

NAIST-IS-MT1651095

## 修士論文

# 生体信号処理による負の感情抑圧状態の検出

本田 将大

2018 年 3 月 15 日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

本田 将大

審査委員：

|                      |         |
|----------------------|---------|
| 中村 哲 教授              | (主指導教員) |
| 松本 裕治 教授             | (副指導教官) |
| 田中 宏季 助教             | (副指導教官) |
| Sakriani Sakti 特任准教授 | (副指導教官) |

# 生体信号処理による負の感情抑圧状態の検出\*

本田 将大

## 内容梗概

感情抑圧 (emotional suppression) は、特定の感情を抱いた際に、表情や態度などの感情を表出する表現行動を意識的に抑制する状態である。人間と人間との対話において、話者が感情を抑圧すると、話者の詳細な内部状態を対話者に表現することができないという問題がある。我々は、そのような人間が知覚できない感情抑圧状態の認識技術を提案する。本研究では、負の感情の抑圧を検出するため、中立感情と嫌悪感情を誘引する映像を視聴する場合と映像視聴後に発話する場合の脳血流動態と脈波を計測した。脳血流動態と脈波の時系列データから識別に有効な特徴量を算出し、各感情間で有意差があるか否かを確認するため、統計的仮説検定を行った。次に、感情抑圧を自動的に検出するため、識別モデルの適用を試みた。結果として、人手での識別精度が約 50% であるのに対し、我々のモデルは 60% 以上の精度で感情抑圧の有無を識別できることを示した。

## キーワード

脳血流動態, 脈派, 感情抑圧, 映像視聴, 発話, 自動検出

---

\*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報科学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT1651095, 2018 年 3 月 15 日.

# Detecting Suppression of Negative Emotion by Biosignal Processing\*

Masahiro Honda

## Abstract

Emotion suppression is a form of conscious inhibition of emotional expressive behavior when a person's emotions are aroused. In human-to-human interaction, problems occur when speakers suppress their emotions; their internal affective states cannot be expressed to the interlocutor. We propose a new recognition technique of emotional suppression that humans may not be able to perceive. In this study, to detect the suppression of negative emotions, we used functional near-infrared spectroscopy and measured cerebral blood flow while participants watched neutral and disgust emotions and then talked about them. For the time-series data of cerebral blood flow, we performed a statistical test to confirm whether there is a significant difference in the mean values and the changes in the cerebral blood flow between each emotion and applied classification models to automatically detect suppressed emotions. Our models correctly detected them with around 60% accuracy.

## Keywords:

Cerebral blood flow, Blood volume pulse, Emotion suppression, Watching video, Speaking, Automatic detection

---

\*Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT1651095, March 15, 2018.

# 目次

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| 図目次                                                        | vi        |
| <b>第 1 章 はじめに</b>                                          | <b>1</b>  |
| 1.1 背景 . . . . .                                           | 1         |
| 1.2 研究目的 . . . . .                                         | 2         |
| 1.3 本論文の構成 . . . . .                                       | 2         |
| <b>第 2 章 関連研究</b>                                          | <b>3</b>  |
| 2.1 感情抑圧の概要 . . . . .                                      | 3         |
| 2.2 感情抑圧の検出手法 . . . . .                                    | 3         |
| 2.2.1 表現行動 . . . . .                                       | 4         |
| 2.2.2 生理学的指標 . . . . .                                     | 4         |
| 2.2.3 脳神経活動 . . . . .                                      | 4         |
| 2.3 感情状態の自動識別 . . . . .                                    | 6         |
| 2.4 本研究の貢献 . . . . .                                       | 6         |
| 2.5 まとめ . . . . .                                          | 7         |
| <b>第 3 章 提案手法</b>                                          | <b>8</b>  |
| 3.1 実験デザイン . . . . .                                       | 8         |
| 3.1.1 実験手順 . . . . .                                       | 8         |
| 3.2 識別器 . . . . .                                          | 9         |
| 3.3 使用する生体信号の測定原理 . . . . .                                | 9         |
| 3.3.1 NIRS (Near-infrared spectroscopy: 近赤外線分光法) . . . . . | 9         |
| 3.3.2 PPG (Photoplethysmography: 光電容積脈波法) . . . . .        | 10        |
| 3.4 まとめ . . . . .                                          | 11        |
| <b>第 4 章 生体信号解析手法</b>                                      | <b>12</b> |
| 4.1 生体信号収録 . . . . .                                       | 12        |
| 4.1.1 NIRS 計測 . . . . .                                    | 12        |

|              |                      |           |
|--------------|----------------------|-----------|
| 4.1.2        | 脈波計測 . . . . .       | 13        |
| 4.2          | データ処理 . . . . .      | 13        |
| 4.2.1        | NIRS データ処理 . . . . . | 13        |
| 4.2.2        | 脈波データ処理 . . . . .    | 14        |
| 4.3          | 統計的仮説検定 . . . . .    | 15        |
| 4.4          | 識別器 . . . . .        | 15        |
| 4.5          | まとめ . . . . .        | 16        |
| <b>第 5 章</b> | <b>評価実験</b>          | <b>17</b> |
| 5.1          | 実験方法 . . . . .       | 17        |
| 5.1.1        | 被験者 . . . . .        | 17        |
| 5.1.2        | 映像刺激の種類 . . . . .    | 17        |
| 5.1.3        | 実験手順 . . . . .       | 18        |
| 5.1.4        | 動画評価 . . . . .       | 19        |
| 5.2          | 主観評価結果 . . . . .     | 19        |
| 5.3          | 動画評価結果 . . . . .     | 20        |
| 5.4          | 統計的仮説検定結果 . . . . .  | 22        |
| 5.4.1        | NIRS データ . . . . .   | 22        |
| 5.4.2        | BVP データ . . . . .    | 23        |
| 5.5          | 識別結果 . . . . .       | 24        |
| 5.6          | まとめ . . . . .        | 25        |
| <b>第 6 章</b> | <b>考察</b>            | <b>26</b> |
| <b>第 7 章</b> | <b>総括</b>            | <b>28</b> |
| 7.1          | 本論文のまとめ . . . . .    | 28        |
| <b>謝辞</b>    |                      | <b>29</b> |
| <b>参考文献</b>  |                      | <b>30</b> |
| <b>国際</b>    |                      | <b>33</b> |



## 図目次

|     |                                                                                                                               |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | 感情抑圧状態における皮膚電位（上部）と心拍間隔（下部）の変化.<br>ここで, Baseline, Instruction, Film, Postfilm はそれぞれ平常<br>時, 教示時, 映像刺激視聴時, 映像刺激視聴後の区間を示す. [11] | 5  |
| 3.1 | 実験手順                                                                                                                          | 8  |
| 3.2 | 脈波計測の原理*                                                                                                                      | 10 |
| 4.1 | チャンネル配置図.                                                                                                                     | 12 |
| 4.2 | チャンネル分割                                                                                                                       | 14 |
| 5.1 | 実験風景                                                                                                                          | 18 |
| 5.2 | Self-Assessment Manikin. 上部が Valence, 下部が Arousal を示<br>す. [1]                                                                | 18 |
| 5.3 | Valence と Arousal の平均値の比較                                                                                                     | 20 |
| 5.4 | 被験者 4 人分の正規化 oxyHb 値の時系列変化. ID は各被験者, "1-<br>2"の数字は各試行を示す.                                                                    | 21 |
| 5.5 | 各時間部分における正規化 oxyHb の平均（上部）と線形近似の傾<br>き（下部）を示す箱ひげ図.                                                                            | 22 |
| 5.6 | 映像視聴タスクにおける LF, HF, LF/HF, Mean, SDNN 成分<br>の値の比較を示す箱ひげ図.                                                                     | 23 |
| 5.7 | 発話タスクにおける LF, HF, LF/HF, Mean, SDNN 成分の値<br>の比較を示す箱ひげ図.                                                                       | 24 |



# 第 1 章 はじめに

## 1.1 背景

社会生活において、怒りや悲しみ、不安、嫌悪感などの負の情動や感情を適切に調節することは、自己のストレスを軽減したり人間関係を円滑にする上で有効であり、社会的な相互作用において自然と生じる行動である [6]. 例えば、会話中に怒りを抱いた際に意識的に冷静になることや、相手に心配させないために不安な気持ちを表情に出さないことなどの行為が感情の自己調節に該当する. 感情の調節のプロセスは、人々が直面する状況や受ける刺激によって異なり、心理学において、それらのプロセスのモデル化がなされている [10]. その中で、人が特定の感情を抱いた際に、表情や態度などの感情を表出する表現行動を意識的に抑制する状態を感情抑圧 (Emotion suppression) と呼ぶ [11]. 適切な場面や頻度での感情抑圧は、社会環境の中で上手く感情に対処したり、より好感度を増すために有効な行動であるが、一方で、カウンセリングや診察などの詳細な対話が必要となる場面において、話者が感情を抑圧すると、話者の詳細な内部状態を対話者に表現できないという問題が生じる. その結果、人と人とのコミュニケーションが妨げられ、ストレスレベルが増加するという報告がなされており、このような感情抑圧状態の検出は精神衛生及び健康のための重要な課題の一つである [14][2].

従来法では、特定の感情状態を検出するために音声や表情、ジェスチャーなどのような人の表現行動に焦点が当てられている. しかし、これらの振る舞いは対話者に認識されない可能性がある [5]. そこで、表現行動に加え、皮膚電位や心拍数などの生理学的指標を用い、感情抑圧を検出する手法が提案されている [4]. また近年では、脳イメージング装置の発展により、特定の感情状態における脳神経活動の解析がなされており、感情抑圧状態において、特定の脳の領域が賦活することが報告されている [8]. また、音声や表情、生理学的指標、脳神経活動などの生体信号を用いて、特定の感情状態を自動で識別する手法が提案されている [25][18]. このような感情の自動識別は、人間とコンピュータの相互作用や対話などの特定のタスクにおけるユーザの感情状態の理解のような応用において重要な役割を果たす. 本稿では、長時間の映像や発話などの実用的な場面を想定した実験デザインを適用し、感

情抑圧の検出に有効な生体信号を用いて、感情抑圧を自動識別する手法を提案する。

## **1.2 研究目的**

本稿では、長時間の映像や発話などの実用的な場面を想定した実験デザインを考慮し、感情抑圧を自動で検出することを目的とする。また、感情抑圧状態において、人間が無意識に発している生体信号を解析し、その傾向について調査した。

## **1.3 本論文の構成**

以下、本稿では、生体信号からの感情抑圧状態の検出手法について述べる。2章で関連研究を述べ、3章で我々が提案した手法を説明する。4章で生体信号の収録・解析手法を述べ、5章で提案手法の実験方法と評価結果を述べる。6章で考察を述べ、7章で本稿のまとめと今後の課題を述べる。

## 第 2 章 関連研究

本章では、本稿で着目する感情抑圧についての概要とその検出手法について述べ、次に感情抑圧の自動識別に関連する感情状態の自動識別の手法を述べる。まず、2.1 節で感情抑圧の概要を述べ、2.2 節で感情抑圧の検出技術について用いるモダリティ毎に述べ、2.3 節で生体信号を用いた感情状態の自動識別の手法を述べ、2.4 節で本研究と関連研究との相違を述べ、2.5 節でまとめる。

### 2.1 感情抑圧の概要

心理学において、感情抑圧は感情調節 (Emotion Regulation) の一面であり、人が特定の感情を抱いた際に、表情や態度などの感情を表出する表現行動を意識的に抑制する状態を指す [11]。実際、特定の感情に伴う表情を単に抑圧することにより、「個人の感情経験」に影響が及ぶ可能性が報告されている [9]。このような感情抑圧による感情経験への影響が、結果的に否定的な社会的帰結をもたらすという報告がされている。Butler らは、二人一組で特定のトピックについて議論するという実験において、片方が感情を抑圧すると、両方の感情経験に否定的な影響をもたらし、結果的にコミュニケーションが阻害され、ストレスレベルが増加したと報告した [2]。Iwamitsu らは、乳がん患者の心理的苦痛に対する不安及び感情抑圧の影響について調査した結果、感情を抑圧し、慢性的に高いレベルの不安を呈した患者は、診断前後の心理的苦痛のレベルが増加したと報告した [14]。これらの報告のように、詳細な対話が必要となる場面において、話者が感情を抑圧すると、彼らの詳細な内部状態を対話者に表現できないという問題が生じるため、このような感情抑圧状態の検出は精神衛生及び健康のための重要な課題の一つである。

### 2.2 感情抑圧の検出手法

この節で、用いられるモダリティ毎の感情抑圧の検出技術について述べる。

### 2.2.1 表現行動

この節で、音声や表情、態度などの表現行動に着目した感情抑圧の検出手法について述べる。Ekman らは、特定の感情を誘発する映像刺激を用いた実験において、被験者の感情の秘匿の有無を第三者が人手で識別できるか調査を行った [5]。実験では、被験者は恐怖や嫌悪感を誘発する映像と幸福感を誘発する自然の映像の二種類の映像刺激を視聴し、そのどちらを視聴した場合でも、自然の映像を見ているかのように話すように教示を受ける。次に、発話中の被験者の様子を撮影した映像について、第三者が人手で感情抑圧の有無を評価した。結果として、人手による感情抑圧の識別の精度はチャンスレベルに大差が無かった。また、Gross らは、Ekman らの用いた映像刺激を用いて、被験者が映像刺激を視聴している際の体の振る舞いや表情の機微に着目し、感情抑圧の有無を比較した [11]。結果として、感情抑圧により、体の振る舞いは減少し、目の瞬きが増加する傾向が確認された。

### 2.2.2 生理学的指標

この節では、生理学的指標に着目した感情抑圧の検出手法について述べる。前節で述べた体の振る舞いや表情の機微は観測者に表現されない可能性がある。そこで、表現行動に加え、皮膚電位や心拍数などの生理学的指標を用い、感情抑圧状態を検出する手法が提案されている。Gross らは、前節で述べた実験において、表現行動に加え、鼓動間隔や皮膚電位などの生理学的指標を用いて、感情抑圧の有無を比較した [11][9]。結果として、図 2.1 に示すように、感情抑圧により、心拍間隔は減少し、皮膚電位は増加する傾向があり、交感神経系反応の増加が確認された。また、Demaree らは、Gross らの手法を拡張し、心拍間隔や皮膚電位に加え、副交感神経系反応を反映する呼吸性洞性不整脈（RSA）の指標を用いて、感情抑圧の有無の比較を行い、感情抑圧は RSA には影響を与えなかったと報告した。

### 2.2.3 脳神経活動

この節では、脳神経活動に着目した感情抑圧の検出手法について述べる。近年では、脳イメージング装置の発展により、特定の感情状態における脳神経活動の解析

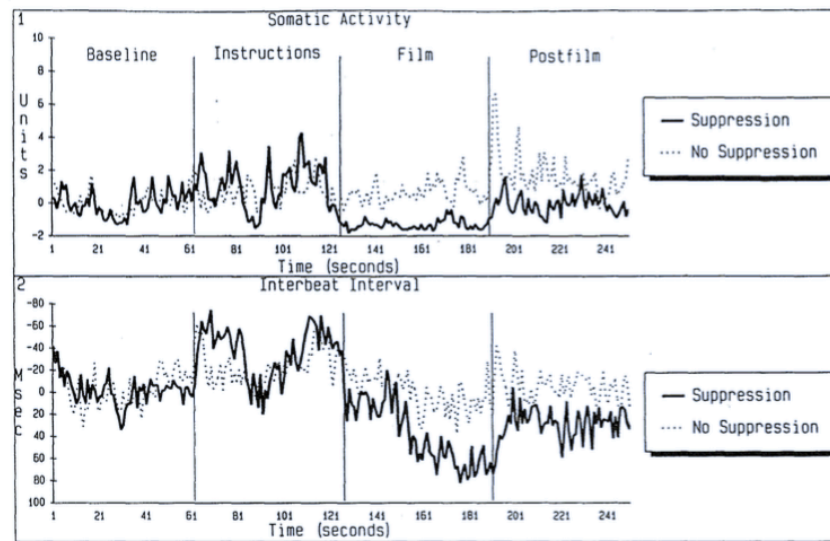


図 2.1 感情抑圧状態における皮膚電位（上部）と心拍間隔（下部）の変化。ここで、Baseline, Instruction, Film, Postfilm はそれぞれ平常時，教示時，映像刺激視聴時，映像刺激視聴後の区間を示す。[11]

がされている。Goldein らは functional magnetic resonance imaging (fMRI) を利用して嫌悪感を誘発した際の感情の再評価 (reappraisal) や感情抑圧などのような感情規制の脳神経活動に対する影響を分析した [8]。嫌悪感是不快な映像刺激により意図的に引き起こされ、それが強い感情体験を誘発し、脳の前頭前野領域を賦活させた。彼らは、感情抑圧状態において、特に右腹外側前頭前野 (VLPFC) が有意に賦活することを示した。fMRI のものと同様の実験デザイン [8] において、Glottzbach らは functional near infrared spectroscopy (fNIRS) を利用して、感情抑圧が脳神経活動に与える影響を分析した [7]。fNIRS は fMRI と比較して、体動アーチファクトに対し頑健であり、被験者を拘束する必要がないという利点がある反面、空間解像度が低いという特性がある。彼らは、fMRI と同様の実験デザインでは、fNIRS の低い解像度のため、感情誘発の状態と感情抑圧を比較して、前頭前野領域に有意な差異がなかったと示した。また、Tupak らは、fNIRS を利用して脅威の存在下での感情抑圧の影響を分析した [23]。彼らは感情抑圧状態において腹外側前頭前野が重要な役割を果たすことを示した。

## 2.3 感情状態の自動識別

この節では、生体信号を用いて特定の感情状態を自動で識別する手法について述べる。前節では、人間には観測できない特定の感情状態の検出には人間が無意識に発している生体信号を用いることが有効であることを示した。このような生体信号から特徴量を抽出し、識別モデルを適用し、特定の感情状態を自動で識別する手法が提案されており、このような感情の自動識別は、人間とコンピュータの相互作用や対話などの特定のタスクにおけるユーザの感情状態の理解のような応用において重要な役割を果たす。Hossain らは、作り笑いと本当の笑顔を自動で識別するため、被験者の瞳孔反応や脈派、皮膚電位といった生理学的指標を計測し、取得したデータから特徴量を抽出し、ニューラルネットワークやサポート・ベクター・マシーン (SVM)、K 近傍法 (KNN) といった機械学習を用いて、取得データに識別モデルを適用する手法を提案している [13]。結果として、識別モデルによる作り笑いの識別精度は、瞳孔反応からの特徴量を使用したモデルで最高 93.7% を達成し、人手による識別精度 59% を大きく超えたと報告した。また、Verma らは、喜びや興奮、恐怖、憂鬱などといった 13 種類の感情状態における脳波及び皮膚電位や血圧などの周辺信号を 32 人分収録した感情分析のための DEAP データベース [16] に対して、それらの生体信号から抽出した特徴量を混合し、SVM や MLP, KNN, MMC といった機械学習を用いて、感情状態を識別する手法を提案している [25]。結果として、13 種類の感情と 32 の被験者で最高精度 85 % を達成し、マルチモーダル融合のアプローチの有用性を示した。

## 2.4 本研究の貢献

本稿では、長時間の映像や発話などの実用的な場面を想定した実験デザインを適用し、感情抑圧の検出に有効な生体信号を用いて、感情抑圧を自動識別する手法を提案する。

## 2.5 まとめ

本章では、まず 2.1 節で感情抑圧の概要について述べた。2.2 節で、表現行動や生理学的、脳神経活動といったモダリティに着目した感情抑圧の検出を行っている関連研究を述べた。2.3 節で、生体信号を用いて特定の感情の自動識別を行っている関連研究を述べ、自動識別の有効性を確認した。2.4 節で、本研究の貢献を述べた。

## 第 3 章 提案手法

本章では，本研究で用いる実験デザインを述べる．次に感情抑圧の自動識別に関する識別器について述べ，本研究で使用する生体信号計測装置について述べる．まず，3.1 節で，本研究で着目するタスクと実験デザインを述べ，3.2 節で，感情抑圧の自動識別のための識別器について述べ，3.3 節で，本研究で使用する生体信号計測装置の特徴を述べ，3.4 節でまとめる．

### 3.1 実験デザイン

本節で，本研究で着目するタスクと実験デザインを述べる．

#### 3.1.1 実験手順

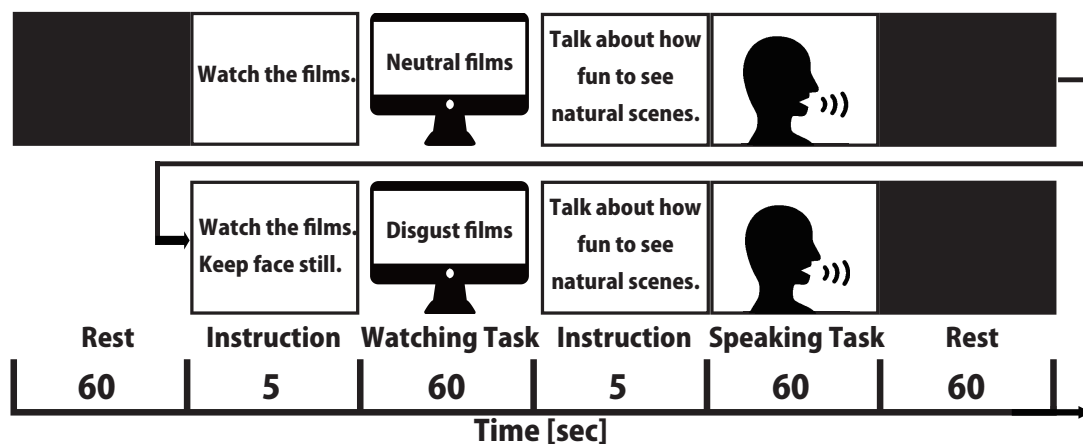


図 3.1 実験手順

図 3.1 に [5] に基づく本実験手順を示す．これまでの fNIRS を利用した研究では，嫌悪感を抱いた状態における感情抑圧については調査されておらず，また，それらのタスクは静止画刺激の視聴に限定されている．したがって，長時間の映像視聴や発話などの実用的な場面を想定して，嫌悪感を抱いた状態における感情抑圧



を検出する必要がある。我々は従来の感情を抑圧する実験デザイン [5] を参考にし、映像刺激の視聴時と視聴後の発話時における感情抑圧の有無について比較検証した。

## 3.2 識別器

生体信号から特徴量を抽出し、識別モデルを適用し、特定の感情状態を自動で識別する手法が提案されており、このような感情の自動識別は、人間とコンピュータの相互作用や対話などの特定のタスクにおけるユーザの感情状態の理解のような応用において重要な役割を果たす。

特に、感情抑圧のように、人手での識別が困難な感情状態には、識別モデルによる自動識別の有用性は高いと考えられる。本研究では、感情抑圧状態における生体信号を計測し、取得したデータから特徴量を抽出し、サポートベクターマシーン (SVM) やランダムフォレスト (RF) といった識別モデルを適用した。

## 3.3 使用する生体信号の測定原理

この節で、本研究で使用する生体信号の測定原理と特徴を述べる。

### 3.3.1 NIRS (Near-infrared spectroscopy: 近赤外線分光法)

脳機能計測法として、EEG (Electroencephalogram: 脳波計測法) や MEG (Magnetoecephalography: 脳磁計測法)、MRI (Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴画像法)、NIRS (Near-infrared spectroscopy: 近赤外線分光法) などが挙げられる。本研究では、長時間の動画視聴と発話というタスクを踏まえ、これらの計測法の中でも、比較的、被験者の拘束性が低く、体動アーチファクトに頑健である NIRS を用いて脳活動を計測した。NIRS は、生体に透過性の高い近赤外線光 (波長 700~900 nm の光) を用いて、生体組織における血流・酸素代謝変化を測定する方法である [15]。NIRS は、近赤外線の吸収される程度がヘモグロビン (Hb) の酸素化状態によって変化することを利用して、頭皮上から近赤外線を照射して照射点

から数センチメートル離れた頭皮の受光器で体外に現れた光を検出し、その性状を解析して Hb 濃度変化などを求める。これにより、神経活動による脳血流変化に伴う Hb 変化量が検出できる。

### 3.3.2 PPG (Photoplethysmography: 光電容積脈波法)

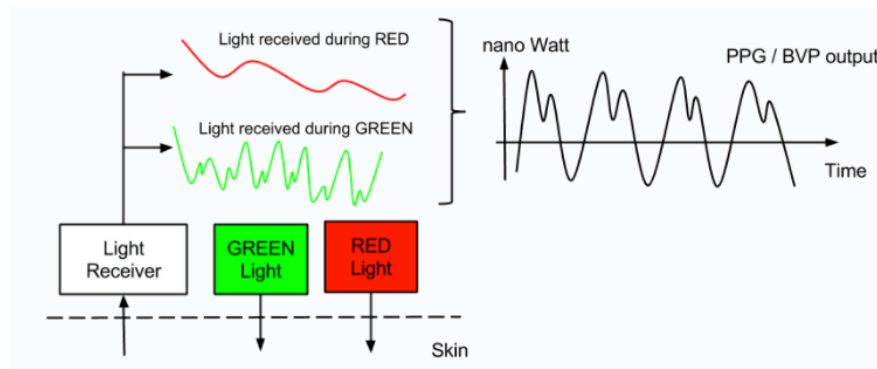


図 3.2 脈波計測の原理<sup>†</sup>

本研究では、脳活動計測に加え、感情抑圧の検出に有効な生理学的反応として脈波を同時計測した。脈波計測は光電容積脈波法 (Photoplethysmography: PPG) の原理に依存する。PPG センサは小型で人体の多くの部位に装着が可能であり、同時計測に適している。図 3.2 に示すように、PPG センサは緑色と赤色の発光ダイオード (Light Emitting Diode: LED) と光検出器で構成される。LED と光検出器を皮膚に密着させた場合、LED が放射した光は皮下で透過、散乱及び吸収されながら深部へ進み、光検出器は動脈血管で反射されたその光を受信する。動脈は拍動しているため、動脈血管内のヘモグロビン量はそれに伴って変動している。ヘモグロビンは光を吸収する特性を持っているため、動脈で反射した光を観測すると動脈血管の容積変化として脈波波形 (Blood Volume Pulse: BVP) が得られる [21]。

<sup>†</sup><https://support.empatica.com/>

### 3.4 まとめ

本章では，まず 3.1 節で本研究で着目するタスクと実験デザインについて述べた．3.2 節で，感情抑圧の自動識別に用いる識別モデルについて述べた．3.3 節で，本研究で使用する生体信号の測定原理と特徴を述べた．

## 第 4 章 生体信号解析手法

本章では，本実験における生体信号の収録方法について述べ，次に取得したデータの処理方法を述べる．まず，4.1 節で生体信号の収録方法を述べ，4.2 節で取得したデータの処理方法を述べ，4.3 節で処理したデータに対して用いる統計的仮説検定について述べ，4.4 節で用いた識別モデルを述べ，4.5 節でまとめる．

### 4.1 生体信号収録

この節で，本研究で用いる生体信号の収録方法を述べる．

#### 4.1.1 NIRS 計測

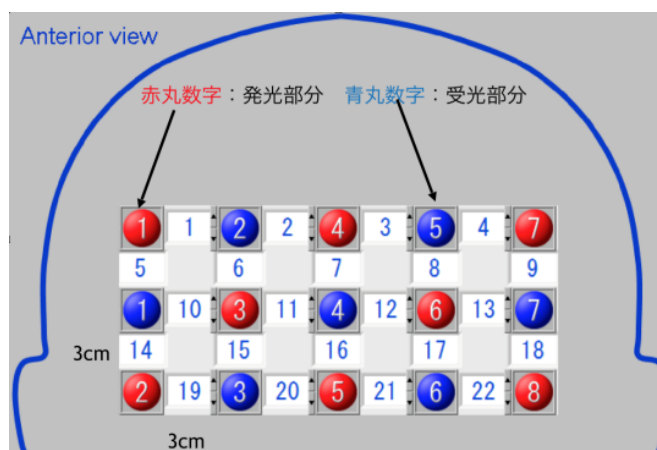


図 4.1 チャンネル配置図.

この節で，本実験における NIRS の計測方法を述べる．関連研究から，感情抑圧の検出には脳の前頭前野領域の計測が有効である [8][23]．実験中，被験者の前頭前野領域の脳神経活動を計測した．計測は 22 チャンネルから構成されるプローブセットを用いて fNIRS (LABNIRS, SHIMADZU Co.) で実施した．プローブに吸収された近赤外光の変化量は脱酸素化ヘモグロビン (deoxyHb) と酸素化ヘモグロ

ビン (oxyHb) の相対濃度変化量に変換される。図 4.1 に示すように、22 チャンネルは、 $3 \times 5$  の行列を成すように 8 つの送光プローブと 7 つの受光プローブに分割し、プローブの間隔は 30mm に固定し、プローブセットは脳波検査のための国際 10-20 法に従って最下行の中央のプローブを Fpz に固定し、前頭前野領域上に配置した。また、fNIRS のサンプリングレートは 37Hz に設定した。

#### 4.1.2 脈波計測

この節で、本実験における脈波の計測方法を述べる。計測には empathica の E4 wristband を用いた。E4 wristband はリストバンド型の生理信号計測装置であり、脈波や皮膚電位、体温、体動を同時に計測することが可能である。計測中、E4 wristband を PPG センサが皮膚に密着するようにして、被験者の左腕の手首に装着した。また、PPG センサのサンプリングレートは 64Hz に設定した。

### 4.2 データ処理

この節で、取得した生体信号のデータ処理方法を述べる。

#### 4.2.1 NIRS データ処理

取得した fNIRS 信号は LABNIRS 標準搭載された分析用ソフトウェアを用いてオフラインで処理した。第一に、体動アーチファクトの影響を除去するため、fNIRS 信号にカットオフ周波数 0.02Hz でローパスフィルタをかけた。第二に、計測時の最初のデータ点を通る傾き 0 の一次式をバックグラウンドとして全データ点に対してベースライン補正をかけた。第三に、式 4.2.1 に示すように、各被験者の oxyHb の変化量を平均および標準偏差を用いて z-score によって正規化した。

$$Normalized\ H(s) = \frac{H(s) - mean(s)}{sd(s)}, \quad (4.2.1)$$

ここで、 $Normalized\ H(s)$ 、 $H(s)$ 、 $mean(s)$ 、 $sd(s)$  はそれぞれ各試行における正規化された oxyHb 値、oxyHb 値、oxyHb 値の標本平均、oxyHb 値の標準偏差で

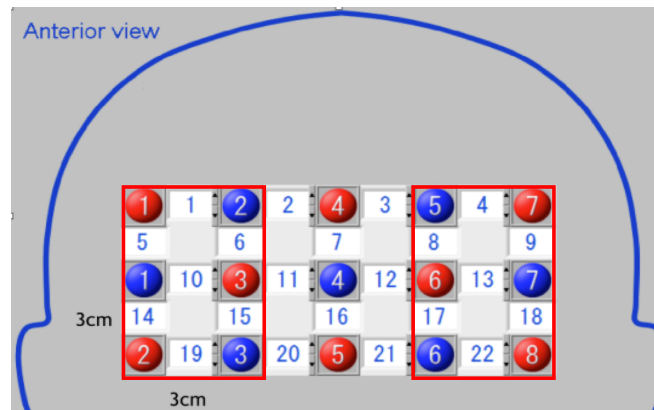


図 4.2 チャンネル分割

ある。

第四に、図 4.2 に示すように、前頭前野領域の全チャンネルを左右の 2 領域に分割し、左領域 (ch 4, 8, 9, 13, 17, 18, 22) および右領域 (ch 1, 5, 6, 10, 14, 15, 19) における正規化 oxyHb 値を加算平均した。最後に、タスク実行時における fNIRS データの時系列変化を分析するため、長期タスクを分析した従来研究に従い、60 秒間の映像視聴部分と発話部分を早期、中期、後期の各 20 秒の 3 時間部分に分割した [17]。次に R ソフトウェア \*を用いて、各時間部分の平均値と線形近似の傾きを算出した。

#### 4.2.2 脈波データ処理

取得した脈波データから心拍間隔 (interbeat interval: IBI) の時系列データを得た。心拍間隔は心臓の拍動毎に周期的に変化しており、これを心拍変動と呼ぶ。本研究では、心拍変動から自律神経機能を評価する指標を算出するため、IBI 時系列データに対してデータ処理を行った。

第一に、生の IBI 時系列データに対して、サンプリング間隔を等時間間隔に補正するため、線形補完を用いて 1 秒毎の再サンプリングを行った。第二に、各タ

\*<https://www.r-project.org/>

スク 60 秒間の IBI 時系列データに対して、心拍間隔の平均 (Mean) と標準偏差 (SDNN) を算出した。第三に、各タスク 60 秒間の IBI 時系列データに対して、長さ 60 秒のハミング窓関数を用いて離散フーリエ変換し、パワースペクトルを求め、 $0.04 \sim 0.15\text{Hz}$  の低周波数帯域のパワースペクトル積算値を低周波 (Low frequency: LF) 成分、 $0.15 \sim 0.45\text{Hz}$  の高周波数帯域のパワースペクトル積算値を高周波 (High frequency: HF) 成分として算出し、LF 成分を HF 成分で除した LF/HF 成分を算出した。LF 成分は心臓交感神経と副交感神経の両方の活動、HF 成分は副交感神経の活動、LF/HF 成分は心臓交感神経の活動を反映する指標として用いた [3][19]。

### 4.3 統計的仮説検定

NIRS データから算出した各時間部分の平均値と線形近似の傾きに対し、対応のある片側  $t$  検定を用いて、中立感情状態と感情抑圧状態との間において各タスクと左右領域の正規化 oxyHb の変化量に有意差があるか検定した。脈波データから算出した Mean, SDNN, LF, HF, LF/HF 成分に対し、対応のある片側  $t$  検定を用いて、中立感情状態と感情抑圧状態との間において各タスクの自律神経機能の評価指標の変化量に有意差があるか検定した。

### 4.4 識別器

感情抑圧状態を識別するために識別モデルの適用を試みた。NIRS データから算出した各時間部分の平均値・線形近似の傾きの値と脈波データから算出した Mean, SDNN, LF, HF, LF/HF 成分の値の全てを使用し、SVM と RF を用いて、NIRS データと脈波データの各々に対し識別モデルを適用し、中立感情状態と感情抑圧状態を識別した。また、入力特徴量は、平均値が 0 で標準偏差が 1 となるように正規化した。識別結果は leave-one-trial-out 交差検証の枠組みに基づき報告する。最後に、二項検定を用いて識別精度とチャンスレベル (50%) と比較した。

## 4.5 まとめ

本章では、まず、4.1 節で生体信号の収録方法を述べ、4.2 節で取得したデータの処理方法を述べ、4.3 節で処理したデータに対して用いる統計的仮説検定について述べ、4.4 節で用いた識別モデルを述べた。



## 第 5 章 評価実験

この章で、実験方法及び結果を述べる。まず、5.1 節で実験方法と主観評価及び動画評価について述べ、5.2 節で動画評価結果を述べ、5.3 節で主観評価結果を述べ、5.4 節で、NIRS データと BVP データについての統計的仮説検定結果を述べ、5.5 節で、識別結果を述べ、5.6 節でまとめる。

### 5.1 実験方法

この節で、具体的な実験方法について述べる。本実験は本学の研究倫理委員会により審査され承認を得た。実験実施前に全ての被験者からインフォームド・コンセントを得た。

#### 5.1.1 被験者

実験は右利きで健康な 11 人の本学の学生 (全て男性, 年齢:  $M = 24.6$ ,  $SD = 2.2$ ) を対象に行った。

#### 5.1.2 映像刺激の種類

感情抑圧状態を計測するために、Stanford University の Psychophysiology Laboratory \* により提供されている一時的に特定の感情を誘発する 4 種類の約 60 秒間の映像刺激を使用した。2 つの映像は自然の風景 (浜辺と波の様子) を映し、中立感情を誘発するために使用した (中立映像)。他の 2 つの映像はネガティブな場面 (火傷患者の治療と腕の手術の様子) を映し、嫌悪感を誘発するために使用した (嫌悪映像)。誘発する感情として嫌悪感を選んだ理由は、嫌悪感是不快な外部刺激により意図的に引き起こすことができ [24]、それが強い感情体験や感情表現行動を誘発することにより [20]、前頭前野領域の賦活を促すことができるからである [22]。

---

\* <https://spl.stanford.edu/>

### 5.1.3 実験手順



図 5.1 実験風景

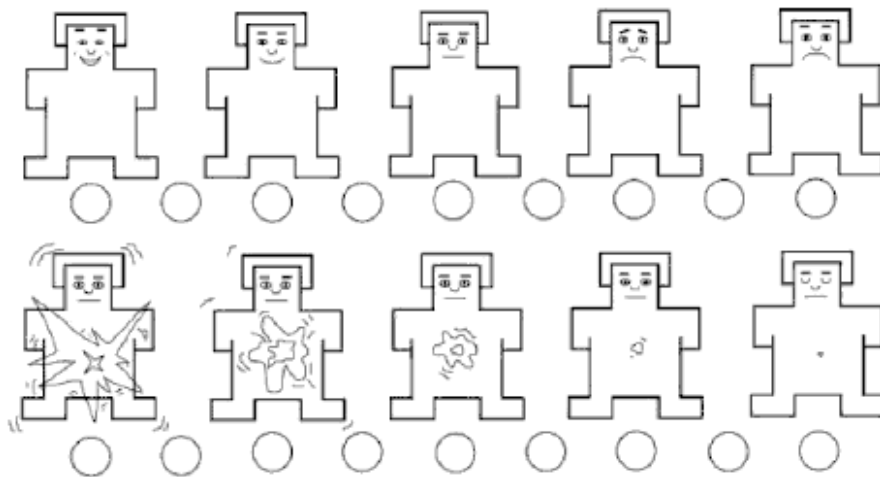


図 5.2 Self-Assessment Manikin. 上部が Valence, 下部が Arousal を示す. [1]

図 5.1 に実験風景を示す。実験中、被験者は椅子に座り、モニターを観る。被験

者は 30 秒間安静にし、一連の教示と 2 つの映像刺激を含む約 7 分 30 秒の動画を視聴した。教示は各タスクの前に提示された。教示は 3 種類あり、中立映像の視聴前に、「映像を見てください。」嫌悪映像の視聴前に、「映像を見て、感情を表出しないようにしてください。」各映像視聴後に、「自然の風景を見るのはいかに楽しいか話してください。」と提示した。各タスクは 60 秒間で、映像視聴と発話で構成される。収録前、我々は被験者に映像視聴後に話すスピーチを準備するように指示した。スピーチの内容はタスク毎に異なる。収録後、被験者は 図 5.2 で示す Self-Assessment Manikin (SAM) という指標を用いて 9 段階で各映像視聴時の Valence (快・不快の度合い) と Arousal (感情の覚醒の度合い) を主観評価した [1]。ここで、被験者の刺激映像に対する不快感や感情の度合いが強いほど、Valence と Arousal のスコアが高くなるように設定した。この一連の手順は映像刺激の順序を入れ替えて 2 回繰り返された。

#### 5.1.4 動画評価

モニターの背面にビデオカメラを設置し、各タスクにおける被験者の連続的な顔の挙動および発話状態を録画した。本実験で使用する映像刺激や実験手順について知らされていない二人の女性 (年齢：26, 49) が、動画中の被験者が嫌悪感を抱いているように見えるかどうかを二択で人手評価した。

## 5.2 主観評価結果

表 5.1 各映像刺激に対する各被験者の Valence と Arousal の平均値

| 映像刺激   | Valence                              | Arousal                              |
|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 中立映像 1 | Valence : $M = 3.273$ , $SD = 1.213$ | Arousal : $M = 3.636$ , $SD = 1.553$ |
| 中立映像 2 | Valence : $M = 3.364$ , $SD = 1.367$ | Arousal : $M = 3.182$ , $SD = 1.992$ |
| 嫌悪映像 1 | Valence : $M = 7.636$ , $SD = 1.298$ | Arousal : $M = 6.364$ , $SD = 1.298$ |
| 嫌悪映像 2 | Valence : $M = 8.455$ , $SD = 0.656$ | Arousal : $M = 7.818$ , $SD = 1.527$ |

収録後、被験者が SAM を用いて各映像刺激視聴時の Valence (快・不快の度合

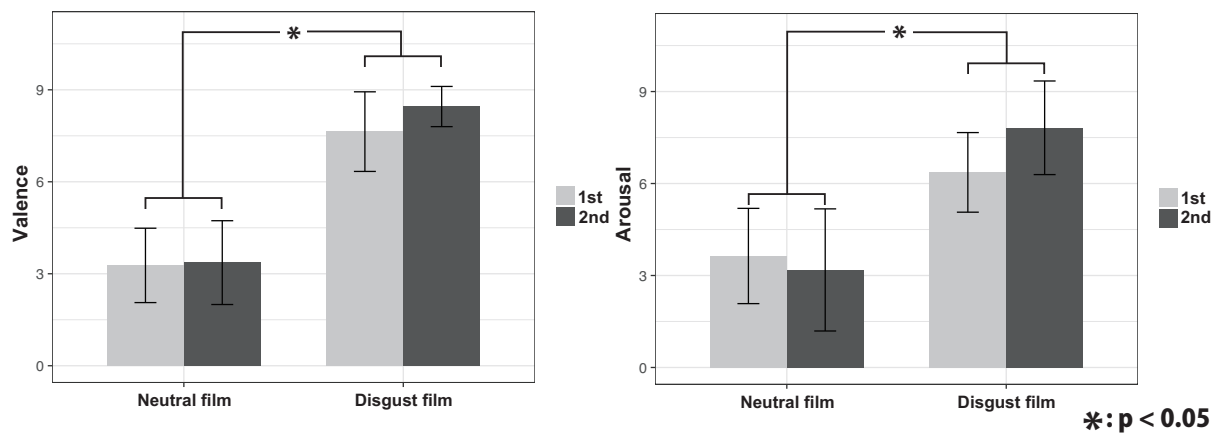


図 5.3 Valence と Arousal の平均値の比較

い) と Arousal (感情の覚醒の度合い) を 9 段階で主観評価した。各映像刺激に対する各被験者の Valence と Arousal の平均 (M) と標準偏差 (SD) は、表 5.1 の示す通りとなった。また、図 5.3 に各映像刺激に対する各被験者の Valence と Arousal の平均値の比較を示す。主観評価の結果、嫌悪映像は中立映像と比較して Valence と Arousal とともに高い数値 (対応のある両側 t 検定の結果、ともに  $p < .05$ ) となり、映像刺激により効果的に嫌悪感を誘発することができたことを示した。

### 5.3 動画評価結果

2 名の第三者により各タスク中の被験者の動画を人手評価した。結果として、感情抑圧状態と中立感情状態との識別精度は、映像視聴タスクでは平均 50%、発話タスクでは平均 47.72% となり、人手ではチャンスレベルに近い精度でしか識別できないことが示された。これらの結果より、タスク中、被験者は嫌悪感を十分に抱きながら、適切に感情を抑圧することができたことを示した。

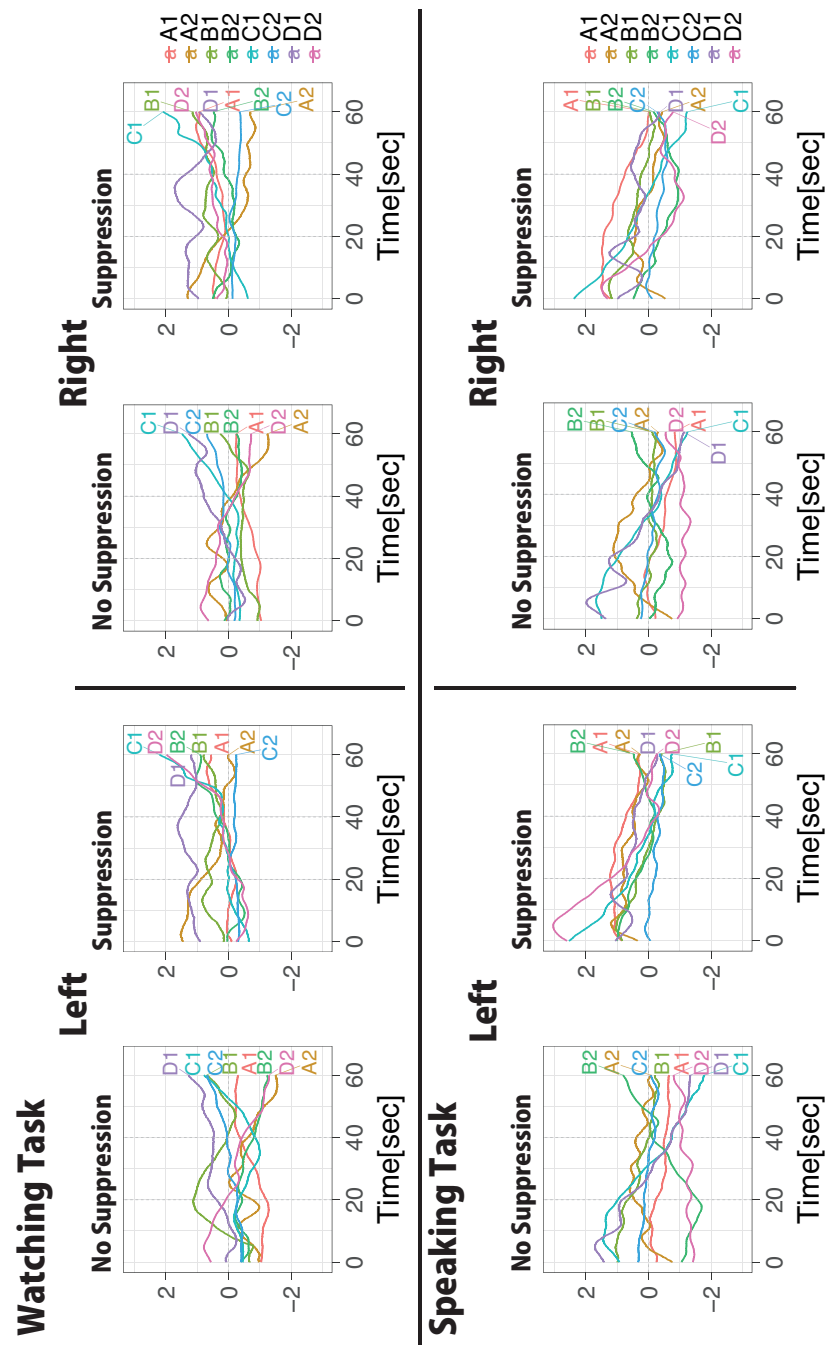


図 5.4 被験者 4 人分の正規化 oxyHb 値の時系列変化. ID は各被験者, "1-2" の数字は各試行を示す.

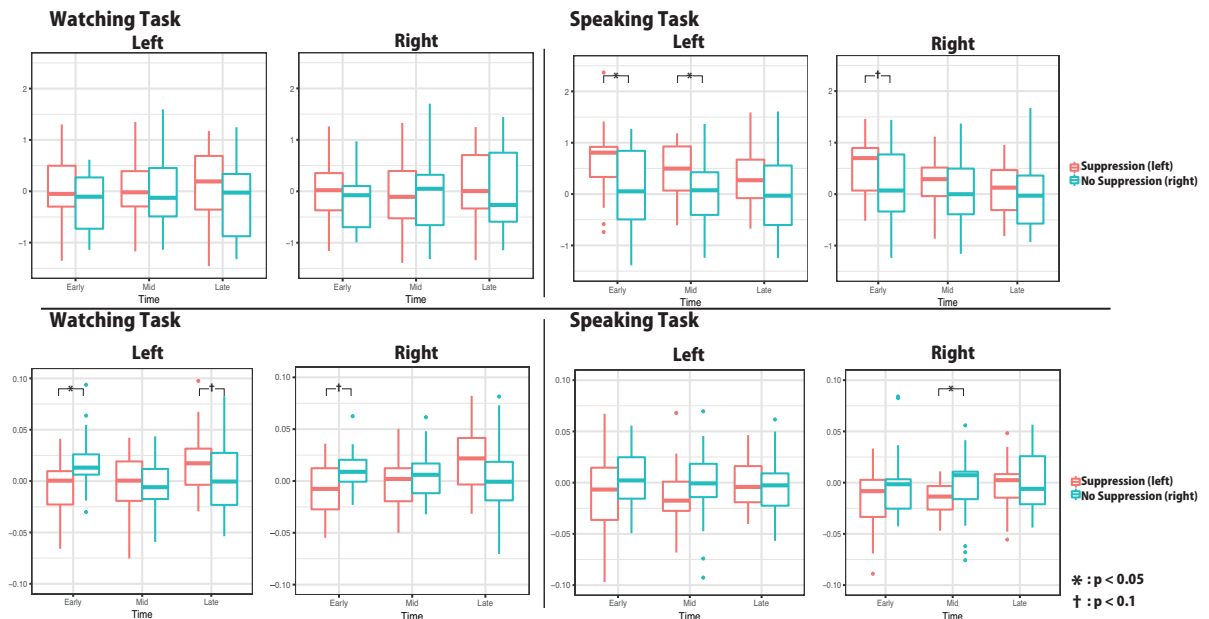


図 5.5 各時間部分における正規化 oxyHb の平均（上部）と線形近似の傾き（下部）を示す箱ひげ図。

## 5.4 統計的仮説検定結果

この節で、NIRS データと BVP データについての統計的仮説検定結果を述べる。

### 5.4.1 NIRS データ

図 5.4 に被験者の各試行の正規化 oxyHb 値の時系列変化を示す。各試行の正規化 oxyHb 値は、映像視聴タスクにおいて、感情抑圧状態の方が中立感情状態よりもより大きな値を示し、発話タスクにおいて、感情抑圧状態で急激に減少する傾向を示した。

図 5.5 に各時間部分の平均値と線形近似の傾きの値の比較を示す。平均値に関しては、感情抑圧状態と中立感情状態を比較して、発話タスク中の左領域の前期と中期の時間部分で有意差があり ( $p < .05$ )、右領域の前期の時間部分で有意傾向があった ( $p < .1$ )。線形近似の傾きに関しては、感情抑圧状態と中立感情状態を比較して、映像視聴タスク中の左領域の前期の時間部分と、発話タスク中の右領域の中期の時

間部分で有意差があり ( $p < .05$ ), 他の時間部分では統計的差異は示されなかった.

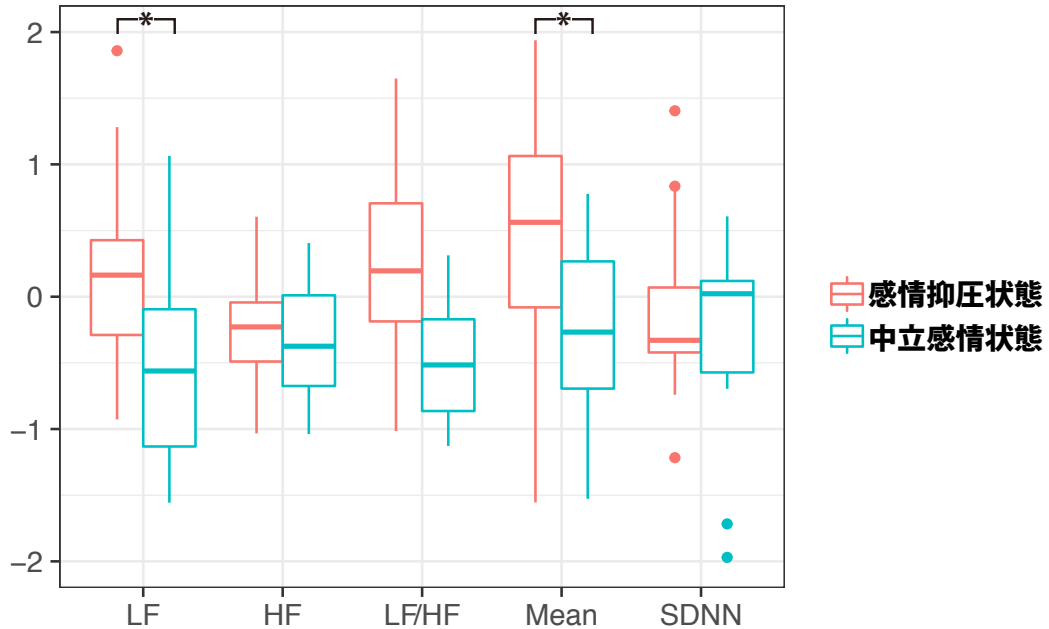


図 5.6 映像視聴タスクにおける LF, HF, LF/HF, Mean, SDNN 成分の値の比較を示す箱ひげ図.

#### 5.4.2 BVP データ

図 5.6 に映像視聴タスクにおける LF, HF, LF/HF, Mean, SDNN 成分の値の比較を示す. 感情抑圧状態と中立感情状態を比較して, LF と Mean の値の比較で有意差 ( $p < 0.05$ ) があり, 感情抑圧状態において有意に高い数値を示した. 図 5.7 に発話タスクにおける LF, HF, LF/HF, Mean, SDNN 成分の値の比較を示す. 感情抑圧状態と中立感情状態を比較して, LF/HF の値の比較で有意傾向 ( $p < 0.1$ ) があり, 感情抑圧状態においてより高い数値を示した.

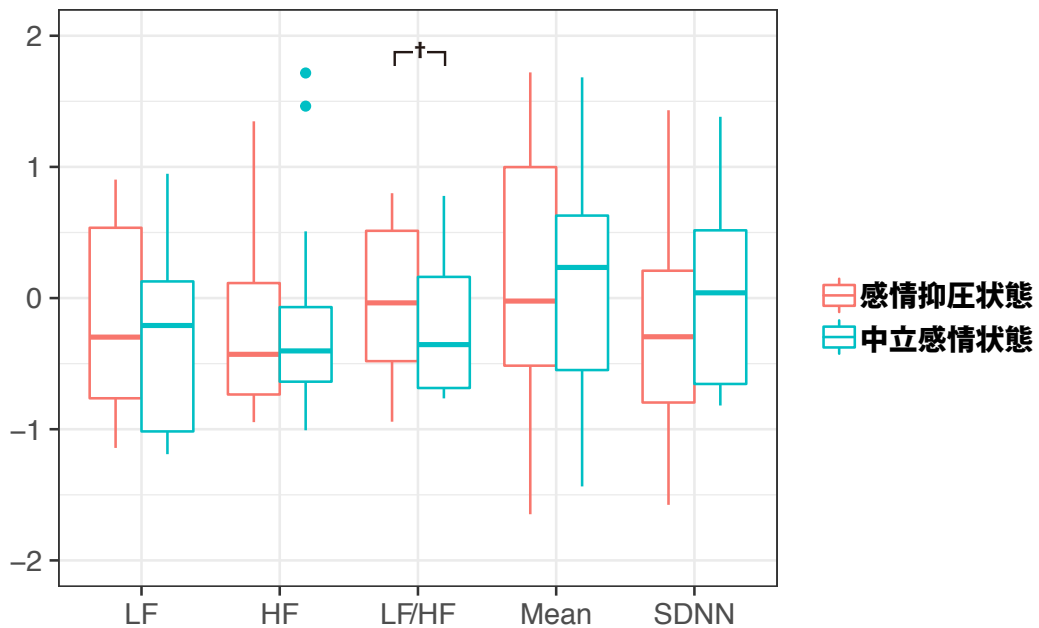


図 5.7 発話タスクにおける LF, HF, LF/HF, Mean, SDNN 成分の値の比較を示す箱ひげ図.

表 5.2 NIRS データに対する識別結果

| タスク  | 分類器 | 精度 |
|------|-----|----|
| 映像視聴 | SVM | 58 |
|      | RF  | 57 |
| 発話   | SVM | 64 |
|      | RF  | 61 |

## 5.5 識別結果

NIRS データから算出した各時間部分の平均値・線形近似の傾きの値と脈波データから算出した Mean, SDNN, LF, HF, LF/HF 成分の値の全てを使用し, SVM と RF を用いて, NIRS データと脈波データの各々に対し識別モデルを適用し, 中立感情状態と感情抑圧状態を識別した.



表 5.3 脈波データに対する識別結果

| タスク  | 分類器 | 精度 |
|------|-----|----|
| 映像視聴 | SVM | 72 |
|      | RF  | 66 |
| 発話   | SVM | 31 |
|      | RF  | 38 |

NIRS データに対する識別結果を表 5.2 に示す。結果として、SVM の分類器で、映像視聴タスクにおいて、58%、発話タスクにおいて 64% の精度を得た。これらの識別精度は、二項検定を用いてチャンスレベル (50%) と比較した結果、SVM の分類器で、発話タスクにおいて有意傾向があった ( $p < .1$ )。脈波データに対する識別結果を表 5.3 に示す。結果として、SVM の分類器で、映像視聴タスクにおいて、72%、RF の分類器で、発話タスクにおいて 38% の精度を得た。これらの識別精度は、二項検定を用いてチャンスレベル (50%) と比較した結果、両方の分類器で、映像視聴タスクにおいて有意傾向があった ( $p < .1$ )。

## 5.6 まとめ

本章では、まず 5.1 節で本実験の具体的な方法を述べた。次に、5.2 節で、主観評価の結果を述べ、5.3 節で、動画評価の結果を述べ、5.4 節で NIRS データと BVP データに対する統計的仮説検定の結果を述べ、5.5 節で取得したデータに対し識別モデルを適用した識別結果を述べた。

## 第 6 章 考察

NIRS データから算出した各時間部分の平均値と線形近似の傾きに対し、対応のある片側  $t$  検定を用いて、中立感情状態と感情抑圧状態との間において各タスクと左右領域の正規化 oxyHb の変化量に有意差があるか検定し、左前頭前夜領域における正規化 oxyHb 値の変化量に有意差があるいくつかの事例を示した。これらの結果は、fNIRS を利用して、特定の感情を誘発した際の脳神経活動について言及した先行研究と一致する [12]。Herrmann らは、左前頭前野領域における賦活は特定の感情誘発に関係していることを示した。本研究では、右前頭前野領域における正規化 oxyHb 値の変化量に統計的差異を確認することができず、これは感情抑圧状態では右腹外前頭前野で賦活が起これと示した fMRI を用いた先行研究 [8] と一致しなかった。また、感情抑圧状態時の発話タスクについて調査し、発話タスクにおいて、感情抑圧状態では中立状態と比較して、左右の両領域の正規化 oxyHb 値が急激に減少することを確認した。

脈波データから算出した Mean, SDNN, LF, HF, LF/HF 成分に対し、対応のある片側  $t$  検定を用いて、中立感情状態と感情抑圧状態との間において各タスクの自律神経機能の評価指標の変化量に有意差があるか検定し、映像視聴タスクにおいて、感情抑圧状態の方が中立感情状態と比較して、LF と Mean の値が有意 ( $p < .05$ ) に高い値を示し、発話タスクにおいて、感情抑圧状態の方が中立感情状態と比較して、LF/HF の値が高い値を示す傾向があることを確認した。Mean の値の増加は、心拍間隔の増加、つまり心拍数の減少を示し、LF/HF の値の増加は心臓交感神経系活動の増加を示しており、これは、感情抑圧状態における生理学的反応を計測した先行研究と一致する [11]。

次に、SVM と RF を用いて、取得した NIRS データと脈波データに対し識別モデルを適用し、感情抑圧状態と中立感情状態を識別した。NIRS データに対しての識別では、SVM の分類器で、映像視聴タスクにおいて、58%、発話タスクにおいて 64% の精度を得た。これらの識別精度は、二項検定を用いてチャンスレベル (50%) と比較した結果、発話タスクで有意傾向があった ( $p < .1$ )。脈波データに対しての識別では、SVM の分類器で、映像視聴タスクにおいて、72%、RF の分類器で、発話タスクにおいて 38% の精度を得た。これらの識別精度は、二項検定を用いてチャ

ンスレベル (50%) と比較した結果、映像視聴タスクで有意傾向があった ( $p < .1$ ). 脈波データに対しての識別精度は、発話タスクにおいて、チャンスレベルを下回る結果となった.

NIRS データに対しての識別では、両タスクにおいて、チャンスレベルを超える精度を得ることができた. 脈波データに対しての識別では、映像視聴タスクにおいて、NIRS データによる識別と比較して、識別精度が向上した. この識別精度の向上は、映像視聴タスクにおいて、脈波データから算出した特徴量が、心臓交感神経系活動の増加や心拍数の減少といった感情抑圧による生理学的反応 [11] を表現し、識別に有効であったことを示唆する. 一方で、脈波データに対しての識別では、発話タスクにおいて、NIRS データによる識別と比較して、識別精度が低下した. この識別精度の低下は、発話タスクにおいて、NIRS データの特徴量はタスク 60 秒間を 3 等分割した区間部分において算出したのに対し、脈波データの特徴量は周波数分解能を考慮してタスク 60 秒間において算出したことにより、結果として、図 5.4 で見受けられたような発話タスク早期の急激な生理学的反応の減少をうまく表現できず、識別に有効な特徴量が少なかったことが原因に挙げられる. 発話タスクにおける識別精度を改善するため、今後、NIRS データと脈波データから算出した特徴量を組み合わせた識別モデルの検討が必要である.

## 第 7 章 総括

### 7.1 本論文のまとめ

本研究の目的は、長時間の映像視聴や発話などの実用的な場面を想定した実験デザインを考慮し、感情抑圧状態を検出・識別することである。本研究では、ヒトが無意識に発する生体信号を用いて感情抑圧状態の検出・識別を行った。第 2 章では、まず感情抑圧の概要について述べ、表現行動や生理学的、脳神経活動といったモダリティに着目した感情抑圧の検出を行っている関連研究を述べた。次に、生体信号を用いて特定の感情の自動識別を行った関連研究を述べ、自動識別の有効性を確認した。第 3 章では、本研究で着目するタスクと実験デザインについて述べ、感情抑圧の自動識別に用いる識別モデルについて述べた。次に、本研究で使用する生体信号の測定原理とその特徴を述べた。第 4 章では、生体信号の収録方法を述べ、収録したデータの処理方法を述べ、処理したデータに対して用いる統計的仮説検定について述べた。次に使用した特徴量と識別モデルについて述べた。第 5 章では、本実験の方法を述べた。次に、主観評価及び動画評価の結果を述べ、NIRS データと BVP データに対する統計的仮説検定の結果を述べ、取得したデータに対し識別モデルを適用した識別結果を述べた。

今後の課題として、識別精度の向上が挙げられる。本研究で得られた識別精度は、チャンスレベルとの比較で、有意傾向 ( $p < .1$ ) は見受けられたものの、有意差はなく、感情抑圧を自動で識別するのに十分な精度に達していないと思われる。識別精度向上のために、NIRS データと脈波データから算出した特徴量を組み合わせた識別モデルを適用することや特徴量の中から識別に有効なものを選択すること、識別モデルのパラメータを最適化すること、関連研究で用いられている他の識別モデルを使用すること、他の生体信号処理により特徴量を増加することを検討する必要がある。

## 謝辞

本学情報科学研究科の中村哲教授には主指導教官として常に熱心なご教示，ご鞭撻を受け賜り，本論文を執筆することができました．お忙しいなかでも親身にご指導していただき，大変有意義な研究生活を送ることができました．心より感謝致します．

本学情報科学研究科の松本裕治教授には御多忙の中にも関わらず，論文審査委員を引き受けて頂き，心より感謝致します．

本学情報科学研究科の田中宏季助教には入学当初から様々な面でお世話になり，研究全般に渡り現在に至るまで常に丁寧かつ熱心なご指導を賜りました．心より感謝致します．

本学情報科学研究科の Sakriani Sakti 特任准教授には数々の有益なご助言を賜りました．心より感謝致します．

本学情報科学研究科の須藤克仁准教授には多くの的確なご助言を賜りました．心より感謝致します．

本学情報科学研究科の吉野幸一郎助教には多くの的確なご助言を賜りました．心より感謝致します．

本学情報科学研究科の鈴木優特任准教授には数々の貴重なご助言を頂きました．心より感謝致します．

松田真奈美様，林美保様，軽部瑞穂様には，諸手続きの際に大変お世話になったほか，いつも気にかけて下さいました．心より感謝致します．

知能コミュニケーション研究室の諸氏には，公私に渡り大変お世話になりました．皆様のおかげで充実した NAIST 生活を送れたことを心より感謝致します．

## 参考文献

- [1] Margaret M Bradley and Peter J Lang. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, Vol. 25, No. 1, pp. 49–59, 1994.
- [2] Emily A Butler, Boris Egloff, Frank H Wilhelm, Nancy C Smith, Elizabeth A Erickson, and James J Gross. The social consequences of expressive suppression. *Emotion*, Vol. 3, No. 1, p. 48, 2003.
- [3] A John Camm, Marek Malik, JT Bigger, G Breithardt, Sergio Cerutti, RJ Cohen, P Coumel, EL Fallen, HL Kennedy, RE Kleiger, et al. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. task force of the european society of cardiology and the north american society of pacing and electrophysiology. *Circulation*, Vol. 93, No. 5, pp. 1043–1065, 1996.
- [4] Heath A Demaree, Brandon J Schmeichel, Jennifer L Robinson, Jie Pu, D Erik Everhart, and Gary G Berntson. Up-and down-regulating facial disgust: Affective, vagal, sympathetic, and respiratory consequences. *Biological psychology*, Vol. 71, No. 1, pp. 90–99, 2006.
- [5] Paul Ekman, Wallace V Friesen, and Maureen O’sullivan. Smiles when lying. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 54, No. 3, p. 414, 1988.
- [6] Judy Garber and Kenneth A Dodge. *The development of emotion regulation and dysregulation*. Cambridge University Press, 1991.
- [7] Evelyn Glotzbach, Andreas Mühlberger, Kathrin Gschwendtner, Andreas J Fallgatter, Paul Pauli, and Martin J Herrmann. Prefrontal brain activation during emotional processing: a functional near infrared spectroscopy study (fnirs). *The open neuroimaging journal*, Vol. 5, p. 33, 2011.
- [8] Philippe R Goldin, Kateri McRae, Wiveka Ramel, and James J Gross. The neural bases of emotion regulation: reappraisal and suppression of negative emotion. *Biological psychiatry*, Vol. 63, No. 6, pp. 577–586, 2008.

- [9] James J Gross. Antecedent-and response-focused emotion regulation: divergent consequences for experience, expression, and physiology. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 74, No. 1, p. 224, 1998.
- [10] James J Gross. Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry*, Vol. 26, No. 1, pp. 1–26, 2015.
- [11] James J Gross and Robert W Levenson. Emotional suppression: physiology, self-report, and expressive behavior. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 64, No. 6, p. 970, 1993.
- [12] Martin J Herrmann, A-C Ehlis, and Andreas J Fallgatter. Prefrontal activation through task requirements of emotional induction measured with mirs. *Biological psychology*, Vol. 64, No. 3, pp. 255–263, 2003.
- [13] Md Zakir Hossain and Tom Gedeon. Classifying posed and real smiles from observers,Äô peripheral physiology. 2017.
- [14] Yumi Iwamitsu, Kazutaka Shimoda, Hajime Abe, Masako Okawa, et al. Anxiety, emotional suppression, and psychological distress before and after breast cancer diagnosis. *Psychosomatics*, Vol. 46, No. 1, pp. 19–24, 2005.
- [15] Frans F Jobsis. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, Vol. 198, No. 4323, pp. 1264–1267, 1977.
- [16] Sander Koelstra, Christian Muhl, Mohammad Soleymani, Jong-Seok Lee, Ashkan Yazdani, Touradj Ebrahimi, Thierry Pun, Anton Nijholt, and Ioannis Patras. Deap: A database for emotion analysis; using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 3, No. 1, pp. 18–31, 2012.
- [17] Takao Nakagawa, Yasutaka Kamei, Hidetake Uwano, Akito Monden, Kenichi Matsumoto, and Daniel M German. Quantifying programmers’ mental workload during program comprehension based on cerebral blood flow measurement: a controlled experiment. In *Companion Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering*, pp. 448–451. ACM, 2014.

- [18] Michalis Papakostas, Giorgos Siantikos, Theodoros Giannakopoulos, Evaggelos Spyrou, and Dimitris Sgouropoulos. Recognizing emotional states using speech information. In *GeNeDis 2016*, pp. 155–164. Springer, 2017.
- [19] Gianfranco Parati, J Philip Saul, Marco Di Rienzo, and Giuseppe Mancina. Spectral analysis of blood pressure and heart rate variability in evaluating cardiovascular regulation. *Hypertension*, Vol. 25, No. 6, pp. 1276–1286, 1995.
- [20] Paul Rozin and April E Fallon. A perspective on disgust. *Psychological review*, Vol. 94, No. 1, p. 23, 1987.
- [21] Edward Sazonov and Michael R Neuman. *Wearable Sensors: Fundamentals, implementation and applications*. Elsevier, 2014.
- [22] Anne Schienle, Axel Schäfer, Rudolf Stark, Bertram Walter, and Dieter Vaitl. Relationship between disgust sensitivity, trait anxiety and brain activity during disgust induction. *Neuropsychobiology*, Vol. 51, No. 2, pp. 86–92, 2005.
- [23] Sara V Tupak, Thomas Dresler, Anne Guhn, Ann-Christine Ehlis, Andreas J Fallgatter, Paul Pauli, and Martin J Herrmann. Implicit emotion regulation in the presence of threat: neural and autonomic correlates. *Neuroimage*, Vol. 85, pp. 372–379, 2014.
- [24] Dieter Vaitl, Anne Schienle, and Rudolf Stark. Neurobiology of fear and disgust. *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 57, No. 1, pp. 1–4, 2005.
- [25] Gyanendra K Verma and Uma Shanker Tiwary. Multimodal fusion framework: A multiresolution approach for emotion classification and recognition from physiological signals. *NeuroImage*, Vol. 102, pp. 162–172, 2014.



## 発表リスト

### 国際会議

[1] Masahiro Honda, Hiroki Tanaka, Sakti Sakriani, Satoshi Nakamura, Detecting Suppression of Negative Emotion by Time Series Change of Cerebral Blood Flow using fNIRS, IEEE International Conference on Biomedical and Health Informatics, March. 2018.

### 研究会

[1] 本田 将大, 田中 宏季, Sakriani Sakti, 中村 哲. fNIRS を用いた脳血流の時系列変化による負の感情抑圧の検出. 電子情報通信学会技術研究報告, vol.117, no.219, MBE2017-35, pp.5-10, September. 2017.