

日本の原子力発電の課題

岡 芳明

東京大学名誉教授

前・内閣府原子力委員会委員長

略歴

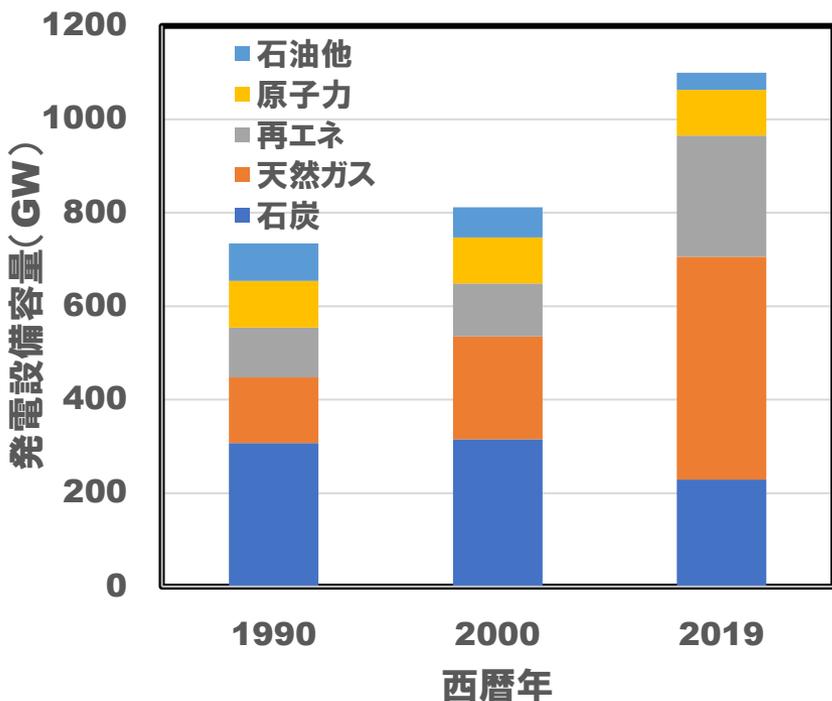
- **1974年—2010年**：東京大学工学系で原子力工学の研究教育に従事：原子炉設計工学
- **2010年—2014年**：早稲田大学理工学術院で共同原子力専攻の設立と運営に従事
- **2014年—2020年**：内閣府原子力委員会委員長、原子力発電と社会との接点の問題を検討
- **2021年以降**：原子力発電と社会との接点の問題の著作活動と検討

目次（課題）

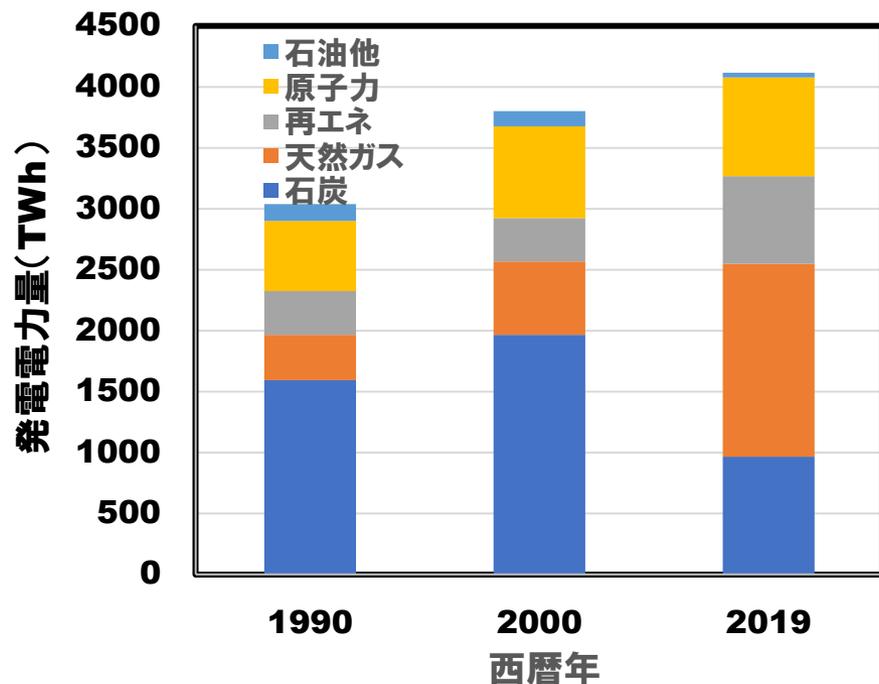
1. 日本は原子力発電の拡大が必要
2. 日本の安全・規制・防災に
リスク・ベフィットの考え方を取り入れる必要
3. 原子力安全に関する国民の信頼獲得

米国の発電設備容量と発電電力量の変遷

経済自由化（1980年代以降）の投資環境では、投資額が小さく投資回収期間の小さい発電方式（天然ガス火力）が、投資リスクが小さいために多数建設された。



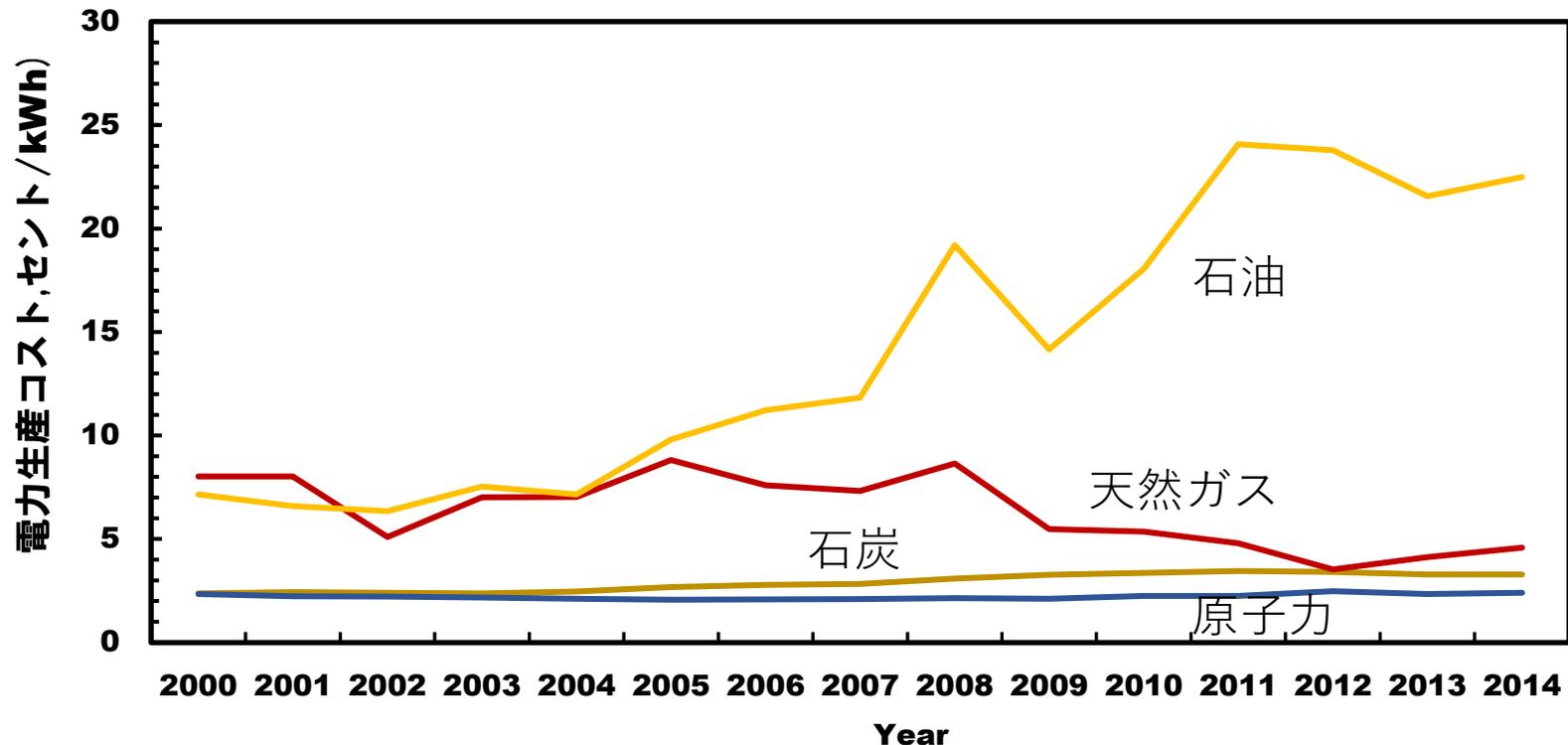
米国の発電設備容量の変遷



米国の発電電力量の変遷

米国の電力生産コストの変遷

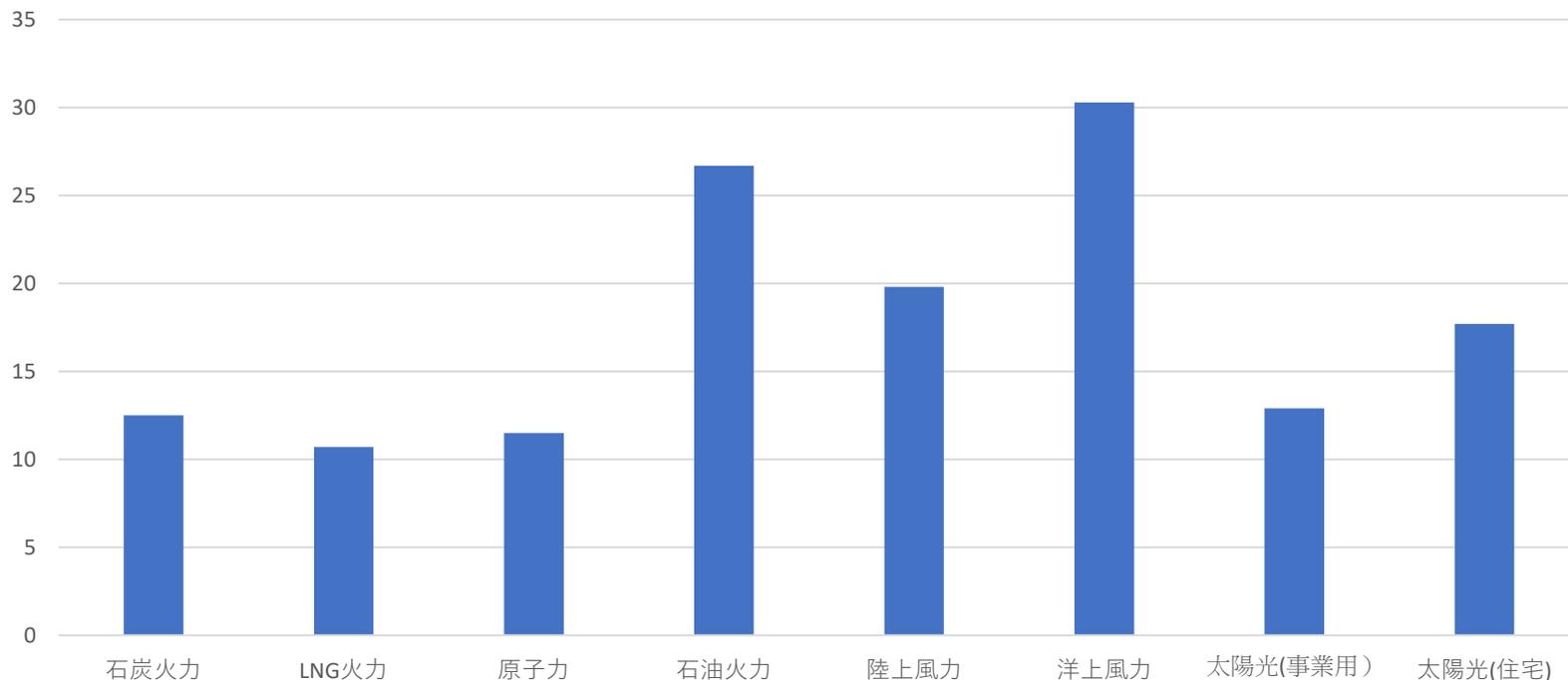
1. 電力生産コストは、建設投資の償却を除いた発電コスト（補修費は含まれている）。米国の原子力発電所は1980年頃までに建設されており、償却済なので、**電力生産コストが実際の発電コストである。**
2. 天然ガス火力は電力生産コストが高い（**米国民は高い電気を買わされた**）。2010年頃に低下したのはシェールガス革命のため。
3. 水力発電は示していないが1セント/kWh程度。最も安価



日本の平準化発電コストの試算結果例

平準化発電コストは、発電コストの比較に使われているが、建設投資の回収期間（償却期間）を定めて計算される。**建設投資回収後の発電コスト（水力発電や原子力発電の長期間の発電コスト）は表せない。**
原子力と再エネで発電出力が1000倍も違う。

発電コスト(円/kWh)

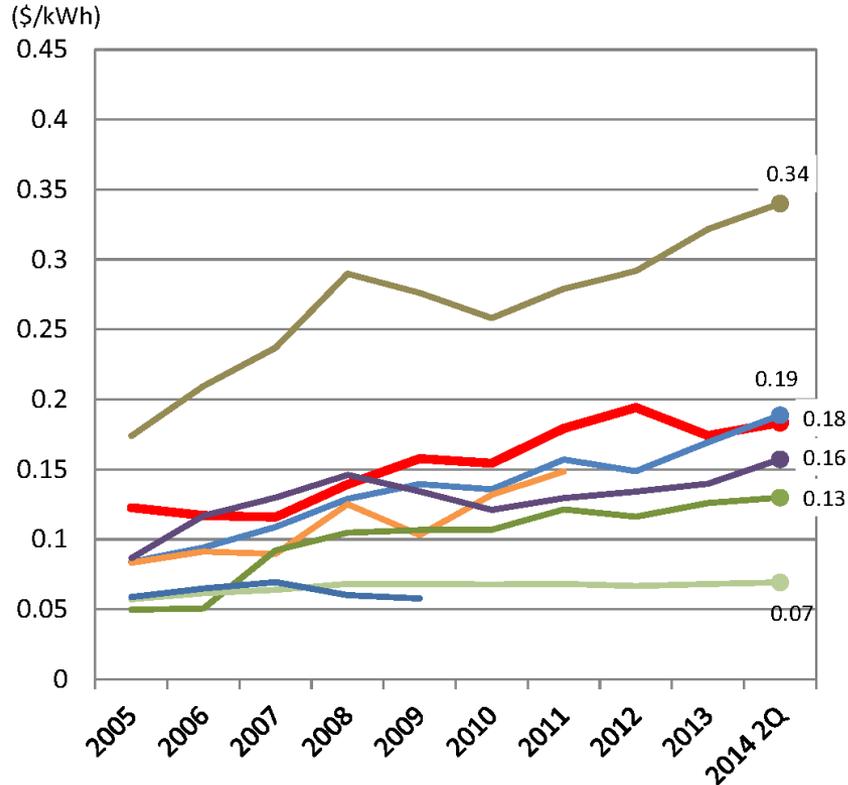


出典：発電コスト検証について 2020年の電源別発電コスト試算の結果概要
令和3年8月4日 資源エネルギー庁

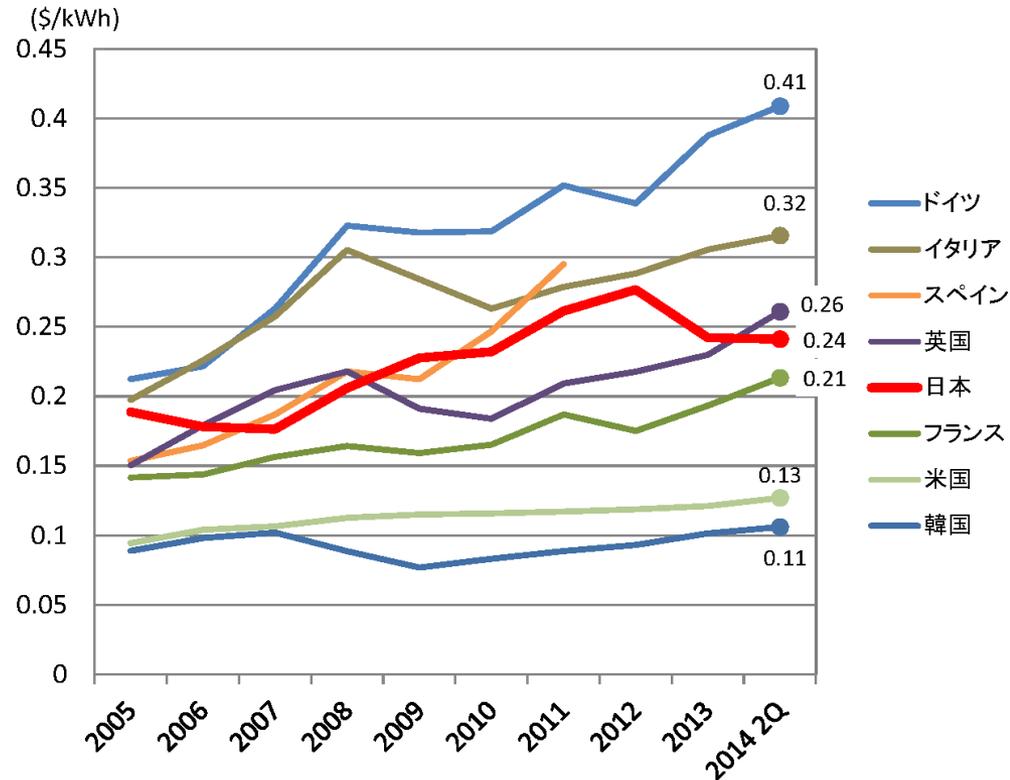
電気料金の諸外国との比較

日本の電気料金は韓国約2倍。イタリアは原子力発電を廃止したため最も高い

【産業用電気料金】



【家庭用電気料金】



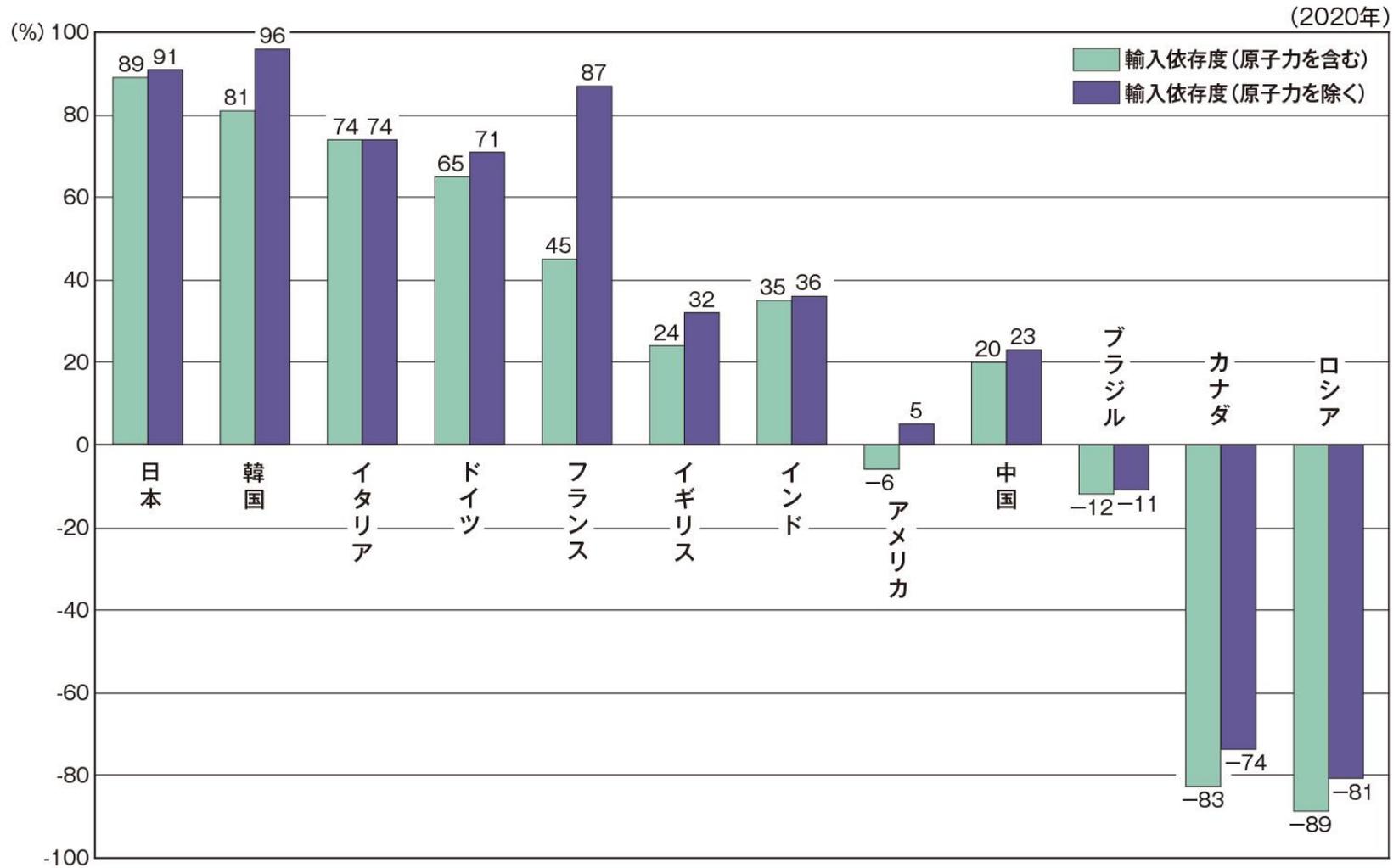
(※1) フランスの値が2007年に急激に上昇しているのは、IEAが利用するフランスのデータの出所が変わったことによる。

(※2) 日本の電気料金は震災以降上昇しているが、本グラフではドル建て表記のため、為替相場の影響を反映した形となっている。

【出典】IEA Energy Prices and Taxes

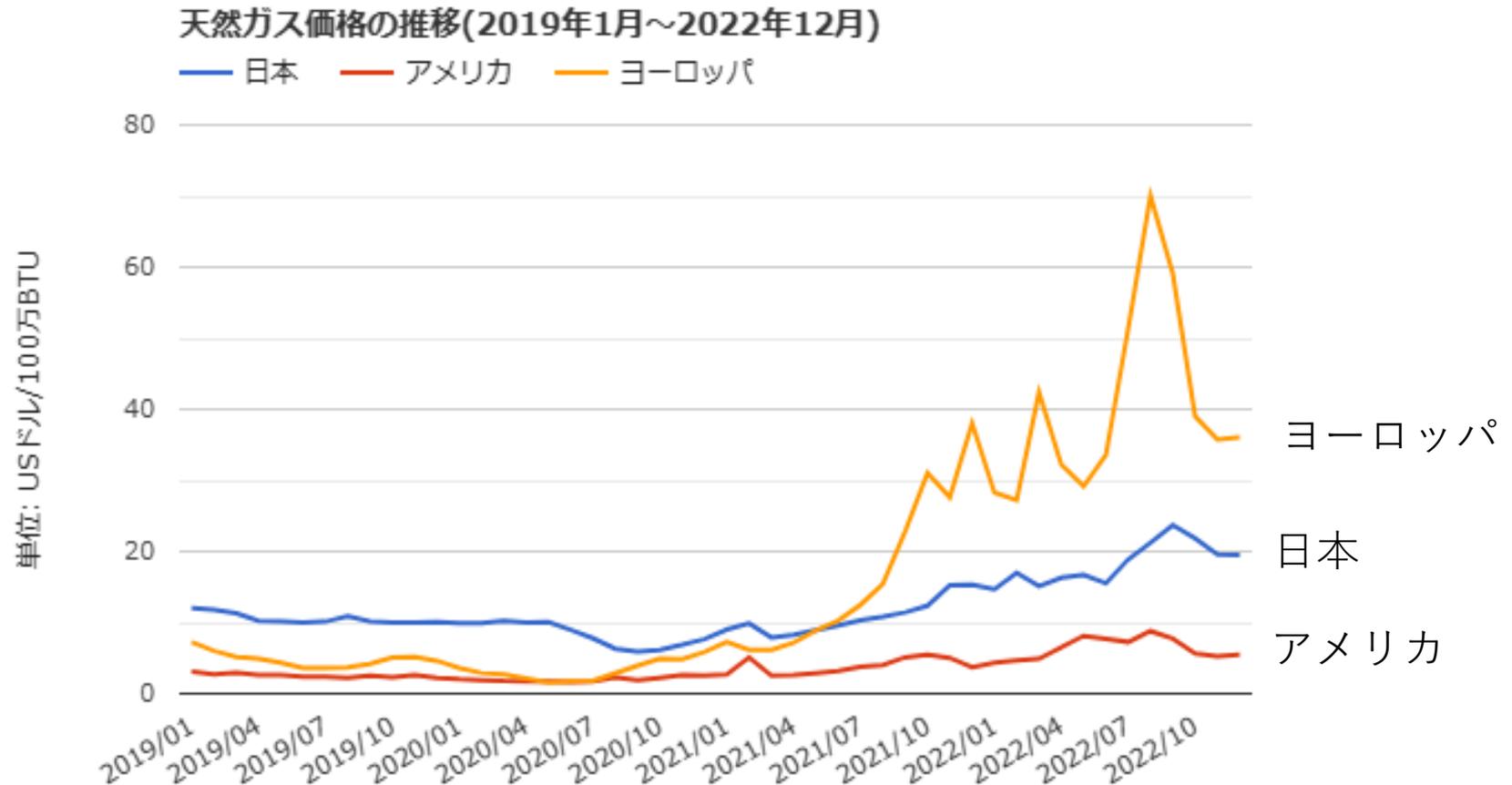
主要国の一次エネルギーの輸入依存度

日本は極めて高く危険。フランスは原子力発電があるので45%



天然ガス価格の推移 (2019-2022)

天然ガス価格は需給によって大きく変動する



出典：世界経済のネタ帳、World Bank-Commodity Market

注：日本はLNGの輸入価格（運賃・保険料込み）、米国はルイジアナ州の天然ガス集積地のスポット価格

日本は原子力発電の拡大が必要

1. 経済自由化の環境では、発電コストは高くても投資リスク（投資額）の小さいもの（ガスタービン火力等）が建設される（米国等）。結果的に消費者は高い電気を買わされている。
2. 原子力発電の電力生産コストは水力発電に次いで安価（米国）
3. 平準化発電コストは、水力発電や原子力発電の長期にわたる（建設投資償却後の）発電コストを表していない。
4. 日本の電気料金は極めて高い（韓国の2倍）、日本の将来のため、安価な電力供給が必須。
5. 日本のエネルギー自給率は極めて低く、危険である。
6. 地球温暖化防止のため、日本のエネルギー制約はますます厳しい。**エネルギー問題は、国家の存亡と国民生活にかかわる。**ロシアはソ連崩壊後の経済危機を石油・天然ガス輸出で克服した。**エネルギー問題を甘く考えないこと。**
7. 原子力発電は、安価・安定・安全で、地元雇用に貢献し、必要な敷地が小さく、環境に優しい電源である。
8. **まず、再稼働と運転期間延長を、次に新規建設を。**長期目標は原子力発電で、電力供給の50%以上。さらに75%（現在のフランス）を目指すのがよい。
9. 再エネの拡大には、適地が多い北海道・九州からの送電線への建設投資が必要。**原子力と再エネで自給率の拡大を。**

日本の安全・規制・防災にリスク・ベネフィットの考え方を取り入れる必要

1. リスク・ベネフィットの考え方とは
2. 損失の例
3. 東電事故の避難のリスク便益を分析した：長期化した避難は正当化できない
4. 米国は規制と原子力防災に取り入れている
5. 日本は食品の規制でも考えられてない。
6. 他の健康リスクは、放射線被ばくの枠組みでは考慮できない。
国民相手のリスクコミュニケーションで対応できるとするのは無理。
7. **ALARA**は政策なので、事故時に低線量では適用しないほうが良い
8. 日本の原子力防災指針は要改善点あり
9. 危機管理では、国のワンボイスが重要

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**
- リスクはコストで表すことが出来る（例えば、生命保険の死亡賠償額）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

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て、新規規制基準適合審査を行い、国民に経済的損失を与えている。（諸外国は稼働させながら、事故の教訓に対応した。日本もその方がほうが良かった。大津波のリターン・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2.8倍大きい。（後述）
- 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）
- 新規規制基準はリスクベネフィットを考慮していない（そのために審査に長期間を要している）

米国のリスクベネフィットの例

- 米国の原子力発電所の規制では、コスト・ベネフィットを考慮することが求められている。
- 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。^{*}
- 確率論的リスク評価法は、リスクベネフィットを分析するための手法。（安全と言うための手法ではない）
- 米国の原子力防災指針（PAG）は、避難で避ける便益が、避難に伴うリスクを上回る必要があると述べている。^{**}
- **どれだけ安全なら妥当かは、リスク・ベネフィット分析で答えられる。**

^{*}Reassessment of NRC's Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy, Final Report NUREG- 1530 Rev.1 , Feb. 2022

^{**}PAG manual: Protective Action Guides and Planning Guidance for Radiological Incidents, EPA-400/R-17/001, January 2017, U.S. EPA pp.10, pp.30

放射線被ばく以外の健康影響（チェルノブイリ事故）

こころへの
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。

東電福島事故の災害関連死の リスク・便益分析

- 避難が長期化したので、避難指示の出た市町村の災害関連死が増えた。その多くは高齢者。
- 避難指示が1年以上の11市町村の災害関連死を、復興庁発表のデータをもとに分析した。
- 避難で避けた被ばくリスクは、文科省発表の走行サーベイによる測定結果（172地点）と、空間線量率の減衰（木名瀬による）から求めた。
- 避難したリスクが、避けたリスクより**2.8倍**大きい。高齢者の被ばくによる生涯ガン死亡リスクは、年齢平均値の約5分の1、これを考慮すると**14倍**大きい。
- **長期化した避難は正当化されない。**
- 詳細は以下の論文、あるいは付録のPPT参照

* 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)

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%**）、原発とその関連企業、プラントメーカー関連企業、土木建築業で働く傍ら、農作業（稲作）に従事。商店、食堂、宿泊施設などを経営する方もいる。
- 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

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かった

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）以外是非効率である¹**
- 米の全量全袋検査が行われた。1年の損失余命回避に3.1兆円の費用がかけられた²
- 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のではないか。

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

放射線被ばく以外のリスク

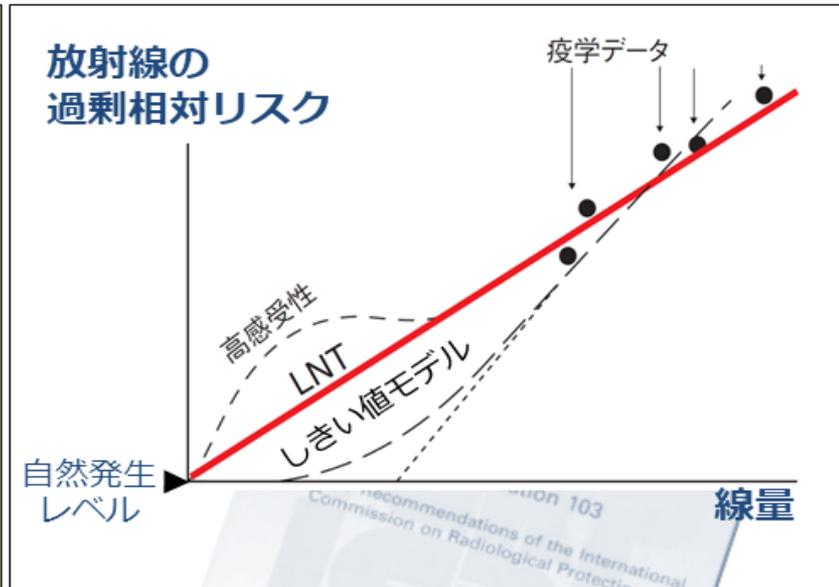
- 放射線量を制限しても防げない
- 放射線被ばくリスクの枠組みでは考慮できない
- しかし、ICRPと原子力関係者は放射線被ばくリスクの枠組みでしか考えてこなかった。WHOも（定量的データがなかったので）考慮できていない
- ICRP,WHOはリスクコミュニケーションの必要性を述べているが、国民相手に機能したか？機能するか？
- 災害関連死は、阪神淡路大震災以降、日本で制度化され、データがある。災害弔慰金の趣旨があるが、死亡は事実で、リスクとして、考慮できる。
- 著者の論文は、初めて、原発事故の避難のリスク・ベネフィットを定量的に示した。（介護ホームの災害関連死や、南相馬市の災害関連死を分析し、規制値と比較した論文はある）。
- 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、おかしい。逆効果もある（後述）

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、サイエンスのようだが、疫学なので、論争に決着をつけるのは困難（**疫学は、重力の法則のようなサイエンスではない。混同しないこと。**）
- 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**）**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**）

* 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、平成23年9月29日、首相官邸ホームページ

** 根拠は100mSv/y以下では晩発効果が明確ではないため。避難解除の線量率が20mSv/y以下なので、高齢者はその5倍、その他の年齢は20mSv/yとする案もある。

注：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

原子力防災指針の日米比較

- 米国（PAG Manual）*：考え方が書いてある
- 日本：手続きが書いてある。役人の作文？**要改善**
- 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。東電福島事故では防災センターが機能しなかった。
- 手続きの記述になっているのは、行政官と原子力専門家の連携が悪いためと考えられる。
- 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ことも原因（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**。防災はPAGに考え方が書いてある。

日本の防災指針は、このほかにも要改善点あり

- 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、測定後ではなく、大規模放出が予想された時に発出すべき（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。

* PAG Manual: Protective Action Guides and Planning Guidance for Radiological Incidents, EPA-400/R-17/001, January 2017, Environmental Protection Agency

** Perspectives on Reactor Safety (NUREG/CR-6042, SAND93-0971, Revision 2)

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
- 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。*
- **危機の時は、国のワンボイスが重要**

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

原子力安全に関する国民の信頼獲得

1. リスクコミュニケーションの困難さ
2. 客観的安全性（原子力技術者）と主観的安全性（国民）がある。どちらも正しい。**世の中は後者。変えるのは無理、逆効果もある。別の方向で。**
3. 米国はリスクコミュニケーションではなく、原子力規制委員会に対する国民の信頼構築に注力している。
4. 安全技術と安全の違い
5. 日本には、行政にアカウンタビリティが必要
6. 電力会社の継続的安全性向上に期待する

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

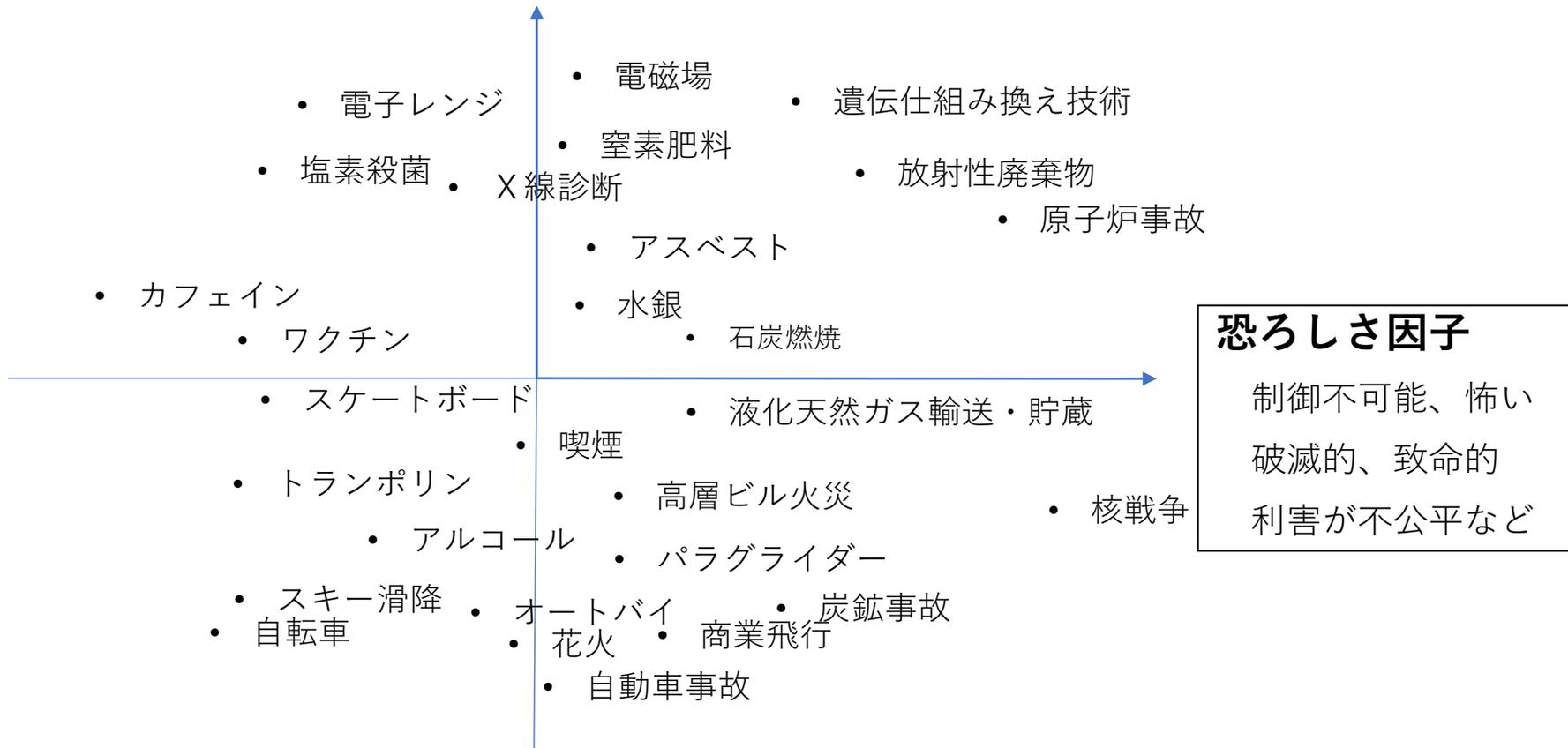
- チェルノブイリ事故で、放射性物質を含むミルクの摂取制限が遅れたため発生した小児甲状腺がん患者の大部分は、手術で治療された。
- チェルノブイリ事故では、事故収束に当たった作業員49名が死亡している。公衆の発がんや死亡の増加は、線量が低いので、疫学研究で観測するのは困難であろう（UNSCEARのHP）
- 東電福島事故の放射線による健康被害は観測されないであろう（UNSCEAR2013, 2020）

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）

未知性因子

観測不可能、知らない、新しい、発症が遅延など



リスクコミュニケーション

- **リスコムは対話でない**と失敗する*。そのため参加者数も限られる。対話にはスキルも必要**。従って**不特定多数の国民とリスコムは不可能**
- **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）。**国民や県民全体との対面での対話は不可能。**
- **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）。
- EDF は安全のTVコマーシャルを2005年頃にやめている。
- **欧米の原子力産業界は全国民向けに安全の発信をしていない。**

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

**岡芳明「国民や地元とのコミュニケーション：英国の公衆対話・公衆関与などから学ぶこと」原子力委員会メールマガジン 2018年1月19日号

参考：安全技術と安全の違い

- 安全技術（深層防護の第4層迄）は、国民から見た安全（環境に放射性物質が放出された後の安全性）ではない。
- 大部分の原子力安全屋は安全技術の専門家
- 安全技術を国民に説明すればよいと考え、そうしてきたのでは？
- 土木工学者が、橋梁の安全性を、国民に口頭で発信しているか？
- 英国王立協会は、科学コミュニケーションを推進してきたが、科学者が、コミュニケーションは**自分の知識を教育することだと誤解**しており、対話がないことを懸念している*
- 原子力専門家は自分がその知識を獲得するのに何年かかったか忘れているのでは？

*Science communication, Survey of factors affecting science communication by scientists and engineers, The Royal Society, 2006 UK

リスク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
- 良好事例：放射線健康影響の統一的な基礎資料（環境省）、スペシャルコンテンツ（経産省）など。これらを引用しリンクを張ればよい。
- 「**このような事故を二度と起こしてはいけない**」
「**というような言い方は、原子力発電が極めて危険**」
「**と言っているのと同じ**。他産業ではこのような言い方はしない。原子力発電は普通になってほしい*。」
- 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）

*Malcom Grimston:平成26年第47回原産年次大会発表資料

参考：M. Grimston, "The Paralysis in Energy Decision Making", Whittles Publishing, 2016, Chapter 11 "Public perceptions and the strange case of radiation"

米国はどうしているか？

- 米国の原子力産業界（NEI）は、安全やリスクの話をしていない。NEIは**原子力のブランド化**に注力していた。
- リスクコミュニケーションは規制側の役割*、だが、**NRC**はリスクコミュニケーションをしていない（コミッショナー経験者にも確認した）**。規制や安全の情報は探せば見つけれられるようになっている。そもそも、安全確保は事業者の責任なので、**NRC**が代わりに安全と言うわけがない。
- **NRCは米国民の信頼獲得に注力**している。

*Communicating with the public and other interested parties, IAEA

<https://www.iaea.org/topics/communicating-with-stakeholders-and-the-public>

**参考：Risk Communication NRCで検索しても、“Effective risk communication”という文献しか出てこない。これはNRC職員が公聴会などで参加者に説明するときのマニュアルで、国民向けの安全説明のマニュアルではない 30

原子力安全に対する 国民の信頼を獲得する方法（米国）

- NRCはStrategic Planで仕事と計画を説明している。Information DigestとCitizen's Guideを作成し、国民がNRCの情報を見つけられるようにしている。*
- 会計検査院（GAO）は、Strategic Planを参考に、NRCの仕事の結果を調査し報告書をつくる。それを参考に、連邦議会が予算や政策に修正を加え、NRCを監督している。GAOは事実を明らかにする役割で、結果の良否は述べない。（NRCに限らず米国行政庁のアカウンタビリティ確保の仕組み）
- これらによって、米国民のNRCに対する信頼が確保され、その結果、原子力発電の安全性に対する国民の信頼が得られている。

注1：事実（行政の結果等）は調査権限を持った機関が調査しないと明らかにならない（例：犯罪捜査は警察）。日本は省庁の自己評価が中心で、日本の会計検査院は米国会計検査院のような法的権限を与えられていない**

*：米国原子力規制委員会の概要とQ & A、岡 芳明 早大共同原子力HP

**：両国の会計検査院法を比較すれば理解できる

行政のアカウントビリティ

- アカウントビリティは、行政による政策の文書による説明とその結果に対する責任のこと。**説明責任と訳すのは誤り。**
 1. 行政庁（課長）による（署名付きの）**政策の説明**（米国は Strategic Plan を作らせて、HP で課長がわかりやすく説明する）
 2. 調査権限を持つ、会計検査院・行政監察院による、**行政の結果をまとめた報告書の作成**と公開。
- 欧米はこれが機能している。**日本は省庁の自己評価**（省庁自身と総務省）で、**この機能がない。欧米は評価ではない。**評価には価値観が必要で、価値観は多様な方がロバストなので、**欧米は良し悪しは述べない。**事実を調査し明らかにした文書を作成し、公開している。是正措置は国会の役割。
- 省庁が頂点だが、省庁に限らず、行政法人・大学なども、批判を取り入れる仕組みが無いと劣化する。日本の行政官は、国を支える責任感の強い優秀な方々ですが、公僕です。
- 例えば、コロナ対策の税金がどう使われたか明らかになっていない。法的な調査権限をもつ独立機関がないため。
- これが、**日本の長期低迷の原因では？**国依存（原子力分野の土農工商）はその結果です。国の負債も増えた。我々は将来世代に対する責任を果たせているか？

国民の合意形成？ 説明責任？

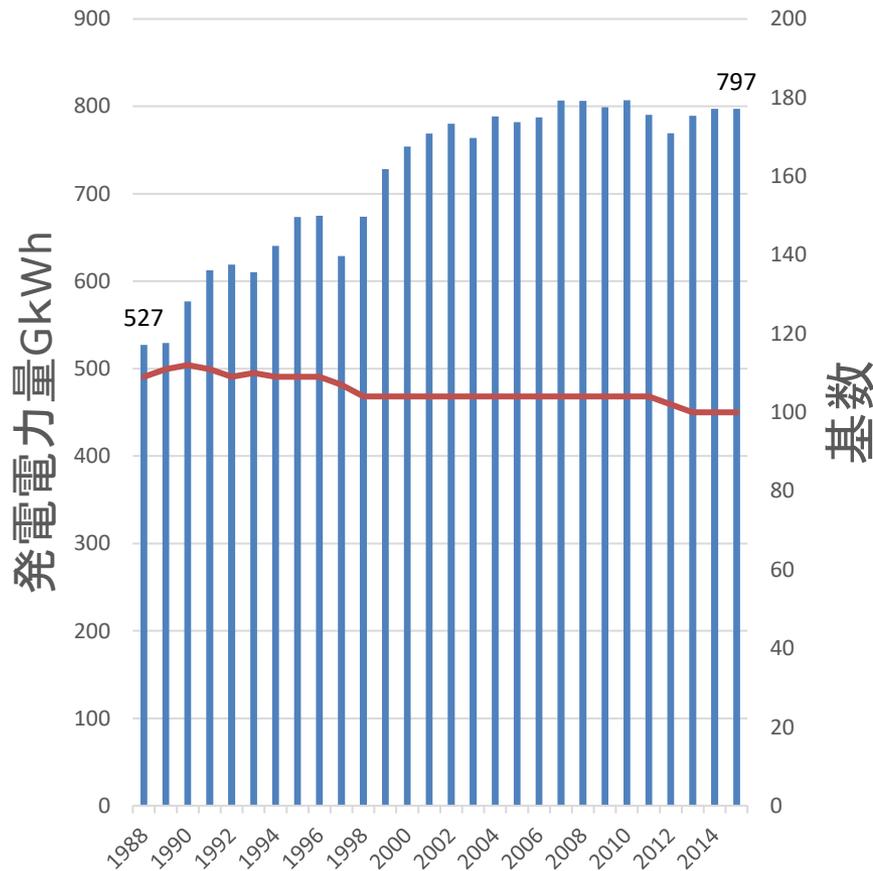
- **個別の問題について、国民全体の合意を図る必要はない。** 議会制民主主義の中で、決めるのが、現代国家のルール。（個人は投票権を行使する。意見を述べていけないというわけではない）。
- 例えば、地層処分について、国民全体の合意がないと進まないと考えるのは誤り。欧州では、地元の合意を得て、苦労しながらだが、進んでいる。フィンランドでは、処分場が決まって、かなり経ってから（2019年に）初めて地層処分について、国民の賛成が反対を上回った。逆をやっていたらダメだったはず。候補地探索のための関心喚起は必要。
- **最終処分という言い方が悪い。** 処分場閉鎖まで100年かかる。現世代だけで決められない。フランスは最終処分になるかもしれない処分。賢いですね！
- **説明責任という言葉もおかしい。** 説明すれば終わりになる。**アカウンタビリティ**は、行政庁による仕事の説明とその**結果に対する責任**のこと。欧米では、事実を明らかにするのは会計検査院・行政監察院の仕事。結果の良しあしを述べるのではなく事実を調査して報告書にする。予算や政策を是正するのは、議会の役割。
- 日本は省庁の自己評価が中心、日本の会計検査院は米国のような行政の結果に対する調査権限を持っていない（両者を比較するとわかる）。日本の行政官は優秀で責任感も強い方々。優秀な人と組織でも、**監査の仕組みを機能させないと劣化**する。企業や研究開発機関、大学も、監査役、外部取締役、外部評価委員会などを機能させる必要がある。
- 考察や行政判断は根拠の**文書をもとに行う必要**がある。口頭ではロバスト（頑健）にならない。明解な文書（報告書や解説など）を作る必要。欧米はそうなっている。

米国原子力発電協会の継続的安全性向上の成果

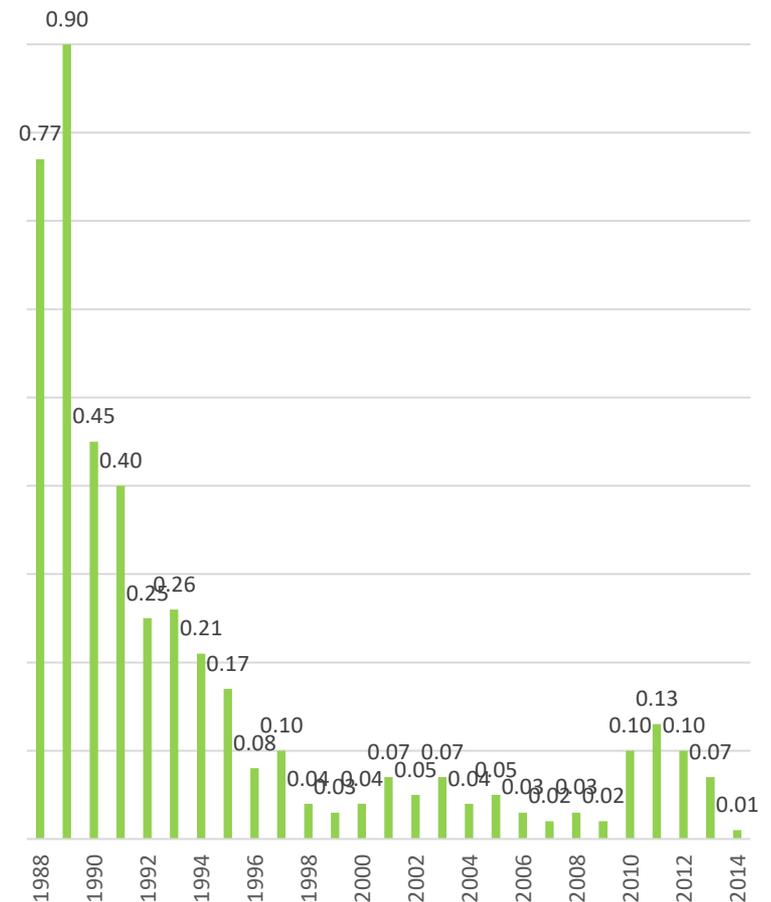
米国スリーマイル島原発事故後の原子力発電量増加と事故率低減

発電量：50%増加

事故率：30分の1に低減



重要事象数/発電所



出典：NEIのデータを基に作成

電力会社の継続的安全性向上活動に期待

- 米国INPOの活動（標語Hostages of each other）
- 安全性向上と経済性向上が両立することを事実で示した
- TMI事故後の米国の規制の改善の根拠になった
- 米国民は安価な原子力発電の恩恵を享受している
- **日本のJANSIの活動に期待**している。活動内容の公開の必要はない。米国のように結果で。
- 実践的な活動が大事
- 安全確保はマネジメントそのもの：東大での研究炉運転管理の経験から。

原子力発電と社会の問題

- 原子力発電と社会の問題とは、たとえば：経済自由化と新規投資、安全性とコミュニケーション、廃棄物と循環型社会、原子力法・核不拡散など
- 省庁や会計検査院、国際機関の報告書（例：安全と放射性廃棄物条約の各国の順守状況報告書）を、**英語で検索するとよい**。日本語で検索しないこと。日本語で流布されている情報は、伝聞で書かれたものが多く、偏っている。欧米と比較しつつ考えるとよい。
- まず、頭の中に、分野のおおよそのマップがあるとよい。
- 事実や歴史から、**帰納的、論理的に考える必要**がある。
- **演繹的思考法**（こうあるべき）は**ダメ**、社会の問題に自然の真理（規範）はないので、演繹的に考えることはできない。主張したいことが先にある場合も多いので注意が必要。
- フレーミング（問題設定）の問題もある
- 科学アカデミーの報告書も、作った委員が偏っていると、偏っていることがある。
- 社会との接点の問題は、原子力工学を学ぶのと同様に、**時間と労力をかけて、勉強する必要**がある。（文系の理系（数学）音痴は無害だが、理系の文系音痴は音痴に気が付かず、有害なことがあるので注意が必要）
- トランスサイエンスの問題と言うだけでは進歩はない。たとえば、ワインバーグが最初に挙げてい低線量被ばくの健康影響問題はリスクベネフィットで考えることが出来る。
- 社会との接点の問題の研究は**実践を意識しつつ**行う必要
- 原子力工学も社会の問題も、**研究はタテ**（分野の枠のなかでの深掘り）は**ダメ、ヨコに！**

参考文献(上記以外)

米国の電力生産コスト

- ・ Energy Information Administrationのホームページ

ステークホルダ対話

- ・ S.J. Robinson,日・英ステークホルダー対話と関与WS発表資料(2014年2月,英国大使館): 「事実を伝えるのは落とし穴」のイラストに注目。
- ・ Research and analysis, Geological disposal and working with communities: public dialogue and literature review, <https://www.gov.uk/government/publications/public-dialogue-on-geological-disposal-and-working-with-communities>: 対話経験等をまとめ・評価した3つの報告書

リスクコミュニケーション、リスク心理学

- ・ Effective Risk Communication (NUREG/BR-0308)、US NRC, January 2004: リスクの比較を安易に行うと信頼を損ねるとの注意書き(25頁)に注目
- ・ 岡本浩一「リスク心理学入門」サイエンス社 1992: 冒頭のイラスト「気が付いたから気にしている」に注目。
- ・ 岡 芳明: リスクコミュニケーション・原子力防災等に関するコメント、日本原子力学会春の年会 リスク部会企画セッション 2023年3月14日

アカウンタビリティ

- ・ 米国GAO (Government Accountability Office) と英国NAO(National Audit Office)のHPとその報告書、特に原子力関係のもの。エネルギー省の核開発施設の廃止措置の報告書など
- ・ フランス会計検査院(Cour des comptes)の”The Cost of the Nuclear Power Sector“ (442頁、2012年、各省庁のコメントも載っている。現在のHPは簡略版に差し替えられている)
- ・ 金本 良嗣 「会計検査院によるプログラム評価-アメリカGAOから何を学ぶか-」会計検査研究 第2号 1990年7月

原子力委員会HPのメールマガジンのバックナンバーに在任時(2020年12月まで)に書いたものとその参考資料も参照ください。

ご清聴ありがとうございました

付録
ご参考（重複あり）

東電福島事故の災害関連死の分析と 防災・リスクコミュニケーション 原子力安全の信頼獲得に関する考察

岡 芳明

東京大学名誉教授

前・内閣府原子力委員会委員長

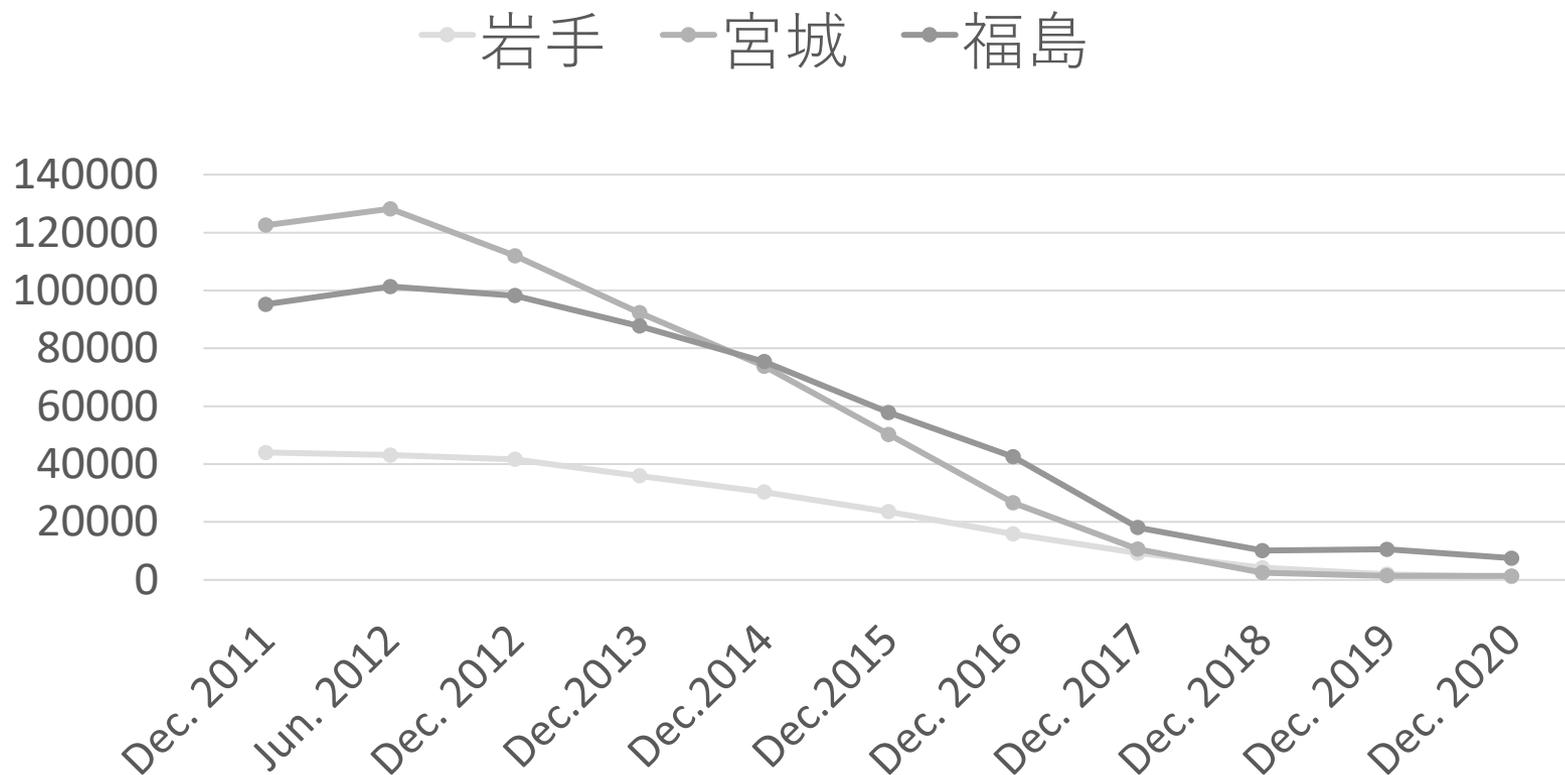
目次

- 東電福島事故の災害関連死のリスク便益分析
- リスクコミュニケーション、原子力安全に関する国民の信頼獲得
- リスクベネフィットの考え方

東電福島事故の災害関連死の リスク・便益分析

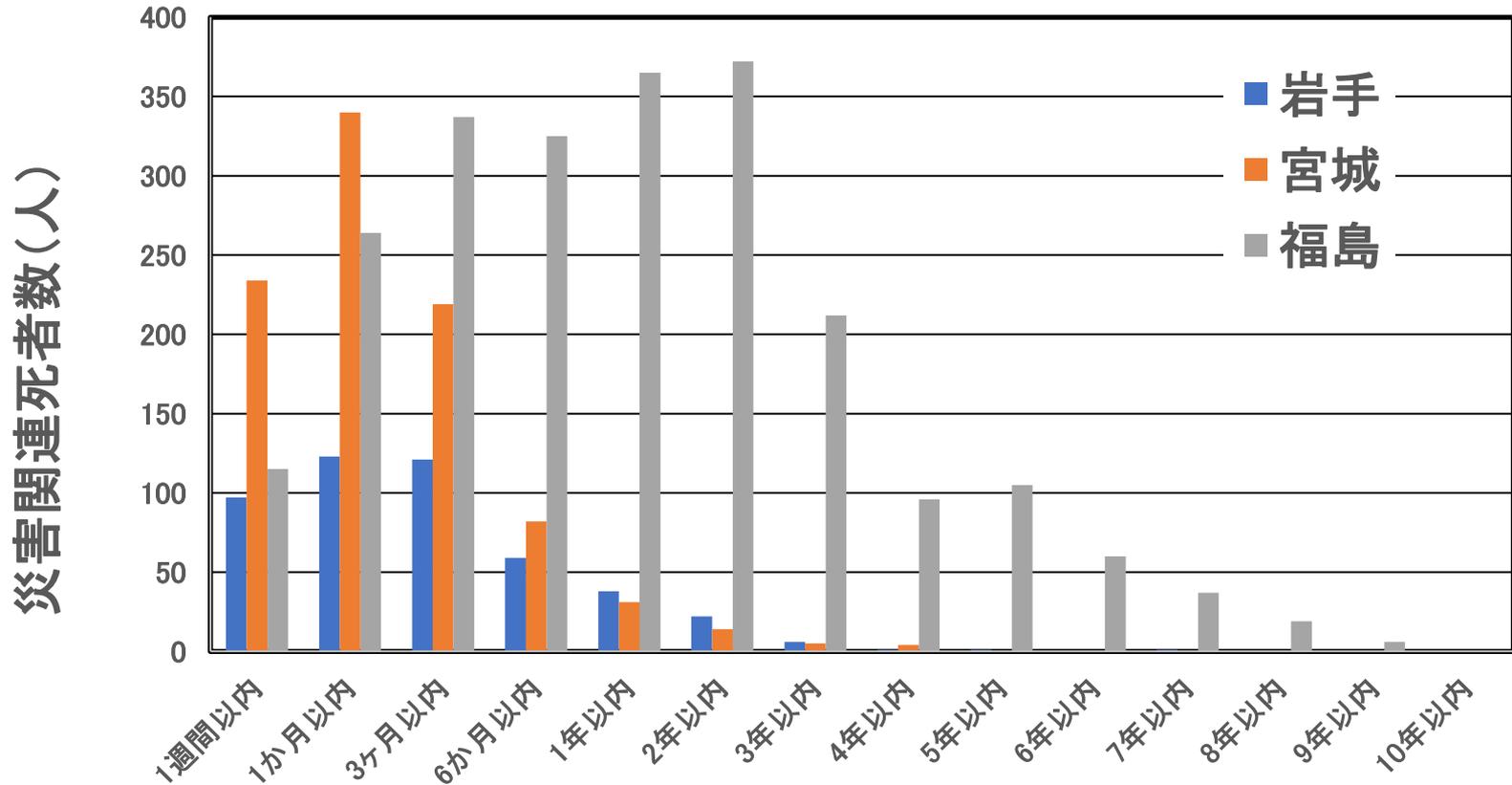
出典：Yoshiaki Oka, “Risks and benefits of evacuation in TEPCO’s Fukushima Daiichi nuclear power station accident”, *Progress in Nuclear Energy* 148 (2022) 104222, Elsevier, April 27, 2022 (open access)

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



東日本大震災からの経過期間

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
楢葉町	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、生命保険の死亡賠償額）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
- 集積線量の余命短縮換算係数:0.09日/mSv¹
- 205ミリシーベルトの被ばくによる10万人の余命短縮：185万人・日（この値を避難に伴うリスクと比較する）

注1：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

注2：高齢者の余命短縮係数は見つからないが、高齢者の被ばくリスクが年齢平均値の5分の1とすると、10万人の余命短縮は37万人・日となる。

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

- 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185万人日の約2.8倍
- 福島県北部（南相馬市など）の一部（川沿い等）で、帰還困難な津波被害が大きかったと考えられるので、平均値を用いるのは、原発事故による避難のリスクを過小評価している可能性がある。ちなみに1年目からのデータで計算すると3.6倍。
- 余命短縮係数は年齢平均値用いている。高齢者は5分の1とすると14倍から18倍。
- **結論：長期化した避難は正当化されない。**

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。

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

高年齢者は被ばくリスクが小さい。

線量率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、ICRP 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、高年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、高年齢になると低下）。

注2：高年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。

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

- 若年層では大きな違いがある

176

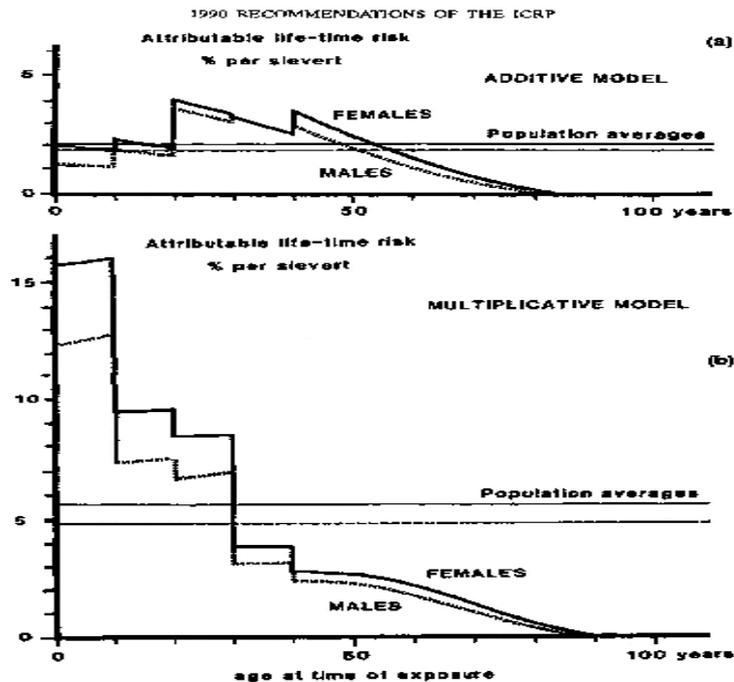


Fig. C-5. The attributable lifetime risk from a single small dose at various ages at the time of exposure, assuming a DDREF of 2. The discontinuities are the result of the use of constant annual values for the primary risk coefficients within 10-year age intervals (cf. Table C-1). The higher risk for 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/dH), for exposure of children, is one order of

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当たりの白血病死亡生涯リスク (%)	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.

がんの種類によって過剰相対リスクは異なる

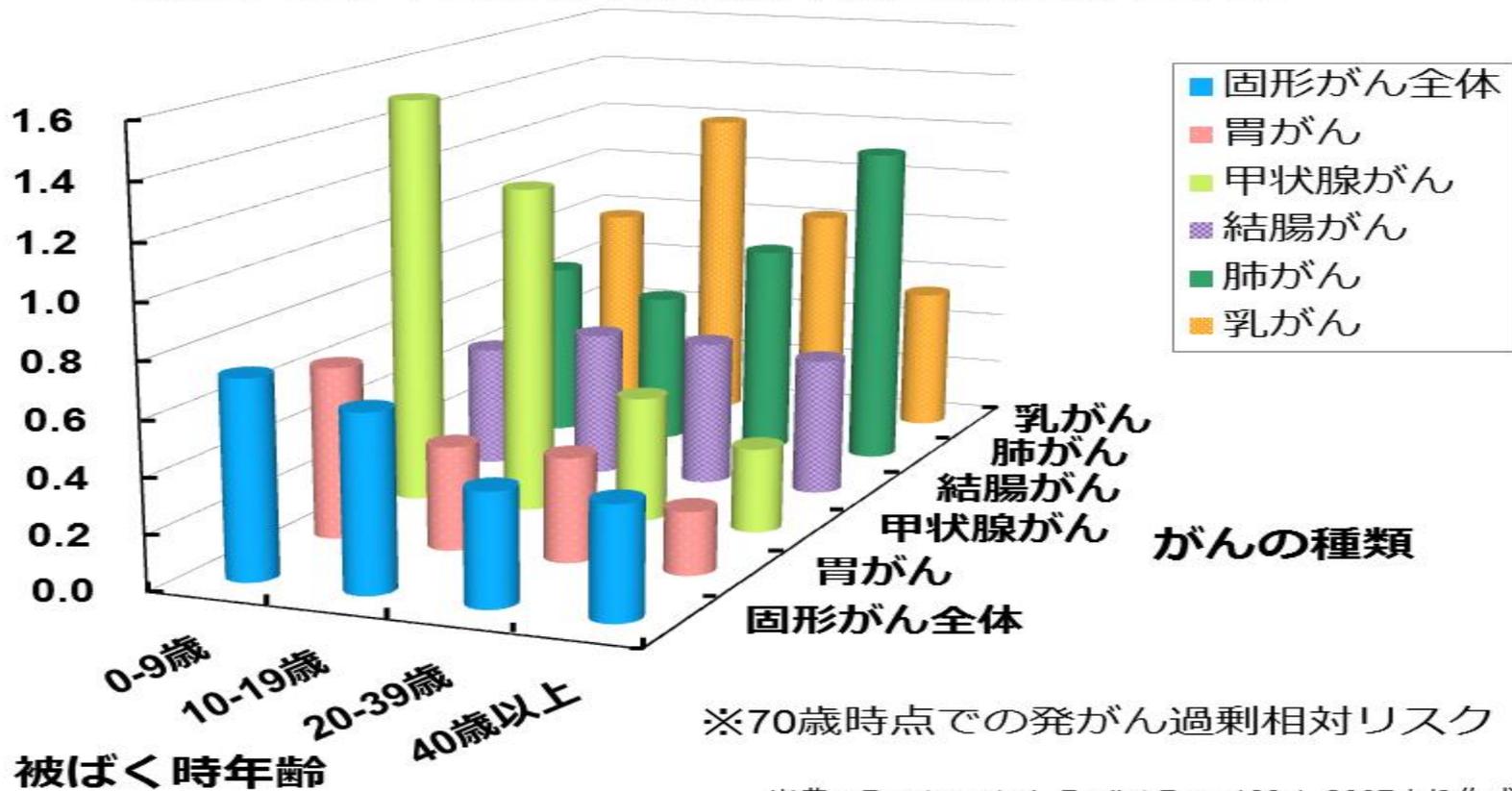
急性外部被ばくの発がん

被ばく時年齢とがんの種類



被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク

過剰相対リスク※
(1グレイ当たり)



※70歳時点での発がん過剰相対リスク

出典：Preston et al., Radiat Res, 168,1, 2007より作成

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？
- 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、線量率制限値と比較した論文はある）。
- 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、おかしい。逆効果もある（後述）

LNTモデルをめぐる論争

防護の原則

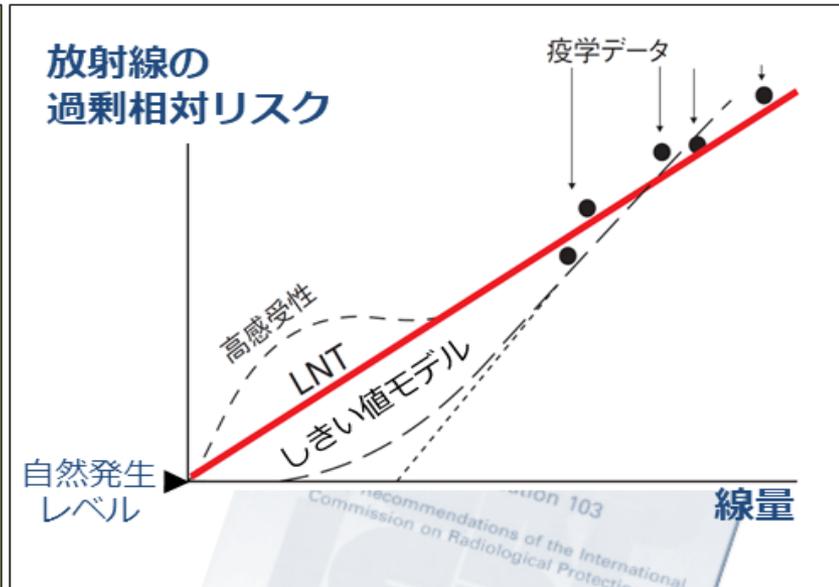
LNTモデルをめぐる論争

◎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

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（平成30年度版）、4.1防護の原則

LNTモデルとALARA：改善策

- LNTモデルは、サイエンスの話。疫学なので、論争に決着をつけるのは困難では？
- 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：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。避難解除の線量率が20mSv/y以下なので、高齢者はその5倍、その他の年齢は20mSv/yとする案もある。

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、プラントメーカー（稲作）に連業、土木建築業、商店、食堂、宿泊施設などを営む方もいる。
- 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。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

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。役人の作文？
- 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。東電福島事故では防災センターが機能しなかった。
- 手続きの記述になっているのは、行政官と原子力専門家の連携が悪いためと考えられる。
- 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ことも原因（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¹。防災はPAGに考え方が書いてある。

日本の防災指針は、このほかにも要改善点あり

- 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、測定後ではなく、大規模放出が予想された時に発出すべき（チェルノブイリ事故の教訓を生かしていない）
- 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。

1. Perspectives on Reactor Safety (NUREG/CR-6042, SAND93-0971, Revision 2)

防災関連の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被害の
東電福島事故の災害関連死者とその要介護度と被害の
東電福島事故の災害関連死者とその要介護度と被害の
- データは日本にしかない。地方自治体にある。
- 広島・長崎の被爆者のデータは、放射線健康影響連
死者のデータは、放射線健康影響連
死者のデータは、放射線健康影響連
- **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）
- 福島国際研究教育機構（F-REI）の活動に期待
- なお、東電事故の災害関連死者の2012年度以降の
おと、東電事故の災害関連死者の2012年度以降の
おと、東電事故の災害関連死者の2012年度以降の

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
- 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。
- 高齢者の生涯ガン死亡確率が年齢平均値の5分の1であることを考慮した放射線防護指針がない。
- 放射線被ばくりスクの枠組みでは他の健康リスクを考慮できない。
- 費用対効果解析を行うと、避難で避ける放射線被ばくりスクより、避難に伴う災害関連死のリスクが2.8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。
- 他の健康被害を防ぐため、大事故の時にALARAの原則を線量が低い地域にいる公衆に適用しないほうがよい。

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。

リスクコミュニケーション

原子力安全に関する国民の信頼獲得

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)

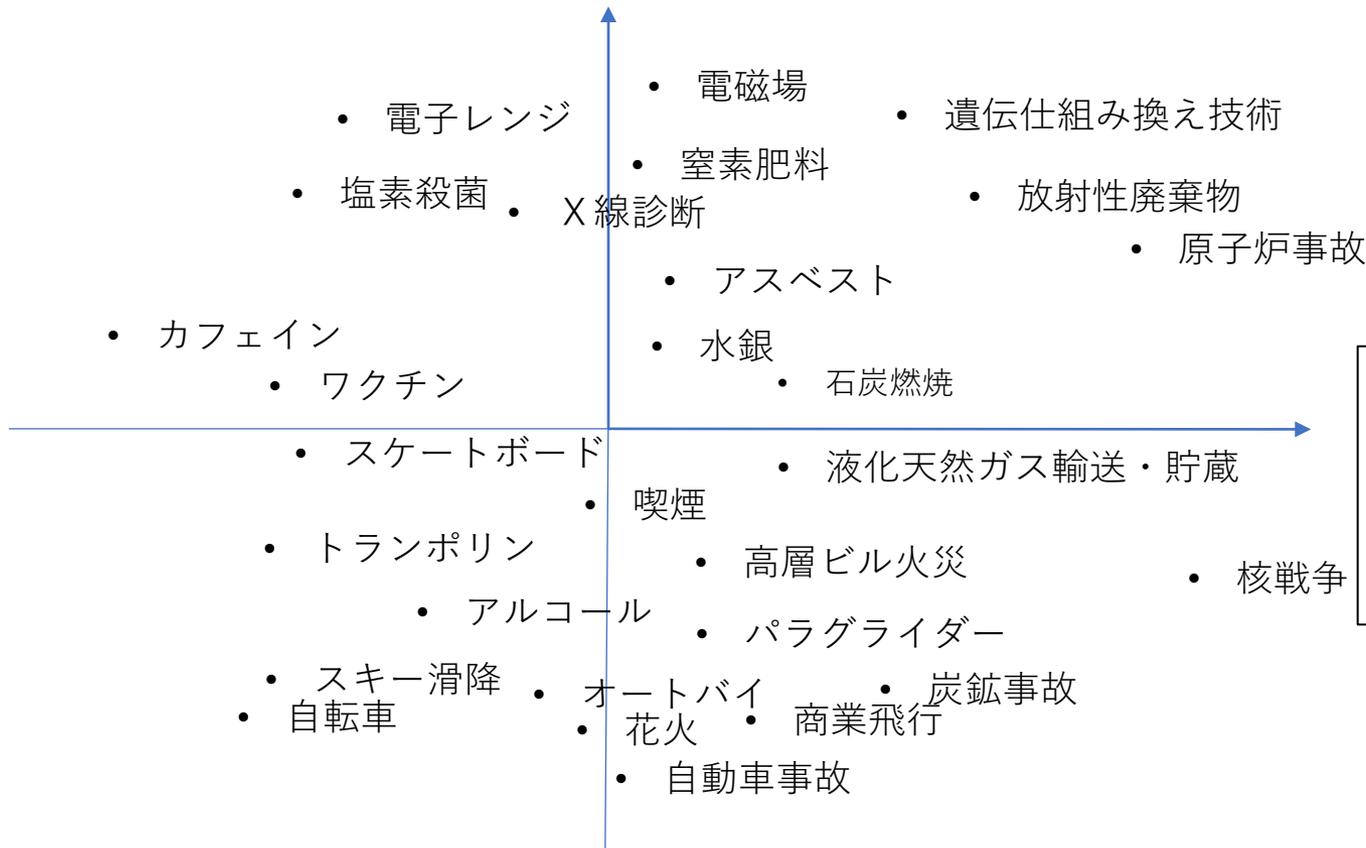
- チェルノブイリ事故：8名（小児甲状腺）
- 東電福島事故：ゼロ

- 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）

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）

未知性因子

観測不可能、知らない、新しい、発症が遅延など



恐ろしさ因子

制御不可能、怖い
破滅的、致命的
利害が不公平など

リスクコミュニケーション

- **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
解してもらおうため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）。EDFは安全のTVコマーシャルを2005年頃にやめている。
- リスクコミは対話でないと失敗する*。対話にはスキルが必要**。
参加者数も限られる。

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。

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

**岡芳明「国民や地元とのコミュニケーション：英国の公衆対話・公衆関与などから学ぶこと」原子力委員会メールマガジン 2018年1月19日号

リスク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
- 良好事例：放射線健康影響の統一的な基礎資料（環境省）、スペシャルコンテンツ（経産省）など。まずこれらを引用しリンクを張ればよい。
- 「このような事故を二度と起こしてはいけない」というような言い方は、極めて危険と言っているのと同じ。他産業ではこのような言い方はしない。原子力発電は普通になってほしい*。
- 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）

*Malcom Grimston:平成26年第47回原産年次大会発表資料

参考：M. Grimston, "The Paralysis in Energy Decision Making", Whittles Publishing, 2016, Chapter 11 "Public perceptions and the strange case of radiation"

米国はどうしているか？

- 米国の原子力産業界（NEI）は、安全やリスクの話をしていない。NEIは原子力のブランド化に注力していた。
- リスクコミュニケーションは規制側の役割*、だが、NRCはリスクコミュニケーションをしていない（コミッショナー経験者にも確認した）**。規制や安全の情報は探せば見つけられるようになっている。そもそも、安全確保は事業者の責任なので、NRCが代わりに安全と言うわけがない。
- **NRCは米国民の信頼獲得に注力**している。

*Communicating with the public and other interested parties, IAEA

<https://www.iaea.org/topics/communicating-with-stakeholders-and-the-public>

**参考：Risk Communication NRCで検索しても、“Effective risk communication”という文献しか出てこない。これはNRC職員が公聴会などで参加者に説明するときのマニュアルで、国民向けの安全説明のマニュアルではない 73

原子力安全に対する 国民の信頼を獲得する方法（米国）

- NRCはStrategic Planで仕事と計画を説明している。Information DigestとCitizen's Guideを作成し、国民がNRCの情報を見つけられるようにしている。*
- 会計検査院（GAO）は、Strategic Planを参考に、NRCの仕事の結果を調査し報告書をつくる。それを参考に、連邦議会が予算や政策に修正を加え、NRCを監督している。GAOは事実を明らかにする役割で、結果の良否は述べない。（NRCに限らず米国行政庁のアカウンタビリティ確保の仕組み）
- これらによって、米国民のNRCに対する信頼が確保され、その結果、原子力発電の安全性に対する国民の信頼が得られている。

注1：事実（行政の結果等）は調査権限を持った機関が調査しないと明らかにならない（例：犯罪捜査は警察）。日本は省庁の自己評価が中心で、日本の会計検査院は米国会計検査院のような法的権限を与えられていない**

注2：アカウンタビリティを説明責任と訳すのは誤り、行政による政策の説明と、結果に対する責任のこと。

*：米国原子力規制委員会の概要とQ & A、岡 芳明 早大共同原子力HP

**：両国の会計検査院法を比較すれば理解できる

電力会社の継続的安全性向上活動に期待

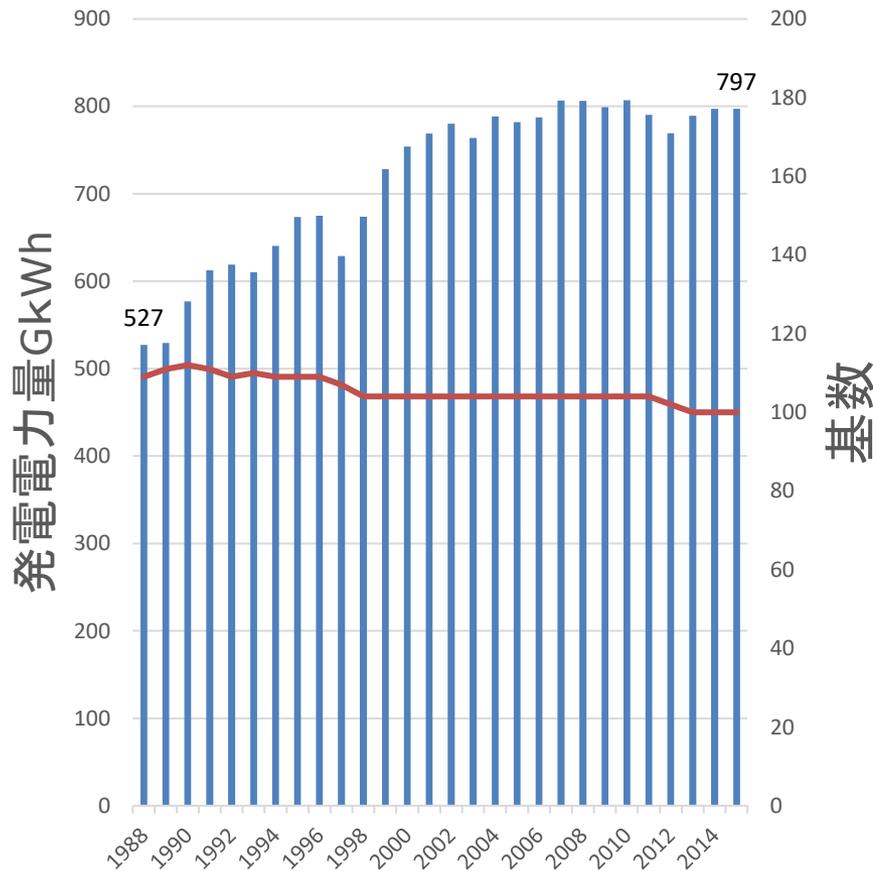
- 米国INPOの活動（標語Hostages of each other）
- 安全性向上と経済性向上が両立することを事実で示した
- TMI事故後の米国の規制の改善の根拠になった
- 米国民は安価な原子力発電の恩恵を享受している
- 日本のJANSIの活動に期待している。
- 実践的な活動が大事
- 安全確保はマネジメントそのもの：東大での研究炉運転管理の経験から。

米国原子力発電協会の継続的安全性向上の成果

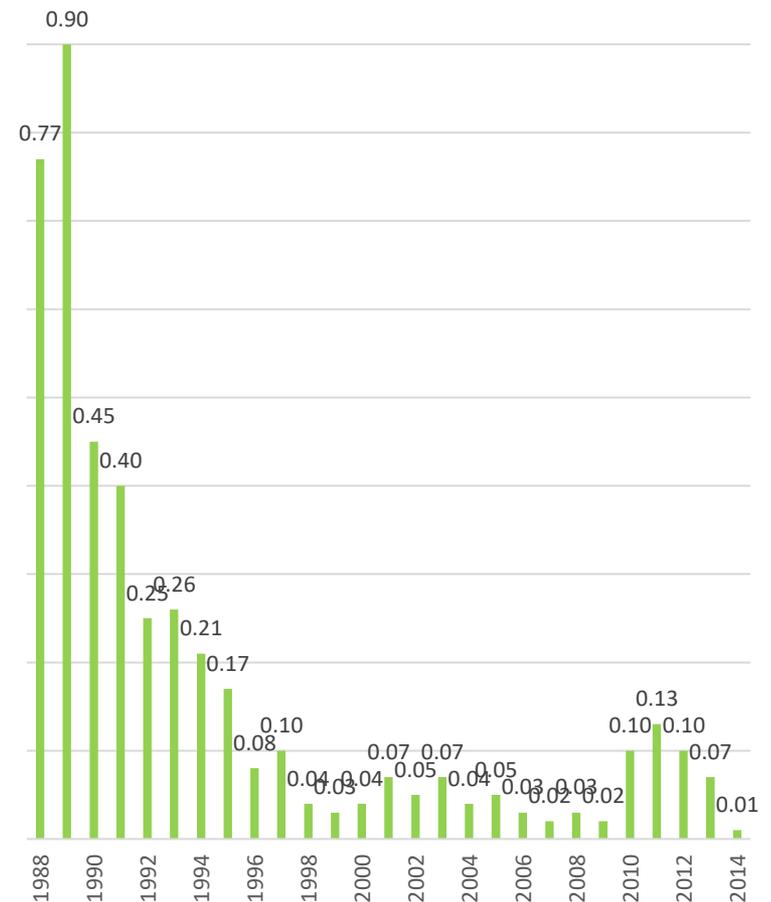
米国スリーマイル島原発事故後の原子力発電量増加と事故率低減

発電量：50%増加

事故率：30分の1に低減



重要事象数/発電所



リスク・ベネフィット

リスク・ベネフィットの考え方

- 技術はリスク（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。
- **「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。
- 確率論的リスク評価法は、リスク・ベネフィット評価のための手法。
- **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と、米国のような定量的指標が必要である。**
- 米国は、TMI事故調査大統領委員会の、「NRCは安全の哲学と、**安全とコストのバランスの政策を示すべき**」との勧告で、安全目標とコストベネフィット指標を作った**
- 安全目標は、値を国民理解に用いるのではなく、専門家が確率論的リスク評価法を使う時（専門家同士の対話）に必要。ただし、用いるデータと結果の透明性が必要。

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

** Safety Goals for the Operation of Nuclear Power Plants ; Policy Statement, NRC 1986

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、国民が良かっただけで済んだ。大津波のリスクを評価し、ペリオドは長
- 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2.8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。電気料金が上昇し、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かった

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）以外は無効率である¹
- 米の全量全袋検査が行われた。1年の損失余命回避に3.1兆円の費用がかけられた²
- 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のではないか。

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

付言：リスクコミュニケーション

- 原子力技術者、理系の専門家が、リスクコミュニケーションについて理解するのは容易ではない
- 1980年代から参加した、米国原子力学会の国際活動委員会では、コミュニケーションは重要テーマだった。NEIのコミュニケーション活動も勉強した。メディア対応訓練を受けたこともあるが、理解は進まなかった。
- 米国は、産業界も原子力規制委員会もリスクコミュニケーション（国民相手の安全情報の発信）を行っていない。やっけないことは文書化されないの、確認に時間がかかった。原子力委員長拜命後に、文献検索し、海外出張や面談の機会を利用して、情報収集した。ICRPやWHOがリスクコミュニケーションに努力せよと述べていることは、退任後、避難のリスクの論文を書いているときに知った。
- 実践的ステークホルダ対話活動について、きちんと書かれた文献がほとんどない。英国のステークホルダ対話や科学コミュニケーション活動の報告書が参考になる。
- 自分は、リスクコミュニケーションについて、自信をもって話せるようになるのに30年間かかった。
- ある原子力専門家は「客観的リスクと主観的リスクがあることを、参考文献を読んで理解したが、体になじむように理解するのに1年以上かかった」とのこと。
- 対話活動で、リスクコミュニケーションはやっていない（日本のあるステークホルダ対話実践者の言）
- 日本は原子力技術者や対話の実践者でない方が、リスクコミュニケーションを推進したらよいと、考えているのでは？米国は実践的専門家（文系）がコミュニケーションを担当している。彼らは大学の実践的研究グループとも連絡がある。
- 原子力分野のステークホルダ対話のスキルを持った方は英国でもごく少数。科学コミュニケーションのマネジメントについても英国は文系の仕事。原子力技術者はマネジメントしていない。日本は原子力技術の専門家が方針を決めている。
- 東電事故後、英国大使館で、英国のステークホルダ対話や、ファシリテーションを紹介するWSが開かれたが、日本の原子力産業界はそれらを生かしているか？

原子力発電と社会の問題

- 原子力発電と社会の問題とは、たとえば：経済自由化と新規投資、安全性とコミュニケーション、廃棄物と循環型社会、原子力法・核不拡散など
- 省庁や会計検査院、国際機関の報告書（例：安全と放射性廃棄物条約の各国の順守状況報告書）を、英語で検索するとい。日本語で検索しな偏っている。日本語で流布されていく情報は、伝聞で書かれたものが多く、欧米と比較しつつ考えるとよい。
- まず、頭の中に、分野のおおよそのマップがあるとよい。
- 事実や歴史から、**帰納的、論理的に考える必要**がある。
- **演繹的思考法**（こうあるべき）は**ダメ**、社会の問題に自然の真理（規範）はないので、演繹的に考えることはできない。主張したいことが先にある場合も多いので注意が必要。
- フレーミング（問題設定）の問題もある
- 科学アカデミーの報告書も、作った委員が偏っていると、偏っていることがある。
- 社会との接点の問題は、原子力工学を学ぶのと同様に、時間と労力をかけて、勉強する必要がある。（文系の理系（数学）音痴は無害だが、理系の文系音痴は音痴に気が付かず、有害なことがあるので注意が必要）
- トランスサイエンスの問題と言うだけでは進歩はない。たとえば、ワインバーグが最初に挙げていた低線量被ばくの健康影響問題はリスクベネフィットで考えることができる。
- 社会との接点の問題の研究は**実践を意識しつつ**行う必要
- 原子力工学も社会の問題も、**研究はタテ**（分野の枠のなかでの深掘り）**はダメ、ヨコに！**

どうすればよいか（具体例）

- 「原子力発電所事故時に、低線量率の地域にいる公衆にALARAを適用しない」ことを国際的な基準にする活動をNEI, NRC, EPRI, OECD/NEA, IAEA等と行う。米国のアドバイザーの協力を得るどうか？
- 米国の原子力発電分野のリスク・ベネフィットと指標を設定の経緯を調査し解説を作る。日本の規制基準化する
- リスクコミュニケーション、ステークホルダ対話に関する紹介。欧米の実務的知見を調査し、日本の原子力界に紹介する。英国等の地層処分の対話の例を調査する。
- 米国NEI, Bisconti Researchのコミュニケーション活動を調査する。彼らとDCの大学のメディア学科との協力も調査する。
- 日本の原子力防災指針を米国PAGと比較し紹介する。JAEAの防災OBらと協力し、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

参考文献（上記以外）

ステークホルダ対話

- S.J. Robinson, 日・英ステークホルダー対話と関与 WS 発表資料（2014年2月,英国大使館）：「事実を伝えるのは落とし穴」のイラストに注目。
- Research and analysis, Geological disposal and working with communities: public dialogue and literature review, <https://www.gov.uk/government/publications/public-dialogue-on-geological-disposal-and-working-with-communities>：対話経験等をまとめ・評価した3つの報告書

リスクコミュニケーション、リスク心理学

- Effective Risk Communication (NUREG/BR-0308)、US NRC, January 2004：リスクの比較を安易に行うと信頼を損ねるとの注意書き（25頁）に注目
- 岡本浩一「リスク心理学入門」サイエンス社 1992：冒頭のイラスト「気が付いたから気にしている」に注目。
- 岡 芳明：リスクコミュニケーション・原子力防災等に関するコメント、日本原子力学会春の年会 リスク部会企画セッション 2023年3月14日

防災、緊急時対応

- PAG Manual: Protective Action Guides and Planning Guidance for Radiological Incidents, EPA-400/R-17/001, January 2017, Environmental Protection Agency：手順ではなく、考え方が記載されている。JAEA-Review 2013-015は解説で、政府機関の文書でない。
- Robin W. Grimes, Yuki Chamberlain, and Atsushi Oku, “The UK Response to Fukushima and Anglo-Japanese Relations” Science and Diplomacy, June 2014：東電事故時の英国の見事な危機管理に注目。

リスク・ベネフィット、コスト・ベネフィット

- Reassessment of NRC’s Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy, Final Report NUREG- 1530 Rev.1 , Feb. 2022

アカウントビリティ

- 米国GAO（Government Accountability Office）と英国NAO(National Audit Office)のHP
- 金本 良嗣 「会計検査院によるプログラム評価-アメリカGAOから何を学ぶか-」 会計検査研究 第2号 1990年7月

ご清聴ありがとうございました

さらにご参考
(重複あり)

東電福島事故からの避難の リスク・ベネフィット分析の論文の要点

- 避難したリスクが、避難で避けた被ばくリスクより、2.8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。**
- 線量率は被ばくによる生涯のガン死亡率を表していない。高齢者の被ばくリスクは、寿命が短いため、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・ベネフィットを考慮する必要がある。（米国のPAGは避難中の交通事故は考慮している。災害関連死はデータがないので考慮できていない）
- 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）

東電福島原発事故の教訓

(過酷事故対策)

- 日本の原子力関係者が炉心溶融事故は生じない
と思い込んでいたこと。建物の水素爆発による
破壊など、過酷事故挙動の理解がなかったこと。
- 過酷事故について話すことは、原子力安全に対
する国民や地元の理解活動を妨げると、原子力
産業界が考え、その認識が原子力関係者に拡
がっていたこと（原子力村、集団主義の害）
- 米国では2001年の9・11テロの後、原発のテロ
対策を強化し、全電源喪失事故対策を行ったが、
日本は行わなかったこと
- 日本でも、1995年の阪神淡路大震災や、2004
年のインド洋大津波の経験から、津波対策や防
災対策の研究と手法の改良が行われていたが、
成果が生かされなかったこと

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
- 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・長期化すること。
- セシウム137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（誰も反論しないのはどうしてか？、NRRCの役割では？業界誌や原産ニュースという手段もあるのに）

コミュニケーション

原子力技術者向けのまとめ

- リスク認知と受容は心理的要因によって決まる。公衆が不合理とは言えない。
- コミュニケーションの目的は信頼構築。リスクや安全の話で、心理的な信頼を構築するのは難しい。
- コミュニケーションは”教育”ではない
- リスクコミュニケーションは双方向の対話が必須。そのためには対話のスキルが必要。
- 反復により不安が強化されていくというリスク認知の特徴に留意。「気が付いたから、気にしている」状態になる。
- 原子力技術者は公衆に向けて安全の話のことさらしないほうが良い。しても不安に対処できないので。いろいろな説明を作って公開するのがよい。
- 「このような事故を2度と越してはいけない」との言い方は原子力特有で、危険のイメージを振りまいている
- リスクコミュニケーションは規制側の役割である。しかし、米国は原子力規制委員会も原子力産業界も、国民全体に向けて、リスクや安全の話をしていない。根拠情報・政策情報が作成され開示されている。
- 安全基準以下の話は、原子力推進側も国民も議論しないのが良い。欧米はしていない。
- 原子力産業界が安全やリスクの話をする相手は原子力規制委員会。
- 英国のコミュニケーション・対話が参考になる