理論的な展開は控えるが、区間 E で見られた受動的・抑制的な副交感神経活動は迷走神経系の複雑な作用を示唆するという点で興味深く、今後さらなる検証が求められる。

【引用・参考文献】

- Bradley, M.M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. (2001). Emotion and Motivation I: Defensive and Appetitive Reactions in Picture Processing. *Emotion*, 1(3), 276-298. doi:10.1037/1528-3542.1.3.276
- Gomez, P., Zimmermann, P., Guttormsen-Schar, S., & Danuser, B. (2005). Respiratory responses associated with affective processing of film stimuli. *Biological Psychology*, 68, 223-235.
- Guzik, P., Piskorski, J., Krauze, T., Schneider, R., Wesseling, K. H., Wykretowicz, A., & Wysocki, H. (2007). Correlations between the Poincaré Plot and Conventional Heart Rate Variability Parameters Assessed during Paced Breathing. *The Journal of Physiological Sciences*, 57, 63-71.
- 早野順一郎 (2001). 心拍変動による自律神経機能解析. 井上博 (編) 循環器疾患と自律神経機能, 医学書院. 71-102.
- 井上博 (2001). 自律神経の電気生理学的作用. 井上博 (編) 循環器疾患と自律神経機能, 医学書院. 44-70.
- Nakamura, N.H., Fukunaga, M., Yamamoto, T., Sadato, N., & Oku, Y. (2022). Respiration-timing-dependent changes in activation of neural substrates during cognitive processes. *Cerebral Cortex Communications*, 3(4), tgac 038. doi: 10.1093/texcom/tgac 038
- 中山誠・板山昂・入野涼香 (2023) 情動喚起刺激に対する精神生理学的活動に共感性が及ぼす影響. 関西国際大学セーフティ・マネジメント研究所, 6, 45-60.
- Obrist, P. A. (1981). *Cardiovascular Psychophysiology: A Perspective*. New York: Plenum.
- Palomba, D., Sarlo, M., Angrilli, A., Mini, A., & Stegagno, L. (2000). Cardiac responses associated with affective processing of unpleasant film stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 36 (1), 45-57. doi: 10.1016/s 0167-8760(99)00099-9. PMID: 10700622

- ・ Paton, J.F.R., & Pickering, A.E. (2012). Cross-talk Between Body Systems: Respiratory Cardiovascular Coupling in Health and Disease. In Robertson, D., Biaggioni, I., Burnstock, G., Low, P. A., & Paton, J. F. R. *Primer on the Autonomic Nervous System*. 3rd edition. (pp.117-121). New York: Elsevier. (ペイトン, J.F.R., ピッカリング, A.E. 岩瀬敏 (訳) (2015) . 身体の器官系間のクロストーク : 正常と疾患における呼吸系と心血管系間のカップリング. ロバートソン, D. ビアギオニ, I. バーンストック, G. ロー, P. A. ペイトン, J. F. R. 高橋昭・間野忠明 (監訳) ロバートソン自律神経学, エルゼビア・ジャパン)
- ・ Porges, S.W.: *The Pocket Guide to the Polyvagal Theory: The Transformative Power of Feeling Safe*. New York; W.W. Norton & Company, 2017. (ポージェス, S. W. 花丘ちぐさ (訳) : ポリヴェーガル理論入門 : 心身に変革をおこす「安全」と「絆」, 春秋社, 2018.)
- ・ Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3 (2), 131-141. doi: 10.1016/0926-6410(95)00038-0
- ・ Roelofs, K. (2017). Freeze for action: neurobiological mechanisms in animal and human freezing. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 372(1718), 1-10.
- ・ 澤田幸展 (2006) . 血圧反応性再訪. *生理心理学と精神生理学*, 24 (3), 257-271.
- ・ Schaefer, A., Nils, F., Sanchez, X., & Philippot, P. (2010). Assessing the effectiveness of a large database of emotion-eliciting films: A new tool for emotion researchers. *Cognition and Emotion*, 24(7), 1153-1172. doi.org/10.1080/02699930903274322
- ・ 清水裕士 (2016). フリーの統計分析ソフト HAD : 機能の紹介と統計学習・教育, 研究実践における利用方法の提案. *メディア・情報・コミュニケーション研究*, 1, 59-73.
- ・ Toichi, M., Sugiura, T., Murai, T., & Sengoku, A. (1997). 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. doi: 10.1016/s 0165-1838(96)00112-9
- ・ 山下格 (1979). 精神生理学的基盤, 諏訪望, 西園昌久 (編), 現代精神医学大系 7 A 心身疾患 I, 中山書店, 東京, pp.37-68.

【抄録】

本研究では、ネガティブな映像刺激に対する自律神経反応の構造的特徴を、心拍変動 (HRV) の周波数解析に加え、非線形指標を用いて記述的・探索的に検討した。大学生を対象とした映像刺激実験の心拍データ ($n = 64$) を用い、HRV の非線形指標 (ローレンツプロットの L および T) および周波数領域指標 (LF, HF, LF/HF, HF/(LF+HF)) を算出した。映像は複数の情動的場面で構成されており、特に母子関係の緊張を描いた場面と、主人公が溺れる生命危機の場面に着目した。

分析の結果、母子関係を描いた区間では心拍数 (HR) に顕著な変化は見られなかったが、交感・副交感神経の相互活性による静かなストレス状態が示唆された。一方、主人公が溺れる区間では HR の低下と副交感神経優位の指標が一貫して観察され、受動的な防衛反応 (すくみ) が生理的に表出された可能性がある。特に、呼吸振幅の変化と呼吸性洞性不整脈の寄与により、副交感神経の複雑な機能的側面が示唆された。

これらの所見は、情動刺激に対する自律神経反応が一樣ではなく、心理的文脈との相互作用により質的に異なる様式をとることを示している。今後は、副交感神経の多様な機能的側面を踏まえた解析視点が、情動刺激に対する自律神経反応の理解をさらに深めると考えられる。

Structural Characteristics of ANS Responses to Negative Visual Stimuli
— An Exploratory Analysis Using Nonlinear Indices of Heart Rate Variability —

Rieko Hatamoto, Makoto Nakayama

Abstract

This study conducted an exploratory examination of the structural characteristics of autonomic nervous system (ANS) responses to negative film stimuli. Heart rate variability (HRV) analysis was performed, incorporating both frequency-domain and nonlinear indices. HRV data were derived from an experimental study of university students ($n = 64$), and included nonlinear indices from Poincaré plots (L and T), as well as frequency-domain measures (LF, HF, LF/HF, and HF/(LF+HF)). The film stimuli consisted of multiple emotionally evocative segments, with a particular focus on scenes depicting tension in a mother-daughter relationship and a life-threatening drowning episode involving the protagonist.

Analysis revealed that during the mother-daughter interaction scenes, heart rate (HR) showed no marked change; however, indicators suggested a state of low-arousal stress characterized by coactivation of the sympathetic and parasympathetic systems. In contrast, the drowning scenes were associated with HR reduction and consistently parasympathetic-dominant HRV patterns, indicating the physiological manifestation of a passive defensive response (referred to as “freezing”).

Notably, changes in respiratory amplitude and contributions from respiratory sinus arrhythmia (RSA) underscore the multifaceted functional roles of parasympathetic activity. These findings suggest that autonomic responses to emotional stimuli are not uniform but vary qualitatively depending on psychological context and situational meaning. Future research should incorporate analytical perspectives that account for the diverse functional roles of the parasympathetic system to deepen our understanding of autonomic regulation in response to emotional stimuli.

