

September 5, 2013
日本学会議講堂
日本学会議総合工学シンポジウム

しきい値なしのモデルとリスク受容の課題

中西 準子(工博)
(独)産業技術総合研究所フェロー
横浜国立大学名誉教授

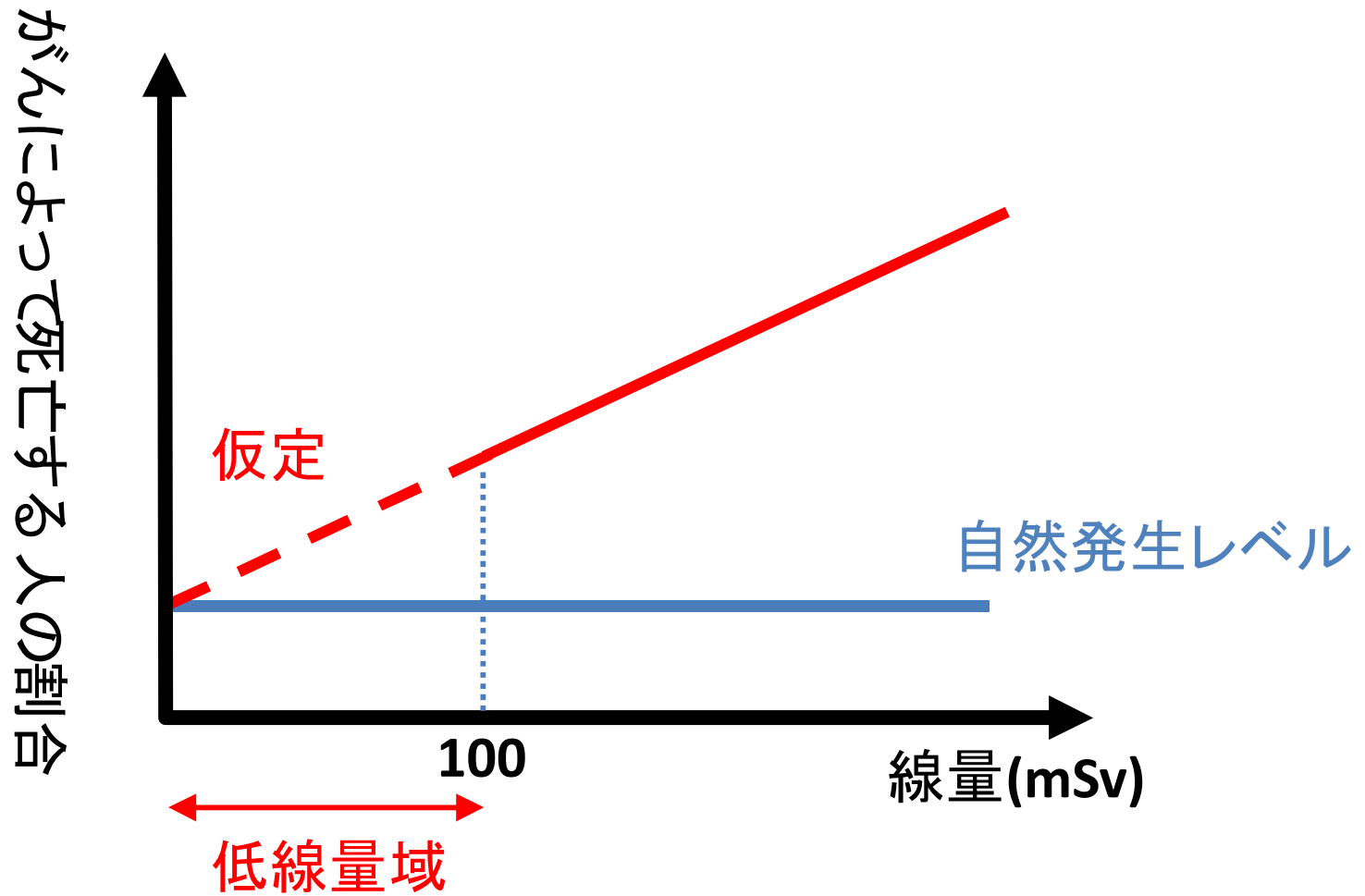
今日の内容

- 1 低線量問題とは何か
- 2 日本のリスク管理原則は？
- 3 リスク管理の3原則
- 4 除染の目標値
- 5 化学物質リスク管理原則との平仄
- 6 研究者の課題

1. 放射線低線量被ばく問題とは何か

LNT 仮説

しきい値なし直線仮説の模式図



DDREFを定義

線量・線量率効果係数
(Dose and dose-rate effectiveness factor)

単位線量当たりの生物学的効果が低線量・低線量率の被ばくでは、高線量・高線量率における被ばくと比較して低いことを考慮した補正係数

ICRP → 2

BEIR VII → 1.5

UNSCEAR 1998 → 2 ~ 10

ICRP(2007)での、固形がんリスク

- ✚ LNTモデルを採用
- ✚ DDREF=2を採用
- ✚ 1Svでのリスク係数を、5.5%と算定
→100mSvでは、0.55%としている
- ✚ がんのリスクとは、致死率、非致死症例の加重(QOLを考慮)、寿命損失で調整されているが、基本的にはがんによる死亡率と考えていい

公衆被ばくの管理基準の提案－ICRP(2007)

	公衆被ばく 年間線量 (mSv/年)	年間のがんによる 死亡確率
緊急被ばく状況	100～20	5.5×10^{-3} ～ 1.1×10^{-3}
現存被ばく状況(自然要因 や事故の影響を受けて線 量が高い状態)	20～1	
計画被ばく状況	1	5.5×10^{-5}

職業被ばくは20mSv/年(50年で考えている)

LNT仮説を認めた場合、 規制値のリスクレベルは、どのように選ぶべきか

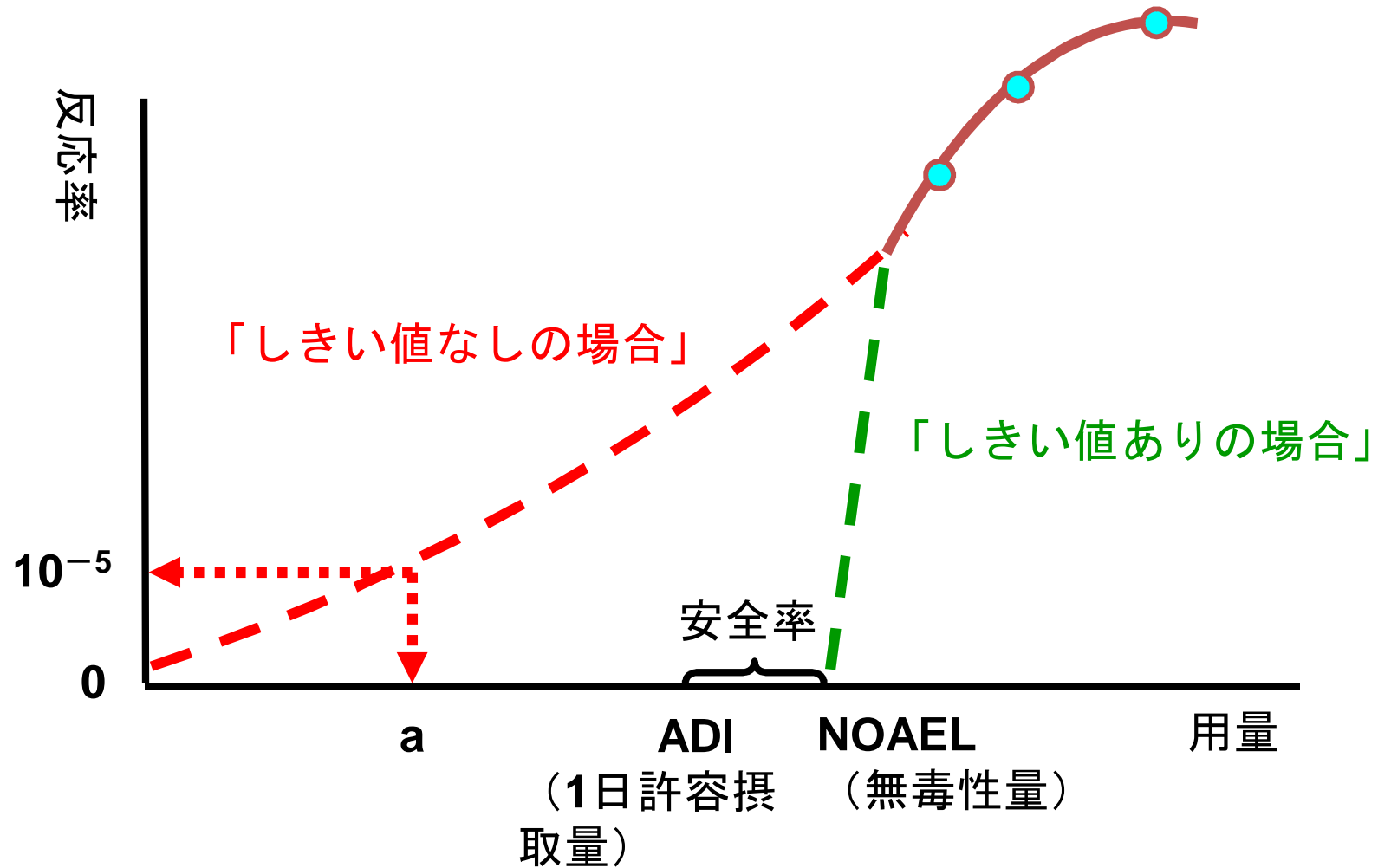
1. 食品の場合

2. 除染後帰還の場合

この二つについて考えてみたい
その前に、規制と安全との関係について検討する

2. 日本のリスク管理原則は？

「しきい値ありの場合」と「しきい値なしの場合」の 用量反応関係



リスクの大きさは？

「閾値あり」のメカニズムの場合

$$\text{ハザード比 (HQ)} = \frac{\text{一日用量}}{\text{一日許容用量 (ADI)}}$$

一般にこのように考えている

判定: $\text{HQ} \geq 1$ リスクあり

$\text{HQ} < 1$ リスクなし(リスクゼロ)

「閾値なし」のメカニズムの場合

$$\text{リスク} = (\text{slope}) \times (\text{用量})$$

わが国では、多くの委員会がこのリスクを認めていない

基本的にリスクゼロを標榜

- ◆ 食品安全委員会：遺伝毒性がある物質の場合は、しきい値のないメカニズムが妥当だから、リスクゼロの用量はないということで認可せず
(但し、自然物は例外となっている)
- ◆ 農薬取締法：食品安全委員会と同じ

現実にはリスクを受け入れているが、公表しない

- ◆ 水道法、労働安全衛生法

リスクを認めている

- ◆ 大気汚染防止法

ベンゼンの規制(2013年現在)

規制対象	規制(推奨)値	がんのリスク
水道水質基準値(日本)	10 µg/L	生涯 1×10^{-5}
水道水質基準値(米国)	5 µg/L	生涯 5×10^{-6}
大気環境基準値(日本)	3 µg/m ³	生涯 1×10^{-5}
大気環境基準値(米国)	最も大きなリスクの一つだが、規制できない。ガソリン中ベンゼンの規制が始まったばかり。	
日本産業衛生学会作業環境許容濃度(規制値ではない)	3,200 µg/m ³	40年暴露 1×10^{-3}
米国産業衛生専門家会議許容限界値(TWA)(規制値ではない)	1,600 µg/m ³	40年暴露

リスクゼロを標榜しているが、矛盾は大きい

- ✦ 自然物は例外としなければならない
このリスクは非常に大きい
- ✦ 自然現象にリスクゼロはあり得ない
病原菌、狂牛病など
- ✦ 交通事故などの事故のリスク
- ✦ 有用な物質が使えない

3. リスク管理の3原則

RISK管理の3原則

A. Risk Free

B. Risk - based

C. Risk/Benefit (Cost/Benefit) → Risk Tradeoff

この中で、一番難しいのは**B. Risk – based**である。
多くの人が、“**リスクはあるが安全と思える**”レベルを
決めるということだから。

米国での法律とリスクの扱い方（中西、1989）

法律	リスクの扱い方
安全飲料水法 (SDWA)	利用可能な最良技術とリスクゼロ ... A
清水法 (CWA)	利用可能な最良技術と有害性排水の排出ゼロ (有害性の定義) ... B
空気清浄法 (CAA)	利用可能な最良技術と十分な安全率をみた上でのリスクベースド... B
資源保護再生法 (RCRA)	利用可能な最良技術にリスクベースドを加味... B
Superfund 法 (CERCLA)	リスクベースドにある程度の費用を考慮... B
有害物質規制法 (TSCA)	リスク／費用バランス... C
農薬法 (FIFRA)	リスク／費用バランス... C
労働安全衛生法 (OSHA)	リスクと費用を考慮... C

Virtually Safe Dose (VSD)

—事実上の安全という概念—

✚ 1化学物質の1媒体で*の生涯暴露により、がんで死亡する人を、米国全体で、1年に1人以下にする

✚ ひとつの化学物質による生涯リスクをRとする
(当時の人口1.2億人)

$$R \times 1.2 \times 10^8 / 70 \doteq 1$$

$$R \doteq 10^{-6}$$

✚ 実質的には安全であるとみなしてよいリスクレベルとして
 $10^{-5} \sim 10^{-8}$ が定着

✚ FDAは 10^{-6} , EPAは 10^{-5} を提案

✚ これが国際基準みたいになっていく。
国際機関では、 10^{-5} ($10^{-4} \sim 10^{-6}$) が一般的になる

*同じ物質でも、水、大気、食品経路など、独立に 10^{-6} を割り当てている

放射線の場合 VSDはどのように決めたらいいだろう？

米国では、化学物質より前に、
このことは真剣に長期に亘って議論された

食品中の放射性物質に係る基準値

2011年12月22日

薬事・食品衛生審議会食品衛生部会
放射性物質対策部会報告書

規格基準値(2012.04.01より有効)

食品区分	放射性セシウムの基準値 (Bq/kg)
飲料水	10
乳幼児食品	50
牛乳	50
一般食品	100

CODEX(193-1955)の記述

この放射線のクライテリアは、約年間 1mSvとなっているが、これは、多くの必需品、例えば食品などについての個人の年間許容線量として、ICRPによって推奨されているレベルである(正確に訳すと、介入免除基準である)。

Radiological criterion: The appropriate radiological criterion, which has been used for comparison with the dose assessment data below, is a generic intervention exemption level of around 1 mSv for individual annual dose from radionuclides in major commodities, e.g. food, recommended by the International Commission on Radiological Protection as safe for members of the public (ICRP, 1999).

ICRP(1990)での、 介入線量レベル 1 mSv/年の根拠は何か？

二つの考え方がある

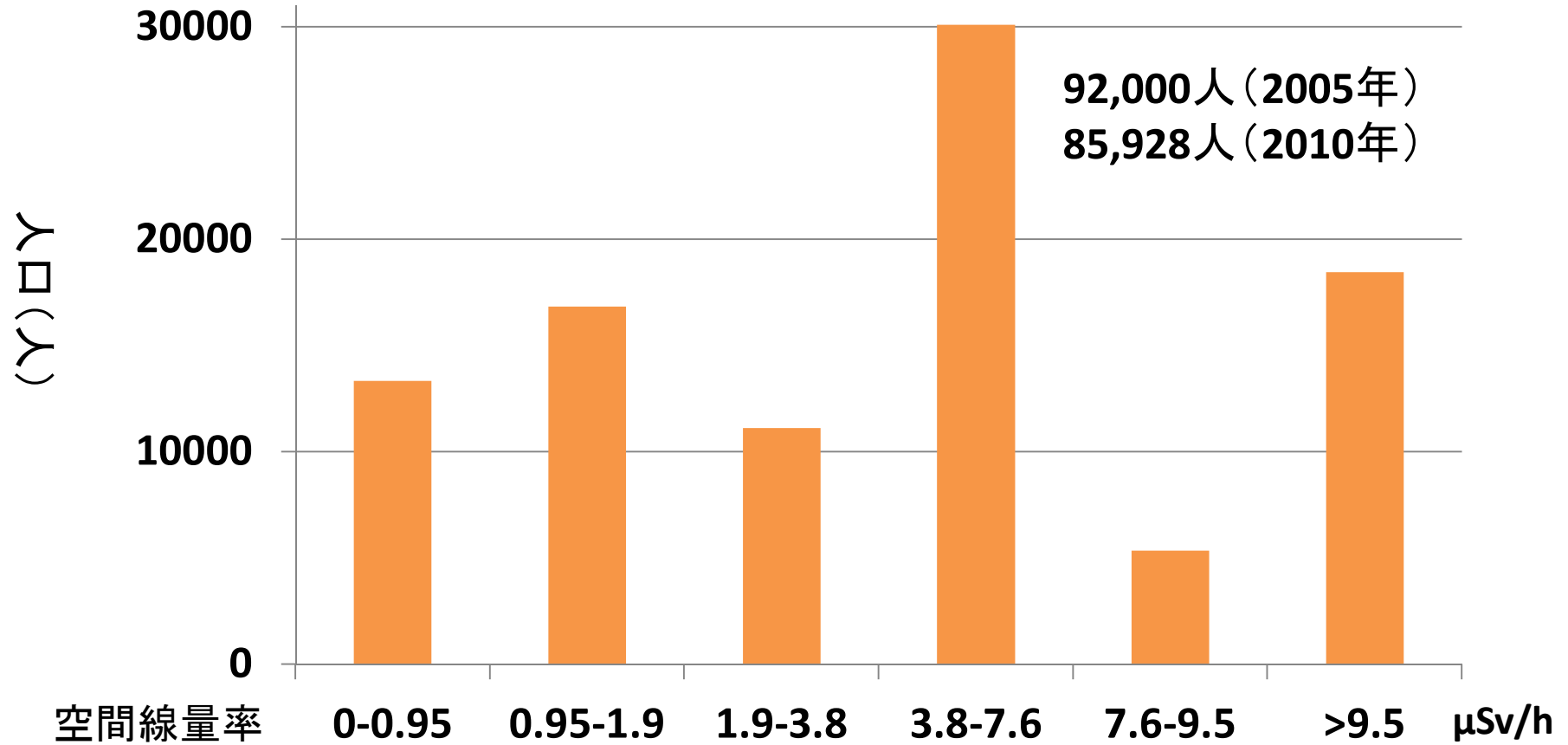
1. 職業暴露と同様に、リスクの容認性から決める方法
2. 自然放射線被ばくの変動に基づく考え方
自然起源の放射線強度は、健康に影響を与えていない。
ラドンの影響を除くとそのレベルは1mSV/年程度である。さらに、場所による変動も1mSV/年以上ある。この程度の値1 mSv/年は受け入れられるであろう

4. 除染の目標値 — 除染特別区域 —

第1次モニタリング(2011.4.29)線量率と 除染特別地域内人口

Don't Copy

人口は2010年度国勢調査より



外部被ばく量
換算係数(0.6)

0-5 5-10 10-20 20-40 40-50 >50 mSv/y

25

中西準子(2013)

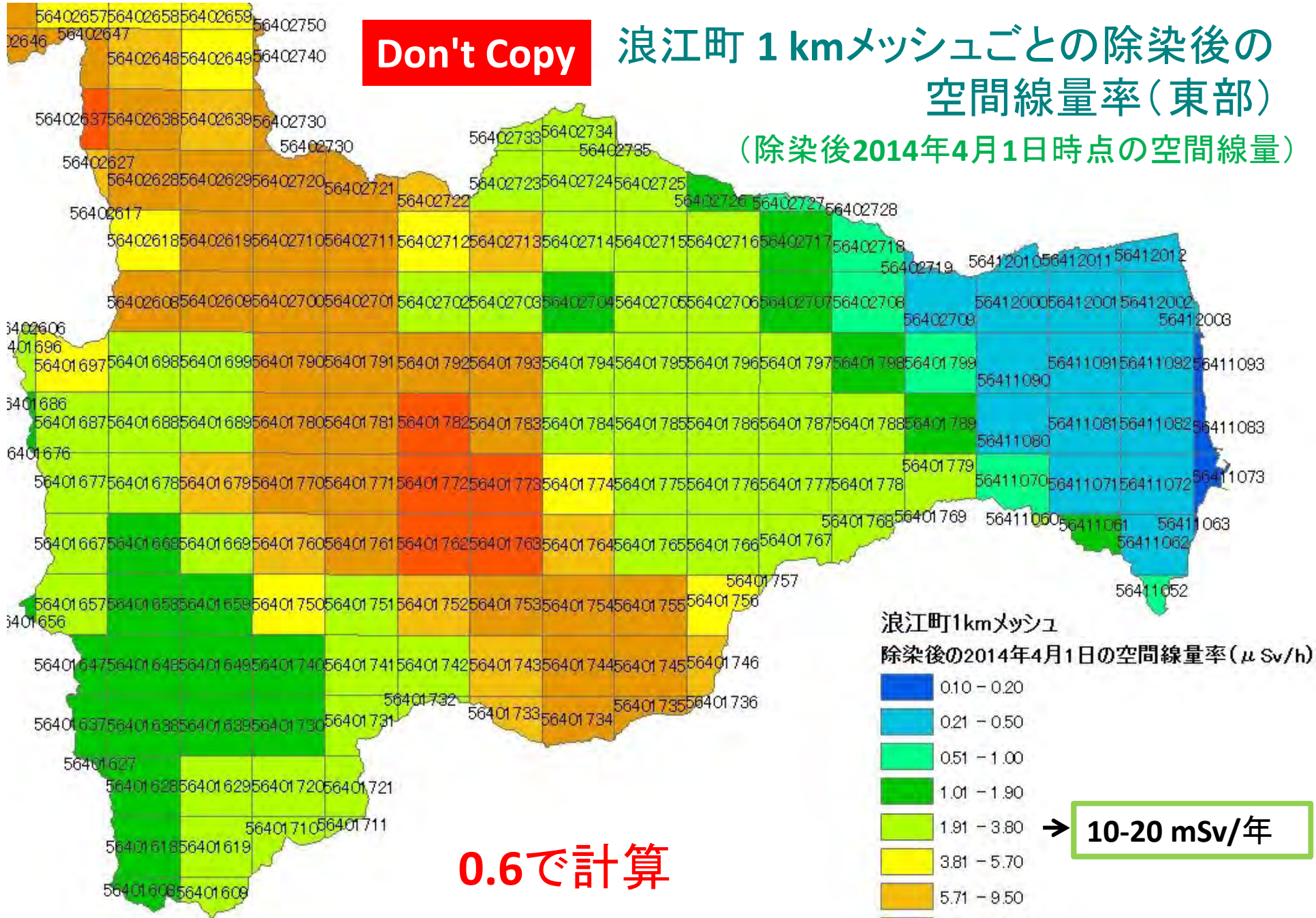
累積被ばく量を考えるべき

外部被ばく量 (mSv/y)		
除染後	15年間	30年間
0.5		
1.0		
2.5	20.3	31.7
5.0	40.7	61.5
10.0	81.5	126.9
15.0		
20.0	162.9	253.8
25.0		

Don't Copy

浪江町 1 kmメッシュごとの除染後の空間線量率(東部)

(除染後2014年4月1日時点の空間線量)



0.6で計算

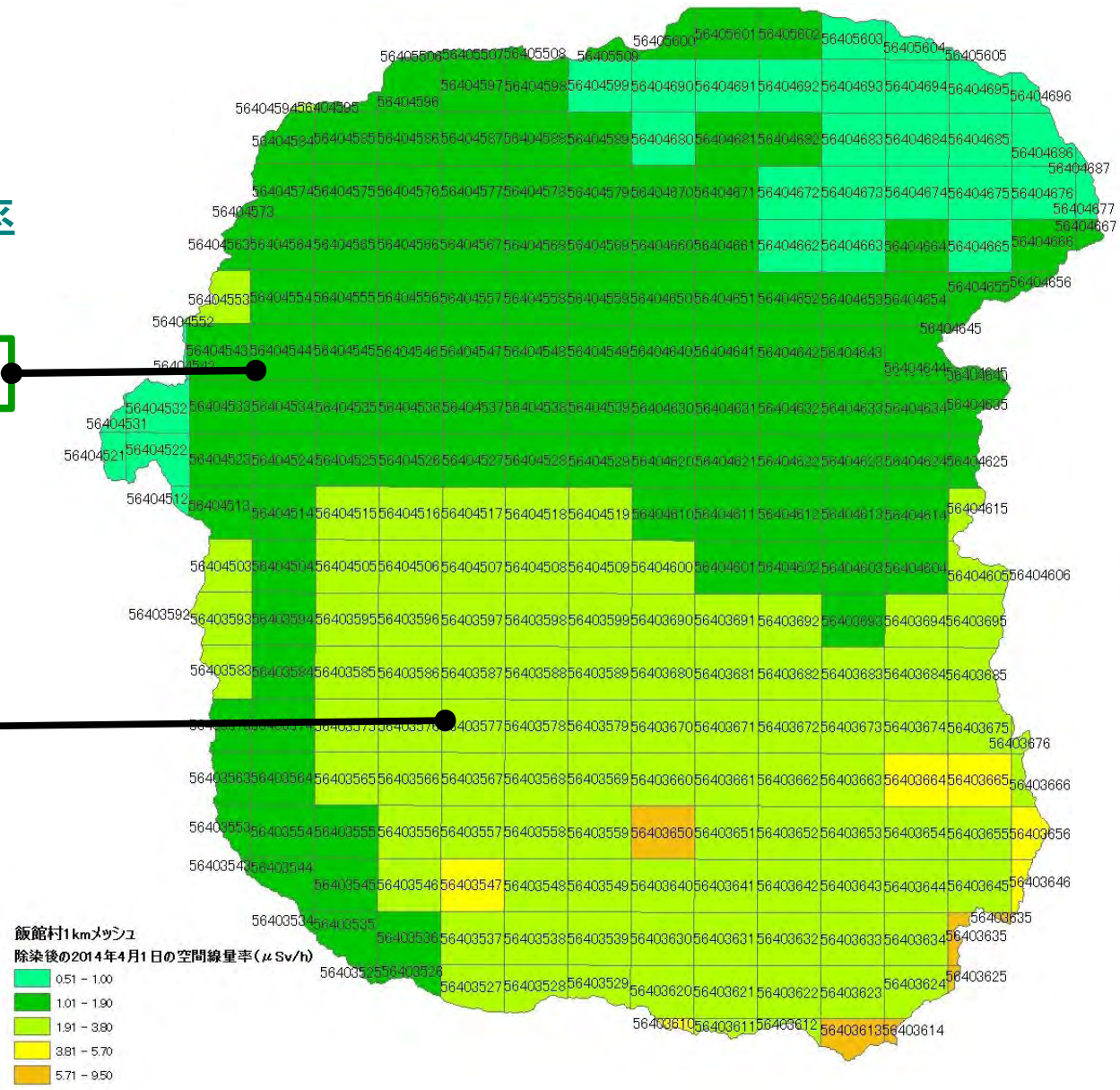
Don't Copy

(除染後2014年4月1日時点の空間線量)

飯館村 1 kmメッシュ シュのID番号と除 染後の空間線量率

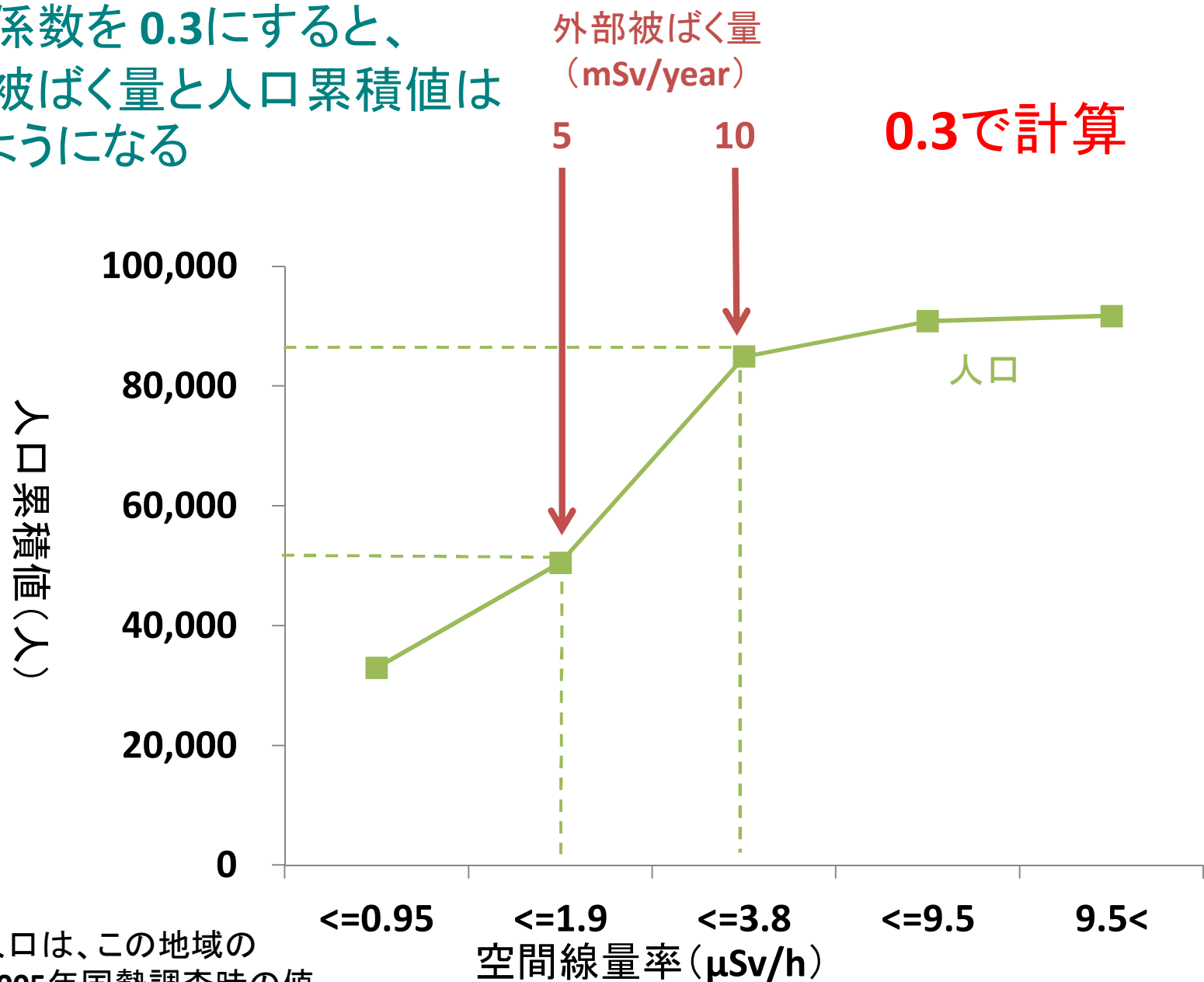
5-10 mSv/年

10-20 mSv/年



0.6で計算

換算係数を 0.3 にすると、
外部被ばく量と人口累積値は
このようになる



*人口は、この地域の
2005年国勢調査時の値

除染目標値の設定について、 考慮すべき項目

1. 放射線の空間線量率(許容されるリスクレベル)
2. 帰還時期
3. 技術的限界(費用対効果)
4. 費用

20mSv/年と 1mSv/年の間

- ✚ ICRPは 1～20mSv/年を提案し、国もそのように考えているようだ

..... 20mSv/年

- ✚ 20mSv/年は帰還目標値としては、高すぎると私は考える
- ✚ 非常時、このレベルのリスクを認めることが必要な時はあろうが、帰還後を非常時とすることには無理がある
- ✚ 20mSv/年は職業被ばくの基準である
- ✚ 15年間居住した場合の累積被ばく量は 163mSv、30年で 254mSv になる

..... 1mSv/年

- ✚ 年間 1mSvは当面の目標としては、技術・時間・費用の点からムリである

除染目標値の提案(中西私案) (正解はないが、解を見つけるべきだ)

1. 15年間の累積被ばく量は 100mSv を超えない(集落単位で、平均値 50mSv 、高い場所で 100mSv 以下)
2. 15年間で、個人線量が長期的目標の $1\text{mSv}/\text{年}$ 以下を達成

この条件を満たす、帰還時外部被ばく量として $5\text{mSv}/\text{年}$ とする。
この時、15年間の累積被ばく量は約 41mSv 、30年間で約 62mSv

もし、 10mSv 以下としたらどうなる？
何のために、このリスクを引き受けるの？

帰還時 5mSv/年であれば

- ✚ Weatheringを考慮せずに、約5万人がこの条件を満たすことができる。Weatheringなどを考慮すれば、7万人がこの条件を満たす
- ✚ 帰還困難区域の2.5万人と一部、この条件を満たせない区域の人は、移住せざるをえない(同じ町村内移住も可能)
- ✚ この計画ならば、2015年4月には完成する(仮置き場が必要)
- ✚ インフラの整備ができれば、帰還できる
- ✚ この場合の費用は、これまで計算された1.9兆円で賄うことができる
- ✚ 農地の除染方法を工夫すれば、さらに、経費を減らすことが可能である(できれば、表土除去はやめてほしい)

この時のがんリスクは、 どのくらいになるか？

- ✚ 15年間の累積被ばく量・・・40mSv
- ✚ ICRPのリスク係数を使えば、15年間で、追加リスクは、 2.2×10^{-3}
- ✚ 化学物質のリスクと比べてみよう

5. 化学物質リスク管理原則との平仄

Travisのまとめ

- ❖ 132種の発がん性化学物質の規制において、公衆に対する生涯死亡確率がおよそ 4×10^{-3} 以上のすべての物質は費用に関係なく規制されている (Line A)
- ❖ 規制されないリスクの限界は、Line Bである
- ❖ この二つの直線の間リスクが、規制されるか否かは、コストなどの他の要因で決まる
- ❖ この二つの線の間でも、救済される人命当たりの規制費用が2百万米ドル以上の物質は一つの例外を除いて規制されていなかった

帰還した地区で15年間生活することによる追加的リスク 2×10^{-3} は、事故後の対策とすれば、化学物質でのリスク管理の例と比べて、それほど大きな健康リスクではないと言えるだろう

米国の経験から学ぶことーLNTの意味

1. 米国は、1950年代に“LNT”モデルを取り入れ、尚かつ“リスクは0であるべき”との考えが支配的だったために、大混乱になった
2. LNTを認めることは、単に、そういう事実が見つかったということではなく、“安全対策”として、リスクありを受け入れることなので、全国民に、生活の規範の変更を迫るものだった
3. では、どれだけのリスクを、何故受け入れるかについて、数十年に亘って、激しい論戦、駆け引きが繰り返された
4. その過程で、関係した人々が、それぞれ自分達の問題に対し、 10^{-5} の発がんリスクならいいのではとか、 10^{-3} ならいいとか主張し、それが、一つの形になって、米国の政策が形作られていった
5. まさに、草の根の議論の集成が米国の今の政策である
6. 欧州の国々では、LNTに対し極めて冷ややかで、最初はあら探しばかりしていた。最近になって、米国の結果を使っている

しかし、日本では

- ✦ 相変わらず、行政も審議会も、表向きはゼロリスク、裏でリスク容認という政策を実施している
放射線リスク問題が混乱する筈である
- ✦ 一刻も早く、ある場合には、一定のリスクを受容し、技術や物質の有用性を生かせるようなリスク管理をするという当たり前のことを実施できる体制にしたい
- ✦ そのためには、行政や審議会委員の考え方を改めて貰わねばならないが、実は、研究者の側にも考えるべき点がある

6. 研究者の課題

線量反応関係についての多くの専門家の説明

多くの識者は、こう説明している

- ① **100mSv**以下では、がんリスクの有意な増加は認められない
- ② しかし、放射線防護や管理の立場から、しきい値なし直線モデルを仮定しているのであって、これは生体反応の実態ではない
- ③ **DNA**損傷に対しては修復機能が働くから、損傷＝危険とは言えない

このメッセージが間違いだとは思わないし、②の主張も、**Scientist**魂を感じさせ、理解できる面もある。しかし、よく考えると、これは、ゼロリスクが正しいと主張しているように感じられる

違和感の分解

- ① LSS研究で、100mSv以下の線量では、原爆投下による影響が見えないという事実は重要。皆が、線量と具体的な影響との関係を実感できる唯一の教材。また、臨床医が、この程度のことに怯えるなど言うのも理解できる。
- ②しかし、だからと言って、リスクがゼロではないこと、また、それほど小さくもないことは自明だと思う。したがって、できるだけ現象を正確に表すための推定をして、その大きさについて理解することも重要な筈。
- ③LNTは、確かに安全側推定という面はあるが、相当程度、factによって補強されている。動物試験や、生化学的研究、メカニズム考察などで、支持されている。
- ④対案を出すのはいいが、それが無いにも拘わらずLNTを否定するのは、結局、100mSv以下はリスクはゼロに近いと言いたいからではないのか。
- ⑤それは、結局、ゼロがいいんだという気持ちがあるからではないか。

推定と科学

- ✚ 推定だから、不確実性も大きいですが、その時点で最も確からしい“推定”をして、政策を決めなければならない。これも、科学である。いや、むしろ、これこそが今必要とされるサイエンスではないか
- ✚ “推定”なしには、予防医療や安全対策は成り立たない
- ✚ 今までの知識を総動員して考えて、放射線の健康影響についてLNTよりましな推定があるだろうか？
- ✚ ないのであれば、この式から推定されるリスクの値を基礎にして、できるだけ科学的な意思決定をするように努力した方がいいと思うが、どうだろう。

もう一つ大事な視点がある

◆ しきい値を求めて、HQ比を出して何らかの基準にするという方法は、リスク管理には使えないということを早く知って、その先を目指してほしい(ゼロリスク)

◆しきい値について(特に放射線について)、注意すべき点が二つある

……ひとつは、個人と集団の違い

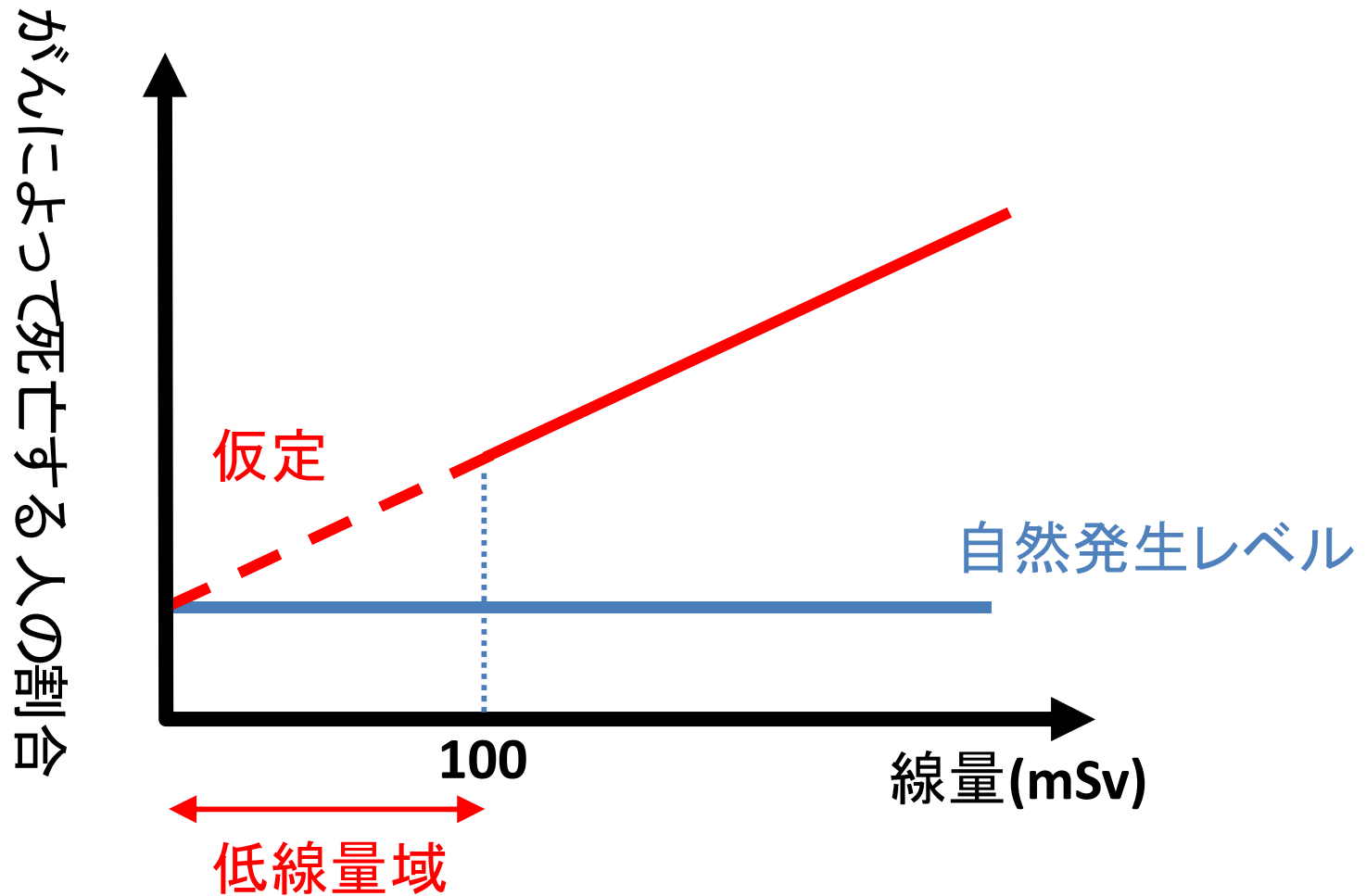
……もう一つは、放射線の場合、バックグラウンド線量が非常に大きいこと

いずれの場合も、個人ではしきい値があっても、集団ではなくなることが多い。

微視的に生物反応を調べても、集団での法則を見つけることはできない。リスク評価に必要なのは、集団での法則である。

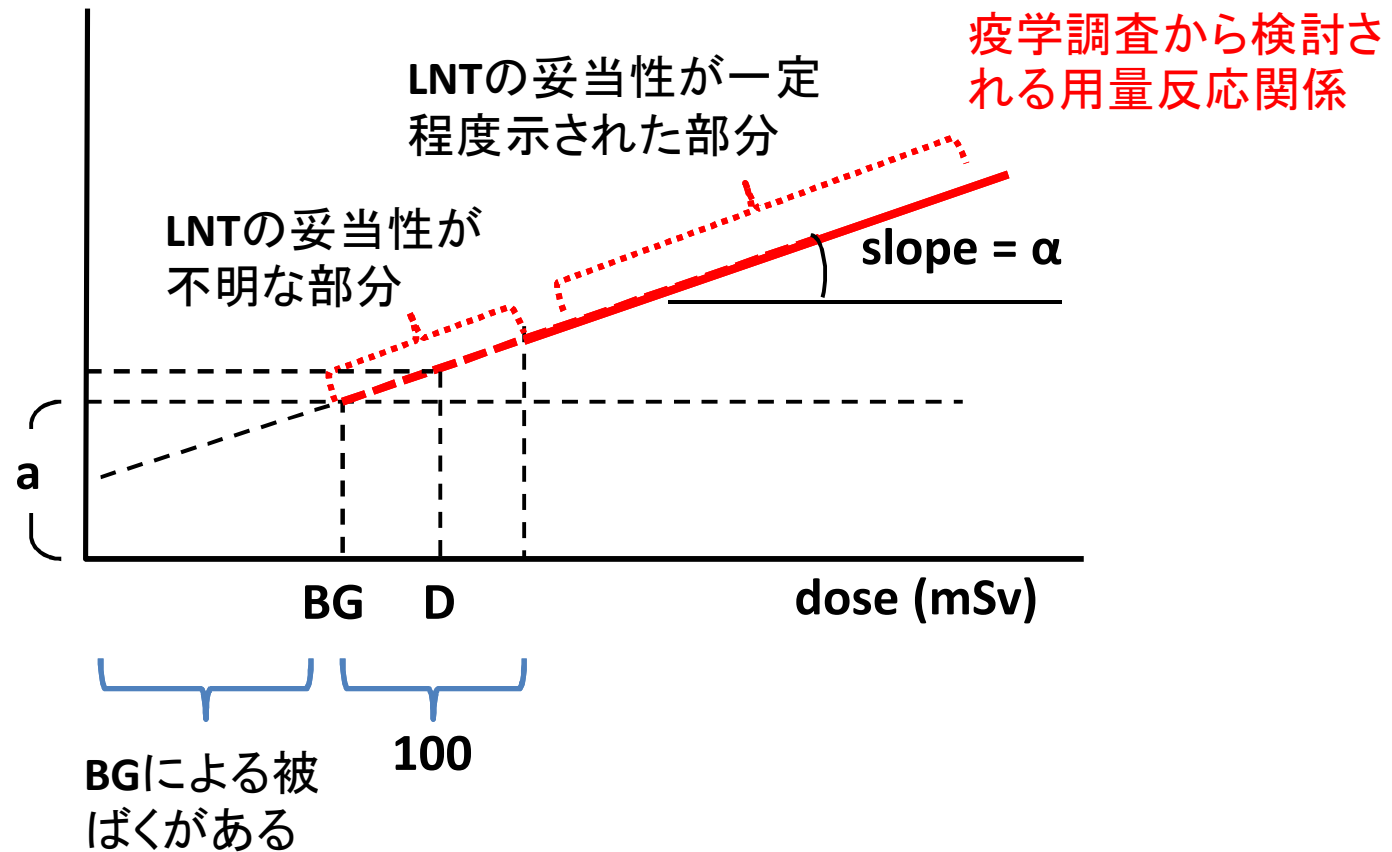
LNT 仮説・・・この図はmisleadingを誘う

しきい値なし直線仮説の模式図



LNTモデルの新しい説明図

response



BG: バックグラウンド値 (ここでは累積量)

放射線の低線量問題は、行政にも国民にも、安全規範の考え方の変更を迫っている

研究者には、今までとは異なるサイエンスの方法論を要求している

ご清聴ありがとうございました