

携帯電話の健康リスク

リスク工学専攻1班
井口, 萩原, 藤澤



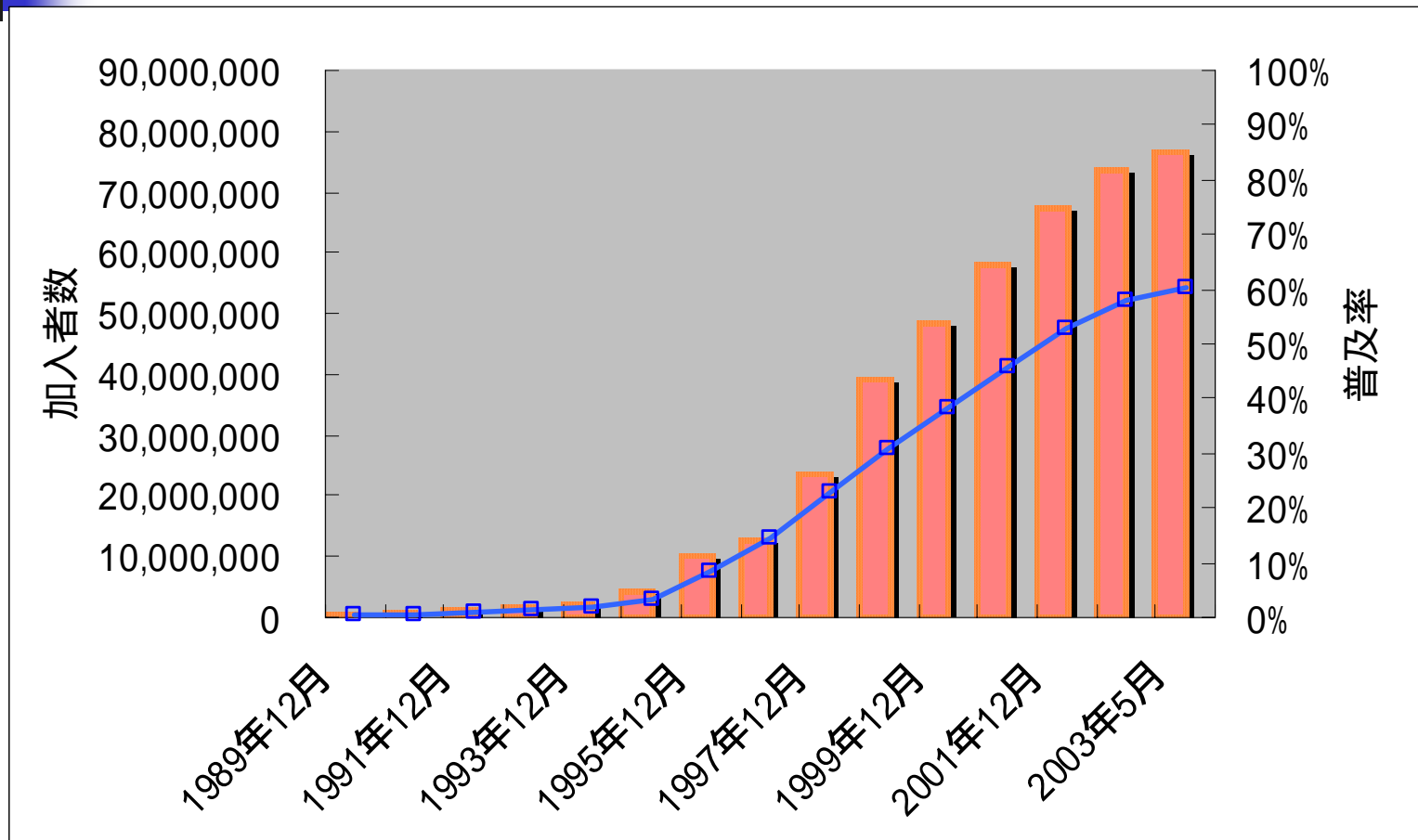
第1章 はじめに



研究背景

- ここ数年の爆発的な普及
- 若年層を中心に全ての年齢層に普及
- 電磁波による健康への影響が指摘されている
どの程度リスクがあるのか評価する

携帯電話加入者数の推移





電磁波と健康の歴史

- 第2次世界大戦中のレーダー技師には白内障や身体不良を訴える人が続出
- 1973年米「ニューヨーク州送電線訴訟」
 - 送電線の建設中止を求めたもの
- 1993年米「脳腫瘍は携帯電話が原因」と携帯電話メーカーを相手に訴訟
 - 社会問題になるきっかけ



欧米の動向

- 英科学者、子供の携帯電話使用減らすよう勧告(2000年5月12日ロイター通信)
- 米無線通信機器メーカーの業界団体が、携帯電話の電磁波の量について情報の公開を決めた(2000年)
- 電磁波が重要な脳細胞を損傷させ、中年以降アルツハイマー病が誘発されることがある(2003年米環境保健科学研究所)



欧米の動向(2)

- 携帯電話でがんの誘発・促進や、そのほか健康への明らかな重大な影響はない(2001年 WHO)



国内の動向

- 商用周波磁界により、人の健康に有害な影響があるという証拠は認められない(通産省 資源エネルギー庁 1993年)
- 携帯電話の短期ばく露では脳(血液-脳関門)に障害を与えず(総務省 1998年)
- 熱作用を及ぼさない電波の強さでは脳(血液-脳関門)に障害を与えず(総務省 1998年)
- 指針値を超えない強さの電波により、健康に悪影響を及ぼすという確固たる証拠は認められない(総務省 2001年)



国内の動向(2)

- がん抑制作用を持つホルモン「メラトニン」が磁界によって働きを阻害される(2001年 国立環境研究所)
- 超低周波(50～60Hz)の電磁波を高いレベルで浴び続けると、小児白血病の発症頻度が倍増する可能性がある(2002年 国立環境研究所, 国立がんセンター)



国内外の動向まとめ

- 電磁波は「有害である」「無害である」とする意見が出ているが決め手となる証拠が無い
- 欧米は有害，日本は無害というスタンス
- 現在，WHOの機関の一つ国際がん研究機関を中心とした14カ国による共同研究が行われている
 - 初の人体を対象とした長期調査．結果は2004年

第2章

携帯電話と電磁波



電磁波

- 電磁波とは電界(電場)と磁界(磁場)が相互に作用して組み合わさり、空間を伝達する波
- 波長
波が1往復する間に進む距離
- 周波数(単位:Hz)
波が1秒間に往復する回数

電磁波の性質は周波数(波長)によって大きく違う

様々な電磁波の種類

		名称	周波数 (Hz)	波長	用途			
電磁波	放射線 光	ガンマー線	3×10^{20}	1/10000000000mm	医療			
		エックス線	3×10^{18}	1/100000000mm	材料検査・エックス線写真			
		紫外線	3×10^{15}	1/10000mm	殺菌灯			
		可視光線	3×10^{14}	1/1000mm	光学機器			
		赤外線	3×10^{12}	1/10mm	赤外線ヒーター			
		サブミリ波	3×10^{11}	1mm	光通信システム			
	電波	「マイクロ波」	ミリ波 (EHF)	3×10^{10}	1cm	レーダー		
			センチ波 (SHF)	3×10^9	10cm	電子レンジ、衛星通信、携帯電話		
			極超短波 (UHF)	3×10^8	1m	警察、消防通信、テレビ放送		
			超短波 (VHF)	3×10^7	10m	FM放送、テレビ放送		
			短波 (HF)	3×10^6	100m	アマチュア無線		
			中波 (MF)	3×10^5	1km	AM放送		
			長波 (LF)	3×10^4	10km	海上無線		
			超長波 (VLF)	3×10^3	100km	長距離通信		
			電磁界		超低周波 (ELF)	60	5000km	送配電線、家庭電化製品



電離放射線と非電離放射線

- 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と電離放射線に分けられる
- 電離放射線
X線やガンマ線などの極めて高い周波数の電磁波電離作用を起こすのに十分なエネルギーを持つ
- 非電離放射線
電離作用が起こらない程の電磁スペクトル



生物学的影響

- 電離放射線は細胞を構成する分子の原子結合を破壊する電離作用を起こさせるのに十分なエネルギーを持っている
- どんなに強い非電離放射線でも生体系では電離作用は起きないが、昇温させたり、細胞内化学反応を起こすこともある



現在の携帯電話システム

- 800 ~ 1800 MHzの間の周波数域で作動
- 無線周波数界 (RF界) に属する
- 非電離放射線である
- 体内で電離作用を起こしたりはしない

携帯電話の周波数

NTTドコモPDC au CdmaOne	800MHz帯
ツーカー各社 J-フォン NTTドコモシティホン	1.5GHz帯
PHS	1.9GHz帯
CdmaOne2000 FOMA (W-CDMA) Vodafone Global Standard	2.0GHz帯

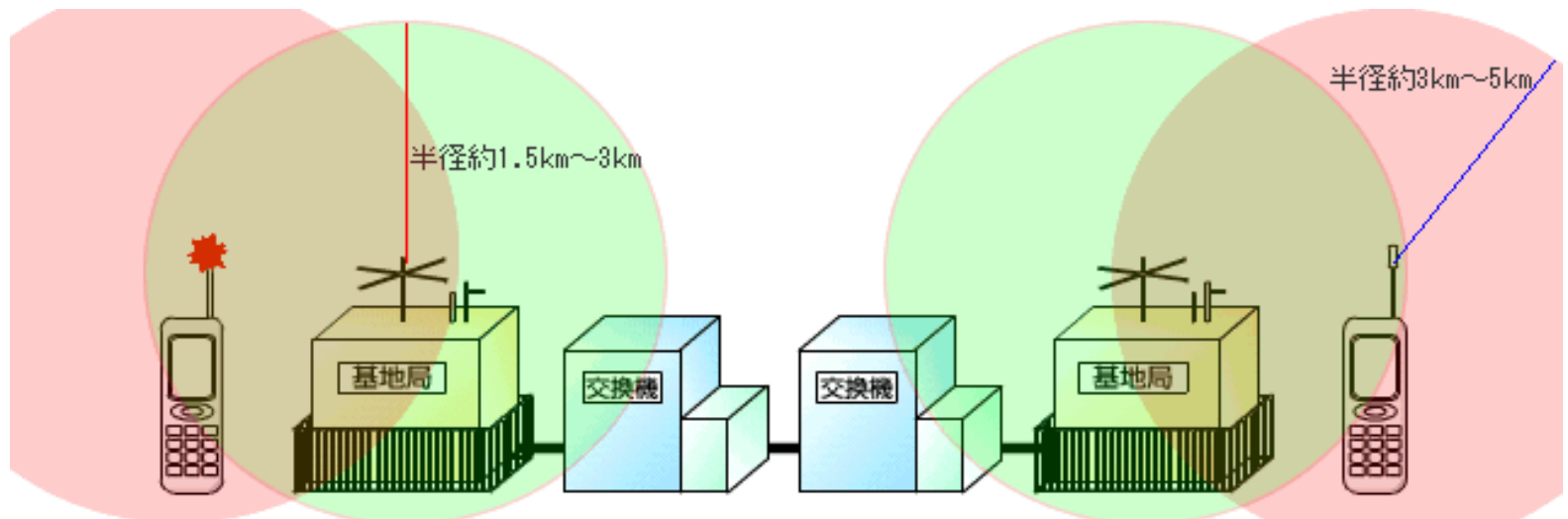


携帯電話端末機

- 低出力のRF送信機
 - RF界の強さ(利用者への曝露量)は端末からの距離に伴って急激に弱まる
- (例)
- ・ ハンズフリー機器を使う人の曝露は、端末を直接頭につけて使う人よりも格段に低い
 - ・ 携帯電話使用者の付近にいる人への曝露も非常に低い

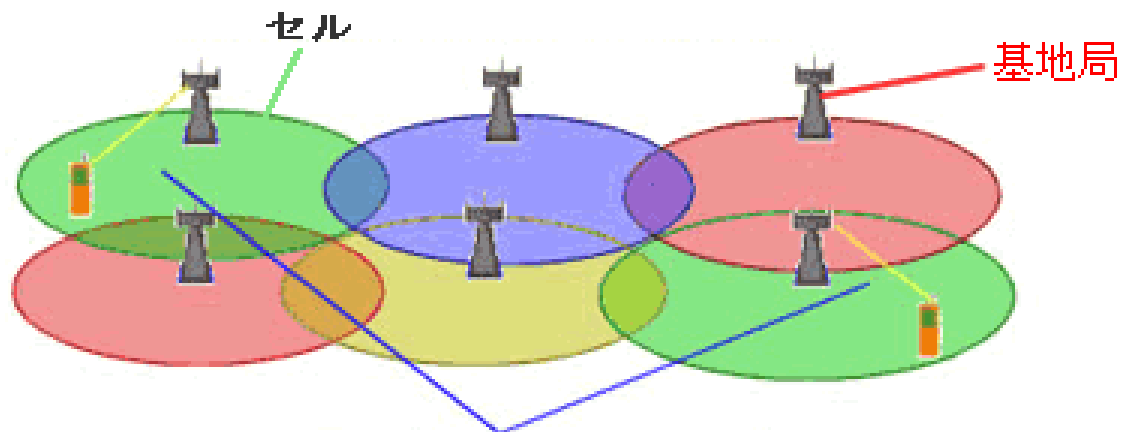
携帯電話の基地局

- 携帯電話から発信された電波は、まず近くの基地局で受けたあと、いくつもの中継局を通して、相手の携帯電話や家庭にある一般電話につながる



基地局のセル

- サービスを提供する対象地域の大きさをセルという
- 携帯電話加入者が増加すると基地局を新設しなければならない



セルが違うと同じ周波数を利用できるので多くの利用者の収容が可能



基地局の曝露状況

- 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
- アンテナ直下の地上でのRF界は弱い
- RF界は基地局から離れると若干増大
- アンテナから離れるほど弱くなる
- 通常、アンテナ周辺にはフェンスがあり近づけない



携帯電話の曝露状況

- 携帯電話端末と基地局という2種類の曝露
- 端末利用者のRF曝露は、基地局付近の住民のそれよりずっと高い値である
- 端末は基地局とつながり続ける為の不定期な信号を除いて、電話を利用するときのみRFエネルギーを伝えるのに対して常に信号を送信している

第3章

電磁波のリスク



携帯電話の電磁波による健康リスク

電磁波は生体に対して、二つの効果をもたらすと考えられている。

「発熱効果」

生体に入る電磁波が水などの分子を振動させ、その摩擦により発熱する現象。電子レンジで食品が温められる原理と同じ。

「非熱効果」

磁界が生体に入ることによって誘導電流を発生させ、それが神経系の微弱電流や、細胞間のイオン輸送などに影響を与えるといった現象。



考えられている電磁波リスク(1)

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

・ 体内誘導電流による神経刺激



考えられている電磁波リスク(2)

- ・ 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

第4章

電磁波による健康リスクの評価



携帯電話の健康リスクの評価

- 電磁波の健康影響を検討する方法として
 - 疫学研究(人を対象とする)
 - 生物学的研究(実験動物や細胞を対象)
- 総合的に評価する必要がある
本課題では疫学研究を用いる



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を調査する方法
- 主な手法
 - 症例対照研究・・・罹患者を対象
 - コホート研究・・・健康人を対象



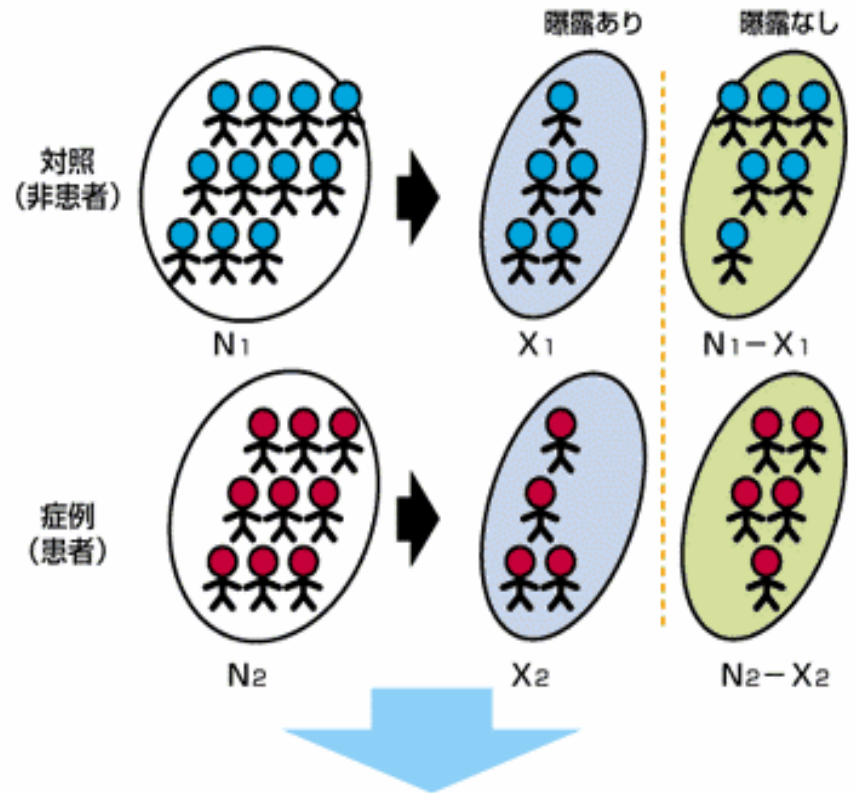
疫学研究とは

- 電磁界に関する研究はほとんど症例対照研究
 - 罹患者を過去に遡って追跡するため低コスト
 - 健康人の集団を対象に将来にわたって追跡調査を行うコホート研究に比べ、比較的短期間で調査することができる

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

- 仮説要因と疾病の関連性を表す指標としてオッズ比を用いる



$$\text{オッズ比} = \frac{X_2 / (N_2 - X_2)}{X_1 / (N_1 - X_1)} = \frac{X_2 (N_1 - X_1)}{X_1 (N_2 - X_2)}$$

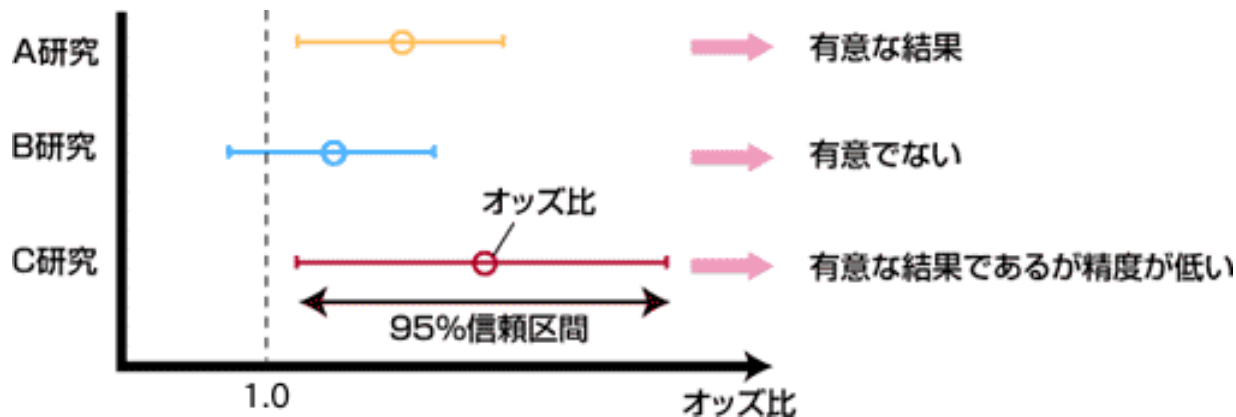


オッズ比

- 二つの集団の疾病リスクの比。仮説要因と疾病の関連性を示す指標のひとつ
 - (例)非喫煙者に対する喫煙者の肺がん罹患(りかん)のオッズ比が4であれば、喫煙者の肺がん罹患率が非喫煙者の罹患率より4倍高い

95%信頼区間

- ある母集団のオッズ比や相対危険比は、一般に標本誤差を考慮してある一定の信頼度(通常95%)を満たすように推定値に幅を持たせて推定され、この幅を信頼区間という





交絡要因

- さまざまな交絡要因(バイアスの一種)によって、仮説要因と疾病との関連を過大・過小評価してしまう危険性がある。
- 交絡要因を除去するために多変量解析を行う必要がある

ロジスティック回帰解析



ロジスティック回帰分析

回帰分析との違いは？

- ・回帰分析では、
独立変数、従属変数ともに量的変数である。
- ・ロジスティック回帰分析では、
独立変数は量的変数、従属変数が質的変数をとる。



ロジスティック回帰分析

質的変数とは？

- ・ある疾病の発症確率、自動車の故障率、地震の発生などのように、ある事象の発生の有無を表す二値変数である。
- ・発生の有無は確率値で表される。
発症率、故障率、発生率、etc



ロジスティック回帰分析

なぜ独立変数が量的変数、従属変数が質的変数のとき、重回帰分析を用いて分析をしてはならないのか？

質的変数は正規分布に従わないので
重回帰分析は、用いるデータに正規分布が
仮定されているので



ロジスティック回帰分析

確率値とは？

- ・0、1ではなく、連続変数である。
- ・正規分布には従わない変数であるので、仮定より重回帰分析に用いることはできない。



ロジスティック回帰分析

一般にある事象が起こる確率 p を、その現象の発生を説明するために観測された変数群 $x=(x_1, x_2, \dots, x_r)$ で説明しようとする場合、 $x=(x_1, x_2, \dots, x_r)$ という状態の下で現象が発生するという条件付確率を $p(x)$ であらわし、これを

$$p(x)=\text{pr}\{\text{発生} \mid x_1, x_2, \dots, x_r\}=F(x)$$

という関数 $F(x)$ を用いてモデル化する。



ロジスティック回帰分析

(1) r 個の変数の影響を線形な合成変数

$$Z = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_r x_r$$

(2) 関数 F に Z のロジスティック関数

$$F(Z) = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} = \frac{1}{1 + \exp(-Z)}$$

とした(1)、(2)が次のロジスティック回帰モデル式のモデルである。



ロジスティック回帰分析

$$p(x) = \text{pr}\{\text{発生} \mid x_1, x_2, \dots, x_r\} = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)}$$

そして、この式を変形すると、

$$\begin{aligned} \text{Log} \frac{p(x)}{1 - p(x)} &= Z \\ &= b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_r x_r \end{aligned}$$

となる。



ロジスティック回帰分析

補足

ロジスティック回帰モデルは($-\infty \sim \infty$)の変動範囲を持つ、独立変数の合成変量 Z と範囲(0,1)に値を持つ発生確率 $p(x)$ とをロジスティック関係でリンクさせたモデルである。



ロジスティック回帰分析

計算例

例えば、 $p(x)$ をある病気の発症率として、年齢、コレステロール値、血圧、相対体重、ヘモグロビン量から予測する。

$$\frac{p(x)}{1-p(x)} = \exp\{b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_r x_r\}$$

となる。



ロジスティック回帰分析

計算例

ここで、Aさんのコレステロール値が200、Bさんのコレステロール値が150とすると、発症オッズはどうなるか比較してみる。

$$\frac{p(x)}{1-p(x)} = \exp\{b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_rx_r\}$$

ロジスティック回帰分析 計算例

$$\begin{aligned} A,B &= \frac{p(x_A)}{1-p(x_A)} \div \frac{p(x_B)}{1-p(x_B)} \\ &= \exp\{b_1(200-150)\} = \exp\{50b_1\} = (\exp\{b_1\})^{50} \end{aligned}$$

$b_1=0.0105$ を代入して、

$$A,B = \exp(0.0105)^{50} = \mathbf{1.69}$$

となり、

AさんはBさんより1.69倍発症しやすいと推測できる。



ロジスティック回帰分析

このオッズの増大はコレステロール値の差が50ある
個体間でのみ生じる。つまり、 $\exp(b_1)$ はコレステロー
ル値1単位(1mg)増大するにしたがって生じるオッズ
の増大を意味する。

この指標がロジスティック回帰モデルを利用すること
によって得られるオッズ比である。

第5章



実験



実験の出典

- Muscat JE, et al. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. Journal of the American Medical Association 2000;284:3001-3007.
- **米国健康財団のグループによる携帯電話と脳腫瘍のリスクに関する疫学研究**
- **データ、グラフが豊富なので、課題に向いている**



実験の目的

- 携帯電話の使用と脳腫瘍のリスクの関連を調べる
- 症例対照研究とロジスティック回帰など統計学的方法による定量的リスク解析



実験方法

- 研究グループは、米国東部の5つの教育研修病院に入院した、脳の悪性腫瘍の患者469人(18 - 80歳)と、脳腫瘍以外の病気で入院した患者422人(対照群)を調査した。
- 症例対照研究(case control study)



実験方法

- 入院中に面接をして、入院前の携帯電話の使用状況をたずねた
- より客観的な情報を得るために、携帯電話の会社から請求書(利用記録)を入手しようとしたが、うまくいかなかった



得られたデータ

- 使用年数
- 1ヶ月あたりの使用時間
- 初めて使った年
- メーカー
- 毎月の請求額の平均(推定)
- 人種
- 曝露状況
- 職業
- 診療暦



症例と対照の選定

- 症例患者

過去に初期の脳腫瘍と診断されたもの

- 対照患者

- ・ 症例と同じ病院の入院患者

- ・ 対照群の多くは良性疾患

- ・ 99人(23%)は脳以外のがん患者

(RFからの曝露と関連無:リンパ腫と白血病は不可)



症例と対照の特徴 (抜粋)

- 症例患者

総数 469

携帯電話を使用 66 (14.1%)

- 対照患者

総数 422

携帯電話を使用 76 (18.0%)

携帯電話を使ったことがある 対照患者の症状の区分

症状	対照患者の数
悪性腫瘍	99 (6.1%)
筋骨格疾患	71 (23.7%)
皮膚疾患	19 (15.8%)
全身疾患	149 (20.8%)
その他	84(22.6%)

対照患者にがん患者は含まれていない



調整オッズ比

- 携帯電話の使用時間によってリスクは上昇するのか？
- 交絡要因を除外するためにロジスティック回帰を用いて調整オッズ比を求める
- 調整オッズ比を用いてリスク評価
- 調整のための説明変数
年齢，性別，教育年数，人種，入院先，調査日

計算結果

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.

携帯電話の使用年数と 脳腫瘍の調整オッズ比

使用年数	症例数	対照数	調整オッズ比
0	403	346	1.0
1	21	30	0.7(0.4-1.3)
2-3	28	24	1.1(0.4-1.4)
4以上	17	22	0.7(0.4-1.4)

()内は95%信頼区間

携帯電話の月当り使用時間と 脳腫瘍の調整オッズ比

使用時間	症例数	対照数	調整オッズ比
0	403	346	1.0
0~0.72	19	20	1.0(0.5-2.0)
0.72~2.1	10	17	0.5(0.2-1.2)
2.1~10.1	20	18	0.9(0.5-1.9)
10.1~	13	20	0.7(0.3-1.4)

使用時間は[0~0.72]は0より大きく0.72以下の意味

携帯電話の累積時間と 脳腫瘍の調整オッズ比

累積時間	症例数	対照数	調整オッズ比
0	403	346	1.0
0~8.7	17	18	1.0(0.5-2.0)
8.7~60	12	19	0.6(0.3-1.3)
60~480	19	19	0.9(0.5-1.8)
480~	14	19	0.7(0.3-1.4)

その他の結果

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 (M9490-9523)‡	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 ganglioglioblastomas, 4 neurocytomas, and 2 neuroepitheliomas.



考察

- ロジスティック回帰分析による計算結果を用いて携帯電話の使用と脳腫瘍の発症について、それぞれオッズ比を算出した。
- 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みられないことがいえる。

第6章

結論

結論

- 本課題では、携帯電話による脳腫瘍のリスクを、症例対照研究とロジスティック回帰を用いて定量的に解析した
- 携帯電話を入院前に定期的に使っていた人の割合は、脳腫瘍患者では14% (66/469)、それ以外の対照群では18% (76/422) で、差がなかった
- 使用年数、月あたりの通話時間、累積通話時間が長くなっても、脳腫瘍のリスクは高くならなかった



結論

- 携帯電話を使っていたことのある脳腫瘍患者について、腫瘍が脳の左右どちらにあったかを調べたところ、普段携帯電話を耳にあてている側に腫瘍もある場合が多かった
- 側頭葉の腫瘍に限ってみると、普段と反対側に病変がある場合の方がかえって多く、一致しない結果だった



この研究の問題点

- 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
- 電話会社の客観的な利用記録ではなく、患者本人の記憶にもとづいて、携帯電話の使用状況を調べた(電話会社の協力を得られなかった為)



この研究の問題点

- 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



疫学研究の問題点

- 他の研究との結果に一貫性がない
- 症例数が少なく、統計的精度が低い
- 交絡因子の影響が十分排除されていない
- 曝露量の把握が正確でない

今後の課題

- 電磁界の人体への影響を検証するためには、疫学研究と生物学的研究の両者を総合的に評価し、因果関係の有無を検証する必要がある

