

第6章：脳波・ニューロフィードバック

参考文献

Biofeedback Tutor CD

- Anatomy: EEG
- Hardware: EEG
- Clinical: EEG

論文

- Green, E.E., Green, A.M., & Walters, E.D. (1979). Biofeedback for mind/body self-regulation: Healing and creativity. Adapted from Peper, E., Ancoli, S., & Quinn, M. (Eds.). *Mind/body integration*, New York: Plenum, 125-139.
- Masterpasqua, F., & Healey, K.N. (2003). Neurofeedback in psychological practice. *Professional Psychology: Research and Practice*, 34(6), 652-656.
- Peper, E., Kawakami, M., Sata, M. & Wilson, V.S. (2005). The physiological correlates of body piercing by a yoga master: Control of pain and bleeding. *Subtle Energies & Energy Medicine Journal*. 14(3), 223-237.

はじめに

脳波バイオフィードバックの歴史¹

1920年代後半、Hans Bergerは、人の頭皮上に表面電極を装着し、脳の電氣的活動を記録しました。彼はドイツ人の医師で、生涯に渡って人がどのようにコミュニケーションをするのかについて興味を抱いていました。Bergerは、脳で発生する電氣的活動を測定する装置を最初に開発した人物で、1929年に発表された論文において脳からの電氣活動の性質を体系的な方法で実証し、脳波と名づけました。（略語はEEG）以来、脳波は、脳の電氣活動を反映し、脳の生理的および心理的機能を研究するために活用されてきました。人での脳波研究は、当初は特定の症状のもとでの生理的反応や脳波パターンの観察を行うという実験が中心でした。例えば、様々な睡眠段階および覚醒レベル、瞑想、てんかん発作、アンフェタミン服用といった特定の条件下の脳波測定が行われていました。脳波バイオフィードバックがこの分野に導入されたのは、さらに後になってからです。

1960年代の後半、Joe Kamiya博士は、トレーニーが脳波パターンを自発的にコントロールできること、それによる意識的な言語としての脳波の可能性について実証しました

¹ この歴史に関する参考文献は、Wilson, V.E., Thompson, J.W.G. Thompson, M., & Peper, E. (in press). Using EEG for Enhancing Performance: Arousal, Attention, Self Talk and Imagery の章から採用した。

(Kamiya, 1969)。また、Kamiya 博士は論文の中で、人は自らの脳波の状態に気づくことができることを報告し、さらに脳波の α 波成分を自らコントロールすることができるということを実証しました。 α 波は休息中の脳で認められる、8~12 Hz の周波数領域の脳波を示します。 α 波は、視覚情報がないとき（閉眼時）に後頭部（視覚が処理される皮質領野）で最もよく見られます。この Kamiya による脳波の自己コントロール研究が、バイオフィードバックの始まりとなりました。彼の研究報告により他の研究者たちも脳波フィードバックによる「脳のコントロール」について研究するようになりました。現在では、脳波バイオフィードバックはニューロフィードバックと一般的にいられています。

Kamiya による研究とは別に、マサチューセッツ工科大学（MIT）の Thomas Mulholland と Erik Peper は、注視機能と後頭部の α 波の脳波フィードバックについて研究し、1 箇所を注意して見つめたり、身体を動かそうとしたりすることで、後頭部の α 波の出現率が低下したり減衰するということを報告しました。（Peper & Mulholland, 1970; Mulholland & Peper, 1971; Peper, 1970）。

1965 年のほぼ同時期に、カンザス州トピーカ、メニンガー研究所の Elmer Green、彼の妻である Alice Green、Dale Walters、Steve Fahrion、Pat Norris とその共同研究チームにより、バイオフィードバックと自己調節の分野の飛躍的な貢献につながる研究が始まりました（Green & Green, 1989）。脳波バイオフィードバックを使った自律神経機能のセルフコントロール研究による、片頭痛、高血圧、アルコール依存症および中毒の治療や、創造力の強化といった独創的な新しい治療戦略を、彼らは行いました。（Green & Green, 1989）。Green らによるヨーガ行者の生理的、感情的、精神的状態の研究は、人間心理学やトランスパーソナル心理学をも含めた、新しい心理領域へのバイオフィードバックの応用の可能性を示唆しました。（Green, Green, & Walters, 1979）。創造力を高めるための α 波・ θ 波 トレーニングの研究結果を基にして、アルコール依存症の治療として、イメージトレーニングリハーサルを使った α 波・ θ 波バイオフィードバック研究が行われるようになりました（Peniston & Kulkosky, 1992）。

UCLA 名誉教授である M. Barry Stermán 博士は、1960 年代に特定の脳波周波数がネコの餌取り行動を誘発するという脳波の条件づけ実験を行いました。Stermán 博士は、ネコが餌を得るためにバーを押すという「行動」をする前に、一瞬、動きが止まるということに注目しました。この動きが止まっているときには、感覚野および運動野（両側の耳から頭頂部にかけての帯状領域）に、紡錘状の同期性脳波の急激な増加が認められました。彼は、この極めて特異的な律動的脳波パターンを感覚運動リズム（sensorimotor rhythm : SMR）と名付けました。これは、何か次の行動に移る直前の一瞬の精神の静止状態と関連していました。Stermán 教授と彼の大学院生は、脳波のオペラント条件づけによる最初の研究論文を発表しました（Wrywická & Stermán, 1968）。これらの研究に基づいて、運動てんかん発作の起こる頻度や、1 回の発作の持続時間や、発作の大きさを減らすために、SMR 活動を増やすことが有効であるということを示すさらなる研究が行われました。彼の研究グループはその後、SMR・EEG 活動を亢進させることで

人のでんかん発作をコントロールする研究を行いました。Sternman は後に、同じ脳波測定技術を使用して、トップクラスの（戦闘機）パイロットなどを対象とした空軍人員の精神的機能—集中力を評価しました（Sternman, 1995）。

Joel Lubar 教授は SMR や他の脳波状態などを用いて、注意欠陥多動性障害（ADHD）の患者に、行動を静止し注意力を高める研究の先駆者であり、多動児のバイオフィードバック訓練の有効性について最初に報告しました（Shouse & Lubar, 1976）。以来、Lubar 教授は妻の Judith Lubar とともにニューロフィードバックの分野で幅広く論文を発表し、また後進の指導に当たってきました。

現在もニューロフィードバックの研究分野は拡大しつつあり、てんかん、注意欠陥障害、うつ病、外傷性脳傷害の治療から痛みのコントロールにわたって幅広く臨床に応用されています。

脳波信号の背景および生理的根拠

頭皮上で記録される電気信号は、電極の間および下に位置する何十億もの皮質ニューロンと皮質下ニューロンの電気的活動を表します。これらの細胞の電気的活動は、平均化された一つの波形信号に統合処理され、脳波波形となります（Evans & Abarbanel, 1999）。

従来、脳波はヘルツ（Hz）という単位を使った周波数で分類されています。精神生理学的状態と関連する最も一般的な脳波パターンは、図 6.1 に示すように、β波、α波、θ波、δ波に分けられています。

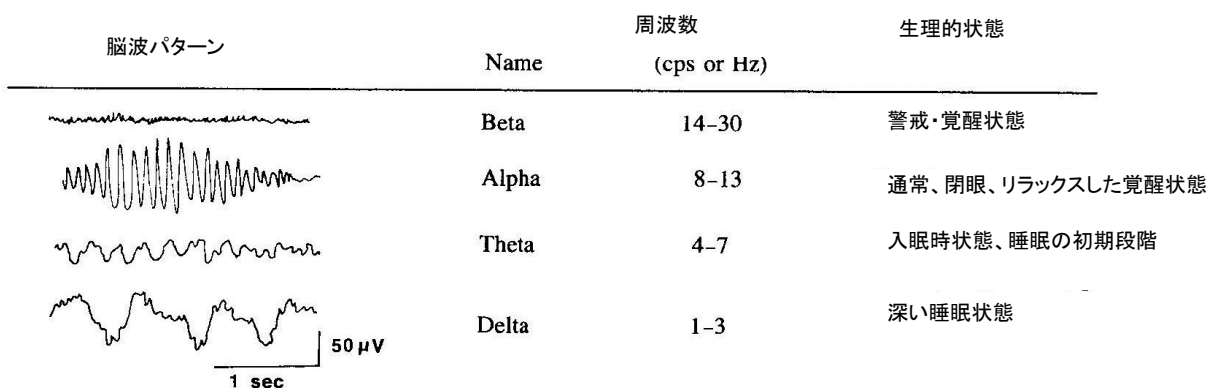


図6.1。一般的な EEG パターン（Peper & Williams, 1981 より）。

図 6-2 に示すように、脳波は当初、多チャンネル・ペン記録式オシログラフにより記録されていたため、測定中のトレーニーの動きを観察しながら、計測中の脳波パターンを確認していた。

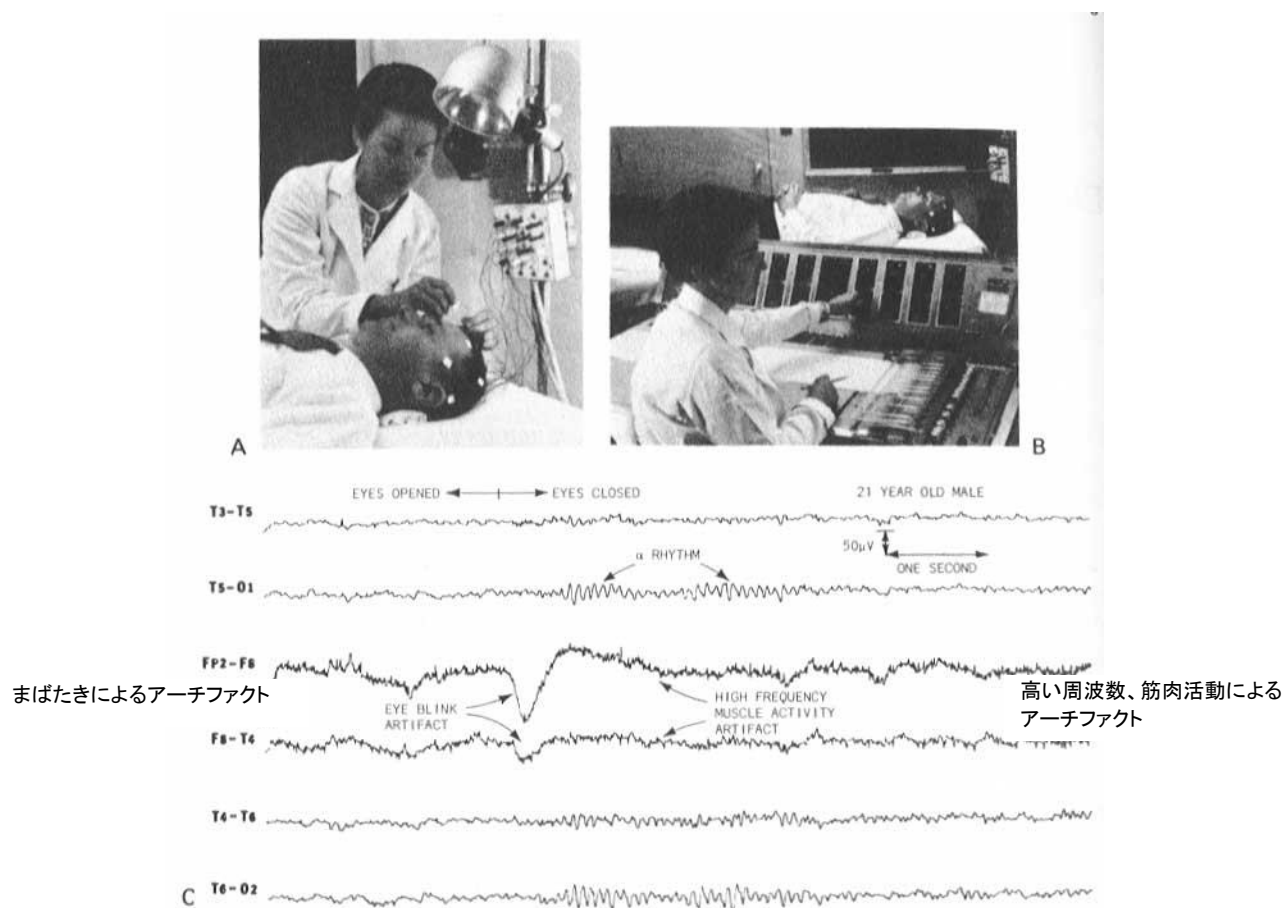


図 6-2。成人健常者の典型的脳波。(A) 電極が頭皮上に装着され、接続ボックスにプラグが差し込まれている。(B) 希望する電極の組合せを選択するために、切り換えスイッチを操作している。(C) 16チャンネル中の6つの脳波記録が示されている。

閉眼安静時（眠気なしの状態）の健常者脳波は、通常 8 Hz～13 Hz の滑らかな周期的な波形を示します。この脳波パターンは、視覚の情報処理が行われる後頭葉領域にて容易に記録することができます。一般的に、この脳波パターンの振幅は 50μV であり、約 10% の人が約 0～10μV と非常に小さい振幅となり、1% の人で約 100μV の高振幅となります。この脳波パターンは、開眼時には小さく減衰し、同期性のない不規則な波となり、さらにより振幅の小さい、高い周波数の波形に移行する傾向があります。この波形は成長するに伴い、さらにはっきりと観察されます。例えば、α 波のリズムは、健康成人の脳波で最もよく観察されますが、脳波周波数が低い幼児においてはほとんど観察されません。

初期の技術では検出できない周波数の成分があったため、脳波信号の記録または処理の方法は限られていました。すなわち、超低周波数や直流（DC）電位オフセットは、電極の分極および増幅器のドリフトのため記録が困難であり、同様に 40 Hz 以上の周波数は、60・50 Hz の電氣的アーチファクトを除去するためのフィルタリングによって除去されるか、もしくは単にペンの動きの制限のため記録されませんでした。現在の技術では、新しい感応電極や改善された増幅器により、極めて速い脳波パターンなどの様々な脳波形を記録できるようになっています。さらに重要なことに、現在はパソコンの出現で利用できる演算能力によって、フィードバックにとって重要な脳波信号のリアルタイムでの処理が可能です。また、同地点または頭皮上の複数の位置で記録した異なる周波数を比較することもできます。最も新しい脳波信号の解釈では、頭皮上のどこで信号が記録されているかが重要な判断要素です。頭皮上の脳波記録ポイントについては、国際 10-20 配置法と呼ばれる国際脳波学会連合標準電極配置法があります。国際 10-20 配置法では頭皮上の主な解剖学的領域をアルファベットで表します。例えば、F の文字は前頭部（Frontal）、C は中央部（Central）、P は頭頂部（Parietal）、O は後頭部（Occipital）を意味します。Cz または FCz のいずれかで記録される脳波周波数帯域とそのときの行動や精神状態について表 6.1 に示します。

周波数帯域	Cz および FCz での相関性
1-3 Hz の δ 波	睡眠の第 4 段階において優勢な活動。電極の動き、目の動き、または瞬目のアーチファクトがすべて δ 波に類似している。脳損傷や学習障害がある人の覚醒時の EEG で増大することがある。
4-5 Hz の低い θ 波	朦朧状態。傾眠状態。
6-7 Hz の高い θ 波	内省状態。創造的な場合もあるが、この精神状態が現れた後は長時間考えが想起されない。読解や傾聴などの外部からの学習に意識を集中していない。記憶の想起において重要。視覚化は 7~9 Hz の活動に関連している。
8-10 Hz の低い α 波	内省状態。ある種の瞑想で増大。
11-12 Hz の高い α 波	高い意識の集中、覚醒した状態と相関している。特にハイレベルの運動選手が「完全に集中している」時に見られる。高い知能は、 α 波の高いピーク周波数と安静時の高い振幅、およびタスク中の脱同期化の増大に関連がある。
13-21 Hz の β 波	β 波の広帯域。ADHD の評価においては、 θ 波/ β 波の出力比で用いられる。
感覚運動帯（C3、Cz、C4）にかけて測定した時の 12-15 Hz	外部状態に惑わされずじっと静止している覚醒・注意状態と関係がある。不安および衝動

の感覚運動リズム (SMR)	性が抑制された状態で、免疫機能が向上している。
16 -20 Hz の β 波	積極的な問題解決や認知・運動活動と関連する。ほとんどの人の意識的な思考・問題解決時には 16-18 Hz の活動を伴う。 β 波は課題を習得した時点よりも、学習している時の方が多く出現する。
19-22 Hz の高い β 波	感情の「昂ぶり」（場合によっては不安な状態）と関連がある。しばしば、運動選手がこの状態の時に無理をし過ぎた感覚があると報告している。
23-36 Hz の高い β 波	脳の働きすぎ状態と関連がある。これは、思考の認知プロセスと関連しており、否定的思考状態に陥っているときに見られることもある。優秀な運動選手のスランプ状態を示す指標となりうる。数値が 25Hz 前後の脳波活動はアルコール依存症および中毒症の家族歴と関連していることがある。
40 Hz (Sheer rhythm) の γ 波	注意集中と認知機能 - <i>binding rhythm</i> - と完全に関連している。これを増大させることで、学習障害に役立つ場合がある。人が重心動揺計上でバランスをとるときに 40 Hz の波が急増する。
45 – 58 Hz	頭部、下顎、頸部の筋肉活動を反映するための周波数測定帯域。「脳波抑制」の範囲。 (50 Hz の電氣的干渉周波数のため、アジア、オーストラリア、ヨーロッパでは脳波抑制は 53-59 Hz で使用してください)
60 Hz (ヨーロッパ、アジア、オーストラリアでは 50 Hz)	正常な脳波活動を反映することがあるが、ほとんどは電氣的干渉によりかき消される。

表 6.1 Thompson & Thompson (2003)から採用した、脳波帯域幅と Cz または FCz から記録された精神的状態との相関性。

頭皮上の複数の位置で脳波信号を同時に記録し、脳で生じる電氣的パターンの減衰および流れを観察することができます。コンピュータのデータ処理能力によって迅速な視覚表示や多くの電極位置からの同時記録処理ができるようになり、今やニューロフィードバックの分野は急速に拡大しています。定量的脳波記録法 (QEEG) として知られるこれらの種類のディスプレイ装置は、有用な診断・指導ツールであり、現在ではニューロフィードバックの臨床的基盤となっています。この分野には、米国バイオフィードバック認定協会 (the Biofeedback Certification Institute of America) (www.bcia.org) による独

自の認定プログラムがあります。詳細は、Thompson and Thompson, 2003; Hammond et al., 2004; and Demos, 2005.を参照して下さい。

応用と研究

この研究分野の急速な拡大に伴い、多くの新しいニューロフィードバックの応用が見出されています。ニューロフィードバックは、多くの場合薬物を使用しない脳機能障害の治療（健康に戻すこと）に利用されます。一般的に、これらの治療には40以上のニューロフィードバックのトレーニング・セッションが必要です。これは多すぎるようにも思えますが、バイオリンの演奏やスキーを学ぶなどの新しい技能をマスターすることに比べれば、とても限られた量のトレーニングです。すべてのバイオフィードバック手順の基礎となるものは、「自己調節」の概念と経験です。具体的には、トレーニーはしばしば自己治癒を可能にするプロセスである自覚およびコントロールを学習します。ニューロフィードバックは分野としてはまだ初期段階ですが、その応用範囲は、最高の仕事ができる注意状態のトレーニングから、ヨーガ行者の生理状態や意識をコントロールする方法の理解まで多岐にわたります（Wilson et al., in press; Peper et al., 2006）。ニューロフィードバック・トレーニングにより臨床的効果が実証された具体的な症状には、以下のものがあります。

- てんかん（Serman, 2000）。
- 注意欠陥多動性障害（Lubar et al., 1995; Monastra et al., 2005）。
- うつ病（Rosenfeld, 2000）。
- アルコール依存症および中毒症（Peniston & Kulkosky, 1989）。

終わりに

本章では、脳波記録バイオフィードバックを理解するために必要な測定の基本について概説しました。ここで述べている内容は本テキストの実習に必要な予備知識として選択しました。そのため、皮膚電気活動の理論についてさらに理解を深めるためには、以下の参考図書をご参照下さい。

推奨文献：

- Demos, J. N. (2005). *Getting started with neurofeedback*. New York: W. W. Norton & Company.
- Evans, J.R. (2006). *Handbook of neurofeedback: Dynamics and clinical applications*. Philadelphia: Haworth Press, Inc.
- Evans, J. R., & Abarbanel, A. (1999). *Quantitative EEG and Neurofeedback*. New York: Academic Press.
- Robbins, J. (2000). *A symphony in the brain*. New York: Atlantic Monthly Press.

Thompson, M., & Thompson, L. (2003). *The neurofeedback book: An introduction to basic concepts in applied psychophysiology*. Wheat Ridge, CO: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback.

参考文献：

- Demos, J. N. (2005). *Getting started with neurofeedback*. New York: W. W. Norton & Company.
- Green, E., & Green, A. (1989). *Beyond biofeedback*. New York: Knoll. ISBN-13: 978-0940267145
- Green, E. E., Green, A. M., & Walters, E. D. (1979). Biofeedback for mind/body self-regulation: Healing and creativity. Adapted from E. Peper, S. Ancoli, & M. Quinn (Eds.). *Mind/body integration*, New York: Plenum, 125-139.
- Hammond, D. C., Walker, J. Hoffman, D., Lubar, J. F., Trudeau, D., Gurnee, R., & Horvat, J. (2004). Standards for the use of quantitative electroencephalography (QEEG) in neurofeedback: A position paper of the International Society for Neuronal Regulation. *Journal of Neurotherapy*, 8(1), 5-27.
- Kamiya, J. (1969). Operant control of the EEG alpha rhythm and some of its reported effects on consciousness. In C.T. Tart (Ed.). *Altered states of consciousness*. New York: Wiley, 507-517.
- Lubar, J. F. (1995). Neurofeedback for the management of attention-deficit/hyperactivity disorders. In M. S. Schwartz (Ed.), *Biofeedback: A practitioner's guide* (2nd ed.). 493-522.
- Lubar, J. F., & Shouse, M. N. (1976). EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): A preliminary report. *Biofeedback and Self-Regulation*, 3, 293-306.
- Monastra, V. J., Lynn, S., Linden, M., Lubar, J. F., Gruzelier, J., & LaVaque, T. J. (2005). Electroencephalographic biofeedback in the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30, 95-114.
- Mulholland, T. B., & Peper, E. (1971). Occipital alpha and accommodative vergence, pursuit tracking and fast eye movements. *Psychophysiology*, 8(5), 556-575.
- Peniston, E. G., & Kulkosky, P. J. (1992). Alpha-theta EEG biofeedback training in alcoholism and posttraumatic stress disorder. *The International Society for the Study of Subtle Energies and Energy Medicines*, 2, 5-7.
- Peper, E. (1970). Feedback regulation of the alpha electroencephalogram activity through control of the internal and external parameters. *Kybernetik*, 7(3), 107-112.
- Peper, E., & Mulholland, T. (1970). Methodological and theoretical problems in the voluntary control of electroencephalographic occipital alpha by the subject. *Kybernetik*, 7(1), 10-13.
- Peper, E., Wilson, V. E., Gunkelman, J., Kawakami, M., Sata, M., Barton, W., & Johnston, J. (2006). Tongue piercing by a yogi: QEEG observations. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 34(4), 331-338.
- Rosenfeld, J. P. (2000). An EEG biofeedback protocol for affective disorders. *Clinical Electroencephalography*, 31(1), 7-12.
- Sterman, M. B. (1995). Concepts and applications of EEG analysis in aviation performance evaluation. *Biological Psychology*, 40(1-2), 115-130.

- Sterman, M. B. (2000). Basic concepts and clinical findings in the treatment of seizure disorders with EEG operant conditioning. *Clinical Electroencephalography*, 31(1), 45-55.
- Thompson, M., & Thompson, L. (2003). *The neurofeedback book: An introduction to basic concepts in applied psychophysiology*. Wheat Ridge, CO: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback.
- Wilson, V. E., Thompson, J. W. G., Thompson, M., & Peper, E. (in press). Using EEG for enhancing performance arousal, attention, self talk and imagery. In: Strack, B., Wilson, V., & Linden, M. (Eds). *Neurofeedback and Biofeedback in Sport Psychology: Unleash Your 'A" Brain*. New York: Springer Press
- Wyrwicka, W., & Sterman, M. B. (1968). Instrumental conditioning of sensorimotor cortex EEG spindles in the waking cat. *Physiology and Behavior*, 3, 703-707.