

発育期の野球投手におけるボールスピンの特徴

神事 努* 桜井伸二** 清水卓也*** 鈴木康博****

Characteristics of ball spin pitched by baseball pitchers in the period of development.

Tsutomu JINJI*, Shinji SAKURAI**, Takuya SHIMIZU*** and Yasuhiro SUZUKI****

Abstract

It has been reported that the spin axis of a pitched baseball differs between adult pitchers and youth pitchers (Tezuka and Himeno 2001). However, that information was based on visual observation, and has not been determined quantitatively. The purpose of this study was to investigate the ball spin orientation and spin rate of youth pitchers compared with those for adult pitchers. In addition, the development of the throwing motion and factors in the determination of spin rate were discussed.

Fourteen youth baseball pitchers (13.9 ± 1.2 years) and nine collegiate baseball pitchers (20.1 ± 0.8 years) were selected as subjects. All of them were classified as over-hand style pitchers. The baseball was filmed immediately after the ball release using a high-speed video camera (250 Hz). The direction of spin axis and the spin rate were calculated using positional changes of drawn marks on the ball surface. The direction of the spin axis was defined by two angles, θ (azimuth) and φ (elevation). The angle between spin axis and pitching direction (α) was also obtained (Jinji and Sakurai 2006).

Mean values of the angles of the spin axis showed no significant differences between youth pitchers and collegiate pitchers. As for variations within each trial, however, youth pitchers were significantly more inconsistent than collegiate pitchers. Although youth pitchers have acquired similar pitching motion to adults on average, their motion was often unstable with large variations. There was a significant difference in the mean values of spin rate between the youth pitchers and collegiate pitchers ($p < 0.001$). Moreover, the spin rate correlated significantly with the initial ball velocity ($p < 0.001$). Pitchers with a higher initial velocity achieved a notably higher spin rate. It was concluded that a pitching motion that increased the ball velocity consequently increased spin rate.

1. 緒言

子どものオーバーハンド投げの能力を、運動の成果であるボールの飛距離や初速によって評価した研究^{1), 2), 3), 4), 5)}では、発育発達に伴った

投能力の向上が報告されている。また、オーバーハンド投げは個体発生的な動作であることから、動作そのものがどのように獲得されていくかという観点から発達を評価しようとする研究も行われてきた。発達の様子をパターンに分

*国立スポーツ科学センター スポーツ科学研究部, **中京大学体育学部,

中京大学大学院体育学研究科、中京大学保健センター, *愛知県立蒲郡高等学校

類した報告^{1),6)}では、2歳前後から投動作が急速に洗練化し、6歳を過ぎればある程度の投能力を伴って協応のみられる動作様式に達することが観察されている⁷⁾。しかし、身体部位別に詳細な評価カテゴリーを設定した Halverson and Robertson⁸⁾は、11~12歳になっても腕のしなりや、腰のひねり動作などは完全に獲得されていなかったことを報告している。

また、これら定性的な評価方法では動作がより複雑になる小学校中学年以上の発達を十分に評価できないと考えられることから²⁾、キネマティクス、キネティクスの両面から定量的に投球動作の発達を評価する研究が行われてきた。Fleisig et al.⁴⁾は、Youth (10~15歳)、高校生、大学生、プロ野球選手という4つの年齢および競技レベルにおけるバイオメカニクスの変量を比較し、関節角度および動作のタイミングに関してはYouthとプロ野球選手との間に有意差は認められなかったことを報告している。また、石田⁹⁾は国内トップレベルの野球チームに所属する小学生、中学生を対象とした研究を行い、小学校高学年で肩関節最大外旋角度や最大内旋角速度の発揮のタイミングなど、成人の熟練者と同様の動作パターンがみられたことを明らかにしている。松尾^{10),11)}による研究においても、小学校高学年から中学校入学前後までに、すでに成人熟練投手と同等の動きを身につけていたことが報告されている。

一方、少年野球選手が投球したボールの回転軸は、一般的な投手によって投球されたものと異なっていたことが目視によって確認されており、広く注目を集めている¹²⁾。このボールの特徴は回転軸の方向と投球方向が同一であり、きりもみ回転で飛翔するボールであったという。Jinji and Sakurai¹³⁾は、大学生投手が投球したボールの回転軸の方向を算出しているが、回転軸の方向が投球方向と一致したボールを投球している投手は存在していなかった。

ボールにスピンを与えるのはスナップ動作であると考えられているが¹⁴⁾、少年野球選手を対象としたバイオメカニクスの研究では^{4),9),10),11)}、手先の動きに関して詳細に記述されておらず、

ボールに回転を与える動作の成人熟練投手との違いについては明らかではない。桜井ら¹⁵⁾はスナップ動作が7歳ころから成人のそれに近づくことを報告していることから、小学生および中学生野球投手と成人熟練投手とでは、投球されたボールスピンは異なっている可能性が考えられる。

このように、投動作は小学校高学年くらいから成人熟練投手と遜色がなくなると報告されている一方、ボールのスピンは少年野球選手特有の特徴を持つとの報告もされている。しかしながら、ボールの回転に関する変量を定量的に求め、比較したわけではなく、その詳細はわかっていない。そこで本研究では、野球チームに所属する小学生および中学生投手のボール回転軸の方向、回転速度を算出し、それらを大学生投手と比較することで子どもの投球におけるボールスピンの特徴を明らかにし、さらに子どもの動作の特徴やボールスピンを決定している要因について検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者および実験試技

被験者は、全日本軟式野球連盟加盟チームに所属する小学生および中学生投手（以下 Youth）が14名（年齢 13.9 ± 1.2 歳、競技歴 4.5 ± 2.2 年、身長 1.58 ± 0.11 m）、大学硬式野球チーム所属投手（以下 College）が9名（年齢 20.1 ± 0.8 歳、競技歴 12.1 ± 2.3 年、身長 1.75 ± 0.04 m）で、全員が上手投げであった。十分なウォーミングアップ後、マウンドが無い平面から正規の距離（大学生、中学生は18.44 m、小学生は16.00 m）に置かれたホームベース後方に着座している捕手に向かって、10球ずつ直球を投球させた。Collegeには公認硬式野球ボール（重量145 g、直径73.8 mm）を投球させた。全日本軟式野球連盟の規則に則り、小学生（被験者 M、N）にはC号（重量128 g、直径68 mm）の軟式野球ボールを、中学生にはB号（重量135 g、直径70 mm）の軟式野球ボールを投球させた。ボールの回転軸角度および回転速度を算出

するために、ボール表面上に直径 5 mm のポイント約 50 個をインクで描き、試技に用いた。

2.2 ボール回転軸角度および回転速度、ボール初速度の算出

ボールの回転速度および回転軸角度は、ボールリリース直後のビデオ映像をもとに算出した。この方法について、詳しくは Jinji and Sakurai¹³⁾に記載されているが、以下に略述する。

ピッチャーズプレートの後方 1 メートルに、撮影スピード毎秒 250 コマ、露光時間 1/6000 秒に設定した高速度ビデオカメラ (NAC 社製、HSV-500 C3) を設置した。このとき、ピッチャーズプレートの前縁中央とホームプレートの先端とを結んだ線がカメラの光軸と平行になるようにカメラ位置を調整し、さらにリリース直後のボールが画面上に大きく写るようにレンズをズームアップした。ボール表面上のポイントに焦点が合っている連続する 2 コマを分析に用いた。

投球方向に Y 軸、鉛直上向きに Z 軸、Y 軸と Z 軸の外積を X 軸 (Fig. 1) とし、ボールの中心を原点とする右手系の移動座標系を定義した。また、左投げの投手の分析には X 軸の向きが逆の左手系の移動座標系を定義した。ボールの移動座標系での 2 次元座標 (x, z) を求めるために、ボール表面上のポイントにデジタル化した。ボール表面上のポイントの三次元座標 (x, y, z) は、球の方程式 $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ に代入することによって求めた。このときの r はボールの半径である。ボール表面上にあるポイントの位置変化から、ボール回転軸角度、回転速度を算出した¹³⁾。ボール回転軸の方向は方位角 θ 、仰角 ϕ により定義した。また、ボール回転軸と y 軸の間の角度 α も求めた (Fig. 1)。なおボールを大写しにして撮影したため、ボールが完全に画面に映らず、回転軸角度、回転速度を算出できない投球が各被験者 1 ~ 5 球あった。

ボール初速度は、4 台の同期されたカメラで撮影された投球軌跡から、ボール中心をデジタル化し、DLT 法を用いることによって算出し

た。この詳細についても Jinji and Sakurai¹³⁾に記載されている

2.3 統計処理

Youth 群と College 群の平均値の差の検定には、対応のない t 検定を用いた。また、ボール回転速度とそれに関係する変数の間の関係をピアソンの積率相関係数によって検討し、相関係数の有意性の検定を行った。いずれの検定も有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

3.1 ボール初速度

Youth 群におけるボール初速度の平均値は 25.6 ± 2.8 m/s であった (Table 1)。College 群のボール初速度の平均値は 33.8 ± 1.7 m/s であった。Youth 群と College 群の平均値の間には有意差が認められた ($p < 0.001$)。

3.2 回転軸角度

Youth 群における回転軸角度の平均値は、 $\theta = 36.3 \pm 15.0^\circ$ 、 $\phi = -36.0 \pm 15.5^\circ$ 、 $\alpha = 61.3^\circ \pm 15.4^\circ$ であった。College 群における回転軸角度の平均値は、 $\theta = 30.4 \pm 12.4^\circ$ 、 $\phi = -26.4 \pm 10.2^\circ$ 、 $\alpha = 63.6^\circ \pm 10.0^\circ$ であった。Youth 群と College 群の回転軸角度の平均値には、 θ 、 ϕ 、 α とも有意差はなく、Youth 特有の回転軸角度

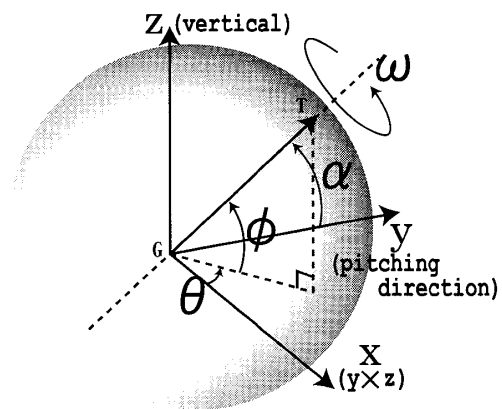


Fig. 1 Orientation of the angular velocity vector ω is defined by two angles ϕ and θ . α is angle between spin axis and y-axis (pitching direction).

は認められなかった。

ボール回転軸角度 α が被験者の中で最も小さかったのは、Youth群の被験者Y4の $20.8 \pm 3.1^\circ$ であり、純粹なきりもみ回転で投球する投手はいなかった。なお、ボール回転軸角度 α が最も大きかったのはYouth群の被験者Y11で、 $\alpha = 83.0 \pm 3.8^\circ$ であった。

各被験者が投球したボール（5～9球）の回転軸角度の標準偏差は、Youth群とCollege群の平均値の間に有意差が認められ、各被験者の試技間のばらつきはYouth群のほうが大きい結果となった。

3.3 回転速度

Youth群の回転速度の平均値は 19.9 ± 2.6 rpsであった。College群の回転速度は 31.9 ± 2.6 rpsで、Youth群の約1.6倍の値を示し、Youth群とCollege群の回転速度の平均値の間には有意差が認められた。

4. 考察

4.1 小学生および中学生投手の投球したボールの特徴

少年野球選手の投球したボールは、少年野球選手特有の特徴を持ち、回転軸がきりもみ回転で飛翔すると手塚と姫野¹²⁾によって報告されて

Table 1 Subject information and initial parameters of pitched baseball. "Youth" and "College" are mean values for the each group.

subject	Age (years)	Career (years)	Height (m)	Velocity		Axis of Rotation							
				(m/s)	SD	θ ($^\circ$)	SD	ϕ ($^\circ$)	SD	α ($^\circ$)	SD	ω (rps)	SD
Youth	13.9	4.5	1.59	25.6*	0.4*	36.3*	5.4	-36.0	3.6	61.3	4.4*	19.9*	1.1
College	20.1	12.1	1.75	33.8*	0.3*	30.4*	3.3	-26.4	2.1*	63.6	3.1*	31.5*	1.1
Y1	11	7	1.42	24.2	0.2	47.0	4.1	-19.8	3.2	46.6	4.2	19.9	1.1
Y2	12	7	1.40	22.2	0.2	71.4	4.6	-7.8	3.8	20.8	3.1	20.0	1.0
Y3	13	3	1.44	20.3	0.6	53.2	6.7	-39.0	8.2	51.6	7.9	15.7	0.9
Y4	14	1	1.68	24.3	0.3	43.2	3.9	-21.8	2.1	50.5	4.0	18.6	0.8
Y5	14	4	1.56	25.7	0.2	25.6	10.9	-64.1	2.8	79.3	4.8	20.0	1.7
Y6	14	5	1.62	25.5	0.5	19.3	4.6	-18.4	3.0	71.7	4.5	24.3	0.5
Y7	14	5	1.54	25.5	0.4	17.3	4.2	-48.6	4.4	78.7	2.9	16.6	1.3
Y8	14	6	1.67	30.9	0.8	12.6	6.7	-56.0	3.5	83.0	3.8	25.4	1.4
Y9	14	3	1.70	22.7	0.2	31.8	2.5	-45.9	0.9	68.5	1.6	18.6	0.6
Y10	14	3	1.63	27.4	0.3	34.4	3.9	-34.5	2.8	62.2	3.7	21.6	0.9
Y11	15	6	1.60	27.8	0.3	34.2	6.0	-26.5	3.2	59.8	5.7	20.9	1.0
Y12	15	5	1.62	26.9	0.6	45.5	6.7	-46.2	5.4	60.4	5.9	20.4	1.3
Y13	15	8	1.74	29.3	0.7	40.8	3.2	-46.1	2.9	63.1	2.7	18.2	1.3
Y14	15	0.5	1.60	25.8	0.6	32.0	7.8	-28.8	4.5	62.4	6.9	18.0	1.6
C1	19	12	1.78	29.7	0.3	39.1	3.7	-18.7	1.0	53.3	3.5	26.9	1.7
C2	19	7	1.70	35.8	0.2	31.2	4.2	-10.8	1.2	59.4	4.2	34.0	1.2
C3	20	14	1.75	33.6	0.3	21.7	1.0	-16.0	1.5	69.1	1.0	33.7	1.2
C4	20	13	1.75	35.0	0.2	54.0	1.9	-35.3	1.3	48.7	1.2	32.7	1.2
C5	20	13	1.70	34.3	0.3	29.5	3.6	-17.6	2.8	62.0	3.7	31.5	0.9
C6	20	11	1.74	33.7	0.5	43.0	3.4	-33.6	3.9	55.4	3.9	31.1	0.9
C7	21	15	1.74	34.1	0.2	15.0	3.5	-37.8	3.1	78.1	3.0	27.3	1.2
C8	21	13	1.77	32.9	0.3	25.9	3.8	-27.6	1.8	67.3	3.4	33.1	0.9
C9	21	11	1.82	34.7	0.3	14.6	4.5	-39.8	2.3	78.8	3.7	33.5	0.9

Notes: Significant differences between Youth and College. ***, $p < 0.001$; **, $p < 0.01$; *, $p < 0.05$

いた。しかし、そのようなボールに近い被験者は認められたものの、純粋なきりもみ回転で投球した被験者はおらず、大学生投手との違いは認められなかった。野球チームに所属する子どもにおいて、小学校高学年ぐらいから成人熟練投手と同等の動きを身につけているという報告^{9),10),11)}からも、ボールの回転軸の方向を決定している動作に大きな差はないものと考えられる。

しかしながら、身長の高い被験者 Y1 (1.42 m)、Y2 (1.40 m)、Y3 (1.44 m) は回転軸角度 α が小さく、身長が低いほど回転軸がきりもみ回転に近くなる傾向が、Youth 群にのみ認められた ($r=0.567$, $p<0.05$, Fig. 2)。本研究では動作そのものを観察していないため、これら被験者がどのような投球フォームで投球していたかを知ることはできないが、体格の影響、つまり手の大きさがボール回転軸の方向に影響した可能性が考えられる。11歳男子 (手長の平均値 16.3 ± 1.2 cm)¹⁶⁾ が握った C 級軟式野球ボール (21.205–21.520 cm) は、20歳男性 (手長の平均値 18.5 ± 0.8 cm)¹⁶⁾ が握った硬式野球ボール (円周 22.9–23.5 cm) よりも相対的に大きい。そのため、ボールのリリースの状態に影響を与えたことが推測される。小学生全般が C 級軟式野球ボールを使用しており、6歳男子の手長の平均値が 13.4 ± 1.1 cm¹⁶⁾ であることから、小学校低学年では成人のようにボールを握ることができず、ボール回転軸になんらかの影響を与えている可能性が示唆される。

子どもの投動作を対象としたバイオメカニクス的な研究^{2),4),9),10),11)}では、各学年や競技レベル別の平均的な動作パターンの特徴を比較することがほとんどであり、動作のばらつきの大きさを評価することはなかった。オーバーハンド投げの熟練者と未熟練者の動作を比較した研究¹⁷⁾では、ボールリリースにおける指の伸展の動作範囲のばらつきが、未熟練者のほうが熟練者よりも大きかったと報告されている。本研究では各被験者が投球したボール初速度と回転軸の方向のばらつきが College 群よりも Youth 群で大きかったことから、小学生、中学生野球

選手は、平均的なフォームはほぼ成人熟練投手と同様であるものの、動作が未成熟なために投球したボール速度、回転軸の方向の再現性が低くなったものと考えられる。

4.2 ボール回転速度を決定している要因

植屋ら¹⁴⁾は、スナップ動作がボールにスピンを与える役割を担っていると述べている。桜井ら¹⁵⁾は、リリース時の手首のスピードとリリース直後のボールスピードの比をスナップ比としてスナップ動作を評価しており、7歳ころから成熟に近づいていくことを報告している。本研究でみられたボール回転速度の Youth 群と College 群の間の有意差は、これらスナップ動作の発達の要因も少なからず含んでいるものと考えられる。しかし、ボール回転速度はボール初速度との間に有意な相関関係 ($r=0.905$, $p<0.001$, Fig. 3) を示したことから、ボールの回転速度が動作の発達以外の要因の影響も強く受けていることがわかる。

リリース直前にボールは指先へ転がることにより、それまでボールの重心の方向へ加えられていた力の作用が重心から外れ、モーメントアームが生じ、ボールを回転させるトルクが発生する¹⁸⁾。ボール初速度が大きい投手はボールへ加えられる力も大きく¹⁹⁾、おのずとボールを回転させるトルクも大きかったものと考えられる。大きな初速度を獲得する動作は、結果としてボールの回転速度を大きくさせることにつながる事が明らかになった。

5. まとめ

野球チームに所属する小学生および中学生投手のボールの回転軸角度、回転速度の特徴を明らかにし、子どもの動作やボールスピンを決定している要因について考察することが本研究の目的であった。

小学生および中学生投手のボールの回転軸角度の平均値は、大学生投手と有意差は認められなかった。しかし、小学生および中学生投手は、各投球の回転軸の方向のばらつきが大学生投手

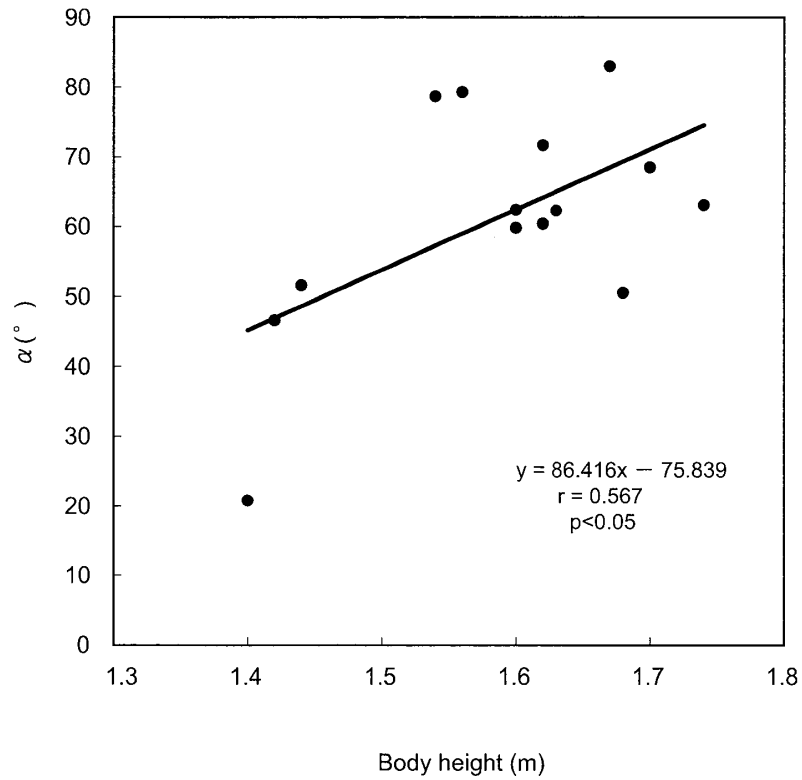


Fig. 2 Relationship between body height and α in youth pitcher. This figure shows a youth pitcher with lower height tend to pitch the ball which spin axis is parallel to pitching direction.

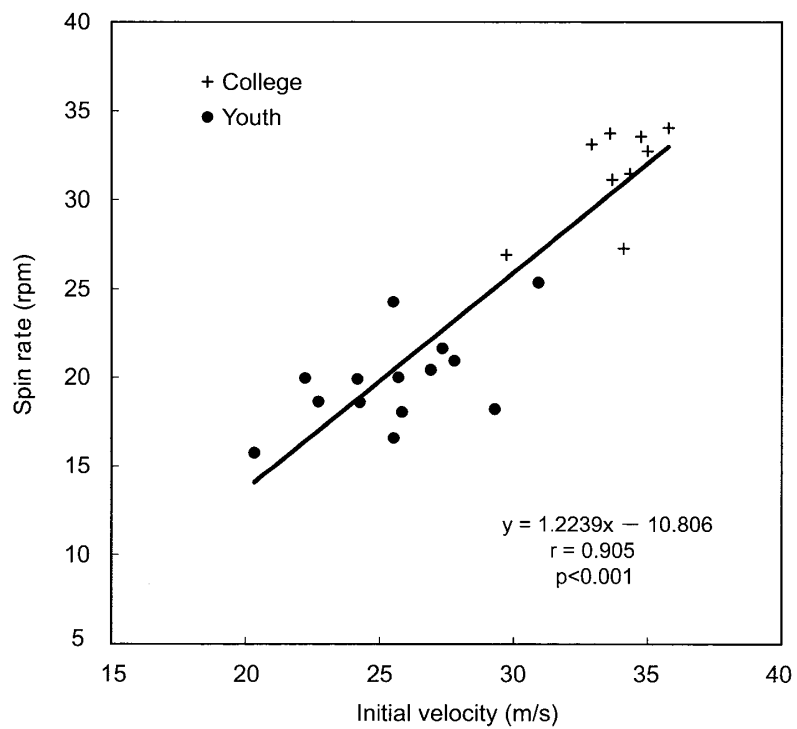


Fig. 3 Relationship between initial velocity and spin rate. There is a significant correlation between the initial velocity and the spin rate. A pitcher with higher initial velocity marks higher spin rate.

よりも大きく、動作の再現性が低いという特徴がみられた。また、大学生投手のほうが大きい回転速度を示したが、このボール回転速度とボール初速度との間には強い相関関係が認められた。ボール初速度を大きくする動作が結果としてボールの回転速度を増大させることにつながっていることが示唆された。

謝辞：本研究の実施にあたり、被験者として参加してくださった方々に深謝申し上げます。なお本研究は、2004年度中京大学特定研究助成によるものである。

参考文献

- 1) 宮丸凱史. 投げ動作の発達. 体育の科学 30: 464-471, 1980
- 2) 関根克浩, 豊川琢, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志. 小学生男子における投動作の発達に関するキネマティクス的研究. バイオメカニクス研究 3: 2-11, 1999
- 3) 角田俊幸. 投げる動作の発達. 体育の科学 28: 320-324, 1978
- 4) Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, Escamilla RF, Andrews JR. Kinematic and kinetics comparison of baseball pitching among various level of development. J Biomech 32: 1371-1375, 1999
- 5) 田中重陽, 角田直也. 野球選手発育・発達に伴う投球能力. 子どもと発育発達 1: 432-435, 2003
- 6) Wild MR. The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children. Res Quart 9: 20-24, 1938
- 7) 宮丸凱史. 投動作の発達. 体育の科学 35: 211-218, 1985
- 8) Halverson LE, Robertson MA. Development of the overarm throw: Movement and ball velocity changes by seventh grade. Res Quart 53 (3): 198-205, 1982
- 9) 石田和之. 投動作の発達段階. バイオメカニクス研究 5: 155-161, 2001
- 10) 松尾和之. 「じょうずに投げる」ためのバイオメカニクス・モデルの検討. バイオメカニクス研究 7: 355-359, 2003
- 11) 松尾和之. 投げる動作の発達 2～学童期以降～. 子どもと発育発達 4(2): 127-130, 2006
- 12) 手塚一志, 姫野龍太郎. 魔球の正体: 29-36, ベース・ボールマガジン社, 2001
- 13) Jinji T, Sakurai S. Direction of spin axis and spin rate of the pitched trajectory. Sports Biomechanics 5: 197-214, 2006
- 14) 植屋清見, 渋谷侃二, 吉本修, 石田俊丸, 桐生武夫, 藤江学, 水田拓道, 松永尚久, 藤巻公裕. 投げにおけるスナップの力学的研究. 体育学研究 15(5): 122, 1969
- 15) 桜井伸二, 宮下充正. 子供にみられるオーバーハンド投げの発達. Jap J Sports Sci 1: 152-156, 1982
- 16) 東京都立大学体力標準値研究会. 新・日本人の体力標準値 2000: 39-41, 不昧堂出版, 2000
- 17) Timmann D, Citron R, Watts S, Hore J. Increased variability in finger position occurs throughout overarm throws made by cerebellar and unskilled subjects. J Neurophysiol 86: 2690-2702, 2001
- 18) 宮西智久. より速いボールを投げるために野球の投球動作. Baseball Clinic 2005 (5): 29-34, 2005
- 19) 高橋佳三, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志. 野球のピッチングにおける手および指の動きとボール速度増加の関係. バイオメカニクス研究 4: 116-124, 1999