# Ⅰ序論

【人工知能(AI)と合成音声の発展】

近年，人工知能(AI)の様々な分野での利用が急速に広まっている。AIとは，人間の知能をコンピュータや機械に実現させる技術のことで，人間では処理しきれないほど膨大なデータからパターンやルールを学習し，予測や判断，生成などのタスクを行うことができる。

そうした恩恵を受ける場面の一つに合成音声の利用がある。合成音声とは，テキストなどから音声を生成する技術のことである。近年の合成音声は，AIによって大量の音声データから音声の特徴やパターンを学習する深層学習により，急速に発展した(Ning et al., 2019)。AIの発展により合成音声で自然なイントネーションで文章を読ませる際も，今までのような煩雑な調整作業が不要になり，文章を書きこむだけで生成が完了するようになったため，今まで敷居が高いと思われていた合成音声の生成が非常に簡単になったと言える。こうした技術力の向上を受け，すでに合成音声は一部報道機関でニュースの読み上げに使われている(NHK，2021)ほか，動画プラットホーム上で解説や実況動画に音声を付けるなどの目的で多数使用されている。

また，ここ数年で様々な種類の合成音声ソフトウェアの発表やバージョンアップが相次いでいる。例えばヒホ(ヒロシバ)氏によって製作された「VOICEVOX」やシロワニさん氏によって製作された「COEIROINK」，CeVIOプロジェクトより「CeVIO AI」シリーズ，株式会社AHSとDreamtonicsが開発した「VOICEPEAK」などが提供されている。これら合成音声の中には完全無料のソフトもあり，合成音声の導入に対するハードルも非常に低くなっている。また，開発で得られた技術は音声認識や音声翻訳などのソフトウェアにおいても重要な役割を果たしている。

リアルタイムでイントネーションに違和感のない音声を作れるその特性から，福祉分野では視覚障害者のための高速での読み上げ(藪，2018)や，音声データをあらかじめ学習させておき，発声機能を失いつつある障がい者本人の声で音声出力を行う音声合成や，治療や障がいによって発話しづらい障がい者の声を自然で聞き取りやすい音声へリアルタイムで変換する技術等が検討されている(山岸，2015)。このほかにも教育分野では外国語教育においてCALL教材の発音教材として合成音声の活用が検討されており(康ら，2005)，今後より身近に様々な場面で合成音声が利用されていくと考えられる。さらに，近年発展著しいChat GPTなどの大規模言語モデルと組み合わせることでAIと音声対話できるようになり，AIを使用した合成音声は，様々な分野での可能性を広げつつある。

【音声が人間に与える影響】

音声は，人間にとって重要なコミュニケーション手段であるとともに，心身に影響を与える刺激でもある。音声の種類や特徴によって，人間の感情や生理的反応が変化することが多くの研究で示されている。例えば，肉声と合成音声の違いについて，宮本・日根(2017)は，音声対話システムの応答文において，合成音声と肉声の印象比較を行った。その結果，合成音声は肉声に比べて，強さや明るさ，知性などの印象が高く，温かみや親しみやすさ，感情表現の程度などの印象が低かったことが報告されている。また別の研究では，怒りや恥を誘発する声のトーンが心拍数や心拍出量に顕著な変化をもたらすことが示さている(Kassam & Mendes, 2013)。これらの研究は，人の声が感情や生理的状態に重要な影響を持つことを示している。また，最近ではこうしたリラックス効果や癒し効果をうたった音声作品，とりわけASMR(Autonomous Sensory Meridian Responseの略， 自律感覚絶頂反応)作品と呼ばれるものが注目を集めており，2020年11月の時点で8800 万再生を越える動画が存在することも確認されている(内田ら，2018)。音声作品の内容は水の流れるような音や鳥のさえずりなどの自然音から人の咀嚼音まで多岐にわたるが，この中で人気なものとしてささやき声など人の声を主体にしたものも多数見受けられる。Engelbregt et al. (2022)の研究では，ささやき声や静かな話し声などの音声刺激に対する反応として，心拍数，皮膚電気活動，EEGなどの生理指標が測定され，ASMR動画の視聴が心拍数の低下とリラックス効果をもたらすことが示されている。このように，人間の音声が心身に直接的に影響を与えるとの研究成果は一定数存在する。

しかし，音声の内容ではなく，音声自体が人間の心身にどのような影響を与えるのかについてはあまり研究されていない。将来的には様々な場面で合成音声を聞くことが予想されるが，合成音声が身体にどのようなストレスを与えるのか，またはどのような音声であればリラックスできるのかという点については，まだまだ知見が十分とは言えないのが実情である。

　声を一種の音として考えると，「音楽」が心身に与える影響という研究は様々ある。音楽のストレス解消効果についての研究(中嶋ら， 2013)では，音楽のストレス解消効果について心理的指標(J-SACLの項目一部)および生理指標(唾液中コルチゾールやクロモグラニンa，心拍変動)による検討を行ったところ，音楽の好みが高いほど音楽聴取後にストレスが低下することが示された。また，好みの音楽聴取が緊張・不安・疲労軽減に与える影響を調べた研究(崎山・田中，2016)では，POMS短縮版と唾液中α-アミラーゼ濃度などの指標による検討を行った。その結果，好きな音楽を聴取することは心理的および生理的ストレスに対して有効なコーピング法であると結論付けられている。

【音声とポリヴェーガル理論】

心理学領域における音声の研究は，感情状態や印象に関する研究が進展しているが，その身体への影響については未だ充分に研究されていない。声そのものが心身に与える影響の要因については，ポリヴェーガル理論が参考になる。ポリヴェーガル理論は，心理学者のStephen W. Porgesが提唱した自律神経系の構造と機能に関する理論である (Porges,S.W., 1995)。一般的に自律神経系は，交感神経系と副交感神経系からなり，心臓や血管などの内臓の働きを調節する機能を持つとされる。交感神経系は，ストレスや危険な状況に対応して身体を活性化させる役割を果たし，副交感神経系は，リラックスや回復に関係する機能を担う。ポリヴェーガル理論は，この副交感神経系を背側迷走神経複合体と腹側迷走神経複合体の二つの機能にさらに分けることが出来るという理論である。それぞれの迷走神経系は役割が分かれており，背側迷走神経は，消化や呼吸などの古典的で基本的な生命維持に関わる社会的に切り離された静的な休息・弛緩機能を担い，腹側迷走神経はリラックスや回復，顔や声帯などの筋肉の動きなどの社会的なコミュニケーションや感情の調整に重要な役割を果たす社会的に関わりを持った動的な休息・弛緩機能を有するとされる(津田，2019)。

耳の筋肉も腹側迷走神経系が司っているとされ，音声を聞く際にはその声を聞こうと中耳の筋肉を調整する際に腹側迷走神経系が刺激され，リラックスできるとされる。また，捕食者の出す低周波と似たものが含まれやすい男性の声よりも，高周波の女性の声の方が母親の赤ちゃんをあやすときの声と似ているため，リラックスしやすいと考えられている(Porges et al.,2014)。それを元に同論文ではListening Project Protocol(LPP)という治療法が提案された。これは，特に高周波音が含まれる音楽を用いて中耳の筋肉を訓練し，音声処理を改善し，社会的な交流やレジリエンスを高めることを目的としたものである。実際に，自閉症スペクトラムの子どもたちがこのプロトコルを使用することで，情動の組織化，聴覚処理，社会的行動の改善が見られたことが示されている。

【自律神経系の指標としての心拍変動】

こうしたリラックスの状態，つまり自律神経系の状態を測定する手法の一つに心拍変動（Heart Rate Vriability: HRV）がある。心拍変動とは心臓の拍動間隔の揺らぎのことで，正常な心拍でもごくわずかに変化しており常に揺らぎを生じている(榊原，2022)。揺らぎの大きさは自律神経機能の影響を受けており，交感神経系と副交感神経系のバランスや調節能力を評価できるとされる。心拍変動は，心身の健康やストレス状態，情動制御などと関係しているため，自律神経系の指標として有用である。例えば高振幅の心拍変動は，情動制御ネットワーク内の機能的結合を強化し，情動の安定性と適応性を向上させるという研究がある。具体的には，日々のバイオフィードバックセッションを通じて心拍変動の振幅を増加させることで，前頭前野などの情動制御に関連する脳領域の機能的結合が強化されることが示されている(Mather & Thayer, 2018)。また，心拍変動(HRV)はレジリエンスの指標ともなり得る。An et al. (2019)の研究では，HRVがレジリエンスの広範な指標として機能することが示されている。具体的には，HRVが高い個体はストレスに対してより柔軟に対応でき，情動や生理的反応を効果的に調節する能力があることが示された。特に，戦闘シミュレーション中のHRVの変動が，ストレス耐性やトラウマに対するレジリエンスと関連していることが明らかになっている。

さらに測定も，実験参加者に心電図測定器を取り付けるだけの非侵襲的な方法で行えるため簡便で安全であるにもかかわらず，得られたデータは時間や周波数の観点から様々な解析手法で検討でき，測定手法としても有用である。

そこで本研究では，合成音声の特性が人間の自律神経活動に及ぼす影響をポリヴェーガル理論の観点から検討することを目的とする。具体的には，合成音声の話者の性別や音声に対する好感度が，心拍変動にどのような影響を与えるかを分析する。

本研究の結果によって，合成音声のストレスへの影響やリラックスの傾向を検討することができ，合成音声の応用可能性や利用場面について，新たな知見を提供することが期待される。

# **Ⅱ予備実験**

　刺激として使用する音声を作成するため，一般的に好感度の高い音声と低い音声はどのようなものか調査を行った。

**目的**

一般的に好感度の高い音声と低い音声の特徴についてAI音声合成ソフトウェアを用いて明らかにすることを目的とした。

**方法**

大学生及び大学院生17名(男性9名，女性6名，その他1名)調査対象とし，2023年6月7日から9月19日の間にMicrosoft Office Formsを用いて回答を収集した。平均年齢は23歳(*SD*=8.56)であった。

発話速度と声の高さが特性推論に及ぼす影響を評価するために，橋本・古屋(2019)の音声状態印象についての尺度を用いた(Table 1)。この尺度は力動性(5項目)，悠長さ(3項目)，好感度(3項目)の3因子構造で構成されていた。使用した合成音声は，voicevoxとcoeiroinkの二つの音声合成ソフトから選んだ8種類の音声を使用した(Table 2参照)。





調査対象者はFormsを開き，表示されている順に音声サンプルを確認し，その順番で音声再生ページの音声を再生した。Formsの音声の並び順は順序効果を防ぐためランダムになるよう設定した。音声の再生は30～40秒程度とし，回答ができると感じたところで再生を止めることも許可した。なお，合成音声が読み上げた文章は資料の通りであった(資料1)。参加者は再びFormsに戻り，再生した音声に対する状態印象を回答した。各音声に対してこのプロセスを繰り返し，すべての音声に対する印象を収集した。

**結果**

予備調査の結果，各音声データの好感度因子の総得点はTable 3に示す通りであった。この結果と研究者の判断に基づいて，本研究で使用する合成音声キャラクターを4種類に絞り込んだ。具体的には，サンプル1を「女声高好感度刺激」，サンプル4を「女声低好感度刺激」，サンプル5を「男声高好感度刺激」，サンプル7を「男声低好感度刺激」とした。

Table3.各音声の好感度因子得点



# **Ⅲ本実験**

**【目的】**

予備調査の結果に基づき，音声の性別および好感度を操作した合成音声を用いて，自律神経活動に及ぼす影響を検討する。

**【方法】**

**実験参加者**

大学生・大学院生20名を対象とした。平均年齢は20.14歳(*SD*＝1.53)であった。参加者は胸部に装着する心拍センサーのバンドが女性には大きすぎて適切に固定できない場合があること，装着の介助が必要になることを避ける観点から男性のみを対象とした。

**刺激**

予備調査で得られた結果を元に刺激となる音声を生成した。ただし，予備調査で使用した音声は再生時間が30秒ほどと短く，生理指標の測定には適当ではないと判断したため，合成音声ソフトウェアに読ませる文章を変更した。文章はOpenAI社の大規模言語モデルChatGPT-3.5に「人を癒せるような文章を作ってください」とプロンプトし，十分な長さの文章になるまで「続けてください」と再度プロンプトして出力された文章を使用した(資料2)。作成した文章を合成音声に読ませる際は，音声の再生時間が4分(誤差±1秒)以内になるよう話速を調整した。それ以外の声の高さやイントネーションの位置などの調整は行わなかった。

生成した文章を以下の二つの音声合成ソフトウェアで出力した。

**VOICEVOX:** VOICEVOXは，ヒホ(ヒロシバ)氏によって開発された合成音声ソフトウェアである。特徴としては，無料のオープンソースソフトウェアを元に構築されている点で，商用・非商用問わず無料で使用できる。細かなイントネーションも調整が可能で，簡単に音声を生成できる。現在(2024年6月19日時点)25種類のキャラクターがあり，それぞれ異なる声質やスタイルを提供している。本実験では男声高好感度刺激の出力に使用した。

**COEIROINK**: COEIROINKは，シロワニさん氏によって開発された音声合成ソフトウェアであり，こちらも無料で使用することのできる合成音声ソフトウェアである。VOICEVOXと異なり，MY COEIROINKというユーザーが作成した合成音声を利用できる点が特徴である。これにより，多様なキャラクター音声や個性的な音声を生成することが可能で，ゲームのキャラクターボイスや独自のナレーションを作成するのに適しているとされる。本実験では男声高好感度刺激以外の出力に使用した。

**測定装置**

心拍数(HR)と心拍変動(HRV)を計測するため，ポーラル社の胸部心拍センサーPolar H10を使用した。データの取得にはElite HRV LLC社のスマートフォンアプリElite HRVを用い，スマートフォンとPolar H10をBluetoothで接続して取得した。取得した心拍情報はKubios Oy社製のKubios HRV Standardを使用して分析を行った。

　本研究で使用したPolar H10およびElite HRVアプリケーションは，心拍数(HR)および心拍変動(HRV)の計測において高い信頼性と有効性が確認されている。Elite HRVは，複数の研究において標準的な心電図(ECG)と比較され，座位および仰臥位のいずれにおいても統計的な差がないことが確認されており，特にHRV指標であるRMSSDに関して非常に強い相関が認められている​(Moya-Ramon et al., 2022)。さらに，短時間(5分)および超短時間(1分)の測定でも，標準的な長時間測定と同等の信頼性が得られている​。また，分析に使用したKubios HRVは，心拍変動解析のための高度なソフトウェアであり，心電図データやRR間隔データの入力形式を幅広くサポートし，アーティファクトの補正や呼吸周波数の推定を行うことで，解析結果の信頼性を高めることが可能である​(Tarvainen et al., 2014)。

**生理指標**

音声再生時の生理的反応を検討するため，生理指標として以下の指標を用いた。

**心拍数(HR):** 心拍の電気的活動を示す心電図では，P波，QRS波，T波が観測される(Figure1)。これらの波形は心臓の各部分の活動を反映している。特に，QRS波は心室が収縮する際の電気的活動を示している。

ダイアグラム が含まれている画像

自動的に生成された説明

Figure1.心電図の模式図(長野，2017, p.166, 図9-1-1)

心拍数(Heart Rate: HR)は，1分間に心臓が拍動する回数を示し，通常「beats per minute(BPM)」として表される。正常な安静時心拍数は60〜100 BPMの範囲であり，これは個人の年齢，フィットネスレベル，健康状態などによって異なる。さらに心臓は交感神経と副交感神経の二重支配を受けているため，自律神経の指標としても活用できる。例えば交感神経優位な状況下では心拍数は増加し，副交感神経が優位になると心拍数は減少するため，心拍数は緊張や興奮，リラックスや安静状態を把握することが出来る。

**Mean RR:** 心電図で見られる**QRS波のピーク(R波)から次のQRS波のピーク(R波)までの時間のことをRR間隔という。このRR間隔の単位時間当たりの平均値を**Mean **RRと呼ぶ。**Mean **RRは心拍の周期を示し，数値が大きいほどリラックスした状況だと判断される。**

**心拍変動(HRV)**

　心拍数の他に心拍から得られる指標として心拍変動があり，先に述べたように心拍変動も自律神経の活動指標として有用である。

分析方法としては時間領域解析と周波数解析に大別できる。時間領域解析では，心拍間隔データに基づく統計的指標が使用される。時間領域の解析手法は，一定期間にわたる心拍間隔の変動を統計的に評価し，心拍変動の総量やパターンを把握するものである。代表的な指標は以下の通りである​​。

**SDNN (Standard Deviation of NN intervals): 前述のRR間隔は**測定した心拍間隔をそのまま表したものであり，アーティファクトや期外収縮などの異常な拍動も含まれる。これらの異常なデータを除いたものをNormal のNからN-N間隔と呼ぶ。このN-N間隔について一定時間内の全ての標準偏差をSDNNという。全体的な心拍変動の大きさを示し，健康状態やストレスレベルの指標として使用される。SDNNが高いほど，心拍の変動が大きく，心臓の適応能力が高いとされる。

**RMSSD(Root Mean Square of Successive Differences):** 隣接するN-N間隔の差の平方和の平均の平方根。短期的な変動を評価する指標であり，主に副交感神経の活動を反映する。RMSSDは，特に心拍変動の高周波成分(HF)と関連が深く，値が高いほど，副交感神経の活動が強いことを示す。

**pNN50(Percentage of NN50):** 隣接するN-N間隔の差が50msを超える割合。短期的な変動を評価する指標で，特に高頻度の心拍変動を反映する。pNN50の値が高いほど，副交感神経の活動が強いことを示す。

次に周波数解析について説明する。周波数領域解析では，R-R間隔データ(Figure2上段)をフーリエ変換や自回帰(AR)モデルなどの方法でスペクトル解析し，特定の周波数帯域のパワーを評価する(Figure2下段)。AR変換は，フーリエ変換に比べて測定期間の短いデータに対しても精度の高い解析が可能な手法である。周波数領域の解析手法は，心拍変動を周波数成分に分解し，それぞれの周波数帯域ごとのパワー(エネルギー)を評価するものである。今回の実験では計測期間が短時間であるためARモデルを選択し分析を行った。代表的な指標は以下の通りである。

文字の書かれた紙

自動的に生成された説明

Figure2. 様々な状況でのIBIと周波数解析結果(長野，2017, p.170,図9-1-8)

**LF(Low Frequency)**: Figure2下段のグラフではで濃い灰色で示されて

いる区間で 0.04〜0.15Hzの低周波成分。交感神経と副交感神経の両方の活動を反映し，ストレス応答や血圧調節の指標となる。LF成分は，主に血圧調節のメカニズムであるバロレフレックス(圧受容体反射)と関連している。

**HF(High Frequency)**: Figure2下段のグラフでは白色で示されている区間で，0.15〜0.40Hzの高周波成分。主に副交感神経の活動を反映し，呼吸性洞性不整脈(Respiratory Sinus Arrhythmia, RSA)としても知られる。HF成分は，呼吸による心拍の変動を示し，リラックス状態や深呼吸などで増加する。

**LF/HF比**: 交感神経と副交感神経のバランスを示す指標であり，ストレスレベルや自律神経のバランスを評価するために使用される。LF/HF比が高いと，交感神経が優位であることを示し，低いと副交感神経が優位であることを示す。

**心理指標**

音声再生中の主観的な感情状態を測定するため，小川ら(2000)の一般感情尺度を用いた(Table4)。一般感情尺度は肯定的感情(PA)8項目，否定的感情(NA)8項目，安静状態(CA)8項目の計24項目で構成されており，各項目を「全く感じていない」「あまり感じていない」「少し感じている」「非常に感じている」の4件法で回答を求めた。また，音声の好感度が適切に操作されているか確認するため，予備調査と同様に橋本ら(2019)の尺度を用いて発話速度と声の高さが特性推論に及ぼす影響について7件法で音声の印象を評価した。



**手続き**

実験に先立ち測定データはすべて匿名化され，個人が特定される心配がないことを説明し同意を得た。また，実験前にアルコールやカフェインなど測定に影響を及ぼすものを摂取していないかも確認した。実験参加者には測定開始前にヘッドフォン(株式会社JVCケンウッド社製KH-KZ30-B)と心拍センサー(Poral H10)を装着した。

測定スケジュールは前安静期間を5分，音声再生期間を約4分，後安静期間を5分とした。後安静ののちに音声再生時の感情状態と音声に対する印象評価を行う。この手続きを各音声分，計4回行った。この測定スケジュールはあらかじめ実験参加者にも共有し，無音の状態が5分続いた後に音声が流れ，音声の再生後も測定を続けるため，実験者が声をかけるまでそのままの状態で待機するよう教示した。

測定中は実験参加者には椅子に座ってもらい，目は開けたまま測定を行った。また，測定中は心拍計測にノイズが入らないよう，体を動かさないこと，目を閉じず前を見てもらうことも教示した。すべての試行が終了した後，内省報告を求めた。すべての回答はMicrosoft Office Formsを用いて回収した。試行順は参加者間でカウンターバランスを取り，順序効果が生まれないように配慮した。

# **Ⅳ結果**

**生理指標**

全実験参加者20名分のデータを使用した。計測したRR間隔について明らかに異常と見られるデータは１つ前のデータに置き換え修正した。  
**心拍数(HR)と心拍間隔(RR interval)**

　各条件における平均HRをFigure3に示した。



Figure3.各刺激における平均心拍数の変化

すべての条件において，期間が進むに従い心拍数が下降していた。課題から後安静にかけて，高好感度の２条件については HRが低下していたが，低好感度の2条件については変化量がやや少ないように見受けられた。  
　HRに関して，話者性別(男，女)×音声好感度(高，低)×期間(前安静，課題，後安静)の3要因参加者内分散分析を行った。その結果，話者性別および音声好感度の主効果は有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.02, *n.s*.; 音声好感度:*F*(1,19)=0.00, *n.s.*)。期間の主効果は有意であり(*F*(2,38)=10.78,*p* <.01)，前安静期と比較して，後安静期においてHRが有意に低下していた。交互作用はすべて有意ではなかった(話者性別×音声好感度:*F*(1,19)=0.08, *n.s.*; 音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.29, *n.s.*; 話者性別×期間:*F*(2,38)=0.29, *n.s.*; 話者性別×音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.09, *n.s.*)。つまり，HRは期間が進むにつれて有意に減少していたが，話者性別や音声の好感度による明確な効果は認められなかった。

RR間隔に関して，同様に各条件の平均値をFigure4に示した。



Figure4.各刺激における平均RR間隔の変化

グラフを見るとすべての刺激において，期間が進むにつれてRR間隔が増加しているように見受けられた。特に，課題期から後安静期にかけて，話者音声が女声の高好感度刺激ではRR間隔の増加が顕著であった。一方で，話者音声が男声低好感度の刺激条件ではRR間隔の増加が緩やかであることが見受けられた。

HRと同様に分散分析を行った結果，話者性別および音声好感度の主効果は有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.01, *n.s.*; 音声好感度:*F*(1,19)=0.14, *n.s.*)。期間の主効果は有意であり(*F*(2,38)=13.28, *p* <.01)，前安静期と比較して，課題期および後安静期でRR間隔が有意に増加していた。交互作用はいずれも有意ではなかった(話者性別×音声好感度:*F*(1,19)=0.00, *n.s.*; 音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.46, *n.s.*; 話者性別×期間:*F*(2,38)=0.72, *n.s*.; 話者性別×音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.29, *n.s.*)。つまり期間が進むにつれてRR間隔は有意に増加していたが，話者性別や音声の好感度による明確な効果は認められなかった。

**心拍変動(HRV)**

SDNNに関して，同様に各条件の平均値をFigure5に示した。



Figure5.各刺激におけるSDNNの変化

グラフを見るとSDNNにおいてもすべての刺激で，期間が進むにつれて増加しているように見受けられた。特に，課題期から後安静期にかけて，女声の高好感度の刺激ではSDNNの増加が顕著であった。また，男声高好感度刺激では前安静期から課題期にかけてやや増加量が大きく，課題期から後安静期までは緩やかな増加傾向であった。一方で，低好感度刺激ではSDNNが緩やかに増加している様子が見受けられた。

同様に3要因参加者内分散分析を行った結果，話者性別および音声好感度の主効果は有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.09, *n.s.*; 音声好感度:*F*(1,19)=0.39, *n.s*.)。一方，期間の主効果は有意であり(*F*(2,38)=6.77, *p*<.01)，前安静期と比較して，後安静期においてSDNNが有意に増加していた。交互作用はいずれも有意ではなかった(話者性別×音声好感度:*F*(1,19)=1.51, *n.s.*; 音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.42, *n.s.*; 話者性別×期間:*F*(2,38)=0.73, *n.s.*; 話者性別×音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.51, *n.s.*)。つまり，SDNNは期間が進むにつれて有意に増加していたが，話者性別や音声の好感度による明確な効果は認められなかった。

RMSSDに関して，同様に各条件の平均値をFigure6に示した。



Figure6.各刺激におけるRMSSDの変化

グラフを見るとRMSSDにおいても期間が進むにつれてRMSSDが増加していたが，変化の仕方は音声の性別によって異なっているように見受けられた。男声刺激は前安静期から課題期にかけて比較的大きく上昇していたのに対し，女声刺激は前安静期から課題期の変化量はそれほど大きくなく，課題期から後安静期の方が大きく増加していた。また，変化量で言えば女声の高好感度刺激において課題期から後安静期の増加が顕著であった。

同様に3要因参加者内分散分析を行った結果，話者性別および音声好感度の主効果は有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.36, *n.s.*; 音声好感度:*F*(1,19)=0.28, *n.s.*)。期間の主効果は有意であり(*F*(2,38)=11.48, *p*<.01)，前安静期と比較して，後安静期でRMSSDが有意に増加していた。交互作用はいずれも有意ではなかった(話者性別×音声好感度:*F*(1,19)=0.25, *n.s.*; 音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.44, *n.s.*; 話者性別×期間:*F*(2,38)=1.92, *n.s*.; 話者性別×音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.72, *n.s.*)。つまり，RMSSDは期間が進むにつれて有意に増加していたが，話者性別や音声の好感度による明確な効果は認められなかった。

　pNN50に関して，同様に各条件の平均値をFigure7に示した。



Figure7.各条件におけるpNN50の変化

グラフを見ると変化量は小さいものの期間による変化，音声の性別による変化，そのタイミングに関し，おおむねRMSSDと類似した変化の仕方が確認できた。すなわち，男声刺激は好感度にかかわらず課題期にかけて大きく増加し，女声音声は課題期から後安静期にかけて大きく増加しその変化は女声高好感度刺激において顕著であった。

同様に3要因参加者内分散分析を行った結果，話者性別および音声好感度の主効果は有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.43, *n.s.*; 音声好感度:*F*(1,19)=0.01, *n.s.*)。期間の主効果は有意であり(*F*(2,38)=12.96, *p*<.01)，前安静期と比較して，後安静期においてpNN50が有意に増加していた。交互作用はいずれも有意ではなかった(話者性別×音声好感度:*F*(1,19)=0.14, *n.s.*; 音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.29, *n.s.*; 話者性別×期間:*F*(2,38)=1.47, *n.s.*; 話者性別×音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.60, *n.s.*)。つまり，pNN50は期間が進むにつれて有意に増加していたが，話者性別や音声の好感度による明確な効果は認められなかった。

低周波成分(LF power)に関して，同様に各条件の平均値をFigure8に示した。



Figure8.各刺激におけるLFの変化

グラフを見ると前安静期と比べ後安静期にはすべての刺激において数値の増加がみられたが，その増加量については刺激間で差があるように見受けられた。男声高好感度刺激と女声低好感度刺激は前安静期から課題期にかけて増加していたのに対し，男声低好感度刺激は変化がほぼ見られず，女声高好感度刺激ではやや減少した。課題期から後安静期にかけては男声低好感度刺激と女声高好感度刺激がその他2刺激に比べ大きく増加しており，特に女声高好感度刺激は大きく増加していた。

同様に3要因参加者内分散分析を行った結果，話者性別および音声好感度の主効果は有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.09, *n.s;* 音声好感度:*F*(1,19)=0.07, *n.s.*)。期間の主効果は有意であったが(*F*(2,38)=3.42, *p*<.05)，多重比較を行ったがいずれも有意ではなかった。交互作用はいずれも有意ではなかった(話者性別×音声好感度:*F*(1,19)=1.58, *n.s.*; 音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.09, *n.s*.; 話者性別×期間:*F*(2,38)=0.24, *n.s.*; 話者性別×音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.69, *n.s.*)。

つまり，LFは期間が進むにつれて有意に増加していたが，話者性別や音声の好感度による明確な効果は認められなかった。

高周波成分(HF power)に関して，に関して，同様に各条件の平均値をFigure9に示した。



Figure9.各刺激におけるHFの変化

すべての刺激において，期間が進むにつれてHF powerが増加していた。特に女声高好感度刺激では後安静期に向けて急激な増加が見られ，他の条件と比べて最も大きな変化量を示していた。また，変化のタイミングについて男声刺激は，課題期にかけて大きく増加し，後安静期にはそのままの水準を維持した一方，女声刺激では，課題期ではほとんど変化が見られず，後安静期に大きく増加していることが確認できた。

同様に3要因参加者内分散分析を行った結果，話者性別および音声好感度の主効果は有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.21, *n.s.*; 音声好感度:*F*(1,19)=0.24, *n.s.*)。期間の主効果は有意であり(*F*(2,38)=6.71, *p*<.01)，前安静期に比べて後安静期においてHFが有意に増加していた。

さらに，話者性別×期間の交互作用は10％水準で有意傾向が認められた(*F*(2,38)=2.75, *p*<.10)。話者性別✕期間の交互作用が有意であったため，単純主効果の検定を行った。その結果，話者性別の単純主効果は，すべての期間で有意ではなかった。女声における期間の単純主効果が1%水準で有意(*p*<.01)，男声における期間の単純主効果が有意傾向(*p*<.10)であった。女声において多重比較を行ったところ，後安静の値が前安静および課題より高かった(*p*<.05)。男声において同様に多重比較を行ったところ，すべての期間に有意な差は認められなかった。つまり，HFは期間が進むにつれて有意に増加し，女性の声においてのみ期間の影響が強く，前安静期と課題期にくらべ後安静期で顕著な増加が確認された。

LF/HF比に関して，同様に各条件の平均値をFigure10に示した。



Figure10.各条件におけるLF/HF比の変化

すべての条件において，前安静期から課題期にかけては女声低好感度刺激と男声高好感度刺激でわずかな増加がように見受けられたが，女声高好感度刺激と男声低好感度刺激ではやや減少していた。課題期から後安静期にかけては，男声高好感度刺激の条件で急激な増加が確認された一方，その他の刺激では大きな変化がほとんど見られなかった。

同様に3要因参加者内分散分析を行った結果，話者性別および音声好感度，期間のいずれの主効果も有意ではなかった(話者性別:*F*(1,19)=0.40, *n.s*.; 音声好感度:*F*(1,19)=0.45, *n.s.*; 期間:*F*(2,38) =0.34, *n.s.*)。また，すべての交互作用も有意ではなかった(話者性別×音声好感度:*F*(1,19)=0.86, *n.s.*; 音声好感度×期間:*F*(2,38)=1.19, *n.s.*; 話者性別×期間:*F*(2,38)=1.11, *n.s.*; 話者性別×音声好感度×期間:*F*(2,38)=0.65, n.*s.*)。つまり，LF/HF比に関しては，話者性別，音声好感度，期間のいずれによっても有意な影響は認められなかった。

**心理指標**

**一般感情尺度**

音声再生中の感情状態について検討するため実験参加者ごとにPA(ポジティブ感情) 得点，NA(ネガティブ感情) 得点，CA(安静状態感情) 得点の合計得点を算出し，平均得点を求めた。

PA(ポジティブ感情)得点の平均値をFigure11に示した。

†

\*\*



\*\*

Figure11.話者性別×好感度のPA尺度得点平均値

グラフを見るとPA得点では女声高好感度刺激の得点が突出して高く，次いで男声高好感度刺激，男声低好感度刺激，女声低好感度刺激の順で得点が高かった。

話者性別(男，女)×音声好感度(高，低)の2要因参加者内計画の分散分析の結果，話者性別の主効果(F(1,19)=4.19, p<.10)，好感度の主効果(F(1,19)=15.34, p<.01)が認められた。つまり，話者性別では男性よりも女性の方が，好感度に関しては低刺激よりも高刺激の方がPA得点は高かった。また，話者性別×好感度の交互作用が有意であった(F(1,19)=14.93, p<.01)。単純主効果の検定を行ったところ，性別の単純主効果が高好感度条件で有意であった(p<.01)。つまり，高好感度刺激においては，男性よりも女声で得点が高かった。また，女声において音声好感度の単純主効果が有意であった(p<.01)。つまり女声の場合，好感度が低い場合よりも高い場合の方が得点は高かった。

次にNA (ネガティブ感情)得点の平均値をFigure12に示した。



\*

\*

Figure12. 話者性別×好感度のNA尺度得点平均値

　グラフを見るとNA得点においては男女それぞれの条件で高好感度よりも低好感度の方が得点は高かった。なお，高好感度刺激どうし，低好感度どうしでは得点はあまり変わらなかった。

同様に分散分析を行った結果，音声好感度の主効果が認められた(*F*(1,19)=6.44, *p*<.05)。つまり，NA得点において高好感度よりも低好感度において得点が高かった。

しかし，話者性別の主効果(*F*(1,19)=0.02, *n.s.*)，話者性別×音声好感度の交互作用(*F*(1,19)=0.33, *n.s.*)はいずれも有意でなかった。つまり，話者性別による得点の違いや，話者性別と音声好感度の組み合わせによる効果は認められなかった。

次にCA(安静状態感情)得点の平均値をFigure13に示した。

†



\*\*

\*\*

Figure13. 話者性別×好感度のCA尺度得点平均値

CA得点において，男声女声それぞれの条件で低好感度よりも高好感度の方が高得点であった。また，女声高好感度が最も得点が高く，次いで男声高好感度，女声低好感度，男声低好感度の順で得点が高かった。

同様に分散分析を行った結果，話者性別の主効果(*F*(1,19)=4.11, *p*<.10)，音声好感度の主効果(*F*(1,19)=10.18, *p*<.01)が認められた。つまり，男声刺激よりも女声刺激の方において得点が高い傾向にあり，また低好感度刺激よりも高好感度刺激において得点が高かった。しかし，話者性別×音声好感度の交互作用は有意でなかった(*F*(1,19)=0.01, *n.s.*)。つまり，話者性別と音声好感度の組み合わせによる影響は認められなかった。

**音声状態印象**

　再生した音声の状態印象を確認するため音声状態印象尺度を用いて力動性，悠長さ，好感度得点の合計得点を刺激ごとに算出した。

力動性得点の平均値をFigure14に示した。



\*\*

\*

\*\*

Figure14. 話者性別×好感度の力動性尺度得点平均値

グラフを見ると，男声低好感度と女声高好感度と比べて男声高好感度と女声低好感度の得点が高かった。得点の大きい順に並べると女声低好感度，男声高好感度，男声低好感度，女声高好感度の順であった。

同様に分散分析を行った結果，話者性別の主効果(*F*(1,19)=0.87, *n.s.*)，音声好感度の主効果(*F*(1,19)=0.46, *n.s.*)は有意ではなかった。つまり，話者性別や音声好感度による得点の違いは認められなかった。

しかし，話者性別×音声好感度の交互作用が有意であったため(*F*(1,19)=18.89, *p*<.01)，単純主効果の検定を行ったところ，話者性別の単純主効果が高好感度で有意であった(*p*<.01)。つまり，好感度が高い場合には男声刺激において得点が高かった。また，低好感度でも性別の単純主効果が有意であり(*p*<.05)，好感度が低い場合には女声刺激において平均得点が高かった。

さらに，好感度の単純主効果が女声で有意であった(*p*<.01)，つまり，女声では好感度が高い場合よりも低い場合において得点が高かった。また，男声刺激でも好感度の単純主効果が有意であり(*p*<.05)，男声刺激では好感度が低い場合よりも高い場合において得点が高かった。

次に，悠長さ得点の平均値をFigure15に示した。



\*\*

\*\*

Figure15. 話者性別×好感度の悠長さ尺度得点平均値

　グラフを見ると，男声低好感度が最も得点が低く，それ以外は同程度の得点だった。得点が高い順では男声高好感度，女声高好感度，女声低好感度，男声低好感度の順であった。

同様に分散分析を行った結果，話者性別の主効果(*F*(1,19)=1.32, *n.s.*)は有意ではなく，話者性別による得点の違いは認められなかった。一方，好感度の主効果(*F*(1,19)=8.24, *p*<.01)が有意であった。つまり，好感度が低い場合よりも高い場合で悠長さ得点が高かった。

しかし，話者性別×好感度の交互作用(*F*(1,19)=1.77, *n.s.*)は有意ではなかった。つまり，話者性別と好感度の組み合わせによる効果は認められなかった。

最後に好感度得点の平均値をFigure14に示した。

†

\*\*

\*\*

Figure16. 話者性別×好感度の好感度尺度得点平均値

グラフを見ると，男女それぞれの条件で低好感度刺激よりも高好感度刺激の方が高得点であった。また，女声高好感度が最も得点が高く，次いで男声高好感度，女声低好感度，男声低好感度の順で得点が高かった。

同様に分散分析を行った結果，話者性別の主効果(*F*(1,19)=3.85, *p*<.10)が認められた。つまり，男声よりも女声の方が得点は高い傾向にあった。また，好感度の主効果(*F*(1,19)=28.48, *p*<.01)も有意であり，好感度が低い場合よりも高い場合で平均得点が高かった。

しかし，話者性別×好感度の交互作用(*F*(1,19)=0.28, *n.s.*)は有意ではなかった。つまり，話者性別と好感度の組み合わせによる効果は認められなかった。

# **Ⅴ考察**

本研究では，合成音声の特性が人間の自律神経活動に与える影響を，ポリヴェーガル理論に基づいて検討した。具体的には，合成音声の話者の性別や音声に対する好感度が心拍変動(HRV)にどのような影響を与えるのかを分析した。

**AI合成音声が主観的感情に与える影響**

本実験でも予備実験と同様に音声状態印象への回答を求めた。その得点は男声刺激，女声刺激ともに好感度が高い音声が，優位に好感度得点　を示した。このことから好感度の操作は概ね適切に行われたと考えられる。また，好感度によって力動性に差がみられたことについては，本研究でも好感度，力動性，悠長さの音声状態印象を求めた発話速度と声の高さが特性推論に及ぼす影響(橋本・古屋，2019)において，共分散構造分析を行ったところ声の低さが力動性に正の影響を与えることが示された。本研究で用いた男声高好感度刺激と女声低好感度刺激は他二つに比べ比較的低音の声となっている。このことから，本研究でも低音の２種において他2種とくらべ力動性が有意に高かったと考えられる。同様に悠長さについても橋本・古屋(2019)の研究内において，共分散構造分析を行ったところ悠長さが好感度に影響を与えることが示された。このため本研究では好感度の高低を操作したにより，それに影響を与えている悠長さにも差が生まれたと考えられる。

一般感情尺度と音声状態印象の結果に基づくAI合成音声が主観的感情に与える影響を考察すると，好感度の高い音声がPA感情やCAの得点を引き上げることが確認された。特に，女声高好感度刺激はポジティブ感情の得点が突出して高く，安静状態感情の得点も他条件に比べ顕著に高かった。一方で，好感度の低い音声はNA感情を誘発する傾向が確認された。これらの結果から，AI合成音声においても，音声の特性や質が被験者の感情反応に強く影響を及ぼすことが示唆される。また，男声刺激においては，好感度が高い条件でも女声刺激に比べてポジティブ感情や安静状態感情の引き出しがやや劣る結果となり，特に声の高さが男性参加者の感情反応に大きな影響を与える要因である可能性が示された。

声の高い女声高好感度刺激がPA感情やCA感情を高めることはListening Project Protocol(LPP)およびSafe and Sound Protocol(SSP)の研究結果から理解できるかもしれない。これらは，特定の音楽を通じて腹側迷走神経を活性化し，自律神経のバランスを整えることを目的としている。LPPは，特に自閉症スペクトラム障害(ASD)を持つ人々を対象に，低周波の音をカットし女声刺激の抑揚を強調した音楽を用いることで，聴覚過敏の軽減やASDの状態調節を改善し，周囲の音の中から人の声を聞き取りやすくする効果がある(Porges et al.,2013．Porges et al., 2014)。これをさらに発展させたものがSSPで，特にストレスや不安を感じやすい人々に対し，安心感を与える音楽を使用し，副交感神経を刺激してリラックスを促進する(Porges,2022)。これらの音響刺激によって聞き手は，相手が安全で信頼できると感じられる状態に導かれ，つまり，人間のシステムはより良い社会的交互作用が得られそうな状況でリラックスできるよう作られているため，本実験でもこのような結果になったと考えられる。

ただし，声の高さや発話速度が受け手の感情や好感度に与える影響を確認した研究(橋本・古屋，2019)では，低音の女性ボイスは一般的に好感度が高く，低い声は力強さや落ち着きといった印象を与えるとされている。本研究における女声高好感度刺激は，低好感度刺激に比べて高い声であった。この結果は，実験参加者が若年男性に限定されていたことが影響している可能性がある。具体的には，声が低い高齢女性の低好感度音声よりも，声が高く年齢の近い女声高好感度刺激の方が，彼らにとってより親しみやすく好感を持たれた可能性が考えられる。

**AI合成音声が生理指標に与える影響**

【測定中の大まかな自律神経活動の変化】

まず，実験が進行するにつれてHRは下降，RR間隔やSDNN，RMSSD，pNN50，HFは有意な上昇傾向が認められた。通常これらの生理的反応を検討する研究では，安静から課題にかけて数値が変化し，課題後の安静で再び元の値に戻ることが多い。一方で本研究では，上記の指標の全てにおいて前安静から後安静への有意な変化が認められた。これらの反応はいずれも，課題によって副交感神経活動が大きく活性化したことを示唆している。ただし，各生理指標が課題期から後安静期にかけて副交感神経優位に変化した点については，単に時間の経過によって安静状態が促進された可能性も考えられる。

一方， LF/HF比には有意な期間の効果が確認されなかった。LF成分は交感神経および副交感神経の両方の活動を，LF/HFは交感神経系の活動を反映しているとされるため，本実験で用いた刺激は，交感神経系活動に明確な影響を与えないことが示唆された。

【好感度の効果】

　音声の好感度が生理指標に与える影響に注目すると，音声再生中である課題期では高好感度音声よりも低好感度音声においてHRが低かった。通常，副交感神経系活動が優位になるとHRは低下するとされており，この結果は，低好感度音声の方が高好感度音声よりもリラックス効果が高い事を示しているように見える。一方で，HRは何かに注意を向けている時や集中時にも低下することが知られており，今回はこの結果による解釈が妥当と考えられる。Lacey＆Lacey(1974)の研究では，注意を集中させる際には心拍が一時的に減少し，この現象は心臓迷走神経活動(副交感神経活動)が注意の持続により促進される可能性を示唆している。さらに，Berntson et al. (1996)の研究においては，視覚的錯覚に対する注意が迷走神経の活性化を引き起こし，迷走神経の活性化が刺激への注意と直接関連していることが示された。今回使用した低好感度音声２種は聞き慣れない声であり，かえって注意が集中したため，低好感度条件でHRが低くなった可能性が考えられる。このようなHRの反応は，低好感度音声のNAを上昇させる性質や，悠長さ得点の低さと一致すると思われる。

【話者性別の効果】

性別の効果に注目すると，女声高好感度刺激の効果が比較的明確であった。HRに関しては後安静期において最も低い値となり，RR間隔， RMSSD，pNN50，HFに関しては後安静期で最も高い値となった。特にHFに関しては女声高好感度刺激においてのみ，前安静や課題に対し有意な上昇が認められた。これらの結果はいずれも，女声高好感度刺激の呈示により副交感神経活動が大きく活性化したことを示している。以上のことから男性参加者に対して女声高好感度刺激を聞かせることでリラックス効果を与えることができる可能性が示唆された。

このような結果になった背景として社会的交互作用の影響が考えられる。もとより心臓血管系反応は社会的交互作用と密接に関連している。Hildebrandt et al.(2016)の研究では，仮想空間を使用し，参加者が長時間の脅威を体験する状況での覚醒度調整能力を検討した。その結果，HRVの値が高い参加者は，脅威的な場面でも冷静さを保つことができ，自律神経が安定していて，緊張したりパニックに陥ったりすることが少ないことが確認された。Lehrer(2018)は，不安やうつなど様々な適応障害においてHRV低下が生じることから，HRVの高さを適応あるいは回復の指標としている。また，Thayerら(2018)はHRVが感情的な幸福感や，感情制御能力と関係することを指摘している。

ポリヴェーガル理論では音声を含む社会的交互作用を司る迷走神経は心臓をコントロールする迷走神経と同じとされ，腹側迷走神経と呼ばれている。これを応用した介入法が先に述べたLPPやSSPであり，これらの介入方法は，女性の声の抑揚をさらに強調した音声を使用している。本研究では，性別の効果がみとめられたのはHFのみであった。本研究で用いた音声刺激は，LPPやSSPとは異なり抑揚の調整を実験の再現性の観点から見送ったことが，効果が明確に認められなかった原因であるとも推察される。合成音声を用い，リラクゼーションなど感情に訴えかけるような効果を得たい場合，単純に音声を出力するのではなく，必要に応じ抑揚を加えることで適切な効果が得られる可能性が考えられる。

**総合考察**

本研究の生理指標と心理指標を総合的に考察すると，合成音声が生理的リラクゼーションに一定の影響を与える可能性が示唆された。特に，課題期から後安静期にかけて女声高好感度刺激が副交感神経活動を促進し，リラックス効果を高める傾向があることが示された。しかし，心理指標では好感度の違いが与えるリラックスの差が明確に確認されたのに対し，生理指標の課題期においては音声の性別や好感度による有意な効果は明確ではなかった。これには心拍のメカニズムや合成音声の特徴などの要因が重なった結果と考えられる。

まず，音声の再生時間が統一されていたことやテンポが一定であったことが性別や印象の効果が抑制された一因であると考えられる。特に，福本ら(2004)の研究においても，音楽のテンポが心拍と同期する現象が確認されているが，今回の実験においてはすべての音声が同じテンポで再生されたため，性別や好感度の効果を抑制してしまった可能性が考えられる。

次に合成音声による情動喚起が少ないため，再生中に大きな生理的反応が引き起こされなかったことも一因と考えられる。ニュースにおけるAI合成音声と人間の声を比較した研究では，AI合成音声は人間の音声と比較して脳の認知活動をあまり引き起こさないことが確認されている(Gong C,2023)。この研究では，感情を含むニュース放送において，人間の音声はβ波の活動が強く，聴覚情報の処理や記憶保持に優れた効果をもたらした。これにより，合成音声がニュース放送における信頼性や流暢さの点で劣ることが示唆されている。このような合成音声の特性が，性別や印象の効果を弱めた可能性もあるかもしれない。

また，一般的に合成音声は広く利用または販売されることが主目的なため，比較的良質な声で作成される特性がある。本実験ではその範囲内で好感度の高低を設定したため，実験参加者に対して強い不快感や否定的な印象を与える音声が含まれにくく，結果として有意差が得られなかった可能性もある。

**今後の展望**

本研究より，男性よりも女性の合成音声を使用した方が高いリラックス効果がみられ，日常的に使用される音声には適していると考えられる。ただし，性別や好感度の効果は一部の分析手法のみに認められる結果に留まったことを考慮すると，感情的な働きかけを行いたい場合には，抑揚を高めるように調整する必要があると考えられる。一方で，抑揚のない，感情が伝わりにくい音声が適する場面もあると考えられる。例えば公共の注意喚起では情動を刺激しないことで冷静な対応を促す効果が期待できるため，抑揚の少ない合成音声使用が適切である可能性がある。

今後の研究では，実験参加者の置かれた状況を多様に変化させ，合成音声の効果を検討する必要があるだろう。また，本研究では参加者の性別や人格などの効果は検討していない。本実験における参加者は男性に限定されているほか，好感度得点では標準偏差に着目すると，女声高好感度刺激は他の3刺激に比べ回答のばらつきが小さかったがそれ以外は比較的大きかったことが分かる。このことから音声に対する個人の好みは多様であり，今後はそれらの要素を検討することで，状況や相手に応じた適切な合成音声使用法が明らかになるだろう。

# **Ⅵ引用文献**

An, E., Nolty, A. A. T., Amano, S. S., Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., & Rensberger, J. (2019). Heart rate variability as an index of resilience: A review of recent literature. *Military Medicine*, 184(11-12), 525-530.

Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Fieldstone, A. (1996). Illusions, arithmetic, and the bidirectional modulation of vagal control of the heart. *Biological Psychology*, 44(1), 1-17.

Engelbregt, H. J., Brinkman, K., van Geest, C. C. E., Irrmischer, M., & Deijen, J. B. (2022). The effects of autonomous sensory meridian response (ASMR) on mood, attention, heart rate, skin conductance, and EEG in healthy young adults. *Experimental Brain Research*, 240(7), 1727-1742.

福本 誠・楠芳 之・長島 知正. (2004). 音楽のテンポと心拍の同期現象 Synchrogram による同期状態の検出とリラクセーション効果への影響. 感性工学研究論文集, 4(2), 17-24.

Gong, C. (2023). AI voices reduce cognitive activity? A psychophysiological study of the media effect of AI and human newscasts in Chinese journalism. *Frontiers in Psychology*, 14, 1243078.

橋本 和奈実・古屋 健(2019)．発話速度と声の高さが特性推論に及ぼす影響．応用心理学研究，45(1), 15-25．

Hildebrandt, L. K., McCall, C., Engen, H. G., & Singer, T. (2016). Cognitive flexibility, heart rate variability, and resilience predict fine‐grained regulation of arousal during prolonged threat. *Psychophysiology*, 53(6), 880-890.

康 敏・柏木 治美・山名 由貴子・加藤 雅之・鏑木 誠(2005)．外国語教育のための合成音声評価．*日本教育工学会論文誌*, 29, 161-164.

Kassam, K. S., & Mendes, W. B. (2013). The effects of measuring emotion: Physiological reactions to emotional situations depend on whether someone is asking. *Emotion*, 13(6), 1-6.

Lacey. B. C., & Lacey. J. 1 (1974). Studies of heart rate and other bodily processes in sensorimotor behavior. In P. A. Obrist, A. H. Black, J. Brenner & L. V. DiCara (Eds), *Cardiovascular Psychophysiology*. Chicago: Aldine pp.538-564.

Lehrer, P. M. (2018). Heart rate variability biofeedback and other psychophysiological procedures as important elements in psychotherapy. *International Journal of Psychophysiology*, 131, 89-95.

Mather, M., & Thayer, J. F. (2018). How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 19, 98-104.

宮本 敬子・日根 恭子(2017)．合成音声と人声による発話の長さが音声の印象評価へ与える影響．*日本認知心理学会発表論文集*, P2-11.

Moya-Ramon, M., Mateo-March, M., Peña-González, I., Zabala, M., & Javaloyes, A. (2022). Validity and reliability of different smartphone applications to measure HRV during short and ultra-short measurements in elite athletes. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 217, 106696.

中嶋 麻菜・海老原 直邦・西条 寿夫・大平 英樹(2013)．音楽のストレス解消効果について――心理的指標および生理的ストレス指標による検討．*人間環境学研究*, 11(1), 19-25.

長野祐一郎 (2017). 「第9章 第1節」堀忠雄・尾崎久記 (監修), 坂田省吾・山田冨美雄 (編), 『生理心理学と精神生理学 第I巻 基礎』 (pp. 166–170). 北大路書房.

NHK(2021). 視覚障害者向けテレビの研究. https://www.nhk.or.jp/strl/open2021/tenji/9-1/index.html. (2024年1月17日)

Ning, Y., He, S., Wu, Z., Xing, C., & Zhang, L.-J. (2019). A review of deep learning based speech synthesis. *Applied Sciences*, 9(19), 4050.

小川 時洋・門地 里絵・菊谷 麻美・鈴木 直人(2000)．一般感情尺度の作成．*心理学研究*, 71(3), 241-246.

Porges, S. W. (1995). Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our evolutionary heritage. A Polyvagal Theory. *Psychophysiology*, 32(4), 301-318.

Porges, S. W., Macellaio, M., Stanfill, S. D., McCue, K., Lewis, G. F., Harden, E. R., & Handelman, M. (2013). Respiratory sinus arrhythmia and auditory processing in autism: Modifiable deficits of an integrated social engagement system? *International Journal of Psychophysiology*, 88(3), 261-270.

Porges, S. W., Bazhenova, O. V., Bal, E., Carlson, N., Sorokin, Y., Heilman, K. J., & Lewis, G. F. (2014). Reducing auditory hypersensitivities in autistic spectrum disorder: Preliminary findings evaluating the listening project protocol. *Frontiers in Pediatrics*, 2, 80.

Porges, S. W. (2022). Polyvagal theory: A science of safety. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 16, 871227.

榊原 雅人(2022)．自律系心理生理学の応用――心拍変動とそのバイオフィードバック――．*生理心理学と精神生理学*, 40(1), 68-92.

津田真人．ポリヴェーガル理論を読む．からだ・こころ・社会．星和書店:東京:2019. p. 65-102.

内田 壱成・福塚 咲良・矢野 朋美・吉村 耕一(2021)．ASMRが脳活動と気分状態に及ぼす影響．*科学・技術研究*, 10(2), 179-184.

Tarvainen, M. P., Niskanen, J. P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV–heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210-220.

藪 謙一郎(2018)．障害者が必要としている音声技術．*日本音響学会誌*, 74, 136-143.

山岸 順一(2015)．音声の障がい者のための最先端音声合成技術．*情報管理*, 57(12), 882-889.

崎山 美由希・田中 秀樹(2016)．好みの音楽聴取が緊張・不安・疲労軽減に与える影響．中国四国心理学会論文集, 49(2).

# **Ⅶ資料**

**・資料1　予備調査時に合成音声に読ませた文章**

柔らかな朝日が窓から差し込み，新しい一日の始まりを告げます。心地よい風がそよぎ，鳥たちのさえずりが聞こえてきます。ゆったりとした時間が流れる中で，深呼吸をしながら目を閉じます。

心の中に広がる静けさと平穏さに包まれながら，自然の響きに耳を傾けます。葉っぱがそっと揺れ，木々がやわらかな音色を奏でます。遠くから聞こえる川のせせらぎは，心を穏やかに包み込みます。

深い森の中を歩いているような気分になり，自然と一体化している感覚が湧いてきます。木々の緑と花々の色鮮やかさが目に飛び込んできて，心を豊かに満たしてくれます。

この穏やかな瞬間に，心の中の煩わしさやストレスが一時的に忘れられます。自分自身との対話に耳を傾けながら，内なる声と共鳴します。心の奥深くから湧き上がる感謝の気持ちが，ほんのりと微笑みを浮かべさせます。

この短いひとときは，喧騒や日常の騒がしさから解放され，自分をリセットする大切な時間です。心と体がリラックスし，深い安らぎに包まれている感覚を味わいます。

大自然の中で感じるこの癒しのひとときは，私たちに勇気や希望を与えてくれます。自然の営みに触れることで，生命の輝きとつながりを感じることができます。

だからこそ，時折自分を取り戻すために，このような穏やかな瞬間を大切にしていきましょう。自然の恩恵を感じながら，心と体を癒し，新たなエネルギーを得ることができるのです。

**・資料2　実験時に合成音声に読ませた文章**

穏やかな朝日が窓から差し込み，新たな一日の始まりを告げます。

柔らかな風がそよぎ，鳥たちのさえずりが耳に心地よく響きます。

ゆったりとした時間の中で，深呼吸をしながら目を閉じます。

心の中に静けさと平穏さが広がり，自然の響きに耳を傾けます。

葉っぱがそっと揺れ，木々がやわらかな音色を奏でます。

遠くから聞こえる川のせせらぎが心を穏やかに包み込みます。

深い森を歩いているかのような気分になり，自然と一体化している感覚が湧いてきます。

木々の緑と花々の色鮮やかさが目に飛び込み，心を豊かに満たしてくれます。

この穏やかな瞬間には，心の中の煩わしさやストレスが一時的に忘れられます。

自分自身との対話に耳を傾けながら，内なる声と共鳴します。

心の奥から湧き上がる感謝の気持ちが微笑みを浮かべさせます。

この短いひとときは，喧騒や日常の騒がしさから解放され，自分をリセットする大切な時間です。

心と体がリラックスし，深い安らぎに包まれている感覚を味わいます。

大自然の中で感じるこの癒しのひとときは，私たちに勇気や希望を与えてくれます。

自然の営みに触れることで，生命の輝きとつながりを感じることができます。

だからこそ，時折自分を取り戻すために，このような穏やかな瞬間を大切にしていきましょう。

自然の恩恵を感じながら，心と体を癒し，新たなエネルギーを得ることができるのです。

自然の営みは人々に慰めを与え，心を満たしてくれます。

雲が優雅に流れ，太陽が優しい光を降り注ぎます。

その輝きは心の闇を照らし，新たな希望をもたらしてくれます。

枝にとまる小さな鳥たちの鳴き声が，生命の鼓動を感じさせます。

彼らは自由に羽ばたき，自然との調和を楽しんでいます。

その様子を見ていると，私たちも自分自身を解放し，自然の摂理に身を委ねることができるのです。

風に吹かれながら歩くと，爽やかな空気が心地よく肌を撫でます。

自然の息吹を感じながら，心は穏やかになり，日々の煩わしさが忘れ去られます。

この瞬間には心の平穏が宿り，内なる声に耳を傾けることができます。

自然の美しさは目を奪い，心を魅了します。

花々が咲き誇り，その香りが心地よく広がります。

草原や山々の美しい風景は，心に平和と感動を与えてくれます。

大自然は私たちにさまざまな教えを与えてくれます。

その営みの中で，私たちは自然と調和し，自分自身を見つけることができるのです。

心地よい風や鳥のさえずりに耳を傾けながら，自然とのつながりを感じましょう。

この穏やかな時間は，私たちに勇気や希望をもたらしてくれます。

自然の中で感じる癒しのひとときは，心と体を癒し，新たなる力を与えてくれます。

自然の恩恵に感謝しながら，私たちは自分自身を癒し，内なる平穏を見つけることができるのです。

心地よい朝日と鳥のさえずりに包まれながら，この穏やかな時間を大切にしましょう。

自然の美しさと共に，心と体をリフレッシュさせ，新たなエネルギーを得ることができます。