

ダイバーの体熱損失と保温に関する研究 —乾式潜水服の下着の効果—

富安 和徳^{*1} 中村 誠^{*1} 山田 稔^{*1} 村井 徹^{*1}

ダイバーの温熱問題—体熱損失と保温—の一つとして、乾式潜水服の下着の効果について実験した。深海潜水には加温潜水服が必要だとされているが、乾式潜水服の保温効果を向上させれば、温水システムなどの装備が要らなくなるかも知れないからである。

実験は定容量式の乾式潜水服に3種類の下着（綿、ポリエステルおよびテビロン）を着せ、比較のためにウェットスーツを加え、10℃、7℃および5℃の水中に1時間程度潜水させ、直腸温、4箇所の皮膚温、呼吸気温、呼吸量、体重等の計測を行った。

計測値および保温力の計算結果は、テビロン繊維の下着を着た潜水服が最も保温効果が良好で、ウェットスーツは4者のうち最も効果がなかった。乾式潜水服の保温力に大きく関与するのは、服内の水分とガス層の厚さであり、下着の工夫でさらに保温力の増大が得られるのであろう。

Study of Body Heat Loss and Heat Insulation or Heating on a Diver, Effects on Heat Insulation of Underwear for Diving Dry Suit

Kazunori Tomiyasu^{*2}, Makoto Nakamura^{*2},
Minoru Yamada^{*2}, Tohru Murai^{*2}

It is very important that a diver is protected against body heat loss during a dive. We performed an experiment on heat effects of underwear for dry suits as one of the studies on thermal problems for a diver.

Three types of underwear (cotton, polyester, tevilon) with a constant volume suit were tested in 10°, 7°, and 5°C water in a pool, 3.6 m diameter and 3 m depth. A wet suit was also tested for comparison.

Considering the measurement of rectal temperature, 4 points skin temperature, exhalation volume, and the change of body weight, the tevilon underwear provided the best heat insulation, and the wet suit is worst.

We think that the constant volume suit can be used in deep sea dives, instead of suits heated by hot water or electric power, by increasing the heat insulation with underwear and by maintaining the gaseous space in the suit.

*1 潜水技術部

*2 Manned Undersea Science and Technology Department

1. はじめに

潜水環境はダイバーにとって苛酷であると言われる。その環境条件の一つは空気環境に比べて熱伝導度が大きいことである。

空気に対し、水の比熱は約1000倍、熱伝導率は、約25倍も大きいので、ダイバーは水中で体熱を奪われるため、長い時間、または冷水中での作業には、潜水服が必要である。われわれが一般に冷たいと感じ始める15℃の水中に浸ると、放熱のため、2～3時間で生命がきわめて危険な状態になる。また体の一部(腕)が10℃の冷水に浸ると2～5分で痛みを感じ、指は固くこわばって握力が低下する²⁾。

また、潜水しないまでも、高圧He環境に曝露されているダイバーは、圧力に比例して増加するガス密度と、空気の約6倍の熱伝導率をもつHeガスによってきびしい温熱環境に曝露される。

海洋科学技術センターで昭和52年度および昭和53年度の飽和潜水シミュレーション実験で、ダイバーの適温とする気温よりも、2～3℃変化させると、ダイバーの寒暑感と共に、直腸温も変化したことで裏付けられる¹⁾。深海ダイバーにとって暖房(または加温)が必要とされるゆえんである。

深海潜水システムにおける暖房システムは、DDC^{注1)} またはSDC^{注2)}の暖房と防熱、ダイバーの暖房からなる。熱の供給方法として、問題なのはダイバーの加温で、シーラブ計画の時代に電熱式潜水服が研究され⁸⁾、フランスで商品化されたが、電氣的な危険性に関して解消できず、現在では温水式潜水服が使用されている。

ダイバーへの熱供給の量は、ダイバーが適切である温度、熱量とすれば、実用上、問題はない。しかし、熱供給システムにトラブルが生じた場合にはダイバーはどうなるか、またどう対処すべきかについて、安全上の検討を行っておくべきである。このためには、環境条件とダイバーの体熱平衡を知る必要がある。特に放熱と保温、または加温について、潜水中の潜水服と呼吸ガスの加温高圧He環境下の気温、湿度、風速および輻射を考慮した適温条件などが本課題の対称とした。

注1. DDCはdeck decompression chamber, で船上加圧装置である。

注2. SDCはSubmersible decompression chamber で、水中エレベーターの一種である。

今回は乾式潜水服の保温効果の大きい潜水下着について、ダイバーの着用による実験を行ったので報告する。

実験に際して、シバタ工業株の木村矩久氏および魚沢伊知雄氏にご協力をいただいたことをお礼申し上げます。

2. 潜水服

潜水服はウェットスーツとドライスーツの2種類に区別される。

ウェットスーツは発泡ネオプレンゴム製で、ダイバーは服を肌の上に直接着用するため、使用者の体形にぴったり合うように作られている。したがって服の内外の水の流動性は小さい。ウェットスーツの気泡は独立しているので、断熱性にすぐれているが、圧力が加わると、圧縮され、保温力は100mで約 $\frac{1}{3}$ に減少する⁴⁾。圧縮防止のため、マイクロバルーンスーツが開発されたが、発泡ネオプレンゴムよりも熱伝導率がよく、30～60m以浅では、その効果が見られない⁹⁾。温水式潜水服は、ダイバーの肌に温水が、均等に流れるよう工夫されたウェットスーツで、その有効性は当海洋科学技術センターで確認されている¹⁰⁾。ドライスーツは、潜水ヘルメットの開発と共に、18世紀以来、使用され、空気層の断熱効果を利用したものである。一般に用いられているヘルメット用潜水服は、布にゴム引きした強い生地であるが、厚さは1.5mm程度である。ダイバーは潜水服の下に作業服や毛糸のシャツ等を着用し、保温を多少調節できるが、服内のガスが上半身に集まる。近年はガス層を一定に保つようにしたコンスタントボリウムスーツ(Constant Volume Suit)と称する潜水服が開発され、保温力は100mでウェットスーツの約2倍⁶⁾である。

ウェットスーツは深度に伴って保温力が変化することに比べ、ドライスーツの変化はきわめて小さいため、深海潜水への適用を検討する価値がある。本報告ではドライスーツによる暖房装置なしの深海潜水ができるかどうかを検討するためのものである。

3. 方法および器材

潜水服の実用的な保温効果を調べるため、10℃7℃および5℃の低温水中にダイバーを潜らせ、直腸温、皮膚温および呼吸気温の変化を観察する



写真1 テストに用いたドライスーツ
Constant volume type diving
suit for test

こととし、潜水シミュレーター（水深3 m、直径3.6 mおよび高さ6 mのウェットチャンバー）で、実施した。

3.1 潜水服

潜水服は定容量型のシバタ工業社製“ドライスター”（写真1参照）を使用し、潜水下着を次の3種類にした。

(1) ドライスーツ-A

肌着として、帝人社製“テビロン”を2枚重ね着し、その上に綿製作業服上下を着せる。足には木綿靴下の上に毛糸編みの靴下をはかせ、手には毛糸編みの手袋の上にゴム手袋を付け、完全防水した。テビロンは熱伝導率が繊維の中で最も小さく、吸水率がゼロという特性を持つ新しい化学繊維である。

(2) ドライスーツ-B

下着1～2枚と作業服という通常衣服の上

に、ポリエステル綿のキルティング服上下を着せ、作業服の下腰部に発熱体（ホカロン）を2個装着した。手足部の装着はドライスーツ-Aと同様とした。

(3) ドライスーツ-C

ドライスーツ-Bと同様の通常衣服の上にポリエステル綿の防寒着用キルティング服上下を着せた。手足部は他の場合と同様とした。

このほか、比較用として厚さ6 mmのウェットスーツを加え、4種類の潜水服を実験対象とした。

ウェットスーツ着用者はウェットスーツ地の手袋およびソックスを装着した上、5℃潜水時にはゴム手袋の下に軍手を付け、ウェットスーツとフード、手袋およびソックスの合わせ目をビニールテープで止め、服内に浸水しないようにした。

3.2 潜水呼吸器

潜水呼吸器はアクアラング用シングルホースレギュレーター、DMC-7、KMB-10、スーパーライト-17、ビジョネールマスクを適時使用し、呼吸ガスはアクアラング-ダブルポンペを用いた。

3.3 生理温度

被検者は、表1に示すように、19～48歳の健康な男性である。潜水時間は、60分以上とするが、直腸温度が36℃以下となったとき、またはダイバーが我慢できない寒さにおそわれた場合には浮上させることにした。

3.3.1 体温および皮膚温の測定

体温測定として、体の中心部温度（core temperature）に最も近い値を示すのは食道温度であるが、計測が簡単でないので、一般に

表1 被検者の体位表

Anthropometric characteristics of
the subject

ダイバー subject	年齢 age	身長 height (cm)	体重 weight (kg)	体表面積 body sur- face area (m ²)
YS	26	162.5	59.5	1.63
ST	48	169.6	73.7	1.84
AN	29	167.8	60.5	1.68
MH	31	165.7	60.7	1.67
KK	31	169.0	57.2	1.65
SK	19	170.0	57.2	1.66
IT	19	164.0	51.3	1.54
$\bar{x} \pm \sigma$		166.9 $\pm$ 2.7	60.0 $\pm$ 6.3	1.67 $\pm$ 0.08

利用される直腸温度を宝工業社製サーミスタ直腸温度計で計測して体温とした。

直腸温度は運動時には身体の中心部温度への追従が早い³⁾が、潜水時は直腸への血統が減少するため、温度変化が数分遅れる³⁾が、測定値は実際時間のまゝ採用した。

皮膚温は胸、上腕、大腿および下腿の4点法を用い、宝工業社製露出型サーミスタセンサーを、ミリポアフィルターテープで、写真2のように固定し、デジタルプリンターに1分ごとの値を記録させた。



写真2 温度センサの取付
Thermister sensor fitted at shank



写真3 計測用コード
Unbilical for measurement ; rectal temperature, 4 points skin temperature, heart rate

3.3.2 寒冷感の表現

寒さ、冷たさの感じは個人差がかなり大きいと思われるが、経時変化が現われれば、保温効果の比較の対象になり得る。そこで全身および体の各部(頭、腕、手、指、腹、背、腰、大腿、下腿および足の10箇所)について5段階評価によるアンケート調査を行った。

全身については、寒さ感として、

- (1)なんともない
- (2)涼しい
- (3)少し寒い
- (4)寒い
- (5)非常に寒い

とした。

体の各部については、寒さおよび冷たさの感じとして、

- (1)なんともない
- (2)少し冷たい
- (3)冷たい
- (4)ぴりぴりする
- (5)痛い



写真4 ドライスーツの水中状態
Swelled and squeezed section of dry suit under water

として表現した。

アンケートの採集は、記録板の表の概当欄に○印をダイバーに書き込ませる様、テンダーが適時記録板を水中に吊り降した。

3.3.3 参考値の測定

その他、参考値の測定として、呼吸気温、呼吸数（呼吸気温の記録から数える）、心拍数、呼吸量および体重変化量を計った。

温度および心電用コードは潜水服の胸部に穴を開け、貫通し（写真3参照）防水処理を行った。

なお、水中でのダイバーの姿勢は、最もきびしい状態として、立位安静とし、2名同時に潜水させた。

4. 結 果

実験は潜水シミュレーターの水冷却能力によって、10℃、7℃、および5℃を各1日ずつ3日間

行い、表2のように実施した。

潜水時間の最長は、102分であるが、寒さの限度による浮上ではない。5℃におけるウェットスーツの35分は、ゴム手袋が破れ、手の痛みのために浮上したものである。

第1日目はスーツ内に浸水があった。ドライスーツでは、胸、腹部、背等がどのダイバーの場合にも、作業服が多少湿っており、浸水と汗との区別は明確ではないが、皮膚温測定値とダイバーの証言から判断した。第2日および第3日は、ほぼ満足な実験が実施できた。

4.1 直腸温度

直腸温度は、個人差があるため、変化と比較がわかりやすいように潜水開始時を起点として図1に表わした。

ダイバーが冷水に浸ると生態反応によって直腸温が一時的に上昇する。

上昇の大きさ、時間的割合は状況によって異

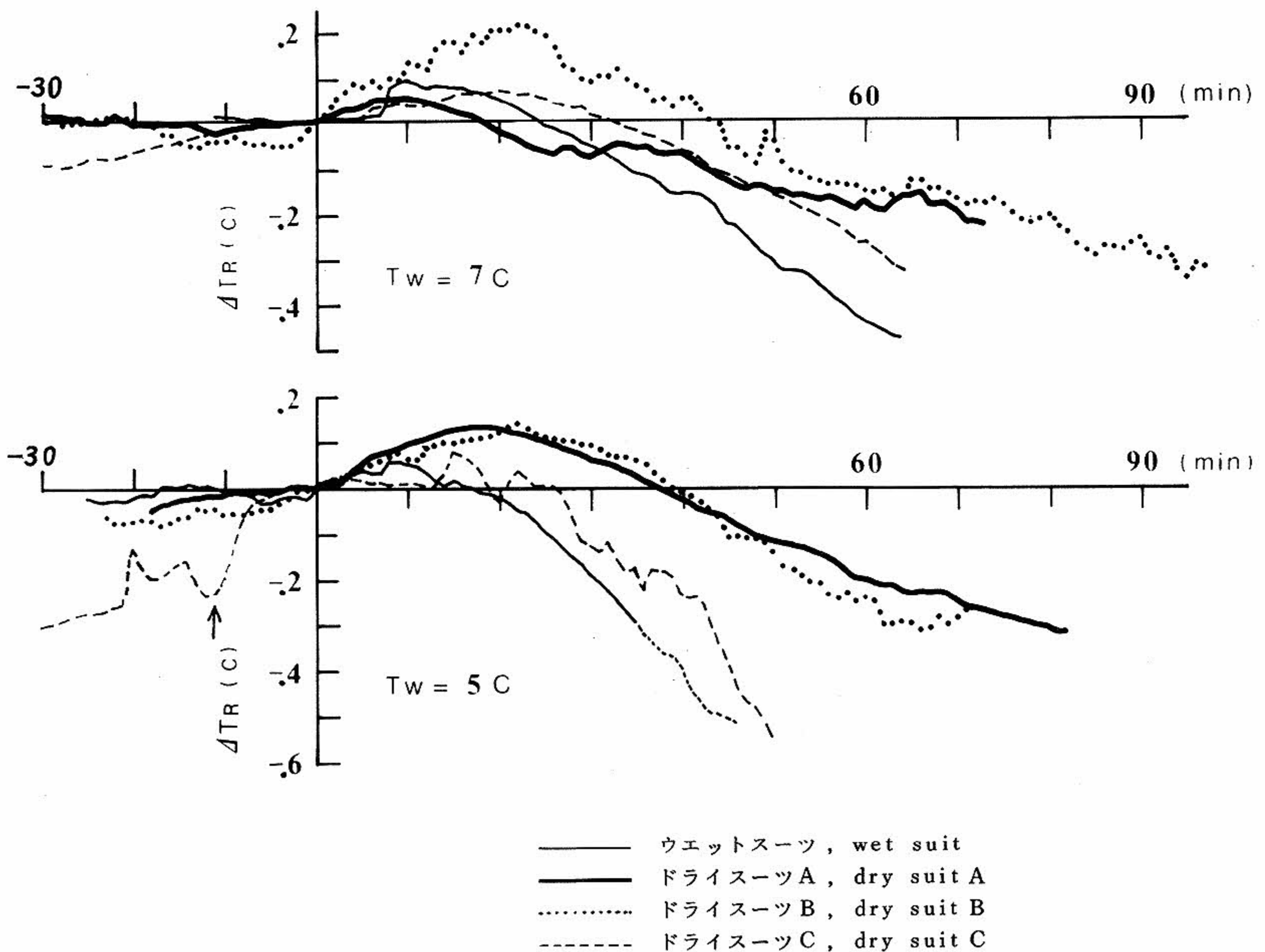
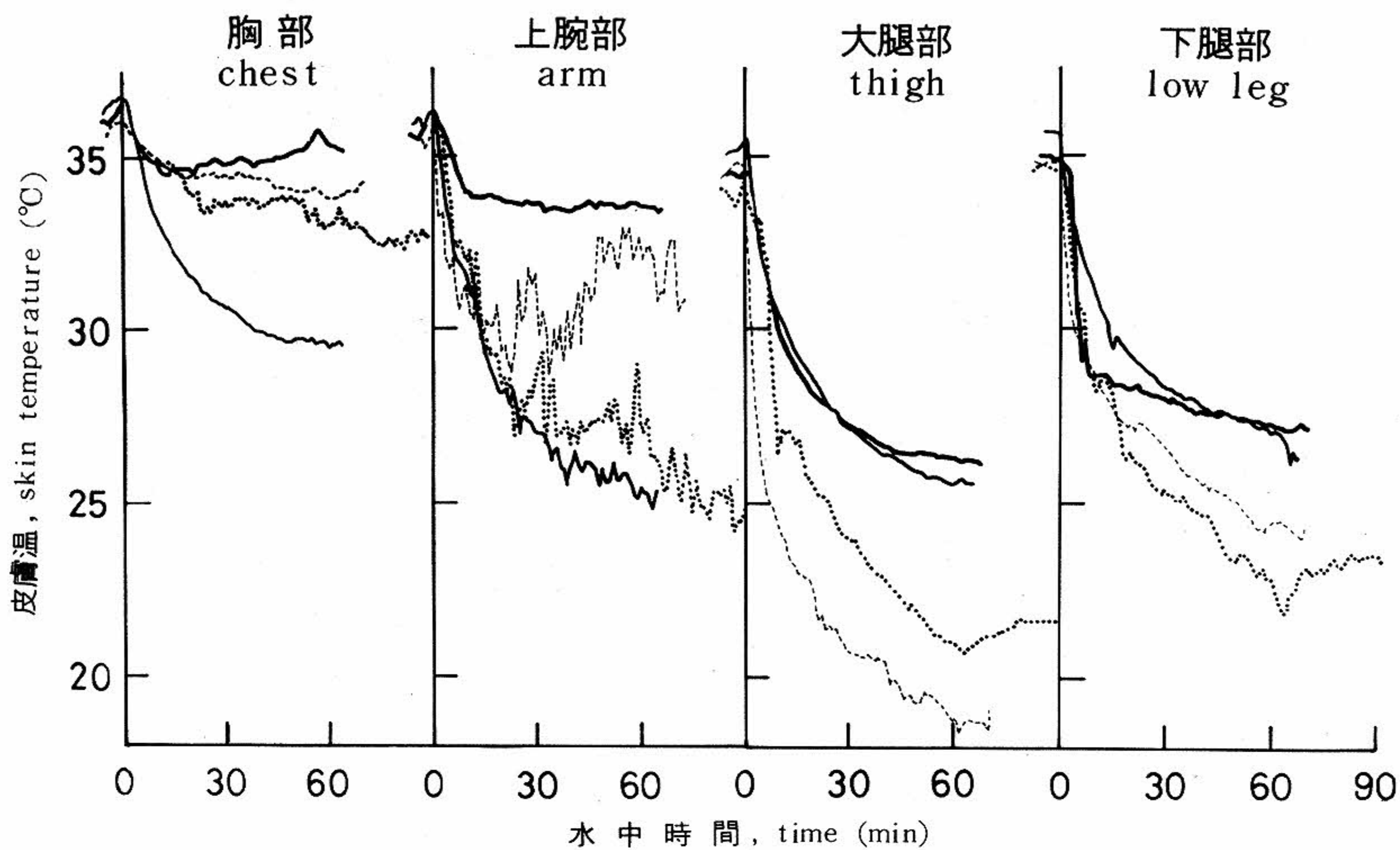
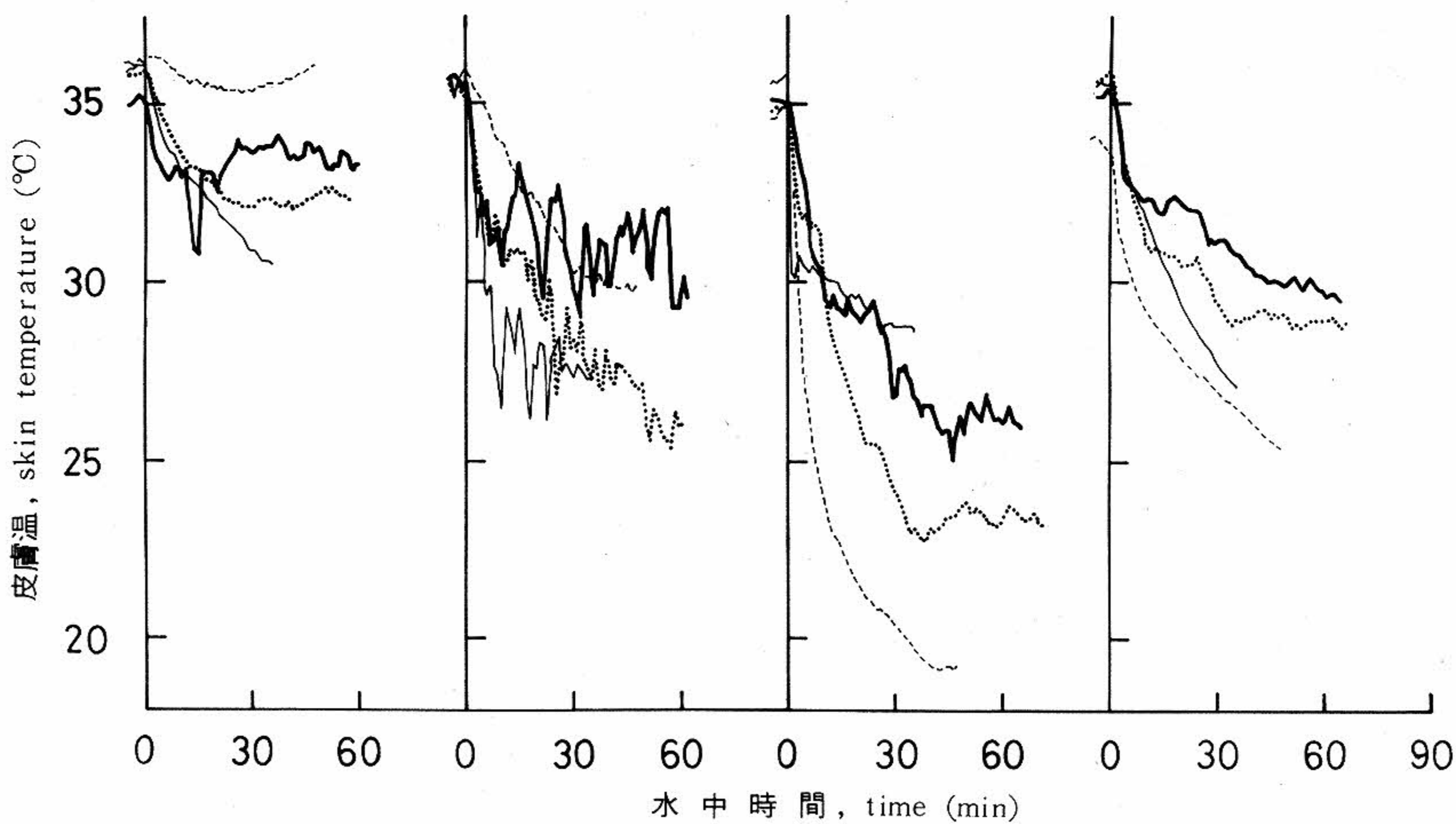


図1 冷水潜水中の直腸温の変化

Rectal temperature's change during immersion



(1) 水温, water temperature, 7 °C



(2) 水温, water temperature, 5 °C

— ウェットスーツ, wet suit ドライスーツ-B, dry suit-B
 ——— ドライスーツ-A, dry suit-A - - - - - ドライスーツ-C, dry suit-C

図2 潜水時の皮膚温の経時変化
 Skin temperature during immersion

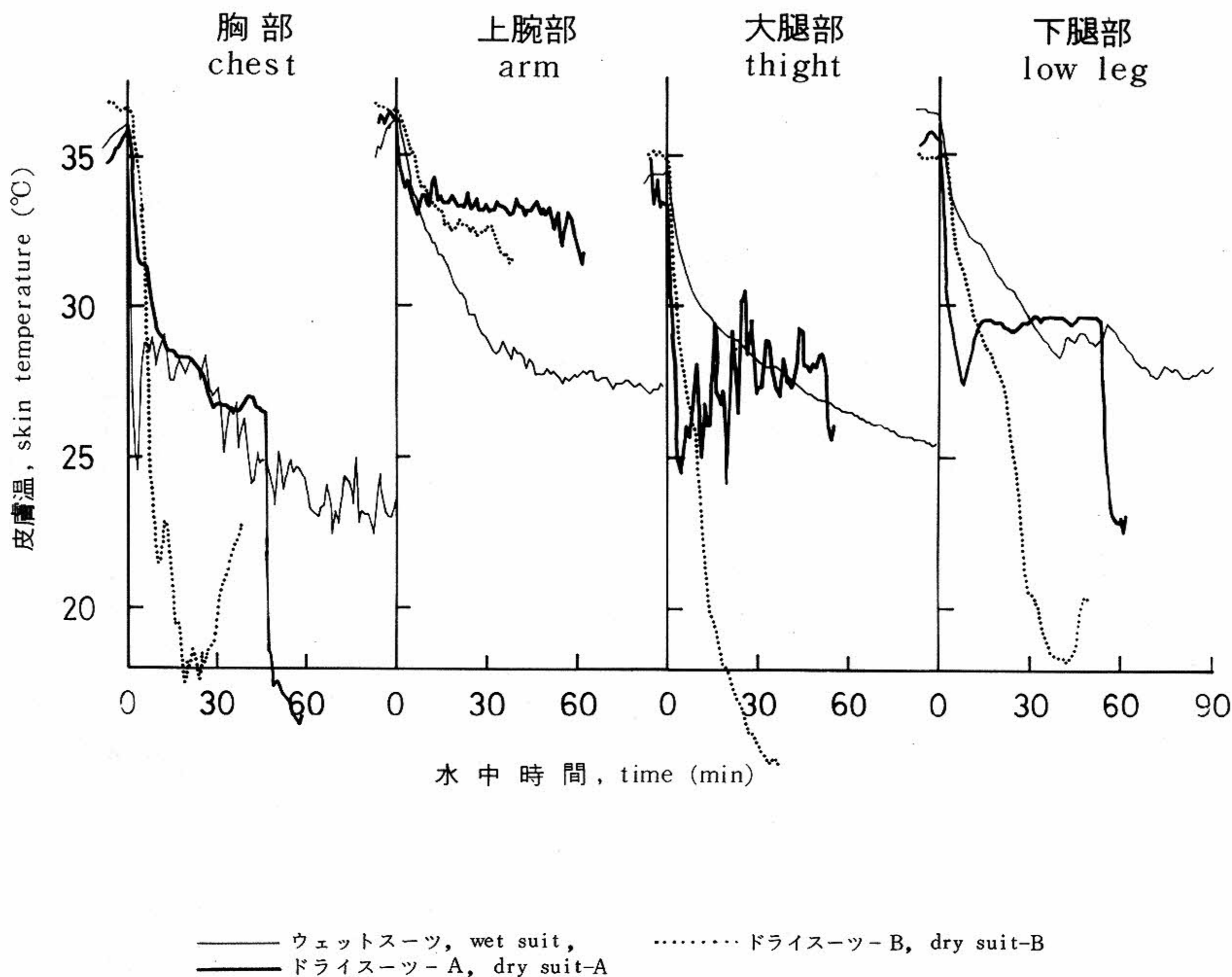


図3 10℃ 潜水時の皮膚温の経時変化

Skin temperature during immersion at 10℃ Water

なり、冷水が体の一部に直接接触することによって急速に大きな変化をすることを示した。図中の矢印の部分、足部への浸水によって約2.5℃の上昇を示し、ウェットスーツで10℃の潜水時、首から胸へ水が浸入したことによって約0.5℃の上昇があった。

直腸温度の降下は、総放熱量の大きさに関与するので、降下速度からみられるウェットスーツとドライスーツの明確な差は保温力の差によるものである。またダイバーを浮上させて冷却を止めて

も降下を継続し、ウェットスーツでは5℃の水中から出たのちも0.4℃降下し、約10分後に上昇を始めた。

4.2 皮膚温

胸、上腕、大腿および下腿の4点の皮膚温測定値を図2に示す。

胸部温のドライスーツ-Cは、震えによる産熱で上昇を示し、上腕部はやはり震えによって大きく揺らいでいる。下体部では下腿よりも大腿の方が降下が大きかった。

表 2 冷水中潜水テストの状況

Document of immersion tests in cold water

水 温 water temperature (°C)	1 0			7				5			
着用潜水服 Diving dress	ウェットスーツ wet suit	ドライスーツ dry suit -A	ドライスーツ dry suit -B	ウェットスーツ wet suit	ドライスーツ dry suit -A	ドライスーツ dry suit -B	ドライスーツ dry suit -C	ウェットスーツ wet suit	ドライスーツ dry suit -A	ドライスーツ dry suit -B	ドライスーツ dry suit -C
ダイバー subject	Y S	S T	A N	Y S	S T	A N	M H	Y S	K K	S K	I T
水中時間 immersion time (min)	94	63	38	64	63	102	68	35	77	60	45
平均呼吸量 mean respiratory volume (ℓ/min)	10.6	23.8	26.3	14.1	22.5	—	32.4	14.3	27.8	21.7	22.2
体重減少量 body weight loss	* 479	* 714	316	441	381	206	382	343	* 483	150	333
使用潜水器 used diving gear	single ho- se regula- tor	DMC-7	superlite - 17	singleho- se regul- ator	DMC-7	KMB-10	KMB-10	visional mask	DMC-7	KMB-10	KMB-10
漏水及下着 のぬれ	—	胸の下右 半身両足	左上体を 除く部分	—	左足, 腹部 に僅か	左足, 背に 僅か	胸, 腹部	左 手	腹部に少	胸部に少	左 足

* 浮上直後の放尿を含む

潜水服との関係では、ドライスーツ-Aの皮膚温が総じて最高を示し、ウェットスーツの胸部および上腕は最低、大腿部、下腿部はドライスーツ-Aに近い皮膚温であった。

図3はスーツ内への浸水を示したものでウェットスーツでは潜水開始と同時に、ドライスーツ-Aおよびドライスーツ-Bでは潜水してまもなく浸水があり、さらにドライスーツ-Aでは約45分後、サーミスタセンサー部に冷水が達したことを示している。

4.3 寒冷感のアンケート結果

アンケートの回答は、調査表の欄をすべて、うめられなかった。

図4は全身の寒さ感の経時変化である。水温が低い程、寒さ感が早く到来することが示されている。

図5には身体各部の寒冷感経時変化を示す。概して、手、指、足、下腿部の寒冷感が大きく、頭、腕、腹部等が小さかった。

4.4 その他

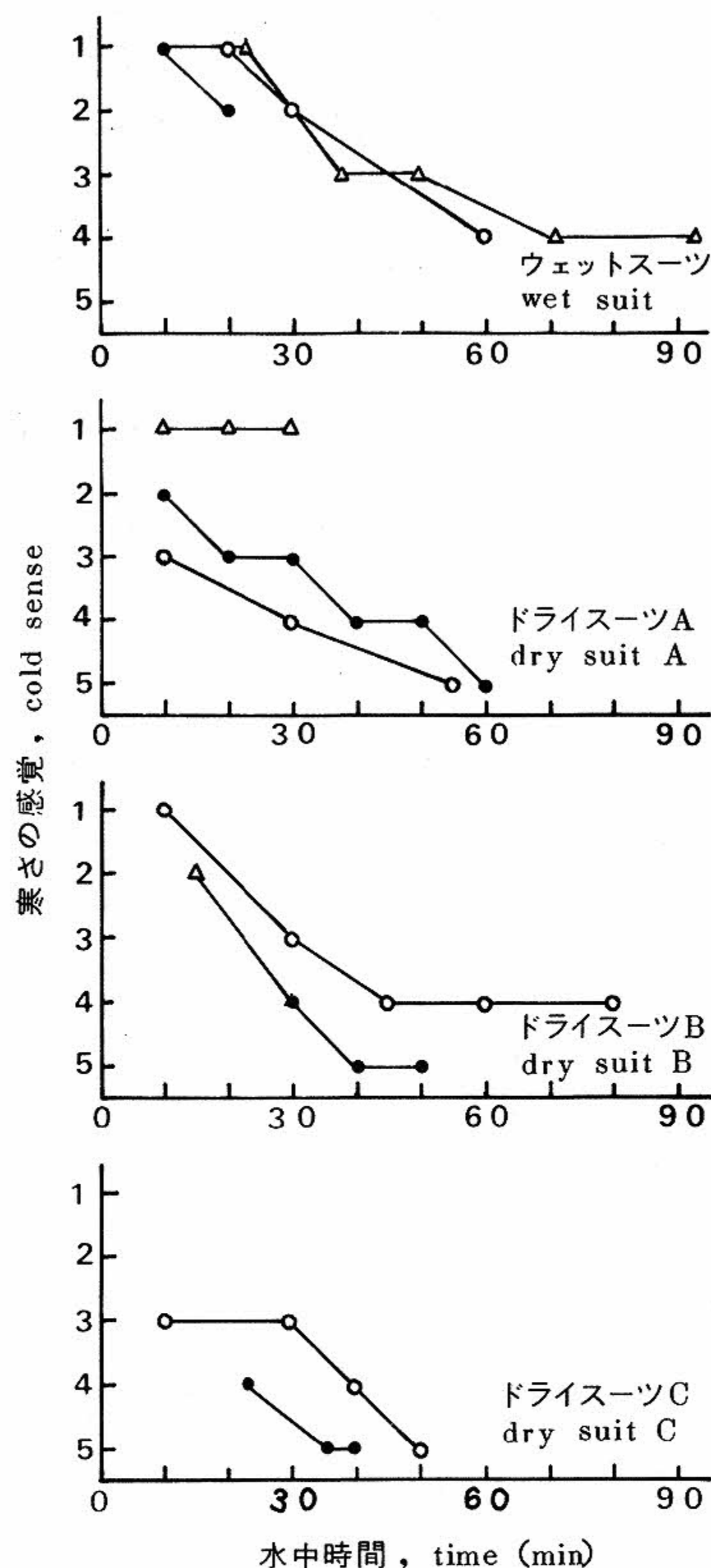
呼吸数および心拍数は、経時的に、わずかに増加する傾向を示した。呼吸温度はセンサーに水滴がかかり、満足な測定値が得られなかった。また、呼吸量は表2に示すとおりである。スクーバボンベ圧からの計算値によれば、水温との相関は示されていない。ウェットスーツ着用者のみ、呼気を湿式流量計で測定し増加の傾向がみられた。

5. 考 察

実験はすべて1ケースずつであるから個人差がどの程度影響しているか不明である。皮膚温、直腸温およびアンケートの結果は、潜水服の着衣状態によって明らかに異なっているようである。

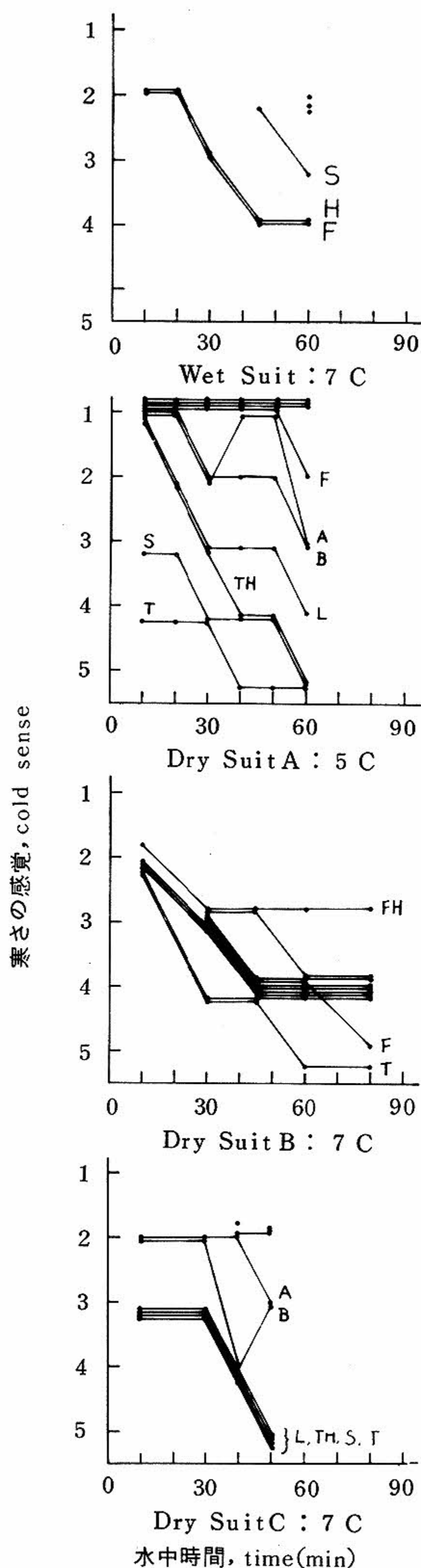
5.1 皮膚温からみられる潜水下着の効果

ウェットスーツで潜水するとき、スーツ内に水が入ってくるが体温で温められる。通常、図3の状態にあると思われ、保温効果は良いが、ウェットスーツは水深増加に伴ってスーツの厚みが薄くなり、保温力が減少するので、深度変化が大きい場合はドライスーツの方が保温力がすぐれていることは明らかである。ドライスーツの保温力は、服内の空気層によるもので、服地自身の断熱性は小さいので浸水があるときわ



- △ 10℃
○ 7℃
● 5℃
寒さの感覚, cold sense;
1. なんでもない, Senselessness
2. 涼しい, Cool
3. 少し寒い, Slightly cold
4. 寒い, Cold
5. 非常に寒い, Very cold

図4 潜水中の寒さ感の経時変化
Cold sense during immersion



FH 前頭, fore head B 背, upper back
 ch 胸, chest L 腰, loin
 A 腹, abdomen IH 大腿, thigh
 UA 上腕, upper arm S 下腿, low leg
 H 手, hand I 足, foot
 F 指, finger

図5 身体局部の寒さ感の経時変化
 Cold sense at parts of body during immersion

めて影響が大きいことが図3から推察される。
 ドライスーツで潜水した状態は、写真4のよう
 に服内のガスは上半身に溜り、下肢部は締め付
 け状態となり、このとき、図6のように4点の
 皮膚温は胸部および上腕部が高く、下腿部が最
 低となる。

今回の実験では、すべての測定で下腿部より
 大腿部の方が大幅な低温となった。この原因は
 靴下とズボンが下腿部で重なったことによって、
 大腿部よりも厚い空気層が確保されたためであ
 る。

ドライスーツについてみると、すべての測定
 値でドライスーツ-Aの皮膚温が最も高く、こ
 の潜水下着の保温力が最もすぐれていることが
 わかった。

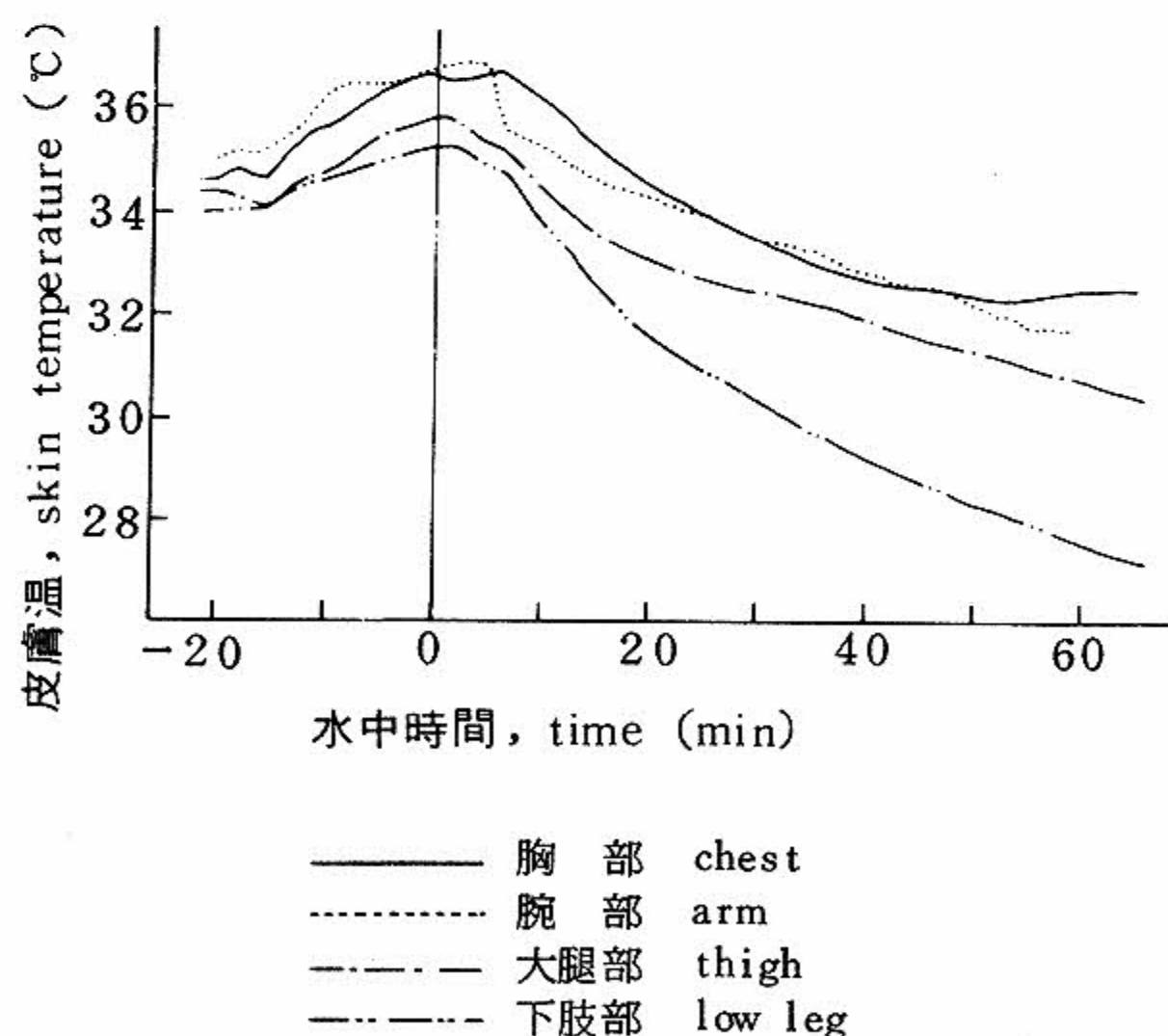
5.2 直腸温からみられる潜水下着の効果

図1に示した一過性の直腸温の上昇と、その
 後の直腸温の降下と寒冷熱負荷量を表3に示す。

寒冷熱負荷量 Q (kcal/hr), 体温の変化量
 $\Delta \theta_R$ ($^{\circ}\text{C/hr}$), 人体の総合比熱 r (kcal/ $^{\circ}\text{C} \cdot$
 kg)および被検者の体重 W (kg)の間には、次
 式が成立する。

$$Q = \Delta \theta_R \cdot r \cdot W \dots\dots\dots(1)$$

ここに $r = 0.83 \text{ kcal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{kg}^{\text{7)}}$ である。 Q



スーツ Suit; ヘルメット用ドライスーツと viking suit の下着
 水温 TW ; 8.3~8.9 $^{\circ}\text{C}$
 ダイバー, Subject ; N.I
 呼吸ガス, Breath ; $\text{He}-\text{O}_2$ (Sept, '74)

図6 ヒフ温の経時変化

Skin temprvatuve during immevsion
 put on a diving dress for helmet
 dived.

表 3 体温変化と寒冷熱負荷

Change of rectal temperature and cold heat stress

水温 water temp. (°C)	着用潜水服 diving dress	ダイバー subject	一過性体温上昇 temporary rise in rectal temperature		潜水中の平均体温降下率 fall rate of rectal temp		熱負荷量 heat loss		潜水服の 保温力 heat insulating capacity of diving suits
			上昇温度 rise in temperature	上昇時間 time for rise in temp.	計算値 value	適用時間 time for used compute	ダイバー当り total heat loss [Q]	呼吸熱損 respiratory heat loss [RHL]	
			°C	min	°C/hr	min	kcal / hr	kcal/ hr	
10	ウェットスーツ wet suit	Y S	2.55	2	1.09	72 ~ 94	53.8	3.95	3.31
	ドライスーツ dry suit	A S T	—	—	—	—	—	—	—
		B A N	0.25	12	0.70	5 ~ 38	35.2	9.85	4.67
7	ウェットスーツ wet suit	Y S	0.2	10	1.49	20 ~ 64	73.6	5.76	2.85
	ドライスーツ dry suit	A S T	0.1	10	0.44	5 ~ 68	26.9	9.22	14.1
		B A N	0.5	23	0.70	5 ~ 93	35.2	—	—
		C M H	0.15	20	1.14	25 ~ 64	57.4	13.34	4.61
5	ウェットスーツ wet suit	Y S	0.1	8	2.35	20 ~ 40	116.1	6.17	1.97
	ドライスーツ dry suit	A K K	0.3	18	1.07	20 ~ 60	50.8	12.05	6.14
		B S K	0.3	22	1.34	11 ~ 55	63.6	9.37	4.00
		C I T	0.65	20	1.93	10 ~ 45	82.2	9.62	2.83

は全身からの放熱量を含んでいるので、 Q から呼吸放熱量を除去すると、体表部からの放熱量となり、これによって潜水服の保温力(cl_o)を導くことができる。呼吸放熱量を $RHL(kcal/hr)$ 被検者の体表面積を $SA(m^2)$ 、平均皮膚温 $\bar{T}_{SR}(^{\circ}C)$ と水温 $\theta_w(^{\circ}C)$ の差を $\Delta\theta(^{\circ}C)$ とすると、

$$cl_o = SA \cdot \Delta\theta / 0.18 (Q - RHL) \dots\dots (2)$$

である。

水中の呼吸状況から、吸気温 $\theta_{in}(^{\circ}C)$ は水温 θ_w に等しく、呼気温 $\theta_{ex}(^{\circ}C)$ は吸気温が $1^{\circ}C$ 低くなれば、呼気温が $0.2^{\circ}C$ 下がる⁴⁾ことから呼吸気体の密度 $\rho(kg/m^3)$ 呼吸気体の比熱 $C(kcal/C \cdot kg)$ および呼吸量 $q(m^3/hr)$ (表2参照)によって、

$$RHL = \rho \cdot c \cdot q (\theta_{ex} - \theta_{in}) \dots\dots (3)$$

$$\theta_{ex} = \theta_R - 0.2 (\theta_R - \theta_w) \dots\dots (4)$$

ただし、 θ_R = 直腸温
により概算できる。

表3の算出にあたり、 $\bar{T}_{SK}$ および θ_R は入水後、26～35分の平均値をとった。この表の Q および cl_o 値から、ウェットスーツの保温力はドライスーツに及ばない。ドライスーツのA、B、Cの差は潜水下着のみの影響によるものであるから、その保温効果はA、B、Cの順にすぐれていると断定できる。

ドライスーツの下着による差は、何によるかを次に考察する。

5.3 空気層の厚さおよび水分の影響

潜水服はゴム製であり、服内は密閉空間である。ウェイト調節をしないままの潜水服着用時の浮力を計測した結果、実験に用いた潜水服の場合は最大11kg、最低2～3.5kgであり、被計測者の適量浮力は7kgであった。大雑把に見積って、この浮力は潜水服内の容積であるから、通常の服内容積は7ℓと看做せる。表1の平均体表面積を用い、頭部および手の表面積を除いた値として、 $1.4m^2$ と見積れば、 $5 \times 10^{-3}m$ 、 $[= 7(\ell) \div 1.4(m^2)]$ 、つまり5mmが服内空気層の平均厚さとなる。この厚みは、通常のウェットスーツ生地 of 厚み5～10mmに比べて十分な厚みとは思われない。しかも、ガスは水圧に押されて服内の上部に溜る傾向があるから、下半身の層厚は、下着の厚さと弾力による分と

して、1～2mm程度しかないと考えられる。

冒頭に述べたように、水の熱伝導は、きわめて良いので、衣類が水分を多く含むほど、衣服と接する皮膚から潜水服(さらに回りの水へ)への伝導熱量は多くなる。密閉空間の潜水服内の水分増加は皮膚からの不感蒸泄と汗によるものである。これら体表からの放出水分は個人差が大きいとされているが、参考値としてG.E. Nilsson(1977)のデータ⁵⁾から曲線⁵⁾回帰を求めると、放出水分量 $WL(g/dag)$ 、環境温度 $\theta(^{\circ}C)$ とすると、相関係数 $r^2 = 0.99$ で、

$$WL = 71.9e^{0.07\theta} \dots\dots (5)$$

であった。

(5)式によって不感蒸泄量を計算すると、 $5^{\circ}C$ および $10^{\circ}C$ のとき、各々104 g/deg および152 g/dagであり、また、潜水前の最高の皮膚温時 $36.0^{\circ}C$ においても、1.04 kg/dagとなり、表2の体重減少量に比べると、僅かである。したがって、この体重減少の原因は潜水服を着て入水するまでの間の発汗によるものであろうと推定される。本実験では、立位安静としたため、潜水中の発汗はなかったと考えられるが、現場作業では低水温中でも汗をかくとダイバーは言っており、汗の処理の方法によって乾式潜水服の保温性が左右されるものと言えよう。

図2に示す大腿の大きな皮膚温降下は、上述の空気層の薄さと下着の水分含量増加の2要素によってもたらされたものである。

6. 結 論

潜水下着3種類の定容量型乾式潜水服とウェットスーツについて、 $10^{\circ}C$ 、 $7^{\circ}C$ および $5^{\circ}C$ の3段階の低水温で保温効果の比較実験を行った。

その結果、つぎのことが明らかになった。

- (1) 乾式潜水服の保温効果は服内の空気層の厚さ、皮膚と接する下着の乾燥状態によって決まることが、体温、皮膚温等の測定結果から明らかとなった。
- (2) 透湿性にすぐれるテビロン繊維と綿の組合せが乾式潜水服の保温効果の向上に有効である。
- (3) 下着の改良によって空気層を厚く保てるようになれば、さらに保温が良くなるであろう。

文 献

- 1) Bramham E. et al., 1972, "Heat loss compensation in deep diving," Hydro-space, August, 20
- 2) Coppin E.G. et al., 1978, "Effect on handgrip strength due to arm Immersion in a 10°C water bath", Aviation, space, and environmental medicine, November, 1322-1326
- 3) Edwards R.J. et al., 1978, "Core Temperature measurement in man", Aviation, Space, and environmental medicine, November, 1289 - 1294
- 4) Goodman M. Maxwell. et al., "Hyperbaric respiratory heat loss" (1971), ONR No. N00014-71-C-0099,
- 5) Nilsson G.E., "On the measurement of evaporative water loss, methods and clinical applications" (1977), Linköping
- 6) 大野静枝, 北博正, 1969, "Wet Suit 材料の保温力について" 人間工学 5 (4) 246 - 250
- 7) 吉村寿人, 緒方維弘, "生理学大系 IV - 1, 代謝の生理学 I" (1970), 医学書院
- 8) Project Sealab Report, "An experimental 45-Day undersea saturation dive at 205 Feet (1967) ONR Report ACR-124, 272-305
- 9) 大陸棚有人潜水作業システムの研究開発, 昭和52年度報告書, 311-319, JAMSTEC
- 10) 大陸棚有人潜水作業システムの研究開発, 昭和52年度報告書 319-342, JAMSTEC
- 11) 大陸棚有人潜水作業システムの研究開発, 昭和52年度報告書, JAMSTEC, 印刷中