

# 長さの異なる内言を用いた BMI における長さの性質の違い についての研究

藤原正隆<sup>1</sup>                      水木健光<sup>1</sup>                      坂本雄児<sup>1</sup>  
Masataka Fujiwara   Takemitsu Mizuki   Yuji Sakamoto

<sup>1</sup> 北海道大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

## ABSTRACT :

手で操作する必要がなく情報の秘匿性が高い EEG を用いた BMI は現行の VR 空間におけるインターフェイスが持つ問題点を解決できると考えている。先行研究では「上」「下方向」という長さの異なる 2 種類の文字列を心の中で唱えた（内言）際の 3 秒間の脳波を機械学習を用いて解析し、インターフェイスにすることが可能かを検証した。結果後半の時間位置に判別するための特徴量が存在するという傾向が存在した。本研究ではそれらの結果は本当に音の長さの違いによるものなのか、また音の長さのどの性質に由来するのかということ調べるために単音の「あ」、長音の「あーー」、多音節の「あああ」という異なる文字を 3 秒間内言し、脳波を解析してインターフェイスに利用可能かどうかを検証した。結果音の長さの違いによる差で 66~71% の精度で判別可能だった。また音節数の違いも見られた。

**Keywords :** VR,HMD,BMI,EEG

## 1 はじめに

近年 VR(Virtual Reality), 特に HMD(Head-Mounted Display) を使用した VR 体験が普及し始めている。しかし現行の HMD による VR 体験には様々な問題が存在し、その一つにインターフェイスの問題がある。HMD は視界全てを覆うことで使用者に強い没入感をもたらすが、その特性が原因で使用者が VR 空間内で何らかの操作をしようとするとき現実世界の手元が見えないため操作をしづらいという問題がある。この問題を解決するために音声操作や視線操作 [1][2] など様々な解決策が考えられている。我々はその解決策の一つとして BMI(Brain-Machine Interface), 脳波を測定することにより考えるだけで操作できるインターフェイスがより VR 体験において適していると考え、研究を行ってきた。なぜなら脳波測定による思考操作は動作を必要とせず情報の秘匿性も高いため、様々な場面で使用することが可能であるためである。脳波とは脳の電位活動を記録したものであり、本研究ではその中でも頭部に電極を着けて

電位を測定する非侵襲性の脳波を利用している。BMI にも運動想起を利用した研究 [3] や視覚誘発電位を利用した研究 [4] など様々なものが存在するが本研究では BMI の中でも特に心の中で言葉を唱えることによる操作（内言）に着目し、研究を行った。いくつかの内言に関する先行研究 [5][6] がすでに存在するが、それらの研究は同じ長さの文字を内言し判別できるかを調べている。本研究では内言する言葉の文字の長さを変えることによってより簡単に言葉の判別を行えないかと考えた。言葉の長さを変えることで練習を必要とせずに意識的に心の中で言葉をつぶやいている状態とつぶやいていない状態の時間を作り、その時間を解析することで判別することが可能ではないかと考え、実験を行った。この実験が先行研究 [7] の研究内容である。実験の結果、内言の言葉の長さの違いによって判別が可能ではないかという結果が得られた。本研究ではそれらの結果を踏まえて、長さの違いのどの要素が判別に影響を与えるのかを調べるための実験を行った。要素として単音、長音、複数音の 3 種類の言葉を内言してもらい、脳波から判別可能かを解析した。

---

藤原正隆

<mcm\_fujiwara@ist.hokudai.ac.jp>

北海道大学大学院情報科学研究科

〒060-0814 北海道札幌市北区北 14 条西 9 丁目

TEL:011-706-6507

## 2 実験内容

まず本研究の実験内容について説明する。

この研究では、ディスプレイモニターに提示された単語を何も見えていない状態で内言した際の脳波を測定した。

被験者が唱えた指標は「あ」「あー」「あああ」(図1)の三種類である。単音の「あ」、長音の「あー」、長音かつ複数音節を持つ「あああ」の三種類で実験を行い、それらを判別できるかを解析した。被験者は脳波の実験を行ったことがない外部の20~27歳の20名で実験を行った。また、脳波の測定は国際10-20法(図2)に基づいて10チャンネルの脳波を取得している。1-10chの場所はそれぞれ図2のFp1,F7,F3,C3,Fp2,F8,F4,C4,O1,O2の順番であり、内言が行われた3秒間の脳波について解析を試みている。実験で使用した脳波計はミュキ技研のPolymate AP216(図3)、アクティブ生体電極を使用し最大サンプリング周波数は1000Hzだった。

実験は暗室内で行った。被験者は実験中は耳栓を着け、出来る限り身体を動かさないように注意してもらい実験を行った。実験中は固定器にあごを乗せ顔の位置を固定して実験を行った。また被験者とディスプレイの位置は1.3mの距離で実験を行った。実際の実験の環境を図4に示している。実際に実験を行う際は暗幕を使い暗い環境にしているが、図4では撮影のため暗幕を外している。実験の手順としては図5のように行った。まず被験者が内言する指標としてディスプレイモニターの中央に指標を2秒間提示し、その後画面中央に注視点だけを残した。2秒後注視点を消し、その後3秒間何も画面に表示していない状態で内言を行い、その後休憩時間として3秒間注視点を表示する。内言する指標を表示した後に注視点を表示した理由は被験者に内言する前に指標に関わらず同じ刺激を与えるためである。この一連の手順で10秒の実験を1人に付き計60回、ディスプレイモニターとHMDそれぞれで行った。内言する言葉のタイミングについては実験前に「あ」「あー」「あああ」についてそれぞれ何回か練習してもらい同じタイミングで内言してもらうように実験した。また今回の実験では被験者になるべく同じやり方で内言してもらい、あらかじめ実験前に心の中で考えるように頭の中で言うように教示を行った。またこれらの指標はランダムで提示し、被験者ができる限り同じ環境で内言するように努めた。

### 3 解析方法

本研究では先行研究 [7] から有効であった解析手法の組み合わせを用いて解析を行った。解析した脳波の例を図6、図7に示す。この図6、図7では1~10chの脳波を表示している。このような脳波は個人ごとや体調、その時に考えていることなどで大きな差があり、単純に電圧を使用して解析を行うことは難しい。そのため内言を行っている3秒間のデータから特徴量として脳波データ

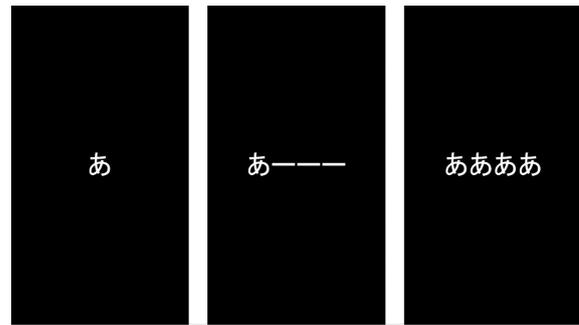


図1: ディスプレイモニターに提示した指標

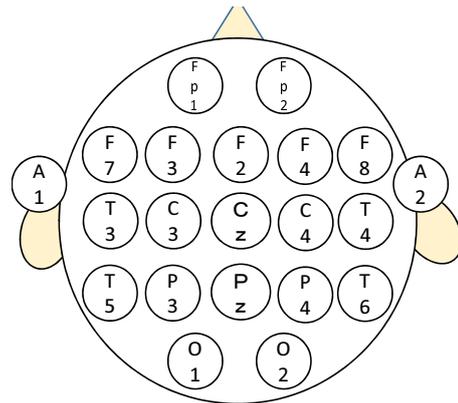


図2: 国際10-20法



図3: 実験に使用した脳波計

の電圧の平均を抽出し、分類方法としてSVM(Support Vector Machine)[8]という機械学習の手法を使用して解析した。

特徴量に関しては網羅的に調査を行った。脳波データの平均に関しては300msごとに1~300ms, 1~600ms, 1~900ms, …… , 301~600ms, 301~900ms, …… , 2701~3000msのような範囲の脳波データを1,5,10個の範囲に分けてそれらの範囲の平均をそれぞれ1,5,10個の特徴量とした。具体的に述べると1~3000msの範囲を5個で分ける場合は1~600ms, 601~1200ms, 1201~1800ms, 1801~2400ms, 2401~3000msそれぞれの平均を取り、5個の特徴量として解析を行った(図8)。

そしてSVMを評価する指標として機械学習の予測結果



図:4: 実験環境

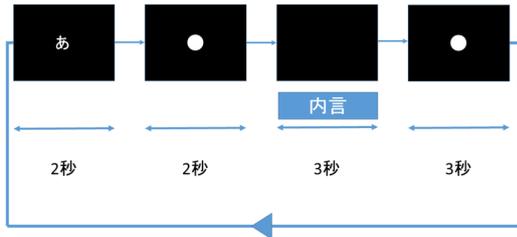


図:5: 実験手順

の評価尺度の一つである F 値を用いた。またすべてのクラス分類において leave-one-out 交差検証と呼ばれる方法を用いている。この方法は標本データ群から 1 つのデータを抜き出してテストデータとし、残りを教師データとした上で解析を行う。そしてこれを全データが 1 回ずつテストデータとなるように検証を繰り返すことで、標本データにテストデータを含むことなく分類を行い、結果の偏りを生み出さずに [標本データ群の数 - 1] 個を教師データとすることが可能になる。

また本研究においては各指標ごとに 30 試行のデータが存在しているが、そのうち図 9 のように内言中にまばたきをするなどして明らかに脳波データに異常が現れている試行については除外して分類を行っている。

また被験者 20 人中 6 人は脳波のノイズや乱れが原因で解析に使用することができなかった。そのため以後は解析に使用可能だった 14 人の脳波について述べる。

判別の対象として「あ」と「あー」、 「あ」と「あああ」の二種類のグループで判別を行えるかを解析した。単音と長音、単音と複数音の組み合わせで判別をすることが可能かどうかを調べた。

## 4 実験結果

### 4.1 言葉の長さの実験

「あ」と「あー」の二種類の言葉を内言した際の脳波を解析した結果、人によって多少の差はあるが平均し

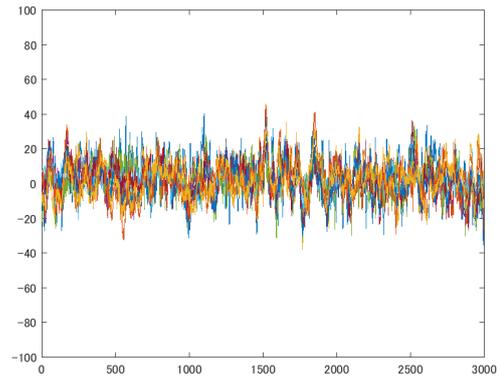


図:6: 脳波の一例

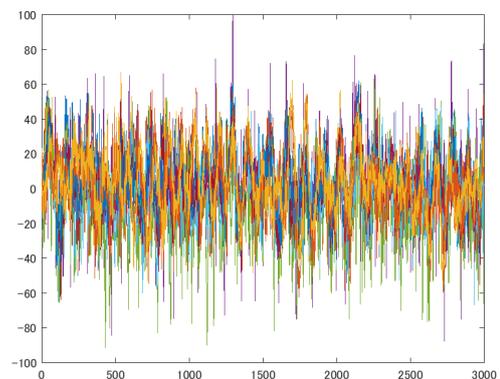


図:7: 脳波の一例

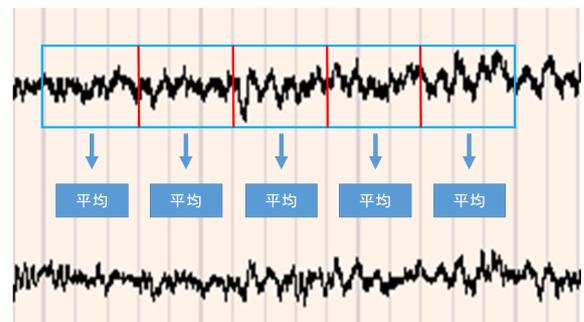


図:8: 電圧の平均の説明

て F 値で 0.66~0.71 の値で判別可能だった。これは 14 人中 14 人で可能だった。このことから単音と長音では判別が可能だと考えられる。

また 3 秒間のうちどの時間位置の脳波を使うと高い値になるかということに関しては 14 人中 11 人で図 10 や図 11 のように時間軸の中間から後半、1000ms~3000ms の脳波を含んだ特徴量を使用することで周囲の F 値に比べて高い値を得られた。また 11 人中 9 人は 1~1000ms の部分の脳波だけを使用した場合、低い F 値となり 0.5 を下回る結果となった。さらに 14 人中 3 人は図 12 のよう

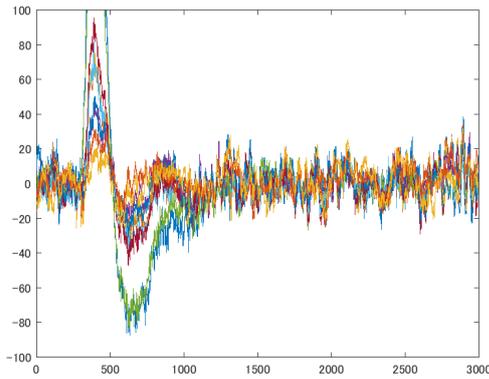


図9: まばたきの電位が混入した脳波

に 601ms~1200ms 付近に高い F 値が集中していた。また 14 人中 13 人で 1~600ms の脳波を使用しても低い F 値しか得られなかった。高い図 10 では黄色で示されている部分が 901~2100ms をピークとしてそれ以外の時間位置の F 値に比べて高い F 値を示している。また図 11 では 1201~2700ms 付近や 601~2100ms 付近に高い F 値が集中していることが分かる。

さらにどの電極の位置で高い値で判別できるかということに関しても傾向が存在した。それらをグラフに表したものが図 13 になる。一番高い F 値が多かった被験者の電極は 9 人で 2ch, 二番目に高い F 値が多かった被験者の電極は 6 人で 1ch, 三番目に高い F 値が多かった被験者の電極は 5 人で 6ch だった。被験者 1 人ごとに上位 3 チャンネルを選びそれらを累計している。音節数の実験での電極の結果に関してもこの方法で集計をしている。

## 4.2 音節数に関する結果

「あ」と「あああ」の二種類の言葉を内言した際の脳波を解析した結果、人によって多少の差はあるが平均して F 値で 0.66~0.71 の値で判別可能だった。「あ」と「あー」のグループと比べると高い被験者もいれば低い被験者もいたが、全体的に見るとどちらが高いといった傾向は存在しなかった。

また 3 秒間のうちどの時間位置の脳波を使うと高い値になるかということに関しては 14 人中 11 人で図 14 や図 15 のように「あ」と「あー」のグループと同様に中間~後半, 1000ms~2000ms の時間の脳波を使用することで周囲の F 値に比べて高い値を得られた。また 14 人中 11 人で 1~600ms の脳波だけを使用した場合, 低い F 値となり 0.5 を下回る結果となった。さらに 14 人中 3 人は図 16 のように 1~1000ms に高い F 値が集中していることが分かった。図 14 では 901~2400ms 付近に, 図 15

では 901~2700ms 付近に高い F 値が集中していることがわかる。

さらにどの電極の位置で高い値で判別できるかということに関しても傾向が存在した。それらをグラフに表したものが図 17 になる。一番高い F 値が多かった被験者の電極は 8 人で 6ch, 二番目に高い F 値が多かった被験者の電極は 7 人で 7ch, 三番目に高い F 値が多かった被験者の電極は 5 人で 8ch だった。

## 4.3 結果の考察

まず「あ」と「あー」, 「あ」と「あああ」の組み合わせでの判別が可能なることから言葉の長さの違いによる判別は可能であると考えられる。

「あ」と「あー」の言葉における違いは言葉の長さの違いだけでそれ以外の要素である音, 意味, 音節数は全て同じだった。

これらの比較で解析可能な被験者 14 人中 14 人で判別が可能であったことから内言における言葉の長さの違いは判別に有効であることが分かった。

また 14 人中 11 人で図 10 や図 11 のような状態になることから中間~後半, 1000ms~3000ms 付近の時間位置の脳波を特徴量とすることが判別に有効でないかと考えられる。また 14 人中 13 人の被験者で 1~600ms の脳波を使用しても判別できなかったことから注視点が消失してから内言を唱え始める程度の時間の脳波は判別には利用できないのではないかと考えられる。

同時に「あ」と「あああ」の組み合わせでも 14 人中 14 人で判別が可能だった。

しかしこの組み合わせでは内言する言葉の違いが言葉の長さや音節数の二つであることから音節数の違いだけで判別が可能であると断言することはできない。

またこの組み合わせでも 14 人中 11 人で図 14 や図 15 ような状態になることから中間~後半, 1000ms~3000ms の時間位置の脳波を特徴量とすることで判別が可能だった。また 14 人中 11 人の被験者で 1~600ms の脳波を使用しても判別できなかったことからこのグループでも注視点が消失してから内言を唱え始める程度の時間の脳波は判別には利用できないのではないかと考えられる。

しかしこの 11 人は「あ」と「あー」の組み合わせと同じ人数だが, 同一の被験者で「あ」と「あー」, 「あ」と「あああ」の組み合わせ両方で中間~後半の特徴量が有効だったわけではない。被験者によっては「あ」と「あー」の判別と「あ」と「あああ」の判別で違う時間位置の脳波を特徴量とした方が F 値が高かった被験者も存在した。

さらに図 13 や図 17 のようにそれぞれの組み合わせで高い F 値を得られた電極を見ると「あとあー」の組み合わせでは 2ch, 「あ」と「あああ」の組み合わせでは 6ch と組み合わせによって判別可能な特徴量を得られる電極が異なることが分かる。これらのことから「あ」と「あー」, 「あ」と「あああ」の組み合わせでは違う脳の部位から特徴量を得ているのではないかと考察できる。さらに「あ」に関しては同じ言葉であることから, 「あー」と「あああ」という言葉を内言する際にそれぞれ違う脳の部位から特徴量を得ているのではないかと考察できる。つまり「あー」と内言しているときと「あああ」と内言しているときでは被験者は違う脳の処理を行っているのではないかと考えられる。

## 5 まとめ

本研究では VR 環境でのインターフェイスとして利用するために内言する際の言葉の長さの違い, そしてそれ

らの性質について調べた。脳波の実験を行ったことがない外部の被験者 20 人に「あ」と「あー」, 「あ」と「あああ」の組み合わせで内言してもらい, 判別が可能かどうかを調べた。結果, 「あ」と「あー」, 「あ」と「あああ」共に解析可能だった被験者全員で判別可能だったことから内言する言葉の長さの違いによるインターフェイスに利用可能だと考えられる結果を得られた。また 3 秒間の中で中間～後半, 1000ms～3000ms の時間位置の脳波を使うことがより有効な判別方法になるのではないかとわかった。また 1～600ms の脳波はほとんどの人間では言葉の長さの違いによる判別には利用できないということが分かった。さらに高い F 値を得られた電極の分布の違いから「あー」と「あああ」は違う脳の部分を使って違う方法で内言しているのではないかと考察できた。今後は今回の研究では調べられなかった「あー」と「あああ」という同じ言葉の長さで音節数が違う言葉を比較することで, 音の長さだけではなく音節数の違いによっても判別可能かどうか

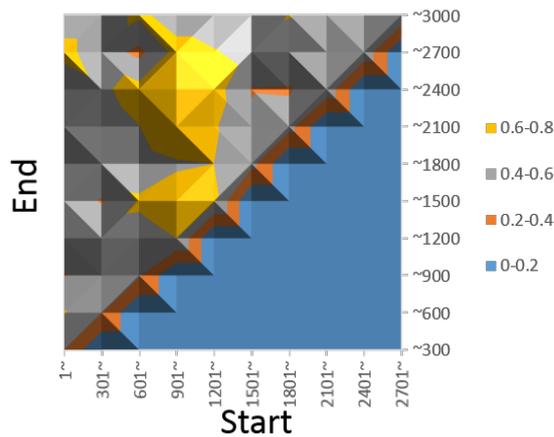


図:10: 被験者 OO の F 値

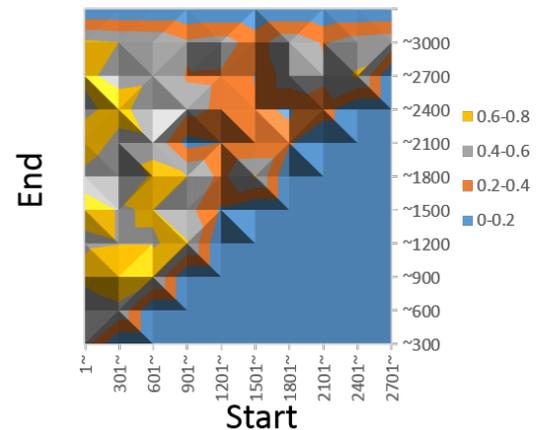


図:12: 被験者 NR の F 値

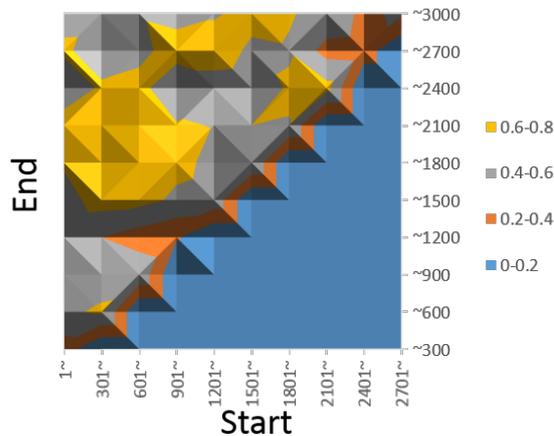


図:11: 被験者 SM の F 値

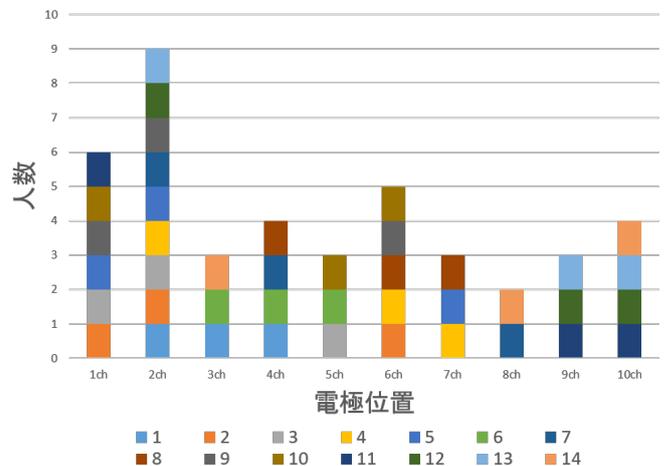


図:13: 言葉の長さの実験での高い電極位置の累計

調べ、VR用インターフェイスとしてよりコマンド数を増やせるかどうかを調べたいと考えている。

## 参考文献

- [1] <<http://www.getfove.com/jp/>>(2017/8/3)
- [2] Andrea Colao, Ahmed Kirmani, Hye Soo Yang, Nan-Wei Gong, Chris Schmandt, Vivek K. Goyal. “Mime: compact, low power 3D gesture sensing for interaction with head mounted displays”, UIST '13 Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology, 227-236 (2013).
- [3] 田中一男, “電動車椅子の脳動制御”, 日本機械学会誌, Vol.111, No. 1080, 33-35(2008).
- [4] 唐山 英明, 神谷 信一郎, 廣瀬 通孝, “視覚誘発電位を利用した没入型仮想空間におけるブレイン・コンピュータ・インターフェイスに関する基礎研究”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 11(2), 323-330, (2006)
- [5] 山ノ井高洋, “向きを表す記号イメージング時 EEG によるマイクロロボット制御 II”, 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集 25(0), 21-21, (2009).
- [6] Li Wang, Xiong Zhang, Xuefei Zhong, Yu Zhang, “Analysis and classification of speech imagery EEG for BCI”, Biomedical Signal Processing and Control, 8901 908, (2013).
- [7] 藤原 正隆, 坂本 雄児, “長さの異なる文字の内言を入力とした VR 用 BMI の可能性”, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 徳島, 2017/9
- [8] Vladimir N. Vapnik, “Statistical Learning Theory”, Wiley, New York, 1998

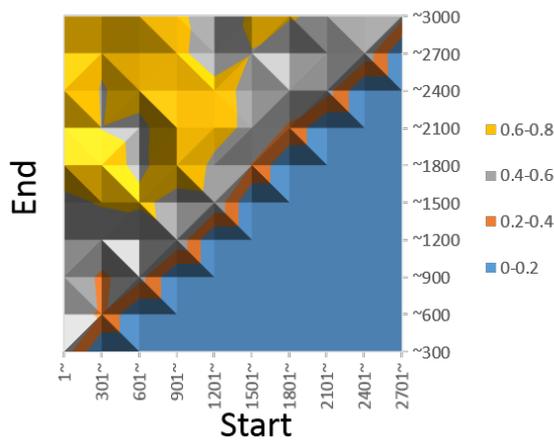


図:14: 被験者 SI の F 値

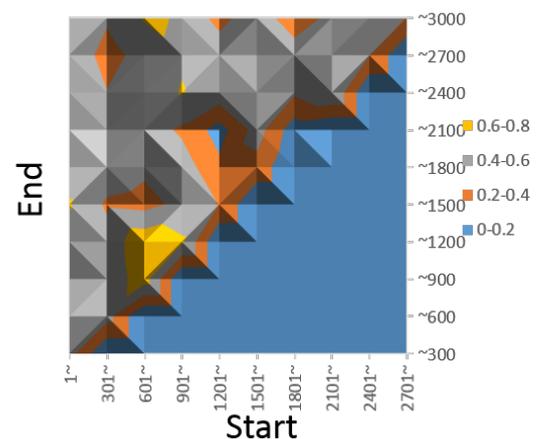


図:16: 被験者 IN の F 値

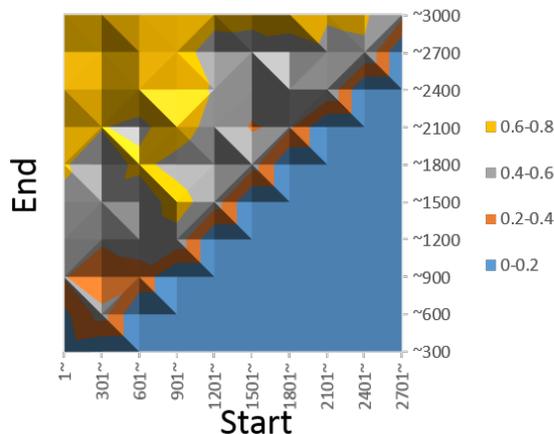


図:15: 被験者 SK の F 値

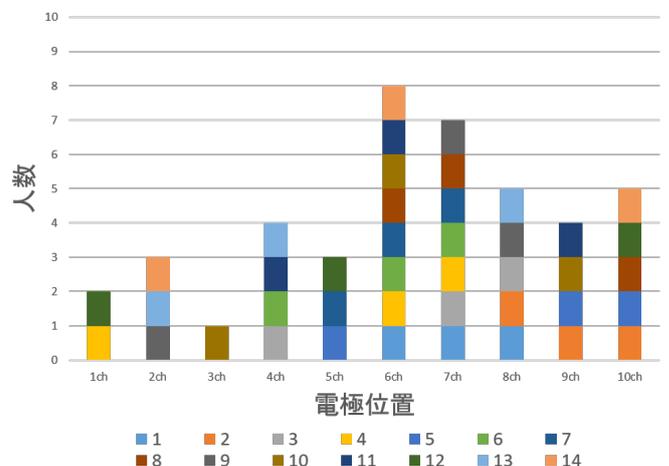


図:17: 言葉の音節数の実験での高い電極位置の累計