

内受容感覚が皮膚温バイオフィードバック訓練に与える影響

学籍番号 20HP225

氏名 重田真宏

指導教員 長野祐一郎

問題と目的

現代社会におけるストレス

現代社会における問題の中で、若者のストレス耐性の低下が挙げられる。厚生労働省(2022)によれば、学生等の動機別自殺者数において、「学校問題」(923人中 344人)が報告され、進学や就職など将来への不安、対人関係が背景として考えられる。これらの問題に対処するため、教育機関等でのメンタルヘルスのサポートが必要とされる。一方で、抑うつ・自殺念慮を抱える大学生は、専門家への援助要請を検討する割合が20%程度で、専門的な支援が届いていないが報告されており(木村ら, 2014)、若者自身がストレスマネジメントのスキルを身につけることが重要である。

人々は過度なストレスを蓄積しないように、定期的な運動や親しい友人と旅行に行き気分転換を行うなど、自分にあったストレス対処方法を用いる。近年、新型コロナウイルス(COVID-19)の流行によって、外出自粛やリモートワークなど生活環境の変化からストレス対処が困難な状況にあり、主に若年層の孤独感や不安感の高まりが報告されている(山崎・久田, 2021)。こうした問題に対処するため、自律訓練法やマインドフルネスなど、自宅で気軽にできるリラクゼーション方法をもとに心身の調整を行うことが重要となりつつある。

末梢皮膚温度バイオフィードバック

心身のリラクゼーション法の一つとして、バイオフィードバック(Biofeedback, 以下 BF)療法が挙げられる。BFは、皮膚温や脳波など通常では意識できない生理状態を光や音などに変換して情報を受け取ることが特徴として挙げられる(佐瀬, 2016)。現時点での生体反応とそれに対する訓練方法が適切であるか連続的に呈示される情報によって判断できるため、効果的に学習が形成され、訓練に対する動機づけを高めることが示唆されている(廣田, 2016)。継続的にBF訓練を行うことで、制御能力を向上させ、身体の生理的な反応を調節できるようになる。最終的には、フィードバックなしでも心身の自己コントロールを維持することができるため(竹林・福永, 2001)、BF装置を介さなくてもリラクゼーションやストレス軽減を行うことが可能となる。臨床場面では、自己効力感・自尊感情の改善、教育や予防医療への導入(白井他, 2014)、パニック障害や過敏性腸症候群、慢性頭痛などのストレス関連性疾患に対するセルフコントロール、混合型頭痛など薬物療法だけでは困難だった症例の改善の例が挙げられる(志和・佐々木, 2003)。頻繁にBFの制御対象とされる末梢皮膚温度(Skin Temperature, 以下 ST)は交感神経系の支配下にある生理指標である。BFと組み合わせることで、血流調整のコントロールが可能となり、末梢循環系障害の治療や不安・緊張の低減(高原・平井, 1983)、片頭痛の症状改善やレイノーの治療法(廣田, 2016)、月経困難症の改善(濱田・国崎, 2002)など多くの症例改善や予防医学的效果が報告されている。

内受容感覚

BFは前述の通り、身体内部の生理状態の変化を光や音からリアルタイムでFBし、自己

調節を促す方法である。聴覚・視覚などの各種 FB 刺激のみに注意を向けるのではなく、身体内部の変化にも注意を向けることで、より効果的な学習が形成される(小西ら, 2012; 廣田, 2016)。発表場面などのストレス状況から、不安や緊張により心臓の鼓動が早くなり、汗が出て体温が上がるなどの生理的な状態に関する内臓感覚を「内受容感覚」という(庄司, 2017)。内受容感覚は、自律神経によって脳に伝えられ、感情や気分・情動の生成、ホメオスタシスやアロスタシスの維持や意識の形成などの基盤を構築している(田中, 2019)。このように人間が健康を保つうえで、自律神経など意識下の調整機能と意識上の気づきが恒常性の維持に関わっており、BF は両者の調整機能をつなぎながら、その働きを高める(神原, 2015)。そのため、内受容感覚と BF の関係性の理解が進むことで、人間の健康状態や意識の制御に関する新たな知見が得られ、それに基づいてより効果的な BF や介入が開発される可能性が考えられるため、心身医学、臨床心理学の更なる発展に重要である。内受容感覚には個人差があり、質問紙により測定される日常的な内受容感覚に対する気づきの程度(Interoceptive Sensibility, 以下 IS)や心拍追跡課題などにより測定される内受容感覚の知覚の精度(Interceptive Accuracy:以下 IA)から内受容感覚の異なる側面の個人差を捉えているとされている(小林他, 2021)。内受容感覚の IS を測定する方法として、内受容感覚尺度が挙げられる。内受容感覚尺度の主要な質問紙の一つに、Mehling et al. (2012)の開発した Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness(以下, MAIA)を庄司・大野・Beate・Wolf(2014)が日本語化した内受容感覚への気づきの多次元的评价(MAIA)がある。「気づき、気が散らない、心配しない、注意制御、感情への気づき、自己制御、身体を聴く、信頼する」の 8 因子から構成されている。MAIA を用いた内受容感覚の多次元的评价により、IS を通じて、個人の内受容感覚の異なる側面を捉え、ストレスパターン別に傾向を模索することができる。MAIA は、その多面的な側面を評価する手段の一つである。しかし、MAIA と末梢皮膚温度バイオフィードバック(Skin Temperature Biofeedback, 以下 STBF)の検討がされていないため、今後の研究において、MAIA を用いて内受容感覚とストレス応答の関連性を探求し、心理的健康やストレス管理のアプローチの一環としての可能性を検討することが重要である。

BF 装置のコスト問題

BF は潜在的可能性を多く秘めた効果的な手法であるが、既存の生体アンプは数十万・数百万円と高コストなため、大学での所有台数の制限から学習する機会が設けづらく、計測経験者数の減少や実際に計測で得られた結果の解釈が難航してしまう。また、実験室での長期に渡る実験の場合、来訪頻度が多いと実験参加者への負担が大きくなってしまふ。そのため、訓練機材を使用しない自律訓練法(Autogenic Training, 以下 AT)や筋弛緩法など、他のアプローチから行わなければならない。そこで、既存の高コストな装置を扱うのではなく、長野(2016)の自作計測器のようにオープンソースハードウェア Arduino 型マイクロコンピュータの導入および基板の加工からすべて自前で行うことによって、製作費を 1/100 以下(およそ 2,000 円)まで抑えることができる。また、BF 装置の要である Arduino 型マイ

コンは、設計情報やソースコードが無料公開されているため、オープン AI の ChatGPT を用いることで専門的知識がなくてもプログラムの作成および改造を行うことができる。また、アナログ/デジタル変換(以下、AD 変換)機能を有しており、多くの拡張モジュールが可能なため多種多様な温度センサー、各種 FB に対応し容易に機能を追加できる。コスト面に関しても 1 台 1,000 円程度であるため、コストパフォーマンスが高い。長野 (2016) のマイコンを用いた BF 装置は、低コストで作成でき、用途に応じた自由なデザインに作成できることが特徴として挙げられる。しかし、実験室外への持ち出しは想定されておらず、他の研究でも自由に BF 訓練が行える事例が検証されていない。ストラップ型の BF 装置を身につけ、移動中の車内やカフェ、自宅など場所を問わず日常的に訓練を行うことで、訓練回数が増すごとに、ST 制御成績が向上するのではないかと考えた。これにより、誰もががストレスコーピング能力を養い、本来のパフォーマンスを發揮できるのではないかと考えた。本研究は、これらについて検討するため、二部構成で研究を行った。研究 I では、自宅で容易に STBF が行える低コストストラップ型 BF 装置の開発について検討した。研究 II では、開発した BF 装置を用いた 3 週間の訓練介入が心身に与える影響について検討した。

研究 I

[研究 I の目的]

研究 I では、コスト面に対する解決策として、Arduino 型マイコンと 3D プリンターなどのデジタルファブリケーション機器を活用し、自宅で容易に STBF 訓練が行える新たな低コストストラップ型 BF 装置の開発を目的とした。

方法

BF 装置の概要

本研究は、リラクゼーションの度合いを反映する ST を対象とした。本研究で開発する BF 装置は、長野(2022)の BF 装置を参考にして、プログラムおよび BF 装置の開発を行った。開発する BF 装置の概要は、次の 4 点であった。1 点目に、自由に持ち運びが可能で場所を問わず日常的に訓練を行うこと。2 点目に、低コストかつ入手容易な部品で量産可能であること。3 点目に、ユーザーが効率的に訓練を行えること。4 点目に、BF 装置の使用法や訓練方法など簡単に確認が行えること。5 点目に、FB 有無の切り替えが行えることとした。

場所を問わず訓練を行う観点から、軽量かつコンパクトなストラップ型にデザインし、電池駆動とした。生産性およびコストの観点から、Arduino 型マイコンとデジタルファブリケーション機器を活用することとした。また、開発に用いるパーツを入手しやすくするため、同一店舗で購入を行うこととした。気軽に訓練を行うため、液晶ディスプレイを基に安静期間の自動管理化および装着等の負担を減らすこととした。操作性の観点から、訓練を

行うまでの工程を減らすことを前提として、訓練や使用方法に対する解説ブログおよびインストール動画を作成した。装置裏面に貼り付けた QR コードを読み取り、確認を行えることとした。FB 有無の切り替えには、スライドスイッチを用いて、ユーザーの訓練方法に応じて簡単に切り替えを行えることとした。

結果

BF 装置の開発に用いた部品

BF 装置の開発に用いた主なパーツは、マイコンの Maker Nano (Cytron Technologies Sdn Bhd 社製)、温度センサー (TMP36GT9Z)、スピーカー(UGCM0903EPD(5.0)), LED ライト(RGBLED(AE-WS2812B)), 小型モニター(ST7032(AE-AQM0802)), 5V 出力昇圧 DCDC コンバータ(AE-XCL102D503CR-G)であった。温度センサーには、双葉用 1M サーボ延長コードケーブル 26AWG 線(IndustrialMaker 社製)、ピンヘッダー(Useconn Electronics 社製)を用いた。屋外での BF も可能にするため、単 4 電池 (ニッケル水素充電電池)、電池ボックスを用いた電池駆動の装置となった。その際、フィードバック (以下 FB) を多く呈示すると FB なし群より課題成績が下がるため(大河内, 1990), FB はスピーカー、LED ライトの最小限にとどめた。BF 装置のケースは小型化の観点からデスクトップ型パーソナル 3D プリンターCreator Pro(Flash Forge 社製) で作成した。BF 装置開発に用いたパーツは、何れも電子部品や工作キットを販売している秋月電子通商のみで、購入可能であった。また、ソフトウェア環境として、装置側には Windows 版 Arduino 開発環境 1.8.19, PC 側には Processing 開発環境 3.5.4 を用いた。

完成した BF 装置

装置のサイズは、縦 92×横 62×高さ 17mm の直方体であり、重量は 67g だった。製作費は総額 3,000 円程度であった。本装置の FB 機能として、1 つ目の視覚 FB に LED ライトを用いた。ST 上昇時に赤く点灯し、下降時は青く点灯した。2 つ目の視覚 FB に液晶ディスプレイを用いた。1 行目に ST(°C)を表示して、2 行目に 1 秒前の ST の変化値(°C)を表示した。聴覚 FB には、スピーカーを用いた。ST 上昇時に「ブッブッ」 と 500Hz の低い音で鳴り、下降時は「ブッブッ」 と 1000Hz の高い音が鳴った。また、下段の左側面には FB の有無の切り替えを行うスイッチが配置された。スイッチを右にスライドすると FB が無効になり、左にスライドすると FB が有効になった。右側面には電源用スイッチが配置された(図 1-1)。



図 1-1 自作ストラップ型 BF 装置の外観と各種機能

訓練時は、装置右上のピンフックから指サックを外し、非利き手の人差し指第 1 関節腹部に装置の右側面に収納した温度センサーを指サック（PLUS 社製，KM303CA）で直接固定し装着した。電源スイッチを前方に入れ装置を起動し、安静時は左下部のスイッチを右方向にスライドさせ、FB 無効の状態で行った。訓練開始時に、左方向にスライドさせ、FB を有効にした状態で行い、ST を測定した。使用したセンサーの測定時の誤差は±0.5°Cであった。装置背面には、自宅で訓練を行った際に、訓練場所や訓練方向等を記録するため、Microsoft Forms(以下 Forms)で作成した QR コードを貼り付けた。また、訓練方法を随時確認できるように、独自に作成した 2 分程度のインストラクション動画を作成し(<https://youtu.be/FZqGBBIVEyY?si=1-FE5Qkgu8qw1Rsy>), Forms の動画挿入機能を用いて添付した(図 1-2)。

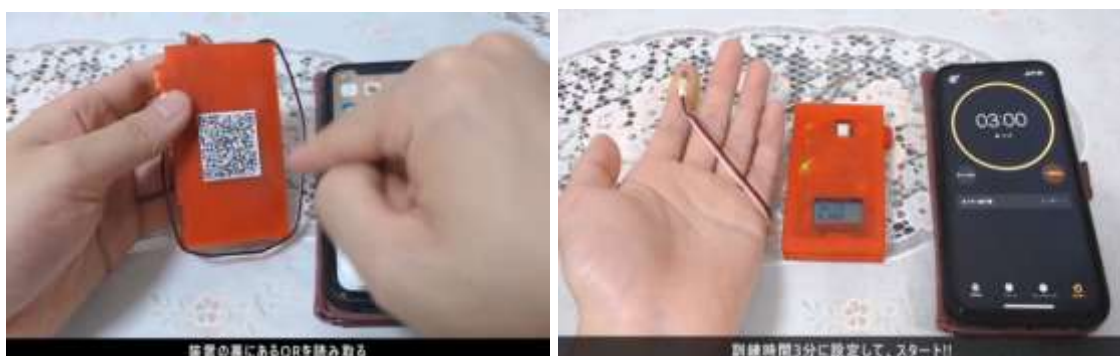


図 1-2 インストラクション動画のスライド内容

ハードウェアの作成

装置を組み立てるうえで、一度にすべての部品を統合すると、ショートの可能性や正常に動作しなかった際に原因の特定が困難となる。そのため、ブレッドボード(Clienmero 社製)とジャンパ線(共通電子産業)を用いて、徐々に部品を統合して、基板配列が正しいか、各パーツが計測時にノイズが発生して妨害しないかなど動作チェックを行いながら作成した(図1-3)。

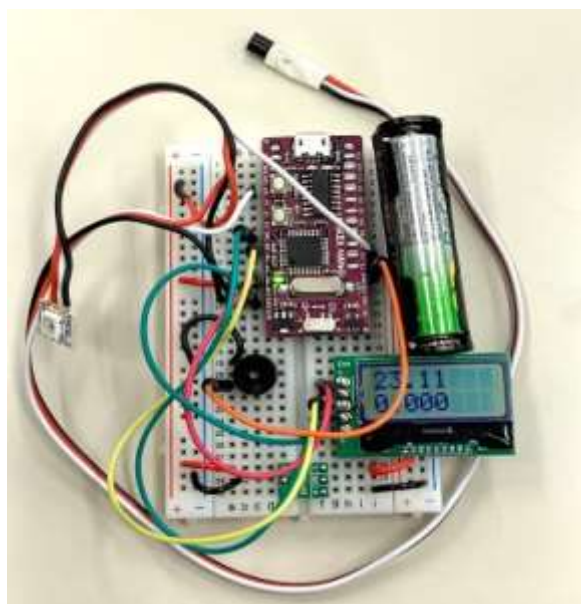


図 1-3 ブレッドボードでの動作確認

動作チェック後、USB ケーブルを介して Arduino 開発環境で作成したプログラムを PC に書きこみ、シリアルモニタ(計測画面)から ST を正常に計測できているか確認した。計測結果にエラーが表示される場合、はんだ付けが失敗している可能性やピンの接続位置の誤りが高い。エラーが表示されず正常に計測されると各種 FB が現在温度に応じて機能した。これにより、BF 装置を動作させることが可能となったが、配線が混雑しており、持ち運びの不便さや部品の紛失など問題があった。そのため、容易に持ち運びができ、訓練を行うことができるように基板の開発を行った。基板の開発を行うため、部品を組み上げたブレッドボードの回路から作成した模式図(図 1-4)を基に、基板作成ソフト Eagle で回路図を設計した。作成したファイルから、パターン、ドリル、外形の 3 種データを読み取り ORIMIN PCB から基板切削マシン(KitMill CIP100, オリジナルマインド社製)を動かすためにファイル変換した。また、切削制御には、USB CNC を用いた。

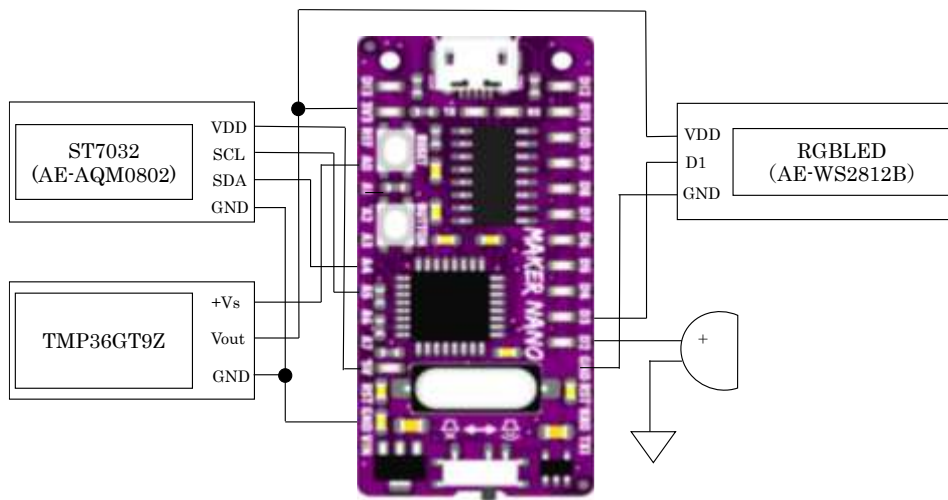


図 1-4 BF 装置の開発に用いた模式図

これらをもとに、基盤切削マシン(KitMill CIP100, オリジナルマインド社製)から基板を切削し, MakerNano および FB に用いる各種部品をはんだ付けした。次に BF 装置のケース作成のため, はんだ付け終了後の基板のサイズを計測した後, モデリングソフト (Metasequoia4, テトラフェイス社製)を用いて, 3D モデリングデータを作成した。これをもとにスライサー(MakerBot Print, MakerBot 社製)から 3D プリンターに出力して, ケースを作成した。ケースは高いところから落としても傷がつかないよう弾力性と耐久性および防水性を兼ね備えた TPU 素材を使用した。強度は柔軟性を考慮して, Infill5%の Hexagonal で作成した。ケースの上蓋と下蓋の固定には, プラ材 3mm 丸棒(TAMIYA 社製)を用いた。3D プリンターで作成したケースに挿入し, ストラップ用のスナップフックなどを通して, 自由に持ち運びができる低コストストラップ型 BF 装置が完成した(図 1-5)。なお, 研究Ⅱの訓練介入のため, これらを量産し計 10 台の BF 装置を開発した。



図 1-5 ストラップ型 BF 装置の使用例

Arduino 開発環境のプログラム作成

BF 装置に使用した各種プログラムについて紹介する。前述の通り、長野(2022)の BF プログラムをもとに開発しているため、視聴覚フィードバックおよび温度センサーは同様のプログラムを用いた。改造点としては、「液晶ディスプレイの追加, 安静期間の自動管理化, スイッチによる FB 有無の切り替え」などの機能を加えた。安静期間の自動管理化に関して、大河内(1990)の安静期間の処理を参考に行った。その条件として、安静期間での 1 分あたりの ST の平均値が連続する 3 分増加・減少がなく、その範囲が 0.4°C 以内であるときの 3 分間の平均値とした。プログラム開発には、ChatGPT3.5 を用いて適宜改造を行った。ハードウェアの安静期間の自動管理化に使用したプロンプトは、「測定している値を 60 回分覚えるプログラムを作成してください」「180 個覚えた履歴の中から最大値と最小値を求めて、その差を算出するプログラムに改造してください」「最大値と最小値の差が 0.4°C 以内であった場合は、液晶ディスプレイにアスタリスクを表示するプログラムに改造してください」とした。トラブルが生じた際に発見しやすいように、プロンプトを 3 分割に作成して、徐々に付け足しながらプログラムを作成した。ChatGPT3.5 を用いて適宜改造を行ったプログラムでは、実験者が安静期間終了のタイミングを液晶ディスプレイから直接見る必要があった。その手間を省くため、作成したプログラムを改造して、ST や変化量をシリアル通信で PC に送信して、Arduino 開発環境に備わっている計測画面シリアルモニタに同様の手続きを行った。以上の作成したプログラムを付録 1 に示した。

Processing 開発環境のプログラム作成

Arduino 開発環境での計測確認を行う際、データのバックアップが取れないため、実験者の操作ミスによりデータが消失する恐れがあった。その危険を防ぎ、尚且つ計測の簡易化を図るため、長野(2016)の Processing 開発環境の計測機能を参考に作成した(図 1-6)。特徴としては、次の 3 点が挙げられる。1 点目に、現在時刻の表示・計測中の経過時刻を表示する機能を備えた。これにより、安静期間の条件である 3 分間などをデジタル表示して確認

できるようになった。2点目に、計測中のSTを600フレームごとにリアルタイムでグラフ表示する機能を備えた。これにより、グラフに表示することにより、計測中のSTの変異や計測に不備があった場合、外れ値の確認など容易に行えるようになった。3点目に、計測したデータを10フレーム間隔でCSVファイルに書き込み、エクセルファイルで発行する機能を備えた。これにより、データ損失を防ぐことが可能になった。Processing開発環境は、Arduino開発環境とシリアル通信を行っているため、シリアルモニタ画面に表示される現在のSTおよび変化量などがコンソール画面に表示される。そのため、コンソール画面から安静期間終了時のタイミングを表示する「*」の確認が可能となった。

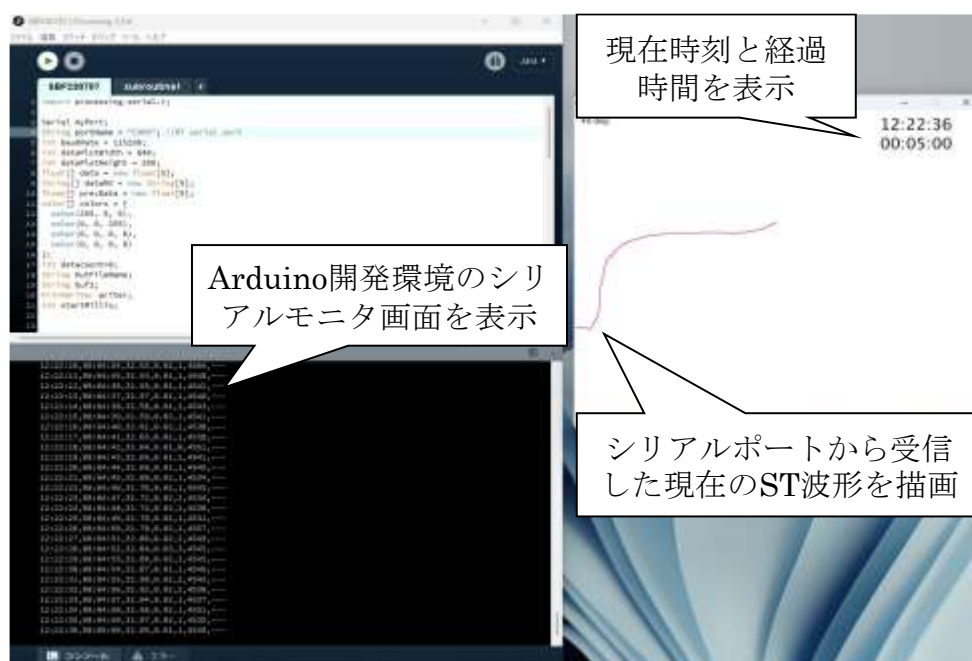


図 1-6 Processing 開発環境の計測中の画面

また、使用した Processing 開発環境のプログラムは大まかに分けて 2 つあった。1 つ目は、現在時刻および経過時間を描画するプログラムであった。2 つ目は、シリアル通信を介して受信したデータを処理し、リアルタイムでグラフ表示しながら、そのデータを CSV ファイルに保存するプログラムであった。これら作成したプログラムを付録 2 に示した。以上のプログラムを用いることで、シリアル通信を介して受信したデータをリアルタイムで折れ線グラフに表示し、さらにリアルタイムで CSV ファイルにデータを書き込み保存することが実現した。また、画面下部のコンソール画面から取得したデータをコンマ区切りで表示し、安静終了時の確認をすることが可能となった。

考察

[研究 I の目的]

研究 I では、コスト面に対する解決策として、オープンソースハードウェアの **Arduino** と 3D プリンターなどのデジタルファブリケーション機器を活用し、自宅で容易に **STBF** 訓練が行える新たな低コストストラップ型 **BF** 装置の開発を目的とした。

[装置開発の概要]

完成した **BF** 装置のサイズは、縦 92×横 62×高さ 17mm の直方体となり、手のひらサイズとなった。持ち運びの観点から軽量の部品を選定し、総重量は 67g だった。使用した部品はいずれも秋月電子通商のみで購入可能であり、半導体高騰の影響を受けてマイコンのコストが 1,480 円と大部分を占めていた (2023 年 3 月 22 日現在) が、製作費は総額 3,180 円程度で作成可能であった。今回使用した **Arduino** は **AD** 変換機能を搭載しているため、心電図・筋電図・皮膚コンダクタンス装置など様々な計測機の作成に用いられた事例がある(長野・櫻井・鈴木, 2022)。本装置では、液晶ディスプレイやブザーなどの視聴覚 **FB**、温度センサーを追加し、**BF** に必要な機能のカスタマイズを行った。ソフトウェア **Arduino** 開発環境から「液晶ディスプレイに温度データの表示、安静期間の自動管理化、**FB** 有無の切り替え」、**Processing** 開発環境から「現在時刻・計測中の経過時刻の表示、**ST** グラフ化、**CSV** ファイル発行、コンソール画面から安静期間終了時のタイミングの確認」を行い、通常の **BF** 機能だけでなく、計測の簡易化を行うことが実現した。従来装置では、あくまで計測することを目的とされているため、研究用途に適した機能を所持している機材を見つけることが難しく、高価なためコストの問題や開発能力によって可能性を潰してしまうことがある。**BF** 装置に関しても視覚・聴覚といった **FB** が主流とされているため、制御成績に応じたドローン操縦、アプリ内のキャラクター操作といったエンターテインメント性と兼ね備えた市販の装置は、販売されていないだろう。しかし、オープンソースハードウェア **Arduino** を用いて自作することでこれらの問題は改善される。**Arduino** は、設計情報が無料公開されているため、一からプログラミングを勉強し、ソースコードを作成する必要はない。一つ当たりのパーツも 100 円前後と低コストで作成することができる。また、**ChatGPT** を用いて適宜改造することで、モジュールに応じたプログラム同士の連結、本研究で開発した安静期間自動管理化のプログラム開発を行える。プログラム内のエラー表記に関しても問題点と解決方法を提示し、ハードウェアの作成に関して **ChatGPT4.0** はピン配置の接続位置も提示してくれるため、開発のハードルが大幅に下がった。従来装置を用いるのではなく、**Arduino** を用いて自作することで、コスト問題だけでなく **BF** 装置の可能性を高めることが考えられる。また、ゲームエンジン **Unity** など外部のソフトと組み合わせることで、エンターテインメント性の機能強化など、より一層実現的になるだろう。

[本研究の問題と展望]

本研究で開発した装置の問題点は、次の3点である。1点目に、BF装置とコンピューターの接続が有線であったことが挙げられる。本装置のマイコンは無線接続機能が搭載されていないため、データ取得時にケーブルが必須となる。そのため、ストラップ型として身に着けBF訓練を行う場合、ケーブルを接続していない限り、訓練成績が訓練開始温度や最高/最低温度などを自身で記録しない限り振り返ることができない。2点目に、自宅での訓練時にタイムキープの不便さが挙げられる。本装置は訓練効果を確認する計測用として開発したため、安静期間の自動管理は確認できるが訓練の終了タイミングは、スマホのアラームや時計などから確認することしかできず、タイムキープが装置1台では完結することができない。また、誤ってマイコンに搭載されている内部ボタンにブザーピンを配置して開発してしまったため、ボタンから「実験用・訓練用」といったモード変更を行えなかった。3点目に、BF訓練に対するエンターテインメント性の向上が挙げられる。日常的に持続したBF訓練を行う上で、訓練に対する意欲が低い実験参加者や長期的な訓練介入を行う場合、エンターテインメント性が必要不可欠となる。

以上の3点の改良案として、新たなるマイコンXIAO ESP32S3を用いたBF装置の開発が挙げられる。1点目の計測時の有線化に関して、ESP32シリーズはWifi, Bluetooth経由でデータの送受信が行えるため、ケーブルレスで計測を行うことができる。また、スマホのテザリング機能を用いることで、屋外からも訓練データを送信することができる。また、Maker-Nanoに比べ価格も安く、サイズも半分であるため、今回作成したBF装置の半分のサイズで作成可能であろう。フラッシュメモリー容量も大きくデータストックが可能のため、Wifi, Bluetoothが使用できない環境やテザリングが行えない場合でも、データを取り溜めることができる。そのため、後から訓練データを送信することで、訓練成績のFBを行うことができる。2点目のタイムキーピングの問題に関しては、マイコン内に内部ボタンが配置されているため、自宅での訓練用と実験などで使用する計測用など、用途に合わせて訓練モードの切り替えを行うことができる。3点目のエンターテインメント性の向上に関しては、フルカラーの液晶ディスプレイを用いて、ST制御が正しく行えると犬や猫などの画像が浮かび上がるなどの機能追加の可能性が考えられる。また、訓練データをサーバーにアップして、ST訓練成績によって順位が表示され、実験参加者同士で競うなどが挙げられる。また、ゲームエンジンUnityと組み合わせることで、シューティングゲームやアドベンチャーゲームなど簡単なゲームをもとに楽しみながらBF訓練を行うことができる。これら機能を実現することで、BF訓練の容易になり、誰もが日常的に楽しくBF訓練を行い、心身のリラクゼーションに役立てる日を願っている。

研究Ⅱ

[研究Ⅱの目的]

研究Ⅱの目的は、研究Ⅰで作成した自由に持ち運びができるストラップ型 BF 装置をもとに、3 週間の日常的な訓練が心身に与える影響について検討することであった。一般的な BF 機器は、実験室外への持ち出しは想定されておらず、他の研究でも自由に BF 訓練が行える事例が検証されていないため、訓練介入と BF 装置の導入可能性について検討する。

また、長期期間の訓練を行う上で、ST のコントロールがうまくいかず、モチベーションの低下を防ぐため、ST イメージ方略の一つであるイメージ方略を用いる。BF 訓練効果の保持と FB なしでも自己制御できる段階への移行を促進するとされているため(大隈, 1983)、訓練補助及び各訓練回における実験参加者が使用したイメージ方略と ST 制御成績について検討する。更に、BF は前述の通り、身体内部の生理状態の変化を光や音を用いてリアルタイムで FB し、自己調節を促す方法である。より効果的な学習の形成には、BF を通して心身相関の気づきを促し、身体内部の変化に注意を向けることが重要とされる(小西ら, 2012; 廣田, 2016)。つまり、身体内部の生理状態への変化に鋭敏な人ほど ST の制御成績が高くなると考えられるため、内受容感覚と STBF の関連についても検討する。

方法

実験参加者

大学生 15 名(男性 7 名, 女性 8 名, 平均年齢 21.4 歳($SD=0.83$))を実験参加者とした。計測前日は生体反応に影響を及ぼす煙草, カフェイン, アルコールの摂取をせず, 過去 2 時間以内に激しい運動をしないよう教示した。

実験場所・日時および実験環境

2023 年 6 月上旬から 8 月下旬にかけて大学内の実験室において実施した。実験中の室内温度は、常に 24~26℃程度になるようエアコンの温度を調節した。エアコンの風がセンサーに当たらないように風向きを調節した。また、計測中は実験参加者に集中してもらうため、実験者と実験参加者の間をパーテーションで区切った (図 2-1)。

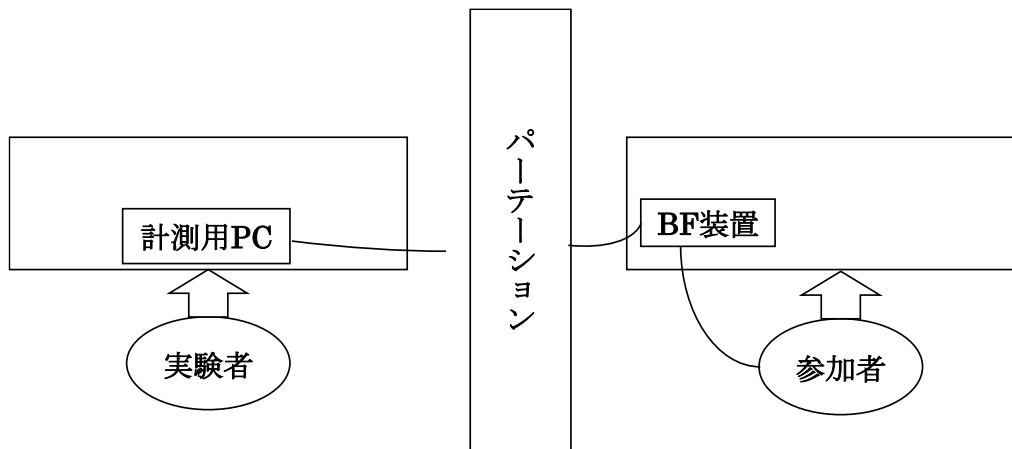


図 2-1 実験器具および実験者, 実験参加者の配置図

使用機器

BF 機器制御用のソフトウェア Arduino のプログラムを書き込むため, 15.6 インチのゲーミングノートパソコン (iiyama 社製 LEVEL∞ CORE i7 : 以下 PC) を用いた。また, 計測中も同一の PC を用いた。計測機器は, 長野 (2016) の BF 装置をベースに, 持ち運びできるように軽量化した自作 BF 装置(図 1-1)を 10 台作成して用いた。計測時は, PC と BF 装置を 3m の USB ケーブル(Amazon ベーシック)で接続して, 計測を行った。また, ST はより細かく測定するため, 1,000ms 毎に平均値を算出した。これらのデータはシリアル通信で PC に転送され, Processing3.5.4 から csv ファイルで発行した。これにより, 開発環境 Arduino の操作トラブルからデータの紛失することを未然に防いだ。

生理指標

非利き手の人差し指第 1 関節腹部に, 温度センサーを指サックで直接固定し, ST を測定した。

心理指標

心理指標への回答は, 「計測 1 回目(訓練前の効果確認回), 自宅での訓練効果を確認する 1 週間毎の訓練回, 自宅での訓練」の 3 点について, Forms のアンケート機能からそれぞれ回答フォームを作成して回答を求めた。1 つ目の訓練初日に用いた回答フォームは, 訓練開始前の内受容感覚の鋭さを測定するため, MAIA (庄司・大野・Beate・Wolf, 2014) を使用した。「気づき, 気が散らない, 心配しない, 注意制御, 感情への気づき, 自己制御, 身体を聴く, 信頼する」の 8 因子 32 項目から構成され, “全くない~”“いつもある”の 6 件法で調査した。独自項目として, 訓練開始前の予備調査には, 氏名, 年齢, 性別などの基本項目に加え, 生体反応に影響を与える睡眠時間, アルコールの摂取の有無などを調査した。また, BF 経験の有無について回答を求めた。経験ありと回答した場合, 経験回数”1~2 回”, “3~4 回”, “5 回以上”の 3 件法で回答を求めた。

2つ目の回答フォームは、計測1回目および訓練開始から1週間毎の自尊感情の変化を測定するため、Mimura&Girffiths(2007)の日本語版 Rosenberg 自尊感情尺度(日本語版 Rosenberg Self Esteem Scale, 以下 RSES-J)を使用した。1因子10項目を”強くそう思わない”~”強くそう思う”の4件法で調査した。そのうち、逆転項目は5項目あった。独自項目として、訓練開始前の予備調査に用いた基本項目に加え、計測内で用いる ST イメージ方略 ”温冷感イメージ”, “情動イメージ”, “イメージなし”, “その他”について4件法で回答を求めた。また、各イメージ方略のイメージ内容、内省報告の回答を求めた。

3つ目の回答フォームは、自宅で訓練を行うごとに氏名、性別、訓練場所、イメージ方略、訓練姿勢(座位、寝姿勢)、訓練方向(上昇・下降訓練)、訓練時のFB有無、内省報告の回答を求めた。また、BF装置の裏面に貼られた Forms の QR コードを読み取ることで回答をスムーズに行えた。Forms 内の項目1に、研究Iで作成した訓練に関するインストラクション動画を添付し、随時訓練方法の確認を行うことができた。

ST イメージ方略

イメージ方略の一つとしてイメージ方略が挙げられ、BF 訓練効果の保持と FB なしでも自己制御できる段階への移行を促進する(大隈, 1983)。笠井・杉江・佐々木(1988)によれば、寒冷イメージ(氷水に手を入れる)は ST 下降課題に有効であるが、温暖イメージ(お湯に手を入れる)は必ずしも ST の上昇を得ないと示した。また、イメージ能力の個人差と ST 制御能力には関連はみられなかったため、イメージ能力テストから実験参加者のイメージ方略の振り分けを行わなかった。イメージ方略の効果には個人差があり、身体に感じられる温感に注意を向け、温かい場面を自発的にイメージした実験参加者は高い皮膚温変化量を得られる(森崎, 1997)。そのため、本研究では先行研究で用いられた温感イメージの他にイメージ方略を呈示して、実験参加者に選択を委ねた。イメージ方略は、自分に合った最適な方略を見つけ訓練を行うように、毎回変更することを許容した。

呈示したイメージ方略として、森崎(1997)の「ストーブに手をかざしている場面」「氷水に手を入れる場面」などの温冷感イメージ。困惑や不安、安堵などの情動が ST に関係しているため(Mittelman & Wolff, 1939)、昔の楽しかった思い出、苦労した思い出、苦手な動物などを想起する情動イメージ。イメージが苦手な実験参加者を配慮して、イメージを用いない方略なし。上記3つのイメージ方略に当てはまらなかった場合や温冷感イメージと情動イメージを併用する場合を想定し、その他の項目を取り入れた計4つのイメージ方略を用いた(表2-1)。

表 2-1 ST イメージ方略における訓練方向ごとのイメージ内容例

	上昇訓練	下降訓練
温冷感イメージ	ストーブに手をかざす	氷水に手を入れる
情動イメージ	楽しかった思い出	苦勞した思い出
イメージなし	イメージなし	イメージなし
その他	温冷感/情動イメージ モニタの温度が上昇するイメージ	温冷感/情動イメージ モニタの温度が下降するイメージ

実験スケジュール

本研究における全体のスケジュールを図 2-2 に示した。自宅での訓練および 1 週間毎の ST 制御成績を確認する訓練回を含め、計 21 日間の BF 訓練を実施した。なお、訓練回には 1 週間ごとに実験室に来院してもらい、計 4 回の計測を行った。

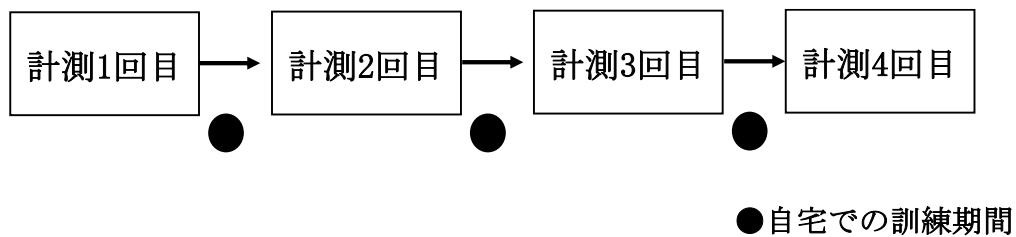


図 2-2 全体のスケジュール

次に訓練回の実験スケジュールを図 2-3 に示した。1 セッション内に上昇・下降訓練を連続で行うと 2 つ目の課題期間にホメオスタシスによる回復効果が混入し、新たな「順序による誤差」という認知の歪みを生じる原因になると報告されている(長野・廣田, 1997)。そのため、本実験では安静期間 7 分程度、ST 上昇訓練 5 分、休憩時間 2 分、安静期間 7 分程度、ST 下降訓練 5 分を 1 セッションとして、計 2 セッション実施した。順序効果を相殺するため、カウンターバランスをとり、2 セッション目は下降訓練から上昇訓練の順で実施した。さらに、実験参加者の半数を 1 セッション目に下降訓練から上昇訓練の順、2 セッション目を上昇訓練から下降訓練の順で実施した。セッション間の休憩時間は 5~10 分とし、休憩終了のタイミングは実験参加者に委ねた。セッション終了後に RSES-J の回答を求めた。また、計測 1 回目のみ実験開始前に MAIA の回答を行った。

ST ベースラインについては、大河内 (1990) を参考に前安静期間を 10 分間設けて、1 分あたりの ST の平均値が連続する 3 分増加・減少がなく、その範囲が 0.2°C 以内であるときの 3 分間の平均値とした。基準を満たさない場合、最後の 3 分間の平均値を基準値とした。この条件に沿って予備実験を実施したところ、実験参加者の多く安静期間終了の条件を満

たせず、すべての安静期間において 10 分間の安静状態を行った後、各訓練を開始した。これにより、訓練中に眠気を誘発しまい「安静期間中に眠ってしまい、気づかないまま休憩時間に移行していた」という報告を受けた。そのため、本研究でのベースラインは、安静期間 7 分程度として、1 分あたりの ST の平均値が連続する 3 分増加・減少がなく、その範囲が 0.4℃以内であるときの 3 分間の平均値とした。基準を満たさない場合、最後の 3 分間の平均値を基準値とした。

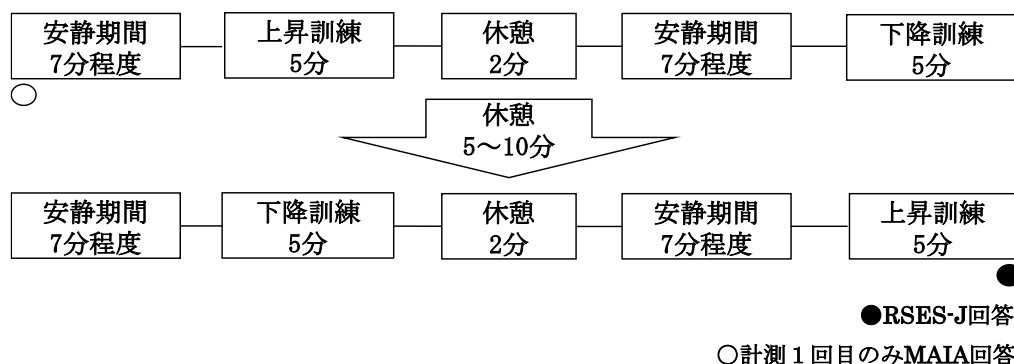


図 2-3 実験スケジュール

自宅での訓練

訓練方法について佐瀬（2016）は、自律訓練法を習得する有効な手は 1 日 2~3 回行い、1 回あたりに 6 分と長い時間をかけるよりも短時間で複数回続けた方が短時間で心身を調整できると述べた。本研究もこれを参考に、訓練時間ではなく訓練回数を優先してもらい、安静期間 2 分を経た後、任意の訓練方向で 3~ 5 分の訓練を行うこととした。訓練時間は実験参加者に委ねた。また、本研究は、3 週間と長期期間実施するため、実験参加者の負担を考慮して、訓練の有無および訓練回数、訓練方向は実験参加者の判断に任せた。訓練環境は、慣れるまで自室などの静音かつリラックスできる場所として、訓練に慣れたらリビングや屋外などで自由に訓練を行ってもらった。訓練時の姿勢は、リラックスした状態をとりやすい、座位または寝姿勢(仰向けや仰臥位など)のどちらかで訓練を行った。また、センサーの性質を考慮して、風が当たらない場所で訓練を行うこと。訓練 30 分前の激しい運動やアルコール摂取等は極力避けるように教示した。その他注意点として、訓練を連続して行う場合、訓練間で 5 分間の休憩時間を挟むように教示した。訓練後に Forms の回答を求めた。

手続き

実験協力を得た実験参加者を大学の実験室に招き、インフォームドコンセントを得た後、STBF によって得られる効果(睡眠の質の向上、ストレスコーピングなど)、BF 装置の使用方法、イメージ方略の説明を 10 分程度行った。次に、実験参加者に訓練前に用いるイメージ方略を選択させ、Forms による事前調査と心理指標の回答を行った。次に、計測に集中するため、時計、ベルト、ネクタイなどをきつく締めすぎないように外的な刺激を除去した。ま

た、身体内部の刺激を除去するため、計測前の空腹状態を避け、トイレなどは事前に済ませるようにした。なお、計測中は手のひらを下に向けると机などの温度を計測する恐れがあるため、手のひらを上に向けるようにした。また、体が動いてしまうと計測に支障が出るため、机との距離を縮めて肘から指先にかけて机の上に置き、楽な姿勢をとるように背もたれ付きの椅子に座らせた。

教示には次の点に注意した。大河内(1990)によれば、皮膚温制御成立者は実験状況におけるリラクスの程度が高く、「皮膚温が上昇するよう努力すること」など能動的な構えをとる教示によって、リラクスの程度が下がり訓練課題に影響を与える恐れがあると示した。佐瀬(2016)も同様に「気持ちを落ち着かせよう」「温かくしよう」といった自発的努力を伴う能動的注意集中より、さりげなくぼんやりと注意を向ける受動的注意集中の方が効果的であると述べた。そのため、「温度を上昇/下降しなければならない」などの能動的注意集中をとらせる教示が交感神経を活性化させ ST を低下させる恐れがあるため、受動的な注意集中の構えを行うように教示した。

以上の注意事項を踏まえて、実験参加者と機材の計測準備が整い次第、図 2-6 の実験スケジュールを呈示しながら、次のように教示を行った。「訓練は、7 分程度の安静期間を行った後、装置左下のスイッチを左にスライドさせ、5 分間の皮膚温を上昇する訓練を行っていただきます。訓練課題は事前に選択したイメージ方略から一つ用いてください。また、訓練を行う際は、無理に「温かくしよう・冷たくしよう」と制御するとリラックスできないため、さりげなくぼんやりと「指先が温かくなってきた」「冷たくなってきた」と体の変化を感じながら、ゆったりした気持ちで訓練を行ってください。訓練が終了しましたら、装置左下のスイッチを右に入れて、休憩を 2 分間行ってください。実験中に眠くなるがあるので、休憩中は軽いストレッチをしてください。なお、安静期間および訓練期間中は、こちらからの合図があるまで目を開けて何も考えないようにしてください。休憩後、再度安静期間を行った後、装置左下のスイッチを左にスライドさせ、5 分間の皮膚温を下降する訓練を行っていただきます。先ほどと同様に、無理に「温かくしよう・冷たくしよう」と制御しないようにしてください。以上の流れを 1 セッションとして、計 2 セッション行います。セッション間の休憩は、5~10 分間行います。その間、装置を取り外していただいて構いません。最後に、Forms を回答していただき、実験は終了となります」とした。その後、実験参加者からの質問がないことを確認し、「これから、実験を始めます。こちらからの合図があるまで目を開けて、何も考えないようにしてください。それでは、安静を開始してください」と教示して、実験を開始した。安静期間中のベースラインの確認および計測中の ST の波形は、Processing3.5.4 からリアルタイムで確認した。実験終了後、Forms の回答を求めた。次に、自宅での訓練方法について、訓練時の詳細や注意点を記載した解説ブログ(<http://protolab.sakura.ne.jp/LAB01/?p=21442>)を基に 10 分程度説明を行った後、説明に用いた解説ブログの URL、BF 装置、予備の充電電池 3 本を配布した。訓練に関する質問、BF 装置の故障に関して、Microsoft Teams(以下、Teams)のチャット機能を介して対応した。計

測 2 回目以降も同様の手順で行った後、自宅での訓練内容(訓練頻度や訓練方法など)について 10 分程度面談を行った。最後に、謝礼を渡し実験終了とした。また、実験場所である大学の入校制限や実験参加者の体調不良などの理由から実験を行えない場合、予定した訓練日の前後 2, 3 日を目途に日程調整を行い、再度計測を行った。

分析方法

生理指標の分析方法は、訓練方向(Condition)を上昇訓練(Increase)、下降訓練(Decrease)に分けて、平均値を算出した。次に、皮膚温変化量(Skin Temperature Change)を算出するため、各訓練方向の安静期間の最後の 1 分間の平均値を代表値として、各訓練方向の実測値から代表値を引いた値を皮膚温変化量とした。また、訓練期間(Period)の 1 分ごとの変化を分析するために、皮膚温変化量の平均値を 1 分ごとに算出した。算出した皮膚温変化量を従属変数として、4(訓練回:1~4 回)×2(訓練方向:上昇訓練, 下降訓練)×5(期間:1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。イメージ方略の分析方法は、各訓練回に実験参加者が用いたイメージ方略について、皮膚温変化量を従属変数として、4(イメージ方略:温冷感イメージ, 情動イメージ, イメージなし, その他)×2(訓練方向:上昇, 下降)×5(期間:1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。

心理指標の分析方法は、特性尺度 MAIA の 8 因子について、逆転項目の処理を行った後、因子ごとに算出した平均得点を 50%ずつ高群(High)、低群(Low)に割り当てた。その後、因子ごとに皮膚温変化量を従属変数として、2(群:高群, 低群)×2(訓練方向:上昇訓練, 下降訓練)×5(期間:1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。なお、実験参加者の人数が奇数であったため、平均得点の中間に位置した値を削除した。次に、状態尺度の RSES-J について、逆転項目の処理を行った後、合計得点を算出し、各訓練回の自尊感情に差があるかを検討するため、尺度得点を従属変数として、2(性別:男性, 女性)×4(訓練回:1~4 回目)の 2 要因混合計画の分散分析を行った。

結果

各訓練回（1~4）の皮膚温変化量を図 2-4 に示した。

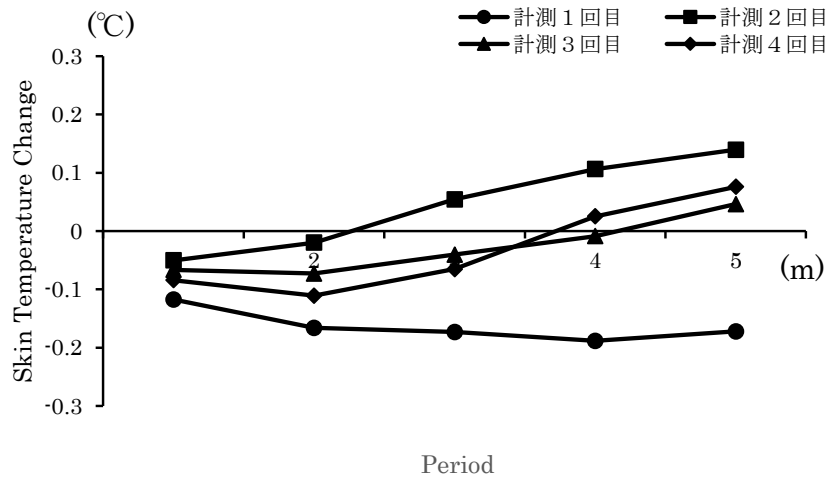


図 2-4 各期間における訓練回ごとの皮膚温変化量

図 2-4 より、計測 1 回目は皮膚温変化量が他回より全体的に低い傾向にあり、訓練時間が経過していくにつれて、下降しているように見受けられた。対して、計測 2 回目では、訓練時間が経過していくにつれて上昇していくように見受けられた。計測 3 回目、計測 4 回目は、その中間的な変化であった。そこで、皮膚温変化量を従属変数として、4(訓練回:1~4 回)×2(訓練方向:上昇, 下降)×5(期間:1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。その結果、訓練回の効果($F(3, 42)=2.41, p<.10$)、訓練方向の効果($F(1, 14)=3.96, p<.10$)、期間の効果($F(4, 56)=3.56, p<.05$)が有意であった。訓練回の効果が有意であったため、Holm 法による多重比較を行ったところ、計測 1 回目と計測 2, 3 回目の間($p<.01$)、計測 1 回目と計測 4 回目の間($p<.05$)で有意であった。つまり、計測 1 回目より計測 2, 3, 4 回目の皮膚温変化量が有意に高くなったと言えた。期間の効果が有意であったため、Holm 法による多重比較を行ったところ、2 分と 5 分の間で有意であった($p<.05$)。また、訓練方向の効果では、下降訓練より上昇訓練の皮膚温変化量が有意に高かったと言えた。

また、訓練方向×期間の交互作用($F(4, 56)=4.85, p<.01$)、訓練回×期間の交互作用($F(12, 168)=1.87, p<.05$)が有意であった。訓練回×訓練方向の交互作用($F(3, 42)=0.92, n.s.$)、訓練回×訓練方向×期間の交互作用($F(12, 168)=0.97, n.s.$)は有意ではなかった。訓練方向×期間の交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行ったところ、訓練方向の単純主効果が 3 分、4 分で有意傾向 ($ps<.10$)、5 分で有意であった($p<.05$)。つまり、3 分、4 分、5 分において、下降訓練よりも上昇訓練の皮膚温変化量が有意に高かった。また、上昇訓練にお

いて期間の単純主効果が有意であった($p<.01$)。Holm 法による多重比較を行った結果、1分と4分、5分の間、2分と4分、5分の間、3分と5分の間で有意であった($p<.05$)。つまり、上昇訓練のみにおいて、訓練時間が経つにつれて、皮膚温変化量が有意に高くなったと言えた(図 2-5)。

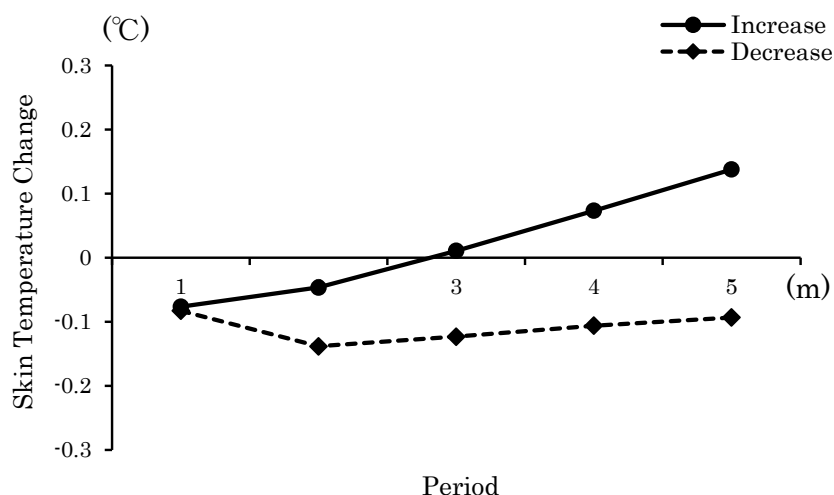


図 2-5 各期間における訓練方向別の皮膚温変化量

訓練回×期間の交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行ったところ、訓練回の単純主効果が4分、5分で有意であった($p<.10$)。訓練回の効果が認められたため、Holm 法による多重比較を行った結果、4分、5分ともに有意ではなかった。つまり、4分、5分において、各訓練回によって皮膚温変化量が異なっていたと言えた。また、期間の単純主効果が計測2回目 ($p<.05$)、計測3回目、計測4回目で有意であった($p<.10$)。期間の効果が認められたため、Holm 法による多重比較を行った結果、計測2回目において期間の1分と5分で有意であった($p<.05$)。計測3回目、計測4回目の期間は有意ではなかった。つまり、計測2回目のみにおいて、訓練時間の最初よりも最後の皮膚温変化量が有意に高くなったと言えた。

次に、性別により各訓練回の皮膚温変化量に差があるかを検討した。STには明らかな性差があるとされ(廣田, 1997), 生理周期が自律神経の活動に影響を与え, リラクセーション効果に違いがあることが示された(大平ら, 2006; 堤ら, 2003)。そのため, 性別によるSTBFの訓練効果に着目するため, 本研究においても性別を要因に入れ分析を行った。性別ごとの皮膚温変化量を図 2-6 に示した。

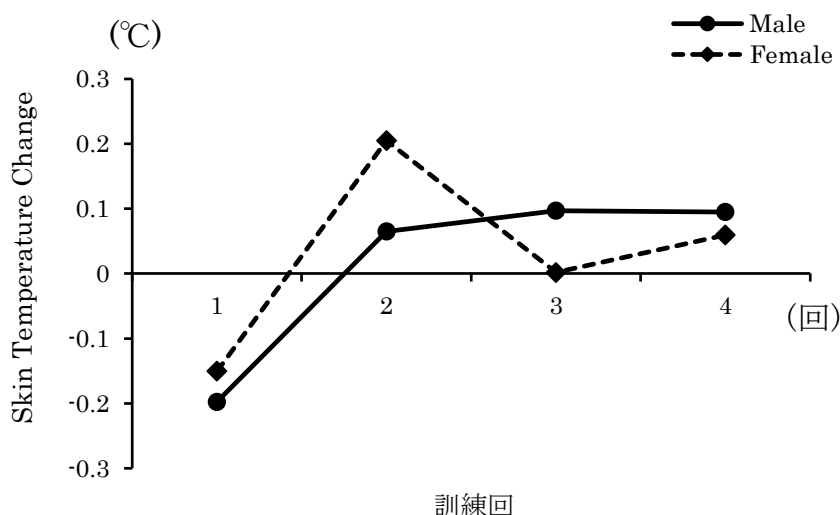


図 2-6 各訓練回における性別ごとの皮膚温変化量

図 2-7 より, 計測 1 回目から計測 2 回目にかけて, 男性, 女性ともに皮膚温変化量が上昇していた。男性は訓練回を重ねるにつれて, 皮膚温変化量が上昇しているように見受けられた。女性は, 計測 3 回目に下降し, 男性に比べて訓練回ごとの変化が安定していないように見受けられた。そこで, 皮膚温変化量を従属変数として, 2(性別:男性, 女性)×4(訓練回:1~4 回)×2(訓練方向:上昇, 下降)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。その結果, 訓練方向の効果が有意であった($F(1, 13)=7.01, p<.05$)。また, 性別×訓練方向の交互作用が有意であった($F(1, 13)=3.90, p<.10$)。性別の効果($F(1, 13)=0.02, n.s.$), 訓練回の効果($F(3, 39)=2.17, n.s.$), 性別×訓練回の交互作用($F(3, 39)=0.32, n.s.$), 訓練回×訓練方向の交互作用($F(3, 39)=0.95, n.s.$), 性別×訓練回×訓練方向の交互作用($F(3, 39)=1.14, n.s.$)は有意ではなかった。性別×訓練方向の交互作用が認められたため, 単純主効果の検定を行ったところ, 訓練方向の単純主効果が男性で有意であった($p<.01$)。つまり, 男性は下降訓練よりも上昇訓練の皮膚温変化量が有意に高くなったのに対し, 女性は上昇訓練と下降訓練の差が明確ではないと言えた(図 2-10)。

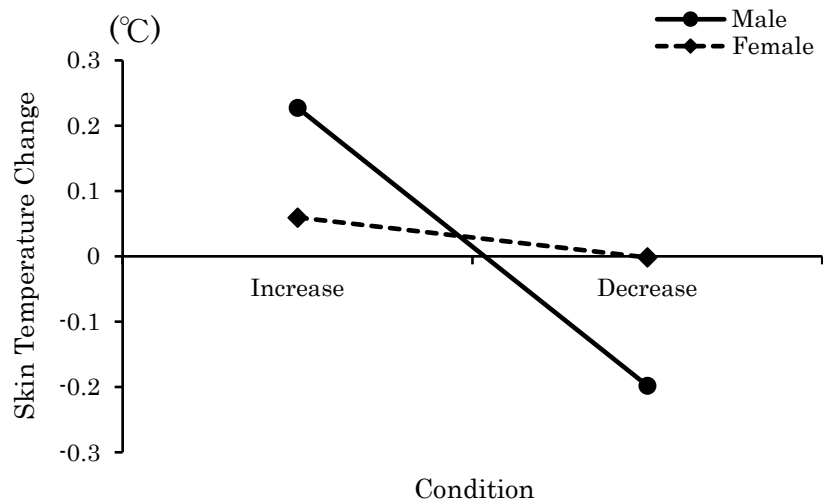


図 2-7 男性の各計測回数における訓練方向別の皮膚温変化量

次に、各訓練回に実験参加者が用いたイメージ方略について、皮膚温変化量に差があるかを検討した。なお、訓練回によってイメージ方略の使用者の人数が著しく偏っていたため、4名未満を分析から除外した。分散分析の際は、イメージ方略と関係した有意な効果が検出された場合にのみ、下位検定を行った。また、二次の交互作用の下位検定は行わず、図からの解釈を行った。訓練回ごとの各イメージ方略を用いた人数を表 2-2 に示した。

表 2-2 訓練回ごとの各イメージ方略を用いた使用人数

	計測 1 回目	計測 2 回目	計測 3 回目	計測 4 回目
温冷感	7	9	1	4
情動	7	4	2	1
イメージなし	0	1	7	5
その他	1	1	5	5

表 2-2 より、計測 1 回目、計測 2 回目は温冷感、情動イメージの使用人数が多かったが、訓練回数を重ねるにつれて減少した。計測 3 回目からイメージなし、その他の使用人数が増え、計測 4 回目では情動イメージを除いて、同人数であるように見受けられた。

計測 1 回目について、皮膚温変化量を従属変数として、2(イメージ方略:温冷感、情動イメージ)×2(訓練方向:上昇、下降)×5(期間:1~5分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。その結果、イメージ方略の効果($F(1, 12)=0.77, n.s.$)、訓練方向の効果($F(1, 12)=0.05, n.s.$)、期間の効果($F(4, 48)=0.56, n.s.$)、イメージ方略×訓練方向の交互作用($F(1, 12)=1.14, n.s.$)、イ

イメージ方略×期間の交互作用($F(4, 48)=0.44, n.s.$), 訓練方向×期間の交互作用($F(4, 48)=1.21, n.s.$), イメージ方略×訓練方向×期間の交互作用($F(12, 168)=0.97, n.s.$)は有意ではなかった。つまり, 計測 1 回目のイメージ方略における各期間, 訓練方向の皮膚温変化量に違いがみられなかった。

計測 2 回目について, 皮膚温変化量を従属変数として, 2(イメージ方略:温冷感, 情動イメージ)×2(訓練方向:上昇, 下降)×5(期間: 1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。その結果, イメージ方略の効果 ($F(1, 11)=3.36, p<.10$), イメージ方略×期間の交互作用($F(4, 44)=2.86, p<.05$)が有意であった。訓練方向の効果($F(1, 11)=1.29, n.s.$), 期間の効果($F(4, 44)=1.31, n.s.$), イメージ方略×訓練方向の交互作用($F(1, 12)=2.15, n.s.$), 訓練方向×期間の交互作用($F(4, 44)=0.86, n.s.$), イメージ方略×訓練方向×期間の交互作用($F(4, 44)=1.50, n.s.$)は有意ではなかった。つまり, イメージ方略の効果は, 情動イメージよりも温冷感イメージの皮膚温変化量が有意に高い傾向にあった。イメージ方略×期間の交互作用が認められたため, 単純主効果の検定を行ったところ, イメージ方略の単純主効果が 4 分, 5 分で有意傾向であった($ps<.10$)。つまり, 4 分, 5 分において, 情動イメージよりも温冷感イメージの皮膚温変化量が有意に高くなったと言えた。また, 温冷感イメージにおいて期間の単純主効果が有意であった($p<.01$)。Holm 法による多重比較を行った結果, 1 分と 4 分, 5 分の間, 2 分と 5 分の間で有意であった($ps<.05$)。つまり, 温冷感イメージのみにおいて, 訓練時間が経つにつれて, 皮膚温変化量が有意に高くなったと言えた(図 2-8)。

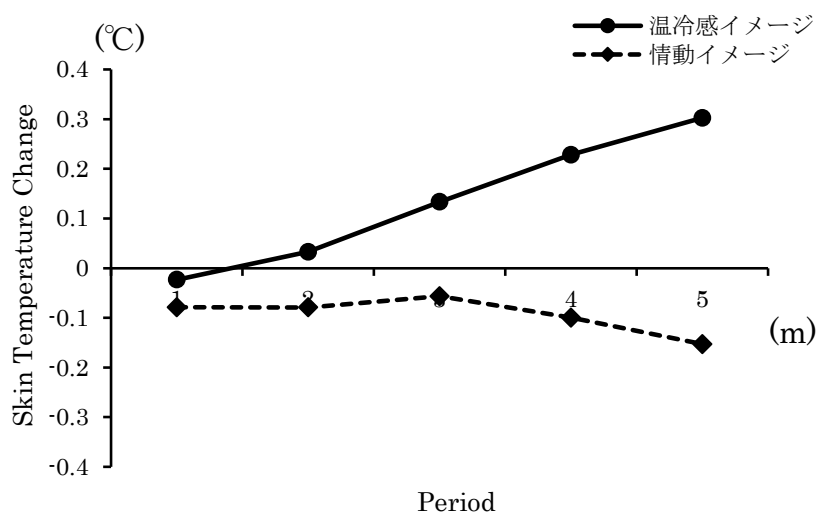


図 2-8 計測 2 回目の各訓練方向におけるイメージ方略別の皮膚温変化量

計測 3 回目について, 皮膚温変化量を従属変数として, 2(イメージ方略:イメージなし, その他)×2(訓練方向:上昇, 下降)×5(期間: 1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。その結果, イメージ方略の効果($F(1, 10)=3.86, p<.10$), 期間の効果($F(4, 40)=2.88, p<.05$)が有

意であった。また、イメージ方略×期間の交互作用($F(4, 40)=3.41, p<.05$), 訓練方向×期間の交互作用($F(4, 40)=3.20, p<.05$)が有意であった。訓練方向の効果($F(1, 10)=1.59, n.s.$), イメージ方略×訓練方向の交互作用($F(1, 12)=2.15, n.s.$), イメージ方略×訓練方向×期間の交互作用($F(4, 44)=1.50, n.s.$)は有意ではなかった。つまり、イメージ方略の効果は、イメージなしよりその他の皮膚温変化量が有意に高い傾向にあった。イメージ方略×期間の交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行ったところ、イメージ方略の単純主効果が3分、4分で有意傾向 ($ps<.10$), 5分で有意であった($p<.05$)。つまり、3分、4分、5分において、イメージなしよりもその他の皮膚温変化量が有意に高かった。また、その他において期間の単純主効果が有意であった($p<.01$)。Holm 法による多重比較を行った結果、1分と4分、5分の間、2分と5分の間で有意であった($ps<.05$)。つまり、その他において、訓練時間が経つにつれて、皮膚温変化量が有意に高くなったと言えた(図 2-9)。なお、訓練方向×期間の交互作用が有意であったため、図 2-10 に示した。

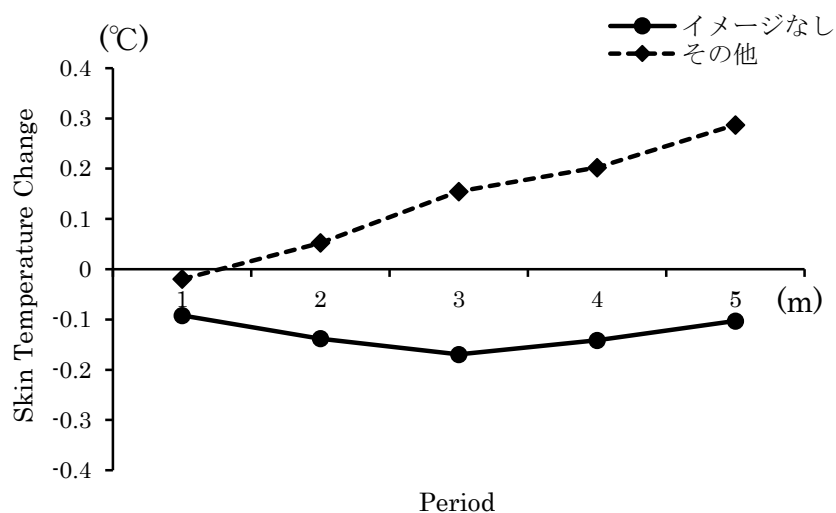


図 2-9 計測 3 回目の各期間におけるイメージ方略ごとの皮膚温変化量

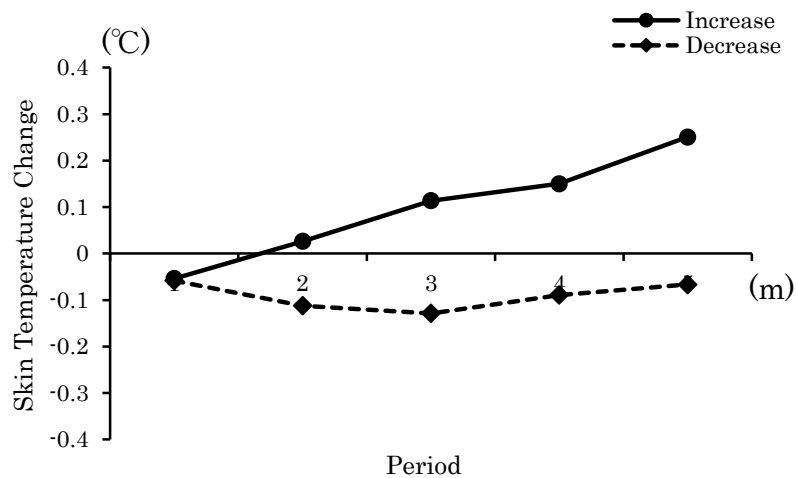


図 2-10 計測 3 回目の各期間における訓練方向ごとの皮膚温変化量

計測 4 回目について、皮膚温変化量を従属変数として、3(イメージ方略:温冷感, イメージなし, その他) \times 2(訓練方向:上昇, 下降) \times 5(期間: 1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。その結果、訓練方向の効果($F(1, 11)=3.99, p<.10$)、期間の効果($F(4, 44)=2.34, p<.10$)、イメージ方略 \times 訓練方向の交互作用($F(2, 11)=3.94, p<.10$)、訓練方向 \times 期間の交互作用($F(4, 44)=3.13, p<.05$)、イメージ方略 \times 訓練方向 \times 期間の交互作用($F(8, 44)=3.79, p<.01$)が有意であった。イメージ方略の効果($F(2, 11)=1.24, n.s.$)、イメージ方略 \times 期間の交互作用($F(8, 44)=0.54, n.s.$)は有意ではなかった。イメージ方略 \times 訓練方向の交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行ったところ、イメージ方略の単純主効果が訓練方向のいずれの水準においても有意でなかった。また、訓練方向の単純主効果は、イメージ方略のその他において有意であった($p<.05$)。つまり、イメージ方略のその他において、下降訓練よりも上昇訓練の皮膚温変化量が有意に高かったと言えた(図 2-11)。なお、訓練方向 \times 期間の交互作用が有意であったため、図 2-12 に示した。

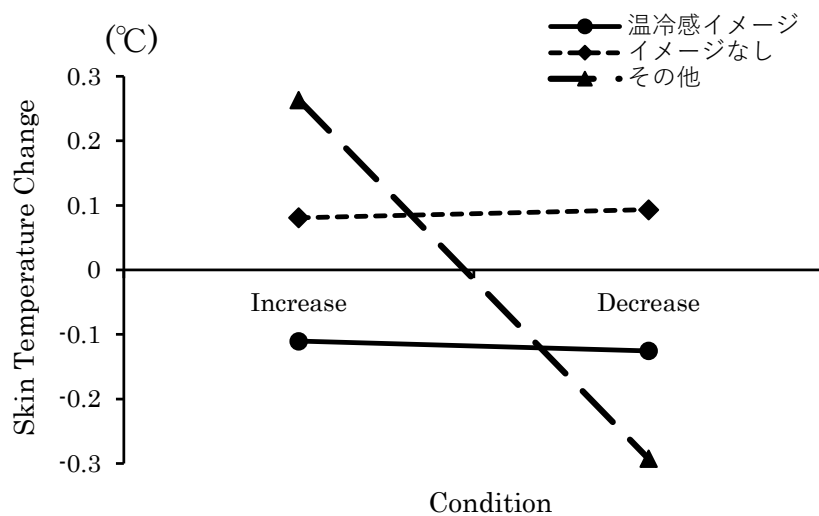


図 2-11 計測 4 回目の各訓練方向におけるイメージ方略ごとの皮膚温変化量

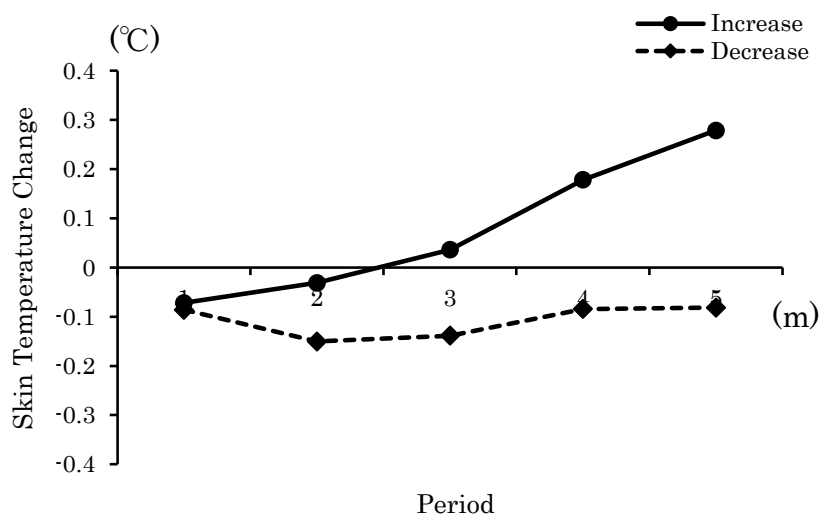


図 2-12 計測 4 回目の各期間における訓練方向ごとの皮膚温変化量

イメージ方略×訓練方向×期間の交互作用に関して、イメージ方略その他が上昇訓練において、他のイメージ方略より皮膚温変化量が高かった。下降訓練においても他のイメージ方略より皮膚温変化量が低かった。また、訓練方向の区別が行えているように見受けられた。イメージなしの下降訓練では、時間が経つにつれて皮膚温変化量が上昇していた(図 2-13)。

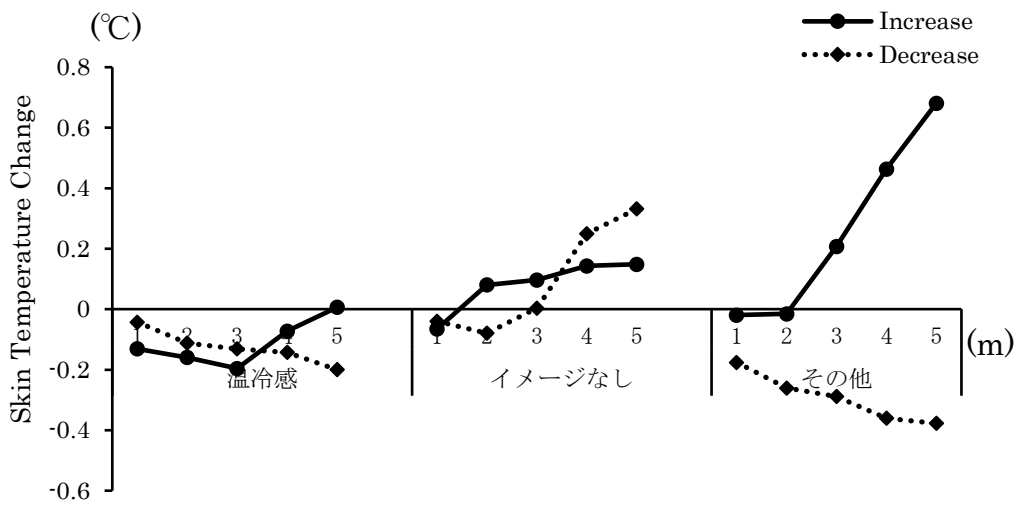


図 2-13 計測 4 回目の各イメージ方略と各期間における訓練方向ごとの皮膚温変化量

次に、MAIA 主要 8 因子の内受容感覚の高低により、皮膚温変化量に差があるかを検討した。また、皮膚温変化量を従属変数として、2(群:高群, 低群)×2(訓練方向:上昇, 下降)×5(期間:1~5 分)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。なお、分散分析の際は、内受容感覚要因と関係した有意な効果が検出された場合にのみ、下位検定を行った。また、二次の交互作用の下位検定は行わず、図からの解釈を行った。MAIA の因子ごとの平均値及び標準偏差と統計処理結果について、表 2-3 に示した。

表 2-3 因子ごとの平均値及び標準偏差と統計処理結果

	High										N
	Increase					Decrease					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
気づき因子	-0.07 (0.09)	-0.03 (0.21)	0.05 (0.24)	0.14 (0.27)	0.20 (0.32)	-0.08 (0.09)	-0.16 (0.16)	-0.15 (0.21)	-0.17 (0.24)	-0.15 (0.26)	14
気が散らない因子	-0.05 (0.08)	0.02 (0.16)	0.08 (0.15)	0.10 (0.17)	0.14 (0.19)	-0.08 (0.08)	-0.08 (0.16)	-0.04 (0.17)	-0.02 (0.18)	-0.05 (0.23)	14
心配しない因子	-0.12 (0.15)	-0.13 (0.26)	-0.05 (0.27)	0.05 (0.30)	0.14 (0.33)	-0.10 (0.07)	-0.20 (0.18)	-0.21 (0.22)	-0.19 (0.24)	-0.14 (0.34)	14
注意制御因子	-0.11 (0.17)	-0.10 (0.30)	-0.04 (0.28)	0.04 (0.27)	0.13 (0.25)	-0.08 (0.09)	-0.16 (0.16)	-0.10 (0.15)	-0.02 (0.12)	0.08 (0.24)	14
感情への気づき因子	-0.04 (0.08)	0.01 (0.21)	0.05 (0.22)	0.10 (0.21)	0.12 (0.23)	-0.04 (0.05)	-0.04 (0.11)	0.00 (0.14)	0.00 (0.16)	0.01 (0.18)	14
自己制御因子	-0.05 (0.08)	0.00 (0.20)	0.07 (0.23)	0.14 (0.27)	0.19 (0.32)	-0.07 (0.06)	-0.14 (0.14)	-0.13 (0.21)	-0.13 (0.26)	-0.10 (0.28)	14
身体を聴く因子	-0.09 (0.17)	-0.05 (0.32)	0.01 (0.32)	0.10 (0.32)	0.18 (0.33)	-0.08 (0.08)	-0.16 (0.23)	-0.15 (0.30)	-0.11 (0.31)	-0.06 (0.37)	14
信頼する因子	-0.06 (0.07)	-0.04 (0.16)	0.00 (0.16)	0.06 (0.18)	0.10 (0.21)	-0.06 (0.06)	-0.10 (0.08)	-0.07 (0.08)	-0.09 (0.11)	-0.08 (0.16)	14

上段:平均値, 下段:標準偏差

() 内は標準偏差

	Low										N
	Increase					Decrease					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
気づき因子	-0.09 (0.16)	-0.07 (0.25)	-0.03 (0.21)	-0.02 (0.17)	0.05 (0.14)	-0.10 (0.07)	-0.14 (0.19)	-0.12 (0.22)	-0.05 (0.21)	-0.05 (0.32)	14
気が散らない因子	-0.11 (0.15)	-0.12 (0.26)	-0.05 (0.27)	0.05 (0.30)	0.14 (0.33)	-0.09 (0.08)	-0.21 (0.18)	-0.22 (0.22)	-0.21 (0.24)	-0.15 (0.35)	14
心配しない因子	-0.04 (0.08)	0.03 (0.16)	0.08 (0.15)	0.09 (0.18)	0.14 (0.20)	-0.07 (0.09)	-0.09 (0.16)	-0.05 (0.18)	-0.04 (0.20)	-0.06 (0.24)	14
注意制御因子	-0.04 (0.05)	0.01 (0.10)	0.08 (0.13)	0.10 (0.22)	0.15 (0.28)	-0.09 (0.07)	-0.13 (0.20)	-0.15 (0.27)	-0.19 (0.28)	-0.25 (0.24)	14
感情への気づき因子	-0.11 (0.15)	-0.12 (0.23)	-0.06 (0.18)	-0.01 (0.19)	0.08 (0.18)	-0.11 (0.08)	-0.19 (0.16)	-0.18 (0.13)	-0.14 (0.12)	-0.12 (0.30)	14
自己制御因子	-0.11 (0.15)	-0.12 (0.23)	-0.06 (0.18)	-0.01 (0.19)	0.08 (0.18)	-0.11 (0.08)	-0.19 (0.16)	-0.18 (0.13)	-0.14 (0.12)	-0.12 (0.30)	14
身体を聴く因子	-0.07 (0.05)	-0.05 (0.08)	0.01 (0.06)	0.05 (0.14)	0.10 (0.18)	-0.09 (0.08)	-0.13 (0.11)	-0.11 (0.09)	-0.12 (0.12)	-0.15 (0.18)	14
信頼する因子	-0.12 (0.15)	-0.10 (0.24)	-0.01 (0.24)	0.04 (0.27)	0.14 (0.29)	-0.12 (0.08)	-0.19 (0.23)	-0.19 (0.28)	-0.15 (0.30)	-0.15 (0.37)	14

上段: 平均値, 下段: 標準偏差

() 内は標準偏差

	効果		交互作用		単純主効果		多重比較	
	群	群×訓練方向	群×期間	群×訓練方向×期間	群×訓練方向	群×期間	群×訓練方向	群×期間
気づき因子	0.08	1.11	0.02	2.32+	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
気が散らない因子	2.52	0.10	0.93	0.81	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
心配しない因子	2.14	0.03	0.76	0.85	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
注意制御因子	0.04	1.86	3.37*	2.07	<i>n.s.</i>	期間における 高群**	<i>n.s.</i>	1分<5分*, 2分<5分* 3分<5分*
感情への気づき因子	3.57+	0.21	0.38	0.41	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
自己制御因子	1.90	0.35	0.09	0.35	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
身体を聴く因子	0.04	0.01	0.61	0.12	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
信頼する因子	0.80	0.16	0.22	0.36	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

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

気づき因子について、群×訓練方向×期間の交互作用が有意であったため、図 2-14 に示した。高群の上昇訓練は、時間が経つにつれて上昇し、下降訓練では1分目から2分目にかけて下降し、3分目以降はあまり変化が見受けられなかった。低群の上昇訓練においても時間が経つにつれて上昇し、下降訓練では3分目以降、時間が経つにつれて上昇しているように見受けられた。高群と低群を比較すると、高群において上下方向の訓練が明確に別れていることが見て取れた。

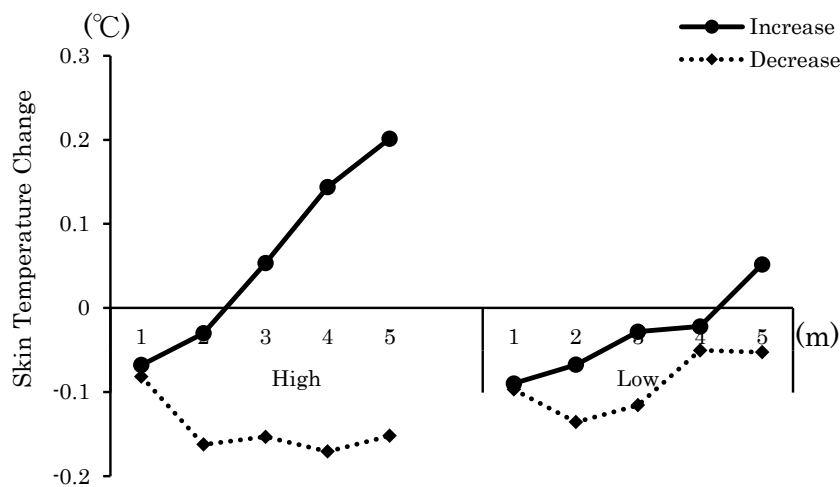


図 2-14 気づき因子の各期間における訓練方向ごとの内受容感覚の高低別の皮膚温変化量

注意制御因子について、群×期間の交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行ったところ、期間の単純主効果が高群で有意であった($p < .01$)。Holm 法による多重比較を行った結果、1分と5分の間、2分と5分の間、3分と5分の間で有意であった($ps < .05$)。つまり、高群において、訓練時間が経つにつれて、皮膚温変化量が有意に高くなったと言えた。低群は期間による明確な差が認められなかった。

感情への気づき因子について、群の効果が有意であった。つまり、高群において、低群よりも皮膚温変化量が有意に高かったと言えた。また、気が散らない因子、心配しない因子、自己制御因子、身体を聴く因子、信頼する因子に関しては、いずれにおいても有意でなかった。

次に、性別により、各訓練回の自尊感情に差があるかを検討した。岡田ら(2015)によれば、RSESによる自尊感情の性差を報告する50研究に対してメタ分析を行ったところ、性差はどの年代においても女性よりも男性の得点が高かったと示した。そのため、先行研究および性別によるBFの訓練効果に着目するため、本研究においても性別を要因に入れ分析を行った。また、各訓練回における自尊感情尺度得点を従属変数として、2(性別:男性, 女性)×4(訓練回:1~4回)の2要因混合計画の分散分析を行った。各訓練回における自尊感情尺度得点の平均値を算出し、性別ごとの変化を図 2-15 に示した。

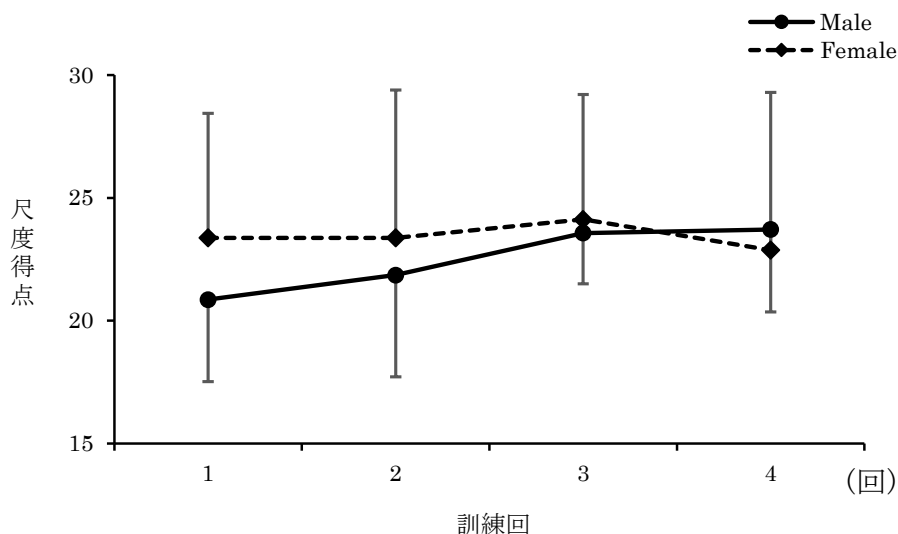


図 2-15 各訓練回における性別ごとの自尊感情尺度得点の変化

図 2-15 より、計測 4 回目を除いて、男性より女性の自尊感情尺度得点が高いように見受けられた。男性の自尊感情尺度得点は、訓練回を重ねるにつれて、緩やかに上昇しているが、女性は緩やかに下降しているように見受けられた。全体的に計測 3 回目が他の訓練回よりも高いように見受けられた。

そこで、2 要因混合計画の分散分析を行った。その結果、訓練回の効果のみ有意であった ($F(3, 39)=2.32, p<.10$)。性別の効果 ($F(1, 13)=0.17, n.s.$)、性別×訓練回の交互作用 ($F(3, 39)=2.05, n.s.$) が有意でなかった。訓練回の効果が認められたため、Holm 法による多重比較を行った結果、いずれも有意でなかった。つまり、訓練回において、自尊感情尺度得点との関連はあるが、具体的な訓練回数との関連はみられないと言えた。

自宅での訓練について、訓練回数、訓練場所、訓練姿勢について表 2-4 に示した。

表 2-4 自宅での訓練場所と訓練方向と訓練姿勢の人数

訓練場所	訓練方向	座位	寝姿勢
自宅	上昇訓練	30人	12人
	下降訓練	24人	5人
屋外	上昇訓練	5人	0人
	下降訓練	7人	0人

表 2-4 より, 訓練場所においては, 屋外よりも自宅での訓練人数が多かった。また, 自宅での訓練者は下降訓練よりも上昇訓練を行った人数が多く, 訓練姿勢では寝姿勢よりも座位の訓練人数が多かった。屋外での訓練者は訓練方向の人数にあまり差異はみられず, また訓練姿勢に関しては寝姿勢が 0 人だった。そこで, 訓練回数を群, 皮膚温変化量を従属変数として, 2(群:高群, 低群)×4(訓練回:1~4 回)×2(訓練方向:上昇, 下降)の 3 要因混合計画の分散分析を行った。その結果, 訓練回の効果($F(3, 36)=2.40, p<.10$), 訓練方向の効果が有意であった($F(1, 12)=4.23, p<.10$)。また, 群の効果($F(1, 12)=0.19, n.s.$), 群×訓練回の交互作用($F(3, 36)=0.96, n.s.$), 群×訓練方向の交互作用($F(1, 12)=0.55, n.s.$), 訓練回×訓練方向の交互作用($F(3, 36)=0.69, n.s.$), 群×訓練回×訓練方向の交互作用($F(3, 36)=0.69, n.s.$)は有意ではなかった。つまり, 自宅での訓練回数における各訓練回, 訓練方向の皮膚温変化量に違いがみられなかった(図 2-16)。

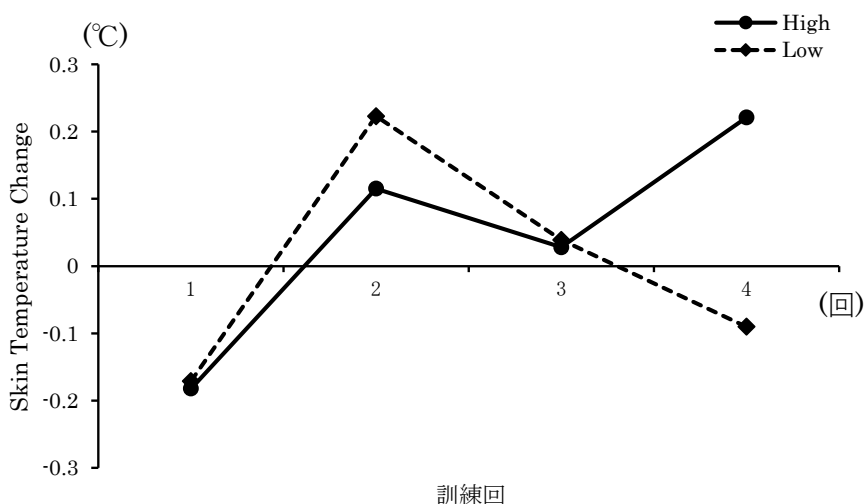


図 2-16 各訓練回における自宅での訓練回数の高低別の皮膚温変化量

訓練回の実験参加者が用いた訓練方向ごとのイメージ方略について、イメージ内容を表 2-5 に示した。

表 2-5 訓練回に用いたイメージ方略および訓練方向別のイメージ内容

	上昇訓練	下降訓練
1. 温冷感イメージ	ストープに掌をかざす カイロを握っている状態 熱いものを食べる(ラーメン等) 炎、お湯に手を添えているイメージ 指先が熱くなるイメージ 猫の体温、血行が良いイメージ 手から体中の熱を発散させるイメージ 額、首、腕が温かくなってきたというイメージ 熱がこもるイメージ 眠る前の手が温まっている感じ 冬の寒い日に手を温めながら缶ジュースを飲む場面 夏の体育館、砂漠、満員電車 サウナに入ってる時のイメージ 焚き火やキャンプファイヤーの前に座る	肌寒い日の夜 腕が冷えていくイメージ 保冷剤に触った時 氷水に手をつけている 冷たいものを食べる(アイス等) 雪玉や氷柱をずっと持っているイメージ 血の気が引いて気が遠くなっていくイメージ 血流の流れが悪いイメージ、寒い日に手が悴むイメージ 氷山を削る、ビールのCMなどにある氷を割る映像 クーラーが効きすぎた部屋 薄着で外にいる、冬の雪山 冬の屋外の体育の授業のこと 業務用冷凍庫に入ったときのイメージ ウォークイン(コンビニの飲料置き場)での作業
2. 情動イメージ	自分の成功体験 楽しかった高校時代 過去の嬉しかったこと、笑えたダジャレのこと 飼った猫の可愛い仕草 アニメやライブの楽しかったシーン 大学院入試が終わったあとの楽しみなこと 夏祭り、ディズニーに行った時の思い出 好きな人と散歩デートしていること 友達と遊びに行った思い出や彼女とのデート 友人とあった日のこと、次の休みにしたいこと 友人達とボウリング、協力ゲームで遊んだ思い出	最近あった嫌な事 昔の嫌だった出来事、辛かった経験 中学時代の部活動、バイトでの失敗 バイトなどの嫌な予定、苦手な人、将来の不安 苦手な先生のこと、ゴキブリとの遭遇 怖い夢のこと 都市伝説や怖い話など 彼女が死んで後追いで自殺する心境 自分のミスで目上の人に怒られたりすること 自分の手足が切断されたり、内臓を触られるイメージ 自分が緊張している時のこと
3. イメージなし	イメージなし	イメージなし
4. その他	最近の外の様子と上昇音をイメージした リラックス状態のときの身体の感覚をイメージ 装置に表示されている数字や音が上昇する様子 怒りとか炎 手の温度を上昇させるイメージ 夜中の寝苦しさや温かいものをイメージ 暑い、暑くて干からびそうとイメージした時の上昇音 身体の感覚に集中して、腰が温かいなどをイメージ 暑い日のことや首の後ろ、腕が熱くなってきたイメージ 夏休みに行く旅行 ゼミの先生と話して楽しかったこと、布団でゴロゴロすること	寒い、冷たいとイメージした下降音をイメージ 装置に表示されている数字や音が下降する様子 悲しい思い出とか氷 保冷剤の冷たさや冷たい場所を想像 冷たいものや学会発表への不安をイメージ 今日の予定のこと 院試の面接練習を具体的にイメージ 友人と比べ自分の調子が悪いなど考えていた 緊張していることを自覚し、さらに緊張を煽った 最近蜘蛛が家に出たことなどを思い出していた 過去に緊張したことや怒られたこと、嫌だったこと

表 2-5 から、温冷感イメージに関しては、熱や氷のイメージをもとに訓練を行っていた。情動イメージでは、過去や現在で楽しかったこと、不安を感じたこと、手足の切断など怖いイメージを行っていた。その他では、温冷感と情動イメージの併用や装置のモニターに映し出される数値が上昇、下降するイメージをもとに行っていた。

各訓練回における実験終了後の内省報告を表 2-6 に示した。

表 2-6 各訓練回における計測後の内省報告

訓練回	内省報告
計測1回目	思ったように、皮膚温制御ができなかった 比較的寒い日だったので、寒さの方が想像しやすかった。 温冷感イメージのため、温かいものをイメージしながかなか上がらない時があった。 下降訓練中に上昇、上昇訓練中に下降すると焦った。 情動イメージが私にはあまり適正がなかった。ボーっとしている間に少し気が飛んだ瞬間があった。 温度変化時にFB音がたまになるので、鳴った時に少しびっくりした。 フィードバックで訓練とは逆の音が鳴ると、その瞬間は少し焦りました。 セッション2は少し眠かったです。 あまりぼーっと出来なかった。 下降訓練中に外でセミが鳴き始めたため、イメージがそちらに引っ張られた様な気がした。
計測2回目	今日は下降訓練がよくできた。 前回よりも皮膚温の制御ができていない気がした。 セッション1は上手くできたが、セッション2では集中力が続かず、特に上昇訓練が上手く制御できなかった。 後半になるにつれ、集中力が切れてしまい最後の下降訓練が全く下がらなかった。 今回は情動イメージを使用した、温冷感イメージと比べ、すぐにイメージすることが難しかった。 次々にいろいろなことを考え、イメージに集中できなかった。 初めてやったイメージだったので、なかなかいい結果には出来なかったと思います。 夏に手が温くなるイメージは体が熱くなるため、イメージしたくないと考えてしまい、上昇訓練がうまくできな
計測3回目	少し皮膚温制御が上手くなった気がする。 自分では実感がないけど上昇・下降が多少コントロールできていたみたい。 なかなか皮膚温が上がらないとイメージが途切れる。イメージなしだと途切れる心配がない。 徐々に慣れてきたような気がするが、やはり思ったようにいかない時もある。 前半は少し上手くいかなかったが、後半は集中力もあんまり切らずに制御できた。 安静直後の訓練開始時は皮膚温が下降し、訓練後半は上昇していく傾向がありそうです。 以前より下降訓練時は冷たい風など、上昇訓練時は体温などに意識を集中できているかもしれない。 睡眠時間が少なかったため、うまく訓練を行うことができなかった。
計測4回目	セッション2の上昇訓練だけ集中力が途切れて上手く出来なかった。 セッション2の下降訓練で3℃近く上昇し、実験が終わった後指に汗をかいていた。 今回は下降よりも上昇の方が、上手くいったように感じた。 初期に比べたら大分制御できるようになった。 今回は下降よりも上昇の方が、上手くいったように感じた。 極端に温まったり冷えたイメージをするよりも、何となく温かい・冷たい状態をイメージした方が制御しやすかつ 身体変化に気が付けるようになったと思う。 指先だけでなく、意識が覚醒してきた感じや身体全体の変化に意識を向けた方がうまく制御できるかもしれない。 今日は少し体調が良くなかったです。 喉の調子が悪く、咳が多かった。思った方に体温が行かないときに少し焦って、止まれとか思ってた。 いつもより眠く感じている中での実験だった。 若干眠かったです。下降訓練に関しては、前回より身についた気がします。 今日の睡眠時間が短かったためか、前回や前々回と比べて、コントロールしにくかったです。

表 2-6 から計測 1 回目では、訓練に集中できなかった、下降訓練中に皮膚温が上昇したなど皮膚温を制御できなかったという報告が多く、計測 2 回目ではイメージ方略が困難という報告があった。しかし、計測 3 回目から皮膚温制御が上手くなった、体温に意識を集中できているなど訓練回を重ねるごとに、皮膚温を制御できなかったという報告が増えた。計測 4 回目では、実験参加者の大部分が体調不良を訴えていた。

各訓練回における自宅での1週間おきの訓練内容について内省報告を表2-7に示した。
 なお、各訓練回終了後に調査を行い、計測1回目は訓練初回のため記載しなかった。

表2-7 各訓練回における自宅での訓練の内省報告

訓練回	内省報告
計測2回目	<p>Youtubeから上昇訓練で焚火の動画、下降訓練で氷の砕ける音を流し訓練を行っている。 飼い猫を抱きながら上昇訓練を行い、皮膚温度を上げるコツを探っている。 上昇がうまくいかないため、アップテンポの曲を聴きながら訓練を行っている。 バイト上がりの入浴後に訓練を行っている。 寝る前に訓練を行っており、偶に昼頃に訓練を行っている。 寝る前に訓練を行い、フローリングで座位姿勢で行っている。 寝る前に上昇訓練を行ってから寝ている。リラックスできている。 同じことをイメージしているため、イメージ切れがない。 温冷感イメージを使用しているが、訓練中にイメージ切れが起こる。 情動イメージに慣れすぎて、あまり温度変化がおきない。 自宅で訓練を行うとリラックスしすぎるため、緊張感のある大学で行っている。 外だと環境音が気になるため、自宅で訓練を行っている。 集中できるため、自室で訓練を行っている。 訓練方向はどちらも行っている。 苦手な訓練方向を行っている。 1日2回訓練を行っている。 気が向いたら訓練を行っている。 週に2~3回訓練を行っている。 訓練を行わなかった。 BF装置のモニタに数値が映らなかった。</p>
計測3回目	<p>スマホやYoutubeをみて、皮膚温制御のコツを掴んでいる。 曲のテンポを聴きながら訓練を行い、皮膚温制御のコツが掴めてきた。 引き続き、Youtubeの動画をもとに訓練を行い、感覚が掴めた。下降訓練がイメージしやすく得意。 バイト上がりに訓練することが多い。 寝る前に上昇訓練すると睡眠導入にちょうどいい 学内のアトリウムや実験室で訓練を行い、周囲の音は気にならなかった。 上昇訓練で体が温まり眠くなるため、寝る前に訓練を行っている。 電車での通学中にFBなしで訓練を行っている。 学内の院生室で訓練を行ったが、FB音がうるさいかもしれない。 上昇・下降訓練セットで行っている。 上昇訓練のコツを掴んだため、下降訓練を行っている。 1週間で計5回訓練を行った。 前回と同じ頻度で訓練を行っている。 BF装置の電池が切れており、起動しなかった。 体調の問題で、皮膚温が下降する一方だった。</p>
計測4回目	<p>毎日寝る前に上昇訓練を行っており、意識的にリラックスする習慣ができた。寝やすくなった。 自宅で訓練を行っている。情動イメージを使用しているがネタ切れになった。 寝る前に訓練を行い、計4回訓練を行った。寝姿勢では眠くなり、モニタをあまり見れなかった。 電車での通学時間が好きでなかったが、訓練中は集中して周囲が気にならなくなった。 1日1回訓練を行っている。当初より制御ができてきている。 計2回訓練を行った。訓練方向は双方行っている。 訓練を行う時間をあまり設けられなかった。 BF装置の電池が切れており、数値が映らなかった。 自宅で訓練を行っている。下降訓練では力が入ってしまい、うまく制御できない。</p>

表2-7から、訓練のコツを掴むためにYoutubeから焚き木やアップテンポの動画を再生、猫を抱きながら訓練を行うなど独自の訓練方法を行っている報告があった。訓練場所に関しては、自宅や移動中の電車内、大学などが挙げられた。実験参加者によって、外出先の訓練では、環境音やFBが気になり、自宅で訓練を行うという報告があった。訓練のタイミングは、寝る前に上昇訓練を行うという報告が多かった。BF装置の挙動不備として、電池切れからモニターの数値が映らない、起動しないとの報告があった。

考察

[研究Ⅱの目的]

研究Ⅱの目的は、研究Ⅰで作成した自由に持ち運びができるストラップ型 BF 装置をもとに、3 週間の日常的な訓練が心身に与える影響について検討することであった。また、自由に BF 訓練が自宅で十分に行える事例が検証されていないため、訓練介入と BF 装置の利便性、導入可能性について検討する。加えて、内受容感覚およびイメージ方略と STBF の制御成績について検討した。

[訓練回により制御成績に変化はあるか]

訓練回が増すごとに、ST 制御成績が向上するのではないかと、ということが本研究における仮説であった。訓練回の制御成績では、計測 1 回目より計測 2, 3, 4 回目の皮膚温変化量が有意に高く、訓練を行うことによって訓練初期から皮膚温変化量の平均値が変化していく様子がみとれた (図 2-4)。計測 1 回目が他の訓練回よりも皮膚温変化量が低い要因として、訓練慣れしていなかったことが挙げられる。前述の通り、「温かくしよう」など能動的注意集中により、リラックスできなくなり訓練課題に影響を与える(大河内, 1990; 佐瀬, 2016)。したがって、ST を制御できないことへの焦りから、FB 情報へ過度に集中してしまい、交感神経が活性化され ST が低下したと考えられる。また、表 2-6 の内省報告から、「FB 音がたまに鳴って驚いた」「訓練方向とは逆の FB 音が鳴って焦った」などの報告が挙げられた。困惑や不安といったネガティブ感情によって ST が低下し(Mittelmann & Wolff, 1939)、また訓練方向とは逆方向に変化する否定的な FB により、訓練に対する努力の低下や不安の誘発から無理に制御を行うなど、その後の訓練でも失敗につながる恐れがあった(Taub & School, 1978)。そのため、訓練慣れしていないことから、訓練に対する不安を覚え、能動的注意集中の構えを取ってしまい、他の訓練回よりも制御成績が低かったと考えられる。計測 2 回目では、自宅での訓練を 1 週間行うことで、FB 機能や逆方向の FB が鳴っても焦らないようになるなど訓練に対して安心感を覚え、副交感神経の活性化をもたらし、上昇訓練が制御できるようになった。しかし、下降訓練のコントロールが不慣れであったことから、上昇方向に向けてしまい計測 2 回目において 1 分より 5 分が有意に高く、時間が経つにつれて皮膚温変化量が高くなったと考えられる。また、手足の ST は季節変動に伴い変化するため(三野ら, 2008)、外気温による影響から ST が上昇しやすくなった可能性が考えられる。計測 3, 4 回目において、図 2-4 では皮膚温変化量が計測 1, 2 回目との中間に位置していた。これは、上下方向の区別が制御できていることから、皮膚温変化量の平均値が 0°C に近くなったと考えられる。濱田・下川(2002)によれば、継次的近似化あるいはシェイピング手続きが作用して、心と身体のスキーマの認知が一層強化されることで、上下方向へ自発的に変化させることが可能となる。訓練回を重ねるごとにイメージ方略や各種 FB を頼りに、ST 制御能力が向上し、訓練回後半で上下方向の区別ができるようになったこ

とから、各訓練回で皮膚温変化量が異なると考えられる。

訓練方向に関しては、訓練方向の効果が有意傾向であり、下降訓練よりも上昇訓練の皮膚温変化量が有意に高い傾向にあったため、FBの効果が認められた(図2-5)。訓練方向と期間の交互作用では、3分以降において、下降訓練よりも上昇訓練の皮膚温変化量が有意に高く、FBの効果が確認された。上昇訓練はリラックスの方向に反応を向けるため、ST制御が下降訓練よりも比較的容易であったことが考えられる。また、上昇訓練においてのみ時間が経つにつれて皮膚温変化量が有意に高かった。大隈(1983)においても訓練開始1分~1分30秒以降で時間とともに上昇するパターンが認められ、本研究の結果と一致していた。

【性別とST制御能力の背景】

次に、各訓練回における性別ごとの制御成績について考察する。図2-6では男性の皮膚温変化量が回を重ねるごとに徐々に上昇へ転じるのに対し、女性の皮膚温変化量の推移は不安定であった。さらに図2-7に示される通り、男性は下降訓練よりも上昇訓練の皮膚温変化量が有意に高かったのに対し、女性は上昇訓練と下降訓練の差が明確ではなかった。廣田(1997)は、女性の性周期では黄体期の前半に女性ホルモンであるプロゲステロンの作用により、 $0.2^{\circ} \sim 0.4^{\circ}$ 急上昇し、月経開始とともに急激に下降すると示した。また、大平ら(2006)の呼吸法による研究において、卵胞期は心臓副交感神経系活動を亢進されるエストロゲンによりリラクセーション効果が反映されやすく、心身ともに緊張が高まる黄体期では交感神経系の緊張が高まり、リラクセーション効果が得られづらい時期であると述べた。そのため、女性は生理周期によりリラクセーションの程度が左右されることで、体調不良や体温のコントロールが不安定になり、対して男性は女性に比べ環境が安定していることから、性別間でSTの制御能力に違いが生じた可能性が考えられる。

【訓練回ごとのイメージ方略について】

次に、各訓練回で実験参加者が使用したイメージ方略ごとの制御成績について、計測1回目ではイメージ方略による効果は有意でなかった。そのため、BF訓練およびイメージ方略に慣れていなかったことから、イメージが持続しない、イメージが思い浮かばなかったなどイメージ方略による違いが見られなかったと考えられる。計測2回目では、情動イメージより温冷感イメージの皮膚温変化量が有意に高い傾向にあり(図2-8)、温冷感イメージにおいてのみ時間が経つにつれて皮膚温変化量が有意に高くなった。森崎(1997)の研究においても、情動的なイメージよりも温感のイメージを用いる方が、皮膚温変化量が高いことが示されており、本研究の結果もそれと一致していた。本研究での情動イメージは、不安や安堵などを中心にイメージするものであり、温冷感イメージは「指先が熱くなる」「血流の流れが悪くなる」など内受容性の感覚を含んだイメージを行う方略である。これに関して、廣田(2016)によれば、BFにおける訓練効果の程度を決める重要な鍵は心身相関の「気づき」とされており、身体変化に対する感受性が大きく影響する可能性が考えられる。そのため、計測2回目において、視覚的なイメージを行う情動イメージより、内受容感覚のイメージを含んだ温冷感イメージの、時間とともに皮膚温変化量が有意に高くなったと考えられる。

計測 3 回目では、イメージなしよりその他の皮膚温変化量が有意に高い傾向にあり（図 2-9），その他は時間とともに皮膚温変化量が有意に高くなった。また，3~5 分においてイメージなしより，その他の皮膚温変化量が有意に高かった。Herzfeld & Taub(1977)の研究において，イメージなし条件より訓練方向に適した温度イメージを与えた条件の方が，皮膚温制御に有効であった。計測 3 回目において，イメージの手掛かりなしに制御を行うより，温冷感イメージの併用や温度が上昇するイメージを用いることで制御成績が高く，時間が経つにつれて皮膚温変化量が高くなった可能性が考えられた。計測 4 回目では，イメージ方略のその他においてのみ上下方向の区別がみられた（図 2-11）。図 2-13 から，温冷感イメージは 3 分以降において上下方向の区別ができているがその変化量は小さく，イメージなしにおいては両方向ともに上昇しているように見受けられた。対して，その他では上昇下降の区別が明確にできており，変化量も比較的大きかった。そのため，計測 4 回目においては，呈示されたイメージ方略を用いるより，自分にあったイメージ方略を用いた実験参加者の制御能力が高い可能性が示された。表 2-5 には訓練回の前半では，「ストーブに掌をかざす」「不安な出来事」など比較的イメージしやすい温冷感，情動イメージを用いて制御を行うことが示されていた。一方，訓練回の後半からイメージのネタ切れからイメージなしを用いる実験参加者が増加し，また自分にあったイメージ方略を用いて訓練に取り組んでいた可能性がある。このような制御方略の変化が，図 2-13 のような結果を生じた原因であるかもしれない。

〔内受容感覚と STBF の関係〕

次に内受容感覚と STBF の関係について，気づき因子では群×訓練方向×期間の二次の交互作用が有意であり，高群と低群を比較すると，高群において上下方向の訓練が明確に別れていることが見て取れた（図 2-14）。また，注意制御因子では，高群において時間が経つにつれて皮膚温変化量が高くなった。前提として，BF は自律神経など意識下の調整機能について，各種 FB 機能を用いて，自己調節を促す手法である。訓練初期は各種 FB やイメージ方略に意識が向いた状態で ST 制御を行うが，BF 訓練を重ねることで，徐々にコツを掴み身体内部と BF の関連性について考えるようになる。そして，上昇訓練では「指先が温かくなってきた」「腕が重くなってきた」など前述の通り，身体内部の変化にも注意を向けることで，より効果的な学習が形成される(小西ら，2012; 廣田，2016)。そのため，内受容感覚の気づきと注意制御が BF 訓練の制御成績を向上させたと考えられる。表 2-6 から，「上昇訓練時は体温などに集中できているかもしれない」「指先だけでなく，身体全体の変化に気が付けるようになった。身体全体の変化に意識を向けた方が上手く制御できるかもしれない」と計測 3, 4 回目において，実験参加者が内受容感覚と BF の関係について気づきを得ている内省報告が見受けられたことから，上記の過程が裏付けられる。

また，感情への気づき因子に関しては，項目の構成が「怒っているときに身体がどのように変化するかに気づいている」「喜びを感じているときに，身体にどのように変化しているか気づいている」など身体感覚と感情状態との関連への気づきを表す因子で構成されてい

る。情動の気づきの低下であるアレキシサイミアは、身体の気づきやアレキシソミア(身体の気づきに乏しい状態)が生理基盤としての内受容感覚に関わっており、内受容感覚を中心に關与している島皮質が心身の気づきにおいて重要な部位とされる(神原, 2014)。小谷(2019)は、島皮質は「心と体」の関係において重要な役割を示し、また帯状回(感情・認知)、扁桃体(感情)など多くの機能に關与すると示した。つまり、心身相関の気づきが高いことで、島皮質を中心に感情状態の情報を受け取りやすくなると考えられる。また、本実験で用いた情動イメージは、不安や安堵のイメージを用いて ST 制御の補助を行っていくものであった。そのため、感情への気づき因子の高い個人が、情動イメージを基に ST 制御の補助を経験することで、感情と心身の気づきがより鋭敏になり、ST 制御成績が向上した可能性が考えられる。

[自尊感情について]

次に、STBF による自尊感情得点の影響について、統計的に有意な効果ではなかったものの、男性は訓練を重ねるにつれて自尊感情尺度得点が上昇したのに対し、女性では明確な変化が認められなかった(図 2-15)。白井ら(2015)によると BF 療法において、セッションにより自身の努力が承認され、また家族から称賛を得ることによって意欲的にセッションに参加者するようになるなど、自尊感情の改善が報告された。ST 制御能力の観点から考えると本研究において、男性は女性に比べ生理的な変動による環境が安定しており、上下方向のコントロールが行えていたことから、達成感を得られ訓練回を通して自尊感情が緩やかに上昇した可能性が考えられる。性別の効果が明確でなかった理由としては、実験時期が7月ごろであり、実験参加者の全体の2/3が大学4年生であったことから、就活や進学など進路を明確にする時期であったため、これらの心的要因が性別に関係なく影響していた可能性が考えられる。

[自宅訓練の効果]

図 2-16 では、計測 4 回目において、統計的に有意ではないが、自宅訓練回数低群よりも高群の皮膚温変化量が高かように見受けられた。理由として以下の 2 点が考えられる。1 点目に、実験参加者のコンディションが挙げられる。表 2-6 の内省報告から、低群における実験参加者において「喉の調子が悪く、咳が多かった」「体調が良くなかった」など体調不良の訴えや睡眠時間が 3 時間以下などの報告があった。2 点目に、自宅での訓練方法が挙げられる。表 2-7 の内省報告から、高群の実験参加者は Youtube をもとに、上昇訓練ではアップテンポの曲、焚火の動画を再生するなど各訓練方向に合わせた独自の訓練を行っていた。ST 制御はイメージ方略などの外的フィードバックを頼りに学習するため、独自の訓練方法をもとに持続的に行い、やがて内的制御段階に移行したことから、計測 4 回目においてその効果が表れた可能性があるかもしれない。

また、3 週間の訓練全体を振り返った実験参加者の感想として、「卒論や実習で忙しかったが、訓練を行うことでリラックスできた」「訓練を行うことで寝つきが良くなった」「暇な時間にスマホを触っていたが、移動中など訓練に置き換えることで気軽にリラックスす

る時間がとれた」など訓練に対して好評であった。さらに、「モニターで数値を表示するより、グラフの方がわかりやすい」「あまり FB 音が鳴らないため、微弱な変化でも FB してほしい」など装置の改善点や「自分の体の変化に注意を向ける機会が以前よりつくようになった」「イメージ方略などを通して、自分の体の変化がわかるようになった」など心身相関現象に関する報告についても多く寄せられた。ストレスによる体の変化に気づかせる活動がストレスマネジメント教育を成立させるため(竹中ら, 1994), STBF 訓練に基づく心身相関現象の理解から、ストレスマネジメント教育の効果をいっそう高めたと考えられる。長期期間を経て、実験参加者の訓練に対する意欲や考え方がプラス方向に働き、ストラップ型 BF 装置を身に着け手軽に訓練を行うことで、日々の隙間時間にリラクゼーションの介入を行うことができた事が考えられた。

[本研究の問題点と展望]

最後に、本研究の問題点と今後の展望について、本研究では実験参加者に適したイメージ方略をもとに訓練を行ったが、イメージ方略による訓練回ごとの制御成績の過程について検討することができなかった。そのため、個々の訓練回における有効なイメージ方略について触れることしかできず、総じてどの方略がよいのか触れることができなかった。また、森崎(1997)によれば、温度イメージにおいても身体の温度感覚と場面想定では制御成績が異なると示した。本研究では、視覚的イメージと身体の温度感覚が混入していた。そのため、厳密にイメージ方略の選定や予備実験を行ったうえで、イメージ方略ごとに実験参加者をグループ分けする必要がある。

また、自宅での訓練に関して、「室内で訓練を行った際に FB 音が気になった」「夜間に訓練を行う際、家族に配慮して FB なしで訓練を行う」など訓練環境によって、聴覚 FB が使えなくなることがあった。また、自宅での訓練回数における検討について、自宅での訓練毎に Forms 回答を行うが、訓練後の記録を忘れる事態が続出しており、正確なデータを得ることができなかった。そのため、土門ら(1988)の振動 BF 装置のように、聴覚・視覚以外の FB 機能を備え、訓練環境に適した装置開発を視野に入れること。また、研究 I で記述したように、ESP32 シリーズを用いて Wifi や Bluetooth 経由からデータの送受信から、より正確なデータ取得することが望まれる。

さらに、近年ではゲームと BF 訓練を組み合わせエンターテインメント性に富んだ研究が行われている。棟方ら(2015)の BF ゲーム“The Zen”では、てんかん発作回数の減少やゲームを通じた心身相関の気づき、長期期間の実験参加による「飽き」を感じさせなかったと報告されている。このように、両者を組み合わせることで、BF による症例緩和だけでなく、訓練に対するポジティブな印象を与えることができる。これらゲーム要素を用いて、上昇訓練では「ST を 1°C 上昇させるとクリア」などゲームステージをクリアするごとに、目標とされる値を徐々に上昇させるシェイピング手続きを行うなど、段階調節を行うことで ST 制御能力を向上させることができるだろう。今後の展望としては、これらの装置を開発して、従来のイメージ方略などを用いた訓練群とエンターテインメント性を兼ね備えた訓練

群による制御成績についての比較を行うなど、BFの可能性を模索していきたい。

総合考察

本研究では、訓練場所を問わず自由にBF訓練を行うため、自宅で容易にSTBF訓練が行える新たな低コストストラップ型BF装置の開発を試みた。装置の開発では、Arduino型マイコンと3Dプリンターなどのデジタルファブリケーション機器を用いることで、低コストかつコンパクトな装置の開発でき、装置を10台量産することが可能となった。また、インスタクション動画の作成や安静期間の自動管理化など訓練経験の有無に限らず、ユーザーが容易に訓練を行えるように努めた。

さらに、開発したBF装置を用いて3週間の訓練を行うことで、訓練回ごとにST制御成績が向上した。また、日常的に訓練を行うことで、実験参加者独自の制御方略を用いて訓練を行うことや心身相関への気づきなど、訓練への積極性が垣間見えた。ストラップ型BF装置を自由に持ち運ぶことで、通学時間中や就寝前など日常的にBF訓練を行うことができた。睡眠導入や通学中にスマホを触る時間が減り、リラックスができたなど実験参加者からの訓練も好評だった。また、STBF訓練を通して心身相関現象の理解を深め、ストレスマネジメント教育の効果をよりいっそう高めることができた。以上のことから、従来の方法ではBF装置が限られているうえ、クリニックに通わない限り訓練を行うことができないが、低コストストラップ型BF装置を用いることで、訓練場所を制限されず日常的に訓練を行うことができ、より多くの人々がBFの恩恵に預かることができるようになる。今後は、ゲームエンジンと組み合わせたエンターテインメント性の向上など、日々のストレスにちょっとしたリラクセーションの時間を提供できるような仕組みを創っていきたい。

引用文献

- 濱田哲郎・国崎千絵(2002). 皮膚温バイオフィードバックトレーニングの適用による健康女性の月経痛の緩和についての一研究 久留米大学心理学研究, 1, 1-8.
- 濱田哲郎・下川裕美(2002). 皮膚温バイオフィードバックトレーニングの訓練課程の分析と温度フィードバック・モデルの検討 久留米大学, 1, 19-22.
- Herzfeld, G. M., & Taub, E. (1977). Suggestion as an aid to self-regulation of hand temperature. *International journal of Neuroscience*, 8, 23-26.
- 廣田昭久(1997). 末梢皮膚循環の計測とバイオフィードバック・生理学的機序からの方論的提言・バイオフィードバック研究, 24, 28-37.
- 廣田昭久(2016). バイオフィードバック療法のための基礎知識 バイオフィードバック研究, 43, 27-32.
- 神原憲治(2015). バイオフィードバックと心身の気づき: 内容受容感覚と情動の気づき

- (シンポジウム 2014:バイオフィードバックの付加的な価値を探る) バイオフィードバック研究 42, 19-26.
- 木村真人・梅垣佑介・水野治久(2014). 学生相談機関に対する大学生の援助要請行動のプロセスとその関連要因 教育心理学研究, 62, 173-186.
- 小林亮太・本多 樹・町澤 まろ・市川 奈穂・中尾 敬(2021). 日本語版 Body Perception Questionnaire-Body Awareness (BPQ-BA) 超短縮版の作成—因子構造, および信頼性, 妥当性の検討— 感情心理学研究, 28, 38-49.
- 小西喜朗・春木豊・大賀英史(2012). マインドフルネスのフィードバックとバイオフィードバックの比較研究 バイオフィードバック研究, 39, 32-38.
- 小谷康則(2019). 「予測」を調べると心と体の関係が見えてくる —予測から見た心と体の相互作用— 心理学ワールド, 84, 5-8.
- Mehling, W. E., Price, C., Daubemier, J. J., Acree, M., Bartmess, E., & Stewart, A.(2012). The multidimensional assessment of interoceptive awareness (MAIA) . *PLoS One*, 7, e48230.
- Mimura, C., & Griffiths, P. (2007) A Japanese version of the Rosenberg Self-Esteem Scale : Translation and equivalence assessment. *J Psychosomatic Res*, 62, 589-594.
- 三野たまき・内藤由佳・關麻依子(2008). 起床時寝室温が日中の手掌皮膚温に与える影響 日本生理人類学会誌, 13, 131-136.
- 森崎博志(1997). 皮膚温自己制御におけるイメージ使用の自発性とイメージ教示の有効性 心理学研究, 68, 1, 33-37.
- Mittelman, B. & Wolff, H.G. (1939) . Affectivestates and skin temperature Experimental study of subjects with “cold hands” and Raynaud’s syndrome. *Psychosomatic Medicine*, 1, 271-292.
- 棟方渚・櫻井高太郎・中村光寿・吉川浩・小野哲雄(2015). バイオフィードバックゲーム”The ZEN”のトレーニング効果とエンタテインメント性-長期実験観察と治療応用の一症例の報告- デジタルゲーム研究, 7, 67-78.
- 長野祐一郎(2016). 自作測定装置で学ぶ皮膚温バイオフィードバック バイオフィードバック研究, 43, 49-51.
- 長野祐一郎(2022). 自作測定機器を用いたバイオフィードバック バイオフィードバック研究, 49, 77-81.
- 長野祐一郎・櫻井 優太・鈴木 里砂(2022). Arduino で生理指標を測る 生理心理学と精神生理学, 40, 114-124.
- 長野祐一郎・廣田昭久(1997). 末梢血流量制御課題における血流量バイオフィードバックの可能性について バイオフィードバック研究, 24, 79-85.
- 大平肇子・斎藤真・村本淳子・永見桂子・二村良子・長江拓子(2006). 働く女性の月経

- 周期と呼吸法によるリラクゼーション効果に関する研究 人間工学 42, 105-111.
- 大河内浩人(1990). 皮膚温制御におよぼす訓練課題とフィードバックの効果 バイオフィードバック研究, 17, 8-14.
- 大隈靖子(1983). 末梢皮膚温制御におけるイメージ教示の効果 心理学研究, 54, 88-94.
- 佐瀬 竜一(2016). 自律訓練法とバイオフィードバック バイオフィードバック研究, 43, 71-75.
- 笠井仁・杉江征・佐々木雄二(1988). イメージによる末梢皮膚温の制御—イメージ能力の個人差の影響— イメージ心理学研究, 16, 1-37.
- 白井幸治・小田原幸・端詰勝敬(2014). BFで自尊感情は変化するのか バイオフィードバック研究, 42, 33-37.
- 志和資朗・佐々木高伸(2003). 総合病院精神科領域におけるバイオフィードバックの臨床応用 バイオフィードバック研究, 29, 21-28.
- 杉山匡・児玉昌久(2010). パブリックヘルスリサーチセンター (PHRF) 版ストレス認知的評価尺度およびコーピング尺度の開発 ストレス科学研究, 25, 48-58.
- 庄司雅保(2017). 内受容感覚の概要と研究 <身>の医療, 3, 13-17.
- 竹林直紀・福永幹彦(2001). 行動変容支援ツールとしての応用精神生理学—バイオフィードバックと自律訓練法—, 日本保健医療行動科学会年報, 16, 80-91.
- 竹中晃二・児玉昌久・田中宏二・山田富美雄・岡浩一郎(1994). 小学校におけるストレスマネジメント教育の効果 健康心理学研究, 7, 11-19.
- 高原光恵・平井久(1993). 皮膚制御訓練に及ぼす特性不安の影響 バイオフィードバック研究, 20, 27-32.
- 田中啓幹(2019). 気分と内受容感覚との関連性 臨床心理学部研究報告 12, 77-90.
- Taub, E., & School, P. J.(1978). Some methodological considerations in thermal biofeedback training. *Behavior Research Methods and Instrumentation*, 10, 617-622.
- 堤由美子・古川かおり・菅野有紀・丸山良子・佐藤廣・山本真千子(2003). 性周期が自律神経活動とQT dispersionに及ぼす影響 心電図, 23, 207-212.
- 山崎幸子・久田満(2021). 新型コロナウイルス感染拡大下における孤独感の年代比較 日本心理学会第85回大会.
- 厚生労働省(2022). 令和3年中における自殺の状況 (2022, 7, 21)
<https://www.npa.go.jp/safetylife/seianki/jisatsu/R04/R3jisatsunojoukyou.pdf>
- 庄子雅保・大野誠士・Beate M. Herbert・Wolf E. Mehling(2014). Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness(MAIA) 内受容感覚への気づきの多次元的アセスメント (MAIA)(2022, 10, 21)
https://osher.ucsf.edu/sites/osher.ucsf.edu/files/inline-files/MAIA_Japanese.pdf

付録

付録1 Arduino 開発環境のプログラム解説

図 3-1 は、液晶ディスプレイ部分に該当するプログラムであり、GND と 5V で電源供給を行い、アナログピンの 4, 5 番から I2C 通信(Inter-Integrated Circuit)を行い、マイコンと液晶ディスプレイの間でデータの送受信を行っている。1 行目で、液晶ディスプレイの制御に必要な「ST7032_asukiaaa.h」ライブラリをインクルードし、バージョン 1.0.5 を使用した。3 行目で、液晶ディスプレイの制御を行うために「lcd」とクラスをインスタンス化している。これにより、11 行目で表示領域 8 列 2 行とし、12 行目でコントラスト(文字の濃さ)0~63 を指定するなど液晶ディスプレイを制御する機能を呼び出している。6 行目の `setup` 関数でこれらの初期化を行っている。5 行目の `temp1`, `tempd` は、現在温度、1 秒間で生じた温度の変化量を格納している。15~24 行目は安静期間の自動管理化を行っている。安静期間終了の条件を満たした場合、液晶ディスプレイの 7 列 0 行(画面右上)に「*」を表示し、満たされない場合、何も表示しなかった。26~28 行目は、`String` オブジェクトの `buf1`, `buf2` を用いることで、`temp1`, `tempd` のデータを文字列に変換し、表示するための準備を行っている。30~33 行目では、液晶ディスプレイの画面 1 行目に `buf1` から現在温度、2 行目に `buf2` から 1 秒間で生じた温度の変化量を `String` オブジェクトから「`.c_str()`」メソッドを用いて表示した。これらを 15 行目の `loop` 関数で繰り返し実行した。

```

1 #include <ST7032_arukiana.h> //液晶ディスプレイのライブラリ
2
3 ST7032_arukiana lcd; //液晶ディスプレイのライブラリを使用
4
5 double temp1, temp2; //温度データを格納する変数
6
7 double minTemp = 0.0; // 最小温度
8 double maxTemp = 0.0; // 最大温度
9
10 void setup() {
11   lcd.begin(8, 2); //液晶ディスプレイで8列2行で指定表示
12   lcd.setContrast(5); //液晶ディスプレイのコントラスト
13 }
14
15 void loop() {
16   //3分間の皮膚温の変動が0.4℃以内の時にアスタリスク表示
17   if (maxTemp - minTemp <= 0.4) { //最大・最小温度の差が0.4℃以内の場合
18     lcd.setCursor(7, 0); //液晶ディスプレイの右上に
19     lcd.print("*"); //「*」表示
20     readyFlg=true;
21   } else { //条件を満たさなかった場合
22     lcd.setCursor(7, 0); //液晶ディスプレイの右上に
23     lcd.print(" "); //何も表示しない
24   }
25
26   String buf1, buf2;
27   buf1 += temp1; //buf1は現在温度
28   buf2 += temp2; //buf2は温度変化量
29
30   lcd.setCursor(0, 0); //液晶ディスプレイの1行目にカーソルを移動
31   lcd.print(buf1.c_str()); //1行目に現在温度を表示
32   lcd.setCursor(0, 1); //液晶ディスプレイの2行目にカーソルを移動
33   lcd.print(buf2.c_str()); //2行目に温度変化量を表示
34 }

```

図 3-1 液晶ディスプレイ部分のプログラム

次に安静期間の自動管理化に関して、大河内(1990)の安静期間の処理を参考に行った。その条件として、安静期間での1分あたりのSTの平均値が連続する3分増加・減少がなく、その範囲が0.4℃以内であるときの3分間の平均値とした。プログラム開発には、ChatGPT3.5を用いて適宜改造を行った。ハードウェアの安静期間の自動管理化に使用したプロンプトは、「測定している値を60回分覚えるプログラムを作成してください」「180個覚えた履歴の中から最大値と最小値を求めて、その差を算出するプログラムに改造してください」。「最大値と最小値の差が0.4℃以内であった場合は、液晶ディスプレイにアスタリスクを表示するプログラムに改造してください」とした。トラブルが生じた際に発見しやすいように、プロンプトを3分割に作成して、徐々に付け足しながらプログラムを作成した(図 3-2)。1行目では、連続する3分間の値を保持するための配列が定義されている。HISTORY_SIZEを180と設定することで、180サンプル分の履歴サイズを保持することが可能となる。2行目では、ST測定値の履歴を保持するために、historyという変数をdouble形式で定義している。3行目では、新しい温度データをhistory配列に保存する際のインデックス(どの位置に格納するか)を示しており、history Index という整数型変数を定義している。4, 5行目では、最小温度をminTemp, 最大温度をmaxTempという変数をdouble形式で定義している。初期値として0℃を設定した。8行目では、history配列のhistory

Index に、温度データ temp1 を保存した。9 行目では、新しい温度データが保存される history 配列の次のインデックスを計算し、history Index を更新している。つまり、HISTORY_SIZE 180 サンプルを超えないように、history Index に 1 を加え、% HISTORY_SIZE という操作を行うことで、history Index が HISTORY_SIZE を超える場合、自動的に最初の位置に戻るようになる。これにより、配列の境界をループしながら、データを保存することができる。11, 12 行目では、最小/最大温度を history 配列 0 と指定して、最初の要素で初期化している。これにより、13 行目の for からループを開始して、履歴内のデータと比較して、現在の最小/最大温度を下回るか/上回るかをチェックしている。必要に応じて、値を更新している(16~21 行目)。25~31 行目では、上記をもとに格納された連続する 180 サンプルのデータが増加・減少なく、その範囲が 0.4°C 以内だったかを判定している。条件を満たした場合は、液晶ディスプレイ右上に「*」を表示し、条件を満たなかった場合は何も表示されなかった。

```

1 const int HISTORY_SIZE = 180; // 履歴のサイズ
2 double history[HISTORY_SIZE]; // 測定値の履歴
3 int historyIndex = 0; // 履歴のインデックス
4 double minTemp = 0.0; // 最小温度
5 double maxTemp = 0.0; // 最大温度
6
7 void loop() {
8     history[historyIndex] = temp1; // 温度データを記録するためのメモリに保存
9     historyIndex = (historyIndex + 1) % HISTORY_SIZE; // 新しい温度データを保存するインデックスを更新
10
11     minTemp = history[0]; // 最小温度をデータの最初の要素で初期化
12     maxTemp = history[0]; // 最大温度をデータの最初の要素で初期化
13
14     // 履歴データから最小・最大温度を算出
15     for (int i = 1; i < HISTORY_SIZE; i++) {
16         if (history[i] < minTemp) {
17             minTemp = history[i]; // 最小温度を更新
18         }
19         if (history[i] > maxTemp) {
20             maxTemp = history[i]; // 最大温度を更新
21         }
22     }
23
24     // 最大・最小温度の差が0.4°C以内の場合、アスタリスク表示
25     if (maxTemp - minTemp <= 0.4) {
26         lcd.setCursor(7, 0); // 液晶ディスプレイの右上に
27         lcd.print("*"); // 「*」表示
28     } else {
29         lcd.setCursor(7, 0); // 液晶ディスプレイの右上に
30         lcd.print(" "); // 何も表示しない
31     }
32 }

```

図 3-2 ChatGPT で作成したハードウェアのプログラム

上記 ChatGPT3.5 を用いて適宜改造を行ったプログラムでは、実験者が安静期間終了のタイミングを液晶ディスプレイから直接見る必要があった。その手間を省くため、上記プログラムを改造して、ST や変化量をシリアル通信で PC に送信して、Arduino 開発環境に備わっている計測画面シリアルモニタに同様の手続きを行った(図 3-3)。1 行目では、temp1 から現在温度を格納し、2, 3 行目の sum, average, cnt は温度データの平均値を算出するための変数である。12 行目では、安静期間のフラグを表す変数 readyFlg が初期化されてい

る。これにより、`readyFlg` が `true` の場合、つまり安静期間終了の条件を満たした場合「***」を表示した。また、条件を満たしていない場合は「---」と表示した。温度データの取得と平均・変化量を行うための処理は 10ms で行われた(17~27 行目)。

```

1 double temp1; //現在温度のデータを格納する変数
2 double sum, average; //温度データの合計値と平均値を格納
3 long cnt; //温度データのサンプリング数
4
5 const int HISTORY_SIZE = 180; // 履歴のサイズ
6 double history[HISTORY_SIZE]; // 測定値の履歴
7 int historyIndex = 0; // 履歴のインデックス
8
9 double minTemp = 0.0; // 最小温度
10 double maxTemp = 0.0; // 最大温度
11
12 bool readyFlg=false; //安静期間のフラグ
13
14 void loop() {
15
16     if(readyFlg==true){
17         Serial.print(" ,***"); //安静期間終了時に「***」表示
18     }
19     else{
20         Serial.print(" ,---"); //安静期間が終了していない場合「---」表示
21     }
22
23     Serial.println(); //シリアルモニタに「***/---」を表示するための空行
24     sum = 0; //合計値の初期化
25     cnt = 0;
26     delay(10); //10ms単おきに行う
27
28     history[historyIndex] = temp1; //温度データを記録するための配列
29     historyIndex = (historyIndex + 1) % HISTORY_SIZE; //新しい温度データを保存
30
31     minTemp = history[0]; //最小温度をデータの最初の要素で初期化
32     maxTemp = history[0]; //最大温度をデータの最初の要素で初期化
33
34     for (int i = 1; i < HISTORY_SIZE; i++) { //温度データから最小・最大温度を算出
35         if (history[i] < minTemp) { //データ内で最小温度より低い場合
36             minTemp = history[i]; //最小温度を更新
37         }
38         if (history[i] > maxTemp) { //データ内で最大温度より低い場合
39             maxTemp = history[i]; //最大温度を更新
40         }
41     }
42
43     //3分間の皮膚温の変動が0.4℃以内の時にアスタリスク表示
44     if (maxTemp - minTemp <= 0.4) { //最大・最小温度の差が0.4℃以内の場合
45         lcd.setCursor(7, 0); //液晶ディスプレイの右上に
46         lcd.print(" ***"); //「*」表示
47         //Serial.println(" ***");
48         readyFlg=true;
49     } else { //条件を満たさなかった場合
50         lcd.setCursor(7, 0); //液晶ディスプレイの右上に
51         lcd.print(" "); //何も表示しない
52     }

```

図 3-3 安静期間の自動管理化部分のプログラム

図 3-4 は、スライドスイッチを用いて、FB 有無の切り替えを行うプログラムである。1 行目で視覚 FB に用いる LED の制御に `Adafruit_NeoPixel` ライブラリ、バージョン 1.10.7 を使用した。3, 4 行目では、LED の制御ピン番号、使用する LED の個数を指定し、6 行目ではこれらをもとに `Adafruit_NeoPixel` クラスをインスタンス化している。8, 9 行目で、FB 有

無の切り替えに用いるスイッチピン 7, ブザーピン 2 など制御に用いるピン番号を指定している。12 行目で、スイッチの状態を入力モードにして、「INPUT_PULLUP」から内部プルアップ抵抗を有効にして、ピンの状態が High(オン)になっている。13 行目で、ブザーのピンを出力モードに設定して、制御するための処理を行い、これらを setup 関数から初期化を行っている。16 行目では、スイッチの状態(オン/オフ)を読み取る。18 行目で、スイッチの状態がオフの時に 18~31 行目で行う FB 有の状態にした。温度が上昇した際(dir==1)に視覚 FB の LED ライトが赤く点灯し、聴覚 FB のブザー 500Hz を 10ms 間出力した(18~25 行目)。温度が下降した際(dir== -1)に視覚 FB の LED ライトが青く点灯し、聴覚 FB のブザー 1000Hz を 10ms 間出力した(26~31 行目)。32~35 行目では、FB 無しの状態を割り当て、スイッチの状態がオフの時に LED ライトが消灯し、ブザーが消音するように FB の有無の切り替えを行った。

```

1 #include <Adafruit_NeoPixel.h> //LEDのライブラリ
2 #include <ST7032_asukiaaa.h> //液晶ディスプレイのライブラリ
3
4 #define PIN 3 //LEDの制御ピン
5 #define NUMPIXELS 1 //LEDの数
6
7 Adafruit_NeoPixel pixels(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800); //LEDのライブラリを使用
8
9 const int switchPin = 7; //FB有無の切り替えに用いるスイッチ
10 int Bpin = 2; //ブザーPIN
11
12 void setup() {
13   pinMode(switchPin, INPUT_PULLUP); // 内部プルアップ抵抗を有効にする
14   pinMode(Bpin, OUTPUT);
15 }
16 void loop() {
17   int switchState = digitalRead(switchPin);
18
19   if (switchState == LOW) { //FBスイッチがオフの時に
20     pixels.clear();
21     if (dir == 1) {
22       pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(mag, 0, 0)); //温度上昇を赤で表示
23       if (mag > 0) {
24         tone(Bpin, 500, 10); //温度上昇時は500Hz
25       }
26     }
27     if (dir == -1) {
28       pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 0, mag)); //温度下降を青で表示
29       if (mag > 0) {
30         tone(Bpin, 1000, 10); //温度下降時は1000Hz
31       }
32     }
33   } else if (switchState == HIGH) { //左下のスイッチを入れるとFBなし
34     pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 0, 0)); //LEDを消す
35     noTone(Bpin); //ブザー音を消す
36   }

```

図 3-4 FB 有無の切り替え部分のプログラム

図 3-5 は、図 3-1~3-4 で解説した液晶ディスプレイなどのプログラムを長野(2022)が作成した STBF プログラムに統合した全体像である。温度センサーから入力された値をもとに、「現在温度, 温度変化量, 変化の強さ, サンプリング数, 安静期間終了の判定」が算出される。温度が上昇したときに, LED が赤く点灯し, ブザーから 500Hz で FB が行われる。温度が下降したときに LED が青く点灯し, ブザーから 1000Hz で FB が行われた。温度変

化が顕著に行われない場合 LED の色は変化せず、温度の変化量が大きい場合は LED がより強く点灯した。1 秒毎に平均値の算出および各種 FB などが行われた。これらの機能を用いて、BF 装置のプログラムを作成した。

```

1 #include <Adafruit_NeoPixel.h> //LEDのライブラリ
2 #include <ST7032_asukiaaa.h> //液晶ディスプレイのライブラリ
3
4 #define PIN 3 //LEDの制御ピン
5 #define NUMPIXELS 1 //LEDの数
6
7 Adafruit_NeoPixel pixels(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800); //LEDのライブラリを使用
8 ST7032_asukiaaa lcd; //液晶ディスプレイのライブラリを使用
9
10 const int switchPin = 7; //FB有無の切り替えに用いるスイッチ
11
12 double mv, temp0, temp1, tempd; //温度データを格納する変数
13 double sum, average; //温度データの合計値と平均値を格納
14 long t, t0, cnt; //現在の時刻・温度データをサンプリングした時の時刻・温度データのサンプリング数
15 int Bpin = 2; //ブザーPIN2
16
17 const int HISTORY_SIZE = 180; // 履歴のサイズ
18 double history[HISTORY_SIZE]; // 測定値の履歴
19 int historyIndex = 0; // 履歴のインデックス
20
21 double minTemp = 0.0; // 最小温度
22 double maxTemp = 0.0; // 最大温度
23
24 bool readyFlg=false; //安静準備フラグ
25
26 void setup() {
27   pinMode(switchPin, INPUT_PULLUP); // 内部プルアップ抵抗を有効にする
28
29   pinMode(Bpin, OUTPUT);
30   pinMode(13, OUTPUT);
31   Serial.begin(115200); //シリアル通信115200
32   analogReference(INTERNAL); //参照電圧を1.1Vに設定
33   cnt = sum = 0;
34   pixels.begin(); //LEDを初期化
35
36   lcd.begin(8, 2); //液晶ディスプレイで8列2行で指定表示
37   lcd.setContrast(5); //液晶ディスプレイのコントラスト
38 }
39
40 void loop() {
41   t0 = t;
42   t = millis(); //現在時刻をms単位で取得
43   mv = (double)1100 / (double)1024 * analogRead(0); //デジタル値を電圧に変換
44   sum = sum + mv;
45   cnt++; //サンプリング数のカウント
46   if (t0 / 1000 != t / 1000) { //1秒(100ms)毎に平均算出
47     average = sum / (double)cnt; //平均を計算
48
49     temp0 = temp1; //前回の温度を保存
50     temp1 = average * 0.1; //電圧を温度に変換
51     tempd = temp1 - temp0; //温度変化量を算出
52

```

```

53     int mag, dir; //変化の程度 (mag)と方向 (dir)
54     if (tempd > 0) {
55         mag = abs(tempd * 100);
56         dir = 1; //温度上昇時
57     } else if (tempd <= 0) {
58         mag = abs(tempd * 100);
59         dir = -1; //温度下降時
60     }
61
62     int switchState = digitalRead(switchPin);
63
64     if (switchState == LOW) { //FBスイッチがオフの時に
65         pixels.clear();
66         if (dir == 1) {
67             pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(mag, 0, 0)); //温度上昇を赤で表示
68             if (mag > 0) {
69                 tone(Bpin, 500, 10); //温度上昇時は500Hz
70             }
71         }
72         if (dir == -1) {
73             pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 0, mag)); //温度下降を青で表示
74             if (mag > 0) {
75                 tone(Bpin, 1000, 10); //温度下降時は1000Hz
76             }
77         }
78     } else if (switchState == HIGH) { //左下のスイッチを入れるとFBなし
79         pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 0, 0)); //LEDを消す
80         noTone(Bpin); //ブザー音を消す
81     }
82
83     pixels.show();
84
85     Serial.print(temp1); //現在温度
86     Serial.print(","); //カンマ区切り
87     Serial.print(tempd); //温度変化量
88     Serial.print(",");
89     Serial.print(mag); //変化の強さ
90     Serial.print(",");
91     Serial.print(cnt); //サンプリング数
92
93     if(readyFlg==true){
94         Serial.print(",***"); //安静期間終了時に「***」表示
95     }
96     else{
97         Serial.print(",---"); //安静期間が終了していない場合「---」表示
98     }
99
100     Serial.println(); //液晶ディスプレイに「***/---」を表示するための空行
101     sum = 0; //合計値の初期化
102     cnt = 0;
103     delay(10); //10msおきに行う
104

```

```

105 history[historyIndex] = temp1; //温度データを記録するための配列
106 historyIndex = (historyIndex + 1) % HISTORY_SIZE; //新しい温度データを保存
107
108 minTemp = history[0]; //最小温度をデータの最初の要素で初期化
109 maxTemp = history[0]; //最大温度をデータの最初の要素で初期化
110
111 for (int i = 1; i < HISTORY_SIZE; i++) { //温度データから最小・最大温度を算出
112     if (history[i] < minTemp) { //データ内で最小温度より低い場合
113         minTemp = history[i]; //最小温度を更新
114     }
115     if (history[i] > maxTemp) { //データ内で最大温度より低い場合
116         maxTemp = history[i]; //最大温度を更新
117     }
118 }
119
120 //3分間の皮膚温の変動が0.4℃以内の時にアスタリスク表示
121 if (maxTemp - minTemp <= 0.4) { //最大・最小温度の差が0.4℃以内の場合
122     lcd.setCursor(7, 0); //液晶ディスプレイの右上に
123     lcd.print("*"); //「*」表示
124     //Serial.println("****");
125     readyFlg=true;
126 } else { //条件を満たさなかった場合
127     lcd.setCursor(7, 0); //液晶ディスプレイの右上に
128     lcd.print(" "); //何も表示しない
129 }
130
131 String buf1, buf2;
132 buf1 += temp1; //buf1は現在温度
133 buf2 += tempd; //buf2は温度変化量
134
135 lcd.setCursor(0, 0); //液晶ディスプレイの1行目にカーソルを移動
136 lcd.print(buf1.c_str()); //1行目に現在温度を表示
137 lcd.setCursor(0, 1); //液晶ディスプレイの2行目にカーソルを移動
138 lcd.print(buf2.c_str()); //2行目に温度変化量を表示
139 }
140 }

```

図 3-5 プログラムの全体像

付録 2 Processing 開発環境のプログラム解説

次に、使用した Processing 開発環境のプログラム解説を行う。プログラムは大まかに分けて 2 つある。1 つ目は、現在時刻および経過時間を描画するプログラムである(図 3-6)。1 行目は、現在の日時情報をフォーマットして文字列で返すために、`getTimestamp` という `String` 型の関数の宣言を行っている。2~7 行目では、現在の日時を「年, 月, 日, 時, 分, 秒」から取得して、それぞれ変数に代入している。10 行目では、2~7 行目で取得した現在日時の情報を連結した文字列のタイムスタンプを作成している。12 行目では、作成した文字列のタイムスタンプは、`getTimestamp` 関数内の `timestamp` に格納されているため、その関数内ではしか使用できない。そのため、`return timestamp` を使用し、`timestamp` を関数の外に返すことで `getTimestamp` の呼び出し元に、作成した文字列のタイムスタンプが出力できる。15 行目では、`getTimestam2` という `String` 型の関数の宣言を行っている。16~18 行目では、現在時刻「時, 分, 秒」を取得し、それぞれ変数に代入している。21 行目では、現在時

刻の情報を連結した文字列のタイムスタンプを作成している。23 行目では、12 行目と同様に `return timestamp` を使用し、`getTimestamp2` の呼び出し元に、作成した文字列のタイムスタンプを出力する処理を行っている。

26~42 行目は、Processing 開発環境の実行ボタンを選択した際、ウィンドウ内に表示する現在時刻および経過時間の描画設定を行っている。26 行目では、現在時刻を描画するため、`drawCurrentTime` という関数の宣言を行っている。28 行目では、`getTimestamp2` から現在時刻を `stamp2` に格納している。29 行目の `fill(255)` は描画される形状の塗りつぶしを白色に設定し、`noStroke()` は形状の輪郭線を非表示に設定している。これにより、白色の背景が表示される。30 行目では、`rect` 関数を用いて、位置(450, 5)に幅 130, 高さ 50 の現在時刻を表示するための長方形の背景を描画している。31 行目では、描画の属性を設定しており、`fill(0)` から黒色のテキストに設定し、`Stroke(0)` は形状の輪郭線を黒色に設定している。また、`textSize(24)` からテキストサイズを 24 とした。32 行目では、`text` 関数を使用して、28 行目の `stamp2` から画面右上(x:450, y:30)に現在時刻を表示した。35~42 行目も同様の処理を行い、経過時間を描画するための関数を `drawElapsedTime` と定義し(35 行目)、経過時刻を取得するための変数を `elapsedTime` に格納した(37 行目)。経過時刻を描画するための背景色やテキストサイズは同様である(38~40 行目)。描画位置に関しては、画面右上の現在時刻の下の段(x:450, y:60)に表示した(41 行目)。

44~55 行目は、経過時間の計算を行い、「時、分、秒」のフォーマットに整形する `String` 型の関数 `getElapsedTime`(44 行目)を用いたプログラムである。45 行目では、`millis()` 関数を使用してプログラムの実行開始からの経過時間をミリ秒数単位で取得し、`elapsedMillis` 変数に格納している。47~49 行目は、取得したミリ秒数を元に、経過時間を「時間、分、秒」に変換しています。経過ミリ秒数を 1000 で割った値を「秒」、秒を 60 で割った値を「分」、分を 60 で割った値を時間に変換している。51, 52 行目では、秒数や分数で 60 を超えた値を再計算できるように、60 未満の範囲に収めている。54 行目では、`nf()` 関数を使用して、表示される経過時間の中にコロンの区切り「時間:分:秒」の形式で表示する文字列を形成している。以上から、プログラムの実行開始と同時に設定したウィンドウ内に現在時刻および経過時間を表示することが可能となった。

```

1 String getTimestamp() { // 現在の日時を取得する関数
2   int y = year(); // 年
3   int m = month(); // 月
4   int d = day(); // 日
5   int h = hour(); // 時
6   int min = minute(); // 分
7   int s = second(); // 秒
8
9
10  String timestamp = nf(y, 4) + nf(m, 2) + nf(d, 2) + "_" + nf(h, 2) + nf(min, 2) + nf(s, 2); //タイムスタンプの作成
11  return timestamp; // 現在の日時を組み合わせるタイムスタンプを作成し返す関数
12 }
13
14 String getTimestamp2() { // 現在の時刻を取得する関数
15   int h = hour(); // 時
16   int min = minute(); // 分
17   int s = second(); // 秒
18
19
20  String timestamp = nf(h, 2) + ":" + nf(min, 2) + ":" + nf(s, 2); // 各時間コンポーネントに必要な先頭にゼロを追加
21  return timestamp; //現在の時刻を組み合わせるタイムスタンプを作成し返す関数
22 }
23
24
25
26 void drawCurrentTime() // 現在の時刻を描画する関数
27 {
28   String stamp2=getTimestamp2(); //getTimestamp2から現在時刻をstamp2に格納
29   fill(255); noStroke(); //描画される形状の塗りつぶしを白色、noStroke()は形状の輪郭線を非表示に設定
30   rect(450, 5, 130, 50); //現在時刻を表示するための長方形の背景を描画
31   fill(0); stroke(0); textSize(24); //fill(0)から黒色のテキストに設定し、Stroke(0)は形状の輪郭線を黒色に設定
32   text(stamp2, 450, 30); //画面右上に現在時刻を表示
33 }
34
35 void drawElapsedTime() //経過時刻を描画する関数を定義
36 {
37   String elapsedTime = getElapsedTime(); //経過時刻を取得するための変数
38   fill(255); noStroke(); //白で塗りつぶし、ストロークなし
39   rect(450, 55, 130, 50); //長方形を描画
40   fill(0); stroke(0); textSize(24); //黒で塗りつぶし、黒のストローク、テキストサイズ24
41   text(elapsedTime, 450, 60); //現在時刻の描画位置を設定
42 }
43
44 String getElapsedTime() { //「時、分、秒」のフォーマットに整形する関数
45   int elapsedMillis = millis() - startMillis; //経過時刻をミリ秒単位で取得
46
47   int s = elapsedMillis / 1000; //経過ミリ秒数を1000で割った値を「秒」に変換
48   int m = s / 60; //秒を60で割った値を「分」に変換
49   int h = m / 60; //分を60で割った値を「時間」に変換
50
51   s = s % 60; //秒数を60未満の範囲に収めている
52   m = m % 60; //分数を60未満の範囲に収めている
53
54   return nf(h, 2) + ":" + nf(m, 2) + ":" + nf(s, 2); //「時間:分:秒」の形式で表示する文字列を形成
55 }

```

図 3-6 現在時刻および経過時刻を描画するプログラム

2 つ目は、シリアル通信を介して受信したデータを処理し、リアルタイムでグラフ表示しながら、そのデータを CSV ファイルに保存するプログラムである(図 3-7)。

```

1 import processing.serial.*; // Processingのシリアル通信ライブラリをインポート
2
3 Serial myPort; // シリアルポートの設定
4 String portName = "COM3"; // BT serial port
5 int baudRate = 115200; // 通信速度115200ポートレート
6 int dataPlotWidth = 640; // データプロットのサイズ設定(幅640)
7 int dataPlotHeight = 200; // データプロットのサイズ設定(高さ200)
8 float[] data = new float[5]; // データを格納するためのfloat型の配列(長さ5)
9 String[] dataMV = new String[5]; // データを格納するためのString型の配列(長さ5)
10 float[] prevData = new float[5]; // 前回のデータを格納するためのfloat型の配列(長さ5)
11 color[] colors = { // グラフの色設定
12   color(255, 0, 0), // 赤色
13   color(0, 0, 255), // 青色
14   color(0, 0, 0, 0), // 透明
15   color(0, 0, 0, 0) // 透明
16 };
17 int datacount=0; // データの初期値を0と指定
18 String OutFileName; // CSVファイルの出力に使用するファイル名の格納
19 String buf2; // 変数buf2から一時的にデータ格納
20 PrintWriter writer; // CSVファイルにデータを書き込むためにオブジェクトの指定
21 int startMillis; // 変数starMillsからプログラムの開始時刻をミリ秒単位で格納
22
23
24 void setup() // セットアップ関数
25 {
26
27   size(600, 500); // ウィンドウサイズの設定
28   myPort = new Serial(this, portName, baudRate); // シリアルポートの初期化
29
30   OutFileName=getTimestamp()+" csv"; // 出力ファイル名の生成
31   writer = createWriter("./data/"+OutFileName); // スケッチディレクトリに新しいファイルを作成
32   buf2=""; // データを一時的に蓄積
33
34 }
35
36 void draw() // 描画関数
37 {
38
39   if((datacount % 600) == 0) { // 一定のデータ数ごとに画面をクリアし、40度のテキストを描画
40     background(255); // 画面をクリア
41     fill(0, 0, 0); // フィルの色を黒に設定
42     textSize(12); // テキストサイズを12に指定
43     text("40 deg", 10, 20); // テキストを描画
44   }
45
46   while (myPort.available() > 0) // シリアルポートからのデータを読み取り
47   {
48     String inString = myPort.readStringUntil('\n'); // シリアルポートから改行文字('\n')までのデータを読み取り
49

```

```

30 if (inString != null) { // 改行がある場合
31 {
32   inString = trim(inString); // 文字列の前後の余分なスペースを取り除く
33   String[] parts = split(inString, ','); // カンマ(',')で分割して、配列に格納
34
35   if (parts.length > 3) // データが3つ以上ある場合
36   {
37     for (int i = 0; i < 5; i++) // データのマッピングと保存
38     {
39       prevData[i] = data[i]; // 前回のデータを保存
40       data[i] = map(float(parts[i]), 20, 40, 0, 500); // データが0-200の範囲にあると仮定
41       dataMV[i] = parts[i]; // シリアルポートから受信した生のデータを文字列として保存
42     }
43
44     String stamp=getTimestamp2(); //現在時刻を取得
45     String etime= getElapsedTime(); //経過時間を取得
46     // CSV形式の文字列を作成(タイムスタンプ,経過時間,受信データ1~5)
47     String buf=stamp+" "+etime+" "+dataMV[0]+" "+dataMV[1]+" "+dataMV[2]+" "+dataMV[3]+" "+dataMV[4];
48     println(buf); // コンソールにデバッグ情報を表示
49     buf2=buf+buf+"\n"; // バッファにデータを追加し、改行を付加
50     if (datacount%10==0) { // データの蓄積用バッファが一定の量たまると、ファイルに書き込み
51       writer.print(buf2); // バッファの内容をファイルに書き込み
52       writer.flush(); // バッファをクリア
53       buf2=""; // バッファを空にする
54     }
55
56     int xp = datacount%600; // データプロットのX座標を計算
57     strokeWeight(1); // 描画の線の太さを設定
58     for (int i = 0; i < 1; i++) // グラフを描画
59     {
60       stroke(colors[i]); // グラフの色を設定
61       line(xp-1, 500 - prevData[i], xp, 500 - data[i]); // 前回のデータから現在のデータまでの線を描画
62     }
63
64     drawCurrentTime(); //現在時刻を描画
65     drawElapsedTime(); //経過時間を描画
66
67     datacount++; //データのカウントの更新
68   }
69 }
70 }
71 }
72 }
73 }
74 }
75 }
76 }
77 }
78 }
79 }
80 }
81 }
82 }
83 }
84 }
85 }
86 }
87 }
88 }
89 }
90 }
91 }
92 }
93 }
94 }
95 }
96 }
97 }
98 }
99 }
100 }

```

図 3-7 ST 波形の描画および CSV ファイルを発行するプログラム

1 行目では、Processing 開発環境のシリアル通信ライブラリをインポートして、3 行目ではシリアル通信を行うための準備として、Serial オブジェクトを宣言している。4, 5 行目では、BF 装置とシリアル通信を行うため、Arduino 開発環境で表示されたシリアルポートの指定および通信速度 115200 ポートレートを使用している。6, 7 行目では、ST 波形などを表示するためのエリアとして、幅 640、高さ 200 と指定している。8~10 行目では、受信したデータ「現在温度、温度変化量、変化の強さ、サンプリング数、安静期間終了の判定」の 5 つのデータについて、float 型の配列の宣言からデータ格納を行い、String 関数からデータ文字列を格納するための宣言を行っている。また、現在データと前のデータを線でつなぐため、prevDate 配列を使用している。11~15 行目は、グラフを描画するために、赤・青・透明色の指定を行っている。17 行目は、8~10 行目のデータの初期値を 0 と指定し、18 行目は CSV ファイルの出力に使用するファイル名の格納を行っている 19 行目は、一時的に取得したデータを格納するため、buf2 という変数を指定。20 行目では、CSV ファイルにデータを書き込むためにオブジェクトの指定を行っている。21 行目では、プログラムの開始時刻をミリ秒単位で格納するため、startMills 変数を指定している。27 行目では、プログラムの実行開始時に表示されるウィンドウサイズを幅 600 ピクセル、高さ 500 ピクセルに設

定している。28 行目では、`myPort` オブジェクトを作成し、4, 5 行目で指定したポート名とポートレートで初期化を行っている。30, 31 行目は、現在時刻および経過時間を描画するプログラム(図 3-6)内で用いた `getTimestamp` 関数から取得した現在日時のタイムスタンプに基づいて、CSV ファイル名を指定している。32 行目は、新しいデータが一定数蓄積するたびにファイル内に書き込むため初期化を行っている。

36~92 行目では、`draw` 関数を用いて取得したデータをグラフに描画するための処理を行っている。39~43 行目は、データの表示設定を行っており、変数 `datecount` を用いてデータの受信回数が 600 の倍数の時に(39 行目)次の条件を実行した。`background(255)`からウィンドウ全体を白く塗りつぶし、`fill(0, 0, 0)`からテキスト描画を黒色で塗りつぶした。さらにテキストサイズを 12 として、センサーから取得された温度データの単位を示すため、画面左上に摂氏 40°Cを表す `40deg` を表示した。46 行目では、`myPort` オブジェクトから指定したシリアル通信が可能な場合、次の処理を行った。48 行目の `myPort.readStringUnti` でデータを読み込み、取得したデータが `null` 表記ではない場合(50 行目)、`trim(inString)`からデータ前後の空白を削除し、データ処理を行う(52 行目)。シリアルポートから読み込まれた 1 行のテキストデータを格納するための `Instring` 関数を CSV 形式のデータ入力のため、カンマで分割して、得られた文字列を `parts` 配列に格納しており(53 行目)、取得中のデータに不足はないか確認している(55, 56 行目)。57 行目では、現在の `ST` をグラフに描画する際に、前回のデータが紛失しないようにデータの保存が行われている。60 行目では、グラフの縦軸の範囲を可視化するため、元の範囲 20~40 の値を 0~500 に変換している。これらデータを CSV ファイルに記録するため、`dataMV` 配列を使用している(61 行目)。64, 65 行目では、`getTimestamp2` から現在時刻、`getElapsedTime` から経過時間を取得している。67, 68 行目では、`Processing` 開発環境のコンソール画面に表示するために、`buf` という変数を用いて「タイムスタンプ、経過時間」と `dataMV` 配列に格納された温度データがカンマ区切りで表示された。これにより、`Arduino` 開発環境のシリアルモニタなどから温度データを確認する手間を省いた。69 行目では、連続して受信したデータ `buf` を `buf2` に追加し、一度に大量のデータをファイルに書き込む回数を減らした。70 行目では、取得したデータ数が 10 の倍数ごとに CSV ファイルに、`writer.flush` からリアルタイムで書き込む処理を行っている(71 行目)。その後、ファイル内の残りのデータを書き込み(72 行目)、73 行目で `buf2` を空にする。これにより、ファイルのサイズを一定に保ちつつ、連続してデータを記録することができる。76~82 行目では、グラフを描画するための処理を行っている。受信したデータ数を 600 で割った値からグラフの x 座標を計算して(76 行目)、描画する線の太さを 1 に設定(77 行目)。78 行目で実際に描画を行い、11~16 行目で設定した色を用いて、描画する線の輪郭線の色を設定している。81 行目では、直前のデータから現在のデータまでを、グラフ上での位置を計算して線で結ぶ描画処理を行っている。「`xp-1`」から線の始点の x 座標、「`500-prevData[i]`」から線の始点の y 座標、「`xp`」から線の終点の x 座標、「`500 - data[i]`」から線の終点の y 座標をそれぞれ表している。84, 85 行目では、現在時刻と経過

時間を描画し、描画された文字が潰れないようにデータのカウンタの更新を行っている(88行目)。94～98行目では、プログラムの終了時にファイルに書き込めてないデータを CSV ファイルに強制的に書き込み(95 行目)、ファイルを閉じるための処理を行っている(96, 97 行目)。