

特 集

「第16回日本臨床環境医学会総会受賞論文」優秀賞

生活環境中のマイクロ波曝露と生物・医学的影響

本 堂 毅¹⁾ 植 田 武 智²⁾ 谷 川 宣 人³⁾ 坂 田 泰 啓³⁾
 池 田 研 介³⁾ 小 林 泰 三^{3, 4)} 鈴 木 哲⁵⁾

1) 東北大学大学院理学研究科

2) 日本子孫基金

3) 立命館大学理工学部

4) 九州大学情報基盤センター

5) 仙台電波工業高等専門学校

Public exposure to microwave and its biological and medical effects

Tsuyoshi Hondou¹⁾ Takenori Ueda²⁾ Nobuto Tanigawa³⁾ Yasuhiro Sakata³⁾
 Kensuke Ikeda³⁾ Taizo Kobayashi^{3, 4)} Tetsu Suzuki⁵⁾

1) Department of Physics, Tohoku University

2) Japan Offspring Fund

3) Department of Physics, Ritsumeikan University

4) Research Institute for Information Technology, Kyushu University

5) Sendai National College of Technology

要約

高周波領域の電磁波（マイクロ波）は、ペースメーカーなどの医療電子機器への影響と共に、生体へも影響を及ぼす。実験レベルでは、イオンチャネルや血液脳関門（BBB）、DNA 損傷等、臨床レベルではアトピー性皮膚炎等との関連が示されており、電磁波過敏症との関連も指摘されている。影響はマイクロ波の曝露強度に依存するため、曝露強度の正しい推定が必須である。しかし、曝露強度は電磁波源から離れるにつれて、常に急速に減衰するとするドグマが、理論的にその誤りが指摘された2002年以降も推定に用いられており、公的安全指針の前提ともなっている。そこで、本ドグマの真偽を実験的に調べ、マイクロ波受動被曝の影響が無視できないことを確認した。

(臨床環境16: 93~97, 2007)

受付: 平成19年11月16日 採用: 平成19年12月10日

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

Received: November 16, 2007 Accepted: December 10, 2007

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

Abstract

Recently, we reported a preliminary calculation and concluded that public exposure to mobile phones can be enhanced by microwave reflection in public spaces [J. Phys. Soc. Jpn. 71 (2002) 432]. In this paper, we confirm the significance of microwave reflection reported in our previous paper by experimental and numerical studies. We also show that “hot spots” often emerge in reflective areas, where the local exposure level is much higher than average. Such places include elevators, and we discuss other possible environments including trains, buses, cars, and airplanes. Our results indicate the risk of “passive exposure” to microwaves.

(Jpn J Clin Ecol 16 : 93~97, 2007)

《Key words》 passive exposure, microwave, mobile phones

I. 研究の背景

携帯電話等に用いられるマイクロ波は、利用者本人に対する健康影響は早くから指摘されてきた。EUの国際共同研究などが既に、10年以上の長期使用による脳腫瘍発症率の統計的有意な上昇^{1,2)}、培養細胞・動物実験でのDNA鎖の切断、遺伝子発現パターンの変化^{3~5)}等、重要な知見を見出している。いずれも、実際に使用者が被曝するマイクロ波強度での知見である⁶⁾。

さて、携帯電話等のマイクロ波が使われる環境は、そのマイクロ波を反射する素材に囲まれていることが多い。列車、バス、車、エレベータ、航空機、プレハブ住宅などは、床や天井、壁面などが金属で作られている。金属はマイクロ波に対して99%以上の反射率を持つ。この事実気づけば、マイクロ波曝露の健康影響は、利用者本人に留まらず、広く周囲に及ぶ疑いが浮かぶ。すなわち、タバコの受動喫煙と同様に、マイクロ波受動被曝の問題が疑われる。

本堂は2002年、理論的計算によって、反射のある環境での平均マイクロ波強度を求める公式を導いた。この結果を日常環境に適用すると、無反射を仮定する現行の推定に比べ、反射の影響により被曝強度がオーダー（桁）のレベルで上昇することが分かった⁷⁾。しかし、この知見以降も、各種公的指針などで反射の影響は正しく考慮されていない。それは、次のようなドグマが関連学会を支配し、社会で使われているからである^{8~11)}。

『マイクロ波発信源から反射壁が遠く離れば、反射の影響は無視できる』

ドグマはどのような背景から生まれたのであろうか？ 電磁環境工学とも呼ばれる分野の旧来の文献を調べると、次の事実に気づく。

1. 反射の影響は、アンテナ関連技術としては調べられているが、ある種の公式を用いたアンテナ設計などに集中し、公式が当てはまらない現実系へのアプローチが殆ど存在しない。
2. 電磁波の波長（1GHzで30cm）より十分大きなサイズを持つ系に対しては、コンピュータの能力の限界から数値シミュレーションが容易ではない。
3. 反射のない状況では、電磁波の強度は距離の自乗に反比例するが、反射がない場合に限って成り立つこの性質がいつしか「理論値」とされている。そして、「反射がない」という前提条件が忘れられ、あたかも、いつでも成り立つかのように流布されている¹²⁾。

そこで、「反射壁が遠く離れば、反射の影響は無視できる」とするドグマを実験により検証することにした。

II. 実験

ドグマの検証には、外部マイクロ波を遮断できる、内面が反射材で囲まれた大きな「反射箱」を用意する必要がある。そこで、全面をステンレス材で被った冷蔵コンテナを借り、川崎の埠頭に赴いて実験を行った（図1）。マイクロ波を発する無線機を1台設置し、マイクロ波強度計を用いて、コンテナ内の強度を調べた。結果は、輻射源と反射壁の距離に関係なく、コンテナ全体でのマイク



図1 実験に使ったコンテナ
5.5m(長さ)×2.3m(幅)×2.2m(高さ)

ロ波強度分布が何ヶタも上昇するものであった(図2 a)。2002年の理論的予測⁷⁾の通りである。

この結果¹³⁾は、世間に流布し、行政判断の前提であるドグマの誤りを再確認するものであった。コンテナの扉を開けると、平均レベルは数倍のオーダーで下がる。しかし、無反射時に比べて平均レベルが(数倍のオーダーではなく)数桁上がる事実は変わらない。したがって、「反射壁が遠く離れ」ても反射の影響は無視できないことが分かる。

次に、具体例としてエレベータで実験を行った(定員17名。1.5 m×1.8 m×2.3 m、ドア全開)。一人が無線機を持ち、もう一人が高周波プローブで計測を行った。その結果判明したマイクロ波強度の空間分布は極めてランダムで、たとえば送信機から2.6m離れた地点でも、無反射時の0.1m地点と同じ強度が見つかった(扉は全開)。電力密度(ポインティングベクトル)なら、約700倍の強度である。現実系においても、反射の影響が決して無視できないことが確認された^{注1)}。

III. 数値シミュレーション

以上のように、本研究の実験結果は、2002年の理論的予測を再現し、マイクロ波受動被曝の問題を明らかにした。しかし、以下の理由から数値シミュレーションも重要なものである¹⁴⁾。

1. 空間強度分布

理論で求めたマイクロ波強度は平均値であり、

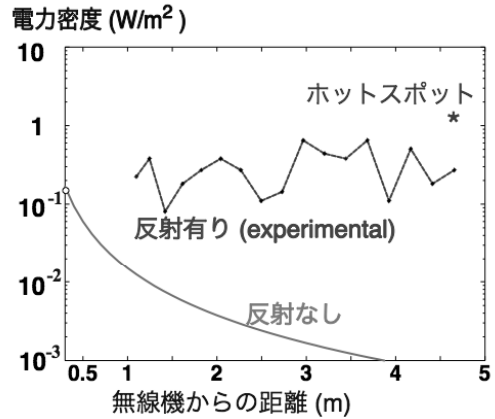


図2 a) 無線機からの距離とマイクロ波強度の一例

図1で示したコンテナ内での実験結果(文献¹³⁾より引用)

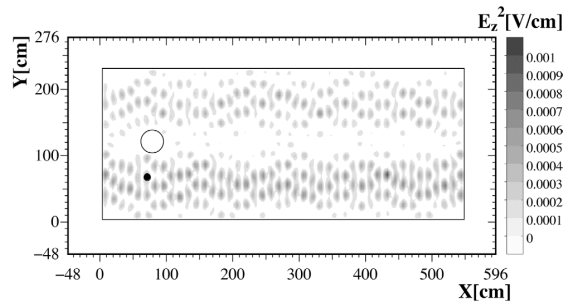


図2 b) 2次元数値シミュレーション結果

(FDTD法、後述。文献¹³⁾のFig.6を改変)
長さとは幅は実験に用いたコンテナと同じ。
●は波源、○は人間のモデル。

空間分布を明らかにできない。実験は空間分布を明らかにできるものの、マイクロ波の強度は、測定器(プローブ)の位置を数cmずらすだけで、急激に(ケタ単位で)変化する。空間をくまなく調べ、“worst-case estimation”を行うためには、数値実験が適している。

2. 時間分解能

携帯電話など、日常生活環境中のマイクロ波放射源は、変調のためマイクロ波測定器の時間分解能(数百ミリ秒)より遙かに速い時間スケールで、その強度を変化させる。生体影響や医療機器への相互作用は、マイクロ波強度の最大値や変調の詳細に関わるため、現行のマイクロ波測定器より高

い時間分解能での数値シミュレーション・解析が必要である。

本研究では数値シミュレーションを

1) FDTD 法

2) HFSS 法 (Ansoft 社の汎用シミュレータ)で行った。どちらも有限要素法であり、詳細は Hondou et al. (2006) JPSJ¹³⁾ を参照されたい。FDTD 法で得た結果が、図 2b であり、HFSS 法で行った結果が、図 3 である。コンテナ (図 2b)、エレベータ (図 3) 共に、数値シミュレーションも先の実験結果を再現している¹³⁾。この結果に加え、被曝強度が局所的に高い場所 (ホットスポット) が散在することが明確に分かる。

IV. まとめ：生物・医学的影響

実験とシミュレーションから、エレベータ内などの現実的状况では、扉全開のエレベータでも、無反射時に比べ 1000 倍のオーダーに達する受動被曝が生ずることが示された。前述したように、無反射時では 0.1m 地点という近距離で記録される被曝強度が、エレベータ内では 2.6m 離れた地点でも記録される。総務省らの携帯電話実機を用いた実験では、携帯電話から 0.3m の地点までペースメーカーの誤動作が確認されているが、これは無反射条件での距離であることに留意すれば、本

研究の意味は容易に分かるだろう^{注2)}。本研究で示した結果、すなわちマイクロ波反射による受動被曝レベルの増加は、程度の差はあれ、マイクロ波を反射する金属などで囲まれた空間一般、すなわち、電車・バス・乗用車・航空機・プレハブ住宅などで共通して成り立つものである。

生体への直接的影響 (健康影響) に関しても、同様に受動被曝の影響は無視できない。たとえば、スウェーデン・ルンド大学医学部の Salford (サルフォード) らは、ラットを使った動物実験で、マイクロ波曝露による血液脳関門 (BBB) 機能の異常 (アルブミンの透過) を繰り返し確認している^{15~17)}。他のグループによっても再現されているこの影響が生ずる曝露レベルは、携帯電話から 1.8m の距離である¹⁸⁾。この距離が『無反射』条件下のものであることに気づけば、反射のある条件では、1.8m より大きく離れた場所でも同様の影響が予想できることが分かるだろう。脳血管関門への影響に限らず、オランダ経済省が実験研究で示した電磁波過敏症や、他の生物・医学的影響^{5, 6, 11)}でも同様である。したがって、日常生活環境中での携帯電話利用などで生ずるマイクロ波には、タバコの受動喫煙と同様、「受動被曝」問題の発生が強く疑われることになる。

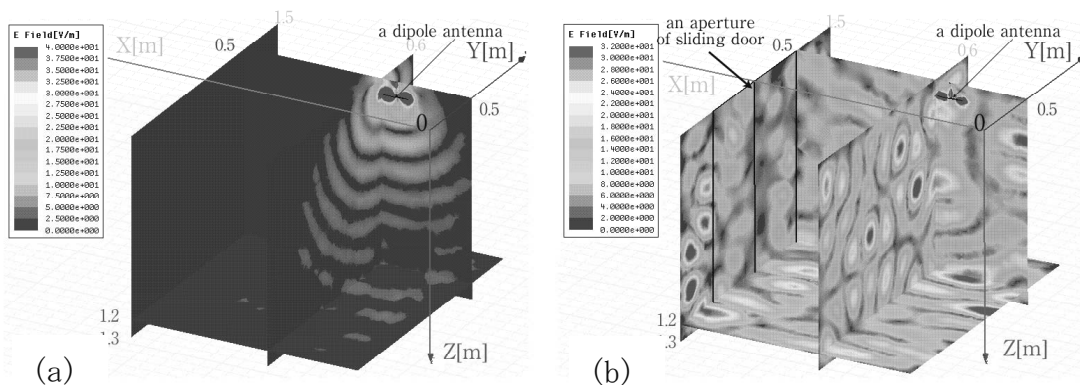


図3 エレベータ内マイクロ波強度の数値シミュレーション (HFSS 法)

文献¹³⁾の Fig.4と Fig.5 (送信機 1 台、ドアは全開)。

(a)無反射条件、(b)反射あり条件。シミュレーションは、メモリ容量の関係で高さを実験より 1 m 小さくしている。

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」及び「環境物理学」での議論を元に行なわれたものである。

注釈

- 1) この結果は、アマチュア無線機と高周波プローブがあれば、誰でも容易に確かめられる。
- 2) 実際、携帯電話から発せられるマイクロ波が他者の補聴器へ強い雑音を発生させる被害は、既に確認されている。ペースメーカーの安全指針(22cm)や、これに基づく優先席付近電源オフなどには科学的合理性がない。

文献

- 1) S Lönn, A Ahlbom, et al: Mobile Phone Use and the Risk of Acoustic Neuroma. *Epidemiology* 15: 653-659, 2004
- 2) 津田敏秀: 論文の批判的吟味・長期間の携帯電話使用と脳腫瘍. *物性研究* 88: 564-571, 2007
- 3) H Pearson: Mobile-phone radiation damages lab DNA. doi: 10.1038/news041220-6, news@nature.com, 2004
- 4) REFLEX project (funded by the EU under the programme "Quality of Life and Management of Living Resources". Project coordinator, Prof. Adlkofer, F., VERUM, Munchen), Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Energy Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods, 2004
- 5) 本堂 毅: 電磁場が引き起こすDNA損傷. *パリティ* 21: 81-85, 2006
- 6) G Hyland: Physics and biology of mobile telephony. *Lancet* 356: 1833-1836, 2002
- 7) T Hondou: Physical Validity of Assumptions for Public Exposure to Mobile Phones. *J Phys Soc Jpn* 71: 3101-3102, 2002
- 8) Ian Sample: Cellphone radiation "trapped" in train carriages. *New Scientist* 174: 2341-2341, 2002
- 9) BBC News: Trains 'trap mobile phone radiation'. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/1961484.stm>, 2002
- 10) 朝日新聞: 通勤電車は電磁波満員? 6月3日夕刊, 2002
- 11) 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
- 12) 不要電波対策協議会: 携帯電話端末等の使用に関する調査報告書. *電波産業界*: 145-145, 1997
- 13) T Hondou, et al: Passive exposure to mobile phones: Enhancement of intensity by reflection. *J Phys Soc Jpn* 75: 084801 (5 pages), 2006
- 14) 坂田泰啓: 開いた空洞系における電磁場のダイナミクス. *物性研究* 83: 189-244, 2004
- 15) L Salford, et al: Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. *Environmental Health Perspectives* 111: 881-883, 2003
- 16) L Salford, et al: Non-thermal effects of EMF upon the mammalian brain: the Lund experience. *Environmentalist* 27: 493-500, 2007
- 17) 兜 真徳: 電磁波と脳障害: Salfordらの論文について. *科学* 73: 1273-1276, 2003
- 18) L Salford, B Persson, et al: *Mobile Communication and the Blood-Brain Barrier*. Lecture organized by ECOLO, le CEFE, European Parliament 29 June, 2000