

電車内の携帯電話が心臓ペースメーカーに及ぼす危険率の算定

02401920 慶應義塾大学
01107680 慶應義塾大学

*中桐裕子 NAKAGIRI Yuko
栗田 治 KURITA Osamu

1. はじめに

携帯電話はここ数年来で爆発的に普及して、多くの人の生活に欠かせない道具となりつつある。しかしその便利さの反面、携帯電話が発する電磁波が、心臓ペースメーカーなど医療用機器の誤作動を引き起こす危険性があることが4年ほど前から指摘されている。ペースメーカーを埋め込んでいる人の中には、満員の電車で恐怖感を味わう人や、危険を避けるために電車が混み始めると降車してしまう人があるという（「携帯電話に恐怖味わう日々」2000.6.15. 読売新聞朝刊投書欄 など）。

携帯電話に関しては、利用者の観点からその便利さだけが強調されがちであるが、このように害を被る者の視点からこの機械について語られる声を聞く機会は非常に少ない。携帯電話の恩恵を被るすべての者は、その益と表裏一体の関係にある害についても理解する必要があるのではないだろうか。本研究はそのような理解の一つの助けとして、ある領域内で携帯電話による悪影響の大きさがどの程度であるのかを知る為の、一つの手段を提唱するものである。簡単なモデルを提案して、混雑した電車内でのペースメーカー利用者にとっての危険率を、解析的に与えることに成功している。

2. 危険率算出のためのモデル

2.1 危険率算出の際の仮定

比較的混雑している電車内で、ペースメーカー利用者が携帯電話の電磁波の悪影響を受ける確率を算出したい。混雑時を想定するので、電車内で乗客は一様に乗車していて、そのうち割合 p の人が携帯電話の電源を切っていないと仮定する。

「不用電波問題対策協議会」の調査によると、心臓ペースメーカーから22cm以内に電源が入っている携帯電話を近づけると、誤作動を起こす可能性があるといわれている。つまりペースメーカーを中心とした半径22cmの球体 C の内部に、電源を切っていない携帯電話が一つでも存在する確率がペースメーカー利用者にとっての危険率となる。

2.2 携帯電話の高さを考慮した危険率の計算

以下では垂直方向の区間を分割した上で、それぞれの微小区間での危険率を考え合わせて全体での危険率を求めることにする。まず図1のように、ペースメーカーの高さを Z 、球体 C の半径を $D (= 22\text{cm})$ と

置く。電車の床と垂直方向に h 軸を設けて、球体 C が半径を持つ範囲：区間 $[Z-D \leq h \leq Z+D]$ を n 等分し、さらに $\Delta h = 2D/n$ を定義する (n は十分に大きい整数とする)。また $h_j = (Z-D) + j \cdot \Delta h$ とおく。垂直方向の微小区間 $[h_j, h_{j+1}]$ にある携帯電話によってペースメーカーが悪影響を受けない確率を求めてみる。球体 C の、高さ h_j での断面を半径 r_j の円盤とすると、この円盤内に携帯電話が一つもない確率を求めれば良い。乗客が電車内に一様に存在して、その中で割合 p の人が携帯電話の電源を切っていないと仮定しているの、この確率は

$$(1-p)^{\rho_j \pi r_j^2} \quad (1)$$

で与えられる。ただし図1より $r_j^2 = D^2 - (h_j - Z)^2$ であることが分かる。ここで ρ_j は、微小区間 $[h_j, h_{j+1}]$ で携帯電話を所持する乗客の密度である。

すべての微小区間に関して上の式を掛け合せると、ペースメーカーがどの高さにある携帯電話によっても悪影響を受けない確率が次のように計算できる：

$$(1-p)^{\pi \sum_{j=0}^n \rho_j r_j^2} \quad (2)$$

ペースメーカーが携帯電話の電磁波の影響を受ける確率は上の余事象に対応する。以上より、ペースメーカー利用者にとっての危険率 k は

$$k = 1 - (1-p)^{\pi \sum_{j=0}^n \rho_j r_j^2} \quad (3)$$

と計算できることが明らかになった。

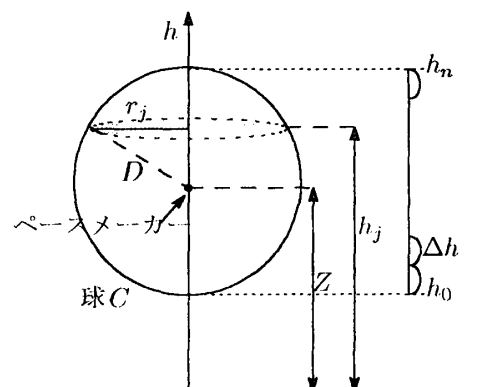


図1 危険率算出のモデル化。

2.3 携帯電話の高さ H の確率密度関数 $f(h)$ の導入

この節では、携帯電話の高さ H が確率密度関数 $f(h)$ を持つものと仮定し、[1]に準じた作法で危険率を算出する。このとき

$$\text{Prob.}\{h_j \leq H \leq h_{j+1}\} \simeq f(h_j)\Delta h \quad (4)$$

となる。ところで先ほど ρ_j を、微小区間 $[h_j, h_{j+1}]$ の高さで携帯電話を所持する乗客の密度であるとしたので、全体の乗客の密度を ρ とすると、 $\rho_j \simeq \rho f(h_j)\Delta h$ と表される。これを(3)に代入すると次式が得られる：

$$k = 1 - (1-p) \pi \sum_{j=0}^n \rho f(h_j) r_j^2 \Delta h \quad (5)$$

さらに $n \rightarrow \infty$ という極限操作を施すと、携帯電話の高さ H が確率密度関数 $f(h)$ を持つ時の危険率 k は

$$\begin{aligned} k &= 1 - (1-p) \pi \rho \int_{Z-D}^{Z+D} r^2 f(h) dh \\ &= 1 - (1-p) \pi \rho \int_{Z-D}^{Z+D} \{D^2 - (h-Z)^2\} f(h) dh \quad (6) \end{aligned}$$

で与えられることが分かった。上式で h の積分区間が $[Z-D, Z+D]$ となっていることに注意されたい。これは、この区間以外では(図1より)球体 C が半径を持たないので、確率密度関数 $f(h)$ が値を取っていない、危険率には何の影響も及ぼさない為である。

3. 携帯電話の高さ H が一様分布に従う時の危険率

携帯電話の高さ H が次のような一様分布に従うと仮定する：

$$f(h) = \frac{1}{h_{max} - h_{min}} \quad (h_{min} \leq h \leq h_{max}) \quad (7)$$

ただし区間 $[h_{min}, h_{max}]$ は区間 $[Z-D, Z+D]$ を含んでいるとする。これを(6)に代入してまとめると次のように整理できる：

$$k = 1 - (1-p) \frac{4\pi\rho D^3}{3(h_{max} - h_{min})} \quad (8)$$

ここでパラメータに適切な数値を代入して、具体的な危険率を算出してみる。まず携帯電話が存在し得る高さの範囲を $(h_{min}, h_{max}) = (0.60\text{m}, 1.60\text{m})$ とする(それぞれ直立した時の手の指の高さ、耳の高さ)。全乗客のうち携帯電話の電源を切っていない人の割合 p の変化による、危険率の動向 $k(p)$ を、 $\rho = 5.7$ 人/ m^2 (乗車率200%：ラッシュ時を想定)とした場合と、 $\rho = 2.9$ 人/ m^2 (乗車率100%：混雑時を想定)とした場合の2パターンについて図2に示した。

携帯電話の普及率は国民全体で約3割であり(世界銀行調べ)、通勤電車に乗っている人たちにはそれ以上に普及していると考えて差し支えないだろう。また電気通信事業協会の調査によると、電車内で「電源を切る」ようにしている人は54.3%と、このルールがいまだ徹底されていないことがうかがえる(<http://www.tca.or.jp/japan/news/980819.html>)。図2で p が0から0.5位までの範囲を見ると、危険率は電源を切っていない人の割合にほぼ比例して増減するといえる。混雑した車内で携帯電話の電源を切ることの効果は、これほどに大きいことを把握する必要があるのではないだろうか。

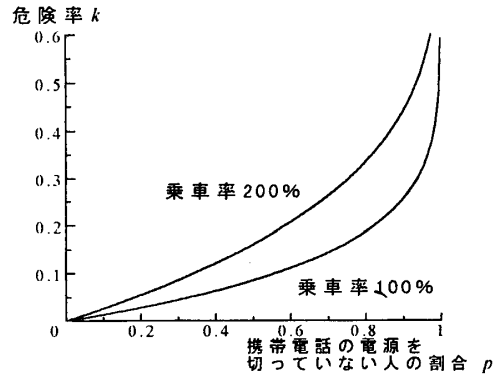


図2 危険率 $k(p)$, $(h_{min}, h_{max}) = (0.60\text{m}, 1.60\text{m})$

4. モデルの拡張

前節までで、ペースメーカー利用者が(混雑した電車内で)立ち止まっている時の危険率を求めた。このモデルを拡張させると、同様の仮定の下での様々なパターンの危険率を算出することが出来る。

例えばペースメーカー利用者が電車から降りる時の危険率を求めるには、ペースメーカー利用者がドアまで移動するのに伴って球体 C も移動するので、この軌跡に携帯電話が含まれない確率を求めればよい。これは[2]が避難モデルを扱ったのと同様のアイデアである。この軌跡の、高さ h での断面積(ドアまで直交距離を進むとすると図3斜線部の面積)を、(6)右辺の πr^2 と置き換えたものが危険率となる。ただし他の乗客の位置は不動であると仮定している。

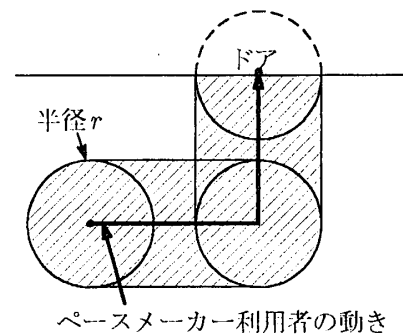


図3 ドアまで歩く時のモデル化。

このほか、他の乗客が乗り降りする際の危険率や座席に座っている人の危険率なども算出済みであるが、これらに関しては紙面の制約上割愛する。

5. 参考文献

- [1] 栗田 治・腰塚武志・石井儀光(2000)：空間ポアソン分布を応用した多発火災の延焼面積モデル，日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集，2-D-5，pp.206 - 207.
- [2] 石井儀光・腰塚武志(1997)：不通領域がある場合の移動距離の分布について，日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集，1-A-7，pp.16 - 17.