

# 学生実験における環境電磁波の測定

増 田 博 代

沼津工業高等専門学校 技術室

## はじめに

沼津高専教養科物理では平成 10 年より 2 年生物理実験（4 学科）において、学生の自主的な思考力・創造性を高め、実験を通して科学への興味を喚起し物理の面白さに目覚めさせる教育の試みとして、「自由なアイデアと発表能力を養う物理自主実験」を行っている（教員 1 名、技術職員 1 名）。2 年次後期 9 週間程度の期間に、各人が自由にテーマを選択し、3~4 名のグループで実験を行い、最終的に口頭発表と質疑応答までを行うもので、「Problem-based Learning」の学習形態に基づいている<sup>[1]</sup>。この実験では 14 テーマほどを教員側から提示するが、この選択テーマの一つとして平成 15 年度より環境電磁波を取り上げ、交流電流から発生する超低周波電磁界、また主として携帯電話から発生する高周波電磁波について、高専内における身近な環境下で測定を行いさまざまな角度から電磁波について学習を行っている。本稿ではこれらの実験結果の紹介ほか、高周波電磁波の遮蔽効果および金属閉鎖空間内での反射の検証について報告し、電磁波の健康影響が危ぶまれる現代において、リスクへの問題意識を高めた上でいかに電磁波と共存していくかを提言する。

## 1 実験の概要

平成 15 年度から平成 18 年度までに環境電磁波をテーマとして選択した学生班は、各年度平均 4~5 班である。実験に先立ち電磁波のどんな点について学習および実験を行うかを各班で討議させ、実験計画書を提出させている。計画書の内容は今後の実験内容を大きく左右するため教員側とよく話し合い指針を立てる。実験に入る前に物理教科書を始め種々の書籍や Web サイトから周波数の違いによる電磁波の種類とその特性等の知識を学ぶ。自主的に学んでいくが不明な点や難解な部分は教員側が手助けする。こうして我々の日常生活空間には自然、人工を問わず多種多様な電磁波が満ちあふれていることを知り、健康影響や安全基準の調査、遮蔽の手段等について考え実験項目を決定する。

これまで行ってきた主な実験項目として、超低周波電磁界については、家電製品、AV 機器、スクールバス内部、図書館に設置された書籍盗難防止装置等から発生する電磁界の測定、また本稿では触れないが本学の直近に高圧送電線が敷設されていることから学内の教室や研究室など百箇所以上の地点での測定を行い、その解析を試みている。高周波電磁波については電磁調理器、電子レンジ、携帯電話を用いて学生たちが考え付く限りのさまざまな実験を行っている。近年は特に学生たちの必需品である携帯電話での実験に集中してきている。この実験の詳細について 3 章で後述するとし、超低周波電磁界の実験結果を簡単に紹介する。

## 2 超低周波電磁界

### 2.1 内外の安全基準値

高圧送電線から常時発生している交流磁界が住民の健康障害を引き起こすとして社会問題となり、昨今では電磁波過敏症という症例も多く報告されてきている。1984 年に世界保健機関（WHO）から出された環境保健基準によると 5000  $\mu$ T(50G)以下では有害な生物学的影響は認められていないと発表され、WHO と協力関

係にある国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）が示した国際的なガイドラインによれば 50Hz における連続曝露制限値は一般公衆において  $100 \mu\text{T}$  (1G)とある。しかし我が国では 1999 年から 3 年間、国立環境研究所が中心となって全国疫学調査が行なわれ、子どもの寝室の平均磁束密度が  $0.4 \mu\text{T}$ (4mG)であるとき、小児白血病のリスクが磁界のないときと比べて 2.63 倍になるという報告が出された<sup>[2]</sup>。この値は ICNIRP のガイドラインの  $1/250$  であり、磁界の影響が若年者に大きく現れる点、微弱な磁界でも居住空間で常時被曝すると大きな影響を受ける可能性がある点などが指摘されている。

## 2.2 本学構内での測定結果

アイドリング時のスクールバス内部での測定（AC ミリガウスメーターMODEL UHS 使用）の結果、中央の 4 列の座席だけが左右ともに他の座席の平均値より 12.8 倍も高かった（表 1）。そこでバス中央の座席付近で磁界の強度を測定した。垂直方向は床から 20 cm おきに天井(180cm) まで、水平方向は座席間通路の中心点から窓 (100cm) まで測定した。磁界強度と中心点からの距離 ( $r$ )の関係を図 1 に示す。磁界強度がほぼ  $r^{-2}$  に比例していることから、発生源が小さな双極子（この場合は  $r^{-3}$  に比例する）でも、直線電流 ( $r^{-1}$  に比例）でもなく、適当な大きさを持ったものであることが想像される。この中央座席部分の床下にはバッテリー、エアコン本体とそれを駆動するためのエンジン、コンデンサ等が取り付けられており、エアコン駆動用のモーター部分およびその付属装置から強い磁場が漏れていると考えられる。この結果から、バスに限らず走行中の自動車内でも高強度の磁界が発生している可能性があることを指摘しておきたい。また学内での機器等の測定結果から特に高強度を示したのは図書館に設置された書籍盗難防止装置である。この装置は書籍に貼られたテープの着磁、消磁を行うもので、図書貸し出し時に職員が本体近傍で作業を行っていた。発生する磁界の強度は近接時で  $1500 \mu\text{T}$  を示し ICNIRP の基準値を 15 倍も上回った。

この測定結果を得て、図書館職員が勤務中に強い磁界を常時被曝することを避けるため、本体を貸し出しカウンターから少なくとも 30cm 以上遠ざけ（測定値  $2 \mu\text{T}$ ）業務をすることを提言した。

## 3 高周波電磁界

### 3.1 携帯電話は安全か？

高周波電磁界といえば一番身近な発信機は携帯電話であろう。加入者総数 9445 万人(2006 年 11 月末：電気通信事業者協会調べ)を超え、携帯電話は今や小中学生にまで普及し、高専生も例外ではない。この日常的に高頻度で利用される携帯電話から発生する電磁波の実態を調査した。使用されている電波は 800 MHz ~ 1.5 GHz, 2 GHz 帯のマイクロ波帯域である。これまでにマイクロ波の生体影響として考えられている作用として、血流量の少ない眼球等に与える電界がもたらす熱作用、DNA 損傷が懸念されるマイクロ波エネルギーによる非熱作用に大別される。種々の研究がなされているが、現在のところ、熱作用については電子レンジの出

表 1. スクールバス内の磁界強度（単位： $\mu\text{T}$ ）

ハンドル周辺	1.8	左右座席 2 列目	3.0
運転席床	3.2	左右座席 3 列 ~ 6 列	15.0
運転席窓	0.6	左右座席 7 列目	0.15
計器盤周辺	11.0	左右座席 8 列目	0.10
左右座席 1 列目	2.5	左右座席最後列	0.10

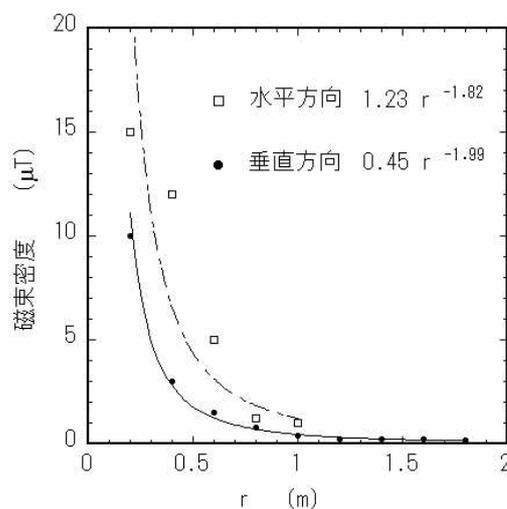


図 1. スクールバス内中央座席の磁界強度

力が 500～600 W に対し、携帯電話は 0.6～0.8 W と出力レベルが極めて小さいこと、非熱作用については培養細胞、動物実験において DNA 損傷の影響を示唆する最近の研究報告<sup>[3]</sup>があるが、再現性が確認できていないともいわれ、いずれにせよ集中的かつ大量に曝露しない限り有害であるとの確証はつかめていないようである。携帯電話の安全基準では SAR : Specific Absorption Rate (単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量, 比吸収率) が用いられ国内では平成 9 年に局所 SAR 値が 2 W/kg の許容値を超えないことという指針が設けられている。

### 3.2 学生実験の結果

こうした情報を踏まえ学生達で話し合った後に行った実験とその結果を紹介する。まず教室等の空間で 1～3 台の携帯電話機を用いて送受信を行い、呼び出し時、通話時、メールの送受信時における電磁波の強度を測定した。測定器はスペクトラムアナライザ MSA338(MICRONIX)、トリフィールドメーター(W.B.Lee)を使用し平均を取った。強度は各携帯電話会社の機種、使用状態により 0.01mW/cm<sup>2</sup>～1mW/cm<sup>2</sup> を記録した。以下はその結果からの考察である。

- 機種により強度は倍以上異なる。電磁波強度は各社で公表している SAR 値にほぼ比例している。
- 電磁波強度の距離に対する減衰は著しく、本体から 5cm 以上離れると強さが半分以下に下がる。
- 呼び出し中は強いが通話が始めると 1/6 から半分に減る。
- メール送受信時にも、瞬間的に通話時と同程度に数値が上がる。
- 圏外に置かれた電話機は常にメール問い合わせ状態にあるため通常より高めの電磁波を発生続ける。

次にこの電磁波を遮蔽する方法として、鉄(2mm厚)、アルミ(2mm厚)、カーボン板(12mm厚)で囲んだ箱(30cm 立方体)の空間内の電話機から発する電磁波を測定した。方法は箱の内側一隅にアンテナ部分を外に向けて電話機を置き、外部から呼び出しを行い、箱の外に測定器センサー部分を密着して置いて測定した。電話機は A(0.35W/kg)、B(1.18W/kg)、C(1.05W/kg)の 3 社製品を使用した。( )内は SAR 値である。3 台ともに常時安定した測定値とならないため最大値と最小値の平均を取った。箱の外空間での平均値は各社公表の SAR 値にほぼ比例していた。遮蔽して測定した値と箱の外空間での値の比をグラフに示した(図 2)。この結果からカーボンは電磁波を遮蔽する場合としない場合があるのに対し、鉄とアルミはほぼ安定して電磁波を 50%以上遮蔽することがわかった。

理論的には金属で閉鎖された空間内では、電磁波はほぼ完全に反射されると考えられるが日常的に起こり得る金属閉鎖空間内ではどうか。エレベータ内部ではドアを開放した状態でも電磁波の強度が通常の数百倍から数千倍にも達しうるとの研究報告もある<sup>[4]</sup>。そこで学生にとって日常的に遭遇する金属閉鎖空間内としてスクールバス内部および校内のエレベータ内部での反射の検証について測定結果を報告する。

スクールバス内部では先に記述した低周波磁界の座席間の大差という結果は得られたものの、携帯電話数台を同時発信しても空間内で異常に数値が高くなる場所はなかった。バス車内の表面積は 64.78 m<sup>2</sup>、窓面積は 16.38 m<sup>2</sup>、従って電磁波を反射と考えられる金属表面は 48.40 m<sup>2</sup>で、窓が占める面積は全体の 25%である。窓の面積比(25%)が決めて小さくな

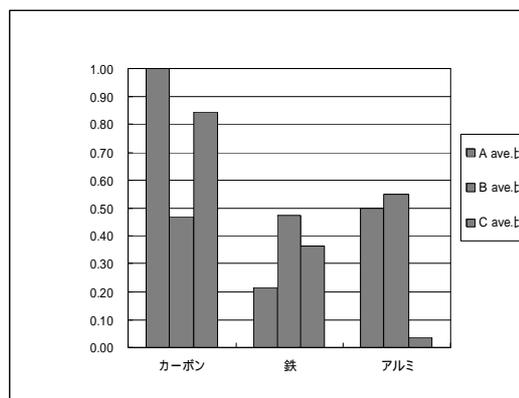


図 2. 高周波電磁界の遮蔽効果比

かったこと、床の材質の違い(非金属)等、完全な金属閉鎖空間ではなかったことによる結果と考えられる。

次にエレベータ(W1.4m×D1.3m×H2.3m、壁は鉄製)内でドアを閉じ4台の電話機を通常使用の高さと思われる床上110cmの位置に保ち、相互に呼び出しを行い、各地点で測定した。図3はエレベータ内空間の10cm刻みの平均データのグラフである。電話機を呼び出し中にするると、通常0.2から0.4 mW/cm<sup>2</sup>のレベルに対し、ほぼ50cmおきに1mW/cm<sup>2</sup>の振り切れ状態を示すホットスポットが見出された。またドアを開けると、直ちにこれらのホットスポットは消失し、至るところ通常レベルに戻り、それまで圏外を表示した電話機が受信可能状態になった。さらに、再びドアを閉じると、ほぼ5秒後には再度ホットスポットが現れた。この実験終了後に、学生3名と筆者合わせて全員が頭痛を覚えたこと、学生の一人は船酔い状態を訴えたことで、こうした金属閉鎖空間における携帯電話の一斉使用による生体への影響は大いに可能性があると思てよい。なお先の報告と異なり、本実験においてはエレベータのドアが開放中であれば、異常に高いレベルの電磁波は観測されなかった。

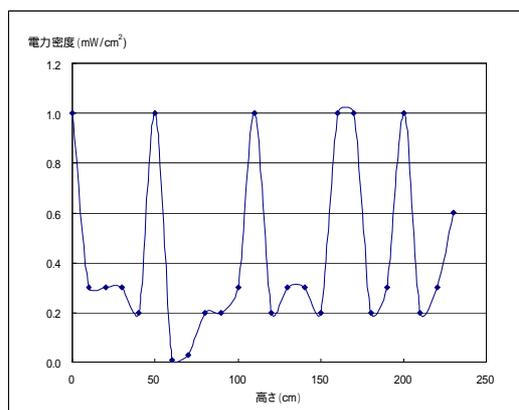


図3. エレベータ内の携帯電話電磁波強度

#### 4 まとめ

このようにさまざまな電磁波について実験を行った結果、身近な生活空間の意外な場面で強い電磁場に曝される可能性があることがわかった。生体への影響は未だ世界の研究結果を待つばかりだが、被曝の機会を出来るだけ避ける努力は必要であろう。特に携帯電話が爆発的に普及した現代においては、人口過密地帯や病院などの公共施設、また金属に囲まれている、あるいは圏外を表示している場所では積極的に電話の電源を切るなど、使用者個人によるモラル向上がもっと叫ばれ、定着されるべきであろう。こうした実験を行うことで学生達は、日頃何気なく使用してきた電化製品、携帯電話に対してリスクへの問題意識が変化したことはもちろん、科学の発展による副次的な事象を科学的に捉えて考察する力を得、またたくさんの情報を取り込むうちに、公正な目で情報を取捨選択していくことの大切さを学んだであろう。

#### 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金、平成15年度奨励研究(No.15914016)および平成16年度奨励研究(No.16914024)により助成を受けて行われたものである。

#### 参考文献

- [1] 増田, 鈴木; “学生の研究意欲と創造性を育てる物理実験の試み”, 沼津工業高等専門学校研究報告 38, pp195-199(2003), “学生の研究意欲と創造性を育てる物理実験の試み”, 同 39, pp195-199 (2004)
- [2] 兜; “生活環境中電磁界による小児の健康リスク評価に関する研究”
- [3] 本堂; “電磁場が引き起こすDNA 損傷”, パリティ 1月号(2006)
- [4] Hondou, et al; “Passive Exposure to Mobile Phones: Enhancement of Intensity by Reflection.”, Journal of the Physical Society of Japan, 75(8), (2006)