

陸上跳躍種目におけるオーバーレイを用いた 新たな助走スピード計測法とフィードバック指標の提案

清水 悠¹, 小山 宏之², 荊山 靖³

¹島根大学 人間科学部, ²京都教育大学 教育学部, ³山梨学院大学 スポーツ科学部

1. 緒言

陸上競技の跳躍種目, 特に走幅跳, 三段跳および棒高跳では, 様々な競技レベルで助走最高スピードと跳躍記録との間に高い相関関係があることが報告されている (Hay et al., 1986 ; Hay and Nohara, 1990 ; 深代ほか, 1994 ; 清水, 2017 ; 柴田ほか, 2019) . そのため, 日本陸上競技連盟科学委員会では, 実際の競技会において跳躍種目の助走スピードを計測し, 助走最高スピードやその出現地点をコーチや選手にフィードバックしている (小山ほか, 2006, 2007, 2014, 2018) . 現在, 競技会における跳躍種目の助走スピード計測では, 跳躍ピットの助走路延長線上に設置した「レーザー式スピード計測装置 (Laveg)」を用いることが主流となっている. この装置は, 対象者の腰部をめがけて赤外線レーザーを照射することで, 対象者までの直線距離を瞬時に計測し, 時間-距離関係や時間-スピード関係などのグラフを即座に提示することができる (図 1) . その計測誤差は, 静止した対象物までの計測距離 70m あたり 2cm 以下であることが報告されている (Harrison et al., 2005 ; 高橋と磨井, 2016) . 小山ほか (2011) は, この計測装置を用いて国内主要競技会の走幅跳に出場した男子選手 429 名 (6.79~8.57m) , 女子選手 536 名 (5.30~7.03m) を対象に, ①助走最高スピードと跳躍距離, ②助走最高スピードと出現地点, ③スピード低下率と跳躍距離との関係を明らかにし, 競技レベルに応じた助走最高スピードの目標値を提示している. このように, 多くの対象者や対象試技を瞬時に収集できる点や計測後すぐにコーチや選手にフィードバックできる点がレーザー式スピード計測装置を用いる利点であると言える.

一方, レーザー式スピード計測装置を用いた助走スピードの収集には, 高速で走る対象者に赤外線レーザーを腰部に照射し続けるという熟練した計測スキルを習得する必要がある. また, 赤外線レーザーは直線方向しか照射することができないため, 装置の設置場所は助走路延長線上に限られ, 競技会によっては測定環境に適した場所に設置できないことがある. さらに, この装置はドップラー効果を用いたレーザー光が反射する時間をもとに距離を算出しているため, 天候や対象物 (ユニフォーム) の色がレーザー光の反射に影響を与えることが指摘されている (高橋ほか, 2010) . 以上より, 計測者, 装置の設置場所および天候等の影響でデータが欠損する場合がある (高橋と磨井, 2016) . データが欠損した場合には, 一般的にスプライン法などを用いて補間作業を実施する必要があるが, 著しいデータ欠損の場合には正確なデータを入手することが困難な場合がある (図 1) .

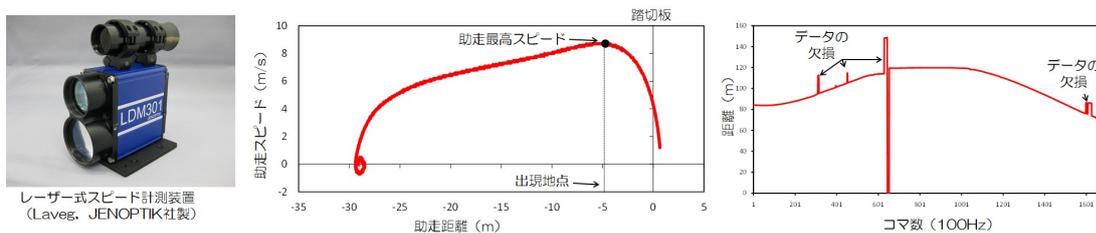


図 1 レーザー式スピード計測法によるスピード分析結果と問題点の例

このように、データが欠損して正確な分析結果が得られない場合や専門性の低い分析者がトレーニング現場でデータ算出を行う場合などを考慮して、簡便に助走最高スピードが入手可能な計測法を確立しておく必要がある。そして、この問題を解決する手がかりの1つが「オーバーレイ」を用いた分析手法にある。

近年、曲線路を含む400mの分析では、ソフトウェア上で映像を重ねるオーバーレイを利用した区間タイムの計測法が提案されている(持田ほか, 2007)。この計測法では、400mハードルの10台のハードル映像をキャリブレーション映像として事前に撮影した後、400m走者の競技中の映像と重ねることで、400m走者の各ハードルの通過時のコマ数をもとにハードル間の区間タイムを読み取ることができ、精度の高いデータが得られている(山元ほか, 2014)。また、固定映像のみならず、パニング映像でもオーバーレイが可能なソフトウェアが開発されており、競技会撮影において、カメラの設置場所や画角に制限を受けにくい点もオーバーレイ手法を用いる利点と言える。このように、あらかじめ位置情報を含んだキャリブレーション映像を用意すれば、オーバーレイを用いて競技中の試技映像から助走区間タイムを入手することができる。棒高跳では、Box(0m)地点から2.5mから5.0mまでの間は0.5mずつ、5.0mから18.0mまでの間は1.0mずつ助走路脇にディスタンスマーカー(白テープ)を貼ることが推奨されている(図2)。そのため、助走路脇にディスタンスマーカーが貼られている主要競技会の試技映像からは、Box前の位置情報を読み取ることが可能である。



図2 主要競技会における棒高跳助走路に貼付されたディスタンスマーカーの例

小山ほか(2014, 2018)は、世界ジュニア選手権とインターハイで入賞したジュニア男子棒高跳選手の68試技(公認記録:4.90~5.55m)を対象に、レーザー式スピード計測装置を用いて、助走最高スピードとその出現地点の関係を検討した結果、助走最高スピードの出現地点はBox前5.7~10.9mに出現したことを報告している。そのため、棒高跳ではBox前に貼付されたディスタンスマーカーの範囲内に助走最高スピードが出現すると考えられ、その範囲内の位置情報映像と試技映像から算出した区間タイムを利用することで、レーザー式スピード計測装置で計測したデータと同様に評価できる助走最高スピードを推定することができると考えられる。以上より、本研究が新たに提案する助走中の区間タイムから助走最高スピードを推定する手法の誤差や妥当性を検証しておくことで、将来的にトレーニング現場で有用なフィードバック指標(区間タイムから助走スピードを推定する換算表)を作成することができるようになる。そこで、本研究では、分析方法の違いによるデータ誤差および妥当性を検証した結果を踏まえて、棒高跳においてオーバーレイを利用した新たな助走最高スピードの推定法を提案することを目的とした。

2. 方法

2-1. 分析対象者

分析対象者は、大学陸上競技部（短距離・跳躍）に所属する大学生競技者 14 名（男子 10 名，女子 4 名）であった。棒高跳の助走路において、棒高跳の助走を想定したスタンディングスタートからの 40m 走（ポール非保持走からの片脚跳躍試技）を分析試技とした。対象者には、あらかじめ研究目的、試技内容および安全性などについて説明し、研究協力に対する同意を得た。

分析対象者には、1 名あたり 10 試技を実施させた。各試技において、主観的努力度が 6~9 割の範囲でランダムになるように指示を出した。分析対象者の疲労による離脱、レーザーの照射追従ミスや光電管の計測エラーなどの影響により、最終的な分析有効試技は 113 試技であった。

2-2. データ収集および処理

本研究では、第 3 章にて後述するように Box 前 5m 地点と 18m 地点に着目し、以下の 3 つの異なる分析手法によって 13m 区間タイムを算出した（図 3）。また、得られた 13m 区間タイムのそれぞれ差分を二乗平均平方根することにより、各手法間の RMS 誤差として評価した。



図 3 実験風景および設定図

1) レーザー式スピード計測装置を用いた計測法

対象者の後方 10m にレーザー式スピード計測装置（JENOPTIK 社製）を設置し、助走スタートから棒高跳マットまでの対象者の移動距離をサンプリング周波数 100Hz で計測した。その際、スタート姿勢時に対象者の腰部に照射されるようにレーザー光を固定したが、走行中に左右に蛇行した対象者に関しては腰部から外れないように軽微なパニング操作を行った。計測した距離データから Box 前 5m と 18m に最も近づいた時点を抽出し、その差分から Box 前 13m の区間タイムを算出した。また、得られた距離データを時間微分することにより助走スピードを算出した後、Butterworth low-pass digital filter を用いて 0.5Hz で平滑化を行った（小山ほか，2011）。なお、本研究では、レーザー式スピード計測装置をスタンドではなく地上に設置したため、高さ補正については実施していない。

2) 光電管を用いた計測法

光電管 (FASTRun-R, 合同会社ワイワイファクトリー社製) を Box 前 5m と 18m に設置して、その差分から Box 前 13m の区間タイムを計測した。

3) オーバーレイを用いた計測法

ホームスタンドからビデオカメラ (HC-VZX2M, Panasonic 社製) を用いてバックストレートで実施されている分析対象者の試技を 60fps でパンニング撮影した。あらかじめ Box 前 5m と 18m に位置情報の目印となるハードルを設置し、キャリブレーション映像として撮影した。撮影されたキャリブレーション映像と試技映像を PC に取り込み、動画編集ソフト (Dartfish 10 Pro S, Dartfish 社製) のサイマルカム (オーバーレイ) 機能を用いて、合成映像を作成した (図 4)。その後、動画再生ソフト (QuickTime Player, Apple 社製) を用いて、Box 前 18m から 5m までの Box 前 13m の区間タイムを 60fps で腰部が目印となるハードルを通過したコマを読み取った。

2-3. 統計処理

各変数間の相関関係を明らかにするために、Excel 2019 (Microsoft 社製) を用いて Pearson の積率相関係数 (r) を算出し、有意水準 5%未満で判定した。また、直線回帰ではなく、2 次曲線回帰への近似が望ましいと判断された場合には 2 次回帰式を導出した上でその決定係数 (R^2) を算出した。

①映像の読み込み



②オーバーレイ



③空間の一致



④合成映像の出力



図 4 オーバーレイ (Dartfish 10 Pro S, Dartfish 社製) を用いた計測法の流れ

3. 結果および考察

本研究では、Box 前 18m から 5m までの 13m 区間に着目し、助走最高スピードの推定を試みた。その区間に着目した理由として、①主要競技会での撮影を想定した際に位置情報となるディスタンスマーカーの内、Box 前の 18m 地点と 5m 地点が他の地点と比較して見分けやすい点、②棒高跳の助走最高スピードの出現地点は Box 前 5.7~10.9 m に出現するとの報告（小山ほか，2014，2018）がある点が挙げられる。つまり、Box 前 18m から 5m までの 13m 区間であれば、主要競技会における映像分析を実施する際にヒューマンエラーが混在するリスクが軽減できるとともに、多くの棒高跳選手の助走スピード分析に適応可能であると判断した。

3-1. 異なる手法で算出された区間タイムの比較

全 113 試技の Box 前 18m から 5m までの 13m 区間タイムについて、レーザー式スピード計測装置と光電管を用いた計測法の比較では RMS 誤差 0.023 ± 0.014 s（最大：0.070s），光電管とオーバーレイを用いた計測法の比較では RMS 誤差 0.019 ± 0.012 s（最大：0.050s），オーバーレイとレーザー式スピード計測装置を用いた計測法の比較では RMS 誤差 0.010 ± 0.009 s（最大：0.047s）であった。以上より、本研究で映像分析に用いた 60fps（0.017s）では、最大でも 4 コマ程度の誤差しかみられなかった。これは、6.00~10.00m/s の助走スピードで移動する場合、使用する計測法の違いによって最大で 0.41~0.68m の距離の誤差が生じる可能性を示している。しかしながら、これ以上の計測間の誤差軽減は、手法の限界であると考えられる。

図 5 は、Box 前 18m から 5m までの 13m 区間タイムについて、レーザー式スピード計測装置、光電管およびオーバーレイを用いた計測法による分析結果の比較を示したものである。その結果、レーザー式スピード計測装置と光電管を用いた計測法の比較（ $r = 0.996, p < 0.001$ ），光電管とオーバーレイを用いた計測法の比較（ $r = 0.997, p < 0.001$ ），オーバーレイとレーザー式スピード計測装置を用いた計測法の比較（ $r = 0.998, p < 0.001$ ）でそれぞれ非常に高い正の相関関係が認められた。

以上より、レーザー式スピード計測装置、光電管およびオーバーレイの異なる 3 つの分析手法によって算出された 13m 区間タイムの一致度は非常に高いことが明らかとなった。

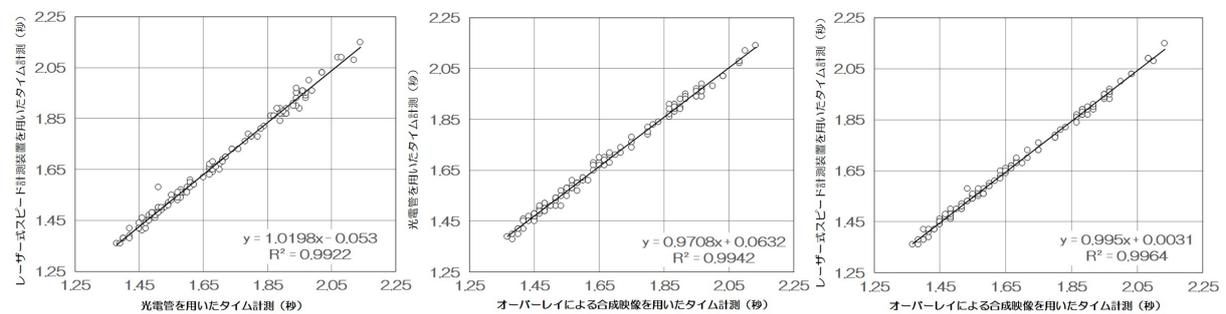


図 5 レーザー式スピード計測装置、光電管およびオーバーレイを用いた計測法による Box 前 13m 区間のタイム分析結果の比較

3-2. 助走最高スピードとの関係

図 6 は、異なる 3 つの手法で算出された Box 前 18m から 5m までの 13m 区間タイムとレーザー式スピード計測法で算出した助走最高スピードの関係を示したものである。2 次近似曲線に当て

はめた結果、助走最高スピードとレーザー式スピード計測、光電管およびオーバーレイによるタイム計測のそれぞれで非常に高い決定係数が認められた ($R^2 = 0.989$, $R^2 = 0.988$, $R^2 = 0.987$)。

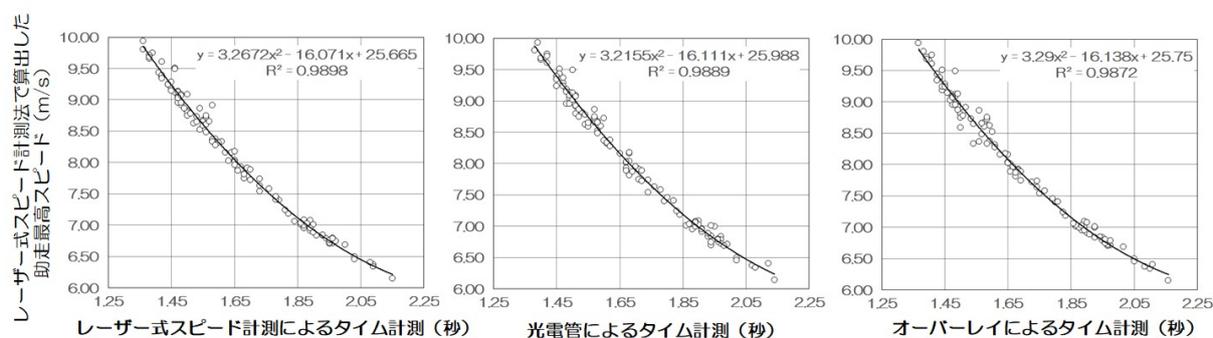


図6 レーザー式スピード計測法で算出した Box 前 13m 区間タイムと助走最高スピードの関係

3-3. 助走最高スピードの推定法の提案

日本陸上競技連盟の報告（データブック，2020）によれば，男女棒高跳の 167 試技（男子：4.60～5.20m，女子：3.30～4.16m）を対象に分析した助走最高スピードは，6.00～10.00m/s の範囲内であった．本研究が対象とした試技の助走最高スピードも同様の範囲内であることから，多くの棒高跳選手の助走スピード分析に適応可能であると考えられる．本研究が示したように Box 前 18m から 5m までの 13m 区間タイムを入手し，図 6 の非常に高い決定係数が認められた 2 次回帰式に代入することで，レーザー式スピード計測装置で計測したデータと同様に評価できる助走最高スピードを高い精度で推定できることが明らかとなった．本研究では，異なる手法でのデータ算出による誤差や妥当性の検証が目的であったため，ポール非保持走からの片脚跳躍試技を対象として取り組んでおり，この回帰式をそのまま棒高跳選手の助走最高スピードの推定へ適応することは難しい．そのため，今後は実際の競技会撮影に応用し，棒高跳選手の成功試技から助走最高スピードを推定する推定式や換算表を作成していく必要がある．

また，本研究では，競技会撮影を想定してカメラの設置場所や画角に制限を受けにくいオーバーレイ手法を用いた VTR 分析を提案した．この手法を競技会撮影に応用することの副次的な利点として，助走最高スピードだけでなく，足跡分析なども並行して分析できる点が挙げられる．将来的には，図 2 に示すように棒高跳の助走路脇に貼付されているディスタンスマーカーと棒高跳選手を同時に撮影することができる環境が整えば，オーバーレイ手法を用いることなく，Box 前の区間タイムならびに助走最高スピードを入手することができるという発展性を持つ．加えて，光電管のタイム計測との測定誤差も小さいことが確認されたため，例えばトレーニング現場で Box 前の区間タイムを光電管で計測することで，助走最高スピードを誰もが簡便に推定することが可能になると考えられる．

4. まとめ

本研究の目的は，分析方法の違いによるデータ誤差および妥当性を検証した結果を踏まえて，棒高跳においてオーバーレイを利用した新たな助走最高スピードの推定法を提案することであっ

た。本研究では、レーザー式スピード計測装置、光電管およびオーバーレイを用いた映像分析から、Box 前 18m から 5m までの 13m 区間タイムをそれぞれ算出して比較した結果、各変数間で非常に高い正の相関関係が認められ、分析手法の違いによる測定誤差は小さいことが明らかとなった。また、各分析手法から得られた 13m 区間タイムとレーザー式スピード計測装置から得られた助走最高スピードとの間の 2 次回帰式には、非常に高い決定係数が認められたため、Box 前の区間タイムを入手することで高い精度で助走最高スピードを推定できることが明らかとなった。

5. 今後の展望

2020 年度は、新型コロナウイルスの影響により多くの主要競技会が中止となったため、本研究で示したオーバーレイを用いた助走スピード分析の実践利用については進行中の取り組みである。

その中で唯一、2020 年 10 月 23 日～25 日に広島県で開催された全国高等学校陸上競技大会 2020 兼 U20 全国陸上競技大会にて本分析手法を実践利用することができた。男女棒高跳に出場した 82 名（男子 39 名、女子 43 名）の全 167 試技（男子 4.60～5.20m、女子 3.30～4.16m）を対象として、レーザー式スピード計測とオーバーレイを用いた映像分析を行い、Box 前 18m から 5m までの 13m 区間タイムをそれぞれ算出して比較した。

異なる 2 つの分析手法における 13m 区間タイムを比較した結果、男子の rms 誤差 0.02s（最大 0.07s）、女子の rms 誤差 0.06s（最大 0.13s）であった。また、図 7 から読み取れるように、決定係数は男子 0.92、女子 0.93 と非常に高い値が得られた。

以上より、本研究の取り組みは、主要競技会などで実践利用することが十分可能であることが確認されている。しかし、多くの競技会でデータを収集することができず、失敗試技も含めての分析や記録の幅が限られた中での検討となっている。したがって、今後はより多くの主要競技会でデータを収集して分析を行い、トレーニング現場で活用できる Box 前の区間タイムの値とそのタイムから助走最高スピードを推定できる換算表を提示したい。併せて、跳躍高に対する助走最高スピードの目安値や個々の選手に応じた目標値の提案なども実施していきたいと考える。

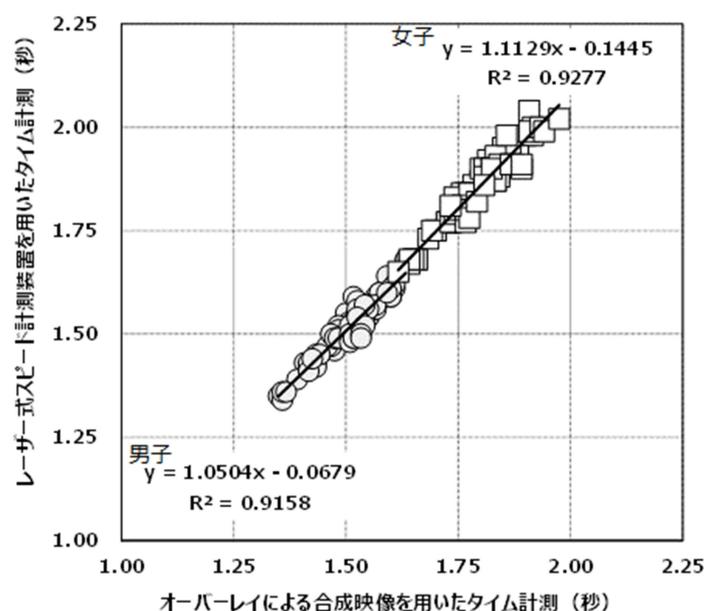


図 7 競技会におけるレーザー式スピード計測装置とオーバーレイを用いた計測法による Box 前 13m 区間のタイム分析結果の比較

謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人ミズノスポーツ振興財団の皆様にご多大なご支援を頂きましたことを、心より感謝申し上げます。

○参考文献

- 深代千之, 若山章信, 小嶋俊久, 伊藤信之, 新井健之, 飯干明, 淵本隆文, 湯海鵬 (1994) 走幅跳のバイオメカニクス. 世界一流競技者の技術, ベースボールマガジン社, 135-151.
- Hay J. G., Miller, J. A. and Canterna, R. W. (1986). The techniques of elite male long jumpers. *J. Biomech.*, 19: 855-866.
- Hay, J. G. and Nohara, H. (1990). Techniques used by elite long jumps in preparation for take-off. *J. Biomech.*, 23: 229-239.
- Harrison, A. J., Jensen, R. L. and Donoghue, O. (2005) A comparison of laser and video techniques for determining displacement and velocity during running. *Meas. Phys. Educ. Exe. Sci.*, 9 (4), 219-231.
- 小山宏之, 村木有也, 武田理, 阿江通良, 伊藤信之 (2006) 競技会における一流男女走幅跳, 三段跳および棒高跳選手の助走速度分析. 陸上競技研究紀要, 2, 129-143.
- 小山宏之, 村木有也, 武田理, 大島雄治, 阿江通良 (2007) 競技会における一流男女棒高跳, 走幅跳および三段跳選手の助走速度分析. 陸上競技研究紀要, 3, 104-122.
- 小山宏之, 阿江通良, 藤井範久, 宮下憲 (2011) 競技レベル別に見た走幅跳の助走スピードの定量化—トレーニングで簡便に利用できる指標の提案—. 筑波大学体育科学系紀要, 34, 169-173.
- 小山宏之, 広川龍太郎, 清水悠, 榎本靖士 (2014) 助走スピードから見た世界ジュニア男子棒高跳選手と日本ジュニア選手の比較. 陸上競技研究紀要, 10, 109-112.
- 小山宏之, 柴田篤志, 山中亮, 高橋恭平, 松林武生, 渡辺圭祐 (2018) 男子棒高跳における U20 世代の助走スピードと記録の関係—U20 世界選手権と国内大会出場者の比較—. 陸上競技研究紀要, 14, 197-200.
- 持田尚, 松尾彰文, 柳谷登志雄, 矢野隆照, 杉田正明, 阿江通良 (2007) Overlay 表示技術を用いた陸上競技 400m 走レースの時間分析. 陸上競技研究紀要, 3, 9-15.
- 日本陸上競技連盟 (2020) アスリートのパフォーマンス及び技術に関する調査研究 (<https://www.jaaf.or.jp/about/resist/t-f/>: in press).
- 柴田篤志, 清水悠, 小山宏之 (2019) 女子三段跳における助走スピードと各歩の跳躍距離および跳躍比とパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 64 (2), 573-585.
- 清水悠 (2017) 小学生における走幅跳の助走局面に関する分析. 山陰体育学研究, 32, 1-5.
- 高橋啓悟, 磨井祥夫 (2016) レーザー速度測定器を用いたスプリント走におけるストライド長とピッチの推定. 広島体育学研究, 42, 11-18.
- 高橋流星, 小川幸三, 船渡和男 (2010) レーザードップラー方式距離計測装置によって得られた歩行運動の移動距離と速度の正確性及び妥当性. 日本体育大学紀要, 40 (1), 35-42.
- 山元康平, 宮代賢治, 内藤景, 木越清信, 谷川聡, 大山卞圭吾, 宮下憲, 尾縣貢 (2014) 陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンとパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 59, 159-173.