中高齢泳者アーティスティックスイミングにおける同時性に関する基礎的研究
－角度に着目して－

巽　　樹理　　馬込　卓弥
内山　　彰　　長谷川凌佑
松井　　健　　辰本　頼弘
松山　博明

追手門学院大学 スポーツ研究センター 紀要 第５号 別刷

原著論文

中高齢泳者アーティスティックスイミングにおける同時性に関する基礎的研究
～角度に着目して～

巽　　樹　理
追手門学院大学

馬　込　卓　弥
追手門学院大学
大阪大学

内　山　　彰
大阪大学

長谷川　凌　佑
大阪大学大学院

松　井　　健
追手門学院大学

辰　本　頼　弘
追手門学院大学

松　山　博　明
追手門学院大学

Synchronization of middle-aged and elderly artistic swimmers
:Measurement of angular movement

Juri Tatsumi
Otemon Gakuin University

Takuya Magome
Otemon Gakuin University
Osaka University

Akira Uchiyama
Osaka University

Ryosuke Hasegawa
Osaka University

Takeshi Matsui
Otemon Gakuin University

Yoshihiro Tatsumoto
Otemon Gakuin University

Hiroaki Matsuyama
Otemon Gakuin University

Abstract

In 2017, the rules for artistic swimming were revised, and the judging regulations were also revised. The change location is in the content of Elements (score: 40%) of the Duet Team technical routine, third panel. Before the change, judging was 100% “Completeness”, but after the revision, judging is 50% “Completeness” and 50% “Synchronicity”, with greater value placed on synchronicity than before. On the other hand, there are many middle-aged and elderly people who enjoy artistic swimming as a lifelong sport, and it is difficult and troublesome for them to perform acrobatic movements or complicated movements to increase the difficulty level like athletes. At artistic swimming competitions or exhibitions where middle-aged and elderly people compete, synchronization of the actions of swimmers will be greatly sought after to obtain higher scores. Therefore, in this research we performed fundamental investigations into the use of wearable sensors to quantify synchronicity as an important element in artistic swimming judgment regulations. We therefore focused on the synchronicity of middle-aged and elderly swimmers during artistic swimming performances and analyzed their angles during rest using 3-axis

※巽　樹理　（追手門学院大学）
馬込卓弥　（追手門学院大学・大阪大学）
内山　彰　（大阪大学）
長谷川凌佑（大阪大学大学院）
松井　健　（追手門学院大学）
辰本頼弘　（追手門学院大学）
松山博明　（追手門学院大学）

(X axis, Y axis, Z axis) acceleration sensors. As a result, compared to the angle differences determined visually by experienced coaches, angle differences were also suggested by the sensor data. Based on this, the prospect that “Synchronicity” can be quantified using data was obtained. However, since this research used angle calculations dependent on the gravity component, there are problems handling complicated movements that include many components which do not have any influence in the gravity direction, such as horizontal spins, knee flexing, etc. Because of this, it is necessary to investigate ingenuous methods such as angle calculation improvements or combined use of angular velocity sensors in the future.

キーワード：アーティスティックスイミング，シンクロナイズドスイミング，同時性，３軸加速度センサ
Keywords：artistic swimming, synchronized swimming, synchronization, 3-axis acceleration sensors

Ⅰ．緒言と目的

2017 年国際水泳連盟（FINA：Fédération Internationale de Natation）において競技名が「シンクロナイズドスイミング」から「アーティスティックスイミング」に変更され、日本水泳連盟においても 2018 年４月より名称が変更された。さらに 2017 年にアーティスティックスイミングのルール改定が行われ、審判規則も新たに改定された。前回と変更が生じている点は、テクニカルルーティン（規定要素を含む演技）において第３パネルであるエレメンツ（スコア 40%）の内容である。具体的に、改定前の審判規定は、「完遂度」に対して 100%の判定であったのが、改定後の現在は Duet、Team において「完遂度」50%「同時性」50%と、同時性が新たに加わったことでより重要視されていることが伺える（図１参照）。2018 アーティスティックスイミングジャッジの手引きによると、同時性の採点内容として、水上、水面、水面下における泳者同士の動きの正確さ、音楽やタイミングの同時性が求められている。また、フリールーティン（選曲、内容または振り付けについて制限がない）、テクニカルルーティンともに、第１パネルであるエクスキューション（スコア 30%）に求められる内容が「完遂度」50%「同時性」50%であり、ソロ（１人で行う演技）以外の複数人演技に対しては、より芸術的に、そしてアクロバティック動作が多くなる中でも、動きの正確さ、音楽やタイミングの同時性が、審判の評価に大きく影響することが伺える。一方、中高齢者が行うアーティスティックスイミングでは、特別な競技規定はないものの、原則アーティスティックスイミング競技のルールに基づいて大会が行われることが多い。中高齢泳者アーティスティックスイミングには、年齢層の高い実施者が多い。巽ら（2018）の調査では、2018 年に開催された「関西シンクロマスターズ大会」の団体競技（リズム）の優勝チーム（20 名）の平均年齢は 71.5 ± 11.5 歳という高齢であることが分かっている。さらに堀井ら（2014）は、会員の継続率が高いことによる高齢化、それに伴う健康管理、そして指導者不足の課題を挙げている。このように、生涯スポーツとしてアーティスティックスイミングを満喫している実施者も多く、水深の浅いプールで底に手足をつきながら演技を実施しても競技選手と同様にアクロバティック動作や、難易度を高めるような複雑な動作が難しく困難であることは想像に難しくはない。従って、中高齢者が出場するアーティスティックスイミング大会や発表会でより評価を得るには、「同時性」を高めることが求められることになる。

そこで本研究の目的は、中高齢泳者アーティスティックスイミング演技時の動作の同時性に着目し、３軸（X 軸・Y 軸・Z 軸）加速度センサを用いて静止時の角度を分析することとした。これらの動作分析の精度が高まれば、将来的には上述した「同時性」をウェアラブルセンサによって自動的に定量化することが可能となり、「同時性」に対しての成果を高める手助けになることが期待される。

改訂前

SS17.3.3 第3パネル　**エレメンツ** スコア 40%

	ソロ	デュエット	チーム
完遂度 - 高度な専門スキルの実施における優秀さのレベル。難易率が指定されている各規定要素。	100%	100%	100%

2014日本水泳連盟シンクロナイズドスイミング競技規則より抜粋

改訂後

AS17.3.3 第3パネル エレメンツ スコア 40%

	テクニカル ソロ	テクニカル デュエット ミックスデュエット チーム
完遂度 - 高度な専門スキルの実施における優秀さのレベル。難易率が指定されている各規定要素。	90%	50%
同時性 - 難易率が指定されている各規定要素の同時性。水上、水面、水面下における、泳者同士および泳者と音楽とが調和する動きの正確さ。泳者同士および泳者と音楽とのタイミングの同時性。	10%	50%

2018日本水泳連盟アーティスティックスイミング競技規則より抜粋

図１　アーティスティックスイミング競技規則（テクニカルルーティン）改訂内容

Ⅱ．研究方法

1. **計測日**　：2019 年 12 月 9 日午前中
2. **計測場所**：大阪府内の A スポーツクラブ
   室内プール（25m × 8 コース）水深 1.2m
3. **使用機材**：fitbit センサ　3 軸加速度・3 軸角速度
   （図 2 参照）

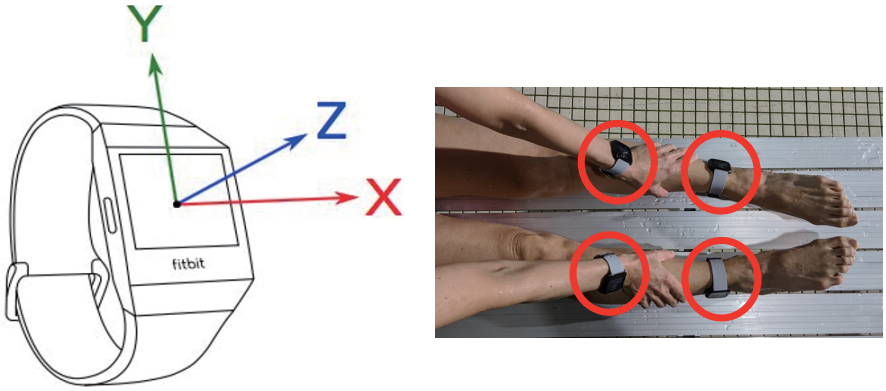


図２　fitbitセンサと装着写真

4. **対象者**　：以下（表 1）参照

表１　被験者のアーティスティックスイミング実施者

被験者	実施歴	年齢
A	10年	50代後半
B	22年	60代後半
C	30年	70代前半

5.　計測の流れ：

①被験者には、本研究の趣旨説明を行い事前に同意を得た。

②水中ウォーミングアップ約 15 分後、プールサイドにて両手足に加速度センサを装着し、その際に両手足に装着したセンサについて痛みや負担がないことを確認した。

③センサ装着後は 30 分ほど通常の練習を行い、演技動作中に違和感や負担が無いか、またセンサの異常がないか確認した後に、団体(10 人)演技を１曲通し計測を行った。

6.　データ処理方法：

まず、前処理として fitbit のセンサ出力は一様にサンプリングされていないため、リサンプリングすることで 100Hz の波形に変換する。リサンプリングの内挿には波形を滑らかに補間するため、３次スプライン補間を用いた。リサンプリング前の信号は約 12 ～ 13Hz 程度であった。さらに、センサ出力には外れ値などのノイズが含まれる可能性があるので、ウィンドウサイズ 20 でスライド幅１のメディアンフィルタを用いてノイズ除去を行なった。

次に、３軸加速度センサの出力から重力による影響を求めることで、センサの姿勢を求める。センサの X 軸・Y 軸・Z 軸は、それぞれ足のすね・足の前後方向・足の左右方向と平行になるよう取り付けた。従って左右への傾斜がないと仮定すると、足の前後の傾斜角度は３軸の加速度センサの出力値（*ax*, *ay*, *az*）により次式のように求まる。

$$\theta = \tan^{-1}(ax/ay)$$

わかりやすさのため、上記の式で求めた角度をアーティスティックスイミングで一般的な角度（参照図３）に変換することで足の角度を測定する。

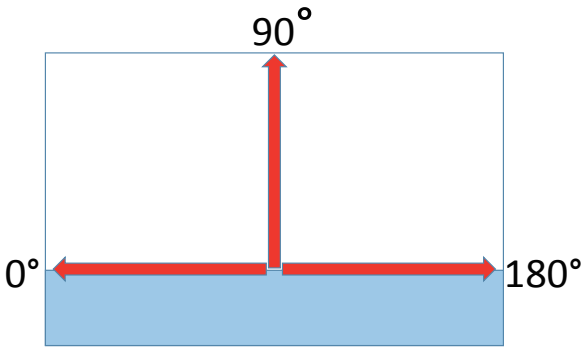


図３　水面に対する角度の参照図

Ⅲ．結果及び考察

今回は全演技３分のうち、28 秒～ 38 秒間で行われた足技動作（約 10 秒）の角度に着目した。センサを装着することによって、各軸の地面に対する角度が分かるものの、今回は、プールサイド（横側）から採点する審判員の視界と同様に X 軸の水面から水上までの動作角度に注目し分析を行った。

1.　左足角度（静止時）の同時性について

左足の動作に注目すると、図４に示した理想的な角度でも明らかなように、Part1,2,3 の動作において０度と 90 度（クレーン姿勢とベントニー姿勢：以下写真参照）の動作が多く非常にシンプルな動きとなっている。以下 Part ごとに強調できる点を指摘する。（参照図４　実線：動作有　点線：静止）

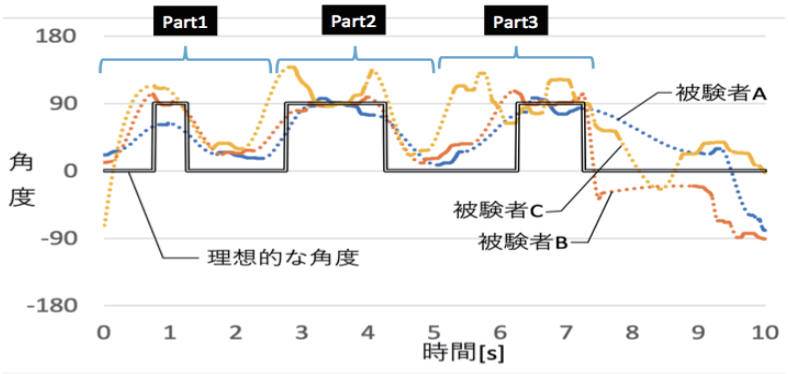
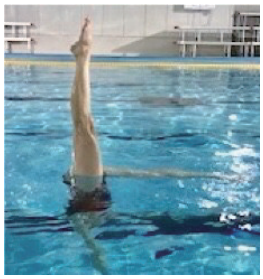
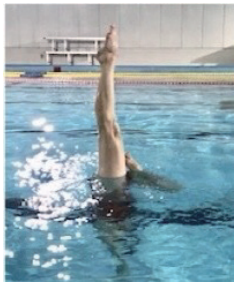


図４　加速度センサにより算出された角度



クレーン姿勢



ベントニー姿勢

Part1

被験者 A（以下 A と略す）の傾きは Z 軸の影響で大幅に正規ライン（理想的な角度）からずれている。この点は今後の課題である。（本研究の限界と今後の展望に記述）一方で被験者 B（以下 B と略す）は、理想的な角度に定まっている。被験者 C（以下 C と略す）は目視同様に踵の方に 20 度の大幅な傾きが確認され、最初の重要な足技である一瞬の静止で、C の角度のズレから同時性に欠ける動作であったことが示唆された。

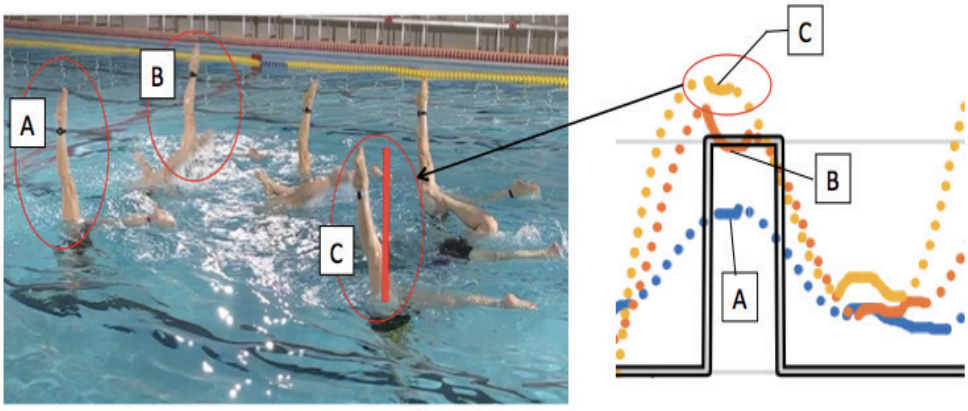
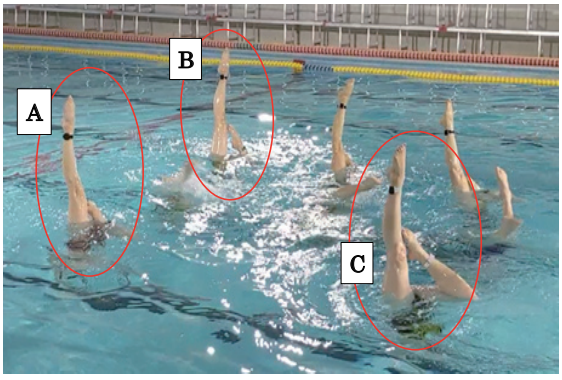


図 5　Part1 の静止角度と映像

Part2

この Part での 3 名の静止時における動作(ベントニー姿勢)角度は 90 度の正しいポジションに定まっており、図 6 の計測データからも目視と同様に同時性が高い結果となっている。また、時間軸に沿った変化を考えるとグラフ前半の C は突出したピークを形成している。つまり、動き出しが早いが、動作自体はゆっくりであったことが原因と考えられる。したがって、角度のみならず動作のタイミングについてもセンサデータによって定量化できると考えられる。



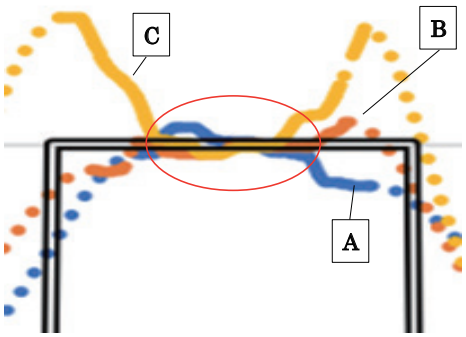


図 6　Part2 の静止角度と映像

Part3

前半の動作では、水面位置で回転を行う動作となっており、C は体勢が崩れて膝が屈曲したため、センサ装着部位である膝下が上方を向き 90 度の角度となった（写真上）。この動作の正しい左足の位置は 0 度（水面位置）となるため、データから推測できる動作として写真上のような体勢崩れ、もしくは誤って足を真上に上げる動作になったことが考えられる。また、写真下の C の左足は、90 度の正しいポジションからは大きく傾いており 120 度であった。C は写真上の動作から崩れた体制を立て直すことが出来ず、泳者と別の動きになっていることがデータから読み取れる。写真上下と、どちらの動作であっても、データからは C 単独で周りとの同時性が低いことが指摘できる結果となった。今後、同時性を高めるには、C 個人の正しい動作の習得、そして水面に対して垂直に足を上げる動作感覚を習得することが重要であると考える。このことは、次練習等の個人的な課題に対する改善方法が示唆され、非常に有効である。

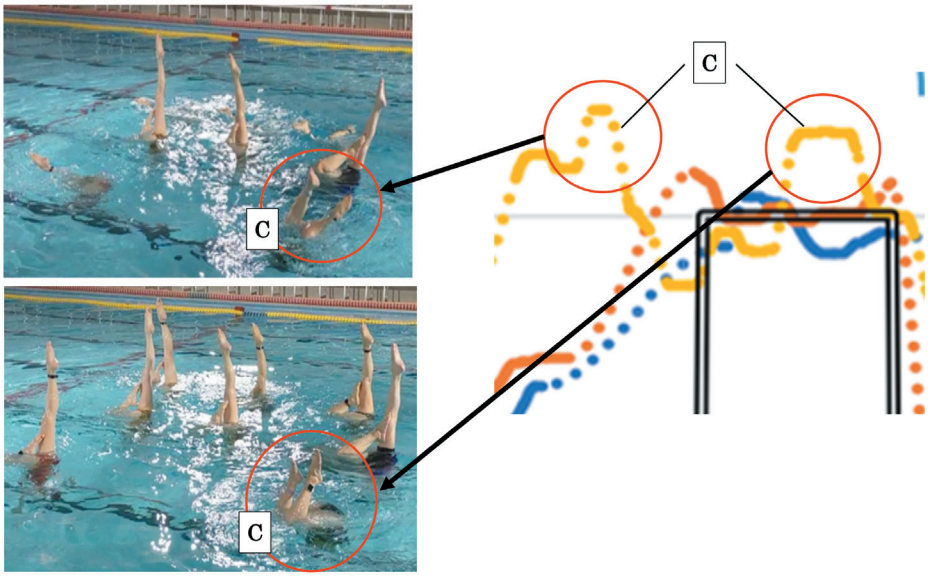


図 7　Part3 の静止角度と映像

Ⅳ．まとめ

アーティスティックスイミングの審判規定で重要な要素である「同時性」の定量化を検討するため中高齢泳者アーティスティックスイミング演技時の同時性に着目し、3 軸（X 軸・Y 軸・Z 軸）加速度センサを用いて静止時の角度を分析した。分析を行った結果、目視で確認された角度の差異に対して、データ上でも差異が示唆されていたため、一定の成果が現れたと考える。アーティスティックスイミングは他者評価による採点で結果が決まることから、自分の感覚と他者評価の差異が生じることが多々ある。このため、主観によらない定量的な評価が可能という点でセンサを使用した計測は今後も検討していく価値があると考える。以下に検討課題を挙げる。

・計測が簡易ではないため、実施者（現場）のみで計測や分析をすることは非常に困難である
・加速度センサは重力成分に依存し角度算出しているため、重力方向に影響のない水平の回転や重力以外の動きによる成分を多く含む複雑な動作に対応が困難である。
・足首にセンサを装着しているので、膝の屈伸で大きく算出される値が変わる
・Z 軸の傾きによってデータ上傾いて見えるのか、実際に傾いているのかを瞬時に見分けることが困難である

Ⅴ．本研究の限界と今後の展望

本研究では、重力の影響に基づいて加速度センサのみから足の角度を測定した。しかし、本手法では Z 軸が水平であることが条件であり、左右への傾斜が多く発生する手の角度を正確に計測するのは難しい。そのため、3 軸のそれぞれの対地角度を利用する必要がある。対地角度は地面に対しての角度のため -90 度から 90 度までしか測定できないという制限があり、例えば 1 軸のみで測定する場合、アーティスティックスイミングの角度における 60 度と 120

度がどちらも 60 度として測定される。今後は、この対地角度を３軸の組み合わせによりあらゆる姿勢においても正確な角度を測定したい。

また、本手法はセンサ出力が重力加速度にほぼ等しい、つまり

$$G \approx \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2}$$

であることが前提条件となる。ここで、G は重力加速度である。そのため、静止状態での角度を測定することはできるが、運動時の角度を正確に測定することができない。これに対処するために、バンドパスフィルタを用いて、加速度センサ出力を重力加速度成分と運動加速度成分に切り分けるといった工夫が必要となる。また、角速度センサと組み合わせて、動きが大きいときほど角速度センサ出力を信頼するような手法を考慮していきたい。

Ⅵ. 謝　辞

今回の計測にあたり、被験者として協力して頂きましたアーティスティックスイミング実施者、またプールを使用させてくださったＡスポーツクラブの関係者に対し、心より感謝申し上げます。

参考・引用文献

・巽樹理・松井健・斎藤辰哉・濱田大幹・吉田升・和田拓真・住田健（2019）高齢者アーティスティックスイミング演技者における心拍数変化－国内最高齢の演技者に着目して－ . 追手門学院大学スポーツ研究センター紀要第 4 号 , pp.9-15.
・日本水泳連盟（2014）シンクロナイズドスイミング規定
・日本水泳連盟（2018）アーティスティックスイミング規定
・堀井樹理（2014）マスターズシンクロナイズドスイミングの課題と可能性に関する一考察 . 大阪体育大学紀要第 45 巻 , A4 版 , pp.87-102.
・堀井樹理（2014）大阪体育大学　修士論文
・FINA 公式 HP
https://www.fina.org/sites/default/files/2017-2021_as_rules_-_16032018_full.pdf