

## ●原 著

## 30m深度相当圧の飽和潜水が睡眠に及ぼす影響

永嶋秀敏\*<sup>1)</sup> 松本一弥\*<sup>1)</sup> 徐有振\*<sup>2)</sup>  
 毛利元彦\*<sup>3)</sup> 植木暢雄\*<sup>3)</sup> 松岡成明\*<sup>4)</sup>

30m深度相当圧での窒素・酸素飽和潜水模擬実験を同一潜水条件で計4回行い、15名のダイバー達の標準的なポリソムノグラフと心拍数を255夜（事前観察期が60夜、保圧期が105夜、減圧期が30夜および事後観察期が60夜）記録すると共に、主観的な疲労感や睡眠状態調査を実施した。保圧期の後半から事後観察期にかけては、主として入眠潜時の延長をともなった全睡眠時間の短縮と心拍数の増加、熟眠感の悪さおよび疲労感の増大がみられ、とくに飽和潜水への未経験群でやや顕著であった。これらの結果、減圧と閉鎖環境下での長時間拘束による心理的ストレスがダイバー達の睡眠に影響をもたらしていたものと推測された。

キーワード： nitrox飽和潜水，ポリソムノグラフ，閉鎖環境，心理的ストレス，飽和潜水への経験・未経験

### Sleep patterns during a 30 meter nitrox simulated saturation dives

Hidetoshi Nagashima \*<sup>1)</sup>, Kazuya Matsumoto \*<sup>1)</sup>,  
 Yoo jin Seo \*<sup>2)</sup>, Motohiko Mohri \*<sup>3)</sup>, Nobuo Naraki \*<sup>3)</sup>,  
 Shigeaki Matsuoka \*<sup>4)</sup>

\*<sup>1)</sup> Graduate School, University of East Asia

\*<sup>2)</sup> Kyungnam University

\*<sup>3)</sup> Japan Marine Science and Technology Center

\*<sup>4)</sup> Showa Hospital

This study examined whether or not a simulated 30-m nitrox saturation dive environment has an influence on nocturnal sleep and if there is a difference between experienced and inexperienced divers for the saturation dive. Experiments at the simulated 30-m nitrox saturation dive were performed four times under the same conditions. The standard polysomnography and heart rate of 15 divers were recorded over a period of 255 nights. The nocturnal sleep from the latter part of the bottom period to the postdive period showed a reduction in total sleep time with a length of sleep latency and

an increase in the heart rate. During this period, there was also an increase in 'poor' sleep for those who slept well and an increase in feelings of fatigue. All of these characteristics were especially remarkable in the inexperienced divers. These findings suggest that the decompression environment and the psychological stress of the long-term closed environment of a hyperbaric chamber have effects on divers' sleep.

### Keywords :

nitrox saturation diving  
 polysomnography  
 closed environment  
 psychological stress  
 experience-inexperience for the saturationd

### 1.はじめに

飽和潜水環境下における睡眠ポリソムノグラフ (polysomnograph : PSG) の報告の多くは、ヘリウム・酸素 (heliox) 環境下での飽和潜水シミュレーション実験で占められており<sup>1)~4)</sup>、浅海域での窒素・酸素 (nitrox) 飽和潜水実験の報告は極めて少ない<sup>5) 6)</sup>。しかしながら Naitoh<sup>5)</sup> は、

\*<sup>1)</sup> 東亜大学大学院情報システム専攻

\*<sup>2)</sup> 慶南大学校工科大学産業工学科

\*<sup>3)</sup> 海洋科学技術センター

\*<sup>4)</sup> 昭和病院

Table.1 Physical characteristics and age of subjects.

Depth	Subject	Sex	Age	Hight (cm)	Weight (kg)	Body surface area (m <sup>2</sup> )	Experience of saturation diving
30m dive 1997 7/24-8/10	A	M	28	171	73	1.85	Experience
	B	M	25	175	71	1.86	Experience
	C	M	34	167	56	1.62	Experience
	D	M	20	176	72	1.88	Non-Experience
30m dive 1997 11/12-29	A	M	29	170	75	1.86	Experience
	B	M	27	174	70	1.84	Non-Experience
	C	M	35	167	57	1.64	Experience
	D	M	21	176	72	1.88	Experience
30m dive 1998 7/23-8/9	A	M	35	167	59	1.84	Experience
	B	M	21	172	62	1.73	Non-Experience
	C	F	23	158	53	1.52	Non-Experience
	D	F	21	165	62	1.68	Non-Experience
30m dive 1999 10/26-11/12	A	M	37	167	59	1.66	Experience
	B	M	24	172	66	1.78	Non-Experience
	C	M	23	175	68	1.83	Non-Experience

海面下13.0mの窒素・酸素飽和潜水下の居住区で60日間の生活を送ったダイバーのPSG記録から、海底滞在中の夜間睡眠はむしろ潜水前よりも延長し、睡眠の乱れはみられなかったことを報告している。この研究は窒素・酸素飽和潜水下の睡眠影響を検討した貴重な研究であるとはいえ、PSGを記録した被験者数はわずか2名と少ないために、統計学的検定も行われていなかった。

一方、最近では、全地球規模での環境汚染が深刻化するなかで、沿岸や海洋における生態系が複雑かつ大規模に変化し、その実態の把握や解明・予測研究の必要性が叫ばれるようになってきた<sup>7)</sup>。このためには、潜水の素人であるこの分野の研究者や技術者達が、長期間、水深25~30mまでの海中・海底で生態系に関する詳細な観測・計測研究ができる安全な窒素・酸素飽和潜水技術の確立が必要となってきた。日本海洋科学技術センターにおいては、4年前から窒素・酸素飽和潜水技術の確立のための基礎的実験を重ね、その飽和潜水時における生理学的、心理学的研究の一環としてPSG記録を実施してきた。

本研究の目的は、30m深度相当圧の窒素・酸素飽和潜水環境下で睡眠の乱れが発生するか否かを検討するとともに、飽和潜水の経験の有無が睡眠パラメータや睡眠中の心拍数、主観的睡眠状態、

疲労感などに影響するか否かも併せて検討した。

## 2. 方法

30m深度相当圧における窒素・酸素飽和潜水実験は、海洋科学技術センター内に設置されている潜水シミュレータのうちS<sub>1</sub>チェンバー（内容積8m<sup>3</sup>、内径2.5m）、D<sub>1</sub>チェンバー（内容積28m<sup>3</sup>、内径2.3m）、Wチェンバー（内容積57m<sup>3</sup>、内径3.6m）を用いて、97年7月、97年11月、98年7月、99年11月の異なる時期に計4回実験を行った。D<sub>1</sub>チェンバー内の両側には、縦75cm、横180cmの2段式ベッドが設置され、各実験期間中いずれも4名の被験者はこれらのベッドで就寝した。S<sub>1</sub>チェンバーはダイバーのトイレ、洗面、シャワーなどに、Wチェンバーは生理・心理学的検査に各々使用した。

### 1) 被験者

本実験の被験者は、4回の実験とも種々の医学的・心理学的検査によって選抜された健康な成人ダイバー4名毎である。このうち98年7月に実施した実験では、女性2名（21歳と23歳）が含まれているが、その他14名は男性であった。このうち、男性の1名のPSG記録が不十分であったために、対象から除外した（1999年）。2名の女性データを詳細に検討してみたが、男性と大きな変化がみ

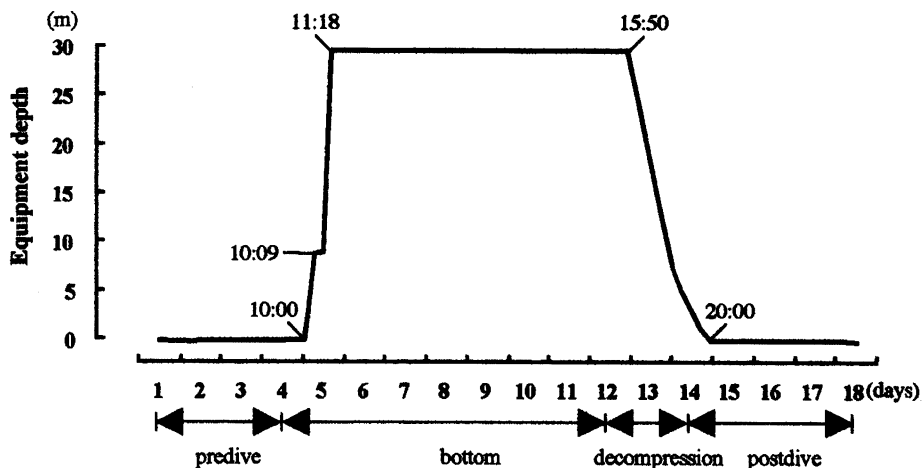


Fig.1 Profile of 30-m nitrox saturation dive experiments.

られなかったため、本データの中にも含めた。この女性2名を含めた計15名のダイバー達の年齢は20～37歳、その平均は26.9歳（標準偏差；5.8歳）であった。15名のダイバーの身体的特徴等をTable.1に示した。飽和潜水実験への経験者は7名、未経験者は女性2名を含む8名であった。その平均年齢（標準偏差）は、経験群が、31.3（5.6）歳、未経験群が23.0（2.3）歳で、前者で有意に高かった（ $t=3.83$ ,  $df=13$ ,  $p<0.002$ ）。なお、前者の飽和潜水実験に参加した経験回数は1回から9回の範囲にあり、その平均は5.7回であった。

## 2) 潜水プロフィール

Fig.1には、本実験の潜水プロフィールを示したが、4回の潜水実験は、上述したように潜水時期は異なるが、加圧・減圧条件などを含めて環境条件は全て同じ条件で実施した。

4つの実験とも、約4日間（96時間）の大気圧下（1 ATA）における事前観察を行った。実験5日目の10時に初期加圧として9 m相当深度圧まで1 m/minの速度で空気加圧を行い、引き続き9 m深度相当圧から窒素ガスにより20m/hrの加圧速度で再加圧し、同日11時18分に30m相当深度圧、すなわち4 atmosphere absolute（ATA）に到達した。4 ATAでの滞在保圧時間は、172時間32分であった。保圧期間中の環境圧については、 $PO_2$ はほぼ0.40 barに、 $PN_2$ は3.60 barに保持された。引

き続き海洋科学技術センターで改良した減圧表を用いて、実験12日目の15時50分より減圧を開始し、52時間50分後（14日目の20時）に大気圧に戻った。減圧期における各時点での減圧速度は次の通りである。水深30～13.7m相当圧までが0.7m/h、13.7～7.7mが相当圧まで0.6m/h、7.7～5.2m相当圧までが0.5m/h、5.2～1.2m相当圧までが0.4m/h、1.2～0 mが0.3m/hであった。減圧終了後約4日間（92時間）の事後観察を行った。

チェンバー内の温度条件については、温度が4 ATA下で $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、事前観察日と事後観察日で $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度は全実験期間中 $60 \pm 5\%$ を維持した。全実験期間中、チェンバー内の照明条件は16時間点灯（07:00～23:00）8時間消灯（23:00～7:00）とした。

全実験中の覚醒期には、ダイバーに生理学的および心理学的検査を定期的に課したが、これら諸検査による被験者への負担が実験日によって大きく異ならないように配慮した。検査以外の覚醒期には、テレビ・ラジオの視聴および読書等に当てられた。また、昼寝をとらないよう指示し、チェンバー内の全被験者の行動をモニターで監視した。

食事は朝・昼・夕食とも栄養の質および量を考慮した上で、一定時刻にD<sub>1</sub>チェンバーのサービスロックを通じて与えた。また、実験期間中にミネ

ラル水以外のカフェインを含むコーヒー・紅茶類および酒類は禁止した。

### 3) 測定

PSGは、実験期間の全夜を通して23:00から翌朝7:00までの間に連続して記録した。電極類は、表面電極を用い、脳波はC<sub>3</sub>とC<sub>4</sub>、及び耳朶を不感電極、前額部を接地に、眼球運動は左右眼球の水平方向に、心電図は左右胸側部にそれぞれ装着した。各人に装着した電極類は、入力箱を介してチェンバー外に導出し、日本電気三栄測器製の万能型脳波計(NEC SYNAFIT-1000)で同時記録するとともに磁気記録も行った。

睡眠状態については、主観的な入眠潜時の長さ(分)および熟眠感・起床気分を4段階(非常によい、よい、悪い、非常に悪い)で、産業衛生学会産業疲労研究会作成の「疲労自覚症状調べ」<sup>9)10)</sup>を3段階(非常に感じる、感じる、感じない)で、各実験日の起床直後にそれぞれ評価させた。

### 4) 解析

PSGの有効記録は、延べ255夜得られた。その各夜の記録は、RechtshaffenとKalesの基準<sup>11)</sup>によって20秒区画毎に視覚判定した。入眠潜時は消灯就寝時点から最初の段階1睡眠が出現するまでの期間、また、その他の睡眠段階潜時(段階2, 3, 4睡眠およびREM睡眠)については、最初の段階1睡眠が出現してから最初の各睡眠段階が出現するまでの期間とした。心拍数については、脳波計の出力部分よりオンラインでNEC社製のパーソナルコンピュータに取り込み解析を行った。心拍数は、1分間の平均心拍数から、各実験夜の睡眠期全体と各睡眠段階(中途覚醒時間、段階1+2睡眠、段階3+4睡眠、段階REM睡眠)毎の心拍数の平均値および標準偏差を算出した。実験夜全体の心拍数の平均解析率は、98.1(5.8)%であった。

各実験夜と飽和潜水への経験の有無(経験・未経験群)を独立変数、睡眠パラメータおよび心拍数を従属変数とする二元配置の分散分析とNewman-KeulsのPost Hoc testを行った。Post Hoc testに際しては、各ダイバー毎に事前観察第1夜目から第4夜目における4夜の平均値を求め、これをprediv値とし、実験各夜と比較した。また、Post Hoc testは、経験群と未経験群の差の検定に

も用いた。そのいずれのPost Hoc testも危険率5%以下を有意な差とした。

疲労自覚症状については、「非常に感じる」を2点、「感じる」を1点、「感じない」を0点として得点化し、I類(眠気とだるさに関する因子)、II類(注意集中の困難に関する因子)、III類(身体違和感に関する因子)別の平均訴え得点を各被験者毎および実験日毎に算出した。その上で、各対象者の事前観察第1夜から第4夜目までの4夜の平均を事前観察期とし、同様に保圧第1夜から第4夜目までの4夜の平均を保圧前期、保圧第5夜目から第7夜目までの3夜の平均を保圧後期、減圧期第1夜から第2夜目までの2夜の平均を減圧期および事後観察第1夜から第4夜目までの4夜の平均を事後観察期とした。これら5期の潜水位相と飽和潜水への経験の有無を独立変数とし、I類、II類、III類の訴え得点を従属変数とする2元配置の分散分析と、Newman-Keulsのps-testを行った。熟眠感と起床気分については、 $\chi^2$ 検定を行った。

## 3. 結果

### 1) 睡眠パラメータの変化

Fig.2には、各実験夜毎の主要な睡眠パラメータにおける平均と標準偏差を飽和潜水への経験群と未経験別に示した。全睡眠時間( $F=2.86$ ,  $df=16,208$ ,  $p<0.0003$ ), 睡眠効率( $F=3.33$ ,  $p<0.0001$ ), 中途覚醒数( $F=2.03$ ,  $p<0.013$ ), 入眠潜時( $F=4.00$ ,  $p<0.0001$ )および中途覚醒数( $F=2.03$ ,  $p<0.0127$ )には、いずれも実験日に有意な効果が認められた。経験の有無および経験の有無と実験日の交互作用には、この4つの睡眠パラメータとも有意な効果が認められなかった。

経験・未経験群の全睡眠時間と睡眠効率は、減圧1夜目と2夜目および事後観察1夜目でいずれもprediv値に比して有意な短縮もしくは減少が認められた(post hoc検定)。とくに、未経験群の減圧1夜目、2夜目および事後観察1夜目の全睡眠時間では、経験群より短縮していたが、個人差が大きいため両群で有意差は認められなかった。

入眠潜時については、経験群、未経験群とも、

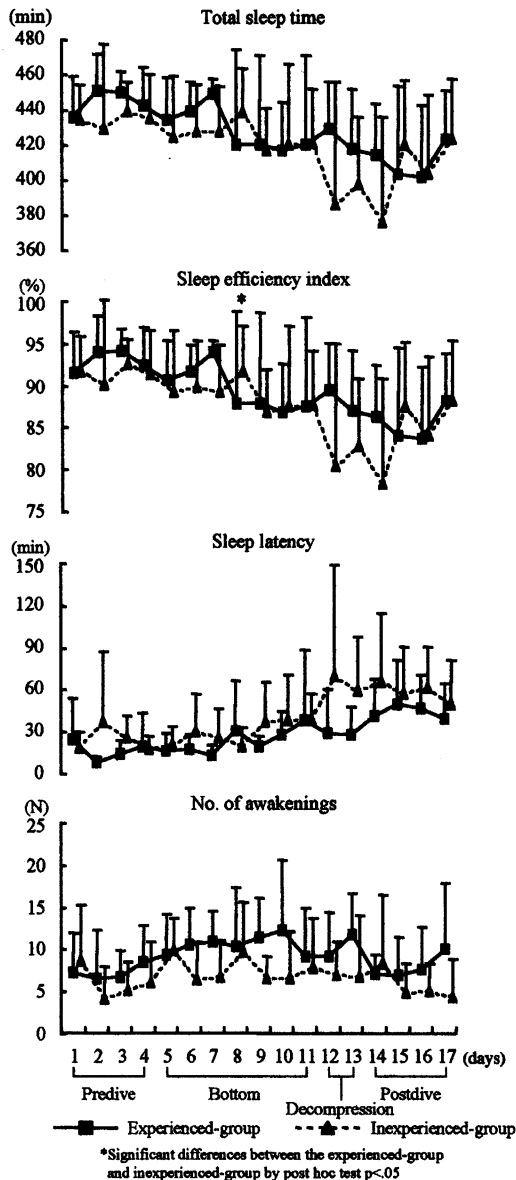


Fig.2 Means and standard deviations of total sleep time, sleep efficiency index, number of awakenings and sleep latency during 30-m saturation dives for the experienced-group and inexperienced-group.

保圧期の後半から事後観察全期にかけて延長していた。減圧1夜目、2夜目および事後観察1夜目の入眠潜時は、pre-dive値に比していずれも有意な差が認められた。各実験夜とも、経験群と未経

験群による有意な差は、認められなかった。なお、女性ダイバーの減圧1夜目、2夜目および事後観察1夜目の入眠潜時についてみると、1名の女性はそれぞれ59分、59.0分、53分、他1名は51分、35分、71分であった。したがって、この女性2名が未経験群の入眠潜時の延長に大きく影響を与えていたというわけではない。中途覚醒回数については、経験群、未経験群とも保圧期と減圧期の全夜でやや増加していたが、pre-dive値に比して、各校とも有意な差が認められなかった。

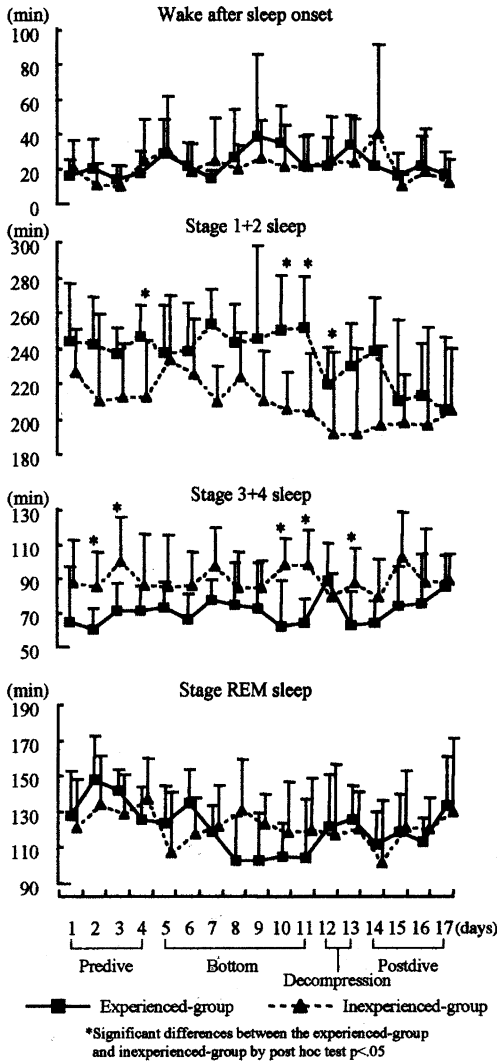
Fig.3には、同様に、各睡眠段階の出現量を示した。中途覚醒時間とREM睡眠にはいずれも実験日に（中途覚醒時間： $F=2.03$ ,  $df=16$ ,  $208$ ,  $p < 0.013$ , REM睡眠： $F=3.02$ ,  $p < 0.0001$ ）、段階1+2睡眠は経験の有無（ $F=7.66$ ,  $df=1,208$ ,  $p < 0.0160$ ）と実験日（ $F=2.45$ ,  $p < 0.0020$ ）に、段階3+4睡眠は経験の有無のみに（ $F=9.32$ ,  $p < 0.0093$ ）、それぞれ有意な効果が認められた。

中途覚醒時間は、経験群、未経験群ともpre-dive値に比して、保圧期と減圧期の各夜でやや増大していたが、有意な差はみられなかった。段階1+2睡眠では、事後観察4夜目を除いた全ての実験日で経験群より未経験群で、その出現量は少なかったが、両群間で有意な差が認められたのは、事前観察第4夜目、保圧6夜目および7夜目のみであった。未経験群の段階3+4睡眠は、経験群よりも各実験夜でやや多く出現していたが、両群間で有意な差がみられたのは事前観察2夜目と3夜目、保圧6夜目と7夜目および減圧2夜目のみであった。REM睡眠の出現量は、経験群、未経験群とも実験期間中の変動が大きいとはいえ、pre-dive値に比して、実験各夜とも有意な差がみられなかった。

その他の段階2、3、4睡眠およびREM睡眠潜時、睡眠段階移行数、REM睡眠回数などの睡眠パラメータにも、実験日、経験の有無および両者の交互作用に有意な効果がみられなかった。

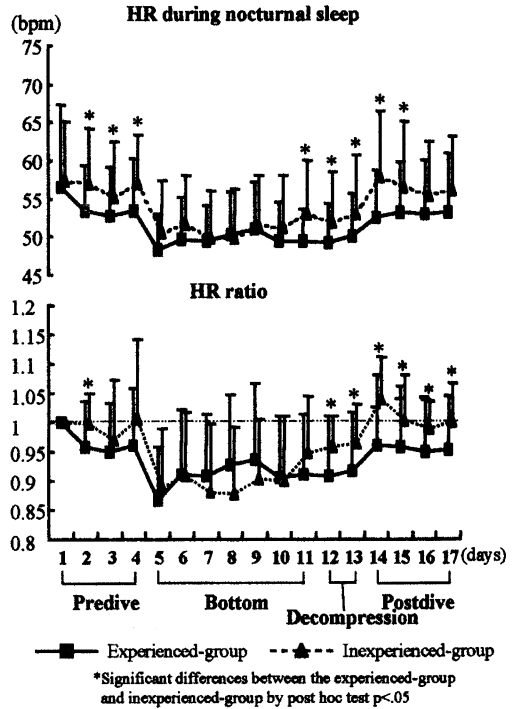
## 2) 睡眠中の心拍数の変化

Fig.4には、全睡眠期（23:00～7:00）における毎分当たりの心拍数および事前観察1夜目の心拍数を基準として実験各夜の比率（以下心拍数比とする）の平均と標準偏差を未経験・経験別にそれぞれ示した。ただし、実験各夜とも全睡眠期の粗



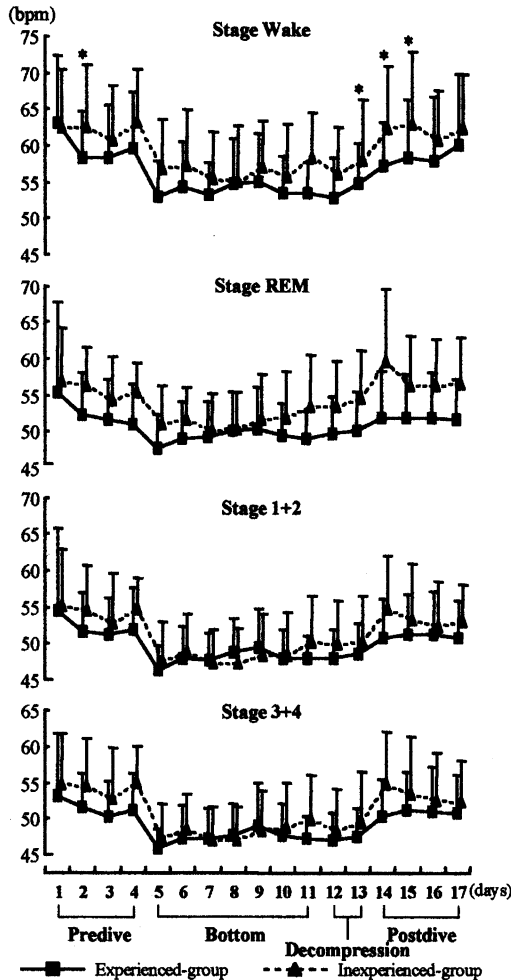
**Fig.3** Absolute amounts (minutes) of different sleep stages (mean  $\pm$  SD) during the saturation dives for the experienced-group and inexperienced-group.

体動中の心拍数を除外した平均心拍数を算出した。全睡眠期における平均心拍数および心拍数比には、いずれも実験日 (平均心拍数;  $F=39.81$ ,  $df=16,992$ ,  $p<0.0001$ , 心拍数比;  $F=30.87$ ,  $df=16,992$ ,  $p<0.0001$ ) および経験の有無と実験日の交互作用 (平均心拍数;  $F=3.36$ ,  $df=16,992$ ,  $P<0.0001$ , 心拍数比;  $F=6.03$ ,  $df=16,992$ ,  $p<0.0001$ ) にはいずれも有意な効果が



**Fig.4** Means and standard deviations of heart rate (bpm) and heart rate ratio from pre-dive during all night period of saturation dives for the experienced-group and inexperienced-group.

認められたが、経験の有無には両者とも有意な効果が認められなかった。平均心拍数の変化は、事前観察1夜目ないし2夜目に比して、未経験・経験群とも保圧1夜目から減圧2夜目にかけていずれも有意に低下していた (post hoc検定)。未経験群の平均心拍数は、経験群に比して、事前観察2夜目から4夜目、および保圧7夜目から事後観察2夜目にかけていずれも有意に高かった。なお、未経験群と経験群の各潜水位相中における平均心拍数は、それぞれ事前観察期 (4夜の平均) が未経験群55.70 (標準偏差=4.90) bpmと経験群53.93 (6.83) bpm、保圧期 (7夜) が50.52 (5.50) bpmと49.03 (4.11) bpm、減圧期 (2夜) が52.49 (5.91) bpmと48.92 (4.67) bpm、事後観察期 (4夜) が55.95 (6.66) bpmと52.09 (6.51) bpmであった。したがって保圧期では、事前観察



**Fig.5 Means and standard deviations of heart rates (bpm) during the different sleep stages in saturation dives for the experienced-group and inexperienced-group.**

期に比して未経験・経験群とも平均して5 bpmほど減少したことになる。対応するt検定を行ったところ、事前観察期と保圧期には、未経験群 ( $t=4.10$ ,  $p<0.005$ ) および経験群 ( $t=2.76$ ,  $p<0.04$ ) とも有意な差が認められた。また、減圧期では事前観察期に比して、経験群で約3.0bpm ( $t=4.05$ ,  $p<0.007$ )、未経験群で約5.2bpm ( $t=2.38$ ,  $p<0.05$ ) ほど、いずれも有意に減少していた。心拍数比も類似した変化を示し、

未経験群の減圧1夜目から事後観察4夜目にかけて経験群より有意に高い値を維持した。

同様に、各実験夜における睡眠段階別の平均心拍数と標準偏差を示したのが、**Fig.5**である。未経験群および経験群の平均心拍数は、各睡眠段階とも、保圧期間中の夜間でほぼ等しく減少した後、事後観察期の夜間に再び上昇する傾向が認められた。その平均心拍数については、覚醒時間 ( $F=9.17$ ,  $p<0.0001$ )、REM睡眠 ( $F=7.77$ ,  $p<0.0001$ )、段階1+2睡眠 ( $F=11.35$ ,  $p<0.0001$ ) および段階3+4睡眠 ( $F=11.76$ ,  $p<0.0001$ ) とともに実験日のみにいずれも有意な効果が認められた。実験各夜とも覚醒時が最も高く、ついでREM睡眠、段階1+2睡眠と段階3+4睡眠の順に低下していた。ちなみに、実験全夜における平均心拍数を算出すると、覚醒が57.72 (標準偏差; 7.45) bpm, REM睡眠が52.37 (6.30) bpm, 段階1+2睡眠が50.38 (5.93) bpm, および段階3+4睡眠が50.00 (5.88) bpmであり、睡眠段階に有意な効果が認められた ( $F=7.15$ ,  $df=3,960$ ,  $p<0.0004$ )。未経験群の中途覚醒時の平均心拍数については、事前観察第2夜目、減圧第2夜目、事後観察第1夜目および第2夜目で経験群より有意に高かった。各睡眠段階の心拍数比も、上記とほぼ同様の変化を示していた。

### 3) 主観的睡眠感および疲労感

**Fig.6**には、主観的な睡眠潜時の長さの平均と標準偏差および、熟眠感・起床気分の訴え率を経験の有無と潜水位相別にそれぞれ示した。主観的な入眠潜時の長さの平均は、潜水位相に有意な効果が認められた ( $F=9.30$ ,  $df=4,56$ ,  $p<0.0001$ )。飽和潜水への経験の有無 ( $F=4.05$ ,  $df=1,56$ ,  $p<0.064$ ) および両者の交互作用 ( $F=2.42$ ,  $df=4,56$ ,  $p<0.060$ ) には、いずれも有意な傾向が認められた。入眠潜時は、未経験・経験群とも保圧前期から減圧期および事後観察期に急激に延長し、とくに未経験群で顕著であったが、減圧期のみ経験の有無に有意な差が認められた。なお、全ての実験夜におけるPSGより判定した入眠潜時と主観的入眠潜時の長さとの間には、有意な正相関関係が認められた ( $r=0.46$ ,  $p<0.0001$ )。

熟眠感については、経験群 ( $\chi^2=22.4$ ,  $df=12$ ,  $p<0.033$ ) および未経験群 ( $\chi^2=29.67$ ,  $df=12$ ,

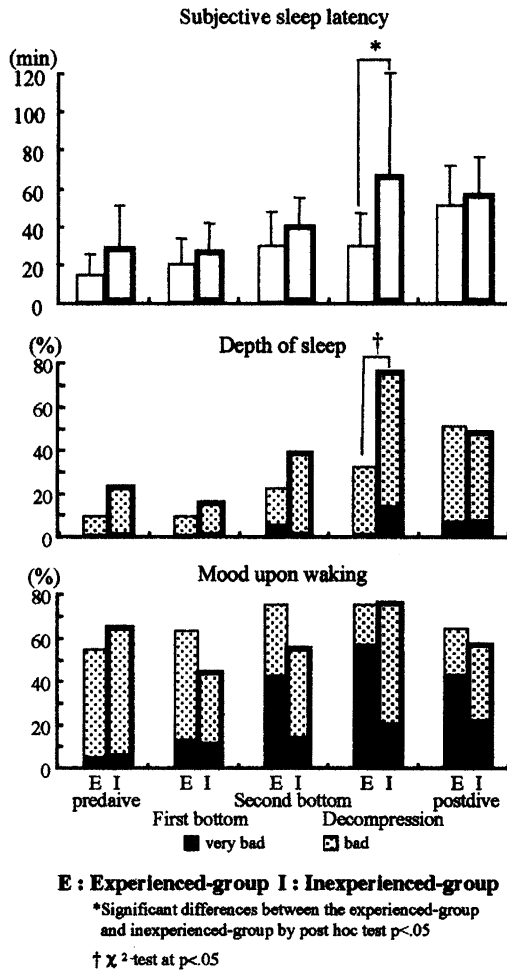


Fig.6 Means and standard deviations of subjective sleep latency, percentage of responses for the depth of sleep and mood upon waking during the saturation dives for the experienced-group and inexperienced-group.

$P < 0.031$ )とも潜水位相に有意な関連性が認められた。「ほとんど眠れなかった」、「あまり眠れなかった」と訴えた者の比率は、保圧後期から減圧期および事後観察期にかけて増加し、とくに未経験群の減圧期で顕著であった。起床気分は、経験群のみ潜水位相に有意な関連性がみられ ( $\chi^2 = 24.482, df = 12, p < 0.016$ ), 「全然よくない」と回答した者の比率は、保圧後期から事後観察期にかけて増加していた。

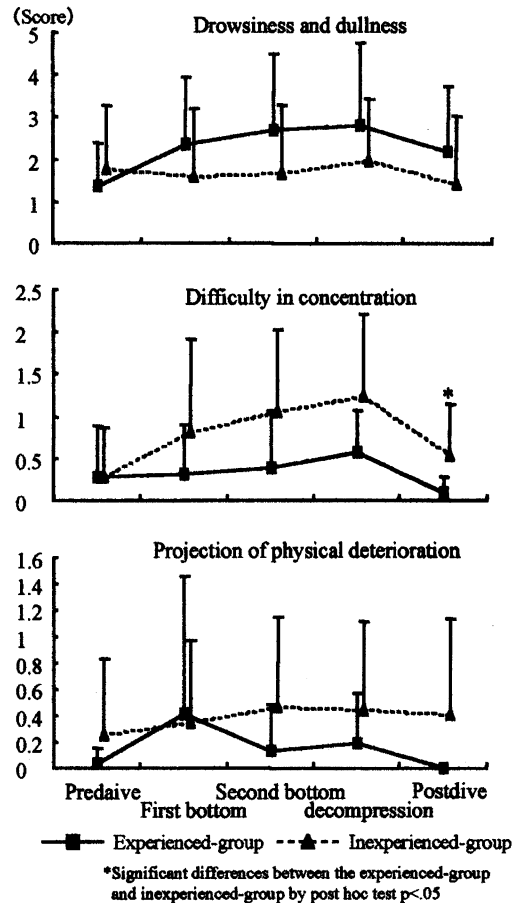


Fig.7 Means and standard deviations of subjective feelings of fatigue during the saturation dives for the experienced-group and inexperienced-group.

Fig.7には、疲労自覚症状のⅠ類(眠気とだるさに関する因子)、Ⅱ類(注意集中力の困難な因子)およびⅢ類(身体違和感に関する因子)の合計訴え得点の平均を、経験の有無および潜水位相別に示した。Ⅰ類とⅡ類の平均訴え得点は、いずれも潜水位相(Ⅰ類;  $F = 3.50, df = 4, 56, p < 0.013$ , Ⅱ類;  $F = 7.40, p < 0.0001$ )および潜水位相と経験の有無における両者の交互作用(Ⅰ類;  $F = 2.81, df = 4, 56, p < 0.0341$ , Ⅱ類;  $F = 2.78, df = 4, 56, p < 0.0353$ )に有意な効果が認められた。経験群におけるⅠ類の合計得点の平均は、事前観察期を除いた全ての潜水位相で、未経験群



よりもやや高かった。Ⅱ類合計得点の平均は、経験群より未経験群で事後観察期のみ両群で有意な差が認められた。Ⅲ類については、経験別、潜水位相および両者の交互作用にいずれも有意な効果が認められなかった。

#### 4. 考 察

本研究のPSGの成績では、保圧期の後半から事後観察4夜目にかけて、主として入眠潜時の延長をともなった全睡眠時間の有意な短縮と睡眠効率の低下が認められたことが特徴的であった。中途覚醒時間とその回数は、prediver値に比して、保圧期と減圧期の全夜で、やや増大する傾向にあった。しかし、その他の睡眠パラメータには、保圧・減圧および事前観察期の各夜でいずれもほとんど変化が認められなかった。これらの結果は、Seoら<sup>6)</sup>の深度20mでの飽和潜水実験の結果ともほぼ一致していた。本研究における保圧期の後半から事後観察期にかけて、主として入眠潜時の延長をともなった全睡眠時間の短縮要因は、少なくとも加圧時や保圧初期の物理的環境要素に関連しているとは考えにくい。もしこれらの物理的条件が直接睡眠に影響を与えるとするならば、保圧期の初期からこれらの睡眠パラメータにも変化があらわさるべきであると思われるからである。飽和潜水への未経験群の減圧1夜目と2夜目および事後観察1夜目にあっては、個人差を伴っていたために統計学的に有意な差ではないが、経験群よりも全睡眠時間の短縮、睡眠効率の低下、入眠潜時の延長が認められた。また、未経験群の主観的な入眠潜時も経験群より、とくに減圧期と事後観察期では長く、かつ未経験群の減圧期で熟眠感が悪化していた。

一方、睡眠期全体の平均心拍数の変化については、飽和潜水への経験群および未経験群とも高圧徐脈(hyperbaric bradycardia)がみられ、prediver値に比して、保圧期全体の平均で5 bpmほど有意な減少を示していた。この徐脈機序については、高分圧酸素や高密度ガス呼吸の影響とされているが、いまだにはっきりとした結論はでない<sup>12)</sup>。しかし、未経験群の睡眠期全体の平均心拍数については、保圧7夜目から事後観察2夜目にかけて、また事前観察1夜目を基準とした心拍数

比については減圧1夜目から事後観察4夜目にかけて、いずれも経験群より有意に高く、かつ、未経験群の保圧7夜目から減圧期、そして事後観察期にかけての心拍数は、睡眠段階の中でも覚醒とREM睡眠期で高いことが特徴であった。こうした結果からみるならば、長期の飽和潜水下での拘束閉鎖環境における何らかの心理的要因が睡眠に影響を及ぼしたものと考えられる。

TownsendとHall<sup>11)</sup>は、950 feet sea water (fsw)のexcursionsをともなった850 fswでの外洋での14日間におけるヘリウム・酸素飽和潜水において、ダイバーおよび海面サポート隊員(surface support personnel)のPSG、睡眠日誌、7段階尺度をもつStanford Sleepiness Scale(活動性の能力評価)、種々の心理的measuresなどをそれぞれ測定していた。12名のうち4名のダイバーでPSGを記録した結果、Slow Wave Sleep(段階3+4睡眠)は、海底期間中有意に減少していたことを報告している<sup>1)</sup>。また主観的に評価した全睡眠時間は、ダイバーおよび海面サポート隊員とも、飽和潜水中一貫して短縮し、また12名中11名のダイバーは海底期間中に入眠の困難性が増大することを体験していた。ダイバー達は、滞底期と減圧期に疲労感が増大し、活動性と活力の不足を示したが、海面サポート隊員では減圧とともに、急激に疲労感などが減少することを認めていた。Lesterら<sup>13)</sup>も日常生活のストレス下にあるときや医師認定試験中では入眠潜時の延長や段階4睡眠の減少、皮膚抵抗反応の平均出現率が増大することから、これらの指標は心理的緊張や興奮状態を最もよく反映する指標であることを指摘していた。本研究にあっても疲労自覚症状のⅠ類とⅡ類の訴え得点は、保圧前期から減圧期にかけて増加し、事後観察期でやや減少する傾向が認められた。しかし、Ⅰ類の訴え得点は、事後観察期を除いた全ての潜水位相で未経験群より経験群で高く、逆にⅡ類の訴え得点は未経験群の方が有意に高かった。夜勤者や極度の精神作業の場合には、Ⅰ類とともにⅡ類の訴えが多くなることからみて<sup>9)10)14)</sup>、未経験群では精神的影響が経験群よりもやや大きかったものと推測される。

PSGや睡眠中の心拍数の変動、疲労自覚症状の成績から推測すれば、減圧前や減圧中では、減圧

そのものに対する不安や心配などの心理的ストレス, また事後観察期では, 減圧の不安からの解放と長期にわたる閉鎖環境から, あと数日で実験が終了するといった精神的な高まりなどの心理的要因などによって, 入眠潜時の延長をともなった全睡眠時間の短縮や心拍数の増大が引き起こされたのではないかと考えられた。とくに, 飽和潜水への未経験群では, 経験群より減圧中や減圧後におけるこの心拍数の有意な増加, 減圧期における主観的な入眠潜時の延長, 疲労自覚症状Ⅱ類の訴え得点の増加をみたが, これらは, 上述したような心理的な要因が経験者よりも未経験者でやや強かったことを裏付けているようにも思われた。しかし, 睡眠パラメータに関しては, 未経験群の減圧期や事後観察第1夜で全睡眠時間が短縮する傾向や睡眠効率の減少傾向がみられたに過ぎなく, その他の睡眠パラメータには両群間で明確な差異はみられなかった。こうした点からみるならば, 深度30mまでの窒素・酸素飽和潜水条件下にあっては, 飽和潜水の経験者でも未経験者であっても, 減圧前後には中等度の覚醒時間の増加や入眠潜時の延長を伴うとは言え, 各睡眠段階の出現量等には, あまり影響を与えないものと推測された。なお, 未経験群では, 経験群よりもほぼ全夜にわたって段階1+2睡眠が少なく, 逆に段階3+4睡眠が多かったが, これは飽和潜水の影響ではなく, 年齢影響によるものとも考えられた。一般健康成人にあっては, 若い者ほどS3+4睡眠の出現量が増加することが知られている<sup>15)</sup>。未経験群のS3+4睡眠が多くなる分, 段階1+2睡眠が減少したのであろう。

近い将来, 潜水の非鍛練者で, かつ中高齢者の研究者や技術者らが, 比較的浅い深度での海中作業に長期間滞在し種々の海底・海中調査研究を行っていく機会が多くなるものと思われるが, そのためにも, 可能な限り寝室空間を広げ, 個人のプライバシーが最低限度確保できる睡眠環境を整備する必要がある。

とくに高圧シミュレータや海底居住区を構築していく際に, 睡眠環境を整備することは最も基本的な対策となるであろう。

また, 長期間の飽和潜水中に睡眠の質・量不足が発生するときには, 昼寝によって睡眠不足を緩

和するような適切な対策が必要であろう。その昼寝を与える場合でも, 次の夜間睡眠に影響を与えないような時刻および長さなどを考慮すべきであろう<sup>16)</sup>。

#### 【参 考 文 献】

- 1) Towasend, R.E., Hall, D.A. : Sleep mood and fatigue during a 14-day He-O<sub>2</sub> open-sea saturation dive to 850fsw with excursions to 950fsw. Undersea Biomedical Research. 5 : 109-117, 1978
- 2) Rostain, J.C., Gardette-Chauffour M.C., Gourret, P.J., Naquet, R. : Sleep disturbances in man during different compression profiles up to 62bars in helium-oxygen mixture. EEG Clin. Neurophysiol. 69 : 127-135, 1988
- 3) Rostain, J.C., Regesta, G., Gardette-Chauffour, M.C., Naquet, R. : Sleep organization in man during long stay sat 30 and 40bar in a helium-oxygen mixture. Undersea Biomedical Research. 18 : 21-36, 1991
- 4) Ozawa, K., Hashimoto, A., Oiwa, H. : Psychophysiological changes in sleep during simulated 200-m heliox saturation dives. Undersea Biomedical Research. 18 : 397-412, 1991
- 5) Naitoh, P., Johnson, L.C., Austin, M. : Aquanaut sleep patterns during tektite 1 : a 60-day habitation under hyperbaric nitrogen saturation. Aerospace Medicine. 42 : 69-77, 1971
- 6) Seo, Y.J., Matsumoto, K., Park, Y.M., Mohri, M. and Matsuoka, S. : Sleep patterns during 30-m nitrox saturation dives. Psychiatry and Clinical Neurosciences. 53 : 127-127, 1999
- 7) Lalli, C.M. ed. : Enclosed experimental marine ecosystems, A review and recommendations. Coastal and Estuarine Studies 37 New York : Springer-Verlag, 1990, pp. 1-50.
- 8) U.S. Navy Diving Manual. Revision 3, Vol. 2 (Mixed-Gas Diving). Best Publishing Company, 1991, pp. 1-256
- 9) Saito, Y., Kogi, K., Kashiwagi, S. : Factors underlying subjective feelings of fatigue. J. Science Labour. 46 : 205-224, 1970
- 10) Kogi, K., Saito, Y., Mitsuhashi, T. : Validity of three components of subjective fatigue feelings. J. Science Labour. 46 : 251-270, 1970
- 11) Rechtschaffen, A., Kales, A., eds. : A manual of standardized terminology, techniques, and scoring system for sleep stages of human subjects. Washington, DC : Public Health Service, U.S. Government Printing Office. 1968
- 12) Lin, Y.C. : Hyperbaric bradycardia. In Physiologi-

- cal Basis of Occupational Health : Stressful Environments, edited by Shiraki,K., Sagawa,S & Yousef,M.K. SPB Academic Publishing. Amsterdam, The Netherlands, 1996, 157-169
- 13) Lester,B.K., Burch,N.R., Dossett,R.C. : Nocturnal EEG-GSR profiles :the influence of presleep states. Psychophysiol. 3 : 238-248, 1967
- 14) Yoshitake.H. : Relationship between frequency and composition of subjective symptoms of fatigue. J.Science Labour. 46 : 584-92, 1970
- 15) Williams,R.L., Karacan,I., Hirsch,C.J. : Electroencephalography of human sleep : Clinical applications. John Wiley, New York, 1974
- 16) Hayashi,M., Watanabe,M. & Hiri,T. : The effects of a 20min nap in the midafternoon on mood, performance and EEG activity, Clin.Neurophysiol. 110 : 272-279, 1999