

# 環境問題と原子力利用の両立 ーリサイクルと廃棄物処分ー

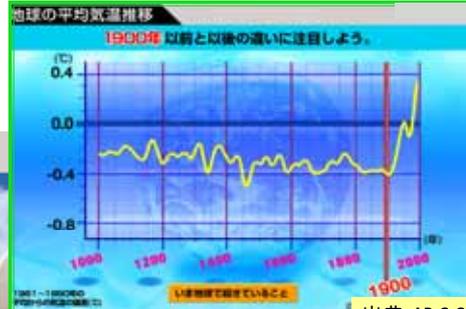
1. 人間活動と**地球環境**への影響(エネルギーを使うと)
2. 原子力は**リサイクル**と、**廃棄物**の安全対策への努力
3. 放射性廃棄物は地下の岩の中に処分(**地層処分**)
4. 数万年の将来を予測した**安全対策**
5. 放射性廃棄物の処分に関連した、**科学的研究**

(質問、意見交換タイム)

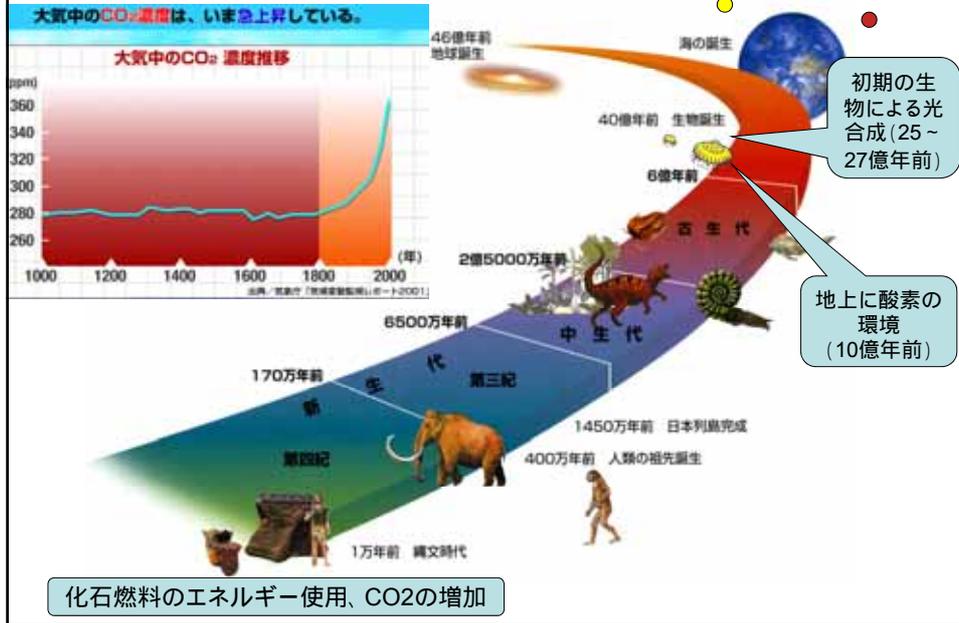
日本原子力研究開発機構・地層処分研究開発部門  
虎田 真一郎

## 地球環境の変化(自然、社会)

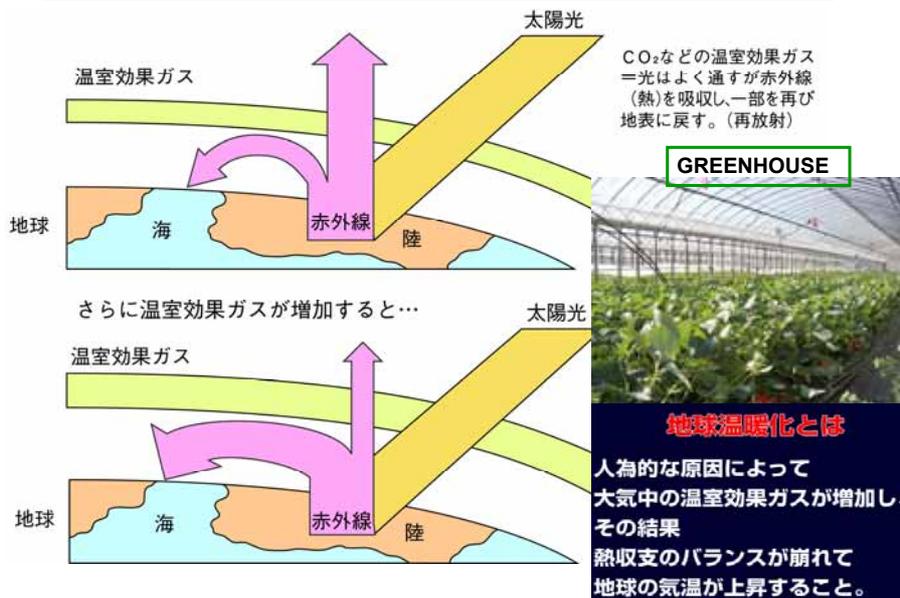
温暖化で地球はどうなるのだろう



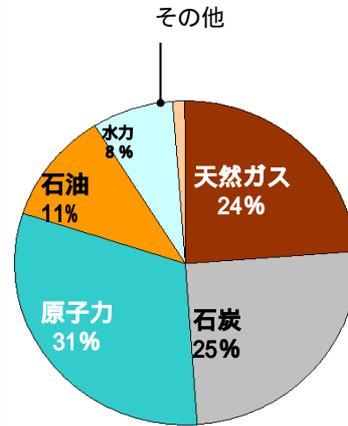
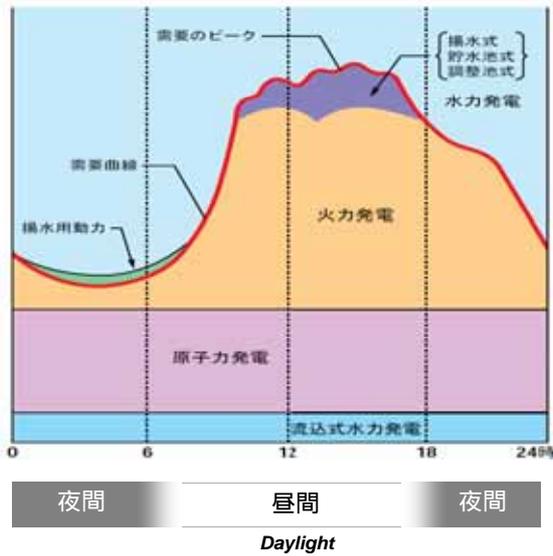
# 地球の大気と生物の歴史



# 地球の温暖化の問題 (Global Warming)

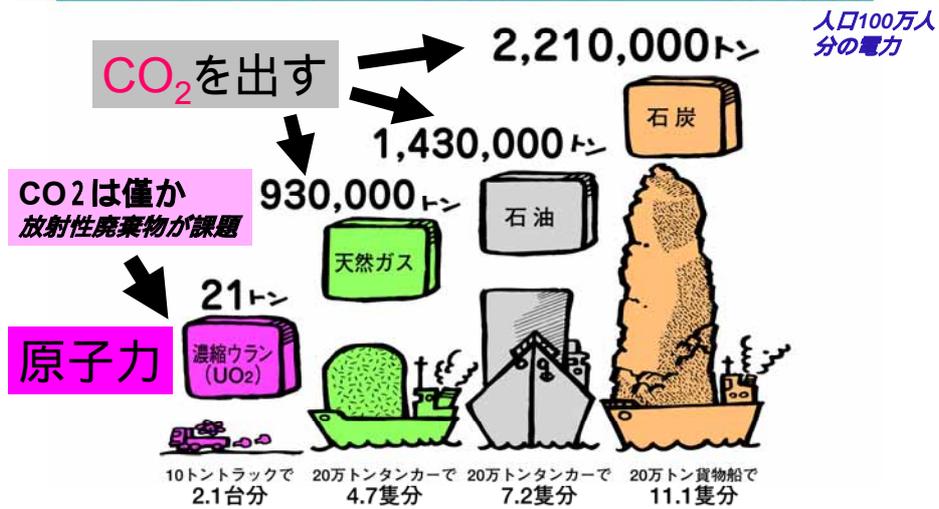


## 電気を供給するためのエネルギー源



発電電力量の構成 (2005年)

## 100万KWの発電所を1年間運転するのに必要な燃料



出典：資源エネルギー庁「原子力2005」

## 新エネルギーでは？

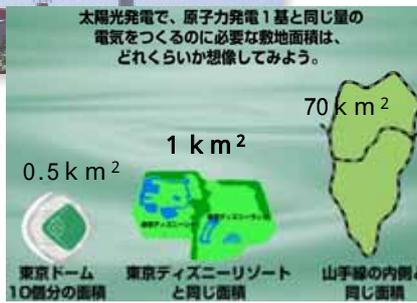


太陽光発電

風力発電



発電にあたりCO<sub>2</sub>をほとんど出さない  
が  
施設に必要な大きさは、自然は



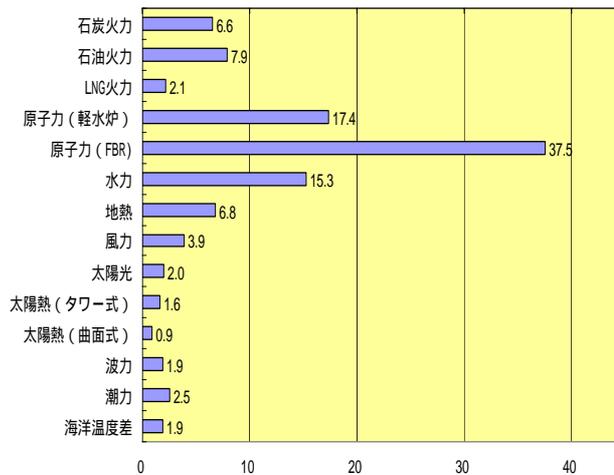
7

## エネルギー資源を質(EPR)で考える

$$\text{エネルギー生産倍率} \\ \text{EPR(Energy Profit Ratio)} = \frac{\text{(手に入れた資源から取出されるエネルギー)}}{\text{(資源を手に入れるために必要なエネルギー)}}$$

質のよい資源とは

- 1.濃縮している  
(集中)
- 2.大量にある  
(豊富)
- 3.経済的に適正  
(コスト)

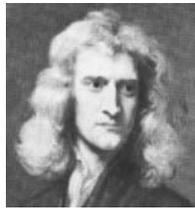


出典: 原子力学会、再処理リサイクル研究会エネルギーセミナー  
石井善徳「高い石油時代をどう生きるか」

EPR ([http://www007.upp.so-net.ne.jp/tikyuu/oil\\_depletion/netenergy.html](http://www007.upp.so-net.ne.jp/tikyuu/oil_depletion/netenergy.html))

8

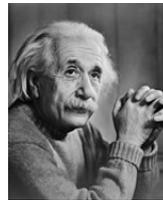
# ニュートン と アインシュタインのエネルギー



1642 - 1727



1743 - 1794



1879 - 1955

$$E = mc^2$$

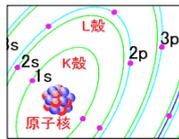
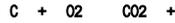


目に見えるもの、動いているもの持つエネルギー (運動法則)

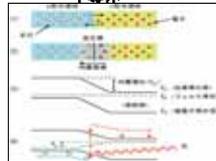
$$E = 1/2 mv^2$$



水力 風力



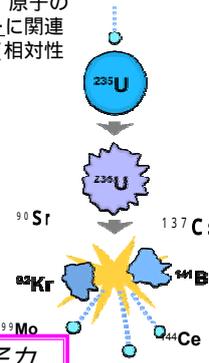
半導体



火力/太陽光

質量をもつもの、光や波もエネルギーになり、原子の変化もエネルギーに関連することを理論化(相対性理論)

$$E = mc^2$$



原子力

## 核分裂でできる放射性元素が-廃棄物に

U(ウラン)が分裂してエネルギーを出し、より小さな2つの原子(元素)になる

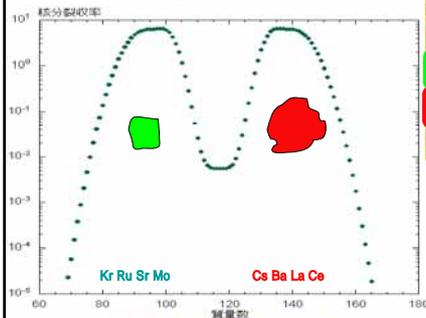
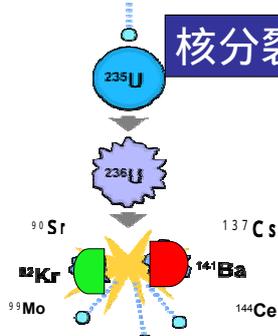
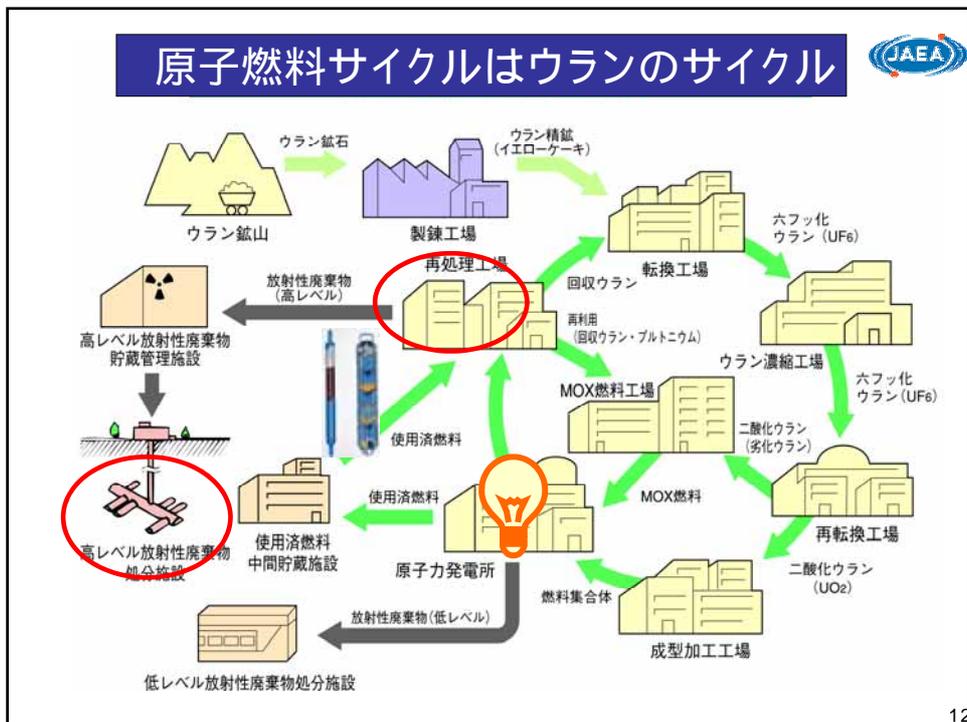
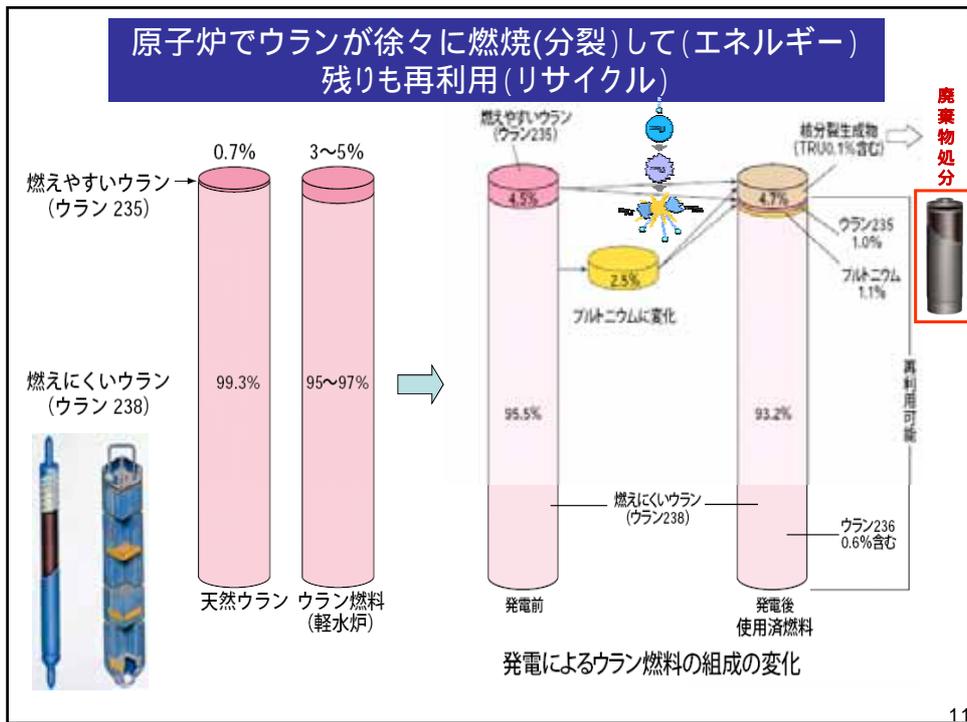


図5 核分裂生成物の収率 (ウラン235が熱中性子で核分裂を起こした場合の例)

【出典】T. Nakagawa et al. (Ed.) "Courses and Tables of Neutron Cross"

1	2											13	14	15	16	17	18
H	He											B	C	N	O	F	Ne
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											Na	Mg	Al	Si	P	S
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te		
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102		
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No		
*1 ランタノイド																	
*2 アクチノイド																	

ウランが中性子を吸収してプルトニウムなど超ウラン元素になる

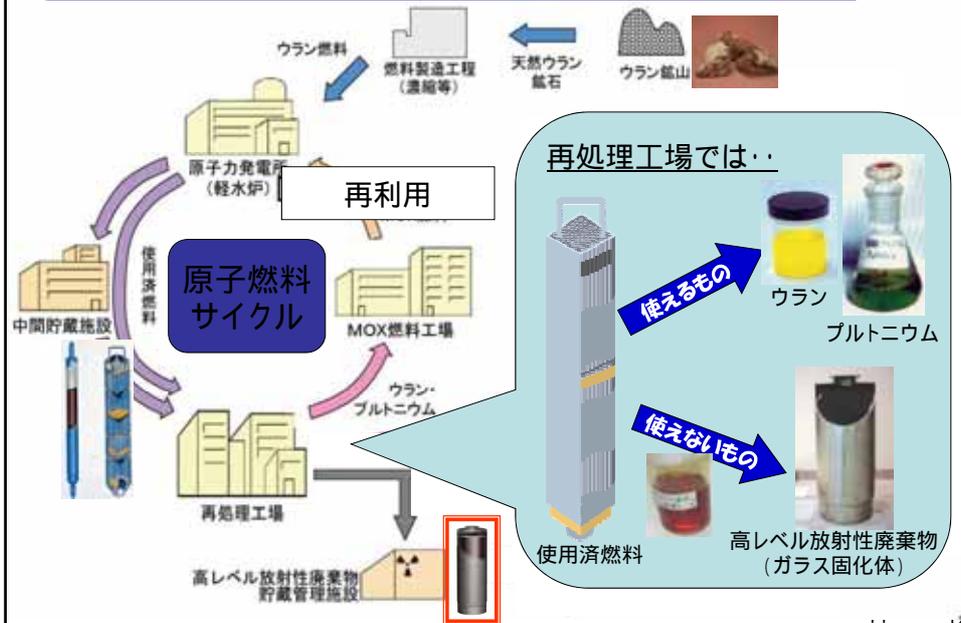


## 原子燃料(ウラン)の製造と燃料への加工



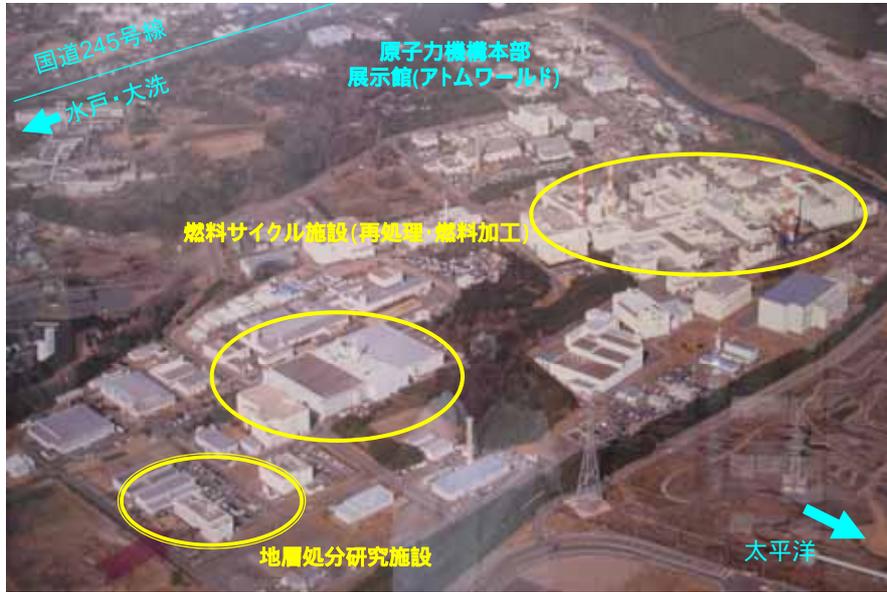
13

## 原子燃料サイクルで分別



14

日本原子力研究開発機構  
核燃料サイクル工学研究所(東海村)



15

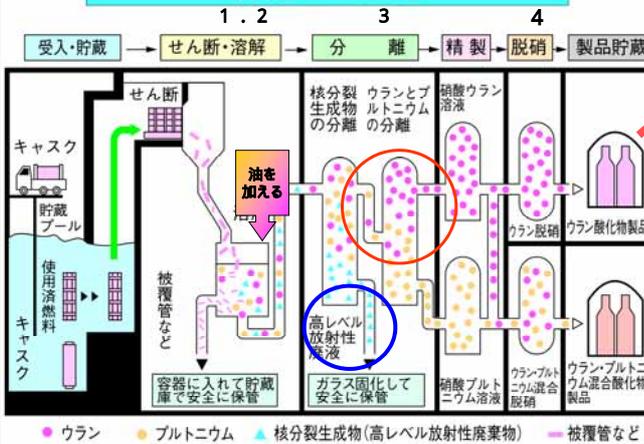
日本原燃株式会社(青森県六ヶ所村)



再処理とは

使用済みの燃料から使い残りのウランと  
発電中にできたプルトニウムを回収する  
化学工場

再処理の工程



ウラン・プルトニウム  
はリサイクル利用



16

## 多くの核分裂生成元素を含む廃液



17

## なぜガラスに替えるのか



液のままだと、

こぼれる、流れる、散らばる



ガラスは、

丈夫、溶けにくい、長持ちする



ビーカー、実験室、ガラス製品

自然にもあって地中に残っている



18

## ガラス固化体 = 高放射性の廃棄物



熔かす



容器に流し込む



固める

保管

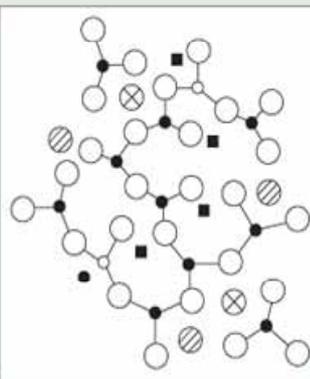


19

## 分子構造レベルでみたガラス網目構造中の 廃棄物元素の存在状態



ガラス固化体



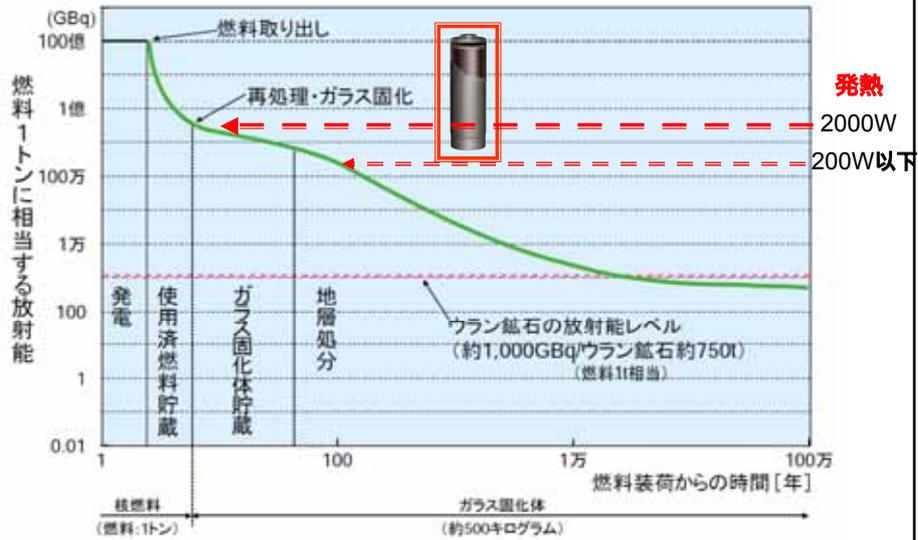
- 酸素
- ケイ素
- ホウ素
- ナトリウム他
- ⊗ アクチニド
- ⊘ 他の廃棄物元素



(原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会, 1998 を一部修正)

20

# ガラス固化体の放射能時間変化



21

# 放射性廃棄物が人間に影響を及ぼさないように なぜ地層に処分なのか

## 施設に管理



長期管理貯蔵

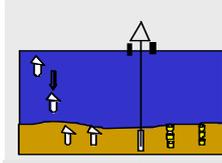
- 現状施設で対応可能
- 無期限には困難
- いずれ処分が必要

## 永久に (~万年) 隔離

### 処分



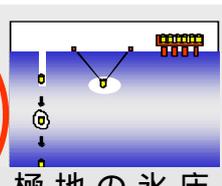
宇宙空間



海洋底下



地層中



極地の氷床

条約で制限

## 発生量の低減



- 開発途上の技術
- 原理的にすべての変換は不可能

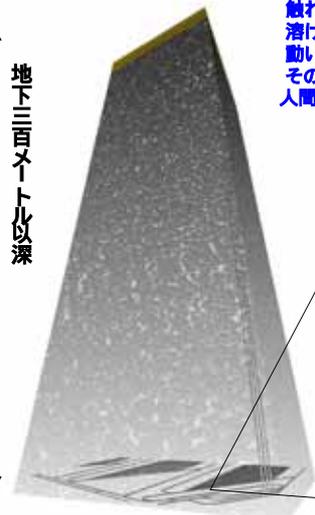
22

## 高レベル放射性廃棄物の地層処分のしくみ (多重バリアシステム)

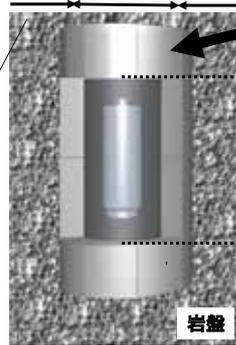
地下深くの安定した岩(天然バリア)に、人工障壁(人工バリア)を組み合わせ、

地下水を放射性廃棄物に触れにくく、  
触れても溶け出しにくく、  
溶けたとしてもその場所から動きにくく、  
動いたとしても人間の生活環境に届きにくく、  
その間に、放射性物質が希釈・分散され、放射能が減衰することにより、  
人間の生活環境への影響を十分小さくしようとする概念

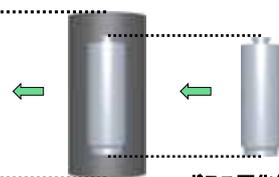
地下三百メートル以深



天然バリア 人工バリア 天然バリア



緩衝材  
(ベントナイト、珪砂混合物)



オーバーバック  
(炭素鋼などの金属容器)

ガラス固化体  
(ステンレス製  
キャニスタに  
封入)

23

## 地層処分のしくみと考え方について

原子力の廃棄物は、**ガラス**とともに固化し **多重の容器** に収めて、地下数百メートルの深さの**岩にトンネル**を掘り、埋め込んで処分します。地下の環境のもとで、ガラスと容器は1000年間廃棄物を閉じ込めるよう、その構造、材料が選定されます。

1000年以降、閉じ込めが破れたとしても、緩衝材や岩盤、地質環境の動きで廃棄物の移動は抑制され、地上への到達には極めて長期間を要すと予想されます。(安全評価研究)

ガラスによる放射性元素の取り込み

地層処分場 (展示模型)

放射性廃棄物地層処分場(予想図)

地上建設

地下建設

岩盤

オーバーバック (炭素鋼などの金属容器)

ガラスの固化体

ガラスに放射性元素を取り込み

- ウラン
- プルトニウム
- セシウム
- ストロンチウム
- ヨウ素
- その他の放射性元素

容器に入れて、埋めて(埋もれて)保存

岩石中の空隙に侵入、隙(ひび)の長期保存の抑制

24

## 廃棄物ガラスを地層に閉じ込める処分

ガラス固化体は、

- 現在は、地上の施設で安全に管理される。
- そのままでは、生物影響がない程度まで弱まるのに、1万年以上を要する。

### 地層処分

- ・生活環境から隔離する方法
- ・ガラス固化体を地下数百～千メートルの地下岩体に埋め。
- ・深い地下からは、放射性物質はほとんど地上に戻らず、減衰・希釈。

管理施設



地上施設



地層処分施設のイメージ

25

## 廃棄物の地層処分研究



地層処分基盤研究施設(原子力機構、東海村)

26

# 廃棄物の地層処分研究 (東海村:日本原子力研究開発機構)



## 廃棄物とバリアの実寸模型



### 廃棄物の地層処分のための研究



地層処分基盤研究施設 (原子力機構、東海村)

#### 国際協力



海外地下研究施設での坑道掘削試験

### 国内の深地層の研究

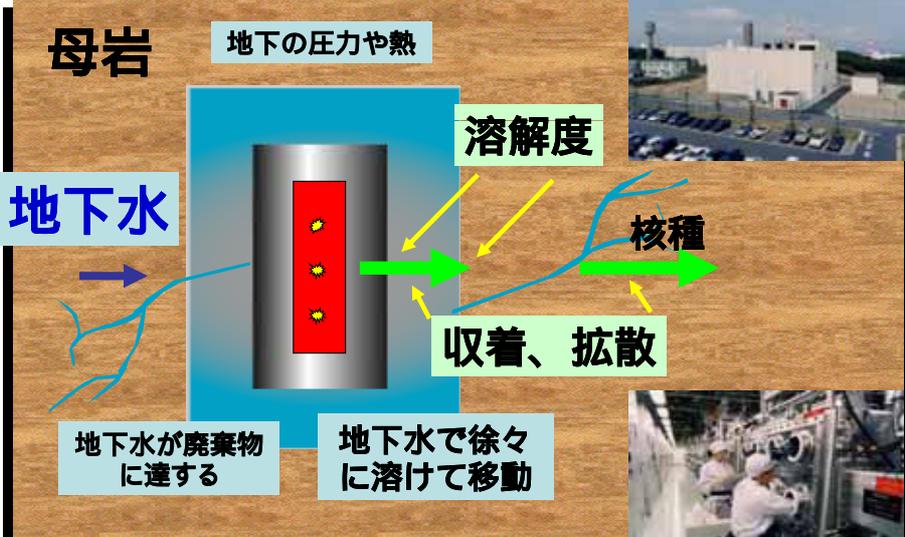


### 廃棄物とバリアの実寸模型



29

### 安全かどうかを調べるため基礎データの蓄積





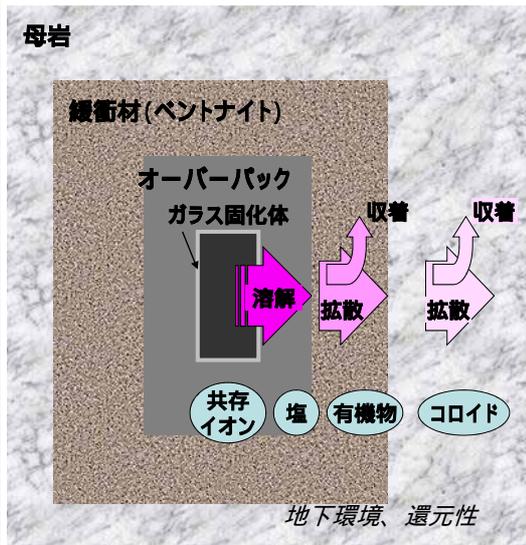

30

安全かどうかを調べるための  
基礎過程データの取得



31

核種の移動を支配する現象



•現象

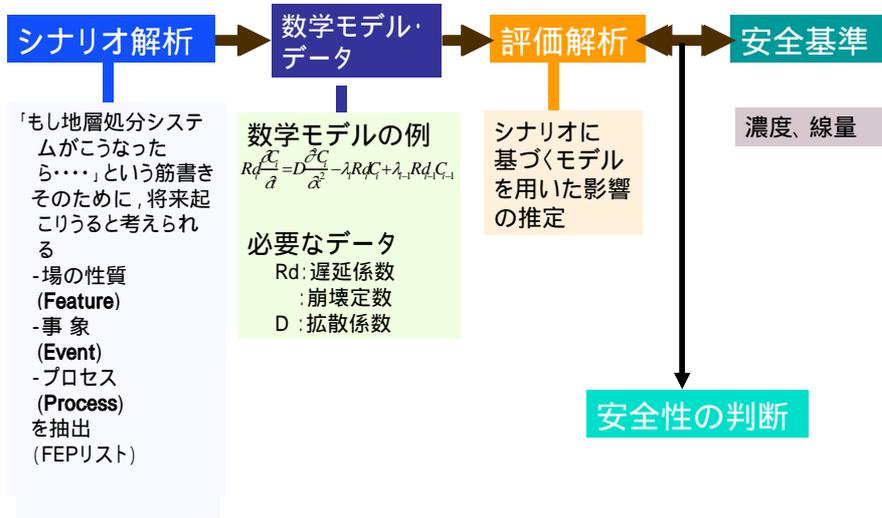
- 溶解
  - 固相→溶存化学種
- 拡散
  - 濃度の低い方へ移動
- 収着
  - 緩衝材や岩石に付着

•影響因子

- 共存イオン
- 塩
- 有機物・コロイド

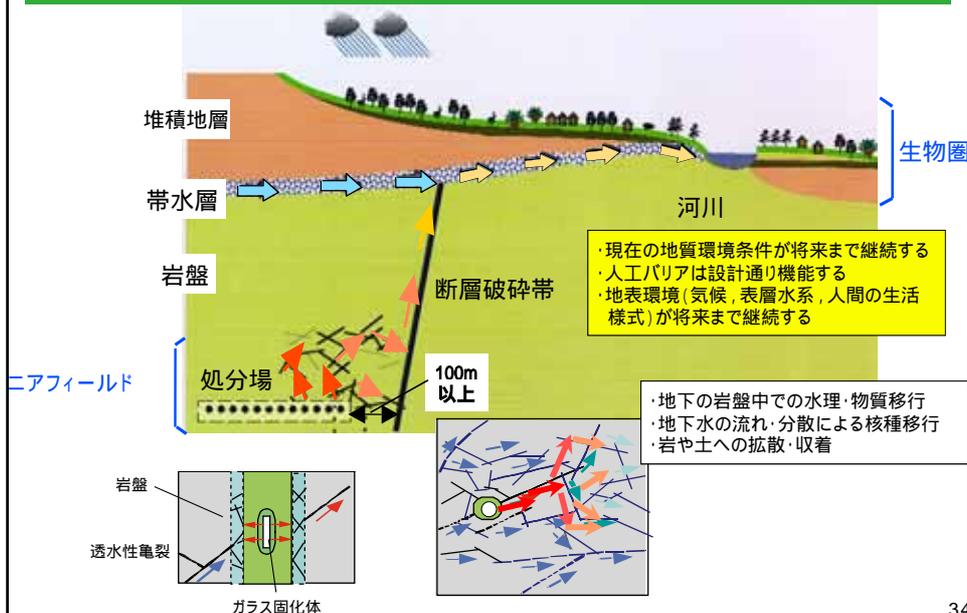
32

# 安全評価の手順



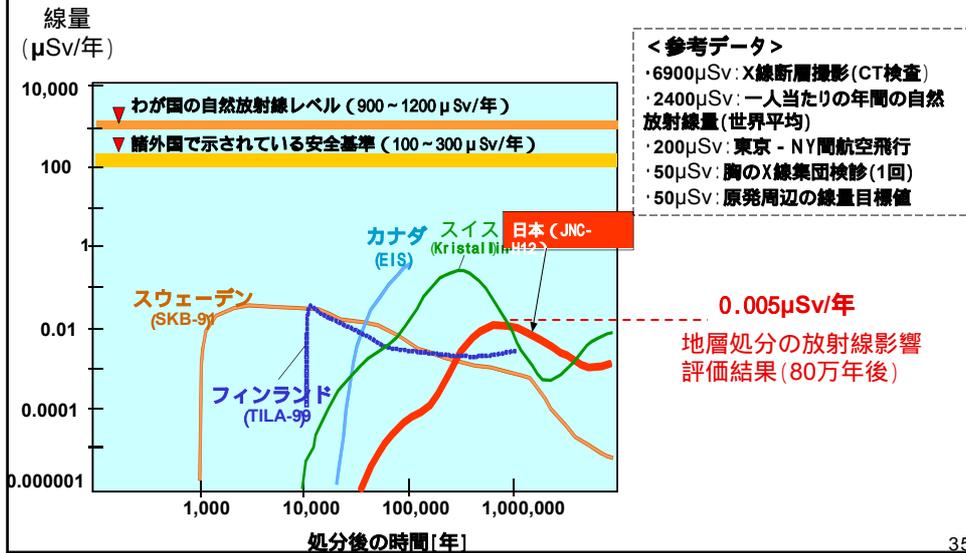
33

## 安全評価のための物質移行や現象の想定(シナリオ、モデル) 予測研究取りまとめのシミュレーション例(1999)

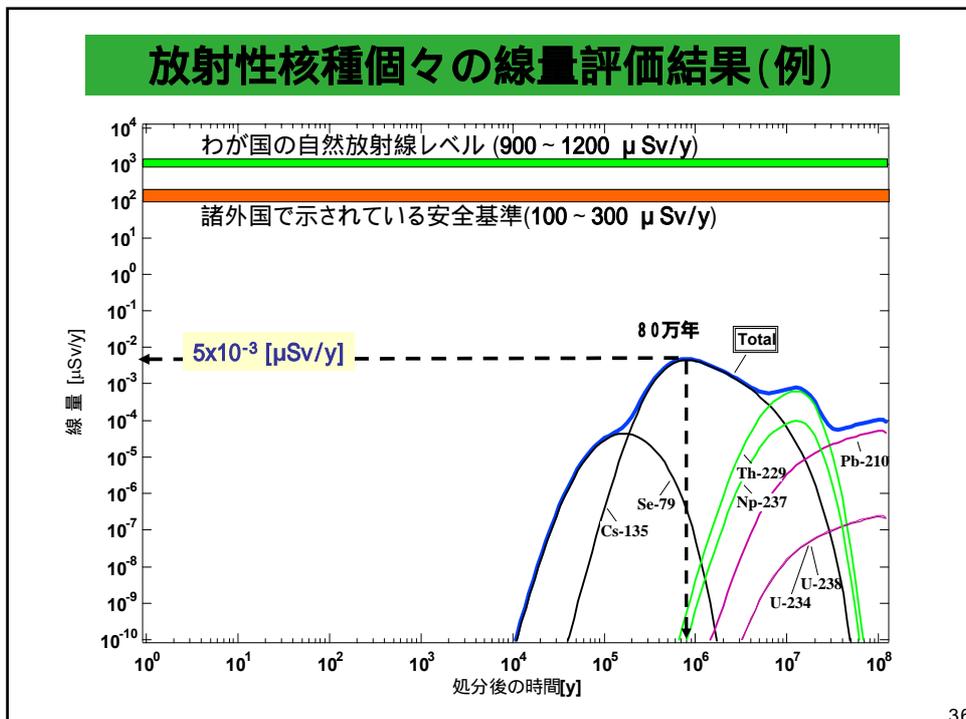


34

## 各国の安全研究結果の比較 (地下に処分した廃棄物の影響)



## 放射性核種個々の線量評価結果 (例)



考古学の知識に学ぶ。鉄（容器）の長期保存の例



37

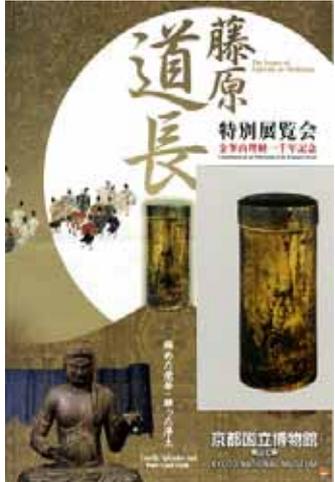
容器に入れて 埋めて(埋もれて)保存の例



5000年後にひらく球  
—タイムカプセル—  
A BALL TO BE OPENED 5000 YEARS HENCE...  
TIME CAPSULE

1007年~





藤原道長 特別展覧会  
京都国立博物館

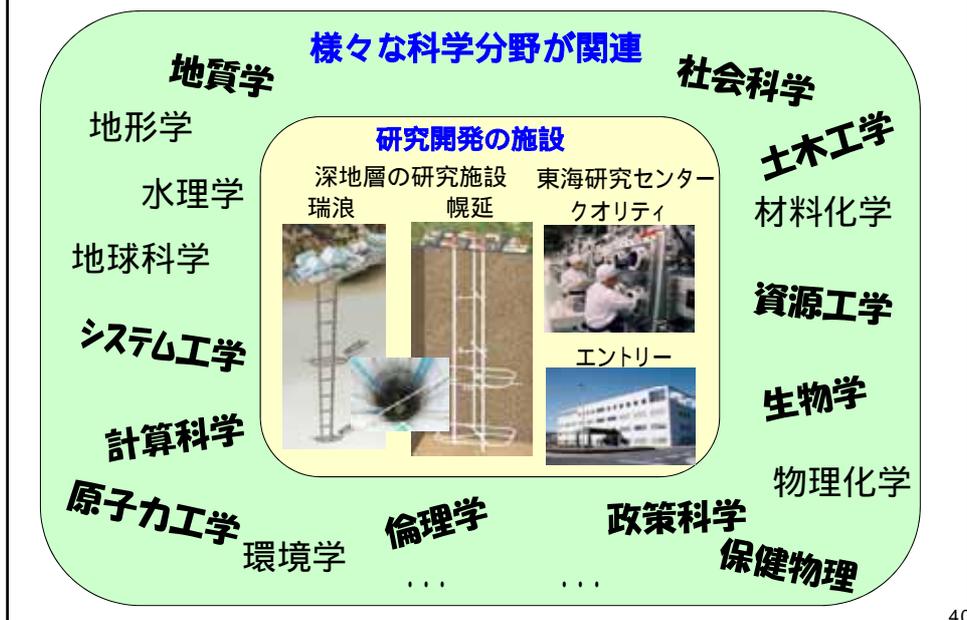
**時代**  
末法思想 …… 埋経  
撰政 道長 / 頼通、彰子(儀式部)

38

## 地層処分施設の想像図 使ったウランはどこに？



## 原子力廃棄物の処分に必要なさまざまな関連知識



## 地層処分を実現するための社会工学

- 原子力社会工学の必要性
  - > 科学技術の高度化 → 必ずしも技術が社会と共存できるかは…?
  - > 社会の役に立つ、受け入れが前提
  - > 科学技術と社会との関係の再構築      原子力/エネルギーの問題
- 原子力と関連した社会学テーマ
  - > 安全と安心
  - > 法律・社会制度
  - > 倫理、国民理解
  - > 情報・コミュニケーション
  - > 国際情勢

41

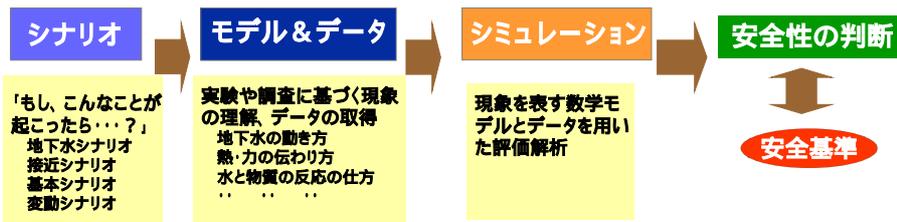
## 安全を科学的に示すための研究の努力

### 地層処分の特徴

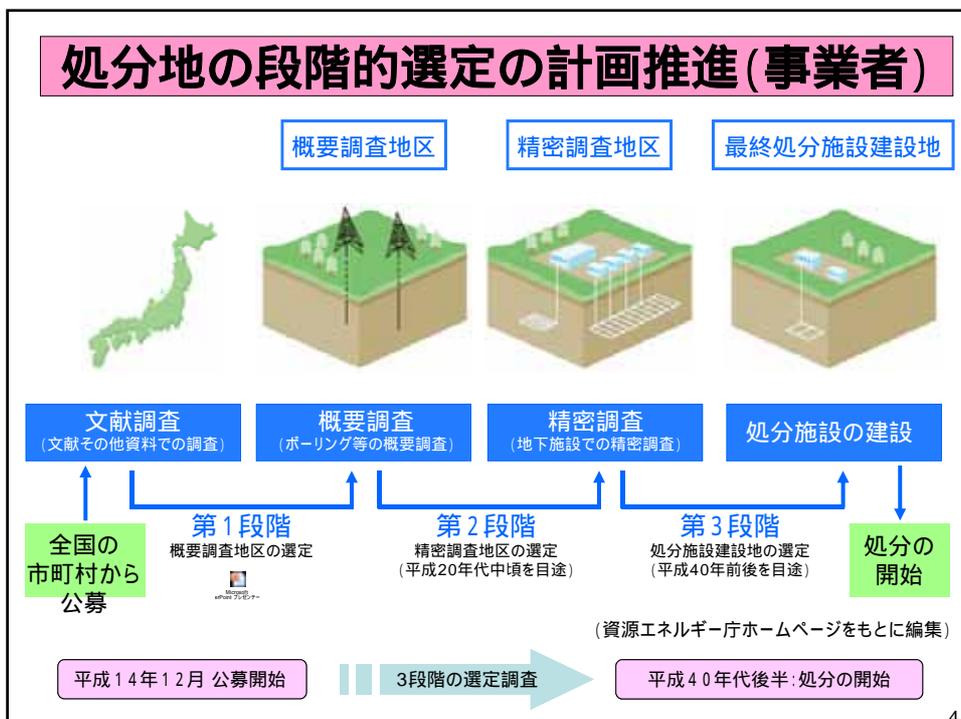
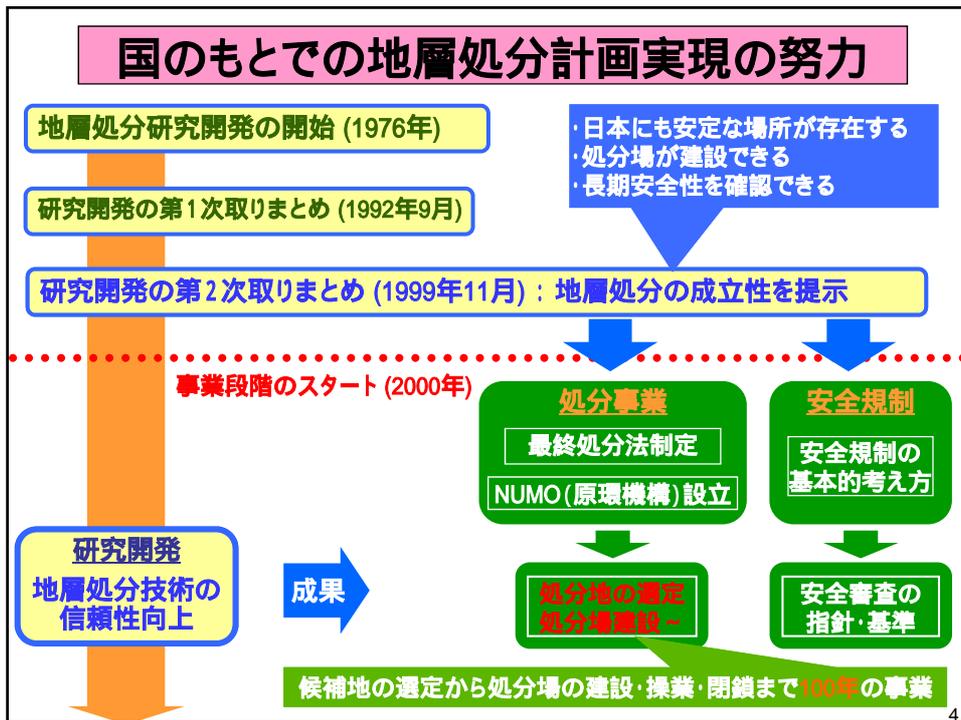
時間的な不確実性: きわめて長い時間スケールを考慮しなければならない  
 空間的な不均質性: 天然の地質環境という不均質で大きな空間領域を有する  
 システム要素を含む

システムを作動させて直接的な安全性を実証することはできない

シナリオに基づく予測によって人間の影響を論じ、システムの安全性を示す(間接的実証)  
 ・将来に予想される変化や心配される状況をシナリオとして描き、モデルとデータを用いたシミュレーションにより評価  
 ・将来の状態を言い当てるのではなく、安全性を判断するための材料を提供



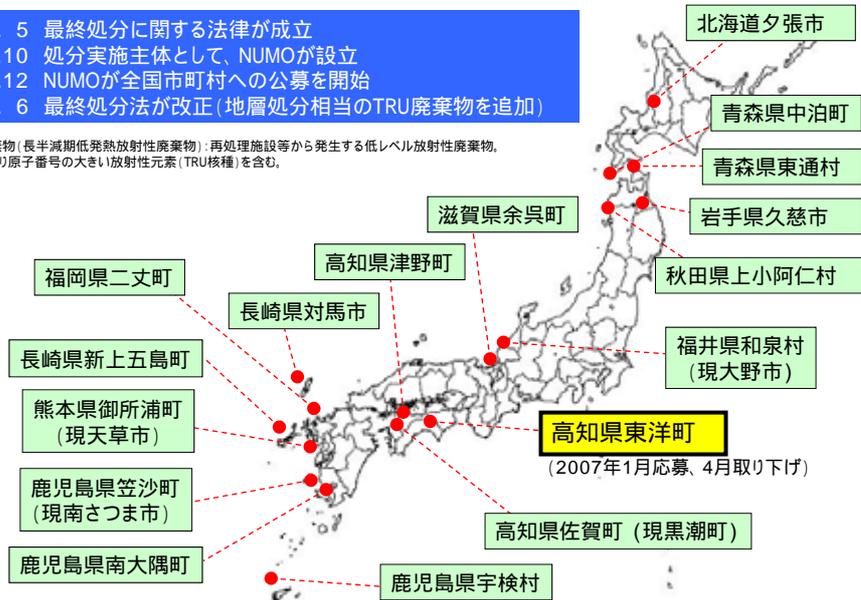
42



## 調査への応募に関連する報道があった地域

2000. 5 最終処分に関する法律が成立  
 2000.10 処分実施主体として、NUMOが設立  
 2002.12 NUMOが全国市町村への公募を開始  
 2007. 6 最終処分法が改正(地層処分相当のTRU廃棄物を追加)

\* TRU廃棄物(長半減期低発熱放射性廃棄物):再処理施設等から発生する低レベル放射性廃棄物。  
 ウランより原子番号の大きい放射性元素(TRU核種)を含む。



45

## 合意形成が進まない要因、背景

- 最終処分事業の**内容や制度に関する理解不足**
- 原子力**全般に関する知識不足**
- 原子力政策に対する国と地元の**認識のギャップ**
- **地域での理解**の広がりと深まりが不十分
- **疑問**や**不正確な情報**流布へのタイムリー・**的確な対応**が不十分
- 県、周辺自治体との**信頼関係構築**が未熟

(H19.6.6 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会  
 原子力部会第10回放射性廃棄物小委員会 資料2より)

46

## 海外でも社会の理解を深めつつ処分を進める

### 諸外国における高レベル放射性廃棄物処分の進捗状況と各国の比較



経済産業省資源エネルギー庁資料より

47

## 意見交換

1. 話を聴いての感想、納得、疑問など
2. 地球環境変化と社会生活について(感想)
  - ・地球環境のために、科学技術の貢献。
3. 原子力の利用や廃棄物について(感想)
  - ・あなたは将来、エネルギーを使う人？ つくる人？

社会の構成員である各自の役割は？



48