

# 触覚刺激を用いた主観時間の制御手法の検討

白井 希一<sup>1</sup> 双見 京介<sup>1</sup> 村尾 和哉<sup>1,2</sup>

**概要:** 日常には主観時間を操作できれば望ましい場面があり、待ち時間を削減するなどの目的で、主観時間の操作手法の研究が多く行われてきた。しかし、先行手法は視覚や聴覚の情報を用いるため、日常生活の様々な状況で「常にいつでも」利用することは難しい。そこで、本研究では、手首装着型機器の触覚刺激を用いた主観時間の操作手法を提案する。スマートウォッチなどの手首装着型機器は装着が一般普及しており実世界のあらゆる状況でユーザに触覚刺激を提示できるため、提案手法は視覚や聴覚の知覚チャンネルを塞ぐことなくいつでも主観時間を操作できる。本研究では、刺激の回数、刺激の持続時間、刺激の提示される時間間隔の3種の要素を変化させる触覚刺激パターンを設計し、触覚刺激を提示する手首装着型バンドを作製した。そして、どのような種類の触覚刺激が主観時間を変化させるかを調べるために、4つの実験を行った。結果から、主観時間を変化させる触覚刺激の要素を発見し、触覚刺激によって主観時間を約23%（-6%から+17%）操作できることが確認できた。提案手法は多くの情報機器に適用できる、これまでに情報機器の触覚刺激が主観時間に与える影響はほとんど調査されていなかったため、本研究成果は情報機器やユーザ体験の設計に役立つと考えられる。

## 1. はじめに

日常には主観時間 (i.e., 人が主観によって感じる時間の長さ) を操作できれば望ましい場面がある。そのひとつとして、コンピュータ利用状況における待ち時間があげられる。コンピュータの処理やインターネットのデータ転送が向上しても、ファイルダウンロード、ソフトウェアインストール、コンピュータの作業完了、などにおいて待ち時間が生じることは問題視されている [1]。実際に、Web サービスにおいて画面読み込みなどによって発生する待ち時間によって、ユーザの行動変容 [2][3] やサービスへの印象変容 [4][5][6][7]??が起る例が調査されてきた。

これに対して、いくつかの研究では、待ち時間を減らすなどの目的で、主観時間を操作する技術が提案されてきた。視覚情報を用いた研究では、ヘッドマウントディスプレイ (以降 HMD: Head Mounted Display) の画面に表示される視覚オブジェクトの移動速度を変化させる手法 [1] や、アニメーションによるプログレスバーを提示する手法が提案されている [11][12][13][14]。また、聴覚情報を用いた研究では、スマートスピーカなどの音声インターフェースを用いて聴覚刺激の提示の頻度や時間間隔を変化させる手法が提案されている [1]。これらの研究は、情報機器の知覚刺激の与え方を変えることで、主観時間を操作できることを示

した。

しかし、先行手法は、日常生活の様々な状況で「常にいつでも」利用することは難しい。この理由として、次の点がある。1つ目の理由は、音と視覚の情報の提示が望ましくない状況が存在するからである。例えば、コンピュータ機器から必要な視覚情報や聴覚情報を得ている場合には、コンピュータ機器からの視覚情報や聴覚情報を主観時間操作に利用できない。また、身の回りの物体や状況を目や耳から知覚する必要がある場面では、聴覚と視覚のチャンネルはフリーでいるのが望ましい。次に2つ目の理由は、音と視覚の情報提示機器の装着を常に行うことが難しいからである。例えば、イヤホンは、耳穴をふさぐものが多く、常時イヤホンを装着することは、まだ一般的ではない。HMD は、装着に負荷がかかるため、常時 HMD を装着することもまだ一般的ではない。

したがって、視覚や聴覚の情報を用いた先行手法を利用しづらい場面では、視覚と聴覚とは別の知覚チャンネルを利用して、主観時間操作ができる技術があれば便利である。一方、スマートウォッチやスマートフォンなどの触覚振動を常に与えられる機器が普及し、一般的になった。触覚刺激を利用して主観時間操作ができる技術があれば、主観時間操作技術を活用できる場面が広がり、便利と考えられる。

また、触覚刺激を提示する機器が増加したにも関わらず、触覚刺激と主観時間の関係の解明に焦点を当てた研究がほとんどない点は問題である。もし、触覚刺激が主観時間に

<sup>1</sup> 立命館大学大学院情報理工学研究所

<sup>2</sup> 科学技術振興機構さきかけ

影響する現象が存在する場合、その現象を考慮せずに設計された情報機器は、ユーザの体験を損ねるように主観時間を変化させる問題を起こす可能性がある。そのため、情報機器の触覚刺激が主観時間を変化させる現象の存在と操作手法を明らかにすることは、このような問題を防ぐことや、触覚刺激が主観時間に起こす影響を考慮した情報機器やアプリケーションの実現に役立つと考えられる。

そこで、本研究では、スマートウォッチなどの手首に装着するウェアラブル機器を利用して、触覚刺激による主観時間の制御手法を提案する。手首装着型のウェアラブルデバイスは実世界においてあらゆる状況でユーザに触覚刺激を提示できるため、日常生活でいつでも主観時間が操作できる。そして、どのような触覚刺激が主観時間を長く短く変化させるかを明らかにするための調査を行う。本研究では、3種類の触覚刺激の提示手法を設計した。3種類はそれぞれ、同一の時間幅において、提示刺激の回数を変化させる手法、提示刺激の持続時間を変化させる手法、提示刺激の時間間隔を変化させる手法ある。ウェアラブルデバイスとして、触覚刺激を提示する手首装着型機器を作製した。これはリストバンドに振動素子を4つ装着したものである。本論文では図1に示す4つの実験をおこなった。実験1, 2, 3では、どのような触覚刺激が主観時間を長く短く変化させるかを調査した。触覚刺激の提示手法ごとに3種の刺激パターンを作成した。そして、これらの用意した刺激を被験者に提示し、被験者に2種の刺激を比較して長いと感じる方を回答してもらった実験を行った。実験4では、実時間に対してどの程度の主観時間の変化が触覚刺激によって起こるかを調べた。実験1, 2, 3で最短と最長と認識された刺激パターンを選択して、それぞれの刺激パターンの知覚時の主観時間の推定の長さを口頭推定法で示してもらった。結果から、主観時間を変化させる触覚刺激の要素を明らかにし、提案手法を用いて主観時間を約23% (-6%から+17%) 変化できることを確認した。

## 2. 関連研究

本研究でいう主観時間は、ある体験において感じる時間の長さを指す。主観時間は体験の良し悪しに関わる。例えば、コンピュータ利用時の待ち時間（例：画面読み込み時間）は、そのサービスの体験の評価にも影響するため、待ち時間によってユーザの行動変容 [2][3] やサービスへの印象変容 [4][5][6][7] が起こる現象が調査されてきた。

一方、心理学的な知見として、主観時間を無自覚的に変化させる現象が、知覚刺激によって起こることが報告されてきた。有名な現象の1つに充実時程錯覚 (FDI: filled-duration illusion) [26][27] がある。これは、知覚刺激の量や回数によって主観時間が変化する現象である。例えば、より速い速度の刺激を知覚する主観時間は、より遅い速度の刺激を知覚する主観時間に比べて、長く感じる。この現象が、

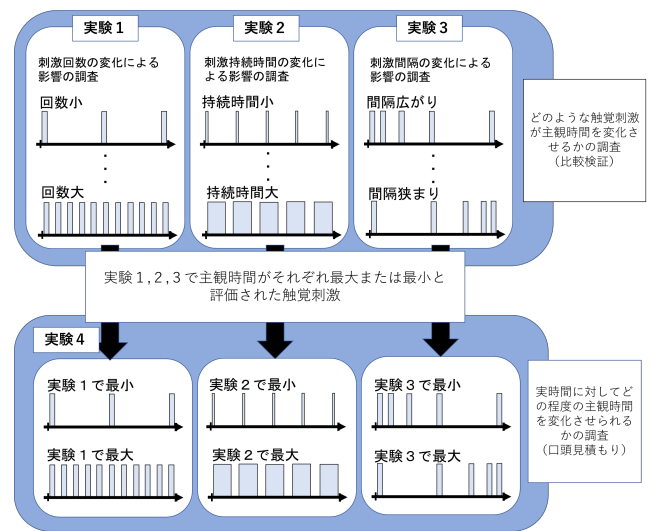


図1 本論文で行う検証の概要

視覚刺激 [28][29] や聴覚刺激 [26][30][31], 触覚刺激 [26] によって起こることが心理学などの分野で報告されてきた。

この現象の操作を、身の回りの情報機器を用いて行う研究が多く行われてきた。視覚情報を用いた手法には次の研究がある。プログレスバーなどでタスク進捗状況を視覚的にフィードバックすることで体感時間を短縮させる手法が提案されている [11][12][13][14]。これは、コンピュータの現在の処理状況をユーザに直接提示するアプローチといえる。さらに、プログレスバーに工夫や付加要素をつける手法も提案されている。例えば、プログレスバーに点滅などのアニメーションを付与する手法 [8][9], インタラクティブな要素を付与する手法 [10], プログレスバーの形状やバーの進み方を変化させる手法 [15], プログレスバーに減速しながら後方に移動するアニメーションをつける手法 [20][21] などがある。清水ら [25] は、HMDの視覚刺激の移動速度を変化させることで、いつでも主観時間操作を行える手法を実現した。

視覚情報ではなく、情報機器の聴覚情報を用いて主観時間を操作する手法も提案されている。小松ら [1] はコンピュータのタスク処理における待ち時間の削減を目的として、聴覚刺激の回数や時間間隔を変化させる手法を提案している。また、現在の処理状態を提示するために、プログレスバーに音を加える手法 [19] や、特徴的な音を利用する手法も提案されている [18][16][22]。

これらの先行研究は、情報機器からの刺激の与え方で主観時間が操作できることを示した。また、視覚刺激や聴覚刺激などの異なる知覚チャネルを用いた手法を実現することで、主観時間の操作手法の利用場面を広げられることを示した。本研究は、主観時間の操作手法の実現のために、触覚刺激を採用し、常時装着できる手首装着機器を採用している。本研究の成果は、音と視覚の情報を利用しづらい状況において主観時間操作手法を利用できるようにするこ

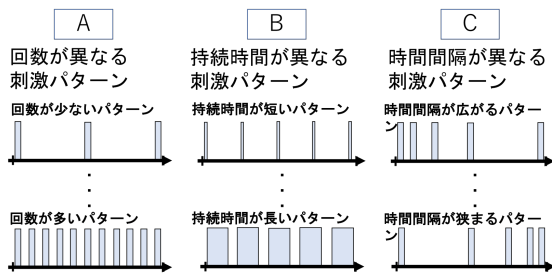


図 2 設計した手法の種類

とを可能にし、また、触覚刺激が主観時間に起こす影響を考慮した情報機器やアプリケーションの設計に活用できる。

### 3. 提案手法

本節では、ウェアラブルデバイスの触覚刺激を利用してユーザの主観時間を操作する手法、本研究の仮説、作成したウェアラブルデバイス・触覚刺激について述べる。

本研究で利用するウェアラブルデバイスとして、手首装着型機器を採用した。手首装着型機器はスマートウォッチや活動量計などで普及している。手首装着型機器はユーザが実世界における作業や活動を行なっている間にユーザへ刺激を提示できるため、提案手法が有効であれば実世界で活動している間も主観時間を操作できるようになると考えられる。手首装着型機器の触覚刺激は、ユーザにいつでも錯覚を起こせるようにするための研究で実際に利用されている。例えば、心拍情報提示が起こす錯覚を日常全体で常にユーザに与える手法の先行研究<sup>2)</sup>がある。そのため、本研究にも適切な機器と考えられる。現在実用化されているウェアラブルデバイスとして、スマートグラスなどの頭部装着型機器もあるが、現時点では常に装着することが一般的ではないため採用しなかった。

#### 3.1 刺激の設計

触覚刺激の提示手法を次の3種設計した。それぞれの手法は、触覚刺激の回数、持続時間、時間間隔を変化させる。図2にそれぞれの要素を示す。

##### 1. 刺激回数の操作手法

本手法は提示刺激の回数を操作する。提示刺激の回数は図2に示すAの要素である。

本研究では提示刺激の回数が増加すると主観時間は長くなり、減少すると短くなると仮定している。本仮説は次の理由に基づく。まず、充実時程錯覚の現象では、刺激が多ければ主観時間が長くなり、刺激が少なれば主観時間が短くなることが報告されている [26][27]。また、主観時間の操作手法の先行研究においても、提示刺激の回数を変化させることで主観時間が変化する例が、視覚に関する研究 [25] と、聴覚に関する研究 [1] で存在する。



図 3 システム構成

##### 2. 刺激持続時間の操作手法

本手法は提示刺激の持続時間を操作する。図2に示すBの要素である。

本研究では提示刺激の持続時間が増加すると主観時間は長くなり、減少すると短くなると仮定している。本仮説も充実時程錯覚を踏まえた。充実時程錯覚では、一定の時間幅を満たす刺激の量によって、主観時間が変化することが知られている [26][27]。

##### 3. 刺激時間間隔の操作手法

本手法は提示刺激の時間間隔を操作する。図2に示すCの要素である。

本研究では時間間隔がだんだんと広がっていくと主観時間は長くなり、時間間隔がだんだんと狭まっていくと主観時間は短くなると仮定している。本仮説は次の理由に基づく。1つ目は、聴覚刺激を用いた主観時間の操作手法の先行研究 [1] で、同様の要素を変化させていることを踏まえたからである。2つ目は、視覚的なプログレスバーを用いた主観時間への影響調査の先行研究において、刺激の加減速パターンが主観時間に影響を与えることが報告されているからである [20][21]。

### 4. 実装

提案手法のプロトタイプシステムを実装した。プロトタイプシステム全体は、触覚刺激を提示する手首装着型機器、Arduino、PC、刺激提示用のソフトウェアから構成される。図3にシステム構成を示す。

触覚刺激を提示する手首装着型機器を図4に示す。触覚刺激の振動子として円盤形ブラシレス振動モーターLBV10B-009を使用した。リストバンドとして一般的な手首に巻くサポータを用いた。振動子は4個であり、図のように配置されている。振動素子の位置は手の甲にあたる位置に配置された。ソフトウェアはArduinoとProcessingで実装した。具体的には、Arduinoで触覚刺激パターンの作製、Processingで触覚刺激コマンドの実行を行えるようにした実装した。また、実験時には、被験者に刺激の開始と終了の合図を出す必要があるため、その合図の提示を音とコンピュータ画面の文字で行えるようにProcessingで実装した。

### 5. 実験 1

本実験では、触覚刺激の回数の変化に応じて、主観時間

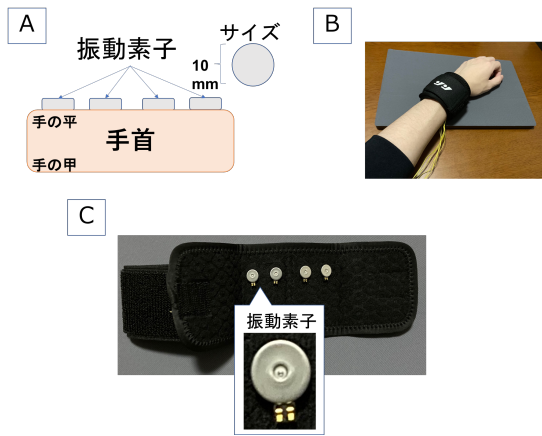


図 4 実装デバイス

表 1 実験 1 の刺激パターンごとの回数と時間間隔

刺激パターン名	回数	時間間隔 [ms]
回数小	3	4800
回数中	5	1825
回数大	11	480

の変化が起こるのかを検証した。

被験者人数は 30 名 (男性 24 名, 女性 6 名), 平均年齢は 23.7 歳 (20~52 歳) の日本人であった。

なお, 本実験では 10 秒間における主観時間への影響を評価した。この理由は次のようになる。1 つは, 先行研究 [1] で 10 秒が採用されているからである。先行研究と同様の時間幅の実験をすることで, 主観時間の変化率に対して, 本研究と先行研究の比較が行える。2 つ目は, 実時間の 10 秒の体感時間を変化させる刺激パターンを見つけることが, 10 秒の待ち時間を境にしてユーザの変化 (例: タスクへの集中の変化 [24], 体験の満足度の変化 [17], インターネット動画視聴者の離脱率の変化 [23]) が起こることを踏まえて, 有用とされているからである [1]。

### 刺激

今回, 10 秒間に触覚刺激を提示する回数が異なる 3 つの刺激パターンを用意した。具体的に設計した刺激を図 5 と表 1 に示す。1 つ目の回数小は, 刺激の回数は 3 回, 刺激と刺激の時間間隔は 4800ms である。2 つ目の回数中は, 刺激の回数は 5 回, 刺激と刺激の時間間隔は 1825ms である。3 つ目の回数大は, 刺激の回数は 11 回, 刺激と刺激の時間間隔は 480ms である。刺激同士の時間間隔の設定は, 比較時間全体が 10 秒であり, 1 つ目の触覚刺激の始点が比較時間開始 100ms 後, 最後の触覚刺激の終点が比較時間終了 100ms 前, 触覚刺激の持続時間が 500ms であることから逆算して設定をした。

### 実験手順

実験タスクは, 2 種の刺激パターンの主観時間を比較するタスクとした。具体的には, 刺激回数を変化させた 2 つの刺激パターンを比較し, どちらの主観時間が長いかを回

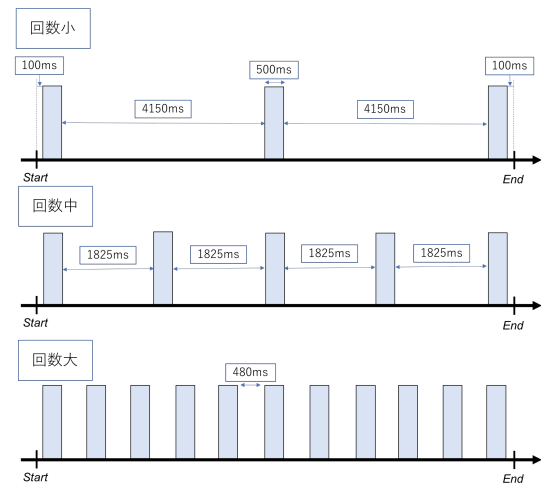


図 5 実験 1 の刺激パターン

答する。本タスクは先行研究では Paired comparison と呼ばれている。本タスクは, 先行研究 [1][26][27][33][34] を踏まえて採用した。

実験手順は次のようにした。被験者は, 触覚刺激を与える手首装着型機器を腕に装着して座った状態で実験を行った。2 つの刺激の主観時間を比べるタスク 1 回を 1 試行とする。被験者が行う 1 試行は, 1 つ目の刺激パターンを知覚する 10 秒間, 休憩の 3 秒間, 2 つ目の刺激パターンを知覚する 10 秒間, の 3 つで構成される。刺激提示の開始と終了の合図は「start」と「stop」をディスプレイに文字表示と音で提示した。被験者は 2 種の刺激を体験してどちらが長いかを前者, 後者, 変わらないで回答する。この 1 試行を, 提示刺激の回数を変化させた 3 種の刺激パターンから 2 種をペアにした全 3 パターンに対して行った。実験時間は約 3 分であった。

### 5.1 結果

刺激パターンごとのスコアを次のように計算した。長いと感じた刺激パターンに 1 点, 短いと感じた刺激パターンに -1 点, 変わらないは両者の刺激パターンに 0 点を付ける。刺激パターンごとのスコアの平均値を個人毎に計算した。次に, 被験者内計画の ANOVA を行い, Bonferroni 法の多重比較検定を行った。刺激パターンごとの全被験者の平均スコアを図 6 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。スコアが高いほど主観時間が長いと感じた刺激パターンである。

被験者内計画の ANOVA の結果, 条件間に有意差が得られた ( $F(2, 58) = 78.95, p < 0.01$ )。各刺激パターンの平均スコアについて Bonferroni 法の多重比較検定を行った。回数小と回数大の刺激パターンの間に有意差があり ( $p < 0.01$ ), 回数中と回数大の刺激パターンの間に有意な差があった ( $p < 0.01$ )。両方の組み合わせにおいて, 回数大の刺激パターンのスコアが高かった。



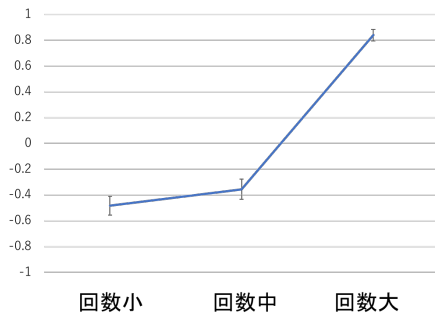


図 6 実験 1 の結果. 刺激パターンごとのスコア.

## 5.2 考察

実験 1 の結果, 触覚刺激の回数の変化に応じて主観時間の一定の傾向の変化が起こった. 具体的には, 回数の多い刺激パターンほど主観時間が長く, 回数の少ない刺激パターンほど主観時間が短いと感じていることが明確に確認された. 回数の要素が主観時間に与える影響は, 充実時程錯覚に基づいた仮説通りの結果であった. この結果から, 触覚刺激の回数の要素を変化させることで, 主観時間の変化を操作できると確認した.

また, この結果から, 回数が主観時間に与える影響が, 知覚チャンネルごとに異なることもわかった. 聴覚刺激を用いた先行研究 [1] では, 聴覚刺激の回数を増加させることで, 主観時間が減少した. これは触覚刺激を用いた本研究とは逆の傾向の結果だった. もし, 全く逆の傾向の変化を起こす刺激をユーザに与えた場合, 主観時間の変化が本来起こしたいものとは逆になるため, ユーザの体験を害することになる. このような誤った刺激の提示をしないために, 知覚刺激が主観時間に与える影響を調査する際には, 知覚チャンネルごとに起こる現象を明らかにする必要があるとわかった.

## 6. 実験 2

実験 1 では回数の変化が主観時間にどのような影響を与えるかを検証したが, 1 つの刺激の持続時間は固定されていた. そこで, 本実験では, 触覚刺激の持続時間の変化に応じて, 主観時間の変化が起こるのかを検証した.

被験者人数は 30 名 (男性 24 名, 女性 6 名), 平均年齢は 23.7 歳 (20~52 歳) の日本人であった.

### 6.1 刺激

今回は, 10 秒間における提示刺激の回数と同じだが, 触覚刺激の持続時間が異なる刺激パターンを 3 つ用意した. 具体的に設計した刺激を図 7 と表 2 に示す. 1 つ目の持続時間小は, 刺激の持続時間は 200ms, 刺激と刺激の時間間隔は 2200ms である. 2 つ目の持続時間中は, 刺激の持続時間は 500ms, 刺激と刺激の時間間隔は 1825ms である. 3 つ目の持続時間大は, 刺激の持続時間は 1000ms, 刺激と

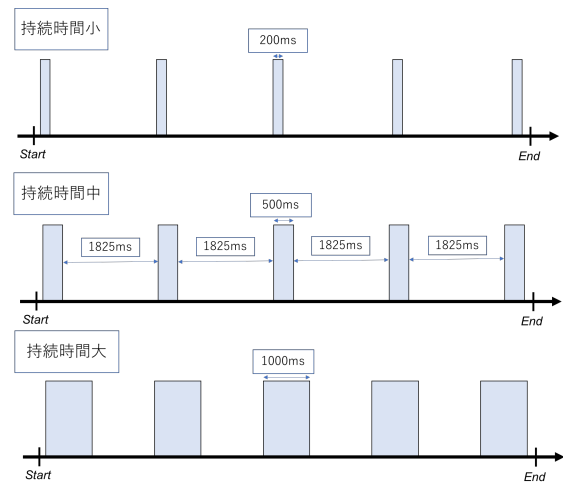


図 7 実験 2 の刺激パターン

表 2 実験 2 の刺激パターンごとの持続時間と時間間隔

刺激パターン名	持続時間 [ms]	時間間隔 [ms]
持続時間小	200	2200
持続時間中	500	1825
持続時間大	1000	1200

刺激の時間間隔は 1200ms である. 持続時間小の持続時間を 200ms にしたのは, 200ms 以下の提示時間に設定すると触覚刺激を認識しづらくなったためである. 1 つの刺激パターンの時間全体が 10 秒であり, 一つ目の触覚刺激の始点が比較時間開始 100ms 後, 最後の触覚刺激の終点が比較時間終了 100ms 前, 触覚刺激の提示回数が 5 回であることから逆算して今回の設定をした.

### 6.2 手順

実験タスクと実験手順は実験 1 と同じである. 実験タスクは, 2 種の刺激パターンの主観時間を比較するタスクである. 3 種の刺激パターンのうち 2 種をペアにした全 3 組に対して行った. 実験時間は約 3 分であった.

### 6.3 結果

実験 1 と同様のスコアリングと検定を行った. 刺激パターンごとの全被験者の平均スコアを図 8 に示す. エラーバーは標準誤差を示す.

被験者内計画の ANOVA の結果, 条件間に有意差が得られた ( $F(2, 58) = 4.86, p < 0.05$ ). 各刺激パターンの平均時間評価について Bonferroni 法の多重比較検定を行った. 持続時間小と持続時間大の刺激パターンの間に有意な差があり ( $p < 0.05$ ), 持続時間中と持続時間大との間に有意な差があった ( $p < 0.05$ ), こちらも両方の組み合わせにおいて, 持続時間大の刺激パターンのスコアが高かった.

### 6.4 考察

触覚刺激の持続時間の変化に応じて主観時間の一定の傾

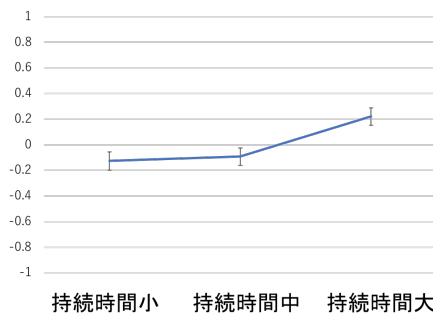


図 8 実験 2 の結果. 刺激パターンごとのスコア.

向の変化が起こった. 具体的には, 持続時間の長い刺激パターンほど主観時間が長く, 持続時間の短い刺激パターンほど主観時間が短いと感じていることが明確に確認された. 持続時間の要素が主観時間に与える影響は, 充実時程錯覚に基づいた仮説通りの結果であった. この結果から, 提示刺激の持続時間の要素を変化させることで, 主観時間の変化を操作できることを確認した.

一方で, この要素の変化による主観時間の変化の検証は先行研究では行われていない. そのため, この要素によって主観時間の変化が起こった結果は, 充実時程錯覚の知見に新たな発見を提供するものになると考えられる.

## 7. 実験 3

実験 1, 2 では回数と持続時間に着目したが, 刺激の時間間隔は固定されていた. そこで, 本実験では, 提示刺激の時間間隔の変化に応じて, 主観時間の変化が起こるのかを検証した.

被験者人数は 30 名 (男性 24 名, 女性 6 名), 平均年齢は 23.7 歳 (20~52 歳) の日本人であった.

### 7.1 刺激

今回は, 10 秒間に触覚刺激を提示する回数と持続時間は同じだが, 提示刺激の時間間隔が異なる刺激パターンを 3 つ用意した. 具体的に設計した刺激を図 9 と表 3 に示す. 1 つ目の間隔広がり, 刺激と刺激の時間間隔は  $(720 \times n)$ ms ( $n$  は  $0 < n < 5$  の整数) である. 2 つ目の等間隔は, 刺激と刺激の時間間隔は 1825ms である. 3 つ目の間隔狭まりは, 刺激と刺激の時間間隔は  $720 \times (5 - n)$ ms ( $n$  は  $0 < n < 5$  の整数) である. また, 全ての刺激パターンで提示刺激の回数は 5 回, 持続時間は 500ms とした.

### 7.2 手順

実験タスクと実験手順は実験 1 と同じである. 実験タスクは, 2 種の刺激パターンの主観時間を比較するタスクである. 3 種の刺激パターンのうち 2 種をペアにした全 3 組に対して行った. 実験時間は約 3 分であった.

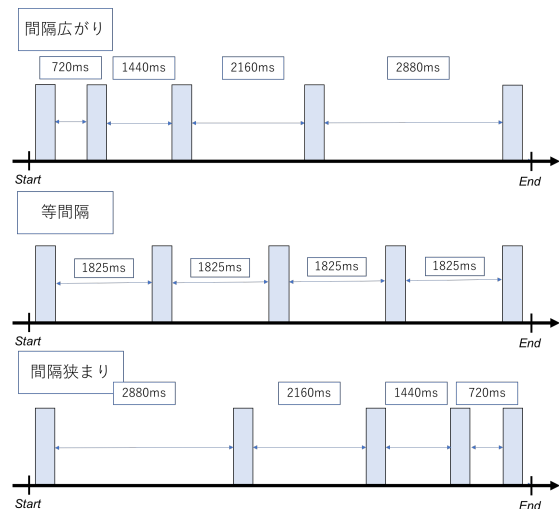


図 9 実験 3 の刺激パターン

表 3 実験 3 の刺激パターンごとの回数と持続時間と時間間隔

刺激パターン名	回数	持続時間 [ms]	時間間隔 [ms]
間隔広がり	5	500	$720 \times n$
等間隔	5	500	1825
間隔狭まり	5	500	$720 \times (5 - n)$

## 7.3 結果

実験 1,2 と同様のスコアリングと検定を行った. 刺激パターンごとの全被験者の平均スコアを図 10 に示す. エラーバーは標準誤差を示す.

被験者内計画の ANOVA の結果, 条件間に有意差は無かった ( $F(2, 58) = 0.09, p = n.s.$ ).

## 7.4 考察

この時間間隔の要素を変化させても主観時間が一定の傾向で変化しないことがわかった. 一方で, この結果から, 時間間隔の要素が主観時間に与える影響が, 知覚チャンネルごとに異なるとわかった. 聴覚刺激を用いた先行研究 [1] の結果は, この要素の変化によって主観時間の変化が表れており, 本研究の結果とは異なった. この結果から, 実験 1 と同様に, 知覚刺激が主観時間に与える影響を調査する際には, 知覚チャンネルごとに起こる現象を明らかにする必要があるとわかった.

## 8. 実験 4

本実験では, 触覚刺激が起こす主観時間の実際の時間に対する変化率を調査した. 具体的には, 実際の時間経過 (10 秒) に対して触覚刺激がどのくらい主観時間を操作できるのかを検証した.

被験者人数は 30 名 (男性 24 名, 女性 6 名), 平均年齢は 23.7 歳 (20~52 歳) の日本人であった.

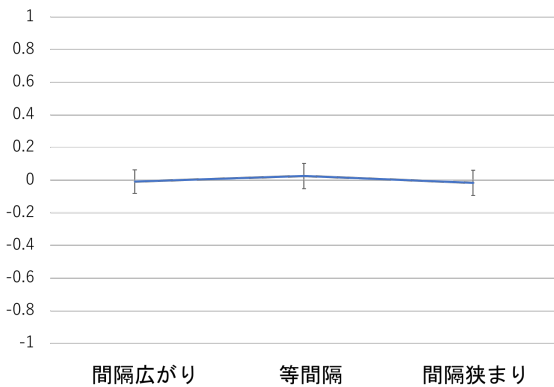


図 10 実験 3 の結果. 刺激パターンごとのスコア.

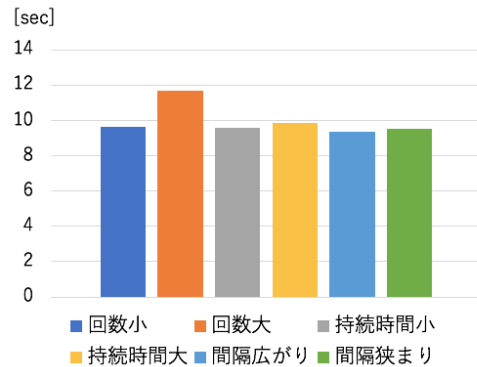


図 11 実験 4 の結果. 刺激パターンごとのスコア.

### 8.1 刺激

実験 4 で使用する刺激パターンは 6 種で、実験 1, 2, 3 で主観時間が最も短い、最も長いと判断された刺激である。具体的には、実験 1 で用いた回数小と回数大、実験 2 で用いた持続時間小と持続時間大、実験 3 で用いた間隔広がり と間隔狭まりであった。

### 8.2 手順

本タスクでは、刺激ありの 10 秒を体験し何秒に感じたかを回答する。被験者は、刺激なしの 10 秒を直前に体験することで、10 秒間の体感時間を理解した状態にしている。これによって、実際の時間経過（10 秒）に対して触覚刺激がどのくらい主観時間を操作できるのかを検証した。本タスクは先行研究では口頭見積もりと呼ばれている。本タスクは、先行研究 [1][31][32] を踏まえて採用した。

実験手順は次のようにした。被験者は、触覚刺激を与える手首装着型機器を腕に装着して座った状態で実験を行った。1つの刺激パターンの主観時間を回答するタスク 1 回を 1 試行とする。被験者が行う 1 試行は、刺激なしの 10 秒間、休憩の 3 秒間、刺激ありの 10 秒間、の 3 つで構成される。触覚刺激の開始と終了の合図は「start」と「stop」をディスプレイに文字表示と音で提示した。このタスクを、6 種の刺激パターンに対して行った。刺激なしの 10 秒間の体験は、全試行において行っている。実験時間は約 6 分であった。

### 8.3 結果

被験者内計画の ANOVA を行い、Bonferroni 法の多重比較検定を行った。被験者のそれぞれの刺激パターンに対する主観時間の回答秒数の平均値を図 11 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。それぞれの結果に対して、表 4 に刺激パターンごとの主観時間の変化率を示す。

被験者内計画の ANOVA の結果、条件間に有意差が得られた ( $F(5, 145) = 35.16, p < 0.01$ )。各刺激パターンの平均時間評価について Bonferroni 法の多重比較検定を行っ

表 4 実験 4 の結果. 刺激パターンごとの主観時間の変化率.

刺激パターン	主観時間 [秒]	変化率
回数小	9.63 (SD = 1.07)	3.7%
回数大	11.67 (SD = 1.02)	16.7%
持続時間小	9.60 (SD = 0.92)	4%
持続時間大	9.87 (SD = 0.62)	1.3%
間隔広がり	9.37 (SD = 0.95)	6.3%
間隔狭まり	9.55 (SD = 0.99)	4.5%

た。結果から、回数小と回数大の刺激パターンの間に有意な差があり ( $p < 0.01$ )、回数大の刺激パターンがスコアが高かった。また、その他の刺激パターンの間に有意な差はなかった。

### 8.4 考察

実験結果から、実際の時間より短く感じる刺激と長く感じる刺激の両方があるとわかった。今回比較した刺激パターンは 6 パターンであったが、その内の回数大の刺激パターンを除いた 5 パターンでの主観時間は実際の 10 秒よりも短くなった。このうち、最も短いと感じられた触覚刺激に対する主観時間は約 9.37 秒であり、実際の時間よりも 6.3%短かった。これは、間隔広がり の刺激パターンであった。これらの結果から、触覚刺激によって、実際よりも主観時間を短縮できることがわかった。次に、最も長いと感じられた触覚刺激に対する主観時間は約 11.67 秒と、実際の時間よりも 16.7%長かった。これは、回数大の刺激パターンであった。実験結果から、今回実装した触覚刺激を用いることで、実際の時間より短く感じさせることも長く感じさせることもできると確認した。主観時間の変化率は約 23% (-6%から +17%) だった。

## 9. 総合考察・限界と今後の課題

### 9.1 触覚刺激による主観時間の変化率

本研究の成果の 1 つは、主観時間を実時間よりも短く感じる刺激パターンと、実際よりも長く感じる刺激パターンを発見したことである。提案手法を用いると主観時間を約 23% (-6%から +17%) 操作できた。

まず、体感時間を実際よりも短くする刺激パターンについては、10秒を実際よりも6.3%短く感じさせることが確認できた。聴覚刺激を用いた先行研究では7.6%短縮されたことを踏まえると、触覚刺激を用いた本研究の手法は先行研究と同じ程度の効果をもつと考えられる。

また、実験条件は同一ではないが視覚的なプログレスバーの先行研究 [20][21] で11%短縮されたことを踏まえると、視覚的なプログレスバーの方が触覚刺激や聴覚刺激よりも影響力が強いと想定できる。このような知覚チャンネルごとに影響力の強弱はあるが、知覚チャンネルごとの刺激提示が適切な状況が異なるので、視覚刺激や聴覚刺激を用いた手法の欠点を補完する技術として、触覚刺激を用いた手法が活用できると考えている。

次に、体感時間を実際よりも長くする刺激パターンについては、10秒を実際よりも約17%長く感じさせることが確認できた。このような主観時間を長くする刺激については他の研究では報告例が少ないため、体感時間が長くなる刺激パターンを明らかにした本結果は貴重な成果と考えられる。本結果は、主観時間を長くすることが有用な場面で活用でき、また、主観時間を長くしたくない状況において行ってはいけない触覚刺激の設計例として活用できる。

## 9.2 本成果の応用可能性

本研究の成果の1つは、情報機器の触覚刺激の知覚によって主観時間が変化する現象が起こるとわかったこと、そして、その現象を操作する方法があるとわかったことである。この結果は、次の2点の可能性を示した。これらは、触覚刺激を提示し得る多くの情報機の設計に関わる示唆と考えられる。

1つ目として、情報機器の触覚刺激を用いた主観時間の操作手法が実現できることを示した。手首装着型機器からの触覚刺激を扱った本成果は、スマートウォッチにそのまま適用できる。また、触覚刺激の提示は振動素子を搭載すればあらゆる情報機器で行えるので、HMDやイヤホンなどのウェアラブル機器や、スマートフォンなどのモバイル機器、マウスやノートパソコンなどの据え置き型機器を利用しても、主観時間の操作手法が実現できると考えられる。また、振動素子はコンピュータ機器ではない装着物や道具にも簡単に適用できるため、日常の装着物（例：衣服、靴、ベルト、ネックレス）やその他のモノ（例：椅子、机）を利用して主観時間の操作手法が実現できる可能性もある。

2つ目として、情報機器の触覚刺激の設計において、ユーザの主観時間が変化する現象を考慮する必要があることを示し、また、その考慮ができることを示した。1章で述べたように主観時間はユーザ体験に影響する場合がある。そのため、もし、主観時間が変化する現象を考慮せずに情報機器の触覚刺激を設計すると、ユーザの体験を誤って損ねるように主観時間を変化させる問題を起こす可能性がある。

これに対して、本研究で明らかにした結果は、このような問題を防ぐことや、触覚刺激が主観時間に起こす影響を考慮した情報機器やアプリケーションの設計に役立つと考えられる。

## 9.3 限界と今後の課題

今後は多様な属性の被験者を対象にした実験を行う予定である。今回の実験の被験者は若いアジア人が中心だったため、多様な人に対する提案手法の有効性は検証できていない。また、今後は多様な情報機器に提案手法が適用できるかを検証する。例えば、刺激を与える位置の違いが主観時間操作に影響を与えるかどうかの検証を行う。また、今後は、主観時間操作の効果を上げるための検証も行う予定である。例えば、複数の知覚チャンネル（例：視覚、聴覚、触覚）を同時利用することが挙げられる。

## 10. まとめ

本研究では、日常でいつでも主観時間操作が活用できるようにウェアラブルデバイスの触覚刺激を用いた主観時間制御手法の提案を行った。手首装着型の触覚刺激提示デバイスを実装と、主観時間操作が可能な触覚刺激の作成をした。4つの主観時間操作実験を行ったところ、触覚刺激は先行研究と同様に主観時間操作に有効であり、主観時間を約23%（-6%から+17%）操作できることが確認できた。また、多様な提示機器において触覚刺激が主観時間に起こす影響を考慮するための議論を行った。主観時間を操作するHCI研究の多くは、視覚刺激と聴覚刺激に焦点を当てており、触覚刺激に焦点をあてた研究はほとんどなかった。したがって、主観時間を操作できる触覚刺激を発した今回の成果は、情報機器設計やユーザ体験向上に大きく貢献すると考えられる。

## 参考文献

- [1] Komatsu, T., and Yamada, S. Exploring Auditory Information to Change Users' Perception of Time Passing as Shorter. In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1–12 (2020).
- [2] Weinberg, B. D. Don't keep your internet customers waiting too long at the (virtual) front door. Journal of Interactive Marketing, 14(1), pp. 30–39, (2000).
- [3] Roto, V., and Oulasvirta, Need for non-visual feedback with long response times in mobile HCI. In Special interest tracks and posters of the 14th international conference on World Wide Web, pp. 775–781 (2005).
- [4] Nah, F. F. H. A study on tolerable waiting time: how long are web users willing to wait?. Behaviour Information Technology, 23(3), pp. 153–163 (2004).
- [5] Bouch, A., Kuchinsky, A., and Bhatti, N. Quality is in the eye of the beholder: meeting users' requirements for Internet quality of service. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 297–304 (2000).
- [6] Dellaert, B. G., and Kahn, B. E. How tolerable is delay?:



- Consumers' evaluations of internet web sites after waiting. *Journal of interactive marketing*, 13(1), pp. 41–54 (1999).
- [7] Koiso-Kanttila, N. Time, attention, authenticity and consumer benefits of the Web. *Business Horizons*, 48(1), pp. 63–70 (2005).
- [8] Harrison, C., Amento, B., Kuznetsov, S., and Bell, R. Rethinking the progress bar. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 115–118 (2007).
- [9] Harrison, C., Yeo, Z., and Hudson, S. E. Faster progress bars: manipulating perceived duration with visual augmentations. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1545–1548 (2010).
- [10] Hohenstein, J., Khan, H., Canfield, K., Tung, S., and Perez Cano, R. Shorter wait times: the effects of various loading screens on perceived performance. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3084–3090 (2016).
- [11] Bouch, A., Kuchinsky, A., and Bhatti, N. Quality is in the eye of the beholder: meeting users' requirements for Internet quality of service. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 297–304 (2000).
- [12] Nah, F. F. H. A study on tolerable waiting time: how long are web users willing to wait?. *Behaviour Information Technology*, 23(3), pp. 153–163 (2004).
- [13] Myers, B. A. The importance of percent-done progress indicators for computer-human interfaces. *ACM SIGCHI Bulletin*, 16(4), pp. 11–17 (1985).
- [14] Ohtsubo, M., and Yoshida, K. How does shape of progress bar effect on time evaluation. In *2014 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pp. 316–319 (2014).
- [15] Hamada, K., Yoshida, K., Ohnishi, K., and Koppen, M. Color effect on subjective perception of progress bar speed. In *2011 Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pp. 863–866 (2011).
- [16] Beaudouin-Lafon, M., and Conversy, S. Auditory illusions for audio feedback. In *Conference companion on Human factors in computing systems*, pp. 299–300 (1996).
- [17] Bouch, A., Kuchinsky, A., and Bhatti, N. Quality is in the eye of the beholder: meeting users' requirements for Internet quality of service. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 297–304 (2000).
- [18] Brewster, S. A., Wright, P. C., and Edwards, A. D. N. An Evaluation of Earcons for Use in Auditory Human-Computer Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '93)*, pp. 222–227 (1993).
- [19] Crease, Murray, and Stephen Brewster, Making progress with sounds—the design evaluation of an audio progress bar, Georgia Institute of Technology, (1998).
- [20] Harrison, C., Amento, B., Kuznetsov, S., and Bell, R. Rethinking the progress bar. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 115–118 (2007).
- [21] Harrison, C., Yeo, Z., and Hudson, S. E.. Faster progress bars: manipulating perceived duration with visual augmentations. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1545–1548 (2010).
- [22] Hoggan, E., Raisamo, R., and Brewster, S. A. Mapping information to audio and tactile icons. In *Proceedings of the 2009 international conference on Multimodal interfaces*, pp. 327–334 (2009).
- [23] Krishnan, S. S., and Sitaraman, R. K. Video stream quality impacts viewer behavior: inferring causality using quasi-experimental designs. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 21(6), pp. 2001–2014 (2013).
- [24] Nielsen, J. *Usability engineering*. Morgan Kaufmann (1994).
- [25] Shimizu, T., Futami, K., Terada, T., and Tsukamoto, M. In-clock manipulator: information-presentation method for manipulating subjective time using wearable devices. In *Proceedings of the 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pp. 223–230 (2017).
- [26] Buffardi L. Factors affecting the filled-duration illusion in the auditory, tactual, and visual modalities, *Perception Psychophysics*, 10(4), pp. 292–294 (1971).
- [27] Droit-Volet S. A further investigation of the filled duration illusion with a comparison between children and adults., *Journal of experimental psychology. Animal behavior processes*, 34(3), pp. 400–414 (2008).
- [28] 神宮英夫. 視覚的刺激テンポの充実時程錯覚におよぼす効果, *心理学研究*, 53(5), pp. 296–299 (1982).
- [29] Tayama T., Nakamura M., and Aiba T. Estimation of Duration for rotating-spot-pattern, *Japanese Psychological Research*, 29(4), pp. 173–183 (1987).
- [30] Wearden J. H., Norton R., Martin S. and Montford-Bebb O. Internal Clock Processes and the Filled-Duration Illusion, *Journal of Experimental Psychology*, 33(3), pp. 716–729 (2007).
- [31] Thomas E. A. C. and Brown I. Time perception and the filled-duration illusion, *Perception Psychophysics*, 16(3), pp. 449–458 (1974).
- [32] Tomassini A., Gori M., Burr D., Sandini G., and Morone M. C. Perceived duration of Visual and Tactile Stimuli Depends on Perceived Speed, *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, pp. 51:1–51:8 (2011).
- [33] Droit-Volet S., Brunot S., and Niedenthal P. Perception of the duration of emotional events, *Cognition and Emotion*, 18(6), pp. 849–858 (2004).
- [34] Droit-Volet S., Ramos D., Bueno J., and Bigand E. Music, emotion, and time perception: The influence of subjective emotional valence and arousal?, *Frontiers in Psychology*, 4, pp. 1–12 (2013).