

# 環境政策 (火曜4限)

馬奈木俊介、芳川恒志、有馬 純

# 講義日程

- 9月15日 地球環境問題とエネルギー問題(有馬)
- 9月22日 地球温暖化交渉(有馬)
- 9月29日 地球温暖化の科学と不確実性(杉山電中研主任研究員)
- 10月6日 ポスト京都議定書とパリ合意の見通し(有馬)
- 10月13日 持続可能性指標と気候モデリング(馬奈木九大教授)
- 10月20日 原子力:東日本大震災の影響とその後(小澤資源エネルギー庁原子力立地・核燃料サイクル産業課長)
- 10月27日 再生可能エネルギー政策(竹内国際環境経済研究所主任研究員)
- 11月 3日 日本の中期目標検討プロセス(服部経産省環境経済室長)
- 11月10日 温暖化防止のための政策手法(馬奈木九大教授)
- 11月17日 技術の役割(技術移転と技術革新)(本部特任教授)
- 11月24日 予備日
- 12月1、8、15日 チームによるパワープレゼン+質疑応答(個人でのプレゼンも可)

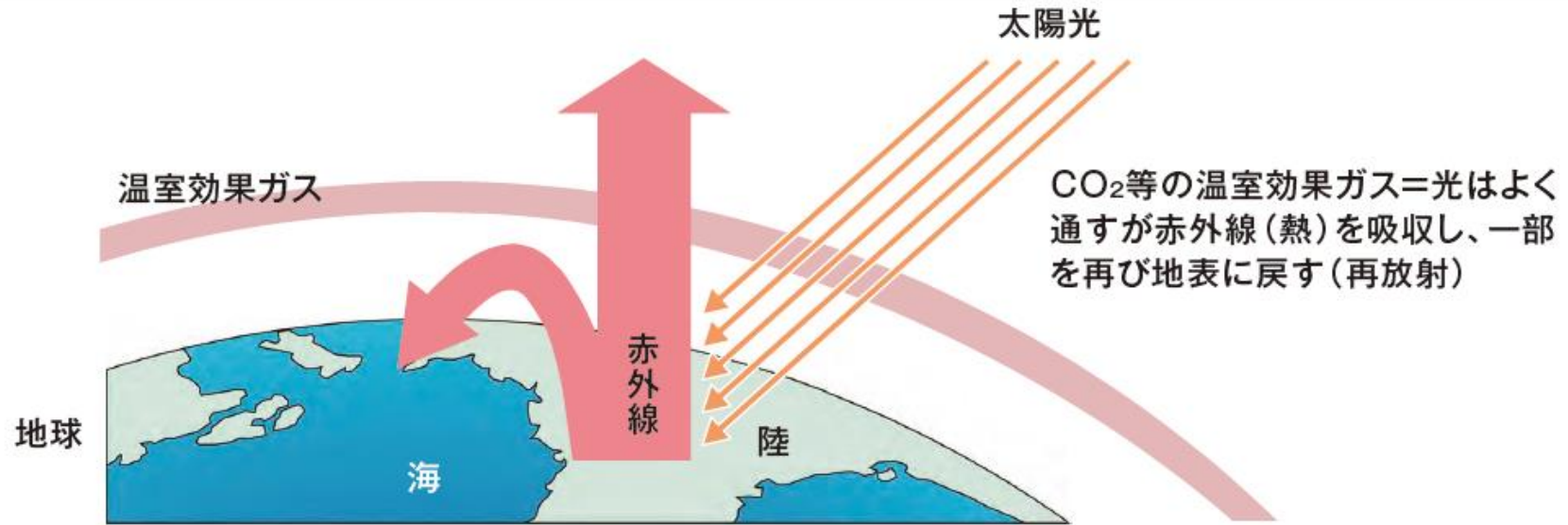
# 地球温暖化問題とエネルギー問題

2015年9月15日

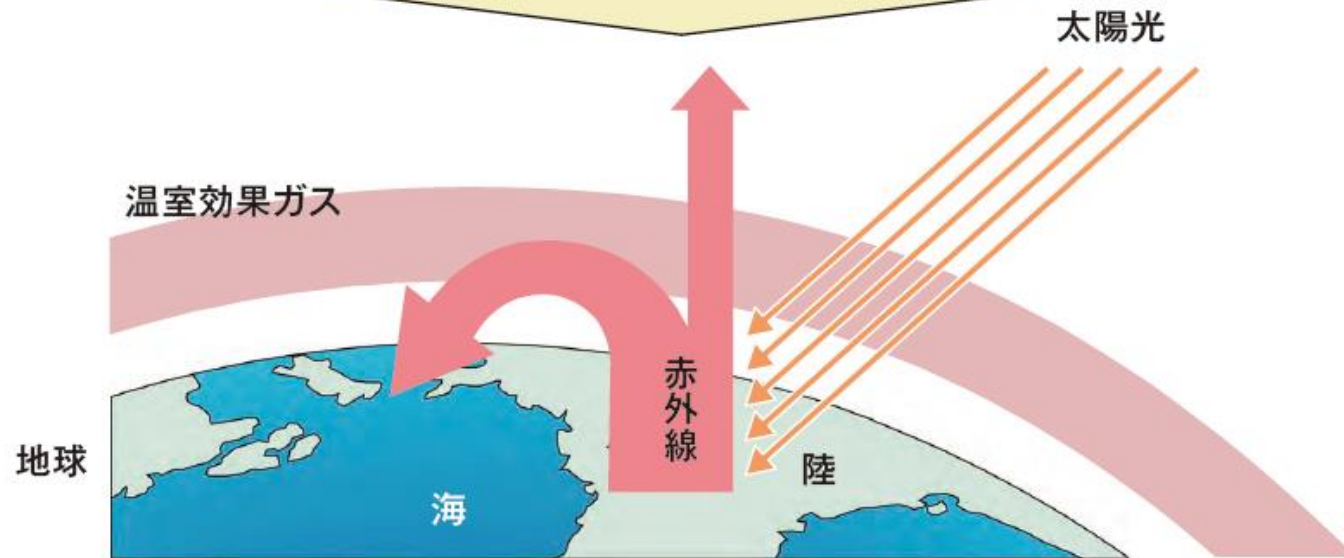
有馬 純

# 地球温暖化問題とは何か

# 地球温暖化のメカニズム

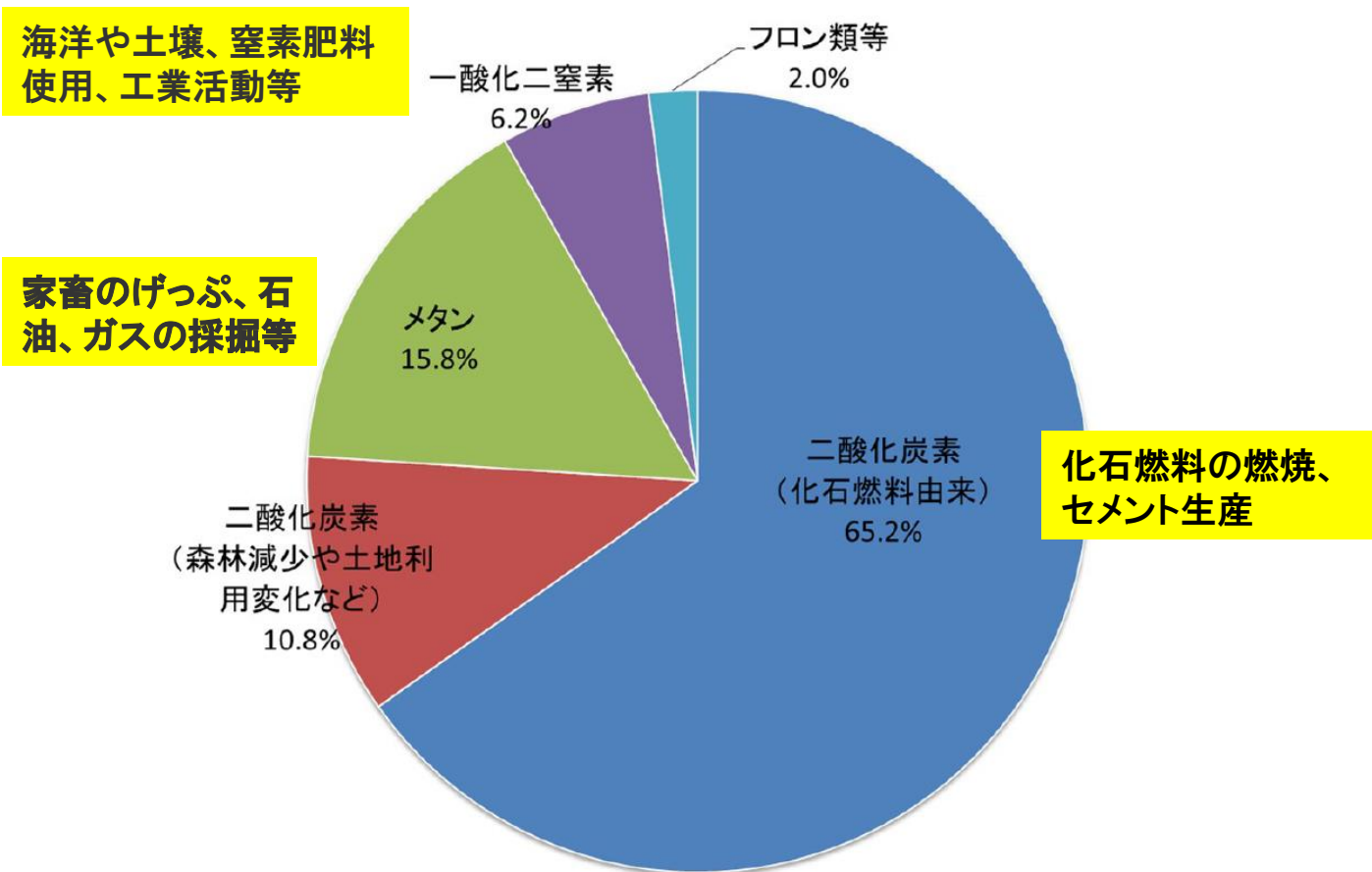


温室効果ガスが増加すると

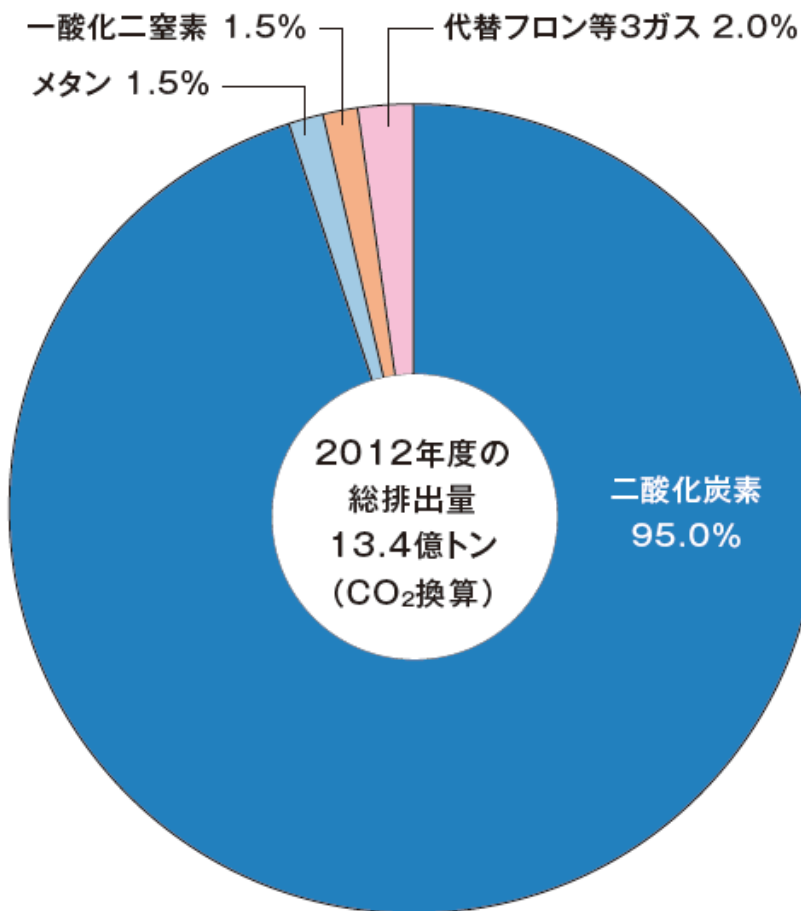


# 温室効果ガスとは

## 人類起源の温室効果ガス排出のガス種別内訳(2010年)

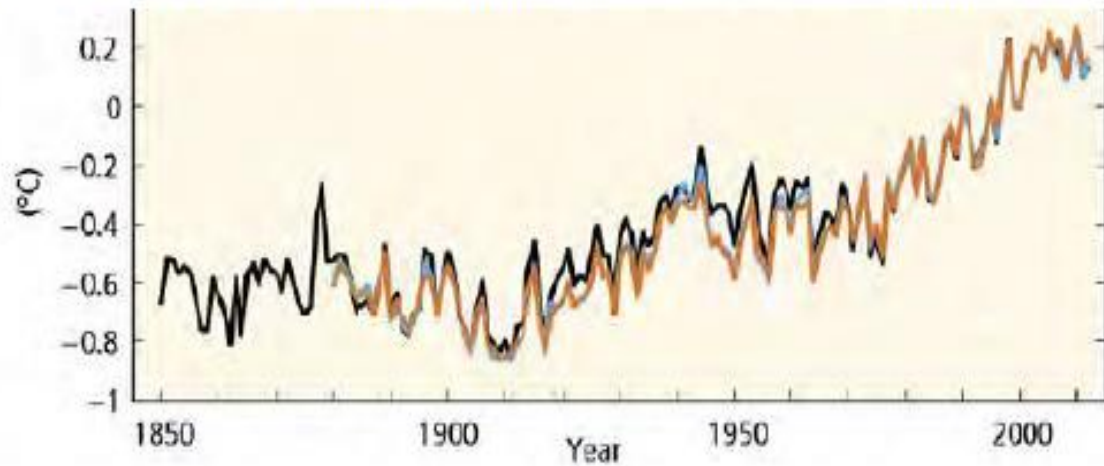


## 我が国の温室効果ガス排出のガス種別内訳(2012年)

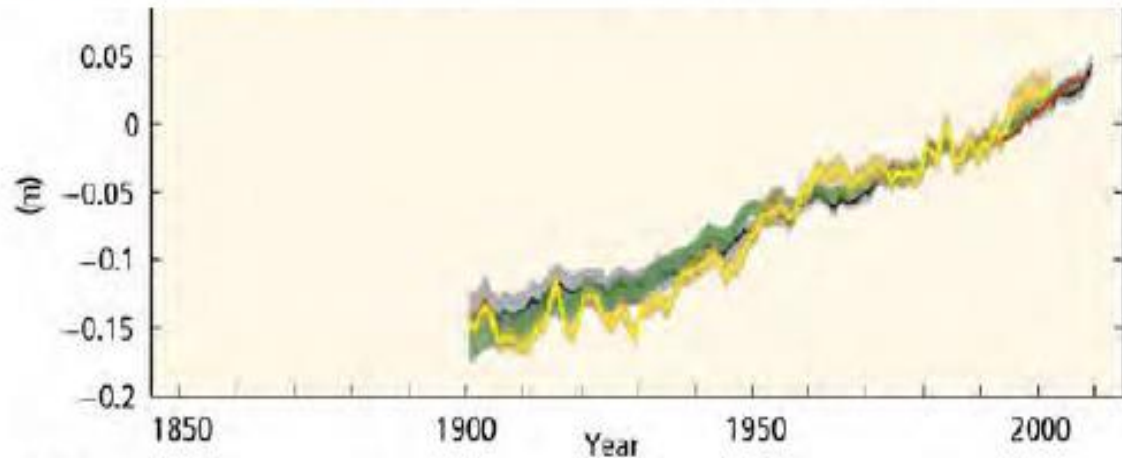


# 気候システムにおいて観測された変化

(a) 全球地表平均気温の推移 (1880年～2012年の間に0.85°Cの上昇)



(b) 全球平均の海拔の推移 (1901年～2010年の間に0.19mの上昇)



## 【気候システムの温暖化】

○IPCC第5次評価報告書統合報告書によると、気候システムの温暖化には疑う余地がない。大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、海面水位は上昇している。

## 【人為起源による温室効果ガスとの因果関係】

○人為起源の温室効果ガスの排出が、20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった「可能性が極めて高い」(95%以上の確率)※。

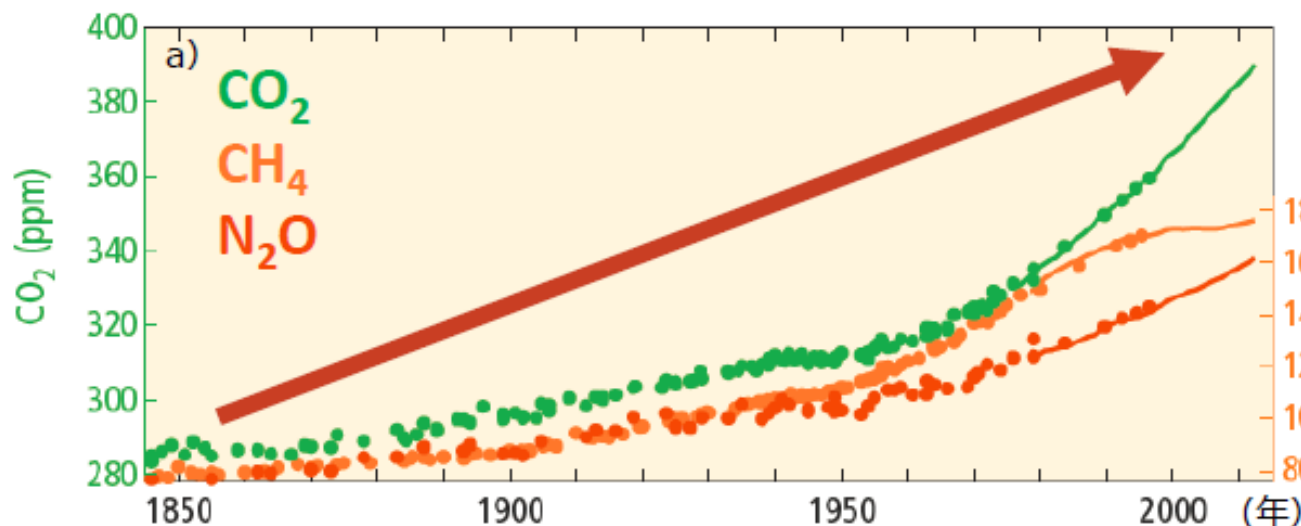
※第三次報告書(2001年) → 第四次報告書(2007年) → 第五次報告書(2014年)  
「可能性が高い」(66%～)      「可能性が非常に高い」(90%以上)      「可能性が極めて高い」(95%以上)

## 【気候システムへの将来影響】

○気候への人為的影響は、大気と海洋の温暖化、世界の水循環の変化、雪氷の減少、世界平均海面水位の上昇、及びいくつかの気候の極端現象の変化において検出。

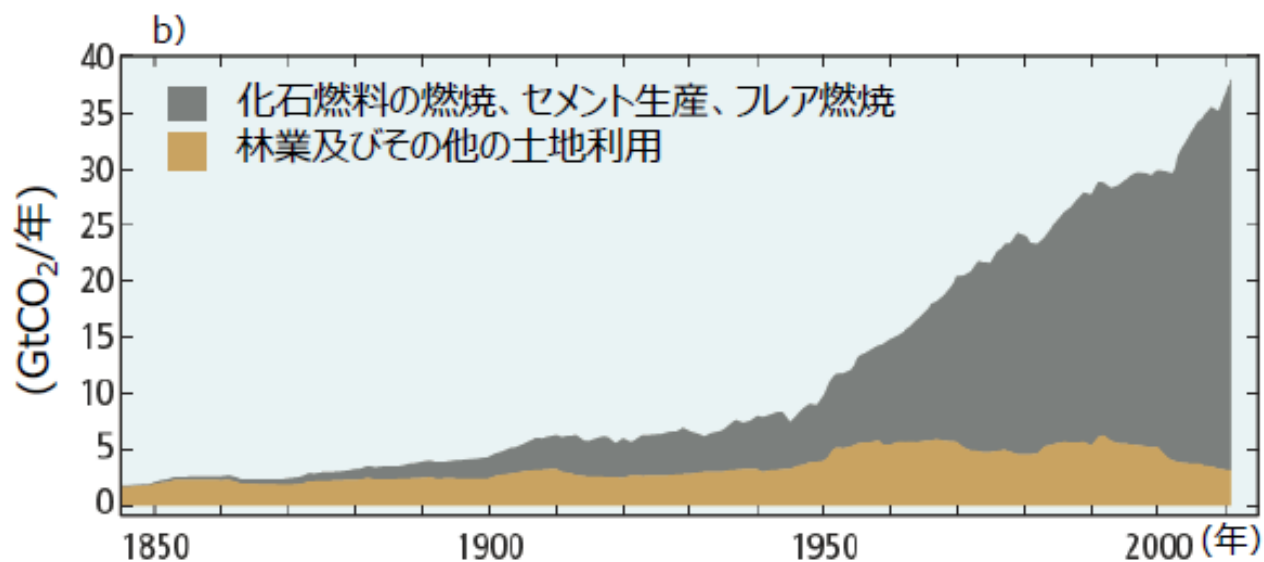


# 産業革命以降の温室効果ガス排出量

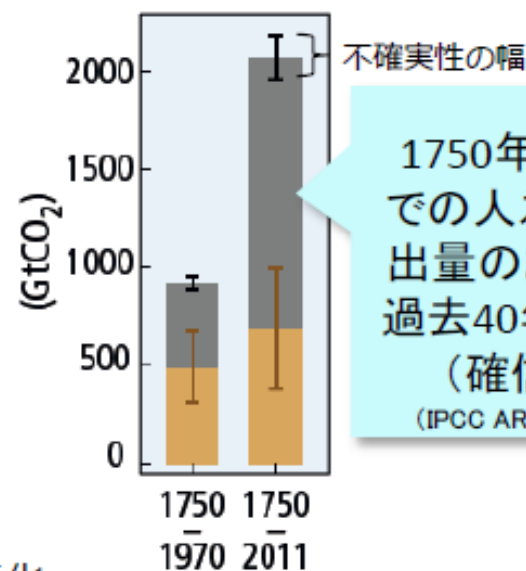


工業化以降、  
人為起源のGHGの排  
出は、大気中のCO<sub>2</sub>、  
CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの濃度を大き  
く増加させた

(IPCC AR5 SYR SPM, p.4, 38-39行目)



CO<sub>2</sub>累積排出量



1750年から2011年ま  
での人為起源のCO<sub>2</sub>排  
出量のおよそ半分は、  
過去40年で排出された  
(確信度が高い)

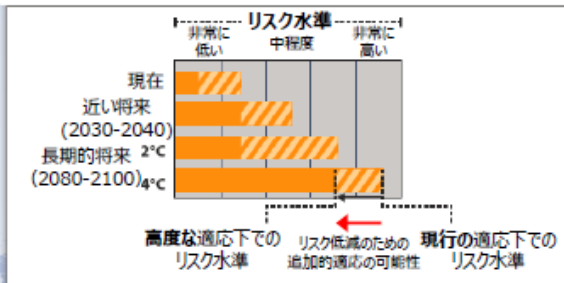
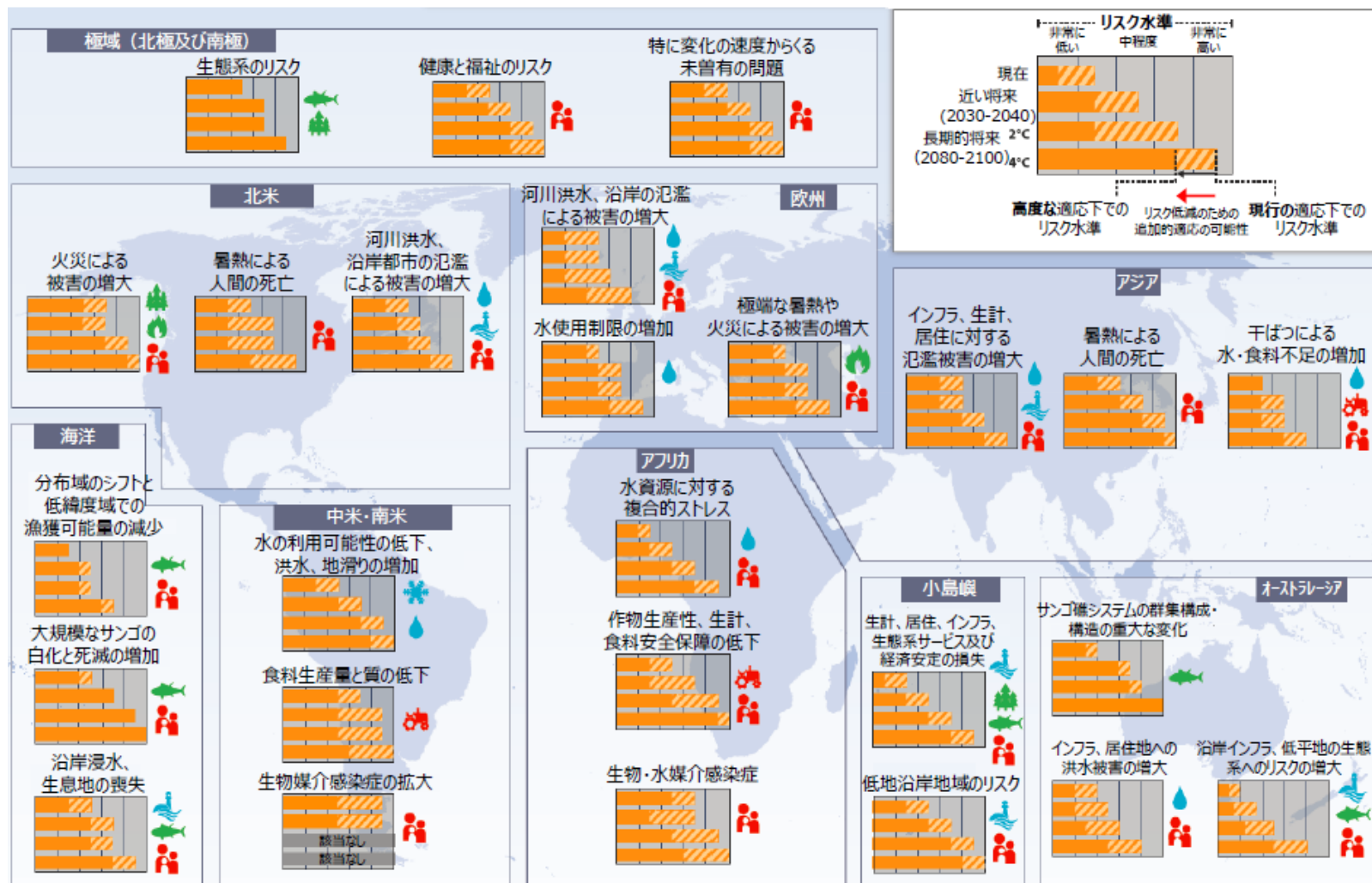
(IPCC AR5 SYR SPM, p.4, 43-44行目)

図a：世界平均GHG濃度の変化、図b：世界の人為起源CO<sub>2</sub>排出量の変化



# 地球温暖化の影響の地域分布

- ◆ 温暖化のリスクは地域的に偏在しており、いずれの開発段階においても、恵まれない境遇にある人々やコミュニティに対してより大きくなる(IPCC第5次報告書より)。

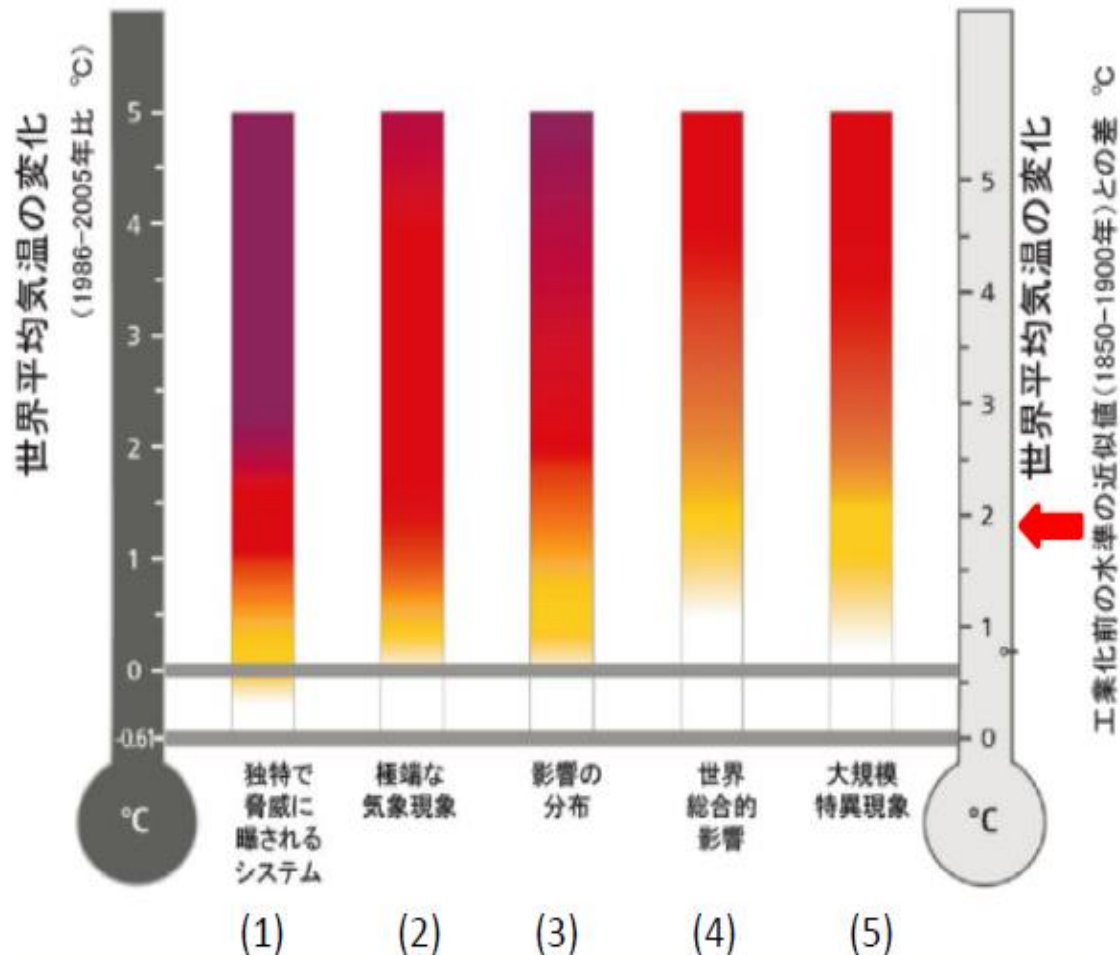


将来の気候変動影響の全般的なリスクは、海洋酸性化も含めた気候変動の速度や程度を抑えることによって低減できる  
(IPCC AR5 SYR SPM p.13, 15-16行目)

- 各地域の代表的リスク
- 物理システム**
    - 氷河、雪、氷かつ/又は永久凍土
    - 河川、湖、洪水かつ/又は干ばつ
    - 沿岸侵食かつ/又は海面水位の影響
  - 生物システム**
    - 陸域生態系
    - 火災
    - 海洋生態系
  - 人間及び管理システム**
    - 食料生産
    - 生計、健康かつ/又は経済

図：各地域の主要なリスク及びリスク低減の可能性

# 世界の平均気温変化と追加的リスク



## 気候変動による追加的リスクのレベル

検出できない 中程度 高い 非常に高い

- (1) 独特で脅威に曝されているシステム (サンゴ礁や北極海氷等の生態系や文化への影響)
- (2) 極端な気象現象 (熱波、極端な降水、沿岸洪水等)
- (3) 影響の分布 (作物生産の影響等、不均一に分布する影響)
- (4) 世界総合的な影響 (生物多様性及び世界経済全体への影響)
- (5) 大規模な特異事象 (サンゴ礁や北極生態系における不可逆な変化、グリーンランドの氷床消滅等の影響)

(出典) IPCC AR5 WG2

# 温室効果ガス削減と温度変化に関するIPCCシナリオ分析

シナリオ区分 (2100年のCO <sub>2</sub> 換算 濃度 (ppm CO <sub>2</sub> 換算))	細区分	RCP シナリオの 相対的位置	2010年比のGHG排出量変化 <sup>※1</sup> (CO <sub>2</sub> 換算、%)		21世紀中に特定の気温水準未滿にとどまる可能性 (1850-1900年比)			
			2050年	2100年	1.5℃	2℃	3℃	4℃
430未滿	430ppm未滿の水準について調査した個別のモデル研究は数が限られている							
450 (430-480)	全体幅 <sup>※2,※3</sup>	RCP2.6	-72~-41	-118~-78	どちらかといえば 可能性が低い (50%未滿)	可能性が高い (66%超)	RCP: 代表的濃度経路 Representative Concentration Pathway	
500 (480-530)	530ppmをオーバーシュートしない		-57~-42	-107~-73	可能性が低い (33%未滿)	どちらかといえば 可能性が高い (50%超)		
	530ppmをオーバーシュート		-55~-25	-114~-90		どちらも同程度 (33~66%)		
550 (530-580)	580ppmをオーバーシュートしない		-47~-19	-81~-59		可能性が低い (50%未滿)	可能性が高い (66%超)	可能性が高い (66%超)
	580ppmをオーバーシュート		-16~7	-183~-86				
(580-650)	全体幅	RCP4.5	-38~24	-134~-50	可能性が低い (33%未滿)	可能性が高い (50%超)	可能性が高い (66%超)	
(650-720)	全体幅		-11~17	-54~-21				
(720-1000)	全体幅	RCP6.0	18~54	-7~72	可能性が低い <sup>※4</sup> (33%未滿)	どちらかといえば 可能性が低い (50%未滿)	可能性が高い (66%超)	
1000超	全体幅	RCP8.5	52~95	74~178		可能性が低い <sup>※4</sup> (33%未滿)		可能性が低い (33%未滿)

表: AR5 WGIIIにて収集され、評価されたシナリオ区分の主な特徴

※1.変化の範囲は10~90パーセンタイルの幅に対応する

※2.430-480ppmCO<sub>2</sub>換算濃度に区分される濃度シナリオの「全体幅」は、WGIIIの表6.3に示されている当該シナリオの細区分の10~90パーセンタイルの範囲に相当する

※3.この区分のシナリオの大半は、区分境界である480ppmCO<sub>2</sub>換算の濃度をオーバーシュートする

※4.この区分のシナリオでは、モデル(CMIP5、MAGICC)の計算結果にそれぞれの気温水準未滿に留まるものはない

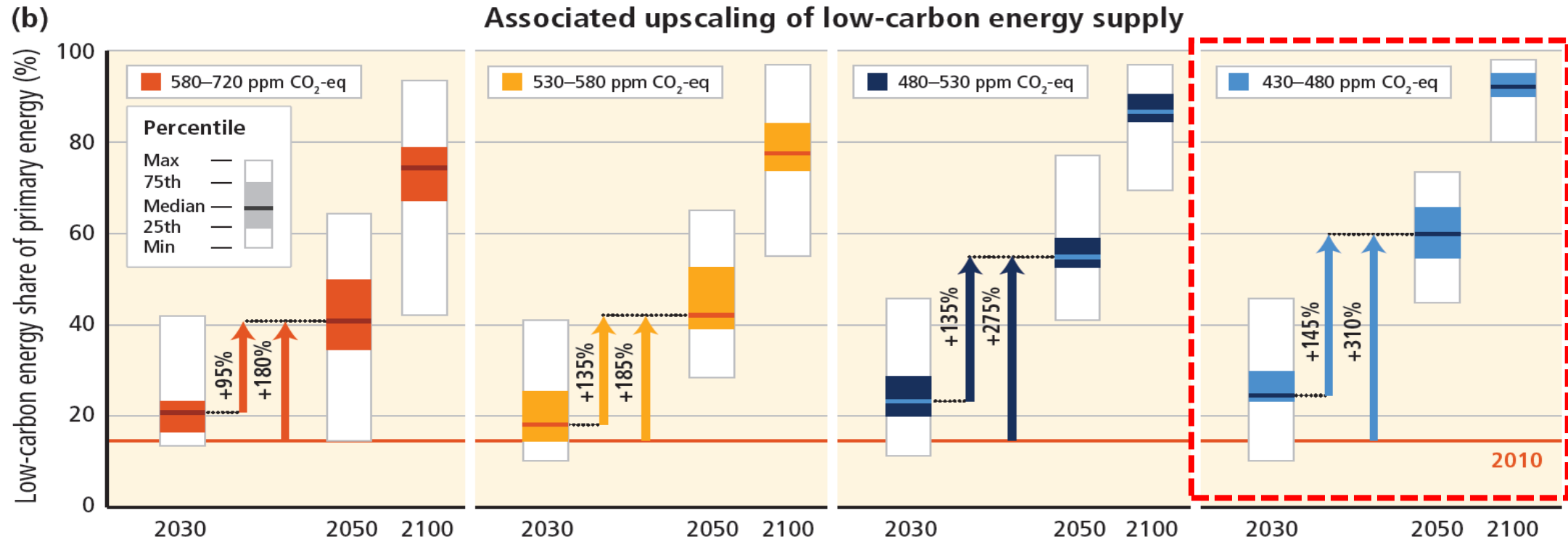
しかし、現在の気候モデルに反映されていない可能性のある不確実性を反映するために、「可能性が低い」という評価を与えている

表中右側4列の括弧内は可能性の発生確率を示す  
出典: 表. IPCC AR5 SYR SPM Table. SPM.1に追記



# 「2度目標」達成のために必要な低炭素エネルギーシェア

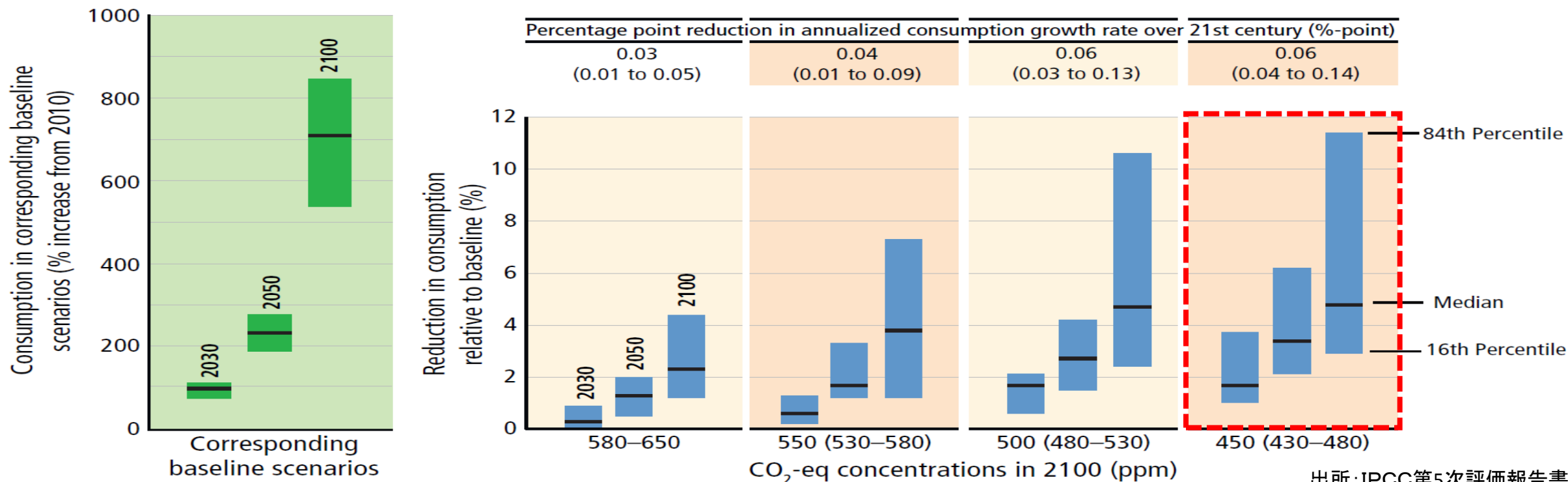
- ◆ 450ppmシナリオを達成するために低炭素エネルギー（原子力、再生可能エネルギー、CCS、BECCS）のシェアを2050年までに2010年比3-4倍に拡大することが必要。
- ◆ 2100年には2010年比▲118～▲78% → 植林してCO2を固定し、その木材を発電して発生したCO2を地中に埋めるBECCS (Bio Energy + Carbon Capture and Storage)の大量普及が必要
- ◆ 極めて高いレベルの国際協調（主要国が直ちに行動、世界政府的取り組み）と大幅な技術革新が前提。



# 「2度目標」達成のために必要なコスト

- ◆ 450ppmシナリオを達成するために必要なコストはベースラインのGDPの1-4% (2030年)、2-6% (2050年)、3-11% (2100年)
- ◆ 世界各国の迅速な緩和行動、世界単一の炭素価格、全ての技術が利用可能であることが前提。CCS、BECCS、原子力、風力、太陽光などの利用が進まないコストは大幅に上昇。
- ◆ 求められる削減努力の度合いやコスト分担は国毎に異なる。将来の温室効果ガス排出見通しが最も高い国々が削減努力の大部分を担うことが必要。

Global mitigation costs and consumption growth in baseline scenarios



# G7サミット(2015年6月エルマウ)共同声明該当部分

This [the agreement] should enable all countries to follow a low-carbon and resilient development pathway in line with the global goal to hold the increase in global average temperature below 2°C.

Mindful of this goal and considering the latest IPCC results, we emphasize that deep cuts in global greenhouse gas emissions are required with a decarbonisation of the global economy over the course of this century. Accordingly, as a common vision for a global goal of greenhouse gas emissions reductions we support sharing with all parties to the UNFCCC the upper end of the latest IPCC recommendation of 40 to 70 % reductions by 2050 compared to 2010 recognizing that this challenge can only be met by a global response. We commit to doing our part to achieve a low-carbon global economy in the long-term including developing and deploying innovative technologies striving for a transformation of the energy sectors by 2050 and invite all countries to join us in this endeavor. To this end we also commit to develop long term national low-carbon strategies.

## 2010年比▲40-▲70%の意味

2010年 世界全体のCO2排出量(除国際航空・海運) 293.7億トン

先進国124.9億トン(一人当たり排出量10.11トン)

途上国168.8億トン(一人当たり排出量 2.98トン)

2050年に世界全体の排出量を2010年比▲60%とすると……

世界全体のCO2排出量 117.5億トン

ケース1:先進国が▲80% 25.0億トン(一人当たり2.05トン)

=> 途上国分は92.5億トン(一人当たり1.16トン 2010年比▲61%)

ケース2:先進国が▲100%としても……

=> 途上国分は117.5億トン(一人当たり1.47トン 2010年比▲51%)

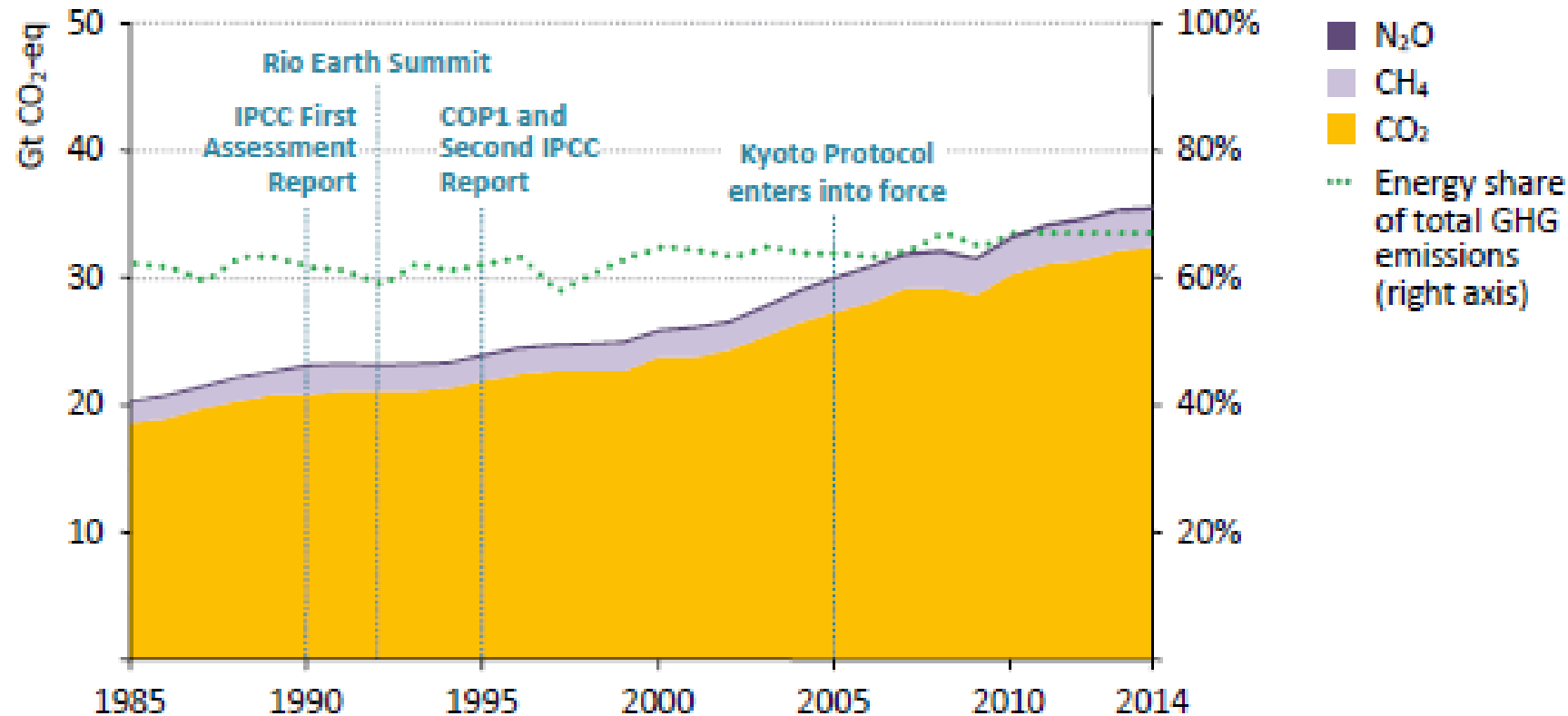
途上国の一人当たり排出量は最近20年間で37%増加。中国は224%、インドは116%増加  
現在レベルから▲50-▲60%に同意するか？



# 温室効果ガスのこれまでの排出動向

# 温室効果ガスの大部分はエネルギー起源CO<sub>2</sub>

**Figure 1.3** ▶ Global anthropogenic energy-related greenhouse-gas emissions by type

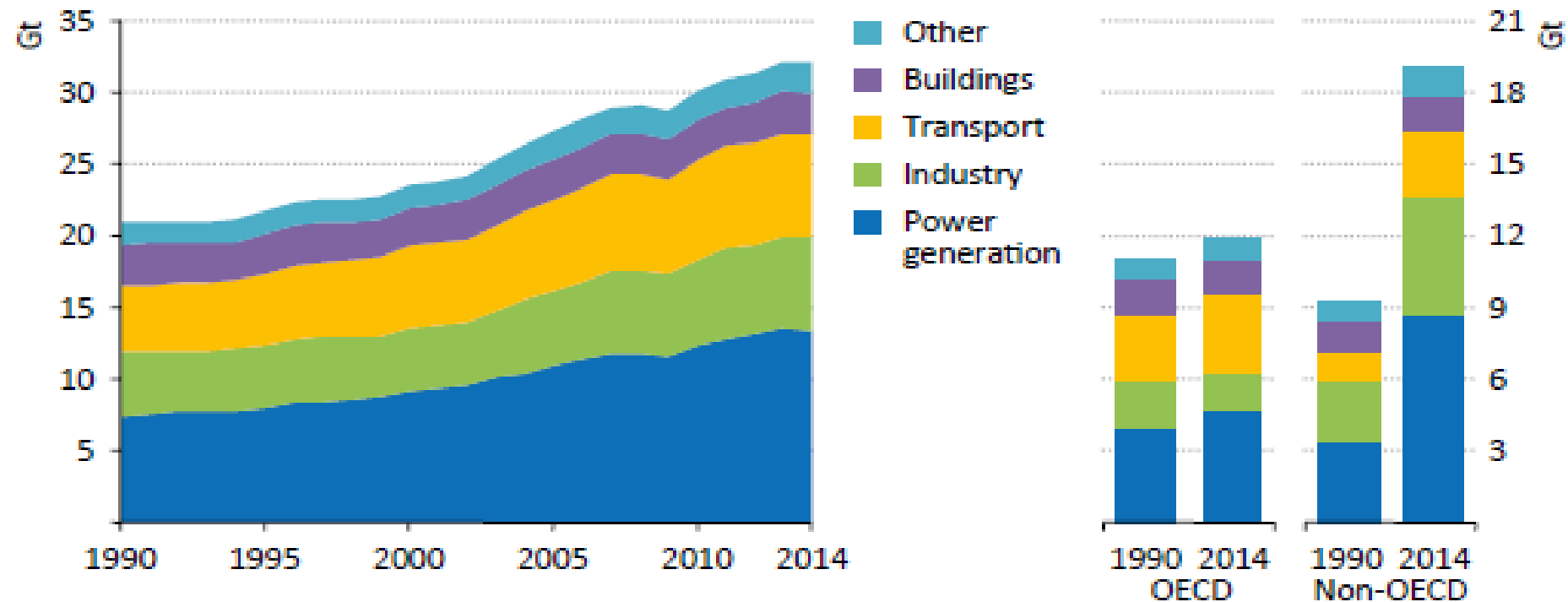


Notes: CO<sub>2</sub> = carbon dioxide, CH<sub>4</sub> = methane, N<sub>2</sub>O = nitrous oxide. CH<sub>4</sub> has a global warming potential of 28 to 30 times that of CO<sub>2</sub>, while the global warming potential of N<sub>2</sub>O is 265 higher than that of CO<sub>2</sub>.

Sources: IEA and EC/PBL (2014).

# 世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量の部門別・地域別内訳

- ◆ エネルギー起源CO<sub>2</sub>の大宗は発電、産業、運輸部門
- ◆ 1990年以降の伸びのほとんどが途上国由来

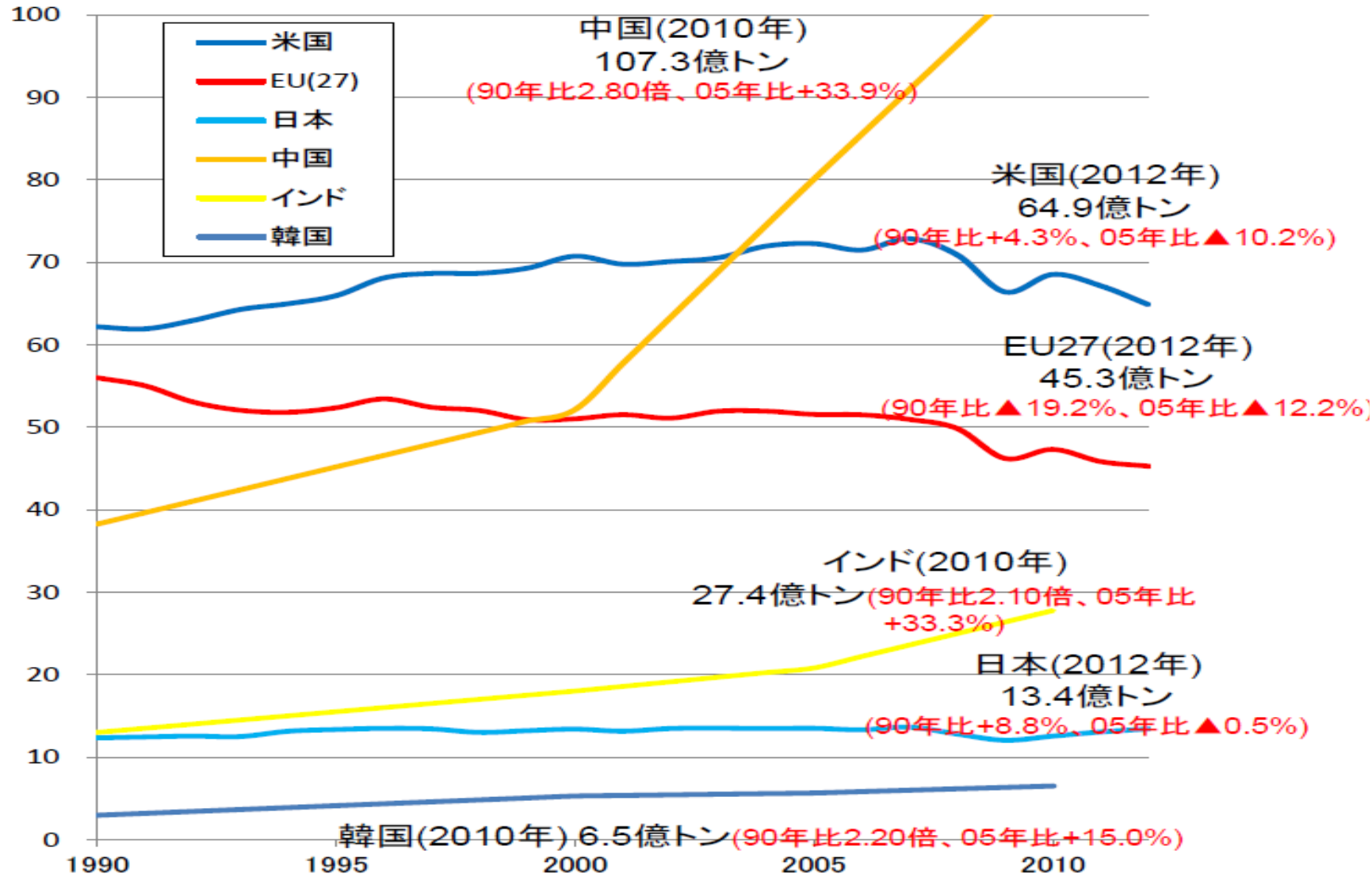


Notes: "Other" includes agriculture, non-energy use (except petrochemical feedstock), oil and gas extraction and energy transformation. International bunkers are included in the transport sector at the global level but excluded from the regional data.

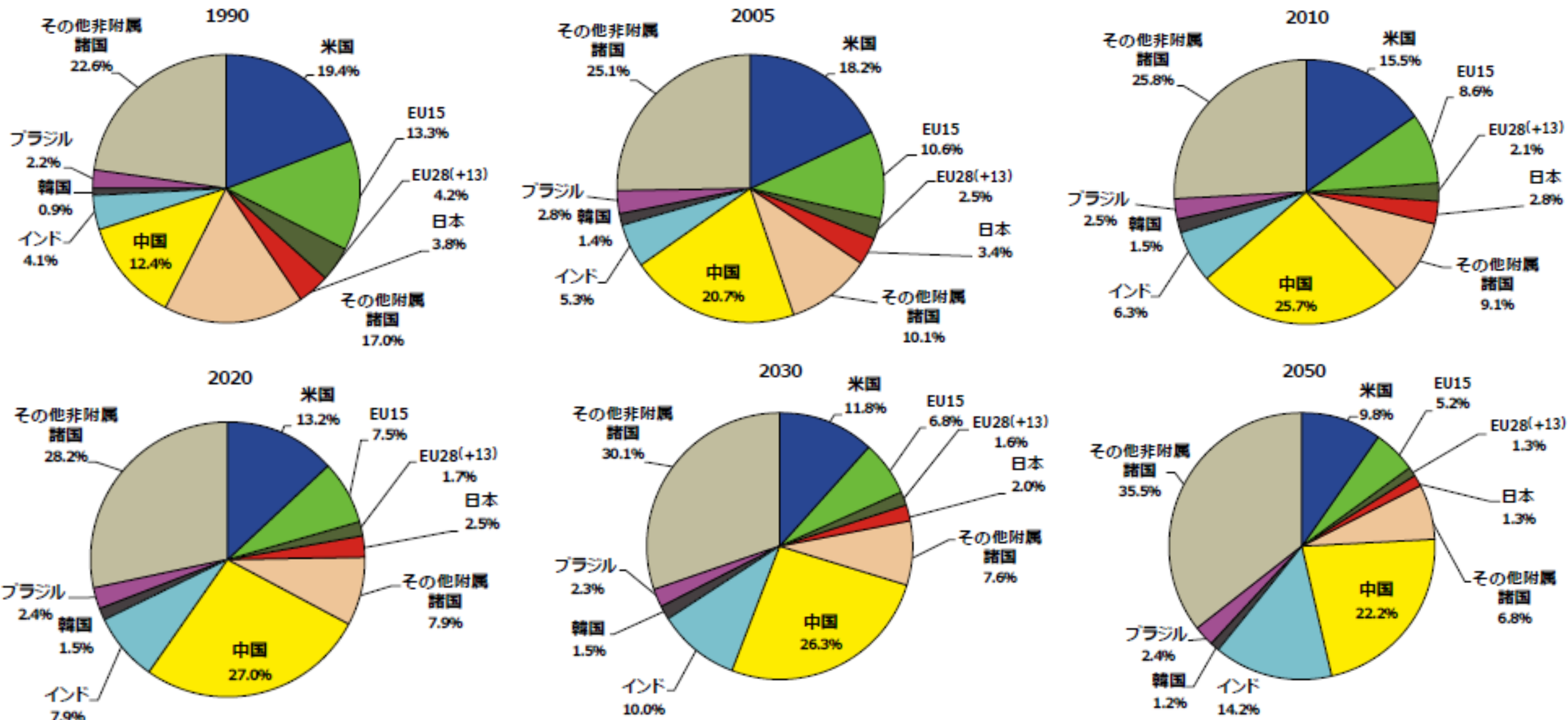
# 主要国の温室効果ガス排出量の推移

(CO<sub>2</sub>換算億トン)

排出総量の推移



# 温室効果ガス排出量の国別内訳の推移と見通し



# CO<sub>2</sub>排出量とエネルギーの関わり

$$CO_2 = (CO_2/PEC) \times (PEC/GDP) \times (GDP/P) \times P$$

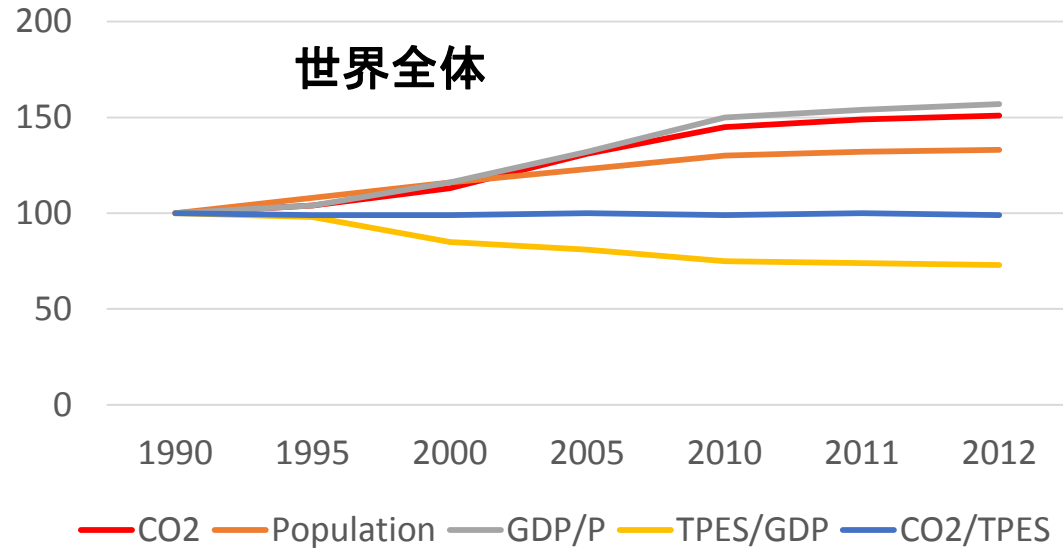
エネルギーの炭素集約度    エネルギー原単位    一人当たりGDP    人口



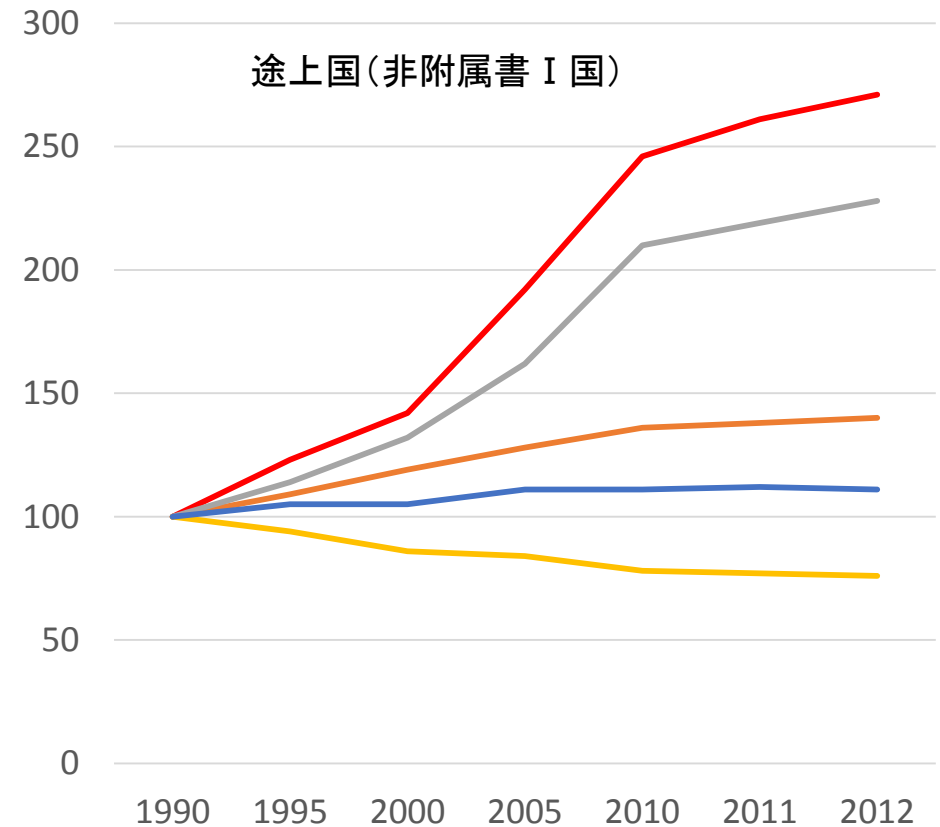
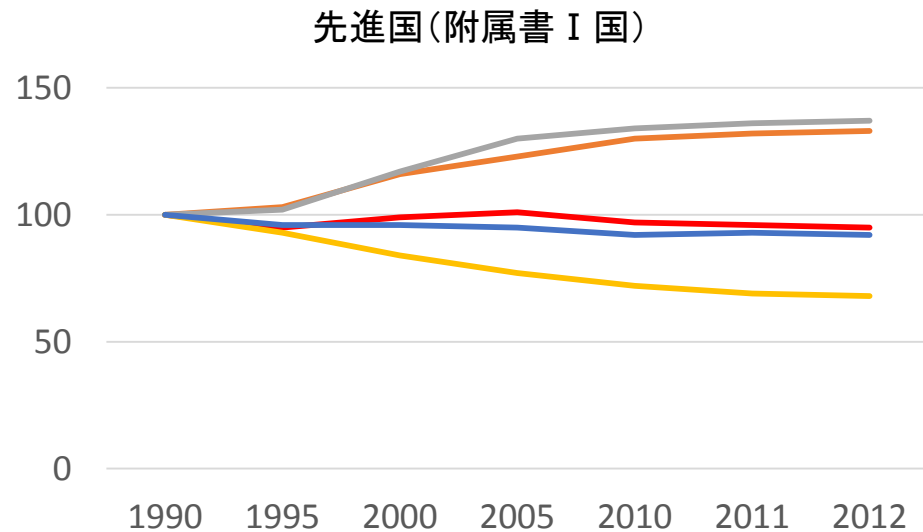
CO<sub>2</sub>の排出削減を図るためには、以下のいずれかが必要。

- ① エネルギーの脱炭素化(非化石エネルギーの導入拡大)
- ② エネルギー効率の向上
- ③ 一人当たりGDPの低下
- ④ 人口低下

# 先進国、途上国のCO<sub>2</sub>排出量増加の要因



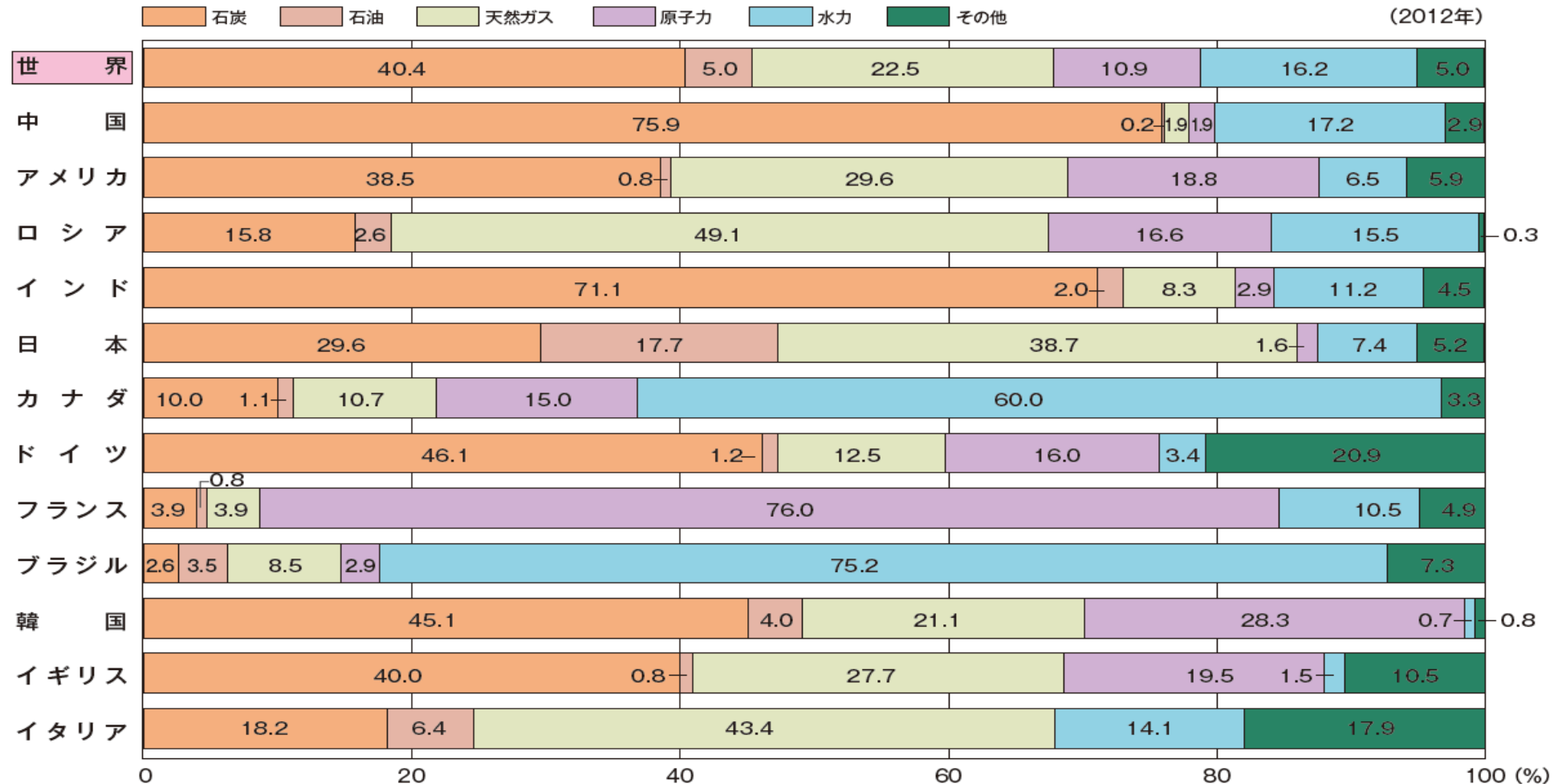
- ◆ 人口増加と一人当たりGDP拡大がCO<sub>2</sub>排出増大を牽引
- ◆ 途上国では炭素集約度も上昇





# 主要国の電源構成(2012年)

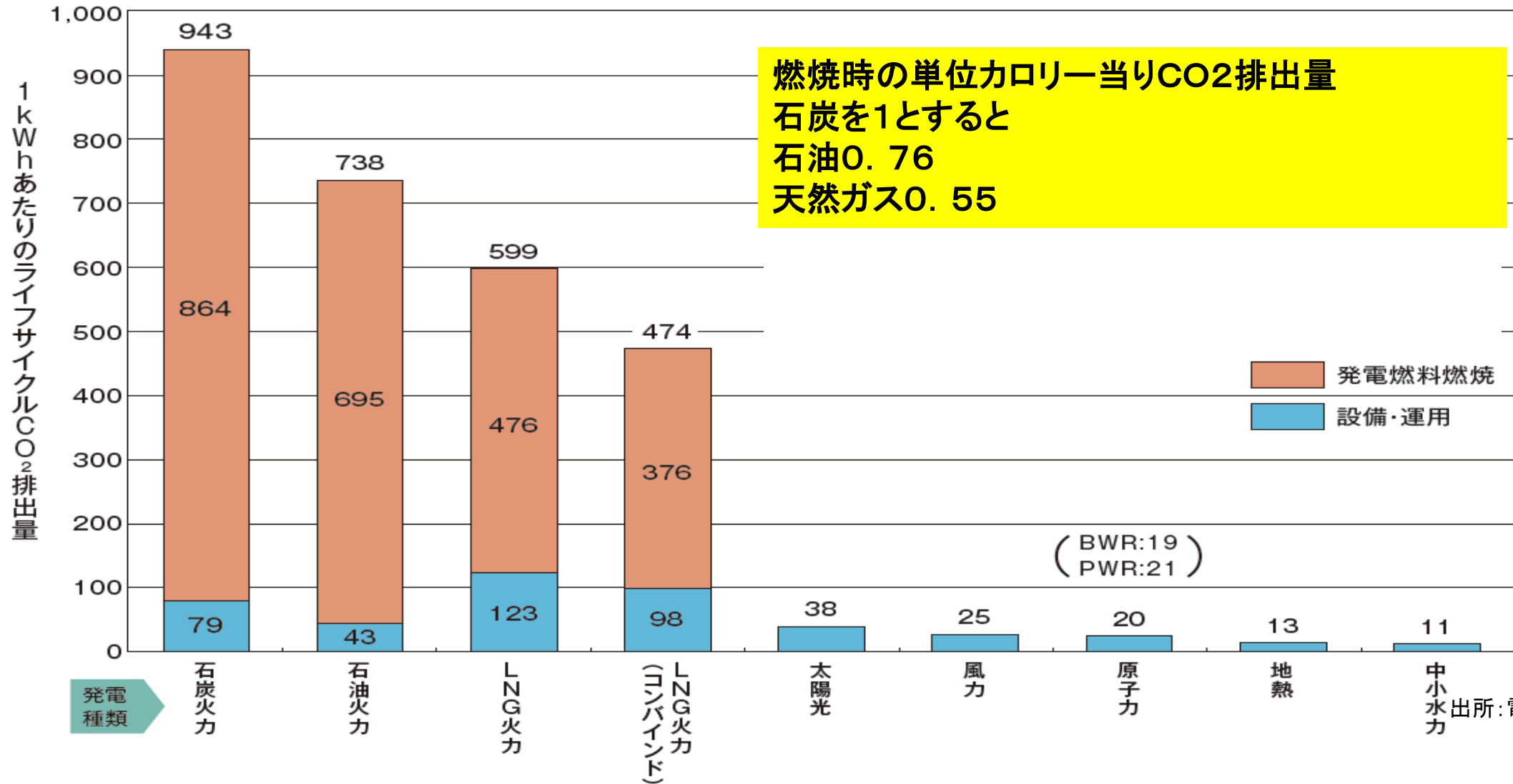
◆ エネルギーミックスは各国の資源賦存状況、経済発展段階、政策によって国毎に大きな違い



注)四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

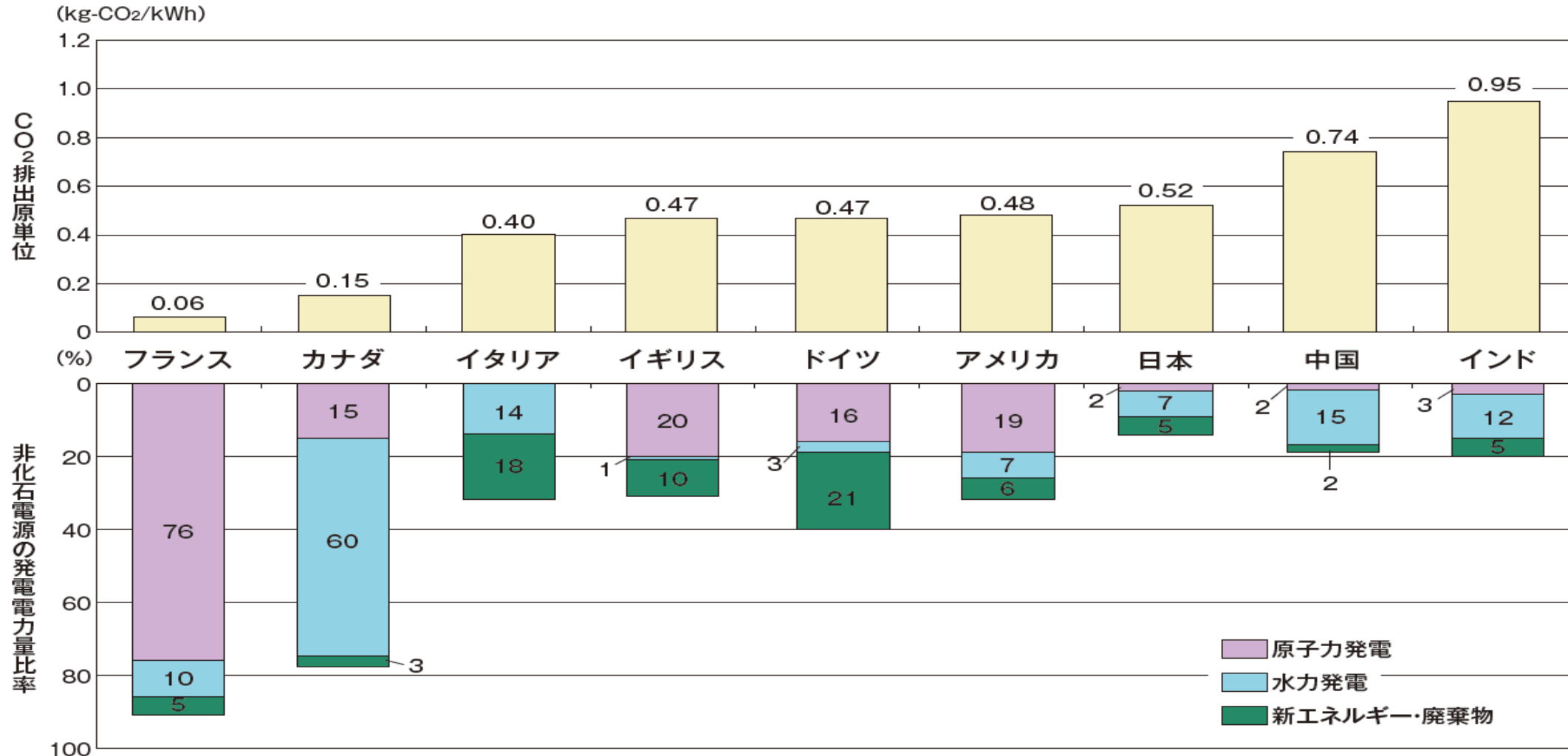
# 電源別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量

[g-CO<sub>2</sub>/kWh (送電端)]



# 主要国の発電端のCO<sub>2</sub>原単位(2012年)

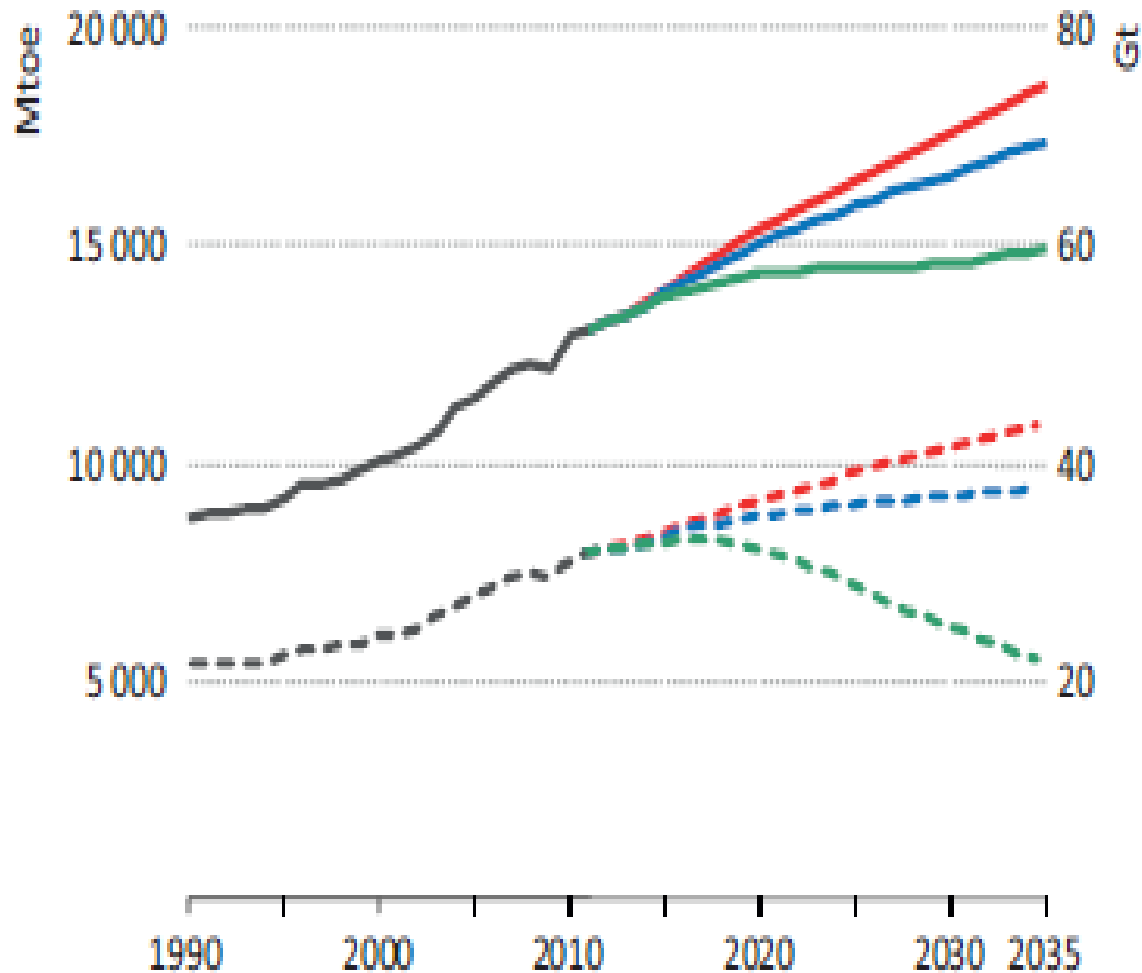
◆ 各国のエネルギーミックスの違い=>CO<sub>2</sub>原単位の違い



注) 2012年の値。日本は自家用発電設備も含む。CHPプラント(熱電供給)も含む

# 今後の排出動向とエネルギー一面の課題

# エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出シナリオと2°C達成に必要な排出パス



Primary energy demand:

— Current Policies Scenario

— New Policies Scenario

— 450 Scenario

CO<sub>2</sub> emissions (right axis):

- - - Current Policies Scenario

- - - New Policies Scenario

- - - 450 Scenario

**Current Policy Scenario:** 温暖化について今後何も新しい対策が講じられないと想定

**New Policy Scenario:** 各国が表明した温暖化対策が政策が今後実施されることを想定

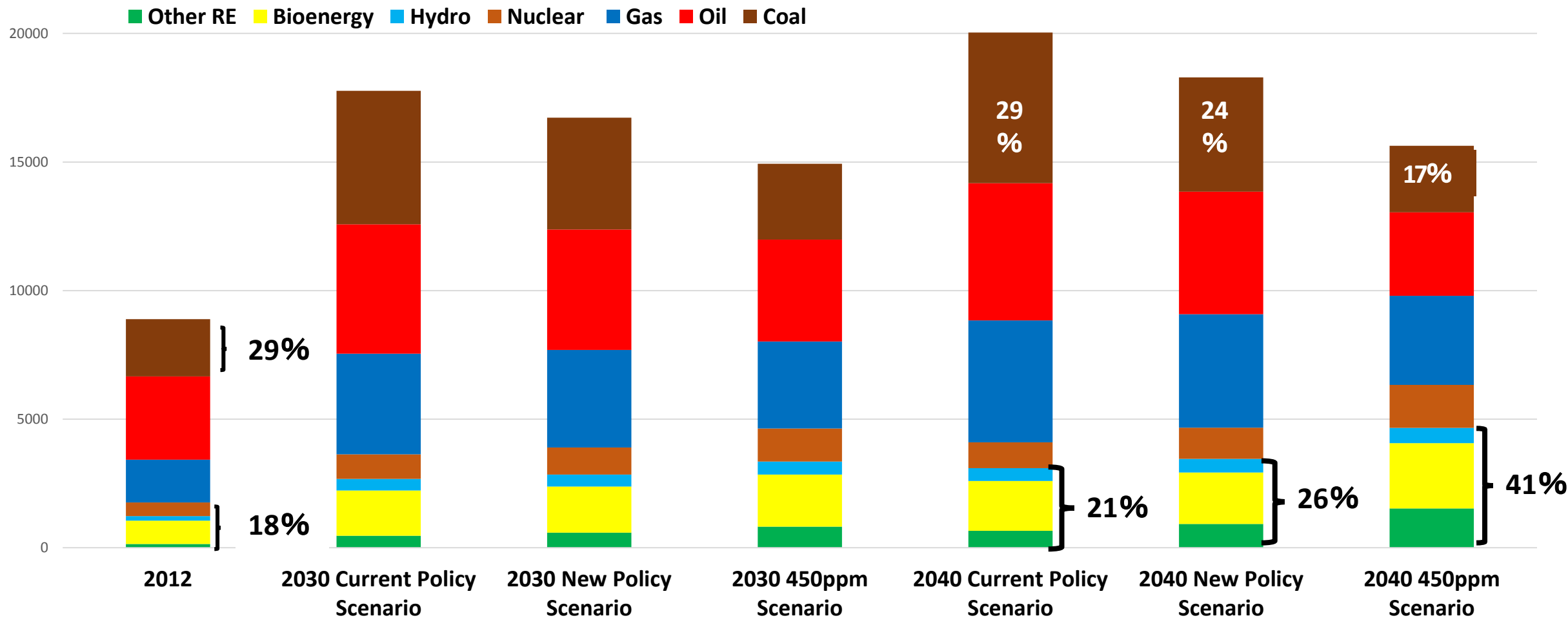
**450ppm Scenario:** 2050年までにエネルギー起源CO<sub>2</sub>濃度を450ppmに安定化させるシナリオ

Note: Mtoe = Million tonnes of oil equivalent; Gt = gigatonnes.

# 2°C目標 = 450ppmシナリオ達成に必要なエネルギーミックス

石油換算  
百万トン

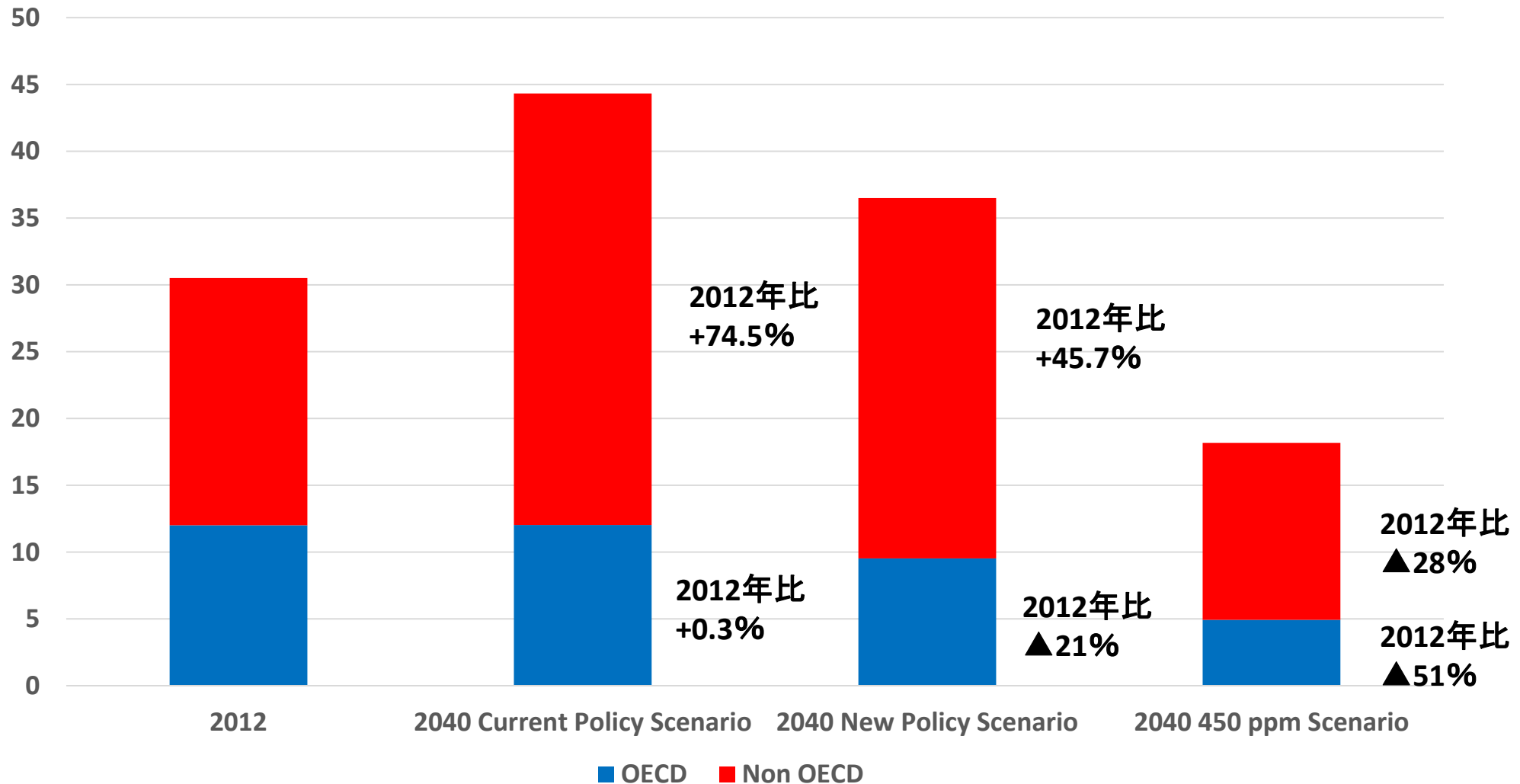
◆ 450 ppm シナリオ達成のためにはエネルギー需要の低減と、石炭のシェアの大幅引き下げ、非化石エネルギー（原子力、再生可能エネルギー）シェアの大幅引き上げが必要



# 2°C目標=450ppmシナリオ 地域別内訳

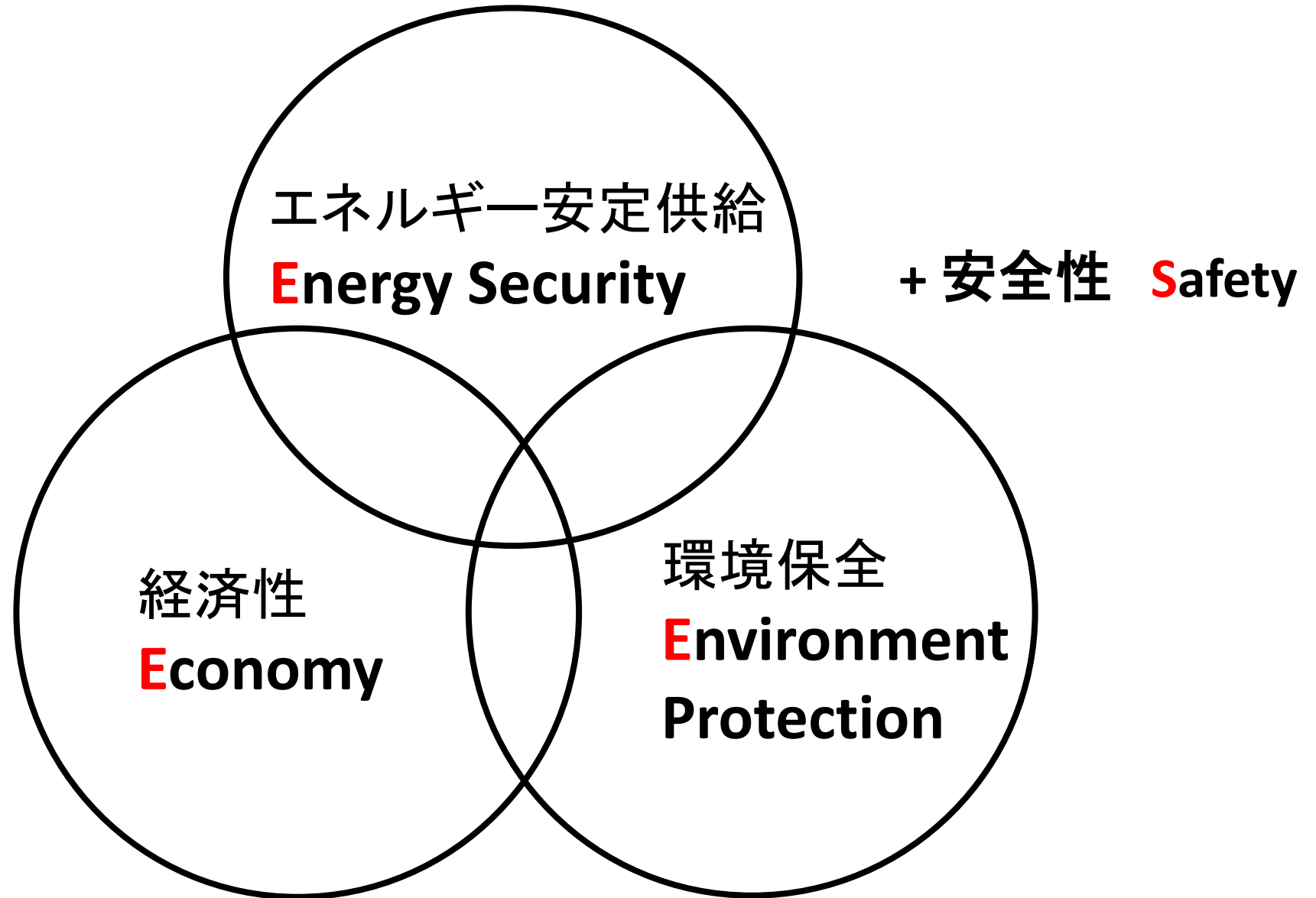
◆ 特に非OECD諸国において自然体比で大幅なCO2削減が必要

10億トン





# エネルギー政策の3つのEとS



# 3つのEから見た各エネルギー源の長所・短所

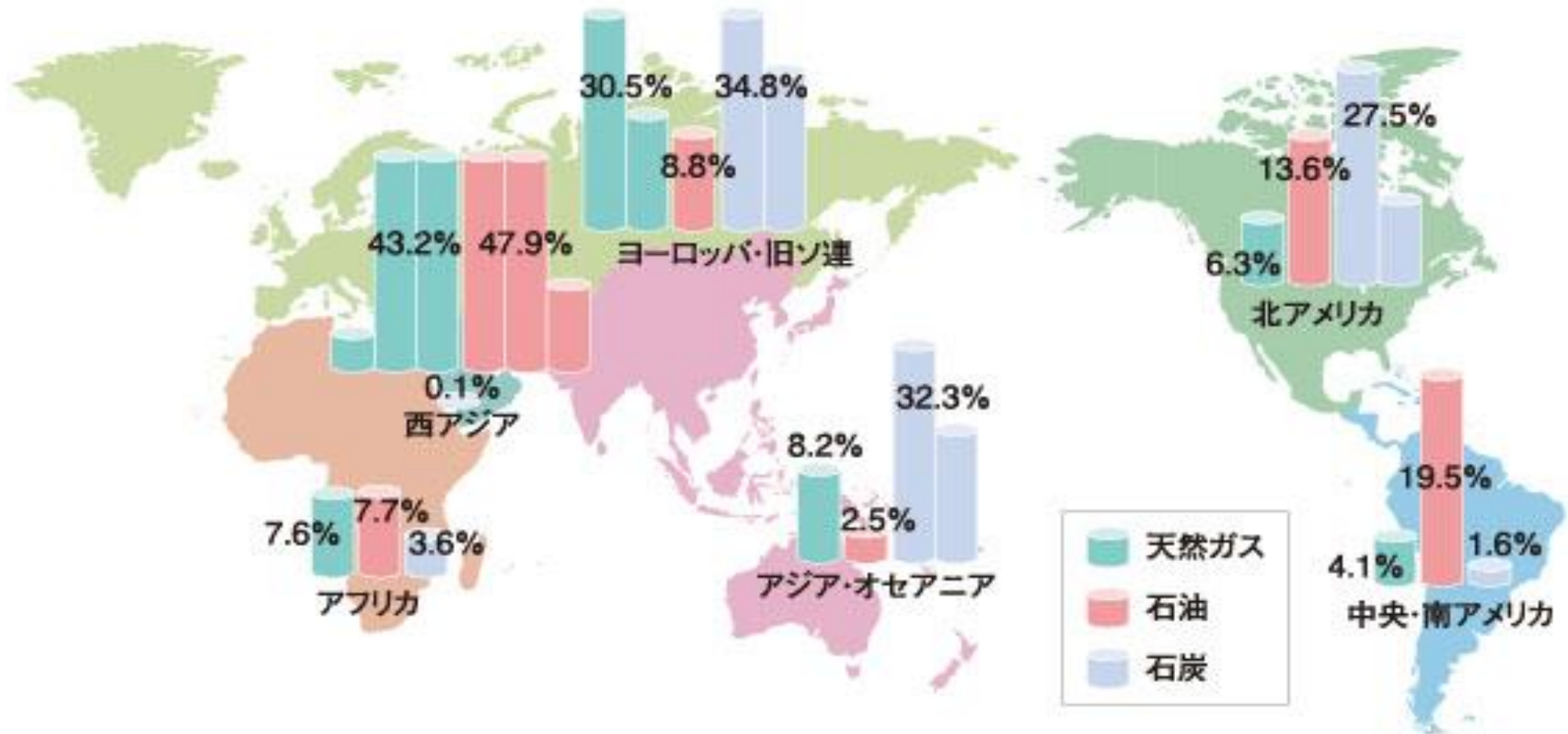
	供給安定性	発電コスト	環境特性 (CO <sub>2</sub> 排出)	可採年数 (確認埋蔵量)	備考
石油	中東地域に偏在	高	やや多い	53年	非在来型の開発が進展
石炭	世界各地に分散	低	多い	113年	
天然ガス	世界各地に分散	中	少ない	55年 (在来型)	非在来型の開発が進展
原子力	ウラン資源は世界各地に分散	低 ※1	なし	99年(ウラン)	安全性、パブリック・アクセプタンスが課題
再生可能エネルギー (PV、風力)	純国産エネルギー	高 ※2	なし	ほぼ無限	出力不安定性、グリッド、バックアップコストが必要

※1 バックエンド費用等を考慮すると発電コストが増加

※2 技術開発の進展により発電コストが低減する可能性あり。

# 世界の天然ガス・石油・石炭資源の分布状況(2013年)

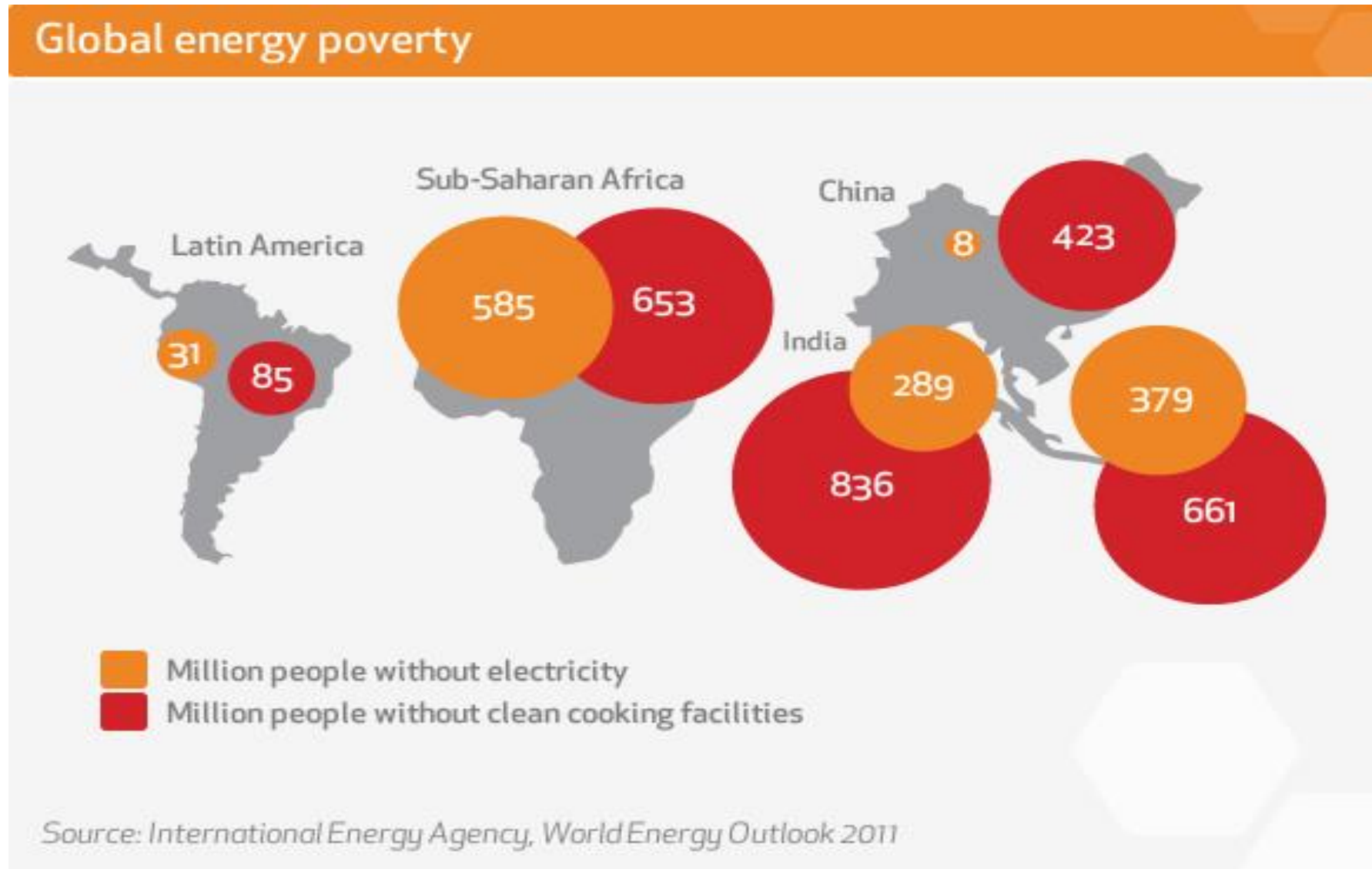
◆ 石炭はこれから需要が急増するアジア地域に潤沢に存在する安価なエネルギー源



資料：BP Statistical Review of World Energy June 2014

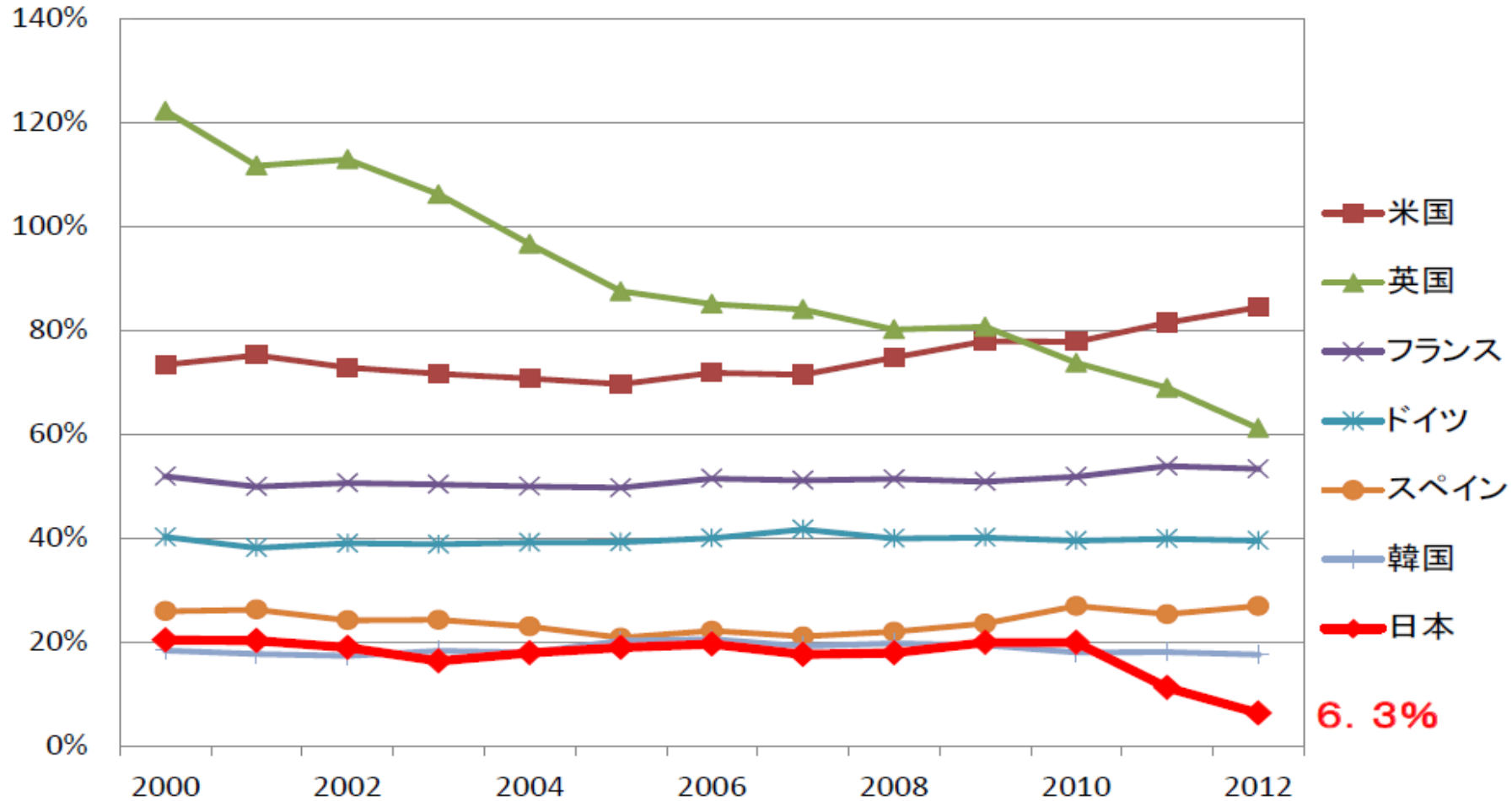
# エネルギー貧困

- ◆ 多くの途上国にとって生活水準の向上とエネルギー貧困の克服が課題



# エネルギー自給率の各国比較

- ◆ エネルギー自給率の低下はエネルギー安全保障上のリスク要因。国産・準国産エネルギーの拡大による自給率の向上、リスクの低い燃料への転換、リスクの低い供給源への転換が必要。

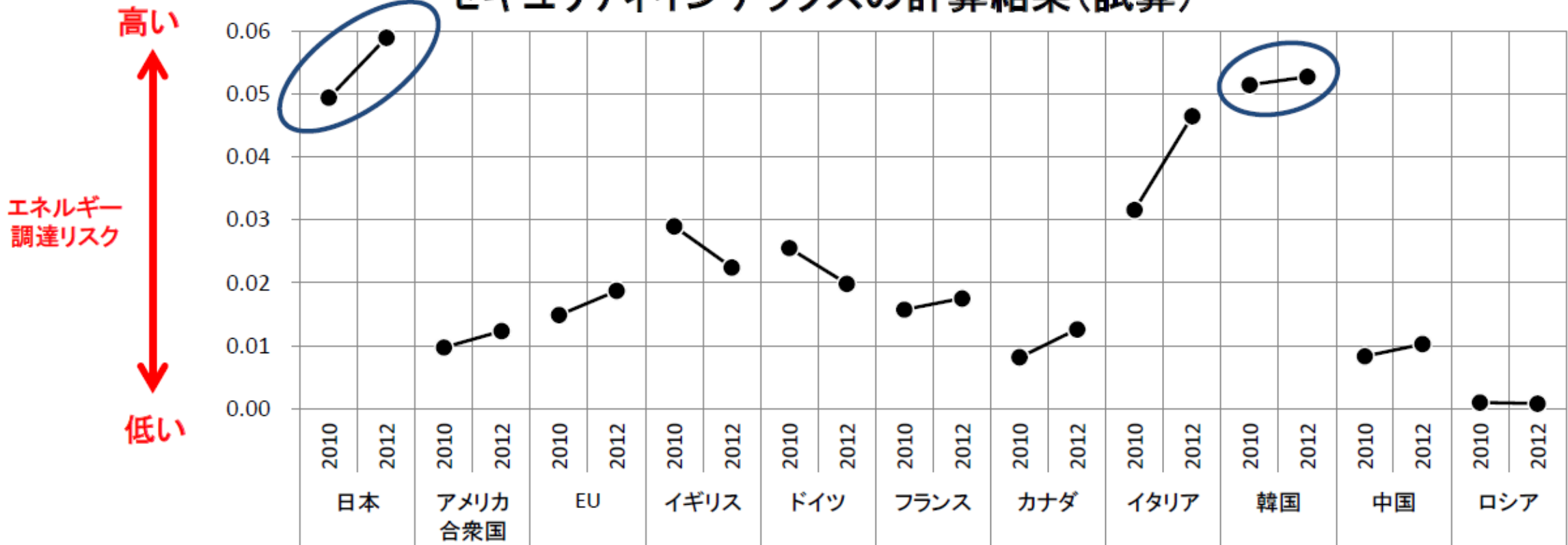


【出典】 IEA Energy Balance 2014

# 主要国のエネルギー調達リスク

- ◆ 各国の一次エネルギー供給構成、調達先の分散度、調達先のカントリーリスクを踏まえ、エネルギー調達リスクを指数化。値が大きいほどリスクが高く、小さいほどリスクが小さい。
- ◆ 日本の調達リスクは自給率の低さ、輸入先のカントリーリスクの高さ、極東の島国であることによるシーレーンリスク等、世界の主要国と比較しても高い水準。

## セキュリティインデックスの計算結果(試算)

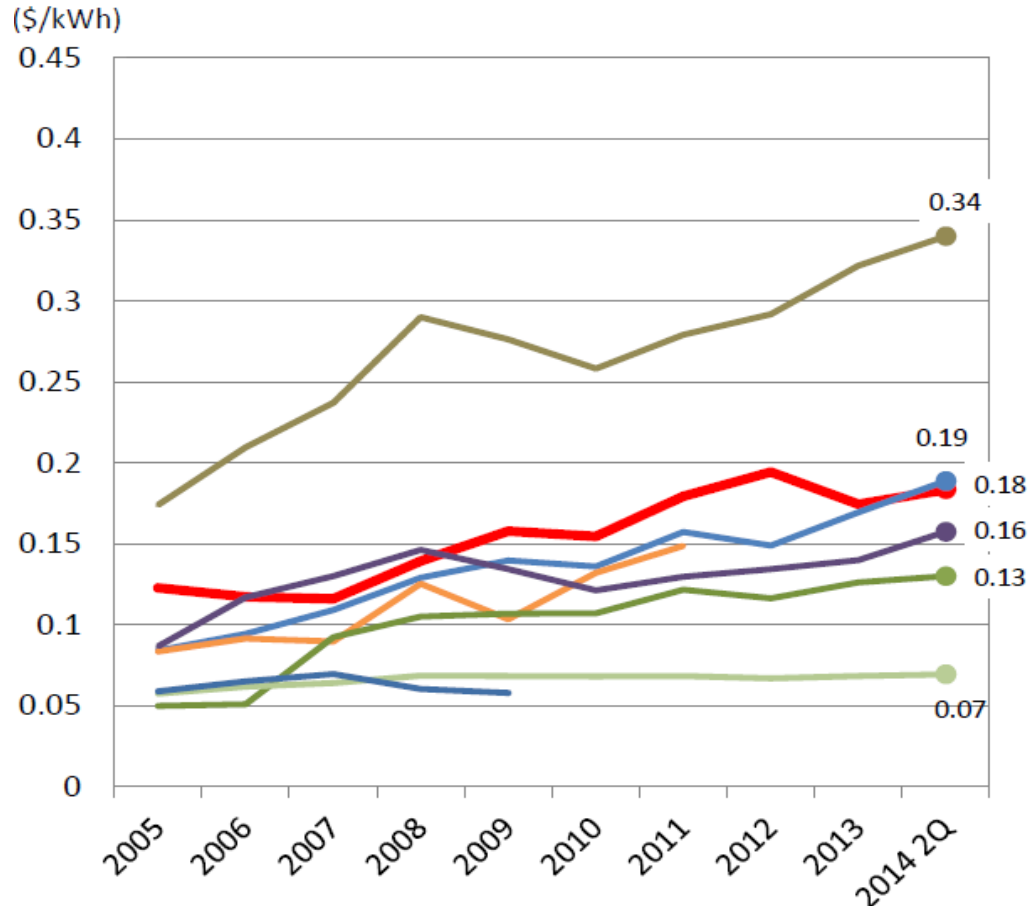




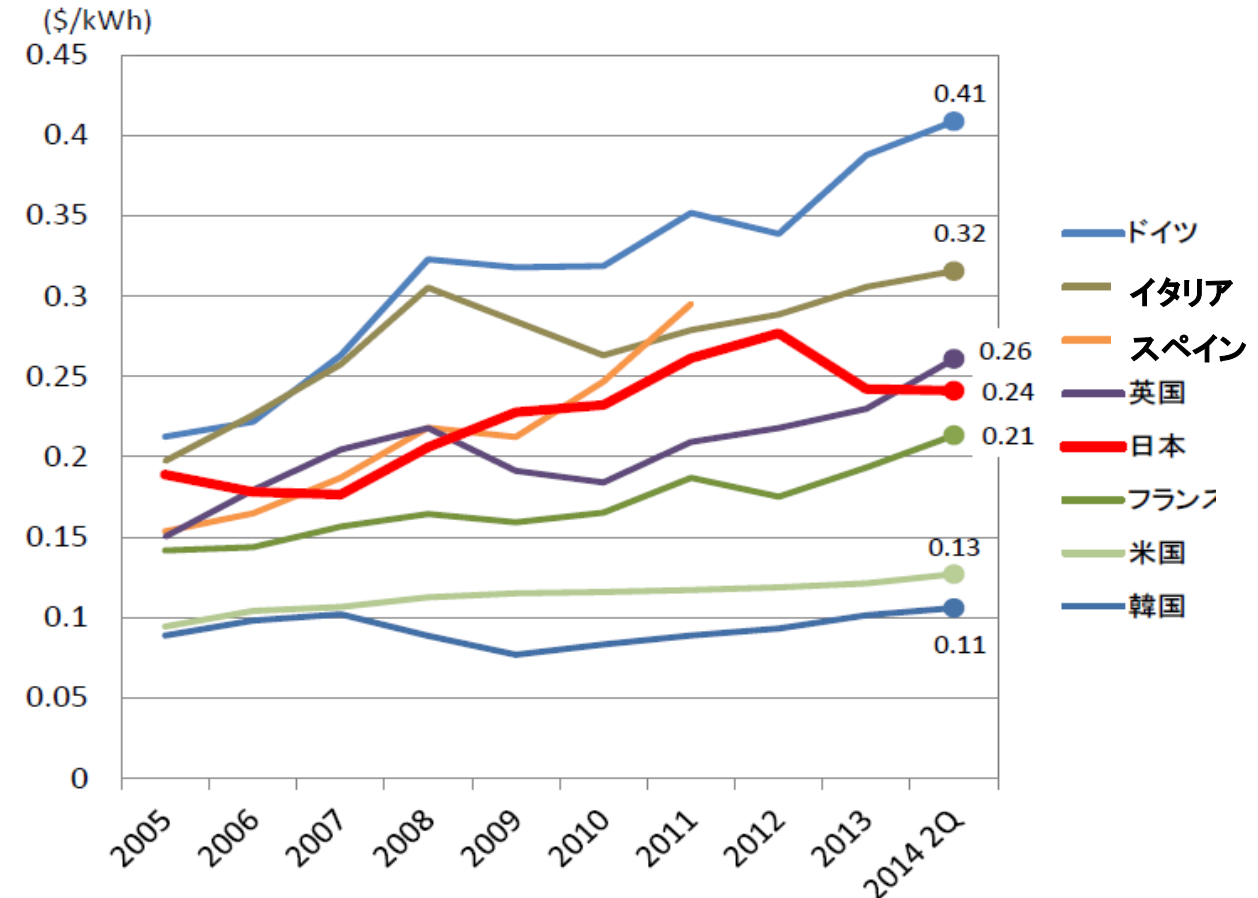
# エネルギーコスト格差と国際競争力の懸念

- ◆ エネルギーコストの格差は国際競争力に重大な影響。エネルギーコスト引き下げはエネルギーミックスに関する政策を考える上で大きな要素。

【産業用電気料金】



【家庭用電気料金】



(※1) フランスの値が2007年に急激に上昇しているのは、IEAが利用するフランスのデータの出所が変わったことによる。

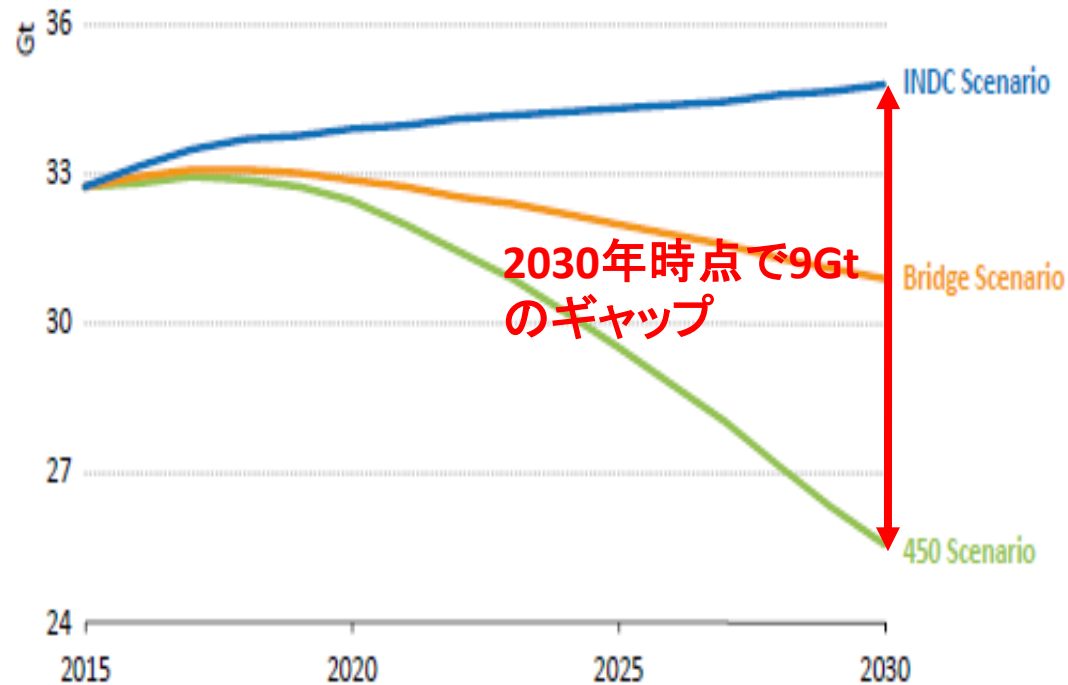
(※2) 日本の電気料金は震災以降上昇しているが、本グラフではドル建て表記のため、為替相場の影響を反映した形となっている。



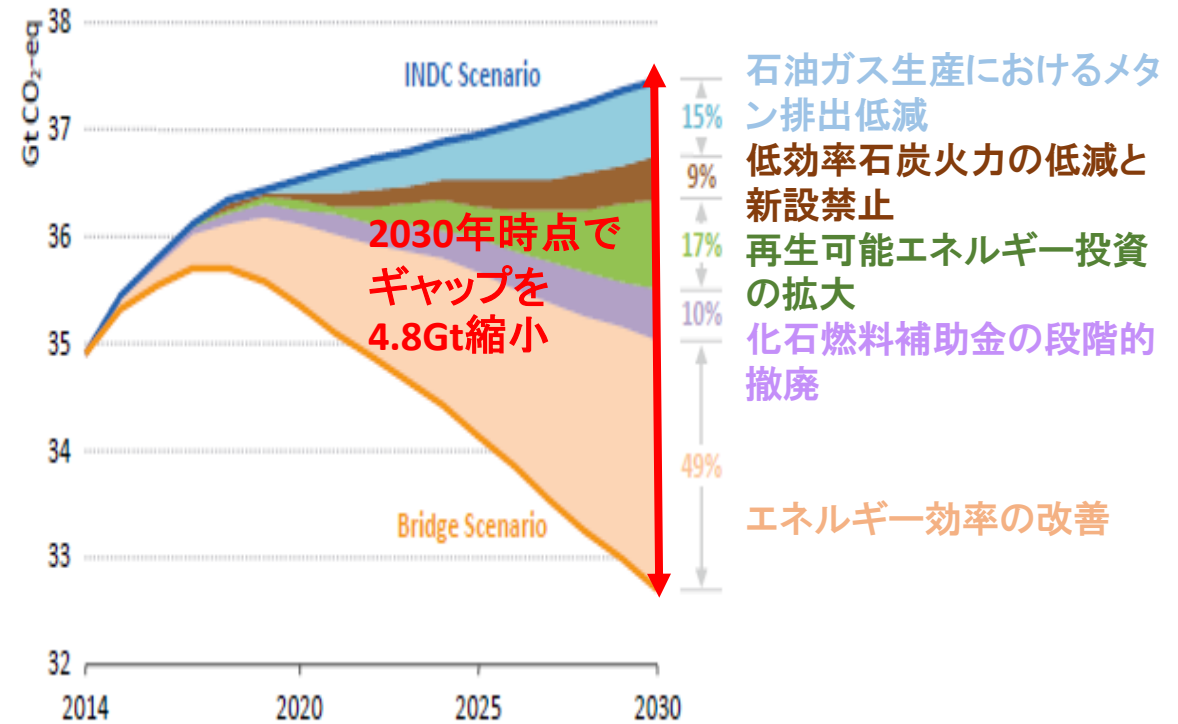
# 2°C目標への「ブリッジ」

- ◆ COP21に向けた各国のプレッジ(INDC)では2°C目標(450ppmシナリオ)に遠く届かず。
- ◆ IEAは2°C目標のドアを閉ざさないため、既存の技術・政策を使い、経済にマイナスの影響を与えない「ブリッジ・シナリオ」を提唱(省エネ、再エネ投資、化石燃料補助金の撤廃、メタン排出減等)

INDCシナリオと450ppmシナリオ(エネルギー起源CO<sub>2</sub>)



INDCシナリオとブリッジシナリオ(エネルギー起源GHG)



# 温室効果ガス削減コスト

- ◆ 温室効果ガス削減コストはネットマイナスの省エネ対策から高コストのCCSまで幅がある。対策コストの低いもの (low-hanging fruit) から講じていくことが現実的。

