

## 野球投球における上肢・体幹運動の慣性センサ計測

齋藤 健治<sup>1</sup>, 渡辺 正和<sup>2</sup>, 井上 一彦<sup>3</sup>,  
井上 伸一<sup>4</sup>, 酒井 淳一<sup>1</sup>, 竹田 忠紘<sup>1</sup>

### Abstract

Motion analyses of baseball pitch were executed with several inertial sensors such as accelerometers and gyro sensors. Subjects who consisted of four college baseball pitchers and two high school baseball pitchers participated in this study. They were put thirteen accelerometers on hand, upper limb and heel of stride foot, and two gyro sensors on trunk. The time of ball-release was extracted with strain gauges put on the nails of second and third fingers. The accelerations and the angular velocities generated by motions of some joints of trunk, shoulder, elbow and wrist were calculated from the data recorded with the sensors mentioned above. As the results of these measurements and analyses, some characteristics about kinematics of joint motions during baseball pitch were clarified. For example, the angular velocity of trunk rotation and upper-arm during 'late cocking' phase and the angular velocity of internal rotation of shoulder during 'acceleration' phase were significantly related to ball speed.

### 1. はじめに

野球の投球動作に関する研究は、三次元動作解析法によるものが主流となっているが<sup>1-10)</sup>, 筋電図法によるもの<sup>11-18)</sup>や慣性センサ等を用いたもの<sup>19-23)</sup>も散見される。三次元動作解析法は、身体各部の運動に関する多数の情報が同時に得られるだけでなく、実験試技において、被験者を計測器やケーブルなどで拘束する不都合がない。したがって、精度の問題は残るにしても、実ゲームにおけるパフォーマンス計測も可能である<sup>24)</sup>。一方、多数の被験者からデータを取得したい場合や、同一個人から多数回に及ぶデータを取得したい場合は、小型センサ計測

が有効である。さらに、特定の部位に焦点を当てて場合、例えば、前腕回内外や肩内外旋などの回転半径の小さい運動に焦点を絞って調べたい場合も、センサ計測は有効である<sup>25)</sup>。

ところで、計測手法に関わらず、投球動作に関する研究の目的は大きく三つに分けることができる。一つは、投球動作の運動学・力学的な記述。二つ目はコーチング応用、三つ目は肩や肘の障害予防である。しかしこれらは、互いに関連しあっている。例えば、運動学的・力学的記述は基礎となるものであり、コーチング応用においても、障害予防においても欠かせない。また、コーチング応用においても障害予防を視野に入れる必要がある。

- 
- 1 名古屋学院大学スポーツ健康学部
  - 2 福岡大学スポーツ科学部
  - 3 岩手県立大学
  - 4 佐賀大学文化教育学部

ここでは、二つ目のコーチング応用を目標におき、そのための知見を得るために計測を行った。上述したように、数多くの研究成果により投球動作の記述や理解は深まってきたが、それらは、一般的な投球動作としての運動学的・力学的記述に重きをおいているとみられる。多様で未完成な投動作や同一個人内での変動が多数観察されるアマチュア野球においては、動作の改善は非常に重要な課題であるが、実際のところ、上述のような分析知見が生かされる例はほとんどない<sup>26)</sup>。そのようなシステムは、動作の本質を捉えたできるだけ簡易なものとして模索する必要がある。例えば、体重移動、体軸、体軸まわりの回旋運動、バックスイング、トップポジションのタイミング、腕振り等、個々の動きに焦点を当てれば、大がかりな計測システムは必要ない。ただし、個々の動作が全体のなかでどのように従属的に達成されているかの知見は必要である。本研究では、主たる個々の動作をまとめて計測することにより、個々の計測の可能性と計測項目間の従属関係についての知見を得ることを目的とし、加速度センサとジャイロセンサにより上肢・体幹の動作を計測した。

## 2. 方 法

### 2-1. センサ配置

図1に指と手へのセンサ装着の模式図を示す。第Ⅱ指と第Ⅲ指の爪に、ボールリリース検出のためにひずみゲージ（共和電業社製KFG-1N-120-C1-11）を貼付し、それぞれの中節骨部位と手背中央部に加速度センサ（Analog Devices社製ADXL193,  $\pm 250G$ ）を貼付した。手背に続く手首部位には、三軸方向の加速度、つまり橈側一尺側方向、前腕長軸方向（図中A）、手背—手掌方向（図中B）の加速度を検出するために加速度センサ（Analog Devices社製ADXL193,  $\pm 120G$ ）を装着した。さらに、手首の橈側（図中C）と尺側（図中D）に8.7cmの距離で、前腕回内外の回転の接線方向に感度方向を合わせて（正負は逆）加速度センサを配置した。また、前腕部近位において、図中Aと同様、Aから10cm離れた位置で長軸方向の加速度を計測した（図中E）。

図2に上腕部へのセンサ装着の模式図を示す。上腕長軸に沿って遠位部（図中A）と近位部（図中B）に加速度センサ（Analog Devices社製ADXL150,  $\pm 50G$ ）を装着した。また、上腕部の回転（肩の内外旋）方向に感度方向を合わせて、加速度センサ（Analog Devices社

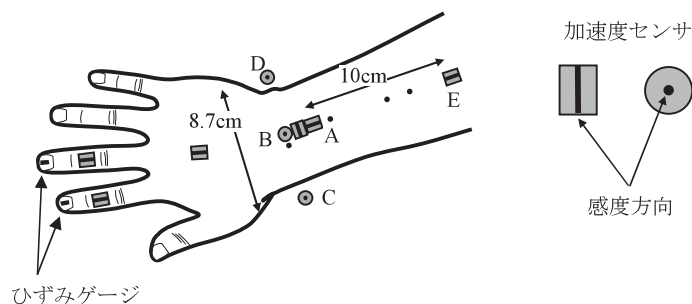


図1 投球側の第Ⅱ指と第Ⅲ指の爪にひずみゲージ，手部と前腕に9個の加速度センサを配置。

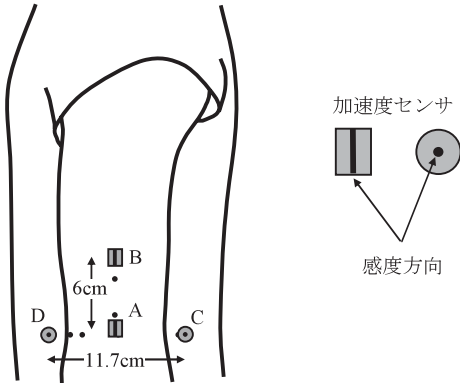


図2 肩関節の内外旋および腕振りの角速度、角加速度を計測するため、4個の加速度センサを上腕部に配置。

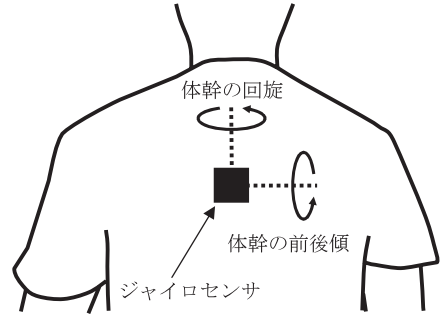


図3 体幹の回旋、前後傾の角速度を計測するため、背部に二軸用ジャイロセンサを配置。

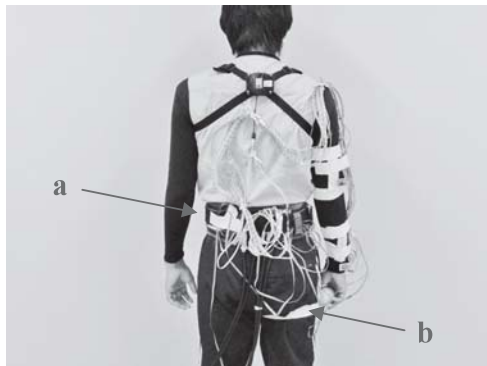


写真1 センサ装着の例。左：a腰部、b大腿部にジャイロセンサを装着。右：踏み出し足踵には三軸加速度センサを装着。加速度センサの感度方向のうちz軸は「つま先一踵」の前後方向。

製ADXL190,  $\pm 100\text{G}$ )を配置した(図中C, D)。

図3に体幹背部へのセンサ装着の模式図を示す。体幹長軸(立位鉛直軸)と体幹左右軸に感度軸が合うように、ジャイロセンサ(マイクロストーン社製MG2-01Da-RDB,  $\pm 4,000\text{deg/s}$ )1個を装着した。

上記以外に、腰部と右大腿外側部にジャイロセンサ(InvenSense社製IDG-300,  $\pm 500\text{deg/s}$ )を装着し、腰部の回旋と股関節の内外旋を含む大腿外側部の回転を計測した(写真1)。また、踏み出し足踵に加速度センサ(Freescale

社製MMA7260,  $\pm 6\text{G}$ )を装着し、前足着地の状態を検出した(写真1)。

計測信号は計22チャンネルとなった。

## 2-2. 試技および計測

大学野球部に所属する投手4名(右上手投げ2名, 右横手投げ2名)に、室内に設置している前方5mのネットに向かって、そして高校野球部に所属する投手2名(右上手投げ1名, 左上手投げ1名)には、正規の距離で捕手に向かって、次のような試技を行わせた。①投球スピード漸増で5球の投球, ②最大に近い努力で

10～20球の投球であった。

これらの間、被験者前方（投球方向）と側方（三塁側）から、300fpsで高速ビデオ撮影（CASIO社製、Exilim）した。また、投球方向において、スピードガンにより投球スピードを計測した。

このような試技において計測された22チャンネルのセンサ信号は、サンプリング周波数1,000Hz、精度16bitでA/D変換しコンピュータに取り込んだ。取り込んだ信号は、遮断周波数20Hzのローパスフィルタをかけた後、以下に示す方法により角速度や角加速度も求めた。

### 2-3. 角速度、角加速度計算

図1のセンサA、E（あるいは図2のセンサA、B）で計測される加速度をそれぞれ $A_{z1}$ 、 $A_{z2}$ とすると（ $z$ は前腕あるいは上腕の長軸方向の軸）、

$$A_{z1} = \ddot{R} - g + (\rho + d)(\omega_x^2 + \omega_y^2) \quad (1)$$

$$A_{z2} = \ddot{R} - g + \rho(\omega_x^2 + \omega_y^2) \quad (2)$$

$$A_{z1} - A_{z2} = d(\omega_x^2 + \omega_y^2) \quad (3)$$

$$|\omega| = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2} = \sqrt{(A_{z1} - A_{z2})/d} \quad (3)$$

と表される<sup>25)</sup>。ここで、 $\ddot{R}$ は並進加速度、 $g$ は重力加速度、 $\rho$ は回転中心からセンサまでの距離、 $d$ は両センサ間の距離で、図1では10cm、図2では6cmである。 $\omega_x$ 、 $\omega_y$ はともに $z$ 軸に垂直な $x$ 軸および $y$ 軸まわりの角速度である。したがって、(3)式で表される $|\omega|$ は、投動作中のあらゆる腕振り（長軸まわりの回転運動を除く）時に、前腕部（あるいは上腕部）で計測される角速度である。

一方、図1のセンサC、D（あるいは図2のセンサC、D）で計測される加速度をそれぞれ $A_1$ 、 $A_2$ とすると、

$$\begin{aligned} A_1 &= \ddot{R} - g + \omega_x \omega_y \rho + a_z \rho \\ A_2 &= \ddot{R} - g + \omega_x \omega_y \rho - a_z \rho \end{aligned} \quad (4)$$

と表される。ここで、 $a_z$ は前腕あるいは上腕長軸まわりの角加速度である。したがって、

$$A_1 - A_2 = 2\rho a_z \quad (5)$$

$$a_z = \frac{A_1 - A_2}{2\rho} \quad (6)$$

となる。ただし、回転軸から両センサまでの距離が等しいことを前提としている。このようにして求めた角加速度を積分することで、前腕長軸まわりの回転運動（前腕の回内外）と上腕長軸まわりの回転運動（肩の内外旋）の角速度を求めた。

## 3. 結果

投球動作の一般的な局面分けについて図4に示す。投球開始から踏み出し足接地までをearly cocking、踏み出し足接地後から投球腕の肩関節最大外旋（Maximum external rotation; MER）までをlate cocking、MERからボールリリースまでを加速期、ボールリリース後をfollow throughとする。この図の例では、ボールリリースを0msとして、early cocking期は約1,500ms～約-200ms、late cocking期は約-200ms～約-50ms、加速期は約-50ms～0ms、follow through期は0ms～となっている。

### 3-1. 投球スピード

投球スピードの被験者全体の平均は98.0±12.5km/h（65km/h～115km/h）であった。被験者別（A～F）の平均、スピード範囲については表1に示した。

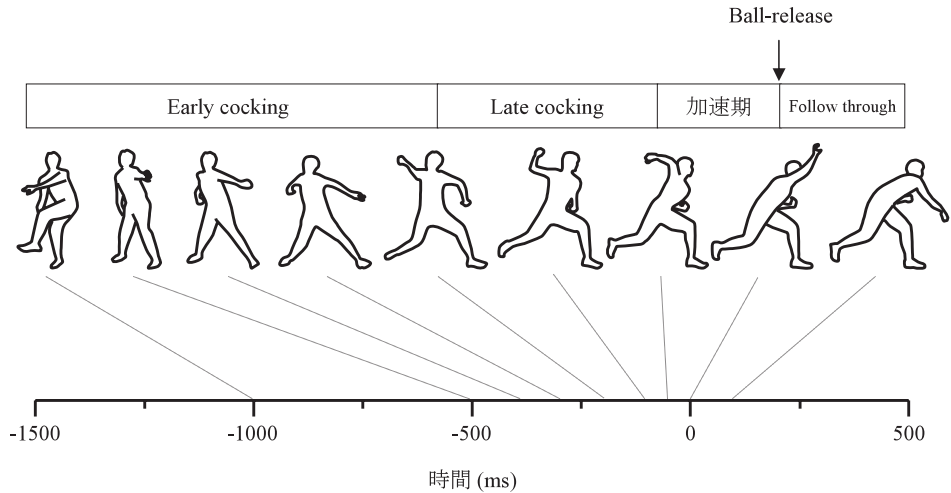


図4 投球動作の一例による局面説明図。0msがボールリリース。

表1 被験者別の投球スピードの平均値, 最大値, および最小値。単位はkm/h。

被験者	平均	最大	最小
A	97.1±10.1	107	73
B	91.6±12.5	108	65
C	89.8±12.1	108	69
D	105.4± 9.2	115	87
E	104.5± 9.3	111	79
F	110.8± 2.9	114	106

表2 第Ⅱ, Ⅲ指, および手背部で計測した加速度ピーク値の, 被験者6人の平均値, 最大値および最小値。単位はG。

	平均	最大	最小
第Ⅱ指加速度	126.3±11.5	154.3	101.0
第Ⅲ指加速度	115.4±10.0	138.9	95.2
手背部加速度	70.8± 6.9	82.2	49.6

### 3-2. 上肢で計測した加速度

図5に指, 手, 前腕および上腕に装着した加速度センサにより計測した加速度を, 全被験者について重ねて示す。概ね, 被験者間の違いは認められず, ボールリリース直後のfollow through期に加速度ピークが現れる傾向にあった。なかでも, 腕振りの遠心方向に相当する指の加速度が最も大きかった(約140G)。次いで手背部, そして手首遠心方向加速度, 手首および上腕の回旋方向の加速度が大きかった。第Ⅱ指, 第Ⅲ指および手背部で計測した加速度ピーク値の平均, 最大および最小について表2に示す。

図6には, 投球スピードと第Ⅱ指および手背部で計測した加速度との関係を示す。ともに直線関係が強いとはいえないが, 第Ⅱ指の方が比較的直線関係が強かった。

### 3-3. 踏み出し足踵の加速度

踏み出し前後, すなわちearly cocking終盤とlate cocking初期における加速度の変化は被験者毎に異なり, 一定のパターンは認められなかった(図7a)。そこで, ビデオ画像と照合することにより, 踏み出し足の踏み出し足接地タイミングは, 左右方向の加速度のゼロクロス時刻にあたることが確認されたが(図7b矢印), 加速度波形だけからの判別は困難であった。

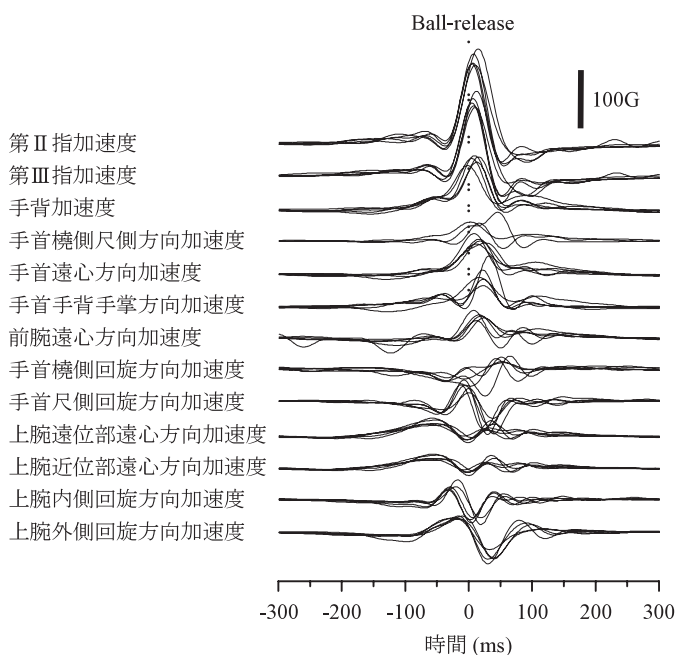


図5 第Ⅱ, Ⅲ指中節骨部, 手背部, 手首および上腕部で計測した加速度。全被験者の重ね描き。0msがボールリリース。

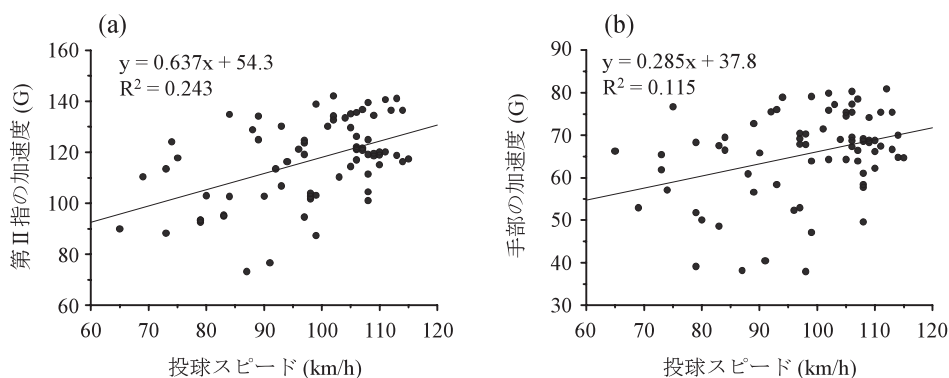


図6 投球スピードと, (a) 第Ⅱ指, (b) 手背部で計測した加速度最大値との関係。被験者6人分のプロット。

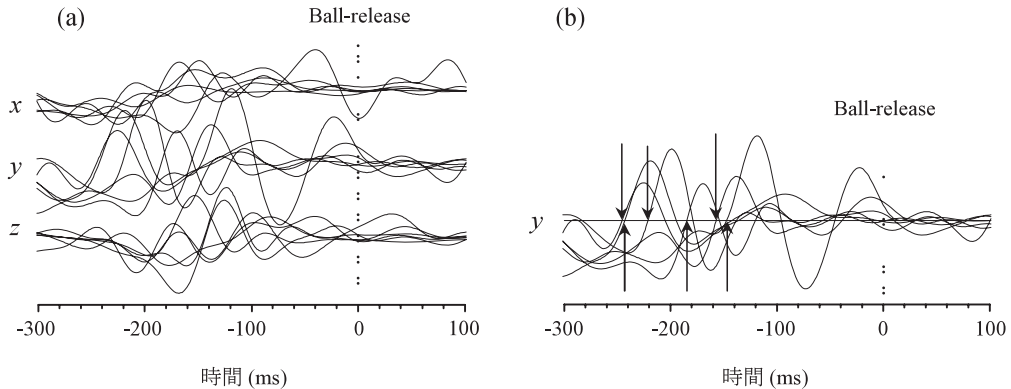


図7 (a) 踏み出し足踵で計測した三軸の加速度の全被験者の重ね描き。(b) y方向の加速度と踏み出し足接地の関係。矢印が接地時刻を示す。0msがボールリリース時刻。

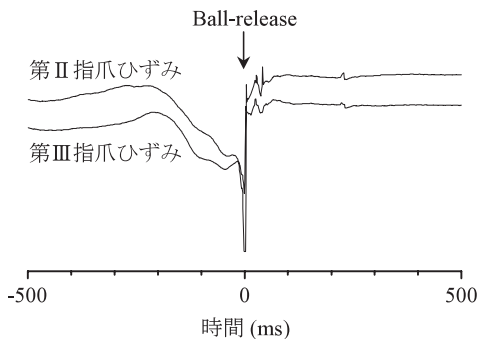


図8 第Ⅱ指、第Ⅲ指の爪に貼付したひずみゲージの出力。

### 3-4. ボールリリース前後の爪ひずみ

図8に、第Ⅱ指、第Ⅲ指に貼付したひずみゲージの出力例を示す。late cocking期、加速期からボールリリースにかけて、爪表面の圧縮ひずみが徐々に大きくなり、リリース近辺で圧縮ひずみの急激な増大とその解放がみられた。この圧縮ひずみの解放を、ボールリリースのタイミングと判別することができた。また、この例のように、ボールリリース直前に一旦握りを緩める位相が認められることがあった。

### 3-5. 体幹と軸脚大腿外側部の角速度

図9に、ジャイロセンサにより計測した体幹

上部と腰部の角速度の一例を、全被験者について示す。全被験者において、ボールリリース前約300ms (late cocking終盤)で腰部の左回旋(頭上からみて反時計回り)が始まり、次いで体幹上部の左回旋、最後に体幹の前傾が起こるという、一定のパターンが認められた。

このなかで、腰部の角速度の変化には被験者間で大きな違いが認められなかったが、体幹上部で計測した回旋と前後傾の角速度には被験者間の違いがいくつか認められた。大学生上手投げ(被験者A, B)と横手投げ(被験者C, F)で、左右回旋のパターンの違いが認められた。すなわち、上手投げでは、左右回旋の角速度が比較的小さめ(700~900deg/s)で単峰性のパターンを示したのに対し、横手投げでは、回旋の角速度が大きめで(約1,300deg/s)、極小値をもつ二峰性のパターンを示した。前傾の角速度も上手投げの被験者より横手投げで大きかった。しかし、いずれの角速度もボールリリースでは小さくなっている点で共通していた。しかし、高校生投手では、late cocking期やfollow through期における前後傾の角速度の変動が大きいパターン(被験者E)や、角速度最大のまままでボールリリースを迎えるといったパターン



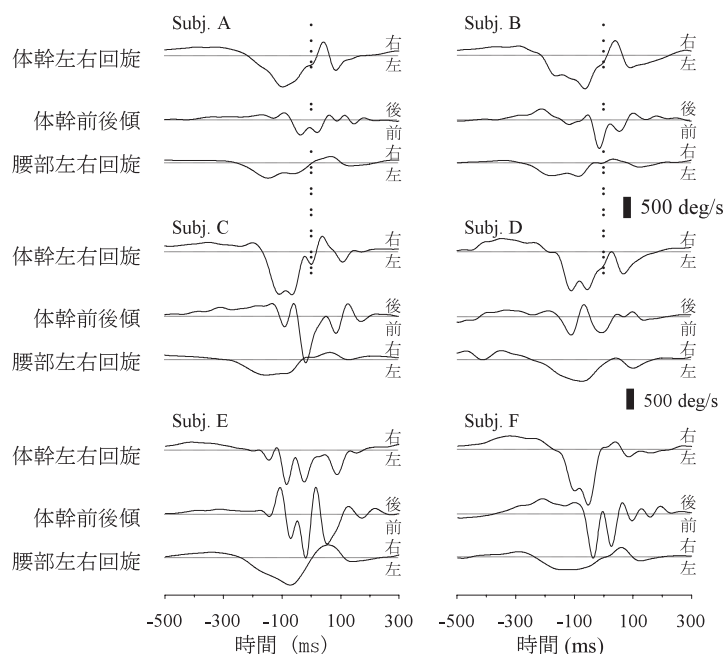


図9 ジャイロセンサにより計測した、各被験者の体幹上部の左右回旋と前後傾、および腰部回旋の角速度の例。0msがボールリリース。

表3 体幹、上肢の関節運動による角速度ピーク値。被験者6人の平均値、最大値および最小値。単位はdeg/s。

	平均	最大	最小
体幹回旋	1,068.6±328.7	2,066.2	653.6
体幹前傾	836.2±413.8	1,763.4	233.6
腰部回旋	455.6±141.7	250.5	714.3
前腕部（腕振り）	2,951.9±474.8	5,220.5	2,337.3
上腕部（腕振り）	1,559.0±145.0	1,785.0	1,304.7
前腕回内	5,374.7±684.0	6,483.7	3,749.6
肩内旋	5,036.1±491.4	5,756.0	3,955.1

（被験者D）が認められた。

体幹左回旋角速度ピーク値の平均は1,068.6±328.7deg/s、体幹前傾のそれは836.2±413.8deg/s、腰部左回旋のそれは455.6±141.7deg/sであった（表3）。

軸脚大腿外側部の角速度は、腰部の角速度とほぼ同様のパターンを示した。

図10に、投球スピードと体幹上部の左回旋、前傾、および腰部左回旋の角速度ピーク値との関係を示す。体幹左回旋と腰部左回旋が、体幹前傾よりも相対的に投球スピードとの相関が高かった。



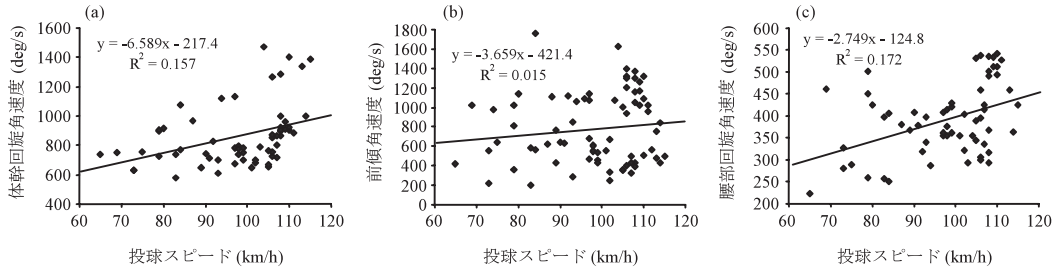


図10 投球スピードと、(a) 体幹左回旋、(b) 体幹前傾、および (c) 腰部左回旋の角速度最大値との関係。被験者6人の投球スピード漸増試技と全力投球試技のプロット。

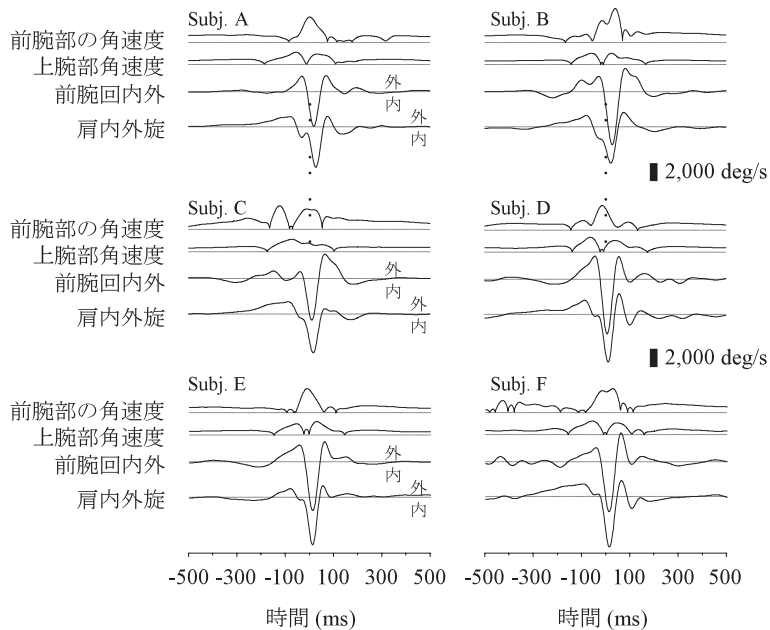


図11 加速度センサにより計測した加速度から計算した、各被験者の、腕振りによる前腕部と上腕部の角速度、前腕回内外、および肩の内外旋の角速度の例。0msがボールリリース。

### 3-6. 腕振り、上肢長軸まわりの角速度

図11に、加速度計測値から計算した、腕振りによる前腕部と上腕部の角速度、前腕回内外角速度、および肩内外旋角速度について被験者毎の一例を示す。

腕振りによる前腕部の角速度は全ての被験者に共通して、late cocking終盤および加速期に増大し、ボールリリースにおいてピーク値ある

いは極大値となった。腕振りによる上腕部の角速度は、late cocking期および加速期に増大し、角速度がほぼゼロに近い状態でボールリリースを迎え、再びfollow through期で増大していた。ただし、被験者Cは、late cocking期にボールリリース近辺より大きな前腕部の角速度がみられ、上腕部の角速度にはボールリリース時の低下がみられなかった。前腕部の角速度ピーク

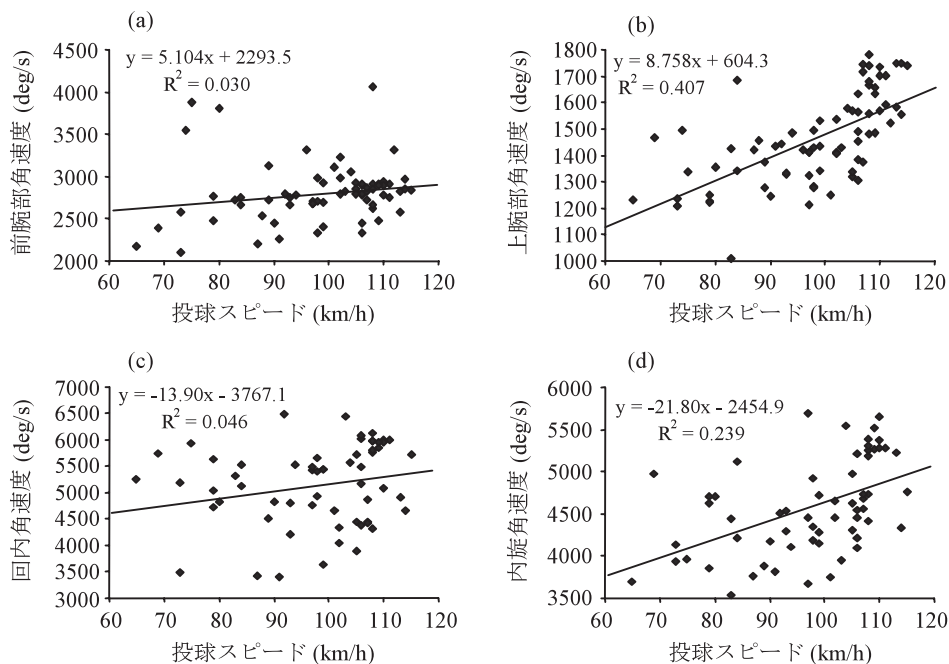


図12 投球スピードと、(a) 腕振りによる前腕部角速度、(b) 腕振りによる上腕部角速度、(c) 前腕回内角速度、および (d) 肩内旋角速度の最大値との関係。被験者6人の投球スピード漸増試技と全力投球試技のプロット。

値の平均は $2,951.9 \pm 474.8 \text{ deg/s}$ 、上腕部のそれは、 $1,559.0 \pm 145.0 \text{ deg/s}$ であった(表3)。

前腕回内外と肩内外旋は、類似した角速度パターンを示した。すなわち、late cockingでは、回外および外旋運動が主となり、加速期では回内および内旋運動へと転じていた。回内と内旋のどちらの運動が先行するかは被験者によるものの、どちらも全ての被験者でボールリリース直後のfollow through初期に角速度ピークとなっていた。前腕回内角速度ピーク値の平均は $5,374.7 \pm 684.0 \text{ deg/s}$ 、肩内旋のそれは $5,036.1 \pm 491.4 \text{ deg/s}$ であった(表3)。

図12に、投球スピードと上肢における角速度ピーク値との関係を示す。腕振りによる上腕部の角速度と肩内旋角速度と投球スピードとの相関が高かったが、腕振りによる前腕部の角速度および回内角速度と投球スピードの相関は低

かった。

#### 4. 考察

図4で概説し、以下でも現れる各投球動作局面での関節運動について、図13に動作モデルで示す。

##### 4-1. 計測・分析結果と投動作

Fleisig ら<sup>7)</sup>、Stodden ら<sup>27)</sup>、Escamilla ら<sup>28)</sup>は、late cocking期の腰部回旋角速度や、加速期の上腕の回旋角速度および肘伸展角速度が投球スピードと相関があることを示している。また、Stodden ら<sup>29)</sup>は、投球スピードの増大とともに、踏み出し足接地時の肩の水平内転角と加速期における肩の外転角が有意に減少し、ボールリリース時の体幹前傾角度が有意に増大する

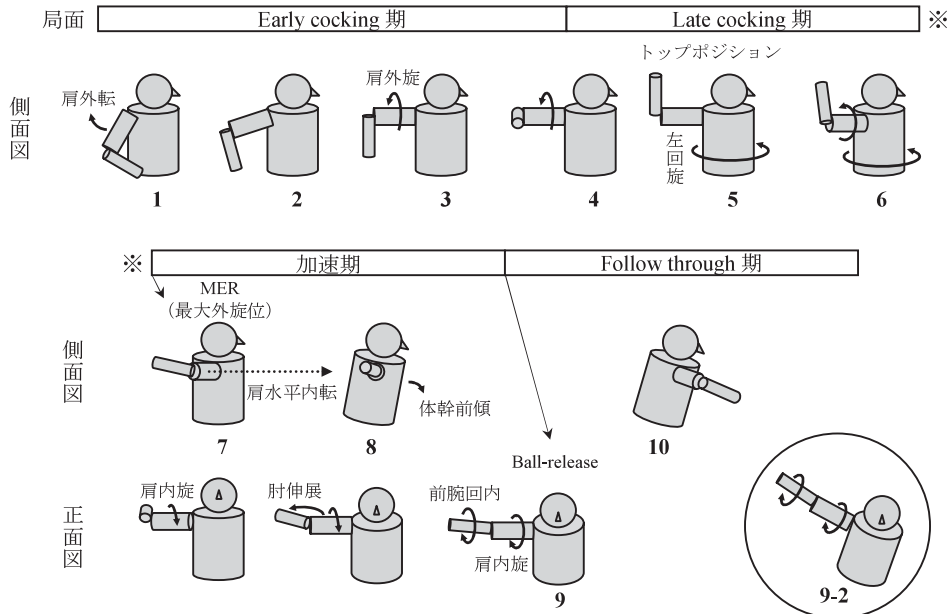


図13 体幹・右上肢モデルによる各投球動作局面で起こる関節運動の説明。図中番号1～6, 10は側面図のみ, 図中番号7, 8は側面図と正面図の両方, 図中番号9は正面図のみによる説明。図中番号9-2のように体幹が左に傾けば, オーバーハンドあるいはスリークォータースローになる。

と報告している。これらのなかで、投球スピードの増大とともに加速期の上腕の回旋角速度が増大するという結果は、体幹の回旋や腕振りによる上腕部の角速度ピーク値が、投球スピードと相関があったという本研究の結果に一致するものである。このことから、Stoddenら<sup>27)</sup>が述べているように、late cocking期の体幹回旋は、投球スピード増大のために重要な運動であるといえる。

また、late cocking期の体幹回旋は腕振りの強さに関係するだけでなく、肩の外旋運動にも影響する。すなわち、トップポジション（図13の5）から体幹の回旋により肩が水平外転（図13の6～7）を起こし、次いで、肩の外旋が引き起こされてMERを迎える。ボールリリースに際しては外旋した肩がひねり戻して内旋（図13の9）する必要があるが（肘の伸展と合わせ

て、俗にいう腕のしなり）、MERからボールリリースへの肩内旋運動も投球スピードとの相関が示されている<sup>30)</sup>。本研究においても、肩内旋角速度ピーク値と投球スピードの間には比較的高い相関が認められ、この運動の重要性が示された。

一方、Stoddenら<sup>31)</sup>は、オーバースローにおいて、ボールリリース時の体幹の前傾角度も非常に重要であることを示唆しているが、本研究においては、体幹前傾角速度と投球スピードとの相関がそれほど高くなく、この点においては今後の検討の余地が残された。

前腕回内（図13の9）は、投球動作のほぼ最終局面に位置する関節運動であるため、それまでの関節運動の総決算ともいえる。したがって、投球スピードに比例した角速度の増大が期待されるが、ほぼ同時期に起こる肩内旋角速度

が投球スピードと比較的相関が高かったのに比べ、前腕回内角速度は相関が低かった。前腕回内については、Barrentine<sup>6)</sup>や斎藤<sup>17)</sup>の報告が散見できる程度で比較検討できる材料が少ない。

運動タイミングを表す時間パラメータ（踏み出し足接地からボールリリースまでを正規化したもの）は、投球スピードに相関しないという報告<sup>7), 28)</sup>がある。Fleisig<sup>7)</sup>は、中学生、高校生、大学生、プロの投手の間には、投球スピードには有意な差があるにもかかわらず、腰部回旋、体幹上部回旋、肩関節内旋、肘関節伸展の角速度が最大となる時間に差はなかったと報告している。一方で、Stodden<sup>29)</sup>は、腰部回旋や体幹上部回旋、肘関節伸展の角速度最大の時間は同様に投球スピードに相関しないとしながら、肩の水平内転角最大の時間、および肩の内旋角速度最大の時間は投球スピードに有意に相関する（それぞれ増大および減少する、つまりボールリリースに近づく）と報告している。このように、投球動作中の関節運動のタイミングは、概ね投球スピードに相関しないと考えられるが、ボールリリース近辺の動きは非常に高速であるため、さらに精査する必要がある。

一方、各関節運動の生起タイミングや運動速度（角速度）最大のタイミングは、運動全体のなかでの順序性や従属性の情報も含んでおり、運動の質の良否に関する判断材料になり得る。表4に、4人の被験者のある一試技について、early cocking 期～late cocking 期～加速期～follow through 期の順に開始する主な動作の、開始時間、角速度ピーク時間、および動作によってはボールリリース前あるいはボールリリース後に極小値、極大値をとるものの時間を示している。動作の順序性は、概ね被験者間に差はないものの、ボールリリースに対するその開始時

間、ピーク時間は個体間差が認められた。これら時間のバラツキが一般的に大きいのか小さいのか、あるいはどの程度外れた値なのかは今後、データ数を増やして検討する必要がある。

しかし、例えば、踏み出し足接地の時間と体幹左回旋の時間を、踏み出し足接地時間を0%、ボールリリース時間を100%としてみると、被験者Cの左回旋時間は32.7%なのに対し、被験者Fのそれは0%であるといった動きの順序性・従属性の違いが容易に分かる。運動学的には、被験者Fは踏み出し足接地と同時に左回旋を起こして（図13の5）投球しており、被験者Cに比べ、体幹のひねりを利用した動作が不完全、あるいはボールを加速する距離が短いということが示唆される。さらに、この早いタイミングの左回旋は体幹前傾（図13の8）のタイミングも早めており、被験者Cでは、81.6%であるのに対し、被験者Fでは69.3%の時刻に体幹前傾の角速度が最大となっている。つまり、俗にいう「突っ込み」の姿勢となっており、中枢から末梢への運動連鎖のなかでボールに大きなエネルギーを伝達するという意味では不利な動きとなっている。この被験者Fに似た動きは被験者Aでも観察できる。また、被験者Fでは、体幹前傾のタイミングと肩関節MER（図13の7）のタイミングが逆転しており、このような動きも、踏み出し足接地と体幹左回旋のタイミングの問題に帰着できるかも知れない。

#### 4-2. 投球動作分析のためのセンサ計測の適用課題

斎藤<sup>20, 21)</sup>は、投球側の手首に三軸の加速度センサを装着することにより、とくにボールリリース前後（加速期とfollow through 期）に焦点を当て、加速度パターンからの投球動作タ

表4 4人の被験者の一試技についての、投球動作中に起こる主な運動のタイミング。単位はmsで、ボールリリースを0msとする。

右列の運動 の開始でみた動作局面	運動	Subj. A			Subj. B			Subj. C		Subj. F		
		開始	ピーク	リリース 前極大	リリース 前極小	開始	ピーク	リリース 前極大	リリース 前極小	開始	ピーク	リリース 前極小
Early cocking 期	肩外旋	-538	-79	—	—	-295	-78	—	—	-544	-88	-359
	腰左回旋	-251	-146	—	—	-268	-86	—	—	-303	-153	-227
	前足接地	-221	—	—	—	-244	—	—	—	-245	—	-166
	体幹左回旋	-217	-95	—	—	-210	-63	—	—	-165	-64	-166
Late cocking 期	肩水平内転	-186	-54	—	-11	-140	-55	—	-7	-174	-72	-157
	前腕回外	-100	-30	—	—	-143	-24	—	—	-69	-38	-159
	前腕部 (腕振り)	-85	2	—	—	-52	42	—	-12	-69	-11	-85
	体幹前傾	-67	-35	—	-5	-41	-14	—	—	-45	-17	-51
加速期	最大外旋位	-51	—	—	—	-48	—	—	—	-49	—	-22
	肩内旋	-51	29	-30	-11	-48	24	-20	-20	-49	17	-22
	前腕回内	-8	19	—	—	-4	30	—	—	-23	11	-21

タイプの分類や、投球スピードの推定を行っている。しかし、動作全体との関連づけが行われていないため、投球動作タイプ分類としては不十分である。また、投球スピードの推定では、三軸の加速度データから有意な推定結果を得ているが、推定のためには、手首よりボールに近い指先のデータの方が有利であると考えられる。ところが、本研究では第Ⅱ指加速度と投球スピードとの相関係数が0.5に満たなかった。本研究で用いたセンサの感度方向が指の長軸方向のみであったという点と、投球者の技術的な問題で、指の加速度がそのままボールに生かされる（エネルギーが指からボールへそのまま伝えられる）とは限らないという点で、検討の余地が残されている。

さらに推定精度を上げるためには、例えば、ボールリリース時のボールと指先との接触状態を検討する必要もあると考えられる<sup>23)</sup>。本研究では、ボールリリースの検出のためだけに爪ひずみの検出を行ったが、貼付するひずみゲージの数を増やせば、爪表面でのひずみの状態（圧縮や引っ張り）から、ボールリリース時のボールと指との接触（離れ）や力を直接に近い条件で知ることができる。

また、軸脚（右投げなら右脚）のバランスや踏み出し脚への体重移動の状態などは、靴ソールに感圧シートなどの圧力センサを敷設することで検出することができる。体重移動は、動作の基本で比較的シンプルな計測課題であるが、三次元動作分析法と合わせて検討することにより、感圧シートよりも簡便な計測方法が見つかる可能性がある。

センサのメリットは、計測器がコンパクト、安価であり、練習指導現場で日常的に利用できる点にある。これには、センサの小型化や無線化といった技術的課題の解決が前提となるが、

それが達成されれば、練習、試合を問わずデータの蓄積が可能となり、技術指導やメディカルケアを含めたコーチングの強力な武器になる。そのためには、「この目的のためには、どの部位の運動計測が必要になるか」という点も合わせて明らかにしていく必要がある。本研究では、上肢・体幹を中心に22チャンネルのセンサ計測を行ったが、チャンネル数の多さが被験者の拘束につながり、必ずしも全力投球が実行できたわけではない。ただし、センサ計測の可能性と重要性を示すことで、将来的には、目的に合わせた少数の適切な計測部位が目的別に選択できるようになることが期待される。

## 謝 辞

実験にご協力頂いた長野県立松本深志高校教諭茶城啓二氏に感謝いたします。

## 文 献

- 1) Elliott, B., Grove, J. R., Gibson, B. and Thurston, B. (1986) A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball, *Int. J. Sport Biomech.*, 2, 20-28.
- 2) Feltner, M. and Dapena, J. (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch, *Int. J. Sport Biomech.*, 2, 235-259.
- 3) 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本 敦, 豊島進太郎 (1990) 野球の投手の投動作の3次元動作解析, *体育学研究*, Vol. 35 pp. 143-156.
- 4) Sakurai, S., Ikegami, Y., Okamoto, A., Yabe, K. and Toyoshima, S. (1993) A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball



- baseball pitches, *J. Appl. Biomech.*, 9, 47-65.
- 5) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦 (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究, *体育学研究*, 41, 23-37.
- 6) Barrentine, S. W., Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S. and Andrews, J. R. (1998) Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching, *J. Appl. Biomech.*, 14, 24-39.
- 7) Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F. and Andrews, J. R. (1999) Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development, *J. Biomech.*, 32, 1371-1375.
- 8) 桑原邦寿, 村田厚生 (2000) 投球フォームと球種からみた野球のピッチングにおけるリリースポイントの比較, *人間工学*, 36(4), 209-213.
- 9) Matsuo, T., Matsumoto, T., Mochizuki, Y., Takada, Y. and Saitou, K. (2002) Optimal shoulder abduction angles during baseball pitching from maximal wrist velocity and minimal kinetics viewpoints, *J. Appl. Biomech.*, 18, 306-320.
- 10) 平山大作, 藤井範久, 阿江通良, 小池関也 (2008) 野球投球における投球数と動作キネティクスとの関係, *バイオメカニズム* 19, 91-102.
- 11) Jobe, F. W., Tibone, J. E., Perry, J. and Moynes, D. R. (1983) An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching. A preliminary report, *Am. J. Sports Med.*, 11, 3-5.
- 12) Jobe, F. W., Moynes, D. R., Tibone, J. E. and Perry, J. (1984) An EMG analysis of the shoulder in pitching. A second report, *Am. J. Sports Med.*, 12, 218-220.
- 13) Gowan, I. D., Jobe, F. W., Tibone, J. E., Perry, J. and Moynes, D. R. (1987) A comparative electromyographic analysis of the shoulder during pitching. Professional versus amateur pitchers, *Am. J. Sports Med.*, 15, 586-590.
- 14) Sisto, D. J., Jobe, F. W., Moynes, D. R. and Antonelli, D. J. (1987) An electromyographic analysis of the elbow in pitching, *Am. J. Sports Med.*, 15, 260-263.
- 15) Glousman, R., Jobe, F., Tibone, J., Moynes, D., Antonelli, D. and Perry, J. (1988) Dynamic electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability, *J. Bone Joint Surg.*, 70A, 220-226.
- 16) DiGiovine, N. M., Jobe, F. W., Pink, M. and Perry, J. (1992) An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching, *J. Should. Elb. Surg.*, 1, 15-25.
- 17) 斎藤健治, 仰木裕嗣, 市川 浩, 井上伸一, 松尾知之, 足立和隆, 宮地 力, 高井省三 (2001) 投球スピード漸増および球種の違いによる上肢筋活動の変化, *筑波大学体育科学系紀要*, 24, 79-88.
- 18) 斎藤健治, 松尾知之, 宮崎光次 (2006) 野球オーバーハンド投球における上肢・上肢帯筋活動の表面筋電図分析, *体育学研究*, 51(3), 351-365.
- 19) Pappas, A. M., Morgan, W. J., Schulz, L. A. and Diana, R. (1995) Wrist kinematics during pitching-A preliminary report, *Am. J. Sports Med.*, 23(3), 312-315.
- 20) 斎藤健治, 仰木裕嗣, 市川 浩, 山岸正克, 宮地 力, 高井省三 (2000) 投球時に手首で測定した加速度波形のパターン分類, *いばらき健康・スポーツ科学*, 19, 13-26.
- 21) 斎藤健治, 仰木裕嗣, 井上伸一, 市川 浩, 山岸正克, 宮地 力, 高井省三 (2002) 手首で計測した加速度による投球スピードの推定, *体育学研究*, 47(1), 41-51.
- 22) 斎藤健治, 井上伸一, 湯川治敏 (2009) 慣性センサによる野球投球時の上肢と体幹の運動計測, *ジョイント・シンポジウム2009スポーツ工学シンポジウム/シンポジウム: ヒューマン・ダイナミクス講演論文集*, 177-181.
- 23) 斎藤健治, 細谷 聡, 井上伸一, 湯川治敏 (2010) 爪ひずみによる野球投球におけるボールリリースの状態計測, *シンポジウム: スポーツ・アン*



- ド・ヒューマン・ダイナミクス2010講演論文集,  
40-43.
- 24) Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Zheng, N.,  
Barrentine, S. W. and Andrews, J. R. (2001)  
Kinematic comparisons of 1996 olympic  
baseball pitchers, *J. Sports Sci.*, 19, 665-676.
- 25) 太田 憲, 仰木裕嗣, 木村 広, 廣津信義 (2005)  
データサイエンス・シリーズ⑩スポーツデータ,  
共立出版, pp. 51-57.
- 26) 宮西智久, 森本吉謙 (2007) 大学野球投手に  
おけるピッチング動作の改善事例: 投球技術指  
導前後のトレーニング効果, *体育学研究*, 52,  
361-381.
- 27) Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S.  
P., Lyman, S. L. and Andrews, J. R. (2001)  
Relationship of pelvis and upper torso  
kinematics to pitched baseball velocity, *J. Appl.  
Biomech.*, 17(2), 164-172.
- 28) Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine,  
S. W., Andrews, J. R., Moorman, C. (2002)  
Kinematic and kinetic comparisons between  
American and Korean professional baseball  
pitchers, *Sports Biomech.*, 1(2), 213-228.
- 29) Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P.  
and Andrews, J. R. (2005) Relationship of  
biomechanical factors to baseball pitching  
velocity: within pitcher variation, *J. Appl.  
Biomech.*, 21(1), 44-56.
- 30) Stodden, D. F., Fleisig, G. S., Langendorfer,  
S. J. and Andrews, J. R. (2006) Kinematic  
constraints in overarm throwing: part II: upper  
extremity actions, *Res. Quart. Ex. Sport*,  
77(4), 428-436.
- 31) Stodden, D. F., Langendorfer, S. J., Fleisig,  
G. S. and Andrews, J. R. (2006) Kinematic  
constraints associated with the acquisition  
of overarm throwing part I: Step and trunk  
actions, *Res. Quart. Ex. Sport*, 77(4), 417-427.