

研究報告

運動中の身体感覚へのアプローチ

水中における身体感覚のレビューと熟練者と未熟練者の
水中推進感覚の比較

草薙 健太¹⁾・橋本 泰裕¹⁾・佐藤 大典²⁾・小山 哲¹⁾・山田 憲政¹⁾

Approach of Physical Sensation during Exercise
Review of Physical Sensation Water and Comparison of Water Propulsion Sensation
between Experts and Non-Experts

Kenta KUSANAGI, Yasuhiro HASHIMOTO, Daisuke SATO,
Satoshi KOYAMA, Norimasa YAMADA

I. はじめに

スポーツ動作を円滑に遂行するには、身体各部位の位置や速度・移動距離などを正確に知覚する身体感覚が必要不可欠である。これらの感覚は、身体深部の筋や関節などから得られるために固有受容器感覚と呼ばれてきた(樋口、2004)が、運動中に知覚する身体感覚は筋や関節だけでなく、皮膚感覚なども含むことから、Clark et al (1986)は運動に伴う感覚を総称して運動感覚と呼ぶことが多いと報告している。実際に、熟練したスポーツ選手は動きに伴い生じる莫大な量の運動感覚(時間や空間の感覚、位置感覚や重さの感覚、力発揮の感覚など)を素早く、正確に処理し、スポーツ動作に寄与させていることが知られている。これまでは、目視しない状態で手首を軸にして棒を回旋させる運動によって、瞬時にほぼ正確に棒の長さを知覚することができる(Salomon & Turvey, 1988)など、陸上における運動中の身体感覚については、様々な感覚と動作、パフォーマンスとの関連性が広く明らかにされている。

一方、水中泳運動中における身体感覚については、The science of Swimming (Counsilman, 1968)や競泳のコーチング(宮下、1973)において、水中における身体全体の姿勢や、腕や脚の位置、水をより強く早く押す力覚や水の流れを皮膚感覚で知覚する重要性が示されているにも関わらず、水中環境という、その検討の困難さ故か未だ明らかにされていないことが多い。

そこで、本研究報告においては、これまでに検討されてきた水中における身体感覚についてレビューし、そのレビューを基に行った、競泳熟練者と未熟練者の水中推進感覚の比較について報告する。なお、本研究報告は、海外ジャーナルにアクセプトされた論文データの一部をもとに執筆したことを付記しておく(kusanagi et al, 2017)。

II. 水中における身体感覚のレビューと本研究の目的

これまで、水中における身体感覚の先行研究は、水泳あるいは水中歩行等で、水の抵抗や水温・水圧・浮力といった要因が関節位置感覚、

¹⁾中京大学スポーツ科学部・²⁾中京大学体育学研究科

皮膚感覚、平衡感覚にどのような影響を与えるかについての検討が多くなされている。Bock (1994) や鈴木ら (2006) は、視覚情報の無い条件で、イメージによって一定角度の肘関節屈曲動作を用い、陸上と水中で関節位置覚を調査した結果、水中環境における肘関節屈曲角度は陸上環境と比較し、過度に見積もられたと報告している。これは、水中特有の浮力によって固有感覚受容器である筋紡錘とゴルジ腱器官からの情報が減少した為に屈曲角度の増大が起こったと考えられている (Bock, 1994)。さらに、森井ら (2009) は陸上と水中において表在感覚 (皮膚感覚・痛覚) と関節位置覚について計測を行った結果、水流によって表在感覚の感受性が高まったことを報告している。また、Merom ら (2014) は水中環境での運動が、他の陸上運動と比較して、70歳以上の高齢者の通常歩行時の転倒リスクを33%低下させ平衡感覚を高めたと報告し、水中環境に曝された場合、浮力の影響により首まで浸水すると体重が約10%低下することから、筋や関節への負担を軽減しつつ、水の抵抗が運動時の筋や関節への運動負荷の獲得を容易にした (武藤, 2002) ことが、陸上での平衡感覚を高め、転倒リスクを軽減したと推察される。

また、神経生理学において、水中環境自体が身体感覚を司る脳や神経に与える影響が少しずつ明らかにされている。Sato et al (2011, 2012, 2012) は、水中環境下では、身体全体からの感覚情報を集めるとされる一次体性感覚野および頭頂連合野の活動だけでなく、身体動作の調整を行う補足運動野や身体感覚の情報を最適化する一次運動野の活動が見られことを報告している。さらに、水に浸かるという行為が脳皮質の活動に影響を与え、神経活動を高めると共に、全身水浸状態での表在感覚 (皮膚感覚・触覚) や筋感覚への流水を用いた刺激入力、1次運動野の神経活動を増大させることを報告している (Sato et al, 2014)。

一方で、これらの先行研究は、水中という特異な環境下が、陸上と異なる身体感覚 (関節位置感覚の増大、皮膚感覚の鋭敏さの向上、運動

野の活動を増大) を生起することを明らかにしているものの、水中泳運動中の身体感覚については明らかにしていない。

実際的水中泳運動中に知覚している身体感覚については、村川ら (1987) が質の高い水泳指導が行えるように、高校生以上の水泳選手250名を対象に、速く泳ぐための感覚的言語の抽出を質問紙を用いて行い、指導者と選手の感覚的言語の理解が競技力向上に繋がることを報告している。さらに、Shimojo et al (2012) も、大学生競泳選手を対象に泳動作中の身体感覚について質問紙を用いた調査を行った結果、大学生競泳選手は体性感覚であるタイミングや身体位置を重要視していると報告している。また、オリンピック出場を果たしたエリートスイマーも、これらの感覚的言語や体性感覚を重視しており、合屋 (2000) は、平泳ぎのエリートスイマーに、調子のよいとき (水中を良く進んでいる時) の感覚について尋ねた結果、エリートスイマーは腹の下を水がコロコロと転がっていく感覚があることを報告し、今村 (2006) は、水を手で掻く時の僅かな角度の違いによって水に伝わる力の感覚が異なり、それらの水を掴む微妙な感覚の相違を知覚できるかが速く泳ぐために重要であると述べている。

他方、Beger et al (1995) や Takagi et al (2002) は、感覚的言語や体性感覚をもとに選手やコーチが一般的に使用する水中の身体感覚の一つである「手で水を掴む感覚」に着目し、バイオメカニクスの手法を用いてストローク時 (手の掻き) の掌にかかる流体力を圧力センサーで測定し、水を掴むという感覚の数値化を試みている。また、角川ら (2010) は、平泳ぎのKickにおける足部の流体力を、圧力分布を用いて測定することで、実際の泳パフォーマンスと足部の流体力に相関があることを明らかにし、平泳ぎの選手が足に水が掛かっている時こそ速いという感覚を裏付ける結果を報告している。

しかしながら、これらの先行研究は、泳動作時に意識する主観的な身体感覚イメージを抽出するに留まっていると言える。また、バイオメカニクス手法を用いた、掌や足部の感覚の測定

は、流体力を力学量と比較するに留まっており、実際に選手が泳運動中に知覚している身体感覚を明らかにしているとは言い難い。

さらに、実際の熟練した競泳選手の練習に目を向けてみると、熟練者は50mにおけるストローク回数の指示に従い指定された記録で泳ぐことを調節できる。これは、長年のトレーニングによって水中を推進する身体感覚が高まっているためと推察されるが、このような現象に対しても、質問紙を用いた調査や力学的手法を用いた測定方法では、実際的水中泳運動時の身体感覚を検討することは困難であり、引いては熟練した競泳選手が水中を推進する身体感覚を有しているかという基礎的な検討も行えない。

そこで、本研究では、水中運動時の身体感覚の基礎研究として、これまでとは異なる、水中での受動的な移動距離の推定という新たな手法を用いて、熟練者は未熟練者よりも水中を推進している身体感覚が優れているか検討を行い、これまで感覚的な言語でしか認められていなかった、競泳選手が実際に知覚している泳運動中の身体感覚について明らかにすることとした。

Ⅲ. 実験方法

Ⅲ-1. 被験者

C大学水泳部に所属する熟練した男女競泳選手10名(20.90 ± 1.10)とC大学スポーツ科学部に在籍し、50mを3種目以上泳げる泳力を有した男女一般学生10名(20.30 ± 0.67)を被験者とした。実験に先立ち、全ての被験者は実験内容について十分に説明を受け、文書による承諾を得た上で実験に参加した。本研究は、「中京大学体育学研究科 人を対象とする倫理規程審査委員会」の承認を得て行われた。

Ⅲ-2. 実験プロトコル

実験前には、被験者に十分なウォーミングアップを行わせた。水着および水泳帽子・ゴーグルは参加者が普段使用しているものを用い、普段と着衣感覚が同様となるようにした。

実験試技の詳細は(図1)に示した。試技は、被験者にロープを掴んでもらい、閉眼状態にてストリームライン姿勢(競泳競技における基本姿勢)で浮いてもらった後、検者のスタート合図で、推進距離を時間から逆算されることを避けるため、牽引者が速度を無作為に変化させて被験者を牽引した。試技終了の合図(笛)は、

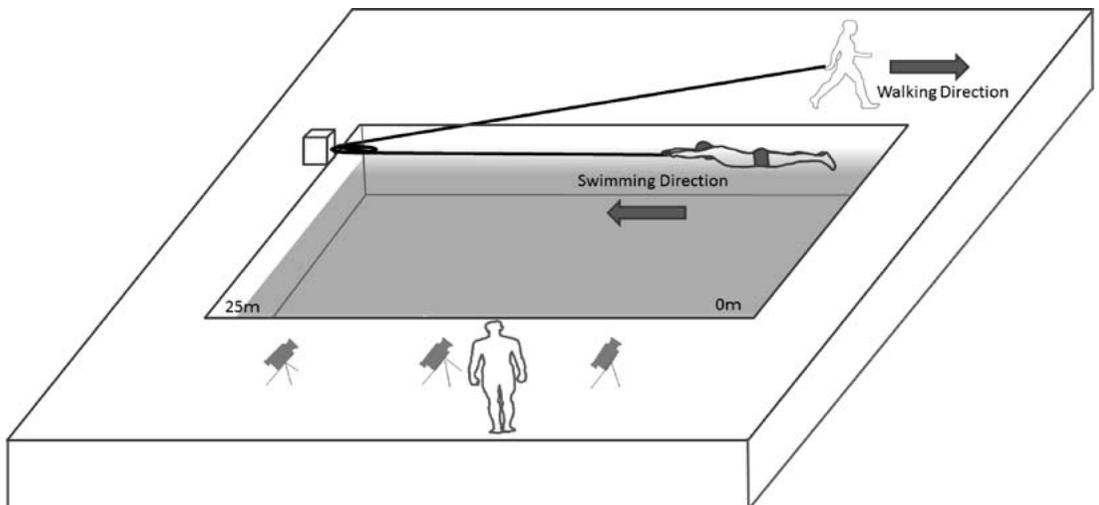


図1 実験の構成図

合図の位置の聞こえ方によって被験者が距離推定を行うことを避けるため、試技（1コース側）と反対側のプールサイド（8コース側）で行い、12m～20mの距離範囲内に収まるよう牽引車がコントロールした。被験者は合図確認後、閉眼状態を維持したまま立位状態となったところで、進んだと感じたであろう距離を0.5m刻みで答えた。推進距離返答後は、被験者に試技ごとに知覚した水中推進感覚について内省報告を行った。試技は2試技行い、試技間は十分な休息をとって行った。尚、閉眼受動的牽引状態は、日頃より十分にトレーニングされた熟練者も初めて行う条件であり、熟練者と未熟練者間に実験試技における経験値の差は生じていなかった。

また、閉眼受動牽引時の速度変動の典型例を測定した（図2）。典型例はビデオカメラ（Sony

HDR-P760; 撮影周波数60Hz）3台にて撮影を行い、得られた映像より被験者の頭部から動作解析ソフトウェア（Frame-DIASU IV、DKH社製）を用い、2D-DLT法によって2次元座標を求め、数値微分によって速度を算出した。測定指標は、閉眼受動的牽引時の推進距離（平均±標準偏差）とした。

III-3. 統計処理

統計処理は、熟練者・未熟練者および試行間の2要因の分散分析を行った。効果量は、一般化イータ二乗（generalized eta squared: $\eta_G^2 = SS_{Effect} / (\delta \times SS_{Effect} + \sum SS_{Means} + \sum SS_k)$ ）を算出（Bakeman, 2005; Olejnik and Algina, 2003）し、Cohen (1969) に基づき、0.01 = (効果量小)、0.06 = (効果量中)、0.14 = (効果量大) と判断した。統計的有意差は $p < .05$ とし、統計処理は、解析ソフト（R3.3.0、Windows）を用い統計処理を行った。

IV. 結果

閉眼牽引距離の平均（表1）は、熟練者で $17.88 \pm 3.69m$ 、未熟練者で $17.63 \pm 3.02m$ で両群において有意差は認められなかった ($F = 0.92$, $p > .05$)。熟練者と未熟練者の閉眼牽引距離の絶対誤差の平均は、熟練者で $0.90 \pm 0.25m$ 、未熟

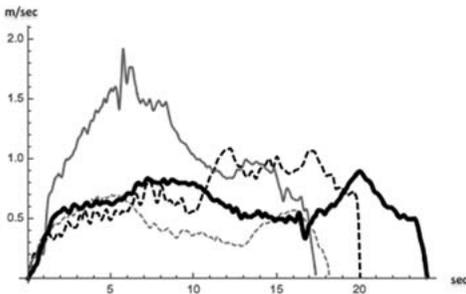


図2 閉眼受動的牽引時の速度変動の典型例

表1 熟練者と未熟練者の閉眼受動的牽引時の実測値と感覚値・絶対誤差

熟練者	1試技			2試技			未熟練者	1試技			2試技		
	実測値(m)	感覚値(m)	絶対誤差(m)	実測値(m)	感覚値(m)	絶対誤差(m)		実測値(m)	感覚値(m)	絶対誤差(m)	実測値(m)	感覚値(m)	絶対誤差(m)
A	18.5	18.0	0.5	16.5	16.0	0.5	1	15.0	20.0	5.0	17.0	20.0	3.0
B	17.0	17.0	0.0	16.5	15.0	1.5	2	14.0	17.0	3.0	17.0	22.0	5.0
C	20.0	19.0	1.0	15.0	13.0	2.0	3	13.0	16.0	3.0	22.0	18.0	4.0
D	12.5	15.0	2.5	18.5	21.0	2.5	4	16.0	12.0	4.0	21.0	16.0	5.0
E	20.5	20.0	0.5	23.0	22.5	0.5	5	19.5	16.0	3.5	20.5	19.0	1.5
F	12.0	12.0	0.0	12.0	12.0	0.0	6	11.0	18.0	7.0	19.0	15.0	4.0
G	17.0	15.5	1.5	18.5	18.0	0.5	7	16.0	19.0	3.0	20.0	16.0	4.0
H	13.5	14.0	0.5	22.5	21.0	1.5	8	17.0	12.5	4.5	18.0	16.0	2.0
I	20.5	21.0	0.5	23.5	22.0	1.5	9	19.5	16.0	3.5	18.5	13.0	5.5
J	15.0	15.0	0.0	22.5	23.0	0.5	10	22.5	19.5	3.0	16.0	12.5	3.5
Ave	16.6		50.7	18.85		18.85	Ave	16.35		4.0	18.90		3.8
SD	3.27		0.8	3.92		2.9	SD	3.42		1.3	1.96		1.3

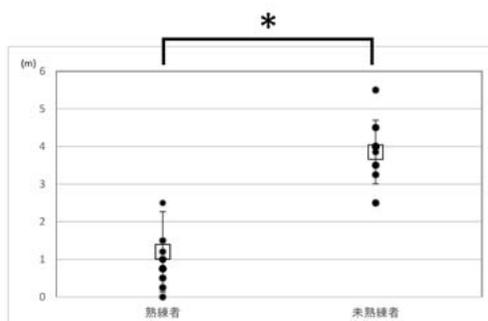


図3 熟練者と未熟練者の閉眼牽引距離の絶対誤差の比較

練者で $3.85 \pm 0.25\text{m}$ であり、熟練者の方が未熟練者よりも実測値と感覚値の絶対誤差が有意に少なかった ($F=71.69, p < .05$) (図3)。熟練者と未熟練者の効果量は、Cohen (1969) が示す大きな効果量 ($\eta^2=0.14$) を上回る $\eta^2=0.67$ であった。試行間は、 $\eta^2=0.00$ と効果量は小さかった。また、熟練者・未熟練者、試行間での相互作用に有意差はみられなかった ($F=0.83, p > .05, \eta^2=0.01$)。

V. 考察

本研究では水中運動中の身体感覚の基礎研究として、熟練者は水中を推進している身体感覚が未熟練者よりも優れているかを明らかにすることであった。

その結果、熟練者の方が未熟練者よりも実測値と感覚値の絶対誤差幅が有意に少なく、熟練者の方が未熟練者よりも水中推進時の距離推定感覚が優れていることが示唆された。これらの背景として、Sato et al (2014) は、手部に持続的な流水刺激を与えた結果、一次運動野の興奮性が高まると報告し、水中における筋感覚及び表在感覚入力は身体感覚を高めることを示唆している。これは、熟練者が水中での様々なトレーニングを平均して1日4時間・週に7回以上を10年ほど継続して実施していることから、水の流れによってもたらされる表在感覚などの身体感覚の感受性が未熟練者よりも発達していたこと

により閉眼状態でも水中を推進する身体感覚が正確に得られたことで距離推定を行えたと考えられる。

しかし、どの程度推進感覚を知覚している経験が多い故に推進距離推定が行えるかの検討は行っておらず、この点については今後の課題として検討すべきであり、今後は水中泳運動時における身体感覚の定量化を目指したい。

VI. 結論

本研究の結果より、熟練者が未熟練者よりも水中推進中における身体感覚が優れていることが示された。また、それらは、水中推進時の表在感覚によって身体感覚が形成されることで距離推定をほぼ正確に知覚できることが示唆された。さらに、これらの結果から、これまで感覚的な言語でしか認められていなかった、熟練者の水中推進時における表在感覚を用いた距離推定能力が確認されたことから、競泳選手が日々知覚していた水中を推進する身体感覚が確かめられたといえる。

なお、本研究は2017年度中京大学体育研究所の共同研究費を得て行われたことを付記させて頂き、この場を借りて謝辞の意を示させて頂く。

参考文献

- 1) Bakeman, R., & Robinson, B. F. (2005). Understanding statistics in the behavioral sciences. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- 2) Bock, Otmar. (1994). Joint position sense in simulated changed-gravity environments. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 65(7), 621-626.
- 3) By Solomon, H. Yosef; Turvey, M. T. (1988). Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol 14(3), Aug, 404-427.
- 4) Clark, F. J., & Horch, K. W. (1986). Kinesthesia. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J.

- P. Thomas (Eds.), Handbook of perception and human performance: Sensory processes and perception (p. 13/1 – 13/62). New York: Wiley.
- 5) Cohen, J. (1969). Statistical power analysis for the behavioral sciences. San Diego, CA: Academic Press.
 - 6) Counsilman, J.E. (1968). The science of swimming. Pelham Books Ltd: London, 172-188.
 - 7) Dafna Merom, Fiona F. Stanaway, David J. Handelsman, Louise M. Waite, Markus J. Seibel, Fiona M. Blyth, Vasi Naganathan and Robert G. Cumming. (2014). Swimming and Other Sporting Activities and the Rate of Falls in Older Men: Longitudinal Findings From the Concord Health and Ageing in Men Project. American Journal of Epidemiology, 180, Issue 8. 830-837.
 - 8) 合屋十四秋 (2000) 泳ぎの動作認識とバイオメカニクス情報とのマッチング
バイオメカニクス研究、4、206-213
 - 9) Hideki Takagi and Ross Sanders. (2002) Propulsion by the hand during competitive swimming. Ujihashi, S. and Haake, S. J. (Eds), The engineering of Sport 4. Blackwell Publishing; Oxford, 631-637.
 - 10) 樋口貴広 (2004) 身体情報の知覚と運動制御、スポーツ心理学学会編、最新スポーツ心理学、その軌跡と展望. 149-150
 - 11) Hirofumi Shimojo, Yasuo Sengoku, Shozo Tsubakimoto and Hideki Takagi. (2012) The important kinesthesia for enhancement of swimming skill in college swimmers. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 57: 201-213.
 - 12) 今村元気 (2006) 水感、水中で水を捉える感覚、トレーニングジャーナル8月号
 - 13) Kenta kusanagi, Daisuke sato, Yasuhiro hashimoto, Norimasa yamada (2017) Water Sensation During Passive Propulsion for Expert and Nonexpert Swimmers. Percept Mot Skills. 124(3), 662-673.
 - 14) M. A. M. Berger, G. d. Groot and A. P. Hollander. (1995) Hydrodynamic Drag and Lift Forces on Human Hand/Arm Models, J. Biomech., 28, 2, 125-133.
 - 15) 宮下充正、波多野勲、林裕三 (1973) 競泳のコーチング、1-5.
 - 16) 森井和枝、相馬光一、浅沼満、丸岡知昭、別府政敏 (2009) 水中環境が体性感覚に及ぼす影響。神奈川県 士会会報、37 : 52-57
 - 17) 村川俊彦、今村義正、山田秀樹、新出昌明 (1987) 水泳指導における感覚的言語に関する研究 - 「速く泳ぐ」ために -、東海大学紀要体育学部、17、37-49
 - 18) 武藤芳照 (2002) 関節痛と水泳. 順天堂医学 48 (2) . 202-206
 - 19) Olejnik, S., & Algina, J. (2003). Generalized eta and omega squared statistics: Measures of effect size for some common research designs. Psychological Methods, 8, 434-447.
 - 20) Sato D., Onishi H., Yamashiro K., Iwabe T., Maruyama A. (2012). Water immersion to the femur level affects cerebral cortical activity in human: functional near-infrared spectroscopy study. Brain Topography ;25(2):220-227.
 - 21) Sato D., Yamashiro K., Onishi H., Shimoyama Y., Yoshida T., Maruyama A. (2011). Water immersion attenuates short-latency somatosensory evoked potentials in a human EEG study. Br J Sports Med ;45(15):A3.
 - 22) Sato D., Yamashiro K., Onishi H., Shimoyama Y., Yoshida T., Maruyama A. (2012). The effect of water immersion on short-latency somatosensory evoked potentials in human. BMC neuroscience ;13(1):13.
 - 23) Sato D., Yamashiro K., Yoshida T., Onishi H., Shimoyama Y., Maruyama A. (2013). Effects of water immersion on short- and long-latency afferent inhibition, short-interval intracortical inhibition, and intracortical facilitation. Clinical Neurophysiology;12(9), 1846-1852.
 - 24) Sato D., Yamashiro K., Onishi H., Baba Y., Shimoyama Y., Maruyama A. (2014). Whole-hand water flow stimulation

- increases motor cortical excitability: a study of transcranial magnetic stimulation and movement-related cortical potentials. *J Neurophysiol.*113(3):822-33.
- 25) Sato D., Yamashiro K., Onishi H., Baba Y., Nakazawa S., Shimoyama Y., Maruyama A. (2014) Whole-body water flow stimulation to the lower limbs modulates excitability of primary motor cortical regions innervating the hands: A transcranial magnetic stimulation study. *PLoS ONE* 9(7): e102472. doi:10.1371/journal.pone.0102472.
- 26) 鈴木淳也、駒形大介、野口智博（2006）水中における身体の位置感覚と動作の調整能力に関する研究。桜門体育学研究、41:45-54