筑波大学における水泳研究の過去・現在・未来

野村武男

The research of swimming at university of Tsukuba in the past, present and future

NOMURA Takeo

1．はじめに

1978年の春に筑波大学に赴任し、30数年が過ぎようとしている。この間、教育・研究・水泳のコーチングに没頭する毎日であった。教育においては、水泳部競泳の監督として筑波大学水泳部の発展を見守ってきた。監督着任当初、水泳部競泳は、部員10名足らずの部であったが、現在では、オリンピック選手を輩出するような40数名のクラブに成長した。これは、一貫して文武両道、科学的知見の応用に固執した結果ではないかと考えている。研究では10名の博士号取得者を「水泳」の分野から輩出する事ができた。本論では、主に「水泳」の論文を中心に30数年間の足跡をたどることにする。

2．生理学

アメリカウィスコンシン州立大学大学院を修了し、インディアナ大学のカウンシルマン博士と「水泳のトレーニング方法の開発」に関する共同研究を行った。当時水泳研究においてカウンシルマン博士は世界最高の研究者であり、競泳コーチであり、彼の持っているもの全てを学ぶべく私も毎日徹夜同然でとにかく必死に研究と水泳のコーチングに打ち込んだ。

帰国後もアメリカで学んだものを継続・発展していきたいと考え、筑波大学赴任後に大学屋内プールに流水プール（回流水槽）を建設してもらい、競泳の生理学の研究に打ち込んだ。

a. Cardio-pulmonary characteristics during land and swimming exercise[1)]

（人類学雑誌, 85(3):209-218, 1977）

水浸がヒトの肺拡散機能（Dlco）などの呼吸循環機能に及ぼす影響について検討するために、水泳時と陸上運動時の比較を行った。その結果、水中・陸上運動時ともに $\dot{V}O_2$ の増加に伴い、DLcoも増大した。水中での最大下運動時におけるDLcoは陸上での値よりも高い値を示した。最大下運動時においては、運動体位の違いや水圧、水温の影響が相まってDLcoが水中の方が高値を示したが、最大運動時においては、両運動時に有意な差は認められなかった。肺拡散能に重要な役割を果たす赤血球の動態を評価する肺毛細血管血流も水泳時

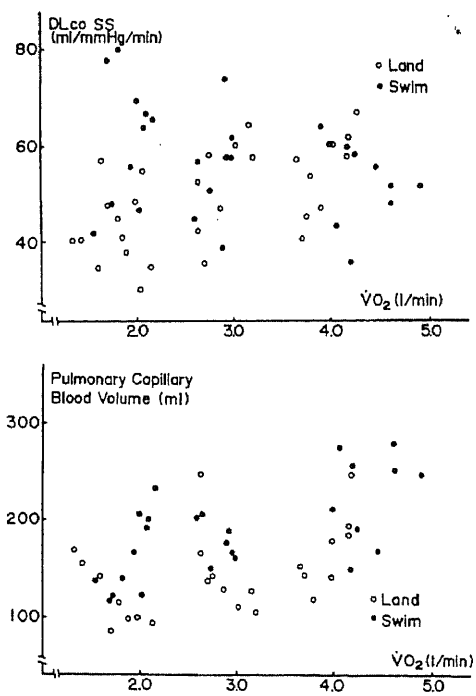


Figure 1. Dlco and Pulmonary capillary blood volume (Vc) in relation to $\dot{V}o_2$ during swimming and land exercise

筑波大学大学院人間総合科学研究科

の方が大きかったことから、水泳運動は特に、肺のガス交換を促進させることが明らかになった(Figure 1)。

b. Maximal oxygen uptake of age group swimmers[2)]
(体育学研究, 22(5):301-309, 1978)

定期的に水泳トレーニングを続けているエージグループ水泳選手を対象として、水泳時とトレッドミル運動時の $\dot{V}O_2$ を比較し、水泳トレーニングが両運動時における呼吸循環機能に及ぼす影響について検討した。その結果、両運動時の $\dot{V}O_{2max}$ は年齢とともに増大した。単位体重当りの $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)は、水泳時、トレッドミル運動時ともに、全ての年齢群において同様の値を示した。先行研究における non-swim 群と本研究における水泳選手の $\dot{V}O_{2max}$ を比較すると、14 歳以前では両群間に有意な差は認められなかったが、14 歳以降では水泳選手の方が有意に高い値を示した(Figure 2)。このことは、水泳トレーニングが発育発達途上の青少年の有酸素能力に影響を及ぼすことを示唆している。

c. 回流水槽を用いた水泳時における最大酸素摂取量測定法の検討−固定負荷法と漸増負荷法の比較−[3)]
(筑波大学体育科学系紀要, 4:91-98, 1981)

回流水槽を用い水泳時の最大酸素摂取量を男子水泳選手 10 名 (18〜21 歳) について測定した。負荷方法は固定負荷法 (CL 法) と漸増負荷法 (PR 法) を用い、全ての被験者について両負荷方法での最大酸素摂取量を測定、比較した。その結果、疲労困憊時における最大酸素摂取量、心拍数、換気量、呼吸数、および一回換気量は両負荷方法においてその差異は認められなかった。したがって回流水槽での水泳時の最大酸素摂取量測定では固定負荷法、漸増負荷法のいずれでも測定が可能である。

d. The influence of training and age on $\dot{V}O_{2max}$ during swimming in Japanese elite age group and Olympic swimmer[4)]
(Biomechanics and Medicine in swimming, 14:251-257, 1982)

モスクワオリンピック代表選手ならびにジュニアオリンピック上位入賞者計 112 名(男子 66 名女子 46 名、年齢 10〜23 歳) を対象に、回流水槽を用い最大酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度、身体的特徴を測定、比較した。その結果、10-13 歳では日本人の標準値と差は無いが歳が上がると標準値を上回ることがわかった(Figure 3)。女子選手は初潮後にホルモン反応 (FSH, LH) が体組成や強さに影響を与えることから、初潮を迎える時期に体脂肪の増加を抑えること、激しいトレーニングを継続すること、パワーを維持するためにウエイトトレーニングすることをトレーニング計画に入れることが示唆された。

e. Influence of training on alveolar capillary gas exchange[5)]
(昭和医学会雑誌, 46(3): 365-376, 1986)

身体トレーニングが肺ガス交換にどのような影響を及ぼすかを明らかにし、さらに最大運動時に

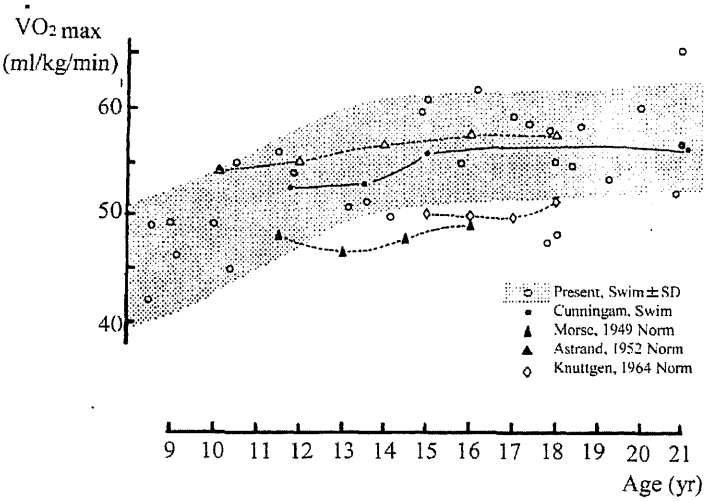


Figure 2. $\dot{V}O_2$max (ml/kg/min) in relation to the age compared to the other studuies in swimmers and no-swimmers

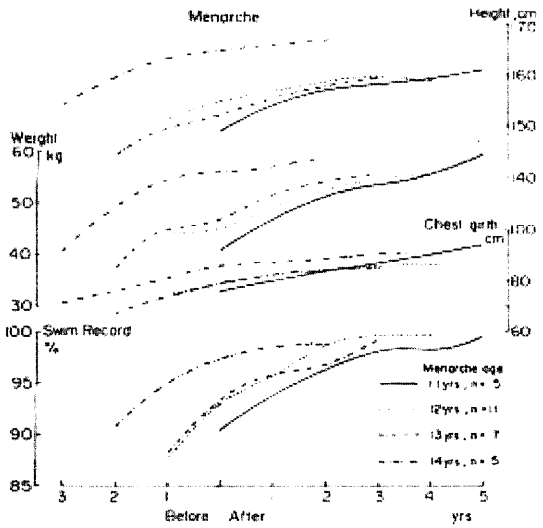


Figure 3. Different age of menarche group of body height, weight, chest girth and swimming records were matched with the age of menarche

おける肺拡散能力(DLco)が運動制限因子となるかについて検討した。DLco は、有意差は認められなかったものの、トレーニングによって、35.1ml/mmHg/min から 39.2ml/nnHg/min に増加した。最大運動時の肺胞動脈酸素格差($A\text{-}aDO_2$)の動態を運動群と比較すると、肺胞気 O_2 分圧(PAO_2)は安静時を除き、両群とも同様の傾向を示した。動脈血 O_2 分圧(PaO_2)は、両群間に有意な差は認められなかったが、$\dot{V}O_2$ 3.0l/min 付近では、運動群の 81.7±3.2mmHg に対して、安静時は 77.1±4mmHg と有意に低値を示した(Figure 4)。$A\text{-}aDO_2$ は $\dot{V}O_2$ 1.0l/min 付近で両群ともに安静時と比較して低値を示し、換気血流比($\dot{V}A/\dot{Q}c$)の改善が示唆された。その後、$\dot{V}O_2$ の増大に伴い増加し、最大値 22.3mmHg、非運動時 29.6mmHg と両群とも有意に拡大し、PaO_2の低下と相まって、換気系には大きな負担となっていることが示された。運動に起因する PAO_2 上昇、PaO_2 低下による $A\text{-}aDO_2$ の拡大には、換気血流比の不均等分布、Shunt(QS/QT)、拡散障害が考えられた。

f. How Cardiovascular Responses Affect Tissue Oxygenation at Rest and during Exercise in Water? [6]

(Biomechanics and Medicine in Swimming X. Portuguese Journal of Sport Sciences, 158-161, 2006)

本研究は、水中安静および運動時の心血管系応

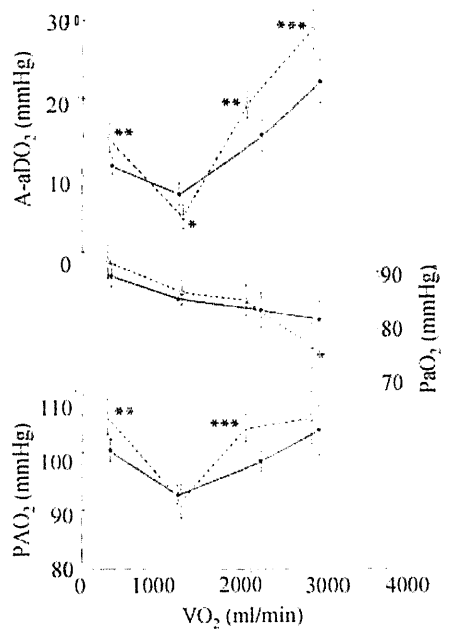


Figure 4. Changes in alveolar O_2 pressure, arterial O_2 ressurpe and alveolar-arterial O_2 differences in relation to oxygen consumption at rest and during exercise for athletes and non-athletes.

Athletes (★), non-athletes (☆).
*(p<0.05), **(p<0.01), ***(p<0.005);
statistic difference from non-athletes value

答が局所の酸素動態に及ぼす影響について検討を行うことを目的とした。9 名の健常な成人男性を対象に、陸上および水中(剣状突起水位)での自転車運動を、40 および 60% $\dot{V}O_2$peak で行った際の、$\dot{V}O_2$、HR、CO、TPR、MBP を測定した。また、外側広筋における HbO_2 および T-Hb を NIRS を用いて測定した。安静時では、CO と SV が水浸によって有意に増加し、相対的な HbO_2 の増加が認められた(Figure 5)。この結果から、水浸によって局所への酸素供給が増加したと考えられた。また、水中運動時の MBP は両運動強度とも陸上運動時と比べて高値を示した。これは、水中運動時の HbO_2 は両運動強度とも陸上運動時と比べて低値

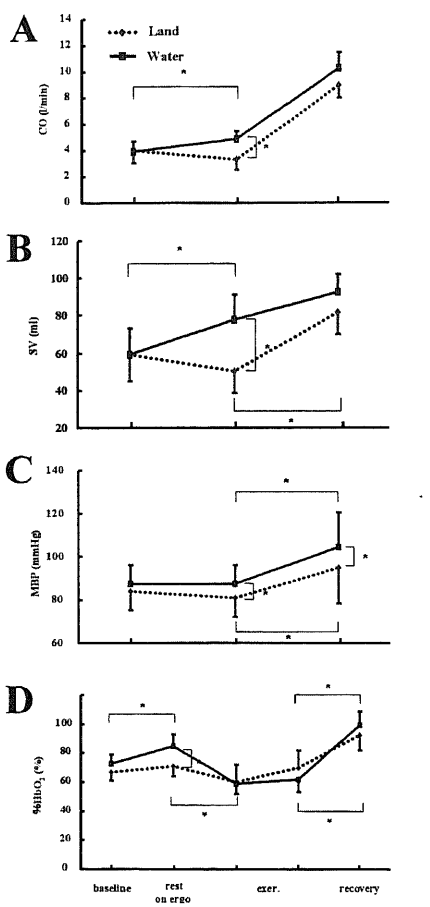


Figure 5. Changes in CO (A), SV (B), MBP ©, HbO2 (D) at rest and during exercise at 40%VO_2 peak on land and in water.

Values are given as mean ± SD.
egro; ergometer; exer.; exercise. * = p<0.05.

を示したことから、水中運動時では水圧によって血流が制限され、筋代謝受容器や筋機械受容器の作用による影響が考えられた。

3．競泳のトレーニング

1977 年以降、水泳中の呼吸循環応答など生理学的な切り口で、水泳を科学してきた。同時に、そこで得られた知見をもとに競泳のトレーニングについての研究も進めてきた。特に、1995 年からは、当時水泳では取り入れられることの少なかった高所トレーニングについて、オリンピック強化選手育成とともに医学・生理学・心理学面からの研究サポートを行った。中国雲南省昆明（標高 1886m）で高所トレーニングを計画し 1995 年から開始したが、当時の昆明はまだ都市化の進む前で、使用するプールの水が緑色であったり、照明は豆電球であったり、ホテルの食事は選手の口に合わず我々スタッフが食事を探して右往左往した記憶がある。2000 年から使用した雲南省体育基地はこれまでと一変し、管理されたプール、要求に近い食事を提供してもらいトレーニング・実験に集中できるようになった。今年も北京オリンピック選手輩出に向けて、中国昆明での強化合宿を二度行った。

a. 高所トレーニングにおける血液像の変化−エリスロポエチン値を中心として−[7)]
（臨床スポーツ医学, 13:55-60, 1996）

大学競泳選手において、高所トレーニング（14 日間）による血液像の変化とエリスロポエチン（EPO）値との関係を調査・検討した。その結果、EPO 値は高所トレーニング開始早期より上昇した後、ヘモグロビン値の上昇に伴って減少した。EPO の作用による赤血球数の増加はトレーニング開始後数週で生じると考えられた。ヘモグロビン値は男子では 7 日目、女子では 10、13 日目で最高値を示した。これは赤血球の分布の変化によるものと考えられた。高所トレーニング時の低酸素負荷に対する酸素運搬能の順応には、早期に生ずる赤血球の小球性高色素性の変化、分布の変化によるヘモグロビン値の上昇によるものと、EPO 生成後数週で生じる赤血球数の増加によるものと 2 段階存在することが示唆された。また、女子は男子に比べ低酸素負荷に対する反応が低かった。

b. Increase in serum vascular endothelial grouth factor levels during altitude training [8)]

（Acta Physiologica Scandinavica, 162(4):455-459, 1998）

日常から厳しいトレーニングに取組んでいる競泳選手において、高所トレーニング（21 日間）による血管内皮の成長因子（VEGF）レベルを調査・検討した。その結果、高所トレーニング後に赤血球数（RBC）とエリスロポエチン（EPO）レベルは向上したが、ヘモグロビンとヘマトクリット値は変化しなかった。血漿 VEGF レベルは、高所トレーニング開始後 10 日間は一時的に低下したが、19 日後までにピークレベルにまで増加した。平地に戻った後 VEGF レベルは低下したことから、この現象は低酸素に対する適応反応と示唆された。よって、VEGF レベルは高所トレーニングによる低酸素刺激に対する生態的なパラメーターと判断できた。

c. 水泳競技選手の高所トレーニング[9)]

（臨床スポーツ医学, 16:549-553, 1999）

高所トレーニング前中後に 4 スピードテストを実施し、血中乳酸濃度と泳スピードの関係を検討した結果、高所において有意に泳スピードが低値を示したが、高所トレーニング前後では有意な差は認められなかった。結果に個人差が大きく、必ずしも高所トレーニングが有酸素能力を改善しない訳ではないが、選手のコンディションとトレーニング計画を考慮し検討する必要がある。

高所トレーニング前後に無酸素能力を検討するために、回流水槽で最大スピードの 85%速度における泳継続時間と血中乳酸濃度を測定した。その結果、男子でトレーニング後に泳継続時間が 10%有意に延長した。女子は 20%延長したが有意ではなかった。血中乳酸濃度は高所トレーニング後のテストで高値を示す傾向にあった。このことから乳酸キャパシティーが増大し、解糖系エネルギー代謝の向上が示唆された。

d. Repeated altitude training effects on elite swimmers[10)]

（Biomechanics and Medicine in Swimming VIII, 417-427, 1999）

20 名の競泳選手を対象に、2 度の高地トレーニングを実施し、高地トレーニングを繰り返すことによる生理学的応答を明らかにするとともに、高地トレーニング後の泳パフォーマンスについて検討した。1 回目、2 回目ともに高地トレーニングによって血中のエリスロポエチンは 24%増加したものの、ヘモグロビン及びヘマトクリットには変化が認められず、エリスロポエチンも 12 日後には初期値に戻った。OBLA 出現泳速について、高地において有意に低い値を示し、高地トレーニング前後で変化は認められなかった。一方、最大泳速における血中乳酸濃度の最大値、泳時間は高地トレーニング後に高く、5 年間高地トレーニングを繰り返し行っている 5 選手においては、19 試合のうち 12 試合で自己記録を更新していた（Figure 6）。これらの結果から、高地トレーニングによって、血中のエリスロポエチンが増加しても、OBLA 出現速度には影響がないものの、乳酸生成能力、泳パフォーマンスが改善することが示唆された。しかし、体力レベル、精神状態、食事など、全てのスイマーが高地トレーニングに適応できるわけではないと考えられる。

e. The relationship between stroke parameters and physiological responses at the various swim speeds [11)]

（Biomechanics and Medicine in Swimming Ⅳ. Portuguese Journal of Sport Sciences, 355-360, 2002）

本研究は、4 泳法におけるストロークパラメータと泳中の生理学的応答との関係を明らかにする

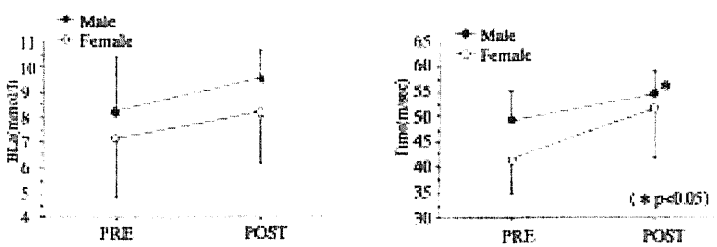


Figure 6. a) Changes of LAmax from pre- to postaltitude training during maximal swim test
b) Changes of swim time from pre- to postaltitude training during maximal swim test

とともに、持久力トレーニングにおいてより効率の良い速度を検討することを目的として行った。23 名のスイマーを対象に、200m ベストタイム時の泳速の 50%から 85%までの漸増負荷試験を実施し、ストローク頻度(SR)、ストローク長(SL)、乳酸、OBLA、乳酸性作業閾値(LT)を求めた。その結果、速度の増加とともに、SR、SL ともに増加したが、SL については、65-70%の泳速以降低下した(Figure 7)。また、自由形における SL が最大(SLPP)となる泳速と OBLA・LT 出現速度との間に相関関係が認められた。これらの結果から、SLPP は持久力と関係があり、持久力トレーニングを実施する効率の良い速度を決定する非侵襲的なパラメータとして利用できることが明らかとなった。

f. Changes in interval swimming performance, OBLA speed and 400M swimming performance after eight week swim training[12)]

(トレーニング科学, 13(3):149-156, 2002)

本研究の目的は 8 週間の水泳トレーニングが 400m の泳パフォーマンス (Vmax@400) ならびに血中乳酸濃度 4mM に相当する泳速度(V@OBLA)とインターバル泳パフォーマンスに与える影響を検討することであった。被験者は 13 名の日常的にトレーニング行っている大学競泳選手で、8 週間の水泳トレーニングの前 (pre) 後 (post) に漸増負荷テスト (PT) と 3 種類のインターバル泳テスト (IT) を行った。Vmax@400 と V@OBLA を評価するための漸増負荷テスト(PT)は 400m クロールを 4 本行い、それぞれ試技は 20 分の間隔を空けた。インターバル泳テスト (IT) は、200m 自由形 8 本を異なる休息時間 (10-20 秒、21-30 秒、31-40 秒) で行った。全てのインターバル泳テスト (IT) 中の泳速度は漸増負荷テスト (PT) で求められた V@OBLA とした。全ての試技終了後に血中乳酸濃度を測定した。結果として、8 週間の水泳トレーニングにより V@OBLA は変化しなかったが、Vmax@400 は向上した ($P<0.05$, Figure 8)。インターバル泳テスト (IT) における血中乳酸濃度は休息時間が長いほど、8 週間後の値が有意に低かった ($P<0.05$)。これの結果から、有酸素能力の改善がプラトーに達しても、400m のパフォーマンスを改善することができ、より休息時間が長いインターバル泳パフォーマンスを改善することができることが示唆された。

g. The effect of rest periods on energy system

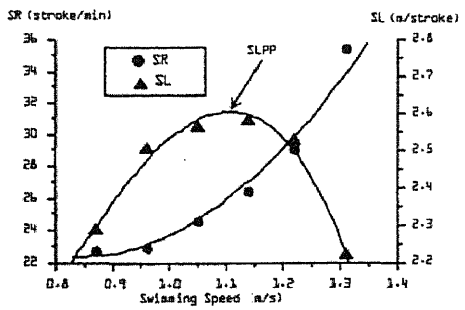


Figure 7. A typical example of the relationship between swimming speed and SR, and the relationship between swimming speed and SL of one subject in freestyle

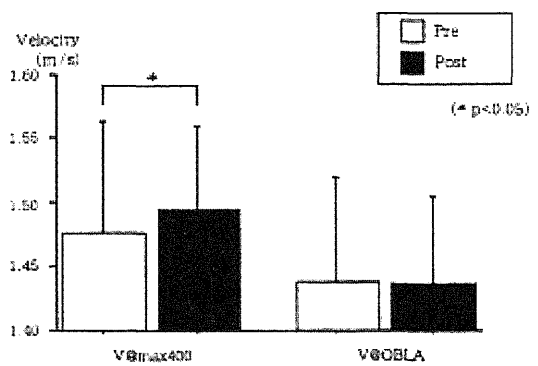


Figure 8. Change in Vmax@400 and V@OBLA at pre- and post-test

Vmax@400; swimming velocity for 400m at individual maximum effort., V@OBLA; swimming velocity at a blood lactate accumu- lation of 4mM.

contribution during interval swimming[13)]
（European Journal of Sports Science, 3(1):1-11, 2003）

本研究の目的はインターバル泳中の休息時間がエネルギーシステムに与える影響、ならびにエネルギーシステムが水泳選手の距離特性によって変化するのかどうかを調査することであった。7 人の日常的にトレーニングを行っている男子大学競泳選手は 3 種類の異なる試技を実施した：10 分間の連続試技（CON）、1 分間泳 10 回を 20 秒の休息を挟む試技（INT20）、1 分間泳 10 回を 30 秒の休息を挟む試技（INT30）。全ての試技における泳速度は漸増負荷テストによって求められた血中乳酸濃度 4mM に相当する速度に設定された。相対的な有酸素/無酸素エネルギーシステムの貢献は酸素摂取と酸素負債の計算から評価できる。CON、INT20、INT30 の有酸素エネルギーシステムの貢献度はそれぞれ 93.1±1.1%、81.0±10.4%、67.4±8.5%、無酸素エネルギーシステムの貢献度はそれぞれ 6.7±1.1%、19.0±10.4%、32.6±8.5%で試技間に有意な差が認められた。個人の 100m と 200m のベストタイムの割合から算出された数値は、INT30 における相対的な無酸素エネルギーシステムの貢献度と相関関係にあった（$p<0.05$）。これらの結果から、インターバル泳中のエネルギーシステム貢献度は、10 秒の休息時間の違いに影響され、その貢献度は選手の距離特性にも依存していることが示唆された。

4．水泳のバイオメカニクス

古から、パフォーマンスの鍵は「心・技・体」といわれているように、パフォーマンスの向上には技術の習得が不可欠である。技術の習得には、情報のフィードバックが重要であるとされており、これまで、競泳では映像を用いたフィードバックが主に行われているが、計測によって定量化された技術情報は、過去と現在の動作の比較や他者との比較などを具体的且つ客観的に行うことが可能であり、今後、コーチングへの支援、パフォーマンスの向上に貢献すると考え、加速度計を用いた運動計測についての研究を行った。

a. Estimation of arm joint angular displacements in front crawl swimming using accelerometer[14)]
（Biomechanics and Medicine in Swimming X, 223-225, 2006）

三軸加速度センサを用いて計測した手首の加速度情報から、クロール泳中の肩関節伸展角度および肘関節屈曲角度を推定することを目的とした。被験者である大学男子競泳選手が、試技としてクロール泳を異なる 3 段階の強度で行った。試技中の手首の加速度をセンサで計測し、上肢全体の動作を 2 台の水中カメラで撮影した。クロール泳の上肢動作を数理モデルによって定式化し、モデルから計算した加速度とセンサにより計測した加速度の差が最小となる関節角度を求めた。センサから推定した関節角度変化は、いずれの試技においても画像解析手法から得たものとよく一致していた（Figure 9）。このような加速度センサを用いた泳

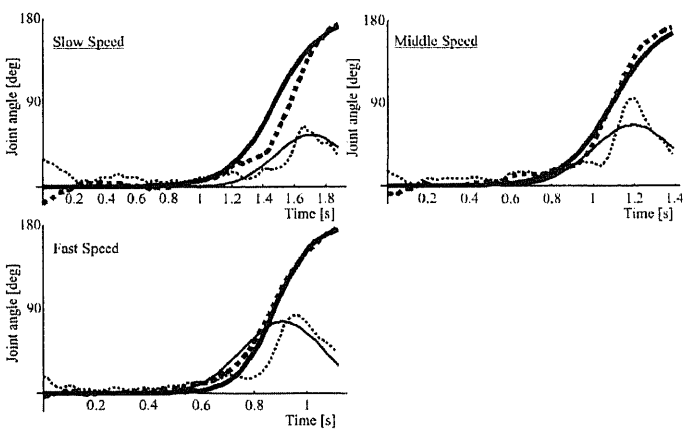


Figure 9. Comparison of the angular displacement between that estimated from the acceleration (solid) and that measured using videography (dotted) of the shoulder extension (thick) and the elbow flexion (thin)

動作定量化手法はデータ収集や分析に人手や時間を割く必要がないことから、競泳のトレーニング現場における実用的な計測手法となる可能性があることが、本研究結果により示された。

水泳では、水中で身体を動かすことで身体に様々な流体力が働く。そのため、推進メカニズムを解明するには水泳中に身体各部位に働く流体力を算出する必要がある。しかし、ヒトは水中で姿勢を変化させながら推進するため、身体各部位に働く流体力を詳細に実測することは極めて困難であり、未だ定量法が確立されていない。そこで、シミュレーション手法によって身体に働く水泳時流体力を推定し、推進メカニズムを明らかにする試みを行った。

b. 水中ドルフィンキックの推進力と関節トルクのシミュレーション解析[15)]

（バイオメカニズム学会誌, 32 (2), 2008）

シミュレーションモデル SWM（Swimming hUman Model）を用い、水中ドルフィンキックの推進メカニズムの解明を試みた。シミュレーションではヒトの身体を楕円柱の連なりとして表されている。水泳時に楕円柱要素に働く 3 つの非定常流体力（付加質量力、法と接線方向抵抗力）と浮力および重力は、楕円柱要素の形状と密度、そして 1 周期分の関節運動から算出される。シミュレーションの入力データ算出のため、8 名のエリート競泳選手が実験に参加した。各楕円柱要素の形状と密度は、対象者の形態測定データを用いた。水中ドルフィンキックの 1 周期関節運動データは、2 次元 DLT 法によって算出した。シミュレーション上で水中ドルフィンキックのダイナミクスを再現するため、3 つの非定常流体力算出に用いられている 3 つの流体力係数を、最小二乗法によって実測とシミュレーションによる泳速度の差が最小となるように同定した。この同定は入力データごとに行った。結果として、水中ドルフィンキックの推進力は主に足部で発揮され、推進力発揮には下肢だけではなく体幹でのトルク発揮が重要であることが初めて定量的に示された(Figure 10)。さらに、バタフライ泳者で腰痛が起こりやすい要因の一つとして、水中ドルフィンキック泳中に体幹で大きな関節トルクを周期的に発揮していることが挙げられた。

c. シミュレーション解析による水中ドルフィンキック時の足関節底屈角度の増加がパフォーマンスに与える影響[16)]

（体育学研究, 53 (1), 2008）

シミュレーションモデル SWUM（Swimming hUman Model）を用い、足関節底屈角度が増加す

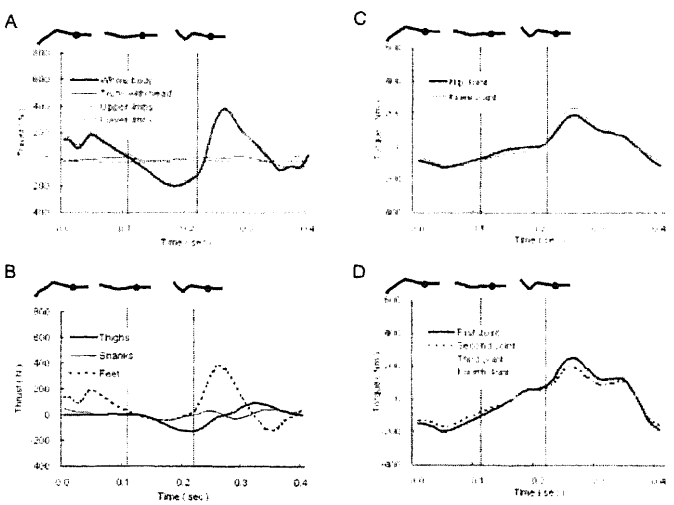


Figure 10. Contribution of each body part to thrust (A, B) and joint torque (C, D) for one cycle during underwater dolphin kick in subject Ka.

* In joint torque, the flexion direction of hip and trunk joint is positive, and extension direction of knee joint is negative.

ることで水中ドルフィンキックのパフォーマンスが向上するか否かの検証を行った。入力データは上記のものと同様とし、底屈角度の増加による泳速度と足部によって発揮された推進力の変化を分析するため、底屈角度を増加させたシミュレーションを実行した。その結果、底屈角度が増加することで水中ドルフィンキック泳中に足部のみで発揮される推進力が増加し、結果として泳速度は向上することが明らかとなり、底屈角度の重要性が定量的に示された。また、底屈角度の増加に伴う泳速度の向上は、底屈方向の柔軟性が低い選手ほど大きくなるという相関関係が認められた。

競泳スタートに関する研究は水泳研究において取り扱われることが多い研究課題ではあるが、これまでスタート台上動作中の Kinematics と Kinetics を詳細に分析した研究は行われてこなかった。多くのスタートに関する研究は、異なる台上動作の比較を行うものが多く、各スタート技術ごとの最適な動作の検討や、その安全かつ効果的な指導法の確立も十分に進んでいない。このため以下の研究においてスタート局面のパフォーマンスにとって重要なパラメータとなる跳び出し角度がパフォーマンスに与える影響やその制御に関わる Kinematics・Kinetics 的要因を調査した。

d. 競泳スタートにおける跳び出し角度の変化が跳び出し速度、飛距離とブロックタイムに与える影響[17]

（体育学研究, 51 (4):515-524, 2006）

大学男子競泳選手 12 名を対象に、グラブスタートの跳び出し角度を実験的に変化させた指示を被験者に実施してもらい、跳び出し角度変化が跳び出し速度と飛距離そしてブロックタイムに与える影響を調査した。グラブスタートでは身体の傾きを示す変数である身体角度と跳び出し時の身体重心速度の向きである跳び出し角度との間に有意な正の相関関係が認められた（Figure 11）。したがって、グラブスタートの跳び出し角度制御には身体の前方への傾きが大きく関与すること明らかとなった。また、跳び出し角度の減少に伴い、跳び出し合成速度は増加し、飛距離は減少したが、ブロックタイムには変化が見られなかった。以上のことから跳び出し角度はおよそ 0 度付近が望ましいと示唆された。

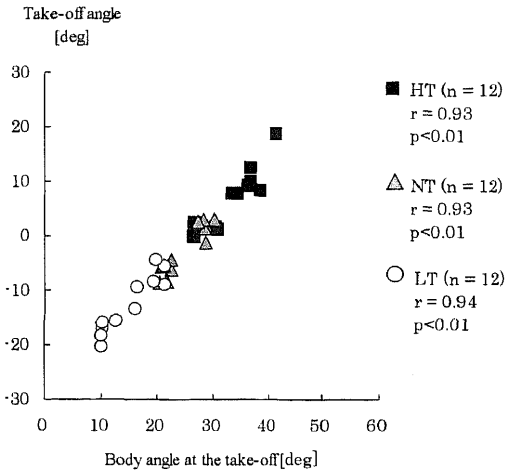


Figure 11. Relationship between body angle at the take-off (θ_0) and take-off angle (φ) in LT, NT and HT.

e. 競泳グラブスタートの跳び出し角度に影響を与える動力学的要因[18]

（バイオメカニクス研究, 11 (3):183-197, 2007）

大学男子競泳選手 12 名を対象に、グラブスタートの跳び出し角度を実験的に変化させた指示を被験者に実施してもらい、跳び出し角度制御にかかわる動力学的要因を検討した。この結果、グラブスタートの跳び出し角度は、主に下肢の関節において伸展トルクを発揮する時の身体の傾きによって決定されることが明らかとなった。そして、跳び出し角度増加に伴う跳び出し速度の減少が見られた。これは、関節伸展トルク発揮時に下腿と体幹に生じるモーメントによって下腿と体幹の重心が後方に加速されるために引き起こされる現象であると考えられた。さらに、膝関節において SSC を効果的に利用する被験者が見られたことから、グラブスタートでの SSC の効果的利用によるパフォーマンス向上への可能性が示唆された。

5．学校教育における水泳指導

小学校学習指導要領の改正により、小学校 1 年生から 4 年生における体育の授業時数は、それぞれ 15 時間ずつ増加したものの、他教科と比較すると十分に時間数が確保されているとはいい難い状況であり、水泳授業もまた授業時間数の確保が困難である。水泳指導の手引きによると、各学年において水泳授業を年間 10 時間程度実施する必要

性が示されているが、雨天などの影響で10時間の単元計画の約半数の6時間しか実施できなかったという報告もある。従って、学校教育における効率的かつ効果的な水泳指導法の確立と環境作りが求められており、学校体育における水泳指導に関する研究にも着手した。以下に、インターネットを用いた新たな水泳指導法による学習効果と小学校水泳指導現場における保温水着の導入に関する知見について示す。

a. コンピュータ水泳学習支援プログラムが子どもの学習動機と学習方略に与える影響[19)]
（体育学研究, 52(2):161-171, 2008）

本研究は、子どもの水泳学習に利用が可能なコンピューター学習支援(CAI)プログラムを開発し、プールにおける実技指導内容を統制し、同一レベルの泳技能を習得した子どもをCAIプログラムを活用して水泳学習を行う実験群とコントロール群の比較を行い、CAIプログラムが子どもの学習動機と学習方略に与える影響について検討した。

その結果、CAIプログラムを活用することで、指導内容に対する興味を高められることが明らかになった(Figure 12)。また、CAIプログラムの活用を通して、運動動作に対する観察能力の育成の可能性も推察された。水泳は、水環境の影響を受けるため、実技指導現場においてCAIプログラムを活用することは困難である。しかし、本研究では実技指導前の短時間CAIプログラムを活用することで、子どもの学習意欲を十分に向上させ、学習方略を改善することが可能であることが明らかとなった。本研究で用いたCAIプログラムの導入方法は、学校現場でも実践が可能であり、より効果的な水泳学習を展開する一助となると考えられる。

b. 小学校水泳授業における児童の保温水着着用の有効性:寒冷感および形成的授業評価への影響を中心に[20)]
（体育学研究, 52(2):201-213, 2008）

本研究は、小学校高学年児童を対象とした実際の水泳授業において、保温水着着用群とコントロール群の比較を行い、保温水着着用が児童の主観的温度感覚に及ぼす温熱的効果及び形成的授業評価に及ぼす教育的効果について明らかにすることを目的として行った。また、屋外プール環境条件による保温水着着用の効果の違いや、個人の身体特性に応じた保温水着の活用法について検討した。

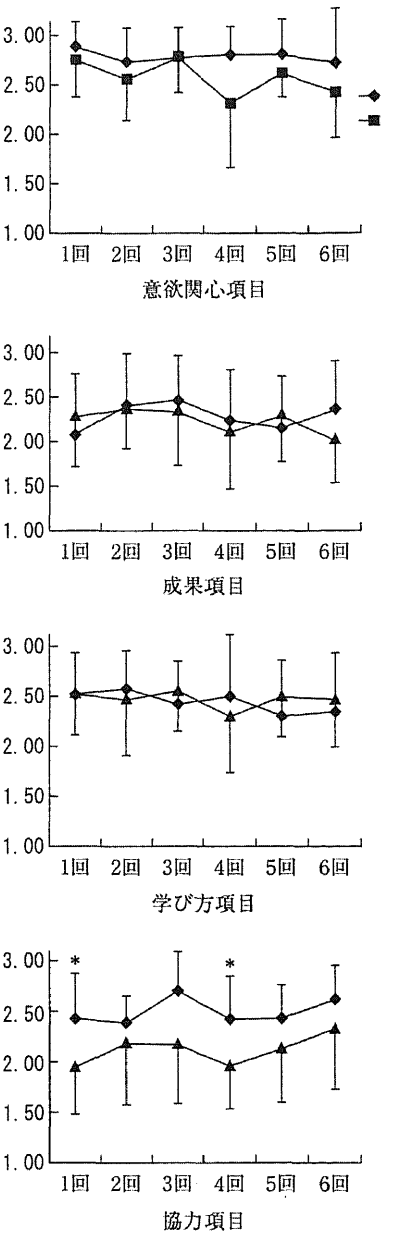


Figure 12. Children's formative class evaluation at each swimming class
* significant difference between experimental and control group

その結果、特に寒冷日において保温水着着用により寒冷感が抑えられ、意欲・関心の授業評価が高い得点を示した(Figure 13)。また、保温水着着用により寒冷感に伴う退水者を減らすことができた結果などから、寒冷時の水泳授業実施を可能に

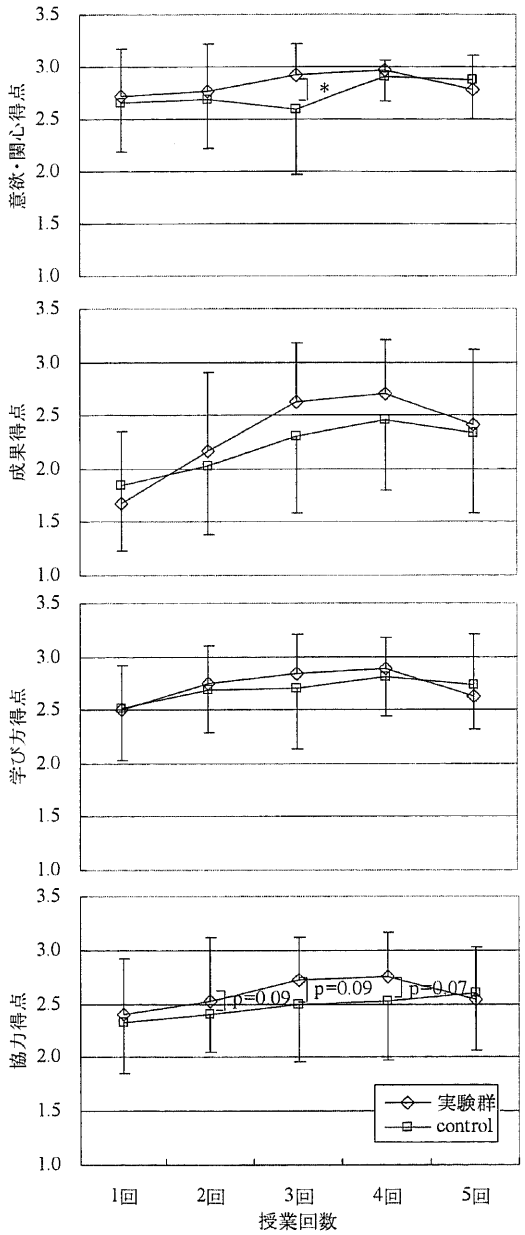


Figure 13. Children's formative class evaluation at each swimming class

* significant difference between experimental and control group

し、児童の水泳学習に対する保温水着着用の有用性が示された。さらに、保温水着は体脂肪率の低い児童に対して身体特性の個人差を補う補助教具としての役割を果たし、児童の水泳学習支援に有効であると考えられた。

6．水中運動

a. 水泳とポジティブヘルス [21)]

（Health Science, 2(4):36-43, 1986）

生活の都市化・機械化によって、人々の身体活動量は低下し、運動不足病（生活習慣病）が社会的問題となり、中高年層で運動の必要性が認識され始めると、成人によるプールの利用が増加した。このような社会背景のもと、1986 年、水泳のみならず水中歩行やアクアビクスなどの水中運動や水中マッサージなどの水療法を含んだアクアフィットネスという概念を提唱した(Figure 14)。アクアフィットネスは、水中運動などのアクティブヘルスとサウナやジャグジーに入ること、水中リラクセーションなどのパッシブヘルスに分類されており、個人に合わせた運動処方が可能であるという特徴を持っている。

1990 年代に入り日本人の高齢化が進み、「Quality of Life (QoL)」が注目されはじめ、「より健康に歳をとること」あるいは「寝たきり予防」を目的にした運動療法のニーズが高まった。水中環境は、浮力・抵抗・水圧・水温といわれる物理的特性によって、下肢に対する重力負荷の軽減、静脈還流の増大による一回拍出量の増加、心拍数の低下、胸式呼吸から腹式呼吸への変化による呼吸筋への刺激増大など人体に様々な影響を及ぼす。これらの特徴を利用することによって、アクアフィットネスは、子どもや一般成人だけでなく、疼痛を有するもの、整形外科的疾患・循環器疾患を有する中高齢者に対しても有効な運動療法になりうると考え、この分野の研究にも積極的に取組むようになった。

b. 中高年における腰痛者を対象とした短期的な水中運動の身体的および心理的効果 [22)]

（いばらき健康・スポーツ科学, 16:19-26, 1998）

腰痛を抱える中高齢者を対象に短期間（4 週・8 週）の水中運動の身体的および心理的効果を検討した。その結果、水中運動により身体的・機能的効果として、拡張期血圧の優位な減少、立位体前屈の向上、そして疼痛の減少が認められた。また、8 週間の水中運動の継続により、心理的変化として腰痛症との関連が報告されている不安の感情レベルが低下し、リラックス感、誇りの感情レベルが向上した。以上のことから、腰痛を抱える中高

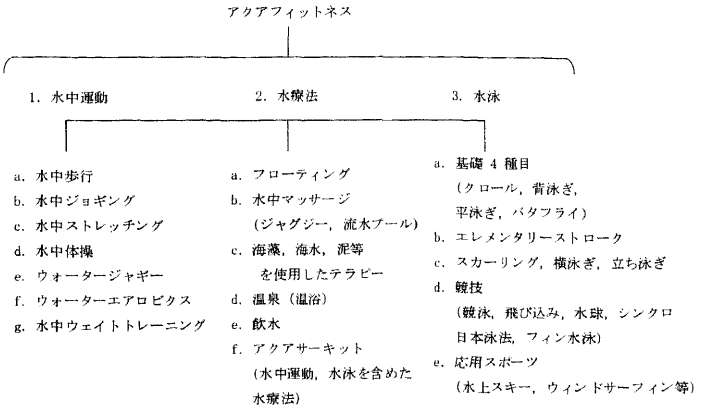


Figure 14. The schematic diagram of Aqua Fitness

齢者を対象とした水中運動は身体的に効果があり、その心理的効果も示唆された。

c. 一過性の水中運動と陸上運動の実施が疼痛、状態不安および唾液中コルチゾール濃度に及ぼす影響–慢性腰痛者を対象に–[23)]

（体力科学, 49:581-588, 2000）

慢性腰痛者を対象とし主観的運動強度 11 における一過性の水中運動および陸上運動の実施が疼痛、状態不安、唾液中コルチゾール濃度に及ぼす影響を比較検討し、慢性腰痛者に対する水中運動の有用性を検討した。その結果、水中運動の実施に伴い唾液中コルチゾール濃度は増加を示したが、有意な疼痛の改善、状態不安の低下が認められた(Figure 15)。陸上運動の実施においてはいずれの指標にも有意な変化は認められなかった。よって、主観的運動強度 11 程度の強度における一過性の水中運動の実施は、慢性腰痛者の疼痛や状態不安を低下させる効果があることが認められた。また、唾液中コルチゾール濃度は疼痛や状態不安などのストレスの影響よりも運動強度に大きな影響を受ける可能性が示唆された。

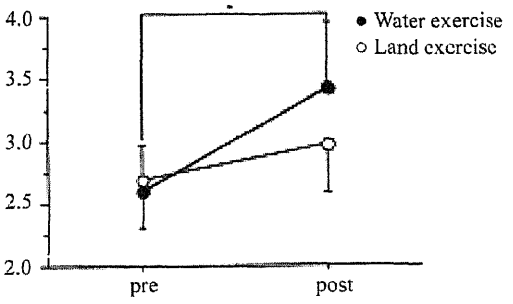


Figure 15. Changes of salivary cortisol concentration pre- to post-exercise Value are mean±SE. *<0.05.

d. Lower extremity muscle activity during deep-water running on self-determined pace. (DWR の下肢筋活動)[24)]

（Journal of Electromyography and Kinesiology, 2007 (Epub ahead of print)）

Deep-water running(DWR)は有酸素運動として用いられているが、筋活動は検討されていない。そこで DWR の下肢筋活動を測定し水中歩行(WW)や陸上歩行(LW)と比べ、その特徴を明らかにすることを目的とした。成人男性 9 名(24.9±2.2 yr)を対象に DWR、WW、LW を主観による遅め、普通、速めの速度で行った。前脛骨筋、ヒラメ筋、腓腹筋内側頭、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋長頭の筋活動を測定した。WW と LW では踵の接地とつま先の離地を基準に、DWR では股関節の最大屈曲と最大伸展を基準に後方へのスウィング局面と前方へのスウィング局面に分け、筋活動(%MVC)と下肢関節角度および可動域を算出した。水深は 1.1m、水温は 27℃であった。その結果、%MVC は全ての速度で同様の傾向を示し、ヒラメ筋と腓腹筋内側頭は後方へのスウィング局面で DWR が LW や WW と比べて低く、DWR は足の接地局面がないことが影響したと考えられた。大腿直筋は前方へのスウィング局面で DWR と WW で LW と比べて高く、水の抵抗や DWR で股関節の屈曲が大きいことが影響したと考えられた。

外側広筋は前方へのスウィング局面で DWR と WW が LW と比べて低く、踵の接地局面での重力方向の負荷の軽減や、DWR では膝関節が伸展位から屈曲位へと移行したことが影響したと考えられた。大腿二頭筋長頭は両局面とも DWR が WW や LW と比べて高く、股関節の伸展動作や膝関節の屈曲動作が大きいことが影響したと考えられた。よって、DWR は運動中の怪我や事故の少ない安全な環境で、股関節の屈曲伸展動作を中心に運動を行うため股関節の屈曲伸展筋を刺激できるが、足の接地局面がなく膝関節や足関節周辺の筋群を十分に刺激できないことが明らかとなった (Figure 16)。

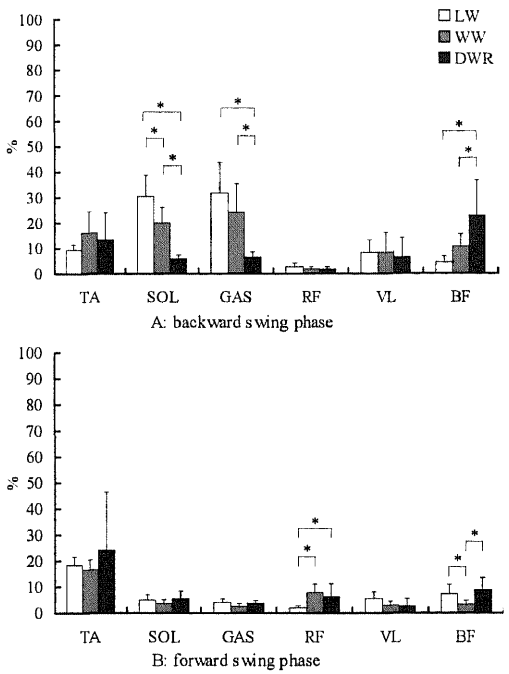


Figure 16. The %MVC values of backward or forward swing phase in moderate pace.
Values are mean ± SD.
*: Significant difference between two trials, $p < 0.05$
LW: Land Walking, WW: Water Walking, DWR: Deep-water Running
TA: tibialis anterior, SOL: soleus, GAS: medial gastrocnemius, RF: rectus

e. A comparison of the effects of different water exercise programs on balance ability in elderly people.(中高齢者のバランス能力向上のための水中運動)[25]

(Journal of Aging and Physical Activity, 2007(in press))

Deep-water running(DWR)は有酸素運動として用いられているが、その他の効果について検討したものは非常に少ない。また、水中運動は中高齢者の体力要因の改善に効果があると言われているが、どのような運動がより効果的であるかについて検討されていない。そこで、DWR を含む水中運動が中高齢者の体力要因に及ぼす影響について、水中歩行を中心とする水中運動と比べることで明らかにすることを目的とした。健常な中高齢者 30 名(60.7±4.1 yr)を、DWR を含む水中運動を行う群 15 名(DWRE)と水中歩行を中心とする水中運動を行う群 15 名(NWE)に分け、週 2 回 12 週間、1 回 60 分の水中運動を介入した。1 回 60 分のうち 30 分間を 2 群に分けて運動を行った。12 週間の前後で 30sec の重心動揺単位面積軌跡長、10 歩の継ぎ足歩行所要時間、11m 普通および大努力歩行速度、全身反応時間、長座体前屈を測定した。その結果、10 歩の継ぎ足歩行所要時間が DWRE で減少し、全身反応時間は両群とも減少した。このことから、DWRE は NWE と比べて継ぎ足歩行を指標とする動的バランス能力を改善することができ、DWR を含む水中運動プログラムは中高齢者の動的バランス能力を改善させる運動であると考えられた。これには、DWR によって中高齢者の姿勢制御に重要である股関節や体幹の筋群を刺激できたことや、プールの床から足を離すことで視覚・前庭覚・固有感覚といった感覚入力に対する刺激およびそのトレーニングができたことが影響した可能性が考えられた。よって、DWR を含む水中運動は、有酸素運動としてだけでなく、中高齢者の動的バランス能力も改善できる運動として活用できる可能性が示唆された。

7．これからの水泳研究

PIV 計測法を用いた流れ場の可視化

PIV 計測法は、非定常な流体の流れ場を現在唯一詳細に把握することができる手法で、流水中に微小なトレーサー粒子(50μm)を混入させ、測定箇所に微小時間間隔でレーザーをシート状に照射し、

微小時間での粒子の動きを CCD カメラで捉えることで時々刻々変化する流れを可視化することができるものである(Figure 17)。水泳時の身体周りの流れ場はその複雑さから、定常と仮定した研究が長年行われてきたが、現在までに非定常な流れ場について詳細に報告されているものはない。水泳時の水の流れを捉えることは泳法指導に有益であり、パフォーマンスの向上につながるものである。

我々は平成 16 年度より「健康・スポーツ科学研究推進 COE」メンバーとして、ヒト水泳時における PIV 計測法を用いた泳者手部周りの流れ場の可視化の研究を行ってきた。流体中での運動である水泳では、陸上のように地面からの反力で進むことは当然できず、力が加わると変形・変動してしまう「水」に対して力を発揮し、その反力で推進していると考えられている。しかしながら、ヒト水泳時の身体周りの流れ場は非定常であり、水泳中に力を伝える対象である「水」の動きを詳細に解明することは非常に困難であるため、ヒトの水泳時の推進メカニズムに関しては全くと言って良いほど研究は進んでいない。本研究ではヒト水泳時の推進メカニズムについて、PIV 計測法を用いて流れ場の可視化および考察をし、競泳トップアスリートの競技力向上を目指した競泳選手のパフォーマンス評価のための基礎的知見を得ることを目的とした。以下に、本研究で得られた知見を示す。

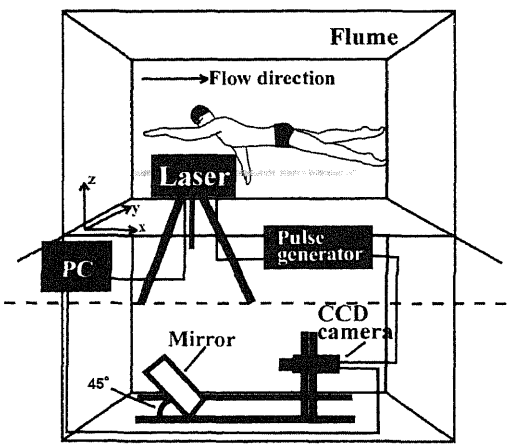


Figure 17. Schematic view of the PIV experimental setup. The flow direction was from left to right. The laser sheet illuminated the particles horizontally. The CCD camera captured underwater flow images reflected by a mirror. Timing of the laser exposure and image capture was synchronized using a pulse generator.

a. Analysis of sculling propulsion mechanism using two-components particle image velocimetry PIV 計測法を用いたスカーリング動作時の推進メカニズム [26]

(Biomechanics and Medicine in Swimming X. Portuguese Journal of Sport Sciences, 50-52, 2006)

ヒトが泳ぐときの基礎的なスキルとしてスカーリング動作があり、その動作時の手部周りの水平測定面と垂直測定面での流れ場の可視化を行った。その結果および考察を以下に示す。

1) スカーリングの推進メカニズムとして、泳者は渦対を形成し流れ方向へのジェット流を発生させていた。このことから泳者は渦とジェット流により推進するための力を生み出していることが示唆された。また、より大きな渦を形成させることで、より大きな推進力を生み出す可能性が示唆された。
2) スカーリング時、泳者は各移行局面(インスカル～アウトスカル間)で適度に手の迎え角を変化させており、流れの失速が起こるのは約 40～60° であると考えられ、迎え角が最大となる移動方向の変換点に向けて徐々に迎え角を増大させることで、手部から流れが剥離し、渦を形成させていることがわかった。これらのことより、スカーリング動作において推進力を生み出すためには、手部を真っ直ぐ横方向に動かすのではなく、変換点に向けて徐々に迎え角を変化させ、渦を形成させることが必要不可欠であると考えられた。
3) ミバエの飛翔メカニズムで見られるような「失速遅れ」現象を確認することができた。このことは、スカーリング動作時の揚力の貢献が大きい可能性を示唆するものである。
4) 水平測定面および垂直測定面において、それぞれ回転方向が相違な渦対を確認することができた。これは、泳者がスカーリング時に渦輪を形成していたものと考えられる。
5) 流れ場の解析により手部によって発揮された運動量を算出することで、被験者のストロークによる運動量変化の定量化を試みた。その結果、運動量がほぼ規則的な変化を示したこと、流れ場の現象変化と深く関係を示したことから、将来的に期待することのできる推進力評価法で

あると考えられる。また、ストローク運動により泳者が形成した渦対によって発生するジェット流理論による予測値と実測値との比較では、ほぼ同様の値を示すことができた。これは、スカーリング時に渦輪を形成していたという考えを支持するものであり、今後泳者の推進力評価につながるものになると示唆される。

b. クロール泳者の手の動作分析と PIV 計測法による流れ場の可視化[27]

（日本機械学会論文集(B 編), 73(734):2027-2032, 2007）

近代四泳法で最も高速度で泳ぐことができるクロール泳時の手部周りの流れ場の可視化解析を行い、水泳熟練者（日本代表選手を含む）と非熟練者(水泳初心者)の比較を行うことでクロール泳時の推力発揮のメカニズムを検討していくことを目的とした。泳者のクロール泳プル動作における、インスイープ～アウトスイープの変換点に着目し、スカーリング動作時に確認された知見を基に、クロール泳時の流れ場についても考察を行った。

その結果および考察を以下に示す(Figure 18)。

1) 水泳熟練者のクロール泳プル動作時の手の軌跡は直線的な S 字もしくは大きな S 字を描いており、測定平面上でインスイープからアウトスイープへの移行時に手の角度と移動方向を変化させることにより、手部の周りの流れ(循環)を反転させて大きな渦対を放出し、渦対間に流れ方向へのジェット流を発生させていた。
2) 水泳非熟練者のプル動作時の手の奇跡は、手の角度もほとんど変化せずに直線的であった。手部周りには、熟練者のようなきれいな渦対の放出ではなく細かく整っていない渦が発生しており、効率よく水に力が伝わっていないことが示唆された。
3) ストローク時の流れ場における運動量の算出を行った結果、熟練者のストローク時には大きな運動量を産み出していることがわかった。その運動量は、流れ場の渦の有無によって大きく変化するため、熟練者のように大きな渦を発生させることで大きな運動量を産み出し、その反力として効率よく推進していることが示唆される。

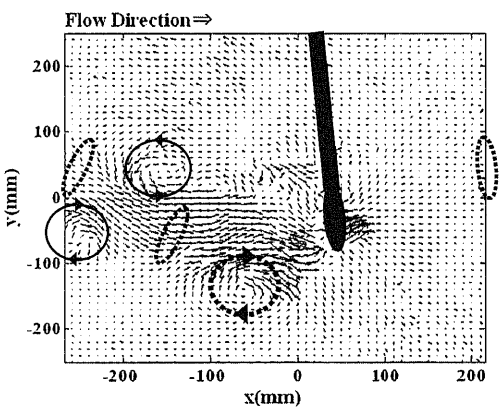


Figure 18. Example of velocity vectors at the measurement plane of a front crawl swimmer's hand. Black ellipsoid indicates the position of the hand. Black rectangle showed the shadow of the hand on the laser light. The dashed ellipsoids also indicate the position of the hand before/after a short instant. Circles with the arrow indicate the rotational direction of the vortices.

このようにクロール泳時においても、手部によって水に力を伝え、渦を作り出すことによって効率よく力を得ることで、ヒトは推進していると考えられる。しかしながら、実際の流れ場は 3 次元的な変動をするものであり、今後はこの非定常な流れ場を 3 次元的に解析していくことで、より詳細な推進メカニズムに言及することができ、さらには競泳のトップアスリートのパフォーマンス評価およびトレーニングの一助となることが期待できるものである。

本研究ではスカーリング動作時およびクロール泳時の手部周りの流れ場解析を行い、その推進メカニズムを解明しようと試みた。本研究において用いた PIV 計測法により定量化された値は、泳者が発揮する非定常性を考慮した推進力評価法の新たな第一歩となった。しかし、実際のヒト水泳時の流れ場は 3 次元的に複雑に変動しているものであり、2 次元の PIV システムではその定性的な部分は示されたが、まだ課題が残る。本研究で示唆されたことは、推進メカニズム解明の第一歩にすぎず、今後更に課題をクリアしていくことで泳者が発揮する非定常流体力を評価し、コーチング現場へさらにフィードバックすることが可能となる。

デイサービス施設を利用した水中運動処方[28, 29, 30]

（Quality of Life Research 2007;16:1577-1585; 体力科学 2007;56(1):141-148; Disability and Rehabilitation 2008）

超高齢社会を進行する我が国において、日常生活動作において介助の必要な高齢者(虚弱高齢者)の増加とともに、虚弱高齢者の生活機能などQoLを改善するリハビリテーションや運動プログラムの提案が求められている。しかし、運動能力が低い虚弱高齢者においては、運動プログラムや運動頻度、運動強度に対して注意を払う必要があるといわれており、運動が虚弱高齢者の生活機能やQoLに及ぼす影響を検討した研究は少ないのが現状である。

水中では、水の特性を用いることによって安全な状態で運動することが可能であることから、陸上では自立した状態では行えない歩行や移乗などの日常生活動作訓練を実施することができるため、日常生活動作を含む水中運動は生活機能改善に有用であると考えられる。しかしながら、虚弱高齢者に対する水中運動処方について詳細な検討はなされておらず、通所介護施設において水中運動処方を導入するためには、水中運動のプログラム、運動頻度、運動期間が、虚弱高齢者のADL dependenceを含む生活機能やQoLへ及ぼす影響を検討することが必要である。

本研究では、通所介護施設における水中運動処方確立のために、通所介護を利用している虚弱高齢者を対象として、水中運動がADL dependence、下肢筋力といった生活機能やQoLに及ぼす影響を明らかにし、プログラムの違いによる影響の相違について検討した。また、短期間、長期間の水中運動における運動頻度が生活機能に及ぼす影響について検討した。以下に、本研究から得られた水中運動処方に関する主な知見をまとめた。

(1) 通所介護施設におけるADL exerciseを含む水中運動は軽度虚弱高齢者の生活機能を改善する。
(2) 通所介護施設における水中運動による生活機能の改善は、週1回であれば6ヶ月間、週2回であれば3ヶ月間の介入で可能である。
(3) 通所介護施設において1年間、水中運動を継続することによって運動頻度に関らず改善した生活機能を維持する。
(4) 通所介護施設において2年間、週2回の水中運動を継続することによって改善した生活機能を維持する。
(5) 通所介護施設における水中運動による生活機能の改善や高い出席率によってSF-36から見たQoLが改善する。

これらの結果から、通所介護施設における水中運動が虚弱高齢者の生活機能改善に対して有効であることが示された。また、週2回の水中運動を実施することによって、生活機能の急激な改善が可能であり、長期間その改善を維持することができることが明らかになった(Figure 19)。

8. おわりに

以上、筑波大学での広義の「水泳」についての研究の過去・現在・未来を紹介したが、これらの研究成果はまだ入り口に過ぎない。トレーニング科学については、コンピュータサイエンスを選手のトレーニング管理へ緻密に運用することが必要とされるだろう。

“コーチングに王道はない” は今後も生き続けるであろう。

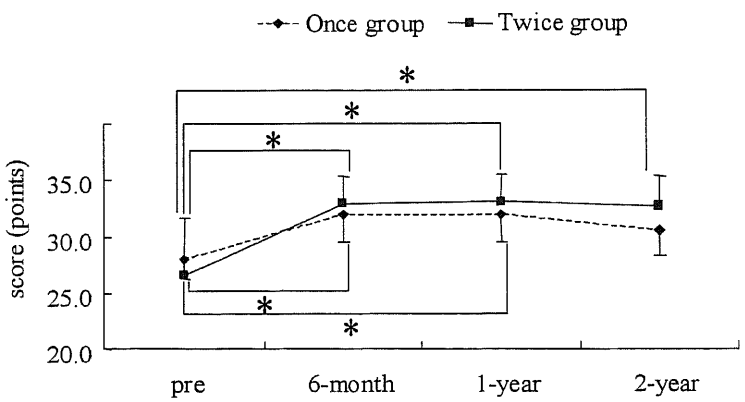


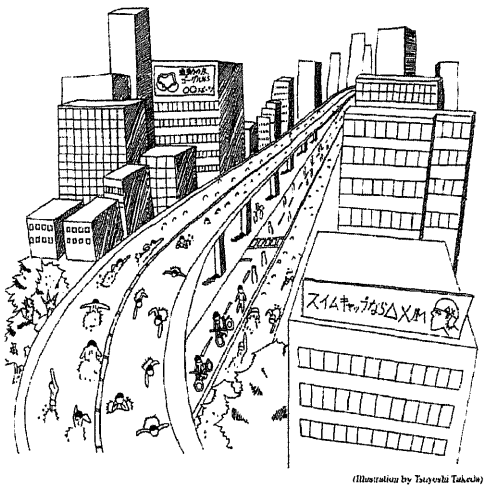
Figure 19. Functional mobility score at pre, 6-month, 1-year, 2-year

科学における知見はコーチングの一助にしかならない。コーチは最近の科学的知見に敏感であり、それを自分の環境に合ったコーチングスタイルにどのように組み入れていくかが今後の課題となろう。

一例として、オリンピック選手をつくる最も身近な方法の一つとして、自宅から学校までの水路(2〜4km)を作り、そこを毎日泳いで通う子供がいたならば、その可能性は限りなく近い。また、近年急速に発展している遺伝子科学を利用した選手発掘システムが進展すれば、これも可能性が高い。中高年者の健康問題でも、例えば東京都内の首都高速道路の車を排除し、自転車、ジョギング、泳げる水路にする。そして都内に通勤通学する者は、最寄りのステーションで車から各自の運動スタイルに着替えて会社や学校まで行く。こうすれば運動不足病はすべて解消されると思う(Illustration)。

生涯スポーツと知識の継承ならアスレチッククラブ(スポーツクラブ)を大学内に造り、学生がその会員になり、大学会館(現在は閑散としている)がそのセンターとしての役割を担い、スポーツ施設とそれに付随する施設をサテライトとして利用する。

大学スポーツについても、日本の制度は未発達のように思える。まず、同じ土俵で戦うというシステムが出来ていない。優秀な選手をリクルートするにも、NCAA(全米体育協会)のルールを散見すれば、一目瞭然である。同じルールで戦ってこそ、真のスポーツ・スポーツマンといえる。また、その選手を立派に育てるためには、相当の科学的知見、指導者、システムが必要である。筑波大学的体育・スポーツの先端を走る Institute であったはずである。今後ぜひ再検討をされたい。



(Illustration by Tsuyoshi Takeda)

9．参考文献

1) Nomura T (1977): Cardio-pulmonary characteristics during land and swimming exercise. 人類学雑誌 85(3): 209-218.
2) Nomura T (1978): Maximal oxygen uptake of age group swimmers. 体育学研究 22(5): 301-309.
3) 野村武男, 黒川隆志, 池上晴夫, 鞆田幸徳, 椿本昇三 (1981): 回流水槽を用いた水泳時における最大酸素摂取量測定法の検討—固定負荷法と漸増負荷法の研究—. 筑波大学体育科学系紀要 4: 91-98.
4) Nomura T (1982): The influence of training and age on maxVO2 during swimming in Japanese elite age-group and olympic swimmers. Biomechanics and Medicine in swimming 14: 251-257.
5) Nomura T (1986): Influence of training on alveolar capillary gas exchange. 昭和医学会雑誌 46(3): 365-376.
6) Nomura T, Okura M, Wakabayashi H, Esaki K, Kaneda K (2006): How cardiovascular responses affect tissue oxygenation at rest and during exercise in water? Biomechanics and Medicine in Swimming X: 158-161.
7) 金岡恒治, 野村武男, 萬久博敏, 福林徹, 林浩一郎 (1996): 高所トレーニングにおける血液像の変化—エリスロポエチン値を中心として—. 臨床スポーツ医学 13(1): 55-60.
8) Asano M, Kaneoka K, Nomura T, Asano K, Sone H, Tsurumaru K, Yamashita K, Matsuo K, Suzuki H, Okuda Y (1998): Increase in serum vascular endothelial growth factor levels during altitude training. Acta Physiol Scand 162(4):455-9.
9) 野村武男, 萬久博敏 (1999): 競泳選手の高所トレーニング. 臨床スポーツ医学 16: 549-553.
10) Nomura T, Mankyu H, Ohba M (1999): Repeated altitude training effects on elite swimmers. Biomechanics and Medicine in Swimming VIII: 417-427.
11) Nomura T, Shimoyama Y (2003): The relationship between stroke parameters and physiological

responses at the various swim speed. Biomechanics and Medicine in Swimming IX: 355-360.

12) Shimoyama Y, Mankyu H, Ohba M, Yoshimi J, Nomura T (2002): Changes in interval swimming performance, OBLA speed and 400m swimming performance after eight week swim training. J Training Sci 13(3): 149-156.

13) Shimoyama Y, Tomikawa M, Nomura T (2003): The effect of rest periods on energy system contribution during interval swimming. European Journal of Sports Science 3(1): 1-11.

14) Ichikawa H, Ohgi Y, Miyaji C, Nomura T (2006) Estimation of arm joint angular displacements in front crawl swimming using accelerometer. Biomechanics and Medicine in Swimming X: 223-225.

15) 杉本誠二, 中島求, 市川浩, 三輪飛寛, 武田剛, 野村武男 (2008) シミュレーション解析による水中ドルフィンキック時の足関節底屈角度の増加がパフォーマンス に与える影響. 体育学研究. (印刷中)

16) 杉本誠二, 中島求, 市川浩, 野村武男 (2008): 水中ドルフィンキックの推進力と関 節トルクのシミュレーション解析. バイオメカニズム研究. (印刷中)

17) 武田剛, 市川浩, 杉本誠二, 野村武男 (2006): 競泳スタートにおける跳び出し角度の変化が跳び出し速度, 飛距離とブロックタイムに与える影響. 体育学研究 51(4): 515-524.

18) 武田剛, 市川浩, 杉本誠二, 三輪飛寛, 椿本昇三, 野村武男 (2007): 競泳グラブスタートの跳び出し角度に影響を与える動力学的要因. バイオメカニクス研究 11(3): 183-197.

19) 仙石泰雄, 野村武男 (2008): コンピュータ水泳学習支援プログラムが子どもの学習動機と学習方略に与える影響. 体育学研究 52(2): 161-171.

20) 若林斉, 新井清司, 仙石泰雄, 金田晃一, 野村武男 (2008): 小学校水泳授業における児童の保温水着着用の有効性：寒冷感および形成的授業評価への影響を中心に. 体育学研究 52(2): 201-213.

21) 野村武男 (1986): 水泳とポジティブヘルス, Swimming Exercise and Positive Health. Health Sciences 2(4): 36-43.

22) 菅野篤子, 野村武男 (1998): 中高年における腰痛者を対象とした短期的な水中運動の身体的および心理的効果. いばらき健康・スポーツ科学 16: 19-26.

23) 菅野篤子, 野村武男 (2000): 一過性の水中運動と陸上運動の実施が疼痛, 状態不安および唾液中コルチゾール濃度に及ぼす影響—慢性腰痛者を対象に—. 体力科学 49: 581-588.

24) Kaneda K, Wakabayashi H, Sato D, Uekusa T, Nomura T (2008): Lower extremity muscle activity during deep-water running on self-determined pace. J Electromyogr Kinesiol (Epub ahead of print).

25) Kaneda K, Sato D, Wakabayashi H, Hanai A, Nomura T (2008): A comparison of the effects of different water exercise programs on balance ability in elderly people. Journal of Aging and Physical Activity (in press).

26) Kamata E, Miwa T, Matsuuchi K, Shintani H, Nomura T. (2006). Analysis of sculling propulsion mechanism using two-components particle image velocimetry. Biomechanics and Medicine in Swimming X: 50-52.

27) 松内一雄, 山田圭一, 野村武男, 榊原潤, 新谷治樹, 三輪飛寛 (2007): クロール泳者の手の動作分析と PIV 計測法による流れ場の可視化. 日本機械学会論文集 (B編) 73(734): 2027-2032.

28) Sato D, Kaneda K, Wakabayashi H, Nomura T (2007): The water exercise improves health-related quality of life of frail elderly people at day service facility. Quality of Life Research 16: 1577-1585.

29) 佐藤大輔, 金田晃一, 若林斉, 野村武男 (2007): 異なる運動頻度の水中運動が要介護認定者の起居・移乗移動動作に及ぼす影響. 体力科学 56(1): 141-148.

30) Sato D, Kaneda K, Wakabayashi H, Nomura T (2008): Comparison two-year effects of once-weekly and twice-weekly water exercise on health-related quality of life of community-dwelling frail elderly people at a day-service facility. Disability and Rehabilitation (in press).