


令和4年10月20日

各原告の原因確率の計算方法と結果についての意見書

～311こども甲状腺がん裁判～

岡山大学大学院環境生命科学研究科・教授

医師・医学博士

津田敏秀 

日本衛生学会エキスパート

## 内容

第 1. はじめに .....	3
第 2. 原因確率の意味 .....	3
2-1. 基本的考え方 .....	3
2-2. 様々な倍率から原因確率を求める .....	6
第 3. 曝露量(被ばく量)が不明確である点の考察 .....	8
3-1. 因果の連鎖と事実の連鎖 .....	8
3-2. 病因物質への曝露情報や曝露分類の考察 .....	10
3-3. 被ばく量 病気の発症 に矛盾が生じたらどちらを信じるか? .....	15
3-4. 曝露量が分からない時の原因確率 .....	16
第 4. 発生率比と標準化発生率比との違い .....	17
第 5. 交絡による誤差を補正する .....	18
5-1. 交絡の成立 .....	18
5-2. 交絡の調整 .....	22
第 6. 原告 7 患者における原因確率とその推定方法：応用 .....	25
巻末資料 1：福島県内の地域分けの根拠について .....	31
巻末資料 2：科学的エビデンスがある場合と科学的エビデンスがない場合の区別 .....	35
参考資料 3：原因確率が関係する用語と歴史 (Rothman 2021 より) .....	37
参考文献 .....	40

## 第 1. はじめに

本稿では、2011 年 3 月の中旬、福島第一原発の過酷事故に遭遇し、甲状腺がんを発生もしくは検査により発見された原告 7 名が、同過酷事故により甲状腺がんを発生し検出された確率を、それぞれの原告について推定します。なお、この原告症例らは、全例、最終的には手術やその次の段階の再治療に至っています。

当時、福島県内で過酷事故に遭遇し、その後、甲状腺がんを発生もしくは検出された患者が、福島県内で過酷事故に遭わなければ、甲状腺がんがなかったであろう、この確率を、本意見書では「原因確率」と呼びます。「福島県内で過酷事故に遭わなければ、甲状腺がんがなかったであろう」確率とは、英語で表現すると、仮定法過去完了形ですので、過去形で言い直しますと「福島県内で過酷事故に遭ったために、甲状腺がんになかった」確率です。法曹では、「あれなければこれなしを示せ」と言及されることが多いようですが、その「あれなければこれなし」を確率で示したものです。なお、現代因果関係論では、因果関係は、自然科学諸分野の共通言語(Lachin 2011)として用いられる確率で示すことになっています(Pearl 2009)。

この「原因確率」という呼び方に関しては、他に様々な呼び方がありますが、本意見書では、1980 年代に使われた言い方ですが、簡単な表現ですので、ここで代表させて「原因確率」と取りあえず呼びます。いまの教科書では、様々な呼び方があるものの、寄与分画というような用語が用いられているのを見かけます(Rothman 2012)。これ以外の呼び方のいくつかは、疫学の包括テキストから採用したものを、本意見書の末尾の方にも紹介しております。必要であれば参照してください(Rothman 2021)。原因確率関連する専門用語が多いのは、その歴史的経過も関連しています。Rothman ら(2021)は、この点も、短くまとめていますので、私の補足と共に後に示します。

## 第 2. 原因確率の意味

### 2-1. 基本的考え方

原因確率の意味を掴んでいただくために、図 1-A と図 1-B の 2 つの図を使って説明します。

図 1-A は、左右に長い楕円は、100 万人を 1 年間観察しているという人数と時間の総合計です。この図の 100 万人にはこれまでも現在も被ばくをしていないと、ここでは想定していますので「曝露されなかった人々」と記載しています。そして、白○が示すのは、曝露

されなくても発症した 2 例の甲状腺がん症例です。つまり、この図が示すことは、例年は被ばくとは関係なしに 100 万人に 2 症例ずつのペースで甲状腺がんが発生しているということを示しています。

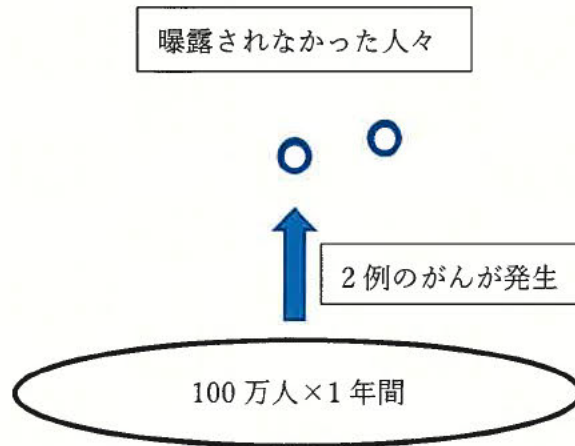


図 1-A. 1 年間観察していると、例年は曝露とは関係なしに 100 万人に 2 例ずつのペースでがんが発生している。その曝露されなくて甲状腺がんになった 2 例を白丸○で描いた。

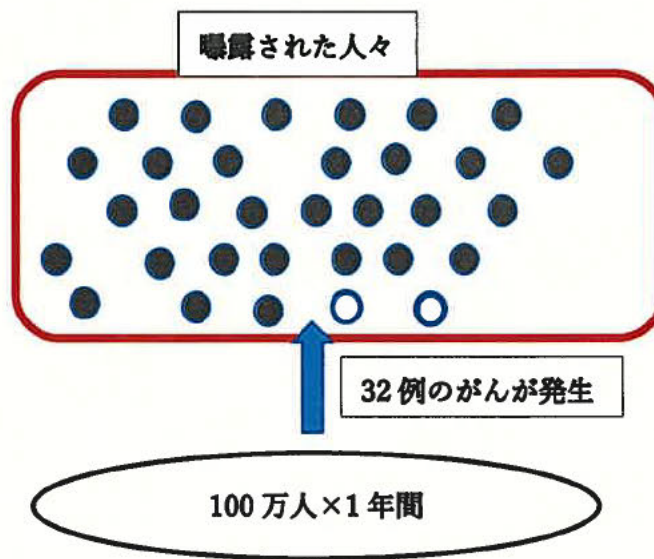


図 1-B. 曝露された人々と甲状腺がんになった人々(32 例). 1 年間観察していると、例年は曝露とは関係なしに 100 万人に 2 例ずつのペースで甲状腺がんが発生しているが、曝露されると、100 万人に 32 例のペースで甲状腺がん患者が追加で発生してくるというイメージ. 非曝露でも発生する症例を白丸○で、曝露がないと発症しない症例を黒丸●で描いた. 赤枠は、「曝露され甲状腺がんが発生した」32 例の中で 2 例は「曝露がなくても甲状腺がんが発生した(であろう)」ということを示すために赤枠で囲んだ.

次の図 1-B では、左右に長い楕円が、同様に 100 万人を 1 年間観察しているという人数と時間の総合計です。しかし、この図 1-B の楕円の 100 万人は過去に、時期はともかく順次、全員が一定の放射線被ばくをしました。従って、その分、図 1-B では、甲状腺がん 32 例が観察されました。

被ばくにより甲状腺がんが多発することは良く知られています。放射線は「人体における発がん性」があります(<http://www.iarc.fr> : 国際がん研究機関)。図では黒●が、曝露がない時(被ばくがない時)には 100 万人に含まれていて甲状腺がんは発生しなかったが、被ばくにより発生した症例として 30 例が示されています。その右下に白○が甲状腺がん 2 症例分として描かれています。この 2 症例もまた、放射線に曝露され、被ばくにより甲状腺がんを発症したわけではありません。被ばくがあろうとも被ばくがなかろうとも、甲状腺がんを発症した症例です。ただ見かけ上は、単に、被ばくをし、甲状腺がんを発症した 2 症例ですので、本来は黒●で示されるべきです。しかし、黒●の甲状腺がん症例とは、被ばくしたという点でも甲状腺がん症例である点でも、全く外面からは区別が付きません。

しかし、あえて白○で黒●から区別したのは、この 2 症例が、曝露されて甲状腺がん 2 症例として発症したものの、たとえ曝露がなくても甲状腺がんを発症したはずの 2 症例だからです。曝露がなかったとしても 2 症例が発症し得るということは、図 1-A の状況を観察した時点で、私たちはすでに知っています。従って、被ばくして甲状腺がんを発症した全体の 32 例のうち、どの被ばく症例がその 2 例に相当するかは分かりませんが、2 例は存在したはずでした。どの症例かは分からない以上、私たちは直接観察することが不可能です。これを受けて、確率・割合として、被ばく甲状腺がん症例の 32 例の甲状腺がんのうち、32 例分の 2 例の確率で、もし被ばくしなくても甲状腺がんを発症したであろうということをご概念として持つことができます。従って、現実では分からないので図では白○で区別しました。それが図-B が示す白○です。

図 1-B では、被ばくして甲状腺がんを発症した 32 例が赤い枠で囲まれています。これは被ばくして甲状腺がんを発症した 32 例に注目していただくためです。この被ばくして甲状腺がんを発症した 32 例、つまり、2011 年 3 月中旬から下旬に福島県に居住していれば図 1-B の下に描かれた被ばくした 100 万人のうち、甲状腺がんを発症した 32 例の中には、もし被ばくしていなくても甲状腺がんを発症した症例が 2 例(白○で示した)いるということをご、赤枠の中で強調して注目してもらうためです。

そうすると被ばくして甲状腺がんを発症した 32 例中、同様に被ばくして甲状腺がんを発症したとはいえ 2 例という確率で、もし被ばくしていなくても甲状腺がんを発症した

う症例が混入していることが、この赤枠の中でさらに強調されます。そして、32例から白○の2例を省いたその残り、32例中30例(93.8%)が、「被ばくして甲状腺がんを発症した患者が、被ばくによって甲状腺がんを発症した確率」、すなわち原因確率(寄与分画)になります。

なお、申し添えますが、原因確率は少しでもゼロを上回ると、理論的には(ルール上・原理上)因果関係があることになります。また、繰り返しますが、原因確率が与える確率値は、本来の原因確率の値の下限であることは忘れてはならないでしょう。つまり、曝露によって病気になった確率である本来の原因確率は、与えられた原因確率より大きいということです(Rothman 2021)。

## 2-2. 様々な倍率から原因確率を求める

「甲状腺がんの問題についての意見書」の第1章で説明しましたように、原因確率は、発生率比 IRR、リスク比 RR、オッズ比 OR などの倍率さえ求められていれば、倍率から以下のように簡単に求められます。倍率は本来的には、非曝露群の病気の頻度に比べて曝露群での病気の頻度が「何倍」あるのかという指標として共通していますので、式が同じになるのも当然です。

$$(IRR - 1) \div IRR$$

$$(RR - 1) \div RR$$

$$(OR - 1) \div OR$$

ここで、文字で表現し倍率(比の指標)でなく、病気の(頻度の)指標として書き直しますと、

$$\text{原因確率} = (\text{曝露群の発生率} - \text{非曝露群の発生率}) \div \text{曝露群の発生率}$$

この式を、非曝露群の発生率で割ると…

$$\begin{aligned} \text{原因確率} &= \text{曝露群の発生率} \div \text{非曝露群の発生率} = \text{曝露群の発生率比} \\ &= \text{曝露群の標準化発生率比} \end{aligned}$$

(注)標準化していますので発生率比と少しずれてます

(なお曝露群の発生率比を「甲状腺がんの問題についての意見書」の第1章では、「倍率」と総称していますので、以下のリスク比にもオッズ比にも当てはまります)

$$\text{非曝露群の発生率} \div \text{非曝露群の発生率} = 1(\text{倍}) \text{ ですので、} \dots$$

$$\text{従って、} (\text{曝露群の発生率比} - 1) \div \text{曝露群の発生率比} \quad \text{—式(1)}$$

となり、…

$$\text{原因確率} = (\text{IRR} - 1) \div \text{IRR} \quad (\text{式(1)の②})$$

も出てきます。これは、総称である「倍率」を意識すると、…

$$\text{原因確率} = (\text{倍率} - 1) \div \text{倍率} \quad - \text{式(1)の③}$$

以下、同様に、リスク比も、オッズ比も、標準化発生率比も、…

$$\text{原因確率} = (\text{リスク比} - 1) \div \text{リスク比} \quad \text{式(1)の④}$$

$$\text{原因確率} = (\text{オッズ比} - 1) \div \text{オッズ比} \quad \text{式(1)の⑤}$$

$$\text{原因確率} = (\text{標準化発生率比} - 1) \div \text{標準化発生率比} \quad \text{式(1)の⑥}$$

なおここで上記の「下界値」の話が出てきますが(Rothman 2021)、ここでは深入りしません。

繰り返しになりますが、…

$$\text{原因確率} = (\text{曝露群のリスク} - \text{非曝露群のリスク}) \div \text{曝露群のリスク}$$

この式を、非曝露群のリスクで割ると  $(\text{RR} - 1) \div \text{RR}$  - 式(1)④

が出てきます。

オッズ比 OR は、様々な研究デザインで使われていますが、発生率比やリスク比のような倍率を推定しているのであれば、上記の原因確率  $= (\text{OR} - 1) \div \text{OR}$  - 式(1)⑤

が出てきます。要するに第1章でも説明したように、…

$$\text{原因確率} = 「(\text{倍率} - 1) \div \text{倍率}」 \quad - \text{式(1)③}$$

というわけです。

また、病気が発生する人口集団が同じ規模(人年もしくは人数)である場合は(つまり分母の大きさが同じである場合)、原因確率は次のように症例数(人数)で表せます。

$$\text{原因確率} = (\text{曝露群の症例数} - \text{非曝露群の症例数}) \div \text{曝露群の症例数} \quad - \text{式(1)⑦}$$

以上を、第5で原告それぞれの標準化発生率比に適用してゆきます(式(1)⑥)。なお、発生率比と標準化発生率比との違いは、第4を参照してください。

### 第3. 曝露量(被ばく量)が不明確である点の考察

#### 3-1. 因果の連鎖と事実の連鎖

事実の(見かけかもしれない時間的な)連鎖が因果の連鎖であると考えても構わないのかに関して確認しておく必要があります。事実の連鎖の一群が揃っていても、その前後関係や多原因・多結果の繋がり具合が不明確なままでは、一見、事実の連鎖の中には因果の連鎖とは考えられない場合もあります。また、他の被ばく事例や甲状腺がんの多発事例で、どのようなことが分かっているのかを点検したり、今回の原告に起こった一連の事実が、どのような規模で生じたのかということを確認したりするのは重要です。さらに、十分条件でも必要条件でもないものの、甲状腺がんの発生や被ばくとの関連に関するメカニズムについても検討しておくことと納得の程度も異なってくるでしょう。ただ、小児青年の甲状腺がんが何例多発したところで、原子力発電所の過酷事故が起こることはあり得ませんので、因果の連鎖の向きは逆にはなりません。また何度か触れますが、甲状腺がんは放射線被ばくが原因以外には、あまり原因と呼べるような外部からの原因(外因)が知られていませんので、この点でも因果推論は行いやすいと思います。

小児青年の甲状腺がんの原因としてまず考えられる放射性ヨウ素の曝露量、被ばく量が分からなかったとしても、その被ばくと小児青年の甲状腺がんの因果関係に関しても十分に可能です。まず、そもそも、放射性ヨウ素の人体における発がん性、特に甲状腺がん発がんに関しては、ヒトだけでなく動物実験でも示されており、外部被ばくと内部被ばくともに、そのメカニズムもよく分かっています。放射性ヨウ素の内部被ばくに関してもまた、甲状腺ホルモンを分泌する甲状腺という臓器がヨウ素を比較的多く取り込むために放射性核種である放射性ヨウ素を集めやすいということも、よく知られています。外部被ばくで引き起こされる人のがんでは、その代表格の1つと言えるぐらいに甲状腺がんは目立ちます。チェルノブイリ原発事故後のような原子力事故や大気圏内核実験においては、大量の放射性ヨウ素が放出され、それが多数の甲状腺がんを発生させることも知られています。

本件で原因として問題となっている福島第一原子力発電所事故により、放射性ヨウ素が大量に放出されたことに関しては疑いの余地はありません。その量は、チェルノブイリ原子力発電所事故の7分の1とも言われています。そして、福島県の東側の人口密度はチェルノブイリ原発の片側に広がるベラルーシ・ゴメリ州の約6倍程度と高いことが分かっています。ベラルーシの国家統計によりますと、小児の甲状腺がん発生数は、事故前の100倍を超えました。従って、控えめに見ても、福島県で数十倍の甲状腺がんが多発しても何の不思議もありません。甲状腺がんを数十倍や100倍を超えるほど著しく多発させる原因は放射性ヨウ素、しかも原発事故で放出された放射性ヨウ素しか知られていません。日本人は食物中のヨウ素量が多く、そのため放射性ヨウ素の取り込み量は少ない(だから原発事



故が起こっても甲状腺がんも少ないだろう)としばしば言われていますが、食物中のヨウ素ががんの予防に効果があるという知見はありません。一方、チェルノブイリ原発事故後の知見では、安定ヨウ素剤を服用した住民では、甲状腺がんの発生率が2分の1や3分の1に抑えられたという知見がありますが、福島県では、三春町・双葉町、福島県立医科大学の職員や家族など、一部の例外を除いて、安定ヨウ素剤はほとんど服用されていなかったことは良く知られています。

つまり、原子力発電所の過酷事故、放射性ヨウ素の放出、放射性ヨウ素の被ばく、小児青年の甲状腺がんの大量発生 of 因果の連鎖は、良く知られそれを否定する要因は、福島県では見当たりません。なお、放射性ヨウ素の内部被ばくによる甲状腺がんの発生は医療用途の放射性ヨウ素でも知られています。同様に、小児青年の甲状腺がんの多発といえば、放射性ヨウ素への曝露が真っ先に挙げられ、その他の要因は、同じく放射線の外部被ばくや年齢などの人体内部の要因しか知られていません。広い範囲の放射性ヨウ素の曝露は、原発事故、大気圏内核実験ぐらいしか知られていません。つまり、原子力発電所の過酷事故、人口集団に達する放射性ヨウ素の放出とその人口集団への曝露、その人口集団における小児青年の甲状腺がんの数十倍を超える多発という連鎖、そして逆に、小児青年の甲状腺がんの数十倍の県単位の広い範囲での多発の原因としては大気中もしくは飲食物中の放射性ヨウ素しか想定できず、待機中もしくは飲食物中の放射性ヨウ素による広範囲の汚染は大気圏内での核分裂実験と原子力発電所の過酷事故しか知られていません。そして大気圏内の核実験は1960年代禁止され、それ以降は行われていません。残るは、原子力発電所の過酷事故しかありませんが、その原子力発電所の過酷事故は、原告7名の甲状腺がんの発生の前の2011年3月11日に発生しました。時間順序の通りに考えても、時間順序の逆方向に考えても、この一連の事実の時間的な流れ・関連とその判明に関しては、どなたも異論がないでしょう。

関連が問題となった時にその関連を疑う視点としては、疫学理論上では(倍率の)誤差の問題として知られています。倍率の誤差としては、偶然による変動と系統的誤差(バイアス; 選択バイアス、交絡バイアス、曝露の誤分類と病気の誤分類からなる情報バイアス)があります。福島県全県の18歳以下の全住民が調べられていますので多数の十分な観察が得られており、偶然による変動誤差はほとんど考えなくて良いでしょう。選択バイアスも、実際に行われた検査では徐々に参加割合が下がっているものの、例えば先行検査においては人口の8割以上が参加しており、結果に大きな誤差が与えられるとは考えられません。また一連の因果の流れを考察してみますと、福島県で行われた超音波エコーの検査の一巡に時間がかかり事故からの時間経過と関連してしまったという以外の、原因と結果の両方に影響を及ぼす要因(これが交絡バイアスを及ぼす交絡要因)は考えられません。なお、事故からの時間経過は原因曝露に関連し、超音波エコー検査の一巡の経過時間は結果の甲状

腺がんの発生と成長の検出に影響を及ぼしていますので、交絡を発生させます。この交絡に関しては考察と調整を「甲状腺がんの問題についての意見書」の第 2 章で説明しています。また、情報バイアスとしての病気の誤分類も「過剰診断の問題」として、「甲状腺がんの問題についての意見書」の中で説明をおこなっています。残る情報バイアスとしての曝露の誤分類は、曝露情報に幅があり過ぎるとか個人曝露量が明瞭に判明していない問題として以下に書いてゆきます。

### 3-2. 病因物質への曝露情報や曝露分類の考察

原告の甲状腺がんを発生させた物質を、病気の「病因物質」と呼びます。これは食中毒事件を扱う生活衛生課や食品保健課などの行政で使っている用語です。病因物質は原因とも考えられなくもないですが、本来の原因である原子力発電所の過酷事故や安定ヨウ素剤の服用の有無、居住歴などの曝露機会などの原因と区別するために、放射性ヨウ素などの物質は病因物質と呼ばれることが多いです。これは原因や原因曝露と区別するためでもあります。

正確なあるいは、だいたいの曝露量が明らかになることは、実は実際の環境汚染の場面では、あまりありません。環境汚染が予期される場面が分かってないと、環境測定は様々な準備が必要なわけです。従って、環境汚染の際にそのような準備ができていない場合は一部を除いて珍しいからです。一方、環境汚染測定が可能なら予期されていれば、汚染以前に、一部の例外を除いて、環境汚染が起こらないようにする対応もなされますので、現実としては、環境汚染もそれによる健康被害も起こりません。

福島第一原発過酷事故でも、大震災や事故が起こることが分かっていたら、被ばく量測定がなされる可能性もあったかもしれませんが、そんなことが分かるためには、少なくとも東日本大震災を起こした巨大地震が予知されねばなりません。予知というより早期の被ばく状況を与えるために装備されていた SPEEDI(緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム)の測定値はかなりの被ばく量が示されていました。すなわち、3月12日午前6時から24日0時の間には、避難区域を含む13市町村ばかりでなく北は伊達市から南はいわき市にかけて甲状腺等価線量で100mSvを上回る被ばくが観察されていました(図2)。しかし、このSPEEDIの運用は事故後まもなく、3月半ば過ぎには運用が停止され、今日あまり言及されていません。これ以外の曝露量(被ばく量)測定もいくつかありますが、その値は大きくばらついています。さらに、本件の甲状腺がんに大きな影響を及ぼす放射性ヨウ素に関しては、半減期が非常に短く、例えば、放出量の多かった核種の1つである放射性ヨウ素131は8日です。これは放射性ヨウ素の中でも長い方ですが、2~3か月も経過するとごく微量になり、測定は次第に困難になってしまいました。

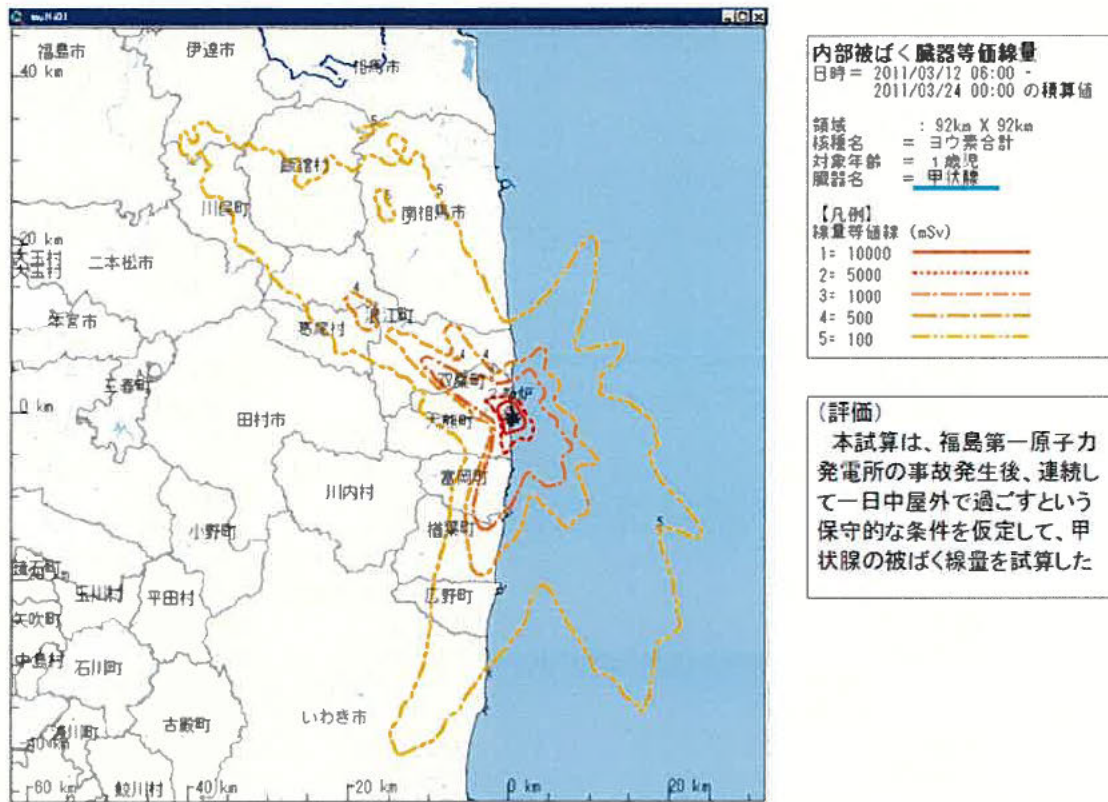


図 2. 平成 23 年 3 月 23 日、内閣府原子力安全委員会プレス発表「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI) の試算について」より。

しかし、病気の原因とされる物質の曝露量が正確に測定できなくても、すでに「甲状腺がんの問題についての意見書」の第 1 章で書きましたように、たとえ曝露量(被ばく量)が全く不明であっても、曝露があった事実はだいたい分かっているのですから、事故による影響の程度を知る手段はいくらでもあります。従って、因果関係を推論することも全く可能であり、歴史的にも、このような状況で因果推論が行われて様々な因果関係が明らかになってきました。このような例の最も先進的な例として、コレラ菌が同定される約 30 年前には、コレラの原因が判明しており、対策もなされたことは「甲状腺がんの問題についての意見書」の第 1 章で説明しました。

曝露がない状況では(被ばくがない状況では)、ほとんど発生しない小児の甲状腺がんですので(100 万人に年間 2 人程度)、複数発生した小児甲状腺がんの頻度そのものが、放射性ヨウ素の厳密な測定値と言えます。自然界には放射性ヨウ素が存在しないからです。このように有害物質による人体影響そのものや、有害物質による人体での代謝物質を測定することにより曝露を推定することを、生物学的モニタリングと言います。産業医学分野では、実際にしばしば見かける確立された方法です。このような状況を踏まえると、曝露量(被ば

く量)が正確に測定されていないからといって、原因曝露による影響が明らかにならないとは言えません。

さらに、人を対象とした医学研究においては、通常、曝露量(被ばく量に相当)を用いるというよりも、自然の実験 Natural Experiment、ITT 分析、操作変数 Instrumental Variable という曝露の指標や曝露の割り当ての方を重視します。曝露量そのものは、信頼に足る結果を得るため、また、影響の測定誤差による間違いがヒトに危険な方向に向かわないようにするために、2 の次になるのです。新薬の治験では、この方法を利用した ITT 分析の結果の方が第一優先されるように義務付けられています。この例から言えるのは、医学では、特に薬の効果のように厳密な判断が要求される場面では、福島の場合例えば、事故によって放出された放射性物質が、既存の行政区画内に割り当てられたように分析する方が、費用や手間をかけて被ばく量を個別にせつせと測定するよりも信頼され優先されるのです。

福島県で行われた曝露測定では、内部比較が行われた研究で、放射性ヨウ素の被ばく量以外の放射線被ばく量の指標が使われて分析されているのを見かけます。本来関心がある放射性ヨウ素の半減期が短いため、すでに消えてしまっているためですが、放射線関係の指標とはいえ、当然、本来の放射性ヨウ素の曝露量とのズレがあります。「本来の」とは言っても、突き詰めると現実には決して分からない概念です。なお、このズレは、non-differential な曝露の誤分類ですので、理論上、倍率 1 倍の方向に過小評価されたバイアスが生じます。さらにこの他の被ばく量にも測定における何らかの誤差が入っています。

しかし、それでも被ばく量が多いと甲状腺がんの検出頻度は上がっていました。今のところ、統計的に有意な増加ではないと無視されていますが、こうなるのは内部被ばくなのに、細かく分け過ぎたり、解析の方法を間違えたりの教科書的なミスがあったため影響が過小評価されたのが原因です。しかも 100mSv 論に関する意見書などの私の一連の意見書において何度も指摘してきた、2016 年のアメリカ統計学会 ASA による警告に違反して、検討委員会の分析は統計的有意差の有無のみの判断や、P 値のみの判断に基づいています。これは世界の科学者が批判する誤った判断方法です。自然の実験などの操作変数の考え方を取り入れなかった時のデメリットは明らかです。

自然の実験などの操作変数の考え方を取り入れ、因果関係の判断に用いられた例は、大気汚染研究など、たくさんあります(Davies 2013)。例えば、図は四日市ぜんそく事件の裁判で、大気汚染による病気への因果関係が認められた証拠ですが、棒グラフの下に、毎日の 2 酸化硫黄 SO<sub>2</sub> 濃度や降下煤塵の月別量が添えられています。ただ、これが正確なものなのか、どれくらいの日や月の平均の量なのか、はっきりと分かりません。それでも、磯津、塩浜(北)、塩浜(南)の順で汚染が激しかったことは分かります、四日市コンビナートか

らの距離もこの通りです(図3、図4)。「非汚染地区」と呼ばれている四郷はやや汚染源のコンビナートに近く、桜地区と四日市コンビナートとの間ぐらいに位置します。富洲原地区は伊勢湾沿いですが、コンビナートからは直線で5kmは離れているでしょう。四郷や桜も含めて、非汚染とはいっても何らかの、恐らくはコンビナートの汚染が及んで汚染があったであろうことは、およそ想像が付きまします。そしてコンビナートから各地区の離れる順番で慢性気管支炎や閉塞性障害という大気汚染関連症状の発生率(実際は有病割合で%)が低くなっていて、コンビナートからの硫酸化物や煤塵の影響が良く表わされています。何らかの関連濃度を貼り付けたり、事故を起こした原発からの直線距離やプルームの流れに添った距離を貼り付けたりするのは、福島県の放射性ヨウ素であっても可能でしょう。

硫酸化物や煤塵(PM2.5)による慢性気管支炎は、非曝露であれば、年間に100万人に2人程度の発生率である小児青年の甲状腺がんとは大きく異なっており、非曝露でも、ある程度の発生がある病気です。従って、大気汚染濃度の情報がなくても、慢性気管支炎や閉塞性障害の発生率からコンビナートと居住地域との関係や距離の順番はだいたい分かります。また、測定値がなくても、関連汚染物質の大気中濃度の相対的高さも分かります。病気の頻度からだけでも、背景知識があることもあり、これだけの情報が分かるのです。

図5-6 四日市市内6地区における慢性気管支炎有症状者率と閉塞性呼吸機能障害者率

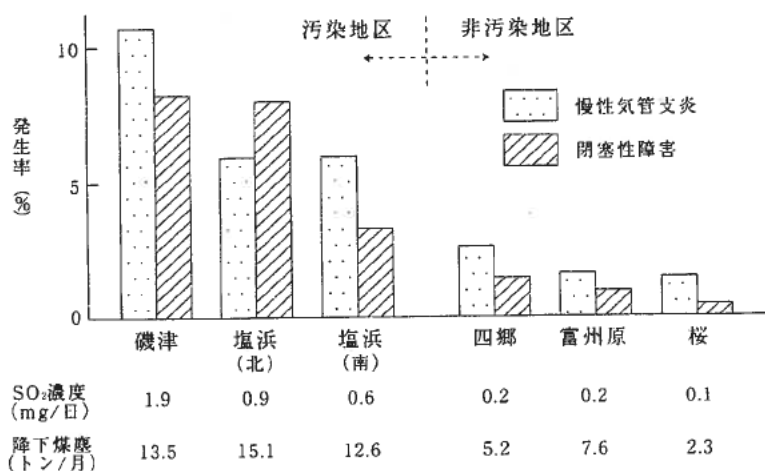


図3. 四日市市内6地区における(3地区は汚染地区、3地区は非汚染地区)慢性気管支炎有病割合とぜんそく有病割合。『四日市ぜんそく』吉田克己著、柏書房、2002。

そして「甲状腺がんの問題について」の意見で、何度も強調しますように、人間で判れば、すなわち人を観察対象とした疫学研究で因果関係が判明すれば、科学的な因果関係が判明します。従って、福島第一原子力発電所の過酷事故と、その後に検出・発生した数十倍の小児青年の甲状腺がんとの因果関係があることはすでに判明しています。放射性ヨウ素がその役割を果たした病因物質であることが判明していますので、福島第一原子力発電

所の過酷事故の件においては、この点を踏まえますと、動物実験においてもメカニズム実験でも因果関係は判明しています。しかし、この点は、上記のように疫学研究結果が、ヒトにおける因果関係判明の十分条件ですので、すでに大きな問題とも言えませんが、多くの人たちの納得が得られやすい点でしょう。さらに放射性ヨウ素と甲状腺がん、原子力発電所の過酷事故と甲状腺がんという背景知識がよく揃っていますので、先ほど説明したように、被ばくがない状況においてほとんど発生のない小児の甲状腺がんですので(100万人に年間2人程度)、多数発生した小児甲状腺がんの頻度そのものが、半減期8日間で消えてしまった今となつては、利用可能な放射性ヨウ素の厳密な測定値であると言えます。

なお、病気の診断の問題に関しては、過剰診断の問題と共に、「甲状腺がんの問題についての意見書」の第2章以下で検討します。



図4. 地図の説明：磯津の海岸あたりが磯津地区、その北の鈴鹿川を挟んで北側が四日市コンビナートで、川と近鉄名古屋線の交差する北側の塩浜駅から南方が塩浜地区、西日野駅の西約2kmが四郷地区、北東側の近鉄名古屋線の川越富洲原駅あたりが富洲原地区、北西に伸びる近鉄湯山線桜駅の西側の桜地区、

### 3-3. 被ばく量 病気の発症 に矛盾が生じたらどちらを信じるか？

すでに「甲状腺がんの問題についての意見書」第1章 1-7にも書きましたように、曝露が分からないことは因果関係の推論に大して影響を与えません。「しかし、正確な曝露量が測定可能であり、そのような正確な曝露量が示されているはずだ、たとえ、チェルノブイリ原発事故後に通常の方法とは異なる方法で30分の1程度の被ばく量を推定したと報告(Schmitz-Feuerhake 2009, 2012)されている UNSCEAR であっても、極めて正確な曝露量を提示しているはずだ」と考えられている方のために、曝露量が不明確でも因果関係の推論が可能であることを、前節でお示ししました。通常の医学では、曝露量が明確で信頼できるものであってさえ、ITT 分析や自然の実験というような操作変数を用いることが、まず要求されることが基本であることもお話ししました。

四日市ぜんそくの件も含めて、曝露量が添えられていても、本当にその量が曝露したかどうかは厳密には分かりません。ましてや累積曝露なんて分からず、また累積曝露かピーク時曝露のどちらが影響を一番及ぼすのかさえも分かりません。しかし、原発周辺の市町村で最も被ばく量が高く、そして最も甲状腺がんの発生頻度も高いことが示されています。一方、被ばく量は北東の相馬市あたり、会津地方や福島県南東部の矢祭町が低く、甲状腺がん頻度も最も低いのです。しかもその会津地方や矢祭町辺りでも、全国のほとんどの市町村よりは遥かに高いことは記録にも残っています。これらの情報に異論がある人はいないでしょう。元々、正確な曝露量は得られないわけですから、どこが高くどこが低いかの順番さえだいたい分かれば良いのです。順序変数と言われる序列さえ決まれば「あ、い、う」という記号であっても良いのです。2011年3月31日の空間線量率でも構わないのです。記号の識別と、順序付けができれば良いのです。これは、「唯名論」と呼ばれる、昔からある哲学の1つの考え方でもあります。

では、測定曝露量(今回は放射性ヨウ素予測量)と疾病発生数(今回は甲状腺がん検出数)との値が、だいたい合致している時はともかくとして、どう見ても食い違っている時はどう致しましょう。例えば今回のように、「数十倍の多発」を思わせる疾病発生・検出頻度と、「低い」ので甲状腺がんが多発するほどではないと言われている曝露量とが一致しないような場合です。この時、どちらが信用できるかという問題です。これは疾病頻度の方であることに異論がある方はいないでしょう。特に放射性ヨウ素のように半減期が8日で、他の測定値では1,000mSv以上を示した測定もある中です。しかも、測定値を何十分の1に報告したような前科のある UNSCEAR による被ばく量予測値です(Schmitz-Feuerhake 2009, Tsuda 2009)。迷う人はいないでしょう。万一、曝露量は絶対に信用できるとの主張があるならば、その曝露量で、この疾病数が発生したと考えざるを得ません。「甲状腺がんの問題についての意見書」でも書いていますが、チェルノブイリ原発事故後には、ベラルーシの外部比較で、事故前より100倍以上の多発が発生しました。福島県の外部比較で、日本全

国と比較して数十倍の多発が発生しても不思議はありません。もちろん、疾病数の今一度の教え直しも必要かもしれませんが、福島県のように手術が行われ、病理組織診が大部分の症例で行われている場合は信頼できるでしょう。もちろん、「甲状腺がんの問題についての意見書」でも説明しましたように、通常のがん検診のシステムでは、過剰診断などほとんど起こり得ません。他にも、チェルノブイリ原発事故後の甲状腺がん発生倍率のように、内部比較により過小評価された倍率ばかりが流布していて、外部比較の倍率があまり知られていない場合もあり得ます。

#### 3-4. 曝露量が分からない時の原因確率

曝露(被ばく)があったようだが、被ばく量はあまり分からないという場合、「被ばくがあつて病気になった人が、被ばくにより病気になった確率」である原因確率は、単に「病気になった人が、被ばくによって病気になった確率(病気になった人が、被ばくがなければ病気にならなかった確率)」になります。この確率は、疫学分野では人口寄与危険度割合と呼んだりします (Rothman 1986)。ここで、人口寄与危険度割合と原因確率との関係は、甲状腺がん症例の中の曝露割合を ExP としますと、

$$\text{原因確率} \times \text{ExP} = \text{人口寄与危険度割合}$$

で求められます。ExP は 0%~100%の値を取る割合(確率)ですので、人口寄与危険度割合は原因確率よりも、同じか、より小さい値を取ります。

この人口寄与危険度割合、曝露不明で病気になった患者が、曝露により病気になった確率は、因果関係論の教科書では、無能化の確率 Probability of Disablement: PD として定義されています (Pearl 2009)。上記の、自然の実験 Natural Experiment、ITT 分析、操作変数 Instrumental Variable も、一部この人口寄与危険度割合の考え方を一部利用しているとも言えます。なぜなら操作変数等は、正確で厳密な曝露量は現実の医療や公衆衛生問題では分かり得ないので、曝露をある程度反映しているとみられる代替の指標を使っているからです。厳密で正確な曝露量と曝露指標との間では、曝露した人と曝露しなかった人が、混ざり合っています。これが曝露群寄与危険度割合と呼ばれる原因確率と人口寄与危険度割合との違いとの関係とも言えます。疫学では「人口 population」といった時には、通常、曝露した人(exposed)と非曝露だった人(unexposed)とが混ざり合っていることを指します。

曝露量が不明瞭な時、原因確率は、「甲状腺がんの問題についての意見書」の第1章で紹介した曝露のノンディファレンシャルな誤分類で過小評価(倍率で1倍の方向、原因確率と



しては 0%の方向)にバイアスされます。従って、曝露量が明確であれば、実際はもっと高いと理論的に言えます。なお、本稿での原因確率は、1990 年頃まで言われていた原因確率の意味です(Council of Scientific Affairs 1987)。現在、本来の意味での原因確率 (テキストでは「原因の確率」と呼んでいます。) の下界値を、本稿で呼ぶところの原因確率が示していることが知られています(Rothman 2021)ので、測定された確率より、一般的に、実際はもっと大きい可能性があることとなります。

#### 第 4. 発生率比と標準化発生率比との違い

年齢などの曝露と病気以外の要因に関して、調整や標準化をしていない発生率比のことは、通常は、「粗発生率比」と呼んだりしますが、ここでは、粗発生率比を、単に、発生率比と呼びます。発生率は、「甲状腺がんの問題についての意見書」第 1 章で説明しましたように、患者数÷患者が発生してきた人口×観察時間 (がんの場合は「人年」と呼ばれます)、という単純な割り算で計算できます。

ここで、福島県では各地区の年齢分布が異なるはずという指摘が出ることがあります。特に、18 歳を超えると時期により、県外に出る対象者が出てくるので、この分だけ年齢分布が異なり、この異なりが倍率(発生率比)や原因確率に影響を与えて誤差が入るのではないかという指摘があり得ます。幸いにも、福島県の県民健康調査検討委員会で発表されるデータは、対象者の年齢別分布をだいたい 5 歳刻みで発表されています。これにより、5 歳刻みの標準化(5 歳刻みの年齢調整)が可能になります。計算方法は以下の通りです。

なお、医学部や保健学部などの保健医療系の学部では、学部の 1 年生から 2 年生あたりで、この計算方法を学びます。福島県の甲状腺がんの発生率および人口構成を、全国の甲状腺がんの発生率と人口構成を比較していますので、前者の福島県のそれぞれの地区の人口を「対象人口」、後者の全国の人口を「基準人口」と、ここでは呼びます。また、全国の甲状腺がん発生率を対象人口構成に当てはめて得られる甲状腺がん発生数を「期待値」と呼ばれます。「期待 expected」というのは甲状腺がんに罹るのを期待しているかのように思われる時がありますが単に専門用語です。気になる方は「(全国の発生率から得られる)予測発生数」とでもしてください。

この方法は、年齢標準化間接法と一般に呼ばれ、都道府県単位のがんの発生率や死亡率のばらつきを比較する、がんマップの作製などに利用されてきました。一方、経年的に、徐々にがんが増えているか減っているかを見るための、がんの年次別推移は、年齢標準化直接法と呼ばれ、対象人口と基準人口とが間接法とは入れ替わります。

ここで、実際に発生した甲状腺がん発生数を「観察値 No. of Observed」と呼びますと、目標としている、観察値÷期待値＝標準化発生率比です。しばしば「O/E 比」とも書かれます。この、しばしば「O/E 比」あるいは SIR(Standardized Incidence Ratio)と呼ばれる年齢標準化間接法による倍率(発生率比)の計算方法は以下の通りです。なお、検査1回目の先行検査では、全対象者の約 80%が受診して分析対象になっていますので、発生数は検診による検出数のことです。

5 歳刻みの年齢構成それぞれの 5 歳刻みの年齢層＝

基準人口の 5 歳刻みの甲状腺がん発生率×対象集団の 5 歳刻みの年齢構成  
＝5 歳刻みのそれぞれの年齢層における期待甲状腺がん発生数

5 歳刻みのそれぞれの年齢層における期待甲状腺がん発生数の総合計（とはいっても、18 歳までの対象者ですので約 4 層の合計です）＝期待甲状腺がん発生数

## 第 5. 交絡による誤差を補正する

### 5-1. 交絡の成立

年齢標準化の紹介を行い、推定の準備をしてきた倍率ですが、もう 1 つ重要な誤差が生じています。甲状腺がんの意見書の第 2 章以降で詳しく説明しますが、それは「検査の順番という交絡要因による交絡」です。なお、交絡(による誤差)と交絡要因については、甲状腺がんの意見書の第 1 章で説明していますので、参考にしてください。

この交絡の成立とそれによる誤差をここで簡略に説明しますと、次のようになります。福島県の 18 歳以下の全県民を対象とする超音波エコーを用いた 1 次検査の順番は、過酷事故による被ばく線量が高かった地区から決められて実施されました。なお、この各地区の被ばく線量は、それぞれの地区の住民の被ばく線量を決定しています。

一方、例えば 2011 年 10 月～2014 年 3 月に、約 2 年 6 ヶ月かけて行われた先行検査では、長い時間がかかっているために、その間に住民に発生した甲状腺がんが成長してしまいます。この成長が 5 ミリを超えて超音波エコー検査で検出される甲状腺がん症例数に影響を与える可能性があります。これを因果関係論でも使う DAG と呼ばれる簡単な矢印図(Pearl 2009, 2016)で表現しますと、下記のような図 5-1 のようになります。なお DAG は「Directed Acyclic Graph 有向非巡回グラフ」と呼ばれますが、簡単なルールがあるフローチャート図と思ってください。ここで、各要因がお互いに影響を及ぼし合っていることが理解できますし、実際に影響を及ぼし合っていることは合意いただけるとは思いますが、これを分かりやすくするために簡略化してみます。

まず、「住民個々人の被ばく量=各地区の被ばく線量⇒検診の順番(が早い)」という3つの要因が2つの方向が異なる矢印によって結ばれている図5-1の左下の部分です。これはDAGのルールを使うと(Pearl 2009, 2016)、「検診<sup>1</sup>の順番⇒住民個々人の被ばく量」という2つの要因と1つの矢印のDAGへと省略できます(この矢印は正「+」の関連)。また、図5-1の右上の「検診の順番⇒原発事故から第1次検査までの経過時間⇒甲状腺がんの発達と成長⇒5.1mm以上の甲状腺がんの検出」という4つの要因が3つの同じ方向を向いている矢印によって結ばれている部分は、DAGのルールにより「検診の順番⇒5.1mm以上の甲状腺がんの検出」というDAGへと省略できます(この矢印は負「-」の関連)。この図5-1の簡略図を、図5-2として示します。

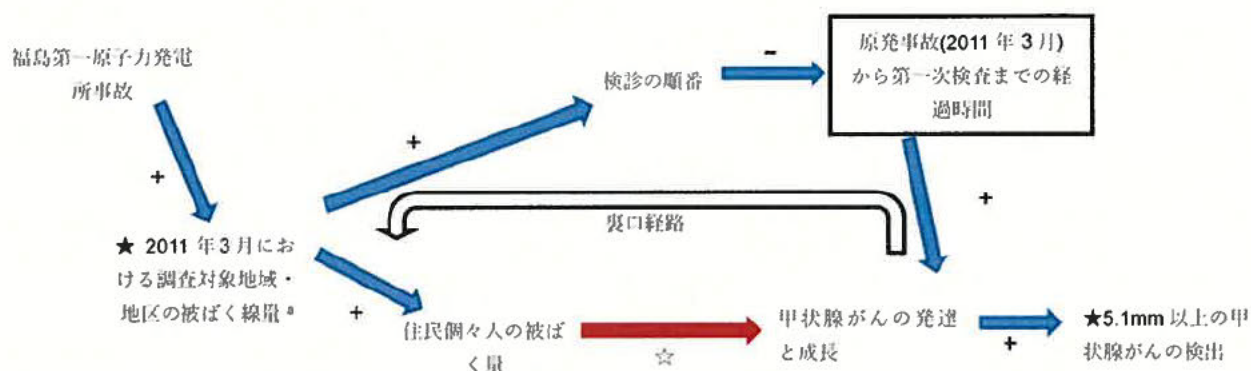


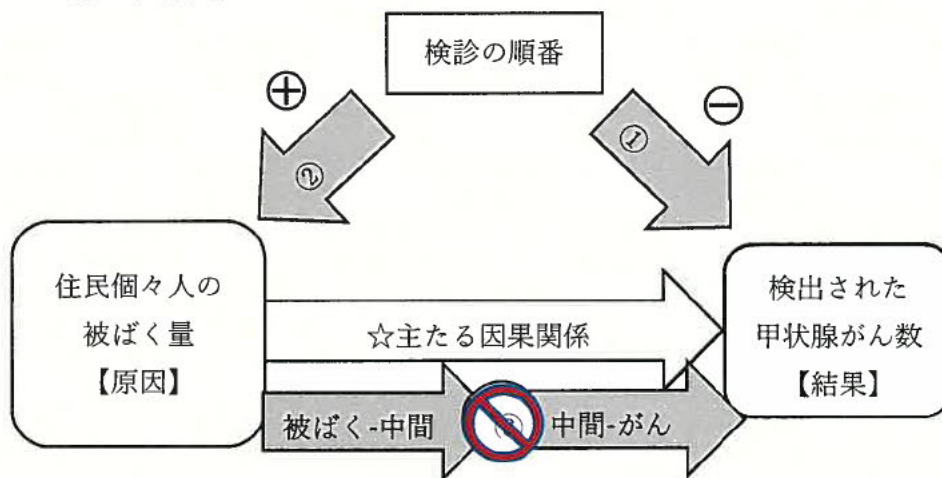
図 5-1. 福島原発事故で個人の被ばく量から甲状腺がんの検出に至る因果経路を示す DAG(「裏口経路」と示した逆向きの矢印が交絡の存在を示し、☆で示した主たる因果関係に誤差を及ぼしている)。

注：被ばく線量が高い地区から検診が始まったので、「検診の順番」とは「検診が早い順番」のこと。また「+」は正の関連(増加すれば増加を引き起こす)を示し、「-」は負の関連(減少すれば減少を引き起こす)を示す。ただし、「検診の順番」は、3番(遅い)が増加すると1番(早い)になるというように、順番が早いと増加しているという意味。

図 5-2 は、甲状腺がんの意見書の第 1 章で紹介した交絡の図にあてはめて、DAG のルールを用いて分かりやすく要因数を絞り、「住民個々人の被ばく量」(原因としての要因)と「検出された甲状腺がん数(割合)」(結果としての要因)、および「検診の順番」という、3つの

<sup>1</sup> ここでの DAG に示されている「検診」は、超音波エコー検査(1次検査)であることに注意をして下さい。1次検査と2次検査(より詳細な超音波検査、血液検査、尿検査や、場合によって実施される穿刺吸引細胞診)とは、はっきりと区別して考える必要があります。

要因へと簡略化した DAG を示しています。図 5-2 の①の矢印で示した、交絡要因(検診の順番)はその順番が遅いと(減少が引き起こされる意味となり)、「事故から検診への経過時間」が長過ぎて、これにより、検査により検出された甲状腺がん症例数を増加させるという「負の関連(因果関係)」を示していますので⊖のマークが付いています(上記の定義づけ、検診の順番で 1 番、2 番、3 番と数が増えると逆に量的には減るという定義に従ってます)。図 5-2 の②の矢印で示した、検診の順番と正の関係で関連する各地区の被ばく線量は、それぞれの地区の住民個々人の被ばく量と「正の関連(因果関係)」を示していますので⊕のマークが付いています。なお図 5-2 では、元々の主たる因果関係の原因側である「住民個々人の被ばく量」(が増える)と結果の側である「検出された甲状腺がん数」(が増える)の間には、正の「☆主たる因果関係」を考えています。この結果、検診の順番という要因で結ばれた関連は⊖と⊕と食い違う方向の関連です。この食い違う関連を合わせると、負の関連⊖となり、被ばく量が増えると甲状腺がんの検出数が減るという関係がマイナスの方向への交絡が生じます。すなわち、この交絡は、過小評価させる作用を、「☆主たる因果関係」に対して及ぼすことが分かります。



- ①交絡要因は病気のリスク要因でなければならない(英語表記の助動詞は must)。
- ②交絡要因は曝露と関連していなければならない(英語表記の助動詞は must)。
- ③交絡要因は曝露と病気の因果連鎖の中間要因であってはならない(英語表記の助動詞は must not)。

図 5-2. 図 5-1 を簡略化し甲状腺がんの意見書の第 1 章で紹介した交絡の図で示した交絡要因(検診の順番)の存在を示す簡略 DAG.

この結果、被ばく線量が高い地域(例えばいちばん早く検査が行われた事故を起こした原発周辺の 13 市町村)ほど、被ばく線量に比べて、倍率の過小評価が起こることがこの図 5-1 と図 5-2 の DAG から分かるのです。

このような本来被ばく線量が甲状腺がんの検出数に影響を及ぼすのではないか、という

疑問は、DAG の知識を持っている私どものような専門家でなくても、「線量が高い地域ほど検査の順番が早くなる」という情報を聞きつけて、「この検査計画では、変なことになるのでは？」と危惧され、気づかれた方はおられました。従って、「線量が高い地域ほど検査の順番が早くなる」という情報により、何らかの誤った推論につながるのではと、直感的に気づくことは、それほど困難なことではなさそうです。

私たち専門家は、DAG と交絡の知識(疫学理論の知識)により、被ばく線量と甲状腺がん検出数(割合)との因果関係による影響の程度が過小評価されるのではないかと予測するのが可能でした。この予測を突き詰めて図にしますと、1 巡目(先行検査)の各年度の検出数(割合)のお互いの関係は、甲状腺がんの成長に関して、ある程度早い成長速度を想定した時、下記の図 5-3 のような真ん中に凸の関係になることが予測できました。甲状腺がんに限らず小児のがんの最小潜伏期間は短く、その成長速度が速いことが知られていますので、この凸の関係が現れるのは十分にありそうでした。

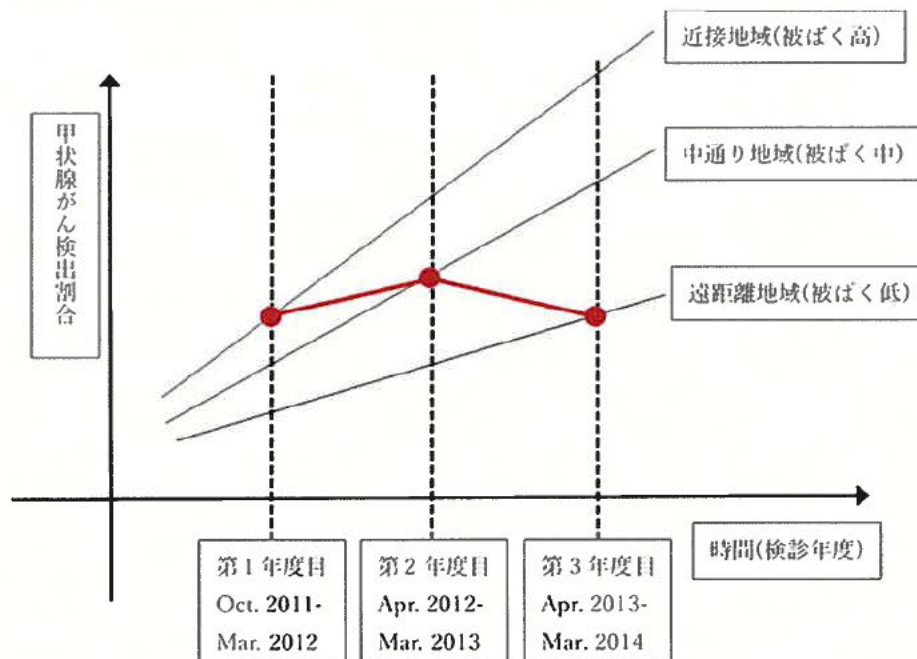


図 5-3. 年度ごとの検査の順番(原発からの距離の遠近)、年度ごとの甲状腺がんの検出割合の高さと、検査実施年の関係を解説する概略図。

そして 2 巡目の検査(本格検査 2 回目と呼ばれています)で、71 例の甲状腺がん(疑い含む)が検出された時、この甲状腺がんの成長速度は、1 巡目の先行検査と 2 巡目の本格検査の間隔から 2 年程度だということが分かりました。この程度の年数ならば凸の関係が見られそうでした。そして予測通り凸の関係が見られたことで、2011 年を始まりとする原発の過酷事故と甲状腺がんとの因果関係が、ますます確かめられました。

## 5-2. 交絡の調整

さて直感もしくは DAG での考察から、検診順番が、検診の順番が早い地区ほど倍率を過小評価する交絡(バイアス・誤差)をもたらすことが分かりましたので、次は、この交絡による影響(誤差)を推定して取り除き、本来の倍率を推定します。

この場合の調整方法の基本的考え方は、次のとおりです。

まず、原発過酷事故からの時間(月数)が長ければ長いほど甲状腺がんはより大きくなります。甲状腺がんが大きくなればなるほど 5.1 mm を超える可能性が大きくなり、検査で検出される確率は高くなります。

1 次検査の順番が早いほど(月数が少ないほど)、高い放射線被ばくを受けていたことになります。逆に、原発事故からの月数が多い(長い)地区ほど低い放射線被ばくしか受けていなかった事になります。

したがって、検査の順番が遅かったところ、すなわち月数が長いところの月数に、月数が短いところ(被ばく線量が高い)を合わせる必要があります。そこで、月数が短いところに対して補正係数を掛け合わせて、月数を与えてあげます。

こうして、被ばく線量が検出確率に及ぼす影響を、順番が早いことによる(がんが成長する時間・月数がないことによる)影響を除いて取り出すことが定量的に可能になります。

この調整方法の基本的考え方を具体的に適用した方法を以下に説明します。

福島県で行われてきた超音波エコーを用いた甲状腺検査の 1 巡目(先行検査)と 2 巡目(本格検査 2 回目)の検査スケジュールの一覧表を表 1-1 に示しています。表は左から右に時間が流れて、セル 1 個が 1 ヶ月を示しています。濃灰色で示されたセルが、各地区で検査が行われた時期を示しています。被ばく線量が高い地域ほど順番が早いという言葉がだいたい裏付けられています。福島県県民健康調査検討委員会に提出された図からは、検査時期の始まりと終わりが、もう少し滲ませて幅をもって示されていますので、少しずれがあるかもしれません。

表 1-1. 福島県超音波エコーを用いた甲状腺検査 1 巡目と 2 巡目のスケジュール(2011 年 10 月-2016 年 3 月).

年度	2011年度			2012年度			2013年度			2014年度			2015年度			2016年					
西暦(年)	2011年			2012年			2013年			2014年			2015年			2016年					
月	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	
(1) 原発直近地域																					
(2) 中通り北地区(福島市周辺)																					
(3) 中通り中地区(二本松市周辺)																					
(4) 郡山市																					
(5) 中通り南地区(白河市周辺)																					
(6) いわき市																					
(7) 南東低汚染地区(水郡線沿線付近)																					
(8) 西低汚染地区(会津地方)																					
(9) 北東低汚染地区(相馬地方)																					
福島第一原発事故発生(2011年3月11日)																					
1巡目											2巡目										
事故からの経過月数(二桁目:10の位) 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6																					
事故からの経過月数(一桁目:1の位) 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1																					

- (注1) 表1-1の中の濃い灰色で示した部分は、超音波エコー検診が行われた時期。
- (注2) 各地域・地区の(1)~(9)の番号は、図5の地図の色分けに対応している。
- (注3) 下から3行目の灰色セルで示すように、1巡目は2014年3月まで(2014年度末)で終了、2巡目は2014年4月(2015年度始め)から2016年3月(2015年度末)まで。
- (注4) 下から2行目と下から1行目は、それぞれ事故からの経過月数の2桁目と1桁目。
- (注5) 表の左から右へと時間が流れ、一マスは1ヶ月を表す。
- (注6) 空色で示した各年の月は3か月毎に刻んであり、1年間を4分割している。

この表1-1のスケジュール表の下には、「福島第一原発事故発生(2011年3月11日)」という赤字から数えた月数の1の位が1番下の行に、月数の10の位が下から2番目の行に示されています。従って、例えば2012年の12月は事故から数えて、およそ22ヶ月目であることが分かります。このように見ますと、超音波エコーを用いた甲状腺検査で5.1mmを超えると検出される甲状腺がん(この時点ではがんと分かっておらず「結節」か「のう胞」と呼ばれています)が、2年から3年程度で成長し次の巡回の検査で多数検出されること、および先行検査の初年度の検査時期(原発直近の13市町村が検査対象)では甲状腺がんの成長にはまだ時間的に不十分であったこともよく分かります。さらに、2巡目の検査(本格検査2回目)では、(1)から(9)の各地域・地区の間で、事故発生から数えた検査時期の月数が、1巡目の検査(先行検査)と比べて、差がつきにくいこともよく分かります。

表1-2. 各地区における交絡誤差の程度を表す交絡補正のための係数。

超音波エコーを用いた甲状腺検査地域	交絡補正の係数	
	1巡目	2巡目
(1) 原発直近地域 <sup>b</sup>	2.90	1.36
(2) 中通り北地区(福島市周辺)	1.66	1.25
(3) 中通り中地区(二本松市周辺)	1.35	1.15
(4) 郡山市	0.76	0.90
(5) 中通り南地区(白河市周辺)	0.69	0.85
(6) いわき市	0.98	0.99
(7) 南東低汚染地区(水郡線沿線付近)	1.00	1.00
(8) 西低汚染地区(会津地方)	0.84	0.91
(9) 北東低汚染地区(相馬地方)	1.05	1.05

そこでこの差を、月数の違いとしました。この月数の違いを、(7)の南東低汚染地区(いわき市と白河市との間に広がる市町村)を基準にして、それぞれの地区の月数を割り算し、その比で示しました。この月数の比を一覧表で示したのが表 1-2 です。この比は、最も早く検査が行われた原発直近地域(13 市町村)が事故からの月数が足りないために倍率が過小評価された程度を表しています。なお、ここで事故からの検査受診までの経過月数が、甲状腺がんの成長に比例し、甲状腺がんの成長が超音波エコーを用いた甲状腺検査での甲状腺がんの検出数に比例するとしています。

従って、この程度は、逆に、倍率の過小評価を補正する数字として使えます。表 1-2 に示した「交絡補正のための係数」です。被ばく線量が最も高い地域であるゆえに先に検査受診の順番が来て、そのために甲状腺がんが成長する時間があまり与えられず、最も過小評価されたと思われる原発直近地域の倍率を補正するためには、当然、最も高い係数を与えなければならないことが分かります(1巡目先行検査で2.90倍、2巡目本格検査2回目で1.36倍)。

また、この先行検査(検査1巡目)と本格検査(検査2回目)の両方の補正倍率(補正係数)を示した表 1-2 からは、2巡目では補正係数の値が1巡目に比べて低いことが分かります。このことから、線量の高さに従った地域差が、1巡目ではやや不明瞭なのに対して(図 5-3)、2巡目では予測被ばく線量の高さに比例していると思われるきれいな地域差(地区差)が甲状腺がんの検出割合で観察された理由も理解できます。なお、3巡目(本格検査3回目)と4巡目(本格検査4回目)については、交絡の程度が2巡目(本格検査2回目)よりも、さらに事故からの経過月数の違いが小さいと考えられますので、以下の SIR と原因確率の計算ではこの点に関する倍率の補正を省略いたしました。



なお、甲状腺がんの意見書の第 1 章でも強調しましたが、ここでもう一度強調したい点は以下の通りです。放射線被ばくによる発がん影響の議論でも時々見かけますが、「交絡が入っていそうだ」というだけで、そのデータや研究全体が「全くダメ」かのように強調し、そのデータや研究全体が最初からなかったかのように消してしまう言説があります。これは疫学専門家の議論としては全く誤っています。本来は、まず「本当に交絡が生じているのかどうか」について、上記の交絡の必要 3 条件を検討します。そして必要 3 条件をすべて満たしているようでしたら、単に系統的誤差として考察、あるいはバイアス分析などを使って補正や調整などをしたりして妥当な倍率を考察や定量化すれば良いだけです。時間とお金をかけて得た貴重なデータを捨ててしまっはけません。どこまでも定量的な科学的判断ができなくなります。

## 第 6. 原告 7 患者における原因確率とその推定方法：応用

医学を含む自然科学では、確率は、対応する個々の場面で個に当てはめるために求められます。これは言い換えると、個々の場面での決断に用いるために確率が推定されると言えます。これは中学生の数学で、初めて確率を学んだ時に学習します(吉村)。明日という個の日に、雨具を携帯して外出するか否かを決断するために、過去の膨大な日々から計算し推定した降水確率を明日に当てはめて決断するとイメージしていただければご理解いただけると思います。代打を送るときに監督が打率を参考にするように、患者に処方する薬を決める時に厳密には確率で示される治療成績を参考にします。外科手術では、例えば、がん手術では、通常 5 年生存率と呼ばれる確率があてはめられます。

曝露され甲状腺がんを発症した個々の原告患者が、曝露によって甲状腺がんを発症した原因確率は、倍率、ここでは SIR(標準化発生率比)を使って 2011 年 3 月に実際に居住していた地域から推定できます。点推定値と 95%信頼区間は、「甲状腺がんの問題についての意見書」の第 1 章、あるいは「100mSv 論に関する意見書」において説明しておりますので、そちらを参照してください。

すでに説明しましたように、曝露群(被ばくした人々)の年齢構成に、非曝露群の死亡率を合わせるために、標準化発生率比 SIR は計算されます。要するに、被ばくした人と被ばくしなかった人との、年齢構成の違いを調整するために計算されます。本件のように、非常に高い年齢 SIR が得られていて明瞭な場合には、さほど年齢 SIR の必要性は感じません。実際に、年齢の標準化をせずにそのまま発生率比を計算しても原因確率は大きく変わらなんでしょう。しかし、年齢 SIR がもっと 1 倍に近く、年齢 18 歳の時に受診・参加割合が大

大きく変動していそうな時には、その点を気になさる方がおられるのならば、年齢標準化をしたり、年齢を調整したりの推定値を得ておくのも良いかもしれません。

標準化は、現代のようにパソコンが普及していない頃には、(非曝露群の情報が十分に得られていない時に)、唯一と言ってよいほどの、交絡要因候補の調整方法でした。しかし同時に、パソコンが普及していない頃には、繰り返しの演算が必要な少々面倒な方法でもありました。今でも、個々のデータが利用できる時だけでなく、各都道府県別のがん死亡率の比較、いわゆるがんマップの作成や、本件の間接法だけでなく、直接法と呼ばれる年次別のがん死亡率の変化を観察する際にも用いられる方法論です。

#### 倍率の選択方法

すでに「甲状腺がんの問題についての意見書」の第 1 章で説明しましたように、私どもは、福島県を 9 つの地区に分けて SIR を計算しました(表 2-2 や図 6 では(1)~(9)で番号付けをしています)。地区分けの理由は、末尾の巻末資料 1 に記載していますが、内容は「甲状腺がんの問題についての意見書」の第 1 章とほとんど同じです。

検診での甲状腺がん有病割合と全国の甲状腺がん発生率を比較するために、「甲状腺がん問題についての意見書」の第 1 章に記したように、1 巡目に関しては、有病割合 = 発生率 × 平均有病期間、の式を利用し、(1)避難地域を含む 13 市町村では 2 年、(2)~(5)地区では 3 年、(6)~(9)地区では 4 年としました。いずれも過大評価が生じないように、比較的長い期間を採用し SIR が小さくなる傾向の値を与えました。2 巡目以降は、前回の検診巡回数との間隔を利用し、平均有病期間 = 2 年(ただし 2 巡目の(1)避難地域 13 市町村に関しては平均有病期間 = 2.5 年)としました。

また、比較の対象となる全国の甲状腺がん発生率は、国立がん研究センターのがん統計(2001年から2010年)を用いています。

全国のがん登録の年齢階層は、0 歳から 4 歳、5 歳から 9 歳、10 歳から 14 歳、15 歳から 19 歳で分けられています。

必要なのはがん登録の、各年齢階層における発生率ですので、15 歳から 19 歳の発生率を受診者の 15 歳から 18 歳の年齢階層に代用します。

この代用によって、SIR は少しだけ過小評価になります。なお、本格検査 2 回目(2 巡目)、本格検査 3 回目と進むにつれて検査受診者の年齢層も上がってゆきますので、この辺りは年齢層が上がるように調整をしております。がんセンターのデータが上記の年齢層で示されていますので、ちょうど当てはまる年齢層がなければがんセンターの 2 つの年齢層を平均したりして、なるべく年齢層が当てはまるようにしております。

ある年齢階層での、受診者数×全国の発生率は、その年齢階層における被ばくがない時の予測甲状腺がん発生数です。

検診から得られた有病割合は、有病割合＝発生率×平均有病期間ですので、被ばく者の発生率＝有病割合÷平均有病期間です。

前述のとおり、平均有病期間は、1巡目が3年、2巡目以降は2年としています（ただし原発直近地域の13市町村の2巡目だけは2.5年としています）。

ある年齢階層での、被ばく者(福島県の各地区)が非曝露の時の発生率は、その年齢階層に相当する全国の発生率×各年齢階層の人数＝年齢階層別期待患者数(福島県の各地区が非曝露の時の年齢階層別の予測患者数)

これを全年齢階層全てにおいて合計します。これが…

全年齢階層の期待患者数の合計(福島県の各地区が非曝露の時の予測患者数)

この全年齢階層の期待患者数(expected number of patients: E)で、全年齢階層での各地区の実際の甲状腺がん症例数(observed number of patients: O)を割り算すると、…

これが年齢標準化発生率比 SIR となり、求めたい相対危険度(倍率)となります。

この SIR に基づき、原告本人が4回の1次検査が超音波エコーを用いた甲状腺検査のいずれに該当するかを検討しました。現実には、先行検査(1回目)、本格検査2回目、本格検査3回目、本格検査4回目のいずれかになります。超音波エコーを用いた甲状腺検診を受けていない患者さんの場合は、診断日を参照して、それに該当するように1回目～4回目のいずれかを選択しました。

次に先行検査と本格検査2回目に関しては、①～⑨の9地区いずれの地区に属するかを判断し、本格検査3回目と本格検査4回目に関しては、市町村別の甲状腺がん患者数が発表されていないので、患者数が得られる、避難区域を含む地域、中通り地域、浜通り地域、会津地域の4地域のいずれの地域の検査何回目(検査何巡目)に属するかを判断しました。

以上の判断に基づいて、それぞれの原告患者が該当する SIR 標準化発生率比の推定値から該当する原因確率(寄与分画)を、以下に原告患者それぞれに関して推定しました(表2-1)。

なお、それぞれの原告患者の SIR 標準化発生率比の推定値は、巻末資料1の表2-2から該当するものを記載しています(表2-2は、表の見やすさを優先して、SIR 標準化発生率比の数値の小数点以下を四捨五入していますが、表2-1は、正確さを優先して、小数点以下1位まで記載しました)。

すなわち、…

原因確率＝(標準化発生率比－1)÷標準化発生率比－式(1)の⑥ を用いて、…

原告 1



以下、95%信頼区間の上限と下限の標準化発生率比から、それぞれ原因確率の95%信頼区間の上限と下限も同様に求める

原告 2



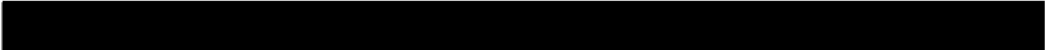
以下、95%信頼区間の上限と下限の標準化発生率比から、それぞれ原因確率の95%信頼区間の上限と下限も同様に求める

原告 3



以下、95%信頼区間の上限と下限の標準化発生率比から、それぞれ原因確率の95%信頼区間の上限と下限も同様に求める

原告 4

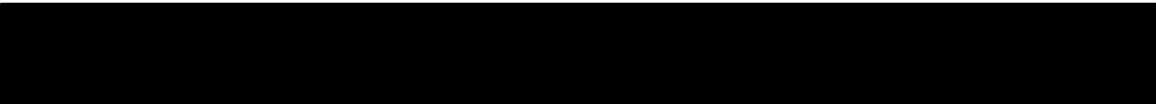


以下、95%信頼区間の上限と下限の標準化発生率比から、それぞれ原因確率の95%信頼区間の上限と下限も同様に求める

原告 5



以下、95%信頼区間の上限と下限の標準化発生率比から、それぞれ原因確率の95%信頼区間の上限と下限も同様に求める



原告 6

...

以下、95%信頼区間の上限と下限の標準化発生率比から、それぞれ原因確率の95%信頼区間の上限と下限も同様に求める

原告 7

以下、95%信頼区間の上限と下限の標準化発生率比から、それぞれ原因確率の95%信頼区間の上限と下限も同様に求める

表 2-1：原告患者の居住地域別、年齢標準化発生率比、および原因確率とその点推定値および区間推定値(95%信頼区間).

番号	名前(生年月)	地域・巡目 (1巡目=先行検査)	SIR(年齢標準化発生率比：倍率)	原因確率(寄与分画)%
1			98.0 (50.6, 171.2)	99.0 (98.0, 99.4)
2			188.3 (94.0, 337.0)	99.5 (98.9, 99.7)
3			51.3 (30.4, 81.1)	98.1 (96.7, 98.8)
4			44.6 (22.3, 79.9)	97.8 (95.5, 98.7)
5			86.6 (56.1, 127.9)	98.8 (98.2, 99.2)
6			63.9 (23.4, 139.1)	98.4 (95.7, 99.3)
7			19.5 (10.8, 26.0)	94.9 (90.7, 96.2)

地区番号(巻末資料の図 2 を参照)：(1)避難地域を含む 13 市町村、(2)中通り北、(3)中通り中、(4)郡山、(5)中通り南、(6)いわき、(7)須賀川含むいわき市の西隣、(8)西(会津地方)、(9)相馬地方.

\*1 次の超音波エコー検査は 1 巡目だが穿刺吸引細胞診での診断は 2 巡目時期の原告. 1 次の超音波エコー検査を基準として 1 巡目で計算しました。

独：福島県の県民健康調査の甲状腺検査を受診せず独自に受診し診断された原告.

1 巡目：「甲状腺がんの問題についての意見書」第 1 章に書かれた、有病割合=発生率×平均有病期間、の式を利用し、(1)避難地域を含む 13 市町村では 2 年、(2)～(5)地区では 3 年、(6)～(9)地区では 4 年としました。いずれも比較的長い期間を採用し SIR が小さくなる傾向の値を与えました。

2 巡目以降：平均有病期間=2 年(ただし 2 巡目の(1)避難地域 13 市町村に関しては 2.5 年)としました。

(注)3 巡目、4 巡目は地域割りが、市町村単位の 59 の分け方とは異なり、4 区分分けにのみ

なりました。私どもの9地区分けは、市町村別の59の分け方により可能でしたので、結果的に、9地区分けは不可能になりました。なお、9地区分けでの1巡目と2巡目の年齢標準化発生率比 SIR は巻末資料1「福島県内の地区分けの根拠について」の表2-2に示し、9地区分けの分け方も記載しております。参照してください。

巻末資料1：福島県内の地域分けの根拠について

9つの地域分けに関しては、「甲状腺がんの問題についての意見書」の第1章にも書いてありますので参照してください。9つに分けるか否かは別にして、地区分けなどで対象者を分けしないと、倍率推定の基礎となる発生率や有病割合などを計算できません。この9地区間では、事故を起こした福島第一原子力発電所からの距離や測定された空間線量率も異なるので、その違いを利用して倍率を計算するためです。この9つの地区の分け方は、次の通りです。

WHOの暫定線量推定(2012)に関する報告書(Preliminary Dose Estimation from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami.)に応じて、この超音波エコーを用いた甲状腺検査の順番が決定されています。線量汚染が最も高かった地域から超音波エコーを用いた甲状腺検査が2011年10月から始められました。WHOのこの報告書(2012)は、線量の高さに応じて福島県内を3つの地域に分けています。事故を起こした福島第一原子力発電所に近い地域、最も線量汚染の低かった県内地域、その中間の地域です。それぞれ、平成23年度(●で記した最も原発に近い地域の13市町村)、平成25年度(相馬地区、いわき市、いわき市の西側の市町村、会津地方の34市町村)、平成24年度(中通りの12市町村)に検査が行われました。

小児・青年の甲状腺がんは発生率が低いため、市町村ごとに分析してしまうと検出数がゼロの町村が多く出て全体の傾向が見えにくくなる可能性があります。少人数が対象だとしても不安定になります。都道府県の乳児死亡率(1歳以下の子供の死亡割合)を市町村単位で経年的に折れ線グラフにしますと、通常、町村単位の乳児死亡率の経年変化はギザギザになって実にわかりにくくなります。従って、今回の福島での地区分けでも、人口が大きい市を独立させて推定値を安定させます。上記の3つの地域のうち、中通りの福島市と郡山市(地区(4))という人口が多い市がありましたので、この2地区(市)を独立して計算しました。そうすると、中通りは合計4地区に分かれます((2)~(5))。福島市の北側の2町(桑折町と国見町)は、これで自動的に分かれ、福島市に組み込むと他の市町村からは独立しました(地区(2))。また、最も線量汚染の低かった地域では、郡山市に匹敵する人口を持ついわき市がありますので、独立して計算しました(地区(6))。

これで最も被ばく線量汚染が低かった地域も合計4地区に分かれました((6)~(9))。この結果、福島第一原子力発電所に最も近い地域1つ(地区(1))、中通り4地区((2)~(5))、最も被ばく線量が低いとされた4地区((6)~(9))として、福島県は合計9地区に分けられました。もちろんこれ以外の対象者の分け方は、様々に考えられますが、ある程度の対象者数の規模が得られていれば、どのような分け方をしても倍率が高いこともあり、被ばく程度の違いによる倍率の違いが得られると思います。ただし、上記の交絡の問題もあるため、先行検査

の3年度分である、平成23年度、24年度、25年度は分けた方がデータの整理がしやすく便利でしょう。

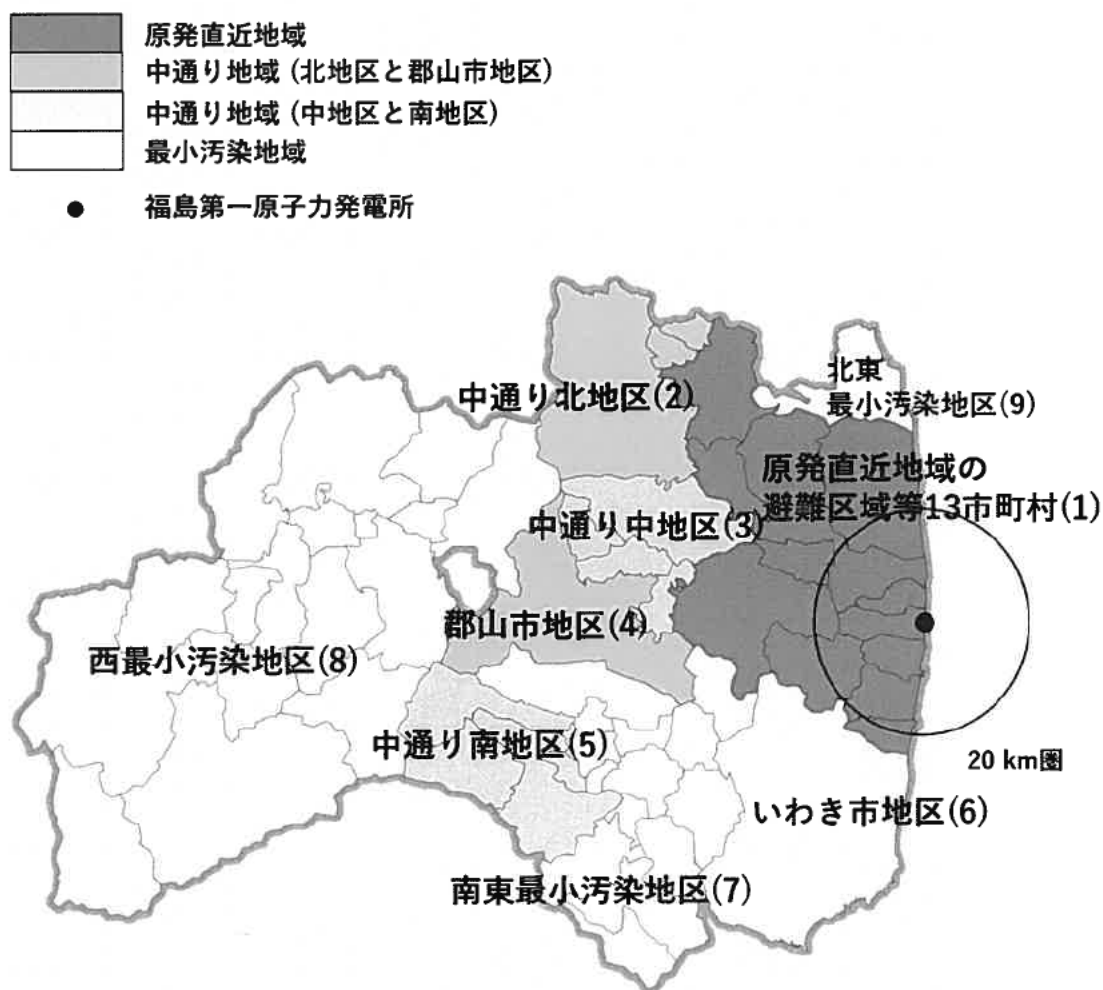


図5. 福島県を(1)~(9)の、9つの地区に分割して分析した(分析結果は表2-2)。原子力発電所●の周りに描かれている半円形は、原子力発電所から20km圏内を示す。

人口がある程度多くなければデータを安定して分析できない一方、地区割りをできるだけ多くした方が、線量の変化とそれに応じた甲状腺がん多発の程度を表す倍率の変化を把握しやすくなります。また、検査の順番を考慮して地区割りをWHO(2012)の分け方に合わせ、操作変数の考え方に基づいて行政区画で分けますと、だいたいの方がこの9つの地区割りを選ばれると思います。もちろん、この9地区の選び方には、以上の理由以外には、私が意図した点も倍率に関する思惑も入っていません。事故前から存在していた元々の市町村境界に基づいて人口規模を考慮して地区分けをしていますので、恣意が入っていない客観性が保たれていると思ってください。WHO(2012)の3地域分けに沿っている限り、年齢分布も利用でき、年齢という交絡要因候補の調整も行えます。ただ、この地区割りから



少々の変更をしても、倍率や原因確率が極めて高いこともあり、同様な結果をもたらす結論も変わらないでしょう。

この9地区におけるそれぞれの倍率に関して、2016年に国際雑誌 *Epidemiology* に掲載された1巡目の表(Tsuda 2016)とは別に、その後データが得られた2巡目の小児甲状腺がんの検出データ分析結果と共に標準化発生率比 SIR の一覧を表 2-2 に示しておきます。なお、ここに示した倍率が原告7名の原因確率を推定する元となる倍率です。1巡目の対象者数は、2016年に国際雑誌 *Epidemiology* の論文執筆時点より少しだけ(全体で約 2,000 人)増加しています。また、上記論文(Tsuda 2016)では、平均有病期間を4年とした一方、標準化はしませんでした。現実に近い3年程度とし、3年で表 2-2 は計算しました。また、いずれも小数点以下は四捨五入をしていますので、この点で少しずれています。

倍率は、日本全体の非曝露の0歳から19歳の甲状腺がん発生率と直接比較し、さらに年齢を調整したりもしていますが、年齢調整をしてもしなくても、数十倍のオーダーの違いは全く説明できません。1巡目で検出甲状腺がん患者数が0例であった相馬地方を除いて、いずれの地方においても、この倍率が数十倍を示しているのが分かります。

表 2-2. 福島県を9つの地区に分割し、それぞれの地区の受診者数と甲状腺がん症例数から推定した標準化発生率比 SIR とその 95%信頼区間(5歳毎で年齢調整をしている)。

	地区	1 巡目*		2 巡目**	
		受診者数 (がん症例数)	SIR(倍率) (95% C.I.)	受診者数 (がん症例数)	SIR(倍率) (95% C.I.)
(1)	原発周辺地域	41,810 (15)	195 (107-327)	34,557 (17)	82 (48-132)
(2)	福島市周辺	50,617 (12)	85 (44-148)	45,580 (11)	45 (22-80)
(3)	二本松・本宮市 周辺	18,193 (11)	188 (94-337)	16,346 (4)	44 (12-113)
(4)	郡山市	54,062 (25)	87 (56-128)	48,046 (18)	51 (30-81)
(5)	白河市周辺	16,465 (8)	79 (34-156)	14,637 (2)	19 (2-68)
(6)	いわき市周辺	49,430 (24)	122 (78-181)	45,265 (9)	25 (12-48)

(7)	いわき市西側町 村	29,816 (9)	90 (41-170)	28,088 (4)	22 (6-55)
(8)	会津地方	33,720 (12)	98 (51-171)	32,208 (5)	21 (7-48)
(9)	相馬地方	6,360 (0)	0 (0-173)	5,788 (1)	28 (1-160)
	合計	300,473 (115)		270,516 (71)	

95%C.I.: 95%信頼区間、SIR : 標準化発生率比(倍率)

\*1 巡目は 2017 年 3 月 31 日現在 (全国の 5 歳毎の発生率と比較、平均有病期間 3 年を設定)・福島県  
検討委員会同年 6 月 5 日発表分

\*\*2 巡目は 2017 年 6 月 30 日現在 (全国の 5 歳毎の発生率と比較、追跡期間[≒平均有病期間]は原発  
発生地域で 2.5 年、その他は 2 年)・福島県検討委員会同年 10 月 23 日発表分

## 巻末資料2：科学的エビデンスがある場合と科学的エビデンスがない場合の区別

「何のために研究をするのか」、「何のために論文を書くのか」という点に関して、日本では誤解されている時があります。中には、「(研究者が) 出世するために論文を書く」と誤解されている方もいます。「(特に興味を引く) 論文を書けば、結果的に出世する時の役に立つ (かもしれない)」ということは言えると思いますが、上記の誤解は、やはり誤解です。

研究するのは論文を書くためです。では「何のために論文を書くのか?」と言いますと、「研究で得られた科学的証拠・エビデンスを、(誤解がないように) 厳密に書き留めておく」ためです。会話に基づく内容では、伝言ゲームで楽しめるように、話をするたびにどんどん変わっていきます。これでは、研究者だけでなく社会も困ります。

では書かれた内容 (あるいは pdf ファイルに転換された内容) なら良いのでしょうか? これもまた、雑に書かれれば、様々な解釈が成り立ち読む人の気分で間違っただけで捉えられかねません。書く方も、自由作文では、書く時の気分で異なってきます。それでは本当のことを知りたい時、特に自然のあり方について真実を知りたい自然科学では、困るので、書き方を統一して厳密な報告書に仕立て上げます。これが論文、特に原著論文と呼ばれるものです。現在では、以前は総説論文と言われていた論文が、原著論文の数量化されている部分を取り上げて、数多くの論文が分析しなおされ、これをメタ分析と呼ばれるようになっています。このメタ分析がなされた総説論文をシステムティック・レビューと呼んで原著論文のように取り扱います。

原著論文やメタ分析論文は、科学的エビデンス (科学的根拠) と呼ばれ、自然科学、例えば医学では、議論をする際の証拠として用いられます。良く知られる、臨床各科の診療ガイドラインもこの証拠 (科学的エビデンス) が主に用いられています。自由にいろんな話をくっつけて言い合うのでは、学術論議、自然科学論議、あるいは医学を患者さんに適用する議論では危なすぎて迷惑にもなります。科学的根拠に基づいた医学や医療は、EBM (Evidence Based Medicine) と呼ばれます。この用語は、1992 年のアメリカ医師会雑誌に登場し、今では、医学全体に当たり前のように入っています (Evidence-Based Medicine Working Group 1992)。なお、EBM の医学における科学的根拠は、ほとんどの場合、人を観察対象として得られたデータを、この意見書作成でも用いた疫学方法論に基づいた結果のことです。

医療行為のための新しいパラダイムが現れてきている。根拠に基づく医学とは、直感、系統的でない臨床経験、病態生理学的合理付けを、臨床判断の十分な基本的根拠としては強調しない。そして、臨床研究からの根拠の検証を強調する。根拠に基づく医学は、効率

的な文献検索，臨床研究論文を評価する科学的根拠の，秩序だった標準的な活用を含む，医師たちの新しい技術を要求する。

A NEW paradigm for medical practice is emerging. Evidence-based medicine de-emphasizes intuition, unsystematic clinical experience, and pathophysiologic rationale as sufficient grounds for clinical decision making and stresses the examination of evidence from clinical research. Evidence-based medicine requires new skills of the physician, including efficient literature searching and the application of formal rules of evidence evaluating the clinical literature.

1992年のアメリカ医師会雑誌に掲載された Evidence-Based Medicine Working Group による論考は上記のようなフレーズで始まります。ここでは、パラダイムという用語が用いられています。すなわち科学的概念の転換が医学の世界で起こったことを指します。しかし、もう30年も経つのに、この「パラダイムの転換 paradigm change」についてこれない言説が日本ではまだ珍しくもなく存在しますので注意が必要です。福島県県民健康調査検討委員会や同甲状腺検査評価部会における一部の議論もまた、エビデンスを確認できていないものについては、パラダイムの転換についてこれていない議論に該当します。小児青年の甲状腺がんの数十倍の多発を受けて、同検討委員会も同評価部会も、「数十倍の多発」と述べていますが、この原因として2種類の解釈をしています。1つは、2011年の原発の過酷事故が原因とするもので、もう1つは、超音波エコー検査を用いたためにがんではない腫瘍を過剰にがんとして（間違っ）て検出したのが原因とするものです。前者には科学的エビデンスがありますが、後者には科学的エビデンスが全くありません(それどころか反証する根拠はたくさんあります)。これだけでも解釈は非常に簡単です。どこでも患者さんに行われてきている科学的根拠に基づく医学 EBM です。

参考資料3：原因確率が関係する用語と歴史

Rothman 2021 には、下記の通り、指摘されています。

他の概念と同様、寄与分画に関する文献には、非常に一貫性がなく、混乱を招く用語が存在する。Levin (1953) は、人口疾病の影響に関する彼の最初の尺度に寄与分画という用語を使用した。これは我々の用語では過剰分画またはリスク分画である。それ以後、多くの疫学書では、リスク差  $R_1 - R_0$  を指す言葉として寄与リスクという言葉を用い、Levin の指標である寄与リスク・パーセントと呼んでいる。しかし、1970 年代には、生物統計学の文献の一部が Levin の指標を寄与リスクと呼ぶようになり、残念ながら、疫学文献の一部もそれに追随した。一部の疫学者は、Levin の概念に寄与分画という用語を導入して区別を保とうと努力したが、他の疫学者は、同じ概念に病因分画という用語を採用したため、曝露による症例の割合と混同することになった。さらに問題を複雑にするのは、我々が考えた分画は母集団全体に対する過剰分画と病因分画であったが、原因確率の場合と同じように、ある曝露によって発生患者の何割が排除されるか、あるいは引き起こされるかを考えることもでき、そうした尺度は「寄与分画」と呼ばれることもあることである。いずれにせよ、寄与リスクという言葉は、リスク差、リスク分画、発生率分画、病因分画など、全く異なる概念に使われ続けている。このような混乱があるため、我々は、寄与リスクという用語を完全に避けること、また、相対的過剰指標に病因分画という用語を使わないことを推奨する。

以上を踏まえて、Pearl (2009：黒木訳)の用語の使い方を使って以下の表で整理します。

概念	実計算	実計算	実計算	実計算	概念 2
原因の確率 下記の確率全てを含む	下記の確率 全てを含む				下記の確率 全てを含む
必要性の確率 原因確率(直接概念)	原因確率 (本意見書)	割当シェ ア	寄与分画 過剰分画	超過割合	病因分画 発生率分画
十分性の確率 <sup>1</sup>	1				1
必要十分性の確率					
無能化の確率	人口寄与危 険度割合				
可能化の確率 <sup>2</sup>	2				2
その他					

1：必要性の確率の曝露と非曝露とを入れ替えた表裏一体の関係。

2：無能化の確率の曝露と非曝露とを入れ替えた表裏一体の関係。

Rothman (1986), Rothman (2012), Rothman (2021), Pearl (2009), Council of Scientific Affairs (1987)などを参考に作成。

参考資料3の補足

幾つかの意見書で強調していますが、曝露量が不明確な時の原因確率に相当するのが「無能化の確率」です。

原因確率は「曝露があり病気になった患者が、曝露がない時に病気にならなかった確率」（「あれなければこれなし」の確率に相当：あるいは「曝露があり病気になった患者が、曝露によって病気になった確率」とも言い換え可能ですが）です。この時、曝露量が不明確な時には、原因確率は病気になった患者が、曝露がない時に病気にならなかった確率」に相当します。これは現代因果関係論では「無能化の確率」と呼ばれます。かつての言い方では人口寄与危険度割合(The proportion of all cases occurring in mixed population of exposed and unexposed individuals that is attributable to exposure : Rothman 1986)と呼ばれました。

ここで、人口寄与危険度割合（無能化の確率）＝原因確率×患者の曝露割合、という式で、

それぞれの地区の患者の曝露割合が 100%である時、無能化の確率＝原因確率となり、  
それぞれの地区の患者の曝露割合が 100%未満の時は、無能化の確率<原因確率となります (Rothman 1986)。従って、無能化の確率(人口寄与危険度割合)は原因確率を過小評価していることになります。

実は「正確な曝露量が明らかにされ」たことなど、他の公害訴訟やほとんどの職業病事例、中毒事例ではないかと考えるべきです。しかし、ほとんど因果関係が認められています。

実は、「正確な曝露量」、病変を起こした人体、あるいは病変を起こした臓器にたどり着いた曝露量、ということになりますので、そのような曝露量はあるが、完全に人間の概念上の量、想像上の存在です。

本件で言えば、そもそも 10mSv 以下の被ばく量で甲状腺がんが発症しないことを示したデータなどないのです。あるのは 10mSv 以下の被ばくでも、多数の小児甲状腺がんが発生していたというデータがあるのみです(Tronko 1999)。今まで、測定されてきている被ばく量と(一番低い UNSCEAR を含め様々ありすぎて集約できないくらいですが)、今、確認されている小児甲状腺がんの症例数があるだけです。

従って今は、被ばく量と、患者数と、曝露があったという居住地域など、幾つかの因果関係が関係する情報があります。この中で過去にある情報で最も不確かな情報は被ばく量です。もしお互いに矛盾するなら真っ先に捨てるのは、最も不確かな曝露量です。放射性ヨウ素という甲状腺がんを著しく多発させる発がん物質が通り抜けたことは確実です。そもそも、中毒事件での調査で中毒性物質の曝露量が個別に調べられることなどありません。調べられてもほんの一部の症例です。中毒物質が通り抜けたようだと構わないのです。これは実際に病気の多発(アウトブレイク)に直面した時の公衆衛生従事者にとっての鉄則とも言えます。曝露や正確な曝露量を探し求めるうちに、どんどん病気の発生が続き、取り返しのつかない事態へと発展してしまうからです。有名な事例としては、水俣病における

数年に渡る病因物質(メチル水銀)の検索などが該当します。これをしなければ水俣病患者数は今の何万人と言われる膨大な数ではなく、数十人だったのではないかと主張される先生もおられます(吉田 2002)。私は、公衆衛生行政に従事されている全国の自治体職員への講演のたびごとに次のことに念を押すことを忘れないようにしています。

「病因物質の判明は原因究明あるいは対策実行の必要条件ではないことを忘れないようしてください。今日のレクチャーの他の内容はすべて忘れても構いませんが、この点だけは絶対に忘れないでください。そうしないと、増える必要がなかった死者、患者、犠牲者が、どんどん増えてしまいます」。

## 参考文献

Council of Scientific Affairs: Radioepidemiological tables. JAMA 1987; 157 (6): 806-809.

Davies NM, Smith GD, Windmeijer F, and Martin RM: Issues in the reporting and conduct of instrumental variable studies. Epidemiology 2013; 24: 303-309.

Evidence-Based Medicine Working Group: Evidence-Based Medicine. A new approach to teaching the practice of medicine. JAMA 1992; 268: 2420-2425.

Lachin JM: Biostatistical Methods: The assessment of relative risks, 2<sup>nd</sup> ed. Wiley, 2011.

Pearl J (第1版は黒木学訳・共立出版): 第1章. 確率、グラフ、因果モデル入門. 第9章. 原因の確率: 説明と識別. In: 統計的因果推論. モデル・推論・推測. 第2版、Cambridge University Press、Cambridge、2009、pp.1-40、および pp.283-308.

Pearl J, Glymour M, and Jewell NP (落海浩訳): 第4章. 反事実とその応用. In: 入門統計的因果推論. 朝倉書店、2016、pp.121-174.

Rothman KJ : Modern Epidemiology. 1st ed. Little Brown & Co., Boston, 1986.

Rothman KJ(矢野ら訳): 第4章. 疾病発生と因果的効果の測定. In: ロスマンの疫学-科学的思考への誘い-. 第2版. 篠原出版新社、東京、2013、pp. 61-101.

Rothman KJ, VanderWeele TJ, and Lash TL: Chap. 5. Measures of effect and measures of association. In: Modern epidemiology 4th ed. Lash TL eds. Wolters Kluwer, Philadelphia, 2021, pp. 79-103.

Schmitz-Feuerhake I. "How reliable are the dose estimates of UNSCEAR for populations contaminated by Chernobyl fallout? A comparison of results by physical reconstruction and biological dosimetry". ECRR Proceedings Lesvos 2009, pp. 70-85.

Schmitz-Feuerhake I. The 100 Millisievert Threshold Lie: Accepted Knowledge about Radiation Effects after Chronical Low-Dose Exposure and Remaining Issues, Proceeding in Kyoto, 2012.



Tsuda T, Tokinobu T, Yamamoto E, Suzuki E: Thyroid cancer detection by ultrasound among residents aged 18 years and younger in Fukushima, Japan: 2011 to 2014. *Epidemiology* 2016; 27: 316-322.

Tsuda T, Yamamoto E, and Yorifuji T: UNSCEAR 2006 inadequately cited “A case control study of multiple myeloma at four nuclear facilities” (*Ann Epidemiol* 2000; 10: 144-153. by Wing S et al.). *Ann Epidemiol* 2009; 19(7): 519-521.

Tronko MD, Bogdanova TI, Komissarenko IV, Epstein OV, Oliynyk V, Kovalenko A, Likhtarev IA, Kairo I, Peters SB, LiVolsi VA. Thyroid carcinoma in children and adolescents in Ukraine after the Chernobyl Nuclear Accident. Statistical data and clinicomorphologic characteristics. *Cancer* 1999; 86: 149-156.

吉田克己：『四日市公害－その教訓と 21 世紀への課題』柏書房、東京、2002.

吉村 功. 「確率」はどのように活用するものなのか.

[https://www.edu.sugiyama-u.ac.jp/math/file-kaken/yoshimura\\_final.pdf](https://www.edu.sugiyama-u.ac.jp/math/file-kaken/yoshimura_final.pdf)