原 著

睡眠時刻の推移にともなう覚醒レベルの変化と その後の睡眠のパターンとの関係

斉 藤 良 夫*, 松 本 一 弥**

RELATION BETWEEN CHANGE IN AROUSAL LEVEL WITH SHIFT OF SLEEPING TIME AND SUBSEQUENT SLEEP STAGE PATTERN

Yoshio SAITO* and Kazuya MATSUMOTO**

The relationship between decrease in cerebral arousal level and sleep stage pattern was examined when a cycle of 22 h-wake and 8 h-sleep was repeated four times. The subjects of the experiment were six healthy male university students.

The results of the experiment showed that the period between the time when the average score of Stanford Sleepiness Scale (SSS) reached point four (a little foggy) and the rising time was gradually decreased by repetition of the 22 h-wake and 8 h-sleep cycle. It was also found that the average score for the 6th experimental day after the third cycle was significantly increased, compared with that for the 1st 22 h waking period. These results show that the cerebral arousal level, which was indicated on the scores of SSS, was gradually decreased under the present experimental wake-sleep condition. The day-to-day variation of critical fusion frequency showed a tendency similar to that of SSS, demonstrating a gradual decrease in arousal level.

On the other hand, stage 4 sleep (S4) was significantly increased during sleep after the 1st 22 h waking period, compared with baseline sleep after 16 h waking time. However, a significant increase in S4 was not seen during the sleeping periods in the second to the fourth cycles of 22 h-wake and 8 h-sleep, compared with that during the sleep after the 1st 22 h waking period.

These results suggest that, with respect to the 1st cycle of 22 h-wake and 8 h-sleep, the increase in S4 was related to the decreased level of arousal which was caused by a long prior wakefulness of 22 h. However, our results also suggest that a further decrease in arousal level due to the repetitive cycles did not increase the amount of S4.

Key words : fatigue; arousal; stage 4; Stanford Sleepiness Scale

1. は じ め に

疲労は産業労働や実験的に負荷された作業の遂行によって発生し、休息や睡眠によって回復するといわれている。実際、作業遂行によって起こった生理的諸機能の低下や疲労感の訴えの増加は、昼休みなどの大休憩や実験的に挿入される休憩によってそれぞれ回復の現象があらわれることはよく観察されることである。このことはま

た、1日の労働とその夜の自宅休息や睡眠との関係についても認められる。多くの疲労研究は、夜間にとられる睡眠の疲労回復効果の重要性を指摘してきた^{1,2)}。

労働や作業の遂行による疲労の発現・進展過程と休息・睡眠によるその回復過程との関係は、いままで前者の過程についての研究が数多く行われてきたのにないして、後者の過程についての情報が不足していたために十分明らかにすることができなかった。しかし、最近の睡眠脳波の研究によってようやくその解明の端緒が開かれるようになった。

睡眠脳波に関する従来の諸研究を概観すると、昼間または夜間に被験者に運動や精神的作業を負荷させた場合、それらを負荷させない条件と比較して、その夜または昼間にとられる睡眠中の Slow Wave Sleep (以下

* 中央大学文学部心理学研究室

** 杏林大学医学部衛生学教室

昭和 62 年 11 月 17 日受付

* Department of Psychology, Chuo University

** Department of Hygiene, Kyorin University School of Medicine

Received for publication, November 17, 1987

SWS と略す) や S4 (ステージ 4, 以下睡眠の各ステージはこのように記す) の出現量が増大することを明らかにしようとする方法論がとられている。その場合, それらの負荷条件下で被験者の疲労がどのような状態であるかについて調べている研究はきわめて少ない。そして, このことは, 長時間覚醒条件とその後の睡眠との関係をみる研究にも当てはまることである。

従来の多くの研究では, 強い運動負荷後や断眠下での運動後の睡眠中に SWS や S4 の顕著な増大がみられる一方で^{3,4)}, 精神的負荷をかけた実験では, それらが増大する結果を示したものが少ない^{5,6)}。

一方, SWS や S4 の出現量の程度は断眠によって影響されることが明らかにされ, 先行覚醒時間 (prior wakefulness) が長くなると, それらは明確に増大することが知られている^{7,8)}。このことは, 断眠によって生じる大脳皮質の覚醒レベルの低下とことに S4 の増大が関係していることを示唆している。

したがって, 疲労研究の場合, まず明らかにすべきことは, 作業負荷や長時間覚醒によって被験者が覚醒レベルの明らかな低下を示すような疲労状態へと変わっていくときに, その後にとられる睡眠で SWS や S4 に増大の傾向がみられるかどうかということである。

著者らは, 1 日の睡眠・覚醒リズムを時刻的に推移させ 22 時間の覚醒を繰り返したときの覚醒レベルの変化とその後にとられる睡眠中の脳波のパターンの変化について調べた。

II. 実験方法

1. 被験者

正常な睡眠・覚醒サイクルの生活を送っている某大学の健康な男子学生 6 名 (年齢 21~24 歳; 平均 22.0 歳) を対象者にした。

2. 実験計画

その詳細については, すでに別報⁹⁾ で報告されているので, ここではその概略を述べる。最初の第 1 日は被験者に 8 時間睡眠 (00:00~08:00)-16 時間覚醒の正常生活を実験室で送らせた後, 第 2 日から毎日 6 時間ずつ生活時刻を移動させ, 生活時間を 30 時間, すなわち覚醒期 22 時間, 睡眠期 8 時間の生活を送るように計画した。この計画では, 実験第 7 日には第 1 日の正常生活時間帯に戻ることになる。この間にとられる各睡眠の時間帯は, 06:00~14:00, 12:00~20:00, 18:00~02:00, および 00:00~08:00 の順になる。第 8 日は回復日として, 第 7 日と同じ睡眠と覚醒の時間生活を送るようにした。睡眠脳波の分析では, 第 2 日の睡眠を基準夜, また第 8 日の睡眠を回復夜のものとした (Fig. 1 参照)。

3. 実験日の生活時間の構成

(1) 睡眠時間: 前述のように 8 時間睡眠とし, 各人シールド・防音された脳波測定室で就寝させ, 就寝から起床までの睡眠ポリグラムを記録した。被験者は就寝 20 分前に電極類を装着し, 3 分前には測定室に入った。睡

Fig.1. Schedule of experiment.

Table 1. Mean total sleep times, mean latencies of sleep, S3, S4 and REM, and mean sleep cycle lengths for each of the experimental days (min).

	Mean (SD)											
	Baseline night sleep		Delayed shift sleep						Recovery night sleep			
	00 : 00 ~ 08 : 00		3rd day 06 : 00 ~ 14 : 00		4th day 12 : 00 ~ 20 : 00		5th-6th day 18 : 00 ~ 02 : 00		7th day 00 : 00 ~ 08 : 00		00 : 00 ~ 08 : 00	
Total sleep time	456.3	(17.1)	442.5	(24.3)	466.5	(10.0)	461.5	(16.2)	468.3	(14.3)	460.5	(14.6)
Sleep latency	23.5	(11.4)	8.5*	(1.7)	6.3**	(1.7)	5.8**	(1.3)	7.5*	(2.6)	15.5	(13.2)
S3 latency	37.0	(16.2)	16.3*	(3.4)	10.5**	(1.3)	9.3**	(1.5)	13.3**	(3.1)	24.5	(17.0)
S4 latency	41.5	(15.8)	20.0*	(3.6)	14.3**	(1.5)	13.0**	(1.4)	17.3**	(2.4)	33.3	(18.1)
REM latency	78.5	(13.8)	50.7**	(14.8)	65.5*	(18.2)	69.3	(12.4)	69.5	(8.7)	69.3	(8.1)
Sleep cycle length	93.6	(19.9)	83.2	(15.1)	80.0	(20.3)	84.0	(17.6)	91.1	(16.8)	89.4	(18.1)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, significantly different from the baseline night sleep (one-tailed t -test).

眠中の測定は、脳波、眼球運動、筋電図で、Rechtschaffen ら¹⁰⁾の方法によって電極を配置し、さらに心電図と呼吸曲線を記録した。睡眠段階の判定は同じく Rechtschaffen ら¹⁰⁾の方法に従った。記録紙の速度は毎秒 3cm とし、睡眠段階の判定は 20 秒間ごとの記録について行い、最後は分単位で集計を行った。なお、脳波の測定は、6 人の被験者のうち 4 人について行われた。

(2) 拘束時間：各実験日ともに起床直後から次の就寝 1 時間前までの間（各食事時間の 1 時間を除く）、1 時間ごとにスタンフォード眠気尺度およびフリッカー値を測定し、また 1 ないし 2 時間ごとに下記に述べる種々の生理心理機能の測定を行った。測定は 10~15 分間の座位安静状態を保持させた後行われた。

(A) スタンフォード眠気尺度 (Stanford Sleepiness Scale; SSS): Hoddes ら¹¹⁾の作成した原案の日本語訳を作りそれを用いた。この尺度は Thurstone の等現間隔法にもとづいて得点 1（生き生きしている、とても活発）から 7（ほとんど眠りそうな状態、目を覚まそうとする努力がもうできない）までの 7 評点段階から成り立っている。得点が高いほど覚醒レベルが低いことになる。各測定時には被験者に用紙を渡してチェックさせた。また各実験日の睡眠から起床した直後にもチェックさせた。

(B) フリッカー値：川崎エレクトロ社製の自記式フリッカー装置によって各測定時に連続して 5 回測定した。集計に当たっては最大値と最小値を棄却して、残り 3 つの平均値を求めた。

さらに、覚醒時間中には体温、脈拍数、血圧、近点距離などの生理機能、疲労自覚症状（日本産業衛生学会・産業疲労研究会撰の“自覚症状しらべ”を使用）、単純お

よび 8 選択反応時間、一位加算量などの測定を 1~2 時間の間隔で行った。

実験期間中の被験者の食事時間を含む生活の仕方、および実験日の経過にともなうフリッカー値、体温、脈拍数、疲労自覚症状、8 選択反応時間などの結果については、別報⁹⁾を参照されたい。

III. 結 果

1. 睡眠脳波の変化

Table 1 は、実験期間中の各睡眠期について、全睡眠時間、各睡眠段階の潜時および睡眠周期の長さを示したものである。全睡眠時間は実験期間中大きな変化を示さず、睡眠率は 92.2%（第 3 日）~97.6%（第 7 日）の範囲であった。入眠潜時では、二元配置の分散分析で実験期間全体にわたって睡眠期の間に有意な差が認められなかった ($p > 0.05$, $df=5, 15$; 自由度については以下同じ)。しかし、実験第 3 日から第 7 日までの入眠潜時は、基準夜にくらべていずれも t 検定で有意に短縮した（第 4 日と第 5~6 日 $p < 0.01$, 第 3 日と第 7 日 $p < 0.05$; とともに片側検定, $df=6$, 自由度については以下同じ）。回復夜では基準夜より 8 分の短縮であったが、有意な差はみられなかった。また、睡眠時刻を推移させた長時間覚醒下の第 3 日から第 7 日までの入眠潜時の変化については、第 3 日から第 5~6 日までの間はわずかに短縮していく傾向がみられたが、第 7 日には若干延長した。

S3 および S4 の各睡眠潜時についての実験期間中の変化については、S3 の潜時は入眠潜時と同じく有意差が認められなかった ($p > 0.05$) が、S4 の潜時には実験期間全体にわたる変化について有意差が認められた ($p < 0.05$)。また、S4 の潜時は、第 3 日から第 7 日までは基

Table 2. Mean sleep stage data for each of the experimental days (min).

Sleep stage	Baseline night sleep 00:00~08:00	Delayed shift sleep				Recovery night sleep 00:00~08:00
		3rd day 06:00~14:00	4th day 12:00~20:00	5th-6th day 18:00~02:00	7th day 00:00~08:00	
1	16.7 (5.0)	17.5 (5.8)	22.2 (8.0)	19.3 (5.4)	20.4 (14.2)	13.8 (8.7)
2	218.8 (28.5)	151.5** (12.1)	183.4* (23.3)	183.8* (34.5)	205.5 (25.3)	217.8 (22.8)
3	37.3 (15.4)	34.5 (14.8)	33.3 (6.2)	36.1 (5.4)	35.1 (8.5)	39.0 (12.7)
4	67.5 (5.3)	81.5* (13.8)	83.8* (14.8)	88.0** (8.7)	82.0* (15.1)	62.5 (13.3)
REM	116.0 (7.6)	157.5** (19.2)	143.8** (12.2)	134.3* (18.2)	125.3 (12.5)	127.4 (22.8)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, significantly different from the baseline night sleep (one-tailed t -test).

準夜とくらべて有意に短縮し (第3日, $p < 0.05$, 第4日から第7日まで $p < 0.01$), 回復夜でも短縮の傾向であったが, 有意な差は認められなかった. また, 第3日から第7日までの変化も, 入眠潜時のそれと類似していた. S3 の潜時の第3日から第7日までの変化については, 上述の S4 の潜時の結果ときわめて類似していた.

REM 潜時は, 実験期間中の睡眠期に有意な差が認められた ($p < 0.05$). 基準夜と比較すると, 第3日は有意に短縮し ($p < 0.01$), それは第4日まで続いた ($p < 0.05$). 第5~6日と第7日も短縮する傾向にあったが, 有意な差はみられなかった. 睡眠周期の長さは, 第3日から第7日まで基準夜とくらべてわずかに短縮していたが, 実験期間中の睡眠期の間には有意な差はみられなかった.

Table 2 は, 各睡眠段階の出現量を実験期間中の睡眠期別に表示したものである. 分散分析の結果, 実験期間全体にわたって睡眠期間に有意差を認められたのは S2 ($p < 0.05$), S4 ($p < 0.05$) および REM 睡眠 ($p < 0.01$) であった.

長時間覚醒下の第3日から第7日までの S4 は, 基準夜に比べていずれも有意に増加した (第3日, 第4日, 第7日 $p < 0.05$; 第5~6日 $p < 0.01$). 第3日は基準夜とくらべて14分の増加であった. 第3日から第7日までの変化では, 第5~6日まで増加するが, その差はわずかであり, 回復夜にはもとのレベルに戻った. 各睡眠期における全睡眠時間中に占める S4 の割合は, 基準夜が平均14.8%であるのに対し, 第3日から第7日まではそれぞれ18.4, 18.0, 19.1, 17.5%で, 第3日以降はほとんど変化はなかった. また, 回復夜は13.6%であった. 一方, S3 は, S4 と異なり, 実験期間中ほとんど変化しなかった. また, SWS も同様な結果であった.

REM 睡眠は, S4 と同じく第3日, 第4日および第

5~6日に基準夜とくらべていずれも有意な増加を示した (第3日と第4日 $p < 0.01$; 第5~6日 $p < 0.05$). 第7日も増大したが有意ではなかった. 22時間覚醒下の第3日から第7日までの REM 睡眠量については, 第3日が最も多く, その後第7日にかけて約10分ずつ漸次減少する傾向を示した.

一方, S2 は, S4 や REM と異なって, 第3日, 第4日および第5~6日ですべて有意な減少を示した (第3日 $p < 0.01$; 第4日と第5~6日 $p < 0.05$). 第7日も減少したが, 有意な差はみられなかった. そして, 回復夜にはもとのレベルに復帰した.

Table 3 は, 各実験日の睡眠期を第1 (前), 第2 (中), 第3 (後) の各期に3等分し, その各期間に含まれる S4 と REM 睡眠の出現量を示したものである. まず S4 では, どの睡眠期でも睡眠前期にもっとも多く, ついで中期, 後期の順に減少する傾向が明らかであった. したがって, S4 はどの睡眠期にあっても, 入眠後3時間以内に多く出現していることになる. 実験期間中の睡眠前期の S4 の出現量の変化については, 実験第3日から第5~6日にかけては, 基準夜と比較して有意に増加する傾向を示すが, 第7日から回復夜にかけては減少した. 実験期間中のこのような変化は, Table 2 に示した S4 の全睡眠時間中の出現量の変化と類似していた.

一方, REM 睡眠については, その出現は睡眠後期にもっとも多く, 前期ではもっとも少なかった (第3日を除く). この前期の REM 出現量の実験期間中の変化については, 実験第3日にもっとも多いが, その後は漸減して, 回復夜には基準夜のレベルに戻る傾向があった (第3日と第4日の出現量は基準夜のそれとくらべて有意な増加). これと同じ傾向は, 睡眠中期における出現量の変化にもみられた.

2. スタンフォード眠気尺度の得点の変化

実験日ともなう6名の被験者の平均得点の変化を示

Table 3. Mean times spent in S4 and SREM during 1st, 2nd and 3rd one-third periods of sleep times for each of the experimental days (min).

	Stage 4			Stage REM		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Baseline night sleep						
00:00~08:00	44.8 (11.5)	21.0(14.2)	1.8(3.5)	20.0 (8.9)	36.0(17.9)	60.0 (7.2)
Delayed shift sleep						
06:00~14:00	60.3* (7.3)	10.4(9.5)	10.8(7.4)	48.5**(11.8)	65.8(20.8)	44.3*(10.9)
12:00~20:00	65.8** (7.8)	13.5(7.2)	4.5(9.0)	35.8* (8.8)	47.0(17.7)	57.8 (10.6)
18:00~02:00	66.3* (10.8)	17.0(10.1)	4.8(5.6)	32.8 (9.5)	42.8(22.7)	50.4 (16.3)
00:00~08:00	59.5 (9.6)	24.2(12.3)	2.1(4.2)	28.8 (7.8)	40.5(16.5)	55.7 (8.9)
Recovery night sleep						
00:00~08:00	52.8 (5.4)	8.0(9.7)	1.8(3.5)	23.3 (2.5)	45.1(6.8)	57.4 (26.6)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, significantly different from the baseline night sleep (one-tailed t -test).

すと、Fig.2 のとおりである。なお、各実験日の得点の平均値および標準偏差の値は Table 4 に示してある。各実験日の平均得点の変化をみると、第1日は起床直後に高い得点になるが、その後午前中はやや減少したのち、午後は午前中のレベルを持続した。第2日では、午前中は第1日の変化と同じであるが、午後はやや増大し、前半夜から第3日の深夜の時間帯にかけて著しく増大した。第3~4日と第4~5日の変化は、第2~3日と覚醒時刻は異なっているが、その変化とよく類似していた。

第6日は、それ以前にみられていた起床直後の高い得点がみられず、深夜帯から午前8時まではほぼ一定の得点を示した。しかし、午前9時より得点は増大して、その後は午後5時までわずかながら増加する傾向であった。そして、その後はさらに漸増するというパターンを示した。第7日は、起床後の高得点現象が再びあらわれ、また日中の得点レベルは第1日や第2日より明らかに高く、かつ午後のレベルが前半夜まで継続していた。第8日は第7日より得点レベルは低い、ほぼ同じ変化の傾向を示した。

睡眠からの覚醒後得点4（ややぼんやりしている）になるまでの所要時間は（起床直後のデータは除く）、第2日は15時間、第3~4日と第4~5日はそれぞれ9時間であったが、第6日は7時間になり、さらに第7日には3時間と激減した。

各実験日の SSS の平均得点を Table 4 に示した（起床直後のデータを除く）。全実験日の得点レベルの間には二元配置の分散分析で有意差はなかったが、実験第1

Table 4. Mean scores of Stanford Sleepiness Scale and mean critical fusion frequencies for each of the experimental days.

		N	SSS mean(SD)	CFF mean(SD)
1st	day	16	2.7(0.3)	36.2(1.2)
2nd-3rd	day	22	3.6(1.0)	38.1(1.6)
3rd-4th	day	22	4.1(0.8)	37.8(1.4)
4th-5th	day	22	4.1(0.9)	38.4(1.5)
6th	day	22	4.2(0.7)*	37.3(1.5)
7th	day	17	4.0(0.5)	35.9(0.4)**
8th	day	10	3.6(0.4)	36.0(0.7)**

SSS: Stanford Sleepiness Scale, CFF: critical fusion frequency in Hz. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, based on the 2nd-3rd day. The data measured on the wake-up time was omitted from the analysis.

日を基準にすると、その後の各実験日における平均得点にはみな明らかな有意な増加（ $p < 0.01$ ）が認められた。また、第2~3日と比較して、第6日の平均得点は有意に増大していた（ $p < 0.01$ ）。

3. フリッカー値の変化

各実験日の平均フリッカー値は Table 4 に示すとおりである。全実験日の間には、有意な差がみられなかった。しかし、第2~3日を基準とすると、第3~4日から第6日までは差がなかったが、第7日、第8日は有意に低下していた。なお、各実験日のフリッカー値の変化の特徴については、別報⁹⁾を参照されたい。

Fig. 2. Variations of average score of Stanford Sleepiness Scale for six subjects during the experimental days.

IV. 考 察

まず、S4 の変化についてみると、第3日の睡眠中のS4 の出現量は基準夜とくらべて有意に多く、それはとくに睡眠前期に顕著であった。また、そのときのS4 の潜時にも有意な短縮がみられた。S3 については、潜時が有意に短縮していたが、その出現量の増加はみられなかった。したがって、22時間の長時間覚醒はとくにS4 に影響を及ぼしたといえる。

本実験では、第3日以降第4日、第5～6日および第7日の睡眠は、いずれも22時間の覚醒時間後であるが、睡眠時刻はそれぞれ6時間ずつ後にずれている。いままでの多くの睡眠研究では、REM 睡眠は夜間の後半から午前中にかけて増加し、午後から前半夜にかけて減少するサーカディアンリズムを示すことが明らかにされている¹²⁻¹⁵⁾。本研究の結果でも、第3日の06:00～14:00の睡眠では、REM 睡眠は基準夜よりも40分以上の有意な増加を示し、その後の12:00～20:00、18:00～02:00、および00:00～08:00の各時間帯にほぼ10分ずつの減少がみられた。このサーカディアンリズムは、REM 睡眠潜時が漸次延長していくことにも認められた。

一方、SSS の得点の変化は、覚醒22時間後の第3～4日から第6日まで覚醒時間の経過とともに次第に増大する傾向を示した。そして、起床後平均得点が4点になるまでの所要時間は次第に短縮し、かつ、第6日の平均得点レベルは、第2～3日のそれと比較して、有意に増大していた。

このような実験期間中のSSSの変化にみられる覚醒レベルの顕著な低下傾向は、別報⁹⁾で報告したフリッカー値の変化にも同様に認められた。すなわち、第3～4日、第4～5日および第6日は、それぞれ覚醒時間の後半に著しい低下がみられ、起床後その顕著な低下が起こるまでの時間が次第に短縮し、かつ第7日や第8日には第2～3日と比較して覚醒時間全体で有意な低下がみられた。

したがって、22時間覚醒を繰り返すことによって、被験者の覚醒レベルは明らかに低下していったといえることができる。

上述のように、第3日から第7日にかけての睡眠でサーカディアンリズムに従ったREM 睡眠の減少があらかじめ予想され、本実験の結果でもそれが確認された。したがって、もし覚醒レベルの低下がS4の増大と直接的に関係しているならば、第3～4日以降の各実験日の睡眠には、第2～3日と比較して、S4の顕著な増大があらわれることが考えられる。しかし、本実験の結果は、Table 2 や Table 3 に示すように、S4の全睡眠時間および睡眠前期における出現量は、実験日を追って漸次増大する傾向にあったが、その増大はそれほど大きなものではなかった。さらに、第2～3日とくらべてフリッカー値が有意に低下していた第7日後の回復夜(第8日)のS4の全睡眠時間における出現量は、同じ時刻帯の睡眠である基準夜のそれとほとんど同じであった。

以上の結果から、第2～3日の後半に示された覚醒レベルの顕著な低下と第3日の睡眠のS4の著しい増加、

および入眠潜時、S3、S4 の各潜時などの明らかな短縮との間には明確な関係があることが示唆されるが、その後の 22 時間覚醒の繰り返し中における覚醒レベルの顕著な低下傾向と S4 の出現量との間には直接的な関係はないといえる。

このように、覚醒レベルと S4 の出現量との間に明確な関係がみられないことは、S4 や SWS に覚醒レベルの低下を直接的に示していくいくつかの特徴があるためと考えられる。それは、まず第 1 には、S4 の出現量は先行覚醒時間の長さによって規定されているが、両者の関係は直線的ではないことがあげられる。Webb ら⁷⁾は先行覚醒時間の長さや S4 の出現量との間に、前者が 24 時間までは 1 時間当りの後者の出現量は大きな増大を示すのにたいして、24 時間を越えるとその増加率は著しく低下するという関係があることを明らかにした。

いくつかの断眠実験は、断眠時間が増大するにつれて覚醒レベルがしだいに低下することを明らかにしている^{16,17)}。したがって、覚醒レベルの低下と S4 の長さの増大との間にもそれと同様な関係、すなわち、一定程度の覚醒レベルの低下は S4 の増大と関連しているが、それ以上の低下は S4 の増大とは直接的には関係がないことが考えられる。

第 2 に、S4 や SWS の回復作用の特徴も考慮すべきことである。すなわち、それらが長い覚醒のために失われる場合、上述のように、その後の睡眠によって回復しようとする機能があるが、その回復の大きさをほぼ一定にするような作用が働いていることが知られている。Åkerstedt ら¹⁸⁾は、夜間時の睡眠を 0, 2, 4, 8 時間と変化させたときに、おのおのの睡眠でとられる SWS の時間とその後の昼間の睡眠でのその時間の和はほぼ一定であることを示した。また、Karacan ら¹⁹⁾は、午前 2 時間、および午前 1 時間と午後 1 時間の 2 回に分けて仮眠をとったときにおのおのの睡眠での S4 の出現量とその夜の睡眠での出現量との和は同じであることを明らかにした。こうしたことから、彼らはある長さの覚醒時間のもとでは、S4 には一定の必要充足量があると考えている。

本実験の結果では、22 時間の覚醒の繰り返しによる各実験日の S4 はいずれも 80 分台であったが、この出現量は上述した Webb ら⁷⁾の結果とほぼ同じである。したがって、先行覚醒時間が 22 時間で睡眠が 8 時間の条件では、必要とする S4 が十分充足されていたために、それ以上の S4 の出現がもたらされなかったと考えられる。

睡眠の機能については、現在まで多くの研究が行われ

てきた。そして、そのいくつかの研究は、睡眠が生体内の組織修復過程であって^{20,21)}、その過程では生長ホルモンの放出やタンパク合成が行われており、とくに SWS がその過程で重要な役割を果たしていることを明らかにしている^{22,23)}。今後のこの種の研究の進展によって、睡眠の疲労回復に関するメカニズムがより明らかにされていくと考えられる。

さらに、疲労の回復過程に関して今後検討すべき課題としては、覚醒中における疲労回復の効果の問題がある。序論にも指摘されているように、産業労働や実験的作業時に挿入される休憩によって、労働の遂行などによって低下した生理的な機能の回復がみられることは確かなことである。本実験では、覚醒時間中に被験者が行うことは、おもに生理心理諸機能の測定をうけることであったが、それ以外の時間にはかれらは読書、テレビやラジオの視聴取などを行っていた。これらの活動中およびそれらの合間に疲労の回復過程が作用していることが考えられる。したがって、今後睡眠による疲労回復効果を検討する場合には、覚醒時間中のその種の効果を統制しながら行っていくことが必要であろう。

V. 結 論

22 時間の覚醒時間によって生ずる大脳皮質の覚醒レベルの低下は、その後の睡眠で S4 の増大をもたらすが、同じ 22 時間の覚醒の繰り返しによる覚醒レベルの著しい低下は、その後の各睡眠での S4 の一層の増大をもたらさない。

本論文の一部は、第 54 回日本産業衛生学会で発表した。

文 献

- 1) Horne JA. Sleep loss: Underlying mechanisms and tiredness. In: Folkard S, Monk TH, eds. Hours of work. Chichester: John Wiley & Sons, 1985: 53-65.
- 2) Chauchard P. La fatigue. (ショジャール、疲労。内藤耕二訳。東京：白水社、1972.)
- 3) Shapiro CM, Griesel RD, Bartel PR, Jooste PL. Sleep patterns after graded exercise. J Appl Physiol 1975; 39: 187-190.
- 4) Matsumoto K, Saito Y, Furumi K, Abe M. Effect of night exercise during 27-hr total sleep deprivation on the subsequent sleep. Percept Motor Skills 1985; 60: 915-924.
- 5) Glaubman H, Orbach I, Gross Y, et al. The effects of presleep focal attention load on subsequent sleep patterns. Psychophysiology 1979; 16: 467-470.
- 6) Browman CP, Tepas DI. The effect of presleep activity on all night sleep. Psychophysiology 1976;

- 13 : 536-540.
- 7) Webb WB, Agnew HW. Stage 4 sleep : influence of time course variables. *Science* 1971 ; 174 : 1354-1356.
 - 8) Horne JA. A review of the biological effects of total sleep deprivation in man. *Biol Psychol* 1978 ; 7 : 55-102.
 - 9) 齊藤良夫, 松本一弥. 睡眠時刻の推移にともなう生理・心理諸機能の変動とそれらの関係, *産業医学* 1988 ; 30 (3) : 192-201.
 - 10) Rechtschaffen A, Kales A, eds. A manual of standardized terminology techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Washington DC : US Government Printing Office, 1968.
 - 11) Hoddes E, Zarcone V, Smythe H, et al. Quantification of sleepiness : A new approach. *Psychophysiology* 1973 ; 10 : 431-436.
 - 12) Karacan I, Finley WW, Williams RL, Hirsch CJ. Changes in stage 1-REM and stage 4 sleep during naps. *Biol Psychiat* 1970 ; 2 : 261-265.
 - 13) Taub JM, Berger RJ. Sleep stage patterns associated with acute shifts in the sleep-wakefulness cycle. *EEG Clin Neurophysiol* 1973 ; 35 : 613-619.
 - 14) 遠藤四郎, 西原京子, 相沢一郎, 小田 潤. 健康成人の昼間睡眠と入眠時刻の影響. *臨床脳波* 1976 ; 18 : 1-10.
 - 15) Webb WB, Agnew HW. Sleep cycling within twenty-four hour periods. *J Exp Psychol* 1967 ; 74 : 158-160.
 - 16) Malmö RB, Surwillo WW. Sleep deprivation : changes in performance and physiological indicators of activation. *Psychol Monogr* 1960 ; 74 : No. 15.
 - 17) Kollar FJ, Pasnau RO, Rubin RT, et al. Psychological, psychophysiological and biochemical correlates of prolonged sleep deprivation. *Am J Psychiat* 1969 ; 126 : 488-497.
 - 18) Åkerstedt T, Gillberg MA. Dose-response study of sleep loss and spontaneous sleep termination. *Psychophysiology* 1986 ; 23 : 293-297.
 - 19) Karacan I, Williams RL, Finley WW, Hirsch CJ. The effects of naps on nocturnal sleep : influence on the need for stage-1 REM and stage 4 sleep. *Biol Psychiat* 1970 ; 2 : 391-399.
 - 20) Adam K. Sleep as a restorative process and a theory to explain why. *Prog Brain Res* 1980 ; 53 : 289-306.
 - 21) Adam K, Oswald I. Sleep is for tissue restoration. *J R Coll Physicians* 1977 ; 7 : 115-125.
 - 22) Horne JA. The effects of exercise upon sleep : a critical review. *Biol Psychol* 1981 ; 12 : 241-290.
 - 23) 鳥居鎮夫. 睡眠の機能. 鳥居鎮夫 編. *睡眠の科学*. 東京 : 朝倉書店 1984 : 1-31.

著者への連絡先 : 齊藤良夫, 〒192-03 八王子市東中野 742 中央大学文学部心理学研究室
 Reprint requests to Department of Psychology, Chuo University, Higashi-nakano, Hachioji,
 Tokyo, 192-03 Japan (Y. Saito)