



# バーチャル野球環境における 投球映像刺激に対する反応時間と脳活動の解析

尾崎 実瑠来<sup>1)</sup>, 小林 明美<sup>2)</sup>, 南 宇人<sup>2)</sup>, 杉本 麻樹<sup>1)</sup>, 木村 聡貴<sup>1)2)</sup>

1) 慶應義塾大学 理工学研究科 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

2) NTT コミュニケーション科学基礎研究所 (〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1)

**概要:** 野球未経験者と熟練者を対象に VR 空間でストレートとカーブの投球映像を見せ、球種識別時のボタン押し課題を行うことで、視覚刺激と球種判断に関連して生じる脳波を解析した。熟練者は、ボタン押し反応時間が短いことから投球フォームで球種を予測しており、ストレート投球において関連脳波の潜時が短いことからこの投球に対する認知的処理が早いことが示唆された。脳活動の分類により、選手の予測スキルを推測できる可能性がある。

**キーワード:** 事象関連電位 (Event-Related Potentials:ERP), オドボール課題, P300, スポーツ, 脳波

## 1. 背景

野球のバッティングには、投球の回転・軌道・速度を視覚的に検知し判断することが必要であるが、それにかける時間は限られている。近年の研究では、野球打者は投球フォームから得られた情報をもとに投球の予測を行い、迅速な判断を行っていることが明らかになっている [1]。本研究では、VR(Virtual Reality) 技術を用いて構築した野球システムにおいて、野球の投球モーション、ボールの軌道を視覚刺激として用いた脳波測定実験を行い、球種判断をする際の野球未経験者と熟練者の脳活動の違いについて検証する。

## 2. 関連研究

### 2.1 P300

ある特定の出来事に関連して発生する脳波を事象関連電位 (Event-Related Potentials:ERP) という。ERP のうち代表的な P300[2] は、後述するオドボール課題で観測される。これは、低頻度の刺激提示後約 300ms 後に頭頂中心部で最大になる陽性波で、刺激に対する評価・判断に関連して発生しているといわれている。潜時は、課題の難易度によって変動することがある [3]。

### 2.2 オドボール課題

オドボール課題 (Oddball Paradigm)[4] とは、P300 を誘発させるために一般的に用いられる実験手法である。実験参加者に 2 種類の刺激をある一定の割合でランダムな順番で提示する (図 1)。この 2 つの刺激のうち 1 つは高頻度 (80-90%), 1 つは低頻度 (10-20%) で出現する。(ここではそれぞれスタンダード刺激、ターゲット刺激と呼ぶ。)

### 2.3 周波数帯域

脳波解析においては、周波数帯域毎の解析を行なうことがあり、 $\delta$ (0.5-4Hz),  $\theta$ (4-8Hz),  $\alpha$ (8-13Hz),  $\beta$ (13-30Hz),  $\gamma$ (30Hz-) などの帯域に分けた解析が行なわれている。この

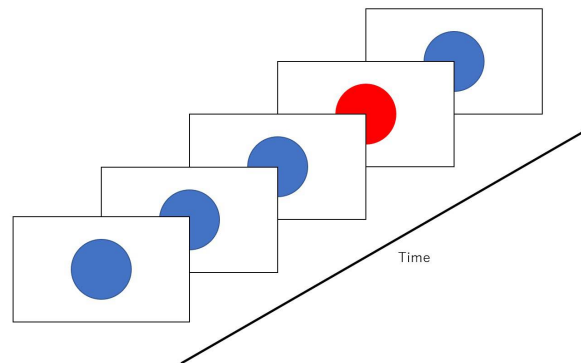


図 1: オドボール課題

中で、 $\alpha$  波は、閉眼時・安静時に振幅が増加し、運動や精神負荷によって振幅が減少することが知られており、空間的な視覚情報処理への影響も指摘 [5] されている。

## 3. 実験

### 3.1 概要

本実験では、野球初心者 3 名 (20 代男性 2 名女性 1 名)、野球経験者 3 名 (20 代男性 3 名) を対象に 2 つのオドボール実験を行った。これらの実験において、スタンダード刺激とターゲット刺激の割合は 8:2 とした。実験時間は 1 セッションにつき 5 分程度とし、全試行回数はそれぞれ 320 回であった。各セッションの間には十分な休憩時間を設けた。

### 3.2 システム

参加者は椅子に座った状態で EEG(Electroencephalogram) キャップの上に HMD(Head Mounted Display) を装着し、視覚刺激を受けた (図 2)。刺激に応じてボタン押しタスクを行い、脳波データと、視覚刺激の提示開始時刻と実験参加者がボタンを押した時刻を随時記録した。使用する HMD は



図 2: 実験の様子

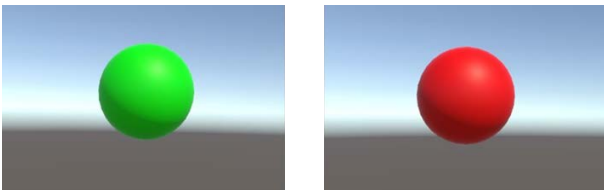


図 3: 画像刺激

VALVE INDEX<sup>1</sup>, 脳波測定装置は eego sports<sup>2</sup>と専用ソフトがインストールされた付属のタブレット型 PC を用いた。EEG キャップは、国際 10/20 法で定められた電極配置に従っており、使用した電極数は 64 であった。また、ボタン押し時刻を記録するトリガーには CONTEC 社製の AI-1608AY-USB<sup>3</sup>と自作の押しボタンを使用した。CONTEC のデバイスと押しボタントリガーは、変換ケーブルを通して脳波測定装置に接続された。

### 3.3 基本オドボール実験

画像刺激 (図 3) を用いたオドボール課題を行った。スタンダード刺激を緑色の球体オブジェクト、ターゲット刺激を赤色の球体オブジェクトとし、参加者には、それぞれのオブジェクトの出現後できるだけ早く左右のボタンを押すように依頼した。刺激の種類と左右のボタンの対応は参加者ごとにカウンターバランスをとって設定され、オブジェクト表示時間は 1 秒、非表示時間は 0.5 から 2.5 秒の間でランダムに決められた。実験は 2 セッション行われ、1 セッションにつき 160 試行とした。

### 3.4 野球オドボール実験

野球の投球映像による刺激 (図 4) を用いたオドボール課題を行った。スタンダード刺激にはストレート、ターゲット刺激にはカーブの投球モーションとボール軌道の映像を提示し、参加者には投球を識別した際にできるだけ早く左右のボタンを押すように依頼した。ボタンの対応は基本オド

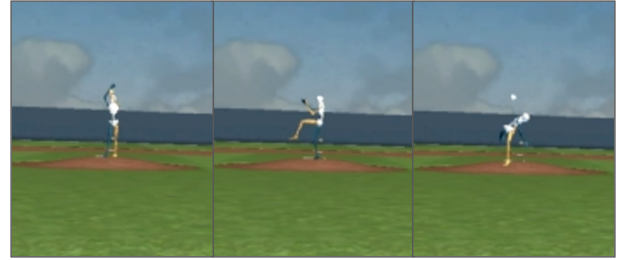


図 4: 投球映像刺激

ボール実験と同様に設定され、投球映像刺激提示時間はストレート投球では 7.8 秒、カーブ投球では 8.4 秒、非提示時間は 2.5 秒とした。実験は 8 セッション行われ、1 セッションにつき 40 試行とした。

### 3.5 解析方法

MATLAB 上で EEGLAB を用いて脳波解析を行った。汗によるノイズと電源ノイズを抑えるため 1Hz~40Hz のバンドパスフィルタ処理を行った。続いて、基本オドボール実験では画刺激提示時刻を基準に、野球オドボール実験ではボールリリース時刻を基準に一定の時間でエポッキングを行った。その後、独立成分分析を行いノイズの独立成分を除去した。さらに、スタンダード刺激とターゲット刺激の条件でエポックデータを分類した。最後に刺激の非提示時間を基準にベースライン補正を行った。

## 4. 結果

本実験では合計 6 名の参加者の脳波計測を行ったが、以下では反応が顕著にあらわれた波形を示す。

### 4.1 ボタン押しの反応時間

基本オドボール実験では刺激提示時刻からボタン押し時刻までの時間を、野球オドボール実験ではボールリリース時刻からボタン押し時刻までの時間を反応時間とした。それぞれの条件における反応時間について、未経験者と熟練者グループ間で、等分散を仮定しない t 検定を行ったところ、すべてにおいて 5% で有意差がみられ、未経験者より熟練者のほうが有意に短かった。また、未経験者ではスタンダー

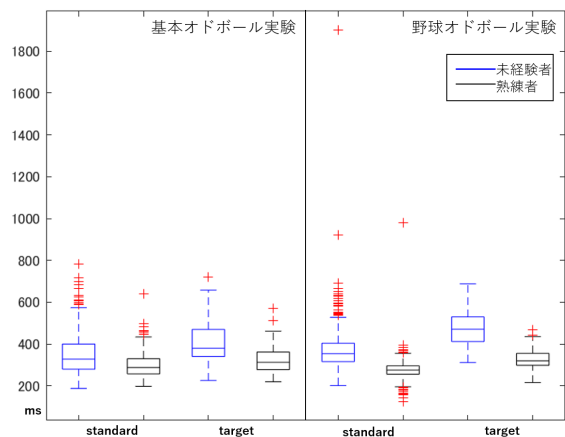


図 5: 反応時間

<sup>1</sup><https://www.valvesoftware.com/ja/index>

<sup>2</sup>[https://www.ant-neuro.com/products/eego\\_sports](https://www.ant-neuro.com/products/eego_sports)

<sup>3</sup><https://www.contec.com/jp/products-services/daq-control/pc-helper/usb-module/ai-1608ay-usb/feature/>

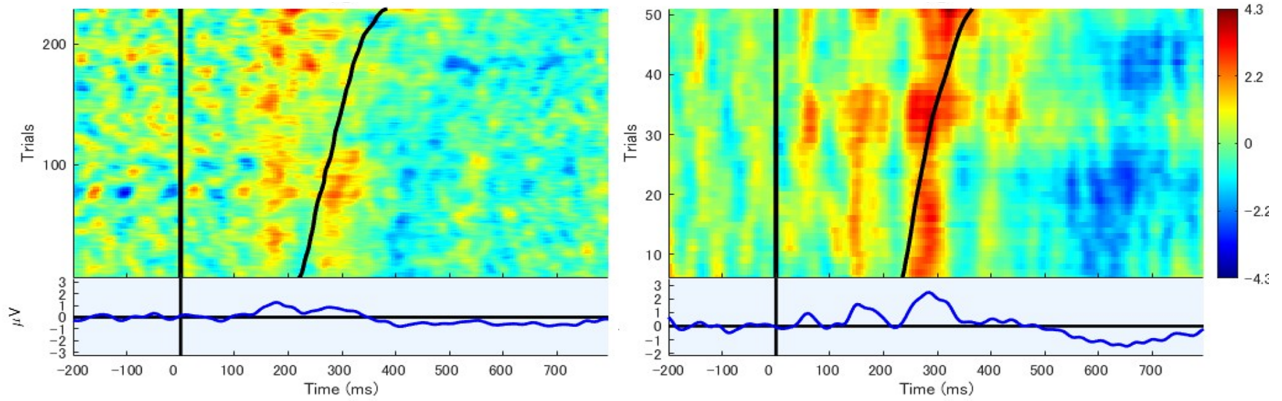


図 6: 基本オドボール実験: 熟練者 D(Pz) : (左) スタンダード刺激, (右) ターゲット刺激

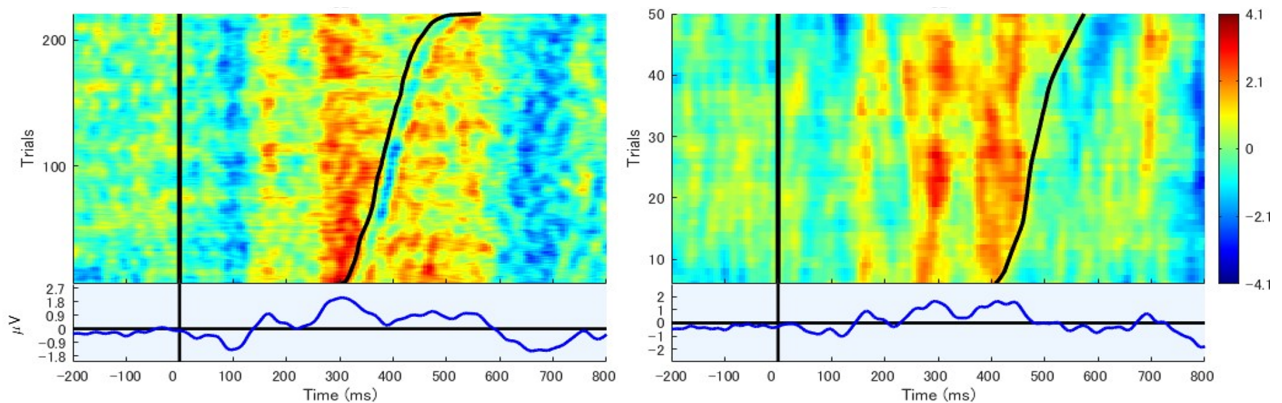


図 7: 野球オドボール実験: 未経験者 B(Cz) : (左) スタンダード刺激, (右) ターゲット刺激

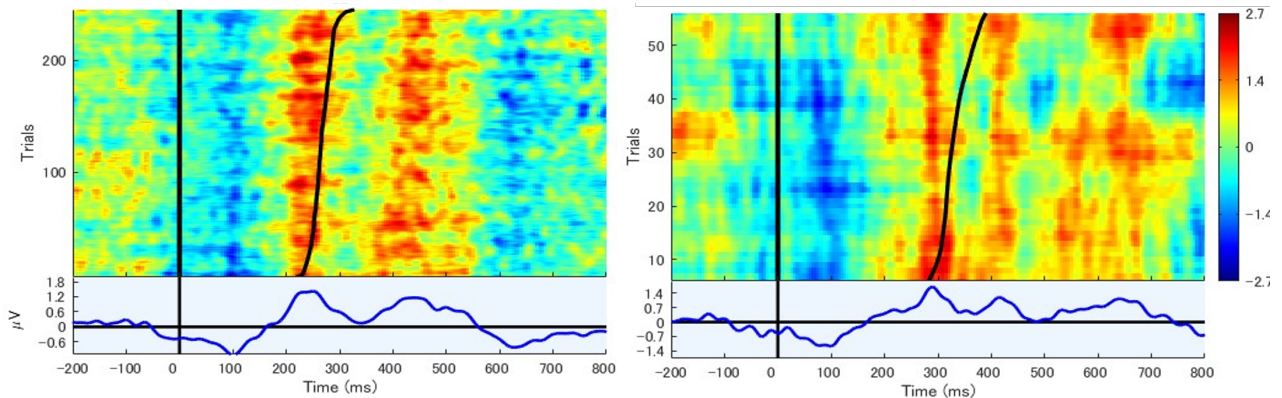


図 8: 野球オドボール実験: 熟練者 D(Cz) : (左) スタンダード刺激, (右) ターゲット刺激

ド、ターゲットによらず野球オドボール実験の反応時間が基本オドボール実験より長くなる傾向があるのに対し、熟練者ではスタンダード刺激で短くなる傾向がみられた(図5)。

#### 4.2 ERP 画像

図6, 7, 8は、スタンダード刺激(左)、ターゲット刺激(右)それぞれの全試行の電位変化をボタン押しの潜時順に並べ替えたものである。Time(ms)における0はエポックの基準時刻を示し、黒い曲線はボタン押しの時刻を示している。

基本オドボール実験ではPz電極で顕著な変化がみられた(図6)。ターゲット刺激では、ボタン押し前後でP300が観測された。

野球オドボール実験ではCz電極で顕著な変化がみられた(図7, 8)。この実験でもターゲット刺激でP300が確認できるが、基本オドボール実験に比べ時間的に広範囲な反応がみられた。また、スタンダード刺激でも陽性波が確認された。この陽性波の頂点潜時は、未経験者Bでは約300msだが、熟練者Dでは約240msだった。

#### 4.3 周波数解析

各参加者の脳波データに対し、スタンダード刺激によるエポックをランダム抽出し、ターゲットのデータ数と等しくした。さらに、8Hzから13Hzのバンドパスフィルタ処理を行い加算平均してα波を取り出した。野球オドボール実験において、未経験者グループでは、図9(左)で示され

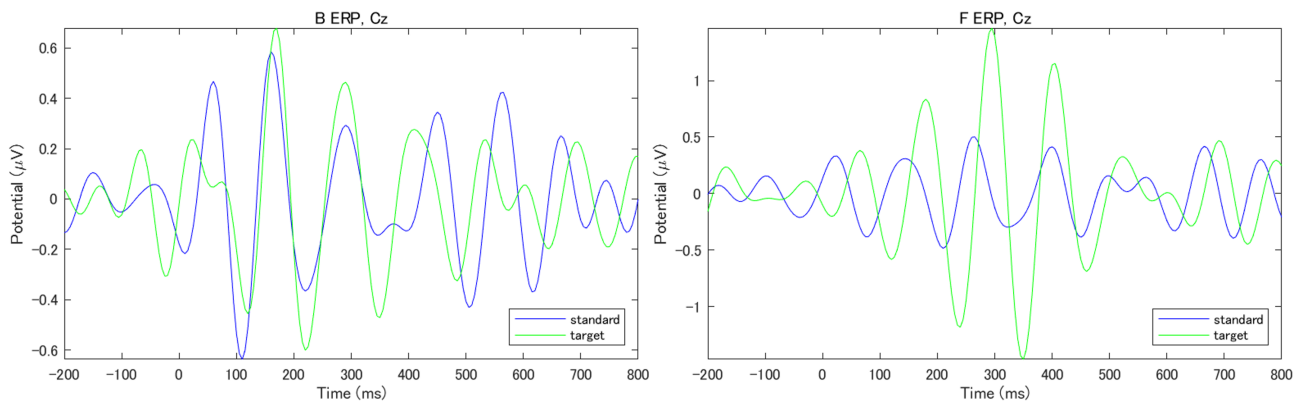


図 9: 野球オドボール実験: 未経験者 B と熟練者 F の ERP(8Hz-13Hz)

るように、刺激の種類による違いがみられなかった。一方で熟練者グループでは、図 9(右) で示されるように、ターゲット刺激においてボールリリース後 300ms をピークに振幅が大きくなった。

## 5. 考察

### 5.1 刺激の種類による差異

映像刺激を用いた野球オドボール実験では、基本オドボール実験に比べ複雑な波形が見られ、陽性波の範囲が広がった。連続的な刺激に付随した脳反応が起こったと考えられる。また、スタンダード刺激でも陽性波が出るデータがあり、ボタン押しのための運動に付随する脳活動が影響している可能性もある。

### 5.2 熟練度による差異

2つの実験の反応時間より、野球オドボール実験では、未経験者グループでは反応が遅くなり、熟練者グループではスタンダード刺激で早くなる傾向があった。未経験者はボールの軌道のみを判断材料とするため、リリース後ボールの動きが変化するまでの時間が反応時間に含まれ、反応時間が遅れる。一方で熟練者グループでは、ボールリリース前の投球モーションを利用した予測を行うことで反応時間を短くすることができたと考えられる。

### 5.3 球種による差異

熟練者のスタンダード刺激の ERP の潜時が短くなったことから、ストレート投球に対する脳情報処理が早いことが示唆された。選手は実際の試合で、球速の速いストレートに備えがちであり、投球モーションやボール軌道で球速の遅いカーブと判断すれば、相対的にゆっくり運動を実行すると考えられる。このため、カーブに関連する ERP の潜時が比較的遅くなった可能性がある。

### 5.4 周波数解析

本実験に参加した熟練者の脳波データから、野球オドボール実験のターゲット刺激において、スタンダード刺激より  $\alpha$  波の振幅の増大が観測された。先行研究において  $\alpha$  波は、視覚的注意のプロセスにおいて情報の選択的処理に関わっている [5] ことが示唆されており、熟練者の脳活動においては、スタンダード刺激とターゲット刺激に対する注意負

荷の違いが現れている可能性がある。

## 6. 結論

バーチャルリアリティ環境に構築した視覚刺激を用いて、基本的なオドボール実験と発展的な野球オドボール実験による脳波測定を野球未経験者・熟練者に対して行った。また、参加者にはボタン押しタスクを課し、視覚提示時刻からボタン押し時刻までの反応時間を測定した。

どちらの実験でも、野球未経験者より熟練者の方がボタン押し反応時間が有意に短かった。また、野球オドボール課題において、熟練者のストレート投球に関連する ERP の潜時が短くなり、また、カーブ投球では  $\alpha$  波の振幅の増大が観測された。

## 参考文献

- [1] 谷湧日, 小林明美, 正井克俊, 杉本麻樹, 木村聡貴. バーチャル環境における意思決定が野球打撃運動に及ぼす影響の解析. シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集 2021, pp. C-7. 一般社団法人 日本機械学会, 2021.
- [2] Samuel Sutton, Margery Braren, Joseph Zubin, and ER John. Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, Vol. 150, No. 3700, pp. 1187-1188, 1965.
- [3] John Polich. Task difficulty, probability, and inter-stimulus interval as determinants of p300 from auditory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, Vol. 68, No. 4, pp. 311-320, 1987.
- [4] R. Näätänen, A.W.K. Gaillard, and S. Mäntysalo. Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, Vol. 42, No. 4, pp. 313-329, 1978.
- [5] Joshua J Foster and Edward Awh. The role of alpha oscillations in spatial attention: limited evidence for a suppression account. *Current Opinion in Psychology*, Vol. 29, pp. 34-40, 2019. Attention Perception.