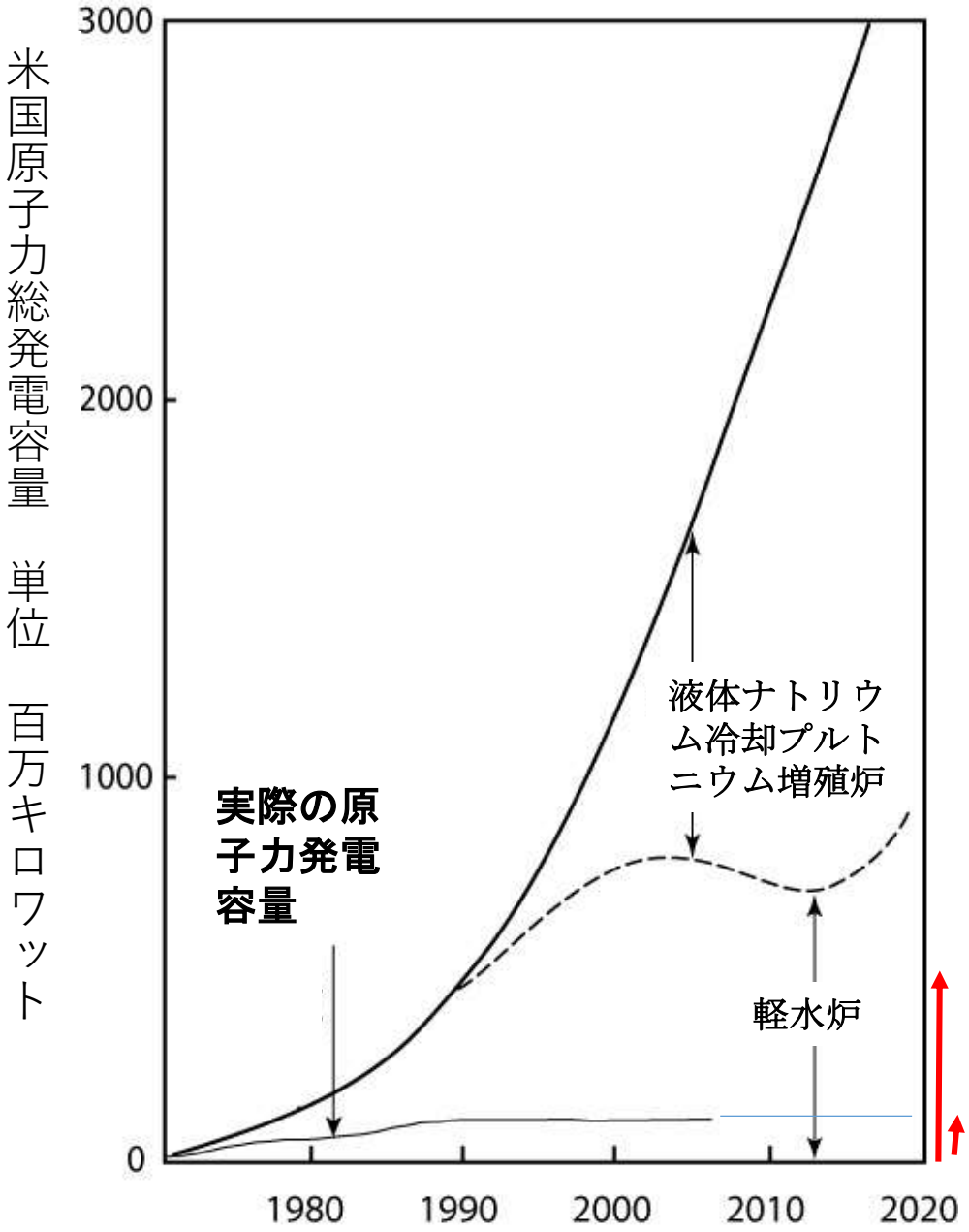
もんじゅと日本の再処理政策
歴史的視点

フランク・フォンヒッペル
「科学と世界安全保障プログラム」及び
「核分裂性物質に関する国際パネル（IPFM）」
2016年11月21日　東京

概要

- 液体ナトリウム増殖炉はなぜ失敗したか
- 使用済み燃料の再処理によりプルトニウムを分離するのはなぜ経済的ではないか
- フランスのアレバ社が、どのように再処理とMOX燃料製造で儲けようとしてきたか
- 民生用分離済みプルトニウム（核兵器利用可能物質）のストックが増えている
- なぜ再処理は放射性廃棄物管理にとって必要ないか
- 再処理工場での事故の危険性
- トリチウム放出の問題

1970年代、プルトニウム増殖炉は現在よりずっと数多くの原子炉群で支配的になると予測された



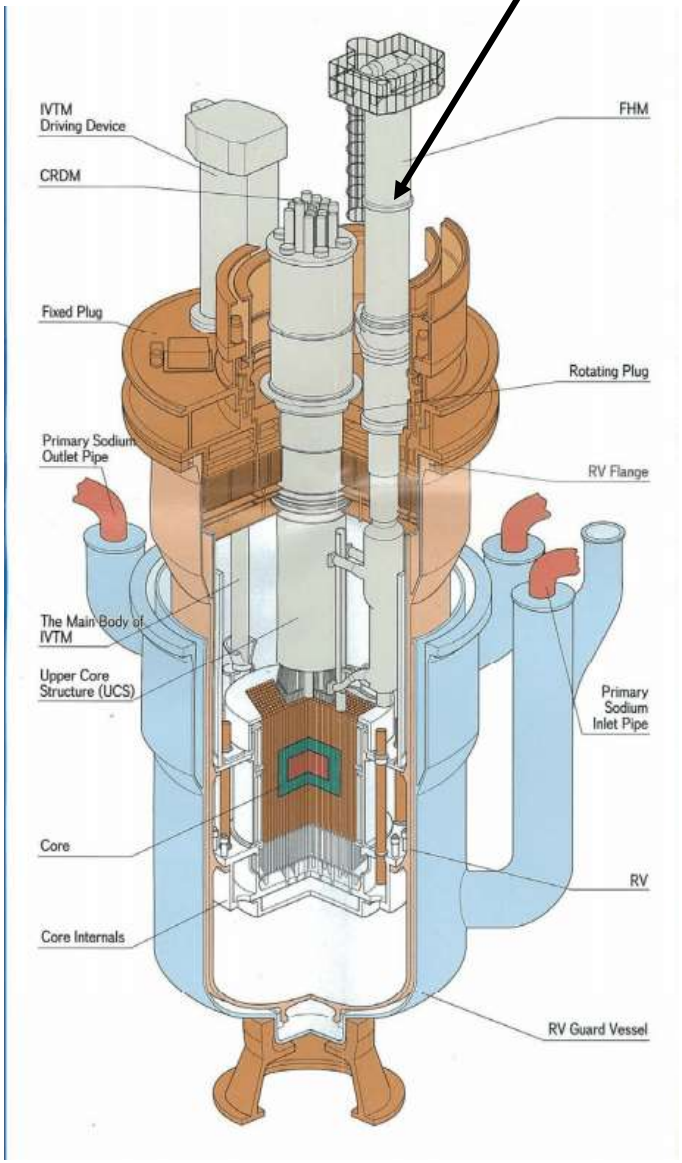
米国原子力委員会 (1974年)

同様の予測は、数多くの他の国々によっても立てられた。そして、世界の原子力容量に関してはIAEAが同様の予測を立てた。

もんじゅは液体ナトリウム冷却から来る問題を示している

1995年ナトリウム火災

2010年燃料交換装置事故



原子炉運転時間がわずかだとkW時当たりのコスト上昇

軽水炉の平均設備利用率：約 *80%*

ナトリウム冷却「実証炉」：ほとんどが<20%

国	原子炉	出力	生涯設備利用率*
中国	***BN-20***	20 MWe	**0.2%**
フランス	***Superphénix*** (1985-98)	1200	**8%** (ナトリウム漏れ)
ドイツ	***SNR-300*** (1991)	300	安全許可が得られず
日本	**もんじゅ** (1994-)	246	**1%** (ナトリウム火災)
英国	***PFR*** (1975-94)	500	**19%** (ナトリウム漏れ)
米国	*クリンチ・リバー*	300	計画撤回
ロシア	***BN-600*** (1980-)	560	**74%だが15回のナトリウム火災**

ナトリウム冷却炉は、「建設が難しく、運転が複雑で、わずかな故障によっても長期の運転停止になりやすく、そして、修理が困難で時間がかかる。」

–ハイマン・リッコーバー提督：米国原子力潜水艦の加圧水型炉開発者。1956年

*IAEA Power Reactor Information System

50年間の歳月と1000億ドルの費用を研究・開発・実証ために注ぎ込んだ末、液体ナトリウム冷却炉は、世界の原子力発電容量の0.4％でしか達成できていない

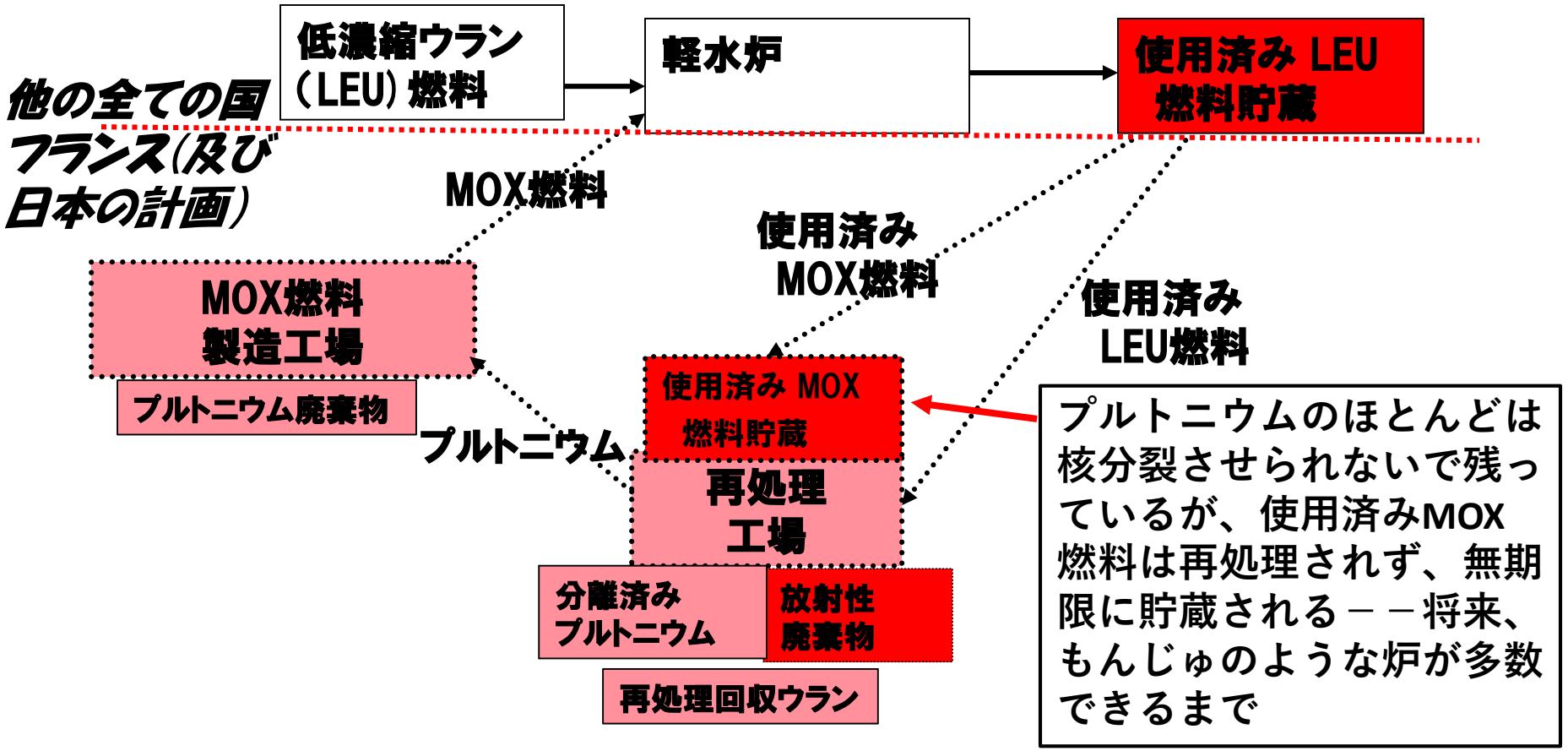
原子炉の型	発電容量*
水冷却	97.7%
ガス冷却	2%
ナトリウム冷却 (ロシアに2基、中国に1基)	0.4%

* IAEA Power Reactor Information System

今日の燃料サイクル(31か国):
ワンススルー(25ヵ国)とプルトニウム分離(6ヵ国)
一つの廃棄物形態から多くの形態へ

(Pu 利用, 12% のLEU 節約ートン当たり燃料コスト10倍)

インドとロシアは増殖炉計画のために再処理してプルトニウムを回収。
中国は同じことを計画。英国は再処理放棄予定。



フランス、ロシア、英国は再処理サービスを売っていた。契約を更新したのはオランダだけ

（数字は原発電容量　単位： 100万kW）

再処理をしている国（６）		再処理を中止したか、中止する計画の国（14）		使用済み燃料を貯蔵している国（11）	
MOX用大規模		アルメニア（ロシアで）	0.4	アルゼンチン	1.6
フランス	63.1	ベルギー（フランスで）	5.9	ブラジル	1.9
日本	18-40.2	ブルガリア（ロシアで）	1.9	カナダ	13.5
		チェコ共和国（ロシアで）	3.9	イラン	0.9
増殖炉R＆D用		フィンランド（ロシアで）	2.8	メキシコ	1.4
中国（パイロット2011）	31.4	ドイツ（フランス／英国）	11	パキスタン	1.0
インド	6.2	ハンガリー（ロシアで）	1.9	ルーマニア	1.3
ロシア（パイロット1977）	26.6	スロバキア共和国（ロシアで）	1.8	スロベニア	0.7
		スペイン（フランス／英国）	7.1	南アフリカ	1.9
残った顧客国		スウェーデン（フランス／英国）	9.7	韓国	23.1
オランダ（仏にて）	0.5	スイス（フランス／英国）	3.3	台湾（中国）	5.1
		英国（終了予定 2018年頃）	8.9		
		ウクライナ（ロシアで）	13		
		米国（1972年）	100		
合計	146－168	合計	171	合計	52

フランスのアレバ社は、再処理・MOX工場、それに、廃止措置・除染サービスを売っている

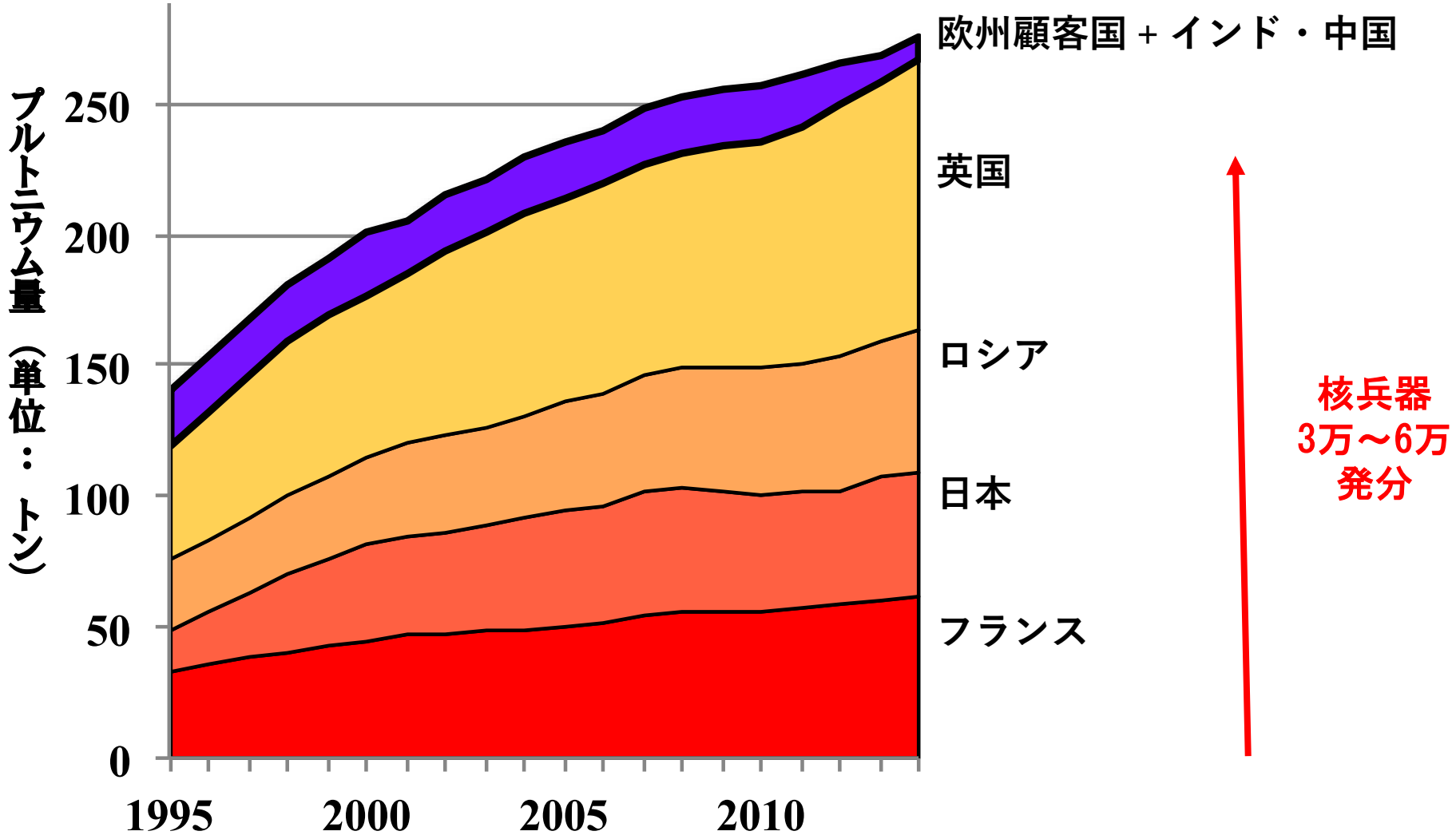
再処理工場：日本 (六ケ所);米国 (G.W. Bush（息子）政権の際試みた);中国

MOX 工場：日本 (六ケ所); 米国; 英国(試みている)

再処理工場廃止措置サービス：英国

国別の民生用プルトニウム保有量の増大

顧客国は再処理委託を中止し、保有プルトニウムを消費中
英国再処理計画終了へ。保有プルトニウム処分方法について思案中.
仏・ロは保有量の増大を継続
日本は2018年に大規模なプルトニウム分離を計画



放射性廃棄物の議論

プルトニウム増殖炉は商業化されていない.

再処理とMOX燃料としてのプルトニウムの使用は、少量のウランの節約するものだが多額のコストがかる。それに、新しい廃棄物の流れと、核拡散・核テロのリスクを生み出す。

今では、再処理推進派は別の議論を持ち出している:

“プルトニウム（及び他の超ウラン元素）を埋めるわけにはいかない。何千年も後に地上に出てくる可能性があるからだ。

“だから分離して、核分裂させないといけない。

“核分裂に一番いいのは高速中性子炉だ。プルトニウム増殖用に開発している同じ炉だ。

“だからナトリウム冷却炉の開発を続けないといけない。

“日本のもんじゅとフランスのスーパーフェニックスは失敗したが、フランスと一緒に、ASTRIDを建設しなければならない。プルトニウム燃焼炉として。

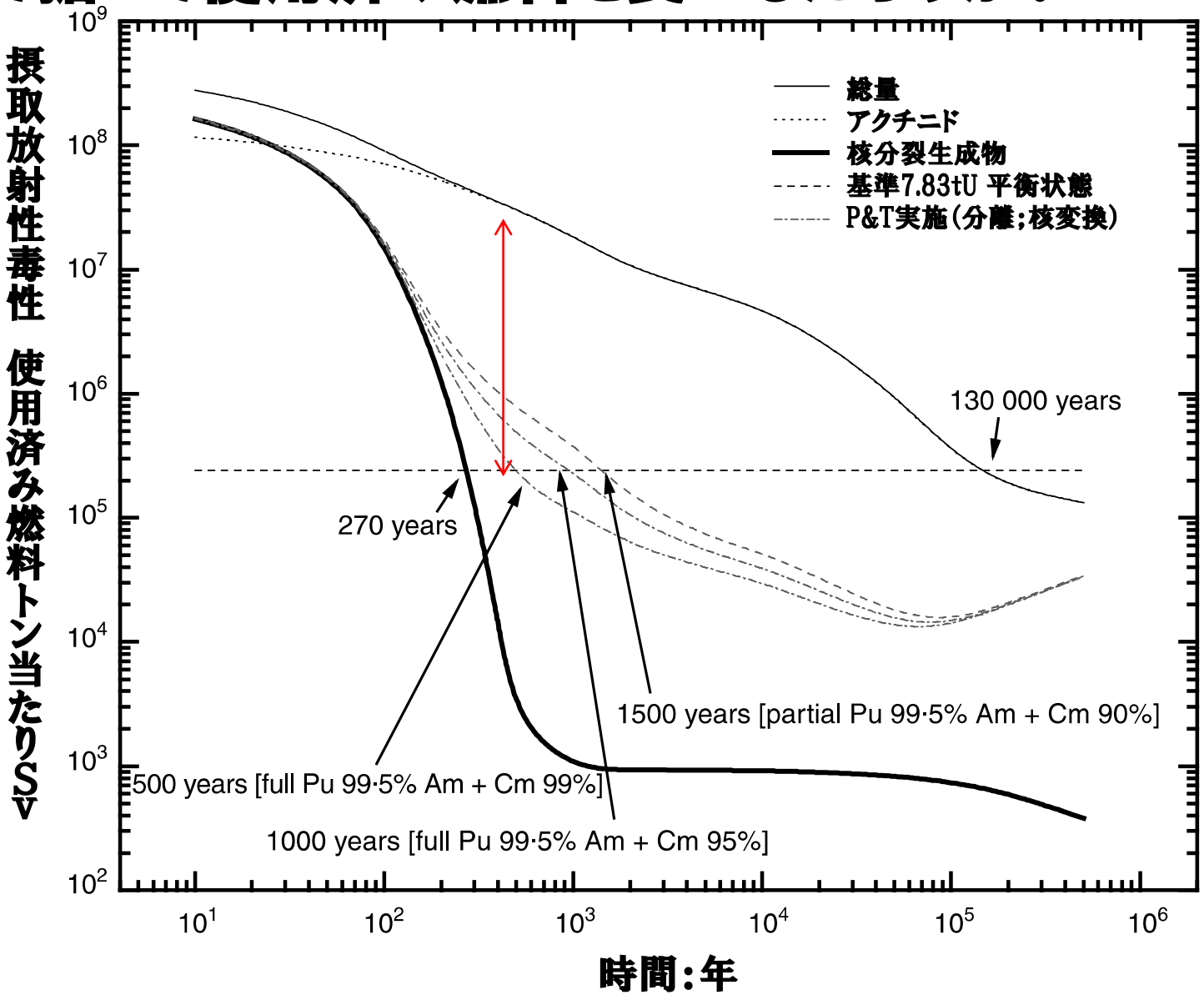
“そうすれば、増殖炉の夢も維持できる”

放射性廃棄物議論の問題

1. すべての普通の原発が今日閉鎖になったとしても、すでにあるプルトニウムの99％を除去するためには何世代もの高くつく原子炉と再処理工場を数百年にわたって運転しなければならない。*
2. プルトニウムは地下深くでは比較的移動しにくい。他の放射性核種が地上へ漏れ出してくるものの大半を占める。
3. 再処理とプルトニウム燃料製造は、1万年先に地下深くの処分場から地上に漏れ出してくるものよりずっと深刻な汚染問題を生じさせる。

* *Nuclear Wastes: Technologies for Separations and Transmutation* (National Academy Press, 1996) Figure 4.5.

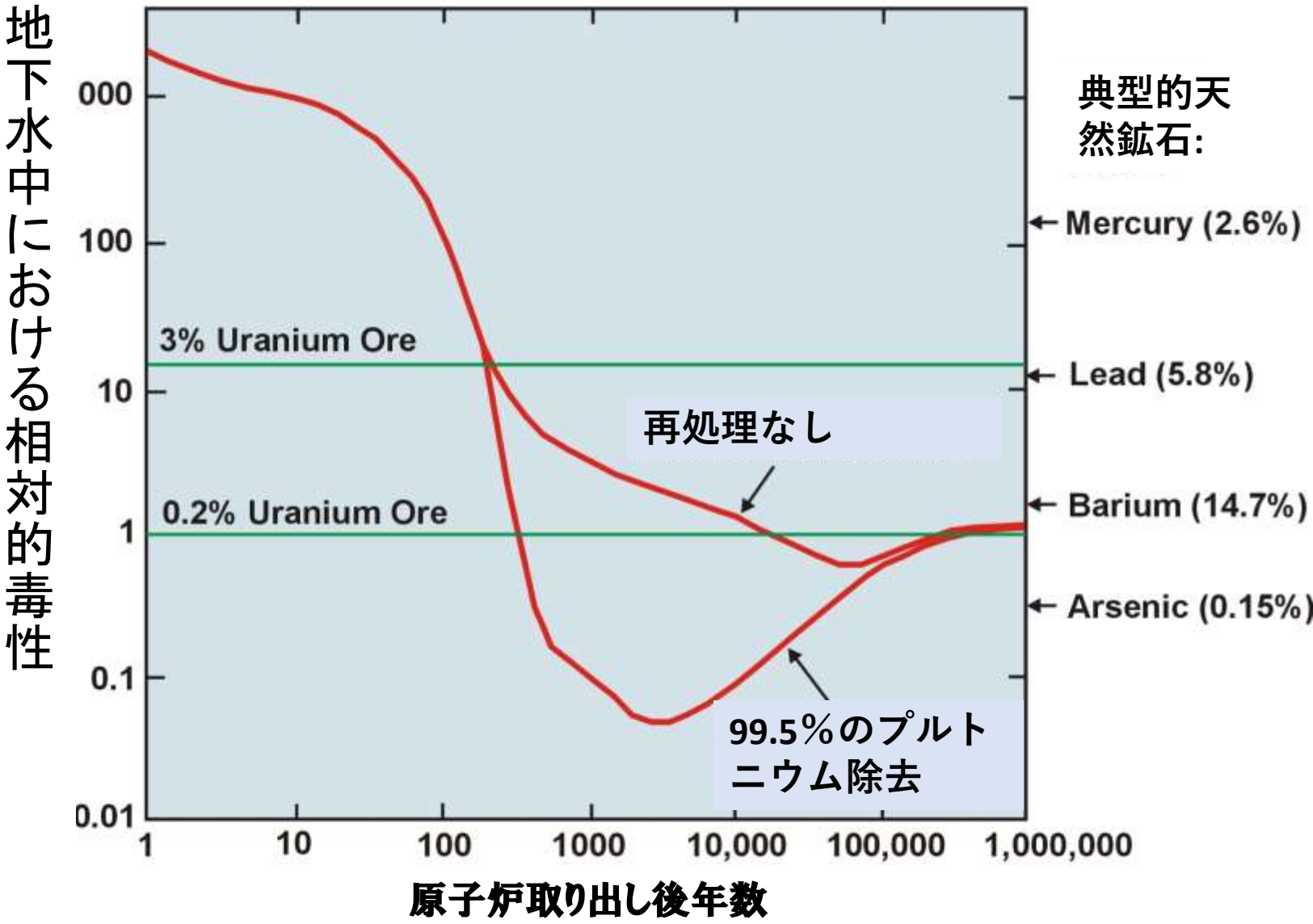
使用済み燃料の摂取毒性は減るだろうが、 誰が500mの深さまで掘って使用済み燃料を食べるだろうか?



J. Magill, et al., "Impact limits of partitioning and transmutation scenarios on the radiotoxicity of actinides in radioactive waste," *Nuclear Energy* Vol. 42, No. 5, Oct. 2003, 263–277.

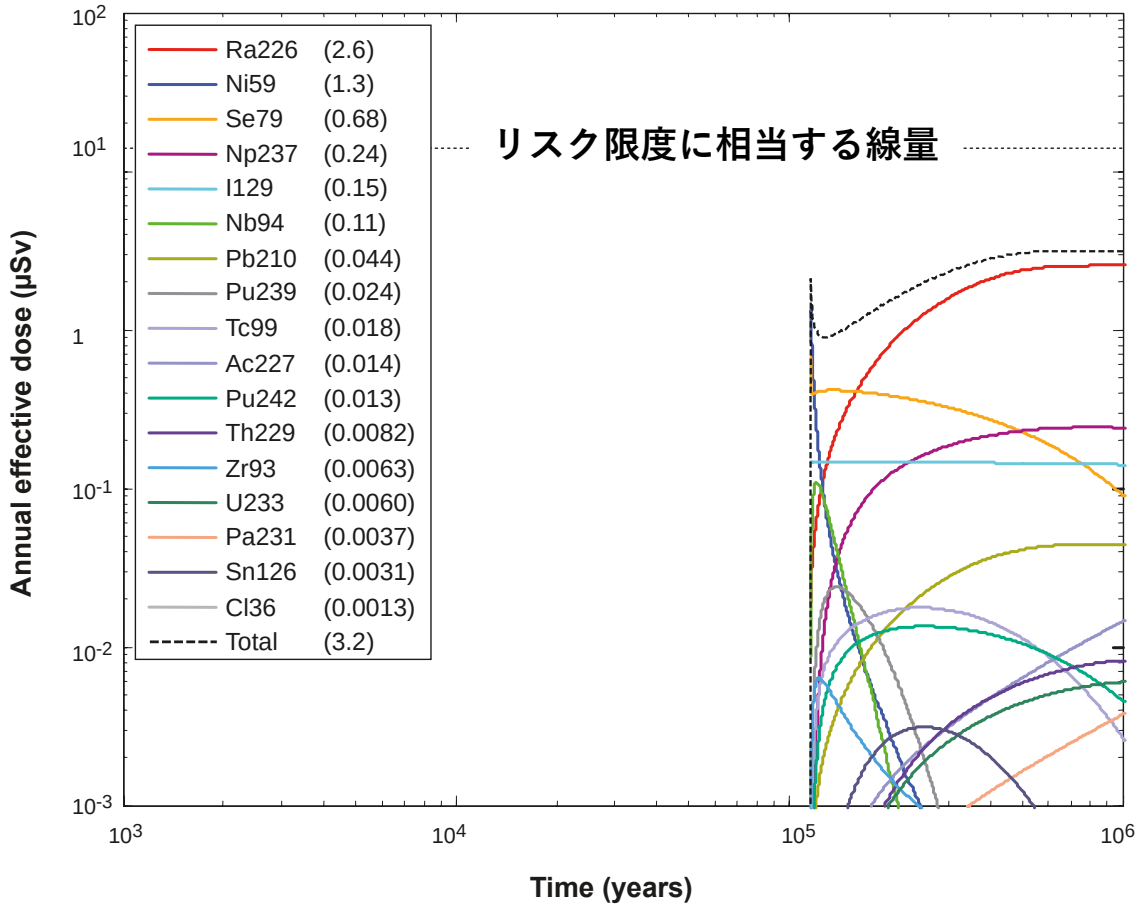
Fig. 8. Ingestion radiotoxicity of one ton used nuclear fuel based on ICRP72 effective dose coefficients

地下には多くの毒性元素があるが私たちは地下深部の岩を食べず、地上の私たちが毒にやられることはない。



Source: J. Boulton, Ed., "Management of Radioactive Fuel Wastes: The Canadian Disposal Program", AECL-6314, 1978.

地上での被曝線量を決めるのは相対的水溶性。スウェーデンの処分場研究では、支配的なのはラジウム。ウラン238の崩壊生成物。日本の地下500mの深さには、すでに、10億トンのウラン228が存在。



Radium-226
(from U-238)

Neptunium-237
Iodine-129
Selenium-79
Lead-210
(from U-238)

Figure 13-16. *Far-field annual effective dose for a deterministic calculation of the central corrosion case. The legends are sorted according to descending peak annual effective dose over one million years (given in brackets in μSv).* SKB, *Long-term safety for the final repository for spent fuel at Forsmark: Main report of the SR-Site Project, Vol. III* (TR-11-01, 2011).

再処理・核変換が処分場に及ぼす利点は重要な意味を持つものではないとのコンセンサスが出現

“被曝線量の減少はどれをとってみても、核変換の費用と追加的運転リスクを正当化するような大きさのものではない

－米国科学アカデミー(NAS) 1996年[1]

“「マイナー・アクチニド[プルトニウム以外の超ウラン元素]の核変換(トランスミューテーション)は、深地層処分の放射能面での影響を大きく変えることはない。なぜなら、影響は主として核分裂生成物及び放射化生成物によるものだからである・・・

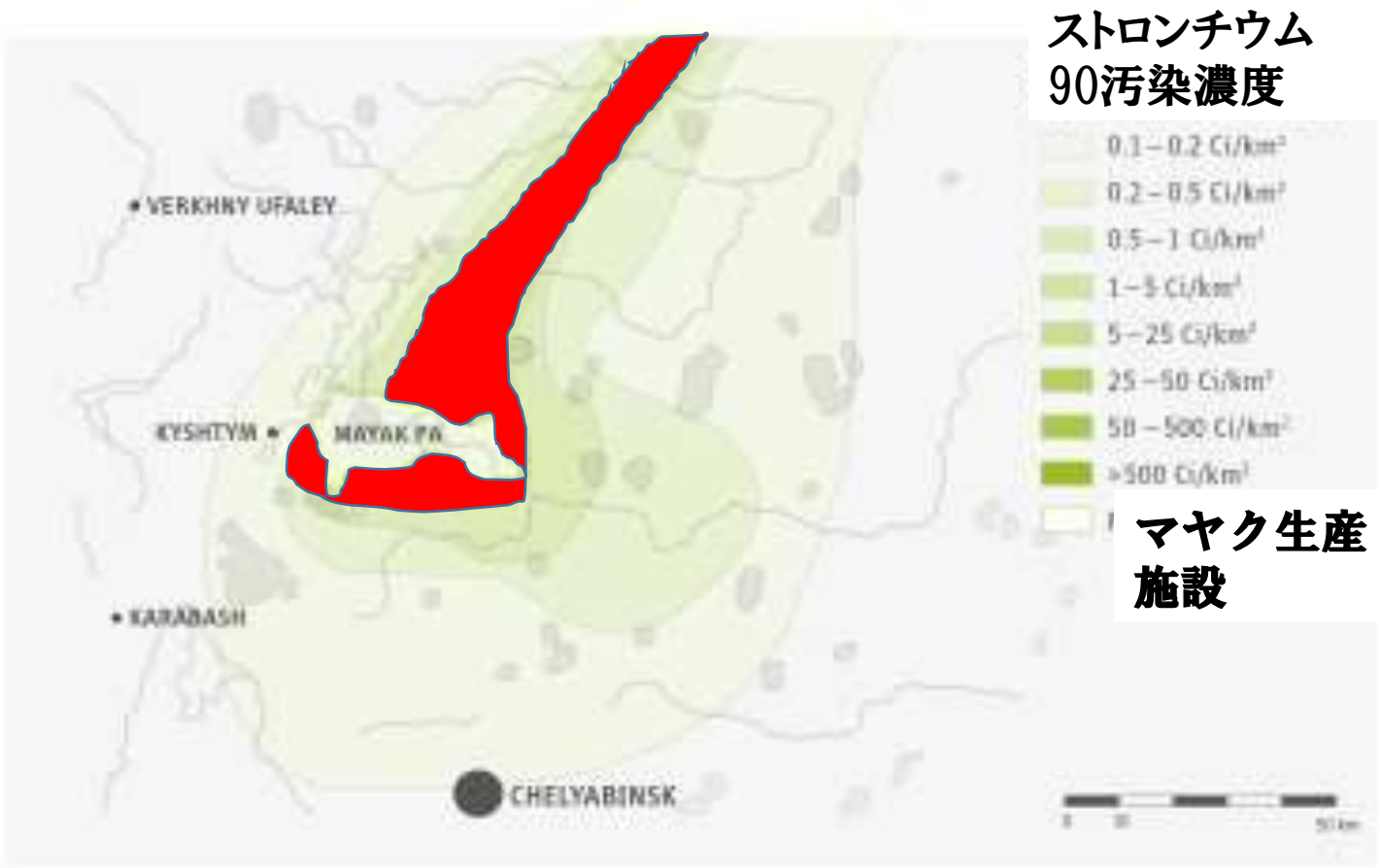
－フランス「原子力安全局(ASN)」2013年[2]

”「資源活用[つまりは使用済み燃料内のウラン及びプルトニウムからエネルギーをさらに取り出すこと]が目的でないなら再処理せず[使用済み燃料を]直接処分した方がいい」

栃山修・経済産業省地層処分技術ワーキンググループ委員長　2014年5月1日[3]

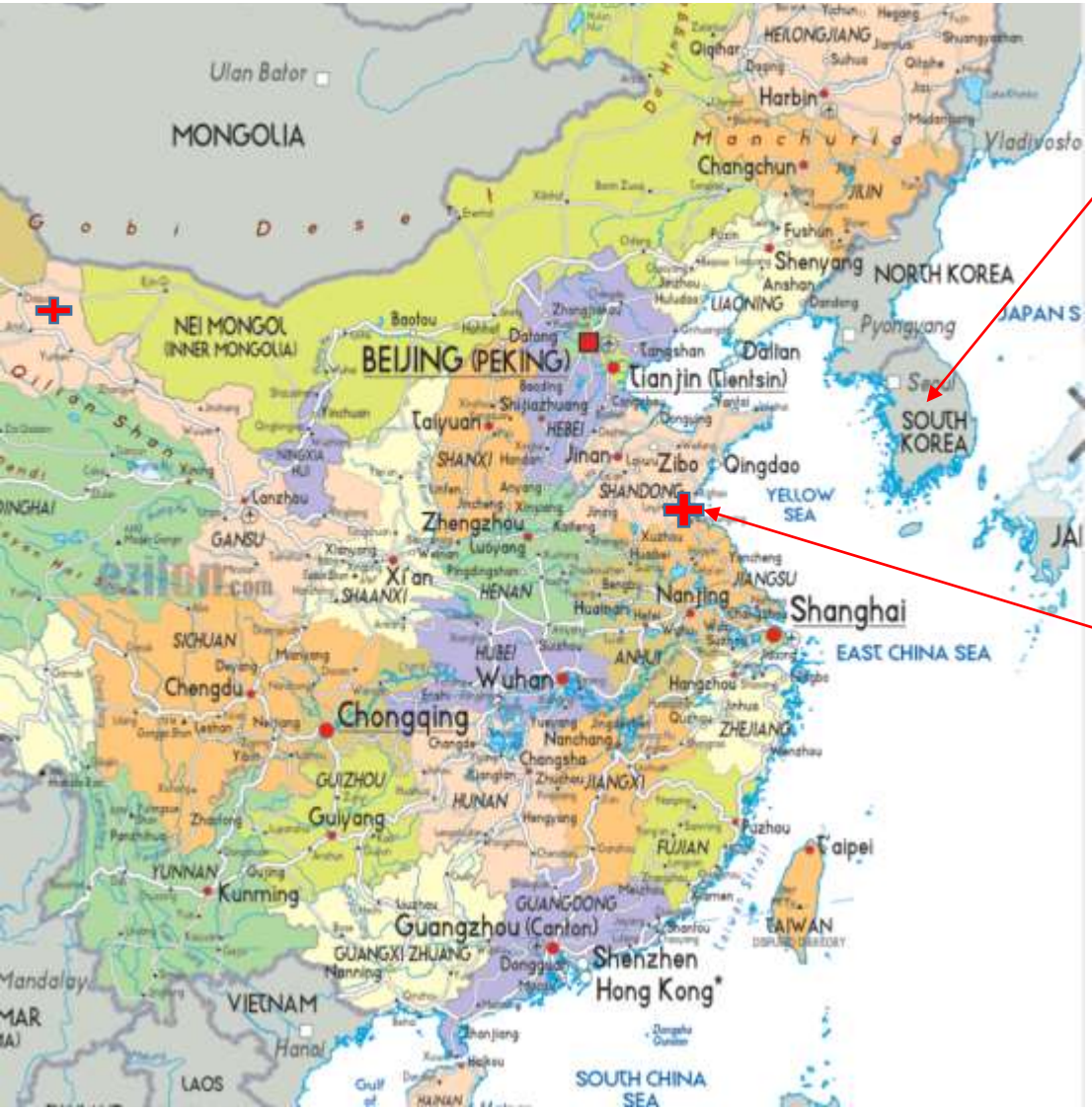
1. *Nuclear Wastes: Technologies for Separations and Transmutation* (National Academy Press, 1996), p. 3.
2. ANS, “Opinion No. 2013-AV-0187 of July 4, 2013, transmutation of long-lived radioactive elements”
3. 『論点：核のごみ　最終処分への提言』（聞き手　山田大輔）、毎日新聞　2014年05月23日.

再処理はリスクを高める. 旧ソ連における1957年の事故。西側諸国での再処理を守るため、諜報機関によってもみ消された。
約1000 km^{2}の範囲で避難(福島と同じ)。



マヤク核施設再処理工場の1957年の爆発によるストロンチウム90汚染。爆発を起こしたのはウラル山脈のキシュチムに近い旧ソ連軍事用再処理工場の高レベル廃液貯蔵タンク。

中国と韓国は、大量の「民生用」プルトニウムのストックを持つようになるのか。



.韓国原子力研究所（KAERI）は1970年代以来再処理技術を求め続けている。

今日、韓国人の54%が核兵器を欲しがっている（2015年1月）

再処理は、大量の放射性トリチウムを水中に放出する。従って、海岸でなければできない。
中国の連雲港市は、フランスの設計による六ケ所型の再処理工場の受け入れを拒否した。

結論: 再処理と増殖炉の推進派は増大を続ける課題に直面

- もんじゅの失敗は、液体ナトリウム冷却炉が経済的でないことを再度示して見せている。
- 英国では、フランス電力が再処理費用を払うことを拒絶したため、再処理が放棄されつつある。
- フランスでは、フランス電力が再処理費用の支払いを拒絶することを政府が許してないが、アレバ社の工場は老朽化しており、再処理はそのうち、高くつきすぎるものとなるかもしれない。
- 韓国政府は、使用済み燃料の貯蔵に重点を置いている。
- 安倍政権は、電力消費者に再処理費用を払うよう強制している。中国政府は同じことをしようとしているが、福島以来、国民は以前より懐疑的になっている。
- 各国の再処理・増殖炉推進派は、後、どのくらいの期間、思い通りにことを続けることができるだろうか？

王様は裸だということを指摘し続ければ、いずれ王様はその事実に気づくだろう。

The emperor said to himself " 'But I will have to go through with the procession' . . . so he drew himself up and the lords in waiting tightened their holds on his mantle and stalked on," even though he had no clothes on. (Illustration by Arthur Rackham, see reference 24.) Figure 1