

小学生スイマーの Tethered Swimming 時牽引力の測定の意義

— 形態および簡易体力テスト結果からの多変量重回帰モデルの構築 —

Significance on the Measurement of the Force in the Tethered Swimming for the Primary School Swimmer

— Multiple regression model making using the physical elements and fitness tests —

塩野谷 明・伊藤 巨志・渋谷 崇行・小泉 昌幸・大庭 昌昭

Akira SHIONOYA, Kiyoshi ITO, Takayuki SHIBUKURA, Masayuki KOIZUMI, Masaaki OHBA

1. はじめに

1964年の東京オリンピック後に誕生したスポーツ少年団組織は、年を追うごとに活性化され、その数は全国数十万を超える組織となり、社会スポーツの発展に大きく寄与している。しかし反面、過剰な競技スポーツの低年齢化といった負の功罪も指摘される。こういった点を解決するためには、発育発達に応じた適切なスポーツ活動をバイオメカニクス、生理・心理学的観点から確立していく必要がある。

本研究で取り上げる競泳競技も開始年齢の低年齢化が進み、各種学童大会も行われるようになってきている。また、他競技に先駆け医科学的なサポートの享受が積極的に行われている。これまで筆者らは、運動負荷装置であるエルゴメータにアタッチメントドラムを装着し、張力計とステップモータ（または光センサー）を組み合わせて、前方への移動を伴う負荷牽引水泳（Semi-tethered Swimming：以下STS）時パワーの測定を行うエルゴメータ・アタッチメントを開発した⁴⁾。さらに同システムを改良し、前方への移動を伴わない負荷牽引水泳（Tethered Swimming：以下TS）時牽引力の測定を行ってきた⁷⁾。そして、STS時パワーやTS時牽引力は競技パフォーマンスとの相関関係が認められることを報告してきた^{1) 2) 7)}。さらに、高校生を含んだ成人を対象として競泳選

手の形態や体力テストからパワーや牽引力を推定する多変量重回帰モデルを構築している⁷⁾。

これらは高校生上の成人選手の強化に多大な貢献を齎しているが、小学生のような低年齢の選手に対しての有効性や前述の過剰な競技スポーツの低年齢化問題を踏まえた研究はあまり行われていない。

そこで本研究では、小学生スイマーを対象に競技パフォーマンスとの相関関係を報告したTS時牽引力の測定を行い、合せて形態や簡易体力テストを実施、TS牽引力との相関関係について検討するとともに、TS牽引力を推定する多変量重回帰モデルを構築することで、小学生スイマーの発育発達を考慮した強化支援を目的とする。

2. 方法

被験者は、新潟県水泳連盟公認新潟県プリント選手権大会に出場した選手中、小学生を被験対象とした。同大会は長水路（50m プール）を用いた50m各種目で争われ、被験者にはその選手権大会当日のウォーミングアップ時にTS時牽引力の測定を行った。図1に、測定システムの概要を示す。測定システムはイマダ社製フォースゲージDPX-50T（最大荷重490N：50kgf）からの出力信号をPCに取り込み、運動解析システムWAAP-WINによって解析す

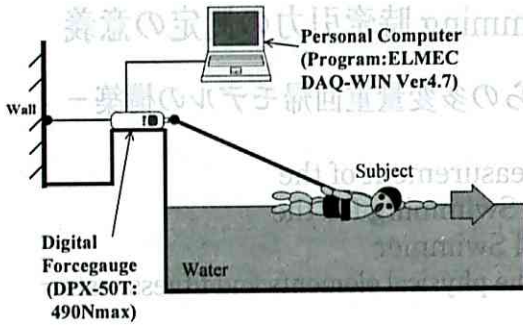


図1：TS時牽引力計測の概要

るシステムとなっている。しかし今回の測定は大会当日の測定であることから、測定者数を考慮しフォースゲージのパネルに表示される最大値を記録することで対応した。

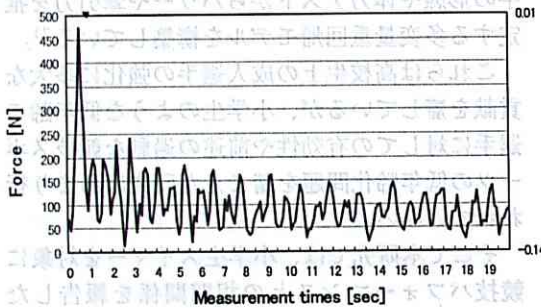


図2：TS時牽引力の時系列変化

被験者には、本大会にエントリーした種目でTSを行うことを指示したが、本研究の対象はその中のクロールとした。測定時間は1人概ね10秒程度であった。被験者には牽引用ワイヤー

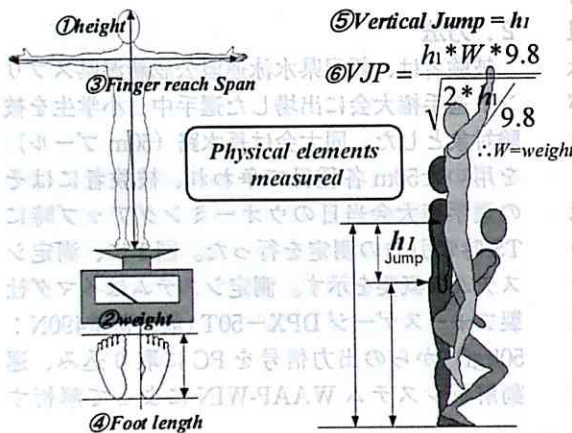


図3：形態・簡易体力テスト項目

を腰に巻き、伏し浮きの状態からスタートの合図で徐々に牽引力を上げていくことを指示した。開始の合図後、いきなり最大努力でTSを行うとプール床を蹴る動作が入ったり、急激にワイヤーに張力が加わる等で急激な荷重変化が検出されてしまう(図2参照)。これを防ぐために、上記の指示が与えられた。

また被験者からはTS測定と並行し、形態・簡易体力テストとして身長、体重、指極、足長、垂直跳びを計測した。また、垂直跳びについては、図3に示すように跳躍高から以下の式で簡易パワー(VJP)に変換した。

$$VJP = \frac{h_1 * W * 9.8}{\sqrt{2 * h_1} / 9.8}$$

(但し、 h_1 は垂直跳高、 W は体重)
測定されたTS時牽引力および形態・簡易体力テスト結果は性別別に平均値を算出するとともに、TS時牽引力と形態・簡易体力テストの相関マトリックスを作成した。さらに、この相関マトリックスの基づき、TS時牽引力を形態・簡易体力テストから推定する多変量重回帰モデルを構築した。なお、統計解析は統計ソフトSPSSを用いて行った。

3. 結果および考察

表1は、被験者のTS時牽引力および形態・簡易体力テストの平均値を示している。被験者数は男子52名、女子は91名で、平均年齢は男子10.78歳(SD=0.94)、女子は10.69歳(SD=0.96)であった。男子TS時牽引力は平均12.00W(SD=2.48)、平均身長は144.39cm(SD=8.76)、平均垂直跳びパワーは472.43W(SD=98.44)であった。他の男子の項目については、表を参照する。女子TS時牽引力は平均10.69W(SD=3.46)、平均身長は145.27cm(SD=8.07)、平均垂直跳びパワーは440.26W(SD=96.90)であった。他の女子の項目についても、表を参照する。

表2は、被験者のTS時牽引力と形態・簡易体力テストの相関関係を示している。

表 1 : 選手の TS 牽引力および形態・簡易体力テスト結果

(数値上段は平均値、下段は偏差)

性別 (被験者数)	TS 牽引力 (kg)	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	指極 (cm)	足長 (cm)	垂直跳び (cm)	垂直跳び パワー (W)
男子 (52)	12.00 2.48	10.78 0.94	144.27 8.07	36.56 7.34	147.02 10.08	23.57 1.31	35.84 5.55	472.43 98.44
女子 (91)	10.64 3.46	10.69 0.96	145.27 8.07	35.85 7.07	148.75 9.19	22.96 0.94	32.27 5.91	440.26 96.90

表 2 : TS と形態・簡易体力テストの相関関係

性別	TS vs 身長	TS vs 体重	TS vs 指極	TS vs 足長	TS vs 垂直跳び	TS vs 垂直跳びパワー
男子	0.578 ***	0.479 ***	0.595 ***	0.620 ***	0.294 *	0.588 ***
女子	0.519 ***	0.546 ***	0.444 ***	0.318 ***	0.152 *	0.544 ***

*** : $p < 0.001$ 、** : $p < 0.01$ 、* : $p < 0.05$ 水準で有意

男子、女子とも TS 時牽引力と形態・簡易体力テストは、有意に高い相関関係が得られた。男子において、相関係数が 0.5 以上の項目は身長 (0.578)、指極 (0.595)、足長 (0.620)、垂直跳びパワー (0.588) の 4 項目であった。また女子においては、身長 (0.546)、体重 (0.546)、垂直跳びパワー (0.544) の 3 項目であった。また、男女とも TS 時牽引力と形態・簡易体力テストの相関関係はすべて正の相関関係であった。

これらの相関関係に基づいて、形態・簡易体力テスト項目から TS 時牽引力を推定する多変量重回帰モデルを構築した。男子では、

$$\text{TS 時牽引力} = 0.160 \times F1 + 0.444 \times F2 - 0.028 \times F3 - 0.557 \times F4 + 0.209 \times F5 - 0.020 \times F6 - 9.181$$

であった ($r = 0.583$ 。但し、F1 : 身長 (cm)、F2 : 体重 (kg)、F3 : 指極 (cm)、F4 : 足長 (cm)、F5 : 垂直跳び (cm)、F6 : 垂直跳びパワー)。

しかし指極、足長は、TS 時牽引力との単相関関係とは逆の符号となり矛盾が生じるモデルとなった。そこで因子選択を行い、TS 時牽引

力との単相関関係と整合性の取れたモデル構築を行った。本研究では、3 因子 (項目) モデルについてまとめた。表 3 にそれを示す。最も高い相関係数が認められたモデルは、

$$\text{TS 時牽引力} = 0.061 \times \text{体重} + 0.915 \times \text{足長} + 0.145 \times \text{垂直跳び} - 23.587$$

であった ($r = 0.721$)。また女子の場合は、

$$\text{TS 時牽引力} = -0.055 \times F1 - 0.057 \times F2 + 0.125 \times F3 + 1.122 \times F4 + 0.155 \times F5 - 0.005 \times F6 - 27.406$$

が得られた ($r = 0.734$)。しかし男子同様に、身長、体重、垂直跳びで TS 時牽引力との単相関関係とは逆の符号となり矛盾が生じるモデルとなった。そこで因子選択を行い、TS 時牽引力との単相関関係と整合性の取れたモデル構築を行った。男子同様に、3 因子 (項目) モデルについて表 4 にまとめた。最も高い相関係数が認められたモデルは、

$$\text{TS 時牽引力} = 0.046 \times F2 + 0.046 \times F3 + 0.008 \times F6 - 5.347$$

表3：男子 TS 時牽引力推定多変量重回帰モデルの一例（3要素モデル）

TS 時牽引力① = $0.061 \times F1 + 0.915 \times F4 + 0.145 \times F5 - 23.587$ ($r = 0.721$) TS 時牽引力② = $1.138 \times F4 + 0.001 \times F5 + 0.142 \times F6 - 20.595$ ($r = 0.707$) TS 時牽引力③ = $0.048 \times F1 + 0.635 \times F4 + 0.006 \times F6 - 12.507$ ($r = 0.660$)

F1：身長 (cm)、F2：体重 (kg)、F3：指極 (cm)、F4：足長 (cm)、
F5：垂直跳び (cm)、F6：垂直跳びパワー

表4：女子 TS 時牽引力推定多変量重回帰モデルの一例（3要素モデル）

TS 時牽引力① = $0.048 \times F1 + 0.635 \times F4 + 0.006 \times F6 - 12.507$ ($r = 0.660$) TS 時牽引力② = $0.117 \times F1 + 0.099 \times F5 + 0.006 \times F6 - 11.045$ ($r = 0.658$) TS 時牽引力③ = $0.046 \times F1 + 0.046 \times F4 + 0.008 \times F6 - 5.347$ ($r = 0.629$)
--

F1：身長 (cm)、F2：体重 (kg)、F3：指極 (cm)、F4：足長 (cm)、
F5：垂直跳び (cm)、F6：垂直跳びパワー

であった ($r = 0.629$)。

TS 時牽引力および STS 時パワーは、競技パフォーマンスとの間に相関関係のあることが報告される^{1) 2) 7)}。すなわち、選手強化において非常に重要な指標となる。そこで塩野谷は高校生以上の一般競技選手を対象に、STS 時パワーを身長、体重、指極、足長、垂直跳び、垂直跳びパワーといった形態・簡易体力テストから推定する多変量重回帰モデルを構築した⁷⁾。また、TS 時牽引力と STS 時パワーの間の相関関係についても報告している⁷⁾ ことから、TS 時牽引力も STS 時パワー同様に形態・簡易体力テストから推定することは可能と考えられる。反面、既に発育発達段階を過ぎた高校生とは異なり、今回対象とした低年齢の小中学生では依然として発育発達段階にあるため、形態と体力には有意な相関関係は認められないことも多いと考えられ、身体的要素だけから TS 時牽引力を推定することはむずかしい可能性も考えられた。

しかし、今回の結果は発育発達段階にある小中学生においても、身体的要素から体力的要素である TS 時推進力を推定することが示唆される結果であった。前述のように、TS 時推進力は小中学生において競技パフォーマンスとの間に有意な相関関係が報告されることから、この時期の選手の強化においても有用な指標となり、それを身体的要素から推定する本手法は同じくこの時期の選手の強化においても有用な手段になることが示唆される。

塩野谷は、中・高校生の一流ジュニアアルペ

ンスキー選手の身体的要素から、競技パフォーマンスと相関関係のある最大無酸素性パワーを推定する多変量重回帰モデルを構築した^{3) 4)}。これらのモデルは、最大無酸素性パワーを測定できる環境にない選手のパワーも推定できることから、その選手のパフォーマンスを知る一助となり、また一流選手との比較も容易に可能とすることから選手強化に多大な貢献を果たした。また、競泳選手においても中・高校生以上を対象に STS 時パワーを推定する同様のモデルを構築しているが、これも今後選手強化に多大な貢献を齎すものと考えられる。

これまで提供されたこれらのモデルは、男女で明らかに異なった推定モデルが提供されていた。しかし今回対象とした小学生の競泳選手の場合は、各身体的要素の平均値をみてもわかるように、提供されたモデルには男女に大きな差のないものであると予想される。これは、この時期の男女は身体的に大きな差がないというもので、強化という観点から中学生以上とは異なる配慮が必要になるものと考えられる。

今後の課題として、この時期の男女の身体的要素の類似性を推定モデルに当てはめて定量的に証明することを行っていく。

4. まとめ

本研究を以下のようにまとめる。

- 1) 小学生競泳選手を対象に TS 時牽引力を測定し、同時に形態・簡易体力テストを行い、身体的要素から TS 時牽引力を推

定する多変量重回帰モデルを構築した。

- 2) 男子において TS 時牽引力と有意に高い相関関係のあるモデルとしては TS 時牽引力 $=0.061 \times \text{体重} + 0.915 \times \text{足長} + 0.145 \times \text{垂直跳び} - 23.587$ で、相関係数 $r = 0.721$ であった。
- 3) 女子において TS 時牽引力と有意に高い相関関係のあるモデルとしては TS 時牽引力 $=0.046 \times F_2 + 0.046 \times F_3 + 0.008 \times F_6 - 5.347$ で、相関係数 $r = 0.629$ であった。
- 4) こういったモデルは今後競泳選手の強化に有効な手段になると考えられるが、今回得られたモデルからは男女差が認められず、依然として発育発達段階にある小学生の強化には中学生以上とは異なった配慮が必要になるものと考えられた。

以上である。

swimming and power measurement in semi-tethered swimming. The Impact Technology on Sport. Vol. 1, pp367-372, 2005.

参考文献

- 1) 森谷暢、高橋雄介：競泳選手の競技力向上を目的とした Semi-tethered swimming の活用。トレーニング科学、Vol. 7 (2)、pp85-96、1995.
- 2) 森谷暢、高橋雄介：semi-tethered swimming 時の外的負荷が泳者の主観的な達成度に及ぼす影響。トレーニング科学、Vol. 10(1)、pp 9-22、1998.
- 3) 塩野谷明：一地域レベルにおける Jr アルペンスキー選手強化支援方策の一試案—最大無酸素性パワー推定法の開発—。トレーニング科学、Vol. 4 (1)、pp 1-7、1992.
- 4) 塩野谷明：一地域レベルにおける Jr アルペンスキー選手強化支援方策の一試案—男子強化選手の形態および簡易運動能力からの乳酸性能力の推定—。トレーニング科学、Vol. 4 (2)、pp161-168、1992.
- 5) Akira Shionoya: Development of ergometer attachment for power and maximum anaerobic power measurement in swimming. Applied Human Sci. Vol. 18 (1)、pp13-21、1999.
- 6) 塩野谷明、渋谷崇行、大庭昌昭：エルゴメータアタッチメントを用いた Semi-tethered swimming 時パワーの同時多計測。トレーニング科学、Vol. 11 (3)、pp77-90、2000.
- 7) Akira Shionoya: Force measurement in tethered