

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04911

研究課題名（和文）深層学習を用いた球技選手の動きの評価指標の探索：コンピュータvs指導者を目指して

研究課題名（英文）Investigation of Evaluation Indices for Ball Game Players' Movements Using Deep Learning: Toward Computers vs. Coaches

研究代表者

廣津 信義 (Hirotsu, Nobuyoshi)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：90360726

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、試合中の選手の動きを、深層学習や統計学的な手法を用いて分類し、特徴量を抽出することで、新たな視点での選手の評価指標を探索した。最新の慣性センサを装着した大学女子サッカー選手を対象として、試合中の3軸方向別の加速度に関する時系列データを取得し、高速フーリエ変換することで周波数領域にて動きを分類した。その結果、動きの分類には鉛直方向の加速度の影響が主となっていることや、試合中の動きの頻度分布が選手ごとに異なることが確認できた。動きの分布を選手の試合中の特徴量として捉えることで、その平均値などを評価指標として提示することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、試合中の選手の動きに関する膨大な時系列データから、指導者の「眼力」でも認識することが難しい細かい動きも含めて分類することにより、特徴量を抽出し、新たな視点での評価指標を提示できたことに学術的意義がある。また、サッカーの指導現場において、試合中での選手の動きを評価できる定量的な指標として活用できる可能性を見出し、選手評価の視点を広げることができたことに社会的意義があるといえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we used deep learning and statistical methods to classify the movements of players during a game. We then extracted feature values and investigated indices to evaluate players from a new perspective. We obtained time-series data on the acceleration in each of the three axes during a game of college female soccer players wearing the latest inertial sensor, and classified the player's movements in the frequency domain by performing a fast Fourier transform. As a result, it was confirmed that the movement classification was mainly affected by the vertical acceleration, and that the distribution of the movements during the game was different for each player. By considering the distribution of the movements as a feature value during the game of the players, it is possible to present an evaluation index using the average value of the distribution, etc.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：深層学習 球技 評価指標

## 1. 研究開始当初の背景

人工知能の研究は第3次ブームにあるといわれており注目を集めている。この背景のひとつとして、深層学習の分野で進展があり、データから特徴量を抽出する特徴表現学習という領域が開拓されたことが挙げられる。これにより、従来は人間が設定した枠組みの中で人工知能が問題を解いていたのに対し、枠組みの設定自体を人工知能が行うことができるという可能性が見出された。一方、スポーツの分野においても、GPSシステムの精度の向上や汎用化により、選手にGPSデバイスを装着することで、位置・速度だけでなく、選手の細かい動き、例えば、方向転換走時における切り返しの安定性や、減速-方向転換-加速の一連の動きの円滑さなどが測定できるようになった。この測定データはあまりに膨大であり、必ずしも十分活用されているとは言えず、現在のところ例えばサッカーでは、実測データをいくつかの項目に整理することで把握し、各項目についてポジション別での違いや15分毎の測定値の変化を測定していることに留まっている。他競技でもほぼ同様であり、最新のGPSにより測定されたデータを指導者の知見に基づいた枠組みで整理し、選手の動きを把握するというのが現行の分析方法である。しかしながら、選手の動きに関して得られる最新のGPSでは、指導者の「眼力」でも認識の難しい細かい動きを抽出しているだけでなく、従来の評価の視点を越えた、例えば、高強度走時での加速動作などの項目間の関係や、動きの時系列変化とパフォーマンスとの関係や、選手相互間の関係など複雑な要因も考慮した新たな枠組みの下で特徴量を抽出できる可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、球技を対象として、試合中の選手の動きに関する多項目からなる時系列データから、深層学習の技術を用いて特徴量を抽出、評価指標として提示し、指導者の経験や現行の分析法による評価と比較することで、深層学習により新たな視点での選手評価の特徴量を設定できるのか、その適用可能性と有用性を探索することが目的である。最新のシステムであるGNSSを採用した世界初のGPSであるOPTIMEYE S5 (Catapult社製)を使用し、試合中の選手の速度や移動距離だけでなく素早い方向転換やターン等の動作における速度変化を測定する。測定したデータについては、深層学習を用いて分析し、選手の方向転換やターン等の特徴および傾向などについて考察することで、深層学習の適用可能性を明らかにする。対象競技は、当初はサッカー、ハンドボール、バスケットボール、バレーボールとしており、競技別に新たな特徴量を見出ししていく予定であった。しかしながら、新型コロナウイルス感染症の影響で、ハンドボール、バスケットボール、バレーボールについてはデータ測定を十分行うことができなかつたため、今回の対象競技はサッカーのみとなった。

## 3. 研究の方法

順天堂大学女子蹴球部所属選手に、サンプリング周波数が100Hzの慣性センサ(IMU)を搭載したウェアラブルデバイスを装着し、試合中の3軸方向別の加速度を計測した。計測された加速度データを3秒ごとに区切り、高速フーリエ変換(FFT)することで周波数領域にて選手の動きを可視化した。可視化されたグラフを、深層学習におけるInvariant Information Clustering(IIC)の手法を用いて教師なし学習を行い、IICのノード数などを調整して予測精度の高いモデルの探索を行いつつ選手の動きを分類した。並行して、統計学的なクラスター分析の手法としてk平均法を用いた分類も行った。

当初の予定では、①深層学習による既存データの分析、②GPSデバイスによるデータ測定、③深層学習による競技別データの分析という3つの大項目に分けて研究を遂行する予定であったが、③については断念し、女子サッカーに関して測定したデータについて、IICによる分析を実施した。コロナ禍の下で、30試合を超える測定データを取得したが、本報告では、試合の撮影なども同時に行い、総合的にデータを十分蓄積することができた8試合の分析について記載する。

### (1) IICの概要

本研究では、深層学習を用いて、Pytorchのフレームワークで時系列データの各部分から選手の動きの分類を試みた。具体的には、選手の動きを計測した時系列データをFFTにより周波数領域に変換したデータ(以下、FFTデータ)に、Ji, Henriques & Vedaldi(arXiv:1807.06653, 2019)によって提案された教師なし学習による分類手法のひとつであるIICを適用して、動きを分類した。IICは相互情報量 $I(\Phi(X), \Phi(X'))$ を最大化するように、ラベル付けされていないペアデータ $(X, X')$ をネットワーク $(\Phi)$ が判別するよう学習していく手法である。

IICを用いた教師なし学習のイメージを図1に示している。図1では、まず図の左側に示したようにFFTデータ $X$ にノイズを加えて $X'$ を生成する。図の中央に示しているように、ネットワーク $(\Phi)$ を入力層・中間層・出力層の3層で構成し、 $X$ の入力の結果を分類したものを確率ベクトル $P(Z|X)$ として生成する。次いで、同じネットワークにノイズを加えた $X'$ を入力し、確率ベクトルを $P(Z'|X')$ として生成する。これらの確率ベクトルを比較することにより相互情報量 $I(z, z')$ を得ることができる。ここで相互情報量は $I(z, z') = H(z) - H(z|z')$ と定義されている。 $I(z, z')$ を最大化するには、 $H(z)$ を大きく、 $H(z|z')$ を小さくしていく必要があるが、IICをチューニングすることで $H(z)$ と $H(z|z')$ のバランスが取れた分類が可能となる。

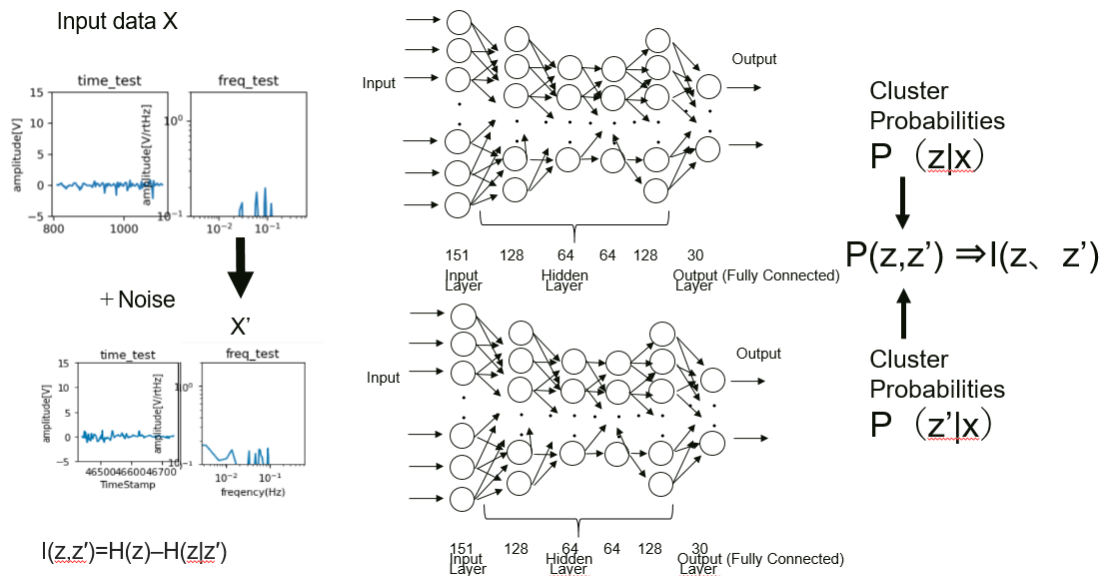


図 1. IIC を用いた教師なし学習のイメージ

## (2) 分析対象と方法

本報告では2019年8月24日から11月10日にかけて行われた第33回関東大学女子サッカーリーグ2部の8試合を分析した結果について述べる。対象は、大学女子サッカー選手(年齢  $20.4 \pm 1.3$  歳、身長  $162.0 \pm 6.4$  cm、体重  $54.3 \pm 6.7$  kg) 12名である。内訳はセンターバック(CB)3名、サイドバック(SB)2名、セントラルミッドフィールダー(CMF)3名、サイドミッドフィールダー(SMF)2名、フォワード(FW)2名であった。ストライカーが「セカンドストライカー」としてプレーする4-4-2の変形である4-4-1-1という同じフォーメーションが使用され、すべての試合は同じ指導者によって指揮された。順天堂大学倫理委員会の承認を得て、研究参加者全員からインフォームドコンセントを得た上で研究を実施した。

参加者はウェアラブルデバイス(OptimEye S5 または G5; Catapult 社製)、加速度計、磁力計、および100Hzのジャイロ스코プロギングで構成されるIMUを、背中の上部に特別なハーネスを着用することで装着した。IMUで測定された3軸方向の加速度(AccX, AccY, AccZ)の生データを、専用のソフトウェアを使用して選手ごとに抽出し、Python(バージョン3.7.13)にて分析した。

分析方法を示すと以下ようになる。まず、AccX, AccY, AccZを3秒ごとに区切って抽出した。次いで、AccX, AccY, AccZをFFTにて周波数領域に変換した。FFTは時系列データを解析する手法であり、加速度の周波数領域のべき乗分布を計算することで、各選手の時系列運動の変化が周波数領域にて可視化できる。3軸方向の加速度の3秒ごとの時系列データとFFTにて周波数領域に変換したFFTデータの一例を図2に示す。時系列データのオーバーラップ率は10%とした。3軸におけるFFTデータ(FFTX, FFTY, FFTZ)を入力XとしてIICのネットワーク( $\Phi$ )にて学習し、選手の動きを分類した。

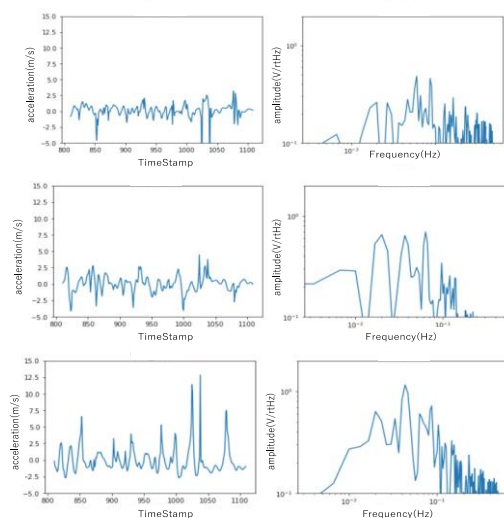


図 2. 加速度の時系列データ (左) と周波数領域に変換した FFT データ (右) の一例

IICによる分類と比較するため、k平均法を用いた分類も行った。k平均法では、映像から特定した静止状態のときの加速度 (FFTX0, FFY0, FFTZ0) から 3 軸方向での乖離 (FFTdiffX, FFTdiffY, FFTdiffZ) を周波数領域上のユークリッド距離として求め、各動きを分類した。なお、階層的クラスタリングの手法でも分類してみたが、データ量が膨大ということもあり、今回はデータ間の関係性を把握することは困難であった。クラスタ数は 20、30、40 にて分類して、指導現場の観点から解釈したところ、30 にしたときが最も妥当であると考え、クラスタ数 30 にて詳細な分析を進めた。

試合の撮影は、ビデオカメラ (HDR - CX480、ソニー製：解像度 1270×720 ピクセル) を用いた。2 台のビデオカメラを固定してフィールド全体を撮影した。FFT データを基に分類された選手の動きと実際の映像での動きとを照合するために、k 平均法にて分類した各クラスタにおける周波数領域内の FFTdiffX, FFTdiffY, FFTdiffZ の平均値を算出し、各クラスタの位置関係を概観できるよう可視化した。選手が立っている状態や移動活動を行っていない状態に分類されたクラスタは、撮影した映像と実際の選手の動きとを照合した上で排除した。

#### 4. 研究成果

##### (1) IIC のチューニング

FFT データを IIC により分類する際に、中間層のノード数を変化させて調整した結果、最終的には、ノード数は 64 とした。バッチサイズは 32 とし、オプティマイザーは Adam (rate0.0001) とした。活性化関数には、中間層は Relu、出力層はソフトマックス関数とし、相互情報量の最大化を損失関数の最小化におきかえて、エポック数による損失の減少を確認しつつ適切な分類が得られるようにチューニングしていった。

##### (2) 選手の動きの分類

選手の動きについて、静止状態のクラスタを基準として、分類された各クラスタの平均位置をユークリッド距離にて測ったときの乖離と、映像により選手の動きとの関係を求めた (表 1)。

表 1. k 平均法でのクラスタ番号と選手の動きの分類の例

k平均法でのクラスタ番号	ユークリッド距離	選手の動き	(参考) IICで主となるクラスタ番号
8	7.52	減速	2,27
22	8.05	高強度走	13
10	8.94	方向転換	2,13
24	8.97	加速	2,13
0	10.01	加速	2,13
14	10.99	方向転換	2,25
6	11.82	高強度走	13
11	14.18	減速	2,23,25
26	18.70	エアリアルデュエル	15
27	18.92	ロングパスのキック	25
7	25.62	ロングパスのキック	25

表 1 では示していないが、クラスタ番号 21 は静止に分類され、9、23、および 16 は移動活動がないと分類された。これらクラスタ番号 21、9、23、16 を除く各選手の 1 試合での動きを、各クラスタの平均位置のユークリッド距離の分布として表現した。図 3 に一例として、フルタイムで試合出場した 2 名の選手の分布を示している。選手ごとに試合全体の動きが分布として表現できており、分布の形が異なることが確認できている。このような分析により、選手の試合での動きをひとつの特徴量として抽出することができ、分布を基に選手を評価することが可能となることが分かった。ちなみに 12 選手の分布の平均値について、一元配置分散分析と多重比較検定を行ったところ、66 ペア (=12×11/2) のうち 58 ペアで有意な差が見られた (表 2)。このことから分布の平均値が、動きの評価指標として使用できることが示唆された。さらに分布の違いが動きの違いを表現していることから、標準偏差なども選手の動きの評価指標となりえると考えられる。

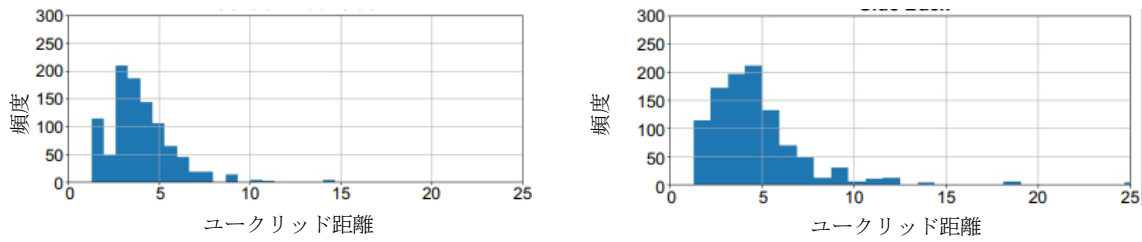


図 3. k 平均法により分類した際の特定の選手の 1 試合での動きの分布の例

表 2. 12 選手の 1 試合での動きの分布の平均値の有意差

	CB1	CB2	CB3	SB1	SB2	CMF1	CMF2	CMF3	SMF1	SMF2	FW1	FW2
CB1	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CB2		—			*		*	*	*	*	*	*
CB3			—	*	*		*	*	*	*	*	*
SB1				—		*	*		*	*	*	*
SB2					—		*		*	*	*	*
CMF1						—	*	*	*	*	*	*
CMF2							—	*	*	*	*	*
CMF3								—	*	*	*	*
SMF1									—		*	*
SMF2										—	*	*
FW1											—	*
FW2												—

注) \*印は、有意水準 0.05 で 2 選手の平均値に差がみられたことを示す (ボンフェローニ補正あり)

k 平均法による分類と実際の映像との関係については、表 1 に示したように、いくつかの動作は映像からは似た動作として大別されているが、FFT データでは異なるクラスターとして分類されている。Passos Ramos et al. (Science and Medicine in Football 2019; 3: 231-237) は、速度の定義を歩行 (0~6.0km/h)、低速走 (6.1~8.0km/h)、中速走 (8.1~12.0km/h)、高速走 (12.1~15.5km/h)、超高速走 (15.6~20km/h)、スプリント走 (>20km/h) の 6 つのカテゴリに分類している。本研究で、ユークリッド距離が最も大きいクラスターに分類された 3 つの動きは、選手がボールに直接関わったときの動きであり、移動速度からだけでは分類できない動きが抽出されていると言える。表 1 より、特にロングパスを蹴る際の加速度は、加速、減速、方向転換等のボールを伴わない動作に比べて大きな加速度を示している。今回の研究では単純なロングパス、クロス、クリアなどロングパスの種類までは詳細には分類できていないが、ロングパスのみに焦点を当てた分析であれば、IMU を用いた新たな視点での選手分析が可能になると考えられる。

また、表 1 に参考として、IIC より鉛直方向 FFT データにより分類した結果も併記している。(クラスター番号は ICC と k 平均法はそれぞれ独自に振られている。) k 平均法による分類とは静止状態では一致したが、他の動きについては分類の仕方に差異がみられている。今後、さらに詳細に分析していく必要はあるが、動きの分類に関して、IIC と k 平均法が相補的な役割をするのではないかとすることも示唆される。映像でも認識できない細かな動きも IMU にて計測されていることを考慮すると、このような取り組みにより、競技現場で選手評価の視点を広げることができる可能性を見出せたといえる。また将来的には、競技レベル間や男女間で比較することで、選手の競技パフォーマンスの向上、怪我の予防、指導現場でのトレーニングの計画立案などについて、IMU によるデータを活かすことで、指導者の感覚を超えたレベルでの知見が得られるのではないかと期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hirotsu N, Inoue K, Yamamoto K and Yoshimura M.	4. 巻 34
2. 論文標題 Soccer as a Markov process: modelling and estimation of the zonal variation of team strengths	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IMA J. Management Mathematic	6. 最初と最後の頁 257-284
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/imaman/dpab042	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 -

1. 著者名 Masui Y, Hirotsu N, Ishihara Y, Shimasaki Y, Iguchi Y, Miyamori T, Yoshimura M	4. 巻 18
2. 論文標題 Sprinting Analysis of Japanese Female Soccer Players during Competitive Matches Using Video Analysis Software	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Football Science	6. 最初と最後の頁 51-59
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hirotsu N, Komine A	4. 巻 17
2. 論文標題 Game theoretic approach to analyze Japan's "keep rolling the ball" tactic used in the 2018 FIFA World Cup group stage final matches in Russia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Football Science	6. 最初と最後の頁 56-68
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kiuchi M, Maehana H, Hirotsu N	4. 巻 17
2. 論文標題 Categorization of rugby union players by performance characteristics using principal component analysis and cluster analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Football Science	6. 最初と最後の頁 86-97
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Hirotsu N, Masui Y, Shimasaki Y, Yoshimura M
2. 発表標題 10th MathSport International Conference 2023
3. 学会等名 10th MathSport International Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hirotsu N, Masui Y, Shimasaki Y, Yoshimura M
2. 発表標題 A Markov game model for determining tactical changes in an association football match
3. 学会等名 IX MathSport International 2022 Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣津信義, 舛井裕輝, 島寄佑, 吉村雅文
2. 発表標題 A Markov game model for determining tactical changes in soccer
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2022秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masui Y, Hirotsu N, Shimasaki Y, Yoshimura M
2. 発表標題 Analysis of soccer player 's activity profiles using time-series data
3. 学会等名 MathSport International 2021 Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Oda T, Hirotsu N
2. 発表標題 Classification of Japanese professional baseball players using a Gaussian mixture clustering model
3. 学会等名 MathSport International 2021 Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirotsu N, Inoue K, Yamamoto K
2. 発表標題 Modelling a football match as a Markov process: Estimating the effect of offensive and defensive strengths on winning probability
3. 学会等名 The 31st European Conference on Operational Research ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舛井裕輝、廣津信義、島寄佑、吉村雅文
2. 発表標題 Analysis of soccer player ' s activity profiles using deep learning technique
3. 学会等名 2021年日本OR学会秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 織田大志、廣津信義
2. 発表標題 Classification of fielders in Nippon Professional Baseball using a Gaussian mixture clustering model
3. 学会等名 2021年日本OR学会秋季研究発表会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Masui Y, Ishihara Y, Shimasaki Y, Miyamori T, Yoshimura M
2. 発表標題 To analyze the situation of sprinting during matches in collegiate female soccer players
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Oda T, Hirotsu N
2. 発表標題 Classification of Japanese professional baseball players by cluster analysis
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masui Y, Shimasaki Y, Ishihara Y, Nagasaka N, Miyamori T, Yoshimura M
2. 発表標題 Analysis of high intensity running during games in collegiate female soccer players
3. 学会等名 25th European College of sports science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石原美彦、島寄佑、舛井裕輝、井口祐貴、宮森隆行、西尾啓史、長坂奈菜美、池田隼、吉村雅文
2. 発表標題 大学女子サッカー選手における体力特性と高強度活動の関連性
3. 学会等名 第18回日本フットボール学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirotzu N, Inoue K, Yamamoto K, Yoshimura M
2. 発表標題 Modelling a football match as a Markov process: Estimating teams' strengths relating to the degree of the division of the pitch
3. 学会等名 2021年日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 舛井裕輝、島寄佑、今川正浩、長坂奈菜美、井口祐貴、松本直也、吉村雅文
2. 発表標題 大学女子サッカー選手のスプリントテストと試合中の走速度に関する研究
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 井口祐貴、吉村雅文
2. 発表標題 日本人女子ハンドボール選手における試合中に活動プロフィールに関する研究
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 内田拓夢、井口祐貴、島寄佑、宮森隆行、吉村雅文
2. 発表標題 高校生男子ハンドボール選手の活動プロフィールに関する研究
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 赤木みき、池田隼、井口祐貴、宮森隆行、川北元、吉村雅文
2. 発表標題 バスケットボールにおけるスモールサイドゲームに関する研究 女子中学生を対象として
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 山根拓也、川北元、井口祐貴、池田隼、舛井裕輝、宮森隆行、吉村雅文
2. 発表標題 ウェアラブルデバイスを用いた女子バレーボール選手における試合中の動きに関する研究
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019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
研究 分担者	吉村 雅文  (Yoshimura Masafumi)  (10210767)	順天堂大学・大学院スポーツ健康科学研究科・教授   (32620)	

	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
研究 協力者	島寄 佑  (Shimasaki Yu)	順天堂大学・スポーツ健康科学部・助教	
研究 協力者	宮森 隆行  (Miyamori Takayuki)	順天堂大学・保健医療学部・講師	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	井口 祐貴  (Iguchi Yuki)	桃山学院大学・法学部・講師	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関