

小学校水泳授業における保温水着着用の基準設定 —環境条件および身体特性を考慮して—

九州大学 若林 斉
(共同研究者) つくば市立荃崎中学校 新井 清司
平成国際大学 仙石 泰雄
筑波大学 金田 晃一
同 野村 武男

Evaluation of Standard Condition for Wearing Thermal Swimsuit during Elementary School Swimming Class -Multiple Effects of Environmental and Physical Characteristics-

by

Hitoshi Wakabayashi

Faculty of Design, Kyushu University

Seiji Arai

Kukizaki Junior High School

Yasuo Sengoku

Research Institute of Sports Science, Heisei International University

Koichi Kaneda, Takeo Nomura

Institute of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba

ABSTRACT

In this study, we have investigated the multiple effects of the environmental condition, physical characteristics, and swimwear condition on children's thermal sensation (*TS*) during elementary school swimming class, and evaluated the standard condition for wearing thermal swimsuit. Sixth-grade elementary school children ($n=68$) participated in

a swimming class 8 times. Multiple regression analysis was performed to make estimation equation of *TS*. The following two regression equations were developed. The equations contain 3 predictors of water temperature (*Tw*), swimwear condition (*Suit*), and physical characteristics (surface area per body weight: *SA/BW* or *BMI*). ($TS = 0.58Tw + 1.21Suit - 126.2SA/BW - 11.3$, $TS = 0.58Tw + 1.21Suit + 0.139BMI - 17.8$). The thermally comfortable area was indicated by the estimated equations. Based on these equations, we suggested functional equations expressed by *Tw* and physical characteristics for wearing thermal swimsuit ($Tw = 217.3SA/BW + 18.6$, $Tw = -0.24BMI + 29.9$).

要 旨

本研究は、小学校水泳授業における児童の温冷感を、環境条件・身体特性・水着条件の複合的な影響を考慮して評価し、温冷感に基づく保温水着着用の基準条件を示すことを目的とした。小学校高学年児童68名を対象に8回の水泳授業を行い、温冷感 (*TS*) を従属変数とし、環境条件、身体特性、水着条件の3要因を独立変数として重回帰分析を行った。その結果、水温 (*Tw*)、水着条件 (*Suit*) および身体特性 (体表面積/体重: *SA/BW* または *BMI*) を説明変数とする2つの重回帰式 (温冷感予測式) が得られた ($TS = 0.58Tw + 1.21Suit - 126.2SA/BW - 11.3$, $TS = 0.58Tw + 1.21Suit + 0.139BMI - 17.8$)。温冷感予測式を基に水泳授業時の温熱的快適範囲を示した。また、保温水着着用基準として身体特性と水温の関係式を示した ($Tw = 217.3SA/BW + 18.6$, $Tw = -0.24BMI + 29.9$)。

緒 言

水の熱伝導率は空気の約25倍あり、低水温環境において運動を行うことで身体からの放熱量は増加することが報告されている⁷⁾。特に子供は、成人よりも体表面積/体重が大きいため低水温環境下で熱放散が促進されやすく¹⁰⁾、また、子供は特に体幹部での皮下脂肪厚が成人に比べて薄い⁶⁾、脂肪組織による熱遮断能も低く、体温を

奪われやすい。

低水温環境下において行われる小学校水泳授業時の至適環境条件の目安として、水温と気温の和が50℃以上とする経験則が用いられているが⁹⁾、客観的な評価が行われず、低水温環境や身体特性の個人差への対策が示されていないなどの問題が指摘されている⁵⁾。これまでにわれわれの研究グループでは、低水温や個人差への対策として、小学校高学年児童を対象に保温水着着用の効果を検討してきた。水温23℃における水中脚ペダリング運動時に、保温水着着用による熱遮断能の増加や深部体温維持、震えの軽減などの効果を明らかにし、また、体脂肪率の低い児童ほど深部体温の低下が大きく、保温水着着用の必要性が高いことを報告した¹³⁾。さらに、小学校水泳授業における研究から、寒冷日において保温水着着用により寒冷感を抑え、高い学習意欲を示したのに対し、温暖日には非着用群との差が見られなかったことから、環境条件と保温水着着用の効果に関連性があることが示唆された¹¹⁾。保温水着着用による温熱効果を評価するには、環境条件や身体特性の複合的な影響を考慮した検討が必要と考えられ、教育現場に保温水着を導入する上で、保温水着着用の基準となる環境条件および身体特性の目安を示す必要性は高い。

本研究では、小学校水泳授業における児童の温冷感を、環境条件・身体特性・水着条件の複合的

な影響を考慮して評価し、温冷感に基づく保温水着着用の基準条件を示すことを目的とした。

1. 方法

1.1 対象者

小学校6年生児童68名（男子39名，女子29名）を本研究の対象とした。研究の遂行に際して，協力小学校長および担任教諭に対して書面および口頭にてインフォームドコンセントを行い，了解を得た上で，児童および保護者に対しても研究に関する案内を書面にて行った。

対象者の身体的特性について水泳授業期間中に身長，体重，および皮下脂肪厚の測定を行った。身長（H, m），体重（BW, kg）からBody mass index（ $BMI = BW/H^2$ ）を算出し，また，藤本ら³⁾の式を用いて体表面積（SA, m^2 ）を推定した（ $SA = 0.008883 \times BW^{0.444} \times H^{0.663}$ ）。さらに，体表面積/体重（SA/BW）を算出した。皮下脂肪厚の測定は上腕三頭筋部および肩甲骨下角部において栄研式キャリパー（Eiyoken-type, 明興社製）を用いて測定し，平均皮脂厚（MSFT）を求めた。

1.2 研究スケジュール

6月中旬から7月中旬にかけて8回の水泳授業を行った。1回の水泳授業時間は70分間で，そのうち水浸時間は約50分間であった。授業の内容は，準備体操・シャワー10分，入水・水慣れ15分間の後，泳力に合わせた初，中，上級の3グループに分かれて約35分間の泳法指導を中心に行われた。各授業日の平均の主観的運動強度（RPE）^{1,8)}は比較的楽であるレベルの10.1～11.8であった。

1.3 水着条件

水着条件は普通水着（NSS）または保温水着（TSS）を着用した。授業日によって，児童の半数がTSSを着用する日と，全児童がNSSを着用

する日を設定した。本研究で使用したTSS（JCW-2410，ジパソン社製）は，クロロプレン素材の両面にナイロン素材を貼り合わせた厚さ2.0 mmの生地からなり，形状はワンピースハーフスリーブタイプで，体幹部および四肢近位部を覆う形状であった（図1）^{11,13)}。



図1 Thermal swimsuit used in this study

1.4 測定項目

屋外プールにおける水泳授業時の環境条件として水温（ T_w ），気温（ T_a ），湿球黒球温度（WBGT），相対湿度を暑熱環境計（WBGT-100, 京都電子）を用いて経時的に測定した。

毎回の授業後に，児童の温冷感（TS）を7段階尺度（-3 = 寒い～+3 = 暑い）を用いて質問紙により調査した。

1.5 統計処理

延べ443人のデータを用いて，各変数間においてPearsonの相関分析を行った。また，TSを従属変数とし，環境条件（ T_w , T_a , WBGT），身体特性（BMI, SA/BW, MSFT），水着条件（Suit）の3要因を独立変数として重回帰分析を行った。SuitはNSSを「0」，TSSを「1」とするダミー変数を用いて分析した。統計処理における有意水準

表1 Children's physical characteristics

	Age (year)	Height (cm)	BW (kg)	BMI (kg/m ²)	MSFT (mm)	SA (m ²)	SA/BW (m ² /kg)
Min.	11.2	127.5	24.6	13.4	4.5	0.92	0.027
Max.	12.2	160.5	58.6	22.7	19.8	1.57	0.038
mean	11.7	145.3	36.2	17.1	8.5	1.19	0.033
SD	0.3	6.1	5.8	1.9	3.2	0.11	0.002

は5%未満とした。

2. 結果

児童の身体特性を表1に示した。身体特性に大きな個人差が見られた。

各授業日の環境条件を表2に示した。授業日より環境条件に大きな差が見られた。

表2 Environmental condition through the eight swimming class

	Tw (°C)	Ta (°C)	WBGT (°C)	%RH (%)
Min.	23.5	22.0	20.3	56.5
Max.	28.0	31.6	28.8	78.1
mean	25.5	26.8	24.5	64.8
SD	1.6	3.5	3.0	7.6

表3に各変数間の相関係数を示した。MSFTを除く全ての変数とTSの間に有意な相関関係が見られた ($p < 0.01$)。環境条件 (Tw, Ta, WBGT) の各変数間に高い相関関係が見られ、身体特性 (SA/BW, BMI, MSFT) の各変数間にも高い相関関係が見られた ($p < 0.01$)。

TSを従属変数とする重回帰分析の結果、以下の重回帰式 (温冷感予測式1, 2) が得られた。いずれの予測式も環境条件 (Tw), 水着条件 (Suit), 身体特性 (SA/BWまたはBMI) の3つの

説明変数により構成された。TwおよびSuitの回帰係数は両式において同等であった。

$$TS = 0.58Tw + 1.21Suit - 126.2SA/BW - 11.3 \quad (1)$$

$$TS = 0.58Tw + 1.21Suit + 0.139BMI - 17.8 \quad (2)$$

温冷感予測式 (1), (2) における標準化係数および自由度調整済み重決定係数 (R_{adj}^2) を表4に示した。各説明変数における標準化回帰係数は水温, 水着条件, 身体特性の順に高値を示した。

表4 Standardized regression coefficients of two estimated equations

	Tw	Suit	SA/BW	BMI	R_{adj}^2
equation (1)	0.523	0.341	-0.161	-	0.354
equation (2)	0.521	0.342	-	0.152	0.351

TwおよびSuitの標準化回帰係数は重回帰式において同等で、身体特性に関する標準化回帰係数の絶対値も両式においてほぼ同等であった。また、 R_{adj}^2 も両式において同程度であり、温冷感予測式 (1), (2) の予測能力は同程度であることが示された。

さらに、温冷感予測式 (1) をもとに、 $TS = -0.5, 0, +0.5$ となるSA/BWとTwの関係をNSS (Suit = 0) およびTSS (Suit = 1) の両条件について図2に示した。また、各水着条件において、 $TS = 0$ (neutral) の時に、SA/BWとTwの関係を示す以下の式 (1-1), (1-2) が得られた。

表3 Correlation matrices for each variable

	TS	Tw	Ta	WBGT	Suit	SA/BW	BMI	MSFT
TS	1.00							
Tw	0.47*	1.00						
Ta	0.44*	0.85*	1.00					
WBGT	0.46*	0.86*	1.00*	1.00				
Suit	0.27*	-0.13*	0.02	0.04	1.00			
SA/BW	-0.15*	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		
BMI	0.14*	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.96*	1.00	
MSFT	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.61*	0.65*	1.00

Values are Pearson r coefficients *: $p < 0.01$

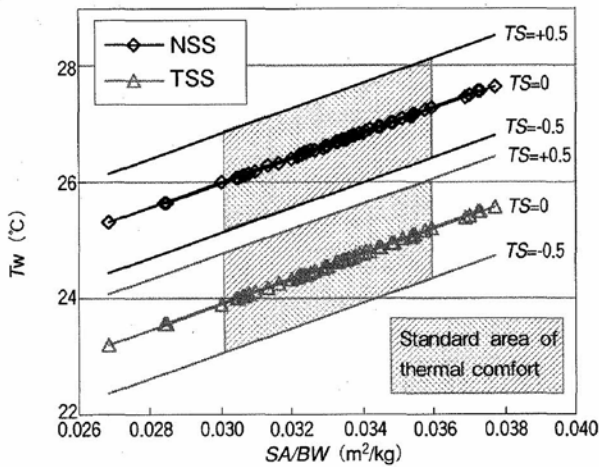


図2 The relationship between SA/BW and Tw at TS = -0.5, 0, +0.5

$$Tw = 217.3SA/BW + 19.5 \text{ (Suit = 0, TS = 0)} \quad (1-1)$$

$$Tw = 217.3SA/BW + 17.4 \text{ (Suit = 1, TS = 0)} \quad (1-2)$$

温冷感予測式 (2) をもとに、TS = -0.5, 0, +0.5 となる BMI と Tw の関係を NSS (Suit = 0) および TSS (Suit = 1) の両条件について図3に示した。

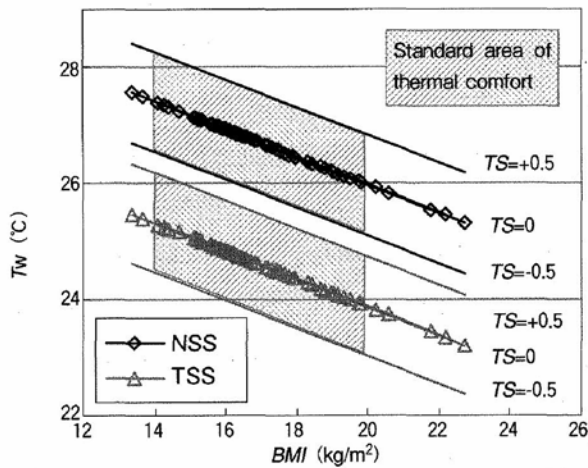


図3 The relationship between BMI and Tw at TS = -0.5, 0, +0.5

また、各水着条件において、TS = 0 (neutral) の時に、BMI と Tw の関係を示す以下の式 (2-1), (2-2) が得られた。

$$Tw = -0.24BMI + 30.8 \text{ (Suit = 0, TS = 0)} \quad (2-1)$$

$$Tw = -0.24BMI + 28.7 \text{ (Suit = 1, TS = 0)} \quad (2-2)$$

3. 考 察

3. 1 温冷感予測式

温冷感予測式 (1) (2) の各変数における標準化係数 (表4) の結果から、TS に対する寄与は水温、水着条件、身体特性 (SA/BW または BMI) の順に高いことが示唆された。また、両温冷感予測式における R_{adj}^2 がほぼ同等であったことから、両式の子測能力は同等であり、さらに、Tw と Suit の回帰係数もほぼ同じであることから、身体特性の変数として SA/BW または BMI のどちらを用いても同様の TS が予測されることが示唆された。SA/BW、BMI とともに身長と体重から簡便に算出できる指標であり、小学校水泳授業現場への温冷感予測式の応用も容易と考えられた。

温冷感予測式 (1) (2) において、Suit の回帰係数が 1.21 を示しており、NSS 着用時 (Suit=0) に比べて、TSS 着用時 (Suit=1) に TS が 1.21 高値を示すと考えられた。

SA/BW と Tw の関係式 (1-1), (1-2) において、NSS 条件と TSS 条件の式の定数項に 2.1 の差が見られた。また、BMI と Tw の関係式 (2-1), (2-2) においても同様に、定数項に 2.1 の差が見られた。これらの結果から、同一の身体特性であれば、NSS 条件よりも水温が 2.1℃ 低くても TSS 着用により同等の TS を示すことが示唆された。われわれが成人被験者を対象に 60 分間の水浸安静時に行った検討で、水温 29℃ 環境で NSS を着用した条件と水温 26℃ 環境で TSS を着用した条件で同様の温冷感が示されており¹⁴⁾、TSS 着用は水浸安静時において水温 3℃ 分の温熱効果があることが推察された。また、成人を対象に 30 分間の水中運動を行わせた検討では、低強度運動では TSS 着用により NSS 条件よりも高い深部体温を示したのに対し、中強度運動では差が見られず¹²⁾、運動強度の増加に伴い TSS 着用による温熱効果の影響が小さくなることが示された。これらの先行

研究の結果から、本研究においてRPE = 11程度の水泳運動を行った際にTSS着用により水温2.1℃分に相当する温熱効果が得られたことは、妥当な結果と考えられた。

3. 2 温熱的快適範囲

国際基準ISO7730⁴⁾では、Fanger²⁾の示した予測不満足率(PPD)に基づき、温冷感(7段階尺度)において0(neutral)を中心に±0.5の範囲では90%の人が温熱的に快適と感じると報告している。そこで、温熱的快適範囲を温冷感における「-0.5」から「+0.5」までと設定し、TS=-0.5および+0.5となるSA/BWとTwの関係をFigure 2(TS=-0.5,+0.5)に、BMIとTwの関係をFigure 3(TS=-0.5,+0.5)に、それぞれNSSおよびTSSの両水着条件について示した。TS=-0.5および+0.5の時の回帰直線に挟まれた領域が温熱的快適範囲と考えられる。

さらに、対象児童68名のSA/BWのヒストグラムから、平均値SA/BW = 0.033 m²/kgを中心として対象児童の90%を含む範囲を求めたところ、0.030 m²/kgから0.036 m²/kgの範囲に含まれた。そこで、各水着条件について、温冷感「-0.5」から「+0.5」の範囲で、SA/BWが0.030 m²/kgから0.036 m²/kgとなる範囲を標準温熱的快適範囲と設定し、図2中に斜線部として示した。同様に、BMIについて、14.1 kg/m²から19.8 kg/m²の範囲に対象児童の90%が含まれ、標準温熱的快適範囲を図3中に斜線部として示した。

3. 3 保温水着着用基準

温冷感予測式および温熱的快適範囲から、保温水着着用の基準となる環境条件および身体特性の関係を検討した。NSS条件においてTS = -0.5の時のSA/BWとTwの関係を示した直線(図2)を下回る水温条件である場合、NSS着用時には温熱的快適性を維持できないが、TSS着用時には水温デサントスポーツ科学 Vol. 29

が2.1℃低くても温熱的快適性が維持される。すなわち、以下の関係式(1-3)が保温水着着用の基準となるSA/BWとTwの関係を示しており、児童のSA/BWを代入して求まるTwを授業日の水温が下回る場合をTSS着用による保温対策を講じる目安と考えた。

$$Tw = 217.3SA/BW + 18.6 \quad (Suit=0, TS=-0.5) \quad (1-3)$$

同様に、身体特性の変数としてBMIを用いた場合は、図3のNSS条件におけるTS = -0.5の時のBMIとTwの関係を示した直線が温熱的快適性を維持するための保温水着着用基準と考えられ、以下に関係式(2-3)を示した。

$$Tw = -0.24BMI + 29.9 \quad (Suit=0, TS=-0.5) \quad (2-3)$$

本研究で得られた温冷感予測式および保温水着着用基準は、対象とした水泳授業の環境条件および6年生児童のデータに基づくものであり、類似した条件に対しては一般化して用いることは可能と考えられるが、その他の環境条件や授業条件、対象者に対して適用することには今後さらなる検討が望まれる。

また、本研究において示した保温水着着用基準は、児童の温熱的快適性を維持する温熱的快適範囲を基に設定されており、水泳授業実施可能な下限水温条件を示したものではない。しかしながら、水泳授業時の児童の温冷感と学習意欲との関係性が報告されており¹¹⁾、児童の水泳学習を効率的に進める上での有用な着用基準と考えられる。

4. まとめ

本研究では、延べ443人の小学校6年生児童を対象とし、水泳授業における児童の温冷感と環境条件・水着条件・身体特性との関係を重回帰分析により検討した。その結果、以下の温冷感予測式が得られた。

$$TS = 0.58Tw + 1.21Suit - 126.2SA/BW - 11.3$$

$$TS = 0.58Tw + 1.21Suit + 0.139BMI - 17.8$$

また、温冷感予測式から、児童が温熱的に快適

に水泳授業を行うための、保温水着着用基準を検討した。その結果、以下に示した水温と身体特性との関係式を保温水着着用基準として設定した。

$$Tw = 217.3SA/BW + 18.6$$

$$Tw = -0.24BMI + 29.9$$

謝 辞

本研究は、財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団および21世紀COEプログラムからの助成を受けて行われました。研究助成に対して厚く御礼申し上げます。また、九州大学芸術工学研究院人間工学教室の柘原裕教授には温冷感予測式に基づく保温水着着用基準の評価に関して、環境人間工学の視点から専門的な御指導をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) Borg, G. Perceived exertion: a note on -history- and methods. *Med. Sci. Sports*, 5 (2) : 90-93 (1973)
- 2) Fanger, P.O. Thermal comfort. Danish Technical Press, Copenhagen (1970)
- 3) 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和枝. 日本人の体表面積に関する研究 第18編 三期にまとめた算出式. *日本衛生学雑誌*, 22 (5) : 443-450 (1968)
- 4) ISO7730. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (2005)
- 5) 黒川隆志. プールの水温とからだ. からだの不思議, 1 (5) : 19-24 (2004)
- 6) Martin, A.D., and Ward, R. Body composition. In: Docherty, D. (Ed.) *Measurement in pediatric exercise science. Human Kinetics: British Columbia, Canada*, pp. 87-128 (1996)
- 7) Nadel, E.R., Holmer, I., Bergh, U., Åstrand, P.O., and Stolwijk, J.A.J. Energy exchanges of swimming man. *J. Appl. Physiol.*, 36 (4) : 465-471 (1974)
- 8) 小野寺孝一, 宮下充正. 全身持久性運動における主観的運動強度と客観的運動強度の対応性 - Rating of perceived exertion の観点から - . *体育学研究*, 21 (4) : 191-203 (1976)
- 9) 柴田義晴. 水泳の学習指導を発達段階を通してどう進めるか. *学校体育*, 34 (14) : 53-57 (1981)
- 10) Sloan, R.E.G., and Keatinge, W.R. Cooling rates of young people swimming in cold water. *J. Appl. Physiol.*, 35 (3) : 371-375 (1973)
- 11) 若林斉, 新井清司, 仙石泰雄, 金田晃一, 野村武男. 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) : 201-211 (2007)
- 12) Wakabayashi, H., Kaneda, K., Hanai, A., Yokoyama, S., Nomura, T. Insulation and body temperature changes by wearing a thermal swimsuit during low to moderate intensity water exercise, In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F. and Marques, A. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming X. Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6 (Supl. 2), Porto, pp.179-182 (2006)
- 13) Wakabayashi, H., Kaneda, K., Okura, M., Nomura, T. Insulation and body temperature of prepubescent children wearing a thermal swimsuit during moderate intensity water exercise, *J. Physiol. Anthropol.*, 26 (2) : 179-183 (2007)
- 14) Wakabayashi, H., Kaneda, K., Sato, D., Tochiara, Y., Nomura, T. Effect of non-uniform skin temperature on thermoregulatory response during water immersion, *Proceedings of the 12th International Conference of Environmental Ergonomics, Slovenia*, pp. 332-335 (2007)