

## マウンドの違いによるピッチング動作の比較

大貫克英\*・上平雅史\*\*・斉藤慎太郎\*\*\*・石井喜八\*\*\*\*

(平成9年10月13日受付, 平成10年1月21日受理)

### Kinematic Comparison of Pitching Action on Some Kinds of Mound Height

Katsuhide ONUKI, Masashi UEHIRA, Shintaro SAITO and Kihachi ISHII

At present time in Japan, there have been participated over 4,000 base-ball teams in the inter-highschool championships, but more of their team have not a training ground with regular pitching mound and their pitchers used to do pitching-practice on level ground. The authors would try to determine the difference of pitching action on level ground and regular pitching mound, adding on a simple wood-made mound with same height to regular pitching mound, which is portable. Six pitchers served as subject, who throw with overhand pitching technique in right hand from different level of the pitching mound. Fast pitches of three trials were recorded with two-video cameras using the direct linear transformation (DLT) method of three dimensional cinematography, coordinate data were obtained and determined on step-length, adding on translate length from at end time of cock position to at instant time of ball-release with points on the body at symphysis oss. pubis and ext. acromions, to ball releasing speed. The obtained results showed a range of 38.5 m/sec to 33.3 m/sec of ball speed at release time, of 0.95~1.10 as rate of step length to body height during pitch from regular mound and gradually increased to upper selected points. Furthermore, those distances gradually decreased in order to pitching actions from on regular mound, portable wooden mound and ground level, however no difference statistically showed pitching release speed among the difference mound. It is concluded that a portable wooden mound is more useful for pitching practice than does from on ground level.

**Key words:** Mound, Pitching action, DLT method

キーワード: マウンド, ピッチング動作, DLT法

#### はじめに

ベースボール競技のプレーは断続的に進められている。そのプレーの主なるものは投げとバッティングであり、その継ぎのプレーが走動作といえよう。投げの動作は throwing と pitching に分けることができる。Pitching のプレーは投手により打者に対して投げられる動作であり、攻防の第一段階のプレーとして重要視されている。これまで、pitching 運動の運動学的または運動力学的研究は2つの側面から行われてきた。その1つは打者に打たせないための curveball と fastball の研究である<sup>3-5,9,12)</sup> ボールはなぜ曲線軌道を描くかという空気力学的関心からの研究と、身体の投球動作ではルールで定

められた大きさと重さのボールが release 時にどれだけのスピードが発現するかという関心からの研究であった。空気力学分析において直線方向の推進力とカーブを生み出す側方からの力の比率である横力係数に興味を持たれたからである。そこにはボールが空気中に飛翔するボールの事象に視点が向けられていた<sup>4,6,7)</sup>。もう1つの研究の側面は身体運動にむけられている。指先から飛び出していくボール速度は身体各部位の効率的な機能発揮によって行われる。そこに pitching 動作は投手と打者による攻防という二律背反の視点である。Pitching 動作という全身運動の効果が打者の打撃能力をしのぐ身体運動の技術を探るといふ視点といってもよい。これまで

\* 女子短期大学 運動方法(野球・ソフト)研究室, \*\* 運動方法(野球・ソフト)研究室, \*\*\* 運動方法(ハンドボール)研究室, \*\*\*\* 身体動作学研究室

研究では肩関節と肘関節の機能発揮とそれらの連続的発現のタイミングおよび効果性が分析されてきた<sup>4,6,10,11,19~22</sup>。

最近ではこれら最大機能発現に伴う限界域が探索されている。すなわち、各関節の運動範囲、上腕や前腕を伸展、屈曲と同時に随伴する捻転運動、それとそれらの角速度、角加速度が推定され、一方、身体運動器の物性との対比が行われている。そこにはスポーツ傷害の視点がある。ともあれ、これまで分析され報告された pitching 動作のすべては優秀選手たちであった。優秀選手は一朝一夕にして現れたのではない。いかなるスポーツ種目でも一般的には少なくとも 10 年の歳月を要するといわれる。我が国における野球選手の育成は高等学校野球界に依存しているといえる。ちなみに 1997 年全国高等学校野球選手権大会の参加校は 4,093 校であった。

我々はこのような野球選手育成の状態を踏まえて、ゲーム展開の要の役割を演ずる投手養成の場面に焦点を当てた。投手の投球はほとんどが pitching 動作である。それが公式試合ともなれば、ルールで定められた pitching mound の上から投げられている。したがって練習の時にも正規の野球場で pitching 練習をすることが望まれる。しかし、多くの高等学校で正規の野球場を持つチームは恵まれているといえる。ましては複数の公式試合を乗り越えるためには複数の投手を要している。したがって、正規の野球場には複数の投手が同時に練習できる pitching 練習場を併設していると思われる。

しかしながら、多くの高等学校の野球チームは校庭が多種目のスポーツ・運動種目によって利用したいという理由で pitching mound は除外されがちである。我々は投手養成という立場から、pitching mound の条件がその動作に及ぼす影響を調べることにした。この条件の中には、仮設木製の mound が含まれている。この mound は比較的軽量であるため移動が容易であり、しかも平地にしっかりと固定できるという特徴を持つ。

我々の視点である投手養成についての問題は経験側として野球界では当然である。しかしながら、分析研究の過程を経た報告は皆無である。これが本研究の目的である。

## 方 法

### (1) Pitching 動作

投手が打者に向かって投球することを pitch と定義されている。本研究で用いた pitching 動作は wind-up による速球を投げさせた。規則に従って投手板と本塁ベース間の距離は 18.44 m とした。使用球は公認球であり、

その重量は 142~145 g の範囲にあった。本塁ベース側には正常の姿勢に構えた捕手を置いた。

### (2) Mound の条件

本研究で最も重要な実験条件である mound は次の 3 種類とした。

- i. 競技場レベルから 25.4 cm の高さに投手板が設置されたルールに基づいた mound。
- ii. 競技場レベル (水平面); したがって正確には mound といえないだろう。
- iii. 木製の mound: 投手板を設置する高さが水平面から 18cm の高さにあり、投手板を設置する面は水平に保たれている。その広さは前後 70 cm, 左右 120 cm であった。前後 70 cm とした理由は正規の mound 上を投手板を含めた前方の水平面距離が 30.48 cm となるためである。また、この木製 mound の高さ 18 cm とした理由は正規の土盛りした mound が掘り起こされ、実際は投手板より 4~6 cm の深さの穴に体重支持足を置いているからである。木製 mound の後方は傾斜がつけられていない。その位置より競技場平面 169 cm まであり前傾がつけられているがルールどおりではない。その意味は踏み出し足が地面に着地するという条件を統一しなかったからである。なお、木製 mound の側面は垂直になっていて傾斜はついていない。

### (3) 被検者

大学 1 部リーグ所属野球部員の中からすべて右上手投げを得意とする 6 名を被検者候補とした。これら候補者のすべては実験計画が立案された段階で、この実験の目的および実験中に行われる運動動作は極めて日常の練習中に行われる動作が期待されていること、さらに記録方法は非侵襲的に行われることを説明し、個々人から実験に参加することの同意を得た。

彼らの身体的特徴を平均値および/標準偏差の範囲を示すと、身長では  $182.4 \pm 0.6$  cm, 体重が  $73.5 \pm 5.8$  kg, 野球歴が  $9.8 \pm 1.8$  年, 投手の経歴は  $6.5 \pm 1.8$  年であった。

これらの被検者は直球の速度が 135 km/h の上下をもって 2 群に分けた。この球速はスピードガンの測定結果によった。なおこれらのビデオ分析から求められた球速 (リリース時) も記載し、値を表 1 にまとめた。

### (4) 実験手順

#### i. 動作計測のための準備

各被検者は競泳用パンツおよびキャップを着けさせた。計測用マーカーのずれを小さくするためである。身体皮膚の上に 20 箇所のマーカーとして白色粘着テープを貼付した。その箇所は左右の手の中指指節関節、左右

表1 マウンド条件によるボールスピードの比較

		正規のマウンド		レベルグラウンド		木製マウンド	
		スピードガン	リリース時	スピードガン	リリース時	スピードガン	リリース時
高速群	M. S.	38.5	38.2	37.5	37.1	37.1	37.7
	T. M.	37.5	35.8	35.5	36.7	36.7	35.9
	D. Y.	37.2	38.4	36.1	38.5	38.5	38.8
		37.7	37.5	36.4	37.4	37.4	37.5
低速群	D. T.	35.5	35.2	34.7	35.3	35.3	35.3
	S. D.	33.3	32.6	32.2	33.5	33.5	35.3
	F. M.	35.5	35.3	35.0	35.4	35.4	34.9
	M	34.8	34.4	34.0	34.7	34.7	35.2

単位; m/s

の手頸部の尺骨茎状突起点, 左右の肘関節軸判定のための上腕骨肘頭, 左右の肩峰点, 左右の耳珠点およびキャップ上に頭頂相当の点, 体幹部には胸骨上縁中点と恥骨結合点, 下肢区分には左右の大転子点, 膝関節軸判定のため脛骨点を左右脚に, 足関節のマーカーとして外果点を左右の部位に, そして練習時に使用しているスパイクを装着させ, その上から第5中足骨骨頭相当位置にマーカーを置いた。四肢の各関節部位のマーカーは動作中記録されたフィルム上画面から消えないように各体分節の長軸に対して直角に周径位を示すように帯状のマーカーを貼付した。

#### ii. 実験前の条件

実験場は野球場外野ネットの外側に各 mound をセットした。各被検者は使い慣れたグローブをつけさせ全力投球が行える感じをつかむまでウォーミングアップをしてもらった。この時投げたボールの質の判定はすべてスピードだけであることを十分に理解させた。使用球は1人1球ごとに変えることも告げておいた。

#### iii. 撮影・記録の手順

3次元の動作分析を行うために2台の高速度VTRカメラ(NAC社製HSV-500)を用いた。1台のカメラは投球方向に対して3塁ベース方向とし, もう1台は3塁と本塁のほぼ中間点の角度に設置した。各カメラは被検者から20m離れ, ズームレンズによって画像の大きさを選定した。このときモニター画像が使われている。レンズ高は競技場水平面から各120cmの高さに三脚台をもって固定した。撮影速度は250fpsに設定した。両カメラのシャッター開閉は1台のシャッターによって同期させた。各被検者は1人ずつ実験場に呼び出され, 正

規の mound はすべての被検者にとって最初の試行が与えられ, 他の2条件の mound 高の投球に対しては無作為による順とした。各 mound による投球は3回ずつの試行が記録された。したがって, 各被検者は9球の試行が撮影され, 記録されたことになる。各試行ごとに検者は励ましの声をかけた。さらに捕手のすぐ後方にスピードガン(トーコー社製)を設置し各投球ごとの球速を参考のため測定した。

#### iv. 空間座標の較正

同期記録した各画像を合成して立体空間座標を各動作を表示する算出式を用いた。その方程式の組立をDirect Linear Transformation (DLT)法という。この方程式による換算値がどれだけ真の値を示すか確かめるために較正手続きを行った。確かめる空間座標の範囲はpitching動作の開始時点から終了時点までの空間をあらかじめ決定した。すなわち mound 上の投手板を原点とし, 鉛直方向をZ軸, 本塁ベース方向をY軸, そしてこれら2つの軸に互いに直交する方向をX軸とした。これは国際バイオメカニクス学会の表現に合わせたことになる。

規準尺はZ軸方向2mまでの高さを示している。この規準尺を原点から1m間隔をもってY軸上を5点移動した。すなわち4m離れたことになる。また, この記録された画像の深さの計測値を確かめるために原点から始まるY軸に沿って各1mごとの深さに規準尺を設置し, 記録撮影した。したがって高さ2m投球方向4m, 深さ3mの既値座標による計算座標が比較された。

2台のカメラに撮影されたそれぞれの2次元の画像から各測定点を入力し, それらをコンピュータプログラムに組み込まれた3次元変換ソフトを介して3次元座標

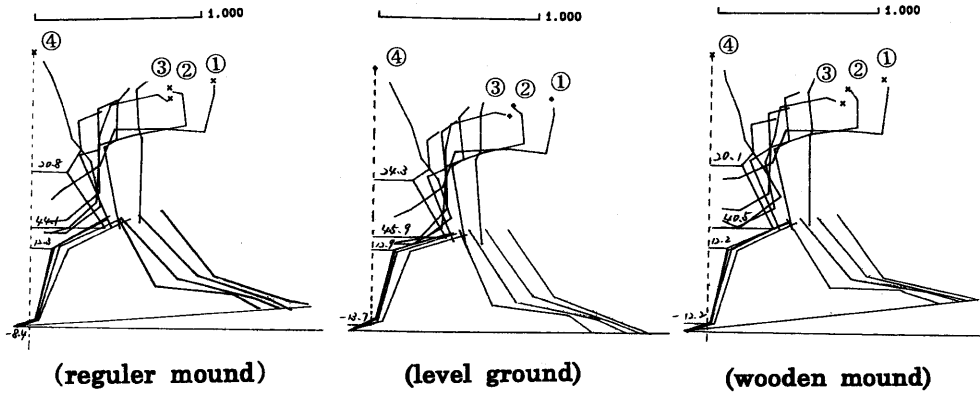


図1 Sa選手の pitching 側面図

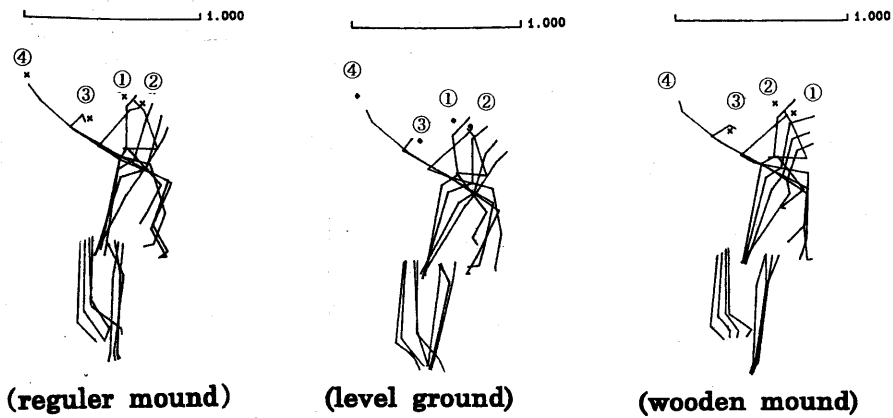


図2 Sa選手の pitching 正面図

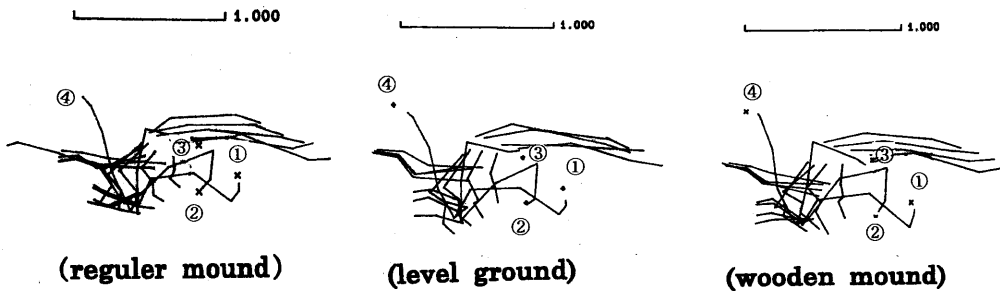


図3 Sa選手の pitching 上面図

値を得た。これらのデータ処理は3次元VTR解析システム(NAC社製, MOVIAS-for-Windows)およびXYコーディネーター(NAC-ST-446-J)によった。

(5) 分析対象の動作

それぞれの mound からの投球が3試行ずつ行われた中でスピードガンの測定値にしたがって最も速い動作記録を分析対象の動作とした。

結 果

(1) 素データとしての線画

Pitching 動作の3次元分析の素データとして側面図, 正面図, 上面図上に線画によって描記した。あらゆる物体は立体空間を占めているが, これを2次元の平面上に描記した図が解剖学的モデルといわれるものである。さらにこれを各体分節の長軸を直線であらわし, 関節によ

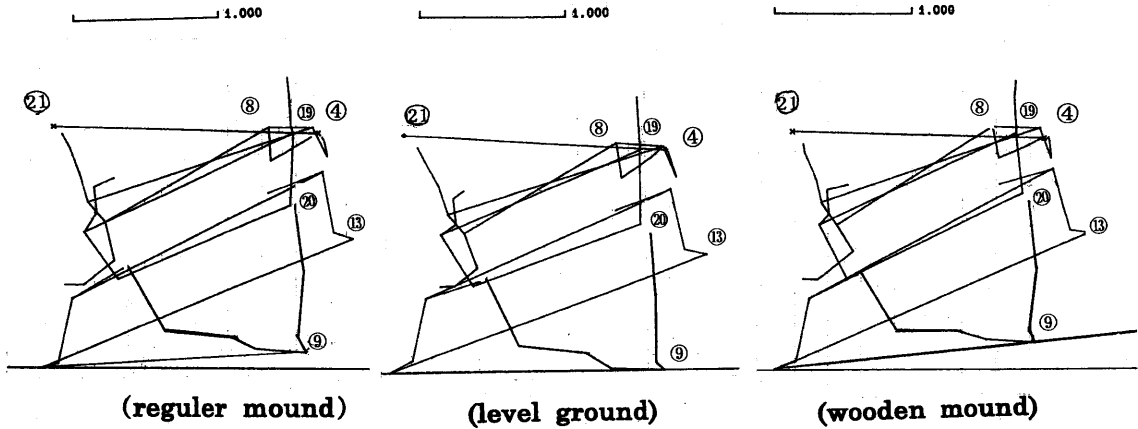


図4 Pitching 動作の範囲と移動角; Sa 選手の場合

表2 ステップ幅とその身長に対する長さの比較

		身長	正規のマウンド		レベルグラウンド		木製マウンド	
			ステップ幅	幅/身長	ステップ幅	幅/身長	ステップ幅	幅/身長
高速群	M. S.	190.1	181.4	0.95	188.3	0.99	191.1	1.01
	T. M.	183.7	185.6	1.01	189.5	1.03	189.3	1.03
	D. Y.	176.4	194.8	1.10	179.0	1.01	185.3	1.05
		183.4	187.3	1.02	185.6	1.01	188.6	1.03
低速群	D. T.	184.3	201.9	1.10	199.7	1.08	196.1	1.06
	S. D.	187.5	189.4	1.01	189.3	1.01	190.6	1.02
	F. M.	172.6	174.5	1.01	174.4	1.01	173.7	1.01
	M	181.5	188.6	1.04	185.6	1.03	186.8	1.03

単位; 身長とステップ幅は cm

る体分節の連結状態を表現した。線画で描記した運動図形はリンクセグメント (Link-segment) モデルといわれる。

ここでは Sa 選手が 3 条件の mound からの Pitching 動作を側面図 (図 1), 正面図 (図 2), 上面図 (図 3) を 1 例として示す。

(2) ボールスピード

方法で述べたように被検者を 2 群に分け実験条件である mound ごとにスピードガンによるボールスピードと映像解析から求めたリリース時のボールスピードの個人値を表 1 にまとめた。また、各群の平均値も記してある。ボールスピードの群間の差は正規の mound のときリリーススピードでは 3.1 m/s, スピードガンでは 2.9 m/s の差が現れた (以下スピードガンによる数値は ( ) 内に記す)。競技場の平面では 2.7 m/s (2.4 m/s),

木製 mound では 2.3 m/s (3.3 m/s) の差がみられる。

Mound の条件による差を平均値でみると、リリース値では 2 群ともほとんど差がみられないといえよう。スピードガン値では若干数値の上での差が大きく現れている。

(3) ステップ幅とその身長比

投手板の前端から踏み出し足の拇指球までの距離をステップ幅とした。身長の高い選手はステップ幅が大きくなる傾向にあるので身長に対するステップ幅の比率を算出して表に加えた。その比率は 0.95~1.10 の範囲にあり、この差は群内にも現れている。平均値でみると正規 mound において、1.02 と 1.04 とスピードボールを投げた群が比率が小さい。競技場の平面になると比率がやや増した被検者が 2 名、少なくなったものが 2 名で残りの 2 名は変わっていない。木製 mound となるとやや増し

表3 Pitching 開始時からリリース時までの移動距離

		正規マウンド						
		右足先⑨	左足先⑬	恥骨結合部⑳	胸骨上縁⑱	左肩峰点⑧	右肩峰点④	ボール 21
高速群	M. S.	35.8	214.2	119.2	144.7	113.8	156.0	194.5
	T. M.	45.7	200.7	120.2	146.2	114.4	167.9	198.8
	D. Y.	41.6	205.0	123.0	144.6	109.5	157.7	195.0
低速群	D. T.	47.8	206.8	135.9	159.5	132.4	174.2	205.3
	S. D.	47.3	186.6	131.5	157.9	121.3	167.6	202.5
	F. M.	38.1	183.5	117.6	133.5	105.4	152.4	160.9
	M	42.7	199.5	124.6	147.7	116.1	162.6	192.8
		レベルマウンド						
		右足先⑨	左足先⑬	恥骨結合部⑳	胸骨上縁⑱	左肩峰点⑧	右肩峰点④	ボール 21
高速群	M. S.	39.3	223.3	116.9	139.2	107.0	151.6	194.2
	T. M.	49.6	195.4	118.3	143.8	107.7	164.7	197.6
	D. Y.	33.5	189.4	115.6	138.5	105.8	155.2	187.0
低速群	D. T.	52.8	199.7	132.6	153.9	124.3	168.6	198.7
	S. D.	41.9	185.1	122.8	144.1	115.6	158.4	204.6
	F. M.	35.0	184.7	116.4	135.4	102.4	152.5	171.2
	M	42.0	196.3	120.4	142.5	110.5	158.5	192.2
		木製マウンド						
		右足先⑨	左足先⑬	恥骨結合部⑳	胸骨上縁⑱	左肩峰点⑧	右肩峰点④	ボール 21
高速群	M. S.	36.2	227.6	127.2	142.8	95.4	159.9	195.1
	T. M.	43.8	200.2	122.3	155.7	116.9	171.2	214.3
	D. Y.	31.3	187.9	116.8	144.1	114.0	155.4	189.0
低速群	D. T.	54.2	198.1	128.3	155.0	125.8	169.5	199.2
	S. D.	43.6	189.1	124.6	149.8	116.9	163.6	193.6
	F. M.	35.2	176.9	116.3	132.0	103.7	152.6	173.1
	M	40.7	196.6	122.6	146.6	112.1	162.0	194.1

単位; cm

たものが2名, 減少したものが1名いた。

#### (4) 動作の範囲と移動角度

Pitching 動作の開始時点からボールリリース時までの身体各部位の移動範囲およびその角度をみた。図4はSa選手について移動開始時とリリース時の線画像を重ね、各部位を直線で結んでみたものを示した。

そこで各 mound 条件に従って各部位の直線移動距離を計測して表にまとめてみた(表3)。右足がピボット足

であり左足が踏出し足である。体幹部は腰部代表点の恥骨結合点, 体幹上部を胸骨上縁点で代表させた。また肩部の捻りをみるために左・右の肩峰点の移動距離をみた。さらに投げの中心的存在であるボールが手で導かれる距離をみた。

そこで最も大きい距離を示した部位が踏出し足であり, ステップ幅より大きい値を示す。胸骨上縁の部位が左肩峰点よりも大きく移動している。そして, 利腕を振

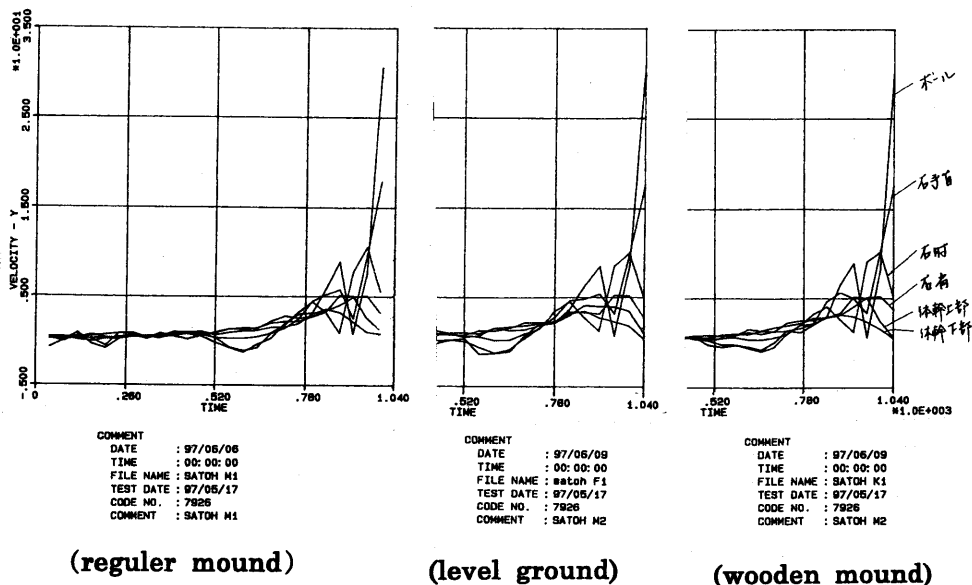


図5 速度加重曲線の比較 (高速群選手の1例)

る右肩峰点が大きい距離になり、ボールはさらに長い距離にわたって導かれている。言い換えれば身体の部位で地上にある足幅とボールの移動距離が近似し、それに加えて身体の主要な関節部位は地上から上にいくに従って長い距離を移動させていることに気づく。

投球ボールの速度で区分した2群のそれぞれの値をみると、すべての項目で遅いスピードで投げる群が各項目の平均値より大きい値を示している。実験企画で条件づけられた mound による違いから平均値を比較してみると、正規の mound、木製 mound 次いで競技場の地面という順に移動距離が小さく現れた。

#### (5) 身体部位の速度加重

図5には高速度群の被検者の1例を示した。各 mound からの pitching 時の各身体部位の速度加重の時間経過を示してある。横軸の時間目盛りの1.040とは1.040秒の意味である。各 mound からの pitching 時の速度曲線はほとんど変わらないので割愛した。縦軸の速度目盛りの3.500は35.0 m/sの意味である。動作開始時は-1.500と+1.500の間に曲線があることは静止の零から始まったことを意味する。

時間軸の.500までの曲線で若干の振れを起こす部位は右肘、右手首そしてボールの部位である。50を過ぎる頃から平行するように右上がりの曲線を示す3部位は体幹下部と上部および右肩であり、下方にずれ出す2本曲線の部位はボールと手首である。それらの中間にあってゆるやかに上昇を示す部位は右肘である。

これらの加速よりやや遅れて、すなわち横軸目盛りの.780を過ぎるあたりから全体の曲線の下側でゆるやかな丘状を示す曲線がみられる。これは体幹下部(腰部)の前方へのゆるやかな加速と減速を示す曲線である。この上昇期に合わせて順に上側へとび出していく3本の曲線がある。右肘、手首、ボールの順に速度が上乘せするように重なり上がる。これは右肘、右手首、ボールの順になるが、腰部の速度曲線がゆるやかな下降を始めると全体の曲線の上側にまた下側へ鋭角に突出する曲線が現れる。上側がボールの曲線、下側は肘の部位である。

横軸目盛りの.780と1.040の中央部あたりで全体の下側に位置する腰の曲線にやや遅れて速度上昇をゆるやかに示す体幹上部曲線がある。これが最高値に対すると手首とボールの速度は急激に低下し、これに代わって急上昇する部位が肘の曲線である。肘の部位は2段階の曲線を示し、1段階の急激の上昇が終わると手首とボールが急加速をしてリリース点に至るという傾向を示している。

これまでの記述は高速群と低速群の選手のすべてにみられることである。

#### 論 議

筆者たちは発育発達の途上にある青少年を対象に選手の養成過程に目を向けている。高度な競技力を身につけるには、それなりの競技力が発揮できる練習環境が必要だと思われる。現代のスポーツ普及と発展の現状から1

チーム1野球場を持つことは難しい。

我が国における多くの高等学校チームでは多目的グラウンドで多くの多種のクラブ活動と重なり合って練習している。投手の練習は平坦な一般の競技場で行われることも少なくない。そこで簡易な移動式 mound を作製してみた。本実験の狙いは正規の mound で公式試合が行われることのできるだけ類似した練習環境を整えたかったことにある。したがって、正規の mound と簡易 mound および、平坦な競技場での pitching 動作を運動学的に分析し比較することを目的とした。

Pitching 動作の解析は3次元分析によることとした。そのためには2台のVTRカメラで異なった方向から2次元映像をとらえ、それらをDLT法によって処理し、側面、正面、上面からの画像解析を試みた。

### (1) 画像記録について

3次元VTR解析システムを用いたが、まず解像力と鮮鋭度から投球速度分析に必要なコマ送り速度(fps)の選択であった。これまでの報告によると水球やアメリカンフットボール競技におけるペナルティスローやクォーターバスの速度は(15~21)m/sはんにあるため100fpsが適切であるとされた<sup>8)</sup>。しかし、野球のpitchingボールのスピードは35~40m/sにもなるので200fpsが適当だとされてきた<sup>9)</sup>。我々の記録では250fpsを選択した。

そこで、2m(高)×4m(幅)×1m(奥行)の既知の立体空間を選択しDLT法で算出される映像内空間の誤差を確かめた。その結果、最大4%の誤差が現れた。この誤差はこれまでの確認報告にみられる誤差の約2倍に相当する。VTR画像の誤差は画像表示の走査線の数および太さが解像力と鮮鋭力に関係してくる。これは機器内の誤差である。一方、画面上の測定点は視覚により位置の決定が行われる一方、座標点として数量化するときに手指の運動感覚に依存する。いわゆる、eye-hand coordination(眼・手調節能)という身体操作上の誤差が介入する。これに加えて慣れ・不慣れの高次中枢系の誤差も関与するのであろう。ともあれ、この確かめられた4%の誤差に基づいて論議を進めることになる。

### (2) Moundの条件の影響

被検者を2群に分けるにあたり135km/hをもって区分した。この速さを秒速になおすと37.5m/sとなる。この速さは正規moundからの速球をスピードガンで測定したものである。表1のその項をみる限り、この条件はクリアーしている。しかし、映像解析によるリリース時の速さはスピードガンによる速さよりも低値を示した1名がいる。

Moundの条件で比較すると1名の被検者は明らかに平坦の地面の時の速さが低く、次いで木製mound、正規のmoundの順に大きくなった。しかし、低速群の中の1名は正規、平坦そして木製の各mound順に高値を示す。先に確かめた誤差を考慮すれば、これらの個人値の差も疑わしくなる。したがって、平均値で比較してみる限り、moundの条件による差は球速に現れていない。実験中一球ごとに励ましの声をかけたことも無視できないかもしれない。

ステップ幅を身長比でみるとmoundの条件の差は平均値で現れなかった。結果の項で述べたように個人値ではチラバリがあらわれたが一定の傾向はみられていない。Elliott<sup>4)</sup>らはこの比率を82%といいSchltzerやAtwater<sup>1)</sup>は約86%だったという。日本人は歩幅を大きくとりすぎるのであろうか。

Pitching動作はstance・wind-up・pivotの準備動作を行う。このとき跳びだし脚を大きく持ち上げて腰に近づけ姿勢を固定(cocking)する。これから打者の方向に向かって持ちあげた脚を踏み出し、ボールをリリースする。この時期がボールにスピードを加える加速(acceleration)期が主動作で、これにfollow throughが続く。

我々はpitching動作の主動作である加速期の身体各部位の移動範囲をみた(表3)。最も大きい距離を示した部位は踏だし足であり、それはステップ幅より大きい値をであった。その理由は踏だし足が持ちあげられ腰に引きつけられた位置から着地点までの斜方向の距離だったからである。

跳びだし足を高く持ち上げる意味は前進するための位置のエネルギーの獲得のためであり、片足立位姿勢の安定性を維持するために腰(重心)に近づけることになる。こうした姿勢から上体を投方向に向かって倒すことによって前進力が生みだせるという。Elliott<sup>5)</sup>らは床反力計を用いて投手板に残す足のキック力を測定しているが、我々が焦点を当てている加速期に体重の約1.2倍の力を測定したという。Pappas<sup>13)</sup>らは下肢と体幹の力の重要性を指摘し、投球速度の約47%がここで生まれ、残りの53%は肩から腕振りだしによって得られるという。

こうしてみるとmoundの高さは投球のための位置のエネルギーを高めるために役立つという理論的背景がでてくる。我々の測定結果は地上で計測したステップ幅とボールが導かれる距離と近似することである。身長に対するステップ幅の比はこれまでに報告された割合よりも大きかったことは既に述べた。これは日本人と欧米人の投法のちがいがいというよりも報告されてから10年を経過した技術の差によるものかもしれない。



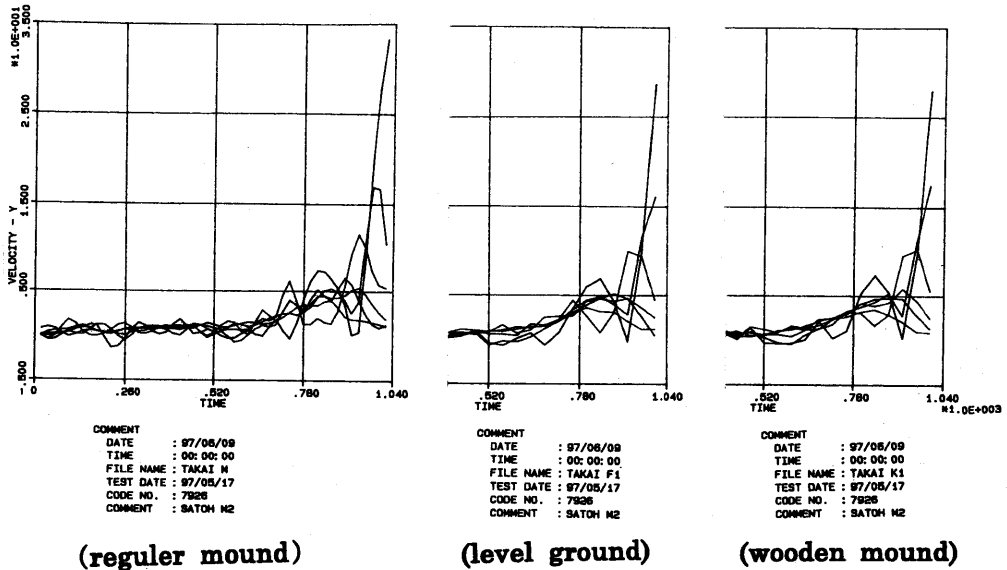


図6 速度加重曲線の比較（低速群選手の1例）

その理由はステップ幅を大きくとることによってボールが導かれる軌道が楕円形のより直線部分が得られ正確さが向上するとともに長い時間にわたって力を加えることができることになる。それはニュートンの運動の第2法則を述べるまでもなく、一定重量のボールスピードを増すことになるからだと説明できる。

ステップ幅を除いて身体部位の移動範囲は地上から上にいくに従って長い距離をとるようになることは、これまでボール速度の加重として説明されてきたことに結びつく。

今回の実験仮説である mound の違いは高低差を含めて身体各部位の移動距離が平均値でみる限り、正規の mound, 木製の mound, 平坦な地面の順に短くなった。とはいえ、ボールのリリーススピードでは差がみられなかったという矛盾が存在する。

(3) ボール速度への加重について

これまでの多くの研究を踏まえてバイオメカニックスの教科書の教科書に取り上げられる項目となっている。だが、この研究の焦点が mound の違いがボールのリリース速度に影響するという仮説はとりもなおさず、加速期の身体各部位の貢献の仕方に触れないわけにはいかない。図5と図6を示したが mound の差による違いが指摘できなかった。

少なくともボールのリリース速度を加重するために各部位はそれぞれの働きをしているのであろうが、脚と体幹の働きによって生みだされた身体内部のエネルギーは

必ずしも中心部から末端部へ流出していくとはいきれないようである。

例えば、結果の項でも触れたが手首と肘の部位の加速・減速の交換は各身体分節がそれぞれ自身の重心まわりに回転してエネルギーの流出・流入を調整しているともみられるからである。すなわち、各身体部位の運動は例え一方向へ動くという場合でもそれぞれの骨重量やそれに付着する筋群の張力の整合が神経系によって調節されているであることを推測させる。多くの身体各部位が関わる運動技術は中枢および末梢の神経支配下にあるといっても過言ではない。

結 論

Mound の違いが pitching 動作に影響を与えるという仮説は身体各部位の移動距離に認められた。しかし、pitching の目的であるボールのリリース速度には有意な差が認められなかった。

この論文の一部は、本学内奨励研究助成金で行われた。記して感謝の意を表明したい。

文 献

1) Atwater, A. E: Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries, Exercise and Sports Science Reviews 7, The Franklin Institute Press, 43-85, 1979.

- 2) Dillman, C. J., G. S. Fleisig, J. R. Andrews: Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics, *J. Orthopaed and Sport Phys. Ther.*, **18**(2), 402-408, 1993.
- 3) Elliott, B. C. *et al.*: A three-dimensional cinematographic analysis of baseball pitching technique, *Aus. J. Sci. and Med. Sport*, **17**(4), 8-13, 1985.
- 4) Elliott, B. C., J. R. Grove B. Gibson, and B. thurston: A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitchers in baseball, *Int. J. of Sports Biomecha.*, **2**, 20-28, 1986.
- 5) Elliott, B. C., J. R. Grove and B. Givson: Timing of the lower limb drive and throwing limb movement in baseball pitching. *Int. J. of Sports Biomecha.*, **4**, 59-67, 1988.
- 6) Feltner, M. E. and J. Dapena: Dynamics of the shoulder and elbow joint of the throwing arm during a baseball pitch. *Int. J. Sports Biomecha.*, **2**, 235-259, 1986.
- 7) Fleisig, G. S., J. R. Andrews, C. J. Dilman and R. F. Escamilla: Kinetics of baseball pitching with implications about Injury mechanisms, *Am. J. Sport Med.*, **23**(2), 233-239, 1995.
- 8) Fleisig, G. S. *et al.*: Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *J. Appl. Biomech.*, **12**(2), 207-224, 1996.
- 9) Gibson, B. J. and B. C. Ekkiott: A three dimensional cinematographic analysis of junior baseball pitches. *J. Human Move. Stud.*, **13**, 363-375., 1987.
- 10) 石井喜八, 斉藤好史: 強靱でしなやかな投げ, *J. J. Sports Sci.*, **1**(2), 78, 1982.
- 11) 石井喜八, 斉藤好史, 三浦孝仁, 小松敏彦: 投動作にみられる速度増大の要因, 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集, pp. 109-113, 1984.
- 12) Kunz, H.: Effects of ball mass and movement pattern on release velocity in throwing, *Bio-mechanics*, **IV**, 163-168, 1974.
- 13) Pappas, A. M. *et al.*: Biomechanics of baseball pitching. *Am. J. Sport Med.*, **13**(4), 216-222, 1985.
- 14) Selin, C.: An analysis of the aerodynamics of pitched baseballs, *Res. Quart.*, **30**(2), 232-240, 1958.
- 15) Later-Hammel, A. T. & E. H. Anders: Velocity measurement of fast balls and curve balls, *Res. Quart.*, **23**(1), 95-97, 1952.
- 16) 谷 一郎: 野球のカーブについて, *科学*, **20**(9), 405-409, 1950.
- 17) 谷 一郎: 再び野球のカーブについて, *科学*, **49**(1), 51-53, 1978.
- 18) Werners, S. L., C. S. Fleisig, C. J. Dillman and J. R. Andrews: Biomechanics of the elbow during baseball pitching, *J. Orthoped. & Sports Phys. Ther.*, **17**(6), 274-278, 1993.
- 19) 斉藤好史, 天野勝弘, 鈴木正保, 石井喜八: 投動作における身体各部の貢献度, 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集, pp. 114-117, 1984.
- 20) 桜井信二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本 敦, 豊島進太郎: 野球の投手の投動作の3次元解析, *体育学研究*, **35**, 143-156, 1990.
- 21) 桜井信二, 池上康男, 山賀 寛: 発育期にある野球投手の上肢関節傷害をいかに防ぐか一直球とカーブの投球動作の比較一, *デサントスポーツ科学*, **12**, 63-72, 1991.
- 22) 吉福康郎: 投げる一物体にパワーを注入する, *J. J. Sports Sci.*, **1**, 85-90, 1982.