



バーチャル環境を用いた野球打撃の認知運動スキルの評価

谷湧日¹⁾, 小林明美^{1,2)}, 福田岳洋²⁾
正井克俊^{1,2)}, 杉本麻樹¹⁾, 木村聡貴^{1,2)}
Yuhi Tani, Akemi Kobayashi, Fukuda Takehiro
Katsutoshi Masai, Maki Sugimoto and Toshitaka Kimura

1) 慶應義塾大学 (〒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: 時間的制約が厳しい野球打撃では、適切な球種などの予測や打者のスイング判断 (意思決定) が打撃に重要であると考えられる。本研究では、バーチャルリアリティ (VR) 環境を用いて予測の手がかりとなる投球フォームや意思決定の有無について条件の統制を行い、クラスタリング解析を用いて打撃精度への影響や打者の個人特性を評価した。

キーワード: バーチャルリアリティ, 意思決定, スポーツ解析

1. はじめに

人間の運動には、どのような運動を行うかという意思決定の過程とその決定に基づく運動制御の過程が存在する[1]。特に時間的制約の厳しい運動である野球打撃では、意思決定と運動制御が密接に関わっている。野球打撃において打者は、ボール軌道から打つか打たないかの判断 (意思決定) し、適切なタイミングと軌道でスイングするための運動を制御している (運動制御)。特に、打者は早い意思決定を行い、精度の高い運動制御を行うため、投手の投球フォーム情報を用いて球種やタイミングを予測していると考えられる。例えば、球種や投球位置を早いタイミングで識別できることが公式戦での得点率や四球/三振比が向上することが報告されている[2]。また、キャッチャーは投手のフォームから投球軌道の予測して捕球していることが報告されている[3]。このように、打者が投手のフォームから投球軌道や球種を判断することが示されていたが、これらの研究では画像提示型のディスプレイで行われたため、実際の打球運動への影響について議論することは難しい。そのため、打者が実際と同等の意思決定をしていると考えられる環境で、運動解析を行うことが必要である。しかし意思決定/運動制御過程を独立して解析するためには、条件の統制を行う必要があるが、実環境では困難である。実験室での実験では、実際のスポーツシーンとは異なる単純化された映像を用いて、運動を測定するのに対して、実際のスポーツシーンを用いる場合様々な要因があるため原因を特定しにくい。バーチャルリアリティ (VR) は条件統制が容易であり、実際の運動を実験に組み込むことができる。遠藤らの研究では、投球の「ノビ」の認知について実験を行った。投球動作時間を伸縮させ、投球動作速度の異なる視

覚刺激の条件を統制することで提示し、ノビの主観評価を行うことで投球フォームと「ノビ」の関連について報告された[4]。齋藤らの研究では、テニスのサービスをリターンする VR 環境の構築を行った。実際の選手のサービスを用いることで、より実際のスポーツシーンに近い状態で実験を行った。習熟者と初心者の中で、サービスのフォームによる影響を調べ、サービスのリターンにおける腰の運動 (テイクバック) が習熟者の方が明確に違いが生じ、習熟者の球種の判断精度が下がったことが報告された[5]。このように VR 環境は、実際のスポーツシーンに似た環境で、同じ試行を繰り返し行うことができるため、運動解析に適していると考えられる。そこで、実際に近い VR 環境を用いて、条件を統制した視覚刺激を提示することで、打者の認知運動を評価する手法を提案する。

2. 提案手法

本稿では、VR 環境内で実際の投手の投球フォームをバイオロジカルモーションにより再現し、Trackman を用いて測定したボール軌道と組み合わせ、投球を行うシステムを実装し、打撃を行うことが出来る野球打撃を模した VR 環境を利用した[6]。野球 VR 内で提示される球種は 2 種類 (ストレート 131.4km/h, カーブ 100.4km/h) である。ストレートの投球フォームからストレートが投球される試行とカーブの投球フォームからストレートが投球される試行を設けることで、投球を投球フォームとボール軌道が一致している条件 (Match 条件) と一致していない条件 (Mismatch 条件) を視覚提示した。この時、予測を正しく行う打者はカーブの投球フォームからストレートが投球された際、正しく一致する条件と比べ、運動に影

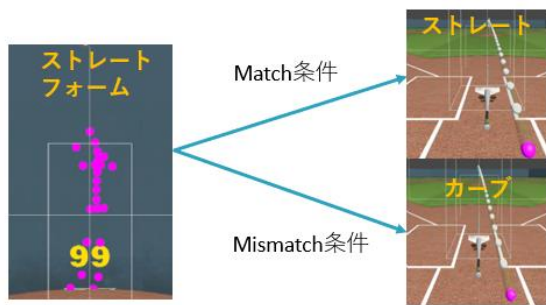


図1 提案手法

響が出ると考える (図1)。

また、Match 条件について、両球種を打つ課題と、ストレートだけを打つ課題を用意することで、打者の意思決定 (判断) 機能を評価した。

3. 実験手法

2種類の球種の投球フォームとボール軌道の組み合わせから、いくつかの条件を統制した。実験参加者は10名 (男性10名内右打席6名と左打席4名、社会人野球所属) で行った。実験手順は、表の通りである (表1)。

3.1 打撃課題

打者は、決められた球種をバットで打つよう指示された。実験に用いたバットは重さ750g、長さ84cmと実際と同等のものを使用した。モーションキャプチャシステムを可能とするモーションキャプチャシステム (OptiTrack) を用いることでバットの位置情報をVR環境に反映し、打撃を再現した。

3.2 ボタン押し課題

本課題では、打撃課題と同じ姿勢で行うため、バッティングポーズで立つように指示した。実験参加者には、決められた球種と判断したらなるべく早く押すよう指示した (図3)。投球されたボールがホームベース手前に

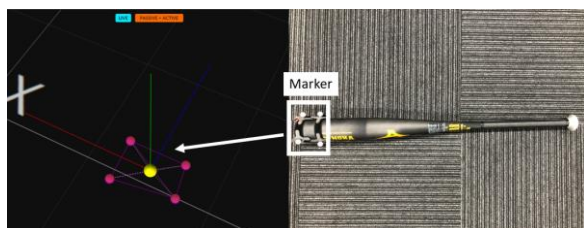


図2 モーションキャプチャシステム (バット)

表1 実験手順

手順	条件名	課題
1	All 条件	Match 条件統制下 ストレートとカーブを打つ。
2	ボタン条件	Match 条件統制下 ストレートのみを判断する。
3	Match 条件	Match 条件統制下 ストレートのみを打つ。
4	Mismatch 条件	Mismatch 条件統制下 ストレートのみを打つ。

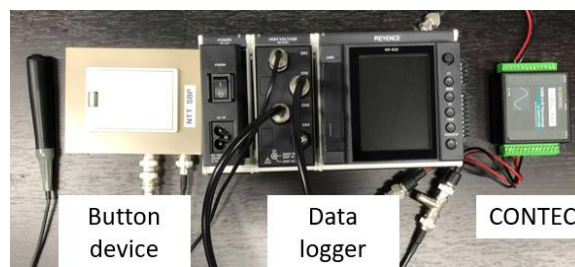


図3 ボタン押し 機材

到達する前までに判断させるために、ホームベースに到達した時点でボールが消える仕組みを実装した。これは、実際の打撃における意思決定がホームベース上にボールが到達する前に行われると考えたためである。

4. 解析手法

バーチャル環境内におけるバットの3次元位置について、投球モーション開始時から記録した csv ファイルを用いて解析した。Motive を用いて設定したバットの重心データを取得しているため、この3次元位置座標より速さを算出した。この際 Unity のサンプリングレートが90fpsであるのに対して、Motiveは240fpsであるため、連続したフレームで同じ位置データが記録される。同じ3次元位置情報が入っているデータを一度欠落させたのち、3次スプライン補間を用いて補完した。それぞれの3次元位置から求めたバットの速さデータを用いて、意思決定を行ったタイミングを判断時間として算出した。バットを振らなかった際の平均データとバットを振った際のデータの分岐点を同定し、最後に閾値を超えた時刻を判断時間とした (図4)。閾値は、スイングした際のピーク時の速さの平均値の10パーセントとした。同様に、閾値スイングした際のピーク時の速さの平均値の5パーセントとして算出した時刻をオンセットとした。また、バットの速さが最も大きくなる地点を同定し、その時刻をピーク時間とした。この判断時間とピーク時間の差分の時刻を打撃運動中の運動時間とした。ボタン押しで用いた機材では、1ms 間隔でデータを取得し、csv ファイルとして記録した。波形データからボタンが押されたタイミングを同定し、ボタン押し時の判断時間とした。

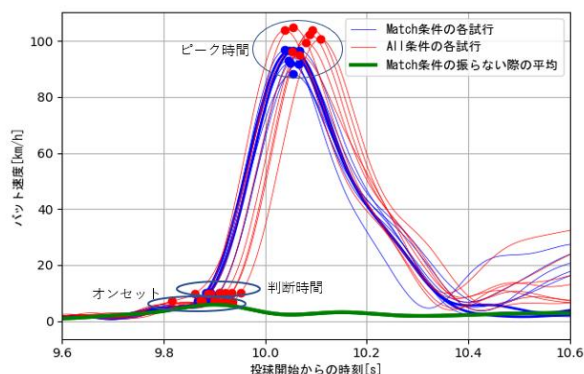


図4 解析手法 (ピーク時間, 判断時間, オンセット)

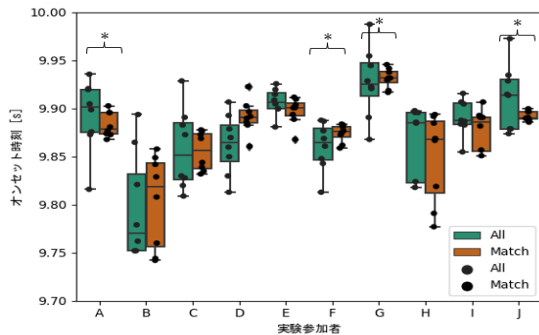


図5 Match/All条件におけるオンセット (点:各試行, マーカー:全施行での箱ひげ図)

表2 All/Match条件のオンセットの平均とF値

	All条件 Onset時間(ms)	Match条件 Onset時間(ms)	F値
A	313.0 ± 35.5	303.3 ± 12.1	0.0110 *
B	223.5 ± 53.2	223.9 ± 12.1	0.6553
C	277.7 ± 40.6	275.7 ± 18.7	0.0686
D	282.6 ± 29.3	311.6 ± 16.5	0.1526
E	326.7 ± 13.0	317.1 ± 13.1	0.9910
F	280.6 ± 23.7	294.0 ± 8.7	0.0170 *
G	347.2 ± 34.6	351.7 ± 9.5	0.0030 *
H	291.7 ± 32.4	269.1 ± 43.7	0.5019
I	310.4 ± 17.6	286.3 ± 18.8	0.8407
J	332 ± 31.9	312.1 ± 4.6	0.000047 *

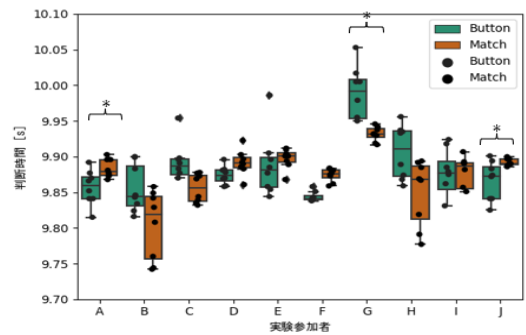


図6 ボタン/Match条件の判断時間の比較 (点:各試行, マーカー:全施行での箱ひげ図)

表3 ボタン/Match条件の判断時刻の平均とF値

	ボタン条件 判断時間(ms)	Match条件 判断時間(ms)	F検定
A	276.8 ± 22.8	314.1 ± 9.2	0.0291 *
B	275.6 ± 31.4	272.6 ± 24.7	0.5429
C	305.8 ± 10.1	318.9 ± 13.2	0.6139
D	294.1 ± 11.9	338.6 ± 8.0	0.3651
E	294.1 ± 21.1	340.1 ± 9.7	0.0574
F	264.4 ± 6.8	305.9 ± 8.2	0.6778
G	401.2 ± 26.5	368.2 ± 10.4	0.0263 *
H	322.6 ± 36.2	303.6 ± 24.3	0.3060
I	302.0 ± 29.6	322.1 ± 16.5	0.1799
J	286.4 ± 25.8	327.7 ± 4.6	0.0002 *

5. 実験結果

本稿では、手順3での実験結果とその他の手順の結果を比べた。

5.1 All/Match条件の比較

All/Match条件で、各参加者のオンセット時間(投球開始時刻を0として打撃を開始した時刻)をプロットした(図5)。オンセット時間の標準偏差のF検定を行い、条件間のばらつきを比較した。(表2)。条件間のばらつきに違いが生じた参加者で一定の傾向を見られた。実験参加者A, F, G, Jは、Match条件の方がばらつきが小さくなった。

5.2 ボタン/Match条件の比較

ボタン/Match条件で、各参加者の判断時間(投球開始時刻を0としてボタンを押した時刻/打撃中の判断時刻)を示した(図6)。判断時間の標準偏差のF検定を行い、条件間のばらつきを比較した。(表3)。条件間のばらつきに違いが生じた参加者で一定の傾向を見られた。実験参加者A, G, JはMatch条件でばらつきが小さくなった。

5.3 Mismatch/Match条件の比較

Mismatch/Match条件の切り替わり4時における判断時間の差分とMatch条件における判断時間(リリース開始時刻からの判断時刻)をプロットした(図7)。次に、Mismatch/Match条件の切り替わり時における、運動時間と判断時間の差分(Match条件の判断時刻/ピーク時刻の平均とMismatch条件の最初2球の判断時刻/ピーク時刻を用いて算出する)をクラスタリング解析により4つのグループに分かれた図を示した(図8)。

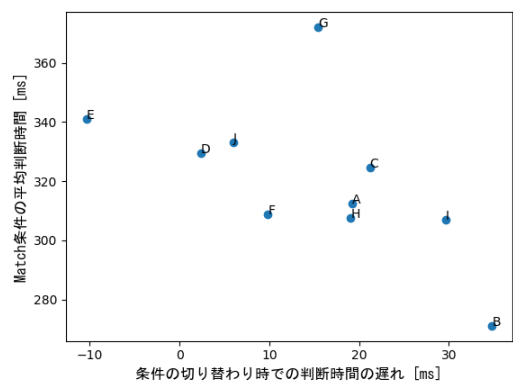


図7 Mismatch/Match条件での予測の影響と判断時間の比較

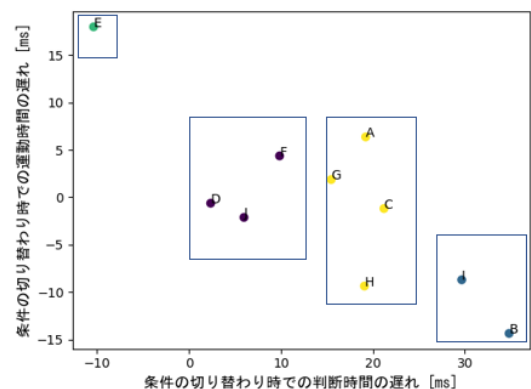


図8 Mismatch/Match条件の切り替わり時の比較(運動時間/判断時間のクラスタリング)

6. 考察

6.1 バットスイング時における意思決定の影響

5.1の結果より打者は、Match条件ではストレートのみを見極める意思決定、All条件ではストレートとカーブを打つために2つの運動制御を切り替える意思決定が必要であった。厳しい時間的制約の中、2つの運動制御を用意し、切り替えることが実験参加者 A, F, G, Jの運動制御がオンセットの精度を下げ、打撃時の振り始めの運動に分散に違いが生じたと考えられる。実際の打撃を行う際、「打者は特定の球種が投球された際に打つという意思決定」と「球種は問わずホームベース上の打てる範囲に投球された際に打つという意思決定」の2種類がある。複数の運動制御が精度を低下させる場合、後者の意思決定が打撃のパフォーマンスを下げることが示唆される。

6.2 バットスイング時における運動制御の影響

5.2の結果より、実験参加者 A, G, Jは運動を含んだ判断時間のほうが分散が減少した。バッティングタスクは、どのタイミングまでに判断を行わなければボールにバットを当てることが出来ないという判断時間の制約があるのに対して、ボタンスタスクではその制約が存在しない。このため、一部実験参加者は、運動を含めたタスクの方が判断時間を合わせやすく、分散が小さくなったと考えられる。

6.3 予測と認知運動スキルの評価

図7の結果より、切り替え時の判断時間に遅れが生じている実験参加者は Match条件で他の実験参加者より早い判断を行うことが出来ている。Mismatch/Match条件を比較すると、ストレートの投球フォームからストレートのボール軌道が投球される条件からカーブの投球フォームからストレートのボール軌道が投球される条件に切り替わる。このため、Mismatch条件の方が遅れが生じた実験参加者はカーブが投球されると予測を行ったことによって判断が遅れ、予測を正しく行うことが出来ていたと考えられる。一方、予測の影響を受けていない実験参加者は、判断時間が遅くなっていることが分かる。早いタイミングでの判断を行うためには、予測を用いることが1つの要素であると考えられる。

図8の結果より、切り替え時に着目し、打者における予測をクラスタリングした結果を見ると、主に3つのグループに分けられた。予測の影響を受け、判断時間に遅れ(およそ20ms)が生じ、グループ(A, C, G, H)、予測の影響を受け、大きく判断時間に遅れ(およそ30ms)が生じ、運動制御を試みたグループ(B, J)、予測の影響を受けていないグループ(D, I, F)となった。再現性の高い投球フォームを用いることで、予測を用いた運動を行うことができる打者を分類することができる。また、判断時間に大きく遅れが出たグループは、予測が用いることが出来ない際スイングを制御することで運動時間が

短くなる特徴が表れた。実験参加者 Eは他のグループとは異なる打撃構造を持ち、振り始めを早くしスイング速度を遅くすることでタイミングを制御した。このため、判断時間が早く、運動時間が長くなる挙動が条件間で生じた。これらの予測の影響は、投球フォームから球種を予測しにくい投手に対しては、早い判断を行うことが出来ないため、打撃パフォーマンスが低下するといった実践的な打撃構造の解析に取り組みると考える。

7. おわりに

VR環境を用いることで、投球フォームを統制し、打者の認知運動について解析した。視覚刺激を変化させることで、打者が予測を行えない際に判断時間と運動制御に及ぼす影響に打者ごとの変容が存在していた。また、早い判断を行うことが出来ている打者は、予測の利用と関連があることが示唆された。VR環境にて、パフォーマンスの評価を行うシステムを追加し、これらの予測と意思決定の影響が打撃パフォーマンスに及ぼす影響を解析することを今後の展望とする。

参考文献

- [1] Daniel M Wolpert, J Randall Flanagan, "Motor prediction", *Curr Biol*, 2001, 11(18):R729-32, DOI: 10.1016/S0960-9822(01)00432-8.
- [2] J A Stone, I W Maynard, J S North, D Panchuk, K Davids, "(De)synchronization of advanced visual information and ball flight characteristics constrains emergent information-movement couplings during one-handed catching", *Exp Brain Res*, 2015 Feb, 233(2):449-58, DOI:10.1007/s00221-014-41.
- [3] Fadde,P.J, "Instructional design for accelerated macrocognitive expertise in the baseball workplace", *Front.Psychol*,2016, Vol.7,.1-16,doi:10.3389/fpsyg.2016.00292.
- [4] 遠藤愛奈, 福田岳洋, 三浦礼士, 杉本麻樹, 木村聡貴, "バーチャルリアリティを用いた野球の投球の質感に影響を及ぼす投球パラメータの解析", *日本機械学会スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス* 2021, <https://doi.org/10.1299/jsmeshd.2021.C-8-3>
- [5] Kei Saito, Katsutoshi Masai, Yuta Sugiura, Toshitaka Kimura, Maki Sugimoto, "Development of a virtual environment for motion analysis of tennis service", *Proceedings of the 1st International Workshop on Multimedia Content Analysis in Sports*,2018, pp 59-66, DOI:100.1145/3265845.3265845
- [6] Kimura, T., Nasu, D., Kashino, M., "Utilizing virtual reality to understand athletic performance and underlying sensorimotor processing", *Vol. 2, No. 6 (2018)*, pp. 299