

# 携帯電話の健康リスク

井口 亮 萩原 啓太 藤澤 尚  
指導教官 金野 秀敏

## 1 はじめに

2003年6月現在、携帯電話の加入者数は7500万を超え、若年層を中心に全ての年齢層に普及している。これは、我が国の総人口のほぼ2人に1人が携帯電話を利用していることになる。電話機能だけでなく、携帯電話からインターネットを利用しさまざまな情報を利用できるため、言葉通り日常生活に手放せない存在となっている。子供からお年寄りまで1人1台持つ日も遠くは無い。

しかし、ますます便利になる一方で、近年携帯電話が発する電磁波が健康への影響が話題となっている。WHO(世界保健機関)では現在、関連機関である国際ガン研究機関(IARC)の呼びかけで、脳腫瘍と携帯電話の関係を探る国際的な疫学調査が進んでいる。携帯電話の研究ではこれが人体を対象にした初の長期的な調査になる。日本もこの調査に参加しており、研究結果が出るのは2004年の予定である。

電磁波が、人体に悪影響を及ぼすのではないかという議論は古くからある。第2次世界大戦中のレーザー技師に体調不良を訴える人が続出したという記録がある。また、低周波の電磁波を発する送電線の電磁波問題は1973年の「ニューヨーク州送電線訴訟」、携帯電話の電磁波問題は1993年に携帯電話の使用でガンになったと、ある男性が携帯電話メーカーを相手取り訴訟したことが始まりと言われている。

日本より早くから携帯電話の普及が進んでいた欧米では、携帯電話が発する電磁波に対しての対応も進んでいる。例えば、フランスでは16歳以下の子供の携帯電話の使用を避けるように、妊婦は腹部から携帯電話を遠ざけるように勧告している。

1997年よりヨーロッパでは携帯電話の局所SAR値を公開することが義務付けられている。日本では2002年の6月より人体側頭部のそばで使用する携帯電話端末等に対して、電波防護指針に基づく局所SARの許容値(2W/kg)を満たすことが義務づけられた。電波産業会では、この許容値は世界保健機関(WHO)や国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)が策定した国際的なガイドラインと同等の値でこの値を超えたとしても人体に影響を及ぼすものではないとしている。

これまでにさまざまな研究が行われてきたが、携帯電話が本当に人体に悪影響を与えるのかどうかはまだ明確な結果は出ていない。そこで、ここでは電磁波の被曝量とガン発生率から携帯電話の健康リスクについての解析を試みる。

## 2 電磁波と携帯電話

### 2.1 電磁波

#### 2.1.1 電磁波

電磁波は電界と磁界の振動で構成される。電磁波は波長、周波数およびエネルギーによって特徴づけられる。この要因は相互に関連をもっているため、それぞれの要因が生体系に影響を与えることになる。

電磁波の周波数は単位時間当たりにある時点で振動して通過する回数を指し、毎秒何サイクルまたはヘルツ(Hz)で表される。電磁波の波長が短ければ短い程、周波数は高くなる。例えばAM放送帯の中心周波数は百万ヘルツ(1MHz)で、その波長は約300mで、電子レンジは24億5千万ヘルツ(2.45GHz)で、その波長は12cmである。

電磁波は大変小さな光子と呼ばれるエネルギーの束から成り立っている。それぞれの光子のエネルギーは直接的に波の周波数に比例する。周波数が高ければ高い程、個々の光子のエネルギー総量は大きくなる。

#### 2.1.2 非電離放射線と電離放射線

周波数の低い電磁波は電磁界(electromagnetic fields)、大変周波数の高い電磁波は電磁放射線(electromagnetic radiations)と呼ばれている。電磁波はその周波数とエネルギーによって非電離放射線(NIR)と電離放射線に分けられる。電離放射線は、X線やガンマ線などの極めて高い周波数の電磁波で、細胞を構成する分子の原子結合を破壊することによって電離作用を起こさせるのに十分な光子エネルギーを持っている。

非電離放射線は、光子エネルギーが原子結合を破壊するには至らない程の電磁スペクトルの部分と一般的に表現できる。この中には紫外線、可視光線、赤外線、ラジオ波やマイクロ波などの無線周波数界(RF界)、超低周波(ELF)電磁界そして静的電磁界が含まれる。どんなに強い非電離放射線でも生体系で電離作用は起きない。しかし、非電離放射線は昇温させたり、細胞内化学反応を変化させたり、組織内で電流を誘導するといった生物学的影響をもたらす。

### 2.2 携帯電話

#### 2.2.1 携帯電話

多くの国々では、人口の半分以上がすでに携帯電話を利用しており、市場はさらに急拡大している。業界では、世界中で2005年には携帯電話加入者が16億人に達するだろうとの予測を立てている。このため、携帯電話の基地局を新設しなければならない。基地局とは少ない電力で利用者の端末と通信する無線アンテナのことである。2000年初頭で、イギリスでは約2万基地局、アメリカには約8万2千のセルサイト(1つのセルサイトにつき基地局が1つ以上)が稼働していた。

現在の携帯電話システムは 800 から 1800 MHz の間の周波数域で作動している。よって RF 界は、X 線やガンマ線のような電離放射線ではなく、非電離放射線と呼ばれている。電離放射線とはちがって RF 界が、体内で電離作用を起こしたり放射能を生じたりすることはない。

### 2.2.2 携帯電話の暴露状況

携帯電話端末と基地局とでは、かなり異なる暴露状況にある。携帯電話利用者の RF 曝露は、基地局付近の住民のそれよりずっと高い値を示す。しかし携帯端末は、近くの基地局とつながり続けるために使われる不規則な信号を除いて、電話を使っているときにのみ RF エネルギーを伝えるのに対して、基地局は常に信号を送信している。

携帯電話の端末機は低出力の RF 送信機で、その最大電力は 0.2 から 0.6 W の間である。携帯型の送受信機で他のタイプ（例えばトランシーバ）では、10 W またはそれ以上を発するものもある。RF 界の強さ（すなわち利用者への RF 曝露量）は、端末からの距離にとまって急激に弱まる。したがって、ハンズフリー機器を使って頭から何十 cm か離して携帯電話を使う人の RF 界曝露は、端末を頭に直接つけて使う人よりも格段と低くなる。また、携帯電話使用者の付近にいる人への RF 曝露量については非常に低くなる。

基地局は、数 W から 100W、もしくはそれ以上まで、サービスを提供する対象地域の大きさまたは「セル」によって、その放出する電力レベルは違う。基地局のアンテナはふつう 2、30cm くらいの幅に 1m の高さで、ビルや塔の地上から 15~50m のところに備え付けられている。これらのアンテナからは通常、垂直方向には狭く水平方向には広い RF ビームが発せられている。このビーム分布の垂直方向の狭さのため、アンテナ直下の地上での RF 界は弱い。RF 界の強さは、基地局から離れると若干増大し、アンテナからは離れるほど弱くなる。屋根の上に設置された 2~5 メートルのアンテナの場合、RF 界が曝露制限を越えるところに人を近づけないよう通常フェンスがあります。アンテナはその電力を外方向に向け放出し、背面からやアンテナ上部、下部方向に向けては多くのエネルギーを放出しないので、ビルの中や壁面近くの RF エネルギーはふつう、非常に小さい。

## 3 電磁波のリスク

### 3.1 携帯電話の電磁波による健康リスク

電波は生体に対して二つの効果をもたらすと考えられている。一つは電界がもたらす「発熱効果」とよばれるものである。これは電界が生体に入ることによって水などの分子を振動させ、熱を発生させる効果で、電子レンジで食品が温められるのと同じ原理である。

もう一つは磁界がもたらす「非熱効果」とよばれるものである。これは磁界が生体に入ることによって誘導電流を発生させ、それが神経系で発生する電流や、細胞間で行われるイオンの輸送などに影響を与える効果である。

携帯電話で使用するマイクロ波では発熱効果が顕著にあらわれ、非熱効果もわずかながらあ

られる。これらの発熱効果も非熱効果も生体に生理的な影響を与えることは確かであるが、これらの効果に発がん性があるのかは不明である。

というのは、携帯電話から出るマイクロ波についてはほとんど研究が進んでおらず、最近になって、「2.45ギガヘルツのマイクロ波をウサギに暴露したところ、発熱効果により白内障が引き起こされた」、「マイクロ波の暴露で、血液脳関門の物質透過性が高まった」といった報告がされるようになったが、発がん性に結びつくものはないのが現状であるからである。

報告例にある血液脳関門の影響については、郵政省は1999年に追試を行っているが影響は見られなかった、と結論づけている。

「携帯電話は有害なのか」といった心配の声は日々高まっている。各機種の製造元では独自で研究を行い、いずれも「健康への影響はない」としている。しかし、その実験規模は小さく、いまひとつ説得力に欠けている感がぬぐえない。

### 3.2 考えられている電磁波リスク

- 誘電加熱・ホットスポット効果による組織の発熱
- げっ歯類における行動分裂
- マイクロ波による眼球の急激な加熱
- 子宮温度39℃以上で胎児に悪影響
- 加熱による一般的なストレス
- 霊長類における角膜内皮の非可逆変化
- マイクロ波パルスによるクリック音
- 体内誘導電流による神経刺激
- 高電磁界中の非接地金属への接触による電流刺激
- 細胞膜の陽イオン透過性変化
- 赤血球の溶血
- 脳細胞のエネルギー代謝変化
- 変調波によるカルシウムイオンの流出
- パルス波による血管拡張
- 長期暴露によるがん促進

本課題では、長期暴露によるがん促進について考察する。

## 4 携帯電話による健康リスクの評価

### 4.1 疫学研究とは

人間の病気の発生やその分布の統計的な関連性などを調査する方法である。疫学研究には、症例-対照研究とコホート研究があるが、電磁界に関するものは、ほとんどが症例-対照研究

である。

### 症例対照研究

症例（患者）と対照（非患者）からなる2つの集団を選び、次にこの2群について曝露の有無を調べ、患者中の曝露の割合と非患者中の曝露の割合を比較する。

一般に過去にふり返って要因への曝露の有無を観察する。

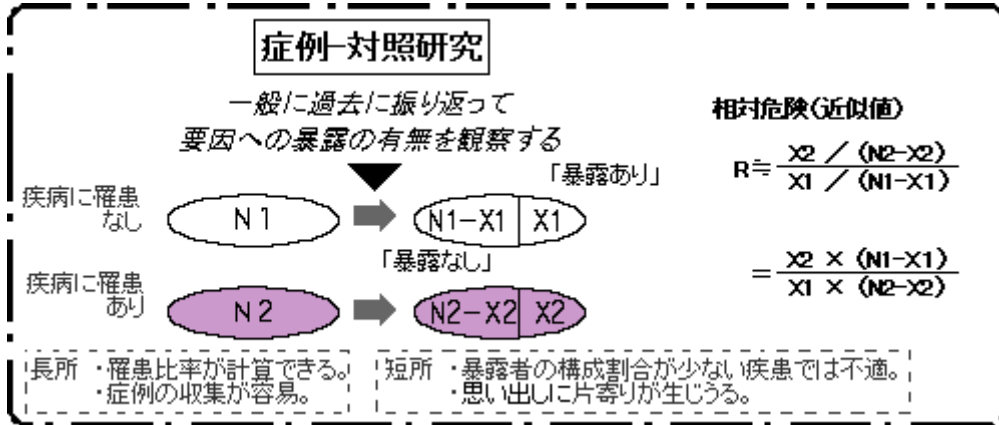


図 1

### コホート研究

ある集団を、曝露されている人々の集団（コホート）と曝露されていない人々の集団に区別し、追跡期間中、例えば20年間の死亡または疾病の発生を調査し、曝露された人々の死亡率または疾病率を曝露されていない人々のそれと比較する。

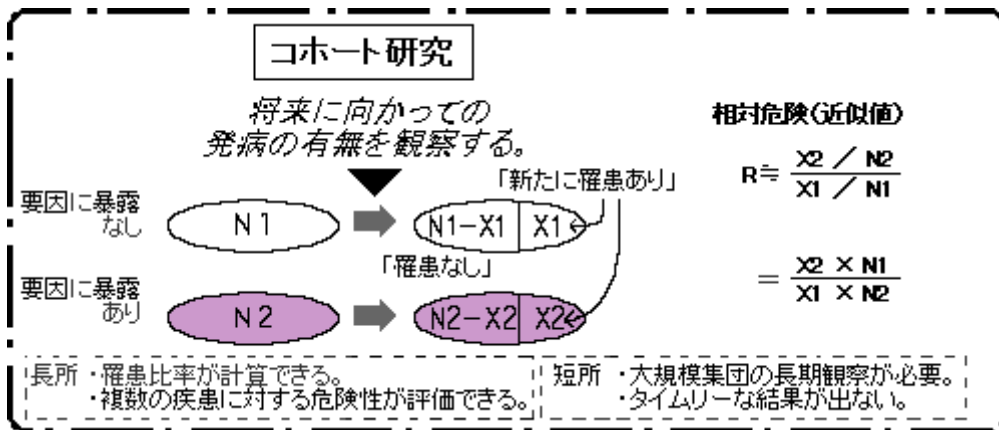


図 2

### オッズ

事象がどのくらい確実に起こるかの度合いを表現するには確率とオッズの2通りの方法がある。ある事象の確率 probability とは、起こる可能性のある最大の回数で起こり得る回数を割ったものと定義され、通常は0から1の数字で表される。つまり、何回か施行したうちでその事象が起こり得る回数のことである。

ある事象のオッズ odds とは、その事象が起こりそうもないと思われる回数に対する起きそうだとと思われる回数の比と定義され、通常は比や分数で表される。ある事象が起こる

確率を  $P$  とすると、その事象が起こらない確率は  $1 - P$  になる。その事象のオッズはこの2つの値の比  $P/(1 - P)$  になる。もしその事象がめったに起こらないものだとすると、 $P$  は非常に小さくなり  $(1 - P)$  が 1 に近づくため、オッズと確率は近似してくる。

このふたつを公式として書き表すと、

$$\text{odds} = P/(1 - P)$$

$$P = \text{odds}/(1 + \text{odds})$$

となる。

### 相対危険度とオッズ比

コホート研究においては、ある要因の曝露群と非曝露群が時間経過とともに疾病になるかならないかを追跡して研究する。これらの結果のデータは次の表のようにまとめられる。

表 1

	疾病あり	疾病なし	合 計
曝露あり	a	b	a + b
曝露なし	c	d	c + d

曝露群が疾病となるリスクは  $a/(a + b)$  で、一方、非曝露群のリスクは  $c/(c + d)$  となる。相対危険度 relative risk (RR: リスク比 risk ratio ともいう) はこの曝露群のリスクを非曝露群のリスクで単純に割ったもので以下のように求める。

$$RR = \{a/(a + b)\} / \{c/(c + d)\}$$

もし疾患が稀なものであれば、曝露群においても発生数は  $(a + b)$  より非常に小さいものとなり、 $(a + b)$  はほとんど  $b$  と等しくなる。同じように非曝露群では  $(c + d)$  が  $d$  とほとんど等しくなり、その結果、相対危険度はおよそ次の値に近似する。

$$RR \{a/b\} / \{c/d\} = ad / bc$$

もうひとつのリスクの見方にオッズがある。ある疾患が起こるリスクを  $P$  とするとオッズは次のように表される。

$$\text{Odds} = P/(1 - P)$$

もし疾患のリスクが非常に小さければ、 $1 - P \approx 1$  となり、 $\text{Odds} \approx P$  となります。これらと対照的に、患者対照研究では疾患の発生ではなく、症例と対照を比較することになり、データは次の表のようにまとめられる。

表 2

	症 例	対 照
曝露あり	A	b
曝露なし	C	d
合 計	a + c	b + d

因果関係を知るためには、曝露した症例と曝露した対照の割合を調べる必要がある。そ

それぞれの群の曝露のオッズは次のように求められる。

症例の曝露オッズ =  $a/c$

対照の曝露オッズ =  $b/d$

このふたつの値の比，つまりオッズ比 odds ratio (OR) は  $ad/bc$  となり，疾患が稀な時の近似的相対危険度と等しくなる。

このように疾患の発生状況によってはオッズ比を相対危険度の近似として扱うことができるが，注意すべきはコホート研究，すなわち相対危険度は曝露群と非曝露群の比較であるのに対し，患者対照研究，すなわちオッズ比は症例群と対照群の比較であり，見ている方向が異なるということである。

### 信頼区間

記述疫学のように対象者自体の特徴を明らかにすることを目的とする場合を除いては，標本より得られたデータを基により広い範囲に応用したいと考えるのが普通である。しかし，標本データの結果をそのまま母集団に当てはめることはできない。なぜなら，標本集団が母集団より抽出されたものであったとしても，新たに生まれた集団は元のものとは異なる可能性があるからである。たとえ無作為化抽出しても，年齢構成や性別，暴露程度などの分布が偏ってしまうことはあります。だからと言ってより大きな母集団（例えば全日本人）について網羅的に調べることも不可能である。そこで，標本集団の結果がどの程度母集団の真の値に合致するか推定する必要がある。推定の仕方には，あるひとつの値がどのくらいの確率で当てはまるかを知る点推定もあるが，より一般的なものは区間推定である。区間推定では標本データより母集団の真の値がどの値の範囲にあるかを明らかにできる。この区間推定を数量的に表現するものが信頼区間(confidence intervals)である。

信頼区間は平均値を中心とする正規分布の 2.5%より 97.5%の範囲の値で，時には 99%の信頼区間（つまり全体の 99%にあたる 0.5%より 99.5%の範囲）で示されることもあるが，多くは 95%信頼区間が用いられる。これは，真の値が取りうる確率正規分布の 95%をしめる 2.5%より 97.5%の範囲に相当し， $t$  分布の 5%値を用いて求めることができる。例えば，100名の患者群と 100名の対照群の血圧の差が 6mmHg だとすると，その 95%信頼区間は 1mmHg より 11mmHg となる。この 1mmHg を下限信頼限界(lower confidence limit)，11mmHg を上限信頼限界(upper confidence limit)という。

相対危険度 (RR) の 95%信頼区間を求める式は，

$$\begin{aligned} 95\% \text{ CI} &= (\text{RR}) \exp[\pm 1.96 \sqrt{\text{VAR}(\ln \text{RR})}] \\ &= (\text{RR}) \exp[\pm 1.96 \sqrt{\{ (1 - a/(a+c))/a + (1 - b/(b+d))/b \}}] \end{aligned}$$

オッズ比 (OR) の 95%信頼区間を求める式は，

$$95\% \text{ CI} = (\text{OR}) \exp[\pm 1.96 \sqrt{(1/a + 1/b + 1/c + 1/d)}] \quad (\text{ただし, } a, b, c, d \text{ は「相対危険度とオッズ比」の項目の表の値})$$

95%信頼区間は別の言い方をすれば，5%の有意水準で母集団の真の値が取りうる範囲とすることができる。

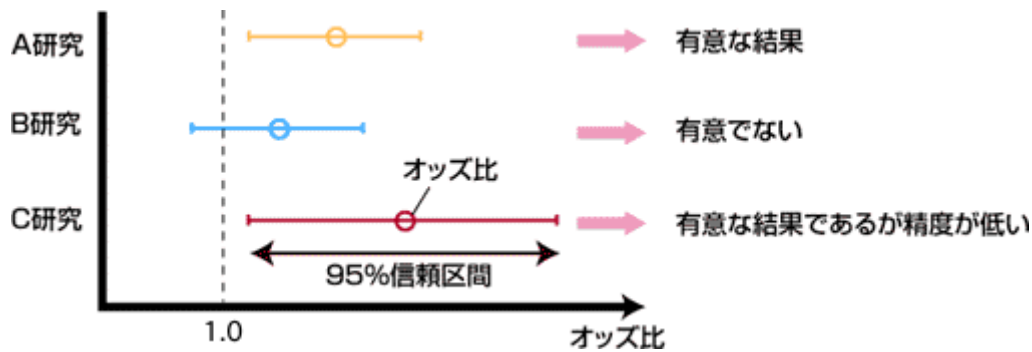


図 3

## 4.2 ロジスティック回帰分析

### 4.2.1 ロジスティック回帰分析とは

未熟網膜症の危険因子を検討する場合、いろいろな統計学的方法が考えられる。網膜症ありなしに対して、呼吸器使用期間、酸素使用期間、出生体重などを  $t$  検定する方法や、ビタミンE内服ありなしを  $\chi^2$  検定する方法などが簡単な検定法である。しかし、未熟網膜症が発症する群は当然出生体重が小さい群に多いわけであるが、同時に酸素使用期間や呼吸器使用期間も長いものが増えてしまう。酸素使用期間で有意差が得られたとしても、それは出生体重が小さいことが影響した可能性が大であると考えられる。また、ビタミンEを内服した群が偶然出生体重が大きくなってしまふこともあり、正しい検定でなくなってしまうことがある。このような交絡因子が存在する場合の検定に役立つのがロジスティック回帰分析である。この場合、未熟網膜症は従属変数（または目的変数）で酸素使用期間、呼吸器使用期間、出生体重、ビタミンE内服の有無などは独立変数（または説明変数）と呼ぶ。

ロジスティック回帰では従属変数が、“あり”“なし”のように2値を採る場合に利用できる。独立変数は、連続値でも、名義変数でもよい。ロジスティック回帰では、各独立変数に対してオッズ比が計算される。このオッズ比は、その他の独立変数の条件が一定であると仮定した場合の値であり交絡因子の調整(adjusting)がされているという点が重要である

ロジスティック回帰分析が使用されるのは

1) 危険因子の探索

2) 交絡因子の調整 交絡因子とは、たとえば未熟網膜症の発症した群と発症しなかった群で酸素使用期間を比較しようとした場合に、通常発症群では出生体重が小さくなりそちらの因子の影響の方が大きくなってしまふことが考えられる。このような、結果に影響を与える背景因子を交絡因子という。両群にはいろいろな背景因子があり、有意差の出るものがいくつかあったとしても、それが結果に影響を与えないような因子は交絡因子とはいわず、単なる背景因子である。ロジスティック回帰において調整する場合に、交絡因子を調整することは意味があるが、意味のない背景因子まで調整しない方がよい。

3) 新しい治療法や予後因子の評価

ロジスティック回帰分析は、単変量解析に比べれば有用な点が多いが、独立変数をあまり多くとるとおかしな結果が出ることがある。これは、変数選択法に問題があったり変数の扱い方に問題があったりするためと思われる。



ロジスティック回帰分析の条件として目的変数が2値であることがあげられる。多変量解析の生存分析ではよくCox回帰分析とロジスティック回帰分析が使用されるが、ロジスティック回帰分析では打ち切り例(censored case)は扱えない。ロジスティック回帰分析は、5年生存率など一定の観察期間での予後調査などに向いている。

#### 4.2.2 ロジスティック回帰分析の理論

ロジスティックモデルでは、ある事象が発生する確率を直接予測する。ある事象が発生する確率  $P$  は

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

$$z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_pX_p$$

で求められる。ここで、 $B_0$  は定数。 $B_p$  は  $X_p$  の回帰係数。未熟網膜症の例で、 $X_1$  を出生体重、 $X_2$  を酸素使用期間、 $X_3$  を呼吸管理期間、 $X_4$  をビタミンEの使用(例えば使用が0、非使用が1)とすると、ロジスティック回帰分析結果より  $B_0 \sim B_4$  が求められる。ある児の  $X_1$  から  $X_4$  までを入力してやるとその児の網膜症の発生確率が計算されるのである。しかし、実際には患者の発生確率を求めるためにロジスティックモデルを使用することは少なく、オッズ比と95%信頼限界から  $X_1 \sim X_p$  が有意な因子であるかどうかの検討が行われることが多い。

変数選択上の注意点として、以下の注意点が挙げられる。

- 1) 他の独立変数と相関が強い独立変数を入れるのは望ましくない。例えば出生体重と出生身長はかなり相関の強い関係にあり、これらを同時に入れない方がよい
- 2) 手技が難しい測定法の検査より簡単に測定できる独立変数の方が臨床上役立つ。
- 3) 臨床上役立つ独立変数。例えば治療法など操作可能で、有意であった場合実現可能なもの。
- 4) 独立変数はなるべく少なく。症例数が少ないのに、多くの独立変数を投入すると不安定な結果となる。
- 5) 欠損値の多い独立変数を入れると、結果的に分析されるデータ数がかなり減少してしまうことがある。

## 5. 実験

### 5.1 方法

ニューヨーク州ニューヨーク(Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, Columbia University Presbyterian Hospital), ロードアイランド州プロビデンス(Rhode Island Hospital), マサチューセッツ州ボストン(Massachusetts General Hospital)で1994年から1998年の初めの間に、18歳から80歳の患者にアンケートを使った調査を行った。得られた情報は、使用年数、1ヶ月あたり使用する時間、初めて使った年、メーカー、毎月の請求額の平均である。手に携帯電話を持つ人は891人中700(78.6%)であった。Epidemiology

Resource Inc (マサチューセッツ州ニュートン) と協力して、ニューヨークの携帯電話会社から請求書の記録を得ようとしたが失敗したので、被験者に毎月の請求額の平均を見積もってもらった。(142人中102人, 71.8%)他のアンケートの項目は、デモグラフィックス、喫煙歴、アルコール消費、暴露状況、職業、診療歴である。

共同作業は、ガン研究者、神経学者、看護師とその他のスタッフと行った。研究のインタビュワーは健康の専門家か、研修生である。彼らは、適当な被験者の選定に携わっており、被験者の健康状態について精通している。病院のスタッフは被験者に取り組む最も適切な時間を決めるのにインタビュワーに相談する。適当な症例被験者は過去に初期の脳腫瘍と診断されており、英語を話せるものである。組織構造型と腫瘍の解剖学的な位置は、病理学と核磁気共鳴映像法 (MRI) で与えられる。

適当な対照被験者は症例と同じ病院の入院患者であり、入院名簿から選定した。対照はがん患者を多く持つ2つの研究センター (Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, Massachusetts General Hospital) を除いて、良性状態である。リンパ腫や白血病と診断された被験者は、適当ではない。なぜなら、それらの状態はどうしてもRF界からの被曝と関連しているからだ。病院による調整の上に、対照の数は、年齢、性別、人種、入院期間によって1:1の比で調整された個体数である。前の日の病院への入院のリストは毎朝オフィスから提供された。そのリストはずっと再考し、適当な基準にあい、症例にだいたい近い最初の被験者を扱う。一致しない症例は研究にとどめた。なおいっそう被験者の妥当性が確認されるには、診察歴を見直すことである。研究の最初の年には、43の症例と6の対照で代表し、次の年から、すべての被験者にインタビューをおこなった。

### 5.3 結果

計算に用いたデータは以下に示すとおり。図4は症例患者と対照患者の特徴別データである、また図5は携帯電話を使ったことのある対照患者の診察結果別のデータである。

これらのデータを用いて、ロジスティック回帰分析による計算結果である携帯電話の使用時間と脳腫瘍のオッズ比は図6に示すとおりになった。この結果からは携帯電話の使用年数、使用頻度、累積被曝、周波数による脳腫瘍の発症リスクについてほとんど相関関係がないことがいえる。また、ノンパラメトリック回帰曲線の結果は図7のとおりになり、ロジスティック回帰分析による計算結果と同じような結果が示された。

次に、図8に解剖学的に脳の部位別それぞれについて、脳腫瘍と携帯電話使用によるオッズ比の計算結果を示す。図9は脳腫瘍組織別それぞれについての、脳腫瘍と携帯電話使用によるオッズ比の計算結果である。この二つの結果はそれぞれ携帯電話の使用による脳腫瘍の発症リスクを部位別、組織別それぞれについて定量的に表しているものであるが、結果から発症リスクについての関連性および特徴的な傾向は見られない。

**Table 1.** Characteristics of Case and Control Patients, 1994-1998

Characteristic*	No. (%) of Case Patients		No. (%) of Control Patients	
	Overall	Cellular Telephone Use	Overall	Cellular Telephone Use
Total	489	68 (14.1)	422	76 (18.0)
Sex				
Men	304 (64.8)	44 (14.6)	271 (64.2)	67 (21.0)
Women	185 (35.2)	22 (13.3)	151 (35.8)	19 (12.6)
Age, y				
<30	56 (11.8)	9 (16.1)	48 (11.4)	7 (14.6)
30-39	86 (18.3)	16 (18.6)	74 (17.6)	21 (28.4)
40-49	103 (22.0)	20 (19.4)	100 (23.7)	21 (21.0)
50-59	99 (21.1)	16 (16.1)	79 (18.7)	21 (26.6)
≥60	125 (25.7)	5 (4.0)	121 (28.7)	6 (5.0)
Total education, y				
<12	39 (8.3)	1 (2.4)	34 (8.0)	6 (17.7)
12	101 (21.5)	12 (11.8)	76 (18.1)	9 (11.8)
13-15	98 (20.3)	22 (23.2)	66 (20.4)	16 (18.8)
≥16	204 (49.9)	21 (13.3)	226 (53.6)	45 (19.9)
Race				
White	460 (98.1)	64 (13.9)	412 (97.8)	74 (18.0)
Other	9 (1.9)	2 (2.2)	10 (2.4)	2 (2.0)
Occupation				
Professional	144 (29.7)	18 (12.5)	136 (32.8)	20 (14.4)
Managerial	71 (15.1)	12 (16.9)	75 (17.8)	22 (29.3)
Sales	46 (9.8)	8 (17.4)	38 (9.0)	12 (31.6)
Clerical	65 (13.9)	11 (16.9)	49 (11.8)	7 (14.2)
Skilled	68 (14.5)	10 (14.7)	59 (14.0)	9 (15.3)
Semi-skilled laborer/service worker	50 (10.7)	4 (6.0)	56 (13.5)	6 (10.7)
Household	25 (5.3)	3 (12.0)	26 (6.2)	0 (0)

\*Hospital distribution of patients (cases/controls): New York University (216/228); Memorial Sloan-Kettering Cancer Center (66/62); New York Presbyterian (66/67); Massachusetts General (55/41); and Rhode Island Hospital (33/24).

☒ 4

**Table 2.** Handheld Cellular Telephone Use in Controls by Diagnostic Category

Diagnostic Category	No. (%) of Controls Who Ever Used a Cellular Telephone
Malignant neoplasm	99 (6.1)
Musculoskeletal disorder	71 (23.7)
Skin condition	19 (15.8)
Systemic disease	149 (20.8)
Other (V-codes, injury/signs)	84 (22.6)

☒ 5

**Table 3.** Odds Ratios for Brain Cancer by Amount and Duration of Handheld Cellular Telephone Use

Cellular Telephone Use	No. (%) of Cases (n = 469)	No. (%) of Controls (n = 422)	Multivariable Odds Ratio (95% Confidence Interval)*	P for Trend
No. of years				
0	403 (85.9)	346 (82.0)	1.0	.54
1†	21 (4.5)	30 (7.1)	0.7 (0.4-1.3)	
2-3	28 (6.0)	24 (5.7)	1.1 (0.6-2.0)	
≥4	17 (3.6)	22 (5.2)	0.7 (0.4-1.4)	
No. of hours/month				
0	403 (86.7)	346 (82.2)	1.0	.27
>0-≤0.72	19 (4.1)	20 (4.8)	1.0 (0.5-2.0)	
>0.72-≤2.1	10 (2.2)	17 (4.0)	0.5 (0.2-1.2)	
>2.1-≤10.1	20 (4.3)	18 (4.3)	0.9 (0.5-1.9)	
>10.1	13 (2.8)	20 (4.8)	0.7 (0.3-1.4)	
No. of cumulative hours‡				
0	403 (86.7)	346 (82.2)	1.0	.30
>0-≤8.7	17 (3.7)	18 (4.3)	1.0 (0.5-2.0)	
>8.7-≤60	12 (2.6)	19 (4.5)	0.6 (0.3-1.3)	
>60-≤480	19 (4.1)	19 (4.5)	0.9 (0.5-1.8)	
>480	14 (3.0)	19 (4.5)	0.7 (0.3-1.4)	

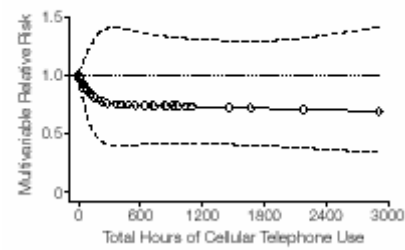
\*Adjusted for age, years of education, sex, race, study center, proxy subject, and month and year of interview.

†Four cases used a cellular telephone for half a year.

‡Four cases and 1 control had missing data on frequency of use.

☒ 6

**Figure.** Nonparametric Regression Curve, 95% Confidence Interval, and Risk of Brain Cancer



☒ 7

**Table 4.** Odds Ratios for Brain Cancer and Handheld Cellular Telephone Use by Anatomic Location\*

Brain Cancer Site	No. (%) Who Ever Used a Cellular Telephone	Multivariable Odds Ratio (95% Confidence Interval)†
Cerebrum		
Frontal lobe	126 (19.8)	1.1 (0.7-2.0)
Parietal lobe	60 (10.0)	0.8 (0.3-2.0)
Occipital lobe	21 (9.5)	0.8 (0.2-4.0)
Temporal lobe	108 (16.7)	0.9 (0.5-1.7)
Cerebrum (not lobes)	36 (7.4)	0.3 (0.1-1.1)
Cerebellum	8 (12.5)	0.9 (0.1-8.1)
Brainstem/ventricular/other	25 (16.0)	0.9 (0.3-2.8)
Unspecified	85 (9.4)	0.9 (0.4-2.2)

\*Based on the International Classification of Diseases, Ninth Revision, Clinical Modification.

†Adjusted for age, years of education, sex, race, study center, proxy subject, and month and year of interview. Odds ratio calculations were determined by comparing each case subgroup with all controls.

**Table 5.** Odds Ratios for Brain Cancer and Handheld Cellular Telephone Use by Histologic Type of Tumor

Category (ICD-9-CM Code)*	No. (%)		Multivariable Odds Ratio (95% Confidence Interval)†
	Cases (n = 469)	Cellular Telephone Use	
Astrocytic	354 (75.5)	41 (11.6)	0.8 (0.5-1.2)
Glioblastoma (M9440)	244 (52.0)	29 (11.9)	NA
Astrocytoma (M9400-9421)	82 (17.5)	7 (8.5)	NA
Other glioma (M9380)	28 (6.0)	5 (17.9)	NA
Oligodendroglioma/mixed glioma (M9450-9451, 9382)	55 (11.7)	9 (16.4)	0.9 (0.4-2.1)
Ependymal (M9391-9394)	8 (1.7)	0 (0)	NA
Choroid plexus (M9390)	1 (0.2)	0 (0)	NA
Other (M9362, 9064, 9161)	6 (1.3)	1 (16.7)	NA
Not specified	10 (2.1)	1 (10.0)	NA
Neuroepitheliomatous (M9480-9523)‡	35 (7.5)	14 (40.0)	2.1 (0.9-4.7)

\*ICD-9-CM indicates International Classification of Diseases, Ninth Revision, Clinical Modification.  
†Adjusted for age, years of education, sex, race, study center, proxy subject, and month and year of interview. Odds ratio calculations were determined by comparing each case subgroup with all controls. NA indicates not applicable.  
‡Includes 18 gangliogliomas, 11 ganglioblastomas, 4 neurocytomas, and 2 neuroepitheliomas.

## 6. 結論

本稿では、携帯電話による脳腫瘍のリスクを、疫学の1研究手法である、症例対照研究を用いて評価した。このとき、二つの集団の疾病リスクの比であるオッズ比を用いてリスク評価をするのだが、粗のオッズ比では交絡があるので、ロジスティック回帰を用いることで交絡要因を補正することを示した。前章の結果で示したとおり、携帯電話によるリスクの上昇は見られなかった。2000年に発表された米国立がん研究所の研究でもやはり携帯電話によるリスク上昇はみられなかった。しかし、この研究には健康な人ではなく、他の病気で入院している患者を比較のための対照群として設定したり、電話会社の客観的な利用記録ではなく、患者本人の記憶に基づいて携帯電話の使用状況を調べたりという問題点がある。研究グループもその点を意識して詳しい議論を行い、こうした問題は結果に大きな影響を与えていないだろうと判断しているが、この議論は比較的重要に思える。もう一つの問題として、携帯電話が普及したのは最近のことなので、長期間（たとえば10年以上）使った場合の影響については、今回の研究からは分からないことを限界として認めている。研究グループによれば、携帯電話と脳腫瘍について進行中の研究として、米国での病院ベースの研究、携帯電話の契約者名簿と死亡統計を結びつけるデンマークの研究、8カ国共同の症例対照研究があるという。さらにこれらの結果を待つ必要があるだろう。また、ここ数年で生物学的研究が多くなされており、疫学アプローチとは異なり、携帯電話がDNAを破壊するといったリスクが存在する内容のものが増えてきた。この点からも、大規模な疫学と生物学的アプローチの両方からリスク研究を進めるのがよい。

## 参考文献

Electromagnetic Fields and Public Health: Physical Properties and Effects on Biological Systems (Fact Sheet 182), The International EMF Project, The World Health Organization.

中部電力ウェブサイト

[http://www.chuden.co.jp/torikumi/fr\\_denzikai.html](http://www.chuden.co.jp/torikumi/fr_denzikai.html)

Global Risk Communications Newsletter

<http://www.metamedica.com/>

Muscat JE, et al. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. Journal of the American Medical Association 2000;284:3001-3007.

Free JSTAT for Windows

<http://www.vector.co.jp/soft/win95/business/se235119.html>

東京大学教養学部統計学教室編, 自然科学の統計学, 東京大学出版会, 1992

Alan Agresti, カテゴリカルデータ解析入門, 2002

統計学習ウェブサイト

<http://www.ec.kagawa-u.ac.jp/~hori/statedu.html>