

環境の多様性に対応する打動作の協応構造

Coordinative structures in striking action corresponding to environmental diversity

山本 裕二* 池上 康男* 桜井 伸二*

Yuji Yamamoto *, Yasuo Ikegami *, Shinji Sakurai *

Three baseball batters served as the subjects in an examination of the coordinative structures of movements of the bat and body in response to the different spatial locations of a pitched ball. The movements involved in hitting the ball were recorded by two cameras, and analyzed using 3-D kinematics. Although there was no difference in the downswing movement time for the two sides, the peak angular velocities of the bat for in-side hitting were significantly greater than for far-side hitting for all subjects. It suggests that the phase structures of the striking action had invariant characteristics. However, the downswing was not an invariant movement; instead, the swing was continuously adjusted until the moment of ball/bat contact. This was accomplished by changes in the position of the batter's entire body, from the lower to the upper extremities. This result suggests that temporal hierarchy of coordinative structures would control the striking action corresponding to the environmental diversity.

1 目 的

身体運動における打動作、特にスポーツ場面で見られる打動作は、力を発揮するための高速な動作を、時間的にも空間的にも正確に実現しなければならない課題である。さらにこの時間的・空間的正確性は、多くの場合外部からの入力に一致させる必要がある。

こうした課題は、従来は正確で固定的な動作の獲得と一致タイミング予測によって成しうると考えられてきた。Tyldesley and Whiting (1975) は、卓球選手のフォアハンドドライブという打球動作の分析を例にとり、動作の時間的・空間的安定によって、その動作の開始時間のみを操作すればタイミングは正確になるという操作的タイミング仮説 (operational timing hypothesis) を提唱している。そして Franks, Weicker, and Robertson (1985) はフィールドホッケーのショットを課題に、また Wollstein and Abernethy (1988) はスカッシュのフォアハンドストロークを課題にしてこの仮説を支持する結果を得ている。しかしながら実際のスポーツの場面では、入力が一定であることは少なく、非常に柔軟な動作で環境に適応しているように見受けられる。

こうした現象は Gibson (1966) の直接知覚に基づく生態学的アプローチによって、知覚と行為の同期現象として報告されている。Bootsma and van Wieringen (1990) は卓球選手のフォアハンドドライブの分析から、環境からの情報が運動の開始前だけでなく、ボールとの衝突まで運動と環境からの情報を同期していく現象を示した。しかしながら、2つの問題が残されている。一つは、ボールマシンから打ち出されたボールを打つことが課題となっていたため、環境からの情報は比較的一定していた点である。さらにラケットの動きだけを取り扱っているが、打具が重くなるに従い、身体各部位の変化や協応を観察する必要がある点が、問題点として残っている。

そこで本研究では、同じ準備姿勢から異なる入力、すなわち環境の多様性に対応している打球動作として野球のバッティングを取り上げる。テニスなどにおける離散打球動作では移動を伴うため、打球動作としては空間的な調整を行わないことが可能である。つまり、移動することによって、空間的な調整を行わず同じ打点で打球することが可能である。しかしながら、野球のバッティングでは移動はほとんどできないため、環境の多様性に対応するためには、運動の協応構造で空

* 名古屋大学総合保健体育科学センター

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

間的な調整をせざるを得ないものと思われる。これが野球のバッティング動作を用いる理由である。

平野 (1984) は、野球のバッティングに関して、打球コースによってインパクト直前のバットの打撃中心の速度が異なり、インサイドの方がアウトサイドのボールに対するよりも速度が速いことを指摘している。そしてこの速度の違いは腕の使い方の違いに起因するとしている。McIntyre and Pfautsch (1982) は、いわゆる引っ張るバッティング(右打者が左方向へ打つ)と流すバッティング(右打者が右方向へ打つ)について、頭上からの2次元撮影による動作分析の結果、インサイドとアウトサイドでは動作時間(スイング時間)やバット速度が異なるとし、それは左の肘関節と手関節のインパクト時の角度の違いによるとしている。つまり、これらの観察結果が明らかにするところは、インサイド打撃とアウトサイド打撃という環境からの多様性へ対応する打球動作では、実際には空間的なインパクト位置が異なることを示唆しており、時間的要素だけでなく、空間的要素の調整も可能である。ところが、実験室で打撃対象物が固定され、インパクトの空間的要素が制約されている場合には、時間的要素のみが変更可能な状況に被験者がおかれているという点で生態学的妥当性 (Davids, 1988) に欠けるとと思われる。

さらに、平野 (1984) や McIntyre and Pfautsch (1982) では上肢の動きが観察の中心となっていたが、Hay (1978) は野球のバッティングの動作分析から、優秀なバッターは腰、肩、腕、そして最後に手首を使ってバットを操作していることを指摘している。すなわち、実際の打球動作では、下肢をも含めた身体全体の系列的な動きの協応が不可欠である。こうした身体全体の協応に関して Bernstein (1996) は、巧みさ (dexterity) を、最も低次の緊張のレベル (level of tone) から、筋一骨格系の結合レベル (level of muscular-articular links)、空間のレベル (level of space)、そして最も高次の行為のレベル (level of action) の4つのレベルに分けて考察している。そして例えば空間のレベルはその下の筋一骨格系のレベルによって支えられているという階層構造によって制御されていると考えた。したがって、バッティング動作においても単に上肢によるバット操作だけを観察するのではなく、下肢を含めた全身の協応構造と局面構造を観察することによって環境の多様性に対する複雑な打球動作の運動制御が明らかになると考えられる。

そこで本研究では、環境の多様性を増すために毎回異なる入力、すなわち実際の投手の投球に対して、結果として合目的な正確な打球動作を生み出している運動の協応構造と局面構造を検討することを目的とし

た。そのために、ここでは野球のバッティング動作が速い動作であるため、ハイスピードカメラによる3次元動作分析方法 (池上・桜井・矢部、1991) を用いた。

2 方 法

2.1 被験者

大学野球部に所属する年齢は20歳から22歳までの3名の選手が被験者として実験に参加した。この3名はいずれもレギュラーとして試合に常時出場する選手で、熟練者であると判断されたものであった。3名の被験者はすべて右打ちの選手であった。

2.2 課題

投手は右投げで、インサイド (内角) とアウトサイド (外角) を狙ってランダムに投げてもらい、打者にはインサイドは左方向に、アウトサイドは右方向に打球コースに逆らわないバッティングを要求した。本実験では打者となる被験者が打球コースを予測しないことが重要な条件であったため、各打球コースは乱数表によって決定し、被験者には打球コースは知らせなかった。また右打者のインサイドは左方向へ、そしてアウトサイドは右方向へ打ち返すことが良いバッターの特徴であるとされていること (Alston & Weiskopf, 1972) から、被験者には、ボールの打球コースに合わせた打球方向を指示した。各打球コースに対して5試行ずつヒット性の当たりが出るまで実験を継続した。ここでのヒット性の当たりとは、指示された区域へ飛ぶ速いゴロ、ラインドライブ、しっかりと当たったフライであった。打球コースと打球の判定は、審判員の位置から他の野球部員2名が行い記録用紙に記録した。

2.3 手続き

被験者の関節中心にはデータ解析時に解剖学的位置が明確になるようにテープを巻いた。撮影は、2次元映像から3次元座標を再構成するDLT法 (Adbel-Aziz & Karara, 1971; 池上, 1983; Nigg & Cole, 1994) を用いて野球場で行った。このバッティング動作を2台のハイスピードカメラ (NAC HSV-400) を同期させて200Hzで撮影した。そしてバッティング動作が行われる空間を囲むように14点のコントロールポイントを置き撮影した。3次元座標への再構成による平均誤差は4.9mmであった。右手直交座標系を用いて、本塁の先端を原点とし、Z軸は鉛直方向に、X軸は本塁から投手板に向かう水平方向に、Y軸は他の2軸と直交するように1塁から3塁を結ぶ方向とした。また、ボールや打具の

速い動きを鮮明な画像にするために、1/1000sのシャッタースピードで撮影した。撮影状況は図1に示すとおりである。

それぞれのバッティング動作を撮影した2つの映像はVTR (Panasonic AG-7355) によって再生し、パーソナルコンピュータ (Sharp X-68000) でデジタイズを行った。バッティング動作については、ボールがリリースされたフレームから打者のバットがボールに当たった後10フレームまでをデジタイズした。各フレームでは、ボール、バットの打撃中心、頭頂、両手の中心、手関節、肘関節、肩関節、股関節、膝関節、足関節、爪先の19点をデジタイズした。デジタイズしたデータをワークステーション (SUN SS5) に転送し、2台のカメラのデータを同期させて3次元座標に再構成した。

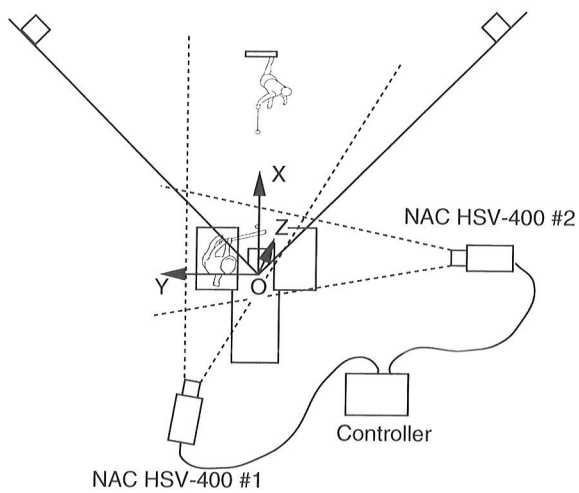


図1 撮影状況の模式図

計算に先立ち、デジタイズによる測定誤差を除去するため、遮断周波数20Hzの2次のButterworth型フィルタを用いて座標データを平滑化した。

2.4 データ分析

デジタイズした19点とセグメントおよび関節角度の定義は図2に示すとおりである。

膝関節角度は、股関節から膝関節へ向かうベクトルである大腿の長軸と膝関節から足関節へ向かうベクトルである下腿の長軸の成す角度とした。股関節角度も同様に、肩関節から股関節へ向かうベクトルと股関節から膝関節へ向かうベクトルの成す角度とした。

肩のセグメントの角度 (肩の向き) は、左肩から右肩へ向かうベクトルのX-Y平面へ投影されたベクトルとY軸の逆方向のベクトルの成す角度とした。腰の向きについても同様に定義した。バットの角度は、左手の中心からバットの打撃中心へ向かうベクトルのX-Y平面へ投影されたベクトルとY軸方向と逆向きのベクトルの成す角度とした。左大腿の向きは、左股関節から左膝関節へ向かうベクトルとY軸方向と逆方向のベクトルの成す角度とした。

水平面内でのバットの振り始めは、バットの角速度が負から正に変わった時点とした。そして動作時間 (movement time : MT) をこのバットの振り始めからボールと接触するまでの時間とした。ボールがリリースされてからバットが振り始められるまでの時間を動作開始時間 (initiation time : IT) とした。バットが振り始められるとそのグリップはボールの方向へ向かい、バットの角速度は一時減少し、ボールとの接触直前に急激に角速度が増加する。これがダウンスイング

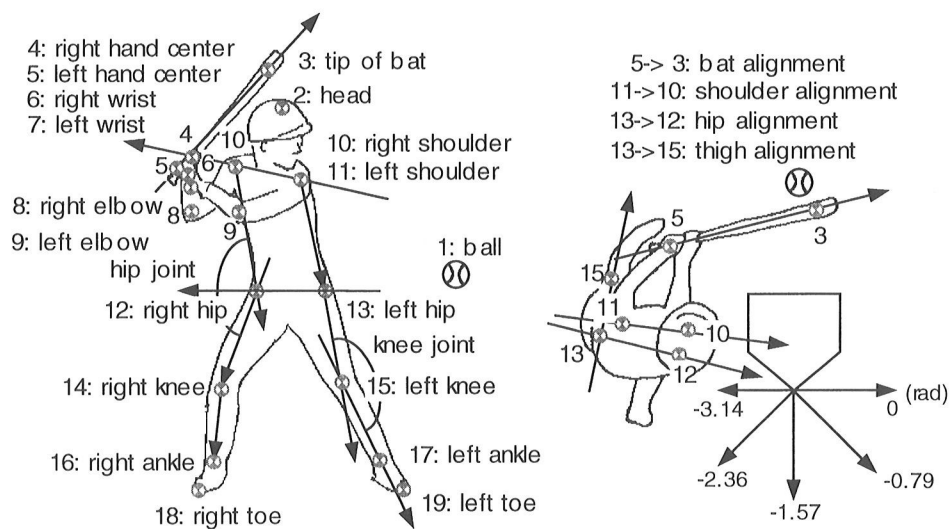


図2 デジタイズした点と角度の定義

と呼ばれる局面である (Hay, 1978; Messier & Owen, 1985)。そこで、このボールとの接触直前のダウンスイングの開始を、角加速度が最後に負から正に変わった時点とした。そしてこのダウンスイング開始からボールとの接触までの時間をダウンスイング動作時間 (downswing movement time : DMT) とした。本実験における動作時間 (MT) は従来スイング時間と呼ばれるものに相当するが (Breen, 1967; 平野・宮下, 1983; Race, 1961)、ここではダウンスイング動作時間と区別するため特に動作時間とした。

3 結果と考察

3.1 投球ボールの位置

図3は、ヒット性の当たりになったボールが投げられたコースを示している。

ヒット性の当たりが出た時に投げられたボールのY軸方向の平均位置は、インサイドの場合が 0.32 ± 0.10 mで、アウトサイドの場合が -0.10 ± 0.13 mであった。 t 検定の結果、両サイドのY軸方向の位置は有意に異なっていた ($t(28) = 9.87, p < .001$)。また、ボールがリリースされてから、ホームプレート¹の1 m手前までの平均速度はインサイドの場合が 30.7 ± 1.04 m/sで、アウトサイドの場合が 31.0 ± 0.78 m/sであった。 t 検定の結果、両サイドの速度には有意な違いは認められなかった ($t(28) = 1.06, n.s.$)。これらの結果から、投球されたボールの速度は両サイドとも変らなかったが、そのY軸方向の位置だけが異なっていたといえる。したがって、時間的要素は同じであるが空間的要素が異なる入力に対応したのが今回のバッティング動作であったといえる。

3.2 バットスイングの時間的特徴

表1は、各被験者の5試行ずつのバットスイングの時間的特徴について平均と標準偏差を示したものである。

まず、ボールリリースからバットスイング開始までの動作開始時間においては、インサイドに対応するときもアウトサイドに対応するときにも全ての被験者において有意な差は認められなかった。つまりバットの振りだし開始時点は、投球コースに依存せず、ボールリリースから同時期にバットスイングが開始されていると考えられる。

3人の内2人の被験者は、インサイドに対応したバッティング動作の平均MTが、アウトサイドに対応したバッティング動作の平均MTよりも長かった。また、DMTにおいては、両サイドによる違いは認められなかったが、全ての被験者においてバットの最大角速度はインサイド打撃の方がアウトサイド打撃よりも大きな値を示した。被験者1については、MTにおいて両サイドの違いは認められなかったが、最大角速度はインサイド打撃の方が有意に大きな値を示した。これは、インサイドに対応したバッティング動作の場合に、他の被験者と比較してボールと接触するまでのバットの軌跡が長いことによると考えられる (図4参照)。

これまでの研究 (Breen, 1967; 平野・宮下, 1983; Race, 1961)では本実験でのMTに相当するスイング時間は約200msとされており、本実験でもほぼ同じ値を示した。本実験ではインサイド打撃に相当する左方向へ打った場合の方がアウトサイド打撃に相当する右方向へ打った場合よりも動作時間が長く、バット先端の角速度も速いことを示した。左右方向へ打ち分ける時のバッティング動作を検討した McIntyre and Pfautsch

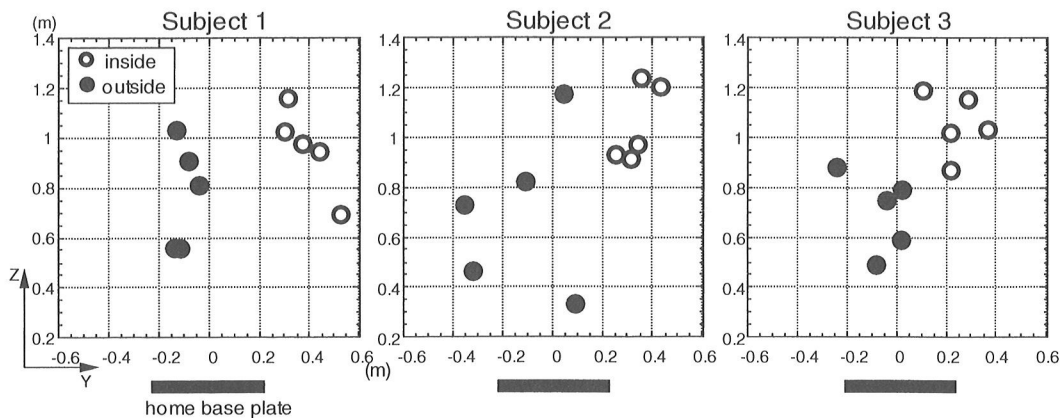


図3 投球ボールの位置

打動作の協応構造

表1 各被験者のコース別のバットスイングの時間的特徴

	Subject 1			
	Inside		Outside	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Initiation Time (ms)	304	11.9	302	23.3
Movement Time (ms)	218	9.3	215	15.2
Downswing Movement Time (ms)	47	5.1	45	7.1
Peak Angular Velocity (rad/s)	54.1	7.62	40.8	4.41*
	Subject 2			
	Inside		Outside	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Initiation Time (ms)	287	14.8	308	15.2
Movement Time (ms)	243	12.9	220	12.3 **
Downswing Movement Time (ms)	58	21.6	62	5.1
Peak Angular Velocity (rad/s)	56.0	3.41	47.9	7.18*
	Subject 3			
	Inside		Outside	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Initiation Time (ms)	259	16.4	279	14.8
Movement Time (ms)	250	11.0	227	6.8 *
Downswing Movement Time (ms)	39	10.7	43	9.3
Peak Angular Velocity (rad/s)	49.9	9.41	40.6	5.47*

* $p < .05$, ** $p < .01$

(1982) の報告は、絶対値は異なるものの、その特徴は類似している。彼らは2次元で分析しており、バットの振り始めの定義が明確でない。またバット先端の線速度を求めており、本実験で求めた角速度とは異なるため、実際の時間では異なる値が得られたものと思われる。しかしながらここで重要なことは、ダウンスイングの時間に関しては両サイドで違いが見られないのに対して、最大角速度はインサイドの場合がアウトサイドの場合よりも大きいことである。

各被験者のそれぞれのコースにおける動作時間のばらつき(標準偏差)は、他の研究(Bootsma & van Wieringen, 1990; Wollstein & Abernethy, 1988)と比べても小さい方である。したがって、この結果はインサイドあるいはアウトサイドのいずれかのコースに投げられたボールに対しては、コースごとには同じような力で動作を行っているが、コースが異なれば異なる力を発揮していることを示唆するものである。これは、コースに応じて異なる打球方向を指示した課題の制約条件

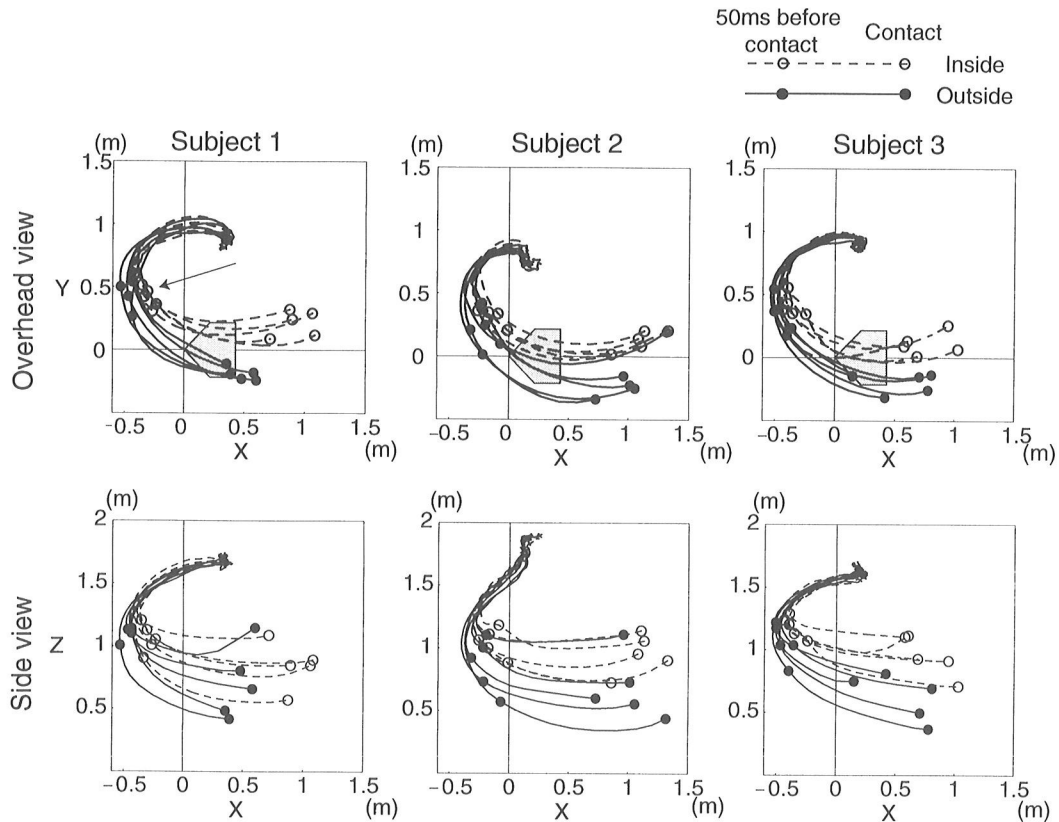


図4 バットヘッドの軌跡

によるものかもしれない。したがって、コースによって、あるいは打球方向の意図によって2種類の異なるバッティング動作を遂行していたと考えられる。

3.3 投球ボールに対するバット先端の調整

異なる位置に投げられたボールに対して、被験者がどのようにしてバットの先端を調整して打撃を行っていたのかを検討するために、上と横からバット先端の軌跡を描いたのが図4である。この図から明らかなように、バットの先端は水平方向にも垂直方向にも連続的にボールと接触するまで調整されている。

この結果は、バットスイングの時間的特徴の結果が示すように、それぞれのサイドへ投げ分けられたボールに対しては同じ時間的特徴でバッティング動作を行っていたにも拘わらず、バット先端の空間的な動きは同じサイドでも異なる軌跡を描くことを示している。そしてさらに興味深い点は、ボールが投げられてから少なくとも400ms程度、逆にいえばボールとの接触の100ms前まではほとんど同じ軌道を描いている点である。これはバットスイングの時間的特徴の結果と考え合わせると、ボールが投げられる前からインサイ

ドかアウトサイドかどちらかのバッティング動作を選択して始めていたのではない。少なくともボールが投げられた後に、バッティング動作の前半部分を開始しながら、ボールの軌跡に対応して異なるバッティング動作を行っていることになる。ダウンスイング動作に入るまでは、共通のスイング動作で、そのスイング動作中に投球ボールのコースを並列分散処理で判断して、異なるダウンスイング動作（インサイドとアウトサイド）を選択して実行していたものと考えられる。そしてさらに、各ボールコースに対応するように連続的にボールと接触するまで調整されていたのである。

3.4 運動の協応構造と姿勢制御

バットスイングの柔軟な調整を支えていると考えられる全身の協応動作について、左膝、左大腿、腰、肩、バットについて時系列的に検討した。図5はそれぞれの角度の各被験者のインサイドとアウトサイドの両サイドを合わせた10試行の標準偏差を時間軸に沿って描いたものである。ボールとバットの接触時を基準として加算し、標準偏差を求めた。標準偏差は一致タイミング誤差では変動誤差に相当するもので、標準偏差が

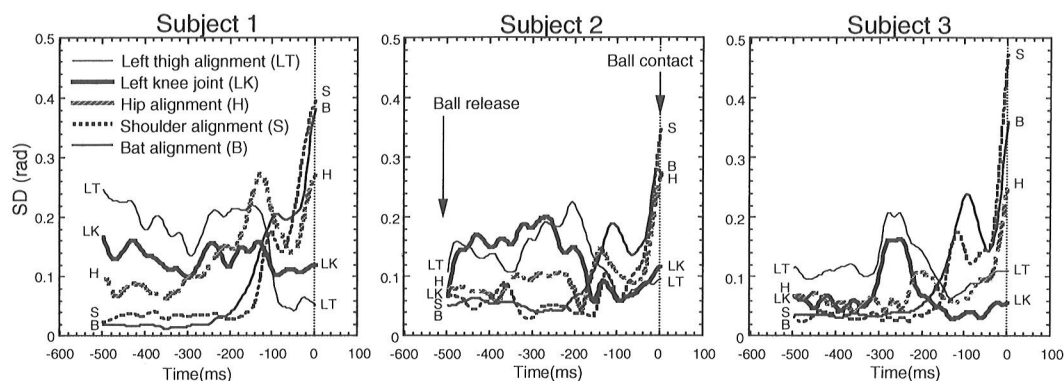


図5 身体各部位の10試行の標準偏差の時間的变化

大きいことは試行間の変動が大きいことを示し、逆に標準偏差が小さいことは試行間の変動が少ないことを示す。したがってこの標準偏差の変動は、試行間の調整の度合いを示すものと考えられる (Knudson, 1990; 大道, 1984; 大道・宮下, 1983)。

被験者3が最も顕著であり、ボールとの接触前に変動の大きな部分が2ヶ所見られる。まず始めは左大腿と左膝関節の変動の増加が見られる。次いで、腰の向きの変動が増加し、腰の変動が減少してからボールとの接触の約120ms前に肩とバットの向きの変動が増加し始め、この増加はボールとの接触約50msから急激になり接触まで続いている。他の被験者もほぼ同様な時間的变化を示している。これらの結果は Hay (1978) の主張を支持するものであり、下肢の調整から始まり、腰、肩、上肢、そしてバットの操作へと時間的な階層性を持って制御されている。つまり、下肢の安定が時間的に先立ち、その後その安定性に基づいて、上肢およびバットの調整がボールとの接触まで続けられるという、協応構造を示している。いいかえれば、おおまかな姿勢制御を行った後、上体の協応構造の調整が行われるということである。

4 ま と め

本研究では、実際の投手が投げ分けたコースに対するバッティング動作を、3次元動作分析によって運動の協応構造と局面構造を検討した。

その結果、バットの振り始めからボールとの接触までの動作時間に関しては、3名の被験者の内2名の被験者がボールのコースによって異なった。しかしながら、ダウンスイングの時間については全被験者で両サイドとも違いが認められなかった。Wollstein and Abernethy (1988) は、スカッシュの試合場面でいかな

るコースのボールに対しても不変なダウンスイングの時間構造を指摘しており、今回の野球のバッティング動作においても、異なる投球コースに対するバッティング動作間の変な時間構造は認められた。これは局面構造は環境の多様性によっても影響を受けないことを示唆するものである。

しかし最大角速度については、全ての被験者でインサイドのボールに対応する場合の方がアウトサイドのボールに対応するよりも大きな値を示した。このことは、時間構造は同じでも、ボールのコースによって2種類の異なるバッティング動作を行っていたと考えられる。また、バット先端の軌跡の分析によって、空間的に連続的なバット先端の調整が行われていることが明らかになった。そしてこのバット先端の調整が、下肢から始まり腰、肩、バットという運動の協応構造が時間的な階層性を持って制御されていた。

ここで重要なことは、環境の多様性と相互作用する打球動作においては、合目的的であるがゆえに多様な運動が観察されるということである。しかしながら、運動の局面構造は環境の多様性には影響を受けず、協応構造の時間的階層性が複雑に見える多様な運動を産出していたことである。ただし、これらの打球動作は動作の開始と終了が明確で1回だけ経過する完結した離散運動であり、準備姿勢がほぼ同じ状態であったことは図4から明らかである。同じ初期状態から運動を開始し、環境の多様性に協応構造の変化で対応したという結果である。したがってここでいう多様な運動とは、運動の協応構造あるいは打球動作遂行中の姿勢制御に関わることであって、打具先端 (バットヘッド) の軌跡が多様であることは自明である。逆に、ボールとの接触直前まで下肢の屈曲など姿勢制御に関する動きの多様性が観察されたことに意義がある。

すなわち、環境の多様性に対応し、合目的な運動

を行うためには、姿勢制御を含めた協応構造の変化によって対応していると考えられ、計算論的にいえば、入力の処理を行いながら出力している状態といえよう。

このことは環境の多様性には運動の先取りで対応し、かつ姿勢制御を含めた協応構造を変化させることによって合目的な運動を実現しているといえる。環境の変化を止まったままずっと待ち続けるのではなく、時間的に遅れないように、とりあえず動き出して、動きながら考えて環境に柔軟に対処するというのが、環境の多様性に対応する打球動作の特徴であると考えられる。

文 献

- Adbel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry*, 1-18. Falls Church, VA.
- Alston, W., & Weiskopf, D. (1972). *The complete baseball handbook: Strategies and techniques for winning*. Boston: Allyn and Bacon.
- Bernstein, N. A. (1996). On dexterity and its development. In M. L. Latash, & M. T. Turvey (Eds.), *Dexterity and its development*, 3-244. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bootsma, R. J., & van Wieringen, P. C. W. (1990). Timing an attacking forehand drive in table tennis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **16** (1), 21-29.
- Breen, J. L. (1967). What makes a good hitter? *Journal of Health, Physical Education and Recreation*, **38**, 36-39.
- Davids, K. (1988). Ecological validity in understanding sport performance: Some problems of definition. *Quest*, **40**, 126-136.
- Franks, I. M., Weicker, D., & Robertson, D. G. E. (1985). The kinematics, movement phasing and timing of a skilled action in response to varying conditions of uncertainty. *Human Movement Science*, **4** (1), 91-105.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Hay, J. G. (1978). *Baseball*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- 平野裕一・宮下充正 (1983). 野球の打撃の基本動作に関する研究. 日本バイオメカニクス学会編, 身体運動の科学 V, 260-267. 東京: 杏林書院.
- 平野裕一 (1984). バットによる打動作. *Japanese Journal of Sports Science*, **3** (3), 199-208.
- 池上康男 (1983). 写真撮影による運動の3次元解析法. *Japanese Journal of Sports Science*, **2** (3), 163-170.
- 池上康男・桜井伸二・矢部京之助 (1991). DLT法. *Japanese Journal of Sports Science*, **10**, 191-195.
- Knudson, D. V. (1990). Intrasubject variability of upper extremity angular kinematics in the tennis forehand drive. *International Journal of Sport Biomechanics*, **6**, 415-421.
- McIntyre, D. R., & Pfautsch, E. W. (1982). A kinematic analysis of the baseball batting swings involved in opposite-field and same-field hitting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **53** (3), 206-213.
- Messier, S. P., & Owen, M. (1985). The mechanics of batting: Analysis of ground reaction forces and selected lower extremity kinematics. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **56** (2), 138-143.
- Nigg, B. M., & Cole, G. K. (1994). Optical methods. In B. M. Nigg, & W. Herzog (Eds.), *Biomechanics of the musculo-skeletal system*, 254-286. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- 大道等・宮下充正 (1983). テニスストロークにおける四肢関節運動の再現性と技術水準. 日本バイオメカニクス学会編 (編), 身体運動の科学 V, 268-274. 東京: 杏林書院.
- 大道等 (1984). テニスラケットの機械的反応とストローク動作. *Japanese Journal of Sports Science*, **3** (3), 209-220.
- Race, D. E. (1961). A cinematographic and mechanical analysis of the external movements involved in hitting a baseball effectively. *Research Quarterly*, **32** (2), 394-404.
- Tyldesley, D. A., & Whiting, H. T. A. (1975). Operational timing. *Journal of Human Movement Studies*, **1**, 172-177.
- Wollstein, J. R., & Abernethy, B. (1988). Timing structure in squash strokes: Further evidence for the operational timing. *Journal of Human Movement Studies*, **15** (1), 61-79.

(2001年12月17日受付)