

遠泳時の生体反応に関する調査

高橋 弘彦, 鈴木 省三, 宮城 進, 熊坂繁太郎

I. 緒 言

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。水の熱伝導率は空気の25倍もあるために、冷水中ではたとえ安静時の15倍の熱産生があっても熱損失の方が大きく、体温は低下する。水泳中の深部体温の変化は、水温、水泳のスピード、皮下脂肪厚に大きく影響され、皮下脂肪の少ない者は26℃の水温でも深部体温が低下する。また、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。水中では陸上と同等の運動強度により運動を行っても、熱放散能力が増加するため、強制対流伝導により多量の熱が失われ、体温の上昇は空気中よりも少なく、低いレベルに保たれる¹²⁾。Pugh¹³⁾らは、水温が24.2℃～21.8℃の間で直腸温の低下の勾配に著しい差がみられると報告し、Keatinge⁷⁾は、水温25℃以下における運動では血流量の増加により熱損失がより大きくなり、安静時よりも直腸温の低下が大きくなるとしている。Bergh¹⁾らは、長距離水泳後の直腸温と皮下脂肪厚の間に正の相関関係を認めており、また皮下脂肪厚が1mm増せば、水温が1.5℃上昇したのと同等の効果があるとも言われている¹⁵⁾。一方、水泳時にTシャツを着用した場合には、着用しなかった場合よりも体温の低下を防止できるという報告⁹⁾もある。

仙台大学海浜実習の時期は、様々な制約から7月中旬に実施されているのが実状である。例年この時期は梅雨が明けておらず、調査班の報告¹⁴⁾でも気温、水温共に低く、厳しい条件下での

実習が行われている場合もみられる。本学では、安全性を確保するために指導組織の中に調査班を独立させ、実習地の水温、潮流、風速、水深等の環境調査を実施し¹⁰⁾、これまでの湾内実習水域の水温分布や潮流に関してはほぼ把握され、指導計画作成上の資料として用いられている。平成5年度からは遠泳水域を今までの湾内から一部湾外へ拡張し、実施を試みている。過去4年間の実習時の環境条件は、気温が19.3℃～26.8℃、水温が20.9℃～24.3℃¹⁴⁾であり、年度によっては、直腸温の低下の勾配に著しい差がみられるとされる水温条件下及び安静時よりも運動時の熱損失の方が大きいとされる水温条件下において実施されている。実習中に脚の痙攣等により一時退水した学生は男子が47名、女子が5名にのぼっている¹⁴⁾。これらの学生達のBMIは男子が 36.1 ± 5.8 、女子が 33.4 ± 1.1 ¹⁴⁾であり、一般人の平均値と比較すると男子は19歳の値に、また女子は33歳の値にあてはまる。スポーツ選手の体構成は一般人と異なる⁸⁾ため、BMIからの推察では、男子は脂肪量が非常に少ない体構成であり、女子は筋重量増加が影響しているものと考えられる。これらの学生達の筋疲労や痙攣は、体温の低下に起因していると思われるが、体温の低下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。

本学海浜実習の最大目標である、参加学生全員による大遠泳の完泳を達成するためには、学生達の体温変化や主観的反応に及ぼす体構成の影響等を指導者側が把握しておく必要性があ

る。

そこで本研究では、長時間遠泳時の学生の生理的、主観的反応について測定を行い、必ずしも良好とは言えない環境条件下で実施されている海浜実習を安全に効率よく運営するための基礎資料を得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日とした。

1. 被験者及び測定項目

被験者は実習補助学生の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VM 2-001 (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⁴⁾は 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、快適感については 労研三浦¹²⁾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、16日の両日の起床時心拍数を手頸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50gの体重計により朝食前と測定終了後、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。体脂肪率の推定は、栄研式キャリパーにより右上

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

腕背部、右肩甲骨下端部の皮下脂肪厚を測定し、Nagamine et al¹¹⁾及び Brozek et al¹³⁾の推定式を用いて算出した。

2. 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。

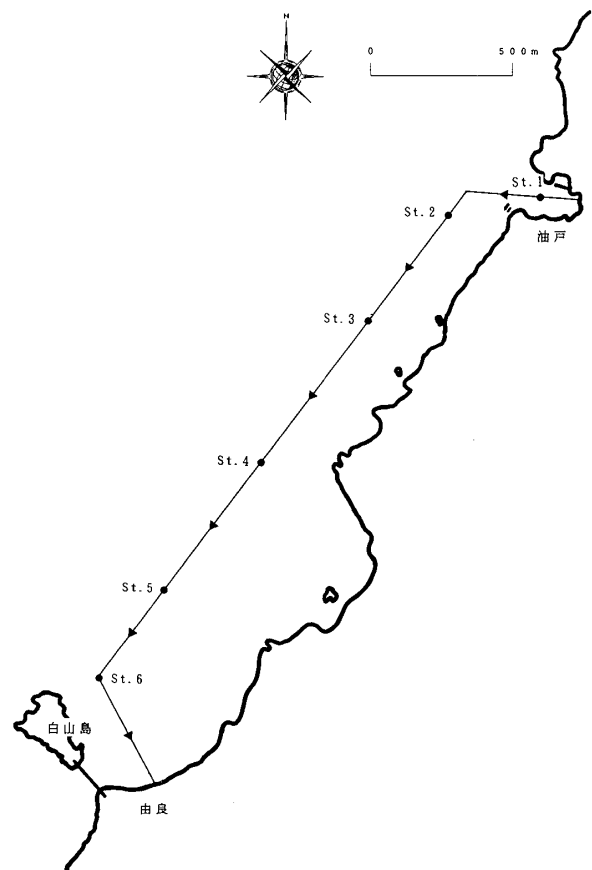


図1 遠泳コースと環境測定点

3. 実験手順

被験者は、昼食後1時間の休憩の後、車による輸送にて14時に出発地点に到着した。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。入水時刻は14時40分、退

水時刻は17時12分であり、遠泳時間は2時間32分であった。遠泳ルートは、今年度の遠泳予定コースである図1の実線に沿って行い、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。実習時の入水は、隊列を組みながら入水するため、隊列が揃うまではある程度の時間を要する。そのため入水から15分間は非常にゆっくりした速度により泳ぐよう指示した。環境測定は、被験者の泳ぐスピードに合わせて行った。

～0.22m/secの範囲であった。

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	14:45	15:00	15:25	16:05	16:33	16:57
気温(°C)	28.9	26.6	26.5	26.3	25.7	26.0
風速(m/s)	1.0	0.7	5.5	7.8	11.2	7.3
風向	NE	SSW	SW	WSW	WSW	WSW
水温(°C)	25.0	24.6	24.5	24.7	24.6	24.6
流速(m/s)	0.104	0.222	0.175	0.105	0.139	0.177
流向(°)	264	59	56	43	67	202

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。気温は St. 1 通過時は28.9°Cであったが、時間経過と共に徐々に下がり、St. 5では25.7°Cと3.2°C低下した。水温については、St. 1は25.0°Cと他ので St. に比べて若干高く、St. 2～St. 6では24.5°C～24.7°Cと大きな変化は見られなかった。風向は St. 1 以外は進行方向に対してほぼ向かい風状態であり、風速は St. 3で5.5m/sec、St. 4で7.8m/sec、St. 5では11.2m/secであった。流向についても St. 2～St. 5までは進行方向に対してほぼ向かい側からの流れであり、流速は0.1m/sec

被験者の直腸温の経時変化を図2に、入水直前からの直腸温の変化度を表3に示した。入水直前の直腸温は、36.9°C～37.8°Cの範囲内であった。S.T.は入水後上昇がみられ、70分頃から低下を示している。O.Z.、T.N.は徐々に低下しその低下度も小さい。N.K.、K.S.は55分頃まで直線的に低下し、その後は低下度が小さくなっている。H.Y.については、15分頃まで急激な低下がみられるが、その後若干上昇し、低下度も小さくなっている。直腸温の変化度については、入水から15分でS.T.は0.8°C、T.N.は0.3°Cの上昇がみられ、O.Z.は同レベルを保っているが、他の3名はいずれも低下を示した。最も低下度の大きいH.Y.については、直線的な低下

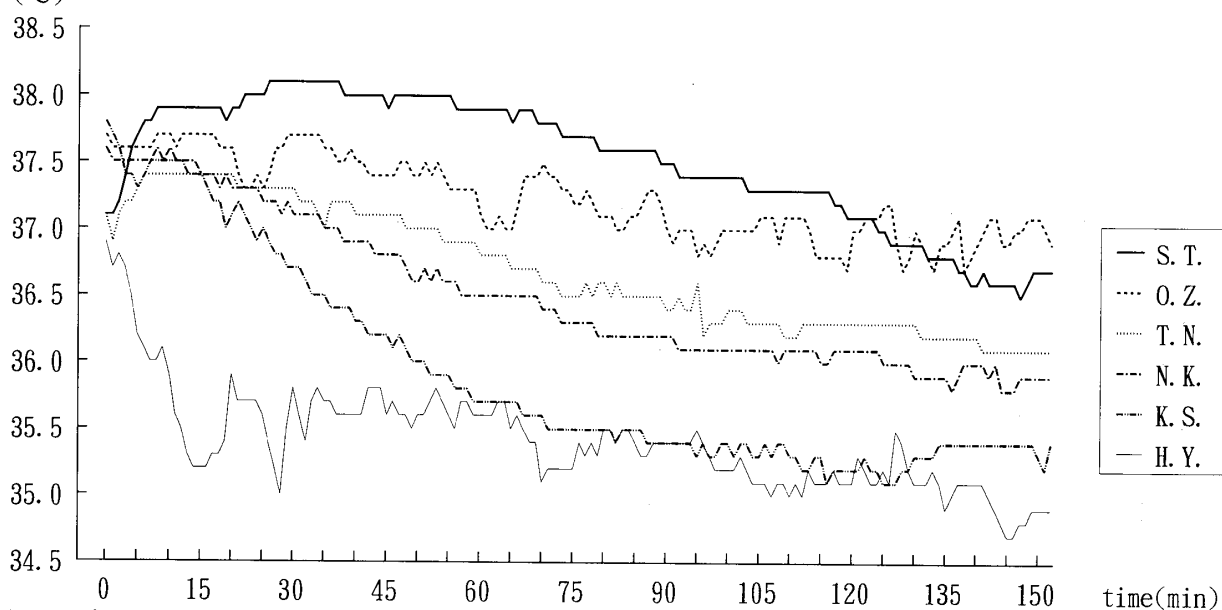


図2 直腸温の経時変化

がみられ, -1.7°C を示した。60分では, S.T.のみは入水直前値よりも高値を保つが, 他の5名はいずれも低下し, K.S.は -2.1°C を示した。120分では, S.T.が入水直前と同じであった以外は $0.7^{\circ}\text{C} \sim 2.6^{\circ}\text{C}$ の低下を示していた。退水時の152分では, S.T.が -0.4°C , O.Z.が -0.8°C , T.N.が -1.0°C , N.K.が -1.7°C , H.Y.が -2.0°C , K.S.が -2.4°C であった。

表3 入水直前からの直腸温の変化度 ($^{\circ}\text{C}$)

	S.T.	O.Z.	T.N.	N.K.	K.S.	H.Y.
15 min	0.8	0.0	0.3	-0.2	-0.4	-1.7
30 min	1.0	0.0	0.2	-0.5	-1.1	-1.1
45 min	0.8	-0.3	0.0	-0.8	-1.6	-1.3
60 min	0.8	-0.6	-0.3	-1.1	-2.1	-1.3
75 min	0.6	-0.5	-0.6	-1.3	-2.3	-1.7
90 min	0.4	-0.7	-0.7	-1.4	-2.4	-1.5
105 min	0.2	-0.6	-0.8	-1.5	-2.5	-1.8
120 min	0.0	-0.7	-0.8	-1.5	-2.6	-1.8
135 min	-0.3	-0.8	-0.9	-1.7	-2.4	-2.0
150 min	-0.4	-0.6	-1.0	-1.7	-2.5	-2.0
152 min	-0.4	-0.8	-1.0	-1.7	-2.4	-2.0

図3に直腸温の低下度と体脂肪率の相関を示した。有意 ($p < 0.01$) な負の相関を示し, 体脂肪率の低い者ほど直腸温の低下度が大きく, 体脂肪率が高くなるにつれて直腸温の低下度は小さい結果であった。

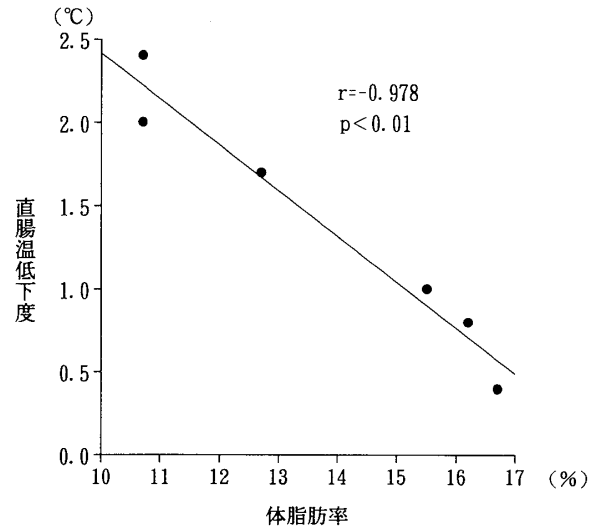


図3 直腸温の低下度と体脂肪率の相関

図4は, 測定値に欠損のなかったT.N., N.K.の2名の心拍数の経時変化を, また図5は15分毎の平均心拍数の変化を示した。入水から25分

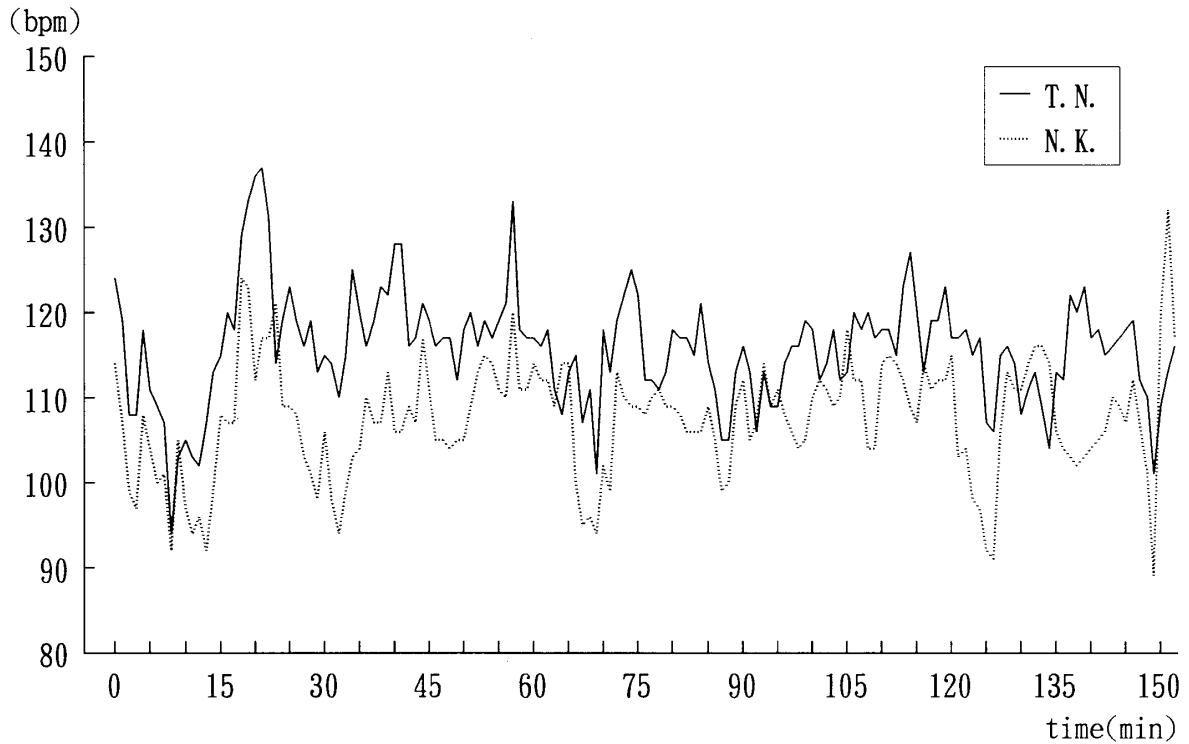


図4 心拍数の経時変化

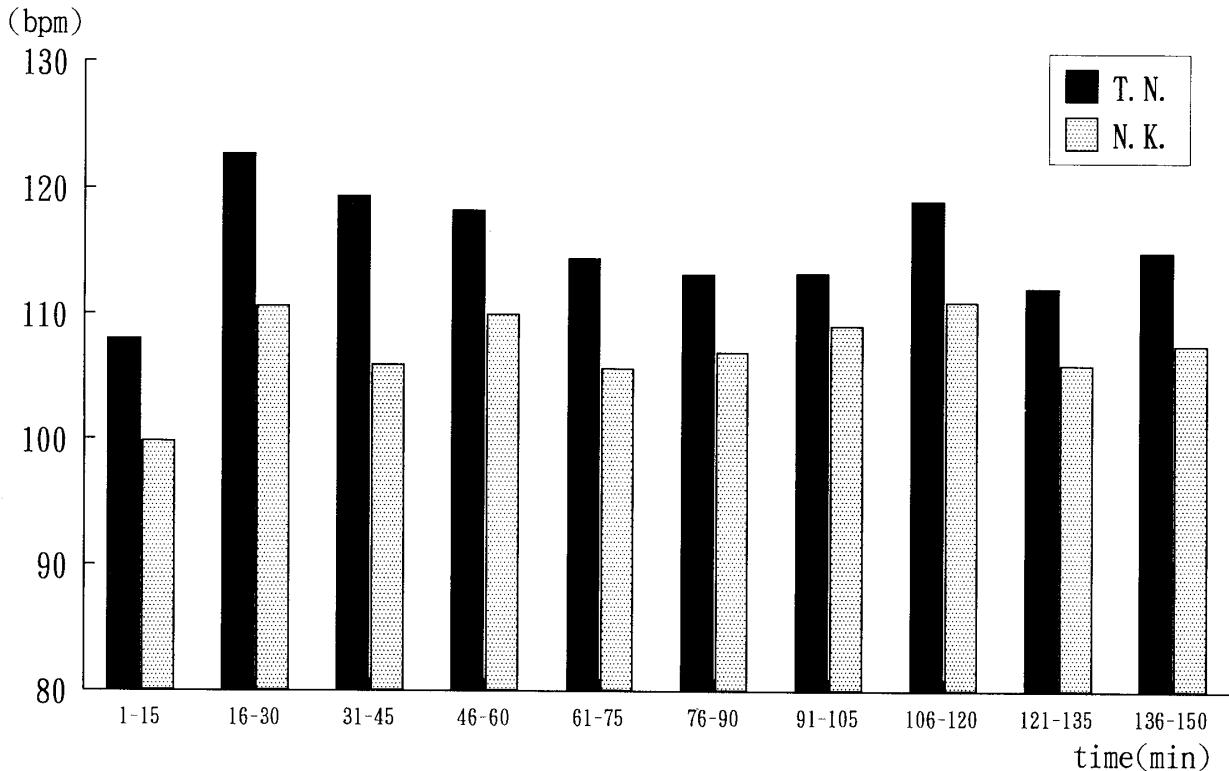


図5 15分毎の平均心拍数の変化

頃までは変動が大きかったが、変化傾向は全体を通してほぼ同様であった。個人差では、T.N.はN.K.よりも高値を示しており、平均心拍数でもT.N.はN.K.よりも約8拍/分ほど高値であった。T.N.は30分以降は105分頃まで低下傾向にあり、106分～120分で上昇がみられたがその後再び低下した。N.K.についても91分～120分で上昇がみられたが、その後低下した。

表4には15日及び16日の起床時心拍数を示した。被験者全員が、遠泳翌日の16日で15日より2拍/分～10拍/分の高値を示していた。

表4 起床時心拍数の比較 (bpm)

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

図6に全身温冷感の変化を示した。入水直前は、「ふつう」もしくは「少し暖かい」であったが、時間経過と共にばらつきが大きくなり、90分以降はS.T., O.Z., T.N.が他の3人よりも暖か

い側の申告であり、90分ではN.K., K.S., H.Y.の3名は「寒い」と申告していた。S.T.は、60分から150分まで「少し涼しい」の申告であった。N.K.は120分及び150分で、K.S.は150分で「寒い」と「かなり寒い」の中間申告をした。

図7にRPEの変化を示した。個人差が大きく、30分でS.T.は「11. 楽である」に対し、T.N.及びN.K.は「15. きつい」と申告している。それ以降も、S.T.はあまり変わらず、次いでO.Z.が楽な側の申告であり、他の4名はきつい側の申告であった。

図8に快適感の変化を示した。入水直前は、全員が「何ともない」の申告であり、30分ではK.S.が「やや不快」だった以外は変化がなかった。60分以降で個人差が大きくなり始め、90分でK.S.が、120分はT.N., N.K., H.Y.が「不快」と申告した。150分ではS.T., O.Z.の「何ともない」に対して、T.N., N.K., H.Y.は「不快」、K.S.は「不快」と「苦しい」の中間申告であった。

体重変化については, 0.5kgの減少が S.T., T.N., 1.0kgの減少が O.Z., H.Y., 1.5kgの減少が N.K., K.S.であった。

IV. 考 察

低水温中の水泳については, 皮下脂肪量の多い者が有利であるということは, Pugh¹³⁾や Bergh¹⁾らの報告からも明らかである。本研究における被験者でも, 体脂肪率が高い学生ほど直腸温の低下度が少なく(表3), その低下速度も図2に示す如く緩やかであった。6名中最も体脂肪率の高かった S.T.は, 入水後上昇し120分

まで入水前のレベルから低下することがなく, 退水時でも0.4℃の低下に留まった。一方, 体脂肪率が最も低い K.S., H.Y.は, 退水時にはそれぞれ2.4℃, 2℃もの低下が見られた。水温は St. 1が25.0℃, St. 2~ St. 6では24.5~24.7℃の間であり, 安静時よりも運動時における直腸温の低下の方が大きくなると言われる水温⁷⁾であり, また直腸温の低下の勾配に著しい差がみられると報告されている水温(24.2℃)¹³⁾に近い温度であったことも影響しているものと思われる。また, 流向が St. 3~ St. 5までは進行方向に対してほぼ正面から流れていたことも, 直腸温の低下度の違いに影響しているものと考えら

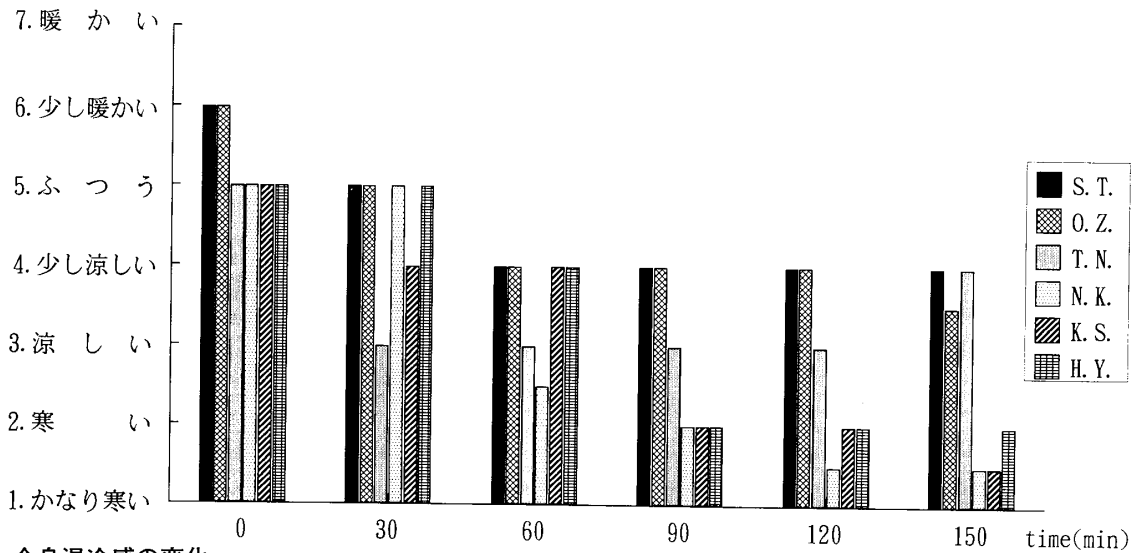


図6 全身温冷感の変化

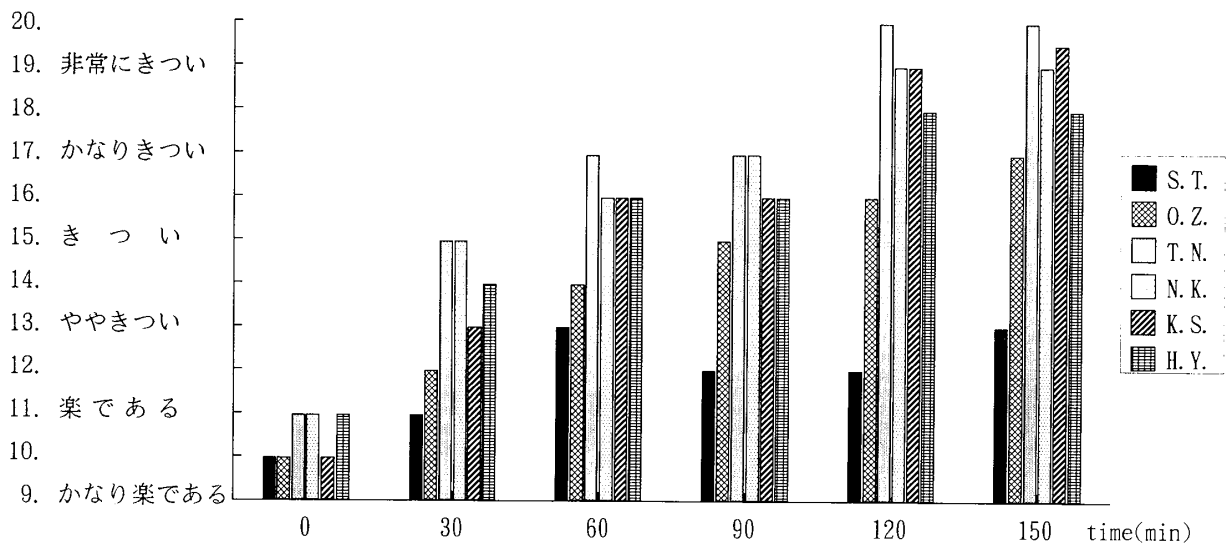


図7 主観的運動強度(RPE)の変化

れる。これは、海水の流れがほとんどなく、泳ぐ速度も非常に遅かった15分までの変化が、大きな低下を示した H.Y.を除いては、低下を示した N.K., K.S.の2名においても、その低下度が小さかったことからである。その後の直線的な低下は、四肢の運動による水流に正面からの流速が加わり、水への熱伝導が大きくなったために、体脂肪率の低い者の直腸温の低下勾配が大きくなったものと考えられる。しかし、N.K., K.S., T.N.は70分頃から、H.Y.については35分頃から、若干の低下は見られるもののほぼ定常状態を示している。これは筋運動とふるえによる産熱が体温の低下を抑制しているものと考えられる。温冷感(図6)でも、90分では N.K., K.S., H.Y.の3名は「寒い」と申告しており、それ以降も N.K.は120分及び150分で、K.S.は150分で「寒い」と「かなり寒い」の中間申告をしている。ふるえについては申告させなかったが、泳ぎながらもふるえは起きていたものと思われる。

一般的に陸上における運動では、運動強度が一定であれば、心拍数の増加が見られ、体温も上昇する。本実験においても泳ぐ速度を一定に保つように指示しているため運動強度はほぼ一定であったと思われるが、平均心拍数では後半にかけて低下傾向を示していた。寒冷暴露時に

は、安静時、運動時ともに心拍数が減少する¹⁵⁾とされており、本実験のように体温低下がみられるような状況下においては、一定強度により運動を継続しても心拍数が減少するものと思われる。心拍数に増加がみられた91分~120分の時間帯は風速が強くなった時間帯と一致しており、これは向かい風による抵抗が影響したものと思われる。今回の遠泳の運動強度は、T.N., N.K.の心拍数の変化(図4,5)からも比較的強度であったものとは思われるが、水温と体温の低下が心拍水準及び心拍数の減少に影響していると考えられるため、この値をそのまま運動強度の推定に用いることはできないものと思われる。低水温環境下の遠泳時の心拍数からその運動強度を推定する場合には、過少評価しないように注意する必要があるものと思われる。個人差では T.N.が N.K.よりも高値を示している(図4,5)が、15日の起床時心拍数は T.N.が60拍/分、N.K.が56拍/分であり、運動能力としては N.K.の方が優るために、平均心拍数においても T.N.に比して N.K.が低かったものと思われる。

RPE の申告(図7)は、30分で S.T.と O.Z.以外は「13. ややきつい」以上の申告であり、時間経過と共にきつい側の申告となり、150分では、T.N.が20、N.K.は19であった。136分から150分までの15分間の平均心拍数では、T.N.

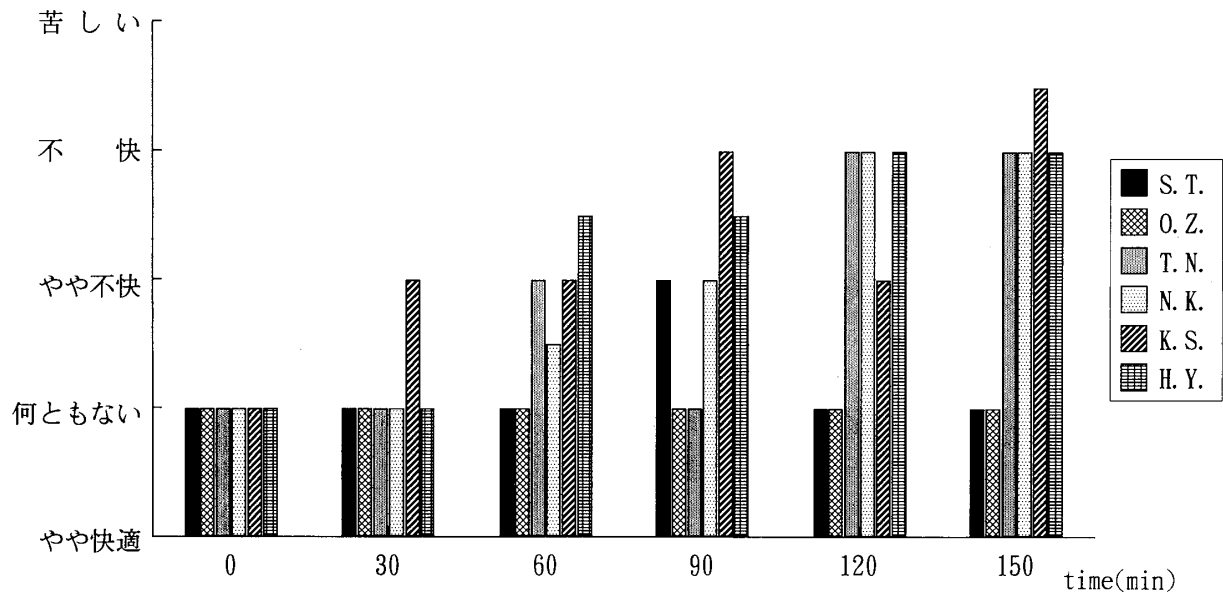


図8 快適感の変化

が115拍/分, N.K.は105拍/分であった。また快適感(図8)に関しても, 150分ではS.T.及びO.Z.以外は「不快」な状態にあった。心拍数からの推定では, 運動強度はさほど高くないにもかかわらず, RPEの申告が高く, また快適感でも不快な状態を示したのは, 体温低下とそれに伴うエネルギー消費量の増加が影響していることも考えられる。運動強度が比較的低いことから, 運動で消費されるエネルギーには脂肪が利用されたと考えられるが, 同一の運動形態にも関わらず, 体重減少量はS.T., T.N.が0.5kg, O.Z., H.Y.が1.0kg, N.K., K.S.が1.5kgであり, 大きな差がみられている。脂肪は, 熱放散の防熱作用として働くと共に, 熱産生材として利用される¹²⁾。ふるえによる熱産生により代謝を高めたとすれば, 当然脂肪が利用され, 運動により消費された脂肪量に, 産熱に用いられた脂肪量加わるものと考えられる。傾向としては, 体脂肪率の低い方が体重減少量も多く, 生体負担が大きくなる可能性があるものと考えられる。さらに, 人体の寒冷暴露中の酸素消費量の増加は, 男子では80%以上にも及ぶとの報告⁶⁾も見られる。16日の起床時心拍数は, 全員が15日よりも高値を示し, 前日の遠泳に伴う疲労は完全に回復していない状態であったと考えられる。これらの被験者は, 全員が水泳部の学生であり, 泳ぐことには慣れているにも関わらず疲労が回復されていないことは, 低水温の場合には運動による疲労に加えて, 熱産生増大による代謝量の増加が影響するものと考えられる。

以上のことから, 低水温環境下での長時間の遠泳における体温反応は, 皮下脂肪に大きく影響され, 体脂肪率が低い者は体温の低下も早く, 低下度も大きくなる。また, 体脂肪率が同等であっても, その反応には個人差がみられる。体温の低下に関する要因として, 泳ぐ速度は勿論のこと, 流向, 流速にも影響されるものと思われる。遠泳は運動強度が一定であっても, 心拍は水温と体温の低下に影響され, 低水準に保たれ, 時間の経過と共に減少する傾向にある。運

動強度としては比較的低強度であっても, 主観的な反応は時間経過と共にきつい, そして不快な状態へと移行する。これは, 体温低下とそれに伴う代謝量増加の影響が大きいものと考えられる。

学生を遠泳に参加させる場合には, 事前に参加学生の体構成を調査し, 体脂肪量の少ない学生に対しては, 体温低下に伴う疲労が痙攣等を引き起こす可能性を理解させ, 遠泳前の自己の体調管理を徹底させる必要があるものと思われる。また, 現在までの海浜実習において, 疲労や痙攣により引き上げられたり, 一時退水している学生は, BMIの平均が男子は 36.1 ± 5.8 , 女子は 33.4 ± 1.1 ¹⁴⁾であり, 体脂肪量はかなり少ないものと考えられる。遠泳の隊列を編成する場合には, 泳力による編成に加えて体構成に関しても十分に考慮し, 体脂肪量の少ない学生を隊列の外側及び後方の救助しやすい位置に配置し, それらの学生達の位置を指導者が把握し, 反応を細かく観察しながら遠泳を実施する必要があるものと思われた。

一方, 今回の測定時における水温は, 例年よりも高かったために, この程度の体温変化に留まったとも考えられる。清原⁹⁾らは, 水泳時にTシャツ1枚の着用でも体温低下防止に有効であると報告している。今後は, 条件の悪い場合の対処方法を検討する上で, ウエットスーツ等の着衣条件を加えて, 着衣の有無による反応等についても測定を行い, 安全にかつ効率よく実習を運営するための基礎資料を蓄積していく必要があるものと思われた。

〈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) 日丸哲也, 青山英康, 永田 晟 : 健康体力評価・基準事典 : ぎょうせい, 東京, 1991.
- 6) 藤島和孝, 矢永尚士, 小坂光男, 加地正郎 : 寒冷環境下における体温調節反応の性差 : Journal of Health Science, Kyushu University, 4 : 153-157, 1982.
- 7) Keatinge, W.R. : Survival in Cold Water, Scientific Publications, 1969.
- 8) 北川 薫 : 身体組成とウエイトコントロール, 杏林書院, 東京, 1991.
- 9) 清原伸彦, 浜田元輔, 小早川ゆり, 大坪敏郎, 高橋一衛, 森川寿人, 村本和世 : 低水温水泳時の体温保持に関する研究, 日本体育大学紀要, 15(2) : 21-26, 1986.
- 10) 宮城 進 : 海浜実習における基礎実施計画から実施に至るまでの過程——仙台大学の場合—— : 仙台大学紀要, 24 : 105-113, 1993.
- 11) Nagamine, S., and S.Suzuki, : Anthropometry and composition of Japanese young men and women. Human Biol., 36 : 8-15, 1964.
- 12) 中山昭雄 : 温熱生理学 : 理工学社, 東京, 1981.
- 13) Pugh, L.G.C. and Edholm, O.G. : The physiology of channel swimmers, Lancet, 2 : 761-768, 1955.
- 14) 仙台大学海浜実習調査班資料.
- 15) 吉田敬一, 田中正敏 : 人間の寒さへの適応, 技報堂出版, 東京, 1986.

An Investigation of Human Reaction During Long Distance Swimming
Under Low Temperature Condition

Hirohiko TAKAHASHI, Shozo SUZUKI,
Susumu MIYAGI & Shigetaro KUMASAKA

The change of body temperature during swimming long period of time was influenced remarkably by the state of body fat in lower temperature water environment. The body temperature tended to decrease faster in case of swimmers with lower percent of body fat. The individual differences also influenced the rate of temperature decrease among swimmers with same body fat percentage. It should be noted that the decrease of body temperature was affected by the wave direction and the velocity of sea current as well as swimming velocity.

The swimmers indicated increased difficulties through emotional or mental responses, although the physical intensity level of the long distance swimming remained constant. This condition occurred mainly because it was affected significantly by the decrease of body temperature and ensuing increase of the quantity of metabolism.

The conclusion of this paper is that a grouping of swimmers during long distance swimming should be organized by the state of body fat in addition to the degree of swimming ability, and moreover that the swimmers with low body fat should be placed in the outside or the rear position where swimmers can be rescued easily.