

特集

「第14回日本臨床環境医学会総会シンポジウム」

(臨床環境14:83~87, 2005)

電磁場の基礎概念と生体影響の関係

本堂 毅

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

I. はじめに

電磁場と生体の相互作用を考える際には、電磁場の基礎概念に関する正しい理解が不可欠である。本稿ではまず、電磁場の基礎概念を身近な具体例を通して解説する。次に応用例として、専門家や世間一般の「誤った理解」の典型例を示す。最後に、基礎概念把握の重要性、及び予防原則との関連を議論する。

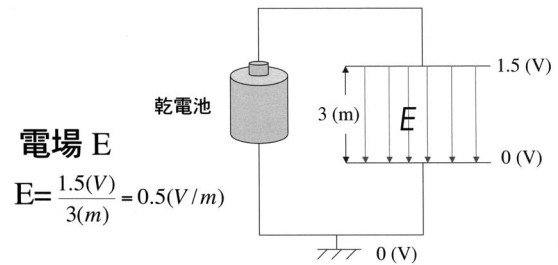


図1 電場 (電界)

単位 V/m

II. 電磁場の基礎概念

1. 電場と磁場

電磁場は、電場と磁場によって定まる物理的な場である。乾電池が1.5V (ボルト) であることは良く知られている。その乾電池につながれた2枚の金属板を考えよう (図1)。その金属板の間隔が3メートルあるとすると、2枚の金属板の間には、 $E = 1.5(\text{V}) \div 3(\text{m}) = 0.5(\text{V}/\text{m})$ の場が生ずる。これが電場であり、単位は (V/m) である。この金属板の中に、q クーロン (C) の陽イオンがあれば、 $F = qE$ のように、電場の大きさに比例した力が陽イオンに働く。

磁場は、マクロには電流によって生じる。図2のように、電線を直流電流 I (アンペア) が流れているとする。このとき、電線から距離 R (m) の距離に生ずる磁場 (正確には磁束密度) の強さは、 $B = \mu_0 I / (2 \pi R)$ となる。磁場の強さは、

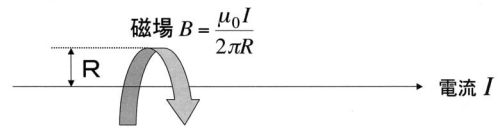


図2 磁場 (磁界)

単位 T (テスラ)

流れる電流 I に比例し、距離 R に反比例する。磁束密度の単位は T (テスラ) である。G (ガウス) もよく使われ、 $1 \text{ G (ガウス)} = 10^{-4} \text{ T (テスラ)} = 0.1 \text{ mT (ミリテスラ)} = 100 \mu \text{ T (マイクロテスラ)}$ である。G (ガウス) は古い単位であり、今後は世界的に T (テスラ) が一般的な単位となる。

この電場と磁場は別々の物理量ではなく、見方

《Key words》 Electromagnetism, law of energy conservation, free energy, biophysics, electromagnetic wave

別刷請求宛先: 本堂 毅

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉6-3 東北大学大学院理学研究科物理学専攻

Reprint Requests to Tsuyoshi Hondou, Graduate School of Science, Tohoku University, 6-3 Aoba, Aramaki Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578 Japan

によって入れ替わる類のものである。磁束密度 B の中を速さ V で動く陽イオン q には、ローレンツの法則より $F=qV \times B$ の力が働く。この時、私たちが陽イオンと同じ速さで動きながら、陽イオンを観察したらどうなるだろうか？ 陽イオンが列車の速さで進んでいると想像してみよう。私たちが陽イオンと同じ速さで動くときには、列車の中で観察するのと同様に、イオンの速度はゼロになる。では、ローレンツの法則から、力はゼロになるのだろうか？ しかし、力 F は一般に、誰がどのように観察しようと不変な物理量である。実はこの時、速さ V で動く系（列車の中）では、速度がゼロになる代わりに、 $V \times B$ と同じ大きさの電場 $E=V \times B$ が発生し、 $F=qE=qV \times B$ が働くのである（図3）。

このように、電場と磁場は、それを観察する立場（座標系）によって相互に入れ替わるものであり、同じ物理的実存の表現の違いなのである。これを「電場と磁場の相対性」と呼ぶ。同様の事情は、静磁場と交流磁場にもあてはまる。

一般に、磁場の生体影響を考えると静磁場と交流磁場が区別されているが、生体内にはイオンポンプや心臓、血流のように、常に「動いている」部品が多くある。その部品から見たときには、外で止まっている人にとって静磁場に見えるものが、相対運動によって交流磁場に見えることがある。このように、静磁場と交流磁場の区別にも本質的な意味はない。電磁場は、それを観察する立場（座標系）、すなわち相対関係が定まってはじめて議論出来るものである。

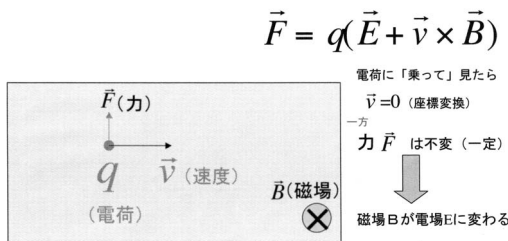
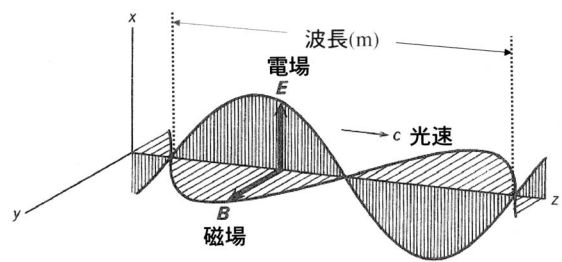


図3 電場と磁場の相対性
 (電場 E と磁場 B は入れ替わる)

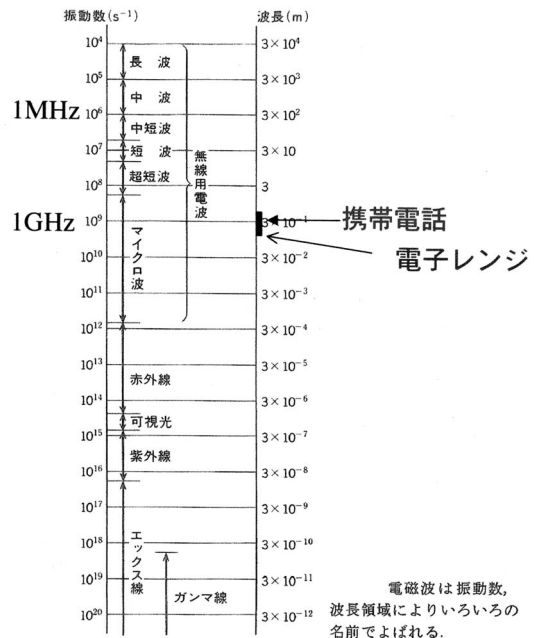
2. 電磁波 (強度と周波数、スペクトル)

電磁場とは図4に示すように、電場と磁場がある一定の関係で相互作用しながら進む波である。従って、送電線の近くで観察される交流磁場は、上記の意味での(狭義の)電磁波ではない。電磁波は波であるから、その振動の周期を持つ。その周期の逆数、一秒間の振動数が周波数である(図5)。携帯電話に使われるマイクロ波は、1GHzのオーダーであり、一秒間に10億回程度の振動をしている。さらに振動数が上がると、赤外線、可



z 軸方向に進む電磁波における電場と磁場。
 (長岡洋介, 電磁気学II, P268 岩波書店)を改変

図4 電磁波



(長岡洋介 電磁気学II . P272 岩波書店)を改変

図5 電磁波の波長 (振動数)

視光線、紫外線を経て、放射能を持つエックス線、ガンマ線となる。これらの違いは周波数の違いであり、その性質も不連続ではなく、連続的に変わっていく。

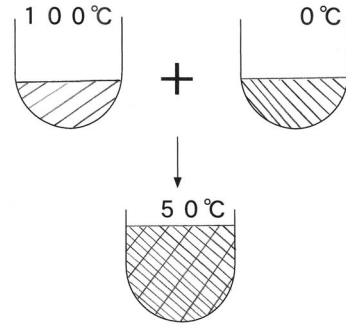
3. エネルギー保存則(電磁波の減衰、反射の影響)

無線機などから出された電磁波(電波)はどのように遠くに伝わっていくのだろうか? 一般に無線機(放送局)から離れるにつれて、その電磁波の強さは弱くなる。屋外ではほぼ、距離の2乗に反比例して弱くなる。これは、電磁波が遠く進むに連れ、消えていくからではない。そうではなく、だんだん薄まっていくからである。ならば、金属の箱の中のように、電磁波が壁で反射され、薄まらない状況ではどうだろうか? そのような状況では、当然、電磁波は距離の2乗に反比例せず、距離が離れても強度があまり弱くならない。エネルギー保存則から導かれる当然の結果である(お風呂で歌うと気持ちいいのは、音のエネルギーが壁で反射されて、なかなか薄まらず、エコーが生じて響きわたるためである)。

4. 自由エネルギー(熱と電磁波の違い)

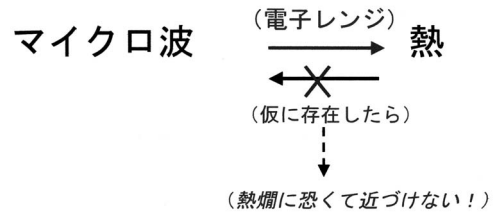
電磁波の生体への影響を議論する際に、電磁波のエネルギーを熱エネルギーと同一視した議論が少なくない。SARなどという量は、その典型例である。さて、電磁波のエネルギーと熱エネルギーは同種のものなのだろうか?

この違いを理解するために、「自由エネルギー」という概念が有用である。自由エネルギーは細胞生物学の教科書にもよく登場するので、医学・生物学の世界でも馴染みある概念だろう。例えば図6を考えてみよう。100度のお湯と0度のお湯を同じ量混ぜてみる。すると、50度のお湯が出来る。しかし、50度のお湯を2つに分けても、0度と100度のお湯は出来ない。0度と100度のお湯は、混ぜた後の50度のお湯より自由エネルギーが高く(エントロピーが低く)、混ぜることによって、その自由エネルギーが減少する(エントロピーが増加する)。一度減少してしまったエネルギー(増加してしまったエントロピー)は回復できないので(不可逆過程)、50度から0度と100度を作り出すことは出来ないのである。



元に戻らない: ・自由エネルギーが減少
(エントロピーが増加)

図6 自由エネルギー(覆水盆に返らず)



自由エネルギー: 電磁波 > 熱

図7 自由エネルギー(電磁波編)

同様のことは、電磁波と熱にも言える(図7)。電磁波は物体に吸収されることによって熱になる。しかし、熱を持った物体から、(周波数一定の)電磁波(電波)が発生することはない(仮にあったら、お燗の近くは危険である)。そのため、電磁波は同じ発熱エネルギーを持つ電球などよりも、一般に生体影響は大きいのである。

III. 電磁場の基礎概念とその誤解

IIで述べた基礎概念を基に、電磁場の生体影響に関する誤解の具体例を見ていこう。

都市伝説・専門家による誤解(疑似科学)の例¹⁾

1. エネルギー保存則に反する主張(総務省電波環境課、朝日新聞2002年6月3日)

【誤解に基づく主張】電波は金属の壁で反射されるときでも、距離の自乗にほぼ反比例して減衰する。よって、壁などでの反射は無視できる。

【矛盾】電子レンジで熱燗を作るとき、どの場所でも温まり方は同じである。マイクロ波の発振器に近い場所でも離れた場所でも、1分間暖めた時の温度上昇は同じである。

【誤りを仮に認めると】料理番組で、「500W 3分、マイクロ波発振器から5cm」と言わなければならない。実際は「500W 3分」で十分である。金属の壁で出来ている電磁レンジの庫内でエネルギー保存則が成り立つからである。出た電波の殆どが、酒を暖めるために使われている。

2. 周波数や自由エネルギーを理解しない人たちの誤り

【誤解】太陽電磁波の方が電波よりずっと強い。従って、電波の生体影響は太陽より小さく無視出来る。

【疑問】太陽が出ているとき、電波での通信は出来ないか？一般に、電波（電磁波）による通信では、その電波の強さは太陽より遙かに小さい。この誤解は、次の誤解にもつながる。

3. 自由エネルギーが分からない人たちの誤り（熱と電磁波の混同）

【誤解】電磁波の生体影響は熱吸収率（SAR）だけで決まる。

→携帯電話などは、電球などに比べずっと熱量が小さい →安全

【実験との矛盾】発熱が無視出来る電磁波強度でも、生体影響が再現性を持って確認されている。最新例) 遺伝子切断・染色体異常 (EU REFLEX プロジェクト)^{2~4)}、アトピー性皮膚炎のアレルギー反応への影響⁵⁾

【自由エネルギーから見た非熱的相互作用】電波は熱よりも自由エネルギーが高く、そのため生体への反応性が高い。このため、熱的相互作用より低いエネルギーで電磁波が生体影響を生じさせることは、容易に理解される。非熱的相互作用こそ、電磁波に固有の本来的相互作用である。生物物理学のHyland博士の解説が参考になる。⁴⁾

4. 分子科学・物性科学を理解しない人たちの誤り（水の共鳴周波数）

【誤解】電子レンジの周波数（2450MHz）は水の共鳴周波数である。

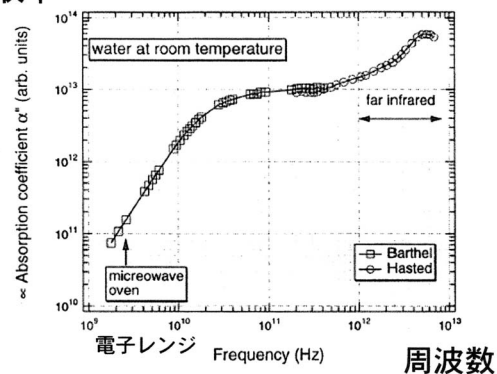
（インターネット上の日本語記事の殆ど。環境学者・安井至氏のホームページ、及び著書）。

【安井至氏の主張⁶⁾】「電子レンジの周波数は2450メガヘルツです。一般には1000ないし3000メガヘルツの電磁波は、水分子に吸収されやすいから、水分子を加熱できるとされており。携帯電話の周波数は通常800メガヘルツですから、上述の範囲を外れており、まず大丈夫。しかし、最近では、電波の割り当てが不足しておりますので、1500メガヘルツの携帯電話も存在しております。PHSは1900メガヘルツです。確かにこれはグレーゾーンかも知れません。ところが、このような周波数の違いの説明が出ている本は、まだ見たことが在りません。」

【実験との矛盾】水の共鳴周波数は2450MHzではありません（図8）。アメリカでは電子レンジの周波数として、900MHzも使われている。1000~3000メガヘルツは、従って、特別の周波数帯ではない。2450MHzの波長は12cm程度であり、分子振動の周波数オーダーとはケタが何けたも異なる。

【教訓】電磁波と生体の相互作用メカニズムを「熱」発生のみ求め、熱発生も既知のメカニズム（今の場合は分子共鳴）だけで解釈すると、安井氏のような間違いに至る。自然は既存知識のみで安易に理解出来る対象ではない。

吸収率



天羽優子, 物性研究 76, p.650 (2001)を改変

図8 マイクロ波と水の共鳴周波数

(科学者は、なによりもまずソクラテスの「無知の知」を肝に銘ずるべきである。)

IV. おわりに

予防原則は未知の科学的リスクに対する防護措置と理解されている。しかし、本稿で見たように、既知の科学的事実さえ満足に理解されず、社会に生きかされていない現状がある。現実社会では、このような「専門家」たちの誤りの可能性をも含む、さらに踏み込んだ予防原則の適用が必要なのかも知れません。

謝辞

本研究は京都大学基礎物理学研究所研究会「電磁場と生体への影響」(YITP-W-03-01, YITP-04-01, YITP-05-03)及び文部科学省科学研究費補助金(No.17654082)の支援を受けています。

文献

- 1) 本堂 毅: マイクロ波の生体への相互作用: その議論の前提・枠組の妥当性と基礎物理学. 物性研究 82: 94-115, 2004 (<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~busseied/>)
- 2) H Pearson: Mobile-phone radiation damages lab DNA. *news@nature.com*, doi:10.1038/news041220-6 (2004); (http://www.nature.com/news/2004/041220/pf/041220-6_pf.html.)
- 3) REFLEX Final Report (VERUM Foundation) プロジェクト報告書は、要約、全文とも <http://www.verum-foundation.de/> からダウンロード可能。
“EU PROJEKTE”, “REFLEX” の順をクリックすると英文報告書に達する。
REFLEX プロジェクトのレビューを含む日本語による解説は、本堂 毅「いま、携帯電話が危ない? —電磁場が引き起こす DNA 損傷—」パリティ (丸善) 2006年1月号 p.81-85
- 4) G Hyland: Physics and biology of mobile telephony, *Lancet* 356: 1833-1836, 2002; 欧州議会 (EU Parliament) アセスメント報告書: The physiological and environmental effects of non-ionising electromagnetic radiation (http://stoa/publi/default_en.htm), 2003
- 5) H Kimata: Microwave radiation from cellular phones increases allergen-specific IgE production. *Allergy* 60: 838-839, 2005
- 6) 安井至: 「環境と健康: 誤解・常識・非常識: 信じ込んでいませんか? (環境医学誤解: 電磁波は白血病を増やす) 丸善, 2002, pp109-111 (<http://www.ne.jp/asahi/ecodb/yasui/denjiha.htm>.)