

# 地球温暖化とエネルギーセキュリティの 課題と対策 世代間倫理の観点も含めて

氏田 博士

キヤノングローバル戦略研究所

## □ リスクとベネフィットの比較 エネルギー起源**CO2**の削減

茅の式：地球環境産業技術研究機構,RITE理事長茅陽一（東京大学名誉教授）が主張した式

- CO2排出量  
= **CO2排出量** / **エネルギー消費量**（エネルギーの種類）#  
× **エネルギー消費量** / **GDP**（生産のエネルギー効率性）  
× **GDP** / **人口**（豊かさ）  
× **人口**  
  
# **CO2排出量** / **CO2発生量**（炭素回収隔離、CCS）  
× **CO2発生量** / **エネルギー消費量**（化石燃料の種類）

# 3種類の一次エネルギー

市民のための環境学ガイド <http://www.yasuienv.net/>

ヒトが使える一次エネルギーは、**たった3種**

- **化石燃料** = 石油、石炭、天然ガス
  - 樹林、植物、藻類などが起源
  - 数1000万年から数億年前か
  - 元は、かつて地球に降り注いでいた**太陽エネルギー**
- **核燃料** = もともと**地球の元素**
  - 質量とエネルギーの変換によって作られる
    - $E=mc^2$  (アインシュタインの式)
- 自然(再生可能)エネルギー
  - 基本的に現時点の**太陽エネルギー**の利用
  - 他の2種が**ストック型**に対し、**フロー型**

核融合

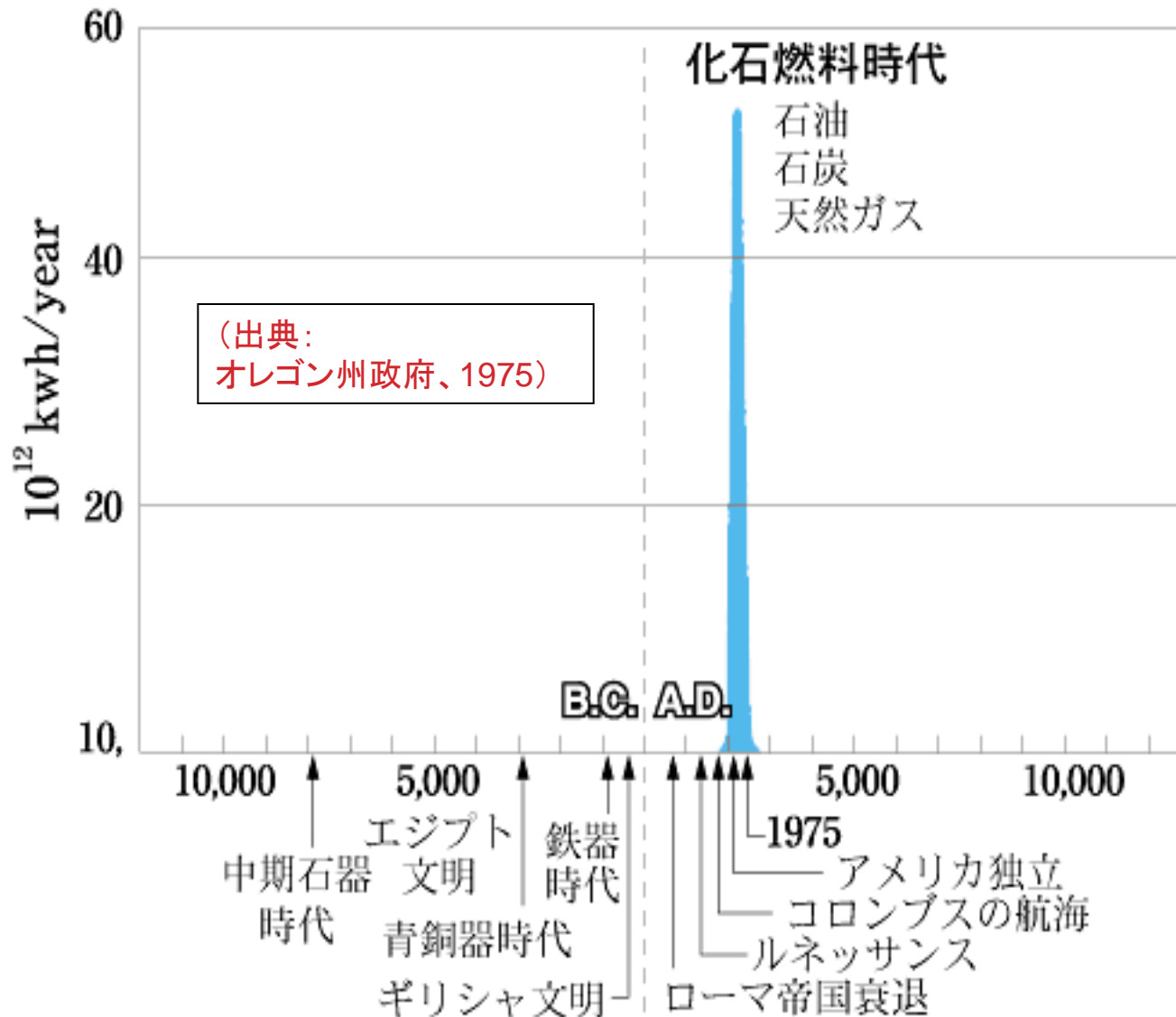
ビッグバン、超新星爆発

核分裂

# 3種類の一次エネルギーのベストミックス

- 安井は「市民のための環境学ガイド」のなかで、3種類のエネルギー源を以下のように形容している
  - 化石燃料: 見かけは普通の人間のように見えるが、実は地球を破壊する悪魔
  - 原子力: 一見は魅力的な人物だが、本性を見せると暴力的危険人物
  - 自然エネルギー: いかにも善人を装うが、実は気まぐれな浪費家
- どれも一長一短があるので、そのすべてをうまく組み合わせることが肝要である
- リスクとベネフィットのトレードオフで異なるトラを飼い慣らしていく努力が望まれる

# □ エネルギー資源問題の特徴 一瞬の化石燃料時代



# □ 気候変動問題の特徴

## 環境影響の様々な時間遅れ

反応の大きさ

平衡に達する時間

CO2排出量のピーク

←海面上昇(氷融解)  
数千年

←海面上昇(熱膨張)  
数百年~千年

←気温の安定化  
数百年

←CO2の安定化  
百年~3百年

←CO2排出量

現在 百年

千年

# 地球温暖化のキーワード

- 持続可能な発展 Sustainable Development
- 衡平性 Equity
  - 空間的
    - 地球レベルの温暖化問題、国家のエネルギーセキュリティ、地域の環境問題
    - 世界として、地域として、国家として、個々の組織として、そして個々の人間として、何ができるのかを問われている
    - 共通だが差異ある責任 Common but Differentiated Responsibility
  - 時間的
    - 環境影響には様々な相違の大きな時間遅れがある
    - 数千年を対象とする科学的分析、百年を対象とする技術開発評価、数十年を対象とする経済分析、具体的な政策は政治に左右され1年程度で揺れ動く
    - 事前警戒原則 Precautionary Principle
    - 世代間倫理 Inter-Generational Ethics

# 世代間倫理: INTER-GENERATION ETHICS

## □ 将来世代に選択肢を与える

- 研究開発能力(知的贈与)と成果を残す
- 社会資本(公共財、きれいな大気や永続的なエネルギー源)をきちんと残す

## □ 地球温暖化の問題

- 現世代がミニマムの成長で我慢し将来世代のために対策費用を捻出する努力(持続的発展の概念)をしてきた実績
- 研究開発により新たな革新技術の芽を提供する
- 原子力や再生可能のような長期のエネルギー源を確保しておく



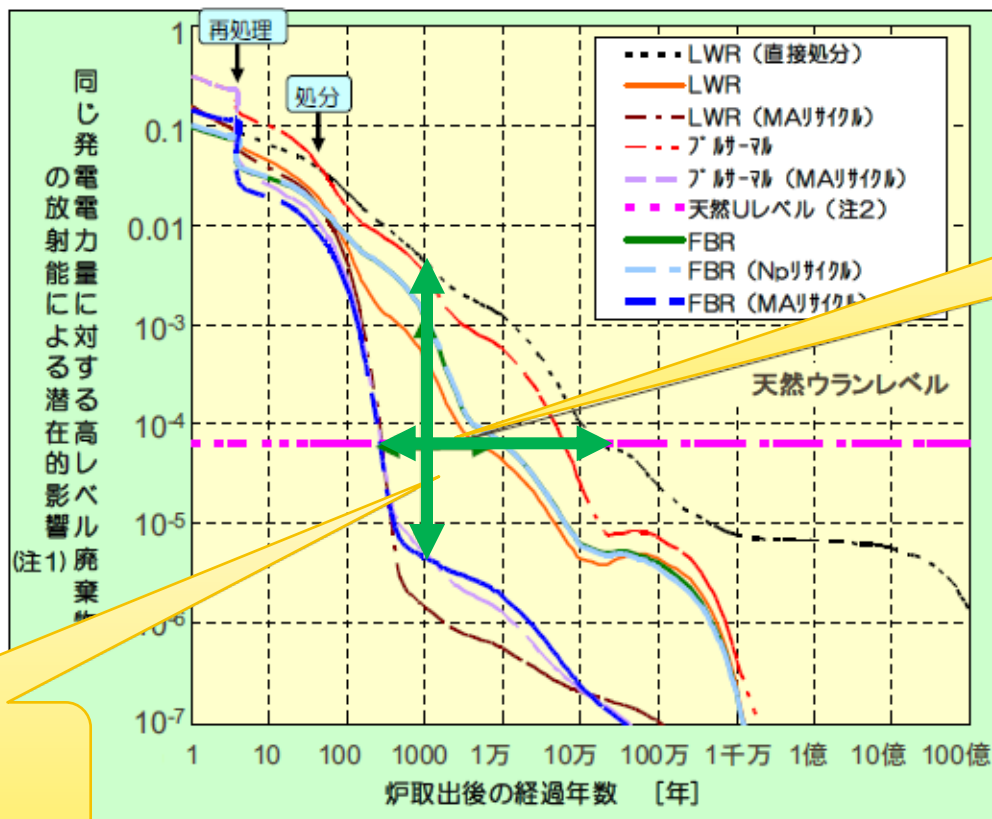
# ウラン鉱石の埋蔵量と燃料サイクル

	資源量	利用可能年数 (2012年の発電量、発電効率において)	
		軽水炉 ワンスルー (U235利用)	高速増殖炉 核燃料サイクル (Pu利用、100倍)
既知在来資源	764万t-U	142年	14,200年
総既知在来資源	1,533万T-U	288年	28,800年

**世代間倫理-長期的価値の保存  
:一万年の長期エネルギー源の確保**

# 核燃料サイクルにおける消滅処理の意義

## 世代間倫理-長期的負の遺産の解消 : 廃棄物の寿命短縮



LWR直接処分の  
数十万年から  
数百年へ

LWR直接処分  
から3桁低減

MA: マイナーアクチナイド

# ロ リスクとベネフィット比較/長期的価値評価

評価指標		化石エネルギー	原子力	再生可能エネルギー
リスクと ベネフィット	廃棄物発生量	×× 脱硫排煙、灰	◎ 放射能	◎ 酸
	健康リスク	×× SOx、NOx、粒子	◎ ガン	-
	事故リスク	× (××@LPG)	◎	-
	CO2排出量	×× 燃料 (○CCS付) 設備・運用	◎ 設備・運用	◎ 設備・運用
	エネルギー密度	◎ 需要の2ケタ上	◎ 需要の2ケタ上	×× 需要以下
	EPR (エネルギープ ロフィット比)	○	○	×
	エネルギー自給率	× 輸入	○ 準国産	△ 国産だが寄与少
長期的価値	資源	× 資源枯渇	◎ Uには資源枯渇があるが、Pu利用で1万年に延長	△ 永久に存在するが量的制約
	CO2、廃棄物	×× 地球温暖化 環境問題	△ 消滅処理により百年オーダーで処分可能	◎

基幹電源

分散電源

# 考察

- 早期に方針、すなわちエネルギーにおける原子力の位置づけを明確化する
- 原子力業界として、まず事故の教訓からレジリエントシステム化も含めて安全概念を再構築すること
- 原子力産業の在り方の明確化も必要である。
  - 推進・規制、国家賠償責任、地域協定、外部監視の目の在り方
  - 安全設計のメーカ、安全運用の電力、安全社会システムの国の責任の明確化
- 安全の課題と同時に将来の技術革新も語るべき
- 原子力システムは本来的にレジリエントなシステムであり、今は安全思想の再構築によりレジリエント化が図られつつある
- それに加え、安全性向上、利便性向上など新たな原子炉概念である第4世代炉（高速増殖炉、高温ガス炉）、中小型炉、処理処分、消滅処理などの革新的な研究開発が進められている
  - 開発工程を明確に打ち出すべき
  - 日本における自主技術開発と国際協力の意味も再検討すべき

# 事前警戒原則(世代間倫理)

- 非常に長期にわたる地球規模の問題の対策としては、たとえその効果が科学的に不確かだとしても、事前警戒原則にのっとり対応することが必要
- その定義は、リスク評価の際に生じるさまざまな科学的不確実性を承知の上で、因果関係が必ずしも明確に証明できない状態ではあるが、将来起こるかもしれない被害を避けるために規制を行うルール
  - 人の生命や生物の生存に致命的な被害を与える**不可逆性**
  - 地域などの空間スケールを超える**越境性**と長期にわたる**蓄積性**
  - 次世代の個人、集団、社会が選択や回避の自由度がない**非選択性**
- 対策を検討するには、リスクベネフィット解析に基づく環境保全の効果と経済性への影響の関係から適切に決定することが必要

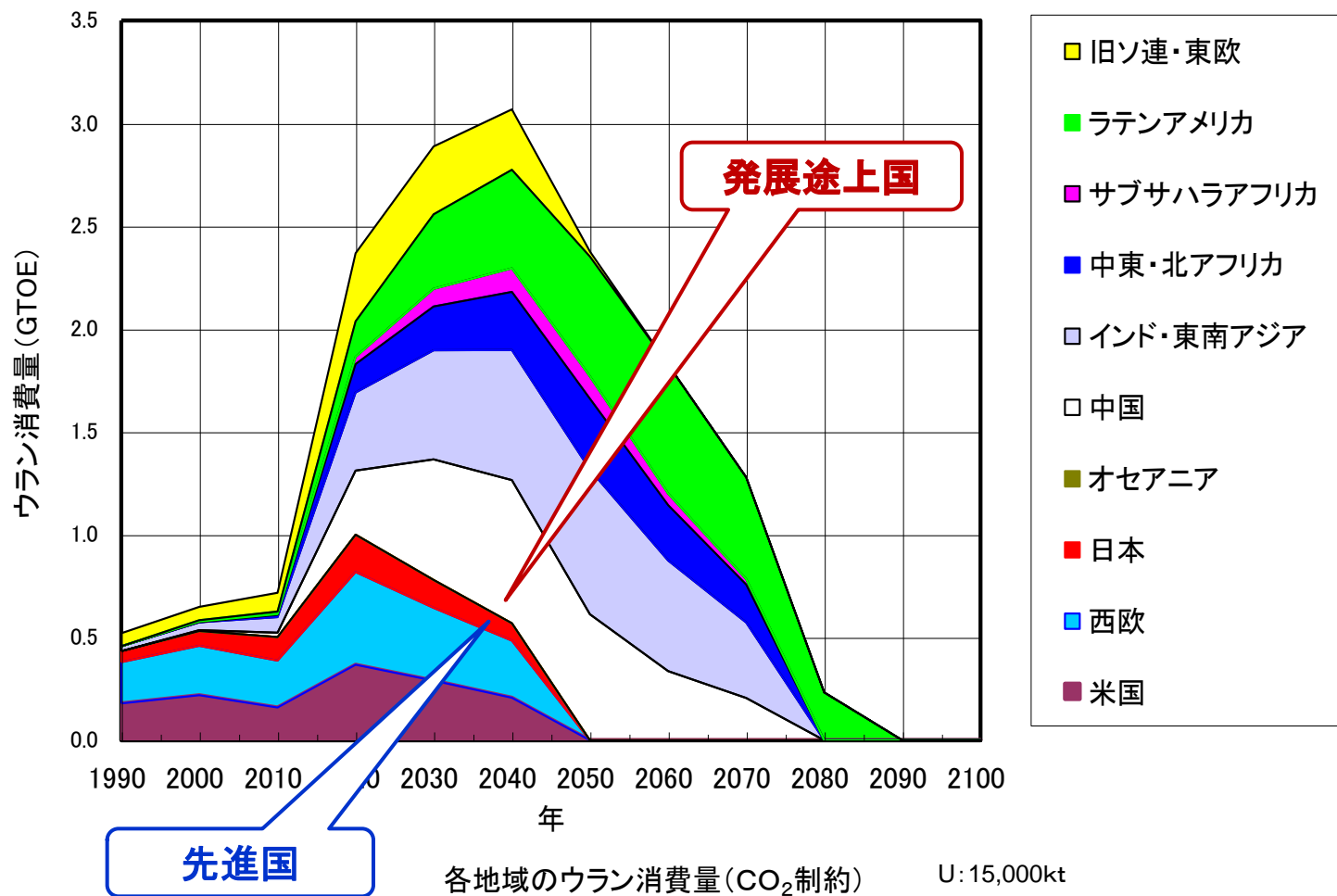
# 衡平性指標の考え方1

- **責任** (温暖化寄与度、大気への権利) - 発展途上国が先進国を責める構図
  - 気温上昇への歴史的貢献 (排出量)
  - **一人当たり排出量** - 平等論
  - 国の絶対排出量
  
- **能力** (支払い能力) - 発展途上国と先進国の差異ある責任
  - 国内総生産: GDP、一人当たりGDP
  - 人間開発指標: HDIと一人当たりGDPの組み合わせ
  
- **実効性** (削減ポテンシャル)
  - 生産原単位あたり排出量
  - **GDP当たり排出量** - 合理的だが、先進国間の衡平性
  - **限界削減費用** - 発展途上国の衡平性に利用可能  
- 最も合理的だが、先進国間の衡平性

# 衡平性指標の考え方2

- トップダウンアプローチ(国別削減目標、京都プロトコル、ポスト京都プロトコル)
  - プレッジアンドレビュー方式(国別削減約束)
  - 排出権取引(2°C実現に向けて)
- ボトムアップアプローチ(セクター別削減目標、技術対策)
  
- 世代間衡平性
  - 気温上昇への歴史的貢献(排出量)で、発展途上国が先進国を責める構図があるが、将来世代への衡平性を問えば、今後に大幅な排出が予想される国々(中印など)には大きな責任がかかることを認識すべき
  - 地球温暖化の問題では、現世代がミニマムの成長で我慢し将来世代のために対策費用を捻出する努力(持続的発展)をしてきた実績、研究開発により新たな革新技術の芽を提供すること、が大切
  - 原子力(FBRなど)や再生可能のような長期のエネルギー源を確保すべき
  - 先進国が技術支援で途上国の排出削減に協力

# ウラン資源の利用(CO2制約)

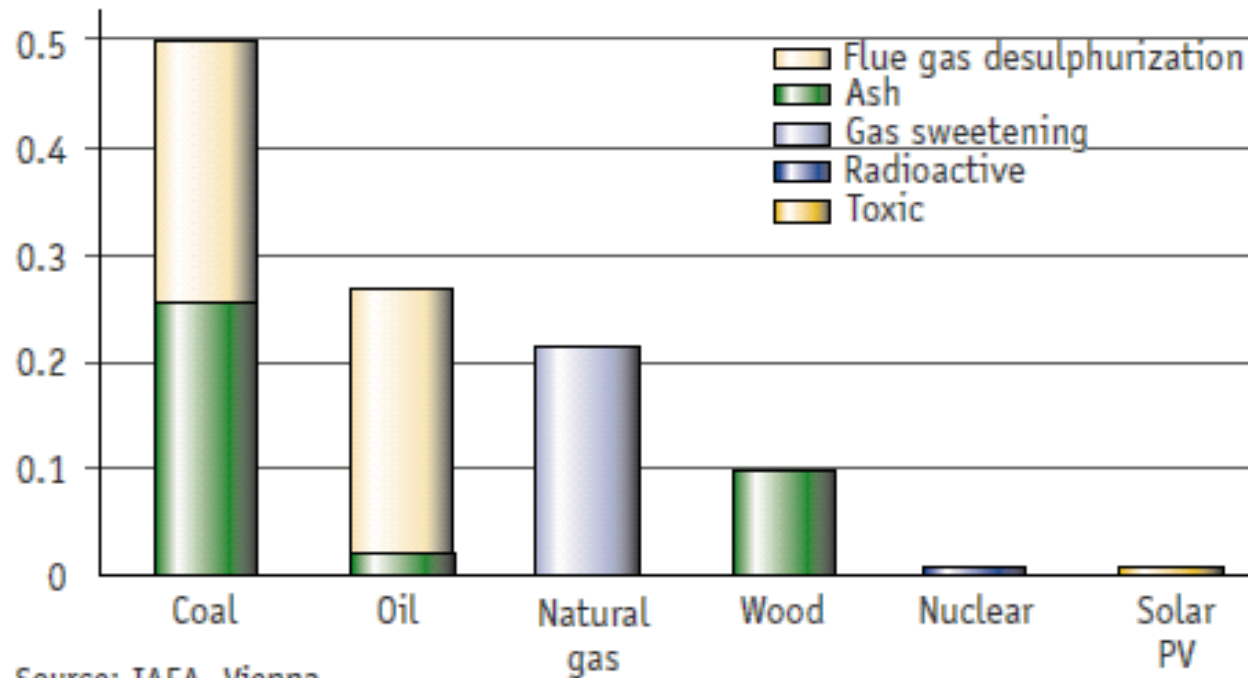


(氏田, 2008)



# 廃棄物発生量の比較

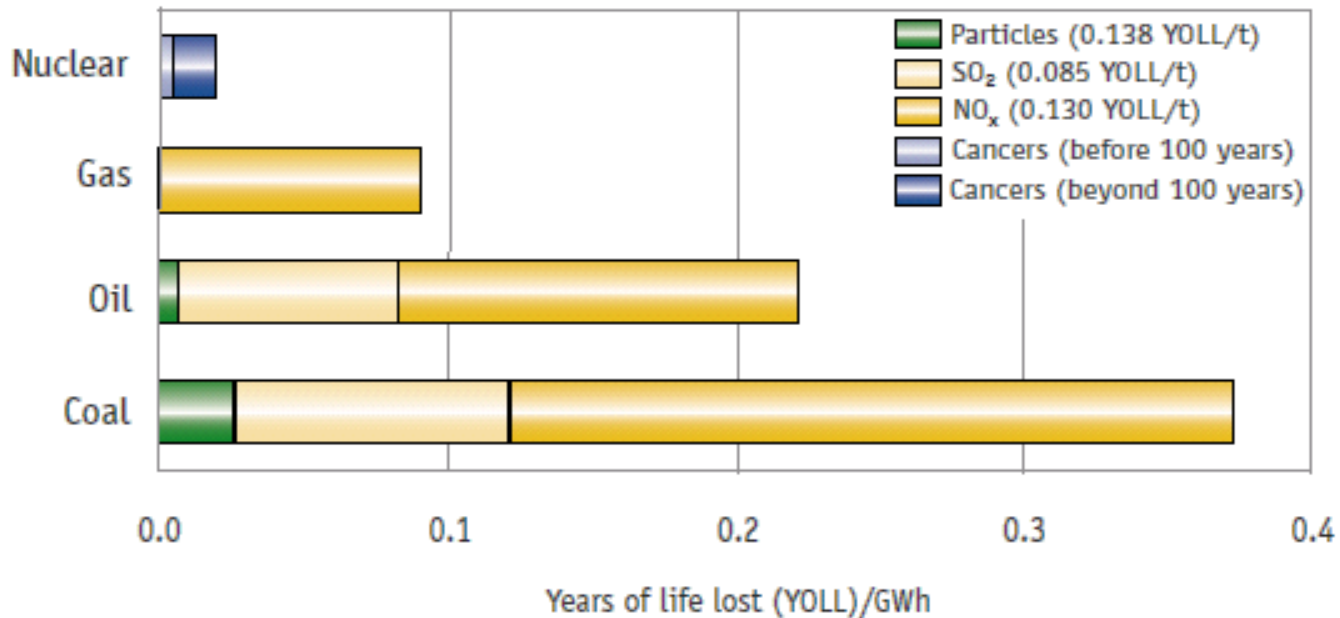
Million tonnes  
per GWe yearly



Source: IAEA, Vienna

Nuclear Energy Today, OECD/NEA, 2002

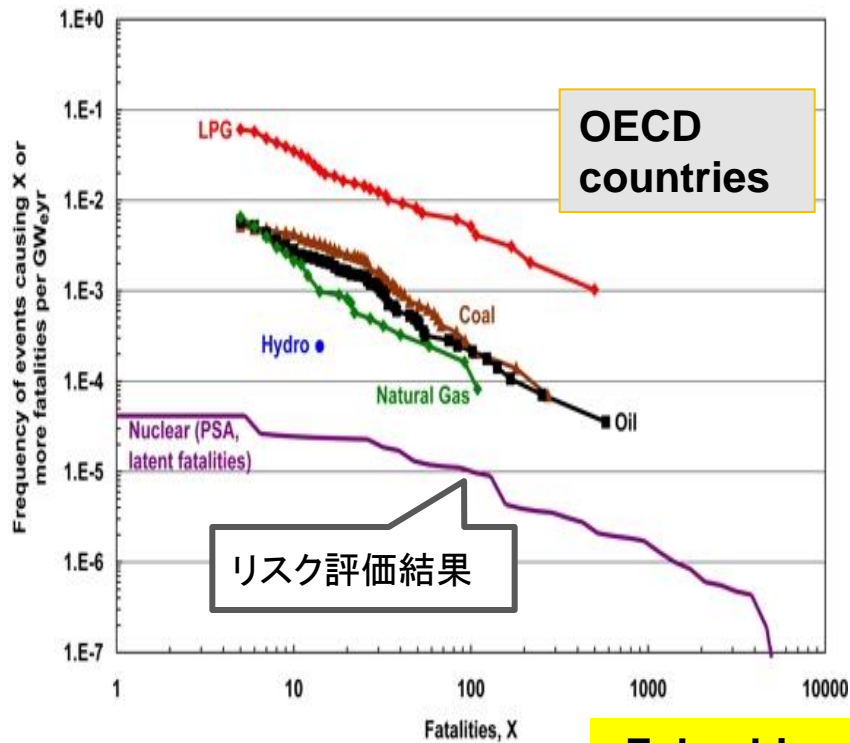
# 健康リスクの比較



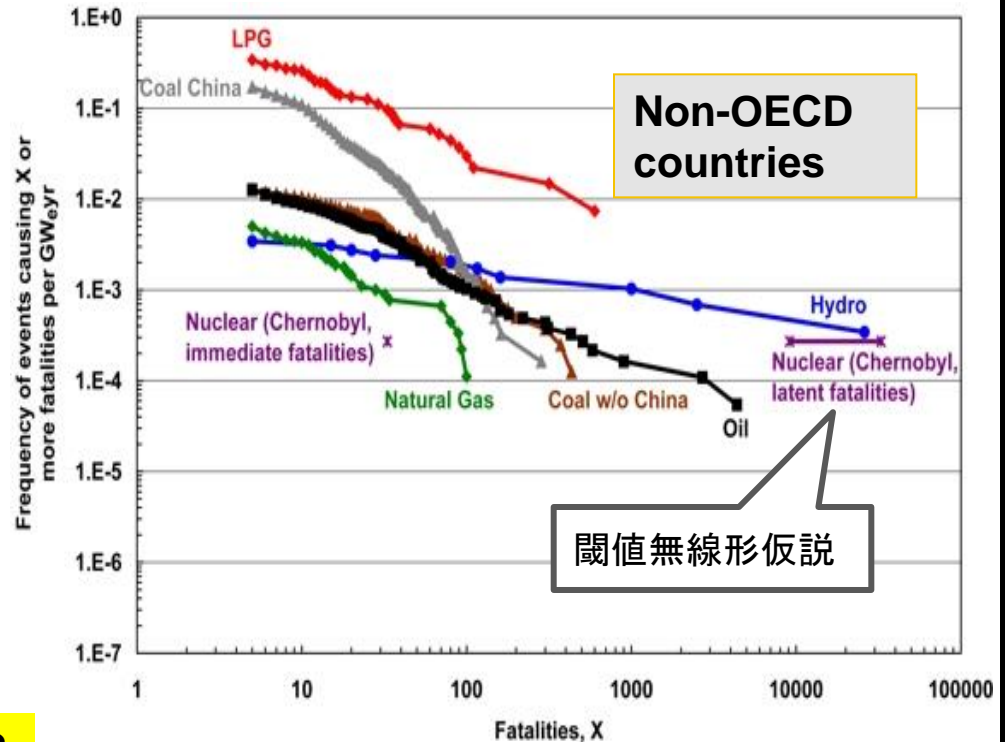
Source: "Comparative Assessment of Emissions from Energy Systems", IAEA Bulletin, 41/1/1999.

Nuclear Energy Today, OECD/NEA, 2002

# エネルギー産業の事故のリスク比較



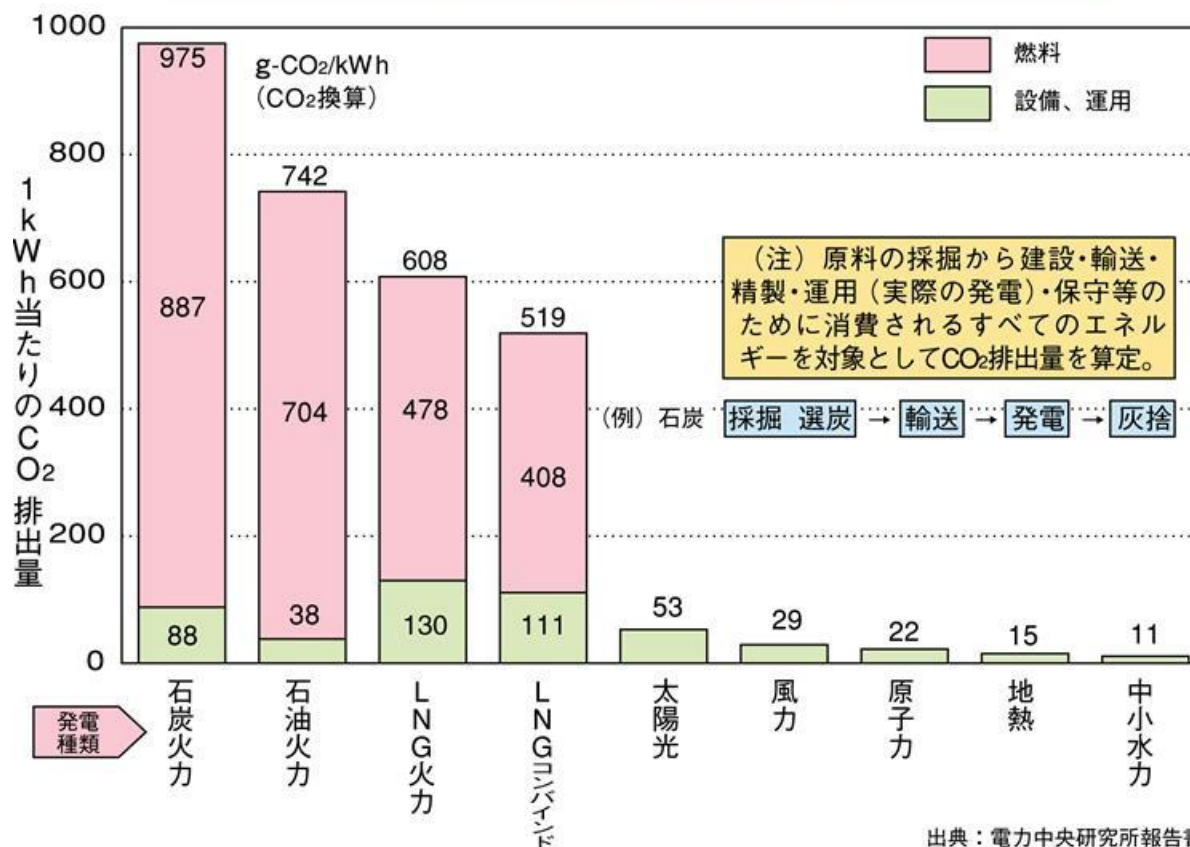
•Fukushima?  
•TMI?



1969年から2000年の間に様々なエネルギー生産手段により世界で発生した死亡者数の大きい事故(5人以上)の発生頻度の比較(急性死亡のみ考慮)

OECD/NEA6862, 2010 by Swiss Paul Scherrer Institute

# CO2排出量



# 各種電源のエネルギー密度

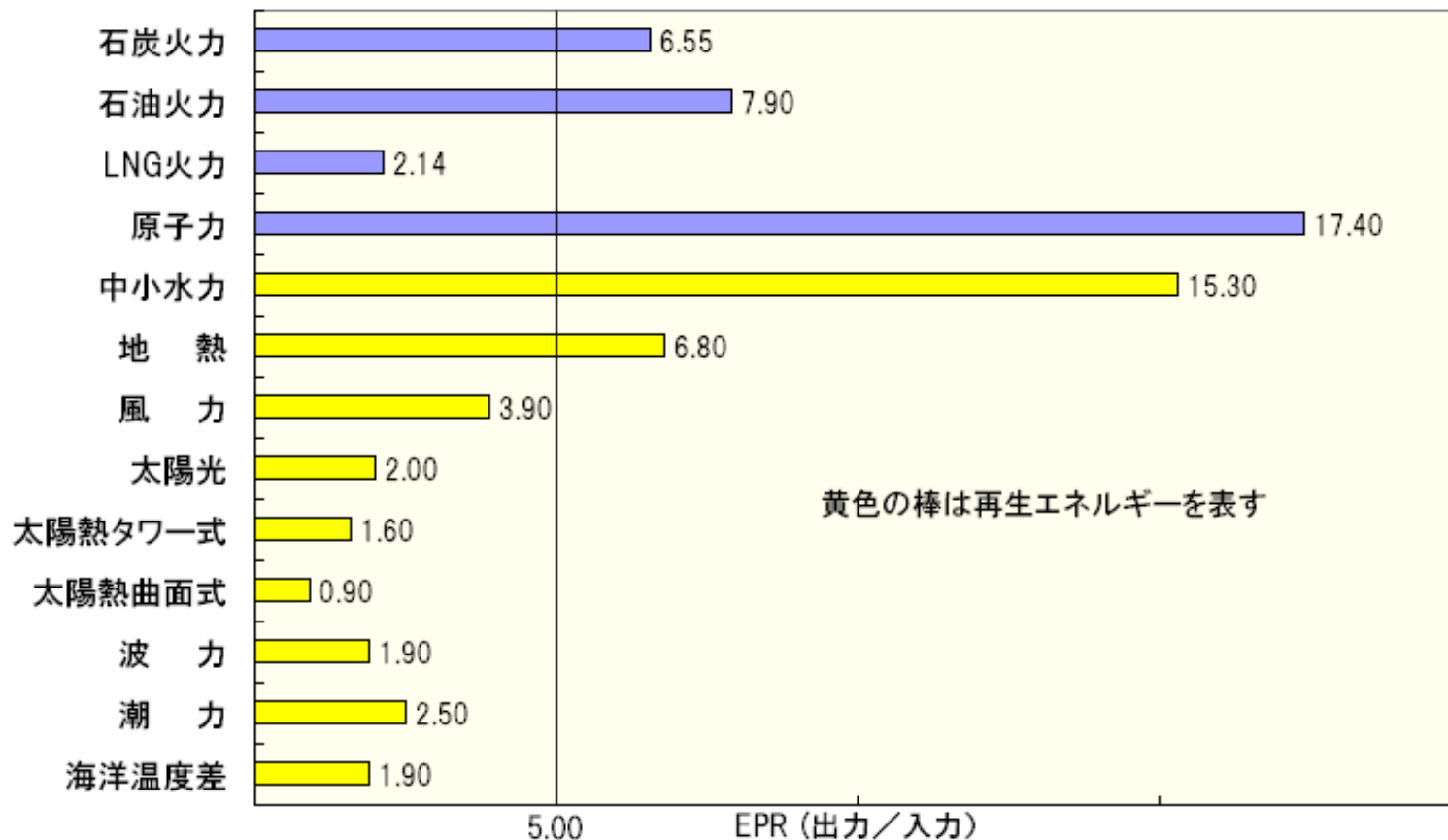
- 発電所敷地面積あたりの発電電力量(筑波大、内山)

対象	敷地面積あたりの 電力密度 [kWh/m <sup>2</sup> ・年]	備考
家庭の電力需要	35	一戸建(敷地50坪、契約40A)
事務所の電力需要	400	8階建て(延床面積3,000m <sup>2</sup> )
バイオマス発電	2	ポプラプランテーション(6年サイクル)、発電効率34%
風力発電	21	米国テハチャピWF、C.F.20%
太陽光発電	24	家庭屋根(50坪、3kW、設備利用率15%)
水力発電	100	日本の水力発電所約100箇所の平均値
石炭火力	9,560	碧南石炭火力(210万kW)
原子力発電	12,400	柏崎刈羽(821.2万kW)

分散  
電源

基幹  
電源

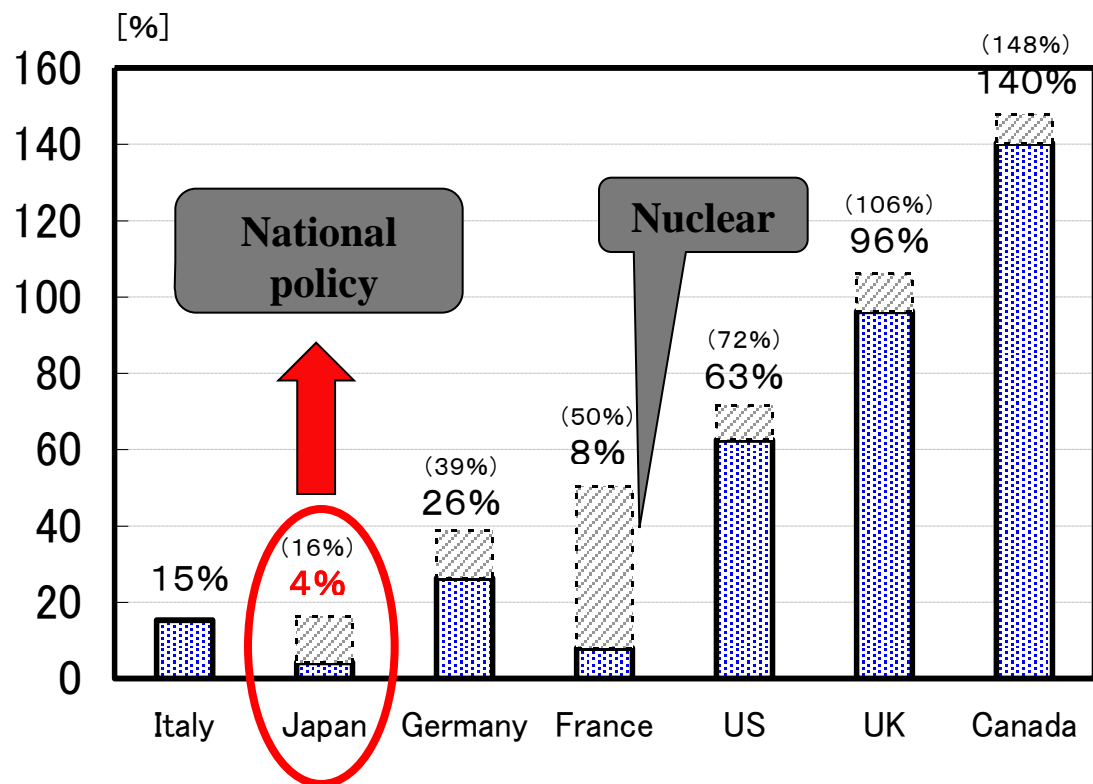
# 各種電源のEPR, Energy Profit Ratio(エネルギー収支比)



(注)原子力では、ガス拡散と遠心を半分ずつにしている

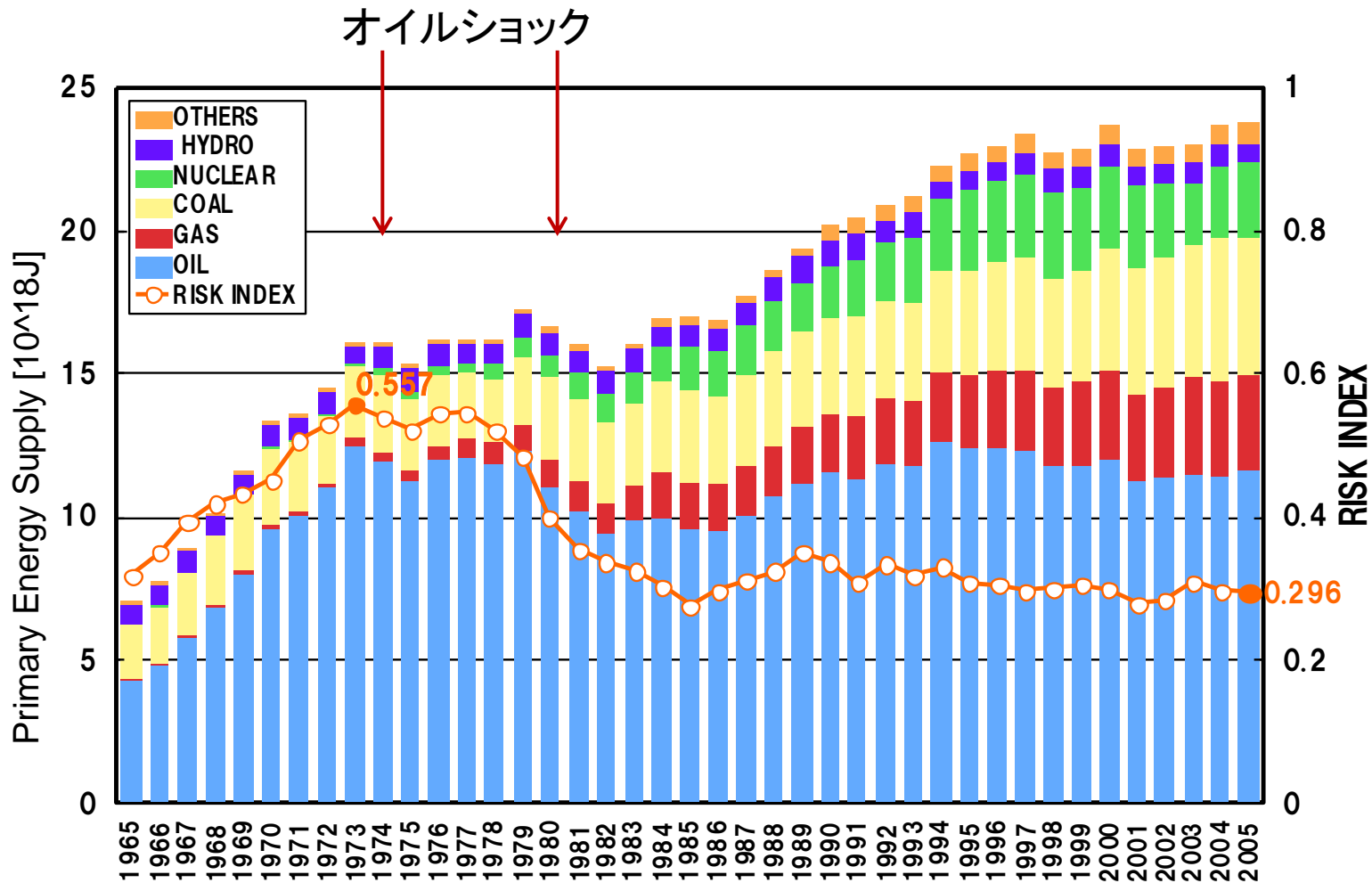
設備利用率は、石炭、石油、LNG、原子力は75%、水力45%、風力35%、太陽光15%、太陽熱15%

# エネルギーセキュリティの評価 -エネルギー自給率



# 日本の一次エネルギー供給安定リスクの推移

(電中研報告書「原子力の燃料供給安定性の定量評価」)



Risk Index: 供給不安定度指数