



# 大局観

Perspective

broad viewpoint or long term vision



安井 至

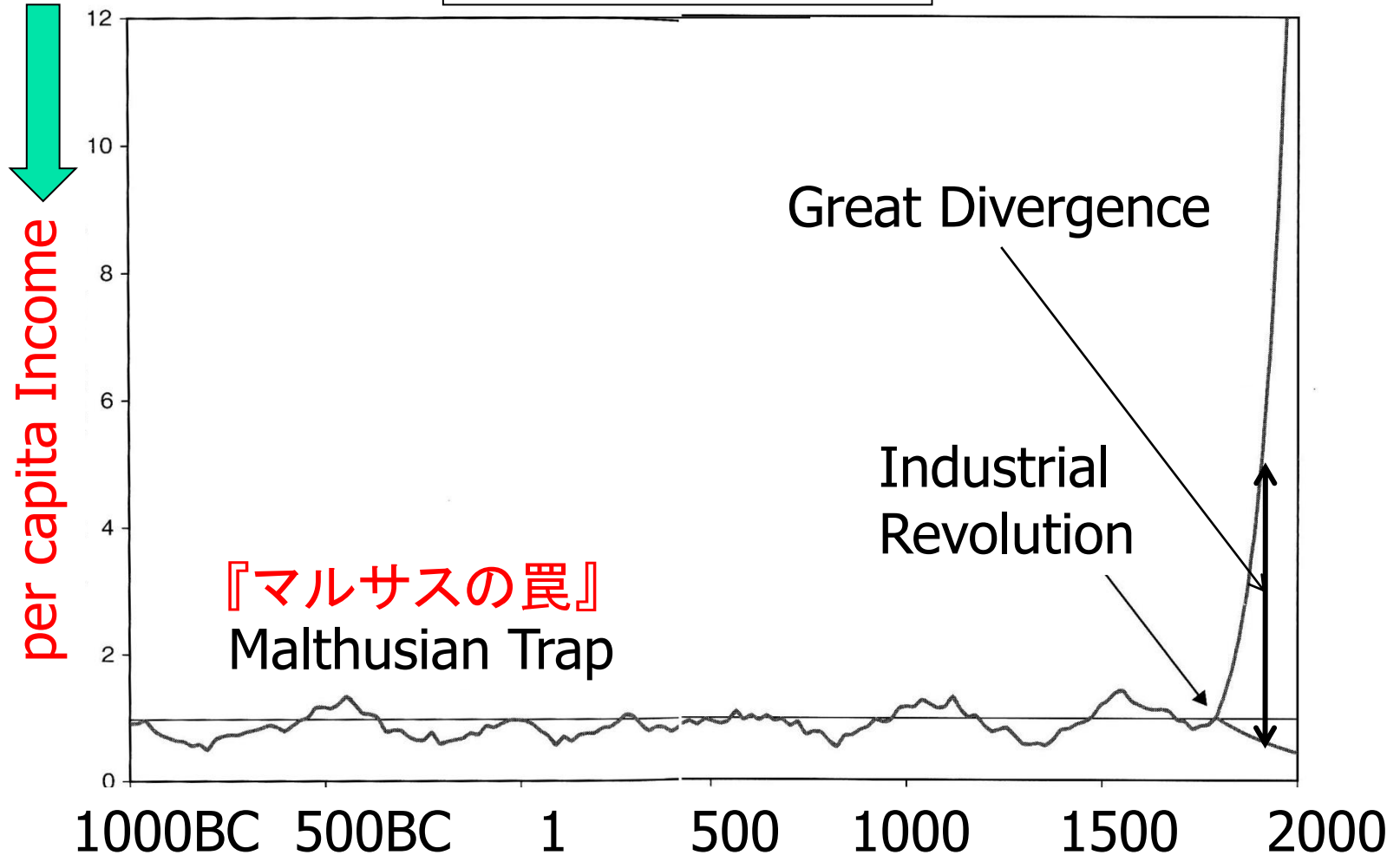
東京大学名誉教授、国際連合大学元副学長  
(独法) ナイト NITE=National Institute of  
Technology and Evaluation, 理事長

<http://www.yasuienv.net/>

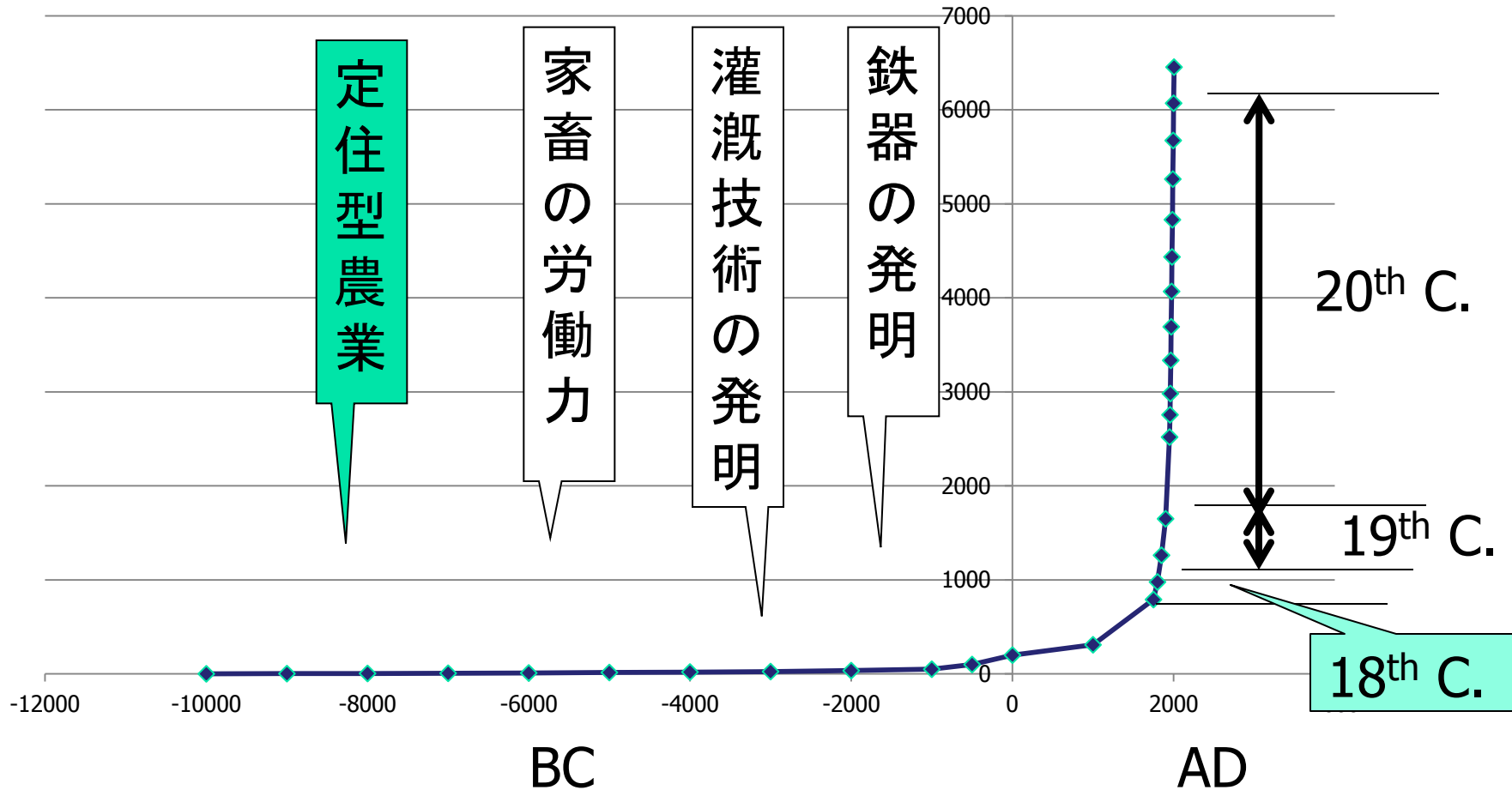
# 「10万年の経済史」

by Gregory Clark, 2007

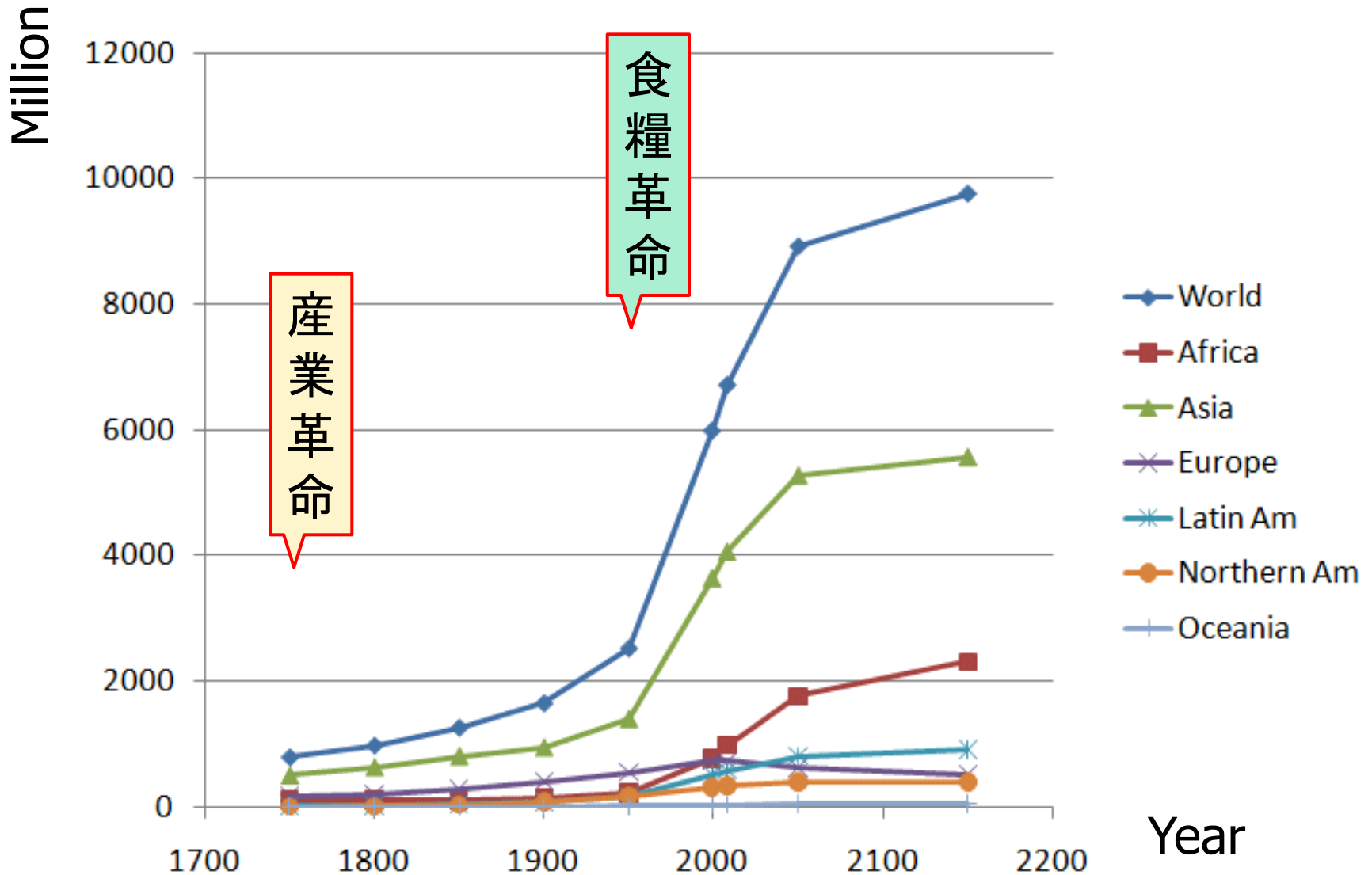
不思議な量 実は、



# 過去12000年間の世界人口



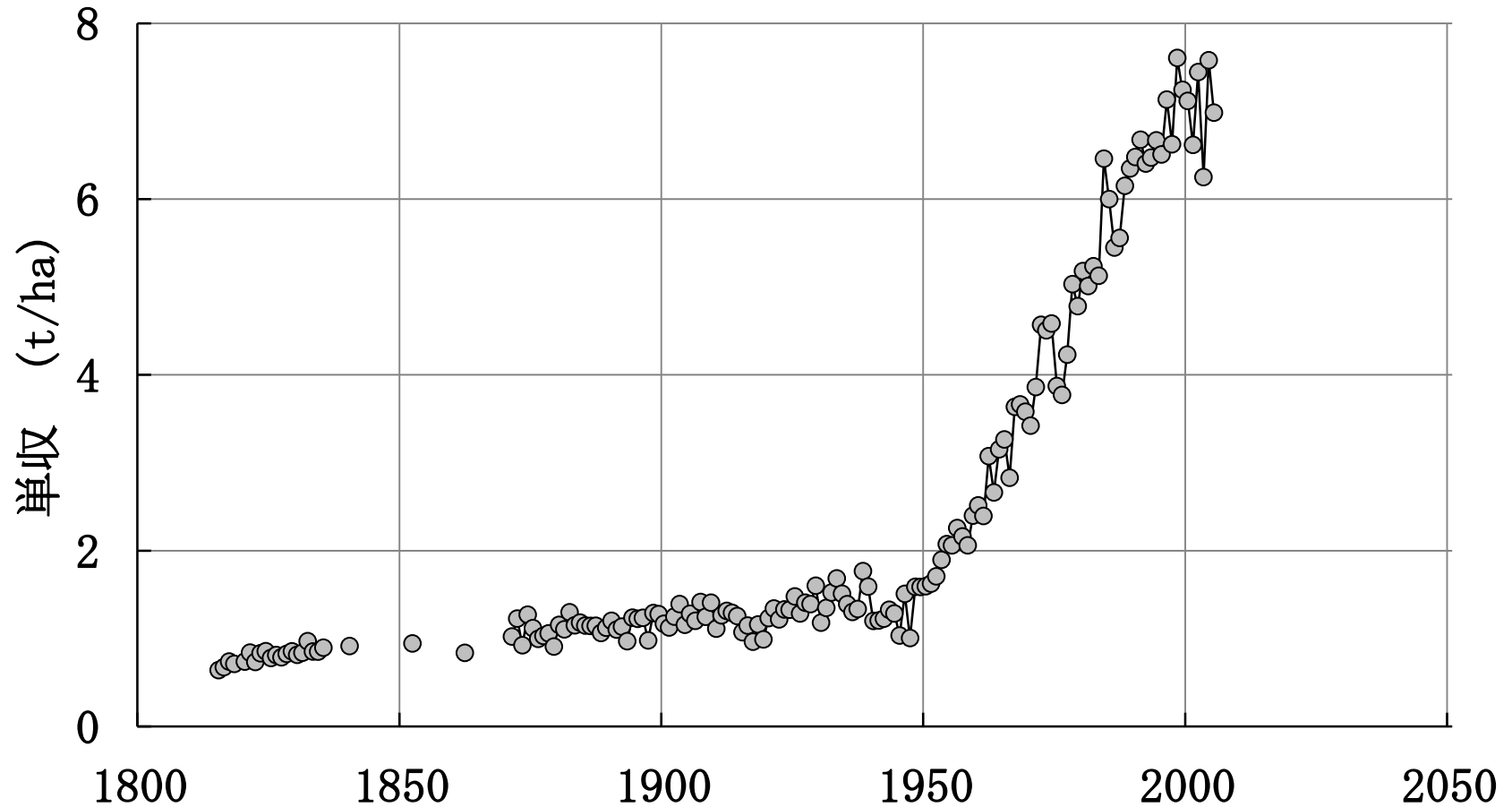
# 人口の増加の変曲点



## 20世紀の人口爆発の原因は

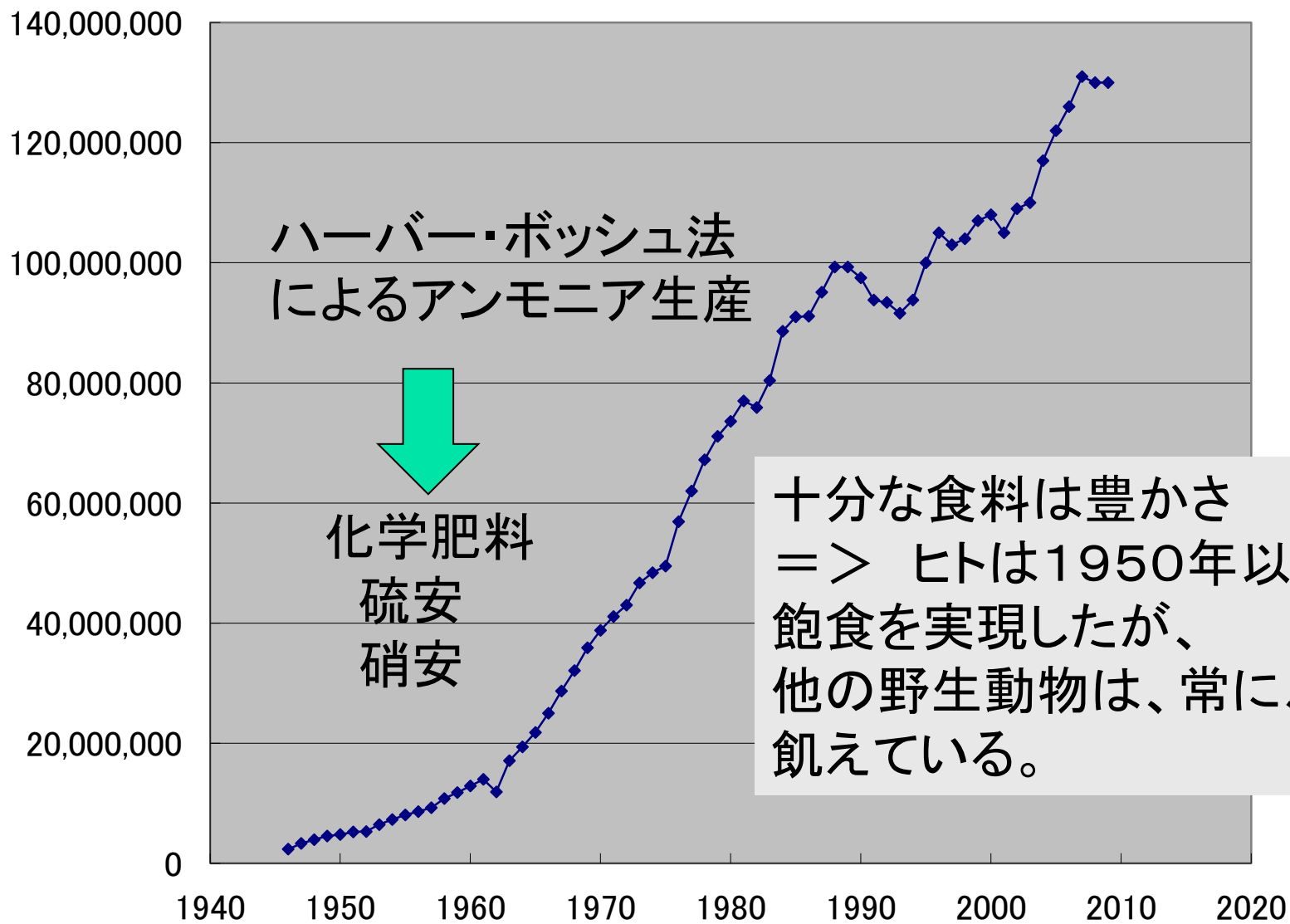
穀物単収(単位面積当たりの収穫量)の増加にある

フランスの小麦 出展 Michel & FAO



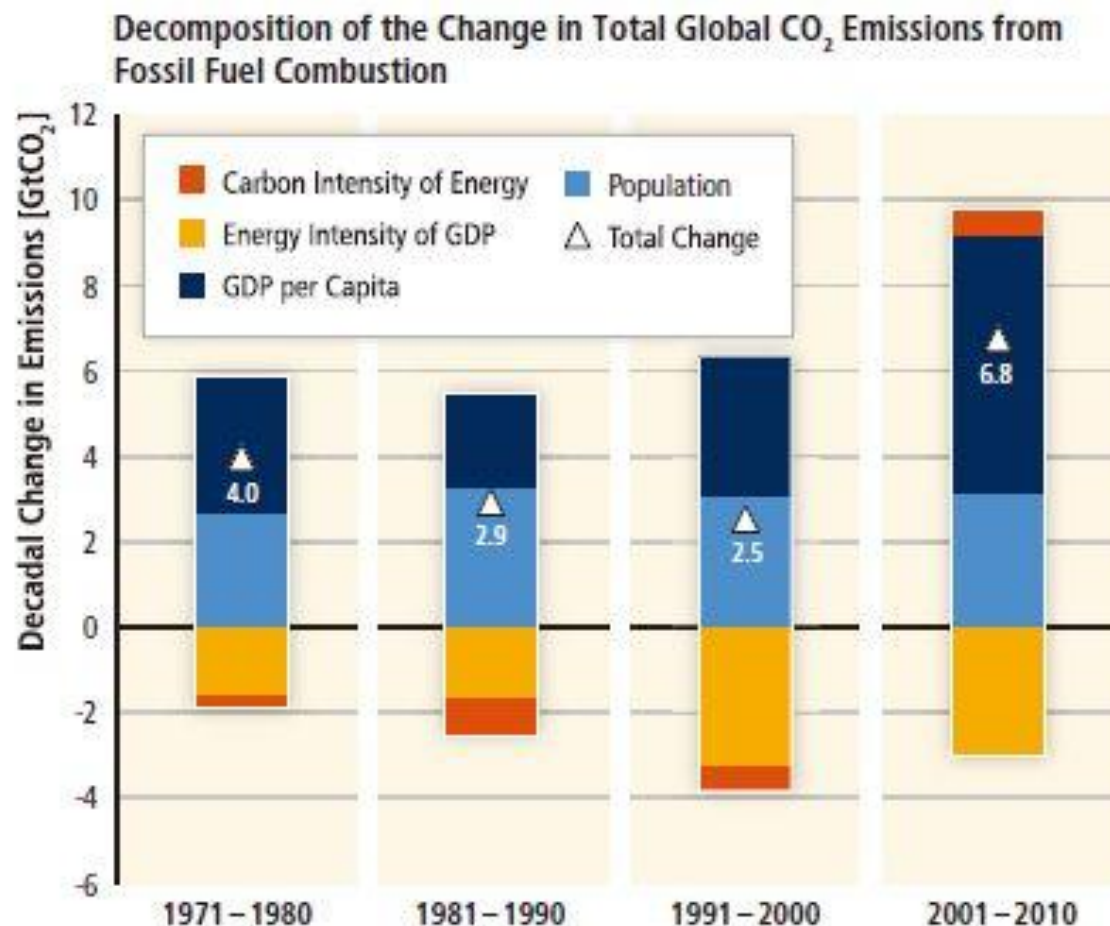
川島博之氏提供

# Nitrogen Fixed Metric Tons



ハーバー・ボッシュ法は、全エネルギーの1%を消費

## エネルギー＝CO<sub>2</sub>で何が起きた



**Figure SPM.3** | Decomposition of the decadal change in total global CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion by four driving factors: population, income (GDP) per capita, energy intensity of GDP and carbon intensity of energy. The bar segments show the changes associated with each factor alone, holding the respective other factors constant. Total decadal changes are indicated by a triangle. Changes are measured in gigatonnes (Gt) of CO<sub>2</sub> emissions per decade; income is converted into common units using purchasing power parities. [Figure 1.7]

# なぜ我々はエネルギーを使ったがるか

その1 豊かな生活とは食料だった ⇒ 人口増加

- 答: その2 楽な生活をするため
- 多分、輸送。以前は歩くか馬。
  - ガソリン自動車: ガソリンエンジン(内燃機関)は一つのエポックを作った。1885年にダイムラーによる特許。それまでの蒸気エンジン、電気モーターを性能で凌駕。
  - 1901年にはアメリカのテキサスで油田が発見されてガソリンの安定供給開始。
  - 1908年には、フォードがT型を発売した。大量生産方式を採用し自動車の価格を引き下げ。



# なぜ我々はエネルギーを使ったがるか その3

- 答：快適で便利な生活をするため
- それには、電気に関する発明が大きい  
＝電力のみが可能にした快適性と利便性。
- ＝主として、モーター。そして、ヒートポンプ。
  - 洗濯機、掃除機、エレベータ、エスカレータ、冷蔵庫、エアコン、、、、、
- ＝主として、半導体デバイス・ディスプレイ。
  - テレビ、スマホ、通信機器、BD、、、、
  - 低電力照明(LED)
  - 本質的かどうか不明ながら、娯楽性も

# 最低、どのぐらいエネルギーは必要か

## 基礎値=ヒトの生存のためのエネルギー

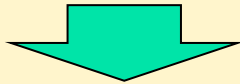
- ヒトは、エネルギーを補給するために、毎日食物を摂取 **2000-2500kcal/日**
- 体内で酸化して、**700-1000gCO<sub>2</sub>/日**を排出

部位	エネルギー消費量 (%)	部位の重量 (%)	重量当りのエネルギー消費量 (Kcal)
脳	18	2	900
心臓	11		
腎臓	7	6	633
肝臓	20		
筋肉	20	52	48
皮膚	5		
その他	19	40	48

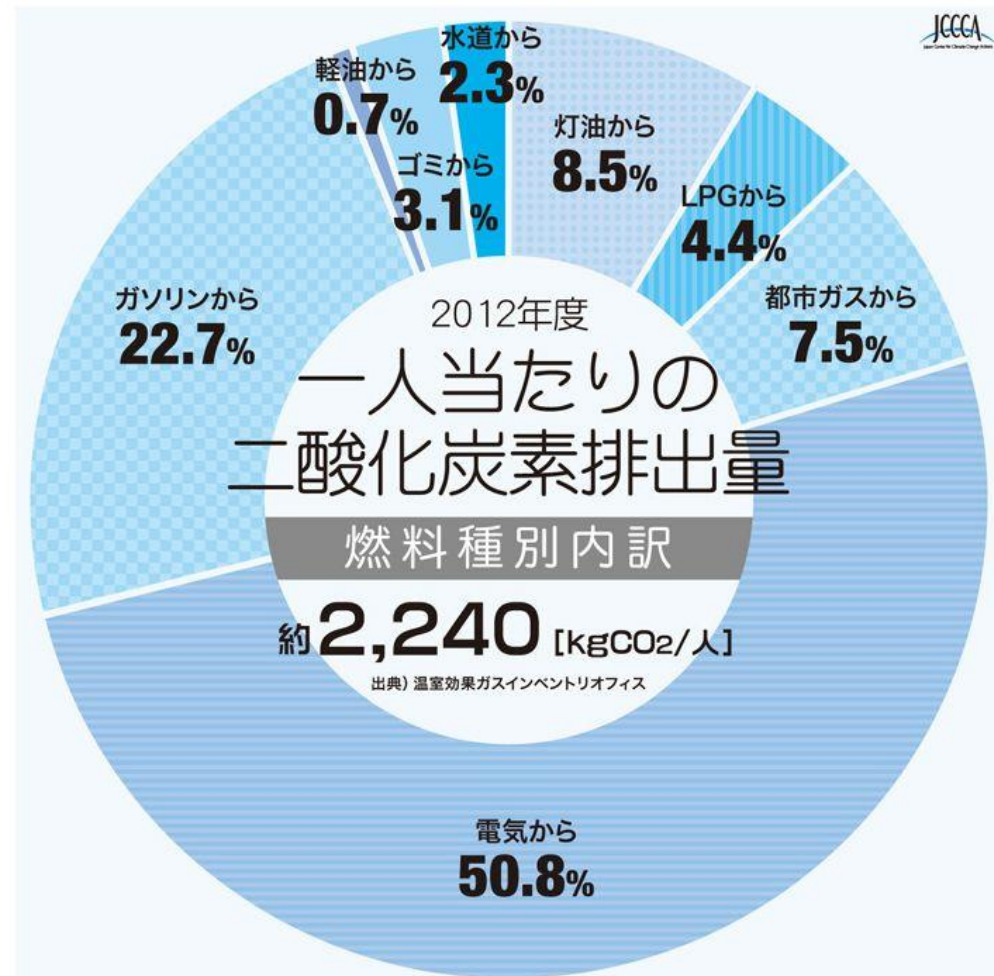
# 日本人の一人あたりCO<sub>2</sub>排出量

- 年間約10トン／人（産業を含む）
- 家庭用だけなら、**6.1kg／人日**  
 = 召使を6～8人ぐらい使っている勘定になる。

豊かで楽で便利な生活ができる訳だが、  
 そう思っているだろうか？





『ライフスタイルを変えることができるだろうか』



# Part2. 使えるエネルギーを作る

## 「元」となるのは3種類の一次エネルギー

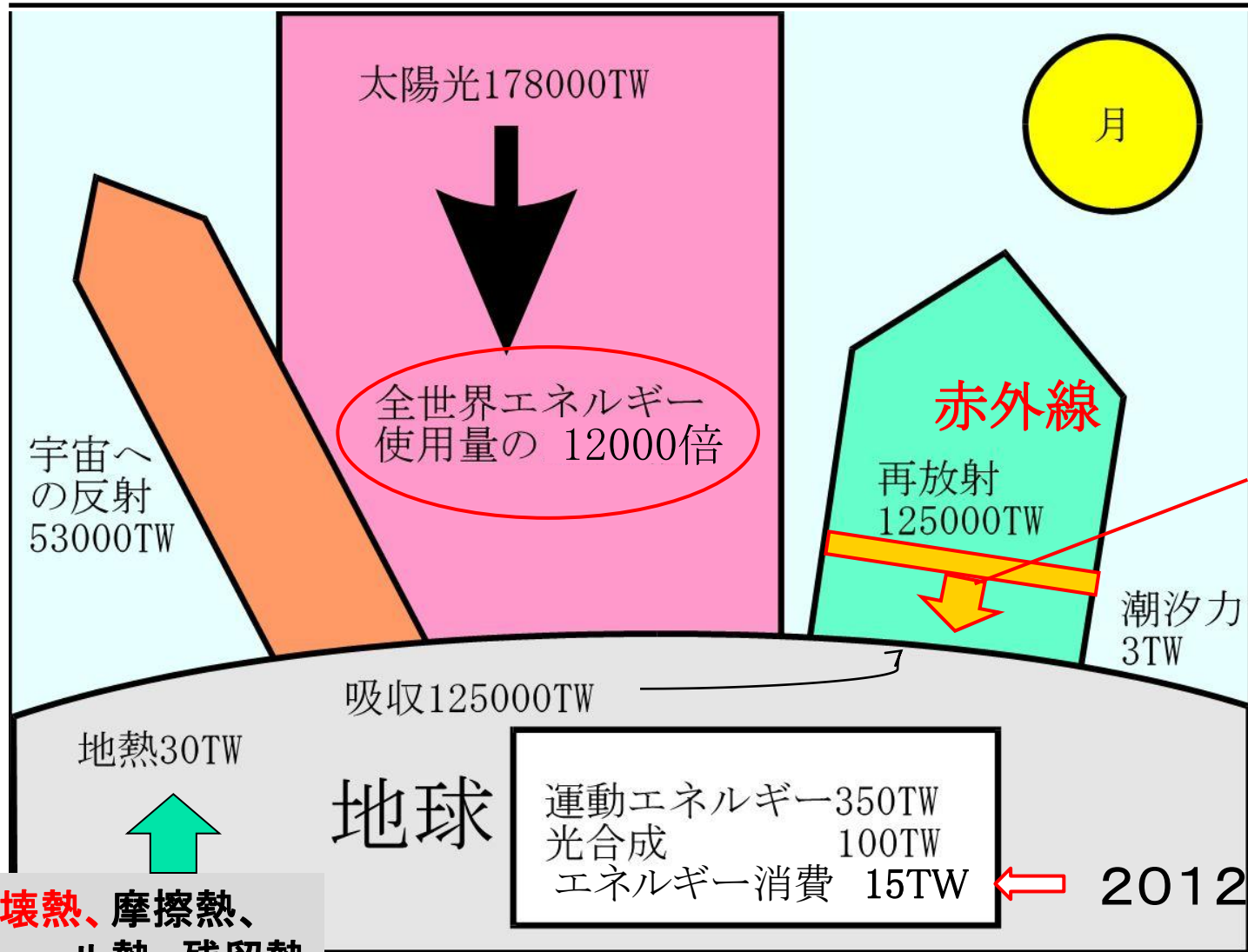
# 3種類の一次エネルギー

- 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** = もともと宇宙起源  
    - 質量とエネルギーの変換によって作られた
    - $E=mc^2$  (アインシュタインの式)
  - **自然エネルギー**
    - 基本的に現時点の**太陽エネルギー**の利用
    - 他の二種がストック型に対し、フロー型

# 3種の一次エネルギーの真の起源

- **化石燃料**: 超長期間に渡る**太陽エネルギー**が化学エネルギー(可燃物)の形で保存されたもの ⇒ **酸素**が存在する地球だから使える。その**酸素**は、**太陽エネルギー**を利用して『**植物**』が作った。
- 潮汐力と地熱を除く**自然エネルギー**は、**核融合**が供給している**太陽エネルギー**が起源。
- **潮汐力**は、**月の存在**。**地熱**は、**核崩壊熱**も。
- **原子力**は、**核反応**を応用している。
- 結局、すべての**一次エネルギー**は、「**宇宙**」・「**核反応**」が起源である。これも宇宙の成立ちを考えると、当たり前のことである。ただし、**植物**は**重要**だった。

# 地球のエネルギーフローとバランス



CO<sub>2</sub>が  
吸収  
一部が  
地球へ

崩壊熱、摩擦熱、  
ジュール熱、残留熱

崩壊：長寿命核種、ウラン、トリウム、カリウム40

2012年

# 原子力発電＝



一見、魅力的な人物だが、本性を見せると暴力的危険人物

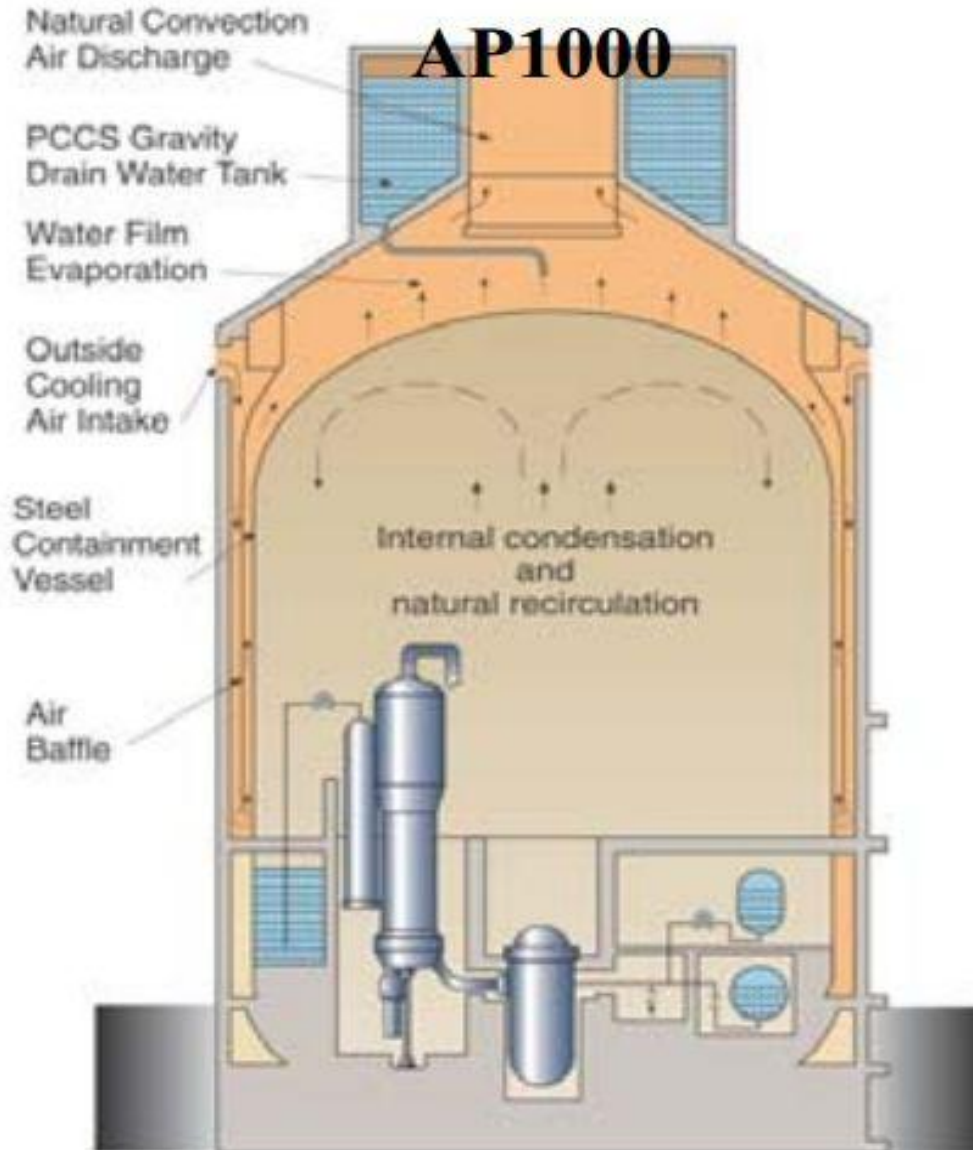
- 1. 福島第一の**事故**のように、放射性物質をまき散らす可能性 原因は様々
- 1'. 隣国からの放射性物質の侵入
- 2. 使用済み核燃料の**処理・最終処分**
  - もしも再処理をしなければ10万年
  - cf. 現人類の歴史は20万年
- 3. 増殖炉のシナリオがなければ、ウランは**資源的**に不十分 ⇒ 燃料の枯渇による高騰がありそう



# 原発の事故リスクを下げる

- 福島第一原発の事故前の状況を比較対象とすれば、今後、事故の発生リスクを、
  - 「100万年に1回の炉心溶融」へ
- その主たる手法は、確率的リスク評価
- Probabilistic Risk Assessment = PRA
- 事故発生の確率を過去の事故事例などから求め、被害の大きさと組合せ、リスクを算出する方法
- Level3 PRA: 炉心溶融が起き、放射性物質の放出が起き、その影響が住民に及びことまで解析するレベル
- Level3 PRAの結果をどうやって住民に伝達するコミュニケーションが大きな問題

# 第三世代 BRW原子炉 AP1000



福島第一の時代の  
基準よりも  
1/200のリスク  
=200万年に1回の  
放出事故率

しかも、福島第一は  
わずかな投資を回避  
して、リスクは基準  
よりも10倍高かった

# 確率論的リスクアセスメントPRA によるAP1000の安全性評価

## 6. PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT

One of the advancements that benefits the AP1000 is the further development of probabilistic risk assessment tools (PRA) and the application of these tools to the design process itself. The result for AP1000 has been a more effective combination of redundancy and diversity. This includes the defense-in-depth design that utilizes non-safety controls and systems as the first line of defense. If the first line systems are not capable of handling the event, the passive safety systems come into play. As revealed by the PRA, the risk of core damage and large radioactive release for AP1000 is extremely low. Here are the results for combined conditions of power, shutdown, and internal events, as well as fire and flood events:

- Core damage frequency,  $5 \times 10^{-7}$
- Large release frequency,  $6 \times 10^{-8}$ .

Unit: per reactor-year

For some perspective, here are some comparative results for core damage frequency:

US NRC requirement	$1 \times 10^{-4}$
Current plants	$5 \times 10^{-5}$
URD requirement	$<1 \times 10^{-5}$
AP1000	$5 \times 10^{-7}$

福島第一  
の時代

200倍ぐらい安全になっている

しかし、ヒューマンファクターが大きい = たたみ方が難しい

# 火力発電の特性＝



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

- 二酸化炭素をそのまま放出すれば、化石燃料を使う限り**気候変動**を引き起こす
- 二酸化炭素は、**炭素分離貯蔵(CCS)**で処理することも可能だが、問題もある＝場所がない、コスト
- CCS設備を付けた装置によって褐炭から水素を製造し輸入することが現実的か？
- しかし、エネルギー輸入による**貿易赤字**の影響によって、破綻国家になるか？ 2013年10兆円赤字
- それなら、やはり自然エネルギーで置き換えることで日本という国は**安定化**するだろう。

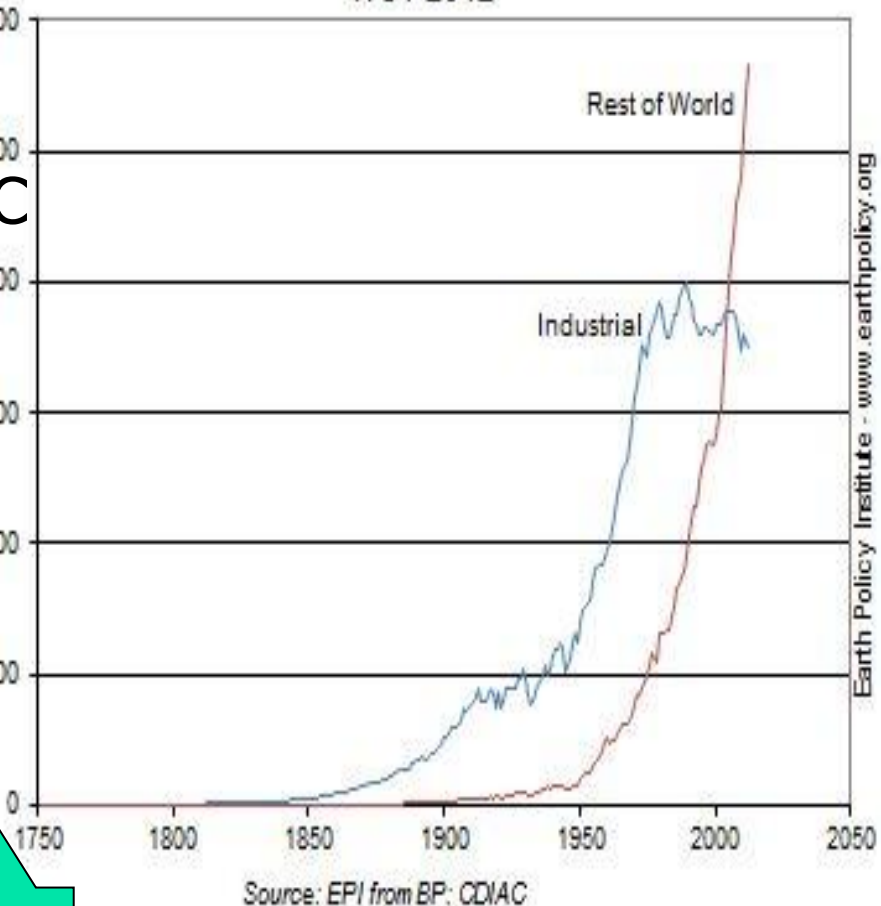
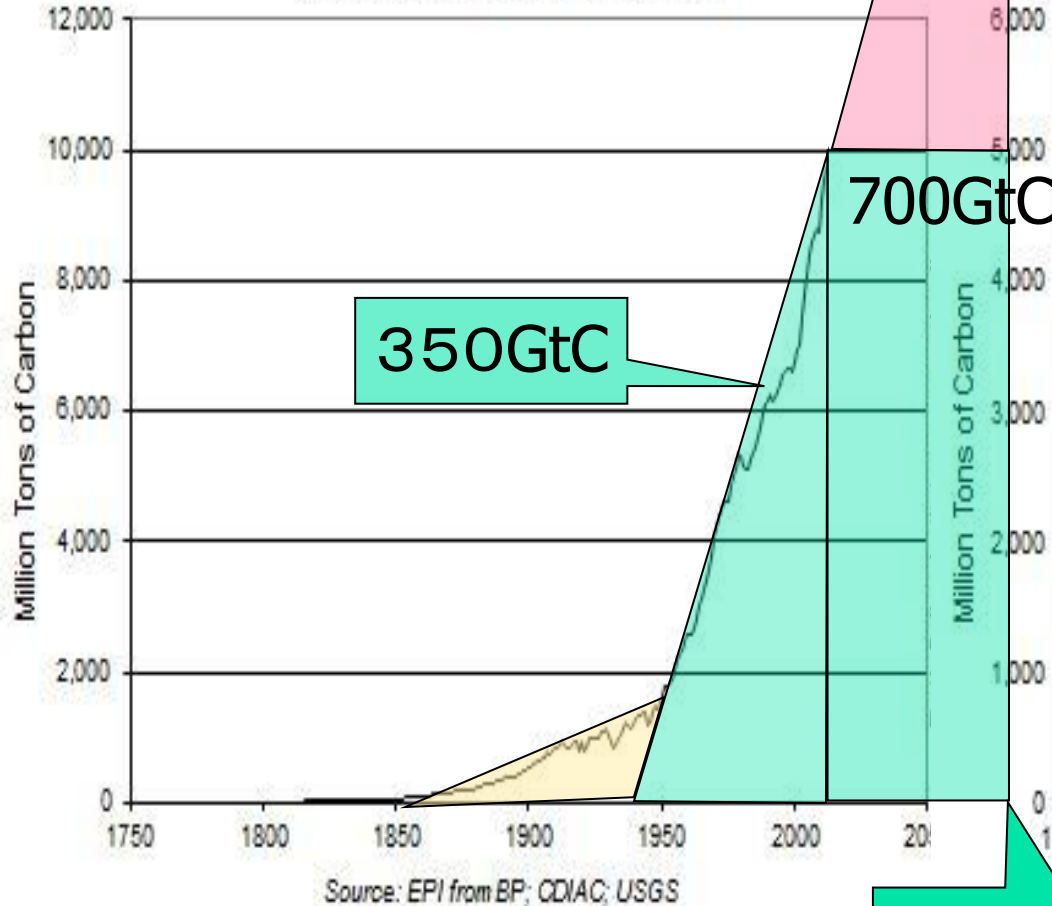
# CO<sub>2</sub>排出量/年 Mton-C/Year

## 世界全体

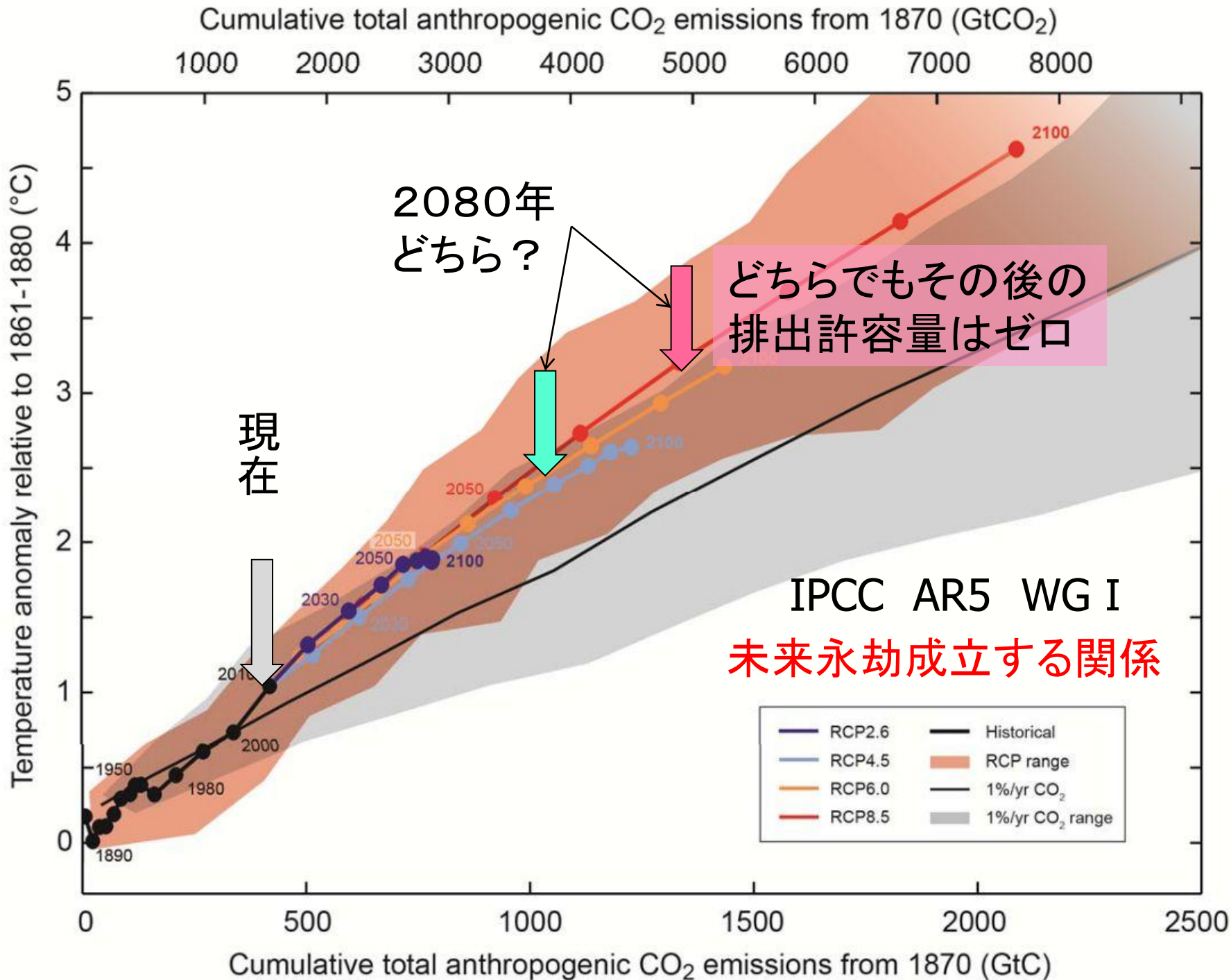
## 工業国とその他

Global Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuel Burning, 1751-2012

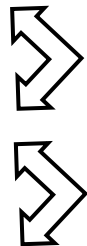
Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuel Burning in Industrial Countries and the Rest of the World, 1751-2012



Earth Policy Institute - www.earthpolicy.org



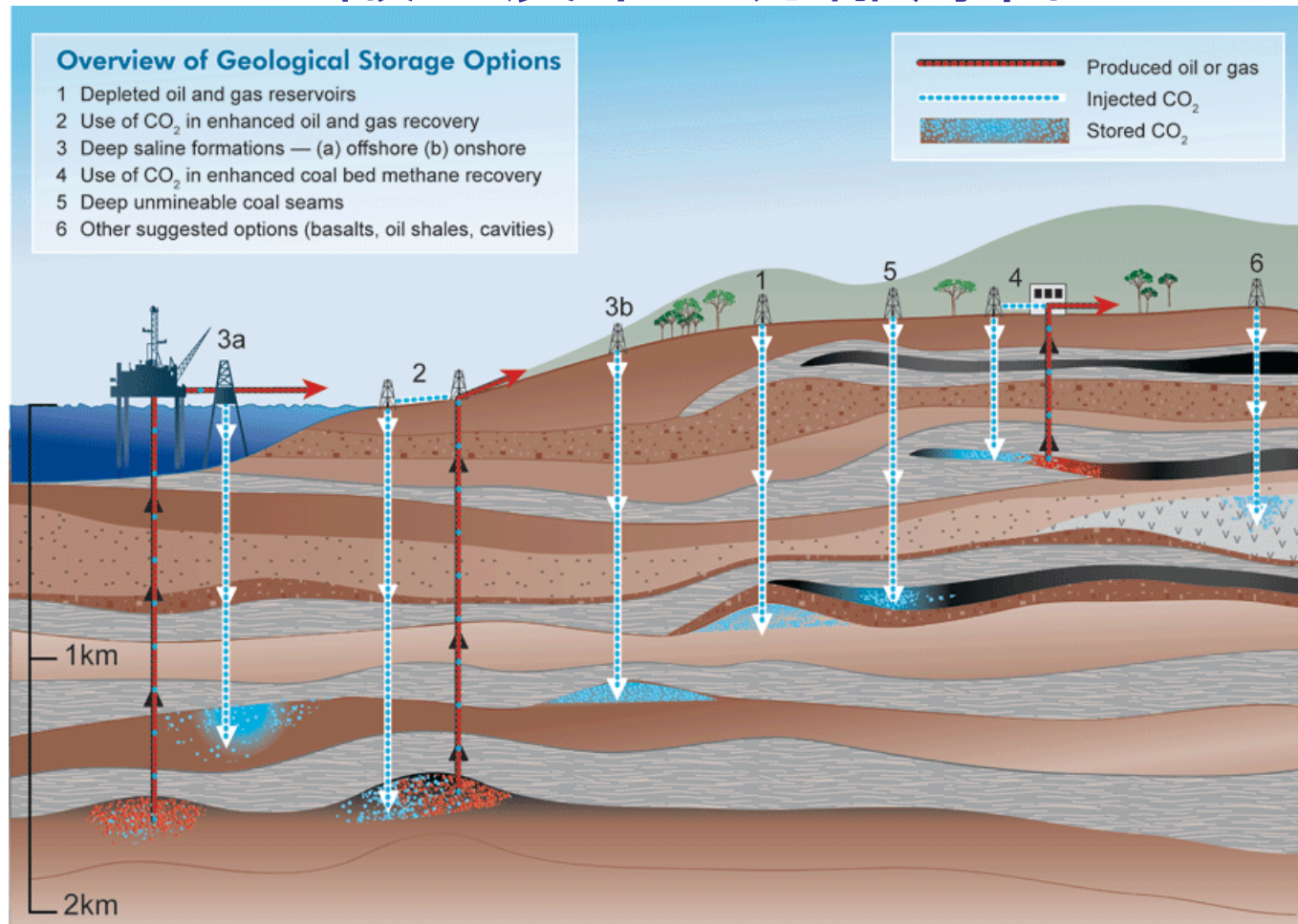
# 天然ガスなら良いのか シェール革命???

エネルギー源	単位	発熱量kcal	kg-CO2	g-CO2/kcal		
一般炭(輸入炭)	kg	6,354	2.39	0.376		
液化天然ガス(LNG)	kg	13,019	2.77	0.213		1.77倍
ガソリン	L	8,266	2.38	0.288		1.35倍

- ◆石炭の代わりに天然ガスで発電しても効率が同じならば、CO2量は**44%削減**にしかない。
- ◆自動車の燃料として、ガソリンの代わりに天然ガスという選択肢もなさそう。レンジエクステンダー用なら可??
- ◆日本に「**シェール革命**」は**無関係** パイプラインが無いから
- ◆しかし、いずれ、天然ガスもCCSが必要に!

# Carbon Capture and Storage

## 二酸化炭素の分離貯留



Cost of CCS = \$30/ton-CO<sub>2</sub> = **\$12.5/Barrel** (石油の場合)  
 以下にしないと実現しない。現状、かなり近くなっている。



# 二酸化炭素分離貯留 CCSのリスク

## ■ コストの問題

石炭:CCSの本命

- 15～80%の燃料代アップに相当
- これを製鉄業に強いれば、途上国へ移転
- これを石炭火力に強いれば、電力料金、特に、産業用電力料金の上昇によって、国内産業が打撃を受ける

## ■ 処理場所がないという問題

- 日本海の海底の地下ぐらいか
- 日本海溝などに処分すれば、なんらかの環境破壊の原因になる可能性がある

いかにも善人を装うが、実は、気まぐれな浪費家

- **不安定**な自然エネルギーの過剰導入
  - 太陽光発電 すでにFITの支払い**30兆円**分
  - 風力発電
- 今後の**開発の見通しが暗い**
  - 海洋エネルギー 社会制度
  - 地熱 過剰規制？
- **不安定性への認識**
  - 安定な電力が必須＝『認知バイアス』
- **適地が遠い** 北海道、東北、九州
  - 直流送電網建設のコスト

電気代上昇  
1.5兆円分/年

# 再生可能エネルギー

## 必要な対応の準備不足リスク

- 長距離直流送電技術
  - 九電力体制では不必要だった
- 電力を不安定なまま使う技術
- ダイナミックプライシング 価格が変動する
- 地熱などを実用化する配慮不足
- 所有者不明の森林のバイオマス
- 漁業権と海洋エネルギー開発の整合性
- 地中熱の自治体(下水道)の認識
- 天然ガスの分散型利用を無視

# 水素：電力同様に二次エネルギー エネルギー・キャリアー

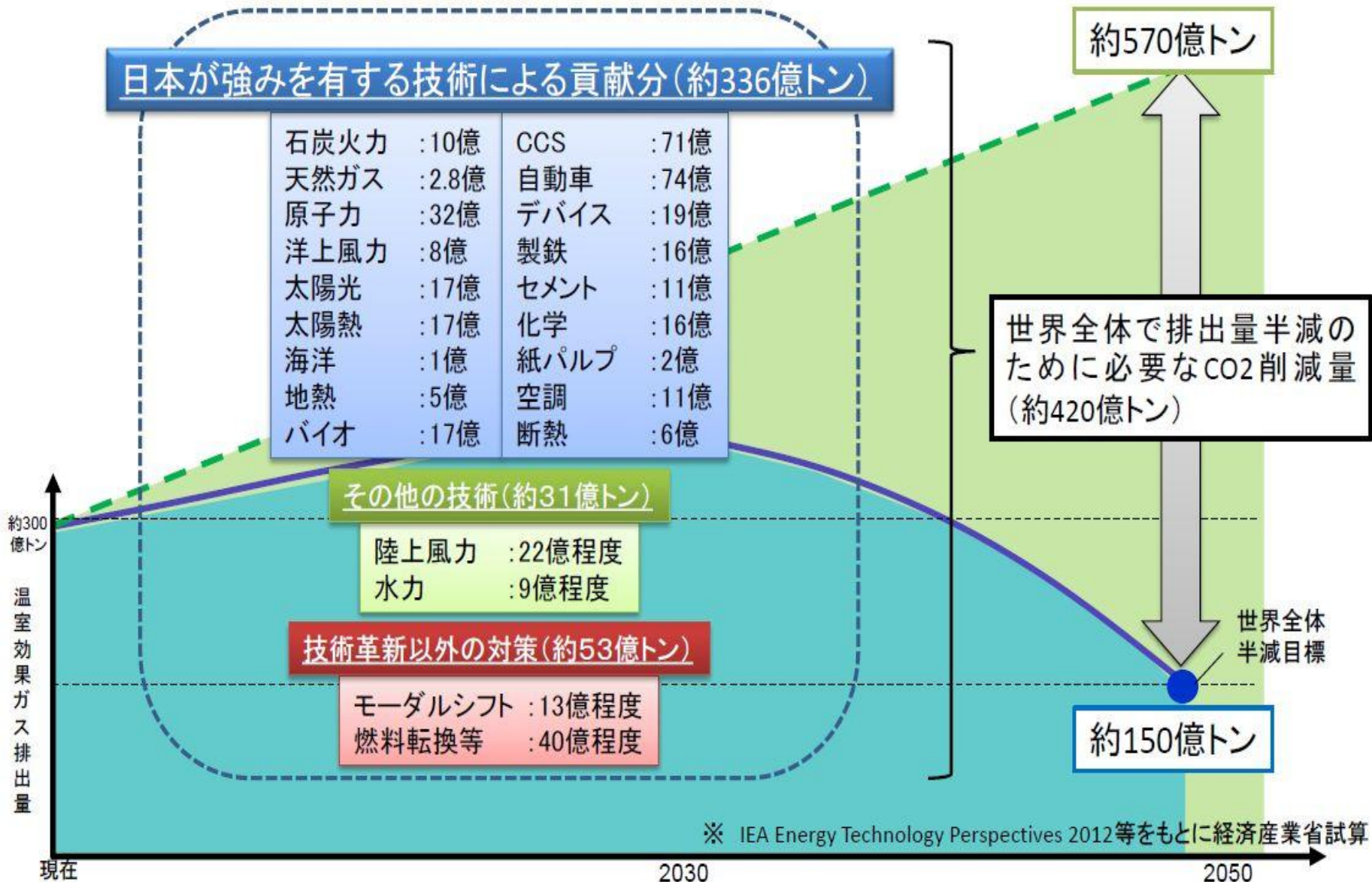
- 自然エネルギーの余剰分を電力線以外の方法で運搬する：エネルギーは電力を化学エネルギーに変換されるが、もっとも簡単なものが水素
- 低質の化石燃料を、現地で脱炭素しCCS処理＋可燃性のガスとして運搬：この方式だとエネルギーは一旦、水素の形となる
- 方式は2種類
  - 水素をそのまま運搬する
  - 水素を液体状化合物にする
    - 冷却で容易に液化する化合物にする
    - 常温で液体の化合物化する

# 第四のエネルギー：省エネ

## 省エネ技術を極限まで活用

- 北海道の冬でも、エアコン暖房を可能に
  - 地中熱をヒートポンプの熱源に活用
  - 河川水も同様に
- 都市部での冬に、下水の熱をヒートポンプでくみ上げて使用
  - 都市排熱の活用
- 二国間クレジットによる途上国の低炭素化
  - 日本の7～8年前の技術を移転することで、アジア、アフリカの国々の省エネ・低炭素化を支援

# 日本の技術で可能な国際貢献



# 第五のエネルギー：ライフスタイル CO<sub>2</sub>排出の要素分解式

■低炭素関連技術は以下の分解式を基本として整理・分類。

CO<sub>2</sub>排出の分解式  
需要側

$$\text{満足度} \times \frac{\text{サービス}}{\text{満足度}} \times \frac{\text{エネルギー消費量}}{\text{サービス}} \times \frac{\text{CO}_2\text{排出量}}{\text{エネルギー消費量}} = \text{CO}_2\text{排出量}$$

①ライフスタイルの見直し

②満足あたり必要サービス削減技術

③サービスあたりエネルギー消費削減技術

④⑤低炭素エネルギー利用技術

満足サービス  
Service Satisfaction

省エネ  
Energy Saving

低炭素エネルギー源  
Low-C E. Resources

# 新概念

## 『サービス(=CO<sub>2</sub>量)／満足』の向上を

- サービスの形態を変えて、同じ量の満足を、少ないCO<sub>2</sub>発生量で得る方法を開発する
- エネルギー関係以外でも、すでにいくらでもある
  - ブランド商品 機能はほぼ同じ
  - 高級レストラン カロリーはほぼ同じ
- EV車の暖房には、シートヒーターがある。
- オフィスは、シートヒーター＋スポットクーラー
- Small is beautiful！ は正しいが米国では？？



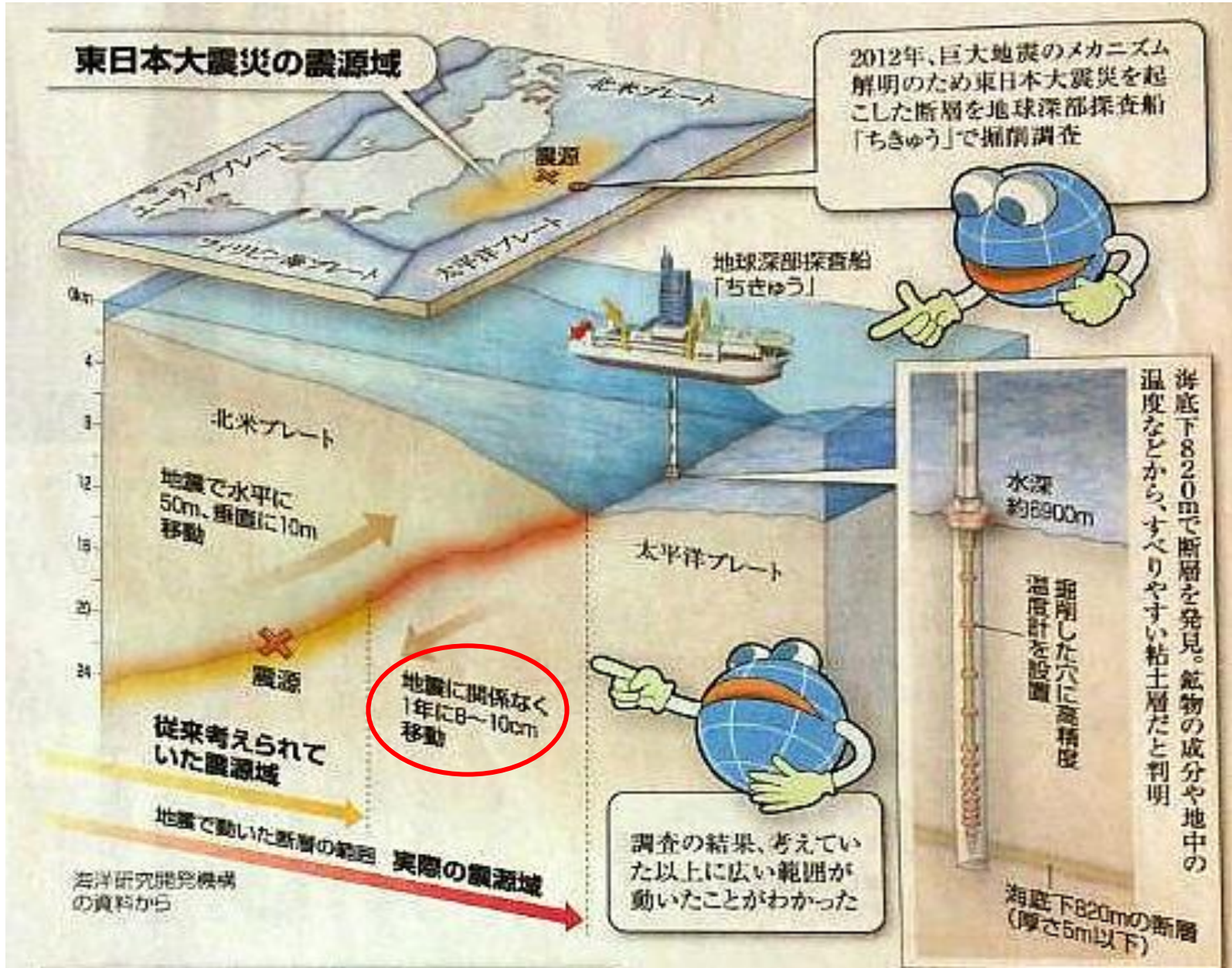
# 今世紀末までの大局観

持続可能性よりは  
定常状態の達成を目標にしよう

# 地球の定常状態の実現

- 自然エネルギーへ 化石燃料はCCSでも枯渇
- 核燃料 やはり枯渇する(汚染は論外)
- 廃棄物(CO<sub>2</sub>、核燃料) 地球の処理能力内
- 物質資源 すべて有限 「再生をする」
  - 金属・鉱物資源 → 自然エネで丁寧リサイクル
- 再生可能資源
  - 生物資源 再生速度の範囲内で使用
  - 淡水資源 再生速度の範囲内で使用
- 環境資源(生態系)
  - 各種環境維持機能 かなり脆弱、保全が必要

# 地球深部掘削船「ちきゅう」 JAMSTEC



22世紀までの世界での

一人あたりのCO<sub>2</sub>排出量・エネルギー

標語：ほぼ自然エネルギーだけの2100年

