

# 参考資料

## 目次

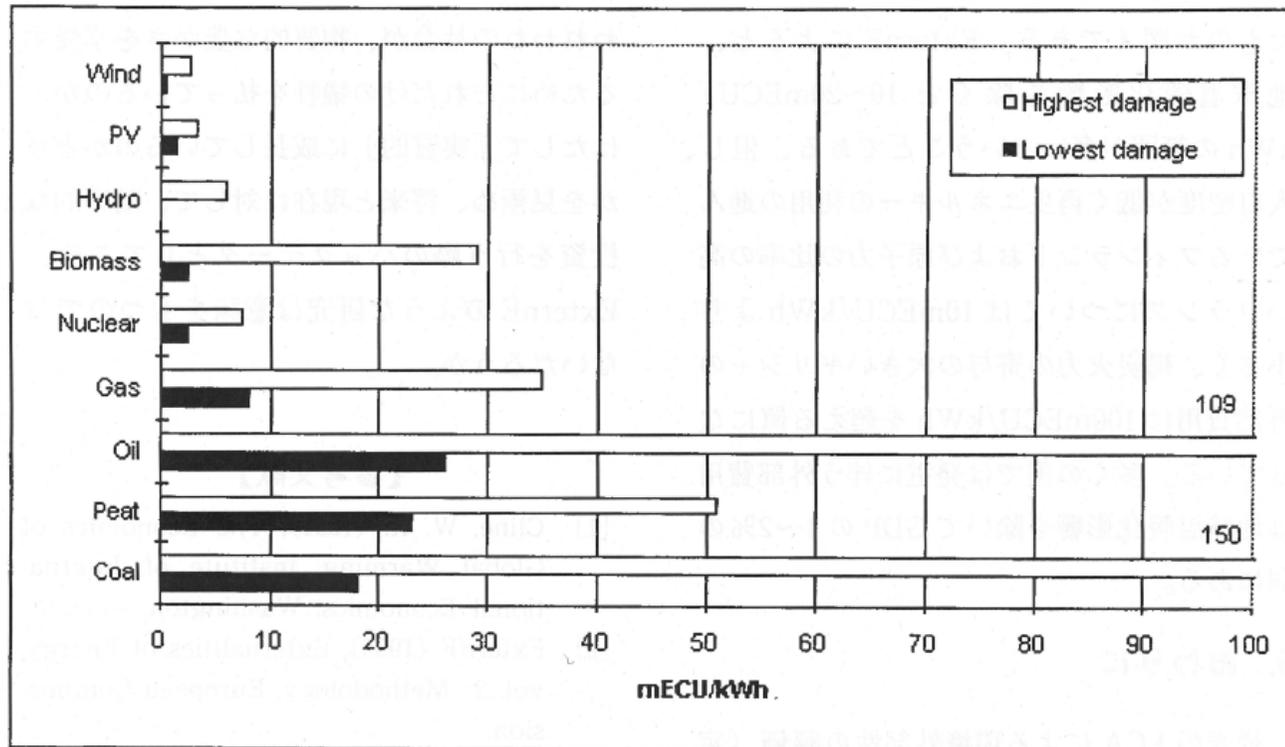
1. エネルギー源毎の被害比較
2. 事故を受けて明らかになった原子力の社会的被害
3. リスクの定義
4. 原子力のリスクの特殊性

# 1. エネルギー源毎の被害比較

# エネルギーの外部コストの評価例

## ExternEプロジェクト:

- 欧州委員会(EC)が米国エネルギー省と協力して1991~1999年にかけて実施
- エネルギーの生産、消費に関する環境影響と社会的費用について、統一的な定量評価手法の開発、評価が目的
  - 大気汚染物質、放射性物質、地球温暖化による影響についても評価
- 各エネルギーチェーンの各ステージについて評価
  - 燃料の採集、燃料輸送、発電、電力輸送、廃棄物管理



### ●外部コストの評価

(統一的な定量評価のため、金銭価値換算して表現される)

#### <大気汚染物質>

・SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、アンモニア、微粒子などを評価

・健康、農作物、インフラストラクチャー、森林及び生態系への影響を評価

#### <地球温暖化>

・CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oを評価

・海面上昇、農作物、生態系・多様性、健康(高温ストレス、低温ストレス、マラリア)、自然現象(ハリケーン、河川洪水、吹雪)を評価

欧州各国における電源別外部性の評価結果(金銭価値換算)

(出典) ExternE, Externality of Energy, Vol. 10 National Implementation. European Commission. 1999.

ExternEにおける環境外部性評価の動向、西村一彦、電力経済研究 No.42, 1999.10

# エネルギーの外部コストの評価例

## 各燃料チェーンで重要な影響経路

(IAEAが12カ国の研究機関と共同で実施した「原子力と他のエネルギーシステムのリスク比較に関する共同研究プログラム」(1994-1998)において分析されたもの)

燃料チェーン	発生源	影響	燃料チェーン	発生源	影響
石炭	CO2	地球温暖化	ガス	CO2	地球温暖化
	SO2およびNOx放出に伴う硫酸塩および硝酸塩	死亡率と疫病発生率の増加		NOx放出に伴う硝酸塩	死亡率と疾病発生率の増加
	一次粒子の放出に伴う粒子状物質	死亡率と疫病発生率の増加		放出されたNOxから形成されるオゾン	疫病発生率の増加と死亡率増加の可能性
	放出されたNOxから形成されるオゾン	疫病発生率の増加と死亡率増加の可能性		設備またはパイプラインからの漏洩	事故に伴う損害
	石炭採掘	石炭粉塵による疾病	原子力	過酷事故の起こる可能性	死傷および財産の損害のリスク
	石炭採掘	炭鉱事故における死傷		使用済燃料再処理	長期間(数千年)の死亡率と疫病発生率の増加
	鉄道とトラックによる石炭輸送	事故にともなう死傷		バイオマス	NOx放出に伴う硝酸塩
石油	CO2	地球温暖化	一次粒子の放出に伴う粒子状物質		死亡率と疫病発生率の増加
	SO2およびNOx放出に伴う硫酸塩および硝酸塩	死亡率と疫病発生率の増加	放出されたNOxから形成されるオゾン		疫病発生率の増加と死亡率増加の可能性
	一次粒子の放出に伴う粒子状物質	死亡率と疫病発生率の増加	植物の輸送		道路の破損と事故
	放出されたNOxから形成されるオゾン	疫病発生率の増加と死亡率増加の可能性		大気汚染	
	石油輸入	エネルギー供給確保に伴う費用	水力	土地利用	地域の環境の変化

(出典) IAEA、2000、"IAEA Working Material, IAEA's activities on comparative studies of health and environmental risks associated with electricity generation systems, procedures on the technical committee meeting to summarize the achievement of a five year study of impacts and risks of energy systems"

# 各エネルギー源における過酷事故について①

○OECDの報告によると、化石燃料においては、採取、精製・転換、輸送等のフロントエンドにおける事故が、エネルギーチェーン全体での事故のほとんどを占める。  
 ○OECD加盟国に比べ、OECD非加盟国において事故被害が大きい。

化石燃料、水力、原子力の各エネルギーチェーンで1969～2000年に発生した過酷事故(死亡者5名以上)

エネルギーチェーン	OECD 加盟国			OECD 非加盟国		
	事故件数	死亡者数(人)	死亡者数/発電量(GW・年)	事故件数	死亡者数(人)	死亡者数/発電量(GW・年)
石炭 (うち、中国(1994～99年)*1)	75	2,259	0.157	1044 (819)	18,017 (11,334)	0.597 (6.169)
石油	165	3,713	0.132	232	16,505	0.897
天然ガス	90	1,043	0.085	45	1,000	0.111
LPG	59	1,905	1.957	46	2,016	14.896
水力	1	14	0.003	10	29,924	10.285
原子力	0	0	-	1	31*2	0.048

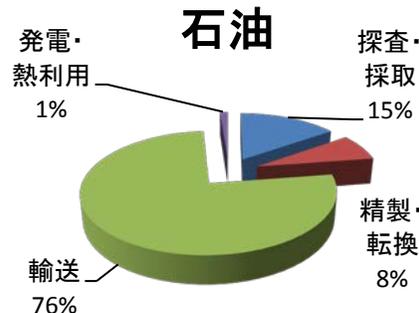
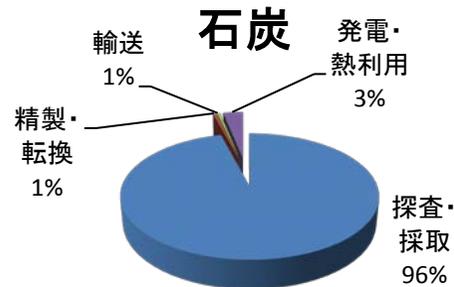
\*1 中国については、石炭データは中国石炭産業年鑑が入手できる1994～1999年についてのみ解析されている。

なお、2002～2009年における中国の石炭採掘による死亡者数は平均約5,000人/年。  
 (出典)(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 委託調査「世界の石炭事情調査 -2010年度-」

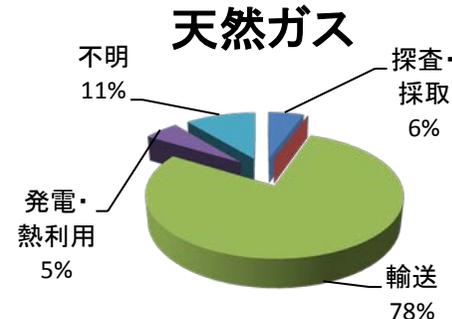
\*2 事故直後の死亡者のみ。

(出典:OECD2010 NEA No.6861 “Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources”)

## エネルギーチェーンにおける各過程ごとの事故数の分布



※ 水力及び原子力については、全て発電過程での事故による死亡者数



## ○主な事故原因

### 石炭:

ガス爆発、火災、落盤等による炭坑での事故

### 石油・天然ガス:

交通事故、タンカー事故、パイプラインの不具合等による輸送中の事故

(出典)OECD2010の主要データソースであるPSI 1998\*3を元に資源エネルギー庁にて作成

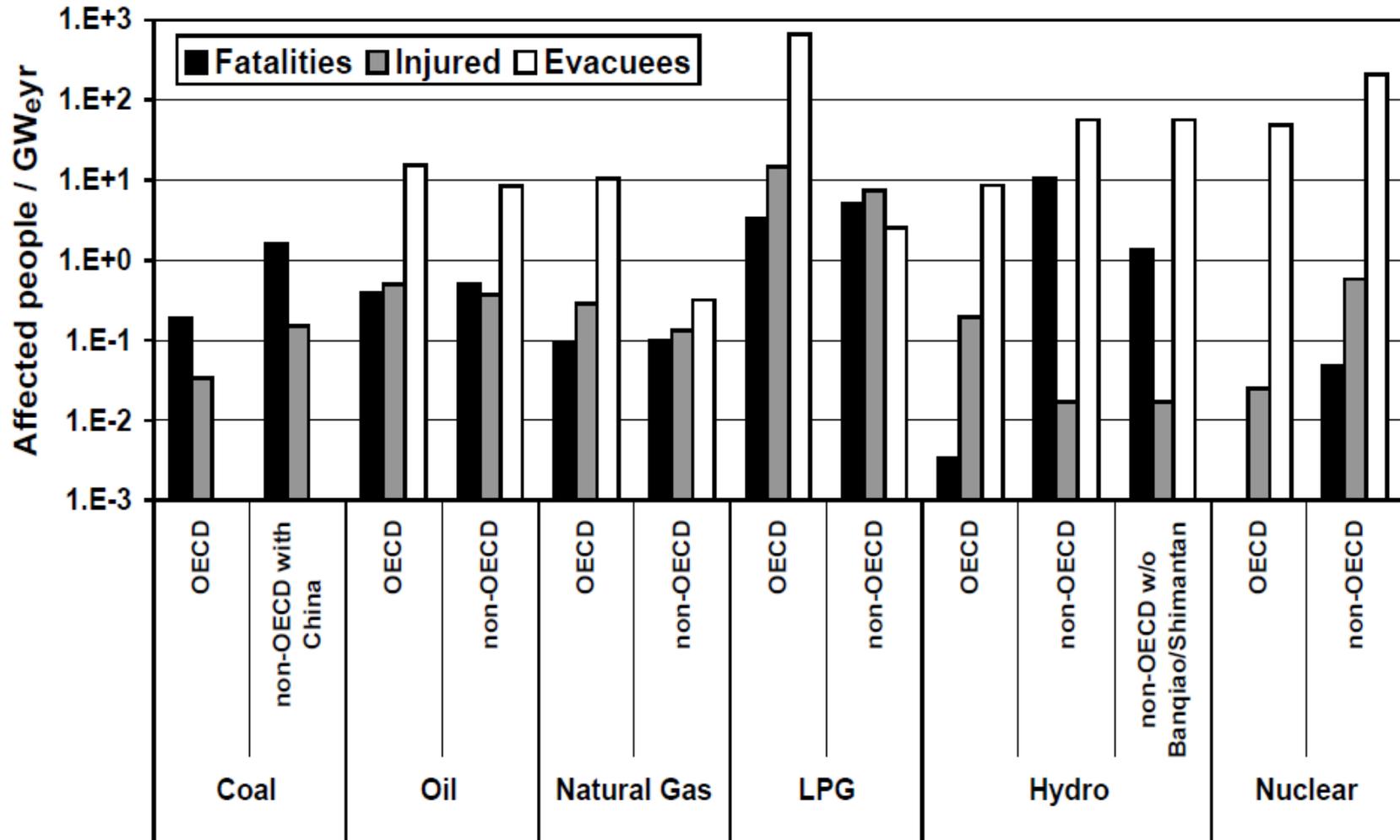
\*3 Severe Accidents in the Energy Sector. Hirschberg S., Spiekerman G. and Dones R., 1998 (Paul Scherrer Institut)

(出典)第10回 総合資源エネルギー調査会 基本問題委員会 資料(平成24年2月1日)

# 各エネルギー源における過酷事故について②

各エネルギーチェーンで1969～2000年に発生した過酷事故※1による死亡者、怪我人、避難者の総和※2（発電量で規格化）

※1 死亡者5名以上、怪我人10名以上、又は避難者200名以上の事故と定義 ※2 原子力は事故直後の死亡者のみ



※New Ext (New elements for the assessment of external costs from energy technologies)とは: Extern Eプロジェクトの終了後、エネルギーの外部性評価手法を更に発展させることを目的として、EUにより行われたプロジェクト。Extern Eでは考慮が不十分だったとされた、原子力以外のエネルギーチェーンにおける過酷事故に関する知見を広げることも目的の一つであり、そのデータが前述のOECDによる報告書の基礎となっている。

(出典)New Ext Final Report to the European Commission.

IER, Germany, AARMINES/ENSMP, France, PSI, Switzerland, Universite de Paris I, France, University of Bath, United Kingdom, VITO, Belgium, 2004)

# 各エネルギー源における過酷事故について③

各エネルギーチェーンで1969～2000年に発生した、最も死亡者、怪我人、避難者又は被害額の大きかった10の過酷事故

日付	国	エネルギーの種類	エネルギーチェーンの段階	死亡者数	怪我人	避難者数	被害額
05.08.1975	中国	水力	発電	26,000	-	-	-
20.12.1987	フィリピン	石油	輸送	4375	26	-	-
01.11.1982	アフガニスタン	石油	輸送	2700	400	-	-
11.08.1979	インド	水力	発電	2500	-	150,000	1260
18.09.1980	インド	水力	発電	1000	-	-	-
18.10.1998	ナイジェリア	石油	輸送	900	100	-	-
04.06.1989	ロシア	LPG	輸送	600	755	-	-
02.11.1994	エジプト	石油	輸送	580	>1	20,000	160
29.06.1995	韓国	石油	輸送	577	952	-	-
25.02.1984	ブラジル	石油	輸送	508	150	2500	-

※1  
※2  
※3  
※4

日付	国	エネルギーの種類	エネルギーチェーンの段階	死亡者数	怪我人	避難者数	被害額 (Mio USD 2000)
19.11.1984	メキシコ	LPG	輸送	498	7231	250,000	3
11.11.1979	カナダ	LPG	輸送	-	8	250,000	24
28.03.1979	アメリカ	原子力	発電	-	-	200,000	5960
11.08.1979	インド	水力	発電	2500	-	150,000	1260
14.09.1997	インド	LPG(石油)	精製	60	39	150,000	27
26.04.1986	ウクライナ	原子力	発電	31	370	135,000	372,300
25.05.1988	メキシコ	石油	輸送	-	7	100,000	-
26.02.1988	アメリカ	石油	輸送	>1	-	60,000	2
19.12.1982	ベネズエラ	石油	発電	160	1000	40,000	93
05.06.1976	アメリカ	水力	発電	14	800	35,000	2720

※4  
※5

19.11.1984	メキシコ	LPG	輸送	498	7231	250,000	3
17.01.1980	ナイジェリア	石油	採取	180	3000	-	-
22.04.1992	メキシコ	石油	輸送	252	1600	5000	370
04.10.1988	ロシア	石油	輸送	5	1020	-	-
19.12.1982	ベネズエラ	石油	発電	160	1000	40,000	93
25.01.1969	アメリカ	LPG	輸送	2	976	100	14
29.06.1995	韓国	石油	輸送	577	952	-	-
05.06.1976	アメリカ	水力	発電	14	800	35,000	2720
01.07.1972	メキシコ	LPG	輸送	8	800	300	5
04.06.1989	ロシア	LPG	輸送	600	755	-	-

26.04.1986	ウクライナ	原子力	発電	31	370	135,000	372,300
28.03.1979	アメリカ	原子力	発電	-	-	200,000	5960
24.03.1989	アメリカ	石油	輸送	-	-	-	2780
05.06.1976	アメリカ	水力	発電	14	800	35,000	2720
28.01.1969	アメリカ	石油	採取	-	-	-	2630
07.07.1988	イギリス	石油	採取	167	-	-	2180
02.01.1997	日本	石油	輸送	1	-	-	1320
25.09.1998	オーストラリア	天然ガス	採取	2	8	120	1296
11.08.1979	インド	水力	発電	2500	-	150,000	1260
26.07.1996	メキシコ	天然ガス	採取	9	47	-	1100

※5  
※4

※1 台風による記録的な大雨で河川が増水、板橋(Banqiao)ダム・石漫灘(Shimantan)ダム等が連鎖的に決壊して18の村を破壊し、26000人が死亡。

※2 オイルタンカーとフェリーが衝突し、両船とも爆発して沈没、乗客と乗員4375人が死亡。

※3 石油を輸送中のトラックが全長2.7kmのトンネルの中で衝突事故を起こし爆発、炎上。熱と有毒ガスによりトンネル内の2700人が死亡。

※4 洪水によりMachhu IIダムが越流し、2時間以内に決壊。2500人が死亡。

※5 原子力は事故直後の死亡者のみ

# (参考)チェルノブイリ事故の影響評価

- チェルノブイリ事故後の20年間の調査の結果、緊急作業員や当時放射性ヨウ素を吸入した小児以外の大多数の一般公衆は、健康影響はないとされている。

## チェルノブイリ事故による放射線被ばく影響

	被ばく関係者数(注2)	被ばく線量(注2)	チェルノブイリ事故の死亡者数(注3)
発電所勤務者・消防士等	237人	致死量の被ばく	<ul style="list-style-type: none"><li>急性放射線症と診断されたのは134人。</li><li>28名が急性放射線症で熱による火傷と放射線による火傷で4か月以内に死亡(注1)</li><li>19人が2006年までに放射線とは関連性の無い異なった原因で死亡</li></ul>
事故処理作業員(1986-7)	24万人	~100mSv	
強制疎開者(1986)	11万6千人	33mSv	<ul style="list-style-type: none"><li>甲状腺がんによる死亡 1991-2005年間に6,000人以上の小児甲状腺がんが報告されたが2005年までに死亡したのは15人。</li></ul>
嚴重管理区域内居住者	27万人(1986-2005)	50mSv以上	
低汚染地域居住者	500万人(1986-2005)	10-20mSv	<ul style="list-style-type: none"><li>一般公衆で事故による放射線被ばくが原因で生じた健康影響について一致した証拠は得られていない。</li></ul>

注1) なお、事故時、事故直後に3名死亡(2人が原子炉爆発により即死、1人が作業終了後バスの中で冠動脈血栓症で死亡)

注2) 出典: Chernobyl Forum “Chernobyl: looking back to go forwards; towards a United Nations consensus on the effects of the accident and the future”, Vienna, 6-7 Sept. 2005, IAEA他

注3) 出典: UNSCEAR 2008 (原子放射線の影響に関する国連科学委員会)

注4) ICRP(「国際放射線防護委員会」1956年以降は世界保健機構(WHO)の諮問機関として放射線防護に関する国際的な基準を勧告)

### ・チェルノブイリ事故による被ばくによる過剰がん死亡人数の推定について

被ばくによる過剰がん死亡者数は研究者により4,000人であるとか、9,000人であるとか、さらにヨーロッパ全体では16,000人と評価されている。しかし、その計算の基になったのは、集団実効線量の考え方に基づくもので、ごく微量な被ばく線量に数百万、時には数億という人数とリスク係数を掛けて得られた予測値である。ICRP(注4)Publ.103(2007)及びUNSCEAR 2008年報告書ではこの集団実効線量をリスク予測に用いてはならないことを明記している。

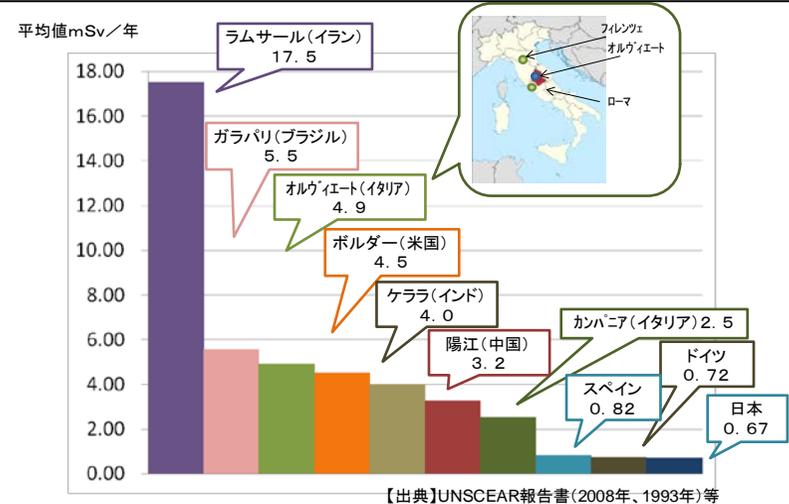
1. WHOは、福島第一原発事故による住民の被ばく線量推計の報告を基に、健康リスク評価を実施し、報告書を公表(平成25年2月28日)。
2. 地域住民への健康影響については、今回の事故による放射線によって疾患の罹患の増加が確認される可能性は小さく、福島県のいくつかの地域(※1)以外や日本近隣諸国では、リスクは無視できる水準であるとしている。なお、本分析は、可能な限り過小評価を避けるため、保守的な仮定を置き(※2)、最大限の被ばく線量を推計。
  - (※1) 例1: 20歳男性が固形癌になる生涯寄与リスク(89歳まで)は40.74%のところ、福島原発事故後の浪江町では+0.394%増加。  
例2: 1歳女性が甲状腺癌になる生涯寄与リスク(89歳まで)は0.77%のところ、福島原発事故後の浪江町では+0.524%増加。
  - (※2) 被ばく量を最大限見込むべく、①避難地域であっても4ヶ月滞在したと仮定、②出荷制限の対象となっているものを含め、事故当初の福島 of 食材のみを食べ続けたと仮定、等の前提の下、推計。

# (参考) 日常生活における放射線の影響

- ① 我々は日常生活の中で、宇宙からの放射線、大地のウランや空気中のラドンから出る放射線、食品のカリウムなどから出る放射線(自然放射線)を受けている。
- ② これらの自然放射線の量は、世界平均で年間2.4ミリシーベルト、日本では平均1.5ミリシーベルト。
- ③ このほか、胸部のCTスキャンやX線撮影など、医療や検診の際に、放射線(人工放射線)を受けることもある。

## 世界の地域別自然放射線量(外部被ばくのみ)

世界には、自然放射線量が日本の数倍に達する地域があるものの、このような地域で健康影響が発生しているという明確な証拠はない。



(注) 日本の被ばく量は自然放射線の年間被ばく量1.48mSvのうち、食物摂取、ラドンの吸入などによる内ばく0.81mSvを除いた、外部被ばくの値。

## 被ばくと他の生活習慣因子のがんリスク比較

低線量被ばくによるリスクは、他の生活習慣上の要因に隠れてしまう程度とすることができる。

放射線の線量 (ミリシーベルト)	生活習慣因子	がんの相対リスク*
1000 - 2000	喫煙者	1.8
	大量飲酒(毎日3合以上)	1.6
500 - 1000	大量飲酒(毎日2合以上)	1.6
	肥満(BMI≥30)	1.4
200 - 500	やせ(BMI<19)	1.22
	運動不足	1.29
100 - 200	高塩分食品	1.15 - 1.19
	野菜不足	1.11 - 1.15
100 以下	受動喫煙(非喫煙女性)	1.08
		1.06
		1.02 - 1.03
		検出不可能

注) リスクとは、その有害性が発現する可能性を表す尺度であり、“安全”の対義語や単なる“危険”を意味するものではない。

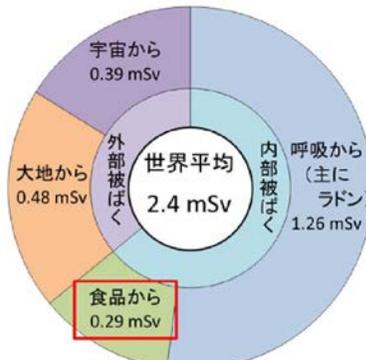
【出典】国立がん研究センターHPより



mSv: ミリシーベルト μSv: マイクロシーベルト  
放射線医学総合研究所ホームページ(出典:資源エネルギー庁2000年)より作成

1年間に受ける自然放射線量(日本)

(参考)世界平均



【出典】世界平均はUNSCEAR 2008報告書、日本は原子力安全研究協会編“生活環境放射線”(2011)より

## 2. 事故を受けて明らかになった 原子力の社会的被害

# 東京電力福島第一原子力発電所事故による影響

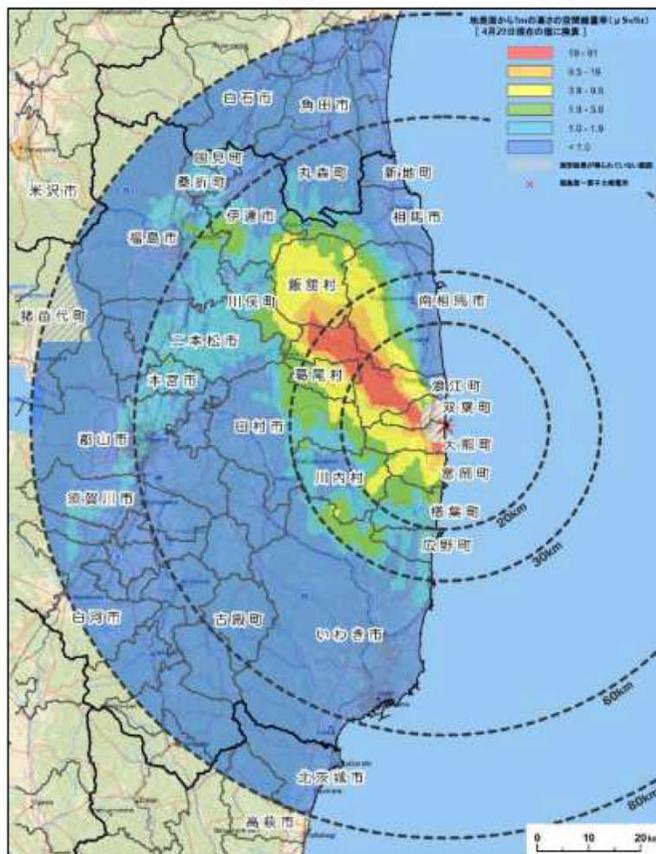
- 福島県全体の避難者数は約14.8万人※<sup>1</sup>、避難指示区域からの避難者数は約8.4万人※<sup>2</sup>
- 震災関連死は全国合計2688人中、福島県が1383人(地震・津波等によるものを含む)※<sup>3</sup>

※<sup>1</sup> 福島県の平成23年東北地方太平洋沖地震による被害状況即報(第1007報)(平成25年8月13日)

※<sup>2</sup> 内閣府原子力被災者生活支援チームが各市町村の避難指示区域の見直しの際に当該市町村からの聞き取った人数からの推計

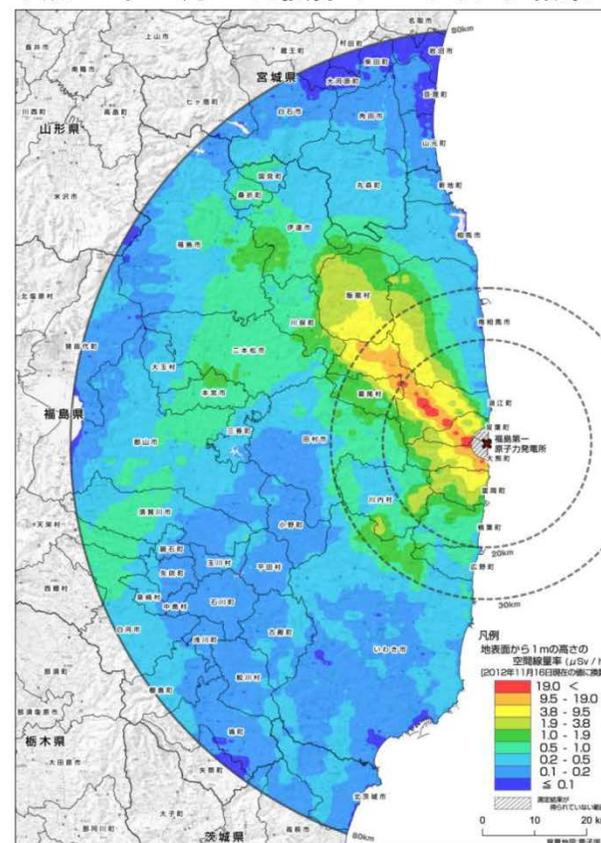
※<sup>3</sup> 平成25年3月末時点

平成23年4月29日換算のモニタリング結果



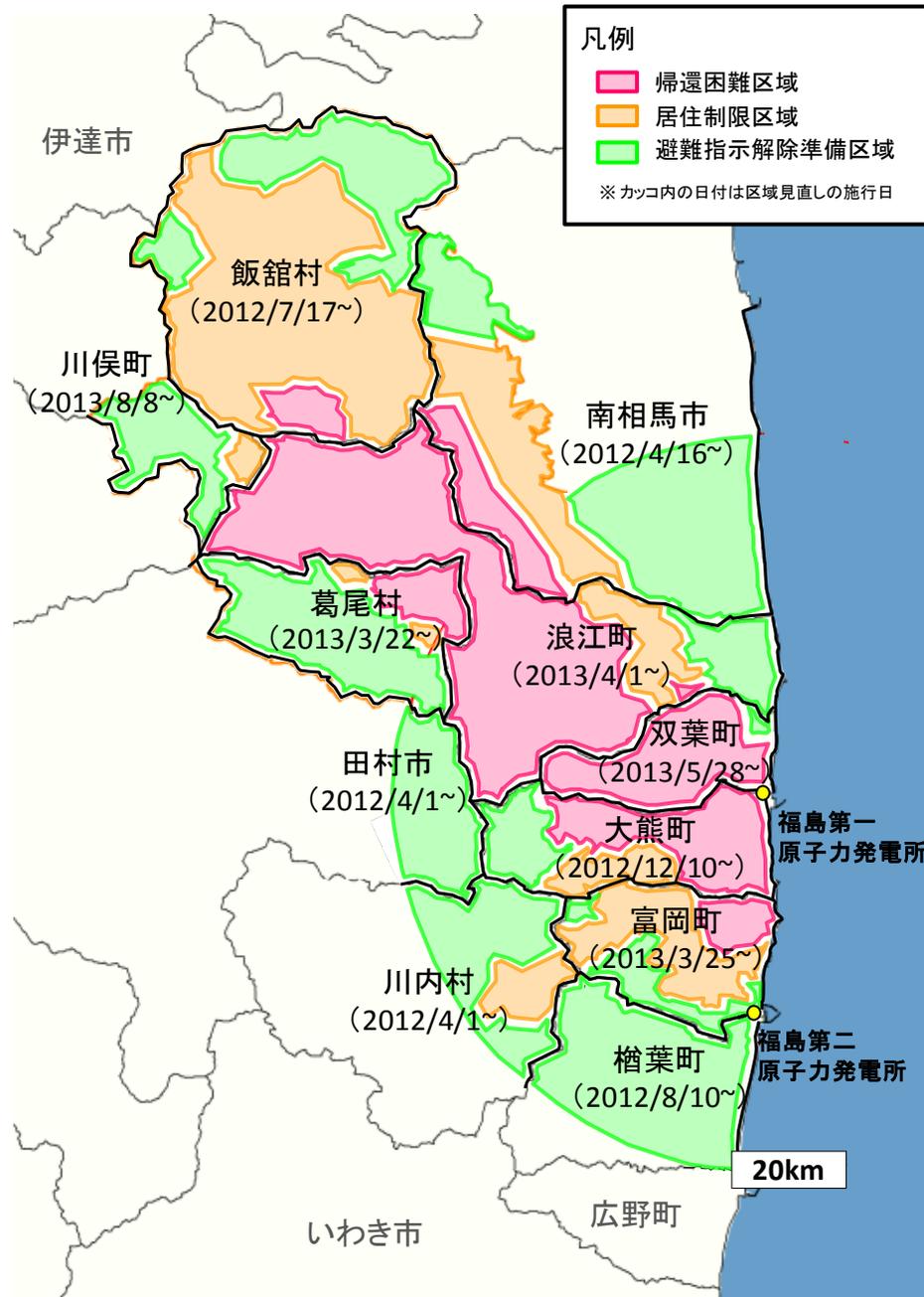
「文部科学省及び米国エネルギー省航空機による航空機モニタリングの測定結果(平成23年5月6日)」より抜粋

平成24年11月16日換算のモニタリング結果



「①第6次航空機モニタリング結果、及び②福島第一原子力発電所から80km圏外の航空機モニタリングの測定結果について(平成25年3月1日)」より抜粋

# (参考) 避難指示区域の見直し後の概念図



# 福島県における震災関連死

福島県において発災から1年以上経過した後<sup>1</sup>に亡くなられた方35名の方についての分析結果は、以下のとおりである。

- (1) 死亡時年齢別では、80歳台が約5割。70歳以上で約8割。
- (2) 男女別では、概ね半々。
- (3) 既往症の有無については、約8割が有、約1割が無。
- (4) 原因区分別(複数選択)

「避難所等における生活の肉体・精神的疲労」が約5割、「避難所等への移動中の肉体・精神的疲労」が約2割、「病院の機能停止による初期治療の遅れ等」が約1割。

なお、平成24年3月31日時点で把握した福島県における震災関連死の死者761人のうち、震災関連死の死者数が多い市町村と原発事故により避難指示が出された市町村の734人を対象にした調査では、「避難所等における生活の肉体・精神的疲労」が約3割、「避難所等への移動中の肉体・精神的疲労」が約3割、「病院の機能停止による初期治療の遅れ等」が約2割であった。

- (5) 個々の事例について整理したところ、発災直後からの避難(移動)や避難生活による疲労、ストレス、運動不足、医療事情がもとで、徐々に衰弱した事例がほとんどである。平均移動回数は、7回であった。

なお、一時帰宅(長時間の受付等で体力が低下)後体調を崩した事例もあった。

- (6) 自殺者は、1人。

# 東日本大震災における震災関連死の死者数(都道府県別)

(人)

都道府県	震災関連死の死者数
岩手県	389
宮城県	862
山形県	2
福島県	1,383
茨城県	41
埼玉県	1
千葉県	4
東京都	1
神奈川県	2
長野県	3
合計	2,688

※注1 平成25年3月31日までに把握できた数。

注2 平成23年3月12日に発生した長野県北部を震源とする地震による者を含む。

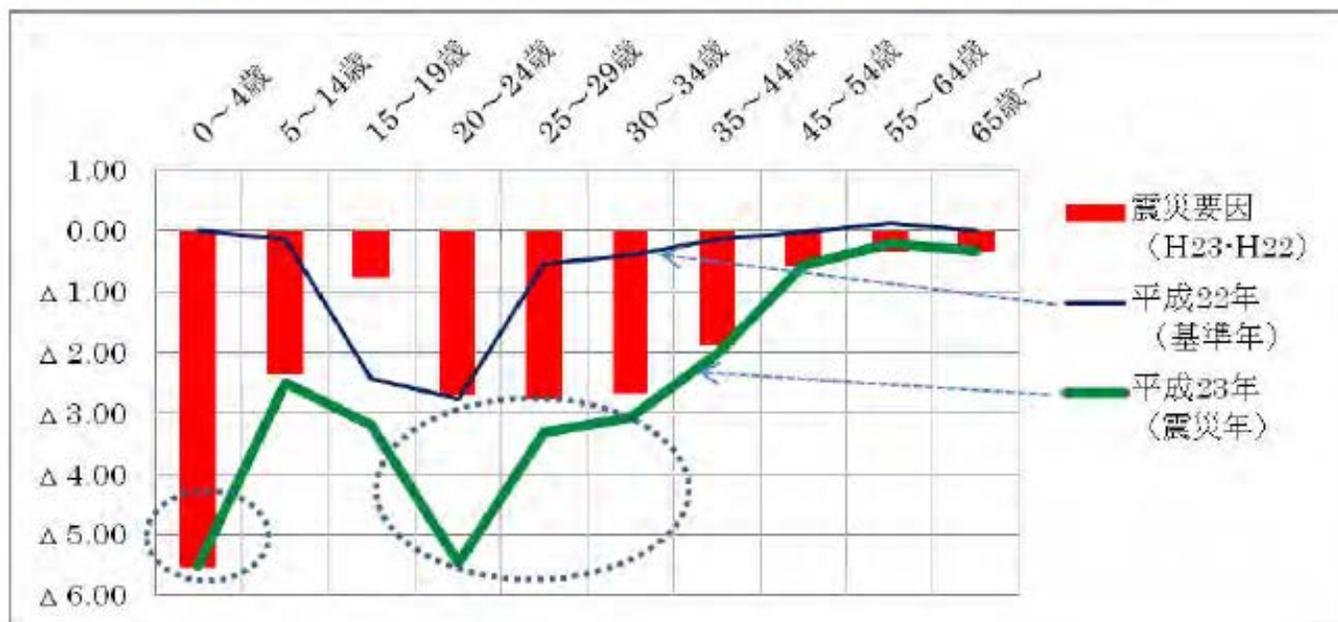
注3 本調査は、各都道府県を通じて市区町村に照会し、回答を得たもの。

注4 「震災関連死の死者」とは、「東日本大震災による負傷の悪化等により亡くなられた方で、災害弔慰金の支給等に関する法律に基づき、当該災害弔慰金の支給対象となった方」と定義。(実際には支給されていない方も含む。)

(出典)平成25年5月10日 復興庁  
「東日本大震災における震災関連死の死者数(平成25年3月31日現在)」

# 福島県における社会増減率(平成23年)

【表3】年齢階層別における年間の社会増減率(平成22年と平成23年の比較)



【表6】福島県外への幼児・児童・生徒の転校数(H23.9.1現在) (単位:人)

	幼稚園	小学校	中学校	高等学校	特別支援学校	合計
福島県	2,035	6,577	1,991	1,214	95	11,918

※ 出典: 文部科学省調査「東日本大震災により被災した幼児児童生徒の学校における受入状況」

【表8】移転している福島県内11商工会\*の会員の事業再開状況(H23.12.20現在)

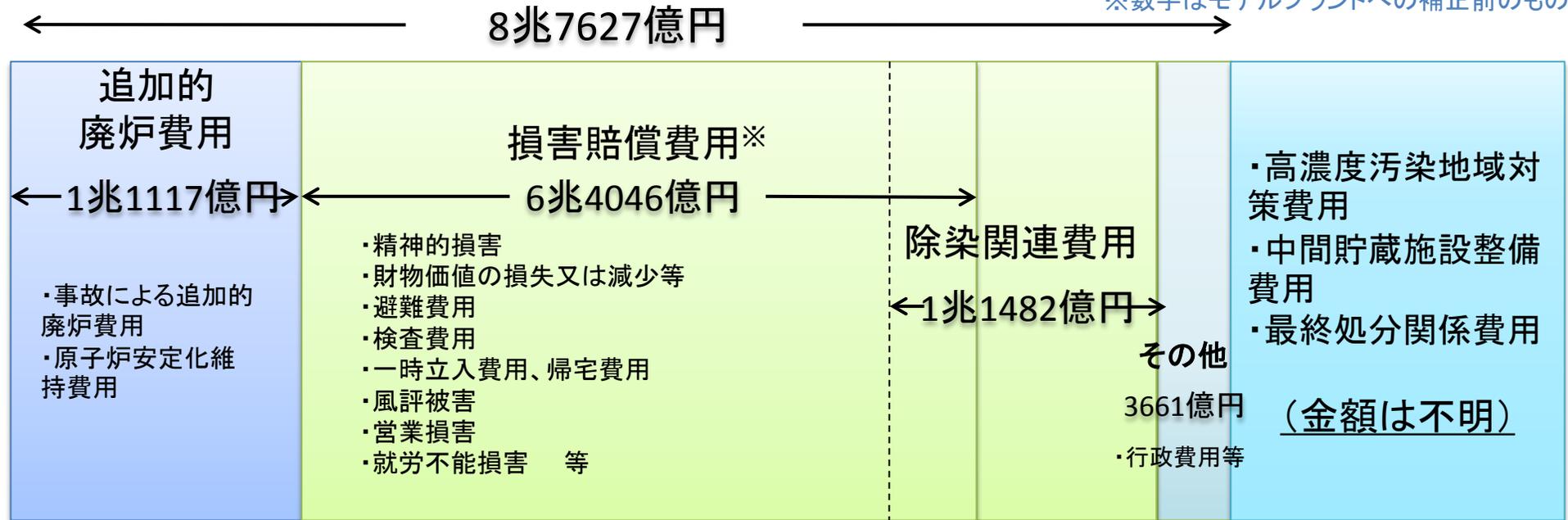
会員数	事業再開	停止	廃業
2,565	922(35.9%)	1,640(63.9%)	3(0.1%)

※ 広野町商工会、楡葉町商工会、富岡町商工会、川内村商工会、大熊町商工会、双葉町商工会、浪江町商工会、葛尾村商工会、小高商工会、飯館村商工会、都路町商工会

(出典)第21回原子力損害賠償紛争審査会資料(平成24年1月27日)

# 東京電力福島第一原子力発電所事故による損害額

出典:コスト等検証委員会報告書(平成23年12月)  
平成24年8月に国家戦略室により更新  
※数字はモデルプラントへの補正前のもの



※国家戦略室による損害賠償費用の見直しの考え方

初年度の費用について、実際の紛争審査会の方針に沿って、精神的損害、就労不能等の損害額を積み増すと共に、2年目以降の損害額については、除染の効果を考慮せず、放射線量の自然な減衰に従って帰宅できる想定の下で、今後20年間にわたり発生する費用を勘案し、増額している。

注1) 東京電力に関する経営・財務調査委員会報告において、損害総額のうち、以下の損害については、被害実態が明らかではなく、現時点では推計不能とされている。

- ・生命・身体的損害
- ・政府による航行危険区域等及び飛行禁止区域の設定に係る損害など政府指示等に係る損害
- ・地方公共団体等の財産的損害等

注2) 追加的廃炉費用については、既存技術による対応が困難であり、各工程の具体的な費用の積み上げによる総額の見積もりは現時点では困難とされている。

注3) 除染関連費用は、国による平成23年度第2次補正予算、第3次補正予算及び平成24年度当初予算の除染関連費用が計上されており、それ以降の除染関連費用は含まれていない。

# 3. リスクの定義

## <リスクの定義>

リスクという用語は、状況によって、(例えば定義(1)及び(2)のように)定量的指標を意味するものとして用いられる場合や、(定義(3)でよくあるように)定性的な概念として用いられる場合がある。

1. ハザード、危険性、又は実際の／潜在的なばく露に関連する有害な影響の可能性を表現する、本質的に様々な属性を有する量。

$$R = \{ \langle S_i \mid p_i \mid X_i \rangle \}$$

$S_i$ : シナリオ  $i$ 、 $p_i$ : そのシナリオの確率、 $X_i$ : そのシナリオの影響の指標

2. 特定の(通常好ましくない)影響の適切な指標の数学的平均(期待値)。

$$R = \sum p_i C_i$$

$p_i$ : シナリオ又は事象シーケンス  $i$  の発生確率、  
 $C_i$ : そのシナリオ又は事象シーケンスの影響の指標

3. 放射線被ばくの結果として、個人または集団に発生する特定の健康影響の確率。
  - 一般的に受け入れられている(どれくらい低ければ安全という)下限値(default)はないので、疑われる健康影響について示されなければならない — 例、致死癌リスク、重篤な遺伝的影響のリスク、又は放射線障害全般。
  - 通常、被ばくが発生する確率及び被ばくした場合にその被ばくが特定の健康影響を引き起こす確率の積として表現される。後者の確率は条件付リスクと呼ばれることもある。

## <許容リスク>

IAEAにおいて許容リスクは示されていない。

## <安全目標>

- IAEAのINSAG-12 原子力発電プラントの基本安全原則では、以下の3つの定性的な目標及び定量的なターゲット値を定義している。

### － 定性的目標

#### 1. 一般的な原子力安全目標

- ✓ 原子力発電所で放射線ハザードに対する実効的な防護を確立し維持することにより、個人、社会及び環境を防護

#### 2. 放射線防護目標

- ✓ 発電所内及び発電所から放出される放射性物質による被ばくが、経済及び社会的要因を考慮して合理的に達成可能な限り低く、かつ規定制限値未満であることを確保
- ✓ 事故による放射線被ばくの緩和を確保

#### 3. 技術的な安全目標

- ✓ 原子力発電所での事故を高い確度で防止
- ✓ 設計で考慮しているすべての事故: その確率が非常に低い場合でも放射線影響が小さいことを確保
- ✓ 重大な放射線影響を伴うシビアアクシデントの可能性: 極めて小さいことを確保

### － ターゲット値（上記のうち「技術的な安全目標」に対応するもの）

- 既設プラント: 炉心損傷頻度  $< 10^{-4}$ /炉年、早期大規模放出頻度  $< 10^{-5}$ /炉年
- 将来プラント: 炉心損傷頻度  $< 10^{-5}$ /炉年、早期大規模放出の実質的な排除

## ＜リスクの定義＞

リスクとは、「どんな悪い事態が起こり得るのか」、「それは、どの程度起こりやすいのか」、「起こった場合の影響はどのようなものか」を考える3つの質問に対する複合回答である。

これら3つの質問により、NRCは、予想される結果、感度、重要となる範囲、システムの相互作用及び不確かさの範囲を理解し、これにより、リスク上重要なシナリオを特定することが可能となる。

## <許容リスク>

許容リスクとは、意思決定における問題の中で最も容認可能な代替策に伴うリスクである。

- 以下の2つの重要な説明が許容リスクの定義に添えられる。
  - (a)技術的に言えば、NRCは決してリスクを許容しない。NRCはある程度のリスクを持った代替策を許容する。意思決定プロセスにおいてリスクと同様に利益やコストを考慮する際は、最も容認可能な代替策のリスクが最も低いとは限らない。
  - (b)許容リスクとは常に状況に応じたものである。すなわち、普遍的に許容されるリスクというものには存在しない。代替策(とそれに伴うリスク)の選択は、意思決定プロセスの中で参照する、その他の代替策、影響、価値観及び事実という一連の事柄に依存する。状況が異なれば、異なる代替策、価値観及び情報が明らかになる可能性がある。長い期間をかければ、解析上のエラーが発見されたり、新たな安全装置が開発されたり、価値観が変化したり、更なる情報が明らかになったりすることがあり得、このような状況の変化はその代替策の許容性を変化させうる。例え同じ状況が同じ時間に起こったとしても、異なる価値観、利益、信条、目標あるいは意思決定手法を持つ様々な人々にとっては、その代替策が最善であるという意見に同意しないかもしれない。要約すれば、絶対的許容性(absolute acceptability)を探索することは誤りである。

## <安全目標>

- 定性的目標：
  - 公衆の個人は、原子力発電所の運転の影響により、個々人の生命と健康に著しい追加的リスクが生じることがないように防護されること。
  - 原子力発電所の運転による生命と健康に係わる社会的リスクは、他の現実的に競合する発電技術によるリスクと同等以下とし、また他の社会的リスクに対する著しい増加とはならないこと。
- 定量的目標：次の定量的目標が、上記の安全目標を達成するために用いられる。
  - 事故時の原子力発電プラント近傍の個人急性死亡のリスクは、米国民が通常さらされている他の事故による急性死亡リスクの総和の0.1%を超えてはならない。
  - 原子力発電プラント周辺の住民に対する、原子力発電所の運転により生じるかもしれないガン死亡のリスクは、他の全ての原因によるガン死亡のリスクの総和の0.1%を超えてはならない。

## <性能目標>

定量的安全目標における急性死亡リスク及びがん死亡リスクに対応するものとして示されている。

- 炉心損傷頻度  $< 10^{-4}$  / 炉年
- 環境中への大規模な放射性物質の平均放出頻度  $< 10^{-6}$  / 炉年

## <リスクの定義>

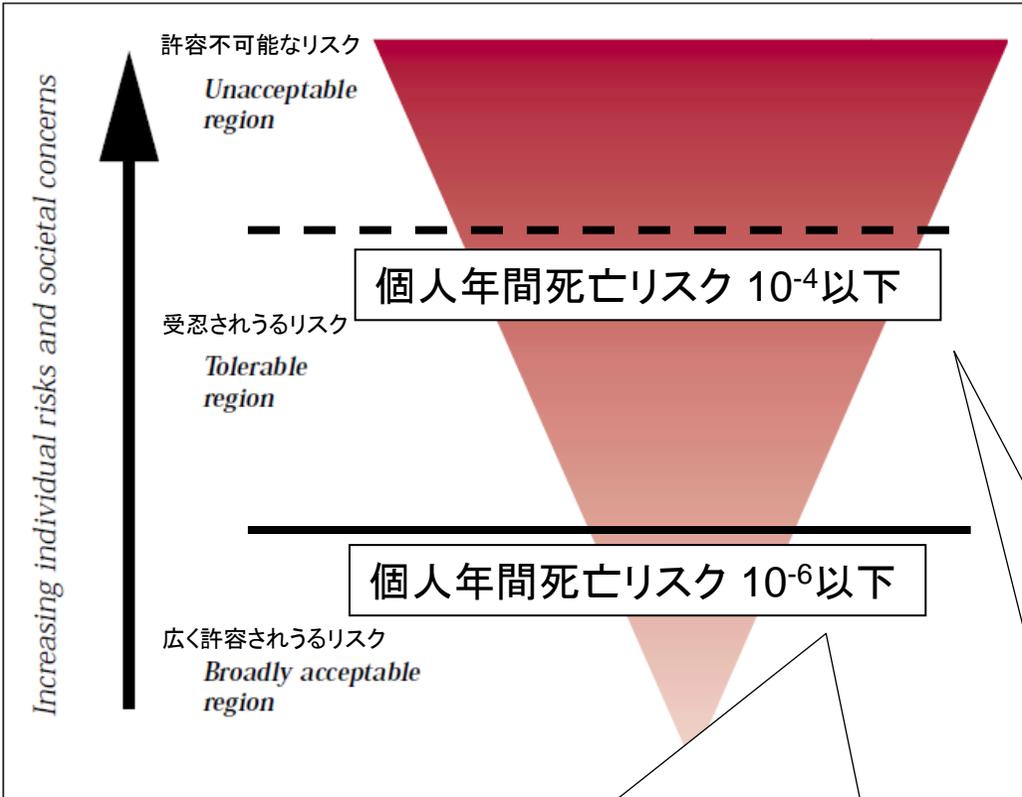
- 「リスク」とは、人または財物がハザードによって悪影響を受ける可能性を指す。
- 「ハザード」とは、「固有の性質として害をもたらすもの」を指す。
  - HSEは、前述のようにハザードとリスクの意味を識別した上で、ハザードを特定すること、ハザードに伴うリスクを評価すること、リスクに対応するための適切な管理措置を講ずることを要求している。
- ハザードによるリスクが社会に影響を及ぼすものであり、実害として顕在化すると公衆防護のための法制度上の責務を負っている議会や政府の糾弾に繋がってしまうような場合は、「社会的な懸念」と称される。
  - 顕在化すると社会的政治的反響を呼び起こすようなリスクを伴うハザード、例えば、事象によって広範または大規模な損害を生じるリスクの場合や、単一事象によって多数の死者が出るリスクの場合には、このような社会的懸念はほぼ「付き物」である。典型的な具体例としては、原子力発電や鉄道輸送が関連する。
- 単一の主要な産業活動における単一の事象により多数の死者を生むような「社会的な懸念」は、「社会的なリスク」と称される。すなわち、社会的リスクは社会的懸念の部分集合である。

## <許容リスク>

- リスクの程度に関しては、「広く許容されうるリスク」、「受忍されうるリスク」、「許容不可能なリスク」の3区分に大別される。
- 「広く許容されうるリスク」とは、「生活または仕事のため、対策なしで受け入れることができるリスク」を指す。
- 「受忍されうるリスク(tolerable risk)」について
  - 「受忍性」とは、リスクを伴う活動による利益を享受するため、リスクが適切に管理されるという信頼の下で、リスクと共存する意欲を指す。
  - 「あるリスクを受忍する」とは、当該リスクを無視できる又は無視してよいものとみなしていることではなく、当該リスクがむしろ常に見直され、可能であればできる限り、さらに低減する必要があるものとみなすことを意味する。

# 英国労働安全衛生庁(HSE)③ 許容リスク(2)

HSE「リスク低減と公衆防護(2001年初版)」中の図1に事務局にて追記



致死リスクのレベル(平均、概算値)(回/年)	
$10^{-2}$	毎週末、5時間ずつロッククライミングをする場合の死亡リスク
$10^{-3}$	鉱業のような比較的危険な産業のうち、高いリスクグループで働くときの死亡リスク
$10^{-4}$	一般的な交通事故死のリスク
$10^{-5}$	産業のうちとても安全な部門で働くときの事故死亡リスク
$10^{-6}$	家庭での火事又はガス爆発で死亡する一般的リスク
$10^{-7}$	雷に打たれて死亡するリスク

- 「受忍されうるリスク」と「許容不可能なリスク」の境界については、汎用的な目安を示すことはできない。なぜなら「許容不可能」とみなされる理由は様々であり、例えば個人が高いレベルのリスクに曝されることに鑑みて「許容不可能」とみなされる場合もあるし、広範な社会に及ぼす影響に鑑みて「許容不可能」とみなされる場合もあるからである。
- しかしながら、いかなる産業であっても「受忍されうるリスク」は個人年間死亡リスクで1万分の1を超えないように管理すべき※。

※原子力発電については、新設炉で、10万分の1を超えないように管理する方針案が検討されている。

「広く許容されうるリスク」と「受忍されうるリスク」の境界の目安としては、「従業者と公衆の両方に対して個人の年間死亡リスクが100万分の1」を適用すべきである。このような数値であれば、リスクのレベルは極めて低いものとみなされる。

(出典) "Reducing risks, protecting people", HSE, 2001.  
"The tolerability of risk from nuclear power stations", HSE, 1992.

# 英国労働安全衛生庁(HSE)④ 安全目標

## <安全目標>

- 所内(放射線作業従事者、その他の作業員)と所外(公衆)に対する通常運転時及び事象・事故時のリスク指標として、基本安全目標(BSO)と基本安全レベル(BSL)が定められている。
- BSLは「受忍されうるリスク」の上限に対応したものであり、各施設はこれらのBSLには適合する必要がある。一方BSOは「広く許容されうるリスク」の上限に近い位置付け(努力目標)である。
- 原子力施設の「社会的なリスク」については、100人以上の死者を生ずるような場合を想定し、そのような事象の発生確率を一定水準(BSLで $10^{-5}$ /年、BSOで $10^{-7}$ /年)に低く抑えることが必要とされている。

項目	数値目標		
T-5: 事故時、 <b>所内</b> 個人 全ての事故による所内個人死亡リスク	BSL: $10^{-4}$ /年 BSO: $10^{-6}$ /年		
T-6: 事故時、 <b>所内</b> 個人 個々の事故に対する所内個人実効線量の年間頻度	実効線量	年間予測頻度	
	mSv	BSL	BSO
	2~20	$10^{-1}$	$10^{-3}$
	20~200	$10^{-2}$	$10^{-4}$
	200~2000	$10^{-3}$	$10^{-5}$
>2000	$10^{-4}$	$10^{-6}$	

項目	数値目標		
T-7: 事故時、 <b>所外</b> 個人 全ての事故による所外公衆の個人死亡リスク	BSL: $10^{-4}$ /年 BSO: $10^{-6}$ /年		
T-8: 事故時、 <b>所外</b> 個人 個々の事故に対する所外個人実効線量の年間頻度	実効線量	年間予測頻度	
	mSv	BSL	BSO
	0.1~1	1	$10^{-2}$
	1~10	$10^{-1}$	$10^{-3}$
	10~100	$10^{-2}$	$10^{-4}$
100~1000	$10^{-3}$	$10^{-5}$	
>1000	$10^{-4}$	$10^{-6}$	
T-9: 死亡事故 事故による放射線被ばくによる <b>100人以上の急性及び晩発性死亡</b> の年間総リスク	BSL: $10^{-5}$ /年 BSO: $10^{-7}$ /年		

WHOは「化学物質リスク評価に関する用語集」の中で、以下のように定義している。

## <リスクの定義>

個人の組織・器官あるいは集団が特定の環境下で化学物質に曝された場合に悪影響を生ずる可能性

- この悪影響とは、個人の組織、器官あるいは集団において、形態・生理機能・成長・発育・再生・寿命等が変化することによって、機能やストレス耐性等が損なわれたり、感受性が増したりすることを指す。

## <許容リスク>

これはリスクマネジメントで用いられる用語である。リスクが許容可能であるか否かは、科学的なデータ、社会的・経済的・政治的な要因、及び当該化学物質へのばく露によりもたらされる、認知されている利益に依存する。

# 世界保健機関(WHO)② 許容リスク

WHOは「飲用水の水質に関するガイドライン」の中で、許容リスクを設定するための様々なアプローチを概説し、結論として「許容リスクの決定は一筋縄ではいかない」とまとめている。

## 1. 定義済の確率を用いたアプローチ (A predefined probability approach)

- 環境規制の分野で広く容認されている許容リスクの定義の一つに、物質に生涯曝された場合に個人のがん罹患率が $10^{-6}$ を下回るというものがある。このレベルは、“本質的にゼロ”と見なされてきた。
- EPAは、飲用水中の遺伝性発ガン物質によるがんについて目標とする参照リスクの幅として $10^{-4}$ ~ $10^{-6}$ を利用している。これは、WHOの飲用水の水質に関するガイドラインに示された生涯がんリスクの上限推定値である $10^{-5}$ のベースガイドライン値にも合致する。

## 2. 既に受忍されている考え方を用いたアプローチ (A ‘currently tolerated’ approach)

- 既に受忍されているリスクは基本的に許容可能であるという考え方。
- このアプローチは、EPAが水浴において許容されるバクテリア指標濃度を定める際に利用した。すなわち、胃腸炎発症率の以前の基準は、淡水浴で1000分の8、海水浴で1000分の19とされていたが、これらのレベルは(当該区域で現在も水浴を行っていることから)受忍されていると見なされ、容認可能と推定された。

## 3. 疾病負荷アプローチ(A disease burden approach)

- 個々のリスクを単独と捉えず、社会の全体的な疾病負荷の観点から健康リスクを考慮し、全体としてあるレベルを下回るという考え方で許容性を定義するアプローチ。

## 4. 経済的アプローチ(A economic approach)

- 厳密に経済的な意味で、リスク低減活動を行わない場合に生じる経済的節約効果が、その活動に要するコストよりも大きい場合、そのリスクは許容される。
- しかしながら、この単純なアプローチを行うには多くの困難がある。結論として、どのくらいのリスクが許容可能かを判断する際に、経済学は絶対的なツールではない。それでもなお、経済的要請を無視して許容リスクを評価することはできない。

## 5. リスクのパブリック・アクセプタンス (The public acceptance of risk)

- このアプローチは、一般公衆の許容可能なものは何であるかに基づいて、許容リスクを決定するものである。言い換えれば、リスクは、公衆が許容できる場合に、許容される。
- この場合、コミュニティにおける全階層がリスクレベルに関する全ての必要な情報に完全にアクセスでき、かつその情報を解釈するためのスキルを有していなければならない。また、コミュニティ内で共通見解に達し、その見解について徹底的に討論するための有効な手法がなければならない。残念ながら、多くの場合はこのような前提条件に適していない。

## 6. 許容リスクの問題に関する政治的解決 (Political resolution of acceptable risk issues)

- このように、許容リスクを定義するには多くの方法があり、各方法では異なるステークホルダーの意見に対して異なる重み付けを行っている。
- 全てのステークホルダーが許容できる「許容性」の定義はないよって、このような問題は、厳密な健康に関するプロセスというよりも、最も広い意味で、政治的プロセスである。

## <リスクの定義>

リスクとは、環境ストレス源に曝された結果生じる、人の健康または生態系に対する有害な影響の機会である。

- ストレス源とは、有害作用を引き起こす可能性がある何らかの物理的、化学的又は生物学的物質である。ストレス源は、それが影響する環境、個々の天然資源又は動植物などの生態系全体に悪影響を及ぼす可能性がある。

(出典) EPA/100/B-04/001, "An Examination of EPA Risk Assessment Principles and Practices", Office of Science Advisory, EPA, March 2004.

## <(参考)全米研究評議会>

- EPAのリスクアセスメントの基本的な考え方は、全米研究評議会による「連邦政府機関におけるリスクアセスメント:プロセス管理」(通称、Red Book)(1983年)に従っている一方、EPAにおいても独自の検討を行っている。
  - 全米研究評議会は、全米科学アカデミー、全米工学アカデミー、医学研究所と共に、全米アカデミーを構成する学術組織であり、全米アカデミーにおける様々な専門家の意見を政府及び公衆に提示する。
- Red Bookは、米国連邦政府機関におけるリスクアセスメントの基礎であり、以下の連邦政府機関で採用されている。
  - 消費者製品安全委員会(CPSC)、原子力規制委員会(NRC)、食品医薬品局(FDA)、労働安全衛生局(OSHA)、農務省(DOA)、国防総省(DOD)、エネルギー省(DOE)、環境保護庁(EPA)

## <許容リスク>

- Red BookやEPAは許容リスクを定義しておらず、(社会政策等の)状況によるものと考えている。
- 一方、EPAは、化学物質の排出規制基準を以下のような考え方で決めている。

(ベンゼン※の排出基準の例)

– 第1ステップ: 許容できるリスクレベルを判断

EPAは、ベンゼンによる「最大個人リスク\*\*」が $10^{-4}$ を超えないよう制限

※※ プラント周辺の住民である個人が生涯(70年間)に亘って最大の汚染物質濃度に継続的に曝されることを想定した場合の推定リスク(発がん件数/年)。

– 第2ステップ: 十分な安全余裕を設定

EPAは、可能な最大限の人数を防護するために、個人の生涯がん罹患リスクが約 $10^{-6}$ を超えないように努力する。

- なお、日本でも上記の「最大個人リスク」の考え方が取り入れられ、ベンゼンの排出基準としては、最大個人リスク $10^{-5}$ 相当の規制値が採用されている。

※ ベンゼンは化学工業の基礎的原料として多くの分野で使用されており、たばこ煙の中にも含まれている。低濃度のベンゼンを長期間吸い込むと、白血病を引き起こす可能性があることがわかっている。

# 我が国における安全目標① 旧原子力安全委員会における議論

## ●安全目標案

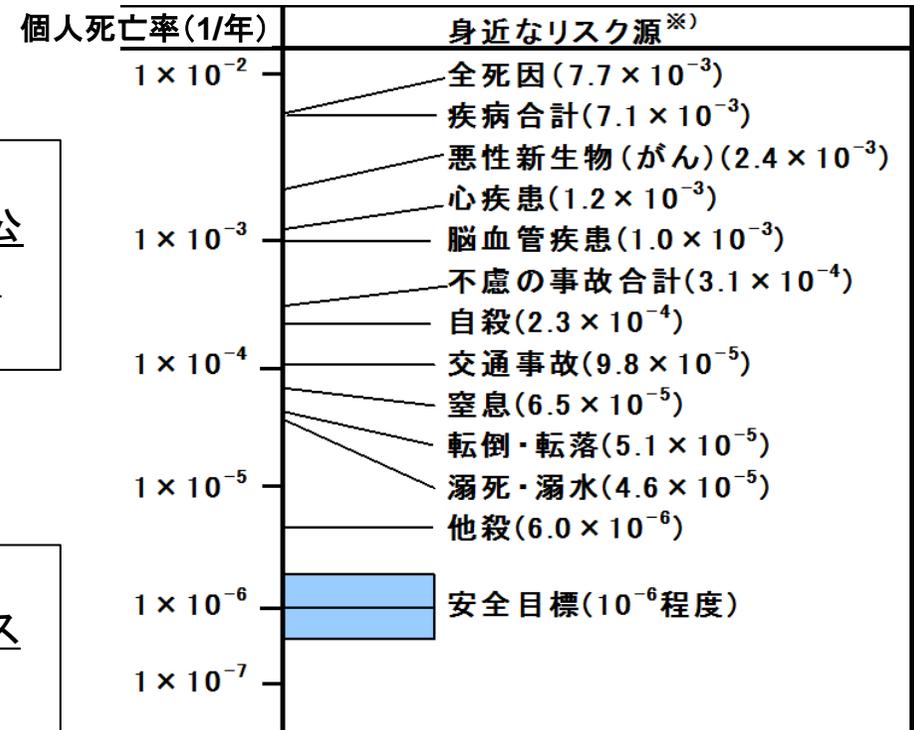
### 1. 定性的目標案

原子力利用活動に伴って放射線の放射や放射性物質の拡散により公衆の健康被害が発生する可能性は、公衆の日常生活に伴う健康リスクを有意には増加させない水準に抑制されるべきである。

※定性的目標案の補足説明として右図が示されている

### 2. 定量的目標案

- 原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによる施設の敷地境界付近の公衆の個人の平均急性死亡リスクは百万分の1／年程度を超えない
- 施設からある範囲の距離にある公衆の個人のがんによる平均死亡リスクは百万分の1／年程度を超えない



※「人口動態統計」(厚生労働省) 2001年データより  
 図 安全目標案の位置のイメージ

(出典)「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」平成15年12月 原子力安全委員会 安全目標専門部会

## ●性能目標案 (施設が安全目標に適合しているかを判断する目安)

- 指標値1: 炉心損傷頻度(CDF)  $10^{-4}$ /年程度
- 指標値2: 格納容器機能喪失頻度(CFF)  $10^{-5}$ /年程度

両方が同時に満足されることを発電炉に関する性能目標の適用の条件とする。

(出典)「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について -安全目標案に対応する性能目標について-」平成18年3月 原子力安全委員会 安全目標専門部会

## 「安全目標に関する議論のポイント」

(平成25年4月10日 原子力規制委員会資料より)

- 旧原子力安全委員会安全目標専門部会における詳細な検討の結果は、原子力規制委員会が安全目標を議論する上で十分に議論の基礎となる。
- ただし、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、万一の事故の場合でも環境への影響をできるだけ小さくとどめることを安全目標に取り込む。  
⇒ 事故時のセシウム137の放出量が100テラベクレル\*を超えるような事故の発生頻度は、100万炉年(10<sup>-6</sup>/炉・年)に1回程度を超えないように抑制されるべき。(テロ等除く)
- 安全目標は、原子力規制委員会が原子力施設の規制を進めていく上で達成を目指す目標であること。

※東電福島事故における環境への放射性物質の放出量は、セシウム137については、7300～13000テラベクレル(JNESの事故進展解析に基づく評価)、10000テラベクレル(東京電力の陸側測定結果に基づく評価)等と試算されている。100テラベクレルとは、福島第一原子力発電所事故で放出されたセシウム137の約100分の1の規模。

## 4. 原子力のリスクの特殊性

- 事故が起きたときの社会的な影響が大きい
  - － 放射性物質による広範囲の環境汚染
  - － 大規模かつ長期間にわたる避難
  - － 低確率ではあるが広範囲に影響が及ぶハザード  
(低確率であることにより安全神話に陥りがち)
  - － 外的事象(地震、津波など)を考慮しても本当に低確率か
- 社会における受容性が低い
  - － 大きなハザードに対する受容性
  - － わからないものに対する不安(低線量被曝リスクなど)
  - － 核に対する嫌悪感
  - － 高度な科学技術への不信(制御できないおそれ)