

博士（スポーツ科学）学位論文

発育期における身体サイズおよび筋力との関連でみた投  
球スピードの発達

Improvement of throwing speed during growth period  
in relation to body size and muscle strength

2009年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

勝亦 陽一

Katsumata, Yoichi

研究指導教員： 矢内 利政 教授

# 目次

第1章 緒論	-----	1
I	序	
II	用語の定義	
III	研究小史	
A	投能力、身体サイズおよび筋力の発育・発達	
B	投球スピードと身体サイズおよび筋力との関係	
C	投動作の発達	
IV	本研究の目的	
第2章 投球スピードと年齢との関係	-----	12
I	緒言	
II	方法	
III	結果	
IV	考察	
V	まとめ	
第3章 投球スピードと身体サイズとの関係		
第1節 投球スピードと身長との関係	-----	28
I	緒言	
II	方法	
III	結果	
IV	考察	
V	まとめ	
第2節 投球スピードと筋サイズとの関係	-----	40
I	緒言	
II	方法	
III	結果	
IV	考察	
V	まとめ	

第4章 投球スピードと筋力との関係 ----- 54

- I 緒言
- II 方法
- III 結果
- IV 考察
- V まとめ

第5章 総括論議 ----- 69

- I 年齢経過および身長増加に伴う投球スピード、走速度および跳躍距離の発達における比較
- II 発育期における投球スピードの向上を目的としたはたらきかけ

第6章 結論 ----- 77

参考文献

謝辞

## 第1章 緒論

### 1. 序

発育期における運動能力の発達、およびそれに影響を及ぼす要因を検討することは、人間のもつ潜在的な身体運動能力およびはたらきかけの可能性について多くの示唆を与える。運動能力の中でも、オーバーハンドにおける投球動作は、人間のみが可能であることから、歩および走行動作と比較し、後天的に学習される部分が多いと考えられている(桜井 1992)。そのため、オーバーハンドの投球動作の発達は、「定期的な投球の有無」という環境的要因の差に基づくと考えられる(桜井 1992)。したがって、投球動作は、人間における身体運動能力に対する学習効果の可能性を知るための格好の題材であるといえよう。

発育期において、オーバーハンドの投球スピードは、年齢経過に伴い増加する(角田ら 2003、Fleisig ら 1999、関根ら 2001)。一般に、発育期における運動能力の発達には、発育に伴う長育および量育が関与している。しかしながら、身体の各部位の発育は、それぞれが等しい割合で進むものではない(Scammon 1930)。よって、発育期における投球スピードの発達を検討する場合、暦年齢との関係だけでなく、身体サイズおよび筋力といった生物学的な発育・発達段階との関連を併せて検討する必要がある。

以上のことを考慮すると、発育期における投球スピードの発達は、年齢、生物学的な発育・発達段階および定期的な投球の有無の影響を受ける可能性がある。これまでの研究には、成人の野球選手において投球スピードと筋力との関係を検討した例が多くある(Bartlett ら 1989、勝亦ら 2006a、Pedegana ら 1982)ものの、発育期の子どもを対象として、身体の生物学的な発育・発達段階および定期的な投球練習の各影響について検討した例はない。

そこで、本学位論文は、発育期における投球スピードの発達について、定期的に投球を行う野球競技選手および競技として投球を定期的に行っていない男子を対象に、身体サイズおよび筋力との関連から検討することを目的とした。

## ．用語の定義

発育期における身体諸機能の変化に関する用語は、研究分野によって多岐にわたる。多くの場合、「発育、growth」を形態的な変化、「発達、development」を身体の機能的な変化として捉えることが多い(高石ら1981)。本研究は、それらに習って用語を用いた。すなわち、身長、体重、筋厚などの身体サイズについては「発育」、筋力および投球スピードについては「発達」を用いた。Relative growth は、日本において相対成長と訳されて使われてきた。しかしながら、本研究では、先に述べた用語の定義に沿って、身体サイズについては「相対発育」、機能については「相対発達」とした。

本研究では、定期的に投球を行っている野球競技選手を「野球競技選手」、投球を定期的に行っていない男子を「未経験者」とした。なお、野球競技経験の有無(以下、競技経験の有無)は、各野球連盟に加盟しているチームに所属し、競技を開始してから測定日までの期間が0.5年であることを基準に分けた。

## ． 研究小史

発育期において投球スピードが発達する要因は、体力的要因と技術的要因に大別され検討が行われてきた。前者において、身長、体重、筋サイズなどの身体サイズおよび力発揮能力は、発育期に発育・発達することが知られている。また、投球スピードと身体サイズおよび筋力との関係に関する知見もいくつかある。他方、後者の技術的要素については、投動作の発達に関する研究が以前より数多く行われてきた。そこで、研究小史では、A．身体サイズ、筋力および投球スピードの発育・発達、B．投球スピードと身体サイズおよび筋力との関係、C．投動作の発達、に関する研究の概要を概説する。なお、本研究では、男子のみを対象に検討を行うため、引用した文献の多くは、男子を対象に検討を行ったものとした。

### A 身体サイズ、筋力および投球スピードの発育・発達

#### 暦年齢との関連でみた身体サイズの発育および筋力の発達

子どもの身体サイズに関する研究の多くは、暦年齢を基準として検討を行ってきた。身体サイズの中で、身長は測定が簡易であり、長育(身体の長軸に沿った計測値)を代表する指標として適切であることから、多くの報告によって扱われてきた。身長の発育過程は、Scammon(1930)の発育曲線のうち、一般型である典型的な二重 S 型を示す。すなわち、胎児から幼児期前半の間に急激な発育を示し、それ以降から 10 歳くらいまでの間に比較的発育が緩やかな時期があり、11-15 歳における急激に発育する時期を経て、16 歳以降にみられる緩やかな発育から停止に至る。身長の年間増加量が最大になる時期は、個人差が大きいものの、おおよそ 12-14 歳の間であり、10cm/年を超える(Tanner ら 1966)。また、身長の発育に及ぼす遺伝または環境要因を検討した例(水野 1956)によると、一卵性双生児における身長の相関係数は、0.9 以上と非常に高いことから、身長は遺伝的な要因を強く受けると考えられている。

量育(身体の質的計測値)の代表的な基準である体重は、筋肉量、脂肪量、骨量、内臓などあらゆる身体各組織の総量であり、身長とともに身体の総合的な指標として扱われてきた。体重は、身長と同様に、二重 S 型を示した発育過程をたどる。しかしながら、年間増加量が最大になる時期は、身長よりも遅い(Lindgren 1978、Beunen と Malina 1988)。

体重は身体各組織の総量を表す指標であるが、各組織量の変化については明らかではない。体重、除脂肪体重および脂肪量の経年変化について検討した報告によると、20 歳までの間では体重の増加と除脂肪体重の増加は並行して起こる(Forbes ら 1961、Flynn ら 1972)。筋重量および体重あたりの筋重量は、5 歳から一定の割合で増加し、13 歳以降に急激な増加がみられる(Malina 1974)。これらの結果は、体重が筋重量の指標として有用であることを示している。

筋サイズの発育に着目した例もいくつかある。例えば、Tanner ら(1981)は、3-18 歳の男子を対象

に上腕および下腿の筋幅をX線写真から計測し、年齢とともに筋幅が増加することを示した。また、筋幅の年間増加量が最大になる時期は、身長の間年増加量が最大になった時(下腿)、またはその直後(上腕)であった。猪飼ら(1971)は、12-20歳の男子を対象に前腕および上腕の筋断面積を計測し、12-20歳の間に前腕では75%、上腕では80%(12歳を100%とする)の増加を示したことを報告している。福永ら(1989)は、7-18歳の男子を対象に、上腕および大腿の筋断面積を超音波法により計測し、筋断面積は年齢が進むにつれて増加し、特に、12-15歳の間に増加が著しいことを明らかにした。また、筋断面積の上腕前/後比は、年齢変化が認められないが、大腿前/後比は、年齢が進むにつれて低くなる傾向にあった(福永ら1989)。

発育期には、随意で発揮しうる力も増加する。7-18歳の男子を対象とした研究(金久ら1985)によると、等尺性の力発揮における肘・膝関節の屈伸筋力は、筋断面積と同様に、年齢が進むにつれて増加する傾向がみられ、特に、12歳以降に増加が著しい。同様に、Parkerら(1990)は、5-17歳の男子を対象に肘関節および膝関節筋力を計測し、12歳以降に著しい増加がみられることを明らかにした。

人が発揮しうる筋力の大きさは、筋量(Fukunagaら2001)、筋線維組成(Thorstensson1976、Nygaardら1983)、大脳の興奮水準および筋活動に関与する運動単位の数といった神経系の作用(KomiとKarlsson1979)の影響を受ける。発育期では、筋断面積あたりの膝関節屈伸筋力は、7-12歳までに増加し(Kanehisaら1995、金久ら1985)、12歳以降では変化がみられない(福永ら1989、金久ら1985)。これらの結果は、筋力発揮に影響を及ぼす要因は、発育段階によって異なることを示している。

#### 相対発育(発達)からみた身体サイズの発育および筋力の発達

暦年齢を基準としたこれまでの研究からも明らかなように、身体各部位の発育および筋力の発達は、それぞれが並行して進むものではない。その問題を解決するために、身体の一部を基準(x)とし、他の身体部分(y)の発育または機能の発達(y)を検討する相対発育(発達)という方法が用いられてきた。両者の間には、アロメトリー式 $y = bx^a$ (相対発育式、a(相対発育係数)、b(始原発育指数)は定数)という関係が成立つことをHuxley(1932)が提唱した。両辺の対数をとると、 $\log y = \log b + a \log x$ となり、両対数図上では傾きがa、切片の値が $\log b$ の一次式となる。a>1.0の場合、yの成長はxのそれに優り、a=0の場合、yとxの発育はほぼ等しく、a<1.0の場合、yの発育はxのそれに劣ることを意味する。また、両者の関係が複数の直線で表わされる場合、直線が折れる所を変移点と呼び、変移点は生体におけるxとyの発育関係が変化することを示す。

AsmussenとNielsen(1955)は、ディメンション論の観点から、体形が相似で身体組成が同一な人間を仮定した場合、身長に比例した距離Lとすると、体重は身長の3乗に比例する( $L^3$ )ことを論じて

いる。彼らは、6-17 歳のデンマーク人の男子を対象にそのことを検討した結果、係数 $a$ は 2.68 であったことを述べている。それに対して、森下(1966)は、6-18 歳の男子における身長と体重との関係は 3 相の直線で表され、第 3 の変移点は、156cm 付近に存在したことを明らかにした。係数 $a$ は、1.46、2.63、5.76 と発育段階を経るごとに増加することを示した。小宮と大坂(1975)は、6-14 歳の男子を対象に、身長および体重の縦断的調査を行ったところ、変局点がみられない単相で表されるパターンは全体の 3.5%、2 相で表されるパターンは 72%、3 相で表されるパターンは 17.2%であることを示した。

ディメンション論の観点から考えると、筋量は $L^3$ 、筋断面積は $L^2$ に比例する(AsmussenとNielsen 1955)。しかしながら、金久ら(1989a)は、6-19 歳の男子を対象に身長と上腕、前腕、大腿および下腿部の筋断面積との関係を検討した結果、アロメトリー式の係数 $a$ において理論値に近い値を示したのは 153cm 未満のみであり、約 153cm から 163cm の間では理論値よりも高い値(3.2 ~ 7.0)を示した。また、係数 $a$ は、上肢より下肢、遠位よりも近位において高かった。

筋力は、筋断面積に比例することから、理論上では $L^2$ に比例することになる(AsmussenとNielsen 1955)。しかしながら、6-17 歳のデンマーク人の男子では、脚伸展筋力、腕屈曲筋力、握力における係数 $a$ は、いずれも理論値よりも高く、脚伸展筋力では 2.81、腕屈曲筋力では 3.90、握力では 3.27 であった(Asmussen とNielsen 1955)。その理由として、Asmussen とNielsen(1955)は、神経系の発達および動作自体が巧みになることを挙げている。金久ら(1989b)は、6-19 歳の男子を対象に等尺性力発揮による肘および膝関節の屈伸筋力を計測し、係数 $a$ はいずれも理論値より高く、肘関節屈曲では 3.84、肘関節伸展では 3.08、膝関節屈曲では 3.27、膝関節伸展では 3.86 であったこと示した。また、肘関節屈曲および膝関節伸展における筋断面積あたりの筋力は、身長が高くなるにつれ増加する傾向にあったが、その理由として、金久ら(1989b)は、日常の筋活動に対する神経筋系の適応を考察している。

#### トレーニングとの関連でみた身体サイズおよび筋力の変化

発育期における筋力の増加を目的としたトレーニングにおける効果の有無は、報告間で結果が異なる。Vrijens(1978)は、8 週間のレジスタンストレーニングを行った結果、思春期後の男子ではトレーニング効果があったが、思春期前の男子ではトレーニング効果がなかったことを報告した。一方、Sewall と Micheli(1986)は、思春期前の男子を対象に、30 分/日、3 回/週、9 週間のレジスタンスエクササイズを行わせたところ、上肢および下肢の筋力は、平均で 42.9% 増加する(コントロール群では 9.5%)ことを示した。Ozmun ら(1994)は、思春期前の子どもを対象に、ダンベルを用いて肘関節屈伸を 7-10 回  $\times$  3 セットを 3 回/週、8 週間行わせたところ、等速性筋力では 27.8%、等張性筋力では 22.6% 向上したことを明らかにした。11.9  $\pm$  0.5 歳の男子では、Snatch および Clean&Jerk を週

3 回、8 週間行うことによって、トレーニング後には、肩関節の屈曲力が有意に増加した(Servedio ら 1985)。Faigenbaum ら(2002)は、7.1-12.3 歳の男女を対象に、週 1 回または 2 回のレジスタンスエクササイズを 8 週間行わせたところ、チェストプレスでは週 2 回群のみに、レッグプレスでは週 2 回群、週 1 回群いずれもトレーニング効果が認められたことを報告した。

筋力の増加を目的としたトレーニングが筋サイズに及ぼす影響を検討した例として、船渡ら(1989)は、小学 2、4 年生の児童に肘関節の等尺性による最大筋力を 10 秒間維持することを 3 回×2 セット、3 回/週、12 週間行わせた。その結果、筋力は学年を問わず効果がみられたが、筋断面積は、4 年生の男子において平均 14.9%増加したが、2 年生においては断面積の増加はみられなかった。また、船渡ら(1989)は、筋断面積あたりの筋力には変化がみられなかったことも併せて報告している。

以上のように、筋力の向上を目的としたトレーニングにおける筋サイズへの効果は、報告数が少ない上、一致した見解が得られていない。また、筋力の向上を目的としたトレーニングの最大筋力への効果は、年齢によって異なることが考えられる。

#### 暦年齢からみた投球スピードの発達

発育期では、投球スピードだけでなく遠投距離の発達に関して検討した例も多い。よって、発育期の男子に野球競技またはテニス競技のボールを投球させ、そのスピードまたは遠投距離を計測した研究の概要を述べる。なお、対象とした被検者の野球競技経験の有無および定期的な投球の有無に関する記述がみられない研究については、未経験者として扱い、「定期的な投球の有無は不明」と記述をした。また、投能力と記述した場合は、投球スピードおよび遠投距離の両方を表した。

投能力の発達に関する報告の多くは、定期的な投球の経験がない幼児から 12 歳までを対象としている。角田ら(1976)は、5-12 歳の幼稚園児および小学生の男子(「定期的な投球の有無は不明」)を対象に、テニスボールの遠投距離と年齢との関連を横断的に検討した。その結果、遠投距離は、8.8m(5 歳)から 36.7m(12 歳)に増加し、特に、7-9 歳の間に遠投距離の増加が著しかった。桜井と宮下(1982)および Sakurai と Miyashita(1983)は、3 歳から 9 歳の男女計 180 名(定期的な投球の有無は不明)を対象にテニスボールにおける投球スピードを計測し、男子では、3 歳から 9 歳の間に約 4m/s から約 18m/s、女子では約 4m/s から約 11m/s に増加することを明らかにした。関根ら(1999)は、定期的な投球を行っていない小学 1、3、5 年生の男子を対象に投球スピードを計測した。その結果として、各年齢の投球スピードは 10.5m/s(1 年生)、14.2m/s(3 年生)、16.8m/s(5 年生)であることを示した。

野球競技選手を対象に野球のボールを投球させた例はいくつか存在する。例えば、Halverson ら(1982)は、22 名の男子(22 名中 12 名が定期的な野球競技経験を有する)を対象に、7-13 歳の間に計 4 回の縦断的調査を行った。その結果、投球スピードは、10.5 m/s(7 歳)、11.8 m/s(8 歳)、

13.1 m/s(9 歳)、20.8 m/s(13 歳)であり、1 年間に 1.52m/s ~ 2.44m/s の割合で著しい経年変化がみられることを明らかにした。角田ら(2003)の報告によると、10-20 歳の野球競技選手の投球スピードは、23.2m/s(10-15 歳)、29.9m/s(16-18 歳)、33.2m/s(19-歳)であった。また、Fleisig ら(1999)は、10-15 歳、高校生(15-20 歳)、大学生(17-23 歳)、メジャーリーガー(20-29 歳)の投手における投球スピードは、28m/s(10-15 歳)、33m/s(高校生)、35m/s(大学生)、35m/s(メジャーリーガー)であることを示した。

これらの報告から明らかのように、定期的な投球の有無に関わらず、発育期の男子では、年齢に伴い投能力は発達する。しかしながら、Halverson ら(1982)の報告は、すべての対象者が野球競技選手である角田ら(2003)および Fleisig ら(1999)の報告と比較すると低い傾向にある。また、ボールの質量および大きさが異なるため、一概に比較はできないが、野球競技選手を対象とした角田ら(2003)および Fleisig ら(1999)の投球スピードは、定期的な投球を行っていない関根ら(1999)の結果よりも速い傾向にある。しかしながら、投球スピードと年齢との関係において、野球競技選手と未経験者に相違があるかは明らかではない。

#### 投球スピードの向上を目的とした筋力トレーニングの効果

筋力トレーニングが投球スピードの増加に有効であるかについて、子どもを対象に検討した例はない。一方、成人を対象とした報告のほとんどは、筋力の増加が投球スピードの増加に影響することを明らかにしている(van den Tillaar 2004、Derenne ら 2001)。また、通常のボールよりも重い、または軽いボールを投球するトレーニングは、投球スピードの増加に効果がある(Escamilla ら 2000)。これらの報告と、先に示した筋力の向上を目的としたトレーニングの効果が発育期の男子において効果があることを考慮すると、発育期における筋力の増加を目的としたトレーニングは、投球スピードの増加に影響すると考えられる。

#### B 身体サイズおよび筋力と投球スピードとの関係

発育期の子どもを対象に投球スピードと身長との関係を検討した石田ら(2003)は、リトルリーグに所属する野球競技選手を対象とした縦断的調査から、身長の増加に応じて投球スピードが速くなることを報告している。10-19 歳の野球競技選手の投球スピードと除脂肪体重との関係は、暦年齢を制御変数としても有意な相関関係がみられる(角田ら 2003)。一方、未経験者を対象に、両者の関係を検討した例はない。また、身長を基準とした投能力の発達について、ハンドボール投げに関する報告(金子 1974)はあるものの、野球競技選手および未経験者を対象に野球のボールにおいてそのことを検討した例はない。

成人の野球競技選手を対象に投球スピードと筋力との関係を検討した例は、そのほとんどで両者

の間に有意な相関関係が認められている。例えば、投球スピードと上肢(勝亦ら 2006、Pedeganaら 1982、Bartlettら 1989)および下肢(勝亦ら 2006b)の筋力との間に有意な相関関係が認められる。一方、9歳から12歳の野球投手を対象にした平野(1986)の結果では、投球スピードと肘関節伸展筋力との間に有意な相関関係はない。発育期および成人の未経験者を対象に投球スピードと筋力との関係を検討した例はないが、女子ソフトボール選手においてアンダーハンドにおける投球スピードと膝関節伸展筋力との間には有意な相関関係が認められること(Pughら 2001)、エリートハンドボール選手において投球スピードと下肢の筋力との間には有意な相関関係が存在すること(Gorostiagaら 2005)が報告されている。

これまでの報告をまとめると、投球スピードと上肢および下肢の筋サイズおよび筋力との関係は、年齢および競技経験の有無によって異なる可能性がある。しかしながら、上肢の筋力を計測し、投球スピードとの関係を検討した例はいくつかあるものの、投球スピードと下肢の筋力との関係について発育期の野球競技選手および未経験者を含めて検討した研究は見当たらない。

## C 投動作の発達

### 暦年齢との関連でみた投動作の発達

野球競技またはテニス競技において使用するボールを片手オーバーハンドスローさせた報告に限定し、動作の発達に関するこれまでの研究の概要を述べる。なお、対象とした被検者の野球競技経験の有無および定期的な投球の有無に関する記述がみられない研究については、未経験者として扱い、「定期的な投球の有無は不明」と記述をした。

投動作の発達に関する研究は、動作をいくつかのパターンに分類し、年齢との関連から発達段階を明らかにしてきた。まず、ボールを投げる行為は、偶然にボールを手放しすることから始まり、1歳半にはオーバーハンドスローが可能になる(桜井 1992)。そして、6歳を過ぎるとステップ動作を伴った投動作に達する(桜井 1992)。その投動作の発達段階について Wild(1938)は、2-12歳の幼児および児童(定期的な投球の有無は不明)を対象に投動作を撮影し、年齢と投動作との関連から、次に示す投動作の4つの発達段階を明らかにした。

1. 上体の前後の動きと手と肘の伸展だけで投球(2-4歳)
2. 1.に加え、肘と肩を後方に引く動作と体幹の回転を加えて投球(3.5-5歳)
3. 1.および2.に加え、投げ手側の脚の投方向へのステップが加わり、体重を移動して投球(5-6歳)
4. 投げ手と反対側の脚の投方向へのステップがあり、体重を移動させながら体幹部を捻転させて投球(6.5歳)

宮丸(1980)および宮丸と平木場(1982)は、1-6歳の男子(定期的な投球の有無は不明)を対象

に、11 項目の動作カテゴリーの組み合わせから、投動作を 6 パターンに分類した。この分類は、Wild (1938)における発達段階の 1.と 2.との間に、手を頭の後ろへ引き上げて投球、4.の後に、windアップモーションを行った投球を加えたものである。また、月齢と動作パターンとの関連から投動作の発達段階を検討した結果、Wild(1938)とほぼ同年齢において動作の発達段階が観察されたとしている。桜井ら(1982)は、3-9 歳の子ども(定期的な投球の有無は不明)を対象に、投動作を定性的に評価した結果、5 歳男子において Wild(1938)の発達段階における 4 に達することを明らかにした。これまでに述べた投動作の発達段階を定性的に評価した報告から考えると、投動作は、1-6 歳の間に上肢の動作による投球から、脚や体幹部といった大きな体節が関与するように発達することが示唆される。

6-13 歳の子どもを対象とした報告によると、投動作の評価方法、被検者の野球競技経験の有無によって結果が異なるものの、年齢経過に伴い投動作は発達する。例えば、Halverson ら(1982)は、男子 22 名(12 名が定期的な投球を実施している)を対象に、上腕、前腕および体幹部における各動作の評価を総合して動作得点を算出した。6-12 歳の間に計 4 回(6、7、8、13 歳)の調査を行った結果、投球スピードおよび上腕、前腕の動作得点は増加したが、体幹部は 13 歳においても未だ改善の余地があることを明らかにした。Halverson ら(1982)の報告は、数少ない縦断的調査であるが、投動作の発達と投能力との関連は明らかではない。それに対して、角田ら(1976)は、5-12 歳の男子および女子(定期的な投球の有無は不明)を対象に、投動作中を評価する要素として上体の反りの有無、脚の構えと動きおよび腰の回転の有無を挙げ、各要素の評価を総合して動作得点を算出し、それと年齢および投球スピードとの関連を検討した。その結果によると、年齢の増加とともに動作得点は増加の傾向がみられたが、遠投距離が著しく増加した 7-9 歳の男子において、それを裏付けるような投動作の変化はみられなかった。深代ら(1983)は、角田ら(1976)の方法を発展させ、9 項目の動作を判断基準に得点化し、フォーム得点から投距離を推定する重回帰分析を行い、逆手の引き、腰の回転、上体の反りの利用が遠投距離に影響する要因であることを報告した。Stodden ら(2006a、2006b)は、3-15 歳の男子および女子(定期的な投球の有無は不明)を Robertson と Halverson (1984)における動作得点を基準として、投動作の発達段階によって群分けした。その結果として、上腕、前腕、上体、脚のステップ、脚ストライド長に関連するキネマティックデータは、動作の発達段階によって大きく異なることを明らかにした。

これまでの報告は、定期的な投球の有無に関する記述がない、または野球競技者と未経験者が混在したものである。6-12 歳の野球競技選手のみを対象とした Ishida ら(2006)は、投動作の未熟練者にみられるような肘関節伸展動作が中心となった投球動作がみられることを明らかにした。一方、10-15 歳、高校生、大学生、メジャーリーガーの投手を対象に投動作を比較したところ、投動作中の各局面におけるキネマティックデータにおいて群間の差異がほとんどみられないことも明らかになって

いる(Fleisig ら 1999)。このように、野球競技選手における年齢と投動作の発達段階については不明な点が多いものの、10-15 歳において、成人の野球投手と同様のレベルまで達することは可能なようである。

#### トレーニングとの関連でみた投動作の発達

投動作の発達は、「定期的な投球の有無」という環境的要因の差に基づくと考えられる(桜井 1992)。そこで、投動作の発達に關与する環境要因の影響として、投動作の改善を目的としたトレーニングの効果に関する研究の概要を報告する。

子どもにおける投動作を改善するためのトレーニング効果は、報告間で結果が異なる。例えば、宮丸と平木場(1982)は、5-6歳の幼児を対象にテニスボールの投球指導を6週間行い、7段階の投動作評価に基づいて投球練習の効果を評価した。その結果によると、男女ともに、有意な動作および投球スピードの改善が認められた。深代ら(1982)は、宮丸と平木場(1982)と同年齢の5-6歳の男子に6ヶ月の投球練習を行わせたところ、投動作の得点の改善は、5歳児において6歳児よりも顕著であったが、練習の有無によって遠投距離の増加量に相違がみられなかったと述べている。Robertson ら(1979)は、5-7歳の子どもの投球練習を行わせたが、顕著な効果は認められなかったことを報告している。奥野ら(1989)は、12歳以下の男子では、特に7-9歳において投動作の練習効果が著しいことを明らかにした。

一般女子大学生を対象にした研究(尾懸ら 1996)によると、4週間、3回/週にわたる投動作の改善を目的とした練習を行った結果、投球フォームでは、腕および脚動作に有意な変化がみられ、遠投距離には2.91-9.26mの増加がみられた。それに対し、平野と浅見(1988)は、成人の男性を対象に、週2回、30分/回の投動作の指導を行ったところ、動作中における筋活動のタイミングは変化したもの、投球スピードには有意な変化がみられなかったとしている。

以上のように、投動作のトレーニングの効果については、報告間で結果が異なる。しかしながら、効果が認められた報告があることを考慮すると、適切なはたらきかけが行われた場合、投動作の発達、およびそれに伴った投球スピードの増加の可能性は高いと考えられる。

#### 本研究の目的

上記のように、発育期における投球スピードと年齢との関係において、野球競技選手と未経験者との間に相違がみられるかは明らかではない。他方、投球スピードが増加する要因は、身体サイズおよび筋力と投動作に大別できると考えられる。投動作の発達に関するこれまでの報告を考慮すると、6歳には脚のステップを伴った投動作に発達し、10-15歳では高い水準まで発達する可能性が考えられる。一方、投球スピードと身体サイズおよび筋力との関係を検討した報告によると、投球スピードの

発達に身体サイズおよび筋力が及ぼす影響は、年齢および競技経験の有無によって異なる可能性がある。しかしながら、それらの関連は明らかではない。

そこで、本学位論文は、発育期における投球スピードの発達について、定期的に投球を行う野球競技選手および投球を定期的に行っていない野球競技の未経験者を対象に、身体サイズおよび筋力との関連から検討することを目的とした。本研究の具体的な視点は以下に示す通りである。

## 第2章 投球スピードと年齢との関係

野球競技選手および未経験者を対象に投球スピードと年齢との関係を横断的に調査すること、および、野球競技選手を対象に投球スピードと年齢との関係を縦断的に調査することにより、野球競技選手における投球スピードと年齢との関係を検討した。

## 第3章 投球スピードと身体サイズとの関係

### 1節 投球スピードと身長との関係

野球競技選手および野球未経験者を対象に、投球スピードと身長との関係を相対発達の観点から検討した。

### 2節 投球スピードと筋サイズとの関係

発育期と成人の野球競技選手および未経験者を対象に、身体サイズとして四肢の筋厚を計測し、それらの値の年齢変化および投球スピードと筋サイズとの関係を検討した。

## 第4章 投球スピードと筋力との関係

発育期と成人の野球競技選手および未経験者を対象に、筋力を計測し、それらの値の年齢変化および投球スピードと筋力との関係を検討した。

## 第5章 総括論議

総括論議では、年齢経過および身長増加に伴う投、走および跳能力の発達における比較、発育期における投球スピードの向上を目的としたはたらきかけについて検討した。

## 第2章 投球スピードと年齢との関係

### I. 緒言

これまでに、発育期の野球競技選手(角田ら2003、Fleisigら1999)または野球を競技として行ったことのない未経験者(関根ら1999)を対象とした研究から、年齢経過に伴い投球スピードが増加することが明らかになっている。一般に、発育に伴うスポーツパフォーマンスの向上は、発育に伴う身体サイズや骨格筋量の増加が関与している。しかしながら、オーバーハンドの投球動作は、人間のみに可能であり、歩および走動作行と比較し、後天的に学習される部分が多い(桜井1992)。また、投球動作の改善を目的とした練習の効果は、発育期に著しい(奥野ら1989)。これらの知見を考慮に入れると、投球スピードと年齢との関係は、定期的な投球経験の有無によって異なる可能性があるといえる。しかし、両者の関係における先行研究において、定期的な投球を行っている者を対象としたものは少なく、未経験者を含めて発育および練習の各影響について検討した例はない。

角田ら(2003)に代表される横断的調査は、投球スピードと年齢との関係における一般的傾向を明らかにできる点で有効である。しかしながら、年齢経過にともなう投球スピードの増加、およびその個人差を詳細に検討するためには、その方法に加えて同一の選手を縦断的に調査する必要がある。

そこで本章では、1)定期的な投球を行っている野球競技選手および定期的な投球を行っていない未経験者を対象に投球スピードと年齢との関係を横断的に調査すること、2)野球競技選手を対象に投球スピードと年齢との関係を縦断的に調査することにより、野球競技選手における投球スピードと年齢との関係を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### A. 被検者

横断的調査では、7歳から24歳の野球競技選手319名(投手60名、捕手17名、内・外野手242名)および野球を競技として経験したことのない96名(以下、未経験者とする)を対象とした。なお、各野球連盟に加盟しているチームに所属し、競技を開始してから測定日までの期間が0.5年以上経過している者を「野球競技選手」とした。

縦断的調査では、横断的調査で対象とした野球競技選手319名のうち114名(投手17名、捕手8名、内・外野手89名)を対象に1年間の間隔を置き、2回(1回目:2005年11月~2007年3月、2回目:2006年11月~2008年3月)の測定を行った。

横断的および縦断的調査ともに、年齢を基準として、被検者を7群(7-9歳、10-11歳、12-13歳、14-15歳、16-18歳、19-20歳、21-24歳)に分けた。各群の被検者数、年齢および身体特性を、表2-1(横断的調査)および表2-2(縦断的調査)に示した。7-18歳の野球競技選手には、競技団体に所属してから測定日までの期間(競技年数)を調査した(表2-1および表2-2)。また、19歳以上の野球競技選手には、詳細な調査を行わなかったが、6年以上にわたり競技を行っていることを確認した。

本章は、早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を得た。実験に先立ち、被検者に対して本章の目的および実験への参加に伴う危険性についての十分な説明を行い、実験参加の同意を得た。また、18歳未満の被検者については、被検者本人に加え保護者に対しても実験の説明を行った上で、実験参加の同意を得た。

### B. 投球スピードの測定

被検者には十分なウォーミングアップを行わせた後、平地においてセットポジションから16m(7-11歳)または18.44m(12歳以上)先の的に向かって全力でボール投げを行わせた。ボールは、7-11歳では学童用の軟式C号球(質量:128±1.8g 直径:68±0.5mm)、12-24歳では硬式球(質量:141.7-148.8g、円周22.9-23.5cm)を使用した。ドップラー方式のスピードガン(PSX-2、Decatur社製、USA)を的の後方に設置し、投球スピードを測定した。スピードガンは、測定誤差の少ない投球の進行方向に配置(宮西ら2000)し、照準を被検者のボールリリース位置に向けて測定を行った。投球数は5球とし、最も速かった1球を個人の投球スピードとした。投球間の休息は30秒以上とした。また、本章で対象とした被検者とは異なるが、大学野球競技選手10名および野球を競技として経験したことのない成人男子7名の計17名を対象に投球スピードを5球/日、5日以上の間隔を空けて計2回計測した。その結果、2回の投球スピードに統計的に有意な差はみられず、級内相関係数は0.980であった。このことから投球スピードの計測値およびスピードガンによる投球スピードの再現性

は高いと考えられる。

本章では、年齢によって使用したボールの質量が異なったため、計測した投球スピードからボールに与えられたエネルギー当量(以下、投球エネルギーとする)を算出した。すなわち、投球エネルギー(J) =  $1/2 \times$  ボールの質量(kg)  $\times$  投球スピード(m/s)<sup>2</sup>とした。なお、ボールの質量は、軟式球が0.128kg、硬式球が0.145kgとして計算した。

### C. 統計処理

横断的調査における投球スピードおよび投球エネルギーの群間の比較には、2要因(年齢群(7-9歳群、10-11歳群、12-13歳群、14-15歳群、16-18歳群、19-20歳群、21-24歳群)  $\times$  野球競技経験の有無(野球競技選手と未経験者))の分散分析を行い、交互作用および主効果の有無を確認した。分散分析の結果、F値が有意である場合は、Scheffe法を用いて群間の差の有意性を検定した。また、各年齢群における年間変化量を、各群の年齢、投球スピードおよび投球エネルギーの平均値の差から算出した。投球スピードと競技年数との関係には、ピアソンの積率相関係数および年齢を制御変数とした偏相関係数を求めた。また、競技年数によって投球スピードに差がみられるかを検討するために、12-13歳群および16-18歳群について、競技年数を基準(平均値  $\pm$  1SD)として3群(短い群(平均値 - 1SD未滿)、中群(平均値  $\pm$  1SD)、長い群(平均値 + 1SD以上))に分けた。投球スピードの群間比較には、対応のない一元配置の分散分析により行い、F値が有意である場合は、Scheffe法を用いて差の有意性を検定した。

縦断的調査における各測定値の1回目と2回目との比較には、対応のあるt検定を用いた。また、各測定値における2回目と1回目の差(2回目 - 1回目)を年間変化量として算出した。変化量の群間比較には、対応のない一元配置の分散分析により行い、F値が有意である場合は、Scheffe法を用いて差の有意性を検定した。それぞれ危険率5%未滿をもって統計的に有意とした。統計量の算出は、SPSS (12.0 J for Windows) を用いて行った。

### III. 結果

#### A. 横断的調査

表 2-1 に投球スピードおよび投球エネルギーの平均値、標準偏差、最大値および最小値を示した。投球スピードは 8.9-37.5m/s、投球エネルギーは 8-85J の範囲にあった。投球スピードおよび投球エネルギーについて、二元配置の分散分析(年齢 × 競技経験の有無)を行った結果、いずれの項目についても交互作用が認められた。年齢群間の比較を行ったところ、7-18 歳の間では、競技経験の有無に関わらず、年齢が高いほど測定値は高かった(図 2-1)。また、野球競技選手の投球スピードおよび投球エネルギーは、12-24 歳の各年齢群において、未経験者のそれよりも有意に高値であった。

21-24 歳の未経験者における平均値を 100%とした場合、投球スピードは 7-9 歳の未経験者では 50%、野球競技選手では 64%であった(図 2-2)。それらの値は、年齢経過に伴い増加し、21-24 歳の野球競技選手では 120%に達した。また投球エネルギーは、7-9 歳の未経験者では 22%、野球競技選手では 36%であったが、21-24 歳の野球競技選手では、150%に達した。また、各年齢の未経験者における平均値を 100%とした時の各年齢群の野球競技選手の値は、投球スピードでは 120~130%、投球エネルギーでは 150~170%の範囲にあった(図 2-2)。

#### B. 縦断的調査

表 2-2 は投球スピードおよび投球エネルギーに関する縦断的調査の結果を示したものである。投球スピードおよび投球エネルギーは、7-18 歳の各年齢群において、2 回目が 1 回目よりも有意に高い値を示した。図 2-3 に投球スピードおよび投球エネルギーの年間変化量における個人値(図 2-3-A-1、B-1)および平均値(図 2-3-A-2、B-2)を示した。投球スピードの年間変化量は、12-13 歳群が 14-24 歳の各年齢群よりも、7-9 および 10-11 歳群が 19-20 および 21-24 歳群よりも有意に高かった。投球エネルギーの年間変化量は、12-13 歳群が 10-11 歳および 14-24 歳の各年齢群よりも、7-9 および 10-11 歳群が 19-20 歳群および 21-24 歳群よりも有意に高値であった。

縦断的調査における投球エネルギーの年間変化量と年齢との関係を図 2-4 に示した。また、横断的調査における投球エネルギーと年齢との関係も併せて示した。両調査の結果において、野球競技選手では 10-15 歳が他の年齢層よりも高い値を示す傾向が認められた。また、年間変化量が最大に達する 13 歳前後では、縦断的調査の値が横断的調査の値よりも高い傾向にあった。未経験者では、野球競技選手と同様に、10-15 歳においてその他の年齢よりも高い傾向を示した。しかし、その値は野球競技選手よりも低い傾向にあった。

#### C. 投球エネルギーと競技年数との関連

投球エネルギーと競技年数との間には、有意な正の相関関係が存在した( $r=0.707$ 、 $p<0.05$ )。両

変数間の関係は、年齢を制御変数とした場合においても有意であった ( $r=0.265$ 、 $p<0.05$ )。投球エネルギーの年間変化量と競技年数との間には、有意な負の相関関係が認められた ( $r= - 0.397$ 、 $p<0.05$ )。両者の関係は、年齢を制御変数とした場合においても有意であった ( $r= - 0.307$ 、 $p<0.05$ )。

図 2-5 に競技年数を基準に分けた群間における投球スピードの比較を示した。12-13 歳群および 16-18 歳群において、競技年数が短い群は、その他の群よりも有意に遅かった。

#### IV. 考察

本章の横断的調査では、7-18 歳までの間、競技経験の有無に関わらず、年齢が高いほど投球スピードは速い傾向にあった。本章における被検者、ならびに先行研究における野球競技選手(角田ら 2003、角田ら 2004、Dunら 2007、Escamillaら 2001、Ishidaら 2006、Fleisigら 1999)および未経験者(関根ら 1999、角田ら 2002)の投球スピード(平均値)と年齢との関係を図 2-6 に示した。本章の結果は、野球競技選手および未経験者を対象とした先行研究に近い値であり、年齢経過に伴う変化のパターンにおいても先行研究の結果と類似していた。発育期の男子では、年齢経過に伴い四肢の筋断面積および筋力が増加するが、特に 13-15 歳において、それらの増加は著しい(Kanehisaら 1995)。また、成人の野球競技投手において、投球スピードは、筋量および筋力との間に相関関係が認められる(勝亦ら 2006)。これらの先行研究の知見を考慮すると、年齢経過に伴う投球スピードの変化には、身体の長育および量育が影響していることが推察される。

本章では、19 歳以上において、競技経験の有無に関わらず、投球スピードの増加はみられなかった(図 2-1)。このような結果の解釈として、まず、定期的に投球練習を行っていない未経験者では、身体サイズおよび筋力の発育・発達著しい時期を過ぎた年齢であることが原因として考えられる。また、本章および先行研究の結果を示した図 2-6 から明らかなように、定期的に投球練習を行う野球競技選手においても、19 歳以上では、7-18 歳に比較して投球スピードの増加が小さい傾向にあった(図 2-6)。このような結果を解釈するためには、身体の発育の他に、投球練習の効果における適齢期について考察する必要がある。本章における横断的調査の結果、12 歳以上における野球競技選手の投球スピードは、未経験者のそれよりも有意に速かった(図 2-1)。さらに、15 歳未満の野球競技選手における投球エネルギーの年間増加量は、未経験者よりも高い傾向にあった(図 2-4)。投動作の発達に着目した研究は、発育期の男子における投動作の改善を目的とした練習の効果は、12 歳以下において大きく、特に 7-9 歳において顕著であることを報告している(奥野ら、1989)。また、投動作中のキネマティックデータにおいて、10-15 歳の野球投手と 20-29 歳のメジャーリーグに所属する投手との間に大きな差異はみられない(Fleisigら 1999)。このような報告と本章における野球競技選手と未経験者との相違を併せて考えると、定期的なボール投げの経験が投動作の習熟に及ぼす影響は、7-15 歳において大きく、19 歳以上では小さいことが推察される。

野球競技選手を対象とした縦断的調査において、7-18 歳の各年齢群の投球スピードは、1 回目より 2 回目において有意に速かった(表 2-2)。この結果は、7-18 歳の間には、年齢が増すに従って投球スピードが増加するという本章における横断的調査の結果を支持する。また、図 2-4 に示したように、縦断的調査における投球エネルギーの年間変化量と年齢との関係は、横断的調査と類似したパターンを示した。しかし、投球エネルギーの年間増加量がピークに達する 13 歳前後では、縦断的調査における値が横断的調査における値よりも高い傾向にあった(図 2-4)。また、12-13 歳群では、投球ス

ピードの年間変化量における最大値および最小値がそれぞれ 6.9m/s および 0.8m/s であり、その個人差は、他の年齢群(各群の変化量の最大値:1.5-3.6m/s)よりも大きい傾向にあった(図 2-3 の A-1)。本章での計測項目は投球スピードのみであり、このような結果の原因について具体的な説明を加えることはできない。しかしながら、12-13 歳は、身長および体重の年間増加量に個人差がみられる(Tannerら 1966)二次性徴に該当し、また、先に述べたように、投動作の習熟が著しい時期でもある。これらの要因が相互に作用した結果、個人差がその他の年齢群よりも大きくなったと推察される。いずれにしても、このような結果は、横断的調査では明らかにすることができない重要な知見といえよう。

本章では、競技経験の有無に加え、18 歳以下の野球競技選手を対象に投球スピードと競技年数との関係を検討した。横断的調査において、投球スピードと競技年数との間には、年齢の影響を制御した偏相関関係においても有意であった。また、縦断的調査において、1 年間の投球スピードの変化量と競技年数との関係は、年齢の影響を制御した偏相関関係においても有意であった。これらの結果は、投球スピードは、年齢に関係なく、競技年数が長いほど速いことを示唆する。しかしながら、競技をいつ頃から開始すべきかについては明らかではない。そこで、12-13 歳群および 16-18 歳群について、競技年数を基準として 3 群に分け、群間における投球スピードの比較を行った。その結果、12-13 歳群および 16-18 歳群ともに、競技年数が短い群は、その他よりも投球スピードが有意に遅かった(図 2-5)。さらに、競技年数と年齢から、競技開始年齢を算出したところ、12-13 歳群および 16-18 歳群ともに、競技年数が短い群では、おおよそ 12 歳、中群では、9.5 歳、長い群では、7.5 歳であった。これらのことから考えると、13 歳前後における投球動作のトレーニング効果を最大限に得るためには、9.5 歳以前には定期的な投球練習を開始することが望ましいといえよう。

## V. まとめ

本章は、野球競技選手における投球スピードと年齢との関係を明らかにすることを目的とした。その結果、野球の競技経験の有無に関わらず、7-18 歳の間年齢経過に伴い投球スピードおよび投球エネルギーは増加し、投球スピードの年間変化量は、13 歳前後において最大に達した。しかしながら、投球エネルギーの年間変化量は、10-15 歳の野球競技選手が、同年齢の未経験者よりも高い傾向にあった。また、投球スピードにおける野球競技選手と未経験者との差は、12 歳以上において有意であった。これらの結果は、発育期における投球スピードの発達に、野球競技経験の有無が影響を及ぼすことを示しており、選手およびコーチにとって重要な知見と考えられる。

表 2-1 横断的調査における被検者の年齢、競技年数、投球スピードおよび投球エネルギー

	群	野球競技選手					未経験者				
		n	平均値	標準偏差	最小値	最大値	n	平均値	標準偏差	最小値	最大値
年齢(歳)	7- 9歳	20	8.8	0.8	7.1	9.8	7	7.4	0.8	7.0	9.0
	10-11歳	14	11.1	0.5	10.1	11.8	13	10.5	0.5	10.0	11.0
	12-13歳	59	13.2	0.4	12.4	13.9	25	12.9	0.6	12.0	13.8
	14-15歳	72	15.0	0.6	14.0	15.9	9	14.7	0.3	14.4	15.0
	16-18歳	58	16.9	0.8	16.0	18.9	11	16.5	0.7	16.0	18.0
	19-20歳	47	20.1	0.5	19.2	20.9	13	19.6	0.7	19.0	20.8
	21-24歳	50	21.8	0.6	21.0	23.8	18	21.7	1.0	21.0	24.0
競技年数(年)	7- 9歳	20	1.1	0.8	0.5	4.0					
	10-11歳	14	3.0	1.8	1.0	7.0					
	12-13歳	59	3.4	2.1	0.5	8.8					
	14-15歳	72	5.3	2.0	1.0	9.8					
	16-18歳	58	7.5	1.7	3.8	10.5					
	19-20歳	47	-	-	-	-					
	21-24歳	50	-	-	-	-					
投球(m/s)	7- 9歳	20	17.5	2.1	13.3	20.6	7	13.6	2.9	8.9	16.7
	10-11歳	14	21.5	3.0	17.5	28.3	13	17.1	2.6	13.6	22.5
	12-13歳	58	25.1	2.9	19.4	31.1	25	19.5	4.3	12.2	27.5
	14-15歳	72	29.1	2.3	23.9	34.2	9	21.8	5.5	15.3	28.1
	16-18歳	58	30.6	2.8	24.4	35.3	11	24.4	4.0	16.9	29.2
	19-20歳	47	33.7	2.0	30.6	37.8	13	26.3	2.6	20.3	30.3
	21-24歳	50	33.5	2.2	27.8	37.5	18	27.5	2.1	23.3	29.7
投球エネルギー(J)	7- 9歳	20	20	5	18	22	7	12	5	8	17
	10-11歳	14	30	9	25	35	13	19	6	15	23
	12-13歳	58	46	11	44	49	25	29	12	24	34
	14-15歳	72	62	10	59	64	9	36	18	23	50
	16-18歳	58	68	12	65	71	11	44	13	35	53
	19-20歳	47	82	10	79	85	13	51	10	45	56
	21-24歳	50	82	11	79	85	18	55	8	51	59

19歳以上の野球選手については競技年数に関する詳細な調査を行わなかったが、野球競技歴は6年以上であることを確認した

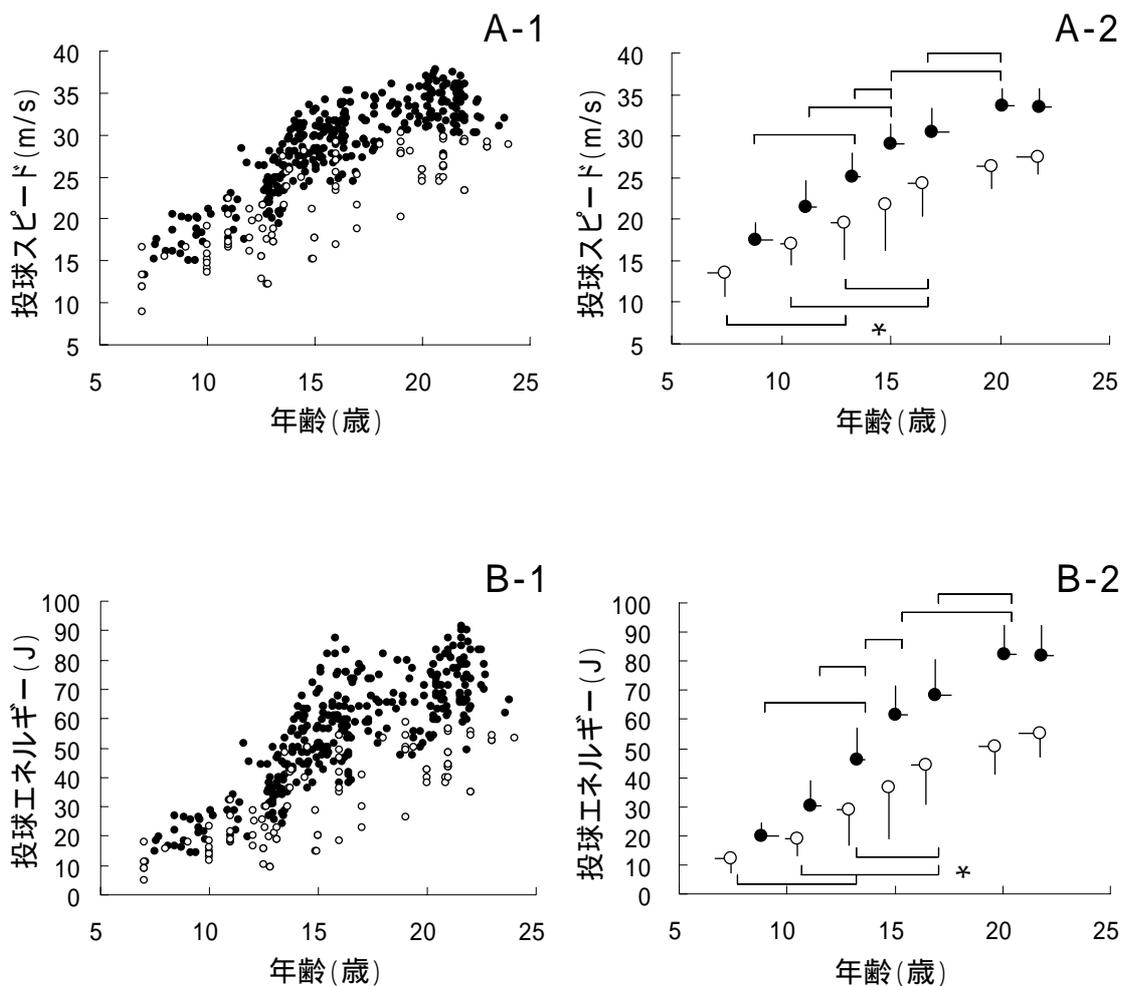


図 2-1 投球スピードおよび投球エネルギーと年齢との関係

A-1: 投球スピードの個人値、A-2: 投球スピードにおける各群の平均値

B-1: 投球エネルギーの個人値、B-2: 投球エネルギーにおける各群の平均値

: 野球競技選手の値、 : 未経験者の値

: 野球競技選手において群間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

\*: 未経験者において群間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

: 野球競技選手と未経験者との間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

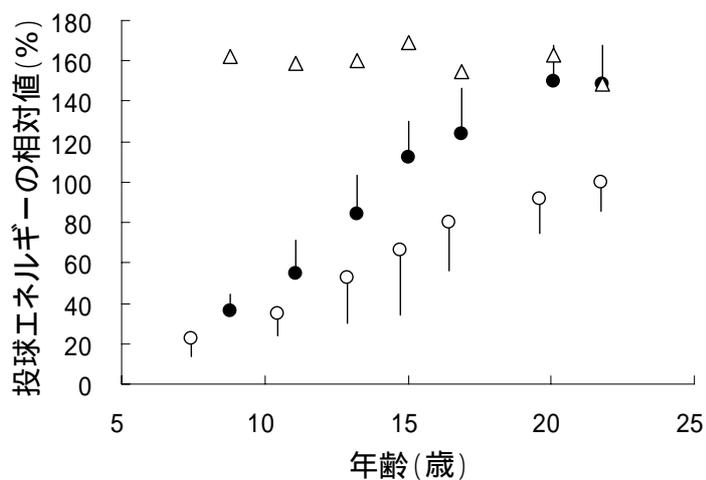
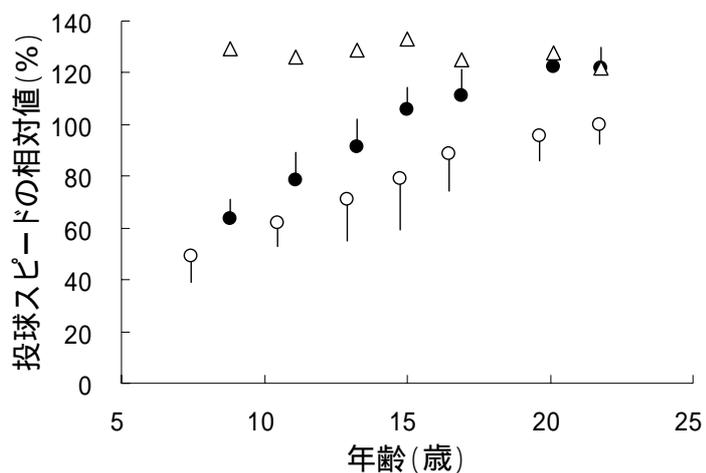


図 2-2 投球スピードおよび投球エネルギーと年齢との関係(相対値)

○: 未経験者の 21-14 歳の平均値を 100%とした時の野球競技選手における各年齢群の相対値 (%)

●: 未経験者の 21-14 歳の平均値を 100%とした時の未経験者における各年齢群の相対値 (%)

△: 各年齢群における未経験者の平均値を 100%とした時の野球競技選手の相対値 (%)

表 2-2 縦断的調査における被検者の年齢、競技年数、投球スピードおよび投球エネルギー

	群	n	1回目の値				2回目の値			
			平均値	標準偏差	最小値	最大値	平均値	標準偏差	最小値	最大値
年齢(歳)	7- 9歳	6	9.3	0.6	8.4	9.8	10.3	0.6	9.4	10.8
	10-11歳	8	10.9	0.5	10.1	11.8	11.9	0.5	11.1	12.8
	12-13歳	26	13.1	0.3	12.4	13.8	14.1	0.3	13.5	14.8
	14-15歳	14	15.0	0.8	14.0	15.9	16.0	0.8	15.1	17.0
	16-18歳	23	16.3	0.3	16.0	17.3	17.4	0.3	17.1	18.4
	19-20歳	14	20.6	0.3	19.9	20.9	21.4	0.3	20.7	21.8
	21-24歳	23	21.8	0.5	21.2	23.6	22.7	0.5	22.1	24.5
競技年数(年)	7- 9歳		1.3	0.4	0.8	2.0	2.3	0.4	1.8	3.0
	10-11歳		3.0	1.7	1.0	5.0	4.0	1.7	2.0	6.0
	12-13歳		2.8	2.1	0.5	6.6	3.9	2.1	1.6	7.6
	14-15歳		5.6	2.4	1.4	8.6	6.7	2.4	2.5	9.7
	16-18歳		7.9	1.1	5.8	10.3	9.0	1.1	6.9	11.4
	19-20歳		-	-	-	-	-	-	-	-
	21-24歳		-	-	-	-	-	-	-	-
投球(m/s)	7- 9歳	6	18.5	1.1	17.2	20.3	20.8	1.4	19.4	23.1
	10-11歳	8	21.7	2.5	17.8	26.7	23.7	2.8	20.0	29.4
	12-13歳	26	24.2	2.9	19.4	29.4	27.4	2.2	23.6	31.4
	14-15歳	14	28.3	2.5	23.9	31.7	29.2	2.3	24.2	32.5
	16-18歳	23	30.7	2.6	24.7	35.3	31.8	2.3	26.7	35.0
	19-20歳	14	33.6	2.3	30.6	37.8	33.5	2.9	30.0	39.0
	21-24歳	23	33.7	2.3	29.2	37.5	34.0	2.8	28.6	37.7
投球エネルギー(J)	7- 9歳	6	22	3	19	26	28	4	24	34
	10-11歳	8	31	7	20	46	36	9	26	55
	12-13歳	26	43	10	27	63	55	9	40	71
	14-15歳	14	59	10	41	73	62	10	42	77
	16-18歳	23	69	11	44	90	74	10	52	89
	19-20歳	14	82	12	68	103	82	15	65	110
	21-24歳	23	83	11	62	102	84	14	59	103

: 1回目と2回目との間に有意な差 (p<0.05)

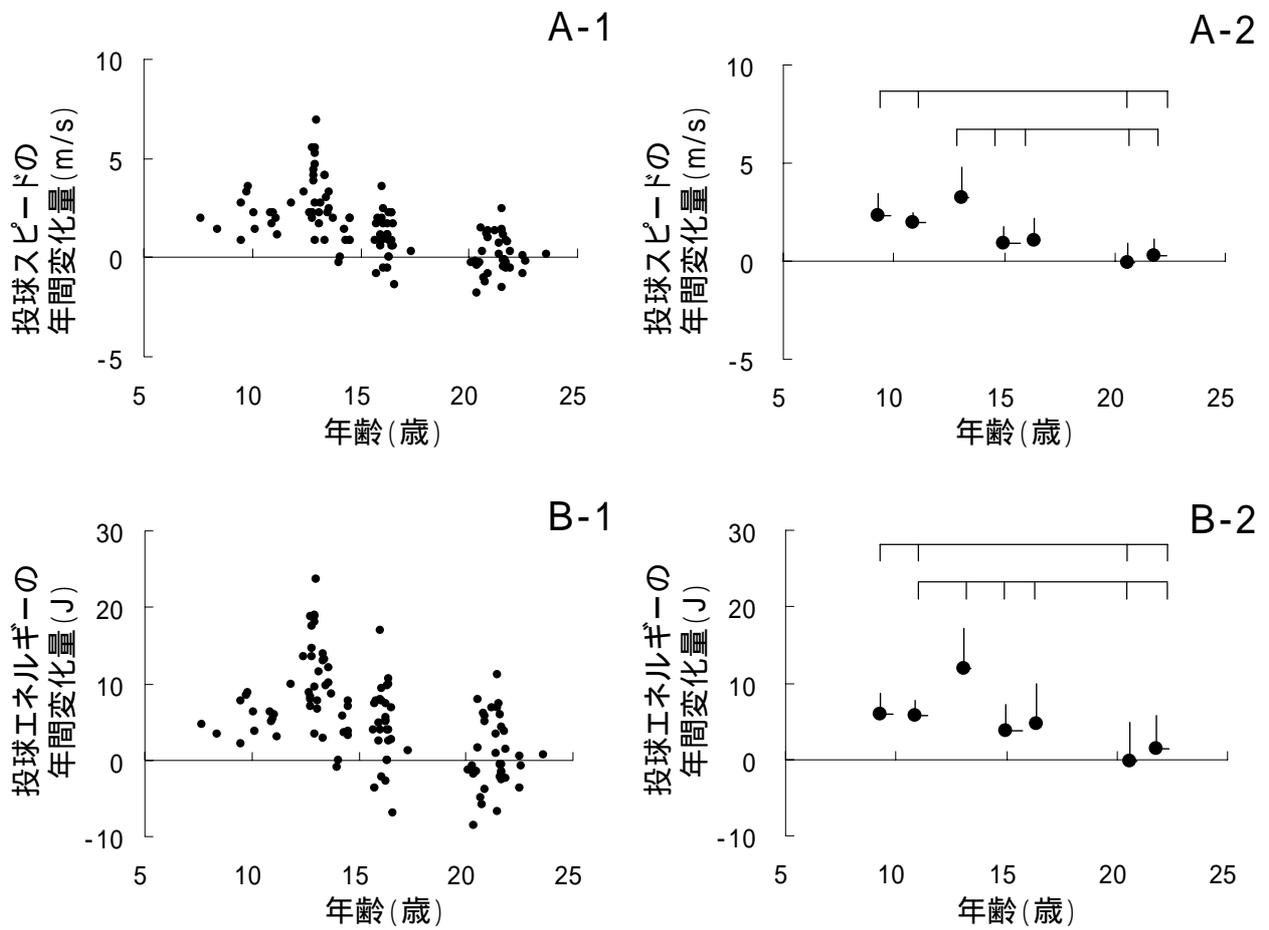


図 2-3 投球スピードおよび投球エネルギーの年間変化量と年齢との関係

A-1: 投球スピードの個人値、A-2: 投球スピードにおける各群の平均値

B-1: 投球エネルギーの個人値、B-2: 投球エネルギーにおける各群の平均値

: 群間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

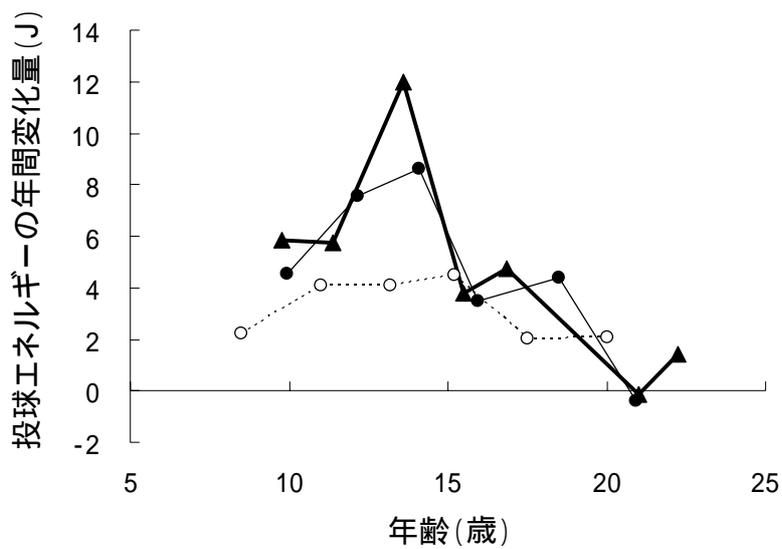


図 2-4 野球競技選手および未経験者における投球エネルギーの年間変化量と年齢との関係

● : 縦断的調査における野球競技選手の値

▲ : 横断的調査における野球競技選手の値

○ : 未経験者の値

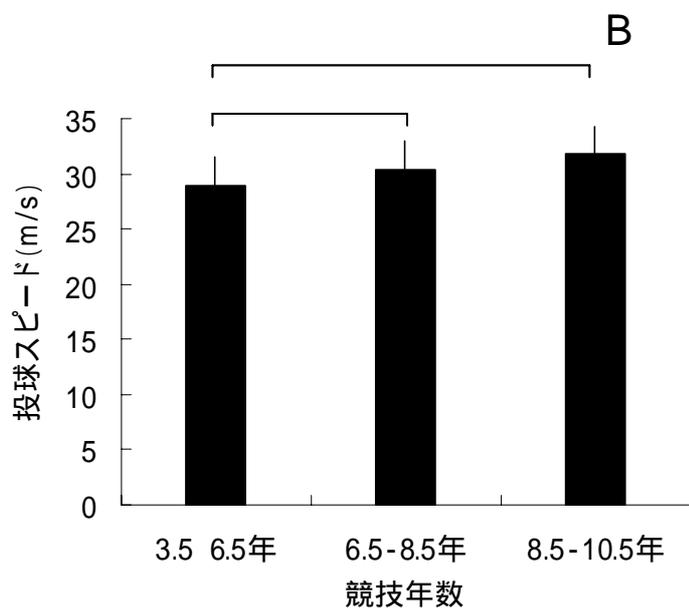
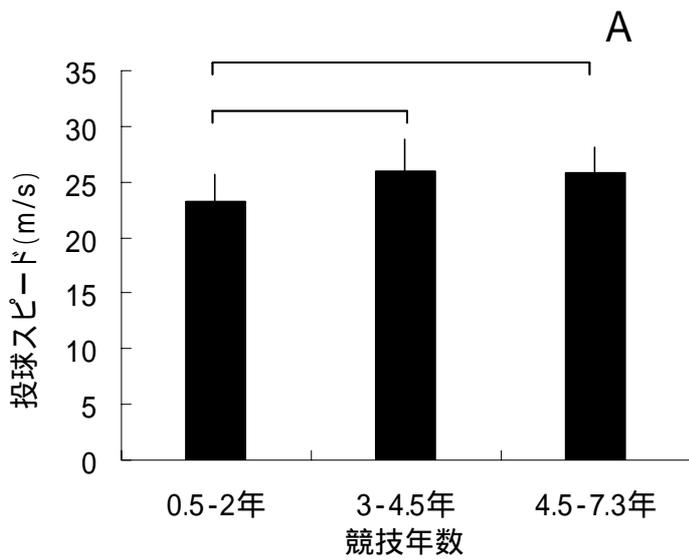


図 2-5 競技年数を基準として分けた群間における投球スピードの比較

A: 12-13 歳群の結果、B: 16-18 歳群の結果

: 群間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

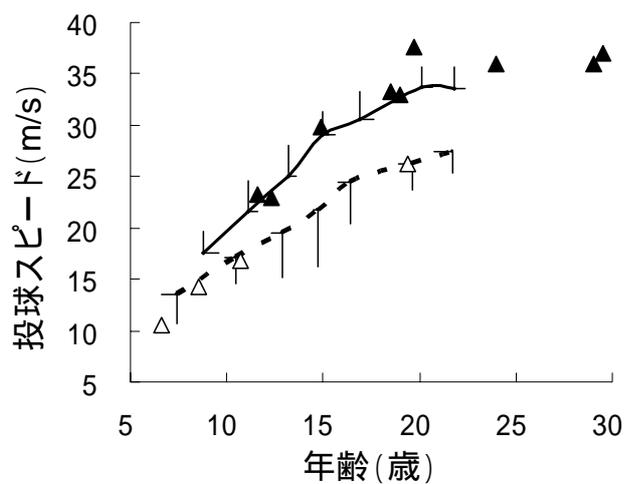


図 2-6 先行研究および本研究における投球スピードと年齢との関係

: 先行研究における野球競技選手の値

: 先行研究における未経験者の値

: 本研究における野球競技選手の平均値を結んだ線

...: 本研究における未経験者の平均値を結んだ線

## 第 3 章 投球スピードと身体サイズとの関係

### 1 節 投球スピードと身長との関係

#### I. 緒言

第 2 章の結果、年齢経過に伴う投球スピードの増加は、野球競技経験の有無に関わらず、13 歳前後において大きかった。しかしながら、投球スピードおよびその年間変化量は、同年齢においても個人差がみられた。また、身体の各部位の発育は、それぞれが並行して進むものではない (Scammon 1930)。これらのことを踏まえると、投球スピードの発達における個人差を理解するためには、身体の長育および量育といった生物学的な発育と投球スピードとの関係を検討する必要がある。

その問題を解決する一つの方法として、身体の一部を基準 ( $x$ ) とし、運動能力 ( $y$ ) の発達を検討する方法 (相対発達) がある。Asmussen と Nielsen (1955) は、走速度 ( $y$ ) および跳躍高 ( $y$ ) と身長 ( $x$ ) との関係  $y = bx^a$  における係数  $a$  がディメンション論から考えられる理論値の 0 よりも高かった原因として、力発揮および動作が巧みになることを挙げている。また、Asmussen と Nielsen (1955) は、速度 = 距離 ( $L$ ) / 時間 ( $t = L$ ) であることから、速度は身長に比例しないことを述べている。しかしながら、野球競技における投球スピードが、理論値に合うか否かは明らかではない。

そこで本節は、野球競技選手および野球未経験を対象に、投球スピードと身長との関係を相対発達の観点から検討することを目的とした。また、本章では、第 2 章と同様に、投球スピードと身長との関係について、横断的および縦断的調査を行った。

## II. 方法

### A. 被検者

横断的調査では、7歳から24歳の野球競技選手(319名(投手60名、捕手17名、内・外野手242名)および未経験者122名を対象とした。なお、各野球連盟に加盟しているチームに所属し、競技を開始してから測定日までの期間が0.5年以上経過している者を「野球競技選手」とした。

縦断的調査では、横断的調査で対象とした野球競技選手319名のうち7-18歳の77名を対象に、1年間の間隔を置き、2回(1回目:2005年11月~2007年3月、2回目:2006年11月~2008年3月)の測定を行った。

横断的および縦断的調査ともに、身長に基づき、被検者を7群(110-130 cm、130-140 cm、140-150 cm、150-160 cm、160-170 cm、170-180 cm、180-190 cm)に分けた。各群の被検者数、年齢および身体特性を、表3-1-1(横断的調査)および表3-1-2(縦断的調査)に示した。本研究は、早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を得た。実験に先立ち、被検者に対して本研究の目的および実験への参加に伴う危険性についての十分な説明を行い、実験参加の同意を得た。また、18歳未満の被検者については、被検者本人に加え保護者に対しても実験の説明を行った上で、実験参加の同意を得て実施した。

### B. 身長、身体の質量(以下、体重)および投球スピードの測定

身長および体重の測定は、被検者を立位にさせ行なった。それぞれ、0.1 cm、0.1kg 単位(身長、体重の順)で計測した。投球スピードの測定は、第2章「投球スピードの測定」と同一の方法により実施した。

### C. アロメトリー式の算出

横断的調査における身長を基準とする体重および投球スピードの相対発育(発達)を検討する方法は、先行研究の方法に従って算出した(金久ら 1989a、金久ら 1989b)。アロメトリー式 $y = bx^a$ は、両辺の対数をとると、 $\log y = \log b + a \log x$ となり、両対数図上では傾きが $a$ 、切片の値が $\log b$ の一次式となる。各身長群における身長の平均値を横軸、各身長群における体重または投球スピードを縦軸とする対数図を作成し、点の分布状態から直線性を確かめて、最小二乗法により回帰式を求めた。複数の直線で表わされる場合、変移点に該当する身長を確認し、変移点を境にそれ以前の群とそれ以降の群ごとに回帰式を最小二乗法により求めた。 $a > 1.0$ の場合、 $y$ の発達は $x$ のそれに優る、 $a = 0$ の場合、 $y$ と $x$ の発達はほぼ等しい、 $a < 1.0$ の場合、 $y$ の発達は $x$ のそれに劣ることを意味する。

### D. 統計処理

横断的調査における体重および投球スピードの群間比較には、2 要因（身長（110-130 cm、130-140 cm、140-150 cm、150-160 cm、160-170 cm、170-180 cm、180-190 cm）と競技経験の有無）の分散分析を行い、交互作用および主効果の有無を確認した。分散分析の結果、F 値が有意である場合は、Scheffe 法を用いて群間の差の有意性を検定した。それぞれ危険率 5%未満をもって統計的に有意とした。なお、統計量の算出は、SPSS (12.0 J for Windows) を用いて行った。

### III. 結果

#### A. 横断的調査

表 3-1-1 に、各群の身長、体重および投球スピードの平均値、標準偏差、最大値および最小値を示した。測定値の範囲は、身長が 102.0-186.6cm、体重が 18.0-87.0kg、投球スピードが 8.9-37.5m/s であった。体重、投球スピードについて、二元配置の分散分析(身長と競技経験の有無)を行った。体重では、身長による主効果が認められた。また、投球スピードでは交互作用が認められた。群間の比較を行ったところ、競技経験の有無に関わらず、身長が高いほど体重および投球スピードの計測値は高かった(図 3-1-1)。また、野球競技選手の投球スピードは、110-130 cm群を除くすべての群において、未経験者のそれよりも有意に高値であった。

各身長群の平均値を横軸、体重の平均値を縦軸にプロットした対数図において、競技経験の有無に関わらず、150-160 cmの間に変移点がみられる 2 相の直線で表された(図 3-1-1-A)。変局点に相当する身長および体重は、野球競技選手では 156.0 cmおよび 48.7kg、未経験者では 152.9 cmおよび 41.8kgであった。身長(x)と体重(y)との関係 $y=bx^a$ における係数aは、野球競技選手では変局点を境に 2.53 から 3.10、未経験者では変局点を境に 2.17 から 3.27 に増加した。

各身長群の平均値を横軸、投球スピードの平均値を縦軸にプロットした対数図において、未経験者では 150-160 cmの間に変移点がみられる 2 相の直線で表された(図 3-1-1-B-1)。変局点に相当する身長および投球スピードは、それぞれ 155.4cmおよび 18.4m/sであった。一方、野球競技選手については、野球未経験者でみられたような変移点は存在しなかった。身長(x)と投球スピード(y)との関係 $y=bx^a$ における係数aは、野球競技選手では 1.87、未経験者では変局点を境に 0.95 から 2.65 に増加した。

#### B. 縦断的調査

表 3-1-2 は、縦断的調査における各群の身長、体重および投球スピードの年間変化量(2回目 - 1回目)、および 1 回目と 2 回目の測定値を示している。年間増加量は、身長では 140-150 cm群、体重では 150-160cm 群、投球スピードでは 140-150 cm群および 150-160cm 群において最大に達した。

図 3-1-2 には、投球スピードと身長との関係について 1 回目と 2 回目の個人値(図 3-1-2-A)および平均値(図 3-1-2-B)を示した。平均値では、横断的調査における野球競技選手の回帰直線に沿った変化を示した。個人値では、1 回目の値が横断的調査における野球競技選手の回帰直線よりも低かった者は、2 回目の値が回帰直線に近づく傾向がみられた。

#### IV. 考察

本節の横断的調査において、体重(y)と身長(x)との関係は、150-160 cmの間に変移点が存在する2相の直線で表された(図 3-1-1-A-2)。変局点に相当する身長および体重は、野球競技選手では156.0 cm、48.7kg、未経験者では152.9 cm、41.8kgであった。この値は156cmに変移点がみられるという森下(1965)の報告と類似する。Asmussen と Nielsen(1955)は、ディメンション論の観点から、体形が相似で身体組成が同一な人間を仮定した場合、体重は身長の3乗に比例することを述べている。本研究における係数aは、競技経験の有無に関わらず、変局点より前では理論値よりも低く(野球競技選手 2.53、未経験者 2.17)、それ以降では理論値に近い値を示した(野球競技選手 3.10、未経験者 3.27)。また、本研究における変局点に該当する年齢は12-14歳であり、第二次性徴期に相当する。本研究の結果および先行研究の結果を考慮すると、第二次性徴における身体の発育が、身長に対する体重の相対的な発達に影響していると考えられる。

本章の結果、先行研究における野球競技選手(角田ら 2003、角田ら 2004、Dun ら 2007、Escamilla ら 2001、Ishida ら 2006、Fleisig ら 1999)および未経験者(関根ら 1999、角田ら 2002)の投球スピード(平均値)と身長との関係を図 3-1-3 に示した。本章の結果は、野球競技選手および未経験者を対象とした先行研究に近い値であった。それゆえ、本節の結果は、野球競技選手および未経験者における投球スピードと身長の関係を代表しうるものと考えられる。

ディメンション論に基づく考え方(AsmussenとNielsen 1955)によると、速度は身長の0乗に比例する。本研究の横断的調査の結果、野球競技選手では、身長と投球スピードとの関係は変局点が存在しない直線で表された(図 3-1-1-B-2)。係数aは1.87であり、理論値よりも高かった。それに対して、未経験者における身長と投球スピードとの関係は、155.4 cmに変局点がみられる2相の直線で表された。これは体重と身長との関係における変局点と同様の結果であった。また、係数aは変局点を境に0.95から2.65に増加したが、いずれもAsmussenとNielsen(1955)の理論値よりも高かった。AsmussenとNielsen(1955)の理論値は、速度 = 距離(L)/時間( $t = L$ )から算出されたものである。しかしながら、身体運動では、多くの関節において関節の回転運動を伴う。回転運動における末端の速度は、回転半径×角速度によって得られる。これを投運動に当てはめると、身体の末端にあるボールの速度は、回転半径に相当する身体の長さ、身体の慣性モーメントおよび骨と骨を繋ぐ筋が発揮する力のモーメントによって決定すると考えることができる。この理論および筋の短縮速度と関節の回転速度との関係は身長によらず一定(モーメントアームが身長に比例するため)であることを仮定すると、投球スピードは身長の1乗に比例することになる。本研究の未経験者では、係数aが理論値に近い0.95から2.65に増加した。変局点における身長の値は、力発揮能力の指標である体重における変局点の身長の値と一致し、変局点の年齢は第二次性徴の時期であった。以上のことを併せて考えると、未経験者において係数aが増加した背景には、第二次性徴における筋重量の増加が関与して

いると推察される。

本研究では、身長、体重および投球スピードのみ測定を行ったため、野球競技選手の投球スピードと身長との関係において、未経験者でみられたような 2 相の直線で表されなかった理由について具体的なデータを基に説明することはできない。しかし、体重において、野球競技選手と未経験者との間に有意な差異は示されなかった。また、150cm 以下は、12 歳以下に相当するが、係数  $a$  は野球競技選手が未経験者よりも大きかった。さらに、発育期の男子における投動作の改善および練習の効果は、6-10 歳において顕著である(奥野ら 1989)。本研究の結果および先行研究の報告を考慮すると、150 cm 以下における野球競技選手と未経験者における係数  $a$  の差には、定期的な投球による投動作の発達が影響していると推察される。

縦断的調査における投球スピードと身長との関係において、平均値では横断的調査による回帰直線上に沿って変化を示した(図 3-1-2)。個人値をみると、1 回目の値が横断的調査における野球競技選手の回帰直線よりも低い位置にプロットされた者は、2 回目の値が回帰直線に近づく傾向がみられた。それに対して、1 回目の値が横断的調査における野球競技選手の回帰直線よりも高い位置にプロットされた者は、横断的調査による回帰直線上に沿って変化する傾向がみられた。尾懸ら(1989)は、身長および筋力といった身体資源のわりに投能力が高いことを合理的な動作と定義している。このような報告と本研究の結果を併せて考えると、発育期の野球競技選手では、身長あたりの投球スピードが低い者ほど、投動作の合理性が向上する可能性があることが考えられる。

## V. まとめ

本節では、野球競技選手および未経験を対象に、投球スピードと身長との関係を相対発達の観点から検討することを目的とした。その結果、投球スピードと身長との関係において、未経験者では150-160 cmの間に変移点がみられる2相の直線で表された。野球競技選手では、変移点が存在しない直線で表された。いずれも係数  $a$  は、ディメンション論から考えられる理論値の0よりも大きかった。その原因として、回転運動における末端の速度(投球スピード)は、回転半径(身長)  $\times$  角速度(力発揮能力)によって得られることから考察した。また、未経験者において、2相の直線で表された原因として第二次性徴における筋量の発育が関与していることが推察された。

表 3-1-1 横断的調査における被検者の身体特性および投球スピードの値

	群	n	野球競技選手				未経験者				
			平均値	標準偏差	最小値	最大値	n	平均値	標準偏差	最小値	最大値
年齢(歳)	110-130cm	12	8.5	0.8	7.1	9.5	11	8.0	0.8	7.0	8.9
	130-140cm	11	10.1	0.9	8.4	11.4	15	9.5	1.8	7.2	11.0
	140-150cm	18	11.9	1.4	9.2	13.8	23	11.1	2.8	9.2	13.1
	150-160cm	38	13.8	1.3	11.8	19.3	12	12.3	3.8	10.8	14.4
	160-170cm	111	15.9	2.6	11.6	23.8	27	15.4	4.8	12.0	23.0
	170-180cm	116	19.2	2.5	13.7	22.7	26	19.1	5.8	14.5	24.0
	180-190cm	13	19.2	2.7	14.1	22.0	9	21.2	6.8	19.0	23.0
身長(cm)	110-130cm	12	123.0	4.5	114.0	128.7	11	121.2	9.8	102.0	129.0
	130-140cm	11	135.9	2.5	132.5	139.6	15	135.0	3.3	130.4	139.8
	140-150cm	18	145.3	3.3	141.0	149.9	23	144.5	2.4	140.2	148.3
	150-160cm	38	155.5	2.5	150.4	159.9	12	156.4	3.1	150.8	159.5
	160-170cm	111	165.6	2.7	160.0	169.9	27	166.4	2.8	160.0	169.8
	170-180cm	116	174.4	2.8	170.0	179.9	26	174.4	2.6	170.2	179.4
	180-190cm	13	182.0	1.9	180.2	186.6	9	181.9	1.3	180.0	183.5
体重(kg)	110-130cm	12	26.6	6.2	22.0	41.1	11	25.7	3.6	18.0	32.2
	130-140cm	11	34.7	5.1	29.4	47.5	15	30.6	4.9	23.4	39.5
	140-150cm	18	40.9	6.2	32.1	55.8	23	37.2	5.0	29.9	49.8
	150-160cm	38	47.9	6.7	38.1	66.5	12	44.4	2.3	39.3	48.2
	160-170cm	111	58.5	6.9	47.4	79.4	27	55.4	5.6	44.5	64.6
	170-180cm	116	70.7	7.4	53.9	86.7	26	66.2	8.2	55.1	84.0
	180-190cm	13	76.9	7.2	64.8	87.0	9	72.1	2.3	69.7	75.0
投球(m/s)	110-130cm	12	16.3	1.6	13.3	18.9	11	14.6	2.8	8.9	18.1
	130-140cm	11	20.4	1.4	17.2	22.2	15	16.3	2.0	13.3	20.3
	140-150cm	18	21.9	2.8	17.8	28.1	23	17.6	2.5	12.2	22.5
	150-160cm	38	26.0	2.8	20.0	31.9	12	18.7	2.9	15.6	25.0
	160-170cm	111	29.2	3.2	19.4	36.7	27	22.1	4.9	12.2	30.3
	170-180cm	116	32.5	2.9	24.4	37.8	26	27.2	2.3	18.9	29.7
	180-190cm	13	33.1	2.4	30.3	37.5	9	26.1	2.5	23.3	29.2

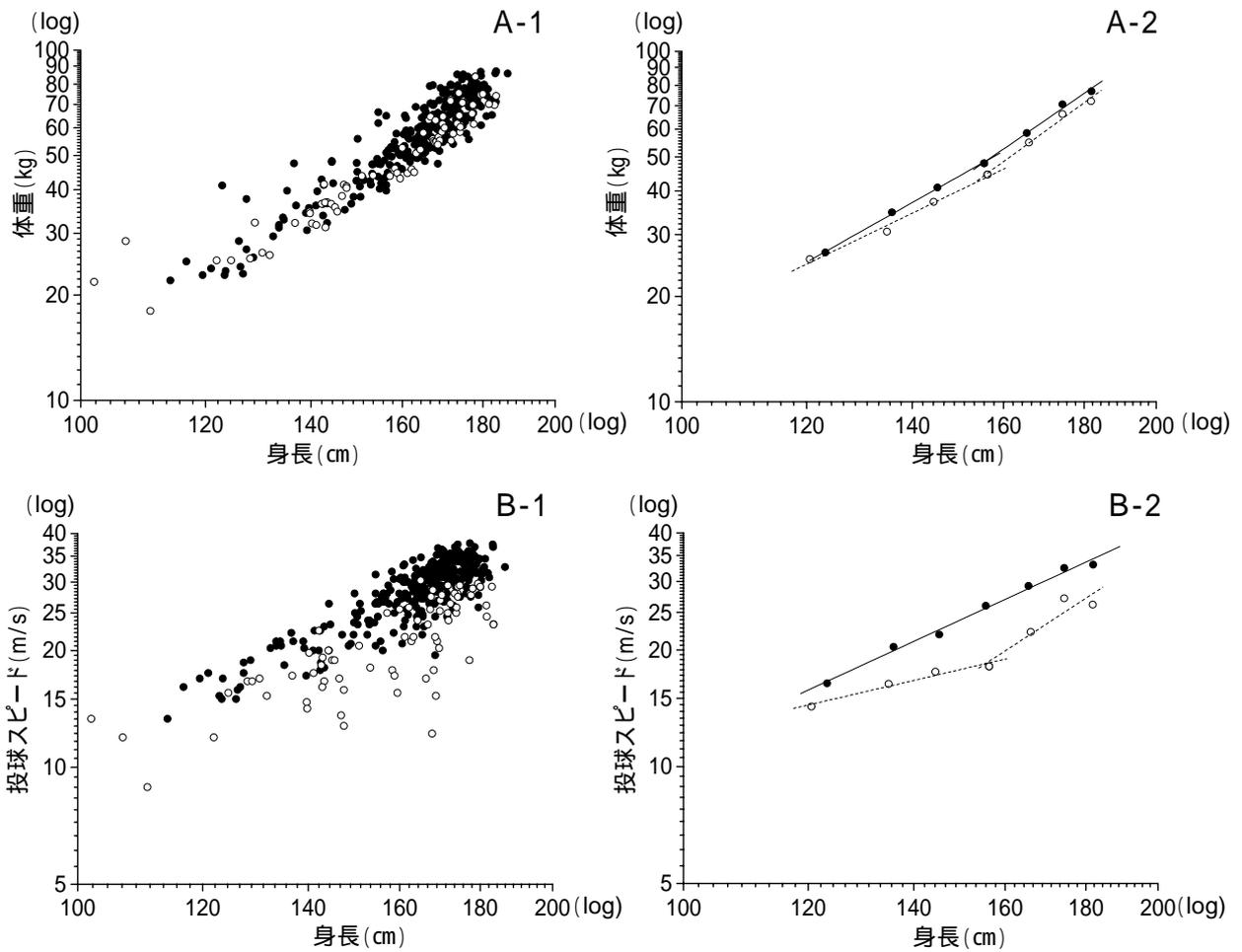


図 3-1-1 体重および投球スピードと身長との関係

A: 体重、B: 投球スピード、1: 個人値、2: 各群の平均値

●: 野球競技選手、○: 未経験者

実線 (—): 野球競技選手

点線 (...): 未経験者

表 3-1-2 縦断的調査における被検者の身体特性および投球スピードの値

	群	n	1年間の変化量				1回目		2回目	
			平均値	標準偏差	最小値	最大値	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	110-130cm	3					8.9	0.6	9.9	0.6
	130-140cm	7					10.2	0.6	11.2	0.6
	140-150cm	9					12.3	1.0	13.3	1.0
	150-160cm	13					13.1	0.8	14.1	0.8
	160-170cm	27					14.8	1.5	15.8	1.5
	170-180cm	16					16.0	0.6	17.0	0.6
	180-190cm	2					16.4	0.1	17.4	0.1
身長(cm)	110-130cm	3	5.7	1.0	4.6	6.6	125.7	4.1	131.4	3.3
	130-140cm	7	5.3	0.8	3.9	6.3	136.2	2.4	141.5	2.7
	140-150cm	9	7.7	1.8	4.9	10.3	145.4	3.2	153.0	3.3
	150-160cm	13	6.7	2.3	2.6	9.7	155.3	2.6	162.0	2.7
	160-170cm	27	2.4	1.8	0.0	6.7	165.9	2.8	168.2	2.6
	170-180cm	16	1.0	0.9	-0.6	2.7	172.4	2.1	173.4	2.0
	180-190cm	2	0.9	0.3	0.7	1.1	180.6	0.4	181.5	0.7
体重(kg)	110-130cm	3	2.8	1.6	1.7	4.6	29.0	7.5	31.8	9.1
	130-140cm	7	4.7	2.5	2.0	9.3	34.2	3.1	38.9	5.1
	140-150cm	9	5.1	1.9	0.8	6.9	39.0	5.3	44.1	4.4
	150-160cm	13	6.7	3.6	1.8	15.0	46.5	5.3	53.2	5.1
	160-170cm	27	2.7	2.9	-3.3	9.2	57.6	6.6	60.2	6.5
	170-180cm	16	0.2	3.3	-5.7	5.7	67.5	8.7	67.7	7.4
	180-190cm	2	0.2	3.1	-2.0	2.4	72.0	10.2	72.2	7.0
投球(m/s)	110-130cm	3	1.4	0.6	0.8	1.9	18.3	0.7	19.7	0.3
	130-140cm	7	2.4	0.9	1.1	3.6	20.0	1.6	22.3	0.9
	140-150cm	9	3.1	1.5	1.7	5.6	22.1	2.4	25.2	2.4
	150-160cm	13	3.1	1.6	0.8	6.9	24.6	2.5	27.7	1.8
	160-170cm	27	1.9	1.5	-0.6	5.6	27.7	3.5	29.6	2.7
	170-180cm	16	0.7	1.1	-1.4	2.2	30.6	2.8	31.3	2.9
	180-190cm	2	0.7	0.2	0.6	0.8	31.9	0.8	32.6	1.0

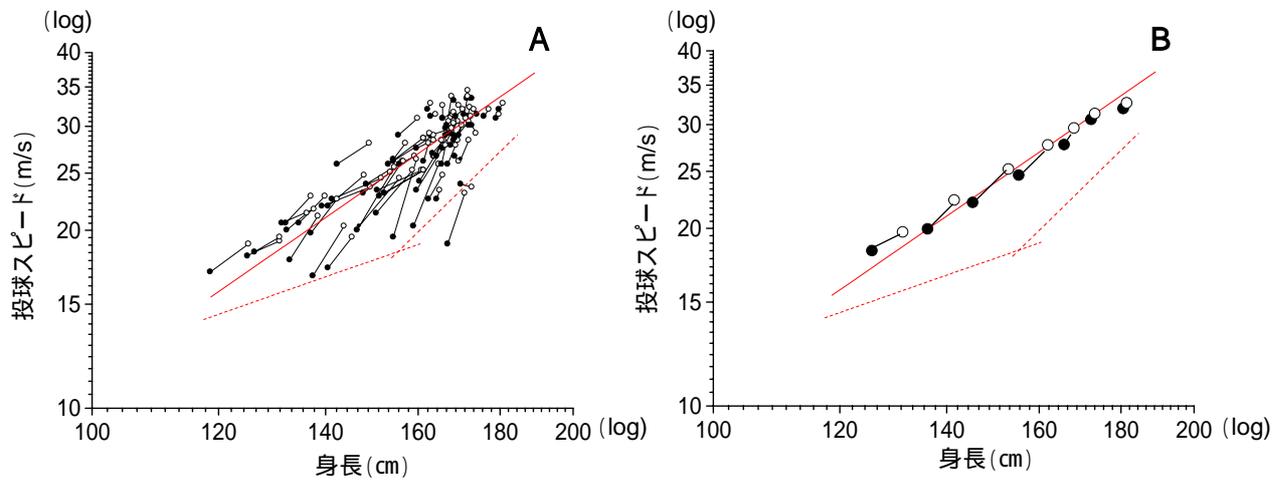


図 3-1-2 縦断的調査における投球スピードと身長との関係

A: 個人値、B: 平均値

○: 1 回目の値、●: 2 回目の値

実線 (—): 本研究における野球競技選手の回帰直線

点線 (---): 本研究における未経験者の回帰直線

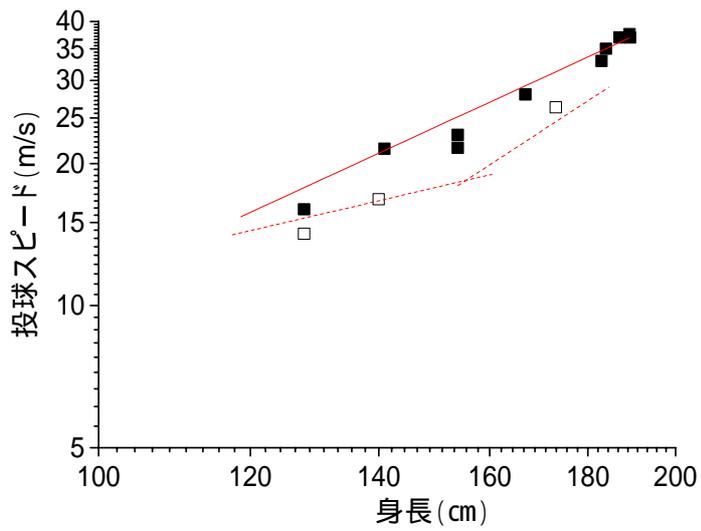


図 3-1-3 先行研究における投球スピードと身長との関係

■: 先行研究における野球競技選手の値

□: 先行研究における未経験者の値

実線 (—): 本研究における野球競技選手の回帰直線

点線 (---): 本研究における未経験者の回帰直線

## 第3章 投球スピードと身体サイズとの関係

### 2 節 投球スピードと筋サイズとの関係

#### I. 緒言

第3章1節では、未経験者における投球スピードと身長との関係は、150-160 cmの間に変局点がある2相の直線で表された。また、体重と身長との関係においても、投球スピードと同様の傾向が示されたことから、発育期において投球スピードが急増する背景には、筋量の増加が影響していることが推察された。しかしながら、体重は、筋肉の量および脂肪量といった身体組織の量育を表す代表的な指標であり、いずれの組織の増加が、このような結果に影響したのかは明らかではない。発育期の男子を対象とした報告によると、年齢経過に伴い腕および脚の太さは増すが、その増加は12-15歳において大きい(Kanehisaら1995、金久ら1989a)。以上のことを考慮すると、発育期の男子では、野球競技経験の有無に関わらず、筋サイズの発育が、投球スピードの増加に影響していることが予想される。

ところで、特定の競技スポーツを長期間実施しているスポーツ選手は、その種目の特徴を反映した筋形態を有する(Spenstら1993、Musaigerら1994)。筋形態の特徴は、例えば長期間のトレーニングの影響や競技の動作特性を表していると考えられる。このことから考えると、年齢経過に伴う筋サイズの変化は、野球競技選手と未経験者とで異なる可能性がある。これまで野球競技選手の筋形態の特徴については、いくつかの研究で検討されている。例えば、平野ら(1989)は、プロ野球選手および一般男子大学生を対象に、筋断面積の差異および各肢断面積に占める筋断面積比率の差異を明らかにした。しかしながら、発育期の野球競技選手における筋サイズの特徴を検討した例はこれまでにない。その特徴を明らかにすることは、筋サイズに対するトレーニングの可能性、さらには、投能力の改善を目的としたトレーニング方法に関する重要な資料となりうる。

そこで本節では、発育期および成人の野球競技選手および未経験者を対象に、投球スピードと筋サイズとの関係、および筋サイズにおける野球選手の特徴を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### A. 被検者

本節では、筋サイズおよび投球スピードの計測について、横断的および縦断的調査を行った。まず、横断的調査では、野球競技を行っている12-15歳の男子42名(12-13歳:13名、14-15歳:29名)および19-24歳の大学生男子20名(野球経験6年以上)、並びに定期的に投球を行っていない中学生男子20名(12-13歳:13名、14-15歳:7名)および19-24歳の男子16名を被検者とした。表3-2-1に被検者の身体特性を示した。

また、横断的調査で対象とした野球競技を行っている12-15歳の男子のうち10名について縦断的調査を行った。なお、1回目(2005年11月~2007年3月)の測定から1年後に2回目(2006年11月~2008年3月)の測定を行った。表3-2-4には被検者の身体特性を示した。

本研究は、早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を得た。実験に先立ち、被検者に対して本研究の目的および実験への参加に伴う危険性についての十分な説明を行い、実験参加の同意を得た。また、18歳未満の被検者については、被検者本人に加え保護者に対しても実験の説明を行った上で実験参加の同意を得た。

### B. 投球スピードの測定

投球スピードの測定は、第2章「投球スピードの測定」と同一の方法により実施した。

### C. 筋厚および皮脂厚の測定

身長、体重、四肢長、筋厚および皮脂厚の計測を行った。これらの測定は立位姿勢にて実施した。身長は0.1cm単位、体重は0.1kg単位で計測した。筋厚および皮脂厚の計測はすべて投球腕、投球腕側の脚について実施した。本研究では、片側のみの測定を行った。しかしながら、予備実験において大学野球競技選手40名を対象に、上腕および大腿の筋厚の計測を行ったところ、投球腕側と非投球腕側との相関係数はいずれも0.7以上であり、両者の関係は有意であったことから、投球腕側の計測値は、非投球腕側の計測値を代表するものと考えられる。

#### 1) 四肢長

四肢長は、上腕長(肩峰から上腕骨外側上顆)、前腕長(橈骨頭から尺骨茎状突起)、大腿長(大転子から膝窩皺)、下腿長(膝窩皺から脛骨外果)の長さを計測した。測定には、スチール製のメジャーを用いた。各測定点に、油性ペンで印をつけ、測定点間の距離を0.5cm単位で計測した。なお、測定方法は、Abeら(1994)に従った。

## 2) 筋厚および皮脂厚

上腕前・後部(上腕長の近位から 60%)、前腕部(前腕長の近位から 30%部位の前部)、大腿前・後部(大腿長の近位から 50%)、下腿前・後部(下腿長の近位から 30%)の計 7 箇所とした。筋厚および皮脂厚は、0.5mm 単位で計測した。測定には、B-モード超音波装置(SSD-900、Aloka、Japan)および電子リニアプローブ(発振周波数 7.5MHz、Aloka、Japan)を用いた。なお、筋厚の測定方法は、Abe ら(1994)に従った。

## 3) 筋量指標および四肢長あたりの筋厚の算出

本研究では、筋量指標として、各測定部位について、 $(\text{筋厚}[\text{cm}]/2)^2 \times \text{四肢長}[\text{cm}] \times (3.14\text{cm})$ を算出した。

ディメンション論から考えると、筋厚は四肢長の 1 乗に比例する(Asmussen と Nielsen 1955)。そこで、四肢長の長さの影響を消去した筋厚の指標として、本研究では、四肢長あたりの筋厚(筋厚[cm]/四肢長[cm])を各筋について算出した。

## D. 統計処理

横断的調査における各測定値の群間の比較には、2 要因(年齢と競技経験の有無の分散分析を行い、交互作用および主効果の有無を確認した。分散分析の結果、F 値が有意である場合は、Scheffe 法を用いて群間の差の有意性を検定した。

縦断的調査における各測定値の 1 回目と 2 回目との比較には対応のある t 検定を用いた。また、それらの計測値について年間変化量(2 回目 - 1 回目、以下、変化量とする)を算出した。横断的調査および縦断的調査ともに、測定項目間の関係を検討するために、ピアソンの積率相関係数を用いた。それぞれ危険率 5%未満をもって統計的に有意とした。なお、統計量の算出は、SPSS(12.0 J for Windows)を用いて行った。

### III. 結果

#### A. 横断的調査

表 3-2-2 に四肢長あたりの筋厚、筋量指標および投球スピードの平均値および標準偏差を示した。また、図 3-2-1 は四肢長あたりの筋厚、筋量指標における野球競技選手/未経験者比率を示したものである。四肢長あたりの筋厚について、二元配置の分散分析を行った結果、大腿後部では交互作用が認められた。すべての項目において年齢による主効果が認められた。大腿前部および前腕部において競技経験の有無による主効果が認められた。野球競技選手と未経験者との比較に関する PostHoc テストの結果、19-24 歳群の野球競技選手における大腿後部の筋厚は、19-24 歳群の未経験者のそれよりも有意に高値を示した。年齢群間の比較では、前腕および下腿後部を除くすべての項目について、19-24 歳群の野球競技選手の値は 12-13 歳群よりも高かった。また、未経験者では、上腕後部および大腿前部において 19-24 歳群の値が 12-13 歳群よりも高い値を示した。

筋量指標について二元配置の分散分析を行った結果、上腕前部および大腿後部において交互作用が認められた(表 3-2-2)。すべての項目において、年齢による主効果が認められた。大腿前部および前腕部では、競技経験の有無による主効果が認められた。野球競技選手と未経験者との比較における PostHoc テストの結果、上腕前部および大腿後部の筋厚は、19-24 歳群の野球競技選手が同年齢の未経験者よりも大きかった。年齢群間の差は、野球競技経験の有無に関わらず、いずれの筋厚においても、19-24 歳群の値が 12-13 歳群よりも有意に高い値を示した。

投球スピードについて二元配置の分散分析を行った結果、年齢および競技経験による主効果が認められた。PostHoc テストの結果、すべての年齢群において、野球競技選手の投球スピードは未経験者よりも有意に速かった。また、競技経験の有無に関わらず、年齢が高いほど投球スピードは有意に速かった。

表 3-2-3 には、投球スピードと筋サイズとの関係を示した。身長あたりの投球スピードと四肢長あたりの筋厚との関係では、12-15 歳群の野球競技選手において、投球スピードとすべての測定部位との間に有意な相関関係が示された。それに対して、その他の年齢群では、両者の関係は有意ではなかった。投球スピードと筋量指標の関係においては、12-15 歳群の野球競技選手は、投球スピードと筋量指標の各項目との間に有意な相関関係を示した。12-15 歳群の未経験者では、大腿後部に有意な相関関係が認められた。その他の部位については有意ではないものの、p 値は 0.15 未満であった。19-24 歳群の野球競技選手では、投球スピードと大腿前・後部との間に有意な相関関係を示した。19-24 歳群の未経験者では両者の関係は有意ではなかった。

#### B. 縦断的調査

表 3-2-4 には縦断的調査における被検者の年齢、身長および体重を示した。身長および体重は、2

回目が1回目よりも有意に高い値を示した。

表3-2-5は筋サイズにおける1回目と2回目の比較を示したものである。四肢長あたりの筋厚では、上腕前部、大腿後部、下腿前・後部において2回目の値が1回目の値よりも有意に高かった。筋量指標では、前腕部を除いたすべての項目において2回目が1回目よりも有意に高値を示した。投球スピードでは、2回目が1回目よりも有意に速かった。

投球スピードと筋サイズについて変化量を算出し、両者の関係を検討した。しかしながら、両者の間には有意な相関関係は認められなかった。

#### IV. 考察

本節の横断的調査では、筋量指標は、競技経験の有無に関わらず、すべての計測部位において年齢経過に伴い増加した。また、12-15 歳を対象とした縦断的調査の結果、筋量指標は、前腕部を除くすべての項目において、2 回目が 1 回目よりも有意に高かった。これらの結果は、7 歳から 18 歳までの男子では、年齢が進むにつれて四肢の筋断面積が増加することを示した先行研究 (Kanehisa ら 1995) と類似する。四肢長あたりの筋厚は、競技経験の有無に関わらず、年齢が増加するほど高値を示した。さらに、縦断的調査では、測定部位によって傾向は異なるものの、2 回目が 1 回目よりも高い傾向にあった。第 3 章 1 節で述べたように、投球スピードが身体の長さと同関節角速度 (力発揮能力) の積によって決定すると仮定すると、筋量指標、および四肢長あたりの筋厚の増加は、投運動中の角速度の増加に関与することが考えられる。これらの結果と、第 3 章 1 節において投球スピードと身長との関係、および体重と身長との関係における変局点がみられた年齢が 12-15 歳であったことを考慮すると、この時期の四肢長に対する筋厚の増加は、投球スピードの増加に影響していることが示唆される。

投球スピードと各部位の筋量との関係において、12-15 歳群では、競技経験の有無に関わらず、いずれの部位においても相関関係が示された (表 3-2-3)。それに対して、19-24 歳群の野球競技選手では、投球スピードと大腿前・後部の筋量との間に有意な相関関係がみられた (表 3-2-3)。大腿前部の筋機能の 1 つは膝関節伸展、大腿後部筋群の主な機能は膝関節屈曲および股関節伸展である。成人野球競技選手を対象に投球動作の分析を行った先行研究によると、投球動作中の右腕投げ投手が左脚を上げる局面では、膝関節屈曲時に床反力が一時的に減少し (勝亦ら 2006a)、その後、膝および股関節伸展動作を伴いながら、身体重心を投球方向へ移動させる (島田ら 2004)。投球方向へ身体を移動する際の地面反力の最大値は投球スピードと正の相関関係がある (MacWilliams ら 1998)。本研究で測定対象とした被検者群のなかでは、19-24 歳の投球動作に最も熟練していると考えられる。それゆえ、ここに挙げた先行研究の知見を考慮に入れると、成人の野球競技選手においては、膝関節伸展筋力および股関節伸展筋力が速いボールを投げるために重要な役割を担っており、その結果として投球スピードと大腿前・後部の筋量との間に有意な相関関係がみられたと推察される。

二元配置の分散分析の結果、四肢長あたり的大腿後部の筋厚において交互作用が認められた。Posthoc テストの結果、19-24 歳における四肢長あたり的大腿後部筋厚では、野球競技選手が未経験者よりも大きかった。この結果は、各肢断面積に占める各組織断面積の比率において、プロ野球選手の大腿後部比率が一般男子大学生よりも有意に高い値を示したという先行研究の結果 (平野ら 1989) と類似する。一方、競技経験による主効果は、前腕部および大腿前部において認められ、野球競技選手が未経験者よりも高い値を示した。野球競技では、投げる、打つ、走る、捕るといった

様々な動作を行うため、いずれの動作が筋の発達に影響したのかを明らかにすることは難しい。しかしながら、前腕部(回内、屈曲筋群)は、投球において重要とされるスナップ動作に関連した機能を持つ。また、大腿前部は、先述したように、速いボールを投げるために重要な役割を担っている。このような投動作における各筋の役割から考えると、本研究において明らかになった野球競技選手における筋肥大の特徴は、定期的な投球の影響を反映したものと推察される。

## V. まとめ

本節では、発育期および成人の野球競技選手および未経験者を対象に、投球スピードと身体サイズとの関係、および筋サイズにおける野球選手の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、筋量指標および四肢長あたりの筋厚は、すべての計測部位において年齢経過に伴い増加した。第3章1節では、150-160cmの間(12-15歳)において投球スピードと身長との関係における係数  $a$  が増加する変局点が存在したが、その背景には筋量、四肢長あたりの筋厚の増加が影響していることが考えられた。また、二元配置の分散分析の結果、大腿前部および前腕部の筋厚/四肢長および筋量指標において競技経験の有無による主効果が認められた。このような結果には定期的な投球が影響していることが推察された。

表 3-2-1 被検者の身体特性

	年齢	野球競技選手			未経験者		
		n	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差
年齢(歳)	12-13歳	13	13.4	0.3	13	12.9	0.5
	14-15歳	29	14.9	0.4	7	14.8	0.4
	19-24歳	20	19.7	0.6	16	20.6	0.9
身長(cm)	12-13歳	13	156.9	7.7	13	154.9	11.1
	14-15歳	29	165.4	6.2	7	168.5	5.5
	19-24歳	20	173.9	4.4	16	174.6	6.2
体重(kg)	12-13歳	13	50.1	10.5	13	43.7	9.3
	14-15歳	29	58.3	6.0	7	53.6	6.3
	19-24歳	20	72.9	5.6	16	67.2	6.0

表 3-2-2 横断的調査における筋厚/四肢長、筋量指標および投球スピードの値

		野球競技選手		未経験者		分散分析
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
筋厚/四肢長 (cm/cm × 10 <sup>2</sup> )						
上腕前部	12-13歳	7.9	1.0	8.3	1.1	年齢
	14-15歳	8.9	1.3	8.8	0.4	
	19-24歳	10.0	0.7	9.1	1.0	
上腕後部	12-13歳	7.8	1.3	8.0	1.6	年齢
	14-15歳	8.9	1.2	8.4	0.6	
	19-24歳	10.4	1.1	9.7	1.7	
大腿前部	12-13歳	12.2	1.6	10.9	0.9	年齢 競技経験
	14-15歳	13.4	1.6	12.8	1.1	
	19-24歳	14.5	1.2	13.6	1.4	
大腿後部	12-13歳	14.1	1.3	14.4	1.5	交互作用
	14-15歳	15.7	1.8	15.9	1.0	
	19-24歳	18.2	1.3	15.8	1.9	
前腕部	12-13歳	8.9	1.6	8.3	0.8	年齢 競技経験
	14-15歳	9.9	1.7	8.7	1.0	
	19-24歳	9.8	1.0	9.1	1.5	
下腿前部	12-13歳	6.8	0.6	7.0	0.6	年齢
	14-15歳	7.5	0.8	7.4	0.4	
	19-24歳	7.8	0.8	7.9	0.7	
下腿後部	12-13歳	17.0	1.4	16.9	1.0	年齢
	14-15歳	17.3	1.3	18.0	1.6	
	19-24歳	18.0	1.2	17.6	1.3	
筋量指標 (cm <sup>3</sup> )						
上腕前部	12-13歳	123	36	134	51	交互作用
	14-15歳	180	43	190	23	
	19-24歳	271	44	220	53	
上腕後部	12-13歳	122	42	133	74	年齢
	14-15歳	179	46	176	28	
	19-24歳	295	55	254	85	
大腿前部	12-13歳	587	189	461	156	年齢 競技経験
	14-15歳	800	158	721	145	
	19-24歳	1051	177	961	186	
大腿後部	12-13歳	795	238	800	301	交互作用
	14-15歳	1081	211	1100	209	
	19-24歳	1670	256	1287	210	
前腕部	12-13歳	63	28	52	16	年齢 競技経験
	14-15歳	92	28	71	15	
	19-24歳	101	19	91	22	
下腿前部	12-13歳	178	47	193	68	年齢
	14-15歳	243	50	232	44	
	19-24歳	294	56	307	60	
下腿後部	12-13歳	1109	269	1101	314	年齢
	14-15歳	1280	164	1384	286	
	19-24歳	1567	212	1501	237	
投球スピード (m/s)	12-13歳	25.5	2.7	18.9	3.9	年齢 競技経験
	14-15歳	29.3	2.0	25.4	4.6	
	19-24歳	33.2	1.8	26.4	2.9	

分散分析: 年齢および競技経験の有無による二元配置の分散分析の結果を示している

年齢: 年齢による主効果、競技経験: 競技経験の有無による主効果

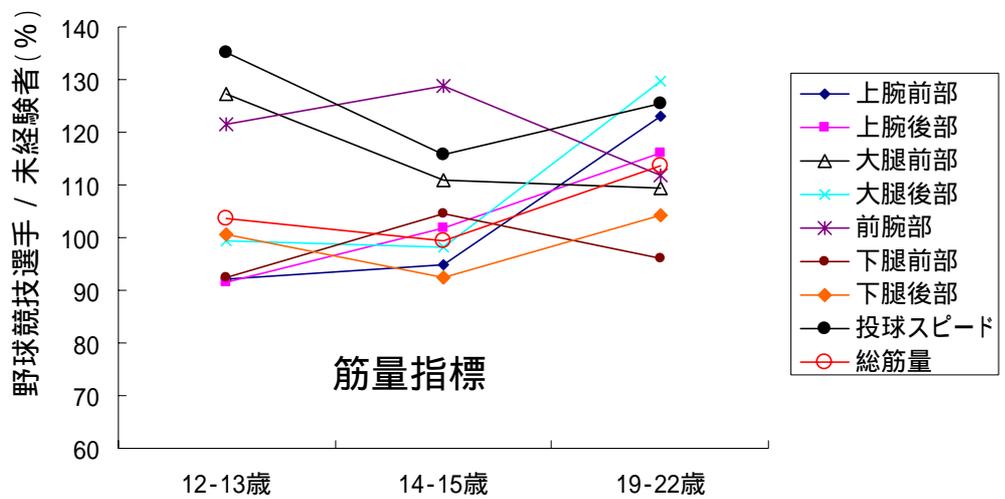
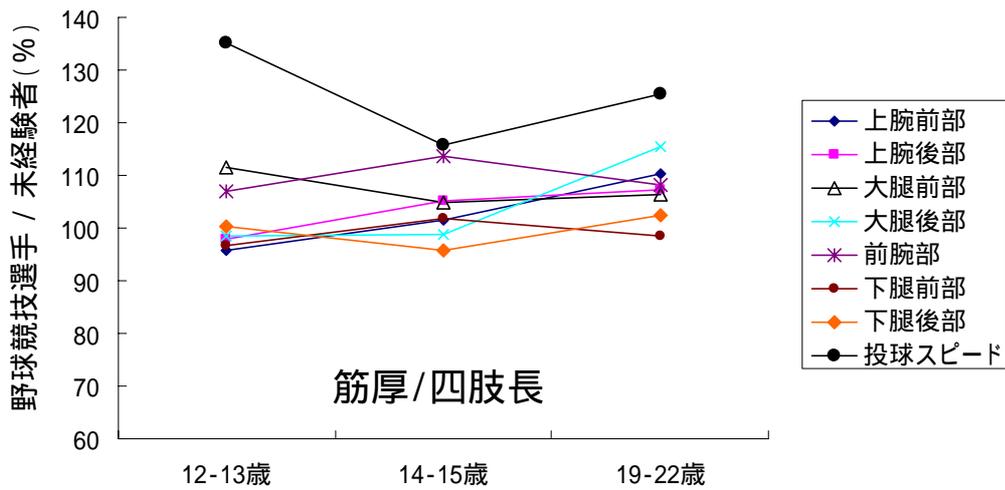


図 3-2-1 四肢長あたりの筋厚、筋量指標における野球競技選手/未経験者比率

上:四肢長あたりの筋厚

下:筋量指標

表 3-2-3 投球スピードと筋サイズとの関係

	野球競技選手		未経験者		野球競技選手		未経験者	
	12-15歳		12-15歳		19-24歳		19-24歳	
	相関係数	p値	相関係数	p値	相関係数	p値	相関係数	p値
四肢長あたりの筋厚と身長あたりの投球スピードとの関係								
上腕前部	0.393	0.021	0.058	0.808	0.035	0.882	0.173	0.523
上腕後部	0.378	0.027	0.073	0.761	0.067	0.779	0.290	0.277
大腿前部	0.474	0.005	0.081	0.733	-0.071	0.767	0.194	0.472
大腿後部	0.473	0.005	0.356	0.123	0.202	0.394	-0.003	0.991
前腕部	0.542	0.001	0.080	0.737	0.037	0.877	0.180	0.504
下腿前部	0.485	0.004	0.149	0.531	-0.091	0.703	0.122	0.652
下腿後部	0.479	0.004	0.137	0.564	0.182	0.444	0.256	0.338
筋量指標と投球スピードとの関係								
上腕前部	0.557	0.001	0.373	0.105	0.131	0.582	-0.004	0.987
上腕後部	0.551	0.001	0.442	0.051	0.165	0.487	0.262	0.327
大腿前部	0.566	0.000	0.409	0.073	0.472	0.036	0.080	0.768
大腿後部	0.563	0.001	0.614	0.004	0.496	0.026	-0.308	0.246
前腕部	0.567	0.000	0.370	0.108	0.167	0.481	-0.056	0.838
下腿前部	0.598	0.000	0.386	0.093	0.022	0.927	-0.123	0.649
下腿後部	0.627	0.000	0.416	0.068	0.329	0.157	0.012	0.965

:統計的に有意(p<0.05)

表 3-2-4 縦断的調査における被検者の身体特性

	1回目		2回目	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	13.8	0.5	14.8	0.5
身長(cm)	163.6	6.9	167.4	5.7
体重(kg)	54.6	10.3	58.0	9.1

: 1 回目と 2 回目との間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

表 3-2-5 縦断的調査における筋厚/四肢長、筋量指標および投球スピードの1回目と2回目の比較

	1回目		2回目	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
筋厚/四肢長 (cm/cm × 10 <sup>1</sup> )				
上腕前部	8.09	1.08	8.68	1.11
上腕後部	7.82	1.07	8.05	0.89
大腿前部	11.93	1.11	13.08	0.73
大腿後部	15.11	1.23	15.22	1.18
前腕部	9.43	1.74	8.98	1.11
下腿前部	6.72	0.61	7.07	0.40
下腿後部	16.42	1.14	17.13	1.20
筋量指標 (cm <sup>3</sup> )				
上腕前部	150	42	185	45
上腕後部	143	40	160	36
大腿前部	663	173	804	139
大腿後部	1009	251	1097	239
前腕部	85	42	85	26
下腿前部	206	41	238	42
下腿後部	1233	209	1388	196
投球スピード (m/s)	26.4	2.7	28.3	2.7

: 1回目と2回目との間に統計的に有意な差 (p<0.05)

## 第 4 章 投球スピードと筋力との関係

### I. 緒言

第 3 章 2 節では、12-15 歳における四肢長あたりの筋厚の増加が、その時期の投球スピードの増加に影響していることを考察した。筋断面積は、筋力に比例し(Ikai と Fukunaga 1968)、筋量は関節トルクに比例する(Fukunaga ら 2001)ことから、力発揮のポテンシャルを示す。しかしながら、筋断面積あたりの筋力には大きな個人差が存在する(金久 1988)。そして、筋サイズの影響を規格化した筋の発揮能力は、筋線維組成(Thorstensson 1976、Nygaard ら 1983) や大脳の興奮水準、筋活動に關与する運動単位の数といった神経系の作用(Komi と Karlsson 1979)の影響を受ける。これらの報告と、発育期における神経 筋の発育過程は一様ではない(Scammon 1930)ことを考慮すると、投球スピードと実際に発揮される筋力または筋サイズの影響を規格化した筋の発揮能力との関係は投球スピードと筋サイズとの関係と異なる可能性がある。

これまで、投球スピードと筋力に着目した研究が数多くなされているものの、投球スピードとの関連に関する結果は報告間で異なる。例えば、成人野球選手を対象にした研究結果によると、投球スピードと上肢(勝亦ら 2006a、Pedegana ら 1982、Bartlett ら 1989)および下肢(勝亦ら 2006a)の筋力との間に有意な相関関係が認められる。一方、9 歳から 12 歳の野球投手を対象にした平野(1986)の結果では、投球スピードと肘関節伸展筋力との間に有意な相関関係はない。また、ソフトボールのウインドミル投法によるボールスピードと筋力との間には、経験者の場合に有意な相関関係が認められるが、未経験者のそれは有意なものではない(Pugh ら 2001)。以上の知見を考慮に入れると、投球スピードと筋力との関係は、年齢層および野球経験の有無によって異なる可能性がある。

以上のことから、本節では、発育期と成人の野球競技選手および未経験者を対象に、投球スピードと筋力との関係に、年齢および競技経験の有無が及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### A. 被検者

野球競技選手としての経験を有する 12-15 歳の男子 34 名(12-13 歳:11 名、14-15 歳:23 名) および大学生男子 47 名(19-24 歳、野球経験 6 年以上、投手 25 名、野手 22 名)、並びに野球を競技として経験したことの無い 12-15 歳の男子 22 名(12-13 歳:16 名、14-15 歳:6 名)および成人男子 20 名を被検者とした。表 4-1 に被検者の身体特性を示した。

本研究では、横断的調査で対象とした野球競技を行う 12-15 歳のうち 10 名について縦断的調査を行った。なお、1 回目(2005 年 11 月～2007 年 3 月)の測定から 1 年後に 2 回目(2006 年 11 月～2008 年 3 月)の測定を行った。被検者の身体特性を表 4-5 に示した。

本研究は、早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を得た。実験に先立ち、被検者に対して本研究の目的および実験への参加に伴う危険性についての十分な説明を行い、実験参加の同意を得た。また、12-15 歳の各被検者については、保護者に実験の説明を行った上で書面による同意を得た。

### B. 測定項目

#### 1. 投球スピードの測定

投球スピードの測定は、第 2 章「投球スピードの測定」と同一の方法により実施した。

#### 2. 関節トルクの測定

これまで投球スピードと肘関節屈伸筋力との関係についてはいくつか検討例が存在する(平野 1986、勝亦ら 2006a)が、一致した見解が得られていない。一方、膝関節伸展筋力と投球スピードに相関関係が示される(勝亦ら 2006a)ことや、投球動作中の膝関節動作の重要性はいくつかの研究(島田ら 2004、Matsuo ら 2001)において報告されている。本研究では、投球スピードと筋力との関係に関する従来の研究結果と対応させること、および投球動作中の役割を考慮し、筋力の指標として、肘関節屈曲(EF)および伸展(EE)トルク、膝関節伸展(KE)および屈曲(KF)トルクを測定した。測定はすべて最大随意努力による等尺性力発揮で行った。筋力発揮を行う時間は約 3 秒とした。測定は、投球腕およびピボット脚(右投手の右脚)とした。測定は各 2 回としたが、1 回目と 2 回目の最大値が 10%以上異なる場合は 3 回目の測定を行ない、各試行の中で最も高い値を採用した。

肘関節トルクの測定は、被検者を肘関節角度 90 度(完全伸展位を 0 度)、前腕を中間位に固定して行なった。測定には肘屈伸トルクメータ(VTE - 002R/L、VINE 社製、Japan)を使用した。膝関節トルクの測定は、被検者を股・膝関節をそれぞれ 90 度(膝関節:完全伸展位を 0 度、股関節:中間位を 0 度)に固定して行なった。測定には膝屈伸トルクメータ(VTK - 002R/L、VINE 社製、Japan)を

使用した。トルクメータから出力されたアナログ信号を、AD 変換機 (Power Lab16ch、AD instruments 社製、Australia) を通じてデジタル化し、サンプリング周波数 100Hz でパーソナルコンピュータに取り込んだ。

#### C. 筋量指標あたりの関節トルクの算出

本章で対象とした被検者の中から、第 3 章 2 節においても対象とした被検者について、筋量指標あたりの関節トルク値を算出した。12-15 歳の男子では 34 名 (12-13 歳:11 名、14-15 歳:23 名) および 19-24 歳の大学生男子 14 名、並びに野球を競技として経験したことのない中学生男子 20 名 (12-13 歳:13 名、14-15 歳:6 名) および 19-24 歳の男子 15 名を対象とした。

#### D. 統計処理

測定結果は平均値 ( $\pm$  標準偏差) で示した。横断的調査における各測定値の群間の比較には、2 要因 (年齢と競技経験の有無) の分散分析を行い、交互作用および主効果の有無を確認した。分散分析の結果、F 値が有意である場合は、Scheffe 法を用いて群間の差の有意性を検定した。投球スピードと関連もつ筋力の項目を抽出するために、投球スピードを従属変数、EE、EF、KE、KF を独立変数とする重回帰分析を行った。独立変数の投入方法は、ステップワイズ法とした。

縦断的調査における各測定値の 1 回目と 2 回目との比較には対応のある t 検定を用いた。また、それらの計測値について年間変化量 (2 回目 - 1 回目、以下、変化量とする) を算出した。横断的調査および縦断的調査ともに、測定項目間の関係を検討するために、ピアソンの積率相関係数を用いた。それぞれ危険率 5% 未満をもって統計的に有意とした。なお、統計量の算出は、SPSS (12.0 J for Windows) を用いて行った。それぞれ危険率 5% 未満をもって統計的に有意とした。なお、統計量の算出は、SPSS (12.0 J for Windows) を用いて行った。

### III. 結果

#### A. 横断的調査

表 4-2 に関節トルクおよび投球スピードの平均値 (±標準偏差) を示した。関節トルクについて、二元配置の分散分析を行った結果、EE において交互作用が認められた。年齢による主効果は、すべての項目において示された。KE において競技経験の有無による主効果が認められた。PostHoc テストの結果、EE は、19-24 歳群の野球競技選手が未経験者よりも大きかった。他方、競技経験の有無に関わらず、いずれの項目についても 19-24 歳群が 12-13 歳群よりも高い値を示した。12-13 歳群と 14-15 歳群との差は、野球競技選手の EE および EF において有意であった。

体重あたりの関節トルクは、EE および EF において交互作用が認められた。また、KE では年齢および競技経験の有無による主効果が認められた。PostHoc テストの結果、野球競技選手と未経験者の差は、いずれの項目についても有意ではなかった。また、EE および EF では、12-13 歳群、14-15 歳群、19-21 歳群の 3 群間で有意な差が認められた。一方、KE および KF ではそのような傾向はみられなかった。関節トルク/筋量指標は、いずれの項目においても、交互作用、年齢および競技経験の有無による主効果は認められなかった。

投球スピードは、年齢および競技経験の有無による主効果が認められた。PostHoc テストの結果、野球競技選手は、すべての年齢群において未経験者よりも有意に速かった。また、競技経験の有無に関わらず、年齢が高いほど投球スピードは速かった。

図 4-1 は、関節トルク、関節トルク/体重および関節トルク/筋量指標について野球競技選手/未経験者の比率を示したものである。EE、EF および体重あたりの EE および EF は、成人において 110% 程度であった。KE および KF、関節トルク/筋量のすべての項目では、年齢経過とともに増加する傾向はみられなかった。

各群における投球スピードと関節トルクとの関係を表 4-3 に示した。また、投球スピードを目的変数、EE、EF、KE、KF を説明変数とし、重回帰分析を各群で行った (表 4-4)。12-15 歳群の野球競技選手および未経験者では EE、19-24 歳群の野球競技選手では KE が説明変数として選択された。一方、19-24 歳群の未経験者では説明変数として選択される項目はなかった。

#### B. 縦断的調査

表 4-6 は、関節トルクおよび投球スピードの 1 回目と 2 回目の比較を示したものである。関節トルクは、KF を除いたすべての項目において、2 回目が 1 回目よりも有意に高かった。体重あたりの関節トルクでは、EE および EF において、2 回目が 1 回目よりも有意に高値を示した。投球スピードでは、2 回目が 1 回目よりも有意に速かった。

投球スピードおよび関節トルクについて、変化量 (2 回目 - 1 回目) を算出し、両者の関係を検討し

た。その結果、投球スピードと EE との相関関係は、有意な傾向が示された ( $r=0.556$ 、 $p<0.1$ )。その他の項目については一定の傾向が示されなかった。

## VI. 考察

本章の結果、関節トルクは、競技経験の有無に関わらず、年齢経過に伴い増加した。この結果は、7歳から18歳までの男子を対象に肘・膝関節の等尺性力発揮における筋力を計測した先行研究(金久ら1985)を支持する。それに対して、関節トルク/筋量指標の値は年齢群間に差が認められなかった。また、野球競技選手を対象とした縦断的調査においても、関節トルク/筋量指標の値は、1回目と2回目との差が示されなかった。これらの結果は、福永ら(1989)を支持する。さらに、本研究の第3章2節では、筋厚は年齢が増すほど高かった。これらの結果を考慮すると、発育期にみられる投球スピードの増加には、筋サイズの増加の影響が大きいことが考えられる。

本章では、投球スピードおよび筋力以外の項目については測定を実施していない。それゆえ、説明変数として選択された関節トルクの項目が、年齢および野球経験の有無によって異なった理由について、具体的なデータに基づき説明を加えることはできない。しかしながら、成人の野球競技選手を対象に投球動作の分析を行った先行研究によると、投球時にピボット脚の膝関節は伸展しながら身体重心を前方(投球方向)へ移動させる。その際、膝伸展角速度と投球スピードとの間には有意な正の相関関係が示される。さらに、ピボット脚によって体幹に流れるエネルギー量と投球スピードとの関係は正の相関傾向を示す(島田ら2004)。本研究で測定対象とした被検者群のなかでは、19-24歳の投球動作に最も熟練していると考えられる。それゆえ、ここに挙げた先行研究の知見を考慮に入れると、19-24歳においては、膝関節伸展筋力が速いボールを投げるために重要な役割を担っており、その結果としてKEが説明変数として選択され、身長あたりの投球スピードと体重あたりのKEとの間に相関関係が示されたと推察される。

一方、横断的調査の結果、12-15歳の野球競技選手および未経験者ではEEが説明変数として選択された。縦断的調査の結果、EEの年間変化量と投球スピードの年間変化量との相関関係は、有意な傾向であった。石田(2003)の報告によると、投球動作に熟練していない発育期の野球競技選手の場合に、肘関節伸展動作が主体となった投球動作である者が多いといわれている。このような報告を考慮に入れると、本研究の結果において、EEが説明変数として選択された背景には、両被検者群ともに、野球経験の有無に関係なく肘関節伸展動作が主体となった投球動作である者が多かった可能性がある。

本研究では、肘関節および膝関節の屈曲・伸展における等尺性最大筋力を関節角度90度として測定を行った。先行研究(Pedeganaら1982、Bartlettら1989)の結果によると、投球スピードは肩関節内旋筋力または手関節屈曲力と有意な相関関係を示すことや、力-長さ関係は競技種目によって異なる可能性がある(Herzogら1991)ことが報告されている。したがって、本研究の測定項目に加え、その他の筋力を計測した場合、また本研究とは異なる関節角度で計測を行った場合、本研究とは異なった結果が得られることも考えられる。一方、発育期選手に関する本研究の結果は、指導の

現場において有益な情報と考えられる。すなわち、発育期の野球競技選手に多発する肘関節の障害は、主に投球過多による疲労および投球動作が熟練していないことに起因することが指摘されている(Lyman ら 2001、Olsen ら 2006)。本研究で対象とした発育期の野球競技選手において EE が説明変数として選択されたことは、それらとの関連を示唆するものであり、成人の野球競技選手の結果も併せて考えると、発育期には体重あたりの膝関節伸展筋力の向上および肘関節伸展動作が主体の投球動作から膝関節伸筋群を利用した投球動作へ改善することが必要であることを示すものといえよう。

## V. まとめ

本章では、12-15 歳の男子と成人の野球競技選手および野球未経験者を対象に、投球スピードと筋力との関係に、年齢および野球経験の有無が及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。その結果、すべての関節トルク、EE、EF、KE/体重は、年齢経過にともなって増加したが、関節トルク/筋量指標は、年齢経過に伴った増加はみられなかった。これらの結果と第 3 章 2 節における筋サイズの年齢経過に伴う増加の結果を併せて考えると、発育期における投球スピードの増加は、主に筋サイズの増加によるものであることが示された。また、12-15 歳の野球競技選手および未経験者では、重回帰分析の結果、投球スピードの説明変数として EE が選択された。一方、19-24 歳の野球競技選手では、KE、19-24 歳の未経験者では説明変数として選択された項目はなかった。これらの結果から、投球スピードと筋力との関係は年齢と野球経験の有無の影響を受けることが明らかとなった。

表 4-1 被検者の身体特性

	年齢	野球競技選手			未経験者		
		n	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差
年齢(歳)	12-13歳	11	13.4	0.3	16	12.9	0.5
	14-15歳	23	14.9	0.4	6	14.8	0.4
	19-24歳	47	19.7	0.6	16	20.6	0.9
身長(cm)	12-13歳	11	156.9	7.7	16	154.9	11.1
	14-15歳	23	165.4	6.2	6	168.5	5.5
	19-24歳	47	173.9	4.4	16	174.6	6.2
体重(kg)	12-13歳	11	50.1	10.5	16	43.7	9.3
	14-15歳	23	58.3	6.0	6	53.6	6.3
	19-24歳	47	72.9	5.6	16	67.2	6.0

表 4-2 横断的調査における関節トルク、関節トルク/体重、関節トルク/筋量指標および投球スピードの値

		野球競技選手		未経験者		分散分析
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
関節トルク (Nm)						
EE	12-13歳	24.7	6.6	25.5	9.2	交互作用
	14-15歳	36.5	7.5	34.5	2.8	
	19-24歳	52.8	8.4	43.8	9.2	
EF	12-13歳	29.8	6.6	31.1	8.2	年齢
	14-15歳	44.3	9.7	46.4	8.8	
	19-24歳	64.5	9.9	57.1	9.9	
KE	12-13歳	119.6	28.9	93.9	28.6	年齢
	14-15歳	162.5	33.7	122.9	26.0	
	19-24歳	216.3	49.6	191.6	41.1	
KF	12-13歳	72.0	15.5	58.1	14.8	年齢
	14-15歳	97.5	22.5	94.0	24.6	
	19-24歳	116.2	30.6	111.5	19.0	
関節トルク/体重 (Nm/kg)						
EE	12-13歳	0.49	0.06	0.57	0.11	交互作用
	14-15歳	0.63	0.11	0.62	0.07	
	19-24歳	0.72	0.10	0.65	0.12	
EF	12-13歳	0.60	0.09	0.71	0.11	交互作用
	14-15歳	0.76	0.12	0.82	0.10	
	19-24歳	0.88	0.12	0.84	0.12	
KE	12-13歳	2.45	0.62	2.17	0.59	年齢 競技経験
	14-15歳	2.80	0.50	2.17	0.34	
	19-24歳	2.92	0.56	2.85	0.65	
KF	12-13歳	1.48	0.33	1.33	0.24	
	14-15歳	1.67	0.33	1.68	0.43	
	19-24歳	1.57	0.37	1.65	0.26	
関節トルク/筋量指標 (Nm/cm <sup>3</sup> )						
EE	12-13歳	0.22	0.04	0.21	0.07	
	14-15歳	0.22	0.05	0.19	0.05	
	19-24歳	0.19	0.03	0.20	0.05	
EF	12-13歳	0.26	0.04	0.24	0.07	
	14-15歳	0.26	0.05	0.24	0.03	
	19-24歳	0.24	0.03	0.27	0.03	
KE	12-13歳	0.23	0.07	0.21	0.07	
	14-15歳	0.21	0.04	0.18	0.02	
	19-24歳	0.20	0.04	0.22	0.05	
KF	12-13歳	0.10	0.02	0.07	0.02	
	14-15歳	0.09	0.02	0.10	0.01	
	19-24歳	0.07	0.02	0.09	0.02	
投球スピード	12-13歳	25.0	2.3	19.8	4.4	年齢 競技経験
	14-15歳	29.6	2.2	22.5	5.4	
	19-24歳	33.6	2.2	27.2	2.6	

交互作用: 年齢および競技経験の二元配置を行った結果、交互作用が認められたことを示している

年齢: 年齢による主効果が認められたことを示している

競技経験: 競技経験による主効果が認められたことを示している

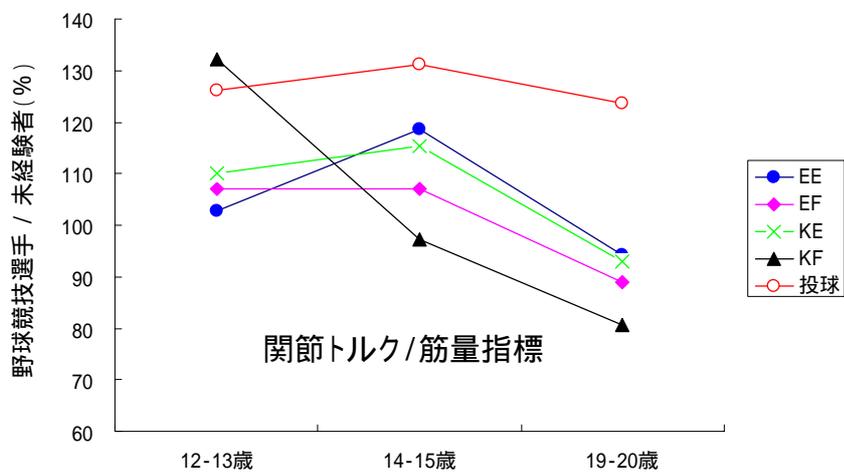
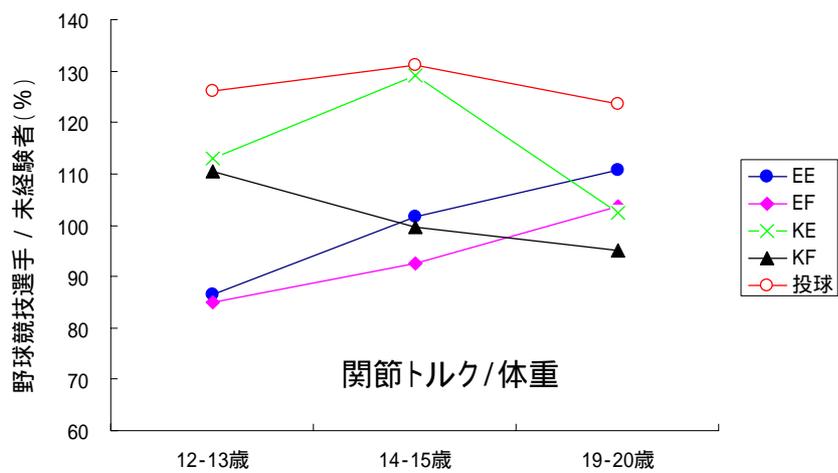
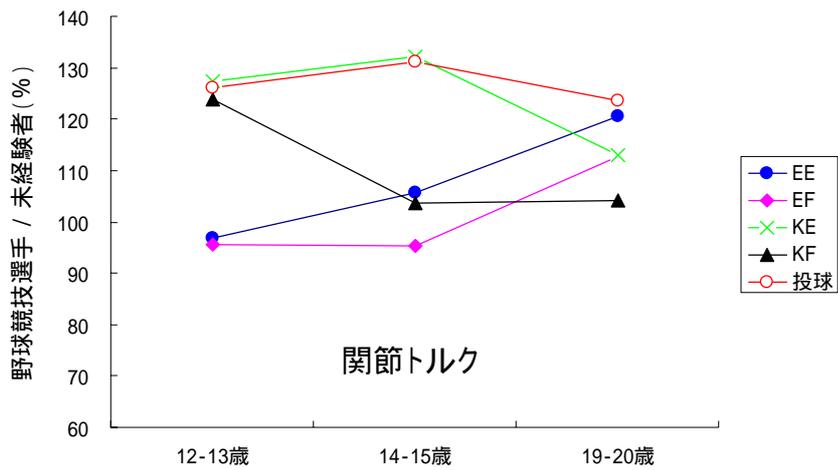


図 4-1 関節トルク、関節トルク/体重および関節トルク/筋量における野球競技選手/未経験者比率

上: 関節トルク

中: 関節トルク/体重

下: 関節トルク/筋量指標

表 4-3 投球スピードと関節トルクとの相関関係

	野球競技選手		未経験者		野球競技選手		未経験者	
	12-15歳		12-15歳		19-24歳		19-24歳	
	相関係数	p値	相関係数	p値	相関係数	p値	相関係数	p値
関節トルクと投球スピードとの関係								
EE	0.777	0.000	0.623	0.003	0.288	0.049	0.087	0.730
EF	0.763	0.000	0.607	0.003	0.195	0.189	0.143	0.570
KE	0.661	0.000	0.461	0.036	0.470	0.001	-0.108	0.668
KF	0.739	0.000	0.494	0.023	0.258	0.080	0.211	0.400
関節トルク/体重と身長あたりの投球スピードとの関係								
EE/W	0.479	0.004	0.501	0.021	0.097	0.517	0.131	0.604
EF/W	0.413	0.015	0.471	0.031	-0.026	0.863	0.228	0.363
KE/W	0.151	0.393	0.248	0.278	0.400	0.005	-0.032	0.899
KF/W	0.190	0.281	0.330	0.145	0.158	0.287	0.139	0.584
関節トルク/筋量指標と身長あたりの投球スピードとの関係								
EE/MV	0.052	0.742	0.082	0.730	-0.297	0.324	-0.434	0.138
EF/MV	-0.016	0.918	0.246	0.295	-0.110	0.720	0.065	0.832
KE/MV	-0.049	0.759	0.284	0.225	0.022	0.944	0.134	0.661
KF/MV	-0.005	0.973	0.257	0.274	-0.440	0.133	0.341	0.254

:統計的に有意(p<0.05)

表 4-4 投球スピードを従属変数、EE、EF、KE、KF の各トルク値を独立変数とする重回帰分析の結果

	r	r <sup>2</sup>	F	p値	B	SE
12-15歳 野球競技選手	0.777	0.604	48.8	<0.001		
定数					19.4	1.30
EE					0.268	0.038
12-15歳 未経験者	0.623	0.388	12.0	<0.001		
定数					11.5	2.79
EE					0.334	0.096
19-24歳 野球競技選手	0.470	0.221	12.8	<0.001		
定数					29.1	1.29
KE					0.021	0.006

表 4-5 縦断的調査における被検者の身体特性

	1回目		2回目	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	13.8	0.5	14.8	0.5
身長(cm)	163.6	6.9	167.4	5.7
体重(kg)	54.6	10.3	58.0	9.1

: 1 回目と 2 回目との間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

表 4-6 縦断的調査における関節トルク、関節トルク/体重、関節トルク/筋量指標および投球スピードの1回目と2回目の比較

	1回目		2回目	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
関節トルク (Nm)				
EE	29.2	6.4	34.6	6.3
EF	36.1	8.2	43.7	7.6
KE	126.0	34.1	140.8	29.1
KF	77.0	14.0	85.5	18.2
関節トルク/体重 (Nm/kg)				
EE	0.53	0.08	0.60	0.08
EF	0.66	0.09	0.75	0.08
KE	2.31	0.52	2.43	0.38
KF	1.43	0.25	1.47	0.24
関節トルク/筋量指標 (Nm/cm <sup>3</sup> )				
EE	0.21	0.06	0.22	0.04
EF	0.25	0.03	0.24	0.04
KE	0.20	0.05	0.18	0.02
KF	0.08	0.02	0.08	0.01
投球スピード (m/s)	26.4	2.7	28.3	2.7

: 1回目と2回目との間に統計的に有意な差 ( $p < 0.05$ )

## 第5章 総括論議

本学位論文は、発育期における投球スピードの発達について、野球競技選手および未経験者を対象に、身体サイズおよび筋力との関連から検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 発育期には、競技経験の有無に関わらず、年齢経過に伴い投球スピードは増加し、投球エネルギーの年間増加量は、13歳前後において最大に達した。また、野球競技選手の投球スピードは、12歳以上において未経験者のそれよりも有意に速かった(第2章)
- 2) 投球スピードと身長との関係に対数図に示した場合、未経験者では155 cm(12-14歳)に変局点がある2相の直線で表された。野球競技選手ではそういった傾向はみられず、直線で示された。アトメトリ式 $y=bx^a$ における係数 $a$ は、いずれもディメンション論から考えられる理論値の0よりも大きかった。また、155 cm以下では、投球スピードと身長との関係における係数 $a$ において、野球競技選手が未経験者よりも高い傾向にあった(第3章1節)。
- 3) 腕および脚の筋量指標、四肢長あたりの筋厚および肘・膝関節の屈伸筋力は、競技経験の有無に関わらず、年齢経過に伴い増加した(第3章2節および第4章)。それに対して、関節トルク/筋量指標は、年齢群間に有意な差が認められなかった(第4章)。
- 4) 12-15歳では、競技経験の有無に関わらず、肘関節伸展トルクが投球スピードを説明する変数として選択された。また、19-24歳の野球競技選手では、膝関節伸展トルクが説明変数として選択された。一方、筋量指標あたりの関節トルクと身長あたりの投球スピードとの間には、年齢および競技経験の有無に関わらず、有意な相関関係が示されなかった。(第4章)

これらの知見から投球スピードと年齢、身長および競技経験との関連は図5-1のようにまとめられる。投球スピード、身体サイズおよび筋力は、競技経験の有無に関わらず、年齢経過に伴い増加した。定期的な投球を行っていない未経験者において、このような結果が得られたことは、発育期における身体サイズおよび筋力の増加が投球スピードの増加に影響していることを示している。また、平均値について投球スピードと身長との関係に対数図に示した場合、未経験者では、155 cm(12-15歳の間)に変局点がある2相の直線で表された(第3章1節、図5-1)。このような結果の背景には、二次性徴による四肢長に対する筋厚の増加が影響していることが考えられた(第3章1節および2節、図5-1)。しかしながら、一般に、運動能力は、年齢経過に伴って発達し、発育に伴う身体サイズおよび筋量の増加が関与していると考えられている。本研究で得られた結果が、投球スピードの発達において特有のものであるかを明らかにするためには、走および跳躍といったその他の運動能力の発達と比較する必要がある。

本研究では、投球スピードの発達に影響する要因として、定期的な投球の有無、すなわち身体運動に対する教育効果について検討した。まず、投球スピードと身長との関係における個人値から身長

に対する投球スピードの上限および下限を直線で表した場合(図 5-1)、上限の直線は、下限の直線よりも傾きが大きい傾向にあり、特に下限の直線は、未経験者における平均値よりも 5-10m/s 以上も低い位置にあった。また、身長が高い(年齢が高い)ほど、上限と下限の差(個人差)は大きい傾向にあった。一般に、年齢経過に伴う運動能力には、発育に伴う身体サイズや骨格筋量の増加が関与していると考えられている。しかしながら、本研究で得られた結果は、投球スピードの発達には、身体の発育による効果のみならず、身体に対するはたらきかけ(教育)の影響が大きいことを示している。人間のみ可能であり、歩および走行動作と比較し、後天的に学習される部分が多いと考えられている投球動作(桜井 1992)において、はたらきかけの可能性を示した本研究の結果は、人間における身体運動能力に対する学習の可能性、そしてその年齢毎の変化をデータとして示した重要な知見と言える。

また、本研究の結果、155 cm以下では、投球スピードと身長との関係における係数  $a$  は、野球競技選手が未経験者よりも大きい傾向にあった(第 3 章 1 節、図 5-1)が、155 cm以上ではそういった傾向はみられなかった。また、12-15 歳における筋厚および筋力は、競技経験の有無による差異はほとんどみられなかった。これらの結果は、定期的な投球経験の有無は、身体サイズおよび筋力といった生物学的な発育・段階を考慮した場合においても投球スピードに影響を及ぼす要因であることを示唆する。尾懸ら(1989)は、身長および筋力といった身体資源のわりに投能力が高いことを合理的な動作と定義している。このような報告と本研究の結果を併せて考えると、155 cm以下(15 歳以下)では、合理的な投動作を習得するのに適した時期と言える。さらに、投球スピードと身体サイズおよび筋力との関係は、年齢および競技経験の有無によって異なったことを併せて考えると、投球スピードの向上を目的としたはたらきかけを行う場合には、年齢、生物学的な発達段階および競技経験の有無を考慮する必要がある。

そこで、総括論議では、年齢経過および身長の増加に伴う投球スピード、走速度および跳躍距離の発達における比較、発育期における投球スピードの向上を目的としたはたらきかけについて検討する。

#### I. 年齢経過および身長の増加に伴う投球スピード、走速度および跳躍距離の発達における比較

図 5-2 には、横軸に年齢、縦軸に立ち幅跳びの跳躍距離(平成 17 年度全国平均値、文部省)、走速度(平成 17 年度全国平均値、文部省)、投球スピード(本研究)の年間変化率(年間変化率 = 年間変化量/19 歳の平均値  $\times$  100)を示した。走速度および跳躍距離の年間変化率は、10 歳から 13 歳においてその他の年齢よりも高い傾向を示し、特に 12 歳において最大に達した。一方、投球スピードの年間変化率は、野球競技経験の有無に関わらず、15 歳以下がそれ以上よりも年間変化率が高い傾向にあった。また、年間変化率の最大値は、野球競技選手では 13-14 歳、未経験者では

14-15 歳において最大に達した。このように、年齢経過に伴う運動能力の変化率のパターンおよび変化率が最大に達する年齢は、投球スピードと走速度および跳躍距離とは異なる傾向が確認された。

図 5-3 は、投球スピード、走速度および跳躍距離と身長との関係を示したものである。横軸の身長および縦軸の運動能力は、いずれも 19 歳の平均値を 100%とした時の各年齢の平均値を示した。まず、投球スピードでは、未経験者における投球スピードと身長との関係は、12-15 歳との間に変局点がある 2 相の直線で表された。一方、走速度および跳躍距離では、投球スピードと身長との関係においてみられた変局点は存在しなかった。なお、単相アロメトリーにおける係数  $a$  は、走速度では 1.17、跳躍では 1.76 であった。

これらの結果から、年齢経過に伴う運動能力の発達および運動能力と身長との関係は、投球スピードと走速度および跳躍距離とは異なることが示された。森下(1966)は、発育期の男子を対象とした研究において、握力と身長との関係は 2 相の直線で表されるのに対し、垂直跳びの高さと身長との関係は、変局点がみられない直線で表されることを述べている。本研究では、投球スピードと身長との関係における変局点がみられた時期は、筋量の指標である体重の増加が著しい 12-15 歳の間であった。本研究の結果と先行研究の結果を考慮すると、投球スピードは、筋量や筋力の発育・発達と類似した傾向を示すのに対して、走動作および跳躍動作では、自体重が負荷となるため、身体サイズの増加による力発揮能力の増加がパフォーマンスとして表れなかった可能性がある。換言すれば、投球スピードの増加に及ぼす筋サイズの増強を目的としたトレーニングの影響は、走および跳躍よりも大きいと考えることもできよう。

本研究では、定期的な投球が投球スピードの発達に有効であることが明らかとなった。今後、投動作以外の動作において定期的な運動経験の有無が身体運動能力の発達に及ぼす影響を検討することで、より具体的に投球動作におけるはたらきかけの可能性を言及することができると考えられる。

## II. 発育期における投球スピードの向上を目的としたはたらきかけ

本研究の結果、競技経験の有無に関わらず、投球スピードの発達には身体サイズおよび筋力の発育・発達が影響していることが示された。関節の回転運動における末端の速度(ボールの速度)は、回転半径×角速度によって決定すると仮定した場合、回転半径の指標である身長は、遺伝的な要因が大きい(水野 1956)。また、本研究においても、投球スピードと身長との関係を示した図(第 3 章 1 節、図 3-1-1、B-1)において、身長あたりの投球スピードは直線によって表されることから、身長によって投球スピードの限界が規定されることが考えられる。それに対して、角速度に影響を与える力発揮能力には、発育期の子どもにおいてもトレーニング効果が認められる(船渡ら 1989、Vrijens 1978)。また、本研究の結果、定期的な投球経験の有無は、生物学的な発育段階を考慮した場合に

においても投球スピードに影響を及ぼすことが示された。これらのことから考えると、発育期の子どもでは、投球スピードを向上させるために、筋サイズおよび筋力を向上させること、定期的な投球を行うことによって合理的な動作を身につけることが必要である。

本研究の結果、トレーニング効果を最大に得るための競技開始の適齢期は、9.5 歳以下であることが示された(第 2 章)。投動作の練習効果に着目した研究によると、7-9 歳は、投動作の練習効果が大きい時期である(奥野ら 1994)。また、先に述べたように、投球スピードと身長との関係における下限の直線における傾きが上限の直線における傾きよりも小さい傾向にあったことを考慮すると、適切な時期に投動作が習熟されなかった場合、それ以降の年齢においても野球競技選手にみられたような発育期における著しい投球スピードの増加がみられない可能性もある。

一方、発育期における筋力向上を目的としたトレーニングの効果は、報告間で結果は異なるものの、第二次性徴を終えた男子ではトレーニングの効果があるという報告が多い(船渡ら 1989、Vrijens 1978)。本研究の結果および先行研究の知見を考慮すると、9.5 歳よりも早い時期に定期的な投球を行うこと、身長の発育スパートを過ぎた 13 歳以降において筋力の向上を目的としたトレーニングを行うことが、身長あたりの投球スピードを向上させるためのはたらきかけとして望ましいといえよう。

本研究では、投動作の発達に関する検討を行っていない。それゆえ、投球スピードの向上を目的とした投動作へのはたらきかけについて、具体的なデータに基づき説明を加えることはできない。しかしながら、本研究で対象とした 12-15 歳では、競技経験の有無に関わらず、肘関節伸展筋力が投球スピードを説明する変数として選択された(第 4 章)。その原因として、投動作の発達段階にみられる肘関節伸展を主動とした投球を行っていた者が多かった可能性を考察した。勝亦ら(2007)は、身長あたりの投球スピードが低い者では、椅子に座った状態からの投球スピードと通常の全力投球におけるスピードとの間に有意な相関関係が認められたが、身長あたりの投球スピードが高い者では、両者に有意な相関関係が示されなかったことを報告した。このような報告と未経験者では身長あたりの投球スピードにおいて野球競技選手よりも低い傾向であったことを考慮すると、肘関節伸展筋力に依存した「手投げ」動作は、特に未経験者において当てはまると推察される。一方、19-24 歳の野球競技選手では、膝関節伸展筋力が説明変数として選択された。また、投球スピードと大腿部筋量との間に有意な相関関係が示された。これらの結果は、野球の指導現場における投動作における下肢の重要性に関する指摘や投動作における脚の重要性を指摘する先行研究(島田ら 2004、高橋ら 2005)を裏付けるものである。これらのことを考慮すると、身長あたりの投球スピードが低い発育期の子どもでは、体重あたりの膝および股関節伸展筋力を向上させることが下肢の動作を習熟させることが有効な手段となる可能性がある。

19-24 歳の野球競技選手では、四肢長あたりの筋厚と投球スピードとの間に相関関係が示されなかった(第 3 章 2 節)。投球スピードが異なると考えられるプロ野球選手と大学野球選手において、身

長ではプロ野球選手が大学野球選手よりも有意に高かったが、上腕および大腿部の筋厚/四肢長では両者の間に有意な差は認められない(海老野 2008)。また、大学野球投手の筋量を計測した報告によれば、上腕/前腕比および大腿/下腿比が高い者ほど投球スピードは速い(勝亦ら 2006a)。本研究の結果および先行研究の知見を併せて考えると、速いボールを投げるための各筋のサイズおよび筋力は、体長および体重に対する最適な値があることが示唆される。また、四肢長あたりの筋厚、体重あたりの肘関節伸展・屈曲トルクにおいて成人よりも低い発育期の子どもを対象に、身長あたりの投球スピードを向上させるためのトレーニングプログラムを考える場合、体肢長および体重に見合った身体サイズおよび筋力が考慮される必要がある。

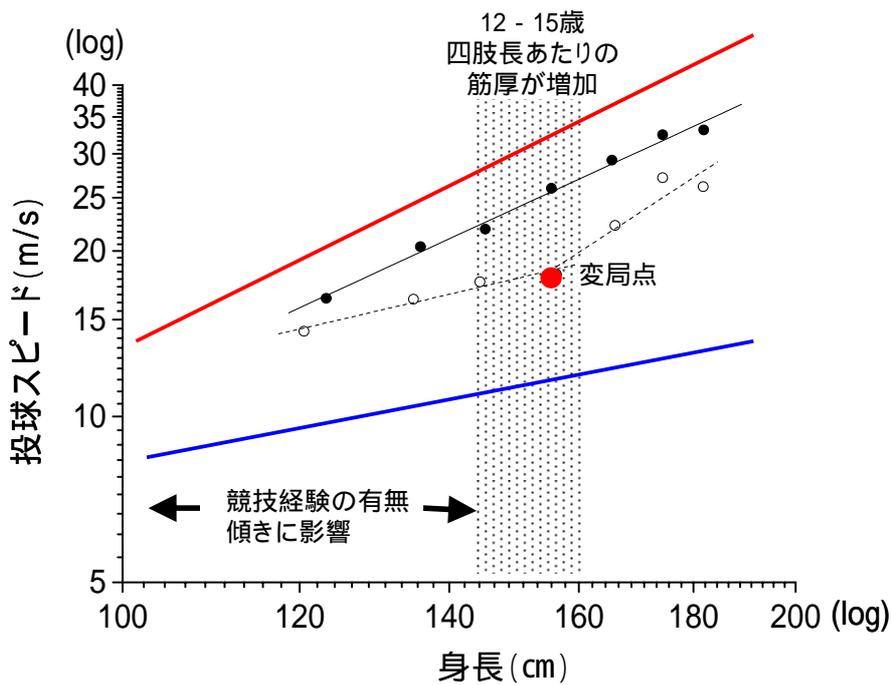


図 5-1 投球スピードの発達と年齢、身長および競技経験の有無との関連

- : 野球競技選手の値、○ : 未経験者の値、● : 未経験者における変局点
- : 野球競技選手の平均値から得られた回帰直線
- ⋯⋯⋯ : 未経験者の平均値から得られた回帰直線
- (赤) : 身長に対する投球スピードの上限 (第 3 章 1 節の結果より作図)
- (青) : 身長に対する投球スピードの下限 (第 3 章 1 節の結果より作図)

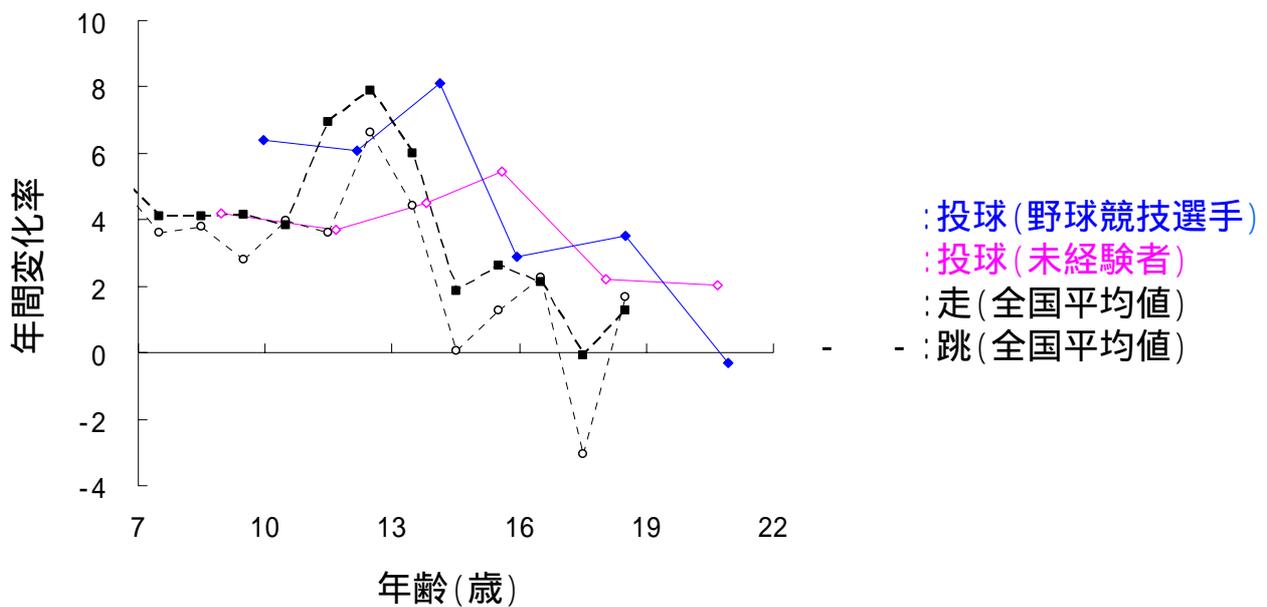


図 5-2 運動能力の年間変化率と年齢との関係

投球はスピード、走は 50m 走の平均速度、跳躍は立ち幅跳びの距離

投球の値は、21 24 歳の未経験者における平均値を 100%としたときの各年齢の年間変化率(%)

走および跳の値は、19 歳の平均値を 100%としたときの各年齢における年間変化率(%)

投球のデータは、第 2 章 横断的調査の結果

走、跳のデータは、平成 17 年度全国平均値(文部科学省)のより各年齢の値を算出したもの

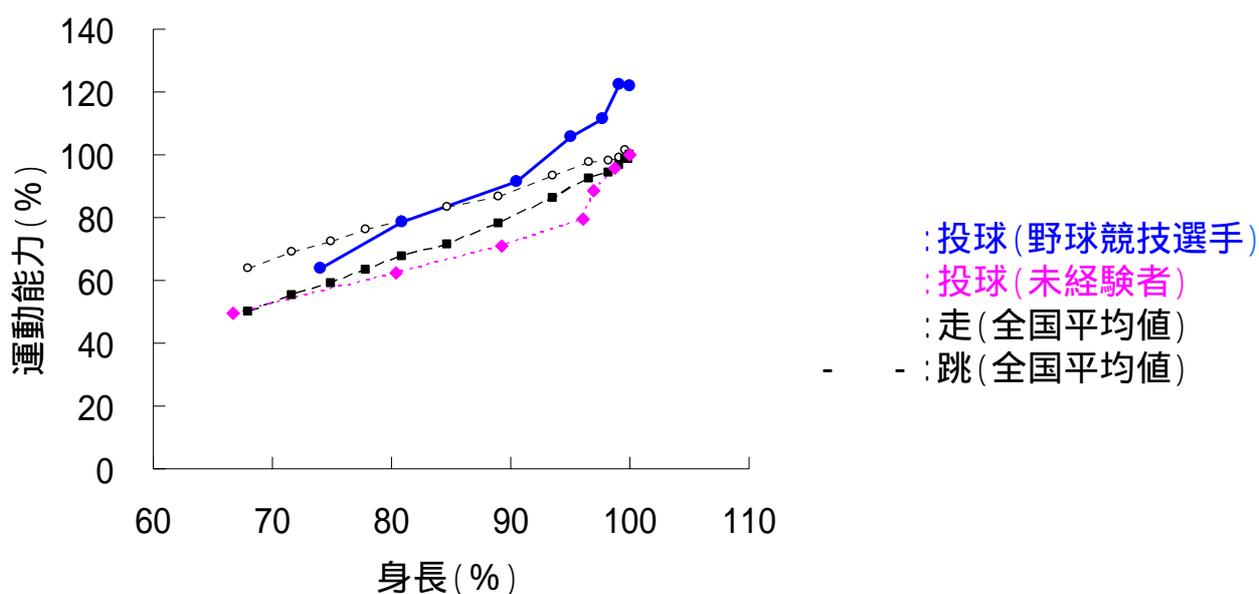


図 5-3 運動能力と身長との関係

投球はスピード、走は 50m 走の平均速度、跳は立ち幅跳びの距離

投球の値は、21 24 歳の未経験者における平均値を 100%としたときの各年齢群の平均値 (%)

走および跳の値は、19 歳の平均値を 100%としたときの各年齢の平均値 (%)

投球のデータは、第 2 章 横断的調査における被検者の値

走、跳のデータは、平成 17 年度全国平均値(文部科学省)のより各年齢の値を算出したもの

## 第6章 結論

本学位論文は、発育期における投球スピードの発達について、定期的に投球を行う野球競技選手および競技として投球を定期的に行っていない男子を対象に、身体サイズおよび筋力との関連から検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 発育期には、野球競技経験の有無に関わらず、年齢経過に伴い投球スピードは増加し、投球エネルギーの年間増加量は、13歳前後において最大に達した。また、野球競技選手の投球スピードは、12歳以上において未経験者のそれよりも有意に速かった(第2章)。
- 2) 投球スピードと身長との関係において、未経験者では155 cm(12-14歳)に変局点がある2相の直線で表された。野球競技選手ではそういった傾向はみられず、直線で示された。アトメトリック式 $y=bx^a$ における係数 $a$ は、いずれも次元論から考えられる理論値の0よりも大きかった。また、155 cm以下では、投球スピードと身長との関係における係数 $a$ において、野球競技選手が未経験者よりも高い傾向にあった(第3章1節)。
- 3) 腕および脚の筋量指標、四肢長あたりの筋厚および肘・膝関節の屈伸筋力は、競技経験の有無に関わらず、年齢経過に伴い増加した(第3章2節および第4章)。それに対して、関節トルク/筋量指標は、年齢群間に有意な差が認められなかった(第4章)。
- 4) 12-15歳では、競技経験の有無に関わらず、肘関節伸展トルクが投球スピードを説明する変数として選択された。また、19-24歳の野球競技選手では、膝関節伸展トルクが説明変数として選択された。一方、筋量指標あたりの関節トルクと身長あたりの投球スピードとの間には、年齢および競技経験の有無に関わらず、有意な相関関係が示されなかった(第4章)。

これらの知見から、野球競技経験の有無に関わらず、発育期における投球スピードの発達には、身長の増加および二次性徴に伴う筋サイズの増加が影響していることが示された。また、定期的な投球経験の有無は、生物学的な発育段階を考慮した場合においても投球スピードに影響を及ぼす要因であり、その影響は155 cm(15歳以下)において大きいことが示された。

## 参考文献

- Abe T, Kondo M, Kawakami Y, Fukunaga T., Prediction equations for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound, *Am J Hum Biol*, 6, 161-170, 1994.
- Asmussen E, Heeboll-Nielsen KA., A dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *Journal of Applied Physiology*, 7, 593-603, 1955.
- Bartlett LR, Storey MD, Simons BD., Measurement of upper extremity torque production and its relationship to throwing speed in the competitive athlete, *Am J Sports Med*, 17(1), 89-91, 1989.
- Beunen G, Malina RM., Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt, *Exerc Sport Sci Rev*, 16, 503-40, 1988.
- Derenne C, Ho KW, Murphy JC., Effects of general, special, and specific resistance training on throwing velocity in baseball: a brief review, *J Strength Cond Res*, 15(1), 148-56, 2001.
- Dun S, Fleisig GS, Loftice J, Kingsley D, Andrews JR., The relationship between age and baseball pitching kinematics in professional baseball pitchers, *J Biomech*, 40(2), 265-70, 2007.
- 海老野貴勇., プロ野球選手の筋形態の特徴, 早稲田大学人間科学研究科修士論文, 2008.
- Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Andrews JR., Kinematic comparisons of 1996 olympic baseball pitchers, *Journal of Sports Sciences*, 19, 665-676, 2001.
- Escamilla RF, Speer KP, Fleisig GS, Barrentine SW, Andrews JR., Effects of throwing overweight and underweight baseballs on throwing velocity and accuracy, *Sports Med*, 29(4), 259-72, 2000.
- Faigenbaum AD, Milliken LA, Loud RL, Burak BT, Doherty CL, Westcott WL., Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children, *Res Q Exerc Sport*, 73(4), 416-24, 2002.
- Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, Escamilla RF, Andrews JR., Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development, *J Biomech*, 32(12), 1371-5, 1999.
- Flynn MA, Woodruff C, Clark J, Chase G., Total body potassium in normal children,

Pediatr Res, 6(4), 239-45, 1972.

- Forbes GB, Gallup J, Hursh JB., Estimation of total body fat from potassium-40 content, *Science*, 13, 133:101-2, 1961.
- 深代千之., 幼児の投球技能, *体育の科学*, 33(2), 103-109, 1983.
- 深代千之, 稲葉勝弘, 小林規, 宮下充正., 幼児にみられる投能力の発達, *Jpn J Sports Sci*, 1, 231-236, 1982.
- 福永哲夫, 金久博昭, 角田直也, 池川繁樹., 発育期青少年の体肢組, *成人類学雑誌*, 97(1), 51-62, 1989.
- Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H., Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand*, 172(4), 249-55, 2001.
- 船渡和男, 福永哲夫, 浅見俊雄, 池田成治., 小学生児童への静的筋力トレーニングの効果に関する研究, *体育学紀要*, 23, 69-81, 1989.
- Gorostiaga EM, Granados C, Ibanez J, Izquierdo M., Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players, *Int J Sports Med*, 26(3), 225-32, 2005.
- Halverson LE, Robertson MA, Langendorfer S., Development of the overarm throw: movement and ball velocity changes by seventh grade, *Res Q*, 53, 198-205, 1982.
- Herzog W, Guimaraes AC, Anton MG, Carter-Erdman KA., Moment-length relations of rectus femoris muscles of speed skaters/cyclists and runners, *Med Sci Sports Exerc*, 23(11), 1289-96, 1991.
- 平野裕一., Muscular Characteristics of the Dominant Upper Arm in Japanese Little League Baseball Pitchers, *体育学紀要*, 20, 1-7, 1986.
- 平野裕一, 浅見俊雄., 野球の投球動作とその指導 (投げの科学と指導<特集>) *体育の科学*, 38(2), 93-100, 1988.
- 平野裕一, 福永哲夫, 近藤正勝, 角田直也, 池川繁樹., 身体組成および体肢組成からみた野球選手の特長, *J J sports Sci*, 8, 560-564, 1989.
- Huxley JS., Problems of relative growth, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 276, 1932.
- Ikai M, Fukunaga T., Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement, *Int Z Angew Physiol*, 26, 26-32, 1968.

- 猪飼道夫, 福永 哲夫, 藤平田英彦., 日本人青少年の身体組成の研究 -超音波法と比重法による, 東京大学教育学部紀要, 11 巻, 1-29, 1971.
- 石田和之., 子どもの投動作の発達, 子どもと発育発達, 1(5), 316-319, 2003.
- Ishida K, Murata M, Hirano Y., Shoulder and elbow kinematics in throwing of young baseball players, Sports Biomech, 5(2), 183-96, 2006.
- 金久博昭., 筋力のトレ-ナビリティ, 体育の科学, 38(6), 446-455,1988.
- Kanehisa H, Ikegawa S, Tsunoda N, Fukunaga T., Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence, Int J Sports Med, 16(1), 54-60, 1995.
- 金久博昭, 福永哲夫, 角田直也, 池川繁樹., 発育期青少年の単位筋断面積当りの筋力: 発育期の体力に関する基礎的研究, 体力科学 34(Supplement), 71-78, 1985.
- 金久博昭, 角田直也, 池川繁樹, 福永哲夫., 相対発育からみた日本人青少年の筋断面積, 人類学雑誌, 97, 63-70, 1989a.
- 金久博昭, 角田直也, 池川繁樹, 福永哲夫., 相対発育からみた日本人青少年の筋力, 人類学雑誌, 97, 71-79,1989b.
- 金子公宥., 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス, 杏林書院, 1974.
- 勝亦陽一, 長谷川伸, 川上泰雄, 福永哲夫., 投球速度と筋力および筋量の関係, スポーツ科学研究, 1-7, 2006a.
- 勝亦陽一, 丸山洋輔, 川上泰雄, 福永哲夫., 大学野球投手と未経験者における投球動作中の床反力の比較, 第 19 回日本バイオメカニクス学会大会, 2006b.
- 勝亦陽一, 丸山洋輔, 川上泰雄, 福永哲夫., 関節運動制限下での投球スピードにおける大学野球選手と未経験者の比較, 第 58 回日本体育学会, 2007.
- Komi PV, Karlsson J., Physical performance, skeletal muscle enzyme activities, and fibre types in monozygous and dizygous twins of both sexes, Acta Physiol Scand Suppl, 462, 1-28, 1979.
- 小宮秀一, 大坂哲郎., 身長-体重の相対成長による男子児童(6 才 ~ 14 才)の発育パターンについて, 体育学研究, 20(2),79-89,1975.
- Lindgren G., Growth of schoolchildren with early, average and late ages of peak height velocity, Ann Hum Biol, 5(3), 253-67, 1978.
- Lyman S, Fleisig GS, Waterbor JW, Funkhouser EM, Pulley L, Andrews JR, Osinski ED, Roseman JM., Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers, Med Sci Sports Exerc, 33(11), 1803-10, 2001.

- MacWilliams BA, Choi T, Perezous MK, Chao EY, McFarland EG., Characteristic ground-reaction forces in baseball pitching, *Am J Sports Med*, 26(1), 66-71, 1988.
- Malina RM., Adolescent changes in size, build, composition and performance, *Hum Biol*, 46(1), 117-31, 1974.
- Matsuo T, Rafael F, Escamilla, Glenn S, Fleisig, Steven W, Barrentine, James R Andrews., Comparison of kinematic and Temporal Parameters Between Different Pitch Velocity Group, *Journal of applied biomechanics*, 1-13, 2001.
- 宮丸凱史., 投げの動作の発達, *体育の科学* 30(7), 464-471, 1980.
- 宮丸凱史, 平木場浩二., 幼児のボールハンドリング技能における協応性の発達(3) - 投動作様式の発達とトレーニング効果, *体育科学*, 10, 111-124, 1982.
- 宮西智久, 向井正剛, 川口鉄二, 関岡康雄., スピードガンと画像計測によるボールスピードの比較, *仙台大学紀要*, 31, 72-77, 2000.
- 水野忠文., 双生児の体格・筋力・運動能力の類似度に関する研究, *東京大学教育学部紀要* 1, 136-157, 1956.
- 文部科学省., 体力・運動能力調査報告書, 平成 17 年度.
- 森下はるみ., 日本人青少年の形態発育と機能発育の解析的研究, *体育學研究* 11(2), 47-58, 1, 1966.
- Musaiger AO, Ragheb MA, al-Marzooq G., Body composition of athletes in Bahrain, *Br J Sports Med*, 28(3), 157-9, 1994.
- Nygaard E, Houston M, Suzuki Y, Jorgensen K, Saltin B., Morphology of the brachial biceps muscle and elbow flexion in man, *Acta Physiol Scand* 117, 287-292, 1983.
- 尾県貢, 中田順造, 山本章雄, 熊安貴美江., 成人女性におけるオーバーハンドスロー動作の検討, 投距離に影響を与える体力要因を考慮して, *体育學研究* 34(1), 63-72, 1989.
- 尾縣貢, 関岡康雄, 飯田稔., 成人女性における投能力向上の可能性, *体育學研究*, 41(1), 11-22, 1996.
- 奥野暢通, 後藤幸弘, 辻野昭., 投運動学習の適時期に関する研究 - 小・中学生のオーバーハンドスローの練習効果から -, *スポーツ教育学研究*, 9-1, 23-35, 1989.
- Olsen SJ 2nd, Fleisig GS, Dun S, Loftice J, Andrews JR., Risk factors for shoulder and elbow injuries in adolescent baseball pitchers, *Am J Sports Med*, 34(6), 905-12, 2006.
- Ozmun JC, Mikesky AE, Surburg PR., Neuromuscular adaptations following

prepubescent strength training, *Med Sci Sports Exerc*, 26(4), 510-4, 1994.

- Parker DF, Round JM, Sacco P, Jones DA., A cross-sectional survey of upper and lower limb strength in boys and girls during childhood and adolescence, *Ann Hum Biol*, 17(3), 199-211, 1990.
- Pedegana LR, Elsner RC, Roberts D, Lang J, Farewell V., The relationship of upper extremity strength to throwing speed, *Am J Sports Med*, 10(6), 352-4, 1982.
- Pugh SF, kovalski JE, Heiman RJ., Upper and lower body strength in relation to underhand pitching speed by experienced and inexperienced pitchers, perceptual and motor skills, 93(3), 813-8, 2001.
- Robertson MA, Halverson LE, Langendorfer S, Williams K., Longitudinal changes in children's overarm throw ball velocities, *Res Q*, 50(2), 256-64, 1979.
- Robertson MA, Halverson LE., *Developing children their changing movement*, Philadelphia, Lea & Febiger, 1984.
- Sakurai S, Miyashita M., Developmental aspects of overarm throwing related to age and sex, *Human Movement Science*, 2, 67-76, 1983.
- 桜井伸二, 宮下充正., 子ども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.
- 桜井伸二., *投げる科学*, 大修館書店, 1992.
- Scammon RE., The measurement of the body in childhood, Harris JA, Jackson CM, Patterson DG, Scammon RE. (eds.), *The measurement of man*, 173-215, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1930.
- Servedio FR, Bartels R, Hamlin R, Teske D, Shaffer T, Servedio A., The effects of weight training, using Olympic style lifts, on various physiological variables in pre-pubescent boys, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 288, 1985.
- 関根克浩, 島田一志, 豊川琢, 阿江通良, 藤井範久., 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の研究, *バイオメカニクス研究*, 3(1), 2-11, 1999.
- Sewall L, Micheli LJ., Strength training for children, *J Pediatr Orthop*, 6(2), 143-6, 1986.
- 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 川村卓, 高橋佳三., 野球のピッチングにおける力学的エネルギーの流れ, *バイオメカニクス研究*, 8(1), 12-26, 2004.
- Spent LF, Martin AD, Drinkwater DT., Muscle mass of competitive male athletes, *J Sports Sci*, 11(1), 3-8, 1993.

- Stodden DF, Langendorfer SJ, Fleisig GS, Andrews JR., Kinematic constraints associated with the acquisition of overarm throwing part I: step and trunk actions, *Res Q Exerc Sport*, 77(4), 417-27, 2006a.
- Stodden DF, Langendorfer SJ, Fleisig GS, Andrews JR, Kinematic constraints associated with the acquisition of overarm throwing part II: upper extremity actions, *Res Q Exerc Sport*, 77(4), 428-36, 2006b.
- 高橋佳三, 阿江通良, 藤井範久, 川村卓, 小池関也, 島田一志., 球速の異なる野球投手の動作のキネマティクスの比較, *バイオメカニクス研究*, 9, 36-52, 2005.
- 高石昌弘, 樋口満, 小島武次., からだの発達, 大修館書店, 1981.
- Tanner JM, Hughes PC, Whitehouse RH., Radiographically determined widths of bone muscle and fat in the upper arm and calf from age 3-18 years, *Ann Hum Biol*, 8(6), 495-517, 1981.
- Tanner JM, Whitehouse RH, Takaishi M., Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity: British children, 1965. I, *Arch Dis Child*, 41(219), 454-71, 1966.
- Thorstensson A., Muscle strength, fibre types and enzyme activities in man, *Acta Phsyiol Scand Suppl*, 443, 1-45, 1976.
- 角田直也, 田中重陽, 石塚信之, 青山利春, 岡田雅次, 西山一行., 投動作パフォーマンスに及ぼす筋形態及び機能的特性, *国土舘大学体育研究所報*, 21, 135-140, 2002.
- 角田直也, 田中重陽, 熊川大介, 青山利春, 岡田雅次, 西山一行., 筋形態の発育が競技パフォーマンスの向上に及ぼす影響, *国土舘大学体育研究所報*, 22, 79-85, 2003.
- 角田俊幸, 稲葉勝弘, 宮下充正., 投能力の発達, 昭和 51 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.1, 投能力の向上に関する研究, 13-23, 1976.
- van den Tillaar R., Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: a brief review, *J Strength Cond Res*, 18(2), 388-96, 2004.
- Vrijens J., Muscle strength development in the pre- and post-pubescent age, *Med Sport*, 11, 152-158, 1978.
- Wild MR., The behavior pattern of throwing and some observations concerning it's course of development in children, *Res Quart*, 9(3), 20-24, 1938.

## 謝辞

本学位論文は、学部 3 年の終わりから現在までの研究成果をまとめたものです。主査をしていた川上泰雄教授には、修士課程 1 年から現在に至るまで、日頃より研究内容および方針に関するご助言、ご指導を賜りました。博士論文、原著論文および学会の発表機会を与えていただいたことを感謝致します。ありがとうございました。

副査をしていた福永哲夫教授には、学部 3 年の終わりから現在に至るまで、度々貴重なご意見を頂きました。大学生の時は考えもしなかった大学院進学、そして博士号取得へ導いて頂いたことを感謝致します。ありがとうございました。

金久博昭教授には、卒業論文以来、論文を作成する過程で何度もご相談させていただきました。その度に、私の研究に対する好意的、前向きなご意見を頂いたことを感謝致します。研究活動を行う上で励みになりました。ありがとうございました。

副査、そして指導教員をしていた矢内利政教授には、温かい励ましと意見を頂いたことを感謝致します。ありがとうございました。

副査をしていた彼末一之教授には、データに対する新しい見解を示していただきました。また、ベースボール談話会の立上げから運営までお世話になり、大変感謝致します。ありがとうございました。

早稲田大学の研究室の皆さまには、論文の作成過程において、データミーティング、フィールド測定など、多大な協力を頂きました。ありがとうございました。

被検者を引き受けていただいた早稲田大学野球部の應武監督、桐朋高校野球部の田中監督、桐朋中学野球部の原口監督、早大本庄高校野球部の福永監督、児玉中学高校野球部の飯島監督、小手指中の大松先生、中澤先生、そして選手の皆さま、一般成人男性の皆さま。ありがとうございました。ご協力を頂いた皆さまへの恩返しとして、データは、社会貢献のため、そしてスポーツを愛する人のために活用させていただきます。

最後に、慈愛と献身的な協力を頂きました父、母、姉に深く感謝致します。ありがとうございました。

2009 年 1 月 5 日 勝亦陽一