

生体電磁環境研究に関する検討会
平成29年度委託研究報告

(研究課題名)無線通信等による電波ばく
露の定量的実態把握と
脳腫瘍の罹患状況に基づくリスク評価

代表者氏名(所属):

多氣昌生(首都大学東京)

山口直人・小島原典子(東京女子医大)

平成30年7月17日

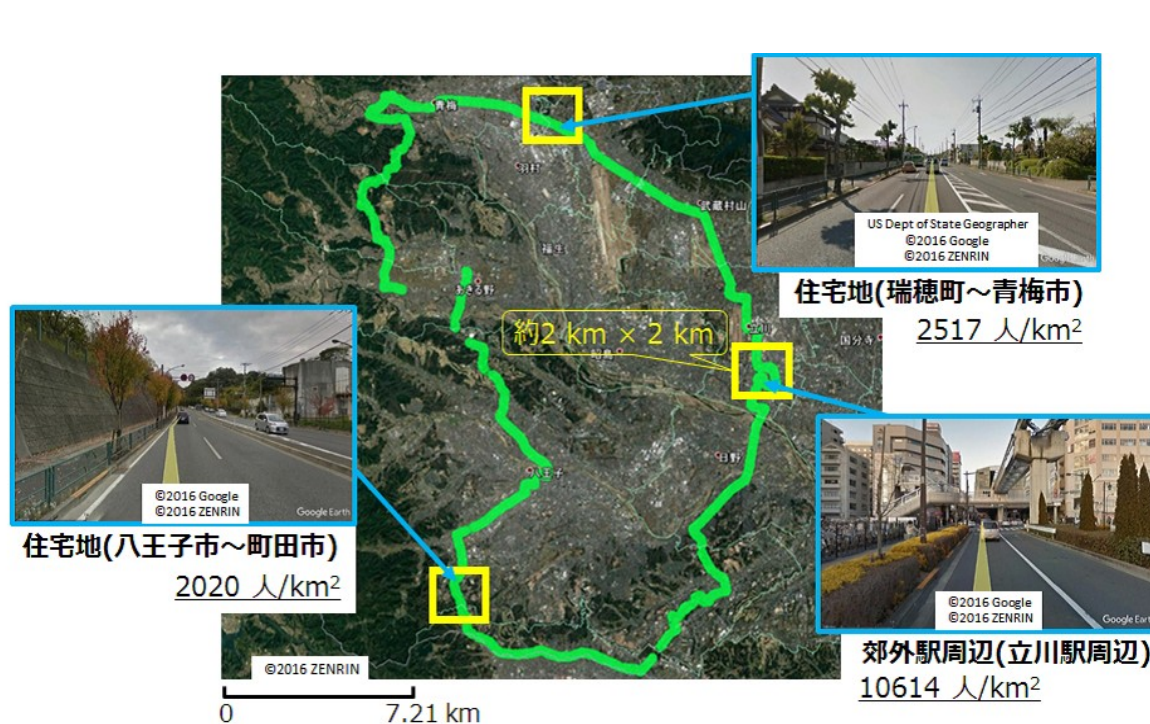
検討課題（基本計画より）

- ① 測定及び推定により、現実の日常環境における多様な電波による人体ばく露を可能な限り正確かつ定量的に把握する。
- ② ばく露評価の精度が電波の健康リスクについての疫学的研究に及ぼす影響を定量的に評価する。
- ③ 携帯電話端末からの電波の健康リスクについての先行する疫学的研究で収集されたデータについて、②の評価を踏まえて解析を行う。
- ④ 電波による脳腫瘍発症のリスクについて、ばく露応答関係モデルを仮定し、推定される傾向をシミュレーションにより明らかにする。さらに、全国がん登録の総脳腫瘍、聴神経腫瘍、髄膜腫、神経膠腫の罹患状況の調査を行い、過去の登録データとともに、予想される傾向との比較を行う。
- ⑤ 国際的な疫学的研究（欧州のGERoNiMO、韓国のMobi-Kids等）と情報共有・連携を行い、集積したデータの整理・分析を行う。

無線通信端末及び基地局からの電波ばく露量の把握：東京近郊でのフィールド測定

• 首都圏での自動車内からの測定例

- 3G (CDMA2000, W-CDMA) 4GのVoLTE出力電力を測定
- 基地局からの電波強度の測定



※ 人口密度は平成22年(2010年)の国勢調査のデータを利用

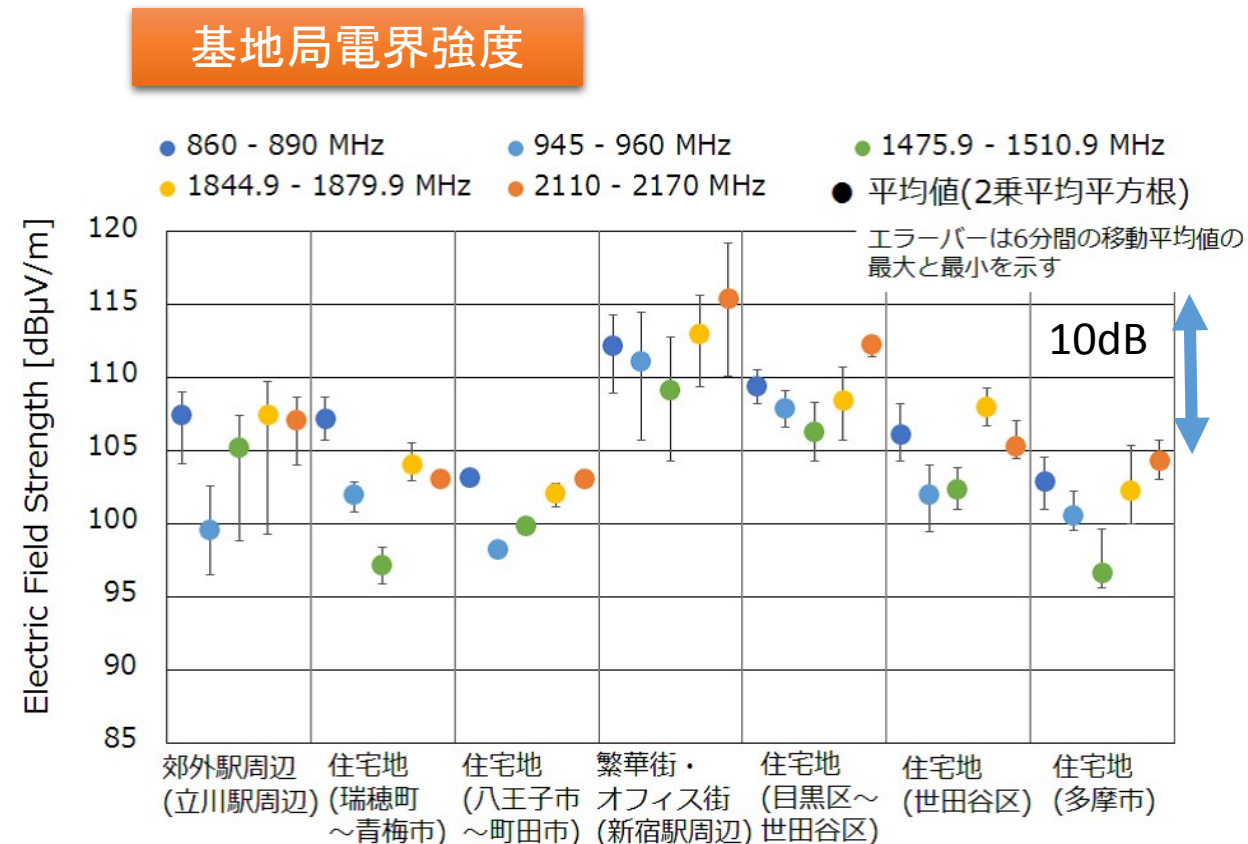
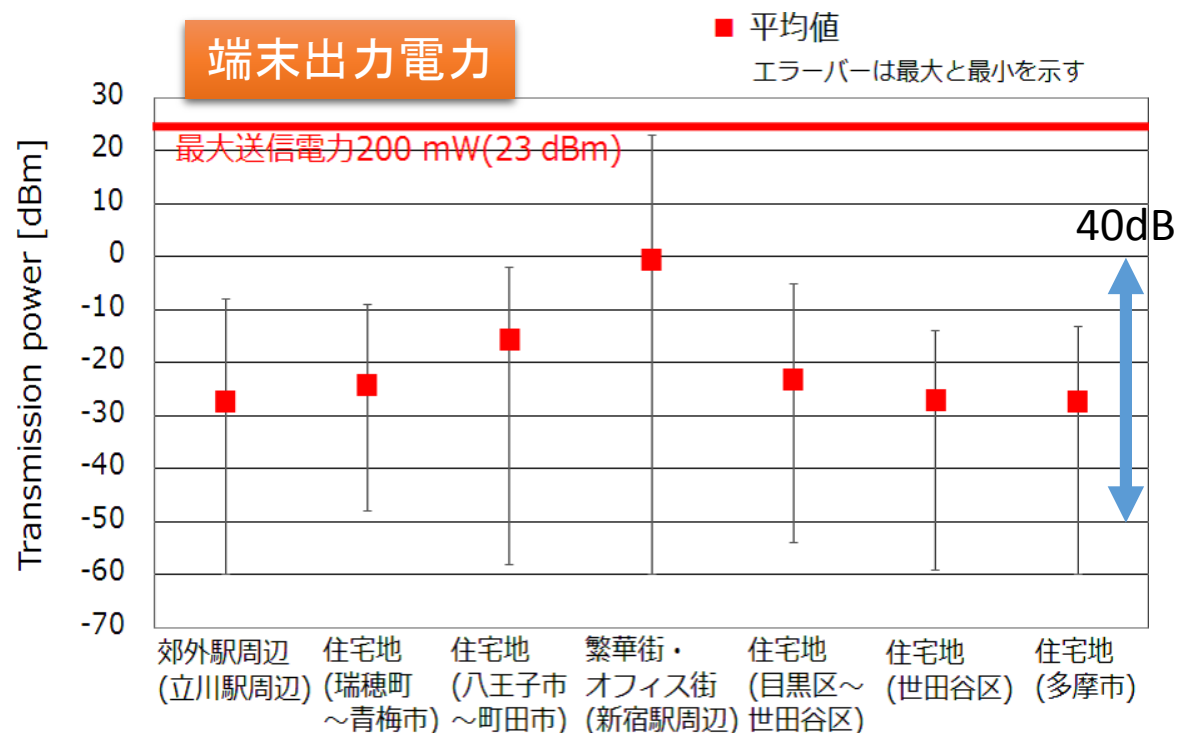
※ 測定時間はそれぞれ異なる



※ 人口密度は平成22年(2010年)の国勢調査のデータを利用

※ 測定時間はそれぞれ異なる

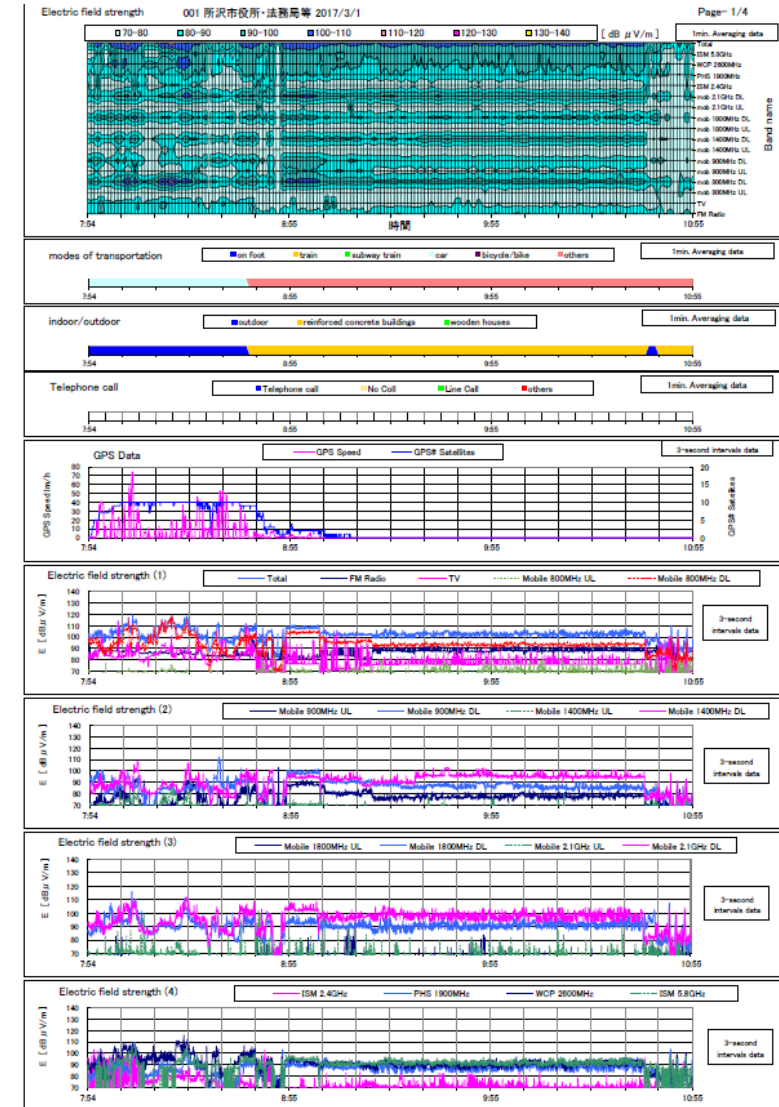
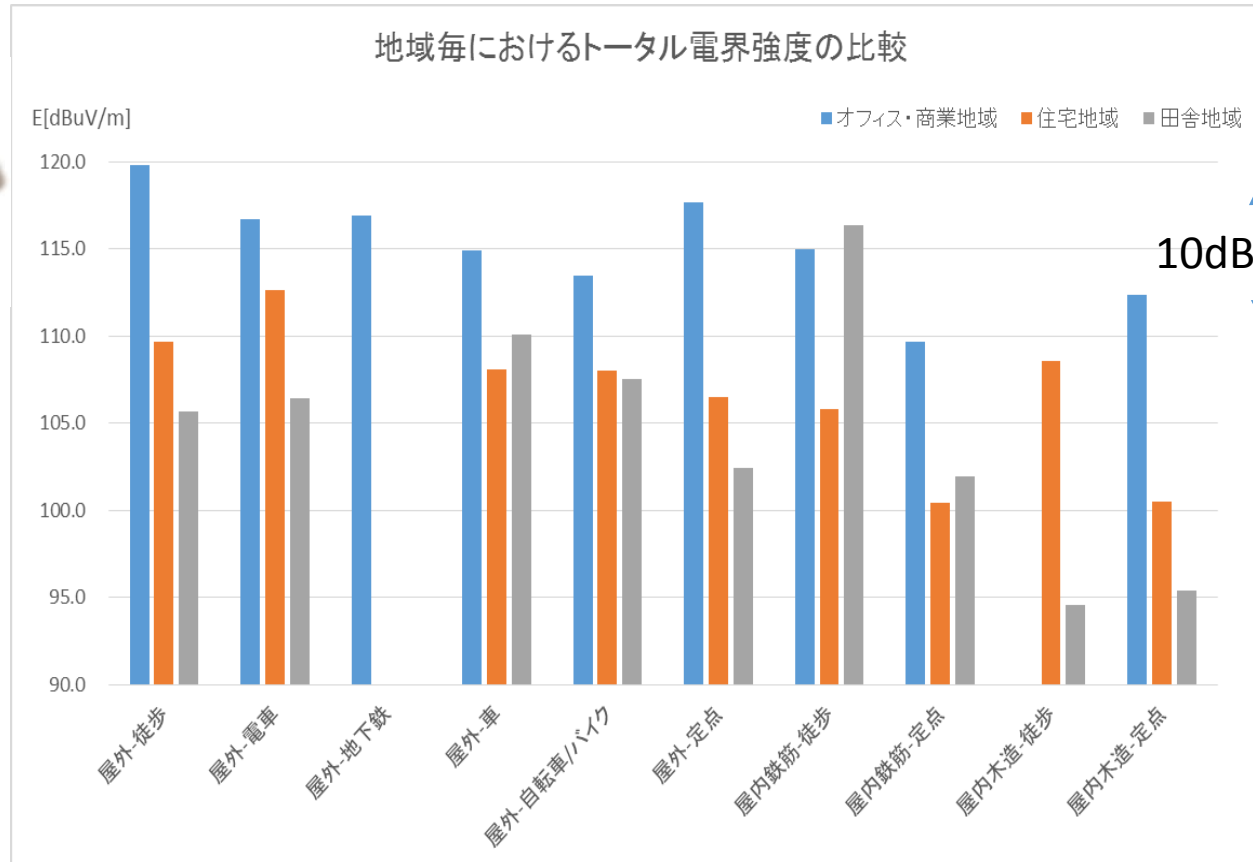
測定結果例と結論



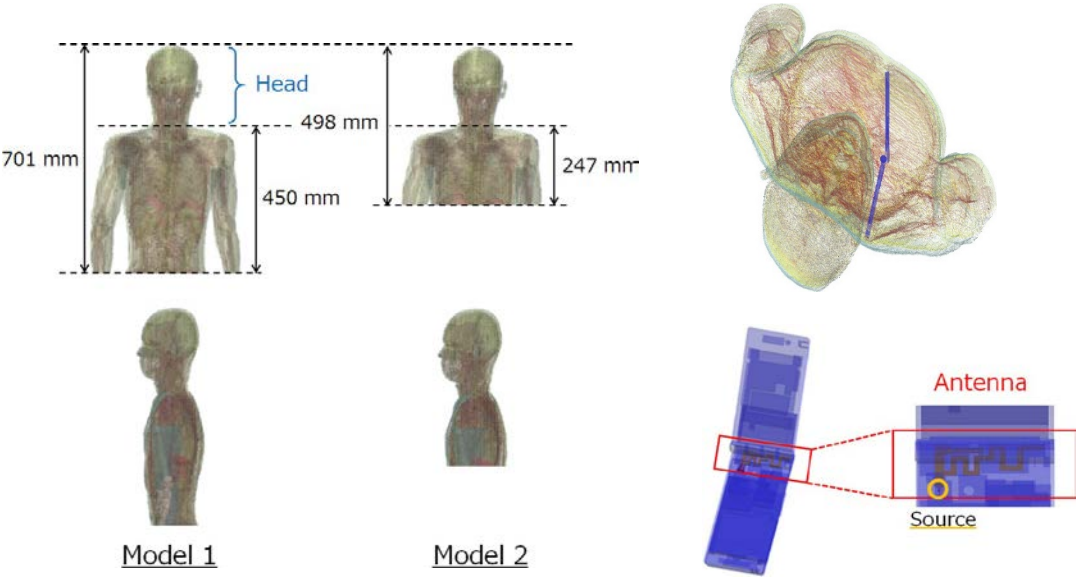
- 環境によって、端末の出力電力の平均値は30dB程度の違いがあり、基地局からの電波強度の違いは20dB程度
- 同じ環境で、端末の出力の変動は40dB～60dB以上と大きく、基地局からの電波強度の変動は10dB程度までと比較的小さい
- 都心繁華街では基地局からの電波が強く、端末の出力の平均値も大きい
- 田園地帯では基地局からの電波強度が小さく、端末出力が大きい傾向(別データ)

個人ばく露計(ExpoM-RF)を用いた電波環境のサーベイ

- 個人ばく露計を用いて述べ946時間の測定データを得た
- トータル電界強度はオフィス・商業地域については110~120dBuV/m、住宅地域は100~115 dBuV/m、田園地域は95~115 dBuV/m
- オフィス/商業地域 > 住宅地 > 田舎



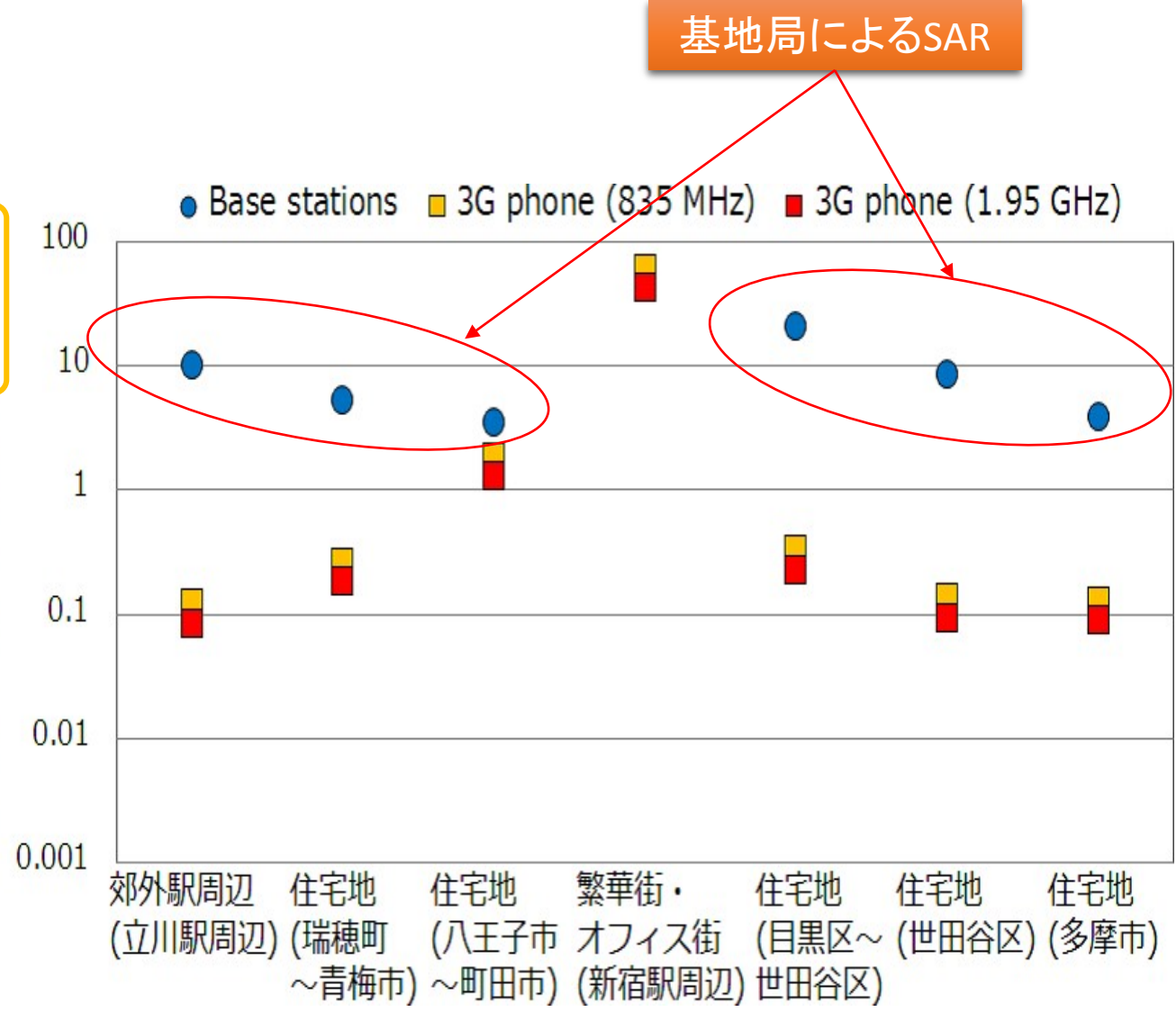
端末からのばく露と基地局からのばく露の比較



脳1g平均SARの最大値 [μW/kg]

- 基地局からの電波強度、端末の出力電力が平均値の場合の脳1g平均SARの比較
- 基地局による寄与が大きい(ばく露時間を考慮するとさらに差が大きくなる)
- 但し、自動車内での測定データ)であり、屋内では差が数dB小さくなる

端末からのばく露が小さくなったのであり、基地局からのばく露は従来通り非常に小さいことに注意

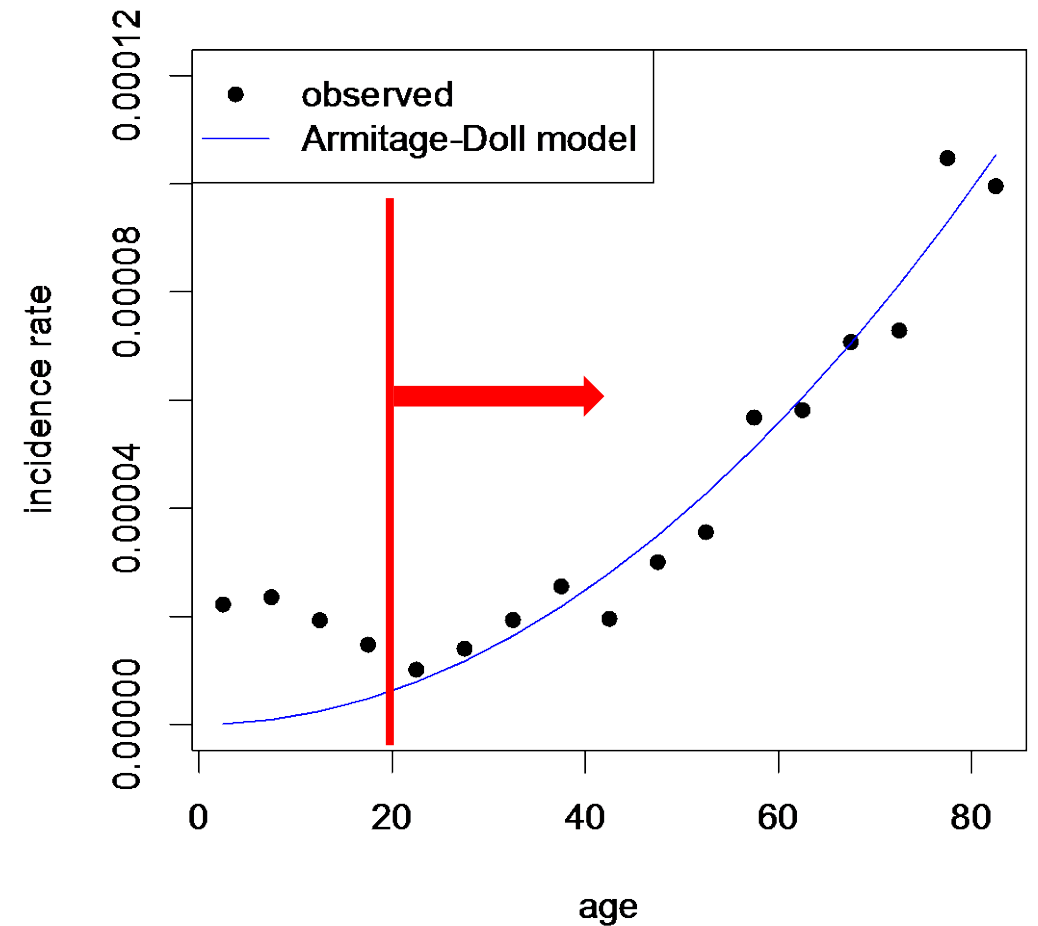


ばく露評価に関する課題のまとめ

- 第3世代以降の端末からのばく露は非常に小さくなっており、他の発生源（基地局、WiFiアクセスポイント）によるばく露と同等あるいはそれ以下の場合もある
- 第2世代までのように端末が支配的なばく露源ではなくなっており、疫学研究的なばく露評価ではさまざまな発生源に注意する必要がある

シミュレーションに関する課題: 発症モデル

- ポアソン生起を仮定した単純なモデルは先行研究でも用いられているが、無記憶のため、
 - 年齢依存性を別に与える必要
 - 発がん因子へのばく露から時間遅れを恣意的に決めなければならない
- 自然な拡張として、ポアソン生起するイベントが k 回生じることで事象が生起するモデル(→Armitage-Dollモデル)を仮定
- 年齢別脳腫瘍罹患率データ(厚労省)にパラメータをフィッティング(20歳以上に適用) → $k=3$
- **ばく露の影響は第1段階の生起確率を増加させると仮定**(後段に影響がある場合、影響が早く現れるので、現状のトレンドに合わない)

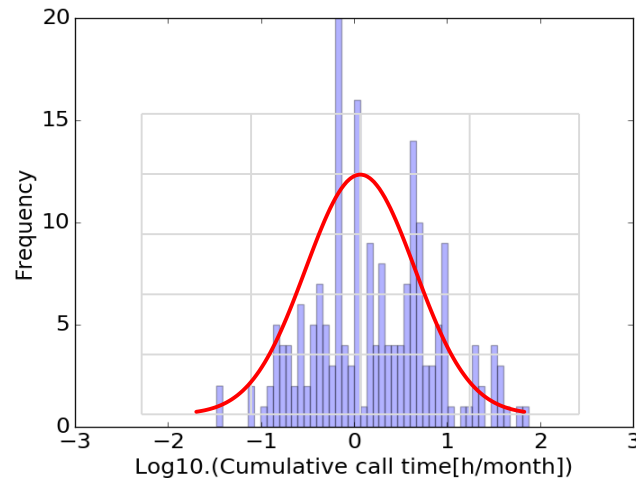


日本人男性の脳腫瘍罹患率(1983-1988年の平均値)

ばく露モデルとばく露応答モデル

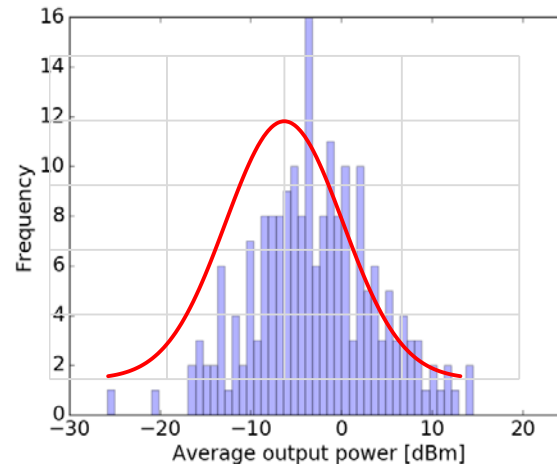
- ばく露指標: 脳におけるSAR(1g平均or脳平均)の累積値
 $\propto$ 端末の出力 $\times$ 累積通話時間

Log₁₀ (通話時間[時/月]) の分布



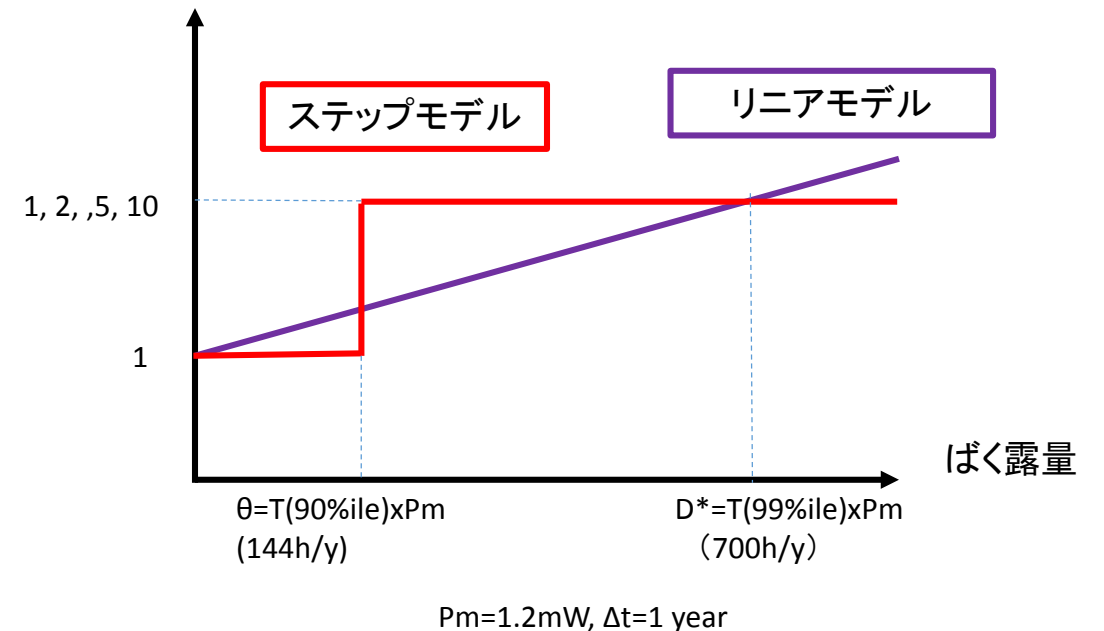
平均 0.210(約 1.6 時/月)
標準偏差 0.632(が約 0.4–6.9 時/月)

出力電力の平均値[dBm]の分布



平均 -2.92 dBm(=0.51 mW)、
標準偏差 6.84(が約 0.1–2.5 mW)

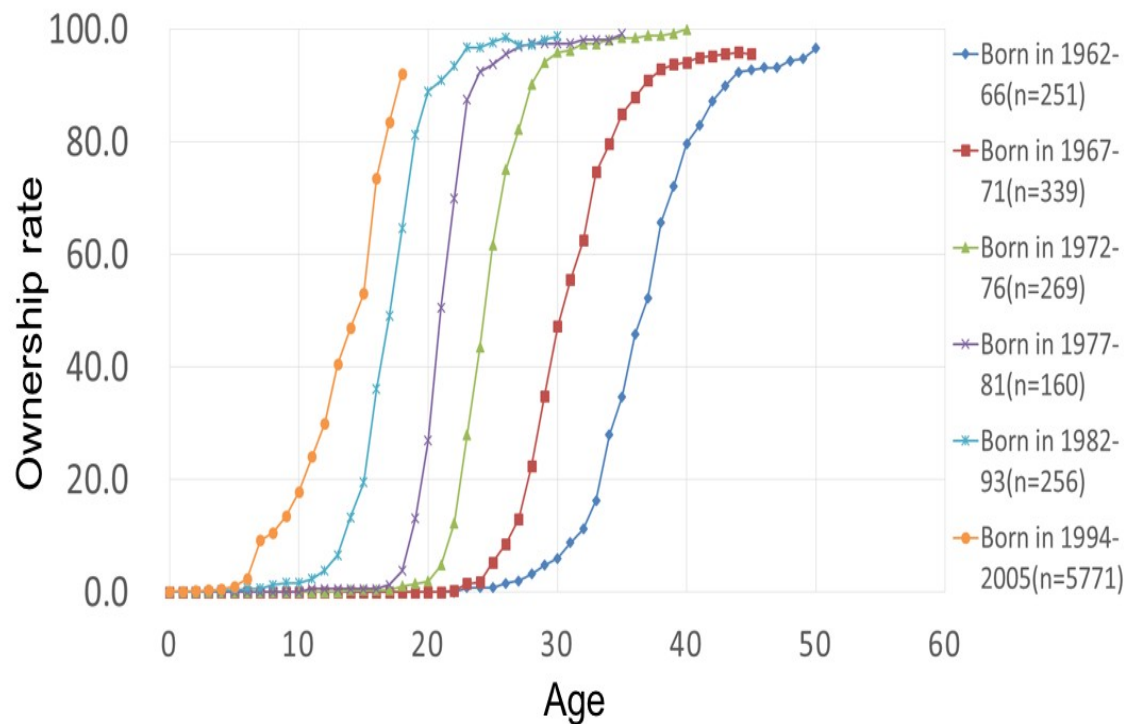
相対生起率



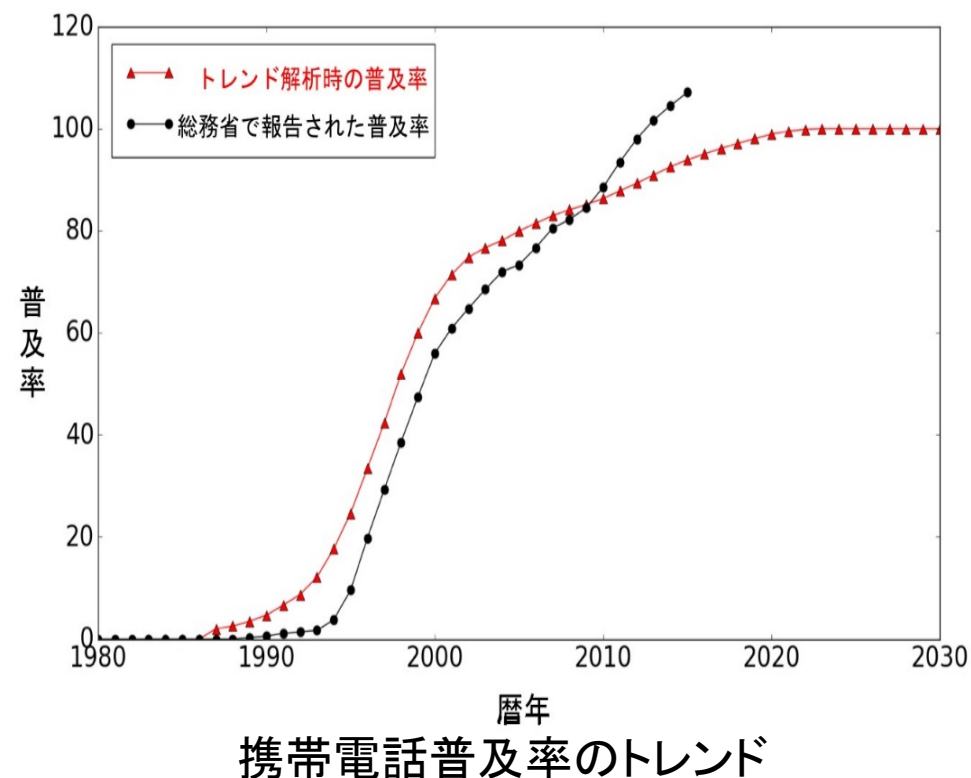
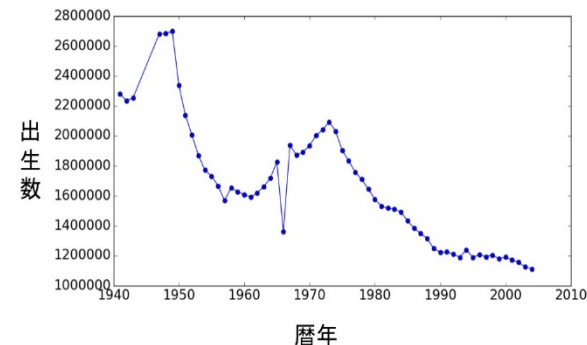
198人の被験者が1ヶ月間SMP携帯電話で記録したデータから求めた分布
(Kiyohara, et al. J Expo Sci Environ Epidemiol., 2016).

ばく露応答モデル

出生年別年齢別携帯電話所有率



出生年別年齢別携帯電話所有率

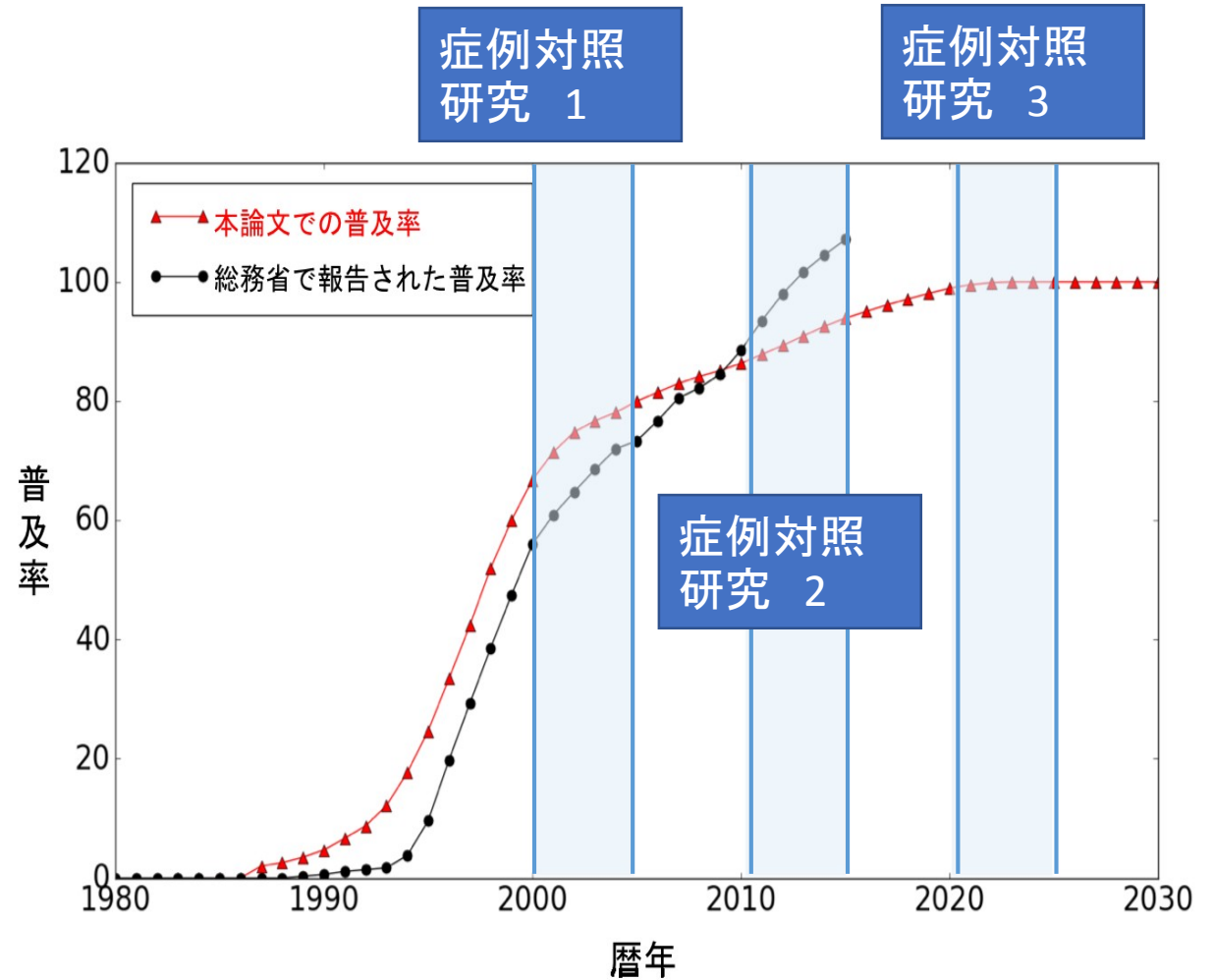


携帯電話普及率のトレンド

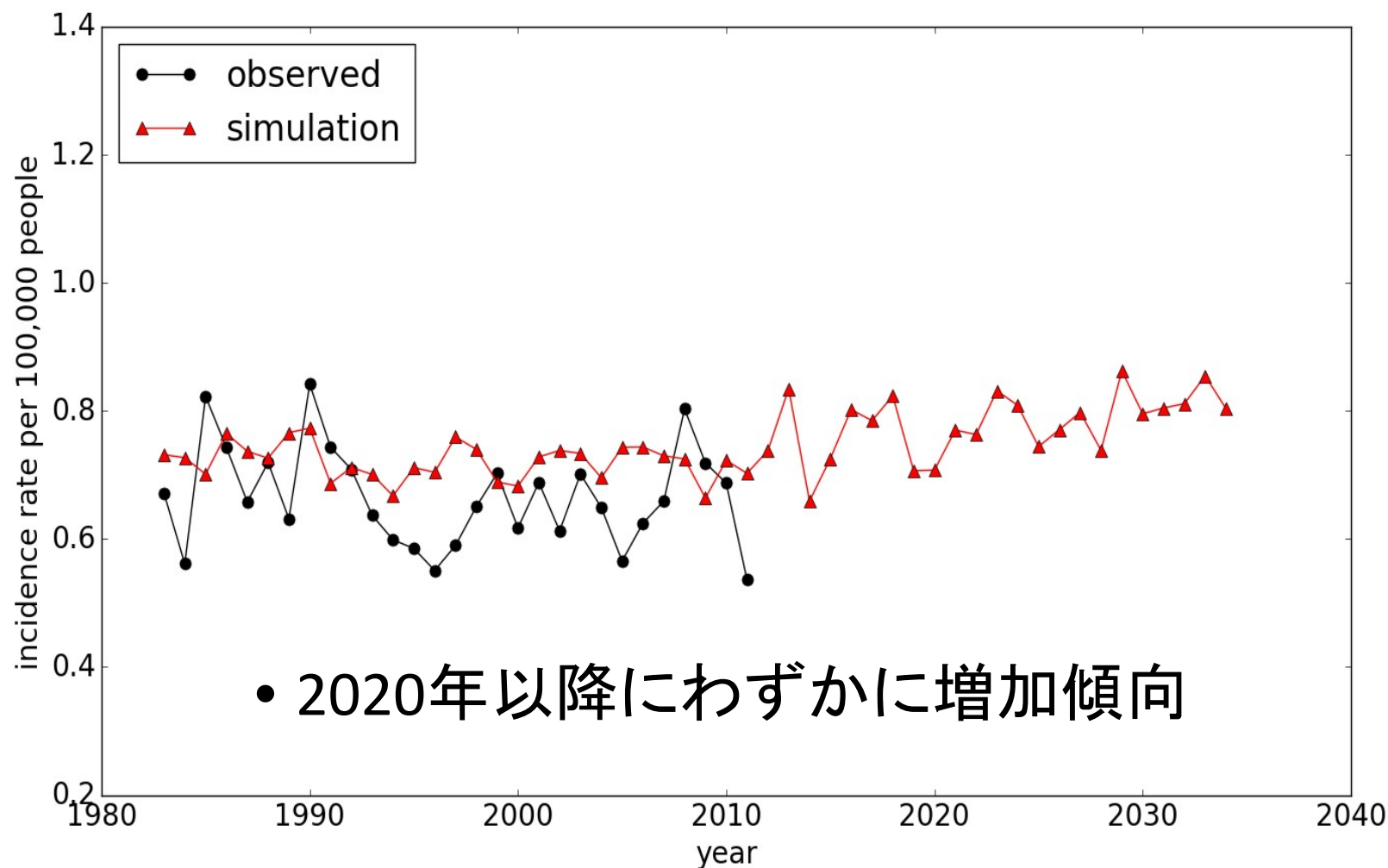
東京女子医大の調査で得た出生年別年齢別携帯電話所有率を仮定し、出生数のデータから普及率のトレンドをシミュレーションによって求めると**普及率のデータと概ね合致する**

シミュレーションの概要

- 出生数の年次推移に従う仮想的な人口集団全員に対して発症シミュレーション($\Delta t=1$ 年)
- 出生年別年齢別携帯電話所有率に基づき携帯電話の所有開始を乱数で割り当て
- 通話時間、出力電力の平均値は分布に基づきランダムに割り当て(個人毎に一定とする)
- 3つの調査時期を想定し、30歳から59歳で発症した人全員を症例として登録、同じ出生年の対照をランダムに選択して登録
- 症例と対照に対しばく露を参照してオッズ比を求める



シミュレーション結果の例(ステップモデル5倍) 3G端末を仮定



グリオーマの発症率の年次推移($D > \theta$ のとき λ_1 が 5 倍)

シミュレーションによるオッズ比：ステップモデル(5倍)の例

2000－2004年

① 脳におけるばく露量 [J/kg]	case	cont'l	OR (95CI)
参照群			
< 0.013	432	447	1.00
ばく露群			
0.013-0.064	177	178	1.03 (0.86-1.24)
0.064-0.15	180	175	1.06 (0.90-1.26)
0.15-0.29	174	181	0.99 (0.83-1.20)
0.29-0.53	175	180	1.01 (0.85-1.20)
0.53-0.92	174	181	1.00 (0.84-1.18)
0.92-1.6	177	178	1.03 (0.87-1.22)
1.6-3.0	176	179	1.02 (0.86-1.22)
3.0-5.9	183	172	1.10 (0.91-1.32)
5.9-16	176	180	1.02 (0.86-1.22)
≥ 16	192	162	1.23 (1.02-1.46)
② 累積通話時間 [h]			
参照群			
< 5	429	451	1.00
ばく露群			
5-15	182	173	1.11 (0.91-1.35)
15-27	183	173	1.12 (0.92-1.30)
27-43	186	169	1.17 (0.97-1.37)
43-64	189	166	1.20 (1.01-1.47)
64-96	179	176	1.07 (0.90-1.27)
96-145	167	188	0.94 (0.79-1.12)
145-225	170	185	0.97 (0.81-1.13)
225-369	178	177	1.07 (0.89-1.27)
369-731	176	179	1.04 (0.85-1.25)
≥ 731	176	179	1.03 (0.87-1.25)

2010－2014年

① 脳におけるばく露量 [J/kg]	case	cont'l	OR (95CI)
参照群			
< 0.038	95	96	1.00
ばく露群			
0.038-0.18	178	166	1.08 (0.83-1.34)
0.18-0.43	194	188	1.04 (0.81-1.25)
0.43-0.81	168	176	0.96 (0.75-1.17)
0.81-1.5	178	204	0.88 (0.69-1.09)
1.5-2.6	166	178	0.94 (0.71-1.16)
2.6-4.6	183	199	0.93 (0.75-1.16)
4.6-7.9	178	166	1.08 (0.85-1.35)
7.9-17	184	198	0.94 (0.73-1.16)
17-43	172	171	1.01 (0.79-1.24)
≥ 43	214	168	1.28 (1.01-1.60)
② 累積通話時間 [h]			
参照群			
< 15	98	93	1.00
ばく露群			
15-47	164	180	0.87 (0.70-1.06)
47-90	182	200	0.86 (0.68-1.05)
90-135	175	169	0.98 (0.76-1.25)
135-202	194	188	0.98 (0.73-1.20)
202-285	172	172	0.95 (0.74-1.23)
285-430	182	200	0.87 (0.67-1.08)
430-620	178	166	1.02 (0.80-1.24)
620-1027	188	194	0.92 (0.71-1.15)
1027-1875	176	167	1.00 (0.77-1.24)
≥ 1875	201	180	1.06 (0.83-1.31)

2020－2024年

① 脳におけるばく露量 [J/kg]	case	cont'l	OR (95CI)
参照群			
< 0.11	99	98	1.00
ばく露群			
0.11-0.38	172	183	0.94 (0.76-1.31)
0.38-0.85	196	198	1.00 (0.79-1.30)
0.85-1.5	180	174	1.05 (0.79-1.37)
1.5-2.8	177	218	0.82 (0.65-1.07)
2.8-4.7	167	188	0.90 (0.71-1.18)
4.7-8.2	193	201	0.97 (0.76-1.22)
8.2-14	175	180	0.98 (0.79-1.25)
14-32	185	209	0.89 (0.69-1.18)
32-98	164	190	0.87 (0.69-1.10)
≥ 98	262	132	2.00 (1.53-2.68)
② 累積通話時間 [h]			
参照群			
< 38	99	98	1.00
ばく露群			
38-93	165	190	0.86 (0.69-1.13)
93-165	186	208	0.89 (0.68-1.10)
165-245	172	182	0.93 (0.74-1.15)
245-365	190	204	0.92 (0.73-1.13)
365-510	178	177	1.00 (0.79-1.26)
510-740	201	193	1.03 (0.84-1.27)
740-1086	171	184	0.92 (0.73-1.20)
1086-1776	201	193	1.03 (0.84-1.28)
1776-3236	189	165	1.13 (0.89-1.44)
≥ 3236	218	176	1.22 (0.98-1.48)

シミュレーションに関する課題のまとめ

- 脳腫瘍の発症、携帯電話の普及、携帯電話の使用状況、ばく露量のモンテカルロシミュレーションモデルをできるだけ実データと整合するように構築
- ばく露－影響関係を仮定し、仮想的な人口集団全員についてシミュレーションを行い、発症のトレンドと仮想的な症例対照研究のシミュレーションを実行
- ここで仮定したモデルの示唆する結果の一例として、
 - SARを指標とした「真のばく露」の代わりに累積通話時間を代用尺度とした場合、検出力が小さくなる
 - 発がんにつながるイベントの生起確率がばく露によって10倍程度に大きくなると仮定しても2020年以降でなければ症例対照研究では検出されない場合がある



疫学研究に関する課題

- **Mobi-Kids国際症例対照研究**

スペイン、韓国、日本など計14か国の原発性脳腫瘍、虫垂炎患者（10-24歳）を1:2でマッチング。現在IsGlobal（スペイン）にて解析が進行中

- **Mobi-Kids Japan**

10-30歳の脳腫瘍患者120名、虫垂炎入院患者360名に対し、unconditional logistic解析を実施。成果を国際疫学会のシンポジウムで発表した。

- **韓国との共同研究**

日本と韓国の症例データベースを構築、ばく露評価を検討中。Mobi-Kids Japanのうち性年齢で1:2でマッチングして解析予定。

研究結果のまとめー 今後の課題

- 身のまわりの多様な発生源によるばく露の**継続的なモニタリング**
 - がん・悪性腫瘍は長期間遅れて発症する。電波利用技術の変化・発展を常に追跡し、ばく露状況の推移を長期的に記録しておかなければ、電波と健康の関連を調査不能となる
 - 電波の安全に関するリスクコミュニケーションに必要な基礎情報
- **2020年以降に再度、電波の影響に関する疫学研究の実施が望ましい**
 - シミュレーション結果より、仮に影響があるとしても顕在化するのは2020年以降の可能性がある。