

バックキャスト Backcasting

課題はパリ協定(国際的感覚)と日本流の乖離
@ エコプレミアムシンポジウム

安井 至

(一財)持続性推進機構 理事長
(独)製品評価技術基盤機構 名誉顧問
東京大学名誉教授
国際連合大学元副学長

<http://www.yasuienv.net/>
21年目 905万アクセス感謝

Paris Agreement 序文の一部

- Recognizing the importance of the conservation and enhancement, as appropriate, of sinks and reservoirs of the greenhouse gases referred to in the Convention,
- Noting the importance for some of the concept of "climate justice", when taking action to address climate change,

“Net Zero Emission” in Paris Agreement

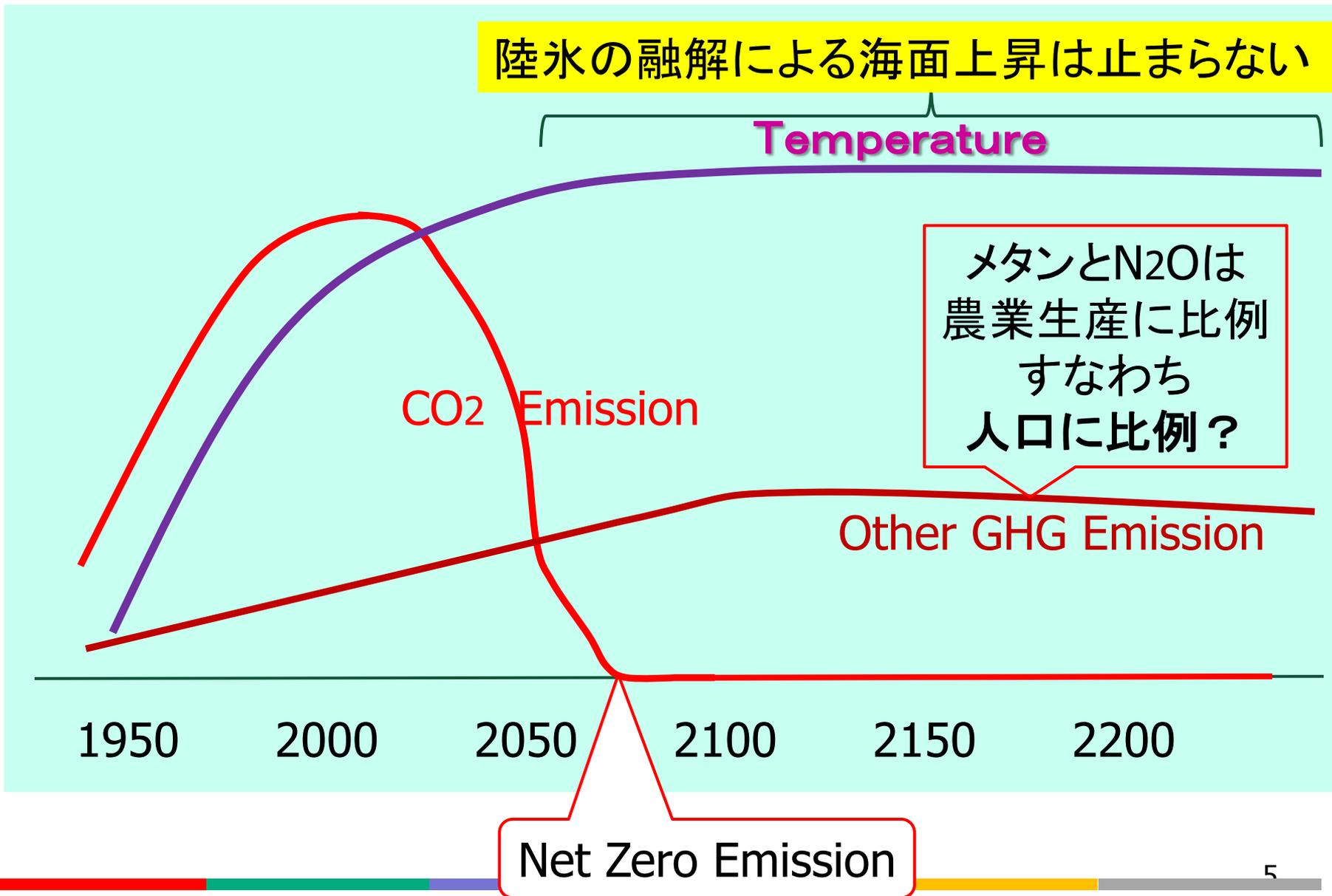
- Article 4
- 1. In order to achieve the long-term **temperature goal** set out in Article 2, Parties aim to reach global peaking of greenhouse gas emissions as soon as possible, recognizing that peaking will take longer for developing country Parties, and to undertake rapid reductions thereafter in accordance with best available science, **so as to achieve a balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the second half of this century, on the basis of equity, and in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty.**

パリ協定が定義した『未来』は？

- それはなんと「正義」に基づくものだった
- 今世紀後半のどこかでのNet Zero Emission
- 現時点から見れば「望ましい未来」ではないかもしれないが、人類のために「実現しなければならない未来」
- しかも、最新の科学的知見がその背景にある
 - CO₂の大気中濃度の半減期は、数1000年(?)
 - となると、100年程度のヒトの寿命を基準とすれば、「ひとたび、上昇した気温は下がらない」
- 気候変動の最大のリスクは、海面上昇にある
 - 「気温上昇が海面上昇を招く」
 - 「気温はさがらない」
 - 「ひとたび、上昇した海面は下がらない」

CO₂・GHG排出量と気温上昇

陸氷の融解による海面上昇は止まらない



メタンとN₂Oは
農業生産に比例
すなわち
人口に比例？

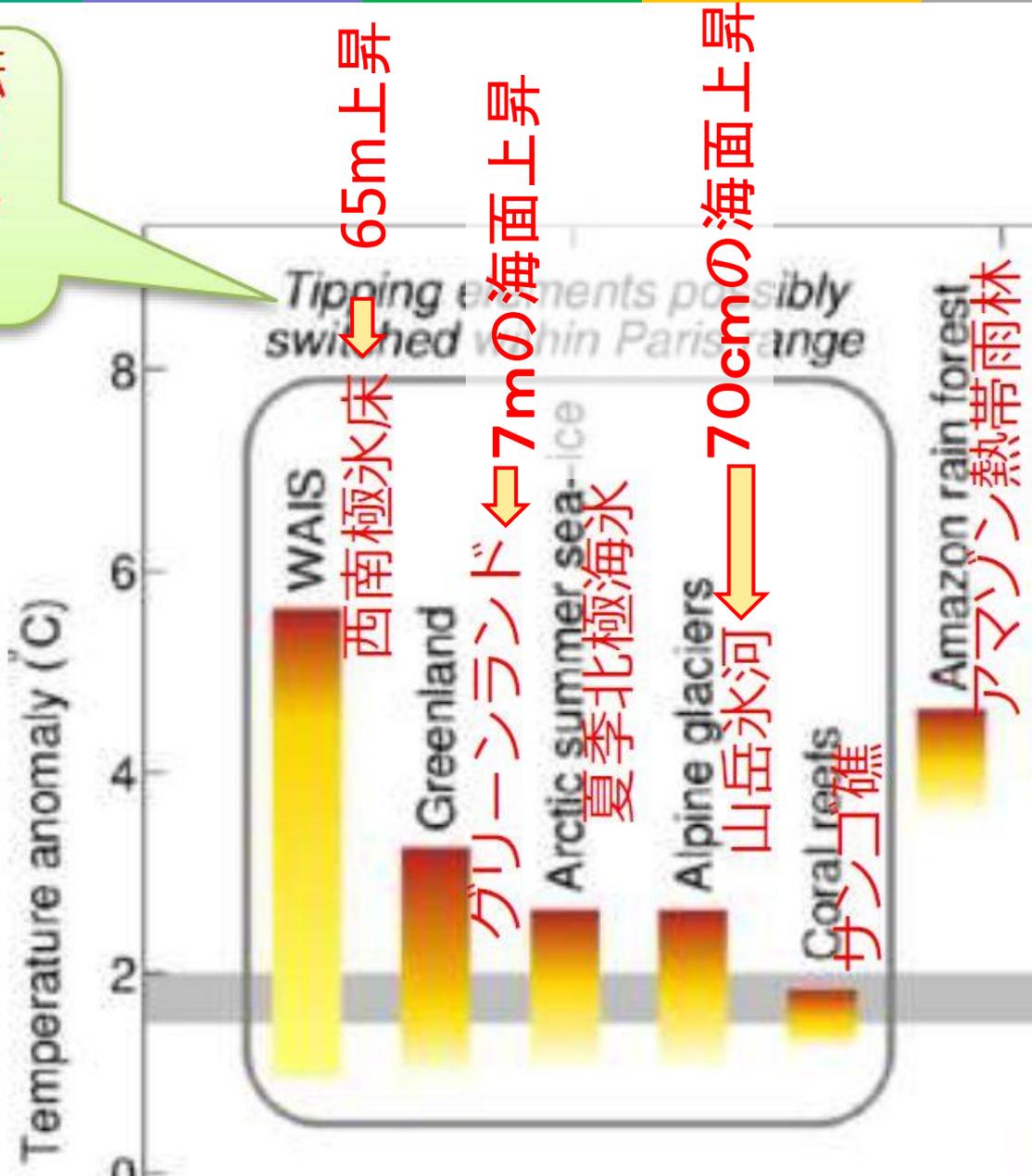
Net Zero Emission

気温上昇とティッピング (不可逆) エLEMENT

1.5°C~2°Cの間で転換する可能性のあるティッピング・エLEMENT

グリーンランド

7mの海面上昇の予測
ただし、4°C
Upでも700
~1000年後?

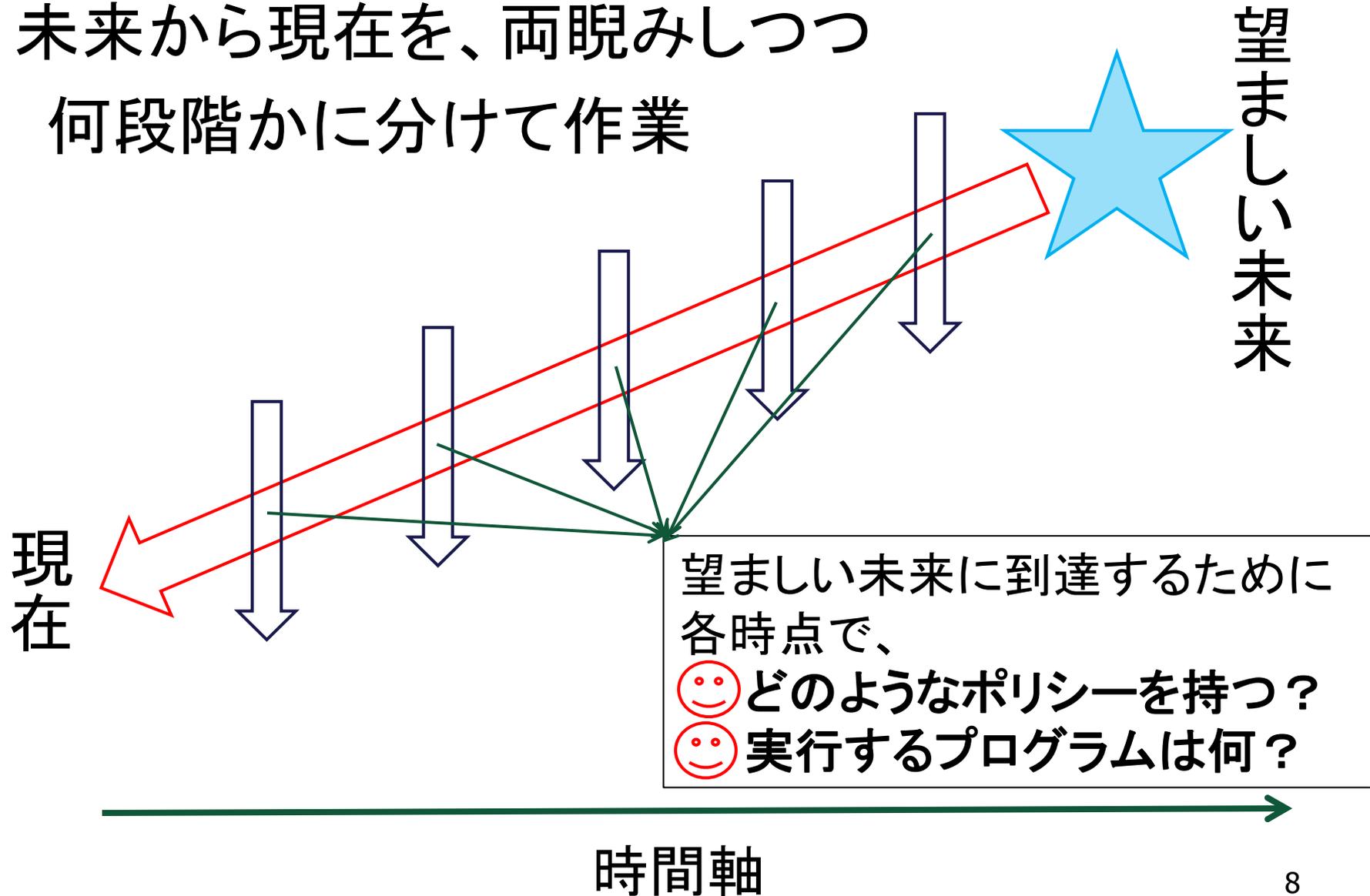


Backcasting の定義

- もともと、釣り用語＝後ろ投げ
- 反対語 Forecast 予報
- 定義: A planning method that starts with **defining** a **desirable future** and then works backwards to identify **policies and programs** that will connect that specified future to the present.
- 「**望ましい未来**が明確かつ共通なのか」ということが根本的な問題として残る。
- 未来を読むことは、企業からは「嫌がられる」

Backcastingの図解

- 未来から現在を、両睨みしつつ
何段階かに分けて作業



バックキャストの構成

- 構成は
 - 到達地点(遠い未来) + 現時点へのパス(道筋)
- 次に**中間未来**の時点を決める
- パリ協定対応であれば、最終的には、**NZEの2080年あたりを遠い未来**に、中間点は、**2030、2040、2050年**を選択するのがフルオプション
 - 現時点の日本の温暖化対策計画では、**2040年の「抜け」が最大の欠陥**
 - そのため、2050年の未来像が非常に不明確になっている。



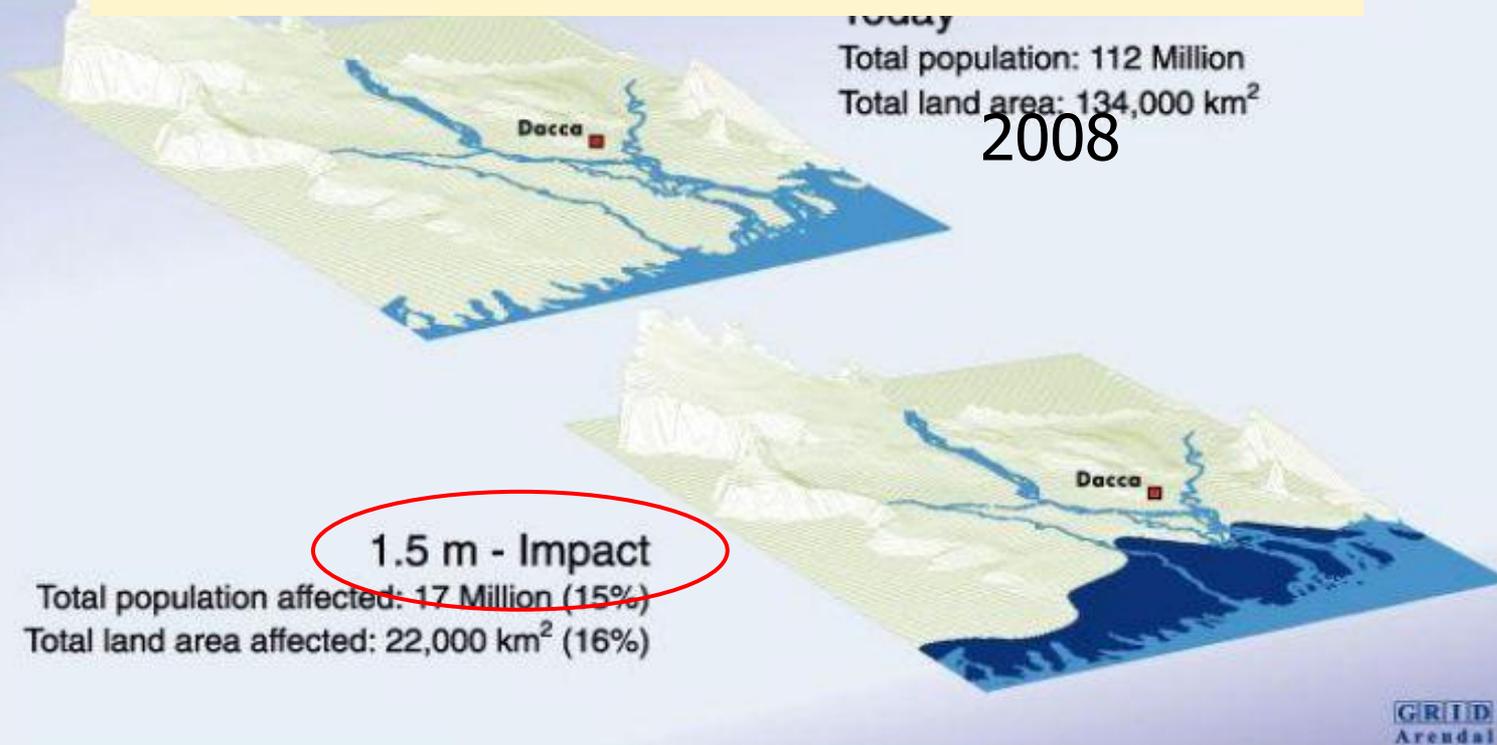
第一部

日本人が理解できない「パリ協定の真意」 ～なぜ『気候正義』なのか？～

国際交渉リスクのために、2°Cは必須の条件 なぜ？

Potential impact of sea-level rise on Bangladesh

バングラデシュの海面上昇による国土の喪失



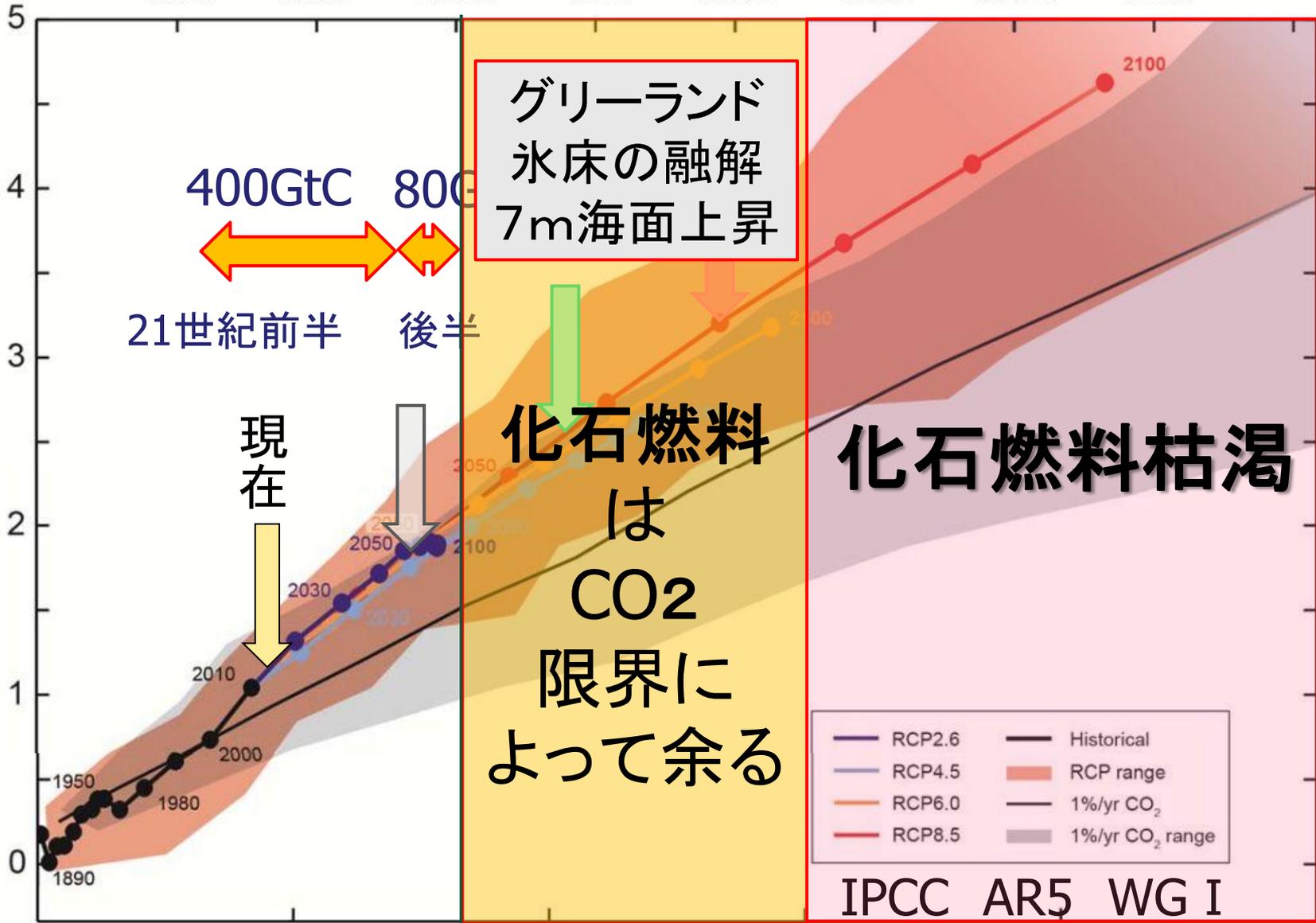
海面上昇と異常気象による環境難民問題

2. 5°C上昇で始まる(?) 7mの海面上昇
=「不正義」だからゴールには不適切

Cumulative total anthropogenic CO₂ emissions from 1870 (GtCO₂)

1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000

Temperature anomaly relative to 1861-1880 (°C)



400GtC 80GtC

21世紀前半 後半

現在

グリーンランド
氷床の融解
7m海面上昇

化石燃料
は
CO₂
限界に
よって余る

化石燃料枯渇

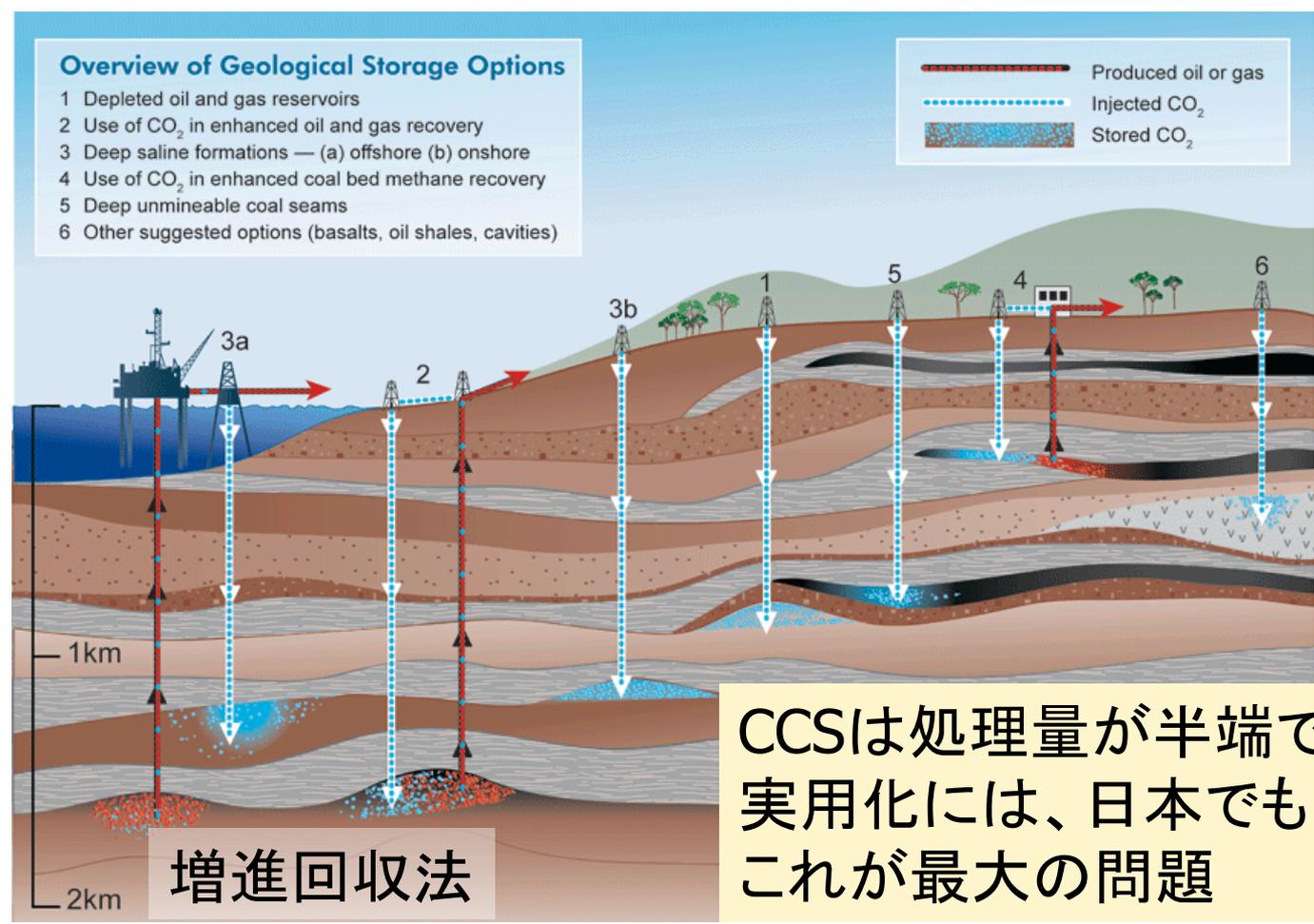
- RCP2.6
- RCP4.5
- RCP6.0
- RCP8.5
- Historical
- RCP range
- 1%/yr CO₂
- 1%/yr CO₂ range

IPCC AR5 WG I

0 500 1000 1500 2000 2500

Cumulative total anthropogenic CO₂ emissions from 1870 (GtC)

CCS = Carbon Capture and Storage



石油は水素とCO2に分離し水素を輸出

CCSは処理量が半端ではない
 実用化には、日本でも1億トン／年
 これが最大の問題

Cost of CCS = \$30/ton-CO₂ = **\$12.5/Barrel** (for Petro)
 Cost for separation, liquefy and storage



エネルギーキャリアー：水素は積載効率が悪い。アンモニアなどの化合物化して運ぶことが有効

第二部 日本人には理解不能
「気候正義」が強制する！
長期視点 & グローバル視点
～温暖化懐疑論者は、ほぼ消滅したものの
その残渣がまだまだ心の中に残る日本～

国際的考え方：被害に不確実性はある。
しかし対応しないとはいえない。
もし、対応しないとせば「不正義」。
途上国の一部から、大反発が来る。

日本の特異性は、言語にも問題が！

2°Cは**ゴール**なのか**目標**なのか？

- 各国のNDCで分かっていること
- =NDCの2030年までの削減では、2°C以上の温暖化の可能性が高い
- By UNEPのReport: INDCの合計 6GtCO₂減少
必要量 12GtCO₂削減
- となると、選択肢は
 - (1) 目標を修正し2.5°Cを新目標にする
 - (2) 2°Cはあくまでもゴールだから維持する
- 日本人的には、(1)の合理性が高い
- しかし、国際社会は(2)以外に選択肢はない
- それは、表題への答が、2°Cは**ゴール**だから

Goalの英語、フランス語、ドイツ語

それらの意味を推測すると

- Goal は、到達することよりも、「**ゴールに向かうという姿勢**」を示すことに意味がある
- キリスト教における『**審判**』『**最後の審判**』では、その人の「**姿勢≡他人に与えた良い影響**」が問われるのであって、その人が「**Goalしたか**」が問われる訳ではない
- キリスト教徒であれば、「**2°Cに向かう姿勢**」こそが重要：**トランプ大統領は、特異なキリスト教徒**
- 2°Cに向かう姿勢があっても 目標を達成しないと評価されないのが日本。しかし、**姿勢が違っていても非難されない**。そこで、できるだけ目標を持たないようにする。



ルーマニアのボロネッツ修道院の外壁のフレスコ画

撮影:2015年6月





ターゲットとゴールを区別しない民族性

- もともと「**気候正義**」=Climate Justiceといった言葉は**日本人の理解を超す**
- “多神教に基づく多様性”の日本人にとって、「**正義**」を語るのは、**どうも野暮な**ことらしい
- しかも、真面目な性格の日本人には、目標は「**必達**」
- 『**目標**』を作ると、上司だけでなく、株主からもそれを達成したかどうかで責められる
- できれば、『**目標**』を作りたくない。
- しかし、パリ協定文書を見捨てることは**ビジネス上不利になる**(グローバル企業)

正義：富士山型と八ヶ岳型



どこから登り始めても、標高の高い頂上に到達する。



登り始める地点によって到達点が違う。しかも標高も低い。

第三部

Net Zero Emissionをめざすとき、
日本はどのようなバックキャスト
が可能なのか？

～世界で対応が困難なランキング上位の国～

思考ツールとして、何を使う

- 一般的な解??
 - 直接: 人類が何をやると、CO₂がどのくらい出るか。
 - ⇒ Life Cycle Assessment という方法論
 - 資源: 人類が使うことができるモノは何か
その存在量はどのくらいで、すでにどこまで使ったか
 - ⇒ 元素の種類と量は、地球限界 & 宇宙限界
 - 幸福論?: 人類にはどのようなモノが必要なのか
 - ⇒ 所有制度の見直し: これまでは所有することが前提、しかし、共有でも良いのではないか
 - 哲学?: 人類の究極の目標とは何か
 - ⇒ ??? 例: 持続可能性が目標なのか?

人類は地球限界を越すことはできない

- 地球限界は、宇宙限界に拘束される
- 宇宙限界
 - 利用可能な元素の種類と量が限られている
 - 素粒子レベルでまず縛られている
 - その集合体を作る方法論が限られている
 - 核融合と超新星爆発による核融合
 - 水素を原料として核融合で鉄ぐらいまでの元素
 - 超新星爆発でそれより重い元素
 - 利用可能なエネルギーの種類が限られている
 - 核分裂と太陽における核融合がすべての起源
 - 太陽は、現時点での光(エネルギー)と、過去の光。過去の光は化石燃料という形で。

CO₂ NZE (=Net Zero Emission) のために必要なイノベーション その現状と未来

第0章 「準備」:原理と日本の状況を知る

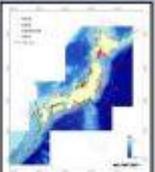
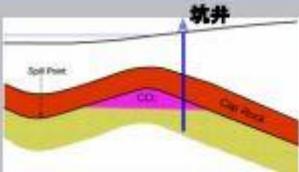
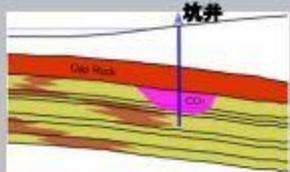
- NZEエネルギー供給の方法論は3種のみ
- 1. 化石燃料+CO₂全量CCS
- 2. 自然エネルギー100%戦略
- 3. 原子力依存戦略

いずれの方法論についても、日本の**地政学的特性**
(大きさと様々な特殊性)が重大な影響を及ぼしている。

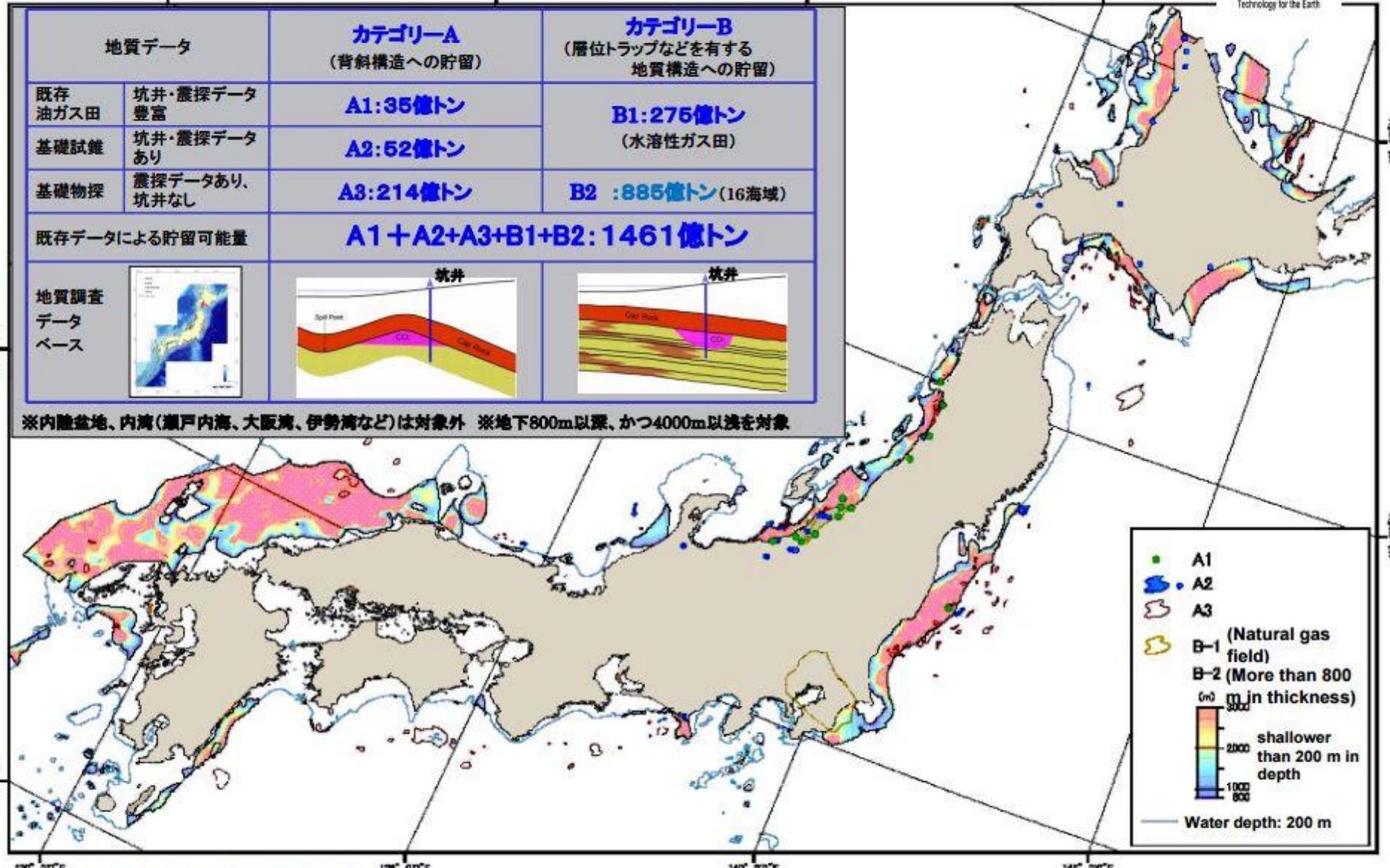
EUのサイズは、南北3800km、東西3000km
日本のサイズは、南北・東西とも 1500km

既存の調査例：沿岸域の貯留可能量と帯水層分布

125° 00'E 130° 00'E 135° 00'E 140° 00'E

地質データ		カテゴリーA (背斜構造への貯留)	カテゴリーB (層位トラップなどを有する 地質構造への貯留)
既存 油ガス田	坑井・震探データ 豊富	A1:35億トン	B1:276億トン (水溶性ガス田)
基礎試錐	坑井・震探データ あり	A2:52億トン	
基礎物探	震探データあり、 坑井なし	A3:214億トン	B2 :885億トン (16海域)
既存データによる貯留可能量		A1+A2+A3+B1+B2: 1461億トン	
地質調査 データ ベース			

※内陸盆地、内湾(瀬戸内海、大阪湾、伊勢湾など)は対象外 ※地下800m以深、かつ4000m以浅を対象



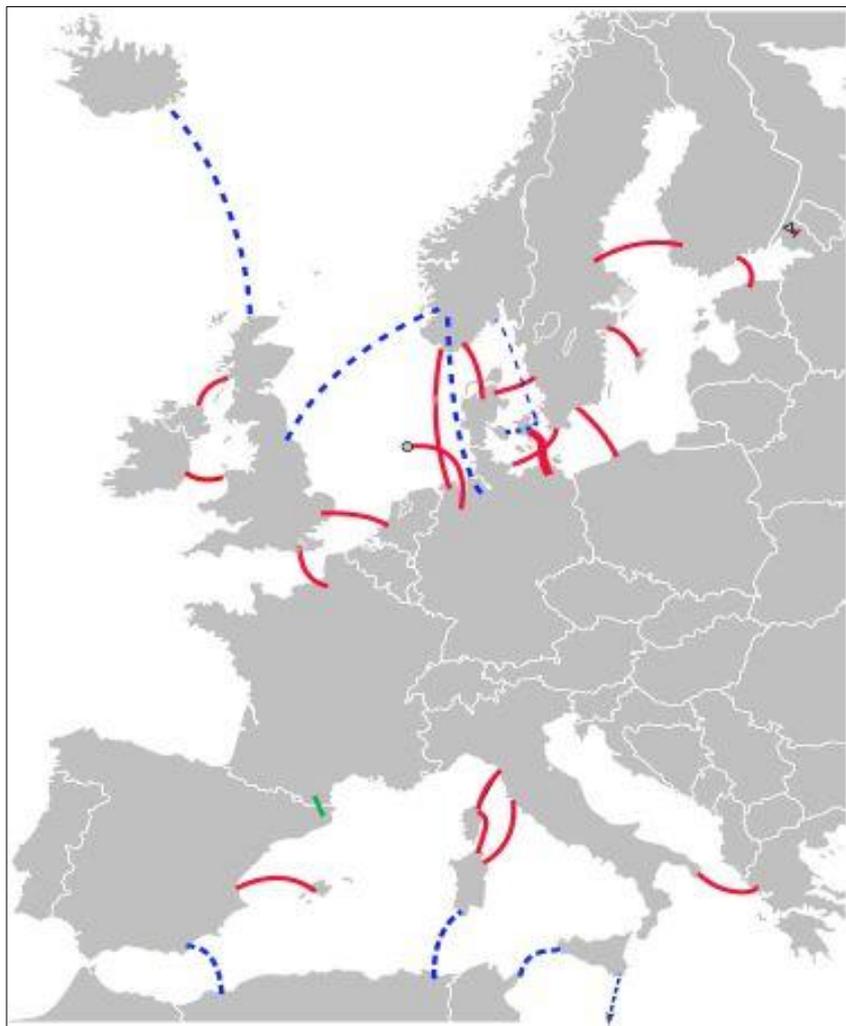
出典：(公財)地球環境産業技術研究機構

“化石燃料＋CCS”戦略の問題は？

- 民間企業の**時間スケール**と全く違うこと
 - 例えば、**100年間で95%以上保持が義務**？
- もしもなんらかの不具合があったとき、誰が責任を取るのか
- 沿岸域の場合は漁業権などとの整合性
- 経済的問題
 - どのような費用分担をするか
 - 最終処分地の権利をどう扱うか
 - 超長期の責任体制の確保は
- やはり**特殊法人等の仕事**かもしれない

高圧直流送電 ヨーロッパと日本の比較

海底ケーブル (HVDC) —

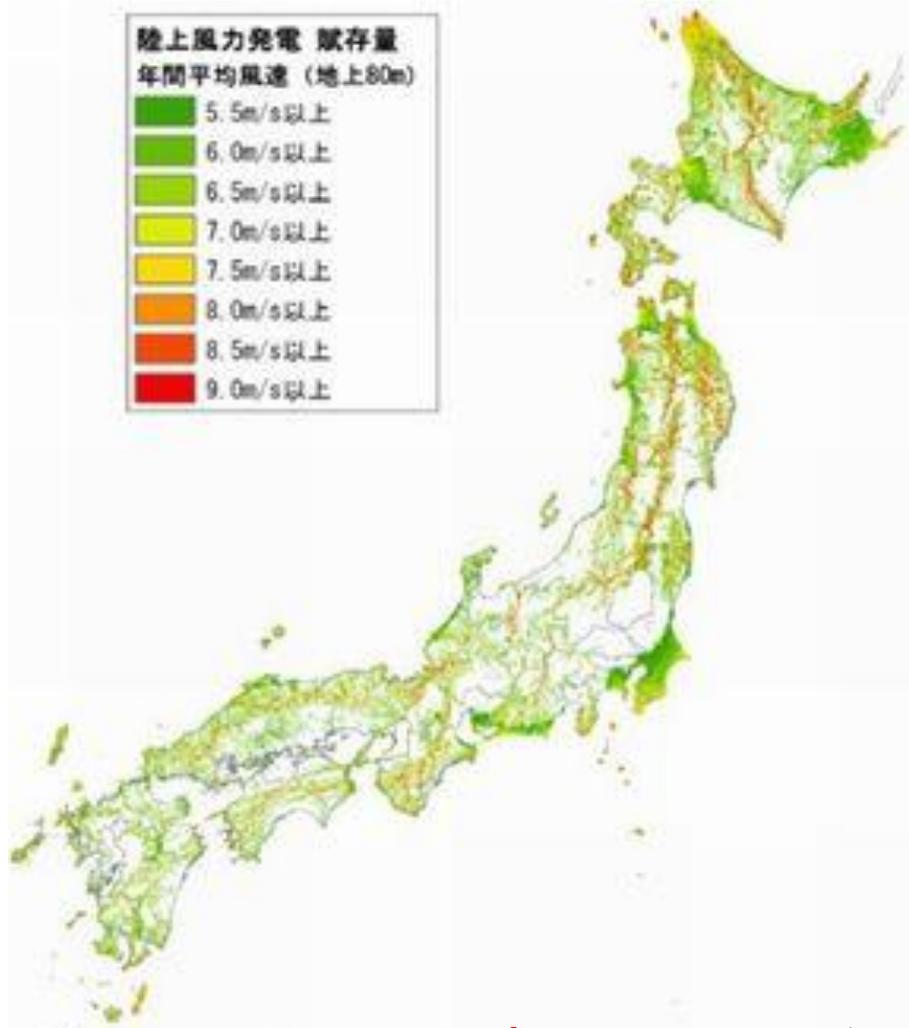
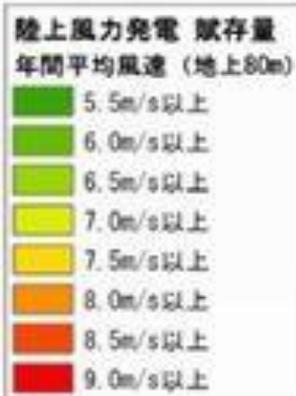


Wikipedia

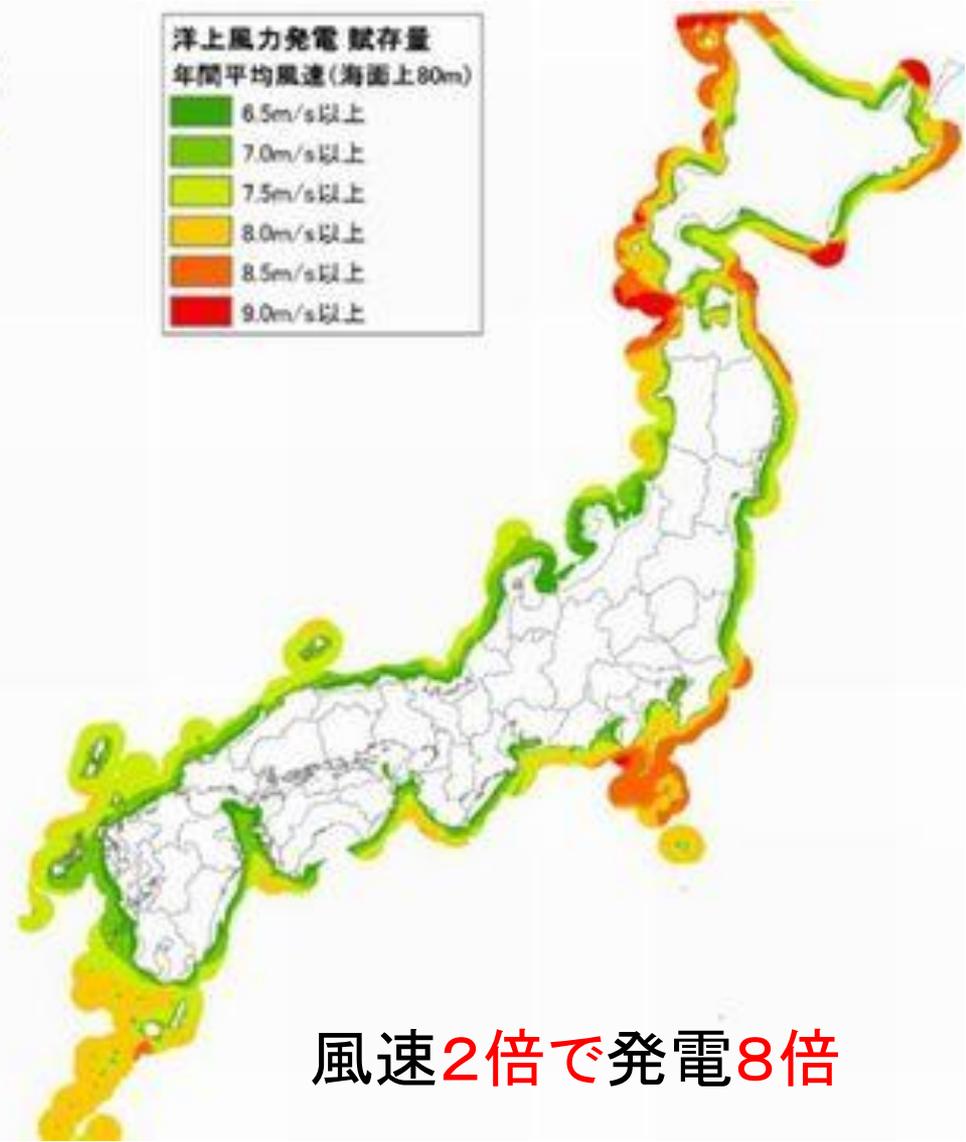
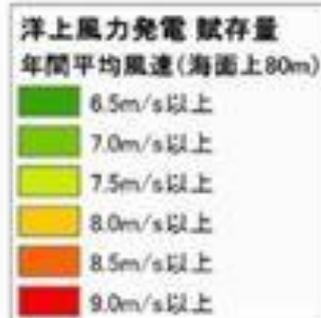


風力ポテンシャルマップ

陸上風力



洋上風力



発電量 = 風速の3乗に比例

風速2倍で発電8倍

地熱の発電 ポテンシャル

- 北海道
 - 東北
 - 群馬
 - 静岡
- } 50Hz

- 長野
 - 北陸
 - 大分
 - 熊本
- } 60Hz

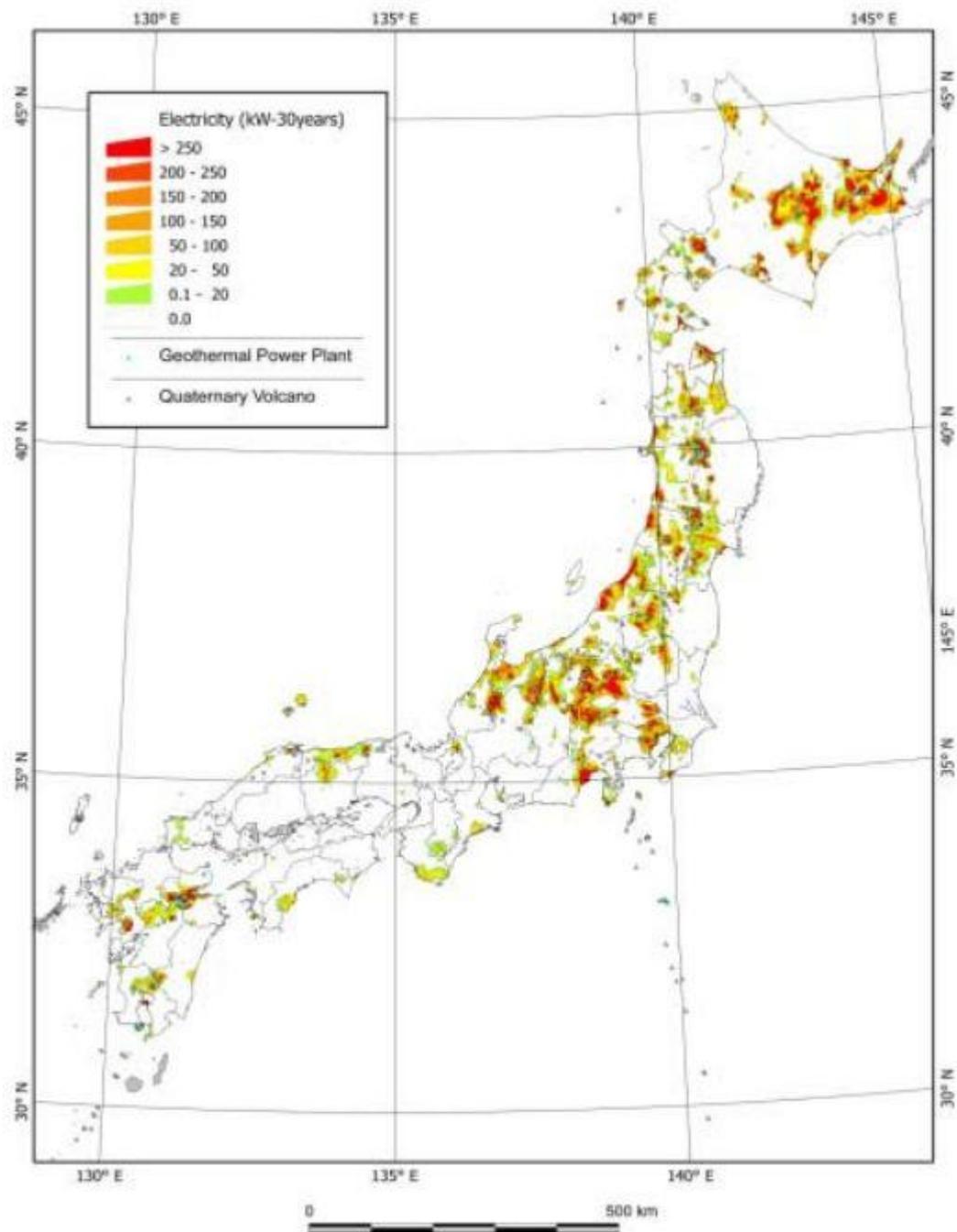


図 6-2 53~120°C以上の熱水系地熱資源量密度分布図

東西格差 電力網はどうか

- 全国グリッド: **安定電力供給が前提**
 - 50、60Hz共存の状況を考えると、**直流幹線網**？
 - **50Hz域**
 - 風力のポテンシャルは、陸上、洋上ともに**北海道と東北**、そして、**千葉**に洋上
 - 北海道西岸、津軽地方などの洋上風力の電力
 - 東北地方などの地熱発電
 - **60Hz域**
 - 風力のポテンシャルは**九州**と**山陰**に多少ある
 - 地熱は**長野**、**北陸の一部**、**九州**に多少

どうしても化学エネルギーが必要

- Q:どのような形態が最良か？
- A:効率的にはやはり**炭化水素が理想**だろう
- Q:**NZE**の化学エネルギーが欲しいが、**炭素源**をどうするのか？
- A:とりあえず**バイオマス発電**からの**排ガス中のCO₂**を使おう ⇒ **有価物**になる？
- A:プラを完全排除すれば、**清掃工場**の**排ガス中のCO₂**もかなり近い ⇒ **有価物**になる？

ユーグレナは×

備蓄用と同時に、航空機用の燃料！

有用物合成(=人工光合成)が必要な本当の理由！

水素はゼロ炭素電力による水電解で良い！

原子力依存戦略

- 予想
- 2030年：原発の再稼働がほぼ完了
- 2040年：運転期間の60年延長も完了
- しかし、**リプレースの話は進まない**

- 理由は、日本人のリスクマインド
 - **天災には「諦め」と「忘却」がツール**である
 - **人災は、「穢れ」が消えるまで無理！**
 - **技術が見えない日本人**なので、**中国・韓国**の原発事故があると、**日本の原発が止まる**

原発に依存するという各国のシナリオ

- 中国・韓国は、依存拡大路線
- ヨーロッパ(フランス・英国)、米国は、依存度縮小するが継続の方針
- ドイツと日本が、ゼロ原発を目指す可能性がある国
- 個人的見解は、現在の第3世代原発は超長寿命核種が副生するという点で、欠陥商品である
 - $Np-237 = 214$ 万年、 $Am-241 = 432$ 年
- 日本が近々持つであろう ≈ 50 トンのプルトニウムは、テロに狙われると危険
- 対応は高速減容炉 & SuperSafe第4世代原発か？
- 特に、前者は必須なので、開発開始をどこで決断
- 現時点だと、ASTRIDプロジェクトが近い

第四部

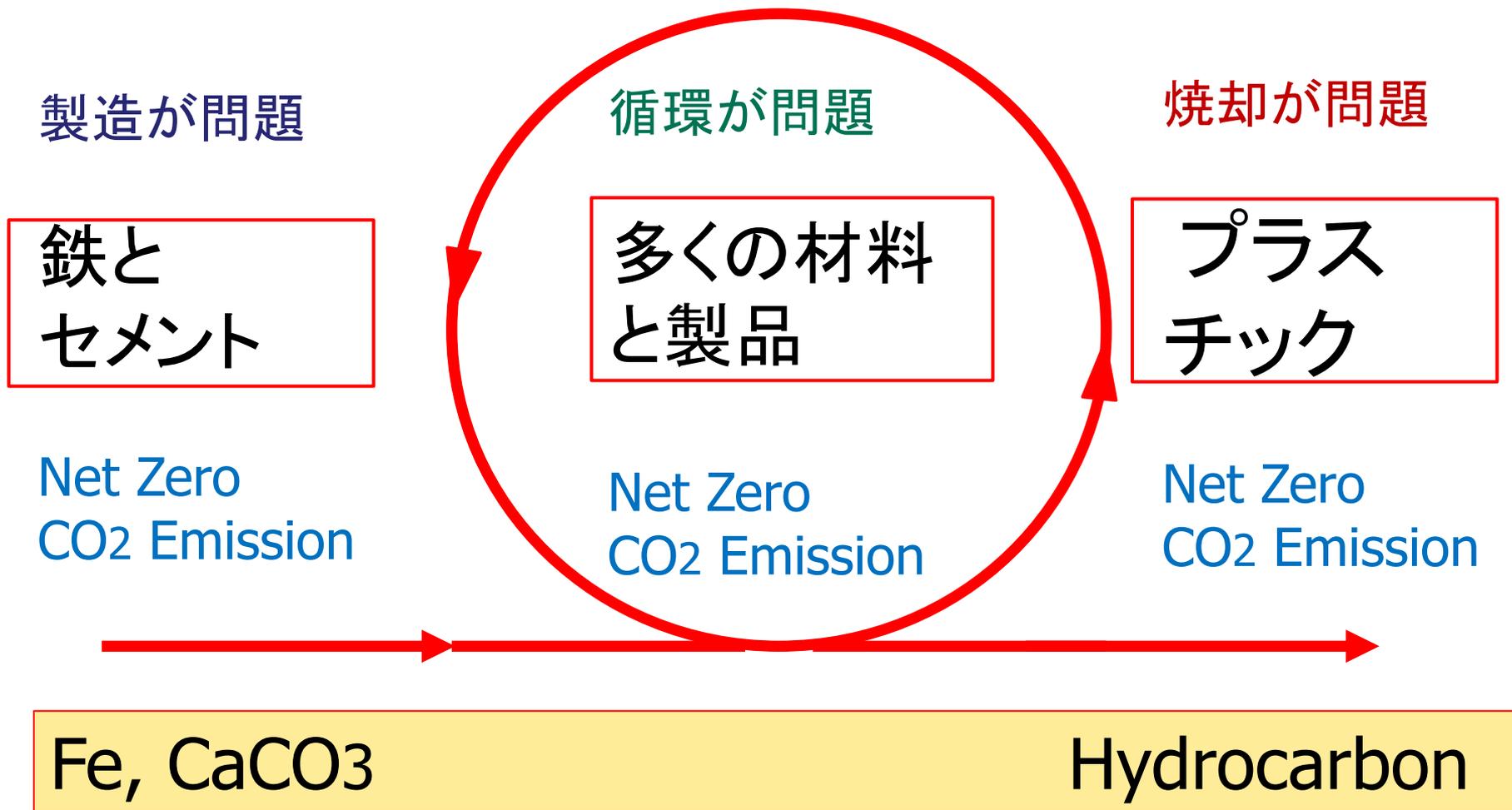
CO2 NZE (Net Zero Emission) のためのイノベーション＝究極解

循環(ライフサイクル)に必須のイノベーションの未来像を可能な限り想像してみよう

循環：ライフサイクル CO2 Emission

Net Zero Emissionの実現には？

製造、循環、焼却：どのステージが問題か？



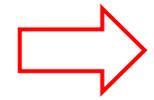
<http://www.unep.org/resourcepanel-old/Portals/24102/PDFs/Metalstocksinsociety.pdf>

Table 1.

Extant In-Use
Metal Stock
Estimations
for the Major
Engineering
Metals^a

Metal	Number of estimates	Percent of all estimates	Global per capita stock	MDC per capita stock ^b	LDC per capita stock ^c
Aluminum	9	7.4	80	350 - 500	35
Copper	34	27.0	35 - 55	140 - 300	30 - 40
Iron	13	10.7	2200	7000 - 14000	2000
Lead	20	16.4	8	20 - 150	1 - 4
Steel	1	0.8		7085	
Stainless steel	5	4.1		80 - 180	15
Zinc	14	11.5		80 - 200	20 - 40

2050年の予想
 世界人口 ≒ 90億人
 一人当たり ≒ 10 ton/capita
 現在のストック ≒ 150億 tons



必要: 900億 tons
 必要生産量:
 750億 tons

CO₂ 排出量 from 鉄鋼750億 tons

- CO₂排出原単位: 2 kg-CO₂/kg-Steel
 - For 750 億 tons of Steel production
--> 1500 億 tons CO₂
 - **Carbon Budget** : 全人間活動で排出可能なCO₂量(2°C上昇まで) = 1.3 兆-tons
- ↓
- 鉄鋼生産だけで = **11.5%** of **Carbon Budget**
- ↓
- **リサイクルプロセスの改善が必須か**

- **炭素還元なら** $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO} \rightarrow 3\text{Fe} + 4\text{CO}_2$
 - 高炉は縦型であるゆえに、熱効率も高いし、操業の合理性も高い。
 - **コークスのはたしている役割は重要** ⇒ 固体でありながら、徐々に小さくなる
- 縦型の水素高炉を作れるか = 多分、不可能？
 - 絶対に無理とは言わないが、普通に考えると、水素高炉の実現性はかなり疑問符
- **となると製鉄には、**
CCS が必須という結論になるのでは？
あるいは、全面的な電炉によるリサイクルか？

Recycling of Steel in 2050

- 建築物の骨組みの鉄鋼をリサイクルして、再び鉄骨にすること
 - → 重大な問題点があるとは思えず。

-
- 自動車リサイクルからのリサイクル鉄
 - 銅によるコンタミネーションが問題
 - 理由は余りにも多くのモーターが使われている
 - モーターの巻き線をアルミにする必要があるか
 - 2050年頃の銅の供給は非常に限られている可能性が高いので、そろそろ技術開発を行うべきかも

2050年に自動車のボディーは鉄？

- 燃費が最大の問題点になっている。となると、軽量なボディーが必須だろう。
- 候補No. 1:
- **CRP**=Carbon fiber reinforced plastic
 - 焼却によるCO₂ は、CCSによって処理される必要
 - 250kg body: 200kg carbon -> 700kg CO₂
 - **CCSコスト** : 日本だと¥7000ぐらいか
 - となれば、車全体のコストに比較して、ほとんど無視できるのではないか。

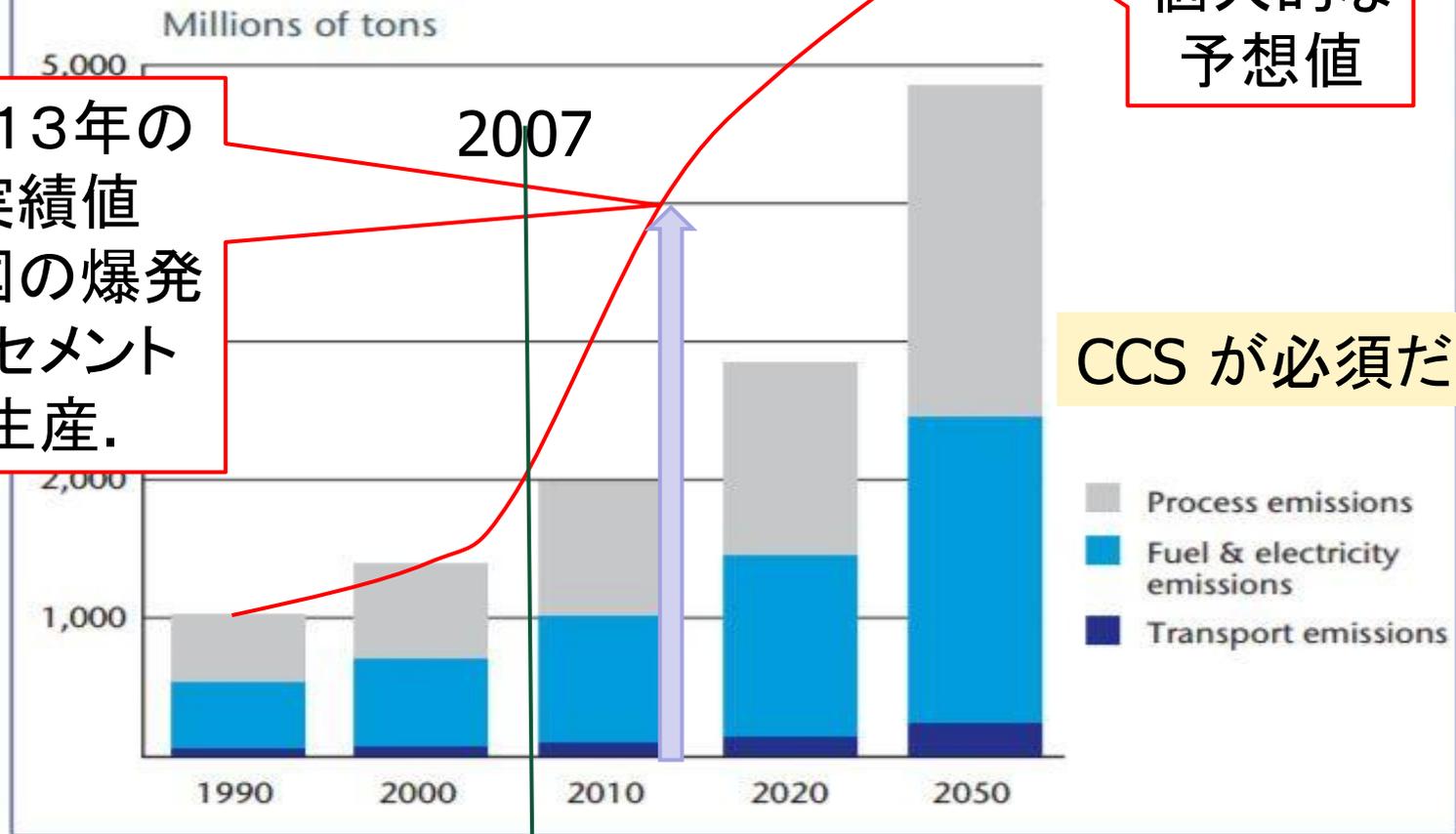
CRPボディーの3R

- リサイクルは不能
- 部品のリユースが循環の主力方法
 - CRPボディーは板金作業が不可能
 - となると、保守部品は、リユース品が合理性あり
- 一般に循環の優先順位は
 - Reduce > Reuse > Recycle
 - となると、意外なことに、CRPボディーは、循環との適正が高いことになるのではないか。
- 全く新しい価値観の社会になっている???

セメント製造からのCO2の排出

Projected CO2 emissions from the global cement industry through 2050 (assuming no change in current practices)

Source: Battelle Memorial Institute.



2013年の実績値
 中国の爆発的セメント生産.

個人的な予想値

CCS が必須だろうか?

[http://www.wbcscement.org/pdf/csi.pdf\(2007\)](http://www.wbcscement.org/pdf/csi.pdf(2007))

セメント製造からのCO₂ 排出 2050

- セメント業界の2050年排出予測 =5 G-tons
 - [http://www.wbcscement.org/pdf/csi.pdf\(2007\)](http://www.wbcscement.org/pdf/csi.pdf(2007))
 - 中国の爆発的な製造量増加で予想が外れた。
 - 個人的な予測値 6 G-tons in 2050.
 - しかも、2050年以降も増加が継続。
-
- 2050 年の排出量のゴール: 60% 削減
 - 33.5 G-ton CO₂ in 2015 → 13.4 G-ton in 2050
 - 6 G-ton セメントだけで = 44% of Global CO₂

2050年: 鉄鋼業よりもセメント産業のCCS
が必要不可欠のように見える

2050年以降に必要な技術??

- エネルギー：代替物＝自然エネルギー（・原子力・CCS）でなんとかするしかない。
- 現時点で代替物が分からないもの Carbon Neutral
 - 長期エネルギー備蓄 代替物＝CN合成炭化水素？
 - 焼却以外の廃棄物処理 代替物＝？？？
 - なんでも分解できる微生物を遺伝子組み換えで？？？
 - 個人的にはやめた方が良くと思うけど。。。。
- もし完成すれば解決策に近い＝人工植物??
 - 大気からのCO₂吸収技術＋そのCO₂で有機物を合成する
 - 究極のターゲットかもしれない

■ 米テネシー州のオークリッジ国立研究所

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/slct.201601169/full>

Chemistry SelectというOnline Journalに28 September 2016掲載

★グラフェン類似の構造をもったCarbon Nano Spike
と銅の微粒子を組み合わせた触媒

★炭酸水の電気分解によって、**選択性84%**でエタノールが生成

★最高エネルギー効率は63%であった

■ 意義 2050年以降のエネルギー貯蔵の新方法か

- (1) エネルギーの長期貯蔵
- (2) 航空機用合成燃料の実現

科学技術理解力にも富士山型と八ヶ岳型



どこから登り始めても、標高の高い頂上に到達する。



登り始める地点によって到達点が違う。しかも標高も低い。

結論はまだ無いけれど

企業は、2030年、2040年、2050年の明確なイメージを持つことが必須である。

これらの時点での、まず、自社のゴール(姿勢あるいはビジョン)を明示することが求められる。

あるべき具体的な対応はまだ見えない。しかし、感度を高く維持すべきである。

方法論は、バックキャストが唯一だろう。