

## 電磁波および磁場に対する生体の認知機構に関する研究

### The Study on Biological Mechanism of Magneto-Sensing

代表研究者 広島市立大学情報科学部助教授 樋脇 治  
Associate Professor  
Faculty of Information Sciences, Hiroshima City Univ.  
Osamu HIWAKI

The aim of this study was the clarification of the property of the central nervous system responding to magnetic fields. Especially, the electrical activity of the suprachiasmatic nucleus (SCN), the pacemaker of the circadian rhythm, of the rat responding to static magnetic fields was investigated. The activity of the SCN was enhanced by horizontal magnetic fields, whereas it was not changed with vertical magnetic fields.

#### 研究目的

地球上に生物が現れる以前から地磁気は存在し、その環境の許に生物は進化してきた。地磁気は地球上に普く常時存在しているため普段あまり意識することはないが生物が生存する環境の要因のひとつとして重要であると考えられる。これまで主に行動学的研究により鳥類をはじめとする多くの生物が地磁気を感じる事ができ、方位や位置の認識に地磁気を利用していることが明らかにされてきている。しかしながら、地磁気を感知するメカニズムについては不明な点が多い。

一方、近年の電気機器の多用や通信技術の発達に伴い、送電線あるいは電気製品・通信機器から生じる変動磁場が生体に与える影響が注目されているが、変動磁界の生体への影響の有無はまだはっきりしていない。生体に対して作用を及ぼす変動磁場の強度を探り当て、その作用

メカニズムを明らかにすることが現在急務となっている。

磁場が生体へ及ぼす作用のひとつとして脳の松果体で産生されるホルモンであるメラトニンの量が磁場により影響を受けることが近年明らかにされてきている。通常メラトニンは昼間よりも夜間に盛んに産生されるが磁場照射により夜間のメラトニン産生が抑制されることがラット等を使った実験により確かめられている。

本研究では、生体への磁場の影響について特に体内時計の中核である視交叉上核の電気活動と磁場との関連に着目する。磁場により機能が影響を受けると考えられている松果体は視交叉上核のコントロール下にある。さらに視交叉上核は網膜から光についての情報を受けている。また、生体への磁場影響は環境の光の波長とも関係があるという実験結果もある。以上より磁場が生体へ影響を及ぼす過程には視

交叉上核が重要な位置を占めていると考えられるが、まだ磁場と視交叉上核の関連についてはほとんど研究が行なわれていない。本研究の目的は、磁場の方向・強度・周波数をそれぞれ変化させたときのラットの視交叉上核の電気活動を計測することにより中枢神経系へ磁場が及ぼす作用メカニズムを明らかにすることである。

## 研究経過

### 磁場照射システムの開発・製作

生体への静磁場および変動磁場の影響を実験により調べるためにコイルに電流を流すことにより磁場を発生させる装置を開発し製作した。従来、生体への磁場照射実験では一組のコイルを平行に組み合わせたいわゆるヘルムホルツコイルが多く用いられてきた。磁場は強度のみならず空間的勾配も生体内物質に作用するので磁場の強度による影響を調べるためには空間的に均一な磁場を作る必要がある。しかしながら、ヘルムホルツコイルでは空間的に均一な磁場を作ることは困難である。そこで空間的により均一な磁場を作ることのできるコイルを設計した。また、三次元空間内の任意の方向に磁場を向かせることができるように互いに垂直に3組のコイルを組み合わせた構造にした。設計・製作したコイルは図1に示すように4つの正方形が一組のコイルを3方向に組み合わせたものである。コイルの一边は700 mmであり、コイルの巻数は外側の正方形コイルが52巻、内側の正方形コイルが22巻である。ラット固定台をアクリルなどの非磁性の物質で作成しラットの頭部がコイル中央になるようにコイル内に設置した。コイルおよびラット固定台はパーマロイの2重層からなる磁気シールドルーム

内に設置した。

コイルの駆動および神経電気信号の計測を自動で行うためにパーソナルコンピュータをコントローラとしてシステムを構築した。自動計測システムの構成を図2に示す。このシステムを用いれば約24時間を周期とする視交叉上核の概日リズムを比較的容易に測定することができる。

### ラット視交叉上核の電気活動の測定

変動磁場照射下では記録電極と参照電極が離れている単極誘導による神経電気信号の測定はノイズが大きいため困難である。そのため、変動磁場中でも磁場によるノイズが神経電気信号に混入しないような双極電極を開発した。外径1.5 mmのガラス2連管の両方の管に直径0.03 mmのステンレススティール線を通し電熱線でガラス管とステンレススティール線を一緒に熱しながら引っ張りガラスコーティングの金属双極電極を作成した。電極が脳に入り易いように先端は研磨器で35度の角度で削った。

作成した双極電極をマイクロマニピュレータを用いてウレタンで麻酔したラットの視交叉上核まで挿入した。電極を歯科用セメントで頭蓋骨に固定した後、コイル内のラット固定装置にラット頭部が水平になるようにイヤーパーで固定した。

実験では、100マイクロテスラの強度で体軸方向(Posterior - Anterior方向)・水平面内で体軸と垂直方向(Right - Left方向)・鉛直方向(Ventral - Dorsal方向)の3方向に磁場を生成した。立ち上がり10秒・立ち下がり10秒・期間5分の磁場を30分間隔でそれぞれの方向に照射した。このときの視交叉上核から発せられる自発インパルス数を計測した。

## 研究成果

### 磁場照射システムの開発・製作

一組のコイルに直流電流を流し、一方に磁場を発生させコイル内の空間の磁場分布を磁束計で測定した。その結果、磁束方向、磁束と垂直方向のいずれにおいても磁場は1%以内の均一性が得られていることが確認された。特にラットが存在するコイル中央部では十分な均一性が保たれており、実験に用いる磁場は空間的勾配が無視できる程度に均一であることを確認した。また、磁気シールドルーム内のバックグラウンドの磁場強度は0.1マイクロテスラ程度であり、地磁気は100分の1以下に軽減されていることを確認した。

### ラット視交叉上核の電気活動の測定

図3に示すようにラットに磁場を照射したとき視交叉上核の神経細胞から発せられる自発インパルス数の変動が観察された。磁場を尾側(Posterior)方向に5分間照射した後の30分のインターバルの間にインパルス頻度は増加し、次の吻側(Anterior)方向の照射中および照射後の期間にも引き続きインパルス頻度は増加した。吻側方向の磁場照射後約15分後よりインパルス数は減少しはじめ、照射後30分までには実験開始前の状態に戻った。背側(Dorsal)方向および腹側(Ventral)方向に磁場を照射した場合には照射中照射後いずれにおいてもインパルス数の変化は見られなかった。左(Left)方向に磁場を照射した場合、照射開始直後にインパルス数は増加し始め、照射後11インパルス頻度は下がるが再び上昇し引き続き行なった右(Right)方向の磁場の照射後約30分にインパルス頻度は実験開始前の状態に戻った。磁場の照射の順序を変えた実験においても

インパルス数は吻側・尾側・右側・左側方向の水平方向の磁場照射に対して増加するものの背側・腹側方向の鉛直方向の磁場照射に対してはほとんど変化しなかった。

### 今後の課題と発展

当初の計画では、研究期間中に磁場の方向・強度・周波数に対する中枢神経の反応特性を明らかにする予定であった。

しかしながら、実験システムの構築やノイズに強い記録電極の開発に予想以上の時間を要したため研究期間内では静磁場の方向に対する視交叉上核の電気的活動の反応を計測するに留まった。

本研究で得られた視交叉上核の自発電気的活動が磁場により変化するという現象はこれまで知られていない新しい知見である。視交叉上核は体内時計の中枢であるためこの部分の機能の異常は様々な疾患を引き起こす要因となり得る。また、視交叉上核は網膜と連絡しているため視覚情報系が磁気を感じ取る機構と密接に関連している可能性もある。今後、本研究期間では行なうことのできなかつた静磁場および交流磁場に対する視交叉上核の反応について環境の光の波長との関連、松果体等脳内の他の部位の活動との相関などを詳細に調べ生体への磁場影響について体系的な解明を行なう予定である。本研究で得られた新しい知見を基にした今後のさらなる研究の発展は、体内時計と磁場の関係、生物の磁場感知メカニズムの解明などの基礎学術面における貢献のみならず当面問題視されている送電線や電気製品から発せられる磁場の安全性評価の面でも有用であると考えられる。

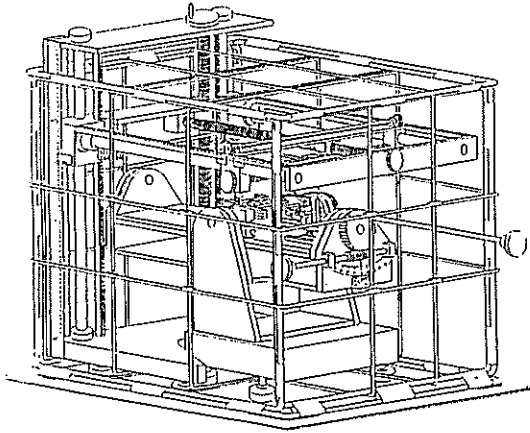


図1 均一磁場照射用コイルシステム  
およびラット固定台

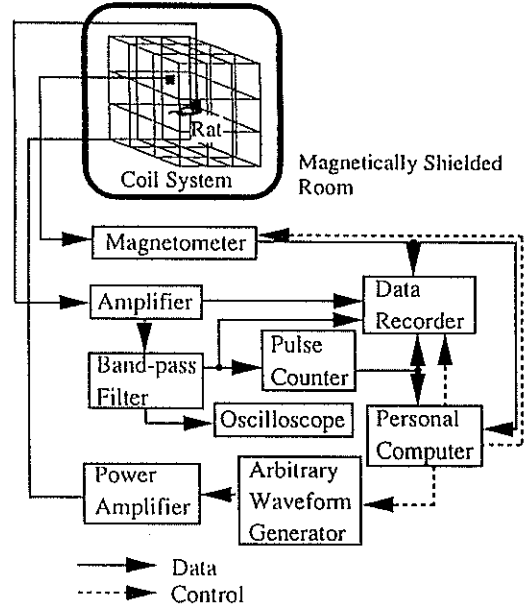


図2 生体磁場影響自動計測システムの概略図

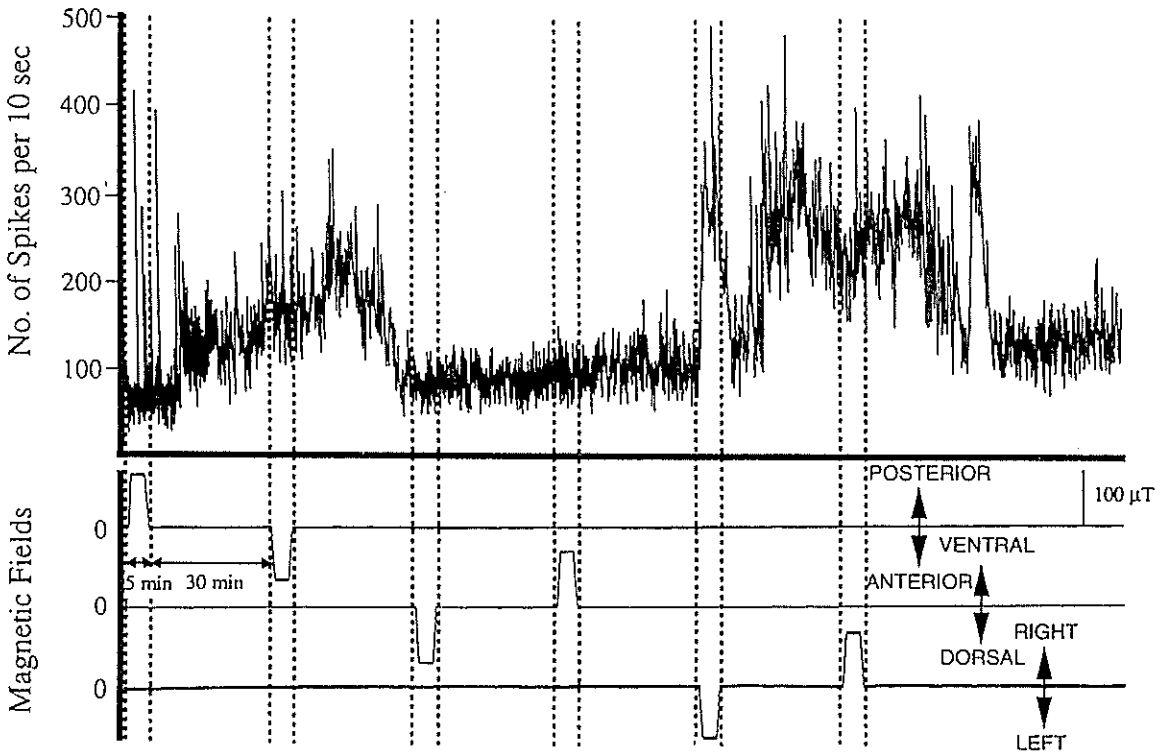


図3 静磁場の照射に対する視交叉上核のインパルス頻度の変化

上段：インパルス頻度

下段：照射磁場

(1段目:吻側(Anterior)-尾側(Posterior)方向、2段目:背側(Dorsal)-腹側(Ventral)方向、3段目右(Right)-左(Left)方向)