

電磁波は健康被害どのようにもたらすか：Panagopoulos et al. 2021 年論文概要

英語原文：

Panagopoulos DJ, Karabarbounis A, Yakymenko I, and Chrousos GP (2021) Human-made electromagnetic fields: Ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (Review). *Int J Oncol* 59: 92; <https://www.spandidos-publications.com/ijo/59/5/92>

ギリシャのアテネにある国立科学研究センター（National Centre for Scientific Research）の生物物理学者であるDr .Dimitris J. Panagopoulosらは、2021年の論文において、人口電磁場（EMF）曝露とDNA損傷および関連する病理学とを結びつける多くの実験的および疫学的知見を説明するために、完全で、もっともらしく、正確な生物物理学・生化学的メカニズムを初めて提示しています。

論文の内容は以下の通りです。

1. 序論
2. 電圧依存性ゲート型イオンチャネル（VGIC）機能不全と細胞電気化学平衡の破壊をもたらす分極・干渉する（coherent）EMFの生物物理的作用
3. VGICの不規則なゲートにより活性化され、DNA損傷につながる生化学的プロセス
4. ディスカッション

1. 序論と4. ディスカッションはあまり専門的ではなく、専門家でなくても容易に読むことができます。セクション2.と3.はより専門的で、説明が必要です。

ここでは、次の2つの質問（以下のA.およびB.）に対する回答を、可能な限り非技術的な言葉で答えたいのです。（もし簡単すぎれば、申し訳ありませんが、できるだけ多くの人にこの重要な作業と論文に記載されているメカニズムを理解してもらいたいと思っています。まだわかりにくい部分がありましたら、お気軽にお知らせください。）

A. 偏光・干渉性のあるEMFの生物物理的作用は、電圧依存性ゲート型イオンチャネル（VGIC）機能不全と細胞電気化学平衡の破壊をどのようにもたらすのでしょうか？

B. もしA.を理解しているなら、その結果生じる生化学的過程はヒトと動物に対しどのように健康影響をもたらすのでしょうか？

Aを見てみましょう。

まず、細胞膜とVGICについて少し説明します。

すべての細胞は膜に囲まれています。細胞の中にあり、重要な機能を果たす細胞の一部であるミトコンドリアやゴルジ装置などの周囲にも内膜があります。これらの膜には、イオンが細胞（またはミトコンドリアなど）に出入りするためのチャンネルがあります。（イオンとは、正味の電荷を持つ原子や分子のことです。詳しくは後述します）細胞が生命過程を円滑に継続させるために、細胞の膜を通るイオンの流れは、細胞自身の内部で適切な電気化学的バランスを維持するために必要です（つまり、恒常性：生体システムによって維持されている安定した体内、物理的、化学的、社会的状態）。

後述するように、このバランスが崩れると、全身の健康に影響を及ぼす可能性が非常に高くなります（人間だけの話ではありません）。これらのチャンネルは「電圧ゲート」があるために、VGIC（電圧依存性ゲート型イオンチャンネル）という用語で知られています。これは、チャンネルは常に開いているのではなく、膜の両側間の電圧（電荷）差に応じて開いたり閉じたりするということと意味します。細胞の外から中へとイオンを通過させるチャンネルと細胞の中から外へとイオンを通過させるチャンネルがあるので、細胞は、出入りするチャンネルを開閉することによって内部の電気化学的バランスを維持することができます。イオンは電荷を持っているので、細胞の外へイオンを出すと、細胞内の電荷が減少し、膜を通過させる電荷がゲートを開いた状態にする必要な電荷よりも低くなり、ゲートが閉じます（イオンが入っていくチャンネルも同様）。これは細胞内の電気化学的バランスを維持するための非常に簡潔なメカニズムであり、私たちの健康はこれに依存しています。

無線電磁場（RFEMF）を身体に照射するとどうなりますか？

可視光線や赤外線 of 自然光は、人工EMFよりも高い周波数と強度を持っているにもかかわらず、化学結合を切断できないことはよく知られています。（したがって、人によるEMF曝露の結果としてのDNA損傷および関連する病理の観察は、一般的にはありえないものとして片付けられている）しかし、DNA損傷事象は、紫外線、自然放射能、または生きた細胞に毒性のある化学物質への曝露

などの様々な事象により、あらゆる生物の細胞でいつでも起きますが、細胞を保護するように効率的なDNA修復メカニズムが進化してきました。

では、人工EMFが健康に悪影響を与えているのは何なのでしょう？「自然の赤外線や可視光とは対照的に、有害な生物学的・健康的悪影響や電離（電子を放出あるいはとりいれて、イオンになること）を誘発することができる、人工EMFの独自の特徴があるに違いありません。この独自の性質は、人工EMF・電磁波は完全に偏光しており、干渉性があるということです。つまり、EMF・電磁波の強さとは別に、正味の電場と磁場を持っているということです。EMF・放射線は、あらゆる生体系において、移動性の溶解イオンや荷電高分子〔タンパク質などの大きな分子〕のような、電荷を帯びた（あるいは偏光した）粒子・分子に力を及ぼす」と著者らは述べています。

さらに、同研究の著者らは、「ほとんどすべての人工RF EMFは、変調、パルスおよびランダム可変性の形で極低周波（**extremely low frequency, ELF**）の構成要素を含む。したがって、偏光と干渉に加えて、ELFを含むことは、ほとんどすべての人工EMFの共通の特徴である」と述べている。（強調は翻訳者によって追加）これは、低周波電場が、送信される情報を伝える信号の部分であるためです。

著者らは、既知の値を用いながら第一原理から、VGICsが人工EMFによって照射されたときにVGICs内またはその近くにあるイオンに何が起こるかを示しました。ごく簡単に言うと、人工EMFを照射すると、イオンが振動します。振動すると、VGICが開く可能性のある電気力が発生します。Panagopoulosらはこれを「偏光・干渉性のあるEMFによる細胞膜上の電圧依存性ゲート型イオンチャネルの不規則ゲート開閉のイオン強制振動機構」と呼んでいます。これは、これらのEMFが「生物活性」があることを意味します。さらに、「偏光・干渉性のあるEMFの生物活性はその強度に比例し、周波数に反比例し、パルス場では2倍になります。これは、ELF/ULF〔極低周波数・超低周波数〕EMFと、すべての無線通信（WC）EMFのようなELFパルスを伴うパルスRF EMFが、最も生物活性が高いと予測されることを意味します。〔低い周波数帯はより生物活性が高く、偏光/干渉性のあるEMFでは生物活性が2倍になるため〕これは純粋なELF EMF ... と変調・パルス・可変RF EMFによる記録された効果を説明する」ことを著者らは述べました。

磁場に関する同様の数値例は、「EMFの生物活性構成要素であると思われるの

は電場であり、磁場ではないことを示している。これは、これまで保健当局が考えていたこととは対照的である。磁氣的に誘起された電場は、立ち上がり/立ち下がり時間の短いWC信号のELFパルスの場合にも生物活性である」ということを示しています。

細胞膜上の電圧依存性ゲート型イオンチャネルの不規則ゲート開閉のイオン強制振動機構に従って生物学的・健康的影響を誘導することができる電場強度と周波数の生物活性組合せを示す生物活性図（図1）を示しました。Wi-FiとBluetooth（10 Hz）、電力線（50 Hz）、3 G/4 G、DECT（デジタル強化コードレス通信）（100 Hz）、および2 G（217 Hz）はすべて、図の生物活性領域にあることがわかります。（1 Hz [ヘルツ] は1秒間に1サイクルのことです）

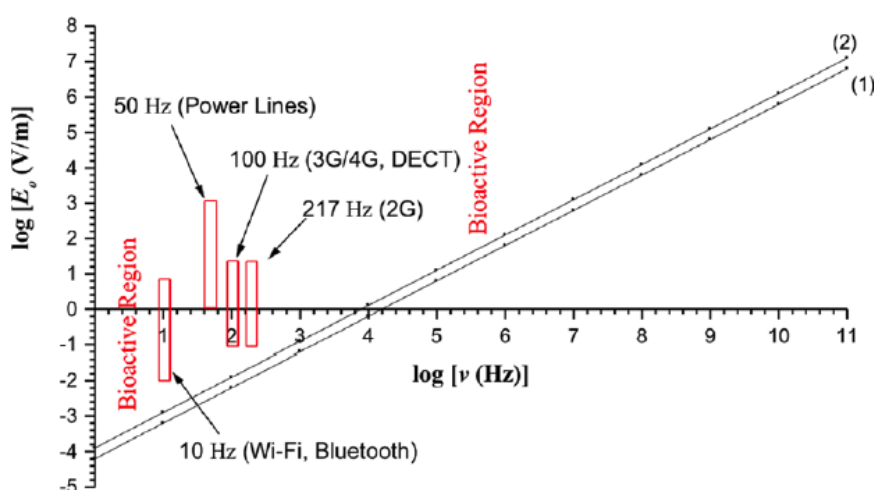


Figure 1 E-field bioactivity diagram showing the bioactive combinations of electric field intensity and frequency capable of inducing biological/health effects according to the ion forced-oscillation mechanism for dysfunction of voltage-gated ion channels in cells. The ELF electric fields of power lines, 2G/3G/4G MT, DECT, Wi-Fi and Bluetooth, are within the bioactive region (above lines 1 and 2). Line 1 refers to pulsed fields, such as the ELF pulsations of WC EMFs (Condition 10), while line 2 refers to continuous (non-pulsed) fields such as those from power lines (Condition 9).

図1 細胞内の電位依存性ゲート型イオンチャネルの機能障害のためのイオン強制振動機構による生物学的健康効果を誘導することができる電場強度（ E_0 ）と周波数（ ν ）の生物活性組合せを示す電場生物活性図。送電線、2G/3G/4G MT、DECT、Wi-Fi及びBluetoothのELF電場は生物活性領域内にある（上記1及び2の直線）。直線1はWC EMFのELFパルス（条件10）のようなパルス場を示し、直線2は送電線（条件9）のような連続（非パルス）場を示す（条件10および条件9については、原文を参照してください）。

上述したように、RF EMFは、VGICの近くまたは内部のイオンを振動させ、VGICゲートを開くのに十分な電気力をVGICゲートに加え、イオンをゲートを通過させます。これは細胞内のイオン濃度を変化させ、細胞の電気化学的バラ

ンスを破壊し、DNA損傷につながっていきます。

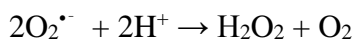
これが質問Aの答えです。ここで、質問Bを考える必要があります。質問Aを理解すると、結果として生じる生化学的プロセスはどのように (人の) 健康影響につながるのでしょうか?

まず基本的な化学を見てみましょう。イオン (正味の電荷を持つ原子または分子) とは、電子が「欠けている」か、または「余分な」電子を持つ原子 (または、分子の中の1つの原子) です。原子核の陽子の数が周囲の電子の数と等しいとき、原子は安定な状態にあります。すなわち、他の原子や分子とは容易に反応しません。電子よりも陽子の方が多い場合、イオンは正の電荷を持ち (すなわち、カルシウム (Ca^{2+}) のような「陽イオン」になる)、陽子よりも電子の方が多い場合、イオンは負の電荷を持ちます (すなわち、塩化物イオン (Cl^-) のような「陰イオン」になる)。ナトリウム (Na、11個の陽子)、マグネシウム (Mg、12個の陽子)、塩素 (Cl、17個の陽子)、カリウム (K、19個の陽子)、カルシウム (Ca、20個の陽子) などが論文中に挙げられています。

著者らは、振動する偏光および干渉性のあるELF EMFs ...によるVGICの不規則な開閉が、カルシウム (Ca^{2+})、カリウム (K^+) およびナトリウム (Na^+) のVGICについて実験的に検証されていると述べています。これは細胞内イオン濃度を変化させ、細胞の電気化学的バランス (および恒常性) を破壊し、酸化ストレス (oxidative stress, OS、活性酸素種 [ROS] の産生と蓄積の不均衡) によるDNA損傷をもたらし、ROSの過剰産生をもたらします。

論文の著者らによれば「ほとんどのROSはフリーラジカルである。フリーラジカルは、下記で示すように点記号(\cdot) で表される不對電子 (電子は通常、対になって原子核の周りを「飛び回る」) を含む非常に不安定な分子であり、不對電子を結合させて安定になるために、周囲の分子および相互に化学反応する大きな傾向を持ちます。寿命が極端に短いのはこのためです。ほとんどのROSは周囲の生体分子と迅速に反応し、化学変化を誘発する。EMF曝露による生細胞中のROSの過剰産生は信頼できるように報告されており、EMF曝露後に見出された2つの重要なROSはスーパーオキシドアニオン ($\text{O}^{2\cdot-}$) と一酸化窒素 ($\text{NO}\cdot$) です。これらはそれぞれヒドロキシルラジカル ($\text{OH}\cdot$) とペルオキシ亜硝酸塩 (ONOO^-) を生じる可能性があり、どちらのROSも生体分子と非常に反応性があり、特にDNA ... ONOO^- は $\text{NO}\cdot$ と同様に細胞中のあらゆる場所に拡散するので、DNAと直接相互作用する可能性がある。スーパーオキシドアニ

オンラジカル ($O_2^{\cdot -}$) は細胞質ゾル (細胞内の液体部分) またはミトコンドリアのスーパーオキシドジスムターゼ酵素によって触媒され、過酸化水素 (H_2O_2) に変換されます。



H_2O_2 は細胞内のあらゆる部位 (核を含む) に移動することができ、そこで最も強力な OH^{\cdot} に変換され、DNA を含むあらゆる生物学的分子に損傷を与えることができるため、酸化損傷において非常に重要な分子です。」

「変異や疾患につながる ROS による DNA 損傷はよく研究されている。Pall* は、カルシウムチャネル遮断薬を用いた EMF 生物効果研究のレビューにおいて、電位依存性カルシウムチャネル (voltage-gated calcium channel, VGCC) と NO^{\cdot} / ONOO 過剰産生との関連を指摘しました。これは細胞内カルシウム濃度に対する EMF 誘導効果の以前の観察と VGCC のユニークな役割を証明した」。

上記のことは、質問 B に答えるのに十分です。また、国際基準で認められているレベルを著しく下回る曝露レベルであっても、この損傷が生じることは重要な事実です。論文の残りの部分も同様の方法で続き、より詳細な情報を提供します。

私たちは、環境の中で急増している様々なデバイス、つまり電力線、配線、電気メーター、電化製品などから放出される ELF 場を含む電磁場に囲まれています。それと同時に、私たちは、携帯電話、Wi-Fi、タブレット、その他のモバイル通信デバイスや設備からの RF 場にも囲まれています。

これらの電磁場への曝露に関連する健康問題に関する数十年の研究に基づき、国際がん研究機関 (IARC) は、電場・磁場ともにクラス 2 B の発がん性物質の可能性があると分類しています。低周波領域は小児白血病、高周波領域は脳腫瘍および皮膚癌と関連することが知られています。いずれも、がん、遺伝子損傷、不妊症、頭痛や不眠症などの一連の症状を引き起こす可能性があり、電磁波障害または電波障害として知られています。Panagopoulos らの論文は、EMF が 1 つの知られているメカニズムによってどのように健康影響を引き起こすかを正確に記述していますが、おそらく他のメカニズムも作用している可能性があります。

この要約の目的は、Panagopoulosらの論文に記載されているメカニズムを理解しやすい言葉で要約することによって、EMFがなぜ健康影響をもたらすのかを専門家ではない読者に説明することです。読者は、論文全体を読んで、そのメカニズムの妥当性を裏付けるために著者らが蓄積した数百の文献を含む豊富な詳細を見ることをお勧めします。

(文責・翻訳：LENメンバー)

著者らは、この概要を執筆するにあたって、EMR Australiaウェブサイトの記事「New insights: the damaging field」を参照した。この記事は、次のアドレスで参照できます。

https://emraustralia.com.au/blogs/news-1/new-insights-the-damaging-field?_pos=1&_sid=b83a645f4&_ss=r

* Pall ML: 5G: Great risk for EU, U.S. and International Health! Compelling Evidence for Eight Distinct Types of Great Harm Caused by Electromagnetic Field (EMF) Exposures and the Mechanism that Causes Them, Chapter 2.

同上：5G:EU、米国、国際保健機関にとって大きなリスク！電磁場 (EMF) 曝露に起因する重大な有害性の八つの異なるタイプとそれらを引き起こすメカニズムに関する説得力のある証拠、第2章:そのような EMF 効果が電位依存性カルシウムチャンネル活性化を介して、どのように生じるか:EMF 効果に対する異常な感受性の産生における電圧センサーの役割
英語原文と日本語訳文ともに下記のリンクからダウンロードできます。

<https://www.ehs-mcs-jp.com/研究-各国動向-research-measurement/>