

# 電磁波の生体への影響

## — ホルモン作用仮説の提唱 —

村瀬 雅俊

京都大学基礎物理学研究所 非平衡系物理学

動物や人間が世界をどのようにカテゴリー化するか、赤ん坊がどのように心的発達をするか。客観的世界観はよくても不完全、悪くすればすなわち誤りである。脳はコンピューターではないし、世界はコンピューター・テープとは違う。私は若い頃、物理学はいずれすべてを説明しつくすだろうと信じた。いまは物理学を尊敬しながらも、何かが必要であると思っている。その解決法として、生物学に訴えるほかないというのは一つの必然でもある。

ジェラルド・エーデルマン

*Today, more than ever, substances that pollute the earth and pose health risks are many, including biological factors such as pollens, foods, water, bacteria, virus, fungus, and parasites, chemical factors such as inorganic and organic compounds, and physical forces such as heat, cold, weather, cyclic phenomenon, radon, light, sound, and electromagnetic fields. As the number of dangerous environmental pollutants continues to multiply, so do reports of increasing numbers of people sensitive to these contaminants. And although identification of a causal link between an individual's pollutant exposure and any subsequent development of illness has been difficult to demonstrate through much this century, recent technological advances have made possible scientific study of the effects of these many environmental contaminants upon individual health and have contributed directly to our understanding of environmentally triggered illness as a specific clinical entity.*

William J. Rea

# 目 次

## 要旨

1. はじめに
2. 統合的視座の構築
3. 進化生物学の視点  
ー細胞膜を介した「内」と「外」の情報統合の解明に向けてー
  - 3-1. 視覚系とリン酸ジエステラーゼ (PDE)
  - 3-2. ホルモン系とアデニレートシクラーゼ (AC)
  - 3-3. DNA 修復系とその一般化
4. 脳神経系  
ー聴覚・運動フィードバック経路と脳のスイッチ機構ー
  - 4-1. 大脳半球の機能分担
  - 4-2. 40・60Hz 系
  - 4-3. 40・60Hz 系から情報統合機能を探る
  - 4-4. 年輪系
  - 4-5. 月齢に伴う優位性逆転と地殻ストレスによる異常現象
5. 進化的脳構築の解明に向けて
  - 5-1. 環境センサーとしての脳幹レベルのスイッチ機構
  - 5-2. 大脳辺縁系
  - 5-3. 大脳皮質

6. 生体・環境汚染による‘先天的’発達障害と‘後天的’行動障害
  
7. ‘物質の科学’としての物理学の‘生命の科学’としての限界  
－電磁波ホルモン作用仮説提唱の根拠と Window 効果－
  
8. 構成的認識と環境病発症  
－統合過程の成立と破綻－
  - 8－1. 環境－身体－脳の相互作用系における「内」と「外」の  
情報統合  
－学習過程の成立と病気発症に見られる相同原理－
  - 8－2. 細胞膜における「内」と「外」の情報統合の分子機構  
－G-タンパク質とプロテインキナーゼ (PKC) を介した連合  
学習、過敏性、発がん、ホルモン作用に見られる相同原理－
  - 8－3. 電磁波の生体作用  
－情報増幅系としての生命へのホルモン作用－
  - 8－4. 電磁波の作用部位  
－情報統合の成立と破綻の相同原理－
  
9. おわりに

謝辞

文献

## 要 旨

本稿の基盤には、私自身の 20 余年間の研究史がある。この間、振動的筋収縮現象、神経興奮現象、鞭毛・繊毛運動の時間・空間カオスの現象、ソリトンの波動現象、およびバースト的発振現象を総合的に論じた‘細胞運動理論’ (M. Murase, 1992)、プリオン病・アルツハイマー病、さらにはがんや自己免疫疾患を含む老化現象を、ダーウィン進化論 (C. Darwin, 1859) および免疫系の自然選択説 (N. K. Jerne, 1955; F. M. Burnet, 1957) を統合して論考した‘生体内分子選択説’ (M. Murase, 1996)、生命の起源や分化・発生・進化に見られる自己組織化現象、および疾患や老化・死といった自己崩壊現象を統一的に捉えた‘自己・非自己循環理論’ (村瀬雅俊、2000)、さらに統合失調症をはじめとする、認識過程の成立と破綻に着目し、ピアジェの発生的認識論 (J. ピアジェ、1960; 1972) とリードルの進化論的認識論 (R. リードル、1990) を統合した‘構成的認識論’ (村瀬雅俊、2001) を提唱してきた。

そして、今ここに、21 世紀の環境問題としてクローズアップされてきた電磁波の生体への影響に関して‘電磁波ホルモン作用仮説’を提唱したい。‘ホルモン作用仮説’とは、特定周波数、特定強度の電磁波を細胞や脳神経系に特定時間照射することによって生理活性作用—いわゆる、ホルモン作用—がおよぼされるという仮説である。電磁波の作用部位の候補として、細胞レベルでは、細胞の「内」と「外」の情報を統合し、細胞増殖やホルモン分泌などを制御する、‘G-タンパク質’ (M. I. Simon, et al., 1991; T. D. Lamb and E. N. Pugh, Jr., 1992; M. E. リンダー、A. G. ギルマン、1992; R. A. Luben, 1995; 兜 真徳、石堂正美、2001) と呼ばれる情報統合分子が考えられる。また、脳神経系レベルでは、体温や血液成分の変化といった生体からの「内部環境」の情報と、感覚系を介して知覚される外界からの「外部環境」の情報とを統合する大脳辺縁系が考えられる。

この‘ホルモン作用仮説’の重要な点は、細胞レベルあるいは脳神経系レベルのそれぞれの階層レベルにおいて、入力刺激が機械的なものか、化学的なものか、生物学的なものか、あるいは電磁気学的なものかにかかわらず、各階層レベルごとに同じような情報伝達経路が‘構成的に選択’されてしまうことである。しかも、‘構成的に選択’された情報伝達経路の‘表現型’を眺めてみると、入力刺激の‘影響’の発現のあり方が実に多様なのである。言い換えるならば、環境認識のあり方に多様性があり、その多様な反応様式のなかに、いわゆる環境病が発症してしまう危険性も含まれてしまうことになる。しかも、環境病の発症にあっては、認識過程自体が支障をきたすために、本人は自らの病的状態を認識することが極めて困難となる。こうしたいわゆる‘病徴不覚症’（A. ダマシオ、1994）のような病態が、環境因子の生体への影響に関する評価を難しくしている。

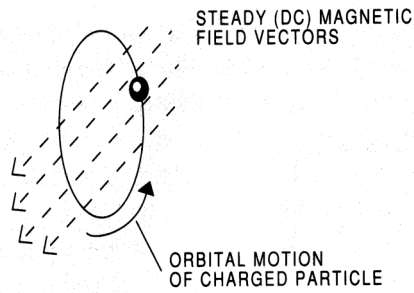
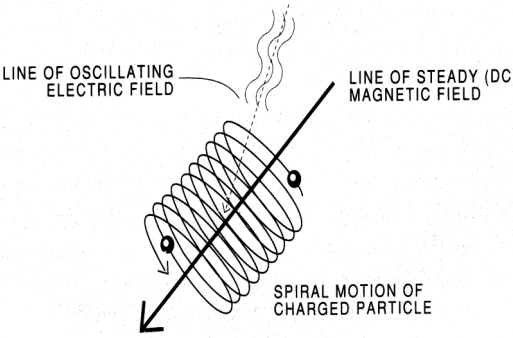
また、特に本稿では、‘電磁波ホルモン作用仮説’に基づいて、さまざまな病理や病態を、細胞レベルや脳神経系レベルでの情報統合の障害として捉え直す‘ものの見方’を提示し、その有効性を強調したい。そのような‘ものの見方’をすることによって、細胞増殖抑制を逃れるがん細胞の発生、環境刺激因子に対して過敏に反応してしまう過敏症、さらに高次レベルの発達異常や行動障害といった病態を、それらの見かけ上の多様性・複雑性に惑わされることなく、統一的に理解することができる。

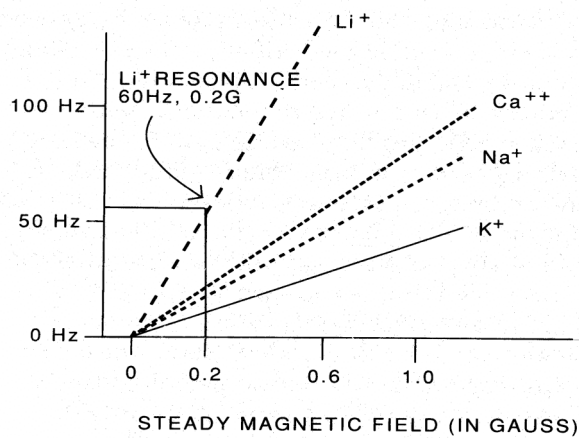
**キーワード：** 電磁波のホルモン作用仮説、情報増幅酵素、病徴不覚症、共感覚症、環境病、認識過程、G-タンパク質、ロドプシン、網膜、視覚情報処理、聴覚情報処理、左脳、右脳、脳のスイッチ機構、化学物質過敏症、電磁波過敏症、情報統合障害、細胞運動理論、自然選択説、生体内分子選択説、自己組織化・自己崩壊現象、自己・非自己循環理論、構成的認識論。

## 1. はじめに

本研究会におけるこれまでの報告では、電磁波の非熱的相互作用によって、単細胞レベル、多細胞レベル、個体レベル、集団レベルなどで細胞運動の変化、細胞分裂の異常、電磁波過敏症の発症、小児白血病の増加が見られている。このように多様な影響が現れる根拠として、電磁波が生体に対して単一な作用部位に働き、その作用機序も単純であるとは考えにくい。

物理学者リボフが提唱しているサイクロトロン共鳴理論 (Liboff, 2003) では、地球磁場の影響で回転運動している生体膜内のイオンが (図1)、さらに人工電磁波に被爆すると、その低周波数成分に共鳴し、イオンが生体膜の外へと流出する (図2)。確かに、この理論に適合する実験事実は、細胞レベル、組織レベルでいくつも報告されている (図3)。しかし、国立環境研究所の実験で示されている発がん機構など、サイクロトロン共鳴理論で説明できない実験も多数ある。しかも、サイクロトロン共鳴理論は、電磁波被爆の対象が生体であるか物質であるかにかかわらず、同一の作用機序を想定している。

 <p>(図1)</p> <p>定常磁場が存在すると、その磁場と垂直面上をイオンは回転運動をする。そのときの、回転速度は <math>Q/M</math> (<math>Q</math> = 荷電量、<math>M</math> = 質量) と磁場強度によって決定される。磁場強度が強くなれば、回転速度も速くなる。</p> <p>R. O. Becker, “Cross Currents” (1990) より。</p>	 <p>(図2)</p> <p>定常磁場によって、イオンが回転運動している状態に加えて、適当な周波数の電磁波がある角度から照射されると、イオンの回転運動は共鳴を起こす。その結果、イオンはらせん運動となり、細胞膜から流入、あるいは流出する。</p> <p>R. O. Becker, “Cross Currents” (1990) より。</p>
---	--



(図 3)

定常磁場の強度を横軸、サイクロトロン共鳴を発生させるために必要な電磁波周波数を縦軸に、生体内で重要なイオンをリチウムイオン ( $\text{Li}^+$ )、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ )、ナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )、カリウムイオン ( $\text{K}^+$ ) の順に直線で示す。地球磁場は、 $0.2 \sim 0.6 \text{ G}$  の範囲である。例えば、リチウムイオン ( $\text{Li}^+$ ) にサイクロトロン共鳴を起こすには、 $0.2 \text{ G}$  の地域では、 $60 \text{ Hz}$  の電磁波が照射されることが必要である。

R. O. Becker, "Cross Currents" (1990) より。

ところが近年、ヒトの脳組織からマグネタイトと呼ばれる磁石が発見され、マグネタイト結合イオンチャネル仮説が提唱された (Kobayashi and Kirshvink, 1995)。この点を考慮すると、電磁波の作用部位、作用機序ともに多様であると考えられる。具体的な作用部位としては、マグネタイトが結合している組織はもちろんのこと、細胞内外の情報を統合している細胞膜、さらには  $10 \sim 1000 \text{ Hz}$  で活性化・不活性化を繰り返している機能タンパク質などが考えられる。生体ごとに、また細胞ごとに、これらの機能タンパク質の種類や構造が異なるために、同一の電磁波刺激に対して反応は実に多様に現れることになる。この反応が多様であるということは、同一実験に対して矛盾する結果が得られる可能性も含まれる。

これまでは、「こうした矛盾する結果があるので、電磁波の生体への影響は立

証されていない」という主張が繰り返されてきた。しかし、このように矛盾した結果があるという事実こそ、電磁波の影響が無視できないことを意味しているのではないだろうか。しかも、これまでの疫学研究では、低周波電磁波と小児白血病といった特定の相関しか問題としてこなかった。ところが、電磁波の作用部位と作用機序が多様であるならば、例えば、アルツハイマー病と電磁波の相関、あるいは不定愁訴と高周波電磁波の相関といった様々な組み合わせを考慮する必要が生じてくる。

もちろん、疫学研究では長期間にわたる調査が必要となるため、因果関係を特定することは困難である。また、仮に因果関係が明らかになったとしても、作用機序はわからない。そこで、これまでに蓄積されてきた医学、生物学、物理学の成果をもとに、電磁波の非熱的相互作用のメカニズムを同定することが重要な課題となる。低エネルギーの電磁波が、生体反応を引き起こす作用機序を考える際には、生体特有のメカニズムを考える必要がある。これは、対象が生体であるか物質であるかにかかわらず、同一のメカニズムを想定していた従来までの視点とは著しく異なる。

具体的には、生体内の情報増幅過程に着目したい。というのは、生体内の情報増幅酵素が、電磁波の作用部位となるならば、人工化学物質が環境ホルモンとして作用する場合と同じように、電磁波にもホルモン作用が認められることになるからである。そのような情報増幅酵素は、連合学習や記憶を伴う学習過程において機能していることが明らかになっている。つまり、学習メカニズムが電磁波の影響を発現するメカニズムへと転化している可能性があるということである。逆に言えば、記憶障害や学習能力の低下といった脳機能の変調が、電磁波のホルモン作用を通して起こりうるということが考えられる。このような観点から、本稿では、脳科学、細胞生物学、臨床医学、物理学、工学などの知見をもとに、作用機序の一つとして、“電磁波ホルモン作用仮説”を提唱したい。

## 2. 統合的視座の構築

電磁波の生体への影響に関して、従来の研究で特に問題とすべき点は、物理学の知識をそのまま生物に応用してしまったことである。死んだ物質の研究から得られた知識が、生きている生命の現象を理解する上で必ずしも必要かつ十分とは限らない。一見、回り道のように思われるかもしれないが、まず、生命現象の知識を統合し、それから基本的生命原理を探求することが必要である。ひとたび、生命原理の本質を捉えることができれば、学習、認識、発生、進化、老化、発がん、アルツハイマー病、統合失調症、自己免疫疾患、糖尿病などと



いったさまざまな生命現象や病態に対する理論の構築ができるばかりでなく、電磁波の生体への影響という特殊な問題にも有効な理論を提唱することが可能となる。これが統合生命科学の醍醐味である。

具体的には、二方向からのアプローチを行う。第一の方向は、生体の階層構造に着目したアプローチである。すなわち、遺伝子やタンパク質をはじめとする分子レベル、それらの分子を内包する細胞レベル、その細胞集合としての組織レベル、そして、それらの統一体としての個体レベルの知見を統合したい。第二の方向は、異なる領域における研究に着目したアプローチである。すなわち、可視光という電磁波の情報受容・伝達・増幅過程として進化してきた視覚系の分子細胞生物学、運動・聴覚フィードバック系において明らかにされてきた左脳・右脳スイッチ機構に関する脳神経科学、そして自己の病態認識の欠如として知られる“病徴不覚症”（ダマシオ、1994）や音・視覚・触覚・味覚・嗅覚という感覚が混じり合ってしまう“共感覚症”（シトーウィック、1993）の人間生物学などの知識を統合したい。

それでは、この二方向—すなわち、異なる階層レベルおよび異なる研究領域—からのアプローチがなぜ必要なのだろうか。その理由は、私たちの‘主観的’な認識系が、‘主観的’な認識過程を‘客観的’に意識化することは原理的に不可能であるという“ホムンクルスの恐怖”（エーデルマン、1992）を回避するためである。この脳科学の難問であった“ホムンクルスの恐怖”を二方向からのアプローチによって回避し、電磁波や化学物質をはじめとする環境因子が、この‘主観的’な認識過程に影響をおよぼすというホルモン作用があることを理論的に立証することを試みたい。これが、私の提唱する“電磁波ホルモン作用仮説”である。‘主観的’な認識過程に影響がある場合、‘病徴不覚症’者のように、環境因子の影響を自覚することはきわめて困難となる。従って、『電磁波と生体への影響』という特殊なテーマにおいても、今後、脳科学・神経細胞生物学などの最新の知見をも交えながら、さらなる学際的・学術的アプローチが必要なのである。