

# 社会からの問いかけと原子力専門家の応答責任: 原子力のリスクの特殊性をめぐって

日本原子力学会 2022年秋の大会

倫理委員会セッション [2B\_PL02]

2022年9月8日 (木)

東京電機大学 寿楽浩太



# 原子力のリスクの特殊性とどう向き合うか

- 福島事故後の今日においても、原子力専門家からの発信には 原子力のリスクの特殊性 を正面から受け止めず、むしろ 他のリスクと同列視 して社会に支持を訴えるものが散見される
- 本会とてその例外ではない  
例：2014年福井地裁判決に対する「見解」
- 規制当局も、安全目標などにおいて特殊性を見据えた部分もあるが、社会とそれについて 正面から対話する態度はとってきていない



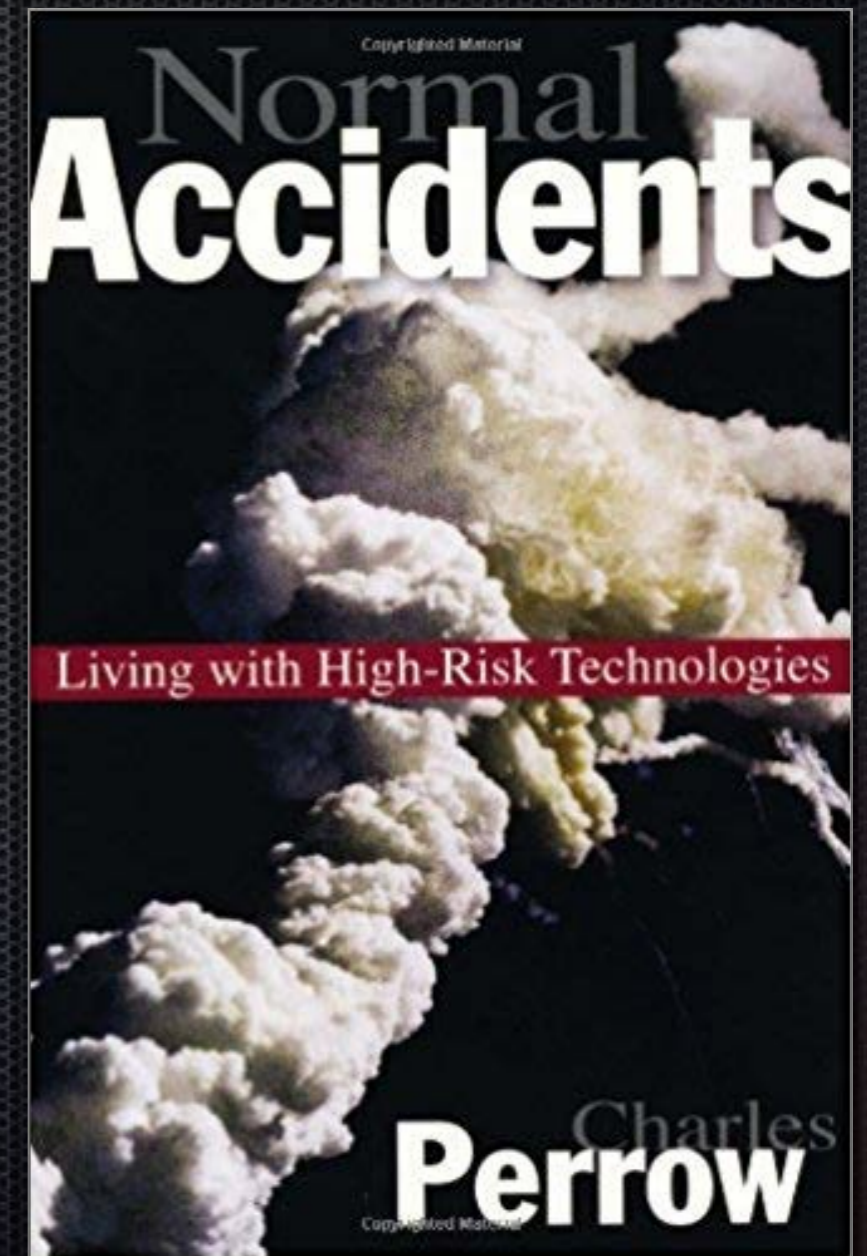
# 原子力のリスクの特殊性とどう向き合うか

- 社会科学ではすでに福島事故のはるか以前から、特殊性を直視することを求める知見が蓄積されてきた
- 「原子力への信頼を、倫理的な行動から考える」のであれば、原子力のリスクの特殊性について正面から社会と議論し、その結論に従うという態度を明確にすることを皆さんに呼びかけたい



# 組織社会学からの接近：「定常事故」

- Perrow, C., *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*, Princeton Univ. Press., 1984=1999.
- 「定常事故」 (normal accident) 論の提唱
- 高度に最適化された複雑システムにおいては、偶発的な不具合の連鎖によって低確率だが帰結が重大な事象が発生することは不可避と考える  
(起こるのが普通→「定常」事故)





# システムにおける要素の強い結びつき

- システムの要素間の「複雑な相互作用」が、生じる帰結の多様性を極大にしてしまう
- さらに、「タイト・カップリング」と呼ばれる要素間の結びつきの強さが、異常が生じた際の実際の対処の余地を小さくしてしまう
- 原因究明は可能だが、次に起きる事象はほぼ間違いなく別シナリオになると言っても良い。「対策」が意味を持ちえない
- 原子力産業、化学産業、航空産業、海運業、宇宙産業...



# 「固い」結びつきと「弱い」結びつきの比較

固い結びつき	弱い結びつき
作業過程における遅延は不可能	作業過程における遅延が可能
手順の順序は変えられない	手順の順序は変えられる
目標を達成する方法は一つだけ	代替的な方法がある
資材、装置、従事者における「たるみ」は少しだけしか許されない	資材、装置、従事者における「たるみ」は許容可能
異常の緩和策や予備手段はあらかじめ周到に組み込まれている	緩和策や予備手段はケースバイケースで用意できる
資材、装置、従事者の代替は限られているか、あらかじめ用意しておくしかない	資材、装置、従事者の代替もケースバイケースで対応できる



# 定常事故：事故発生の不可避性

- 複雑なシステムにおいて要素間の強い結びつきがあるとき、**複数の故障が（不幸な）相互作用を起こした結果**として事故が起きる
  - “DEPOSE”: Design, Equipment, Procedures, Operators. Supplies and materials, and Environment
- この種の事故が起きることは稀ではあるが、しかしそれは“Normal”である。Normalが意味するのは、頻繁に起きると言うことではなく、**システムに内在する特性として起きざるを得ない**という意味



# TMI原発事故：Perrowの研究の動機、そして対象

- 1979年3月28日 米スリーマイル島原発事故の発生
  - 商用原発における初の「炉心溶融」事故
  - 「起きない」とされていた過酷事故の衝撃
- 大統領委員会（ケメニー委員会）による調査の実施（1979.4～10）
  - 「エンジニアリング中心の事故調査に社会科学のインプットが必要」（Marrett、Sillsら）→レポートの依頼



Charles B. Perrow  
(1925-2019, USA)



# 「定常事故」の核心

- (通常の) 運転上は直接的に結びついていないはずの複数の故障が相互作用をする
- もう一つ重要な点は、incomprehensibility (把握不可能性)
  - 定常事故の場合、事故が発生しているその時点では、複数の故障とその間の相互作用を把握・理解することはできないことが多い
  - この点は事故原因を「運転員のミス」に求めることがいかに間違いであるかに大きく関わる



# TMI事故の場合の「運転員のミス」

- 運転員は、加圧器の保護を優先して、HPI（高圧注水系：緊急時の炉心冷却のために極めて重要）を絞ってしまった
- このことは結果的に空だきの継続につながり、炉心損傷を悪化させた。運転員は状況をより正確に判断し、HPIによる強力な注水を続けるべきとされた



# TMI事故の場合の「運転員のミス」

- しかし、HPIを強力に連続稼働させると、注水される冷たい水の温度や圧力が炉心を痛めるという意見もある
  - cf. 福島原発事故の際の1号機IC（非常用復水器）操作について同様の論争あり



# TMI事故の場合の「運転員のミス」

- また、一挙に注水しすぎると、加圧器が満水となり、そのことは加圧器の損傷を招き、それこそ冷却水喪失（空だき）事故の原因となるという懸念もある
  - 運転員は加圧器を満水にさせるなど、メーカーと事業者の双方から口酸っぱく教育されていた
  - TMI原発のマニュアルを見ても、加圧器を満水にしてもHPIを動かしてよい場合があると示唆している箇所は無かった



# TMI事故の場合の「運転員のミス」

- 運転員は（不適切な設計の計装のせいもあり）PORV（加圧器逃し弁）が開いたままになっていて、そこから冷却水がどんどん失われていることにすぐに気づきようがなかった
  - それがわかっているのにHPIを弱めたとか、PORVを閉めなかったというわけではない



# TMI事故の場合の「運転員のミス」

- ✦ TMIの原子炉では、炉心の水位を直接確認する計装がなかった
  - ✦ それを間接的に知るためには、強いて言えばドレンタンク圧力計を見ればよいが、それは中央制御室の表示板の裏側にあった



# TMI事故の場合の「運転員のミス」

- 「原子炉圧力低下」の警報は出ていたが、一方で「加圧器圧力上昇」の警報も出ていた
  - 両者は通常、一緒に上昇・低下するはず。運転員は「原子炉圧力低下」を異端視し、「加圧器圧力上昇」を中核にして状況の解釈を組み立てていった（「メンタルモデル」の問題）
- 33時間後に発生した水素爆発についても、運転員は状況を的確に把握できていなかったため、爆発音らしきものも聞いていたのに「計器異常」と解釈してしまった



# 未知のシーケンスをたどる事故

- なぜこういう問題が続発するかというと、それは事故のシーケンス（進展）が設計時に予見されていたものと全く違ったから
  - 私たちはまだ原発について「知らない」ことが多い  
cf. 福島原発事故の際の4号機爆発の経過の理解  
→Downerのepistemic accident（認識に関わる事故）論
- メンタルモデルに合致しない限り、（後から思えば緊急性のある）具体的な兆候も警告にはならない



# 原子力技術の不完全性

- こうした問題を克服するには...
  - もっともっと運転し、経験を積む（TMI事故時に100万kW級原発の運転経験は世界でも35炉年）？
    - ただし、そのためにはカタストロフのリスクをとり続ける必要がある
  - あるいは、もっとずっとtightly-coupledではない原発を発明する？



# Perrowの結論

- 高リスクシステムの中には、放棄することでしか対処できないものがある
- 3つの分類
  - 放棄すべきもの：核兵器、原子力発電
  - 大いに改善が必要だが利益の大きさ等を考慮して使うもの：DNA工学
  - 内省的な改善がなされているもの（容認できるもの）：化学産業、航空産業



# Perrowの結論

- ✦ 想定される反論
  - ✦ リスク評価が示す結果に基づく批判：  
（例）「定量的な評価は他の技術よりも十分低いリスクしかないと示している」
  - ✦ 一般の人びとの意見や価値観への懐疑：  
（例）「人びとの意見はill-informedでバイアスがかかり、合理的判断でない」
  - ✦ 軍隊などの集権的で信頼性の高い組織なら管理可能とする見解：  
（例）「組織の能力を十分に高めれば対処可能だ」



# Perrowの結論：リスク評価批判

- ✦ 「リスク評価」論への反論
  - ✦ リスク評価は歴史的に常に権力とともににあった
  - ✦ リスク評価者は客観的な情報提供にとどまらず、しばしば現状のリスクを受け入れることを正当化させたり、安心させたりしようとする
    - ✦ 「リスクを取らないと日本に負けるぞ」
    - ✦ リスク評価者はいつも（過剰）規制批判の側に回る
  - ✦ そのことは様々な政治経済的・社会的格差との関わりで大きな権力作用を持つ



# Perrowの結論：リスク心理学批判

- 定量的なリスク評価はしばしば、「リスク評価を理解しない公衆は議論から排除されるべきだ」という示唆を導く
- 「合理性」の3分類
  - 絶対合理性：経済学者、技術者
  - 限定合理性：リスク評価者
  - 社会的合理性：Perrowが支持するもの



# Perrowの結論：リスク心理学批判

- 社会的合理性からの問いかけ：  
「もしカタストロフの可能性が少しでもあるのなら、なぜそのリスクを取るのか」
- 単一の合理性を信奉する絶対合理性主義者や限定合理性主義者は、人間の認知的限界を乗り越えるには社会的紐帯やフレーミングの多様性が有効であることを認識していない



# Perrowの結論：組織論批判

- Complexかつtightly-coupledなシステムは、**集権性と分権性を同時に要求**する
- そのような組織は存在し得ない
- 確かに軍隊にはそれができる可能性があるが、産業応用の試みは19C~20C初期に失敗した。米国の価値観や文化にも全くそぐわない

Figure 9.2 Centralization/Decentralization of Authority Relevant to Crisis

		INTERACTIONS	
		Linear	Complex
COUPLING	T i g h i	CENTRALIZATION for tight coupling. CENTRALIZATION compatible with linear interactions (expected, visible). Dams, power grids, some continuous processing, rail and marine transport.	CENTRALIZATION to cope with tight coupling (unquestioned obedience, immediate response). DECENTRALIZATION to cope with unplanned interactions of failures (careful slow search by those closest to subsystems). Demands are incompatible. Nuclear plants, weapons; DNA, chemical plants, aircraft, space missions.
	L o o s e	CENTRALIZATION or DECENTRALIZATION possible. Few complex interactions; component failure accidents can be handled from above or below. Tastes of elites and tradition determine structure. Most manufacturing, trade schools, single-goal agencies (motor vehicles, post office).	DECENTRALIZATION for complex interactions desirable. DECENTRALIZATION for loose coupling desirable (allows people to devise indigenous substitutions and alternative paths), since system accidents possible. Mining, R&D firms, multi-goal agencies (welfare, DOE, OMB), universities.



# Perrowの結論：何が原因か？

- ただし、Perrowはやみくもに技術の発展に抗し、否定しているわけでもないし、安易に現代文明批判をしているわけでもない
- 反技術主義者への批判
  - 「技術帝国主義が我々の文化的価値観、自然等々を脅かしている」
  - それは必然ではなく、エリートが特定の技術を使うことを決めているだけ。しかも、ほとんどの技術は私たちの価値観や自然や生活を脅かさない（くわも、糸車も、肉を焼くこともパンを焼くことも「技術」だ）。



# Perrowの結論：何が原因か？

- 反資本主義者への批判（1）

「資本家が短期利益に走り、コスト至上主義に向かうのが原因」

→起きている出来事の説明としてはかなり同意できるが、本書で取り上げた個別問題の原因と見るのは失当。社会主義国でも同じような問題が同じように生じている。生産性圧力はむしろ社会主義国の方が高いようにも見える。



# Perrowの結論：何が原因か？

- 反資本主義者への批判（2）

「人間の強欲さ、あるいは私益が公益を犠牲にすることが問題」

→社会主義国のように強力な所得再分配を行っても、それが高リスクシステムの出現や管理について決定的な影響を持つとは思えない（社会的公正のためには意味はあるだろう）。



# Perrowの結論：何が原因か？

- 外部性とその分配の問題
  - いわゆる外部性がどのように生産活動（とそのコスト）に反映され、負担されるか
  - それが適正であれば、消費者はよりよい選択をできる
  - ただし、システムと最終消費者の関係、犠牲者の識別・予期可能性等によって実際にそうしたコントロールが効くかは違ってくる
    - 航空などは認識されやすいが、原子力や化学プラント、鉱業などは認識されにくい

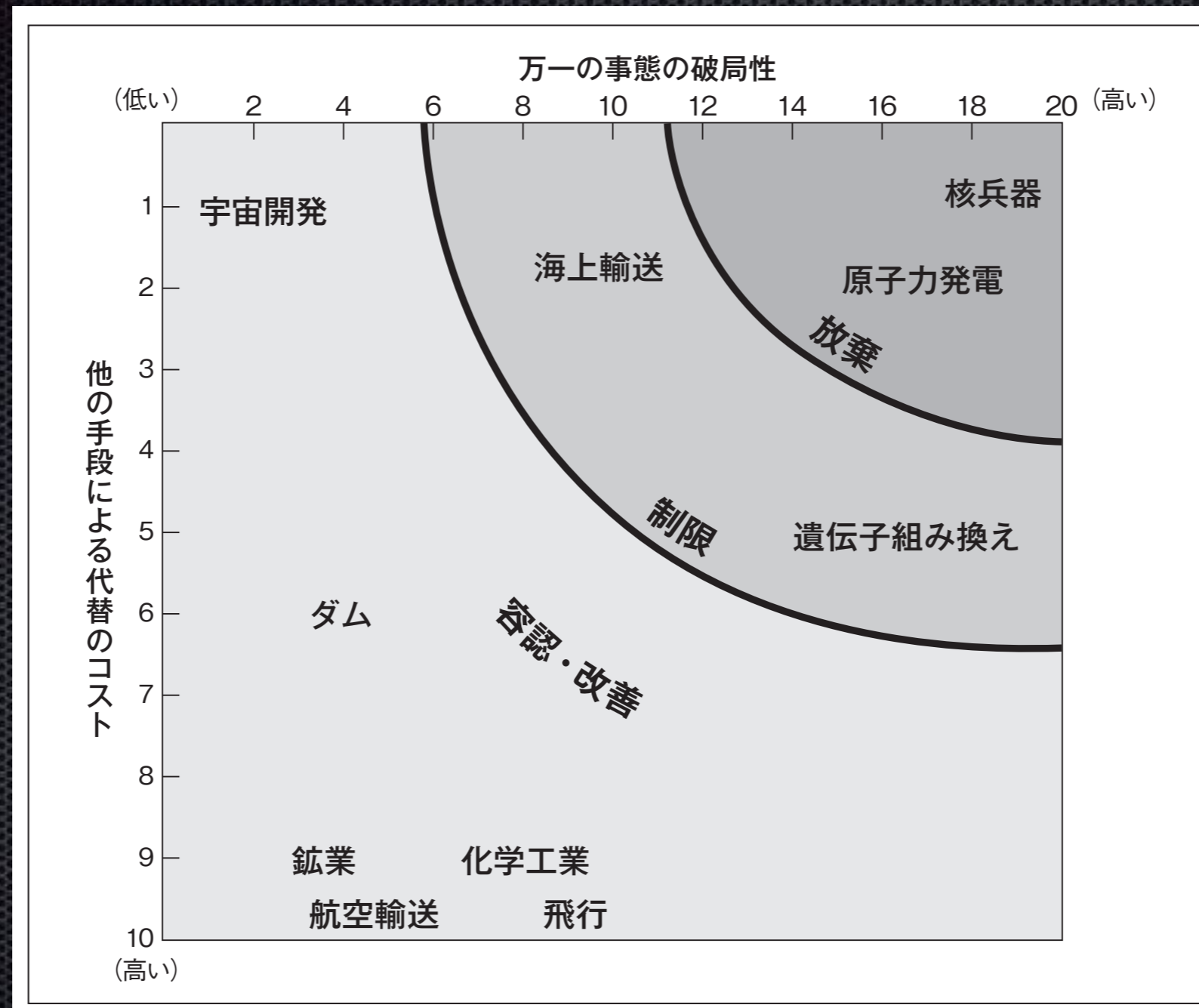


# Perrowの結論：次に考えるべきは？

- 技術そのものの性質だけではなく、犠牲者のタイプ、真の長期の社会・経済的コスト、そして外部性を考慮して、個々の高リスクシステムについての判断をせねばならない
- そうした具体的な判断は結局のところ、個々の高リスクシステムの代替可能性によって決まってくる。ただし、その際の考慮事項が通常よりもずっと広がっているという点が重要



# 潜在的な危険の大きい技術の破局性と代替可能性



Perrow 1984=1999の表を和訳 (寿楽2020より引用)



# 「システム固有の性質に本質がある」

- この本の中心的なポイントは、これらの **“human constructions”** を個人の集積とか、イデオロギーの表象とみるのではなく、*systems* と見るべきだということ
- 危険な事故は要素に潜むのではなく、システムに潜む
- Human constructions は変化に抵抗し、変えるのは大変だ。とはいえ人間（特に一部エリート）が作ったものに過ぎないわけで、やはり **人間はそれを廃したり変えたりできる**はずだ



# 原子力専門家の応答責任は？

- 原子力のリスクのこうした意味での「特殊性」に対して、日本の原子力専門家は正面から向き合い、率直に社会に問いかけてきたらどうか。例えば以下のような発信、態度はどうか
  - 2014年日本原子力学会声明
  - 原子力規制委員会の「安全とは言わない」論、あるいは安全目標の位置づけ



# 大飯原発3・4号機運転差し止め判決に対する本会「見解」

## (2014.5.27)

第二に、ゼロリスクを求める考え方は科学技術に対する裁判所の判断として不適切です。いかなる科学・技術も人間や環境に対してリスクをもたらしますが、科学技術によってリスクを十分に低減させた上で、その恩恵とのバランスで社会はそのリスクを受容しています。本会は津波対策、重大事故対策および事故時対策を適切に行えば、福島第一原子力発電所事故の再発防止は可能であり、かかる意味において、原子力利用は人格権を犯すものではないと考えます。

第三に、工学的な安全対策を否定する考え方は不適切です。現代社会は様々な形で科学技術の恩恵に浴していますが、それらの科学技術のほとんど全てに工学的な安全対策が用いられています。原子力発電所のみ、工学的安全対策を認めないという考え方は公平性を旨とする裁判所の判断として不適切だと考えます。



# 「安全」を担保しない規制

- ✦ 「安全」を担保しない新規制基準  
(田中俊一原子力規制委員長  
2014.7.16)
- ✦ 「安全審査ではなくて、基準の適合性を審査したということです。  
ですから、.....基準の適合性は見  
ていますけれども、安全だとい  
うことは私は申し上げません」



Image: Wikipedia



# 誰が「安全」を担保するのか？

- 「原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める」（「エネルギー基本計画」）
- 「政府としては、同委員会が設置変更許可申請について設置変更許可基準に適合することを確認することにより、「再稼働に求められる安全性」が確保されることが確認されたものと考えている」（内閣総理大臣答弁、2014年10月7日）



# 「安全目標」による参照値の設定

- ✦ 日本の安全目標（案）（原子力安全委、2003年）
  - ✦ 「炉心損傷頻度」（CDF）
    - ✦ 指標値： $10^{-4}$ /年程度
  - ✦ 「格納容器機能喪失頻度」（CFF）
    - ✦ 指標値： $10^{-5}$ /年程度



# 大規模長期土地汚染というリスク

- 福島事故の経験は有意な「大規模長期土地汚染」の発生を抑止することこそ重要、との考え方を導いた  
(リスク評価のエンドポイントの追加、転換)
  - 「大規模放出頻度」の有効性・重要性
- 「事故時放出量Cs137換算100TBq超の事故の発生頻度は100万炉年に1回程度に抑制」(規制委員会、2013年)の意味の大きさと社会の静観の落差(そもそも規制委は社会に問いかけなかった)



# 安全目標のガラパゴス化

- 規制委員会自身の安全目標の誤用：  
「すでに満足している基準」の意味で原発立地地域住民向けに説明
- 「新規制基準はこの目標も念頭において定めたものであり、高浜発電所3・4号炉はこの目標を満足しているものと判断している。」  
(原子力規制庁「高浜発電所に係る地域協議会 原子力規制庁説明資料」、平成27年8月)



## 新規制基準について

○原子力規制委員会は、通常的生活からもたらされるリスクと比較して許容できるレベルまで原子力発電所のリスクを低減させることを念頭において、以下のような目標を有している。

- 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、100万年炉に1回程度(テロ等によるものを除く)を超えないように抑制されるべき。
- 炉心損傷頻度  $10^{-4}$ /年程度
- 格納容器機能喪失頻度  $10^{-5}$ /年程度

○新規制基準はこの目標も念頭において定めたものであり、高浜発電所3・4号炉はこの目標を満足しているものと判断している。

※適合性審査の中で確認した極めて厳しい重大事故において、セシウム137の放出量は約4.2テラベクレル。

○原子力規制委員会としては、安全の追求に終わりはないとの認識の下、規制基準の見直しを含む更なる安全性の向上に継続的に取り組んでいくとともに、事業者にも更なる安全レベルの達成に向けた不断の取り組みを求めていく。



# 安全目標のガラパゴス化

- 規制委員会自身の安全目標の誤用：  
**安全目標は社会的合意とは無関係と発言**
  - 「我々は科学的・技術的見地から原子力発電所の規制に必要な基準を設定することが役割であると認識しており、規制を行う上で、どの水準の目標を設定するかということについては、原子力規制委員会が独立した立場で判断すべき」

(「伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 議事録 (平成27年8月12日)」における原子力規制庁職員の発言)



# 安全目標のガラパゴス化

- 規制委員会自身の安全目標の誤用：  
**安全目標は社会的合意とは無関係、海外動向も知らないと発言**
  - 「国民のリスク受け入れられるとかそういった観点については今回含まれているものではないと認識」
  - 「アメリカで議論されている安全目標の詳細は承知していない」

(いずれも「伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 議事録（平成27年8月12日）」における原子力規制庁職員の発言)



# 安全目標のガラパゴス化

- いずれも安全目標をめぐる内外の議論の積み上げを無視した独自の論理
- 安全目標（を定めること）は原子力利用のリスクに関する社会的正当化のプロセスにおいて極めて有意義という正統的解釈に真っ向から挑戦
- “How safe is safe enough?” への回答の試みであるという、安全目標の一番の意義を自ら毀損



# 原子力のリスクの特殊性とどう向き合うか

- 社会科学ではすでに福島事故のはるか以前から、特殊性を直視することを求める知見が蓄積されてきた
- 「原子力への信頼を、倫理的な行動から考える」のであれば、原子力のリスクの特殊性について正面から社会と議論し、その結論に従うという態度を明確にすることを皆さんに呼びかけたい
- 社会から原子力への信頼を問題にするよりも、原子力専門家はまず自らが社会を信頼すべき