

## 環境汚染のリスク評価

横浜国立大学 大学院環境情報研究院  
益永茂樹  
<http://risk.kan.ynu.ac.jp/>

### 本講義に関する参考図書

- ・「環境リスク論」中西準子著, 岩波書店 (1999年)
- ・「演習 環境リスクを計算する」  
中西準子、益永茂樹、松田裕之編, 岩波書店 (2004)

## 「リスク」とは？

Risk はイタリア語の *risicare* に由来

*risicare* = 勇気を持って試みる → 選択の意味を持つ。

**risk** 危険 (danger), 冒険, 危険性[度], 損傷[損害]のおそれ, リスク;  
危険要素.(保険上の)危険, 損害.  
*take risks* 危険を冒す  
**at all risks = at any [whatever] risk** どんな危険を冒しても, ぜひと。  
**at risk** 危険にさらされて; 《法的・経済的に》リスクを負って; 妊娠のおそれのある。  
**at one's own risk** 自分の責任において, 危険は自己負担で。  
**at the risk of...** ...の危険を冒して, ...を犠牲にして。  
**put...at risk** ...を危険にさらす, あぶないめにあわせる。  
**run [take] risks [a risk, the risk] (of...)** (...の)危険を冒す。  
(研究社 リーダーズプラス 英和辞典)

リスク学における定義:

避けたい事象の起こる確率

あるいは、

避けたい事象の起こる確率 × 避けたい事象の重大性

## 人の健康リスク評価に基づいた化学物質 規制へ：米国

米国(食品医薬品化粧品法ドレーニー一条項[1958])

- ・その量や程度にかかわらず、ガンを誘発する証拠を示したすべての添加物にその使用限度をゼロとする。
  - いかなるリスクも認めない

ところが、

- ・発がん物質には閾値(しきい値)がない
  - 少量でもそれなりの危険性がある。

- ・発がん物質がたくさんある → すべてを禁止できない

○発がん物質を摂取しても必ずガンになるわけでない

- がんになる確率があるだけ
- リスク(避けたいことが起こる確率)で扱おう

○発がんの程度が問題

- この危険性を確率的に扱おう (リスク概念の導入)

## 公害から環境へ

	公害問題	環境問題
<b>広がり</b>	特定地域	広域 地球全体
<b>原因者</b>	特定者(工場/開発者) 汚染者負担原則	不特定多数 一般市民
<b>被害</b>	比較的明確	特定の人・場所が受ける影響は小さい 影響が出る前に対処したい 影響は将来
<b>因果関係</b>	比較的明確	不明確 証明不可能 確率でしか表現できない
<b>複雑さ</b>	個々の問題で対応できた	問題が重層的 1つの問題の解決は他の問題を悪化

## 安全－危険の二分論からリスク評価へ（1）

### ① 閾値(しきいち, いきち)がない

悪影響のない許容量以下で使う場合、

安全←→危険 の二分法でよかった。

放射能／発がん物質 → 閾値がない

→ どんなに少なくてもそれなりの危険がある

→ すべてを禁止できない → リスクの許容

リスクの大きさを定量的に評価して管理する必要。

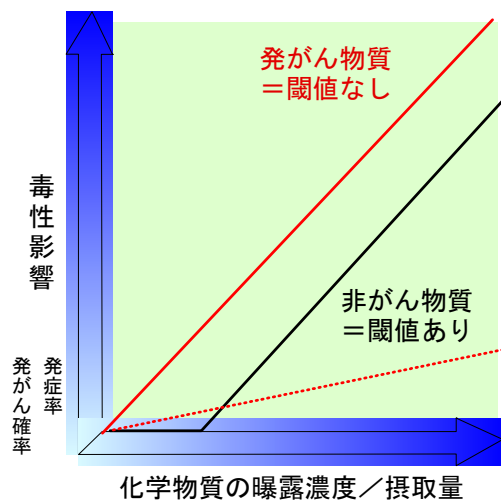
### ② 公害問題から環境問題へ

小さい危険性を扱う必要

不確実な事象を扱う必要(予測に基づく確率的扱い)

いくつもの要素の間で調和をとる必要

## 発がん物質と非がん物質の 用量－反応関係



## 安全－危険の2分論からリスク評価へ（2）

### ③ リスク概念を使うことの利点（比較評価が可能に）

リスクは定量的 → 大きさの比較が可能

広域／不特定多数 → リスクの加算

→ ポピュレーションリスク（リスク総量）

被害が小さい → 確率的（リスク概念に合致）

影響が将来 → 確率的（リスク概念に合致）

因果関係が不明確 → 確率事象（リスク概念に合致）

問題の複雑さ → エンドポイントの重層化

### ④ リスク・マネジメントへ

対策の有効性評価 → 費用と効果が問題

→ リスク／ベネフィット（便益）解析 → コスト／ベネフィット解析

## 化学物質のハザードとリスク

ハザードとリスクは違う

- ハザード = 化学物質の危険性を表す

ハザード評価に必要な情報：毒性データ

- リスク = 避けたい事象の起こる確率

人や生物にどのくらいの危険性があるか表す

リスク評価に必要な情報：

- ① どういう危険性を問題にするのか影響判定点（エンドポイント）を決める
- ② 毒性データ
- ③ その化学物質の曝露量（摂取量）

リスクの大きさ = [毒性] × [曝露量]

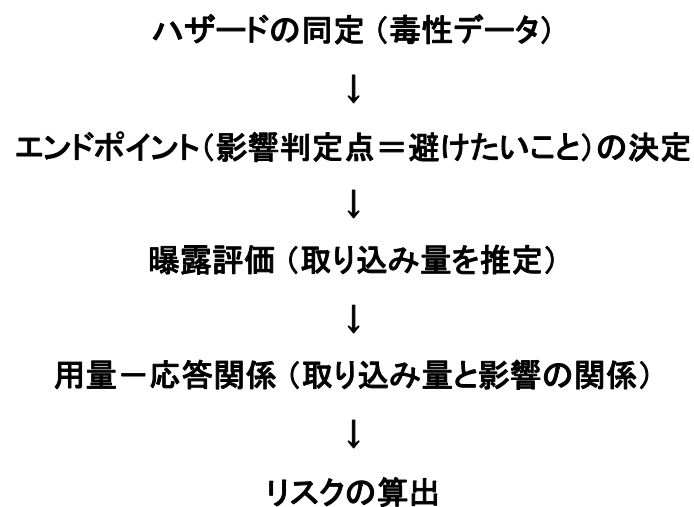
## 安全管理とリスク管理

### 安全[危険]管理とリスク管理の違い

- 安全管理 → 絶対安全を目標  
安全と危険の両端があるのみ  
(安全[危険]の程度が示されない)
- リスク管理 → 危険の大きさと起こる確率を明確化し  
あるリスクレベル以下に管理する  
(程度[数値]による管理)

絶対安全は実際には達成できないにも関わらず、社会では、しばしば絶対安全が求められたり、あるいは、安全であるという主張がなされる。

## 化学物質のリスク評価のプロセス

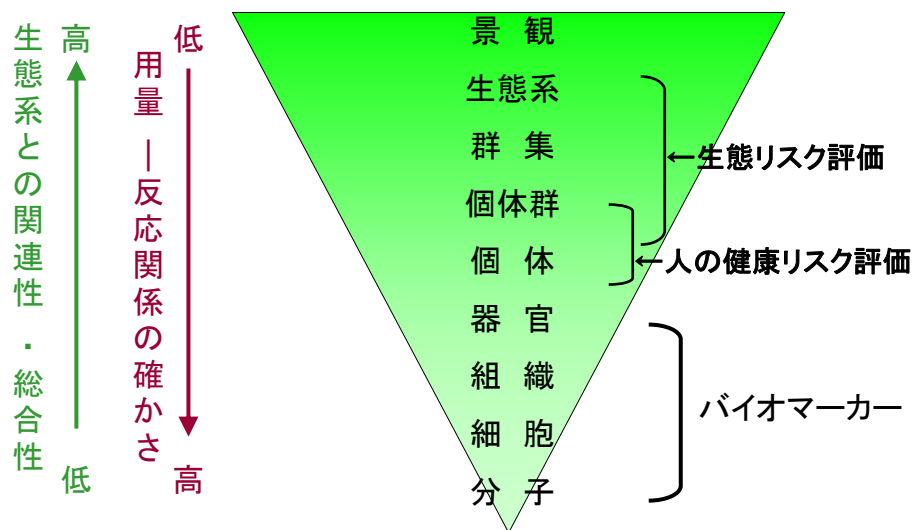


## エンドポイント (Endpoint)

エンドポイント(影響判定点)が備えるべき条件

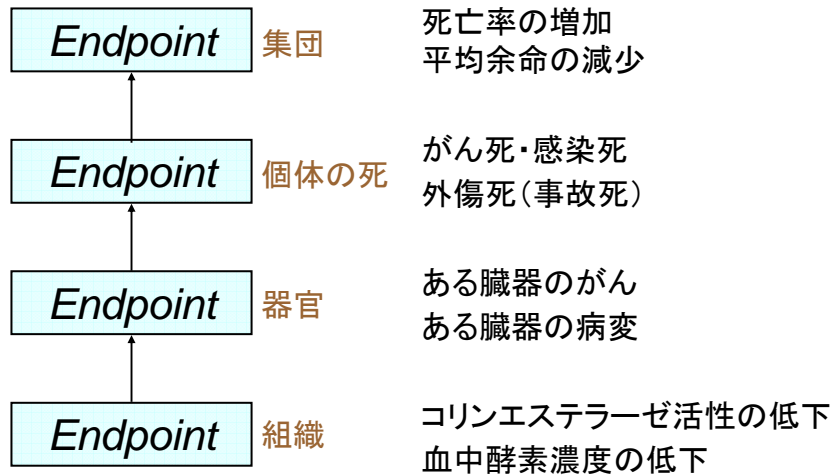
1. 多くの人避けたいと思う事象であること
2. エンドポイントの回避が、人の健康保持、または、生態系の保全の中で重要な役割を果たすこと
3. 測定、予測可能であること
4. 対策に対して敏感であること

## 生物学的エンドポイントの階層性



(出典) R. A. Pastorok: in Ecological modeling in risk assessment, Pastorok et al. ed., Lewis Publishers (2002) p. 4に基づく  
 中西準子: リスク解析がめざすもの, 科学 72[10] 982 (2002)

## エンドポイントの階層性



上位のエンドポイントに影響を統合することが可能

## 環境リスク評価のエンドポイントの提案

### 人の健康リスク

死亡率の増加 → 損失余命

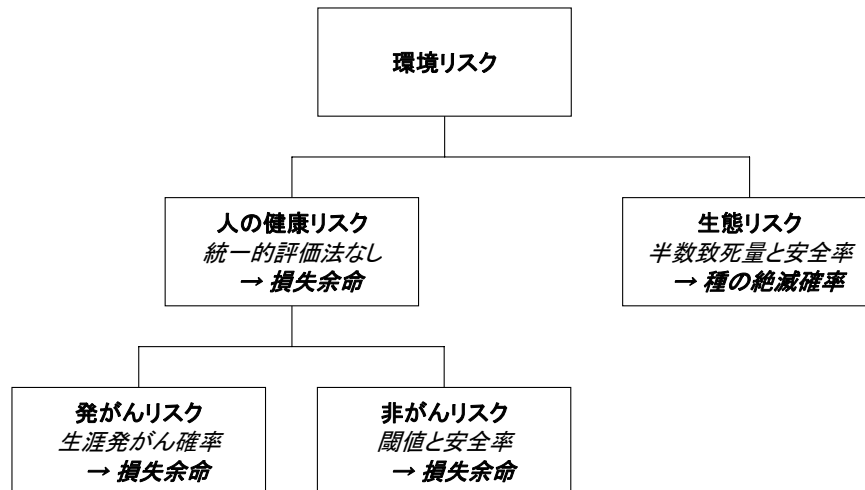
### 生態リスク

種の絶滅確率 = 絶滅までの待ち時間

人の健康リスク	1人の生死が問題 (集団リスクも考慮)	損失余命	現在
生態リスク	種としての消滅が問題	種の絶滅確率 (絶滅待ち時間)	未来

中西準子を代表者とする、科学技術振興事業団CREST研究での結論

## 化学物質の環境リスク評価の枠組み



## 化学物質のリスクランキング

異種のリスクを比較するためには、ある事象（病気、事故など）により生じる影響はまちまちであるが、それらを同じ尺度で評価しなければならない。

蒲生昌志・岡敏彦・中西準子(1995)らは化学物質暴露によるリスクを比較する方法を提案

化学物質暴露によるリスク

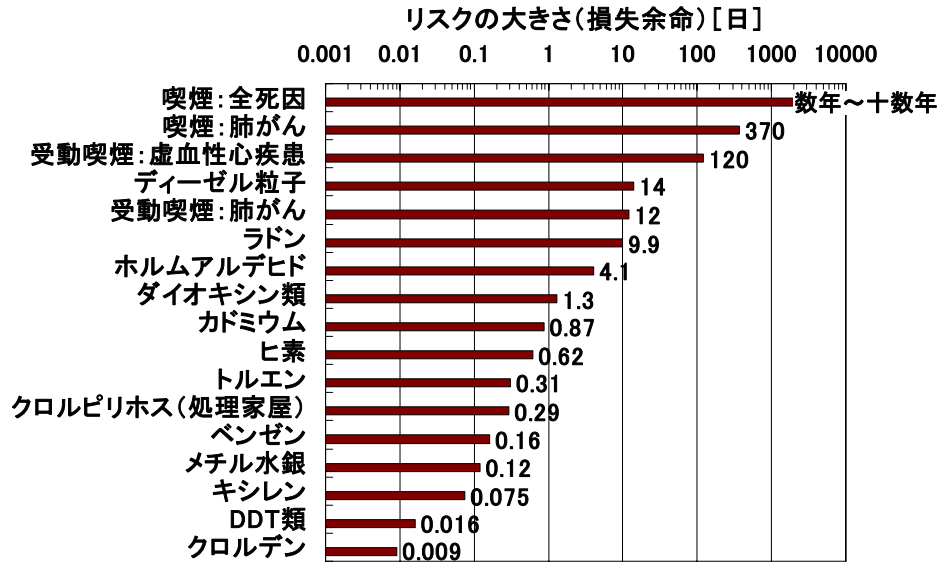
= 健康影響の生起確率 × 1回生起することでの損失余命

日本の環境汚染物質についてリスクを推定し、リスクのランキングを提示した。

M. Gamo, T. Oka, J. Nakanishi (1995) Method evaluating population risk from chemical exposure: a case study concerning prohibition of chlordane use in Japan, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 21[1] 151-157.

M. Gamo, T. Oka, J. Nakanishi (2003) Ranking the risks of 12 major environmental pollutants that occur in Japan, *Chemosphere* 53[ ] 277-284.

## 日本における化学物質のリスクランキング



中西準子・益永茂樹・松田裕之:演習 環境リスクを計算する(岩波書店)

## だれが受けるリスクを求めたか

### 喫煙のリスク

$$\text{喫煙者の平均リスク} = \frac{\text{喫煙による総リスク}}{\text{喫煙者数}}$$

$$\text{受動喫煙の平均リスク} = \frac{\text{受動喫煙による総リスク}}{\text{受動喫煙の影響を受ける人数 (全人口の35%)}}$$

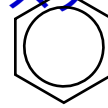
### クロルピリホスのリスク

クロルピリホスで処理された家屋に住む人の平均リスク

### その他の11化合物

$$\text{日本人全体の平均リスク} = \frac{\text{日本人が受ける総リスク}}{\text{総人口}}$$

## ベンゼン(発がん物質=閾値なし)のリスク



・個人暴露量の分布(対数正規分布と見なして):  
 中央値(幾何平均値)= $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 幾何標準偏差=3.37 [1997年のベンゼン暴露調査(厚生省)]

・ユニットリスク: 中央値  $5 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  [EPA IRIS]

∴暴露量の中央値に対する生涯発がんリスク:  
 $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 5 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1} = 1.65 \times 10^{-5}$

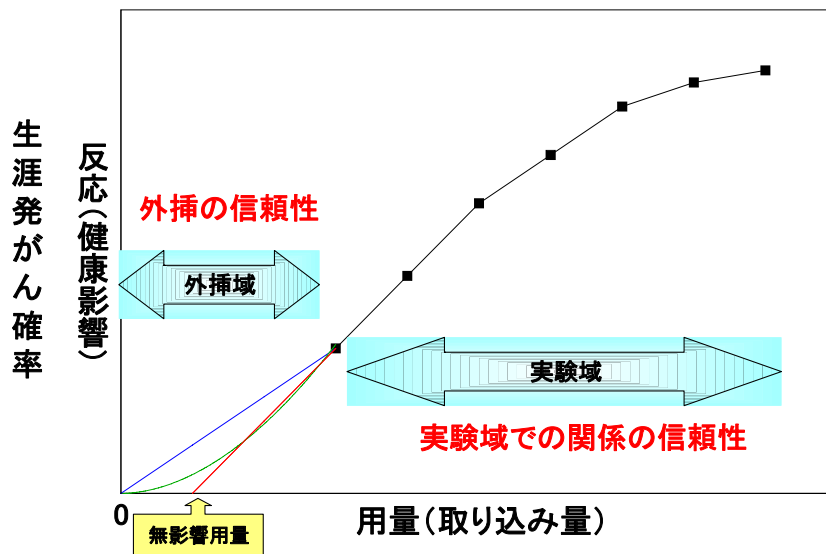
ところで、

・算術平均値=幾何平均値  $\times \exp((\ln(\text{幾何標準偏差}))^2/2)$   
 $= 2.1 \times \text{幾何平均値} = 2.1 \times 1.65 \times 10^{-5} = 3.5 \times 10^{-5}$

・がんによる1つの死亡の損失余命=12.6年

∴ベンゼン暴露のリスク = 発がん確率  $\times$  一発がんの損失余命  
 $3.5 \times 10^{-5} \times 12.6 = 4.41 \times 10^{-4} (\text{年}) \times 365 (\text{日/年}) = 0.16 \text{日}$

## 用量-反応関係



## 特定死因を除去した場合の平均余命の延び (0歳・65歳・80歳)

主 な 死 因	年 齢	男					女				
		H10年	H11年	H12年	H13年	H14年	H10年	H11年	H12年	H13年	H14年
悪 性 新 生 物	0歳	4.05	3.93	4.08	4.12	4.11	2.96	2.92	3.03	3.05	3.04
	65歳	2.97	2.90	3.05	3.11	3.14	1.91	1.88	1.98	2.01	2.04
	80歳	1.26	1.22	1.33	1.39	1.43	0.93	0.92	0.99	1.03	1.06
心 疾 患	0歳	1.54	1.51	1.52	1.54	1.58	1.67	1.66	1.68	1.67	1.71
	65歳	1.20	1.16	1.17	1.19	1.22	1.57	1.56	1.60	1.57	1.61
	80歳	0.89	0.85	0.88	0.90	0.93	1.33	1.31	1.38	1.35	1.40
脳 血 管 疾 患	0歳	1.34	1.28	1.25	1.26	1.22	1.65	1.53	1.53	1.48	1.45
	65歳	1.17	1.10	1.08	1.09	1.05	1.55	1.43	1.43	1.38	1.35
	80歳	0.93	0.85	0.86	0.87	0.84	1.32	1.21	1.23	1.20	1.17
肺 炎	0歳	0.81	0.89	0.87	0.87	0.88	0.81	0.88	0.85	0.81	0.82
	65歳	0.84	0.92	0.91	0.91	0.92	0.81	0.88	0.85	0.82	0.83
	80歳	0.86	0.93	0.93	0.94	0.96	0.80	0.86	0.84	0.81	0.83
不 慮 の 事 故	0歳	0.78	0.76	0.76	0.75	0.72	0.41	0.40	0.40	0.41	0.39
	65歳	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.22	0.22	0.23	0.22	0.22
	80歳	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15
交 通 事 故 (再)	0歳	0.37	0.34	0.34	0.33	0.31	0.15	0.14	0.13	0.14	0.13
	65歳	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	80歳	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01

2002年のデータで、がんを除去した場合の男性の平均余命の延びは、0歳で4.11年。男性のうちほぼ30%はがんで死ぬので、がん死亡1人当たりの損失余命は $4.11 \div 0.3 = 13.7$ 年となる。交通事故の場合は0歳で0.31年。男性の内、交通事故で死ぬ割合は1.1%なので、交通事故死亡1人当たりの損失余命は、 $0.31 \div 0.011 = 28$ 年となる。

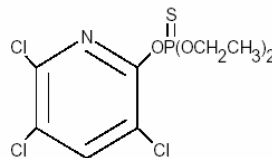
### 個別化学物質のリスク計算例-2

## クロルピリホスによるリスク -1-

シロアリ防除剤(現在は使用禁止)

有機リン剤で、コリンエステラーゼ活性を下げ、神経系に影響を与える。

この影響には閾値が存在し、閾値を超えると暴露量の増加とともに症状が重篤になる。



#### Chlorpyrifos

*O,O*-diethyl *O*-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) phosphorothioate

*O,O*-diethyl *O*-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate

分子式:  $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$

用途: 殺虫剤(果実、野菜、装飾品、木材用)

融点=42~43°C

蒸気圧=0.0015~0.0104 Pa at 25°C

CAS No.: :2921-88-2

MW=350.6

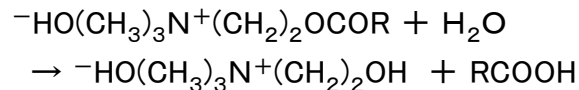
沸点=0.3~2.0 mg/L (20~25°C)

log Kow=4~5

## コリンエステラーゼ活性

コリンエステラーゼ [英 cholinesterase]

コリンエステルの加水分解:



を触媒する酵素。基質特異性その他によりコリンエステラーゼ I と II に分ける。I はアセチルコリンエステラーゼともよばれる。II は EC3.1.1.8。血清・膵臓など体内に広く分布し、特異性は I より低く、非特異的コリンエステラーゼ、偽コリンエステラーゼ、s (serum) 型コリンエステラーゼなどという。

(アセチル)コリン: 神経刺激伝達物質

## クロルピリホスによるリスク-2-

### 暴露の分布

1990年代初めの日本での調査によれば、シロアリ防除処理した家屋内のクロルピリホス濃度は対数正規分布。

中央値 = 0.15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

幾何標準偏差 = 3.8

### 体内負荷量

体内で代謝される

クロルピリホス  $\rightarrow$  TCP (3,5-9-trichloro-2-pyridinol)  
代謝速度は速いので、代謝産物 (TCP) の負荷量をワン  
コンパートメントモデルにより計算する。

暴露の中央値に対する TCP の体内負荷量の中央値は、  
中央値 = 0.0292  $\mu\text{g}/\text{kg bw}$  [bw = body weight, 体重]

一方、人の薬物代謝能の個人差は、一般的に対数正規分布で、その幾何標準偏差は 1.4 程度。[Masuyama, 1977]

## クロルピリホスによるリスク -3-

### 体内負荷量(体内濃度)

暴露の幾何標準偏差  $Ge=3.8$

代謝能の幾何標準偏差  $Gm=1.4$

これらが独立なら、体内負荷量の個人差の分布は対数正規分布となり、その幾何標準偏差  $G$  は

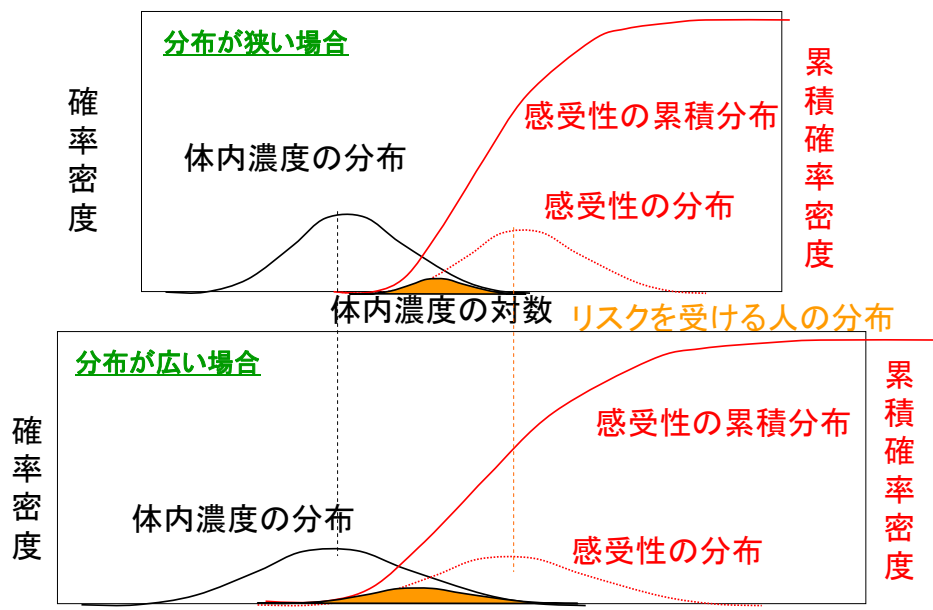
$$(\ln G)^2 = (\ln Ge)^2 + (\ln Gm)^2$$

$$G = 3.96$$

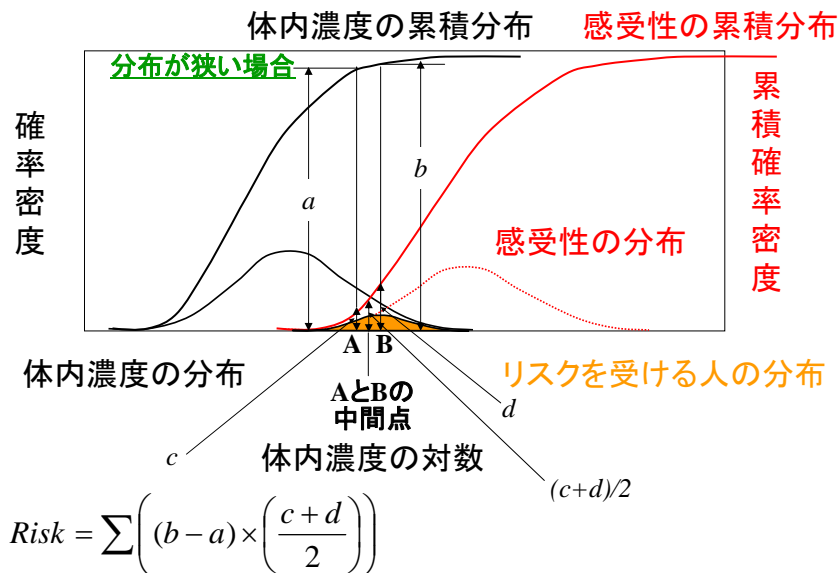
### 感受性の分布

TCPの体内濃度に対する個人の感受性の分布は、他の事例より幾何標準偏差  $Gs$  が 2.7 と推定。

## リスクの算出法(1)



## リスクの算出法(2)



## クロルピリホスによるリスク -4-

### 個人差による分布の合成

本来なら、TCP体内濃度の分布と感受性の分布の重なりを計算することになる。

ここでは、計算を楽にするため感受性の分布の分を、TCP濃度分布の広がりを広げることで対応する(計算結果は同じになる)。

$$\begin{aligned} (\ln G)^2 &= (\ln Ge)^2 + (\ln Gm)^2 + (\ln Gs)^2 \\ &= (\ln 3.8)^2 + (\ln 1.4)^2 + (\ln 2.7)^2 \end{aligned}$$

$$G = 5.46$$

## クロルピリホスによるリスク -5-

### 用量反応関係

TCPの体内濃度(C, mg/kg)とコリンエステラーゼ活性残存率(V)の間には、以下の関係が得られている。

$$V = \frac{1}{1 + 0.0927 \times C^{1.06}} \times 100$$

コリンエステラーゼ活性残存率とコーネルメディカルインデックス(CMI)スコアの間には、

$$\text{CMIスコア} = -1.43 V + 71.6$$

ただし、 $V > 50\%$ の場合、CMIスコア=0

の関係が得られた。

---

コーネルメディカルインデックス: 約200項目からなる問診票で、該当する項目数がスコア

## クロルピリホスによるリスク -6-

### 用量反応関係(つづき)

CMIスコアと死亡率との関係

$$\text{LLE(損失余命)} = \text{CMI} \times 49.3 \text{ (日)}$$

ただし、CMIスコアが低い範囲

[Louge et al., 1986]

### リスクの計算

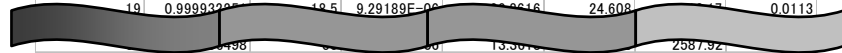
平均的暴露(0.0292 μg/kg bw)では、

$$V = 100 / (1 + 0.0927 \times 0.0292^{1.06}) = 99.78 \text{ (\%)}$$

コリンエステラーゼ活性の阻害はほとんどないが、暴露、代謝能、感受性の個人差があり、阻害率の広がりができる

### クロルピリホスによるリスクの計算

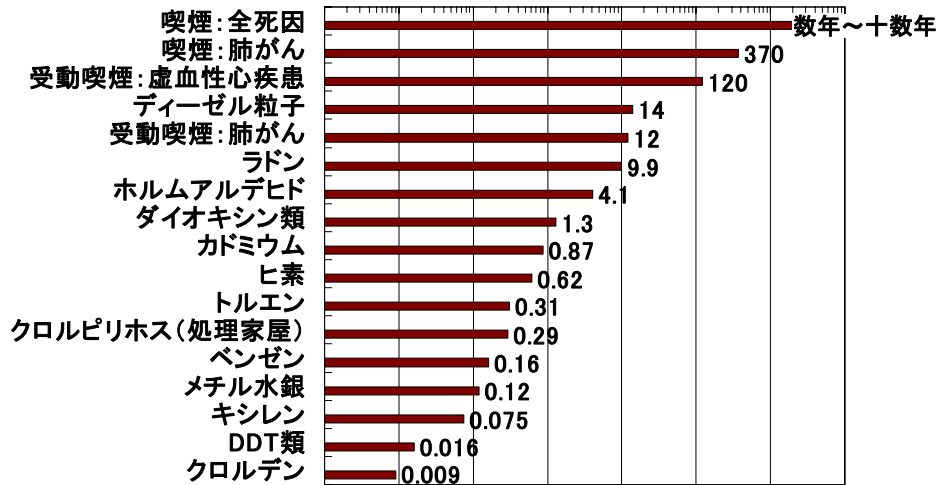
1	A	B	C	D	E	F	G	H
1	分布の特性	幾何平均 =	0.0292	μg/kg bw		ln(幾何平均) =	-3.5336	
2		幾何標準偏差 =	5.46			ln(幾何標準偏差) =	1.6974	=D6*G6
4	TCP体内濃度 C (μg/kg bw)	累積確率密度	Cの 区間平均	区間密度	コリンエステラーゼ 活性残存率 %	CMISコア	区間のLLE (日)	密度×LLE
5	0.0292	0.5						
6	0.1	0.765837501	0.0646	0.265837501	99.4945	0	0	0
7	0.5	0.942871596	0.3	0.187034095	97.4781	0	0	0
8	1	0.991315325	0.75	0.028443728	93.6036	0	0	0
9	2	0.993613746	1.5	0.012298421	87.5293	0	0	0
10	5	0.99776577	3.5	0.005162831	74.0863	0	0	=F6*49.3
11	9.43	0.999667461	7.215	0.000890885	67.0442			=IF(E8<50, -1.43*E6+71.6, 0)
	10	0.999707156	9.715	3.96944E-05	49.2075			=100/(1+0.0927*C6^1.06)
	11	0.999762347	10.5	5.51916E-05	47.1			
	12	0.999804107	11.5	4.17497E-05	44.7			
	13	0.999836369	12.5	3.2162E-05	43.0	10.706	527.82	0.0170
	14	0.999861741	13.5	2.53719E-05	41.5	13.540	667.52	0.0169
	15	0.999882004	14	2.0111E-05	40.5	16.132	795.33	0.0161
	16	0.999898405	14.5	1.6111E-05	39.7	18.513	912.68	0.0150
	17	0.999911839	15	1.2811E-05	39.0	20.705	1020.77	0.0137
	18	0.999922958	15.5	1.0111E-05	38.4	22.731	1120.64	0.0125
	19	0.999932981	16	7.8111E-06	37.9	24.608	1200.00	0.0113
	20	0.999941998	16.5	6.0111E-06	37.5	26.346	1260.00	0.0102
	70	0.999997723	65	1.22512E-06	11.4410	55.239	2723.30	0.0033
	80	0.999998442	75	7.18796E-07	9.9917	57.312	2825.48	0.0020
	90	0.999998891	85	4.48589E-07	8.8602	58.930	2905.24	0.0013
	100	0.999999184	95	2.9384E-07	7.9532	60.227	2969.19	0.0009
	200	0.999999902	150	7.17429E-08	5.0552	64.371	3173.50	0.0023
	500	0.999999995	350	9.35431E-08	2.1227	68.565	3380.23	0.0003
	1000	1	750	4.28264E-09	0.9576	70.231	3462.37	0.0000
	合計							0.2550



### 日本における化学物質のリスクランキング

リスクの大きさ(損失余命)[日]

0.001 0.01 0.1 1 10 100 1000 10000



中西進子・益永茂樹・松田裕之: 演習 環境リスクを計算する(岩波書店)

## 延命施策の効率比較

Center for Risk Analysis, Harvard University

リスク削減政策の効率評価の研究を続けてきた

リスク削減に必要な費用を、

「1人の余命1年の損失を防ぐための費用」 言い換えると、

「1人年の寿命を獲得のための費用」

「CPLYS: Cost per life-year saved」

として計算し、比較可能にした。

Tengs et al.の論文では 587 の政策を評価した。

費用が負のものから100億ドル以上まで、広い範囲に分布

費用効率の悪い施策を止め、費用効率の良いものに移すことで多くの命が救えると主張。

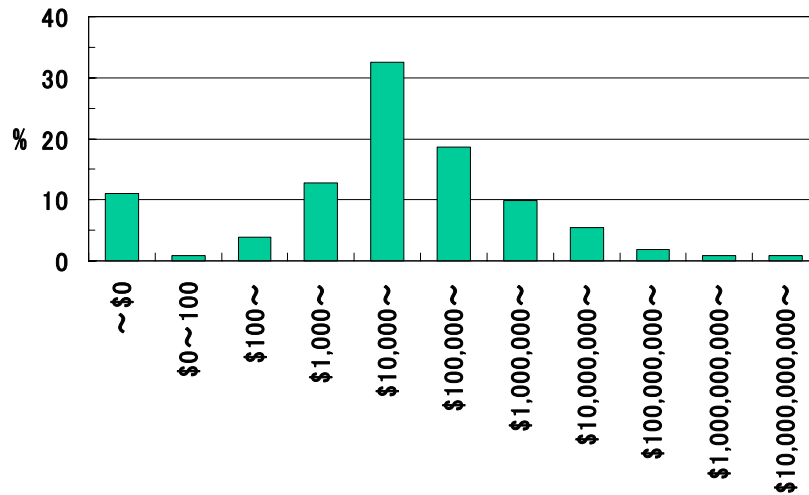
T. O. Tengs, M. E. Adams, J. S. Pliskin, D. G. Safran, J. E. Siegel, M. C. Weinstein, J. D. Graham (1995) Five-hundred life-saving interventions and their cost-effectiveness, *Risk Analysis* 15[3] 369-390.

## リスク削減対策の費用効果 (Tengs et al. 1995)

分野	対策	リスク削減費用 (CPLYS, \$)
交通	昼間の点灯	<0
医療	子供の免疫処置	<0
交通	シートベルトの義務づけ	69
交通	ランダムな車検	1,500
衛生	水道水の塩素処理とろ過	4,200
交通	エアバックの義務づけ	6,700
医療	35~49歳女性を対象にマンモグラフィと検診(毎年)	10,000
交通	定期的な車検	21,000~1,300,000
有害物質	ブレーキブロックのアスベストの禁止	29,000
住居	4 pCi/L以上の住宅のラドン対策	140,000
環境	ベンゼンの揮発の制御(既存)	240,000
環境	飲料水中TCE濃度を2.7 µg/Lに規制(現状11 µg/L)	34,000,000
環境	絶縁テープのアスベスト禁止	49,000,000

CPLYS: 1993年のドル、 TCE=トリクロロエチレン

## 米国における延命1年当たりの対策費用の分布 (n=587)



出典: Tammy O. Tengs, M.E. Adams, J.S. Pliskin, D.G. Safran, J.E. Siegel, M.C. Weinstein, J.D. Graham: Five-hundred Life-Saving Interventions and Their Cost-Effectiveness, *Risk Analysis* 15[3] (1995)

## 介入の段階と種類により分類した延命費用の中央値 (USA)

介入の段階	介入の種類			
	医療	致命的傷害の低減	毒物管理	全て
第一段階	\$5,000 (n=96)	\$48,000 (n=133)	\$2,800,000 (n=144)	\$79,000 (n=373)
第二段階	\$23,000 (n=111)	—	—	\$23,000 (n=111)
第三段階	\$22,000 (n=103)	—	—	\$22,000 (n=103)
全て	\$19,000 (n=310)	48,000 (n=133)	\$2,800,000 (n=144)	\$42,000 (n=587)

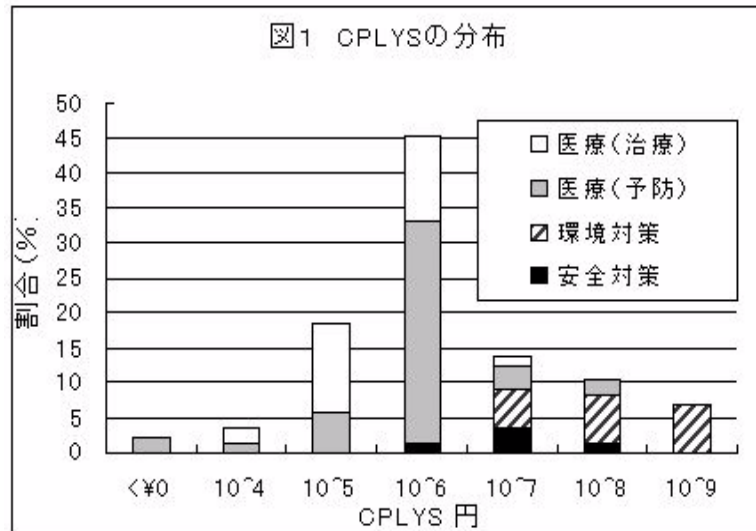
**第一段階: 完全に病気や傷害を予防する。**

**第二段階: 早期発見と介入で、病気や傷害の進行を遅くする、止める、改善する。**

**第三段階: 傷害が起こってから治療、手術により機能を回復させる。**

出典: Tammy O. Tengs, M.E. Adams, J.S. Pliskin, D.G. Safran, J.E. Siegel, M.C. Weinstein, J.D. Graham: Five-hundred Life-Saving Interventions and Their Cost-Effectiveness, *Risk Analysis* 15[3] (1995)

## 日本における1年寿命を延長するための費用の分布



岸本充生

## 環境リスク評価への批判

1. Too slow 時間がかかり過ぎる → 予防原則
  2. Too simple 簡単過ぎる → 総合的評価・価値観
  3. Too uncertain 不確実過ぎる → 全面禁止
1. 規制を遅らせている
  2. 恣意的である
    - 定量化しやすいものだけ取り上げている
    - 専門家しか分からない
  3. リスクを受ける人と便益をうける人が異なることを無視している
  4. 結局、企業よりの評価・結論になっている

## 化学物質リスクのマネジメント

### 個人リスクと集団リスク

総リスクを下げるのか？

個人の最大リスクを下げるのか？

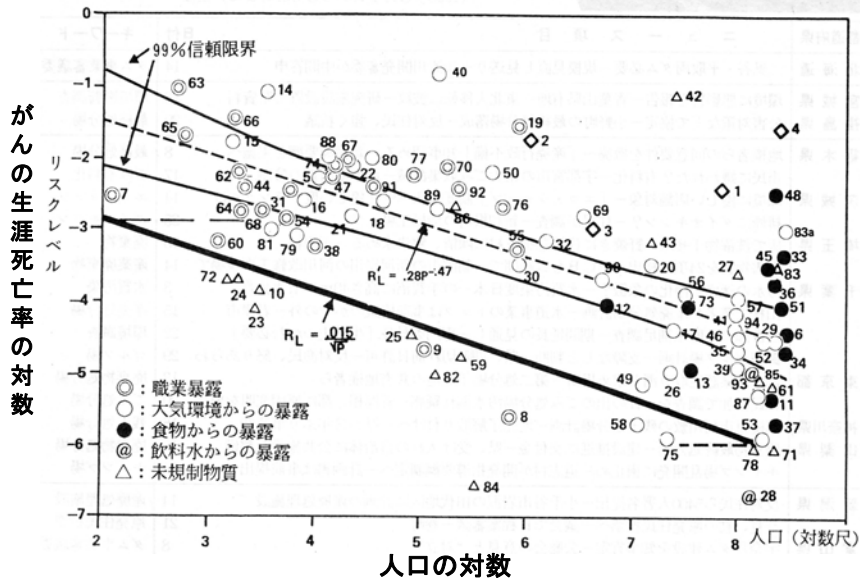
少数の人が多大なリスクを負う

？  
=

全員が小さいリスクを負う

リスクを負う人と便益を享受する人のかい離は問題だ。  
しかし、この問題は全ての施策(公共事業)につきもので、環境リスクマネジメントに特有の問題ではない

## 米国での生涯発ガン死亡リスクと規制との関係



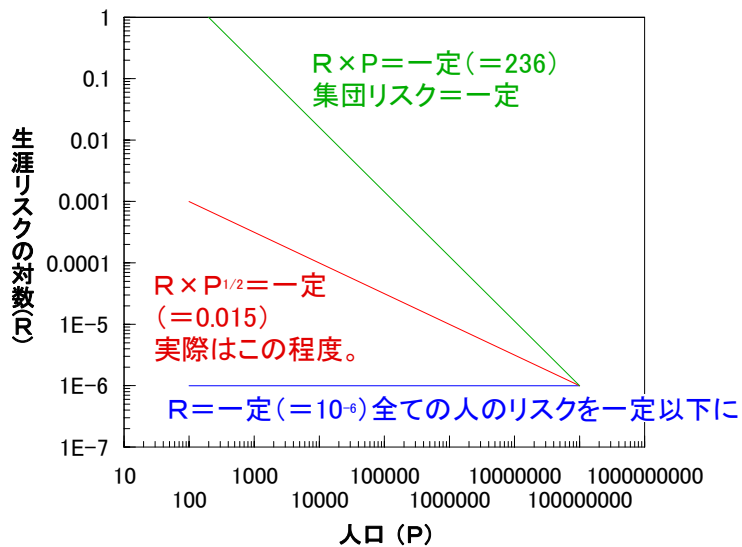
Paul Milvy, "De Minimis Risk and the Integration of Actual and Perceived Risk from Chemical Carcinogens" in Chris Whipple ed., "De Minimis Risk", Plenum Press, New York, 1987

## 米国での生涯発ガン死亡リスクと規制との関係の凡例

- 1: 事故 (1982年の個人活動)、2: 事故 (鉱山)、3: 事故 (1918~65年までの47年間の金融、保険、不動産)、
- 4: 事故 (すべて、1982年の率での70年間分)、5: アクリロニトリル、6: アラクロール (農薬、食物)、
- 7: アラクロール (農薬、癌を振る人)、8: アラクロール (農薬、農家)、9: アラクロール (農薬、地上で散布する人)、
- 10: アミトラス (林檎と梨の散布者)、11: アミトラス (林檎と梨の消費者)、12: アミトラス (林檎を食べる)、
- 13: アミトラス (梨を食べる)、14: ヒ素 (銅精錬所、高暴露)、15: ヒ素 (銅精錬所、低暴露)、16: ヒ素 (ガラス工場)、
- 17: ヒ素 (無機化学工場周辺、平均)、18: ヒ素 (無機化学工場の周辺、最高)、19: アスベスト (職業)、
- 20: アスベスト (学校、生徒と先生)、21: ベンゼン (散逸)、22: ベンゼン (コークス工場副産物)、
- 23: ベンゼン (無水マレイン酸製造工場)、24: ベンゼン (エチルベンゼン、スチレン製造工場)、25: ベンゼン (貯蔵タンク)、
- 26: ベンゼン (STAGE II ガソリン市場)、27: ベンゼン (都市)、28: ベンゼン (平均の暴露、飲料水)、29: ベンゼン (平均の暴露、空気)、
- 30: ベリリウム、31: ブタジエン (職業)、32: カドミウム、33: キャプタン (農薬、食物)、34: キャプトフォル (農薬、食物)、
- 35: 四塩化炭素 (都市)、36: クロルデン、ヘプタクロール (食物)、37: クロルベンジアレート (柑橘類消費)、
- 38: クロルベンジアレート (柑橘類散布者)、39: クロロホルム (都市)、40: クロム (大きな発生源に近い)、
- 41: クロム (都市)、42: 喫煙者 (男)、43: コークス炉 (危険に曝されている人の全米平均)、44: コークス炉 (職業)、
- 45: ダミノサイド (食物)、46: 1,2-ジクロロエタン (都市)、47: 二臭化エチレン (職業)、48: 二臭化エチレン (規制直後食物)、
- 49: 二塩化エチレン、50: 酸化エチレン、51: フォルベット (食物)、52: ホルムアルデヒド (都市環境)、
- 53: ホルムアルデヒド (生産工程からの散逸)、54: ホルムアルデヒド (樹脂工場労働者)、55: ホルムアルデヒド (衣服工場労働者)、
- 56: ホルムアルデヒド (モービルホーム)、57: ホルムアルデヒド (尿素樹脂、ホルムアルデヒドなしの家)、58: リンデン (楮紙)、
- 59: リンデン (家畜散布者)、60: リンデン (ペカン散布者)、61: リンデン (食物)、62: リンデン (間接的な職業暴露)、
- 63: リンデン (直接的な職業暴露)、64: リンデン (非生産労働者、職業)、65: リンデン (工場労働者)、66: リンデン (食品加工労働者)、
- 67: リンデン (全米労働者、OTS-based)、68: リンデン (非生産労働者、職業)、69: ニッケル (環境)、70: ニトロソアミン (職業)、
- 71: NTA (飲料水)、72: NTA (調査士)、73: PCB (魚の摂取)、74: 五塩化フェノール (散布者)、75: 五塩化フェノール (空気)、
- 76: イオン照射 (医療施設、工場での全労働者)、77: イオン照射 (発電労働者)、78: イオン照射 (石炭ボイラー、環境)、
- 79: 放射性核種 (エネルギー省施設)、80: 放射性核種 (ウラニウム鉱山)、81: 放射性核種 (元素リンプラント)、
- 82: 放射性核種 (リン酸塩工場)、83: ラドン (飲料水)、83a: ラドン (室内)、84: スチレンモノマー (職業)、
- 85: テトラクロロエチレン (都市)、86: テトラクロロエチレン (ドライクリーニング)、87: トリクロロエチレン (都市空気)、
- 88: ウラニウム鉱山残滓 (活動停止サイト)、89: ウラニウム鉱山残滓 (活動中サイト)、90: 塩化ビニル (国民の平均、空気)、
- 91: 塩化ビニル (最高暴露、職業)、92: 塩化ビニル (労働者)、93: 塩化ビニル (国民の平均、飲料水)、94: 揮発性有機化合物

Paul Milvy, "De Minimis Risk and the Integration of Actual and Perceived Risk from Chemical Carcinogens" in Chris Whipple ed., "De Minimis Risk", Plenum Press, New York, 1987

## リスク管理の実際: 米国の規制の傾向



## 算出されたリスクの意味と不確かさ(1)

リスク算出の過程を見ると、リスクは暴露や個人の感受性の分布の端から生じる、あるいは、用量反応関係の低用量へ外挿した近似直線から生じている。

・算出されたリスク値は仮定の積み上げで、実際には起こらないのでは？

・見落としていることがあり、もっと大きなリスクがあるのでは？

推算されたリスクが確かかは、実測で証明できない。

ある約束の上で計算されたのが、現在求められるリスク値である。

## 算出されたリスクの意味と不確かさ(2)

もし、不確実だから採用しないなら、他にどのような手段があるのか？

・実証できることだけを管理するなら、非常に高いリスクレベルでの管理になってしまう。

・それ以外は、直感で判断するしかなくなる。

行政担当者が、研究者が直感で決めていいのか？

## 算出されたリスクの意味と不確かさ(3)

リスク解析に依拠し、「判断過程の透明性」が確保されるなら、

- ・根拠と不確実性の程度
- ・考慮されたこと、無視されたこと
- ・思考過程

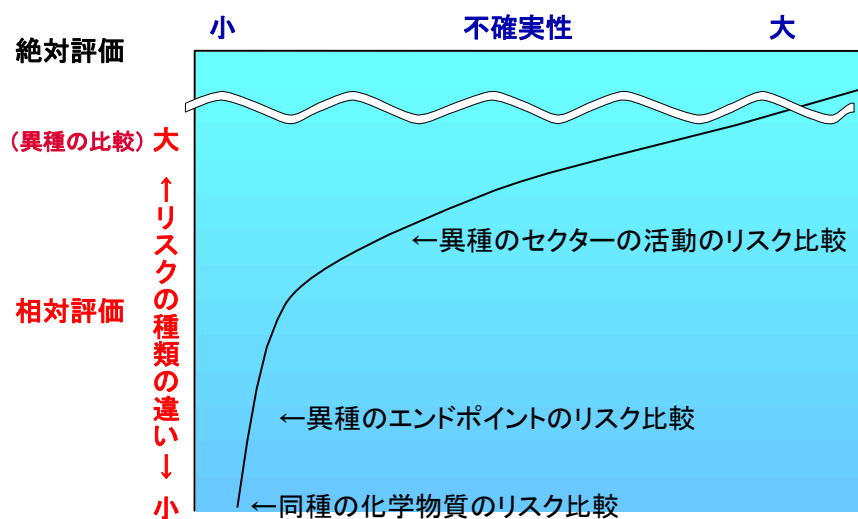
が公表され、

- ・事象ごとの不公平さが少なくなる
- ・その経過をだれもが知れる
- ・新しい事実が得られれば、リスク評価の変更もできる

リスク値を使う場合の留意

- ・絶対に正しい値ではなく、限界があることを心得る。
- ・不確かでも、大きな傾向はみれる。
- ・類似の事象についての比較は、より信頼できる。

## リスク比較の階層と不確かさの大きさ



出席をとる目的を兼ねてクイズを出しますので、配布したカード（裏紙を利用）に、所属学部、学科、学籍番号、氏名、および、問いの答えを記入し、提出してください。

**問** 以下の文章の内、正しいと考える項目の記号を書きなさい。

- (A) 環境汚染物質のリスクは「エンドポイントの生起確率」として定量的に表される。
- (B) エンドポイントとしてはいろいろな事象が採用されるので、リスクの算出結果は、個々に評価するしか方法がない。
- (C) 非発がん物質には、発症の閾値がある。
- (D) わが国のがんによる死亡により生じる損失余命は平均12～14年程度である。これは、交通事故による損失余命より長い。
- (E) リスクは小さい方がよいので、どんなに費用をかけても減らすべきである。