

2022 年度

早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工・情報通信専攻 修士論文

生体情報を用いた スマートフォン依存検知についての研究

久永 千夜子

(5121F071-9)

提出日：2023 年 1 月 23 日

指導教員：嶋本 薫 教授

指導研究名：ワイヤレスアクセス研究

目次

第1章 序論

1.1 研究背景	4
1.2 研究目的	6
1.3 研究概要	6

第2章 関連技術・関連研究

2.1 スマートフォン依存	7
2.1.1 概要	7
2.1.2 判別方法	8
2.2 生体情報	10
2.2.1 血圧	10
2.2.2 心拍	11
2.2.3 血糖値	11
2.2.4 脳波	12
2.3 スチューデントの2標本t検定とF検定	13
2.3.1 2標本検定	13
2.3.2 F検定	15
2.4 機械学習	16
2.4.1 決定木分析	16
2.4.2 ランダムフォレスト	16
2.4.3 サポートベクターマシン (SVM)	17
2.4.4 ロジスティック回帰	17

2.4.5	ニューラルネットワーク	18
2.4.6	XGBoost	18
2.4.7	評価指標	19
第3章 長時間のスマートフォン利用における生体情報の変動		
3.1	実験内容	22
3.2	結果・考察	26
3.2.1	スマートフォン依存度の調査	26
3.2.2	2標本検定とF検定を用いた有意差検定	28
3.2.3	時間軸における生体情報の変動	30
3.2.4	機械学習によるスマートフォン依存の推定精度の評価	32
第4章 短時間のスマートフォン利用における生体情報の変動		
4.1	実験内容	34
4.2	結果・考察	38
4.2.1	スマートフォン依存度の調査	38
4.2.2	2標本検定とF検定を用いた有意差検定	38
4.2.3	時間軸における生体情報の変動	42
4.2.4	機械学習によるスマートフォン依存の推定精度の評価	48
第5章 結論		
		50
第6章 まとめ・今後の展望		
		51
謝辞		
		52

研究業績 53

参考文献 54

付録 57

第1章 序論

1.1 研究背景

現代において、スマートフォンは急速に普及し続けている。総務省が発表した「世帯の情報通信機器の保有状況」では、「モバイル端末全体」の内数である「スマートフォン」は、2019年に初めて8割を超え、2022年では88.6%となっている[1]。ソーシャルネットワークサービス（SNS）や電子決済サービスといった民間のサービスだけでなく、行政分野におけるデジタル活用の加速もあり、スマートフォンは人々の生活に不可欠なツールになりつつある。

また、MMD研究所による「2021年版：スマートフォン利用者実態調査」において、スマートフォンを所有する15歳～59歳の男女2,173人を対象に、スマートフォン利用時間を聞いたところ、「2時間以上3時間未満」が19.7%と最も多かったが、「3時間以上利用している」と回答した人は50.7%であり、約半数となっている[2]。そこで問題となるのが、スマートフォンに対し精神的に依存してしまう状態となる「スマートフォン依存」である。スマートフォンユーザは、スマートフォンへの依存状態が進行すると、身体的および精神的負荷がかかり、日常生活や社会生活に悪影響を及ぼすことになる。「スマートフォン依存」に関しては、第2章にて詳しく説明を行う。

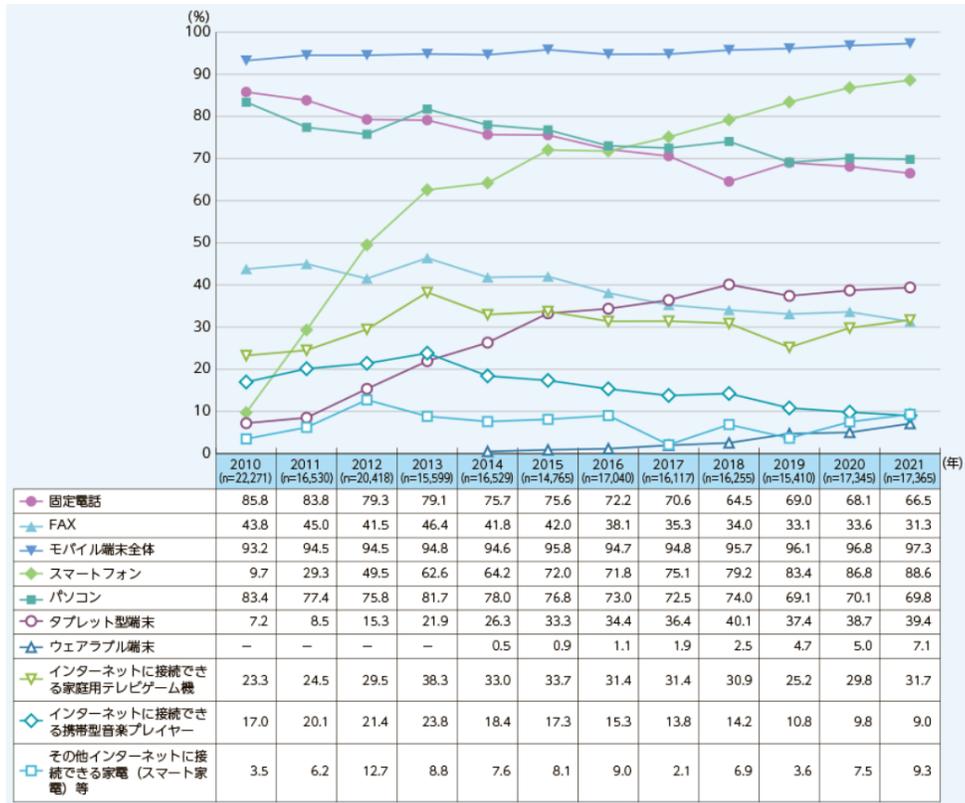


図 1.1 情報通信機器の世帯保有率の推移[1]

● スマートフォンを利用する時間 (n=2,173)

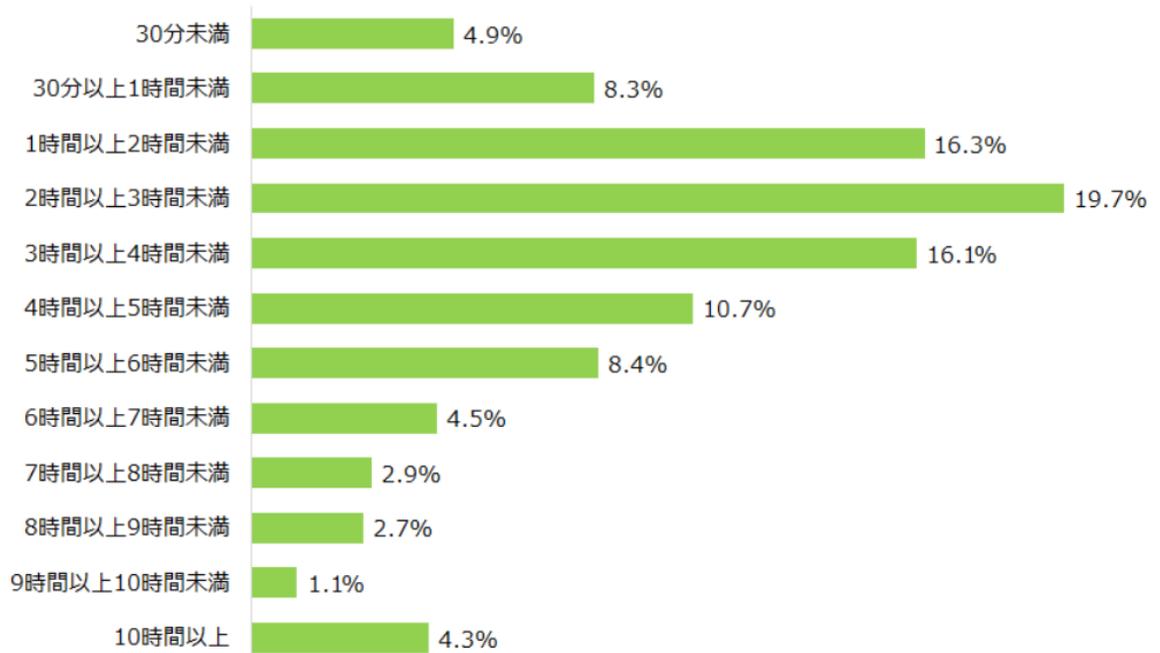


図 1.2 スマートフォン利用時間[2]

1.2 研究目的

本研究の目的は、スマートフォンユーザの生体情報からスマートフォン依存の推定・検知を行うことの妥当性の評価であり、本研究の最終的なゴールは、スマートフォンユーザの生体情報およびスマートフォンの利用傾向からスマートフォン依存を推定・検知し、ユーザ自身が依存状態を日常かつ簡易的に把握できるシステムの構築である。前述の通り、スマートフォンへの依存状態が深刻化すると、日常生活や社会生活に様々な悪影響を及ぼす。しかし、スマートフォンは今や人々の生活に不可欠なツールであるため、スマートフォン使用の完全な停止を行うことは不可能に近いと考えられる。よって、スマートフォンユーザにとって依存にならない程度にスマートフォンを利用できる環境を作るために、スマートフォン依存検知システムが必要であると考ええる。

1.3 研究概要

本研究では、スマートフォンユーザを被験者としてスマートフォン利用時の生体情報を測定する実験を行った。また、比較実験としてスマートフォン未使用時の生体情報も測定している。第3章では、長時間のスマートフォン利用について実験を行った。第4章では、短時間のスマートフォン利用について実験を行った。いずれの実験でも、測定した生体情報および測定値から算出したパラメータに、スチューデントの2標本t検定およびF検定を用いた有意差検定を行った。また、有意差の見られたパラメータを使用して複数の機械学習を行い、スマートフォン依存の推定精度の評価を行った。

第2章 関連技術・関連研究

2.1 スマートフォン依存

2.1.1 概要

スマートフォン依存とは、「スマートフォンの使用を続けることで昼夜逆転する、成績が著しく下がるなど様々な問題が起きているにも関わらず、使用がやめられず、スマートフォンが使用できない状況が続くと、イライラし落ち着かなくなるなど精神的に依存してしまう状態」のことを言う[3]。主な症状として以下の状態が挙げられる。

- ・スマートフォンが手元にないと落ち着かない
- ・一日中スマートフォンに関することを考え、どうしても触ってしまう
- ・メールや SNS を必要以上にチェックする（すぐに返信しないといけないと考えてしまう）
- ・気づいたときには、おこづかい以上に課金していた
- ・何気なくネットサーフィンや動画視聴をしていたら、気づくとかなりの時間が経っている

また、スマートフォンの使い過ぎが睡眠、健康、集中力、理解力に影響を及ぼし、引きこもり、うつ病、社会的関係の破壊につながる可能性があることも示唆されている[4]。

2.1.2 判別方法

スマートフォン依存の判定方法として、スマートフォン依存スケール (SAS : Smartphone Addiction Scale) が挙げられる [5]. これは主観評価に基づく判別方法であり、以下の設問から構成される [6].

1. スマートフォン使用のため、予定していた仕事や勉強ができない
2. スマートフォン使用のため、(クラスで) 課題に取り組んだり、仕事や勉強をしている時に、集中できない
3. スマホを使っていると、手首や首の後ろに痛みを感じる
4. スマートフォンがないと我慢できなくなると思う
5. スマートフォンを手にしてないと、イライラしたり、怒りっぽくなる
6. スマートフォンを使っていない時でも、スマートフォンのことを考えている
7. スマートフォンが毎日の生活にひどく悪影響を及ぼしていても、スマートフォンを使い続けると思う
8. Twitter や Facebook でほかの人とのやり取りを見逃さないために、スマートフォンを絶えずチェックする
9. (使う前に) 意図していたよりスマホを長時間使ってしまう
10. 周りの人が、自分に対してスマートフォンを使い過ぎていると言う

これらの設問に対し、6段階 (1 : 全く違う, 2 : 違う, 3 : どちらかというところと違う, 4 : どちらかというところの通り, 5 : その通り, 6 : 全くその通り) で評価を行う. 合計点が男性の場合 31 点以上, 女性の場合 33 点以上が「スマートフォン依存の疑いがある」とされる.

また、「スクリーンタイム」というスマートフォンの機能またはアプリケーションを利用して、自身のスマートフォンの使用量を意識させることも可能となっている[7][8]。しかし、KDDIによる「新型コロナウイルス感染症流行におけるスマートフォンの利用実態とスマートフォン嗜癖の検知」についての調査の結果、スマートフォンの利用時間が長いことがスマートフォン嗜癖とは言えないことが示唆されている[9]。そのため、スマートフォンの利用時間だけでなくスマートフォンユーザの生体情報も利用してスマートフォン依存の推定・検知を行う必要があると考える。



図 2.1 スクリーンタイム

2.2 生体情報

本研究にて利用した生体情報は、血圧、心拍、血糖値、脳波である。それぞれの説明を以下に記載する。

2.2.1 血圧

血圧とは、心臓から送り出された血液が動脈の内壁を押す力を指す[10]。単位は mmHg（ミリメートル水銀）で表現される。血圧の高さは、心臓が血液を押し出す力と血管の拡張で決まる。また、血管の弾力性、腎臓や神経系、内分泌系、血管内皮からの物質など、血圧は多くの因子によって調整されてる。血圧は常に変動しており、通常は起床とともに上昇し、日中は高く、夜間・睡眠中は低くなる。心臓は、収縮と拡張を繰り返し行うことで血液を送り出す。そのため、血圧は心臓の収縮・拡張に応じて上昇・下降する。心臓の収縮により最高に達したときの値が「最高血圧（収縮期血圧）」といい、心臓の拡張により最低に達したときの値が「最低血圧（拡張期血圧）」という。

血圧の病態として「高血圧症」がある。高血圧症とは、血圧を繰り返し測定しても血圧が正常より高い場合をいう。診察室での複数回の血圧測定で最高血圧が 140mmHg 以上、または最低血圧が 90mmHg 以上であれば、高血圧症と診断される。高血圧症の中でも「本態性高血圧症」というものがある。本態性高血圧症は遺伝的な因子や生活習慣などの環境因子が関与しており、生活習慣病といわれる。原因の一つとして、精神的ストレス・自律神経の調節異常がある。Yunfei Zou らの研究では、青少年を対象とした高血圧とスマートフォン依存の関係が調査され、スマートフォン依存が高血圧の新たな危険因子となる可能性が示唆された[11]。

2.2.2 心拍

心拍数とは、一定の時間内に心臓が拍動する回数のことをいう[12]。通常は1分間の回数（bpm：beat per minutes）で表現される。健康な成人の安静時の脈拍数は、個人差はあるものの1分間に約60～100回である。人が発揮できる最大の心拍数は年齢を重ねるとともに低くなっていく傾向があるが、同じ年齢の人であれば心拍数と運動の強度との関係はほぼ一定であるため、運動の強度を測る目安として用いられる。

2.2.3 血糖値

血糖値とは、血液内のブドウ糖の濃度を指す[13]。通常はmg/dLで表現される。炭水化物は消化吸収されてブドウ糖となり、血液中に入る。そのため、食前と食後では血糖値が変化する。通常、食前の血糖値は約70～100mg/dLの範囲である。食後の血糖値は誰でも一時的に上昇するが、通常であれば膵臓から分泌される「インスリン」というホルモンの働きにより、ブドウ糖が身体の細胞に取り込まれる。また余分なブドウ糖はグリコーゲンで変換される。結果として血糖値は下降する。食後約2時間以内にはインスリンの効果により正常値に戻る[14]。一方で、神経伝達物質の一つであるノルアドレナリンは血糖を上昇させる方向に働く[15]。ノルアドレナリンは激しい感情や強い肉体作業といった人体がストレスを感じた際に放出され、交感神経の情報伝達物質として放出されると、交感神経の活動が高まり血圧上昇や心拍数の上昇をもたらす[16]。通常ノルアドレナリンはその人の置かれている状況に合わせてバランスを保ちつつ働く。しかし、ノルアドレナリンの働きが不均衡になると神経症やパニック障害、うつ病などを引き起こすとされる。

2.2.4 脳波

脳波とは、脳の活動によって引き起こされる波のような信号である[17]。脳内に存在する神経細胞同士が、外部からの刺激に反応して電気信号を伝達させ、様々な処理を行う。通常の覚醒状態（開眼状態）では目を開けた状態では、 β 波が支配的である[18]。また、リラックスしているときや眠気を感じる時に α 波の活動は上昇し、睡眠状態になると低周波数帯のパワーが増大する。

H.S Seo らの研究では、若年層におけるインターネットやスマートフォンへの依存度と神経伝達物質の一つである「 γ -アミノ酪酸（以下、GABA：gamma-aminobutyric acid）」との関係が調査され、依存度が高い程 GABA 濃度が高く、バランスの乱れが起きていることを示唆している[19]。GABA はノルアドレナリンの分泌を抑えると考えられており[20]、前述の通りノルアドレナリンの働きが不均衡になることで人体への悪影響を及ぼすと考えられる。Adham M. Abdou らによる GABA 経口摂取の脳波への影響に関する研究では、GABA には α 波を増加させ、 β 波を減少させる効果があることが示唆されている[21]。

今回使用した脳波測定装置では、 $\alpha 1$ 波、 $\alpha 2$ 波、 $\alpha 3$ 波、 β 波を以下のように分けており、 μ V で表現される。

- ・ $\alpha 1$ 波：6.5—8.5Hz
- ・ $\alpha 2$ 波：9.0—11.0Hz
- ・ $\alpha 3$ 波：11.5Hz—13.5Hz
- ・ β 波：14.0Hz—30.0Hz

2.3 スチューデントの2標本t検定とF検定

本研究では、スチューデントの2標本t検定（以下、2標本検定）およびF検定を用いた有意差検定を行った。それぞれについて、以下に説明する[22].

2.3.1 2標本検定

2つの正規母集団 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$, $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ それぞれのから大きさ m , n の標本, X_1, X_2, \dots, X_m , Y_1, Y_2, \dots, Y_n を抽出したとする。このとき、帰無仮説は

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

となり、対立仮説は

(a) 両側検定ならば $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

(b) 片側検定ならば $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ または $H_1 : \mu_1 < \mu_2$

である。両側検定と片側検定どちらを用いたかについては後述する。

検定方法は、2つの母分散が等しいかどうかによって、2つの方法に分けられる。

1) 2つの分散が等しく、 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ である場合

2つの標本平均を \bar{X} , \bar{Y} とし、 σ^2 を合併した分散

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 + \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{m+n-2} = \frac{(m-1)s_1^2 + (n-1)s_2^2}{m+n-2} \quad (2-1)$$

で推定すると、 H_0 のもとでは2標本t統計量

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{s \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n}}} \quad (2-2)$$

は、自由度 $m+n-2$ のt分布 $t(m+n-2)$ に従う。

よって、(a)では $|t| > t_{\alpha/2}(m+n-2)$ のとき帰無仮説を棄却し、それ以外は棄却しない。

また、(b)では、右片側の場合、 $t > t_{\alpha}(m+n-2)$ のとき帰無仮説を棄却し、それ以外は棄却しない。一方、左片側の場合、 $t < -t_{\alpha}(m+n-2)$ のとき帰無仮説を棄却し、それ以外は棄却しない。

2) 2つの分散が等しくない場合

σ_1^2 , σ_2^2 をそれぞれの標本分散 $s_1^2 = \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 / (m-1)$, $s_2^2 = \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2 / (n-1)$ とする。帰無仮説が正しい場合

$$t = -\frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{m} + \frac{s_2^2}{n}}} \quad (2-3)$$

は近似的に自由度が

$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{m} + \frac{s_2^2}{n}\right)^2}{\frac{(s_1^2/m)^2}{m-1} + \frac{(s_2^2/n)^2}{n-1}} \quad (2-4)$$

に最も近い整数 v^* の自由度の t 分布 $t(v^*)$ に従う。

よって、(a)では $|t| > t_{\alpha/2}(v^*)$ のとき帰無仮説を棄却し、それ以外は棄却しない。

また、(b)では、右片側の場合、 $t > t_{\alpha}(v^*)$ のとき帰無仮説を棄却し、それ以外は棄却しない。

一方、左片側の場合、 $t < -t_{\alpha}(v^*)$ のとき帰無仮説を棄却し、それ以外は棄却しない。

本研究では、スマートフォン依存の有無によって生体情報の測定値および測定値から算出したパラメータの値が異なっているかどうか調べるのが目的のため、両側検定を用いた。また、有意水準は5%とした。

2.3.2 F 検定

2 標本検定では、2 つの母分散が等しいかどうかによって、2 つの方法に分けられる。そのため、母分散が等しいかどうか判別する必要がある。本研究では、F 検定を用いて母分散が等しいかどうか調べ、どちらの方法を使用するか決定した。なお、有意水準は 5% とした。

母分散が等しいかどうかについて、帰無仮説は

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

であり、対立仮説は

$$H_0 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

である。ここで、 H_0 のもとでのフィッシャーの分散比を

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (2-5)$$

ただし、

$$s_1^2 = \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 / (m - 1), \quad s_2^2 = \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2 / (n - 1)$$

とすると、帰無仮説が正しい場合、 F は自由度 $(m - 1, n - 1)$ の F 分布 $F(m - 1, n - 1)$ に従う。したがって、この F の値が

$$F_{1-\alpha/2}(m - 1, n - 1) \leq F \leq F_{\alpha/2}(m - 1, n - 1)$$

であるときは、帰無仮説を棄却せず、

$$F < F_{1-\alpha/2}(m - 1, n - 1) \quad \text{または} \quad F > F_{\alpha/2}(m - 1, n - 1)$$

であるときは、帰無仮説を棄却する。

2.4 機械学習

本研究では、複数の機械学習の手法を利用し、スマートフォン依存の推定精度の評価を行った。以下に利用した機械学習を列挙し、それぞれ説明する。実装方法は、全ての手法で Python の scikit-learn を用いており、トレーニングデータとテストデータを 7:3 で分割し、学習と学習モデルの検証を行った。説明変数は 2 標本検定および F 検定の結果から有意差の見られたパラメータとした。また、目的変数はスマートフォン依存の有無とし、それぞれ依存無し: 0, 依存有り: 1 とした。そのため、全ての手法において二値分類としている。

2.4.1 決定木分析

決定木分析とは、決定木と呼ばれる樹形図を作成し、予測や検証を行う機械学習のアルゴリズムの 1 つである [23]。メリットとして、①標準化や対数変換等の前処理の必要がない、②汎用性の高さ、ということが挙げられる。一方で、デメリットとして、分岐の数に注意する必要があることが挙げられる。分岐の数が少な過ぎる場合、十分な予測ができず精度が低くなり過ぎるリスクがある。反対に、分岐の数が多過ぎる場合、過学習になるリスクがある。

2.4.2 ランダムフォレスト

ランダムフォレストとは、2.4.1 にて説明した決定木を拡張したもので、分類・回帰・クラスタリングを用いることが可能な機械学習のアルゴリズムの 1 つである [24]。複数の学習機を用いて学習を行うアンサンブル学習を複数の決定木で行う。メリットとして、①データ数が多くても高速な学

習と識別が可能である，②教師信号のノイズに強い，③特徴量の正規化や標準化の必要がない，ということが挙げられる．一方で，デメリットとして，過学習しやすいことが挙げられる．

2.4.3 サポートベクターマシン (SVM)

サポートベクターマシンとは，主に分類で使われる機械学習のアルゴリズムの1つである[25]．サポートベクターとは，データを分割する直線に最も近いデータ点を指す．サポートベクターを定めることで，クラスを分割する線が決定し，予測ができる．メリットとして，①データの次元が大きくなっても識別精度が高い，②最適化すべきパラメータが少ない，③二値分類に特化している，ということが挙げられる．一方で，デメリットとして，①学習データが増えると計算量が膨大になる，②スケーリングが必要，ということが挙げられる．

2.4.4 ロジスティック回帰

ロジスティック回帰とは，二値分類を予測する機械学習のアルゴリズムの1つである[26]．具体的には，任意の値を0から1に置き換えるシグモイド関数を用いて，与えられたデータから2つに分ける．ロジスティック回帰は判定確率を求めることが可能であるため，分類の度合いを確率で算出できる．そのため，ダイレクトマーケティング，医療分野等で利用される．

2.4.5 ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークとは、動物の脳の神経細胞ニューロンにおける情報伝達のメカニズムを参考に作られた機械学習のアルゴリズムの1つである[27]。教師あり学習や教師なし学習、強化学習など様々な機械学習に用いることができる。入力層・中間層・出力層の3層を用いて学習を行う。メリットとして、複雑な分類問題を精度良く解くことが可能であることが挙げられる。一方で、デメリットとして、ハイパーパラメータの設定によって過学習が起きる可能性があることが挙げられる。

2.4.6 XGBoost

XGBoost (eXtreme Gradient Boosting : 勾配ブースティング回帰木) とは、アンサンブル学習の一つであり、ブースティングと決定木を組み合わせた機械学習のアルゴリズムの1つである[28]。回帰木とあるが、分類でも利用可能である。ここで、ブースティングとは、弱いモデルを複数作成し、1つ前の学習器の誤りを次の学習器が修正するという操作を繰り返し行うことで学習器の性能向上を行う手法である。XGBoost は、浅い決定木を複数作成する。作成したそれぞれの決定木はデータの一部に対してのみ良い予測を行うことができるため、ブースティングを行うことで性能を向上させる。デメリットとして、パラメータの設定に注意する必要があることが挙げられる。

2.4.7 評価指標

それぞれの機械学習にて複数の評価指標を算出した。各評価指標の説明の前にまず、混同行列について説明を行う。

混同行列とは、二値分類問題において、予測と実際のカテゴリを行列形式にまとめたものであり、以下の図のような行列である[29]。

		予測	
		負(Negative)	正(Positive)
実際	負(Negative)	真陰性 (True Negative/TN)	偽陽性 (False Positive/FP)
	正(Positive)	偽陰性 (False Negative/FN)	真陽性 (True Positive/TP)

図 2.2 混同行列[29]

それぞれの意味を以下に列挙する。

- ・真陰性 (TN : True Negative) : 予測で陰性であり、実際も陰性である場合
- ・偽陰性 (FN : False Negative) : 予測では陰性だが、実際は陽性であった場合
- ・偽陽性 (FP : False Positive) : 予測では陽性だが、実際は陰性であった場合
- ・真陽性 (TP : True Positive) : 予測で陽性であり、実際も陽性である場合

各評価指標はこれらの値から特定のものを選択し、演算することで算出される。以下に各評価指標を列挙し、それぞれの説明を記載する

・正解率 (Accuracy) :

正解率とは、全ての予測のうち、正解した予測の割合を指す。直観的に解釈しやすい指標である。しかし、ほとんどが陰性で稀に陽性が発現するような偏りの大きいデータを扱う場合は有効な評価指標とは言えない。正解率は、以下の式 (2-6) で算出される。

$$\text{正解率(Accuracy)} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (2-6)$$

・適合率 (Precision) :

適合率とは、陽性と予測したもののうち、実際に陽性であるものの割合を指す。偽陽性を小さくすることを重視する指標であるため、誤って陽性と判断してはならない場合に有効な指標である。しかし、適合率は陰性の予測を無視しているため、偽陰性が多いことが問題になる場合は有効な評価指標とは言えない。適合率は、以下の式 (2-7) で算出される。

$$\text{適合率(Precision)} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2-7)$$

・再現率 (Recall) :

再現率とは、実際に陽性であるもののうち、正しく陽性と予測できたものの割合を指す。前述した適合率とは反対に、偽陰性を小さくすることを重視する指標であるため、誤って陰性と判断してはならない場合に有効な指標である。しかし、再現率は陽性の予測を無視しているため、偽陽性が多いことが問題になる場合は有効な評価指標とは言えない。再現率は、以下の式 (2-8) で算出される。

$$\text{再現率(Recall)} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2-8)$$

・ F 値 (f1-score) :

F 値とは、対照的な特徴を持つ適合率と再現率の調和平均である。分子が適合率と再現率の積となっているため、偽陽性や偽陰性が極端に多い場合、値が小さくなるという特徴がある。これまでの指標と同様に、0-1 で表現され、1 に近づくほど予測性能が高いと言える。F 値は、以下の式 (2-9) で算出される。

$$F \text{ 値}(f1 - \text{score}) = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (2-9)$$

第3章 長時間のスマートフォン利用における 生体情報の変動

3.1 実験内容

まず、長時間のスマートフォン利用において、依存傾向の有無によって生体情報の変動にどのような違いが見られるか、実験を行った。実験時間は6時間とし、実験時間中被験者にはスマートフォンを操作し続けてもらい、その間の生体情報を測定した。被験者は20代の男女17名である。また、比較実験として6時間の間、スマートフォンおよびパソコン等の電子機器の利用を禁止し、その間の生体情報を測定した。比較実験は20代の男女6名を被験者とした。

実験中のスマートフォンの利用方法は、各自が集中できることをしてもらった。スマートフォンの利用禁止時についても同様に、スマートフォン以外で集中できることをしてもらった。実験中は椅子に座り続けてもらうことで運動の制限を行った。また、食事による生体情報の変動を抑えるため、食後2時間以上経過した状態で実験を開始し、実験中の水以外の摂取を禁止した。

以下に実験で用いた生体情報の測定機器を示す。



図 3.1 手首式血圧計 HEM-6164 (オムロンヘルスケア株式会社)



図 3.2 血糖値測定器 ワンタッチベリオビュー® (LifeScan Japan 株式会社)



図 3.3 パルスオキシメータ（心拍測定） CMS 50D+ （株式会社コンテック）



図 3.4 脳波測定器 ブレインプロライト FM-828 （フューテックエレクトロニクス株式会社）

以下の表に各生体情報の測定タイミングおよび測定回数を示す。なお、心拍と脳波に関しては1秒ごとの自動計測であるため割愛する。

表 3.1 各生体情報の測定タイミングと測定回数

生体情報	測定タイミング	測定回数 (回)
血圧	15分に1回 (実験開始時を含む)	25
血糖値	1時間に1回 (実験開始時を含む)	7

また、生体情報の測定値からパラメータを算出した。それぞれの説明を以下に記載する。

・変化量：

現在の時間の値から1つ前の時間の値を引いたもの。時間ごとの変動具合を示す。心拍については30分毎の変化量だけでなく、1秒毎の変化量の平均値およびその平均値の30分毎の変化量も算出した。

・含有率：

脳波のみで算出した。その時間のターゲット脳波が全体のどれだけ占めているかを示す。以下の式を用いて算出した。

$$\text{含有率 [\%]} = \frac{\text{ターゲット脳波の測定値} [\mu\text{V}]}{\text{全ての脳波の測定値の和} [\mu\text{V}]} \times 100 \quad (3-1)$$

3.2 結果・考察

3.2.1 スマートフォン依存度の調査

本実験では、キンバリー・ヤング氏が作成したインターネット依存度テストを参考にアンケートを作成し、被験者のスマートフォン依存度を調査した[30]。以下に用いたアンケートの質問を記載する。アンケートは20問で構成されている。

- ・気がつくと、思っていたより長い時間スマートフォンを使用していることがある。
- ・スマートフォンを使用している時間が長いと周りの人から文句を言われたことがある。
- ・スマートフォンを使用している時間が長くて、学校の成績や学業に支障をきたしたり、仕事の能率や成果が下がったりしたことがある。
- ・他にやらなければならないことがあっても、まず先に電子メールやSNSをチェックすることがある。
- ・人にスマートフォンで何をしているのか聞かれたとき、防御的になったり、嘘をつこうとしたことがある。
- ・日々の生活の心配事から心をそらすためにスマートフォンを使用することで心を静めることがある。
- ・次にスマートフォンを使用するときのことを考えている自分に気がつくことがある。
- ・スマートフォンのない生活は、退屈でむなしく、つまらないものだろうと恐ろしく思うことがある。
- ・スマートフォンを使用している最中でだれかに邪魔をされると、いらいらしたり、怒ったり、大声を出したりすることがある。
- ・睡眠時間をけずって、深夜までスマートフォンを使用することがある。

- ・スマートフォンを使用していないときでもスマートフォンのことばかり考えていたり，スマートフォンを使用しているところを空想したりすることがある。
- ・スマートフォンを使用しているとき「あと数分だけ」と言っている自分に気がつくことがある。
- ・スマートフォンを使用する時間を減らそうとしても，できないことがある。
- ・誰かと外出するより，スマートフォンの使用を選ぶことがある。
- ・スマートフォンを使用していないと憂うつになったり，いらいらしたりしても，再開すると嫌な気持ちが消えてしまうことがある。
- ・寝るときも（電源の入った）スマートフォンを枕元や手の届くところに置いている。
- ・スマートフォンの着信音やバイブが鳴った際，すぐにスマートフォンをチェックしなくてはという気持ちになる。
- ・徳に何も見るものがないと知っていても，無意識に何度もスマートフォンをチェックしていることがある。
- ・食事中にスマートフォンを見ていることが多い。
- ・電車の中や待ち時間など，少しでも時間が空いたらスマートフォンを取り出してしまう。

被験者にはこれらの質問について，5段階（1：まったくない，2：まれにある，3：ときどきある，4：よくある，5：いつもある）で回答してもらい，その合計点から被験者を高依存群と低依存群に分けた。その結果，スマートフォンを使用し続ける実験においては，13名が高依存群となり，残り4名が低依存群となった。また，スマートフォンの利用を禁止した実験においては，3名が高依存群となり，残り3名が低依存群となった。

3.2.2 2標本検定とF検定を用いた有意差検定

測定した生体情報を高依存群と低依存群の2つのグループに分け、2標本検定とF検定を用いて有意差検定を行った。その結果、スマートフォンを使用し続ける実験においては、36種類のパラメータにおいて有意差が見られた。また、スマートフォンの利用を禁止した実験においては、8種類のパラメータにおいて有意差が見られた。特に、スマートフォンを使用し続ける実験での最高血圧において有意差が多く見られた。一方で、スマートフォンの利用を禁止した実験における最高血圧ではあまり有意差が見られなかった。このことから、スマートフォンを使用することで高依存群と低依存群の生体情報の変動に差が表れたことが考えられる。どのような差が表れ、これが何に起因するものなのかについては、次項にて考察する。スマートフォンを使用し続ける実験において有意差が見られた最高血圧のp値を以下の表3.2に示す。なお、全ての有意差の見られた生体情報と測定値から算出したパラメータおよびそのp値は付録1および付録2、付録3、付録4に記載する。

表 3.2 スマートフォンを使用し続ける実験において有意差が見られた最高血圧の p 値

生体情報	測定時間 (測定開始から)	p 値
最高血圧	0 分 (実験開始時)	0.0012
	30 分	0.0469
	45 分	0.0004
	1 時間	0.0029
	1 時間 15 分	0.0101
	1 時間 30 分	0.0088
	1 時間 45 分	0.0090
	2 時間	0.0088
	2 時間 15 分	0.0250
	2 時間 30 分	0.0054
	2 時間 45 分	0.0241
	3 時間 15 分	0.0056
	3 時間 30 分	0.0005
	3 時間 45 分	0.0004
	4 時間 15 分	0.0387
	4 時間 30 分	0.0314
	4 時間 45 分	0.0208
	5 時間 15 分	0.0101
	5 時間 30 分	0.0401
	5 時間 45 分	0.0107

3.2.3 時間軸における生体情報の変動

3.2.2 にて有意差が多く見られた「スマートフォンを使用し続ける実験での最高血圧」について、時間軸における変動具合を以下の図で示し、考察する。

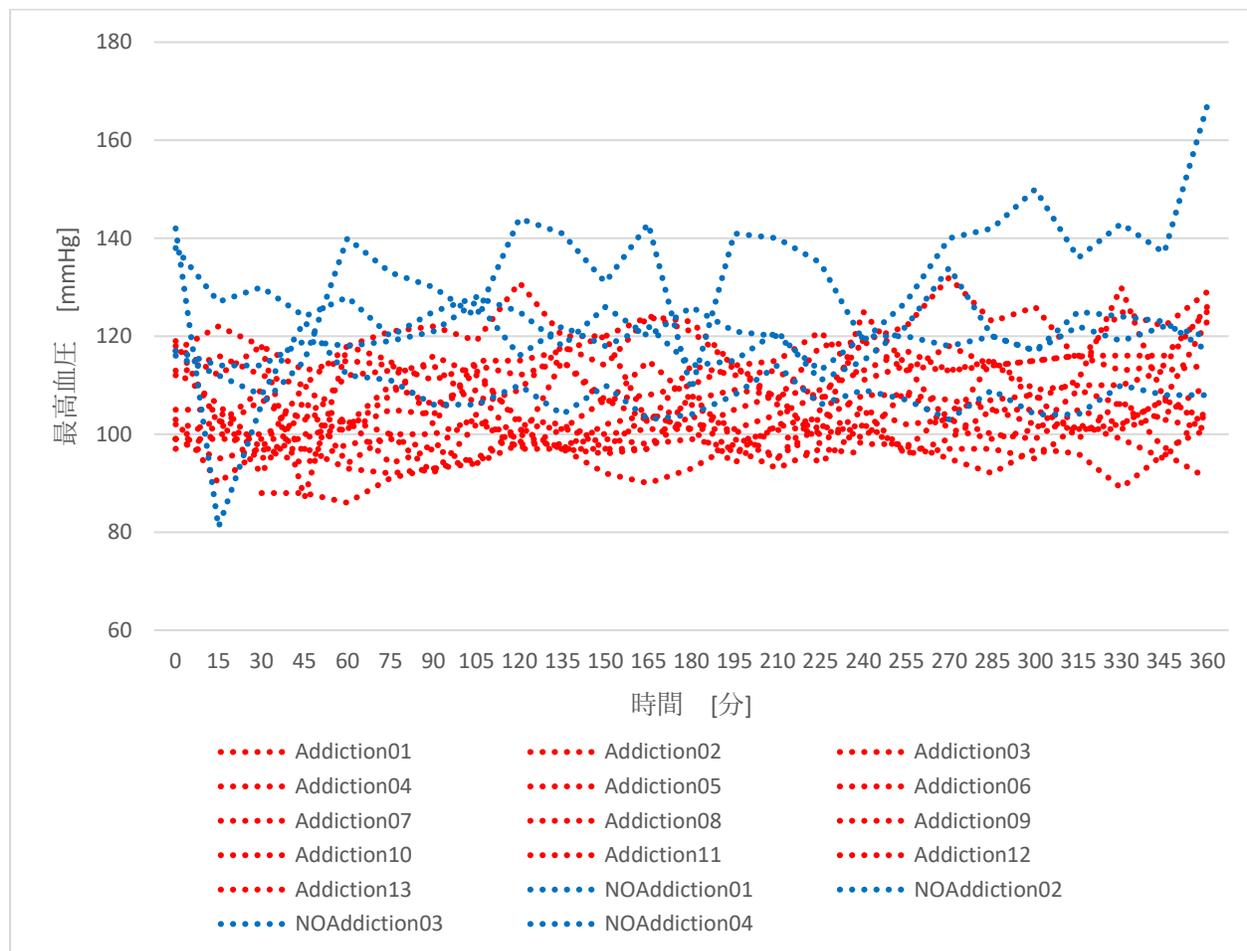


図 3.5 スマートフォンを使用し続ける実験での最高血圧の時間変動（全員）

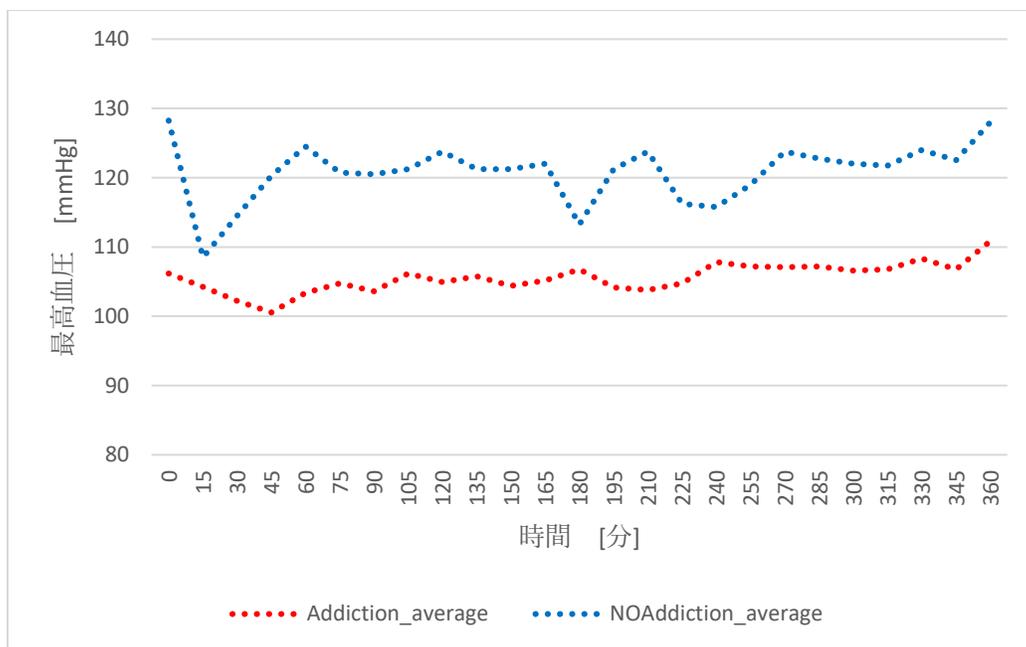


図 3.6 スマートフォンを使用し続ける実験での最高血圧の時間変動（群毎の平均値）

図 3.5 および図 3.6 から、低依存群は高依存群と比較して最高血圧が高い傾向にあることがわかる。また、最高血圧は時間と共に増加と減少を繰り返しているが、低依存群は高依存群と比較して最高血圧の変動具合が大きく、一方で高依存群は比較的安定しているように見える。

血圧にはストレス性昇圧という反応がある[31]。この反応は、精神的ストレスや身体的ストレスに起因して、血圧が上昇するというものである。本実験では、被験者に対し運動のタスクは与えていないため、身体的ストレスはかかっていないと考えられる。そのため、低依存群の方々は長時間のスマートフォンの使用による精神的ストレスを感じた可能性があると考えられる。図 3.6 から、高依存群でも、実験終了直前の 15 分程で上昇傾向にあることから、どちらの群でも長時間の実験参加による精神的ストレスが表れたことが考えられる。

3.2.4 機械学習によるスマートフォン依存の推定精度の評価

スマートフォンを使用し続ける実験で得られたデータから、3.2.2にて有意差の見られたパラメータを使用して複数の機械学習の手法を行い、スマートフォン依存の推定精度の評価を行った。それぞれの機械学習の手法において算出した評価指標を表に示す。二値分類のため、適合率および再現率、F値については、依存無し：0、依存有り：1のそれぞれの値を算出している。

表 3.3 各機械学習の手法において算出した正解率

機械学習の手法	正解率
決定木分析	0.66
ランダムフォレスト	0.83
サポートベクターマシン	0.66
ロジスティック回帰	0.66
ニューラルネットワーク	0.66
XGBoost	0.66

表 3.4 各機械学習の手法において算出した適合率

機械学習の手法	適合率（0の場合）	適合率（1の場合）
決定木分析	0.00	0.67
ランダムフォレスト	1.00	0.80
サポートベクターマシン	0.00	0.67
ロジスティック回帰	0.00	0.67
ニューラルネットワーク	0.00	0.67
XGBoost	0.00	0.67

表 3.5 各機械学習の手法において算出した再現率

機械学習の手法	再現率（0 の場合）	再現率（1 の場合）
決定木分析	0.00	1.00
ランダムフォレスト	0.50	1.00
サポートベクターマシン	0.00	1.00
ロジスティック回帰	0.00	1.00
ニューラルネットワーク	0.00	1.00
XGBoost	0.00	1.00

表 3.6 各機械学習の手法において算出した F 値

機械学習の手法	F 値（0 の場合）	F 値（1 の場合）
決定木分析	0.00	0.80
ランダムフォレスト	0.67	0.89
サポートベクターマシン	0.00	0.80
ロジスティック回帰	0.00	0.80
ニューラルネットワーク	0.00	0.80
XGBoost	0.00	0.80

これらの結果から、ランダムフォレストが最も精度の良い結果となっていることがわかる。1 の場合の再現率に関しては全ての手法において高い値となっている。しかし、本実験では、高依存群が 13 名、低依存群が 4 名となっているため、1 に属するデータが多く、0 に属するデータが少ない。そのため、1 の場合の再現率は全ての手法において高い値となったと考えられる。F 値も同様の傾向が見られている。また、ランダムフォレスト以外の手法で精度が低くなっている理由としては、①長時間の実験参加を被験者に課していることでどちらの群でも精神的ストレスがかかっている、②独自に作成したテストのスコアで群分けを行っているため、被験者の依存具合を正しく判断できていない可能性がある、③針を使った血糖値測定による身体的・精神的ストレスが表れた可能性がある、ということが挙げられる。

第4章 短時間のスマートフォン利用における 生体情報の変動

4.1 実験内容

次に、短時間のスマートフォン利用において、依存傾向の有無によって生体情報の変動にどのような違いが見られるか、実験を行った。被験者は20代の男女10名である。前回の実験において、長時間の実験参加による精神的ストレスが表れた可能性を考慮し、実験時間は1時間15分に短縮した。被験者には以下の図に示した行動をしてもらった。

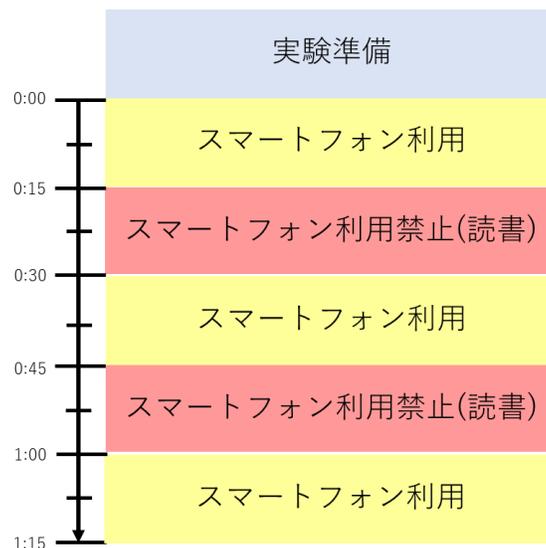


図 4.1 実験のタイムテーブル

前実験と同様に実験中のスマートフォンの利用方法は、各自が集中できることをしてもらった。一方で、スマートフォンの利用禁止時には読書をしてもらった。読書については被験者全員、同じ本を読んでもらった。比較対象として読書を行うため、実験開始前に「読書とスマートフォン利用

のどちらをより好むか」についてアンケートを行い、スマートフォン利用を選択した方を被験者とした。この被験者の選定条件により、個人レベルの読書による生体情報の影響を考慮する必要がなくなる。

前実験と同様に、実験中は椅子に座り続けてもらうことで運動の制限を行った。また、食事による生体情報の変動を抑えるため、食後2時間以上経過した状態で実験を開始し、実験中の水以外の摂取を禁止した。

以下に実験で用いた生体情報の測定機器のうち、前実験から変更した機器を示し、変更理由についても記す。なお、本実験では血糖値の測定を除外した。理由としては、実験時間の短縮による人体への穿刺を用いた測定を原因とする身体的・精神的ストレスのノイズを考慮したためである。



図 4.2 上腕式血圧計 HEM-7281T (オムロンヘルスケア株式会社)

血圧計の変更理由：

本機器では Bluetooth 通信を用いたスマートフォンのアプリケーションとの連携が可能となっており、被験者が記録を行う動作を減らすことができる。よって被験者が作業に集中できると考えられる。



図 4.3 脳波測定器 ブレインプロ FM-939 (フューテックエレクトロニクス株式会社)

脳波測定器の変更理由：

本機器では、0.5Hz 毎の測定結果の出力が可能となるため、より細かく分析することができる。また、本機器は開眼測定のためのアーチファクト除去機能を有しており、眼球運動によるノイズを考慮しない分析が可能である。

以下の表に各生体情報の測定タイミングおよび測定回数を示す。前述と同様に、心拍と脳波に関しては1秒ごとの自動計測であるため割愛する。

表 4.1 各生体情報の測定タイミングと測定回数

生体情報	測定タイミング	測定回数 (回)
血圧	7分に1回 (実験開始時を含む)	11

また、前実験と同様に生体情報の測定値からパラメータを算出した。この実験にて新たに追加したパラメータのみ説明を以下に記載する。

・変化量：

新たに脳波について算出した。5分毎、15分毎の変化量だけでなく、1秒毎の変化量の平均値およびその平均値の5分毎、30分毎の変化量も算出した。また、心拍に関しても5分毎、15分毎の変化量だけでなく、1秒毎の変化量の平均値およびその平均値の5分毎、30分毎の変化量も算出した。

4.2 結果・考察

4.2.1 スマートフォン依存度の調査

本実験では、2.1.2にて説明したスマートフォン依存スケールを用いてスマートフォン依存度を調査し、高依存群と低依存群に分けた。その結果、4名が高依存群となり、残り6名が低依存群となった。これにより、前回の実験で課題として挙げられた群分けのバランスについて、解消された状態で結果の考察を行うことができる。

4.2.2 2標本検定とF検定を用いた有意差検定

測定した生体情報を高依存群と低依存群の2つのグループに分け、2標本検定とF検定を用いて有意差検定を行った。その結果、有意差の見られた生体情報と測定値から算出したパラメータおよびそのp値を付録5および付録6に記載する。367種類のパラメータにおいて有意差が見られた。生体情報別で見ると、心拍において有意差が多く見られた。時間別では、実験開始から30分と45分の間および実験開始から1時間と1時間15分の間生体情報において有意差が多く見られた。有意差が見られた心拍のp値を以下の表4.2に示す。また、有意差が見られた実験開始から30分と45分の間および実験開始から1時間と1時間15分の間生体情報のp値を以下の表4.3および表4.4に示す。なお、表4.2ですでに示された生体情報については表から除外する。これらの時間では、被験者はスマートフォンを使用している。このことから、前回の実験と同様に、スマートフォンを使用することで高依存群と低依存群の生体情報の変動に差が表れたことが考えられる。表4.3と表4.4から、どちらの時間帯でも α 2波(9.0—11.0Hz)および α 3波(11.5Hz—13.5Hz)において、有意差が見られた。また、 β 波(14.0Hz—30.0Hz)の一部においても有意差が見られた。これらの生体情報にどのような差が表れ、これが何に起因するものなのかについては、次項にて考察す

る。なお、全ての有意差の見られた生体情報と測定値から算出したパラメータおよびその p 値は付録 5，付録 6 に記載する。

表 4.2 有意差が見られた心拍の p 値

生体情報	測定時間（測定開始から）	p 値
心拍	実験開始から 15 分	0.0494
	15 分から 30 分	0.0339
	30 分から 45 分	0.0256
	45 分から 1 時間	0.0123
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0117
	5 分から 10 分	0.0264
	10 分から 15 分	0.0271
	15 分から 20 分	0.0214
	20 分から 25 分	0.0200
	25 分から 30 分	0.0180
	35 分から 40 分	0.0223
	40 分から 45 分	0.0361
	45 分から 50 分	0.0056
	50 分から 55 分	0.0052
	55 分から 1 時間	0.0133
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0104
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0092
	1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0262

表 4.3 有意差が見られた実験開始から 30 分と 45 分間の生体情報とその p 値

生体情報	パラメータ	p 値
最高血圧	変化量	0.0407
最低血圧	変化量	0.0295
脳波 (9.0Hz)	測定値	0.0322
脳波 (9.5Hz)	測定値	0.0364
脳波 (10.0Hz)	測定値	0.0280
脳波 (10.5Hz)	測定値	0.0343
脳波 (11.0Hz)	測定値	0.0429
脳波 (11.5Hz)	測定値	0.0261
脳波 (12.0Hz)	測定値	0.0224
脳波 (12.5Hz)	測定値	0.0246
脳波 (13.0Hz)	測定値	0.0278
脳波 (13.5Hz)	測定値	0.0347
脳波 (14.0Hz)	測定値	0.0257
脳波 (18.5Hz)	測定値	0.0132
脳波 (19.0Hz)	測定値	0.0174
脳波 (19.5Hz)	測定値	0.0243
脳波 (20.0Hz)	測定値	0.0242
脳波 (20.5Hz)	測定値	0.0467
脳波 (21.0Hz)	測定値	0.0310
脳波 (21.5Hz)	測定値	0.0302
脳波 (22.0Hz)	測定値	0.0393
脳波 (22.5Hz)	測定値	0.0459
脳波 ($\alpha 2$ 波)	測定値	0.0332
脳波 ($\alpha 3$ 波)	測定値	0.0252

表 4.4 有意差が見られた実験開始から 1 時間と 1 時間 15 分の間の生体情報とその p 値

生体情報	パラメータ	p 値
脳波 (8.5Hz)	測定値	0.0242
脳波 (9.0Hz)	測定値	0.0214
脳波 (9.5Hz)	測定値	0.0146
脳波 (10.0Hz)	測定値	0.0177
脳波 (10.5Hz)	測定値	0.0277
脳波 (11.0Hz)	測定値	0.0472
脳波 (11.5Hz)	測定値	0.0152
脳波 (12.0Hz)	測定値	0.0128
脳波 (12.5Hz)	測定値	0.0261
脳波 (13.0Hz)	測定値	0.0182
脳波 (13.5Hz)	測定値	0.0307
脳波 (14.0Hz)	測定値	0.0334
脳波 (15.0Hz)	測定値	0.0391
脳波 (15.5Hz)	測定値	0.0470
脳波 (16.0Hz)	測定値	0.0361
脳波 (16.5Hz)	測定値	0.0422
脳波 (17.0Hz)	測定値	0.0483
脳波 (17.5Hz)	測定値	0.0349
脳波 (18.0Hz)	測定値	0.0381
脳波 (19.0Hz)	測定値	0.0468
脳波 ($\alpha 2$ 波)	測定値	0.0217
脳波 ($\alpha 3$ 波)	測定値	0.0187

4.2.3 時間軸における生体情報の変動

4.2.2 にて有意差が多く見られた心拍について、時間軸における変動具合を以下の図で示し、考察する。

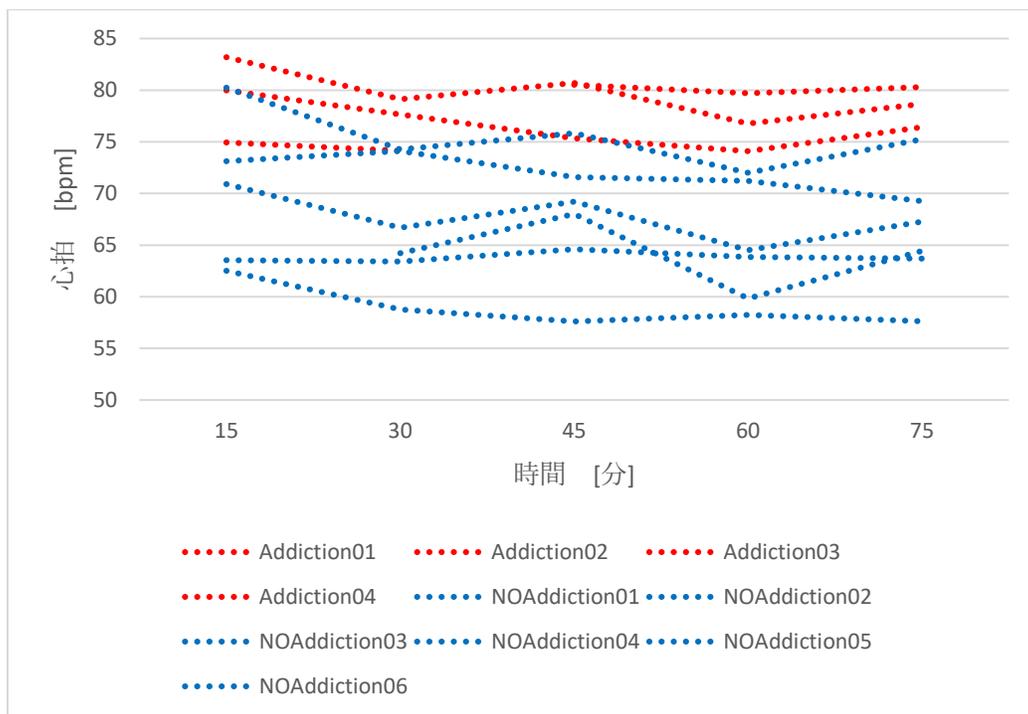


図 4.4 心拍の時間変動 (全員)

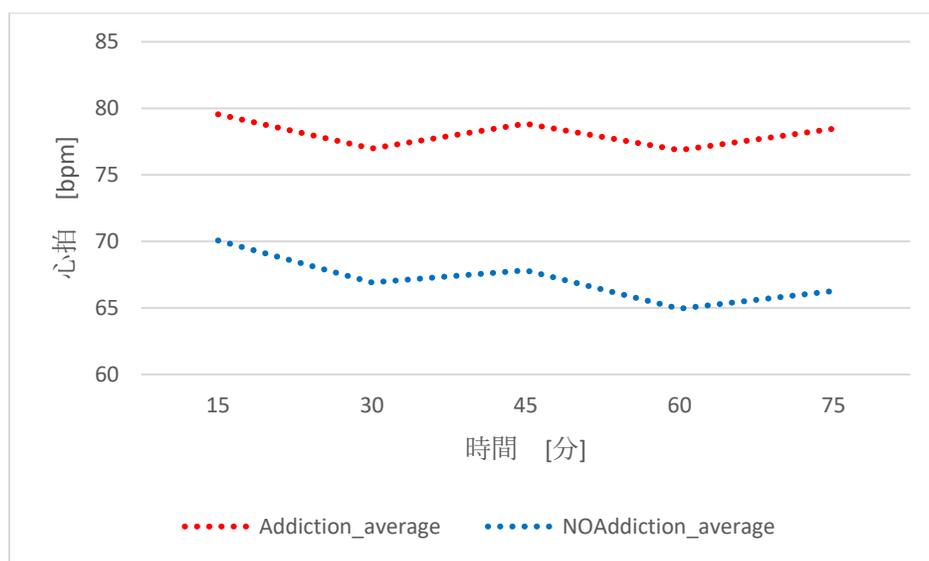


図 4.5 心拍の時間変動 (群毎の平均値)

表 4.5 心拍の時間変動（群毎の平均値）の変化量

時間 [分]	変化量	
	高依存群	低依存群
15-30	-2.581	-3.157
30-45	1.883	0.902
45-60	-1.994	-2.869
60-75	1.611	1.313

図 4.4 および図 4.5 から、高依存群の方が低依存群より心拍が多い傾向にあることがわかる。変動傾向は群に関わらず、スマートフォン使用を禁止して読書を行った時間では減少し、スマートフォンを使用している時間は上昇している。しかし、表 4.5 から低依存群の方が減少傾向にあるとき、より心拍が減少しており、逆に、高依存群の方が上昇傾向にあるとき、より心拍が上昇していることがわかる。

心拍は、ストレス反応により上昇するとされる[32]。そのため、本実験においては、スマートフォンの使用と禁止を繰り返すため、若干ではあるが、高依存群は低依存群と比較してストレスを感じやすく、心拍が上昇傾向にあるときはより上昇し、逆に、心拍が減少傾向にあるときは減少しにくいと考えられる。

次に、4.2.2 にて有意差が多く見られた実験開始から 30 分と 45 分の間の生体情報について、時間軸における変動具合を以下の図で示し、考察する。

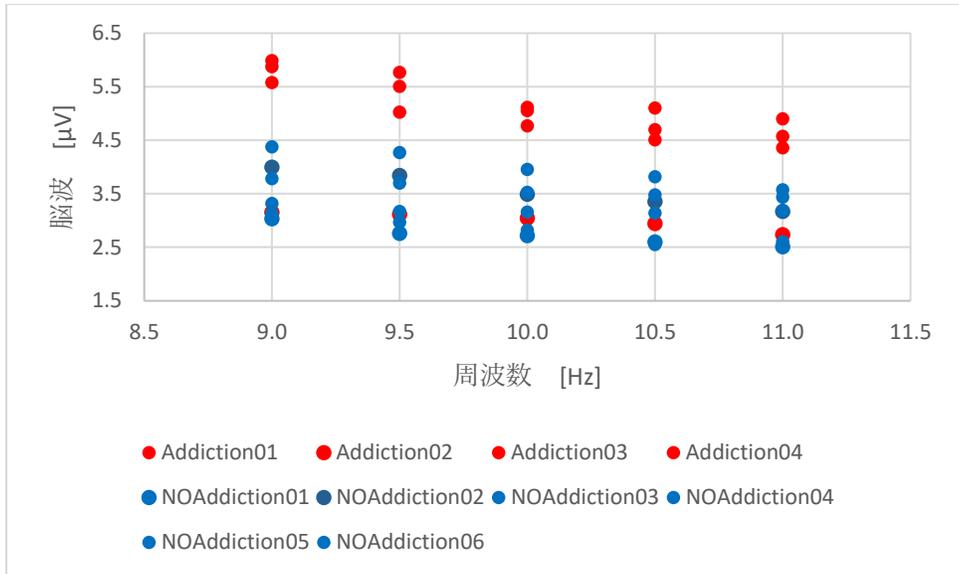


図 4.6 実験開始から 30 分と 45 分間の $\alpha 2$ 波の測定値

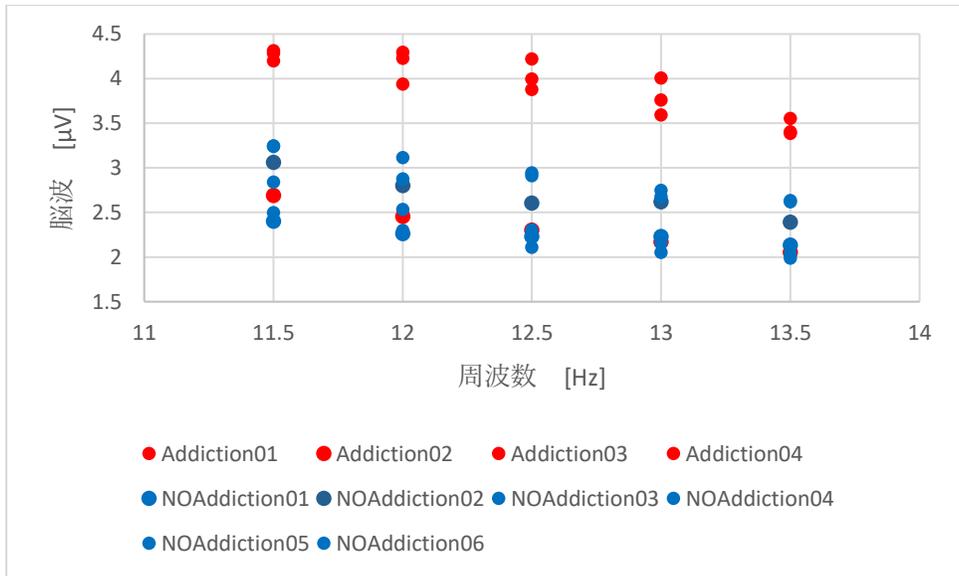


図 4.7 実験開始から 30 分と 45 分間の $\alpha 3$ 波の測定値

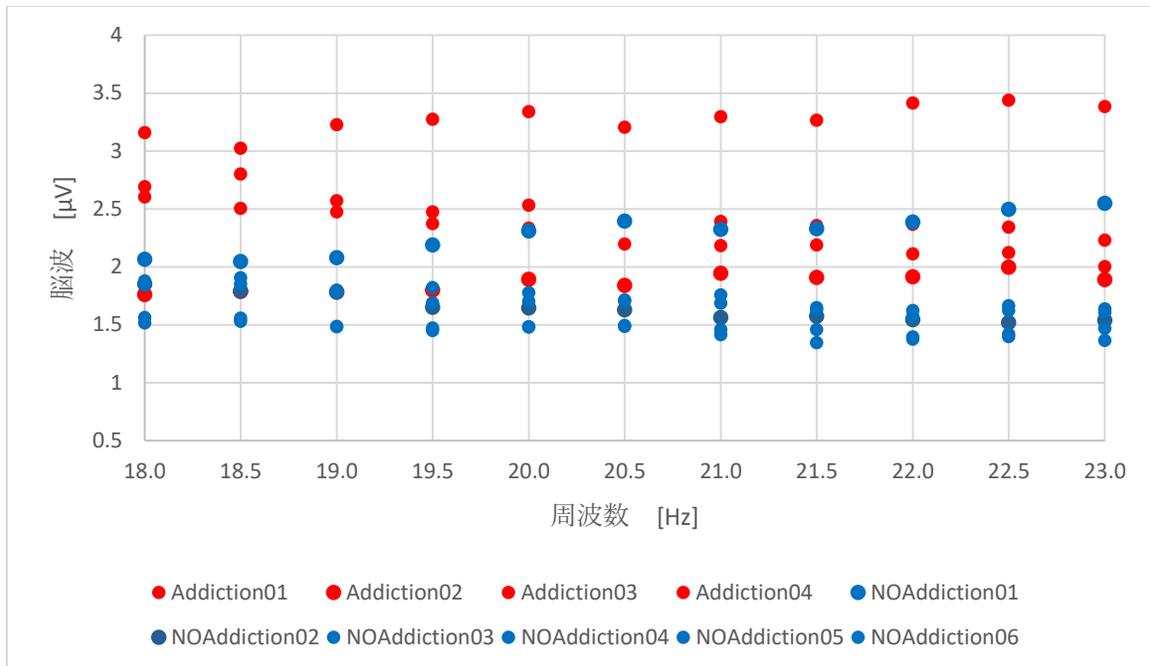


図 4.8 実験開始から 30 分と 45 分間の β 波の一部の測定値

図 4.6 および図 4.7, 図 4.8 から, 実験開始から 30 分と 45 分の間において, $\alpha 2$ 波および $\alpha 3$ 波, β 波の一部において高依存群の方が低依存群よりも高い値であった. この時間帯では, 被験者はスマートフォンを使用している. また, $\alpha 2$ 波および $\alpha 3$ 波を含む α 波は一般的に人がリラックス状態にあるときに上昇すると言われている. そのため, 高依存群の方が低依存群の方よりもスマートフォンの使用によって安心しリラックスしている状態にあると考えられる.

次に, 4.2.2 にて有意差が多く見られた実験開始から 1 時間と 1 時間 15 分間の生体情報について, 時間軸における変動具合を以下の図で示し, 考察する.

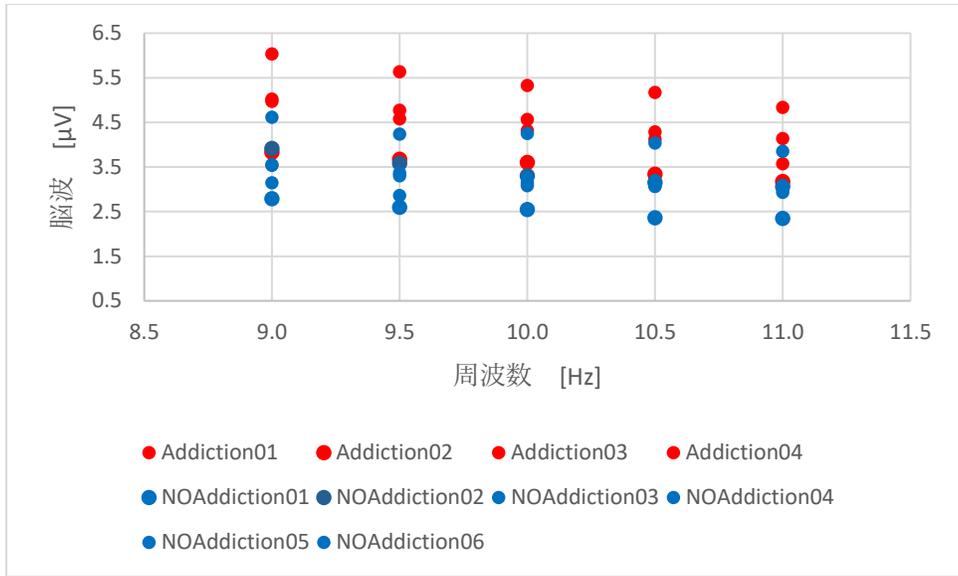


図 4.9 実験開始から 1 時間と 1 時間 15 分間の $\alpha 2$ 波の測定値

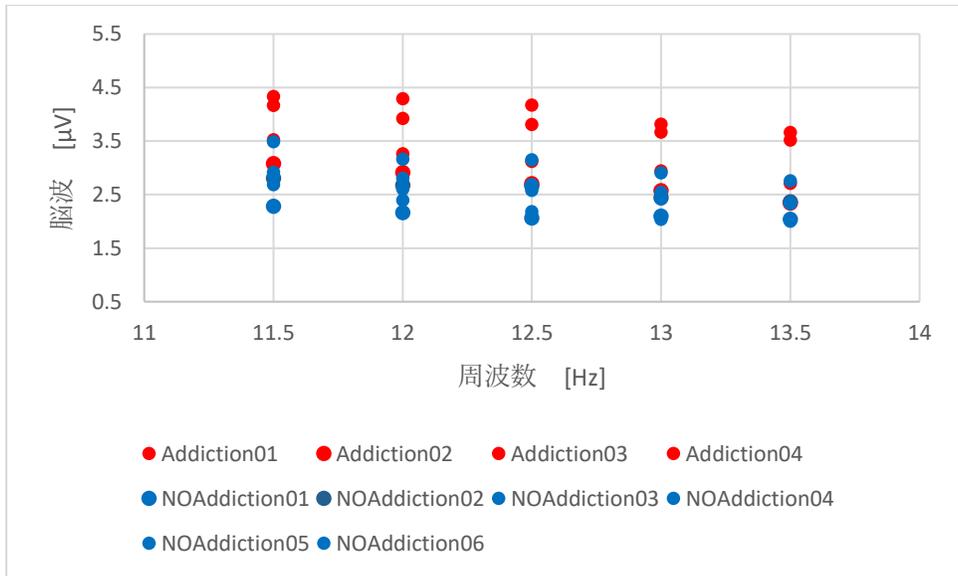


図 4.10 実験開始から 1 時間と 1 時間 15 分間の $\alpha 3$ 波の測定値

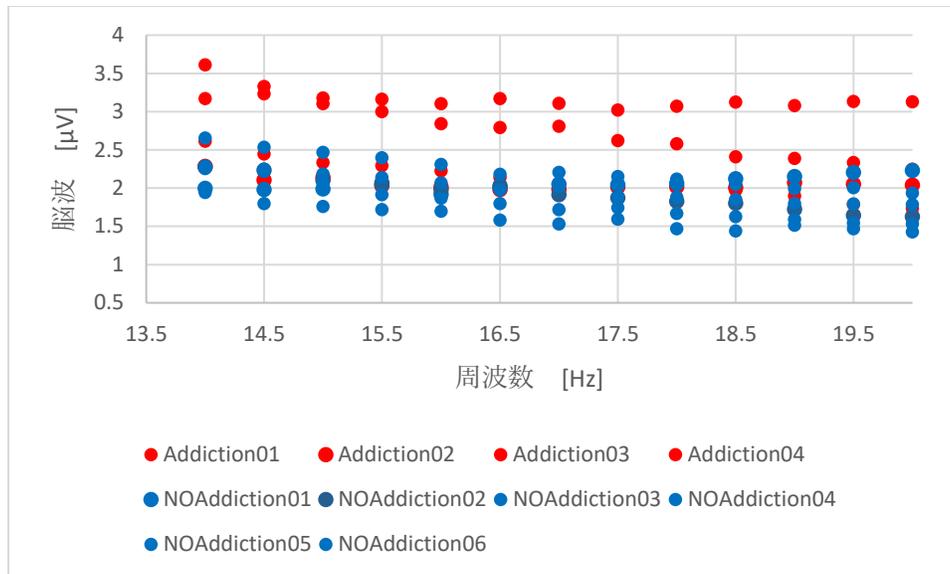


図 4.11 実験開始から 1 時間と 1 時間 15 分の β 波の一部の測定値

図 4.9 および図 4.10, 図 4.11 から, 実験開始から 30 分と 45 分の間と同様に, 実験開始から 1 時間と 1 時間 15 分の間も $\alpha 2$ 波および $\alpha 3$ 波, β 波の一部において高依存群の方が低依存群よりも高い値であった。この時間帯でも, 被験者はスマートフォンを使用している。そのため, この時間帯でも同様に, 高依存群の方が低依存群の方よりもスマートフォンの使用によって安心しリラックスしている状態にあると考えられる。一方で, 1 回目のスマートフォンの使用時間である実験開始から 15 分の間では, α 波において有意差があまり見られなかった。このような結果になった理由としては, ①実験開始直後であるためリラックス状態ではなかったこと, ②スマートフォンの使用を禁止する時間を挟んだことで, スマートフォンが使用できることに安心した可能性があること, ③実験状態に慣れたことで本来のスマートフォンの使用状態になったこと, これらが理由として考えられる。

4.2.4 機械学習によるスマートフォン依存の推定精度の評価

4.2.2にて有意差の見られたパラメータを使用して複数の機械学習の手法を行い、スマートフォン依存の推定精度の評価を行った。それぞれの機械学習の手法において算出した評価指標を表に示す。なお、二値分類のため、適合率および再現率、F値については、依存無し：0、依存有り：1のそれぞれの値を算出している。

表 4.6 各機械学習の手法において算出した正解率

機械学習の手法	正解率
決定木分析	1.00
ランダムフォレスト	1.00
サポートベクターマシン	0.66
ロジスティック回帰	0.66
ニューラルネットワーク	0.66
XGBoost	0.66

表 4.7 各機械学習の手法において算出した適合率

機械学習の手法	適合率（0の場合）	適合率（1の場合）
決定木分析	1.00	1.00
ランダムフォレスト	1.00	1.00
サポートベクターマシン	0.67	0.00
ロジスティック回帰	1.00	0.50
ニューラルネットワーク	1.00	0.50
XGBoost	0.67	0.00

表 4.8 各機械学習の手法において算出した再現率

機械学習の手法	再現率（0 の場合）	再現率（1 の場合）
決定木分析	1.00	1.00
ランダムフォレスト	1.00	1.00
サポートベクターマシン	1.00	0.00
ロジスティック回帰	0.50	1.00
ニューラルネットワーク	0.50	1.00
XGBoost	1.00	0.00

表 4.9 各機械学習の手法において算出した F 値

機械学習の手法	F 値（0 の場合）	F 値（1 の場合）
決定木分析	1.00	1.00
ランダムフォレスト	1.00	1.00
サポートベクターマシン	0.80	0.00
ロジスティック回帰	0.67	0.67
ニューラルネットワーク	0.67	0.67
XGBoost	0.80	0.00

これらの結果から、決定木分析とランダムフォレストにおいて、高い精度でスマートフォン依存を検知できていることがわかる。また、表 4.7 および表 4.8 の結果から、決定木分析とランダムフォレスト以外の手法でも、0 か 1 どちらか一方の精度は高いことがわかる。前回の実験と比較して、短時間である本実験の方が本来の被験者の状態に近く生体情報を測定できていると考えられるため、スマートフォン依存の推定に適していると考えられる。しかし、決定木分析とランダムフォレスト以外の手法では良い精度ではないため、①被験者数を増やしてより多くのデータを使用すること、②手法ごとのパラメータを操作し、最適なパラメータで学習を行うこと、などを行うことでより推定精度を上げることが可能であると考えられる。

第5章 結論

本研究の結果から、スマートフォン依存の傾向によって、生体情報の変動に有意差が見られるほどの差があることが分かった。特に、スマートフォンを使用している場合に、変動に大きく差が見られた。長時間の実験では最高血圧で有意差が見られた。一方で、短時間の実験では心拍で有意差が見られた。また、スマートフォンを使用している時間帯において、 $\alpha 2$ 波および $\alpha 3$ 波、一部の β 波で有意差が見られた。また、複数の機械学習の手法を用いたスマートフォン依存の推定精度は短時間の実験のデータを用いたものでは非常に高い精度でスマートフォン依存を推定することができるとわかった。

本研究では、長時間と短時間の実験を行い、両方ともに有意差が見られる生体情報の変動があることがわかったが、短時間の実験の方が被験者にとって、実験を行う上で考慮しているストレス以外に由来するストレスのない実験であり、本来の被験者のスマートフォンの使用状態を考慮することができると考えられる。これらの結果から、スマートフォンユーザの生体情報からスマートフォン依存の推定・検知を行うことは妥当であり、本研究の最終的なゴールである、スマートフォンユーザの生体情報およびスマートフォンの利用傾向からスマートフォン依存を推定・検知し、ユーザ自身が依存状態を日常的かつ簡易的に把握できるシステムの構築は可能であることが分かった。

第6章 まとめ・今後の展望

本研究の最終的なゴールは、スマートフォンユーザの生体情報およびスマートフォンの利用傾向からスマートフォン依存を推定・検知し、ユーザ自身が依存状態を日常的かつ簡易的に把握できるシステムの構築であるため、今後は、スマートフォン依存検知精度の向上を目指してより多くの被験者を対象とし、様々なシチュエーションを想定した実験を行う必要がある。例えば、①同じアプリケーションを好む被験者を対象とした実験、②学校や仕事場といった被験者が日常生活以外の状態にある場合の実験、等が考えられる。また、将来、スマートフォン依存検知システムの実用化に向けて非接触・非侵襲技術を用いた生体情報測定とコラボレーションし、より簡易的かつ被験者が日常生活を送る状態で取得した生体情報を用いたスマートフォン依存検知方法を確立する必要がある。

謝辞

本研究を含め、自身の研究を進めるにあたり様々なご指導を学部生の頃から頂きました嶋本教授に対して深く感謝の意を表します。さらに、様々な助言を頂きました先生方や嶋本研究室の先輩、同期、後輩にも感謝いたします。特に、ミーティングにて多くの議論を交わしたWAグループの皆様に深く感謝申し上げます。そして生活面や精神面において支え続けてくれた家族・友人に心から感謝します。皆様の支えがあったからこそこの論文を完成させることができました。本当にありがとうございました。

研究業績

1. Chiyako Hisanaga, Suzumi Sato, Megumi Saito, Shigeru Shimamoto, and Nao Kobayashi. “Examimation of Validity of Smartphone Addiction by Biometric Sensing”. In 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech), 2022.
2. Chiyako Hisanaga, Suzumi Sato, Hayato Nakazawa, Megumi Saito, Shigeru Shimamoto. “The Estimation of Stress on Smartphone Users”. In A3 Foresight Program Annual Workshop 2022.

参考文献

- [1] 総務省 | 令和4年版 情報通信白書 | 第2部 情報通信分野の現状と課題, 2022.
- [2] MMD 研究所, 2021 年度版: スマートフォン利用者実態調査, 2021.
- [3] 東邦大学 医療センター 大森病院 メンタルヘルスセンター (イルボスコ), スマホ依存について,
https://www.lab.toho-u.ac.jp/med/omori/mentalhealth/mental/smartphone_dependence/index.html
- [4] Aljomaa, S. S., Mohammad, M. F., Albursan, I. S., Bakhiet, S. F., & Abduljabbar, A. S. (2016).
“Smartphone addiction among university students in the light of some variables”. *Computers in Human Behavior*, 61, 155–164. doi:10.1016/j.chb.2016.03.
- [5] Min Kwon, Dai-Jin Kim, Hyun Cho, Soo Yang. “The Smartphone Addiction Scale: Development and Validation of a Short Version for Adolescents”. *PLOS ONE* 8 (12): e83558. Doi: 10.1371/journal.pone.0083558. December 2013.
- [6] 久里浜医療センター, スマートフォン依存スケール (短縮版) (SAS-SV),
<https://kurihama.hosp.go.jp/hospital/screening/sas-sv.html>.
- [7] Apple, “iPhone, iPad, iPod touch でスクリーンタイムを使う. [Online]”.
<https://support.apple.com/ja-jp/HT20898>
- [8] Google, “Manage how you spend time on your Android phone with Digital Wellbeing [Online]”.
<https://support.google.com/android/answer/9346420?hl=en>
- [9] 小林直, 三宅佑果, 浜村俊傑, 岡大樹, 本庄勝, 千葉俊周, 畑川養幸, “新型コロナウイルス感染症流行におけるスマートフォンの利用実態ならびにスマートフォン嗜癖の検知”. 信学技報, 社団法人 電子情報通信学会, 2021.
- [10] 国立研究開発法人 国立循環器病研究センター, 高血圧,
<https://www.ncvc.go.jp/hospital/pub/knowledge/disease/hypertension-2/>

- [11] Yunfei Zou, Ning Xia, Yunqing Zou, Zhen Chen, and Yufeng Wen. “Smartphone addiction may be associated with adolescent hypertension : a cross-sectional study among junior school students in China”. Journal of Springer Nature, Published: 04 September 2019.
- [12] 厚生労働省, 心拍数, <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/exercise/ys-032.html>.
- [13] 厚生労働省, 血糖値, <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/metabolic/ym-085.html>.
- [14] 厚生労働省, 食後血糖値, <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/metabolic/ym-086.html>.
- [15] 田中昭吉, 古川哲也, 石本三洋, “血統調節機構における中枢ノルアドレナリンおよびセロトニンの役割”. J-Stage, 1989.
- [16] 厚労省, ノルアドレナリン, ノルエピネフリン, <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/heart/yk-047.html>.
- [17] マクニカ, 脳波とは何か?, <https://www.macnica.co.jp/business/ai/manufacturers/innereye/135664/>.
- [18] M.Teplan. (2002). “Fundamentals of EEG Measurement”. Measurement Science Review, Volume 2, Section 2, 2002.
- [19] H.S.Seo, E.-K. Jeong, S. Choi, Y. Kmon,H.-J. Park, and I. Kim. “Changes of Neurotransmitters in Youth with Internet and Smartphone Addiction: A Comparison with Healthy Controls and Changes after Cognitive Behavioral Therapy”. American Journal of Neuroradiology, July 2020, 41(7) 1293-1301.
- [20] ヤクルト中央研究所, GABA(γ -aminobutylic acid)[Online]. Available: https://institute.yakult.co.jp/dictionary/word_1140.php

- [21] Adham M. Abdou, S. Higashiguchi, K. Horie, Mujo Kim, H. Hatta, and H. Yokogoshi. “Relaxation and immunity enhancement effects of γ -Aminobutyric acid (GABA) administration in humans”. BioFactors, 19 December 2008
- [22] 東京大学出版会, 東京大学教養学部統計額教室 編, “統計学入門”.
- [23] NTT コム オンライン, 決定木分析の事例を使ってメリットや活用場面を紹介,
<https://www.nttcoms.com/service/research/dataanalysis/decision-tree/>.
- [24] AI Academy Media, ランダムフォレストとは, <https://aiacademy.jp/media/?p=252>.
- [25] AI Academy Media, SVM (サポートベクターマシン) とは,
<https://aiacademy.jp/media/?p=248>.
- [26] AI Academy Media, ロジスティック回帰とは, <https://aiacademy.jp/media/?p=246>.
- [27] 八谷大岳, “機械学習スタートアップシリーズ ゼロからつくる Python 機械学習プログラミング入門”, 講談社, 2020.
- [28] AI Academy Media, XGBoost とは, <https://aiacademy.jp/media/?p=1604>.
- [29] codexa, 機械学習の評価指標 分類編: 適合率や再現率, AUC (ROC 曲線, PR 曲線) を解説, <https://www.codexa.net/ml-evaluation-cls/>.
- [30] Young KS (1998), “Internet Addiction: The Emergence of a new clinical disorder”. Cyber psychol Behav 1: 237-244.
- [31] 服部朝美, 宗像正徳, “高血圧とストレス—24 時間血圧コントロールの重要性—”, 特集: 循環器心身医学 (psychocardiology) の現在, *Jpn J Psychosom Med*, 60:398-404, 2020.
- [32] 田中喜秀, 脇田慎一, “ストレスと疲労のバイオマーカー”, 創薬シリーズ (5) トランスレーショナルリサーチ[®], 日薬理誌 (*Folia Pharmacol. Jpn.*) 137, 185~188, 2011.

付録

付録1 長時間のスマートフォン利用における生体情報の測定において
有意差の見られた生体情報と p 値 (スマートフォン利用時)

生体情報	測定時間 (測定開始から)	p 値
血糖値	2 時間	0.0354
	6 時間 (実験終了時)	0.0293
最高血圧	0 分 (実験開始時)	0.0012
	30 分	0.0469
	45 分	0.0004
	1 時間	0.0029
	1 時間 15 分	0.0101
	1 時間 30 分	0.0088
	1 時間 45 分	0.0090
	2 時間	0.0088
	2 時間 15 分	0.0250
	2 時間 30 分	0.0054
	2 時間 45 分	0.0241
	3 時間 15 分	0.0056
	3 時間 30 分	0.0005
	3 時間 45 分	0.0004
	4 時間 15 分	0.0387
	4 時間 30 分	0.0314
	4 時間 45 分	0.0208
	5 時間 15 分	0.0101
	5 時間 30 分	0.0401
	5 時間 45 分	0.0107
最低血圧	30 分	0.0229
	45 分	0.0065
	1 時間	0.0293
	2 時間	0.0189
	2 時間 15 分	0.0314
	2 時間 30 分	0.0113
	5 時間	0.0010

付録2 長時間のスマートフォン利用における生体情報の測定において
有意差の見られた測定値から算出したパラメータと p 値 (スマートフォン利用時)

生体情報	パラメータ	測定時間 (測定開始から)	p 値
最高血圧	変化量	3 時間 30 分から 3 時間 45 分の間	0.0285
最低血圧	変化量	1 時間から 1 時間 15 分の間	0.0008
心拍	30 分毎の変化量	4 時間から 4 時間 30 分と 4 時間 30 分と 5 時間の間	0.0243
脳波 (α 1 波)	含有率の変化量	3 時間から 3 時間 30 分と 3 時間 30 分から 4 時間の間	0.0045
		3 時間 30 分から 4 時間と 4 時間から 4 時間 30 分の間	0.0158
脳波 (α 2 波)	含有率の変化量	3 時間 30 分から 4 時間と 4 時間から 4 時間 30 分の間	0.0156
脳波 (β 波)	含有率の変化量	3 時間 30 分から 4 時間と 4 時間から 4 時間 30 分の間	0.0114

付録3 長時間のスマートフォン利用における生体情報の測定において
有意差の見られた生体情報と p 値 (スマートフォン利用禁止時)

生体情報	測定時間 (測定開始から)	p 値
血糖値	3 時間	0.0486
	6 時間 (実験終了時)	0.0026
最高血圧	3 時間	0.0290
脳波 (α 1 波)	1 時間 30 分から 2 時間の間	0.0323

付録4 長時間のスマートフォン利用における生体情報の測定において
有意差の見られた測定値から算出したパラメータと p 値 (スマートフォン利用禁止時)

生体情報	パラメータ	測定時間 (測定開始から)	p 値
最高血圧	変化量	3 時間から 3 時間 15 分	0.0213
脳波 (β 波)	変化量	2 時間から 2 時間 30 分と 2 時間 30 分から 3 時間の間	0.0497
脳波 (α 3 波)	含有率	2 時間 30 分から 3 時間の間	0.0041
		5 時間から 5 時間 30 分	0.0398
脳波 (β 波)	含有率の変化量	2 時間から 2 時間 30 分と 2 時間 30 分から 3 時間の間	0.0441

付録5 短時間のスマートフォン利用における生体情報の測定において
有意差の見られた生体情報と p 値

生体情報	測定時間（測定開始から）	p 値
心拍	実験開始から 15 分	0.0494
	15 分から 30 分	0.0339
	30 分から 45 分	0.0256
	45 分から 1 時間	0.0123
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0117
	5 分から 10 分	0.0264
	10 分から 15 分	0.0271
	15 分から 20 分	0.0214
	20 分から 25 分	0.0200
	25 分から 30 分	0.0180
	35 分から 40 分	0.0223
	40 分から 45 分	0.0361
	45 分から 50 分	0.0056
	50 分から 55 分	0.0052
	55 分から 1 時間	0.0133
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0104
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0092
	1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0262
脳波（6.5Hz）	15 分から 20 分	0.0333
	30 分から 35 分	0.0480
脳波（7.0Hz）	15 分から 30 分	0.0385
	15 分から 20 分	0.0446
	25 分から 30 分	0.0296
脳波（8.5Hz）	1 時間から 1 時間 15 分	0.0242
	5 分から 10 分	0.0471
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0201
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0326
	1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0472
脳波（9.0Hz）	30 分から 45 分	0.0322
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0214
	5 分から 10 分	0.0339
	15 分から 20 分	0.0212

脳波 (9.0Hz)	1 時間から 1 時間 5 分	0.0137
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0389
	1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0399
脳波 (9.5Hz)	30 分から 45 分	0.0364
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0146
	15 分から 20 分	0.0372
	35 分から 40 分	0.0471
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0131
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0313
	1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0174
脳波 (10.0Hz)	30 分から 45 分	0.0280
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0177
	10 分から 15 分	0.0482
	35 分から 40 分	0.0491
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0128
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0371
	1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0335
脳波 (10.5Hz)	30 分から 45 分	0.0343
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0277
	10 分から 15 分	0.0009
	30 分から 35 分	0.0008
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0129
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0492
脳波 (11.0Hz)	30 分から 45 分	0.0429
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0472
	10 分から 15 分	0.0225
	15 分から 20 分	0.0391
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0235
脳波 (11.5Hz)	30 分から 45 分	0.0261
	1 時間から 1 時間 15 分	0.0152
	30 分から 35 分	0.0008
	35 分から 40 分	0.0360
	1 時間から 1 時間 5 分	0.0058
	1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0479
	1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0285

脳波 (12.0Hz)	30分から45分	0.0224
	1時間から1時間15分	0.0128
	10分から15分	0.0022
	35分から40分	0.0239
	1時間から1時間5分	0.0457
	1時間10分から1時間15分	0.0162
脳波 (12.5Hz)	30分から45分	0.0246
	1時間から1時間15分	0.0261
	35分から40分	0.0294
	1時間から1時間5分	0.0074
脳波 (13.0Hz)	30分から45分	0.0278
	1時間から1時間15分	0.0182
	30分から35分	0.0490
	1時間から1時間5分	0.0058
	1時間5分から1時間10分	0.0285
脳波 (13.5Hz)	0分から15分	0.0346
	30分から45分	0.0347
	1時間から1時間15分	0.0307
	10分から15分	0.0085
	1時間5分から1時間10分	0.0334
脳波 (14.0Hz)	30分から45分	0.0257
	1時間から1時間15分	0.0334
	10分から15分	0.0132
	35分から40分	0.0355
	1時間5分から1時間10分	0.0320
脳波 (14.5Hz)	30分から35分	0.0438
	1時間から1時間5分	0.0150
脳波 (15.0Hz)	1時間から1時間15分	0.0391
	10分から15分	0.0088
	1時間から1時間5分	0.008
脳波 (15.5Hz)	1時間から1時間15分	0.0470
	10分から15分	0.0236
脳波 (16.0Hz)	1時間から1時間15分	0.0361
	10分から15分	0.0326
	25分から30分	0.0443

脳波 (16.0Hz)	30分から35分	0.0469
	1時間から1時間5分	0.0187
脳波 (16.5Hz)	1時間から1時間15分	0.0422
	10分から15分	0.0499
	30分から35分	0.0370
	35分から40分	0.0451
脳波 (17.0Hz)	1時間から1時間15分	0.0483
	30分から35分	0.0349
脳波 (17.5Hz)	1時間から1時間15分	0.0349
	30分から35分	0.0323
脳波 (18.0Hz)	1時間から1時間15分	0.0381
	30分から35分	0.0251
脳波 (18.5Hz)	30分から45分	0.0132
	30分から35分	0.0037
脳波 (19.0Hz)	30分から45分	0.0174
	1時間から1時間15分	0.0468
	30分から35分	0.0019
脳波 (19.5Hz)	30分から45分	0.0243
	30分から35分	0.0053
脳波 (20.0Hz)	30分から45分	0.0242
	30分から35分	0.0082
	35分から40分	0.0328
脳波 (20.5Hz)	30分から45分	0.0467
	30分から35分	0.0089
脳波 (21.0Hz)	30分から45分	0.0310
	30分から35分	0.0059
	35分から40分	0.0340
	1時間から1時間5分	0.0275
脳波 (21.5Hz)	30分から45分	0.0302
	30分から35分	0.0054
	35分から40分	0.0448
	1時間から1時間5分	0.0213
脳波 (22.0Hz)	30分から45分	0.0392
	30分から35分	0.0115
脳波 (22.5Hz)	30分から45分	0.0459

脳波 (22.5Hz)	30分から35分	0.0068
脳波 (23.0Hz)	30分から35分	0.0121
脳波 (23.5Hz)	30分から35分	0.0234
脳波 (24.0Hz)	30分から35分	0.0221
	1時間から1時間5分	0.0496
脳波 (24.5Hz)	30分から35分	0.0356
	1時間から1時間5分	0.0470
脳波 (25.0Hz)	30分から35分	0.0332
脳波 (25.5Hz)	30分から35分	0.0389
脳波 (26.0Hz)	30分から35分	0.0463
脳波 (27.0Hz)	30分から35分	0.0379
脳波 (27.5Hz)	30分から35分	0.0247
脳波 (28.0Hz)	30分から35分	0.0310
	45分から50分	0.0488
脳波 (28.5Hz)	30分から35分	0.0197
脳波 (29.0Hz)	30分から35分	0.0402
脳波 (29.5Hz)	30分から35分	0.0294
脳波 (30.0Hz)	30分から35分	0.0326
脳波 (α 1波)	15分から30分	0.0354
	15分から20分	0.0495
	20分から25分	0.0442
	25分から30分	0.2407
脳波 (α 2波)	30分から45分	0.0332
	1時間から1時間15分	0.0217
	5分から10分	0.0465
	15分から20分	0.0436
	1時間から1時間5分	0.0131
	1時間5分から1時間10分	0.0375
	1時間10分から1時間15分	0.0411
脳波 (α 3波)	30分から45分	0.0252
	1時間から1時間15分	0.0187
	35分から40分	0.0360
	1時間から1時間5分	0.0655
	1時間5分から1時間10分	0.0415
	1時間10分から1時間15分	0.0424

脳波 (β 波)	30分から45分	0.0328
	30分から35分	0.0069

付録6 短時間のスマートフォン利用における生体情報の測定において
有意差の見られた測定値から算出したパラメータと p 値

生体情報	パラメータ	測定時間 (測定開始から)	p 値	
最高血圧	変化量	30分から37分	0.0407	
最低血圧	変化量	30分から37分	0.0295	
心拍	変化量	1時間5分から1時間10分と 1時間10分から1時間15分	0.0080	
		1秒毎の変化量の 平均値	15分から30分	0.0164
			30分から35分	0.0181
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	1時間10分から1時間15分	0.0349	
		15分から30分と 30分から45分の間	0.0195	
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0018	
脳波 (6.5Hz)	1秒毎の変化量の 平均値	30分から35分と 35分から40分の間	0.0331	
		15分から20分	0.0298	
		35分から40分	0.0393	
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	1時間5分から1時間10分	0.0179	
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0142	
1秒毎の変化量の 平均値の変化量	30分から35分の間と 35分から40分の間	0.0500		
脳波 (7.0Hz)	変化量	20分から25分と 25分から30分の間	0.0148	
脳波 (8.0Hz)	1秒毎の変化量の 平均値	5分から10分	0.0318	
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	実験開始から5分と 5分から10分の間	0.0068	
		5分から10分と 10分から15分の間	0.0317	

脳波 (8.0Hz)	含有率の変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0414
脳波 (8.5Hz)	1秒毎の変化量の 平均値	1時間から1時間5分	0.0293
脳波 (9.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0353
脳波 (9.5Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0168
	1秒毎の変化量の 平均値	15分から20分	0.0119
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	10分から15分と 15分から20分の間	0.0192
	含有率の変化量	1時間5分から1時間10分と 1時間10分と1時間15分	0.0162
脳波 (10.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.046
	含有率の変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0155
脳波 (10.5Hz)	変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0483
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0238
		1時間から1時間5分と 1時間5分から1時間10分	0.0252
	含有率の変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0137
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0405
脳波 (11.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0211
脳波 (11.5Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0432
脳波 (12.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0376
	1秒毎の変化量の 平均値	30分から35分	0.0061
		35分から40分	0.0158

脳波 (12.0Hz)	1 秒毎の変化量の 平均値の変化量	30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0029	
脳波 (12.5Hz)	変化量	25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0250	
脳波 (13.0Hz)	変化量	25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0005	
		30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0084	
		1 時間 5 分から 1 時間 10 分と 1 時間 10 分から 1 時間 15 分	0.0438	
脳波 (13.5Hz)	変化量	25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0180	
		30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0054	
		1 時間 5 分から 1 時間 10 分と 1 時間 10 分から 1 時間 15 分の間	0.0346	
	含有率の変化量	15 分から 30 分と 30 分から 45 分の間	0.0483	
		30 分から 45 分と 45 分から 1 時間の間	0.0172	
		20 分から 25 分と 25 分から 30 分の間	0.0100	
		1 時間から 1 時間 5 分と 1 時間 5 分から 1 時間 10 分	0.0183	
		1 時間 5 分から 1 時間 10 分と 1 時間 10 分と 1 時間 15 分	0.0409	
	脳波 (14.0Hz)	変化量	20 分から 25 分と 25 分から 30 分の間	0.0242
		変化量	25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0246
30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間			0.0483	
1 秒毎の変化量の 平均値		15 分から 30 分	0.0194	
1 秒毎の変化量の 平均値の変化量		45 分から 50 分と 50 分から 55 分の間	0.0410	

脳波 (14.5Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0260
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0003
	1秒毎の変化量の 平均値	45分から1時間	0.0461
脳波 (15.0Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0115
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	1時間5分から1時間10分と 1時間10分から1時間15分の間	0.0250
	含有率の変化量	実験開始から15分と 15分から30分の間	0.0453
脳波 (15.5Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0422
	含有率の変化量	1時間から1時間5分と 1時間5分から1時間10分	0.0205
脳波 (16.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0098
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0081
	含有率の変化量	55分から1時間と 1時間から1時間5分の間	0.0302
脳波 (16.5Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0122
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0200
脳波 (17.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0219
	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0024
	1秒毎の変化量の 平均値	5分から10分	0.0452
	含有率	50分から55分	0.0196
脳波 (17.5Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0399
	含有率	1時間から1時間15分	0.0059

脳波 (17.5Hz)	含有率	50分から55分	0.0380
		1時間から1時間5分	0.0217
		1時間10分から1時間15分	0.0149
脳波 (18.0Hz)	変化量	5分から10分と 10分から15分の間	0.0470
		15分から20分と 20分から25分の間	0.0417
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0081
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0017
	1秒毎の変化量の 平均値	実験開始から15分	0.0457
		10分から15分	0.0389
		20分から25分	0.0429
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	5分から10分と 10分から15分の間	0.0394
	含有率の変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0389
脳波 (18.5Hz)	変化量	30分から45分と 45分と1時間の間	0.0455
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0233
	1秒毎の変化量の 平均値	35分から40分	0.0170
脳波 (19.0Hz)	変化量	30分から45分と 45分と1時間の間	0.0446
		5分から10分と 10分から15分の間	0.0455
脳波 (19.0Hz)	変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0340
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0078
	1秒毎の変化量の 平均値	35分から40分	0.0346
		1時間5分から1時間10分	0.0037
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	1時間から1時間5分と 1時間5分から1時間10分の間	0.0462

脳波 (19.0Hz)	含有率	45分から1時間	0.0030
		45分から50分	0.0278
		50分から55分	0.0226
		55分から1時間	0.0079
	含有率の変化量	30分から45分と 45分から1時間の間	0.0057
脳波 (19.5Hz)	変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0149
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0064
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0093
		1時間5分から1時間10分と 1時間10分から1時間15分	0.0369
	1秒毎の変化量の 平均値	20分から25分	0.0115
		25分から30分	0.0277
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0450
		20分から25分と 25分から30分の間	0.0099
脳波 (20.0Hz)	変化量	15分から30分と 30分から45分の間	0.0440
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0168
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0368
	1秒毎の変化量の 平均値	45分から50分	0.0333
	1秒毎の変化量の 平均値	1時間10分から1時間15分	0.0375
脳波 (20.5Hz)	変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0293
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0115
	含有率の変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0340

脳波 (21.0Hz)	変化量	20分から25分と 25分から30分の間	0.0127
	含有率の変化量	20分から25分と 25分から30分の間	0.0139
		35分から40分と 40分から45分の間	0.0359
脳波 (21.5Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0414
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0027
脳波 (22.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0356
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0047
	含有率の変化量	30分から45分と 45分から1時間の間	0.0267
		50分から55分と 55分から1時間の間	0.0118
脳波 (22.5Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0014
	含有率の変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0053
脳波 (23.0Hz)	変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0177
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0335
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0008
	含有率の変化量	15分から20分と 20分から25分の間	0.0064
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0260
脳波 (23.5Hz)	変化量	15分から30分と 30分から45分の間	0.0244
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0210

脳波 (23.5Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0021
脳波 (24.0Hz)	変化量	25分から30分と 30分から35分の間	0.0118
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0007
	1秒毎の変化量の 平均値	55分から1時間	0.0116
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	30分から45分と 45分から1時間の間	0.0430
55分から1時間と 1時間から1時間5分		0.0316	
脳波 (24.5Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0082
	1秒毎の変化量の 平均値	50分から55分	0.0135
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	45分から50分と 50分から55分	0.0214
		50分から55分と 55分から1時間	0.0289
脳波 (25.0Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0157
	1秒毎の変化量の 平均値	35分から40分	0.0497
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	35分から40分の間と 40分から45分の間	0.0210
		1時間から1時間5分と 1時間5分から1時間10分の間	0.0350
脳波 (25.5Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0062
	1秒毎の変化量の 平均値	10分から15分	0.0204
		15分から20分	0.0365
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	10分から15分と 15分から20分の間	0.0238
脳波 (26.0Hz)	変化量	20分から25分と 25分から30分の間	0.0116

脳波 (26.0Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0064
脳波 (26.5Hz)	変化量	20分から25分と 25分から30分の間	0.0148
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0154
	1秒毎の変化量の 平均値	実験開始から15分	0.0410
		55分から1時間	0.0332
	1秒毎の変化量の 平均値の変化量	実験開始から5分と 5分から10分の間	0.0147
50分から55分と 55分から1時間		0.0303	
脳波 (27.0Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0014
	含有率の変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0129
脳波 (27.5Hz)	変化量	15分から30分と 30分から45分の間	0.0460
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0395
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0018
	1秒毎の変化量の 平均値	実験開始から15分	0.0034
脳波 (28.0Hz)	変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0009
	含有率の変化量	30分から35分と 35分から40分の間	0.0037
脳波 (28.5Hz)	変化量	15分から30分と 30分から45分の間	0.0490
		25分から30分と 30分から35分の間	0.0318
		30分から35分と 35分から40分の間	0.0059
	1秒毎の変化量の 平均値	10分から15分	0.0491
		1時間から1時間5分	0.0161

脳波 (28.5Hz)	1 秒毎の変化量の 平均値の変化量	10 分から 15 分と 15 分から 20 分の間	0.0214
		1 時間から 1 時間 5 分と 1 時間 5 分から 1 時間 10 分の間	0.0357
脳波 (29.0Hz)	変化量	20 分から 25 分と 25 分から 30 分の間	0.0204
		30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0230
脳波 (29.5Hz)	変化量	15 分から 30 分と 30 分から 45 分の間	0.0499
		25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0302
		30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0071
	含有率の変化量	5 分から 10 分と 10 分から 15 分の間	0.0333
脳波 (30.0Hz)	変化量	15 分から 30 分と 30 分から 45 分の間	0.0446
		25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0260
		30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0194
	含有率の変化量	35 分から 40 分と 40 分から 45 分の間	0.0098
脳波 ($\alpha 1$ 波)	1 秒毎の変化量の 平均値の変化量	30 分から 45 分と 45 分から 1 時間の間	0.0453
脳波 ($\alpha 2$ 波)	変化量	25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0207
	含有率の変化量	15 分から 20 分と 20 分から 25 分の間	0.0350
脳波 ($\alpha 3$ 波)	変化量	25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0157
		30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0163
脳波 (β 波)	変化量	25 分から 30 分と 30 分から 35 分の間	0.0194

脳波 (β 波)	変化量	30 分から 35 分と 35 分から 40 分の間	0.0019
-----------------	-----	-------------------------------	--------