

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01719

研究課題名(和文) 拡張現実ビデオを用いた水泳の科学サポートシステムの構築

研究課題名(英文) Construction of a science support system for swimming using augmented reality video

研究代表者

野村 照夫 (NOMURA, TERUO)

京都工芸繊維大学・基盤科学系・教授

研究者番号：60189438

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ARビデオを用いた飛込、AS、水球競技の科学サポート・システムの構築を目的とした。飛込競技では、1台のカメラ映像を対象に離台地点に矢状面座標を動かすTwo points perspective 2D-DLT法を新規開発した。離台から入水までの移動軌跡を放物成分と回転成分に分離し、定量化および可視化した。AS競技について、水面上の移動軌跡と時間を定量化および可視化した。水球競技について、水面上のプレイヤーを自動認識し可視化する方法を検討した。物体検出はKeras-YOLO3による精度が高かった。今後、様々な水泳関連動作のAI学習モデルを作成することが次への課題とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1台のカメラ映像を対象に任意の位置に矢状面座標を動かすTwo points perspective 2D-DLT法を新規開発したことにより、少ない機材、限られた映像での動画分析の道を開いた学術的意義は大きい。競泳で系統的に推進してきた拡張現実(AR)ビデオ・システムを水媒介競技として共通する飛込、AS、水球に適用した科学サポート・システムは、選手や指導者等の多様な活躍の支援やジュニア期からトップレベルに至る戦略的支援強化のために役立ち、社会的に有意義である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to build a scientific support system for the diving, the artistic swimming (AS), and the water polo competitions using Augmented Reality video. In the diving competition, a new 2 points Perspective 2D-DLT method was developed. It was that moves the sagittal plane coordinates to the departure point on the video image. The trajectories from the platform to the water entry were separated into parabolic and rotational components. The trajectories were quantified and visualized. For the AS competition, the swimming trajectories were quantified and visualized. For water polo competition, some methods were investigated to automatically recognize and visualize players on the water surface. The object detection was highly accurate with Keras-YOLO3. In the future, the next task will be to create Artificial Intelligence learning models of various swimming-related movements.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：水泳 拡張現実 飛込 アーティスティック・スイミング 水球 キネマティクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国の「スポーツ立国戦略」では、人(する人、観る人、支える(育てる)人)の重視と連携・協働の推進を基本的な考え方とし、トップアスリート・指導者・審判員等に対し、必要なサポートを提供することが重視するポイントとして挙げられる。長きに亘り競泳の科学サポートに関わり、競泳競技に関する研究を系統的に推進してきた。これらの研究の基盤としてビデオ映像に実座標や時間経過を表示する拡張現実(AR)ビデオの開発を続けてきた。水泳競技の競技力は、国際大会でメダルを安定的に獲得する競泳に比べ、アーティスティック・スイミング(AS)、飛込、水球の成果は十分とは言えない。水を媒介とした競技であることは共通するが、計測競技、評定競技、判定競技と特性は異なる。これまで特性の異なる競技種目の専門性が重視され、種目間相互の科学サポート情報の利用は十分とはいえない。ARビデオによる科学サポートは、選手や指導者等の多様な活躍の支援やジュニア期からトップレベルに至る戦略的支援強化のために有用であると考えられる。飛込競技では、障がい予防の観点の研究は多いが、パフォーマンスの定量的研究は少ない。また、AS競技では、ユース選手や障がい者を対象とした研究はほとんど見られない。さらに、水球競技ではゲーム分析が工夫されているが、攻撃やミスの種類に着目したものが多く、ポジショニングについて詳細なデータを得た研究は少ない。

2. 研究の目的

ARビデオを用いた水泳競技の科学サポートシステムの構築を主目的とした。ARビデオによる科学サポート事例は競泳以外には見られないため、競泳サポートの知的蓄積を共有・活用することにより、新たな価値の創造が期待される。したがって、次の3つの下位目的を設定した。

(1)ARビデオによる飛込の科学サポートシステムの開発

高飛込の空中動作の特性を評価するために、ダイバーの離地点に合わせて調整する2次元動作解析手法の開発、高飛込の空中動作についてキネマティクス値から放物線運動要素と回転運動要素の抽出、類似した自由選択種目間の動作要素の比較を目的とした。

(2)ARビデオによるASの科学サポートシステムの開発

ユースAS選手およびパラAS選手のフリールーティンにおける演技の時空特性を明らかにするために、演技の構造的評価項目の開発、競技得点と評価項目の関係の検討、評価項目に基づく選手のクラスタリングにより演技タイプを抽出することを目的とした。

(3)ARビデオによる水球の科学サポートシステムの開発

水球のプレーヤーの時空情報を抽出するために、位置決定や姿勢推定の問題点を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1)日本選手権2017の男子高飛込決勝進出者(20.9±4.0年)12名のおよびFINA World Diving Series 2018における男子高飛込準決勝・決勝で実施された後宙返り3回半蝦型(207B):8件、同抱型(207C):7件の空中動作を分析の対象とした。撮影機材は、側方観覧席に固定した縦置きビデオカメラ(Sony HDR-PJ 800, 1/500ss, 1920×1080pix, 59.94fps)とした。実座標推定のために、幾何学的に2点消失点法を利用し、3次元空間中で離台地点に矢状面座標を動かすTwo points Perspective 2D-DLT法を新規開発した。画像の既知の座標点によるキャリブレーションを行い、ビデオ画像に実空間座標と経過時間の情報が提示されるARビデオソフト(NotePlayer2)を飛込用にカスタマイズした。それにより、経過時間と大転子点等の矢状面変位を得た。軌跡特性を検討するために離台から入水までの放物成分を時間近似した。さらにその残差成分から回転成分を時間近似した。ただし、回転軌跡は離台から蝦・抱姿勢をとるまでの回転前期、蝦・抱型姿勢での回転期、蝦・抱姿勢を解いて入水に至る回転後期の3つに分け、回転期は回転成分、回転前期と後期は螺旋成分として時間近似した。

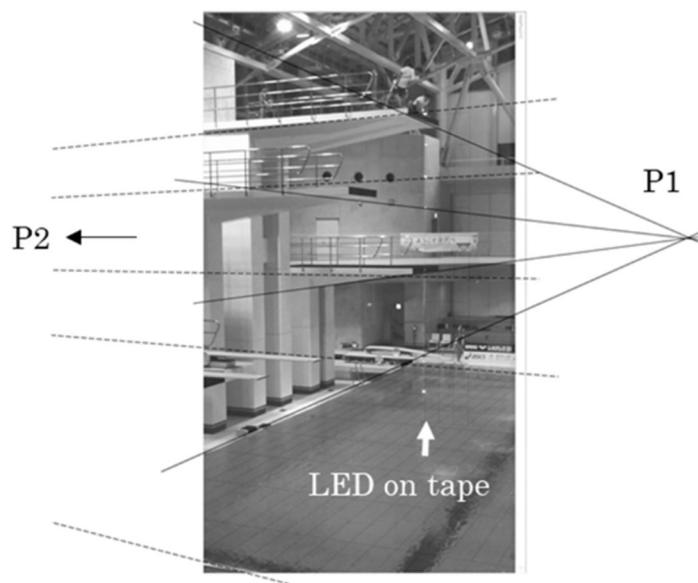


図1 2点消失点法による2D-DLT

(2)全国レベルのソロ競技会に参加した13～15歳のASユース選手20人および外国選手を含むパラ大会に参加した11名を対象とした。デジタルビデオカメラ(Sony HDR-PJ 800,シャッタースピード1/2000,解像度1920x1080,59.94 fps)を使用した。カメラを三脚に固定し,スタンドの側面上部に設置した。カメラの設定は,競技エリアをカバーする画角を確保した。分析のために,AviUtil100を使用して動画ファイルを1fps(パラAS大会),2および10fps(AS大会)のAVIファイルに変換した。デジタイズには,Windows APIとVisual Basic for Applicationを用いた自作の2次元DLT解析ソフトウェアNote-player2をAS用にカスタマイズし使用した。演技時間,移動パターン(軌跡,面積など),移動速度に関する項目を算出した。また,時空情報に基づき選手間のハマラノビス距離を算出し,類似度に基づいたクラスタリングを行った。

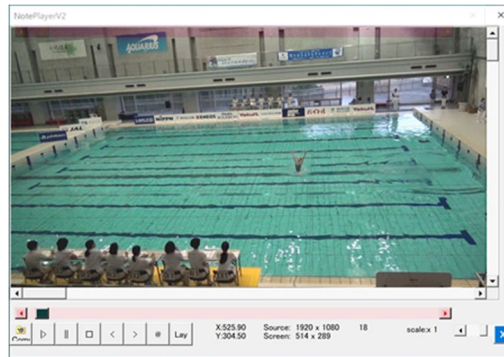


図2 NotePlayer2 for AS

(3)水球のゲーム映像を用い,プレーヤーの自動検出のために,データサイエンス環境構築システムであるAnaconda上にそれぞれの実行環境を構築した。2019年日本選手権水球決勝のビデオ映像を対象にした。Googleの機械学習ライブラリTensorFlowを用いた姿勢推定ソフトPoseNetのパラメータの調節をして,姿勢推定を試みた。また,リアルタイムの高速検出をするために,1ステージ検出法であるYOLO(You Only Look Once, Redmon & Farhadi, 2018)を選択し,畳み込みニューラルネットワークのファミリーであるYOLO3(YOLO object detection with OpenCV)を採用した。そのパラメータを信頼性を0.5から0.1に変更し,物体検出を試みた。さらに, TensorFlow上で動くニューラルネットワークライブラリの1つであるKerasにYOLO3モデルを変換したKeras-YOLO3で物体検出を試みた。

4. 研究成果

(1)飛込演技について,離台から入水までの移動軌跡を定量化および可視化した。

飛込競技に適用できるTwo points Perspective 2D-DLT法を開発した。その信頼性について,水面上の2次元座標に対しては10点の実測値と推定値の誤差は,最大値で矢状軸0.02m,前額軸0.06mであり,矢状面の2次元座標に対しては,18点の実測値と推定値の誤差は,最大値で鉛直軸0.12m,矢状軸0.28mであった。水面および矢状面とも実測値と推定値の相関は0.999と非常に高い相関が得られた。したがって,Two points Perspective 2D-DLT法は,信頼性が高く,1カメラで踏切位置の違う対象の矢状面分析ができる新規性と簡便性が認められた。画像に時空データが表示されるAR化によって,コーチへのフィードバックが客観的になった。放物線運動要素と位置座標間の相関係数は有意であった(0.85~0.99, $p < 0.01$)。回転期の位置座標から放物線運動要素を差し引いた残差は回転運動要素と高い相関が認められた。ただし,回転姿勢が変化する捻りや最終半回転中に発散する傾向があった。水面での手入水点から足入水点までの水平距離(0.21±0.21 m)は,競技得点(19.87±3.28点, $r = -0.83$, $p < 0.01$)と強く関連していた。放物線運動要素からの回転中心(-0.02±0.07 m)の垂直方向のシフトは,回転数(3.12±0.60 サイクル, $r = 0.76$, $p < 0.01$)とともに増加した。

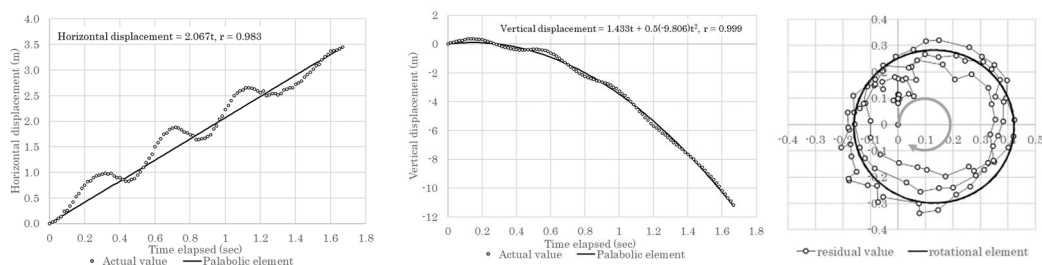


図3 高飛込の大転子軌跡 左図:放物要素(水平); 中図:放物要素(鉛直); 右図:回転要素(矢状面)

高飛込における207Bと207Cの空中軌跡を評価した結果,放物成分では,離台時の水平速度に違いは見られなかったが,鉛直速度は抱型が大きかった。また,回転前期の蝦型の所要時間は長かった。そして,回転期に蝦型の回転位相は大きく,本回転に入るまでに時間が必要なが伺われた。さらに,抱型の回転率は高かったが,回転後期の所要時間に差は認められなかった。これらのことより,蝦型の回転姿勢に入るまでの飛び出し方向をより鉛直に近づけ,素早くパイク姿勢をとることが必要であると提案された。

放物成分と回転成分に分けて提示することで、演技をこれまでより客観的に捉えることができたようになった。しかし、捻り動作は、マーカーの挙動から大まかに捉えられるが、今後捻り成分として抽出することが課題である。

(2)AS 演技について、水面上の移動軌跡を定量化および可視化した。

ユース AS では、移動量、移動面積等の時空間的な定量的数値はシニア選手と同等な結果を示したが、採点結果とは強い関連が認められなかった。これは、採点が定位置での演技の完遂度や芸術的表現について行われていることを示し、評定競技の特性を示すものであるといえる。しかし、上半身の演技時間の短さは実施点に有意な負の相関が見られたことより、上半身のより爆発的なダイナミックな演技が必要であることが示唆された。

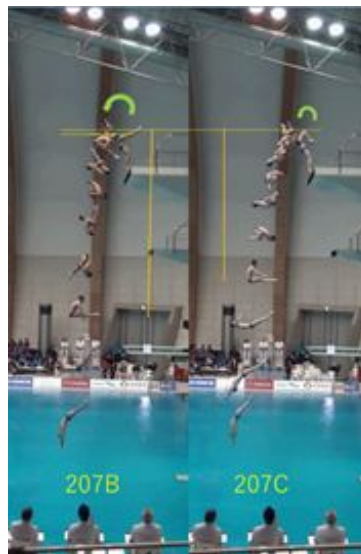


図 4 高飛込の動作比較

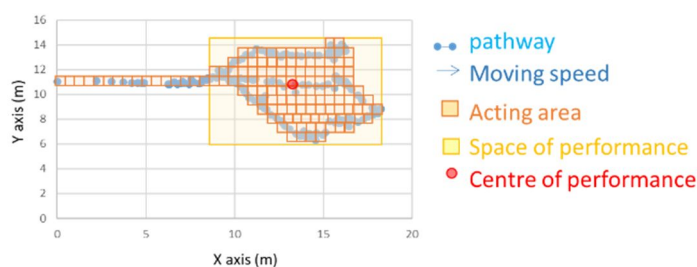


図 5 AS の演技の水面軌跡

AS 選手の特長に基づき、3つのクラスターが抽出された。最大のグループ (n = 10) を形成する C1 は、下半身の演技時間が長く、水中での移動時間は短く、移動速度が遅い、「slowly, ゆっくり移動するタイプ」と解釈された。C2 は、移動距離が長く、演技面積が大きく、プールを広く使う、「extensively, 泳ぎ回るタイプ」(n = 5) と解釈された。C3 は、下半身より上半身の演技時間が長い傾向のある、「actively, 活発に演技するタイプ」(n = 5) と解釈された。actively, extensively, slowly の順に高ランク者が含まれる傾向にあった。

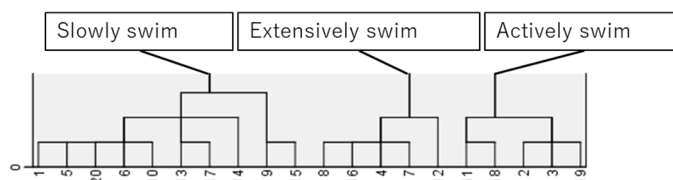


図 6 演技タイプのデンドログラム

パラ AS の場合、障がいの種別によりばらつきは大きいものの、直線的な往復によるプールパターンが特徴として抽出された。指導者への聞き取り調査から、練習に使えるプールエリアが限定的であることや知的障害の程度によっては斜め方向への移動が知覚できないなどの理由が伺われた。

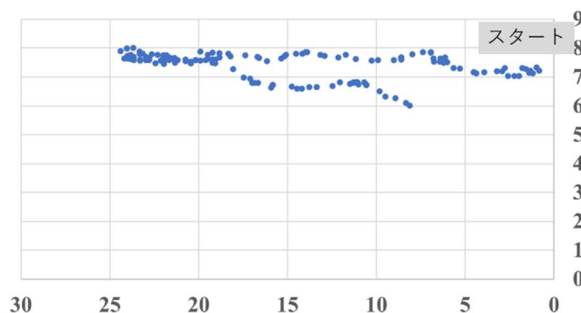


図 7 パラ AS の扁平演技軌跡

水面上の時空情報を提示することで、演技をこれまでより客観的に捉えることができたようになった。しかし、高さの成分は、演技位置に鉛直軸を移動すれば取得できるが、時々刻々と演技位置が変化するので、時間と手間を要する。今後、これを自動化することが課題である。

(3)水球競技について、水面上のプレーヤーを自動認識し可視化する方法を検討した。PoseNet による姿勢推定の結果、プールサイドの人の姿勢は的確に抽出されたが、水面上のプレーヤーについては、二人について部分的に推定されたに過ぎなかった。これは、水面下に身体の大半が没していること、飛沫で身体が完全に見えないこと、手を上げたり、立位姿勢から逸脱した姿勢が多いことなどが影響すると思われる。姿勢の推定が困難なことから、プレーヤーの大まかな位置情報を得るために、YOLO3 での物体検出を行った。信頼性を 0.1 に下げても検出されないプレーヤーが多く、学習モデルを変更する必要があると認められた。そこで、Keras-YOLO3 にて物体検出を行ったところ、信頼性 0.3 以上で、水没している 1 名を除き、ほぼ満足な検出が確認された。ビデオ映像ではフレーム間のオブジェクトの対応づけることが課題である。同様の姿勢推定および物体検出法を競泳、飛込、AS の画像に適用したが、水球と同様な課題が認められた。これらを総合し、様々な水泳関連動作の学習モデルを作成することが次への課題であるといえる。



図 8 PoseNet による姿勢推定



図 9 YOLO3 による物体検出

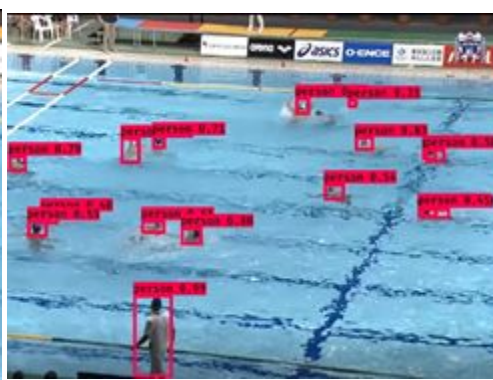


図 10 Keras-YOLO3 による物体検出

< 成果の公表 >

Nomura, T. and Goya, T. (2018). Evaluation the performance characteristics in platform diving. *Biomechanics and medicine in swimming* 13:408-418.

野村照夫、来田宣幸, (2018). 高飛込における後宙返り 3 回半蝦型と抱型の空中軌跡の評価. 日本体育学会第 69 回大会.

Nomura, T. (2019). The quantitative characteristics of acting in the free routine of youth artistic swimmers. *The 24th Annual Congress of the European College of Sport Science*.

野村照夫, 川端悠郁, 橋元真央, 来田宣幸, 小谷諒. (2019). アーティスティック・スイミングにおけ 13-15 歳ソロ演技の時空評価とその特徴. 日本体育学会第 70 回大会.

川端 悠郁, 野村 照夫, 来田 宣幸. (2019). パラ・アーティスティック・スイミングの演技評価に向けたパラメータの検討. 京都滋賀体育学会第 148 回大会

川端 悠郁, 野村 照夫, 来田 宣幸. (2019). パラ・アーティスティック・スイミングの演技の評価とその特徴. 日本体育学会第 70 回大会.

NOMURA, T., KAWABATA, Y., HASHIMOTO, M., KIDA, N. (2020). Exploratory clustering of acting in the free routine on youth Artistic Swimmers. *The 2020 Yokohama Sport Conference*. (accepted)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nomura, Teruo and Goya, Toshiaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Evaluation the performance characteristics in platform diving	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BIOMECHANICS and MEDICINE in SWIMMING	6. 最初と最後の頁 408-414
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Nomura, T. and Goya, T.
2. 発表標題 Evaluation the performance characteristics in platform diving
3. 学会等名 XIIth INTERNATIONAL SYMPOSIUM on BIOMECHANICS and MEDICINE in SWIMMING（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野村照夫、来田宣幸
2. 発表標題 高飛込における後宙返り 3 回半蝦型と抱型の空中軌跡の評価
3. 学会等名 日本体育学会第69回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川端悠郁、野村照夫、来田宣幸
2. 発表標題 パラ・アーティスティック・スイミングの演技評価に向けたパラメータの検討
3. 学会等名 京都滋賀体育学会第148回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nomura, Teruo
2. 発表標題 The quantitative characteristics of acting in the free routine of youth artistic swimmers
3. 学会等名 24th annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村照夫、川端悠郁、橋元真央、来田宣幸、小谷諒
2. 発表標題 アーティスティック・スイミング・フリールーティンにおける13-15歳ソロ演技の時空評価とその特徴
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川端 悠郁, 野村 照夫, 来田 宣幸
2. 発表標題 パラ・アーティスティック・スイミングの演技の評価とその特徴
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 NOMURA, Teruo, KAWABATA, Yui, HASHIMOTO, Mao., KIDA, Noriyuki
2. 発表標題 Exploratory clustering of acting in the free routine on youth Artistic Swimmers
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference. (accepted) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----