

## 脳波の謎：リズムとその存在理由

Mystery of the brain: Why the brain-waves oscillate rhythmically?

良 峯 徳 和 \*  
Norikazu YOSHIMINE

**Keywords** : EEG(electroencephalogram), Hans Berger, Power Spectrum,  
Rhythm of the Brain

### はじめに — 現今の脳波研究事情

従来、脳波検査といえば、医療分野において、てんかん、脳腫瘍、脳挫傷、脳出血、脳梗塞による意識障害などの疑いがある場合に、専門医師の指導監督のもと、資格をもった臨床検査技師が行うものである。また、近年では脳死判定などにも脳波検査は用いられる。脳波は、脳細胞（ニューロン）の活動が起こす微弱な電気信号を大きく増幅して計測するので、ある程度脳の動きや変化を直接的に測定し、把握できる有力な手段であるとみなされている。当然、臨床検査という正確さと精密性を要求される検査のため、脳波を計測するには、脳波計の仕様、検査環境（シールドルーム）、検査前の準備、検査方法、被験者の姿勢（ベッドに横たわり安静状態で脳波を測定する）など、多くの制約が課されている<sup>1</sup>。

そうした医療目的の脳波検査装置はきわめて高価なため、医療以外の目的で一般人が手軽に購入できるものではない。しかし、近年になって、脳波測定の技術的原理はそのままに、電子機器部品や電極部品、構造素材などを簡易化、軽量化して、価格を数万円～百万円程度に抑えた一般向け、医療目的以外の研究向けの脳波計測装置が発売されるようになると、脳波計測の応用範囲は一気に広がることになった。

リラクゼーション、瞑想、集中力の育成・強化を目的した一種の健康器、「脳波は口より正直にものを言う」というスローガンのもと、さまざまな商品に関するモニタリング調査、四肢や体の不自由な人たちが脳波を介して直接、車いすやPCの制御をできるようにする試み(BMI:Brain Machine InterfaceあるいはBCI:Brain Computer Interface)、スターウォーズの「フォース」よろしく脳波の強度でおもちゃのボールを浮かびあがらせ、ボールの奪い合いができる玩具、脳波計を備えたカチューシャを装着するとそのつどの気持ちが猫の耳の動きで表現されるという玩具など、さまざまな分野で脳波関連商品が開発され話題となっている。

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

<sup>1</sup> 「改訂臨床脳波検査基準」『臨床神経生理学』31(2), p. 222-242.

しかしながら、「脳波」の簡便な測定装置とその応用が一般に広まり、メディアやネットなどで話題にのぼったりするうちに、脳波に関する俗説が独り歩きをはじめ、脳波の本質に関わる問いや謎が覆い隠されてしまったかのような感がある。脳波に関するさまざまな俗説や憶測が、しっかりとした科学的な検証も経ずに、あたかも既成事実であるかのように表現されている現状は、脳波を医療以外の様々な分野で研究、応用して行こうと志すものにとって、望ましい状況ではない。本研究ノートは、筆者自身への自戒の念も含めて、脳波に関し科学的に解明されたこと、解明されつつあること、そうでないことを明確に区分し、再確認することを目的に記述することとする。

## 脳波の基本メカニズム

ヒトの脳はおよそ百億個以上の神経細胞が、ある種の情報ネットワーク回路を形成している。脳ネットワークの情報伝達活動は、個々の神経細胞が化学物質（金属イオン）の出し入れに伴って生ずる活動電位によって営まれている。こうした知見は、J.Z. ヤングによるイカの神経線維を使った神経細胞の生化学的性質の解明（1936年）、A.L. ホジキンと A.F. ハックスレーによる神経線維における電気信号発生の仕組み解明などを通して、徐々に明らかになってきた<sup>2</sup>。

神経線維の電気信号発生のカギは、ニューロンをとりまく膜の内側と外側に存在するイオンのアンバランスな分布にある。細胞の内側には、カリウムイオン（K<sup>+</sup>）が多く、外側には、ナトリウムイオン（Na<sup>+</sup>）と塩素イオン（Cl<sup>-</sup>）が多く分布している。細胞の内側には、マイナスに帯電したタンパクが集まるため、細胞が静止状態にあるとき、膜の内側は外側に比べマイナス数十ミリボルトの電位差が保持される。これを静止電位と呼んでいる。このアンバランスなイオン分布を維持するために、ニューロンはイオンポンプと呼ばれる仕組みを持っていて、エネルギーを使ってナトリウムイオンを細胞外に排出し、カリウムイオンを細胞内に取り込むという仕組みを持っている。（ホジキンとハックスレーは、こうした研究成果によって、1963年にノーベル医学・生理学賞を授与されている。）

こうしたアンバランスな状態の神経細胞内外の電位は、外界からの物理化学的刺激や他の神経細胞からの信号（シナプスからのイオン放出）受信をきっかけとして、1000分の1秒以下という一瞬のうちにプラスに逆転する。これは細胞の外からの急速なナトリウムの流入と引き続く細胞内からのカリウムの流出によって生じる。こうした神経細胞膜の電位の逆転現象は、活動電位と呼ばれている。ただし、この一瞬で生じる鋭く尖った波形で現れる神経細胞膜の電位変化（インパルス、スパイクなどと呼ばれる）は、その後、イオンポンプの働きによってすみやかに（ミリ秒単位で）元の静止電位の状態にもどる。

こうした神経細胞の生化学的電氣的活動という基本図式をもとに、脳波測定で記録されるものが何であるかを考えると、感覚器を通じて脳内の神経細胞に外からの刺激が入ってきたり、近隣の神経細胞から伝達信号が入ってくることで生じる個々の神経細胞の活動電位を記録したものと考えやすい。しかしながら、一つ一つの神経細胞が興奮して発生させる電気パルス信号

<sup>2</sup> ヤングが研究対象としたイカの神経線維は、直径が1ミリメートル近くもあり、太さが0.1から20ミクロン程度しかない普通の神経線維と比較するときわめて太く、神経細胞の実験研究には最適の素材であった。そのため、その後長い期間にわたり、神経細胞や神経線維における電気信号発生の仕組みや、その薬理作用、神経細胞をとりまく膜の生化学的性質の解明のために使われることになった。

の電圧の変化は、 $-80\text{mV} \sim +40\text{mV}$  にすぎない。一般的な脳波測定（頭皮上脳波）の場合、電極を頭皮上に設置するため、電極と脳組織との間には脳軟膜、脳クモ膜、脳硬膜、頭蓋骨、頭皮などがさしはさまり、それらを合わせた抵抗値は絶縁体に近い数百 $\Omega$ 程度になるといわれる。このため、頭皮上で測定される脳波の電氣的強さは、頭蓋内に針電極などを差し入れて直接測定した頭蓋内脳波よりも、百分の1から数千分の1に減衰し、 $10 \sim 100 \mu\text{V}$  の微小電位となる。アーティファクト（電位雑音）も増え、記録される脳波の発生源も若干のものを除き、大脳表面から深さ $5\text{mm} \sim 1\text{cm}$  程度の脳活動に限られる。さらに、神経細胞の活動電位そのものは持続時間が $1\text{msec}$  ときわめて短く、単独の活動電位もしくはその集積を脳波と考えるのは、無理があるとされている。現在では活動電位後にも持続している緩やかなシナプス後電位（EPSP と呼ばれる興奮性のシナプス後電位と IPSP と呼ばれる抑制性シナプス後電位の加重電位）が多数重なり合ったものが、脳波計で捉えられる電位変化だとする説が有力である<sup>3</sup>。

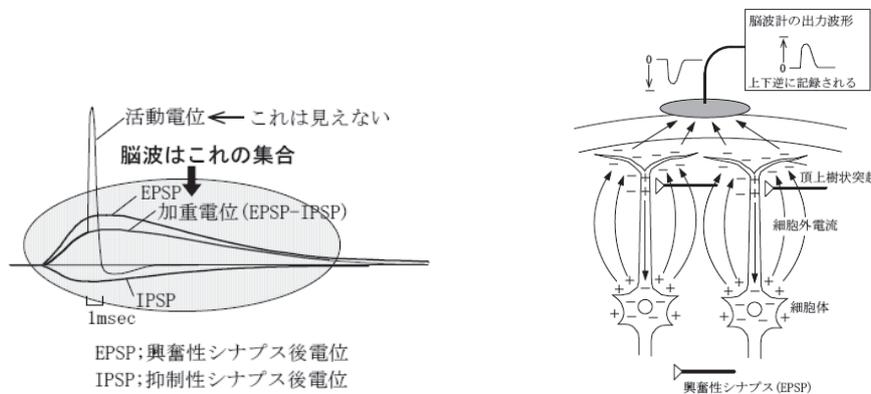


図1 シナプス後電位の集合

図2 頭皮表面に現れる電位変化

このように脳波計測によって脳あるいは心の活動の一端を計量的に明らかにしようとする研究は、一般的な脳波計で捉えることのできる脳細胞の活動範囲がきわめて限定的であることを前提としたうえで、行われなくてはならない。第一に認識すべきことは、一般的な脳波計で捉えることのできる神経組織の電位変化は、決して個々あるいは局所的範囲内の神経細胞レベルにおける脳活動の反映ではないこと、それらはあまりに微弱で、頭皮に設置した電極ではとらえることができないこと、そして一般的な脳波計が記録できる電位変化は、(3cm 程度の深さまでの) 脳の表面から数百万個単位で集められたシナプス後電位の積分値ということである。

ここで脳波の本質に関わる重要な疑問が生じる。百万単位の神経細胞のそれぞれが刺激を受けたり、隣接する神経細胞から信号を受信したりするたびに、活動電位を発生させ、それらの後電位を表皮上の一点でかき集めたものが、いわゆる脳波だとすれば、それは乱雑に発生した雑音の集合体のようなものでしかなく、そこから読み取ることのできる脳活動に関する情報は、脳が全体としてどの程度活発に活動しているかなど、きわめて限定的なものになってしまうという疑念である。だとすれば、脳波を使った応用可能性の範囲も限定的になってしまい、今日見受けられるような一種の脳波ブームに冷水をかけることになってしまうかもしれない。

<sup>3</sup> 末永和栄、岡田保紀 (2016) 『最新脳波標準テキスト』メディカルシステム研修所, p.18.  
加納慎一郎、中谷裕教、大庭茂男、星宮望 (2002). 「生体信号の計測と信号処理」『電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)』 122(9), p.1403-1411.

脳波を計測することで、脳の活動あるいは心の働きについて、もっと様々な複雑なことが分かるのではないかという今日の期待を生み出したのは、脳波にみられる律動性（リズム）とそれが心の状態と密接な関係にあるという観察事実に基づくものであった。その根底にあるのは、脳波計測をしてみるとただのランダムな振幅変化を繰り返しているように見える脳波であっても、心の状態と相関する何種類かの周波数パターンの波動へと解析できるという発見であった。今日、そうした脳波の持つ周波数パターンには、アルファ波（8～13Hz 未満）、ベータ波（13Hz 以上）、シータ波（4～8Hz 未満）、デルタ波（0.5～4Hz 未満）といった名称がつけられ、それぞれの波形が顕著に表れる脳波は、それぞれ特徴をもった身体的、精神的状態と密接な関係があるとされている。

表 1：主な脳波の種類とその特徴

| 主な脳波の種類 | 周波数帯域  | 特 徴  |
|---------|--------|--|
| アルファ波   | 8～13Hz | 安静、覚醒、閉眼状態で正常成人の頭頂部、後頭部で最も著明に見られ、心身ともにリラックスすれば脳波がアルファ波になり、集中力が増すとも言われる。  |
| ベータ波    | 13Hz～  | ベータ波は通常の覚醒時の意識と関連づけられ、低振幅で複数の変化する周波数のベータ波は能動的で活発な思考や心身の緊張状態と関連付けられる。   |
| シータ波    | 4～8Hz  | 一般に眠くなってまどろんでいるときに現れるが、禅や深い瞑想時にも現れるとされている。<br>最近では脳波がシータ波の状態になると、記憶力がよくなったり、ひらめきや直感力が鋭くなる、深くリラックスして健康にも良いなどといわれているが、必ずしも科学的な裏付けがあるわけでない。 |
| デルタ波    | 1～3Hz  | ぐっすりと深い眠りに落ちている時に現れる。ほぼ無意識な状態。   |

## 脳波発見の経緯と「虫の知らせ」

一見ランダムに振幅しているだけのように見える脳波が、いくつかの異なる特徴をもった周波数の脳波からできているという発見は、意外なことに脳波自体の発見とほぼ同時期になされている。最初に脳表面からの電氣的活動記録を試みたのは、イギリスの Richard Caton である。彼はウサギやサル の頭蓋を開き、大脳半球の電氣的性質を検流計（ガルバノメータ）を用いて調べ始めた。1857年、Caton は検流計の方向を変える微弱な電流が電極を大脳の外表面に2個置いた場合と、電極の一方を灰白質、もう一方を頭蓋骨に置いた場合に発生することを発見した（1875）<sup>4</sup>。さらに睡眠や覚醒、昏睡状態、死亡時と関連した脳波の変化を測定した。さらに Caton は、頭の動き、咀嚼運動、瞼の運動を含む運動活動に関連する脳の部位を特定している。こうしたことから、Caton は脳波を使って最初に脳地図を作成した科学者とみなされて

<sup>4</sup> Richard Caton (1875). Electrical currents of the brain. *British Medical Journal* 2 (765).

いる。この Caton の発見を皮切りとして、動物の脳に直接電極を設置して、脳活動を記録する研究が盛んに行われるようになった。

1913年、ロシアの Vladimir Pravdich-Neminsky は、脳電磁反応信号の最初の写真記録を取った。また脳電磁反応が時間に沿った波形を示すことを初めて明らかにした。1920年、Alexander Forbes は、検流計を真空管を使って脳電気反応信号を増幅して表示する測定器具（生体アンプ）に置き換えた。これは EEG 増幅器を使って行われた最初の脳波測定の試みであり、その後はこの方式による脳波測定法が標準となっていく。

ドイツの Hans Berger は、ヒトの脳に対してその電氣的活動を測定し、それに electroencephalogram (EEG) という名前を付け、さらに脳波にアルファ波、ベータ波といった周波数成分が含まれていることを発見した初めての科学者である。興味深いことに、Berger がヒトの脳波を研究し始めるきっかけとなったのは、Berger 自身が体験した「虫の知らせ」「テレパシー」などとされる不思議な出来事であった。

Berger は当初は天文学を志していたが、1890年代初頭、軍役に従事していたとき、乗っていた馬が堤防を転げ落ち、騎砲の車輪に轢かれそうになる事故にあった。この時、彼の姉ははるか遠くの土地にいたにもかかわらず、Berger の危険を感じとり、父に頼んで電報を打たせた。この出来事はベルガーを非常に驚かせ、脳生理学へと転向するきっかけになったといわれる。

Berger がそのときに抱いた素朴な仮説は、おそらく次のようなものであったろう。ヒトや動物は、何か命にかかわるような強烈な体験をすると、脳の中でとりわけ強い電気信号および電磁波が発生し、それが空間中を伝わって遠く離れた別の脳でも受け取られるようになるのではないか。マルコーニがイギリス-フランス間の無線電信を初めて成功させたのは1897年のことであるから、当時の最先端テクノロジーであった無線通信と脳の電気活動とを結び付けて考えたことは自然であったともいえよう。

自身が体験した不思議な現象の衝撃と脳神経機能への興味から、彼は神経学へと転向し、多面的な研究意欲を示した。1924年、Berger は脳腫瘍の疑いでイエーナ大学の外科で穿頭術を受けた17歳の少年に、長靴型の陶器電極と Edelman 型の検流計をつかって、穿頭術の場所から電気変動を観察することを試みた。Berger によって最初に記録された脳波記録は、神経膠肉腫を摘出された40歳の男性の穿頭術部分に、亜鉛メッキした針電極を挿入して、二重コイル検流計を使い、硬膜上から測定したものである。その際、脳波信号のなかに、平均90msecの持続をもつ小さな波（「第1級の波」）と、平均35msecの持続をもつ小さな波（「第2級の波」）が混在しているのを見出し、両者を異なる脳波要素として初めて区別した。翌年には、第1級の波を「アルファ波」、第2級の波を「ベータ波」と命名し、脳波一般を EEG (Elektrenkephalogramm) と略称することを提唱した。さらに、アルファ波とベータ波の関係について、生理学的な感覚（触覚）刺激によりアルファ波が消失してベータ波が現れる現象を提示した。この現象は今日では、 $\alpha$ -attenuation（減衰）または  $\alpha$ -blocking の現象として一般に知られている。

このころには Berger は、頭蓋内の微小電流現象でしかない脳波が「虫の知らせ」のような現象の解明には結びつかないことを認識しており、「自分が多年この課題を研究したのは、実地的な観点からであり、心疾患における心電図のように、中枢神経系の活動における病的変化を客観的に研究する方法を見出したかったからであり、また診断的にも重要になると思う」と述べている。

その後も Berger は精力的にヒトの脳波に関する先進的な研究を推し進め、注意の強化が脳波の振幅の減少（アルファ波抑制）をもたらすという見解、驚愕刺激によって情動的に興奮すると、脳波が速波化する（安静状態で 90～120msec の波が 55msec の波になる）という見解、アルファ波は大脳皮質のあらゆるところから起源し、ベータ波は大脳皮質以外の大脳白質からも記録されるとする見解、アルファ波は皮質深層の大錐体細胞に起源し、ベータ波は皮質表層 3 層の小神経細胞から起源するとする見解など、脳波に関する先進的な研究成果を次々と発表した<sup>5</sup>。

Berger はイエーナ大学の教授（1906 年～）、さらには学長を務める（1927～1928 年）など、研究者として大きな成功を取っていたが、ナチズムの台頭と第二次世界大戦の勃発という激動の時代、公私ともに生活が翻弄され、1941 年に自殺を図ってこの世を去った。

## 脳波の周波数分析と脳のリズム

Hans Berger は脳波に関する先駆的な研究を行い、後続の研究者に多くの卓見を残したが、にもかかわらず、脳波の特徴としてもっとも注目に値するものと広く認められながら、いまだに十分な解明が進んでいない領域がある。それは脳波におけるリズム（律動性振動 rhythmic oscillation）の存在である。Berger はいち早くアルファ波およびベータ波の存在を脳波信号のなかに見出し、それらがある種の精神状態と相関関係にあることを発見した。脳波信号を、アルファ波やベータ波、シータ波、デルタ波などの異なる周波数をもつ波（正弦波）に解析処理するためには、フーリエ変換と呼ばれる数学的処理を行う必要がある。フーリエ変換は、音波や電波など、あらゆる種類の波形信号を解析したり、ノイズを取り除いたり、加工したりするために欠くことのできない数学的処理である。脳波の場合、演算量を大幅に低減して高速で処理できる高速フーリエ変換 (FFT: Fast Fourier Transformation) を用いるのが一般的であるが、結果を得るために最低でも 5～10 秒の脳波データが必要になることから、近年ではより短い時間（ミリ秒単位）の脳波データからでも周波数の変化を知ることができる Wavelet 法も利用されるようになってきている<sup>6</sup>。

脳波を周波数解析して得られる結果をパワースペクトルと呼ぶ。これにより、波形の大きさや周波数を定量的に表現することができ、一見、明確な違いの見えないふたつの脳波信号であっても、周波数解析した波の強さのパターンに相違点や特徴が見えてくるようになる。脳波信号を FFT 解析して、横軸を周波数、縦軸をその周波数の波の強さにしたグラフを描画する。このグラフの横軸の周波数帯域が 8～13Hz にあたる部分が、アルファ波の信号強度の分布を示しており、13～30Hz にあたる部分がベータ波の信号強度の分布を示す。本来、このように表示されるアルファ波、ベータ波といった脳波成分は、もとの脳波信号にフーリエ変換という数学的処理を介して、はじめて見えてくる。

<sup>5</sup> Millett, David (2001). Hans Berger: From Psychic Energy to the EEG. *Perspectives in Biology and Medicine*. 44 (4), p. 522-542.

山口 成良 (2008). 「Hans Berger のヒトの脳波の発見とその後の脳波学の発展—Hans Berger の年代記も含めて—」『精神経誌』110 (2), p.134-143.

<sup>6</sup> 芦野 隆一・守本 晃 (2003). 「ウェーブレット解析とその応用」 (<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~ashino/pdf/ryukoku.pdf>).

しかも、そうした数学的処理によって示されたアルファ波やベータ波、シータ波などと呼ばれる脳波成分と、ある性質をもった精神活動や精神状態（集中している、落ち着いてリラックスしている、まどろんでいるなど）が、何らかの対応関係にあることが経験的に示されてきた。だとすればそうした異なる種類の脳波の背景に、その発生源となっている具体的な脳活動が相関的に存在しているのだろうか。

音信号を例にとると、例えばオーケストラによる演奏の場合、波形を周波数解析すると、楽器の種類によってその音の高さ（周波数）や響き（倍音成分）などの特徴が異なるため、楽器ごとのパワースペクトルを用いて、そこにどんな楽器が参加していたかを分析することが理論的に可能とされている<sup>7</sup>。同じように、脳波を周波数解析することで、そのときの精神状態や精神活動のもととなる脳内の具体的な神経活動の状態を推測することは理論的に可能なのか。さらに、そうしたタイプの異なる精神活動や精神状態を生み出すと想定される神経活動は、どのような理由やメカニズムで、アルファ波やベータ波、シータ波が示す異なった律動的振動（リズム）を示すのか。これまで数多くの脳研究者たちが、この謎解きに挑戦し、さまざまな仮説が提示されてきたが<sup>8</sup>、これまでのところ、科学的に裏付けされた明確な答は得られていない。

すでにみたように、非侵襲的な脳波計測によって得られるデータは、持続時間が1msecとさきわめて短く、そのまま神経細胞の活動電位もしくはその集積と考えることはできない。脳波計で捉えることのできる脳内の神経活動は、百万単位のシナプス後電位の集積した比較的緩やかな電位の変化であると考えられている。ただし、数多くの神経活動がただ無秩序に重なり合っているとすれば、それらの波形は平均化され、個々の律動的な特徴が潰され、結果として特定のリズムを示すには至らないと考えられる。今日、一般に数百万個といわれる神経細胞のシナプス後電位の集積に、アルファ波のように10Hz程度のリズムが明確に生ずるようになるには、それら多数の神経細胞がほぼ同期してシナプス後電位を発するように調整されていなくてはならないと想定されている。脳全体において数百万単位の神経細胞が、一斉に同期して振動するという不思議な現象がいかにか起きているかという問題は、今後の科学的解明を待たなくてはならない重要な課題である。ただし、なぜ脳の神経細胞が集団で同期的に活動しなければならないかについては、海馬を構成する神経細胞の律動的振動に関する最新の研究から、いくつかの示唆に富む研究成果が得られている。

## 海馬の振動同期仮説：脳波研究の可能性

海馬は哺乳類の中樞神経系のなかでももっとも詳しく研究されている脳領域の一つである。海馬は「海馬体 (hippocampal formation)」とよばれる大脳辺縁系の一部である。海馬は、解剖学および機能的なその構造から、ほかの大脳皮質システムのモデルにもなっている。今日では海馬が記憶、とりわけ経験した出来事の記憶、いわゆるエピソード記憶に関係していることがわかっている。1957年のScovilleとMilnerの報告によると、てんかんの患者HMが治療の目的で両側の海馬を取り除く手術を受けたが、その後、新しい情報を長期記憶に留める能力

<sup>7</sup> 例えば、窪正晃、鶴木祐史、赤木 正人「楽器音の音響的特徴を知識として利用した選択的分離抽出法」『日本音響学会聴覚研究会資料 H-2002-90』Vol.32 (10) など

<sup>8</sup> 例えばこの分野の研究の第一人者である Gyorgy Buzsaki が、その最新の研究成果をもとにその仮説をまとめている。Buzsaki, Gyorgy (2011). *Rhythms of the Brain*. Oxford UP.

が永遠に欠如したという<sup>9</sup>。海馬の萎縮がアルツハイマー型認知症の発症と強い関係があることも確認されており、海馬と記憶・学習との関連性はほぼ疑いのないものとなっている。

近年、生きているラットの脳（なかでも海馬）に電極を刺して、簡単な迷路を走り回る際の微小電流を測るという実験が、日本の理化学研究所をはじめとして世界のいくつかの研究グループによって実施され、海馬には場所を記憶する細胞も含まれていることがわかってきた。そうした海馬内の細胞は空間上の特定の場所を記憶し、その後同じ場所を通るとその場所に対応する細胞が次々と反応するという。いうなれば、海馬の中には、認知的な外界のマップ「認知地図」が形成されていることになる<sup>10</sup>。

どのようにして海馬で場所の記憶が形成されるのかを突き止めるため、海馬と内嗅野、歯状回など周辺の脳部位の神経細胞の活動状態を詳細にモニターして調べた結果、場所細胞の活動のタイミングと、海馬内の脳波とくにシータ波と呼ばれる周波数4～8Hzの波に相関性があることがわかってきた。ラットが複数の場所を走り抜けると、それぞれの場所に反応する場所細胞が繰り返して活動する。その活動は、シータ波の1周期の間に、ラットが走り抜けた場所の順番を保持しながら、シータ波の周期ごとに、すなわち1秒間に8回繰り返されるという<sup>11</sup>。

理化学研究所の研究では、海馬による経験の記憶メカニズム説明する理論モデルとして「引き込み」とよばれる複数の振動子が一定の関係を作って安定して振動する現象を提唱している。ラットの行動に伴う情報が内嗅野に伝わると、海馬の神経細胞が活動を始め、徐々にテンポがあがっていくにつれ、引き込みによってシータ波と協調、安定したリズムが形成される。安定したリズムで脳細胞が活動すると、同じパターンの信号が繰り返し長期にわたって周辺の脳細胞組織に伝えられ、その信号が記憶、学習として定着していく。記憶は生きた細胞からなる神経回路に刻み込まれていくことを考えれば、脳内の信号が安定したリズムにのって、繰り返し何度も周辺の脳細胞に刺激を与え続けるというリズム機構は、実に理にかなったものと思われる<sup>12</sup>。

現在のところ、こうした脳神経細胞の活動とそのリズム（シータ波）との相関関係が実証されているのは、ラットやサルなど哺乳動物の海馬周辺の神経機構だけであるが、脳波中にアルファ波、ベータ波、シータ波、デルタ波など、特定のリズムで力強く繰り返される信号が存在するという事は、脳内の膨大な数の脳細胞が協調しながら同じリズムで活動していることを示唆している。それらの脳波リズムが、具体的に脳のどんな機能や活動をどのような形で支え、さまざまな精神活動や精神状態を生み出しているのかについては、将来の研究成果を待たなくてはならない。しかし、それらの存在をたんに脳活動に付随して生じている律動的振動として捉えるのではなく、脳独自の機構に則り、脳が担うさまざまな機能や活動をもっとも円滑、効率的に推進する積極的な役割を担うものだと捉えることができれば、脳波計測時に現れる波形のひとつひとつが、より崇高で霊妙なものに見えてくるのではなかろうか。

<sup>9</sup> Scoville W.B. & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 20, p.11-21.

<sup>10</sup> O'Keefe J, Dostrovsky J. (1971). The hippocampus as a spatial map: preliminary evidence from tinit activity in freely moving rats. *Brain Research* 34, p.171-175.

<sup>11</sup> O'Keefe J. and Recce M. L. (1993). Phase Relationship Between Hippocampal Place Units and the EEG Theta Rhythm. *HYPPOCAMPUS* 3 (3), p.317-3303.

Yamaguchi Y, Sato N, Wagatsuma H, Wu Z, Molter C & Aota Y (2007). A unified view of theta-phase coding in the entorhinal-hippocampal system. *Curr Opin Neurobiol* 17, p.197-204.

<sup>12</sup> 山口陽子 (2003)「脳はリズムで経験を記憶する」『理研ニュース』No.264, p.2-4.