

| | |
|--------------|---|
| Title | 感覚遮断環境におけるヒトの心拍変動・脳波ダイナミクスと意識の状態に関する研究 |
| Author(s) | 岩田, 一樹 |
| Citation | |
| Issue Date | 2000-03 |
| Type | Thesis or Dissertation |
| Text version | author |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/899 |
| Rights | |
| Description | Supervisor: 下平 博, 情報科学研究科, 博士 |

博士論文

感覚遮断環境におけるヒトの心拍変動・脳波ダイナミクスと 意識の状態に関する研究

指導教官 下平 博 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

岩田 一樹

2000年3月

Copyright © 2000 by Kazuki Iwata

要旨

感覚遮断環境とは、光・音・触感・温感などの外部からの感覚刺激が高度に遮断された環境のことである。感覚遮断環境のヒトに与える生理学的・心理学的影響に関する過去の研究によると、ある一定の方法による感覚遮断環境には、リラクゼーション・ストレスや緊張の緩和・依存症への治療効果・運動や認知機能の向上といった有用な効果があることが知られている。このような感覚遮断環境における有用な効果は、いかなる生理学的状態によって支えられているのであろうか。

本研究は、そうした感覚遮断環境における生体メカニズムの解明への端緒として、「通常の状態」としての覚醒・REM睡眠・NREM睡眠の状態を基準状態として、感覚遮断環境における生体システムの活動の状態のそれぞれの基準状態との差異と類似性から、その状態の特異性を明らかにすることを目的とする。

感覚遮断環境の実現にはフローテーションタンク法を用い、1時間の感覚遮断におけるポリグラフ計測を行なって、さらに心電図より心拍変動時系列データを得た。また一方、感覚遮断環境中の意識の状態を知るために、感覚遮断後に被験者へのインタビューを行ない、主観的な体験の報告を収集した。まずポリグラフの視察による特徴の抽出を行ない、その特徴と被験者の意識の状態との比較を行ない、通常の覚醒・睡眠には見られない特徴が見られた事例 (VI-NonSleep 型) について、心拍変動時系列と脳波の時間周波数解析を行なった。さらに、脳波および心拍変動の活動の違いを定量化するために、Kullback-Leibler divergence を用いて、それぞれの基準状態と感覚遮断環境における、脳波時系列と脳波時系列のダイナミクスの差異を計量化した。

その結果、感覚遮断環境における生理学的状態と意識の状態には、VI-NonSleep; α -REMs 型・VI-NonSleep; θ -REMs 型・NonVI-Sleep 型の3つのタイプが見いだされた。このうち、 θ -REMs 型の状態が感覚遮断環境における最も本質的な状態であり、それは通常の睡眠におけるREM睡眠と似通った状態であることが示唆された。

これは、感覚遮断という条件によって脳の活動の内的活性が高まり、REM様の状態を示したためと考えられる。ただし、感覚遮断におけるREM様の状態は、通常のREMとは異り、生理学的状態の変化に伴う意識の状態の変化を十分に自覚している状態であり、この自覚により、通常のREM睡眠には見られない顕著な有用な効果を与えられるものと思われる。

目次

| | | |
|----------|----------------------|-----------|
| 1 | はじめに | 1 |
| 1.1 | はじめに | 1 |
| 1.1.1 | 脳研究と感覚遮断環境 | 1 |
| 1.1.2 | 感覚遮断環境とその効果の概要 | 2 |
| 1.1.3 | 感覚遮断環境の定義 | 3 |
| 1.1.4 | 感覚遮断研究史 | 4 |
| 1.1.5 | 感覚遮断環境の有用性 | 5 |
| 1.2 | 本研究の目的 | 7 |
| 1.3 | 本論文の構成 | 7 |
| 2 | 基準状態としての覚醒・睡眠 | 11 |
| 2.1 | 睡眠研究の歴史 | 11 |
| 2.1.1 | 脳波の発見 | 11 |
| 2.1.2 | REM 睡眠の発見 | 12 |
| 2.1.3 | 睡眠ポリグラフ検査の確立 | 12 |
| 2.2 | 睡眠の分類とその特徴 | 13 |
| 2.2.1 | 睡眠 Stage-1 | 15 |
| 2.2.2 | 睡眠 Stage-2 | 15 |
| 2.2.3 | 睡眠 Stage-3・4 | 15 |
| 2.2.4 | 睡眠 Stage-REM | 16 |
| 2.3 | 覚醒・睡眠の 3 状態遷移 | 17 |
| 2.3.1 | 睡眠段階とヒプノグラム | 17 |
| 2.3.2 | 覚醒・睡眠の 3 状態遷移 | 17 |

| | | |
|----------|---------------------------------|-----------|
| 3 | 実験装置と計測環境 | 20 |
| 3.1 | 感覚遮断環境の実現：フローテーション・タンク | 20 |
| 3.2 | ポリグラフ計測 | 22 |
| 3.2.1 | 概要 | 22 |
| 3.2.2 | 脳波の発生メカニズムと計測 | 24 |
| 3.2.3 | 心電図のメカニズムと心電図からの心拍変動時系列データの取り出し | 27 |
| 3.2.4 | 心拍変動時系列データのスペクトル構造と自律神経活動 | 30 |
| 3.2.5 | 眼電図の発生メカニズムと計測 | 31 |
| 3.2.6 | ポリグラフ計測システムの概要 | 31 |
| 3.2.7 | 電極の装着と防水 | 33 |
| 3.3 | 計測の手順 | 35 |
| 4 | 感覚遮断環境におけるポリグラフ的特徴と主観的体験 | 39 |
| 4.1 | 解析の目的 | 39 |
| 4.2 | 解析方法 | 39 |
| 4.3 | 結果 | 40 |
| 4.3.1 | VI-NonSleep 型 | 44 |
| 4.3.2 | NonVI-Sleep 型 | 48 |
| 4.4 | 感覚遮断環境におけるポリグラフ的特徴と意識の状態 | 51 |
| 5 | 感覚遮断環境における脳波と心拍変動の時系列解析 | 53 |
| 5.1 | 解析の目的 | 53 |
| 5.2 | 解析方法 | 54 |
| 5.2.1 | 方法の概略 | 54 |
| 5.2.2 | データの切出し | 55 |
| 5.2.3 | 心拍変動時系列データのスペクトル解析 | 55 |
| 5.2.4 | 脳波時系列データのスペクトル解析とウェブレット解析 | 55 |
| 5.3 | 結果 | 56 |
| 5.3.1 | α -REMs 型 | 56 |
| 5.3.2 | θ -REMs 型 | 62 |
| 5.4 | 感覚遮断環境における心拍変動と脳波のスペクトル構造とその特徴 | 66 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4.1 | α -REMs 型の脳と自律神経の活動状態 | 66 |
| 5.4.2 | θ -REMs 型の脳と自律神経の活動状態 | 66 |
| 5.4.3 | 本解析で明らかになった問題点 | 67 |
| 6 | 感覚遮断環境における脳波・心拍変動ダイナミクスの覚醒時・各睡眠段階との定量的比較 | 68 |
| 6.1 | 解析の目的 | 68 |
| 6.2 | 解析方法 | 68 |
| 6.2.1 | 基準ダイナミクスの抽出とデータのセグメント化 | 68 |
| 6.2.2 | 距離尺度としての K-L divergence の導入 | 69 |
| 6.2.3 | K-L divergence のプロット | 72 |
| 6.3 | 結果 | 72 |
| 6.3.1 | 基準ダイナミクスの妥当性の確認 | 72 |
| 6.3.2 | 感覚遮断データの K-L divergence プロット | 75 |
| 6.3.3 | 対照実験：昼間の睡眠との比較 | 86 |
| 6.3.4 | 状態を差異化する脳波・心拍変動ダイナミクスの特徴 | 88 |
| 6.4 | 感覚遮断環境における生理学的状態の基準状態との類似性と相違性 | 89 |
| 7 | 感覚遮断環境における生理学的状態と意識の状態 | 91 |
| 7.1 | 感覚遮断環境における生理学的状態の覚醒・睡眠との比較 | 91 |
| 7.2 | 感覚遮断環境の有用な効果を支える生理学的状態 | 93 |
| 8 | 結論 | 95 |
| 8.1 | 感覚遮断環境と REM 睡眠における脳活動の類似性と相違性 | 95 |
| 8.1.1 | 感覚遮断環境と REM 睡眠における脳活動の類似性 | 95 |
| 8.1.2 | 感覚遮断環境における脳活動の特異性 | 96 |
| 8.2 | 感覚遮断環境における意識の状態の特質 | 97 |
| 8.2.1 | 意識の状態遷移モデル | 97 |
| 8.2.2 | 感覚遮断環境における意識の状態 | 101 |
| 8.3 | 本研究成果の意義 | 103 |
| 8.3.1 | 臨床医学的意義 | 103 |
| 8.3.2 | 睡眠研究上の意義 | 103 |

| | |
|------------------------|------------|
| 8.4 今後の課題と展望 | 104 |
| 8.4.1 今後の課題 | 104 |
| 8.4.2 今後の展望 | 105 |
| 謝辞 | 107 |
| 参考文献 | 116 |
| 本研究に関する発表論文 | 117 |

目 次

| | | |
|------|---------------------------------|----|
| 1.1 | 本論文の構成 | 10 |
| 2.1 | 睡眠段階と脳波波形 | 14 |
| 2.2 | ヒプノグラムの例 | 17 |
| 2.3 | 覚醒・睡眠における 3 状態 | 18 |
| 3.1 | 自作したフローテーション・タンク | 21 |
| 3.2 | ポリグラフ計測のための電極配置 | 23 |
| 3.3 | 生体メカニズムと生体の活動状態、生体信号ダイナミクス | 24 |
| 3.4 | 皮質のニューロン | 25 |
| 3.5 | 視床・皮質投射系 | 26 |
| 3.6 | 10-20 電極配置法 | 27 |
| 3.7 | 心筋の刺激伝導系と、心筋層の興奮による ECG 波形の成り立ち | 28 |
| 3.8 | ECG からの HRV の算出 | 29 |
| 3.9 | 心拍変動のパワースペクトル | 30 |
| 3.10 | 眼電図の記録原理 | 31 |
| 3.11 | データ収録システムの構成 | 32 |
| 3.12 | 電極の防水 | 34 |
| 3.13 | 頭部の防水 | 34 |
| 3.14 | 実験の手順 | 35 |
| 4.1 | ステージ図とポリグラフ：TT-1 | 44 |
| 4.2 | ステージ図：KY-1 | 45 |
| 4.3 | ステージ図：KY-2 | 46 |
| 4.4 | ステージ図：KY-3 | 46 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.5 | ステージ図：OJ-1 | 47 |
| 4.6 | ステージ図：OJ-2 | 48 |
| 4.7 | ステージ図とポリグラフ：KT-1 | 49 |
| 4.8 | ステージ図：KT-2 | 49 |
| 4.9 | ステージ図：NO-1 | 50 |
| 4.10 | ステージ図：NO-2 | 50 |
| | | |
| 5.1 | 解析の手順 | 54 |
| 5.2 | 心拍変動のスペクトル構造の比較 | 57 |
| 5.3 | 脳波のスペクトル構造：睡眠との比較 | 58 |
| 5.4 | 脳波のスペクトル構造：覚醒時安静閉眼との比較 | 59 |
| 5.5 | 脳波のスカログラムと α 帯域パワーの時間変化 | 60 |
| 5.6 | α 帯域パワーの時間変化の自己相関 | 61 |
| 5.7 | 心拍変動のスペクトル構造 | 62 |
| 5.8 | 脳波のスペクトル構造：睡眠との比較 | 63 |
| 5.9 | 脳波のスペクトル構造：覚醒時安静閉眼との比較 | 64 |
| 5.10 | ウェレット解析と α 帯域・ θ 帯域パワーの時間変化 | 65 |
| | | |
| 6.1 | 終夜睡眠データの KLD プロット: KY-S1 | 73 |
| 6.2 | 終夜睡眠データの KLD プロット: KY-S2 | 74 |
| 6.3 | 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-5 | 75 |
| 6.4 | 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-2 | 76 |
| 6.5 | 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-6 | 77 |
| 6.6 | 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-7 | 78 |
| 6.7 | 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-4 | 79 |
| 6.8 | 感覚遮断データの KLD プロット: KY-6 | 80 |
| 6.9 | 感覚遮断データの KLD プロット: KY-2 | 81 |
| 6.10 | 感覚遮断データの KLD プロット: KY-4 | 82 |
| 6.11 | 感覚遮断データの KLD プロット: KY-5 | 83 |
| 6.12 | 感覚遮断データの KLD プロット: KY-7 | 84 |
| 6.13 | 感覚遮断データの KLD プロット: KY-3 | 85 |
| 6.14 | 昼間の睡眠データの KLD プロット: OJ-N1 | 86 |

| | | |
|------|-----------------------------------|-----|
| 6.15 | 昼間の睡眠データのKLDプロット: KY-N1 | 87 |
| 6.16 | 心拍変動のスペクトル構造の比較 | 88 |
| 6.17 | 脳波のスペクトル構造の比較 | 89 |
| 8.1 | 個別的意識状態の状態遷移 | 99 |
| 8.2 | 意識の状態遷移のプロセス | 100 |

表 目 次

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | 睡眠段階と脳波 | 13 |
| 2.2 | 睡眠・覚醒の各状態の特徴 | 18 |
| 3.1 | 脳波の周波数帯域と名称 | 26 |
| 3.2 | データ収録システム使用機材 | 32 |
| 3.3 | 実験前後のインタビューの内容 | 36 |
| 3.4 | 被験者の一覧 | 37 |
| 3.5 | 計測データ一覧 | 38 |
| 4.1 | 各チャンネルのパラメータ設定 | 40 |
| 4.2 | 主観的体験報告とポリグラフの特徴 | 41 |
| 4.3 | イメージ体験と睡眠の自覚の対応関係 | 42 |
| 4.4 | 感覚遮断データのステージ判定基準 | 43 |
| 5.1 | α -REMs 型・ θ -REMs 型の心拍変動・脳波の特徴 | 66 |
| 7.1 | 睡眠・覚醒の各状態と感覚遮断環境における特徴 | 93 |

第 1 章

はじめに

1.1 はじめに

1.1.1 脳研究と感覚遮断環境

我々は日常、ある一定のルールにしたがって外界を認識し、また思考している。その認知や思考の枠組は、通常的环境に限って、また覚醒時に限って考えれば、たしかにある安定した構造を持ち、急激な変化はしないと思われる。また、こうした一定の「通常の」認知構造や思考構造は、脳の一定の情報処理過程によって支えられ、またそれは脳の一定の生理学的活動状態によって支えられていると考えられる。

ところが、例えば誰もが一生の約 $1/3$ の時間を過ごす睡眠について考えても、自己意識の消失や、時に日常とかけはなれたしかし生々しい現実感を伴う夢見など、我々の認知や思考の構造は、実は日常的にも大きく変化している。またこれと同様に、宇宙環境や、極地での越冬、事故などでの長期間の監禁状態などなど、様々な外的環境の変化によって、知覚や思考の構造が日常とは全く違ったものになるという報告もなされている。

つまり、我々の知覚や思考の構造は、様々な条件によって動的に変化しており、言い替えば、脳の情報処理過程のダイナミックな状態変化という現象が存在するのである。

ところが、現在の心理学や認知科学、あるいは脳科学の研究の多くは、覚醒中の、「通常の」状態という、ごく限られたなおかつ静的な状態のみを対象としている。しかしそれ一つの「状態」として、動的な認知や脳活動の状態変化をも視野に入れた、メタレベルのモデルが必要なのではないだろうか。

そういう意味で、睡眠や夢見の生理心理学的研究、あるいは特殊環境における生理心理学的研究は、動的な認知モデル・動的な脳機能モデルの構築のための絶好の手がかりを与えてくれるものとして大いに期待される。

ところで、一連の特殊環境における生理心理学的研究、あるいは環境と生体の相互作用に関する生理心理学的研究の中で、感覚遮断環境の研究は最も盛んに行なわれてきた分野のひとつである。それは、上に述べた特殊環境研究の必要性に加え、東西冷戦期の軍事的な問題としての洗脳問題や、現代社会における過度の刺激の生体への影響の問題などの社会背景に支えられていたと思われる。また、比較的簡便な実験装置によって感覚遮断環境が実現できること、実験条件をコントロールしやすいことなども、感覚遮断研究の利点と考えられる。

また、これまでの特殊環境における生理心理学的研究によると、高度な感覚遮断環境では比較的短時間で効果的な知覚などの状態の変化が報告され、知覚・脳活動の動的状態変化がもっとも生じやすい環境であると考えられる。

そこで、本研究でも動的な認知・脳活動状態の変化とその効果に関する研究のフィールドとして、感覚遮断環境を対象とすることにした。

1.1.2 感覚遮断環境とその効果の概要

感覚遮断環境とは、大まかにいうと、光・音・触感・温感などの感覚刺激が高度に遮断された環境のことである。ヒトが感覚遮断環境に置かれた時、常識的に考えれば、そこは単に「まっ暗で、静かで、体はどこにも触れず、温かくも冷たくもない」世界であるように思われる。しかし、その予想に反し感覚遮断環境ではさまざまな興味深い生理学的現象や、知覚体験が生じることが報告されている。

それは例えば、幾何学的な図形のような模様や鮮やかな色のカーテン、人の後ろ姿等等、生々しい現実感を伴った視覚的な「幻覚」や、体がくるくる回転しているような感じや身体の片側だけが分厚くなったような感覚、あるいは「体と意識がずれる」ような感じといった、運動感覚や身体感覚の変化や錯覚、またあるいは、十年以上も忘れていたような古い記憶をまざまざと思い出すなどの記憶に関わる体験、また、眠っているのか起きているのか分からないような感じ、起きたまま夢を見ているような感じ、などといった、日常的な状態とは異なった知覚の形式の体験などである。

これらの体験は、被験者にとって当惑するような、あるいはストレスや恐怖感を伴うも

のである場合もあり、特に感覚遮断研究の初期においては、これらの現象は知覚の「異常」として解釈されていた。

しかし一方で、ある一定の方法による感覚遮断は、被験者に対して深いリラクゼーションやストレスの緩和など、むしろポジティブな効果があることが分かってきた。近年ではそうした効果に着目し、過度の筋肉の緊張からくる首などの痛みや、リウマチ、あるいは心理的な原因による不眠症や摂食障害、タバコやアルコールなどへの依存症などの治療に感覚遮断環境を用いて一定の効果をあげている。また、スポーツ選手や航空機のパイロットなどの認識・運動機能の向上の効果があることなども明らかになってきている。

1.1.3 感覚遮断環境の定義

感覚遮断 (sensory deprivation) という言葉は、狭義には、生体に加えられる感覚刺激が絶対的に遮断された状態あるいはそういう状態を作る手続きを言うが、刺激の物理量を問題とするだけではなく、生物学的な刺激の効果の観点から、無意味な刺激・単調な刺激だけしか与えられない状況も、広義の感覚遮断といえることができる。例えば、同一の刺激が反復して与えられると、その刺激に対する反応・知覚が著しく減弱あるいは消失することが知られている。

Solomon らは、感覚遮断環境を以下の3種類の状態・手続きに分類できるとしている [29]。

1. 生体に加わる感覚刺激の物理的な絶対量が減少させられた状態。

生体の受容器に加えられる刺激の物理的絶対量をできる限り削減するもので、これは狭義の感覚遮断である。isolation tank あるいは flotation tank と呼ばれる、光・音を遮断する密閉式のタンクの中に体表温とほぼ同じ温度のぬるま湯を入れ、被験者はこの中に裸体で浮かぶことにより、視覚、聴覚、触覚、温覚などをできるだけ減少させようとする実験操作 (Lilly ら [7], [8]、Camberari [20] など) はこの例である。後に詳述する restricted environmental stimulation, REST と呼ばれる感覚遮断手続きもこれに分類される。

2. 知覚刺激の形態化 (patterning) が減弱させられた状態。

意味のある型あるいは模様を持つ刺激 (patterned stimuli) の量が減少した状態で、受容器に与えられる刺激の物理的量は必ず減少してはいないが、被験者が狭い室内で、半透明のゴーグルをかける、軟らかいベッドに横たわり腕にボール紙の筒を巻く、音

はエアコンのノイズのみ聞かせるなどの方法で、視覚系、触覚系、聴覚系に対する知覚入力の形態化、意味のある知覚入力を減少させる実験方法 (Bexton ら [18]、Heron ら [51]、北村ら [40] など) はこの例である。

3. 外界刺激作用は必ずしも弱めることなく、知覚的環境を強制的に単調化・制限された状態。

これは感覚刺激の絶対量や patterning の度合は必ずしも減少しないが、刺激が変化に乏しく極めて単調に反復持続するものとなり、結局生体にとって意味のある刺激は与えられない状態である。例えば、タンク型人工呼吸器の中に被験者を置くと、視野は天井の一部に限られ、聴覚刺激は呼吸器のモーター音の単調な繰り返しとなり、身体は人工呼吸器中で仰臥位に固定され手足の動きも制限されることで、視覚・聴覚・触覚などの知覚の構造が強制的に単調化・制限する手続き (Solomon ら [29]、Wexler ら [12] など) がこの例である。

1.1.4 感覚遮断研究史

感覚遮断環境の人間の生理学的・心理学的機能への影響の研究は 1950 年代まで遡ることが出来る。初期の感覚遮断研究を概観する著書やレビュー論文には、Solomon ら [28]、Vernon [3]、Brownfield [19]、Schultz [27] らによる著書、また国内では大熊 [69]、北村 [73]、長塚 [71] らによる論文がある。また Zubek らによる 1950 年代から 1960 年代までの感覚遮断研究の集大成的な文献 [36] が存在する。ここではこれらを参考にして初期の感覚遮断研究を概観する。

感覚遮断環境のヒトへの影響に関する初期の組織的な研究には、1953-1956 年の Hebb らを中心とする McGill 大学の研究 [18], [51], [52], [53], [54]、1956 年から 1964 年の Vernon らを中心とする Princeton 大学での研究 [5], [6], [4], [35]、1956 年から 1960 年の Lilly らを中心とする NIMH (アメリカ国立精神保健研究所) および Oklahoma 大学での研究 [7], [8], [46]、1961 年から 1970 年の北村らを中心とする東北大学での研究 [40], [41], [43], [42], [75] などが挙げられる。

これらの初期の感覚遮断研究においては、感覚を遮断の効果が、人間の諸機能を阻害する有害なものであるという前提のもとに行われ、例えば感覚遮断によって生じる視覚的イメージや身体感覚の変化などの知覚の変化を (否定的な意味を込めて) 「幻覚 (hallucination)」などと呼び、実験者・被験者とも「異常性」としてその現象を解釈していた傾向がみられ、た

例えば、「感覚遮断環境が被験者にストレスを与え、幻覚などの精神病的な現象を引き起こす」というような解釈がなされた。

しかしそれに対し、1970年代以降は、むしろこれらの知覚や生理学的状態のドラスティックな変容を、心理治療や、知覚・運動機能の向上などに積極的に利用する可能性を指摘する研究が現れてきた。

Suedfeld[31]、Borrieらは、それまでの「感覚遮断 (sensory deprivation)」という用語自体も、そうした異常性への印象を与えるとして、それに代わって“restricted environmental stimulation technique, REST”という名称を提案した [45], [74]。上に述べた Lillyらによるフローテーションタンク式の感覚遮断手続きは水に浮かぶことから、“flotation REST”とも呼ばれている。本研究で利用したのもこの方法で、詳細は後章で述べる。また、これ以降の感覚遮断研究は特に断らない限り全てこのフローテーションタンク式の感覚遮断環境における研究である。他に、フローテーションタンクと同様の筐体の中に温水の代わりに温水のウォーターベッドを入れた“chamber REST”もしばしば用いられている。

なお、本論文では敢えて「REST」ではなく「感覚遮断」環境と称しているが、それは一つには日本語の名称としてはもっとも分かりやすいであろうと考えることと、また“REST”という語感はいわゆる rest(休息、安静)から静的な印象を与えるが、感覚遮断環境中の主観的体験や生理学的状態は後に示すようにむしろ動的なものであることが少なくないため、筆者としては違和感を感じているためである。

1.1.5 感覚遮断環境の有用性

近年の研究により、感覚遮断環境には様々な心理学的・生理学的に有効な効果があることが見いだされ、感覚遮断の有効性の積極的利用が試みられており、様々な臨床場面で一定の効果をあげている。

リラクゼーション効果

Turner、Fineらはフローテーションタンクによる感覚遮断の研究を継続的に行い、一回のセッションあたり30分から40分間、一つの研究あたり4から20セッションの実験を行った。彼らが注目した第一のパラメータは感覚遮断体験における主観的報告であった。彼らはいくつかの主観的報告の指標、すなわち Spielberger state anxiety scale、Zuckerman multiple affect adjective checklist [56]、profile of mood states (POMS)[60]、subjective rating scales

of emotion and relaxation を利用した。その結果、全ての研究で、セッション前後及びセッション間でポジティブな感情 (positive emotion) の増加とネガティブな感情の減少が見られた。さらに、1000 件以上の感覚遮断体験についての記述の分析によると、90%以上の被験者が感覚遮断体験は深いリラクスの体験を報告していた。

さらに Turner らは、このような感覚遮断環境のリラクゼーション効果の生理学的側面をとらえるために、ストレス反応と連動する、生理学的変数である血圧、筋緊張、心拍変動と、生化学的変数である内分泌系の変化について検討した。[58], [56], [57]。その結果、感覚遮断環境では、ストレスに関係しないホルモンはセッション間で変化がなかったがストレスに連動するホルモンは減少の傾向が見られた。また血圧に関しても減少の傾向が見られ、ストレスが減少していることが示された。

また、他のリラクゼーション法 (バイオフィードバック法) との比較を行ったところ、バイオフィードバック法では、ホルモンの値には変化がなかったが、血圧に関しては減少の傾向が見られた。[48]

このことから、感覚遮断環境においてはストレスの減少に関してバイオフィードバック法とは違ったメカニズムが働いているかあるいは単に感覚遮断の方がより強力なストレス減少効果があるとしている。

臨床への応用

感覚遮断環境を治療に利用する研究は以下のようなものが存在している。過度の筋緊張 [59]、過度の筋緊張から起こる頭痛 [38], [9]、月経前症候群 [11]、リウマチ [55] など身体的な症状のものや、不眠症 [13] などの心身両面に関わる症状、またより心理的な症状としては、タバコ依存症 [30], [33], [34], [1], [32]、タバコ依存症と抜毛癖 [22]、アルコール依存症 [10], [23] (ただし [23] は chamber REST による) などの依存症や摂食障害 [21], [37] (ただし [37] は chamber REST による) などへの治療の効果が報告されている。

認知・運動パフォーマンスの向上

もう一つの感覚遮断環境の有効な影響として、人間の認知・行動作業やスポーツの能力向上の効果が挙げられる。

例えば、空軍パイロットの操縦技能 [16]、航空管制様レーダーでの対象認識能力 [15] などの作業の向上の効果や、陸上競技、バスケットボール、テニス、ライフル射撃などのス

ポーツ技能の向上の効果の研究などである。

Fine は、これらの効果は主に、感覚遮断環境におけるリラクゼーションとイメージトレーニングと密接な関係があると考えている [45]。

1.2 本研究の目的

感覚遮断の持つこれらの有用な効果は、いかなる生理学的状態・生理過程によって支えられているのだろうか。通常の覚醒時の休息、あるいは通常の睡眠と同様の状態なのだろうか、それとも休息や睡眠とは質的に全く異った生理学的状態にあるのであろうか。

しかし、これまでの感覚遮断研究においても、感覚遮断環境における生理学的状態の、睡眠や覚醒の各状態との詳細な比較を行った例は見られない。

そこで本研究では、感覚遮断環境における生理学的状態と主観的体験の、通常の覚醒・睡眠における各状態との多面的な比較を行い、両者の間の類似性と差異性を明らかにし、覚醒・睡眠の各状態との位置関係から、感覚遮断環境における生体の状態を定義することを目指す。

1.3 本論文の構成

本論文は、8章から構成される。各章の依存関係を図 1.1 に示す。

第1章では、本研究で扱う問題の位置付けと本研究の目的、および本論文の構成について述べる。

第2章では、本研究の背景となる知見として、脳波と睡眠および睡眠の生理学的・心理学的知見について概説する。

第3章では、本研究で用いた手法、つまり、感覚遮断環境の実現法であるフローテーションタンク法、生理学的状態の観測手法であるポリグラフ計測の方法、そしてポリグラフデータの解析法について説明する。

第4章では、解析の第1段階として行なった、睡眠ポリグラフ検査の手法を援用した感覚遮断環境におけるポリグラフの視察による波形の特徴の抽出と、それと併せて行なった主観的体験の報告の分析による、覚醒・睡眠との比較について説明する。そしてその結果、感覚遮断環境において、「NonVI-Sleep 型」と「VI-NonSleep 型」の二つの状態パターンが見られたこと、さらに「VI-NonSleep 型」には α 波脳波が優位であり急速眼球運動 (rapid eye

movements, REMs) が盛んに見られるパターン「 α -REMs 型」と、 θ 波脳波が優位であり REMs が盛んに見られるパターン「 θ -REMs 型」の二つのパターンに分かれることを示す。

第 5 章では、解析の第 2 段階として、第 4 章の解析の結果示された「VI-NonSleep 型」の二つのパターン、「 α -REMs 型」・「 θ -REMs 型」のデータを対象とした、ポリグラフデータから抽出した心拍変動時系列データと脳波時系列データの時間周波数解析による、それぞれのパターンと、通常の覚醒・睡眠時のスペクトル構造との比較について説明する。そしてその結果、心拍変動については「 α -REMs 型」・「 θ -REMs 型」いずれも REM 睡眠時と類似のスペクトル構造を示したこと、脳波については「 α -REMs 型」では覚醒時と同様の約 10Hz の α 波のピークが見られたこと、「 θ -REMs 型」では約 7Hz の θ 波のピークが見られたことを示す。

第 6 章では、解析の第 3 段階として、第 4 章・第 5 章で記述的に示してきた感覚遮断環境におけるポリグラフの波形および心拍変動・脳波の特徴の覚醒・睡眠との違いを客観的に計量化することを試みた。そのために、心拍変動・脳波ダイナミクスの距離尺度として Kullback-Leibler divergence を導入し、「 α -REMs 型」および「 θ -REMs 型」の心拍変動・脳波ダイナミクスの、覚醒時・睡眠 Stage-1・睡眠 Stage-2・徐波睡眠 (睡眠 Stage-3, 4) および REM 睡眠時のそれぞれのダイナミクスとの差異の、1 時間の感覚遮断実験中の時間変化をプロットした。その結果、「 α -REMs 型」においては心拍変動は REM 様のダイナミクス、脳波は WAKE 様のダイナミクスを示すこと、「 θ -REMs 型」においては心拍変動・脳波とも REM 睡眠様のダイナミクスを示したことを示す。

第 7 章では、第 4 章から第 6 章までの解析の結果をまとめ、そこで明らかになった感覚遮断環境における生理学的状態の 3 つのパターン、すなわち NREM 睡眠の状態と類似の「NonVI-Sleep 型」・覚醒時の状態と類似の「VI-NonSleep; α -REMs 型」・REM 睡眠の状態と類似の「VI-NonSleep; θ -REMs 型」について考察する。そして、「VI-NonSleep; θ -REMs 型」が感覚遮断環境に見られる生理学的状態の本質的な状態であること、つまり感覚遮断環境においては REM 睡眠様の生理学的活動状態が現れることを示す。

第 8 章では、まずはじめになぜ感覚遮断環境において REM 睡眠様の生理学的活動状態が現れるのかを考察し、また感覚遮断環境における生理学的状態の特異性についての問題を指摘する。また一方、Tart による意識状態の遷移モデルを導入することにより、感覚遮断環境においては意識の状態遷移が自覚的に起こるという解釈を示すし、この自覚的な意識の状態遷移が通常の REM 睡眠との大きな違いであり、この違いが、第 1 章で示した感

覚遮断の有用な効果を支えているのだという結論を示す。そして最後に本研究を総括して本研究成果の意義、今後の課題と展望について述べる。

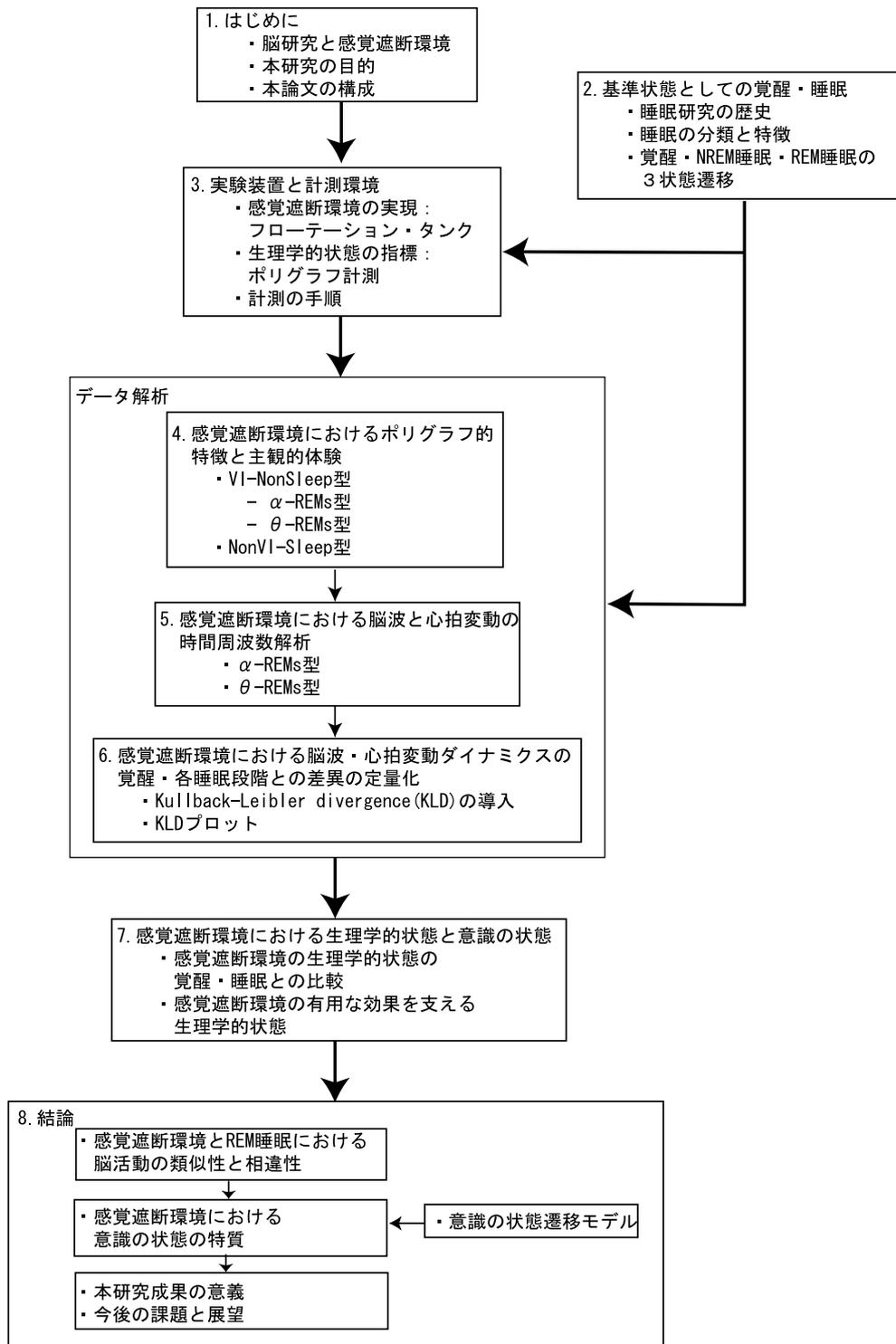


図 1.1: 本論文の構成

第 2 章

基準状態としての覚醒・睡眠

感覚遮断環境における生理学的状態と意識の状態と、通常の覚醒・睡眠の各状態との比較を行なうという、本研究の基本方針についてはすでに述べたが、ここで、比較の基準となる覚醒および睡眠に関する基本的な知見について述べる。

2.1 睡眠研究の歴史

まず、大熊による睡眠研究史の概説 [70]などを参考に睡眠研究史を概観することにする。

2.1.1 脳波の発見

睡眠はヒトだけではなく動物にも広く存在する普遍的な現象であり、太古より人類の大きな関心事の一つであったが、睡眠に対して科学的なアプローチがなされるようになったのは比較的最近のことで、1929年のBergerによるヒトの脳波の発見以降である。

Bergerはヒトの脳波を初めて正確に記載し、脳波が睡眠時に顕著な変化を示すことも観察した。その後の多くの研究者がヒトの睡眠の際、脳波が睡眠深度の変化に対応してそれぞれ特徴的なパターンを示すことを明らかにした。これをきっかけに近代睡眠学は発展することになった。

2.1.2 REM 睡眠の発見

さらに 1953 年、Aserinski と Kleitman らは、睡眠時の眼球運動の研究をしている時に、偶然に急速な眼球運動を伴う特殊な睡眠期が存在することを発見した [14]。この時期は急速眼球運動 (rapid eye movement) の頭文字をとってレム (REM) 睡眠と名付けられ、それ以外の従来知られていた睡眠はノンレム (NREM) 睡眠と呼ばれるようになった。その後の Kleitman らの研究で、REM 睡眠は約 90 分おきに現れること、脳波は入眠期に近い低振幅パターンを示すことなどが明らかにされた。また 1957 年、Dement らは、REM 睡眠期に被験者を覚醒させると夢を見ていることが多いことなどから、REM 睡眠が夢見現象と深い関係があることを発見した [50]。

また、ヒトの REM 睡眠に相当する睡眠期は動物にも存在することが Dement によって発見され、ネコではこの睡眠期に覚醒期に近い低振幅速波パターンの脳波が見られることから、賦活睡眠 (activated sleep) と名付けた [49]。また Jouvet らは、この睡眠器に姿勢を保つための抗重力筋、例えば頸筋の緊張が消失することをネコで見出し、脳波は覚醒期パターンに近いのに覚醒閾値が高く、両者が対応しないことから、この時期を逆説睡眠 (paradoxical sleep) と命名した。

その後多数の研究室でこの特異な睡眠期の問題を中心に睡眠野神経機序の研究が行なわれ、この睡眠期は従来知られていた脳波の徐波化を伴う睡眠とは質的に異なること、個体発生的・系統発生的にもより古い睡眠であることなどが明らかにされた。

このように REM 睡眠の発見によって、従来は 1 種類のもので深度が異なるだけだと考えられてきた睡眠が、実は質的に異なる 2 種類の睡眠から構成されていることが明らかになった。また REM 睡眠が夢見と密接な関係にあることの発見は、夢を神経生理学的に解明しさらに精神現象と脳機能との関係を研究するための絶好の機会を与えるものとして大いに期待され [70]、これを契機に睡眠や夢の研究が飛躍的に進展した。

2.1.3 睡眠ポリグラフ検査の確立

また、REM 睡眠の発見に伴って、ヒトや動物の睡眠を正確に把握するためには、脳波だけでなく少なくとも眼球運動と筋電図を同時に記録する必要があることが明らかになった。その結果、睡眠研究の方法論として睡眠ポリグラフ検査が確立され、脳波、眼電図、筋電図、心電図を中心に、必要に応じて呼吸運動、皮膚電気活動、酸素飽和度などを同時記録する方法が用いられている。

2.2 睡眠の分類とその特徴

睡眠の分類は脳波・眼電図・筋電図を中心とした睡眠ポリグラフ記録を用いて行なう。1968年に Rechtschaffen と Kales によって発表された国際基準 [2] が現在ももっとも一般的に行なわれてきており、多くの研究がこの基準による睡眠段階分類を基準としてさまざまな知見が蓄積されているため、本研究においてもこの基準を採用することにした。

Rechtschaffen & Kales の基準によると、睡眠は NREM 睡眠と REM 睡眠とに大別され、前者はさらに Stage-1 から Stage-4 に分類される。覚醒閾値を考慮すると Stage-1 から 4 に進むにつれて睡眠は深くなると考えられるが、REM 睡眠の深度については NREM 睡眠とは質的に異なる睡眠状態として位置付けられている。

睡眠段階の判定基準は具体的にはポリグラフ上の波形の特徴として定義されており、その概略と脳波波形をまとめたのが、表 2.1 および図 2.1 である。

| 大熊 (1967) による基準 | Rechtschaffen & Kales による基準 | 脳波の特徴 |
|-----------------|-----------------------------|---|
| 覚醒 | Stage WAKE | α 波と低電位の種々の周波数の波が混在。 |
| 浅眠期 軽眠初期 | Stage 1 | 低電位で 2 ~ 7Hz の種々の周波数の波が目立つ。 |
| 軽眠期 | Stage 2 | 種々の周波数の波を背景に、紡錘波と K-複合が出現。 |
| 中等度睡眠期 | Stage 3 | 20 ~ 50%を $75\mu\text{V}$ 以上、2Hz 以下の周波数の徐波が占める。紡錘波はあったりなかったりする。 |
| 深眠期 | Stage 4 | 50%以上を $75\mu\text{V}$ 以上、2Hz 以下の周波数の徐波が占める。 |
| REM 睡眠期 | Stage REM | 比較的低電位の、種々の周波数の波と速い眼球運動が出現。脳波は Stage 1 に類似。 |

表 2.1: 睡眠段階と脳波

以下、阿住による概説 [62]などを参考に各睡眠段階の特徴について説明する。

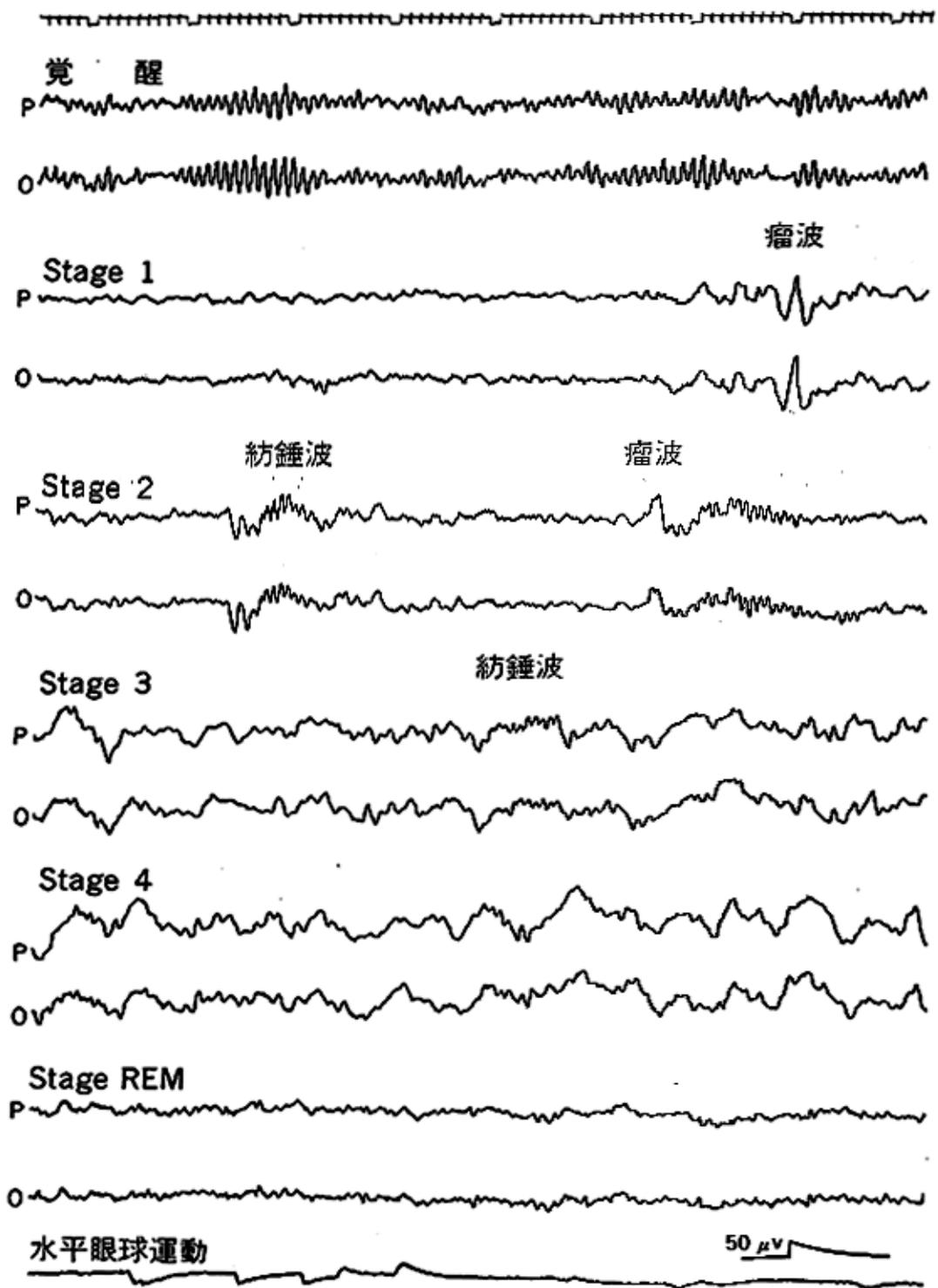


図 2.1: 睡眠段階と脳波波形

2.2.1 睡眠 Stage-1

正常睡眠では主に入眠する際に出現する段階で、外界の刺激によって容易に覚醒に移行する。

脳波は α 波が減少し連続性が失われる。背景脳波は低振幅の徐波や速波が混在する。主観的には「寝ている」という実感はなく、体の浮遊感や意識が遠のく独特な感じを体験する。若い人では瘤波 (hump) と呼ばれる 3-8Hz、 $100\mu\text{V}$ 以上の頭頂部鋭波が散発する。持続の短い紡錘波に似た波形が出現することもある。

眼球運動は水平方向にゆるやかに動き (slow yey movements, SEMs)、3-5 秒の長い持続を示すが、これは入眠時の各正脳波が完全に段階 1 に移行する少し前から出現する。

この段階は睡眠が進行して Stage-3 や 4、あるいは REM 睡眠が出現した後、大きな体動に伴って 1-2 分、時には 10 分位出現することがある。

2.2.2 睡眠 Stage-2

紡錘波期とも呼ばれ、5 つの睡眠段階の中で出現量が最も多い。

この段階の特徴的な脳波は 12-14Hz の中間速波が反復出現する紡錘波 (spindle) であるが、国際基準では 0.5 秒以上の持続を示す波形とされている。また単発の大徐波と紡錘波の組合せを K 複合 (K-complex) と呼ぶが、この段階で頻発する。紡錘波や K 複合は身体内部や外界からの刺激に反応して出現する。

眼球運動は出現せず、主に頤筋から記録する表面筋電活動は軽度の低下から著明な低下まで示し、その変動幅は広い。

2.2.3 睡眠 Stage-3・4

高振幅徐波の出現の最も多い段階で深い睡眠である。時に強い寢息が聞かれ、外界の刺激に反応しにくく深く寝入った状態である。一晩の睡眠の前半に多く出現する。

脳波における、0.5-2Hz、 $75\mu\text{V}$ 以上の δ 波の出現率 (単位時間に対する持続時間の合計の比率) が 20%以上を Stage-3、50%以上を Stage-4 と定義している。しかし同じ年齢層の正常者の間でもこの δ 波の出現率の判定にはばらつきが多い [26]。Stage-3 と Stage-4 の生理学的・心理的特徴には著明な差がないので、通常一緒にして徐波睡眠 (slow wave sleep, SWS) と呼んでいる。

眼球運動はなく、表面筋電活動は著しく低下する。体動は最も少なく、20-30 分の間全く動かないこともある。大きな体動があると他の睡眠段階に移行する。

以上の Stage-1 から 4 までの段階をまとめて NREM 睡眠と呼ぶ。NREM 睡眠においては、大脳皮質を中心とした細胞群の活動は全般に低下しており [25]、また呼吸リズムや心拍リズムはその周期が延長するとともに安定化しており、脳および身体が全体に低代謝状態にあるとみなされている。

このことから、NREM 睡眠は身体を休息させ、エネルギーを保存・蓄積する役割を持つと考えられている。

2.2.4 睡眠 Stage-REM

シカゴ大学の Kleitman 一派は、1953 年にこの睡眠を特徴づける急速眼球運動 (rapid eye movements, REMs) を発見し [14]、1957 年には REMs が一晩を通じて周期的に出現し、この時の脳波活動は浅い睡眠状態を示唆するにも関わらず感覚性刺激によっても容易に覚醒しない状態であることを発見して [50]、この睡眠を賦活睡眠 (activated sleep) または REM と命名した。

REM 睡眠の脳波はヒトでは Stage-1 に類似しているが頭頂部鋭波は目立たず、広範な周期の脳波からなる低振幅パターンを示す。また、Stage-1 と同様睡眠紡錘波と K 複合は見られない。REM 睡眠の開始や終了時には鋸歯状波 (saw-tooth waves) と呼ばれる 3-6Hz、やや振幅の高い脳波の群発が認められる。一過性に α 波が見られ、その周波数は覚醒中より 1-2Hz 低いのが普通である。

突発的に出現する REMs が頻発し、抗重力筋の筋緊張は睡眠の経過中最も低下する。一方、筋の攣縮 (持続の短い相動的な筋放電) が頻発する。自律系指標の変動は NREM 睡眠中のそれに比べて著明に大きい。また H 反射 (単シナプス反射) の減弱、尿量の減少と尿比重の増加、温熱性発汗・精神性発汗も減少するが一過性に異常に発汗が高まることがある、陰茎の勃起、胎児の動きが盛んになるなどの体内諸現象が知られている。

また、強制的に覚醒させると最高 80% の確率で夢の想起ができ、その内容は視覚的で動きに富み鮮明なイメージを示す。また、知覚や記憶がある程度可能であるとされる。REM 睡眠に夢見が現れるのは、脳波の賦活されたパターンと関連があると思われる。

REM 睡眠におけるこれらの体内諸現象から、時実は、REM 睡眠は大脳皮質等の脱抑制状態だと推測している [67]。

つまり、睡眠に対す休息のイメージに反して、REM 睡眠は、覚醒時にも増して脳活動が活発化した状態であると考えられている。しかし、その機能については未だに明らかにされていない。

2.3 覚醒・睡眠の 3 状態遷移

2.3.1 睡眠段階とヒプノグラム

睡眠段階を判定した上でその時間変化をプロットしたのが、ヒプノグラム (睡眠図) である。ヒプノグラムによって、睡眠中の状態変化とそのリズムを明確に可視化することができる。その例を図 2.2 に示す。

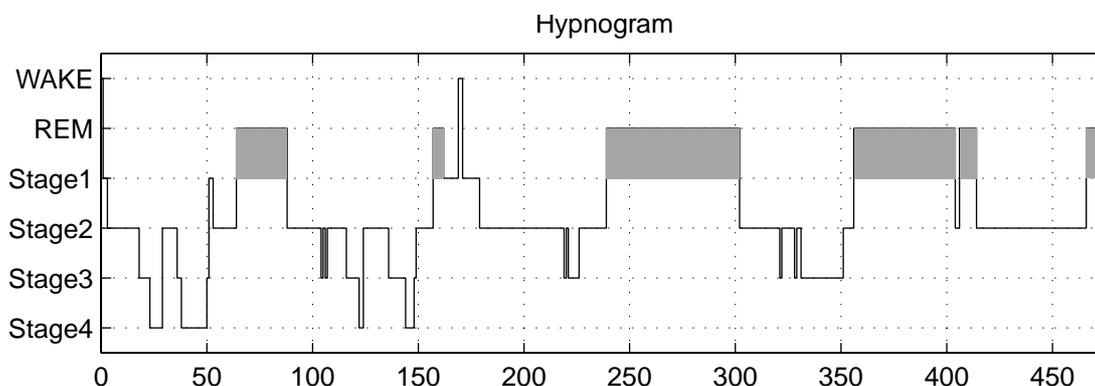


図 2.2: ヒプノグラムの例

一般的に、睡眠段階は約 1.5 時間の周期で深い眠りと浅い眠りを繰り返すことが知られており、また Stage REM は明け方になるほどその持続時間が長くなる傾向にある。

2.3.2 覚醒・睡眠の 3 状態遷移

Stage-REM に対して、Stage-1 から 4 をまとめて NREM 睡眠とも呼ぶことはすでに述べたが、ヒプノグラムから明らかになる覚醒・睡眠サイクルを、覚醒・NREM 睡眠・REM 睡眠の 3 つの状態変化で示すと図 2.3 のようになる。

つまり、われわれは毎日これらの 3 つの状態を一定のサイクルで遷移している訳である。個人差もあるが、概ね、一日 24 時間のうち約 8 時間を睡眠、残り 16 時間を覚醒という睡

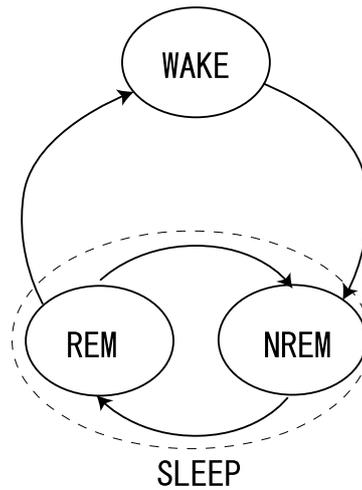


図 2.3: 覚醒・睡眠における 3 状態

眠覚醒リズムがあり、睡眠中は、約 1 時間 30 分の周期で NREM 睡眠と REM 睡眠を行き来している。

ここで、本研究において特に注目する生理学的諸側面と主観的体験を、覚醒 (WAKE) と NREM 睡眠、REM 睡眠の 3 状態に対比した表を表 2.2 に示す。

| 状態 | WAKE | NREM 睡眠 | REM 睡眠 |
|----------|----------------|----------------|---------------------------------|
| 自律神経系の活動 | 副交感神経系が active | 副交感神経系が active | 交感神経系・副交感神経系が active |
| 脳波 | α 波優位 | 睡眠段階により変化 | 小振幅の様々な周波数が混在・たまに α 波が出現 |
| 眼球運動 | なし・SEMs | なし・SEMs | REMs |
| 主観的体験 | | まれに夢見 | 夢見 |

表 2.2: 睡眠・覚醒の各状態の特徴

本研究では、「覚醒中の安静・閉眼時 (以下、状態 WAKE とする)」、「NREM 睡眠」、「REM 睡眠」の 3 つの状態を、生理学的状態と意識の状態 (主観的体験の性質) の日常的な環境における基準状態として考え、未だに明らかにされていない感覚遮断環境における意

識と生理学的な状態を、それぞれの基準状態からの位置関係によって位置づけ、さらにその具体的性質を定義することを目指す。

第 3 章

実験装置と計測環境

3.1 感覚遮断環境の実現：フローテーション・タンク

本研究では、前節で述べた 3 種の感覚遮断手順のうち最も効果的な感覚遮断手法であると思われる、1 番目にあげた「物理的感覚刺激の絶対量を減少する」方法を取り、フローテーション・タンクと呼ばれる密閉式の水槽を用いた。この方法は、1956 年に Lilly ら [7] によって考案されたものである。

実験に用いるフローテーションタンクは、約 1 ヶ月をかけて自作した。自作したフローテーションタンクの 3 面図を図 3.1 に示す。青色で示した人型は 170cm の身長を目安である。このタンクは、壁面は外側から 18mm 厚の合板（ただし底面は 21mm 厚）・20mm 厚の発泡スチロール（ただし底面は 20mm 厚のスタイロフォーム）・9mm 厚の合板の三層構造とし、さらにタンク内側の全面を、鯉などの養殖に用いる生け簀用の防水シートで目張りした。底面の防水シート下にはサーモスタットのコントローラ付属のウォーターベッド用のヒーター（消費電力 200W）を 2 基設置し、十分な保温効果と強度・防水性を持つようにした。タンク本体は実験室の中央に配置したコンクリートブロックと防振のための 20mm 厚のスポンジからなる基礎の上に設置した。

タンクの内側には比重 $1.25g/cm^3$ の硫酸マグネシウム ($MgSO_4$) 溶液を約 30cm の深さに満たし、水温を 34.5 ± 0.3 に保った。

溶液は、実験の終了の度に水泳プール用の塩素剤（製品名「ハイクロン」）を所定の濃度（残留塩素濃度が $0.4-1.0mg/l$ ）になるよう散布して殺菌し、さらにポンプの流量 $1,080l/h$ の浄水フィルタを常時稼働することで浄化を行った。

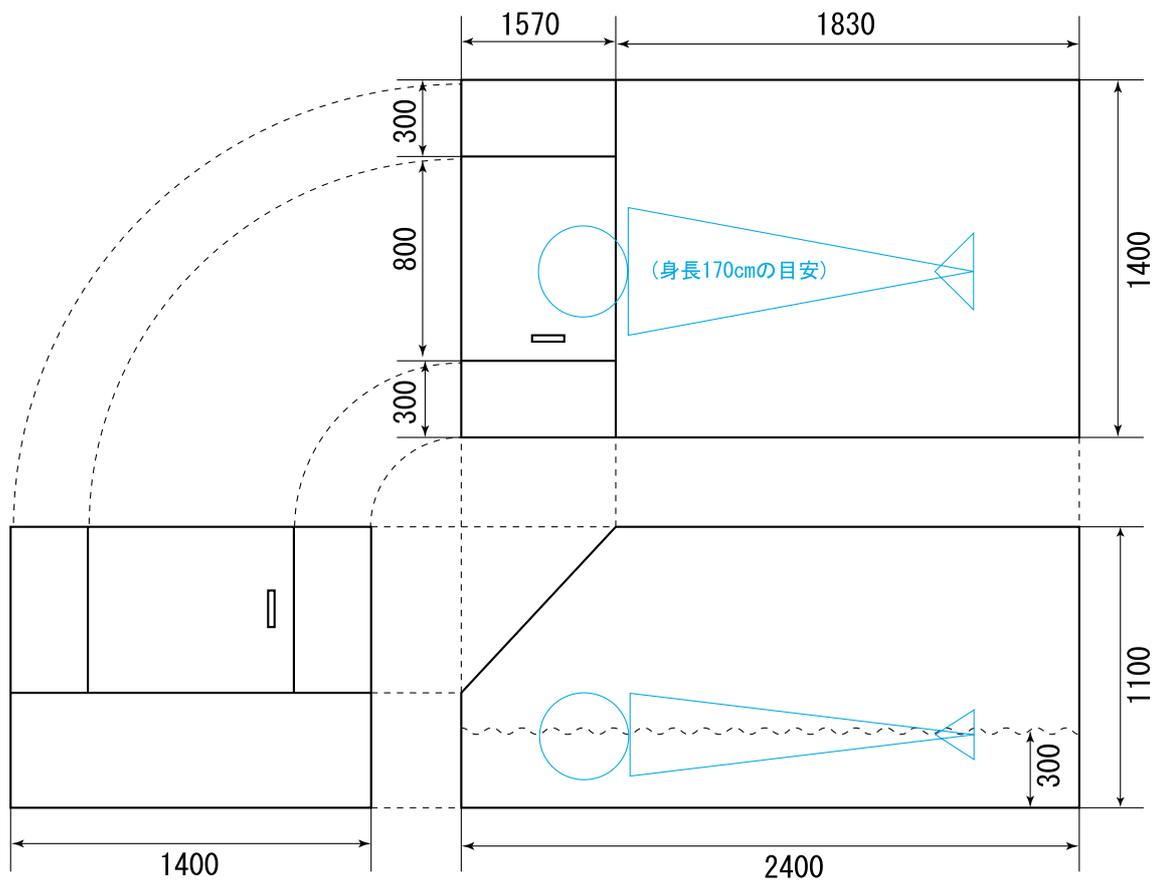


図 3.1: 自作したフローテーション・タンク

3.2 ポリグラフ計測

3.2.1 概要

生体信号データの収集の手段としてポリグラフ計測を用いた。ポリグラフとは、脳波・筋電図・眼電図・心電図など、複数の生体信号の波形を同時に記録する方法であり、睡眠の生理学的研究法の中でも最も一般的に行なわれている手法であり [72]、多くの睡眠研究がこの基準による睡眠段階判定を前提としている。本研究では、覚醒・睡眠の各状態との比較を行なうために多くの睡眠研究の知見との比較が必要となるため、また脳の活動状態の変化を顕著に反映する生体信号を捉えるための方法として、ポリグラフ計測を用いた。なお、本研究では、脳波 (electroencephalogram; EEG) ・眼電図 (electrooculogram; EOG) ・筋電図 (electromyogram; EMG) ・心電図 (electrocardiogram; ECG) を記録した。

各導出電極の装着部位は図 3.2の通りである。左右眼電図は A_1 を基準として左右眼窩の外縁より導出し、筋電図は頤筋より双極導出、心電図はホルタ心電計の電極配置とした (図 3.2: [2] より)。ただし脳波電極の配置については後に詳述する。

また計測したポリグラフデータを元に、特に本研究では、脳の生理学的状態を知るための状態指標として脳波時系列のダイナミクスを用いることにした。脳波は脳内の神経細胞の電氣的活動の総和として現れると考えられている。脳内の個々のメカニズムがどのように脳波に反映しているのかは未だに明らかにされていないが、脳の総体的な活動の指標として脳波を捉えることは有効であると思われる。

一方、生体の活動もう一つの側面として、生体機能の全体的な調節を司る自律神経系の活動があげられる。本研究では、生体の活動状態をより総体的に捉えるために、中枢神経系の活動に加え自律神経系の活動状態を同時に把握することを目指した。自律神経系の活動状態が、心拍変動の周波数成分に反映することはすでに知られているため、自律神経系の活動指標として、心電図から抽出した心拍変動時系列のダイナミクスを用いることにした。

つまり、生体の生理学的活動状態を、中枢神経系の活動状態と自律神経系の活動状態の二つの側面からとらえることとし、両者の活動指標としてそれぞれ脳波時系列と心拍変動時系列のダイナミクスを用いることとした (図 3.3)。

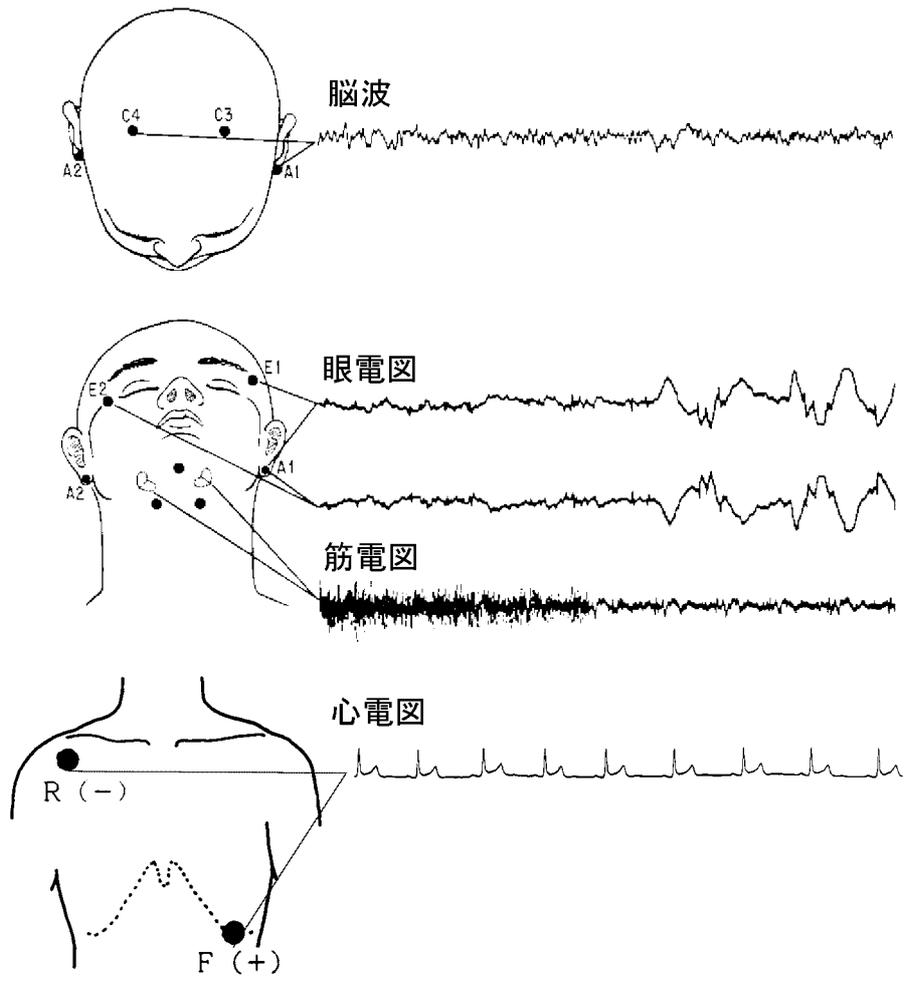


図 3.2: ポリグラフ計測のための電極配置

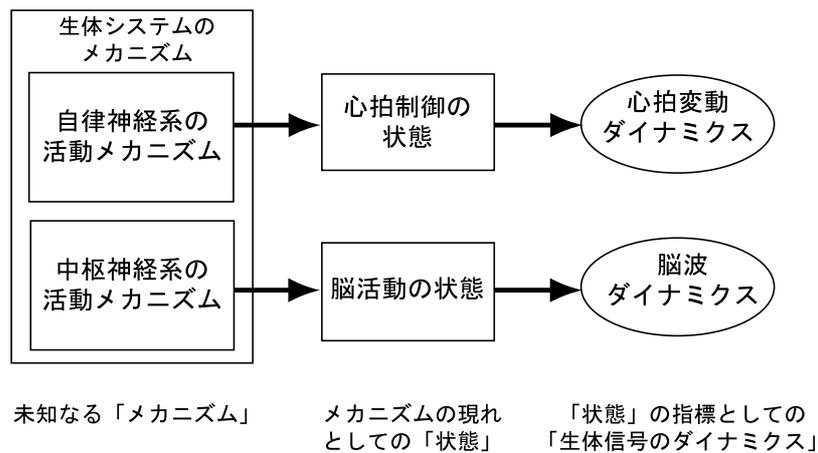


図 3.3: 生体メカニズムと生体の活動状態、生体信号ダイナミクス

3.2.2 脳波の発生メカニズムと計測

脳波の発生メカニズムは詳細は未だに明らかにはなっていないが、概ね以下のようなメカニズムが考えられている [64]。

皮質のニューロン

大脳皮質系では神経細胞が 6 層をなしている。これらの細胞はグリア細胞の中に埋まっており、多数の毛細血管が入り込んでいる。神経細胞は複雑なシナプス結合をなしている (図 3.4)。

皮質の中で電位変動の発生源となっているのは次の通りである。

- ニューロンの軸索、樹状突起の活動電位
- 細胞体の活動電位
- シナプス電位
- シナプス後電位 (興奮性 : EPSP、抑制性 : IPSP)

皮質皮層でのシナプス網で発生する EPSP・IPSP が脳波の本体をなしており、EPSP・IPSP は視床からのコントロールを受けて同期したり非同期したりして脳波リズムを形成するとされている。

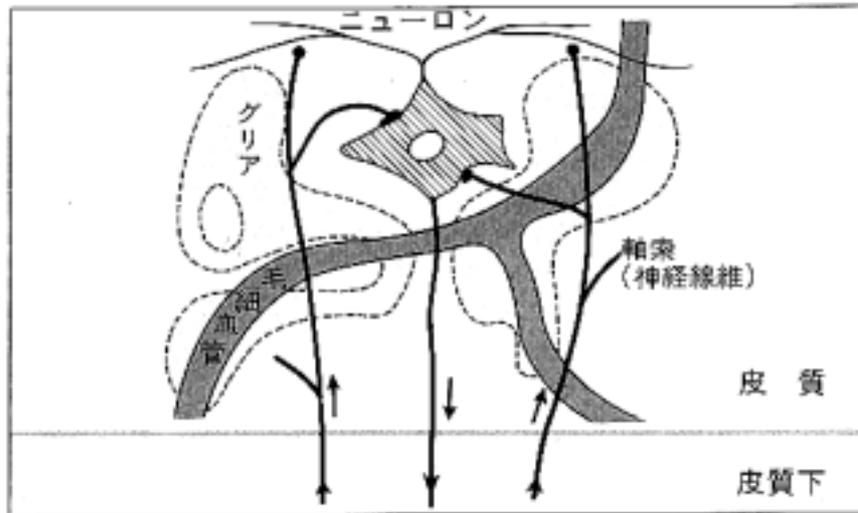


図 3.4: 皮質のニューロン

視床・皮質投射系

脳幹網様体賦活系は大脳皮質の興奮レベルを調節する重要な役割を担っている。視床から大脳皮質に向かってインパルスを伝える投射系は以下の二つが存在する (図 3.5)。

1. 特殊投射系

視床に到達した知覚性インパルスは上行性にこの系を介して大脳皮質の知覚領に送られる。例えば、

視覚：網膜 視束 外側膝状体 視覚領

聴覚：内耳 聴神経 内側膝状体 聴覚領

皮膚知覚：皮膚受容器 知覚線維 腹側核 中心後回

2. 非特殊投射系

視床から大脳皮質の全域にわたってインパルスを送る上行性系路。この系は脳幹網様体からのコントロールを受けており、このコントロール系を上行性脳幹網様体賦活系という。

上行性脳幹網様体賦活系には感覚器から求心性知覚路を介して、また大脳皮質から下行性に、インパルスが送られてその興奮が調節される。

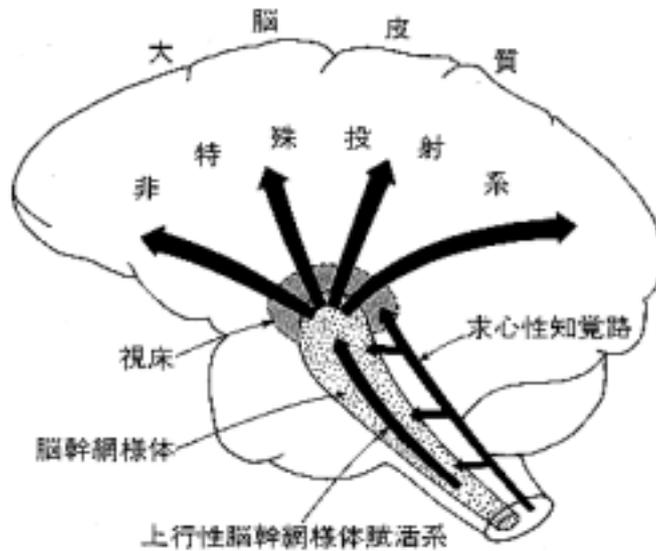


図 3.5: 視床・皮質投射系

脳波の周期の分類

このようにして発生する脳波は、その周期によって以下のような名称が付けられている。

| 周波数 (Hz) | 名称 | 備考 |
|--------------|------------|-------------------------|
| 3 未満 | δ 波 | 「徐波」とも呼ぶ。睡眠段階 3・4 で出現。 |
| 4 以上 ~ 8 未満 | θ 波 | 「徐波」とも呼ぶ。 |
| 8 以上 ~ 13 未満 | α 波 | 覚醒時に正弦波の α 波が出現。 |
| 13 以上 | β 波 | 「速波」とも呼ぶ。緊張時などに出現。 |

表 3.1: 脳波の周波数帯域と名称

電極の配置

脳波電極は国際脳波学会連合標準電極配置法 (10-20 法) に従って配置する (図 3.6 文献 [64] より)。その概要は以下の通りである。鼻根 (N) と後頭結節 (I) を結ぶ線と、両耳穴前部 (A_1, A_2) を結ぶ線を 10%-20%-20%-20%-20%-10%に分割する。N と A と I を結ぶ左右の

半周距離を同様に 10%-20%-20%-20%-20%-10%に分割する。このように、10%、20%の長さを単位として図のように電極が配置される。

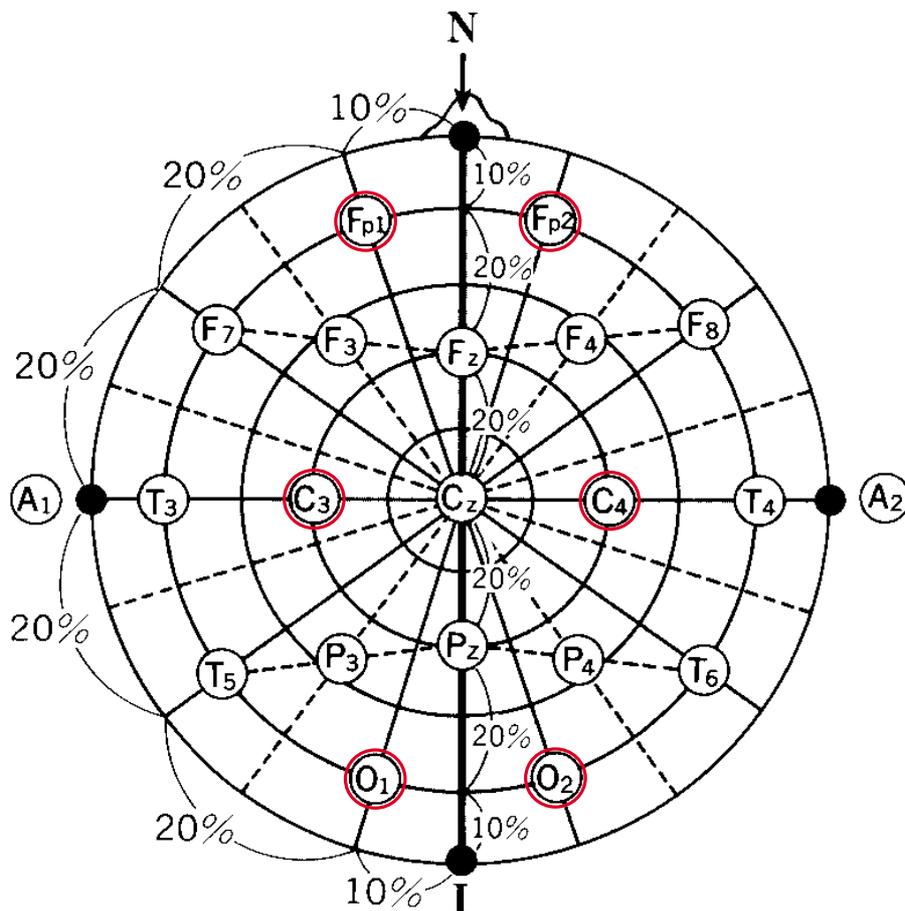


図 3.6: 10-20 電極配置法

本研究では、最少の電極数で脳半球の前頭部・頭頂部・後頭部の左右の脳波を計測するために、図 3.6中に赤い円で示した、 F_{p1} ・ F_{p2} ・ C_3 ・ C_4 ・ O_1 ・ O_2 に電極を配置した。

3.2.3 心電図のメカニズムと心電図からの心拍変動時系列データの取り出し

心電図の発生メカニズムは以下のように考えられている [68]。

心臓を形作る心筋層は特殊心筋系 (刺激伝導系) と固有心筋系 (作業心筋) に大別され、心

筋層の大部分は後者に属する。前者の特殊心筋は心房及び心室の収縮を起こさせる興奮を自動的に発生し、興奮伝達系として収縮をコントロールしており、洞結節・房室結節・ヒス束・脚・プルキンエ線維などからなる。刺激伝導系の概略と、心筋層の興奮による ECG 波形の成り立ちを図 3.7 に示す (文献 [68] より)。

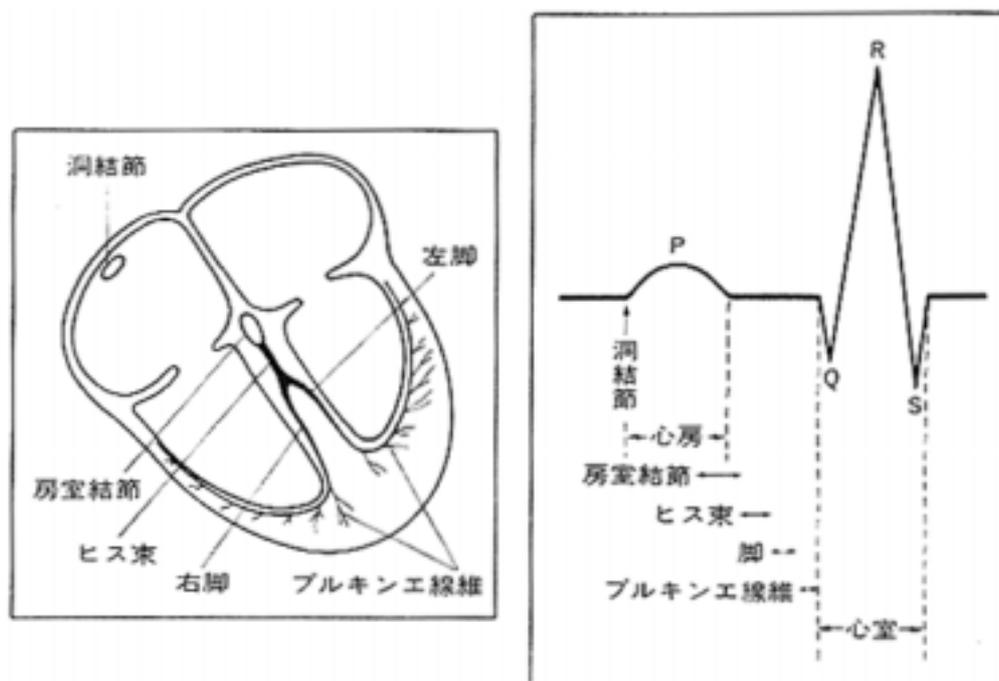


図 3.7: 心筋の刺激伝導系と、心筋層の興奮による ECG 波形の成り立ち

洞結節で発生した興奮は、洞結節 心房 房室結節 ヒス束 左脚・右脚 プルキンエ線維 心室へと伝わる。

また正常の心電図は 1 心拍ごとにこのような波形が描かれる。各波は Einthoven の提唱により P・QRS・T と呼ばれ、波形の各部位は刺激伝達系の興奮の伝達過程と図のように対応している。

従って、R-R 間隔は心室の収縮の間隔であり、心拍動の一周期に対応する。

本研究では、サンプリング周期 250Hz の ECG データを元に、時間 R_n 秒における瞬間心拍数を $60/(R_{n+1} - R_n)$ とし求め、これを直線補間し、さらにサンプリング周期 2.5Hz でリサンプルして HRV データとした。(図 3.8)

3.2.4 心拍変動時系列データのスペクトル構造と自律神経活動

Cerutti ら [39] は成人を対象として RR 時系列に自己回帰解析を行ない要素成分を求めているが、0.05-0.15Hz を低周波帯 (LF) とし、0.20-0.40Hz を高周波帯 (HF) として 2 群に分けている。そして HF は呼吸と同期性で呼吸率が心電図に影響を与えることから、呼吸性洞性不整脈 (respiratory sinus arrhythmia; RSA) とし、この部分のスペクトルのパワーは副交感神経コントロールを表現すると考えている。一方、LF は HF より遅い波であり、その成分は交感神経制御活動であって血圧の変動を強く受け、血圧上昇によりパワーが上昇するとしている。

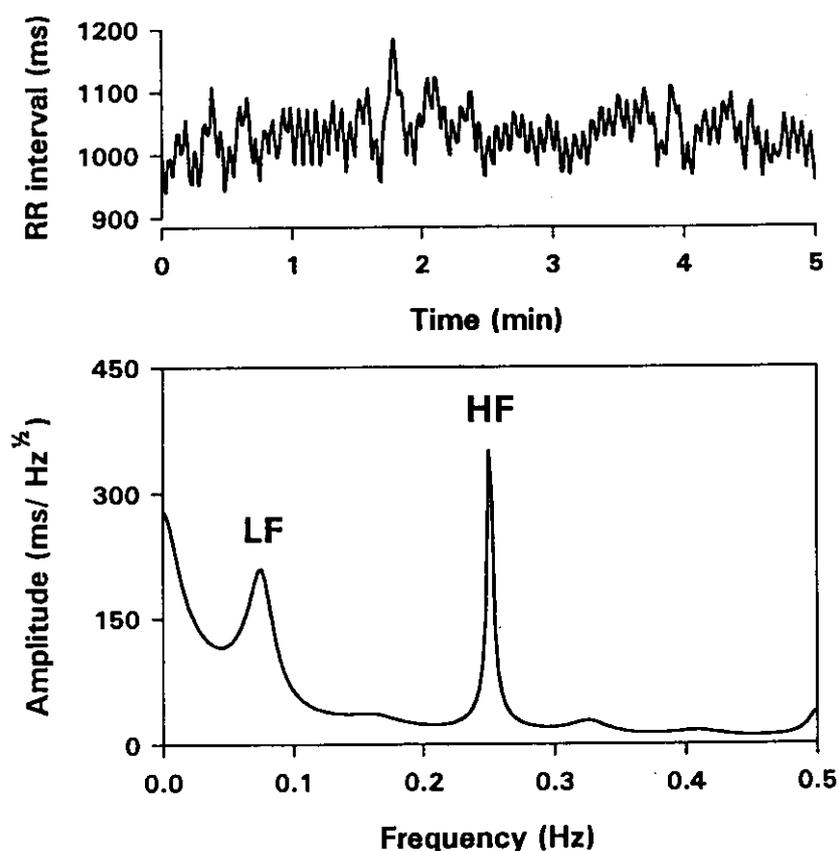


図 3.9: 心拍変動のパワースペクトル

このように、心拍変動時系列データのスペクトル解析を通じて、自律神経活動を知ることができる。

3.2.5 眼電図の発生メカニズムと計測

眼電図は、眼球は角膜側が+、眼底側が-に帯電していることを利用して、眼球の回転に伴う電位差の変化を導出したものである。

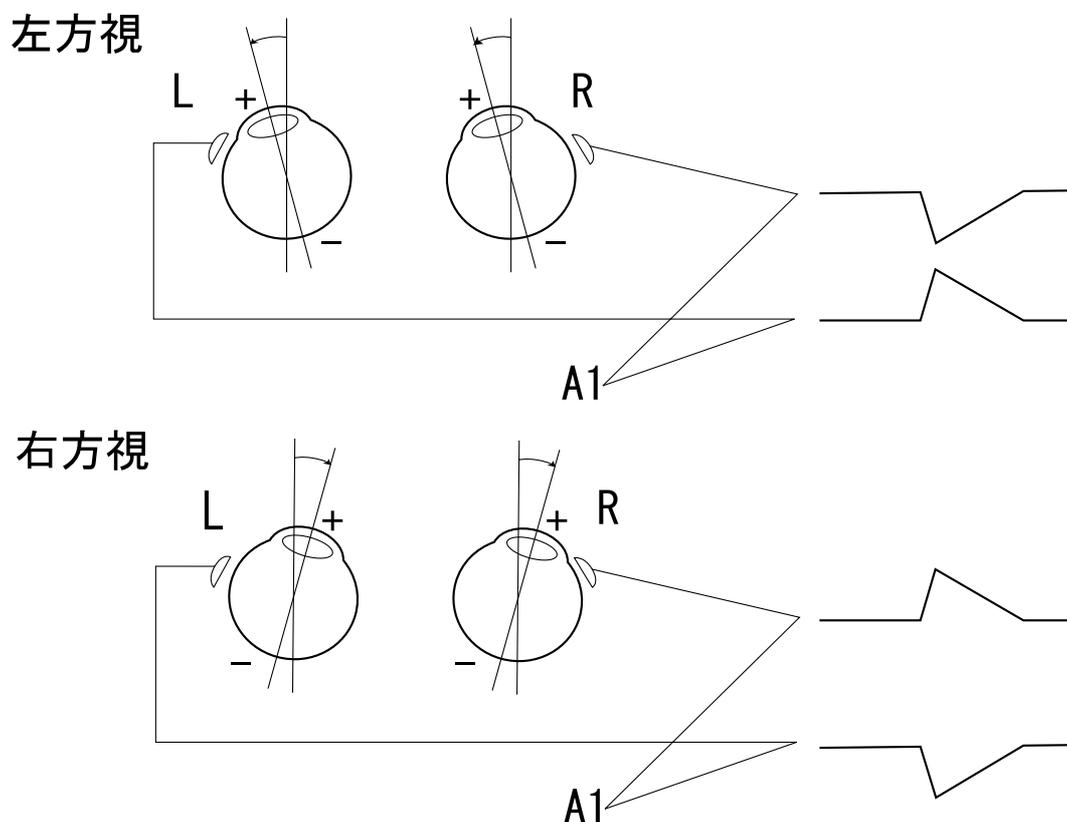


図 3.10: 眼電図の記録原理

本研究では、左右の眼窩外側縁の約 1cm 下に電極を装着、左耳朵 (A1) を基準電極として左右の眼電図を導出し、水平眼球運動を記録した。眼電図の波形は、REM 睡眠時や覚醒時の眼球運動はほとんどが左右同期しており、この時、眼電図の波形は左右のチャンネル上で逆位相の振れとして記録される。

3.2.6 ポリグラフ計測システムの概要

本研究で用いた計測システムの構成は図 3.11 および表 3.2 の通りである。

使用した生体用アンプ (NEC メディカルシステムズ MT-34) は、無線でデータを送信す

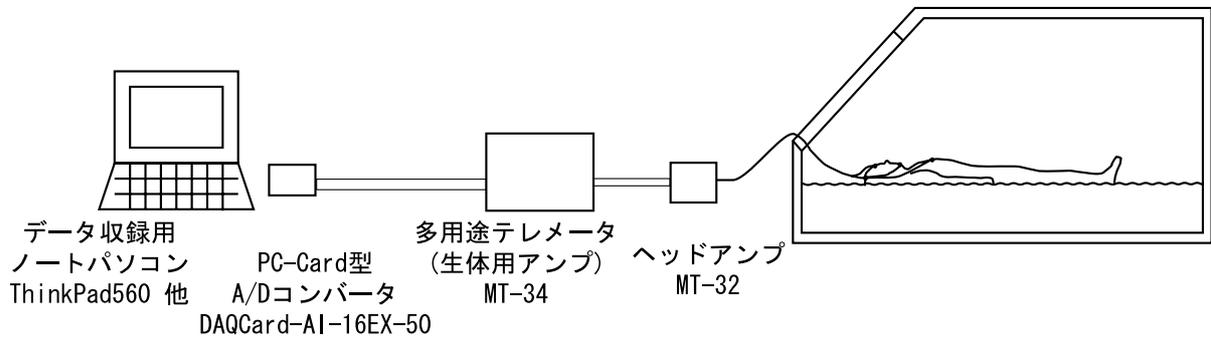


図 3.11: データ収録システムの構成

| | |
|--------------------------|---|
| 電極 | NEC メディカルシステムズ社製 脳波用皿電極 (Ag) |
| ヘッドアンプ | NEC メディカルシステムズ社製 多目的測定用ヘッドアンプ MT-32 |
| 生体用アンプ | NEC メディカルシステムズ社製 多用途テレメータ送信機 MT-34 (アナログ出力よりオンラインで使用) |
| 16bit A/D コンバータ | National Instruments 社製 DAQCard-AI-16XE-50 |
| データ表示・収録用 パーソナルコンピュータ | IBM 社製 ThinkPad560 (ノート型) |
| データ表示・収録用 ソフトウェア開発環境 | National Instruments 社製 LabVIEW Ver.4.0J |

表 3.2: データ収録システム使用機材

るテレメータ脳波計の送信器だが、アナログ出力端子よりオンラインでアナログ出力を得、PCMCIA カードの A/D コンバータを介して 250Hz のサンプリングレートにてノートパソコン内のハードディスクに収録した。

3.2.7 電極の装着と防水

各電極の装着手順は以下の通りである。

1. 消毒用アルコールを染み込ませた脱脂面で電極装着部の皮膚の皮脂やよごれを取り除く。
2. 市販の下処理用磨剤でさらに皮膚の角質層を磨く。
3. 電極表面および装着部の皮膚に電極用ペーストを塗り、よく馴染ませた上で、皮膚に電極を装着する。
4. 毛髪部以外は、電極をサージカルテープで固定する。毛髪部は、電極用接着剤(コロジオン)で電極を固定する。

フローテーションタンク内では、被験者は水の上に仰向けに浮かぶため、さらに電極を防水する必要がある。

毛髪部以外に装着する電極は図 3.12 に示した手順で防水処理した。

1. 電極を固定しているサージカルテープ上と、テープと皮膚の境目を、白色ワセリンを塗る。
2. サージカルテープとワセリンを覆うように市販の傷口用防水シートを張り付ける。

毛髪部については、額部から両耳の前、頬、首の後部にかけてポリエチレン製の袋をかぶせ、袋の開口部と皮膚の間をワセリンにてシーリングして、さらに幅 40mm の伸縮性のテーピングで固定した。(図 3.13)

なお、ポリグラフ計測に際しては、皮膚からの発汗はアーチファクトなどの悪影響がある。フローテーションタンクは高湿度の密閉された環境であるため、この悪影響には十分考慮する必要がある。

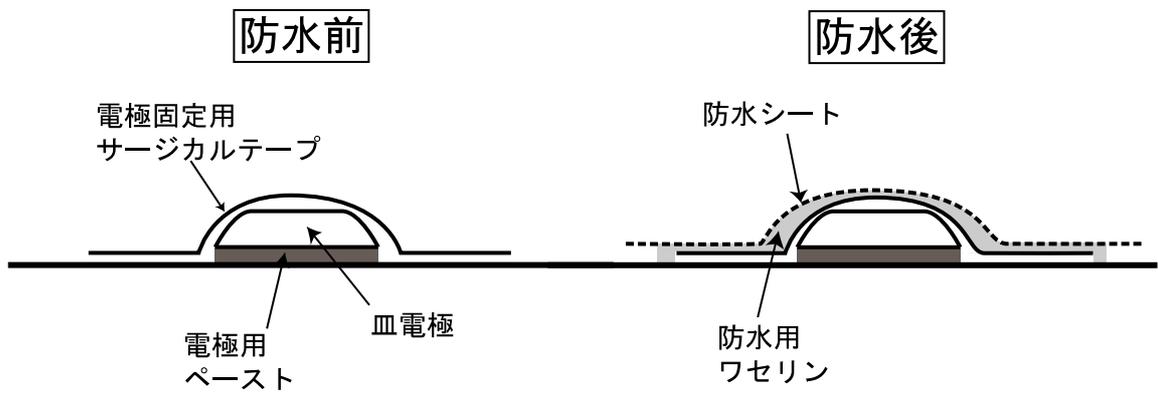


図 3.12: 電極の防水



図 3.13: 頭部の防水

タンク内の水温は体表温とほぼ同じであり、体感的にも「暖かくも冷たくもない」温度に設定するため、溶液と被験者の身体の間は熱的にほぼ平衡状態になり、理想的な温度設定がなされていれば、実際に被験者にはあまり発汗は見られなかった。発汗が見られた場合には水温の設定が高すぎ、計測上問題があるだけでなく、温感に対する感覚遮断が十分でないことが考えられる。

3.3 計測の手順

計測実験の手順は図 3.14の通りである。

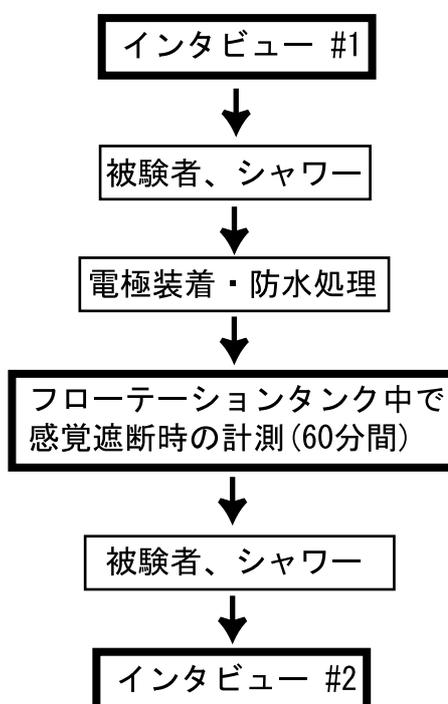


図 3.14: 実験の手順

このうち、実験の前後に行う被験者へのインタビューの内容は表 3.3の通りである。

フローテーションタンク中での 1 時間の感覚遮断中、ポリグラフ計測を行ない、その前後にインタビューを行なって感覚遮断中の主観的体験報告を聴取する。

なお、被験者に対しては本研究の目的・方法について十分に説明を行なって同意を得た。特に、フローテーションタンクの使用の経験がない被験者希望者には、あらかじめ試しに、

| |
|--|
| インタビュー #1 の内容 : |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 前日の睡眠時間・睡眠感 (良く眠れたか否か) ・ 現在の体調・眠気 ・ 最近見る印象的な夢 ・ その他自由に話してもらおう |
| インタビュー #2 の内容 : |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 感覚遮断中の睡眠の有無 ・ 視覚的イメージの有無 ・ その他の知覚の変化 ・ その他何でも気づいたこと |

表 3.3: 実験前後のインタビューの内容

実験と同じ時間だけフローテーションタンクによる感覚遮断を経験してもらい、その上で本人の同意を確認した。

被験者に対しては、フローテーションタンクに入る前に以下のような内容の教示を与えた。

- フローテーションタンク中で不安感などから出たいと感じた場合には、いつでも自分の意思でタンクから出ても構わない。
- そうした問題がなければ、1 時間後に実験者が声をかけるまで、タンク内で過ごしてもらおう。
- タンク内では、多少は動いても構わないが、計測の安定のため、むやみには動かないようにしてもらおう。
- 眠たくなった場合は眠って構わないが、無理に眠るあるいは起きている努力をする必要はない。

データ計測中はタンク内の被験者の声や物音はインターホンを介してモニタリングした。ただし、実験者からは非常時などを除き一切音声などは与えないようにした。

被験者は健康な成人 5 名 (男性 3 名、女性 2 名) で、年齢 25 歳から 32 歳 (平均 28.6 歳) である。被験者の一覧と計測データの一覧をそれぞれ、表 3.4・表 3.5 に示す。

| 被験者名 | 年齢 | 性別 |
|------|----|----|
| OJ | 32 | M |
| KY | 29 | F |
| KT | 27 | F |
| TT | 25 | M |
| NO | 30 | M |

表 3.4: 被験者の一覧

ここで、被験者はイニシャルで表し、同一のイニシャルは同一の被験者である。また計測状態は「SD」はフローテーションタンク中の感覚遮断環境、「NAP」は明るい室内における1時間の昼寝、「SLEEP」は終夜睡眠を表す。解析1から3の欄については、各解析の対象としたデータに「」を付した。

各被験者には、実験前約3週間の睡眠日誌をつけてもらった。それによると、すべての被験者は午後12時ごろから遅くとも2時ごろまでの間が就寝時間であり、睡眠時間が目立って不規則な被験者はいなかった。

眠気の2相性分布を考慮すると、感覚遮断実験を行った時間帯(主に午後3時から午後8時ごろ)は、昼間の眠気のピークを過ぎている時間帯であると考えられる。(ただし、例外的に午前11時台・午後1時・2時台に実験を行った事例(TT-1, OJ-1, OJ-2, KY-4)も存在する。

| 事例名 | 被験者 | 計測状態 | 計測開始時刻 | 解析 1 | 解析 2 | 解析 3 |
|-------|-----|-------|--------|------|------|------|
| OJ-1 | OJ | SD | 15:20 | | | |
| OJ-2 | OJ | SD | 14:20 | | | |
| OJ-3 | OJ | SD | 18:15 | | | |
| OJ-4 | OJ | SD | 20:04 | | | |
| OJ-5 | OJ | SD | 17:36 | | | |
| OJ-6 | OJ | SD | 18:29 | | | |
| OJ-7 | OJ | SD | 18:07 | | | |
| KY-1 | KY | SD | 15:40 | | | |
| KY-2 | KY | SD | 15:08 | | | |
| KY-3 | KY | SD | 18:40 | | | |
| KY-4 | KY | SD | 13:39 | | | |
| KY-5 | KY | SD | 16:46 | | | |
| KY-6 | KY | SD | 19:47 | | | |
| KY-7 | KY | SD | 18:56 | | | |
| KT-1 | KT | SD | 15:40 | | | |
| KT-2 | KT | SD | 16:22 | | | |
| TT-1 | TT | SD | 11:28 | | | |
| TT-2 | TT | SD | 16:00 | | | |
| NO-1 | NO | SD | 16:22 | | | |
| NO-2 | NO | SD | 18:10 | | | |
| OJ-N1 | OJ | NAP | 15:58 | | | |
| OJ-N2 | OJ | NAP | 16:00 | | | |
| OJ-S1 | OJ | SLEEP | 0:49 | | | |
| OJ-S2 | OJ | SLEEP | 0:54 | | | |
| KY-N1 | KY | NUP | 16:44 | | | |
| KY-S1 | KY | SLEEP | 2:37 | | | |
| KY-S2 | KY | SLEEP | 1:30 | | | |
| KT-N1 | KT | NAP | 13:49 | | | |
| KT-S1 | KT | SLEEP | 0:45 | | | |
| TT-S1 | TT | SLEEP | 2:22 | | | |

表 3.5: 計測データ一覧

第 4 章

感覚遮断環境におけるポリグラフ的特徴と主観的体験

4.1 解析の目的

まずはじめに、生理学的計測と解析の第一歩として、感覚遮断環境における生理学的状態と主観的体験の、通常の覚醒および睡眠の各状態との間の違いをマクロに見ることを目指した。

そのために、脳の活動の客観的指標として、睡眠研究において睡眠段階の判定基準として使われているポリグラフ計測を感覚遮断環境中で行い、睡眠段階判定基準を念頭に置いてその波形の視察を行うことにした。

また一方で、被験者へのインタビューを行って感覚遮断中の被験者の主観的体験についての調査・分析を行なった。

このようにして、生理学的側面と主観的な体験の側面の主客両面から通常の睡眠・覚醒の状態との比較を行なった。

4.2 解析方法

前章で示した方法により収集したポリグラフデータを、ポリグラフ専用の連続紙に印刷し、ポリグラフ波形の視察を行った。

波形の印刷のスケールは、連続紙の送り速度を 1cm/s とし、各チャンネルのパラメータ

の設定は以下の通りとした。

| | チャンネル | 利得 | 高域カット フィルタ | 低域カット フィルタ |
|----|--|----------------|---------------|---------------|
| 1 | EEG (F _{P1} -A ₁) | 5mm/50 μ V | 30Hz | 0.5Hz |
| 2 | EEG (F _{P2} -A ₂) | 5mm/50 μ V | 30Hz | 0.5Hz |
| 3 | EEG (C ₃ -A ₁) | 5mm/50 μ V | 30Hz | 0.5Hz |
| 4 | EEG (C ₄ -A ₂) | 5mm/50 μ V | 30Hz | 0.5Hz |
| 5 | EEG (O ₁ -A ₁) | 5mm/50 μ V | 30Hz | 0.5Hz |
| 6 | EEG (O ₂ -A ₂) | 5mm/50 μ V | 30Hz | 0.5Hz |
| 7 | EMG (頤筋) | 5mm/50 μ V | 100Hz | 20Hz |
| 8 | EOG (L) | 5mm/5 μ V | 30Hz | 0.1Hz |
| 9 | EOG (R) | 5mm/5 μ V | 30Hz | 0.1Hz |
| 10 | ECG | 5mm/5 μ V | 60Hz | 0.1Hz |

表 4.1: 各チャンネルのパラメータ設定

印刷したポリグラムを元に Rechtschaffen & Kales の睡眠段階判定基準により睡眠段階の判定を行ない、また同時に、判定基準に用いる特定の波形以外の波形の特徴を抽出した。

一方、インタビューによって得られた被験者の感覚遮断環境中の主観的体験報告から、その特徴を抽出した。

このようにして得られたポリグラフ的特徴と主観的体験の特徴の、通常の覚醒・睡眠との比較を行う。

4.3 結果

主観的体験報告によると、感覚遮断中は降下感や身体感覚の変化、古い記憶の想起など様々な体験が報告されたが、特に視覚的イメージの体験と睡眠の報告が多数あったため、ここでは特にこの二点に注目して、ポリグラフ的特徴との対比を行うことにする。

各事例における、ポリグラフ波形の視察によって見いだされた波形の特徴と、インタビューによって得られた被験者の感覚遮断中の主観的体験についてまとめたのが表 4.2である。

| データ名 | 主観的体験報告 | | ポリグラムの特徴 | | | | | |
|------|------------|---------------|----------|-------------------|----|-----------|------------|----|
| | 視覚的イメージの報告 | 睡眠の自覚の報告 | 最も深い睡眠段階 | 眼球運動 | α波 | 定常的・持続的θ波 | 鋭波・瘤波を伴うθ波 | δ波 |
| KY-1 | ++ | - | Wake | REMs ++ | ++ | - | - | - |
| KY-2 | ++ | 「半分眠った」 | Stage-1 | REMs ++ | + | + | - | - |
| KY-3 | ++ | - | Stage-1 | REMs ++ SEMs + | ++ | + | - | - |
| OJ-1 | + | 「うとうと」 | Stage-1 | REMs + | ++ | + | + | - |
| OJ-2 | ++ | 「少しだけ眠った」 | Stage-1 | REMs ++ | ++ | - | + | - |
| TT-1 | + | 「後半うとうと」 | Stage-2 | REMs ++ SEMs + | + | + | + | - |
| NO-1 | - | 「眠った」 | Stage-4 | SEMs + | - | - | + | + |
| NO-2 | - | 「前回よりは眠っていない」 | Stage-2 | SEMs + | + | - | + | - |
| KT-1 | - | 「ぐっすり眠った」 | Stage-4 | SEMs + | + | - | + | + |
| KT-2 | - | - | Stage-4 | SEMs + | + | - | + | + |

凡例:

- ・「データ名」は、「(被験者のイニシャル)-(n 回目の実験)」の書式で表し、イニシャルが同じものは同一の被験者である。
- ・「視覚的イメージの報告」は、感覚遮断中何らかの視覚的映像が盛んに見えた場合「++」、多少見えた場合「+」、全く見えなかった場合「-」。
- ・「睡眠の自覚」は、睡眠の自覚があった場合はその様子、自覚がなかった場合は「-」。
- ・「最も深い睡眠段階」は、睡眠段階のスコアリングのうち最も深い睡眠段階。入眠が認められなかったものは「Wake」。ただし、何れの例にも Stage-REM は現れなかった。
- ・「眼球運動」は、急速眼球運動 (Rapid Eye Movements) が 2 分以上持続して見られた場合「REMs」、低速眼球運動 (Slow Eye Movements; SEMs) が 2 分以上持続して見られた場合「SEMs」。
- ・「α波」は、α波の出現時間が全体の 60% 以上の場合「++」、20 以上の場合「+」、20% 未満の場合「-」。
- ・「定常的・持続的θ波」とは、睡眠段階の Stage-1,2 で見られるような鋭波や瘤波が見られず、50 μV 程度のθ波 (4~7Hz 領域) で、この波形が 1 分以上持続する場合「+」、それ以外は「-」。
- ・「鋭波・瘤波を伴うθ波」とは、鋭波や瘤波を伴うθ波領域の波形で、これが見られた場合は「+」、見られなかった場合は「-」。
- ・「δ波」は、2Hz 以下 75 μV 以上の波が 2 分以上持続するとき、「+」、それ以外は「-」。

表 4.2: 主観的体験報告とポリグラフの特徴

この表からわかることは、視覚的イメージ (Visual Image; VI) 体験とポリグラフによる睡眠段階判定による深い睡眠が、排他的に出現していることである。そこで、VI 体験の有無と睡眠段階の対応をまとめると表 4.3 のようになる。

| | イメージ体験 あり | イメージ体験 なし | 計 |
|-----------------|--|---------------------------|----|
| Wake, Stage-1,2 | 6 (KY-1,KY-2(*1),KY-3,OJ-1,OJ-2,TT-1) | 1 (NO-1) | 7 |
| Stage-3,4 | 0 | 3 (NO-2,KT-1,KT-2(*2)) | 2 |
| 計 | 6 | 4 | 10 |

(*1) KY-3: 睡眠の自覚はないがポリグラム上では Stage-1 の特徴が見られた。

(*2) KT-2: 睡眠の自覚はないがポリグラム上では Stage-4 までの特徴が見られた。

表 4.3: イメージ体験と睡眠の自覚の対応関係

睡眠の自覚とポリグラフによる睡眠の判定とは概ね一致していたが、例 KY-3 では睡眠の自覚はなかったが Stage-1 が見られ、また例 KT-2 でも睡眠の自覚はなかったが、ポリグラフ上では Stage-4 までの睡眠段階が見られた。

この対応表から、感覚遮断環境における主観的体験・生理学的状態は、VI 体験と睡眠の観点から大きく以下の 2 つのタイプに分類することができる。ただし、一例 (NO-2) のみ、VI 体験なく、浅い睡眠であった。

- VI-NonSleep 型: VI 体験あり、睡眠なし又は浅い睡眠
(KY-1, KY-2, KY-3, OJ-1, OJ-2, TT-1)
- NonVI-Sleep 型: VI 体験なく、深い睡眠
(NO-2, KT-1, KT-2)

VI-NonSleep 型における VI 体験は、多くの場合「これは夢だ」あるいは「これは見えている気がするだけだ」という自覚があり、通常の睡眠時の夢のように目が覚めて初めて夢であったと気づくようなものではなかった。ただし、TT-1 においてのみ、夢か現実かはっきりしないものがあった。

また、VI-NonSleep 型のポリグラフには

- 盛んに REMs (急速眼球運動) が見られる
- α 波が時間的に優勢である
- 定常的・持続的な θ 波が見られる

という顕著な特徴が見いだされたが、NonVI-Sleep 型では特に特異な要素は見られず、通常の終夜睡眠に見られる波形の特徴との差異は認められなかった。

そこで、具体的にどのようなタイミングでそれぞれの特徴が現れているのかをわかりやすく示すために、表 4.4 に示した独自の基準により、脳波波形と眼電図のステージ図を作成した。なお、スコアリングの基準は次の通りである。また、ステージ図下部に「EM」(Eye Movement) と名付けた眼球運動を示すプロットを併記し、実線で REMs、点線で SEMs の出現をあらわした。

| ステージ名 | 基準 | 睡眠段階との対応 |
|--------------|----------------|------------------|
| 「 α 」 | α 波が出現。 | Wake, Stage-1 初期 |
| 「 θ 」 | θ 波が出現。 | Stage-1 中期 |
| 「Hump」 | 瘤波が出現。 | Stage-1 後期 |
| 「Spindle」 | Spindle が出現。 | Stage-2 |
| 「 δ 」 | δ 波が出現。 | Stage-3, 4 |

表 4.4: 感覚遮断データのステージ判定基準

以下、それぞれのタイプについてステージ図を示す。

4.3.1 VI-NonSleep 型

事例 TT-1

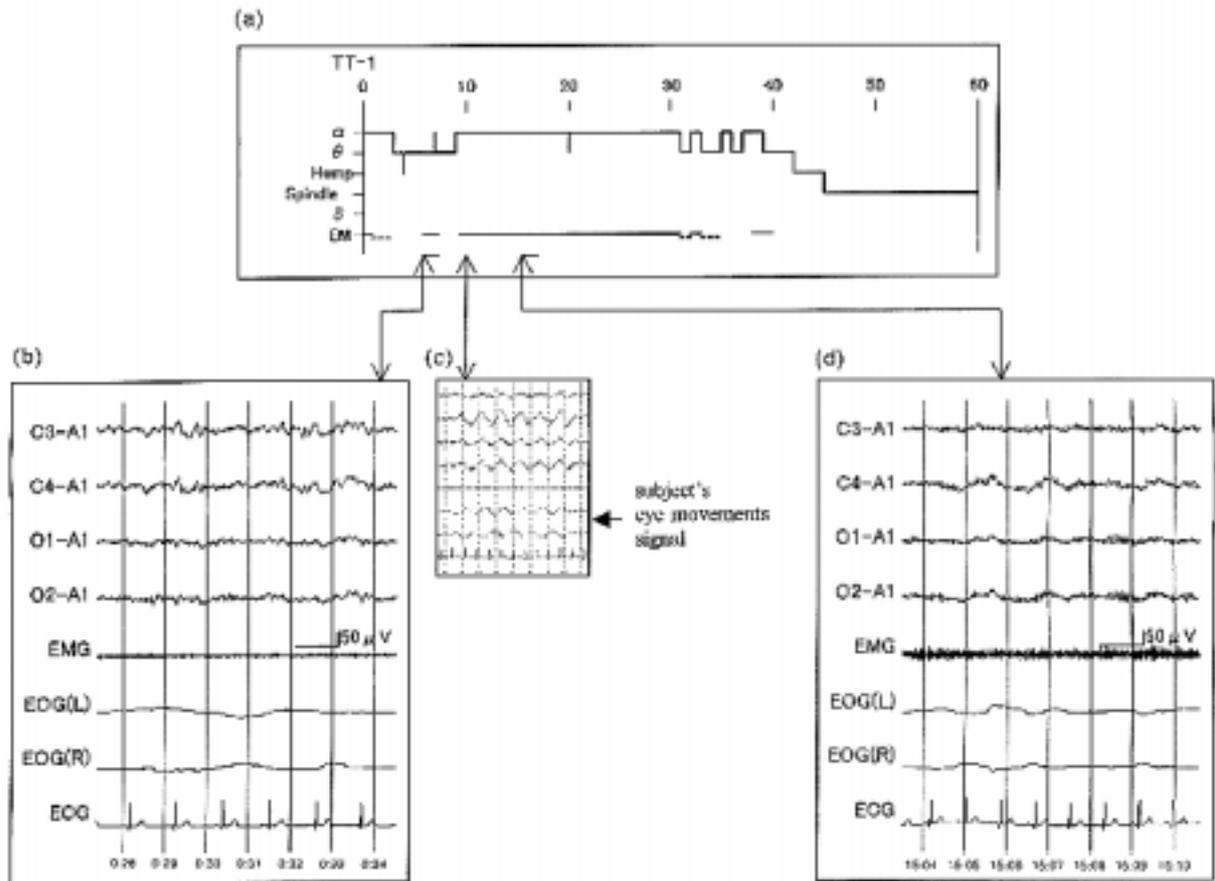


図 4.1: ステージ図とポリグラフ : TT-1

このタイプに属する典型的な事例は TT-1 である (図 4.1)。この事例では被験者が感覚遮断中に鮮明なイメージを見ていて、その後「我にかえた」時に意図的な眼球運動で実験者に対してシグナルを送った。

シグナルが記されている直前に脳波は θ 波から α 波に転じており、この時点が「我にかえた」時点と思われる。その直前の数分間は、定常的・持続的な θ 波と REMs が現れており (「 θ -REMs」)。この時期に「鮮明なイメージ」を見ていたと考えられる。その後の約 20 分間は、今度は α 波と REMs が現れている (「 α -REMs」)。

また、「後半は寝ていてイメージも見えなかった」と報告しているが、ポリグラフ上でも

REMs は見られず、脳波には Stage-2 の特徴が見られた。

同様に VI-NonSleep 型を示した事例のステージ図と主観的体験報告を以下に示す。

事例 KY-1

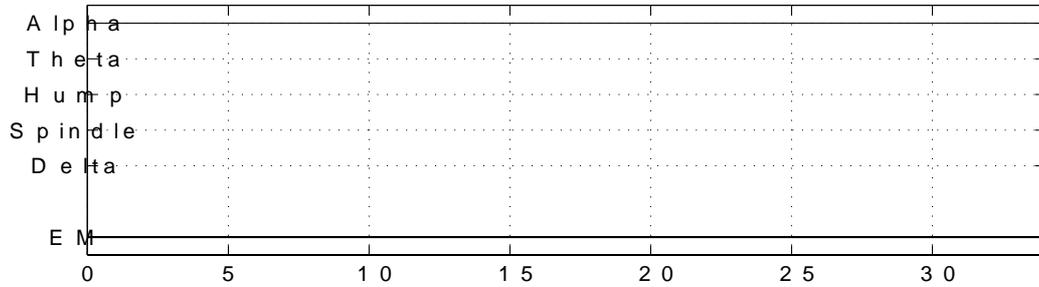


図 4.2: ステージ図 : KY-1

主観的体験報告 : KY-1

「最初は、(タンクに入る前に目に入ったものの) 残像が見える。目を閉じて開けるたびに違うものが見える。身体感覚を視覚に翻訳する感じ。」

事例 KY-1 では、ポリグラフ上のほとんど全ての区間で α 波が優位であり、なおかつ全区间で活発な REMs が見られた。

事例 KY-2

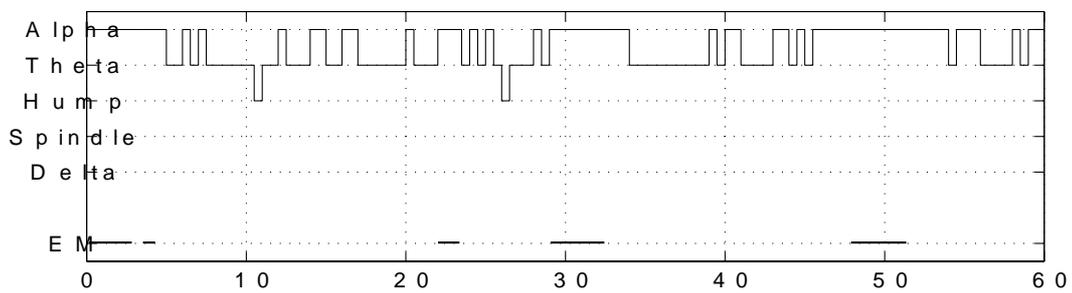


図 4.3: ステージ図 : KY-2

主観的体験報告 : KY-2

「多分沢山寝ていた。前半はほとんど寝ていた。」

「最後の方でタンクの内側に沢山の仏像が見えた。」

この事例では、前半はポリグラフ上で前半に時おり Hump が見られ、ポリグラフ的にも睡眠の Stage-1 と WAKE を行き来している。

後半は α 波の頻度と、REMs の頻度が増加している。また、 θ 波もしばしば見られるが、 $30\text{--}40\mu\text{V}$ 程度の小振幅で持続的な波形であり、通常の Stage-1 に見られる Hump は見られない。

事例 KY-3

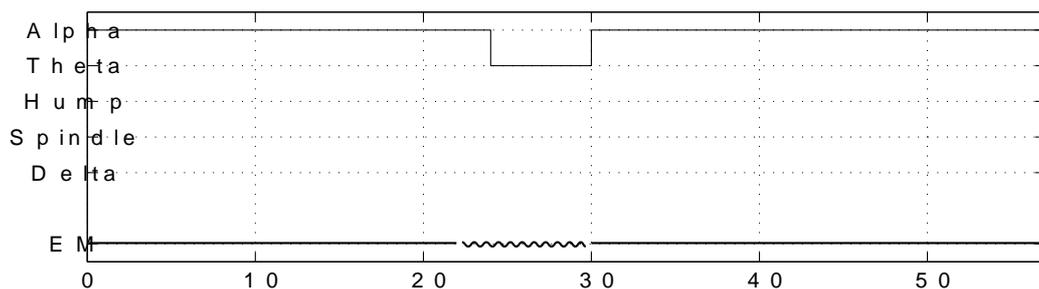


図 4.4: ステージ図 : KY-3

主観的体験報告：KY-3

「人の姿のようなもの、幾何学模様のようなものが見えた。」

「外の音がうるさくて、いらいらしてきて自分でタンクを出た」

この事例では、実験条件が悪く、外部の音がタンク内に漏っていた。

24分から30分ほどにかけて事例KY-2の後半と同様の持続的な小振幅の θ 波が見られ、この区間ではSEM_sが見られた。

事例 OJ-1

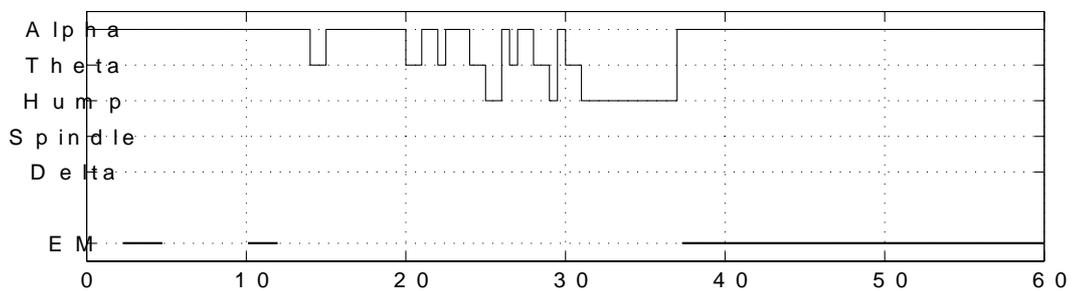


図 4.5: ステージ図：OJ-1

主観的体験報告：OJ-1

「前半、何が見えるのか確かめてみようと思い、その後疲れて寝た。」

「夢から醒める瞬間に恐怖感を感じる。」

「2回くらい寝て起きた。」

「竹でできた家の壁、女の人のお尻姿が見えた。」

この事例では、24分から37分ごろにかけて断続的にHumpが現れ、この間は目だった眼球運動は見られなかった。 α 波が現れている時には盛んにREM_sが見られた。

事例 OJ-2

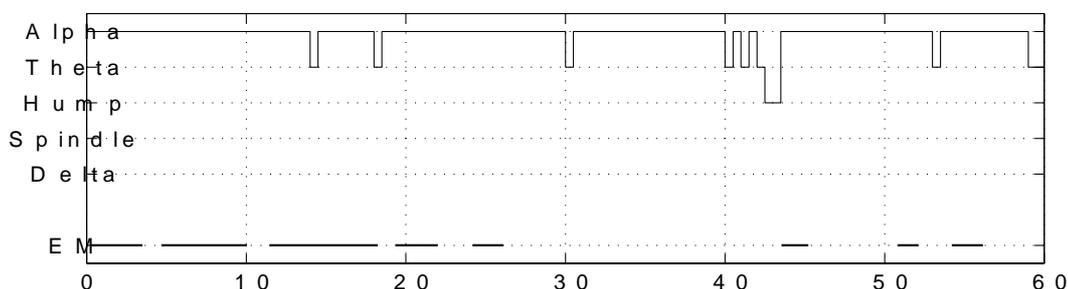


図 4.6: ステージ図 : OJ-2

主観的体験報告 : OJ-2

「時間的感覚がない。」

「色や形が見える。」

「最近聞いている『サンタマリア』が聞こえる」

「前は気持ち良くて寝てしまうが、今回はあまり寝なかった。」

「夢を見ていて、『あ、これは夢だ』と思う。」

「5、6歳の頃に住んでいた場所の匂いをリアルに思い出した。」

この事例では、Humpが見られるのはわずかな区間であり、主に α 波の持続する区間がほとんどで、REMsも断続的に見られた。

4.3.2 NonVI-Sleep 型

このタイプは、被験者は「ぐっすり眠っていた」また、「イメージ体験は全くなかった」と報告している。

事例 KT-1

その典型的な例のステージ図とポリグラフを示す。(図 4.7) 感覚遮断中のほとんどの時間においてポリグラム上でも睡眠段階の Stage-2 から Stage-4 の特徴を示しており、また REMs も見られず、主観報告の内容と一致していると思われる。

同様に NonVI-Sleep 型を示した事例のステージ図を以下に示す。

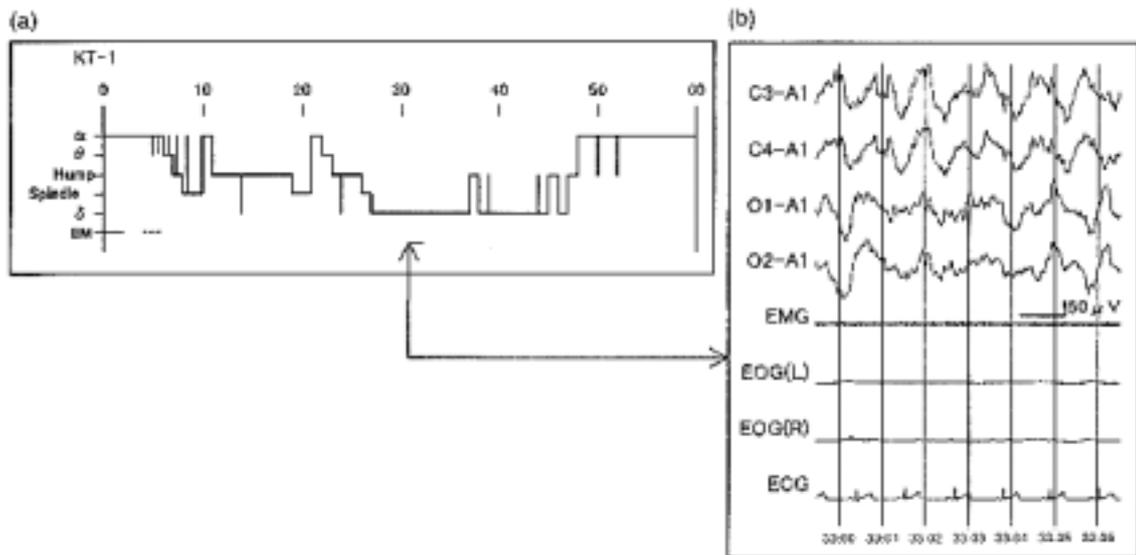


図 4.7: ステージ図とポリグラフ : KT-1

事例 KT-2

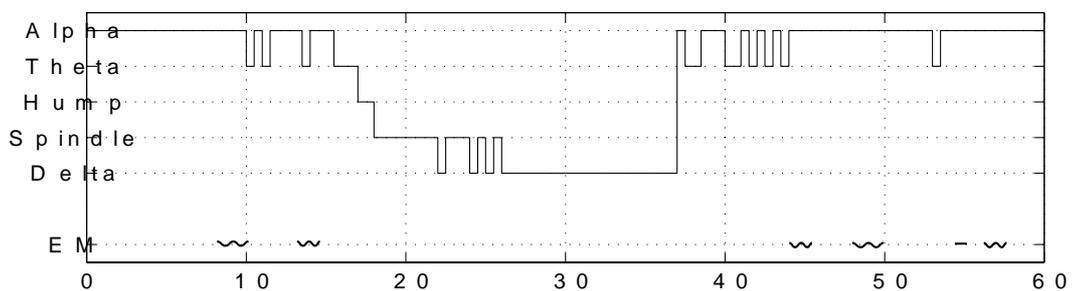


図 4.8: ステージ図 : KT-2

主観的体験報告 : KT-2

「寝た自覚はない。ずっと考えごとをしていた。」

この事例では、被験者本人は睡眠の自覚はなかったが、ポリグラフ上では、spindle、 δ 波とも見られ、30分から38分ごろにかけては Stage-4 の条件を満たしていた。

REMs は前区間で見られなかった。

事例 NO-1

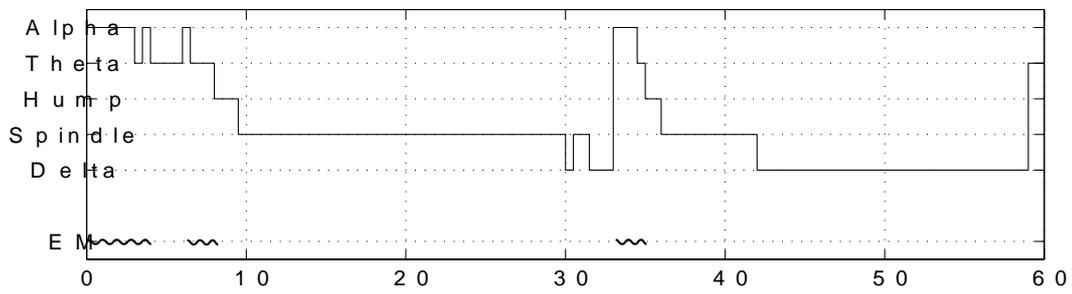


図 4.9: ステージ図 : NO-1

主観的体験報告 : NO-1

「眠った。夢を見たかも知れないが覚えていない。途中一度起きた時は完全に起きたが、また眠った。最後はうつらうつらしている時に声をかけられた。」

ポリグラフ上では通常の睡眠の Stage-1 から Stage-4 までの特徴が見られた。REMs は見られなかった。

事例 NO-2

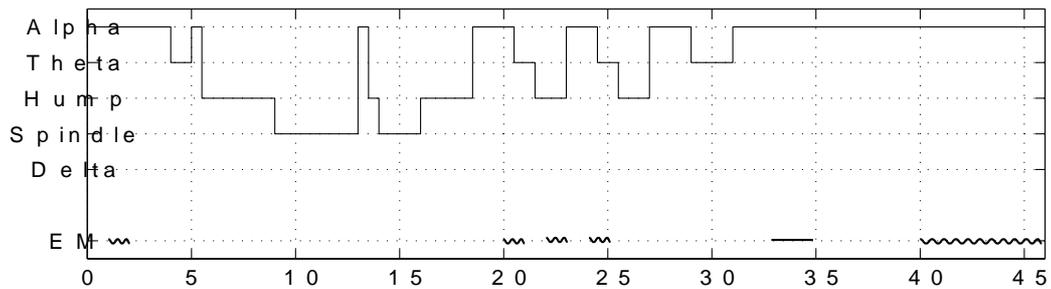


図 4.10: ステージ図 : NO-2

主観的体験報告：NO-2

「首が凝った」

「今回は前回よりは寝ていない感じ。」

「時間が早く感じる」

「特に知覚の変化はない」

ポリグラフ上では通常の睡眠の Stage-1 から Stage-2 までの特徴が見られた。REMs は 33 分頃のわずかな区間でのみ見られた。

4.4 感覚遮断環境におけるポリグラフ的特徴と意識の状態

感覚遮断環境における意識の状態は、以下の二つのタイプに大別された。

- 盛んに視覚的イメージが体験される (VI-NonSleep 型)
- 比較的容易に深い睡眠に入る (NonVI-Sleep 型)

VI-NonSleep 型については、眼電図上で REMs が盛んに現れており、この眼球運動は映像を追跡する、あるいは映像中の注視点の移動と対応すると推測される。

また REMs が見られる時の脳波は、 α 波が現れている場合と定常的・持続的な θ 波が現れている場合があることから、視覚的イメージの体験をしている際のポリグラム上の特徴のパターンは、

- α 波と REMs が現れる (「 α -REMs」)
- θ 波と REMs が現れる (「 θ -REMs」)

の二つのパターンがあると考えられる。

一方 NonVI-Sleep 型は、通常の睡眠との間にポリグラフ的な特徴に違いが見られず、感覚遮断環境中で通常の睡眠に入ったと考えられる。

これらのうち Stage-4 までの睡眠が見られた 2 例については、実験時間は午後 2 時から 5 時頃の間であり、被験者の睡眠時間帯は夜 12 時頃から朝 8 時頃までの間であった。被験者の概日リズムを考慮すると、実験を行った時間帯は眠気の 2 相性分布のうち午後のピークを過ぎた時間帯であり、それにも関わらず感覚遮断時に睡眠に入りやすいということは睡眠の受動説に関連するものと思われる。

以上のことから、感覚遮断時の意識の状態およびポリグラム上の特徴は、通常の覚醒時・睡眠時の意識の状態とは以下の点で異なると思われる。

通常の覚醒時の意識の状態との違い:

- 視覚からの刺激がない状態で盛んに視覚的イメージの体験がある。視覚からの刺激がない状態で盛んに視覚的イメージの体験がある。
- 目を閉じているにもかかわらず REMs が見られる。
- 持続的な θ 波が見られる。

通常の睡眠時の意識の状態との違い:

- 自己意識を保持したまま自覚的な視覚的イメージの体験がある。

第 5 章

感覚遮断環境における脳波と心拍変動の 系列解析

5.1 解析の目的

感覚遮断環境におけるポリグラフの視察により、感覚遮断環境における意識の状態の変化とポリグラフの特徴は、以下のように分類されることが分かった。

- 盛んに視覚的イメージが体験される (VI-NonSleep 型)
 - α 波と REMs が現れる (「 α -REMs」)
 - θ 波と REMs が現れる (「 θ -REMs」)
- 比較的容易に深い睡眠に入る (NonVI-Sleep 型)

これらのうち、NonVI-Sleep 型は通常の睡眠とほぼ同一視することができると思われる。VI-NonSleep 型においては基本的に自己意識は保持したままであり、ポリグラフの視察によると、通常の覚醒時あるいは入眠期と比較的似た特徴を持っていた。しかし、本当にこれらを通常の覚醒時あるいは入眠期と同一視して良いのであろうか。

そこでさらに、VI-NonSleep 型の意識の状態を示した事例のポリグラフデータについて、その性質をより詳細かつ客観的に覚醒時・睡眠の各段階と比較することを試みた。

5.2 解析方法

5.2.1 方法の概略

本解析では、自律系の活動状態の指標として心拍変動時系列を、脳の活動状態の指標として脳波を用い、それぞれスペクトル解析とウェーブレット解析を行ない、覚醒・睡眠との比較を行った。その手順を図 5.1 に示す。

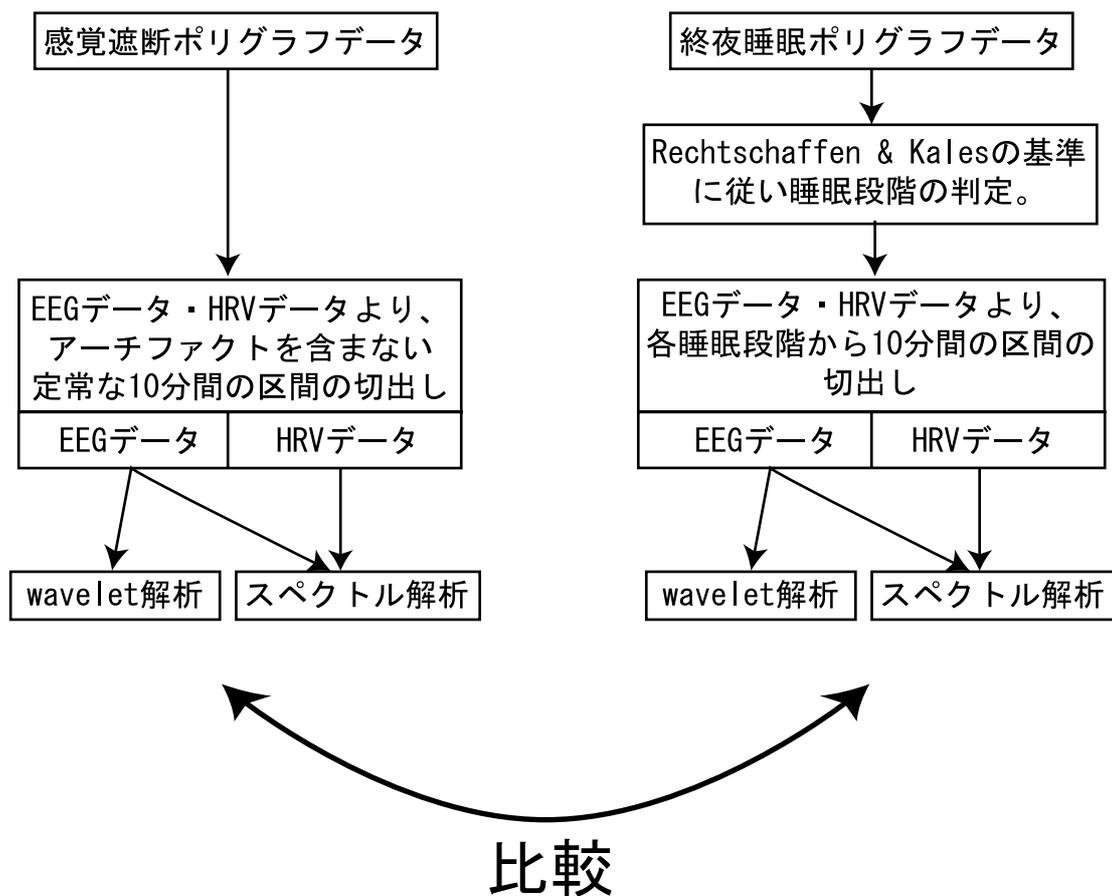


図 5.1: 解析の手順

この手続きを、解析 1 にて VI-NonSleep 型に分類された事例のうち、 α -REMs 型に属した被験者 OJ と θ -REMs 型に属した被験者 KY のデータについて個別に行なった。

5.2.2 データの切出し

終夜睡眠ポリグラフデータについては、まず、ポリグラフを元に、Rechtschaffen & Kales の基準に従って睡眠段階の判定を行ない、それぞれの睡眠段階より、10 分間の区間の心拍変動時系列データおよび脳波時系列データを切り出した。

また、感覚遮断データについては、アーチファクトや非定常な部分を含まない、同じく 10 分間の区間の心拍変動時系列データおよび脳波時系列データを切り出した。

なお、脳波時系列データは、睡眠時の波形との比較のため、Rechtschaffen & Kales のマニュアルにて、睡眠ステージのスコアリングの基準とされている電極部位 C₃のデータを用いた。

5.2.3 心拍変動時系列データのスペクトル解析

心拍変動時系列データの FFT 法によるスペクトル解析を行い、そのスペクトル構造から自律神経系の活動について考察、睡眠の各段階・覚醒時との比較を行った。

5.2.4 脳波時系列データのスペクトル解析とウェブレット解析

脳波時系列データについては、 α -REMs 型に特徴的に見られた α 波と、 θ -REMs 型に特徴的に見られた持続的な小振幅の θ 波の性質を明らかにするため、スペクトル解析に加え、瞬間的な周波数成分をとらえることができるウェブレット解析を行ない、周波数成分の時間変化について検討した。

ウェブレット解析とスカログラム

ウェブレット解析の基本的な概念は以下の通りである。

関数 $f(x)$ のマザー・ウェブレット $\psi(x)$ によるウェブレット変換は次のように定義される。[66]

$$W_{\psi,f}(b, a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \overline{\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)} f(x) dx \quad (5.1)$$

本解析では、脳波時系列中に局在する正弦波を検出することで局所的な周波数を求めることを目的とするため、マザー・ウェブレットとして Gabor ウェブレットを用いることにする。Gabor ウェブレットは次のように定義される。[66],[76]

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} e^{-i\omega x} \quad (5.2)$$

本解析では、 $\sigma = 4$ とした。

ここで、5.1における a は周波数の逆数に対応するパラメータでありその周波数は $\frac{1}{2\pi a}$ とみなせる。また b は時間パラメータである。

ウェレット変換の値 $W_{\psi,f}(b, a)$ を、 b を横軸、 $1/a$ を縦軸とする平面にプロットしたのがスカログラムであり、これによって信号中の周波数成分の時間変化を図示することができる。

5.3 結果

ポリグラフ的特徴による分類の「 α -REMs 型」と「 θ -REMs 型」の二つの型により心拍変動ダイナミクス・脳波ダイナミクスがそれぞれ異なることが分かった。

5.3.1 α -REMs 型

心拍変動時系列

心拍変動時系列のスペクトル解析の結果を図 5.2 に示す。左上が感覚遮断時、右上が Stage-REM、左下が Stage-1 および 2、右下が Stage3 および 4 から抽出した心拍変動時系列データのパワースペクトルである。

まず各睡眠段階においては、睡眠下段左右の Stage1・2 および Stage3・4、すなわち NREM 睡眠時には、HF 帯域の呼吸性洞性不整脈のピークが明確に現れているが、REM 睡眠時には HF 帯域のピークはほとんど見られない。

一方、感覚遮断時のスペクトル構造は、HF 帯域のピークが明確には見られず、副交感神経系の活動が交感神経系と比較して優位ではないことを示しており、この点で比較的 Stage-REM と類似していた。

なお、NonVI-Sleep 型の例ではタンク中においても HF のピークが見られることから、このスペクトル構造の特徴は、(フローレーションタンク中の) 水面に浮いているという物理的要因によるものとは考えにくい。

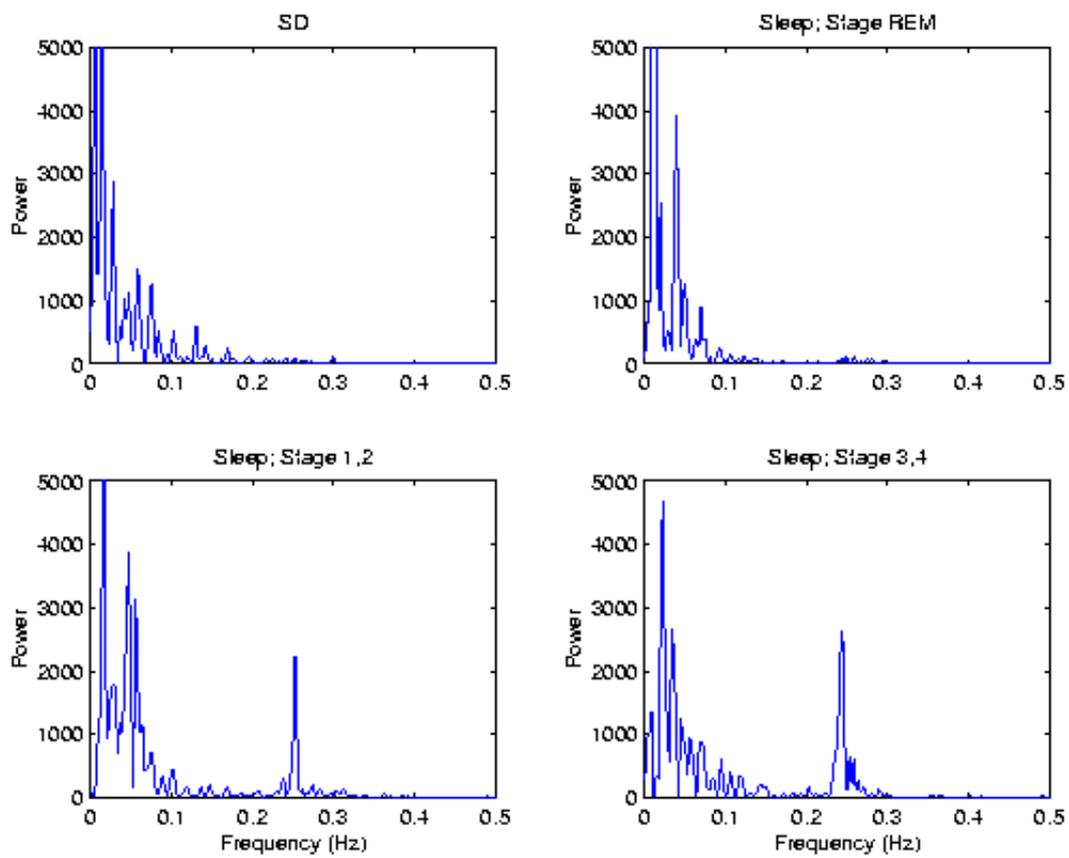


図 5.2: 心拍変動のスペクトル構造の比較

脳波時系列

一方、脳波時系列には10Hz 付近の α 波のピークが見られ、そのスペクトル構造は覚醒時のそれと類似している (図 5.3, 図 5.4)。

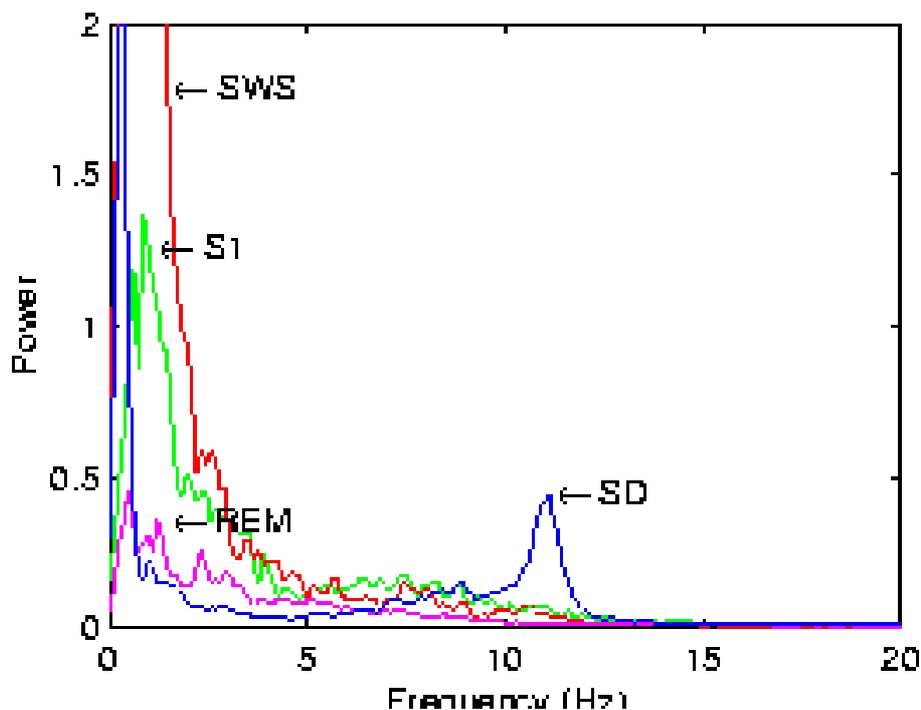


図 5.3: 脳波のスペクトル構造：睡眠との比較

そこで、各周波数成分の時間変化を明らかにするためにウェブレット解析を行った。図 5.5 上段は α 波が優勢に現れている箇所を 10 分間抽出した脳波時系列データのスカログラムであり、また下段は、帯域のパワーの時間変化を 10Hz に対応するスケールにおけるウェブレット係数の変動で表したものである。

これによると周波数 10Hz に対応するスケールにおけるウェブレット係数の時間変化には周期性があるように見える。そこでこのウェブレット係数の時系列データに対して自己相関分析を行った結果が図 5.6 である。

これによると約 2 分間の周期性分が見られる。このような α 波パワーの周期性は通常の覚醒安静時には見られなかった。

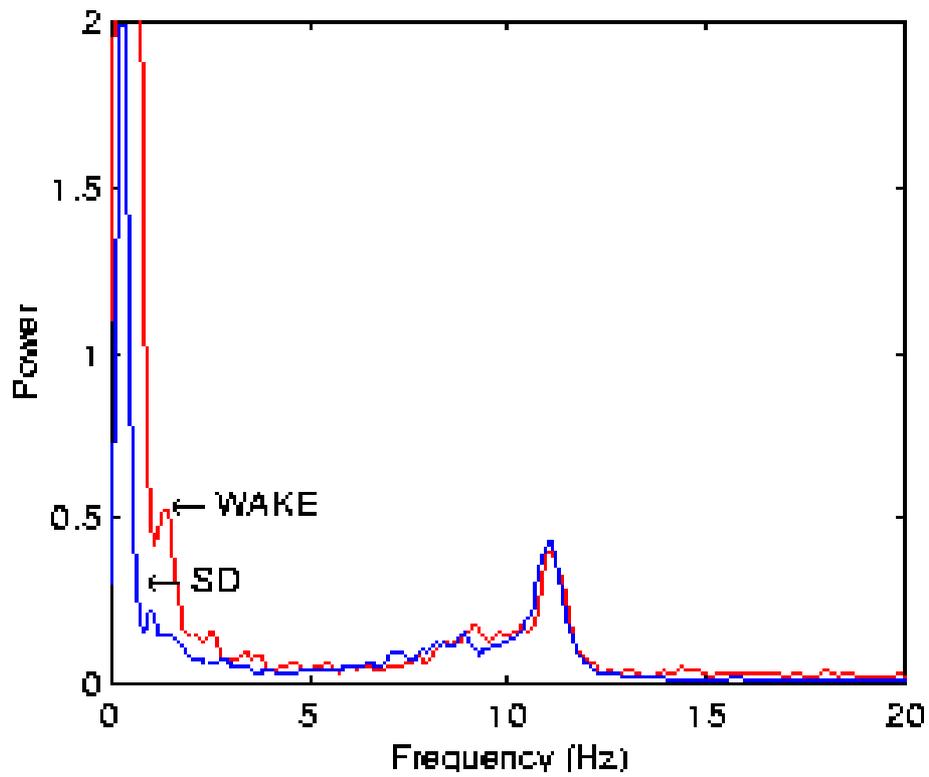


図 5.4: 脳波のスペクトル構造：覚醒時安静閉眼との比較

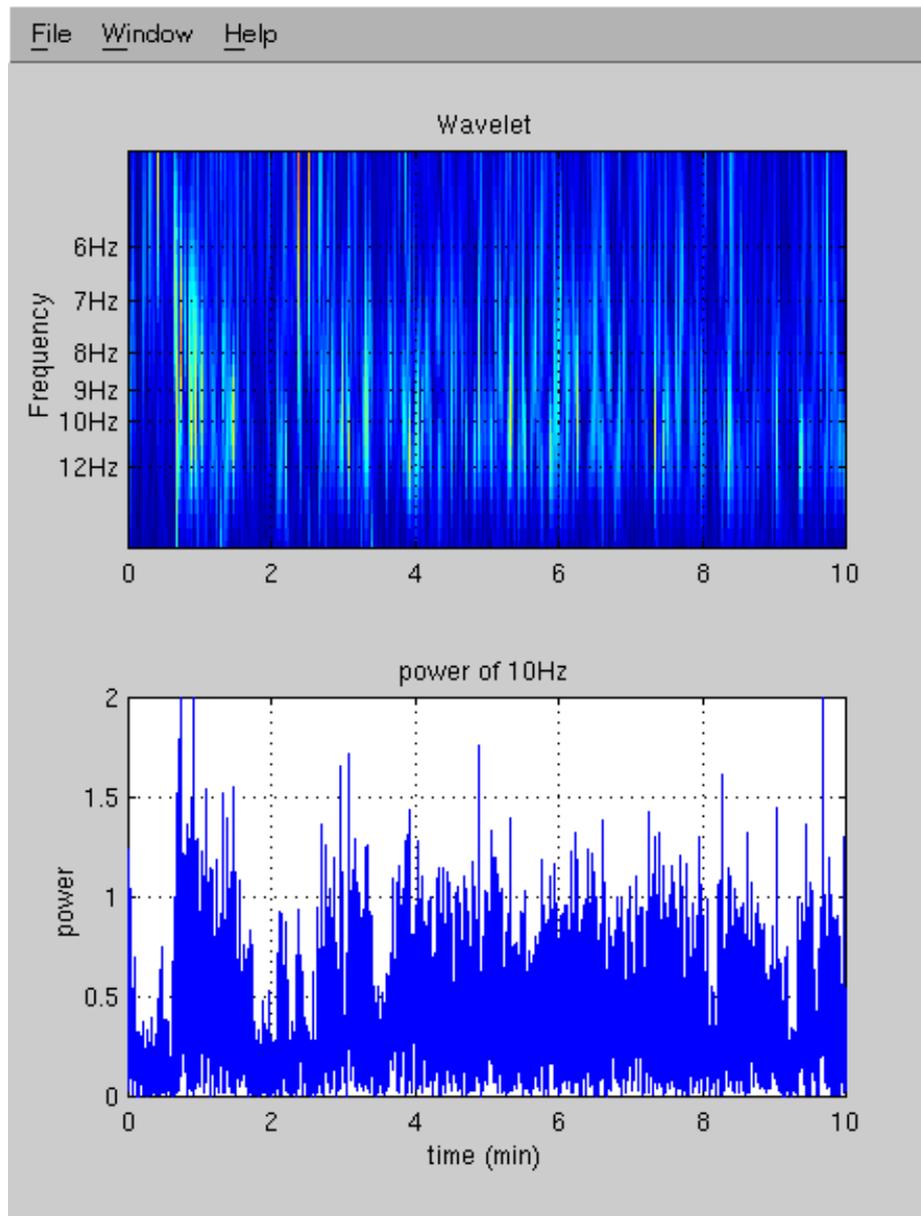


図 5.5: 脳波のスカログラムと α 帯域パワーの時間変化

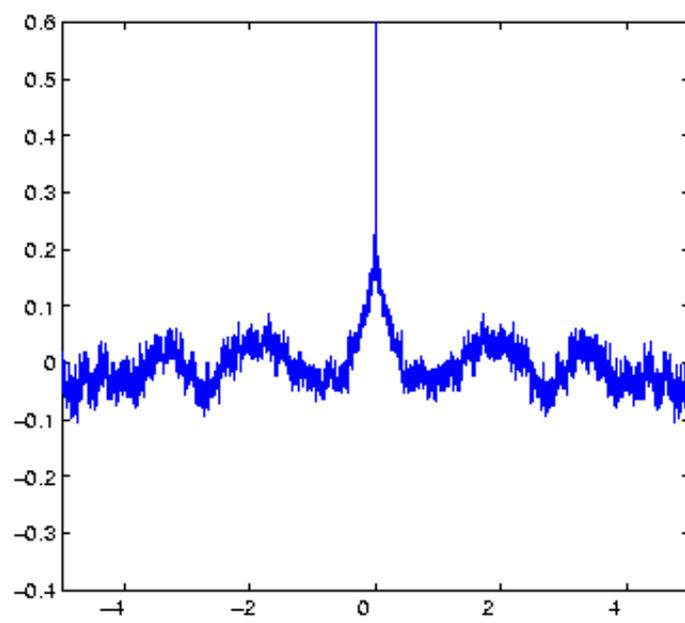


図 5.6: α 帯域パワーの時間変化の自己相関

5.3.2 θ -REMs 型

心拍変動時系列

心拍変動時系列のスペクトル構造は、 α -REMs 型のそれとほぼ同様の特徴を示していた(図 5.7)。すなわち、感覚遮断時のスペクトル構造は、HF 帯域のピークが明確には見られず、副交感神経系の活動が交感神経系と比較して優位ではないことを示しており、この点で比較的 Stage-REM と類似していた。

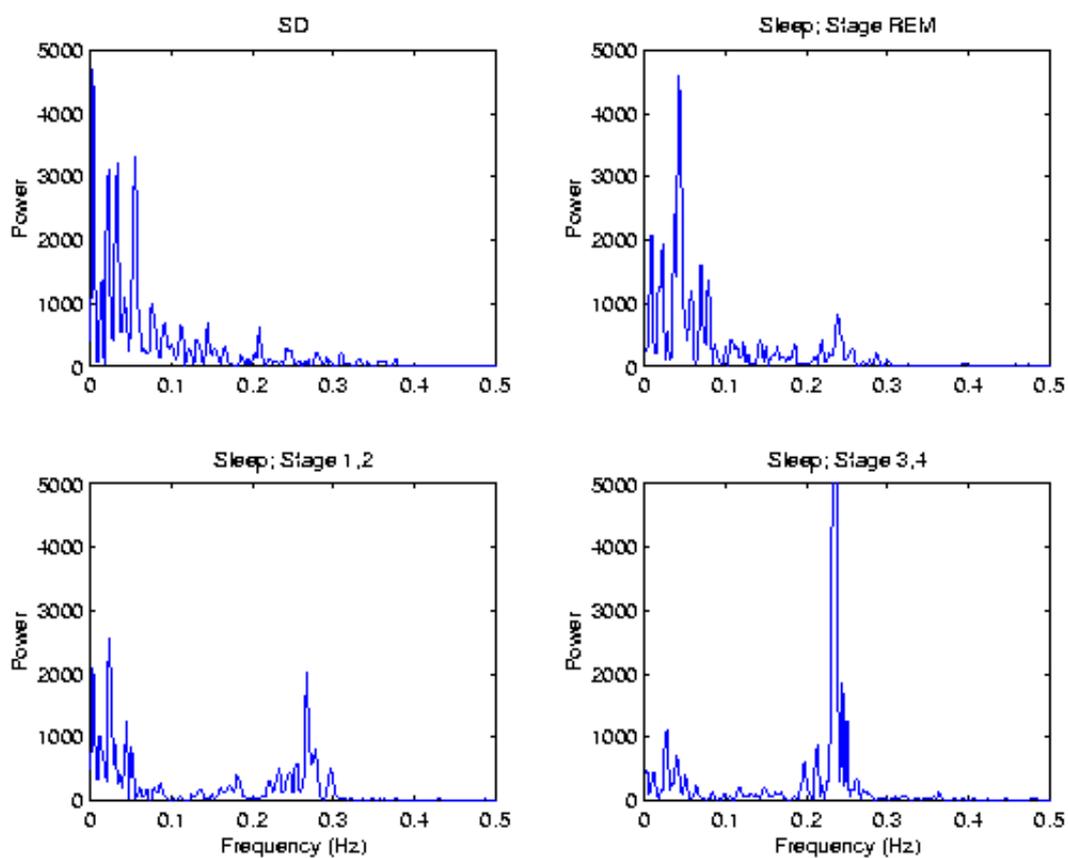


図 5.7: 心拍変動のスペクトル構造

脳波時系列

また脳波のパワースペクトル密度には約 7Hz の θ 波のピークが見られ、スペクトル構造は覚醒安静時・睡眠の各段階のそれと比較してみても、それらのいずれとも類似していない(図 5.8, 図 5.9)。

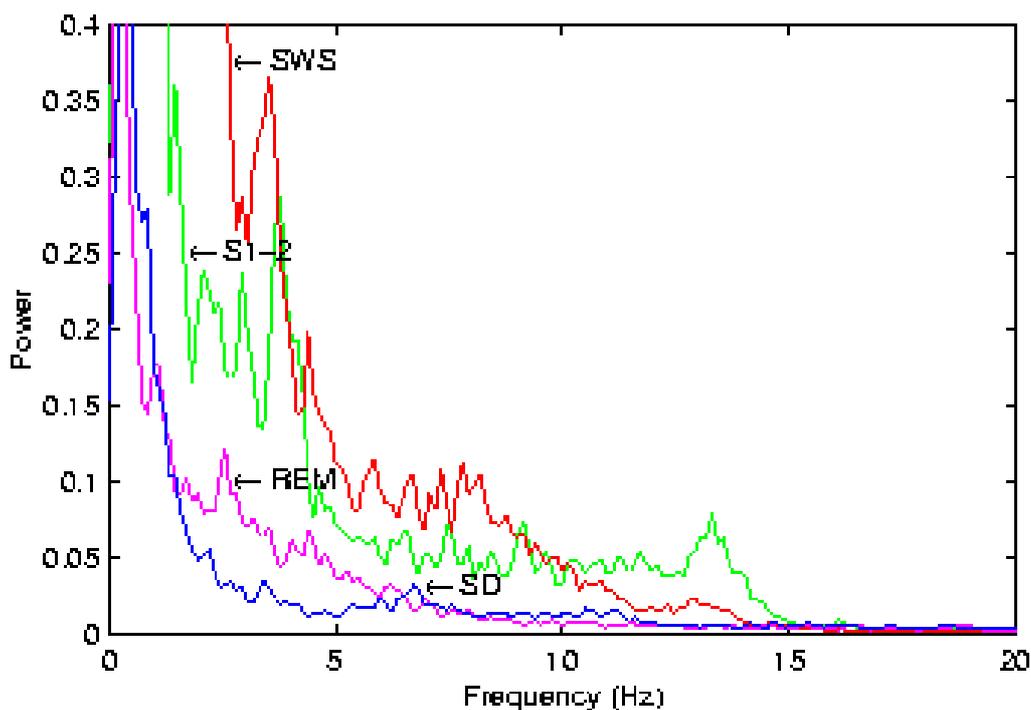


図 5.8: 脳波のスペクトル構造：睡眠との比較

なお、睡眠 Stage-1 から Stage-2 入眠時にも θ 帯域の脳波は見られるのだが、それは約 4Hz にピークを持つものであり、感覚遮断環境で見られた θ -REMs で現れる 6 から 7Hz の成分とは異なる性質のものであると考えられる。

また、各周波数成分のパワーの時間変化を見るために Wavelet 解析を行った(図 5.10 上段)。また、 α 帯域と 6-7Hz 付近の θ 波帯域のパワーの時間変化を見るため、それぞれ 10Hz、7Hz に対応するスケールにおけるスコアの変化を示したのが図 5.10 の中段及び下段である。

それによると、基本的に θ 波が優位であるが時に持続しない α 波が出現し、それは θ 波と入れ替わりに現れている。

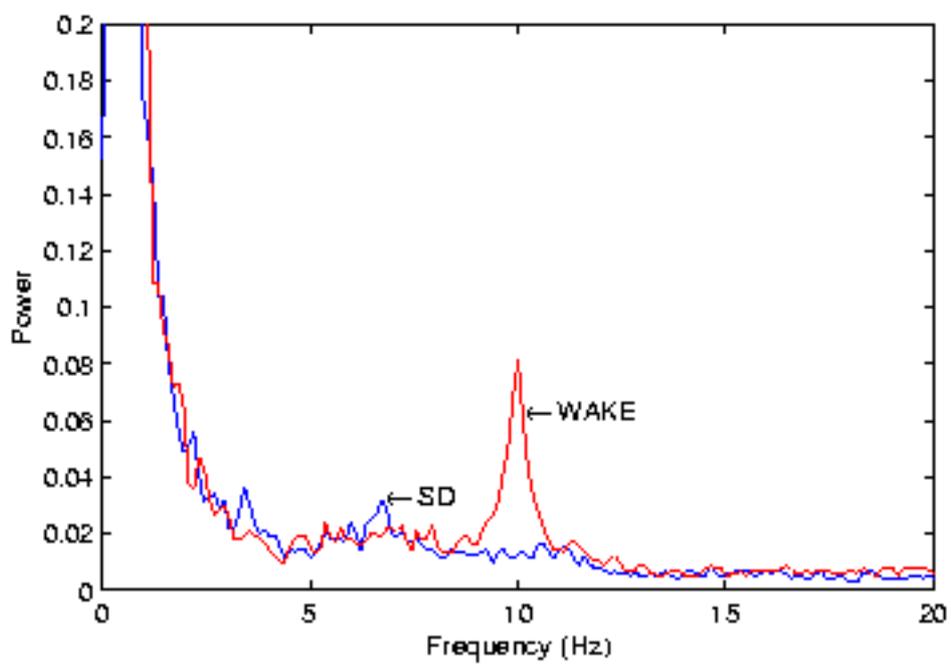


図 5.9: 脳波のスペクトル構造：覚醒時安静閉眼との比較

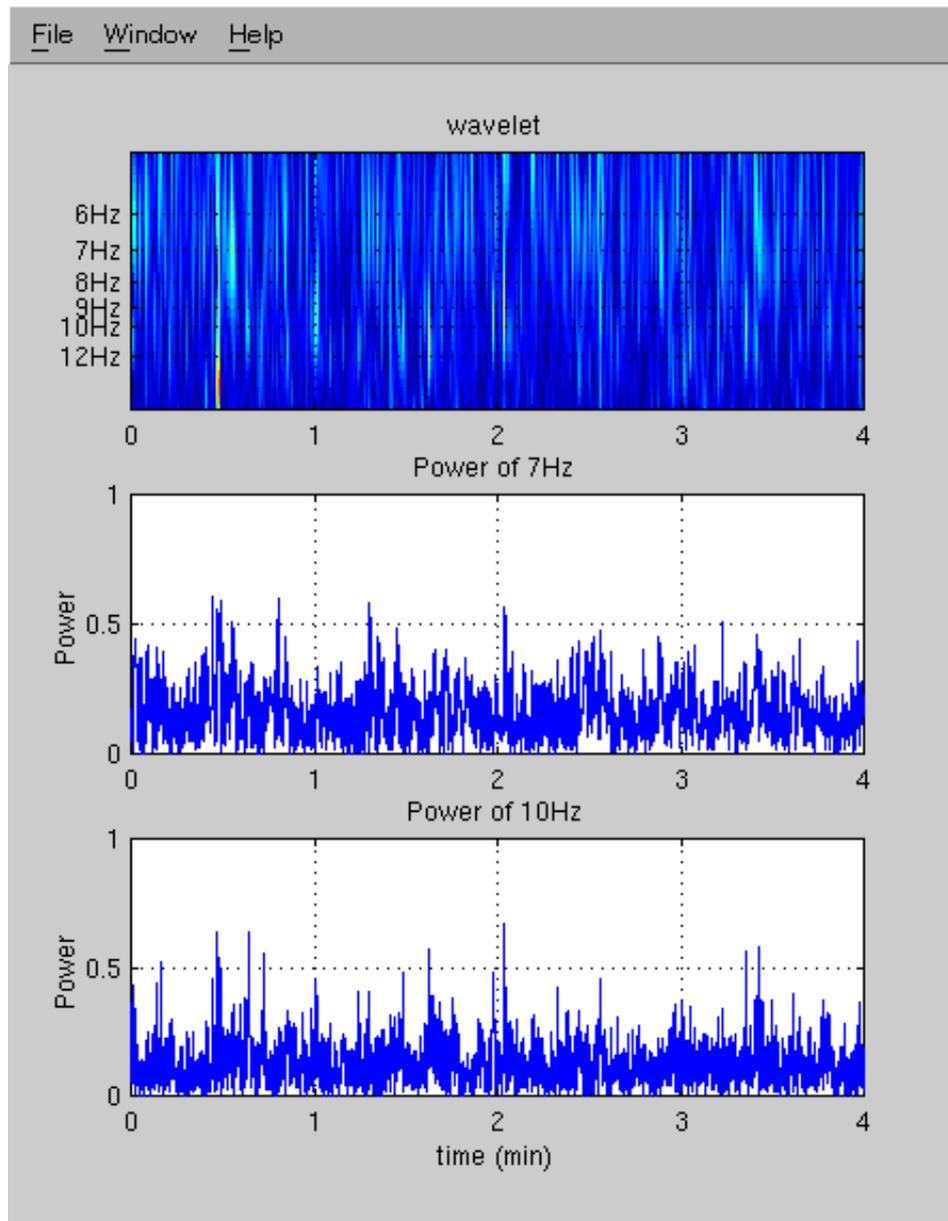


図 5.10: ウェブレット解析と α 帯域・ θ 帯域パワーの時間変化

5.4 感覚遮断環境における心拍変動と脳波のスペクトル構造とその特徴

α -REMs 型および θ -REMs 型の心拍変動時系列のパワースペクトル (図 5.2) には、呼吸性洞性不整脈を示す HF 成分が明確には見られず、これは、自律神経系のうちの副交感神経は活性化していないことを示唆するものである。

前章で示されたポリグラフ的特徴による分類の α -REMs 型・ θ -REMs 型の心拍変動および脳波は表 5.1 のような特徴を持つことが明らかになった。

| ポリグラフ分類 | 心拍変動の特徴 | 脳波の特徴 |
|----------------|-----------------------------|--|
| α -REMs | ・ PSD に RSA のピークは明確には見られない。 | ・ α 波が優位。 ・ α 波パワーは約 2 分周期で変動。 |
| θ -REMs | ・ PSD に RSA のピークは明確には見られない。 | θ 波・ α 波が優位。 θ 波と α 波は交代的に出現。 |

表 5.1: α -REMs 型・ θ -REMs 型の心拍変動・脳波の特徴

5.4.1 α -REMs 型の脳と自律神経の活動状態

HF 帯域のパワーより、副交感神経系の活動が活発ではなく、その点で、通常の覚醒時安静臥位・NREM 睡眠時とは異なる。

5.4.2 θ -REMs 型の脳と自律神経の活動状態

HF 帯域のパワーより、副交感神経系の活動が活発ではなく、その点で、通常の覚醒時安静臥位・NREM 睡眠時とは異なる。

5.4.3 本解析で明らかになった問題点

こうした時間周波数解析によっても、生理学的状態の相違性・相似性の判断はグラフなどの主観的解釈に基づかざるを得ないという限界があると思われる。本解析のような、生理学的状態の記述的な比較だけではなく、その差異の度合いをより客観的かつ定量的に示すことが必要であると思われる。

第 6 章

感覚遮断環境における脳波・心拍変動ダイナミクスの覚醒時・各睡眠段階との定量的比較

6.1 解析の目的

前章で明らかになった、感覚遮断環境において視覚的イメージの体験をしている時の生理学的状態および意識の状態は通常睡眠時の各睡眠段階、覚醒中の安静閉眼臥位におけるそのいずれとも異なっていることが示唆された。

そこで本解析では、心拍変動および脳波の時系列ダイナミクスの観点から、感覚遮断中に視覚的イメージを体験する被験者群の生理学的状態を、通常睡眠段階および覚醒の各状態から差異化することを試みた。

6.2 解析方法

6.2.1 基準ダイナミクスの抽出とデータのセグメント化

通常睡眠段階および覚醒の各状態と、感覚遮断環境中の状態における、状態依存的な時系列ダイナミクス間の差異の定量化には、Kullback-Leibler divergence (KLD) を導入した。これによる定量的な特徴づけにより、感覚遮断環境中の生理学的状態の特異性を

示し、さらに、感覚遮断環境中の心拍変動・脳波のダイナミクスが具体的にいかなる性質を持ち、どのように他の状態と異なっているのかを解析的に明らかにした。

まず、終夜睡眠ポリグラフデータを元に Rechtshaffen & Kales の基準に基づいて睡眠段階を判定し、Stage-1、Stage-2、4、StageREM の各段階から、心拍変動時系列データは4分間、脳波時系列データは2分間の区間を取り出し、これらを通常の睡眠時の各睡眠段階の基準時系列データとする。また、覚醒安静臥位のデータからも同様に覚醒時の基準時系列データを取り出す。これらの状態基準をそれぞれ順に、「S1」、「S2」、「SWS」、「REM」、「WAKE」と名付ける。なお、Stage-3 は、Stage-4 と類似しているため割愛し、まとめて状態「SWS」とした。

一方、感覚遮断中の心拍変動時系列データ・脳波時系列データはそれぞれ4分間・2分間のセグメントに分割した。心拍変動時系列データについては、心拍変動のダイナミクスを考察する上で、低周波領域の詳細なスペクトル構造を検討する必要があり、十分な周波数解像度を保持するために最低限必要なデータ長として4分間とした。また脳波時系列については、睡眠 Stage2 の特徴である紡錘波・K 複合の出現頻度が約2分間以内であることなど、各状態の判定に必要な最小の単位として2分間とした。

その上で、通常の覚醒・睡眠時の基準時系列データと、感覚遮断中の時系列データの各セグメント間の差異を、以下の手続きによって定量的に比較した。

1. 比較する2つの時系列データの信号源が確率過程であると仮定する。
2. 時系列データの信号源の確率的な構造が、心拍変動時系列データについてはARモデルで、脳波時系列データについてはMARモデルで近似できると仮定し、それぞれARモデル・MARモデルをあてはめる。モデルの次数はAIC(Akaike's information criterion)により決定した。
3. ARモデリングおよびMARモデリングによって推定された確率的な構造の間の差異をKLDで数値化する。

6.2.2 距離尺度としてのK-L divergenceの導入

脳波時系列および心拍変動時系列の二つの生体信号の状態依存的なダイナミクスの間の変化の距離尺度として、KLDを導入する。

本解析では、KLD を計算する前に、4 チャンネルからなる脳波時系列データは多変量自己回帰 (MAR) モデルで、心拍変動時系列データは自己回帰 (AR) モデルで記述する。

脳波時系列データは国際 10-20 法における C3, C4, O1 及び O2 に配置された電極から計測され、それぞれ C3, C4, O1, O2 と表す。得られたデータは通過周波数帯域が 0.5Hz から 20Hz の帯域通過フィルタをかけた上で 50Hz サンプリングにリサンプルし、ゼロ平均に変換して以下の MAR モデルに当てはめた。

$$\mathbf{X}_n = \sum_{l=1}^p A_l \mathbf{X}_{n-l} + \mathbf{U}_n, \quad (6.1)$$

ここで、ベクトル $\mathbf{X}_n = (C_{3n}, C_{4n}, O_{1n}, O_{2n})$ は EEG 時系列データ、 p はモデルの次数、 A_l はラグ l における MAR モデルのパラメータ行列、 \mathbf{U}_n は 4 次元白色正規ノイズ、 T は行列の転置を表す。

MAR モデルは p 次のマルコフモデルとみなすことができるので、その結合確率密度関数は条件付確率密度関数を用いて以下のように表せる。

$$\begin{aligned} f(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_n) &= \prod_{n=1}^n p(\mathbf{X}_n | \mathbf{X}_{n-1}, \dots, \mathbf{X}_{n-p}) \\ &= \left[\left(\frac{1}{2\pi} \right)^{k/2} |Q|^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \mathbf{U}_m^T Q^{-1} \mathbf{U}_m \right\} \right]^n \end{aligned} \quad (6.2)$$

$$\mathbf{U}_m = \mathbf{X}_m - \sum_{i=1}^p A_i \mathbf{X}_{m-i} \quad (6.3)$$

ここで、 n, k, Q はそれぞれデータ数、時系列の次元、プロセス \mathbf{X}_n を駆動するノイズの共分散行列を表す。 $m \in [1, n]$ は、MAR モデルの不変性より任意の正の整数である。

比較されるもう一つの MAR モデルの結合確率密度関数を $g(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_n)$ とすると、 f と g の間の KLD $I(g; f)$ は以下のように定義される。

$$\begin{aligned} I(g; f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \log \frac{g(\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_n)}{f(\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_n)} \\ &\quad \times g(\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_n) d\mathbf{X}_1 \cdots d\mathbf{X}_n. \end{aligned} \quad (6.4)$$

このとき KLD $I(g; f)$ は以下のような性質を持つ [65]。

- (i) $I(g; f) \geq 0$
- (ii) $I(g; f) = 0 \iff \mathbf{X}_i = \mathbf{Y}_i \ (i = 1, \dots, n)$

つまり、 $I(g; f)$ の値が小さく 0 に近いほど g と f の距離は近いとみなせる。

KLD は MAR パラメータを用いると、

$$\begin{aligned}
I(g; f) &= \frac{1}{2} \log \frac{|Q|}{|P|} - \frac{k}{2} \\
&+ \frac{1}{2} \text{tr} \left[Q^{-1} [I, -A_1, \dots, -A_p] R_g \begin{bmatrix} I \\ -A_1^T \\ -A_2^T \\ \vdots \\ -A_p^T \end{bmatrix} \right], \tag{6.5}
\end{aligned}$$

と表すことができる。ここで、 P と Q はそれぞれプロセス $\{Y_n\}$ と $\{X_n\}$ を駆動するノイズの共分散行列である [24]。 R_g は $\{Y_n\}$ の共分散行列で、

$$R_g = \begin{bmatrix} R(0) & R(1) & R(2) & \cdots & R(p) \\ R(-1) & R(0) & R(1) & \cdots & R(p-1) \\ R(-2) & R(-1) & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & R(1) \\ R(-p) & R(-(p-1)) & \cdots & R(1) & R(0) \end{bmatrix} \tag{6.6}$$

と表せる。ここで、

$$R(m-l) = E[\mathbf{Y}_m \mathbf{Y}_l^T] \tag{6.7}$$

である。

KLD は非対称であるから、対称化のため、

$$\bar{I} = \frac{I(g; f) + I(f; g)}{2} \tag{6.8}$$

とする。

この手法は中尾らによる心臓・血管系の生体信号ダイナミクスへの適用の事例 [24] を援用したものであるが、脳波ダイナミクスへの適用は本研究が初めての試みである。

6.2.3 K-L divergence のプロット

SDデータのセグメント $x, x = 1, 2, \dots, 15$ における状態 $state$ との間のKLDを $k_{state}(x)$, $state = S1, S2, SWS, REM, WAKE$ とすると、 $y = k_{state}(x)$ で表されるXYグラフをプロットすることにより、各セグメントにおける各基準状態との間のダイナミクスの類似度が表される。

例えば、セグメント n において $k_{state}(n)$ を最小とする $state$ が、セグメント n における最も近いダイナミクスを持つ基準状態となる。

このプロットにより、各基準状態との間の距離的な関係の時間変化が示される。

本解析では、このグラフを心拍変動時系列データと脳波時系列データを個別に表示した上で、両者の間の関係を検討した。また、 x 軸は、セグメント番号とセグメント幅より単位を分に換算して表示した。

6.3 結果

6.3.1 基準ダイナミクスの妥当性の確認

まずはじめに、通常の終夜睡眠における状態変化に従って、各セグメントにおける最も近い各基準ダイナミクスが妥当に推移しているのかどうかを確認するために、基準データを選んだ終夜データとは別の夜の終夜睡眠データに対して、KLDのプロットを行った。

まず、終夜睡眠の基準データを抽出した終夜データの、各セグメントの基準状態とのダイナミクスの差異をプロットすると、Rechtschaffen & Kalesの基準による睡眠段階の判定(図6.1下段)と、KLDにより分類された状態(図6.1上段・中段)は良く一致した。

さらに、同じ被験者の基準データを抽出した計測とは異なる終夜睡眠データについてもKLDの計算を行なったところ、同様に、KLDにより各睡眠段階を適切に分類していた(図6.2)。

従って、抽出された各状態の基準ダイナミクスは、各状態の基準としてのダイナミクスを適切に保持していると考えられる。

なお、脳波ダイナミクスのKLDプロットにおいて、脳波にアーチファクトが混入している区間は、KLDが極端に大きくなりグラフが見にくくなるため、表示を省略している。

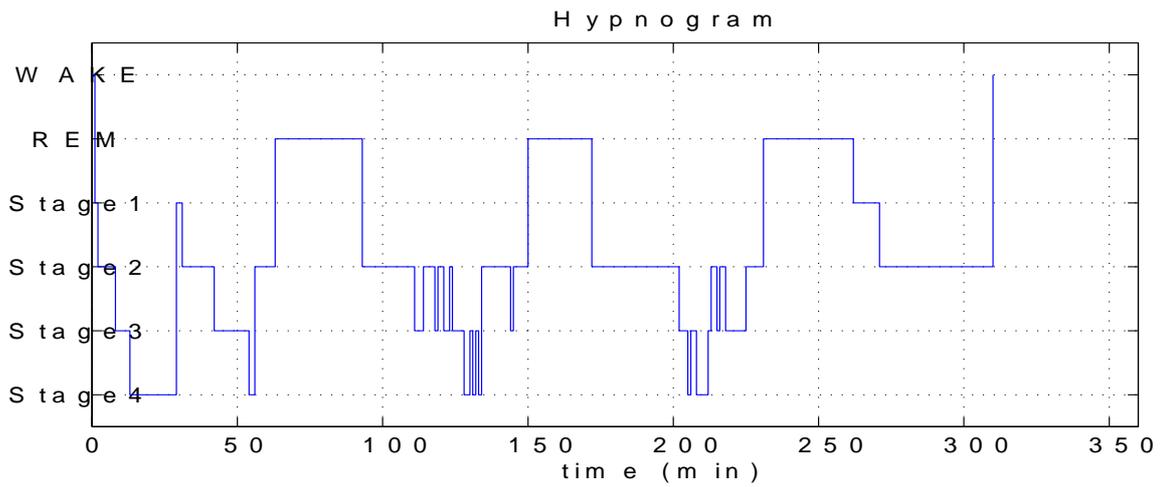
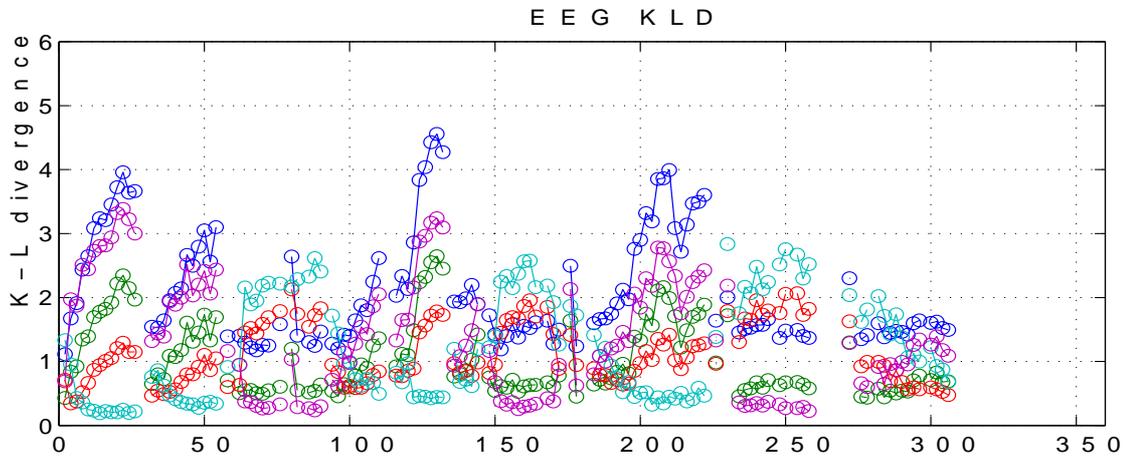
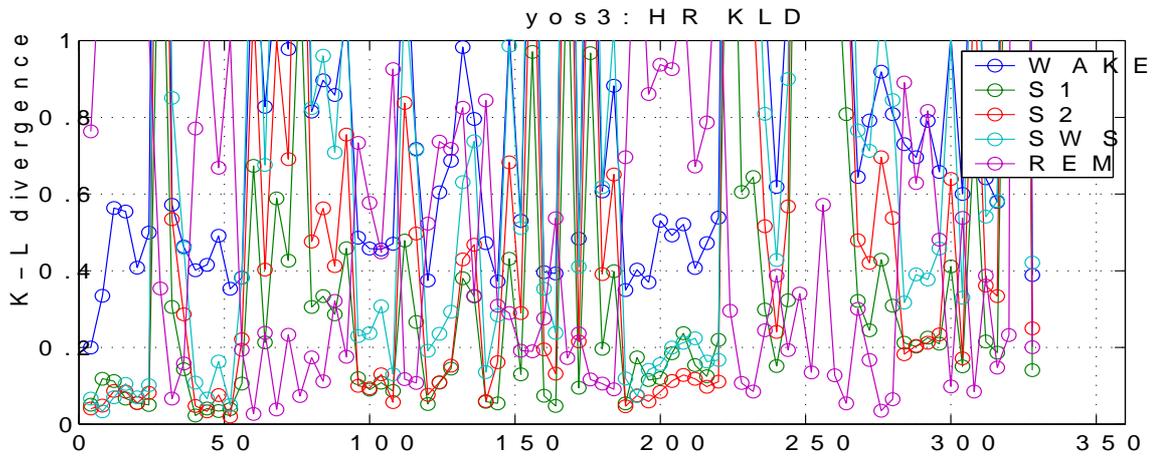


図 6.1: 終夜睡眠データの KLD プロット: KY-S1

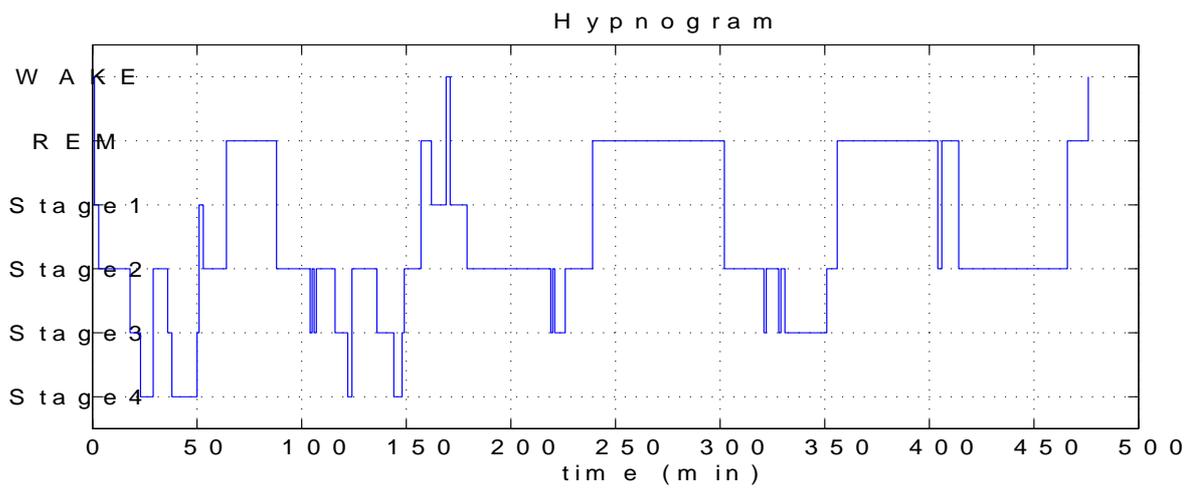
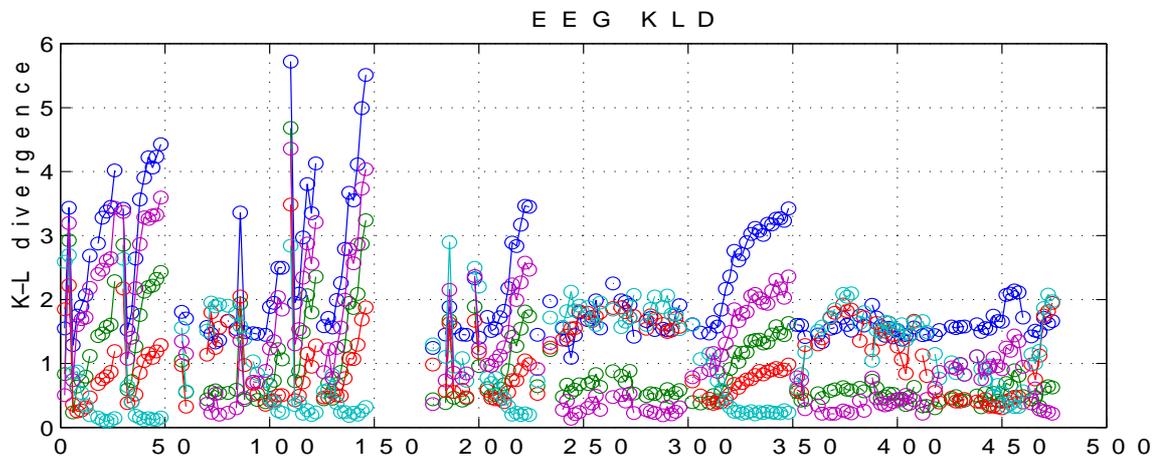
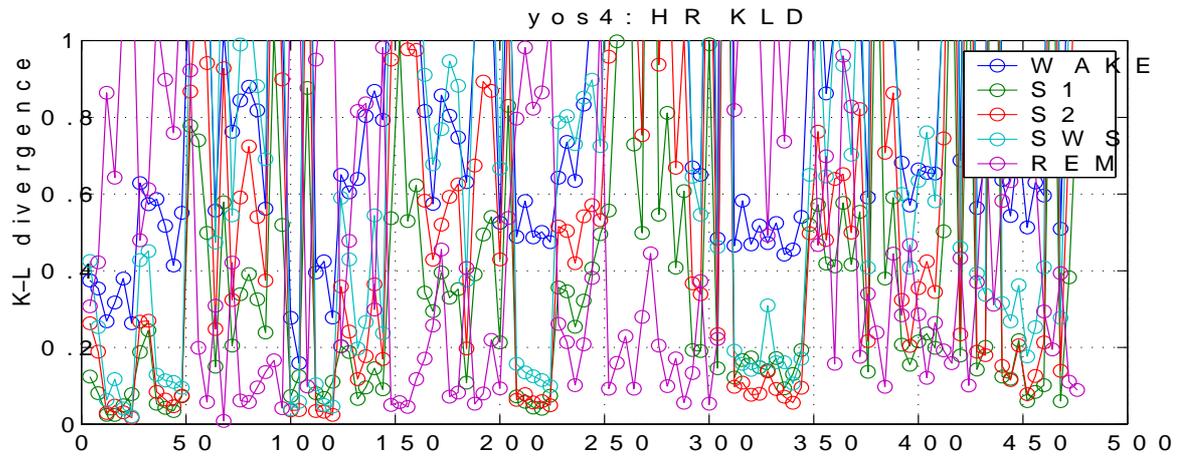


図 6.2: 終夜睡眠データの KLD プロット: KY-S2

6.3.2 感覚遮断データの K-L divergence プロット

α -REMs 型の K-L divergence プロット

α -REMs 型に属していた被験者 OJ の感覚遮断データの KLD プロット (図 6.3) と主観的体験の内容を以下に示す。

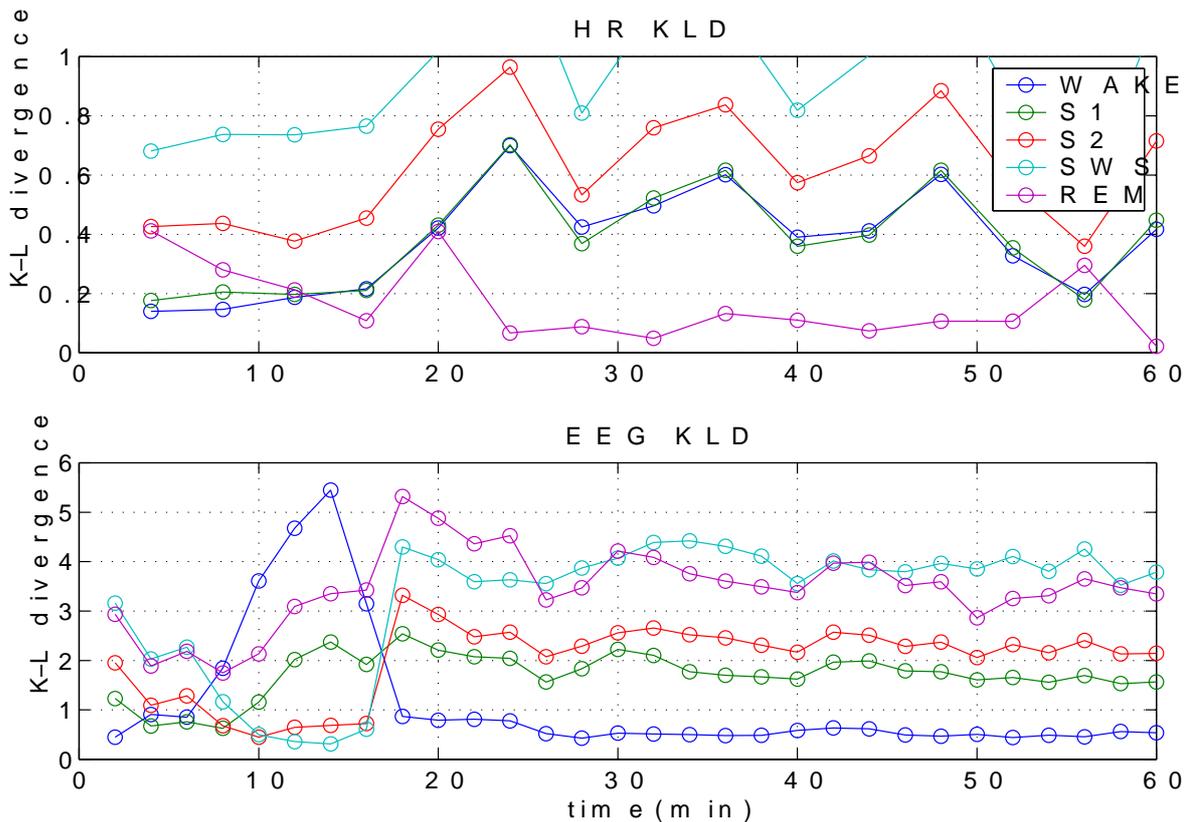


図 6.3: 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-5

主観的体験報告 : OJ-5

最初寝ていて、目が覚めた瞬間にハッとしてその瞬間に何かが見えるという
パターンに気づく

人物の姿・波紋が広がるようなピンク色の模様

黒い羽根のようなもの

KLD プロットの、初期の2分から16分の脳波ダイナミクスが状態 S1、S2、SWS が順に最も近いダイナミクスとなっている区間が、「眠っていた」区間と対応すると考えられる。

そして18分以降の区間が、視覚的イメージを盛んに体験していた区間であると思われる。

このプロットより、視覚的イメージなど知覚の変化を体験している、感覚遮断環境特有の状態では、以下のような傾向が見られた。

- 心拍変動ダイナミクス：
状態「REM」に比較的近い
- 脳波ダイナミクス：
状態「WAKE」に比較的近い

この傾向は、被験者 OJ の6事例のうち4つの事例で見られた。

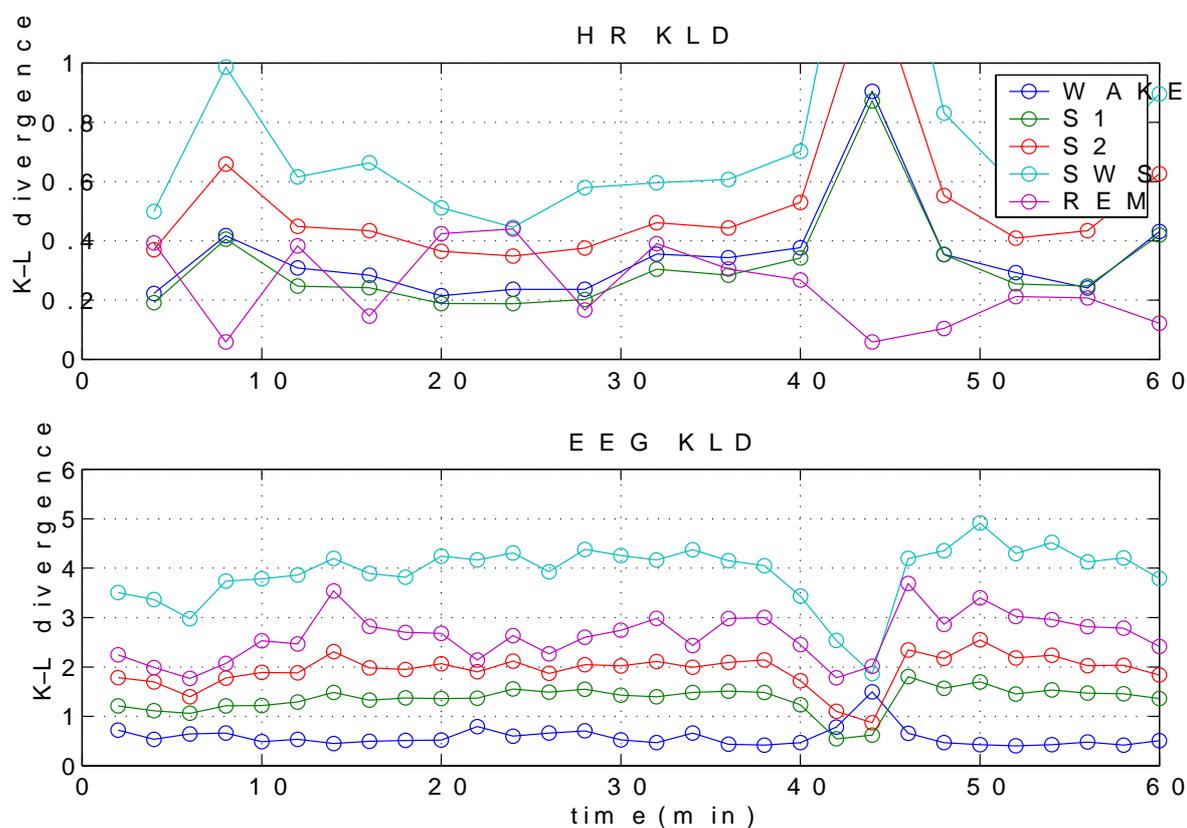


図 6.4: 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-2

主観的体験報告：OJ-2

「時間的感覚がない。」

「色や形が見える。」

「最近聞いている『サンタマリア』が聞こえる」

「前は気持ち良くて寝てしまうが、今回はあまり寝なかった。」

「夢を見ていて、『あ、これは夢だ』と思う。」

「5、6歳の頃に住んでいた場所の匂いをリアルに思い出した。」

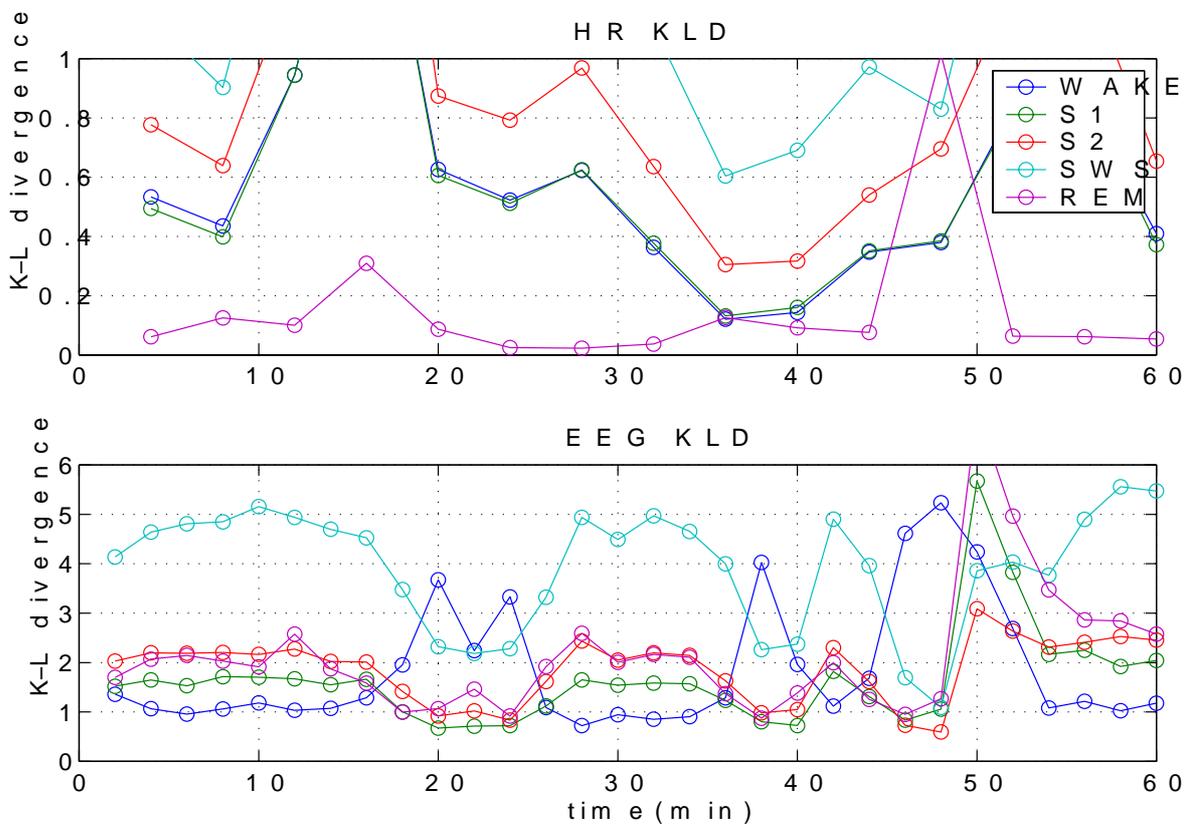


図 6.5: 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-6

主観的体験報告：OJ-6

赤ん坊の声・波の音

視覚的イメージは内容はよく覚えていないが数はこれまで (OJ-1~6) で一番多い

人物の顔

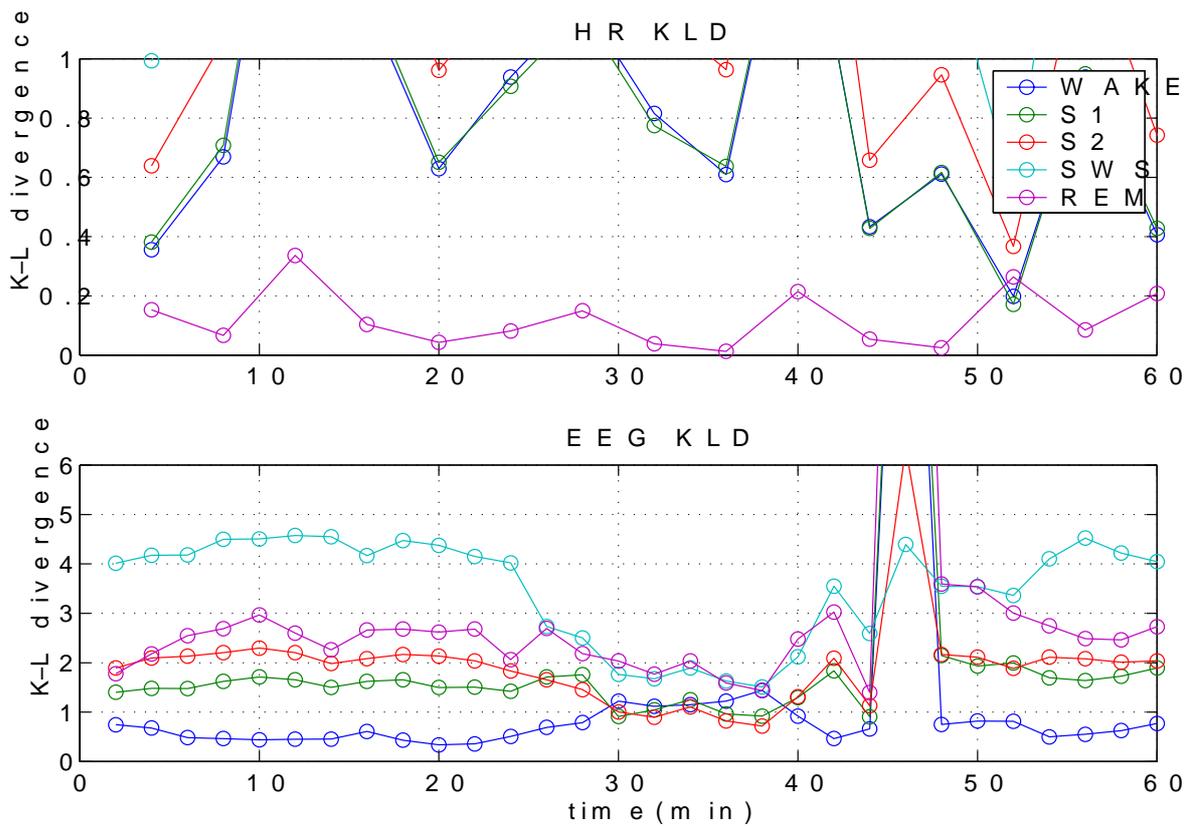


図 6.6: 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-7

主観的体験報告 : OJ-7

視覚よりも身体感覚に注意が向いた
息を大きく吸うと体が膨張する感じ
茶色い模様

ただし、事例 OJ-4(図 6.7) では、主観的体験報告に視覚的イメージについての言及はなく、何度か眠ったり起きたりを繰り返していたということだった。

KLD プロット上でも、状態「WAKE」に近い区間は少なく、状態「S2」に近い区間が少なくない。

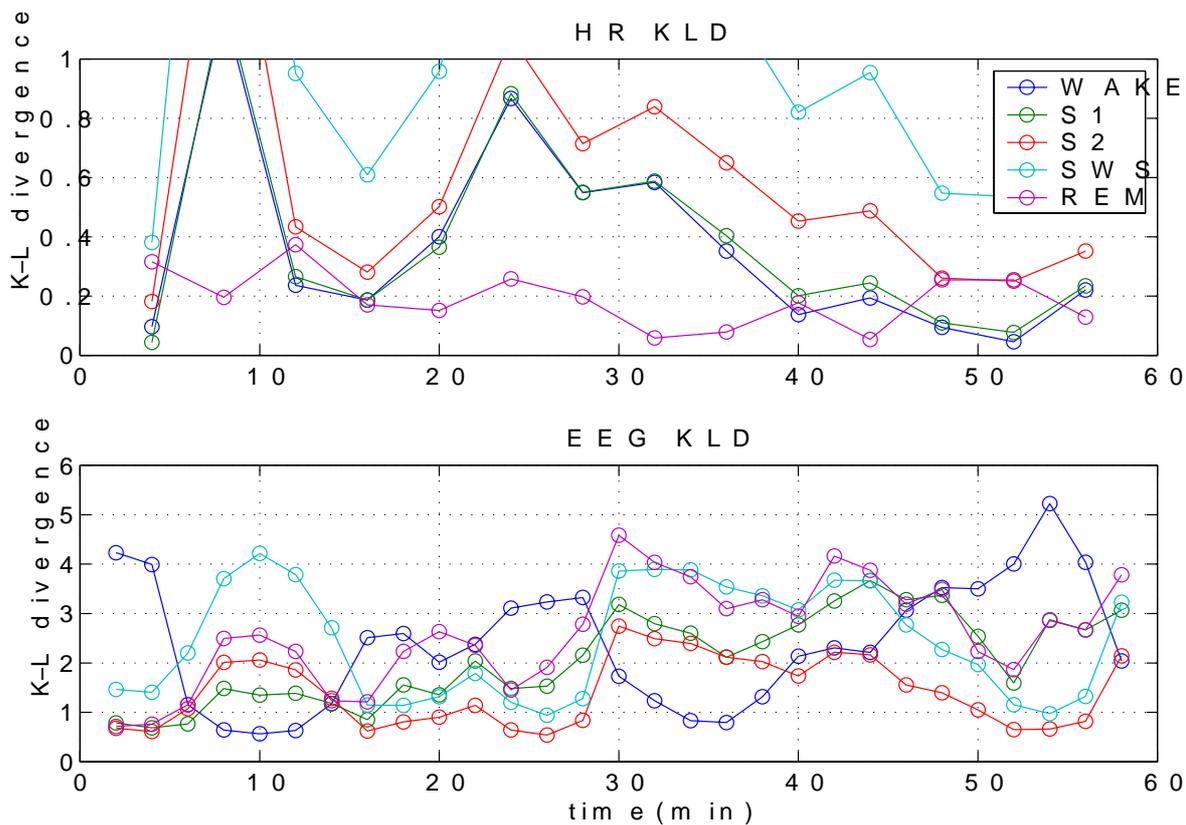


図 6.7: 感覚遮断データの KLD プロット: OJ-4

主観的体験報告：OJ-4

タンクに入る前は眠くなかったが、入った直後急に眠った
深い筋肉がほぐれる感じ

θ -REMs 型の KLD プロット

θ -REMs 型に属していた被験者 KY の感覚遮断データの KLD プロットの例を図 6.8 に示す。

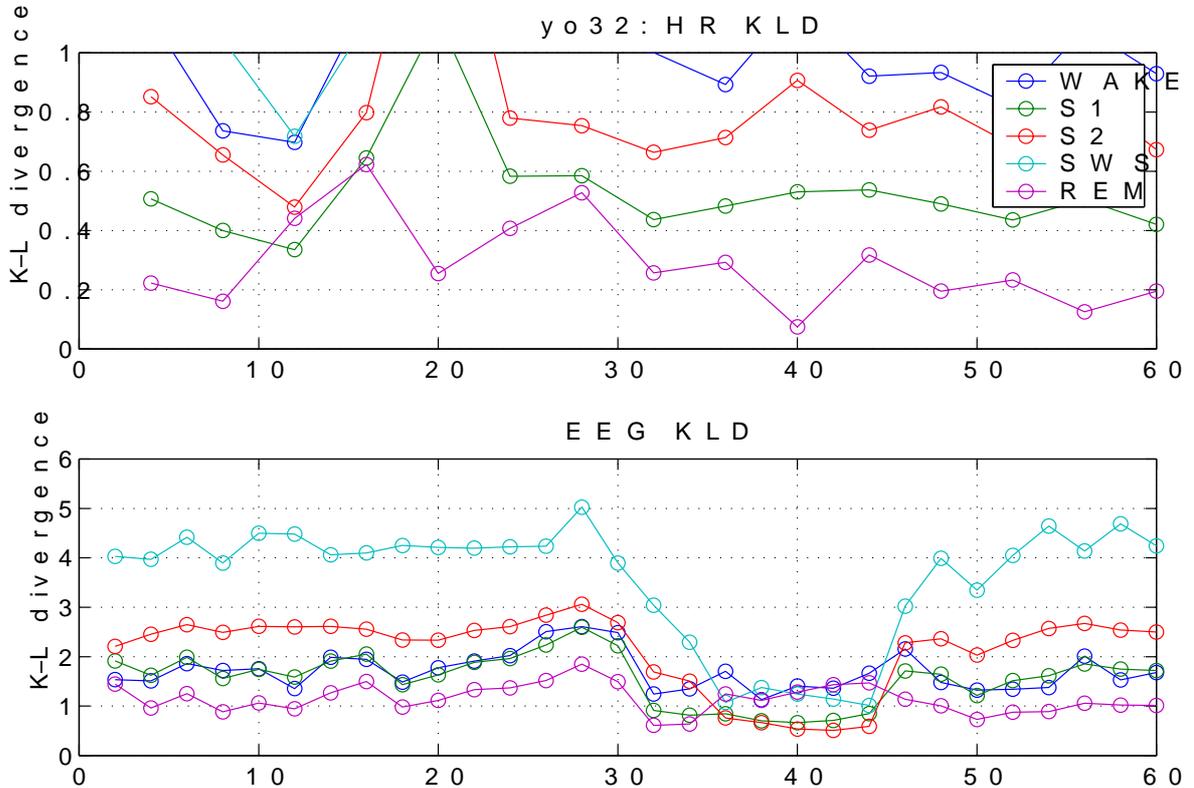


図 6.8: 感覚遮断データの KLD プロット: KY-6

主観的体験報告: KY-6

中盤は気持ち良く寝ていた

目が醒めた時、すごく明るくまぶしく感じて声をあげそうになった
(現実には光は入っていない)

目の前に黒いビロードの緞帳が垂れ下がっている

オーロラのような黄緑色の光でできたカーテンのようなもの
蝶が羽化するところ

KLD プロットの中盤の 32 分から 44 分までの区間が、「寝ていた」区間であると思われる、それ以外の区間は視覚的イメージを盛んに体験していた区間であると思われる。

このプロットより、視覚的イメージを体験している、感覚遮断環境特有の状態では、以下のような傾向が見られた。

- 心拍変動ダイナミクス：
状態「REM」に比較的近い
- 脳波ダイナミクス：
状態「REM」に比較的近い

同様の傾向は、被験者 KY の 6 事例のうち、5 つの事例で見られた。

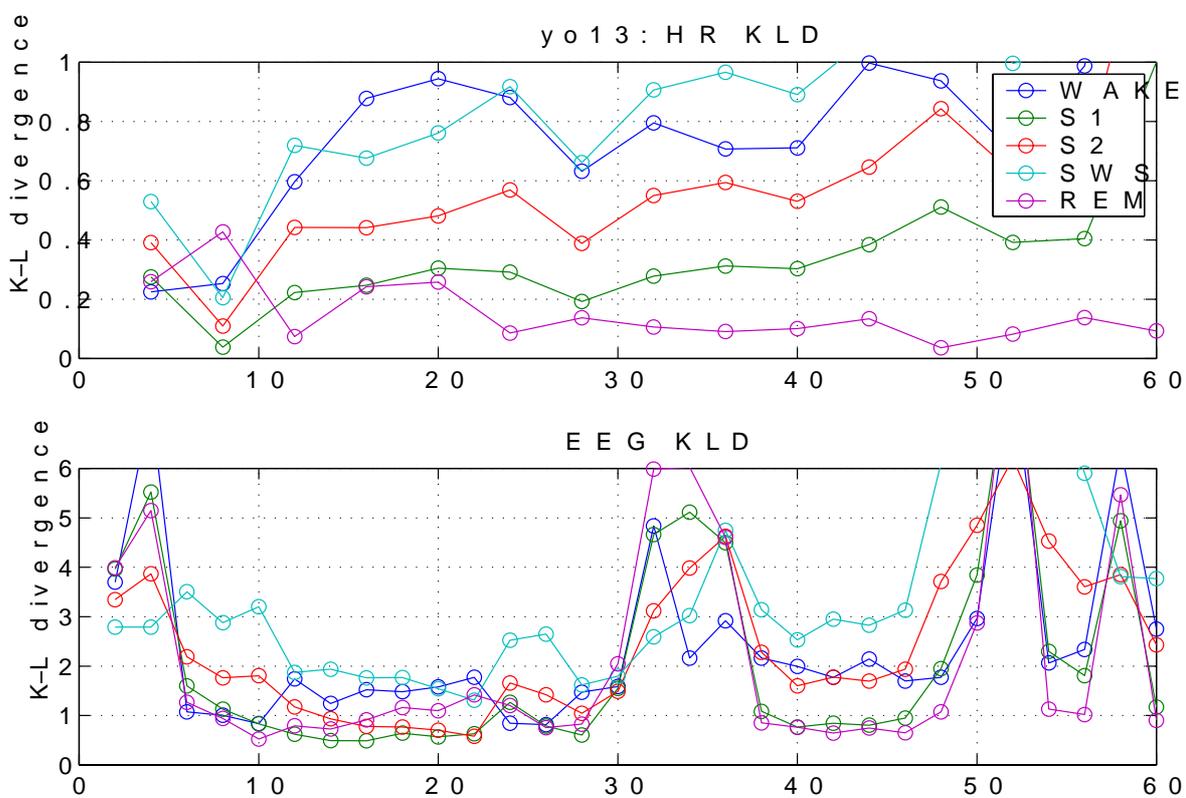


図 6.9: 感覚遮断データの KLD プロット: KY-2

主観的体験報告：KY-2

「前半はほとんど寝ていた。」

「最後の方でタンクの内側に沢山の仏像が見えた。」

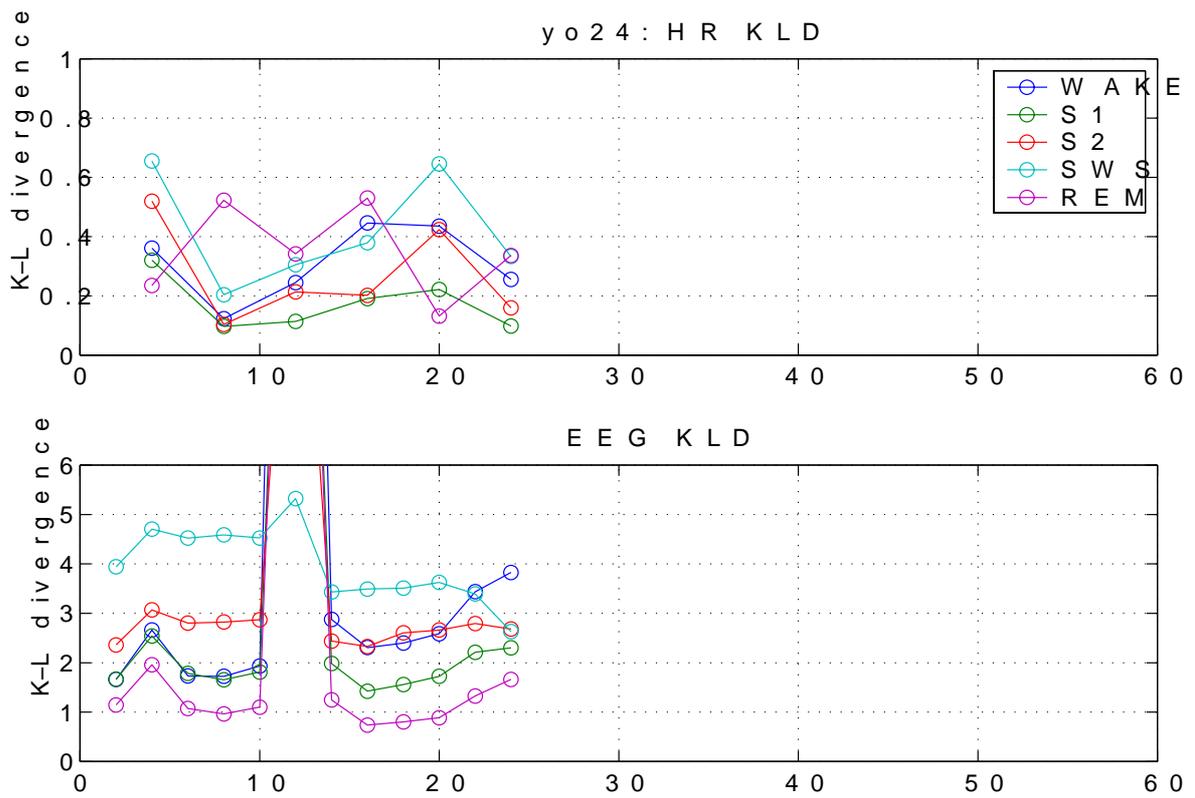


図 6.10: 感覚遮断データのKLDプロット: KY-4

主観的体験報告: KY-4

暗い光の輪のようなものが降ってくる

砂嵐のようなもの

ブーンというハム音のようなもの

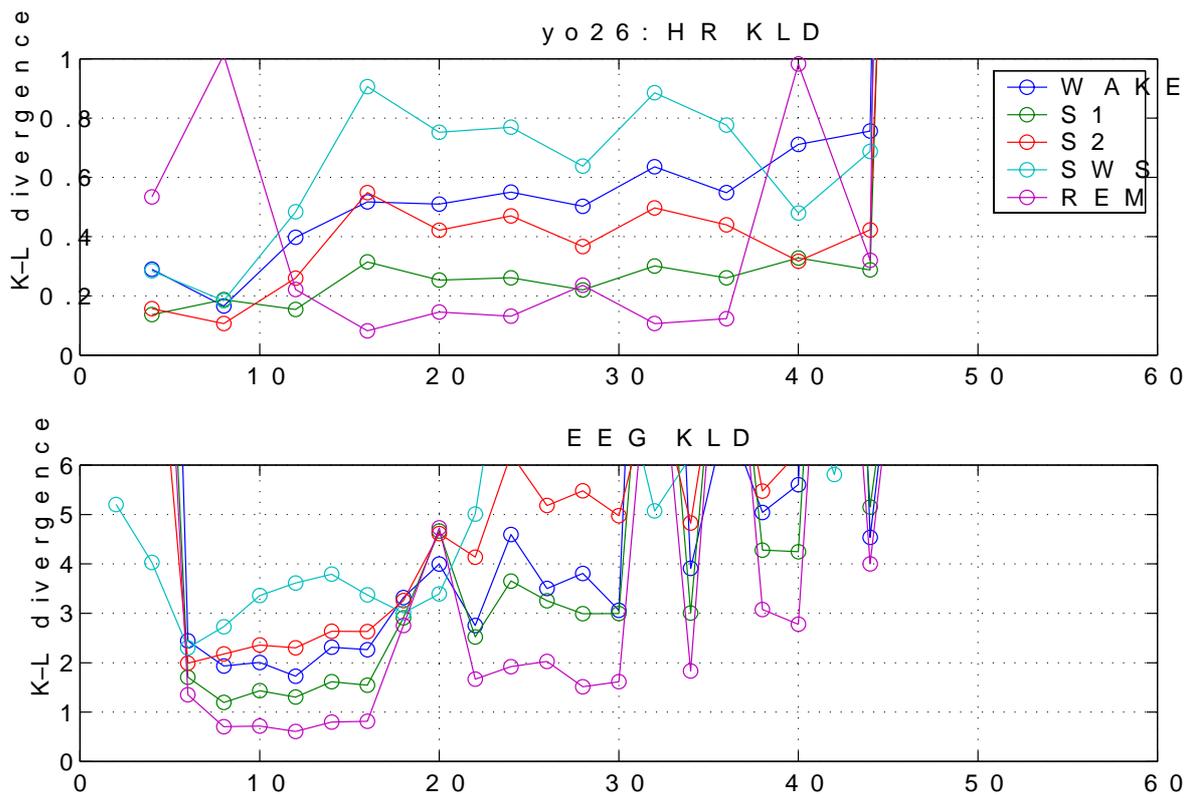


図 6.11: 感覚遮断データのKLDプロット: KY-5

主観的体験報告: KY-5

目の前に蛍光のような緑色をバックにした自分の影が見える

蒲鉾板でできた猫を想像する

左の方に手が伸びていき、そちらの方に体が動いて行くような感じ

(タンクの内壁を触ってみるとそれほど動いてはいない)

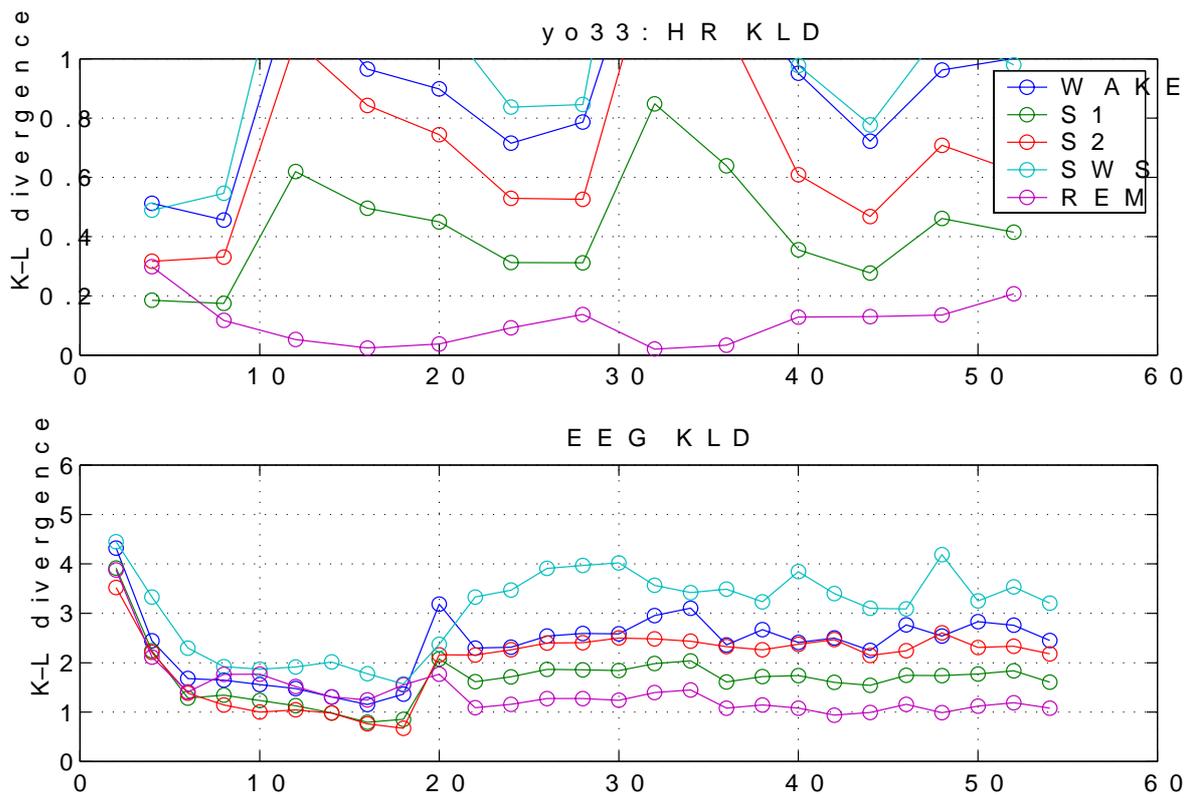


図 6.12: 感覚遮断データのKLDプロット: KY-7

主観的体験報告: KY-7

ドアのチャイムの音

黄緑色のカーテンが頭の上に下がっている

カーテンの表面にミミズのようなもの

死んだヒナのイメージ

ただし、事例 KY-3(図 6.13) では、被験者 KY には例外的に、被験者 OJ に主に見られた α -REMs 型の特徴を示した。

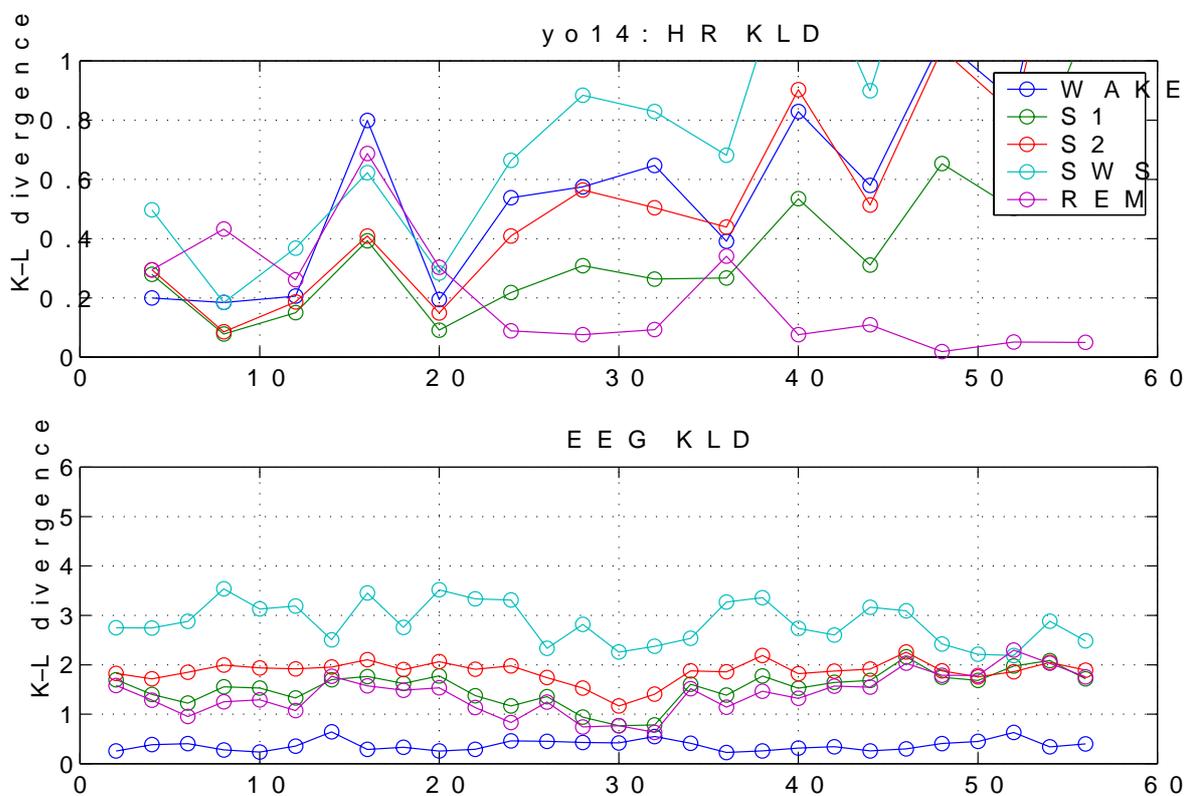


図 6.13: 感覚遮断データの KLD プロット: KY-3

主観的体験報告 : KY-3

「人の姿のようなもの、幾何学模様のようなものが見えた。」

「外の音がうるさくて (現実の音漏による)、いらいらしてきて自分でタンクを出た」

この事例では、実験条件が悪く、外部の音がタンク内に漏っていた。

6.3.3 対照実験：昼間の睡眠との比較

感覚遮断における脳波・心拍変動ダイナミクス、終夜睡眠から採取した基準状態との差異が、単に、午後から夕方にかけてという、サーカディアンフェーズの違いから生じているのか否かを確認するため、感覚遮断実験と同じ時間帯における、明るい室内のベッド上での昼寝との比較を行なった。

その結果、被験者 OJ(図 6.14)、被験者 KY(図 6.15) とも、NREM 睡眠のダイナミクスに近く推移し、フローテーションタンク中での心拍変動・脳波時系列に見いだされたダイナミクスの特徴は見られなかった。

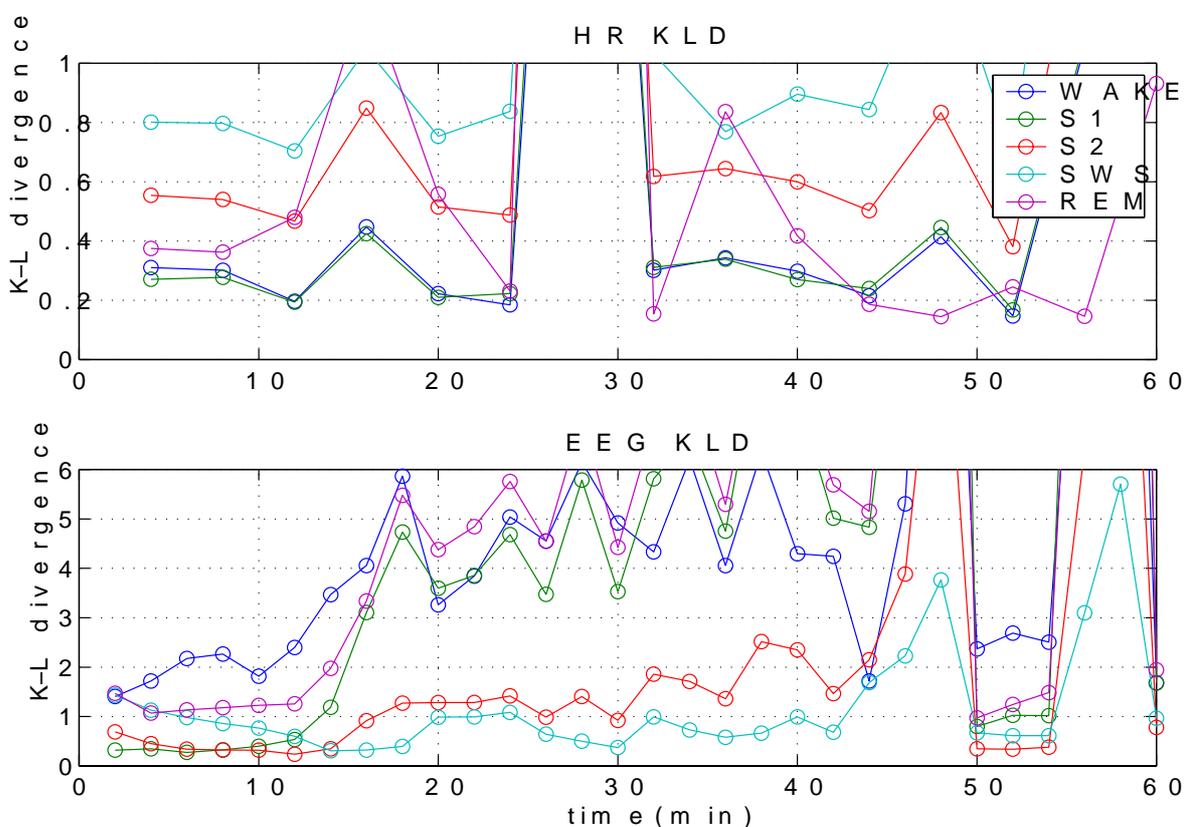


図 6.14: 昼間の睡眠データの KLD プロット: OJ-N1

このことから、タンク中での計測で見いだされた心拍変動・脳波ダイナミクスの特異性は、時間帯に依存するのではなく、感覚遮断環境という条件に依存するものと考えられる。

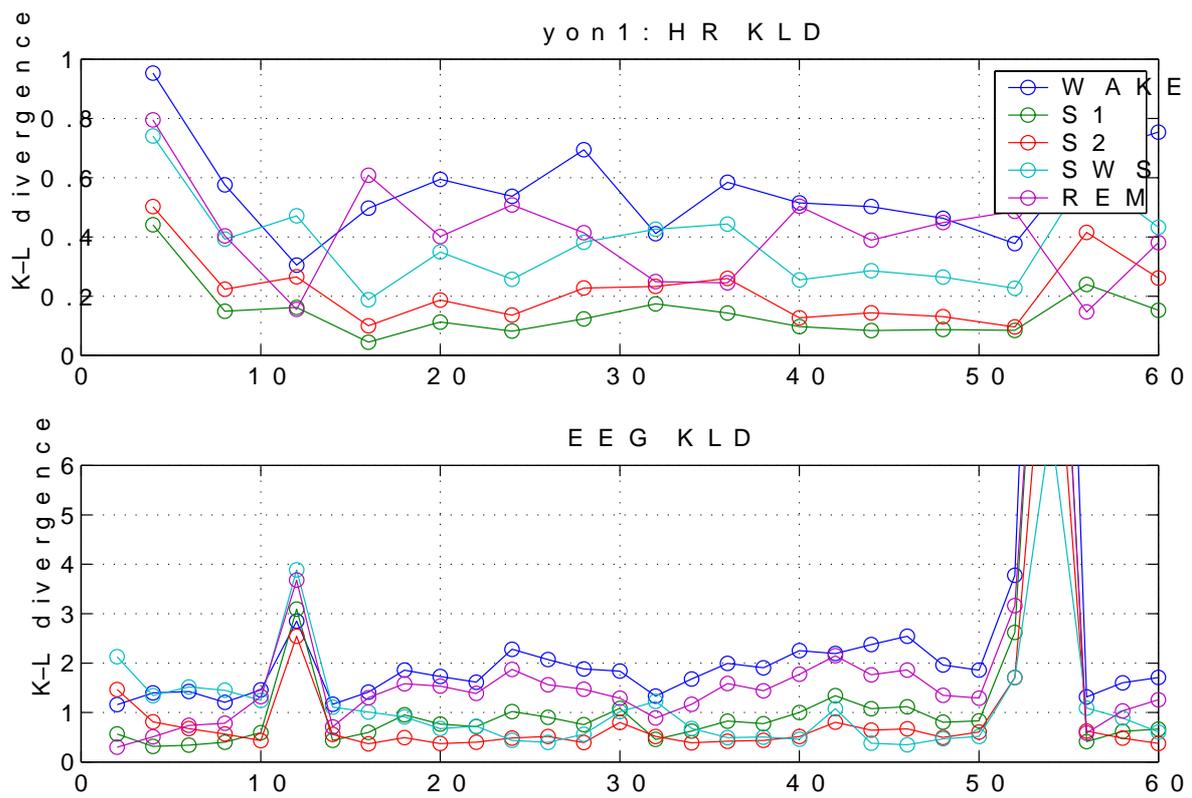


図 6.15: 昼間の睡眠データの KLD プロット: KY-N1

6.3.4 状態を差異化する脳波・心拍変動ダイナミクスの特徴

さらに、 θ -REMs 型について、いかなるスペクトル成分が状態を差異化しているのかを確かめるため、KLD の計算に際して推定した AR モデルによりパワースペクトル密度を推定した。

心拍変動時系列のパワースペクトル密度

心拍変動時系列のスペクトル構造は、KLD で示されたダイナミクスの近さと同様、状態 REM との類似性が見られた。感覚遮断データのスペクトルには HF 成分にわずかな盛り上がりが見られるものの、状態 WAKE、S1、S2、SWS に見られる HF 成分のピーク程顕著ではない。

一方、感覚遮断データの LF 成分の盛り上がりは、状態 REM と同様であったが、他の状態には LF の盛り上がりはより小さかった。

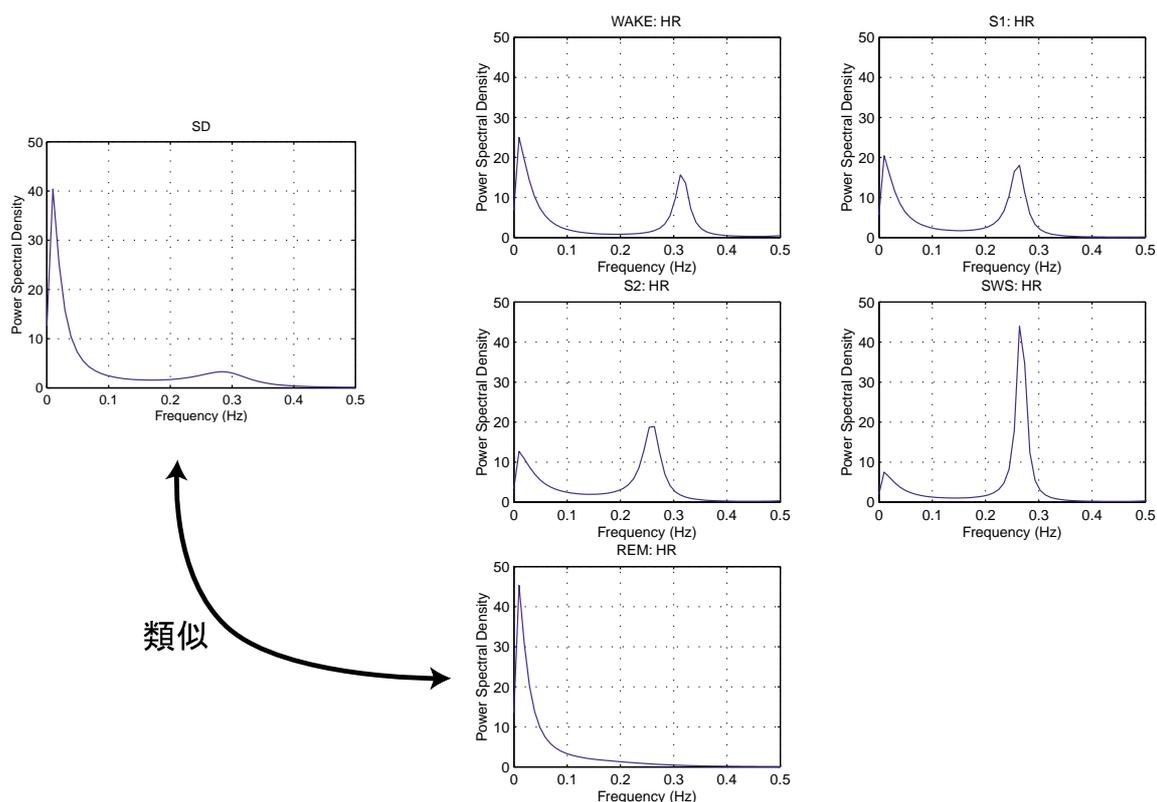


図 6.16: 心拍変動のスペクトル構造の比較

脳波時系列のパワースペクトル密度

脳波時系列のスペクトル構造は、強いていえば状態 REM と類似しているものの、7Hz の θ 波のピークと 10Hz の α 波の明確な 2 つのピークが見られる状態は存在しなかった。

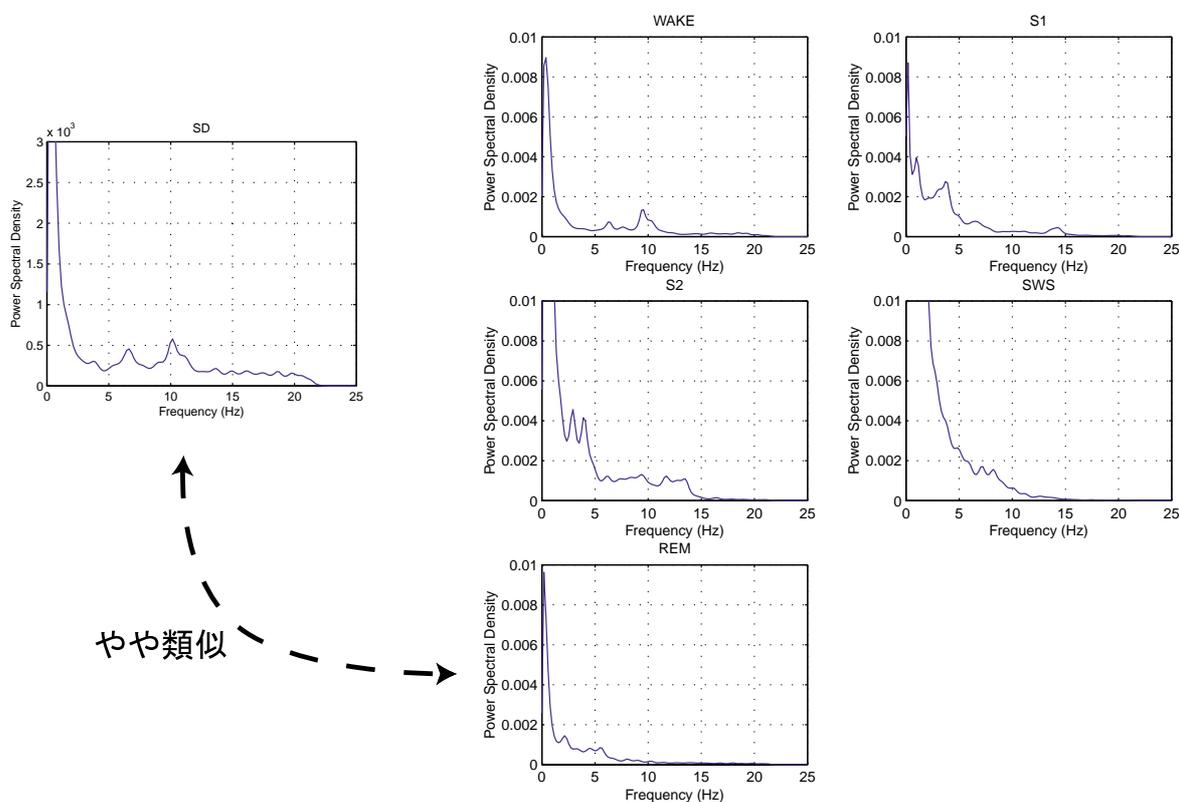


図 6.17: 脳波のスペクトル構造の比較

6.4 感覚遮断環境における生理学的状態の基準状態との類似性と相違性

感覚遮断環境での VI-NonSleep 型における心拍変動時系列および脳波時系列のダイナミクスは、通常の覚醒・睡眠段階の基準ダイナミクスから隔たっていた。

しかし一方で、VI-NonSleep 型における心拍変動時系列および脳波時系列のダイナミクスは、相対的には他の基準ダイナミクスよりも状態 REM の基準ダイナミクスに近かった。

また、心拍変動時系列において最も近い基準ダイナミクスの属する状態 (REM) と、脳波時系列において最も近い基準ダイナミクスの属する状態 (WAKE) とが乖離する例が見られた。こうした乖離は、通常の睡眠においては見られず、VI-NonSleep 型にのみ見いだされた。

また、こうした差異を引き起こすスペクトル構造の違いがどこにあるのかをパワースペクトル密度から見てみた結果から、以下のようなことが示唆される。

- VI-NonSleep 型においては、被験者は安静臥位の姿勢であるにもかかわらず、交感神経系は活性化し、副交感神経系は活性化していない。
- 脳波のパワースペクトル密度には θ 波と α 波の二つのピークが見いだされたが、このようなスペクトル構造はどの基準ダイナミクスにも見られなかった。

これらのことから、感覚遮断環境中での VI-NonSleep 型の生理学的状態の、通常の覚醒・睡眠状態と比べて特異な状態であると見なすことができる。またこうした特異性は、感覚遮断実験と同じ時間帯における昼寝においては見られなかったことから、この特異性は昼間というサーカディアン・フェーズの違いから生じるのではなく、感覚遮断環境という環境の特異性から引き起こされるものであると考えられる。

第 7 章

感覚遮断環境における生理学的状態と意識の状態

7.1 感覚遮断環境における生理学的状態の覚醒・睡眠との比較

解析によって明らかになった感覚遮断環境における生理学的特徴と意識の状態には、以下のようなタイプが見いだされた。

- VI-NonSleep; α -REMs 型
 - 視覚的イメージが盛んに体験され、睡眠の自覚は短時間であるか全くない。
 - ポリグラフ的特徴:
 - * α 波脳波と一過性の REMs が現れる。
 - * α 波パワーは約 2 分周期で変動していた。心拍変動時系列のパワースペクトルには、HF 帯域の呼吸性洞性不整脈のピークは明確には見られなかった。
 - 心拍変動時系列のダイナミクス：REM 睡眠に比較的類似している
 - 脳波のダイナミクス：覚醒時に比較的類似している
- VI-NonSleep; θ -REMs 型
 - 視覚的イメージが盛んに体験され、睡眠の自覚は短時間であるか全くない。
 - ポリグラフ的特徴:

- * 約 7Hz の θ 波脳波と盛んな REMs が現れる。
 - * 脳波には θ 波の他に α 波も見られ、両者は交替的に出現した。
 - * 心拍変動時系列のパワースペクトルには、呼吸性洞性不整脈のピークは明確には見られなかった。
- 心拍変動時系列のダイナミクス：REM 睡眠に比較的類似している
 - 脳波のダイナミクス：REM 睡眠に比較的類似している
- NonVI-Sleep 型
 - 視覚的イメージの体験は稀で、深い睡眠に入る。
 - ポリグラフ的特徴:
 - * 終夜睡眠の特徴の Stage-1 から 4 と同様であり、特異な点は見られなかった。

VI-NonSleep; α -REMs 型および θ -REMs 型の心拍変動のパワースペクトルに、呼吸性洞性不整脈のピークが明確に見られないことは、副交感神経系の活動が交感神経系に比べて活発ではないことを示している。

これらの結果から、感覚遮断環境において見いだされた状態の各タイプと覚醒・睡眠の各段階の生理学的状態と主観的体験をまとめたのが表 7.1 である。

| 状態 | WAKE | NREM 睡眠 (入眠期) | REM 睡眠 |
|----------|---------------------|--|----------------------------------|
| 自律神経系の活動 | 副交感神経系が active | 副交感神経系が active | 交感神経系・副交感神経系が active |
| 脳波 | α 波優位 | α 波・Hump・約4Hzの θ 波・Spindle・ δ 波 | 小振幅の様々な周波数が混在・一過性に α 波が出現 |
| 眼球運動 | なし・SEM _s | なし・SEM _s | REM _s |
| 主観的体験 | | 「入眠時心像」 | 「夢見」 |

| 状態 | VI-NonSleep; α -REM _s 型 | VI-NonSleep; θ -REM _s 型 | NonVI-Sleep 型 |
|----------|--|--|--------------------------|
| 自律神経系の活動 | 交感神経系が active | 交感神経系が active | 副交感神経系が active |
| 脳波 | α 波優位 | 7Hzの θ 波が優位 α 波も出現 | Hump・Spindle・ δ 波 |
| 眼球運動 | 一過性のREM _s | 盛んなREM _s | なし・SEM _s |
| 主観的体験 | 盛んな視覚的イメージ・ 身体感覚の変化 古い記憶の想起 など | 視覚的イメージ・ 身体感覚の変化・ ハム音のような音 など | 睡眠の自覚 |

表 7.1: 睡眠・覚醒の各状態と感覚遮断環境における特徴

7.2 感覚遮断環境の有用な効果を支える生理学的状態

これらの対比から、感覚遮断環境における3つの状態のうち NonVI-Sleep 型は NREM 睡眠と同一視でき、通常と同様に睡眠に入る、いわば休息の状態であると思われる。

また α -REM_s 型と θ -REM_s 型を比較すると、 θ -REM_s 型の各事例では、感覚遮断が十分であり、盛んな VI や知覚の変化体験するなど十分に感覚遮断環境になじみ、感覚遮断後

も深いリラクゼーションなどの効果が認められ、その感覚遮断による効果が阻害されていないと思われるのに対し、同一の被験者が α -REMs型となっている事例 KY-3 においては、十分な感覚遮断ができず、いらいらするなどの印象があり、感覚遮断による効果が阻害されていると思われる。Fine ら [44] によっても、一時間のフローテーションタンクによる感覚遮断中、 θ 波脳波の割合が α 波の割合を上回っていたと報告されており、感覚遮断環境の効果の深さは、 α -REMs型よりも θ -REMs型の方がより深い状態であり、感覚遮断環境に見いだされる状態のうちもっとも本質的な状態は θ -REMs型であると考えられる。

また、 α -REMs型の事例では θ -REMs型よりも軽眠に傾くエピソードが多かったことから、感覚遮断環境における生体の状態は、

| | NonVI-Sleep 型 | | α -REMs 型 | | θ -REMs 型 |
|-------|---------------|---|------------------|---|------------------|
| 心拍変動: | NREM 睡眠 | → | REM 睡眠様 | → | REM 睡眠様 |
| 脳活動: | NREM 睡眠 | → | WAKE 様 | → | REM 睡眠様 |

という順で、右側の状態ほどより深く感覚遮断環境による状態変化を享受している状態であり、左側ほど、感覚遮断環境による独自の状態には至っていないと思われる。その中間に位置する α -REMs型は、心拍変動はすでにREM睡眠様を示しており、両者の間の過渡的な状態であると思なすことができるであろう。なお、 α -REMs型・ θ -REMs型に見られる心拍変動のREM睡眠様の状態(交感神経系活動の優位)は、情緒的な動揺に伴うものとも考えられ、VIなどの盛んな主観的体験による感情の動きを反映しているものとも思われる。

そして、感覚遮断環境において見られる θ -REMs型の状態は、上に示した生理学的状態の諸側面の覚醒・睡眠の各状態との対比より、ほぼREM睡眠における状態と同様の状態であると言える。つまり、感覚遮断環境においては、REM睡眠と同様、脳や自律神経系の活動が賦活された、よりアクティブな生理学的状態にあることを示している。

このREM睡眠様の状態が、リラクゼーションなどの感覚遮断環境の有用な効果を支えている生理学的状態であると考えられる。

第 8 章

結論

8.1 感覚遮断環境と REM 睡眠における脳活動の類似性と相違性

8.1.1 感覚遮断環境と REM 睡眠における脳活動の類似性

感覚遮断環境における生理学的状態は、覚醒および睡眠の各段階との比較から、REM 睡眠様の状態であることが示されたが、それではなぜ、感覚遮断環境によって REM 睡眠様の状態が現れるのであろうか。

REM 睡眠時の脳の神経活動と感覚入力に関する研究によると、井上 [63] は、ラットを用いた睡眠の各段階における聴性誘発電位の比較から、REM 睡眠時には脳幹から大脳に至る伝達経路で知覚刺激の情報が通りにくくなっていることを明らかにした。また Niiyama ら [61] は、ヒトを被験者とした睡眠の各段階における聴性誘発電位の比較から、REM 睡眠では NREM 睡眠に比べて優位にその振幅が小さいことを明らかにしており、ヒトにおいても同様に REM 睡眠時には知覚刺激が大脳に到達しにくくなっていると考えられる。つまり、REM 睡眠時には、大脳にとっては自発的に生じる感覚遮断状態にあると言える。

また REM 睡眠時には、大脳皮質の単一ニューロン活動が覚醒時よりも活発化しており、脳が内的に活性化されている状態であると考えられている。この状態は REM 睡眠における夢見とも関連があるであろう。時実はこの脳の内的賦活状態を「脳の脱抑制」によって説明されるとしており [67]、山本らも REM 睡眠で見られる「様々な周波数の脳波」が、脳

の脱抑制によって脳の局所的な活動が顕在化した状態として捉えている [76]。

このような脳の状態にある REM 睡眠時の脳波ダイナミクスと、感覚遮断環境における脳波ダイナミクスのが類似していることから、感覚遮断環境においても REM と同様の、内的に活性化した神経活動が生じていることが推測される。

REM 睡眠においても、外的環境刺激の削減による感覚遮断においても、大脳の側から見れば外界からの感覚入力遮断された状態にあり、また大脳の内的活動性も高まっているという点で、両者は相似な関係にある。

REM 睡眠においてはニューロンが自発的にこのような活動状態を示すのに対し、感覚遮断環境では外的条件によってそうした状態を引き起こすという違いはあるものの、脳の活動状態としては、両者が類似してくることは自然なことであると思われる。

8.1.2 感覚遮断環境における脳活動の特異性

一方で、REM 睡眠と感覚遮断における脳の活動状態をまったく同一視してよいのかどうかに関しては疑問も残る。

脳波ダイナミクスの KLD プロットによると、覚醒・NREM 睡眠・REM 睡眠の 3 状態の中では、REM 睡眠の基準脳波ダイナミクスが相対的に最も近いダイナミクスであることが示されたが、絶対的な距離に関してはどうであろうか。終夜睡眠 (図 6.2) における REM 睡眠期での REM 睡眠基準からの距離と、 θ -REMs 型 (図 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12) における REM 睡眠基準からの距離を比較すると、REM 睡眠基準からの距離は、終夜睡眠における真の REM 睡眠期よりも θ REMs 型の方が大きいと思われる。これについては、KLD 値の分布に関する統計学的な検討が今後必要であると思われるが、現時点ではこの傾向が見い出される。このことは、脳波ダイナミクスの絶対的な距離という点では、厳密には、 θ -REMs 型における脳波ダイナミクスは REM 睡眠期とは異なっていることを示している。そして、この KLD の差異は、脳波のスペクトル構造 (6.17) に見られる、約 7Hz の小振幅の θ 波成分によって生じていると考えられる。

このことより、感覚遮断環境において導かれる「REM 睡眠様」の脳の活動状態は、相対的には REM 睡眠期に類似しているものの、絶対的な状態としては REM 睡眠とも異なる「第 4 の状態」と考えるべきである可能性が残されている。そして、その相違性のメカニズムを考える上で手がかりとなるのは、 θ -REMs 型で特徴的に見られる θ 波の発生メカニズムであると思われる。

また一方、状態の遷移パターンに着目した場合、ナルコレプシーなど病理的なケースや中途覚醒などを除く、通常の終夜睡眠においては覚醒から直接 REM 睡眠に移行することはないが、感覚遮断環境における θ -REMs 型では感覚遮断前の覚醒の状態から直接 REM 睡眠様の状態に移行している。このことから、感覚遮断環境が REM 睡眠様の状態への状態遷移のバイパス経路を開く役割をしていると考えることができ、このことも、感覚遮断環境における生理学的活動の特異な点である。

以上のようなことから、感覚遮断環境においてはこれまで明らかにされていなかった特異な脳活動の状態が存在する可能性も示唆される。

8.2 感覚遮断環境における意識の状態の特質

感覚遮断環境において報告された、視覚的イメージや身体感覚などの知覚の変化や古い記憶の想起などの極端な心的プロセスの変化はどのように考えればよいのであろうか。

ここで、生理学的状態に関する考察を一旦措き、Tart による意識の遷移モデル [47] を導入して、感覚遮断のヒトの主観的な側面に対する影響について考察する。

8.2.1 意識の状態遷移モデル

「現実感」の構造化と「意識の状態」

本論文の冒頭に述べたように、感覚遮断の効果として、被験者にストレスを与え知覚に異常を与えるなどの阻害的な側面と、リラクゼーションや様々な治療効果がみられるなどの有用な側面という、全く逆の影響が報告されている。

感覚遮断によって、なぜこうした相矛盾する影響が現れるのかについては、様々な議論がなされているが、一つには、そうした非日常的な環境における、非日常的な知覚の変化に対して、実験者や被験者が不安や「異常性」などの否定的なイメージを持っているか、あるいは肯定的なイメージや期待感を持っているかという点は特に大きな影響があると考えられる。

しかしながら、いずれの場合でも感覚遮断環境において起こっている被験者の内的現象は、知覚の構造の変化という点では共通していると思われる。つまり、我々は日常的にも、視覚や聴覚などの様々な外界の知覚や、記憶や思考などの言わば「内的知覚」の各要素を、ある文脈、あるいはある意味の体系に従って構造化し、一つの統合された「現実感」を形

成していると考えられる。ところが、感覚遮断によって、そうした現実感をつくり出す要素の組成が大きく変化することによって、我々が内的につくり出す「現実感」の性質も大きく変化し、上記のような様々な「非日常的な現実感」を体験するのだと思われる。

つまり、外的刺激のパターンに応じてある一定の「現実感」が組織化される訳だが、その外的刺激のパターンが変化すれば、それにに応じて我々の現実感も違った構造で自己組織化すると解釈することができる。

そうだとすると、様々な環境の変化に応じて様々な現実感の組織化の形式があり得る、つまり、様々な意識の状態があり得ると考えられる。このような意識の状態の多様性と意識の状態変化のモデルの一つが Tart の意識のモデルである。

意識の状態遷移モデル

Tart[47] は、様々な環境に応じた知覚の構造化によって作られる様々な現実感のありよう = 意識の状態を、「個別的意識状態 (discrete state of consciousness; d-SoC)」と名付けた。つまり、それぞれに性質の異なる様々な個別的な意識の状態が存在し得るとした。その中で、時間的に多くの時間をそこで過ごすところの (本人にとってのいわゆる)「日常的」な意識の状態を「基底意識状態 (baseline state of consciousness; b-SoC)」と名付けた。我々が通常「日常的な」状態、「正常な」状態と言う意識の状態はこれにあたる。そして、ある特定の条件によって遷移した b-SoC 以外の個別的意識状態を、「個別の変性意識状態 (discrete altered states of consciousness; d-ASC)」と名付けた。ただし、これらの b-SoC・d-ASC という呼び名はあくまでも相対的な意味での「基底意識状態」あるいは「変性意識状態」であり、ある個人にとっての、あるいはある文化にとっては日常的であるところの「基底意識状態」は、他の個人あるいは文化にとっては非日常的な状態であるところの「変性意識状態」でもあり得る。(図 8.1)

つまり、実際に存在するのは様々な d-SoC であって、ある人にとっては、それらのうちどれかが b-SoC であり、それ以外の d-SoC は彼にとっては d-ASC であるという場合もあり得る。

さらに彼は、こうした d-SoC 間の状態遷移のメカニズムを、意識の構造の安定化と脱安定化のプロセスによって説明している。(図 8.2)

このプロセスを、感覚遮断による意識の状態の変化を例にとって説明する。まず最初の段階は、日常的な各知覚刺激の入力パターンは、ある一定の意識の状態に留まるような安

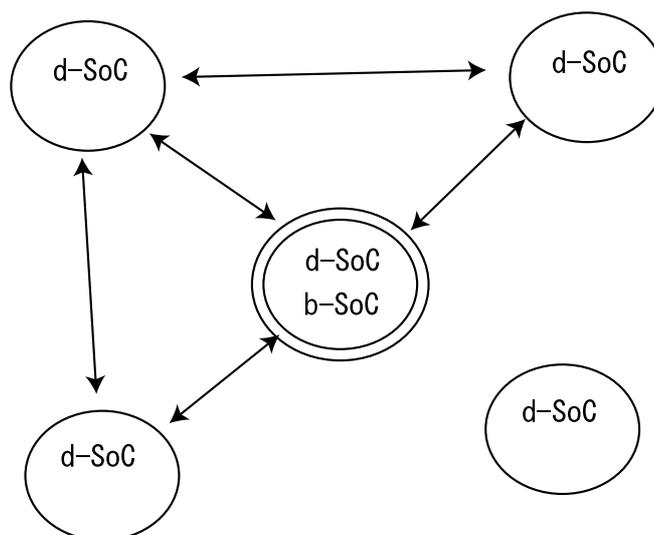


図 8.1: 個別的意識状態の状態遷移

定化の圧力 (patterning forces) として働いている (1 段目)。次に、感覚遮断環境に置かれることにより、知覚の入力パターンが変化し、その変化が、意識の構造の脱安定化の圧力 (disruptive forces) となる (2 段目)。そしてしばらく感覚遮断環境に置かれてその新たな知覚の入力パターンに慣れることにより、その新たなパターンに応じた新たな意識の構造での安定化の圧力がかかる (3 段目)。そして、感覚遮断環境に応じた新たな意識の状態 (d-ASC) が形作られる (4 段目)。

このような意識の状態の遷移ときっかけは、感覚遮断などの環境の変化、あるいはアルコールや向精神性薬物などの影響など、様々なものがあり得るとされる。

そうした現実感の組織化の性質の変化に対する心構えが十分でない場合、突然ジェットコースターに乗せられたようにパニックに陥る可能性は十分にあるが、そうした現実感の変化を十分に予測しかつそれに対してポジティブなイメージを抱いている場合は、その変化を十分に楽しむ、あるいはその「現実感」の組織化の形式が変化することにより、依存症など過度に硬直化した刺激と心理的反応のリンクを解除する効果が現れるものと考えられる。

しかし、従来の心理学や精神医学は、これらの様々な意識の状態のうち特定の状態を「正常」とみなし、それ以外の状態を「異常」あるいは特殊な状態とみなして、様々な条件によって多様な意識の状態に遷移するという、意識の動的性質を十分に捉えてはいな

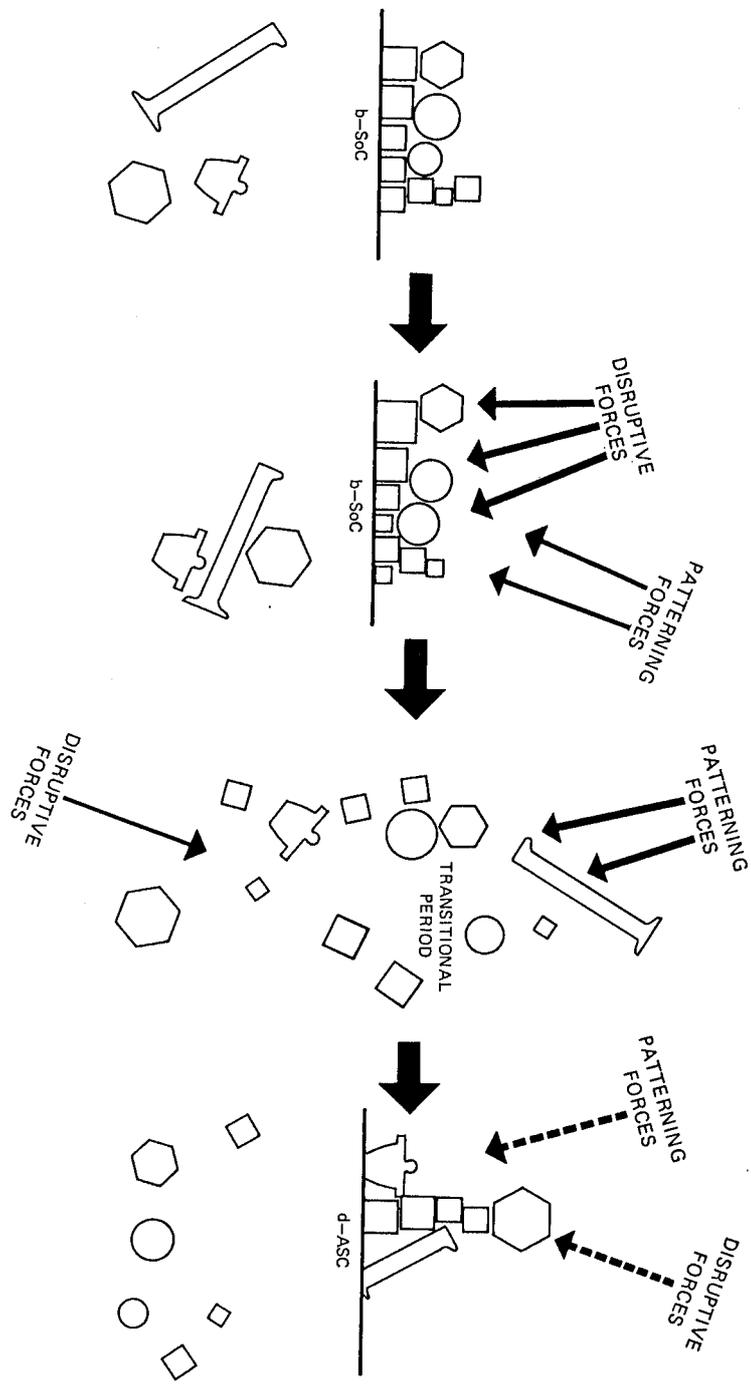


図 8.2: 意識の状態遷移のプロセス

いと思われる。

しかしながら、こうした意識の状態の動的性質を踏まえ、様々な状態における意識の性質を比較検討することにより、一つの状態についての研究だけでは明らかにできないような、様々な状態に通底する意識の本質的な性質を、はじめて明らかにすることができると思われる。

8.2.2 感覚遮断環境における意識の状態

8.2.1で概説した意識の遷移モデルの枠組みを用いると、REM 睡眠における夢見の状態や感覚遮断環境における夢見様の状態も一つの個別的意識状態とみなすことができる。

感覚遮断環境においては、被験者の主観的報告によると、夢見様の体験をしている時にも「これは夢である」ということを常に自覚しており、例えば意図的にすぐに立ち上がってタンクの外に出る、ということも可能である。しかし通常の夢見においては、漠然とした夢見の自覚はあるとしても、その自覚の度合いは感覚遮断における夢見様の体験の方がより大きいと思われる。

それに対し、感覚遮断環境での REM 様の状態では、その意識状態の遷移を自覚するメタ意識とでも言うべき自覚意識が明確に存在している。このような意識状態の遷移の自覚により、それぞれの意識状態における、知覚の構造や思考の構造の間のリンクが確立され、両者の異った構造の間関係性が保たれる。一方、通常の自覚のない夢見では、状態は遷移するもののそれぞれの状態の持つ異った思考構造の間関係性が断絶しているため、「妙な夢をみた」という程度の位置づけしかなされない。

つまり、通常の睡眠では、覚醒中の意識状態(基層意識状態)から別の意識状態への遷移の自覚がないかあっても非常に希薄である。したがって、感覚遮断環境によって引き起こされる状態は、REM 様ではあるが、全く REM 睡眠と同一の状態ではないと考えるべきであろう。

そして、感覚遮断環境における状態の特異性である、そこでの夢見様体験では、「現実」と「夢見」という二つの個別的意識状態の間の意味的關係性が保たれているという特質が、例えば日常的に抱えている問題に対する多面的な見方を提供し、それまでの硬直したものの見方、思考のコンテキストをリセットする効果を産み出すのではないだろうか。このリセットが、通常の夢見や短時間の睡眠では得られない、深いリラクゼーションや臨床的効果、様々なパフォーマンスの向上といった効果を支えているのだと考えられる。

また、感覚遮断環境において、REM 睡眠様の生理学的状態を示すということは、脳や自律神経系の活動が賦活された、よりアクティブな生理学的状態にあることを示している。この生理学的活性化と、意識の状態の変化にともなう認知の構造や思考のコンテキストの組み替えあるいはリセットの作用が、感覚遮断環境の持つ顕著な効果を支えているのだと考えられる。

Suedfeld ら [31] が感覚遮断の有用な効果に焦点を当てた感覚遮断研究の必要性を主張し、それまでの阻害的または「有害な」効果と結び付けて受けとられることの多い“sensory deprivation”「感覚遮断」の語を避けて、“restricted environmental stimulation technique”「環境刺激削減技法」の頭文字からなる“REST”の名称をあてることを提唱し、技法を療法 (therapy) と読み替えても良いこと、さらに REST に休息・安息の意味があることを挙げて、環境刺激削減有用な側面を表すのに適切な名称だと論じていることは 1.1.4 でもすでに述べた。

しかし、NonVI-Sleep 型のパターンは NREM 睡眠と同様の「休息」の状態にあるとみなすことができ、感覚遮断環境によって「休息」を得るケースも存在すると思われるが、感覚遮断環境の与える顕著な効果は、休息・安息といった static な状態によってではなく、それに特有な active な状態によって与えられるのだと考えられる。

従って、“REST”という名称は感覚遮断環境の特有の効果を示すには必ずしも適当ではない語感を持っていると思われる。これは些細なことのように思われる向きもあるかも知れないが、現に感覚遮断によって「休息」が与えられるという先入観によって研究がなされている傾向が見られる。例えば Fine は感覚遮断環境における様々な効果は「深いリラクゼーション」によって支えられているとしている [45] が、この「リラクゼーション」とは具体的に如何なる状態を指すのであろうか。通俗的には、「リラクゼーション」と言えば休息や安息、あるいは単にボーッとした状態を指すという印象が一般的であると思われるが、本研究が示すのは、感覚遮断環境が提供する状態はそういう意味で static な状態ではなくむしろ動的なものであり、その動的性質ゆえに、他の技法では得られない顕著な効果 (1.1.5 参照) が得られると考えるべきであろう。

感覚遮断環境によって導入されるこのような動的な意識の状態は、認知や思考の構造の flexibility を回復させ、日常の環境への適応をスムーズにする効果があると考えられ、この効果は、現代社会における高ストレスの一つの原因とも考えられる、過度に硬直した価値観や硬直した人間関係に柔軟性を与え、社会の活性化や人間の生存能力の向上にも貢献す

るものであると思われる。

8.3 本研究成果の意義

8.3.1 臨床医学的意義

NonVI-Sleep 型は NREM 睡眠様の休息の状態、 θ -REMs 型は感覚遮断環境特有の生理学的活動が活性化した状態、 α -REMs 型はその両者の中間の状態として考えられることはすでに述べたが、感覚遮断中にポリグラフ計測を行なうことで、被験者が現在これらのうちのどの状態にあるのかをリアルタイムに把握することも可能になった。

これにより、被験者へのインタビューを経なくても、感覚遮断中にどういった状態にあるのかをある程度推測することが可能になり、臨床応用の際、医師やセラピストに対し生理学的状態に関する情報を即座に与えることができる。

また、本研究により示された、感覚遮断環境における生理学的状態の客観的指標を用いることで、どのような患者のニーズに対しては、どの生理学的状態が適しているのかというような議論も可能になるであろう。

また、今後、どのような要因が感覚遮断中に導かれる生理学的状態を分けるのかという知見が蓄積されれば、感覚遮断環境の効果をコントロールすることも可能になるかも知れない。

一方、被験者自身も、各セッションにおける自らの生理学的状態の指標を得ることにより、自身の主観的体験を深めるための一つの目安を得ることができ、感覚遮断環境の与える効果を最大限に生かすことが可能となるであろう。

8.3.2 睡眠研究上の意義

感覚遮断環境によって REM 睡眠様の生理学的状態をある程度人為的に作り出せることから、いまだにその機能やメカニズムが明らかになっていない、REM 睡眠の研究のフィールドとして感覚遮断環境を用いることが可能であると思われる。

またもう一つの睡眠研究への寄与として、感覚遮断環境が様々な有用な効果を持ち、なおかつ感覚遮断環境によって生理学的状態は REM 睡眠様になることから、8.2.2で述べたように、状態遷移の「自覚」という通常の REM 睡眠との差異が通常の REM 睡眠にも、

ある程度の感覚遮断環境と同様の、リラクゼーション・認知や運動のパフォーマンス向上などの効果があるという仮説が得られる。

例えば、夢における「ひらめき」は、真偽は未確認ではあるがベンゼン環の発見の逸話などが伝えられており、一般にも時にこうした体験がなされることがあるように、日常の睡眠においても、REM 睡眠を効果的に取ることにより、感覚遮断における有用な効果と同様の効果が得られるのではないかと推測されるのである。

REM 睡眠の機能については様々な議論がなされ、未だに定説は存在しないのだが、感覚遮断環境によって REM 睡眠様の状態となることから、通常の睡眠中の REM 睡眠においても、感覚遮断環境と同様の、知覚や思考の構造を動的に組み替えることによりその flexibility を回復させ、環境の変化や日常的な問題への柔軟な対応を可能にさせるという機能があるのではないかと推測される。Crick らの REM 睡眠の逆学習仮説 [17] はこの文脈で捉えることもできると思われる。

8.4 今後の課題と展望

8.4.1 今後の課題

本研究では、被験者 closed での感覚遮断環境の生理学的状態・意識の状態への影響の再現性を確認することができたが、被験者 open での一般性について検討するには未だに事例数が不足していると思われる。本研究において、生理学的状態の差異の KLD による定量化が可能になった以上、その統計的な検討のためにも、今後はより多数の事例の収集が不可欠であろう。

また、 θ -REMs 型における生理学的状態および意識の状態を REM 睡眠とどこまで同一視できるのかについては未だに検討の余地があることは 8.1.2 および 8.2.2 でも述べた通りであり、今後も感覚遮断環境における状態の REM 睡眠との詳細かつ多面的な比較が必要であると思われる。

さらに、本研究では意識の状態の指標として被験者の主観的体験報告の分析を行なったが、出現したトピックの比較などに留まった。今後は、主観的体験報告のより詳細な内容分析の方法についての検討が必要であると思われる。

8.4.2 今後の展望

今後の研究の方針としては大きく以下の二つの方向性を検討している。

まず第一に、感覚遮断環境における生理学的状態のより詳細な把握とそれに基づいて、その状態をつくり出す生体メカニズムの解明に向けた研究である。本研究では、感覚遮断環境における脳波時系列と心拍変動時系列のダイナミクスにおける生理学的状態の特異性について明らかになった訳だが、今後はこれを踏まえて、そのような特異性をつくり出す生体システムのメカニズムがどこに存在するのか、より機能的な側面に研究を進めていく必要がある。またそのためには、計測する生理学的変数をさらに増やし、今回は扱っていない生理学的側面の状態特異性について検討し、「測定変数の拡張」によって、より多様な生理学的側面から、多面的かつ総合的に、より詳細に感覚遮断環境における生理学的状態の特異性や他の状態との類似性の検討も含まれる。

例えば、脳波の測定点をさらに増やし、周波数帯域毎のパワーの脳半球全体での分布を見る、時系列データに空間の情報を加えたトポグラフィ的分析から、脳半球の機能マップとの対応から、脳機能的な解釈が可能になる。あるいは、本研究で検討した脳波の周波数帯域は睡眠ポリグラフに一般的な帯域である 30Hz までであったが、さらに 100Hz 付近の周波数帯まで帯域幅を増やし、認知機能との関わりが指摘されている 帯域も含めた分析を行うことも検討している。

また、脳波以外の、PET や fMRI などの脳機能的解析技術との組み合わせの可能性についても検討している。

もう一つの方向性は、感覚遮断環境以外の様々な条件において同様の生理学的状態の調査を行ない、多様な条件における生理学的状態を把握することで、「実験条件の拡張」から生体メカニズムの解明を進める方向性である。

ある異なった条件において類似の生理学的状態が見られたとしたら、両条件に共通して影響する生理学的メカニズムに着目することができる。あるいは、わずかな条件の差異で全く異なった生理学的状態に導かれるなら、その生理学的差異を引き起こす要因は、両条件のそのわずかな差異にあると考えることができる。

例えば、宇宙環境において、無重力状態による抗重力筋の弛緩は、筋肉からの感覚入力の極端な減少をもたらし、宇宙空間での睡眠時には、音・光の他に接触などの感覚入力の減少も伴う等の点で、感覚遮断環境と類似している。このような宇宙環境における生理学的状態と感覚遮断環境における生理学的状態の比較も、興味深いテーマである。

また、多様な条件における状態の比較によって、ある条件における生理学的状態の有用性が、他の状態にも認められる可能性や、複数の要因の相乗効果などが明らかになれば、それをもとに新しい治療方法が見つかるなど、より実用的な側面でも寄与することができる。

これら二つの方向性は相補的な関係にあり、生体システムの観測手法・観測する生理学的変数の多様性と、生体がおかれる環境や条件の多様性の掛け合わせによって、生体システムの観測の多様性は飛躍的に増加する。それによって、これまでの条件設定では見出されなかった未知なる活動の状態や現象が見つかる可能性も考えられる。

謝辞

2年以上にわたって特別研究学生として研究室の一員として加えて頂いた東北大学大学院情報科学研究科生体情報学講座の山本光璋先生・中尾光之先生には、きめ細やかなご指導を頂いた。また、同講座研究室の職員・学生のみなさんにも公私にわたりお世話になり、時にはご指導頂き、また時には激励して頂いた。

同研究室滞在中には東北大学教育学部人間発達臨床科学講座の上埜高志先生には睡眠ポリグラフの判読法を始め、脳波判読、ポリグラフ測定などについて詳細なご指導、ご助言を頂いた。

東京医科歯科大学医用機材研究所の井上昌次郎先生には研究室のゼミにも参加させて頂くなど、睡眠生理学の立場から貴重な助言を頂いた。

また、Medical Collage of Ohio 精神医学教室の Thomas Fine 先生、Washington State University 教育学部の Areed Barabasz 先生には、長年感覚遮断研究に携わってこられた経験を元に貴重なご助言、励ましの言葉を頂き、またフローテーションタンクなどの実験施設に関する実用的ノウハウについても貴重なアドバイスを頂いた。

University of British Columbia 教育学部の Peter Suedfeld 先生には留守中ながら研究室への訪問を許して頂き、同研究室の学生のみなさんにはフローテーションタンクなどの実験施設の見学やディスカッションをさせて頂いた。

また、本研究におけるフローテーションタンクを利用しての実験に際しては、用いたタンクの所有者である神戸市の佐良規子さんの協力を得た。また京都市の芳野香さんには、フローテーションタンクの自作に全面的に協力して頂き、また氏との感覚遮断環境の身体論的意義などを始めとする多彩な議論は本研究を進める上でも大きな原動力となった。

また被験者として実験に参加して下さった方々のご協力があって初めて本研究の実験が可能となった。

経験も乏しく若輩者の筆者が、今日まで研究を続け、本論文を完成することができたの

も、こうした方々との交流があったのであった。ここに深く感謝の意を表します。

そして、北陸先端科学技術大学院大学の小谷一孔先生には本論文の審査員としていくつかの研究上の本質的な問題点を指摘して頂き、また指導教官の下平博先生、副指導教官の嵯峨山茂樹先生には、筆者の時に手際の悪い研究作業にも関わらず、私的な時間をも割いて丁寧なご指導を頂き、誠に有難うございました。

最後に、前指導教官の木村正行先生には、筆者が強く希望したとは言え非常に困難な研究テーマを認めて頂き、また筆者の卒業が予定より遅れたにも関わらず、教授退官後も最後までご指導・ご支援を頂き、また激励して頂きまして、誠に有り難うございました。

参考文献

- [1] Barabasz A, Baer L, Sheehan D V, and Barabasz M. Effects of hypnosis and restricted environmental stimulation therapy (rest) on chronic smoking. In Sanchez-Sosa J J, editor, *Health and clinical psychology*, pages 237–250. Elsevier Science Publishers, 1985.
- [2] Rechtschaffen A and Kales A, editors. *A manual of standardized terminology, technique and scoring system for sleep stages of human subjects*. Public Health Service, U.S. Government Printing Office, 1968.
- [3] Vernon J A. *Inside the black room*. Potter, 1964.
- [4] Vernon J A and McGill T E. Sensory deprivation and pain thresholds. *Science*, 133:330–331, 1961.
- [5] Vernon J A and Hoffman J. Effects of sensory deprivation on learning rate in human beings. *Science*, 123:1074–1075, 1956.
- [6] Vernon J A, Marton T, and Peterson E. Sensory deprivations and hallucinations. *Science*, 133:1808–1812, 1961.
- [7] Lilly J C. Mental effects of reduction in ordinary levels of physical stimuli on intact healthy persons. *Psychiatric Research Reports*, 5:1–28, 1956.
- [8] Lilly J C and Shurley J T. Experiments in solitude in maximum achievable physical isolation with water suspension of intact, healthy person, 1958. Paper read, in part, at the Symposium on Sensory Deprivation, Harvard University Medical School, Boston.

- Cited by Brownfield C A. Sensory deprivation' a comprehensive survey. *Psychologia*, 7:76, 1964.
- [9] Wallbaum A B C, Rzewnicki R, Steel H, and Suedfeld P. Progressive muscle relaxation and restricted environmental stimulation therapy for chronic tension headache: A pilot study. *International Journal of Psychosomatics*, 28(1-4):33–39, 1991.
- [10] DiRito D. Motivational factors in alcohol consumption: Extending hull's model. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation : New developments and perspectives*, pages 157–162. Springer-Verlag, 1993.
- [11] Goldstein D D and Jessen W E. Flotation effect on premenstrual syndrome. In Turner J W and Fine T H, editors, *Restricted environmental stimulation : Research and Commentary*, pages 260–273. The Medical College of Ohio Press, 1990.
- [12] Wexler D, Mendelson J, Leiderman P H, and Solomon P. Sensory deprivation: a techniuie for studying psychiatric aspects of stress. *Archive of Neurological Psychiatry*, 79:225, 1958.
- [13] Ballard E. Rest in the treatment of persistent psychophysiological insomnia. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation : New developments and perspectives*, pages 187–204. Springer-Verlag, 1993.
- [14] Kserinsky E and Kleitman N. Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena during sleep. *Science*, 118:273–274, 1953.
- [15] Barabasz A F. Effects of hypnosis and perceptual deprivation on vigilance in a simulated radar target detection task. *Perceptual and Motor Skills*, 50:19–24, 1980.
- [16] Barabasz A F. Enhancement of military pilot reliability by hypnosis and psychophysiological monitoring: In-flight and simulator data. In *Aviation, Space and Environmental Medicine*, pages 248–250. ., 1985.
- [17] Crick F and Mitchison G. The function of dream sleep. *Nature*, 304:111–114, 1983.

- [18] Bexton W H, Heron W, and Scott T H. Effects of decreased variation in the sensory environment. *Canadian Journal of Psychology*, 8:70–76, 1954.
- [19] Brownfield C H. *Isolation' Clinical and experimental approaches*. Random House, 1965.
- [20] Camberari J. *The effects of sensory isolation on suggestible and non-suggestible psychology graduate students*. PhD thesis, University of Utah, 1958.
- [21] Barabasz M. Rest: A key facilitator in the treatment of eating disorders. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation : New developments and perspectives*, pages 121–126. Springer-Verlag, 1993.
- [22] Barabasz M and Barabasz A F. Treatment of trichotillomania and smoking with hypnosis and rest. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation : New developments and perspectives*, pages 145–156. Springer-Verlag, 1993.
- [23] Barabasz M, Barabasz A F, and Dyer R. Chamber rest reduces alcohol consumption: 3, 4, 12, and 24 hours sessions. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation : New developments and perspectives*, pages 163–173. Springer-Verlag, 1993.
- [24] Nakao M, Sawada M, Matsushita Y, Katayama N, Yamamoto M, and Munakata M. Characterization of multivariate cardiovascular dynamics during head-up tilting based on kullback-leibler divergence. In *Proceedings of the 19th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pages 7.4.0–PB041, 1997.
- [25] Steriade M and Hobson J A. Neural activity during the sleep-waking cycle. In Kerkut A and Phillis J W, editors, *Progress in Neurobiology*. Pergamon Press, 1976.
- [26] Terashima M, Okada T, Ohta T, Hishikawa Y, Iijima S, Sugita Y, Kobayashi T, Fukuda H, and Shirakawa S. Comparison of sleep stage scoring between laboratories. *Folia Psychiatria et Neurologia Japonica*, 39:215, 1985.
- [27] Schultz D P. *Sensory restriction: Effects on behavior*. Academic Press, 1965.

- [28] Solomon P, Kubzansky P E, Leiderman P H, Mendelson J H, Trumbull R, and Wexler D, editors. *Sensory deprivation*. Harvard University Press, 1961.
- [29] Solomon P, Leiderman H, Mendelson J, and Wexler D. Sensory deprivation; a review. *American Journal of Psychiatry*, 114:357–363, 1957.
- [30] Suedfeld P. Sensory deprivation used in the reduction of cigarette smoking: Attitude change experiments in an applied context. *Journal of Applied Social Psychology*, 3:30–38, 1973.
- [31] Suedfeld P, editor. *Restricted environmental stimulation: Research and clinical applications*. Wiley, 1980.
- [32] Suedfeld P. Restricted environmental stimulation and smoking cessation: A 15-year progress report. *The International Journal of the Addictions*, 25(8):861–888, 1990.
- [33] Suedfeld P and Ikard F F. Attitude manipulation in restricted environments: Iv. psychologically addicted smokers treated in sensory deprivation. *British Journal of Addiction*, 68:170–176, 1973.
- [34] Suedfeld P and Ikard F F. The use of sensory deprivation in facilitating the reduction of cigarette smoking. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 42:888–895, 1974.
- [35] Suedfeld P, Grisson, and Vernon J A. The effects of sensory deprivation and social isolation on the performance of an unstructured cognitive task. *American Journal of Psychology*, 77:111–115, 1964.
- [36] Zubek J P, editor. *Sensory deprivation: fifteen years of research*. Appleton-Century-Crofts, 1969.
- [37] Dyer R, Barabasz A F, and Barabasz M. Twenty-four hours of chamber rest produces specific food aversions in obese females. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation : New developments and perspectives*, pages 127–144. Springer-Verlag, 1993.

- [38] Rzewnicki R, Wallbaum A B C, and Suedfeld P. Rest for muscle contraction headaches: A comparison of two rest environments combined with progressive muscle relaxation training. In Turner J W and Fine T H, editors, *Restricted environmental stimulation : Research and Commentary*, pages 245–254. The Medical College of Ohio Press, 1990.
- [39] Cerutti S et al. Compressed spectral arrays for the analysis of 24-hr heart rate variability signal: enhancement of parameters and data reduction. *Computers and Biomedical Research*, 22:424–441, 1989.
- [40] Kitamura S, Nagatsuka Y, Maruyama K, Sato I, Ohyama M, and Ohkubo Y. Studies on sensory deprivation : I, preliminary studies. *Tohoku Psychologica Folia*, 22:1–39, 1963.
- [41] Kitamura S, Nagatsuka Y, Kokubun O, Suzuki Y, Hariu T, Ueno H, Kato T, Saito S, and Ohkubo Y. Studies on sensory deprivation : Ii. *Tohoku Psychologica Folia*, 22:57–89, 1964.
- [42] Kitamura S, Ohkubo Y, Kokubun O, Sato I, Ohyama M, Oyamada T, Suzuki Y, Fujii K, Onizawa T, Ueno H, Toda H, and Kobayashi H. Studies on sensory deprivation : Iv. *Tohoku Psychologica Folia*, 24:1–37, 1965.
- [43] Kitamura S, Ohkubo Y, Nagatsuka Y, Ueno H, Toda H, Oyamada T, Sato I, Kokubun O, and Ohyama M. Studies on sensory deprivation : Iii. *Tohoku Psychologica Folia*, 23:53–81, 1965.
- [44] Fine T, Mills D, and Turner J. Differential effects of wet and dry flotation rest on eeg frequency and amplitude. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation: New developments and perspectives*, pages 205–213. Springer-Verlag, 1993.
- [45] Fine T and Borrie R. Flotation rest in applied psychophysiology. unpublished manuscript: available at URL: <http://www.concentric.net/~tfine/>.
- [46] Shurley J T. Profound experimental sensory isolation. *American Journal of Psychiatry*, 117:539–545, 1960.

- [47] Tart C T. *States of Consciousness*. E.P.Dutton, 1975.
- [48] McGrady A V, Turner J W, Fine T H, and Higgins J T. Effects of biobehaviorally-assisted relaxation training on blood pressure, plasma renin, cortisol, and aldosterone levels in borderline essential hypertension. *Clinical Biofeedback & Health*, 10(1):16–25, 1987.
- [49] Dement W. The occurrence of low voltage, fast eeg patterns during behavioral sleep in the cat. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 10:291–296, 1958.
- [50] Dement W and Kleitman N. Cyclic variations in eeg during sleep and their relation to eyemovements, body motality, and draming. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 9:673–690, 1957.
- [51] Heron W. The pathology of boredom. *Scientific American*, 196:52–56, 1957.
- [52] Heron W. Cognitive and physiological effects of perceptual isolation. In Solomon P, Kubzansky P E, Leiderman P J, Mendelson J H, Trumbull R, and Wexler D, editors, *Sensory deprivation*, pages 6–33. Harvard University Press, 1961.
- [53] Heron W, Bexton W H, and Hebb D O. Cognitive effects of a decreased variation in the sensory environment. *American Psychologist*, 8:366, 1953. Abstract.
- [54] Heron W, Doane B K, and Scott T H. Visual disturbances after prolonged perceptual isolation. *Canadian Journal of Psychology*, 10:13–18, 1956.
- [55] Turner J W, DeLeon A, Gibson C, and Fine T H. Effects of flotation rest on range of motion, grip strength and pain in rheumatoid arthritics. In Barabasz A F and Barabasz M, editors, *Clinical and experimental restricted environmental stimulation : New developments and perspectives*, pages 297–336. Springer-Verlag, 1993.
- [56] Turner J W and Fine T H. Hormonal changes associated with restricted environmental stimulation therapy. In Suedfeld P, Turner J W, and Fine T H, editors, *Restricted environmental stimulation : theoretical and empirical development in flotation REST*, pages 71–92. Springer-Verlag, 1990.

- [57] Turner J W and Fine T H. Restricted environmental stimulation influences variability and levels of plasma cortisol. *Journal of Applied Physiology*, 70(5):2010–2013, 1991.
- [58] Turner J W and Fine T. Effects of relaxation associated with brief restricted environmental stimulation therapy (rest) on plasma cortisol, acth, and lh. *Biofeedback and Self-Regulation*, 9:115–126, 1983.
- [59] Turner J W and Fine T. The use of restricted environmental stimulation therapy (rest) in the treatment of essential hypertension. In Fine T H and Turner J W, editors, *First International Conference on REST and Self-Regulation*, pages 136–143, 1983.
- [60] Turner J W, Fine T, Ewy G, Sershon P, and Frelich T. The presence or absence of light during flotation restricted environmental stimulation : Effects on plasma cortisol, book pressure and mood. *Biofeedback and Self-Regulation*, 14:291–300, 1989.
- [61] Niiyama Y, Sekine A, Fushimi M, and Hishikawa Y. Marked suppression of cortical auditory evoked response shortly before the onset of rem sleep. *Neuroreport*, 8(15):3303–3308, 1997.
- [62] 阿住一雄. 成人の睡眠. In 日本睡眠学会, editor, *睡眠学ハンドブック*, chapter I-3.2. 朝倉書店, 1994.
- [63] 井上昌次郎. 脳と睡眠 : ヒトはなぜ眠るか. *ブレインサイエンス・シリーズ 7*. 共立出版, 1989.
- [64] 江部充 and 本間伊佐子. *図解脳波テキスト*. 文光堂, 第 2 版 edition, 1989.
- [65] 坂元慶行, 石黒真木夫, and 北側源四郎. *情報量統計学*. *情報科学講座 A・5・4*. 共立出版, 1983.
- [66] 榊原進. *ウェーブレット ビギナーズガイド*. 東京電機大学出版局, 1995.
- [67] 時実利彦. *目でみる脳 : その構造と機能*. 東京大学出版会, 1969.
- [68] 清水加代子, 林輝美, 平賀旗夫, et al. *臨床生理学*. 医学書院, 2 edition, 1987.

- [69] 大熊輝雄. 感覚遮断:その生理学的・心理学的・精神医学的側面. 精神医学, 4(10):687-703, 1962.
- [70] 大熊輝雄. 睡眠研究発展の歴史. In 日本睡眠学会, editor, 睡眠学ハンドブック, chapter I-0.1. 朝倉書店, 1994.
- [71] 長塚康弘. Sensory deprivation の研究. 心理学研究, pages 44-59, 1966.
- [72] 日本睡眠学会, editor. 睡眠研究の方法:生理学的研究法-睡眠ポリグラフ検査, chapter V-1. 朝倉書店, 1994.
- [73] 北村晴朗. 感覚遮断. 精神医学, 5(5):291-296, 1965.
- [74] 北村晴朗. 環境刺激削減の心理学—研究小史. In 北村晴朗 and 大久保幸郎, editors, 刺激のない世界:人間の意識と行動はどう変わるか, pages 1-23. 新曜社, 1986.
- [75] 北村晴朗 and 大久保幸郎, editors. 刺激のない世界:人間の意識と行動はどう変わるか. 新曜社, 1986.
- [76] 鈴木賢. レム睡眠時脳波の計測とダイナミクス解析に関する研究. Master's thesis, 東北大学大学院情報科学研究科, 1999.

本研究に関する発表論文

- [1] 岩田一樹, 山本光璋, 中尾光之 and 木村正行. 感覚遮断時のポリソムノグラムと主観的体験報告について. 日本睡眠学会 第 23 回学術集会, 1998.6. (ポスター発表)
- [2] 岩田一樹, 山本光璋 and 中尾光之. 感覚遮断下のイメージ体験時および睡眠時ポリソムノグラムの比較. 第 28 回日本脳波・筋電図学会学術大会, 1998.11. (口頭発表)
- [3] Kazuki Iwata, Mitsuyuki Nakao, Mitsuaki Yamamoto and Masayuki Kimura. Differentiation of physiological states under sensory deprivation based on distance measure of biosignal dynamics. The 3rd International Workshop on Biosignal Interpretation (BSI99), Chicago, USA, 1999.6. (ポスター発表)
- [4] 岩田一樹, 山本光璋, 中尾光之 and 木村正行. 心拍変動および脳波ダイナミクスによる感覚遮断環境下の生理的状態の差異化. 日本睡眠学会 第 24 回学術集会, 1999.6. (ポスター発表)
- [5] 岩田一樹, 山本光璋 and 中尾光之. 感覚遮断下のイメージ体験時および睡眠時ポリソムノグラムの比較. 「脳波と筋電図」, 27(2):207, 1999. (要旨)
- [6] Kazuki Iwata, Mitsuaki Yamamoto, Mitsuyuki Nakao and Masayuki Kimura. A Study on Polysomnographic Observations and Subjective Experiences under Sensory Deprivations. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 53(2):129-131, 1999.
- [7] Kazuki Iwata, Mitsuyuki Nakao, Mitsuaki Yamamoto and Masayuki Kimura. Differentiation of physiological states under sensory deprivation based on distance measure of biosignal dynamics. *Methods of Information in Medicine*, Special issue, 2000. (in press)