

2015年度 修士論文

競泳の横向きストリームライン姿勢が
競技記録に及ぼす影響

The effects of a using a lateral streamline
position on swimming performances

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域
5014A040-3

安田 武蔵

Musashi YASUDA

研究指導教員： 矢内 利政 教授

目次

第 1 章 緒言

- 1-1 競泳競技とその競技特性 p.1
- 1-2 水の抵抗について p.2
- 1-3 ストリームライン姿勢 p.4
- 1-4 本研究の意義・目的 p.7

第 2 章 方法

- 2-1 被験者 p.8
- 2-2 実験設定とデータ収集 p.8
- 2-3 データ分析 p.14
- 2-4 統計処理 p.16

第 3 章 結果

- 3-1 泳課題 p.17
- 3-2 牽引課題 p.20

第 4 章 考察

- 4-1 本研究結果の妥当性 p.23
- 4-2 横向き姿勢で高記録な被験者が存在した理由 . . . p.26
- 4-3 本研究の限界 p.31

第 5 章 結論 p.32

【参考文献】 p.33

緒言

1 - 1 競泳競技とその競技特性

競泳競技は、決められた距離を所定の泳法で移動した際の到達時間を競う競技である。泳法は自由形、背泳ぎ、平泳ぎ、バタフライと4種類あり、その中でも自由形種目で広く用いられているクロール泳は最速の泳法である。クロール泳の泳動作は両腕で交互に回転させるストローク動作と両脚で交互に水中を蹴るキック動作で構成され、クロール泳の泳速度を向上させる技術は選手やコーチにとって大きな興味の対象である。

競泳競技においては、エネルギー消費量と泳速度はトレードオフの関係にあると言われている（阿久津，1964）。全泳法に共通して競技距離が長い種目ほどエネルギー効率を高くする技術を極める必要があり、距離が短い種目ほどエネルギー効率を高めることよりも泳速度を高めることを重視した技術の獲得が求められる。泳速度とエネルギー効率の双方を高めることのできる要因の一つとして、水の抵抗の最小化が挙げられる。競泳競技では水中を移動するため、空気中と比べより大きな抵抗が加わる。Maglischo, E. W. の著作“SWIMMING FASTEST”においても水の流れによって生じる抵抗を減らす重要性が説かれている。いかに水の抵抗を小さくするかが高い泳速度と高いエネルギー効率を獲得するための重要因子であるといっても過言ではない。

1-2 水の抵抗について

泳者が水から受ける抵抗は自己推進抵抗と受動抵抗に分類できる。自己推進抵抗とはストローク動作中の泳者に作用する抵抗で、受動抵抗とは固定された姿勢で泳者が移動する際に生じる抵抗のことであり、自己推進抵抗は粘性抵抗、形状抵抗、造波抵抗に分けられ、受動抵抗も同様の三成分に分けられる (Hay, 1993)。粘性抵抗は水と水の間あるいは水と物体の間の表面に生じる摩擦に起因するもので、流体の粘性、流速、流れに平行な表面積、表面の粗さに影響を受ける。形状抵抗は、主に物体の形状によって生じる乱流によるもので、物体の形状、流速、断面積の影響を受ける。流線形をした物体の抵抗力が小さいのは、形状抵抗が小さいためである。そして造波抵抗は水と空気の境界またはその付近を進む物体の先端に生じる水の持ち上がりなどに起因するものである (阿江, 2002)。泳者は形状抵抗を減らすために水の流れに対して身体の長軸が平行になる姿勢 (以下、水平姿勢と略す) を維持しながら前進することが求められる。クロール泳においては、泳動作中の泳者の手部に作用する推進力によって下肢が沈む方向へのモーメントが発生するが、キック動作により足が沈むことを防ぎ、水平姿勢を維持している (Yanai and Wilson, 2008)。しかしながら、スタート動作直後やターン動作直後など、泳速度を大きく上回る速さで推進する局面では、この高い泳速度を維持するためにキック動作を開始しない。この局面では、泳者はストリームライン姿勢と呼ばれる両手両足を一直線に伸ばしたうつ伏せの姿勢をとることにより、形状抵抗を減らそうとする。また、泳者は潜水泳法を用いることにより同局面における水の抵抗を減らそうとする。

潜水泳法は、造波抵抗を軽減するために有効な技術であり、泳速度

を大きく上回る速さで推進するスタートおよびターン局面で用いられる。造波抵抗は、泳者の身体が水面近くを推進する時より深い位置を推進する時の方が小さく、水深 0.75m より深い位置では造波抵抗の影響が無視できるほど小さくなる(Novais, 2012)。この研究は、ストリームライン姿勢の身体モデルが 1.5~2.5m/s の速さで前進する際の流体の振る舞いを CFD (Computation Fluid Dynamic) 分析法により数値シミュレーションしたものである。潜水泳法を用いた例として、2007 年世界選手権における 200m 自由形種目と 200m バタフライ種目が挙げられる。これらの種目でマイケル・フェルプス選手はおおよそ 12m (他の選手がおおよそ 5 から 7m 程度) もの潜水泳を見せ、この 2 種目を含む 5 種目世界新到達時間 7 冠を達成した。ルール上、泳者はスタートまたはターン開始地点から 15m 地点に到達するまでに水面に浮上し泳動作を始めなくてはならない。そのため、浮上する際は潜水泳法ではない方法を用いて造波抵抗の影響を抑える必要がある。

1-3 ストリームライン姿勢

日本水泳連盟では，スタートから 15m 地点までの局面をスタート局面，ターン動作から 15m 地点までの局面をターン局面（ターン前 5m をターンイン局面と定義することもある），ゴール地点から 5m 前までの局面をフィニッシュ局面，それ以外の泳動作のみの局面をストローク局面と定義している．ストローク，フィニッシュ局面は泳動作のみで構成されるのに対し，スタート/ターン局面では自由形泳競技を例に挙げても「飛び込み/ターン動作→ストリームライン姿勢→ドルフィンキック動作→クロール泳動作」と多くの動作により構成されている．その中でストリームライン姿勢をつくる技術の高さはスタート/ターン局面両方のタイムに大きく影響を与える．これらの局面の到達時間は，最終的なレース結果を決める要因であり，競泳研究者はこれらの局面の重要性を述べている（生田ら，1995；堀畑ら，2014）．

ストリームライン姿勢を作る技術の高さを評価する方法として，牽引実験装置を用いて受動抵抗値を計測する研究がなされている．Chatard et al (1990) は競技レベルにより受動抵抗が違うかを明らかにするため，男女含む 159 名（男：90 名，女：69 名）の競泳選手を競技レベルで 3 段階に分け，受動抵抗を計測した．合屋ら(2008)も同様の研究を日本の大学女性選手で行っている．これらの研究は，総じて競技レベルが高いほど水の抵抗値が低いという結果を報告している．また，Maruyama et al (2013) は被験者が腹式呼吸と胸式呼吸を行った際，腹式呼吸の方が体の形状が流線形に近くなり水の抵抗が小さくなるであろうと仮説を立て牽引課題を行った．同じ力で引っ張った際の牽引速度が，腹式呼吸の方が速かったことから腹式呼吸の方が抵抗を受けにくい姿勢であると考察した．Lyttle et al (2000)

は泳者が一般的に行っている prone streamline（うつ伏せのストリームライン姿勢）と lateral streamline（横向きのストリームライン姿勢）でどちらのストリームライン姿勢の方が受ける水の抵抗が小さいのか牽引課題による検証を行った。両ストリームライン姿勢において抵抗値の違いは認められなかった。その一方で、Lyttle et al はこの研究論文において、”the lateral streamline and lateral dolphin kick positions produce faster turns（横向きのストリームライン姿勢や横向き姿勢でのドルフィンキックの方が[うつ伏せの姿勢よりも]速いターンを生み出す）という複数の競泳コーチの意見を紹介している。この問題を力学的に考えた際も、うつ伏せ姿勢（以下、通常姿勢と定義する）よりも横向き姿勢の方がストリームラインやドルフィンキックを用いた時に水の抵抗が小さくなる点で有効と考えられる。その理由を説明する。通常姿勢では泳者が前進することにより押しのけられた水は主に鉛直上下方向に流れるため、泳者が水面近くで前進した場合は泳者の頭部や肩の前方に水面の隆起が生じる。この隆起の高さに応じて上昇する水圧が泳者の進行を妨げるように作用するため、通常姿勢における造波抵抗は泳速度の低下に強い影響を及ぼすと考えられる。しかし横向き姿勢では水は主に左右方向へ流れるため、鉛直上方向への水面の隆起は生じにくく、通常姿勢と比べて造波抵抗は小さくなると考えられる。したがって、横向き姿勢では泳者に作用する水の抵抗が小さくなり、同じ力で牽引した場合の牽引速度は高くなると推察される。また、ストリームライン姿勢における水の抵抗が小さいことに加え、スタート/ターン局面において泳動作を始める前から横を向いた姿勢を維持する為にボディロール（体を捻ることでより水を掴もうとする動作）に入り易い利点もあるため、競技記録が短くなると

考えられる。しかしながら，Lyttle et al の研究では水深 0.5m，つまり波が生じにくい位置での牽引実験を行っており，この研究の結果が「横向き姿勢では水は左右方向へ多く流れるため，水面近くでは通常姿勢と比べて鉛直上方向に波が生じにくく造波抵抗は小さくなる」という横向き姿勢の特徴を反映した結果と解釈するには疑問が生じる。

1 - 4 本研究の意義・目的

横向き姿勢では通常姿勢と比べ、水面近くを移動する場合に生じる水面の隆起を小さくする効果が期待できる。このことから、造波抵抗の影響を抑える効果があり、競技記録を向上させ得ると考えられる。しかしながら、実際に横向き姿勢を採用することにより競技記録を向上することができるか検討を行った研究はない。そこで本研究では、横向き姿勢を採用することで短水路 50m 自由形競技の競技記録にどのような影響を及ぼすのか検討した。

第 2 章 方法

2 - 1 被験者

本研究の被験者は、大学の水泳サークルに所属する男子自由形専門選手 11 名(年齢：21.1±2.2 歳，身長：173.9±4.0cm，体重：64.0±7.0kg)であった。全被験者の 50m 自由形のタイムは 30 秒以下であった。本実験を実施するにあたり，早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た。被験者には実験の主旨・内容・方法等を十分に説明し，書面による実験参加の同意を得た。

2 - 2 実験設定とデータ収集

本実験は早稲田大学所沢キャンパス，室内競泳用プール（アクアアリーナ）縦 50m 横 25m の 25m コースにて行った。被験者には本人が納得するまで十分なウォーミングアップを行わせた。その後，各被験者には 2 つの課題を実施させた。1 つ目の課題は「50m 自由形泳課題（以下，泳課題と略す）」であり，2 つ目の課題は「25m 牽引課題（以下，牽引課題と略す）」であった。データ収集のために使用した機材とビデオカメラの撮影範囲を図 1 に示す。第 1 コースに水泳用牽引実験装置（Torrent E-Rack, Hector Engineering Co., USA）を設置し牽引課題を行い，第 2 コースにスタート台を設置し泳課題を行った。両コース全体を撮影できるように，2 台の潜望鏡システム（Yanai et al, 1996）(図 2)を設置した。各潜望鏡システムにはカメラ（HCD-TM650, Panasonic 社製，サンプリング周波数 60Hz）を固定し，コース前半の約 15m 区間をカメラ①で，後半の約 15m 区間をカメラ②で撮影し

た.カメラ③(JVC GC-PX1,ビクター社製,サンプリング周波数 60Hz)は水面上からコース全体を撮影できるように設置した. 潜望鏡システムは撮影方向が変化しないよう, 固定用の金具を用いてパンニング角を固定した. いずれの実験課題においても同期用のランプを点滅させることで複数台のビデオカメラを同期させた.

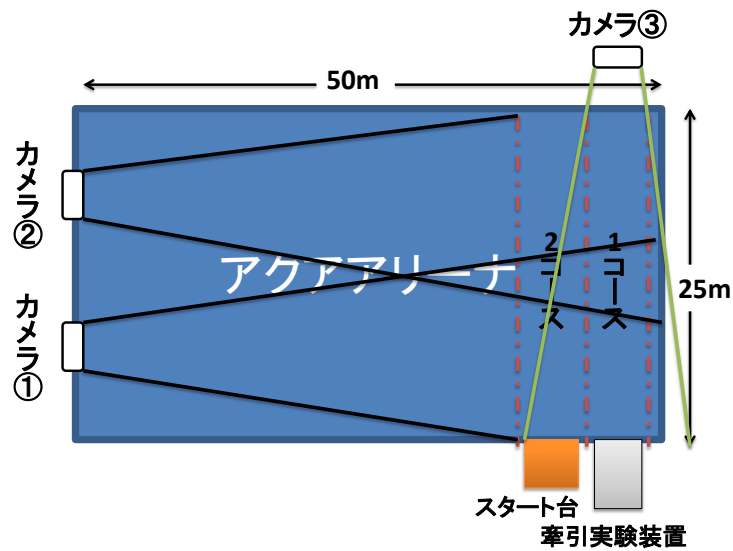


図 1 : 実験設定 (カメラ①, ②の撮影範囲 : 黒実線, カメラ③の撮影範囲 : 緑実線)

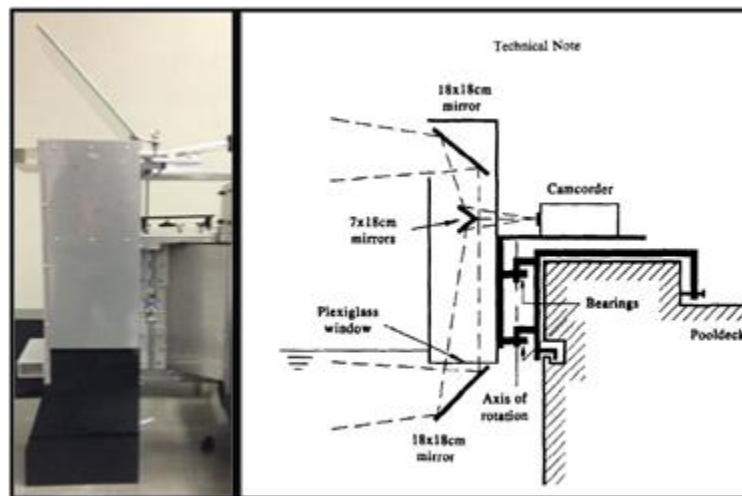


図 2：潜望鏡システム（左図）と仕組み（右図：Yanai et al, 1996.

THREE-DIMENSIONAL VIDEOGRAPHY OF SWIMMING WITH
PANNING PERISCOPES, より引用.)

泳課題は短水路 50m 自由形種目とし、各被験者には全力で泳がせた。計測の際、スタート/ターン局面時に用いるストリームライン姿勢とドルフィンキック動作を通常姿勢、横向き姿勢の 2 条件とさせるために被験者には以下のように各局面の試行を行わせた。スタート局面では、被験者がスタート台を蹴って完全に入水した後のグライド期から浮上し泳動作を開始するまで通常姿勢と横向き姿勢を用いた試行をそれぞれ行わせた。被験者が普段用いない横向き姿勢を取る際はグライド期に通常ストリームライン姿勢から身体の長軸まわりに 90° 回転させることで横向きのストリームライン姿勢にさせた。グライド期から浮上まで、被験者にそれぞれの姿勢を維持しつつドルフィンキック動作を行わせた。ターン局面では、被験者のフリップターン動作（体を回転させて壁を蹴りターンする動作）まで普段の自由形競技通りに行わせ、壁を蹴った後から浮上し泳動作を開始するまで通常

姿勢と横向き姿勢を用いた試行をそれぞれ行わせた。フリップターン動作から壁を蹴る際の姿勢は一般的に横向き姿勢であるため、被験者が横向き姿勢を取る際は通常のスリームライン姿勢に戻さずに壁を蹴らせグライド期に入らせた。グライド期から浮上まで、被験者にそれぞれの姿勢を維持しつつドルフィンキック動作を行わせた。泳課題を行うに際し、十分なウォーミングアップを行わせた。実験実施者の「位置について、用意、始め」という言葉をスタート合図に、全力で泳がせた。成功試技は、①指定された姿勢でスリームライン姿勢およびドルフィンキック動作が行えていたこと、②被験者が納得できた試技であること、と定義し、成功試技を収集できるまでデータ収集を繰り返した。その際、被験者には15分間以上の休息をとらせ、全力で試技が行えるよう留意した。各試技でのスリームライン姿勢は実験実施者が視認により、指定した姿勢が維持できていたか確認した。被験者の納得度については口頭で確認をした。

牽引課題では一定の力(98N)で被験者を牽引した際の定常速度を2種類のスリームライン姿勢(通常/横向き)と2つの水深(浅い[0.20m]/深い[0.8m])で計測した。通常姿勢で浅い条件を条件1、通常姿勢で深い条件を条件2、横向き姿勢で浅い条件を条件3、横向き姿勢で深い条件を条件4とした。泳課題と同様に、固定具でパンニング角を固定した潜望鏡システムに設置したビデオカメラ(カメラ①)と正面斜め上に設置したカメラ③を用いて各試技を撮影した。牽引課題の計測の際は被験者に「通常姿勢、横向き姿勢で水の抵抗をなるべく小さく出来ると考えられるスリームライン姿勢を取って下さい」と教示し、牽引実験装置から伸ばしたロープを掴ませ牽引実験を行った。牽引実験装置は、カメラ①の映像の中心(牽引機側から見て5m

地点)に被験者の腰部が通過した時点で停止ボタンを押した。条件1～4のそれぞれの成功試技について、①水深の設定が守られていること、②蛇行せずに牽引されていること、③被験者自身が納得のいく試技であることの3つの条件が満たされた試技を成功試技と定義し、成功試技が収集できるまで実験を繰り返した。成功試技の確認はビデオ動作解析ソフト(Siliconcoach7, siliconcoach社製)を用いて以下のように判定した。水深については、条件1と3では被験者の肩部と腰部の midpoint が水深 $0.20 \pm 0.05\text{m}$ を、条件2と4では水深 $0.80 \pm 0.10\text{m}$ を通過していたこと(図3)とし、蛇行については、被験者の頭部と足部を結んだ線分がレーンの中心から左右へ 0.50m 以内を通過していたこと(図4)とした。被験者自身の納得度については、牽引試技の直後に口頭で確認をした。またすべての試技でガスメーターを用いて被験者の呼気量を調整し、牽引中被験者に作用する浮力と重力が等しくなるようにした。なお、横向きストリームライン姿勢を用いた両課題を開始する前に、横向き姿勢を用いた5回以上の牽引の練習、横向き姿勢を用いたスタート/ターンの練習を計15分程度行わせた。

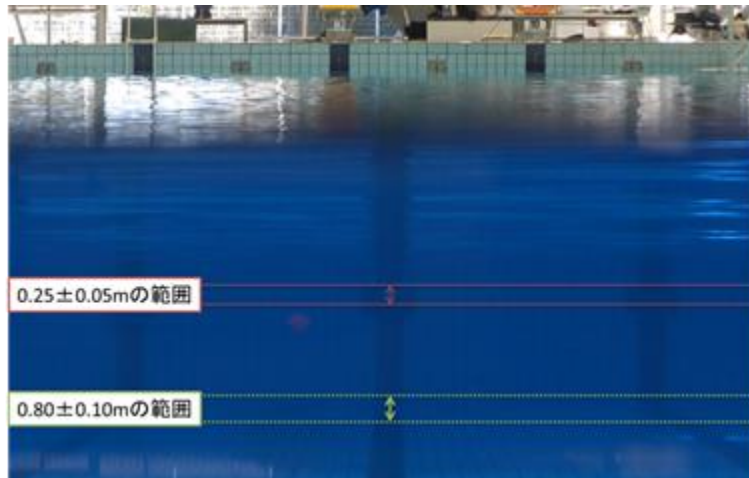


図 3：指定した水深の範囲（条件 1 と 3 の水深許容範囲：赤の実線 $0.25\pm 0.05\text{m}$ ，条件 2 と 4 の水深許容範囲：緑の点線 $0.80\pm 0.10\text{m}$ ）

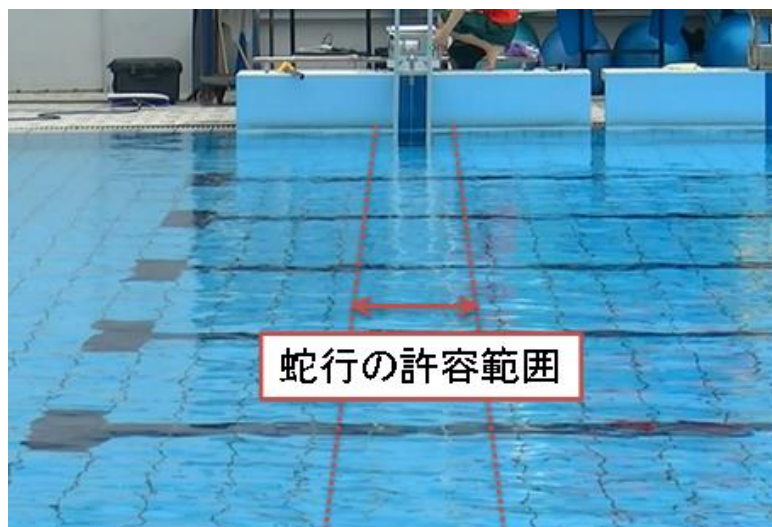


図 4：蛇行の許容範囲（青い中心線の両端から左右に 0.25m 間隔）

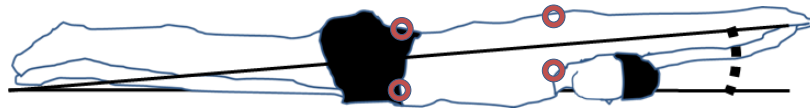
2-3 データ分析

泳課題の各試技について、ビデオ動作解析ソフト（Siliconcoach7, siliconcoach 社製）を用いてカメラ①、カメラ②から取得した動画を分析した。スタート合図の定義のために、映像と音声を同時に再生できる動画編集ソフト（EDIUS6, Canopus 社製）を用いて泳課題の動画を分析し、「始め」の合図の「は」を実験実施者が聞こえた瞬間に動画編集ソフトの停止ボタンを押し時間を記録した。この手順を3回繰り返し、記録した時間の平均値をスタート合図と定義した。なお3回の記録の内、記録した時間の最大値と最小値の差は被験者全体で 0.03 ± 0.01 秒であった。短水路 50m 自由形の競技記録である 50m タイムはスタート合図から泳者が 50m の距離を泳ぎ切り、ゴール地点の壁に手が触れるまでのタイムとした。スタート局面のタイムはスタート合図から泳者の頭部が 15m 地点を通過するまでのタイムとし、ターン局面のタイムはターン地点（25m）の壁から泳者の足が離れてから泳者の頭部が 40m 地点に到達するまでのタイムとした。またスタート動作後に泳者の頭部が水面上に浮上した位置をスタート時点からの水平距離として計測した値をスタート後浮上距離、ターン動作後に泳者の頭部が水面上に浮上した位置を壁からの水平距離として計測した値をターン後浮上距離とした。泳局面のタイムはストローク局面とフィニッシュ局面のタイムの和とした。

牽引課題の各試技について、牽引速度、被験者の位置、水平姿勢角度を計測した。牽引速度は、装置による牽引が停止される直前1秒間の平均速度として算出した。各試技における分析対象とした1秒間の牽引速度の変動係数は $0.56 \pm 0.21\%$ （条件1：通/浅）、 $0.41 \pm 0.14\%$ （条件2：通/深）、 $0.47 \pm 0.17\%$ （条件3：横/浅）、 $0.50 \pm 0.20\%$ （条

件 4 : 横/深) であった。また全ての被験者の全ての試技において 1% 以上の変動係数の試技は存在しなかった。ビデオ動作解析ソフト (Frame-DIASSV, DKH 社製) を用いてカメラ①で撮影した被験者の身体標認点の位置を手動でデジタイズし, 2次元 4点実長換算法を用いて定量化した。2次元の位置座標は, 進行方向を+とする水平軸を X軸, 鉛直上向きを+とする Y軸とする直交座標系について表した。被験者の上前腸骨棘が 5m ラインを通過した時点での腰部と肩部の上端と下端の位置座標を取得した。その時点の腰部と肩部それぞれの上端と下端の midpoint を用い, 被験者の足の沈み具合を評価する指標として水平姿勢角度を算出した。水平姿勢角度は腰部と肩部の midpoint を結ぶ線分と X軸のなす角度である (図 5)。

通常姿勢



横向き姿勢

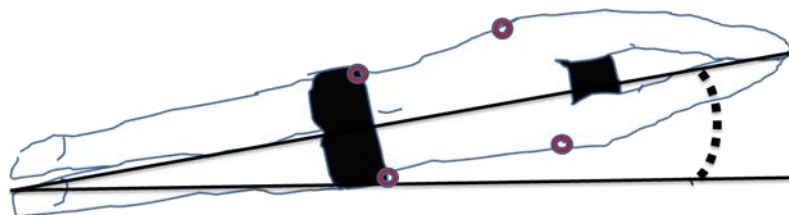


図 5 : 通常と横向きストリームライン姿勢の水平姿勢角度 (黒点線)

2 - 4 統計処理

結果は全て、平均±標準偏差で表した。牽引速度と水平姿勢角度について二元配置の分散分析（水深×姿勢）を行った。50m タイムは対応のある t 検定を用いて通常姿勢と横向き姿勢で姿勢間の比較を行った。スタート/ターン局面のタイム（姿勢×局面）およびスタート/ターン動作後の浮上距離（姿勢×動作）は二元配置の分散分析を行った。有意水準は全て 5%未満とした。統計量の算出は SPSS(12.0 J for Windows)を用いて行った。

第 3 章 結果

3 - 1 50m 自由形泳課題

泳課題では指定した通りのストリームライン姿勢，ドルフィンキック動作が被験者のスタート局面/ターン局面でなされていた．その中で横向き姿勢を用いた試行について以下の 2 点が確認された．①スタート局面では多くの被験者が横向き姿勢を取った後，すぐに横向きのドルフィンキック動作を行っていた．②ターン局面では横向き姿勢で壁を蹴ってから姿勢を変化させる動作がないことから，スタート局面の時と比べ長い時間を横向きストリームライン姿勢でグライドした後横向きのドルフィンキック動作を始めていた．

泳局面のタイムは 11.99 ± 0.65 秒（通常）， 11.86 ± 0.61 秒（横向き）であった．全被験者の内，通常と横向き姿勢の泳局面のタイムが 0.5 秒以上異なった被験者は 11 名中 2 名（被験者 8 と 11）であった．これら 2 名の被験者については 2 条件間における泳パフォーマンスの再現性が低いと判断し，泳課題の分析から除外した（表 1）．その結果，50m タイムは， 27.12 ± 1.28 秒（通常）と 27.70 ± 1.43 秒（横向き）となった（表 2）．横向き姿勢の方がタイムの短い被験者は 9 名中 2 名（被験者 3，10）であった．50m タイムに対応のある t 検定を用いて通常姿勢と横向き姿勢で群間比較を行った結果，通常姿勢と横向き姿勢の間で有意な差が認められた（ $p < 0.01$ ）（図 8）．

表 1：全被験者の泳局面における姿勢間のタイム差

(赤文字：除外した被験者)

被験者	(s)
1	0.46
2	0.07
3	0.03
4	0.34
5	0.47
6	0.49
7	0.37
8	0.91
9	0.44
10	0.01
11	0.71

表 2：全被験者の 50m タイム

被験者	通常 (s)	横向き (s)
1	28.62	29.69
2	27.14	28.05
3	27.25	26.8
4	28.29	28.32
5	25.51	26.87
6	26.3	27.48
7	26.32	26.64
8		
9	26.07	26.42
10	25.96	25.9
11		
平均値	27.12	27.70
標準偏差	1.28	1.43

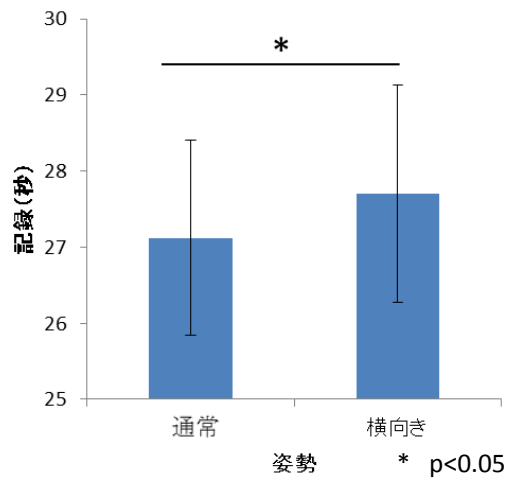


図 6 : 50m タイム

スタート局面，ターン局面の各局面のタイムを通常姿勢と横向き姿勢の順に表すと，スタート局面は 7.19 ± 0.42 秒と 7.51 ± 0.51 秒，ターン局面は 7.94 ± 0.45 秒と 8.34 ± 0.61 秒であった．スタート局面で横向き姿勢の方がタイムの短い被験者は 9 名中 2 名（被験者 3，10）で，ターン局面では 9 名中 1 名の被験者が横向き姿勢の方が短いタイムであった（被験者 3）．二元配置の分散分析を行った結果，姿勢（通/横）と局面（ス/タ）の主効果が認められた（ $p < 0.01$ ）．有意な交互作用は見られなかった（図 7）．

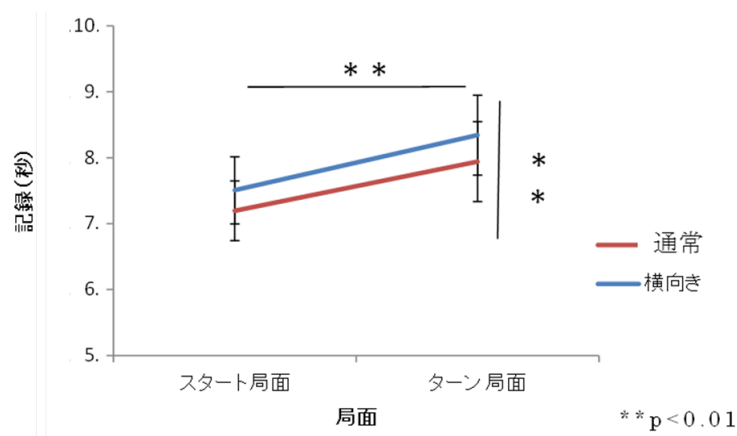


図 7 : スタート/ターン局面のタイム

スタート動作後の浮上距離は，通常姿勢では $10.15 \pm 1.18\text{m}$ で横向き姿勢では $10.93 \pm 1.00\text{m}$ であった．ターン動作後の浮上距離については，通常姿勢では $6.57 \pm 0.92\text{m}$ ，横向き姿勢では $7.56 \pm 1.32\text{m}$ であった．スタート動作後の浮上距離で横向き姿勢の方が通常姿勢より短い被験者は 9 名中 0 名で，ターン局面も 9 名中 0 名であった．二元配置の分散分析を行った結果，姿勢（通/横）の主効果（ $p < 0.01$ ）と局面（ス/タ）の主効果が認められた（ $p < 0.05$ ）．有意な交互作用は見られなかった（図 8）．

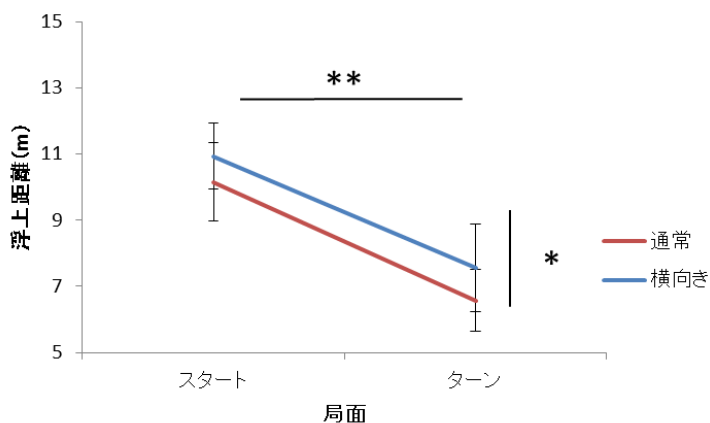


図 8：スタート/ターン動作後の浮上距離

3 - 2 牽引課題

牽引を行った水深は， 0.21 ± 0.04 （条件 1：通/浅）， 0.77 ± 0.09 （条件 2：通/深）， 0.22 ± 0.03 （条件 3：横/浅）， 0.74 ± 0.08 （条件 4：横/深）であった．牽引速度は， $2.12 \pm 0.12 \text{ m/s}$ （条件 1）， $2.23 \pm 0.07 \text{ m/s}$ （条件 2）， $2.13 \pm 0.10 \text{ m/s}$ （条件 3）， $2.19 \pm 0.10 \text{ m/s}$ （条件 4）であった（表 3）．水深が深い条件（条件 2，条件 4）では横向き姿勢の方が牽引速度の速い被験者は 11 名中 0 名であったが，水深の浅い条

件では 11 名中 5 名（被験者 1, 3, 4, 5, 10）の被験者が横向き姿勢の方が速い牽引速度であった。二元配置の分散分析を行った結果、姿勢（通/横）の主効果（ $p<0.05$ ）と水深（浅/深）の主効果（ $p<0.01$ ）が認められた。有意な交互作用はみられなかった（図 9）。

表 3：全被験者の牽引速度

被験者	通常		横向き	
	浅い (m/s)	深い (m/s)	浅い (m/s)	深い (m/s)
1	1.77	2.09	1.91	1.93
2	2.16	2.17	2.11	2.10
3	2.07	2.16	2.11	2.12
4	2.18	2.29	2.19	2.26
5	2.11	2.20	2.15	2.20
6	2.14	2.27	2.13	2.23
7	2.24	2.28	2.23	2.27
8	2.16	2.26	2.16	2.21
9	2.23	2.30	2.22	2.29
10	2.23	2.31	2.25	2.28
11	2.05	2.17	2.03	2.14
平均値	2.12	2.23	2.13	2.19
標準偏差	0.12	0.07	0.10	0.10

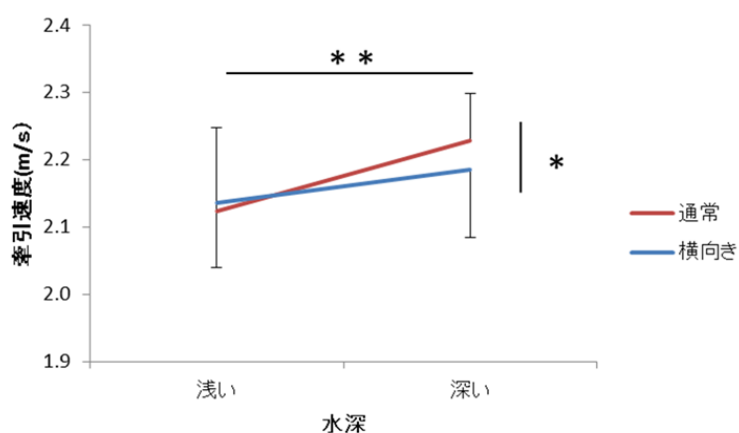


図 9：牽引速度

水平姿勢角度は $5.1 \pm 1.7^\circ$ (条件 1), $3.0 \pm 2.2^\circ$ (条件 2), および $8.0 \pm 3.7^\circ$ (条件 3), $7.6 \pm 5.9^\circ$ (条件 4) であった. 水深が深い条件 (条件 2, 条件 4) では横向き姿勢の方が水平姿勢角度の小さい被験者は 11 名中 2 名 (被験者 9, 10) で, 水深の浅い条件では 11 名中 1 名 (被験者 9) の被験者が横向き姿勢の方が小さい水平姿勢角度であった. 二元配置の分散分析を行った結果, 姿勢 (通/横) の主効果が認められた ($p < 0.05$). 有意な交互作用は見られなかった (図 10).

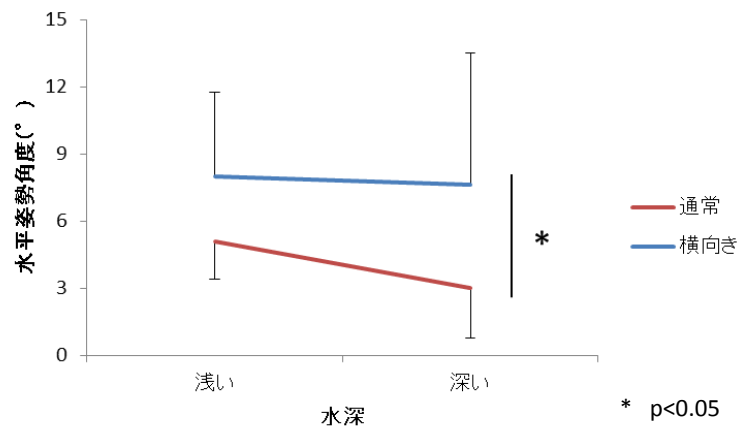


図 10 : 水平姿勢角度

第 4 章 考察

本研究の結果から、50m タイムは横向き姿勢の方が通常姿勢より長いタイムであったこと、また牽引速度は横向き姿勢の方が通常姿勢より遅いことが明らかとなった。横向き姿勢の牽引速度の方が遅いという結果は、横向き姿勢の方が通常姿勢と比べ、水の抵抗が大きい姿勢であることを意味する。これらの結果は横向き姿勢の練習を 15 分程度の練習時間しか行わない場合、横向き姿勢の方が一般的に用いられる通常姿勢よりパフォーマンスが低下したことを示すものである。一方、泳課題において横向き姿勢の方が通常姿勢より 50m タイムが短くなった被験者が 9 名中 2 名（被験者 3, 10）存在した。この 2 名は牽引課題において横向き姿勢（条件 3：横/浅）の方が通常姿勢（条件 1：通/浅）より速い結果が得られた者であった。本研究でリクルートした被験者の全員が普段用いているのは通常姿勢であり、横向き姿勢は本研究において実施した 15 分程度の練習しか行っていないにもかかわらず好結果をもたらした被験者が存在したことは、十分な練習を積み重ねば横向き姿勢を採用することによってパフォーマンスが向上する可能性があることを示唆する。以下の項目では本研究結果の妥当性および、なぜ横向き姿勢で 2 名の被験者の競技記録が向上したのか考察する。

4 - 1 本研究結果の妥当性

先行研究と比較を行うことで本研究の結果の妥当性について検討する。牽引速度に及ぼす水深の影響に関する結果は、Novais et al

(2002) のコンピュータシミュレーションによる研究結果を支持するものであった。すなわち、水深の深い位置で牽引する方が浅い位置よりも泳者は高い速度で移動することが再確認された。一方で、姿勢が及ぼす影響については、深い水深で牽引を行った Lyttle et al (2000) の先行研究とは異なる結果となった。横向き姿勢は水面近くの時のみ通常姿勢より受動抵抗の一部である造波抵抗を小さく出来ると考えられる。そのため造波抵抗の影響を無視できる水深の深い条件では、通常姿勢と横向き姿勢で同じストリームライン姿勢、同じ水平姿勢角度であった場合は、深い水深では横向き姿勢と通常姿勢で牽引速度の違いは生じないと考えられる。しかし、本研究の水平姿勢角度は $5.1 \pm 1.7^\circ$ (条件 1), $3.0 \pm 2.2^\circ$ (条件 2), および $8.0 \pm 3.7^\circ$ (条件 3), $7.6 \pm 5.9^\circ$ (条件 4) で横向き姿勢では通常姿勢より有意に大きかった ($p < 0.05$)。この結果は、横向き姿勢の方が通常姿勢よりも足の沈み具合が大きかったことを意味する。また両水深での試行結果を合わせても、通常姿勢 (条件 1・2) では $4.0 \pm 2.2^\circ$ で横向き姿勢 (条件 3・4) では $7.8 \pm 4.9^\circ$ となり、その標準偏差は横向き姿勢のほうが通常姿勢の 2 倍以上大きい値であった。このことから、横向き姿勢では通常姿勢の場合のようにストリームライン姿勢を水平に保つことのできなかつた被験者が多かつたことで、姿勢間で同じであるはずの深い水深の牽引速度に差異が生じたと考えられる。そこで通常姿勢の場合と同程度の水平姿勢角度を横向き姿勢で獲得していた被験者 8 名 (通常姿勢 [条件 1, 2] と横向き姿勢 [条件 3, 4] での水平姿勢角度の違いが 5° 以下) と、横向き姿勢での水平姿勢角度の大きい被験者 3 名 (水平姿勢角度の違いが 5° より大きい) に分け、各被験者群の条件 2 (通/深) における牽引速度と条件 4 (横/深) における牽引速

度の差分値を算出した。その結果、水平姿勢角度の姿勢間差が小さい被験者群については条件 2 と条件 4 の牽引速度の差分値が $0.03 \pm 0.01 \text{m/s}$ で、0 との間に有意差は認められなかった。一方、姿勢間差が大きい被験者群は牽引速度の差分値が $0.09 \pm 0.05 \text{m/s}$ で 0 との間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。この結果はストリームライン姿勢が横向き姿勢において大きく傾いていた被験者は、牽引速度の低下量も大きいことを示すものである。このような被験者が存在したことで、先行研究とは異なる結果になったと考えられる。また水平姿勢角度の大きな被験者の集団はいずれも、Lyttle et al の行った研究の被験者の 50m タイム (25.6 ± 0.7 秒) と比べ遅い記録 (27.7 ± 1.1 秒) を持つ被験者であった。また、水平姿勢角度の小さな被験者の集団のタイムは 26.9 ± 1.5 秒で大きな被験者の集団よりも早い記録であることも分かった。これらのことから Lyttle et al の先行研究と比べ競技レベルが低い被験者が多かったことから横向きストリームライン姿勢で足を沈ませない技術に違いが生じ、先行研究で生じなかった牽引の姿勢間の差が生まれたと考えられる。そして Novais et al の報告と本研究の結果が一致していた点からも本研究の結果は妥当なものであると考えられる。

4-2 横向き姿勢で高記録な被験者が存在した理由

被験者 3 と 10 の 50m タイムが短縮した一つの要因として、横向き姿勢での足の沈み具合が小さかったことが考えられる。そこで水平姿勢角度について考察する。受動抵抗の小さいストリームライン姿勢とは、泳者の身体長軸が進行方向に沿った水平姿勢に近い状態でのストリームライン姿勢である。水平姿勢角度の絶対値が小さければ小さいほど水面に対し泳者の姿勢が平行になる、つまり泳者の足は大きく沈んでいないことを示す。そのため水平姿勢角度の絶対値の小さな被験者は水平姿勢に近いストリームライン姿勢となり、受動抵抗を小さくできると考えられる。逆に水平姿勢角度の絶対値の大きい被験者は足が大きく沈んでいるために受動抵抗を大きく受けると考えられる。本研究の牽引課題における水平姿勢角度は横向き姿勢の方が通常姿勢と比べ大きかった ($p < 0.05$)。また、一定の力で牽引した際の牽引速度も横向き姿勢の方が有意に遅かった ($p < 0.05$)。これらの結果から、横向き姿勢で足が沈んだことが原因で、横向き姿勢でより大きな水の抵抗を受けてしまったと考えられる。

一方で、浅い水深において横向き姿勢の方が通常姿勢より牽引速度の高い被験者が 5 名存在した。この 5 名の被験者の横向き姿勢（条件 3：横/浅）と通常姿勢（条件 1：通/浅）の水平姿勢角度の差を調べた結果、全員が平均値よりも低い値を示していた（図 11）。この結果から、被験者 3 と 10 を含む 5 名は横向き姿勢であっても通常姿勢と同程度の足が沈み具合であったことが示された。水深が浅い状況では造波抵抗が減少できると考えられることに加え、被験者全体の結果と異なり水平姿勢角度の姿勢間の差が小さいことから、この 5 名の被験者は水深の浅い条件で牽引速度が速かったと考察できる。

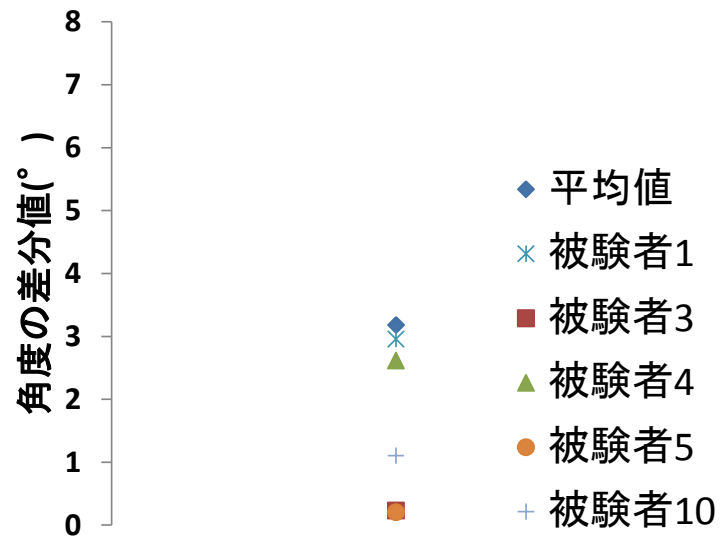


図 11 : 5 名の被験者における水平姿勢角度の姿勢間の差分値

この 5 名の内、50m タイムが短縮されたのは被験者 3 と 10 の 2 名のみであった。そこで牽引課題だけでなく遊泳中の動きに着目し、スタートおよびターン動作後の浮上距離の検討を行う。まず、全被験者のデータから分析する。スタート動作後の浮上距離は $10.15 \pm 1.18\text{m}$ (通常姿勢) と $10.93 \pm 1.00\text{m}$ (横向き姿勢)、ターン動作後の浮上距離は $6.57 \pm 0.92\text{m}$ (通常姿勢) と $7.56 \pm 1.32\text{m}$ (横向き姿勢) で、両浮上距離ともに姿勢間で有意差が認められた ($p < 0.05$)。「視界がいつもと違うため浮上するまでの深さの調節がしにくかった」という被験者からの感想があったことから、横向き姿勢では通常姿勢と比べ全力泳時の視界に映る景色が異なったことが浮上距離に差異を生じさせた原因のひとつと考えられる。浮上距離の延長はクロール泳動作を開始するタイミングの遅延を意味し、泳動作の遅延はグライドする泳者が受動抵抗により減速する期間と距離の延長を意味する。さらに、横向き姿勢の方における牽引速度の低下が、この姿勢における受動抵抗の増大を意味する。そしてこれらの要因が影響を及ぼす、レースの構成要素であるスタート/ターン局面は横向き姿勢の方が有意に遅くなっていたことが確認された ($p < 0.01$)。これらのことから、50m タイムが横向き姿勢で遅くなった理由は、泳動作の開始が通常より遅れたことで通常の試行より泳速の遅い期間が長くなったことであると考えられる。

次に被験者 3, 10 の 2 名と被験者 1, 4, 5 の 3 名の違いについて検討する。浅い水深の横向き姿勢において牽引速度の速い 5 名の横向き姿勢と通常姿勢の浮上距離の差の分析を行った (表 4)。50m タイムが短縮された被験者 3, 10 の 2 名の差の平均値 (スタート: $0.28 \pm 0.18\text{m}$, ターン: $0.18 \pm 0.18\text{m}$) は 50m タイムが被験者 1, 4, 5 の 3

名の差の平均値（スタート：0.57±0.21m，ターン：0.45±0.34m）よりも半分以下の値を示していた（表 5）。この結果から，被験者 3，10 の 2 名は他の 3 名より横向き姿勢であっても通常姿勢での試行と近い位置から泳動作を開始することができていたと考えられる。また，5 名の横向き姿勢と通常姿勢のスタート/ターン局面のタイムの差の分析を行ったところ，横向き姿勢を用いることで被験者 3 は 0.42 秒，被験者 10 は 0.07 秒の短縮ができていた（表 4）。以上のことから，被験者 3 と 10 が横向き姿勢の方が 50m タイムが短かった理由は，横向き姿勢であっても足が沈まないよう姿勢制御し，かつスタートやターン動作の後に通常姿勢の場合と近い位置から泳動作を開始出来ていたことと考えられる。

また表 4 のスタート局面の差分値の結果より，被験者 3，10 の 2 名は横向きのドルフィンキック動作を行うことで通常のドルフィンキック動作よりも造波抵抗を抑えスタート局面のタイムを短縮していた可能性が考えられる。加えて，被験者 3 はターン局面で横向き姿勢を用いタイム短縮した値がスタート局面よりも大きかった。この結果から横向きのドルフィンキック動作の利点に加え，通常より抵抗の小さい横向きのストリームライン姿勢のグライド時間がスタート局面より長かったことで，被験者 3 はターン局面のタイムを大きく短縮したと考えられる。今後より詳細にこれらの考察を検討するために，十分な横向き姿勢の練習期間を確保することで被験者 3，10 のような被験者をより多く用意し，横向きのドルフィンキック動作やターン局面に着目した研究を行うことが必要であろう。

表 4：浅い水深の牽引が横向き姿勢の方が速い被験者 5 名
 (被験者 1, 3, 4, 5, 10) の姿勢間の浮上距離と各局面における
 タイムの差分値 (横向き姿勢 - 通常姿勢)

浮上距離の差分値					
被験者	1	3	4	5	10
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
スタート	0.84	0.46	0.53	0.34	0.1
ターン	0.26	0	0.16	0.92	0.35
タイムの差分値とその合計					
	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
スタート	0.46	-0.1	0.2	0.2	-0.17
ターン	0.15	-0.32	0.11	0.69	0.1
合計	0.61	-0.42	0.31	0.89	-0.07

表 4：横向きが高記録な被験者 2 名 (被験者 3, 10) と横向きが低記録な被験者 3 名 (被験者 1, 4, 5) の姿勢間の浮上距離の差分値

浮上距離	横向きが高記録	横向きが低記録
スタート	0.28±0.18m	0.57±0.21m
ターン	0.18±0.18m	0.45±0.34m
	(2名)	(3名)

4 - 4 本研究の限界

本研究では実際に泳いだ際の 50m タイムを検討するために短水路 50m 自由形泳を行った。自由形の競技距離は 50~1500m までであるために本研究の知見を全ての自由形競技に応用することは難しい。具体的に 200m 以降の長距離であった場合、ターンの回数が増加するため、泳者は横向き姿勢の利点（造波抵抗の減少・ボディロールの入りやすさ）を多く受けることが考えられる。同様の理由から、ターン動作を行わない長水路の 50m 自由形泳の際に結果は応用できない。また本研究では練習時間として 15 分程度の時間しか設けることが出来なかったが、十分な練習期間を確保し横向き姿勢の足沈みの制御、視界の慣れた後に同様の研究を行った際は異なる結果となる可能性がある。

第 5 章 結論

本研究の目的は 50m 自由形泳課題と 25m 牽引課題を通じ横向きのストリームライン姿勢を採用することが、実際の競技（短水路 50m 自由形泳）の競技記録にどのような影響を及ぼすのか検討することであった。15 分程度の練習では、横向き姿勢を採用することで競技記録が低下することが明らかとなった。しかしながら、泳課題において横向き姿勢の方が短いタイムであった被験者が 2 名存在した。この 2 名の被験者は横向き姿勢であっても通常姿勢と近い状態に姿勢制御し泳動作を開始していた。この結果から横向き姿勢であっても通常姿勢と同様の「足沈み」かつ「泳動作により加速するタイミング」に調節することが出来れば、横向き姿勢を採用することで競技記録が向上する可能性があること示唆された。

【参考文献】

- 1) 阿久津邦夫, (1964) : 水泳のエネルギー代謝に関する研究 (その
1) 水泳のスピードと酸素需要量の関係 : 体力科学 (13) : 173 -
179
- 2) Maglischo, E.W., (2002). Swimming fastest, 43-64
- 3) Hay, J.G., (1993). The biomechanics of sports techniques,
345-395
- 4) 阿江通良, 藤井範久, (2002) : スポーツバイオメカニクス 20
講 : 108
- 5) Yanai, T., Wilson, B.D., (2008). How does buoyancy influence
front-crawl performance? Exploring the assumptions. Sports
Technology, 2(3), 89-99
- 6) Novais, M.L., Silva, A.J., Mantha, V.R., Ramos, R.J.,
Rouboa, A.I., Vilas-Boas, J.P., Luís, S.R., Marinho, D.A.. (2012).
The effect of depth on drag during the streamlined glide : A
three-dimensional CFD analysis. Journal of Human Kinetics
(33) , 55-62
- 7) 生田康志, 小堀優子, 加藤健志, 原田隆, 重松良祐, 堀晶代,
(1995) : 日本体育大会号 (46) : 528
- 8) 堀畑裕也, 仁木康浩, 柏木悠, 竹ノ谷文子, 船渡和男, (2014) : 男
子競泳選手におけるスタート局面のタイムに影響を与える要
因 : エントリー局面からグライド局面に着目して, 星薬科大学
一般教育論集 32号 : 45-57
- 9) Chatard, J.C., Bourgoïn, B., Lacour, J.R., (1990). Passive
drag is still a good evaluator of swimming aptitude. European

Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology
(59) , 399-404

- 10) 合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典, 小山田早織, (2008): けのび動作の力発揮と前方牽引による受動抵抗—大学女子熟練泳者と非熟練泳者の比較—: 愛知教育大学研究報告 (57) : 11-16
- 11) Maruyama,Y., Konda,S., Yanai,T., (2013). Influence of altering breathing techniques on passive drag. A preliminary report, ISBS-Conference Procerding Archive. 31 International Conference on Biomechanics in Sports (2013)
- 12) Lyttle,A.D., Blamksby,B.A., Elliott,B.C., Lloyd,D.G., (2000). Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. Journal of Sports Science (18), 801-807
- 13) Yanai,T., Hay,J.G., Gerot.J.T., (1996). Three-dimensional videography of swimming with panning periscopes. Journal of biomechanics, 29(5),673-678