

加速度センサを用いたリアルタイム競泳コーチングシステムの開発

生産システム工学専攻 松本 知佳

Development of Realtime Coaching System for Swimmer using Acceleration Sensor

Chika MATSUMOTO

Advanced Course of Production System Engineering, National Institute of Technology, Toba College

Abstract

The objective of this research is to develop a system which enables athlete swimmers and coaches to understand swimming motion in their training easily. Coaches will be able to grasp visually the real time situation of the swimmer with this system. This system is composed of an analytical PC, acceleration sensor and information display unit. In this system, the analytical PC is located on poolside, and coach simply watches the software screen. Information display unit is installed in bottom of pool. The swimmer wears a tri-axial acceleration sensing unit. And this unit continues transmitting their acceleration value to PC in real time from water by wireless communication.

PC analyzes pitch information, estimated velocity and assist information from this acceleration value. From this pitch information, coaches can grasp the state of the swimmer details such as estimated speed and time of each stroke of the swimmer. This is because a PC finds the correlation between acquired data in real time which every 1 acquires acceleration values and comparison data. Velocity estimation information is found by integrating acceleration. And PC converts these information into graph and definite advice, then displays the result that understandable visually. From the above, this system performs coaching assist of swimming race in real time.

Keywords: Swimming Motion, Acceleration, Underwater Wireless Communication, Sports Engineering

1. はじめに

近年における競泳トレーニングの現場では、単に泳者が練習メニューをこなすだけでなく、泳者の泳動作（泳ぎのフォーム）を正確かつ詳細に把握し、より速く泳ぐための方法を分析することが重要視されている。この要求を満たすシステムとして、泳者の体に装着して泳動作の計測を行うウェアラブルタイプの泳動作解析システムが開発・研究されている[1][2]。しかし、これらのシステムは通常泳者が泳ぎ終わった後に泳動作の分析を行うものであり、リアルタイム性（泳者が泳いでいる最中にコーチングを実施）に欠ける。現在、競泳の練習中に泳者の状態をリアルタイムに閲覧できるシステムは存在する[3]が、加速度波形の表示のみであるため利用者は泳者のピッチや速度の増減を把握しづらい。そこで我々は、コーチが PC 上のソフトウェア画面をひと目見ただけで、泳者の状態をリアルタイムに把握できる競泳コーチングシステムの開発を行っている。

本システムは泳者の体の一部（腰部）に取り付けられた測定装置から無線通信により三軸の加速度情報を取得し、PCにて解析する。本システムを用いれば、コーチはソフトウェア画面を閲覧するだけで泳者のスト

ロークごとの時間や速度増減などの詳細な泳者の状態を把握できる。本システムは視覚的に理解しやすいグラフなどでの表示を行うだけでなく、リアルタイムの映像も表示することにより、コーチが泳者に対してリアルタイムにアドバイスを行うことを可能とした。また、観測した加速度データや撮影した映像、分析内容はシステムに保存でき、後から確認することが可能である。つまり本システムはリアルタイムにコーチングすることはもちろん、練習後の確認も可能としている。

2. 競泳コーチングシステムの概要

本システムは、コーチ用端末としてデータ分析・表示用 PC、泳者に取り付ける加速度測定装置、泳者に情報を提示する電光掲示板、映像記録のためのカメラより構成される。本システムでの処理の流れは図 1 の①から⑥の手順である。泳者は測定装置を腰部に装着した状態で泳ぐ。この時、測定装置からは泳者の泳ぎのデータ（加速度情報）が陸上のデータ分析・表示用 PC に対してリアルタイムに無線で送信され分析される。陸上のコーチは泳者のリアルタイムな加速度情報と分析内容を閲覧し、コーチングを音声またはプール底に設置した電光掲示板に表示することにより、泳者に対

するリアルタイムなフィードバックを実現することができる。観測された加速度データや映像、分析結果は、後から確認することが可能である。これにより練習後も動画と加速度データを照らし合わせて確認できる。

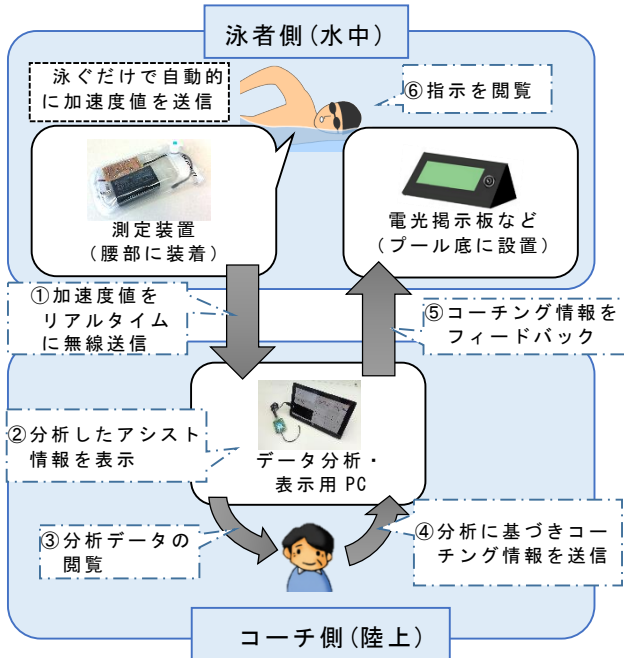


図 1 競泳コーチングシステムの概要

3. コーチ用画面の構成と機能

3.1 画面構成

コーチが閲覧するソフトウェア画面の構成を図 2 に示す。コーチ用ソフトウェア画面（以下、コーチ用画面）にはリアルタイムの練習で利用する「リアルタイム支援モード」（以下、支援モード）と練習後に練習時の泳ぎのデータを確認する「過去データ閲覧モード」（以下、閲覧モード）の 2 つのモードがある。各モードは図 2 に示すコーチ用画面の①モード選択ボタンにより切り替える。

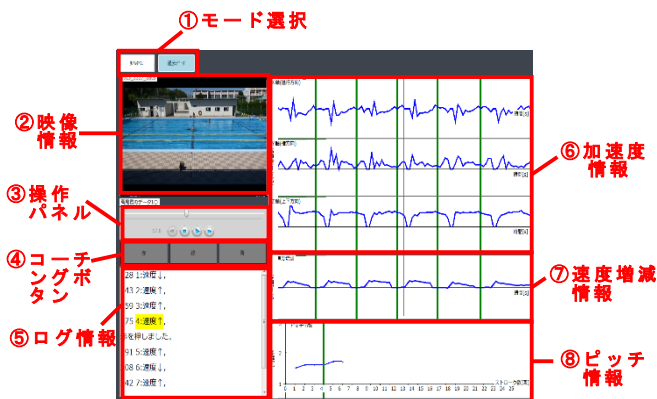


図 2 コーチ用画面の構成

支援モードでは、泳者が泳いでいる最中、コーチ用画面に図 2 の②映像情報、⑤ログ情報、⑥加速度情報、⑦速度増減情報、⑧ピッチ情報がリアルタイムに表示される。コーチはこれらの情報をもとに泳者へアドバイスを行う。また、③操作パネルで加速度データと分析内容、撮影した映像を録画・保存できる。④コーチングボタンは支援モード時のみ使用でき、コーチングを行う際に利用する。

閲覧モードでは、支援モードで保存した分析データを後から閲覧できる。閲覧モードに切り替えた時点で保存した最新のデータが表示され、③操作パネルで分析データを閲覧する。このモードにより、いつでも過去の泳ぎのデータが閲覧可能となり、今後の練習のポイントなどを選手と一緒に確認することができる。

以下にコーチ用画面に表示される内容の詳細について示す。

3.2 映像情報

映像情報では、ビデオカメラで撮影している泳者の映像を閲覧できる。図 3 に撮影した映像の例を示す。映像は加速度情報と同時に撮影が開始、停止・保存される。撮影に使用するカメラはデータ分析・表示用 PC に Wi-Fi で接続して利用する。映像データをはじめとして観測された加速度データは、後から確認することが可能である。

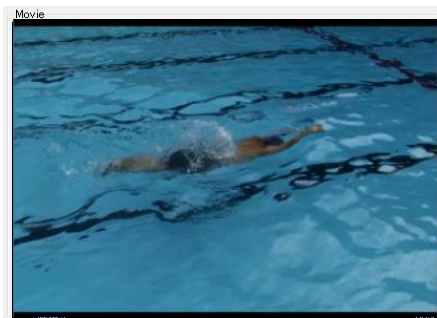


図 3 映像情報の例

3.3 加速度情報

加速度情報では、選手の腰に装着した測定装置より取得した X, Y, Z 軸の加速度波形をリアルタイムに描画する。図 4 に示す通り、X, Y, Z 軸はそれぞれ進行方向、左右方向、鉛直方向である。この加速度情報により、各軸の方向にどれだけの力が加わったのかわかる。



図 4 加速度の軸方向

例としてコーチ用画面に表示される加速度情報を図 5 に示す。加速度値はサンプリング周波数 10Hz で、測定装置から PC へ送信される。この加速度情報は上から順に X, Y, Z 軸を表示し、図の右側から左側にかけてデータが表示されていく。青線の波形は加速度データ、緑線の突起はストロークの区切りを表している。これにより、加速度情報のグラフからストロークの間隔を読み取ることが可能となる。

支援モード時に、リアルタイムに加速度波形として表示される情報は最新の 10 秒間のデータである。

閲覧モード時では動画の映像より前後 5 秒間の加速度波形が表示される。図 5 に示した加速度情報グラフの真中に引かれた線が動画で表示されている最中の加速度データとなる。つまり、表示している映像より 5 秒前と 5 秒後の加速度値を見ることができる。

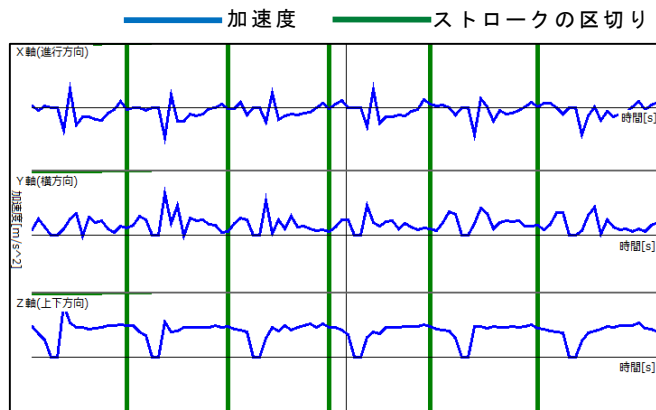


図 5 閲覧モード時の加速度情報の例

3.4 速度増減情報

速度増減情報とは、選手の泳ぐ速度を推定し速度増減の変化をグラフで表示するアシスト情報である。今回、具体的な速度値は求めずに 1 ストロークにおいて速度が上がった、下がったかを推定している。そのため、毎回ストローク開始時には加速度値を $0[m/s^2]$ にし、加速度の積分を行う。

コーチ用画面に表示される速度増減情報の例を図 6 に示す。この速度増減情報は図の右側から左側にか

てデータが常に流れ続ける。速度増減情報により大まかな泳者の泳ぎの速度増減が分かる。青線は速度の増減、緑線はストロークの区切りを表している。

支援モード時に表示される情報は最新の 10 秒間のデータである。また、加速度情報と同様に、閲覧モードでは動画の映像より前後 5 秒間の速度増減情報が表示される。

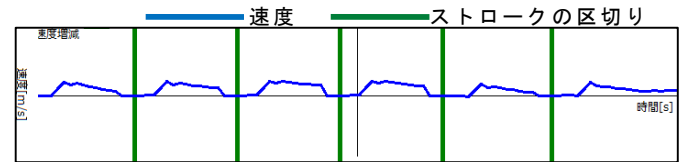


図 6 速度増減情報の例

3.5 ピッチ情報

ピッチ情報では、1 ストロークに要した時間と回数をリアルタイムにグラフに描画していく。例えば平泳ぎなら、ストロークはプル（掻き）動作、キック（蹴り）動作、けのび動作の繰り返りで構成される。

コーチ用画面に表示されるピッチ情報の例を図 7 に示す。横軸はストロークを行った回数、縦軸はストロークに要した時間を表している。例えば図 7 では、1 度目のストロークには 2 秒、3 度目のストロークには 2.2 秒時間を要したことがわかる。このようにひと目見ただけで選手のピッチを把握することが可能となる。ストロークは最大 25 回まで表示することが可能である。

支援モード時は、グラフには 1 ストロークの時間と回数をストロークが行われる毎に描画していく。閲覧モード時は、グラフには行われた全てのストロークが表示され、データの再生中に行われたストロークには図 7 のように緑線が表示される。

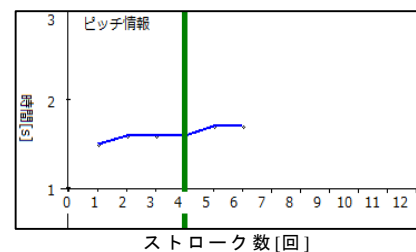


図 7 閲覧モード時のピッチ情報の例

3.6 コーチングボタン

プール底に設置した電光掲示板と連動しており、画面上のボタンを押下すると、押した色に合わせ電光掲示板に同じ色が表示される。これにより、コーチは泳者に指示が可能になる。指示を行うためには、予めコ

コーチと泳者で色別にコーチング内容を定めておく必要がある。例えば、赤は「遅い」、緑は「現状維持」、青は「速い」とし、泳者の状態に合わせてコーチは泳者へ泳ぎに対するフィードバックを行う。これにより泳者はリアルタイムに自分の泳ぎの状態を知ることができる。



図 8 コーチングボタン

3.7 ログ情報

ログ情報では、泳者の状態やコーチが出した指示をテキストで表すことにより、ストロークと速度増減の関係、過去に出した指示をひと目で確認できる。図 9 に示したテキストの左から順に、ストロークが行われたデータ数、ストローク数、ストローク時の速度増減が表示される。また、押下したコーチングボタンの色も表示する。現在は以上の情報のみの表示だが、今後は「ピッチが遅い」、「キック力が低下している」など詳細な泳者の状態が表示されるようにしていく。

支援モードでは、ストロークやコーチングボタンの操作が行われるたびにログ情報の記述が下へ追加されていく。このテキストデータは加速度データ、撮影した映像と共に保存される。

閲覧モードでは、過去のデータを読み込んだ時点で保存したテキストデータを全て表示する。また、再生時間と連動して図 9 の通り黄色のマーカーが移動するため、ポイントを理解しやすいように配慮した。

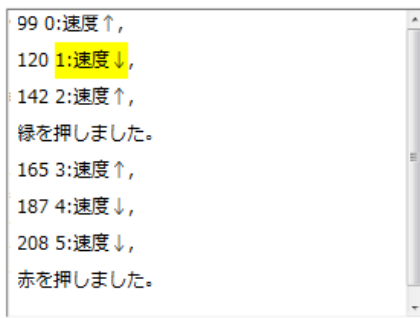


図 9 閲覧モード時のログ情報

3.8 操作パネル

利用者は操作パネルのボタンを使用することで、泳者のデータを録画・保存、閲覧できる。加速度や映像、テキストデータの録画・保存、閲覧は図 10 に示した操作パネルにより行う。操作パネルは、モードによって表示するボタンが変わる。支援モード、閲覧モード時

に表示される操作パネルを図 10(a), (b)に示す。

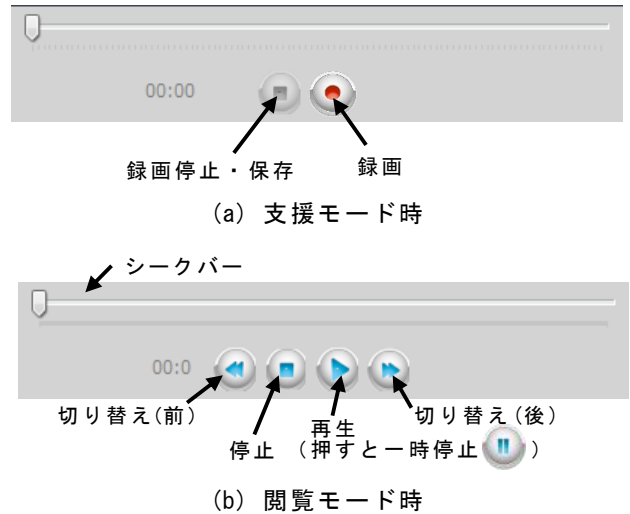


図 10 操作パネルのボタン配置と機能

支援モードでは図 10(a)の、「録画」ボタンを押すことで、測定装置から無線で送信される加速度データの受信、映像の撮影を開始する。「録画停止・保存」ボタンを押すとデータの受信を切り、加速度データと撮影した映像、ログ情報のテキストデータを保存する。

閲覧モードでは図 10(b)の、「再生」ボタンを押すと、過去のデータを再生して表示する。「再生」ボタンは押下すると「一時停止」ボタンになる。「一時停止」ボタン、「停止」ボタンでデータの再生を一時停止、停止する。「切り替え(前)」、「切り替え(後)」ボタンでシステムに保存されている他の過去データに切り替わる。データはシークバーのつまみを移動させることで閲覧したい時刻に合わせられる。

4. ストロークの切り分け実験

4.1 実験概要

競泳において泳者がストローク数、即ちピッチを把握することは理想のペース配分を保つこととなり、タイムが伸びることに繋がる[4]。本実験では、泳者のピッチを把握するために、ストロークを加速度データから正確に切り分けられるか実験した。また、ストロークを切り分ける際に必要となる基準データが他の泳者の物でも、問題なくストロークを切り分けできるか評価した。本実験は本校の水泳部（平泳ぎ専門）の学生 2 名を被験者とし、水深約 1.5m、距離 25m のプールにて実施した。各泳者は腰部に測定装置を装着し、平泳ぎを飛込み台から 25m 地点まで 3 回泳いだ。データ分析・表示用 PC はプールサイドの中心（12.5m）から約 1m 離れた箇所に設置した。図 11 にプールにおける被験者とデータ分析・表示用 PC の位置関係を示す。

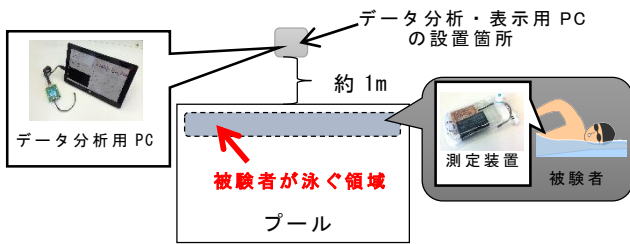


図 11 実験環境

4.2 自己相関による切り分け

本実験では、泳者のピッチを知るために必要となるストロークの切り分け実験を行った。今回はストローク間隔が一番長く、特徴的な加速度データが得られやすい平泳ぎを対象とし、ストローク、ターンの切り分けを行う際に必要となる適当な相関値を調べた。

今回、我々は1ストロークの切り分けについて一次の自己相関を用いて実装した。4泳法（クロール、平泳ぎ、バタフライ、背泳ぎ）の泳動作で得られる加速度データは、それぞれの泳法において選手ごとに似た波形が得られた。実際に観測された平泳ぎの加速度データを例として図 12 に示す。

ストロークやターンを抽出するには、リアルタイムに取得した加速度データと相関するための、基準データが必要となる。ストロークは X 軸、ターンは Y 軸を基準データのもとにしている。基準データとなる加速度データを取得するために、泳者には事前に加速度測定装置を装着した状態で、通常の練習通り泳いでもらう必要がある。

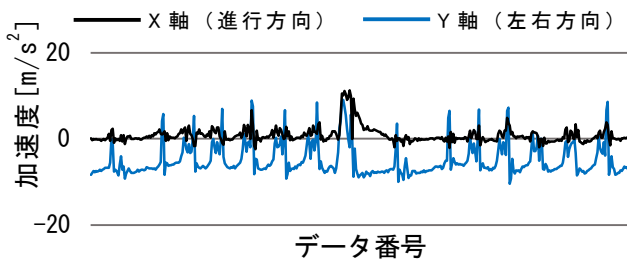


図 12 平泳ぎ時の加速度データ

今回、平泳ぎのストローク、ターンの適当な相関値を調べるため、加速度値を1データ取得する毎に、リアルタイムに取得したデータと基準データの相関値を求めた。

結果として、基準データと実測した加速度データの相関値が 0.7 以上であればストローク、ターンと判断することにした。図 12 の加速度データに対して相関処理を行った結果が図 13 である。図 13(a), (b)はストローク、ターンの相関係数の変化を示している。図中

の緑線がストロークの切り分けを行った箇所である。それぞれのパターンとの比較において相関値 0.7 以上でストローク、ターンの切り分けができることがわかった。

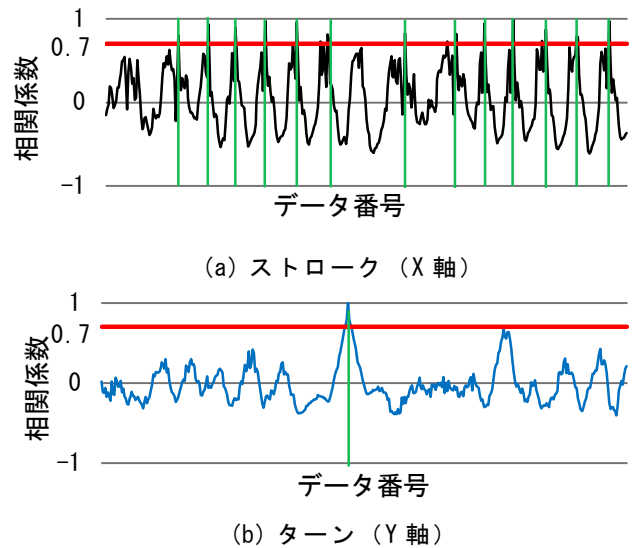


図 13 相関係数の変化

4.3 評価実験

評価実験では、「人間が目視した正解のストローク数」、データ分析・表示用 PC での処理により抽出された「ストローク候補の数」、および正解のストロークとストローク候補を比較して成功と判断した「抽出成功の数」から、適合率、再現率を求めることを行う [5]。ストローク抽出は、人間が目視した正解のストロークより、ストロークの切り分け位置が 5 データ以内であれば成功とした。

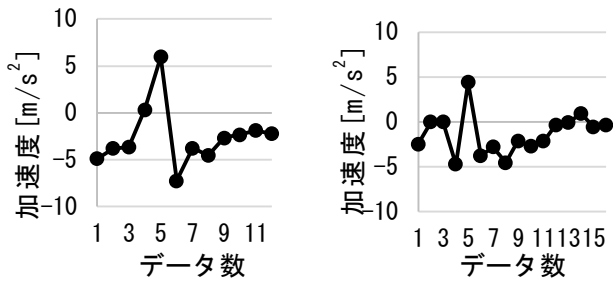
適合率、再現率は式(1), (2)によってそれぞれ求める。

$$\text{適合率} = \frac{\text{抽出成功の数}}{\text{ストローク候補の数}} \dots (1)$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{抽出成功の数}}{\text{人間が目視した正解のストローク数}} \dots (2)$$

適合率は、抽出されたストローク候補の中で抽出成功の占める割合を示し、抽出されたストロークの候補がどれだけ正確であったかを知る指標となる。一方で再現率は、抽出成功の数を人間が目視した正解のストローク数で割ったものであり、どれだけのストロークを抽出できたかの網羅性の指標である。

なお、ストロークの切り分けには図 14(a), (b)に示す加速度波形を基準データとして利用する。それぞれ、被験者 A, B が泳いだ時に観測した X 軸加速度から抜粋した適当な 1 ストロークの波形である。



(a)被験者 A の基準データ (b)被験者 B の基準データ
図 14 実験で使した基準データ

4.4 評価実験の結果と考察

今回、被験者 2 名のストロークの適合率と再現率を調べるために 2 つの実験を行った。実験 1 では、被験者自身の基準データと加速度データを用いてストロークの切り分けを行った。実験 2 では、被験者 A の加速度データと被験者 B の基準データ、被験者 B の加速度データと被験者 A の基準データを利用してストロークの切り分けを行った。つまり、被験者の加速度データとその被験者以外の基準データでストロークを抽出できるかを調べた。実験 1, 2 の結果を表 1, 2 に示す。

表 1 実験 1 の結果 (基準データと泳者が同じ場合)

被験者	基準波形	評価	1 回目	2 回目	3 回目	平均
A	A	適合率 [%]	100	100	100	100
		再現率 [%]	100	100	100	100
B	B	適合率 [%]	100	100	100	100
		再現率 [%]	60	70	80	70

表 2 実験 2 の結果 (基準データと泳者が違う場合)

被験者	基準波形	評価	1 回目	2 回目	3 回目	平均
A	B	適合率 [%]	50	0	75	41.67
		再現率 [%]	18.18	0	27.27	15.15
B	A	適合率 [%]	50	71.42	80	67.14
		再現率 [%]	10	50	40	33.33

結論として、本実験より泳者の加速度と相関するための基準データは、他の泳者の基準データを用いるのではなく、各泳者に合わせて用意する必要があるということがわかった。以下に、結論に至るまでの考察を述べる。

実験 1 の結果、被験者のデータから切り出した基準データと加速度データの相関を求めたときは、十分にストロークを切り分けできた。被験者 A は適合率、再現率共に 100 [%] と全てのストロークを正確に抜けなく抽出できた。被験者 B の適合率は泳いだ分が全て 100 [%] と正確にストロークを判定することができた。しかし、再現率は 60~80 [%] と被験者 A に比べ低い結果となった。被験者 B の再現率が被験者 A に比べ低くなったのは加速度データの最大値と最小値の差が小さく起伏が少ないためだと考えられる。

実験 2 の結果、被験者の加速度データとその被験者以外の基準データとの相関を求めたときは、被験者 A, B とも低い再現率・適合率となり、ストロークの切り分けは全く行えなかった。

以上より、基準データは泳者達で共有して使用するのではなく、各泳者に合わせて切り出したデータにしなければ正確にストロークと判定できないと言える。

5. 使用に関するアンケート評価

5.1 アンケートの概要

開発したシステムを本校の水泳部の学生 10 名、顧問教員 1 名の計 11 名に使用してもらい、用意した 6 つの評価項目 (表 3) に対してアンケート調査を行うことでシステムの有用性を評価する。

まず、水泳部の学生に測定装置を装着した状態で普段の練習の通りに平泳ぎを泳いでもらい、支援モードにて加速度データ、撮影した映像、ログ情報のテキストを保存する。評価対象となるデータは、本校の水泳部に所属する 5 名の学生に、本校のプール (水深約 1.5m, 距離 25m) で泳いでいただいたデータを使用した。その後、保存したデータの分析結果を閲覧モードにて水泳部の学生と顧問教員に見ていただきアンケート評価を頂く。これによりコーチや泳者が本システムから泳者の状態を知ることができるかの評価を行った。

アンケート評価は 5 段階でしていただき、評価基準は 1: 全く当てはまらない, 2: あまり当てはまらない, 3: どちらともいえない, 4: やや当てはまる, 5: 全く当てはまるとした。

表3 アンケート項目

評価項目	評価内容
A	加速度情報を見て進行方向に適切に力が加わっているかがわかる
B	ピッチ情報においてストロークが行われた回数・秒数が直感的にわかる
C	ログ情報においてストロークごとの速度増減がわかる
D	各部品（ボタンや情報）の配置は良好である
E	システムの操作性は良好である（簡単に操作できる）
F	泳者の泳ぎの状態が必要最低限わかるシステムであると言える

5.2 アンケートの結果と考察

アンケートの結果,表4の評価を得ることができた。各項目の平均は3.90~4.63であり,高評価であったと言える。

表4 アンケート結果

評価項目	評価					平均
	1	2	3	4	5	
A	0	0	2	3	6	4.36
B	0	1	3	3	4	3.90
C	0	0	3	4	4	4.09
D	0	0	0	7	4	4.36
E	0	0	1	2	8	4.63
F	0	0	0	6	5	4.45

システムを使用していただいた感想として「自分の泳ぎが知れてよかった」、「情報が数値化されているので比較しやすくてよい」、「泳いでいるときのスピードの増減が実際に泳いでいるとわかりづらいため、データで見ることができ、これからの練習に活かそうよかった」といった感想を頂いた。

これらより,本システムは各アシスト情報により泳者の泳ぎの状態が必要最低限わかると言える。また,「システムの操作性は良好」という項目は一番高い評価を得られたため,本システムは利用者が扱いやすい画面構成であると言える。

また,本システムを使用していただいた意見として「わかりやすいが,動画をもう少し大きくできると見やすくて良い」、「動画を見ているとデータが過ぎてしまうため,スロー再生をできるようにしてほしい」、「水中カメラがあれば足の動きなどがわかりより良い」といった案を頂いた。映像が小さく見づらいといった意見が複数あったため,動画のサイズを見やすいように調整する必要がある。

「ピッチ情報においてストロークが行われた回数・秒数が直感的にわかる」という項目は,評価の平均が

他と比べ低かった。これを改善するためには,ピッチ情報グラフの縦軸(ストロークに要した時間)を,ストロークに要した時間を判別できるように,現在より目盛りの間隔を広く修正すべきだと考えられる。

6. おわりに

今回考案したシステムにおいて,競泳コーチングシステムを開発し,泳者が平泳ぎをしている時に,コーチがPCを見ただけで泳者の状態を把握可能となる機能を実装した。本システムを実際に本校の水泳部員に使用していただいた結果,「アシスト情報により泳者の泳ぎの状態が必要最低限わかるシステムであると言える」と評価をいただいた。

今回は最低限必要であろう基本的なアシスト情報の提示の実装に留まったが,今後は平泳ぎ以外の泳法にも対応し,「ピッチが遅い」、「キック力が低下している」などといった具体的なアシスト情報を利用者が閲覧できるようにしていきたいと考えている。

また,今回は保存したデータを泳ぎ終わった後に評価したが,今後は実際にコーチングをリアルタイムにアシストできるか実験を実施したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり,資料提供,ご助言を頂いた国立スポーツ科学センタースポーツ科学研究部宮地力先生,櫻井義久先生に感謝の意を表します。

また,泳動作中における加速度等のデータの収集,アンケート評価に協力していただいた鳥羽商船高等専門学校商船学科教授鈴木治先生,同校水泳部に所属する学生の方々に心からお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 仰木裕嗣,金田晃一,高倉昭:“胸部加速度からの泳タイム推定”,日本水泳・水中運動学会2012年次大会講演論文集,pp40-43,(2012/10/20)
- [2] 中島求,仰木裕嗣,秋山絵理,風見直亮:“手首装着型加速度・角速度センサを用いた競泳トレーニング用泳動作表示システムの開発”,ジョイント・シンポジウム講演論文集,pp200-203,(2007/11/13)
- [3] 奥浦航,江崎修央,宮地力:“加速度情報を用いたリアルタイム競泳補助システムの開発”,日本水泳・水中運動学会2012年次大会講演論文集,pp164-167,(2012/10/20)
- [4] 下山好充,きれいな4泳法がだれでも泳げる!,日本文芸社,pp80-99,(2006/5/1)
- [5] 中井英介:“バレーボールの試合映像からのボール領域抽出に関する研究”,鳥羽商船高専特別研究論文,pp30-35,(2010/02/19)