

# 統計的有意とはなにか

## — ベイズ統計学による分析 —

永井宏幸 Nagai Koko (市民科学研究室・低線量被曝研究会)

### アブストラクト

疫学の分析でよく使われる仮説検定では、有意水準を与えれば統計的有意かどうか自動的に機械的に判定される。しかし、判定の結果を日常的な言語で伝えようとするとき極めて曖昧であることが露呈してしまう。判定結果の解釈において誤解と混乱が生じていることは否定しようがない現実である。それはフィッシャー統計学の限界を示すものである。

本稿では仮説検定を使い放射線リスクを分析した重要な論文をとりあげて、そのデータをベイズ統計学を使って分析することによって、両者を比較し、仮説検定のもつ問題を明らかにするとともに、ベイズ統計学による放射線リスクの評価方法が開発されることを願ってひとつの試みを提供する。

### 1. 仮説検定と統計的有意

仮説検定はフィッシャー統計学が提供するツールのうちの最も実用性があり、放射線リスクの疫学的分析でも標準的アプローチであるかのように多用されている。その方法を素描すると、検定したい仮説(帰無仮説という)の正しい母集団を仮定して、これから無作為に抽出した標本の集団を考え、標本と母集団の中心の‘距離’を定義する。‘距離’の定義は簡単でないが p 値という指標で代用する。p 値は‘距離’が離れるにつれて小さくなる。データはこの標本のひとつである。検定に先立って有意水準という p 値の基準値を決めておき、データの p 値がこれより小さいとき、データが母集団の中心から‘離れすぎている’と考え、帰無仮説が否定されたと判定する。このとき「帰無仮説が棄却された」と表現する。仮説検定では帰無仮説に対置する対立仮説を設定しておくので、これは「対立仮説が統計的に有意に認められた」と表現する。リスク分析では帰無仮説に「リスクなし」と対立仮説に「リスクあり」と取る。有意でない場合はデータと母集団の中心の‘隔たり’は統計的な揺らぎによるとみなすということになる。有意でないときそれをどのようにリスク評価の言葉で表現するかは曖昧である。単に帰無仮説の否定ができなかったとする解釈と、積極的に帰無仮説を採用すべきことを示しているとする解釈がある。この曖昧さは統

計学の教科書でもみられ、専門家の間でも統一した解釈がない。ここには仮説検定のもつ重大な欠陥が集約的に現れている。それが社会に及ぼしている弊害はとてつもなく大きいものと考えられる。この論考の主題はここにある。

まず放射線影響研究所のLSS14次報告書(2012年)を取り上げて、仮説検定が放射線疫学でどのように使われているかを具体的にみることにする[i]。この報告書は広島・長崎原爆被爆者のLSSコホートの1950年から2003年までの死亡率を分析したもので、主たる分析の方法は直線モデルにより相対過剰リスク係数ERR/Gyを求め、 $\beta$ が95%信頼区間の全域で $\beta > 0$ であればリスクが統計的に有意であるという判定を下すというものを採用している。この論考では報告書が扱った死因のうち固形がんに集中して論じる。

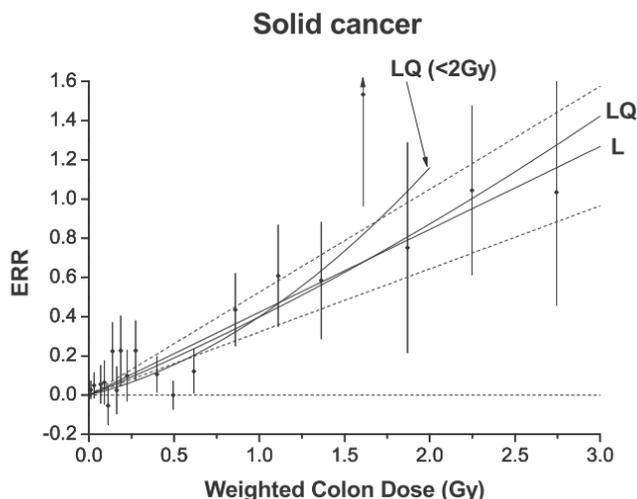


図1 固形がんのERRと95%CI.Lは1次モデルの回帰直線.LQは1次+2次モデルの回帰曲線.x軸はDS02にもとづく結腸の被曝線量.論文Fig.5.

以降、LSS14次報告書を単に論文と書くことにする。

論文には分析結果が階級化した被曝線量におけるERRの点推定と95%信頼区間を示すグラフで報告されている(図1に転載)。グラフには1次モデルの回帰直線とその95%信頼区間が示されている(実線Lと点線)。また(1+2次)モデルの回帰曲線と、2Gy未満に線量を限ったときの回帰曲線も示されている。LとLQの間に有意差がないことから1次モデルによる $\beta$ の推定値0.42と95%信頼区間0.32-0.53の値を採用して、固形がん死亡率が被曝線量とともに統計的に有意に増加していると結論している。

次に論文は、低線量域でもこの有意性が成り立つかどうかを調べている。結果は図2に引用してある。x軸は線量域の上限の値であり、たとえば0.2Gyのプロットは0Gyから0.2Gyの線量域で求めた $\beta$ を示している。有意かどうかは95%信頼区間の下限値から判定している。グラフが示すように、0.2Gy以上では有意であり0.1Gy以下では有意でない。論文は、この分析結果と、別に行った閾値の分析の結果を総合して、「有意なERRをもつ最小の線量は線量域0から0.2Gyであり、閾値の分析により閾値はないと推定する」という結論をえている。

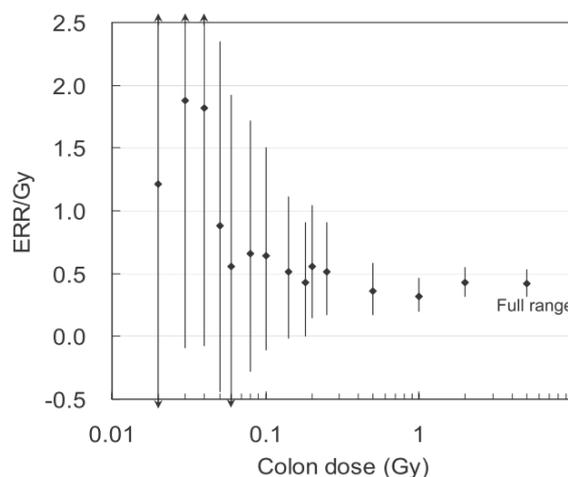


図 2 線量域を限定して一次モデルで求めた固形がんの ERR/Gy と 95% 信頼区間. 論文 Fig.6.

## 2. 放射線リスクの伝えられかた

この論文の分析結果は国民にどう伝えられているのだろうか. 新聞に掲載された 2014 年の政府広報, および文部科学省が学校に配布した放射線副読本からその実情を見ておきたい.

**(政府広報)** 政府は福島原発事故後の放射能被害を避けるため福島県から避難した人たちを対象に講演会を開催した. 政府広報として掲載された一頁全面記事の大見出しは「放射線についての正しい知識を」とある. (筆者が確認しているのは 2014 年 8 月 17 日の朝日新聞)

最初の講演者は東京大学医学部附属病院の中川恵一氏で, 見出しは「放射線について慎重になりすぎること, 生活習慣を悪化させ, 発がんリスクを高めている」である. 講演は, 100mSv 以下の被曝量でがんの増加は確認されていない, ICRP によれば福島で放射線被曝によるがんは増えない, という内容のものであったという. 次の講演者は国際原子力機関(IAEA)レティー・チェム氏で, 見出しは「国際機関により設定された科学的な基準に基づく行動をとってほしい」である. 講演は, IAEA の安全基準は科学界と専門家による調査に基づいて決めたものであり, 原発事故の際の被曝限度 20mSv という基準は ICRP が現代の科学知識を考慮して慎重に決めたものである, 不確かな情報に流されることなく行動するように, という内容のものであった. 講演会の主眼は避難者に, 100mSv 以下でがんにはならない, 20mSv 以下で病気になることはない, これが権威ある国際機関と専門家が結論したことなのだから, ほかの情報に惑わされてはいけない, とこう諭しているわけである. もちろんそのような科学的結論があるわけではない. 100mSv 以下で固形がん死亡率の増加が有意にならなかったことを, このように都合よく利用しているのである.

**(放射線教育)** 文部科学省が 2011 年に生徒に配布した「放射線副読本」の中学生と高校生向けの副読本は, 「短い期間に 100 ミリシーベルト(mSv) 以下の低い放射線量を受けることでがんなどの病気になるかどうかについては明確な証拠はみられていません」と記述していた. 放射線被曝の影響を図解した「放射線被ばくの早見図」では, 被曝線量 100mSv 以下のところに, 「がん死亡が増えるという明確な証拠がない」と説明している.

さらに教師向けの副読本では念入りに、「指導上の留意点」として「100mSv 以下の低い放射線量と病気との関係については、明確な証拠はないことを理解できるようにする」と書いている。教師にここを強調するように要求しているのである。(図3-(A))

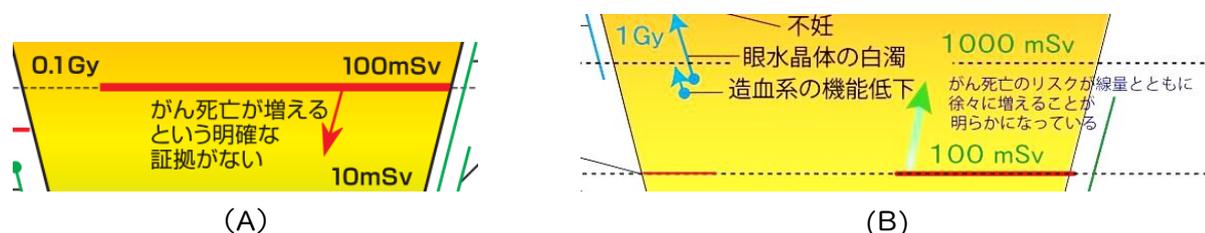


図 3 中学生・高校生放射線副読本「放射線被ばくの見図」での 100mSv の説明。(A) 2011 年作成 (B) 2014 年, 2018 年作成

副読本はこの問題に限らず国民からの激しい批判を受けた。文部科学省は 2014 年に副読本を改訂して、「放射線が人の健康に及ぼす悪影響については、まだ科学的に十分な説明がなされていません」、「100 ミリシーベルト以下の低い放射線量を受けることで将来がんなどの病気になるかどうかについては、様々な見解があります」という記述に変えた。「放射線被ばくの見図」は、100mSv 以上に「がん死亡のリスクが線量とともに徐々に増えることが明らかになっている」という説明文を入れ 100mSv 以下の説明文を削除した(図3-(B))。また、「ICRP は、科学的には影響の程度が解明されていない少量の放射線を受けた場合でも、線量とがんの死亡率増加との間に比例関係があると仮定して、合理的に達成できる範囲で線量を低く保つように勧告してします」という記述を入れて、ICRP が使っている比例関係は ICRP の単なる仮定であり科学的知識とは無関係であるという説明をしているのである。なお、教師向け解説副読本は廃止され、別々に作成されていた中学生と高校生の副読本はこのときひとつに統合された。

2018 年の改定では表面上記述におおきな変更があった。「放射線が人の健康に及ぼす影響については、広島・長崎の原爆被爆者の追跡調査などの積み重ねにより研究が進められてきており、放射線の有無ではなく、その量が関係していることが分かっています」と前置きしたあと、「しかし、その程度について、国立がん研究センターの公表している資料によれば、100~200 ミリシーベルトの放射線を受けたときのがん(固形がん)のリスクは 1.08 倍であり、これは 1 日に 110g しか野菜を食べなかったときのリスク(1.06 倍)や高塩分の食品を食べ続けたときのリスク(1.11~1.15 倍)と同じ程度となっています」と説明を続けている。最初の文は 100mSv 以下のリスクを示す明確な証拠がないとする見解と矛盾しないように書かれている。そして、100mSv 以下については触れることなく、次の文では 100-200mSv の放射線と同じ程度のリスクがほかにもあることに注意を促している。教師たちは「100mSv 以下の低い放射線量と病気との関係については、明確な証拠はないことを理解できるようにせよ」という指示を思いだすかもしれない。

以上の例からわかるように、仮説検定で有意でないことは、「リスクの明確な証拠がない」、「リスクがあると科学的にはいえない」、「リスクがあるというのは科学的に正しくない」というフレーズにかたちを変えて社会に流されているのである。

### 3. IPCC が使うベイズ統計学

統計学はフィッシャー統計学だけではない。われわれが利用できる数理統計学にはベイズ統計学がある。フィッシャー統計学は、基本的に母集団から標本の分布を考えるので分析の方向は母集団から標本に向かっている。仮説検定はこれを何とか遡及して標本のひとつであるデータから母集団の性質を推定しようとする工夫とみることができ。いっぽうベイズ統計学は成り立ちからして、分析の方向がデータから母集団の性質へと流れている。条件付き確率の活用がこのことを可能にしている。リスク評価の目的にベイズ統計学が優れているのはこのことによる。[ii]

IPCC (国連の気候変動に関する政府間パネル) が地球温暖化の研究成果を集約するのにベイズ統計学を使っているのはその好事例とみることができる。IPCC が 2013 年に発表した第 5 次評価報告書[iii]には次のような表現がでてくる。「人間活動が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高い」、「今世紀末までの世界平均地上気温の変化予測は 0.3~4.8℃である可能性が高い」。温暖化に関する研究には不確実性を伴うが、これは複数の研究成果を、ベイズ統計学を使って確率的に集約し、結果を表 1 に示すルールで事象の可能性の用語に置き換えたものである。つまりそれらは、「人間活動が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であるという事後確率が 95%以上である」、「今世紀末までの世界平均地上気温の変化予測が 0.3~4.8℃である事後確率が 66%以上である」ということを示している。事後確率はベイズ統計学の基礎概念であるがその説明はもう少し先のことにする。

表 1 IPCC の変換コード

原語	和訳	発生確率
Virtually certain	ほぼ確実	99~100% の確率
Extremely likely	可能性が極めて高い	95~100% の確率
Very likely	可能性が非常に高い	90~100% の確率
Likely	可能性が高い	66~100% の確率
More likely than not	どちらかといえば	50~100% の確率
About as likely as not	どちらも同程度	33~66% の確率
Unlikely	可能性が低い	0~33% の確率
Very unlikely	可能性が非常に低い	0~10% の確率
Extremely unlikely	可能性が極めて低い	0~5% の確率
Exceptionally unlikely	ほぼあり得ない	0~1% の確率

表 1 の性質について検討しておきたい。事象の生起確率はベイズ統計学にもとづいて計算される量である。いっぽう要約は、天気予報の確率と同じように、誰もが理解でき、実際の行動を誘導する表現になっている。これを変換コードとよぶことにする。

変換コードは統計学から一意的に決まるものではない。変換コードが適正でないなら、統計学の結果を正しく社会に伝えたことにならない。なんらかの利害関係が反映されて歪んでいないかを注意深く吟味しておく必要がある。仮説検定の場合は統計学で求められるのは p 値である。要約するのに使う用語は有意性のあるなしである。表 2 に仮説検定とベイズ統計学の変換コードを対比して示しておく。

表2 フィッシャー統計学とベイズ統計学の変換コードの比較

フィッシャー統計学(LSS14次報告)	
リスク推定に用いる指標	リスク評価
p値	p<0.025 なら $\beta>0$ と判断する p>0.025 なら $\beta=0$ を許容する
ベイズ統計学(IPCC第5次評価報告)	
リスク推定に用いる指標	リスク評価
事後確率 $P(\beta \leq 0)$	$P(\beta \leq 0) < 0.01$ なら $\beta > 0$ がほぼ確実と判断する $P(\beta \leq 0) < 0.05$ なら $\beta > 0$ の可能性が極めて高いと判断する $P(\beta \leq 0) < 0.33$ なら $\beta > 0$ の可能性が高いと判断する さらに細かく「非常に高い」と「高い」に分かれる $0.67 > P(\beta \leq 0) > 0.33$ なら $\beta = 0$ か $\beta > 0$ のどちらともいえないと判断する

#### 4. 放射線リスクをベイズ統計で評価する

放射線疫学の分野にベイズ統計学を使うことを試みる。論文の1次式モデルによるデータ解析を利用して放射線リスクを推定してみよう。ERR/Gyを $\beta$ で表す。

ベイズ統計学では、データの $\beta$ の確率分布から事後確率分布を計算するのであるが、そのためには事前に $\beta$ の確率分布を用意しておく必要がある。フィッシャー統計学からするとこれは奇妙に見えるが、 $\beta$ を確率として扱うためにはこのことが必要不可欠である。事前確率分布には、 $\beta$ について事前の知識があるならばそれを使うことになるが、そういったものがない場合はバイアスのない無情報確率分布を使うのがよい。一般論は適当な教科書を見てもらうことにして、ここではデータのサイズは十分大きく測定値が正規分布に従う場合の計算の方法を説明する。

$n$ 個の測定値 $\{\beta_i\}$ が平均値 $\mu$ 、分散 $\sigma^2$ の正規分布に従っていることがわかっているとす。この場合、正規分布の事前確率分布をとると解析的に計算できる。事後確率分布はBox-(1)式に示した正規分布になる。ここで $\mu$ と $\tau$ は事前確率分布の平均値と標準偏差であり、 $\mu'$ と $\tau'$ は事後確率分布の平均値と標準偏差である。無情報事前確率分布にするには $\tau \rightarrow \infty$ の極限をとればよい。このときの事後確率分布はデータの情報だけでBox-(2)式のように決まる。

**事後分布の計算—データが正規分布の場合—** いま  $n$  個の測定値  $x_i$  が平均  $\bar{x}$ , 母分散  $\sigma^2$  の正規分布に従っているとす。事前確率分布に平均  $\mu$ , 標準偏差  $\tau$  の正規分布にとると, 事後確率分布は平均  $\mu'$ , 標準偏差  $\tau'$  の正規分布になる。

$$p(\theta|\{x_i\}) \sim \exp\left\{-\frac{(\theta - \mu')^2}{2\tau'^2}\right\}$$

ここで  $\mu', \tau'$  は

$$\begin{aligned}\mu' &= \frac{\mu\tau^{-2} + n\bar{x}\sigma^{-2}}{\tau^{-2} + n\sigma^{-2}} \\ \tau'^{-2} &= \tau^{-2} + n\sigma^{-2}\end{aligned}\quad (1)$$

である。無情報事前確率分布の場合は,  $\tau \rightarrow \infty$  の極限をとって

$$\begin{aligned}\mu' &= \bar{x} \\ \tau'^{-2} &= n\sigma^{-2}\end{aligned}\quad (2)$$

となる。文字記号は松原望著「入門ベイズ統計」の 19 頁の式にあわせた。

データ  $\{\beta_i\}$  を入手することができないので,  $\beta$  は正規分布すると近似して, 論文のグラフから読み取った  $\beta$  の点推定と 95%信頼区間の下限を正規分布の 50 パーセンタイルと 2.5 パーセンタイルと同一として(2)式から  $\beta$  の事後確率分布を求めることにする。これを各線量域ごとにおこなう。グラフから分かるように  $\beta$  の分布は正規分布から少しずれているので, 信頼区間の下限値ではなく上限値を使うと結果は多少違ってくる。しかしこの論考の目的からすればこの程度の計算の誤差は問題にならないであろう。 $\beta$  の確率分布がえられたのであるから, 正のリスクの確率を与える事後確率  $P(\beta > 0)$  を計算するのは簡単である。 $P(\beta \leq 0)$  は正のリスクを否定する確率になる。なお, 関係  $P(\beta > 0) + P(\beta \leq 0) = 1$  はつねに成り立ち, 事前確率は一様分布であるから  $P(\beta > 0) = P(\beta \leq 0) = 0.5$  である。

分析でえた線量域別の事後確率  $P(\beta > 0)$  とその日常用語による要約を表 3 に示す。

表 3 線量域の事後確率  $P(\beta > 0)$  とリスク評価

線量域 0 から (Gy)	$\beta$	L(95%)	U(95%)	$P(\beta > 0)$	リスク評価
0.02	1.21	-2.62	5.43	0.732	可能性が高い (Likely)
0.03	1.88	-0.09	4.03	0.969	可能性が極めて高い (Extremely likely)
0.04	1.82	-0.07	3.86	0.970	可能性が極めて高い (Extremely likely)
0.05	0.88	-0.44	2.35	0.904	可能性が非常に高い (Very likely)
0.06	0.56	-0.67	1.92	0.814	可能性が高い (Likely)
0.08	0.66	-0.28	1.72	0.916	可能性が非常に高い (Very likely)
0.10	0.64	-0.11	1.5	0.953	可能性が極めて高い (Extremely likely)
0.14	0.51	-0.01	1.11	0.973	可能性が極めて高い (Extremely likely)
0.18	0.43	0	0.91	0.975	可能性が極めて高い (Extremely likely)
0.20	0.56	0.15	1.04	0.996	ほぼ確実 (Virtually certain)
0.25	0.51	0.17	0.91	0.998	ほぼ確実 (Virtually certain)
0.50	0.36	0.17	0.58	1.000	ほぼ確実 (Virtually certain)
1.00	0.32	0.2	0.46	1.000	ほぼ確実 (Virtually certain)
2.00	0.43	0.32	0.55	1.000	ほぼ確実 (Virtually certain)
Full	0.42	0.32	0.53	1.000	ほぼ確実 (Virtually certain)

注目すべきは、0.1Gy 以下のリスクの評価がほとんどの線量域で「可能性が極めて高い」と判断されており、「可能性が非常に高い」と「可能性が高い」がこれにいくらか混じる程度という結果をえたことである。「どちらともいえない」に該当する線量域はなかった。有意でない判定した仮説検定の結果と比較してほしい。

仮説検定についてはアメリカ統計学会が 2016 年に「統計的有意性とP値に関する声明」を発表して、これには重大な問題があると訴えている[iv]。すこし長くなるがこれから関連する部分を引用しておく。

科学的な主張や結論を正当化するために、データ解析や科学的推論を機械的で明白なルール（「 $P < 0.05$ 」といった）に貶めるようなやり方は、誤った思いこみと貧弱な意思決定につながりかねない。二分割された一方の側で、結論が直ちに「真実」となったり、他方の側で「誤り」となったりすることはありえない。科学的推論を行う際、研究者はさまざまな背景情報を利用すべきであり、それには研究のデザイン、測定の本質、研究対象である事象のこれまでのエビデンス、データ解析の背後にある仮定の妥当性が含まれている。「可否」による二分法の決定は実用的ではあるが、P 値だけで決定が正しいかどうか保証されるものではない。「統計的有意性」（通常「 $P < 0.05$ 」とされる）は、科学的結論（つまり真実であること）を主張するための保証として広く用いられているが、科学のプロセスを著しく損ねている。

統計学研究者の学会が、有意性による判断を科学的と言えないとこのように明確に指摘したことは重大なできごとである。この指摘の意味は表 3 に示した数値からも納得のいくことであろう。0.18Gy までの線量域で、仮説検定でリスクが有意とされ、0.14Gy までの線量域では有意でないとされたが、両者の差は  $P(\beta > 0)$  でみたとき 0.2% にすぎない。このわずかな差で有意であったり有意でなかったりするのである。

ここでベイズ統計学のリスク評価の特徴をリストアップしておきたい。まず、ベイズ統計学は点推定と信頼区間の総体を利用してリスクを推定する。これは仮説検定が事実上信頼区間の下限値のみでリスク評価をおこなっていることと対照的である。第 2 に、ベイズ統計学ではリスクの確率を直接求めることができることに加えて、これを日常用語で要約する変換コードに柔軟性があるためリスクの程度をきめ細かく表現することができる。第 3 に、その変換コードが明示されているため要約表現が適切かどうか、不当なバイアスが潜んでないかどうか、公開で検討できる。したがって必要となればそれを修正することができる。仮説検定で変更できるのは有意水準だけであり、p 値は小さいほど信頼度が高いと考えている。第 4 に、変換コードによって一般市民にもよくわかることばでリスクの程度を表現できる。このことは研究者と市民が放射線リスクについて話しあうときに極めて大きな効果を発揮する。第 5 に、仮説検定で問題にされるような第 1 種の過誤と第 2 種の過誤というような面倒な議論を必要としない。たとえば表 3 の 0-0.2Gy の線量域を見てほしい。この線量域では放射線リスクがあるという確率が 0.732 であった。これについて、リスクがないと決定すればそれが過誤である確率は 26.8% である。また、リスクがあると決定すれば過誤の確率は 73.2% になる。ベイズ統計学では  $\beta$  の事後確率分布がわかるので、過誤の確率をただちに知ることができるのである。

こうした特徴はベイズ統計がリスク評価の目的に非常に適していることを示している。ただし、そうだからといってベイズ統計がいつも正しいリスク評価を導くわけでないのはいうまでもないことである。たとえば、仮説検定と同様のリスク判定を下すようにベイズ統計の変換コードを書き直すこともできる。表 2 を見て分かるように、 $p(\beta \leq 0) < 0.025$  の場合に「リスクは確実である」と要約し、0.025 より大きい場合はすべて「リスクは明確ではない」と要約することにすればよい。しかし、このような変換コードが受け入れられるとは思えない。「リスクの可能性がきわ

めて高い」とか「非常に高い」とか「高い」という可能性の程度を表現することができるのに、これを「明確でない」と十把一からげに片づけてしまうことは正当化できないであろう。このような変換コードはデータの持っている詳細な情報を遺失させてしまっているのである。

## 5. 結論

ベイズ統計学を用いてLSSI4次報告書のデータを分析し、放射線リスクの事後確率をIPCC第5次報告書の変換コードで要約した。100mSv(mGy)より低い線量の放射線が固形がんを誘発するリスクは極めて高いという結論をえた。

この線量域の放射線リスクは、これまで仮説検定を使って統計的に有意ではないので無視してかまわないとされてきたものであるが、これは仮説検定という分析方法に強く依存した結論であるということがわかった。

仮説検定とベイズ統計学でリスク評価にこれほど大きな違いが生じたのは変換コードによるところが大きかった。仮説検定によって有意でないと判定されると、巷間ではそのようなデータは疫学的価値がないとかリスクの明確な証拠がないことの証拠だとかと拡大解釈されており、裁判では国がこうしたデータをリスクが証明されない証拠だとして利用されている。リスクの承認に厳しい条件を課す仮説検定は、リスクを製造する側に極めて有利に働いている[v]。したがって、リスクを負わされる側の公衆と労働者からすれば心底から受け入れるようなものにどうしてもならない。彼らが放射線リスクの疫学的研究に不信を表明するのはこの不公平性に起因するところが大きい。研究者の努力が真に社会に受け入れられることを望むならば、仮説検定のこの問題とまっすぐに向き合い、公平性のあるリスク評価の方法を開発していくことが必要なのではなかろうか。

この原稿を作成するにあたり国立環境研究所の林岳彦氏と慶応義塾大学の濱岡豊氏から有益なコメントをいただきました。心からのお礼を申し上げます。 ■

- i 松原望, 「ベイズ統計学入門-意思決定の理論と発展」, 東京図書, (2008).
- ii 松原望, 「ベイズ統計学入門-意思決定の理論と発展」, 東京図書, (2008).
- iii 松原望, 「ベイズ統計学入門-意思決定の理論と発展」, 東京図書, (2008).
- iv RL.Wasserstein and NA.Lazar; “The ASA’s statement on p-values: Context, process, and purpose.”, *The American Statistician* **70**: 129-133 (2016). <http://www.biometrics.gr.jp/news/all/ASA.pdf> (日本語訳).
- v 松原望, 「ベイズ統計学入門-意思決定の理論と発展」, 東京図書, (2008).

市民科学研究室の活動は皆様からのご支援で成り立っています。『市民研通信』の記事論文の執筆や発行も同様です。もしこの記事や論文に興味深いと感じていただけるのであれば、ぜひ以下のサイトからワンコイン(100円)でのカンパをお願いします。小さな力が集まって世の中を変えていく確かな力となる—そんな営みの一歩だと思っていただければありがたいです。

[ワンコインカンパ](#)

←ここをクリック(市民研の支払いサイトに繋がります)