

Biological Effects of Electromagnetic Fields

Martin Blank (Columbia University)

(Summary of Lecture at Kyoto University, July 8, 2005)

Abstract

The scientific problems that stimulated the development of biology, chemistry and physics led inevitably to interdisciplinary sciences when more complex problems were studied. The continued interactions between the sciences account for the current widespread interest in DNA. In bioelectromagnetics, a recent interdisciplinary science, the activation of DNA by electromagnetic (EM) fields has been a stimulus for understanding of EM mechanisms. Studies of EM fields have shown that they accelerate electron movement. Since increases in charge can cause disaggregation of biopolymers, EM fields could move electrons in DNA to cause charging, local DNA disaggregation, and initiation of biosynthesis. These studies also raise concerns about health and safety, since they show that current EM safety standards are not based on biological thresholds. It is urgent that biologically based safety standards be developed.

Bioelectromagnetics

The origins of bioelectromagnetics go back about two centuries to Galvani, whose studies on the contraction of frog muscle stimulated the modern field of electrophysiology. Volta's explanation of the observations followed a different path that led to electrochemistry. The origins of electromagnetics date from the same period, when Oersted found that current *in* a wire caused a magnetic field *around* the wire. Shortly thereafter, Faraday showed that passing a magnetic field *across* a wire induced a current *in* the wire. The inter-relations between electric and magnetic fields were subsequently developed into a theory by Maxwell.

Information from these different disciplines is needed to understand complex biological problems. Cells are composed of charged species (e.g., polyelectrolytes, ions), and problems involving electrochemical signaling in nerve and muscle, and electron transfer reactions in biochemical energetics, require interdisciplinary approaches. The need to understand how EM fields affect living cells led to the development of bioelectromagnetics.

Biochemical studies on living cells have shown that EM fields stimulate genes to make proteins, accelerate enzyme reactions, etc. These biological effects affect human health, and epidemiological studies show an increased risk of childhood leukemia that correlates with exposure to EM fields. Also, therapies based on EM fields, such as trans-cutaneous and trans-cranial stimulation, have been used to treat pain, depression, etc. EM fields have been particularly effective in killing (cancer) cells by hyperthermia, as well as stimulating the healing of bone fractures.

The finding that cells synthesize stress proteins in very weak EM fields has raised concerns about health and safety, because stress proteins are normally synthesized in reaction to potentially harmful stimuli in the environment (e.g., toxic ions, changes in temperature, pH, etc). Since protein synthesis in cells starts with separation of the two chains in DNA to make messenger RNA, it is clear that EM fields activate DNA. Studies of the mechanism of stress protein synthesis have shed light on safety

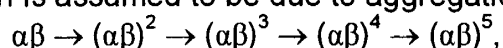
issues, and have helped to unravel fundamental aspects of EM field interaction with DNA.

Studies on EM field mechanisms

To provide information on the molecular level about the interaction of EM fields with DNA, we studied interaction with the promoter of a stress gene, the region of the DNA that starts the synthesis of messenger RNA. To determine the factors involved in getting DNA to come apart, we studied the disaggregation of the multi-subunit protein, hemoglobin. We also studied the effects of EM fields on three biochemical reactions, Na,K-ATPase, cytochrome oxidase and the catalyzed oxidation of malonic acid (the Belousov-Zhabotinsky reaction), which indicated that EM fields can accelerate electron transfer reactions.

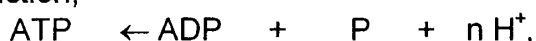
Some ideas from cell biology are helpful at this stage to point out how charge can affect many processes. Living cells maintain internal concentrations of ions and other chemicals that differ from the concentrations in their environments by having a relatively impermeable membrane matrix consisting of a phospholipid bilayer. Biochemical traffic into and out of the cell is controlled by many transmembrane channels, protein aggregates of 4-12 subunits arranged in a cylinder. The charge on channel proteins controls assembly, gating, permeability and selectivity. The effect of charge on aggregation is important in many cellular processes, and may be the key to how EM fields stimulate DNA.

We have studied the influence of charge on subunit assembly in the blood protein, hemoglobin (Hb), specifically the disaggregation of the Hb tetramer $(\alpha\beta)^2$ into 2 dimers $(\alpha\beta)$, where α and β are protein subunits. A simple model based on surface energy accounts for disaggregation of the protein due to charging. The model also accounts for the change in oxygen binding due to the change in Hb charge, as well as the effect of increasing concentration of Hb on viscosity. The increase in viscosity with concentration is assumed to be due to aggregation,



and a steep increase in viscosity occurs when the ends of the growing chain join and change the flexible chain into a rigid rod.

Another example of the effect of charge is the Na,K-ATPase reaction, which occurs on one surface of the membrane and leads to a transfer of ions across the membrane. The reaction,



liberates n moles of H^+ because the dissociation constants of ATP and ADP differ. The liberated protons, H^+ , cause the protein to change its charge and shape (and its contact with the aqueous phase). The change in exposure of the enzyme to the two aqueous phases gives rise to a 'flip-flop' mechanism that results in a net transfer of ions.

We have found that the Na,K-ATPase reaction is affected by both E and EM fields. If we assume that the same force is needed at the threshold for the two fields (E, B), we can determine the velocity (v) of the charge (q) that is being affected by the fields. If the force,

$$F = qE = qvB, \quad \text{then } E = vB \text{ or } v = E/B.$$

Since the measured thresholds in the ATPase are $E = 5 \cdot 10^{-4}$ volts/m, $B = 5 \cdot 10^{-7}$ T ($0.5 \mu\text{T}$),

$v = 10^3$ m/s. This speed is similar to that of electrons in DNA.

To test the effect of EM fields on reactions where we know that electrons are involved, we studied electron transfer in cytochrome oxidase and in the Belousov-Zhabotinsky reaction (the oxidation of malonic acid). All three studies have indicated that EM fields:

- accelerate chemical reactions (including electron transfer reactions)
- compete with the intrinsic chemical force driving the reactions
- thresholds are low: Na,K-ATPase ($0.2\text{--}0.3 \mu\text{T}$), cytochrome oxidase ($0.5\text{--}0.6 \mu\text{T}$), BZ reaction ($<0.5 \mu\text{T}$), biosynthesis ($<0.8 \mu\text{T}$)
- frequency optima for the two enzymes studied are close to reaction turnover numbers (Na,K-ATPase, 60Hz; cytochrome oxidase, 800Hz), suggesting a resonance like interaction. Since a wide range of both ELF and RF frequencies stimulate stress proteins in DNA, we are probably not affecting an ongoing reaction.

Proposed mechanism of electromagnetic stimulation of DNA

The line of reasoning is as follows: experimental observations are shown as bullets (•), and *inferences are shown in italics*.

- EM fields in both ELF and RF ranges stimulate protein synthesis.
- DNA, which is held together by H-bonds, comes apart to initiate protein synthesis.

This suggests that EM fields stimulate DNA to come apart at the H-bonds.

- EM fields act on electrons.

This suggests that EM fields stimulate DNA by acting on electrons in H-bonds to weaken them. Since H-bonds flicker in H_2O (frequency $\sim 10^{15}$ Hz) there are many transient protons and electrons that can be affected by the fields.

- We have identified specific DNA sequences in the promoter needed for the EM field response. When an EM field responsive DNA segment is transfected into the promoter of a reporter gene, the reporter gene responds to EM fields.

The CTCT sites we have identified as essential on the promoter have low electron affinities, so electrons are more easily displaced. Furthermore, instead of the usual mixture of pyrimidines and purines, when the H-bonds between pyrimidines (CTCT) and purines (GAGA) split, the smaller area on splitting would lead to greater disaggregation. The relatively smooth surface also suggests fewer multiple H-bonds (i.e., bonds involving more than one base pair), and consequently lower adhesion.

- Comparable forces from electric fields stimulate DNA in living muscle (10V/m) and in HL60 cells (3mV/m), as well as affecting the Na,K-ATPase (0.5mV/m). One would expect electric fields to also affect charges in DNA, and this has been observed.

A simple model based on protein disaggregation with increase in charge shows that DNA cleavage would be optimal for short segments (3base pairs) and low initial charge.

The CTCT sites we have identified as essential on the promoter may be sites of DNA cleavage or sites from which electrons have been displaced.

Environmental EM field safety issues

Low frequency EM fields from power lines and high frequency EM fields from radio, TV, and cellphone broadcast antennas are everywhere, and the effects of the different frequency ranges on humans are probably additive. This raises questions about safe levels of exposure, and whether we are getting the information we need for developing safety standards.

There is general agreement that EM fields in the environment can affect natural processes, but no consensus on safe levels. The strong epidemiological evidence, in the case of ELF and childhood leukemia, leads us to suspect that current safety standards are not sufficiently protective. Two recent pooled analyses of many studies indicate an elevated risk at fields as low as 0.3-0.4 μ T. In the RF range, a recent paper shows a similar increased risk of acoustic neuroma (tumor) associated with long term cell phone use.

Current 'safe' levels were developed on the basis of divisions of the EM spectrum and the rate of energy input, the specific absorption rate (SAR). It was recently shown that both the spectral divisions and the SAR make no sense in terms of biological thresholds. The SAR standard in the radio frequency (RF) range is $\sim 10^{-1}$ W/kg. The threshold of the stress response, is $\sim 10^{-1}$ W/kg in the RF range, but only $\sim 10^{-12}$ W/kg in the ELF range. Since the biochemical pathways are the same in both ELF and RF ranges, it is obvious that SAR is not a valid measure of biological thresholds and not a valid basis for a safety standard. SAR (energy/time) increases with frequency. The energy (E) increases with frequency while the duration (t) of a cycle decreases with frequency, so the product (E•t), energy/cycle, is independent of frequency and probably a better measure of biological response.

We can conclude that biological responses are independent of frequency (divisions of EM spectrum are irrelevant), that biological thresholds are independent of SAR, and that *SAR is no basis for a safety standard!* It would appear that the best advice regarding safety of exposure to EM fields is the 'Precautionary Principle' or what used to called 'Prudent Avoidance'. In a few words, *minimize exposure as much as reasonably possible.*

The cellular stress response can probably be adapted as a biological measure for developing a safety standard, because:

- it is a protective cellular mechanism
- it transcends EM spectrum divisions, and reflects total exposure in multiple EM ranges
- there is now a plausible molecular mechanism

Before leaving this subject, it is important to note that current methods of

research support have become a problem for science in general, and also in bioelectromagnetics. Let me quote from the Journal of the American Medical Association (JAMA 284:2203-2208, 2000).

“There is a growing body of literature showing that faculty who have industry ties are more likely to report results that are favorable to a corporate sponsor, are more likely to conduct research that is of lower quality, and are less likely to disseminate their results to the scientific community”

There is evidence that this problem has affected research on biological effects of RF fields.

Conclusion

Regarding the mechanism of electromagnetic stimulation of DNA, we have shown that increasing charge can lead to the disaggregation of biopolymers, and that EM fields accelerate charge (electron) movement. These results suggest a way in which EM fields cause DNA to disaggregate and start biosynthesis. The experimental results indicate clearly that SAR (specific absorption rate), the basis for the safety standards to protect the public against overexposure to EM fields, makes no sense in biology. Until a biologically based standard is developed, it is sensible to be guided by the ‘Precautionary Principle’.

Suggested Readings

Blank M and Goodman R (2004) Initial interactions in electromagnetic field-induced biosynthesis. **Journal of Cellular Physiology** 199:359-363.

Blank M and Goodman R (2004) A biological guide for electromagnetic safety: The stress response. **Bioelectromagnetics** 25(8):642-646.

電磁界の生物学的影響

Martin Blank

2005 年 7 月 8 日

[訳] 谷川 宣人

概要

非常に複雑な問題について議論する場合、対象となる研究領域が生物学、化学、或いは物理学といった多岐の領域に渡る場合が多い。現在、多くの学問領域で興味を持たれている DNA に関する諸問題も各々の学問間での相互作用により説明されるであろう。生物に対する電磁界による影響という多くの学問領域で興味を持たれている問題に於いても、電磁界による DNA の活性化という問題は電磁界メカニズムを理解する上で大きな興味を与えてきた。そして電磁界に関する研究に於いては、これが電子を加速させるものとして示されてきた。電荷の増加により生体高分子の脱凝集（再溶解）が引き起こされるので、電磁界は局所 DNA 脱凝集や生合成を誘起するように DNA 内の電子を移送させる事が出来る。最近の電磁界の安全基準が生物学的な閾値に基づいていない事から健康や安全性といった面からもこれらの研究は注目に値するであろうし、生物学的に考慮された安全基準が未だ発展途上にある事から、この問題は差し迫った緊急性を有しているといえる。

1 生体電磁気学

生体に対する電磁界の影響に関する学問（bioelectromagnetics：以下、生体電磁気学と呼ぶ。）はおおよそ 2 世紀前、Galvani によるカエルの筋収縮に関する（現在の電気生理学へと発展していく）に遡る。また Volta による研究は今日の電気化学に繋がっている。同じ頃、Oersted によりワイヤーの周りに磁場が発生する事が発見され、電磁気学が誕生した。その後、Faraday により電磁誘導の現象の説明がなされ、更に maxwell により電場と磁場の相互作用が理論的に構築されるに至った。

これらの様々な分野から得られる知識は複雑な生物学的問題を理解する上で非常に重要である。細胞は高分子電解質やイオンなどの電荷を持つ成分で構成されており、神経や筋肉組織に於ける電気化学的な信号を含むという問題があり、複数の学問分野にまたがる様なアプローチを必要とする生化学エネルギーの観点での電子輸送反応を起こす。どのよう

に電磁界が生体細胞に作用するのかを理解する為に生体電磁気学は発展してきた。

細胞に対する生化学の研究により電磁界が遺伝子発現によるタンパク生成や酵素の反応の促進などに影響している事が分かってきた。これらの生物学的な作用は人体の健康に影響し、疫学調査によれば電磁界暴露により小児白血病のリスクが上昇する事が分かっている。また、電磁界を利用した皮膚を通しての刺激や頭蓋を通しての刺激といった手法は痛みを和らげたり、鬱病の治療に利用されている。電磁界は骨折の治療や癌温熱療法でガン細胞を殺すのに特に効果的である。

一般的にストレス応答タンパクというものは有害な外部刺激（有害なイオン、温度変化、或は pH 値の変化など）により生成されるものである。微弱な電磁界により細胞でストレス応答タンパクが生成される、という発見により、電磁界が健康や安全性に影響を与えるという問題点が提起された。細胞内に於けるタンパク生成は DNA 鎖が解かれメッセンジャー RNA が生成される事により開始するので、電磁界が DNA を活性化させている事は明らかである。ストレス応答タンパク生成のメカニズムに関する研究により安全面に対する問題点が明らかにされ、DNA に対する電磁界の相互作用の基本的な考え方が見出されるようになってきた。

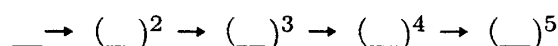
2 電磁界メカニズムに対する研究

分子レベルでの DNA に対する電磁界の相互作用を調べる為、メッセンジャー RNA 生成開始に関する DNA 領域のストレス応答の遺伝子のプロモータに対する相互作用について話を進めていく。DNA のどの領域が（前述の相互作用の）因子であるか決定する為、多くのサブユニットのタンパクから成る脱凝集のヘモグロビンについて調べる。(?) また同時に、3つの生化学の反応として、Na,K-ATPase、シトクロム酸化酵素と（電磁界が電子輸送反応を加速させる事を示している）マロン酸の酸化の触媒作用（Belousov-Zhabotinsky 反応、以下、BZ 反応）に対する電磁界の影響についても調べていく。

細胞生物学の見地からの幾つかの考えは、この状況に於いてどの様に電荷が複数のプロセスに作用するのかを示すのに役立っている。生体細胞はイオンや他の化学物質の内部濃度をリン脂質多重層から成る相対的に不透過性である細胞膜を有する事により置かれている環境とは違う濃度を保っている。細胞の内外への生化学的輸送は、多くのシリンダー状に構成された4から12のサブユニットから成るタンパク質の膜転移チャンネルによりコントロールされている。チャンネルタンパク質上の電荷は集団性、ゲートの状態、透過性、若しくは選択性をコントロールしている。凝縮している物質の電荷の影響は細胞プロ

セスに於いて重要なものであり、電磁界がどの様に DNA に作用しているのかを理解する上で鍵となる可能性がある。

血液タンパクであるヘモグロビンの（特に Hb テトラマー $(_)^2$ 脱凝集の 2 ダイマー $(_)$ へのもの（ここで $_$ はタンパクサブユニットを表す。)) サブユニット集合に対する電荷の影響について話を進めてきた。エネルギー面に基づく簡単なモデルによりたんぱく質の脱凝集が電荷により起きている事が説明出来る。また、このモデルにより酸化結合に於ける電荷が Hb 濃度の増加による粘性の変化の影響と同様に、Hb 電荷によっている事も説明出来る。濃度変化による粘性の増加は凝集



によっているとの仮定に基づいている。また（タンパク質サブユニット）鎖の成長が止まり柔軟な鎖状から固い棒状になった時、粘性の急激な上昇が起きる。

電荷の影響の他の例としてイオンの（細胞）膜転移を引き起こす Na,K-ATPase 反応がある。



上で示す反応に於いて、一定の ATP と ADP の分離により n 個の H^+ 分子が結合から離れる。結合から離れたイオン H^+ はタンパク質の電荷や形の変化を引き起こす。水相酵素の 2 つの水相の曝露による変化はイオンの膜転移の結果であるところの「パタパタと入れ替わる」メカニズムを生じさせる。

現在までの研究で Na,K-ATPase が電界、若しくは電磁界の双方から影響を受けている事が分かった。(E,B) の 2 つの場に対する閾値で同じ力が加わる事が必要であると仮定すると、場により影響を受けた結果として電荷の速度が決まる。つまり、

$$F = qE = qvB \quad \rightarrow \quad E = vB \text{ 或いは } v = E/B$$

となる。測定の結果、ATPase に於ける閾値は $E = 5 \cdot 10^4 [\text{V/m}]$ と $B = 5 \cdot 10^{-7} [\text{T}]$ であるので、 $v = 10^3 [\text{m/s}]$ であることが分かる*1。そして、この速度は DNA 中の電子の速度にほぼ等しい。

（自由）電子が関係している反応に於ける電磁界の影響を調べる為、シトクロム酸化酵素に於ける電子移送と BZ 反応（マロン酸の酸化）に於ける電子移送について議論してい

*1 この数値の測定条件を知りたい。静電場、静磁場であれば問題ない。場 E,B が変動している状況では E,B は相互に関係して独立した場としては扱えなくなる。

く。これら全てに於いて電磁界が以下の作用をもたらしている事が示されてきた。

- ・(電子移送を含む) 化学反応を促進する。
- ・物質固有の化学的な力と外力が反応において競争関係にある。
- ・Na,K-ATPase で $0.2\sim 0.3[T]$ 、シトクロム酸化酵素で $0.5\sim 0.6[T]$ 、BZ 反応で $< 0.5[T]$ 、生合成で $< 0.8[T]$ といった様に閾値は低い。
- ・2つの酵素に関する研究に於ける最適な振動数は各々の代謝回転数 (Na,K-ATPase は 60Hz であり、シトクロム酸化酵素は 800Hz) に非常に近い値を示しており、共鳴様の相互作用を起こしていると考えられる。ELF から RF に及ぶ広範囲の振動数で DNA 中のストレス応答タンパクが活性化されている事から、進行中の反応に関しては影響を受けていないと思われる。

3 DNA に対する電磁界の作用のメカニズム

本節においては実験結果については箇条書きで示し、仮定については || の括弧書きで示していく。

- ・ELF 帯と RF 帯の双方の周波数帯の電磁界によりタンパク生合成は活性化される。
- ・DNA 中の水素結合が切れる事でタンパク生合成が起きる。
{この事から電磁界によって水素結合が切り離される事で DNA が活性化していると考えられる。}
- ・電磁界は電子に対して作用する。
{この事から電磁界は水素結合中の電子に作用する事で DNA を活性化させていると考えられる。水分子中の水素結合の振動数は ($\sim 10^5[Hz]$) であるので、電磁界影響で多くの水素原子がイオン化し、水素イオンと電子に分かれる。}
- ・電磁界に応答しプロモータとして作用する DNA の領域が存在する事を確認した。電磁界により活性化される DNA 領域がリポーター遺伝子 (遺伝子の発現様式を調べる為のツール) のプロモータに形質転換される時、リポーター遺伝子は電磁界により活性化され、応答する。
{我々が基本的なプロモータとして確認した CTCT の結合箇所は低 (エネルギー) 電子と関連性があるので、自由電子が生じやすい。更にピリミジンとプリン通常の混合の代わりにピリミジン (CTCT) とプリン (GAGA) の間に水素結合がある時には、両者を隔てる微小領域によって、より大きな脱凝集が生じる。相対的に滑らかな表面はまた、水素結合の数がより少ないと考えられる事から必然的に結合性が弱くなっていると考えられる。}
- ・(外場と比較しての) 生体内の電界として筋肉 ($10[V/m]$)、HL60 細胞 ($3[mV/m]$) や

Na,K-ATPase (0.5[mV/m]) 等が DNA を活性化させるものとして存在している。

|この事から電磁界だけでなく電界もまた DNA 中の電子を活性化させるものであると考えられ、実際に実験の観察結果も得られている。|

・電荷の増加に伴うタンパクの脱凝集に関する簡単なモデルにより DNA の卵割が短い箇所かつ弱い初期電荷の下で最大値を取る事が示された。

|我々が基本的なプロモータとして確認した CTCT の結合箇所は DNA の卵割箇所か、若しくは電子が取り除かれた箇所であると考えられる。|

4 環境因子としての電磁界の安全性の問題点

送電線による低周波電磁界やラジオ、TV や携帯電話などによる高周波電磁界は至る所に存在し、人体に影響を与える様々な周波数帯が常時付加されている。電磁界曝露に対する安全基準の問題（に対する関心）は年々高まっているが、この基準を立てていく上で必要となる情報が徐々に得られてきている。

電磁界が人体に影響を与える事に関しては同意が得られているが、安全基準に関しては同意が得られていないのが現状である。しかし、低周波領域に於ける小児白血病に関する疫学的な証拠より、現在の安全基準が不十分である事が分かる。最近の2つの研究結果より 0.3~0.4[T] の程度の弱い磁界で（小児白血病の）リスクが上昇する事が示されている。Rf 帯の電磁界に関しては、携帯電話の長時間の使用により聴覚神経腫のリスクが上昇するとの研究結果も出されている。

現在の「安全」基準は電磁界の周波数毎のものであり、SAR^{*2} と呼ばれる吸収エネルギー強度の考え方を取り入れた基準が出来つつある。しかし、これらの周波数毎に分けた SAR 値を取り入れるに当たって生物学的な閾値は考慮に入られていない。RF 帯に於ける SAR 値の基準は 10^{-1} [W/kg] である。しかし、RF 帯に於けるストレス応答の閾値は 10^{-1} [W/kg] であるが、ELF 帯に於けるその閾値は 10^{-12} [W/kg] に過ぎない。生化学的な考え方では ELF 帯と RF 帯に違いはないので、この考えに基づく SAR 値は生物学的な閾値に合わず、安全基準としても妥当な値ではなくなってしまう。SAR 値が周波数によって上昇していく事を考慮に入れなければならないのである。周波数に伴いエネルギーが上昇するが周期は周波数に伴い減少するので、エネルギーと時間の積 ($E \cdot t$) は周波数から独立した値をとり、これであれば生物学的な反応にも適した値を取ると考えら

^{*2} Specific Absorption Rate 生体に対するエネルギー吸収量の評価の一つ。単位質量に吸収される単位時間あたりのエネルギーを W/kg で表したものの。 $SAR = \omega \epsilon E^2 \tan(\delta) / \rho$

れる。

要約すると、生物学的な応答は振動数に対して独立し（生物学的な閾値は SAR 値に依らない）、周波数毎に分けて考える事は重要ではないので、ここでは SAR 値は安全基準としては妥当ではない。そこで SAR 値に変えて電磁界に帯する安全基準の最も妥当なものとして挙げられるのが「予防原則 (Precautionary Principle)」、若しくは「慎重なる回避 (Prudent Avoidance)」と呼ばれるものである。つまりは考えられ得る最大限の可能性を持って曝露量を低く抑えようという事である。

細胞のストレス応答は生物学的な安全基準に適合される。何故なら、

- ・これは細胞の自己防衛メカニズムであるからである。
- ・この問題は、周波数毎に分けて議論出来るものではなく、多くの周波数帯による曝露全体を通して考慮しなければならないからである。
- ・現在では、分子レベルのメカニズムに関して多くの事が分かってきている。

本節を終える前に、現在の研究方法が一般的な科学や電磁気学に対してまだ問題を抱えているという事にも重要であるので言及しておく。「Journal of American Medical Association」より引用すると、「産業界と結びついた研究というのはとにかく産業界にとって都合の良い結果に纏める傾向にあり、その為に研究が質の低い物となる傾向にある。逆に、研究社会に対してはその研究結果を公表しなくなる。」実際、この問題は RF 帯に於ける生体への影響についての研究に対しても当てはまるのではないだろうか。

5 まとめ

DNA の電機界による活性化メカニズムに関して自由電子の増加により、生体高分子の脱凝集が起き、電磁界が電子の運動を加速している事が分かった。これらの結果は電磁界が DNA を脱凝集させ、生合成を促進させている事を示している。

実験結果より、明らかに公衆電磁界曝露に対する安全基準の基となっている SAR 値が生物学的には無意味である事が示された。生物学的な安全基準が未だ発展途中であり確立していない以上、予防原則に乗っ取って基準値を定めていくべきではないだろうか。

付録 A お勧めの読み物

「電磁界の生合成に対する初期段階の相互作用」

Blank M and Goodman R (2004), Journal of Cellular Physiology 199:359-363

「電磁界の生合成に対する初期段階の相互作用」