

試行間変動の有無が打動作の協応構造に及ぼす影響

Effect of variability between trials on coordinative structure of baseball batting

鈴木 啓 央*

山 本 裕 二**

Hiroo SUZUKI*

Yuji YAMAMOTO**

When batting in baseball, the batter requires a complex set of skills in order to hit the ball. This is because the released ball travels at different speeds and in different positions until it reaches the impact point. The batter not only processes information about the ball before starting the swing but also uses information on the ball after starting the swing. This study compared the coordination and coordinative structure of swings by expert and novice batters under a variable condition and a constant condition. In the variable condition, the ball was released randomly from two batting machines set at different speeds, while in the constant condition the ball was released repeatedly from the same batting machine. Three baseball players participated in this experience as expert players and three graduate students participated as novice players. Their movement were recorded by three cameras, and analyzed using 3-dimensional kinematics. The results indicate that the experts adapt when they start to step to the timing of a fastball and then wait after landing in the variable condition to correct the hitting movement. By contrast, the novices change only when they start to step to match the ball speed.

1 目的

道具や身体の一部を使って飛来してくる物体を時空間的に正確にとらえる技能はスポーツの中ではよく見られ、その技能を獲得することは重要であり、かつ難しいことである。特に野球の打動作は、18.44mの距離から投げられ、様々な速度、変化をもったボールを、バットでとらえ、遠くに飛ばすという複雑な技能が求められる動作である。こうした技能においては、遂行する動作の正確性やボールの到達位置を時空間的に正確に見積もることが重要であり、この技能の成否を決定付ける要因となると思われる。このようにボールと打者の動作との時空間的な一致が打動作には重要になるという観点から、野球の打動作に関しては多くの研究がなされている。

Schmidt (1988) は、情報処理モデルに基づき、野球の打動作中の情報処理過程を系列的に示している。打者は、ボールが投げられた後、ボールの初期の軌道を

見て、打つか打たないかの判断をし、打つと判断した場合、その初期軌道の情報を基に、動作を選択し、選択された動作を遂行すると考えられている。ここでは、ボール初期の情報を基に、ボールがどの位置に、いつ飛来するかを正確に予測することと、その予測を基に動作をいかに正確に遂行するかが重要であると考えられている。また、動作の遂行時間が短くなれば、つまりスイングスピードが速くなれば、ボールを予測するために必要となるボール初期の軌道を見る時間が長くなり、予測の正確性が増し、ボールの到達位置とそのタイミングの見積もりの判断に有利になるとも考えられている。つまり、飛来してくる物体をとらえるためには、まずボールの飛来位置とそのタイミングを見積もり、そのボールの飛来初期の情報に基づいて、事前に学習されている運動プログラムから正しいプログラムを選択し、その運動プログラムを正しいタイミングで遂行することが重要であると考えるのである。またこうした運動プログラムの獲得にかかわるスキーマ理論

* 名古屋大学大学院教育発達科学研究科

** 名古屋大学総合保健体育科学センター

* Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University

** Research Center of Health, Physical Fitness, and Sports, Nagoya University

(Schmidt, 1975)に基づき、変動性練習仮説が提出されている。スキーマ理論では、1つの般化運動プログラムを用いて、パラメータを変更することで多様な出力が可能となり、その般化運動プログラムにパラメータを与える再生スキーマと運動を遂行した結果の知識のデータベースとなる再認スキーマがパラメータ推定の精度を決定している。したがって、より正確な運動プログラムを導くためには、パラメータ推定のための多様な動作結果を得る必要があり、そのためには練習に変動性をもたせるほうがよいとされている。

しかし、野球の打動作では飛来してくるボールの軌道は投手により多様であり、さらにボールが投げられた後も様々な変化をする。したがって、打者にとって打動作を成功させるのに、到達位置とそのタイミングを見積もるためにはボールの飛来初期の情報だけでは不十分であり、インパクトまでボールの情報が必要になると考えられる。

Peper, Bootsma, Mestre, and Bakker (1994) は、異なる角度から同じ位置に飛来するボールを捕球するという課題を用いて、その際の手の動作を観察し、ボールが同じ位置を同じタイミングで通過するにもかかわらず、ボールが投射される角度が異なれば、手の動きが異なることを示した。これは、行為者は、あらかじめボールの到達位置を予測して、その到達位置に手を動かしているのではなく、捕球動作が開始された後もボールと手の動きの情報を用い、連続的に手の位置を調整していることを示唆している。また、Bootsma, Houbiers, Whiting, and van Wieringen (1991) は、卓球選手のフォアハンドドライブの動作を分析し、インパクト時ではラケットの角度が一定になるにもかかわらず、動作の初期でのラケットの角度は異なることを示した。これは、ボールという環境からの視覚的な情報は、初期の見積もりのみに使われるのではなく、環境に適応するためインパクトまで用いられていることを示し、系列的な処理を前提としたプリプログラム制御に対して連続制御モデルと呼ばれている。実際、野球の打動作では様々なボールが投げられるため、打者は連続的に変化するボールにいかにか柔軟に対応するかが重要になると思われる。つまり、変動する多様な環境は、常に運動を遂行する者に働きかけて、影響を与えていると考えられる。そこで、こうした連続制御モデルに立脚すると、練習における試行間変動は、情報処理モデルでいわれる変動性練習仮説による運動プログラムの精緻化ではなく、環境との適応性の獲得に寄与するものと考えられる。

また、人間が環境に適応していく過程に関する自由度問題に対して、Bernstein (1996) は協応構造という

考え方を提唱している。自由度問題とは、人間の骨格-関節-筋は数百にもものぼる数多くの冗長な自由度をもっているために、それらを1つずつ制御すると莫大な数になり、なんらかの組織化が必要になるというものである。この問題に対して Bernstein が提唱した協応構造とは、人間が環境に適応していくためには、多様で、精密で、適切な感覚調整が必要であるために、筋それぞれが制御され、調整されているのではなく、筋が合目的に協応して活動するように、機能的に結びついて制御されているという考え方である。また、この考えに基づけば、適応すべき環境により協応構造自体が異なることも考えられる。例えば、野球の素振りのように環境からの制約がほとんどない運動と、投手により様々なボールが投げられるような環境からの制約が多い運動では同じ打動作であっても協応構造が同じであるとは限らない。もし、試行間変動の有無により協応構造自体が異なるのであれば、野球の指導場面での素振りやティーバッティングなどの練習が打動作を学習する上で何に寄与するのか考える必要がある。

そこで本研究では、野球における打動作中の身体の調整や協応構造が試行間変動の有無によりどのように異なるのかを検討した。試行間変動のある状況とない状況は、速度が異なる2台のバッティングマシンを用いて設定した。同時に、野球経験者と未経験者を比較することにより、経験者が打動作を学習してきた中で、どのような方略、調整が獲得されているのかを観察し、未経験者が打動作の技能を獲得するためにどのような練習が必要であるかを提言する基礎的な資料とすることを目的とした。

2 方法

2.1 被験者

被験者は、10年以上野球を経験している大学野球部に所属する選手3人と、未経験者として野球以外のスポーツを経験してきた大学院生3人であった。経験者の平均身長は177.3cmで、平均体重は72.6kgであった。未経験者の平均身長は177.0cmで、平均体重は68.1kgであった。

2.2 課題

被験者はホームベースから20mの距離に置かれた2台のいずれかのバッティングマシンから投射されるボールをフェアグラウンド内に強く打ち返すことが要求された。本来の投手のプレートの位置(18.44m)では、未経験者がボールに対し振り遅れることが予測されたため、ボール速度の設定を遅くする必要があるが、マ

シンの性能上、速度を遅くするとコースが不安定になってしまうため、マシンを競技規則よりも長い20mの距離に設定し、投射からホームベースへ到達するまでの時間を長くなるようにした。

2.3 実験条件

実験条件は、速度条件と、試行間条件の2種類であった。

速度条件としては、90km/hのSlow条件と115km/hのFast条件の2種類であった。ボール投射からホームベースまでの到達時間は、Slow条件では800msで、Fast条件では600msであった。

試行間条件としては、Slow条件とFast条件のボールのいずれかの条件が反復して投射される条件(Constant条件)と、2種類の速度条件が乱順に投射される条件(Variable条件)の2種類であった。

被験者は、試行間条件としてConstant条件で、速度条件としてSlow条件で行うCS条件を10試技行い、その後、試行間条件としてConstant条件で、速度条件としてFast条件で行うCF条件を10試技行った。さらに、Slow条件とFast条件の2種類の速度条件で乱順に投射されるVariable条件を20試技行った。このVariable条件に含まれる10試技ずつのSlow条件とFast条件をそれぞれVS条件とVF条件とした。

2.4 手続き

2種類の速度条件を設定するために、異なる速度で投射する2台のバッティングマシンを図2に示すように設置した。2台の速度は、打者より見て左側の1台をSlow条件に設定し、右側のもう1台をFast条件に設定した。

被験者は、各条件を一通り行った後、マシン位置の影響を考慮するために左右のマシンの速度条件を入れ替えて同様の条件を同試技ずつ行い、全試技は被験者1人につき80試技であった。このVariable条件での速度条件の順序は乱順化し、全ての被験者で異なった。疲労を考慮し、それぞれの条件を被験者全員が行い、そして次の条件を行うようにした。パフォーマンスの評価は、打球を真芯、凡打(ゴロ、フライ)、ファールチップ、空振りと区分し、実験者を含む野球経験者2名が判断、記録した。

2.5 撮影

同期した3台のハイスピードカメラ(NAC社製HSV-500C3e)を用い、被験者の打動作とボールを250Hz、シャッタースピードを1/1000秒に設定して撮影し、3次元DLT法(池上・桜井・矢部, 1991)を用い

て三次元座標に再構成した。座標は図2に示すように、右手直交座標系を用いて、Z軸は鉛直方向に、Y軸はホームベースからマウンドに向かう方向に、X軸は他の2軸と直交するように3塁から1塁を結ぶ方向とした。なお、動作分析の結果については、経験者、未経験者のそれぞれ1名が各条件において、フェアグラウンド内に打球が飛来した5試技の分析結果について示している。

2.6 従属変数

従属変数として、ボールの投射タイミング、離地、接地、インパクトのタイミングと、腰のダウンスイング(DS)局面の開始タイミングを算出した。ボールの投射、離地、接地、インパクトのそれぞれのタイミングは、VTRより算出した。腰の角度は、左腰から右腰へ向かうベクトルをX-Y平面上に投影し、X軸とのなす角度とし、X軸方向を0°として左回りを正、右回りを負とした。図3は、その角度定義を示したものである。腰のDS局面の開始タイミングは、その角度プロフィールに基づき、インパクトに最も近いタイミングで左回りに回旋し始める時点とした。図4は、上記の変数による打動作の局面構造の定義とX-Y平面上の腰の角度プロフィールの例を示したものである。



図1：実験プロトコル

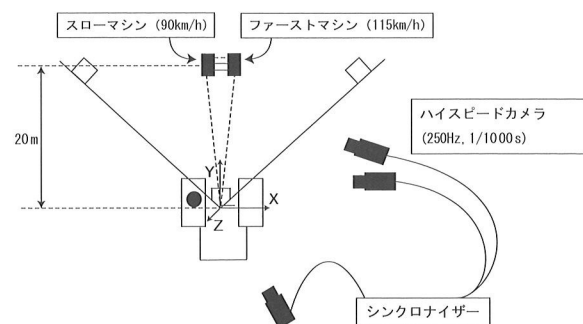


図2：実験状況

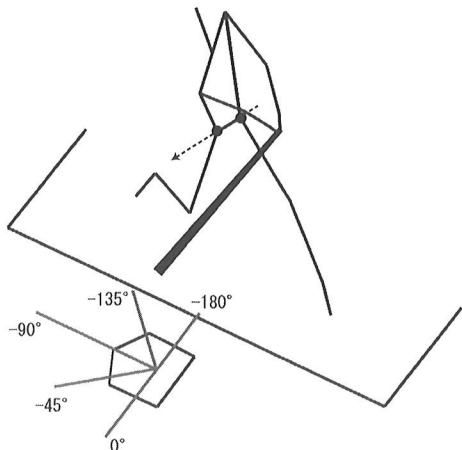


図3：X-Y平面上の角度定義

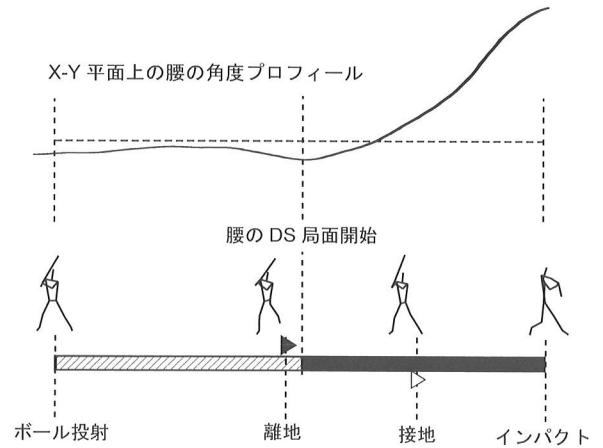


図4：局面の定義

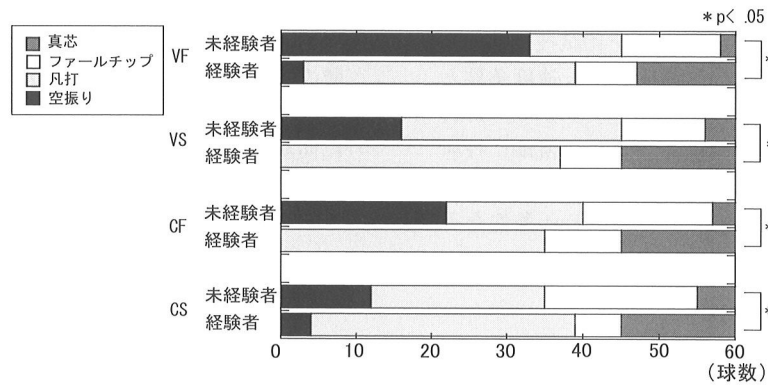


図5：各条件下における全試技のパフォーマンスの評価と χ^2 検定の結果

3 結果

3.1 パフォーマンス

図5は、経験者と未経験者の各条件下の全試技のパフォーマンス評価と、各条件ごとの経験者と未経験者の違いについて χ^2 検定の結果を示したものである。その結果、全ての条件において経験者の方が未経験者よりもフェアグラウンドへの打球が有意に多いことが示された (VF条件: $\chi^2(1)=46.26, p<.05$, VS条件: $\chi^2(1)=23.81, p<.05$, CF条件: $\chi^2(1)=37.27, p<.05$, CS条件: $\chi^2(1)=19.02, p<.05$)。

次に、経験者、未経験者それぞれの速度条件間と試行間条件間の違いについて χ^2 検定をおこなったところ有意な違いは認められなかった。つまり、経験者、未経験者ともに速度条件間においても試行間条件間においてもパフォーマンスの違いはみられなかった。

3.2 離地のタイミング

離地のタイミングは打動作の始動を表す指標であり、図6に、経験者群、未経験者群の全試技の離地のタイミングの平均と標準偏差を示した。ここではボールが投射された時点を基準とし、経験者と未経験者ごとに速度条件 (2) × 試行間条件 (2) の繰り返しのある分散分析を行った。分散分析の結果、経験者において、交互作用が有意であった ($F(1, 2)=82.64, p<.05$)。多重比較の結果、CS条件とVF条件のあいだに有意な差が認められた (CS条件: 0.13 ± 0.1 , VF条件: -0.02 ± 0.19)。未経験者において、試行間条件の主効果が有意であった ($F(1, 2)=33.19, p<.05$)。

経験者群では、離地のタイミングがCS条件とVF条件では有意に異なっており、またVS条件とVF条件ではCF条件とほぼ同じタイミングで離地を行っていた。これは、経験者群がボール速度の速い条件にタイミングを合わせて動作を始動させているのに対し、未経験

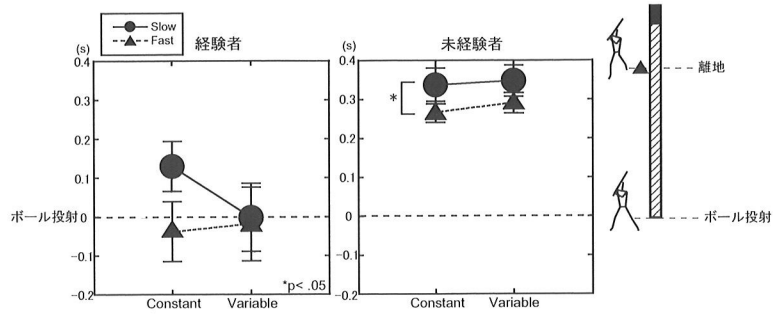


図 6：ボール投射を基準とした離地のタイミングの平均と標準偏差

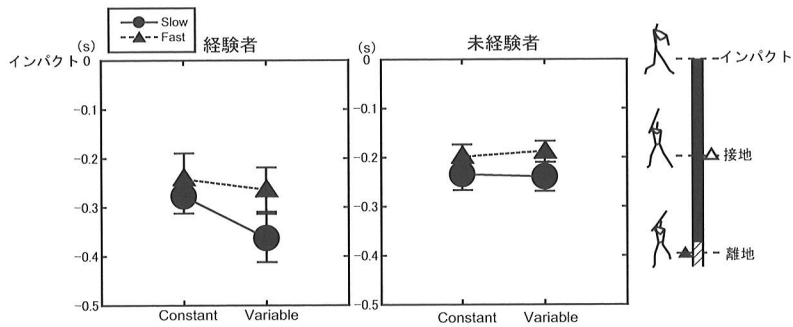


図 7：インパクトを基準とした接地のタイミングの平均と標準偏差

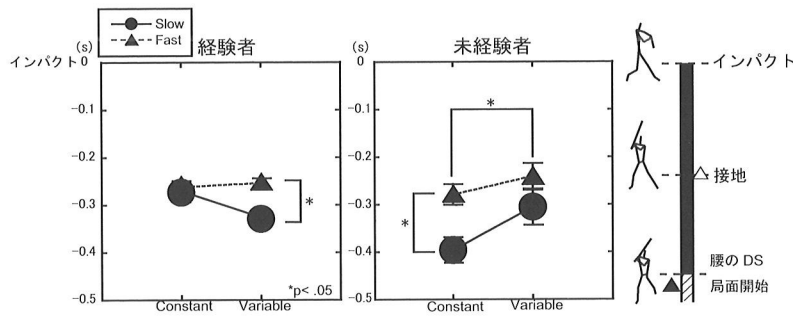


図 8：経験者、未経験者 1 人ずつの各条件 5 試技の腰の DS 開始のタイミング

者群では速度条件によって動作を始動していることを示唆している。

3.3 接地のタイミング

接地のタイミングは、前方への体重移動の開始を表す指標であり、図 7 に、経験者群、未経験者群の全試技の接地のタイミングの平均と標準偏差を示した。接地のタイミングでは、インパクトの時点を基準とし、経験者と未経験者ごとに速度条件 (2) × 試行間条件 (2) の繰り返しのある分散分析を行った。分散分析の結果、経験者、未経験者ともに、速度条件と試行間条件の主

効果は有意でなく、交互作用も有意でなかった。

未経験者群では、条件に関係なくほぼ同様のタイミングで接地することが示唆される。これは、上記の離地のタイミングの結果とも考え合わせると、条件に関係なく一定したタイミングで動作を始動 (離地) し、前方への体重移動を開始し、離地から接地までの安定した時間構造を保持していることを示している。

3.4 腰の DS 局面開始のタイミング

腰の DS 局面開始のタイミングは体幹の回旋動作の開始を表す指標で、図 8 に、経験者、未経験者 1 人ず

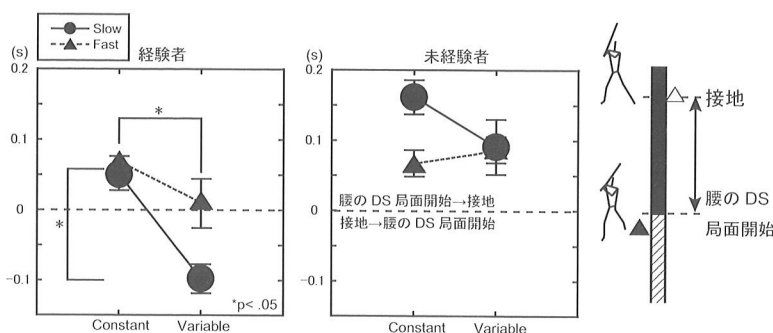


図9：経験者、未経験者1人ずつの各条件5試技の腰のDS局面開始時間から接地までの時間

つの各条件5試技の腰のDS開始のタイミングを示した。腰のDS局面開始のタイミングでは、インパクトの時点を基準とし、経験者と未経験者ごとに速度条件(2)×試行間条件(2)の繰り返しのある分散分析を行った。分散分析の結果、経験者において、速度条件の主効果($F(1, 4)=25.23, p<.01$)が有意であった。多重比較の結果、CS条件とVS条件、CF条件とVS条件、VS条件とVF条件のあいだに有意な差が認められた(CS条件： -0.27 ± 0.04 , CF条件： -0.26 ± 0.01 , VS条件： -0.32 ± 0.03 , VF条件： -0.25 ± 0.02)。未経験者において速度条件($F(1, 4)=8.68, p<.05$)と試行間条件($F(1, 4)=9.58, p<.05$)の主効果が有意であった。多重比較の結果、CS条件とCF条件、CS条件とVS条件、CS条件とVF条件、VS条件とVF条件のあいだに有意な差が認められた(CS条件： -0.40 ± 0.05 , CF条件： -0.28 ± 0.04 , VS条件： -0.31 ± 0.07 , VF条件： -0.24 ± 0.05)。

経験者では、VS条件のみ腰のDS局面開始のタイミング、すなわち体幹の回旋動作の開始が早くなった。一方で、未経験者では、速度条件により腰のDS局面開始のタイミングが異なった。

3.5 腰のDS局面開始時間から接地までの時間

腰のDS局面開始時間から接地までの時間は、体幹の回旋動作と前方への体重移動の時間差を表す指標で、図9に、経験者、未経験者1人ずつの各条件5試技の腰のDS局面開始時間から接地までの時間を示した。図中で、値が0以上である場合、腰のDS局面開始が接地に先立ち行われることを示し、0以下である場合は逆に接地後腰のDS局面が開始されていることを示している。経験者と未経験者ごとに速度条件(2)×試行間条件(2)の対応のある分散分析を行った。分散分析の結果、経験者において速度条件($F(1, 4)=18.91, p<.05$)と試行間条件($F(1, 4)=10.29, p<.05$)の主効果が有意であった。多重比較の結果、CS条件とVS条件、CF条件とVS条件、VS条件とVF条件のあいだに

有意な差が認められた(CS条件： 0.05 ± 0.05 , CF条件： 0.07 ± 0.01 , VS条件： -0.10 ± 0.04 , VF条件： 0.01 ± 0.07)。未経験者においていずれの主効果も有意でなく、交互作用のみが有意であった($F(1, 4)=22.12, p<.01$)。多重比較の結果、CS条件とCF条件のあいだに有意な差が認められた(CS条件： 0.16 ± 0.05 , CF条件： 0.07 ± 0.04 , VS条件： 0.10 ± 0.08 , VF条件： 0.11 ± 0.06)。

経験者では、Constant条件において腰のDS局面の開始が先行、すなわち体幹の回旋動作に続いて前方への体重移動が生じているが、VF条件での5試技中2試技と、VS条件での全試技は接地が先行、すなわち前方への体重移動に続いて体幹の回旋動作が生じていた。これは、Constant条件とVariable条件では、スイング動作が異なっていることを示唆している。一方で、未経験者では、全試技で腰のDS局面の開始が先行しており、条件に関わらず同様のスイング動作を行っていた。

3.6 協応構造

図10、11は、各条件における腰と肩の協応動作を検討するために、腰と肩それぞれのX-Y平面上の角度の5試技の標準偏差を、インパクトを基準に算出し、ボール投射からインパクトまで図示したものである。標準偏差が大きいことは、試行間で異なる調整が行われていることを示している。経験者では、VS条件とVF条件の標準偏差が腰ではインパクト前約100ms、肩では約60ms前に最大となり、打者は腰と肩それぞれにおいて類似した動作調整パターンを示した。CS条件でも同様のパターンであるが、腰では約70ms前、肩では約70ms前に最大となり、VS条件、VF条件と異なっていた。CF条件では、他の条件に比べ変動が小さく、他の3条件とは異なる動作調整パターンを示した。Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Franks, and Quinn (1979)は、大きな力量を発揮する際には、小さな力量発揮よりも力積の変動が大きくなり、動作時間が長い方が、短い場合よりも変動が大きくなるという力積変動モデル(impulse

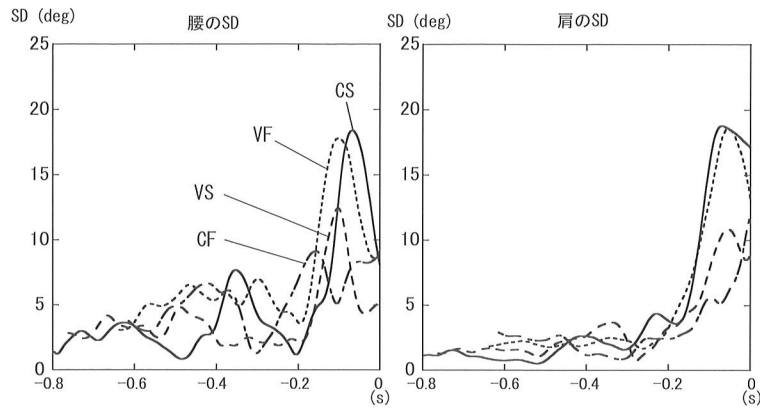


図10：経験者の腰と肩のSD

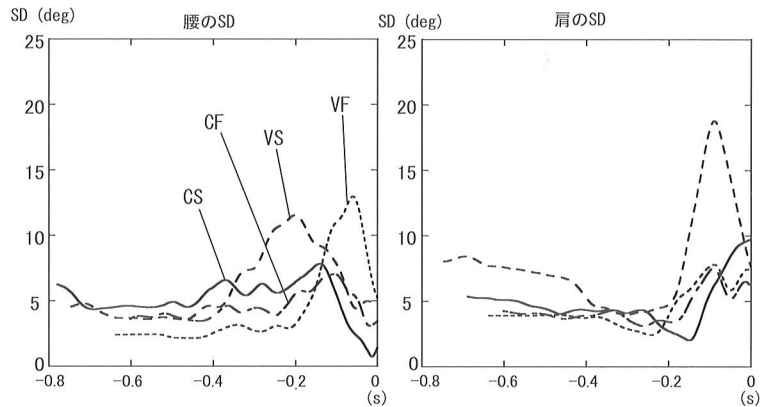


図11：未経験者の腰と肩のSD

variability model) を提唱している。CF 条件ではあらかじめボール速度が速いことがわかっているために、経験者はその速いボールを打ち返すために、4 条件の中では最も短い動作時間でダウンスイングを行っており、このことが、他の3条件と異なる動作調整パターンを示し、力積変動モデルと一致するように、動作調整が少なく、変動性が少なくなっているものと考えられる。しかしながら、試行間変動がある場合では、速度条件が速い方が動作調整は大きく、動作の変動性が大きいことは、力積変動モデルとは矛盾する結果となっている。これは、未経験者でも同様の傾向がみられた。

未経験者では、腰において、CS 条件と CF 条件でのばらつきが小さく、VS 条件と VF 条件でのばらつきが大きかった。また、肩の VS 条件において、顕著にばらつきが大きかった。

これは、試行間変動がある状況において、予測に反し遅いボールが投げられた場合、未経験者はボールをまっすぐすることができず、インパクト前に肩での調整にたよっていることを示していると考えられ、いわゆる手打ちに

なっている状態であると考えられる。

経験者と未経験者の調整が最大になる時点を比べると、経験者のほうがインパクトに近い時点で生じていた。これは、経験者がよりインパクトに近い時点まで、打動作の調整を行っているためと考えられる。

4 考察

本研究では、速度の異なる2台のバッティングマシンを用いて試行間条件がある状況とない状況を設定し、離地、接地、腰のダウンスイング局面開始のタイミングを比較することにより、各状況下での経験者、未経験者の打動作中の身体の調整と協応構造を検討した。

試行間に変動のある場合とない場合での経験者の特徴と未経験者の特徴をまとめて図示したものが図12である。経験者は、CS 条件以外では、離地のタイミングがほぼ同じである。

これは、あらかじめボールの速度がわかっていない場面では、スイングの遅延を防ぐために、速いボール

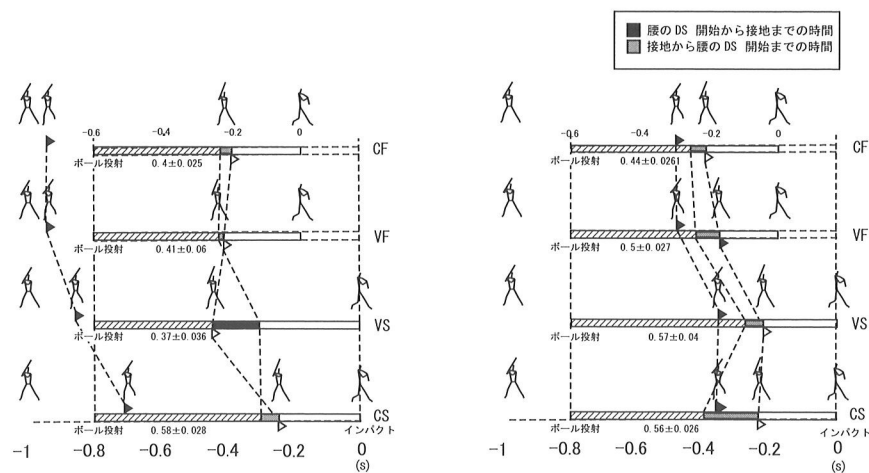


図12：経験者と未経験者の各条件における時間局面

の速度に合わせて動作を始動していたものと考えられる。実際の指導場面においても、速球にタイミングを合わせるという指導はよく行われ、経験者は試行間変動のある実打の場面においてはこうした速球にタイミングを合わせる方略をとっていることが示唆される。しかし、離地から接地までの時間がどの条件においてもほとんど変化しないことから、速いボールのタイミングで離地を行った場合、接地後にボールがホームベースに到達するまで打者は待たなければいけない。そこで経験者では、VS条件のように、接地後にボールが到達するまでに待つような動作が入り、腰のダウンスイング局面を開始する。これは、前方への体重移動から体幹の回旋動作開始までに時間があることを示し、いわゆる「タメる」ような動作であると思われる。つまり、経験者は時間的な遅延を防ぐためにボールの投射に合わせて動作を開始し、おおまかに姿勢を安定させた後でスイングを開始させていると思われる。

一方で、未経験者は、試行間条件にかかわらず投射される速度条件に合わせて動作を始動させていた。これは、投射されたボールの飛来初期の情報に基づいて、インパクトにタイミングを合わせることを狙い、動作を始動していることを示唆し、遂行する運動プログラムの時間的見積りへの不正確さから時間的な遅延が生じてしまい、結果的に振り遅れの増加につながるものと考えられた。

協応構造については、経験者と未経験者ともに、試行間変動がある場合において速度の速い方が調整の度合いが大きくなったことは、試行間変動の有無により打者の動作調整パターンが異なることを示唆している。

これは、一旦開始した動作をインパクト直前まで調整することが、試行間変動のある場合、すなわち実際場面では生じていることを示唆し、素振りなどのような試行間変動のない状況での練習の意味を再考させる結果であると思われる。今後は、その意味を再考するとともに、どのような練習が未経験者に有効であるかを考える必要がある。

文献

- Bernstein, N. A. (1996). *On dexterity and its development*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 1996. In M. L. Latash and M. T. Turvey (eds.) *Dexterity and its development* (工藤和俊訳佐々木正人監訳 (2003). 『デクステリティ巧みさとその発達』. 東京：金子書房.).
- Bootsma, R. J., Houbiers, M. H. J., Whiting, H. T. A., & van Wieringen, P. C.W. (1991). Acquiring an attacking forehand drive: the effects of static and dynamic environmental condition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **62** (3), 276–284.
- Peper, L., Bootsma, R. J., Mestre, D. R., & Bakker, F. C. (1994). Catching balls: how to get the hand to the right place at the right time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **20** (3), 591–612.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, **82** (4), 225–260.
- Schmidt, R. A. (1988). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human Kinetics, Champaign, IL, 2nd edition.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Franks, J. S., & Quinn, J. T. J. (1979). Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, **86** (5), 415–451.
- 池上康男・桜井伸二・矢部京之助 (1991). DLT法. *Japanese Journal of Sports Science*, **10** (3), 185–195.

(2008年1月4日受付)