



---

# 卒業研究報告書

平成26年度

---

研究題目

事象関連電位による  
開発者が感じる違和感の推定

---

指導教員 上野秀剛 助教

---

氏名 奥村祥太

---

平成27年1月8日 提出

奈良工業高等専門学校 情報工学科

# 事象関連電位による

## 開発者が感じる違和感の推定

上野研究室 奥村祥太

ソースコードや仕様書を精読し理解する作業であるプログラム理解は、ソフトウェア開発のあらゆる工程の効率やソフトウェアの品質を左右する重要な作業である。人の認知活動であるプログラム理解を定量的に計測する方法として、本研究では開発者の脳波に現れる特徴から、読んでいるソースコードに対する違和感を検出できるか分析する。脳波の特徴の1つである事象関連電位は、オドボール課題と呼ばれる構成の実験で不自然な画像を見た時に有意に高くなる特性がある。開発者が読んでいるソースコードにバグが含まれている場合、動作が仕様と異なる、不自然なものと認識していると考えられる。脳波からソースコードを読んでいる時の違和感を測定できればバグ検出支援等のソフトウェア開発者支援に利用できると考えられる。そこで本研究では被験者実験を行い、被験者に普段使用しない言語で書かれたコードやエラーを含むコードを呈示し、その際の脳波を測定することで被験者がソースコードに感じている違和感が事象関連電位に現れるか調べた。実験の結果、異なるプログラミング言語や文法エラーに対しても事象関連電位が現れることが確認できた。また、普段使用していない言語のコードやエラーを含むコードを見た時に事象関連電位のピーク値が大きくなった。

# 目次

1	はじめに	2
2	準備	3
2.1	事象関連電位	3
2.2	ERPの非対称性	4
3	関連研究	6
3.1	ERP	6
3.2	ERPに基づく視覚刺激の不自然さの推定	6
4	実験	7
4.1	課題	7
4.1.1	正立顔/倒立顔課題	7
4.1.2	正立コード/倒立コード課題	8
4.1.3	Javaコード/Javaコード課題	8
4.1.4	Javaコード/Fortranコード課題	9
4.1.5	エラー無しコード/エラー有りコード課題	9
4.2	実験環境	10
4.3	評価	10
5	結果と考察	12
5.1	正立顔/倒立顔課題	12
5.2	正立コード/倒立コード課題	13
5.3	Javaコード/Javaコード課題	14
5.4	Javaコード/Fortranコード課題	14
5.5	エラー無しコード/エラー有りコード課題	15
5.6	考察	16
6	おわりに	19
	謝辞	20
	参考文献	21

# 1 はじめに

プログラム理解とは、開発者がプログラムの仕様書や設計書、ソースコードなどを読みプログラムの構造や動作を理解することである。プログラム理解は、コーディング、テスト、保守など、ソフトウェア開発における幅広い工程で必要とされる重要な活動である[6]ため、これまでに多くの研究がされている。一方で、ソースコードや仕様書に書かれている機能や処理、概念を認識、理解するといった人の認知機能にかかわる活動であるため、直接的な計測が難しい。これまでの研究の多くはアンケートやインタビューを用いた評価を行っているが、評価結果は被験者の主観に依存し、課題と関係のない発話や記憶のための負荷がかかってしまう。また、アンケートは実験終了後の記憶であるため時間軸に基づいた分析が困難であるという問題がある。

本研究ではプログラム理解における認知機能に着目し、開発者のプログラム理解度を評価するための知見を得ることを目標とする。特に、ソースコード中の構文エラーや不具合を検出した際に開発者が感じる「不自然さ」が計測可能か調査することを目的とする。開発者はバグを含むソースコードを読んでいる際、仕様は異なる動作をする不自然なものとして認識していると考えられる。人が写真や絵などを対象に感じる不自然さの計測は、認知科学や脳科学の分野で研究されている[4]。開発者がプログラムの作成中に感じる違和感や不自然さについて知見を得ることは、開発を支援する手法やツールの開発に有用であると考えられる。

本研究では不自然さを計測するための手法として、脳波(EEG:Electroencephalogram)を用いた脳計測を行う。EEGは人間の脳が流し続けている微弱な電流を頭皮上で計測したものであり、脳活動を非侵襲に計測する手法の1つである。先行研究[5]において、脳波の一つの特徴である、事象関連電位(ERP:Event-Related Potential)から「不自然さ」を推定しており、本研究では「不自然さ」の指標として脳波を用いる。ERPは不自然なことや特異な事象を認識した際の脳の反応である。本研究では被験者実験を行い、プログラム理解タスクを与えた被験者が、構文エラーや不具合を検出する際のERPを実験で計測する。実験では、被験者に複数のソースコードをオドボール課題という手法で提示し、その時のERPを測定する。

本稿の構成は以下のとおりである。2章でERPとプログラム理解について説明し、3章では関連研究について紹介する。4章では詳しい実験方法について述べ、5章で結果とそれに対する考察を述べ、6章で結論を述べる。

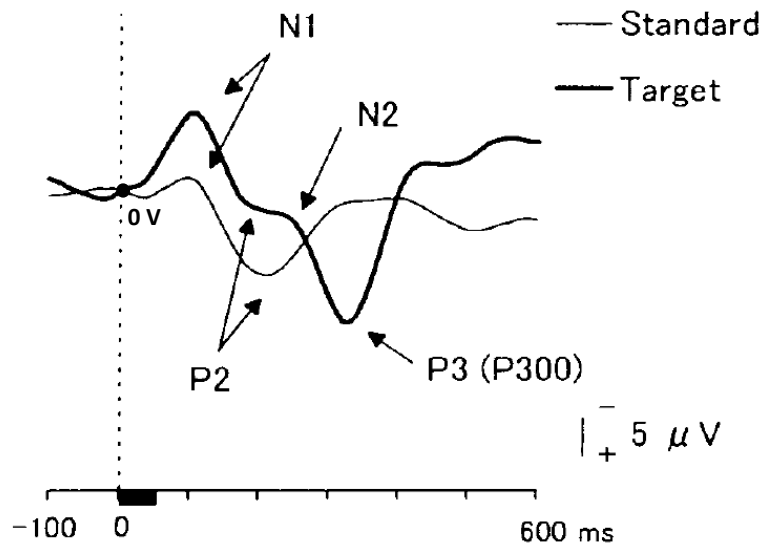


図1 ERP波形 ([1] を元に著者が加筆)

## 2 準備

### 2.1 事象関連電位

EEGの1つの特徴として事象関連電位(ERP:Event-Related Potential)がある。ERPは不自然なことや特異な事象を認識した際の脳の反応であり不自然な画像の閲覧や、多数の画像から特定の条件に一致する画像を見つけるタスクで条件に一致する画像を見つけた瞬間に現れる、特徴的な波形である。

図1にERPの例を示す。図の横軸は画像を提示してからの時間、縦軸は電圧(下が正,上が負)を表し、太線が不自然な画像や見つけるよう指示している画像を提示したときの脳波を、細線が自然な画像や指示に当てはまらない画像を提示したときの脳波を表している。図は不自然な画像を提示してから約300ms後にプラスに大きく電圧が振れていることを示している。この成分はP300(P3)と呼ばれており、ERPの成分の中でも振幅が大きいため他の成分に比べて測定が容易であるため様々な研究で着目されている。

ERPの計測には、2つ以上の刺激を異なる頻度で被験者に呈示し、低頻度で呈示される刺激の回数を数えてもらうオドボール課題がよく用いられる。これ以降低頻度で呈示される刺激をTarget,高頻度で呈示される刺激をStandardと呼ぶ。オドボール課題の流れを図2に示す。被験者にStandardまたはTargetを一定時間呈示し、その後十字の画像を一定時間呈示する。刺激の間に十字の画像を表示しているのは前の刺激の影響が次の刺激に影響するのを防ぐためである。

オドボール課題では低頻度の刺激が呈示されたときにERPが大きく惹起することが知られている。また、低頻度の刺激が日常で見かけない不自然な画像であ

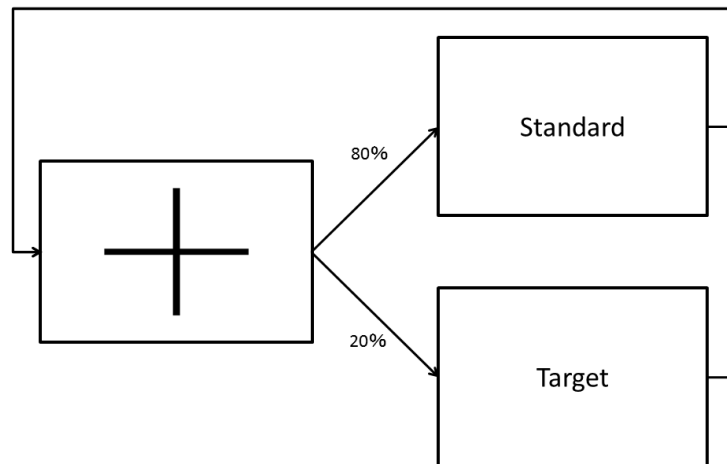


図2 オドボール課題

表1 オドボール課題の刺激対

	Target	Standard
パターンA	日常よく見る画像	日常あまり見ない画像
パターンB	日常あまり見ない画像	日常よく見る画像

るほど大きく惹起することが知られており [4], ERPを含む波形のピーク電圧が不自然さや違和感の指標として用いられる。

EEGを用いて計測したデータはアーチファクト(ノイズ)を含むため, ERPを得る前にアーチファクトを除去する必要がある。本研究では瞬き, 体動, 着目しない周波数帯域の脳波をノイズと定義する。一般的にERPを脳波から得るためにDCオフセットの除去, ローパスフィルタによるフィルタリング, 加算平均によるアーチファクト除去が行われる。本研究では, 従来研究の手法を参考に, ノイズ除去を行う。

## 2.2 ERPの非対称性

オドボール課題によって得られたERPのP300成分の振幅は課題中の難易度だけでなく, 日常その刺激をよく見るかどうかにも影響を受ける [5] ことが知られている。表1に示して説明する。パターンAは, 日常よく見る画像(自然な画像)をTargetに, 日常あまり見ない画像(不自然な画像)をStandardに, パターンBはTargetとStandardの役割を入れ替えたパターンとする。この2種類のオドボール課題を行うと, パターンBのほうがパターンAに比べ, ERPのP300が大きくなる [5]。これを今後ERPの非対称性と呼ぶ。開発者はバグを含むソースコードを読んでいる

際、仕様と異なる動作をする不自然なものと認識すると考えられる。そのため、バグを含むソースコードをオドボール課題として呈示することでERPからバグを検出できると考えられる。本研究では、ERPの非対称性に着目し開発者が不自然なソースコードに対して感じる違和感を計測する。

## 3 関連研究

### 3.1 ERP

日本語とERPの関係についての研究として統語解析 [2] が挙げられる。大石は日本語の文に対する解析器の再分析処理の原理を導出するためにERPを用いている。この研究では画面に日本語の文節を表示し、被験者に黙読してもらう。実験の結果、表示された文節が文法的な誤りを含むときに現れるERPの成分であるP600の振幅が大きくなった。

従来、ERPを用いて自然言語で記述された文章に対する認知活動を評価する研究は複数存在するが、プログラム言語を対象とした研究は行われていない。プログラミング言語は自然言語と同様に構文ルールが決められた行から構成され、複数の行から意味が構成される。そのため、ソースコードを理解する過程は自然言語を処理する過程と同様に認知的な活動であると推測される。また、プログラムを理解する過程における、脳波以外 [3] の脳活動を計測する研究も行われている [6]。本稿では、プログラムを理解する際の認知活動を脳波から評価する。

### 3.2 ERPに基づく視覚刺激の不自然さの推定

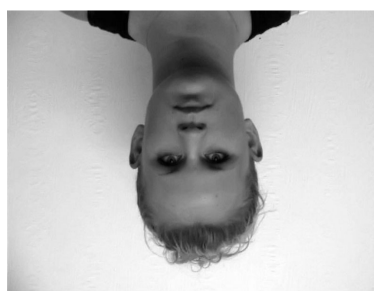
中内らは、オドボール課題において不自然な刺激を低頻度で提示した場合、自然な刺激を低頻度で提示した場合に比べERPのピーク電圧が大きくなることに着目し、ERPから呈示画像が不自然か自然か推定している [5]。中内らの研究において、日常よくみる画像を自然な画像、日常であまり見ない画像を不自然な画像と定義し、機械学習を用いた結果、最高で86%の精度で呈示されている画像が不自然か自然か推定できた。人の感性情報の1つである「不自然さ」を脳活動から計測することで、人に親しみやすいヒューマンインタフェースの開発や品質評価の手法として利用できると主張している。

本研究では、画像に対して見られたERPの非対称性に着目し、ソフトウェア開発者がバグを含んだり不自然なソースコードに対して感じる違和感をERPから計測できるか評価する。ERPからバグを計測できれば、ソフトウェア開発においてバグ検出支援に利用できると考えられる。





(a) 正立顔画像



(b) 倒立顔画像

図3 正立/倒立顔画像

## 4 実験

被験者に5種類の課題を行ってもらい、その際の脳波を計測する。被験者は奈良工業高等専門学校の情報工学科5年生10名で、全員がJavaプログラミングの基礎講義を受講済みである。

### 4.1 課題

実験でオドボール課題として被験者に示す課題の内容について説明する。本実験では5種類の課題を用意する。課題を5種類としたのは先行研究[5]で見られた顔画像や幾何学図形に対するERPのピーク電圧の非対称性がプログラムのソースコードにも見られるか段階的に確かめていくためである。また、課題に対する慣れや疲れを除去するため課題の順番は被験者ごとにランダムとした。

それぞれの課題において低頻度で呈示される刺激(Target)を2種類、高頻度で呈示される刺激(Standard)を8種類の合計10種類の刺激を用意する。1つの課題で提示される刺激数の合計は100回とし、どの刺激が呈示されるかはランダムである。刺激をランダムとしたのは被験者がTargetの回数を推測することを防止するためである。被験者にはTargetが表示された回数を数え、各課題終了後にその回数を報告するよう教示する。以降の節では各課題で用意した刺激について説明する。

#### 4.1.1 正立顔/倒立顔課題

正立顔/倒立顔課題は、他の課題と比較するための基準となるタスクである。この課題では正立した顔画像と倒立した顔画像をオドボール課題として被験者に呈示する。顔画像にはPsychological Image Collection at Stirling (PICS)が提供する画像[7]より男性5名、女性5名の正面顔画像を使用する。正立および倒立顔画像の例を図3に示す。

正立顔画像をTarget、倒立顔画像をStandardとした場合、およびStandardとTargetを交替した場合の2種類を行う。

```
double d = 2.9;
```

(a) 正立コード

```
!6'z = p əlqnop
```

(b) 倒立コード

図4 正立/倒立コード

```
int i = 100;
```

(a) 変数 i を用いたコード

```
int x = 100;
```

(b) 変数 x を用いたコード

図5 変数 i/x を用いた Java コード

#### 4.1.2 正立コード/倒立コード課題

正立コード/倒立コード課題は、顔画像で見られるERPのピーク電圧の非対称性が1行のソースコードでも見られるか調べるために行う。この課題では正立した1行のJavaコードと倒立した1行のJavaコードを被験者にオドボール課題として呈示する。正立および倒立コードの例を図4に示す。

正立コードをTarget、倒立コードをStandardとした場合、およびStandardとTargetを交替した場合の2種類を行う。

#### 4.1.3 Javaコード/Javaコード課題

Javaコード/Javaコード課題では、Javaコード同士を刺激対とするため刺激間に違和感の差がないと考えられる。そこで、他の課題と比較し、言語の違いやエラーの有無による違和感があるか確認するために実施する。Javaコード/Javaコード課題では、変数 i を用いた1行のJavaコードと変数 x を用いた1行のJavaコードを被験者にオドボール課題として呈示する。それぞれのJavaコードの例を図5に示す。

変数 i を用いたJavaコードをTarget、変数 x を用いたJavaコードをStandardとした場合、およびStandardとTargetを交替した場合の2種類を行う。

```
double x,y;
```

(a) Java コード

```
real x,y
```

(b) Fortran コード

図 6 Java/Fortran 言語コード

```
int a, b, c;
```

(a) エラー無しコード

```
int a b c
```

(b) エラー有りコード

図 7 エラー無し/エラー有りコード

#### 4.1.4 Java コード/Fortran コード課題

Java コード/Fortran コード課題では、プログラミング言語の違いによる違和感がERPに現れるか確認する。これまで学習してきたJava言語のコードと見たことのないFortran言語を刺激対とすることで刺激間に違和感の差があるため、ERPのピーク電圧に非対称性が見られると考えられる。この課題では、Java言語で書かれた1行のコードとFortran言語で書かれた1行のコードを被験者にオドボール課題として呈示する。また、両言語で共通の表現を用いたコードは用いておらず、その旨を被験者にも伝える。Java言語コードとFortran言語のコードの例を図6に示す。

Java言語のコードをTarget、Fortran言語のコードをStandardとした場合、およびStandardとTargetを交替した場合の2種類を行う。

#### 4.1.5 エラー無しコード/エラー有りコード課題

エラー無しコード/エラー有りコード課題では、構文エラーによる違和感がERPに現れるか確認する。エラー無しコード/エラー有りコード課題では、Java言語で書かれた1行の構文エラーを含むコードと構文エラーを含まないコードを被験者にオドボール課題として呈示する。エラー無しコードとエラー有りコードの例を図7に示す。

エラー無しコードをTarget、エラー有りコードをStandardとした場合、およびStandardとTargetを交替した場合の2種類を行う。



図 8 Emotiv EPOC

## 4.2 実験環境

実験は被験者1名と実験者2名のみがいる静かな部屋で実施する。また、体動によるアーチファクトを抑えるために肘掛けのついた椅子に座り、頭部と体をできるだけ動かさないように被験者に指示する。

脳波の計測にはEmotiv Systems社製のEmotiv EPOCを用いる。図4.2に装置の外観を示す。被験者の頭部に装置を装着し、サンプリング周波数128Hzで脳波を測定する。導出電極は拡張10-20法[1]に基づきAF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4の14箇所とした。図4.2に拡張10-20法の頭皮上の電極配置を示す。基準電極は耳の裏の付け根にある頭蓋骨の突起(乳様突起)とした。乳様突起は脳波を測定する際に基準電極として用いられる箇所の1つである。

## 4.3 評価

実験で得られた脳波のうち、ERPを用いた研究でよく用いられる頭頂部付近の電極であるF3, F4の2つの電極を対象に評価する。刺激を呈示した瞬間から十字が表示され、次の刺激が表示されるまでの2秒間を1周期として分析を行う。計測した脳波には瞬き、体動、DCオフセットなどによるアーチファクトが含まれているため、以下の手順でアーチファクトを除去する。

まず、DCオフセットを除去する。 $g(t)$ を元波形、 $samp$ を2秒分のサンプリング点数(256点)、 $y(t)$ を出力波形、 $t=1, 2, \dots, samp$ とするとDCオフセットは式(1)、式(2)に示す式で除去することができる。

$$back(t) = (back(t-1) \cdot (samp-1) + g(t))/samp \quad (1)$$

$$y(t) = g(t) - back(t) \quad (2)$$

## The 10 % system

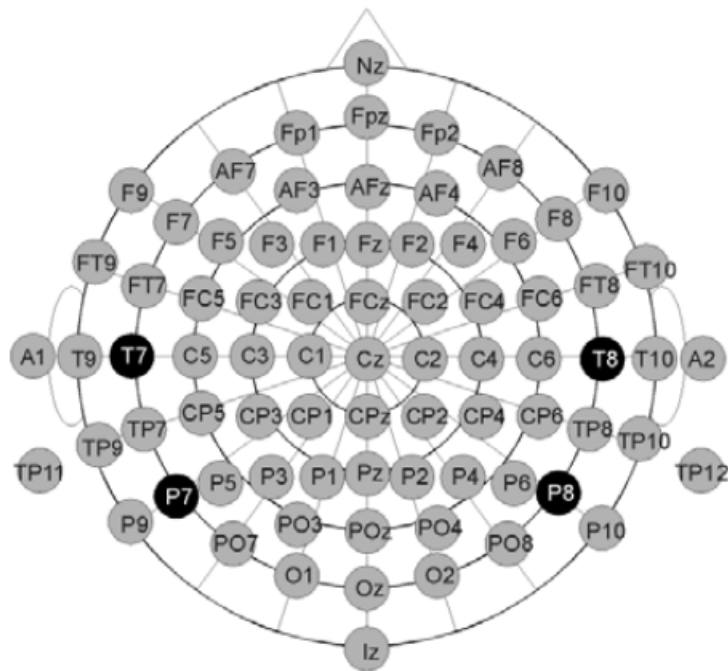


図9 拡張10-20法の電極配置[1]

DCオフセットを除去した波形に対してローパスフィルタ(10次, カットオフ周波数30Hz)をかけ, 得られた波形を加算平均しERP波形を求める. 求めたERP波形に対して課題ごとに得られたERP波形の被験者間総平均波形(GMW:Grand Mean Wavaform)を計算し, その波形のピーク値の時間を求める. 被験者ごとの波形から先ほど求めたピーク値の時間 $\pm 15\text{ms}$ の間に含まれる被験者ごとのピーク値を振幅として抽出する.

次に, 求めたピーク値に対して分散分析を行い, 主効果と交互作用を求める. 主効果とは, ある1つの要因がデータに与える影響のことであり, 本実験では刺激の種類(Target/Standard)がERPのピーク値に与える影響のことを指す. 主効果を調べることにより, オドボール課題によるTargetとStandardの振幅の差が現れているかわかる. 交互作用とは, 複数の要因を組み合わせた場合に発生する, 主効果のみでは説明できない組み合わせ効果のことであり, 本実験では「刺激の種類」と「課題の種類」の組み合わせがERPのピーク値に与える影響のことを指す. 交互作用を調べることにより, 課題の種類によってERPに非対称性が見られるかわかる.

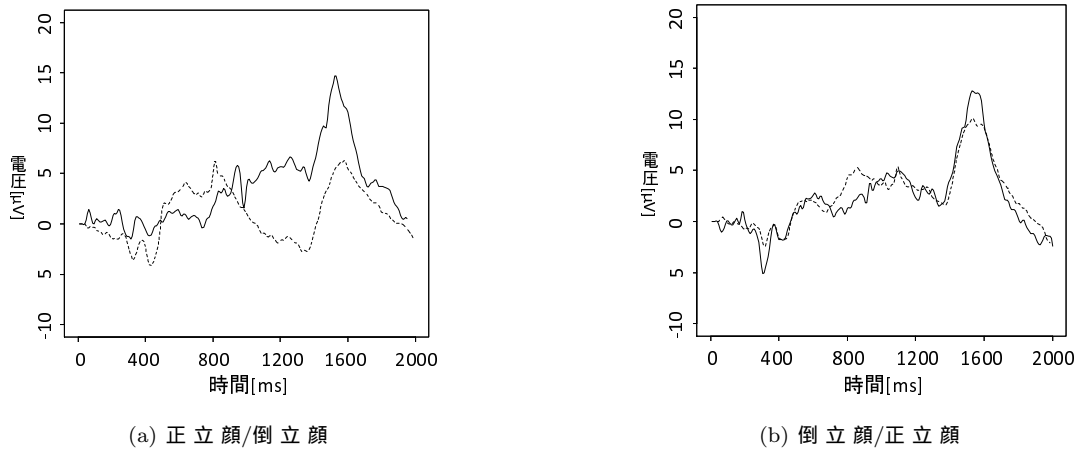


図 10 正立/倒立顔画像課題 (F3)

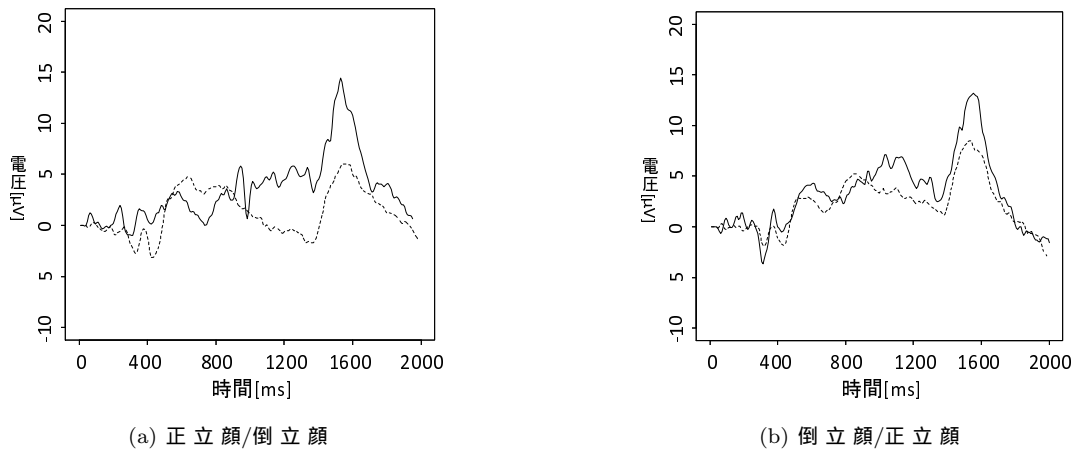


図 11 正立/倒立顔画像課題 (F4)

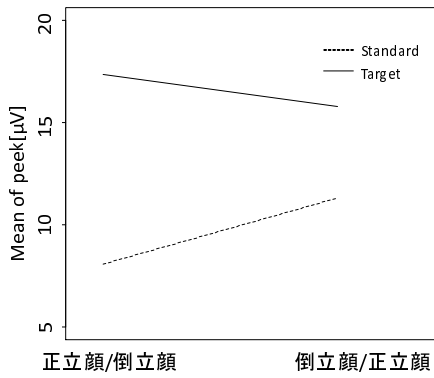
## 5 結果と考察

### 5.1 正立顔/倒立顔課題

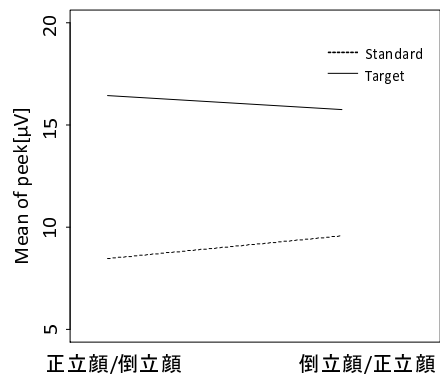
正立顔/倒立顔課題に対するF3のERPのGMWを図10に、F4のGMWを図11に示す。縦軸が電圧( $\mu v$ )、横軸が時間、実線がTargetを見ている時の脳波、点線がStandardを見ている時の脳波である。今後、課題の表記はTarget/Standardとする。いずれの場合も、F3、F4ともに約1500ms付近にピーク値が現れており、Targetのほうがピーク値が高い。また、次の刺激が提示される2000ms付近で $0\mu v$ に戻っている。TargetとStandardが同じ課題においてはF3とF4でほぼ同様の波形が見られるためこれ以降の課題ではF3の分析結果のみを示す。

次に、1500ms付近で現れたピーク値について刺激の種類と課題間の交互作用があるか示す。図12に全被験者のTargetおよびStandardのピーク値の平均を示す。横軸は課題の種類、縦軸はピーク電圧( $\mu v$ )、実線はTargetの平均、点線はStandardの平均を表している。

実線の2点を比較すると正立顔をTargetとしたときのほうがピーク値が大きく、

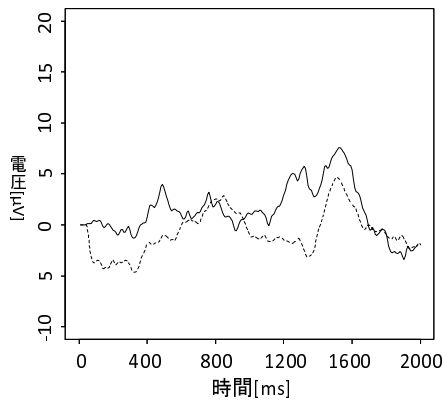


(a) F3

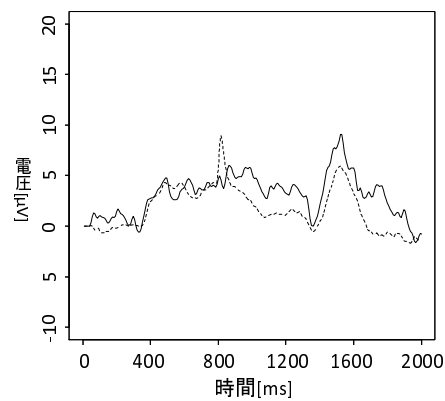


(b) F4

図 12 正立顔/倒立顔課題のピーク値



(a) 正立コード/倒立コード



(b) 倒立コード/正立コード

図 13 正立/倒立コード課題 (F3)

先行研究 [5] で倒立顔を Target にしたときに ERP のピーク値が大きく惹起したのとは異なる結果となった。また，刺激の種類と課題間の交互作用を分散分析により調べたところ，交互作用は  $F_3(F=0.394, p=0.534)$ ， $F_4(F=0.067, p=0.797)$  のどちらに対しても見られなかった。

## 5.2 正立コード/倒立コード課題

正立コード/倒立コード課題に対する F3 の ERP の GMW を図 13 に示す。どちらの部位でも正立顔/倒立顔課題と同様に 1500ms 付近にピーク値が現れている。

図 14 に F3 の全被験者の Target および Standard のピーク値の平均を示す。実線の 2 点を比較すると，倒立コードに対して被験者が違和感を感じ，ERP のピーク値が大きくなると予想していたが，正立顔/倒立顔課題と同様に予想に反し，正立コードを Target にしたときに ERP のピーク値が大きくなった。刺激の種類と課題間の交互作用を分散分析により調べたところ，交互作用は  $F_3(F=0.150, p=0.701)$ ， $F_4(F=0.203, p=0.655)$  のどちらにたいしても見られなかった。

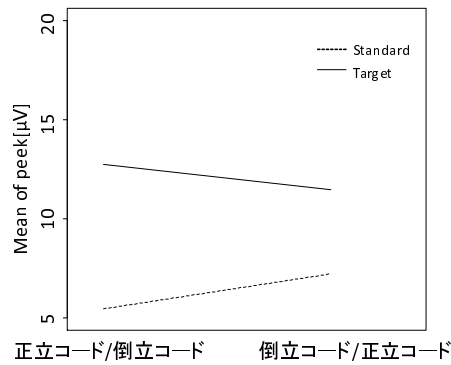


図 14 正立コード/倒立コード課題のピーク値

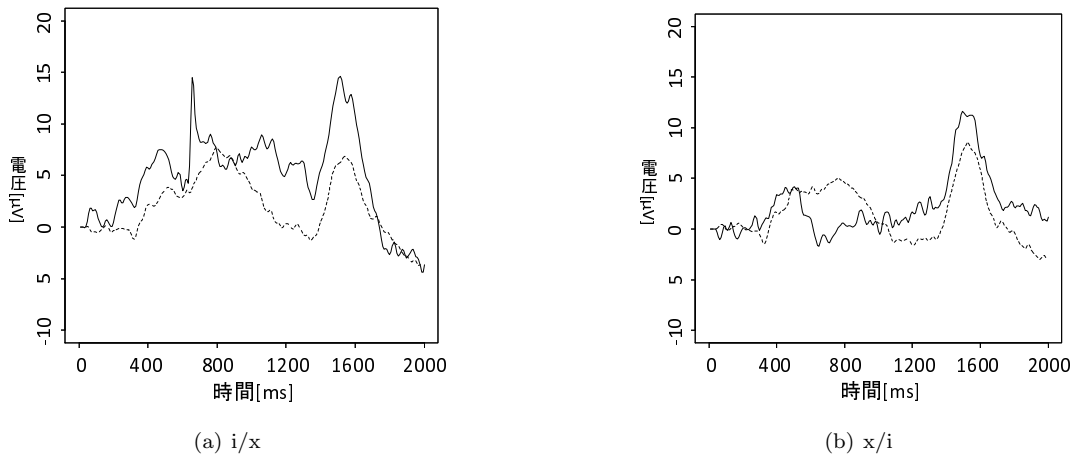


図 15 Java コード/Java コード課題 (F3)

### 5.3 Java コード/Java コード課題

Java コード/Java コード課題に対する F3 の ERP の GMW を図 15 に示す。どちらの部位でも他の課題と同様に 1500ms 付近にピーク値が現れていることがわかる。

図 16 に全被験者の Target および Standard のピーク値の平均を示す。この課題では、刺激はどちらも被験者が普段から使用している Java コードを用い、かつ、いずれの刺激も自然な内容であるため、ERP の非対称性は現れないと予想していた。図 16 に示したように F3 では変数  $i$  を Target にしたときのほうが ERP のピーク値が大きいが、F4 ではピーク値に差はほとんど見られなかった。また、刺激の種類と課題間の交互作用を分散分析により調べたところ、交互作用は F3 ( $F=0.126$ ,  $p=0.725$ ), F4 ( $F=0.001$ ,  $p=0.979$ ) のどちらに対しても見られなかった。

### 5.4 Java コード/Fortran コード課題

Java コード/Fortran コード課題に対する F3 の ERP の GMW を図 17 に示す。どちらの部位でも他の課題と同様に 1500ms 付近にピーク値が現れていることがわかる。



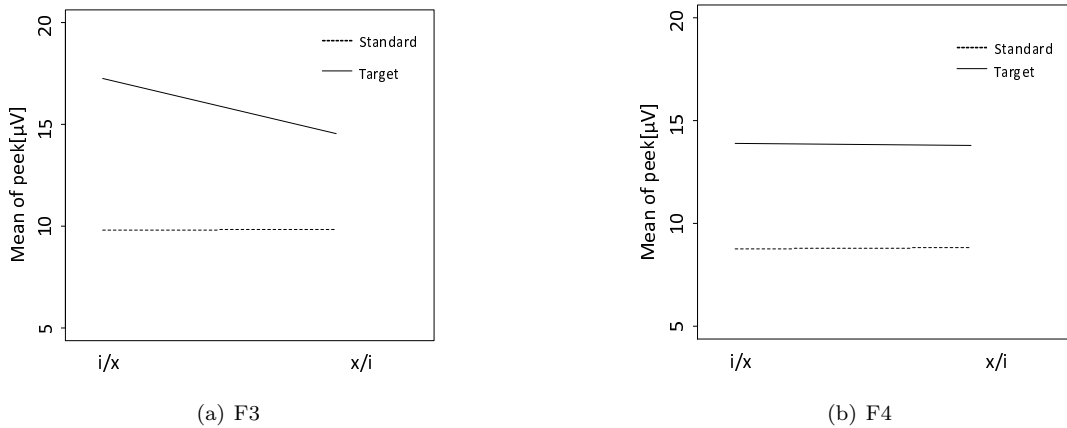


図 16 Java コード/Java コード課題のピーク値

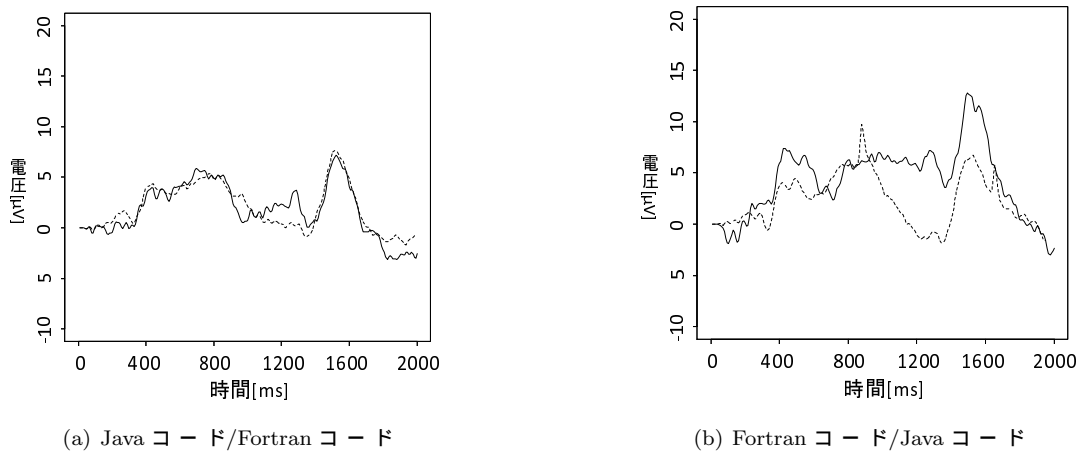


図 17 Java コード/Fortran コード課題 (F3)

また , Java/Fortran の ERP 波形では Target の波形と Standard の波形がほぼ同じになっている .

図 18 に全被験者の Target および Standard のピーク値の平均を示す . この課題では , 被験者が普段使用しない Fortran 言語のコードに対して違和感を感じ ERP のピーク値が大きくなることが考えられる . 図 18 に示したように F3 について Fortran 言語を Target にしたときのほうがピーク値が大きくなった . また , F4 についても同様の結果が得られた . 刺激の種類と課題間の交互作用を分散分析により調べたところ , 交互作用は F3( $F=0.459, p=0.503$ ) , F4( $F=0.275, p=0.603$ ) のどちらに対しても見られなかった .

### 5.5 エラー無しコード/エラー有りコード課題

エラー無しコード/エラー有りコード課題に対する F3 の ERP の GMW を図 19 に示す . どちらの部位でも正立顔/倒立顔課題と同様に 1500ms 付近にピーク値が現れていることがわかる . また , エラー有りコード/エラー無しコードのときに Standard のピーク値のほうが大きくなっている .

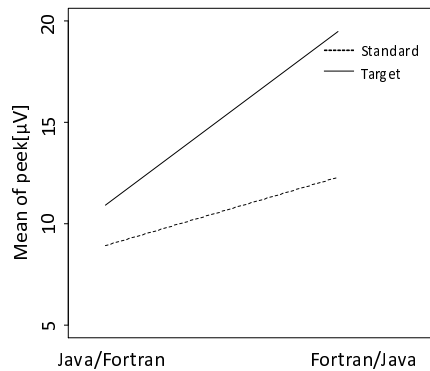
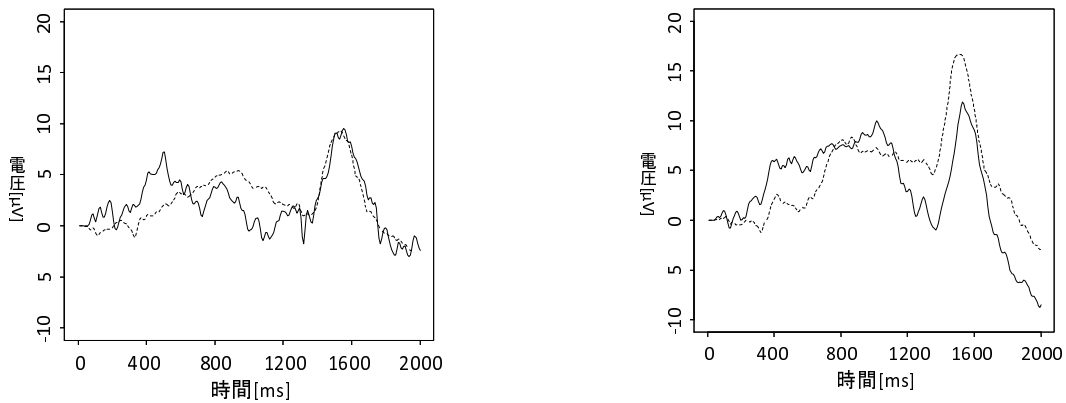


図 18 Java コード/Fortran コード課題のピーク値



(a) エラー無し/エラー有り

(b) エラー有り/エラー無し

図 19 エラー無し/エラー有りコード課題 (F3)

図 20 に全被験者の Target および Standard のピーク値の平均を示す。この課題では、被験者がソースコードに含まれる文法エラーに対して違和感を感じERPのピーク値が大きくなることが考えられる。図 20 に示したように F3, F4 のどちらについてもエラー有りコードを Target にしたときのほうがピーク値が大きくなった。刺激の種類と課題間の交互作用を分散分析により調べたところ、交互作用は F3( $F=0.216, p=0.645$ ), F4( $F=0.559, p=0.461$ ) のどちらに対しても見られなかった。また、通常のオドボール課題では Target のピーク値が高くなるのに対して、この課題ではエラー有りコードを Target にしたときに Standard のピーク値が大きくなった。

## 5.6 考察

本実験の結果は、ソースコードに対する不自然さ対象とした場合においても事象関連電位が現れることを示している。これは、プログラム理解を対象とした研究において、事象関連電位を用いた実験が可能であることを示唆する。

また、すべての課題においてERPのピーク値が1500ms付近に現れた。これは、

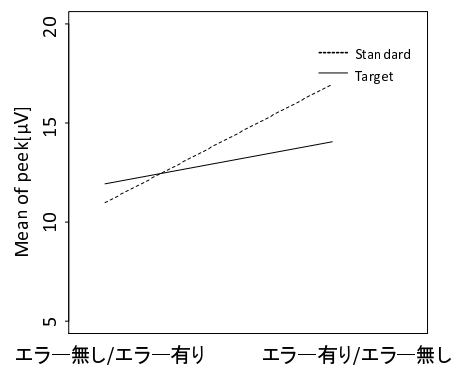


図 20 エラー無し/エラー有り課題のピーク値

通常のオドボール課題によって得られるP300成分がなんらかの原因で1000ms以上遅いタイミングで現れたものだと考えられる。一般的にP300成分は課題の難易度との相関が高い[1]ことが知られており、潜時は課題の難易度が高いほど長く、100msから200ms程度増加する。また、本研究では刺激として意味の理解が必要であるソースコードを用いるために刺激に提示時間を先行研究[5]の200msより長い1000msとした。そのため、被験者がTargetとStandardを判断するタイミングが遅くなったと考えられる。今後、刺激として提示するソースコードを短時間で判断できるものに変更することで刺激の種類判断のタイミングが遅くならないようにするとともに、提示時間を短くすることで、本研究の結果が先行研究で得られたERPのP300成分の非対称性を表したものを確かめることができると考えられる。

次に、ERPの非対称性が見られなかったことについて考察する。特に、正立顔/倒立顔課題において先行研究で確認された非対称性が本研究では見られなかった。原因の1つに刺激の提示時間が考えられる。刺激の提示時間が長かったことにより被験者ごとに違和感を感じるタイミングがずれ、波形にピークとして現れなかった可能性がある。また、ノイズによる影響も考えられる。本研究で行ったノイズ除去では、被験者が一定周期で行う瞬き、呼吸や体動などによるノイズは減少させることができるが外部からの音等によるノイズは周期性を持たないため除去することができない。本研究では、被験者と実験者2名のみがいる部屋で行ったが、室外の音を完全に除去できずノイズとなった可能性がある。

また、エラー有り/エラー無し課題について、Targetをエラー無しコードにしたときは通常のオドボール課題で見られるERPと同じようにTargetのピーク値のほうが大きくなっている。しかし、Targetをエラー有りコードにしたときにStandardのピーク値のほうが高くなっている。つまり、オドボール課題の刺激の種類によらずエラー無しコードを見ているときのほうがERPのピーク値が大きくなっている。これは、エラーが有ることは1箇所エラーを発見すればいいが、エラーがな

いことを確認することは難しいためエラー無しコードで負荷が高くなりERPのピーク値が大きくなったと考えられる。この結果は実験前の仮定と異なっているものの、エラーを含むコードと含まないコードでERPに違いが見られ、ERPをバグ検出支援に利用できる可能性を示唆している。

## 6 おわりに

本研究は脳波をプログラム理解評価の指標として利用できるか調査することを目的に、オドボール課題を用いて事象関連電位にソースコードの不自然さが現れるか調べた。ソースコードを対象としたオドボール課題として、本研究では、正立コード/倒立コード課題、Javaコード/Javaコード課題、Javaコード/Fortranコード課題、エラー有り/エラー無しコード課題の4つの課題を行った。

実験の結果、すべての課題においてERPのピーク値が1500ms付近に見られ、ソースコードを対象としたオドボール課題においてもERPが観測できることがわかった。正立顔/倒立顔課題および、正立コード/倒立コード課題では予想と異なり正立した刺激を見ているときのほうがERPのピーク値が大きくなった。Javaコード/Javaコード課題ではF3については変数*i*を用いたソースコードをTargetとしたときにERPのピーク値が大きくなったがF4では差がほとんど見られなかったことから予想通りJavaコード同士では不自然さに差がないことが示唆された。Java/Fortranコード課題ではFortranコードをTargetにしたときにERPのピーク値が大きくなり、被験者が不自然なソースコードに対して違和感を感じていることをERPから測定できることが示唆された。

エラー有り/エラー無しコード課題ではTargetをエラー有りコードにしたときにStandardのピーク値のほうが高くなるという結果が得られた。これは、エラーを含むコードと含まないコードを見ている時のERPの違いをバグ検出支援に利用できる可能性を示唆している。

一方で、すべての課題において刺激の種類と課題間の交互作用に有意な差は見られず、先行研究で確認されていた正立顔/倒立顔についてもERPの非対称性が確認されなかった。今後、刺激に用いるソースコードの長さや刺激の呈示時間などタスクの設定を見直すとともに、よりノイズの少ない実験環境で本研究の結果を検証することでバグ発見やプログラム理解支援に脳波を利用するためのより有用な知見が得られると考えられる。

## 謝辞

本論文の執筆，および研究をすすめるに当たり，多くの方々に協力して頂きました。指導教員の上野先生には，この1年間を通して研究に関する知識から，アドバイス，論文のチェック，発表練習まで多くの面でご指導いただきました。一年間支えていただきありがとうございました。ここに深謝の意を表明させていただきます。

査読教員を担当してくださった井上先生には，査読コメントでの鋭い質問を頂きました。ここに深謝の意を表明させていただきます。ありがとうございました。また、被験者実験に協力してくださった学生の皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 入戸野宏，堀忠雄，”心理学研究における事象関連電位(ERP)の利用”，広島大学総合科学部紀要4理系編，Vol.26，pp.15-31 (2000)
- [2] 大石衡聰，”解析器の再分析処理を統率する原理について”，Cognitive Studies，Vol.13，No.3，pp.455-466 (2006)
- [3] 江田英雄，”(解説) MEG，NIRSの測定原理”，日本機械学会誌，Vol.111，No.1080，pp.904-907 (2008)
- [4] 後藤紀美子，打尾健太，北崎充晃，中内茂樹，”オドボール課題における視覚刺激の不自然さが事象関連電位に与える影響”，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.106，No.407，pp.19-24 (2006)
- [5] 横田悠右，南哲人，中内茂樹，”ERPに基づく視覚刺激における不自然さの推定”，日本感性工学会論文誌，Vol.10，No.2，pp.277-285 (2011)
- [6] 中川尊雄，亀井靖高，上野秀剛，門田暁人，松本健一，”プログラム理解の困難さの脳血流による計測の試み”，日本ソフトウェア科学会，Vol.31，No.3，pp.270-276 (2013)
- [7] Psychological Image Collection at Stirling (PICS)，<http://pics.psych.stir.ac.uk/>