

遠泳時の生体反応に関する調査 (2)

—— ウエットスーツ着用の効果 ——

高橋 弘彦, 鈴木 省三, 宮城 進
熊坂繁太郎, 佐藤 佑

(1995年11月7日受付)

I. 緒 言

海浜で行われる実習は、様々な制約から水温があまり高くない時期に実施されている場合が多い。本学においても7月中旬に実施されているのが実情であり、時期的には梅雨が明けておらず、気温、水温共に低く、厳しい条件下で実習が行われている場合も少なくない⁶⁾。水泳は水を媒体とした運動であるために、空気中の運動とは熱交換の点で著しく異なる。深部体温の変化は、水温、水泳のスピード、皮下脂肪厚に大きく影響され、水温が低い場合には骨格筋の温度が低下するために筋疲労も起こる⁶⁾。体温の低下および筋疲労は、運動能力の低下を招くことは勿論、最悪の場合には事故につながる可能性もある。

これらの点を踏まえ、前報⁹⁾では実際の海浜における遠泳を想定し、一般的な着衣条件である競泳用パンツのみを着用させた場合の遠泳時の生体反応に関して報告した。水中運動において体温の低下を防ぐためには水温が高いことが最も望ましい。しかし、前述したように実習の実施時期は限られているため、水温の高い時期に実施することが不可能であり、安全な運営を行うためには前報のような基礎資料の蓄積が必要と思われる。

スクーバダイビングやサーフィン等では、水中における体温の低下と怪我を防止するためにウエットスーツを着用する。しかし、それらに

おいて使用されているタイプのウエットスーツを着用して遠泳を実施することは、サイズ、動作の制約、浮力等から難しい。また海洋における環境条件はプール環境とは異なり、水温のみならず風向、風速、流向、流速等に関しても一定条件を望むことは不可能である。

そこで本報においては、既製品の半袖ベストタイプのウエットスーツを着用して遠泳を実施した場合の生体反応に関して、着用しなかった場合との比較を行い、またその時の海洋環境条件とあわせて検討することを目的とした。

II. 方 法

測定は、海浜実習事前調査期間中の平成6年7月15日、16日とした。

1. 被験者及び測定項目

被験者は、本実験に関して協力することに同意が得られた本学水泳部の男子学生6名とし、身体的特徴については表1に示した。測定項目は、生理的反応として心拍数及び直腸温をマックデュオ VM2-001 (VINE社製) により1分毎に測定した。主観的反応については、温冷感 Hardy⁴⁾ による尺度、主観的運動強度 (Rating of Perceived Exertion: 以下 RPE と略す) は Borg²⁾ による尺度を測定開始から30分毎に申告させた。また15日～17日の起床時心拍数を橈骨動脈で触診法により測定した。体重については、最小目盛り500gの体重計により朝食前

表1 被験者の身体的特徴

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪 率 (%)	BMI
S.T.	21	170.0	71.9	16.7	42.3
O.Z.	20	178.4	84.3	16.2	47.3
T.N.	20	167.7	63.6	15.5	37.9
N.K.	21	170.5	59.9	12.7	35.1
K.S.	21	170.8	59.9	10.7	35.1
H.Y.	20	173.5	66.2	10.7	38.2
mean	20.5	171.8	67.6	13.8	39.3
S.D.	0.5	3.4	8.5	2.5	4.3

と測定終了後、競泳パンツのみで測定した。被験者は、全員が14日から同一行動をとり、生体負担に差が生じないように配慮した。食事に関しては同じ献立の食事をとったが、御飯の量、摂水量に関しては制限しなかった。体脂肪率の推定は、栄研式キャリパーにより右上腕背部、右肩甲骨下端部の皮下脂肪厚を測定し、Nagamine et al⁵⁾ 及び Brozek et al³⁾ の推定式を用いて算出した。

2. 着衣条件

15日は競泳パンツのみとし、16日は既製サイズの半袖ベストウエットスーツ(3mmジャージ)を着用させた(写真1)。ウエットスーツのサイズに関しては概製サイズ品の中から被験者本人に選択させた。

3. 環境測定及び測定項目

環境測定は、図1のStation(以下St.と略す)1~6にて行った。測定は気温、風速をミニアナネモメーターISA-6-3D(柴田科学機器工業社製)、風向は手持ち型風向計J46-1200(NAKAMURA社製)、水温は電気式デジタル水温計複合モードプリンターD613(宝工業社製)、流向、流速については電気式流向流速計CM-2SX型(東邦電探社製)によりそれぞれ測定した。

4. 実験手順

被験者は、昼食後1時間の休憩の後、宿舎に

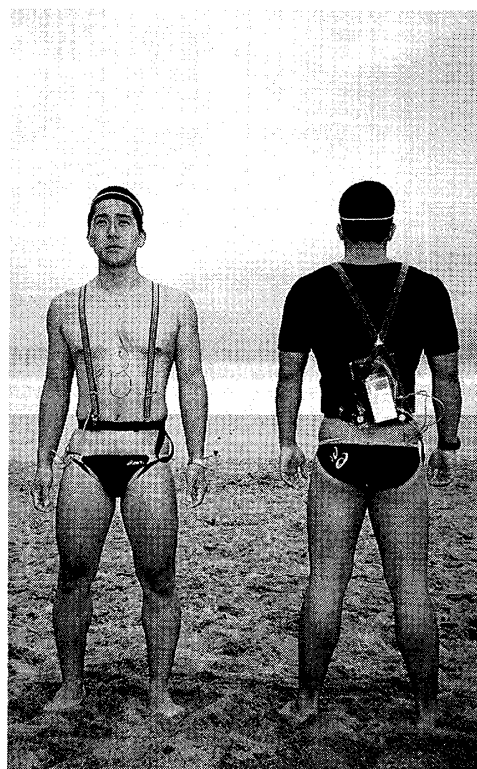


写真1.

て測定機器を着装し車により出発地点に移動した。到着後、各自で準備体操を行った後、監視調査船からの指示により入水した。入水地点、退水地点、コースは両日とも同じであり(図1)、スピードについては実際の実習本隊の遠泳スピードを意識して調整するよう指示した。15日は14時40分入水、17時12分退水、遠泳時間は2時間32分であった。16日は14時05分入水、16時13分退水、遠泳時間は2時間8分であった。

III. 結 果

表2に環境測定を行ったSt.1~St.6における結果を示した。15日が気温28.9°C~25.7°C、風速0.7 m/sec~11.2 m/sec、水温24.5°C~25.0°C、16日が気温24.5°C~27.2°C、風速2.5 m/sec~3.8 m/sec、水温24.7°C~25.1°Cであった。風向及び流向は、15日が進行方向に対してほぼ正面からの状態にあり、16日は逆に進行方向に向

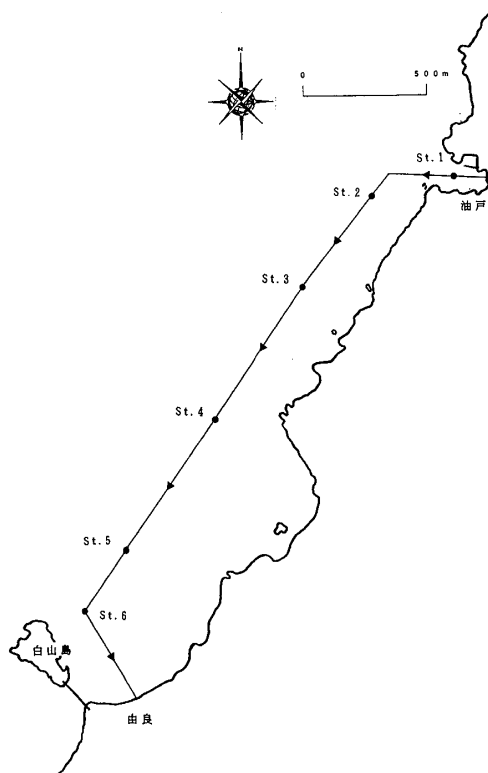


図1 遠泳コースと環境測定点

表2 環境条件測定結果

		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6
測定時刻	15日	14:45	15:00	15:25	16:05	16:33	16:57
	16日	14:05	14:15	14:35	15:00	15:25	15:48
気温 (°C)	15日	28.9	26.6	26.5	26.3	25.7	26.0
	16日	24.5	24.5	25.5	27.2	27.2	25.0
風 向	15日	1.0	0.7	5.5	7.8	11.2	7.3
	16日	2.5	2.7	3.1	2.6	3.5	3.8
水温 (°C)	15日	NE	SSW	SW	WSW	WSW	WSW
	16日	NNW	N	NNW	NW	NNW	NNW
流速 (m/s)	15日	25.0	24.6	24.5	24.7	24.6	24.6
	16日	25.2	24.7	25.1	25.1	25.0	25.1
流 向 (°)	15日	0.104	0.222	0.175	0.105	0.139	0.177
	16日	0.104	0.088	0.075	0.081	0.079	0.064
測定時刻	15日	264	59	56	43	67	202
	16日	340	100	206	186	107	255

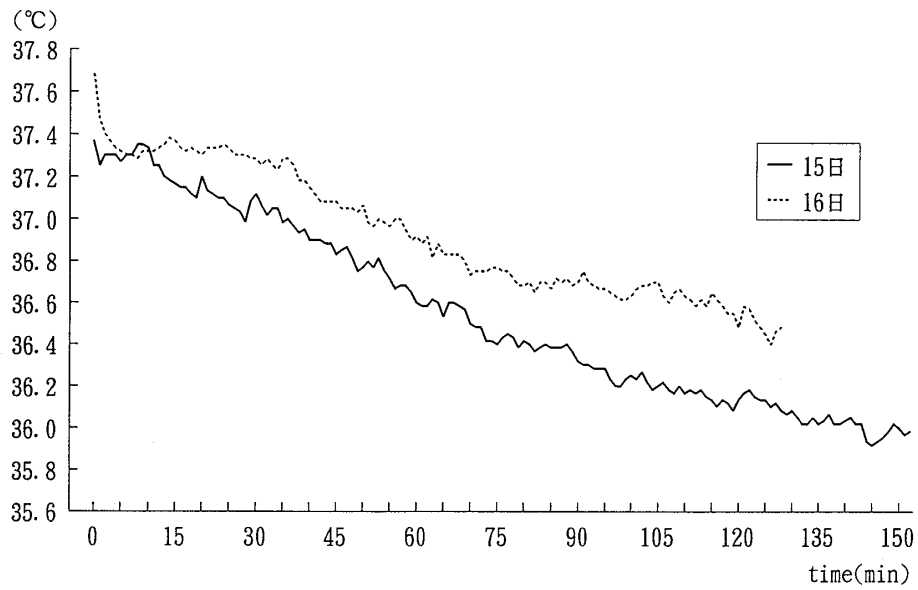


図2 直腸温の平均値の経時変化

表3 15分毎の直腸温の変化 (°C)

		S.T.	O.Z.	T.N.	N.K.	K.S.	H.Y.	平均	S.D.
0分	15日	37.1	37.7	37.1	37.6	37.8	36.9	37.37	0.35
	16日	37.8	37.5	37.2	37.3	38.3	38.0	37.68	0.39
15分	15日	37.9	37.7	37.4	37.4	37.4	35.2	37.17	0.90
	16日	37.6	37.6	36.1	36.9	38.1	37.9	37.37	0.68
30分	15日	38.1	37.7	37.3	37.1	36.7	35.8	37.12	0.74
	16日	37.6	37.7	35.9	36.8	37.8	37.9	37.28	0.72
45分	15日	37.9	37.4	37.1	36.8	36.2	35.6	36.83	0.76
	16日	37.7	37.7	35.6	36.4	37.3	37.8	37.08	0.82
60分	15日	37.9	37.1	36.8	36.5	35.7	35.6	36.60	0.80
	16日	37.7	37.8	35.5	35.9	36.9	37.7	36.92	0.92
75分	15日	37.7	37.2	36.5	36.3	35.5	35.2	36.40	0.88
	16日	37.5	37.4	35.5	35.9	36.8	37.5	36.77	0.80
90分	15日	37.5	37.0	36.4	36.2	35.4	35.4	36.32	0.77
	16日	37.5	37.5	35.5	35.6	36.6	37.5	37.70	0.87
105分	15日	37.3	37.1	36.3	36.1	35.3	35.1	36.20	0.82
	16日	37.5	37.6	35.5	35.8	36.4	37.4	37.60	0.85
120分	15日	37.1	37.0	36.3	36.1	35.2	35.1	36.13	0.78
	16日	37.3	37.6	34.9	36.0	35.9	37.2	36.48	0.96
150分	15日	36.8	36.9	36.2	35.9	35.4	34.9	36.02	0.72
	16日	36.7	37.1	36.1	35.9	35.3	34.9	36.00	0.76

表4 入水直前からの直腸温の変化度 (°C)

		S.T.	O.Z.	T.N.	N.K.	K.S.	H.Y.	平均	S.D.
15分	15日	0.8	0.0	0.3	-0.2	-0.4	-1.7	-0.20	0.77
	16日	-0.2	0.1	-1.1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.32	0.38
30分	15日	1.0	0.0	0.2	-0.5	-1.1	-1.1	-0.25	0.75
	16日	-0.2	0.2	-1.3	-0.5	-0.5	-0.1	-0.40	0.47
45分	15日	0.8	-0.3	0.0	-0.8	-1.6	-1.3	-0.53	0.81
	16日	-0.1	0.2	-1.6	-0.9	-1.0	-0.2	-0.60	0.62
60分	15日	0.8	-0.6	-0.3	-1.1	-2.1	-1.3	-0.77	0.90
	16日	-0.1	0.3	-1.7	-1.4	-1.4	-0.3	-0.77	0.76
75分	15日	0.6	-0.5	-0.6	-1.3	-2.3	-1.7	-0.97	0.93
	16日	-0.3	-0.1	-1.7	-1.4	-1.5	-0.5	-0.92	0.63
90分	15日	0.4	-0.7	-0.7	-1.4	-2.4	-1.5	-1.05	0.87
	16日	-0.3	0.0	-1.7	-1.7	-1.7	-0.5	-0.98	0.73
105分	15日	0.2	-0.6	-0.8	-1.5	-2.5	-1.8	-1.17	0.88
	16日	-0.3	0.1	-1.7	-1.5	-1.9	-0.6	-0.98	0.75
120分	15日	0.0	-0.7	-0.8	-1.5	-2.6	-1.8	-1.23	0.84
	16日	-0.5	0.1	-2.3	-1.3	-2.4	-0.8	-1.20	0.91
135分	15日	-0.3	-0.3	-0.9	-1.7	-2.4	-2.0	-1.35	0.74
150分	15日	-0.4	-0.6	-1.0	-1.7	-2.5	-2.0	-1.37	0.76

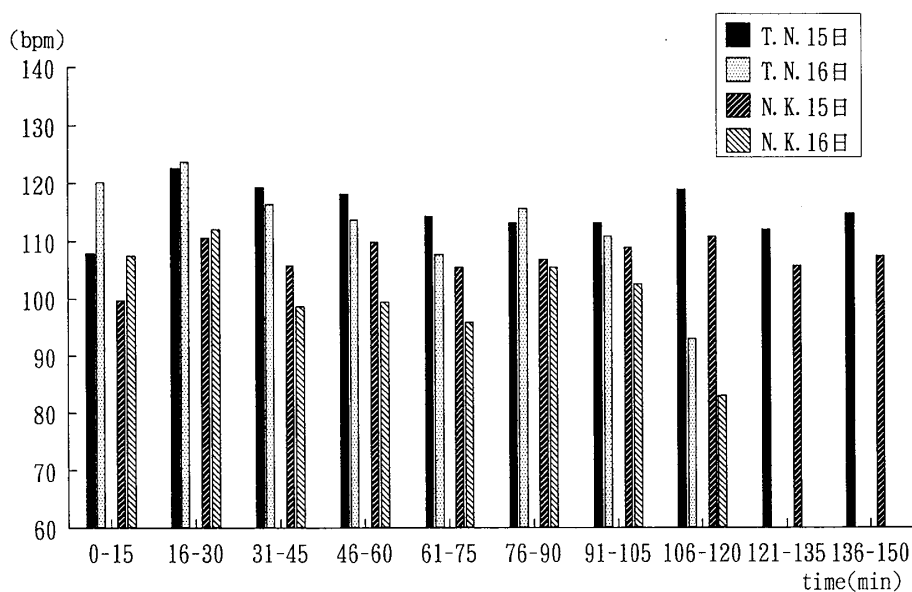


図3 15分毎の平均心拍数の変化

表5 起床時心拍数の比較 (bpm)

	S.T.	O.Z.	T.N.	N.U.	K.S.	H.Y.
15日	60	52	60	56	60	58
16日	64	58	62	66	64	60
17日	56	58	52	58	58	58

いた状態であった。流速は、15日が0.104 m/sec ~0.222 m/sec, 16日が0.064 m/sec~0.104 m/sec であった。

各被験者の入水直前から15分毎の直腸温を表3に、また入水直前値からの変動値を表4に、直腸温の平均値の経時変化を図2に示した。入水直前の直腸温は、15日が36.9°C~37.8°C, 16日が37.2°C~38.3°Cであった。直腸温は入水により低下がみられ、10分頃までは15日より16日の低下が大きい傾向を示した。その後の低下は16日が小さい傾向にあり、平均では、60分で0.32°C, 120分で0.35°Cの差が見られたが、有意差は認められなかった。入水から退水まで

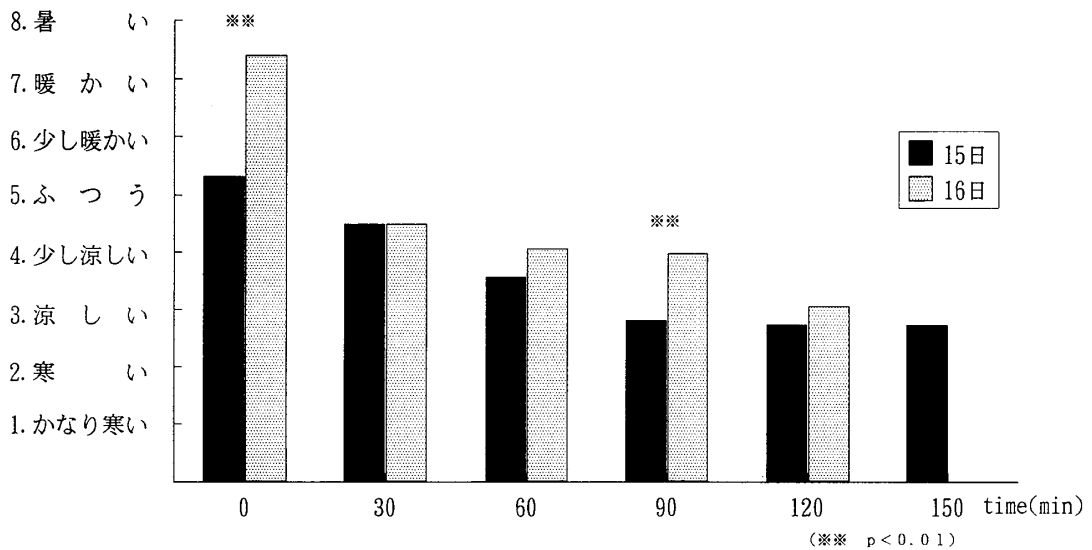


図4 全身温冷感の変化

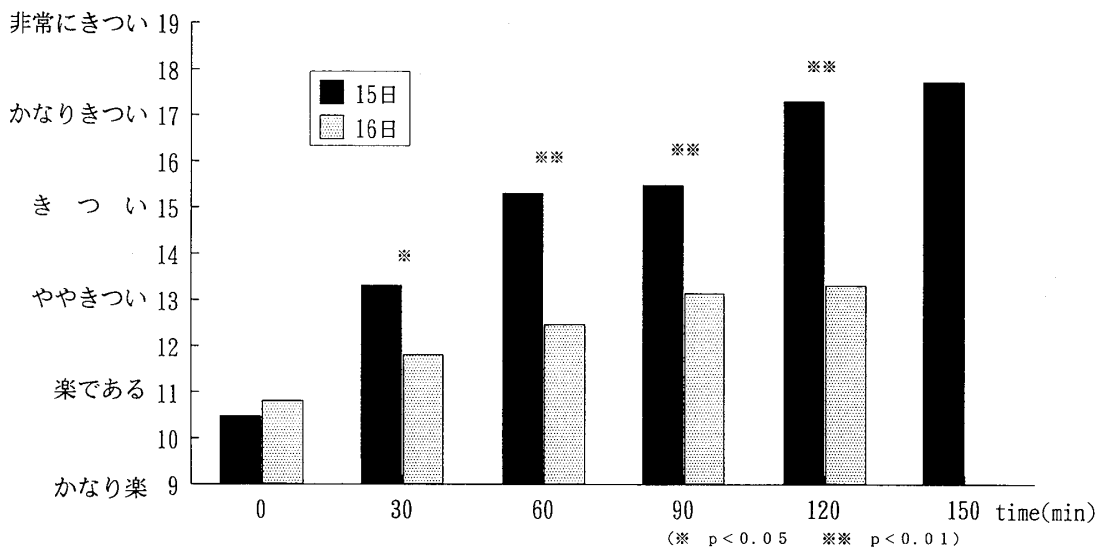


図5 RPEの変化

の低下度は、平均では15日が $1.38 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 、16日が $1.2 \pm 0.7^\circ\text{C}$ であるが、個人的には、15日より16日の低下度の方が大きかった者が6名中3名(内1名は90分まで)見られた。

図3に測定値に欠損のなかったT.N., N.K.の2名の15分毎の平均心拍数の変動を示した。入水から30分までは、2名ともに16日が高値を示したが、その後はT.N.が76分~90分で15日より16日が高値を示しただけで、その他は全てにおいて16日が低値を示した。表4には15日~17日の起床時心拍数を示した。被験者全員が、16日では15日より2拍/分~10拍/分の高値を示していた。17日は、O.Z.が前日と同じだった以外は、16日より低値を示した。

図4に全身温冷感の30分毎の平均値を示した。入水直前は、15日は「5. ふつう」よりも少し暖かい状態であり、16日は「7. 暖かい」と「8. 暑い」の中間にあり、有意差 ($p < 0.01$) が認められた。30分では同値を示したが、その後60分~120分は16日が15日より暖かい側の申告であり、90分の申告で有意差 ($p < 0.01$) が認められた。

図5にRPEの30分毎の平均値を示した。入水前は、両日ともほとんど変わりがないが、時間経過と共に差が大きくなり、30分以降は全ての時間帯で15日が16日よりきつい側の申告であり、有意差 ($p < 0.05 \sim 0.01$) が認められた。

起床時と遠泳終了後での体重変動は、15日は0.5 kg減少がS.T., T.N., 1.0 kg減少がO.Z., H.Y., 1.5 kg減少がN.K., K.S.であった。16日は増減なしがN.K., H.Y., 0.2 kg減少がT.N., 0.3 kg減少がK.S., 0.8 kg減少がS.T.であり、逆にO.Z.は0.5 kgの増加であった。

IV. 考 察

水泳における体温の低下防止には、皮下脂肪量が大きく関与することは明らかである¹⁷⁾。本研究においても、15日のウエットスーツの着用

がない場合には体脂肪率が高い学生ほど直腸温低下度が少なく、その低下速度も緩やかであった(表3)。一方、16日にはウエットスーツを着用したが、その場合には必ずしも体脂肪率の高い者が体温の低下度が小さいという結果は示されなかった。ウエットスーツは、ウエットスーツ素材の気泡とスーツと皮膚の水により熱放散を防止するが、本実験で使用したウエットスーツは既製サイズ品であり、またサイズの選択も被験者に自由に行わせたため、身体に対するフィット状態が様々であったことが影響していると考えられる。従って、身体に対してよくフィットしていた者は体温低下が抑制され、そうでなかった者は低下度が大きくなったものと考えられる。

さらに海洋における遠泳の生体反応には、個人の体構成や着衣条件は勿論のこと、環境条件が大きな影響力を持つものと考えられる。16日は、潮流、風向がほぼ進行方向に向いた状態であり、さらに着用していたウエットスーツの浮力があるために、潮流に乗って楽に泳いでいた状態であったものと思われる。従って、T.N., N.K.の2名ともに15日より16日の心拍数は低値を示し、一定の速度を意識して泳いでいるにも関わらず、各St間の所要時間が短くなったものと考えられる。運動強度が低ければ、筋運動に伴う産熱量も当然のことながら減少する⁹⁾。S.T., T.N., N.K.の3名が15日より16日の体温の低下度が大きかったのは、ウエットスーツのフィット状態があまりよくなかったことに加え、その浮力と進行方向に対する潮流の影響により相対的運動強度が低くなり、産熱量が減少し直腸温の低下勾配が大きくなったものと考えられる。

温冷感については、入水前は15日は「5. ふつう」よりも少し暖かい状態、16日は「7. 暖かい」と「8. 暑い」の間の状態であり、1%水準の有意差が認められているが、この差に関しては、15日には宿舎からの出発点への移動時にTシャツを着用した状態と、16日にはウエットスーツ

を着用した状態による影響であると思われる。その後は30分で同値を示すが、60分～120分では16日が暖かい側の申告であり、90分では1%水準の有意差が認められた。15日と16日の入水直前値からの直腸温低下度の平均値の差は、30分が -0.15°C 、60分が 0°C 、90分が 0.07°C 、120分が 0.03°C であった。16日で入水前値から30分までの間に感覚スケールで約3も低下したのは、直腸温の低下度が15日よりも平均で 0.15°C も大きかったことが影響し、また90分において有意差が認められたのは、90分における差が 0.07°C と60分から120分の間においては最も大きかったためと思われる。

RPEに関しても、T.N., N.K.の2名の心拍数が示しているように、運動強度が低かったために、30分以降は16日が全て有意 ($p < 0.05 \sim 0.01$) に低い申告で、15日よりも楽な状態であったものと思われる。16日は、潮流、風向がほぼ進行方向に向いたため抵抗が少なく、さらに着用していたウエットスーツの浮力が作用し、潮流に乗った状態で楽に泳ぐことができたためと思われる。起床時の心拍数、体重減少量からも、負担度としては15日が16日よりも大きかったことが考えられる。

V. 結 論

1. 低水温環境下での長時間の遠泳においては、一般的な着衣条件である競泳用パンツのみの場合には、体温の低下速度および低下度は体脂肪率に大きく影響され、体脂肪率が同等であった場合でも、その反応には個人差がみられる。

2. 体温の低下に関する要因として、水温は勿論のこと、流向、流速の影響を十分に考慮する必要があると思われる。遠泳は、運動強度としては比較的強度であっても、体温の低下が大きいため、主観的な反応は時間経過と共にきつい状態へと移行し、これは運動の継続に加え、体温低下とそれに伴う代謝量の増加も影響する

ものと思われる。

3. 遠泳を実施する場合には、参加学生の体構成を調査し、体脂肪率の低い者に対しては、指導者が反応を細かく観察する必要があるものと思われる。また、保温目的でウエットスーツを使用する場合は、体に良くフィットした状態であれば効果が期待できない場合もあると考えられる。

4. 潮流の向きおよびその流速は生体反応に大きな影響を及ぼすため、遠泳を安全に効率よく運営するためには、遠泳の実施に先立って、十分な環境調査を実施し、その結果をもとに実施の判断が下されるべきであると思われる。

参考文献

- 1) Bergh, U., Ekblom, B., Holmer, I. and Gullstrand, L.: Body temperature response to a long distance swimming race. *Swimming Medicine IV*, University Park Press, 1978.
- 2) Borg, G.: Perceived exertion: a note on "history" and method. *Med. Sci. Sports*, 5(2): 90-93, 1973.
- 3) Brozek, J., F. Grande, J.T. Anderson, and A. Keys: Densitometric analysis of body composition. Review of some quantitative assumptions. *N.Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140, 1963.
- 4) Hardy, J.D.: Thermal comfort and health, 2nd Human Factor Symposium, ASHRAE: 225, 1970.
- 5) Nagamine, S., and S. Suzuki: Anthropometry and composition of Japanese young men and women. *Human Biol.*, 36: 8-15, 1964.
- 6) 中山昭雄: 温熱生理学: 理工学社, 東京, 1981.
- 7) Pugh, L.G.C. and Edholm, O.G.: The physiology of channel swimmers, *Lancet*, 2: 761-768, 1955.
- 8) 仙台大学海浜実習調査班資料。
- 9) 高橋弘彦, 鈴木省三, 宮城 進, 熊坂繁太郎: 遠泳時の生体反応に関する調査, 仙台大学紀要, 26: 7-16, 1995.

An Investigation of Human Reaction during
Long Distance Swimming under Low
Temperature Condition (II)
— The Effect of Wet Suit —

Hirohiko TAKAHASHI, Shozo SUZUKI, Susumu MIYAGI,
Shigetaro KUMASAKA and Tasuku SATO

Concerning the change of body temperature during long distance swimming, comparison is made between the case of wearing wet suit and the case of without it. Moreover, the effect of sea environment condition is investigated.

Main results of this study can be summarized as follows :

1) The body temperature tends to decrease faster in case of swimmers with lower body fat percentage, especially in lower water temperature. However, even among swimmers with about the same body fat percentage, the individual differences are observed.

2) Although the physical intensity is kept at relatively low level during the long distance swimming, the swimmer's subjective response shows increasing difficulties as time elapses. This may be because of the continued motion, the decrease of body temperature and resultant increase of metabolism.

3) Before carrying out the long distance swimming, every swimmer's body composition must be examined. Especially for the swimmers with lower body fat percentage, the instructor should observe carefully their responses. It must be noted that wearing the wet suit, which does not fit well the swimmer's physique, is not necessarily effective for the purpose of keeping the body temperature..

4) Human reaction is remarkably influenced by not only the water temperature but also velocity and direction of the tidal current. Therefore, before making decision whether or not carry out long distance swimming, the instructor should investigate sufficiently those sea environment conditions.