

2025年3月17日 土木学会第3回原子力防災避難小委員会

東電福島事故の避難の リスク・便益分析、 リスクの認知と心理、 省庁のアカウンタビリティ

岡 芳明

東京大学名誉教授
前・内閣府原子力委員会委員長

本資料は講演者が過去に所属した組織の考え方を表すものではありません。

目次

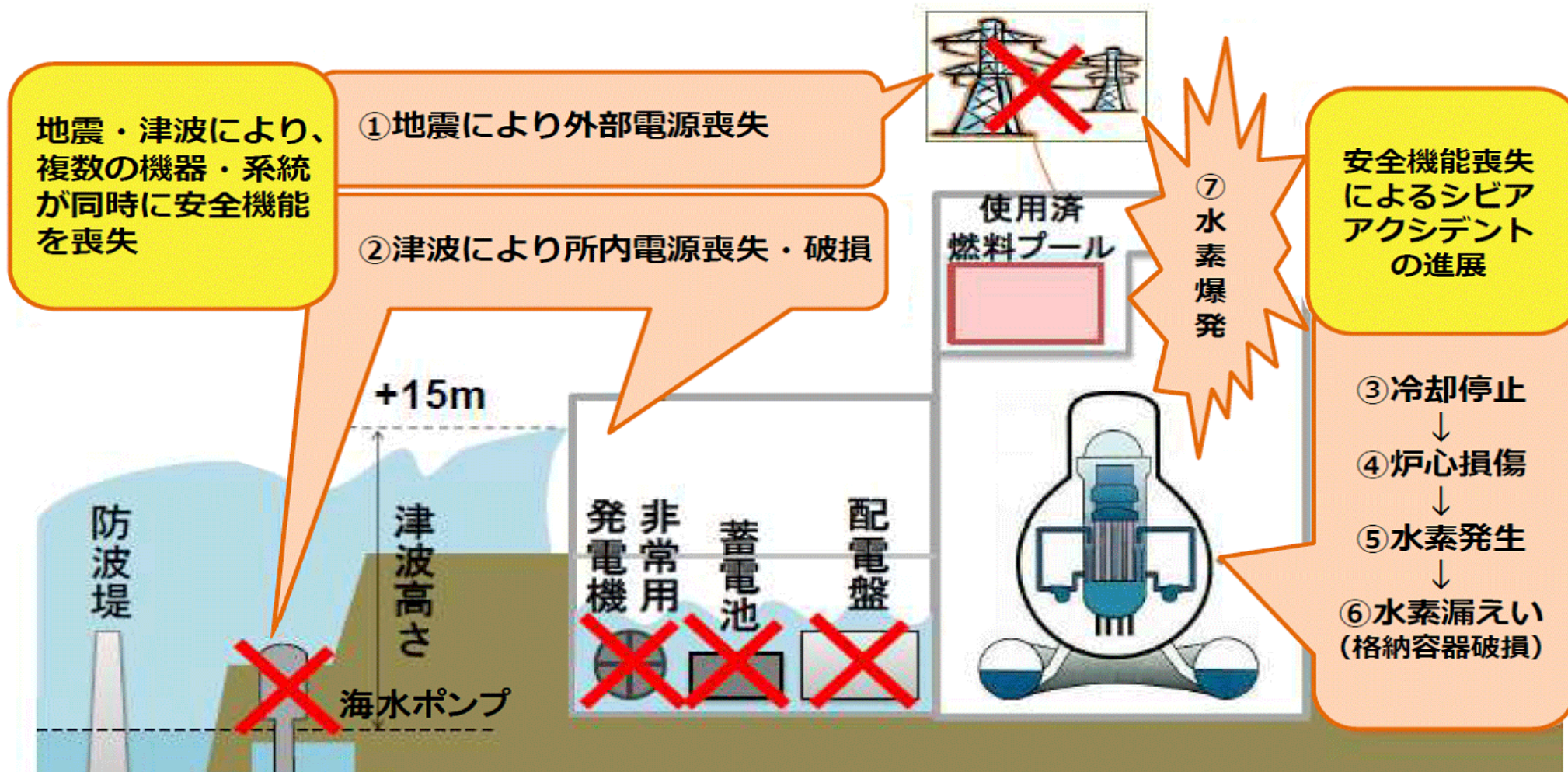
- 東電福島原発事故
- 放射線被ばく の健康影響
- 東電福島事故の避難のリスク・便益分析
- 東電福島事故の原子力防災と危機管理の教訓
- 日本の原子力安全・規制・防災にリスク・ベネフィットの考え方が必要
- なぜ原子力発電はもっとも危険と考えられるようになったのか？
- 日本の省庁のアカウンタビリティの問題

東電福島原発事故では放射線被ばくを合理的に下げよとのALARAの原則のため避難解除が遅れて、2000人以上が災害関連死した。この問題を放置すると、国内外の次の原子力・放射線事故で、同じことが生じる可能性が高い。対策しないと、次の事故で同じことが生じた場合、裁判で政府（担当省庁）が負けます。 **新知見ですので 原子力災害対策指針への反映が必要です。**

東電福島第一原発事故

東電福島第一原発事故の進展

- 福島第一原発事故では地震や津波により、複数の機器・系統が同時に安全機能を喪失
- さらに、その後のシビアアクシデントの進展を食い止めることができなかった



出典：「実用発電用原子炉に係る新規規制基準について—概要—」5頁、原子力規制委員会、2016年2月17日更新

東日本大震災と東電福島第一原子力発電所事故

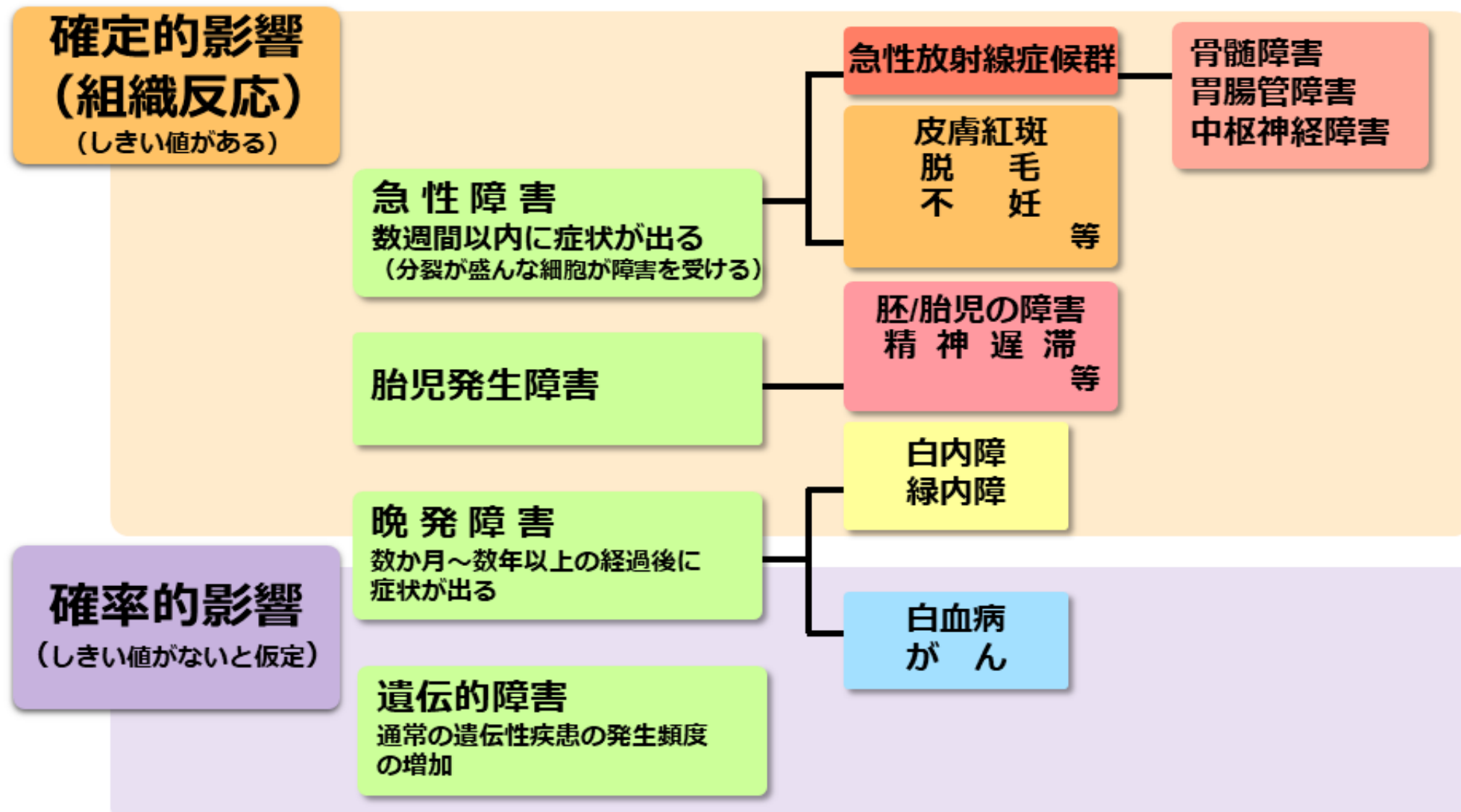
- 2011年3月11日に東日本大震災が発生し、大津波が東北地方太平洋岸を襲った
- 東電福島第一原発は、地震で自動停止したが、約1時間後に襲来した津波によって、1, 2, 3号機が緊急炉心冷却のための電源をすべて失い、炉心が溶融した。
- 高温となった燃料棒の金属と水との反応で水素が発生し、1, 3号機の建屋が爆発した。3号機の水素が排気系配管を通じて流入し、運転停止中だった4号機の建屋も爆発した。2号機は建屋のパネルが1号機の爆発の振動で開いたため、水素が建屋外に逃げて爆発せず。
- 建屋の爆発で、使用済み燃料プールの水が失われる影響が過大評価され、広範囲の避難となる最悪ケースが話題になった。実際はプールの水は失われていないことは現場で確認されていたが、伝わらなかった。使用済み燃料の発熱は、停止1か月後で、停止直後の20分の1の発熱。**最悪ケース（1次元的思考で、放射線被ばくだけ）を考えることは誤り。後述。**
- 事故後、原子力規制委員会は新規制基準を作り炉心溶融事故対策等を強化した

東電福島第一以外の発電所

- 東電福島第2発電所は、外部電源等が利用可能で、炉心冷却ができ、海水ポンプを復旧し放熱もできたので、炉心溶融事故にならなかった。津波高さも第1に比べて低かった。
- 東北電力女川発電所は、敷地が高かったため、浸水せず、避難してきた女川町の住民をかくまった。
- 日本原子力発電の東海第2発電所は、茨城県の津波評価を参考に、浸水防護壁を設置（**津波対策**）していたため、安全に停止した。（当時、インド洋大津波の情報は存在していた）

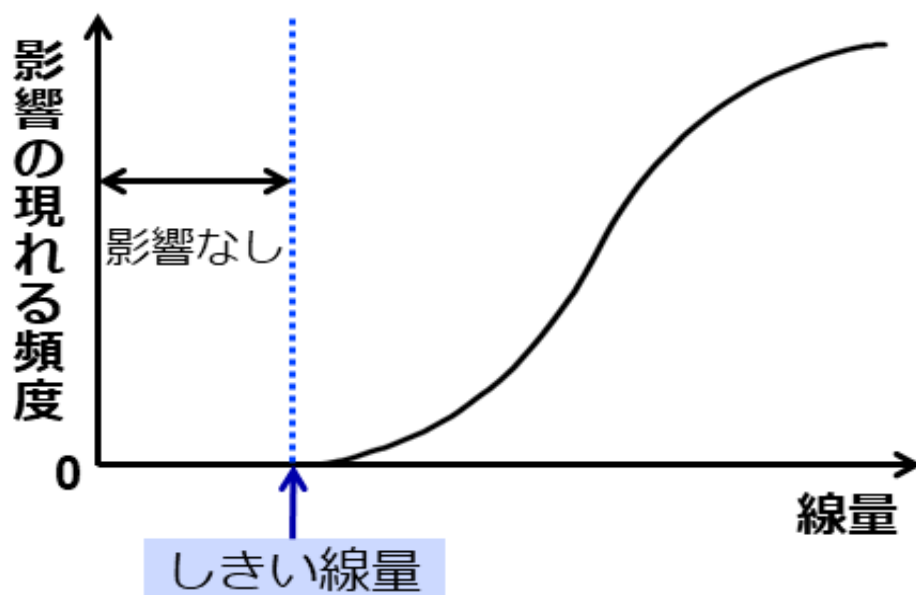
放射線被ばくの 健康影響

- ▶ 放射線を受けた後にどのような健康影響が生じるか、受けた放射線の量、受けた場所（全身、局所）、時間的経過を考慮する



確定的影響（組織反応） （脱毛・白内障・皮膚障害等）

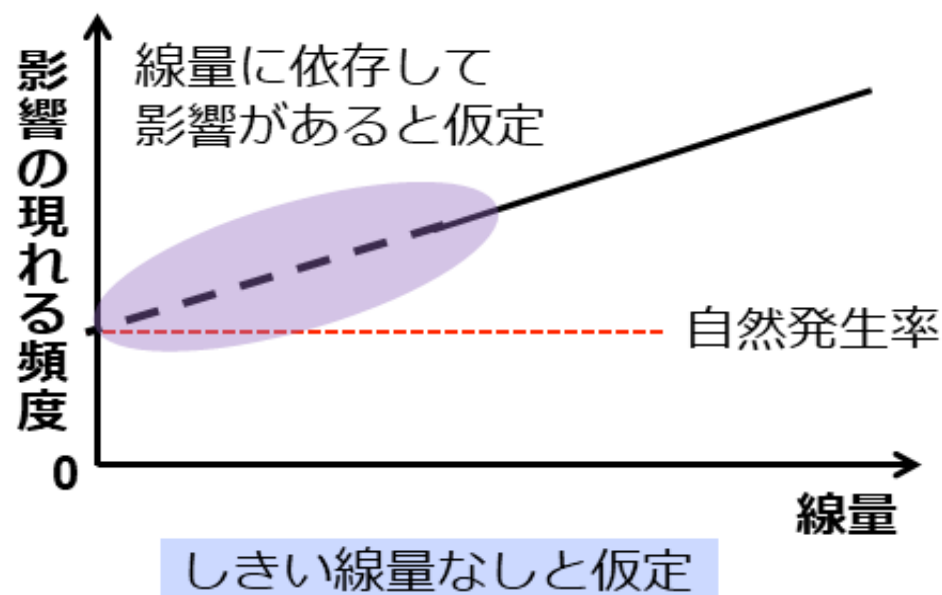
同じ線量を多数の人が被ばくしたとき、
全体の1%の人に症状が現れる線量を
「しきい線量」としている。
（国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告）

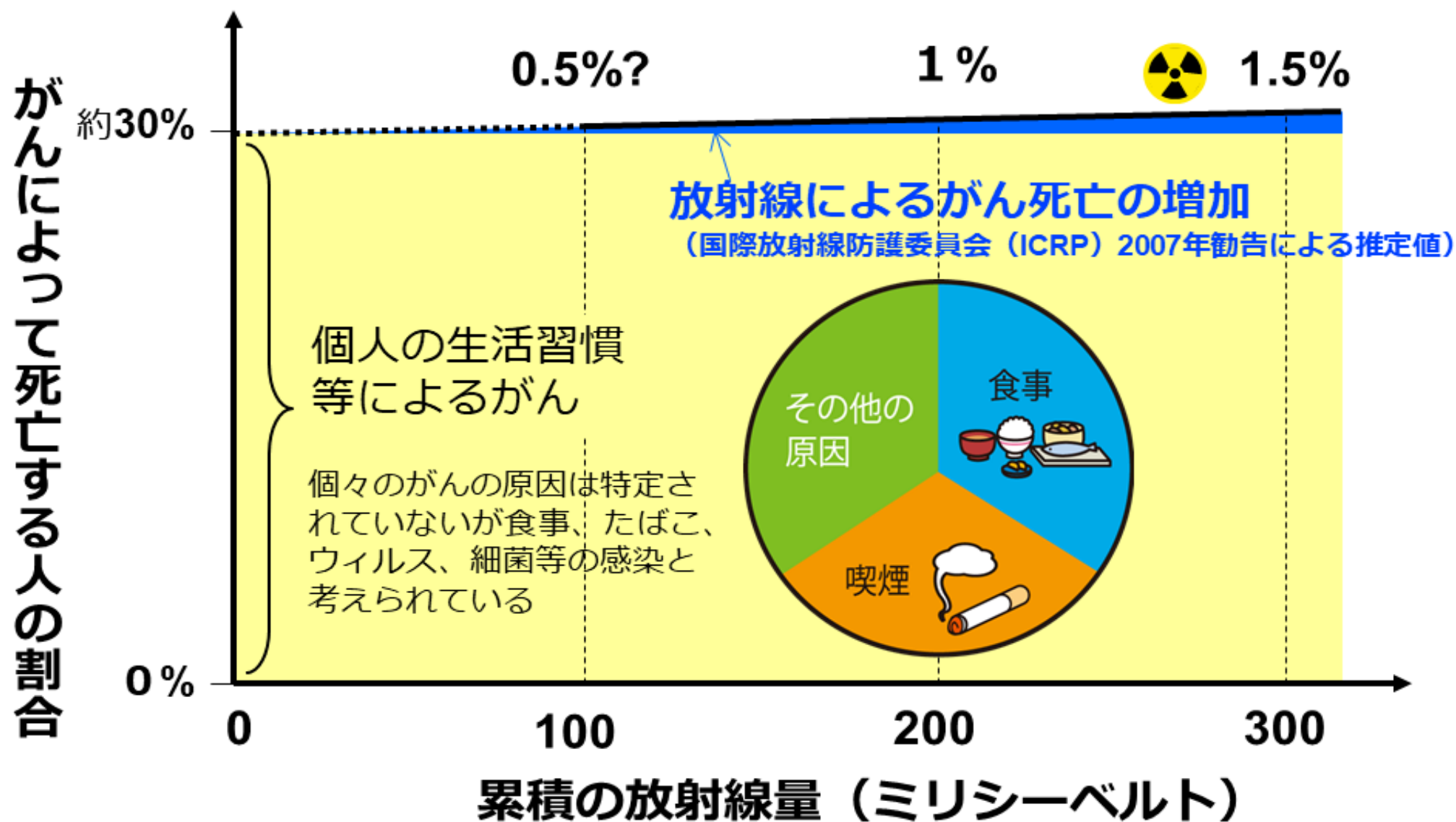


確率的影響

（がん・白血病・遺伝性影響等）

一定の線量以下では、喫煙や飲酒と
いった他の発がん影響が大きすぎて見
えないが、ICRP等ではそれ以下の線
量でも影響はあると仮定して、放射線
防護の基準を定めることとしている。





放射線被ばく の健康影響（まとめ 1）

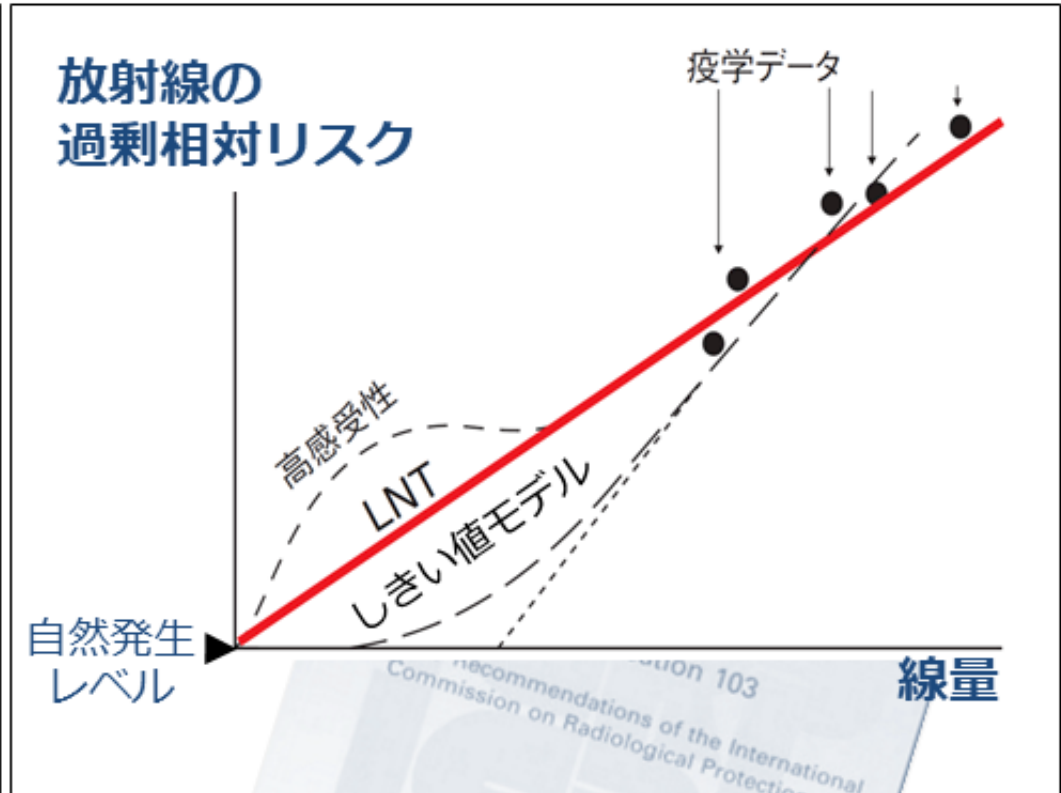
- 確定的影響と確率的影響がある（人間では遺伝的影響は観測されていない）。
- 確定的影響は、被爆後すぐに発症する。被ばく量が多いために生じ、少ないと発症しない。しきい線量が1000ミリグレイ（胎児は100ミリグレイ）以上の被ばくで観測される。グレイは吸収線量の単位、シーベルトは健康影響の単位
- 確率的影響は、白血病やがんなどで、被爆後、数か月から発症する晩発性である。
- 確率的影響は、広島・長崎の原爆被爆者の発がんを、被ばくしていない集団と比べ求める（疫学）。低線量では不明確になる。統計的に有意な結果を得るには、母集団の数が多し必要がある。
- 東電福島事故の公衆の被ばくは、線量が低いので、確定的影響はない。確率的影響が考慮の対象。

◎支持：

全米科学アカデミー（2006）
放射線被ばくには「これ以下なら安全」と言える量はない

◎批判的：

フランス医学・科学アカデミー（2005）
一定の線量より低い放射線被ばくでは、がん、白血病等は実際には生じず、LNTモデルは現実には合わない過大評価

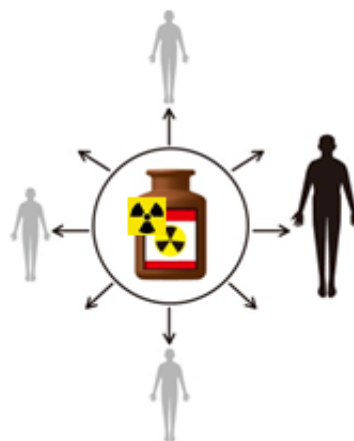


⇒ **国際放射線防護委員会（ICRP）** は、**放射線防護**の目的上、**単純かつ合理的な仮定**として、**直線しきい値なし（LNT）モデル**を採用

防護の最適化

個人の被ばく線量や人数を、
経済的及び社会的要因を考慮に入れた上、
合理的に達成できる限り低く保つことである。

この原則を**ALARA** (**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable)
アララの原則という



- ・線量拘束値
- ・参考レベル

出典：ICRP Publication 103「国際放射線防護委員会の2007年勧告」The International Commission on Radiological Protection (国際放射線防護委員会)、2007より作成

放射線被ばく の健康影響（まとめ 2）

- 低線量（年**100**ミリシーベルト以下）では確率的影響は不明確だが、国際放射線防護委員会は敷衍なし直線仮説（**LNTモデル**）を採用して、低線量被ばくを合理的に下げること（**ALARA、As low as reasonably achievable**の考え方）を提案し、各国が規制に採用している。
- 疫学は、薬の治験などにも使われるが、統計であって、重力の法則のような自然の規範に基づく科学ではない。低線量では正否は不明である¹。
- **ALARA**は対処の考え方（ポリシー）である²。ポリシーなので、不都合があれば修正すべきもの。

1. M. A. Kamrin, The “Low Dose” Hypothesis: Validity and Implications for Human Risk, International Journal of Toxicology, January 2007

2. 長瀧重信：サイエンス（科学的事実）とポリシー（対処の考え方）の区別、首相官邸、平成23年9月29日

高齢者の被ばくリスクは低い ICRP Publication 60 Fig. C-5 (1990)

- Additive model (上図), Multiplicative model (下図)とも50歳以上で生涯被ばくリスク(縦軸)は年齢(横軸)とともに低下している
- 当時は若年層では大きな違いがあった。

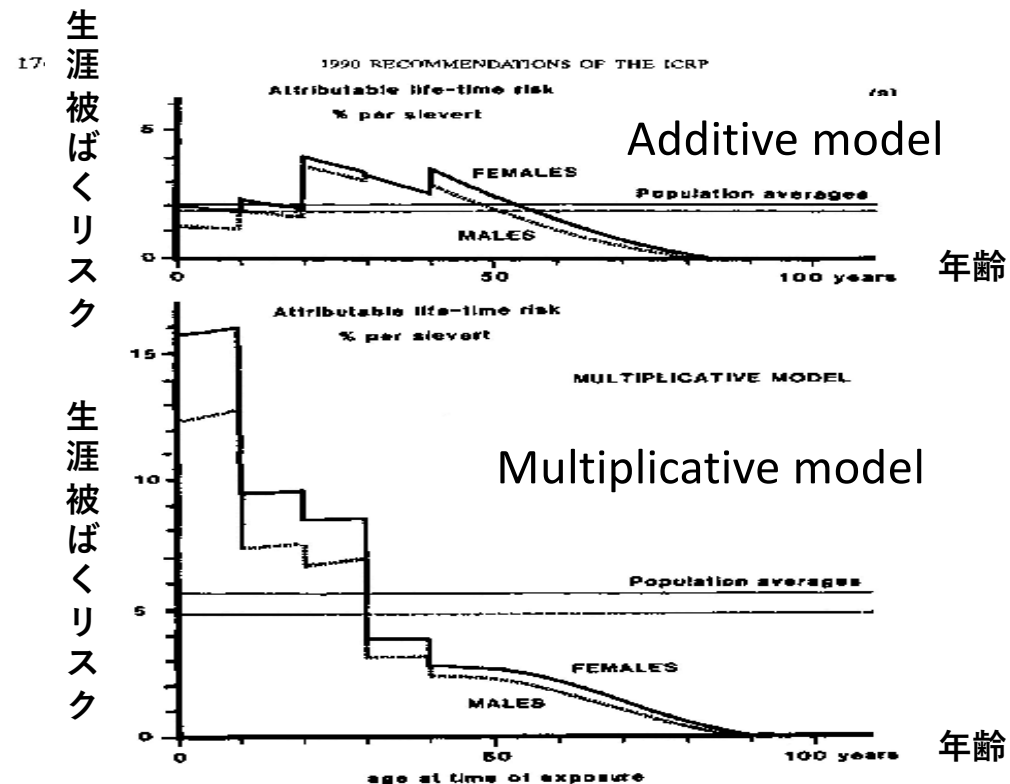


Fig. C-5. The attributable lifetime risk from a single small dose at various ages at the time of exposure, assuming a DDREF of 2. The discontinuities are the result of the use of constant annual values for the primary risk coefficients within 10-year age intervals (cf. Table C-1). The higher risk for the youngest age group will not be expressed until late in life.

(C48) Figures C-3 (b) and C-4 (b) show the conditional and unconditional death probability rates as a function of age, again in the case of single exposures at the age of 5 and 35 years. It can be seen that the attributable lifetime probability of death (represented by the area under the curves for dr/du), for exposure of children, is one order of

放射線被ばくによる生涯ガン死亡率（%/Sv）
高齢者の被ばくリスクは年齢平均値の5分の1

高齢者は被ばくリスクが小さい。

線量率（規制で使われている）は年齢による被ばくリスクの違いを表せない

被ばく年齢	男性	女性	平均
0-19	8.1	12.8	10.4
20-64	3.2	4.2	3.7
65-90	0.8	0.9	0.9
0-90	4.2	5.8	5.0

出典：甲斐倫明「放射線リスク評価とその不確かさ」Table1 原子力バックエンド研究
Vol.6, No1、December 1999

注1：この表は、ICPRP Publication 60のFigure C-5のMultiplicative Modelと同じ内容だと考えられる。なおAdditive Modelの結果も示されており、高齢者については同じ傾向だが、若年被爆者のリスクは大きくない（おおよそ平坦で、高齢になると低下）。

注2：高齢者の被ばくリスクは年齢平均値より小さいので、災害関連死を防げるはずと考えたのが、リスクベネフィット論文作成のきっかけ。

急性被ばくでない時は若年層のリスクは特に大きくはない

急性外部被ばく
の発がん

被ばく時年齢と発がんリスクの関係



原爆被爆者の被ばく時年齢別の生涯リスク

被ばく時 年齢	性別	100mSv当たりのがん死亡生涯リスク (%)	急性被ばくがない時のがん死亡 生涯リスク (%)	100mSv当たりの白血 病死生涯リスク (%)	急性被ばくがない時の白血病 死亡生涯リスク (%)
10歳	男	2.1	30	0.06	1.0
	女	2.2	20	0.04	0.3
30歳	男	0.9	25	0.07	0.8
	女	1.1	19	0.04	0.4
50歳	男	0.3	20	0.04	0.4
	女	0.4	16	0.03	0.3

出典：

- ・ Preston DL et.al., Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radiat Res., 2003 Oct;160(4):381-407.
- ・ Pierce DA et.al., Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990 Radiat Res., 1996 Jul;146(1):1-27.

東電福島事故時の避難の リスク・便益分析

出典

1. Yoshiaki Oka, Risks and benefits of evacuation in TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station accident, Progress in Nuclear Energy, Volume 148, June 2022, 104222

<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104222>

2. 岡 芳明「原子力発電と社会：経済・安全・廃棄物・法制度の課題」2.2節 AMAZON
2024年3月刊、電子版500円、ペーパーバック5280円

<https://www.amazon.co.jp/dp/B0CYCNVBRX>

3. 岡 芳明「東電福島事故の避難のリスク・便益分析と安全・規制・防災の課題」キャノングローバル戦略研究所

動画：https://cigs.canon/videos/20240801_8258.html

講演資料：<https://cigs.canon/uploads/2024/07/96c1c804e78d980e56249094e5f07f039751cc14.pdf>

東電福島事故の健康影響

電離放射線の健康影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）報告書

- 短期的には確定的健康影響は確認されていない。
- 線量が健康影響のしきい値をはるかに下回るレベルであったため、長期的にも健康影響は予測されていない。

(東電事故の放射線による死亡者はゼロ)

- 事故の最も重大かつ顕著な健康影響は精神衛生や社会福祉に関するものであったと考えられる。
- この側面は、数千人*の人々が避難により元の環境から引き離され、慣れない環境に移住したことによる甚大な影響、および放射線被ばくに関連する恐怖や屈辱感などによって深刻化した。
- 事故による健康影響の全容を理解することは（UNSCEARの使命の範囲外であるが）本委員会の見解の重要な背景となる。

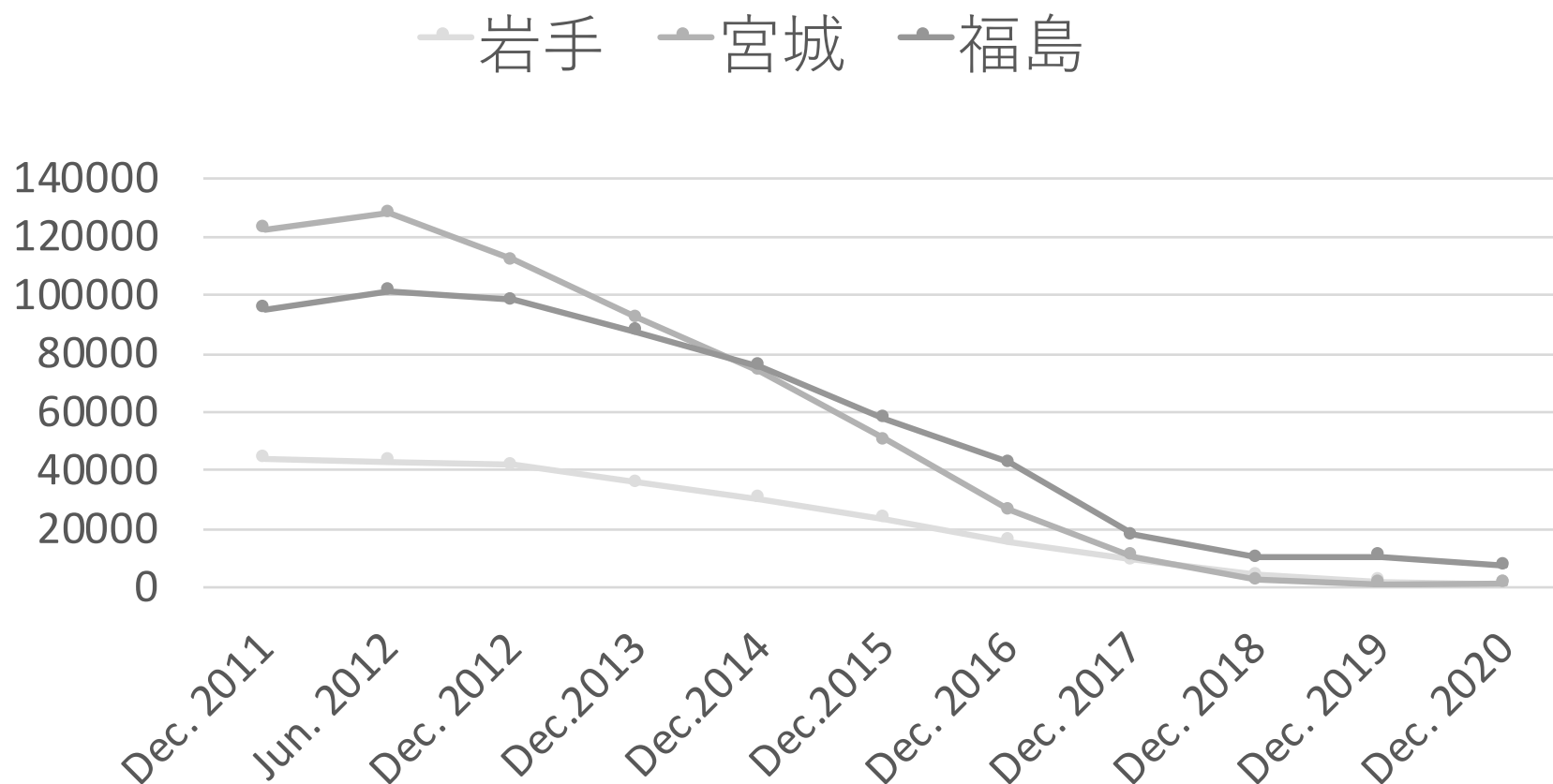
出典：UNSCEAR 2013

UNSCEAR：United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation,
(原子放射線の影響に関する国連科学委員会)

*避難者数は数千人ではなく約10万人（避難指示の出た市町村で）

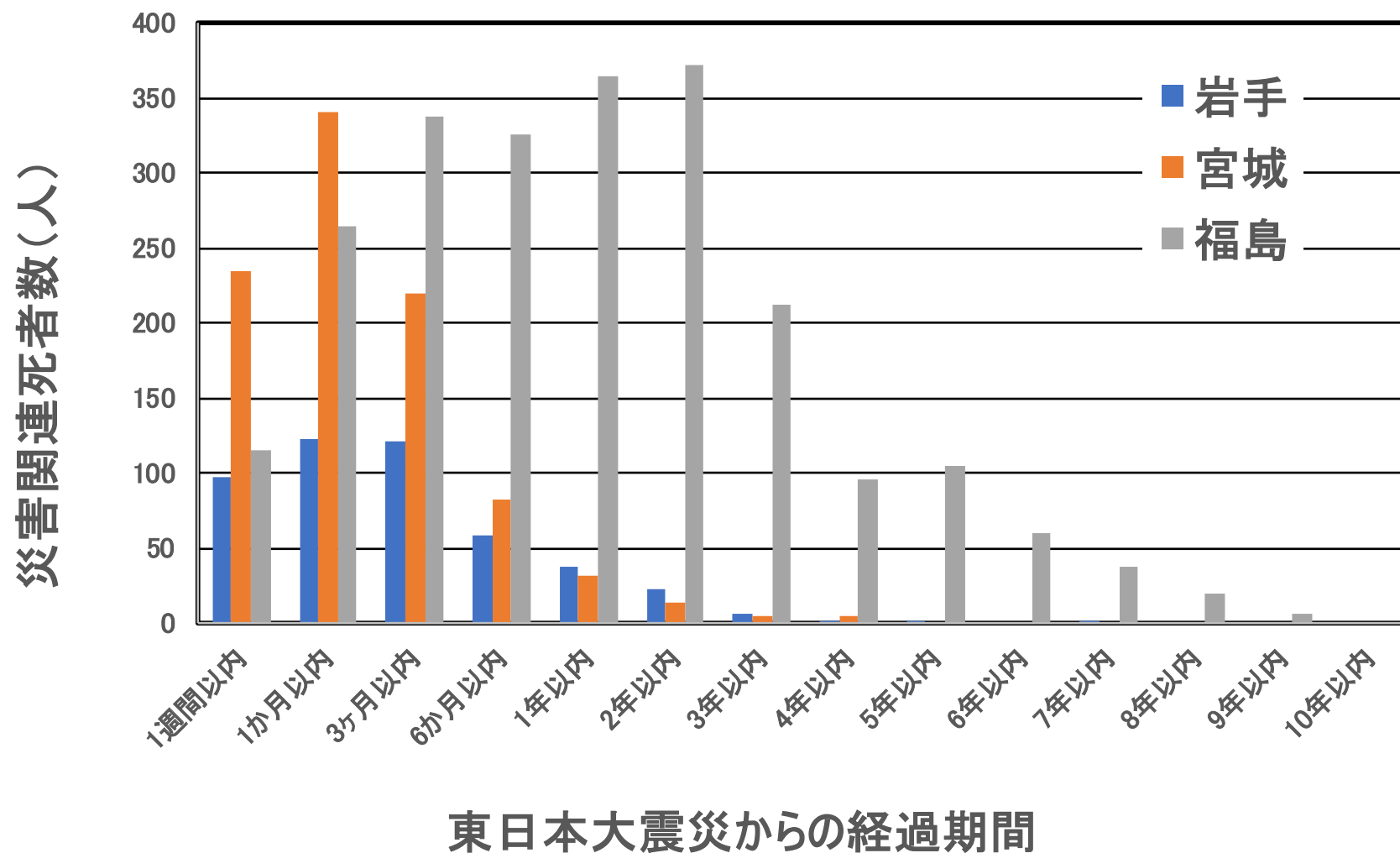
放射線による健康被害が観測されないことはUNSCEAR2020でも同じ

東日本大震災による避難者数の推移 福島県の避難が長期化した



出典：避難者数の推移（都道府県別）、復興庁 2020年12月

東日本大震災における災害関連死の推移 福島県の災害関連死者は事故後1か月以降増加



出典：「東日本大震災における災害関連死推移」復興庁 令和2年12月25日

災害関連死とは？

- 当該災害による負傷の悪化又は避難生活等における身体的負担による疾病により死亡し、災害弔慰金の支給等に関する法律に基づき災害が原因で死亡したものと認められたもの
- **1995**年に発生した阪神淡路大震災以降、制度化され、統計データが存在する。日本特有の制度
- 米国では、ハリケーンからの大規模避難が行われることがあるが、災害関連死のデータがあるものは稀である。
- 災害関連死のデータがあったので、避難のリスクベネフィット分析が可能だった。

年齢別災害関連死者数(東日本大震災)
災害関連死者は高齢者が多い

都道府県	20歳以下	21－65歳	66歳以上	合計
岩手	1	64	404	469
宮城	2	118	809	929
福島	3	231	2079	2313
全国	9	423	3335	3767

出典：東日本大震災における震災関連死の死者数（令和2年9月30日現在
調査結果）令和2年12月25日 復興庁

避難指示市町村の災害関連死者数 事故後一年目以降が多い

	2020年9月30日まで	2012年3月31日まで	差
田村市	14	1	13
川内村	128	27	101
檜葉町	140	33	107
葛尾村	42	9	33
南相馬市	517	282	235
飯舘村	42	35	7
川俣町	29	0	29
浪江町	440	91	349
富岡町	450	76	374
大熊町	128	38	90
双葉町	154	38	116
合計	2084	630	1454

復興庁「災害関連死の死者数等について」をもとに作成

出典：<https://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat2/sub-cat2-6/20140526131634.html>

注：広野町は2011年9月末に避難解除されたので表から除外した。

リスク・ベネフィット分析とは？

- 技術は便益があるから利用される（便益がなければ禁止すればよい）
- 技術の利用にはリスクが伴う
- 便益がリスクを上回る場合、その技術を利用できる
- 原子力法の前提に、リスク・ベネフィットの考え方が¹ある
- リスクはコストで表すことが出来る（例えば、事故による死亡賠償額）ので、コスト・ベネフィット分析とも言う

¹ : C. Stoiber, A. Baer, N. Pelzer and W. Tonhauser, “Handbook on Nuclear Law”, July 2003, IAEA pp.3

避難によって避けた放射線量

- 事故後の空間線量率測定値から推定できる。
- 航空機サーベイ、モニタリングポスト、走行サーベイのデータがある。
- 走行サーベイのデータ（11市町村の172地点）¹と、空間線量率の減衰²から、市町村ごとに避難期間中の集積線量を求めた。

1: 文部科学省「継続して実測している地点における平成23年3月11日から平成24年3月11日までの積算線量の推計値の公表について」平成24年3月21日

2: 木名瀬 栄「空間線量率分布の予測モデルの開発、実測データとの比較及び検証、Part 2」

避難によって避けた集積線量

(各市町村での測定値から推定した集積線量の平均値、mSv)

	最初の1年間	避難期間中
田村市	3.3	5.78
川内町	8.65	15.85
檜葉町	9.1	17.9
葛尾村	26.3	53.6
南相馬市	16.2	63
飯館村	31	120.4
川俣町	15.4	50.9
浪江町	104.4	355.8
富岡町	43.4	165.2
大熊町	158.2	538.2
双葉町	75.1	254.8
大熊町 >5km	38.8	132
双葉町 >5km	73.9	250.7

避難で避けた被ばくリスク

- 避難勧告の11市町村からの避難者数：約10万人
- 各市町村の避難者数の推定値（住民数と避難指示面積の割合で推定）の重みで、避けた平均被ばく集積線量を求めた：205ミリシーベルト
- 原爆による瞬時被ばくの余命短縮換算係数:0.09日/mSv(年齢平均値)¹、
- 東電事故は低線量率被ばくで、損傷の修復効果があるので、被ばくリスクは2分の1で、余命短縮係数は0.045日/mSv
- さらに、災害関連死者の9割は高齢者で、高齢者の被ばくリスクは年齢平均値の5分の1なので、余命短縮係数は0.009日/mSv
- 205ミリシーベルトの被ばくによる10万人の余命短縮（避難で避けた被爆リスク）：**18.5万人・日**
- 注：低い線量に人口をかけて死亡数を計算するのは、適切でないが、職業被ばくの検討などのため、リスク便益分析に用いるのは差し支えないとされている²。**18.5万人・日は実際の死亡数ではなく、このようにして計算された値。これに対して、災害関連死者数は実際の数字。**

1 : Cologne JB, Preston DL, "Longevity of atomic-bomb survivors", RERF Report No. 8-99, 放影研

2 : ICRP103 (2007)

避難に伴うリスク

- 避難が長期化した11市町村の災害関連死者数を分析した
- 災害関連死者数には、地震津波の避難による災害関連死者も含まれているので、死亡までの平均期間は2.2年とした（最初の1年間のデータも含めると1.3年、含めないと3.1年なので、その平均値を採用）
- 避難しなかった場合の災害関連死者の平均余命は、避難時の年齢分布から、10.1年。従って、避難で失われた平均余命は7.9年である。
- 災害関連死者数として、最初の1年間を含めた場合（2084名）と、含めない場合（1454名）の平均値1769名を用いると、**避難に伴う余命短縮は510万人日**
- これは、**避難で避けた被ばくリスク18.5万人日の約28倍。**
- **結論：長期化した避難は正当化できない。**

東電福島事故の避難のリスクと 避けた被ばくリスクが等しくなる線量 (ブレイクイーブン線量)

- 避難を命じられた住民数: **10万人**.
- 避難に伴う災害関連死者数 (避難指示が出され、それが長期化した福島県の11市町村合計): **2300人** (約90%は66歳以上の高齢者だった)
- 避難に伴う余命短縮LLE (Loss of life expectancy): **510万人日***.
- 避難民一人当たりの余命短縮日数: **51 日**
- 被ばく線量当たりの余命短縮係数 (広島・長崎の被爆者データより): **0.06 日/mSv****
- ブレイクイーブン線量: **850mSv**
- 高線量率被ばく (原爆) と低線量率被ばく (東電事故) の補正係数2を考慮すると、ブレイクイーブン線量は:**1700mSv**
- 高齢者の被ばくリスクは年齢平均値の5分の1であることを考慮すると、**ブレイクイーブン線量は8500mSv.**

* Oka Y "Risks and benefits of evacuation in TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station accident", Progress in Nuclear Energy, 148 (2022) 104222

** "Median loss of life among cohort members with estimated doses below 1 Gy was about 2 months," from Cologne & Preston, "Longevity of atomic bomb survivors", Lancet 356, 303-07, 2000.

避難中の健康影響

生活不活発病

- 体を動かさないと、体の様々な機能が低下する。これは生活不活発病と言われ、1980年代から知られている。
- 血液循環機能の低下、肥満、筋骨格の脆弱化、うつ病、早期老化などの症状が特徴である。
- 実験的に再現することが可能で、予防と回復による治療法があり、幸いにもそれらは安価、安全、簡便で効果的であると述べられている¹。
- 厚生労働省は、地震などの災害時の生活不活発病（廃用症候群とも呼ぶ）に対する注意喚起を発表している²。
- 東電福島事故で避難勧告で、仮設住宅などに移った人々は、体を動かす機会やその動機を失った（補償金）。

避難に伴う放射線被ばく以外の健康影響を、心理的要因だけと理解するのは誤り

1. Bortz II WM. The disuse syndrome. West J. Med, 1984,141(5), 691-694

2. 「生活不活発病に注意しましょう」、生活機能低下予防マニュアル、厚生労働省

放射線被ばく以外の健康影響（チェルノブイリ事故）

ここへの
影響

欧州での人工流産の増加－チェルノブイリ原発事故－

チェルノブイリ原発事故発生：1986年4月26日



遠隔地での人工流産の増加

ギリシャ：1987年1月の出生率が激減
⇒1986年5月に妊娠初期の胎児の23%が人工流産と推定

イタリア：事故後5か月間は1日当たり約28～52件の
不必要な中絶があったと推定

デンマーク：少しあった

スウェーデン、ノルウェー、ハンガリー：なかった

出典：Proceedings of the Symposium on the effects on pregnancy outcome in Europe following the Chernobyl accident.
Biomedicine & Pharmacotherapy 45/No 6, 1991より作成

出典：環境省 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料

注：ハンガリーは100ミリシーベルト以上の被ばくでないと中絶できなかった。
定量的基準を用意することが重要との教訓が得られる。

放射線被ばく以外のリスク

- 放射線量を制限しても防げない
- 放射線被ばくリスクの枠組みでは考慮できない
- しかし、ICRPと原子力関係者は**放射線被ばくリスクの枠組みでしか考えてこなかった**。WHOも（定量的データがなかったので）考慮できていない
- ICRP,WHOはリスクコミュニケーションの必要性を述べているが、国民相手に機能したか？機能するか？公衆への安全情報の口頭での一方的な発信は、心理的には、危険を印象づけ、逆効果である。（リスクコミは対話でないと失敗する：米国のリスク心理学者の著名な論文の結論）*
- 災害関連死は、阪神淡路大震災以降、日本で制度化され、データがある。災害弔慰金の趣旨があるが、死亡は事実で、リスクとして、考慮できる。
- 著者の論文**は、初めて、原発事故の避難のリスク・ベネフィットを定量的に示した。（介護ホームの災害関連死や、南相馬市の災害関連死を医学的に分析した論文はある）。
- リスクコミュニケーションで防げると考えられているようだが、対話が必要なので無理（日本国民数は1億人、原子力関係者数は1万人）。

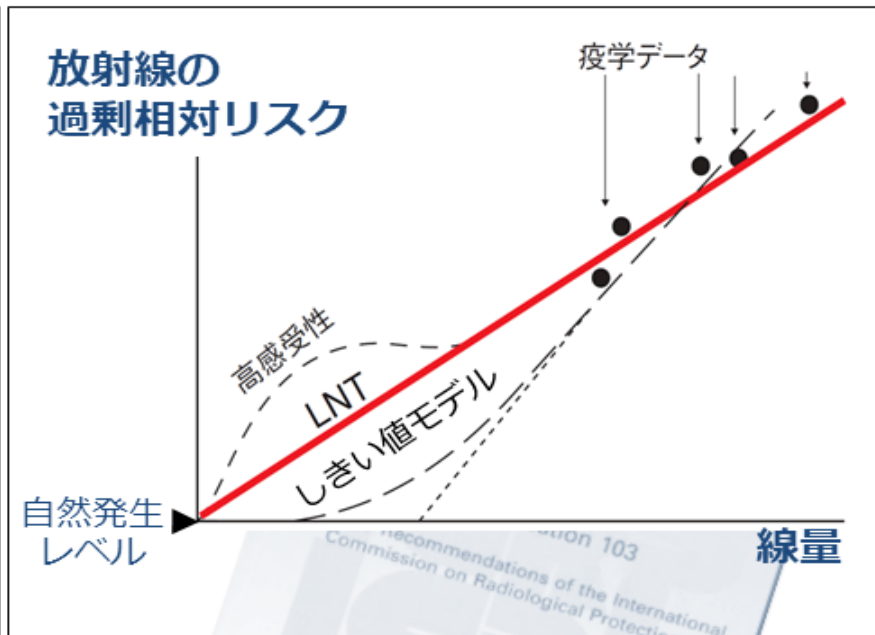
* Paul Slovic, "Perception of Risk", Science, vol.236, pp.280-285, 1987

**Yoshiaki Oka, "Risks and benefits of evacuation in TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station accident", Progress in Nuclear Energy 148 (2022) 104222, Elsevier, April 27, 2022 (open access) 33

LNT モデルをめぐる論争

防護の原則 LNTモデルをめぐる論争

- ◎支持：
全米科学アカデミー（2006）
放射線被ばくには「これ以下なら安全」と言える量はない
- ◎批判的：
フランス医学・科学アカデミー（2005）
一定の線量より低い放射線被ばくでは、がん、白血病等は実際には生じず、LNTモデルは現実には合わない過大評価



⇒ **国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線防護の目的上、単純かつ合理的な仮定として、直線しきい値なし（LNT）モデルを採用**

LNTモデルとALARA：改善策

- LNTモデルは、科学の議論だが、疫学（統計）なので、論争に決着をつけるのは困難では？低線量での放射線被ばくの効果がどうかという事を科学的に議論しても、災害関連死が増えた事実の解決にはつながらない。
- ALARA (As low as reasonably achievable) はポリシー。
ポリシーは根拠があれば改善すべき。
- 東電事故時に日本政府はALARAをもとに対応した。
(政府の法令上の手続きに瑕疵はないが)、結果的に、災害関連死が増えた

改善策

- **原子力発電所事故時に、低線量率（例えば100mSv/y以下¹）の地域にいる公衆にALARAを適用しない。**（明確な基準が事前に必要です、値を幅で与えないこと）

注1：低線量被ばくに関する論点のまとめは、たとえば、Optimization: Rethinking the Art of Reasonable: Workshop Summary Report, OECD NEA, NEA/CRPPH/R(2020)2, October 2021

1. 根拠は100mSv/y以下では晩発効果が明確ではないため。

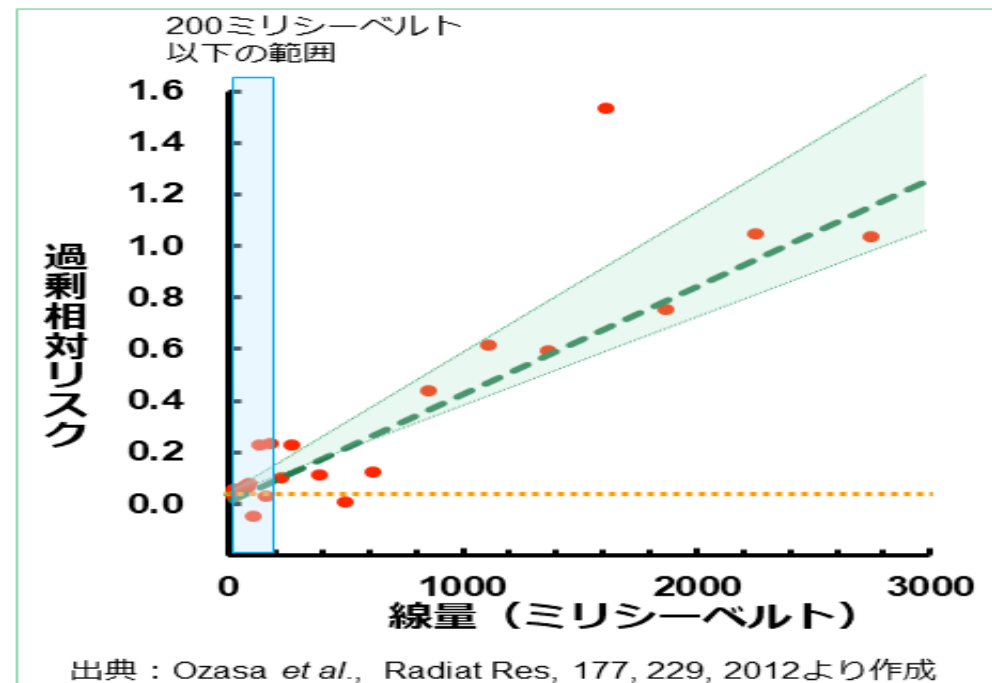
がん罹患リスクは100ミリシーベルト以上で、がん死亡リスクは200ミリシーベルト以上で、線量とリスクに比例関係が見られる。
しかし100～200ミリシーベルトよりも低い線量における関係性については、研究者によって意見が分かれている。

急性外部被ばく
の発がん

固形がんによる死亡と線量との関係



固形がんによる死亡（原爆被爆者での結果）



過剰相対リスク：放射線を受けなかった集団に比べ、放射線を受けた集団ではどのくらいがん発生のリスクが増加したかを調べたもの

出典：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料、3章、3.7

低線量での健康影響のまとめ

- 放射線の健康影響は、被ばくした集団（原爆被爆者）と被ばくしていない集団の発がんを調べて、統計的に比較する（疫学）。
- **100**ミリシーベルト以下の被ばくでは、両者の差は不明確で、統計的に有意ではない。
- 原子力・放射線事故時に、年**100**ミリシーベルト以下の地域にいる住民に、**ALARA**を適用しないようにすべき。
- 原子力事故時に、**100mSv**以下の線量では放射線リスクを避けることで、より大きいリスクを被る可能性が高いので、放射線以外のリスク対策を優先する必要がある（放射線防護の最適化原則）。**ALARA**の誤解を避けるために**ALARA**の表現を使用しないようにすべき。

注：ALARAは防護の最適化の考え方なので、残したいとの放射線防護の専門家の意見がある。**100mSv/y**以下なら避難解除すると法令で決まっていれば、言葉を変えて、防護の最適化の原則として、この線量以上なら、残してよいかもしれない。ただし、世間は心理的安全性なので、防護の最適化の考え方が、公衆の恐怖を引き起こさないようにその使い方に（防護の最適化の原則は公衆が使うものではないこと、必要な場合に専門家の指導下で使うものであることに）厳重な注意が必要である。ICRPと政府はこの点も含めて詳しい説明を作成し公開する必要がある。ALARAは**公衆にある程度知られた言葉である。今後は公衆に対する説明では、逆効果が大きいのので、ALARAを専門家は使わないほうがよい。**他の用語（たとえば防護の最適化？）を使うようにしたらどうか

避難命令の出た市町村の測定値から推定した 平均集積線量と最高集積線量

最初の1年間の集積線量が100mSv以下の市町村が多い
大部分の市町村は早期（1年以内）に避難解除できるはず

	平均集積線量 (m S v)		最高集積線量 (m S v)	
	最初の年	10年間	最初の年	10年間
田村市	3.3	7.8	7	13.5
川内村	8.65	22.1	10.2	18.7
檜葉町	9.1	26.8	14.1	27.7
葛尾村	26.3	102.3	98.2	200
南相馬市	16.2	63.1	20.3	78.9
飯舘村	31	120.4	92.8	360
川俣町	15.4	50.9	42.5	140
浪江町	104.4	355.8	207.4	707
富岡町	43.4	165.2	110.1	419
大熊町	158.2	538.2	482	1640
双葉町	75.1	254.8	163.7	555
大熊町 > 5 km	38.8	132	91.6	312
双葉町 > 5 km	73.9	250.7	116.3	394

原発立地地域の特徴を踏まえた対策例

特徴

- 原発地元：兼業農家が多い（福島県相双地域では85%）、原発と関連する企業、プラントメーカ（稲作）などにもいる。85%連企業、土産、商店、食堂、宿泊施設などを経営する方
- 高齢化（相双地域では61%が66歳以上）

対策例

- **地元住民が、自宅や農地や商店等の除染作業を行うのを可能にする。**生活不活発病の防止にもなる。彼らに放射線作業者教育を行えばよい。
- 自発的に帰還を望む住民に、**早期の帰還を許可し、**除染作業などに従事できるようにする。特に50歳以上の住民などに。
- これらで、コミュニティの崩壊も防げる

事故時の避難解除に低線量地域（100mSv/y以下）の公衆にALARAを適用しないことの効果

- 避難の長期化に伴う災害関連死を防止できる＊
- 住民の除染・復旧参加が可能になり、コミュニティの崩壊を防止できる
- 事故後の除染や復旧のための国民負担・費用が低減する
- 電力会社の賠償負担額も低減する（原子力損害賠償額の上限の有無を議論するより、現実的な解になる。原子力損害賠償法については原子力委員会で検討したが、合意に達せず、無限責任は残ったまま。）
- 東電福島事故の避難で日本政府に手続き上の瑕疵はないが、**ALARAによって災害関連死が増加した問題を放置すると、次回の事故時に省庁が責任を問われます！**日本だけでなく、世界のどの国でも！米国の事故の時は米国政府機関が責任を問われます。**裁判になったら負けます。**

＊：長期間避難させられたリスクが、避けた被ばくリスクより28倍大きい。

出典：Y.Oka, Progress in Nuclear Energy, Volume 148, June 2022,104222

岡 芳明「原子力発電と社会」2.2.3節 AMAZON 2024年3月

今後の研究テーマ例

- 東電福島事故の災害関連死者とその要介護度との関連を調べる。災害関連死の減少に役立つ定量的知見が得られるはず。
- データは日本にしかない。地方自治体にある（捨てないように、保存活動が必要？）。
- 広島・長崎の被爆者のデータは、放射線健康影響評価の基礎になっている。
- 東電事故の災害関連死者とその要介護度のデータを集め分析すると、避難に伴う災害関連死を減らすための基礎データになり、世界で役立つ。データ数が多いのが利点。
- 医学研究者にデータ開示を（医者は、仕事で、守秘義務を守っている）
- 今後の研究に期待（日本の責務）
- なお、東電事故の災害関連死者の2012年度以降の年度ごとの年齢分布がわかると、避難の災害関連死分析の精度が向上する（復興庁には公表されている初年度のデータしかない。中央省庁は発表する項目のデータしか地方自治体から集めないの

東電福島事故の原子力防災と 危機管理の教訓

新しい防災対策の重点区域

○PAZ: Precautionary Action Zone

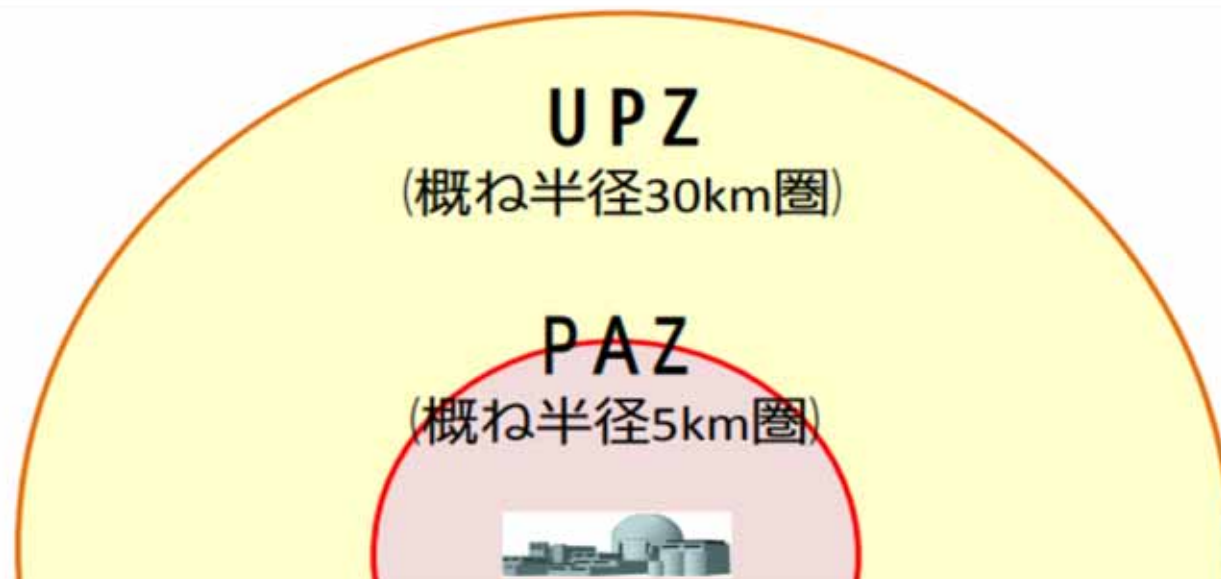
原子力施設から概ね半径5km圏内。

放射性物質が放出される前の段階から予防的に避難等を行う。

○UPZ: Urgent Protective action planning Zone

PAZの外側の概ね半径30km圏内。

予防的な防護措置を含め、段階的に屋内退避、避難、一時移転を行う。

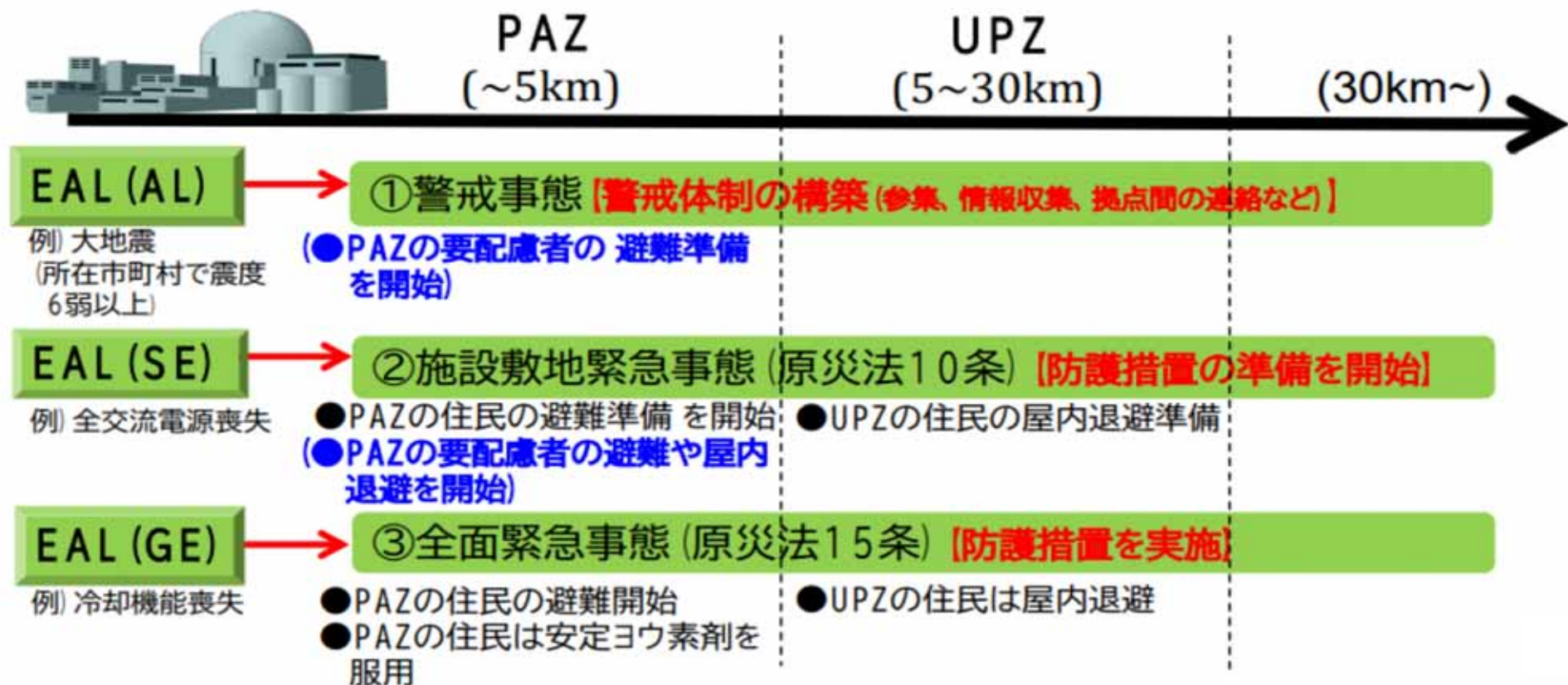


EALによる段階的避難／要配慮者は早期避難

○原子力施設の状態等に基づく、三段階の緊急事態区分を導入。その区分を判断する基準（EAL：Emergency Action Level）を設定。

○EALに応じ、放射性物質の放出前に避難や屋内退避等を行う。

※入院患者等の要配慮者の避難は、通常の避難より時間がかかるため、EAL (SE) (原災法10条) の段階から、避難により健康リスクが高まらない者は避難を開始し、避難により健康リスクが高まるおそれのある者は遮蔽効果の高い建物等に屋内退避する。



出典：原子力災害対策指針のポイント、内閣府 原子力防災

https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/02_taisakupoint.pdf

日本の原子力防災

- 防災基本計画（中央防災会議）と、原子力災害対策指針（原子力規制委員会）の二段階構造
- 前者は、第12編が原子力災害対策編で、災害予防、災害応急対策、災害復旧について記載。「・・は・・するものとする」の形式で、各省庁等の役割と仕事を記載している。
- 後者は「・・は・・ならねばならない」の型式で国や原子力事業者の役割と仕事を記載している。
- 原子力災害対策に関する指針などは、原子力規制委員会のHPに掲載されている。
<https://www.nra.go.jp/activity/bousai/measure/index.html>

日本の原子力防災指針の要改善点

- **リスク・便益の考え方が必要（米国PAGには書いてある）**
- 「住民等の被ばく線量を合理的に達成できる限り低くすると同時に、被ばくを直接の要因としない健康等への影響も抑えることが必要である」は、ALARAのため長期避難させて、災害関連死が増えたので矛盾がある。
- 放射性ヨウ素（葉物野菜や沢水、放牧牛の牛乳）の摂取制限は、放出後（測定後）ではなく、大規模放出（全が遅れ、発生したチェルノブイリ事故の教訓を生かせていない）
- **避難解除の条件として、生活インフラの復旧を挙げているが、避難期間が長期化し、災害関連死が増えるので、よくない。**
- ALARAを、復旧期にも公衆に不適用とし、住民も参加して、生活インフラ復旧を図るのがよい（**原子力・放射線災害を特別扱いしないほうがよい**）
- 米国は外部被ばくによる半径10マイルのEPZ(Emergency Planning Zone)と、内部被ばくによる半径50マイルのEPZがある。外部被ばくと内部被ばくを分けるのは合理的では？

出典1：原子力災害対策指針、原子力規制委員会、令和元年7月3日

出典2：避難指示解除の要件、平成27年6月12日原子力災害対策本部決定・閣議決定（抄）

原子力防災指針の日米比較

- 米国（PAG）：考え方が書いてある
- 日本：手続きが書いてある。日本特有？
- 手続きは、事象進展とその対策に不確定がある大規模災害では、機能しない。東電福島事故では緊急時対策所が機能しなかった。
- 日本にもマニュアル¹はあるが、手続きに関するマニュアルで、考え方は書いてない（役人の作文？）。
- 災害対策では災害の全体像を頭の中に描ける必要がある。手続きではなく、知識や考え方の継承が必要。
- 日本には、過酷事故を含む安全や防災の全体像の解説書や研修資料がない（現象や防止技術の論文は多数あるけれども）。作成は研究開発機関の役割？ 研究論文を作るだけでは困る。**米国NRCの安全の研修資料の基になった報告書は公開されている²。**防災はPAGに考え方が書いてある。

1. 原子力災害対策マニュアル 原子力防災会議幹事会、令和4年9月2日一部改訂
2. Perspectives on Reactor Safety (NUREG/CR-6042, SAND93-0971, Revision 2)

東電福島原発事故の教訓（健康影響）

- 放射線被ばくによる公衆への健康影響は認識できないのに、福島県では長期の避難によって2000人を超える災害関連死が発生し、その90%が高齢者で、生活不活発病が原因と考えられる。
- **放射線被ばくリスクの枠組みでは他の健康リスクを考慮できない。**
- リスク便益分析を行うと、避難で避ける放射線被ばくリスクより、避難に伴う災害関連死のリスクが28倍大きい。リスクと便益のバランスを考慮した原子力災害対策指針が必要
- 災害関連死を防ぐには、避難期間は短いほど良い。
- 兼業農家が多く、高齢者が農作業を担っている日本の特徴を考慮し、対策すると、災害関連死もコミュニティ崩壊も防げる。
- これらの教訓は、原子力発電所が農業地帯に立地し、高齢化が進んでいる中国・韓国・フランス等でも重要。
- 放射線は低線量では、危ないと考えることの影響が、実際のリスクよりはるかに大きい。明確な基準を決めておく必要がある。
- **他の健康被害を防ぐため、避難を伴う事故の時にALARAの原則を低線量地域にいる公衆に適用しないことにすべき。**

東電福島事故の危機管理の教訓

- **緊急時対応は最悪ケースを防ぐために行うとの意見は誤り。**なぜなら、最悪ケースは、一次元の指標（被ばく防止）でしか考えられないので
- 東電福島事故では、放射線被ばく防止のみを考えただため、避難が長期化し、生活不活発病による災害関連死の増加を招いた。
- 緊急時対応は、様々な要素を勘案して、一元的に行うべき。そのための訓練は行われているか？訓練は抜き打ちで行うべきでは？東大炉の経験では、シナリオを知らせず、抜き打ちで行った訓練が一番効果があった。
- 英国の危機管理は見事だった。狂牛病対応の失敗の経験で改善され、機能した¹

1. Robin W. Grimes, Yuki Chamberlain, and Atsushi Oku, “The UK Response to Fukushima and Anglo-Japanese Relations” Science and Diplomacy, June 2014

東電福島事故時の英国の対応

- **SAGE**（緊急時科学的助言グループ）が立ち上がった。主席科学顧問と関連省庁・専門家で構成。過去には2009年（インフルエンザ）、2010年（アイスランド火山噴火）で活動。
- 情報を集め、評価し、事象進展に応じた解釈をして、首相と内閣府広報担当に助言した。
- 情報を国内外から集め、放射性物質が福島県にとどまると予測した。東京にいる英国人に対するリスクは小さく、避難の必要はないとした。
- サイエンス・メディアセンターを通じて情報を提供した。主席科学顧問が発言し、科学者が独立に意見を述べ、国民の政府の決定への信頼を助けた。
- 主席科学顧問は英国大使館員や日本在住の英国人と4回電話会議で話し、質疑応答し、その様子を英国大使館がHPで公開した。これで事故の影響が理解された。
- 日本には**SAGE**に相当する活動がなく、日本の原子力専門家は信頼を失っていたので、英国の情報は日本政府が情報の信頼性を確認するのにも役立った。
- その後、日英原子力対話、規制や廃止措置での協力が行われている。日本側のフォローが弱いのでは？

東電福島事故時の放出推定値過大評価の教訓

- 欧米原子力大国は、（使用済み燃料プールのリスクを過大評価？）、放出量が大きいとして広範囲の避難を呼びかけたが、これが過大評価だった。（英国は過大評価ではなく、英国国民は東京にとどまってよいとした）
- 使用済み燃料プールに水があることは、ヘリコプターに乗っていた東電社員が確認し、東電の会議でも確認されていたが、これが国内外に伝わらなかった。
- 使用済み燃料プールの水が（4号機、燃料貯蔵ラック上端まで）蒸発するには25日かかる*
- 原子炉から取り出してから時間がたった燃料は空気でも冷却できる。
- なお、東電事故は軽水炉の典型的な事故だが、3基が炉心溶融しており、放出量の点で最大に近い事故では？
- ドイツは誤った情報をもとに、脱原発を決めたことになる。

* Gauntt R. et al., Fukushima Daiichi Accident Study, SAND2012-6173, August 2012, Sandia National Laboratories, pp.215

東電福島原発事故の教訓（危機管理）

- 事故時に指揮系統が混乱し、政府や東電本部の対応が、福島第一原発の現場と、国内外を混乱させた（例：使用済み燃料プールに水があることが伝わらなかった）。
- 英国政府と英国大使館の対応が見事だった。危機管理の経験と知見をもとにした主席科学顧問による一元的説明が効果的だった。（放射性物質放出量の推定も適切で、過大でなかった。）
- 日本の原子力防災指針は手続きを記載するトップダウン型で、指揮系統混乱の教訓が反映されていない（米国はボトムアップ型で、考え方を記載）日本は考え方を説明した指針や研修資料が必要。
- 危機管理では現場や住民との接点である地方自治体の役割が重要（阪神淡路大震災の教訓）。
- 規制行政は手続きだが、安全確保は手続きだけではない。知識や経営が重要である
- 原子力規制組織が推進側の組織から独立していなかったこと等は、国会事故調の提言参照。

東電福島原発事故の教訓 (コミュニケーション)

- 事故時に、政府が、国民に対してワンボイスのメッセージ発信をできなかったこと
- 放射線被ばくリスクの国民への提供体制が整っていなかったこと（現在は改善された）。
- 放射線被ばくリスク・安全の話が繰り返されたために、国民に放射線に対する恐怖が蔓延したこと。
- 政策情報の作成・提供や、日本語の科学情報（解説、総説、実践的な研究報告書等）が、依然として不十分なこと。
- 米英は、行政庁の国民に対する政策説明が充実していること。公僕としての態度が基本にあること。
- 米国は原子力規制委員会の情報が国民の安全の理解に役立っている。**Information Digest, Citizen's guide**を作って、どこにどのような情報があるかを国民に説明している。これらの情報は**NRC**の職員向けでもある。
- トリチウムを含む処理水の放出問題にみられるように、原子力規制委員会の基準があるのに、日本では決定の責任主体があいまいになり、問題が混乱・長期化していること。
- セシウム**137**（半減期**30**年）がインド洋や南太平洋で検出されると報道されたことがあるが、大気中核実験由来で、東電事故由来でない（誰も反論しなかったのでは？）

まとめ (その1)

東電福島事故の避難のリスク・ベネフィット解析

- 避難したリスクが、避難で避けた被ばくリスクより、**28倍大きい。長期の避難が、ALARAに従って行われたが、正当化できない。**
- 線量は被ばくによる生涯のガン死亡率を表していなど、**年齢平均値の5分の1である。**
- **放射線被ばくリスク（ICRP）の枠組みでは、他の健康影響等（災害関連死増加、心理的不安定、風評被害、コミュニティ崩壊等）を考慮できない。**
- 日本の原子力災害対策指針は避難のリスク・ベネフィットの交点を考慮すべき（災害関連死はデータが不足している）。
- 放射線被ばくリスク以外を原子的力防災試験での考慮するため、**放射線内消滅をなす府の機復つる原能合すク力せ害ぎ。以防るの外災べ対応をはき。に似てい**

まとめ (その2)

東電福島事故の避難のリスク・ベネフィット解析

- 災害関連死防止には避難期間は短いほど良い。
- 提言1：事故時は、低線量（例えば100ミリシーベルト/年以下）の地域にいる公衆にALARAを適用しないのが良い。
- 提言2：高齢者・希望者には、放射線取扱者教育をして、帰還させて、除染や生業の復旧に従事させるのが良い（地元住民は、農業の傍ら、企業に勤めるか、商店・食堂・下宿等を経営している）。
- この教訓は、日本のみならず、原子力発電所が農業地帯に立地するフランス、韓国、中国などの国にとって重要である。
- 日本の指針は手続きが書いてあるが、PAGは考え方が書いてある。PAGの方が、事故対応の点で優れている（東電事故では事前に決めた手続きが機能しなかった。事前にすべて予測するのは不可能）

日本の原子力安全・規制・
防災にリスク・ベネフィット
の考え方が必要

リスク・ベネフィットの考え方

- 技術は（原子力利用に限らず）リスク（コスト）を伴うが、便益があるので利用している
- リスク・ベネフィットの考え方はIAEAの原子力法のハンドブックの最初に記載されている¹。
- **「どれだけ安全なら安全か」という問いには、リスク・ベネフィットの考え方で答えられる。**
- 米国のNRCには、10ミリシーベルト・人の被ばく低減は5200ドルに相当するとの、コスト・ベネフィット評価のための定量指標がある²。
- 米国の原子力防災指針にも、避難に伴うリスク・便益を考慮せよの記載がある。避難時の交通事故を考慮している（災害関連死はデータがなく、未考慮）。
- **日本の原子力安全・規制・防災には、リスク・ベネフィットの考え方がない！！！！**
- 日本の電力会社や政府が、設備改修のコストの話、安価な電力供給の話をも国民や政府に向けて、これまでしてこなかったことも原因では？（**日本が特異である**）

1. C. Stoiber, A. Baer, N. Pelzer and W. Tonhauser, "Handbook on Nuclear Law", July 2003, IAEA 1986

2. "Reassessment of NRC's Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy", NUREG-1530 Rev.1 February 2022

日本にリスク・ベネフィットの考え方がないことによる損失の例

- 原子力発電所を停止させ、新規規制基準適合審査を行ない、国民が経済的損失を与えていた。（諸外国は稼働がさほいうが良かった。大津波のリスク・ペリオドは長い）
- 東電事故では、避難解除が遅れて、災害関連死が増えた（避難したことによるリスクの方が、避難で避けた被ばくリスクより28倍大きかった*）
- 安全の改善で、コストが考慮できず、リスクが合理的に低減されているかが不明（電気料金を通じた国民負担が合理的か曖昧になっている）
- **日本の原子力産業界は、コストに関係する話を避けてきた。そのため現在大きい損失を被っている。**電気料金も上昇し、国民負担が増大している。

* Yoshiaki Oka, "Risks and benefits of evacuation in TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station accident", Progress in Nuclear Energy 148 (2022) 104222, Elsevier, April 27, 2022

参考：放射性汚染食品規制のリスク便益分析 日本は食品の規制値にもコストベネフィットがない

表：余命1年延長費用のまとめ¹

対象	余命1年延長費用(億円)
野菜 3月	0.11
4月	0.77
5月	1.6
牛肉	3.7～23
米 大波地区	3.0
500Bq/kg超える地区	6.0
100～500Bq/kg地区	10
あんぽ柿	2.8

- 諸調査から得られる余命1年延長便益2000万円と比べると、野菜（3月）以外は非効率である¹
- 米の全量全袋検査が行われた。年間70億円の予算をかけて、消費者の総被ばく量を14万ベクレル減らした。損失余命回避は0.0023年で、1年の損失余命回避なら3.1兆円に相当する。これはリスクを減らす対策ではなく、基準値を超えるものが後で見つかるのを確実に防ぐ対策である²。
- 意見：血税との言葉がある。費用便益分析の結果を生かした合理的な基準値を、あらかじめ決めておく必要がある。放射線に対する恐怖が税金の無駄使いを生んだ反省を！。

出典

1. 岡 敏弘「放射性汚染食品規制のリスク便益分析」 環境経済政策学会2012年大会、2012年9月
2. 岡 敏弘「放射能汚染食品のリスク評価と規制・対策の費用便益分析」原発事故4年目における風評被害の構造と食と農の再生 郡山市役所 2015年3月14日

日本の原子炉規制に対する 米国の原子力安全専門家の意見

- 日本は新規制基準導入の時にコストを考えることができなかった。
- 日本には”適切な防護“の概念がない。そのために、米国流のバックフィット規則を適用することが出来ていない。
- 安全を限りなく強化することはできないと何度も述べたのだが。

講演者の意見：日本の省は、原子力業界（電力会社）に安価な電力を供給する意識がな
講を責し、は専門家に任せている。そのために、米国流のバックフィット規則を適用することが出来ていない。安全を限りなく強化することはできないと何度も述べたのだが。

日本は新規制基準導入の時にコストを考えることができなかった。日本には”適切な防護“の概念がない。そのために、米国流のバックフィット規則を適用することが出来ていない。安全を限りなく強化することはできないと何度も述べたのだが。

原子力業界は、原子炉メーカーと顧客（電力会社）との関係が固定されておられ、競争環境にはなく、極めて特殊な業界（現在も）。

日本の原子力安全について

- どこまで安全なら、安全と考えられるかという問いは、技術者の利用におけるリスク・ベネフィットの考え方で対応できる。
- 日本には、原子力産業界にも原子力規制側にも、適切な安全性の概念がない。費用対効果（コスト・ベネフィット）の概念がない。
- 日本の原子力技術者で絶対安全はないという方がいるが、それを判断する考え方がない事に気が付いていない。
- **リスク便益の考え方が日本の安全と規制と防災に必要である。**この考え方を日本の原子炉規制や防災の規則に（まずは、定性的でよいので）記載すべきである。
- 安全は、確率にして、抽象化して考えているとダメである。枠外にあるリスクを見逃すことにもなる。
- 安全確保は、組織管理で、実際のデータで。コストを見て、地道で泥臭い作業を行う必要がある。
- 欧米の活動の歴史と全体を見ると参考になる。つまみ食いしないこと。
- たとえば、米国と日本の原子力規制委員会には、組織的にも運営でも違う点がある。**比較して日本の課題を考えるとどうか。**

どうすればよいか

- 日本の原子力災害対策指針はその結びで、「防災とは**新知見等を踏まえ、実効性を向上すべく、不断の見直しを行うべきものである**」と述べている。
- 避難に伴って**多数の災害関連死者が出たことは新知見**である。
- 「原子力・放射線事故時に、低線量率（年100ミリシーベルト以下）の地域にいる公衆に**ALARA**を適用しない」ことを国内外の指針と規準に反映する必要がある。
- 日本の安全・規制・防災にリスクベネフィットの考え方がなく、国際的な考え方にも不適合で、欧米に劣っている。このために、**国民の原子力利用の便益を損なっている。日本の防災指針・規制基準、食料中の放射性物質の規準に、リスクベネフィットの考え方を記載し、改定する。**

たとえば、まず

- 米国の原子力発電分野のリスク・ベネフィットと指標設定の経緯を調査し解説を作る。日本の規制基準化する。
- 日本の原子力防災を米国の原子力防災と比較する。日本の指針を改善する。
- 欧米の原子力防災訓練と危機管理の実態を調査し、日本と比較し、日本の改善を図る。
- 行政の結果に対する改善の仕組みを欧米と比較し紹介する。日本の仕組みを改善する

放射線は低線量では恐ろしい と考える方が危険である

- 例：東電福島事故の避難期間長期化、チェルノブイリ事故時のイタリアとギリシャでの中絶の増加
- 東電福島事故では、避難の長期化に伴う災害関連死のリスク（避難のリスク）が、避難で避けた被ばくリスクより**28倍**大きい
- **100**ミリシーベルト以下の被ばくリスクは検出困難＊
- 東電事故で避難させられた多くの市町村の集積線量は**100**ミリシーベルトを超えていない（参考文献2の表2.3、参考文献1のTable5）

＊ 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料、3章、3.4がんのリスク（放射線）

なぜ原子力発電は最も危険と 考えられるようになったのか

原子力発電の安全性：科学的安全性（客観的安全性）

リスクの認知と心理：心理的安全性（主観的安全性）

**両者は別物、決して交わらない、
交わらせようとすると危険のイメージが伝わることに注意せよ**

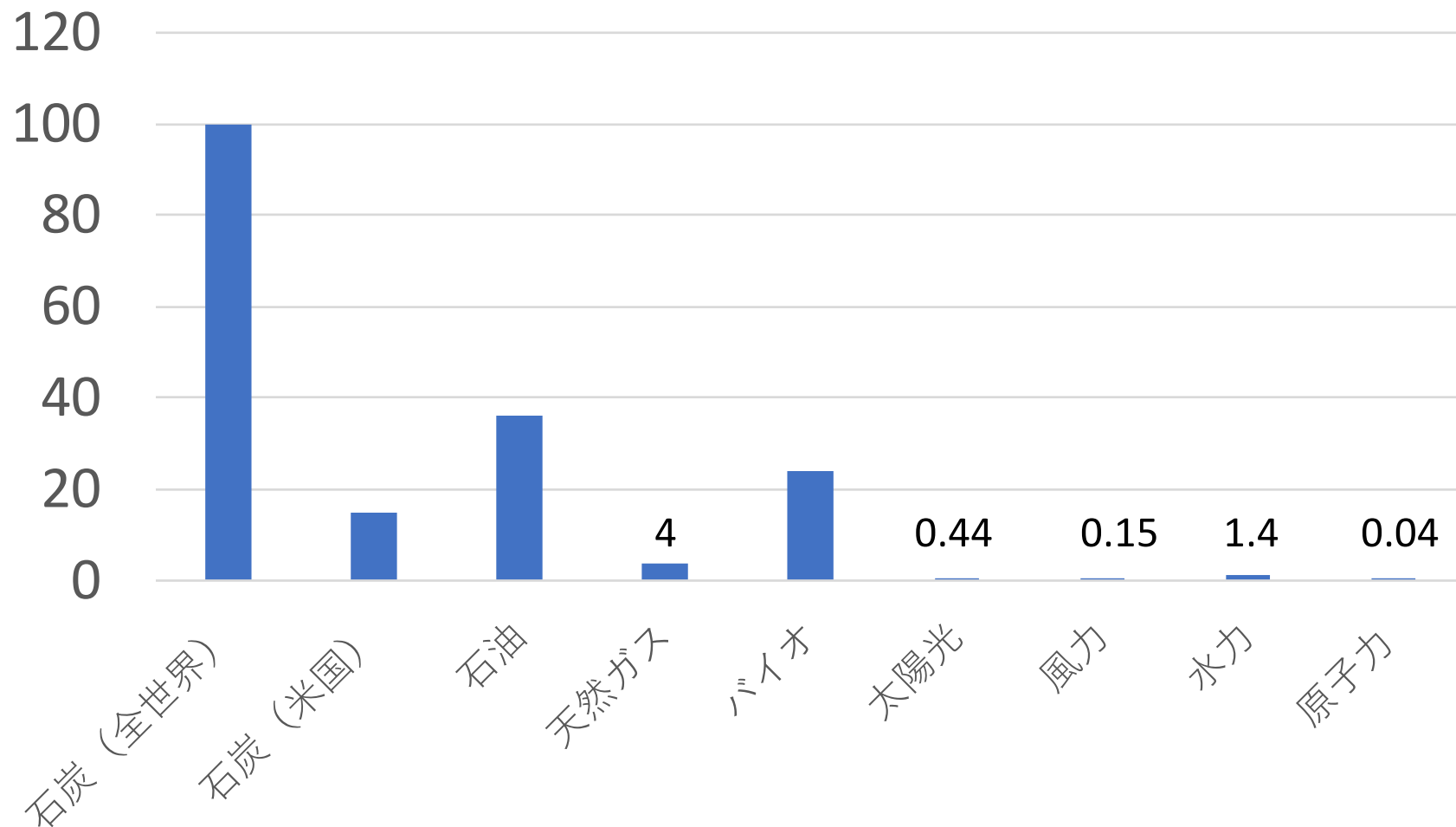
原子力発電の安全性

(客観的安全性)

原子力発電所事故の放射線による公衆の死亡数 (客観的安全性)

- チェルノブイリ事故：8名（小児甲状腺）
- 東電福島事故：ゼロ
- チェルノブイリ事故で、放射性物質を含むミルクの摂取制限が遅れたため発生した小児甲状腺がん患者の大部分は、手術で治療された。
- チェルノブイリ事故では、事故収束に当たった作業員49名が死亡している。公衆の発がんや死亡の増加は、線量が低いので、疫学研究で観測するのは困難であろう（UNSCEARのHP）
- 東電福島事故の放射線による健康被害は観測されないであろう（UNSCEAR2013, 2020）

発電量当たりの死亡率 (死亡数/billion kWh)



出典: B. W. Brook et al., Why nuclear energy is sustainable and has to be part of the energy mix, Sustainable Materials and Technologies, 1-2 (2014) 8-16, Table 6
Source: Updated (corrected) data from: World Health Organization; CDC; Seth Godin; John Konrad

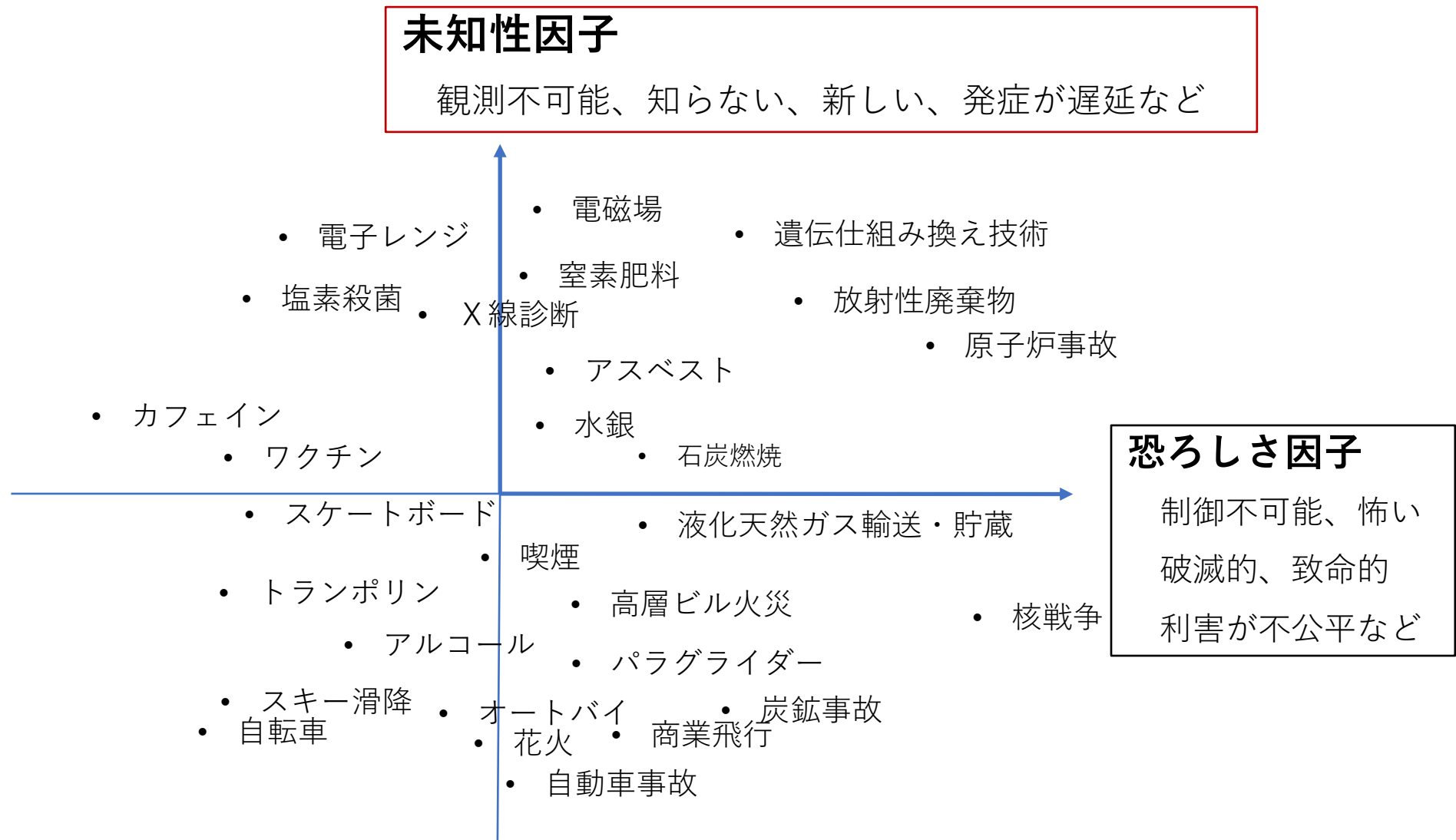
各種発電方式の公衆の死亡理由

- 石炭・石油・天然ガス・バイオなど燃料を燃焼する発電方式は大気汚染などのために、死亡率が高い。
- 水力発電は新興国でダムが崩壊して下流の多数の住民が死亡したことがある。
- 太陽光と風力発電は住環境に近いところに設置されることがあるために、感電や設備の倒壊・風車との接触などのリスクがある。
- 原子力発電所は広い敷地内にあり、公衆は近づけない。発電量当たりの死亡率は極めて低い。
なお、低い線量に多数の人口をかけて、死亡数を計算するのは誤りと、国際放射線防護委員会（ICRP）が述べている。

リスクの認知と心理 (主観的安全性)

リスク認知因子と各種リスクの認識分布

公衆のリスク認知は合理的でない（主観的安全性）



リスクの認知と心理

- 公衆のリスク認知は合理的ではない。
- 未知性因子、恐ろしさ因子が大きいほど、リスクが大きいと認識する。
- リスク認知と受容は心理的要因によって決まる
- 人々は自分の形成したイメージに対して反応している。
- 「気が付いたから気にしている」とのイラストを最初のページに載せた、リスク心理学の入門書がある*。

日本のリスク認知専門家の言葉

- リスクをうけとめるのは主観なので、リスクからずれており、これをリスク認知という。
- 客観的リスク（科学）は安全に近く、主観的リスクは安心に対応する。
- 一般市民は原発にも遺伝子組換えにも不安感を持つ。バイオの専門家は遺伝子組換えに、原子力の専門家は原発にリスクを余り感じない。

木下富雄 (2009). 談話会レポート「リスクとリスク認知」くらしとバイオプラザ2 1, 木下富雄京大名誉教授講演メモ、2009年6月18日

木下富雄 (2016). 「リスク・コミュニケーションの思想と技術: 共考と信頼の技法」、ナカニシヤ出版、2016年9月

客観的安全性と主観的安全性

- **客観的安全性（科学的安全性）**とは：技術の利用に伴う事故による公衆の死亡数で示される安全性。**技術は原子力に限らず客観的安全性で利用している。**規制規則や技術基準を作って利用している。事故・故障の経験などで改善してきた。
- **主観的安全性（心理的安全性）**とは：観測不可能、知らない、制御不可能、致命的など、未知性因子と恐ろしさ因子で認識される安全性。公衆のリスク認知や理解の結果の安全性。
- 客観的安全性と主観的安全性は論理的に交わらない。**両者は別物。**
- これを理解していない原子力関係者が、両者を交わせようとする、意図とは逆に原子力は危険とのイメージが伝わる（**未だに気が付いていない原子力技術者や原子力関係団体が日本には多いのでは？**）

リスクコミュニケーション

リスクコミュニケーションは 教育ではない

- 自分の知っている原子力安全や技術の知識を国民が理解すれば、理解が進むはずと考える原子力関係者が多いかもしれないが、自分がその知識を習得するのに何年かかったか忘れていてる。
- 大学では、基礎を授業で習ったあと、実験や実習、さらにはゼミや研究で自分で考えて、やっと専門的知識を習得できる。ある分野の専門家になるまで10年かかる。
- 英国の王立協会は科学コミュニケーションを1980年代意図的に推進した。2006年の報告書で、科学者が公衆の教育を懸念していることだとして、対話活動に参加しているのを勧めている。
- **リスクコミュニケーションは国民や地元に対する”教育”ではない。**
- 昔、東京郊外の市で、市民グループの知り合いに頼まれて反対派の方と1時間ずつ講演したことがある。1時間で原子力の安全について理解してもらうのは困難である。意図とは逆に、危険のイメージを伝えることになったのでは？と最近気が付いた。

安全技術と安全は異なる

- 原子力技術者が説明しているのは「安全技術」であって、国民が関心のある「安全」ではない。
- 国民が関心があるのは、放射性物質が放出された後の話。事故の発生や拡大防止のための安全技術の話ではない。
- 大部分の原子力安全屋は安全技術の専門家
- 安全技術を国民が理解すればよいと考え、そうしてきたのでは？
- 土木工学者が橋梁の安全性を国民に説明しているか？

リスクコミュニケーション

対話が必須、スキルも必要、参加者数に限界

- リスクコミュニケーション（リスコミ）やリスクマネジメントは、双方向のプロセス（対話）でないと、失敗する（Slovic 1987*）
- 「双方向のプロセス」は、言うのは簡単だが、実行するのは簡単ではない。
- 対話のためのスキルが必要である。ファシリテーション訓練などで基礎を習得し、実践的にそれを磨く必要がある。
- 参加者の関心にこたえられる広い知識も必要。
- 双方向のプロセスは参加者数が限られる。市民や県民全体との双方向の対話は無理である。まして国民全体と口頭で対話するのは不可能。（国民は一億人、原子力関係者は一万人）

*Paul Slovic: "Perception of Risk", Science , Vol.236 pp280-285 (1987)の結論参照

なぜ原子力発電は
最も危険と考えられるよ
うになったのか

危険とのイメージが広がった原因

- **リスクの話・ネガティブな話は3倍強く印象づけられる**
- 人類はリスクを避けて生き残ってきたので、これは**人間の生存本能に由来？**
- 危険や事故の話は、公衆の関心が高いので、**メディアもよく取り上げる。**
- 原子力発電に関して、事故や安全性、放射線被ばくリスクの話が繰り返されてきた。
- 原子力発電推進者たちは、原子力の安全性が公衆に理解されるはずと考えて、安全の話をしてきた。
- **安全の話は心理的にはリスクの話。**
- 日本の原子力界も、リスクコミュニケーションに力を入れてきた。日本には「リスコミ」という略語まである。
- これらが 原子力発電は危険とのイメージが広がった原因では？
- **米国の原子力産業界はリスコミを行っていない。**米国原子力学会もリスコミを推進していない（四半世紀前にリスコミを組織的にやろうとしたグループがあったが、止められた）。米国では国民に対するリスクコミュニケーションは原子力規制委員会の役割。
- **日本は原子力業界団体の、経営層（理事クラス）に、実践的なコミュニケーションの専門家・責任者がいないことも誤解・ボタンの掛け違いの原因では？**

原子力分野特有の発言も影響

- 「このような事故を2度と越してはいけない」というような言い方をするのは、原子力特有だとの指摘がある。
- 他産業では、例えば石油業界は、タンカーから海洋への大規模原油流出事故で「事故の影響低減に最大限努力していい。今回の経験から今後はよりよく対応できると思う」
- 「他産業では事故は二度と起これないようにするとか、安全は全何より優先との言い方はしない。原油流出は頻りに安全を原が原子力発電のこのような厳しい規制要求には至らないが、極めて危険なもののイメージを振りまいている」¹

原子力発電ではこのような言い方が繰り返されてきた。

安全を理解してほしいと考えて発信したが、結果的に、公衆は心理的にリスクを認識し、危ないと考えた。

これらが原子力発電の実際の安全性と世間の認識が大きく異なってしまった原因ではないか。

1. Grimston M. (2016). The Paralysis in Energy Decision Making, Whittles publishing, 2016, pp.412 – 416

2. マルコム・グリムストン「原子力への公衆の理解：科学だけの問題ではない」第47回原産年次大会用資料（和訳）2014年4月15日

リスクコミュニケーションの種類 両者は明確に区別を

1. 国民や県民など不特定多数向けに、リスク（安全）情報を、口頭やそれと類似の方法（伝聞で書かれたものを含む）で発信すること（日本の原子力分野でリスクミと言われているのは、主にこれのこと。この講演で問題にしているのもこの意味のリスクミ）

2. ステークホルダ対話：地元などでの対話集会で、安全やリスクを含む話をする事

このほかにリスクミとは呼ばないが、リスク（安全）を含む情報の文書による作成と開示（米国原子力規制委員会のHP）がある。

- **国民（不特定多数）相手のリスクコミュニケーションと、ステークホルダ対話は異なる。明確に区別を。** 後者は効果的な対話のために参加者の人数が限られる（40人程度が上限）。それ以上だと複数になる。国民や県民全体との対面での対話は不可能。
- 広い知見や対話のスキルやがないと対話活動はできない。
- 日本では、原子力技術者が、リスク心理学や欧米の経験・知見を理解せず、リスクミの推進を述べている場合が多いのではないかと彼らは原子力発電推進のためにそう言っているだけ、逆効果に気が付いていないし、自分で地元でのステークホルダ対話を行ってはいない。（日本の原子力の集団主義の害の例）

リスクコミュニケーションは しないほうが良い

- **リスクコミュニケーション**（不特定多数の国民に原子力安全を理解してもらうための口頭での安全メッセージ発信）は、**しないほうが良い。逆効果**。（防災訓練ではリスクの話をする必要がある。RCの語は相手と場合を明確にして使う必要がある。）

なぜか？

- 安全の話は、心理的には危険（リスク）の話。
- ネガティブな話は、3倍強く印象付けられる。
- **コミュニケーションの目的は信頼構築**。危険の話をして信頼構築は困難
- これらが、原子力発電が極めて危ないと考えられるようになった原因（安全の情報は専門家側にあったので、原子力専門家が悪い）。
- 欧米の原子力産業界は、これに気が付いている。EDFエネルギー（英国で原発を運転）は安全のTVコマーシャルを2015年にやめている。
- 米国では、以前から原子力エネルギー協会も、原子力規制委員会（NRC）も、国民向けに直接的な口頭でのリスクコミュニケーションを行っていない。広い意味のリスクコミ（安全関係の情報を国民に提供する）はNRCの役割。

コミュニケーション：どうすればよいか？

- いろいろな説明を作って公開し（リンクを張って、検索性を向上し）国民に見つけてもらうようにするのが良い
- 日本のお好事例：放射線健康影響の統一的な基礎資料（環境省）、福島復興情報ポータルサイト（福島県）、スペシャルコンテンツ（経済産業省）米国原子力規制委員会の情報の作成収集とホームページで開示など。
- 記述のもとになる専門的情報や解説を作成・開示・引用し、**国民が知りたいところまで根拠をたどれるようにするとよい。**
- 米国では原子力規制委員会の情報がその役割を果たしている。HPは職員向けの情報源としても使われている。Information digestがある。一般向けには、知りたい情報を見つけるためのCitizen's guideがある。（専門家向けと一般向けの情報を区別する必要はない。日本は専門家向けの解説や報告書も少ない）。なお、これらにStrategic planを加えると、NRCの概要が理解できる*。
- 地元での対話は、信頼構築を旨に、状況に応じた内容で（対話経験とスキルが必要）
- 原子力専門家は安全の話を国民に向かって、口頭でしないほうが良い。

日本の省庁のアカウンタビリティの問題

日本において、省庁のアカウンタビリティを明らかにする仕組みがあれば、原子力分野に限らず改善が進むはず

- アカウンタビリティは「行政庁による担当政策の説明とその結果に対する責任」のこと
- 欧米政府にはあるが、日本にはない。
- 米国は各省庁がStrategic Planを4年毎に作成・公開する。政策をホームページで説明する。会計検査院(GAO)が、行政の結果を調査し報告書を作成し公開する（評価は述べない。評価し政策の方向を決めるのは議会の役割、国民は議会を監視し、選挙でフィードバックする。）
- アカウンタビリティのためには日本の省庁による政策説明文書の作成と公開が必須。
- 日本の会計検査院は、省庁の政策の結果を調査する権限を与えられていない。
- 日本は総務省によって行政評価が行われているが、省庁による自己評価である。
- なぜ日本で「評価」と言う言葉が良く使われるのか理解できない！正解があると思っているのか？そんなに単純ではない。評価して「よい」と言うと責任を分担することになるのに。
- **アカウンタビリティは、議会制民主主義を機能させる要件。**チェック機能がないと、非常に優秀は組織でも劣化する（省庁に限らない）。
- **日本に省庁のアカウンタビリティを問う仕組みがない事が、国民と企業の省庁依存を温存し、改善が進まない原因では？**
- **日本の長期低迷、巨額の財政赤字、国際競争力低下等の原因では？**
- 日本は、原子力発電分野でも、事故も起こし、世界に大幅に劣後している。

皆（国民全体）で政策や方針を決めるとの 考え方がおかしい

- 日本ではこう考える方々が多いようであるが
- これでは、**専門知識や経験を生かせず、頑健な政策にはならない。**
- 例えば、皆で決めるのが良いと考えているので、心理的安全性に支配されて、避難解除や食品の規制値が不合理に低い値に決まっ
てしまったのでは？低い値でも心理的安全性は達成されないのに。
- 責任が不明確になってしまう。**権限と責任はセット**なのに。
- **不特定多数の他人に依存**し、創意工夫が無いのでイノベーション
が生まれない。
- **無駄・コスト・財政赤字等が積みあがる。**
- 自由競争がイノベーションの源泉（アルゼンチンのミレイ大統領
の演説）だが、
- 政府・省庁の権限は強大なので、省庁の政策と、その結果を明ら
かする**アカウンタビリティの仕組みが、国の制度として必須**（議
会制民主主義の要件、日本は欠けており未熟）
- 日本は省庁のアカウンタビリティが無いので、企業や個人の国へ
の依存が温存されているのでは？**日本の本質的問題では？なぜ、
だれも指摘しないのか？修正しようとならないのか？**
- 社会主義は歴史的に破綻したのに

日本の原子力発電に関する意見

- 原子力発電は最も安全な発電方式、敷地効率も高い。
- 日本の安価・安定な電力供給への貢献を期待：世界では多数建設された原発が、安価安定な電力供給に貢献している。
- 再稼働がまず重要（地元協定は法的な責任を有していないので、論理的に**地方自治体の了解は不要**）
- 機器を交換すればよいので、**原発に寿命は無い。運転期間の再延長を可能に**（1回限りではなく）
- **最も重要：原子力発電所は何度も運転期間を延長して、できるだけ長く使うのがよい。**
（電力自由化環境で安価な電力を国民に供給するために）
- 運転期間を決めて計算する**平準化発電コストは原発の本当の発電コストではない。原発や水力は償却後もっとも安価に発電できる。計算したらどうか？**
- 原発の建設継続と新規建設を：設計・製造・建設の**経験の継承**を。
- 建設投資回収後も安価に発電できる原発の特徴を生かした新規建設投資スキームを作る必要
- **日本の原子力発電の3つのリスクの低減**：規制予見性、訴訟、自由化のリスク（なお欧米には規制リスク・訴訟リスクは無い。中国・ロシア等は自由化リスク（原発建設の投資リスク）もない。**日本が一番劣後している**。日本は海外に目を開いて、実践的に！各組織がそれぞれの責任を果たすように。**改善の努力をしないと欧米の状態にはならない。**
- **放射性廃棄物処理処分は、循環型社会の活動。**
- 地層処分は欧州（フィンランド、スウェーデン、フランス）で進んでいる。フランスも全量再処理では無い。使用済み燃料の直接処分の試験もしている。**地層処分に再処理政策の議論を絡ませない事**（核兵器を連想させ負のイメージをばらまくので）。そうでないと立地は失敗する。
- 再処理事業は30年前から日本では民間事業（日本原燃）。**責任を明確に。**

発電用原子炉の安全性改善の歴史

- 炉心緊急冷却設備の試験（**1970年代から**）
- 炉心溶融事故対策・影響低減設備の研究開発（チェルノブイリ事故以降）*
- テロ対策（フランスの高速炉への反対派によるロケット攻撃もあったが、米国の対策は**9.11以降**）
- 津波対策（最近では、**2000年代のインド洋大津波以降**、日本原電は対策した。東電などは東日本大震災以降）
- 防災対策で、避難に伴う災害関連死を防ぐことが必要になっている：低線量地帯にいる住民に**ALARA**を適用しないことを提案中

* Y.Oka & D. Bittermann, “Implications and Lessons for Advanced Reactor Design and Operation”,
Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident, pp223-258, Springer

原子力安全の専門家に対する 注意喚起

安全を安全技術だけから見ていても
安全性が向上するとは限らない。

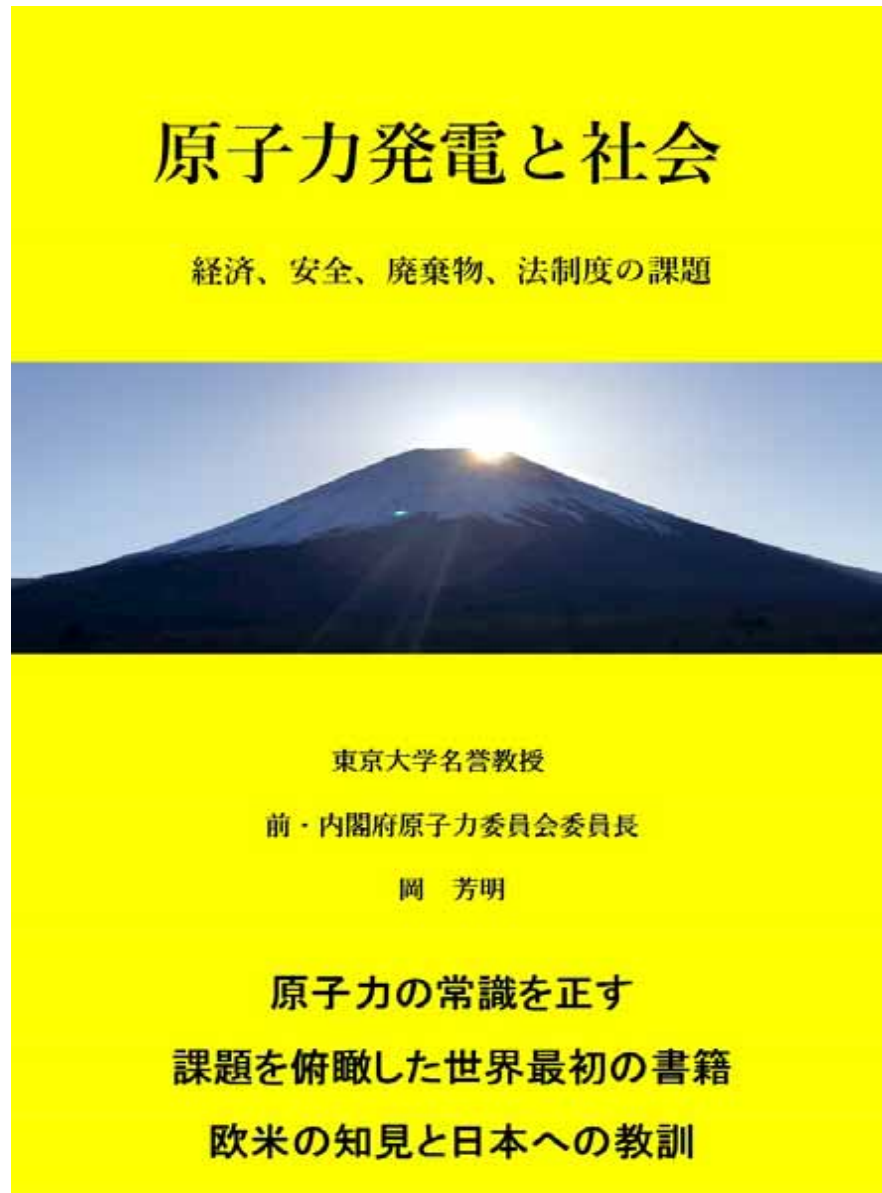
視野を広く
リスク・ベネフィットで

リスクミヤ安全目標によって、国民
に安全性を理解させようとせず、
原子力利用の知識基盤構築に注力を

参考資料

1. 「原子力発電と社会：経済・安全・廃棄物・法制度の課題」AMAZON,2024年、英語版SPRINGER,2024年12月刊
2. 「発電用原子炉の開発：歴史・技術・教訓」AMAZON, 2024年、英語版SPRINGER,2025年4月出版
3. キヤノングローバル戦略研究所：「原子力発電の役割と課題」、「原子力発電の安全性とリスクコミュニケーション」、「東電福島事故の避難のリスク・便益分析と安全・規制・防災の課題」、「エネルギー主導シナシス、強く豊かな日本のためのエネルギー政策、非政府の有志による第7次エネルギー基本計画」（II.原子力の最大活用のうちII.2.1- II.2.5を執筆
4. 国際環境経済研究所：「原子力発電はなぜ最も危険と考えられるようになったのか？」、「日本には行政の「結果に対する責任（アカウンタビリティ）」を問う仕組みがない」
5. Yoshiaki Oka, Risks and benefits of evacuation in TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station accident, Progress in Nuclear Energy, Volume 148, June 2022, 104222

原子力発電と社会



AMAZON 2024年3月刊

電子版：500円

ペーパーバック：5280円（335頁）

<https://www.amazon.co.jp/dp/B0CYCNVBRX>

経済自由化によって、安価な電力が供給されるようになるか？

原子力発電は、なぜ最も危険な発電方式と考えられるようになったのか？

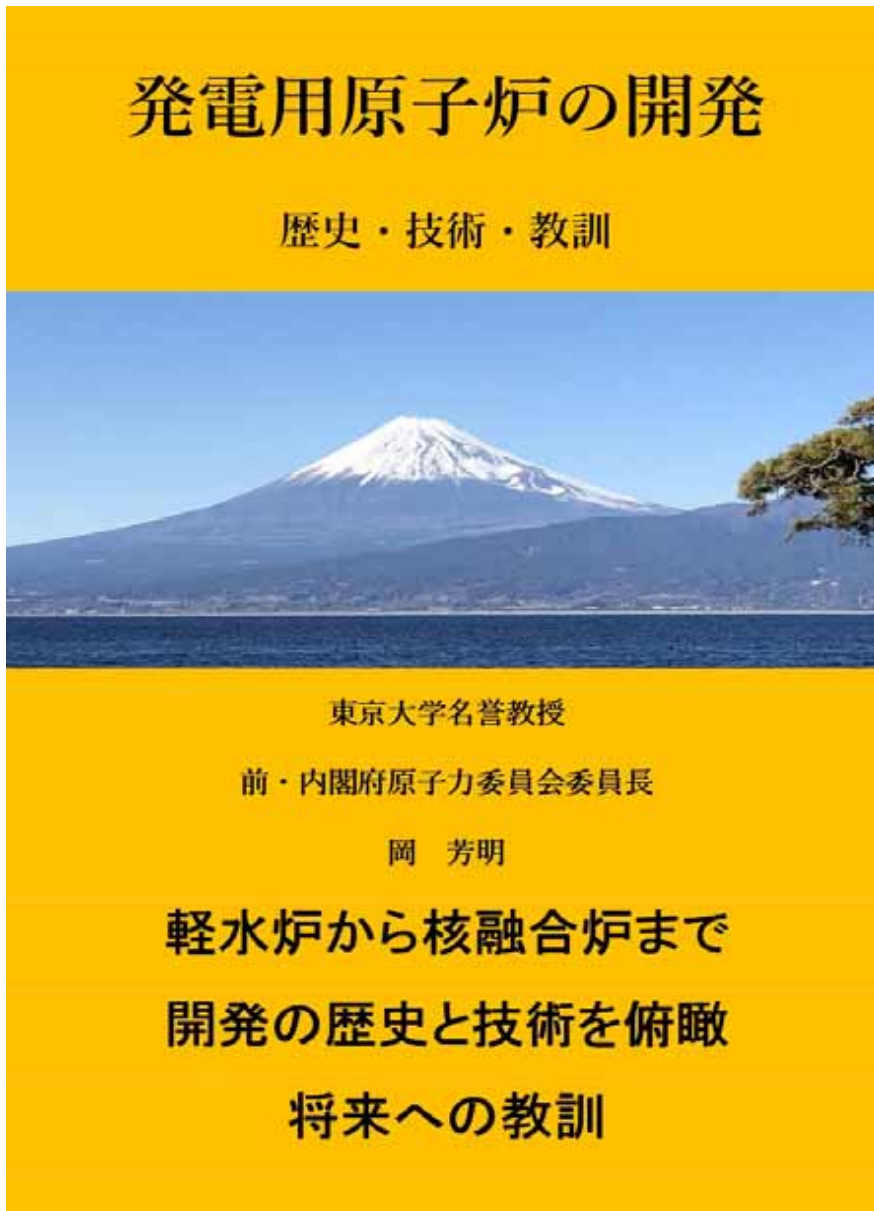
放射性廃棄物は解決不可能な問題なのか？

技術の利用には危険を伴うが、どこまで安全なら安全と言えるのか、どう判断すればよいのか？など

英語版はSpringerから2024年12月刊

中国語版も出版計画中

発電用原子炉の開発



AMAZON 2024年6月刊、237頁
電子版（400円）、ペーパーバック版

米国の初期の発電用原子炉開発は？

軽水炉技術はどう進歩してきたか？

ウラン資源は枯渇するのか？

航空宇宙用原子炉開発の歴史は？

第三世代原子炉と第四世代原子炉とは？

超臨界圧軽水炉とは？

発電用原子炉の概念設計の全体像は？

核融合炉と核分裂核融合ハイブリッド炉とは？

日米の大学原子力工学教育の違いは？など

英語版はSpringerから2025年4月刊予定₉₂

ありがとうございました