

【スウェーデンの報告で甲状腺がんと携帯電話の電磁波との関連が示唆された】

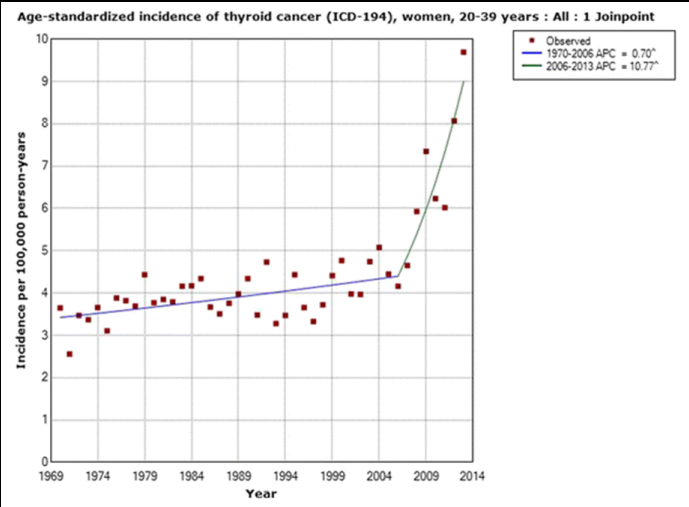
[Increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries with main focus on Swedish data <http://bmccancer.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12885-016-2429-4> を訳]

《甲状腺がんの増加》 スウェーデン癌登録からの分析

甲状腺がんは比較的めずらしい癌である。2013年、スウェーデン癌登録には男性157人、女性429人の甲状腺がんの報告となる。すべての癌の0.95%である。女性の発症率は男性の2~3倍である。ただし、発症の割合は年齢や組織学的タイプの影響を受ける。男女の発症率の違いは、生殖機能やホルモン作用によって説明がつくと思われる。電離放射線と甲状腺がんの増加との関連がはじめて取り沙汰されたのは1940年代初めから1950年代始めである。リスクとして確立しているのは、外部放射線療法、X線診断、広島や長崎の原爆生存者などに見られるもので、後にはチェルノブイリや福島事故でも関連性が言及された。

本研究では、スウェーデン癌登録から1970~2013年までの甲状腺癌の発症例を数量化し、急激な変化を示すNCI Joinpoint Regression Analysisを分析した。また、すべての北欧諸国の癌発症率を見る時はNORDCANのデータを使った。このデータは、スウェーデン、デンマーク、フィンランド、ノルウェーとアイスランドの国を含む。

この研究から、甲状腺癌が近年、急激に増加していることが分かった。中でも放射線によって誘発されるとされる乳頭タイプの甲状腺癌に顕著な増加が見られる。また、男女とも2006年をjoinpointにして甲状腺癌が急激に増加しており、あらたなリスク因子がそこに組み込まれた可能性を示唆している。医療現場での映像検査の普及、携帯電話からスマートフォンへと進化することでますます増える高周波暴露など、考えうるリスク因子に関して考察する。



【調査結果の概要】

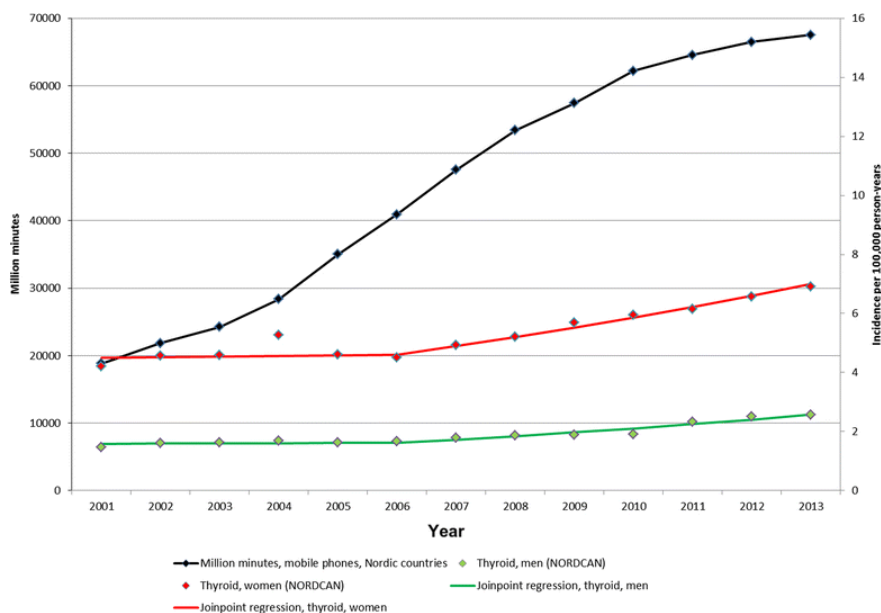
北欧での女性の甲状腺がんの増加

女性に関しては1970~2013年の調査期間すべてで、有意な統計的増加が認められた。年間増加割合(APC)は全ての期間で平均1.19%。細かく見てゆくと、1970~1979年のAPCが2.15%、1979~2001年のAPCが-1.39%、2001~2013年のAPCが5.34%だった。

年齢で見ると、0~19歳の女性ではjoinpointは見られないがAPCが1.32%。20~39歳では2006年がjoinpointとなり、2006~2013年のAPCは10.77%。このグループが1970~2013年の調査全期間ですべてのAPCがもっとも高く、2.27%だった。40~59歳では2001年にjoinpointが見られ、2001~2013のAPCは5.03%だった。60~79歳では2004~2013年のAPCが6.90%だった。

(表 1) 女性の甲状腺がん発症率の Joinpoint 回帰分析 (スウェーデン癌登録に基づく)

		1970～1979	1979～2001	2001～2013	1970～2013
	Joinpoint の位置	年間増加割合 (APC 1) (有意差 95%)	APC 2 (有意差 95%)	APC 3 (有意差 95%)	全期間年間増加割合 AAPC (有意差 95%)
全年齢の女性 (n=10,757)	1979; 2001	+2.15 (+0.05, +4.30)	-1.39 (-1.96, -0.82)	+5.34 (+3.93, +6.77)	+1.19 (+0.56, +1.83)
0-19 歳 (n=271)	Joinpoint は見られない	-	-	-	+1.32 (+0.41, +2.24)
20-39 歳 (n=2,325)	2006	+0.70 (+0.30, +1.10)	+10.77 (+5.75, +16.04)	-	+2.27 (+1.46, +3.09)
40-59 歳 (n=3,361)	2001	-0.98 (-1.67, -0.29)	+5.03 (+2.02, +8.13)	-	+0.66 (-0.27, +1.59)
60-79 歳 (n=3,556)	1974; 2004	+9.58 (-1.34, +21.70)	-2.13 (-2.64, -1.62)	+6.90 (+3.71, +10.19)	+0.75 (-0.43, +1.94)
80 歳以上 (n=1,244)	1979; 1998	+2.14 (-2.33, +6.81)	-4.22 (-5.72, -2.70)	+0.71 (-1.35, +2.82)	-1.21 (-2.51, +0.11)



(グラフ 2) 2001～2013 年の北欧諸国での携帯電話使用量と甲状腺癌発症数 (NORDCAN より)

### 北欧における男性の甲状腺がんの増加

男性に関しては 1970～2013 年の全期間で 0.77% の増加が見られた。2005 年に joinpoint が見られ、2005～2013 年の APC は 7.56%。年齢別では 0～19 歳は症例数が少なく統計が出ない。20

～39 歳、40～59 歳、60～79 歳では、1970～2013 年で統計的には有意ではないものの増加を見せている。20～39 歳では joinpoint は見られない。40～59 歳では 2006 年に joinpoint が見られ、2006～2013 年の APC は 9.92%である。60～79 歳では 1980 年と 2005 年の 2つの joinpoint が見られ、2005～2013 年の APC が 8.41%。

### **甲状腺がんと携帯電話使用**

グラフ2は 2001～2013 年の北欧諸国での携帯電話の発信量とすべての年齢層での甲状腺癌の発症率を男女別に示している。これを見ると、携帯電話の発信量の増加した数年後に甲状腺癌の発症率は増加している。

## **【考察】**

### **主要な結果について**

スウェーデンにおける甲状腺癌の発症率は、男性では統計的に有意でないにしろ、1970～2013 年の期間で女性も男性も増加している。女性は 2001 年に、男性は 2005 年に発症率が顕著となる joinpoint が見られた。NORDCAN に基づく 1970～2013 年の北欧諸国の甲状腺癌の発症率の分析では、2006 年に男女ともに joinpoint が見られた。面白いことに、2006～2013 年の APC は、男性も女性もほぼ同じで、これはその期間の甲状腺癌の発症率の増加が性の違いではないことを示す。つまり、女性も男性も等しく影響を受ける何らかのリスク因子があることを示唆している。

スウェーデンでの甲状腺癌の発症率の統計的に有意な増加は甲状腺乳頭癌で、これは主に放射線に起因するタイプとみなされている。電離放射線と非電離放射線の両方の影響の可能性が考えられる。

つい最近、スウェーデン癌登録の 2014 年度の新たな癌症例が公表された。甲状腺癌の発症率の増加は 2013 年と比較して 2014 年はさらに増加を見せ、男性の APC は 12.1%、女性の APC は 11.2%となった。

### **増加に関する考察**

甲状腺癌の発症率は多くの国で増加している。ブラジルのサンパウロでは 1997～2008 年に甲状腺癌、特に乳頭タイプ癌（最も放射線に敏感なタイプ）の増加が見られた。この増加は単に診断技術の進歩によるものだけとは言い切れない。乳頭タイプの甲状腺癌の増加はオランダとカナダからも報告されている。近年、健康診断がより一般化し、さらに甲状腺の映像での診断が増えていることで、甲状腺癌の増加の一部は診断方法の進化によってもたらされる、いわゆる「過剰診断」によるものではないかと言われてきていた。しかし、すべての増加がそれによるものとは考え難く、本当の増加を見逃してはいけない。

米国の症例研究では、2000～2002 年と 2010～2012 年で 22.76%の甲状腺癌の増加が見られた。乳頭タイプの甲状腺癌は、173.86%の増加を見せている。韓国でも 1997～2011 年で甲状腺癌の発症率が増加した。乳頭タイプの増加が最も顕著で、男性の APC が 25.1%、女性の APC が 23.7%だった。

甲状腺癌の増加の一因として甲状腺周辺が発がん性物質に晒されることがある。たとえば電離放射線（ほとんどは医療放射線）、ヨウ素、環境汚染物質（たとえば硫酸塩、重金属など）、また慢性リンパ性甲状腺炎もその一因となりえるだろう。他の因子としては、食習慣、喫煙、火山国、ウイルスなどがある。これらの要因のいくつかはスウェーデンには関連しない。火山国ではないし、喫煙は一般的でない。食習慣やウイルスといったことも変化に関する情報もない。胸部、頭部、首へ

の CT スキャンの使用の増加は重要な因子と言えるかもしれない。

### **電離放射線**

電離放射線は甲状腺癌のリスク因子として確立している。1940 年代後半に最初の相関関係が報告されて以来、いくつかの研究がその関係を確認した。特に幼児期の胸腺や頭皮白癬の X 線治療の研究、また、原爆生存者に関する研究で、放射線は癌の危険因子として確立した。用量反応曲線は線形をし、いくつかの研究では、照射後 5～10 年の間にリスクが増加を見せることが分かった。照射後の 15～25 年後にピークがくるようだが、増加したリスクは長期間続き、おそらく生涯にわたると思われる。実際、ベラルーシとウクライナで、1986 年に起こったチェルノブイリ事故後 3 年以内に甲状腺癌の発症率の異常な増加が見られた。2011 年 3 月には福島第一原子力発電所から放射性元素が放出された。4 年の潜伏期間を経て 18 歳以下の住民の甲状腺癌の症例が報告された。放射線によって誘発された甲状腺癌の場合、最短の潜伏期(誘導時間)は大人で 2.5 年、子供は 1 年であることが分かった。福島での研究では、手術を受けた 87 人の子供たちのうち、83 人が乳頭タイプ甲状腺癌であることが組織学的に確かめられた。放射線に晒される年齢がより若いこと、また女性であることがリスク要因となっている。実験的研究では、放射線と化学製品が相乗的に働いて甲状腺組織増殖を刺激することが明らかに示された。

昨今とりわけ懸念されていることは、CT スキャンによる医学的検査(胸部 CT、全身 CT、その他の CT 健康診断など)による甲状腺への放射線投与である。1993～2010 年の北欧諸国での CT 検査数の増加傾向が報告されている。1990 年初期に 1000 人につき 40 の検査数が 2010 年では 100 以上にまで増えた。

CT 検査の放射線は実に X 線検査の総量の 50～80% を占める。子供への CT 投与も増加している。子供は大人と比較して放射線により敏感である。とりわけ胸部 CT スキャンは甲状腺への高い放射線暴露をもたらす、生涯にわたる甲状腺癌のリスクにつながる。

全身 CT スキャンも医療現場でますます使われている。スウェーデンでは 2006 年から 2013 年の期間で検査数はおよそ 3 倍になっている。検査が相当な放射線量を伴い、甲状腺の癌リスクの増加をもたらしている。

歯の X 線撮影も、歯科検診や歯科治療で広く使われている。クウェートの症例対照研究では、歯の X 線の回数を増やすことで、甲状腺癌のリスクが増加する傾向を統計的に有意な用量反応パターンとして示している。相関関係は、基本的に乳頭タイプ癌に見られる。歯への X 線放射の間、鉛の襟またはエプロンを使うことは放射線量を減らすことにつながる。しかし、これらはクウェート研究では一般的に用いられていなかった。女性の歯科医や歯科アシスタントの甲状腺癌のリスクの増加も報告されている。これらが後向き研究である点に留意する必要がある。1 回の X 線検査の放射線量は最近では低くなっている。しかし、歯の X 線検査は以前より頻繁に行われる。

### **高周波電磁波**

携帯電話の使用による高周波電磁波(RF)の暴露の増加は、環境的なリスク要因として議論する必要がある。月額低下や革新的技術により、移動ネットワークは大きな広がりを見せている。携帯電話は単に電話機能だけではなく、インターネットにも用いられる。我々は、スウェーデンの全国入院患者登録(IPR)と死因登録(CDR)から脳腫瘍の増加率に関して検討した。スウェーデンでは携帯電話は 1980 年代初めに導入されたが、使用の増加が実際に始まったのは 1990 年代に入ってからだ。

高周波(RF)は器官に特有のリスクをもたらす。個人の高周波暴露は、電磁波源と器官との距離のちがいによって、ファー・フィールドとニア・フィールドの暴露に分類される。ファー・フィールド源には、周波数変調(FM)ラジオ局、テレビ放送局、携帯電話、デジタル・コードレス・テレコミュ

ニケーション(DECT)のための基地局や Wi-Fi(WiFi)ホットスポットなどがある。眼球、皮膚、精巣とともに、甲状腺は最も高いファール・フィールド波の吸収器官である。ニア・フィールド源には携帯電話やコードレス電話があり、脳について、眼球、皮膚、甲状腺は最も高い電磁波吸収器官である。ニア・フィールドとファール・フィールドの両方とも、甲状腺が最も高い電磁波吸収器官の一つだった。ただし、ニア・フィールドの SAR 計算には限界があり、携帯電話のアンテナの場所と甲状腺までの距離は密接に調べる必要がある。

ひと昔前の携帯電話のアンテナは、携帯電話の4分の1の大きさだった。新しい通信デバイスが登場すると、新しい周波数帯(例えば GSM、UMTS と LTE)のために携帯電話にはより多くのアンテナの搭載が必要となった。これによって、アンテナが占有するスペースは徐々に増えてきた。注意しなくてはならないのは、アンテナが効率的である為には特定のサイズが必要であることである。アンテナ・サイズが減少すれば、より高い出力が求められ、より高い濃度の放射線がユーザーに放射される。

図1は、過去20年のアンテナ設計の変遷をしめしている。左は1990年代の第二世代(2G)移動電話で、外部格納式の単極または螺旋形のアンテナを使っている。2G GSM バンドは、800/900MHzの周波数帯(後で1,800MHzのバンドが付いてくる)で作動していた。2000年には外部アンテナは消え始め、内部の平面またはマイクロストリップ・アンテナに取ってかわった(中)。内部のアンテナは、電話の最上部に設置された。2000年代のスマートフォンの出現で、内部のアンテナ場所は、電話の上部から底部へと移動した。現在では、大多数のスマートフォンのアンテナは電話の底部にある(右)。これは甲状腺により近い位置である。スマートフォンは携帯電話と比較して、より高レベルの高周波(RF)暴露を潜在的にもたらす。

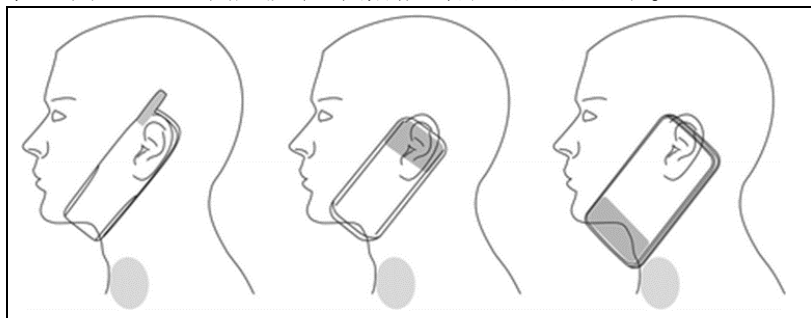


図1：携帯電話アンテナの場所と甲状腺との関係

### 高周波 (RF)、甲状腺のホルモンと形態

非熱レベルの 2.45GHz の高周波放射線は、甲状腺の組織形態にも変化をもたらしていることが分かった。中心付近の小胞の大きさは増大し、周辺中隔の厚みは縮小した。周辺小胞は、3W の暴露によりサイズが増加した。ネズミの研究では、GSM(GSM)携帯電話と類似した 900MHz の高周波の暴露を受けたネズミの甲状腺に病理学的変化が引き起こされた。腺構造は変化し、アポトーシスのカスパーゼ依存的経路は強化された。

ある研究では、人の甲状腺細胞を携帯電話と同じ強さの高周波に3時間さらしたところ、甲状腺細胞の増殖を促進させることが分かった。同じ研究班は、信号発生器を使い、0.170W/kg の最大 SAR をもつ 900MHz の持続波を人間の甲状腺に放射したが、その実験では、高周波暴露と甲状腺の細胞の発癌性の間の関連は見つけられなかった。

甲状腺機能への有害な影響としては、携帯電話や基地局の高周波にさらされた人間の甲状腺

ホルモン変化が報告されている。900MHzと2,450MHzの高周波(RF)に晒されたネズミの研究では、甲状腺レベルの変化が見られた。ネズミの甲状腺刺激ホルモン(TSH)レベルが統計的に有意な減少を見せた研究もある。しかし、他のネズミの研究では同じ手法で統計的な有意な結果はなかった。人間でも携帯電話使用の後、TSH濃度の統計的に有意な増加が見られた。人間のTSHレベルの上昇は甲状腺の成長と関係しており、甲状腺癌のリスクの増加が示唆された。ワイヤレス電話を使用する人における甲状腺機能に関して、さらなる研究がされる必要がある。

### 研究上の強みと限界

我々は、公式登録データに基づいて研究した。しかし、スウェーデン癌登録においてすべての癌症例が完全に登録されているかどうかは疑問の余地がある。登録における過少報告は、主に癌診断に関する細胞学と組織病理学の欠如に関係している。特に内臓腫瘍は、2009年の研究において過少報告された。膵臓および胆道ガンを調査する別の研究でも、1990～2009年間のスウェーデン癌登録に重大な過少報告が見られた。残念なことに、甲状腺癌登録の完全性に関する研究はない。

### 結論

本研究では、スウェーデンと北欧諸国の甲状腺癌の発症率の増加を示した。そのすべての増加が診断技術の進歩(より正確な画像診断)に起因するとは考えにくい。われわれの研究手法ではその因果関係を結論づけるには至らなかったが、調査から見られる甲状腺がんの増加と電離放射線の暴露の増加、X線断層写真撮影(CTスキャン)、高周波(非電離放射線)との因果関係についてさらなる研究が求められる。

---

2014年7月にも「甲状腺がんと携帯電話の相関可能性」に関するカナダなどの研究が報告されている。(がうす通信129号に掲載)以下その一部。

## カナダ、米、などの研究携帯電話と甲状腺癌増加の相関可能性

近年、米国、カナダ、イスラエルなど多くの国で「甲状腺がんが増加しており、携帯電話との相関の可能性」が報告されている(マイクロウェーブファクター 2014年7月9日の要約)。各国の報告のうち10件の報告の概要を以下に紹介。

[イスラエル、ハアレツ2013年3月6日]携帯電話の電磁波暴露の増加と甲状腺癌の増加との関連の可能性が確認されたはじめての研究である。

第1の実験では、健康な人から採取した甲状腺細胞に携帯電話と同じ電磁波を照射した。照射された甲状腺細胞は非常に高い増殖を見せ、照射されていない細胞との間に有意な差が見られた。第2の実験は違った方法と材料を使ったが、同様の結果が出た。研究結果はイスラエル耳鼻咽喉、頭部科の年次学会で2013年3月に発表された。

「この結果は、電磁波の暴露によって甲状腺細胞に変化が起きることの最初の証拠である」と研究チームのリーダー、ラファエル・フェインmesser教授(テルアビブ大学)は述べた。「しかし、携帯電話の電磁波と甲状腺癌との相関を言い切るにはまだ至っていない」

科学界では携帯電話の電磁波と癌の相関に関して2手に分かれている。ひとつは、携帯電話の電磁波は非電離であり、細胞内のDNAが変化を起こすことはありえないので、癌は起こさないという意見。しかし、近年では、携帯電話の電磁波と癌の促進、とりわけ、脳や唾液腺において携帯電話との相関を示す疫学的研究が増えている。「甲状腺は首にあり、脳と携帯電話の距離と、甲状腺と耳の距離は同じであるため電磁波の影響を受けていることがみられる」とフェインmesser教授は言う。