

岡山大学 環境管理センター 主催
第4回 サステナブル・セミナー(2011 Oct 24)

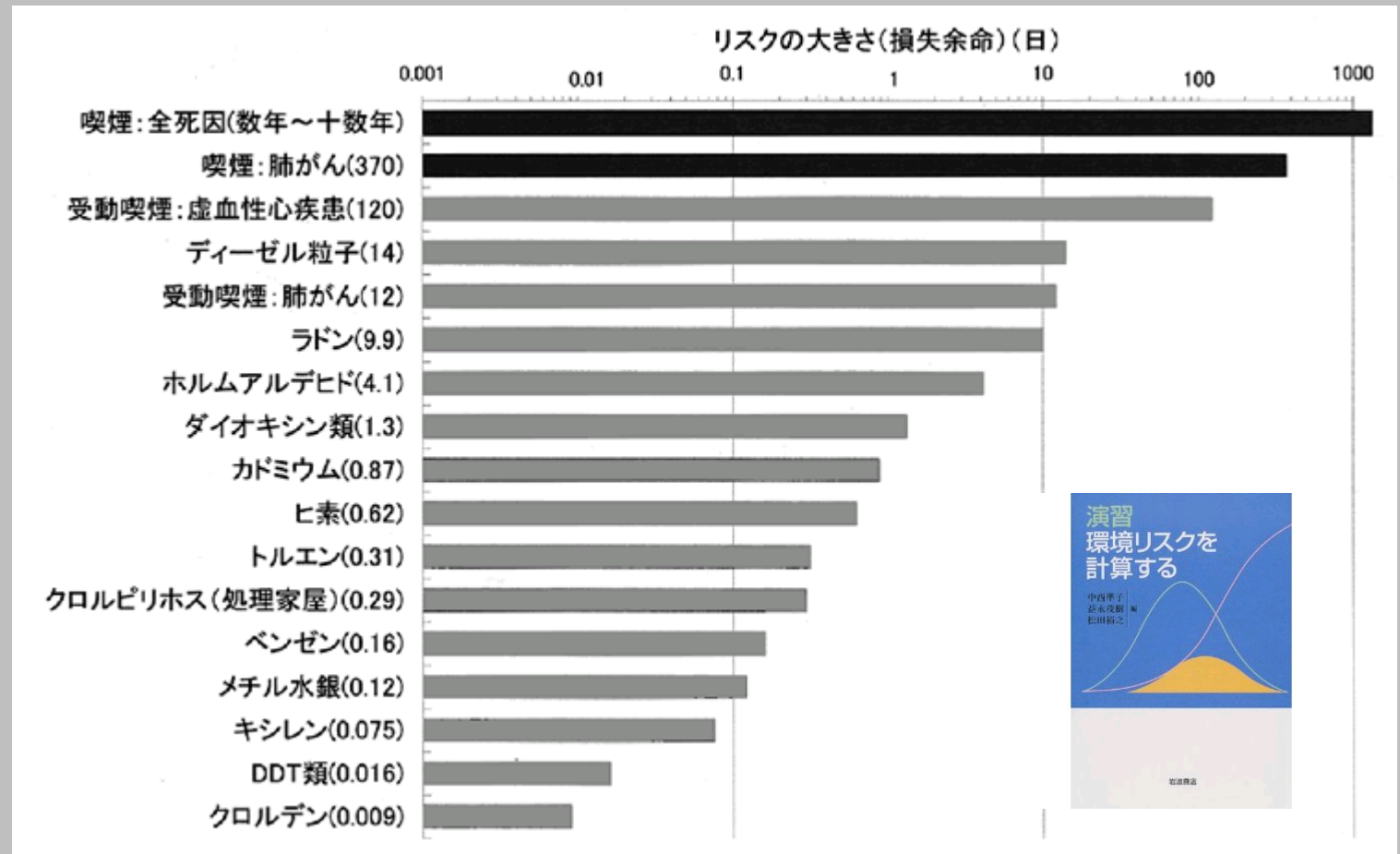
「環境リスクについて」

大阪工業大学 工学部 環境工学科
廃棄物共存工学研究室 教授

渡辺信久

“リスク”のことを学ぶきっかけ 損失余命によるリスクランキング by 中西・益永・松田

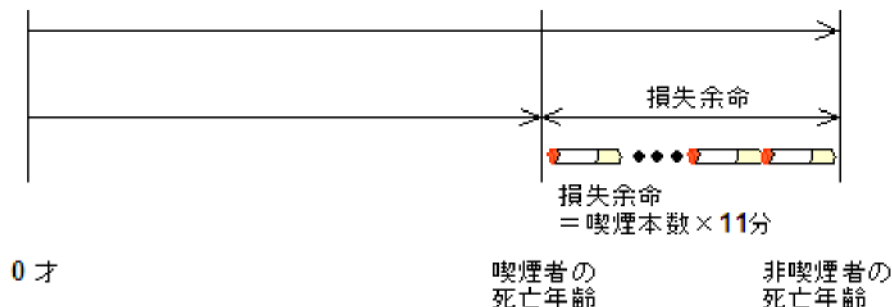
- たばこ
- ベンゼン
- 環境基準
- 天然リスク
- ラドン
- ヒ素
- 実験安全
- 10^{-5} とは?



(出所:中西準子、益永茂樹、松田裕之編「演習 環境リスクを計算する」岩波書店 2003)

ひとつ解き明かしました: たばこの損失余命: 3~11分/本

- 「たばこ1本で命が11分短縮される」(2000年Jan 1 British Medical Journal(BMJ))



NIPPON DATA 80(2007)での調査結果からの考察

40歳時点での平均余命で比較を行い、表の結果を得ました。先ほどのイギリスの例と同じような計算をしてみましょう。たばこを吸い始める年齢を20才とし、死ぬまで40才時点でのペースで吸い続けるとして計算をすると、たばこ1本あたりの損失余命は3.0 ~ 7.6 分/本となりました。

表 喫煙量と余命の関係

NIPPON DATA 80の結果	たばこ1本あたりの損失余命の推定
40歳の時点での余命(本数/日)	損失余命の計算
非喫煙者 で 42.1年	
1箱/日未満で 39.0年 (10本)	$(42.1 - 39.0) / ((20+39.0) \times 365 \times 10) = 7.57 \text{ 分/本}$
1~2箱/日 で 38.8年 (20本)	$(42.1 - 38.8) / ((20+38.8) \times 365 \times 20) = 4.04 \text{ 分/本}$
2箱/日以上で 38.1年 (50本)	$(42.1 - 38.1) / ((20+38.1) \times 365 \times 50) = 3.02 \text{ 分/本}$



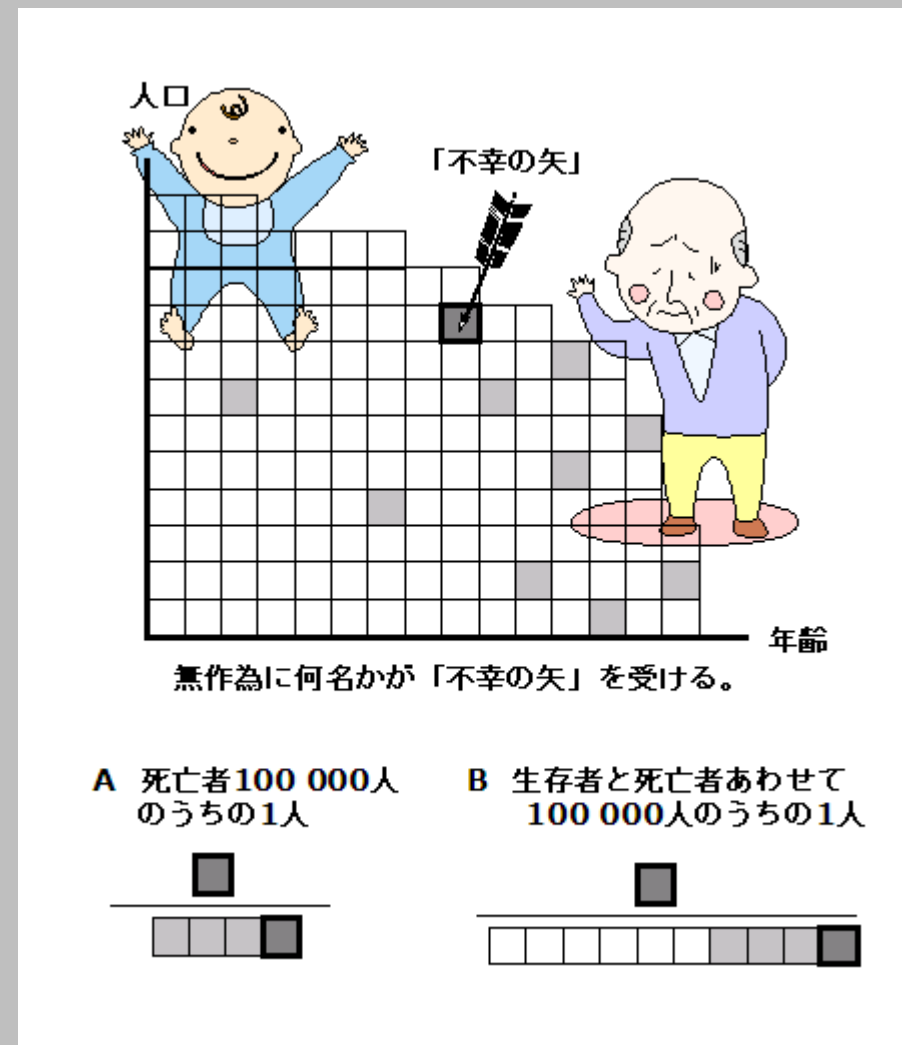
出所: 渡辺信久・岸本直之・石垣智基「図説 わかる 環境工学」(学芸出版社 2008)

しかし、全般的に、リスク計算に関する基礎学力が欠落

- 化学物質のリスク評価というと 10^{-5} の話が多い。
- そもそも、損失余命によるリスクランキングでは、世間で大騒ぎしている(ように私には感じられた)ベンゼンのランクは、決して高いとはいえなかった。
 - ベンゼン 環境基準 (2000)、管理濃度の見直し(2005)
- 「ラドン」や「ヒ素」のことを、あまり知らない。
 - Radon in homes(2003 US EPA)
 - Hijikiのヒ素が原因で、英国で警告 (2004)
- 中西ら「演習 環境リスクを計算する」出版(2003)
- 以上の復習をしながら、自らも意見を持つようになりました。

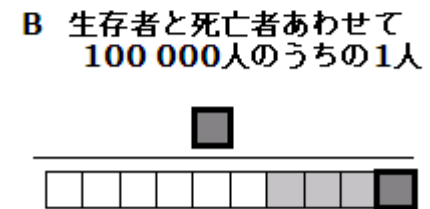
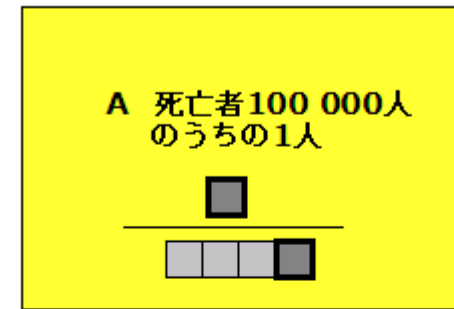
リスクの表現方法 について「 10^{-5} って」

- 言葉の意味は「その事象によって発がん死する人が100 000分の1」です。
- それではクイズです。生命表にランダムに「不幸の矢」があたると考えます。
- 生涯過剰発がんリスク (Life time excess cancer risk) 10^{-5} とは、AあるいはBのどちらでしょう。



生涯過剰発がんリスクとは「死亡者のうちの割合」

- Life time excess cancer risk とは、死亡者100 000人のうち、「その事象によって発がん死した人」が1人であるという意味です。
- 我が国の場合、毎年の死亡者が約1 000 000人なので、 10^{-5} リスクを原因とする死は、年間に10人です。
 - B は、「人口100 000人のうち、毎年、1人ずつ、その事象で発がん死する」と解釈できますが、最近では、あまり使われません。



環境基準「大気中ベンゼン $3 \mu\text{g m}^{-3}$ 」は、 10^{-5} で定められた

- Unit Risk もしくは Slope Factor でリスク見積もりができる。
 - 米国 EPA: Integrated Risk Information Systemで公開されている。
 - 生涯にわたって、継続暴露する場合の、リスクを算定する際に、用いられる係数である。

$$\text{過剰生涯発がんリスク} = 5 \times 10^{-6} \frac{1}{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}} \times 3 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = 1.5 \times 10^{-5}$$

$\underbrace{\hspace{15em}}$

大気ユニットリスク の中央値 (USEPA IRIS)	大気中濃度 (日本国環境基準)
-----------------------------------	--------------------

ベンゼンの管理濃度(労働安全衛生)は 10^{-3} で定められ、1 ppmです。なぜ?

●大気中ベンゼン環境基準

- $3 \mu\text{g m}^{-3}$ at $25 \text{ }^\circ\text{C}$ は
0.96 1 ppbVに等しい。
- 1 ppbV は、概ね、
 10^{-5} リスクである。

●労働安全衛生での管理濃度は 10^{-3} リスクで定められているが、1 ppbVの100倍ではなく、1000倍の1 ppmVで定められている。

●すなわち、リスク100倍、濃度1000倍である。これって、なぜ?

	環境基準	管理濃度
10^{-3}		1 ppm
10^{-4}		
10^{-5}	$3 \mu\text{g m}^{-3} = 1 \text{ ppb}$	

環境大気の生涯曝露時間は、労働曝露時間の10倍だから

- 生涯曝露は、700 800 時間(寿命 80年として)
- 労働曝露は、72 000 時間 (週40 時間労働、45週/年、40年間の就労として)
- 労働曝露は、生涯曝露の10分の1だから、10倍の濃度で等価になる。
- 従って、リスク計算をするにあたっては、曝露時間を考慮して計算しなければならない。

	環境基準	管理濃度
生涯曝露時間	$80 \text{ y} \times 365 \frac{\text{d}}{\text{y}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{d}}$ = 700 800 h	$40 \text{ y} \times 45 \frac{\text{w}}{\text{y}} \times 40 \frac{\text{h}}{\text{w}}$ = 72 000 h
10^{-3}		1 ppm
10^{-4}		
10^{-5}	$3 \mu\text{g m}^{-3} = 1 \text{ ppb}$	

10⁻⁵へのチャレンジ

- 「10⁻⁵をリスク受容の目安」もしくは、ALAP(As low as possible)を唱えていれば、学者としての我が身を守ることができます(最近型御用学者)。
- 一方で、リスクを取り除くためのコストを真剣に考えれば、「それくらいは、仕方がないだろう」という意見を持つ人も出てくる。
- そもそも、私たちは、10⁻⁵を上回るリスクを受け入れている。まずは、それをよく知っておきたい。

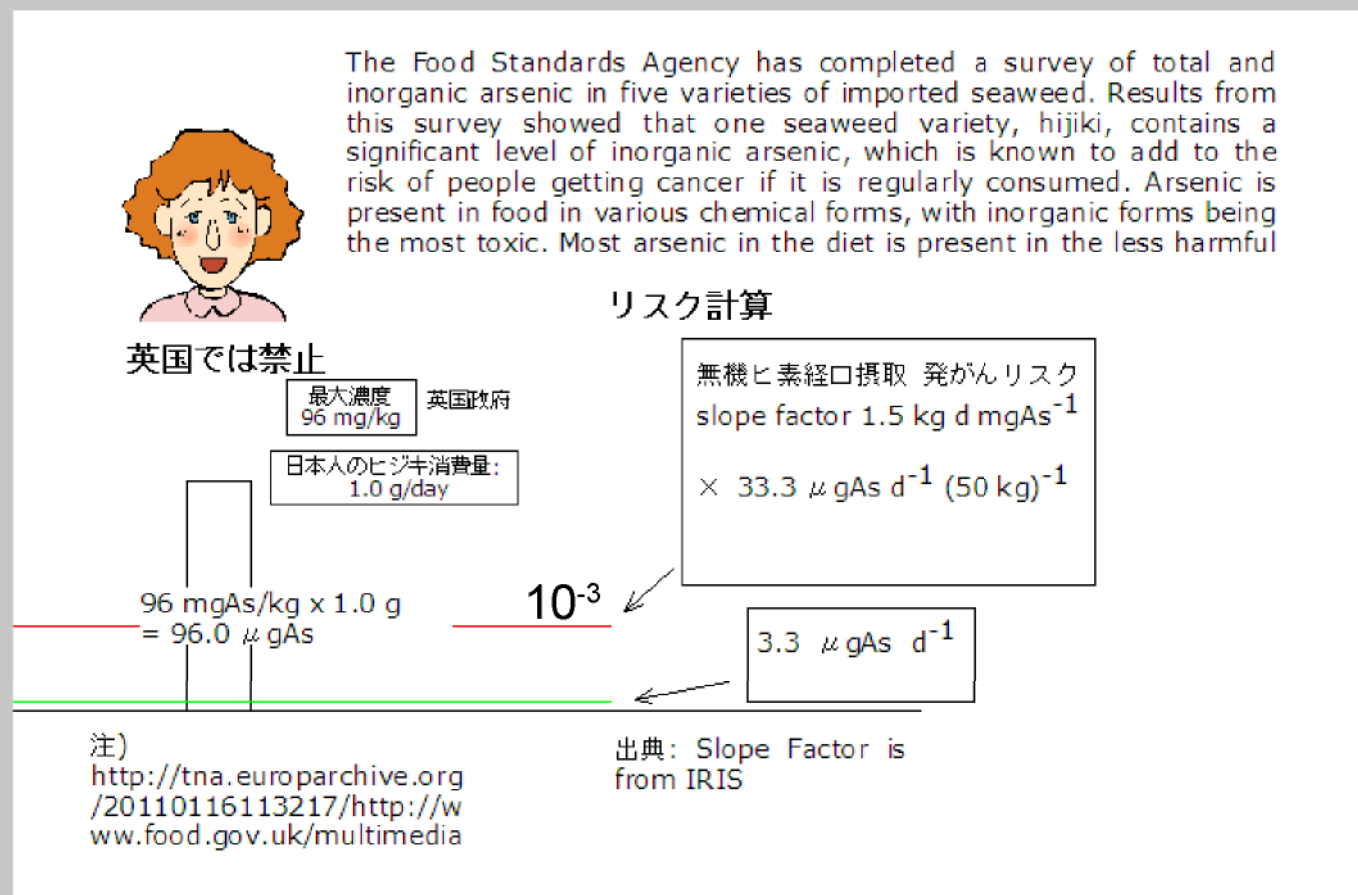
Hijikiのヒ素

- 2004年7月に英国食品規格庁(FSA)は、ひじき中の無機ヒ素が製品(乾物)で67 ~ 96(平均77) $\mu\text{g g}^{-1}$ 、水戻ししたもので5 ~ 23(平均11) $\mu\text{g g}^{-1}$ 検出されたので、国民にひじきを食べないよう勧告しました。
- 日本の厚生労働省は、JECFA(FAO/WHO 合同食品添加物専門家委員会)が示した無機ヒ素の暫定週間耐容摂取量(PTWI) $0.015 \text{ mg kg}^{-1} \text{ w}^{-1}$ を用いて反論しました。
- 以下の試算を行いながら、反論の根拠とリスクの大きさを算定していきましょう(既著参照)。



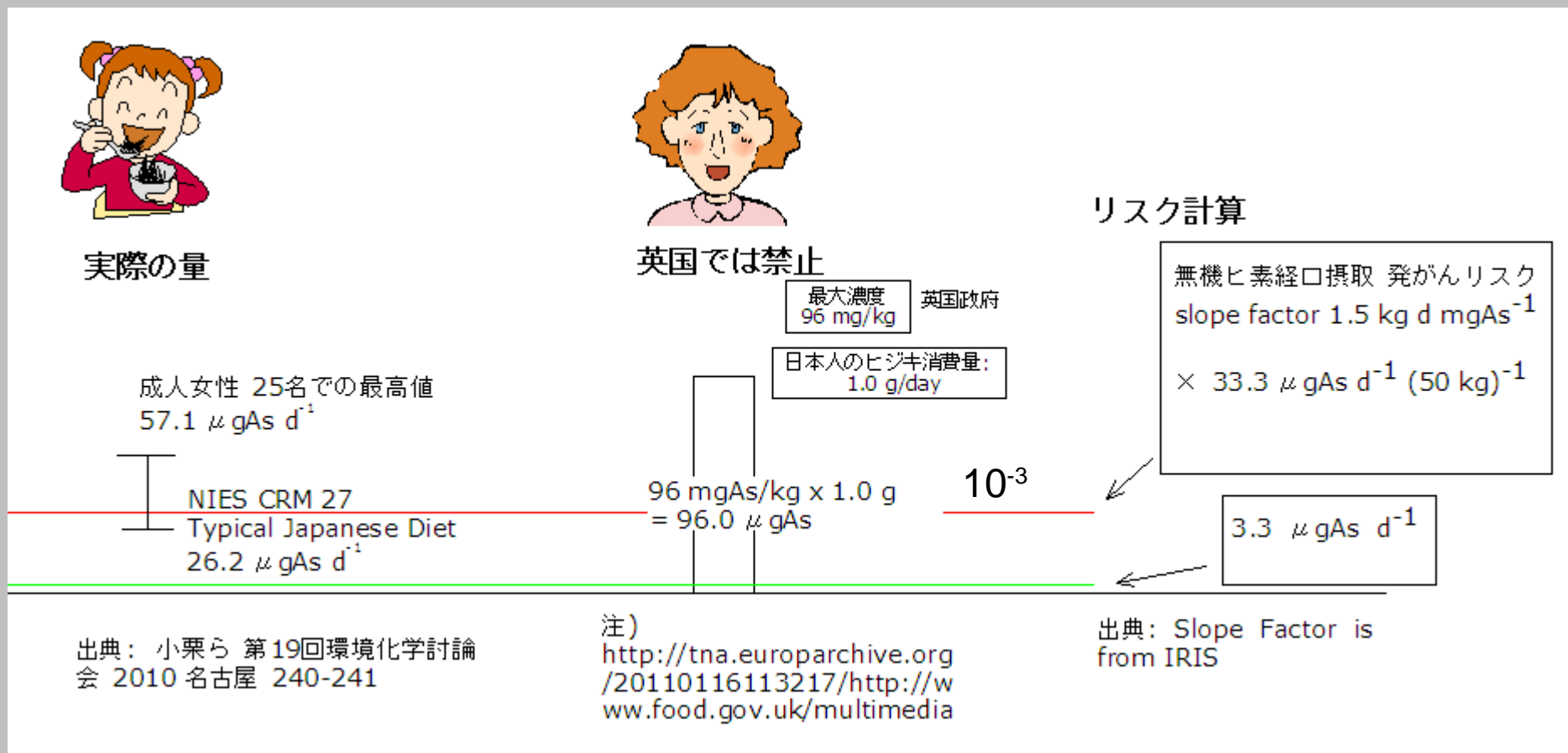
英国FSAの根拠(米国 EPA IRISのリスク係数を適用して推測)

- 乾燥ひじき中の無機ヒ素最大濃度 96 mg kg^{-1} と日本人のヒジキ消費量 1.0 g d^{-1} から、経口摂取量は、 $96 \text{ } \mu\text{g d}^{-1}$ となり、発がんリスク 10^{-3} を上回る摂取量になる。



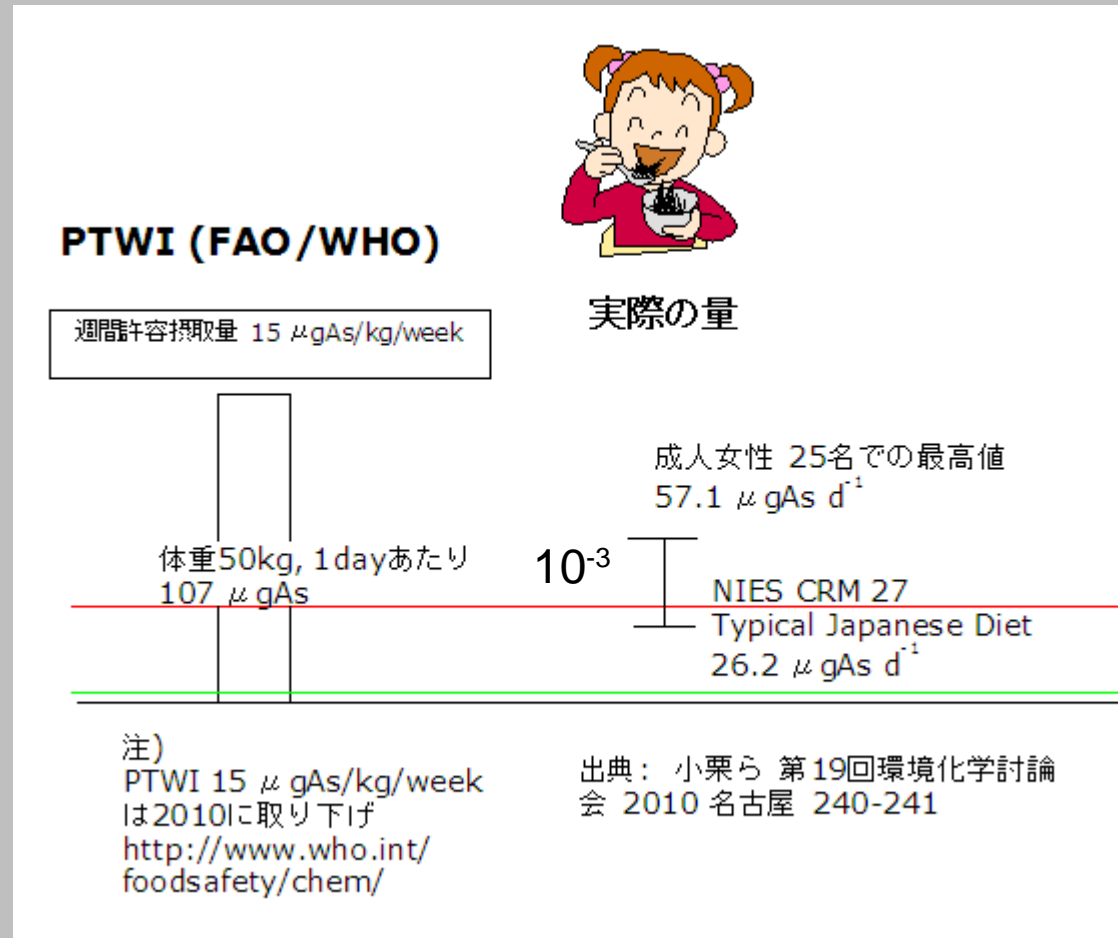
たしかに、英国FSAが心配する程度のヒ素を摂取している

- ヒ素摂取最高値 $57.1 \mu\text{g d}^{-1}$ (ヒジキをよく食する)
- NIES CRM 27 Typical Japanese Dietで $26.2 \mu\text{g d}^{-1}$



日本国 厚生労働省の反論

- 「PTWI (暫定週間耐容摂取量, FAO/WHOによる)からは、 $107 \mu\text{gAs d}^{-1}$ まで、大丈夫ということになっている。」
 - しかし、なんと、このPTWIは、2010年に取り下げられている。
- ちなみに、 10^{-3} リスクでの年間死亡者数は、1 000人です。
- それでも、健康的な食品として、日本では好んで食されています。



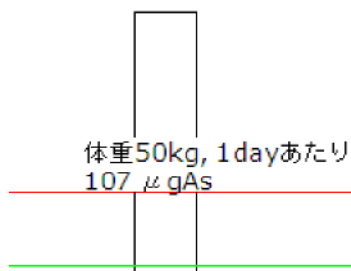
全体を見渡すようになります



実際の量

PTWI (FAO/WHO)

週間許容摂取量 15 $\mu\text{gAs/kg/week}$



成人女性 25名での最高値
57.1 $\mu\text{gAs d}^{-1}$

NIES CRM 27
Typical Japanese Diet
26.2 $\mu\text{gAs d}^{-1}$



英国では禁止

最大濃度 96 mg/kg 英国政府

日本人のヒジキ消費量:
1.0 g/day

96 mgAs/kg x 1.0 g
= 96.0 μgAs

リスク計算

無機ヒ素経口摂取 発がんリスク
slope factor 1.5 kg d mgAs⁻¹
× 33.3 $\mu\text{gAs d}^{-1}$ (50 kg)⁻¹

3.3 $\mu\text{gAs d}^{-1}$

10⁻³

注)
PTWI 15 $\mu\text{gAs/kg/week}$
は2010に取り下げ
<http://www.who.int/foodsafety/chem/>

出典: 小栗ら 第19回環境化学討論
会 2010 名古屋 240-241

注)
<http://tna.europarchive.org/20110116113217/http://www.food.gov.uk/multimedia>

出典: Slope Factor is
from IRIS

- 日本産Hijikiには、常食すると健康を害するレベルの無機ヒ素が含まれている。しかし日本では、好んで食されている。
- 「かつて定められた許容量」の範囲内であったが、2011年現在は、その許容量は、取り下げられている。

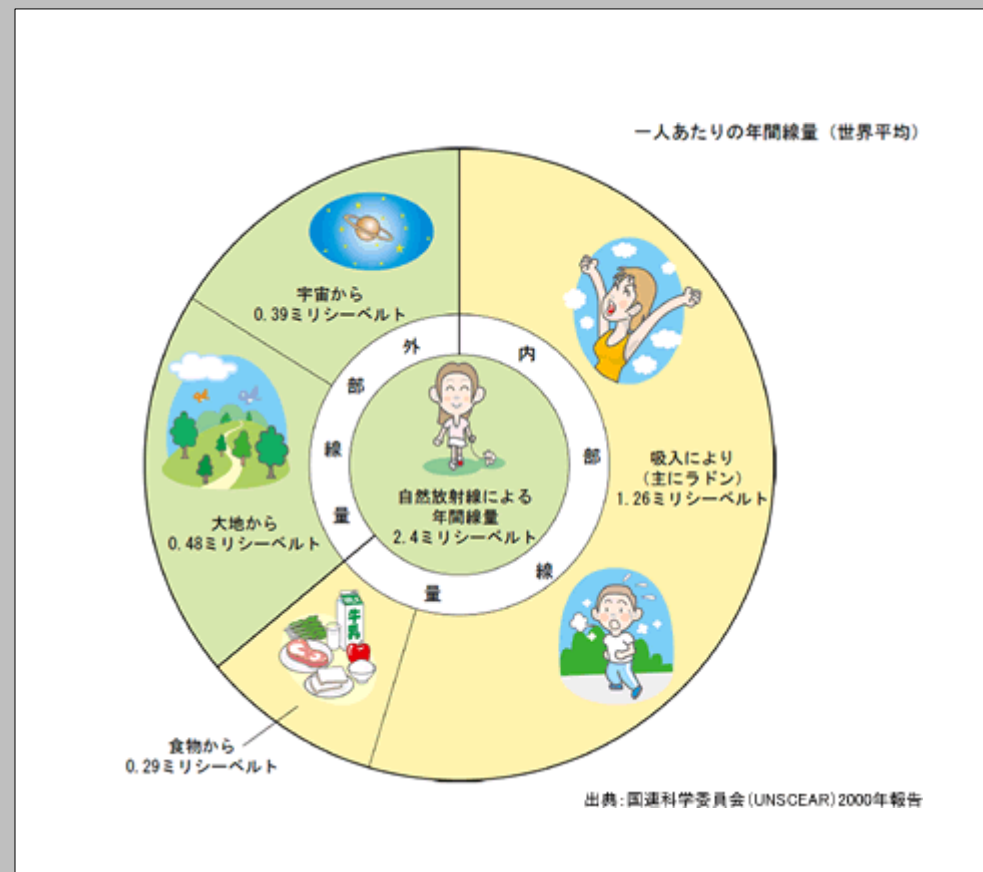
Evaluation of certain contaminants in food

(Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)

. WHO Technical Report Series, No. 959, 2011

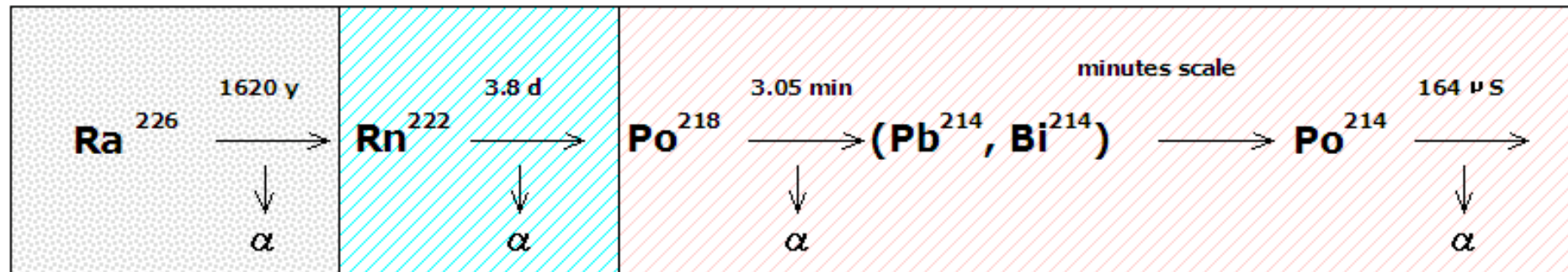
もう一つの 10^{-5} を上回るリスク: ラドンによる肺がん

- 自然放射線: 2.4 mSv y^{-1}
- そのうち、 1.26 mSv y^{-1} は、ラドンの吸入によるもの
- その他は、食物、大地、宇宙線である。



ラドンについてももう少し詳しく

- ラドン (Rn222)は、地中やコンクリートに含まれるラジウム(Ra226)を親核種として、大気中に放出される(ラジウムの半減期は1620 y)。
- ラドンは、不活性ガスなので、吸入しても、すぐに排出される。
- しかし、ラドン(半減期3.8 d)から生成する娘核種 (ポロニウム (Po218、Po214)など)は、粒子状で大気中に浮遊し、肺に沈着し、放出されるα線が内部被曝をもたらす(年間被曝線量は約1 mSv)。
- 最初は、鉱山労働者の肺がんの多発から見つかった。



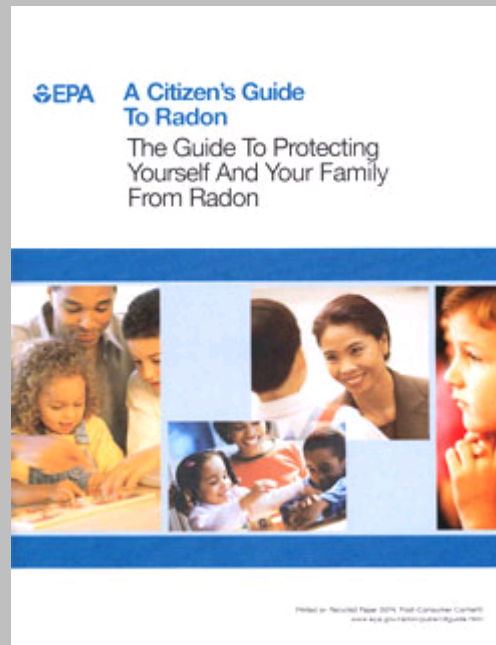
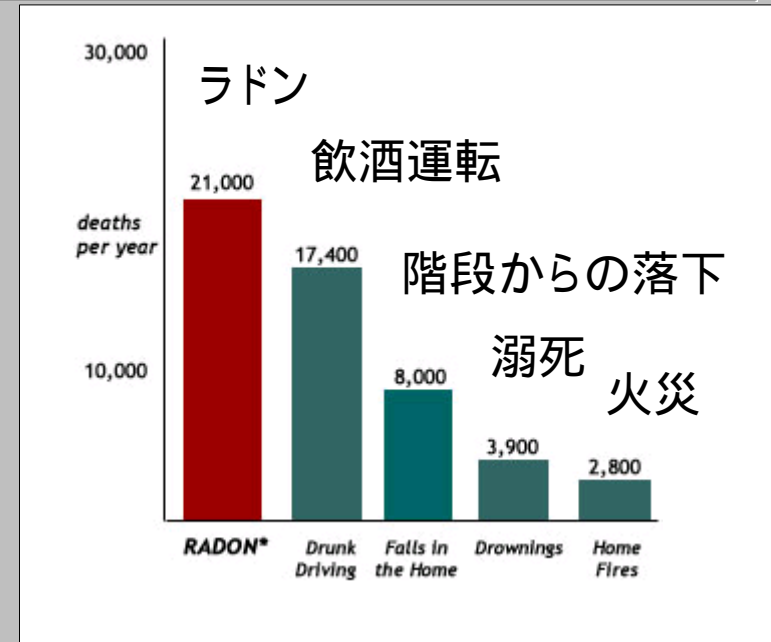
地中
コンクリート 等

気中(ガス状:
吸っても、
吐き出される)

粒子状(吸入すると肺に沈着する)

肺がん死の10人に1人はラドンが原因

- ラドン肺がんによる年間死者数は21 000人(米国EPAでの市民向けパンフレット)
- 米国での肺がん死者数は、160 000人(2007)



ラドンレベルの高い家では肺がん死が多くなるので改修を推奨

- 2 pCi L⁻¹ で 非喫煙者1000人中4人が肺がんを患う
- 1.3 pCi L⁻¹ (平均室内ラドンレベル) で非喫煙者1000人中2人が肺がんを患う
- 平均屋外ラドンレベル 0.4 pCi L⁻¹
- 喫煙者もしくは喫煙経験者はさらにリスクが高まる

Radon Risk If You've Never Smoked

Radon Level **If 1,000 people who never smoked were exposed to this level over a lifetime*...**

20 pCi/L **About 36 people could get lung cancer**

10 pCi/L **About 18 people could get lung cancer**

8 pCi/L **About 15 people could get lung cancer**

4 pCi/L **About 7 people could get lung cancer**

2 pCi/L **About 4 person could get lung cancer**

1.3 pCi/L **About 2 people could get lung cancer**

(Average indoor radon level)

0.4 pCi/L

(Average outdoor radon level)

Note: If you are a former smoker, your risk may be higher.

ICRPの名目リスク係数からも同様の計算ができる

- 国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) は、1990年勧告(Pub 60)および2007年勧告(Pub 103)で、名目リスク係数(Nominal Risk Coeff)を述べている。「低線量」、「集団」に対して適用される。

表3 がんと遺伝的影響に関する損害リスク係数 (10^{-2} Sv^{-1})

被ばくした集団	がん		遺伝的影響		合計	
	1990	2007	1990	2007	1990	2007
全体	6.0	5.5	1.3	0.2	7.3	6.0
成人	4.8	4.1	0.8	0.1	5.6	4.0

がんのNominal Riskを
 $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ として計算すると、

ラドン の場合 我が国での平均的な被曝量は 1 mSv y^{-1} である。

寿命 **80** 年とすると、生涯でのラドン被曝は、**80 mSv / lifetime**

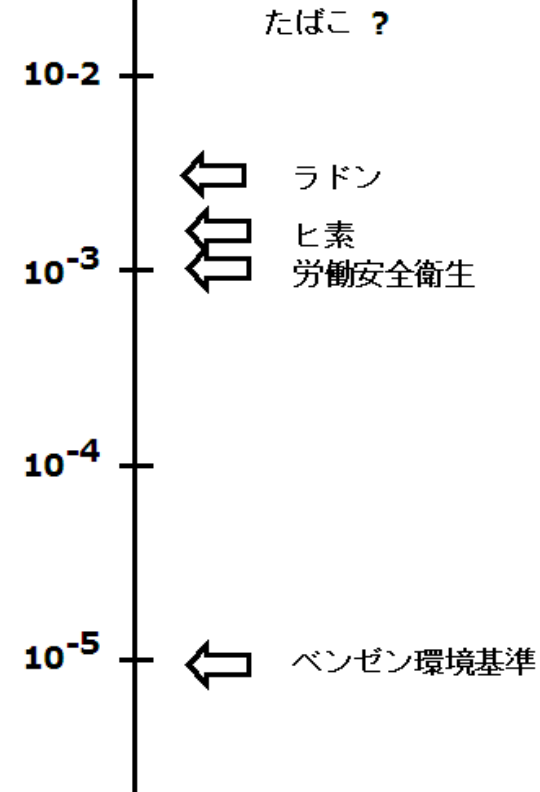
$$0.08 \text{ Sv lifetime}^{-1} \times 5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1} = 0.004 \text{ lifetime}^{-1}$$

すなわち、寿命**80**年としたときの、**1000**人の死者のうちの**4**人は、「ラドン肺がんで死んだ」勘定になる。

各リスクを一覧

- 環境基準として定められている 10^{-5} は、天然由来や労働安全衛生のリスクより、2桁程度低いところに設定されている。
- われわれは、 10^{-3} を容認すべき領域にすでに足を踏み入れているのではないか。

生涯過剰発がんリスク



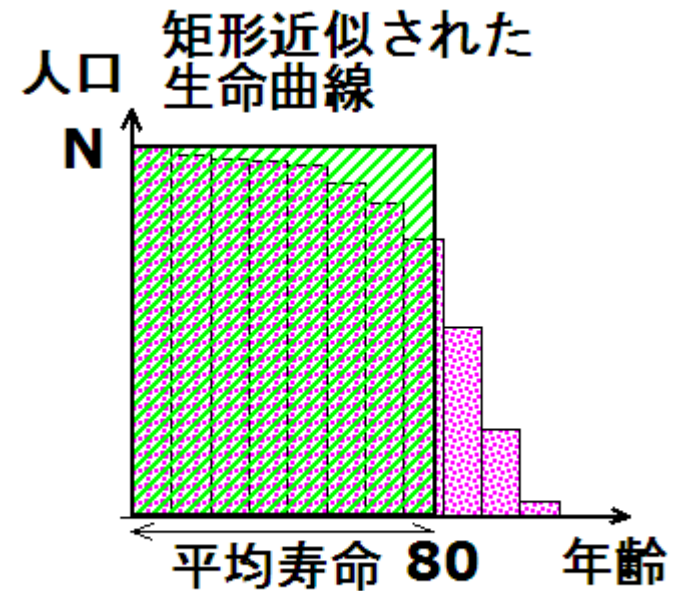
しかし、「生涯・・・」の計算に引っかかるものはありませんか？

- リスク計算は、生涯(80年間)での定常的な曝露を想定している。
- しかし、曝露量は曝露濃度×曝露時間であるので、曝露時間が短ければ、濃度は少々高いことがあってもいいのではないか？
 - 例) 実験室での薬品、日曜大工でのおがくず
- 幼少期の曝露と、中高年の曝露を同様に扱うのはいかなものか？
- リスク計算は簡単明瞭なものが好まれる。
- 矩形近似法による損失余命の計算を考案しました

Watanabe N, Mizutani S, Takatsuki H: A simplified estimation of lost life expectancy (LLE) using a rectangular approximation method Environ Sci Vol 14 9-14(2007)

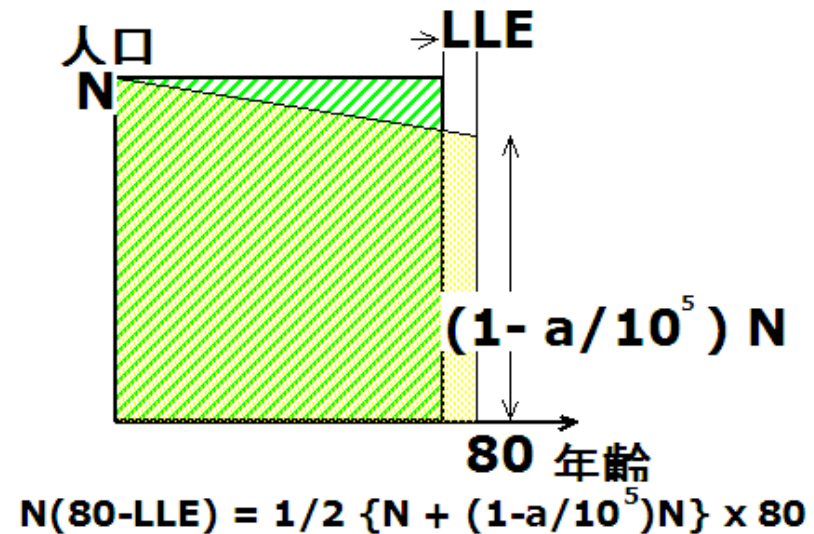
矩形近似法による損失余命の計算方法

- 生命曲線を長方形で近似する。
- 人口をN人、全員の寿命を80年として考える。



10⁻⁵リスクの生涯曝露は、210 分の損失余命に計算される

- 10⁵人のうち、a人が寿命を全うできない。
すなわち、80年経過した時点での人口は、 $N(1-a/10^5)$ 人
- このときの生命曲線は、台形(黄色)になる。
- 平均寿命は、台形と同じ面積の長方形の幅(80 - LLE)である。
- $a = 1$ (10⁻⁵リスク)でのLLEは、210分である。



$a=1$ のとき、**LLE=210** 分

LLE: Loss of Life Expectancy

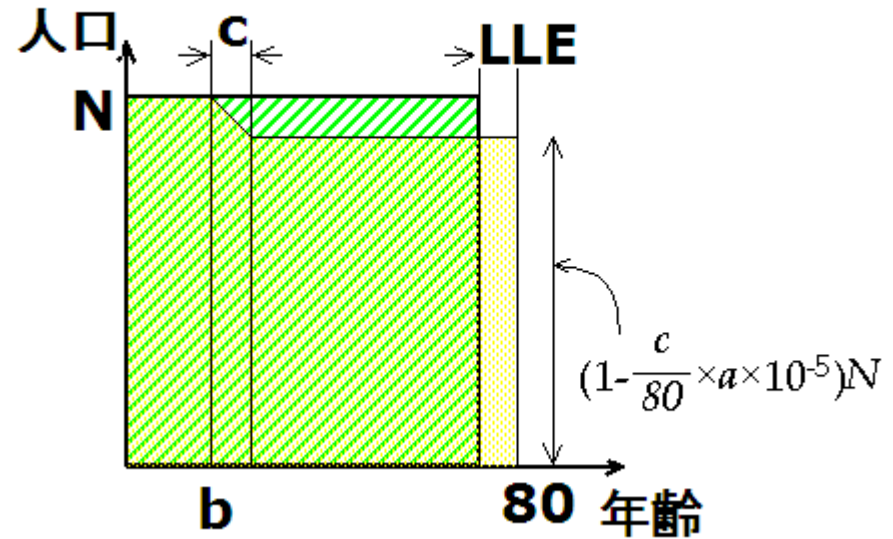
冒頭の損失余命によるリスクランキングとの比較(中西ら) 生涯にわたり、 10^{-5} リスクに曝露された場合のLLE

蒲生ら、中西ら(基準モデル)	65.8分
蒲生ら、中西ら(過剰発ガンを70歳までに割り当てる)	205分
矩形近似法(渡辺ら)	210分

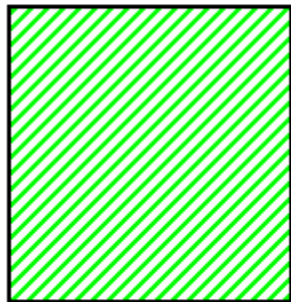
- 蒲生らの計算は、実際の生命曲線をもとにしている。そのため、過剰発ガンのピークが80歳前後になり、LLEは、65.8分になった。
- 蒲生らは過剰発がんを、70歳までに割り当てる計算を行ったところ、LLEは、205分になった。
- 渡辺ら(今回のもの)は、過剰発がんを、0-80歳まで、均等に割り当てる計算を行った。その結果、LLEは210分になった。

それでは、応用問題です

- 生涯過剰発がんリスク $a \times 10^{-5}$ に相当する曝露を、 b 歳から c 年間受けたときの損失余命は、下記の式で求めることができます。



$$N \times (80 - LLE) = N \times b + \frac{1}{2} \left[N + \left(1 - \frac{c}{80} \times a \times 10^{-5}\right) N \right] \times c + \left(1 - \frac{c}{80} \times a \times 10^{-5}\right) N \times \{80 - (b+c)\}$$



計算例 しかし、コメントは書けません。

Case	シナリオ	LLE [min]	たばこ換算* [本]
1	02歳から5年間、 10^{-4} のリスクに曝露された場合	248	50
2	20歳から5年間、 10^{-4} のリスクに曝露された場合	189	38
3	60歳から5年間、 10^{-4} のリスクに曝露された場合	58	12
4	02歳から5年間、0.004**のリスクにさらされた場合	9921	1984
5	20歳から5年間、0.004のリスクにさらされた場合	7556	1511
6	60歳から5年間、0.004のリスクにさらされた場合	2300	460
7	75歳から5年間、0.004のリスクにさらされた場合	329	66

* たばこのLLEを5分本⁻¹として換算

** 1 mSv y⁻¹ は0.004 リスクに相当(Nominal Risk 5×10^{-2} 、寿命80年から計算)

おわりに 今日の話題

- 損失余命
- たばこ
- 10^{-5} について
- 暴露時間の取扱い(管理濃度)
- 天然曝露リスク(ヒ素、ラドン)
- ラドン-->ICRP Nominal Risk
- 曝露年齢の違いの評価--->矩形近似法による損失余命計算の提案

ご静聴ありがとうございました。