

安全学基礎

ー リスク表現と安全目標 ー

システム創成学科



安全目標とは



◆安全の達成水準についての管理目標

■ 定性的目標

「環境への有害物質の放出を社会的に容認できるレベルに抑制する」

■ 定量的目標

- ◆ 相対的目標 「労災発生件数を5年間で半減」
- ◆ 絶対的目標 「大気汚染による発ガン年間死亡率を 10^{-6} 以下にする」
- ◆ 一般的にリスク限度によって表される



なぜ安全目標が必要なのか

- ◆ 専門家がリスク管理の業務を合理的に行えるようになる。
- ◆ 専門家がリスク管理を適正に行っているかどうかを市民が監視しやすくなる。
- ◆ 安全にどれだけ投資することが社会的に妥当か市民が議論しやすくなる。



さまざまなリスク表現(1)

- ◆ 年間死亡率
 - 1個人が1年間に死亡する確率
- ◆ 生涯死亡率
 - 1個人が特定の原因で死亡する確率
- ◆ 行為あたり死亡率
 - 特定行為1回あたりの死亡率

道路横断	2×10^{-8} /回	航空機	1×10^{-6} /回
妊娠	9×10^{-5} /回	鉄道	2×10^{-10} /回



私たちをとりまくリスク

死 因	年間死亡率(/年)	死亡割合(%)
疾病合計	7.1×10^{-3}	92.9
がん	2.5×10^{-3}	31.1
心疾患	1.3×10^{-3}	15.5
脳血管疾患	1.1×10^{-3}	13.8
肺炎	7.6×10^{-4}	9.2
老衰	1.9×10^{-4}	2.3
事故合計	3.0×10^{-4}	3.7
交通事故	8.4×10^{-5}	1.0
転倒・転落	6.9×10^{-5}	0.8
自殺	2.4×10^{-4}	2.9
他殺	5.0×10^{-6}	0.06
全死亡	8.2×10^{-3}	100

人口動態統計(2004)



さまざまなリスク表現(2)

◆利益あたり死亡率

- 利益(移動距離、生産量など)あたりの死亡率
自動車 $8.4 \times 10^{-9}/\text{km}$ 鉄道 $1.2 \times 10^{-11}/\text{km}$
国内線 $1.4 \times 10^{-9}/\text{km}$

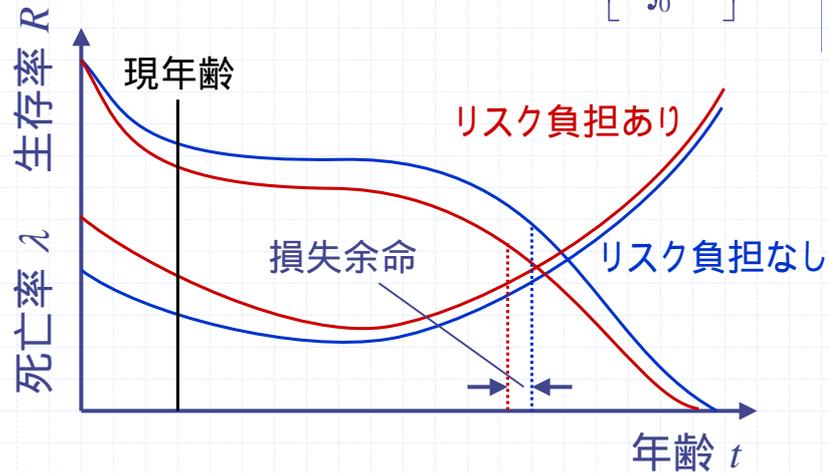
◆寿命短縮

- ある原因で寿命がどれだけ短くなるか
- 死亡に至らない障害も考慮可能



損失余命 (LLE)

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda dx\right]$$



リスクのカタログ (LLE/day)

男性である	2,800	ピーナッツバター	1.1
喫煙(男性)	2,300	航空機事故	1
独身	2,000	過度な省エネ	47
ガン	980	石炭火力	30
あらゆる事故	400	石油火力	4
自動車事故	180	天然ガス	2.5
殺人	90	原子力(反対派)	1.5
大気汚染	80	太陽光	1
屋内(ラドン)	35	原子力(政府)	0.04
コーヒー(2.5杯)	26		

出展: コーエン, 1994



社会的リスクの表現法

- ◆ 社会的リスクを考える時、損害の発生確率だけでなく損害規模を考える必要がある。
- ◆ 発生確率は小さくても損害の極端に大きな事象は社会的に問題なので、単に損害の期待値でリスクを表現することも不適切である。
- ◆ リスクのヒストグラム
 - 損害(規模)をいくつかのカテゴリに分類し、各カテゴリごとに発生頻度を棒グラフにプロットしたもの。

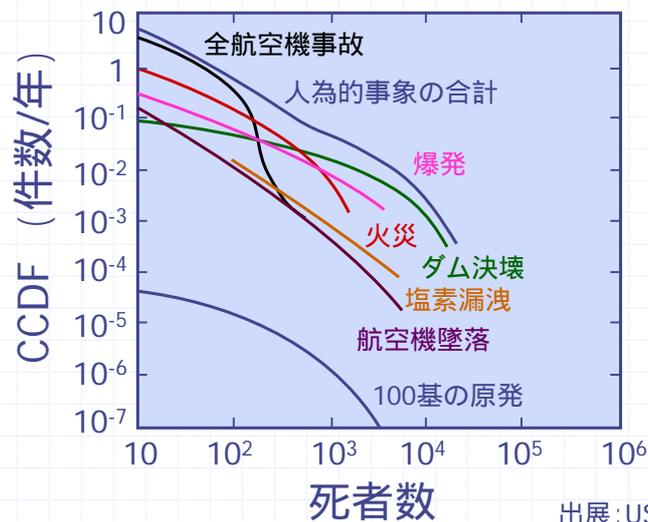


確率密度関数とCCDF

- ◆ 確率密度関数 $f(C)dC$ = 損害規模が $C \sim C+dC$ となる事象の発生確率
- ◆ 余累積分布関数(CCDF) $F(C)$ = 損害規模が C を超える事象の発生確率
$$F(C) = \int_C^{\infty} f(x)dx = \sum_{C_i \geq C} f_i$$



人為的事象の社会的リスク



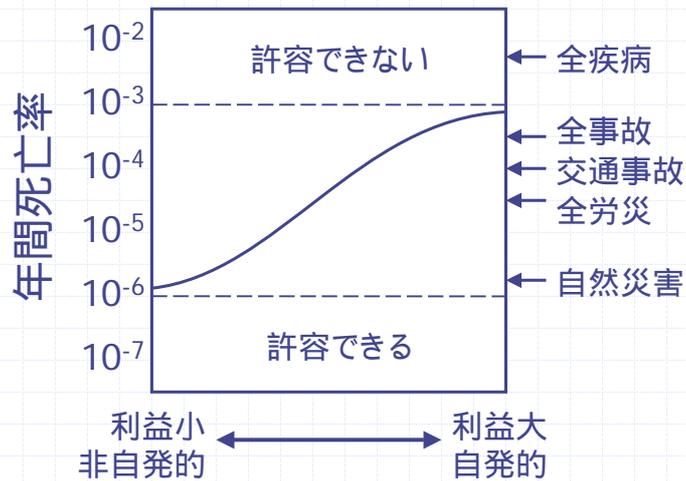
How safe is safe enough ?

— リスクはどこまでだったら許容できるか —

- ◆ 得られる利益とのバランス
 - 能動的・職業的リスクは許容されやすい
- ◆ 自然発生的リスクとの比較
 - 全疾病 7×10^{-3} /年 発ガン 2×10^{-3} /年
- ◆ すでに許容されている同種リスクとの比較
 - 全事故 3×10^{-4} /年 全労災 3×10^{-5} /年



リスク許容限度の考え方の一例

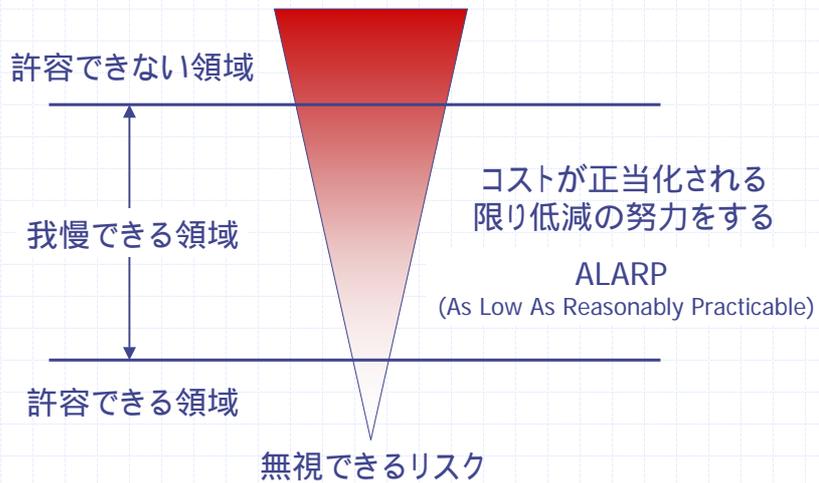


安全目標の例

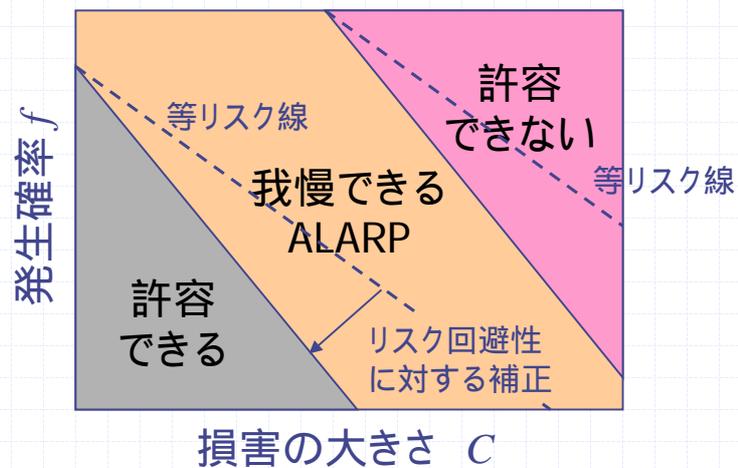
- ◆ 原子力発電所 (米)
 - 個人: 急性死亡 < 全事故死の0.1% ($5 \times 10^{-7}/\text{yr}$)
 - 集団: ガン死亡 < 全ガン死の0.1% ($1.4 \times 10^{-6}/\text{yr}$)
- ◆ 航空機設計 (米)
 - 破滅的事象の発生 < $10^{-9}/\text{飛行時間}$
- ◆ 大気汚染 (蘭)
 - ガンの超過発生 < $10^{-4}/\text{生涯}$ (目標 $10^{-6}/\text{生涯}$)
- ◆ 飲料水 (日)
 - ガンの超過発生 < $10^{-5}/\text{生涯}$



幅を持った安全目標



分布型安全目標の考え方





リスクの保有と移転

◆リスクの保有

- リスクは無視できるとして損害発生を許容する。
 - ◆ (運が悪かったと思ってあきらめる。)
 - ◆ 損害保証のための資金を積み立てる。
 - ◆ 損害発生を想定して危機管理対策を考える。

◆リスクの移転

- リスクを他の組織に転嫁する。
 - ◆ (訴訟を起して賠償をとる。)
 - ◆ 保険をかける。



目標リスクと対抗リスク

◆目標リスク

- リスク削減の対象となるリスク

◆対抗リスク

- 目標リスク削減の結果として発生するリスク
- リスク削減の努力は必ず対抗リスクを生む
- 何もしない(無為)ことも必ずリスクになる



リスクトレードオフ

- ◆ 目標リスクと対抗リスクの間で取引をし、全体としてリスクを削減する意思決定を行うこと

		リスクのタイプ	
		同じ	異なる
リスクの負担者	同じ	リスク相殺	リスク代替
	異なる	リスク移転	リスク変換



リスクトレードオフの例

- ◆ 石油から天然ガスへの切り替え(相殺)
 - 炭酸ガスによる地球温暖化 メタンガスによる地球温暖化
- ◆ 鉛バッテリーのリサイクル(移転)
 - 廃棄物焼却場周辺のリスク 二次精錬所周辺のリスク
- ◆ 飲料水の塩素消毒(代替)
 - 水系病原菌による感染疾患 トリハロメタンによる発がん
- ◆ 残留農薬による農産物輸入規制(変換)
 - 国内消費者の発がん 輸出国農民の経済損失