

平成 20 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

浮心と重心のずれがけのび動作の  
パフォーマンスに及ぼす影響

スポーツ科学領域  
スポーツ医科学分野

山岸 威夫

論文指導教員 鈴木勝彦 准教授

合格年月日 平成 21 年 9 月 2 日

論文審査員 主査

米田 健武

副査

鈴木 勝彦

副査

柳谷 登志雄

## 目次

第1章	緒言.....	3
第2章	関連文献の考証.....	5
第1節	浮力と浮心重心間距離について.....	5
(1)	浮力.....	5
(2)	浮心重心間距離.....	5
(3)	浮心重心間距離の計測.....	7
(4)	まとめ.....	8
第2節	けのびについて.....	8
(1)	水泳におけるけのびの位置づけ.....	8
(2)	動作局面.....	9
(3)	グライド局面.....	10
(4)	まとめ.....	11
第3章	目的.....	12
第4章	方法.....	13
第1節	実験1. 静止状態での浮心重心間距離とけのびの到達距離.....	13
(1)	被験者.....	13
(2)	重心計測.....	13
(3)	浮心計測.....	13
(4)	浮心重心間距離の算出.....	14
(5)	けのび試技.....	14
(6)	統計処理.....	15
第2節	実験2. けのび中の姿勢と速度の変化.....	15
(1)	被験者及び実技試技.....	15
(2)	撮影方法.....	15
(3)	分析方法.....	15
(4)	統計処理.....	17
第5章	結果.....	18
第1節	実験1. 静止状態での浮心重心間距離とけのびの到達距離.....	18
第2節	実験2. けのび中の姿勢と速度の変化.....	18

第6章	考察.....	19
第1節	実験1. 静止状態での浮心重心間距離とけのびの到達距離.....	19
(1)	先行研究との比較.....	19
(2)	浮心重心間距離の長短が到達距離に及ぼす影響.....	20
第2節	実験2. けのび中の姿勢と速度の変化.....	22
(1)	先行研究との比較と浮上トルクと体幹セグメント角速度との関係.....	22
(2)	体幹セグメント角速度と重心水平加速度の関係.....	24
第3節	全体的考察と競技や指導への汎用性.....	25
第7章	結論.....	28
第8章	要約.....	29
	謝辞.....	30
	参考および引用文献.....	31
	Summary.....	35
	図表	

## 第1章 緒言

水泳運動中、泳者に作用する力を大別すると、浮力・重力・推進力・抵抗の4つが挙げられる。推進力を高めることでより速く泳ぐことが出来るが、その分抵抗が増大してしまう。そのためより速く泳ぐためには抵抗を軽減することが重要である。特にスタート、ターン動作後のけのび中は、ストロークやキックによる推進力を得られない局面であるため、抵抗を軽減することが速く推進することに直結する。けのびは、プールの壁または床を蹴るときに発した力のみで水中を進むことから、水中での基本姿勢を習得する為に、初心者のみでなく熟練者においても大切な技術であると言われ、初心者から熟練者まで共通した能力評価基準として位置づけられている<sup>23)25)28)</sup>。そのため、けのび中にいかに抵抗のない水平姿勢・流線型姿勢を取れるかどうかは水泳に取り組む者にとって指導者から競技者、愛好家まで一貫した重要な課題の一つである。

水泳運動中に泳者に作用する抵抗には圧力抵抗、造波抵抗、摩擦抵抗の3種類が上げられ、その中でも全体で大きな割合を占めるのが圧力抵抗である<sup>37)</sup>。圧力抵抗とは水中を進む泳者の前縁部と後縁部の圧力差によって生じる。圧力抵抗を軽減する方法としてあげられるのが身体をより水平にすることで推進方向に対して水が身体に当たる面積を減らす方法である<sup>24)38)</sup>。そしてより身体を水平に保つために重要な要素となるのが浮力と重力である。

浮力は、物体が排除した流体の体積中心（浮心）に作用するが、特に泳者が水中で水平姿勢をとった場合、一般的には浮心と重心にはずれが生じるため、下肢が沈む方向へモーメントが働くと考えられている<sup>21)7)</sup>。よって浮心と重心のずれ（浮心重心間距離）が泳者の姿勢、特に身体の水平姿勢の保ちやすさ影響を与え、けのび中の抵抗の増減に深く関わっていることが考えられる。

この分野では浮心重心間距離は静止状態において性差<sup>20)</sup>、肺気量による差<sup>8)22)</sup>、浸水レベルによる差<sup>22)</sup>、腕の相対位置による差<sup>8)21)22)</sup>があることが報告されている。また浮心重心間距離と泳パフォーマンス<sup>21)</sup>の比較や、浮心重心間距離それ自体ではなく、そこから発生する下肢の沈み込み傾向の強さとエネルギー消費等に着目した研究<sup>41)42)</sup>などもみられる。

一方けのびにおける研究は、姿勢および流速の異なる条件下で牽引した時の抵抗値<sup>11)15)18)19)30)31)</sup>、壁を蹴る際の力発揮の様相<sup>9)33)34)35)</sup>、重心移動速度と到達距離とを比較したもの<sup>11)32)33)</sup>が見られる。特に姿勢に関する研究では膝関節角度や股関節角度の大きさと抵抗との関連は見られるものの、それ以上に抵抗を増大させる要因として考えられる浮心位

置と重心位置の不一致から生じる下肢の沈み傾向とけのび中の姿勢と速度や到達距離といったパフォーマンスとの比較に関する研究は未だ見られない。

浮心重心間距離が水平姿勢の保ちやすさに影響を与え、けのび中の抵抗の増減にかかわっているのであれば、それらの関係を明らかにすることで水泳の能力評価基準と言われるけのびに対しての理解が深まり、より効果的な水泳指導法の開発につながることを期待される。

## 第2章 関連文献の考証

けのび中の水平姿勢のとりやすさが浮心位置と重心位置の不一致から生じる浮心重心間距離に影響をされることが予想される。そこで本章では水泳におけるけのび及び浮心重心間距離について理解を深めるために両者についての関連文献の考証を行う。

### 第1節 浮力と浮心重心間距離について

#### (1) 浮力

アルキメデスの原理によると、浮力は流体中に留置した物体に作用する圧力の不均衡に由来し、その大きさは物体が排除した流体の重量に等しくなる。人体各部位の比重は、脂肪を除いて1を上回り、身体全体で見ても成人の場合は比重が1を越えるので、真水（比重1）に人間を完全に浸けた場合、本来なら重力が浮力を上回り、身体は沈むはずである。しかし人体には浮き袋の役目をする肺があるため、最大吸気時には浮力が若干重力を上回り、余剰浮力が生じる。青年男子水泳選手を対象とした研究<sup>3)</sup>では泳者が水中でだるま浮きの状態をとっている時に鉛直方向にかかる力(Hydro static lift)を浮力として定義した。これらの研究では最大吸気時に Hydro static lift(以下 HL)は 1.7kg~3.0kg 程度とされ、400yard 全力泳における平均の泳速に 10%程度貢献していると報告した。また HL が泳運動中のエネルギーコストに 6%関係しているとした上で、競泳における長距離選手は短距離選手よりも大きな浮力を持っていると主張した。

しかしこれらの研究では浮力の計測において泳運動中の姿勢とは異なる姿勢での計測方法をとっているため、その妥当性に疑問がある。またこの方法では浮心重心間距離を計測することも不可能である。Zamparo ら<sup>42)</sup>は泳者の腰回りにチューブを付け、その中に密度の異なる物質を注入することにより泳者の足沈み傾向の度合いを変化させた状態でクロール泳中にかかる抵抗やエネルギー消費量がどのように変化するのを実験した。その結果、足沈み傾向を増大した場合においてエネルギー消費量、抵抗ともに増加することがわかった。そのため、単純な浮力を計測すること以上に足沈み傾向を及ぼす力=浮心と重心のずれ(浮心重心間距離)が生むトルクを計測することが重要であると考えられる。

#### (2) 浮心重心間距離

浮力は、物体が排除した流体の体積中心（浮心）に作用する<sup>17)</sup>が、泳者が水中で水平姿勢をとった場合、一般的には浮心と重心にはずれがあるため、下肢が沈む方向へモーメン

トが働くことになる。

大学生水泳選手を対象とした Capelli ら<sup>2)</sup>の実験によると、伏臥位で両腕を体側に付けた状態における水中での平均トルクは  $17.76 \pm 3.01 \text{Nm}$  で、下肢が沈む方向に作用したとされている。しかしながら、浮心や重心の位置は腕や脚の相対的位置によって変化するので、同じ伏臥位でも両腕を挙上させた場合には、浮心重心間距離は小さくなる。大学生水泳選手を対象とした McLean ら<sup>20)21)22)</sup>の実験結果によれば、泳者が水面近傍に位置するとき、両腕を体側に付けた場合の浮心重心間距離は平均  $1.9 \text{cm}$  であったのに対して、両腕を挙上した場合には、平均  $0.7 \text{cm}$  へと減少した。この値は、体脂肪率と負の相関関係 ( $r^2=0.25$ ,  $p<0.01$ ) にあり、女子 ( $0.17 \text{cm}$ ) が男子 ( $0.78 \text{cm}$ ) より有意な低値を示した<sup>20)</sup>。この結果から、女子の方が水平姿勢をとりやすいと考えられるが、浮心重心間距離と泳パフォーマンス (25 ヤード全力泳) との関連を調べた報告<sup>22)</sup>によると、両者には有意な相関関係は見られなかったとされる。

一方それに対して Yanai<sup>40)</sup>はクロールで遊泳中の泳者の身体係数と映像から浮心と重心を時系列ごとに算出した。それまで行われてきたように浮心重心間距離を静止状態での測定するのではなく、泳者の身体部分慣性係数と映像の分析から浮心重心間距離を導き、そこから生じるトルクを算出した唯一の報告である。それによると、けのび状態で静止している場合は、下肢が沈む方向に  $6.35 \text{Nm}$  モーメントが作用するが、クロールで泳いている場合には静止状態とは逆に下肢が浮き上がり、頭が沈む方向にモーメントが働くとしている。これはけのび状態で静止している場合と違い、クロールで泳いている場合では泳者の身体の一部が水面上と水面下を行き来することに由来する。身体一部が水面上に上がる時はその部分に浮力が働かなくなり、浮心が足側に移動し重心との相対的な位置が逆転してしまうためである。

このことから、静止中と遊泳中では浮心重心間距離および発生するトルクが変化することが示唆された。Kjendlie ら<sup>16)</sup>は静止中に発生するトルクを *Passive torque* と呼ぶのに対しクロール泳中に発生するトルクを *Active torque* と呼び、両者の間の関係性を検証した。しかし *Active torque* の計測は非常に困難であるという理由から、Kjendle らは遊泳中の頭頂部と大転子を結んだラインの傾きを *Active torque* とし検証した。その結果、*Passive Torque* と遊泳中の身体の傾きとの間に有意な相関は見られなかった。この結果は静止状態で下肢に働くトルクと遊泳中に下肢に働くトルクとは別であるという Yanai<sup>40)</sup>の報告を裏付けるものであると考えられる。

このように浮心重心間距離と発生するトルクには静止状態と動作中で違いが見られ、それぞれ別個に計測されるべきである。以下にそれぞれの状態での計測方法について述べる。

### (3) 浮心重心間距離の計測

浮心重心間距離の計測には静止状態の場合を求める方法と動作中の場合を求める方法の2種類がある。

静止状態での計測では陸上での重心位置の計測と水面上での浮心位置の計測の2つのプロセスを踏む。重心の測定はReaction Board法<sup>12)</sup>を用いて行われる。浮心の計測では水中に設置したバランスボードに被験者をベルトで固定しバランスボードの上端もしくは下端にかかる力を計測する方法<sup>20)8)41)42)</sup>、と水面付近に位置した被験者の足首もしくは足首と胸部を吊り秤によって吊りあげ、その時に足首、胸部にかかる力を計測する方法<sup>20)21)22)</sup>などから浮心を算出する。2種類の方法の原理は、重心をあらかじめ陸上で計測する点、身体が静止して安定している状態を”浮力=重力+支える力”でつり合っている状態と考え、支える力を計測するという点等で共通している。

この計測方法は比較的簡易に行うことができるという利点があるが、その一方で、重心の計測が陸上で行われること、重心が姿勢の機微によって絶えず変化することから泳動作中の浮心重心間距離とは異なる恐れがあること、水中で行う場合は被験者を水中に固定してしまうので事故の危険があることなどといった問題点がある。これらの点についてMcLeanら<sup>20)21)22)</sup>は浮心が重心の関数であることから浮心重心間距離が重心に強く依存していることを指摘し、重心測定の精度を上げ複数回の計測における標準偏差を小さくすることで妥当性の向上を図った。

また上から吊り上げる方法では泳者の足首を水面付近に吊り上げることが必要だが、吊り上げた段階で水面上から出ている身体の部分がけのび中とは異なることが考えられる。そのため実際にけのびを行っている状態の時に身体に働くトルクとの間に若干のずれが生じてしまう恐れがある。

動作中の浮心重心間距離の計測とは、被験者を水中側方から撮影した映像と、先行研究に報告されている身体部分慣性係数(質量比、重心、密度、各セグメントの体積中心)を用いてDLT法によって時系列で2次元座標を算出する方法である。重心の2次元座標も同様にDLT法によって算出しそれぞれの座標の距離を浮心重心間距離とする。

DLT法によると身体重心の算出は以下の式で求められる。

身体重心座標 = ( 部分質量比 × 部分身体重心座標 ) の総和

浮力は身体の体積中心に作用するため上記の式を改変して求めることができる。

身体浮心座標 = ( 部分体積比 × 部分身体浮心座標 ) の総和

Yanai<sup>40)</sup>はこの方法を用いてクロール泳中の浮心と重心を算出した。これは移動中の身体浮心を求めた初めてであり唯一の報告である。

この測定方法では身体の各部の相対的な位置から浮心を割り出すため、静止状態での測定で懸念された問題は解決できそうである。しかしこの方法における浮心の測定では各セグメントの体積中心位置が必要だが、それは先行研究で報告された係数に依存している。そのためその係数と著しくずれていた場合、結果としては全体的に精度が落ちる可能性が考えられる。また泳者の身体が水面上と水面下を行き来する場合、水面上と水面下の両空間の解析が必要である。Yanai はクロールにおいて遊泳中の泳者の身体は水面上と水面下を行き来するため両空間の解析ができるよう自作の潜望鏡<sup>39)</sup>を用いて撮影を行った。

#### (4) まとめ

本研究では浮心重心間距離を静止状態と動作中の両者を計測する。実際のけのびの試技では、壁を蹴ってスタートしてから暫くは水中を移動しその後浮上し水面近傍を移動する。泳者の浮心重心間距離を観察するためには水中から撮影する方法が効果的だと考えられる。この方法であれば泳者の関節角度等も観察できることから、どの程度腕部が挙上できているか、などと言った指導現場で耳にする所謂けのびのうまさもそこから見いだせる長所がある。

またけのび中は静止状態で計測している状態と腕や足の相対的な位置は変わらないので静止状態での浮心重心間距離の計測も比較的有効であると考えられる。

## 第2節 けのびについて

### (1) 水泳におけるけのびの位置づけ

けのびとは腕を頭上で組む姿勢（けのび姿勢）をとりながらプールの壁または床を蹴る

動作局面を経てけのび姿勢をとったまま壁や床を蹴った力のみで推進していくことを指す。指導現場では平泳ぎ時のグライド姿勢をも含めて、「けのび」と表現することもある。

けのびは、初心者の段階から一流選手に至るまで、ともに共通した能力評価基準であると言われている<sup>29)</sup>。なぜなら、壁または床を蹴った時に生み出されるスピードを体験するのみではなく、速度維持のための姿勢、いわゆる流線型(ストリームライン)姿勢や水平姿勢を保持することが各泳法を習得し、技術を高めていくために重要だからである<sup>5)6)28)</sup>。実際に、アテネ五輪・北京五輪金メダリスト北島康介選手のコーチである平井伯昌氏は泳ぎの中でのけのび、すなわちスタートやターン後のストリームライン姿勢の善し悪しが競技成績に多大な影響及ぼすことを指摘している<sup>14)</sup>。

下永田ら<sup>30)31)</sup>は大学水泳選手では、泳速度を向上させるために、推進力を大きくするタイプと、抵抗を減少させるタイプに分類できると報告している。したがって、泳速度を向上させるには、推進力を増大することと共に、抵抗の少ない姿勢で泳ぐ技術が必要である。けのびにおいては壁を蹴る時が推進力の大小が決定される局面であり、その後姿勢を保ったまま壁を蹴った力のみで推進していく時が抵抗を減少させる技術の巧拙により差が生まれる局面である。

以下にけのびにおいて推進力を得る局面を「動作局面」と、姿勢を保ったまま壁を蹴った力のみで推進していく局面を「グライド局面」と定義付けそれらについて述べる。

## (2) 動作局面

けのびの動作局面に注目した合屋ら<sup>9)</sup>は初心者の一定期間の集中型トレーニング後、等間隔でトレーニングを重ねて行った時の縦断的追跡を行った。その結果、壁を蹴った姿勢後の姿勢のみではなく壁を蹴るまでの動作がその後の結果に大きく影響することを報告している。

大学生水泳熟練者を対象にした力発揮と動作の研究<sup>32)</sup>では、到達距離の長い泳者は壁を蹴る力発揮が安定していることから、熟練者は壁を蹴るまでの準備局面における動作が安定していることが示唆された。熟練者の力発揮の様相は壁を蹴るにあたり、力の立ち上がりにおいて泳者の同程度の力を発揮するところで一度横這いになり、蹴り出す瞬間に向けて再び力の発揮が大きくなる、いわゆる「ため」を作っていたことが報告されている<sup>26)32)34)</sup>。

さらに重心投射角度については熟練者は水面に対してほぼ平行に投射していたの

(1.58deg±2.62)に対し、初心者は下向きに投射していた。熟練者と初心者の方に力のピーク値に差がなかったことから熟練者の方がより効率よく前方へ推進するための壁を蹴る技術が優れているためだと考えられ、壁を蹴る力の大きさよりもその技術が、けのびの到達距離を長くしている要因になっていることが示唆された。

### (3) グライド局面

けのびにおいて泳者は壁を蹴った後はしばらく水中を潜行し、その後浮力によって水面近傍に浮上する。熟練者においては浮上した後も身体が推進し続けることがある。

グライド局面における推進効率の研究は、そのほとんどが前方牽引による受動抵抗(泳者が受動的に牽引されることで計測される総合的な抵抗値)の計測から推進効率の善し悪しを判断している<sup>11)15)18)19)30)31)</sup>。Lyttleら<sup>18)19)</sup>は、深さを変えた条件のもとでけのび姿勢をとっている泳者を1.9m/s以上の高速で牽引したところ、泳者が水面付近を牽引された時の抵抗が、水中を牽引されている時よりも15~18%大きかったと報告している。これは水面上を移動することで生じる波による抵抗(造波抵抗)が増大するためであると考えられた。しかしJiskootら<sup>15)</sup>の報告によれば、1.9m/s以下の速度で泳者を牽引した場合にはLyttleらとは反対に、水面付近での抵抗値が水中での抵抗値を20%下回っていたという。この結果から比較的低速域では潜ることによって造波抵抗を削減する効果はあまり望めず、1.9m/sを超えるような高速域でないと削減効果が見込めないとと言える。

下永田も同様にけのび姿勢をとっている泳者の前方牽引における受動抵抗値を計測した。これまで受動抵抗は体格差によるものが大きく体表面積の違いが受動抵抗に関与していたと考えられていた<sup>36)37)</sup>が、競泳に精通した選手間の受動抵抗の違いは、体格の差よりも姿勢の違いによる変化が大きいと報告している。ここで姿勢の違いによりその大きさが変化する抵抗とは圧力抵抗であると考えられる。

同一の被験者での前方牽引による受動抵抗値とけのび中の泳者の関節角度を比較した合屋らの報告<sup>11)</sup>では、蹴り出し直後、0.5秒後共に股関節角度と全ての牽引速度(0.9m/s, 1.5m/s, 1.8m/s)における受動抵抗値との間に有意な相関が見られた。さらに0.5秒後の膝関節角度と1.5m/s, 1.8m/sとの間にそれぞれ有意な相関が見られた。この結果から下肢を十分に伸展することが圧力抵抗の少ない姿勢につながっていることが示唆された。

また、けのび中の重心移動速度に着目した報告<sup>11)32)33)</sup>では、到達距離の長い者と短い者との間に蹴り出し直後では重心移動速度に有意な差が見られなかったのに対し、0.5秒時

では到達距離の長い者の方が有意に速かったことが確認され<sup>32)33)</sup>、0.5 秒時の重心移動速度と到達距離との間に 1%水準を超えて有意な相関が認められた<sup>11)</sup>。これは重心移動速度の減少が水中での抵抗に左右されているためだとしている。

#### (4) まとめ

以上のことを総合するとけのびにおいて動作局面では壁を蹴る技術が、グライド局面では抵抗の少ない姿勢を作り抵抗を減少させることがそれぞれ到達距離を伸ばすために重要であると考えられる。本研究では浮心重心間距離がけのびのパフォーマンスに及ぼす影響を検証するため、けのびのグライド局面に関する研究と位置づけることができる。特に姿勢に関しては関節角度と抵抗値の報告がなされているものの、それ以上に大きな影響を与えていると考えられる、下肢の沈み傾向との関連を見た報告は未だ見られていない。

浮心重心間距離の長短が身体の水平姿勢の保ちやすさ、もしくは下肢の沈み傾向に影響を与えるならば、それはけのび中の抵抗に大きく関与してくることが考えられる。特に圧力抵抗が増大することが考えられるが、このことは減速量も増大することにつながり、その結果速度が 0 となり身体が停止してしまう。抵抗が大きければ大きいほど減速率も高い<sup>11)33)</sup>ため、最終的に速度は低下し、到達距離も短くなることが考えられる。

### 第3章 目的

抵抗を小さくすることがけのびの到達距離を伸ばすために有効であるということは、いかに水平な姿勢を維持できるかが極めて重要だと考えられる。浮心重心間距離の長短から生じるモーメントが水中での水平姿勢のとりやすさに影響を与えるのであれば、それはけのびの速度や到達距離といったパフォーマンスに直接的に関わってくることが予想される。

そこで本研究は実験 1 において静止状態での浮心重心間距離がけのびの到達距離に影響を及ぼすかどうかを検討し、実験 2 においては実際にけのび中どのように姿勢や速度が変化しているのかを映像分析から検討した。

以上のこと本研究はけのびのパフォーマンスと浮心重心間距離及びそこか生じる下肢の沈み傾向との関係を明らかにすることを目的とする。

## 第4章 方法

### 第1節 実験 1. 静止状態での浮心重心間距離とけのびの到達距離

#### (1) 被験者

J大学水泳部男子10名、女子9名を対象とした。被験者の年齢、身長、体重、体脂肪率はそれぞれ $19.6 \pm 1.3$ 歳、 $167.2 \pm 8.5$ cm、 $63.8 \pm 8.1$ kg、 $20.5 \pm 6.7\%$ (平均 $\pm$ 標準偏差)であった。また男女別に分類したものを表1に示した。実験に先立ち被験者は、研究の目的や内容、計測方法について十分な説明を受け、被験者として実験に参加することに同意していた。なお本研究は順天堂大学倫理委員会の承認を受けて実施された。

また、けのび中の身体の傾きを見るために後日、男子2名の試技を撮影した。

#### (2) 重心計測

重心計測は先行研究に則り、Reaction Board 法<sup>10)</sup>によって計測された(図1)。被験者はけのび姿勢をとり仰臥位で計測ボードの上に寝かせられた。足関節は最大底屈するよう指示した。被験者は両足の外果中心が計測ボードの参照線上に位置するように位置を調整された。そのためここで計測される重心位置は外果から身体重心までの距離を表す。

計測は3回行われ、計測の間にはその都度被験者は計測ボードから下ろされた。

#### (3) 浮心計測

浮心計測は被験者が水面に位置している状態で足首を吊し上げる方法<sup>20)</sup>で計測された(図2)。被験者は最大吸気で伏臥位でけのび姿勢をとっている状態で足首にかかる力を計測された。被験者の足首にはベルトを巻き、0.05kgで校正されたデジタル吊り秤(カスタム社製 393-50)を繋げ、被験者の外果が水面に位置した時点での足首にかかる力を計測した。計測中被験者の身体を安定させるためにベルトには1kgの重りが加えられた。被験者ごとに足首に巻かれたベルトと外果中心までの距離が被験者ごとに計測された。計測は3回行われた。

被験者の身体が計測時、水平に安定している場合、浮力(B)は以下の式から求めることが出来る。

$$B = W - (S - 0.95\text{kg}) \dots (1)$$

Wは被験者の体重、Sは吊り秤にかかる力、0.95kgは足首のベルトにつながれた重りが完全に水没したときの重量をそれぞれあらわす。このとき先に陸上において計測した外果から重心位置までの距離から外果から足首ベルトまでの距離を減じた数値を X1、ベルトから浮心位置までの距離を X2 とした場合、身体が静止していることからトルクが釣り合っていると考えられ以下の式が成り立つ。

$$B \cdot X2 = W \cdot X1 \dots (2)$$

式(1)を式(2)の式に代入することで足首ベルトから浮心位置までの距離が算出される。

$$X2 = \frac{W \cdot X1}{W - (S - 0.95\text{kg})} \dots (3)$$

重心の計測は3回行われたため、X1には3回の計測値がそれぞれ代入された。Sにも同様に3回の計測値が代入されたため、全9パターンの浮心位置が算出された。

#### (4) 浮心重心間距離の算出

式(3)から得られた浮心位置より以下の式から浮心重心間距離(d)を求めた。

$$d = X2 - X1$$

重心位置は3回計測されたため、それぞれの重心計測値に対応する浮心計測値が代入された結果、全9パターンの浮心重心間距離が算出され、被験者ごとに平均値と標準偏差が求められた。

#### (5) けのび試技

計測に先立ち、被験者には10分間ウォームアップを行ってもらった。その後けのびの試技が5回行われ、けのびの距離が計測された。けのびを行う際は最大吸気で行うよう被験者に指示した。けのびは被験者の身体が完全に停止するまで、最終的な距離は停止した時点での指先の位置によって計測された。けのびの距離はあらかじめプールサイドに引かれた距離のラインを元にメジャーで10cm単位まで計測された。そのため試技はプールサイド近傍で行った。

最終的に被験者ごとに5回の平均値と標準偏差が求められた。

#### (6) 統計処理

統計処理には相関分析が行われ、有意水準は5%とした。また到達距離と浮心重心間距離の男女の差を見るためにt検定を用い、有意水準は5%とした。

### 第2節 実験2. けのび中の姿勢と速度の変化

#### (1) 被験者及び実技試技

J大学男子学生4名(水泳競技経験者2名、未経験者2名)を対象としそれぞれ全力でのけのびを行った。被験者の年齢・身長・体重・体脂肪率・肺気量はそれぞれ $25.0 \pm 1.9$ 歳、 $171.5 \pm 3.5$ cm、 $64.0 \pm 2.9$ kg、 $14.8 \pm 2.0\%$ 、 $7.9 \pm 0.6$ liter(平均±標準偏差)であった。

被験者には、けのび中は最大吸気でなるべく息を吐かないよう指示した。

#### (2) 撮影方法

撮影はVTRカメラ(SONY社製HDR-SR11, 三洋電機社製DMX-CA8)2台を用いて、被験者の左側方を水中から全身を撮影した。被験者が浮上する局面が撮影できるよう被験者ごとに撮影位置が変更され、その都度キャリブレーションを行った。

分析点は手先・手首・肘・肩・頭頂・大転子・膝・外果・踵・足先とし、各分析点には黒色および黄色の布テープが張られた。

#### (3) 分析方法

得られたVTRカメラの映像から、分析点(手先・手首・肘・肩・頭頂・大転子・膝・外果・踵・足先)計10点をVTRデジタイザー(DHK社製Frame-DIAS II)で毎秒30フレームでデジタイズし、DLT法(Direct Linear Transformation Method)によって2次元座標を算出した。分析の対象は被験者の身体の一部が浮上するまでの2秒間とした。

重心は手部・前腕部・上腕部・頭部・体幹部・上腿部・下腿部・足部の各セグメントの質量中心比<sup>13)</sup>をもとに各セグメント重心座標を算出し、質量比<sup>4)</sup>から身体重心の2次元座標を算出した。

浮心は重心と同様のセグメント(手部・前腕部・上腕部・頭部・体幹部・上腿部・下腿部・足部)の体積中心比<sup>7)</sup>をもとに各セグメントの浮心座標を算出した。体幹部は大転子から肩までとし、体積中心比(大転子からの距離)は以下の式から求めた<sup>40)</sup>。

$$\text{体幹部体積中心比} = \frac{0.578 \times (\text{部分質量} \div \text{身体密度}) + 0.62 \times \text{全肺気量}}{(\text{部分質量} \div \text{身体密度}) + \text{全肺気量}}$$

その後、各セグメントの体積比から身体浮心の2次元座標を算出した。各セグメントの体積比は、被験者の体重・全肺気量・部分質量比<sup>4)</sup>・部分密度<sup>7)</sup>から各セグメントの体積を求め、それらをそれぞれ被験者の全体積で除した数値とした。被験者の全身体積は以下の式から求めた。

$$\text{全身体積} = \frac{\text{体重}}{\text{身体密度}} + \text{全肺気量}$$

先行研究に報告されている部分密度は、被験者の体脂肪率から身体密度を Siri の算出式<sup>29)</sup>を元に推定し、調整された。全肺気量はスパイロメーターにより被験者ごとに計測された。

以上の分析から計測項目として、浮力・浮心重心間距離・浮上トルク・浮上時の体幹セグメント角度及び浮上までの2秒間における角速度・浮上時の重心水平速度及び浮上までの2秒間における重心水平加速度が分析された。

浮力は物体が押しのけた水の重さに等しいため、被験者の全身体積に水の比重(9.78N)を掛けた値として算出された。浮心重心間距離はフレームごとに算出された。浮上トルクは、重心から浮心に伸びるベクトルと浮心から鉛直方向に伸びる浮力のベクトルとの外積として求め、重心まわりにはたらく上肢を浮上させ下肢を沈める方向へ作用するモーメントとした。

体幹セグメント角度は肩と大転子を結んだ線分と水平線のなす角として定義し、身体の傾きの傾向の度合いを見た(図3)。体幹セグメント角度及び角速度はフレームごとに算出された。浮上するまでの2秒間(計60フレーム)の平均値をとした。

重心水平速度及び加速度はそれぞれフレームごとに算出され、被験者が推進方向へどれだけの速度を発揮しているかを見た。最終的な加速度は浮上するまでの2秒間(60フレーム)の平均値とした。

重心水平速度と体幹セグメント角度の時系列ごとの生データにはノイズが見られる為、

30点移動平均によって平滑化された。

(4) 統計処理

統計処理には相関分析が行われ、有意水準は5%とした。

## 第5章 結果

### 第1節 実験 1. 静止状態での浮心重心間距離とけのびの到達距離

実験 1 における全被験者の到達距離は  $14.5 \pm 1.6\text{m}$ 、浮心重心間距離は  $0.7 \pm 0.5\text{cm}$  (平均  $\pm$  標準偏差) であった。男女別の記録を表 2 に示した。1 名の被験者を除いたその他全ての被験者において、浮心位置が重心位置よりも頭側に位置していた。1 名浮心位置が重心位置よりも足側に位置していたためマイナスの値とした。

図 4~6 にけのびの到達距離と浮心重心間距離の関係を示した。全被験者について両者間に 1%水準を超えた有意な相関が見られた ( $n=19$ ,  $r=-0.65$ ,  $p<0.01$ , 図 4)。男女別に見た場合、男子では有意な相関は見られなかった ( $n=10$ ,  $r=-0.23$ , N.S., 図 5)。女子においては、全員では有意な相関は見られなかったが ( $n=9$ ,  $r=-0.58$ , N.S.)、回帰直線から大きく外れた被験者(三角マーク)をのぞいた場合 1%水準を超えた有意な相関が得られた ( $n=8$ ,  $r=-0.88$ ,  $p<0.01$ , 図 6)。さらに図 7 に浮心重心間距離と体脂肪率の関係を示した。

### 第2節 実験 2. けのび中の姿勢と速度の変化

実験 2 における全被験者の計測値を表 5 に示した。

全ての被験者において計算上浮心位置が重心位置よりも頭側に位置していたことと、全ての被験者において体幹セグメントにおいて正の角速度が発生していたことから、下肢が沈む傾向へと働く回転が生じていることが確認された。被験者ごとの体幹セグメント角度の推移と重心水平速度の推移を図 8、図 9 にそれぞれ示した。

浮上時の重心水平速度ではほぼ全ての被験者が  $0.5\text{m/s}$  前後で浮上しており、全ての被験者において負の加速度が発生していたため、浮上までの 2 秒間の間に減速していたことが確認された。また重心水平加速度と体幹セグメントの角速度との間に相関が見られた ( $n=4$ ,  $r=-0.96$ ,  $p<0.05$ , 図 10)。

全ての被験者において浮心と重心の相対的位置は、浮心が頭側にあり重心が足側にあることに変化はなく、また浮上トルクも 1 秒間の間に大きな変化は見られなかったため両者は平均値で示した。図 11 には浮上トルクと体幹セグメントの角速度との関係を表し、両者には統計的に有意な相関は見られなかった ( $n=4$ ,  $r=-0.39$ , N.S., 図 11)。

## 第6章 考察

本研究は浮心重心間距離の長短がもたらす下肢の沈み傾向がけのびのパフォーマンスにどのように影響を及ぼすのかを検討することを目的とした。本章では第1節で静止状態の浮心重心間距離とけのびの到達距離との間から得られた相関について考察を行う。第2節では映像分析から得られた浮心重心間距離の検討と下肢の沈み傾向と速度との関係について考察を行う。最終的に第3節において全体の考察について述べることとする。

### 第1節 実験1. 静止状態での浮心重心間距離とけのびの到達距離

#### (1) 先行研究との比較

表3, 4に浮心重心間距離、けのびの到達距離それぞれにおける先行研究との比較を示した。浮心重心間距離では、男女ともに同様の条件で行った先行研究と近い値であった(表3)。本研究ではMcLeanら<sup>20)</sup>の研究と同様に重心計測は仰臥位で行い、浮心計測は腹臥位で行った。重心計測において、腹臥位と仰臥位では被験者が計測ボードに乗った時にわずかに軟部組織(脂肪や皮膚等)の位置が異なることから、浮心重心間距離を算出する上で誤差を生むことが懸念され、さらに1~2cm程度といった浮心重心間距離の大きさを正確に計測するのは困難であると思われる。McLeanら<sup>20)21)22)</sup>はこの点について、この計測方法における浮心位置の計算が重心位置に依存していることを考えると、これらの上記に挙げた懸念は解決されると主張している。つまり重心計測における重心位置の誤差はそのまま浮心位置の計算に影響するが、同程度の誤差が同時に発生するのでそれら両者の距離は影響を受けずに存在しているはずなのである。

本実験における重心計測の誤差の大きさの影響を確認するために1人の被験者で感度分析を行った。重心位置計測3回の平均値を真の値とした場合に±2%(±1.74cm)まで合致させたところ、浮心位置において同様の変化の大きさとなった(±1.76cm)。これらの変化は浮心重心間距離において±0.03cmに相当し、重心または浮心計測で予測される誤差の大きさに対して、比較的浮心重心間距離への影響が小さいことが示された。

けのびの到達距離においては大学生水泳熟練者を対象とした杉浦<sup>39)</sup>の報告や、男子トップスイマーを対象とした合屋<sup>10)</sup>の報告よりも男女ともに高い値が計測された(表4)。原因として考えられることは、本研究の被験者は平均的にけのびの技術が高かったことが考えられる。本実験の対象となった水泳部ではトレーニングにおいて日常的にけのびの練習が組み込まれていた。そのため到達距離が他の研究における被験者よりも長くなったことが

考えられる。水泳初心者を対象としたけのびの縦断的研究<sup>9)</sup>では、週3回(1回2時間)のトレーニングを5週間の行った結果、練習前から約2.3m増加したと報告した。動きに対する認識が増し、けのび中の腰関節角度と膝関節角度が練習前よりも水平(180deg)に近づき、より全体として水平な姿勢を作ることができるようになったと報告している。熟練者を対象とした縦断的研究の報告はこれまでされていないが、熟練者においても継続的・意識的トレーニングが姿勢や動作に対する認識を改善し、到達距離を伸長させることは十分考えられるため本研究の被験者が、けのびに関して高い技術を持っていた可能性が推測された。

## (2) 浮心重心間距離の長短が到達距離に及ぼす影響

全被験者についてけのびの到達距離と浮心重心間距離の間に有意な1%水準を超えた有意な相関が見られた(図4)。ほとんどの被験者において浮心位置が重心位置よりもより頭側に位置していたため下肢が沈み込む傾向のモーメントがあることが観察された。特に男子は浮上後すぐに下肢が沈み到達距離が伸びにくい様子がみられた。それに対し女子の被験者は浮上後も水平な姿勢を保ったまま推進し続ける様子が伺えた。杉浦<sup>33)</sup>も下肢の沈み傾向に関して今回と同様の報告をしているが、杉浦は到達距離と身体組成との関連を指摘し、被験者の身体の横断面積と到達距離を比べた結果、男子において5%水準で有意な相関が見られたとしている。その上で、横断面積の大きい者は体脂肪率が多いと考え下肢が沈みにくかったのではないかと推測している。さらにMcleanら<sup>20)</sup>は体脂肪率と浮心重心間距離の間に有意な相関が見られたと報告している。本研究でも浮心重心間距離と体脂肪率の間には有意な相関が見られたことから( $r=-0.59$ ,  $p<0.01$ , 図7)、本実験でも体脂肪率の高い女子は浮心重心間距離も短くなり、その結果水平な姿勢を保つことで到達距離を伸ばすことができたと考えられる。そのため図1で得られた回帰はけのびの到達距離、または浮心重心間距離の男女差に起因しているところが大きいようである。

本実験において男女別で見た場合、女子全体ではやや高い相関が得られたものの統計的に有意ではなかったが( $n=9$ ,  $r=-0.58$ , N.S.)、1名の被験者を除いた場合に有意に高い相関が得られた( $n=8$ ,  $r=-0.87$ ,  $p<0.01$ , 図5)。男子ではやや相関がみられるものの、統計的に有意ではなかった( $n=10$ ,  $r=-0.23$ , N.S. 図6)。比較的女子の方が浮心重心間距離が到達距離に強く影響をあたえている傾向が見られた。また、男女の間で浮心重心間距離、到達距離において共に1%水準を超えて有意な差が見られた。

けのびを行っている際の様子としては、女子は浮上後に水平な姿勢を保つことができ、

ゆっくりと推進している様子が伺えた。その一方で男子は浮上後に下肢が沈み込んでしまい、身体が停止してしまう被験者が多く見られた。

杉浦<sup>33)</sup>は、スタートから 0.5 秒時の重心移動速度と到達距離との相関を見たところ男子にのみ有意な相関( $r=0.85$ ,  $p<0.001$ )が得られた一方、女子では統計的に有意な相関( $r=0.43$ , N.S.)は見られなかったとした。杉浦はさらに、本実験と同様に男子の被験者は浮上後に下肢が沈み到達距離が伸びにくかった一方で女子の被験者は浮上後に下肢が沈まずに姿勢を保持してられ、結果的に男子よりも女子の到達距離が比較的長かったとも報告している。これらのことから女子のけのびの到達距離は水中での移動速度に依存しないということが考えられ、女子は浮上後に水平姿勢を保つことができたことで、推進し続けることができ男子よりも到達距離が長くなったと考えられた。

また、浮上後の移動速度は非常に低速であった。浮上後、被験者は低速の状態水面近傍を移動したが、この状態は本実験で採用した浮心計測時の状態(水面近傍で静止状態)に近い。このことから本実験で計測された浮心重心間距離がけのびにおいて浮上後の下肢の沈み傾向に影響を及ぼし、結果として到達距離にも影響を及ぼしたと考えられた。

また男女別で見た場合に見られた男女における相関の強さの違いについても浮上後に水平姿勢を保持できるかに関係していると考えられた。男子は浮上後に下肢が沈み込む傾向が強く、そのために手先が水面上に突出してしまう様子が多く見られた。この状態は浮心計測時の状態とは異なる。手先が水面上に突出してしまった場合、その部位には浮力が働かなくなる。浮心計測時は秤によって被験者の足首を吊り上げ、強制的に水平な姿勢へとさせたが、けのび中に見られたように手先が水面から突出してしまった場合その時の浮心位置は静止状態で計測したときと異なっていると考えられ、その結果浮心重心間距離も静止状態の値とけのび中手先が水面から突出した状態の値とでは異なるはずである。そのため、男子においては到達距離と静止状態での浮心重心間距離との相関が弱かったと考えられた。一方女子は比較的浮上後も水平な姿勢を維持していたため、静止状態での浮心重心間距離とけのび中に見られた浮心重心間距離が比較的近い値であったと推測され、そのため女子は男子に比べ相関が強く出たと考えられた。

よって、けのびの到達距離における男女差は浮上後の推進距離の差であることが推測され、静止状態における浮心重心間距離の男女の差は、けのびにおける浮上後の下肢の沈み傾向の男女の違いとして現れ、結果的にけのびの到達距離の男女差に影響したと考えられた。従って本節では静止状態での浮心重心間距離が浮上後の下肢の沈み傾向に影響を与え、

結果的にけのびの到達距離に影響したと考察する。

## 第2節 実験 2. けのび中の姿勢と速度の変化

### (1) 先行研究との比較と浮上トルクと体幹セグメント角速度との関係

表 6 に実験 2 において算出された浮心重心間距離と先行研究との比較を示した。実験 2 においては、けのび中浮上するまでの 2 秒間における浮心重心間距離を時系列ごとに算出した。よって被験者は完全に水没している状態なので、先行研究においても被験者が完全に水没している状態で計測したデータをそれぞれ示した。ただし、McLean ら及び Gagnon らの報告は被験者を静止状態で計測した値であり、Yanai の報告は、遊泳中の 3 次元データから求めた平均身体部位長を用いて形成された身体モデルをけのび姿勢(全ての部位を一直線上に並べた姿勢)に並べ、完全に水没しているというシミュレーションの元で算出した値である。本研究はけのびを行っている最中の映像から 2 次元動作解析を行い浮心及び重心の 2 次元座標をそれぞれ算出した。しかしながら、先行研究における浮心重心間距離が 1cm 強程度である一方、本実験で得られた値は 2.6cm であり、先行研究に比べ約 2~2.5 倍の大きさであった。

本実験において浮心の係数に西洋人のもの<sup>740)</sup>を用い、対応させるために重心に関する係数(部分質量比、質量中心比)も、西洋人について報告されている係数<sup>4)13)</sup>を用いた。本実験の被験者は全員日本人であったため、西洋人の係数を用いることによる誤差が生じた可能性が大きい。重心に関する係数を日本人について報告されている値<sup>1)</sup>にした場合、浮心重心間距離は 4 人の被験者の平均で 5.6cm となり先行研究の値からさらに大きく異なる結果となった。そのため浮心の係数に西洋人の値を用いる限りは、重心の係数も西洋人の値を用いることが望ましいことがわかる。したがって日本人の重心係数を用いる場合は、日本人の浮心係数を新たに算出する必要がある。

日本人の浮心重心間距離を正確に算出するためには重心、浮心共に日本人の係数を用いることが最も望ましく、日本人に関する浮心(体積中心比)の係数を新たに検討することは今後検討されるべき課題である。

浮上トルクに関しても先行研究の値に比べ、約 2.5 倍値が大きく、浮心重心間距離における先行研究の値との大きさの違いも約 2~2.5 倍であることから、浮心重心間距離の先行研究との差異が浮上トルクにおいても同様の差異をもたらしたと考えられる。浮上トルクは重心まわりに働く上肢を浮かせ下肢を沈ませるモーメントであるため、下肢の沈み込む

勢いを表す体幹セグメントの角速度と正の相関があると予想された。図 11 は体幹セグメントの角速度と浮上トルクとの関係を見た図である。両者に有意な相関は見られず( $r=-0.36$ , N.S.)、予想された正の相関ではなく、浮上トルクが大きいほど角速度の値が小さくなるという負の相関の傾向が見られた。その原因として 1)被験者の人数、2)けのび姿勢の差異が小さかったこと、3)浮心・重心の係数において西洋人の値を用いたことによる誤差の影響がそれぞれ考えられる。

本実験では被験者が 4 名という少人数であった。そのためそれぞれの値が相関を大きく変動させる力がある。そのため 1 人の被験者が回帰から大きく外れることがあれば、それが相関係数を大きく変動させることが考えられる。図 11 では特に最も浮上トルクの大きい被験者において角速度がもっとも小さいという結果だったため、それが負の相関の傾向に大きく影響したと考えられた。

次にけのび姿勢の差異が小さかったことが考えられる。けのび姿勢は腕を挙上し頭上で組み手足を伸ばすという比較的単純な姿勢である。そのため側方からのみの撮影では被験者ごとの差異までを詳細に分析できなかつたとも推測できる。特に本実験における体幹セグメントは大転子から肩のマーカまでとし、側方から見た場合肩と胸骨上縁の位置が一致していると仮定して分析を行った。先行研究における体幹部の質量中心比や体積中心比の係数も大転子から胸骨上縁までの値であった。しかし水泳経験者や熟練者ではけのび姿勢をとった場合肩の位置が胸骨上縁の位置よりも頭側に位置していることが多く、指導現場ではそのようなけのびの姿勢を「良いけのび姿勢」としていることが多い。その結果けのび姿勢をとった場合、体幹セグメントが実際の長さよりも長くなり、計算上は体幹部における部分重心と部分浮心の位置が相対的に離れてしまうことが考えられた。体幹部の質量や体積は身体全体の比率として大きな割合を占めるために、体幹部の部分浮心重心間距離が全体の浮心重心間距離に大きく反映したと考えられる。結果として「良いけのび姿勢」をとっている者ほど浮心重心間距離が大きな値として算出され浮上トルクが大きくなったために体幹セグメント角速度との間に負の相関が見られたと考えられる。

いずれにしてもこの映像分析における浮心重心間距離の計測については被験者の人数を増やす、分析点を増やしセグメントを詳細に定義する、日本人の浮心に関する係数を新たに算出する等といったさらなる検討が必要である。

## (2) 体幹セグメント角速度と重心水平加速度の関係

前項においては、浮上トルクと体幹セグメント角速度との間に明確な関連性を見出すことができなかったが(図 11)、本項では浮上するまでの 2 秒間において体幹セグメント角度がどのように変化し、またそれがけのびの到達距離にどのように影響を及ぼすのかを考察する。

体幹セグメント角度の推移を図 8 に、重心水平速度の推移を図 9 に示した。体幹セグメント角度においては全ての被験者がほぼ水平(0deg)の姿勢から徐々に角度を増していく様子が伺え、また重心水平速度においては 2 秒間のうちに徐々に減速していく様子が伺えた。特に S3 は最も角度の変化が大きく、速度の変化も同様に大きかった。対して S1 は角度の変化が小さく、速度の変化も小さかった。S3 を下肢の沈み傾向が強く水平姿勢を維持できていないとすると、S1 は逆に下肢の沈み傾向が弱く水平姿勢を維持できていたと考えられる。このことから水平姿勢を維持できることが速度の維持に繋がると考えられた。

そこで体幹セグメントの角速度と重心加速度との関係を見たところ両者に有意な負の相関が見られ( $r=-0.96$ ,  $p<0.05$ ., 図 10)、体幹セグメントの角速度が速いほど、負の加速度が大きく生じていたことがわかった。高木<sup>37)</sup>は下肢が沈んで進行方向に対する仰角が大きくなると泳者の前縁部と後縁部に圧力差が生じ、後縁部での水流の剥離が顕著となり圧力抵抗の増大に繋がるとしている。本実験においては体幹セグメント角度の増大が大きい者は全体として下肢が沈み込む方向への身体の傾きが大きくなるため圧力抵抗の増大が顕著に表れ、結果としてより大きな負の加速度を発生させたと考えられる。よって下肢の沈み傾向がけのびの速度に影響を与えていることが示唆された。

しかしその一方で速度が下肢の沈み傾向に影響を及ぼしていたことも示唆された。合屋ら<sup>14)</sup>はけのびの到達距離の長い者と短い者とを前方牽引による受動的牽引泳から抵抗値の違いを見出したところ、到達距離の短かった者は、到達距離の長かった者に比べて低速の牽引速度(0.9m/s)において抵抗値の振幅のぶれが大きいことから、身体の揺れが大きく姿勢の維持が不十分であったとし、到達距離の長かった者は、低速の牽引速度でも抵抗値の振幅は小さく、うまく姿勢を維持していたと報告している。しかし高速の牽引速度では到達距離の長い者と短い者の両者の差は小さくなることが観察されたという。合屋らの言う姿勢の維持が、水平姿勢の維持と言う意味も含まれているのであるならば、下肢の沈み傾向が生じるのは 0.9m/s 以下の低速度の状態からであると考えられる。本実験においては全ての被験者が 2 秒間の平均速度が 0.9m/s を下回っていた。また図 8 より S3 は浮上 1 秒

前付近から急激に角度の変化が大きくなったことがわかる。-2秒から-1秒までの1秒間における角速度が4.5deg/sであったのに対し、-1秒から0秒(浮上)までの1秒間では13.3deg/sであった。また-1秒時の重心速度を調べてみたところ0.9m/s付近であったことから、下肢の沈み傾向が顕著に表れるのは0.9m/sを下回った低速度時に限定されることが示唆された。さらにこの時の加速度は-2秒から-1秒までの1秒間が-0.09m/s<sup>2</sup>であったのに対し、-1秒から0秒までの1秒間では-0.23m/s<sup>2</sup>であり、角速度が急激に増大した-1秒から0秒までの1秒間のうちに急激な減速が見られていたことがわかった。

以上のことから下肢の沈み傾向と速度は相互に影響しあっていることが考えられ、0.9m/sを下回る低速時においてのみ下肢の沈み傾向が顕著に表れ、それが速度に影響を与えると考察した。

### 第3節 全体的考察と競技や指導への汎用性

本研究は浮心重心間距離のけのび中の身体の動態への影響から、それがけのびのパフォーマンスに及ぼす影響を検討することを目的とした。

実験1では、静止状態・水面近傍における浮心重心間距離とけのびの到達距離との比較を行ったところ浮心重心間距離の短い者ほどけのびの到達距離も長い傾向が見られた。特にけのびの到達距離は男女において有意な差がみられ、その原因は浮上後の推進距離の差であると考えられた。静止状態における浮心重心間距離の男女の差は、けのびにおける浮上後の下肢の沈み傾向の男女の違いとして現れ、結果的にけのびの到達距離の男女差に影響した。そのため静止状態での浮心重心間距離が浮上後の下肢の沈み傾向に影響を与え、結果的にけのびの到達距離に影響したと考察した。

実験2では男子の被験者においてけのび中の身体の動態と浮心重心間距離及び下肢の沈み傾向との間にみられる関係に注目した。浮心重心間距離から生じる重心周りのモーメントと下肢の沈み傾向の強さの指標として観察した体幹セグメント角速度との関係を調べたが、本研究では明確な関連性を見出すことができなかった。このことから映像分析による浮心重心間距離の算出についての検討が必要とされた。また男子の被験者がけのび中浮上するまでの2秒間の下肢の沈み傾向と重心水平速度との関係を調べたところ、体幹セグメント角速度が大きい被験者ほど重心水平速度の減速傾向が強かった。これは下肢が沈み込んだことによる圧力抵抗の増大が原因であると考えられた。また、先行研究の低速度牽引と高速度牽引において姿勢の保ちやすさに差が見られたという報告<sup>11)</sup>から、速度が下肢の

沈み傾向に影響を与えていることが示唆され、0.9m/s を下回る低速時においてのみ下肢の沈み傾向が顕著に表れ、それが速度に影響を与えていると考察した。

実験 1,2 で得られた考察に共通する点は、けのびのパフォーマンスに下肢の沈み傾向が影響を及ぼすのは、いずれも浮上後や 0.9m/s 以下といった低速時であるということである。

以上の結果を受けて、下肢の沈み傾向がけのびのパフォーマンスに影響を与えることが考えられるが、0.9m/s を下回る低速時に限定されることが示唆された。

このことから考えられるのはスタートやターン後に 0.9m/s を下回るまでけのびを長く行うことは抵抗を増大させ速度の減少をさらに招くことに繋がることが考えられる。特に平泳ぎではスタート、ターン後に「一かき一蹴り」を行うが、この時にそれらを行う前に距離を稼ごうと長くけのび姿勢を保つことは、速度の減少から下肢の沈みを発生させる恐れがあり、さらなる速度の減少を招くことになりかねない。よって平泳ぎのスタート、ターン後は速度の低下が起きる前に一かき一蹴りを行うことが望ましい。これは一かき一蹴り後にも同様のことが考えられ、一かき一蹴りによる推進力を得た後は速度の低下が起こる前に浮き上がり、平泳ぎに移行することが良いと考えられる。

なるべく低速度でも下肢の沈み込みを抑えられるようなけのび姿勢づくりも必要であると考えられる。本研究では特に実験 2 の被験者 S1 は、低速度時における下肢の沈み込みが抑えられていたように思われる。S1 のように下肢の沈み込みが弱ければ、低速度時でも下肢の沈み込みによる減速を抑えられ、遠泳等で平泳ぎを行う際、速度を上げなくても水平姿勢を保てるために、速度を上げるために必要なストローク及びキックの回数を減らすことができ、結果的にエネルギーの消費を抑えることができると考えられた。これは特に初心者に必要な能力であると考えられ、本学の海浜実習等で見られる長時間隊列を組みつつ平泳ぎを行う遠泳において、水平姿勢を保ちエネルギー消費を抑えることが遠泳の完遂に大きく寄与するであろうことが予想される。そのため海浜実習の準備段階である水泳の実習中に徹底したけのびにおける水平姿勢作りを指導することが重要であると考えられる。

現在、水泳の初心者を対象とした指導現場では、まず初めにけのびの姿勢を教え水中を進んでいく感覚を養うことから指導が行われることが多い。また、熟練者の所属するクラブチームにおいてもけのびがトレーニング中のドリルとして採用されていることもある。初心者から熟練者まで一貫して、けのびが水泳の技術や感覚を習得するために非常に優れたトレーニングであるならば、けのびのパフォーマンスを改善するために必要な水平な姿

勢を維持する能力は水泳の最も根本的な能力と考えることができる。

では水中で水平姿勢を維持するために必要な能力とは、何であろうか。多くの先行研究より身体における浮心位置と重心位置の不一致が身体にモーメントを生じさせ水平姿勢の維持を困難にしているとある<sup>2)7)17)20)21)22)</sup>。つまり水平姿勢を維持する能力を高めると言うことは、いかにして浮心重心間距離を短くするかと言い換えることができる。指導現場ではしばしばけのびの姿勢をとる場合は腕部を頭上に挙上するだけでなく、後頭部側で腕を組み腕で頭を挟み込むようにと指導されることがある。腕部を頭上に挙上することできおつけの姿勢でいるときよりも静止状態の浮心重心間距離が短くなるとの報告はある<sup>8)21)20</sup>ものの、けのび姿勢の違い、例えば初心者と熟練者でどれだけ腕部が挙上できているかの差から浮心重心間距離の違いを見るなどの研究はなされていないため、それについて浮心重心間距離の分析方法と併せて今後の検討が必要である。

また本研究では速度の低下が下肢を沈み込ませることが考えられた。しかし1名の被験者のみの観察であり、本研究では全ての被験者において0.9m/s前後の下肢の沈み傾向を調べることはできなかった。よってこの速度と下肢の沈み傾向の関連をより明確にするために、より多くの被験者において検証されることが望まれる。

## 第7章 結論

本研究より以下の考察が得られた。

1. 静止状態での浮心重心間距離が浮上後の下肢の沈み傾向に影響を与え、結果的にけのびの到達距離に影響した。
2. 0.9m/s を下回る低速時、水中における下肢の沈み傾向がけのびの速度に影響を与えた。

以上の考察から、下肢の沈み傾向がけのびのパフォーマンスに影響を与えることが考えられるが、0.9m/s を下回る低速時に限定されることが示唆された。

## 第8章 要約

本研究の目的は浮心位置と重心位置の不一致(浮心重心間距離)から生じる下肢の沈み傾向がけのび中の身体の動態およびパフォーマンスにどのように影響を及ぼすかを検討することである。

方法は以下の通りである。本研究における実験は、実験 1と実験 2の2回に分けて行われた。実験 1では、大学生水泳選手男子 10 名、女子 9 名を対象に行われた。被験者ごとに静止状態での水面近傍における浮心重心間距離、けのびの到達距離が計測された。実験 2では、男子学生 4 名を対象に行われた。被験者ごとにけのびで浮上するまでの 2 秒間の様子が側方から撮影された。映像から浮心位置、重心位置の 2 次元座標、浮上トルク、体幹セグメントの角度、重心水平速度が時系列ごとに算出された。

その結果、実験 1ではけのびの到達距離と浮心重心間距離との間に有意な相関が見られた( $n=19, r=-0.65, p<0.01$ )。また男女別に見た場合、男女ともに有意な相関は見られなかったものの、比較的女子は男子に比べ相関が強かった(男子:  $n=10, r=-0.23$ , 女子:  $n=9, r=-0.58$ )。また、到達距離と浮心重心間距離において、男女それぞれの平均値の間で有意な差が見られた( $p<0.01$ )。

実験 2では浮心重心間距離及び浮力トルクと体幹セグメントの角速度との間に有意な相関は見られず( $n=4, r=-0.36, N.S.$ )、関連性を見出すことができなかった。しかしながら、体幹セグメント角速度と重心水平加速度との間に有意な相関が見られた( $n=4, r=-0.96, p<0.05$ )。

これらの結果から以下の考察が得られた。

1. 静止状態での浮心重心間距離が浮上後の下肢の沈み傾向に影響を与え、結果的にけのびの到達距離に影響した。
2. 0.9m/s を下回る低速時、水中における下肢の沈み傾向がけのびの速度に影響を与えた。

以上の考察から結論として、下肢の沈み傾向がけのびのパフォーマンスに影響を与えることが考えられるが、0.9m/s を下回る低速時に限定されることが示唆された。

## 謝辞

本論文の作成に当たり、ご指導いただきました先生方および大学院生の皆様に深く感謝いたします。特に実験に当たりましては、被験者として協力していただいた順天堂大学水泳部の皆様、実験2において測定技術の拙い私をサポートしてくださいました順天堂大学バイオメカニクス研究室の皆様、忙しいのにも関わらず私に映像解析の手法を教授してくださったスポーツバイオメカニクス研究室の柳谷登志雄准教授、小山桂史君、浮心の算出方法に関する質問に丁寧にお答えしてくださった早稲田大学スポーツ科学学院矢内利政教授、的確な助言をくださった順天堂大学生理学研究室の米田継武教授、木藤友規先生、その他生活面で私を支えてくださった多くの皆様に深く感謝いたします。

最後になりましたがスポーツ栄養学研究室に在籍しているのにも関わらず勝手な活動を行っていた私を暖かい目で見守ってくださった指導教員の鈴木勝彦准教授に心からお礼申し上げます。

参考および引用文献

- 1) 阿江通良: 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15(3), 155-162(1996)
- 2) Capelli, C., Zamparo, P., Cigalotto, A., Francescato, M.P., Soule, R.G., Termin, B., Pendergast, D.R., Prampero, P.E.D.: Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *Journal of Applied Physiology*, 78, 674-679,(1995)
- 3) Chatard, J.C., Lavoie, J.M., Lacour, J.R.: Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 61, 88-92,(1990)
- 4) Clauser, C.E., McConville, J.T., Young, J.W.: Weight, Volume, and Center of Mass of Segments of the Human Body. Wright Patterson Air Force Base, OH(1969)- Hay, J.G.: *Biomechanics of sports techniques*, 4, 138-143, Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ (1993)より引用
- 5) 土居陽治郎, 小林一敏, 松井敦典: 水流における流速の測定. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 3(9), 694-699(1984)
- 6) 土居陽治郎, 小林一敏, 高橋伍郎: 競泳におけるフリップ・ターン技術の力学的考察. *東京体育学研究*, 10, 43-44(1983)
- 7) Drillis, R., Contini, R.: *Body segment parameters*. Office of Vocational Rehabilitation, Department of Health, Education and Welfare, Report 1166-03. N.Y. University School of Engineering and Science, New York: NY(1966)-Yanai T.: Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to sink?. *Journal of Biomechanics*, 34, 235-243(2001) より引用
- 8) Gagnon, M., Montpetit, R.: Technological development for the measurement of the center of volume in the human body. *Journal of Biomechanics*, 14, 235-241(1981)
- 9) 合屋十四秋, 杉浦加枝子: 習熟課程におけるけのび動作とその認識の縦断的研究. *愛知教育大学研究報告*, 49, 15-18(2000)
- 10) 合屋十四秋, 高木英樹, 松井敦典, 仰木裕嗣, 高橋繁浩, 杉浦加枝子: けのび動作の最適水深はどの位がよいか?. 第 17 回日本バイオメカニクス学会大会論集, 40-41(2005)
- 11) 合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典: けのび動作の力発揮と前方牽引による受動抵抗との関係. *愛知教育大学研究報告*, 55, 21-25(2008)

- 12) Hay, J.G.: Biomechanics of sports techniques, 4, 134-137, Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ (1993)
- 13) Hinrichs, R.N.: Adjustments to the segment center of mass proportions of Clauser et al. (1969). Journal of Biomechanics, 23, 949-951(1990)
- 14) 平井伯昌: 日本体育学会体育方法シンポジウム(2003)-合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典: けのび動作の力発揮と前方牽引による受動抵抗との関係. 愛知教育大学研究報告, 55, 21-25(2008)より引用
- 15) Jiskoot, J., Clarys, J.P.: Body resistance on and under the water surface. Swimming, 105-109, University Park Press: Baltimore,(1975)- 高木英樹: 抵抗を制するものは勝負を制す. 水中運動科学, 4, 1-6(2001) より引用
- 16) Kjendlie, P.L., Stallman, R.K., Gundersen, J.S.: Passive and active floating torque during swimming. European Journal of Applied Physiology, 93, 75-81(2004)
- 17) Kreighbaum, E., Barthels, K.M.: Biomechanics: a qualitative approach for studying human movement, 2, 428-431, Burgess Pub. Co.: Minneapolis, Minn.(1985)
- 18) Lyttle, A., Blaksby, B., Elliott, B., Lloyd, D.: Optimal Depth for Streamlined Gliding. Biomechanics and medicine in swimming, 8, 165-170(1999)
- 19) Lyttle, A., Branksby, B., Elliott, B., Lloyd, D.: Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. Journal of Sports Sciences, 18, 801-807(2000)
- 20) McLean, S.P., Hinrichs, R.N.: Sex differences in the centre of buoyancy location of competitive swimmers. Journal of Sports Sciences, 16, 373-383(1998)
- 21) McLean, S.P., Hinrichs, R.N.: Buoyancy, gender, and swimming performance. Journal of Applied Biomechanics, 16, 248-263(2000a)
- 22) McLean, S.P., Hinrichs, R.N.: Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. Research Quarterly for Exercise and Sport, 71, 182-189(2000b)
- 23) 野村照夫: 子どもとスイミング. 子どもと発育発達, 2(1), 8-12(2004)
- 24) 小笠原悦子, 田口信教, 辻浩幸, 深代千之: バタフライのドルフィンキックにおける下肢3関節の屈伸の時相差. 鹿屋体育大学研究紀要, 3, 91-100(1988)
- 25) 奥野景介: 美しい泳ぎ・速い泳ぎ. 体育の科学, 45-8, 608-611(1995)

- 26) 小山田早織, 合屋十四秋: 大学生男子トップスイマーのけのび動作と力発揮: 泳能力別による横断的検討を中心として. 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 29, 1-6(2004)
- 27) 佐藤進, 出村慎一, 中田征克, 北林保, 元祐謙吾, 池本幸雄, 高橋繁浩: 牽引装置を用いたグライド泳テストの信頼性及び客観性の検討. 水泳水中運動科学, 3, 17-21(2000)
- 28) 柴田義晴: 上達する! 水泳. 12-13, なつめ出版企画株式会社: 東京(2003)
- 29) Siri, W.E.: Gross composition of the body. In Lawrence, J.H. & Tobias, C.A. ed. Advances in Biological and Medical Physics, vol.IV. Academic Press: New York(1956)
- 30) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 青柳美由季: クロール泳における Active Drag の定量の試み. 福岡大学体育研究, 28(2), 65-79(1998)
- 31) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 大城敏裕, 浜口麻衣子: クロール泳における Active Drag 定量法の検討. バイオメカニクス研究概論, 270-275(1999)
- 32) 杉浦加枝子, 合屋十四秋, 鶴峯治, 高橋繁浩, 小粥由美子: 熟練者におけるけのび動作と力発揮との関係. 水泳水中運動科学, 4, 11-15(2001)
- 33) 杉浦加枝子, 合屋十四秋: 大学熟練者におけるけのび動作の性差. 愛知教育大学教育実践総合センター紀要, 7, 91-95(2004)
- 34) 高橋伍郎: 水泳における身体動作. Japanese Journal of Sports Sciences, 2 (7), 518-526(1983)
- 35) 高木英樹, 坂田勇男, 合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典: 水泳における抵抗と推進力に関する流体力学的考察. 三重大学教育学部研究紀要(自然科学), 44, 71-83(1993)
- 36) 高木英樹, 野村照夫, 松井敦典, 南隆尚: 日本人競泳選手の抵抗係数. 体育学研究, 41, 484-491(1997)
- 37) 高木英樹: 抵抗を制するものは勝負を制す. 水中運動科学, 4, 1-6(2001)
- 38) 田古里哲夫: 水泳競技の流れ学—スポーツと工学—. 東京大学出版会: 東京(1983)
- 39) Yanai T., Hay, J.G., Gerot, J.T.: Three-dimensional videography with panning periscopes. Journal of Biomechanics, 7, 157-159(1996)
- 40) Yanai T.: Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to

sink?. Journal of Biomechanics, 34, 235-243(2001)

- 41) Zamparo, P., Antonutto, G., Capelli, C., Francescato, M.P., Giradis, M., Sangoi, R., Soule, R.G., Pendergast, D.R.: Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 6, 273-280(1996)
- 42) Zamparo, P., Capelli, C., Termin, B., Pendergast, D.R., di Pranpero, P.E.: Effect of the underwater torque on the energy cost, drag and efficiency of front crawl swimming. European Journal of Applied Physiology, 73, 195-201(1996)

Influence of the differences in the center of buoyancy and center of mass locations on  
the performance of the streamlined gliding

Takeo YAMAGISHI

Summary

The purpose of this study is to assess the influence of tendency of the sinking of lower limbs generated from differences in the center of buoyancy (CB) and center of mass (CM) locations on the performance (velocity and distance) of the streamlined gliding.

1) Method

This study consists of two experiments. The experiment 1, the distance between the CB and CM of the streamlined static condition on the surface of the water (d-static), and distance covered by streamlined gliding were measured. Nine female and ten male competitive collegiate swimmers volunteered to participate. The experiment 2, two seconds until surfacing to the surface of the water while streamlined gliding was digitized to calculate the CB and CM 2D-coordinations, distance between the CB and CM while streamlined gliding(d-dynamic), buoyant torque, angle and angle velocity of the torso segment, and horizontal velocity and horizontal acceleration of the CM to each instant. Four college students volunteered to participate.

2) Result

Experiment 1: There were significant relationships between the d-static and distance covered by streamlined gliding ( $n=19$ ,  $r=-0.65$ ,  $p<0.01$ ). On the sex basis, both female and male had no significant relationships, but female were more significant than male.

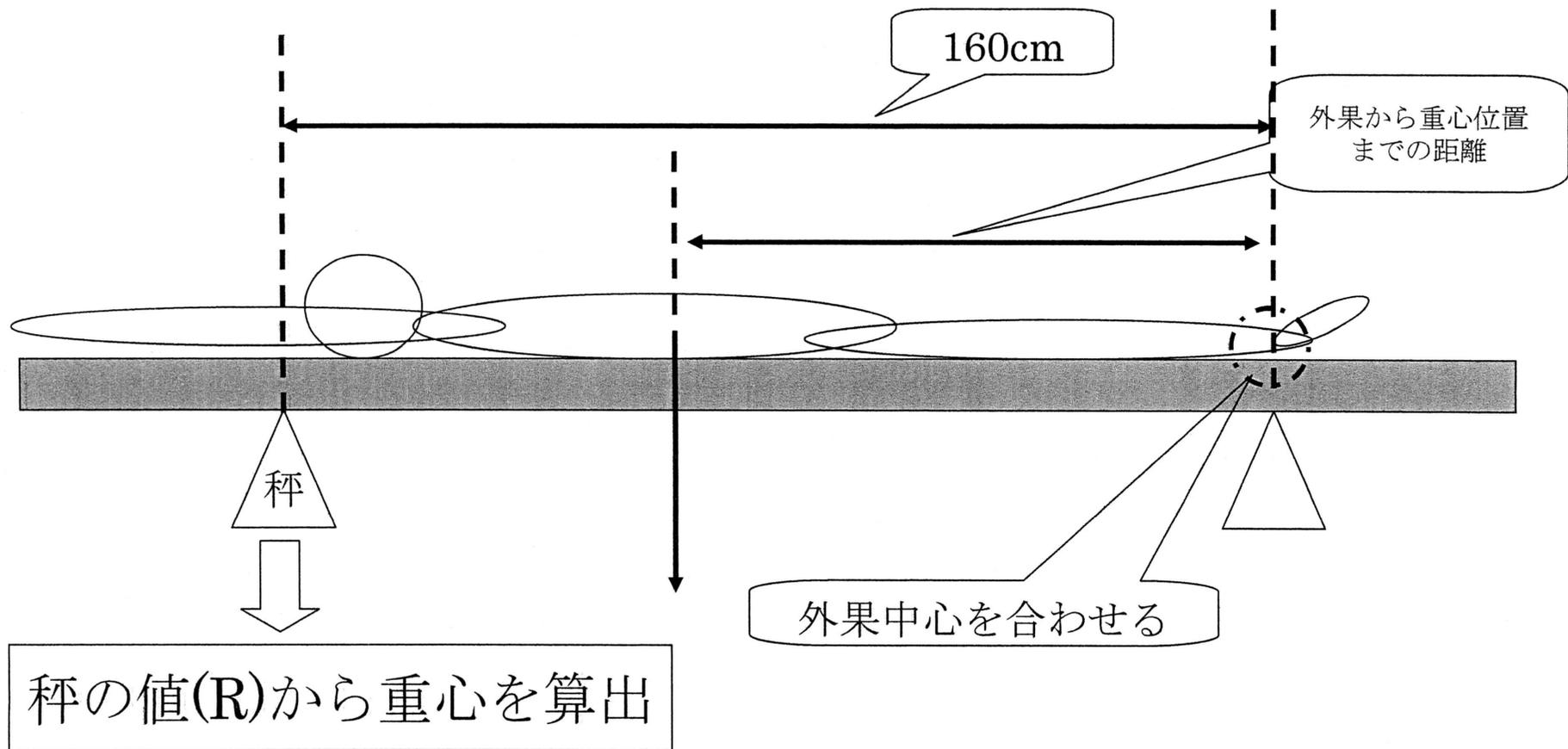
Experiment 2: There were no significant relationships between buoyant torque and angle velocity of the torso segment ( $n=4$ ,  $r=-0.36$ , N.S.), we could not observed relationships. However, there were significant relationships between the angle velocity of the torso segment and horizontal acceleration of the CM ( $n=4$ ,  $r=-0.96$ ,  $p<0.05$ ).

3) Conclusion

1. The d-static had much effect on tendency of the sinking of the lower limbs after surfacing. Therefore, that effect on the distance by streamlined gliding.

2. At the slow velocity (0.9m/s or less), tendency of the sinking of lower limbs had much effect on the velocity of the streamlined gliding.

In conclusion, tendency of the sinking of lower limbs had much effect of streamlined gliding at the slow velocity.



$$\text{外果から重心位置までの距離} = 160 \cdot R / \text{体重}$$

図1. Reaction board法による重心位置の計測(Hay 1993)

秤の値(S)から浮心を算出

$$\text{浮力}(B) = \text{体重}(W) - (\text{秤で支える力}(S) + 0.95\text{kg}) \dots (1)$$

$$B \cdot X_2 = W \cdot X_1 \dots (2)$$

1)を2)に代入

$$X_2 = \frac{W \cdot X_1}{W - (S - 0.95)}$$

$$d = X_2 - X_1$$

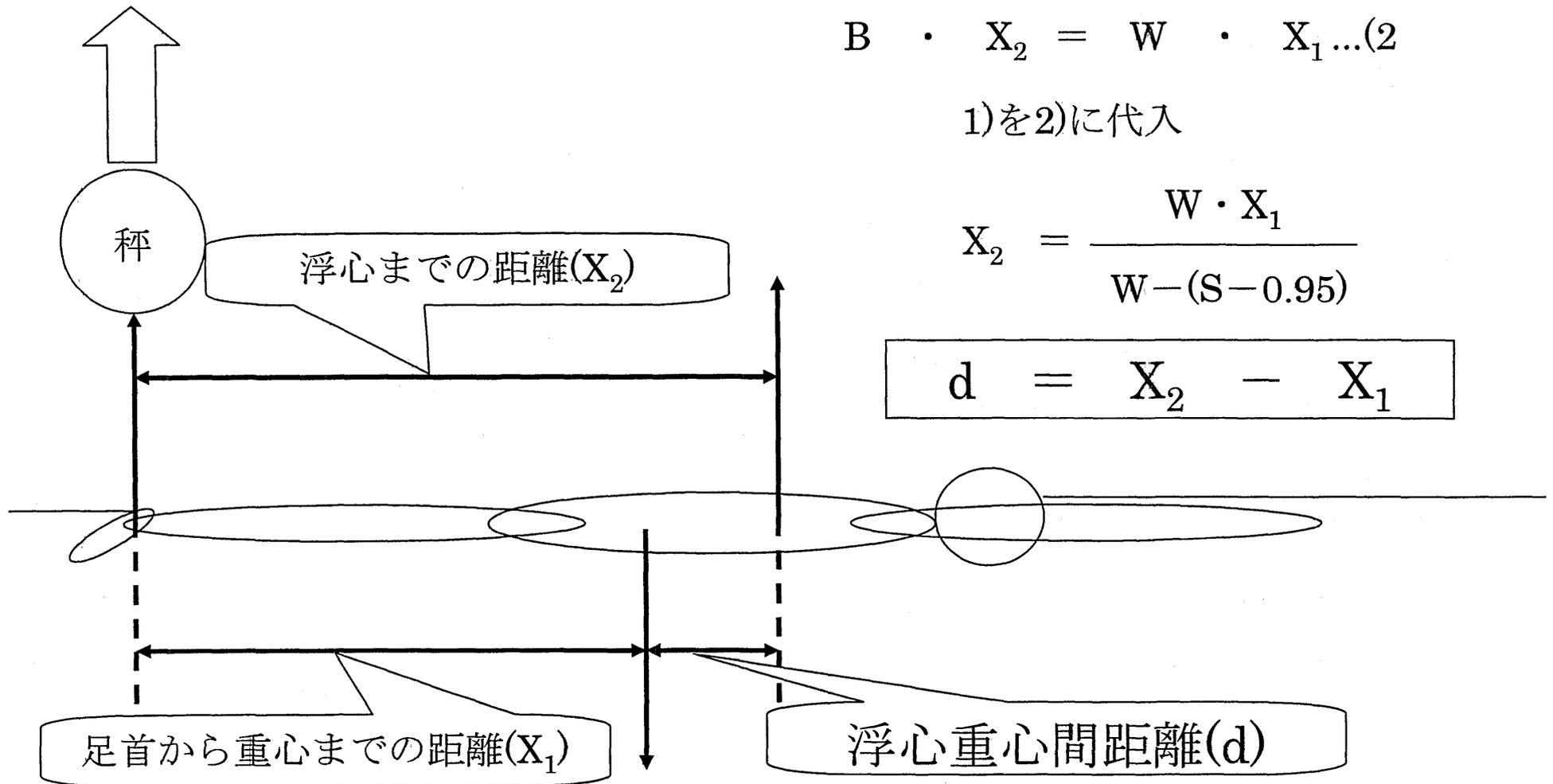


図2. 静止状態での水面近傍における浮心計測方法(McLean 1998)

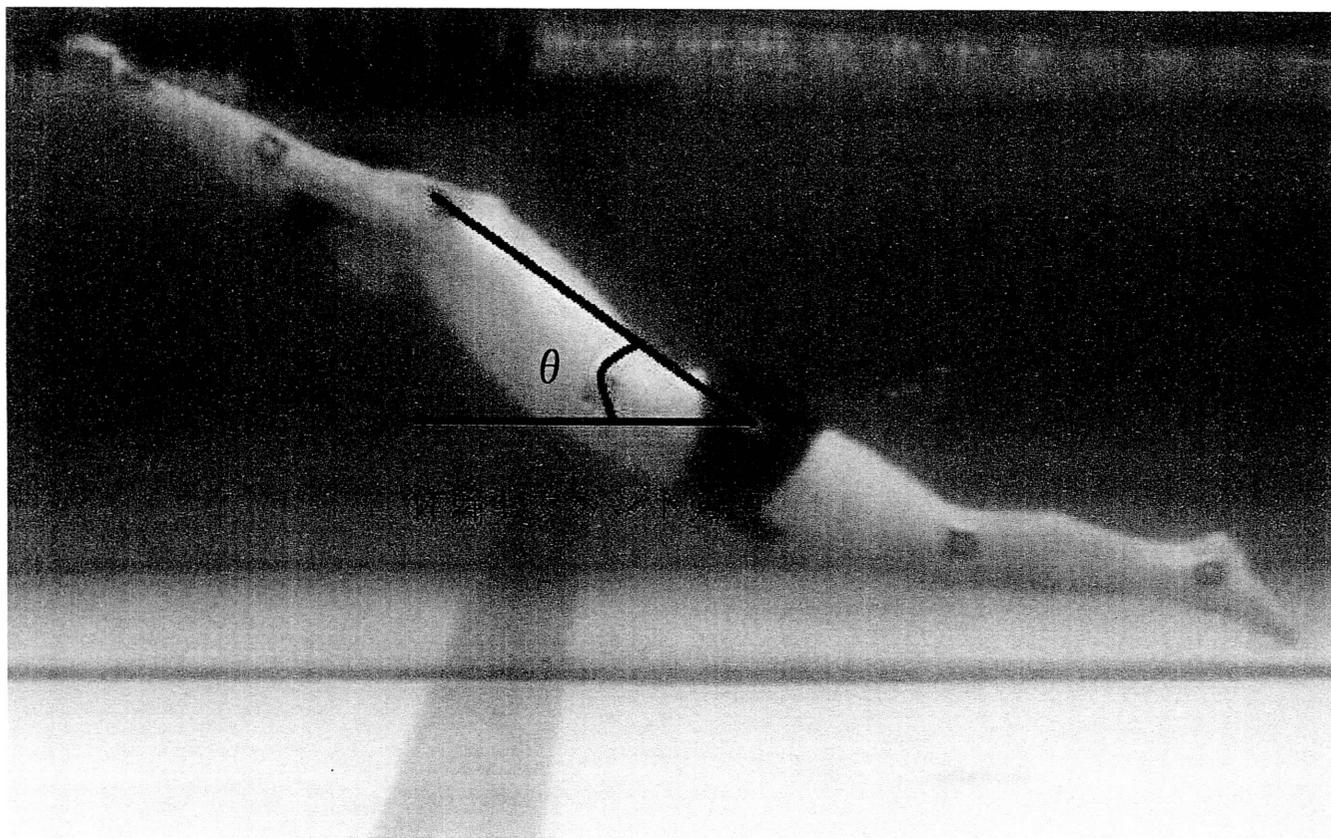


図3. 体幹セグメント角度の定義

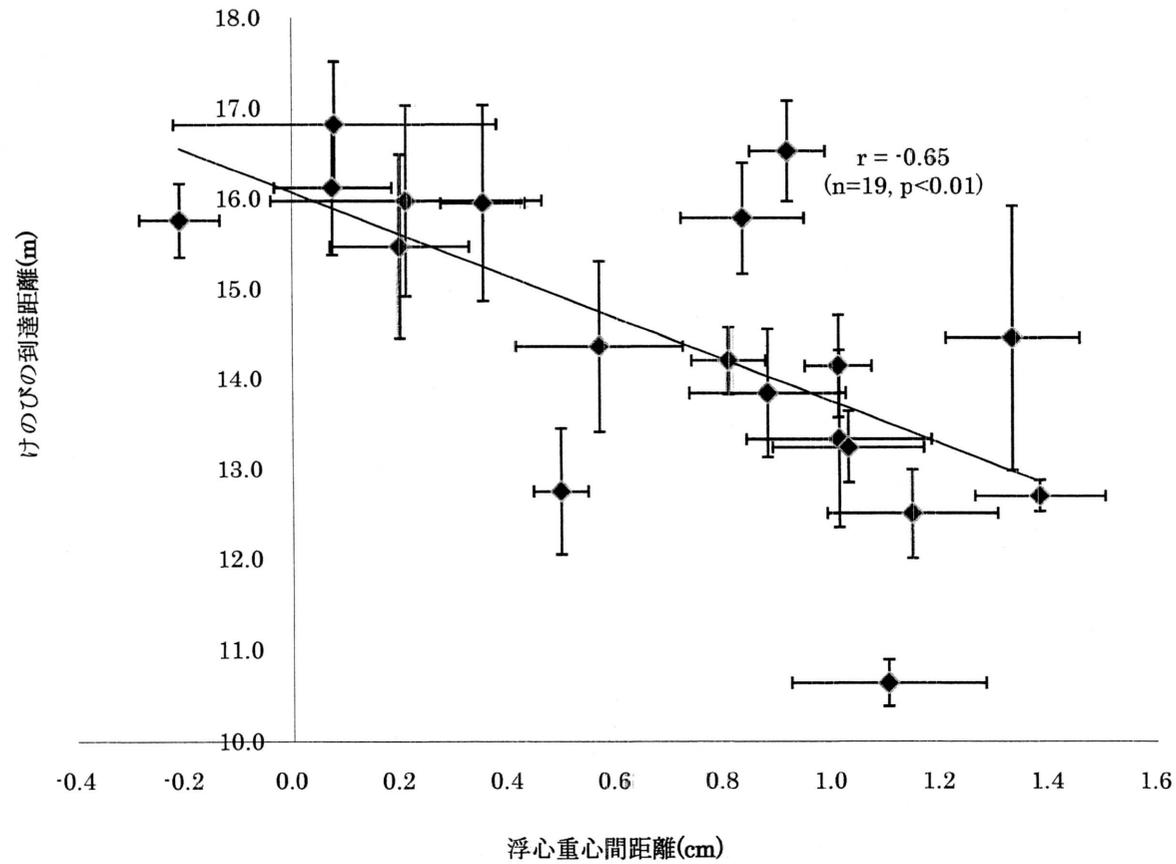


図4. けのびの到達距離と浮心重心間距離の関係

各点から伸びる足は標準偏差を表す。

被験者全体でけのびの到達距離と静止状態の水面近傍での浮心重心間距離との間に有意な相関が見られた( $n=19$ ,  $r=-0.65$ ,  $p<0.01$ )。そのため浮心重心間距離の短い被験者ほどけのびの到達距離が長い傾向が伺えた。

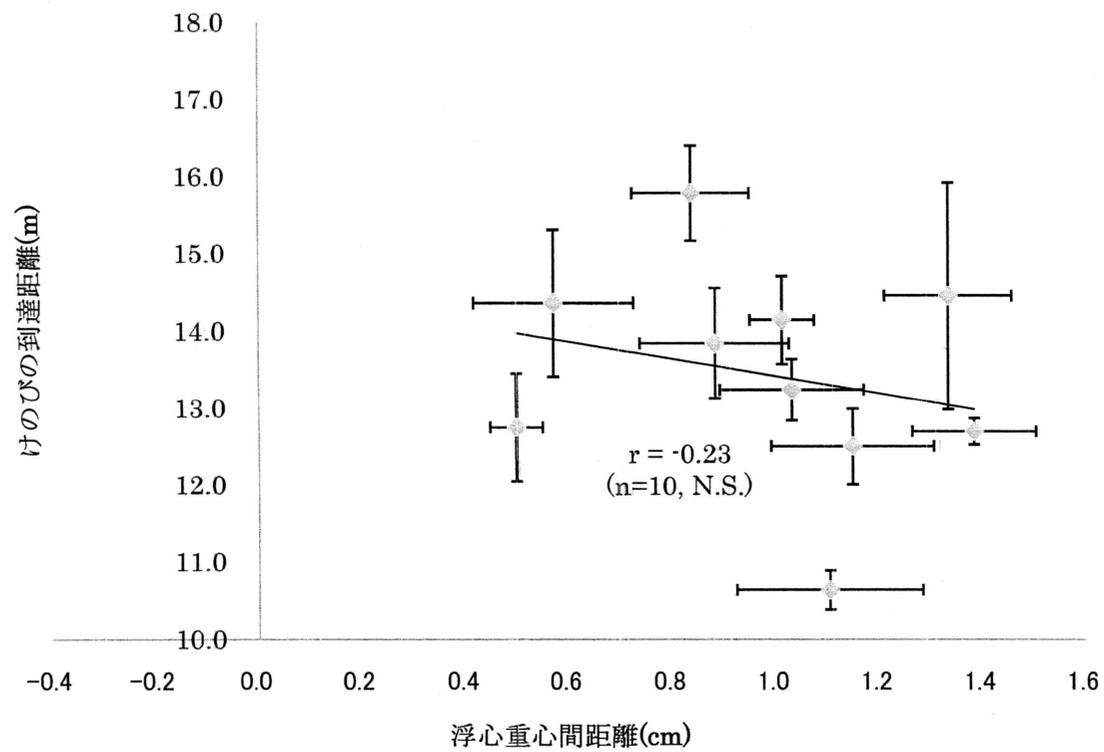


図5. けのびの到達距離と浮心重心間距離の関係(男子)

男子のみで見た場合、統計的に有意な相関は得られなかった。また女子よりも両者の相関が弱かった。

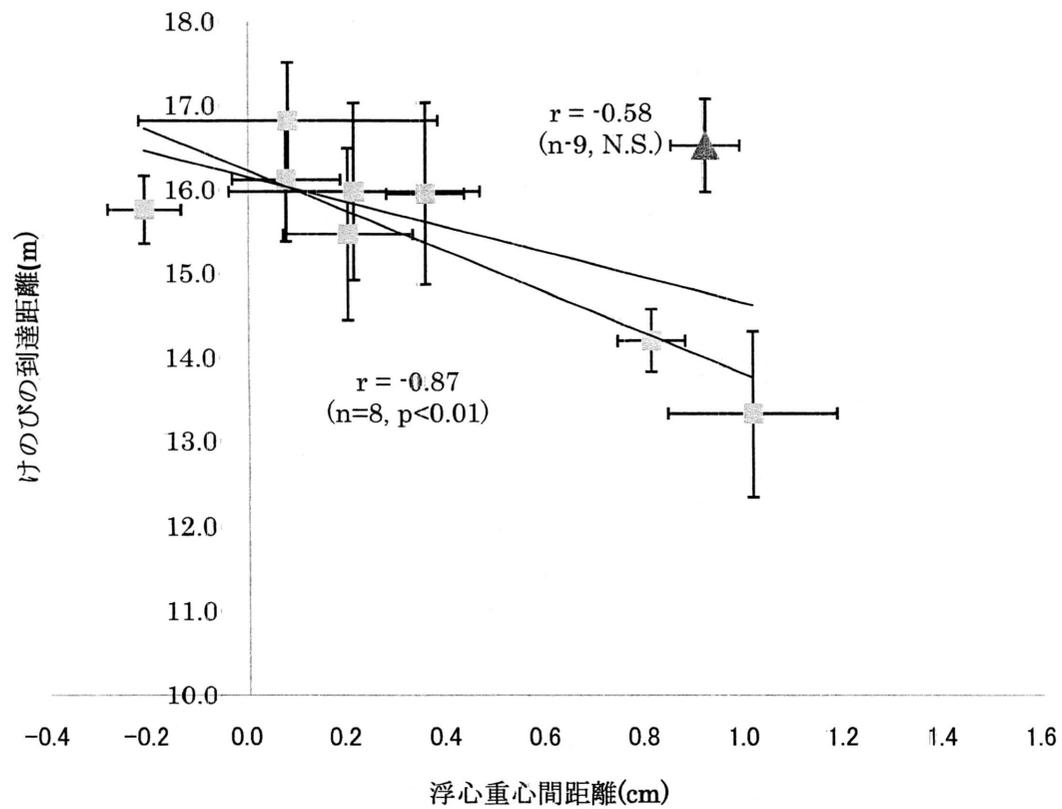


図6. けのびの到達距離と浮心重心間距離との関係(女子)

男子同様、女子も有意な相関は得られなかった。しかし女子は男子よりも比較的相関が強かった。また、1名の被験者(三角マーク)を抜いた場合1%水準を超えた有意な相関が見られた。

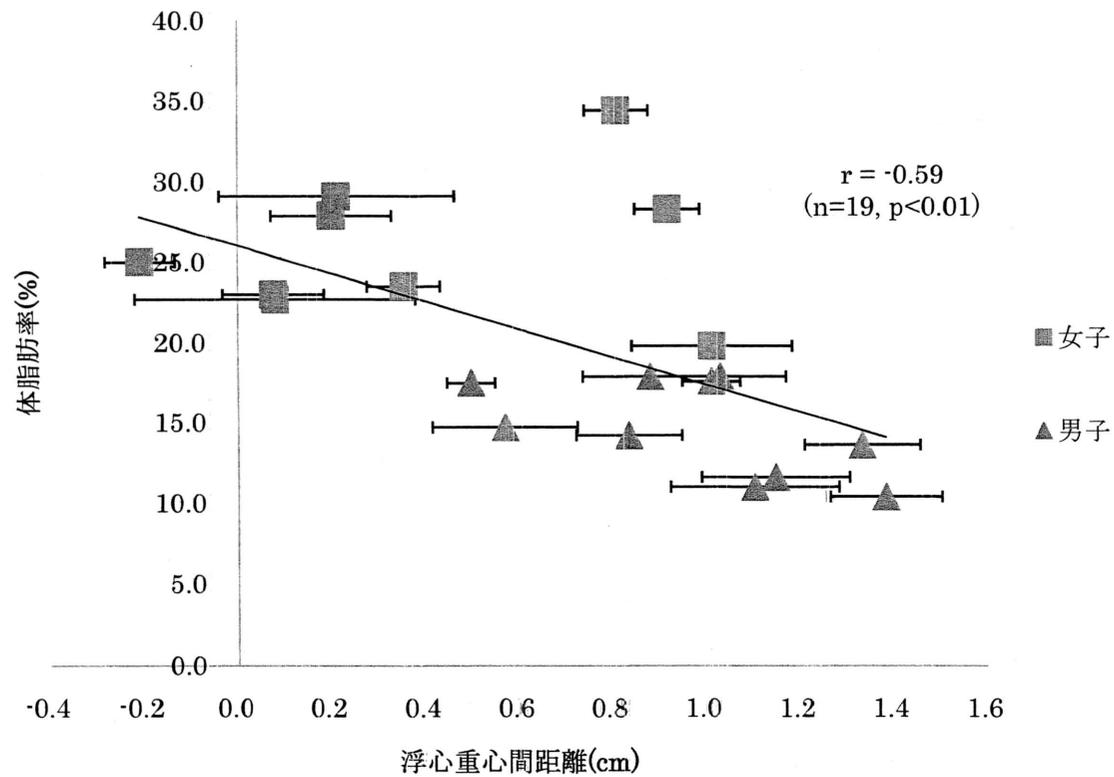
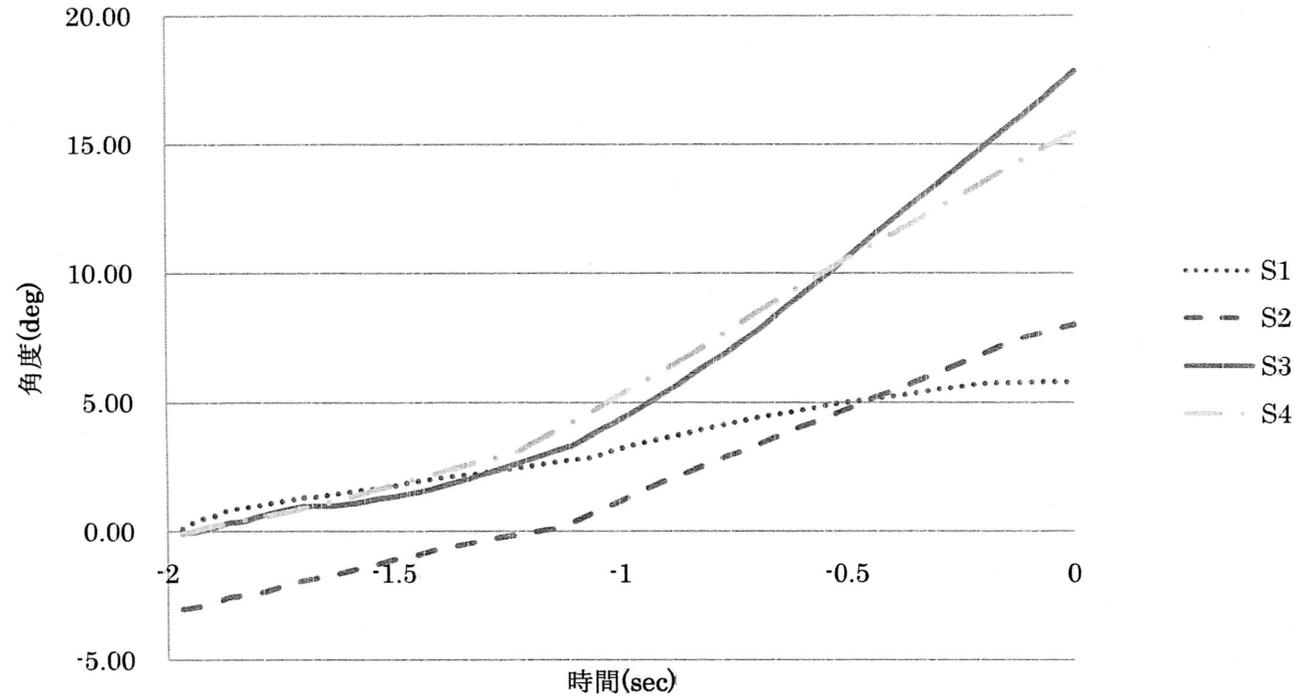


図7. 体脂肪率と浮心重心間距離の関係

全体で体脂肪率と浮心重心間距離との間に有意な相関が見られ、体脂肪率が多い被験者ほど浮心重心間距離が短い傾向が伺えた。



### 図8. 体幹セグメント角度の推移

浮上までの2秒間の体幹セグメント角度の推移が観察された。  
 4人の被験者全てほぼ水平(0deg)な姿勢から徐々に下肢が沈み、身体が傾斜していく様子が伺えた。

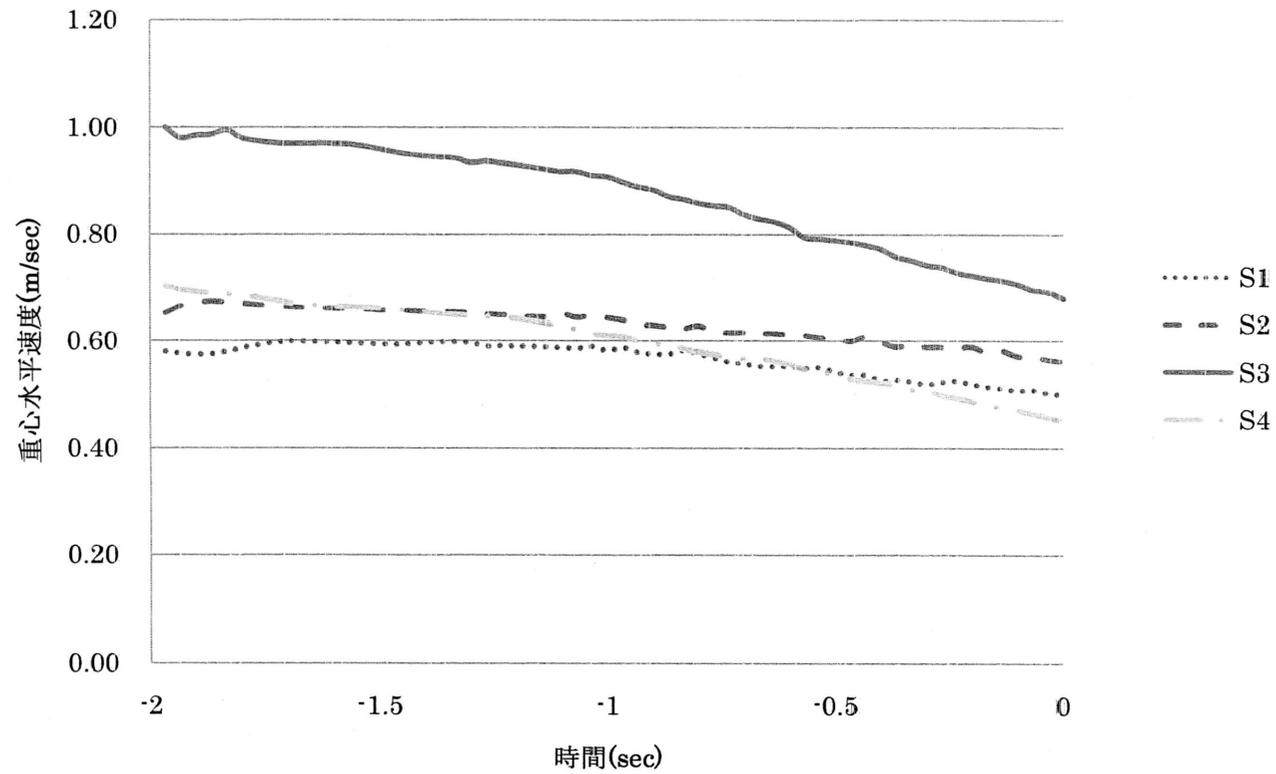


図9. 重心水平速度の推移

浮上までの2秒間の重心水平速度の推移が観察された。  
 全ての被験者に減速の傾向が見られた。

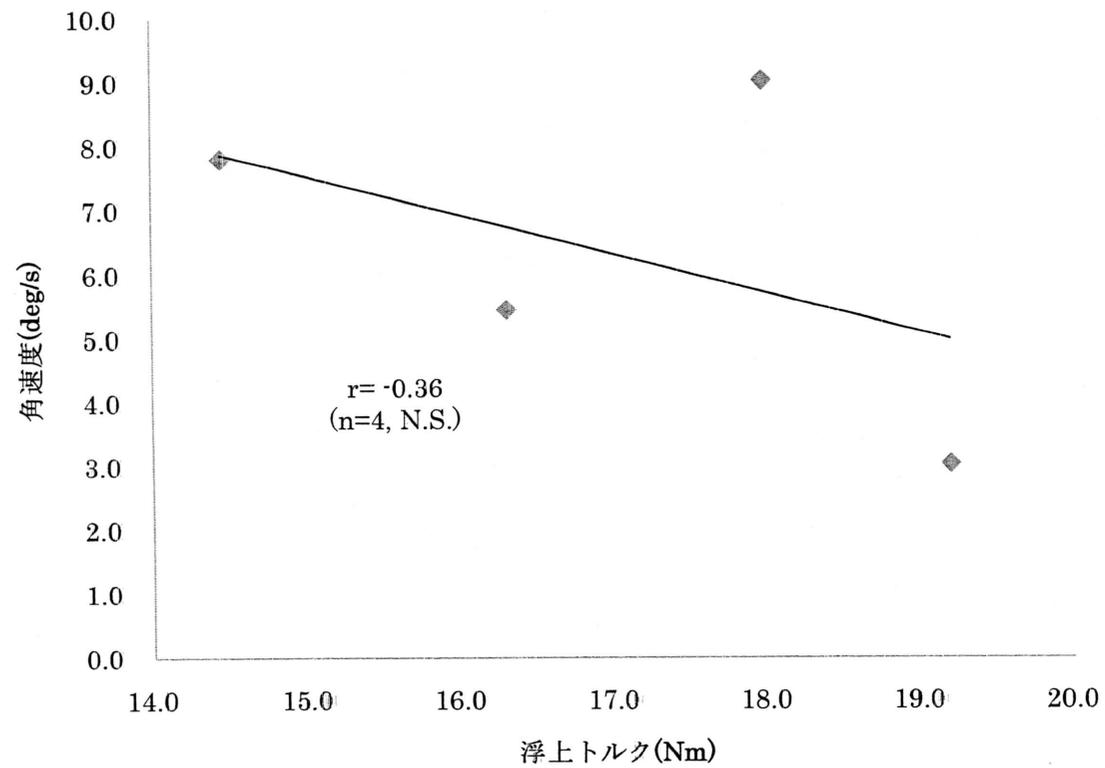


図10. 浮上トルクと体幹セグメント角速度の関係

浮上トルクと体幹セグメント角速度との間には有意な相関は見られなかった。傾向として浮上トルクが大きい被験者ほど角速度が小さかった。

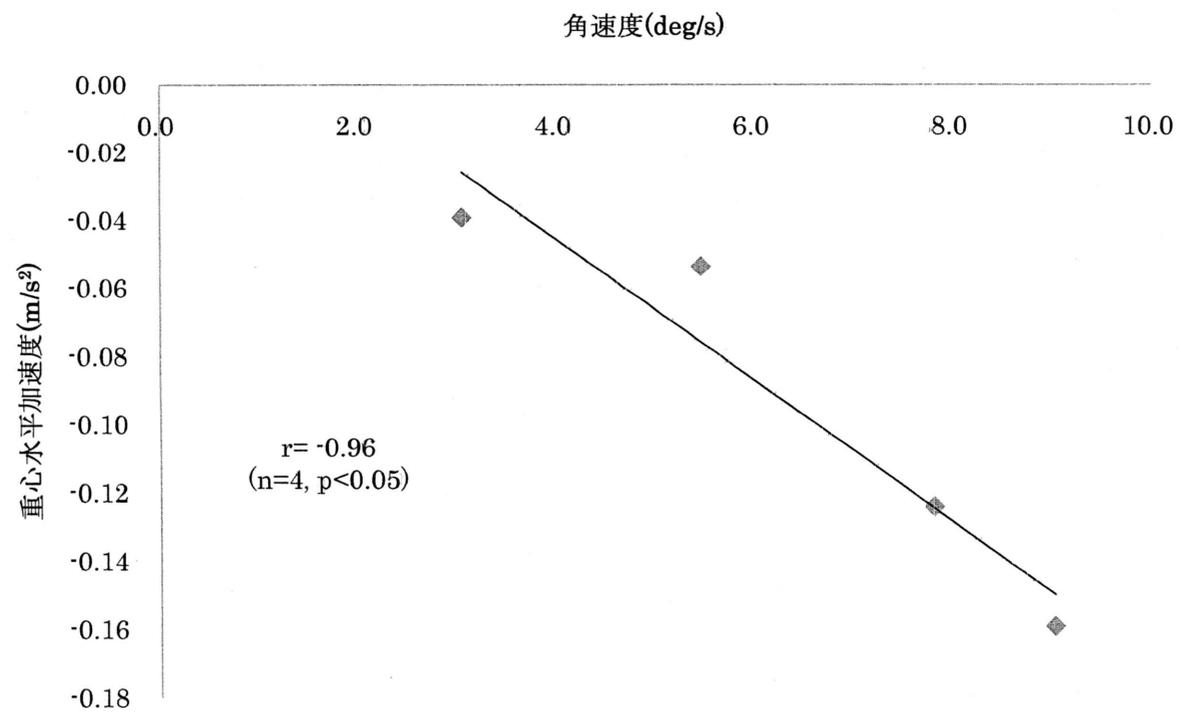


図11. 体幹セグメント角速度と重心水平加速度の関係

体幹セグメントの角速度と重心水平加速度との間に有意な相関がみられた。体幹セグメントの角速度は身体の下肢の沈み傾向の強さを表す。下肢の沈み傾向が強いほど推進方向への減速傾向が強い様子が伺えた。

表1. 実験1-被験者の身体特性

	男子		女子	
	mean	±sd	mean	±sd
年齢(歳)	19.6	±1.5	19.3	±1.1
身長(cm)	173.7	±5.4	160.1	±6.0
体重(kg)	70.8	±4.4	56.2	±3.6
体脂肪率(%)	15.0	±2.9	26.0	±4.4

表2. 実験1-男女別被験者のけのびの到達距離および浮心重心間距離

	男子		女子	
	mean	±sd	mean	±sd
浮心重心間距離 (cm)	1.0	±0.3	0.4	±0.4
到達距離(m)	13.4	±1.3	15.6	±1.1

実験1における男女別の浮心重心間距離とけのびの到達距離の平均値及び標準偏差である。

浮心重心間距離においては女子が男子に比べ有意に低い値( $p<0.01$ )を示し、到達距離では有意に高い値( $p<0.01$ )を示した。

表3. 実験1・浮心重心間距離の先行研究との比較

	男子		女子	
	mean	±sd	mean	±sd
Present study (男子=10, 女子=9)	1.0	±0.3	0.4	±0.4
Mclean and Hinrichs(1998) (男子=15, 女子=16)	0.8	±0.4	0.2	±0.3
Mclean and Hinrichs(2000) (男子=13, 女子=19)	0.9	±0.7	0.5	±0.5

実験1と同様の状態(水面近傍で静止状態)で計測された浮心重心間距離の先行研究との比較。単位はcmである。  
 2つの先行研究はいずれも大学生水泳競技者を対象に計測された。  
 本実験では先行研究と近い値が計測された。

表4. 実験1-けのびの到達距離の先行研究との比較

	男子		女子	
	mean	±sd	mean	±sd
Present study (男子=10, 女子=9)	13.4	±1.3	15.6	±1.1
杉浦(2004) (男子=17, 女子=20)	9.4	±1.6	12.0	±1.6
合屋(2005) (男子=16, 女子=0)	11.5	±1.6	—	—

けのびの到達距離における先行研究との比較。単位はmである。

杉浦(2004)の報告は大学生水泳熟練者(インカレ出場)が対象であった。合屋(2005)の報告は日本人トップスイマー(研究当時日本ランキング50位以内)が対象であった。

本実験では先行研究に比べ比較的高い値が計測された。

表5. 実験2, 被験者の浮力, 浮心重心間距離, 浮上トルク

subject	浮力(N)	浮心重心間距離(cm)	浮上トルク(Nm)
S1	662.2	2.9	19.2
S2	688.0	2.4	16.3
S3	692.9	2.7	18.0
S4	616.0	2.5	14.4
mean±sd	664.8±30.5	2.6±0.2	17.0±1.8

実験2における被験者4名の計測値。浮心重心間距離は、被験者のけのび中の映像をもとに算出された。浮上トルクは重心から浮心へのベクトルと、浮心に鉛直方向に作用する浮力とのベクトルの外積から求めた値とした。

表6. 実験2における浮心重心間距離(平均値)の先行研究との比較

	Present study (n=4)	Yanai(2001) (n=9)	McLean and Hinrichs(2000) (n=32)	Gagnon and Montpetit(1981) (n=2)
浮心重心間距離 (cm)	2.6	1.1	1.5	1.6

実験2で算出されたけのび中の浮心重心間距離と、先行研究との比較。

全て被験者が完全に水没している状態での値である。McLeanら及びGagnonらの報告は被験者を静止状態で計測した値であり、Yanaiの報告は、遊泳中の3次元データから求めた平均身体部位長を用いて形成された身体モデルをけのび姿勢(全ての部位を一直線上に並べた姿勢)に並べ、完全に水没しているというシミュレーションの元で算出した値である。

本実験では先行研究の値に比べ高い値を示した。