

早稲田大学審査学位論文

博士（スポーツ科学）

日本人成長期野球選手における打撃能力
および動作の発達様式

Development patterns of batting performance
and kinematics in Japanese youth baseball players

2022年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

筒井 俊春

TSUTSUI, Toshiharu

研究指導教員： 鳥居 俊 教授

目 次

第 1 章 序論	1
I . 研究背景	1
II . 研究小史	2
III . 先行研究を踏まえた課題	10
IV . 研究目的	10
V . 用語の定義	11
第 2 章 スイングスピードと年齢および体格との関係	12
I . 緒言	12
II . 方法	13
III . 結果	17
IV . 考察	20
V . 結論	21
第 3 章 身長を基準としたスイングスピードの相対発育	22
I . 緒言	22
II . 方法	24
III . 結果	26
IV . 考察	30
V . 結論	33
第 4 章 発育速度を考慮したスイングスピードの発達様式	34
I . 緒言	34
II . 方法	36
III . 結果	40
IV . 考察	44
V . 結論	46

第 5 章 スイングスピードに関連する体力因子の特定	47
I . 緒言	47
II . 方法	49
III . 結果	53
IV . 考察	58
V . 結論	61
第 6 章 打撃動作の縦断変化—体幹の運動に着目して—	62
I . 緒言	62
II . 方法	64
III . 結果	68
IV . 考察	74
V . 結論	79
第 7 章 総合考察	80
第 8 章 まとめ	87
参考文献	88
謝辞	103

第 1 章 序論

I. 研究背景

発育段階にある成長期アスリートの運動能力の発達過程やその発達に影響を及ぼすと考えられる要因を特定することは、運動能力および競技力向上のための有効な手がかりとなる。競技能力を向上させるためには専門性の高いスキルや競技に必要な筋力や身体機能が必要であり、たとえ発育発達の初期段階であっても競技特性に要される最低限のスキルや身体機能を身につける必要がある[1,2]。先行研究によると、思春期前の約 5 年間で“motor skill”の習得に鋭敏な時期[3,4]であり、競技能力の獲得という観点において成長期(本研究では小・中学生年代を指すこととする)は重要な時期に位置すると考えられている。世間一般においても、スキヤモンの発育曲線における「神経型」の変化パターンが急激になる 6-12 歳の時期をゴールデンエイジと捉え、運動能力が最も発達する時期として広く認識されている。しかし、競技によって要求されるスキルレベルが異なると考えられることを踏まえると、必ずしも上記に示した時期や年代が競技特異的なスキルや身体機能獲得の最適時期とはならないことが推測される。したがって競技ごとに競技能力の発達過程や必要な体力要素を解明することが求められる。

また、成長期においては描かれる発育曲線が個人によって異なる。そのため、生物学的発育年齢は暦年齢とは必ずしも一致しない。したがって、成長期アスリートの運動能力の発達について検討する場合には暦年齢だけではなく、体格や筋量、筋力、成熟度、発育速度などといった発育の個人差を加味した検討が必要となる。

II. 研究小史

II-1. 発育指標および成熟度評価

成長期においては個人によって発育速度や成熟時期が異なる[5]。すなわち、同じ年齢、同じ身長の名がいたとしても発育段階には違いがあるということである。特に発育途上のアスリートの競技能力を評価する上で、現量値のみで判断することは発育が相対的に遅れる成長期アスリートの将来性を見過ごす恐れがある[6]。そのため、成長期アスリートの競技能力を評する上で、暦年齢だけではなく成熟度を考慮することが重要と考えられている。

成熟度の指標として最も精度が高いとされる方法が骨成熟を用いた骨年齢によるものである[7]。骨成熟は骨端軟骨部の骨化の進行度を評価したもので、骨年齢は左手首の X 線画像を用いて 7 つの手根骨の計 20 個の骨の成熟度を 8 から 9 つのステージに分けて評価し、各ステージの合計点から骨年齢を算出される。骨年齢はしばしば生物学的年齢とも呼ばれ、今後も生物学的成熟度の指標のスタンダードになるとされている[8]。

骨年齢による成熟度評価は正確な指標とされる一方、X 線を用いるという点でスポーツ現場の適用には不向きである。X 線撮影は医師や診療放射線技師の資格を有していなければ実施できず、さらに対象者は放射線被曝を受けることから成長期に頻回に評価することは困難である。また、実施にかかるコストも少なくないことから大規模な測定にも制限が生じる。

他方、二次性徴の発達観察[9]により評価を行う方法であり、Tanner による性成熟度分類[10]では、陰毛の生え方や乳房・男性器の成熟評価の

基準をそれぞれ 5 段階で判定することが出来る。しかしながら、評価内容は個人のプライバシーに大きく関わる[9]ため、現状、実施する際には骨成熟評価と同様に倫理的側面への配慮が障壁となり得る。

近年、侵襲なく計測可能な方法で、思春期にみられる身長発育スパークト(最大身長増加時期；Peak Height Velocity Age, 以下 PHVA)や個人の最終身長(もしくは予測身長)に対する現量値の%値を示すパーセント予測身長を用いた身体成熟の評価も行われる。PHVA は、個人の身長の年間身長増加量を 1 年間隔でプロットすることで、身長発育曲線を描くことで求めることが出来る。ただし、毎年の身長調査を長期に渡って調査し続けることは困難であるため、PHVA を過去の身長歴や座高や下肢長、年齢から推定する手法がしばしば取られる[11-14]。身体成熟を用いた評価はスポーツの現場でも身長を測定することで算出できるという利点がある。また、発育曲線を描くことが出来れば、おおよその発育スパークトの立ち上がり年齢(Take Off Age, 以下 TOA)、PHVA、最終身長年齢(Final Height Age, 以下 FHA)を推定し、身体成熟度の指標として用いることが出来る。村田[15]は、日本人小児の発育スパークト時期の成長段階を PHVA を基準として 4 つの時期(第 1 区分, ~TOA；第 2 区分, TOA~PHVA；第 3 区分, PHVA~FHA；第 4 区分, FHA~)に分類している。なお、骨年齢で示される成熟度と PHVA で示される身体成熟との関連性についていくつかの研究で検討され、相関がみられることが報告されている[7,16,17]。通常、日本人男子の PHVA は 13.05 ± 0.94 歳[18]と報告され、これは女子よりも 1 ~ 2 年程度遅く訪れる。すなわち小学校高学年から中学生年代にかけて体格の個人差が大きくなる時期と言え、成熟度を採用した評価が必要になると考えられる。これらの指標を用いた報告は発育研究が多

数取り上げられる欧米諸国で盛んになされており，成長期サッカー選手の競技能力の向上[12,19,20]や障害予防[21-23]を目的とする研究の一指標としてしばしば考慮される．しかしながら，野球選手を対象として身体成熟を加味した競技能力の発達について検討した報告はみられない．

II-2. 運動能力の発達

一般的に，競技能力や運動能力を向上させるためにはその能力の発達が最も大きく起こる時期を探ることが重要であり，その能力や機能を伸ばすためのトレーニング等を実施する際の最適時期であると捉えられる．大澤ら[24]は文部科学省の新体力テストのデータから各種目の発達曲線を算出し，その発達機序は男子の場合は敏捷性(10.6歳)，身長(11歳)，持久力(11.4歳)，筋持久力(11.6)，柔軟性(12.2歳)，筋力(12.6歳)の順となったことを報告している．Beunenら[25]は，ベルギー人男子220名の運動能力の半年ごとの発達速度について報告し，腕の牽引力(静的な筋力)，垂直飛び(瞬発力)，懸垂(筋持久力)はいずれもPHVA後0.5~1.0年後にピークに達することを明らかにした．また，Philippaertsら[12]は，成長期サッカー選手のサッカーに関連する体力要素およびスキルのPHVAを基準とした発達時期について検討し，多くの項目がPHV期に発達のピークに達したが，柔軟性はPHVAの12か月後にピークとなり，30m走では一時的な能力低下を示す“adolescent awkwardness”の存在の可能性を示唆した．すなわち，運動能力や競技能力の発達も要素によってそれぞれテンポやピークを迎える時期が異なっていることが分かる．Towlsonら[26]は成長期サッカー選手をモデルとして年齢，PHVA，パーセント予測身長のそれぞれの段階で発達する能力について図示している

(図 1).

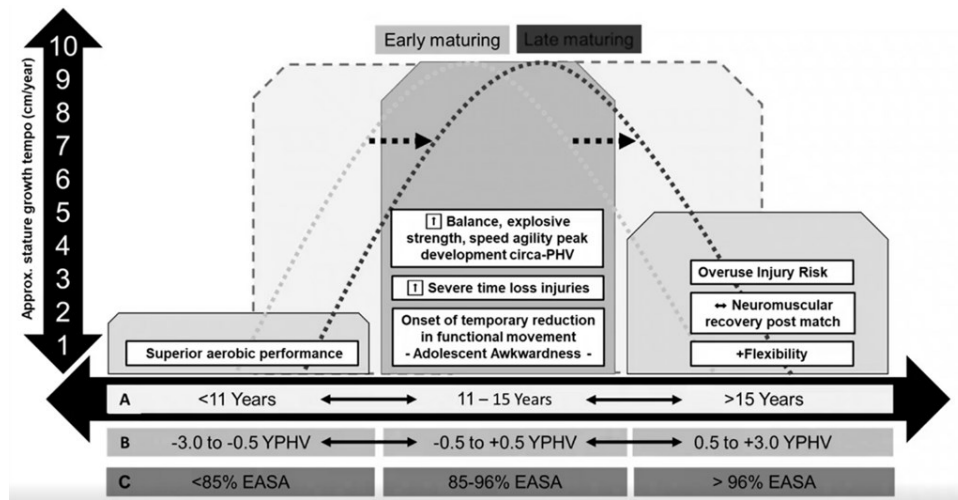


図 1. 成長期アスリートにおける各発育段階に獲得すべき身体機能およびパフォーマンスの概念図(文献[26]より引用)

II-3. 野球競技における打撃

総務省の「平成 28 年社会生活基本調査」によると本邦の野球人口は、約 800 万人を超えると報告されており、野球は最も競技人口の多い競技種目の一つとなっている。競技レベルは野球の世界大会である World Baseball Classic において 2 大会連続 (2006 および 2009 年大会) の優勝を取めたことや、東京 2020 オリンピックにおいても金メダルを獲得したことから、高いレベルにあると言える(2021 年度現在、世界ランキング 1 位)。競技レベルの高い選手の多くは学童期から野球を開始することが多く、成長期年代から高いパフォーマンスレベルを獲得することが重要であることが考えられる。また、リトルリーグにおける世界選手権大会の歴代優勝回数は日本が歴代 2 位となっており(表 1)、成長期年代から高い競技レベルにあることが示唆される。

表 1. リトルリーグ世界選手権における優勝回数順位

順位	優勝回数	優勝国
1	17 回	台北
2	11 回	日本
3	7 回	カリフォルニア州

※2021 年現在の優勝回数を示す

※<https://littleleague-tokyorenmei.com/>(2021 年 10 月 19 日に引用し作成)

野球は主に投球，打撃，守備，走塁の 4 つの動作課題から構成される。この中でも投球に関する研究は国内外において注目度が高く，肩や肘関節の投球障害発症に関するリスク因子の探索や予防介入に関連する報告 [27-30] や，投球パフォーマンス向上 [31,32] に関する報告など多岐に渡る検討がなされている。その一方で，野球の代表的な競技特性に挙げられる打撃に関する知見については，投球に関する報告と比べると極めて少ない。また，中学生以下の成長期野球選手に焦点を当てた研究に限ると，打撃能力や動作について関する報告は私の知る限り数報に限られる [33-35] と更に限定される。その要因として，①打撃動作は投手の投じたボールに依存して遂行されるため，試合と同じ環境の再現が困難であること，②プロ野球選手であっても打撃の成功率は 3 割で一流と言われ，課題の難易度が極めて高いこと，などが要素として考えられる。

野球の試合は各チーム 9 名の選手が出場し，投手および捕手を除く 7 名の野手が投球を行う機会(すなわち守備機会)は相手打者の打球方向に依存する。その一方で，打撃は出場する 9 名の選手に均等に機会がある。特に本邦の小学生から高校生までは指名打者(野球の試合において攻撃時に投手に代わって打席に立つ攻撃専門の選手)制度が取られていない

ため、成長期にある全ての野球選手について打撃の重要性が高いと考えられる。しかしながら、前述した通り、成長期年代を対象に打撃能力の発達様式や能力を向上させるために必要な要素について明らかにした報告はわずかである。

II-4. 打撃のパフォーマンス評価

個人の競技能力を評価する際に、各競技動作の特性に則った課題を数値として表すことがしばしば行われる。例えばコーチや指導者の主観的評価による得点化や、投球動作における球速(mphまたは km/h)、サッカーにおけるスプリントタイム(s)などの数値化がそれに該当する。Koopmann[36]らは、競技能力の評価は特定の競技能力を識別する上で有用であり、様々な競技能力の評価方法を“Technique-Related”と“Outcome-Related”に分けて論じている。上記研究は競技特異的なスキルの評価やその方法をあらゆる競技についてまとめたレビューであるが、“Outcome-Related”に属し、野球の打撃に関して数値化を図った報告は含まれなかった。

野球の実際の試合では、投手の球速が 40m/s(144km/h)であった場合に、投げられたボールが 18.44m を通過する時間は 400~500ms となる。打者がボールの到達位置を予測する時間を含めると、打者がスイングに要することのできる時間は約 150ms となる[37]。さらに打者は直径約 6.6cm のボールを幅約 6.7cm のバットを用いて、投げられたボールとのタイミングを合わせた上で打撃する必要がある。このような要因から、野球の打撃課題は様々なスポーツの動作課題が要求する技術の中でも最も難しいものの 1 つであると言われている[38]。成長期野球選手の場合を考え

ると、リトルリーグに属する 11 歳以上の野球選手の平均球速は 22.3m/s(80.6km/h)[39]、マウンド・ホームベースの距離が 14.02m であるため、ボールの通過する時間は 600-700ms となる。運動学的側面だけでなく、動体視力や反応時間などの神経生理学的な側面においても発達途上と考えられる成長期選手にとっては、困難な課題であることが容易に想像できる。したがって打者はボールを正確に打撃するためにも、より速くスイングする能力が求められる[40,41]。Szymanski ら[42]は、スイングスピードの向上は主に①判断時間の増加、②スイング時間の短縮、③打球速度の増加という 3 点について利点があると述べており、野球選手の打撃能力を評価する上でスイングスピードは重要な項目となりうると述べている。また、スイングスピードはバットに衝突した後のボールの速度を示す打球速度[43]や、ボールの飛翔した距離を示す飛距離[44]との間に関連があることが分かっている。近年ではバットに装着し、スイングすることで自動的にスイングスピードを計測することのできるアプリケーションの普及もあり、スイングスピードは最も簡便に計測することが出来る打撃能力指標であると言える。本研究のスイングスピード測定に用いる打撃用加速度センサーである Zepp(ZEP-BT-000002; Zepp 社)については Bailey ら[45]によって高い信頼性 (ICC: 0.88) があることが報告されている。

II-5. 基本動作発達

Gallahue [46]らは 23 種類の基本的動作の発達段階について示し、自らの身体そのものの移動を伴う移動系動作(走動作, 跳動作など), 自らの身体以外の物を操作する操作系競技(投動作など), 身体のバランス能力に関与する平衡系動作(前転動作, 浮動作など)に分類している. 打撃動作は操作系競技に分類されると考えられるものの, 発達機序を示した報告はない. 打撃同様に半身で行う動作である投球について Halverson[47]らは, 上肢, 前腕, 体幹部の動作の習得度について得点化を行い, 6-12 歳の間に投球スピードや上肢および前腕の得点は向上したが, 体幹部の動作は改善の余地があることを明らかにした. Fleisig ら[32]は 10-15 歳の野球選手は浅い肘屈曲角度での投球が, Ishida ら[48]は 6-12 歳の野球選手の投球動作には手投げが見られることを明らかとしており, 上記年代では未熟な投球動作が残存することを示唆している. しかしながら, 上記の年代と高校生や大学生, メジャーリーガーの投手におけるキネマティクスの差が少なくなったことから, 10-15 歳に動作発達が生じ, 発育が完了した野球選手と同程度の動作様式となる可能性が考えられる. 打撃動作について年代やレベル別に打撃キネマティクスを比較した報告 [33,34,49]によると, 特に成長期においてその他の年代との違いが顕著であることが明らかとなっている(eg., 肩関節の外転および水平外転角度, 骨盤の回旋角速度など). しかし, 発育過程のどの段階で動作の発達が生じているかについての議論はなされていない.

III. 先行研究を踏まえた課題

【研究背景】で示した通り，競技能力の発達様式は競技特性に依存することが考えられる．すなわち，あらゆる競技において競技特異的な評価を実施し，そのパフォーマンスの発達過程を示すことが重要であると考えられる．打撃能力を表すスイングスピードは筋力との関連が強い[50-52]ことが示されているが，一概に筋力の最大発達時期を打撃能力の発達時期と捉えることはできない．打撃能力や動作に関しては成長期にどのような発達様式をとるかについての検討がなされていないため，暦年齢や体格との関連を確認した上で，身体成熟度との関連を明らかにする必要がある．

IV. 研究目的

本研究は，成長期野球選手に対する以下の3つの課題を明らかにすることを目的とする．

1. 野球の打撃能力と年齢・体格との関連，身体発育との関連，身体成熟との関連について検討することで打撃能力の発達様式を明らかにする【第2-4章】.
2. 野球の打撃能力に関連する体力因子(筋量，筋力，身体機能)を特定する【第5章】.
3. 打撃動作の縦断変化を明らかにする【第6章】.

V. 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渡る．多くの場合，「発育(growth)」を形態の変化，「発達(development)」を身体機能や動作の変化として表現することが多い[9]．すなわち本研究では，身長，体重，筋量などの体格に関する内容については「発育」，スイングスピードや打撃動作については「発達」を用いた．

本研究では打者の運動方向を示すため，便宜上「投手方向」「捕手方向」という表現を用いている．打席における位置関係を把握しやすくするため，ホームベースを基準とする模式図を図2に示した．

また，野球の打撃は半身になって行う動作であるため，四肢の役割に非対称性が生じる．そのため本研究では投手側下肢を「ステップ脚(右打者の左脚)」，捕手側下肢を「軸脚(右打者の右脚)」と表記することとする．

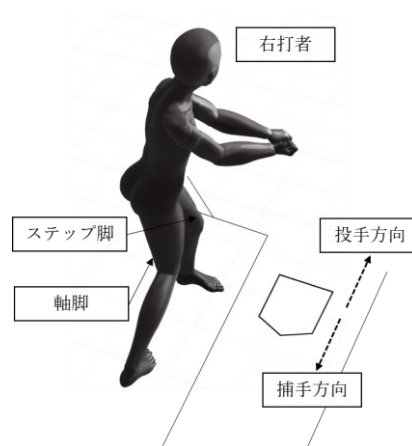


図2. 野球における打席の模式図と運動方向

第2章 スイングスピードと年齢および体格との関係

I. 緒言

野球の打撃能力を表す指標の中でも、スイングスピードは打撃の競技特性を反映しつつ、簡便に評価できる項目である。Szymanski ら[42]は、スイングスピードを向上させることは①判断時間の増加、②スイング時間の短縮、③打球速度の増加、の3点について利点があると述べている。またスイングスピードは打球速度[43]や飛距離[44]などとの関連も示されていることから、スイングスピードを把握することは打撃能力を図る上で有用であると考えられる。しかしながら野球の打撃におけるスイングスピードについて検討した報告は高校生や大学生野球選手を対象とした報告[50,51]が大半であり、成長期野球選手の発達過程を明示した報告はない。

そこで本章は成長期野球戦選手のスイングスピードと年齢および体格との関係を横断的に検討し、スイングスピードの発達過程を明らかにすることを目的とした。また、高校生や大学生野球選手においてスイングスピードには背筋力や下肢筋力が関連することが報告されている[50,51]ことから、成長期野球戦選手のスイングスピードと体格との関係が年代によって異なるかについての検討も行った。

II. 方法

1. 対象

対象は 2017 年 4 月から 2020 年 1 月の期間に測定を行うことのできた 6-14 歳の野球選手 1029 名とした。対象はリトルリーグ連盟に所属しており、リトルリーグのシーズン開始である 8 月に合わせたカテゴリー区分がなされ、Junior1, Junior2, Minor1, Minor2, Major1, Major2, Senior の 7 群に分けられた。各カテゴリーの呼称および対応する年代を表 2 に示し、【第 2 章】以降のカテゴリー区分は表 1 の呼称をもって記述する。対象は少なくとも週 2 回、1 日あたり約 3 時間以上の練習もしくは試合を行っており、投球、打撃、守備、走塁練習を偏りなく行っている。また、Minor1 から Senior までにおける使用球は硬球であり、Junior1 および Junior2 はティーボールと呼ばれる硬球よりもやや柔らかいボールを試合で用いている。なお、Junior1 および Junior2 の試合では投手を設けず、ティースタンドを利用した打撃形式が採用されているものの、本研究の対象においては練習においてトス打撃も実施している集団となっている。Junior1 については半年未満、Junior2 より上のカテゴリーについては 1 年未満の野球歴をであった者、さらに打撃測定を身体の痛みや障害によって実施できなかつた者を除く 988 名、のべ 1213 名が解析対象となった。なお、本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た上で実施された。

表 2. 対象者のカテゴリー区分

開始時期	－	終了時期	カテゴリー
小学 1 年生 8 月	－	小学 2 年生 8 月	Junior1
小学 2 年生 8 月	－	小学 3 年生 8 月	Junior2
小学 3 年生 8 月	－	小学 4 年生 8 月	Minior1
小学 4 年生 8 月	－	小学 5 年生 8 月	Minor2
小学 5 年生 8 月	－	小学 6 年生 8 月	Major1
小学 6 年生 8 月	－	中学 1 年生 8 月	Major2
中学 1 年生 8 月	－	中学 2 年生 8 月	Senior

2. 測定方法

打撃の測定はトスマシン (FTM-240, Field Force 社) を用いたトス打撃とした。トスマシンはホームベースの中心から打者の反対側に 0.5m, 投手方向に 0.7m で, 投射方向がホームベースの中心点に向かうように設置した。トスマシンの高さは打者の身長によって変化させ, ボールがホームベースの中心を通る垂線と, 対象者の身長の高さの 45% の高さを通過するように設定した。また, トスマシンのトスの初速は約 3.5m/s, 投射角度は床面に対して約 50° であった。スイングスピードの測定には打撃用加速度センサーである Zepp (ZEP-BT-000002; Zepp 社) を用いた。Zepp センサーによるスイングスピードの測定は, 高い信頼性 (ICC: 0.88) があることが示されている [45]。なお, 打撃試技は対象者毎に 2 回実施し, 打席から 3m 先に設置した防球ネットに向けて全力でスイングを行うよう指示した。明らかな空振りや明確なタイミングのずれが生じているや全力でスイングできていないと検者が判断した場合, 打撃試技を再試行した。なお, 打撃測定に用いたバットの重さは Bahill ら [53] の報告を参考に, 年齢, 身長, 体重に適したもののから逸脱していないことを確認した。

3. 統計解析

スイングスピードと暦年齢および身長との関係を調べるため、曲線回帰の推定を行った。あてはまりの良さは決定係数 R^2 の大きさを判断し、1次、2次、3次のいずれかで最も R^2 値が優れていた回帰式を結果に示した。なお、最も変化が大きいと予想される年齢を明らかにするため、2次回帰であてはまりが良かった場合はその極値を読み取った。3次回帰であてはまりが良かった場合は得られた回帰式を x について微分し、極値の読み取りを行った。

また、スイングスピードに対する身長の影響度がカテゴリー間で異なるか否かを明らかにするためマルチレベル分析を行った。レベル1は選手個人、レベル2は7つカテゴリーとし、モデルのあてはまりの良さの判断には赤池基準値(AIC)を採用した。分析の手順は以下に示す。なお、7つカテゴリーにおいてどのカテゴリー間で差が大きくなるかを明らかにするため、探索的に2群に分割した。すべての統計分析には SPSS statistics27 を用いた。

・ Model 0: null モデルの作成 : はじめにスイングスピードがカテゴリー間でのばらつきがあるかどうかを把握するためクラス内相関係数 (ICC) の推定を行った。ICC が大きいほどカテゴリー間で値が類似していることを意味し、ICC が 0 に近い場合はカテゴリーが互いに独立しているため、マルチレベル分析は必要ないと判断できる。ICC の判別には Hox ら [54] の報告に準じて ICC 係数が 0.05, 0.10, 0.15 をそれぞれ小, 中, 大とし、大より大きかった場合に Model 1 以降の分析に進んだ。

・ Model 1：ランダム切片モデル(固定因子)：null モデルにおいてモデルの層構造が確認された場合に固定因子を包含した分析に進んだ。Model 1 では身長を固定効果として投入した。

・ Model 2：ランダム切片モデル(固定因子)：カテゴリ間で身長の平均値に差があることは明白であったため、Model 2 では身長を各カテゴリ平均で中心化(個人の身長から各カテゴリの平均値を減じて算出)した値を固定効果として投入した。

Model 3：ランダム切片・傾きモデル(固定因子+変量因子)：Model 1 および 2 では傾きが固定されているため、Model 3 では傾きをランダム化するために中心化された身長の値を変量効果に追加した。

Model 4：交互作用項の追加：最後に身長がカテゴリに影響を与えているか確認するために Model 3 に交互作用項を追加した検討を行った。

III. 結果

1. スイングスピードと暦年齢ならびに身長との関連

スイングスピードと暦年齢との関係は 3 次で回帰(図 3 左; $R^2=0.459$, $p<0.01$)し,

$$y = -0.04x^3 + 1.23x^2 - 9.2x + 55.03$$

の 3 次式が得られた。一方, スイングスピードと身長との関連は線形で回帰 (図右; $R^2=0.465$, $p<0.01$) し,

$$y = 0.50x - 21.27$$

の一次式が得られた。スイングスピードと暦年齢との関係が 3 次回帰で示されたため, 暦年齢について 1 回微分を行い, 得られた $-\frac{1}{50}(6x^2 - 123x + 460) = 0$ を解くと $x=10.25$ が得られた。

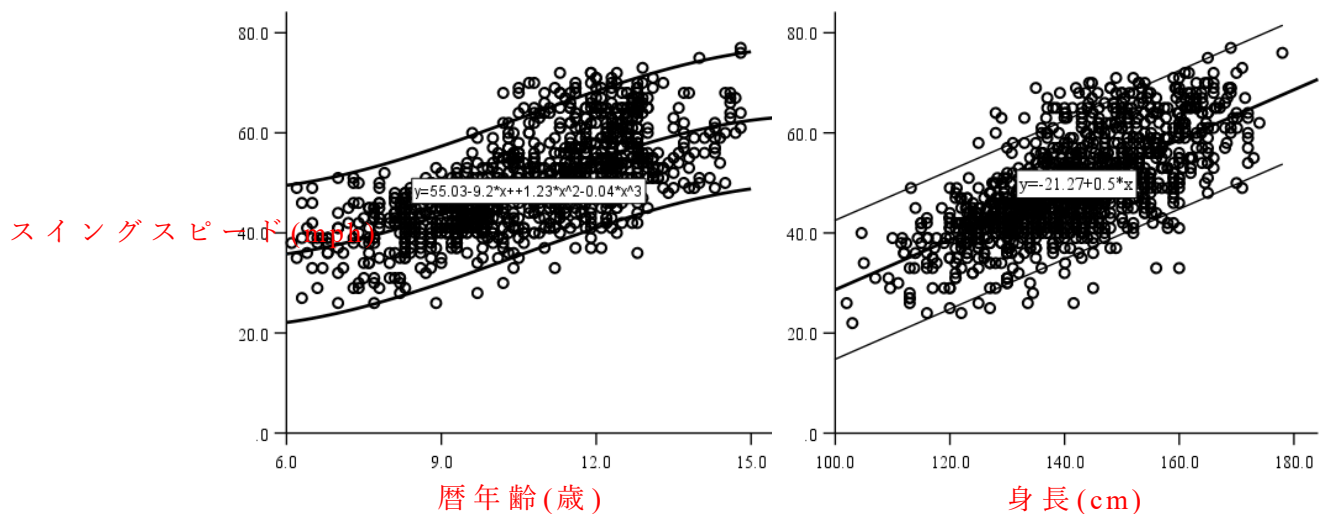


図 3. スイングスピードと暦年齢(左図)および身長(右図)との関係

2. カテゴリーを考慮したスイングスピードと身長との関係

マルチモデル分析の結果を表に示す。Model 0 において ICC は 0.56 と大きかったことから、データは層構造となっていることが確認された。5つのモデルのあてはまりを検討した結果、Model 4 が最もあてはまりが良かった(AIC=8031.94)。また、Junior1~Minor1 と Minor2~Senior で群分けしたときに AIC が最小となった。図 4 には各群におけるスイングスピードと中心化された身長との関係における回帰式を示した。

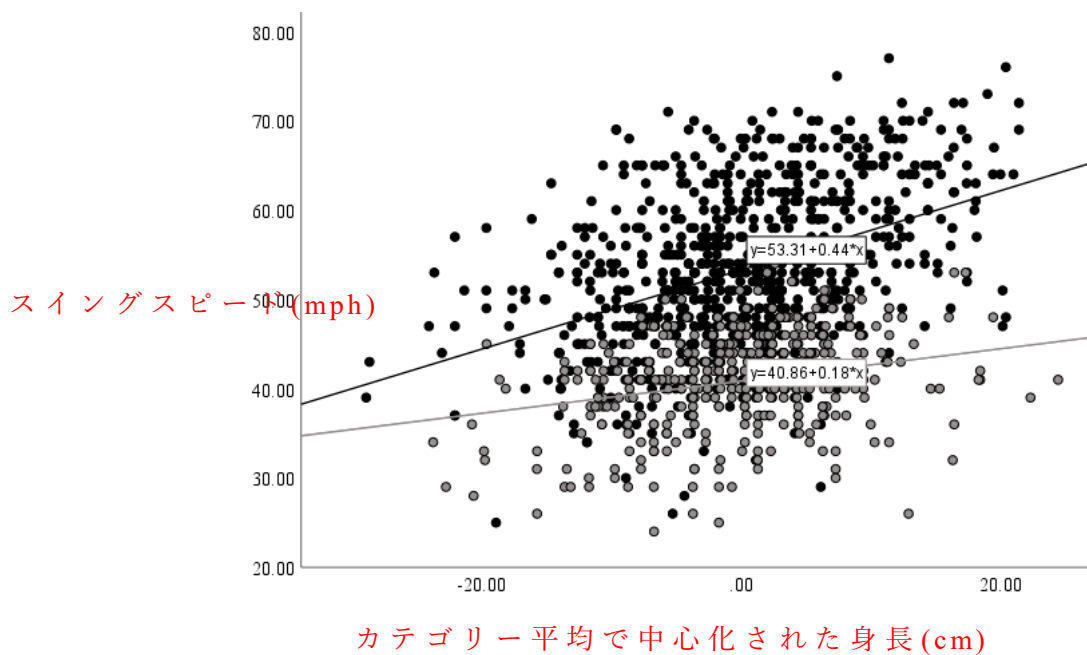


図 4. 身長*¹とスイングスピードとの関係

(●—：Junior1~Minor1；○—：Minor2~Senior)

*¹Group 平均で中心化；個人の身長から各 Group の平均値を減じて算出

表 3. スイングスピードの規定要因(マルチレベル分析)

	Model 0	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
切片	47.86**	47.86**	47.85**	53.74**	53.74**
身長		0.36**	0.33**	0.33**	0.43**
Group ダミー				11.94	13.73**
身長*Group					0.25**
ICC	0.56	0.61	0.62	0.28	0.26
AIC	8297.90	8071.47	8043.71	8035.91	8031.94

*:p<0.05, **:p<0.01, ICC:クラス内相関係数, AIC:赤池基準値

IV. 考察

本章は成長期野球戦選手のスイングスピードと年齢や体格との関係を横断的に検討し、①スイングスピードの発達過程、ならびに②スイングスピードと体格との関係におけるカテゴリー間の違い、を明らかにすることを目的に行われた。

スイングスピードと身長との関係は線形であり、6-14歳の成長期野球選手においては1cm身長が高くなると0.5mphスイングスピードが速くなるという関係があることが分かった。その一方で、マルチレベル分析の結果、カテゴリー間で身長がスイングスピードに及ぼす影響が異なることが明らかとなり、Minor2~Senior(約10-15歳)はJunior1~Minor1(約6-9歳)よりも切片・傾きともに高値であった。したがって、低年齢(特に10歳以下)である場合には体格発育が進んでいたとしてもスイングスピードの値には影響しにくい可能性が示唆される。また、スイングスピードと暦年齢との関連においては3次式が得られ、約10.25歳に発達速度が最も高くなることが明らかとなった。この年齢はMinor1とMinor2との間であることから、本章の結果よりスイングスピードに身長が及ぼす影響の大きさがスイングスピードの発達速度の増加に関連していた可能性が考えられる。しかしながら、思春期前の5年間、すなわち小学生の時期は“motor skill”の習得に鋭敏な時期[3,4]であることを考慮すると、打撃動作の習得という点から説明される可能性もある。後の各章以降で体格の発育との関連や動作発達との関連について検討することでその要因を探りたい。

本研究の対象は6-15歳と年齢層が限られているという点で結果の解釈には注意が必要である。特に、思春期以降に筋量や除脂肪量の発育の

ピークが生じること，さらに高校・大学生野球選手のスイングスピードには除脂肪量や下肢および背部の筋力が関連[42]することを踏まえると，本研究の対象となった年代以降にも発達速度が増大する時期があることが推測される．

V. 結論

6-14歳の成長期野球戦選手におけるスイングスピードと年齢および体格との関係を横断的に検討した結果，

- ・スイングスピードと身長の間には線形の関係，暦年齢の間には3次回帰の関係があり，10.25歳にスイングスピードの発達速度が最大となった．

- ・Minor2(約10歳)以降はスイングスピードに身長が及ぼす影響が大きいことが明らかとなった．

第3章 身長を基準としたスイングスピードの相対発育

I. 緒言

【第2章】の結果から、成長期野球選手のスイングスピードは10歳頃に発達速度が増大すること、Minor1~2(約10歳)を境にスイングスピードが身長に与える影響が大きくなることが明らかとなった。しかしながら、成長期を対象とする場合には「身長」も「暦年齢」の影響を受ける。そのため、成長期野球選手のスイングスピードの発達が体格の発育による影響、もしくは年齢が上がることによる神経系や運動能力の発達、運動経験などの影響のどちらがより関連するかは不明である。成長期におけるスイングスピードの発達に強く影響する要素を明らかにすることは、打撃能力向上を目指す上での運動プログラム構成の一助となると考える。

序論でも示したように、身体各部位の発育および機能の発達はそれぞれが並行して進むものではない。成長期においては身長の発育に伴って様々な発育発達の様相を示すため、生物学的な指標を用いて身体発育や運動機能の発達を調べる必要がある。その課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 $y = bx^a$ (a: 相対発育係数, b: 始原発育指数) という関係が成立つ。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 の発達は 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と報告されている[55,56]。また、両者の関係が複数の直線で表わされる場合、直線

の傾きが変化する部分を変移点と呼び、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。すなわち、身長を (x) 、スイングスピード (y) の相対発育の関係と、身長を (x) 、スイングスピードと強い関連があると知られる筋量 (y) の相対発育の関係を比較することで、スイングスピードの発達が生体発育と身体機能のどちらに強く影響を受けるか検討することができる。と考える。

そこで本章の目的は 6-14 歳の成長期野球選手を対象に、アロメトリー式を用いて身長を発育の基準とするスイングスピードおよび除脂肪量の相対発育の特徴を明らかにすることとした。

II. 方法

1. 対象

本章の対象は検討項目で異なった。発育の基準となるアロメトリー式 $y = bx^a$ の y をスイングスピードとした分析時には【第2章-II.方法】と同様に6-14歳の野球選手1029名が対象となった。一方でアロメトリー式 $y = bx^a$ の y を除脂肪量とした分析時には2020年1月に測定を行うことのできた6-14歳の野球選手360名が対象となった。包含基準や除外基準は【第2章-II.方法】と同様であった。なお、本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た上で実施された。

2. 測定方法

2-1. 打撃の測定方法

打撃測定は[第2章-II.方法]で示した内容と同様である。

2-2. 身長，体重，除脂肪量の測定方法

身長および体重の測定は[第2章-II.方法]と同様であった。また，除脂肪量の測定には InBody770 (InBody770, Inbody Japan, Tokyo, Japan)を用いた。除脂肪量の測定時，対象者には野球用のユニフォームを着用させ(ソックスは脱衣させた)，着衣量は1kgで設定し測定を行った。また，対象の測定が1名終了するごとにアルコール成分を含むウェットティッシュで電極部分の清掃を行った。

3. データ解析および統計解析

過去の報告の分析手順[55,56]に従い，発育指標として用いられる身長と除脂肪量およびスイングスピードとの関係におけるアロメトリー式 $y = bx^a$ を算出した．アロメトリー式は，両辺の対数をとると $\log y = \log b + a \log x$ という一次関数式で表される．式の算出にあたり，身長を 5 cm ごとの階級に分類し，身長，体重，除脂肪量，スイングスピードの平均値を求めた．そして各身長階級における平均値 (x) とスイングスピード (y) の平均値を求めて両対数グラフにプロットし，その直線性 (相関係数 0.7 以上) を確認した．そして最小二乗法により直線式 $\log y = \log b + a \log x$ を算出した．この時，両者の関係が複数の直線で表される場合には，その隣接する直線の交点を変移点とみなした．なお，採用した回帰直線の組み合わせは係数 a の値が変移点の前後で 1 以上変化した組み合わせとした．アロメトリー式 $y = bx^a$ における a は，x および y のそれぞれの相対発育速度間の比と考えられており，つまり $a > 1$ ($a < -1$) の場合は x に対する y の発育速度が速く(遅く)， $-1 < a < 1$ の場合には y の発育速度が同等であることを意味する．

III. 結果

1. スイニングスピードと身長発育との関係

身長階級別の暦年齢，身長，体重，全身除脂肪量，ならびにスイニングスピードの平均値を表 4 に示した．アロメトリー法による分析の結果，スイニングスピードと身長との関係は 3 本の回帰直線で示された．図 5 より，スイニングスピードと身長との関係は $R^2=0.98$ であり，アロメトリー係数 a はそれぞれ 1.49, 0.09, 2.60, 変移点は 153.0 cm および 160.7 cm であった．

表 4. 身長区分ごとの年齢，身長，体重，スイングスピードの平均値

身長区分(cm)	n	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	スイングスピード(mph)
110 - 114.9	17	7.0	112.6	19.9	35.2
115 - 119.9	24	7.4	116.9	21.4	37.0
120 - 124.9	69	8.2	122.1	23.7	39.9
125 - 129.9	97	8.7	127.2	27.1	42.5
130 - 134.9	160	9.3	132.0	30.9	44.1
135 - 139.9	176	10.1	137.1	34.1	47.6
140 - 144.9	196	10.8	141.9	38.8	49.9
145 - 149.9	145	11.4	146.8	43.2	51.6
150 - 154.9	124	11.9	152.0	47.4	55.3
155 - 159.9	79	12.1	156.9	51.4	55.4
160 - 164.9	73	12.8	161.7	53.1	55.7
165 - 169.9	37	12.9	166.7	56.9	62.9
170 - 174.9	16	13.5	171.8	60.2	65.2

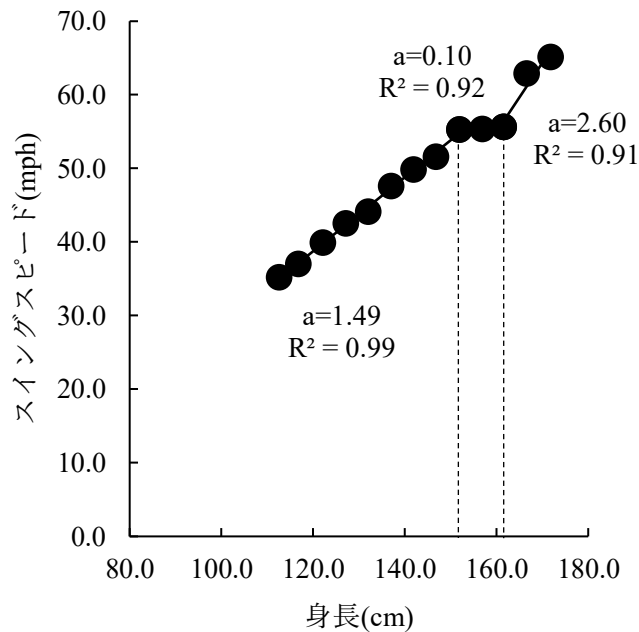


図 5. スイングスピードと身長との相対発育の関係

(a:アロメトリー係数, $a > 1$ もしくは $a < -1$: 身長発育に対するスイングスピードの発達速度が大もしくは小, $-1 < a < 1$: 身長発育に対するスイングスピードの発達速度が同等)

2. 除脂肪量と身長との関係

身長階級別の暦年齢，身長，体重，全身除脂肪量，ならびにスイングスピードの平均値を表 5 に示した．全身除脂肪量と身長との関係は 2 本の回帰直線で示された．図 6 より，除脂肪量と身長との関係は $R^2 = 0.96$ であり，アロメトリー係数 a はそれぞれ 1.99，3.46，変移点は 150.4 cm であった．

表 5. 身長区分ごとの年齢，身長，体重，除脂肪量，スイングスピード
の平均値

身長区分 (cm)	n	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	除脂肪量 (kg)	スイングスピード (mph)
125 - 129.9	31	8.8	126.8	26.3	23.0	40.4
130 - 134.9	52	9.4	131.7	29.4	24.7	41.7
135 - 139.9	60	10.1	137.2	32.9	27.1	42.9
140 - 144.9	72	10.7	141.9	35.6	29.0	46.3
145 - 149.9	54	11.3	146.5	40.7	31.2	49.9
150 - 154.9	38	11.6	151.8	46.1	35.4	53.2
155 - 159.9	22	12.0	157.1	50.0	37.7	53.4
160 - 164.9	17	13.0	162.1	54.6	44.1	53.4
165 - 169.9	9	13.2	165.8	57.9	47.5	58.0
170 - 174.9	5	14.1	172.1	61.1	53.4	60.5

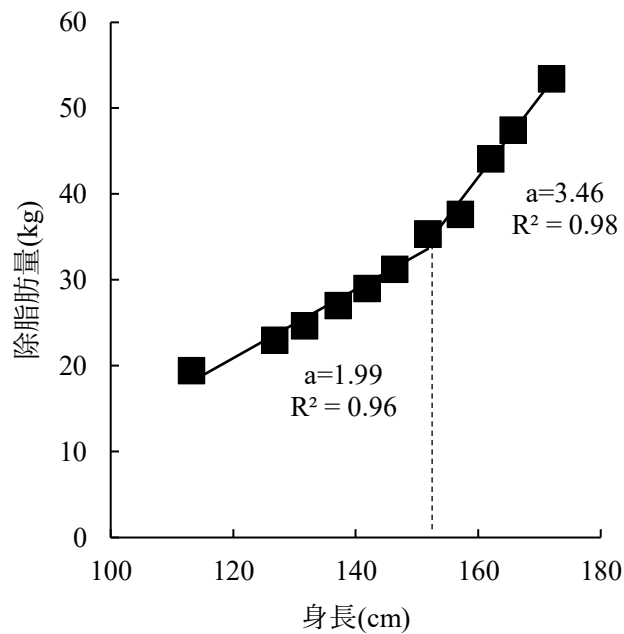


図 6. 除脂肪量と身長との相対発育の関係

(a:アロメトリー係数, $a > 1$ もしくは $a < -1$: 身長発育に対するスイングスピードの発達速度が大もしくは小, $-1 < a < 1$: 身長発育に対するスイングスピードの発達速度が同等)

IV. 考察

本章は身長を発育の基準とするアロメトリー式を用いてスイングスピードおよび除脂肪量の相対発育の特徴を比較することで、成長期野球選手のスイングスピードの発達が生育と身体機能のどちらの影響を受けるか検討することを目的として実施された。

Asmussen ら[57]はディメンジョン論の観点から、体型が相似し身体組成が同一な人間と仮定した場合に体重は身長³に比例すると述べている。また、アロメトリー法を用いて体肢筋断面積の相対発育について検討した金久ら[58]は、男子における体肢の筋断面積は身長約 153 cm を第一変移点とし、約 163 cm までアロメトリー係数が 3.2 以上を示すことを明らかにし、この期間が筋断面積の急増期に相当すると報告している。本章の結果は金久ら[58]の報告と類似し、除脂肪量は 150.4cm に変移点が見られ、150.4cm 以降にアロメトリー係数は 3.48 を示した。この変移点に該当する年齢は 11-13 歳であり、第二次性徴期に相当すると考えられる。本研究の結果ならびに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除脂肪量の相対発育に影響していたと考えられる。

本章における除脂肪量の測定には生体電気インピーダンス法 (Bioelectrical impedance analysis : BIA 法) を備えた体成分分析装置である Inbody770 (Biospace 社) を用いた[59]。本研究の測定は大人数が一同に介したフォールドにて測定しなければいけなかったため、1 名にかける時間を短くして計測を行う必要があった。Inbody 装置は多周波 (3 周波 : 5 kHz, 50 kHz, 250 kHz) BIA 法に基づくものであり、4 極 8 点接触型電極測定が可能である。これは四肢のみならず体幹部を含む部位

別のインピーダンス値を測定し、性別や年齢といった変数を介さずに体組成の推定が可能であることから、高精度の測定が実現できる可能性が高いと言われる。本研究と同年代の子どもを対象に測定した Jung ら [60] は、Inbody は体組成測定 Gold standard とされる Dual-Energy X-ray Absorptiometry 法との間に高い相関が示されたと報告している。したがって、除脂肪量の相対発育が「身体発育」を表す基準として用いることができると考えられ、スイングスピードの相対発育が「身体発育」と「身体機能」どちらを反映しやすいか比較検討することが可能であったと考える。

本章における全対象者の身長とスイングスピードとの関係を 1 本の回帰直線で示したところ、アロメトリー係数の値は 1 よりも大きく、成長期を通じてスイングスピードは身長発育よりも速いスピードで発達することが示された。身長とスイングスピードとの関係を詳細に検討すると、153.0cm および 160.7 cm の変移点があり、その前後のアロメトリー係数は 1.49, 0.09, 2.60 となっていた。すなわち、153.0cm から 160.7 cm の期間は身長発育よりもスイングスピードの発達が緩やかとなることを表す。10-18 歳の成長期サッカー選手における身長発育とボールキック能力に関わる下肢のスイング速度、ボール速度との関係を調べた手島ら [56]によると、それぞれ 146.1cm, 144.3cm を境にアロメトリー係数が増大したと報告している。この変移点は上記研究で測定された大腿部筋厚が増加に転じる身長(大腿部前面: 157.3cm; 大腿部後面: 159.9cm)よりも低身長である時期に認められたことから、サッカー特異的な競技能力が筋発育よりも早期に生じると述べている。また、熊川ら [61]は成長期のスピードスケートにおける氷上滑走能力と大腿部筋形態との関係につい

てアロメトリー法を用いて検討したところ、氷上滑走能力の発達が増大する身長は筋厚の発達が増大する身長よりも低いと報告しており、筋形態発達と競技能力における時期の不一致を示唆している。本章においても153.0cmから160.7cmの期間に身長発達に対するスイングスピードの発達が低調となり、不一致と考えられる期間が確認された。Quatman-Yatesらは[62]、身長が急激に増加する時期に“Motor awkwardness”が生じ、感覚運動機能(Sensorimotor function)は思春期を通じて発達し続けるものの、思春期のある時期に遅れや不一致を生じる可能性があることを報告している。153.0cmから160.7cmは約11歳後半から13歳前半に該当し、複数回測定が可能であった選手を対象に身長変化をサブ解析したところ年間身長増加量が平均約6cm以上となっており、発達スパートの開始時期[11]と重なることが考えられた。先行研究[62]を踏まえると、身体発達が急激に生じる影響で一時的にスイングスピードの相対的な発達速度の低調が見られた可能性が考えられる。特に野球の打撃は自らの身体とは異なるバットを操作するという競技特性があることから、四肢発達が急激に生じた場合に感覚運動機能の不一致が起こるかもしれない。我々は成長期野球選手を対象にバット上での打撃位置の再現性が年代間に違いがあるかについて、ティー打撃(固定されたボールを打つ)とトス打撃(動くボールを打つ)の課題を用いて比較を行った。その結果、13-14歳に再現誤差が大きくなることが分かった[63]。しかしながら、この要因が成熟度に起因するか、四肢発達などの体格変化に起因するかは不明である。そのため、次章では成熟度や発達速度とスイングスピード発達との関連について検討したい。

V. 結論

本章では 6-14 歳の成長期野球選手において、アロメトリー式を用いた身長を発育の基準とした場合のスイングスピードおよび除脂肪量の相対発育の特徴について検討した。

・スイングスピードは「153.0cm まで」ならびに「160.7cm 以降」、除脂肪量は「150.7cm を境に」身長発育よりも速く発達することが明らかとなった。

・スイングスピードは除脂肪量の相対発育様式とは異なり 153.0～160.7cm の間において身長発育よりも緩やかに発達する時期が見られた。

第4章 発育速度を考慮したスイングスピードの発達様式

I. 緒言

【第3章】より，身長が発育に対するスイングスピードの相対的な発達速度は 153.0～160.7cm の間に一時的に低調となることが明らかとなった．その要因として，発育スパート期による感覚運動機能(sensorimotor function)の不一致，すなわち“motor awkwardness”の影響が関係している可能性が考えられる．発育スパート期にはその“timing”や“tempo”に個人差が生じることから，同年代であったとしても相対的な体格差による有利・不利が生じることが示唆されている[64]．この傾向は特にサッカーやアメリカフットボールなどのコンタクトスポーツにおいてとして取り上げられている[65]．野球はボールやバットなどの道具を介してプレーを行うという競技特性上，体格差が直接的に競技の成否に関連するとは言えない．しかしながら，自らの身体発育の“tempo”に沿った身体機能やスキルの獲得がなされない場合には効率的にパフォーマンスの発達を促すことができない可能性が考えられる．

村田[15]は，発育曲線が増加に転じる時期を TOA，最大身長増加時期を PHVA，年間身長増加量が 1cm を下回る年齢を FHA と表している．これらの発育スパート期に生じるイベントを算出することで身体成熟の指標や成熟段階の判定に用いることが可能となる[66]．【3章】の結果を踏まえると，スイングスピードの発達様式は TOA から PHVA までの発達速度が急激に生じる，すなわち身長増加加速度の高い選手の方が“motor awkwardness”の影響を受けやすいことが推察される．しかしながら，これまでに発達速度を検討項目に加えて競技能力の発達様式や障害発生に

ついて検討を行った報告は渉猟した限り見られない。

そこで本章では成長期野球選手のスイングスピードの発達様式を縦断的に検討し、発育速度を考慮して比較することで、①スイングスピードは時間経過に伴ってどのような変化を辿るか、②スイングスピードの発達に個人の発育速度は影響を及ぼすか、③発育速度別にどのような発達過程となるか、を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象

対象は 2018 年 5 月に測定を実施し，2020 年 1 月までに 4 回の測定を全て行うことのできた Minor2(2018 年 5 月時点)の野球選手 24 名とした。

【第 2 章-II.方法】に示した包含基準および除外基準に加えて，以下に示す身長歴調査の回答を得られなかった選手についても除外の対象とした。なお，本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た上で実施された。

2. 測定方法

2-1. 打撃の測定方法

打撃測定は [第 2 章-II.方法] で示した内容と同様である。

2-2. 発育曲線の算出

発育速度を算出するために，各対象者の 5 歳から 9 歳までの 1 年毎の身長歴を収集した。なお，身長歴は対象者の幼稚園もしくは保育園，ならびに小学校の健康診断・身体計測実施時に計測した数値とし，研究同意書と共に配布した紙面に選手の保護者に記入してもらう形式で回収した。そして打撃測定を行う度に [第 2 章-II.方法] で示した通りに身長および体重を計測し，身長歴のデータに追加して，合計 9 地点の身長データを発育曲線の算出に使用した。発育曲線の算出には AUXAL 3.1 program (AUXAL 3.1, Scientific Program International, Skokie, IL, USA)を用いた。AUXAL 3.1 program によって算出された発育曲線を基に，身長増加開始時期である Take Off Age(TOA)，最大身長増加時期である Peak

Height Velocity Age(PHVA), 最終身長増加時期である Final Height Age(FHA)を算出した(図 7). 各時期の算出には画像解析ソフトである Image J(National Institute of Health Bethesda, MD)を用いた. そして原点 O(図 7-O)を基準とした 1 歳(横軸; 年齢)および 1cm (縦軸; 身長)あたりの長さを算出し, それぞれの時点までの比率を求めることで TOA, PHVA, FHA の年齢および身長を分析した. その後, TOA から PHVA にかけて身長増加量を期間で除することで発育速度を示す Growth Tempo(以下, GT)を求めた. なお, 今回の身長歴調査は 12 歳までのデータ収集に留まり, FHA の算出には不十分である可能性が考えられたため, FHA を結果に使用しなかった.

2-3. 発育速度による群分け

発育速度の緩急の分類を行うため、Malina ら[7]による z-score を用いた PHVA を基準とする成熟度分類の方法を参考に、発育速度を rapid($z\text{-score} > 1.0$) , middle($1.0 \geq z\text{-score} \geq -1.0$) , gradual($z\text{-score} < -1.0$) の 3 群に分けた。

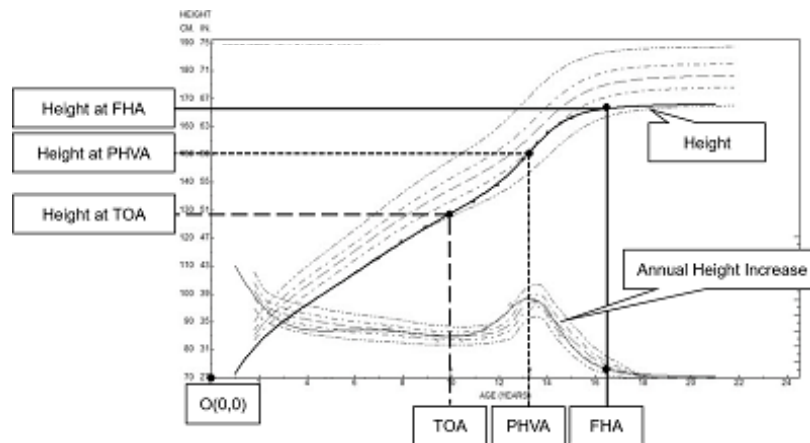


図 7. AUXAL 3.1 program を用いた発育曲線の例，ならびに Take Off Age(TOA), Peak Height Velocity Age(PHVA), Final Height Age(FHA)の分析点

3. 統計解析

全ての統計解析には SPSS for Windows, Version 27.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)を用いた。発育速度別の TOA, TOA における身長, PHV, PHVA における身長, ベースライン時の身長, 体重, スイングスピードの平均値および標準偏差を算出し,群間の比較には一元配置分散分析を用いた(事後検定: **Tukey** 法)。

GT の違いを考慮したスイングスピードの縦断変化の分析には、線形混合モデルを用いた。混合モデルの手順は【第 2 章】に示した Muthen[67]

の提唱しているモデル決定方法を参考にした。本章は時間経過における変化を調べるための反復測定であったため、レベル1には選手個人、レベル2には経時変化とした。nullモデル(モデル0)においてICCが0.42であったため、モデル1以降にも解析を進めた[54]。最終的に、固定効果にはGTのダミー変数(gradual=0, middle=1, rapid=2), 時期(T1, 2, 3, 4), GTと時間の交互作用項を、変量効果には選手個人のダミー変数を投入し、モデルの適合性について検討した。なお、モデルのあてはまりの判別には【第2章】と同様に赤池情報基準(AIC)を採用した。以下にModel 1から4までの操作を示す。

- ・ Model 1: ANOVAモデル(固定因子): 固定効果としてGTを投入した。
- ・ Model 2: ANCOVA(固定因子): 固定効果としてGTならびに時間を投入した。
- ・ Model 3: 変量効果の追加: Model 1から2では傾きが固定されているため、Model 3では傾きをランダム化するために選手個人を変量効果としたモデルを作成した。
- ・ Model 4: 交互作用項の追加: 時間経過に伴ってスイングスピードの発達(傾き)にGT間で違いが生じるか調べるため、Model 3にGTと時間の交互作用項を加えた。

また、本章ではGTがrapidであった場合に“motor awkwardness”が生じると推測したため、rapid群とmiddle・gradual群の2群での比較検討についても同様の手順で実施した。

III. 結果

発育速度別の基本情報および測定結果を表 6 に示した。TOA, PHVA, ならびに TOA・PHVA 時の身長, GT について群間で有意な差が見られた ($p<0.01$).

表 7 において, Model 1 の GT 別のスイングスピードは Rapid および Middle 群が正の値を示していたため, Gradual 群よりも高い値を示すことが明らかとなった。AIC はモデル 4 で最小を示した (AIC=514.32) ことから, データのばらつきは個人間 (GT 群) および個人内 (時間) で説明されることが示された。表より, 時間経過とともに 2.89mph 高くなること, rapid 群のスイングスピードは gradual 群よりも切片が 10.54mph 速いこと, 有意ではなかったが時間経過とともに rapid 群は gradual 群と比較して傾きが緩やかになる (-1.03) ことが分かった。図 8 には GT 群ごと (rapid, middle, gradual) のスイングスピードの経時変化を図示した。その結果, rapid 群の回帰式の傾きが最も低値であった。

また, 2 群での比較検討 (表 8) の結果, 先と同様に, AIC はモデル 4 で最小を示した (AIC=521.46)。表より, 時間経過とともに 3.07mph 高くなること, rapid 群のスイングスピードは middle・gradual 群よりも切片が 8.83mph 速いこと, 時間経過とともに rapid 群は middle・gradual 群と比較して有意に傾きが緩やかになる (-1.20) ことが分かった。gradual 群および middle・rapid 群のスイングスピードの経時変化を図示したところ, rapid 群の回帰式の傾きの方が低値を示した (図 9)。

表 6. 発育速度別の基本情報および測定結果

	Gradual (n=7)		Middle (n=10)		Rapid (n=7)	
TOA ^{*1} (歳)	11.43	± 0.25*	10.24	± 0.14*	8.67	± 0.35
Height at TOA	138.71	± 1.50*	135.33	± 0.89	132.56	± 1.88
PHVA ^{*2} (歳)	14.20	± 0.13*	13.21	± 0.10*	11.56	± 0.14
Height at PHVA	158.47	± 1.36*	158.44	± 0.89*	152.15	± 1.67
GT ^{*3} (cm/y)	7.22	± 0.65*	6.38	± 0.51*	5.51	± 0.60
Height at baseline	134.00	± 1.51*	137.12	± 1.40*	142.67	± 2.01
Weight at baseline	27.84	± 0.80*	36.15	± 0.98*	42.33	± 1.43
Swing velocity at baseline	44.13	± 1.57*	45.80	± 2.18*	51.83	± 2.12

*,vs Rapid (p<0.05);One-way-analysis of variance (post-hoc:Tukey)

*1, Take Off Age; *2, Peak Height Velocity Age; *3, Growth Tempo; *4, Standard Deviation

表 7. 発育速度ごとのモデル

	Model 0	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
切片	50.51**	46.92**	39.98**	39.98**	39.65**
GT ダミー					
Rapid		7.92**	8.09**	7.95**	10.54**
Middle		3.84	3.97**	3.83	3.06
Gradual		—	—	—	—
時間			2.78**	2.76**	2.89**
GT ダミー * 時間					
Rapid					-1.03
Middle					0.31
Gradual					—
ICC* ⁷	0.42	0.49	0.26	0.26	0.32
AIC* ⁸	598.61	583.96	582.76	520.23	514.33

*:p<0.05, **:p<0.01, GT: Growth tempo

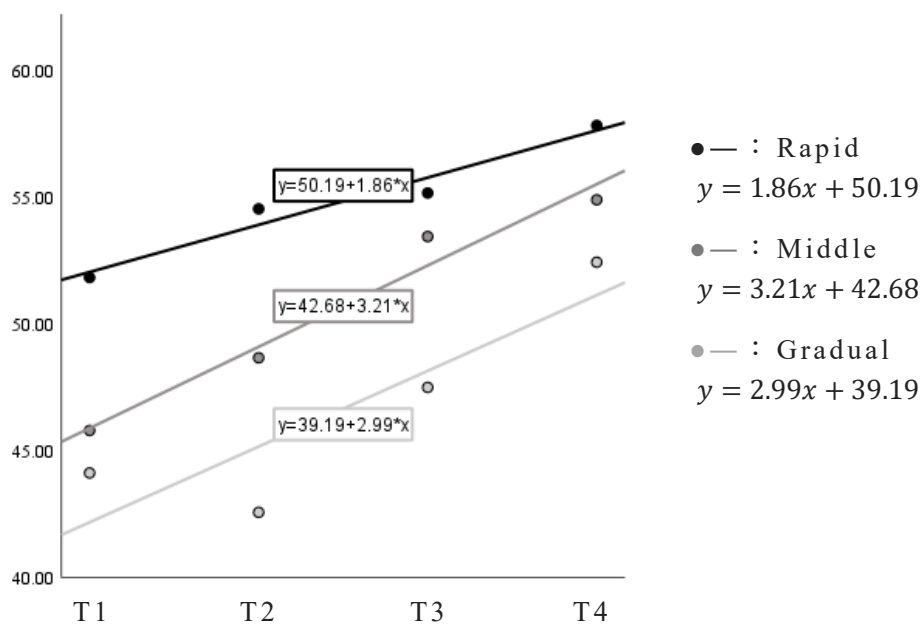


図 8. GT 群ごと (rapid, middle, gradual) のスイングスピードの経時変化 (T は時間を示す)

表 8. 発育速度を 2 群 (rapid vs middle&gradual) とした場合のモデル

	Model 0	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
切片	50.49**	49.00**	42.01**	42.11**	41.35**
GT ダミー					
Rapid		5.84**	5.88**	5.82**	8.83**
Middle& Gradual		—	—	—	—
時間			2.78**	2.76**	3.07**
GT ダミー * 時間					
Rapid					-1.20*
Middle& Gradual					—
AIC	634.76	618.73	593.73	526.27	521.46

*:p<0.05, **:p<0.01, GT: Growth tempo

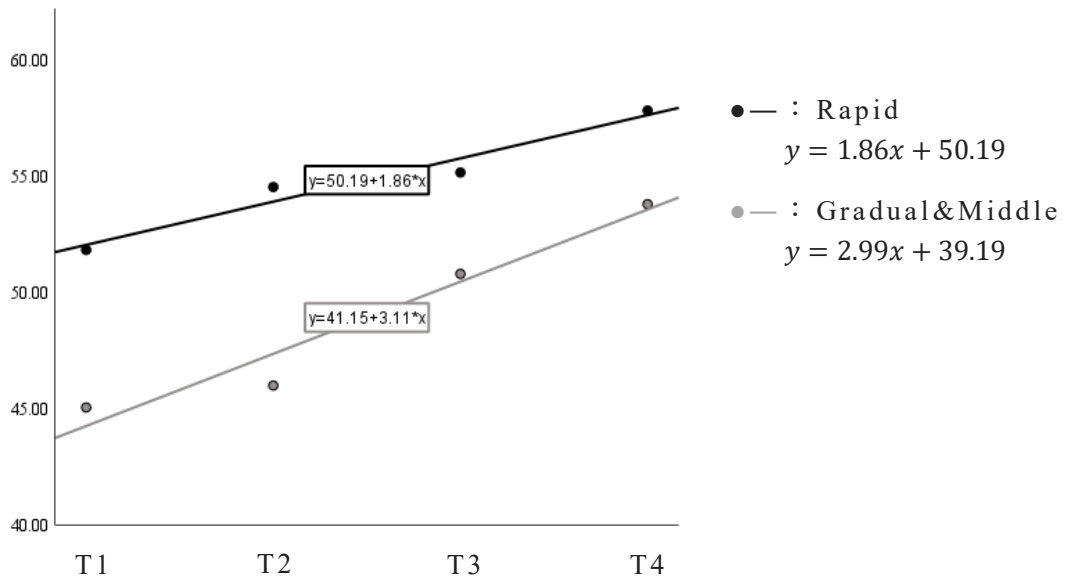


図 9. GT 群ごと (rapid, middle, gradual) における
 スイングスピードの経時変化 (T は時間を示す)

IV. 考察

野球の打撃はバットのエネルギーをボールに伝える競技特性上，身体発育の“tempo”，すなわち発育速度に適應することが重要と考えられる．本章は，発育曲線から算出した発育速度の緩急がスイングスピードの発達様式に影響を及ぼすか，発育速度別にどのような発達過程となるか，を明らかにすることを目的に行われた．

本章における発育速度には TOA から PHVA にかけての発育速度(身長増加量/期間)が採用された．過去の報告では年間身長増加量[21,68]が用いられているものの，上記指標では発育スパート期のどの段階を反映しているかは不明であった．それゆえ個人の発育曲線から各イベント間の身長増加量の傾きを算出することで，発育段階を加味した発育速度を示すことが可能であったと考える．

発育速度別に群分けした結果，TOA，PHVA ともに rapid 群が最も低値，すなわち低年齢であった．このことから，この時期に発育速度の速い選手は早熟傾向にある可能性が考えられる．早熟の選手は体格で優れること[5,7]がよく知られており，【第2および3章】の結果からも成長期野球選手において体格とスイングスピードとの関係が認められたことから，ベースラインならびに混合モデルのランダム切片モデルを示す Model 1・2 のスイングスピードの切片の値が rapid 群において高値を示したと考えられる．また，成長期サッカー選手の身体機能やパフォーマンスの発達過程を縦断的に調査した Philippaerts ら[12]は，垂直飛びや 30m，腹筋力など多くの項目が PHVA に最も発達することを明らかにした．今回実施した4回の測定の中で，rapid 群の T3，middle 群の T4 が PHV 期周辺に相当する (rapid 群：11.56±0.14 歳，middle 群：13.21±0.10

歳)と考えられるが、スイングスピードの発達のピークは確認されなかった。また、【第3章】においてこの期間はスイングスピードの発達が一時的に低調となる時期(身長 153.0~160.7cm)であり、その後再び発達速度が増加に転じていた。また【第2章】において10.25歳にピークが見られたことを考慮すると、身体の発育スパートの前後の2つの時期でスイングスピードの発達が生じることが示唆される。

混合モデルの結果、統計的に有意ではなかったもののGTと時間の交互作用項が負の値(-1.03)を示していたことから、時間経過とともにgradual群と比較してrapid群は発達が緩やかになることが分かった。gradual群およびmiddle・rapid群の2群で検討した場合にGTと時間の交互作用項は有意な負の値(-1.20)となったことから、TOAからPHVAにかけて急激な発育が生じる選手はスイングスピードの発達が身体の発育に伴わない可能性が示唆された。この要因として、成長期に生じやすいと述べられている“motor awkwardness”が関係している可能性が考えられる[62]。“motor awkwardness”は急激な発育に伴う感覚運動機能の遅れや不一致が関連していると推察されており[69]、現在までに明確なメカニズムを提唱した報告は見られないものの、Sigmundssonら[70]は固有感覚系の発達は非線形で、女子で8歳頃に、男子では9歳頃に変移点が見られると報告している。また、Kirshenbaumら[71]やSaavedraら[72]は成長期にmotor controlの一次的な後退が生じることを述べ、さらにランディング動作における膝関節動揺性制御能は女性の思春期前から思春期への移行期に後退が見られることが分かっている[73-76]。野球の打撃動作は体幹部の回旋運動に伴って上肢やバットの運動連鎖が生じるという特性を踏まえると、上肢の長さやその重量分布の発育変化に対する体幹部の

筋量や筋機能の割合等が打撃動作や能力における“motor awkwardness”に関連している可能性が推測される。今後、中学生期や高校生期における追跡研究も踏まえて、発育スパート期の特に rapid 群にスイングスピードの発達不足が生じているかを検討するとともに、rapid 群の発達が緩やかとなった要因についても今後明らかにする必要がある。

V. 結論

本章では成長期野球選手のスイングスピードの発達様式について発育速度を考慮した比較を行った。時間経過とともにスイングスピードは発達していた。TOA から PHVA にかけて発育速度が rapid な選手は Minor 2 の時点では middle および gradual よりもスイングスピードが高値であったものの、時間経過につれてスイングスピードの発達が middle や gradual な選手よりも緩徐となることが示された。

第 5 章 スイングスピードに関連する体力因子の特定

(The journal of sports medicine and physical fitness[77] In Press)

I. 緒言

第 2 章～4 章を通じてスイングスピードと年齢および体格との関連，身体発育に伴うスイングスピードの発達過程や発育速度別の発達様式について論じてきた．序論で示した通り，競技能力は体格だけでなく，筋力や協調性を含む身体機能とも関連することがよく知られている．野球における打撃能力に関しても例外ではなく，Hoffman ら[78]や Kohmura ら[79]は大学やプロ野球選手の打撃能力には下肢および背筋の筋力が関連していると報告している．

成長期の野球選手に焦点を当て，打撃能力と体力因子に関して行われた研究は限られる．6.4 歳から 15.7 歳までの少年野球選手 164 名を対象とした Nakata ら[35]の報告によると，スイング時にバットからボールに伝達されるエネルギーは，年齢，BMI，立ち幅跳び，背筋力(いずれも学校の体力・運動能力テストによって計測されたデータ)と関連すると述べられている．このことから成長期野球選手においてもスイングスピードは下肢や背筋の筋力によって説明されることが示唆される．また，Dowling ら[33]は Youth, High School, College, Pro の野球選手のスイングスピードは年齢およびレベルが上がるほど高くなること，Youth は Pro に比べて軸脚側の骨盤回転とステップ脚の膝関節伸展の角速度が速いことを明らかにした．この結果から発育途上の成長期野球選手の特徴として，スイングや打撃を行う際に下肢や体幹部を過度に運動させている可能性が推測されている．

そこで本章では，打撃動作に関連すると考えられる下肢筋力ならびに体幹のパワーや下肢バランス能力などの身体機能を測定し，成長期野球選手のスイングスピードに関連する要因を明らかにすることを目的とした．なお，打撃動作において軸足は下肢-体幹へとエネルギーを伝達させる運動連鎖の起点としての役割が，ステップ脚はスイング時の回転運動を制御し体幹の捻転パワーを助長させる役割がある[34]という打撃の動作特性を考慮し，スイングスピードに関連する下肢機能をステップ脚および軸脚に分けて検討する．

II. 方法

1. 対象

対象は 7~13 歳の成長期野球選手 191 名とした。対象者は少なくとも週 2 回（土・日）野球の練習をしており、各項目の測定時に身体に痛みを有していなかった。対象者ならびにその保護者には、測定の概要および手順、リスク等についての詳細な説明を測定前に行い、書面による同意を得た後に実施された。なお、本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た上で実施された。

2. 測定概要および手順

測定は 2018 年の 4~5 月にかけて実施され、全測定項目は同日の 9:00-15:00 の間に行われた。測定場所は屋外の野球専用グラウンドであった。まず始めに、靴を履いていない着衣の状態での身長と体重をそれぞれ身長計、体重計を用いて 0.1cm、0.1kg 単位で測定した。その後、一般的なウォーミングアップ(ストレッチ、ランニング、キャッチボール、素振りなど)を約 20 分間行い、打撃測定、身体機能測定、筋力測定を対象者ごとランダムに実施した。

3. 打撃測定

打撃測定は [第 2 章-II.方法] で示した内容と同様である。

4. 身体機能測定

身体機能の項目には体幹のパワーを評価する後方へのメディシンボール投げ（以下，MB スロー）および下肢機能を評価する片脚でのバランステストが含まれた。MB スローは立位姿勢から両手を用いて後方へ 1kg のメディシンボールを投じる課題とした(図 10-A)。開始姿勢は足幅を肩幅とした立位姿勢であり，踵部を 0m ラインに合わせた状態とした。対象者は立位姿勢から股関節および膝関節を軽度屈曲，体幹を前屈し，メディシンボールを腰の高さよりも低い位置に降ろしたのち，反動を用いて全力で後方にメディシンボールを投じた。MB スローのエラー判定として，①課題終了後の足部の位置が課題開始時から動いてしまうこと，②スムーズに反動を用いた投動作が行えていないこととし，対象者ごと 2 回成功するまで行った。MB スローの評価は，ボールが落下した地点までの距離で表し，2 回のうち値が高値であった試技を分析対象とした。

片脚でのバランステストは片脚立ちとなり対側の足を横方向に動かす修正 Star Excursion Balance Test(以下，SEBT)[80]を，野球の打撃の動きを模して行う Modified-SEBT とした(図 10-B)。Modified-SEBT は野球の打撃動作における軸足(右打者における右脚)およびステップ脚(右打者における左脚)をそれぞれ 2 回繰り返し，リーチ-脚長で正規化した後，最大リーチ距離を分析に用いた。

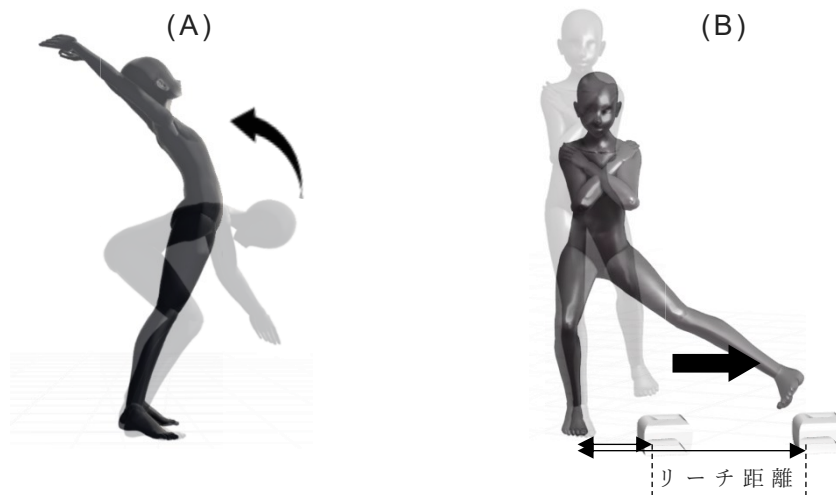


図 10. MB スロー(A)および Modified SEBT(B)の測定方法の模式図

5. 下肢筋力測定

下肢筋力として、股関節外転、内転、外旋、内旋の最大等尺性筋力をハンドヘルドダイナモメーター (MicroFET; Hoggan Health Industries Inc) を用いて測定[81]した。股関節外転および内転の筋力測定は、対象者を側臥位かつ股関節を内転・外転中間位とした肢位で実施した。検者は体幹-骨盤帯が回旋しないように対象者の骨盤を把持し、股関節外転の測定時には股関節軽度外転位から抵抗するように(測定肢は左側臥位の時の右下肢)、股関節内転の測定時には股関節軽度内転位から抵抗するように(測定肢は左側臥位の時の左下肢)指示した。なお、股関節内転の筋力測定は、測定肢と反対側の肢は同一検者によって保持された状態で行われた。また、股関節外転・内転筋力の測定時には、大腿骨の外側・内側上顆から 2cm 近位にハンドヘルドダイナモメーターを設置した。一方、股関節外旋・内旋筋力の測定は腹臥位、股関節中間位および膝 90°屈曲位にて行われた。ハンドヘルドダイナモメーターの位置は足関節の外果・

内果から 2 cm 近位の部位とし、対象者には幹部や骨盤帯の代償運動を生じさせないよう全力でハンドヘルドダイナモメーターに抵抗してもらった。なお、対象者は測定時に急激に力を入れないよう指示し、すべての測定において 5 秒間かけて徐々に最大まで力を入れるよう指示した。そして、それぞれの最大股関節等尺性筋力に各セグメント長(m)を乗じ、体重(kg)で正規化した値をそれぞれの等尺性トルク(Nm/kg)として分析に用いた。セグメント長は、外転・内転の場合は大転子上縁から膝外側の 5cm 上まで、外旋・内旋の場合は膝外側から外果の 5cm 上までに規定した。

6. 統計解析

記述統計量(平均±標準偏差)は、全対象者、ならびに【第 2 章】の結果を考慮し、Tee Ball 群(Minor1 以下)と Major 群(Minor2 以上)に分けて検討を行った。スイングスピードに関連する因子を明らかにするために、全対象者、Tee Ball 群、Major 群のそれぞれについてスイングスピードを従属変数とする重回帰分析(強制投入法)を行った。下肢筋力については各運動方向のトルク同士の共線性の問題が生じる可能性が考えられたため、はじめに主成分分析を行い、成分の判別を行った。外旋トルクを除くすべての変数が同じ成分を持っていたため、外旋トルクは重回帰分析の独立変数から除外した。最終的な独立変数には、暦年齢、野球歴、身長、体重、身体機能(MB スローおよび Modified SEBT)もしくは下肢筋力(外転,内転,内旋トルク)が選定された。統計的有意水準は 5%未満とし、統計解析はすべて SPSS for Windows, Version 26.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)を用いて分析した。

III. 結果

全対象者, Tee Ball 群, Major 群における対象者の基本情報, スイングスピード, ならびに身体機能や下肢筋力の結果を表 9 に示す. すべての変数において Major 群は Tee Ball 群よりも高値を示した.

表には, スイングスピードを従属変数とする重回帰分析の結果を示した. 全対象者における重回帰分析の結果, 身体機能については身長 ($B = 0.330$, $\beta = 0.403$, $p < 0.001$), MB スロー ($B = 1.595$, $\beta = 0.380$, $p < 0.001$) が, 下肢筋力については身長 ($B = 0.507$, $\beta = 0.620$, $p < 0.001$), ステップ脚の内旋トルク ($B = 0.128$, $\beta = 0.216$, $p = 0.030$) がスイングスピードに関連する変数として選択された ($R^2 = 0.616$, $p < 0.001$). Major 群における分析の結果, 身体機能については身長 ($B = 0.370$, $\beta = 0.420$, $p < 0.001$), MB スロー ($B = 1.433$, $\beta = 0.324$, $p < 0.001$), 軸脚の Modified-SEBT ($B = 11.518$, $\beta = 0.218$, $p = 0.046$) が ($R^2 = 0.579$, $p < 0.001$), 下肢筋力については身長 ($B = 0.507$, $\beta = 0.576$, $p < 0.001$) のみが選択された ($R^2 = 0.526$, $p < 0.001$). Tee Ball 群では, 下肢筋力について軸脚の内旋トルク ($B = 0.299$, $\beta = 0.555$, $p = 0.003$), ステップ脚の内旋トルク ($B = 0.280$, $\beta = 0.525$, $p = 0.004$) が選択された ($R^2 = 0.568$, $p < 0.001$).

表 9. 全体および各群の基本情報，打撃能力，身体機能，下肢筋力

	Tee Ball Division (n=57)	Major Division (n=134)	All (n=191)
Characteristics			
Chronological Age (year)	8.21 ± 0.93	11.45 ± 1.08	10.48 ± 1.81
Baseball Experience (year)	1.84 ± 0.90	4.38 ± 1.44	3.66 ± 1.83
Height (cm)	1.28 ± 0.01	1.46 ± 0.11	1.40 ± 0.12
Weight (kg)	28.07 ± 7.17	40.44 ± 9.17	36.59 ± 9.80
Batting performance			
Swing Velocity (mph)	48.07 ± 7.72	59.66 ± 9.87	56.13 ± 10.67
Physical function			
MB Back Throw (m)	4.48 ± 1.17	8.03 ± 2.23	6.95 ± 2.54
Modified SEBT in step leg	0.80 ± 0.16	0.86 ± 0.19	0.84 ± 0.18
Modified SEBT in pivot leg	0.80 ± 0.17	0.85 ± 0.19	0.83 ± 0.18
Lower muscle torque (Nm/kg)			
ABD torque in step leg	0.72 ± 0.34	0.99 ± 0.43	0.91 ± 0.42
ABD torque in pivot leg	0.75 ± 0.35	0.99 ± 0.42	0.92 ± 0.42
ADD torque in step leg	1.23 ± 0.35	1.65 ± 0.41	1.52 ± 0.44
ADD torque in pivot leg	1.17 ± 0.38	1.64 ± 0.40	1.50 ± 0.45
ER torque in step leg	0.52 ± 0.29	0.73 ± 0.39	0.67 ± 0.37
ER torque in pivot leg	0.55 ± 0.32	0.72 ± 0.39	0.67 ± 0.38
IR torque in step leg	0.38 ± 0.14	0.51 ± 0.18	0.47 ± 0.18
IR torque in pivot leg	0.38 ± 0.14	0.52 ± 0.18	0.48 ± 0.18

MB: medicine ball, SEBT: star excursion balance test, ABD: abduction, ADD: adduction, ER: external rotation, IR: internal rotation, All variables are shown as means ± standard deviation

表 10. スイングスピードに関連する身体機能および下肢筋力(全体)

	B	β	p	VIF
Characteristics & lower extremity muscle strength				
Constant	23.438			
Age (years)	0.308	0.052	0.590	4.367
Height (m)	0.507	0.620	<0.001*	5.933
Weight (kg)	0.147	0.138	0.120	3.660
Baseball Experience (years)	0.088	0.017	0.795	1.917
ABD torque in step leg (Nm/kg)	0.031	0.174	0.123	5.025
ABD torque in pivot leg (Nm/kg)	-0.044	0.120	0.279	5.693
ADD torque in step leg (Nm/kg)	0.007	0.029	0.719	2.933
ADD torque in pivot leg (Nm/kg)	0.003	0.013	0.868	2.860
IR torque in step leg (Nm/kg)	0.128	0.216	0.030*	4.580
IR torque in pivot leg (Nm/kg)	0.107	0.183	0.078	5.014
Characteristics & physical function				
Constant	-6.116			
Age (years)	0.595	0.101	0.298	4.776
Height (m)	0.330	0.403	<0.001*	6.812
Weight (kg)	0.129	0.121	0.150	3.625
Baseball Experience (years)	0.086	0.016	0.789	1.889
MB Back Throw (m)	1.595	0.380	<0.001*	3.443
Modified SEBT in step leg	5.010	0.085	0.240	3.578
Modified SEBT in pivot leg	5.717	0.098	0.310	3.550

MB: medicine ball, SEBT: star excursion balance test, ABD: abduction, ADD: adduction, ER: external rotation, IR: internal rotation, B: non-standardized coefficient, β : standardized coefficient, VIF: variance inflation factor, d: abduction, e: adduction, f: internal rotation.

Model for characteristics & lower extremity power; $R^2=0.616$ (p<0.001)

Model for characteristics & physical function; $R^2=0.646$ (p<0.001)

*:p<0.05

表 11. スイングスピードに関連する身体機能および下肢筋力(Major 群)

	B	β	p	VIF
Characteristics & lower extremity muscle strength				
Constant	29.036			
Age (years)	0.787	0.086	0.414	2.856
Height (m)	0.507	0.576	<0.001*	3.699
Weight (kg)	0.147	0.137	0.168	2.522
Baseball Experience (years)	0.205	0.038	0.620	1.498
ABD torque in step leg (Nm/kg)	0.059	0.257	0.094	6.023
ABD torque in pivot leg (Nm/kg)	0.027	0.118	0.432	5.767
ADD torque in step leg (Nm/kg)	0.011	0.045	0.633	2.338
ADD torque in pivot leg (Nm/kg)	0.010	0.039	0.674	2.202
IR torque in step leg (Nm/kg)	0.074	0.135	0.319	4.711
IR torque in pivot leg (Nm/kg)	0.047	0.087	0.536	5.125
Characteristics & physical function				
Constant	-6.304			
Age (years)	0.206	0.023	0.824	3.026
Height (m)	0.370	0.420	<0.001*	4.337
Weight (kg)	0.096	0.089	0.330	2.487
Baseball Experience (years)	0.276	0.051	0.469	1.453
MB Back Throw (m)	1.433	0.324	<0.001*	2.194
Modified SEBT in step leg	5.239	0.099	0.383	3.825
Modified SEBT in pivot leg	11.518	0.218	0.046*	3.821

MB: medicine ball, SEBT: star excursion balance test, ABD: abduction, ADD: adduction, ER: external rotation, IR: internal rotation, B: non-standardized coefficient, β : standardized coefficient, VIF: variance inflation factor, d: abduction, e: adduction, f: internal rotation.

Model for characteristics & lower extremity power; $R^2=0.526$ (p<0.001)

Model for characteristics & physical function; $R^2=0.579$ (p<0.001)

*:p<0.05

表 12. スイングスピードに関連する身体機能および下肢筋力(Tee Ball 群)

	B	β	p	VIF
Characteristics & lower extremity muscle strength				
Constant	14.067			
Age (years)	0.487	0.057	0.697	2.222
Height (m)	0.405	0.376	0.060	4.042
Weight (kg)	0.176	0.128	0.422	2.670
Baseball Experience (years)	0.178	0.030	0.786	1.247
ABD torque in step leg (Nm/kg)	0.023	0.114	0.646	4.930
ABD torque in pivot leg (Nm/kg)	0.025	0.410	0.619	5.478
ADD torque in step leg (Nm/kg)	0.010	0.761	0.761	2.639
ADD torque in pivot leg (Nm/kg)	0.012	0.724	0.724	2.735
IR torque in step leg (Nm/kg)	0.280	0.525	0.004*	3.158
IR torque in pivot leg (Nm/kg)	0.299	0.555	0.003*	3.375
Characteristics & physical function				
Constant	29.173			
Age (years)	0.903	0.105	0.551	2.919
Height (m)	0.433	0.403	0.051	3.868
Weight (kg)	0.132	0.970	0.575	2.812
Baseball Experience (years)	0.870	0.145	0.229	1.355
MB Back Throw (m)	1.411	0.213	0.247	3.154
Modified SEBT in step leg	4.040	0.084	0.668	3.617
Modified SEBT in pivot leg	5.992	0.132	0.511	3.766

MB: medicine ball, SEBT: star excursion balance test, ABD: abduction, ADD: adduction, ER: external rotation, IR: internal rotation, B: non-standardized coefficient, β : standardized coefficient, VIF: variance inflation factor, d: abduction, e: adduction, f: internal rotation.

Model for characteristics & lower extremity power; $R^2=0.568$ ($p<0.001$)

*: $p<0.05$

IV. 考察

成長期野球選手の打撃におけるスイングスピードは、体格、筋力、身体機能など様々な要因が関連していると考えられる。成人の野球選手において打撃能力は下肢や背筋の筋力に関連することが報告されているが、野球の打撃キネマティクスは年齢やレベルによって異なる[33]ことが分かっている。そこで本章では成長期野球選手における打撃能力に関連する要因を特定することを目的に実施された。

スイングスピードを従属変数とする重回帰分析の結果、身長は身体機能や下肢筋力と比較して関連の強い変数として選択された。この結果は、成長期特有である可能性があり、成長期野球選手において体格の大きさがスイングスピードに関係していることを示していると考えられる。6.4歳から15.7歳の野球選手のスイング運動エネルギーと体力の関係を調べた先行研究[35]では、BMIと強い関連があったことが分かっている。成長期には身長、体重、脂肪、除脂肪体重が変動しやすいため、BMIの適用が必ずしも有用ではないとされる[82]。そのため本章ではBMIを採用しなかったものの、本章の結果と同様に体格要素が関与していることを裏付けると考える。

さらに、スイングスピードに関連する因子として、身体機能についてはMBスローが、下肢筋力についてはステップ脚の内旋トルクが関連する要因として抽出された。先行研究より、MBスローのトレーニング介入は競技能力を向上させることが明らかとなっている[83,84]。また、MBスローは体幹部の瞬発的な能力を反映すると言われており、MBスローの能力が高い選手はMBスローの能力の低い選手よりも投球の球速が速い[85]ことが知られる。そのため、MBスローのような体幹部の瞬発力な

筋発揮特性がスイングスピードにおいても関連している可能性があると考えられる。この知見は高校生野球選手においても類似した結果が得られている[51]ことから、打撃の競技特性として体幹部の瞬発的能は重要な要素であるということが示唆される。また、スイングスピードに関連する下肢筋力についてはステップ脚の内旋トルク選択された。打撃動作におけるステップ脚の役割として、投手方向に回旋(右打者における左回旋)した運動をステップ脚で逆方向に留めることによって、より体幹部の回旋の力を増大させることができると考えられている[79]。野球の投球動作と球速について調査した研究においても、ステップ脚の内転および内旋トルクが球速と正の関連があることが報告されている[86]。したがって、スイングスピードを向上させるためには、スイングの回旋方向と反対方向にトルクを発生させ、相対的に体幹の回旋のパワーの助長させるようなステップ脚側の筋力や身体機能が必要になると考えられる。

対象者を Tee Ball 群と Major 群の 2 つのカテゴリーに分けた場合、Tee Ball 部門では下肢筋力における両脚の内旋トルクが選択されたものの、身体機能に関連する要素は得られなかった。Major 群においてはスイングスピードに関連する要因として、身長、MB スロー、ならびに軸脚側の Modified SEBT が選択された一方で、下肢筋力について関連する因子は得られなかった。打撃キネマティクスの年代およびレベル間の比較を行った研究[33]では、High School, College, Pro の野球選手と比較して、Youth はスイングスピードが有意に低かったにも関わらず、骨盤の回転角速度が有意に早かったことが明らかとなった。Dowling ら[33]は、Youth 選手は他の年代やレベルに属するグループと比較して筋量が少ないと予測されることから、代償的に身体各セグメントを速く動かしている可能

性があると言及している。また、打撃動作において、ステップ脚の離地から接地までの時間が短すぎた場合に、軸脚で生み出したエネルギーを十分にボールコンタクトに伝達することができないと述べられている[34,87]。つまり、打撃動作時に下肢のエネルギーの効率的な伝達に貢献すると考えられる Modified SEBT で評される軸脚の片脚の姿勢制御能力は、スイングスピードの向上に重要な役割を果たすと考えられる。姿勢保持能力の発達に関する先行研究によると、6～8 歳の間に移行期を迎え[88]、約 10 歳頃になると成人と同様まで成熟すると報告されている[89]。本研究では、Tee Ball 群と Major 群を約 10 歳頃で区分しているため、協調的な運動と下肢筋力が必要となる Modified SEBT はより年代が進んだ Major 群にのみスイングスピードと関連したと考えられる。その一方で、Tee Ball 群は軸脚の内旋トルクが関連したことから、骨盤を強く回転させる能力がスイングスピードに関与したと考えられる。また、高校および大学野球選手のスイングスピードには、下半身の筋力[50,90]、体幹の回旋筋力、除脂肪量[91]が関係していることが明らかになっている。本研究における Major 群の結果は高校生や大学生の結果と類似していることから、Major 群以降は成人と同様の要因がスイングスピードに関連すると捉えられる。

本研究の限界として、重回帰分析を行う際の独立変数の数に対する Tee Ball 群の対象者数が少なかったことが挙げられる。また、横断的検討であるため、身体機能や筋力変化がスイングスピードの発達に反映されるとは言い切れない。そのため、次章では打撃動作の年代変化に着目してスイングスピードを向上させるための要素としての検討を行いたい。

V. 結論

本章では，成長期野球選手のスイングスピードに関連する要因(下肢筋力，体幹パワーや下肢バランス能力などの身体機能)を明らかにすることを目的として行われた．その結果，以下の点が明らかとなった．

- ・7～13 歳の成長期野球選手のスイングスピードに関連する要因として身長ならびにステップ脚の股関節内旋トルクが抽出された．

- ・Tee Ball 群(Minor1 以下)においては両側の股関節内旋トルクが，Major 群(Minor2 以上)においては身長，MB スロー，軸脚の Modified-SEBT が抽出され，年齢によって必要な筋力や身体機能が異なることが示唆された．

第 6 章 打撃動作の縦断変化—体幹部の回旋運動に着目して—

I. 緒言

野球の打撃動作は，stance 期から foot contact 期までの並進運動，ならびに foot contact 期から ball contact 期，follow through までの回旋運動で構成される複雑な動作であると言われる[92,93]．先行研究によると，ボールインパクト時のバットのヘッドスピードは下肢から連続した身体部位を介してエネルギーを伝達する運動連鎖を利用して生成されることが述べられている[79]．【第 5 章】の結果から，ステップ脚と軸脚の役割は異なることが示唆された．すなわち，打撃能力を向上させるためには身体各部の運動連鎖を理解することが重要であると考えられる．

発育途上にある子どもにおいて身体各セグメントの回旋運動をセグメント毎に分離することは難しい課題であると言われている．Assaiante ら[94]は，6~7 歳まで身体の回転運動時に頭と体幹の分離が生じにくいことを報告している．また，投球動作中の体幹運動に着目した報告[95]によると，成長期野球選手の体幹部の回旋は早期に生じやすく，骨盤と体幹の回旋の位相も発達途上であることが指摘されている[96]．野球の打撃動作は頭部，胸部，骨盤，バットを持つ手部を複合的に分離および回旋させる特性があり，投球動作よりも運動の分離は複雑であると考えられるものの，打撃における分離運動に着目した報告はない．年代やレベル別に打撃キネマティクスを比較した横断的研究[33,34,49]によると，打撃の年齢やレベルによってそのキネマティクスは異なり，特に成長期においてその他の年代との違いが顕著であることを明らかにした(例：肩関節の外転および水平外転角度，骨盤の回旋角速度)．しかしながら，成

長期を通した中でいつ、どのような変化が生じているかについて明らかにした報告はない。そこで本研究の目的は、頭部、胸部、骨盤、バットを持つ手部の回旋ならびに分離運動に着目し、成長期野球選手の打撃キネマティクスがどのように変化するかを縦断的に調査することとした。仮説として、【第2および4章】結果から、10歳に満たない野球選手は体格やスイングに必要な筋力が未熟であると考えられたことから、各セグメントの分離運動は生じにくいと推測した。

II. 方法

1. 対象

2018年4月に Junior1 から Major2(表 2)に属する成長期野球選手 230名をリクルートした。包含基準は、参加時に上記の年代にある男子であることとした。除外基準は打撃動作の測定が身体の疼痛や障害のために参加できない者とした。参加者はリトルリーグの資格規定に基づき、その年の野球シーズンのカテゴリーで分類した(図 11)。対象者は少なくとも週に2回(土日)、約3~6時間の練習を行っていた。測定前には、個人情報(生年月日、野球開始時期、打席)に関するアンケートを実施した。なお、事前に測定概要、測定手順ならびに生じうるリスクについての詳細な説明を行い、対象者とその保護者から書面による同意を得た上で本測定を実施した。本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た上で実施された。

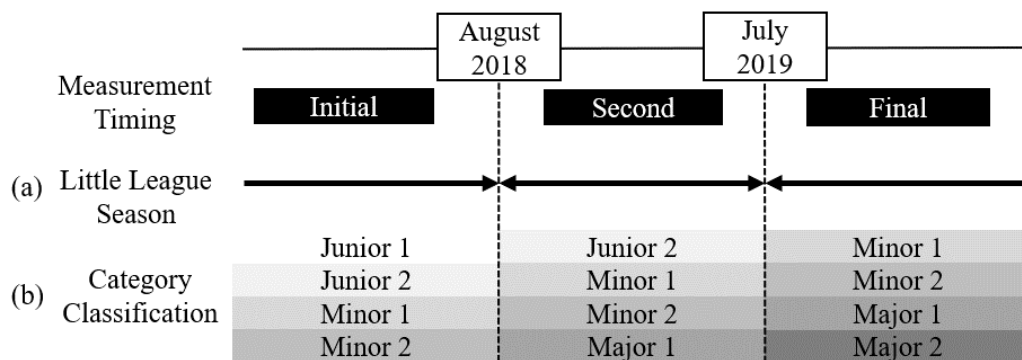


図 11. カテゴリー分類

2. 打撃課題

打撃測定は〔第2章-II.方法〕で示した方法と同様とし、スイングスピードの測定を行った。また、打者側、後方、斜め前方に設置した3台の高速カメラ(EX-100PRO, Casio Company)で打撃動作を240Hzで撮影した。なお、打撃測定を行う前に、頭頂部、両肩峰の外側先端、両上前腸骨棘に身体マーカーを貼付した。

3. データ解析

打撃動作の解析には動作解析システム Frame Dias V(DKH社, Japan)を用いた。マーカーを貼付した頭頂部、両肩峰の外側先端、両上前腸骨棘に加えて、画面上から鼻部、両つま先、両手部の中間点についてデジタイズを行った。3次元座標はDLT(Direct Linear Transform)法で求め、座標系をX軸、Y軸、Z軸とした。Y軸は投手からホームプレートに向けて、Z軸は垂直方向(下方から上方)とした。X軸はY軸とZ軸の外積とした。キャリブレーションには、9個のマーカー(25cm間隔で0~2.0m)を付けたポールを、地面の4×4の異なる位置にそれぞれ40cm間隔で垂直に設置した(標準誤差は $x=0.22$, $y=0.28$, $z=0.34$ cm)計144点に対して実施した。解析データは、stance期、load期、foot contact期、pre swing期、ball contact期の5つのフェーズに分けて算出した。stance期、foot contact期、ball contact期は、それぞれ、ステップ脚のつま先のz軸の値が正方向に転じた瞬間、ステップ脚のつま先のz軸の値がstance期の次に最小になった瞬間、バットが投球されたボールに接触した瞬間と定義した。なお、load期とpre swing期は、それぞれstance期とfoot contact期、foot contact期とball contact期の midpointと定義した。打撃の課

題は通常、投げられたボールに反応する受動的な動作であり、空間に対する身体の位置関係が重要となると考えたため、全ての算出角度はグローバル座標系に対応する値を採用した。頭部回旋角度は、頭部ベクトル（頭頂部から鼻先まで）と X 軸とでなす角度とした。胸部-骨盤回旋角度は、X 軸と胸部および骨盤ベクトル（両肩峰、両前腸骨棘、上腸骨棘の中間点を通り、両点を結ぶ線に垂直な方向）との差とした。手部角度は、手部ベクトル（両肩峰の中間点から両手の間）と X 軸でなされる角度と定義した。そして、分離角度はそれぞれの角度の差で表され、頭部-胸部分離角度は頭部回旋角度から胸部回旋角度を減じた値、胸部-手部分離角度は胸部回旋角度から手部角度を減じた値、胸部-骨盤分離角度は胸部回旋角度から骨盤回旋角度を減じた値とした(図 12)。また、stance 期から foot Contact 期、foot contact 期から ball contact 期までの頭部移動距離を頭頂部の動きとして算出した。また、ステップ幅を stance 期から foot contact 期までの両つま先間の距離の変化として算出した。

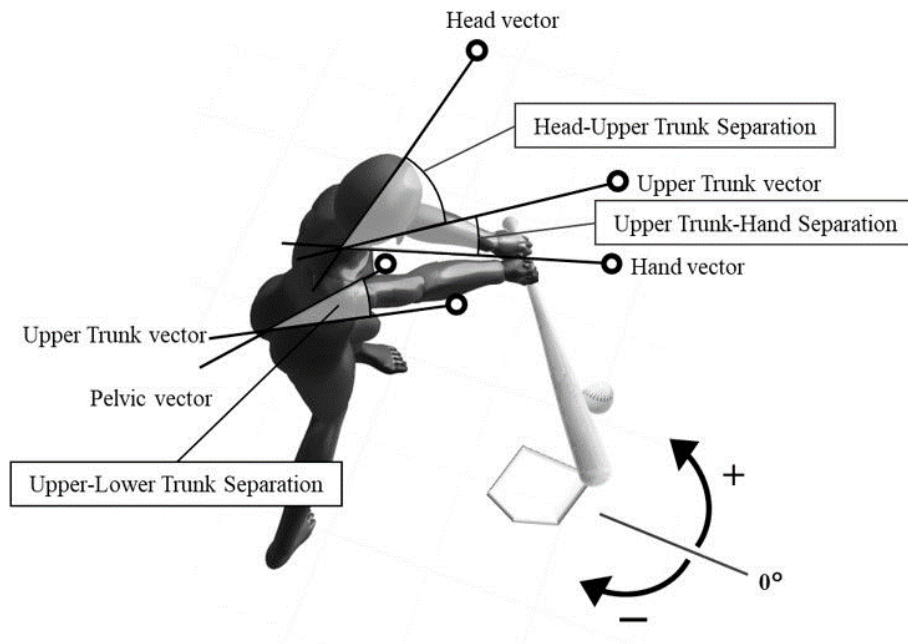


図 12. 算出したベクトルおよび角度

4. 統計解析

記述統計量（平均値±標準偏差）を算出した。Kolmogorov-Smirnov 検定による正規分布と Levene 検定による正規性を確認した後，反復測定による一元配置分散分析を用いて，年齢，身長，体重，競技年数，各フェーズにおける頭部・胸部・骨盤・手部回旋角度，頭部-胸部，胸部-手部，胸部-骨盤分離角度，スイングスピード，頭部移動距離，ステップ幅についてカテゴリー間での比較を実施した。また，事後検定には **Tukey's post hoc** 検定を行った。反復測定の一元配置分散分析における効果量については， $\text{partial } \eta^2$ を計算し，small: ≥ 0.01 かつ < 0.06 ，medium: ≥ 0.06 かつ < 0.14 ，large: ≥ 0.14 とした[97]。なお，全ての統計解析には SPSS for Windows, Version 27.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)を用いた。

Ⅲ. 結果

最終的に 77 名の選手が 2 シーズンで合計 3 回の測定を実施できた。77 名のうち、Junior1 から Minor1 まで追跡できた 17 名(Group1), Minor2 から Major2 まで追跡できた 13 名(Group2)が本研究の分析対象となった(図 13)。

表 13 には Group1 および 2 の暦年齢, 身長, 体重, 野球歴を示した。表 14 より, 胸部回旋角度, 骨盤回旋角度, ならびに手部回旋角度は, Group1 および Group2 のそれぞれのカテゴリー間で有意な差が確認されたものの, 頭部回旋角度には統計的な差は見られなかった。また, 頭部-胸部, 胸部-骨盤, 胸部-手部の分離角度についても, Group1 および Group2 のカテゴリー間で有意な差が見られた(表 15 および図 14)。

また, スイングスピードはカテゴリーが上がるにつれて有意に速くなっていった。また, stance 期から foot contact 期, foot contact 期から ball contact 期までの頭部移動距離はカテゴリーが進むにつれて有意に減少し, ステップ幅は有意に増加していた(表 16)。

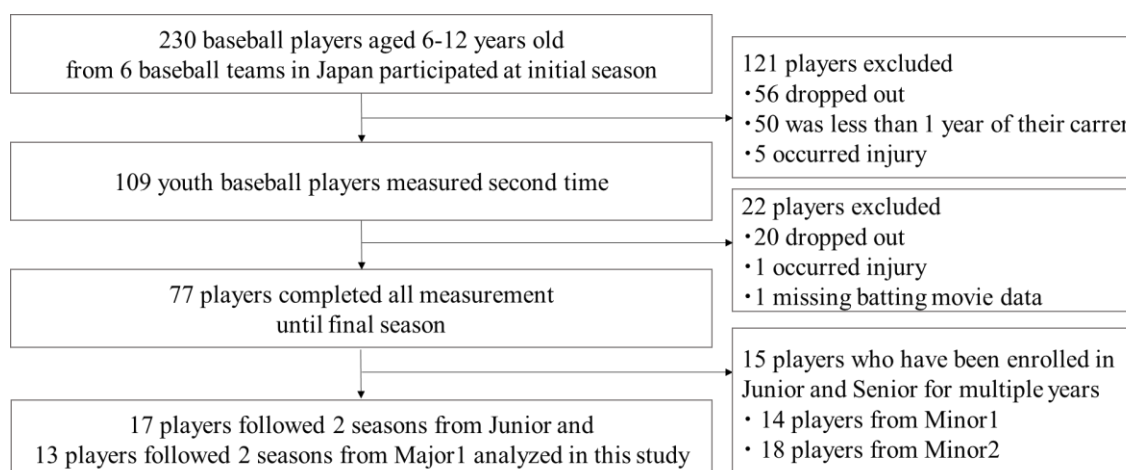


図 13. 解析対象決定までのフロー

表 13. 基本情報(曆年齡, 身長, 体重, 野球歴)

	Group 1 (N=17)				Group 2 (N=13)	
	Junior 1 ^a	Junior 2 ^b	Minor 1 ^c	Minor 2 ^a	Major 1 ^b	Major 2 ^c
Age (years)	7.6 ± 0.2	8.2 ± 0.2*	9.3 ± 0.2*†	10.5 ± 0.3	11.1 ± 0.3*	12.2 ± 0.3*†
Height (cm)	125.0 ± 5.3	129.0 ± 5.7*	133.4 ± 6.6*†	140.9 ± 5.5	143.7 ± 5.7*	150.2 ± 6.4*†
Body Weight (kg)	25.8 ± 3.2	28.4 ± 3.5*	32.1 ± 5.3*†	38.3 ± 6.0	39.4 ± 5.8*	44.9 ± 6.2*†
Competition Years (years)	2.0 ± 0.9	2.6 ± 0.9*	3.6 ± 0.9*†	4.0 ± 1.9	4.6 ± 2.0*	5.7 ± 2.0*†

Data shows average±SD, *: vs a; †: vs b (p<0.05)

表 14. 各打撃フェーズにおける頭部，胸部，骨盤，手部の回旋角度のカテゴリー間比較

	Group 1 (N=17)				Group 2 (N=13)			
	Junior 1 ^a	Junior 2 ^b	Minor 1 ^c	ES	Minor 2 ^a	Major 1 ^b	Major 2 ^c	ES
Stance								
Head Rotation	26.7 ± 4.7	25.7 ± 3.4	23.1 ± 5.4	0.189	26.5 ± 5.6	26.9 ± 5.4	26.7 ± 3.3	0.004
Upper Trunk Rotation	-36.2 ± 5.2	-32.7 ± 6.2*	-38.7 ± 9.4 [†]	0.205	-36.8 ± 5.5	-34.9 ± 9.2	-34.6 ± 7.8	0.041
Lower Trunk Rotation	-17.5 ± 7.4	-7.6 ± 4.9*	-18.1 ± 11.6 [†]	0.417	-27.7 ± 11.1	-18.8 ± 9.8*	-16.5 ± 12.8*	0.537
Hand Direction	-51.8 ± 4.6	-47.7 ± 5.6*	-52.6 ± 14.0	0.099	-55.0 ± 7.2	-48.0 ± 8.4*	-49.6 ± 7.6	0.498
Load								
Head Rotation	24.3 ± 3.7	25.8 ± 3.4	20.3 ± 10.4	0.191	28.5 ± 6.4	26.8 ± 5.8	27.3 ± 3.0	0.041
Upper Trunk Rotation	-26.6 ± 4.1	-30.9 ± 6.2*	-41.1 ± 13.9* [†]	0.790	-49.7 ± 10.4	-36.8 ± 9.9*	-33.9 ± 8.2*	0.563
Lower Trunk Rotation	-14.6 ± 6.1	-15.1 ± 6.3	-28.6 ± 17.7* [†]	0.381	-38.6 ± 8.6	-22.3 ± 10.4*	-17.8 ± 13.1* [†]	0.714
Hand Direction	-51.0 ± 4.6	-51.0 ± 5.6*	-57.5 ± 21.4	0.163	-61.6 ± 6.3	-59.7 ± 3.0	-60.8 ± 4.7	0.043
Foot Contact								
Head Rotation	26.9 ± 4.8	25.9 ± 3.4	21.5 ± 8.1	0.294	29.7 ± 4.7	27.3 ± 5.2	27.8 ± 4.4	0.074
Upper Trunk Rotation	-5.1 ± 3.5	-16.0 ± 3.9*	-25.6 ± 6.8* [†]	0.871	-29.9 ± 5.1	-38.3 ± 10.4*	-40.6 ± 6.5*	0.497
Lower Trunk Rotation	-10.4 ± 5.7	-19.8 ± 3.3*	-33.4 ± 6.5* [†]	0.896	-35.3 ± 8.3	-23.0 ± 9.4*	-16.5 ± 8.2*	0.699
Hand Direction	-43.2 ± 5.0	-45.6 ± 4.8	-48.3 ± 8.0	0.139	-56.3 ± 4.7	-61.9 ± 3.3*	-63.8 ± 5.7*	0.526
Pre Swing								
Head Rotation	27.1 ± 4.8	26.0 ± 3.5	26.1 ± 6.1	0.016	30.3 ± 5.9	30.6 ± 3.7	32.3 ± 4.4	0.068
Upper Trunk Rotation	51.4 ± 6.5	51.6 ± 10.2	45.0 ± 7.4*	0.221	35.9 ± 6.6	29.3 ± 4.7*	26.2 ± 3.3* [†]	0.712
Lower Trunk Rotation	45.4 ± 5.9	46.5 ± 7.9	39.3 ± 5.0* [†]	0.381	29.7 ± 5.5	31.7 ± 10.1	30.8 ± 4.7	0.023
Hand Direction	11.0 ± 3.4	12.7 ± 4.4	4.9 ± 4.4* [†]	0.498	-6.0 ± 3.3	-5.1 ± 1.8	-12.6 ± 6.2* [†]	0.529
Ball Contact								
Head Rotation	27.9 ± 4.0	26.1 ± 3.5	29.0 ± 7.2	0.070	33.8 ± 7.9	31.0 ± 3.4	30.8 ± 7.5	0.088
Upper Trunk Rotation	80.9 ± 3.3	79.2 ± 2.4	75.5 ± 3.1* [†]	0.478	73.5 ± 5.2	74.3 ± 2.2	73.4 ± 2.4	0.022
Lower Trunk Rotation	81.4 ± 3.2	80.4 ± 2.9	79.8 ± 3.4	0.078	79.8 ± 5.5	81.5 ± 4.1	81.5 ± 2.3	0.061
Hand Direction	80.7 ± 3.7	75.7 ± 4.0*	71.7 ± 4.3*	0.539	71.1 ± 3.8	69.6 ± 2.5	69.4 ± 2.5	0.107

Data shows average±SD of rotational angles (°), effect size (ES) is indicated by partial η^2 , *: vs a; [†]: vs b (p<0.05)

表 15.各打撃フェーズにおける頭部-胸部，胸部-手部，胸部-骨盤の分離角度のカテゴリー間比較

	Group 1 (N=17)				Group 2 (N=13)			
	Junior 1 ^a	Junior 2 ^b	Minor 1 ^c	effect size	Minor 2 ^a	Major 1 ^b	Major 2 ^c	effect size
Stance								
Head-Upper separation	62.9 ± 6.7	58.3 ± 8.0*	61.8 ± 11.0	0.107	63.3 ± 4.5	61.9 ± 11.2	61.2 ± 9.6	0.029
Upper-Hand separation	15.6 ± 4.5	15.1 ± 4.8	13.9 ± 12.2	0.017	18.2 ± 8.7	13.0 ± 7.9	15.1 ± 5.3	0.165
Upper-Lower separation	-18.7 ± 7.3	-25.0 ± 4.4*	-20.6 ± 8.8	0.184	-9.1 ± 9.9	-16.2 ± 6.6	-18.1 ± 8.2*	0.313
Load								
Head-Upper separation	50.9 ± 5.9	56.7 ± 8.1*	61.4 ± 11.3*	0.342	78.2 ± 11.7	63.6 ± 10.2*	61.2 ± 9.5*	0.582
Upper-Hand separation	24.5 ± 4.3	16.1 ± 4.9*	16.4 ± 17.5	0.174	11.9 ± 8.5	22.9 ± 10.5*	26.9 ± 8.6*	0.495
Upper-Lower separation	-12.0 ± 6.5	-15.8 ± 8.6*	-12.5 ± 13.3	0.041	-11.1 ± 8.4	-14.6 ± 5.2	-16.1 ± 8.4*	0.131
Foot Contact								
Head-Upper separation	32.1 ± 6.1	41.9 ± 4.7*	47.1 ± 7.4*	0.658	59.6 ± 7.4	65.6 ± 10.6	68.4 ± 8.5*	0.318
Upper-Hand separation	38.1 ± 6.9	29.6 ± 5.1*	22.8 ± 11.5*	0.424	26.4 ± 6.3	23.6 ± 10.7	23.2 ± 6.8	0.059
Upper-Lower separation	5.3 ± 5.1	3.8 ± 4.3	7.8 ± 7.7	0.099	5.4 ± 8.2	-15.3 ± 8.8*	-24.1 ± 8.2*	0.793
Pre Swing								
Head-Upper separation	-24.4 ± 7.6	-25.6 ± 11.7	-18.9 ± 11.1	0.141	-5.6 ± 8.1	1.2 ± 4.9*	6.0 ± 5.4*†	0.630
Upper-Hand separation	40.4 ± 7.4	38.8 ± 9.3	40.2 ± 8.3	0.014	41.9 ± 6.6	34.4 ± 4.9*	38.8 ± 7.1†	0.412
Upper-Lower separation	6.0 ± 6.7	5.0 ± 6.9	5.8 ± 3.4	0.010	6.2 ± 3.8	-2.4 ± 7.2*	-4.5 ± 4.5*	0.480
Ball Contact								
Head-Upper separation	-53.0 ± 6.3	-53.1 ± 3.9	-46.4 ± 7.9*	0.255	-39.7 ± 10.6	-43.3 ± 4.2	-42.6 ± 8.3	0.076
Upper-Hand separation	0.2 ± 4.9	3.4 ± 4.6	3.8 ± 4.4	0.168	2.4 ± 3.5	4.7 ± 2.4	4.0 ± 2.9	0.133
Upper-Lower separation	-0.5 ± 3.6	-1.2 ± 3.4	-4.3 ± 3.4*	0.245	-6.3 ± 4.2	-7.1 ± 4.2	-8.1 ± 2.9	0.065

Data shows average±SD of separational angles (°), effect size (ES) is indicated by partial η^2 , *: vs a; †: vs b (p<0.05)

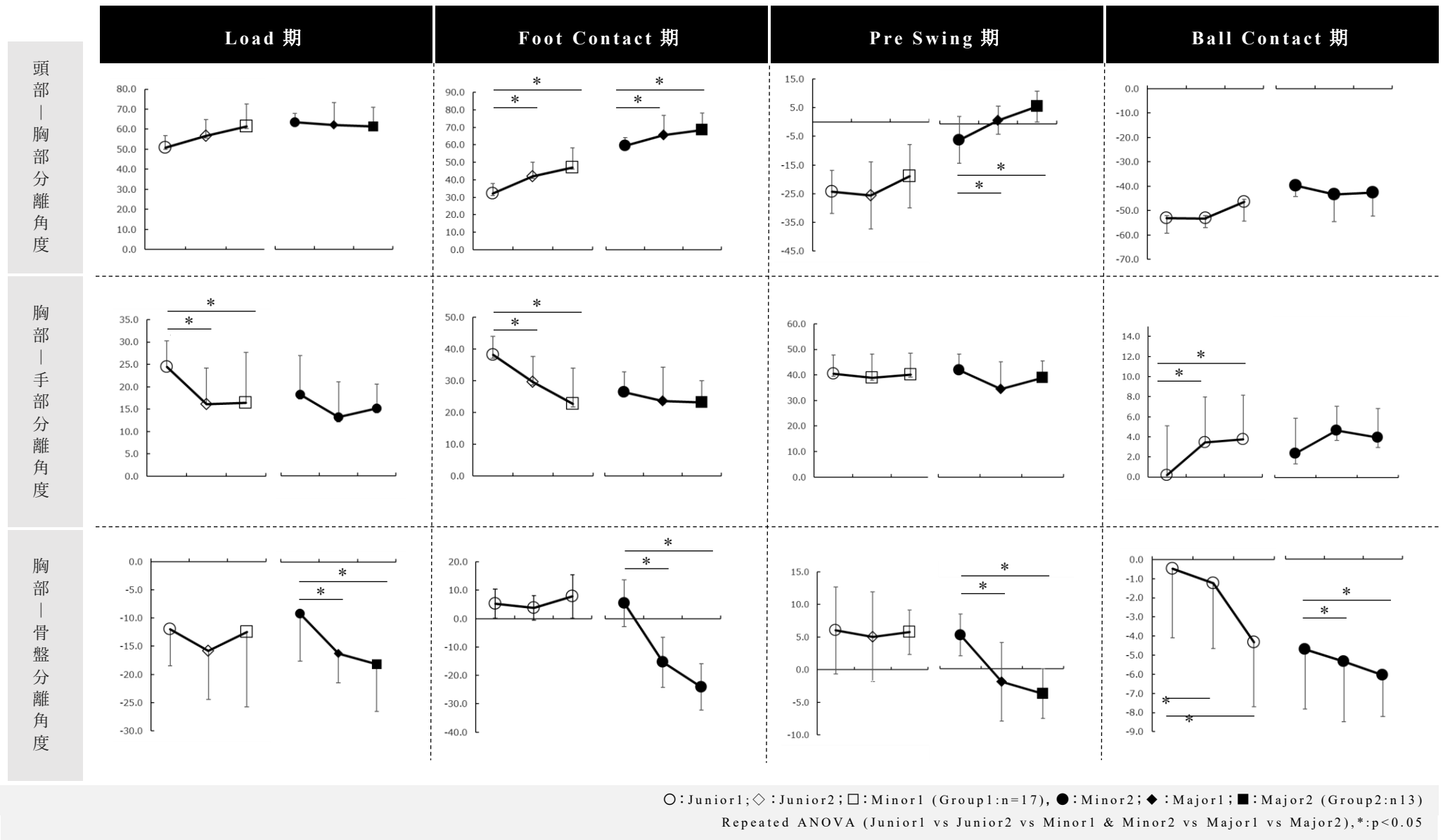


図 14. load, foot contact, pre swing, ball contact 期における頸部-胸部, 胸部-手部, 胸部-骨盤の分離角度のカテゴリー間比較

表 16. スイングスピード, 頭部移動距離, ステップ幅のカテゴリー間比較

	Group 1 (N=17)				Group 2 (N=13)			
	Junior 1 ^a	Junior 2 ^b	Minor 1 ^c	effect size	Minor 2 ^a	Major 1 ^b	Major 2 ^c	effect size
Swing Velocity (mph)	41.0 ± 4.5	43.6 ± 4.9 [†]	46.1 ± 4.8 ^{*†}	0.706	48.9 ± 5.6	53.7 ± 6.9 [*]	59.0 ± 8.8 ^{*†}	0.686
Head movement ST to FC (cm)	11.2 ± 2.4	11.3 ± 2.7	9.3 ± 2.4 ^{*†}	0.188	9.9 ± 1.7	7.8 ± 1.9 [*]	8.2 ± 1.4 [*]	0.370
Head movement FC to BC (cm)	7.8 ± 1.0	8.5 ± 1.2	6.5 ± 1.1 ^{*†}	0.436	6.2 ± 1.2	4.7 ± 1.0 [*]	3.8 ± 0.6 ^{*†}	0.731
Step width at Stance (cm)	40.5 ± 3.0	38.7 ± 2.8	41.8 ± 2.8 [†]	0.300	44.1 ± 3.3	45.8 ± 3.0	47.0 ± 3.7	0.166
Step width at FC (cm)	49.1 ± 5.3	50.4 ± 3.9	52.8 ± 4.3 [*]	0.219	56.0 ± 5.1	59.0 ± 4.6	59.7 ± 4.1	0.180

Data shows average±SD, effect size is indicated by partial η^2 , *: vs a; †: vs b (p<0.05)

IV. 考察

本研究では、打撃動作における頭部、胸部、骨盤、手部の回旋運動と分離運動に焦点を当て、成長期野球選手の打撃動作の発達過程について検討した。仮説として、年齢が上がるにつれて体幹部の分離運動が可能となり、分離角度が増大することが考えられた。

本研究の対象者の年齢と体格の関係は、日本の成長期集団を対象とした過去の報告[18,98]と比較して明らかな差は見られなかった。

打撃動作の stance 期は一般的に打者によって様々なスタイルがあると考えられている。本研究の結果では stance 期における各回旋角度および分離角度のカテゴリー間の明確な変化は見られなかった。Fleisig ら[95]は、Stance 期の足部や体幹部の位置が打者によって異なると報告している。実際の打席において打者は投球に備えるために、骨盤を捕手側に回転させる、膝を曲げる、手部やバットを捕手方向や上方に動かすなど、あらゆる方向に動かすことがしばしば観察される。Matsuo ら[99]は、ball contact 期の身体各部の位置関係は打者によって類似性が見られるものの、stance 期におけるタイミングの取り方やバットの動きは個人で異なると述べている。したがって、stance 期の身体各部の位置関係、いわゆる「構え」はその後に続く並進運動と回転運動を選手が最も効率的に行うことができるポジションであるべきと考えられる。

打撃における並進運動とは、stance 期から foot contact 期までの間に、軸脚で片脚立ちとなった後に、再度ステップ脚に体重移動が起こるまでのフェーズを指す。特に load 期は、軸脚のエネルギーをステップ脚、体幹へと連動させていく運動連鎖の起点となるフェーズであり、効率的なスイングを行う上で重要であると考えられている[79]。load 期では、

Junior1 から Minor2 にかけて胸部および骨盤の回旋角度(捕手方向への回旋)が徐々に減少, すなわち投手方向に回旋していた一方で, Major1 および Major2 では捕手方向への回旋角度が増加していた. Dowling ら[33] は, Pro(20.2 ± 2.3 歳)に比べて, Youth(11.8 ± 1.1 歳)では load 期での骨盤の回転角度が捕手側に回旋していることを明らかにした. 【第 5 章】において約 10 歳以下ではスイングスピードには軸脚の股関節内旋トルクが, 10 歳以上では協調的な下肢機能を示す軸脚側の Modified SEBT と関係することが明らかとなったことを踏まえると, より低い年齢の野球選手は軸脚の筋力や協調性などの下肢機能が十分ではない可能性があり, スイングの効率を向上させるために骨盤を捕手方向に回旋させることで並進運動期のエネルギー蓄積を代償していた可能性が考えられる. 他方, 本研究で用いたトスマシンのトス速度は年代によらず一定であったため, Major1 および Major2 より年少の選手は Major1 および Major2 の選手と比較して相対的な課題難易度が高かった可能性がある. すなわち, トスより年少の選手におけるトスの体感速度が相対的に高かったことが胸部および骨盤の投手方向への早期回旋を生じさせていた可能性も考慮する必要がある.

Foot contact 期は load 期に軸脚に蓄積された運動エネルギーがステップ脚に切り替わるタイミングとなる. Scarlett[100]らは, ステップ脚への体重移動のタイミングが早期に生じた場合, ステップ脚が地面から受ける反力が少なくなり, 結果的にスイングが非効率となる可能性があるとして述べている. 本研究の結果, 年齢が上がるにつれて foot contact 期における胸部および手部の捕手方向への回旋角度が増大し, かつ頭部と胸部の分離角度が大きくなることが明らかとなった. さらに, stance 期から foot

contact 期までの頭部移動距離は，Junior1 と Junior2 では有意に長く，Major1 と Major2 では短かった．Gray ら[41]は打撃において空間上に頭部を固定させることで眼球運動を最小限に抑えることができ，結果的に投げられたボールを目線がぶれにくい状態で見ることができると述べている．したがって，より年代が上がるにつれて打者は load 期から foot contact 期にかけて体重移動を行いながらも頭部の移動を制御した打撃戦略をとることができるようになって考えられる．また，強くスイングをするためには捕手に向かって体幹部を回旋させる必要があることを考えると，重心を投手方向に移動させながら胸部や骨盤を捕手方向に回旋させるような打撃動作戦略を年齢が上がるにつれてできるようになる可能性がある．また，load から foot contact 期にかけて Junior1~Minor2 では胸部の回転角度が投手側に変化した一方で，Major1 および Major2 では捕手側に変化をしていた．また，並進運動期に頭部-胸部，胸部-骨盤の分離角度が減少し始めたことから，10~11 歳までは，投げられたボールを追いかけるように体幹部の回旋が生じていることが示唆される．

回旋運動期は打者がボールの到達予測位置に向かってスイングを開始するフェーズを指す．胸部-骨盤の分離角度は，Minor2 までは正の値，つまり，骨盤に対して胸部が投手方向に回旋していたにも関わらず，Major1 および Major2 では，骨盤に対して胸部が捕手方向に回旋(負の値)していた．これは ball contact 期にも影響し，Junior1 と Junior2 は Minor1 よりも胸部と骨盤の分離角度が小さくなっていた．下肢と体幹部は運動連鎖の基盤となることが知られており[96,101]，野球の打撃動作に似た回旋運動であるテニスのサーブ時に発揮される力の約 54%を占めると言われる．体幹の動きが最大の力を発揮するためには，ball contact 期に体幹部

を回旋させる力が残っている必要があり、言い換えると胸部-骨盤の分離角度が保たれていることが重要であると予測される。実際、大学野球選手とプロ野球選手の打撃動作における体幹分離角度はそれぞれ平均 -10° と -13° と報告されている[33]。また、成長期野球選手は成人[34]や高校生・プロの打者[33]と比較して、骨盤の回旋速度が速いことが明らかとなっており、体幹部の筋量の少なさが関連していると推察されている。そのため Junior1 と Junior2 においては体幹の筋力不足を補うように骨盤の回旋を大きくしている可能性が考えられる。なお Howenstein ら[102]は、投球動作における軸脚の並進運動は投手方向に骨盤と体幹のセグメントを介して直線的な力を伝達する役割を果たし、ステップ脚の体幹の回旋運動を制御する役割は、体幹から投球側上肢に力を伝達するための回転運動を増大させることに貢献すると述べている。

本章では主に体幹部に着目した打撃動作の縦断変化について検討した結果、成長期に打撃キネマティクスが発達することが明らかとなった。特に並進運動期に骨盤が投手方向へ早期に回旋しないよう動作の指導を行う必要があると考える。本研究の強みは、3 シーズンにわたって個人を縦断的に調査したことにある。さらに野球の打撃動作の特徴である回旋運動に着目した初めての研究である。本研究の結果に基づいて監督やコーチは、頭部、体幹上部、胸部、骨盤、バットを持つ手部の回旋角度ならびにそれぞれの分離角度を観察することで、野球の打撃動作における発達段階を判断することができる可能性がある。

本研究にはいくつかの限界がある。1 つ目に Group1 と Group2 の一致度について言及できないことにある。そのため、Group 1 および 2 の間の変化は明確ではない。そのため Minor1 と Minor2 の間における結果の解

積には注意が必要である。2 つ目に、我々はトスマシンを用いて打撃動作を評価したものの、実際の試合における打撃は投手の投球に対して行われるため、試合中の動作様式は本研究とは異なる可能性も考えられる。しかしながら、これまで打撃動作やスイングスピードの測定でしばしば用いられてきたティースタンドでの測定よりも投げられたボールに対する反応や協調性といった側面を含んでいるため、打撃動作をより総合的に評価することができたと考えている。その一方で、前述した通り個人の発育段階に対して打撃課題の難易度が適していたかどうかは不明である。すなわち、ボール速度が変化した場合には打撃動作様式も異なることが推測される。なお打撃動作はボールの速度や到達位置に依存すると考えられるものの、個人に則して課題難易度を制御しきことは極めて困難と考えている。3 つ目に、フィールドでの測定で一度に多くの人数の打撃動作を撮像する必要があったため、実験室で行われるバイオメカニクス研究と比較して多くの関節座標を定義することができなかった。そのため、これまでの研究で明らかとなっている成長期野球選手の打撃動作の特徴である肘屈曲角、肩の水平外転の増大などといった上肢のキネマティクスについて検討できていない。今後、より詳細な打撃動作の発達様式を明らかにするためには、全身のキネマティクスについて分析を行うことが望ましいと考えられる。

V. 結論

本研究では，成長期野球選手の打撃動作における頭部，胸部，骨盤，手部の回旋運動および分離運動に関する縦断的变化を明らかにした．カテゴリー間で打撃キネマティクスの変化が多く見られ，特に foot contact 期ならびに pre swing 期における Minor2 と Major1 の胸部-骨盤の分離角度で最も大きな差が見られ，体幹部の分離運動は約 10～11 歳くらいで発達する可能性が示唆された．また，頭部-胸部の分離角度は Major1 および Major2 において load 期から pre swing 期にかけて大きくなっていった．一方 Minor2 以下の打者は foot contact 期以降，胸部が骨盤よりも早く回旋し，Junior1 および 2 は ball contact 期に胸部，骨盤，バットを持つ手部が同方向に回旋していた．これらは，ball contact 期の準備段階である並進運動期における分離運動が不足していることが原因と考えられた．発育段階にある野球選手の打撃能力を向上させるには，適切な打撃動作の発達パターンを理解することが重要であると考えられる．それゆえ本研究の結果は選手自身だけでなく選手を取り巻くコーチや監督にとって有用なデータとなると考えている．

第7章 総合考察

野球の打撃動作は数ある競技動作の中でも難易度の高い課題であり、成人の一流選手であっても成功が難しいと言われている。成長期年代から野球競技を開始している選手は多いことを踏まえると、成長期における打撃能力や動作スキルの獲得は中学校、高校、大学と野球を行っていく際の基盤となりうる。そこで本研究は、成長期野球選手における①野球の打撃能力の発達様式を明らかにすること、②野球の打撃能力に関連する体力因子(筋量、筋力、身体機能)を明らかにすること、③打撃動作の発達様式を明らかにすることで、打撃能力の向上の一助となる知見を提示することを目的に実施された。

I. 打撃能力の発達様式

スイングスピードと体格との関係について大規模に検討した結果、線形の発達様式が確認された。しかしながら暦年齢との関係は非線形の発達様式となり、個人の発育速度や成熟時期の違い[5]が結果に反映された可能性が示唆された。そのため、身長を基準(x)とし、スイングスピード(y)の発達を検討するアロメトリー法を用いて体格に対するスイングスピードの発達速度について検討したところ、身長 153.0~160.7 cm にかけて一時的な発達速度の低下が認められた。上記の身長に対応する年齢は約 11.5~12.5 歳と成長期の発育スパート初期に該当した。発達速度の低下が認められた前後の区間は体格発育によりも速い速度でのスイングスピードの向上が認められ、153.0cm までは身長増加による影響[56]、160.7 cm 以降は二次性徴に伴う除脂肪量増加[103]による影響が関連した可能性が考えられる。発育スパート期には身長が急激に増加する時期

に“Motor awkwardness”と呼ばれる感覚運動機能(Sensorimotor function)の遅れや不一致を生じる可能性があることが知られている[62]。野球の打撃動作はバットを操作して、身体から離れた位置に到達するボールに対してエネルギーを伝達させるという競技特性がある。ボールの到達位置は決まってホームベース上に向けられることから、自らの身体各部の発育変化が打撃能力に及ぼす影響が関連することが推察される。そこで発育曲線を算出し、TOA から PHVA にかけての発育速度の緩急によってスイングスピードの発達様式が異なるか否かを調べた結果、身体発育速度が急激な選手のスイングスピードの発達様式は増加するものの緩やかになる傾向が示された。すなわち、少なからず野球の打撃において急激な発育過程をたどる選手は“Motor awkwardness”が生じる可能性が示唆された。ただし、【第2章】において Minor2(約10歳)以降、スイングスピードに身長が及ぼす影響度が大きいという結果となった。“Motor awkwardness”の影響の可能性も考えると、Minor2(約10歳)以降に打撃能力向上に必要な身体機能や能力の発達が生じたと捉える方が自然であると考えたため、【第5・6章】で打撃能力の発達の要因となり得る身体機能、筋力、動作についての検討を行った。打撃能力の発達様式についてまとめると、打撃能力を示すスイングスピードの発達様式は年齢および身長増加と共に向上するものの、身体発育が急激に生じる選手は発達が緩やかになる。全体の傾向から見ると、身長 153.0～160.7 cm にかけては体格発育がスイングスピードの発達に及ぼす影響が小さくなることから、発達を妨げないためには身体機能の向上や動作の改善が求められると考えられる。

II. 打撃能力に関連する体力因子と打撃動作の発達様式

7～13歳の成長期野球選手におけるスイングスピードに関連する体力因子として、身長ならびにステップ脚の内旋トルクが抽出された。すなわち打撃動作中の運動で考えると、投手方向へ並進運動した力を体幹部へと伝達する役割として内旋トルクが貢献すると考えられる。先行研究においてもボールインパクト時のバットヘッドスピードは下肢の運動エネルギーを、体幹を介して伝達される運動連鎖を利用することで生成されることが考えられており[79]、スイングスピードを速くするためには両脚を内側方向(軸足は投手方向、ステップ脚は捕手方向)へと押し出し、股関節のトルクを発生させて骨盤の回旋を高める必要があると述べられている。Aeら[104]は大学生野球選手を対象にティー打撃中の下肢キネティクスについて調べ、ステップ脚側の股関節屈曲トルクおよび内転トルク力学的仕事が顕著に大きかったと報告しており、ステップ脚側の運動はスイング動作における力学的エネルギーの増大に貢献していると考えられる。ただし、Minor2(約10歳)以上のみの分析ではステップ脚側の筋力や身体機能が選択されなかったことから、10～13頃までには個人間のばらつきが少なく、スイングに必要な筋力や身体機能を習得できている可能性が示唆される。その一方でMinor2(約10歳)以上では軸脚側の片脚バランス機能がスイングスピードに関連した。大学女子ソフトボール選手の打撃動作における股関節トルクを算出した報告[105]によると、打球速度や打撃点の高さの違いに関わらず軸脚側の股関節伸展・外旋トルクが骨盤の回旋運動に貢献することを明らかにしている。また、Shafferら[106]はステップ脚側の足部の接地からスイング中盤にかけて軸脚側の大臀筋の活動レベルが高いことを報告し、パワーの発揮に貢献すると

述べている。【第6章】の打撃動作の縦断変化においても Major1(約11歳)以降、軸脚支持期である Load 期における骨盤に対する胸部の投手方向回旋を抑制することができていた。このことから、10歳頃から軸脚による片脚支持機能が打撃動作およびスイングスピードに及ぼす影響が大きいことが考えられた。高木ら[107]はボール速度が大きい条件(125km/h)においては、身体重心の並進移動距離を小さくするとともに、胸部およびバットの回転運動範囲を小さくすることが打撃の正確性を高める動作であると報告している。しかしながら、体幹筋パワー[42,50]や骨盤角速度[108]がスイングスピードに関連することを考えると、打撃能力の向上には体幹の回旋角速度を増大(大きな角度を短時間に移動)させることが必要であると考えられる。打撃の正確性には視覚的な要因も関連[41,109]することを踏まえると、並進運動および回旋運動中の頭部移動量は小さく、頭部-胸部-骨盤の分離運動は大きくすることが打撃の正確性とスイングスピードを両立する上で望ましい打撃動作と考えられる。頭部移動量は年齢が上がるとともに減少しており、Major1(約11歳)以降に胸部-骨盤の分離運動が増大していたことから、上記年代が打撃動作に対して介入を行うことで打撃能力を向上させることができる適齢であると考えられる。また、打撃能力の発達様式の検討から身長153.0~160.7cm、約11.5~12.5歳に見られた身体発育速度との不一致を最小限にするためにも、打撃動作に対するアプローチが必要であると考えられる。【第6章】の結果を踏まえると特に、

①並進運動期に軸脚立ちとなる際に頭部がぶれないようにすること

②並進運動期に胸部・手部を捕手側へ回旋させる際に骨盤や頭部が同方向に回旋しないようにすること(分離運動の促進)

③回旋運動期に胸部が骨盤に対して回旋しすぎないようにすること

が打撃動作指導のポイントとして重要であると考えられ、より年少の選手に対しては

④Foot Contact 期以降にステップ脚側の股関節が投手方向に回旋しすぎ

ないようにする

ことが必要であると考えられる。

III. 本研究の限界

本研究の限界は 3 点挙げられる。1 点目に、対象とした年代が 14 歳までであった一方、大半が小学校高学年の選手で構成されていたことで、測定時に PHVA を迎えている選手が少ないということである。特に日本人男子の最大身長増加時期は平均約 13-14 歳[18]と言われている。過去の報告では PHVA を境に運動能力の向上が顕著となる[12,25]ことが明らかになっているため、【第 3 章】で明らかになったスイングスピードの一時的な低調や、【4 章】で見られた Rapid 群におけるスイングスピードの緩やかな発達様式が過小評価となっている可能性がある。上記のような発達様式となっていることを確認するためには、PHVA 年代のみならず、さらには発育が完了する年代まで対象の範囲を広げた上で、打撃能力の発達様式の確認を行う必要があると考える。

2 点目は縦断的検討を行った【第 4・6 章】の測定間隔が少なくとも半年以上開いてしまったことにある。Towlson ら[26]は短期間であっても体格の変化が大きい成長期選手の縦断計測や追跡研究を行う際には、発育の影響を最大限考慮するために 3~4 か月おきに 1 度実施できることが好ましいと述べている。本研究は学童期にあたる年代が多かったものの、今後思春期年代まで追跡を行う際にはより身体発育の影響が顕著となると推測されることから、測定間隔を短く計測を行う必要があると考える。

3 点目に打撃能力を主にスイングスピードの遅速のみでしか論じることが出来なかったことが挙げられる。他の打撃能力として、打撃の技術的な要素を反映すると考えられるバットインパクトの正確性[108]がある。この指標は個人の打撃の正確性を評価する上で多くの試技数が必要となることから、本研究のようなフィールドでの計測では不向きであっ

た。ただし、身体発育や競技年数が増えることによる打撃動作の発達に伴ってバットインパクトの正確性の変化がある時期に生じると推測される。実際、空振りのあった選手はボールをバットで打撃できるまで試技を行った上で打撃能力を評価したため、正確にボールを打撃できるか否かは結果に含まれていない。今後、実験室などで成長期野球選手を対象とした計測を行い、実際に検証する必要がある。他方、スイングの結果として算出される項目として打球速度や打球の飛距離なども打撃能力を表しうる指標として挙げられる。上記指標は打撃動作様式やスイングスピード、前述したバットインパクト位置によって変動しうる総合的なパラメータであると考えられる。したがって、構成要素として考えられるスイングスピードやバットインパクト位置の影響度を年代ごとに検討した上で発達様式を検証する必要があると考えられる。

第 8 章 まとめ

本研究を通して、以下のことが明らかとなった。

- ① 成長期野球選手のスイングスピードの発達様式は発育に伴って向上するものの、身長 153.0～160.7 cm では発達速度の一時的な低下が見られ、また身体発育が急激に生じる選手は発達が緩やかになる。
- ② 7-13 歳の成長期野球選手の打撃能力に関連する体力因子にはステップ脚側の内旋トルクが挙げられ、Mainor2(約 10 歳)以降に体幹部のパワーや軸脚のバランス能力が関連する。
- ③ 成長期野球選手の打撃動作は頭部-胸部の分離角度は Major1 および Major2(約 11-13 歳)において load 期から pre swing 期にかけて大きくなる。一方、Minor2 以下(約 10 歳)の打者は Foot Contact 期以降、胸部が骨盤よりも早く回旋し、Junior1 および 2(約 7-8 歳)は Ball Contact 期に胸部、骨盤、バットを持つ手部が同方向に回旋する。

参考文献

- [1] Wilson RS, David GK, Murphy SC, Angilletta MJ, Niehaus AC, Hunter AH, et al. Skill not athleticism predicts individual variation in match performance of soccer players. *Proc R Soc B Biol Sci* 2017;284:20170953. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0953>.
- [2] Wilson RS, Smith NMA, Ramos S de P, Giuliano Caetano F, Aparecido Rinaldo M, Santiago PRP, et al. Dribbling speed along curved paths predicts attacking performance in match-realistic one vs. one soccer games. *J Sports Sci* 2019;37:1072–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1544110>.
- [3] Knudsen EI. Sensitive Periods in the Development of the Brain and Behavior. *J Cogn Neurosci* 2004;16:1412–25. <https://doi.org/10.1162/0898929042304796>.
- [4] Watanabe D, Savion-Lemieux T, Penhune VB. The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Exp Brain Res* 2007;176:332–40. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0619-z>.
- [5] Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity. 2nd ed. Champaign, Ill: Human Kinetics; 2004.
- [6] Iuliano-Burns S, Mirwald RL, Bailey DA. Timing and magnitude of peak height velocity and peak tissue velocities for early, average, and late maturing boys and girls. *Am J Hum Biol Off J Hum Biol Counc* 2001;13:1–8. [https://doi.org/10.1002/1520-6300\(200101/02\)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1520-6300(200101/02)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S).

- [7] Malina RM, Dompier TP, Powell JW, Barron MJ, Moore MT. Validation of a Noninvasive Maturity Estimate Relative to Skeletal Age in Youth Football Players. *Clin J Sport Med* 2007;17:362–8. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31815400f4>.
- [8] Malina RM, Coelho-E-Silva MJ, Figueiredo AJ, Philippaerts RM, Hirose N, Peña Reyes ME, et al. Tanner-Whitehouse Skeletal Ages in Male Youth Soccer Players: TW2 or TW3? *Sports Med Auckl NZ* 2018;48:991–1008. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0799-7>.
- [9] ロバート M・マリーナ, クロードブジャール (高石昌弘, , 小林寛道 (監訳) . 身体の発育/生物学的成熟 : 概念と評価, 事典発育・成熟・運動. 東京: 大修館書店; 1995.
- [10] 松岡尚史, 杉原茂孝. 思春期の身体的特性. *小児科* 2018;59:480–6.
- [11] Nariyama K, Hauspie RC, Mino T. Longitudinal growth study of male Japanese junior high school athletes. *Am J Hum Biol* 2001;13:356–64. <https://doi.org/10.1002/ajhb.1059>.
- [12] Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, et al. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci* 2006;24:221–30. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>.
- [13] Fujii K. An Investigation Regarding Sequence of Age at MPV in Physique Growth of Male Athletes. *Jpn J Hum Growth Dev Res* 1998;1998:26–32. <https://doi.org/10.5332/hatsuhatsu.1998.26>.
- [14] Malina RM, Choh AC, Czerwinski SA, Chumlea WmC. Validation of Maturity Offset in the Fels Longitudinal Study. *Pediatr Exerc Sci*

2016;28:439–55. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0090>.

- [15] 村田光範. 身長の成長速度曲線の意義と問題点. 産婦人科治療 1996;72:401–6.
- [16] 高井省三. 骨成熟が早熟な子の成人身長は小さいか?. 体育科学系 紀要 1996;19:91–7.
- [17] Satoh M, Tanaka T. Bone Age at Onset of Pubertal Growth Spurt and Final Height in Normal Children. *Clin Pediatr Endocrinol* 1995;4:129–36. <https://doi.org/10.1297/cpe.4.129>.
- [18] Suwa S, Tachibana K, Maesaka H, Tanaka T, Yokoya S. Longitudinal standards for height and height velocity for Japanese children from birth to maturity. *Clin Pediatr Endocrinol* 1992;1:5–13.
- [19] Figueiredo AJ, e Silva MJC, Cumming SP, Malina RM. Size and Maturity Mismatch in Youth Soccer Players 11- to 14-Years-Old. *Pediatr Exerc Sci* 2010;22:596–612. <https://doi.org/10.1123/pes.22.4.596>.
- [20] Mendez-Villanueva A, Buchheit M, Kuitunen S, Douglas A, Peltola E, Bourdon P. Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *J Sports Sci* 2011;29:477–84. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.536248>.
- [21] Rommers N, Rössler R, Goossens L, Vaeyens R, Lenoir M, Witvrouw E, et al. Risk of acute and overuse injuries in youth elite soccer players: Body size and growth matter. *J Sci Med Sport* 2020;23:246–51. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.001>.

- [22] Rommers N, Rössler R, Shrier I, Lenoir M, Witvrouw E, D'Hondt E, et al. Motor performance is not related to injury risk in growing elite-level male youth football players. A causal inference approach to injury risk assessment. *J Sci Med Sport* 2021;S1440-2440(21)00056-6. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.03.004>.
- [23] Le Gall F, Carling C, Reilly T. Biological maturity and injury in elite youth football. *Scand J Med Sci Sports* 2006;0:061120070736002-???. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00594.x>.
- [24] Ohsawa S. Determining the optimal age to begin physical fitness training: derived from an analysis of data from the MEXT new physical fitness test. *Jpn J Hum Growth Dev Res* 2015;2015:25–35. https://doi.org/10.5332/hatsuhatsu.2015.69_25.
- [25] Beunen GP, Malina RM, Van't Hof MA, Simons J, Ostyn M, Renson R, et al. Adolescent growth and motor performance: A longitudinal study of Belgian boys. Champaign, IL, England: Human Kinetics Publishers; 1988.
- [26] Towlson C, Salter J, Ade JD, Enright K, Harper LD, Page RM, et al. Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance in youth soccer: One size does not fit all. *J Sport Health Sci* 2021;10:403–12. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.003>.
- [27] Sakata J, Nakamura E, Suzukawa M, Akaike A, Shimizu K. Physical Risk Factors for a Medial Elbow Injury in Junior Baseball Players: A Prospective Cohort Study of 353 Players. *Am J Sports Med* 2017;45:135–43. <https://doi.org/10.1177/0363546516663931>.

- [28] Sakata J, Nakamura E, Suzuki T, Suzukawa M, Akaike A, Shimizu K, et al. Efficacy of a prevention program for medial elbow injuries in youth baseball players. *Am J Sports Med* 2018;46:460–9.
- [29] Endo Y, Sakamoto M. Correlation of shoulder and elbow injuries with muscle tightness, core stability, and balance by longitudinal measurements in junior high school baseball players. *J Phys Ther Sci* 2014;26:689–93.
- [30] Olsen SJ, Fleisig GS, Dun S, Loftice J, Andrews JR. Risk Factors for Shoulder and Elbow Injuries in Adolescent Baseball Pitchers. *Am J Sports Med* 2006;34:905–12.
<https://doi.org/10.1177/0363546505284188>.
- [31] Fleisig GS, Diffendaffer AZ, Ivey B, Aune KT, Laughlin T, Fortenbaugh D, et al. Changes in youth baseball pitching biomechanics: a 7-year longitudinal study. *Am J Sports Med* 2018;46:44–51.
- [32] Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, Escamilla RF, Andrews JR. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J Biomech* 1999;32:1371–5.
- [33] Dowling B, Fleisig GS. Kinematic comparison of baseball batting off of a tee among various competition levels. *Sports Biomech* 2016;15:255–69.
- [34] Escamilla RF, Fleisig GS, DeRenne C, Taylor MK, Moorman CT, Imamura R, et al. A comparison of age level on baseball hitting kinematics. *J Appl Biomech* 2009;25:210–8.
- [35] Nakata H, Nagami T, Higuchi T, Sakamoto K, Kanosue K. Relationship

- between performance variables and baseball ability in youth baseball players. *J Strength Cond Res* 2013;27:2887–97. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f58a> [doi].
- [36] Koopmann T, Faber I, Baker J, Schorer J. Assessing Technical Skills in Talented Youth Athletes: A Systematic Review. *Sports Med* 2020;50:1593–611. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01299-4>.
- [37] Tresilian, James R. The accuracy of interceptive action in time and space. *Exerc Sport Sci Rev* 2004;32:167–73.
- [38] Mihoces, G. 10 hardest things to do in sports: Part III. *USA Today* n.d.
- [39] 田中正栄, 西野勝敏, 飯田晋, 五百川威, 相田将宏, 山本智章, 古賀良生. 成長期少年野球選手の投球動作解析—成長に伴う変化についての検討—. *スポーツ傷害* 2006;11:39–42.
- [40] Katsumata H, Himi K, Ino T, Ogawa K, Matsumoto T. Coordination of hitting movement revealed in baseball tee-batting. *J Sports Sci* 2017;35:2468–80.
- [41] Gray R. How do batters use visual, auditory, and tactile information about the success of a baseball swing? *Res Q Exerc Sport* 2009;80:491–501.
- [42] Szymanski DJ, DeRenne C, Spaniol FJ. Contributing factors for increased bat swing velocity. *J Strength Cond Res* 2009;23:1338–52.
- [43] Peplow C, McErlain-Naylor SA, Harland AR, King MA. Relationships between technique and bat speed, post-impact ball speed, and carry distance during a range hitting task in cricket. *Hum Mov Sci* 2019;63:34–44. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.004>.

- [44] Hay, JG. Baseball. In: *Biomechanics of Sports Technique* (3rd ed.). Englewood Cliffs NJ Prentice-Hall 1985:188–212.
- [45] Bailey CA, McInnis TC, Batcher JJ. Bat swing mechanical analysis with an inertial measurement unit: reliability and implications for athlete monitoring. *J Trainology* 2016;5:43–5.
- [46] David L Gallahue, Frances Cleland Donnelly. *Developmental physical education for all children*. Human Kinetics; 2007.
- [47] Halverson LE, Robertson MA, Langendorfer S. Development of the Overarm Throw: Movement and Ball Velocity Changes by Seventh Grade. *Res Q Exerc Sport* 1982;53:198–205. <https://doi.org/10.1080/02701367.1982.10609340>.
- [48] Ishida K, Murata M, Hirano Y. Baseball: Shoulder and elbow kinematics in throwing of young baseball players. *Sports Biomech* 2006;5:183–96. <https://doi.org/10.1080/14763140608522873>.
- [49] Inkster B, Murphy A, Bower R, Watsford M. Differences in the kinematics of the baseball swing between hitters of varying skill. *J Sci Med Sport* 2010;12:e12–3.
- [50] Szymanski DJ, Szymanski JM, Schade RL, Bradford TJ. Relationship Between Physiological Variables and Linear Bat Swing Velocity of High School Baseball Players: 2287Board# 67 May 30 3: 30 PM-5: 00 PM. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40:S422.
- [51] Szymanski DJ, McIntyre JS, Szymanski JM, Bradford TJ, Schade RL, Madsen NH, et al. Effect of torso rotational strength on angular hip, angular shoulder, and linear bat velocities of high school baseball

- players. *J Strength Cond Res* 2007;21:1117–25.
- [52] Miyaguchi K, Demura S. Relationship between upper-body strength and bat swing speed in high-school baseball players. *J Strength Cond Res* 2012;26:1786–91.
- [53] Bahill AT, Baldwin DG. *Mechanics of baseball pitching and batting*. Appl Biomed Eng Mech Press Francis Asia Pac Boca Raton 2008:445–88.
- [54] Hox JJ, Moerbeek M, van de Schoot R. *Multilevel Analysis: Techniques and Applications*. 3rd ed. Third Edition. | New York, NY : Routledge, 2017. |: Routledge; 2017. <https://doi.org/10.4324/9781315650982>.
- [55] Gayon J. History of the Concept of Allometry. *Am Zool* 2000;40:748–58. <https://doi.org/10.1093/icb/40.5.748>.
- [56] Teshima T, Tsunoda N. RELATIVE GROWTH AND DEVELOPMENT ON THIGH MUSCLE THICKNESSES AND BALL KICKING PERFORMANCES IN MALE JUNIOR SOCCER PLAYERS. *Jpn J Phys Fit Sports Med* 2011;60:195–205. <https://doi.org/10.7600/jspfsm.60.195>.
- [57] Asmussen E, Heebøll-Nielsen Kr. *A Dimensional Analysis of Physical Performance and Growth in Boys*. *J Appl Physiol* 1955;7:593–603. <https://doi.org/10.1152/jappl.1955.7.6.593>.
- [58] Kanehisa H, Tsunoda N, Ikegawa S, Fukunaga T, Kanehisa H. The Muscle Strength of Japanese Children in Relation to Relative Growth. *J Anthropol Soc Nippon* 1989;97:63–79. <https://doi.org/10.1537/ase1911.97.63>.

- [59] Meredith-Jones KA, Williams SM, Taylor RW. Bioelectrical impedance as a measure of change in body composition in young children: BIA and change in children's body composition. *Pediatr Obes* 2015;10:252–9. <https://doi.org/10.1111/ijpo.263>.
- [60] Lim JS, Hwang JS, Lee JA, Kim DH, Park KD, Jeong JS, et al. Cross-calibration of multi-frequency bioelectrical impedance analysis with eight-point tactile electrodes and dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in healthy children aged 6–18 years. *Pediatr Int* 2009;51:263–8.
- [61] Kumagawa D, Tsunoda N. BIOLOGICAL GROWTH AND DEVELOPMENT IN SKATING PERFORMANCE, MUSCLE STRUCTURE AND ANAEROBIC POWER OUTPUT CAPACITY IN MALE AND FEMALE JAPANESE SPEED SKATERS. *Jpn J Phys Fit Sports Med* 2008;57:119–30. <https://doi.org/10.7600/jspfsm.57.119>.
- [62] Quatman-Yates CC, Quatman CE, Meszaros AJ, Paterno MV, Hewett TE. A systematic review of sensorimotor function during adolescence: a developmental stage of increased motor awkwardness? *Br J Sports Med* 2012;46:649–55. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.079616>.
- [63] Tsutsui T, Maemichi T, Iizuka S, Torii S. Investigation on the development of batting imagery in youth baseball players. *J Phys Fit Sports Med* 2020;9:15–20. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.9.15>.
- [64] Malina RM. Skeletal age and age verification in youth sport. *Sports Med Auckl NZ* 2011;41:925–47. <https://doi.org/10.2165/11590300-000000000-00000>.

- [65] Malina RM, Cumming SP, Rogol AD, Coelho-e-Silva MJ, Figueiredo AJ, Konarski JM, et al. Bio-Banding in Youth Sports: Background, Concept, and Application. *Sports Med* 2019;49:1671–85. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01166-x>.
- [66] 村田光範. 幼児期・子ども期のからだの特徴. *体育の科学* 2011;61:171–8.
- [67] Muthen BO. Multilevel Factor Analysis of Class and Student Achievement Components. *J Educ Meas* 1991;28:338–54. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.1991.tb00363.x>.
- [68] Wik EH, Martínez-Silván D, Farooq A, Cardinale M, Johnson A, Bahr R. Skeletal maturation and growth rates are related to bone and growth plate injuries in adolescent athletics. *Scand J Med Sci Sports* 2020;30:894–903. <https://doi.org/10.1111/sms.13635>.
- [69] Arceneaux JM, Hill SK, Chamberlin CM, Dean RS. Developmental and Sex Differences in Sensory and Motor Functioning. *Int J Neurosci* 1997;89:253–63. <https://doi.org/10.3109/00207459708988478>.
- [70] Sigmundsson H, Whiting HTA, Loftesnes JM. Development of proprioceptive sensitivity. *Exp Brain Res* 2000;135:348–52. <https://doi.org/10.1007/s002210000531>.
- [71] Kirshenbaum N, Riach C, Starkes J. Non-linear development of postural control and strategy use in young children: a longitudinal study. *Exp Brain Res* 2001;140:420–31. <https://doi.org/10.1007/s002210100835>.
- [72] Saavedra S, Woollacott M, van Donkelaar P. Effects of postural support on eye hand interactions across development. *Exp Brain Res*

- 2007;180:557–67. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-0874-7>.
- [73] Mendiguchia J, Ford KR, Quatman CE, Alentorn-Geli E, Hewett TE. Sex Differences in Proximal Control of the Knee Joint: *Sports Med* 2011;41:541–57. <https://doi.org/10.2165/11589140-000000000-00000>.
- [74] Quatman CE, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Maturation Leads to Gender Differences in Landing Force and Vertical Jump Performance: A Longitudinal Study. *Am J Sports Med* 2006;34:806–13. <https://doi.org/10.1177/0363546505281916>.
- [75] Ford KR, Shapiro R, Myer GD, Van Den Bogert AJ, Hewett TE. Longitudinal Sex Differences during Landing in Knee Abduction in Young Athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:1923–31. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181dc99b1>.
- [76] Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Decrease in Neuromuscular Control About the Knee with Maturation in Female Athletes: *J Bone Jt Surg-Am Vol* 2004;86:1601–8. <https://doi.org/10.2106/00004623-200408000-00001>.
- [77] Tsutsui T, Maemichi T, Torii S. Identification of physical characteristics associated with swing velocity of batting in youth baseball players. *J Sports Med Phys Fitness* 2021. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.21.12500-9>.
- [78] Hoffman JR, Vazquez J, Pichardo N, Tenenbaum G. Anthropometric and performance comparisons in professional baseball players. *J Strength Cond Res* 2009;23:2173–8. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bcd5fe> [doi].

- [79] Kohmura Y, Aoki K, Yoshigi H, Sakuraba K, Yanagiya T. Development of a baseball-specific battery of tests and a testing protocol for college baseball players. *J Strength Cond Res* 2008;22:1051–8.
- [80] Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006;36:911–9.
- [81] Thorborg K, Petersen J, Magnusson SP, Hölmich P. Clinical assessment of hip strength using a hand-held dynamometer is reliable: Clinical assessment of hip strength. *Scand J Med Sci Sports* 2009;20:493–501. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00958.x>.
- [82] Must A, Anderson SE. Body mass index in children and adolescents: considerations for population-based applications. *Int J Obes* 2006;30:590–4.
- [83] Ramírez-Campillo R, Vergara-Pedrerros M, Henríquez-Olguín C, Martínez-Salazar C, Alvarez C, Nakamura FY, et al. Effects of plyometric training on maximal-intensity exercise and endurance in male and female soccer players. *J Sports Sci* 2016;34:687–93.
- [84] Debanne T, Laffaye G. Predicting the throwing velocity of the ball in handball with anthropometric variables and isotonic tests. *J Sports Sci* 2011;29:705–13.
- [85] Aguinaldo AL, Chambers H. Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2009;37:2043–8.
- [86] Kageyama M, Sugiyama T, Kanehisa H, Maeda A. Difference between

- adolescent and collegiate baseball pitchers in the kinematics and kinetics of the lower limbs and trunk during pitching motion. *J Sports Sci Med* 2015;14:246–55.
- [87] Messier SP, Owen MG. Mechanics of batting: Effect of stride technique on ground reaction forces and bat velocities. *Res Q Exerc Sport* 1986;57:329–33.
- [88] Lee DN, Aronson E. Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Percept Psychophys* 1974;15:529–32.
- [89] Woollacott MH, Shumway-Cook A. Changes in posture control across the life span—a systems approach. *Phys Ther* 1990;70:799–807.
- [90] Basile R, Otto RM, Wygand JW. The Relationship Between Physical and Physiological Performance Measures and Baseball Performance Measures: 1448Board# 211 May 30 9: 30 AM-11: 00 AM. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:S214.
- [91] Reed JG, Szymanski DJ, Albert JM, Hawthorne LZ, Hemperley DL, Hsu HS, et al. Relationship between physiological performance variables and baseball/softball specific variables of novice college students. *J Strength Cond Res* 2008;22:111–2.
- [92] DeRenne C. The scientific approach to hitting: Research explores the most difficult skill in sport. *University Readers*; 2007.
- [93] Race DE. A cinematographic and mechanical analysis of the external movements involved in hitting a baseball effectively. *Res Quarterly American Assoc Health Phys Educ Recreat* 1961;32:394–404.
- [94] Assaiante C, Amblard B. Ontogenesis of head stabilization in space

- during locomotion in children: influence of visual cues. *Exp Brain Res* 1993;93. <https://doi.org/10.1007/BF00229365>.
- [95] Fleisig GS, Hsu WK, Fortenbaugh D, Cordover A, Press JM. Trunk axial rotation in baseball pitching and batting. *Sports Biomech* 2013;12:324–33.
- [96] Washington J, Gilmer G, Barfield J, Gascon S, Saper M, Dugas J, et al. Differences in Segmental Speeds as a Function of Maturation in Youth Baseball Pitchers. *Int J Sports Med* 2018;39:462–7. <https://doi.org/10.1055/s-0044-102134>.
- [97] Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge; 2013.
- [98] Hirose N. Relationships among birth-month distribution, skeletal age and anthropometric characteristics in adolescent elite soccer players. *J Sports Sci* 2009;27:1159–66. <https://doi.org/10.1080/02640410903225145>.
- [99] Matsuo T. Timing strategy of baseball batting. *J Hum Mov Stud* 1994;27:253–69.
- [100] Scarlett WG, Chertok G, Lipton JL. *The baseball starter: A handbook for coaching children and teens*. McFarland; 2010.
- [101] Chu SK, Jayabalan P, Kibler WB, Press J. The Kinetic Chain Revisited: New Concepts on Throwing Mechanics and Injury. *PM R* 2016;8:S69–77. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.11.015>.
- [102] Howenstein J, Kipp K, Sabick M. Peak horizontal ground reaction forces and impulse correlate with segmental energy flow in youth

- baseball pitchers. *J Biomech* 2020;108:109909.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.109909>.
- [103] 鳥居俊, 岩沼聡一郎, 飯塚哲司. 日本人健康男子中学生における身長, 除脂肪量, 骨量の最大増加時期. *発育発達研究* 2016;70:11–6.
- [104] Ae K, Koike S, Fujii N, Ae M, Kawamura T, Kanahori T. A comparison of kinetics in the lower limbs between baseball tee and pitched ball batting. *Hum Mov Sci* 2018;61:126–34.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.07.010>.
- [105] Iino Y, Fukushima A, Kojima T. Pelvic Rotation Torque During Fast-Pitch Softball Hitting Under Three Ball Height Conditions. *J Appl Biomech* 2014;30:563–73. <https://doi.org/10.1123/jab.2013-0304>.
- [106] Shaffer B, Jobe FW, Pink M, Perry J. Baseball batting. An electromyographic study. *Clin Orthop* 1993;292:285–93.
- [107] Takagi T, Fujii N, Koike S, Ae M. The kinetic characteristics of lower limbs and torso to the different speed balls in baseball batting. *J Soc Biomech* 2010;34:216–24. <https://doi.org/10.3951/sobim.34.216>.
- [108] Horiuchi G, Nakashima H, Sakurai S. Mechanical energy flow in the lower extremities and torso during baseball batting. *Taiikugaku Kenkyu Jpn J Phys Educ Health Sport Sci* 2017;62:575–86.
<https://doi.org/10.5432/jjpehss.16095>.
- [109] Higuchi T, Nagami T, Nakata H, Watanabe M, Isaka T, Kanosue K. Contribution of visual information about ball trajectory to baseball hitting accuracy. *PloS One* 2016;11:e0148498.

謝辞

本博士論文を作成するにあたり，研究指導を行って頂いた早稲田大学スポーツ科学学術院の鳥居俊教授には心より感謝申し上げます．修士課程から約5年間，研究の面白みや大切さ，データを発信し続けることの重要性を教えて頂きました．私自身が一期生であったことから，研究デザインの決定，方法論の確立，データ分析から論文添削まで細かに指導頂き，多くのことを学ぶことが出来ました．また，副査をご快諾して頂いた金岡恒治教授，広瀬統一教授，細川由梨准教授にはご多忙の中，親身にご指導，ご鞭撻賜りましたことを心より感謝申し上げます．

本研究は測定に参加して頂いた東京都リトルリーグの各リーグに所属する選手，保護者，監督，コーチ，ならびに各リーグとの連携を図ってくださった東練馬リーグの草柳和典様のご尽力があってこそ実現することが出来ました．改めて感謝申し上げます．また，このメディカル・フィジカルチェックを最初に立ち上げ，私の「打撃の測定してみたい」の申し出に快く了承して下さったトヨタ記念病院の坂田淳先生には，測定方法やデータ分析の助言など様々な面でもご協力頂きました．ありがとうございました．

なお，本研究の測定の検者として携わってくださった研究室の同期，後輩には相当な負担をかけたと思います．多くの選手のデータを収集する上で協力してもらった時間を無駄にしないよう，得られたデータをきちんと発表できるよう今後も頑張ってお参ります．特に修士課程から研究面で切磋琢磨してきた前道俊宏君は，自分自身の研究に対するモチベーションを高く保つ上でも欠かせない存在でした．今後も共に協力して頑張っていきたいと思います．修士1年から博士1年の3年にわたりご指導頂い

た飯塚哲司先生には，研究について無知だった私に研究のノウハウから学会発表，論文投稿の作法，発表資料の作成方法や Word や Excel の使い方等何から何まで教えて頂きました．飯塚先生の教えが礎となって本論文の完成に至ることができました．学部 3 年次に研究を行うきっかけを作ってください，常に僕が進むべき方向へと導いてくださった中村千秋先生には学部・修士課程と大変お世話になりました．中村千秋先生との出会いが学部時代になれば，大学院で学ぶという選択すらなかったと思っております．主に中村千秋ゼミで大学院入学への後押しや研究へのダメ出しをし続けて下さった大伴茉奈先生にも感謝申し上げます．また，2020 年から測定をともにコーディネートして下さり，多くの検者集めにもご尽力下さった順天堂大学の中村絵美先生にもこの場をお借りして感謝致します．

最後に，9 年に渡る早稲田大学スポーツ科学部および研究科での学生生活をサポートして下さった両親にも大変感謝しております．誠にありがとうございました．

2022 年 1 月 筒井俊春