

睡眠障害をもった高齢者における ニューロフィードバックトレーニングの効果について

The effect of neurofeedback training on the elderly with sleep disorders

○良峯 徳和* 志賀 敏宏* 久恒 啓一* 張 琪* (○研究代表者)
Norikazu Yoshimine Toshihiko Shiga Keiichi Hisatsune Qi Zhang

Abstract : Eleven elderly people with sleep problems recorded their daily sleep status with a sleep meter for about three months. After living normally for the first month, they practiced a breathing method that encourages awakening in the daytime and a breathing method that encourages relaxation before going to bed while observing the state of one's own electroencephalogram. We conducted neurofeedback trainings with a qEEG electroencephalograph every two weeks for four people with serious sleep disorders. We analyze how these practices changed the initial quality and quantity of sleep, and report the results.

Keywords : EEG, QOL, Sleep disorder, Dementia Prevention, qEEG, sLoreta, Meditation, Breathing Technique, Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J)

1. はじめに

今回行った調査・実験研究の主な目的は、脳波計を使った瞑想法および脳波を使ったフィードバックトレーニングが睡眠の質・量にどのような効果を与えるかを調べることである。これから日本は超高齢化社会を迎える。しかも、高齢者人口のうち15%が認知症(462万人)、85歳以上では40%が認知症患者と推定され、今後その割合は上昇し、2025年には認知症患者数が約700万人に増加すると推定されている。高齢者が過度に医療や介護に依存せず、一般的な家庭環境やデイケアサービスの範囲内で健康な生活を送れるような早期の支援体制を整えることが、国全体のQOL(生活の質)を維持するうえで、とても重要な課題といえよう。

加齢に伴い、睡眠力が衰え、睡眠時間は短く、眠りは浅くなる。高齢になるほど自分で眠る力を養うことが必要になる。睡眠を促したり、睡眠を継続させるための医薬品が次々と開発され、それらを適切に処方することで睡眠の質・量はかなり改善されてきているが、まだまだ1

* 多摩大学経営情報学部 School of Management and Information Sciences, Tama University

人1人に適切な処方を行うことが難しく、副作用が生じるケースも多い。できるならば、医薬品に頼らず、自分自身で平易に楽しく睡眠の質や量を維持・向上させる方法を見つけることが大切だと考え、今回の実験研究を企画した。

2. 高齢者の睡眠事情

2.1 統計から見た高齢者の睡眠事情

平成30年11月に実施された厚生労働省の「国民健康・栄養調査」によると、睡眠で休養が十分にとれていない人は全体の21.7%、睡眠が6時間未満の人は男性の36.1%、女性の34.7%であった。年次変化をみてみると、平成19年以降、徐々に睡眠時間が6時間未満の人口割合が増え始め、平成27年に39.5%を記録したのち、ほぼ横ばいで推移している（図1）。

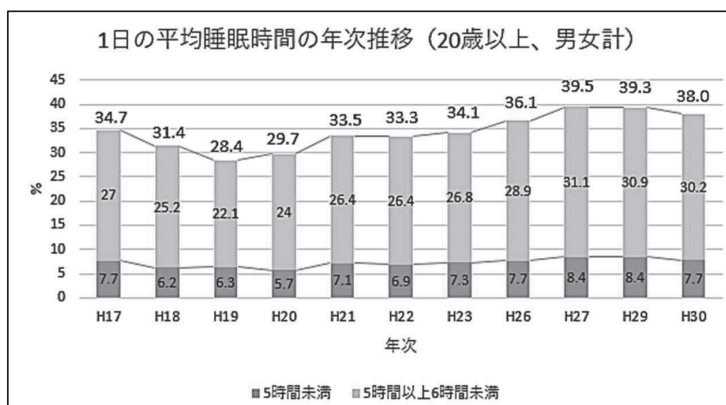


図1：1日の平均睡眠時間の年次推移 (20歳以上、男女計)¹

また、睡眠が十分にとれていないと感じている人たちの年代別割合の推移を見てみると、ほぼすべての年齢層について、平成24年以降、割合が増加していることがわかる。60歳以上でみると、27.5%が十分な睡眠がとれていないと感じている（図2）。

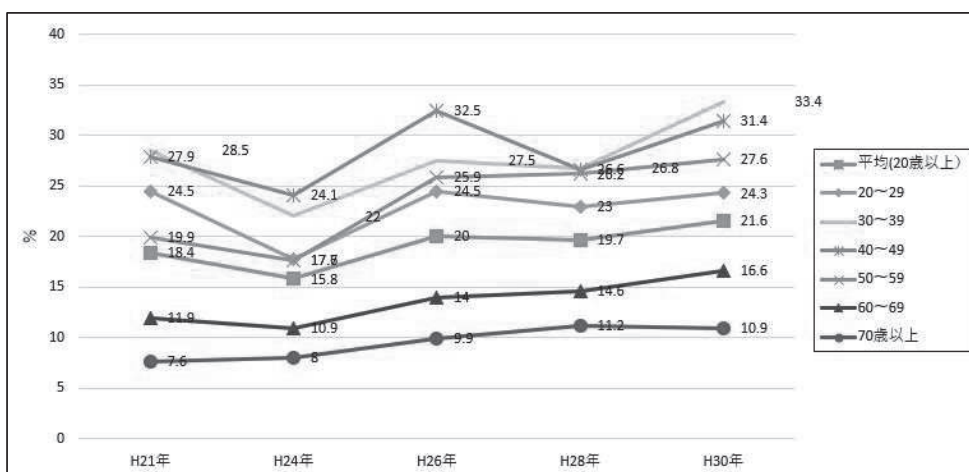


図2：睡眠が十分にとれていないと感じている割合の年代別推移²

¹ 厚生労働省：「国民健康・栄養調査」平成17年～平成30年の結果からまとめたもの。

² 厚生労働省：「国民健康・栄養調査」平成17年～平成30年の結果からまとめたもの。ここで「睡眠が十分にとれていないと感じている」とは、睡眠が「あまりよくとれていない」「まったくとれていない」の数値を合計したものである。

さらに、年代別で睡眠時間が6時間未満の割合と睡眠が不十分と感じている割合を比較してみると、実際に6時間未満の睡眠しかとれていない割合は、50～60歳で19%、60～70歳で11%、70歳以上で8%、合計で38%であるにもかかわらず、睡眠が不十分と感じている割合はそれぞれ、21%、15%、11%、合計で47%と、ほぼ半数に達しようとしている。逆に、20歳から40歳代までは、睡眠時間が6時間未満の割合が62%であるにもかかわらず、睡眠が不十分と感じている割合が53%と少なくなっている。

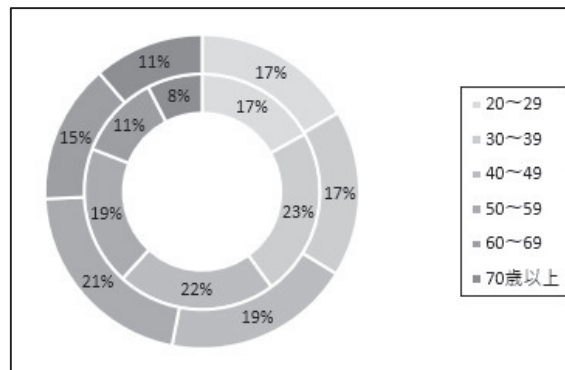


図3：睡眠時間が6時間未満の年齢別割合（内側）と睡眠が不十分と感じている年齢別割合（外側）³

ここから読み取れるのは、50歳という年齢を超えると、実際の睡眠時間以上に睡眠に対する主観的な満足度が低くなるということである（図3）。これは、加齢とともに徐々に「夜寝つきが悪い（入眠障害）」、「眠りを維持できない（中途覚醒）」、「朝早く目が覚める（早朝覚醒）」、「眠りが浅く十分眠った感じがしない（熟眠障害）」などの不眠もしくは睡眠障害の症状が増加してくることと関係している。図4のグラフで示されるように、こうした睡眠障害の症状は20～30代から始まり、40～50代、60代以降と急激に増加していきることが分かる。

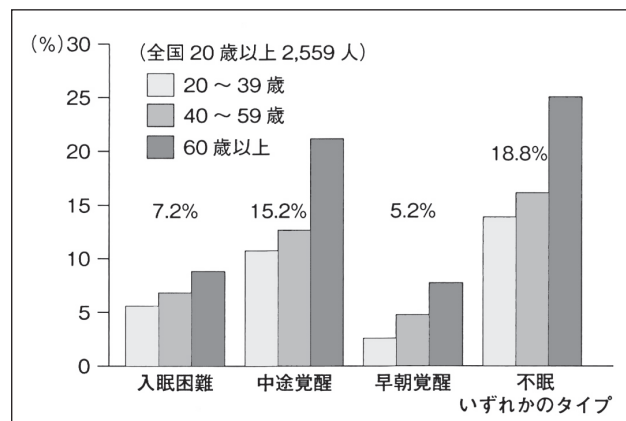


図4：年齢層と睡眠障害の割合（内山, 2019, p.69）

また、こうした一般的な不眠症の症状以外に、睡眠時無呼吸症候群（Sleep Apnea Syndrome: SAS）、むずむず脚症候群（Restless Legs Syndrome: RLS）、睡眠時頻尿（Nuctria: NU）などの睡眠障害においても、高齢者では一般人口と比較してその有病率が高いことが報

³ 厚生労働省：「国民健康・栄養調査」平成30年の結果からまとめたもの。

告されている（影山，他，2000）。生活習慣病やうつ病と睡眠障害との関連、睡眠時間と死亡率との関連、また高齢者における日中の眠気や仮眠が、虚血性心疾患やうつ病の罹患および死亡率と関連があることなども報告されており（小曾根・黒田・伊藤，2012；小路，他，2004；亀井，2004）、高齢者の睡眠障害に対する予防対策がますます重要になってくると考えられる。

2.2 睡眠の段階：レム睡眠とノンレム睡眠

今回の実験研究では、脳波を測定し、脳波を使ったフィードバックトレーニングによって、高齢者の睡眠の状態を向上させることができるかどうか为主要なテーマの一つであるので、睡眠と脳波の関係について、ごく簡単に述べておく。

一般に睡眠時の脳波状態は、入眠から浅くなったり（レム睡眠時：睡眠段階 A）深くなったり（ノンレム睡眠時：睡眠段階 1～4）しながら、いくつかの段階（ステージ）を経過し、覚醒に至る。「レム睡眠」の REM とは Rapid Eye Movement のことで、このときまぶたが左右に急速に動く眼球運動が認められることから、そう名付けられている。その特徴は：

- ① 急速眼球運動があらわれること、
- ② 脳波が入眠期から軽睡眠期に似たパターンを示すこと、
- ③ 身体の姿勢を保つ筋肉（抗重力筋、姿勢筋）の緊張がほとんどなくなること、
- ④ 感覚刺激を与えても目覚めにくい、
- ⑤ 脈拍、呼吸、血圧など自律神経機能が不規則に変化する、
- ⑥ この時期に眠りについている人を起こすと 80%以上の人が夢を見ている、
などがあげられる。

レム睡眠はヒトの睡眠全体の約 20%を占めるが、新生児では 50%ほどを占め、その後成長するにつれ減少していく。脳は働いているが、身体の筋肉がゆるんでいることから、身体の睡眠ともよばれている。

これに対し、ノンレム睡眠の特徴としては：

- ① 入眠期の浅い睡眠段階ではゆっくりと揺れるような眼球運動がみられるが、その後、睡眠が深くなると眼球の動きは停止する、
- ② 脳波は活動が低下し、周波数が遅くなる、
- ③ 身体の筋肉の緊張は保たれ、
- ④ 脈拍、血圧、呼吸が安定し、
- ⑤ この時期に眠っている人を起こそうとすると、目覚めが悪く、夢を見ていることは少ない、
- ⑥ 成長ホルモンの分泌や蛋白同化が行われ、免疫機能が増強される、

などがあげられる。ノンレム睡眠時には大脳の活動が大きく低下し、大脳の睡眠ともよばれる。

一晩の間にレム睡眠とノンレム睡眠が 4～5 回交互に出現し、1 回のレム睡眠とノンレム睡眠を合わせると、約 90 分になるといわれる。また、もっとも深い睡眠を示す睡眠段階 3～4（ゆっくりとした脳波が見られることから徐波睡眠ともいう）は、睡眠の前半に集中して出現し、最初の 3 時間で一晩の深い眠りの 80～90%を占める。それに対し、睡眠段階 2 とレム睡眠は、睡眠の後半に多い。

2.3 睡眠障害と自律神経系のバランス

「なかなか眠れない」「途中で目が覚める」「早く目が覚める」「眠りが浅くて寝た感じがしな

い」など、不眠症に陥りがちな人の場合、その主たる原因は自律神経機能の乱れである場合が多い。睡眠と自律神経には密接な関係があり、睡眠の際にはリラックスする自律神経である副交感神経系が優勢に働く。目覚めて活動モードに入ると、交感神経系が優勢に作用する。この交換神経系と副交感神経系の切り替えがうまく行われないと、就寝時にも「交感神経系」が優位になったままで、眠りの状態に入りづらくなる。自律神経にこうした乱れが生ずると、本来、睡眠時にはあまり分泌されないストレスホルモンのコルチゾールが分泌され、覚醒状態に導いてしまうことがある。これがさまざまな不眠症の症状を引き起こす。

人間には朝起きて、日中に活動し、夜に就寝するという一定の生活リズムがある。これを概日リズムというが、これによって人間の体温も「朝は低く、日中に高くなり、夜は低くなる」という一定のリズムを持つ。体温の変化と自律神経系も密接に関連しており、交感神経が優位になると体温は上昇し、副交感神経が優位になると体温は下降する。逆に体温が上昇すると、交感神経が優位になりやすく、体温が下降すると副交感神経が優位になりやすくなる。自律神経が乱れると、体温調節機能が衰え、睡眠時に体温がうまく下がりがらず、体温とりわけ深部体温と呼ばれる身体の内部の温度が高い状態のままになる。これによって交感神経系が優位になり、不眠状態が生み出されることになる。

眠気は、睡眠ホルモンの一種である「メラトニン」が分泌されることで生じるとされる。通常、夕方から夜にかけて多くメラトニンが分泌されることで副交感神経が活発になり、心拍や体温、血圧が低くなり、睡眠に至る。また朝の太陽の光と反応することでメラトニンが消失し、覚醒に導かれる。メラトニンの分泌も自律神経系と密接に関係しているため、自律神経系が乱れると、メラトニンがうまく分泌されず、副交感神経系が優位にならず、「寝付けない」「寝ても寝ても眠い」状態を生み出すことになる。

2.4 高齢者の睡眠の特徴とその要因

睡眠パターンは時間の経過だけでなく、世代によっても変化する。子供の場合では深く質の良い睡眠となっているが、年齢と共に深いノンレム睡眠が減少し、高齢者の場合では浅いノンレム睡眠が多くなり、中途覚醒が目立ってくる。同時にレム睡眠も減少する。

高齢者の睡眠には、一般に若年者と異なる以下のような特徴が見られる（表1）。

表1：加齢に伴う睡眠の変化（小曾根・黒田・伊藤，2012，p.267）

- 夜間の総睡眠時間の減少
- 睡眠開始の遅延
- 概日リズムの位相の全身：就床、起床時刻が早まる
- 徐波睡眠の減少
- REM睡眠の減少
- 睡眠からの覚醒閾値の低下
- 頻回の覚醒を伴う睡眠の分断化
- 午睡の増加による多相性睡眠化

徐波というのは、脳波の周波数分析によって得られるシータ（ θ ）波（4～8Hz）、デルタ（ δ ）波（0.5Hz～4Hz）のような周波数が小さく、ゆっくり振動する脳波成分のことである。図5は、

健常者におけるさまざまな睡眠段階における典型的な脳波の振幅を表したものである。ノンレム睡眠の第1段階から徐波のシータ波が顕著になり始め、第3～第4段階になると、デルタ(δ)波が脳波全体の20%を超え、さらに50%以上を占めるようになってくる。

しかしながら、図6に示されるように、高齢者においては一般成人に比べて、第3段階および第4段階のノンレム睡眠への移行が起こりにくくなっており、中途覚醒が起こりやすく、したがって睡眠効率低下する。ノンレム睡眠が減少した結果、睡眠前半ではレム睡眠が起きやすくなるが、逆に睡眠の後半ではレム睡眠の持続性が低下することが指摘されている(小曾根, 他, 2012, p.268)。

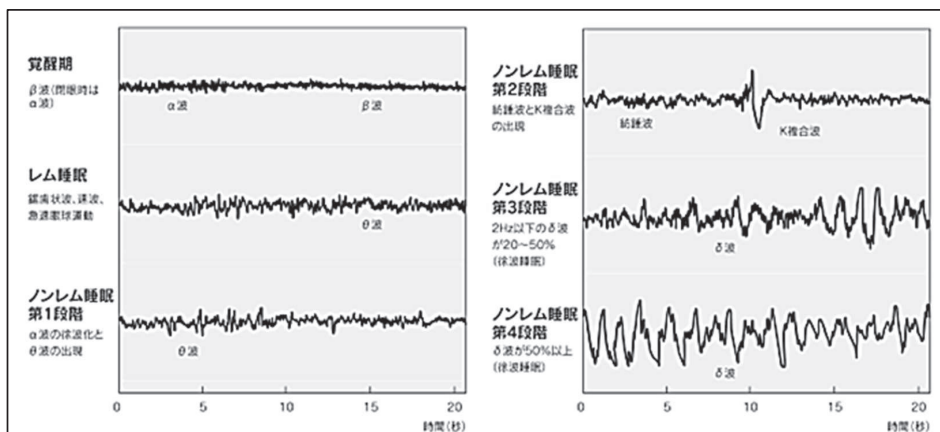


図5：健常者における様々な睡眠段階の脳波の特徴(櫻井, 2017)

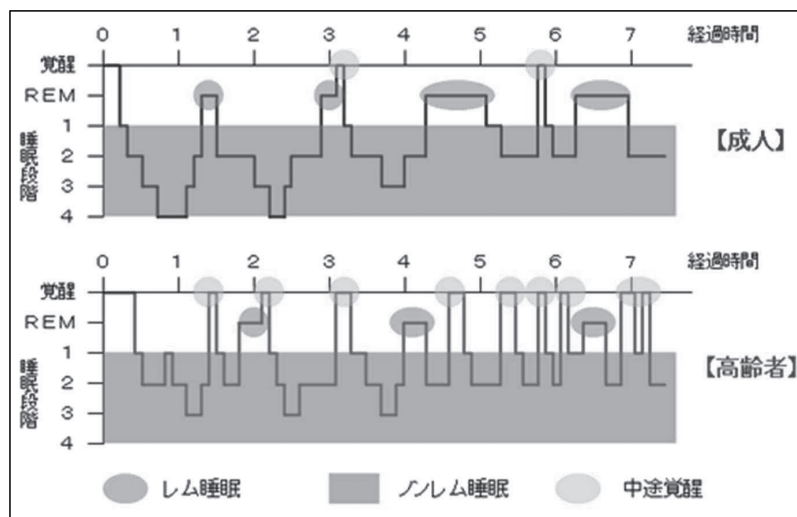


図6：世代別の睡眠段階における睡眠状態の変化(日本看護学校協議会共済会ホームページ)

このような睡眠パターンの変化、不規則化の原因について、加齢による「脳代謝の低下などによる睡眠欲求の低下」があげられる(Carskadon & Dement, 1985; Bonnet & Rosa, 1987)一方で、脳波の発生源となる健常な脳内ニューロンが加齢によって減少し、高睡眠中の徐波(ノンレム)睡眠が減少したためとする見解もある(Crowley, 2011)。脳波波形の中でも、特に睡眠中に顕著となる高振幅デルタ(δ)波の形成には、数多くの健常なニューロンの同期活動が必要となる。加齢による脳内ニューロンの減少が睡眠中の脳波に影響を与え(小曾根 他, 2012, p.267)、深いノンレム睡眠の維持が困難になることが、加齢による睡眠力の低下の一因

だと考えられる。

2.5 認知症と睡眠障害との関係

近年、11時すぎまで起きている75歳以上の人では、それ以前に入眠する人に比べ、約1.83倍の認知症リスクを持つという調査結果が公表された（中窪・土井・堤本，2018；朝日新聞，2018年6月13日朝刊）。一方で、アルツハイマー型認知症患者の40～50%、血管性認知症やレビー小体型認知症患者ではその8割以上に何らかの睡眠障害が認められるという（水上，2015；Guarnieri, Adomi, Musicco, et al., 2012）。したがって、睡眠不足や睡眠障害の症状がなく、脳血管の病気などが原因で認知症を発症した場合でも、結果として睡眠障害を併発してしまう可能性が高いことになる。

このように睡眠不足や睡眠の質の低下と認知症との間には密接な関係があることが明らかになってきた。睡眠不足や睡眠障害の場合、脳内に徐々に「アミロイドβ」というたんぱく質が沈着し、それが増えることで脳細胞が死滅、アルツハイマー型の認知症が発症する可能性が高まるとされる（例えば、Nedergaard & Goldman, 2013；Xie, Xu, et al., 2013；新堂，2019）。入眠困難や中途覚醒、早朝覚醒など、睡眠が不安定な人は、睡眠が安定している人に比べてアミロイドβの蓄積が5.6倍という調査結果もある（Ju, Toedebusch, Mclelland, et al., 2013）。アミロイドβのような老廃物は、覚醒中に脳内で生み出され、睡眠中にはグリア細胞などの働きによって静脈血管に廃棄されている。このような脳内の細胞から排出された老廃物を運び出して処理する脳内のリンパ系は「グリンパティック・システム（Glymphatic System）」と呼ばれる。睡眠の質や量が良くない場合には、脳内の老廃物が十分に廃棄されず、徐々に蓄積し、脳内環境の悪化を招き、認知症の原因になるとされる。さらに睡眠不足は、糖尿病や高血圧、うつ病になるリスクを高める（例えば、白川，2014；宮崎・北村・野田，2019）といわれており、高齢者が健康で長生きをするためには、早期に睡眠の質・量の適正化を行うことがますます重要になってくるだろう。

3. 実験手続き

3.1 告知および説明会、同意書の提出、実験スケジュール

多摩大学では学期中、ほぼ毎週1回の割合で学生および一般の聴講生を対象とした特別講座が開かれている。この講座を聴講するため、毎回約200人の一般参加者（その多くが50歳以上の高齢者）が多摩大学を訪れるが、その方々にパンフレットや講座の空き時間を通じて、「睡眠の質を高めて健康で長生きしましょう：脳波を利用して高齢者のQOLの向上を目指す実験」の実施と参加者募集の告知を行った。説明会では、プロジェクトに関心を持って参加された人に、あらかじめプロジェクトの概要、参加条件、参加期間、依頼内容、検査結果の開示、個人情報保護に関する説明、謝礼は支払わない由の説明を行い、さらに質疑応答を行った。実験スケジュールを図7に示す。

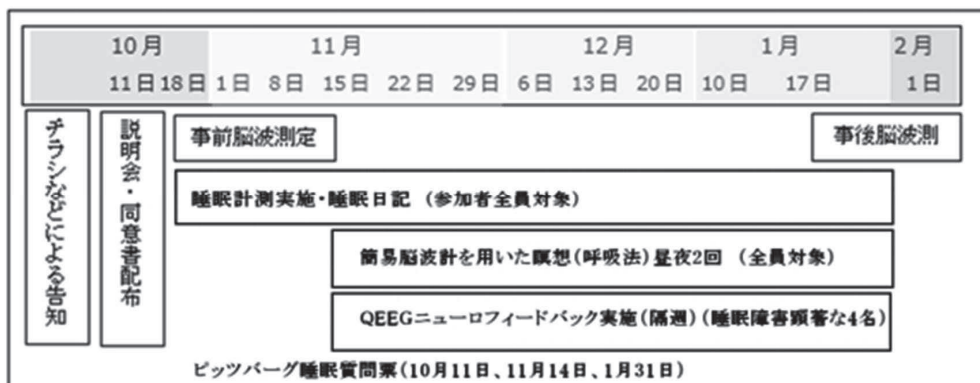


図 7：実験のスケジュール

3.2 参加者の構成およびおもな事前アンケート結果

瞑想実験に入る前に参加者の方（17名）に、実験研究の目的、概要、実験スケジュールの説明を行い、睡眠状況調査に一般的に使用される「ピッツバーグ睡眠質問票」調査を行った。「ピッツバーグ睡眠質問票」の質問内容は図8のようになっている。

過去1ヶ月間における、あなたの通常の睡眠の習慣についておたずねします。過去1ヶ月間について大部分の日の昼と夜を考えて、以下の質問項目にできる限り正確にお答えください。

問1 過去1ヶ月間において、通常何時ごろ寝床につきましたか？

問2 過去1ヶ月間において、寝床についてから眠るまでにどれくらい時間を要しましたか？

問3 過去1ヶ月間において、通常何時ごろ起床しましたか？

問4 過去1ヶ月間において、実際の睡眠時間は何時間くらいでしたか？

問5 過去1ヶ月間において、どれくらいの頻度で、以下の理由のために睡眠が困難でしたか？
 （なし / 1週間に1回未満 / 1週間に1-2回 / 1週間に3回以上）

(a) 寝床についてから30分以内に眠ることができなかった。
 (b) 夜間または早朝に目が覚めた。
 (c) トイレに起きた。
 (d) 息苦しかった。
 (e) 咳きが出たり大きないびきをかいた。
 (f) ひどく寒く感じた。
 (g) ひどく暑く感じた。
 (h) 悪い夢を見た。
 (i) 痛みがあった。
 (j) 上記以外の理由があった。

問6 過去1ヶ月間において、ご自分の睡眠の質を全体として、どのように評価しますか？
 非常によい / かなりよい / かなり悪い / 非常に悪い

問7 過去1ヶ月間において、どのくらいの頻度で、眠るために薬を服用しましたか？
 （医師から処方された薬あるいは薬屋で買った薬）
 なし / 1週間に1回未満 / 1週間に1-2回 / 1週間に3回以上

問8 過去1ヶ月間において、どれくらいの頻度で、車の運転や食事中、その他の社会活動中に、眠くて起きていられなくなりましたか？
 なし / 1週間に1回未満 / 1週間に1-2回 / 1週間に3回以上

問9 過去1ヶ月間において、物事をやり遂げるために必要な意欲を持続するのに、どのくらい問題がありましたか？
 全く問題なし / ほんのわずかな問題があった / いくらか問題があった / 非常に大きな問題があった

図 8：「ピッツバーグ質問票」の内容 (Buysse & Reynold, 1998; 日本語版は土井・箕輪・大川・内山, 1998)

ピッツバーグ睡眠質問票の評価（PSQIG）は、その点数が6以上の場合、その人の睡眠には何らかの問題があるとみなされる。図9は、最初の説明会で参加者17名に対して行ったピッ

ツバーク睡眠質問票の集計結果である。17名中4名はPSQIGの得点が5点以下だったため、実験参加を見送らせてもらった。その後2名の参加辞退があったため、実験参加者は11名となった。その年齢層、男女内訳は図10の通りである。この11名のうちPSQIGが9点から11点の7名の参加者をAグループとし、13点以上の4名をBグループとした。

実験参加が決まった11名に対し、2回目のミーティングを行い、以下の説明および機器類の使い方に関する講習を行った。

- ① 瞑想セッション前の精密な脳波測定：一連の瞑想セッションを始める前の脳波の状態を、19チャンネルqEEG脳波測定装置（qEEG脳波測定については後述）を使って、一人ずつ測定する。
- ② 睡眠測定装置を使用して睡眠状態を記録：最初の2週間は睡眠測定装置のうえでいつも通り寝てもらう。これまでの生活スタイルを維持してもらいながら、そのときの睡眠の状態を測定する。

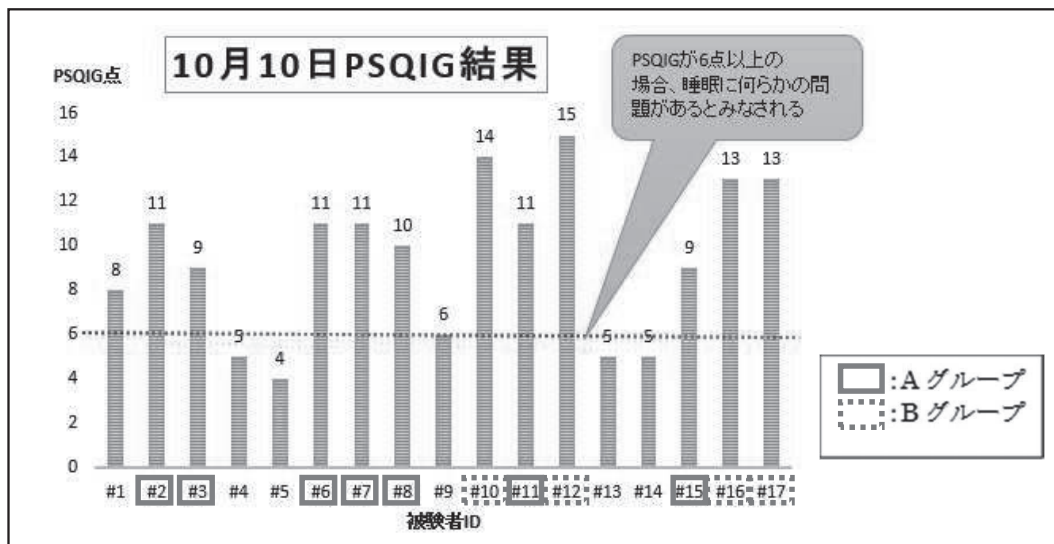


図9：PSQIGの集計結果（2019年10月10日）

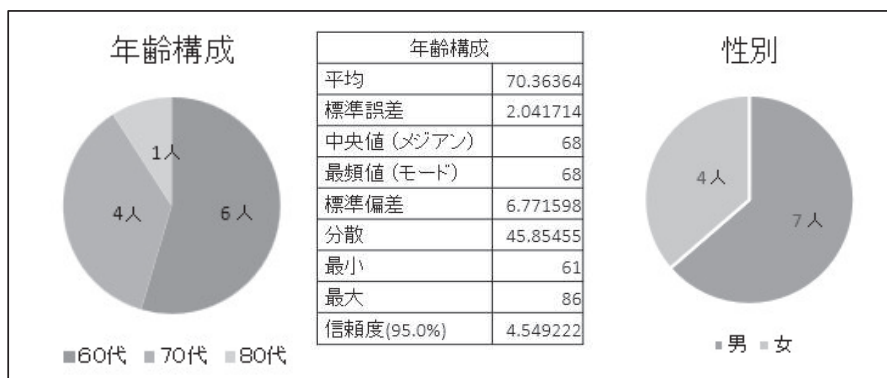


図10：実験参加者の内訳

- ③ 睡眠日記の記録：毎日の就寝時間、起床時間、睡眠時間、睡眠に関わる日常的な出来事やアルコール、カフェインの摂取の量などについて記録した睡眠日記をつけてもらう。

- ④ 日中および寝る前に脳波計を使った瞑想の実践：ほぼ毎日、日中と寝る前に脳波計を使った5～15分程度の瞑想（呼吸法）を実践してもらう。
- ⑤ 睡眠障害の顕著な参加者に脳波を使ったフィードバックトレーニングの実施：1回目の睡眠質問票の結果から、慢性的な睡眠不足や睡眠の質の低下が顕著な参加者（グループB）に、隔週で脳波トレーニング（ニューロフィードバックトレーニング）を実施。
- ⑥ 実験期間終了後のqEEG脳波測定：実験調査期間の終了後、参加者の脳波を再び精密なqEEG脳波計を使って測定。
- ⑦ ピッツバーグ睡眠質問票による実験後の睡眠状態の測定（瞑想、ニューロフィードバックなどの効果測定）

3.3 実験に使用した装置類について

3.3.1 睡眠計測器

今回の実験では、Nokia Sleep Analyzer という睡眠計測器を用いた（図11）。これはセンサーマットをベッドの下にひいておくだけで、睡眠を、睡眠時間、睡眠の深さ、睡眠の規則性、睡眠の中断、眠るまでの時間、起きるまでの時間という6つの要素から、每晚100点満点で評価⁴してくれる。すでにみたように、一般に睡眠は、眠り始めのレム睡眠から、徐々に深くなって最も深いノンレム睡眠に至るまで、4つの段階を経過するとされるが、この睡眠測定器では、ノンレム睡眠の状態を3つの段階に分けて、測定、記録するため、一般的な睡眠状態のプロセスをほぼ忠実に確認することができる。加えてこの計測器は、睡眠中の心拍数、呼吸数、いびきをかいている時間、睡眠中の呼吸の乱れなども自動で記録してくれる。この記録を毎日モニターし、自分の睡眠状態を自覚反省するだけでも、ある程度、睡眠の質や量の向上が期待できるようになっている。



図11：Nokia Sleep Analyzerのセンサーマット（左）とデータ表示アプリ（右）

3.3.2 qEEG脳波計

今回の実験で脳波の精密測定に使用した機器は、BrainMaster社Discovery20というqEEG

⁴ 睡眠の評価については睡眠専門医によるアルゴリズムに基づくこととされ、具体的な方法や数式については非公開となっている。

対応の脳波計である（図12）。qEEGとは、quantitative Electroencephalographyの略語で「定量的脳波」という意味である。使用するBrainAvatarというソフトウェアは、国際基準である10-20法にのっとって頭皮上の19カ所に設置した電極からの脳波信号を測定、グラフ表示して記録するとともに、脳波信号に高速周波数解析（FFT）などを施し、電極位置間の脳波活動の同期性や結合性、非対称性などを2次元マップで表示したり、脳波データの解析から頭皮のみならず、脳深部の脳波状態を推定し、3次元脳モデルとして表示するsLORETA機能などを備えている。加えてこれらの機材は、脳の状態に応じて、適宜、光や音、動画を変化させ、クライアントに報酬刺激を与えることにより、健常者の脳波状態に近くなるよう自発的な学習を促すニューロフィードバック機能を持つ。今回はこれに加えて、脳波の強度を周波数ごとに色分けし、脳の立体断面図上に表示するソフトウェア、qEEG-Pro (<https://qeeg.pro/>) も利用した。

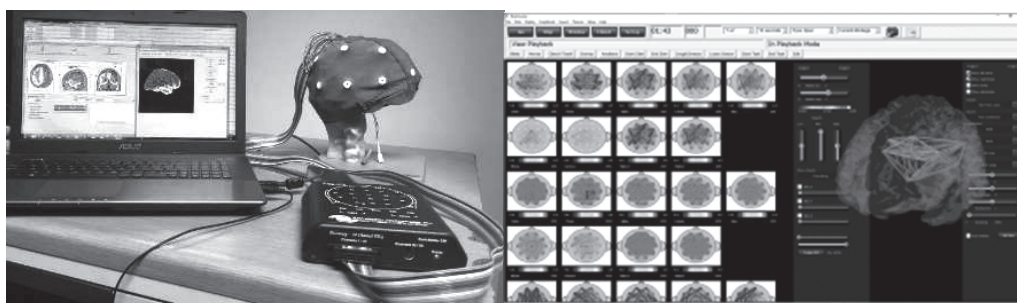


図12：BrainMaster社 qEEG 脳波測定器とヘッドセット（左）、脳波記録表示用ソフトウェア（右）

3.3.3 簡易脳波計

今回の実験では、呼吸法を行う際に簡易脳波計を装着してもらい、タブレット上に表示される集中度とリラックス度のメータを見ながら、ゲーム感覚で呼吸法が実践できるようにした。この簡易脳波計によっても脳波データは取得できるが、今回の実験では管理された実験環境下で得られたデータではないため、参加者自身が呼吸法の効果（集中しているか、リラックスしているか）をリアルタイムで確認する目安として利用してもらった（図13）。

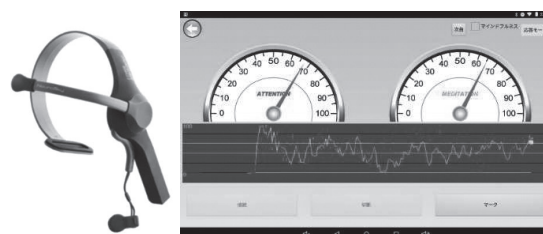


図13：ニューロスカイ社の簡易脳波計（左）と脳波状態の表示記録ソフトウェア（右）

3.4 簡易脳波計を利用した呼吸法の実践

呼吸は本来、自律神経系によってコントロールされているが、発汗や脈拍が意図的に調整することができないのに対し、呼吸運動は恣意的にある程度コントロールすることができる。そして呼吸をコントロールすることで、逆に自律神経系に働きかけて、その機能を調整したり、変化させたりすることができる。それゆえ、呼吸法は世界のさまざまな伝統的文化において、宗教的修行や武道、ヨガ、健康法の一環として探求され、目的や状況に応じてさまざまな方法が提唱されてきた。

交感神経と副交感神経系のバランスを整えるには、5～6秒で吸って5～6秒で吐く呼吸ペースが有効であり、そのため、昼の活動時には、意志的にこのペースで呼吸を行う瞑想を行うの

が適している。また、夜になって就寝時間が近くなった時には、副交感神経系を優位にするため、2～3秒で吸って、5～6秒で吐くというペースの呼吸法を伴う瞑想が有効とされる⁵。

今回の実験では、ピッツバーグ睡眠質問票指標で、睡眠状態に問題ありとされた今回の実験参加者全員を対象として、瞑想（呼吸法）のトレーニングと実践を行ってもらった。近年、「ストレス・緊張状態の軽減」「うつ状態の緩和」「交感神経と副交感神経のバランスを整える」「免疫力の改善」などの効果が報告され、ビジネス分野でも積極的に取り込まれているマインドfulness瞑想であるが、その効果を十分に引き出すためには、訓練をつんだ指導者のもとでしっかりとアドバイスを受けながら、習慣的に実践するのがよいとされる。

今回の実験では、昨年度の共同研究（良峯・志賀・久恒・張, 2020）で培った経験をもとに、実験参加者に簡易脳波計を装着してもらい、脳波計が示すふたつの脳波状態の指標（リラックスと集中）を目安にして、瞑想の実践を行ってもらった。自分自身の脳波の状態を画面や音を手掛かりに、瞑想中の心の持ち方や呼吸の仕方を調整するため、指導者についたり、不適切な方法で継続してしまう心配が少なく、より効率的に瞑想法を修得できる方法である。こうした自分自身の脳波をガイダンスとした瞑想法は「ニューロメディテーション (neuro-meditation)」と呼ばれ、瞑想（メディテーション）を効率的かつ科学的に訓練するための新しい瞑想技法として徐々に浸透しつつある⁶。今回の実験では図 14 に示した指示を用意し、日中と就寝前で異なる呼吸法による脳波計を使った瞑想を、5分から15分程度なるべく毎日実践するようにお願いした。

3.5 睡眠障害の顕著な参加者への脳波を使ったフィードバックトレーニングの実施

1回目の睡眠質問票の結果から、慢性的な睡眠不足や睡眠の質の低下がより顕著な参加者（グループB 4名）に、隔週で脳波トレーニング（ニューロフィードバック）を実施した。使用した機器は、参加者全員に事前の脳波の精密検査を行ったのと同じBrainMaster社Discovery20である。すでに行った脳波の精密検査から、睡眠に問題を抱えている人は、いずれも脳波全体のZ-Scoreが3以上で、概して脳波状態が過活性であることが判明した。Z-Scoreはもともと統計学の用語である。qEEG（定量的）ニューロフィードバックでは、大量の健常者の脳波データを集めてデータベースを構築し、それを母集団とする。クライアントの脳波データの数値⁷から母集団平均を引き、その結果を母集団の標準偏差で除算して得られた計算結果が、クライ

⁵ 自律神経系と副交感神経系のバランスを測るもうひとつのパラメーターとして、心拍の周期変動（ゆらぎ）が挙げられる。心拍の周期変動（ゆらぎ）の値が、交感神経が優位なときと、副交感神経が優位なときとは異なっているからである。交感神経が優位の場合には、心拍は低い周波数領域（VLF: Very Low Frequency: 0.0033～0.04Hz）で変動するとされ、副交感神経が優位の場合は高い周波数領域（HF: High Frequency: 0.15～0.4Hz）で変動する。このことから、心拍がその中間領域（0.04Hz～0.15Hz）の周期で変動しているときには、交感神経と副交感神経がともに活性化し、両者のバランスが整った状態になっている（cf. Mather & Thayer, J.F., 2018, pp.98-104; 榊原, 2011, pp.105-122.）。このことから交感神経と副交感神経系のバランスが整った心拍の周期変動をもたらすには、5～6秒で吸って5～6秒で吐く呼吸ペースが有効であり、副交感神経系を優位に働かせるには、2～3秒で吸って、5～6秒で吐くというペースの呼吸法を伴う瞑想が有効とされる。Cf. 小林, 2018.

⁶ 例えば、アメリカにはNeuro-Meditation Institute (<https://www.neuromeditationinstitute.com/>) が設立され、日本でも2020年に「ニューロメディテーション」という言葉が商標登録されている。

⁷ Z-Scoreの対象となる脳波データの数値としては、脳波の絶対パワー、相対パワー、脳波の周波数帯別のパワー比、脳波振幅の非対称性、コヒーレンス、位相差が用いられる。Cf. Thatcher, Biver & North, 2015, pp.1-21.

アントの脳波データに関連付けられる Z-Score となる。この Z-Score を使うことでクライアントの脳波データの数値が母集団の脳波データの平均からどれくらいずれているかを示すことができる。例えば、あるクライアントの脳波データの Z-Score が 3 以上と示された場合、一般的にそのデータは異常値（健常者の脳波データの平均との差が有意に大きい）と見なされる。

ピッツバーグ睡眠質問票指数によって睡眠状態に問題があるとされた参加者 11 名の qEEG 脳波図をみたところ、以下のような 2 パターンに分かれた。

- ・ パターン 1 : デルタ (δ) 波、シータ (θ) 波、アルファ (α) 波、ベータ (β) 波、ガンマ (γ) 波のすべての周波数帯域で脳波が過活性。
- ・ パターン 2 : ガンマ (γ) 帯域の脳波が異常に弱く、それ以外の周波数帯域すべてが過活性。

昼間の瞑想（自律神経のバランスを整える呼吸法）

1. 姿勢を正し、上半身をリラックスさせる。
2. 目は半眼にし、少し先の床あたりに焦点を定める。脳波計を装着し、タブレットを薄目を開けた状態で見えるようにする。
3. 鼻から 5～6 秒かけて息を吸い、口から「シュー」という呼吸音とともに 5～6 秒かけて吐く（1 対 1 の割合で、息を吐くときは波の音と一緒にネガティブな要素をかき消すようなイメージで）
4. 頬など口周りの筋肉で呼吸をしようとせず、しっかり腹式呼吸を行う
5. 呼吸による心身の変化を感じながら「今」に集中する
6. 慣れてきたら、臍下丹田（ヘソ下約 5cm）を意識し、そのあたりが暖くなる感覚を感じながら、「今」に集中する。
7. 仕事のことなど、雑念が頭に浮かんでも放っておいて、臍下丹田や心身の変化に意識を集中させる。
8. 朝食前や昼間の時間帯に 5～15 分行う。
9. 思考を止め、心身の変化を感じる。薄目でタブレット画面をチラ見し、脳波の状態をチェックする。なるだけ集中力もしくはローベータ (low β) 波が継続的に高くなるように努める。

寝る前の瞑想（副交感神経系を優位にする呼吸法）

1. 瞑想時は椅子に座っても、布団のうえであぐらをかいた状態でもよい。基本姿勢は背筋を伸ばして、お腹はゆったりさせる。
2. 脳波計を装着し、タブレットを薄目を開けた状態で見えるようにする。
3. 3 秒ぐらいでゆったりと息を吸う。ちょっと止めて (1 秒程度)、そのあと、6 秒ほどでゆったり息を吐く (1 対 2)。これを繰り返す。「今ここ」の呼吸だけに意識を向ける。
4. 呼吸中、無意識によけいなことを考え始めたら、意識を呼吸に戻す。吸ったり、吐いたりする時間をカウントするのも良い。
5. 短時間から始めて、負担にならない程度 (5～15) で行う。眠くなったら、そのまま横になっても良い。
6. ときどき薄目を開けて、タブレット画面でリラックスのメータが高く保たれるように努める。

図 14：昼間の瞑想（呼吸法）と寝る前の瞑想（呼吸法）

さらにそうした参加者のピッツバーグ睡眠質問票指数と脳波検査での Z-Score の値を比較すると、両者の間に相関性が見られた。ピアソン相関係数を求めたところ、一般に「正の相関がある」とみなされる数値となった (図 15)。

こうしたことから、今回の実験では睡眠障害の程度が顕著な 4 名の参加者に対し、Z-Score プロトコルと呼ばれるニューロフィードバックトレーニングを、大学内において隔週で計 4 回受けてもらった。

Z-Score プロトコルとは、クライアントの脳波の指標値が、同年代の脳波の標準モデルの指標値と標準偏差のプラス・マイナス1～3倍の範囲内に収まったとき、音や映像などによる報酬フィードバックを与えるトレーニングメニューのことである。報酬を与える際の閾値は、クライアントの脳波の状態をモニタリングしながら、報酬の頻度が全体の50～60%になるように、施療者が調整を行う。

20ヶ所の電極から得られる脳波の状態とデータベースとの比較に関する大量の計算はコンピュータがリアルタイムで行い、結果を表示してくれるため、施療者はクライアントの監視とプロセスの最適化に集中することができる。

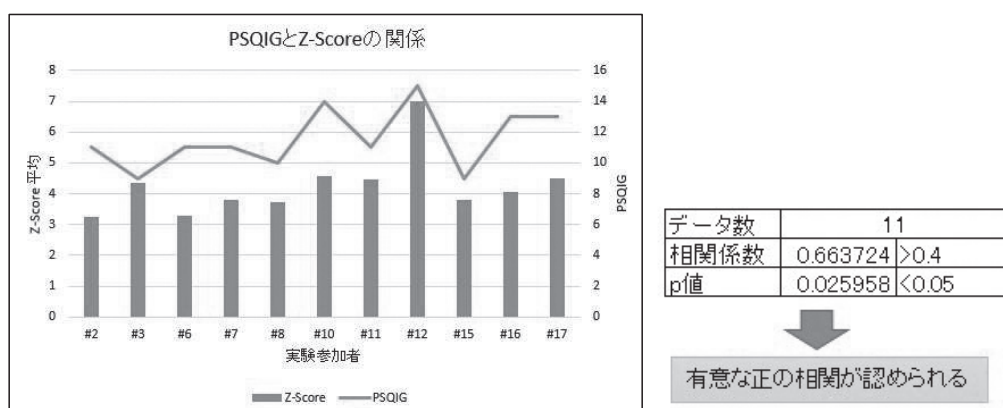


図 15：脳波活性度の Z-Score とピッツバーグ睡眠質問票指数の相関係数⁸

4. 実験結果

4.1 ピッツバーグ睡眠質問票指数の変化

図 15 は、実験期間中のピッツバーグ睡眠質問票指数の変化を示したグラフである。11月14日までは参加者は全員、脳波計をつけて寝て、毎日の生活パターンや睡眠の状況を睡眠日記に記録するだけであった。11月14日以降は、瞑想(脳波計をつけての呼吸法)実践のみの A グループと、これに加え、ニューロフィードバックトレーニングも行った B グループに分かれた。

ピッツバーグ睡眠質問票指数の変化を見てみると、11月14日までの期間だけでも、6名の参加者で睡眠の状態がよくなっている。毎日の生活パターンの記録と睡眠計測の結果を見比べ、生活習慣などを自覚的に修正することができれば、睡眠時間や睡眠の質の向上につながる可能性もあることが分かった。ただし、それだけではほとんど睡眠の状態が向上しない参加者も約半数存在しており、そういう参加者にはより積極的な介入措置が有効と考えた。

11月14日以降のピッツバーグ睡眠質問票指数の変化をみると、瞑想(呼吸法)のみの A グループではそれ以前と比べ、顕著な変化がみられなかった。一方、ニューロフィードバックトレーニングも行った B グループ (図 16 では「NFB あり」となっているグループ) では、4名中3名がニューロフィードバックトレーニング体験後、ピッツバーグ睡眠質問票指数が改善されている。1名については、ニューロフィードバックを体験する以前にピッツバーグ睡眠質問票指

⁸ ピアソン相関係数は一般に0.4以上であれば「正の相関がある」とされる。また p 値は0.05より小さければ一般に「有意な相関がある」とされる。

数が改善されてきており、体験後はピッツバーグ睡眠質問票指数の改善はみられなかったが、ほぼ横ばいで悪化することもなかった。今回の実験では、対象者が4名と少なかったため、統計的な有意性を問うことはできないが、ニューロフィードバックトレーニングによる睡眠改善の事例を示すことができたと考える。

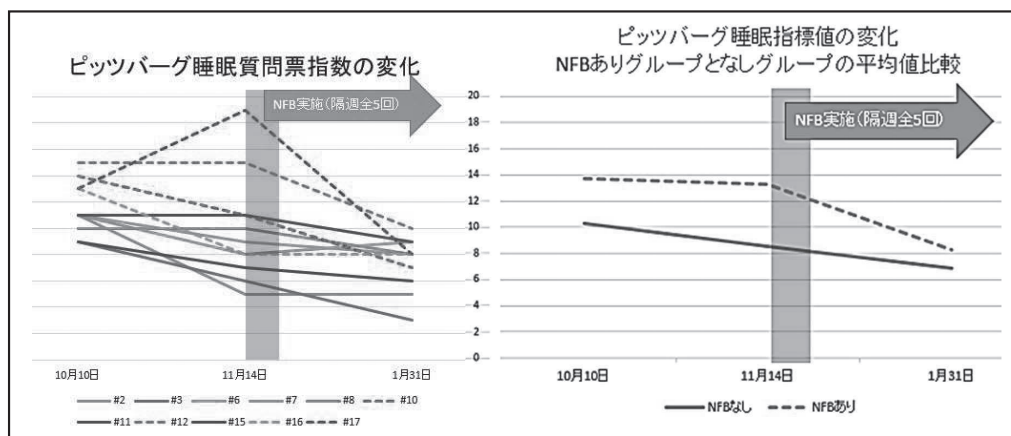


図 16：ピッツバーグ睡眠質問票指数の変化
(瞑想のみのグループとニューロフィードバックを行ったグループの比較)

4.2 睡眠計測に見る睡眠状態の変化

睡眠の状態の変化を睡眠計測器が示す評価スコアをもとに分析した。睡眠データは毎日大きく変化しているため、1週間ごとの平均値でグラフ化してある。瞑想(呼吸法)のみのAグループでは、測定開始時から終了時まで、上下しながら、平均値で5ポイントほどの上昇にとどまっていた。睡眠時間においては、ほぼ6時間で横ばい状態であった。

ニューロフィードバックトレーニングを行ったBグループでは、睡眠スコアで約10ポイント上昇しており、睡眠時間でも平均で約1時間上昇していた。しかしながら、これをBグループ内で個別に見てみると、4人中3人で実験開始時から睡眠スコアが70～95ポイントで高止まりしており、睡眠時間でも6～9時間でほぼ安定していた。とくに#17の実験参加者の場合、実験開始時は睡眠が2時間前後で、睡眠スコアもほぼ20ポイントで推移していたが、ニューロフィードバックトレーニング開始とともに睡眠時間も徐々に長くなり、終盤近くには6時間近くまで延び、睡眠スコアも60～70ポイントに上昇した。Bグループ全体の睡眠時間、睡眠スコアの上昇も、この#17の参加者の変化が大きく影響していることが分かる(図17)。

しかしながら、ピッツバーグ睡眠質問票指数でみると、Bグループ4人中の3人が、ニューロフィードバック体験後、睡眠の状態がよくなったと回答していることから、睡眠時間などの睡眠計測器では測れない部分の睡眠の要素がニューロフィードバックによって改善しているということも推定される。ニューロフィードバックトレーニング体験者のピッツバーグ睡眠質問票データを具体的に比較したところ(表2)、睡眠時間については11月中旬までに十分改善されており、ほとんど変化はなかった。(睡眠計測器の記録によると、#17の参加者では睡眠時間が大幅に改善されていたのだが、ピッツバーグ睡眠質問票ではそのような回答はなかった。)それ以外の参加者では、だいたい6時間以上の睡眠がとられており、あまり変化がなかった。全体で見ると、睡眠の質に関する主観的印象(問6)、入眠時間(ベッドに入ってから眠

るまでの時間)、日中覚醒の困難度などに改善がみられた。こうしたことが、ピッツバーグ睡眠質問票指数での全体的なスコア上昇に反映していたものと考えられる。(ただし #16 の参加者については、ピッツバーグ睡眠質問票指数でみると 11 月 14 日時点ですでに睡眠状態が改善されており、ニューロフィードバックトレーニングによる影響はみられない)。

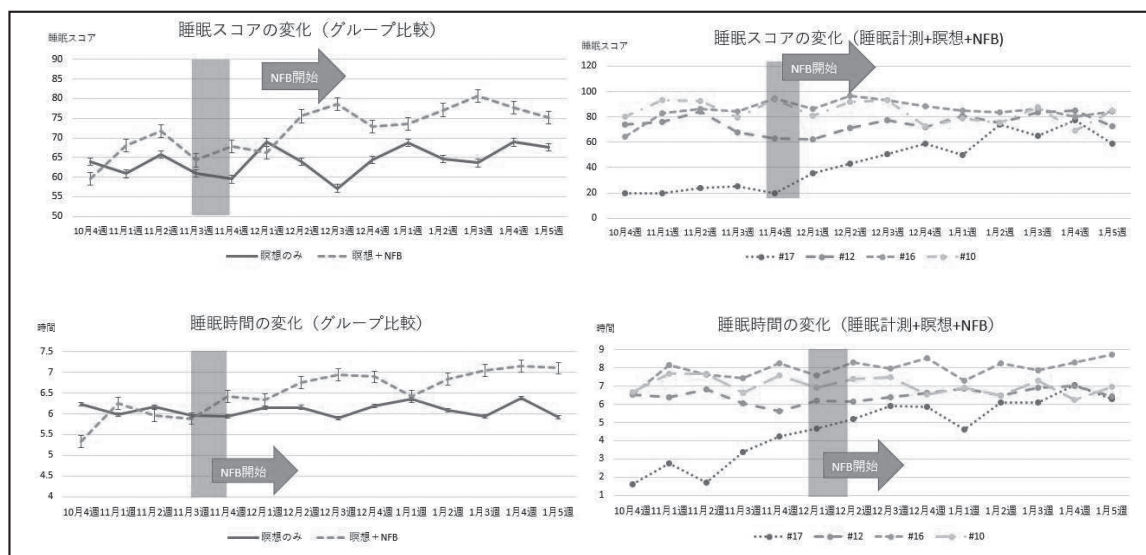


図 17：睡眠計測機による睡眠スコア（上）・睡眠時間の変化（下）

表 2：ニューロフィードバック体験者における個別のピッツバーグ睡眠質問票指数比較

参加者番号	#17		#12		#16		#10	
日付	11/14	1/31	11/14	1/31	11/14	1/31	11/14	1/31
睡眠の質	3	1	2	1	1	1	2	1
入眠時間	5	2	3	1	1	2	4	1
睡眠時間	3	3	3	3	3	3	3	3
睡眠効率	0	0	3	1	0	0	0	0
睡眠困難理由	2	1	1	1	2	2	1	1
睡眠薬の利用	1	0	1	2	1	0	0	0
日中覚醒困難	2	1	2	1	0	0	1	1
PSQIG(得点)	16	8	15	10	8	8	11	7

4.3 qEEG sLORETA 脳波マップに見る睡眠状態の変化

睡眠に問題を抱えていた参加者がニューロフィードバックトレーニングを体験することで睡眠状態が改善されたとすれば、参加者の脳波にもそれなりの変化が生じ、その結果として睡眠状態が改善されているものと推定される。睡眠に問題を抱えている人は概して脳波状態が過活性であり、脳波の Z-Score が 3 以上（異常値）だった。20ヶ所の電極から脳波測定した結果を統計的に解析し、Z-Score の数値に応じて、脳の活性化状態を脳マップ上に表現した画像 (qEEG sLORETA)⁹ 例を以下に示す。

図 18 は、睡眠障害など日常生活に問題のない大学生の脳波状態を示した qEEG sLORETA

⁹ LORETA とは、Low Resolution Electromagnetic Tomography のこと。脳波 (EEG) や脳磁場 (MEG) の測定データを解析し、脳の活動状態に応じて、3次元脳マップ (脳アトラス) 上に描画する技術である。sLORETA は LORETA の改良版で、脳全体を 6239 個の「ボクセル (voxel)」と呼ばれる 5 mm 四方の領域に分割し、その上に脳電位の分布を描出する。Cf., Pascual-Marqui, Lehmann, Koenig, et al., 1999, pp.167-179.; Pascual-Marqui, 2002, pp.5-12.

図である。Z-Score 値の平均値は 1.96 で、個々の脳波周波数領域でもほぼ 3 以下で、健常範囲内にある。

図 19～22 は、ニューロフィードバックトレーニングを体験したグループのトレーニング直後の段階の qEEG sLOREA 図（上）と、3 回もしくは 4 回のトレーニング終了後の qEEG sLOREA 図（下）である。トレーニング直後においては、参加者全員の Z-Score の平均値が 4 以上と異常値を示しており、#12 の参加者にいたっては、ニューロフィードバックトレーニング開始時の Z-Score 値の平均が 7 近くにまでなっていた。参加者 #10、#12、#16、#17 の脳マップ上の描画をみると、脳の多くの領域が赤く表示されており、脳全体に大きく過活性の状態が見てとれる。参加者 #10 と #16 では、ガンマ波の帯域のみが青く塗りつぶされており、ガンマ（ γ ）波帯域のみ、極端に不活性状態になっていることが分かる。

3 回もしくは 4 回のトレーニング終了後の qEEG sLOREA 図を見ると、すべての体験者において、脳波の過活性を示す赤色の部分が減少し、オレンジもしくは黄色に変化していることが分かる。また #10、#16 の参加者ではガンマ（ γ ）波帯域の青色の部分が消滅し、赤もしくはオレンジ、黄色の部分が出現している。それまでほとんど活性化していなかったガンマ（ γ ）波帯域がニューロフィードバックトレーニングによって刺激され、活性化が促されたものと推定される。

Z-Score 値の変化を見ると、当初は 4 名全員の Z-Score 値が 4 以上だったが、ニューロフィードバックトレーニング後は全員が 4 以下、なかには健常範囲の 3 以下の数値（2.87, 2.84）まで低下した参加者が 2 名いた。こうした脳波面での変化は、ピッツバーグ睡眠質問票指数の変化とも一致し、ニューロフィードバックトレーニングによる脳波の変化が睡眠の質や量の改善に寄与する可能性が示された。

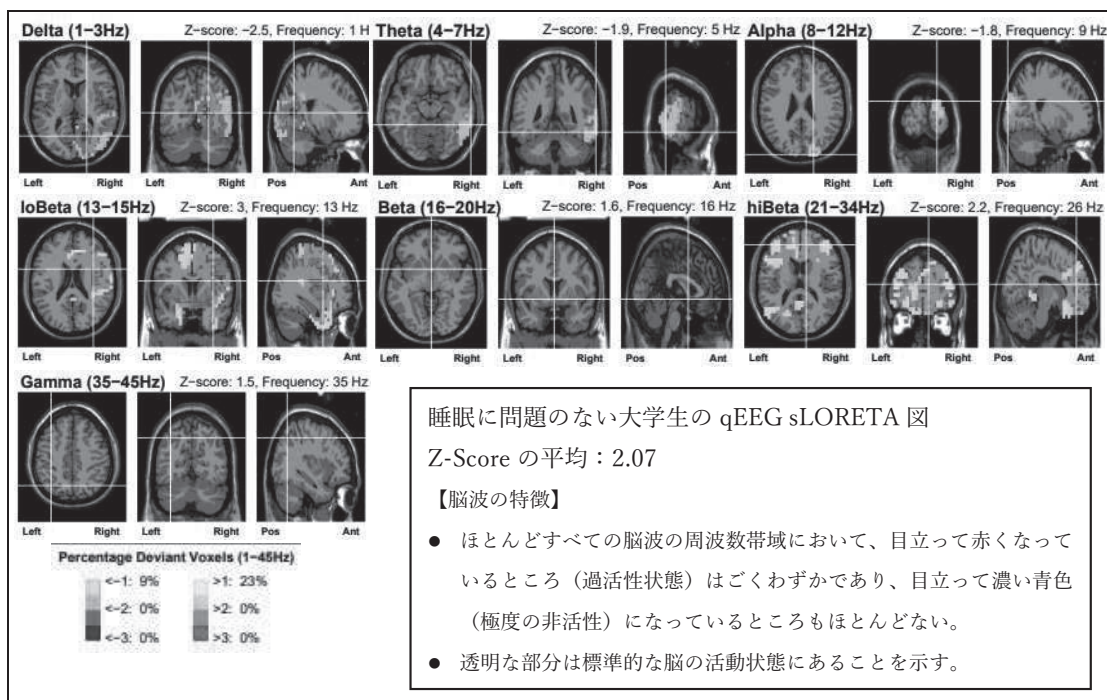


図 18：睡眠に問題のない大学生の qEEG sLORETA 図

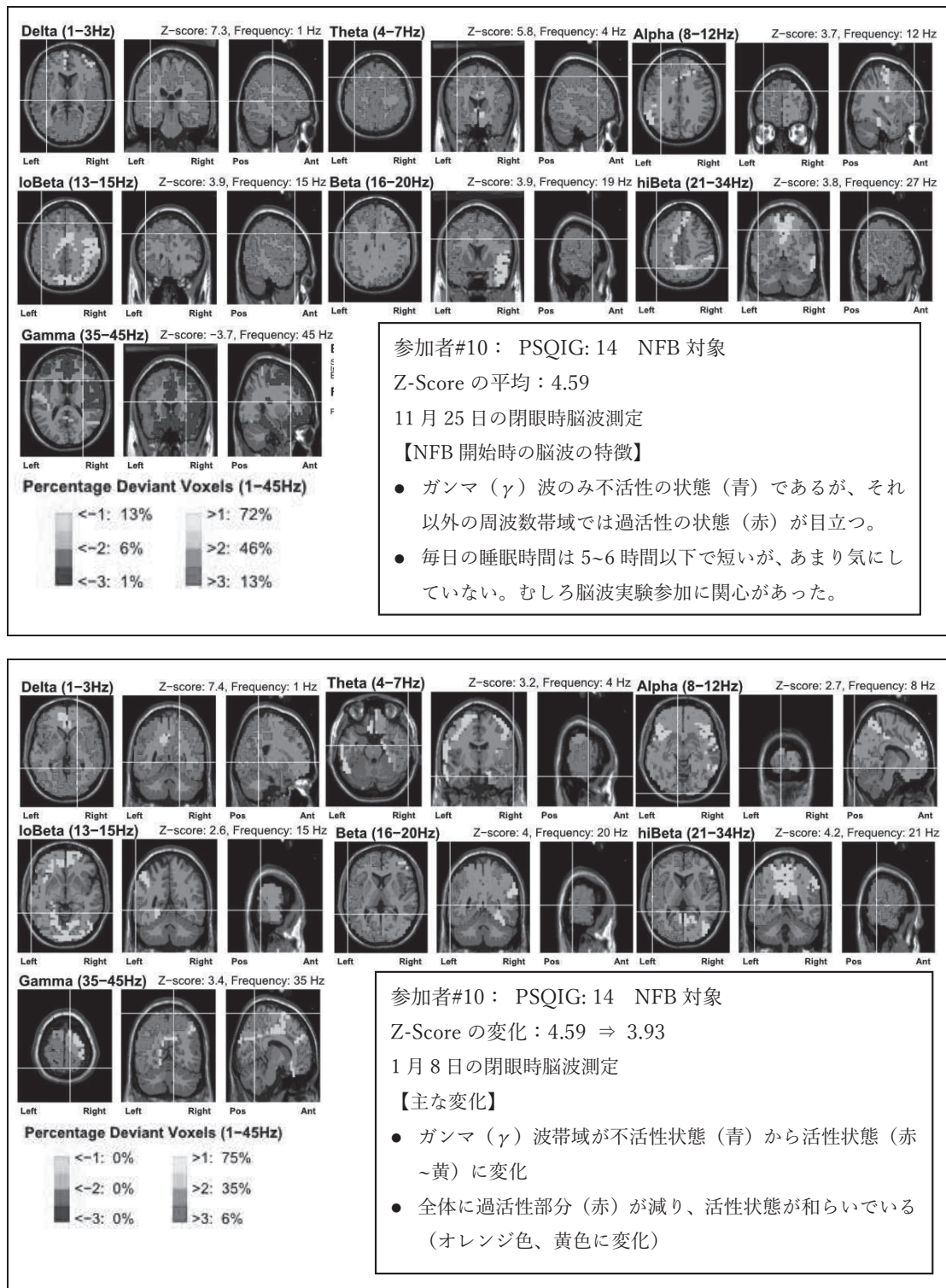


図 19: ニューロフィードバックトレーニングに参加した高齢者 #10 の脳波の変化

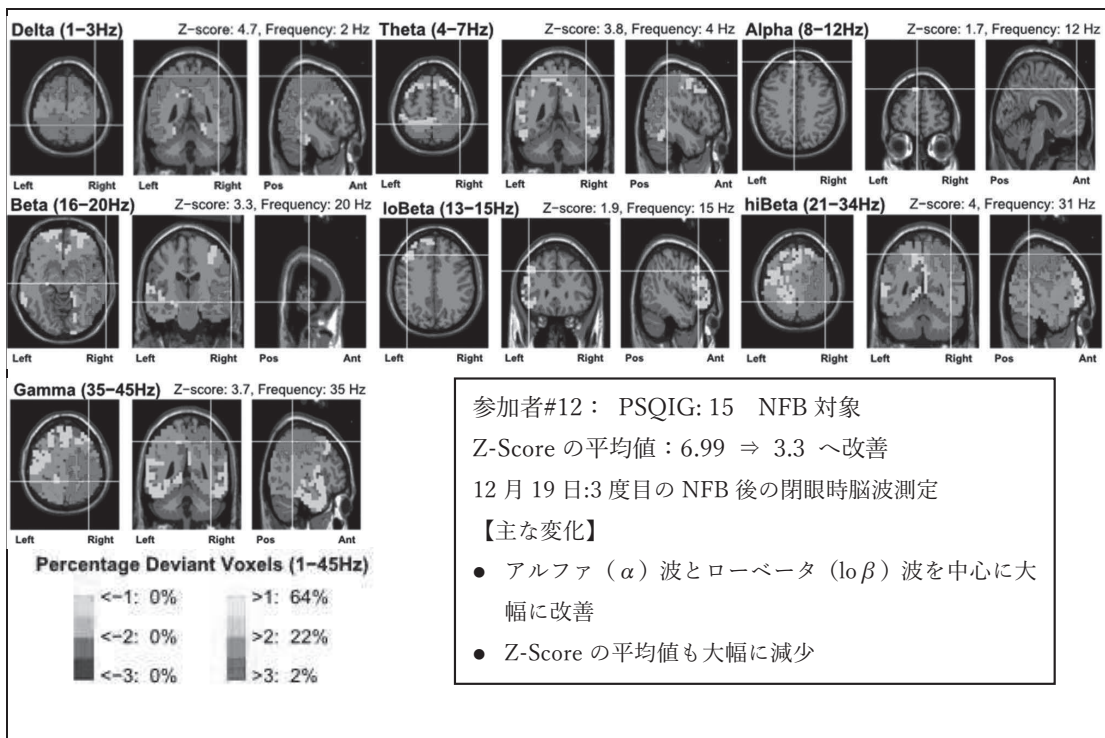
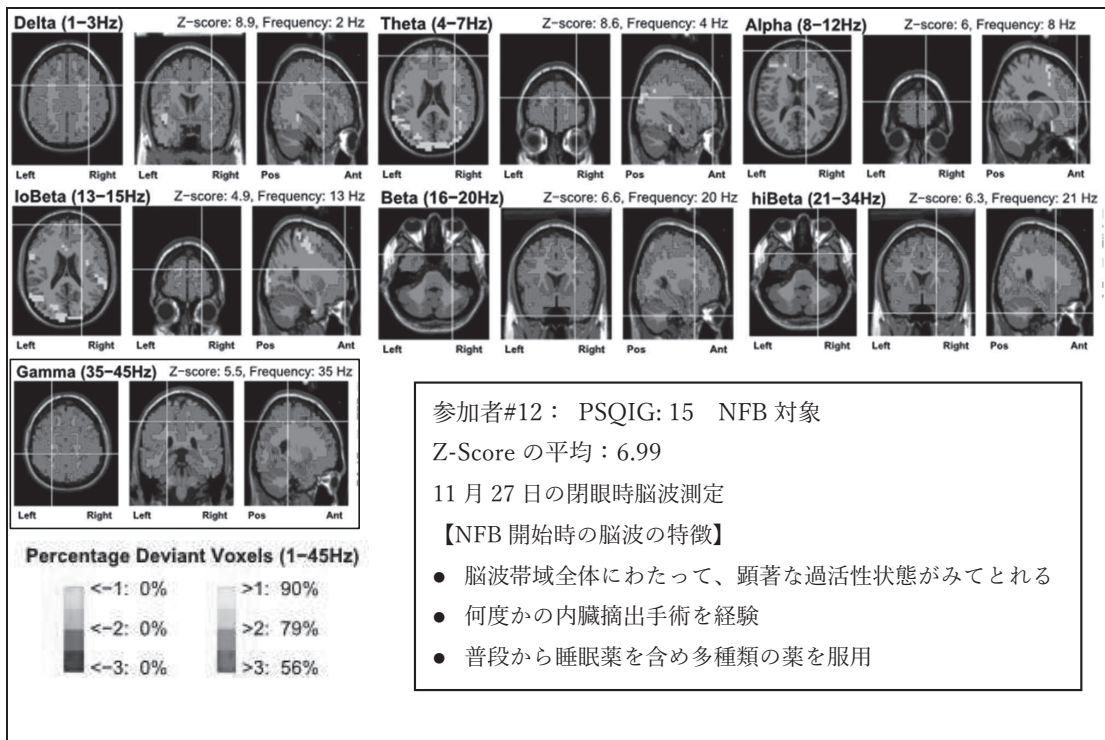


図 20: ニューロフィードバックトレーニングに参加した高齢者 #12 の脳波の変化

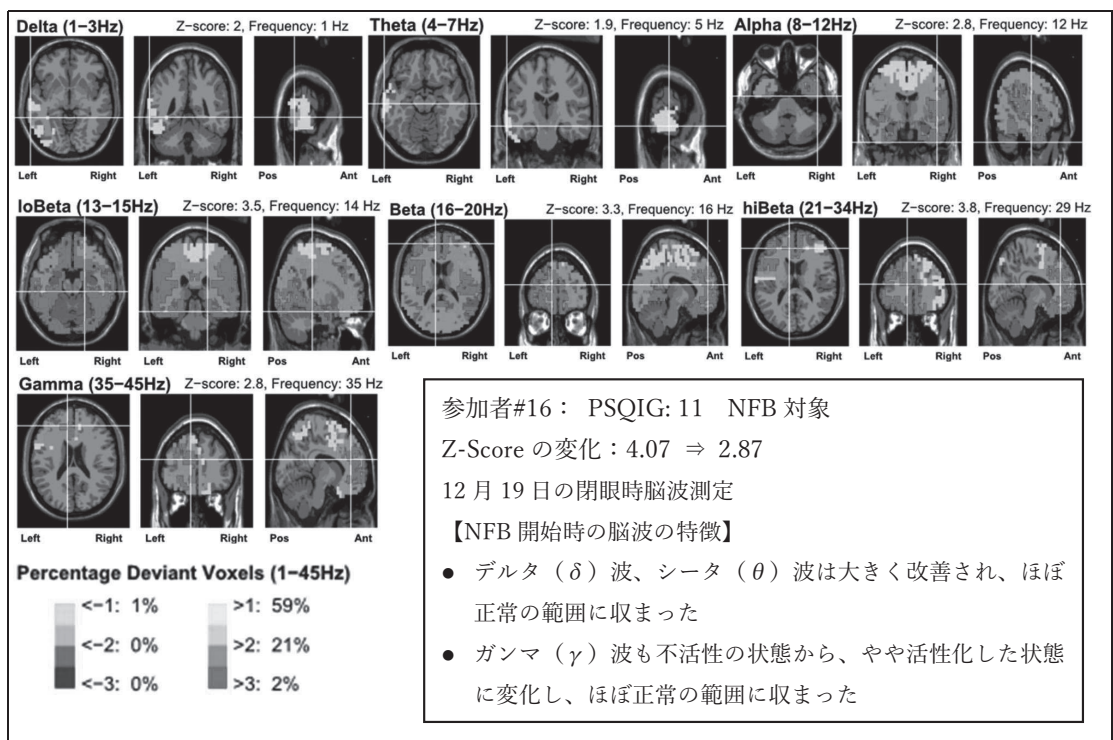
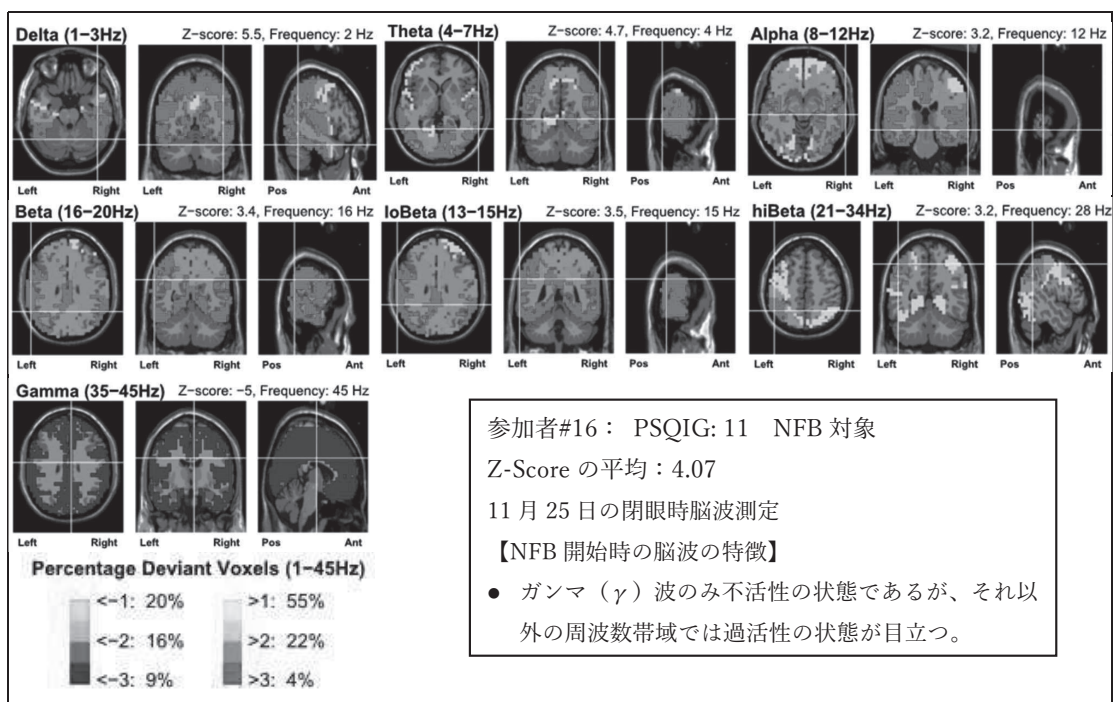


図 21：ニューロフィードバックトレーニングに参加した高齢者 #16 の脳波の変化

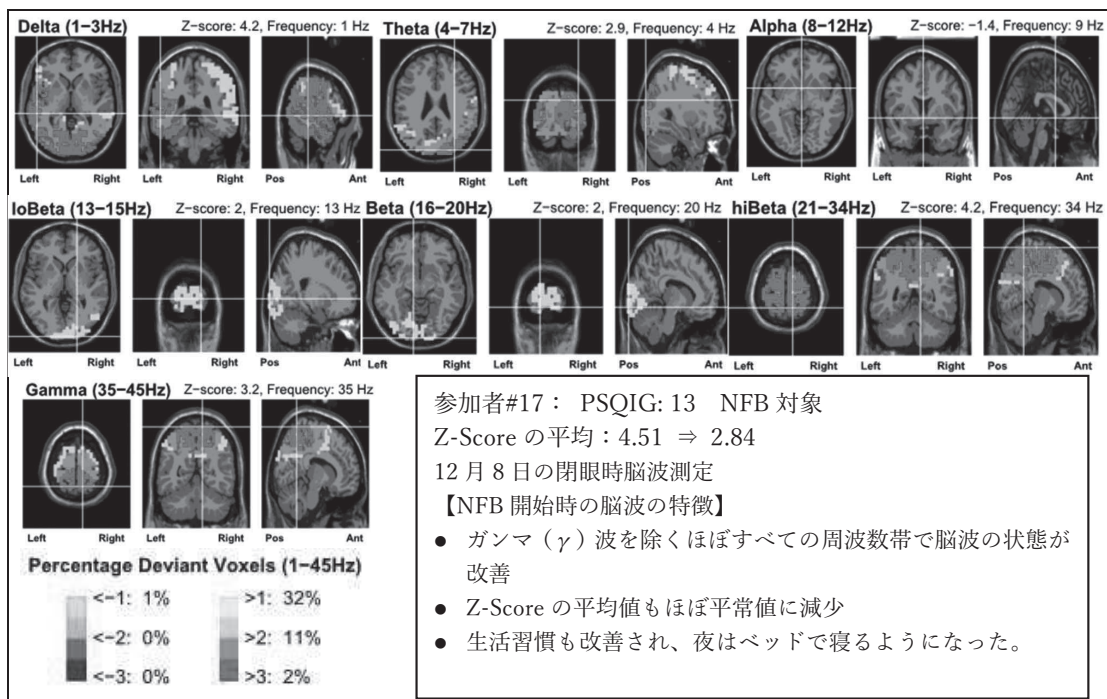
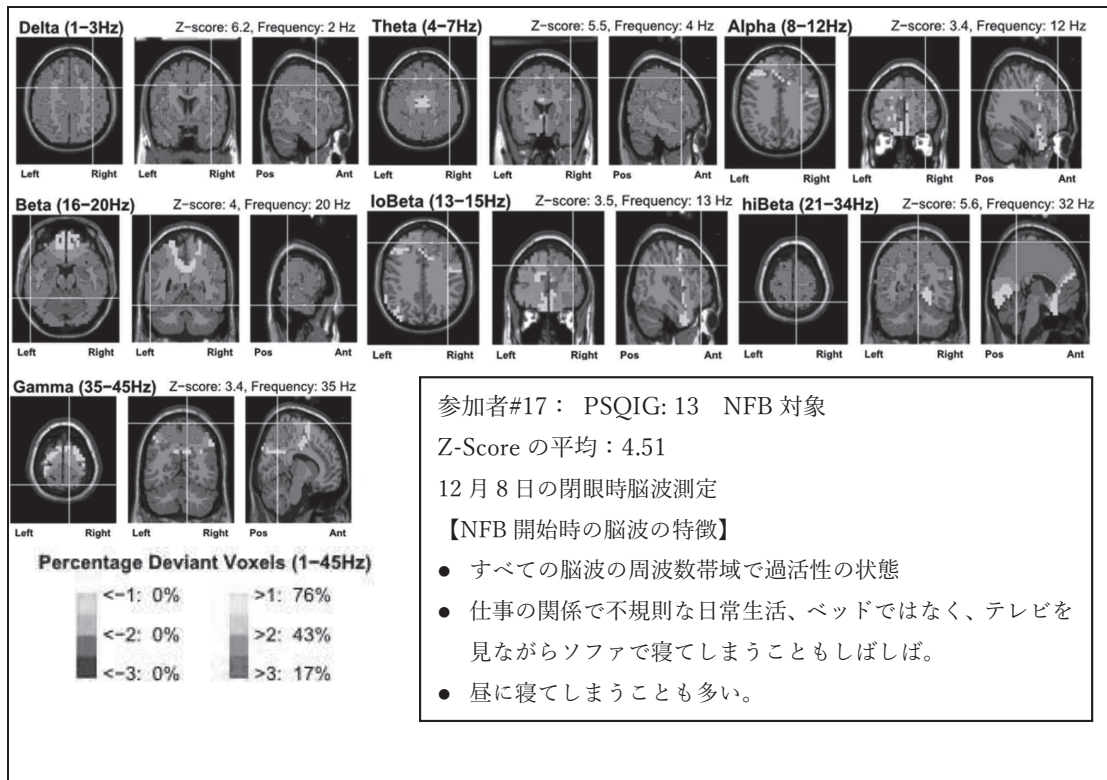


図 22：ニューロフィードバックトレーニングに参加した高齢者 #17 の脳波の変化

5. 結論

睡眠に不調を訴える高齢者を 11 名募り、睡眠測定器による睡眠状態のモニタリング、簡易脳波計を使った呼吸法の実践、そして睡眠の状態にとくに問題ありとされる 4 名の参加者に

ニューロフィードバックトレーニングを実施した。トレーニング開始前に実施した qEEG 脳波計による脳波測定によると、睡眠に問題をもつ高齢者全員において、脳波の状態が過活性であることが判明した。

加えて、ピッツバーグ睡眠質問票指数によって睡眠状態に問題があるとされた参加者 11 名の qEEG 脳波図をみたところ、2 パターンに分かれた。ひとつはすべての周波数帯域にわたる脳波の過活性状態であり、もうひとつは「ガンマ (γ) 波」以外の周波数帯域では脳波が過活性で、「ガンマ (γ) 波」のみ極端に不活性な状態にあった。

また、ピッツバーグ睡眠質問票指数と qEEG 脳波計測による Z-Score 値の間はかなり高い相関性があることが確認された。そこで、ピッツバーグ睡眠質問票指数の高い 4 名の参加者に、Z-Score プロトコルによる qEEG ニューロフィードバックトレーニングを体験してもらい、脳波の過活性状態を低下させる試みを行った。約 2 ヶ月にわたり約 4 回の Z-Score ニューロフィードバックトレーニングを実施した結果、脳波の状態がかなり改善された。脳波のガンマ (γ) 波帯域が異常に不活性だった参加者においてもその活性化が見られた。Z-Score の数値もほぼ全員において改善し、2 名においては正常と見なせる範囲にまで回復した。ピッツバーグ睡眠質問票指数も有意に改善 (有意差 0.00080) し、実際の睡眠状態も良くなったことが分かる。これらのことから、高齢者における睡眠の量・質の改善には、Z-Score プロトコルを用いたニューロフィードバックトレーニングの有効性を示す結果が得られた。

6. 今後の課題・問題点

今回の実験では、睡眠の状態に不安がある、何らかの障害があつて、医薬品などを使わずに睡眠の状態を改善したいと希望する高齢者 11 名に対し、日頃の睡眠状態を数値で客観的に評価してくれる睡眠計測器を貸与し、同時に毎日、睡眠日記をつけてもらった。これによって各人の睡眠の状態を悪くしている具体的な原因を自覚してもらい、改善するための自助努力を促した。実験開始から最初の 1 ヶ月近くは、睡眠測定器による睡眠状態のモニタリングと睡眠日記をつけたただけであったが、これでも一部の参加者においては、生活習慣の改善が促され、睡眠の質や量が改善された。

一方でそれだけでは睡眠の状態が十分に改善されない参加者もあり、毎日、日中と寝前の 2 回、異なる呼吸法による瞑想を行ってもらった。その際、簡易脳波計を使って、瞑想しているときの脳波の状態を表示し、集中できていたか、リラックスできていたかが簡単に分かるようにした。しかしながら、瞑想 (呼吸法) の導入によって、睡眠状態が大きく改善されたという結果は得られず、その効果についての十分な証拠は得られなかった。おそらく、今回の瞑想 (呼吸法) はその実践の時間、状況、環境が参加者によってまちまちであり、十分な統制がなされなかったため、効果的な成果をあげるには至らなかったものと推測される。瞑想の効果をより明確に実証するためには、簡易脳波計の併用だけではなく、しっかりとガイドラインを設け、時間や方法などに関するチェックリストに沿って、瞑想の実践を行ってもらう必要があるだろう。

これに対し、今回行ったニューロフィードバックトレーニングでは、より明確な睡眠状態の改善を確認することができた。ニューロフィードバックトレーニングは、施療者による環境管理のもとで行われる実践であること、ニューロフィードバックトレーニング中の脳波の状態変

化がリアルタイムに視覚的に表示され、これに施療者による説明が加わることで、状態を良くしようとする心理的効果がより高まったと考えられる。施療者と参加者との間のコミュニケーションの機会が増えたことも、生活習慣の見直しや改善にプラスの効果をもたらした可能性がある。その意味で、4名のニューロフィードバックトレーニング体験者における睡眠状態の改善は、純粋に脳波のトレーニングのみに起因するとはいえないまでも、生活習慣の改善のアドバイスを含め、脳波状態の変化の意味を理解し、実践することで、睡眠の質・量の改善に効果をもたらす可能性があるといえる。

ニューロフィードバックトレーニングの効果に関しては、欧米諸国を中心として研究が盛んに行われ、アスペルガー症候群、ADD、てんかん、うつ病、睡眠障害、軽度のPTSD、認知症などの精神疾患や、音楽やスポーツのパフォーマンス向上などに効果があり、しかも医薬品をまったく使わないため、副作用が少ないトレーニングもしくは施療として広く実践されている。しかしながら、日本ではまだまだ知名度が低く、こうしたトレーニングを実践できる場所がきわめて少ないのが現状である。ニューロフィードバックトレーニングの有効性や安全性について、議論と理解を広めていきながら、日常的にトレーニングを受けられる場所や機会を提供していくことが今後の課題といえよう。

追記

本研究は、文部科学省平成30年度「私立大学研究ブランディング事業」に選定された多摩大学「大都市郊外型高齢化へ立ち向かう実践的研究—アクティブ・シニア活用への経営情報学的手法の適用—」の一環として研究費の助成を受けた。

本研究で行った瞑想実験にボランティアで参加して下さった皆様に心から御礼申し上げます。また、学外研究協力者として、簡易脳波計のデータ分析用ソフトウェアを提供して下さったニューロスカイ（株）の伊津野徹様、高齢者の心や脳状態の特性やQOL、さらにはニューロフィードバックの実例などについて、さまざまな助言をいただいた東邦大学医学部の田崎美弥子様、山口哲生様、一般社団法人臨床ニューロフィードバック協会の皆様に御礼申し上げます。

なお、本稿はモノクロ印刷のため、カラー写真がかなり見にくくなっている。カラー図表が載ったものは、多摩大学リポジトリ (<https://tama.repo.nii.ac.jp/>) よりダウンロード可能となっているので、そちらを参照していただければ幸いです。

参考文献

- (1) 厚生労働省. 「国民健康・栄養調査」.
(https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyou_chousa.html 閲覧日：2020年9月1日.)
- (2) 内山真. (2019). 『睡眠障害の対応と治療ガイドライン (第3版)』. じほう.
- (3) 影山隆之, 他. (2000). 「日本人成人男女における周期性四肢運動障害様症状, restless legs 様症状, 睡眠時頻尿の有症率」, 『厚生指針』, 47 (6), pp.12-17.
- (4) 小曾根基裕・黒田彩子・伊藤洋. (2012). 「高齢者の不眠」『日本老齢医学会雑誌』 49 (3), pp.267-275.
- (5) 小路眞護, 他. (2004). 「各臨床科でみられる睡眠障害 2) 糖尿病における睡眠障害」, *Prog Med.* 24, pp.987-992.
- (6) 亀井雄一. (2004). 「各臨床科でみられる睡眠障害 5) 気分障害に見られる睡眠障害」 *Prog Med.* 24, pp.987-992.

- (7) 櫻井武. (2017). 『睡眠の科学 (改訂新版) - なぜ眠るのか、なぜ目覚めるのか』 (講談社ブルーバックス), 講談社.
- (8) 日本看護学校協議会共済会. 「第4回睡眠の基礎知識～その3」 (日本看護学校協議会共済会ホームページ <https://www.e-kango.net/selfcare/aroma/sleep/vol4.html>) 閲覧確認日: 2020-09-01.
- (9) Carskadon, M.A. & Dement, W.C. (1985). Sleep loss in elderly volunteers. *Sleep* 8, pp.207-221.
- (10) Bonnet, M.H. & Rosa, R.R. (1987). Sleep and performance in young adults and older normal and insomniacs during acute sleep loss and recovery. *Biological Psychology* 25, pp.153-172.
- (11) Crowley, K. (2011). Sleep and sleep disorders in older adults. *Neuropsychological Review* 21, pp.41-53.
- (12) 中窪翔・土井剛彦・堤本広大・国立長寿医療研究センター予防老年学研究部. (2018). 「地域在住高齢者における就床時刻と認知症発症の関連性」, 第60回日本老年医学会学術集会.
- (13) 「75歳以上の夜更かし、認知症リスク増 国立長寿医療センター調査」『朝日新聞』2018年6月13日朝刊.
- (14) 水上勝義. (2015). 「認知症患者の夜間にみられる精神症状および行動症状」. *認知神経科学*. Vol17 (1), pp.12-17;
- (15) Guarnieri B, Adomi F, Musicco M, et al. (2012). Prevalence of sleep disturbances in mild cognitive impairment and dementing disorders: a multicenter Italian clinical cross-sectional study on 431 patients. *Dement Geriatr Cognitive Disorder*. 33, pp.50-58.
- (16) Nedergaard, M. & Goldman, S.A. (2013). Neuroscience. Garbage truck of the brain. *Science* 340, pp.1529-1530 (ネーデルガード, M・ゴールドマン, S.A. (2016). 「脳から老廃物を排出 グリンパティック系」. 『日経サイエンス』2016年7月号, pp.73-76).
- (17) Xie L, Kang H, Xu Q, et al. (2013). Sleep drives metabolite clearance from the adult brain. *Science* 342, pp.373-377.
- (18) 新堂晃大. (2019). 「脳小血管病と Alzheimer 病: アミロイドβクリアランスシステムとしてのグリンパティック系」『神経治療』36, pp. 524-527.
- (19) Ju Y.E., Mcleland J.S., Toedebusch C.D., Mcleland, J., et al. (2013). Sleep quality and preclinical Alzheimer disease. *JAMA Neurology* 70, pp.587-593.
- (20) 白川修一郎. (2014). 「日本における睡眠健康教育の現状と課題」『京府医大誌』123 (6), pp.407-413.
- (21) 宮崎総一郎・北村拓朗・野田明子. (2019). 「耳鼻咽喉科としての認知症への対応 - 睡眠からアプローチする認知症予防」『日本耳鼻咽喉科学会会報』122 (12), pp.1475-1480.
- (22) Buysse D.J. & Reynolds C.F. 3rd, Monk T.H., et al. (1998). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research* 28(2), pp.193-213;
- (23) Doi Y., Minowa M, Uchiyama M, et al. (2000). Psychometric assessment of subjective sleep quality using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. *Psychiatry Research* 97 (2-3), pp.165-172.
- (24) 土井由利子・箕輪眞澄・大川匡子・内山真. (1998). 「ピッツバーグ睡眠質問票日本語版の作成」『精神科治療学』13 (6), pp.775-769.
- (25) Mather, M. & Thayer, J.F. (2018). How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current Opinion in Behavioural Sciences* 19, pp.98-104.
- (26) 榊原雅人. (2011). 「呼吸法はなぜ健康によいのか? : 心拍変動バイオフィードバック法からみた自律神経メカニズムと心理学効果」『東海学園大学紀要』16, pp.105-122.
- (27) 小林弘幸. (2018). 『これだけ意識すればきれいになれる: 自律神経美人をつくる 126 の習慣』冬幻社.
- (28) 良峯徳和・志賀敏宏・久恒啓一・張棋. (2020). 「脳波計を用いた瞑想トレーニングによる高齢者の QOL 支援とその評価」. 『経営情報研究』No.24, pp. 15-34.
- (29) Thatcher, R.W., Biver, C.J. & North, D.M. (2015). History and Technical Foundation of Z Score EEG Biofeedback. In Thatcher, R.W. & Luber, J.F. (eds.). *Z Score Neurofeedback: Clinical Applications*. Academic Press, pp.1-21.

- (30) Pascual-Marqui R, Lehmann D, Koenig T, et al. (1999). Low resolution brain electromagnetic tomography (LORETA) functional imaging in acute, neuroleptic-naïve, first-episode, productive schizophrenia. *Psychiatry Research* 90, pp.167-179.
- (31) Pascual-Marqui R.D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): Technical details. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology* 4(Suppl D), pp.5-12.