

特集 ハイパフォーマンススポーツを対象とした医・科学支援
——ハイパフォーマンス・サポート事業の活動を例に

フィールドにおける2次元動作分析法による前額面・矢状面内動作の簡易的分析と
クイックフィードバック

Simplified two-dimensional motion analysis on the frontal and sagittal planes for
quick feed-back in the field

三浦康二¹⁾, 蔭山雅洋¹⁾, 黒阪翔¹⁾, 津野天兵¹⁾, 渡辺圭佑¹⁾

Koji Miura¹⁾, Masahiro Kageyama¹⁾, Sho Kurosaka¹⁾, Tenpei Tsuno¹⁾, Keisuke Watanabe¹⁾

キーワード：陸上競技・競歩，水泳・飛込競技，2次元動作分析，キャリアブレーション

I. スポーツバイオメカニクス手法の
競技現場での活用と課題

バイオメカニクスは、その領域名称に「メカニクス」「力学」を含むことからわかるように自然科学的な色の強い領域である。そして、その自然科学的な本質によって、スポーツコーチングの中で、「どのようなものか」というパフォーマンスの構造分析、「どうなっているか」というトレーニングおよび競技会での現状の評価、そして「どうなればよいか」の目標設定といったところなどで大きな役割を果たしているといえる¹¹⁾。

バイオメカニクスの手法をスポーツトレーニング、コーチングに活用した事例は、動作・技術の分析を伴った出力の評価および目標値の提示といった形で多く報告されている^{11),9),16),17)}。その多くは、個人競技もしくは、団体競技であっても個々のプレイヤーの動作に焦点を当てて、それぞれの動作・技術の評価したものであるが、集団の中での個別のプレイヤーの組み合わせ・チーム同士のマッチングや、対戦型競技におけるプレイヤー同

士のマッチングを評価するゲーム分析といった形でも物理量による身体活動の評価というバイオメカニクスの手法が活用されている^{15),19)}。

このようなバイオメカニクスの手法を用いたハイパフォーマンススポーツ支援はパフォーマンス向上に向けて有用ではあるものの、方法上の限界がないわけではない。

その限界の一つは、データ収集から分析、データ提示までに、それぞれの手法に応じて一定の時間がかかるため、トレーニング現場において技術評価・修正のサイクルを短時間で回したい場合に、熟練したコーチの目視や、撮影したビデオ動画のコーチ目視による観察・評価の方がコーチング・トレーニングの目的にかなうといった場合がある。

もう一つは、分析データに基づいて技術などを評価するに際し、評価基準となるデータの蓄積が十分でないと評価が難しく、また、目標値の設定が難しいといった場合である。この場合にも、経験豊富な熟練コーチの目視による観察・評価の方

¹⁾国立スポーツ科学センター

¹⁾Japan Institute of Sports Sciences

E-mail : koji.miura@jpnpsport.go.jp

が目的にかなうといったことがある。

しかし、生体に作用する地面反力などの外力や身体内部で作用している筋張力や骨への応力の大きさ・方向のようなものは肉眼による目視観察のみでは捉えようがないものの、身体運動を形づくるものであるためトレーニング・コーチングに際して外すことのできない重要な要素である。さらに、観察者がどれだけ熟練していても目視観察による結果は「経験による類推」の範疇を超えるものではない。また、ストップウォッチやメジャー（巻尺）などの用具によって計測されるのは「時間」、「長さ」という物理量であるため、スポーツにおける物理量の把握はハイパフォーマンススポーツに限らず日常的に行われているものといえる。その一方、どのような熟練したコーチでもコーチング、トレーニングの現場においてストップウォッチやメジャーのような用具を一度も使うことなく自らの眼力のみでそれらを把握してきたということはないだろう。

以上のことから、上述の二つの限界を超えるような方法を考えてハイパフォーマンススポーツのコーチング、トレーニングの場でのバイオメカニクス手法の活用を検討していくことはストップウォッチやメジャーの活用の延長線上にあるものといえる。

筆者らはハイパフォーマンス・サポート事業においてバイオメカニクス手法を用いてサポートを行っているが、本稿では上記2つの手法上の限界が存在した2競技・種目に対して行った事例を紹介する。

Ⅱ. 競技現場における実践事例

競技現場でのバイオメカニクス手法の活用ニーズは様々であるが、バイオメカニクスと一口に言っても同じように様々な形態がある。しかし、元来人体は複雑な構造、形態をもつため、そこから物理量を計測によって抽出しやすくするために人体を様々な形のモデルに置き換え、その運動を計測、評価していくことはどのような形態にも共通している。

一般に複雑なモデルほど詳細な情報は得られるものの分析と評価に時間がかかるものであるため、短い時間での分析とデータ評価・検討が必要な場面では単純なモデルでの分析が適しているといえる²⁰⁾。さらに、同じく単純なモデルほど類似した競技・運動の分析事例をデータ評価に応用しやすいほか、一般化されている原理・原則を応用しやすいといえる。

ここでは陸上競技・競歩と水泳・飛込競技で行った事例を紹介するが、競歩に関してはパフォーマンス構造の把握に必要な分析データはすでに先行研究として存在していたものの^{14),18)}、技術性の高い種目として合宿での日々のトレーニング後や競技会後の短時間でのフィードバックが有効な状況であったことから、短時間での分析・フィードバックが可能となる方法を検討した。

一方、飛込競技については、スポーツバイオメカニクスの初学者に向けた多くの教科書で落下運動と角運動量保存則の典型として取り上げられる運動であるものの²⁾、競技としての先行研究のデータ蓄積はほとんどないという状況であったことから、物理学の原理・原則を用いた分析・フィードバックを試みた。教科書に記載される項目の典型となっているということは、それだけパフォーマンスの構造の主となるものが広く共通認識を持たれているということであり、的を絞りやすく、また、原理・原則をベースとして評価できる可能性が高いということが推察されたことから、実際にそのための方法を検討した。

1. 陸上競技・競歩種目における事例

本事業における陸上競技・競歩のサポート活動では、競技団体側のカウンターパートである日本陸上競技連盟（以下「日本陸連」という。）科学委員会にて2000年代から行ってきた3次元動作分析の実績があったことから^{5),6),7)}、日本陸連の協力のもとでそれらを踏襲する形で3次元動作分析を行った^{12),13)}。しかし、3次元動作分析法では2台以上のカメラで撮影した画像からマニュアルデジタイズによって画面上のデータを取得、DLT

法 (Direct Linear Transformation) によって座標再構築することになるため⁸⁾、データ分析の作業工程が多いほか、競技会での較正作業も多くの工程を要する。そのほかにも、較正のためにコース上に立ち入った作業が必要になり、大会主催者などに対してその申請・承認のプロセスを必要とする。以上の点などから本稿冒頭に挙げたような短いサイクルでのデータ分析、評価、目標修正にはあまり適さず、1年あるいは短くても数か月程度のマクロサイクルでの評価に適した方法であるといえる。

しかし、競歩の動作は基本的に循環運動であり、1サイクル (左右2ステップ) が0.6秒強程度であることから動作そのもののデータ取得は短時間で可能である。全身25点モデルについて毎秒60フレームでデジタル化したとすると、1サイクル $0.6 \text{秒} \times 60 \text{フレーム} = 36 \text{フレーム}$ となることから、計算のしやすさのために50フレームで考えるとして、 $50 \text{フレーム} \times 25 \text{点} = 1,250$ 回のマウスクリックで1試技分のデータ取得が可能であるといえ、身体標点1箇所1フレームのマウスクリックデジタル化に1秒程度しか要しない熟練した作業であれば20分もあれば完結する作業である。

そのため、取得した分析対象者の動作1サイクル分の画面上の座標データから、実長換算、平滑化、動作評価に用いる各物理量 (変位およびステップ長、ステップ頻度、速度、加速度、角度、角速度、角加速度、推定地面反力、トルク、トルクパワー、関節力、関節力パワー、全身仕事など) の算出、時系列データの試技間比較のための時間規格化のための計算プログラムなどがすでに完成していれば、実質1-2時間程度の作業時間で撮影からフィードバックのためのデータ整理が可能になるといえる。

さらに、競歩の国際競技会は直線道路を往復する周回コースで行うことが世界陸連 (World Athletics) より推奨されており、コースフェンスの幅や、道路マークの長さ、コース幅などのデータを競技会前後などで把握できていれば、遠近補正を行うことによって、簡易的な方法で較正が可能と

なる⁹⁾。また、トレーニングにおいても道路上に粘着テープを貼付するような方法でマーカーを設置することで、競技者のトレーニングを妨害することなく分析のための撮影が可能となる。

図1に示したのは、トレーニングでのサポートに際して、矢状面の動作分析を行った場合 (1a) と、前額面の動作分析を行った際 (1b, c) に路面に貼付したマーカーの例である。矢状面の場合には間隔が固定していて、その距離がわかる2つの点が画面上に映っていれば、この2点をデジタル化し、縦横の画面歪みを補正すれば実長換算が可能になる。また、トレーニング時にこれらのマーカーを結ぶラインよりもカメラ寄りあるいはカメラより奥側を被写体が通過した場合には、競技会で用いているような方法で遠近補正を行うことになる (図2)。

また、前額面の動作分析の場合には、図3のようなマーカーセットを路面に貼付し、被写体は奥側のマーカーセットから手前側のマーカーセットまで等速で移動するという前提で空間上の被写体の位置を推定し、その位置に応じて矢状面の場合と同じようにして遠近補正を行うことになる。

これらの方法は、日本陸連競歩ナショナルチームの強化合宿において用いたもので、1週間から10日程度の合宿に際して1日あるいは2日おき程度に行う高強度のトレーニングに際して、歩型判定上の課題の多い対象者1-2名程度に絞って、午前中のトレーニングで撮影、午後を分析作業、夕食前に帯同の理学療法士・トレーナーを交えて専任コーチおよび対象競技者に対してフィードバックを行うという形でサポートを実施した。この程度の頻度であれば合宿期間中の毎回の高強度トレーニングに際してデータ収集からフィードバック、修正目標の設定というサイクルを回すことができた。

また、フィードバックに際して参考としたのは過去において同様の手法で分析を行ったデータであるが、矢状面のデータについては国際競技会において路上マークでなく、コースの観客エリアと競技エリアを区切るフェンス幅を較正に用いる方

- a) 矢上面動作撮影時：トレーニングスタート後はマーカを撤去し、カメラ画面内で視認しやすい色の粘着テープを貼り付ける



- b) 前額面動作撮影時：路上4箇所に粘着テープを貼り付ける



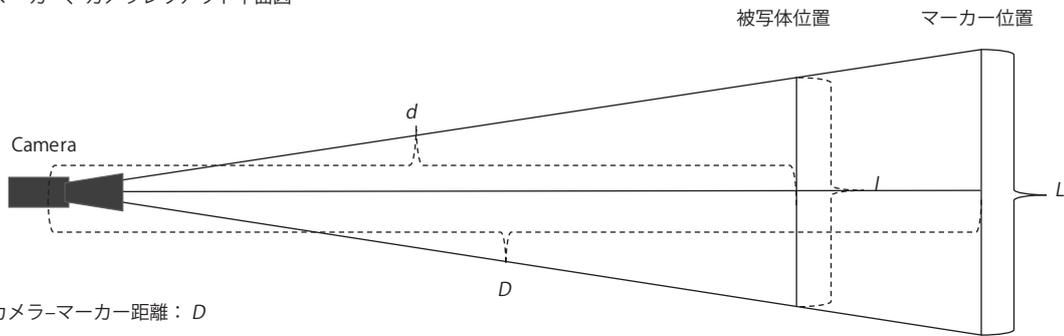
- c) 前額面動作撮影時カメラ配置：写真 b のマークの被写体進行方向正面にカメラを配置



図1. 競歩トレーニングサポート時の路上マーカ・カメラ配置例

遠近補正の計算法 -1 : 被写体の位置がわかる場合や陸上競技場で縁石をマーカーとして、2レーンの選手を分析する場合など

マーカー、カメラレウアウト平面図



カメラ-マーカー距離 : D

マーカー間距離 : L

カメラ-被写体距離 : d

被写体位置でうつるマーカーの大きさ : l

4つの変数の間には以下の関係が成り立つ

$$D:L = d:l \text{ (1)より}$$

$$D * l = L * d \text{ (2)が成り立つ}$$

(2)により

$$l = L * d / D \text{ (3)が成り立つ}$$

以上から、マークによる実長換算データに d/D を乗じることで遠近誤差が補正される。

さらに、Y座標（鉛直方向）はカメラ高を補正する必要がある

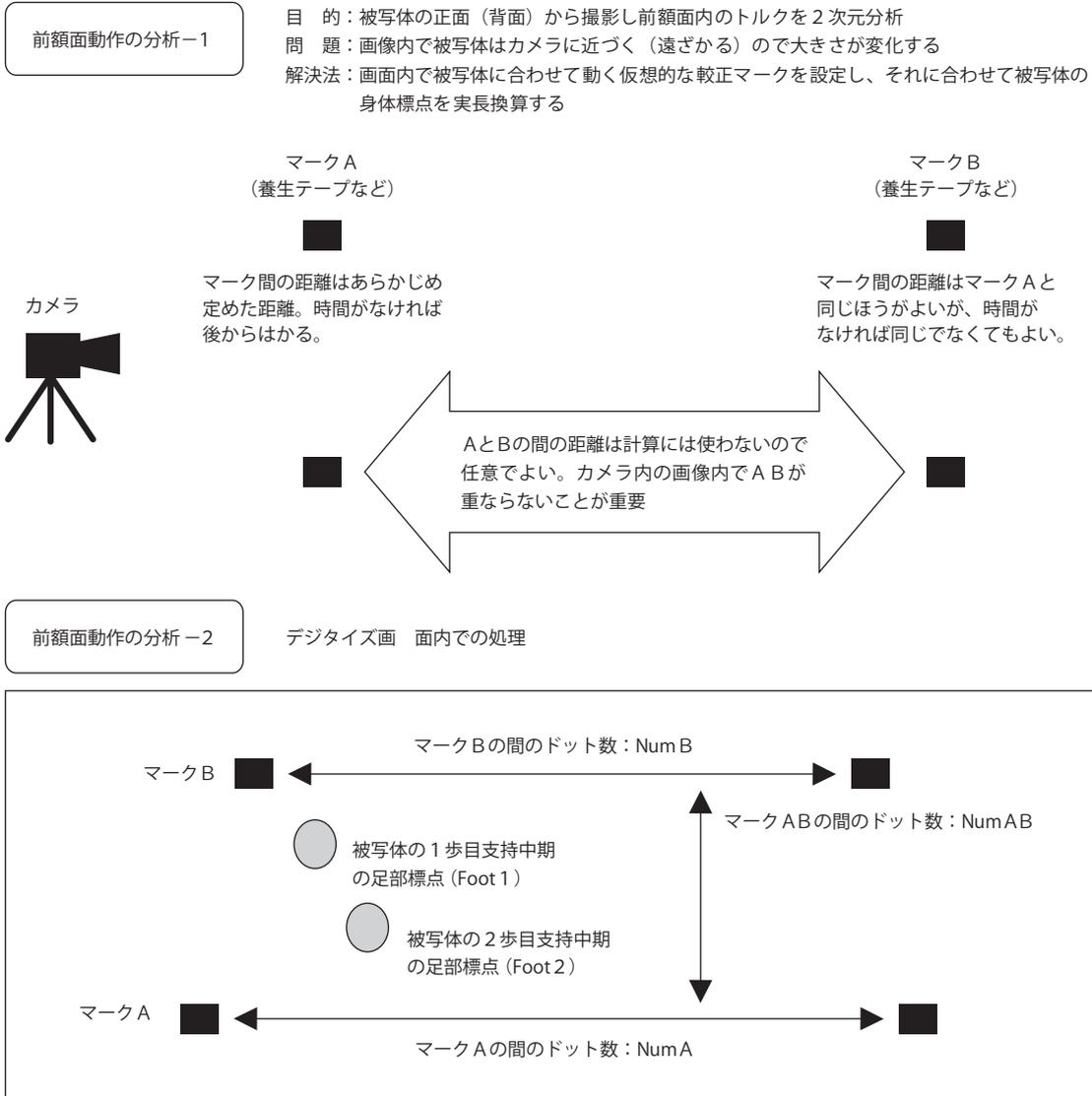
図2. 遠近補正の概要

法で分析しており、図4のようなデータを示した。

(角度) 変位、(角) 速度、(角) 加速度などのキネマティクスデータによる比較結果は、目視観察による結果と変わらない場合が多く、バイオメカニクス分野の様々な学術論文でもキネマティクスデータを用いた場合には目視観察と変わらない結論が導かれることが多い。そのため、キネマティクスデータのクイックフィードバックを目的とした分析を行った場合にも同じく目視観察と同じ結果になることは十分に考えられる。実際に、熟練したコーチや、機能解剖学や運動学的な分野の知識に長けたトレーナーなどの観察結果と変わらないことが多い。さらに、現在ではハイスピード撮影可能な安価で高性能なカメラが普及しているほ

か、スマートフォンの内蔵カメラであっても解像度、ズームとも高性能である。加えて、市販の分析アプリケーションがあれば撮影から必要な情報を得るまでの時間が十分に短いことから、短期間のサイクルで動作の修正・トライアンドエラーを繰り返す必要に迫られているような場合には、専門スタッフによるバイオメカニクス分析に頼るまでもないとされることがある。むしろ時間がかかるだけかえって煩わしいといった印象を与える可能性が高い。本事業外ではあるが、陸上競技、競歩に限らず、実際の分析結果のフィードバックに際して「分析は現場の後追いに過ぎない」といった意見をいただく機会は多くあった。

こういった背景から、バイオメカニクス分析の



- ① Num A, Num B, Num AB を用いて、マーク A B 間の任意の場所での較正係数を算出する一次式を設定
- ② Foot 1 と Foot 2 のコマ、画面内の位置から、被写体が Foot 1 から Foot 2 の上へと等速で通過している仮定で被写体の A B 間での時々刻々の位置を算出する一次式を設定
- ③ ①②の式からカメラ画像内における被写体の推定較正係数を用いて推定実長換算し2次元座標を得る

図3. 前額面内動作の分析

メリットを活かすべく当初よりクイックフィードバックであっても可能な限りキネティクスデータでのフィードバックを目指した。鍵となったのは地面反力の推定であるが、競歩は接地時の荷重がランニングと比べて小さいことから、フォースプレートの実測によって算出したデータと、上述の

ように毎秒 60 フレームの画像分析によって推定したデータとの差異は非常に小さいことは過去において検証済みであったことから³⁾ 推定地面反力によるフィードバックデータの算出を行った。これらのデータにより、推定地面反力からは歩行中にかかる荷重の状況がわかり、下肢関節トル

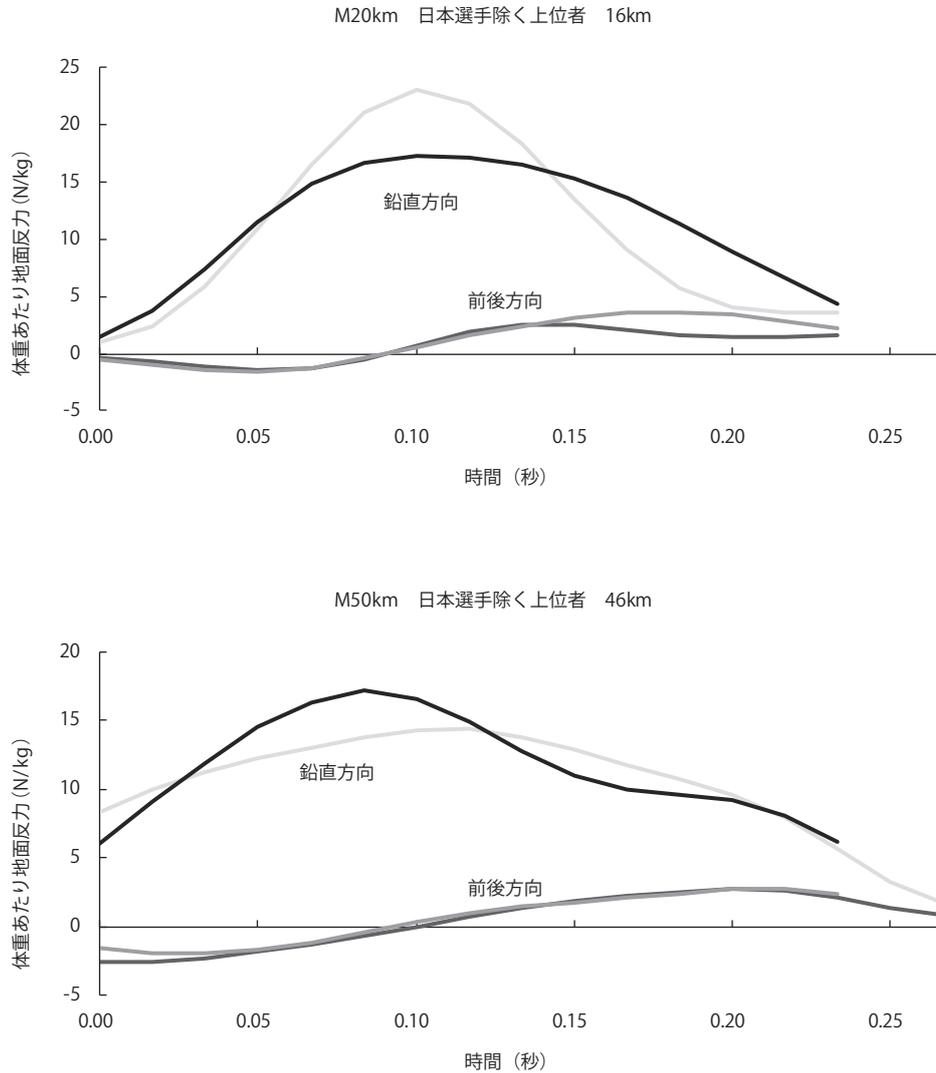


図4. 2017年ロンドン世界陸上において行った矢状面内動作分析による推定地面反力

クからは伸展と屈曲のバランス、また切り替えのタイミングなどの状況がわかるため、競技者、コーチだけでなく、理学療法士・トレーナーとの情報共有から、効果的な課題改善に取り組むことができた。

2. 水泳・飛込競技における事例

陸上競技・競歩と異なり、水泳・飛込競技については、サポート開始にあたって先行研究を調査したものの、パフォーマンス構造の分析や、傷害

要因の分析などを目的とした研究は確認できたものの、ハイパフォーマンスレベルでのパフォーマンス向上のための知見を得ることを目的としたものは確認できなかった。

しかし、競技団体側の窓口担当者との当初の打ち合わせでは、パフォーマンス向上のための課題として持っている仮説は物理量で計測可能なものであることが推察されたほか、主たる運動の方向は、ひねり技を除いては競技者の矢状面内に収まる動きであったことから、データの分析・算出は、

較正の方法さえ確立できれば、バイオメカニクス手法による分析がパフォーマンス向上に対して貢献しうる余地が大きいことが感じ取れた。また、前述のように、スポーツバイオメカニクスの教科書において落下運動や、角運動量保存則を説明するための運動の典型として扱われることが多い競技・種目であることから²⁾、これらの物理量を軸として、そこから派生的に算出される変数によって分析、動作評価が可能であることも予測できた。

以上の打ち合わせの結果から、飛込競技でのバイオメカニクスサポートにあたっては、前述の陸上競技・競歩とは異なり、動作の全体像を明らかにするためにキネマティクス変数による運動の記述が必要であったほか、そのための課題の1つ目として、大きな動作範囲を分析するにあたっての較正方法の検討が必要であった。陸上競技と異なり、飛込競技は範囲の大きな空間内での運動で競われるため、より正確な分析のためには空間をどうやって較正するかということが課題になるほか、固定した地面の上の空間でなく、水深10mのプールの水面上の空間であり、キャリブレーションポールなどを設置できないといった課題があった。

この点については、競技現場のサポートの目的は、正確な学術論文を執筆することではなく、競技者・コーチにとって有用な情報を提供することという、ハイパフォーマンススポーツの原点を確認することで解決した。すなわち、いくらかのエラーを含むデータであっても、毎回の撮影・データ算出を、異なるプール間でできるだけ同じ条件になるようにした上で行い、その上で複数の試技、複数の競技者を比較していれば競技者・コーチにとっては個人内・個人間のデータ比較には問題はなく、サポートの目的は十分に達成できるというものであった。

そのため、ハイパフォーマンススポーツのサポートにはできるだけ短い期間でのデータ算出・サポートが求められるということもあり、3m飛び板飛込では、どのプールでも同じ長さとなっている飛び込み板を較正マーカーとし、10m高飛込

では飛込台の手すりのプールごとに計測して較正マーカーとして、それぞれ飛込台とカメラの位置関係が変わらないようにして、撮影・分析を行った(図5a, b)。

また、競技団体側の挙げた課題は、1) 踏切後の跳躍高・位置と2) Come-in (踏切後に上肢で下肢を抱え込む動作) と Come-out (下肢を抱え込んだ姿勢から上肢を離す動作) のタイミング、3) 入水姿勢といった変数の国内競技者と国外競技者の違いといったものであった。1) と2) は全身の重心位置から算出可能で、バイオメカニクス分析の中でも比較的基礎的な変数であったことから比較的容易に対応できた(図6)。

また、2) および3) の関係を検討するのに、空中での回転のコントロールについて検討する必要があったが、そのための基礎として全身の角速度、回転半径、姿勢変化の関係を把握する必要があったことから算出・比較した(図7)。

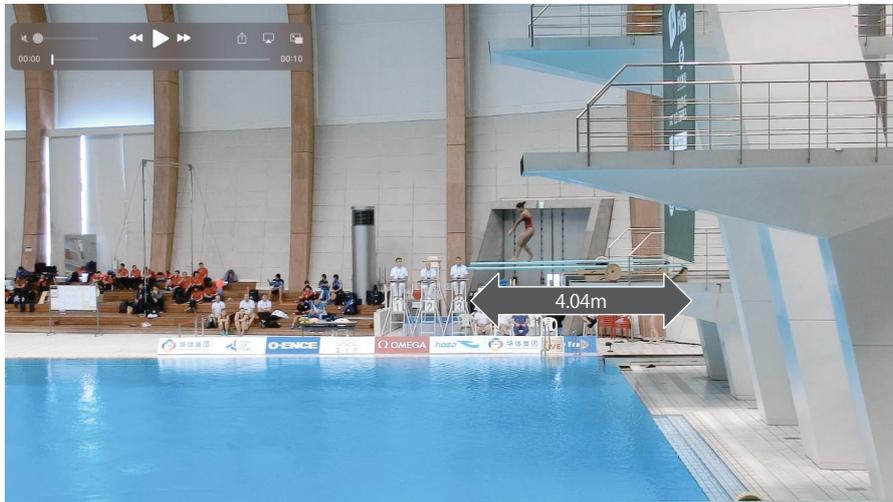
その他、得点の高・低の要因の特定も課題として求められたが、これらについては、上記1) - 3) の基礎となる全身の重心位置、角度、角速度など、用いた分析方法で可能な変数を用いて特定を試みた。その結果、全身の角運動量、角速度については得点による違いはないものの、3m飛び板飛込では高得点の場合には跳躍高が高いことで全身の軌道を長い傾向がみられ、また、10m高飛込ではCome-outのタイミングが高得点の場合に遅い傾向があり、両方ともに高得点の場合にはCome-inからCome-outまでの時間が長い傾向がみられ、直接フィードバックの機会にNF側担当者との意見交換を行った。

Ⅲ. バイオメカニクス手法によるハイパフォーマンススポーツ支援の派生的効果

本稿では、バイオメカニクス手法によるハイパフォーマンススポーツ支援の利点と限界を挙げ、その限界によって生じる課題を解決しようとしたサポート事例2つを紹介した。

1例目はクイックフィードバックのための簡便な分析手法の考案による試みを、2例目はデータ

a) 3m 板飛込の場合：被写体が乗っていない状態での板の長さで較正。画角は較正物をできるだけ画面中央に配置しつつ、演技全体が画面高の 70-80% に収まるように設定。



b) 10m 高飛込の場合：台手すりの高さ・幅を測って較正。画角は較正物をできるだけ画面中央に配置しつつ、演技全体が画面幅の 70-80% に収まるように設定。

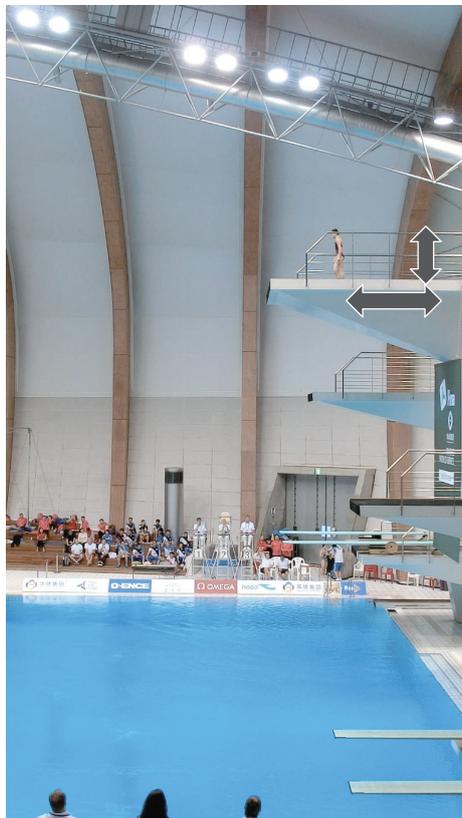


図 5. 飛込分析映像内部における較正物の位置

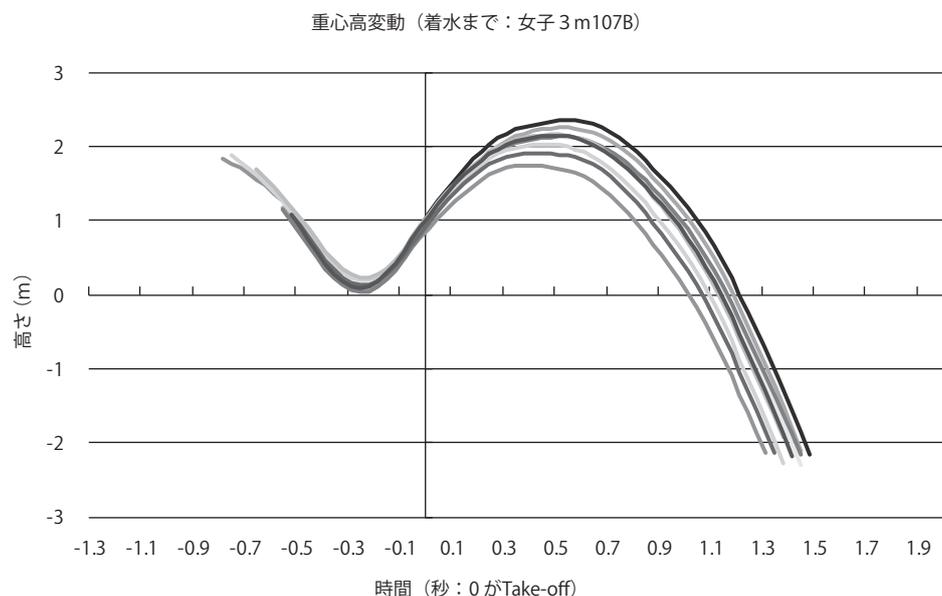


図6. 2018年ワールドシリーズダイビング富士大会女子3m飛板飛込107B演技における身体重心高分析の例
実際のフィードバックに際してCome-in, Come-outタイミングは別表で示した

蓄積が十分でない場合のデータ評価を試みた事例を、それぞれ紹介した。

しかし、実際のハイパフォーマンススポーツのコーチング、トレーニングでは、物理量で評価しうるパフォーマンスであっても、バイオメカニクス手法を用いるまでもない、あるいは適さない場面も多くある。コーチの成すべき仕事のうち¹¹⁾ トレーニング実践および競技場面の指導行動は、場面の時々刻々の状況変化・展開に合わせてコーチと競技者が判断を下して行動する場面であり、コーチと競技者がイニシアチブを取るべき場面であろう。

そのなかで、コーチング上の観察ポイントがすでに明確であり、また、目視観察によって課題を認識しやすい場合や、戦術分析のように動作の組み合わせ、状況のパターンのバリエーションが無限にある場合には、評価の指標が時間や変位などの物理量であっても本稿で挙げたような手法では一定の分析時間を要するため適切な手法ではないといえる¹⁰⁾。

とはいえ、こういった場合でもコーチと競技者は時間や、対戦相手あるいは同一チーム選手との距離や位置関係などの物理量によって状況判断、予測を行って行動しているわけであり、その現象はバイオメカニクス手法によって客観的に把握、分析しうるものである。また、判断・予測を行うコーチ、競技者ともにバイオメカニクスや他のスポーツ科学領域の知見に基づく視点をもつことで、時々刻々の状況判断と予測の精度を上げることも可能であろう¹⁰⁾。

本稿で紹介した事例の2つとも事業におけるサポート活動としてはフィードバックまでで完結しているものの、その後の中長期的なパフォーマンス向上が見られたことを考えると単なるデータ分析・フィードバックに限らない効果があったものと考えられる。そのため、バイオメカニクスに限らずスポーツ科学諸分野によるパフォーマンスの分析やフィードバックなどの支援活動の派生的効果は、個々の活動の完結後も比較的長期にわたって続くものと考えられる。

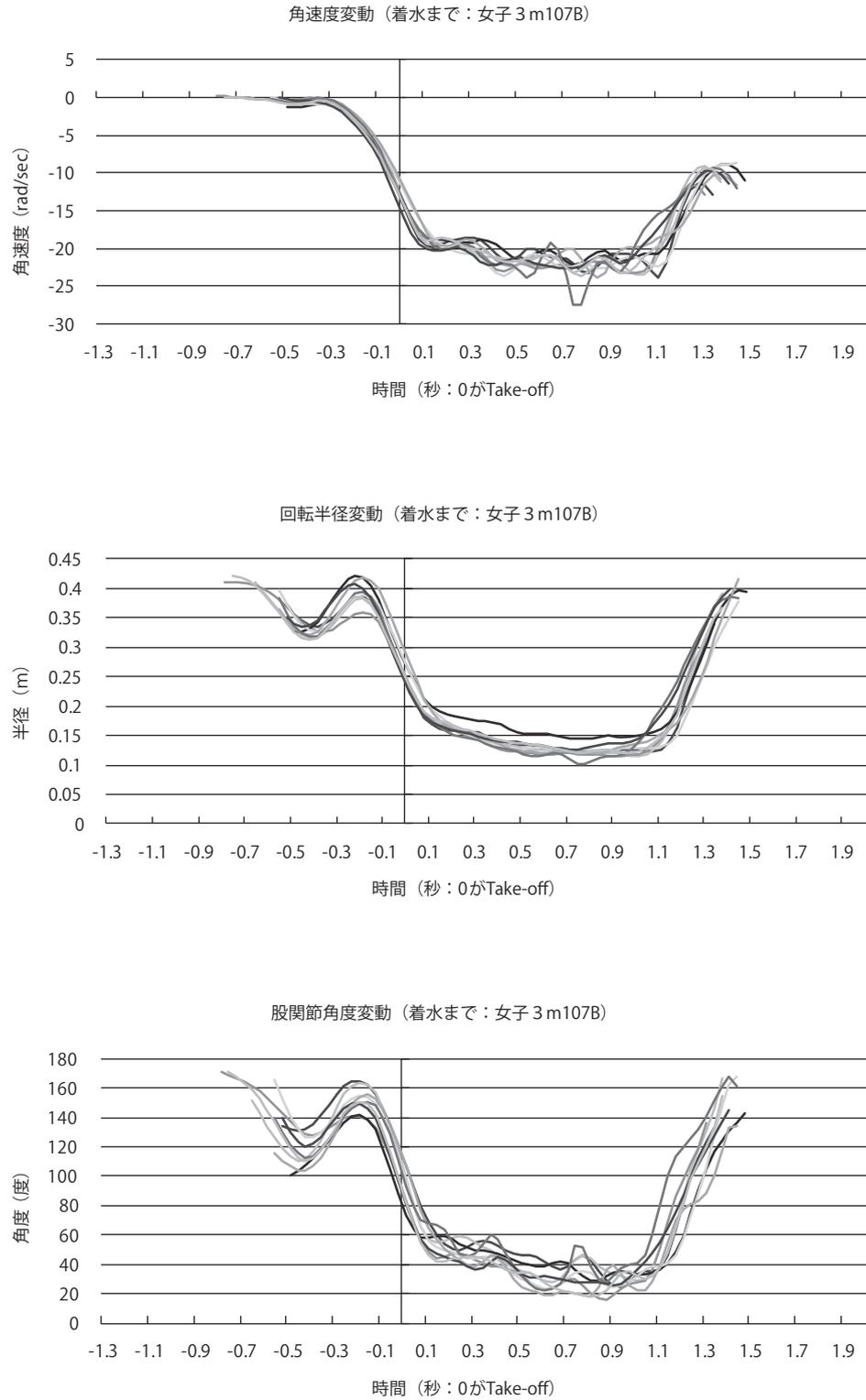


図7. 2018年ワールドシリーズダイビング富士大会女子3m飛板飛込107B演技における全身の角速度、回転半径、股関節角度分析の例
実際のフィードバックに際しては演技中の全身の角速度が姿勢変化によってコントロールされることを個別の選手について示した

文献

- 1) 船渡和男. 特集 トレーニングに活かすバイオメカニクス知見 特集によせて. バイオメカニクス研究, 18(3): 146-147, 2014.
- 2) Hay JG, Reid JG. Chapter16 Examples in the use of qualitative analysis. The anatomical and mechanical bases of human motion. Prentice-Hall, pp.303-381. 1982.
- 3) 法元康二. 競歩の歩行速度に影響を及ぼすバイオメカニクスの要因. 平成10年度筑波大学大学院修士課程体育研究科修士論文, 23-26. 2000.
- 4) Hoga-Miura K. Diagonal technique of cross country skiing on 50km classical race in FIS Nordic World Ski Championships 2007. Sport Sci Res, 10: 34-48, 2013.
- 5) Hoga-Miura K, Ae M, Fujii N, Yokozawa T. A three-dimensional kinematic analysis of men's 20-km walking races using an inverted pendulum model. Gazz Med Ital, 175 (7-8): 297-307, 2016.
- 6) Hoga-Miura K, Ae M, Fujii N, Yokozawa T. Kinetic analysis of the function of the upper body for elite race walkers during official men 20 km walking race. J Phys Fitness Sports Med, 56 (10): 1147-1155, 2016.
- 7) Hoga-Miura K, Hirokawa R, Sugita M, Enomoto Y, Kadono H, Suzuki Y. A three-dimensional kinematic analysis of walking speed on world elite women's 20-km walking races using an inverted pendulum model. Gazz Med Ital, 179 (1-2): 29-38, 2020.
- 8) 池上康男. 写真撮影による運動の3次元的解析法. Japanese Journal of Sports Science, 2: 163-170, 1983.
- 9) 池上康男. 特集 冬季スポーツのバイオメカニクスと競技サポート 特集によせて. バイオメカニクス研究, 17(4): 181-182, 2013.
- 10) Knudson DV. Qualitative diagnosis of human movement. 3rd Edition, Human Kinetics, 2013.
- 11) 窪康之. 第8章 スポーツ医・科学, 情報によるコーチング支援, 第1節 スポーツ医・科学によるコーチング支援の現状と課題. 日本コーチング学会編, コーチング学への招待. 大修館書店, pp.330-334. 2017.
- 12) 三浦康二, 佐藤高嶺, 奥野哲弥. 2018年度および2019年度初頭国内主要競歩レースにおける世界・国内一流競技者の下肢および体幹関節トルクの分析. 日本陸連科学委員会研究報告 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2019, 15: 231-237, 2020.
- 13) 三浦康二, 佐藤高嶺, 川向哲弥, 大久保玲美. 2018-2019年度国内主要競歩レースにおける国内一流競技者の下肢および体幹関節トルクの分析. 日本陸連科学委員会研究報告 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2020, 16: 221-231, 2021.
- 14) Payne AH. A comparison of ground reaction forces in race walking with those in normal walking and running. In Asmussen E and Jorgensen K (Eds.) Biomechanics VI -A. University park press, pp293-302. 1978.
- 15) 佐々木康, 中島正太, 山本巧, 古田仁志, 古川拓生, 大村武則, 岩渕健輔, 薫田真広. ラグビー15人制パフォーマンス分析: 主に防御構造. バイオメカニクス研究, 21(1): 19-24, 2017.
- 16) 高木英樹. 特集 水上競技を支える最新バイオメカニクス研究 特集によせて. バイオメカニクス研究, 16(3): 148, 2012.
- 17) 田内健二. 特集 バイオメカニクスによる競技サポート 特集によせて. バイオメカニクス研究, 18(2): 72, 2014.
- 18) White SC, Winter, DA. Mechanical power analysis of the lower limb musculature in race walking. Int J Sport Biomech, 1: 15-24, 1985.
- 19) 山本隼年, 武村政徳, 橘未都, 辻田純三, 北条達也. GPSを活用したラグビーのゲーム分析. バイオメカニクス研究, 21(1): 25-29, 2017.
- 20) 横澤俊治. 第8章 スポーツ医・科学, 情報によるコーチング支援, 第2節 現状を把握する,

1. パフォーマンスの分析・評価,(2)動作分析による把握. 日本コーチング学会編, コーチング学への招待. 大修館書店, pp.337-338, 2017.