

徳山工業高等専門学校

現代日本におけるエネルギー問題 と課題解決の方向性

平成30年12月11日

シニアネットワーク連絡会

エネルギー問題に発言する会

早野睦彦 mutsumihiko.hayano@gmail.com

SNWの活動方針

1. 世代を越えた対話

次世代を担う若者との対話により夢と希望を与え、自ら育む手助けをする。

2. 情報提供と理解促進活動

市民、先生、マスコミ関係者へのエネルギーと環境問題、原子力、放射線などの理解を促進する為、公開シンポジウムなどの啓発活動を行なう。

3. 講師の派遣など

国が推進する「原子力人材育成プログラム」「広聴・広報事業」などを支援し講師派遣を行なう。必要に応じ学校への出前授業を実施。

4. 協力団体との水平的なネットワーク連繋

協力団体、組織と連携し問題解決に向け統一的アプローチを行う。

日本が正しい知識と理性で導かれる一流国であることを願い、その役割を担う若者との対話を行う！

お話ししたい内容

1. 人類文明の発展
2. エネルギーについて
3. 日本のエネルギー事情
4. 核エネルギーについて
5. リスクについて考えてみる
6. 各国の原子力に対する立ち位置
7. 皆さんはどう考えますか？

1. 人類文明の発展

成長の限界(1972年) ローマクラブ

人口と生産の増大をこのまま続ければ、その代償は資源の制約と環境の悪化である。従って、人類はこれ以上の成長を望んではならない。

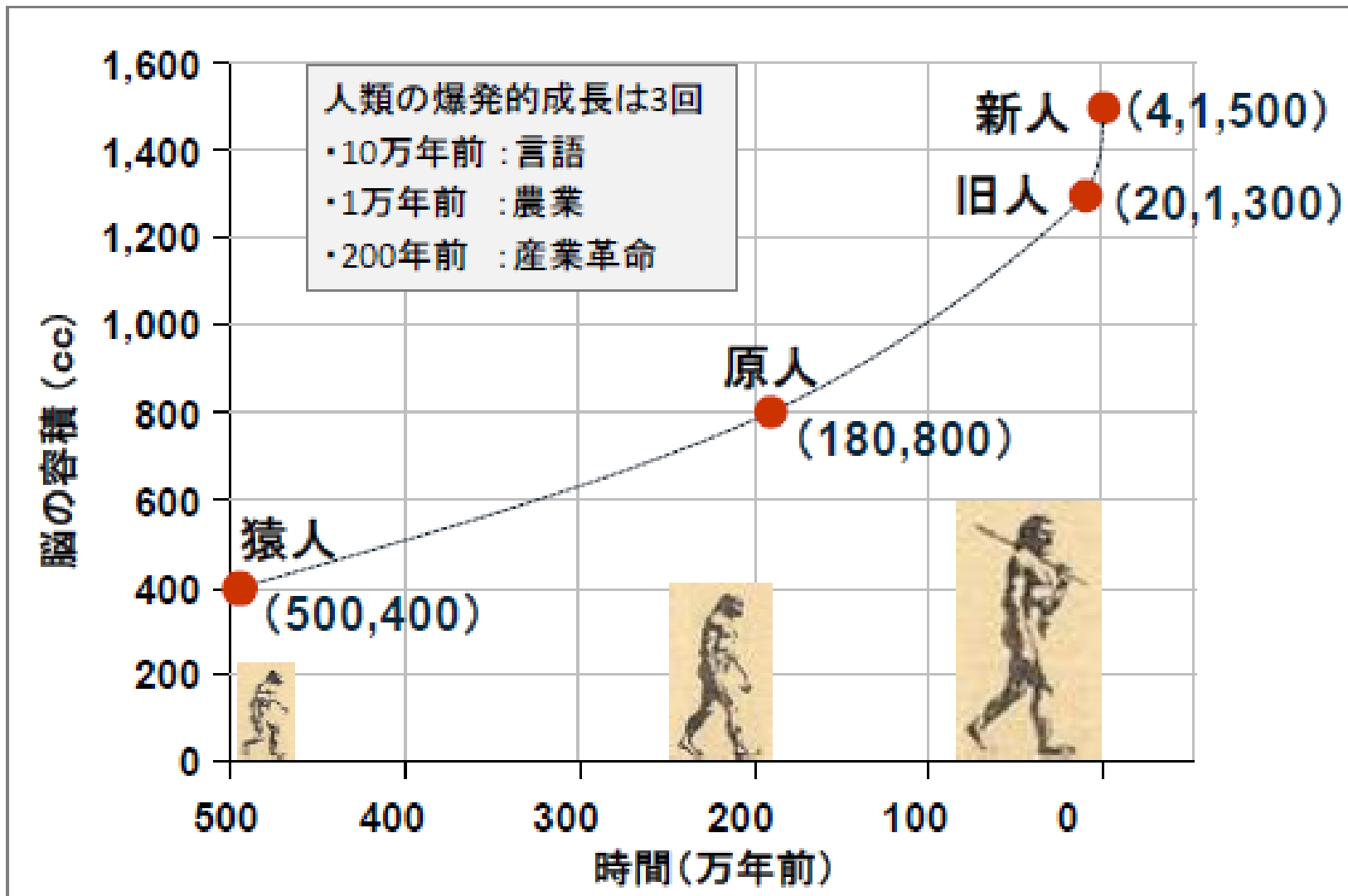
成長要因 人口増加(70億人⇒世紀末には100億人?いずれは飽和する)
生活レベルアップ(現在20%の人口が80%の富を占有:ワイングラス社会)
制約因子 地球規模での土地、エネルギー、資源、環境

両要因の相克に対する妥協点が存在するのか?

21世紀の課題「エネルギー・食糧・水・人類環境・・・」

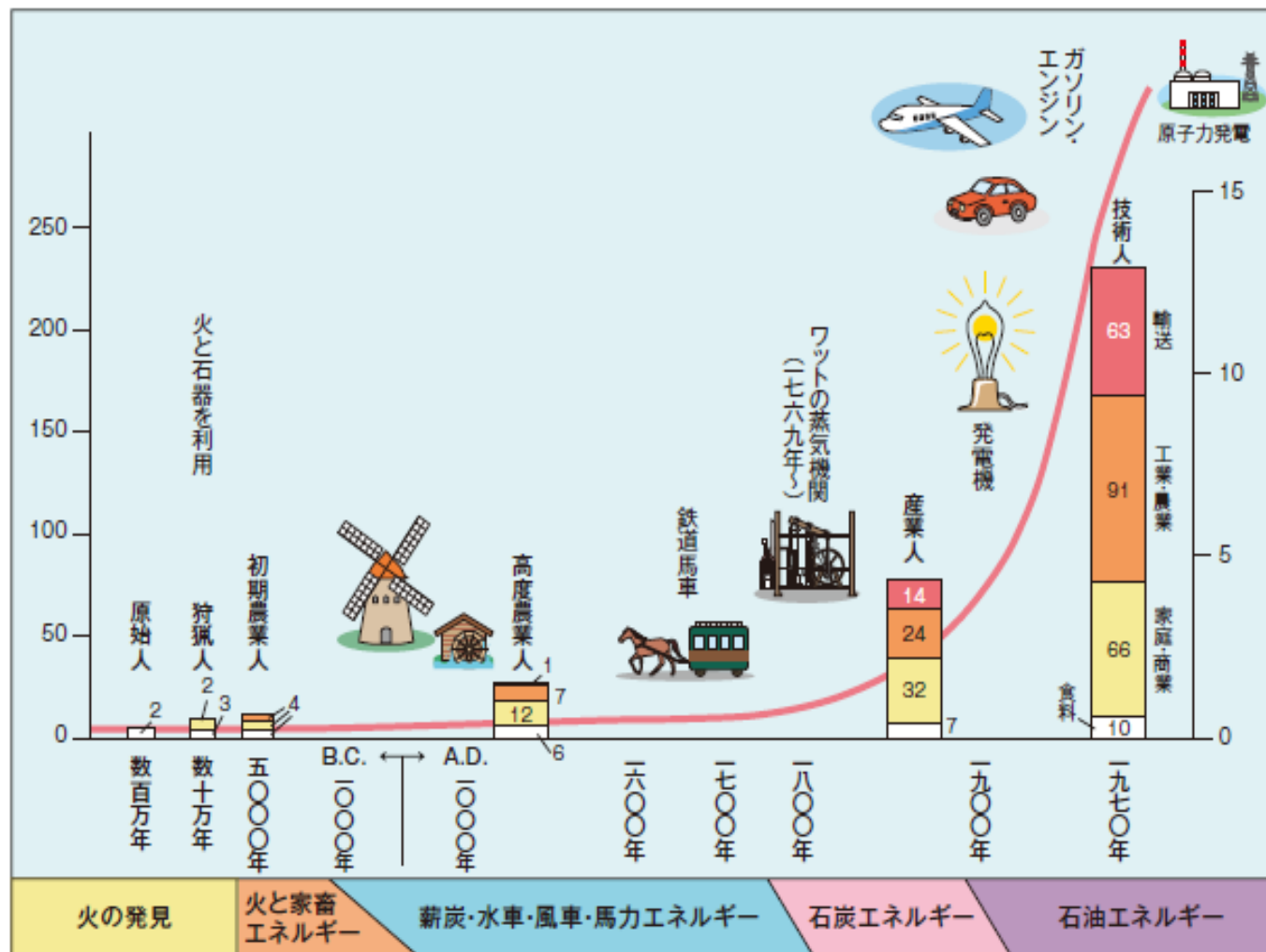
地球の歴史46億年からすれば、人類誕生も最近の話(大晦日の15時)。5回の生物絶滅危機とアイスボール。地球環境ではなく人類環境。

人類の脳の容積推移



人類とエネルギーのかかわり

一人あたり消費量(二〇〇〇キロカロリー/日)・棒グラフ



石油換算消費量(二〇〇万キロリットル/日)・曲線グラフ

原始人 百万年前の東アフリカ、食料のみ。
 狩猟人 十百万年前のヨーロッパ、暖房と料理に薪を燃やした。
 初期農業人 B.C.5000年の肥沃三角州地帯、穀物を栽培し家畜のエネルギーを使った。

高度農業人 1400年の北西ヨーロッパ、暖房用石炭・水力・風力を使い、家畜を輸送に利用した。
 産業人 1875年のイギリス、蒸気機関を使用していた。
 技術人 1970年のアメリカ、電力を使用、食料は家畜用を含む。

人類文明の転機

- ・火の発見(約200万年前)
- ・定住・農耕の開始(約1万年前)
- ・蒸気機関(約240年前)
- ・電気の利用(約200年前)
- ・原子力の利用(約70年前)

75億人
(現在)

世界人口の推移

World population, billions

1000万人(農耕開始)

7~8億人

10,000 BC

8000

6000

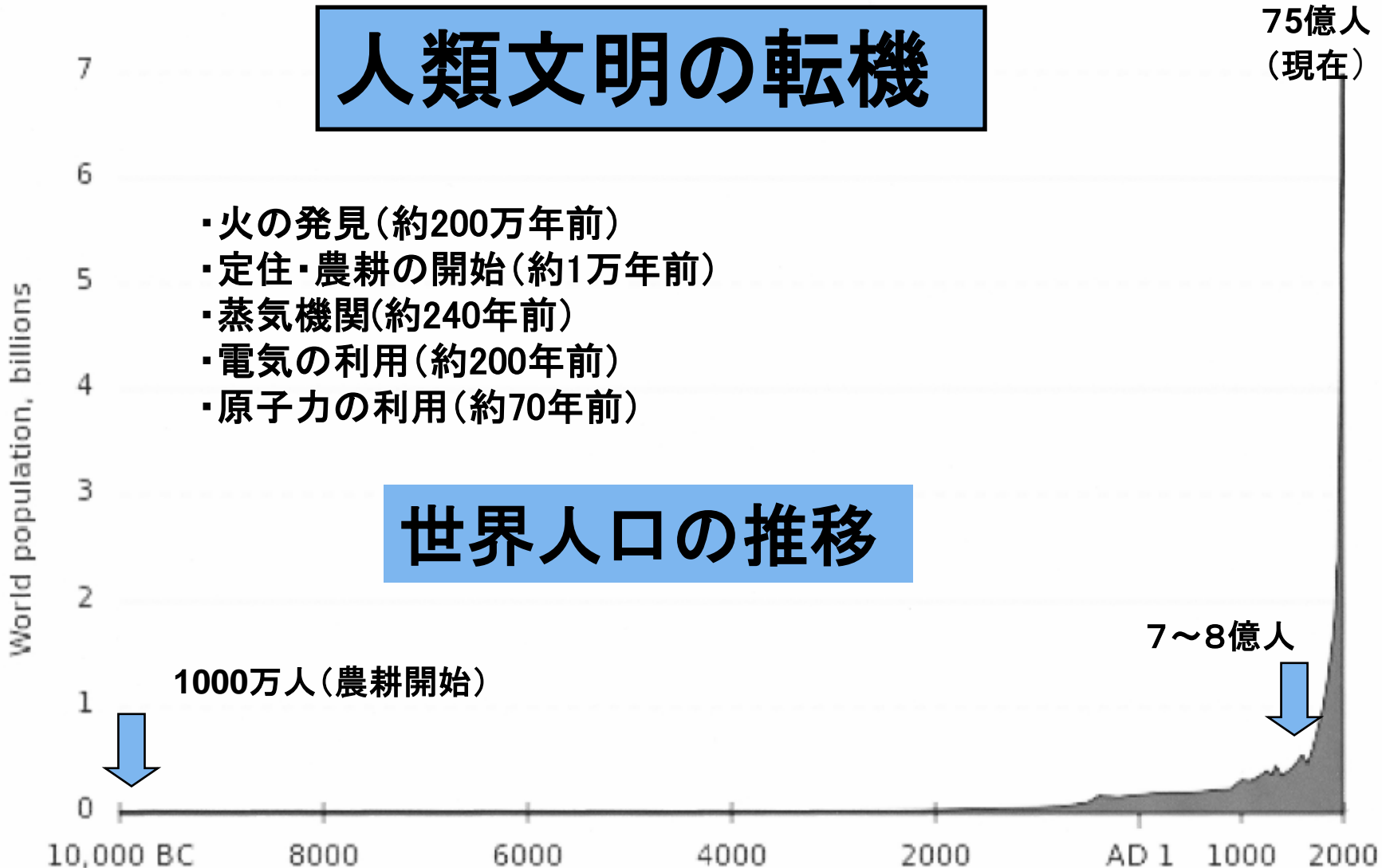
4000

2000

AD 1

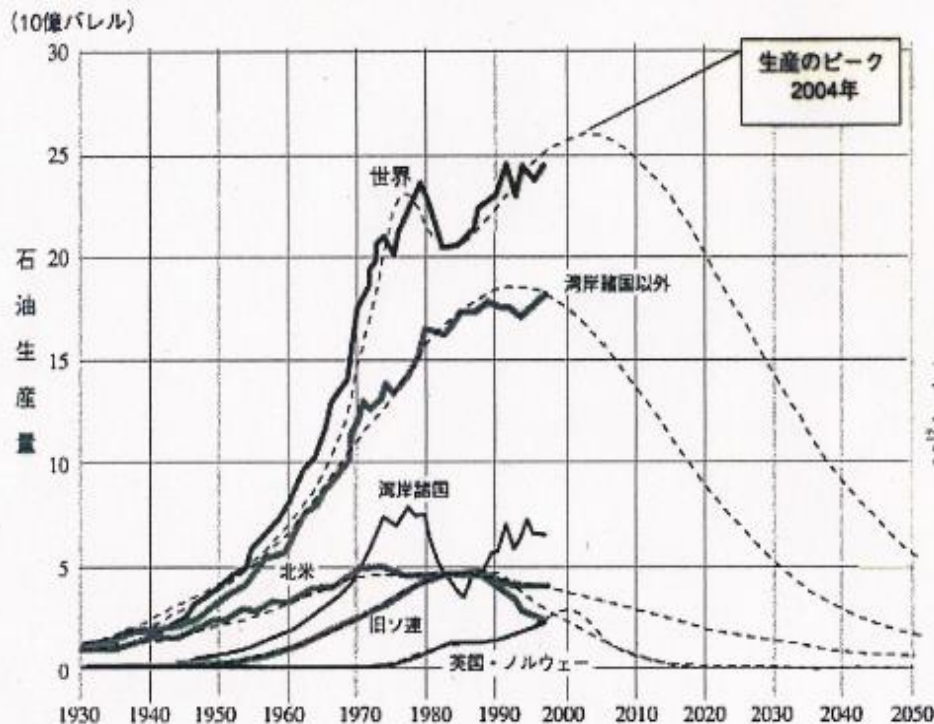
1000

2000

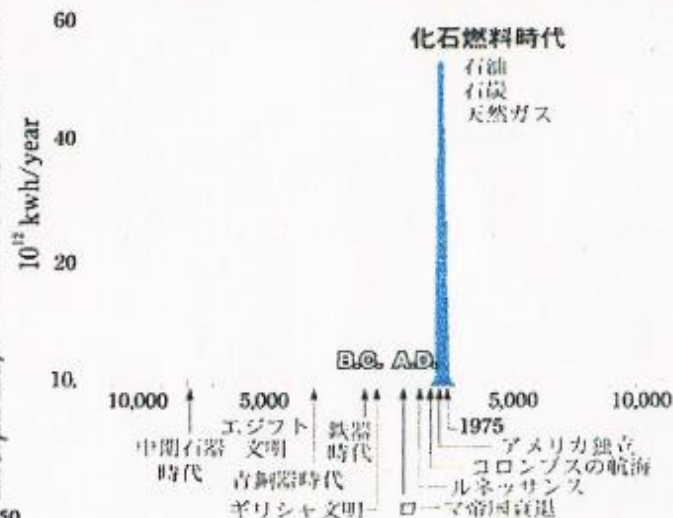


年間石油生産量とハバートカーブによる将来予測(C.キャンベル)

(出所: <http://www007.upp.so-net.ne.jp/tikyuu/opinions/illum.html>)

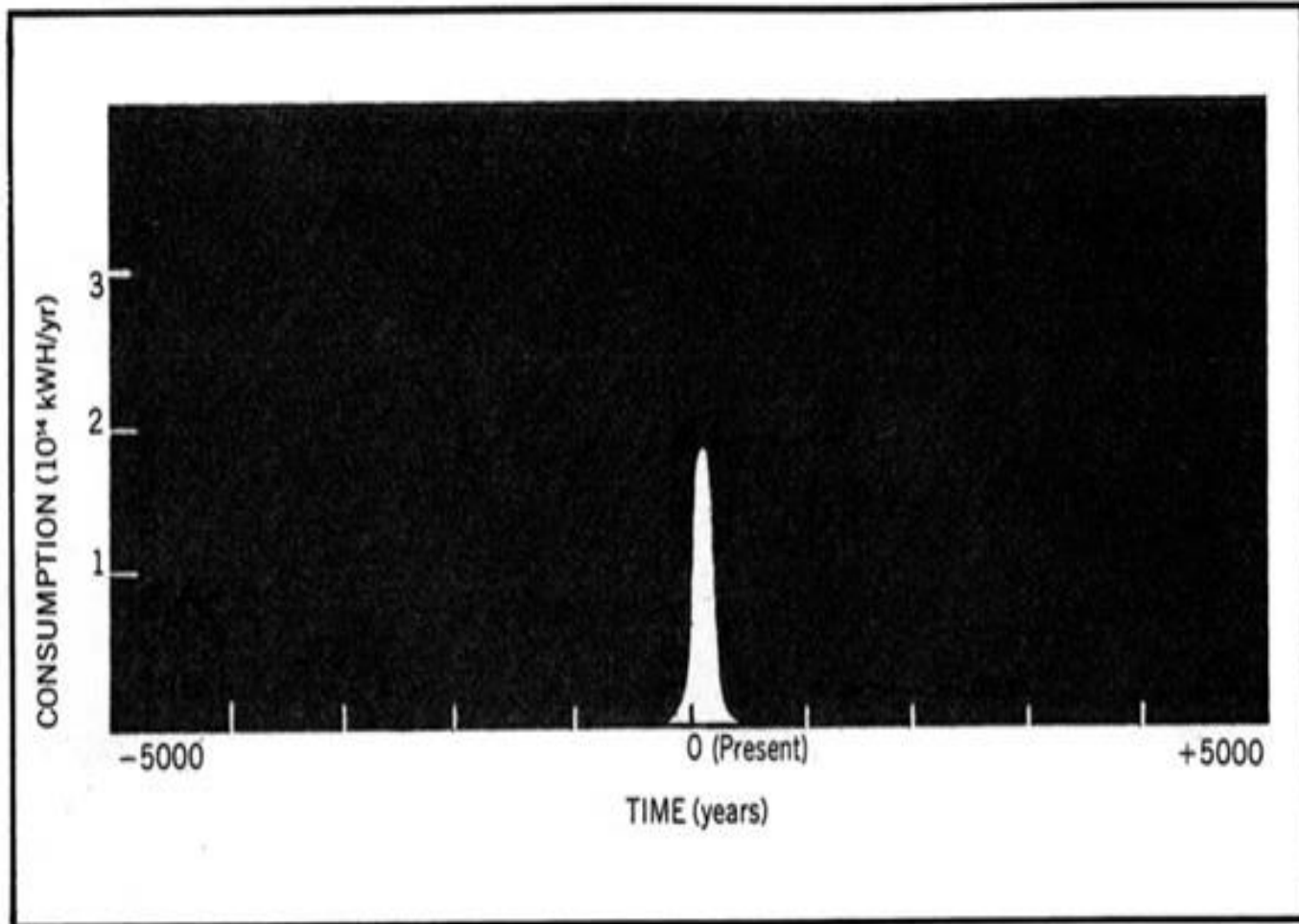


化石燃料時代は人類史上では一瞬



ハバートの「一本のマッチ」の警告

世界の化石燃料消費の増加と消耗は、長い闇世の中の一本のマッチの閃光のようなものだ



The rise and fall of the world's rate of consumption of fossil-fuel resources is like the flame of one match in the long night—a delta function in the darkness.

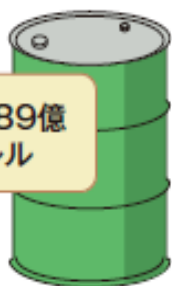
世界のエネルギー資源確認埋蔵量

クイズ1

石油の確認埋蔵量は富士山何倍分でしょうか？

53年

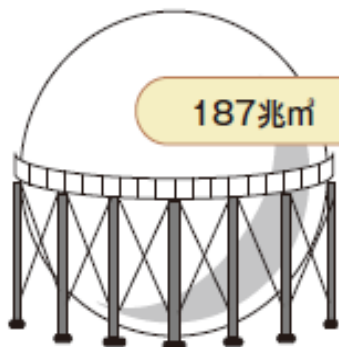
1兆6,689億
バレル



石油※1
(2012年末)

56年

187兆m³



天然ガス※1
(2012年末)

109年

8,609億トン



石炭※1
(2012年末)

93年

533万吨



ウラン※2
(2011年1月)

(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

2. エネルギーについて

一次エネルギー(3分類 日本は96%輸入)

(1)化石燃料(世界は85%~90%化石燃料に依存)

原油、石炭、天然ガス、シェールオイル・ガス、オイルサンド
メタンハイドレード、etc.

(2)再生可能エネルギー(水力発電が大半)

水力、風力、地熱、バイオマス、太陽光、太陽熱、潮流、
波力、etc.

(3)原子力エネルギー

ウラン、プルトニウム、トリウム、etc.

二次エネルギー(一次エネルギーから生産)

電気、都市ガス、水素、ガソリン、灯油、etc.

クイズ2

水素はどのようにして作っているのでしょうか？

エネルギー源の三要件

1. 大量にあること
2. 集中してあること
3. エネルギー密度が高いこと（金塊1トンと砂金1トン）

（再生エネは大量にあるが、集中していない。エネルギー密度が著しく低い）

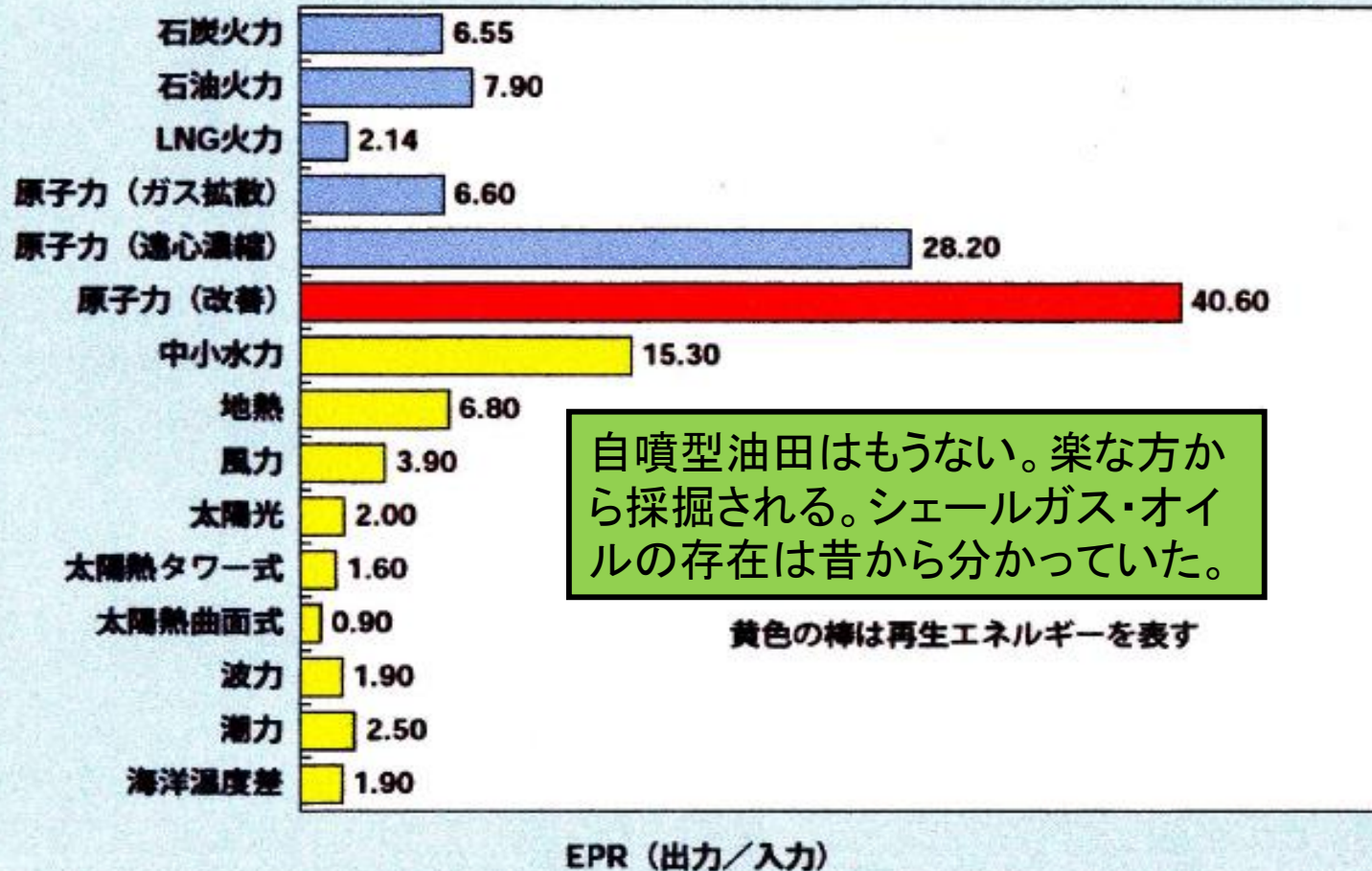
エネルギー利用の条件

EPR (Energy Profit Ratio) エネルギー収支比
（得られるエネルギー／取出すためのエネルギー）

エネルギーの質から化石エネルギー代替技術を考える必要がある。

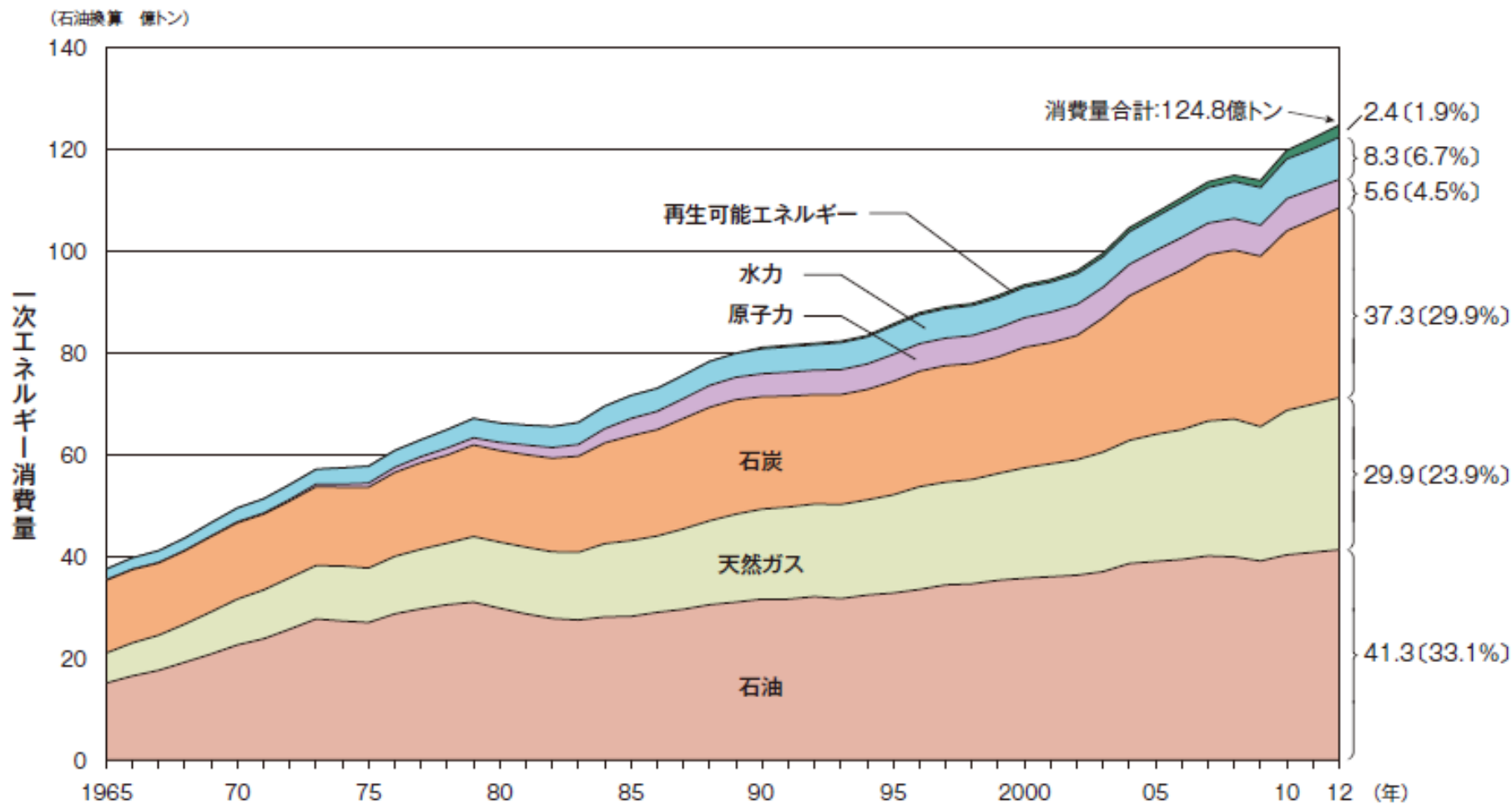
発電方式のEPR比較

(電中研ニュース439)



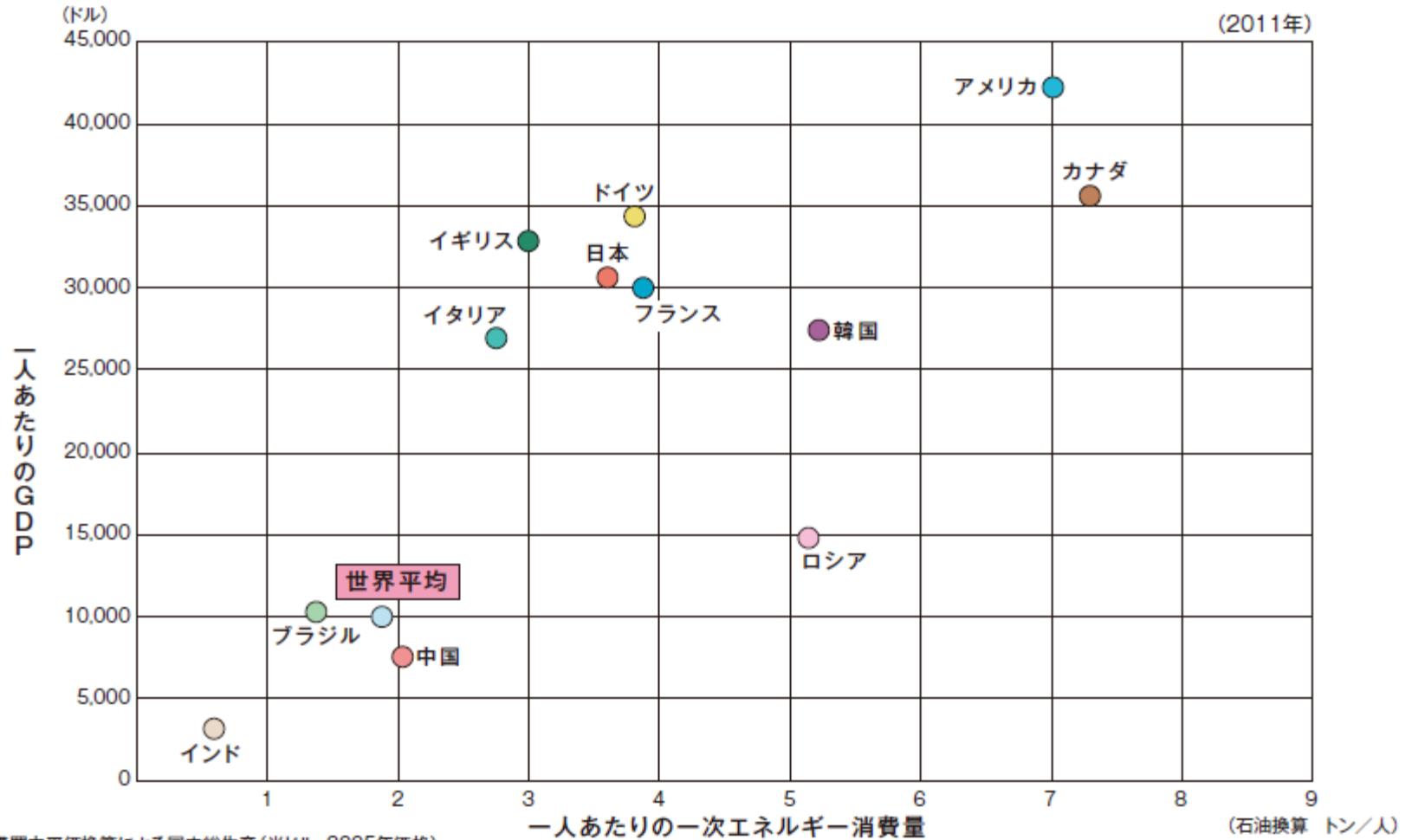
電気を得る手段 (発電) をEPRで評価

世界の一次エネルギー消費量の推移



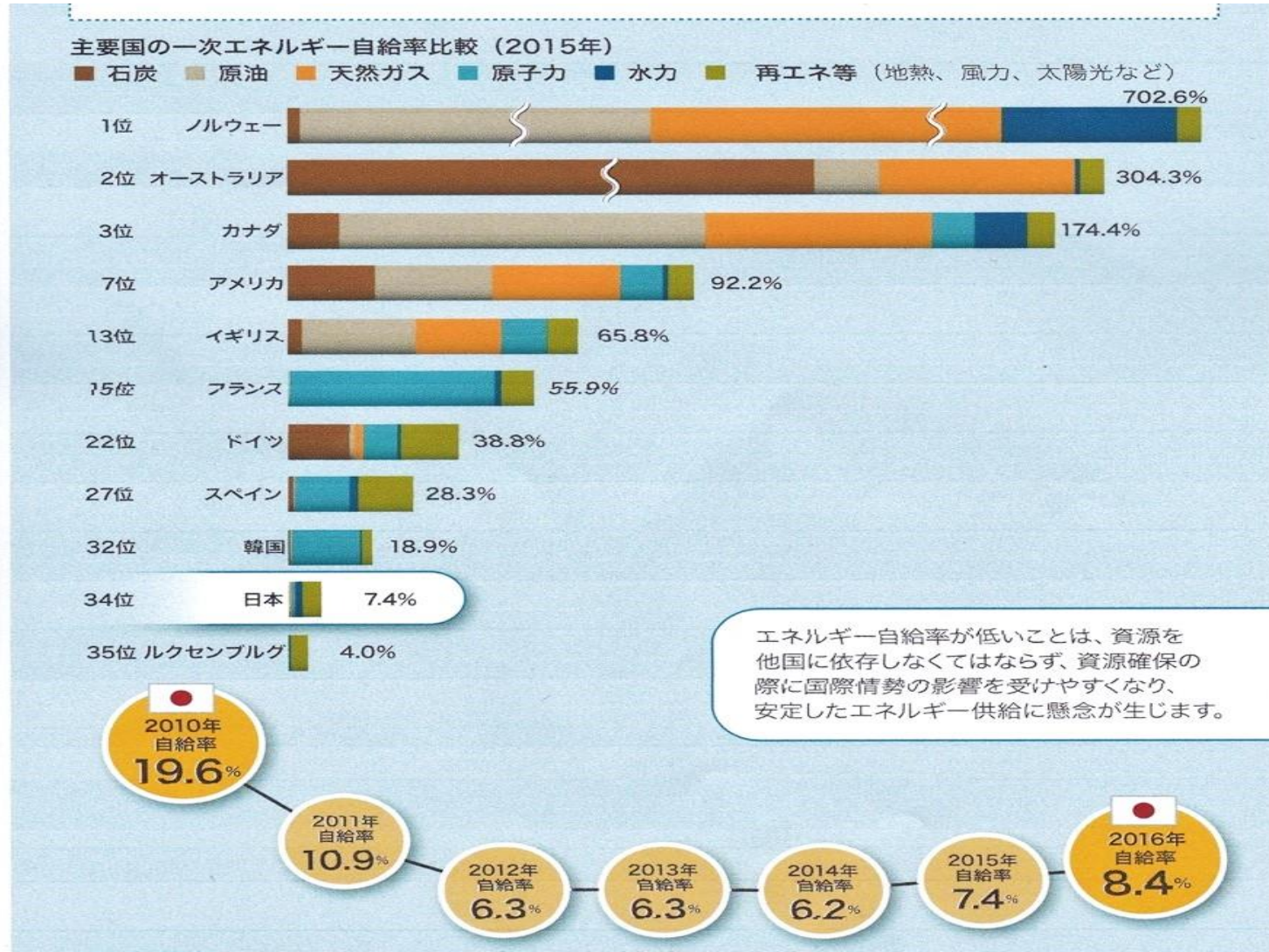
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
〔 〕内は全体に占める割合

一人あたりのGDPと一次エネルギー消費量

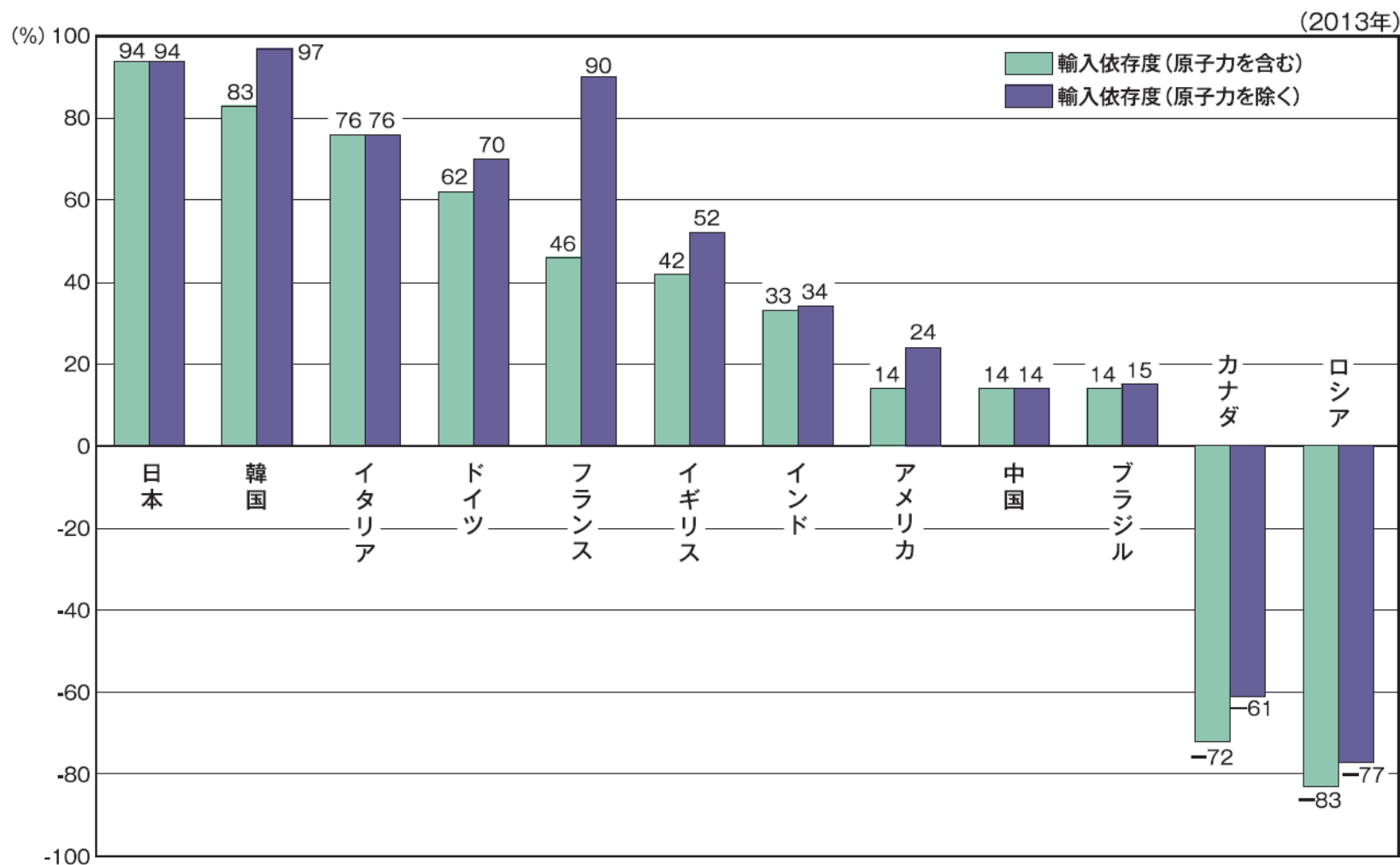


3. 日本のエネルギー事情

エネルギー自給率 日本はOECD(35か国) 中34位



主要国のエネルギー輸入依存度

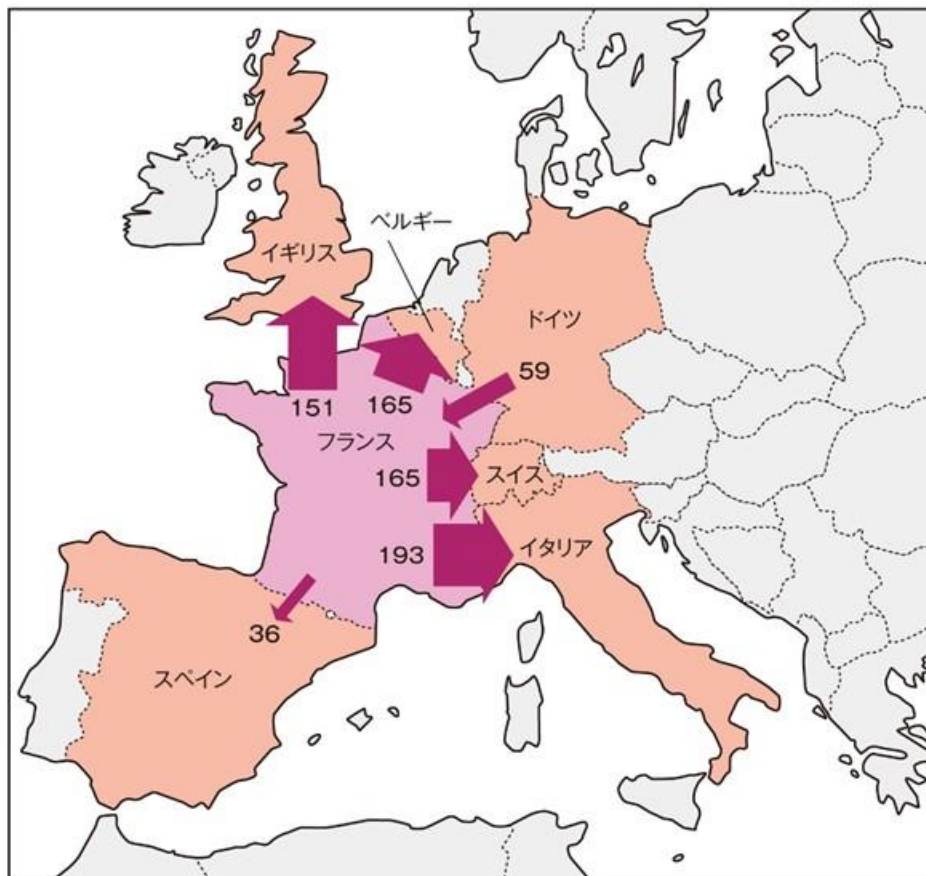


(注) 下向きのグラフは輸出していることを表す

石油輸送のリスク



ヨーロッパは送電網で各国と連携 日本は自国内で完結する必要がある



(2014年)

フランスからの輸出電力量 (A)	651億kWh
フランスの発電電力量 (B) (送電端)	5,404億kWh
輸出比率 (A/B)	12%

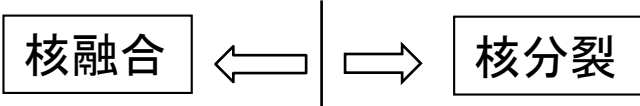
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

世界のエネルギー動向

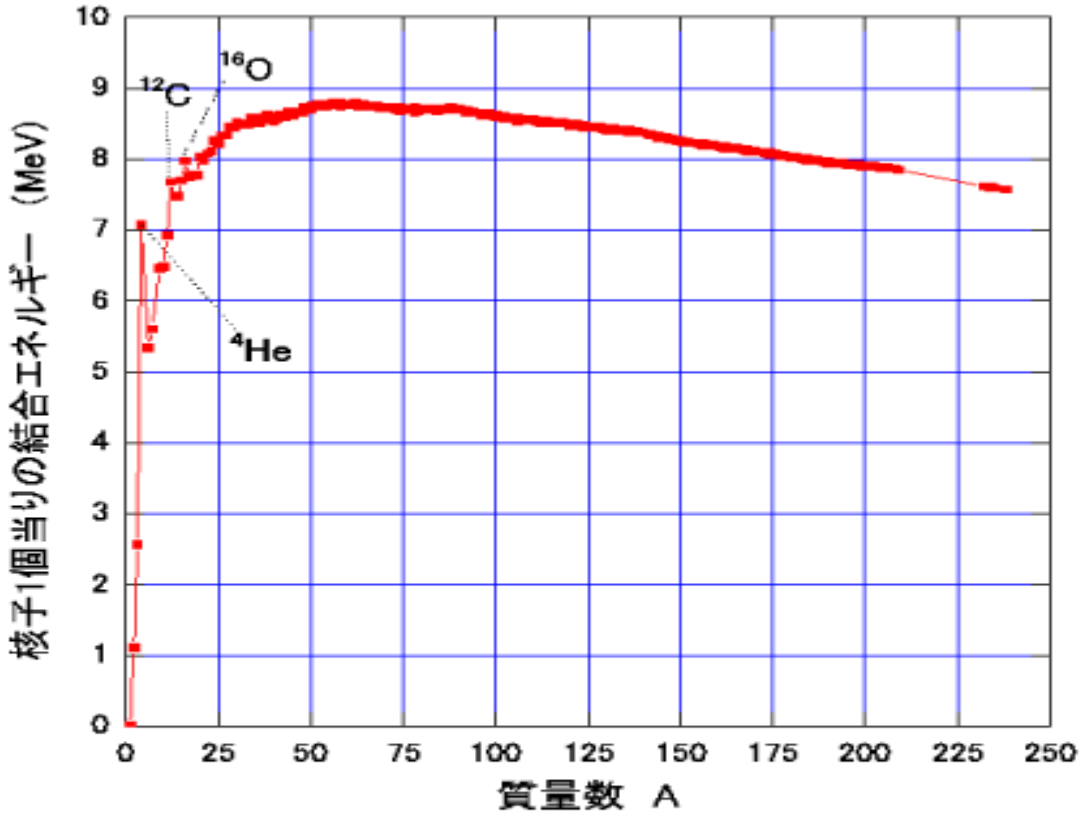
エネルギーを考えることは世界を考える事

- 世界人口・70億人(2012/11 国連発表)
- 14億人が電気の恩恵を知らない(同上)
- 化石燃料の争奪戦が始まっている
- 世界の石油産出量はピークを過ぎた
- 世界主要国は福島事故後も原子力に期待
- 2035年頃、原発保有国は55カ国以上に

4. 核エネルギーについて



$E = \Delta m \times C^2$ Δm : 質量欠損

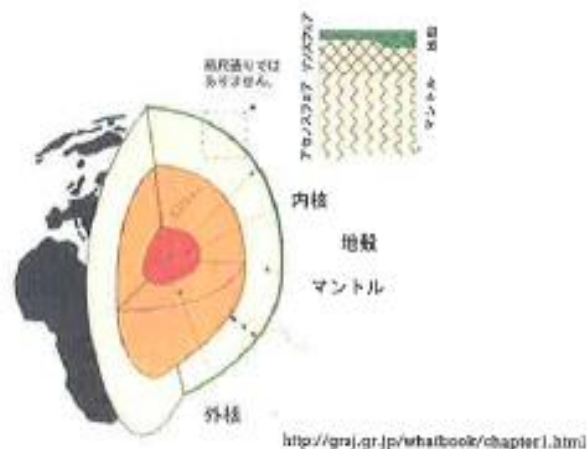


質量Aに対する核子1個あたりの結合エネルギーの変化
[出典]L.Glasstone & A.Sesonske“Nuclear Reactor Engineering” 3rd Ed.
(Jhon Wiley & Sons Inc.) p.8

地球のウランとトリウム起源

3

ウランとトリウムは、どこかで起きた超新星爆発の一つの過程により生成され、地球物質の一部となった。人類は表層のウラン (U235,U238) 中の核分裂性物質U235を資源として利用できる知識を得た。一方で、地中深くでは、U238とTh232の核崩壊による発熱 (崩壊熱) が続いている。



U235 ⇨ 7億年
U238 ⇨ 45億年
Th232 ⇨ 140億年



超新星 (SN 1604) の残骸

http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9C%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Keplers_supernova.jpg

地球が自ら有する自然核エネルギー

「恒星における核融合で生成される元素は鉄まで。鉄よりも重い元素は超新星爆発、連星中性子星の合体によって宇宙に放出され、地球生成時に地球に取り込まれたもの(核分裂エネルギーも超新星等の重力エネルギーといえる)」

^{40}K 半減期 12.5億年 (殆ど無くなっている)

^{238}U 半減期 44.7億年 **地球寿命とほぼ同等**

^{235}U 半減期 7.0億年 (殆ど無くなっている)

^{232}Th 半減期 140.5億年 **宇宙年齢とほぼ同等**

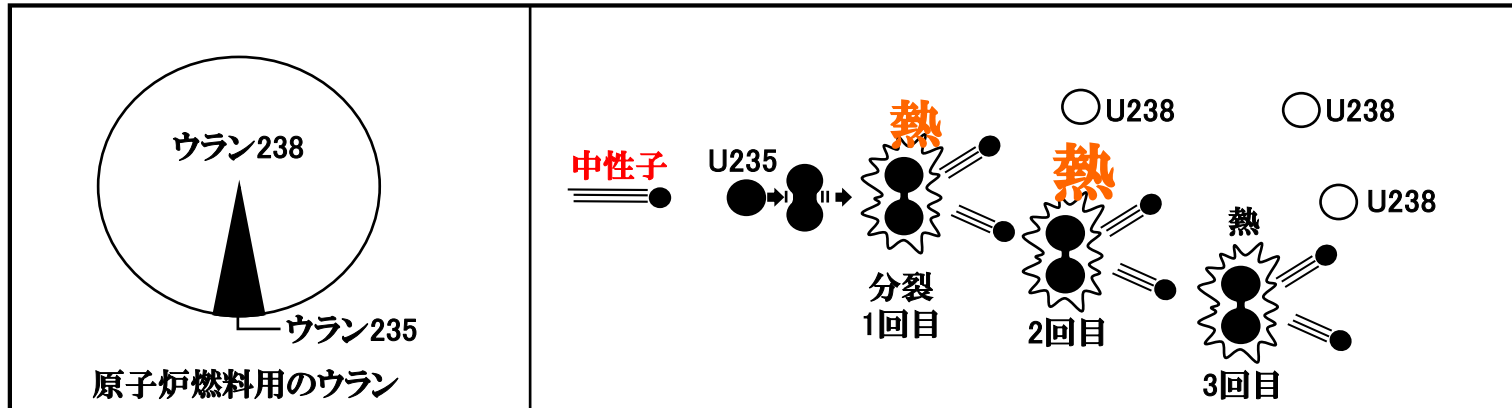
自然核エネルギー量は地球生成期の $1/3$ に減少

現在地球内部から地表面に到達するエネルギー

熱エネルギー \approx 自然核エネルギー

→ 自然核エネルギーの減少で、地球は徐々に冷えている


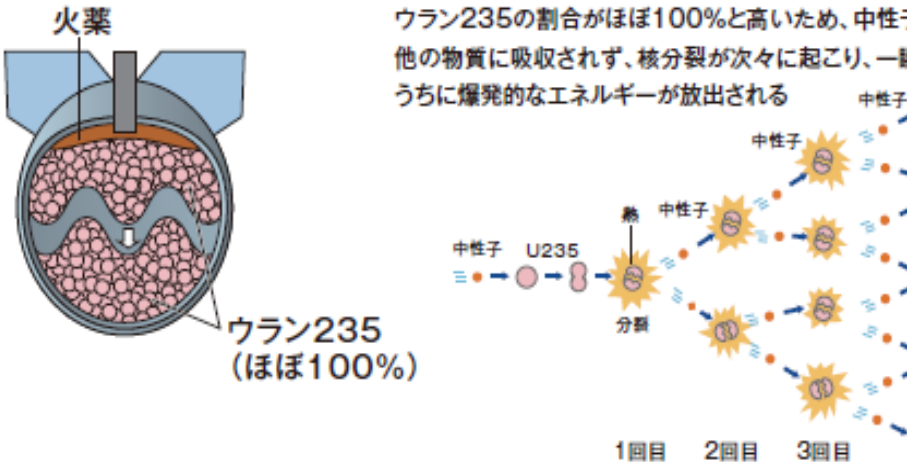
核分裂エネルギー



核分裂エネルギー MeV単位 ⇔ 化学反応 eV単位

即ち、100万倍エネルギー密度が高い。これが「ウラン1gが石炭3トンに相当する」ことであり、「廃棄物の毒性は高いがその量は著しく少ない」理由である。

原子力発電と原子爆弾の違い

	ウラン235とウラン238の割合と核分裂連鎖反応	核分裂数の制御の方法
原子力発電の場合	<p>ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する</p>  <p>ウラン235 (3~5%) ウラン238 (95~97%)</p> <p>1回目 2回目 3回目</p>	<p>制御棒が多数設置されており、また自己制御性があるため急激に核分裂数が増加することはない</p>
原子爆弾の場合	<p>ウラン235の割合がほぼ100%と高いため、中性子が他の物質に吸収されず、核分裂が次々に起こり、一瞬のうちに爆発的なエネルギーが放出される</p>  <p>火薬</p> <p>ウラン235 (ほぼ100%)</p> <p>1回目 2回目 3回目</p>	<p>制御棒が設置されておらず、自己制御性がないため、急激に増加する核分裂を止めることはできない</p>

核燃料サイクルは国家百年の計

核燃料サイクルをどう考えるか

原子力を人類にとって過渡的なエネルギー源に過ぎないとみなすか、長期的に不可欠なエネルギー源とみなすかにより根本的に異なる。

前者の立場をとるのであれば、市場原理重視の判断に委ねることは許されるが、後者の立場をとるのであれば、長期のエネルギーセキュリティ的の視点を重視しなければならない。

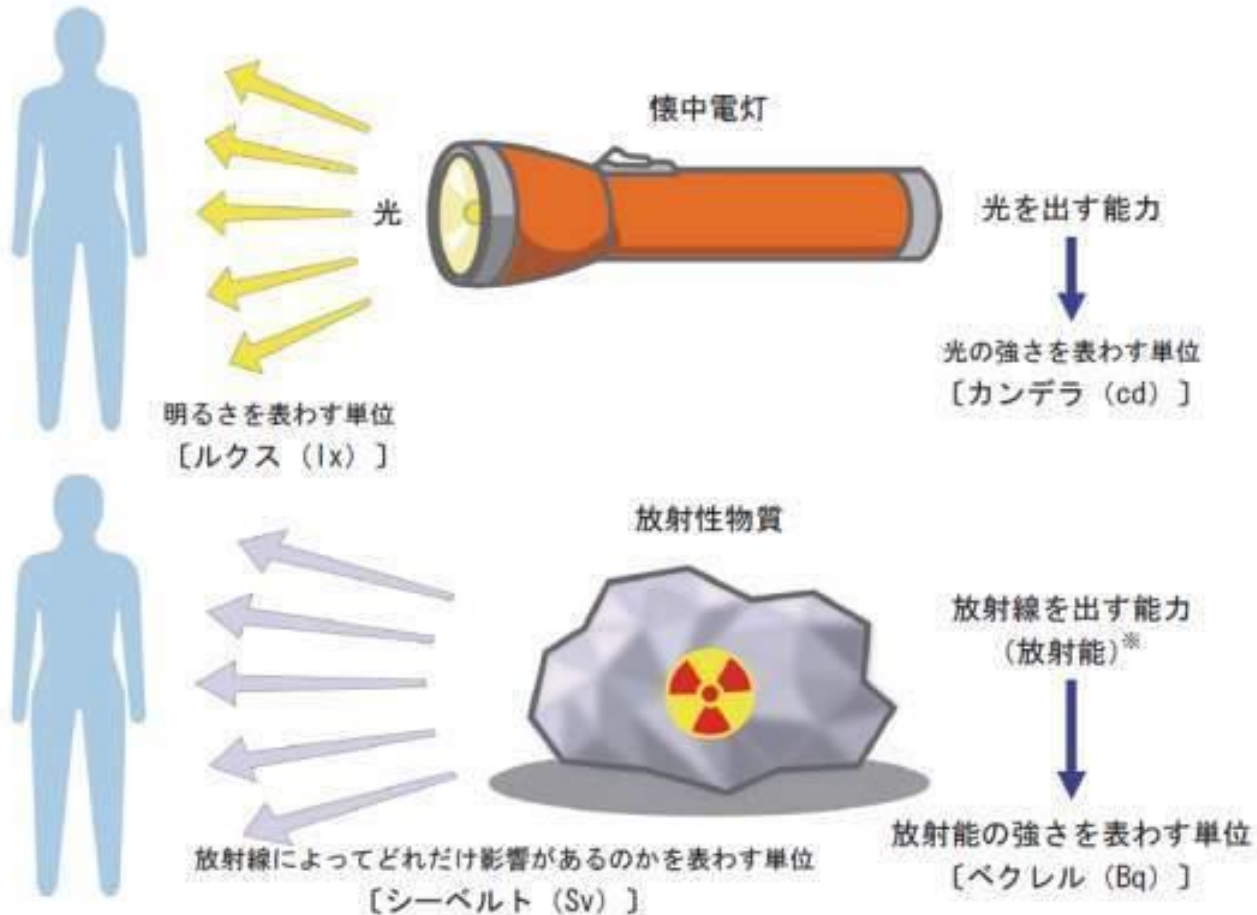
昨今の近視眼的、場当たりの論評を憂う

放射線、放射性物質、放射能の違い

<放射線>

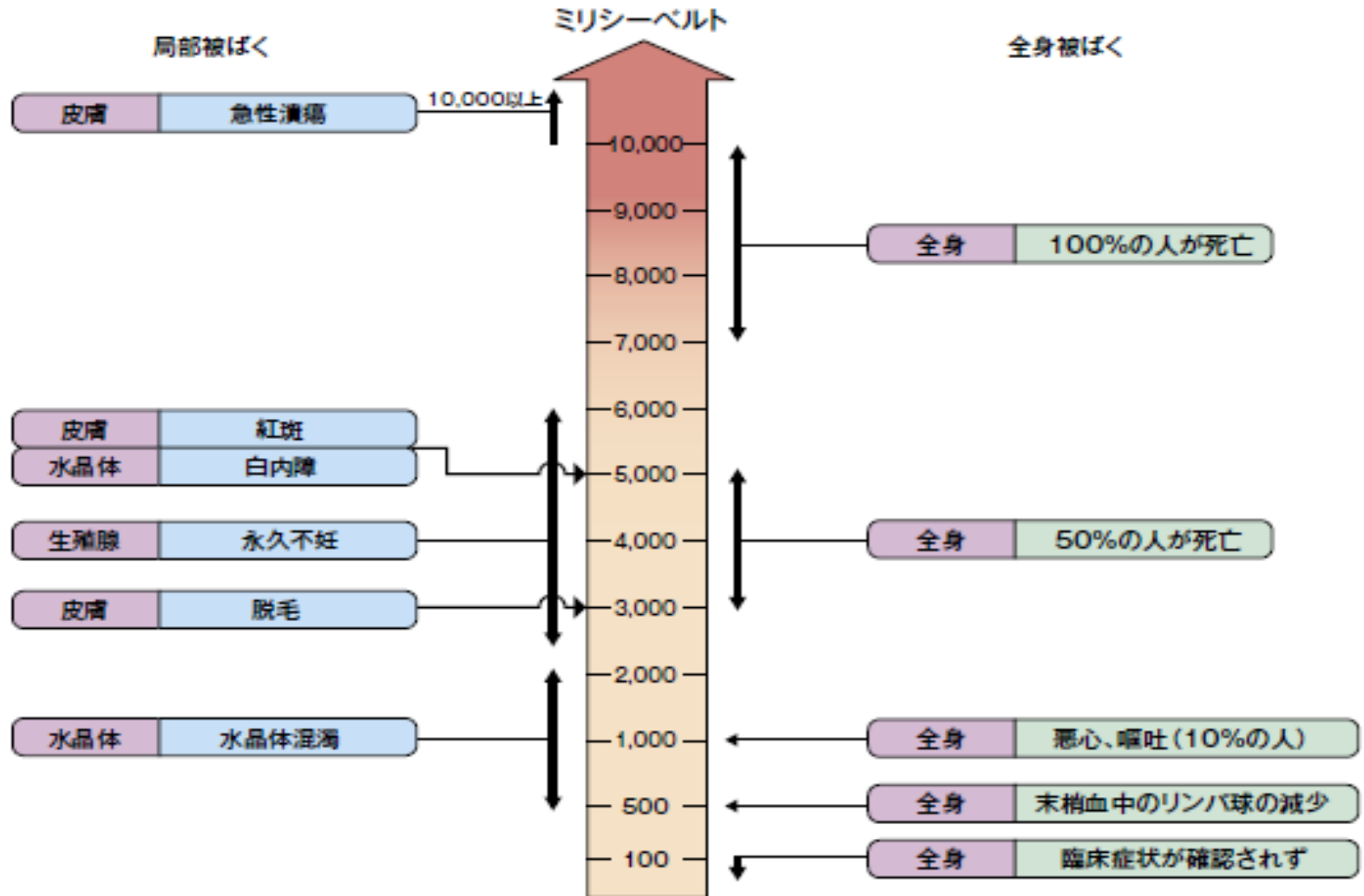
<放射性物質>

<放射能>



(注)シーベルト(Sv)という単位は人間が放射線を受けた時の影響を表すもの
ベクレル(Bq)は放射性物質から発生する放射能の強さを表すもの。

放射線を一度に受けたときの影響



放射線と生活習慣によって がんになる相対リスク

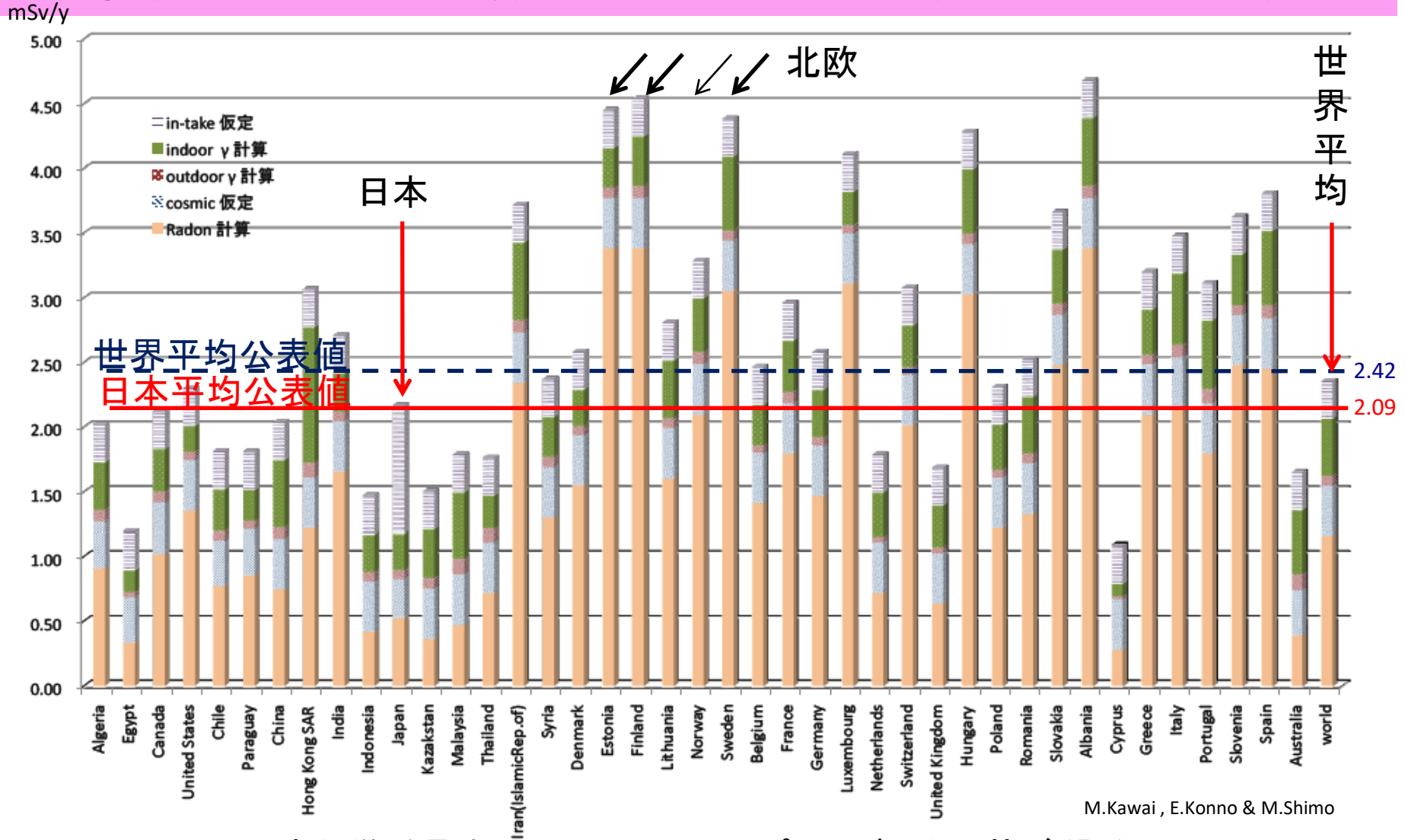
(対象:40～69歳の日本人)

要 因	がんになるリスク
1000～2000ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.8倍
喫煙	1.6倍
飲酒(毎日3合以上)	
痩せ過ぎ	1.29倍
肥満	1.22倍
200～500ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.19倍
運動不足 ^{*1}	1.15～1.19倍
塩分の取り過ぎ	1.11～1.15倍
100～200ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.08倍
野菜不足 ^{*2}	1.06倍

クイズ3

大気汚染による世界の年間死者はどの程度でしょうか？

各国平均の自然放射能による年間被ばく量の比較



M.Kawai, E.Konno & M.Shimo

国連科学委員会 UNSCEAR 2000レポートデータに基づく評価

日本で一般人の基準とされる1 mSvを加えた場合3.09mSvです。
 福島的主要都市での被ばくは、高くとも北欧並み(4.5 mSv以下)です

人体中の放射性核種

体重60kgの日本人の場合

アイソトープ	放射能
カリウム40	4,000ベクレル
炭素14	2,500ベクレル
ルビジウム87	500ベクレル
鉛210・ポロニウム210	20ベクレル

[出典] 科学技術庁資料：「生活環境放射線」、(財)原子力安全研究協会

広島市、長崎市は長寿の市 何故でしょうか？

5. リスクについて考えてみる

安全・安心との言葉がよく用いられるが非常に情緒的な言葉である。意識としては、安全が「受け入れ可能な客観的リスク」、安心が「主観的リスク」として使われているようである。

一方、リスクとの言葉もよく用いられるが、ハザードとの区別がなされていないことが多い。一般に危険を引き起こす現象がハザードであり、そのハザードに社会や個人が被害を蒙る確率をかけたものがリスクである。即ち、いくら大きな台風が到来しようとしてそこに社会や個人が存在しなければリスクゼロである。国語辞典にもリスク＝危険の誤訳がある。

リスク嫌いの日本人・リスクの文化差(1)

リスクの語源は、ラテン語のrisicoで絶壁の間を縫って航行すること。その後、大航海時代、ルネッサンス時代の冒険を厭わない時代の精神である。そこには危険を冒しても積極的に能動的に選択するという文化である。サッカーの元全日本監督のオシム氏の言葉「リスクをとらない選手はわがチームには不要である」今回のW杯も諸外国チームと比較してリスクを冒していない感あり。

一方、日本ではリスクに見合う言葉自体が見当たらない。それは地政学的に見て安全であり冒険する時代精神が乏しかったことに由来する。我が国で存在するリスクの中心は自然災害でこれに対しては一種の諦観ができてしまった。(ライシャワー大使曰く「タイフーンメンタリティー」)「お上に宜しく」「怖いのは村八分」の社会

ジブラルタル海峡:約15km ドーバー海峡:約50km 対馬海峡:約200km
日本存続の危機は3回 元寇、明治維新、大東亜戦争

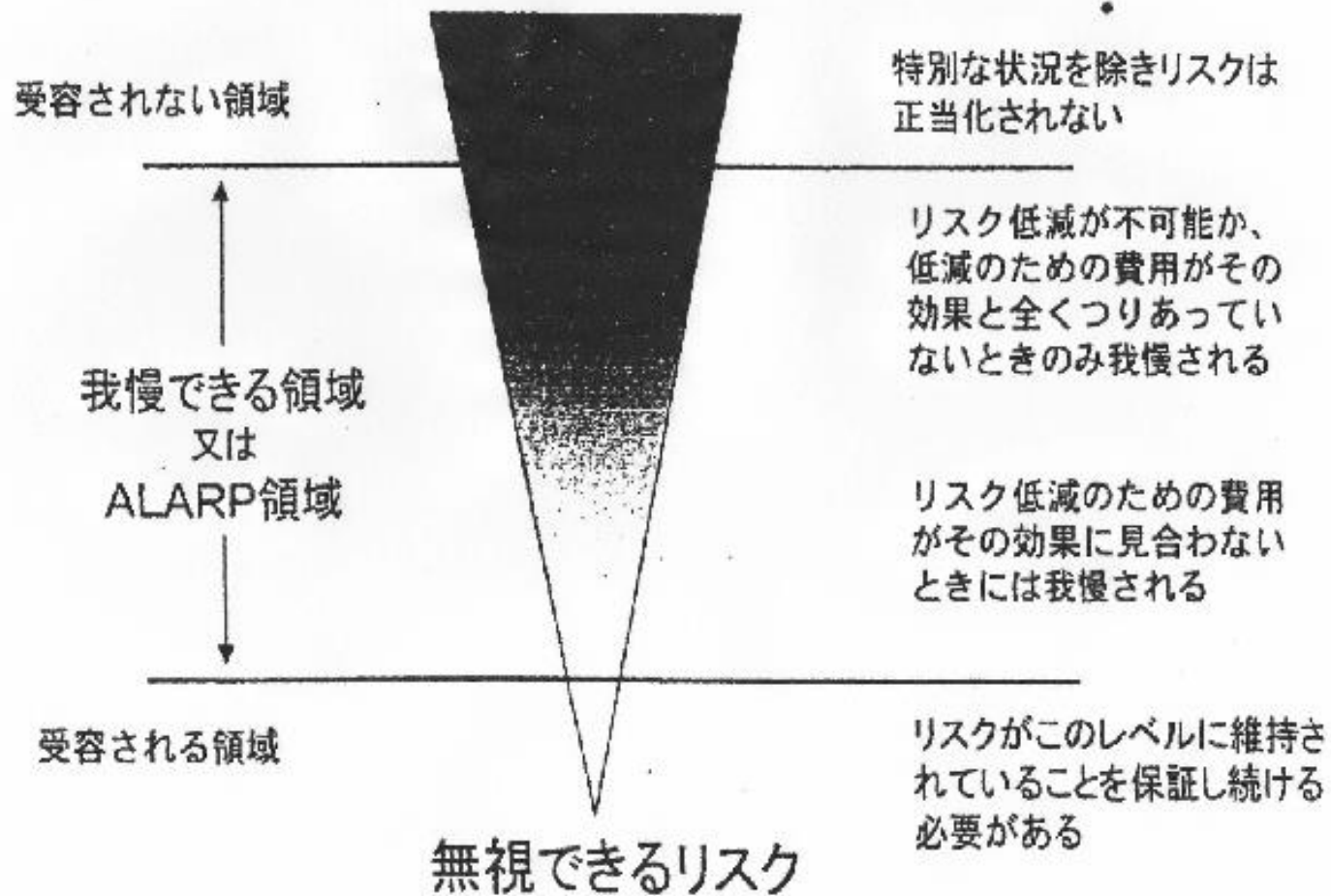
リスク嫌いの日本人・リスクの文化差(2)

リスクという言葉が日本人には好まれない。行政でもリスクという言葉はイメージが悪いとされるし、研究者もPRAをPSAと読み替えたがる。日本人にとってリスクは消極的であり、受動的であり、押し付け的である。しかし、リスク嫌いの日本人も安全／危険の二項対立的発想によるのではなく、リスクという確率的発想を持つべきではないだろうか。

PRA Probabilistic Risk Assessment

PSA Probabilistic safety Assessment

科学技術論的に絶対安全やゼロリスクはありえない。科学技術には必ず光と陰が存在する。科学技術を使う人間側の問題である。原子力もそれを失った場合のリスクも考える必要がある。だとすれば、どの程度のリスクなら受け入れるかの問題となる。(How safe is safe enough?)



ALARP as low as reasonably practical 合理的に実行可能な限りリスクを低減する

リスクのレベルと ALARP (英国原子力公社)

社会に生きるからにはリスクと共存する覚悟と決意

ゼロリスクはない。生きている限り必ずリスクを伴う。リスクがどの程度のものであるかの認識を共有して、リスクミニマムを求めながらもリスクとともに生きてゆく覚悟を決めてこそ成熟した大人の社会と考える。

6. 各国の原子力に対する立ち位置

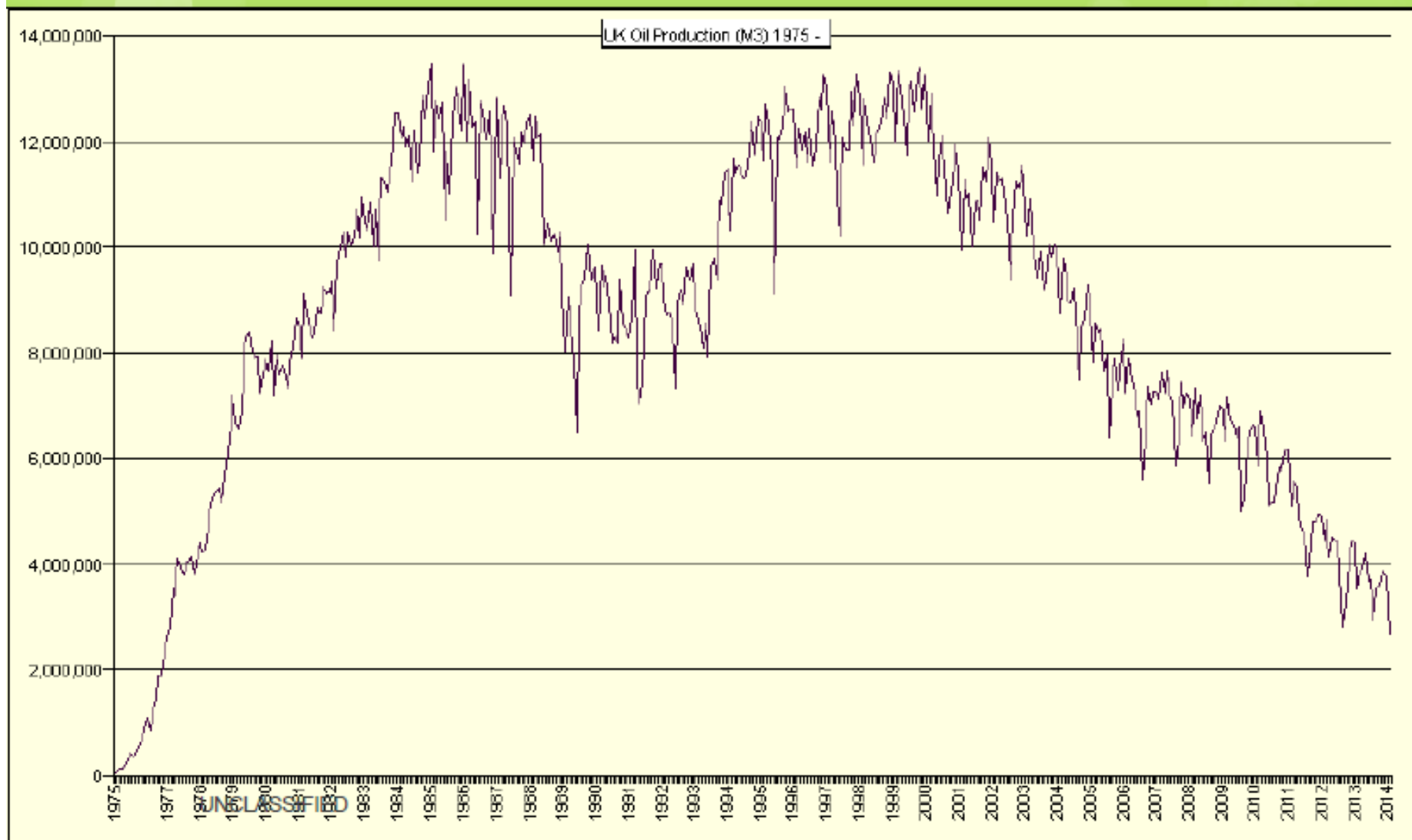
欧州(独、仏、英、北欧、ウクライナ)

1. 独 2022年までに順次原発を停止しゼロにする「脱原発」政策、しかし、現在も7基の原発を運転している。再エネ促進のため電気代の高騰に産業界が苦しんでいる。しかし、国民は脱原発が倫理的に正しいとの認識が強く(ストイックな国民性)容易に路線変更を認めない。現実には国内に豊富な褐炭火力と隣国との売買電で凌いでいる。壮大な国家実験である。
2. 仏 日本と同じ資源小国であり、原発が75~80%を占める。オランド大統領があまりに大きな原発比率のため原発を50%程度まで落としてエネルギーの多様化として再エネを提唱しているが、実態としては変わっていない。電気代は独の約2/3

欧州(独、仏、英、北欧、ウクライナ)

3. 英 原発の歴史は最も古く、老朽化した原発が多い。原発の開始は早かったが、その後、北海油田が見つかり原発建設はスローダウン。しかし、北海油田の急速な縮小と温暖化問題の提起国としての意識から、近年とみに原発建設に積極的である。福島事故後のアンケートで原発支持が増えた唯一の国。
4. 北欧 スウェーデンはチェルノブイリ事故後脱原発を宣言したが、その後撤回し原発運転を継続している。フィンランドは大戦前のソ連にエネルギー支配された苦い経験からエネルギー自立のためには原子力が必要との立場をとる。両国とも非常に厳しい安全基準を求めている。ノルウェーは資源大国でありまた水力が豊富で原発をもたない。

英国国内石油生产量 (1975-2014)



欧州(独、仏、英、北欧、ウクライナ)

5. ウクライナ チェルノブイリ事故の当事国である。事故後、原発すべてを停止したが経済が成り立たないこと、およびフィンランドと同様にロシアのエネルギー支配を逃れるため原発路線に再転換した。現在は事故以前よりも原発割合が多く約4割。昨今の政情もロシアとEUのエネルギー問題に絡むものであり、ウクライナに限らずエネルギーは政治不安定の影響因子として大きいものがある。

大国(米、露、中国、インド)

1. 米 約100基の原発を有する原子力大国。近年、シェールガスの開発によってエネルギー資源輸入国から輸出国に転じようとしている。原発の新設も以前ほどの勢いはない。古い原子炉の老朽化によるコスト高から廃炉もある。全体としてモラトリアム状況。
2. 露 資源大国、石油、天然ガスとも豊富に生産するが、原子力開発も精力的に行っている。高速増殖実証炉BN-800運転中。
3. 中国 高度が広い割に石炭を除いて資源に恵まれない。従って、エネルギー資源確保に必死であり、原発の建設計画も目白押しにある。
4. インド エネルギー資源として石炭、トリウムがある。従って、将来はトリウム核燃料サイクルを目指している。そのためには高速増殖炉によるPuサイクルが必要で高速増殖実証炉DFBRは運開間近。

7. 皆さんはどのように考えますか

- 須らく科学技術には光と陰があり、光だけの科学技術は存在しない。(両刃の剣)
- 原子力の光と陰のコントラストはとりわけきつい。(薄く広くに対し、原子力は深く狭い)
- 科学技術を使う人間側の問題である。
- 一方、世界のエネルギー動向は・・・
- 原子力を失うリスクも考えるべきでは(原子力放棄は国家の自殺行為では)

次世代の諸氏に期待すること

常々思うこと、良きにつけ悪きにつけ、人間の好奇心と飽くなき探求心によってあらゆる発展がなされてきた。原子力にとどまらずゲノム開発、人工知能、宇宙開発など先端技術に危険はつきもの、科学者、技術者にとってリスクは超えるべき課題であり挑戦の連続である。そうやって人類は発展してきた。誰がこの営みを止めることができようか。

- 視座高く、視野広く、遠くを見つめて
- 一時の感情に流されず冷静な目を養う

- サイエンスリテラシー
- メディアリテラシー

(メディアの責任は本当に重い、放射能で恐怖に陥れるのは犯罪行為)

先人訓

- ・ 寺田寅彦 (1878~1935)
正当に怖がることはなかなかかむずかしいことである。
- ・ 吉本隆明 (1924~2012)
文明は不可逆反応である。(あったものをなかったことにはできないものである。)

皆さんへ

- 生きている限りリスクはあります。原子力にはリスクがあります。原子力を失った場合にもリスクがあります。それを冷静に比較衡量する力量が21世紀に生きる諸君たちに求められています。そしてそのリスクがどの程度のものであるかの認識を共有し、リスクミニマムを求めながらもリスクとともに生きてゆく覚悟を決めてこそ成熟した大人の社会というものでしょう。
- 21世紀を生き抜くことは大変だと思います。我々の時代は貧しかったが、敗戦から立ち直るといふ右肩上がりのある意味単純な時代だったのかもしれない。飽和しきったこの日本、米国の傘も破れ傘になるでしょう。日本は人口減少、財政赤字、技術力低下に悩むことでしょう。2050年にはGDPで世界10位という悲観的シナリオもあります。
- 日本はこれからも一流国を目指すのか、二流国で甘んじるのか、君たち自身の問題です。
- **サイエンスリテラシー、メディアリテラシーに磨きをかけて決して教条主義に陥ることなく、自分の頭で考えてください。それが我が国に残された道です。視座を高くし、視野を広げる！（課題解決に向けて）**

日本人の平均年齢は？ 世界で何番目？ そして他の大国は？ まさに課題先進国

永井隆博士の遺書

(長崎医科大学教授 自らも被爆しながら患者の救護にあたった)

「すべては終わった。祖国は敗れた。吾大学は消滅し吾教室は烏有に帰した。余等亦人々傷つき倒れた。住むべき家は焼け、着る物も失われ、家族は死傷した。今更何を云わんやである。唯願う処はかかる悲劇を再び人類が演じたくない。原子爆弾の原理を利用して、これを動力源として、文化に貢献出来る如く更に一層の研究を進めたい。転禍為福。世界の文明形態は原子エネルギーの利用により一変するにきまっている。そうして新しい幸福な世界が作られるならば、多数犠牲者の霊も亦慰められるであらう」

ご静聴ありがとうございました

データの主な出典

- ・政府関係資料 経産省、文科省、環境省の放射線、除染関係広報資料
- ・原子力・エネルギー図面集 電気事業連合会
- ・原子力百科事典ATOMICA (財)高度情報科学技術研究機構(RIST)
- ・原子力研究開発機構 広報資料
- ・日本原子力学会 学会事故調最終報告書
- ・電中研ニュース
- ・放医研資料
- ・いま改めて考えよう地層処分 原子力発電環境整備機構(NUMO)
- ・リスク学から見た安全と安心(木下富雄)
等々