

2017年1月10日

地球温暖化対応を踏まえた エネルギー戦略と課題

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾



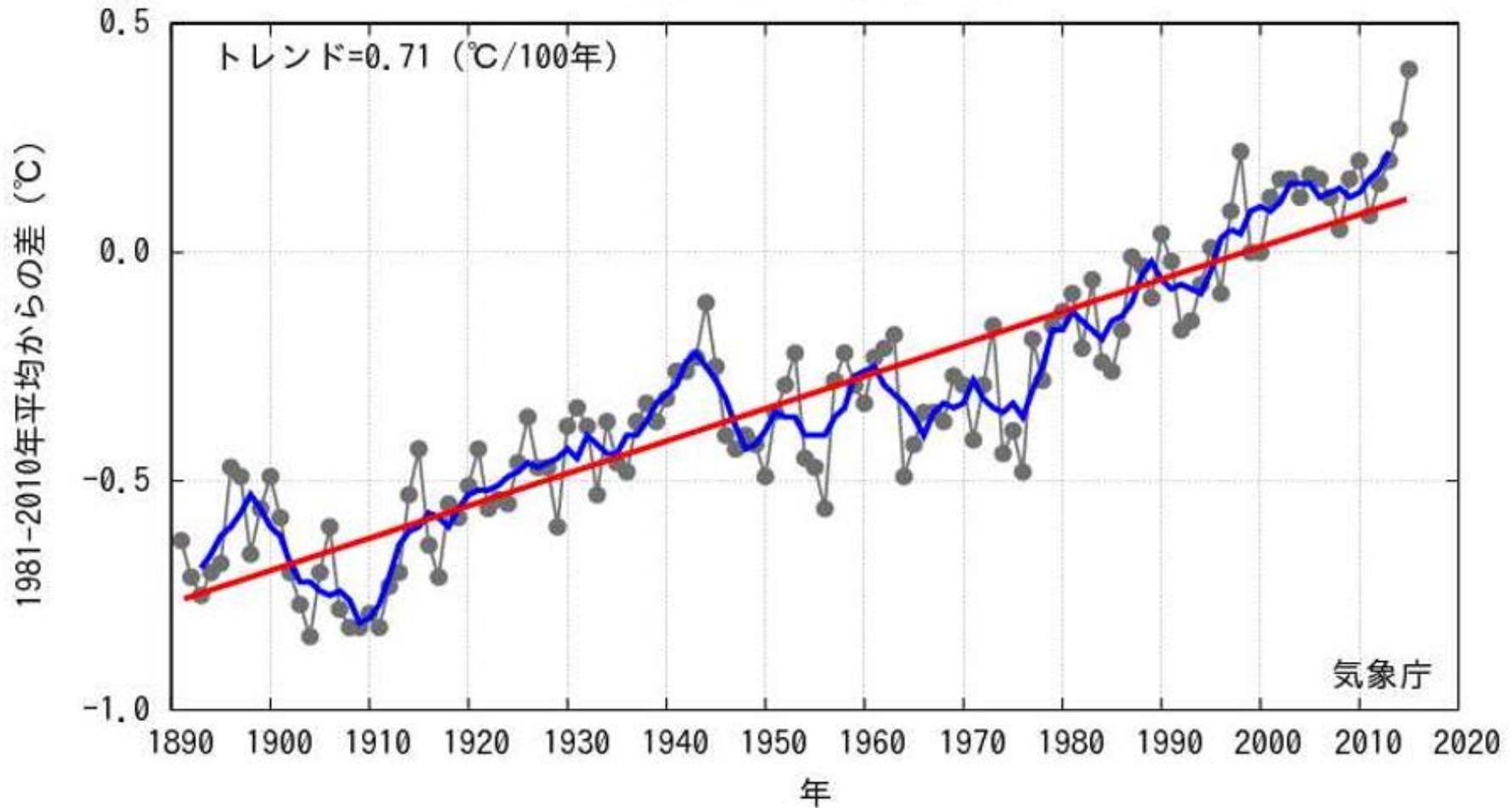
1. 地球温暖化問題の位置づけと現状
2. パリ協定の概要とその意味
 - 2.1. 各国約束草案（排出削減目標）の排出削減努力の評価
 - 2.2. 長期目標（2℃目標等）から見た我が国の2050年排出削減見通し
3. 電力システム改革と原子力
4. まとめ



1. 地球温暖化問題の位置づけと現状



2015年 世界平均気温は史上最高を記録



日本における豪雨、大型台風被害

地球温暖化で海水温が上昇
⇒海水の蒸発による大気中の水蒸気が増加
⇒豪雨や大型台風が多発



出典) blog.livedoor.jp

豪雨による広島土砂災害、2014年8月
死者・行方不明：74人
家屋全壊：133戸



豪雨による鬼怒川堤防決壊、2015年9月茨城・
常総市の浸水被害：1万1000棟 出典) 産経デジタル

台風10号（2016年8月）により岩手、北海道等で
大きな被害、死者・行方不明：27名



ただし、具体的な被害事例について、人為的なCO₂排出との因果関係について明確に言うことはできず、大きな不確実性があることは認識することが必要

サンゴの白化(2016年)



オーストラリア東海岸にある世界最大のサンゴ礁「グレートバリアリーフ」で今年、サンゴの健康状態が悪化した先に起きる白化現象が過去最悪の規模に。

海水温が1℃程度上昇が続くとサンゴの白化が進むとされている。

2016年9月末から10月初めの調査によると、沖縄県の石垣島と西表島の間にある国内最大のサンゴ礁「石西礁湖」で起きている大規模な白化現象で、少なくとも一部白化したサンゴが97%に達し、死滅しているものが56%に上ることがわかった。



気温上昇推計の不確実性

- ◆ 平衡気候感度（温室効果ガス濃度が倍増（550 ppm CO₂eq）し、その濃度で安定化したとき、最終的（数百年後）に到達すると推計される気温上昇幅）の修正

第3次評価報告書まで 1.5～4.5°C（最良推定値：2.5°C）



第4次評価報告書 2.0～4.5°C（最良推定値：3.0°C）



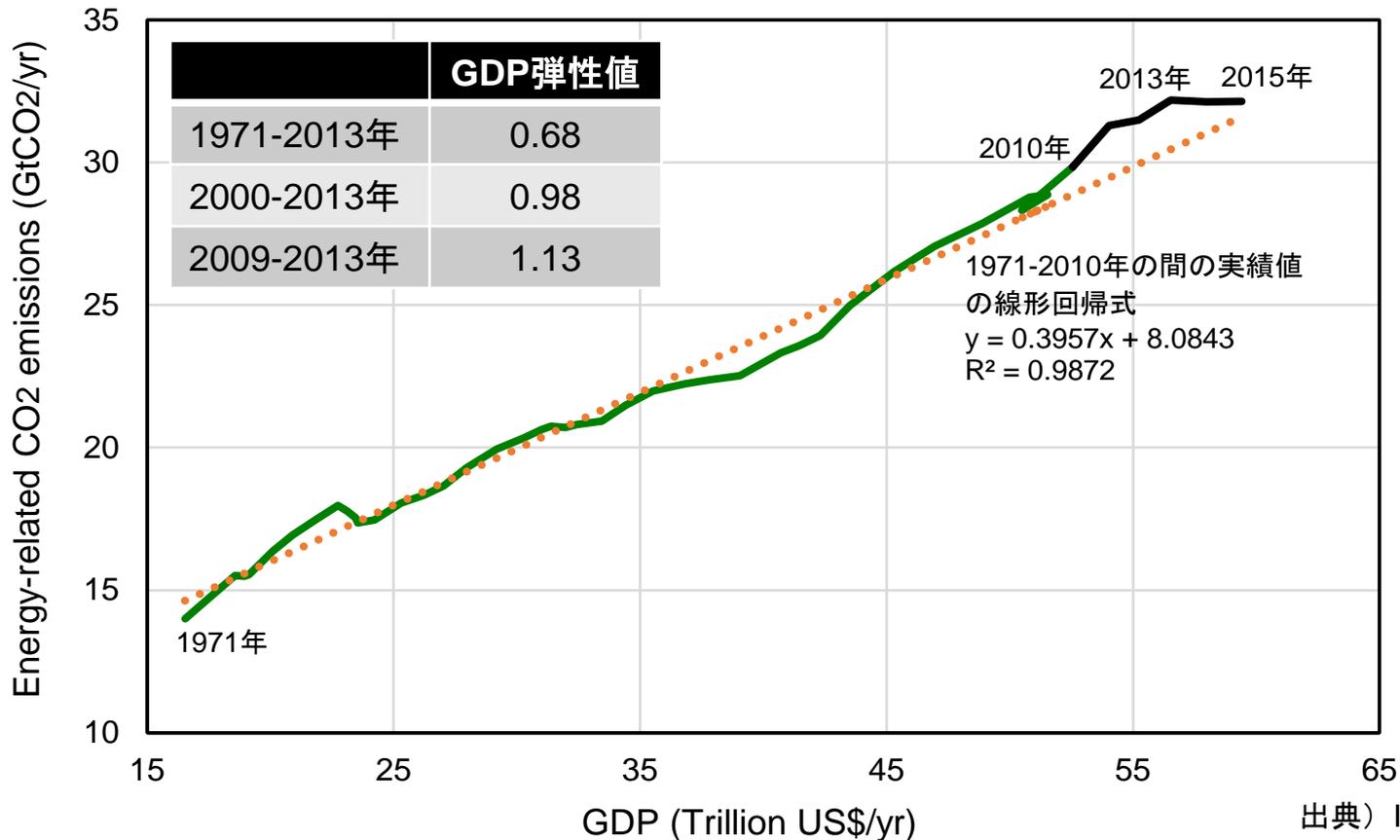
第5次評価報告書 1.5～4.5°C（最良推定値：合意なし）

1°C以下：extremely unlikely、6°C以上：very unlikely

【第5次報告書（2013）では、第4次報告書（2007）よりも下方に修正】

人為起源による地球温暖化は明白だが、程度の不確実性は依然大きい。その事実を理解した上で、経済と環境がバランスし、経済コストも含めたトータルリスクを小さくできるような、総合的な対応戦略をとることが重要

世界の経済成長とCO2排出量の関係



- 世界GDPとCO2排出量の関係は基本的に強い正の相関が見られる。2013-15年にかけてCO2排出量はほぼ横ばいだが、長期の傾向で見ると、むしろ2009-13年間の排出の伸びが大きかったものが調整されてきているに過ぎない、と現状では見る方が適切(中国を中心に、鉄鋼、セメント等の生産調整が主要因。その他としては、米国シェールガスシフトの影響が大きい)。温暖化対策が成功してきていると見るのは早計。

- なお、国別に見ると、英国、スウェーデン等、西欧諸国を中心に、GDPは成長しつつ、CO2排出量は減少している国も見られるが、それらの多くはサービス産業化により達成。ただし、製品は輸入しており、それら製品の自国外での製造段階で排出したCO2をカウントすると(消費ベースCO2と呼ばれる)、横ばいもしくは増大しており、GDPとCO2排出のデカップリングは、現状ではほとんど見受けられない。

国際政治的な不安定性

◆ 英国ブレグジット

- 英国政権は引き続き、温暖化対策に積極的に取り組むとしてはいるが、ブレグジットの成功を優先させる必要があると見られる。
- ブレグジットは、製造業労働者の雇用問題などと深く関係しており（英国はエネルギー多消費産業から金融サービス等への転換により、国内CO₂は減少しつつも経済成長を達成してきた。しかし、製品は海外で製造し輸入する構造に転換してきたため、その分、海外でCO₂排出を増やし、世界全体で見ると、CO₂排出削減にはつながっていない。）、再生可能エネルギーの拡大など、エネルギー価格上昇につながる政策は取りにくくなると見られる（再エネ負担が大きくなり、近年急速に再エネ支援を縮小してきている）。

◆ 米国トランプ政権の誕生

- トランプ大統領は、これまでに温暖化対策に否定的な発言が多い。
- 環境保護庁（EPA）長官にも温暖化懐疑論者と見られる人物を指名
- 米国でも製造業労働者の雇用問題も一要因でトランプ政権誕生につながった。
- シェールガス開発、石炭利用など、エネルギー価格を安価に導く政策が推進されると見られる。
- 日本においても製造業の競争環境が一層厳しくなる可能性あり。

日本としては、温暖化問題にしっかり取り組むと同時に、温暖化への国際的な協調の不安定性も認識した戦略が必要。そして、産業に対して良い競争環境を用意していく必要あり。そのためには安定的なエネルギー供給、低廉なエネルギー価格は重要

2. パリ協定の概要とその意味

2015年12月合意、2016年11月発効



- ◆ すべての国が自主的に目標と達成方法を決め、5年ごとに提出する（第4条2項、第4条9項）。
- ◆ なお、目標見直しにあたっては、従前の目標に比べて前進させるよう求めている（第4条3項）。
- ◆ 効果的な実施を促すために、透明性を高めた形で、すべての国が共通かつ柔軟な方法でその実施状況を報告しレビューを受ける。（第13条）
- ◆ 全球平均気温上昇を産業革命前に比べ2°C未満に十分に（"well below"）抑える。また1.5°Cに抑えるような努力を追求する。（第2条1項(a）（COP21決定では、IPCCに対し、1.5°C目標の影響と排出経路に関する特別報告書の2018年までの策定を求めている）
- ◆ 協定第2条の長期目標を達成するため、世界の温室効果ガス排出をできる限り早期にピークにする。その後、急速に削減し、今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出とシンクによる吸収をバランスさせる。（第4条1項）
- ◆ すべての国は、温室効果ガス低減のための長期発展戦略を策定するよう努力すべき（第4条19項）（COP21決定には2020年までにと時期も明示されている）

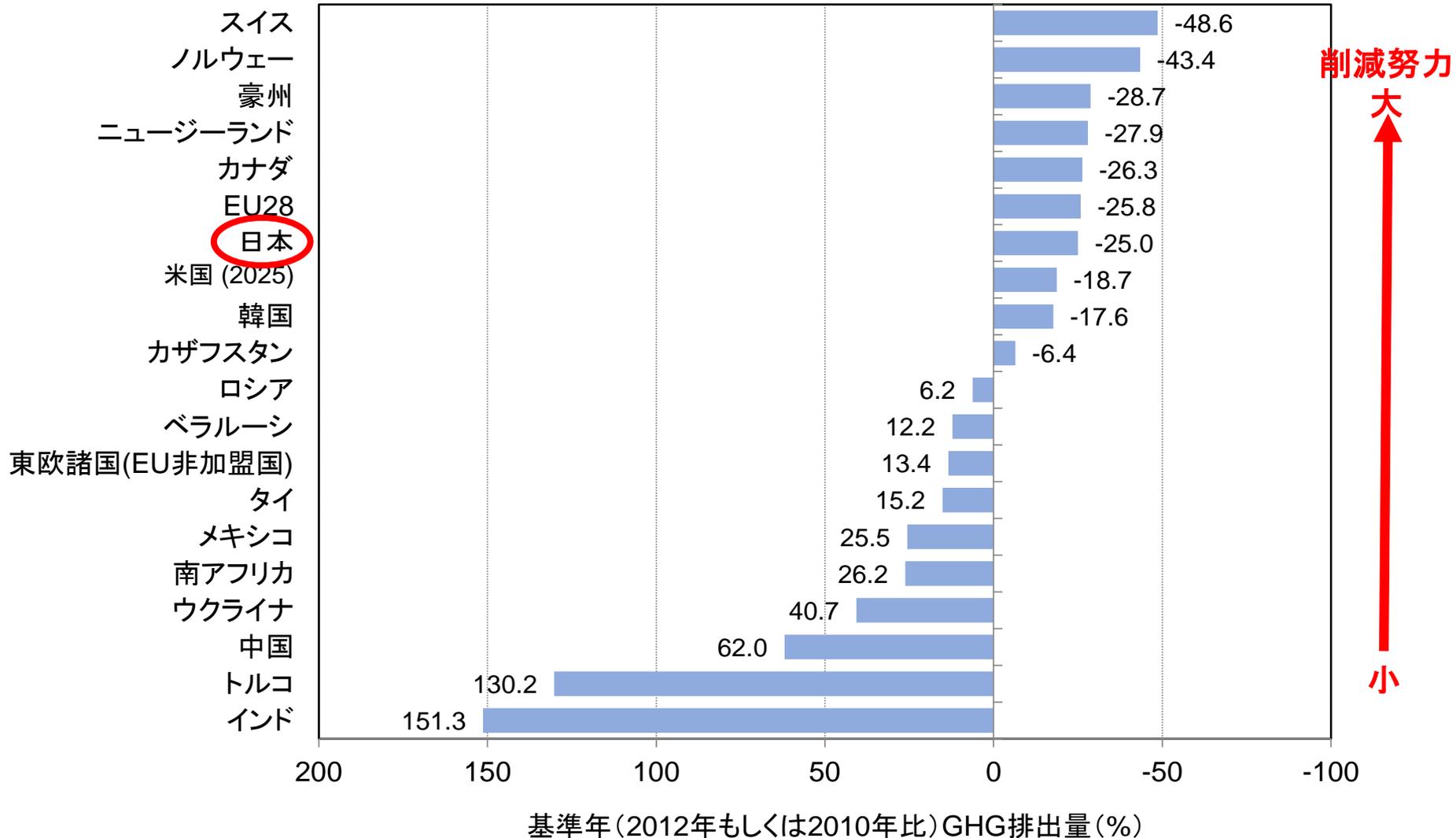
日本政府は、2030年について、エネルギーミックスと統合的な温室効果ガス排出を2013年度比で26%削減する目標を提出している。

今後、実効ある世界排出量の削減を行っていくためには、各国約束草案(Nationally Determined Contribution)のレビューをいかに行っていくかが、極めて重要となる。自主目標とはいえ、我が国の約束草案も、国際的なレビューにおいてチェックを受けることとなる。

2.1. 各国約束草案(排出削減目標)の 排出削減努力の評価

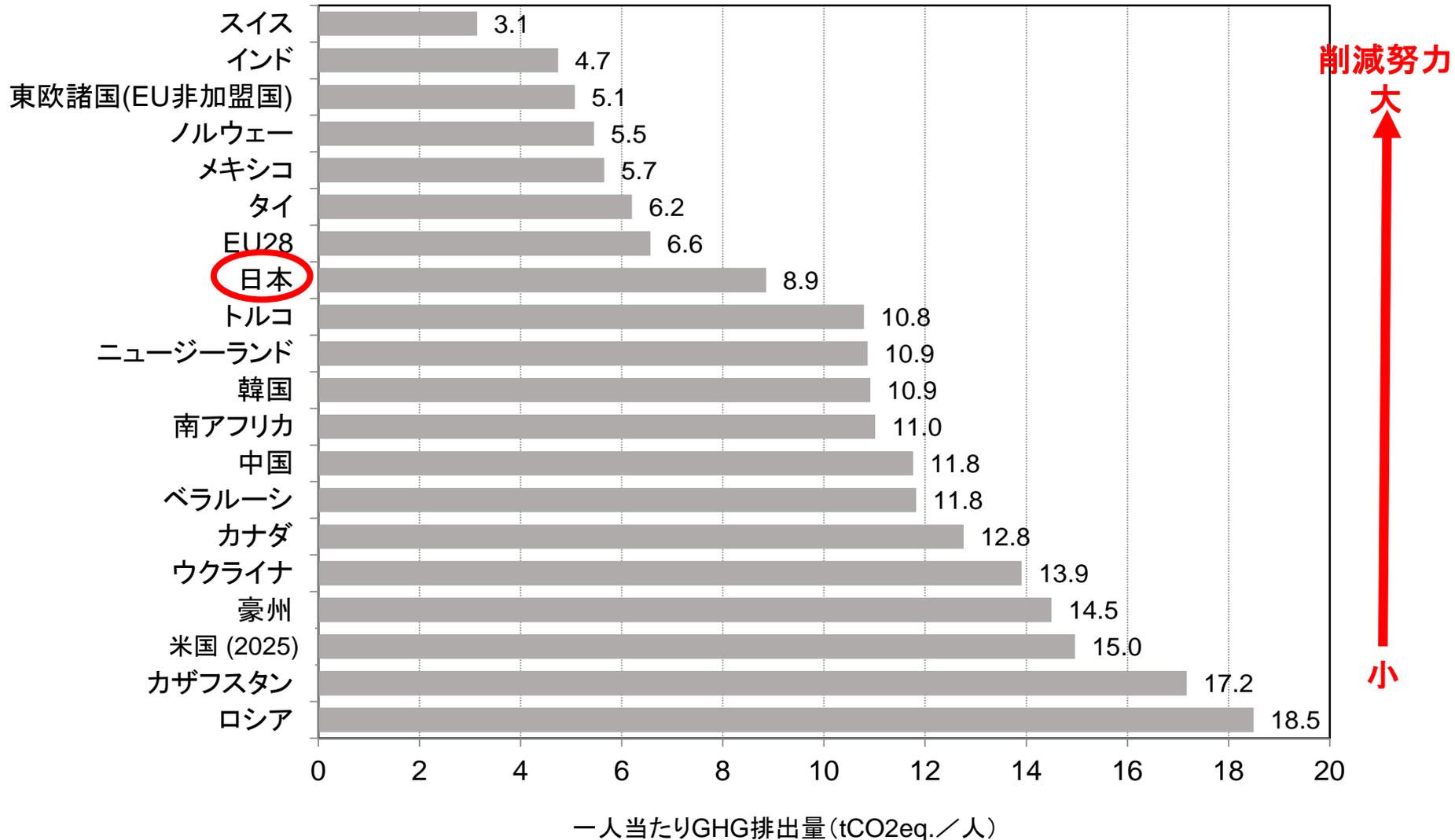
排出削減努力を計測する万能な指標は存在しない。複数の指標で評価することが重要。ただし、排出削減費用は推計の不確実性は大きいものの、包括的に努力を評価するために大変有力な指標

基準年(2012年もしくは2010年)比排出削減率の国際比較



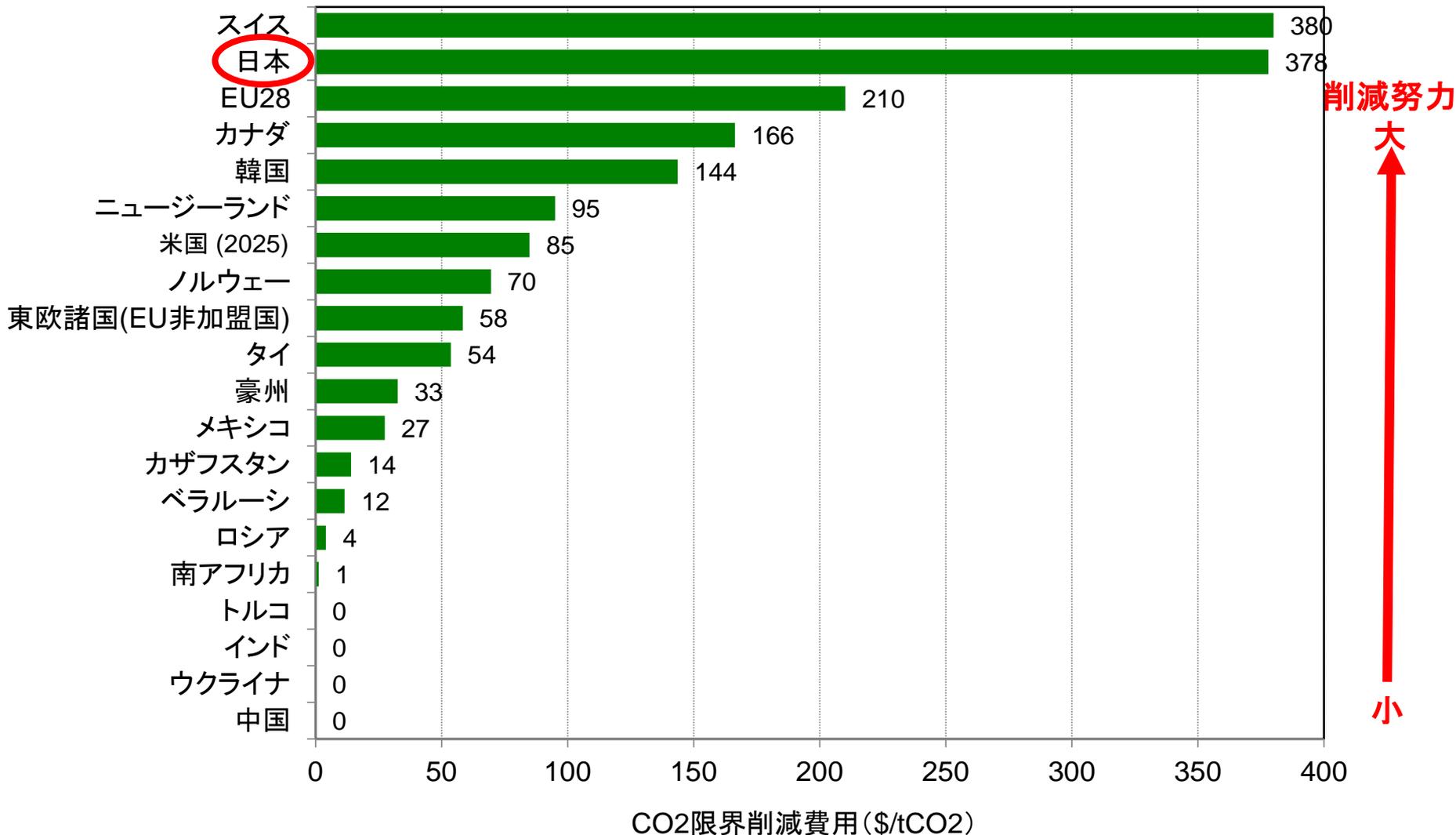
* 上下限で幅がある国は平均値を表示

2030年における一人あたりGHG排出量の国際比較



* 上下限で幅がある国は平均値を表示

2030年における約束草案のCO₂限界削減費用の国際比較



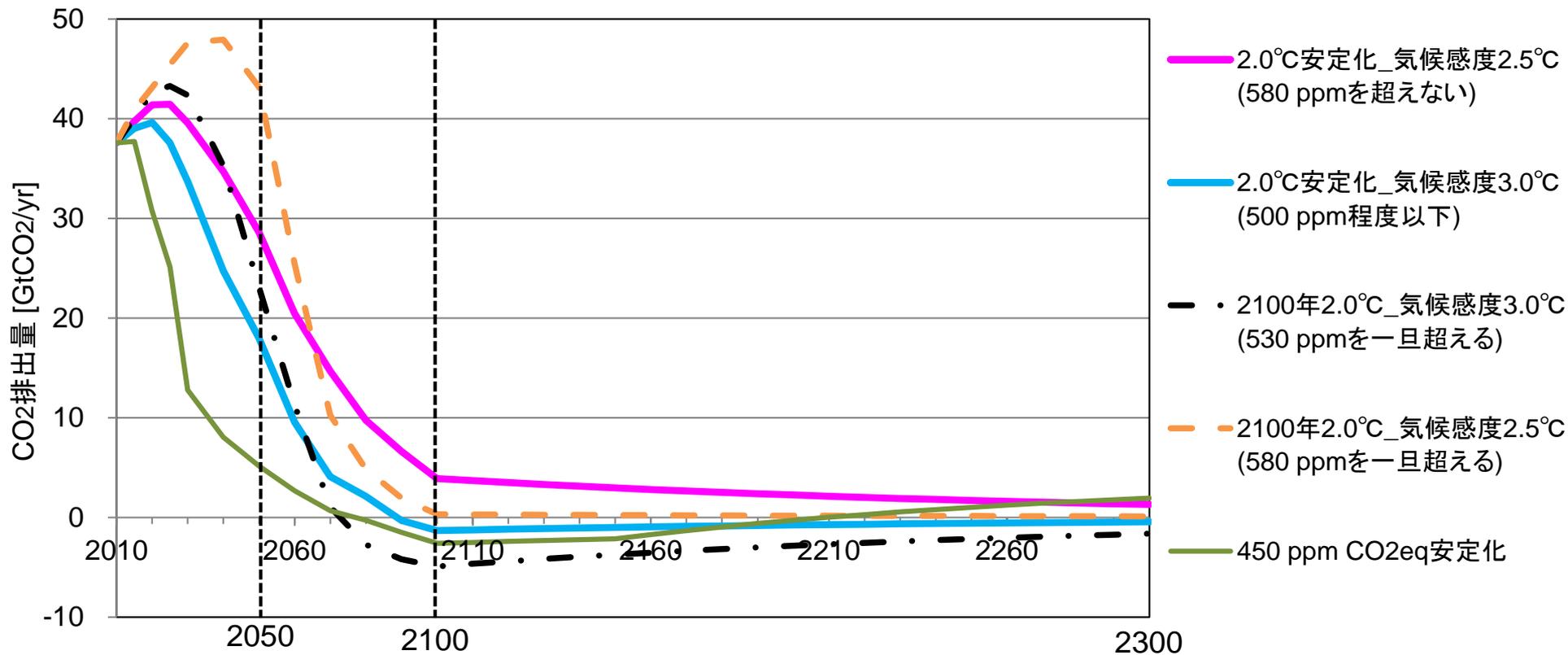
* 上下限で幅がある国は平均値を表示

限界削減費用に大きな差異あり(産業の国際競争力阻害に留意が必要)。日本の約束草案は相当厳しい目標。原子力がエネルギーミックスの20~22%を達成できなければ、目標達成の費用は一層増大

2.2. 長期目標(2°C目標等)から 見た我が国の2050年排出削減見通し

詳細は、秋元、佐野、「パリ協定2°C目標から見た 我が国の2050年排出削減目標に関する分析」、エネルギー・資源、Vol.38, No.1, 2017

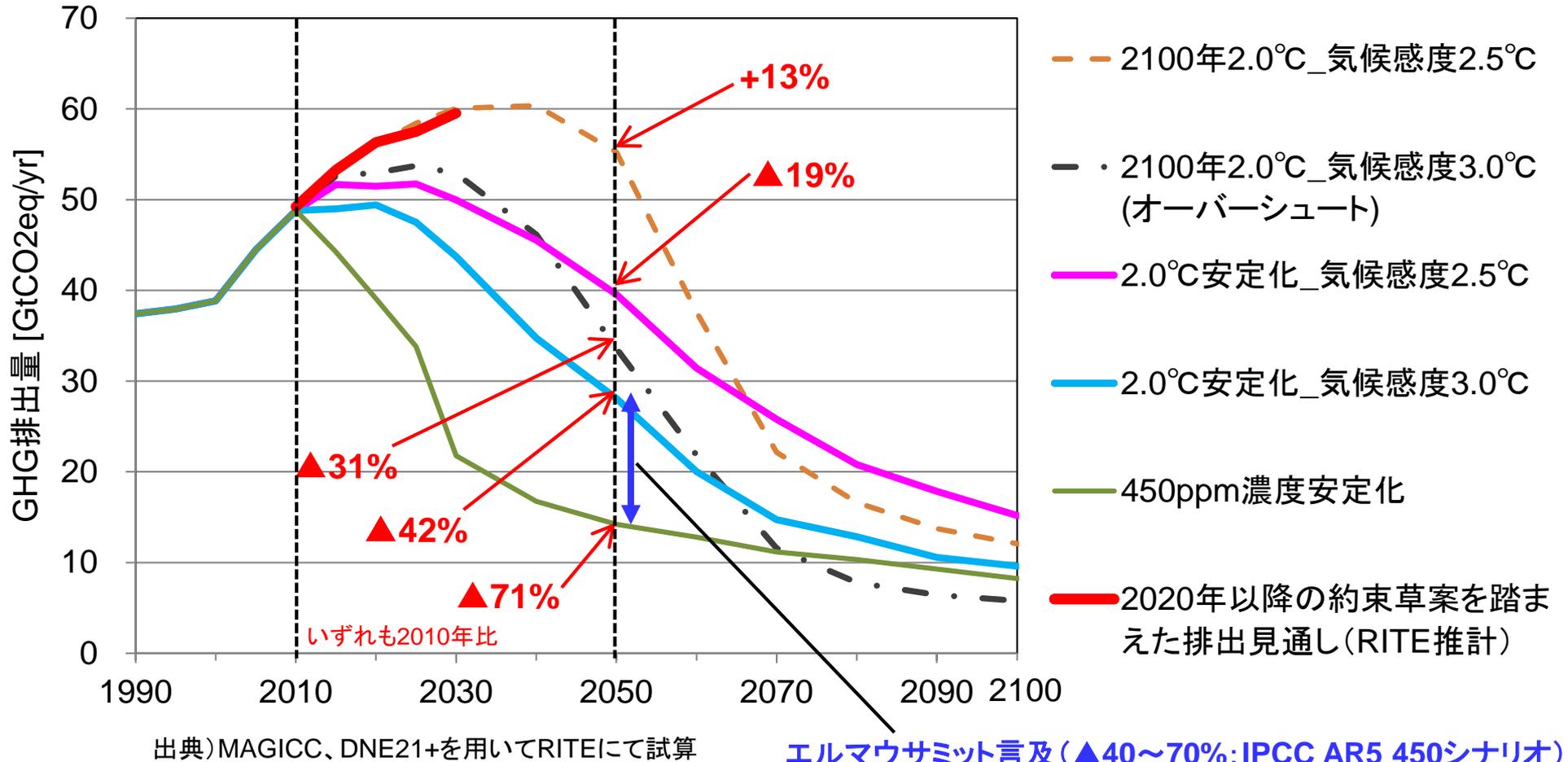
2°C目標のためのCO₂排出量推移(～2300年)



出典)MAGICC、DNE21+を用いてRITEにて試算

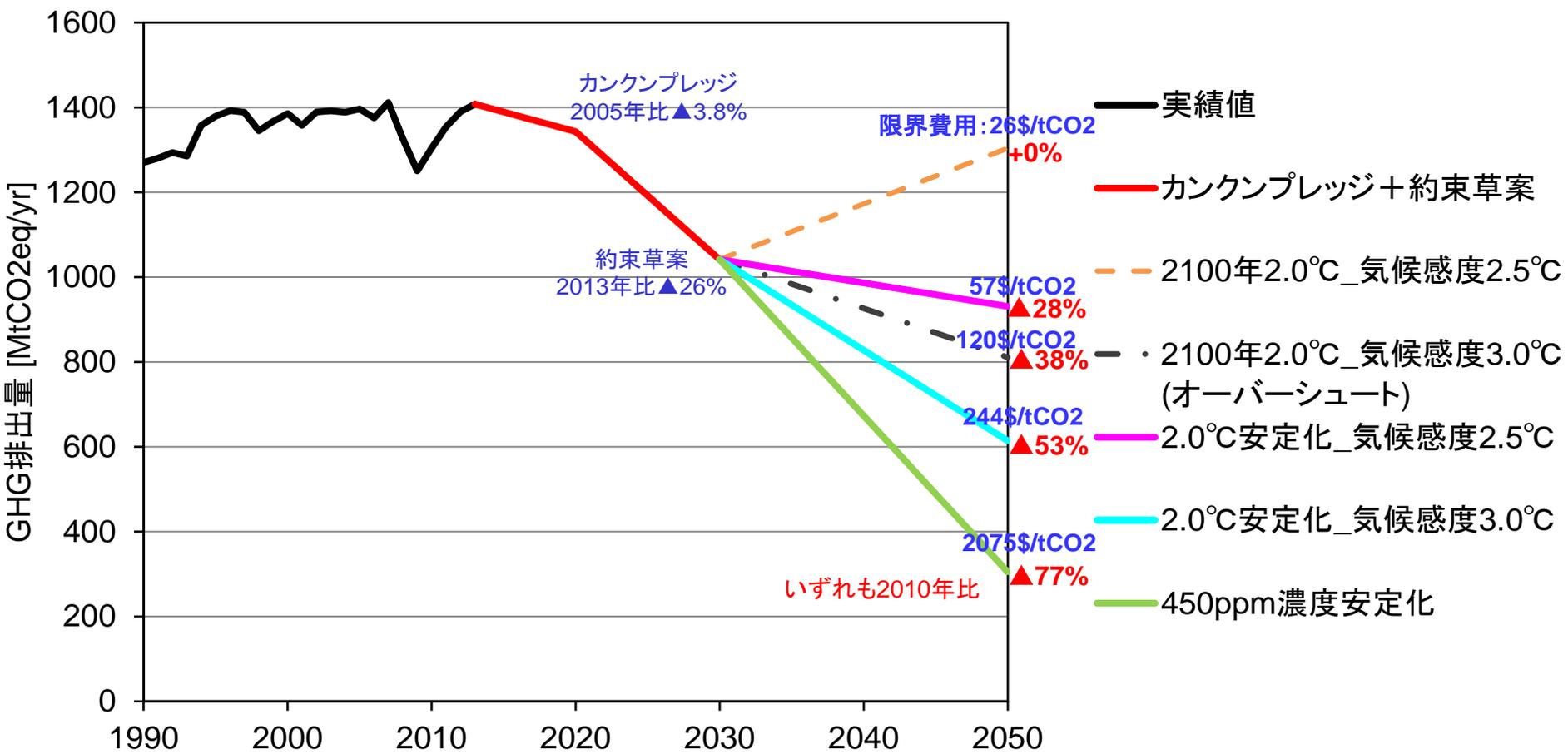
いずれの排出経路をとっても、長期的には(2300年頃までには)ほぼCO₂排出量ゼロは必要(2°C未
満とする時期、実現期待確率、気候感度の確率密度分布等によって、排出経路は大きく異なってくる)

2°C目標のための温室効果ガス排出経路(～2100年)



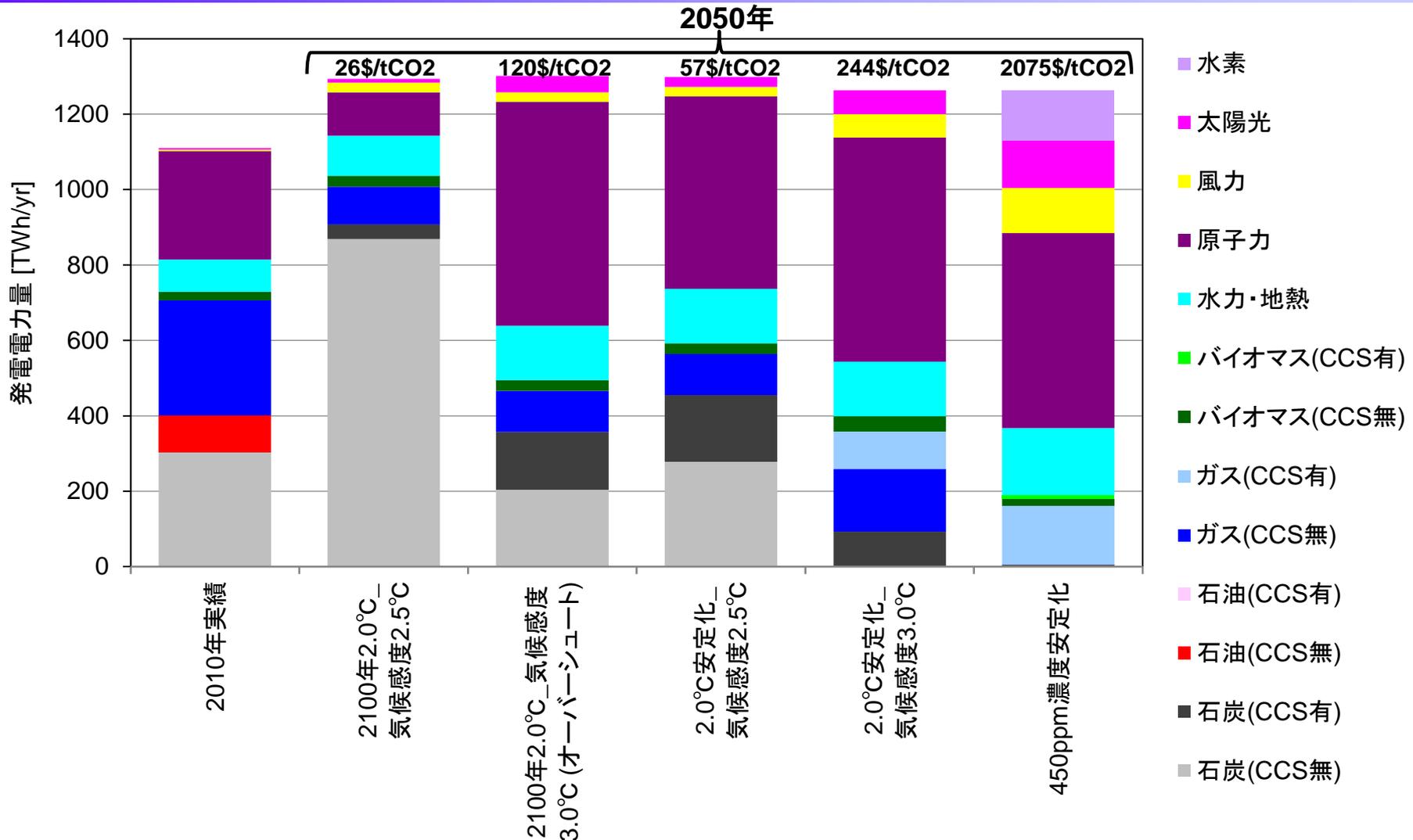
- たとえ、2°C未満に抑制するとしても、2°C未満とする時期、実現期待確率、気候感度等によって、排出経路は大きく異なってくる(例えば、2050年に2010年比で+9%~▲71%)。本図の試算では気候感度0.5°Cの差のみ示しているが、21世紀中の排出許容量は大きく異なってくる。
- 約束草案は、特に450 ppm CO₂eq安定化シナリオや2°C安定化(気候感度3°C)シナリオ(2050年に40~70%削減程度)とは大きなギャップあり。

2°C目標と統合的な日本の温室効果ガス排出経路 (世界の限界削減費用均等化)



2100年2.0°C_気候感度2.5°Cと統合的な世界排出量経路について、世界の限界削減費用が均等化(このとき炭素価格26\$/tCO2)の場合、2050年の日本の排出量は2010年比+0%。これでも2°C目標との整合性は残しているが、2030年の約束草案よりも2050年は深堀が必要と考え、これを除いた排出経路を中心に考える必要あり。

2°C目標、世界の限界削減費用均等化時の日本の2050年の電源構成



2°Cと整合的なシナリオであっても石炭が支配的とするのが費用効率的となるケースさえある。一方、2°Cをより高い確率で達成するシナリオでは原子力、二酸化炭素回収貯留(CCS)の大幅利用が費用効率的に。更に450 ppmシナリオでは再エネ、水素利用の大幅な利用が費用効率的に(ただしこの時の限界削減費用は2100\$/tCO2程度)。

2050年温室効果ガス排出80%削減の分析ケース

ケース名	内容	BAU比排出削減費用(兆円/年)
[a] 約束草案電源構成比率継続	約束草案の前提となっている2030年の電源構成比率(石炭26%, 石油3%, ガス27%, 原子力20%, 再エネ24%)を2050年まで継続	実行可能解なし
[b] 電源構成最適化	電源構成についても, DNE21+モデルによる費用最小化の最適化計算によって決定する.	52
[c] 電源構成最適化 + 原子力発電フェーズアウト	2030年より先は, 40年ルールに基づいて原子力発電はフェーズアウトすると想定(2050年における原子力発電電力量は19TWh/yrと想定). その他の電源については, DNE21+モデルによる費用最小化の最適化計算によって決定する.	72
[d] 電源構成最適化 + CCS拡大	電源構成最適化ケースについて, 利用可能なCCSを拡大する.	48
[e] 電源構成最適化 + 水素国際輸出入有	電源構成についても, DNE21+モデルによる費用最小化の最適化計算によって決定する. 他想定の場合は, 保守的に水素の国際輸出入は想定しないとした仮定したのに対して, 本ケースでは国際輸出入も費用効率的な範囲で利用するとした場合	43

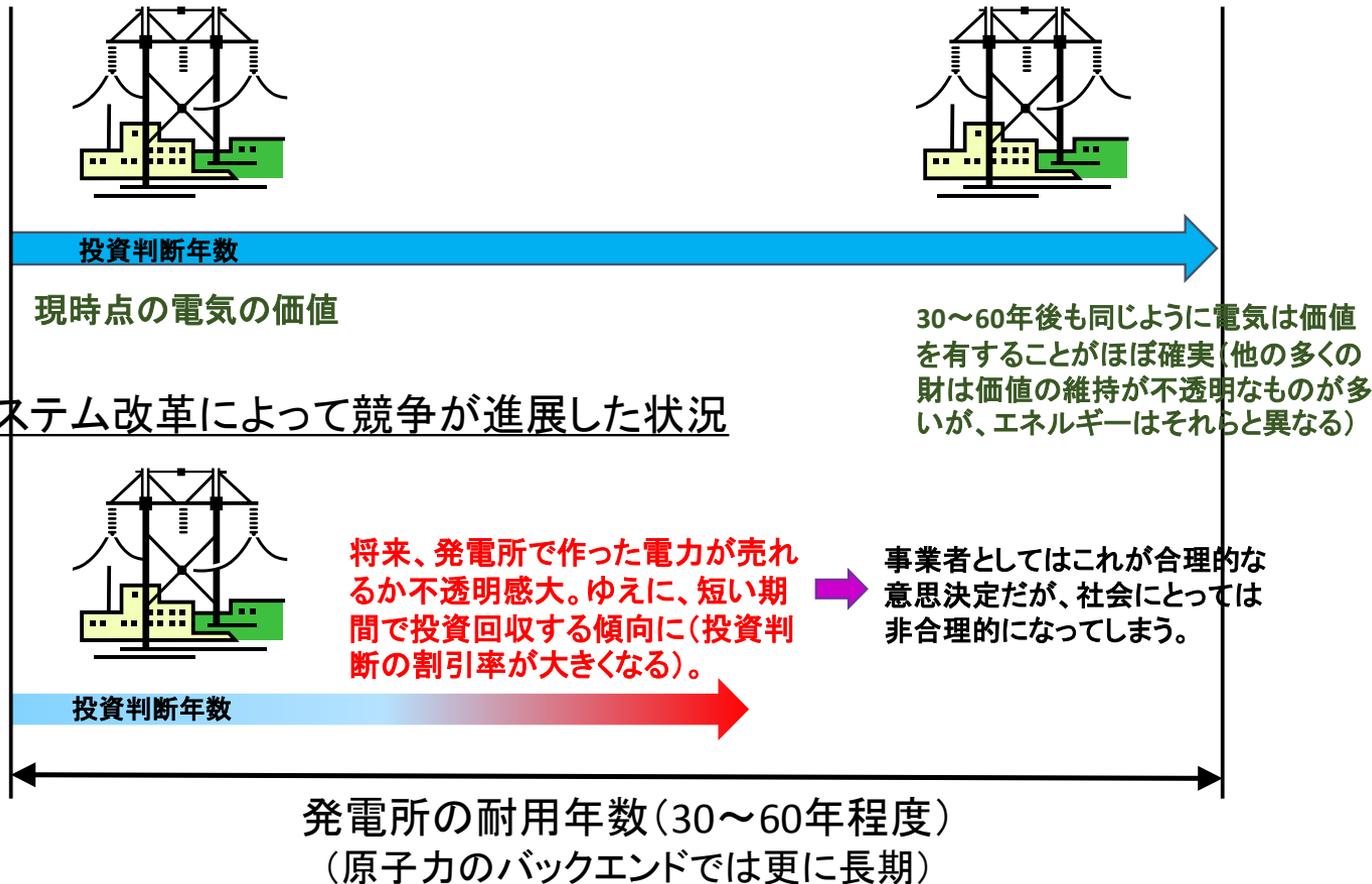
2050年に日本国内の温室効果ガス排出を80%削減しようとする、いずれのケースも相当な対策費用が必要(限界削減費用はいずれも6000 \$/tCO₂前後。基本的には、国内対策として8割削減は困難。海外での削減、現在想像できないようなイノベーションを組み合わせることが必須)。ただし、原子力無しで8割減のような大幅な削減を行うことは一層難しい([c]と[b]ケースのコスト差は、年間20兆円にもなる)。

- ◆ ～2030年：約束草案のレビュー強化は重要。特に新興国の排出削減の取り組みの強化が重要。日本の約束草案▲26%は相当厳しい排出削減目標。原子力▲20～▲22%の達成は重要。2℃目標等のためには、2030年以降の大幅な排出削減が必要であり、革新的な技術開発に注力
- ◆ ～2050年：日本単独で80%削減は相当困難であるし、目標の必然性も乏しい。2℃目標を前提としても許容可能な世界排出量には大きな幅がある。また、排出削減は日本のみならず世界全体での取り組みを志向すべき。大幅な排出削減は必須であるが、排出削減レベルは幅を持って戦略を考えるべき。ただし、パリ協定に準じれば2030年の▲26%以上の削減は必須であり、そのとき、原子力の一定利用は重要
- ◆ 2100年～：究極的には（仮に+2℃でなく、どのような気温上昇水準であっても）気温の安定化は必要であり、そのためには、CO₂フリー電源の利用とともに、革新的な技術の展開、社会の変革により、世界CO₂の正味ゼロエミッション化を目指す必要あり

3. 電力システム改革と原子力

競争環境下における事業者の投資判断

総括原価主義の状況

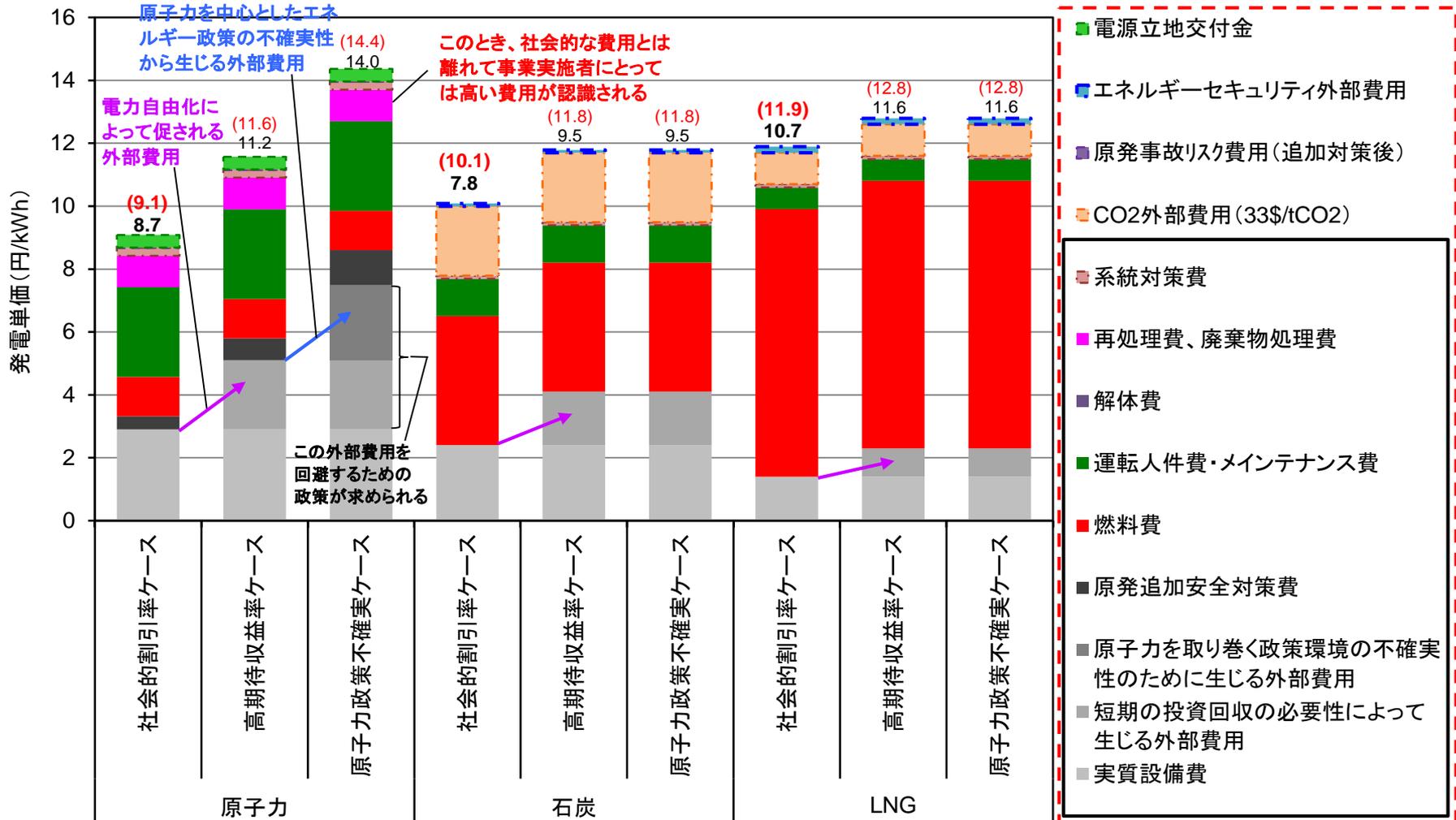


電力システム改革の下、競争が進行すると、社会的コストと、事業者が認識するコストに乖離(市場の失敗)が生じる。それによって、初期投資額が大きく、長期でメリットが生じるような電源等に投資がなされにくくなる。

競争環境下における事業者のコスト認識

「社会的割引率ケース」: 割引率5%
 「高期待収益率ケース」: 割引率10%
 「原子力政策不確実ケース」: 割引率15%
 と想定した場合

RITEによる2030年のコスト評価
 を基に試算したもの



モデルによる試算の投資判断割引率の想定

		割引率の想定
[I] 社会的割引率ケース	総括原価主義において判断される割引率に近いと考えられるもの	すべての電源で割引率5%
[II] 高期待収益率ケース	競争環境下での割引率に近いと考えられるもの	すべての電源で割引率10%
[III] 原子力政策不確定ケース	原子力政策、規制の不確実性の大きさから起因して、原子力により大きな割引率が生じる場合	原子力発電の割引率15%、他の電源は10%

×

	ベースライン	IEA WEO2014 新政策シナリオレベル	IEA WEO2014 450シナリオレベル (2°C目標と整合的)
2030年の想定炭素価格水準	0\$/tCO ₂	37 \$/tCO ₂ (2013年価格)	100 \$/tCO ₂ (2013年価格)
2050年の想定炭素価格水準	0\$/tCO ₂	68 \$/tCO ₂ (2013年価格)	196 \$/tCO ₂ (2013年価格)

日本の温室効果ガス排出の見通し

	2030年				2050年			
	エネ起CO2		GHG		エネ起CO2		GHG	
	[MtCO2/yr]	[% relative to 2005]	[MtCO2/yr]	[% relative to 2005]	[MtCO2/yr]	[% relative to 2005]	[MtCO2/yr]	[% relative to 2005]
WEO新政策シナリオ(想定炭素価格水準、2013年価格)	37 \$/tCO2				68 \$/tCO2			
社会的割引率ケース	1081	-10	1230	-9	730	-36	843	-38
高期待収益率ケース	1183	-2	1331	-1	946	-20	1059	-22
原子力政策不確実ケース	1183	-2	1331	-1	1035	-13	1147	-15
WEO 450シナリオ(想定炭素価格水準、2013年価格)	100 \$/tCO2				196 \$/tCO2			
社会的割引率ケース	950	-20	1093	-19	608	-45	715	-47
高期待収益率ケース	1007	-15	1151	-15	620	-44	727	-46
原子力政策不確実ケース	1103	-8	1247	-8	638	-43	745	-45

37\$/tCO2程度の炭素価格があっても、高期待収益率ケース、原子力政策不確実ケースで、市場に委ねるような状況では温室効果ガス排出が相当大きくなる。

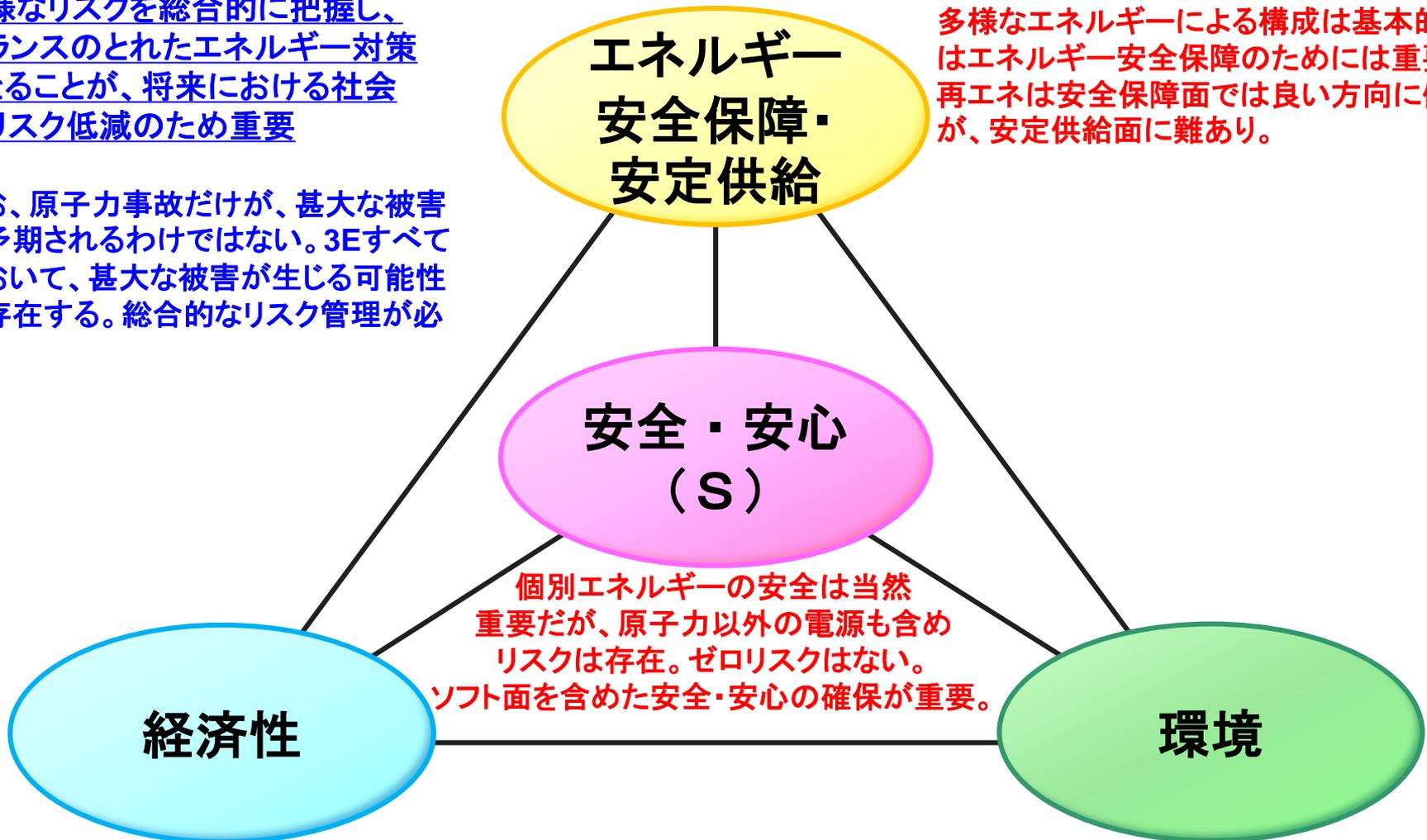
4. まとめ



3 E + S の総合的なバランスが重要

多様なリスクを総合的に把握し、
バランスのとれたエネルギー対策
をとることが、将来における社会
のリスク低減のため重要

なお、原子力事故だけが、甚大な被害
が予期されるわけではない。3Eすべて
において、甚大な被害が生じる可能性
は存在する。総合的なリスク管理が必要。



高いエネルギーコストは経済にダメージ。高い再生可能エネルギーの過度な導入は経済にダメージをもたらす。無駄の削減の省エネは経済に良い影響もあるが、無理な省エネもまた経済にダメージ

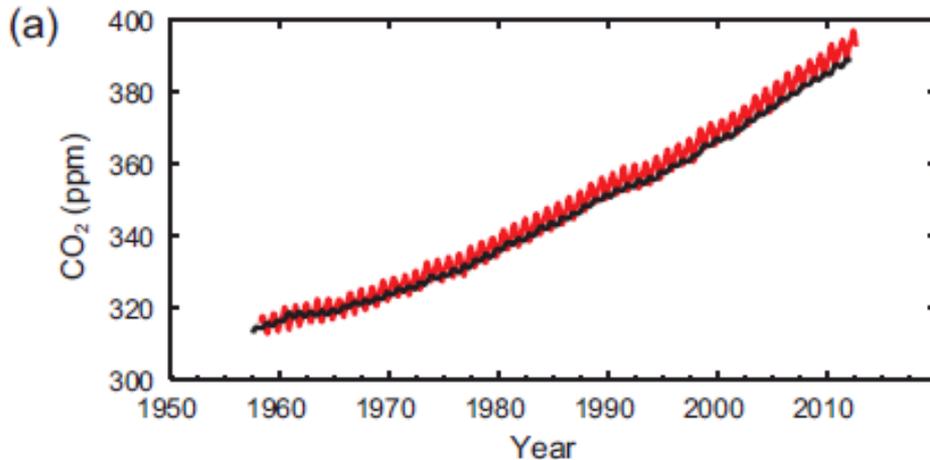
地球温暖化は不確実性が大きいものの、集中豪雨による被害が大きくなってきていると考えられ、リスクの大きさを認識することが重要。適応も含めた総合的なリスク管理が重要だが、CO2排出削減対策は重要

- ◆ 地球温暖化は確実に進行しており、リスクが増してきている可能性が高い。地球温暖化リスクを含めた総合的なリスク管理が必要
- ◆ パリ協定では、2°C目標や21世紀後半に実質ゼロ排出目標等と言及。ただし、2°C目標としても、その排出許容量には大きな不確実性があり、不確実性を前提としつつ、賢いリスクマネジメントが必要。ただし、気温安定化のためにはいずれは排出ゼロが必要であり、大幅な排出削減に向けた流れは決定的
- ◆ 日本の排出削減目標（約束草案）の2013年比▲26%は国際的に比較しても相当意欲的な目標。ただし、無理をした目標とも見られ、相当チャレンジングな目標
- ◆ 約束草案の実効性を高めるため、国際的なレビューは重要。エネルギーミックスは国内目標だが、それとリンクづけられている排出削減目標は国際誓約
- ◆ 環境と経済のバランスをはかることが絶対的に必要。さもないと、持続的な対策は不可能で、厳しい排出削減目標を言ってみたとところで、国際的に実効ある排出削減は不可能で、却って温暖化抑制に効果を有さなくなってしまう。
- ◆ そのためには、エネルギー構成においてもバランスを図ることが絶対的に重要。省エネ進展、再エネ拡大は重要。しかし、それらのみによって、国際的に求められてきている大幅な排出削減が、経済と調和した形で達成できるとは考えにくい。原子力も対策の一つとして重要。
- ◆ 電力システム改革の下では、事業者は短期利潤追求になりやすく、市場の失敗が起こる可能性あり。市場の失敗を是正する政策的な措置が必要。また、エネルギー、原子力政策等の予見性を高めることも重要。

參考資料

過去の大気中CO₂濃度と海洋のpH

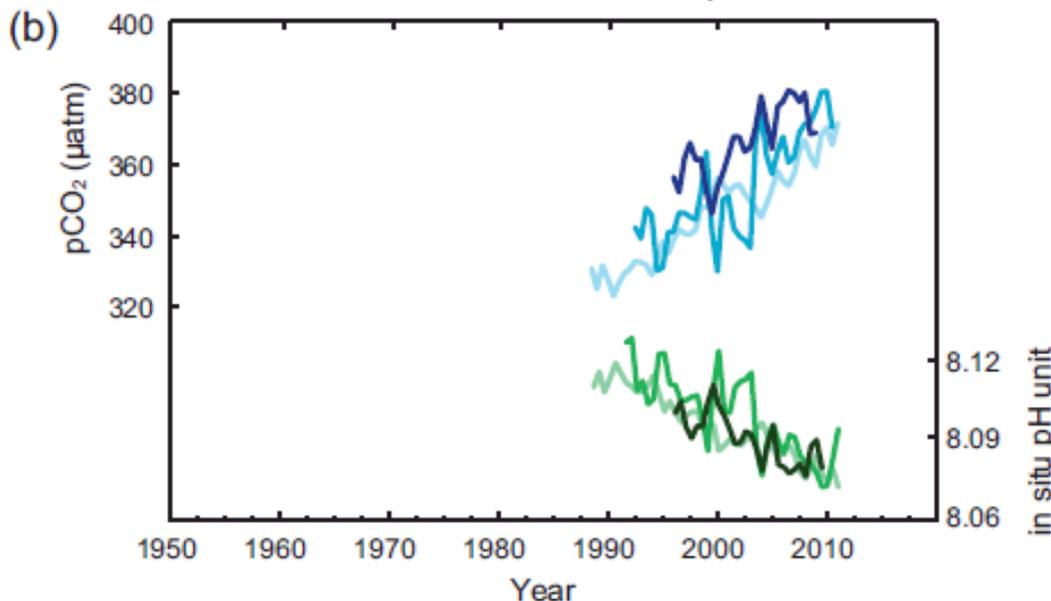
Atmospheric CO₂



赤線：ハワイ マウナロア
黒線：南極

「CO₂、CH₄、N₂Oの大気中濃度はいずれも少なくとも過去800,000年で最も高いレベルに上昇した」

Surface ocean CO₂ and pH



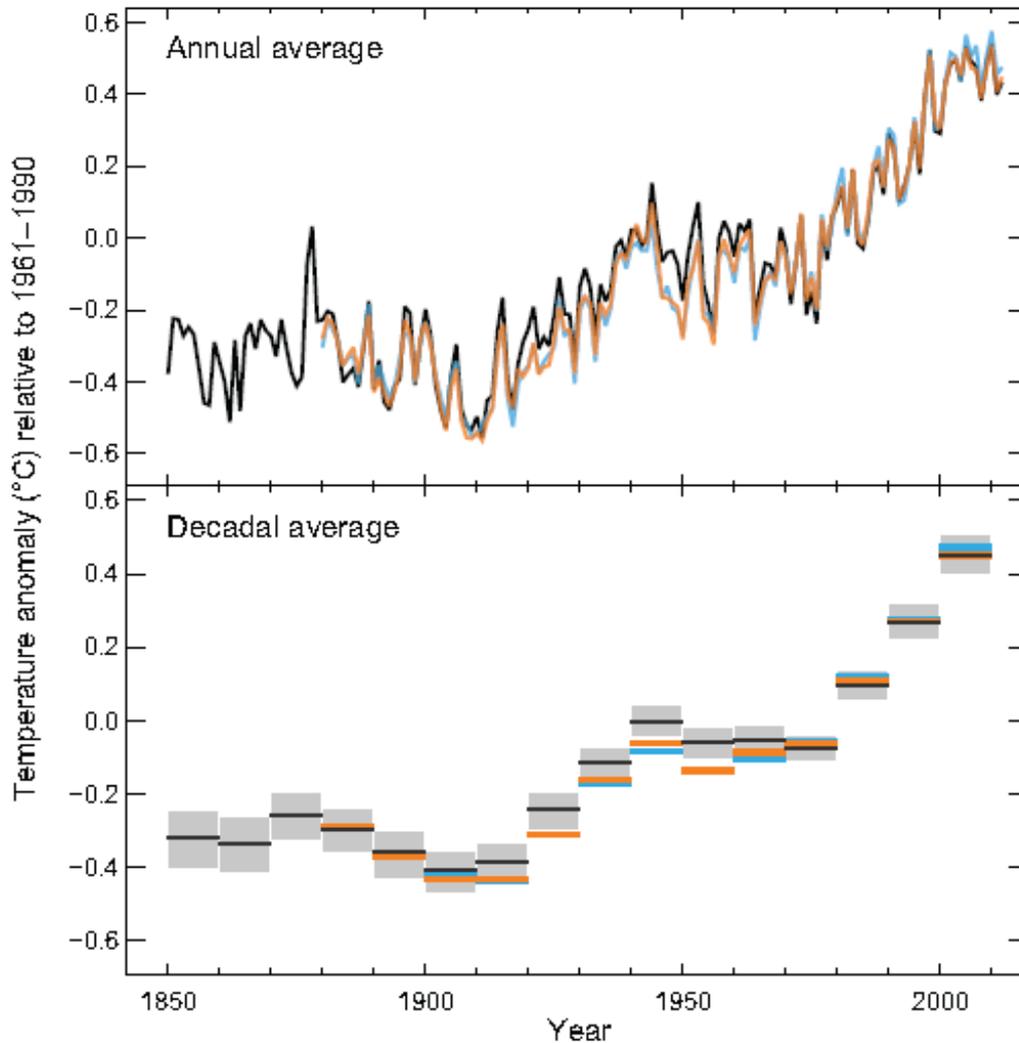
「海洋は人為起源の二酸化炭素の約30%を吸収して、海洋酸性化を引き起こしている」

「海洋のPHは工業化初期以降、0.1減少した」

注) pH：酸性、アルカリ性の程度を表す指数で小さいほど酸性が強い。

出典) IPCC WG1第5次評価報告書、2013

過去の気温上昇とその要因



「気候システムの温暖化には疑う余地がなく、1950年代以降、観測された変化の多くは数十年～数千年間で前例のないもの」

「1880～2012年の期間では0.85 (90%信頼区間では0.65～1.06)°C上昇した」

「人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高い*」

* 95-100%程度の確率

約束草案を排出削減努力として 比較可能にする指標化

様々な種類の排出削減目標について、衡平な排出削減努力を測り、世界において効果的な排出削減を実現していくためには、これら約束草案を比較可能な形で指標化することが必要。以下のような指標が考えられる。

- ◆ 簡単な指標（簡単に計測、再現が可能）
 - 同一の基準年に換算して算出した排出削減率
 - 一人当たり排出量・削減率（ただし不確実性が比較的小さい人口の予測は必要）等

- ◆ より高度な指標（より良く比較できるが、予測が必要）
 - ベースライン排出量からの排出削減率
 - GDPあたりの排出量・削減率等

- ◆ 更に高度な指標（最も包括的に比較できるが、モデル推計が必要）
 - エネルギー価格への影響
 - CO2限界削減費用
 - GDPあたりの排出削減費用等

本分析・評価は、**2015年10月1日までに約束草案を提出した国を対象**に実施。2015年10月1日現在での約束草案提出済みの国は**119カ国**であり、2010年の世界排出量実績における**カバー率は約88%**を占める。ただし、コストなどはモデルによる評価が必要なため、**以下の20カ国のみ、すべての指標による包括的な評価を実施**

評価した各国の約束草案(1/2)

本分析・評価は、**2015年10月1日までに約束草案を提出した国を対象**に実施。2015年10月1日現在での約束草案提出済みの国は**119カ国**であり、2010年の世界排出量実績における**カバー率は約88%**を占める。ただし、コストなどはモデルによる評価が必要なため、**以下の20カ国のみ、すべての指標による包括的な評価を実施**

	2020年目標(カンクン合意)	2020年以降の約束草案(INDCs)
日本	-3.8%(2005年比)*	2030年に-26%(2013年比)
米国	-17%程度(2005年比)	2025年に-26%~-28%(2005年比)
EU28	-20%(1990年比)	2030年に-40%(1990年比)
スイス	-20%(1990年比)	2030年に-50%(1990年比)(2025年に-35%)
ノルウェー	-30%(1990年比)	2030年に-40%(1990年比)
豪州	-5%(2000年比)	2030年に-26%~-28%(2005年比)
ニュージーランド	-5%(1990年比)	2030年に-30%(2005年比)
カナダ	-17%(2005年比)	2030年に-30%(2005年比)
ロシア	-15~-25%(1990年比)	2030年に-25%~-30%(1990年比)

注)国によっては、条件付きで更に大きな排出削減をプレッジしている場合もあるが、ここでは記載していない。

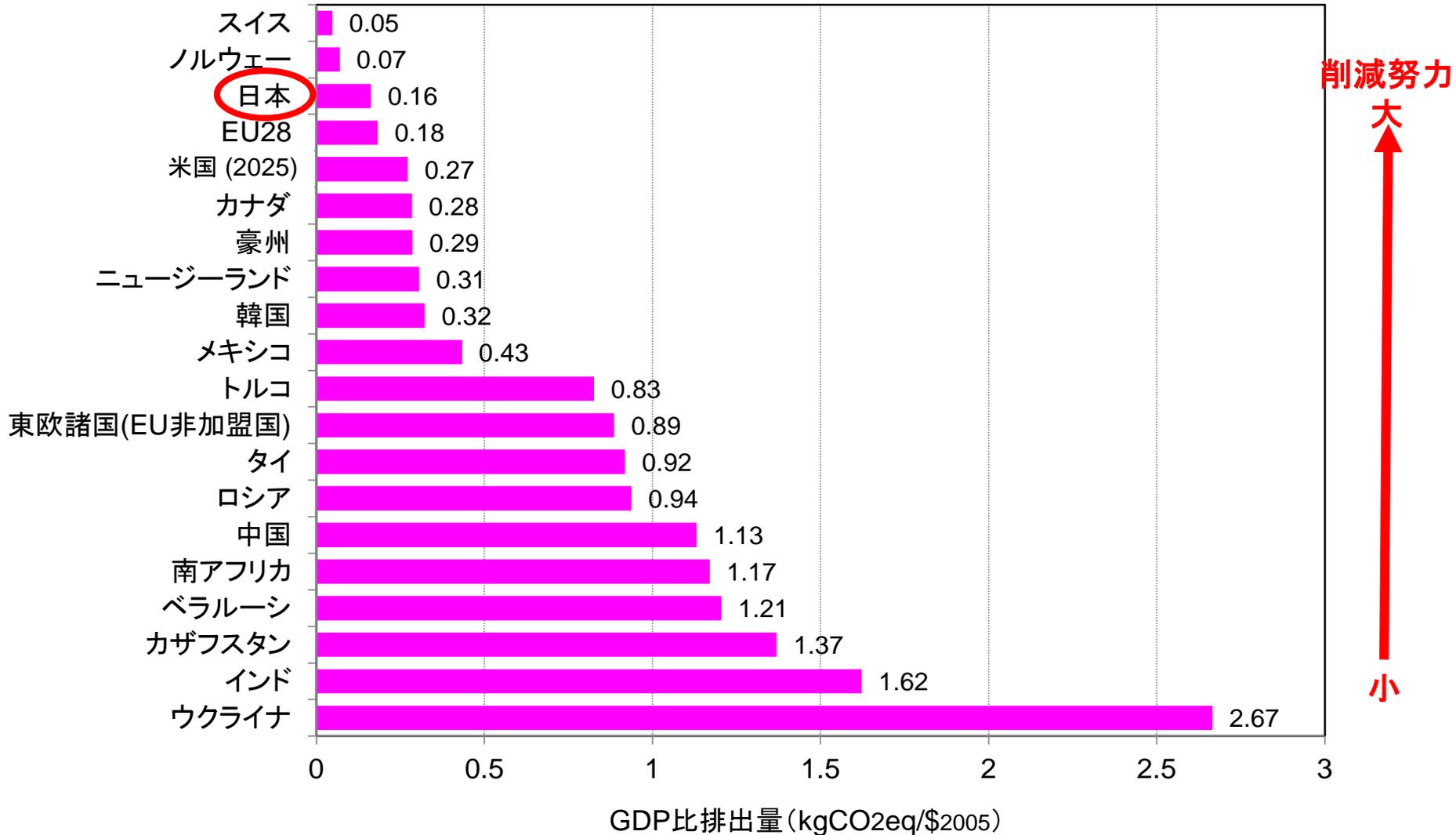
* 原子力発電による温室効果ガス削減効果を含まない場合の目標

評価した各国の約束草案(2/2)

	2020年目標(カンクン合意)	2020年以降の約束草案(INDCs)
東ヨーロッパ(非EU諸国)	—	2030年に-19%(1990年比)**
ウクライナ	-20%(1990年比)	2030年に-40%(1990年比)
ベラルーシ	-5~-10%(1990年比)	2030年に-28%(1990年比)
カザフスタン	-15%(1992年比)	2030年に-15%(1990年比)
トルコ	—	2030年にBAU比-21%
韓国	BAU比-30%	2030年にBAU比-37%
メキシコ	BAU比-30%	2030年にBAU比-25%(GHGでは-22%)
南アフリカ	BAU比-34%	2030年に614MtCO ₂ eq/yr
タイ	BAU比-7%~-20%(エネルギー、運輸部門)	2030年にBAU比-20%
中国	GDPあたりCO ₂ 排出量を-40~-45%(2005年比)	GDPあたりCO ₂ 排出量を-60~-65%(2005年比)(2030年頃にCO ₂ 排出量のピークを達成する。ピークを早めるよう最善の取組を行う。)
インド	GDPあたりGHG排出量を-20~-25%(2005年比)	2030年にGDPあたりGHG排出量を-33%~-35%(2005年比)

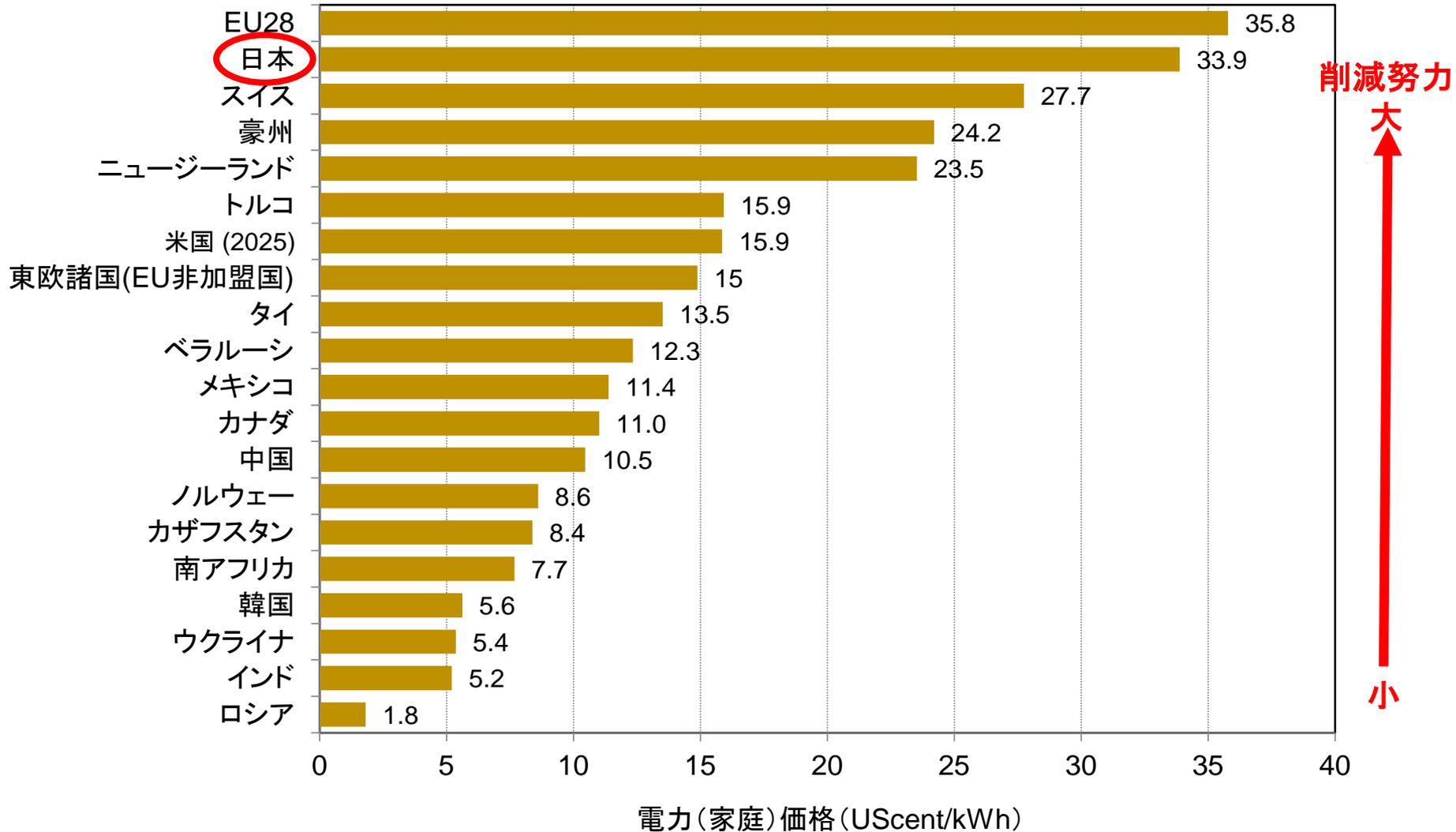
**東欧諸国は4カ国(アルバニア、マケドニア、モルドバ、セルビア)のそれぞれの排出削減目標に基づいて算出

2030年におけるGDP(MER)あたりGHG排出量の国際比較



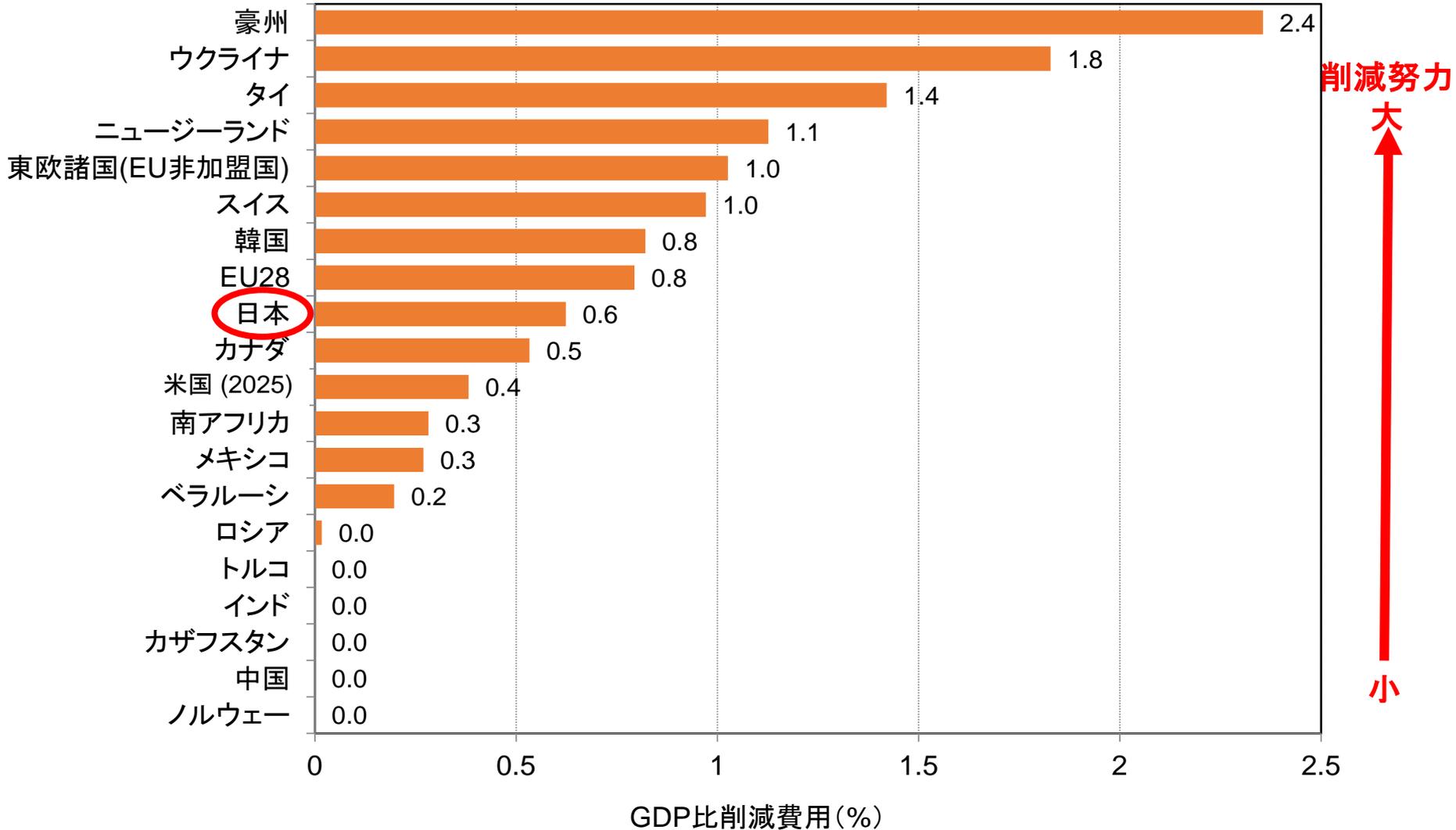
* 上下限で幅がある国は平均値を表示

2030年における2次エネルギー価格(電力)の国際比較



* 上下限で幅がある国は平均値を表示

2030年における約束草案のGDPあたり排出削減費用の国際比較



* 上下限で幅がある国は平均値を表示

2°C目標、限界削減費用均等化時の日本の2050年の一次エネルギー供給量

