

2017年5月15日

気候変動リスクマネージメント戦略の 視点を軸としたALPSIIのまとめ

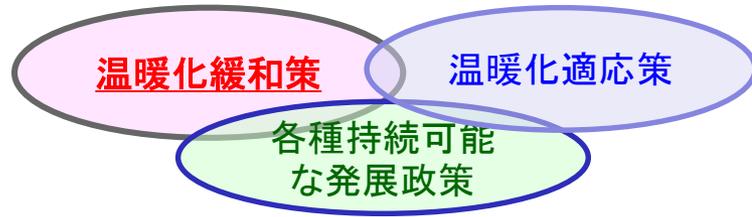
ALPSII (FY2012-2016): Alternative Pathways toward Sustainable development and climate stabilization

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)
問い合わせ先:システム研究グループ
E-mail: sysinfo@rite.or.jp



ALPSIIの目的と概要

【目的】世界・日本の**真のグリーン成長**の方向性とその具体的な方策・経済効果の提示



【気候変動マネジメント戦略の視点の提示】

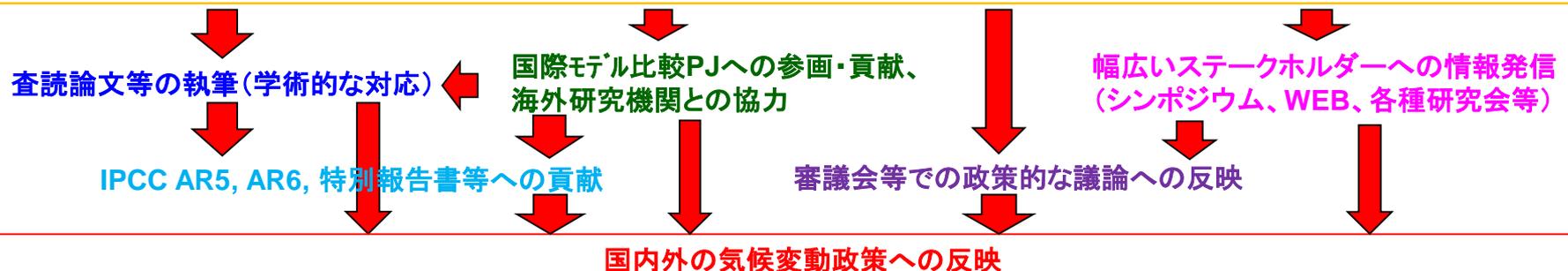
- 国際的な視点、長期の視点（イノベーションの重要性）
- 緩和と適応のバランス
- 各種持続可能な発展とのシナジー・トレードオフ（PM2.5など大気汚染物質との関係、食料需給（土地利用）・水資源との関係等）
- 様々な不確実性を前提とした上での戦略のあり方（社会経済的な不確実性、気候感度の不確実性等）、SRMオプションの価値

【主要な状況の理解（グリーン成長の限界と機会）】

- 省エネルギー
 - エネルギー生産性の総合的な理解 ⇒ 日米エネルギー生産性比較を通して、日本においてどの部門にエネルギー生産性向上余地が残っているのか。それを実現するための道筋は何か。
 - 省エネ障壁が生じる理由の理解 ⇒ 民生、運輸などを中心に統合的な対策による更なる省エネ、低炭素化の可能性
- 再生可能エネルギーに関する理解 ⇒ 国内外でFIT政策等により再エネの拡大の一方で負担増。電力料金上昇が経済に与える影響についての分析。持続可能な再生可能エネルギー政策の重要性
- グリーン成長の観測（GDPとCO2のデカップリング）、グリーン成長実現の条件の検討 ⇒ グローバルでの消費構造変化の必要性

【現実の国内外の政策動向を踏まえた分析】

- 約束草案のレビュー（2030年頃の評価） ⇒ 排出削減努力の評価指標の提示、排出削減費用等に関する具体的な評価（複数モデルによる評価）、日本や主要国の部門別、費用別の排出削減ポテンシャル推計等
- 長期目標の評価 ⇒ RCPの差異による排出削減費用、対策の評価、パリ協定2°C、1.5°C目標の評価（気候感度の不確実性の考慮）、そのときに日本が対応すべき排出削減水準・費用の評価等
- 石炭火力の融資規制に関する分析等 ⇒ OECDのルール策定にも貢献（高効率石炭火力は融資規制除外）
- 電力自由化等、市場の下での温暖化対策の評価：欧州の事例調査、モデルによる試算 ⇒ 短期の効率性 v.s. 長期の効率性



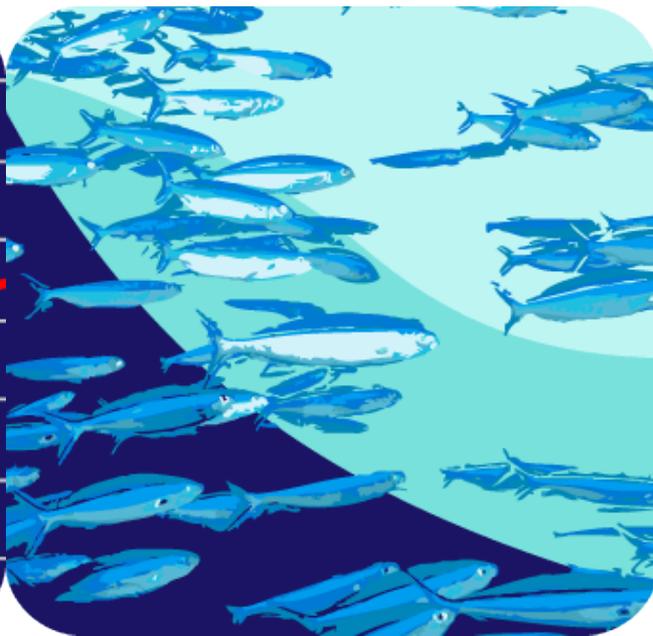
**本資料は、「気候変動リスク対応戦略」の
視点を軸にして、ALPSIIの5年間の成果
をとりまとめたもの**

(ただし、ALPSの成果も踏まえている部分あり)

1. 各種現状および科学的知見の認識
2. パリ協定約束草案から見た排出削減費用の評価
3. 多様な世界にあっての現実的、効果的な対応戦略
4. 社会経済の不確実性を踏まえた分析・評価
5. 気候科学の不確実性下におけるリスクマネジメント
6. 気候変動と持続可能な発展とのシナジー・トレードオフ
7. 技術イノベーションを踏まえた戦略のあり方
8. その他、留意すべき事項
9. まとめ

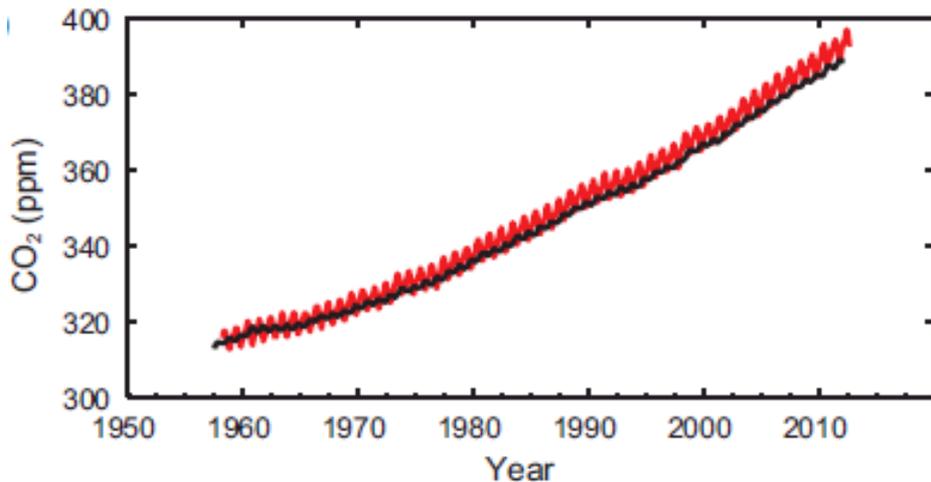
【参考】

1. 各種現状および科学的知見の 認識



大気中CO₂濃度、世界平均気温推移

Atmospheric CO₂

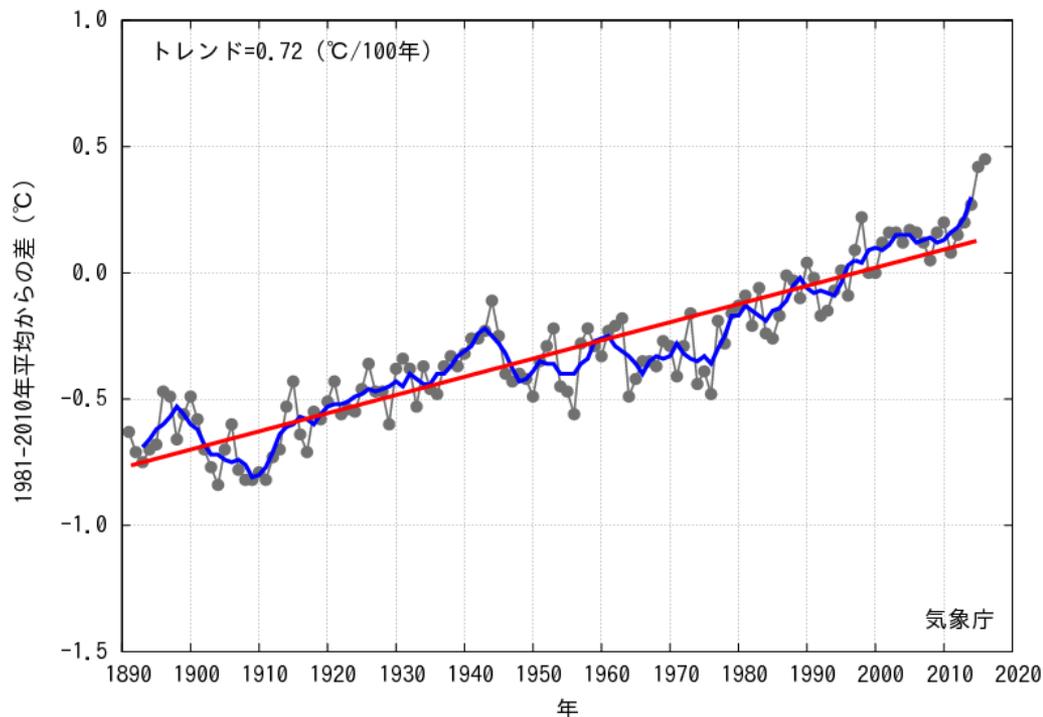


「CO₂、CH₄、N₂Oの大気中濃度はいずれも少なくとも過去800,000年で最も高いレベルに上昇した」

出典) IPCC WG1第5次評価報告書、2013

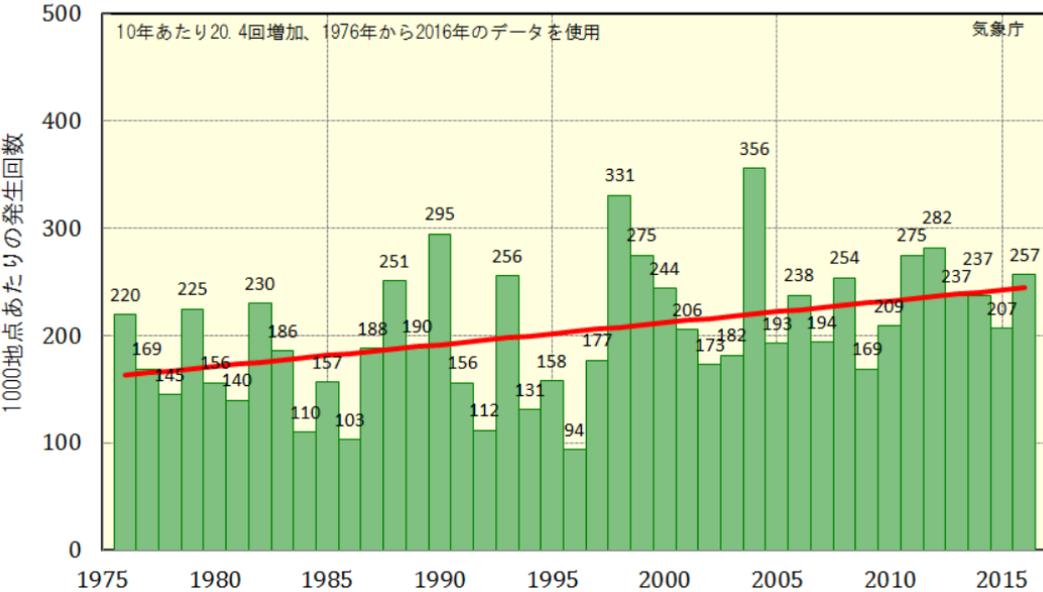
2014~16年の間、観測史上最高を更新しつづけている。ただし、年変動は大きい。

世界の年平均気温偏差



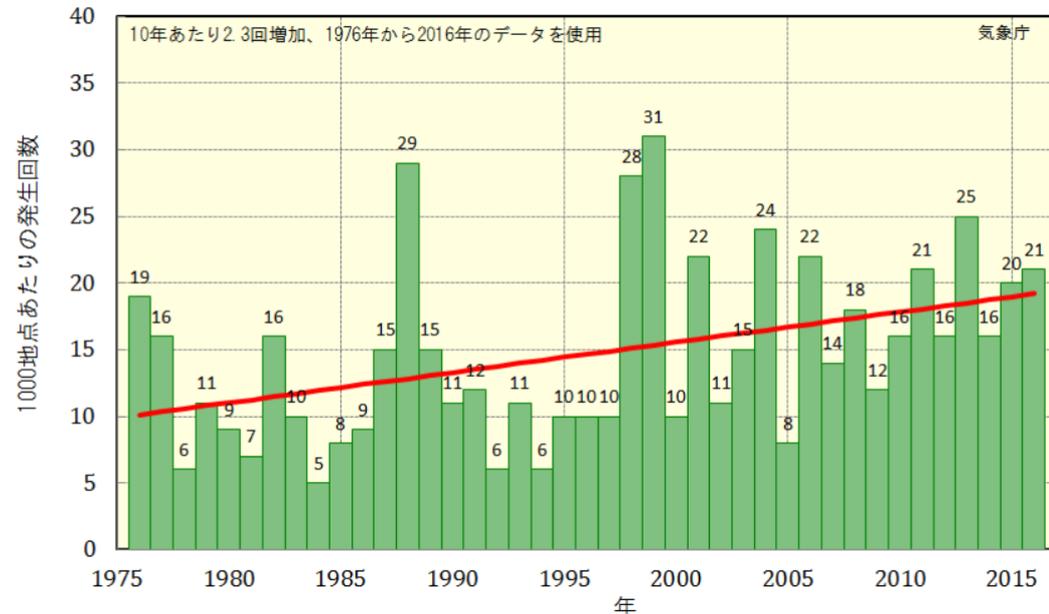
日本における短時間強雨発生回数の長期変化

[アメダス]1時間降水量50mm以上の年間発生回数



「地球温暖化の影響の可能性はありますが、アメダスの観測期間は約40年と比較的短いことから、地球温暖化との関連性をより確実に評価するためには今後のさらなるデータの蓄積が必要」(気象庁)

[アメダス]1時間降水量80mm以上の年間発生回数



サンゴへの影響

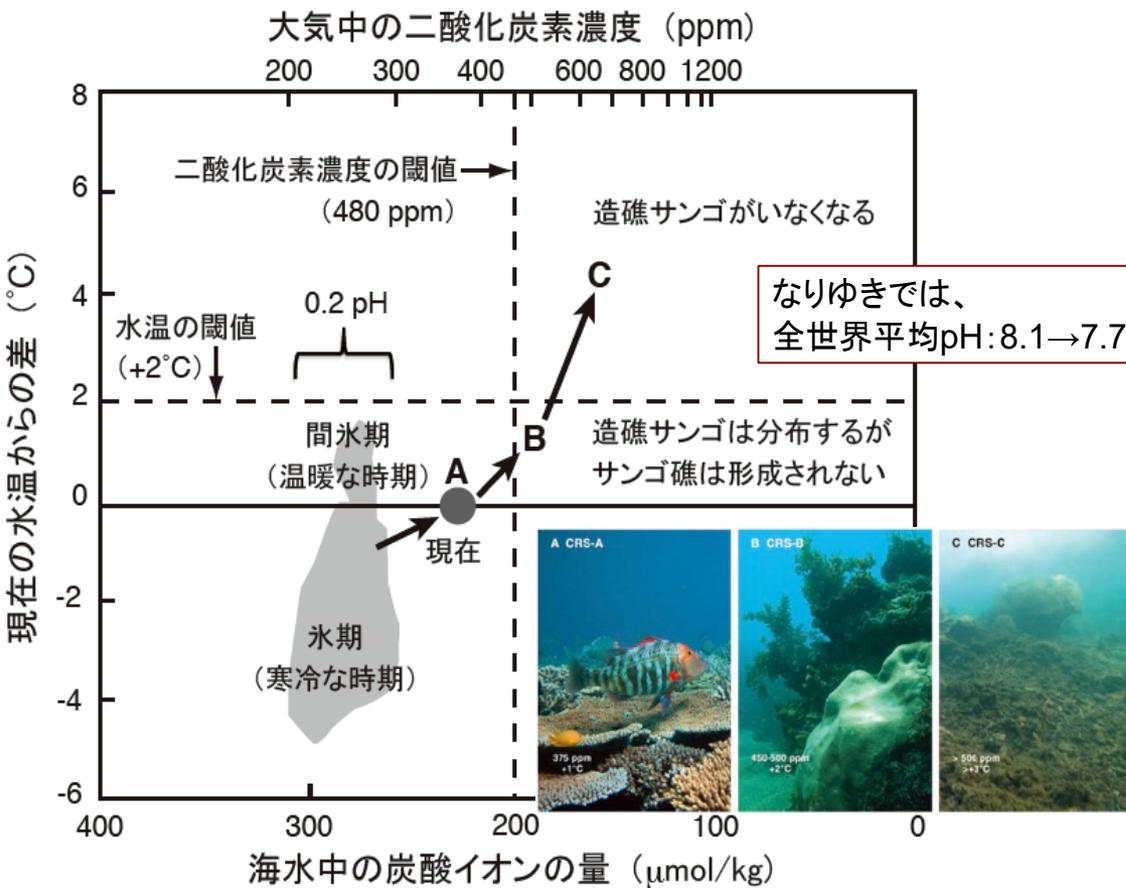
「グレートバリアリーフ」で2016年、サンゴの白化現象が過去最悪の規模に



2016年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」で大規模な白化現象。少なくとも一部白化したサンゴが97%に達し、56%は死滅



出典) 各種報道画像より

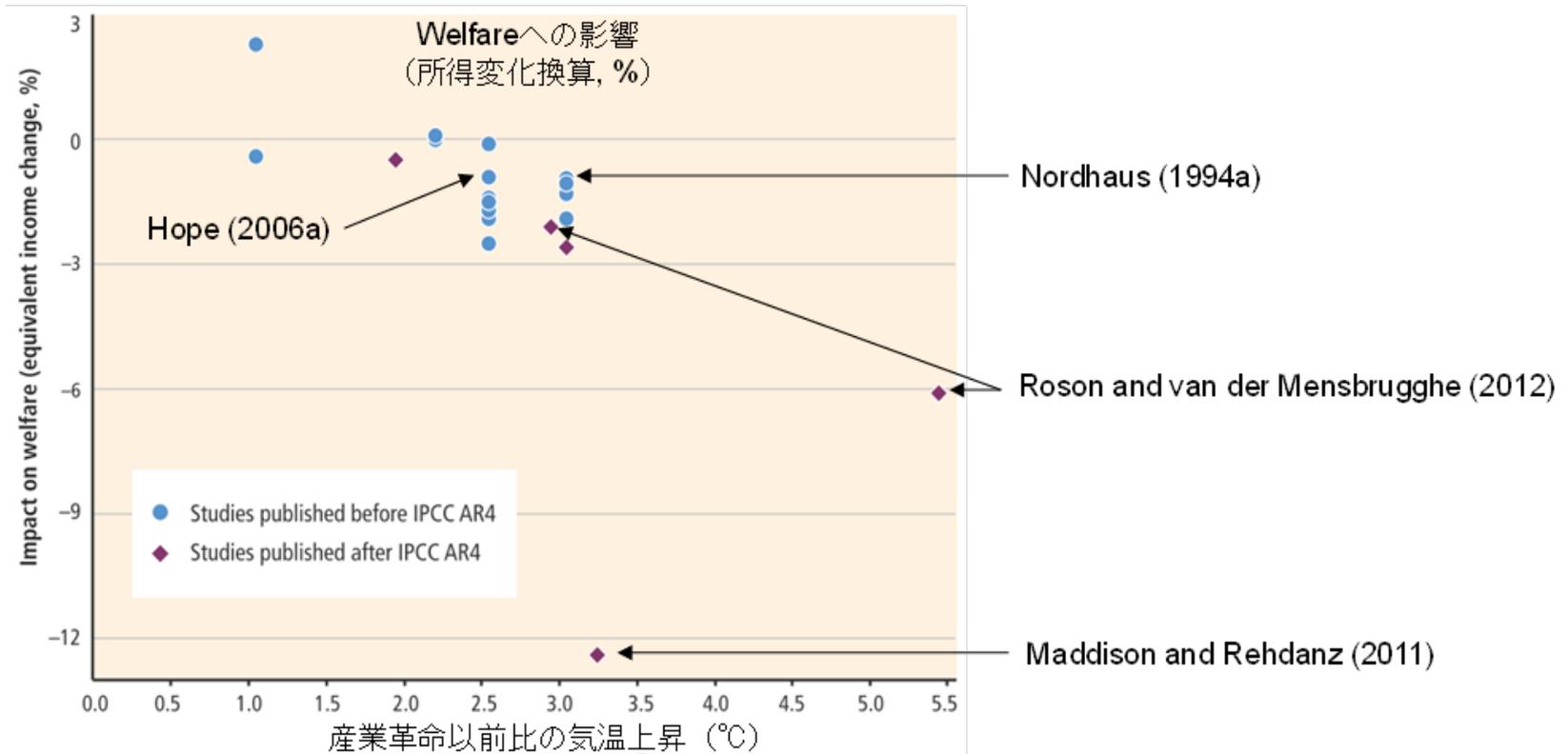


Hoegh-Guldberg et al. (2007)

出典) 国立環境研究所山野博哉氏提供資料より

温暖化影響被害推計 (IPCC AR5)

- ◆ IPCC WG2第5次評価報告書によれば、 2°C の追加的な気温上昇(産業革命以前比 2.5°C 程度上昇に相当)に対する気候変動影響による世界の経済損失についての不完全な推計値は、所得の0.2から2.0%である(平均 $\pm\sigma$)(証拠が中程度、見解一致度は中程度)。
- ◆ ティッピングエレメントは十分考慮されておらず過小評価かもしれない。しかし、温暖化適応策も考慮されておらず、適応を含めるとより小さい影響被害かもしれない。



出典) IPCC WG2 AR5。ただし、個々の文献名記載はRITEによる。

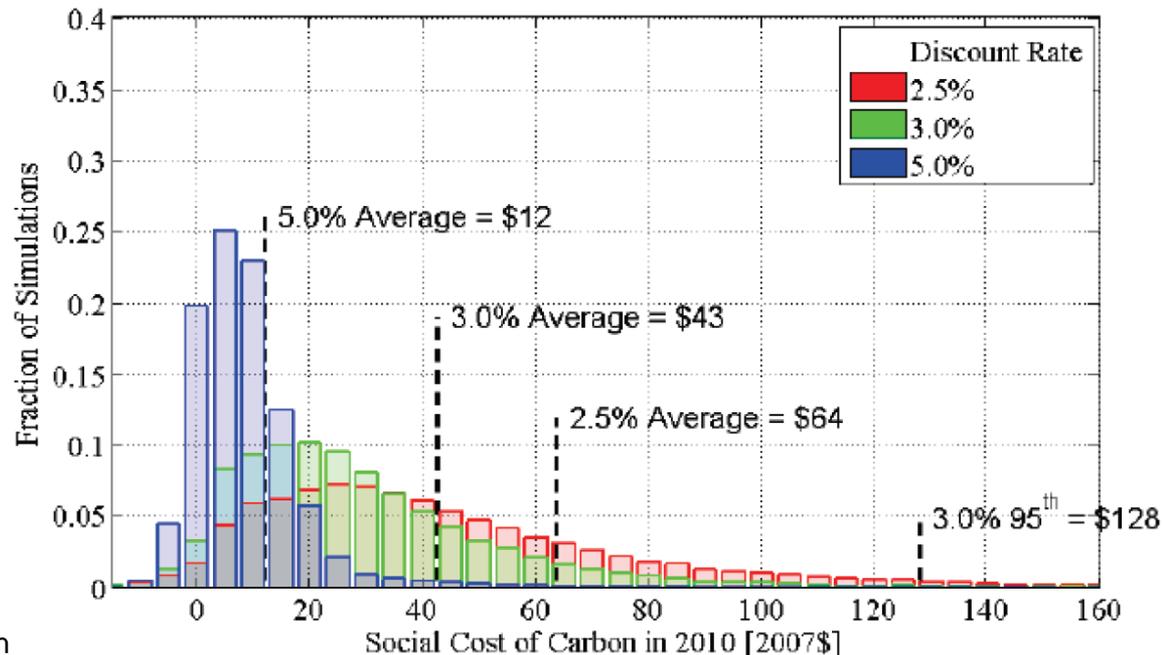
Social Cost of Carbon (SCC): 米国政府利用の推計

年	割引率			
	5% (3モデル平均)	3% (3モデル平均)	2.5% (3モデル平均)	3% (95パーセンタイル値)
2010	\$11	\$32	\$51	\$89
2015	\$11	\$37	\$57	\$109
2020	\$12	\$43	\$64	\$128
2025	\$14	\$47	\$69	\$143
2030	\$16	\$52	\$75	\$159
2035	\$19	\$56	\$80	\$175
2040	\$21	\$61	\$86	\$191
2045	\$24	\$66	\$92	\$206
2050	\$26	\$71	\$97	\$220

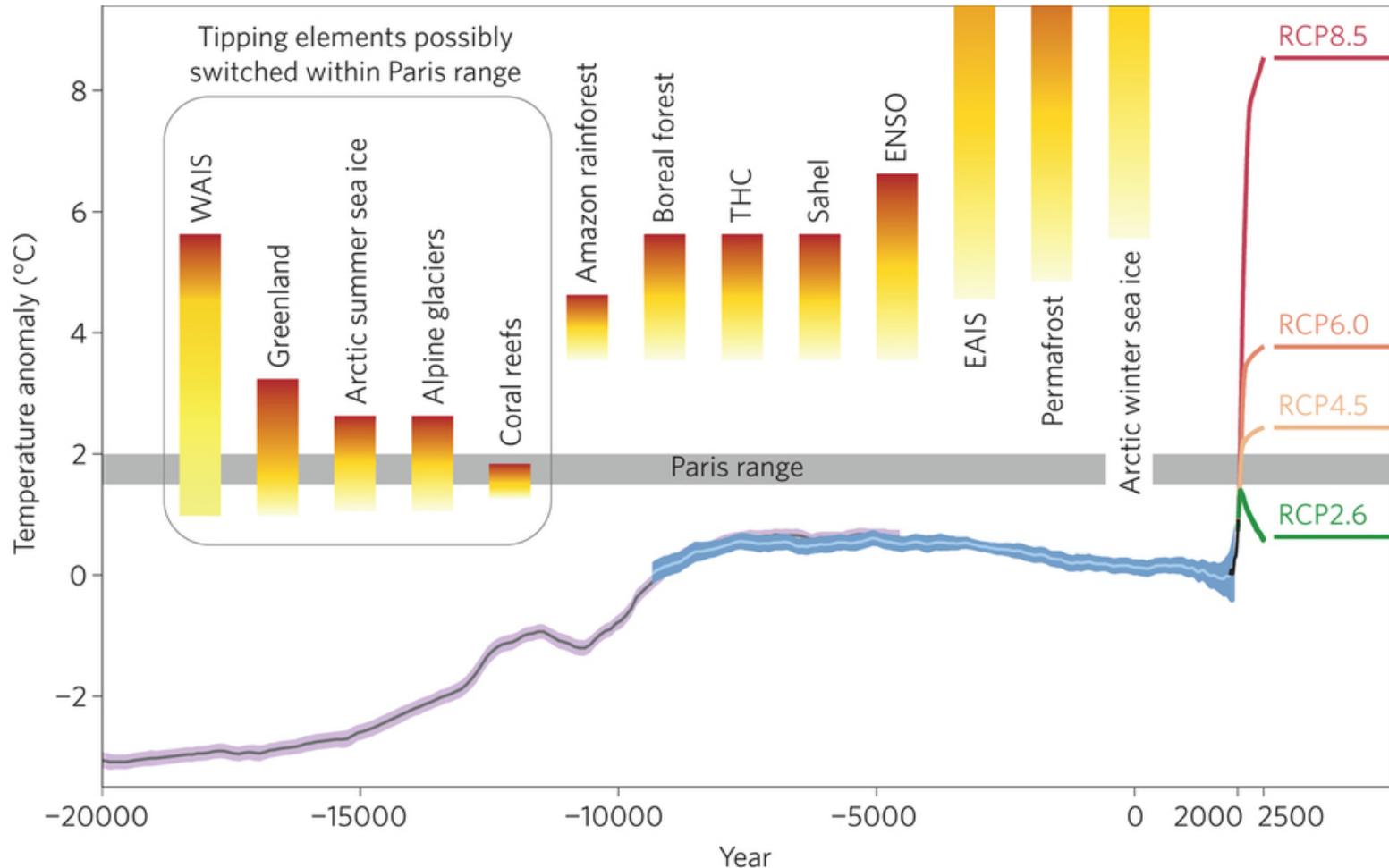
USG(2013)による世界のSCC
推計値(2007年\$価格、\$/tCO₂)

- 温暖化影響被害費用(SCC)の推計には大きな幅がある。
- Fat tailの指摘もあり
- それでも政策決定の参考とする費用便益分析において、内部化すべき炭素価格水準としてSCCは米国で活用されている。

- DICE、PAGE、FUNDの3つのモデルを利用
- 経済成長、気候感度、割引率について複数のシナリオを想定して計算(150,000シナリオを推計)
- EPAの既設火力発電規制の費用便益評価では、3%の割引率ケースが標準で利用されている。(ただし2011年価格に換算したものを利用)



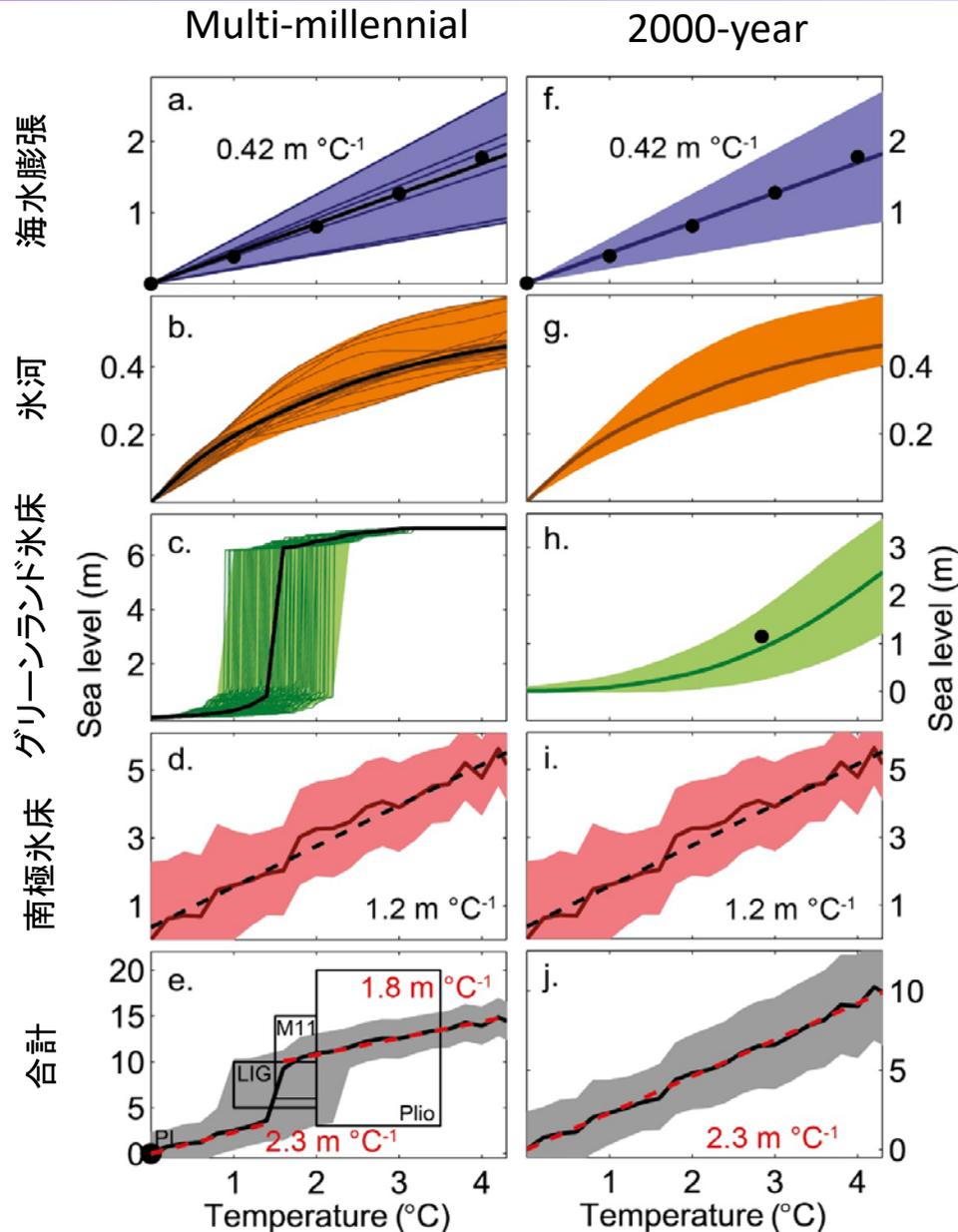
ティッピングエレメントの認識、リスク対応



出典) Schellnhuber et al., Nature Climate Change, 2016

パリ協定の長期目標(2°Cや1.5°C)でもリスクが顕在化する可能性があるtipping elementsの指摘もある。ただし、グリーンランド氷床融解など、数百年程度かけて融解されるとされるものもある。

海面上昇への影響(時間スケール)



出典) IPCC AR5

- 海面上昇は時間遅れが大きく、一旦排出すると将来にわたって海面上昇がコミットされる危険性もあり、リスクマネジメント戦略において留意が必要。
- ただし、グリーンランド氷床融解は、大きな海面上昇をもたらしかねないが、融解の閾値を超えても相当長期の期間を経て、その上昇が起こる時間的な余裕がある可能性はある。

気候感度の評価の変遷とIPCC WG3 第5次評価報告書の長期シナリオ推計で用いられた気候感度

	平衡気候感度 (likely(>66%)レンジ) (括弧は最良推計値もしくはmedian等)
IPCC WG1 第4次(AR4) 以前	1.5~4.5°C (2.5°C)
IPCC WG1 第4次(AR4) (2007)	2.0~4.5°C (3.0°C)
IPCC WG1 第5次(AR5) (2013)	1.5~4.5°C (合意できず)
IPCC WG3 第5次(AR5) シナリオ 気温推計 (MAGICCモデル) (2014)	2.0~4.5°C (3.0°C)

“likely”レンジが同じ

便宜上、第4次の評価をそのまま利用

【WG1 第5次(政策決定者向け要約)における具体的な記述】

Likely in the range 1.5 °C to 4.5 °C (high confidence)

Extremely unlikely less than 1 °C (high confidence)

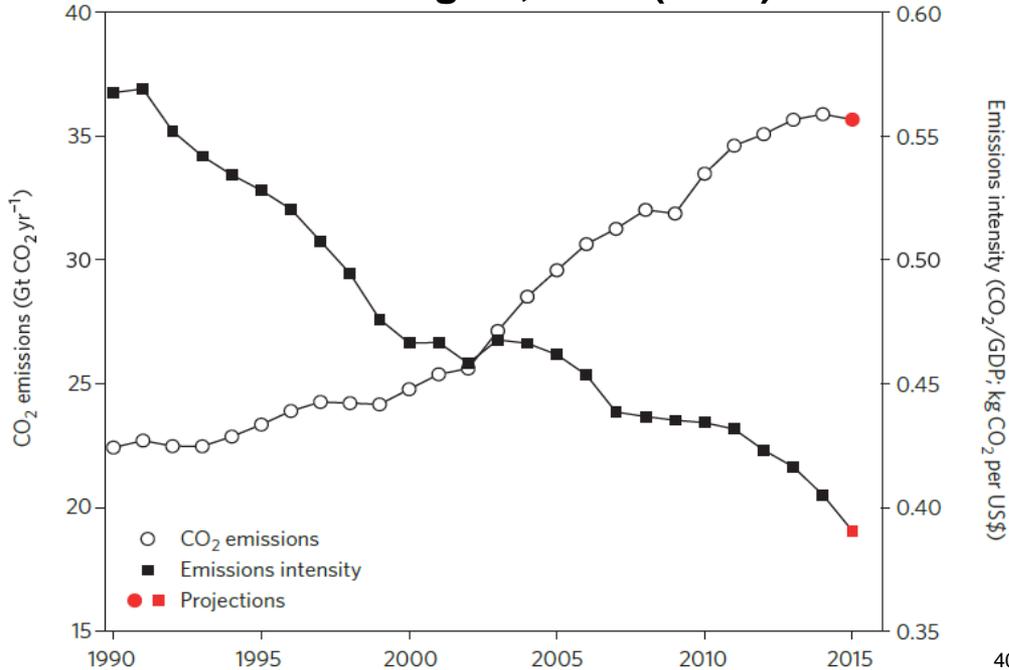
Very unlikely greater than 6 °C (medium confidence)

No best estimate for equilibrium climate sensitivity can now be given because of a lack of agreement on values across assessed lines of evidence and studies.

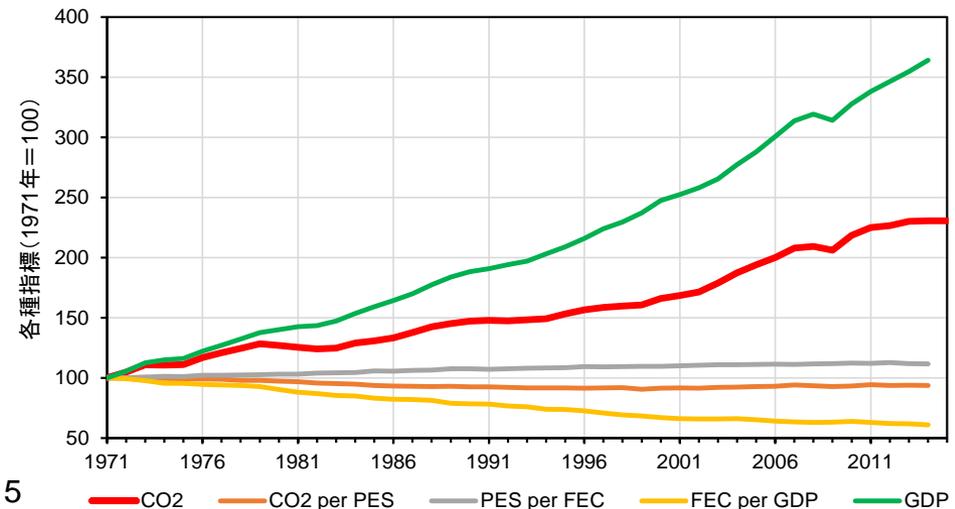
- ◆ 平衡気候感度(濃度が倍増し安定化したときの気温上昇の程度の指標)の不確実性は未だ大きい。
- ◆ AR5 WG1では観測データ派の気候感度評価を含めて各種分析を総合的に判断した結果、AR4よりも低位に修正(1.5~4.5°C)。
- ◆ しかし、AR5 WG3の長期排出経路の気温推計においてはAR4の気候感度(2.0~4.5°C、最良推計値3.0°C)を利用

世界のCO2排出量の動向

R.B. Jackson (Stanford Univ.) et al., Reaching peak emissions, Nature Climate Change 6, 7–10 (2016)

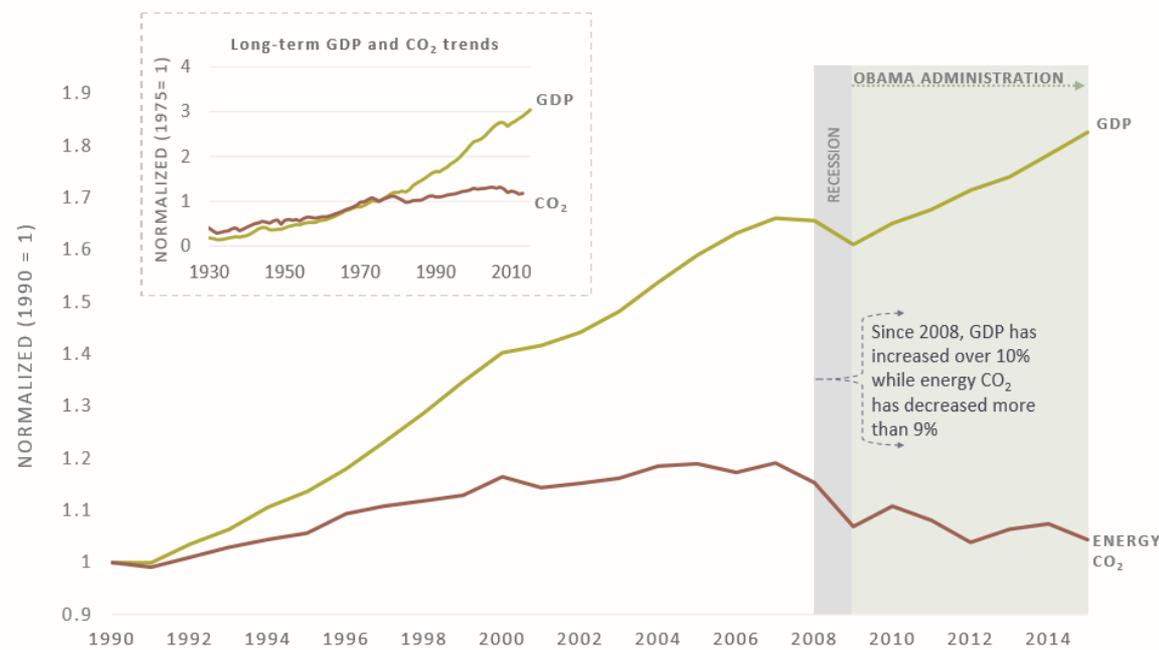


2014年の化石燃料消費及びセメント生産CO₂排出量の伸びは+0.6%。10年前の+2.4%/年と比較しても大きく改善。これは中国の石炭利用低下が主な要因だが、再生可能エネルギーの急激な伸びと石油消費の伸びが緩やかになっていることも影響。

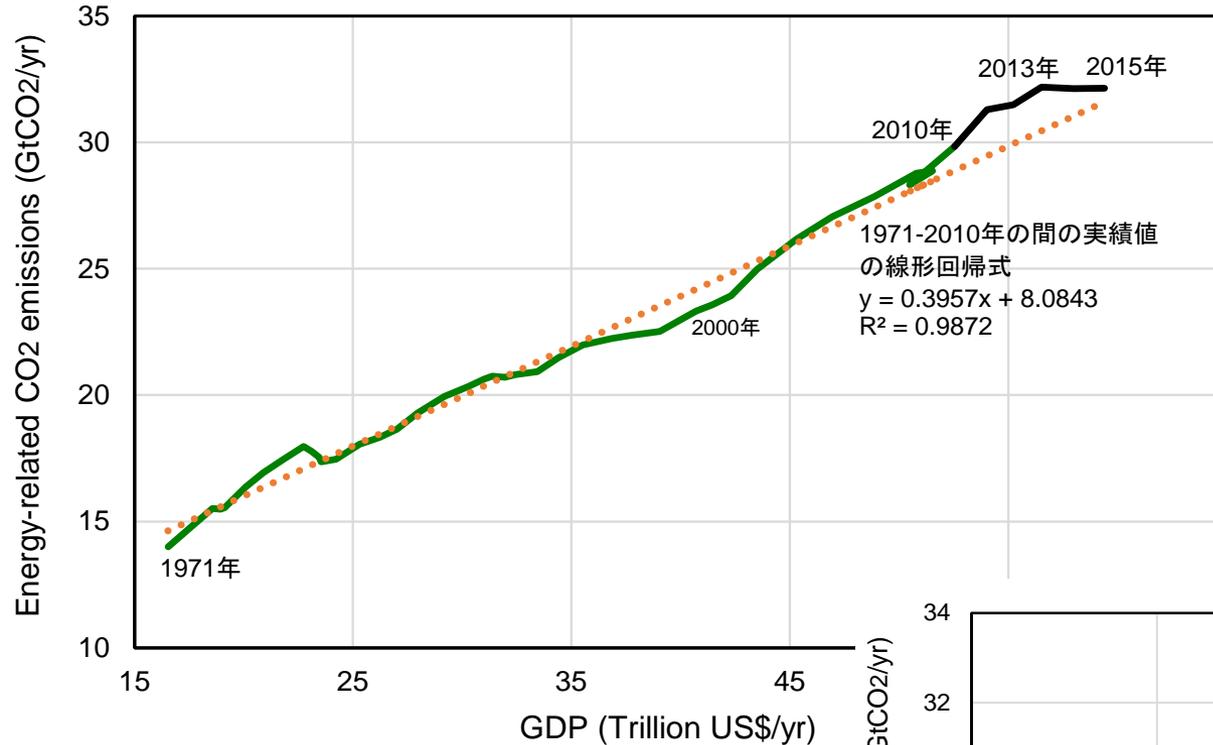


出典) IEA統計、2015

- ◆ 米国は2008年以降、経済成長とGHG排出削減を実現。経済は10%成長したが、エネルギー起源CO2排出は9.5%減少
- ◆ すなわち、経済成長とCO2排出のデカップリングを達成。気候変動に立ち向かうためには、低成長・生活水準の低下を余儀なくされるとの論争に終止符を打つもの
- ◆ GHGを最も多く排出する発電分野では、2008年には天然ガス発電のシェアは21%だったが、現在では石炭からガスへのシフトによって33%にまで上昇。
- ◆ 再生可能エネルギーのコストは、2008年から2015年の間に、風力は41%、屋根付き太陽光は54%、大規模太陽光は64%もコストが低下した。
- ◆ クリーンエネルギーへの税額控除といった政策も大きな役割を担ってきたが、技術進歩や市場原理は今後も再エネを増大させ続けるとみられる。
- ◆ 短期政策から距離を置き、気候変動に立ち向かい、クリーンエネルギーへの移行政策を立案するにあたって、最新の科学や経済学が有益なガイダンスを与えるだろう。



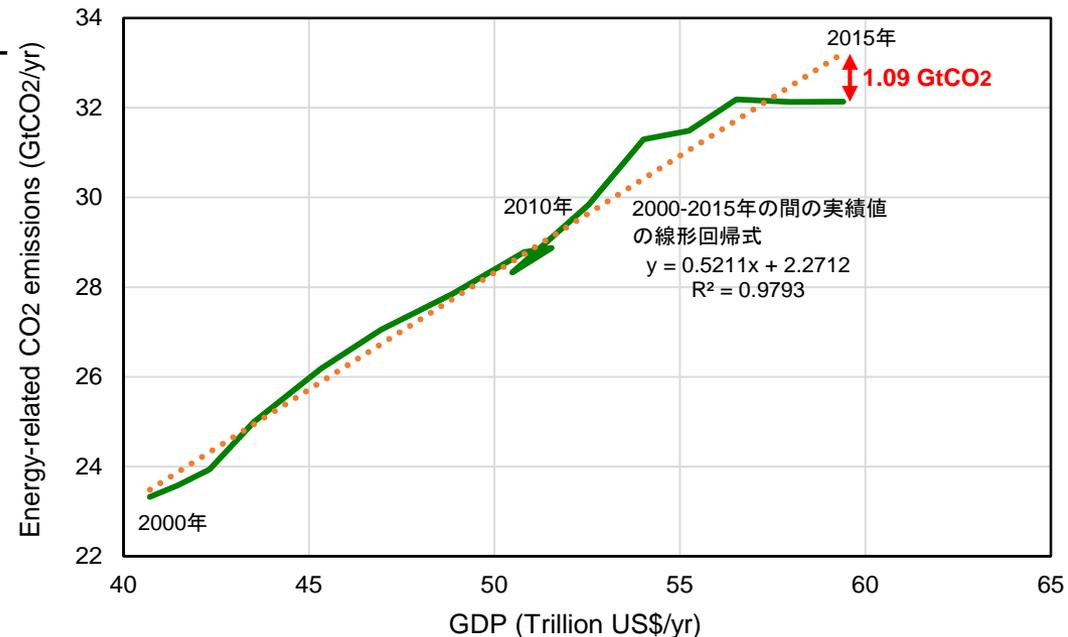
世界の経済成長とCO2排出量の関係



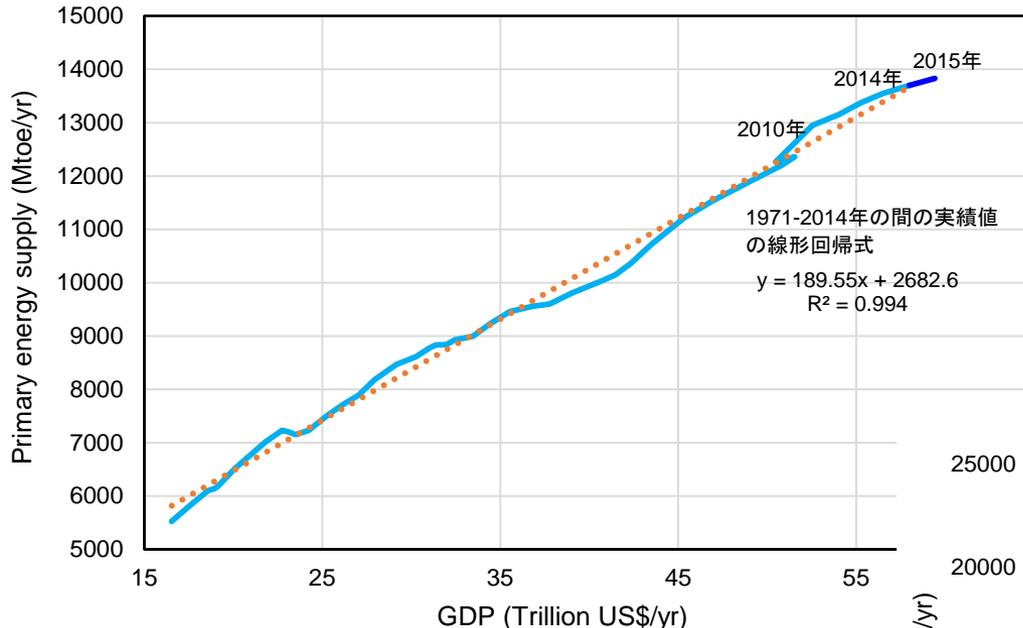
	GDP弾性値
1971-2013年	0.68
2000-2013年	0.98
2009-2013年	1.13

出典) IEA統計、2015

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見ることもできる。



世界の経済成長と一次エネルギー、電力消費量の関係

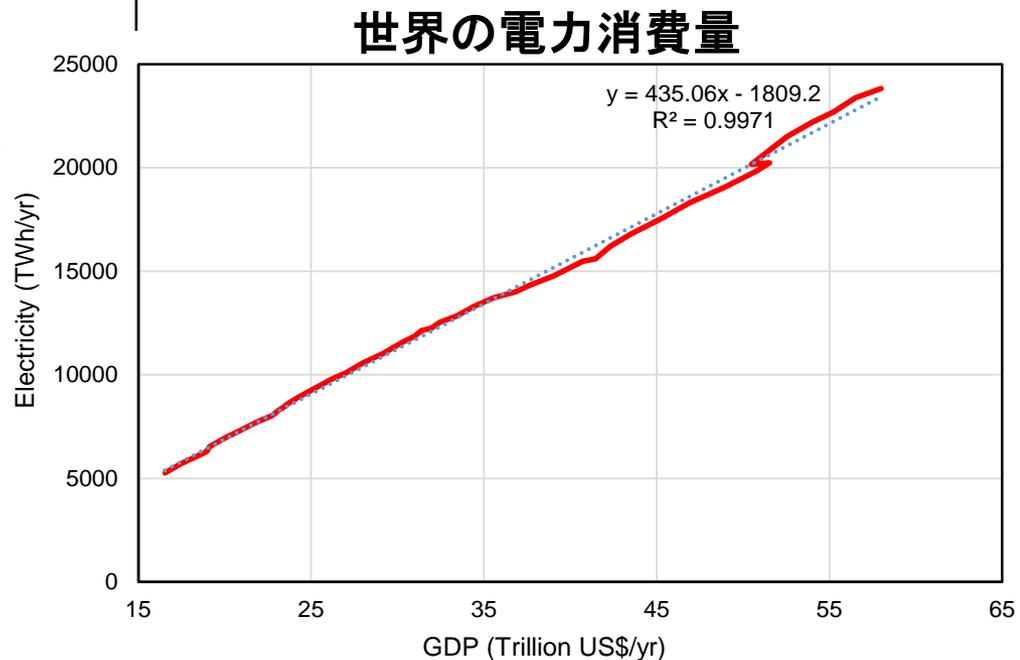


世界の一次エネルギー供給量

注)2014~15年についてはBP統計の伸び率を用いて補完したもの

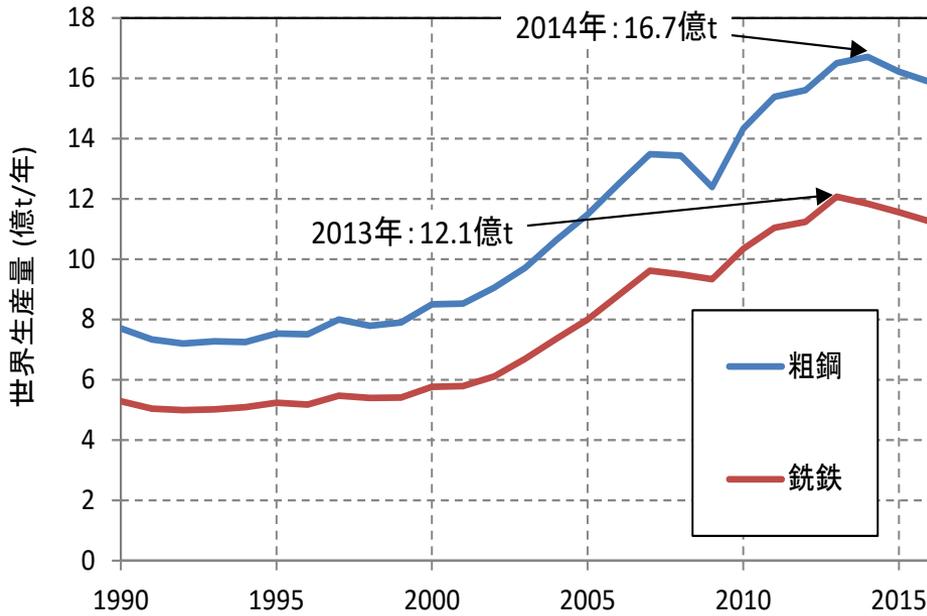
1971~2014年

出典) IEA統計、2016

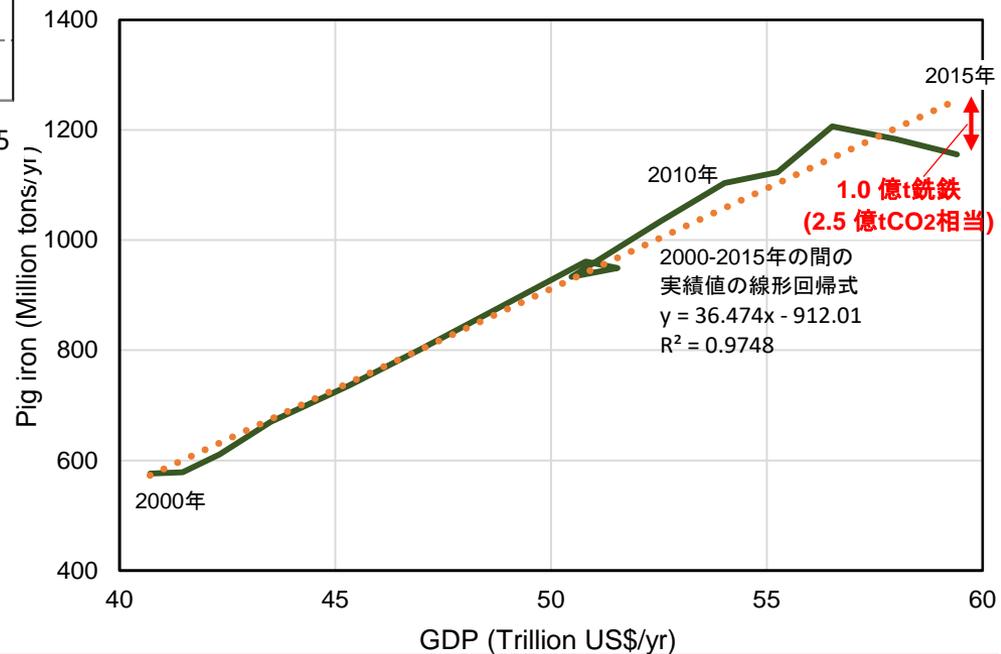


世界GDPと一次エネルギー供給量、また電力消費量の関係を見ると、CO2排出量との関係以上に、線形に近い強い正の関係が見られる。一次エネルギー供給量や発電電力量で見ると、2015年まで見ても、GDPとのデカップリングは見受けられない。

世界の経済成長と銑鉄生産量の関係



注) 2016年値は1-5月期生産量 (worldsteel速報値) に基づきRITE概算



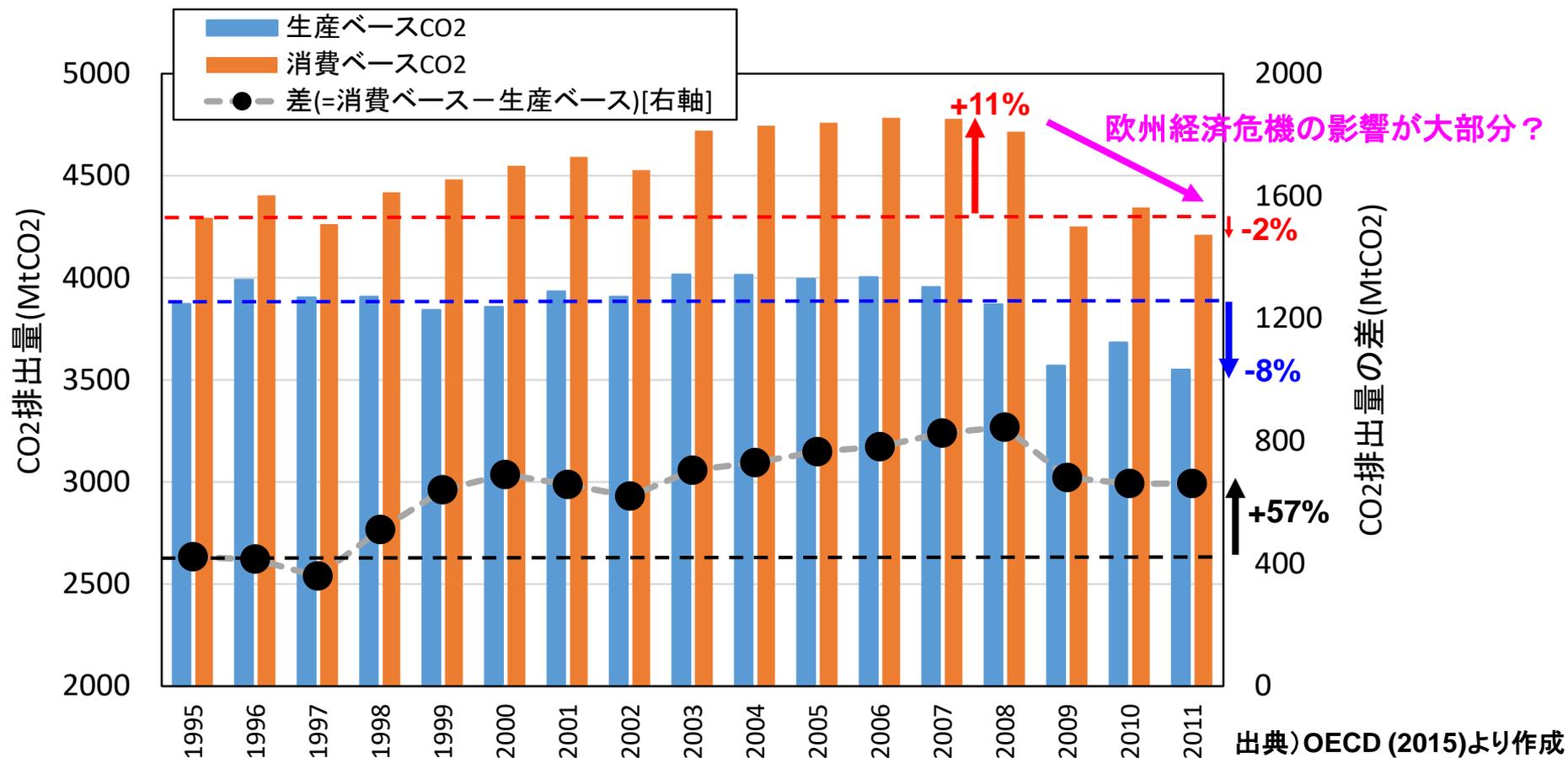
2000-15年のGDPと銑鉄生産量のトレンドに基づく、2015年時点で銑鉄生産量(世界計)は約1.0億t減少し、これは約2.5 億tCO₂の減少に相当する。

世界の経済成長とCO₂排出量の関係(概算)

要因	2015年排出削減効果	内容
世界の銑鉄生産量の減少	約2.5億トン	銑鉄約1.0億トン減少
世界のセメント生産量の減少	約0.5億トン	セメント約1.7億トン減少
米国のシェールガス利用拡大による減少	約2.2億トン	米国における石炭火力からガス発電への転換の促進による
再エネ発電(太陽光・風力・地熱など)拡大による減少	約1.6億トン	再エネ発電比率の2000-15年の平均的な拡大に対し、2015年は1.2%ポイント分大きい
日本のCO ₂ 排出量低下	約0.4億トン	原子力稼働率の低下などで2013年にかけて約1.1億トン引き上げていたが、低効率の石油火力等の停止等により、2015年には+約0.7億トンに
要因積み上げ削減効果計	約7.2億トン	
マクロ推計からの排出削減効果	約10.9億トン	

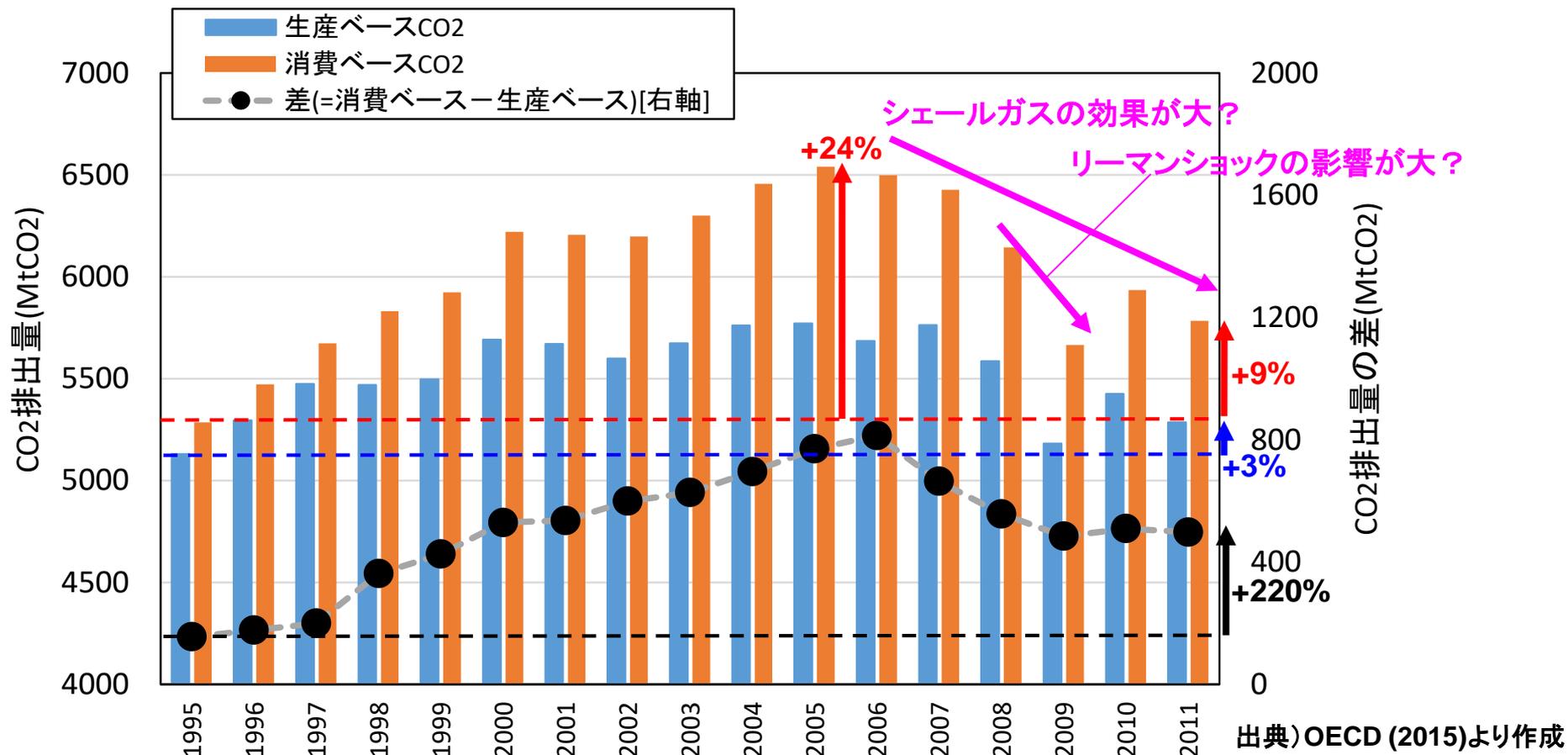
- 銑鉄、セメント生産量の減少は、中国の特殊事情と考えられる。一方、将来的に、まだインフラ形成が不十分なインド等の途上国で、生産量の増大が予想され、継続的なCO₂排出減につながるとは考えにくい。
- 再エネについては、オバマ前大統領論文の指摘のように、化石燃料よりも安価で政策措置がなくても経済合理性を有する再エネが大きいのか、政策措置による再エネ導入が大きいのかによって、デカップリングの見方は異なってくる(前者であればデカップリング要因)。しかし、少なくともこれまでは、後者であったと見るのが妥当。

グローバル経済の中で炭素リーケージは起こる： EU28の消費ベースCO₂排出量の推移



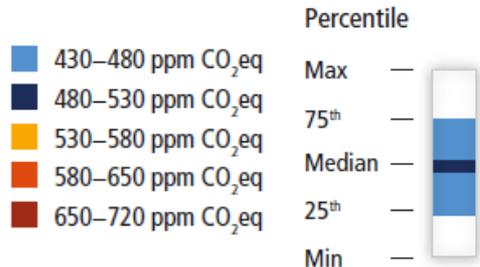
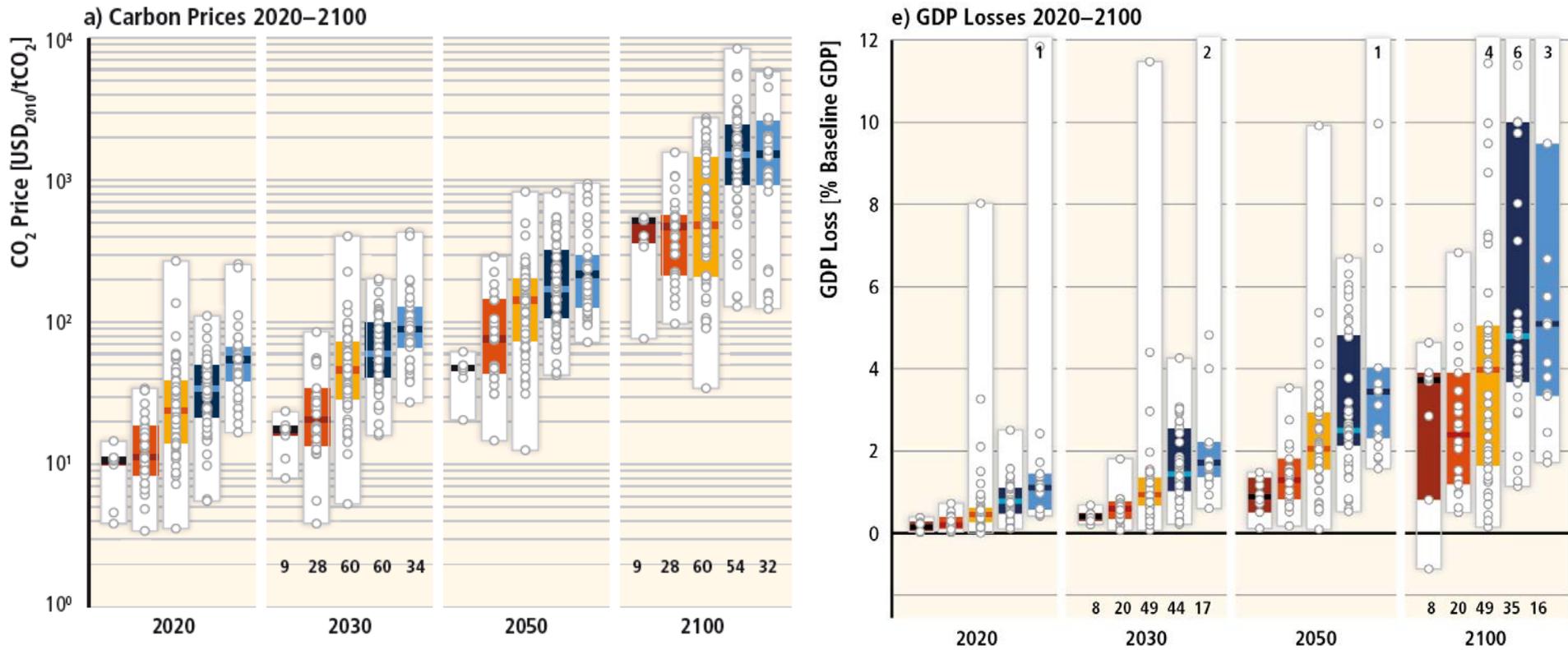
- EUは消費ベースCO₂(製品等の輸出入について、それを生産するときに発生したCO₂も差し引き)と生産ベースCO₂(化石燃料を燃焼した国でCO₂を計測。通常の統計におけるCO₂排出量)の差分は2008年にかけて増大。2007年の消費ベースCO₂は、1995年比で+11%。
- しかし、リーマンショック後は縮小(景気が悪くなり購買力が縮小した結果か)。それでも、2011年の消費ベースCO₂は1995年比で-2%であり、生産ベースCO₂の-8%より小さい。すなわち、グローバルなレベルで見たとき、EUはCO₂排出削減に成功してきていない。

グローバル経済の中で炭素リーケージは起こる： 米国の消費ベースCO₂排出量の推移



- 米国は消費ベースCO₂と生産ベースCO₂の差分は2006年にかけて大幅に増大。2005年の消費ベースCO₂は、1995年比で+24%。
- しかし、シェールガスが拡大しはじめた2006年からは減少に転じてきている。安価なエネルギー利用が可能となったことで製造業の米国内への回帰によるものと見られる。それでも、2011年の消費ベースCO₂は1995年比で+9%(生産ベースCO₂では+3%)。

温暖化緩和コスト、緩和による経済影響もFat tail

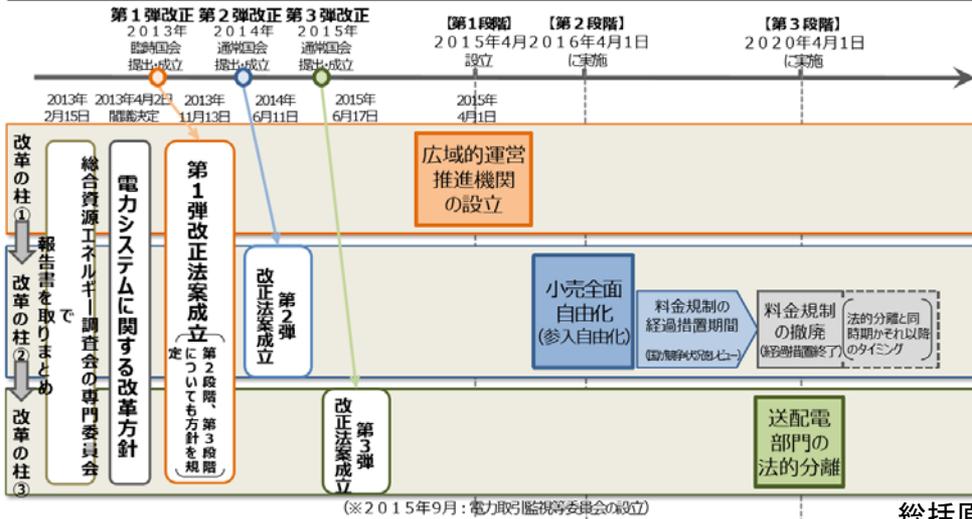


CO2限界削減費用(炭素価格)は、430-530 ppm CO2eqシナリオの場合2100年では約1000~3000 \$/tCO2(いずれも25-75パーセンタイル)、全モデルでは150~8000 \$/tCO2程度が推計されている。モデル分析結果からは、世界GDPの10%以上の損失になる確率も25%程度存在していることが示されている。

しかも、これは世界全体で費用最小化の場合であり、各国の限界削減費用に差がある場合や、政策の非効率性を含めると、上限は更にFat tailに。

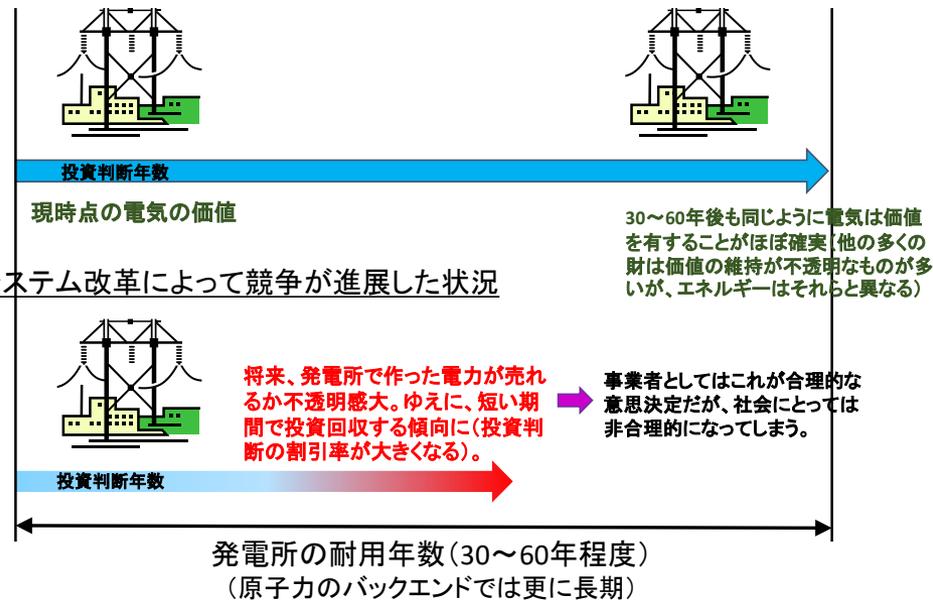
電力自由化とCO2排出削減対策

- 電力システム改革は、①広域的な送電線運用の拡大、②小売の全面自由化、③法的分離による送配電部門の中立性の一層の確保、の3つを大きな柱としています。
- 3つの柱は、それぞれ以下のスケジュールで進んでいきます。

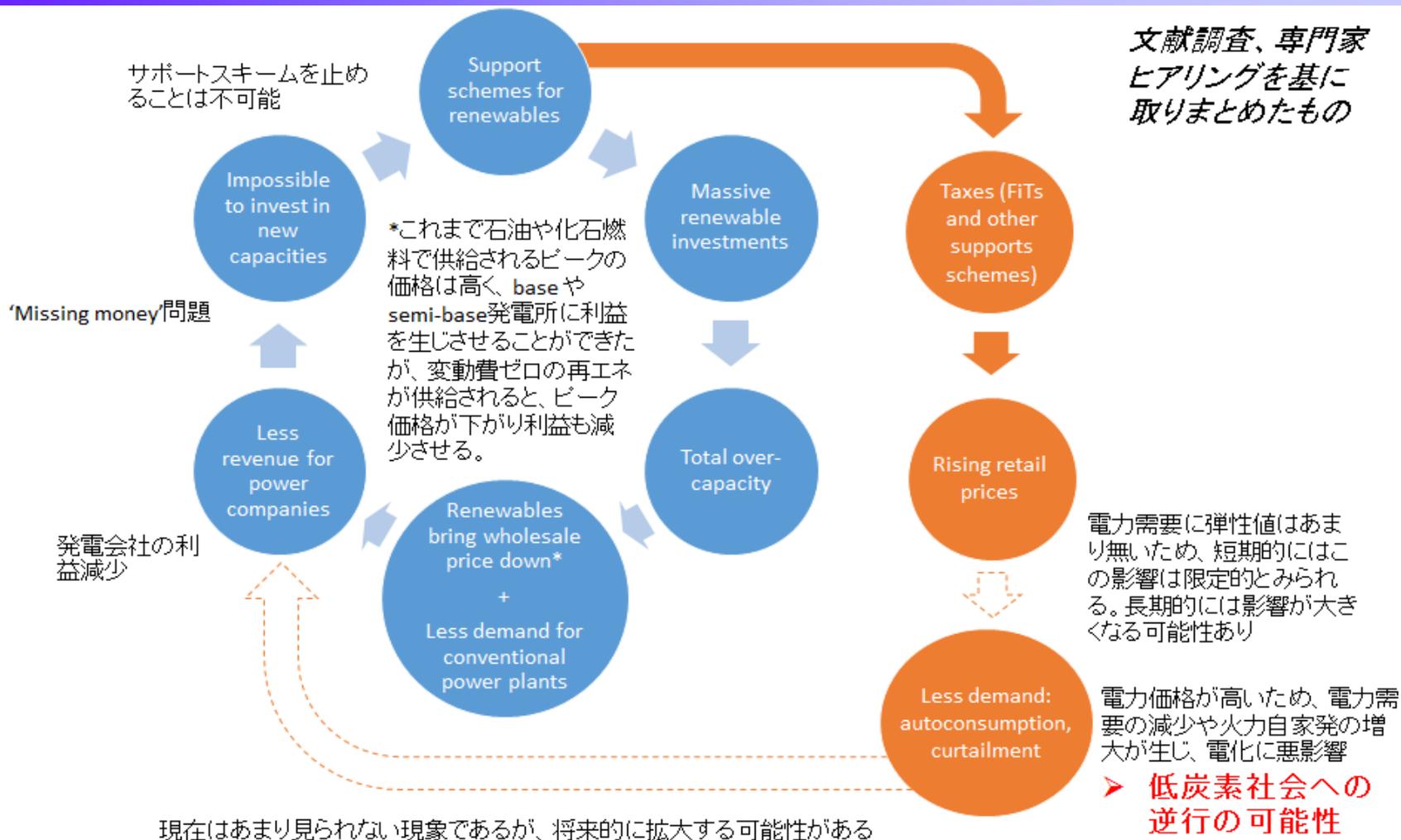


電力システム改革により、広域でのメリットオーダーの追求、経営効率化、多様な事業者の参入によって、電力供給以外のサービスとの融合など、新たなイノベーション創出の可能性を高め得るなどの効果が期待できる。

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。自由化促進の下での温暖化対策は一層難しい面がある。



電力自由化の下での再エネ導入政策により、卸売価格は低下（小売価格は上昇）。高効率なガス複合発電などの稼働率は低下。収益性がなくなり、発電事業者の収益性も悪化。大規模な投資が一層困難に。また、小売価格上昇により、電力需要は低下。本来、電化率を高め脱炭素化を図る方が、CO2排出削減対策の方向性として望ましいはずだが、炭素リーケージや他のエネルギーへのシフトにつながるような状況に。

より高位の大目的である持続可能発展と 調和した気候変動対応

気候変動対応以外のより広い文脈である持続可能な発展との調和を目指した（シナジー、トレードオフを考慮した）対応は重要（国連SDGsとの関係性など）。

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

17 GOALS TO TRANSFORM OUR WORLD



2. パリ協定約束草案の 排出削減費用の評価



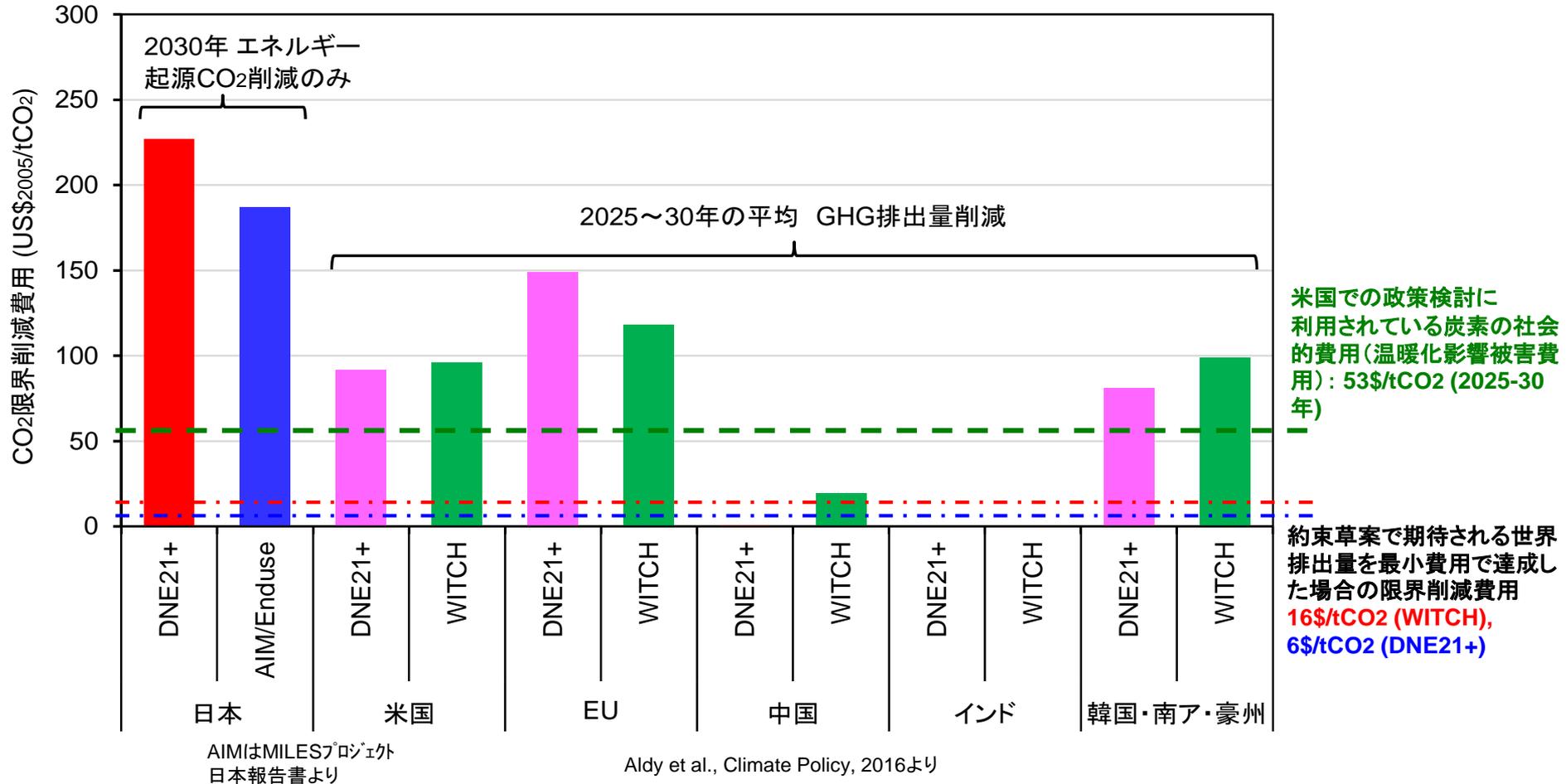
2.1. パリ協定約束草案の 排出削減費用の国際比較

パリ協定の意義と課題

- ◆ パリ協定は、ほぼすべての国が自国の排出削減に取り組む国際枠組みができ、しかもそれが継続される形となった点で、グリーン成長を目指す第一歩となったと評価できる。
- ◆ しかし、課題として、各国が自主的に提出する排出削減目標が、実質的に排出削減努力を有する目標となっているのか、適切なレビューを進めることが重要
- ◆ 各国の排出削減目標達成の限界削減費用の差異が大きすぎれば、産業の移転、炭素のリーケージを生じ、すべての国が参加する枠組みといっても、世界レベルでの排出削減にはつながらない懸念あり。
- ◆ 気候変動対応戦略として、排出削減費用の管理は、国際的な排出削減枠組みの安定性、排出削減の効率性の点から重要な課題

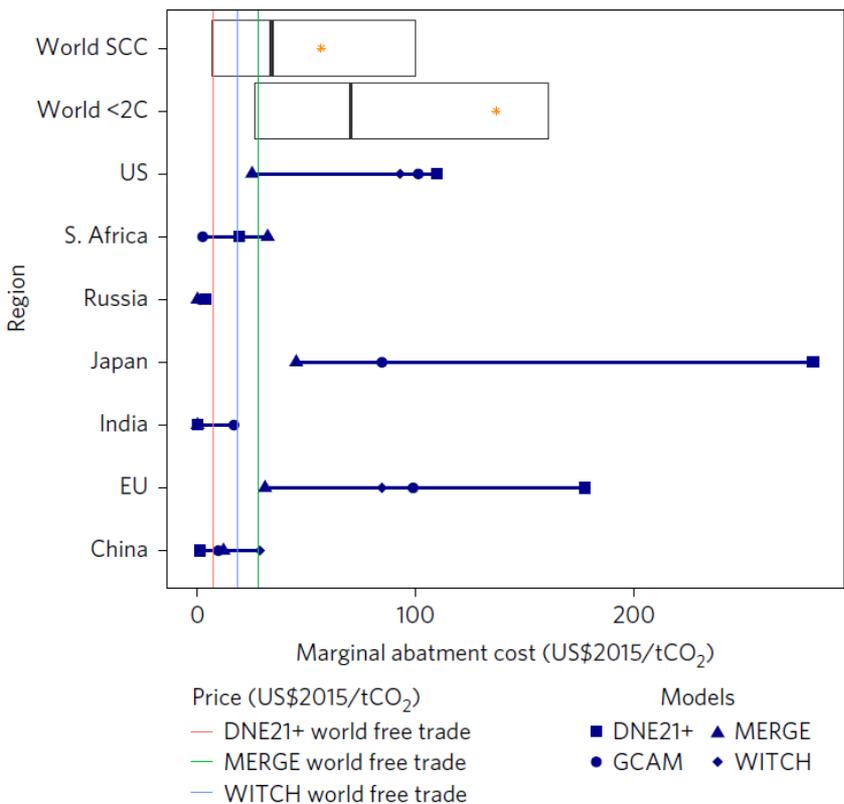
CO2限界削減費用推計

—国環研AIM、FEEM WITCHとRITE DNE21+の比較—



- 排出削減費用の推計は難しく、国によってはモデルによって推計の幅があるものの、多くの国について比較可能な水準にある場合も多い。
- 多くのOECD諸国の約束草案のCO₂限界削減費用は、約束草案で期待される世界排出量を最小費用で達成した場合の限界削減費用と比較してかなり高い水準にある。

NDCsのCO2限界削減費用推計



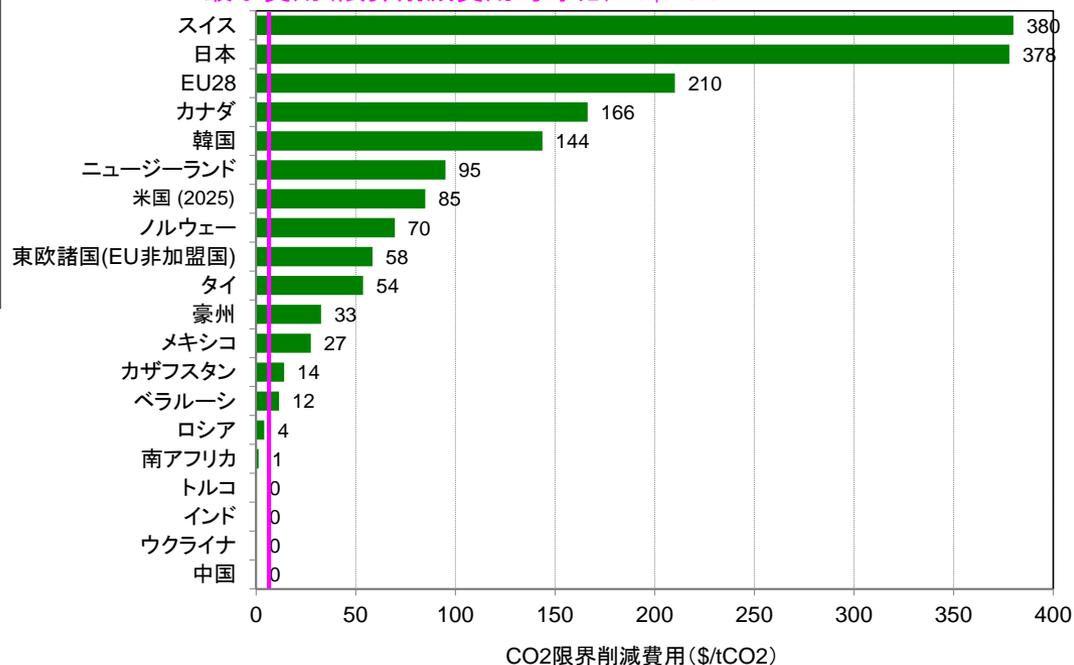
Source: J. Aldy et al., Nature Climate Change, 2016

2025-30年平均値

2030年(米国のみ2025年)

【世界GDP比削減費用】NDCs:0.38%、最小費用:0.06%

最小費用(限界削減費用均等化):6\$/tCO₂



Source: K. Akimoto et al., Evol. Inst. Econ. Rev., 2016

- 約束草案NDCsの排出削減費用は各国間で大きな差異あり。
- もしNDCsで期待できる世界全体での排出削減を費用最小化(限界削減費用均等化)で実現できるとすれば、RITEモデルでは限界削減費用6\$/tCO₂で済む。また、2030年時点の総削減費用は費用最小化に比べ6.5倍程度高い。
- 通常の長期モデル分析では、世界での費用最小化時の費用を推計しており、現実の費用はもっと大きい(実際には国内対策も費用最小化では達成できず、各国の費用も現実にはもっと大きい可能性あり)。

◆ 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）。（ALPSシンポ：P. Clark (FT)、N. Strachan (UCL)も最近の英国の気候政策の後退を指摘）



◆ 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が就任
- 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。



このような国際政治的な気候変動対応の不安定性は、長期間にわたる気候変動対策の中で頻繁に起こり得ると考えられる。国際的な協調の不安定性も認識した戦略が必要。また、産業に対して国際的に公平で、良い競争環境を用意する必要あり。

2.2. 各国の社会的、政治的環境 を考慮した際のコスト評価

各国の社会的、政治的環境を 考慮した際のコスト評価

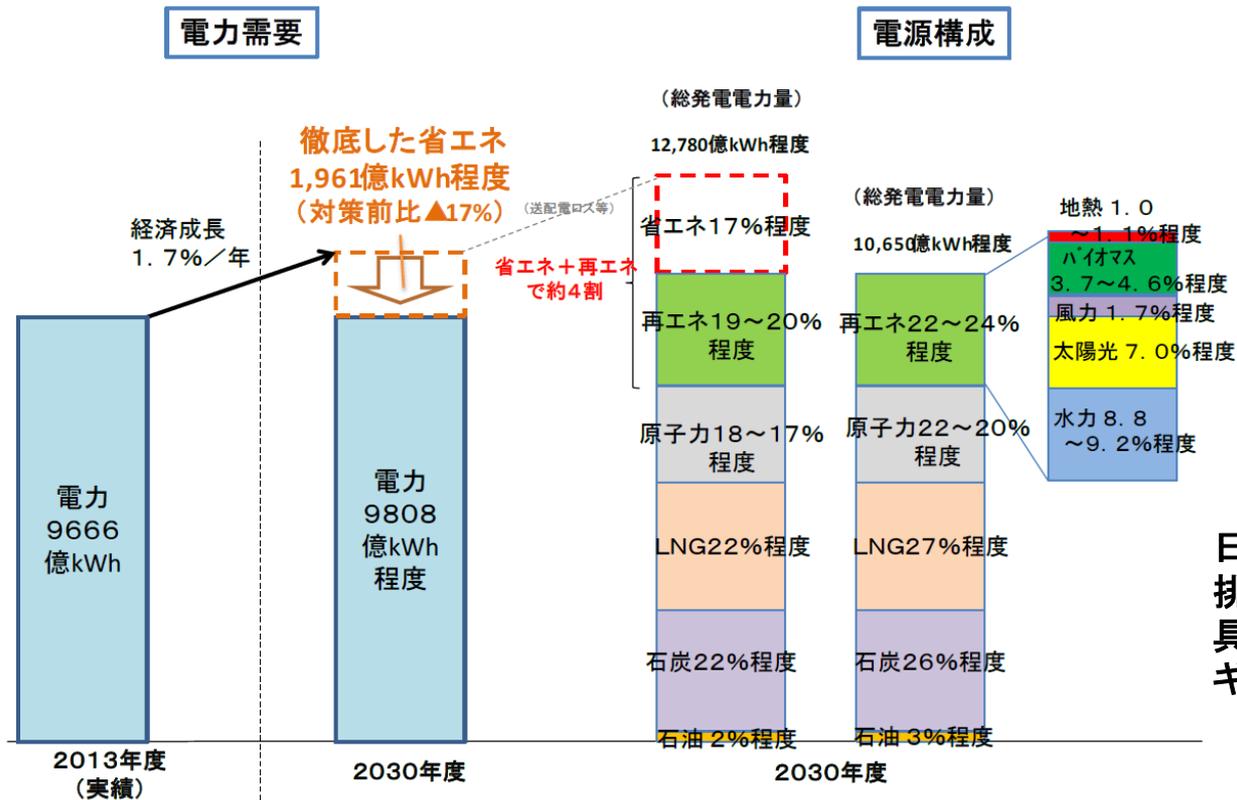
コストに関する指標は、包括的な評価が可能であり、排出削減努力を計測する上で重要な指標であるが、モデル推計の不確実性以外にも以下のような検討課題が考えられる。

- ◆ 考慮すべき社会的な制約は何か？ ⇒ 各国における原子力発電、CCS等の社会的な受容性、エネルギー安全保障への配慮など
- ◆ 考慮すべき政治的な制約は何か？政治的な制約は考慮すべきでないか？ ⇒ 例えば、米国においては、議会制度上、新しい法案を導入することは難しいことが多い。採用できる政策が限られているとすれば、それによって対策のコストは変わってくる。
- ◆ 非効率な政策によって対策費用が上がっているだけであれば、それをコスト評価によって削減努力と評価して良いのか。⇒ 例えば、高い太陽光発電導入を集中している国があったとし、そのコストは大きいとしてもそれはより経済効率的な政策を採らない非がその国にあるだけとも考えられる。

(1) 日本のケース

日本の約束草案とエネルギーミックス(電源構成)

	2013年比 (2005年比)
エネルギー起源CO2	-21.9% (-20.9%)
その他温室効果ガス	-1.5% (-1.8%)
吸収源対策	-2.6% (-2.6%)
温室効果ガス計	-26.0% (-25.4%)



日本政府は約束草案において、排出削減目標のみならず、その具体的な達成方法としてエネルギーミックスの姿についても提示

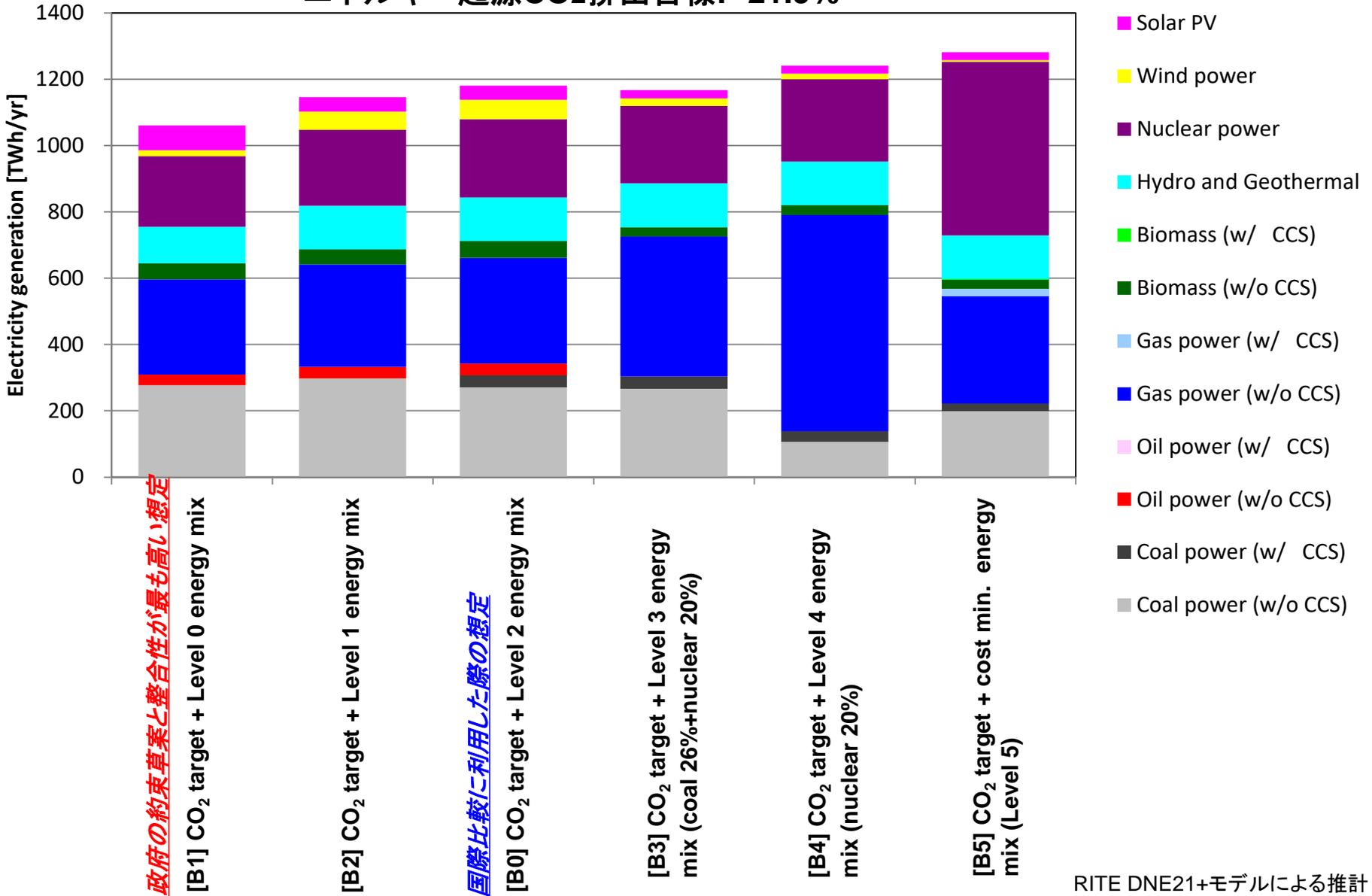
日本のエネルギーミックスに関する分析ケース

	GHG 排出目標	エネルギー起源CO ₂ 排出目標	発電電力量における各電源のシェア			CCSの 利用可能性	省電力
			化石燃料	原子力	再生可能エネルギー		
[A0] GHG target + Level 2 energy mix <i>GHGでの国際比較に利用した際の想定</i>	-26% [A]	Cost min.	Coal: 26% LNG: 27% Oil: 3%	20%	24% (cost min. within renewable sources)	Cost min.	Cost min.
[B0] CO₂ target + Level 2 energy mix <i>エネ起CO₂での国際比較に利用した際の想定</i>	-	-21.9% [B]	Coal: 26% LNG: 27% Oil: 3%	20%	24% (cost min. within renewable sources)	Cost min.	Cost min.
[B1] CO₂ target + Level 0 energy mix <i>政府の約束草案と整合性が最も高い想定</i>	-	-21.9%	Coal: 26% LNG: 27% Oil: 3%	20%	24% (PV: 7%, wind: 1.7% etc.)	w.o. CCS	Total elec. supply: 1065 TWh/yr
[B2] CO₂ target + Level 1 energy mix	-	-21.9%	Coal: 26% LNG: 27% Oil: 3%	20%	24% (cost min. within renewable sources)	w.o. CCS	Cost min.
[B3] CO₂ target + Level 3 energy mix (coal 26% + nuclear 20%)	-	-21.9%	Coal: 26% LNG: cost min. Oil: cost min.	20%	Cost min.	Cost min.	Cost min.
[B4] CO₂ target + Level 4 energy mix (nuclear 20%)	-	-21.9%	Cost min.	20%	Cost min.	Cost min.	Cost min.
[B5] CO₂ target + cost min. energy mix (Level 5)	-	-21.9%	Cost min.	Cost min.	Cost min.	Cost min.	Cost min.

注) エネルギーミックスに関するレベルの数字が大きいほど、エネルギーミックスの自由度が高い

日本の2030年における約束草案の各ケースの発電電力量

エネルギー起源CO2排出目標: -21.9%



日本の2030年における約束草案の各ケースの排出削減費用

RITE DNE21+モデル
による推計

	CO ₂ 限界削減費用 (\$2000/tCO ₂)	排出削減費用 (billion \$2000/yr)	基準GDP比の 排出削減費用 (%)	
[A0] GHG target (-26%) + Level 2 energy mix <i>国際比較に利用した際の想定</i>	378	44	0.62	モデル推計では、非CO ₂ GHG削減の4.1%分がエネルギー起源CO ₂ の-21.9%目標の費用よりも高いため、-21.9%よりも深掘することによるコスト増
[B0] CO ₂ target (-21.9%) + Level 2 energy mix	227	28	0.40	
[B1] CO ₂ target (-21.9%) + Level 0 energy mix <i>政府の約束草案と整合性が最も高い想定</i>	242	38	0.55	省電力目標、CCSの制約
[B2] CO ₂ target (-21.9%) + Level 1 energy mix	272	32	0.46	再生可能エネルギー目標
[B3] CO ₂ target (-21.9%) + Level 3 energy mix (coal 26% + nuclear 20%)	277	24	0.34	
[B4] CO ₂ target (-21.9%) + Level 4 energy mix (nuclear 20%)	165	20	0.28	エネルギー安全保障上の考慮
[B5] CO ₂ target (-21.9%) + cost min. energy mix (Level 5)	50	10	0.15	原子力の社会的な制約等

注) 個別技術利用に関する制約によって、CO₂限界削減費用としては、むしろ下がるケースも見られるが、排出削減総費用は上昇

どの制約を想定したケースが排出削減努力を計測する一指標としての排出削減費用として最も適切か？

その他感度解析

— 経済成長の見通しの違い、原子力比率未達成の場合 —

- ◆ 一方、エネルギーミックス達成の不確実性もあり、そのときの排出削減費用への影響は以下のとおり

a) 約束草案・エネルギーミックスでは経済成長率1.7%/yr ⇒ 0.9%/yrの場合

b) 約束草案・エネルギーミックスでは原子力比率20-22% ⇒ 15%の場合

	CO ₂ 限界削減費用 (\$2000/tCO ₂)	排出削減費用 (billion \$2000/yr)	基準GDP比の排出削減費用 (%)
[B0] CO ₂ target (-21.9%) + Level 2 energy mix (GDP成長率: 1.7%/yr、原子力比率20%)	227	28	0.40
[B0-a] 低GDP成長率(0.9%/yr)	151	18	0.31
[B0-b] 原子力比率15%	228	36	0.51
[B0-c] 低GDP成長率(0.9%/yr) + 原子力比率15%	142	24	0.40

(2) 米国のケース

米国約束草案の排出削減費用推計における Clean Power Plan (CPP) の考慮

- ◆ 米国約束草案NDC：2025年のGHG排出量を2005年比で26-28%削減
- ◆ 米国政府（オバマ政権下）は、NDCをClean Power Plan (CPP)等の政策によって削減を実現しようとした。
- ◆ 米国は、連邦議会において温暖化対策の新たな法案成立は不可能との見方は多い。
（政策的に取り得るオプションは政治仕組みのみに限られる面がある）

政策的な自由度のなさの制約(CPPの制約)が
排出削減費用にどのような影響を与えるか？

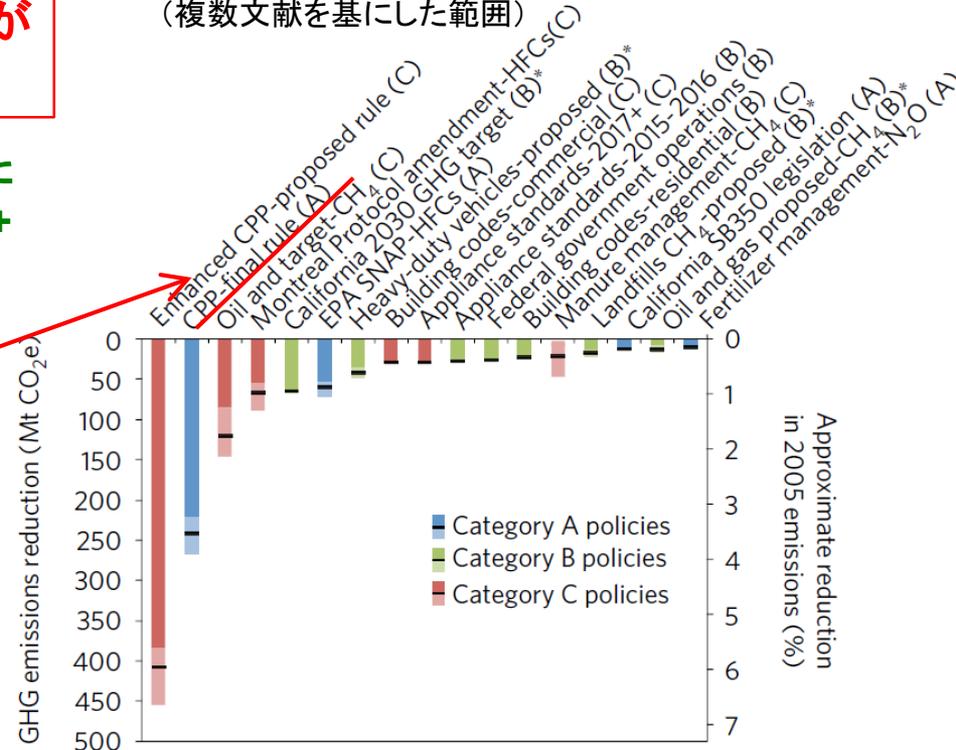
電力CO₂原単位がCPPのEPA見通しに従ったとした
場合(2025年:462 gCO₂/kWh)について、DNE21+
でNDCの費用推計を実施

CPPの排出削減効果のEPAによる見通し
(million tCO₂/yr)

	2020	2025	2030
Rate-based approach	69	232	415
Mass-based approach	82	264	413

Source: US EPA, 2015

政策別のGHG排出削減の見通し
(複数文献を基にした範囲)



Source: J.B. Greenblatt and M. Wei, Nature Climate Change, 2016

米国の約束草案に関する分析ケース

	GHG 排出目標	エネルギー起源CO ₂ 排出目標	電力のCO ₂ 原単位	省電力(電力消費量)	CCS
[A1]	-	-22%	CPPのEPA 評価準拠	CPPの電力CO ₂ 原単位目標に伴った電力コスト上昇による省電力(DNE21+推計)のみ考慮	利用不可
[A2]	-	-22%	CPPのEPA 評価準拠	CPPの電力CO ₂ 原単位目標に伴った電力コスト上昇による省電力(DNE21+推計)のみ考慮	利用可(費用最小基準で決定)
[A3]	-	-22%	CPPのEPA 評価準拠	CPPのEPA評価準拠	利用不可
[A4]	-	-22%	CPPのEPA 評価準拠	モデルの全体費用最小化	利用不可
[A5]	-	-22%	モデルの全体費用最小化	モデルの全体費用最小化	利用不可
[A6]	-28%	-22%	モデルの全体費用最小化	モデルの全体費用最小化	利用可(費用最小基準で決定)
[B1]	-	-20%	CPPのEPA 評価準拠	CPPの電力CO ₂ 原単位目標に伴った電力コスト上昇による省電力(DNE21+推計)のみ考慮	利用不可
[B3]	-	-20%	CPPのEPA 評価準拠	CPPのEPA評価準拠	利用不可
[B6]	-26%	-20%	モデルの全体費用最小化	モデルの全体費用最小化	利用可(費用最小基準で決定)

米国EPAによるCPPの評価と整合性が高い想定

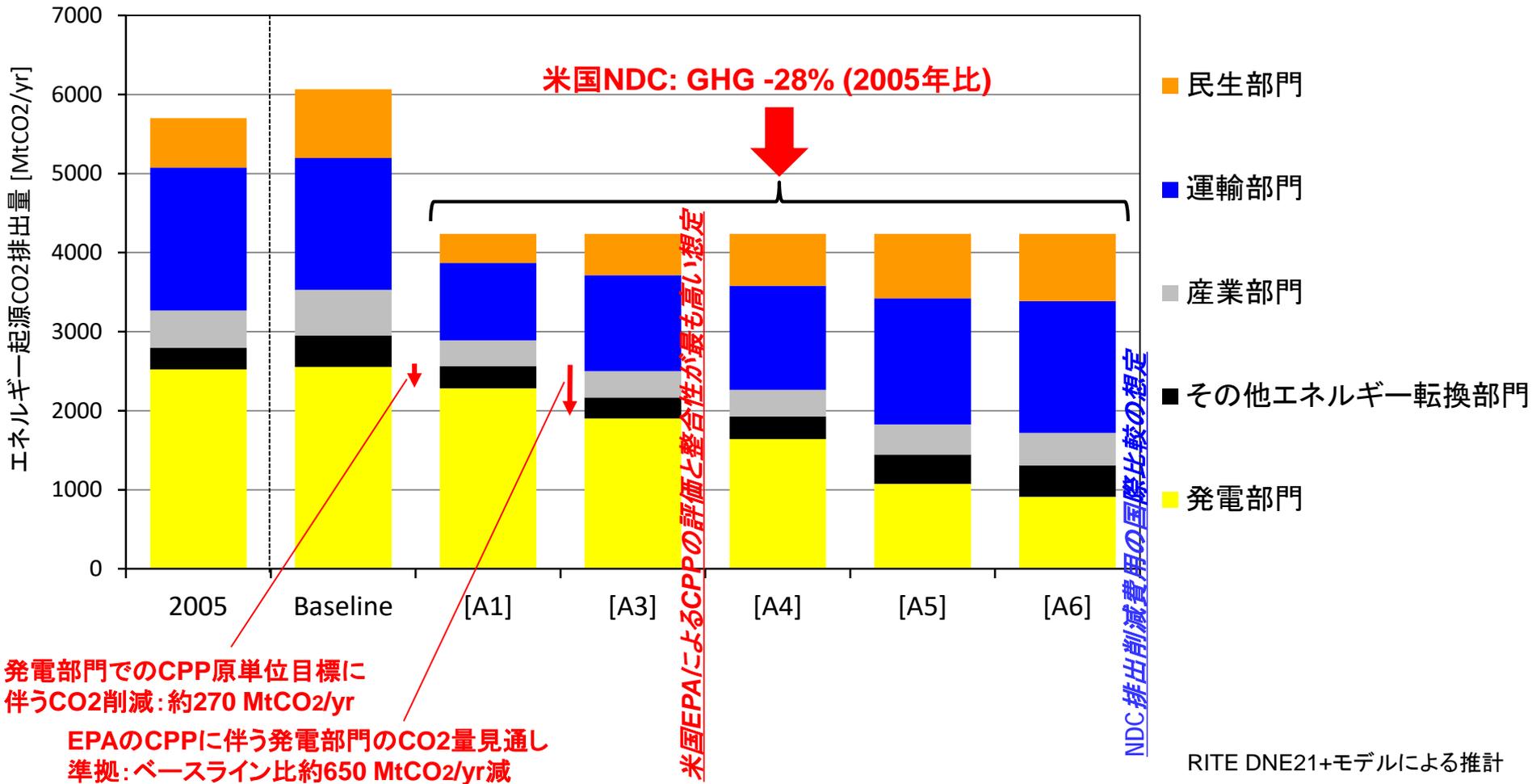
NDC排出削減費用の国際比較の想定

米国EPAによるCPPの評価と整合性が高い想定

NDC排出削減費用の国際比較の想定

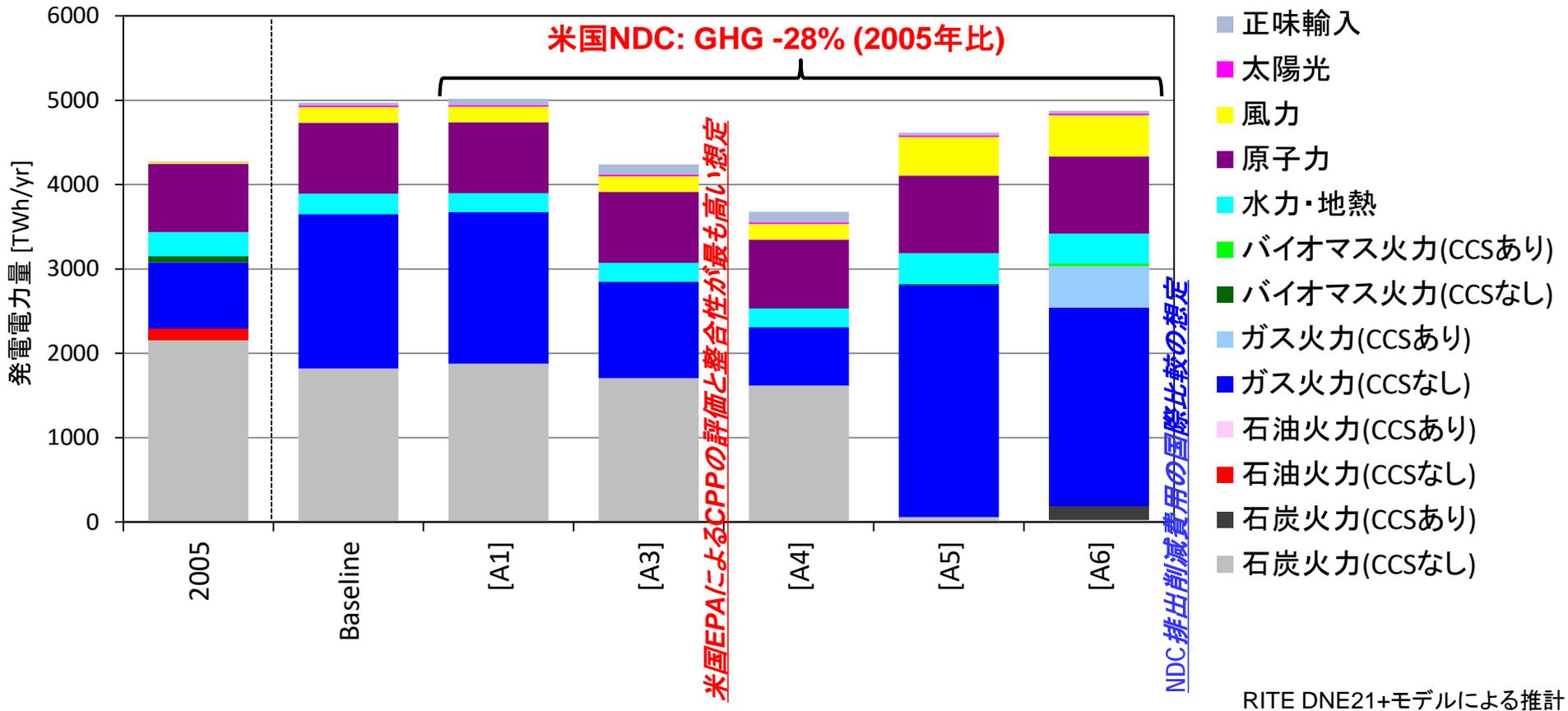
注) A6, B6ケースで、それぞれGHG28%、26%削減時に限界削減費用が合致するエネルギー起源CO₂排出削減量とその他GHG排出削減量をDNE21+モデルで算出。結果、エネルギー起源CO₂排出削減量は、それぞれ、22%減と20%減と推計。他のケースは、このエネルギー起源CO₂排出削減量を削減目標値として感度解析を実施した。

米国の2025年における部門別CO₂排出量



- 発電部門においてCPPで見込まれるレベルの排出削減しか得られないケースでは、NDCの排出削減目標達成のため、その分、エネルギー需要部門でより大きく削減する必要性が生じる。
- コスト最小化の下では、発電部門でCPPよりもより大きく排出削減を進め、エネルギー需要部門での排出削減は相対的に少ない水準に留まる結果である。

米国の2025年における電源構成



- CPPの電力CO2原単位や、CPPのEPAによる電力部門でのCO2排出見通しから見込まれる電源構成では、石炭火力の利用がかなり大きい水準で維持され得ると評価される。
- コスト最小化の下で電源構成を決定した場合、米国は安価なガスのポテンシャルを豊富に有するため、大きくガス火力に転換することが排出削減の面からは費用効率的と評価される。また、風力もより一層増大させることが費用効率的。

米国の2025年における約束草案の各ケースの排出削減費用

		CO ₂ 限界削減費用 (\$/tCO ₂)	排出削減費用 (billion \$/yr)	GDP比排出削減 費用 (%)	
GHG ▲28% 相当	[A1]	568	557	3.23	<p>CPPで見込まれる程度の省電力しか電力部門で対策できないことによる影響</p> <p>CPPで見込まれる程度の電力排出原単位改善しか電力部門で対策できないことによる影響</p> <p>CCSの利用制約</p>
	[A2]	558	520	3.02	
	[A3]	421	352	2.04	
	[A4]	379	301	1.75	
	[A5]	134	90	0.52	
	[A6]	94	65	0.37	
GHG ▲26% 相当	[B1]	427	426	2.47	
	[B3]	333	286	1.66	
	[B6]	76	56	0.33	

- 発電部門においてCPPで見込まれるレベルの排出削減しか得られない状況でNDCを達成するとすれば、排出削減費用は非常に大きくなり、削減費用の面で見ても、米国NDCの達成は非常に困難と評価される。
- 政策的に追加的なオプションを取ることが困難なことを米国特有の事情として考慮すべきなのか、それとも温暖化政策に対する怠慢、もしくは非効率な政策を選択したことの非は米国にあると考えるべきなのか、については議論の余地がある。

3. 多様な世界にあつての現実的、 効果的な対応戦略



背景

一部の先進国及び国際開発金融機関による融資制限

- 2013年6月、米国オバマ大統領は「大統領気候行動計画」の中で、以下の場合を除いて、海外の石炭火力発電新設に対する公的金融支援の終了を発表。
 - 代替手段がない最貧国における最高効率の石炭火力技術
 - **CCS技術を導入する施設**
- その後、国際開発金融機関(世銀等)及び欧州諸国が追随し、新設石炭火力に対する融資制限を表明している。

OECD公的輸出信用会合(紳士協定)

- OECD貿易委員会の下で輸出信用・信用保証部会ではOECD参加国間で公的輸出信用に係る共通ルールとなるOECD公的輸出信用アレンジメントを定めている。
- 参加国は自国の貿易取引及び投資等を支援するため、輸出信用機関(Export Credit Agencies: ECA)を設置し、公的資金で融資、保証及び保険を提供している。日本においては、国際協力銀行及び日本貿易保険がECAである。
- 2015年11月に、加盟国の石炭火力発電輸出に対して公的金融機関からの融資を制限することが合意された(2017年1月から施行。2021年以降に更に強化)。
- 新ルールでは、CCS付設という厳しい条件は課されず、**高効率の超々臨界圧に対しては引き続き融資が認められるが、原則として低効率の石炭火力発電に対する融資は認められない。**【この決定には、ALPSIIIにおける分析結果も間接的に役立ったと考えられる】

石炭火力の融資制限に関する分析(2/4)

OECD輸出信用会合での合意内容: 石炭火力発電設備毎の最長償還期間(OECD2016) 48

発電設備の規模 (総設備容量)	500MW以上	300-500MW	300MW未満
超々臨界圧(蒸気圧力24.0MPa以上、蒸気温度593℃以上)、あるいはCO ₂ 排出原単位750gCO ₂ /kWh未満	12年	12年	12年
超臨界圧(蒸気圧力22.1MPa以上、蒸気温度550℃以上)、あるいはCO ₂ 排出原単位が750-850gCO ₂ /kWh	融資支援対象外	10年 対象国:IDA融資の適格国のみ	10年 対象国:IDA融資の適格国のみ
亜臨界圧(蒸気圧力22.1MPa未満)、あるいはCO ₂ 排出原単位が850gCO ₂ /kWh以上	融資支援対象外	融資支援対象外	10年 対象国:IDA融資の適格国のみ

- 大規模の石炭火力については超々臨界圧に対してのみ支援が行われ超臨界圧及び亜臨界圧に対する支援は禁止となるが、低所得国における小規模の亜臨界圧に対しては融資が認められる。
- IDA融資の適格国は77ヶ国であり、一人当たりGNI(国民総所得)が上限(2015年度は1,215ドル)を超えていないことが融資の条件。しかし、このGNIの上限を超えてはいるがIBRDから融資を受けるだけの信用度に欠けている場合にも融資がなされる。
- エネルギー貧困問題に対応するため、IEAのWorld Energy Outlook Electricity Access databaseにおいて電化率が90%以下である全ての国には500MW以下の中規模の超臨界圧に対して10年間の輸出信用支援が提供される。
- また、低炭素の代替手段が無く、物理的・地理的条件及び大規模のグリッドへの接続が困難な場合等を含む既存のグリッド環境において提案されたプロジェクトが最良の利用可能な技術を導入していると正当化された場合にはIDA借り入れ国以外にも輸出信用支援が提供されうる。
- 新規制下では2003年から2013年の間に参加国から公的輸出信用支援を受けた石炭火力発電プロジェクトの約3分の2相当に対する金融支援が不適格となる。

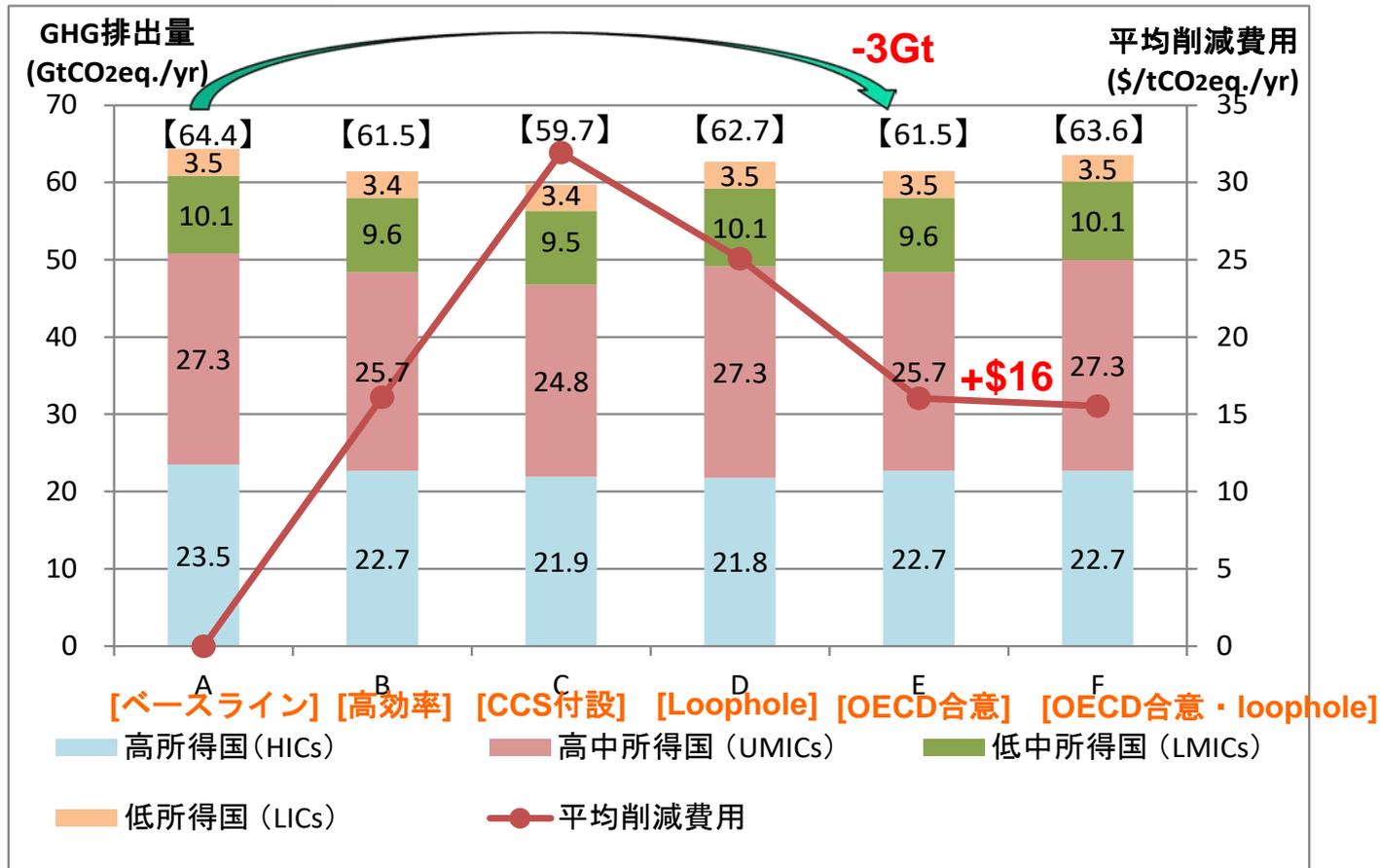
石炭火力の融資制限に関する分析(3/4) 想定シナリオ(特段の温暖化対策が無い場合)

シナリオ	石炭火力発電所の新設に関する仮定		
	高所得国	低・中所得国	最貧国
A (ベースライン)	全ての種類可		
B	高効率のみ可		
C	CCS付設のみ可		
D (Loopholeシナリオ)	CCS付設のみ可	全ての種類可	全ての種類可
E (OECDシナリオ)	高効率のみ可	高効率のみ可	全ての種類可
F (OECD・loopholeシナリオ)	高効率のみ可	全ての種類可	全ての種類可

- シナリオD(**Loopholeシナリオ**)は、先進国による融資制限下であっても、途上国が自己資金で建設あるいは新興国ドナー等から融資を得られる状況を表す。
- OECDアレンジメントではプロジェクト国の発展段階及び発電規模によって一部例外を認めているが、原則として高効率の石炭火力のみを認めることから、**最貧国以外は高効率のみが利用可能**と想定する(**シナリオE**)。
- OECDアレンジメントにおいても、途上国(低所得国等)が新興国ドナー(中所得国等)から融資を得ることも可能で、**Loophole**に陥る可能性もあると考えられることから、低・中所得国においても**全ての種類の石炭火力が利用可能**と想定する(**シナリオF**)。

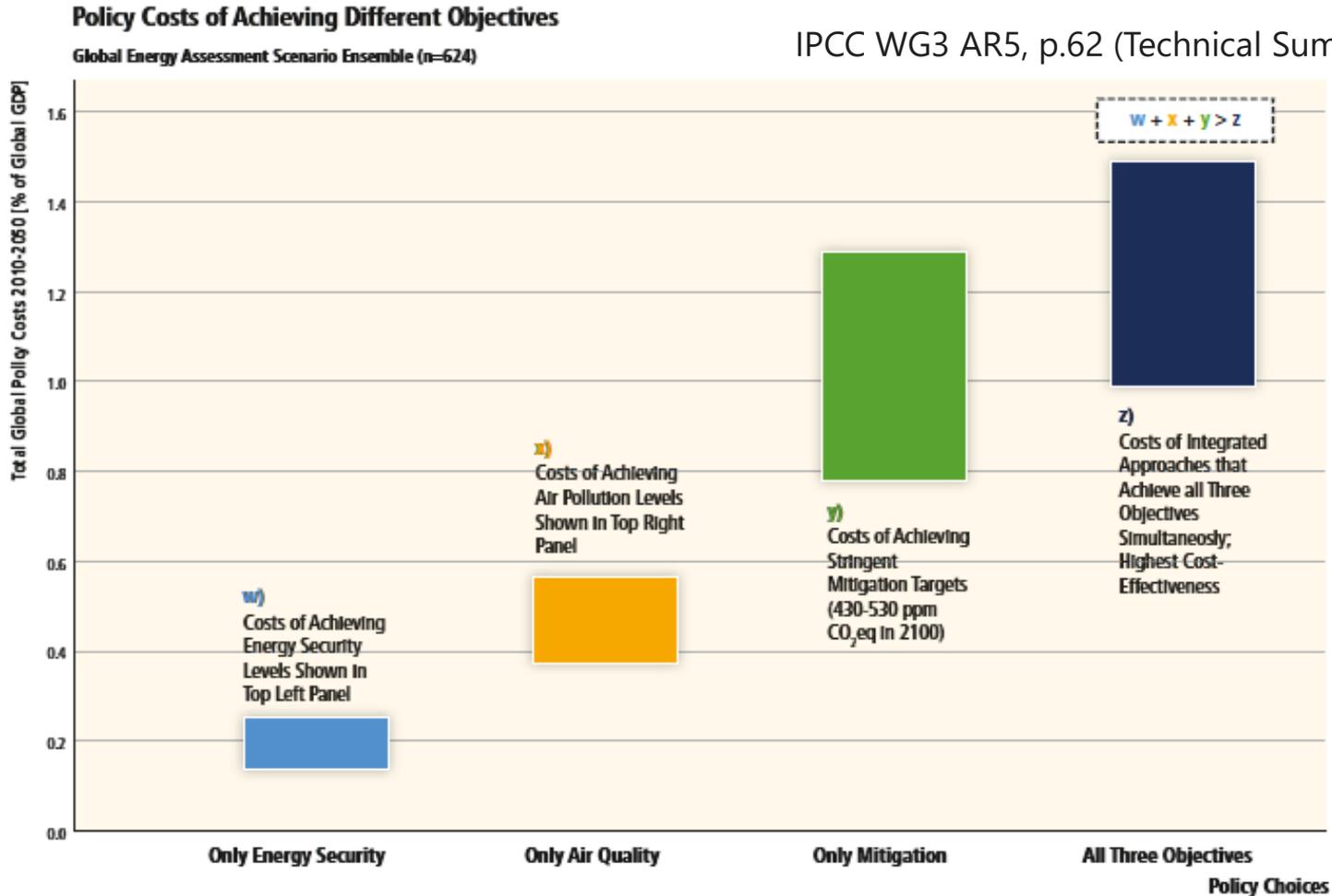
石炭火力の融資制限に関する分析(4/4)

結果



- オバマ案のような状況(シナリオC)では、削減効果は大きいですが平均削減費用が高い。結果、それが意図したように実現せずLoopholeに陥ると(シナリオD)、(費用は高いまま)削減効果は小さくなりかねない。
- OECDアレンジメントが機能すれば、ベースライン比で約3Gtの削減が可能となり、その場合の平均削減費用は+\$16/tCO₂eq.であり、シナリオBと同等の政策効果である(シナリオE)。
- ただし、OECDアレンジメントを念頭にしても結果としてLoopholeに陥る場合(シナリオF)、ベースラインの世界排出量に次いで排出量が大きくなる。OECD非加盟国からの融資に対しても同様の規制が課されない限り実効ある排出削減には繋がらない可能性があり、引き続き、留意が必要。

エネルギーセキュリティ・大気汚染対策に対する 気候変動緩和政策のコベネフィットの評価



- ・ 緩和策に伴い, 大気汚染物質も減少する.
- ・ エネルギーセキュリティ向上, 大気質向上, 気候変動緩和を統合した対策の費用は, 個別の対策費用の総和よりも小さい. ⇒ コベネフィットが存在

米国既設発電所に対する排出規制案のインパクト評価

Environmental Protection Agency, Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule (2015).

Clean Power Plan (2015年8月公式に決定。ただし2016年2月、一時的に実施差し止めの最高裁判決)

- ▶ 目標:
 - 発電部門で2030年にCO₂排出量▲32% (2005年比)
 - 石炭を減らし, ガス・再エネを増やしつつ省エネも促進
- ▶ 既存の火力発電所が対象
- ▶ 排出基準値 (2030年): 汽力0.59kg-CO₂/kWh、ガスタービン系0.35kg-CO₂/kWh
 - 基準値を達成するために, 州ごとの①排出原単位目標, もしくは②排出総量目標を設定
 - 省エネ・再エネも利用可能で, 市場メカニズムを推奨 (柔軟的措置可)

[億ドル(2011年価値)]

	割引率	2030年	
		排出原単位	排出総量
Climate benefits (世界全体)	5%(平均値)	64	64
	3%(平均値)	200	200
	3%(95%値)	610	600
Air quality health co-benefits	3%	140-340	120-280
	7%	130-310	110-260
Compliance costs		84	51
Net benefits (Climate benefitsの 3%(平均値)を採用)	3%	260-450	260-430
	7%	250-430	250-400

排出量削減, コスト, 気候便益と健康コベネフィット, 純便益, 経済影響を, 2つのアプローチ (排出原単位と排出総量) で評価

- 正味で大きな便益が生じると推計 (気候変動の便益を世界全体とし、また大気汚染緩和によるコベネフィットを考慮した結果)

- CPPによるCO₂排出削減に伴う世界全体での便益に匹敵もしくは上回るほどの大気汚染緩和による健康影響被害低減の便益が推計

出典: EPA(2015)よりRITE作成

PM2.5とCO2排出削減のコベネフィット

茅恒等式

エンドオブパイプ対策(CCS)

コベネフィットとなる対策

$$\text{Net CO2} = (\text{Net CO2/Gross CO2}) \times (\text{Gross CO2/PE}) \times (\text{PE/GDP}) \times (\text{GDP})$$

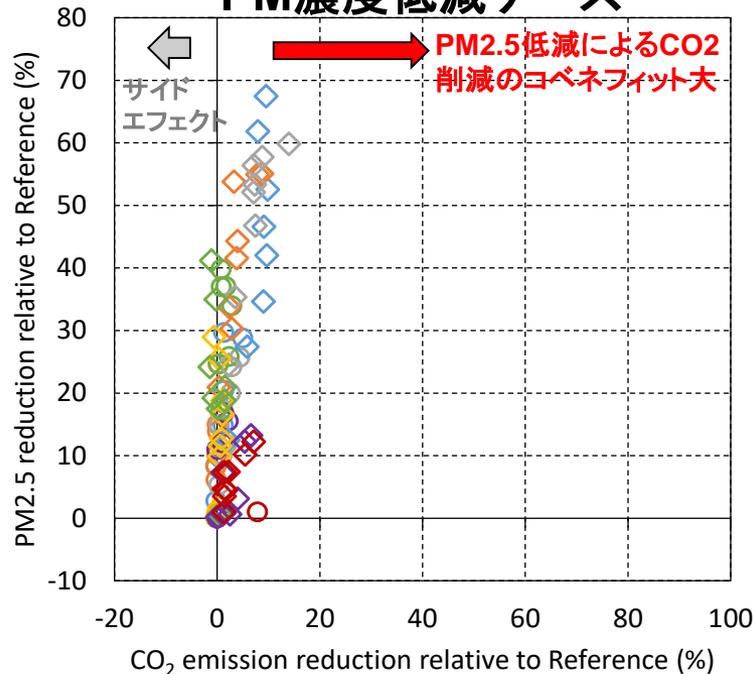
$$\text{PM2.5} = (\text{PM2.5/Gross PM2.5}) \times (\text{Gross PM2.5/PE}) \times (\text{PE/GDP}) \times (\text{GDP})$$

エンドオブパイプ対策(脱硫,脱硝等)

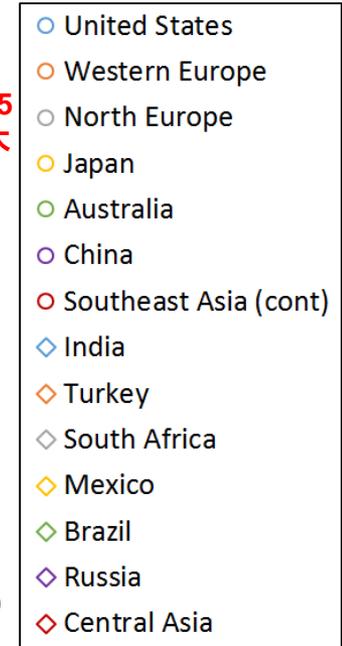
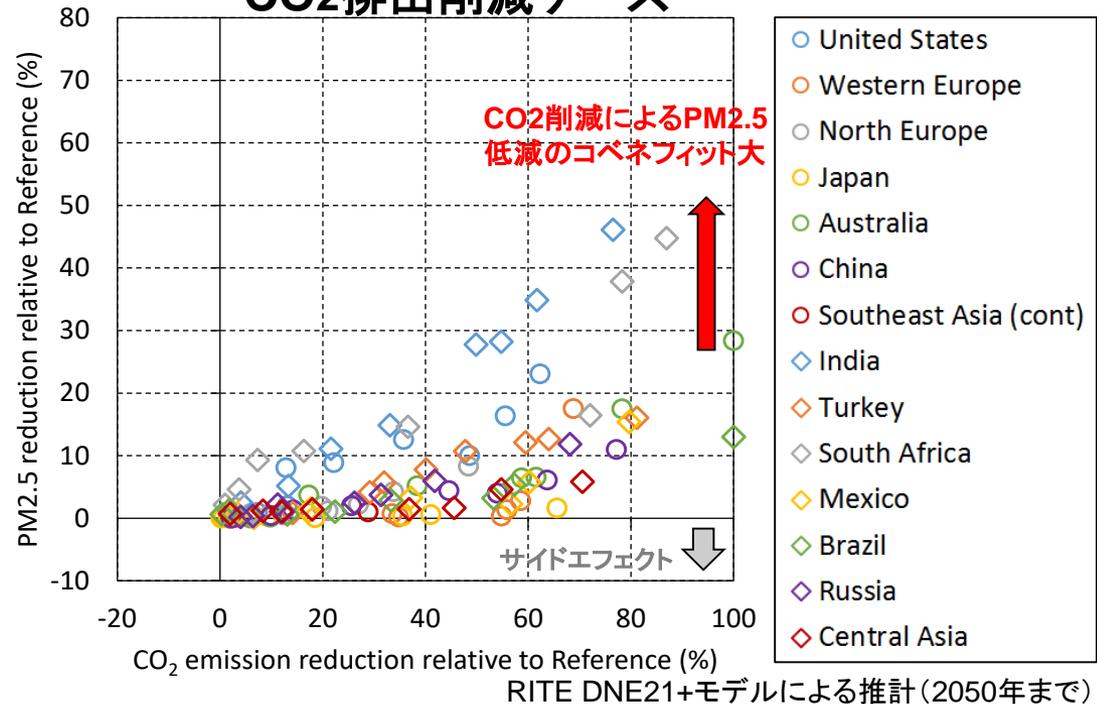
燃料転換

省エネ

PM濃度低減ケース



CO2排出削減ケース

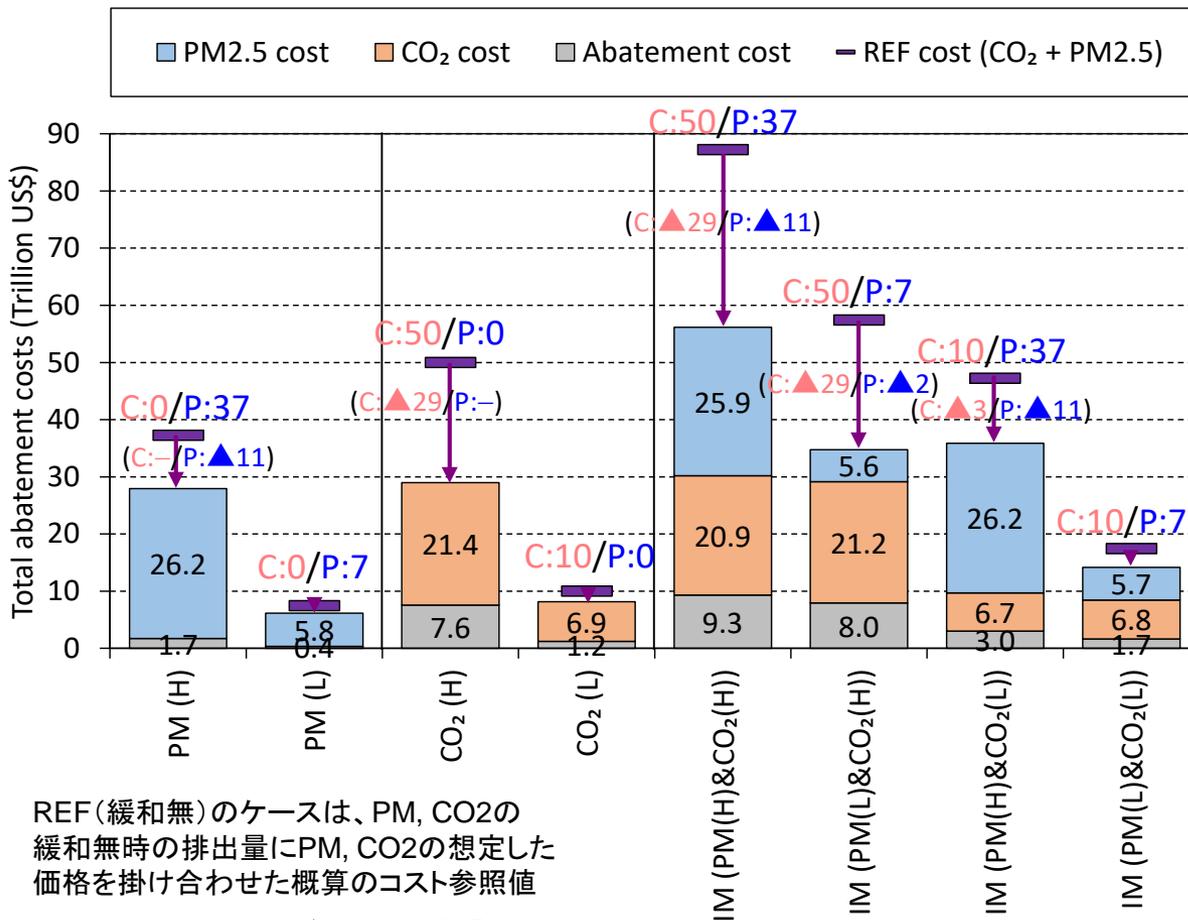


RITE DNE21+モデルによる推計(2050年まで)

- CO₂排出削減によるPM2.5濃度低減のコベネフィットの方が、その逆よりも大きい。
- ただし、各国一様ではなく、特にインド、南アフリカ、米国等においてコベネフィットが強く見られる。
- これはPM2.5では省エネ、燃料転換よりもエンドオブパイプ対策(脱硫、脱硝等)の方が相対的に安価な傾向がある一方で、CO₂ではエンドオブパイプ対策(CCS)との比較で、省エネ、燃料転換に相対的に安価な対策の余地が多く存在するため。PM2.5を優先的に対策すべき場合、脱硫・脱硝能力が高く高効率な石炭火力を途上国等に展開することも有用な対策の一つ。

世界のコストから見たPM2.5とCO2削減のコベネフィット

2010~50年の割引済み総コスト(割引率:5%/年)



REF(緩和無)のケースは、PM, CO₂の緩和無時の排出量にPM, CO₂の想定した価格を掛け合わせた概算のコスト参照値

RITE DNE21+モデルによる推計

CO₂, PM_{2.5}価格想定(2030年時点)

	Low (L)	High (H)
PM _{2.5} (M\$/(\$μg/m ³))	500	2500
CO ₂ (\$/tCO ₂)	10	50

2010-50年の間: +10%/年で価格上昇を想定
CO₂のLow: RCP4.5程度、High: RCP2.6程度 相当

総コスト [Trillion US\$] (括弧内は総エネルギーシステム対策コスト)

$\frac{PM(H) + CO_2(H)}{56.9 (9.3)}$	>>	$\frac{IM(H\&H)}{56.1 (9.3)}$
$\frac{PM(L) + CO_2(H)}{35.1 (7.9)}$	>	$\frac{IM(L\&H)}{34.7 (7.9)}$
$\frac{PM(H) + CO_2(L)}{36.1 (3.0)}$	>	$\frac{IM(H\&L)}{35.9 (3.0)}$
$\frac{PM(L) + CO_2(L)}{14.3 (1.6)}$	≈	$\frac{IM(L\&L)}{14.2 (1.7)}$

- CO₂排出およびPM_{2.5}濃度の両方の排出削減レベルが大きいとき(CO₂とPM_{2.5}双方の影響被害がかなり大きい場合)、比較的大きなコベネフィットが見られる。⇒ 省エネ、燃料転換まで大きく対策をとるのが効果的
- 一方、例えば、PM_{2.5}の影響被害が大きく、他方、CO₂の影響被害(温暖化による影響被害)がほどほどの水準の場合、コベネフィットは大きくない。⇒ PM_{2.5}の健康影響被害が大きい場合、リソースが限られている状況では、まず、相対的に安価なPM_{2.5}のエンドオブパイプ技術を中心に対策をとるのが効果的で現実的な戦略

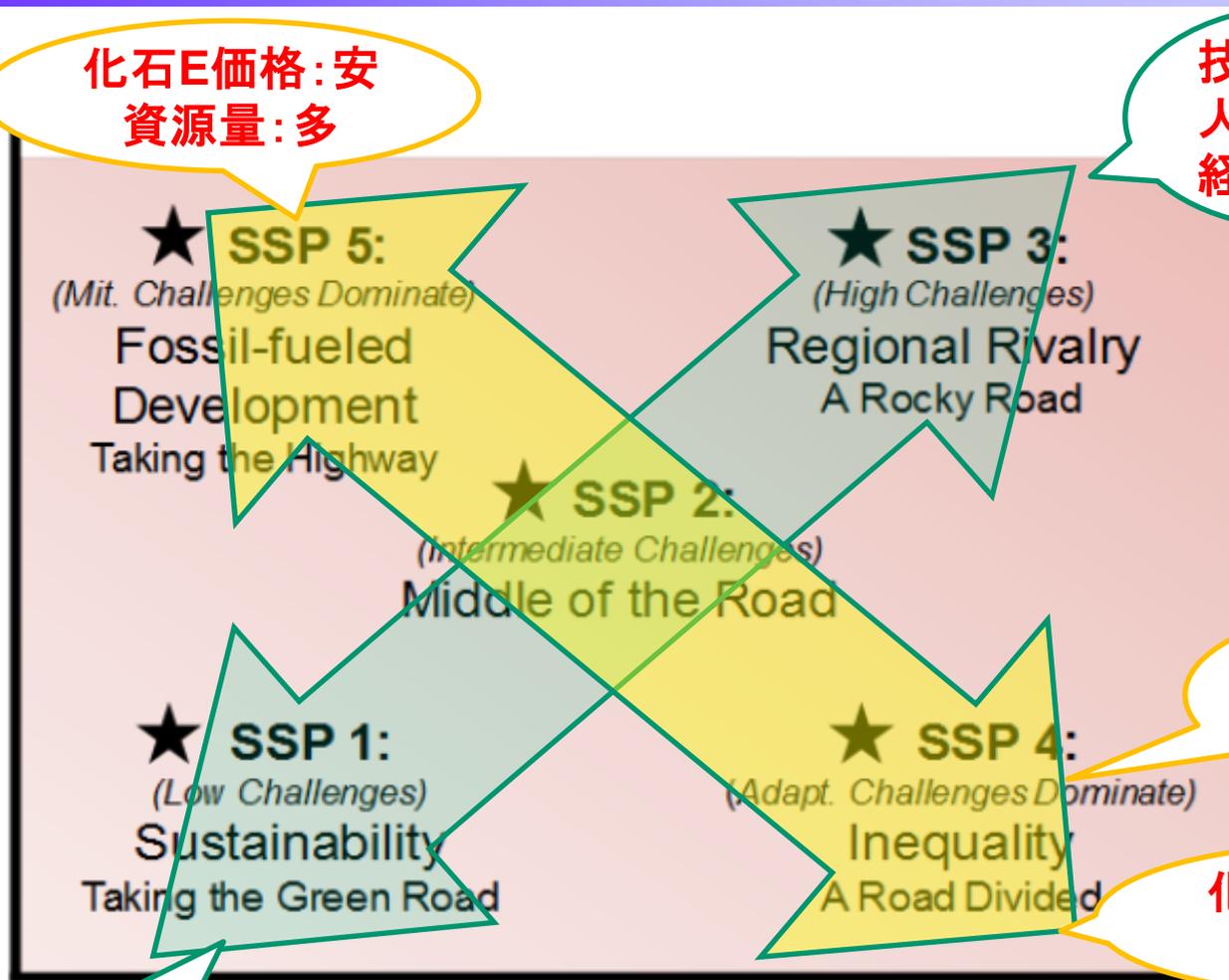
4. 社会経済の不確実性を踏まえた 分析・評価



5種類のSSP (Shared Socioeconomic Pathway) シナリオの概要

温暖化緩和の困難さ

Socio-economic challenges for mitigation



化石E価格:安
資源量:多

技術:低
人口:高
経済:低

ガバナンス:
低

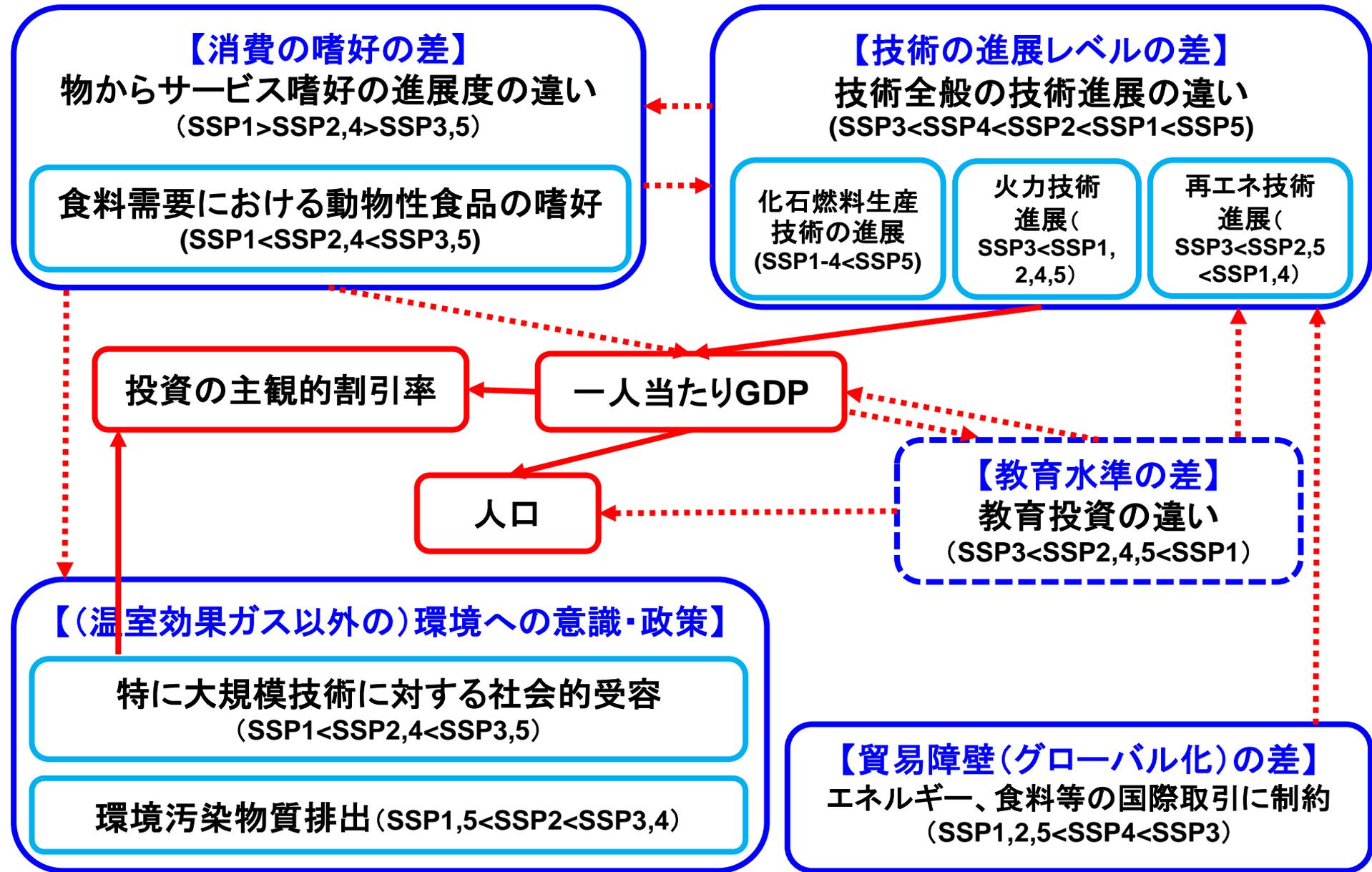
化石Eの国際
価格差:大

技術:高、大規模技
術の受容性:小、
人口:低、経済:高

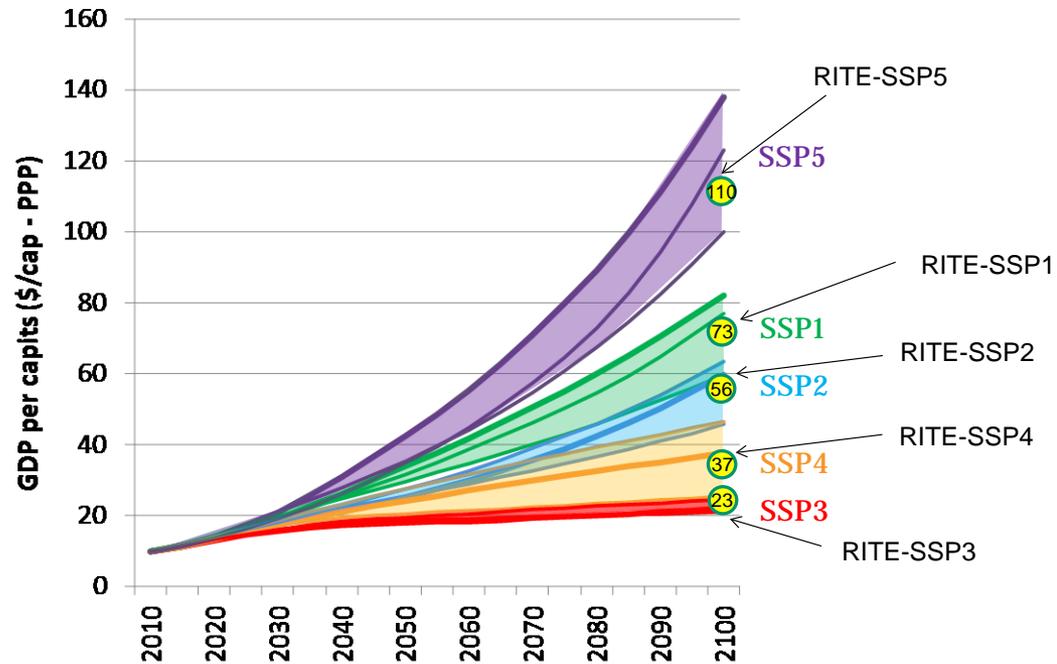
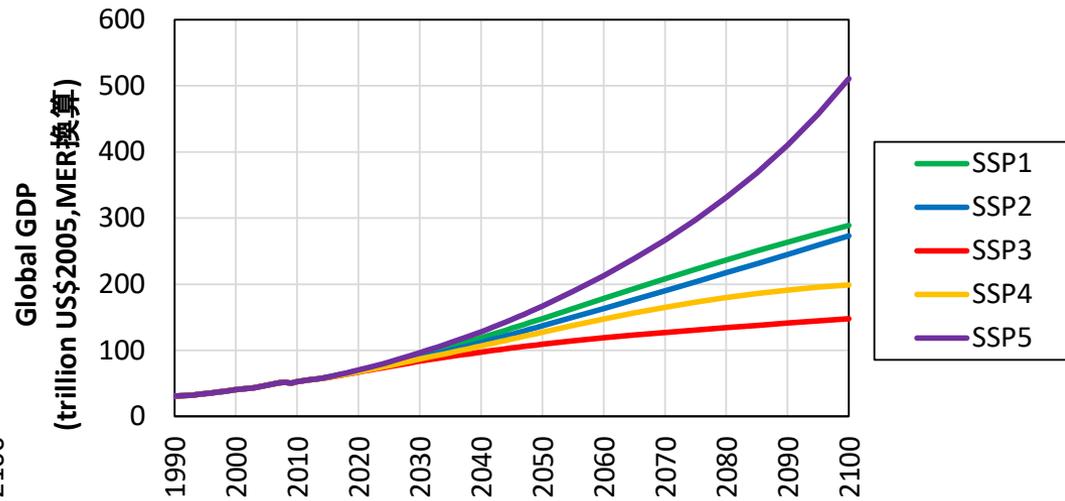
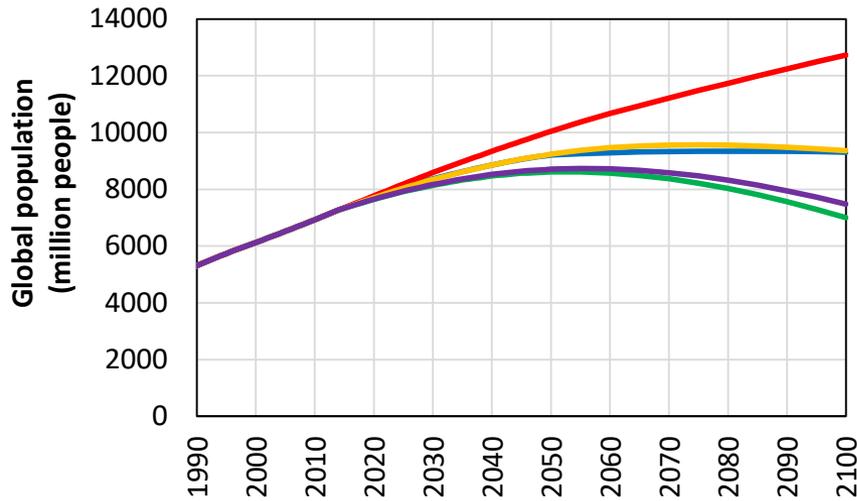
Socio-economic challenges
for adaptation

温暖化適応の困難さ

5種類のSSPの誘発要因の想定

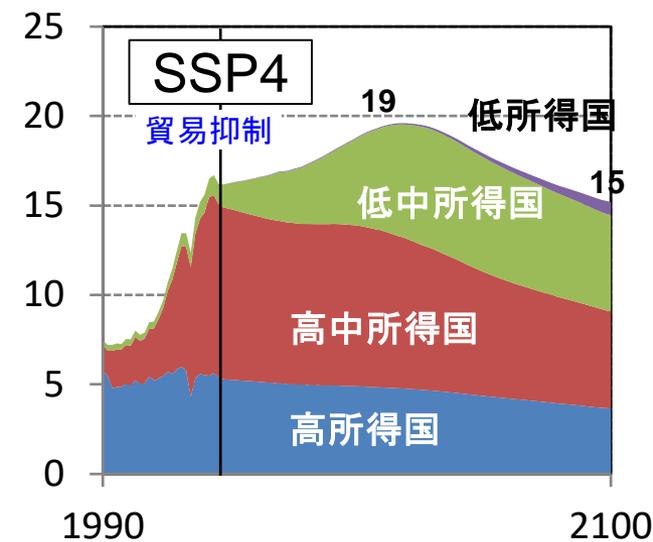
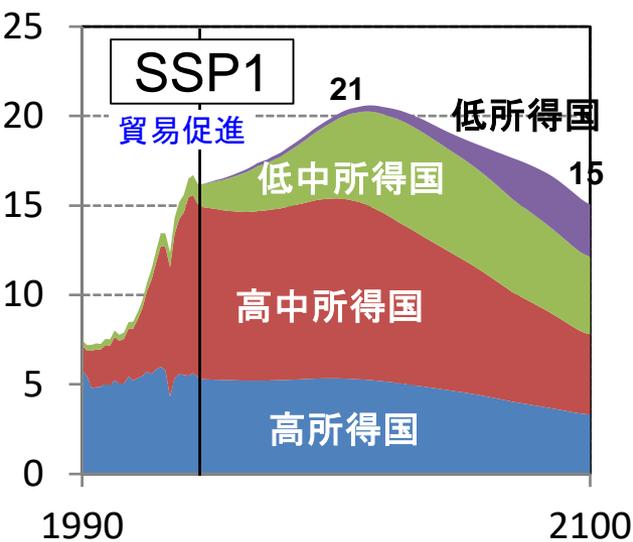
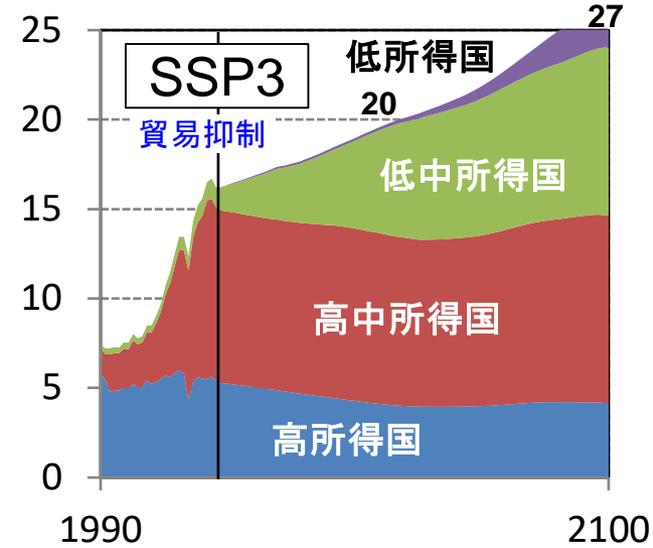
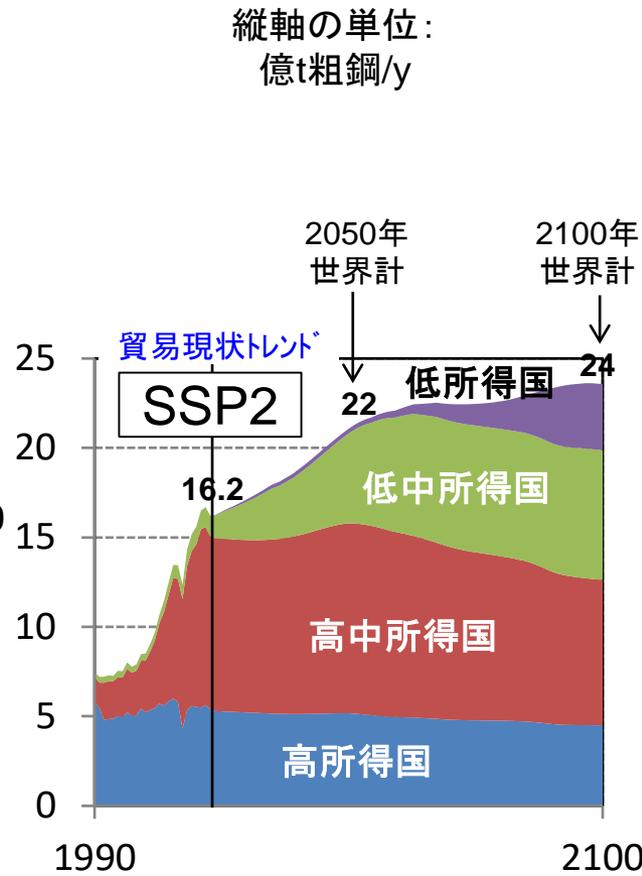
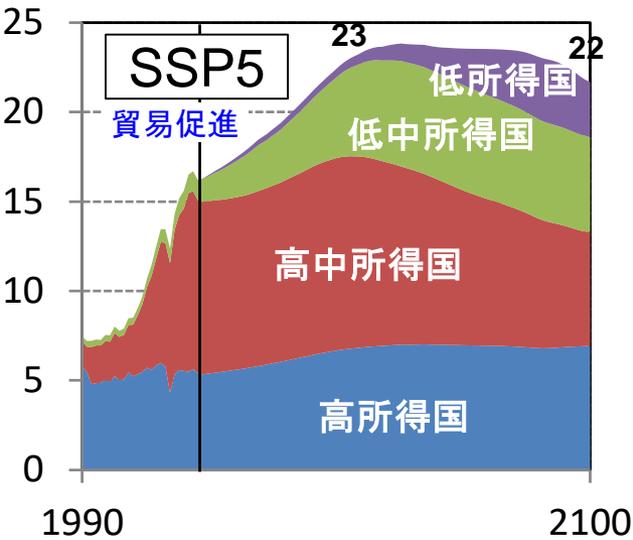


SSP毎の世界の人口、GDPシナリオ

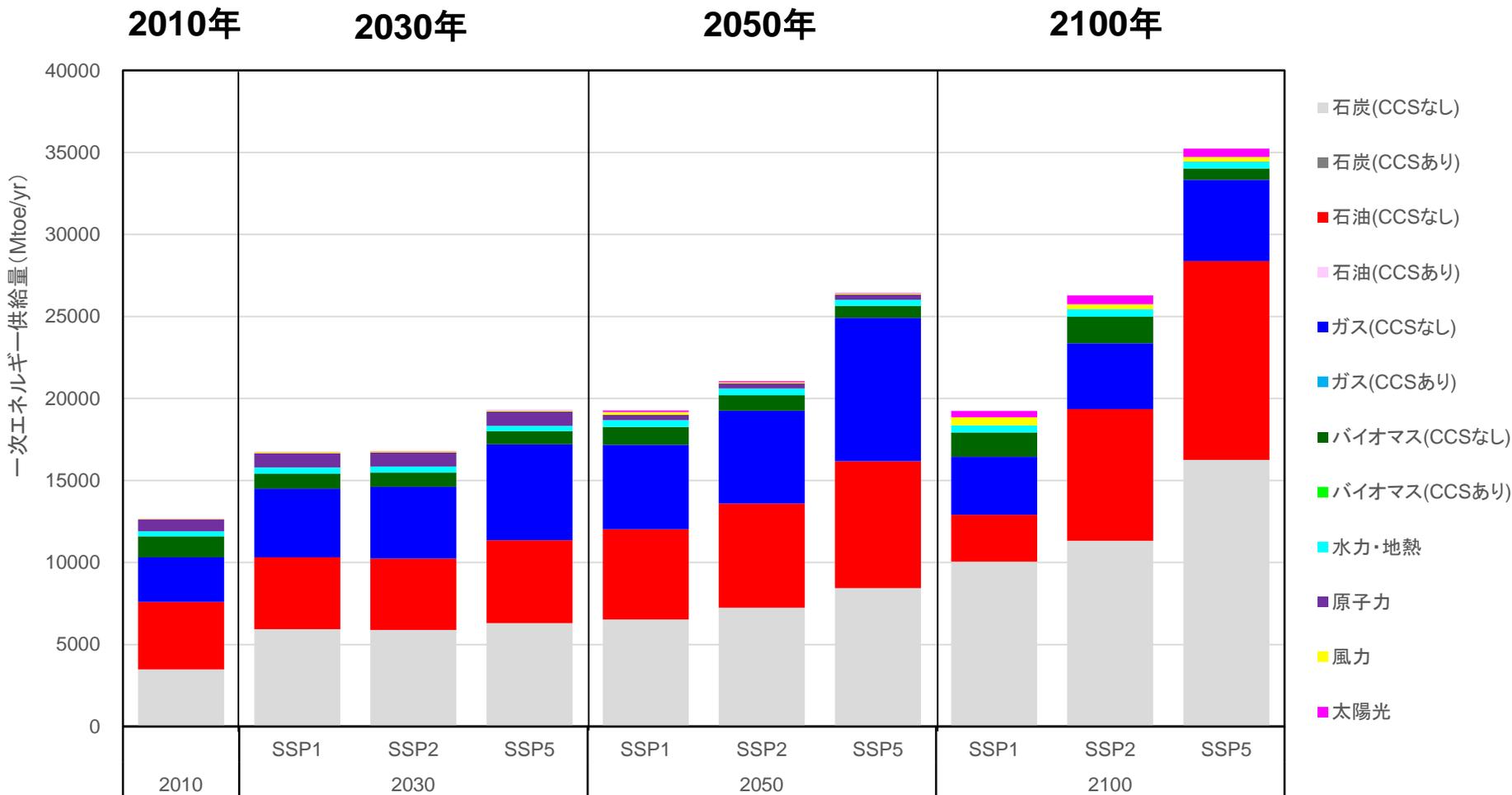


注：Riahi(2013, CCI/IA Workshop)をもとに作成。表示単位は、thousand US\$2005(PPP)/capita。

世界の粗鋼生産シナリオ

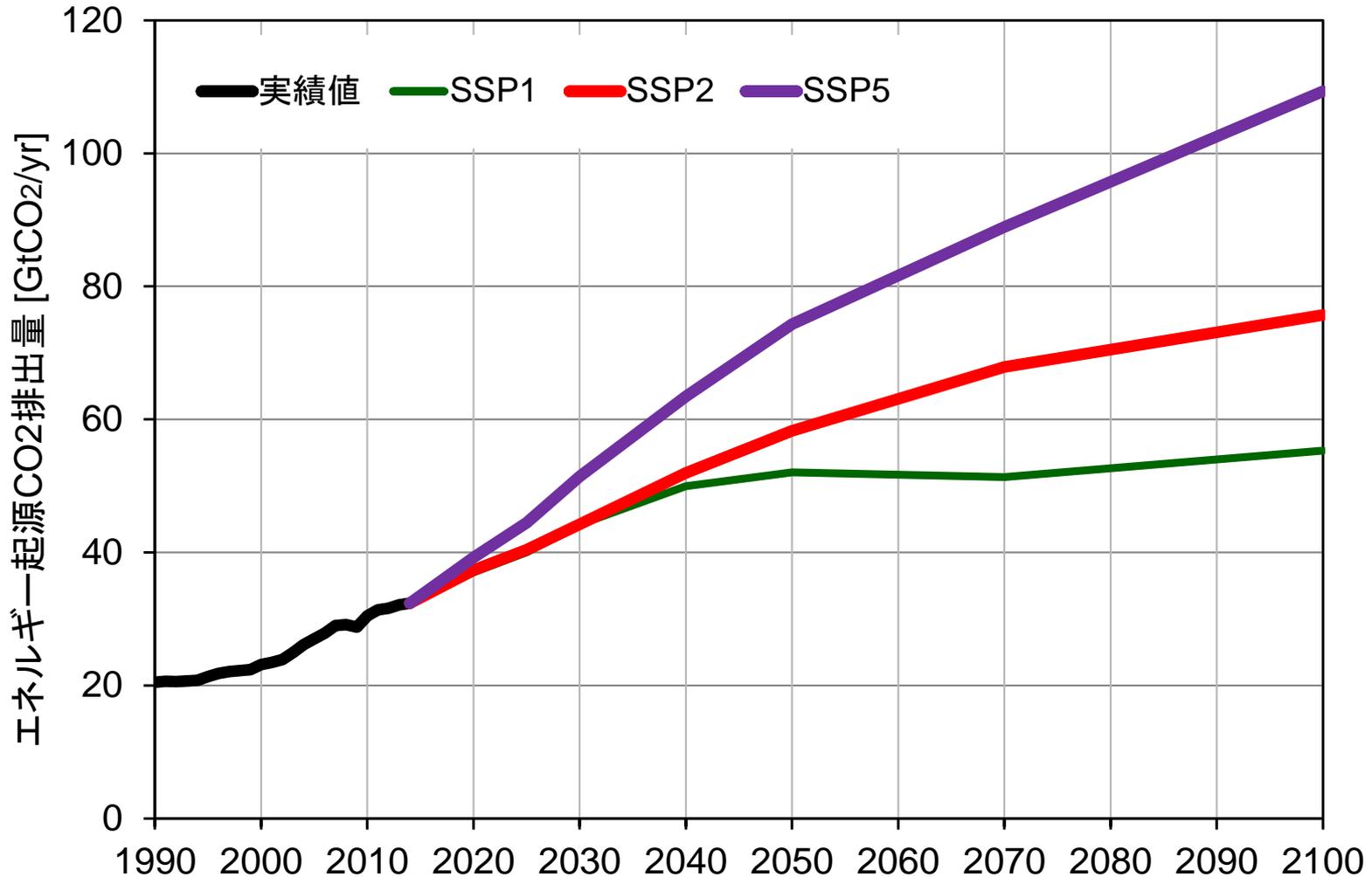


ベースラインにおける世界一次エネルギー供給量



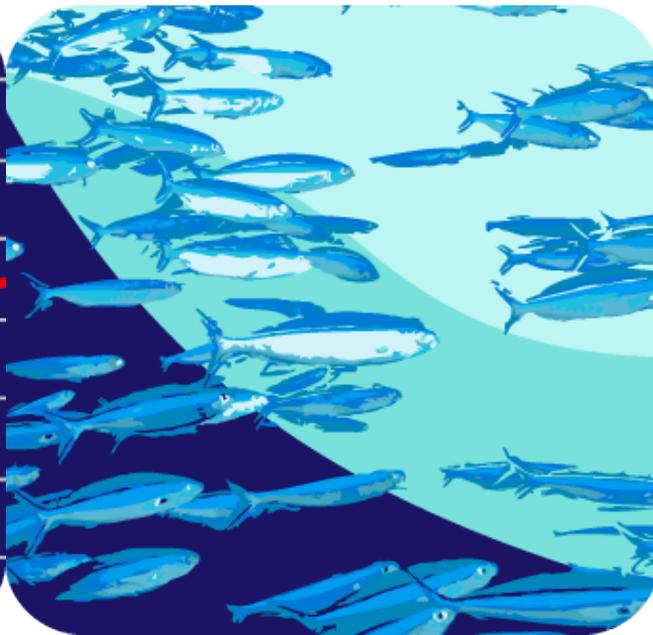
ベースライン(特段のCO2排出削減を行わないケース)においては、SSP1が比較的太陽光発電等の再生可能エネルギーの増大が見られるものの、SSP1を含めて、すべてのシナリオで2100年に至る間、化石燃料が支配的なエネルギー供給源となると推計される。

ベースラインにおける世界のCO2排出量推移



- 社会経済シナリオ(SSP)によって、ベースライン(特段のCO2排出削減を行わないケース)におけるCO2排出量は、2100年に向けて潜在的に増大傾向に。
- ただし、SSP1については、2040年以降はほぼ横ばい傾向と推計。

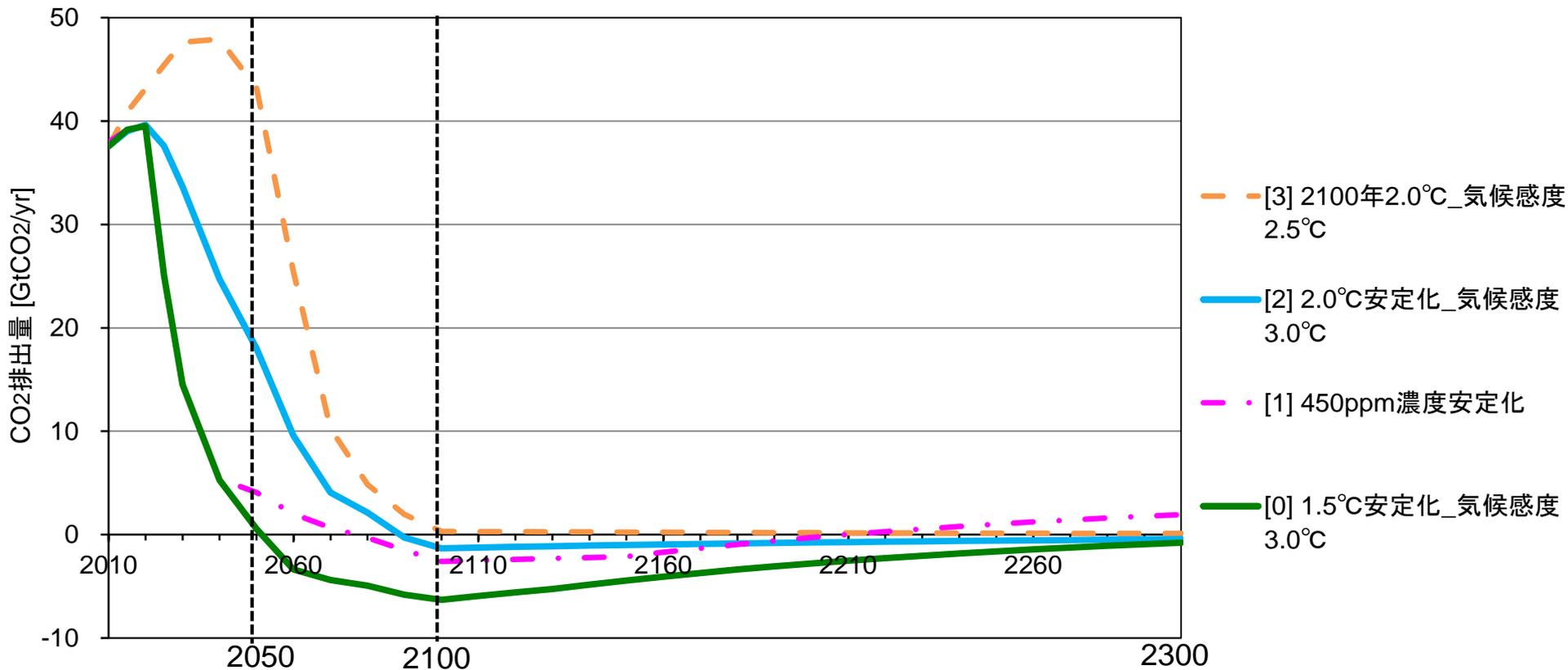
5. 気候科学の不確実性下における リスクマネジメント



パリ協定の気温目標と その政治的文書としての曖昧さと科学的な不確実性

- ◆ **パリ協定での長期目標に関する言及：「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。」**
- **パリ協定では、2°C未満や1.5°C未満をいつの時点で達成することが求められているのか。**
- **パリ協定では、2°C未満や1.5°C未満をどの程度の確率で達成することが求められるのか。もしくは、期待値として2°Cや1.5°Cをどの程度下回るようにすることが求められるのか。**
- **そもそも気候感度が不確実であるとともに、その確率密度分布関数自体が不確実（既出）**

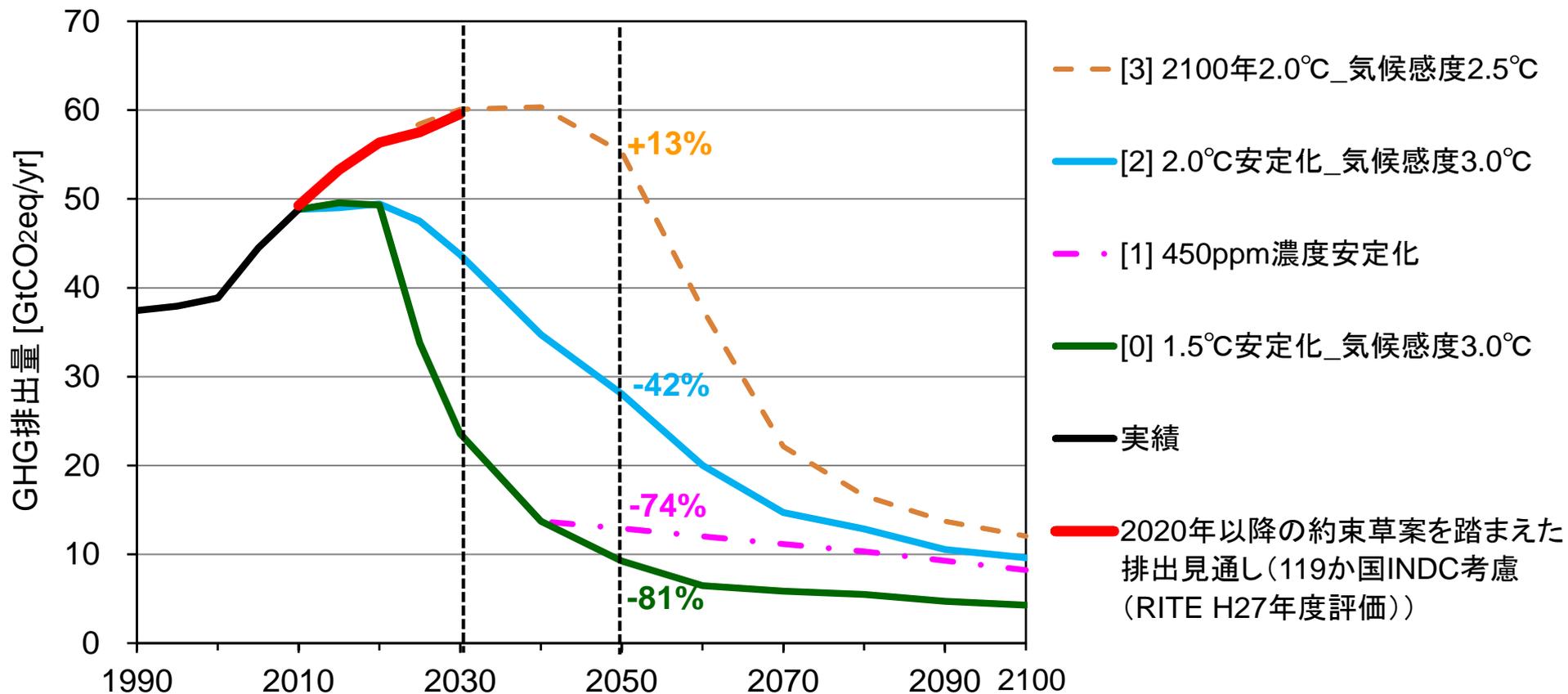
各シナリオのCO₂排出量推移(～2300年)



出典)MAGICC、DNE21+を用いてRITEにて試算

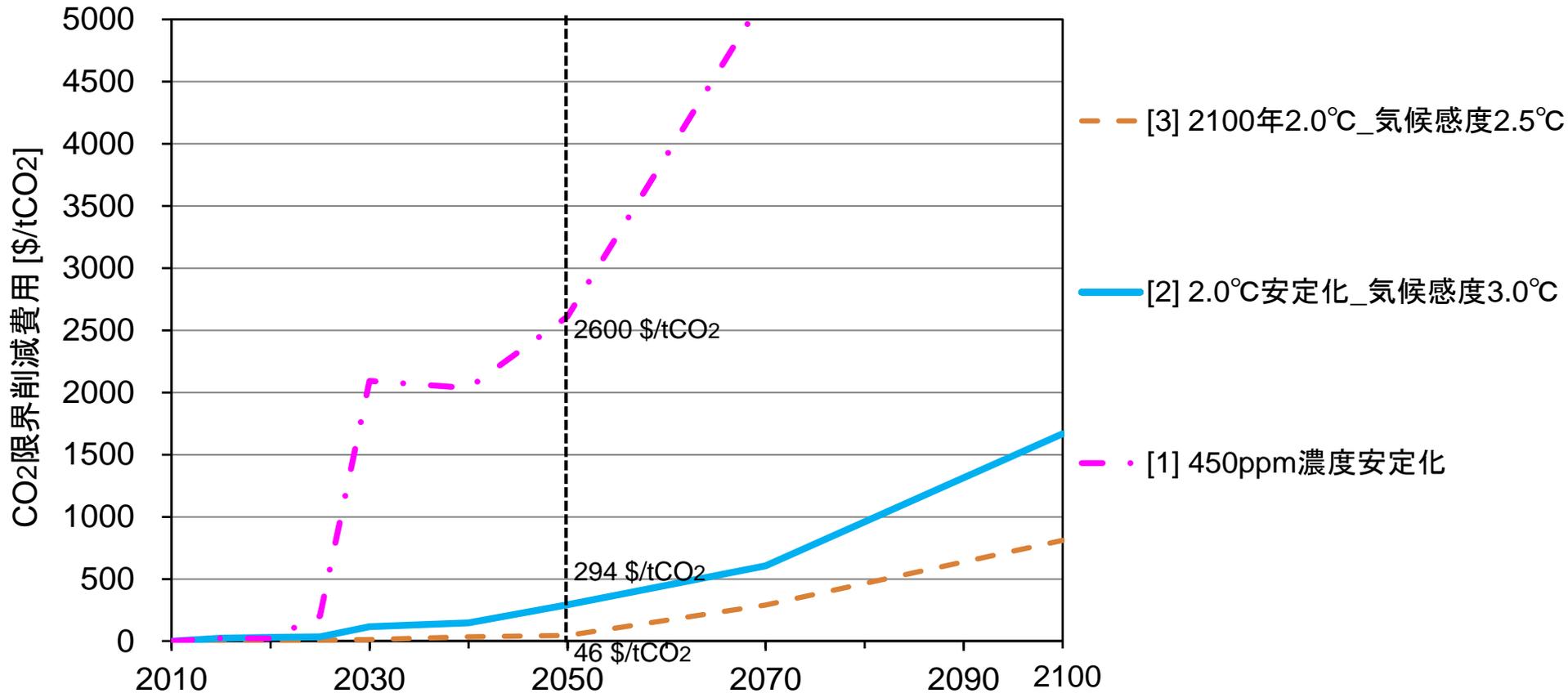
- いずれの排出経路をとっても、長期的(2100年以降)にはCO₂ゼロ排出は必要
- 1.5°Cシナリオでは2050年以降、世界全体で相当量のネガティブCO₂排出が必要

各シナリオの温室効果ガス排出経路(～2100年)



- 2050年頃の世界排出量は、2°C目標といっても大きな幅がある(気候感度0.5°Cの違いだけでも)。
- 約束草案から期待される2030年の世界排出量(米国が2005年比26～28%減目標達成も想定。現実にはトランプ政権誕生も手伝って、その達成は相当困難な可能性大)と、[3]シナリオ:2100年2.0°C以下(気候感度2.5°C)は概ね整合性あり。[0], [1]シナリオとは相当大きなギャップあり。[2]シナリオとのギャップも大きい。

各排出経路実現のための限界削減費用

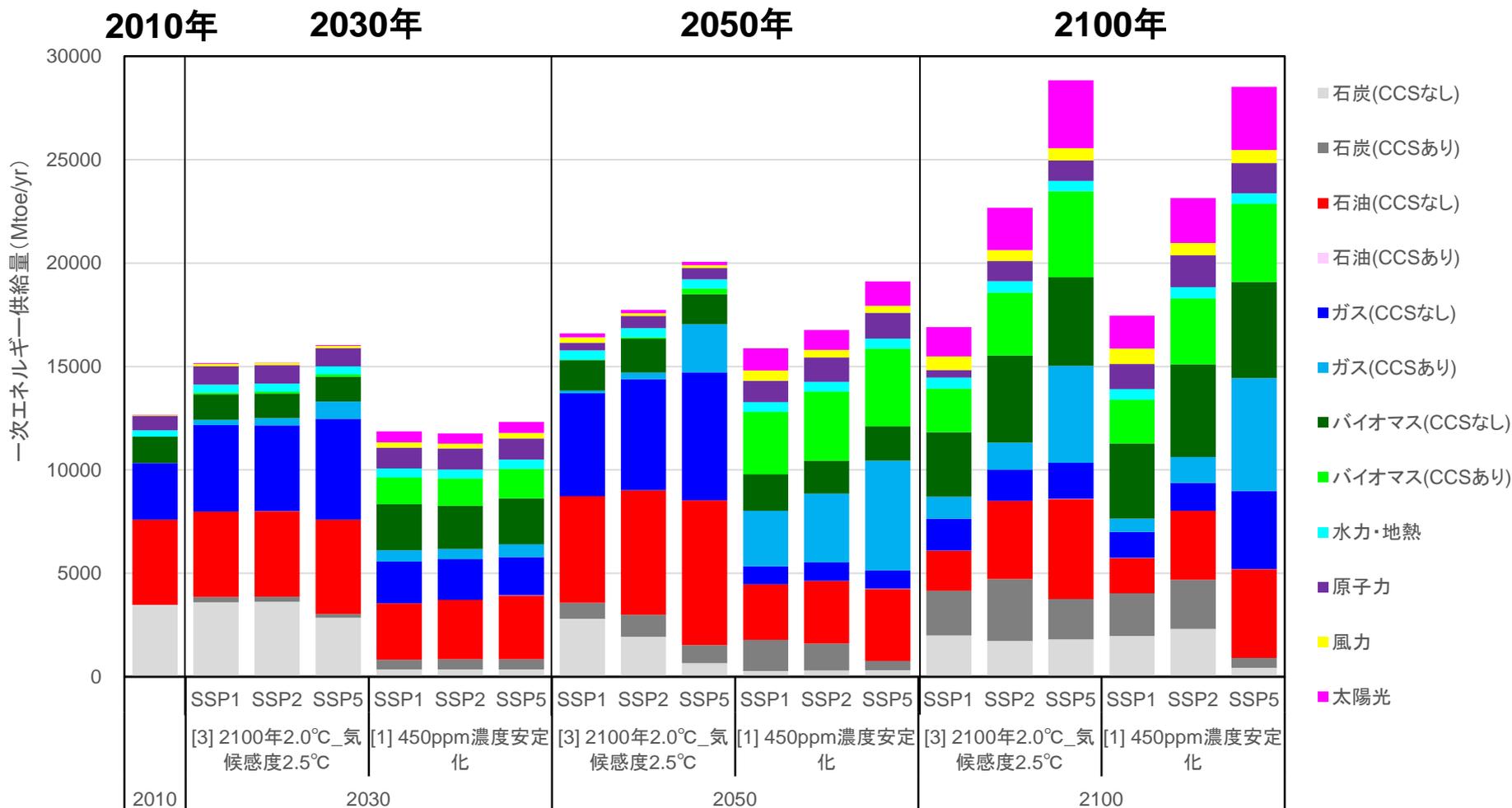


出典) DNE21+を用いてRITEにて試算
(SSP2準拠の場合)

[0] 1.5°C安定化 気候感度3.0°Cシナリオは実行可能解が得られなかった。2050年までの排出経路であれば実行可能解あり。

- [1] 450 ppm濃度安定化は、2030年時点で既に大きな排出削減費用が必要と推計され、現実的に不可能と言わざるを得ない。
- [2], [3]シナリオについても、世界で費用効率的な対策をとったとしても、2100年頃には1000 \$/tCO2程度もしくはそれ以上の費用が必要と推計される。イノベーションが不可欠。

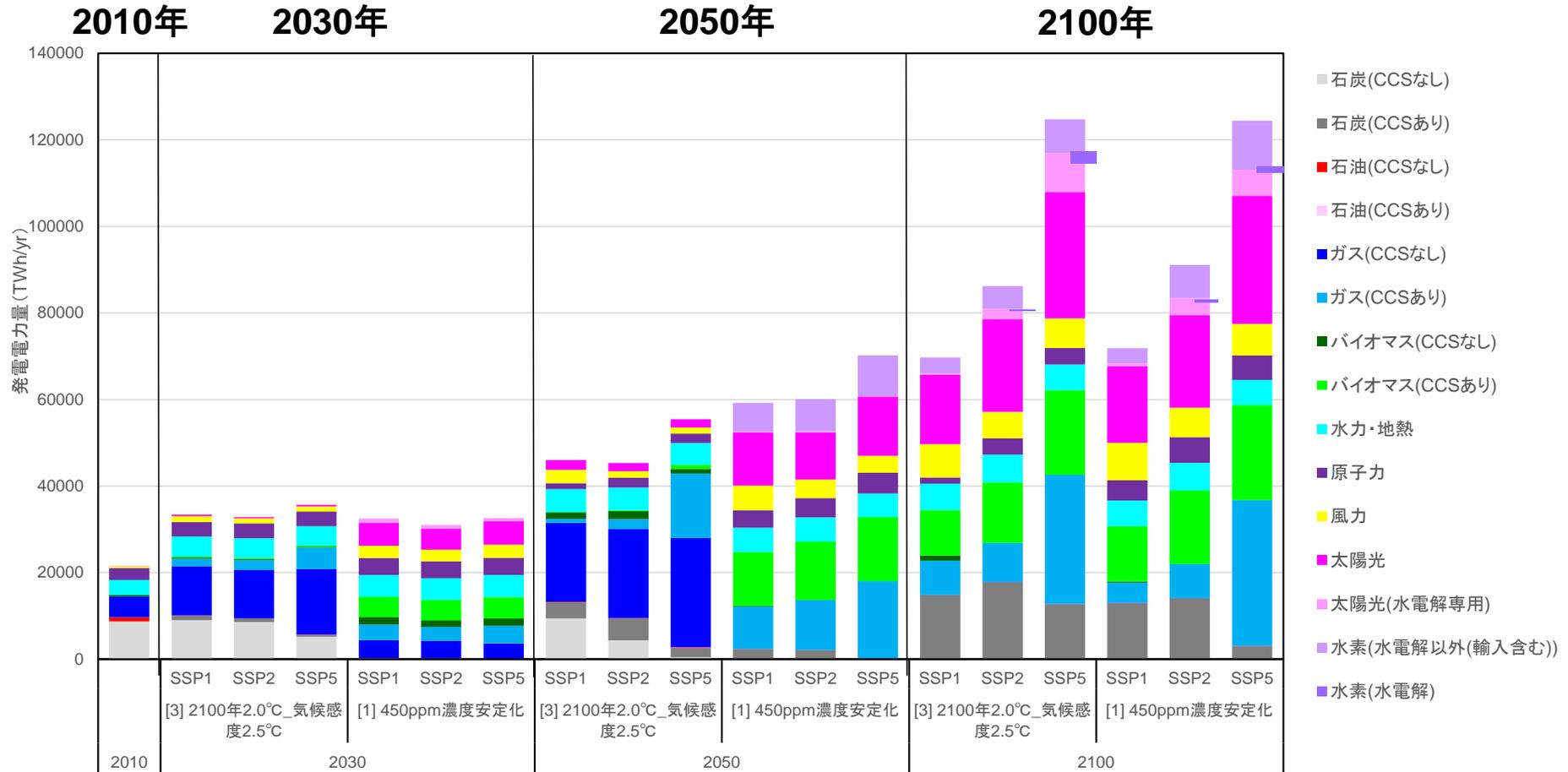
2°C、1.5°C目標における世界一次エネルギー供給量



[0] 1.5°C安定化_気候感度3.0°Cは、SSP1, 2, 5のいずれの社会経済シナリオの下でも、モデルの解が得られなかった(2050年以降の排出削減制約が厳しかったため)。[2] 2.0°C安定化_気候感度3.0°Cは掲載していない。

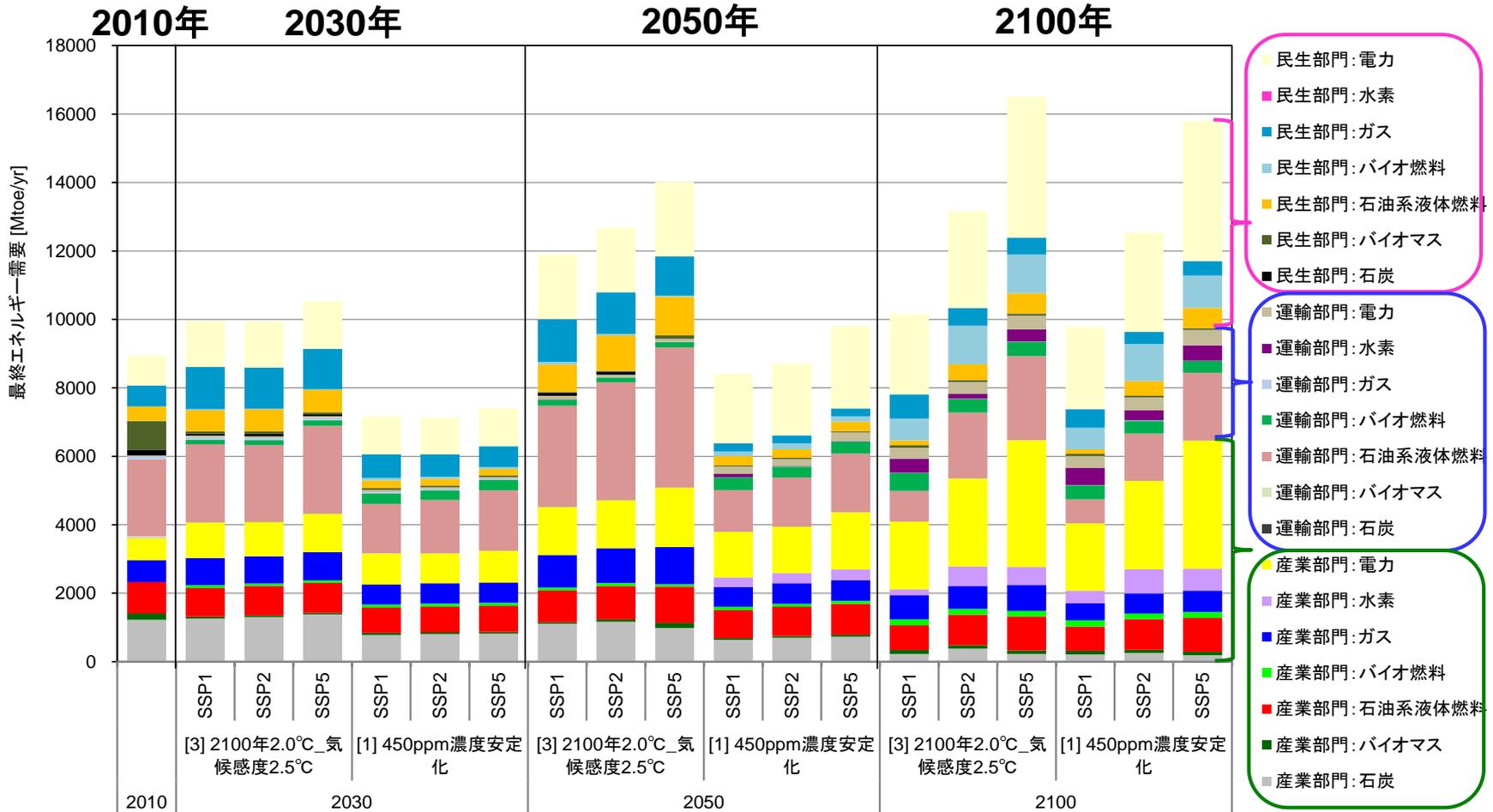
2050年頃までは、排出削減目標による差異が大きい。2100年時点では、排出削減目標よりも、社会経済シナリオ(SSP)による差異が大きい。2100年には相当量のバイオマスCCS(BECCS)が必要

2°C、1.5°C目標における世界発電電力量



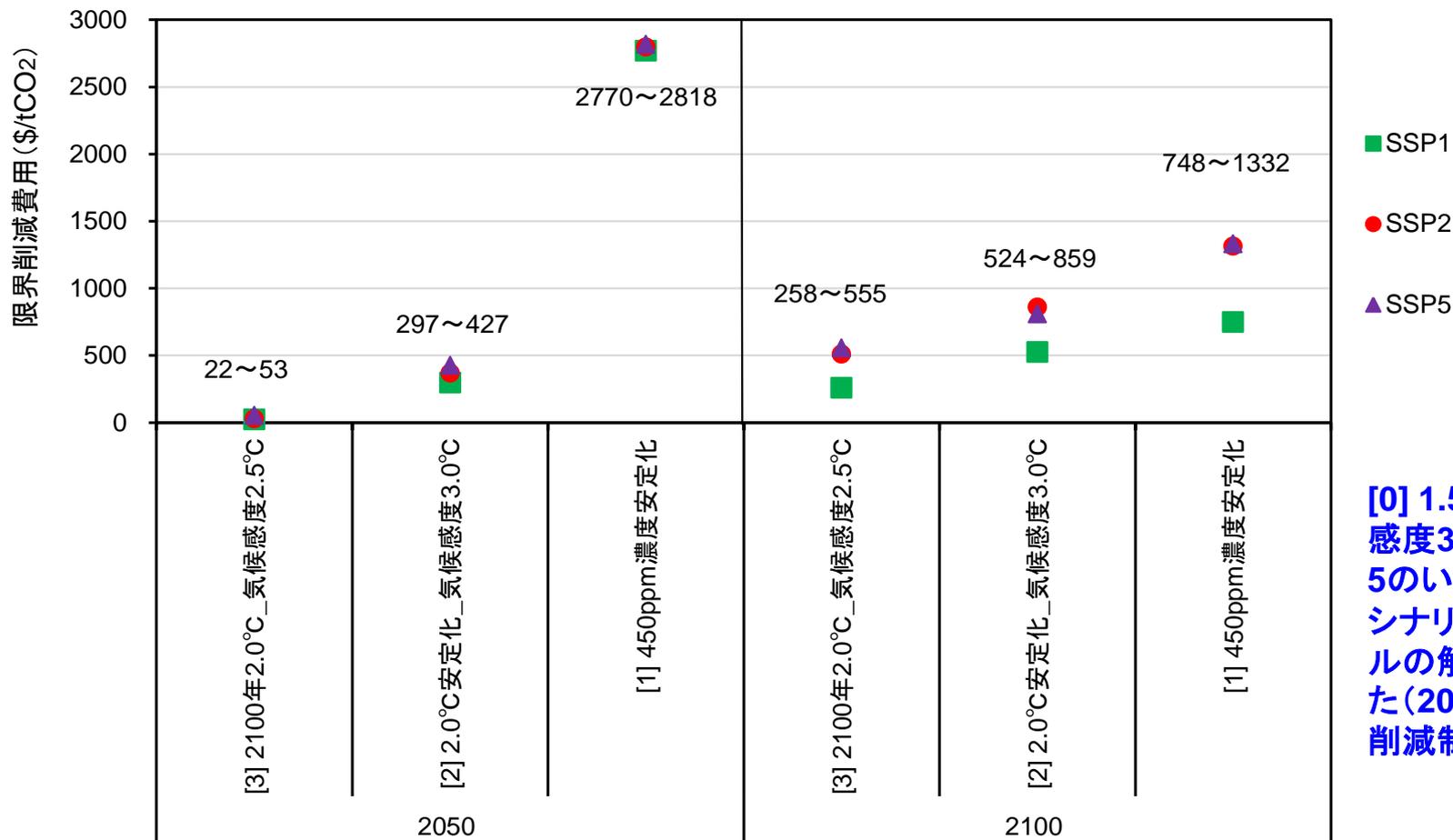
- 2050年頃までは、2°C目標シナリオであっても、[3] 2100年2.0°C_気候感度2.5°Cシナリオの場合、世界の化石燃料発電電力量は増大(天然ガスの増大)が見られる。
- 一方、[1] 450 ppmシナリオでは、2050年頃までには、ほぼすべてが、CCS、再エネ、原子力による発電が必要となる。また、水素発電も見られる。
- 2100年では、いずれの2°Cシナリオでも相当量のBECCSが必要となっている。

2°C、1.5°C目標における世界最終エネルギー消費量



- 2050年頃までは、2°C目標シナリオであっても、[3] 2100年2.0°C_気候感度2.5°Cシナリオの場合、世界の化石燃料による最終エネルギー消費量は増大が見られる。
- 一方、[1] 450 ppmシナリオでは、2050年頃までには、気体燃料の一部は水素に、また2100年までには、[3] 2100年2.0°C_気候感度2.5°Cシナリオであっても水素が相当量利用される結果
- 厳しい排出削減となる[1] 450 ppmシナリオでは、電源の脱炭素化とともに、電力シェアが増大

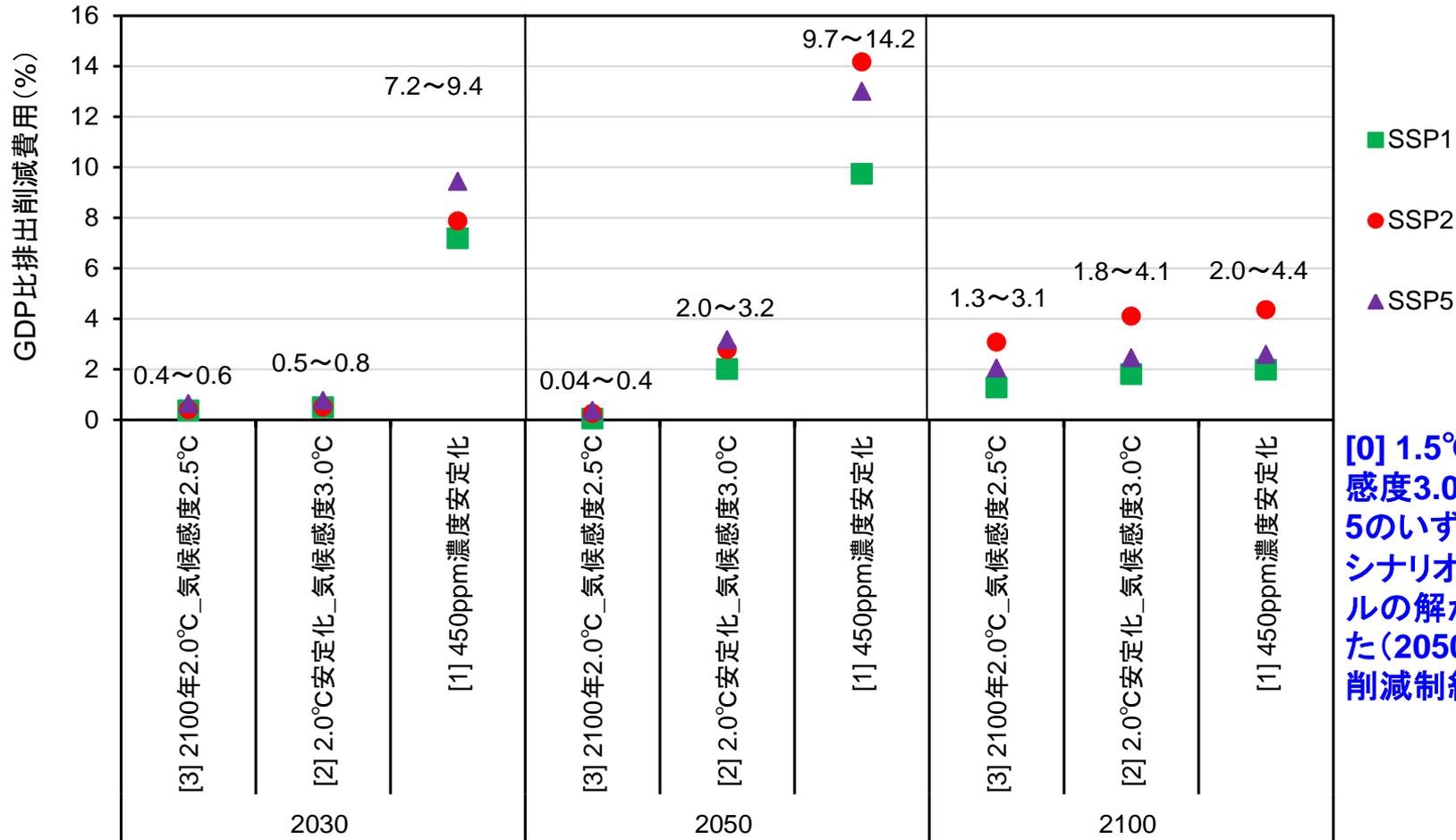
2°C、1.5°C目標における排出削減費用(限界削減費用)



[0] 1.5°C安定化_気候感度3.0°Cは、SSP1, 2, 5のいずれの社会経済シナリオの下でも、モデルの解が得られなかった(2050年以降の排出削減制約が厳しいため)

- 社会経済シナリオ(SSP)による差異はあるものの、いずれの排出削減シナリオでも2050年以降は、現在想像のつかない(モデルで評価できない)革新的技術なくしては、2°C目標の達成は困難と見られる。

2°C、1.5°C目標における排出削減費用 (GDP比削減費用)

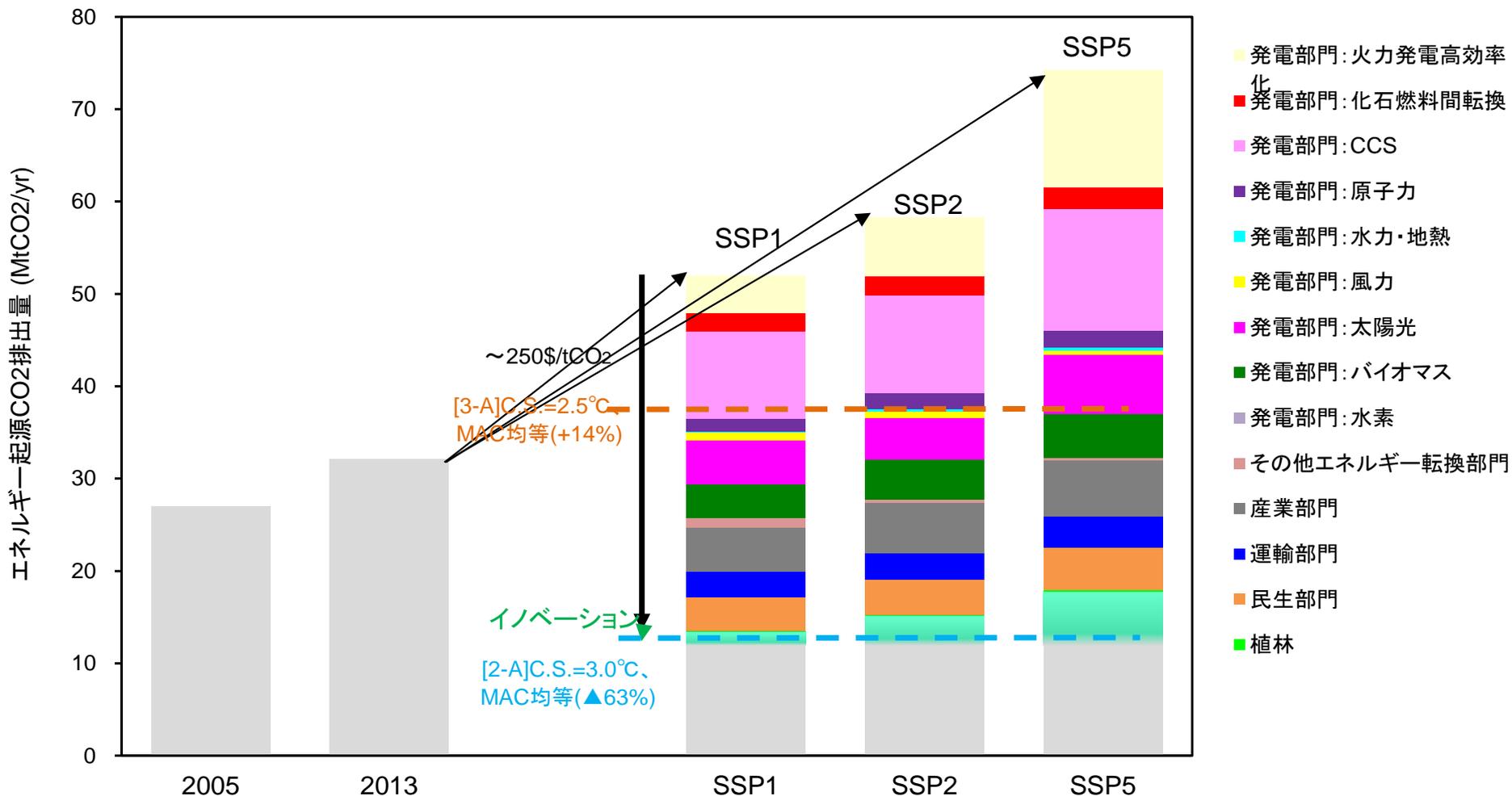


[0] 1.5°C安定化_気候感度3.0°Cは、SSP1, 2, 5のいずれの社会経済シナリオの下でも、モデルの解が得られなかった(2050年以降の排出削減制約が厳しいため)

- GDP比排出削減費用で見ると、[1] 450 ppmシナリオにおける2030、2050年の費用負担がとりわけ大きい。
- GDP成長率の想定が大きいSSP1, 5は、SSP2に比べて、GDP比排出削減費用は若干低くなる傾向あり。

世界全体の2050年におけるCO₂排出削減効果

([2]2.0°C安定化_気候感度3.0°C – [A]MAC均等 で計算)



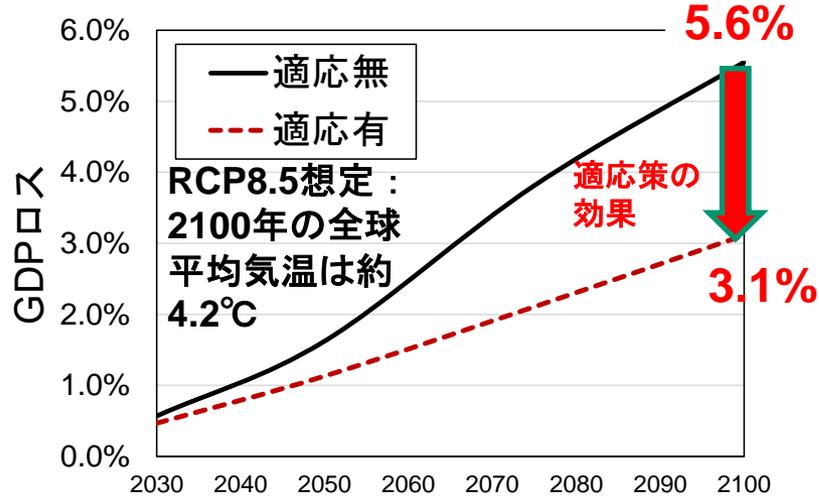
注)グラフ中の削減率の数字はエネルギー起源CO₂排出の2013年比

たとえば、250\$/tCO₂までの対策のみ積み上げ、残りはイノベーションに期待する場合の分析例

温暖化適応策の効果（世界GDPへの影響）

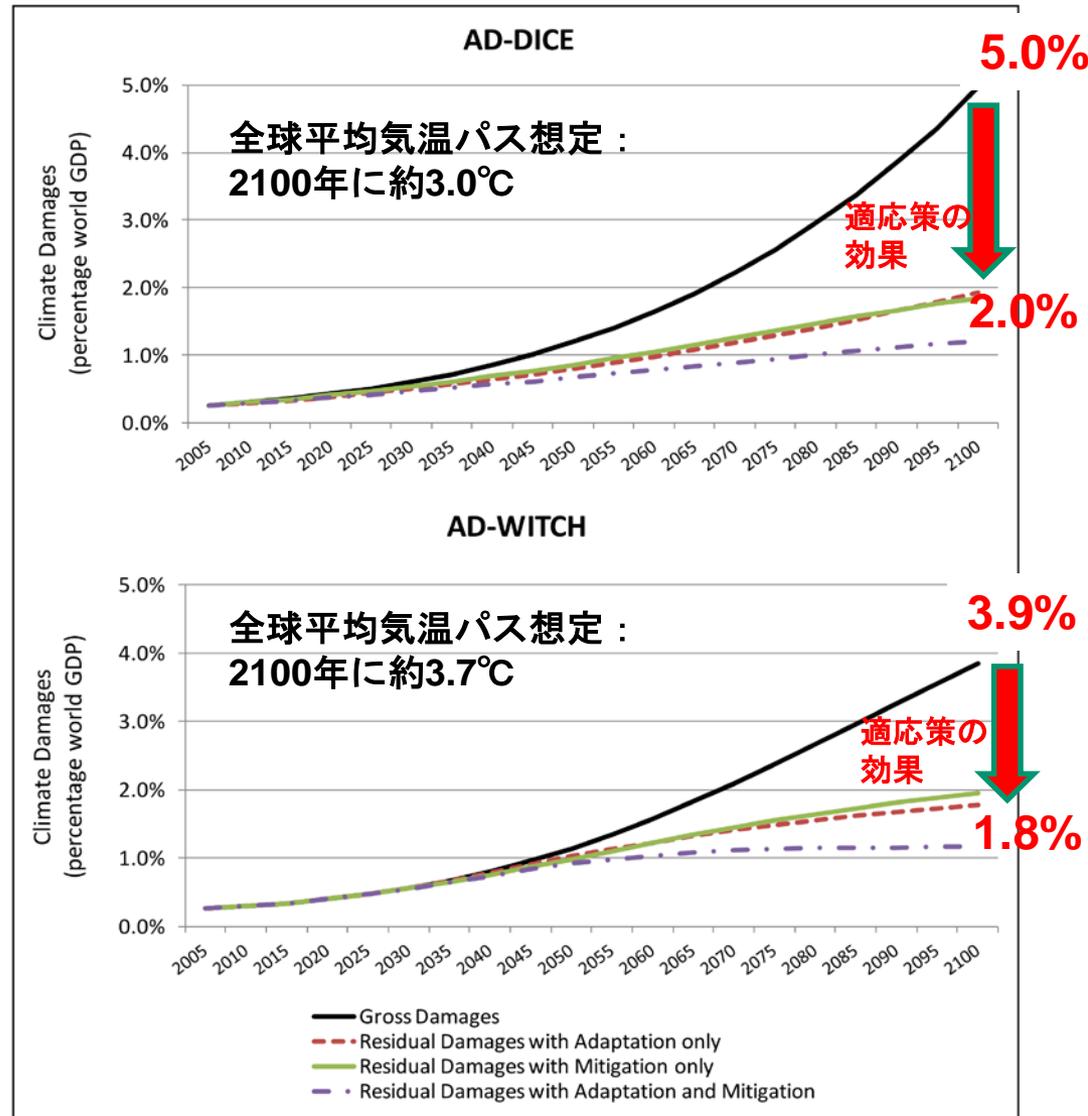
—各種モデルの推計—

RITE・適応策評価モデル (気候感度C.S.=3.0°C相当)



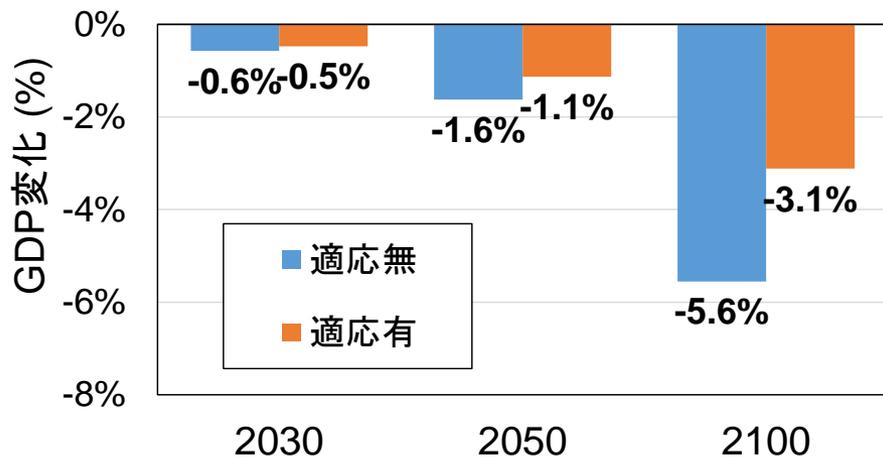
注1) RITE・適応策評価モデルは、適応策として海岸部門のみ考慮しているため、適応有によってGDPロスの低減効果を「十分反映できていない可能性がある」は「十分反映できていない。適応策の効果はさらに大きい可能性が大。
注2) いずれのモデルも温暖化影響被害や適応費用の推計等の精度は粗いことを認識しておく必要あり。

いずれの分析においても、温暖化適応策によってGDPへの温暖化影響が大きく軽減される可能性を示している。
(適応策の導入により、2100年で2.1~3.0%ポイントのGDPロスの軽減)

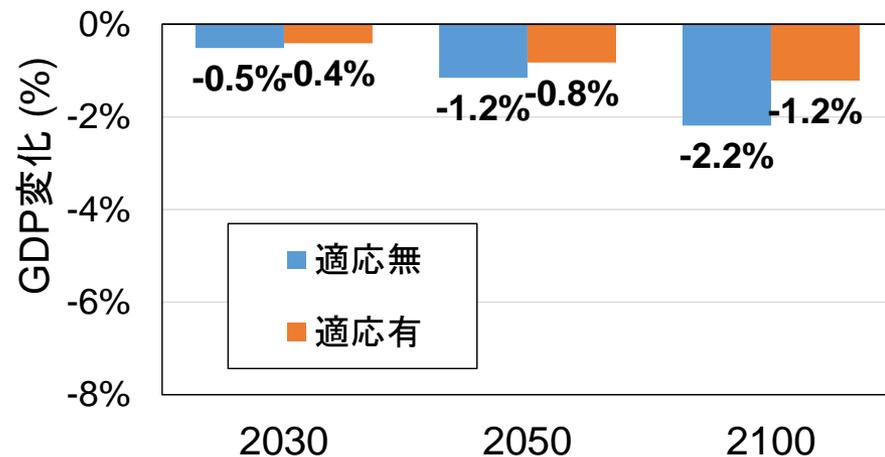


影響・適応策による世界GDPの変化（気候感度C.S.=3.0°C）：RITE推計
 （気候変動無しケース比）

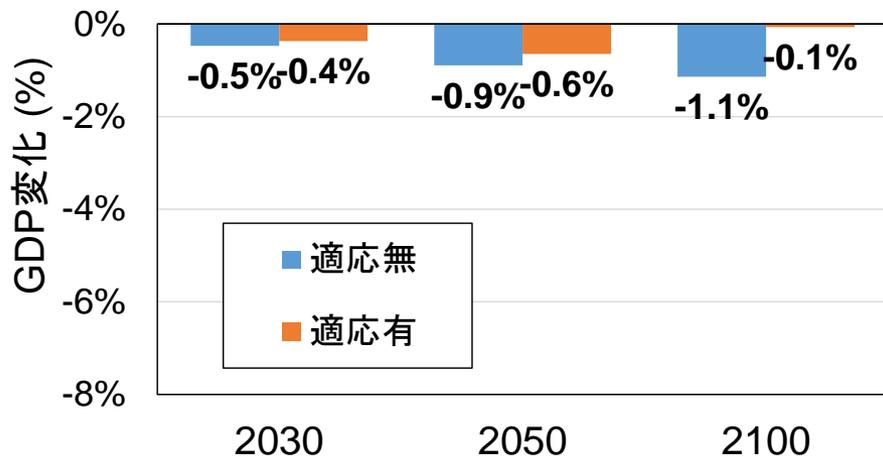
RCP8.5



RCP4.5

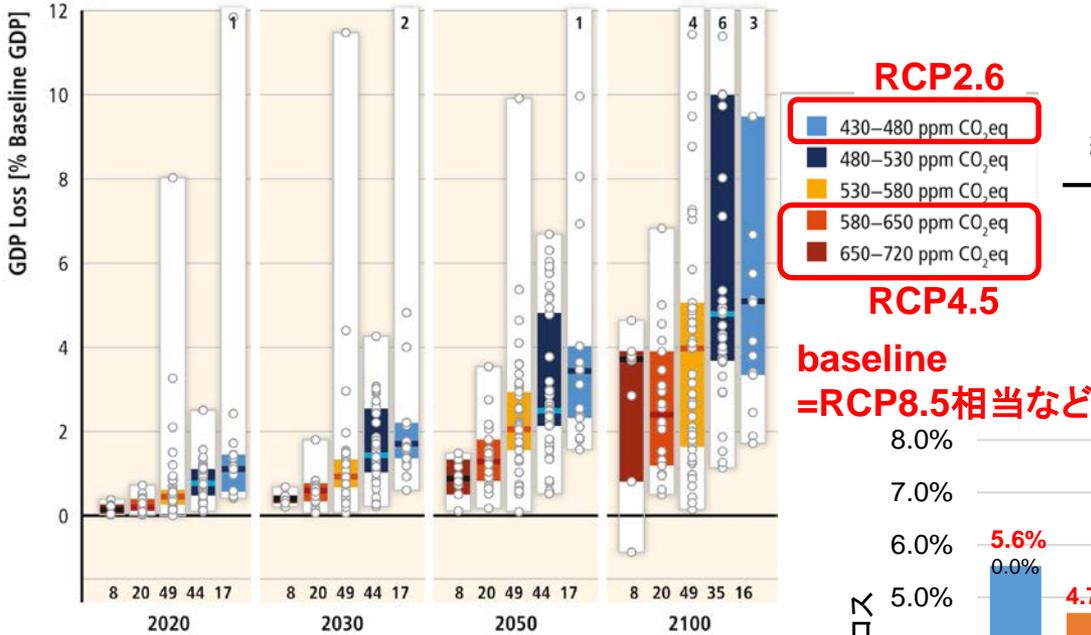


RCP2.6 (3.0PD)



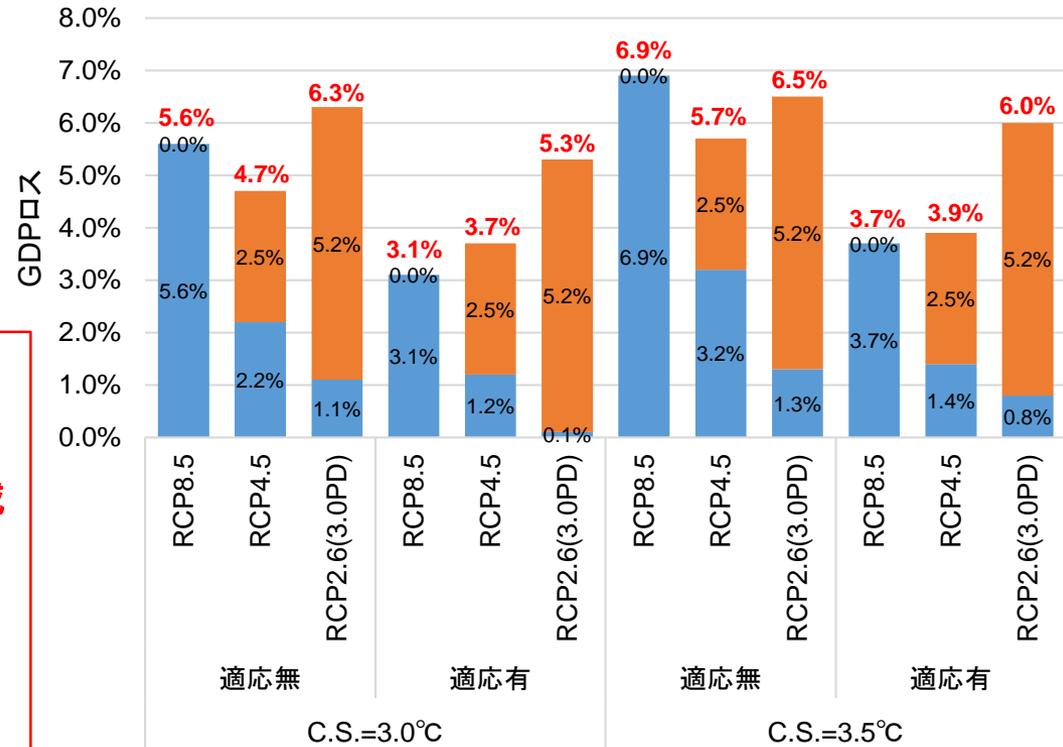
温暖化被害・適応策のGDP影響 —緩和費用との比較—

緩和策によるGDPロス(IPCC-AR5-WG3)



緩和策のGDPロスとしてAR5の報告値(中位値)を採用した場合

影響被害・適応費用および緩和費用 (適応の有無および気候感度の差異)



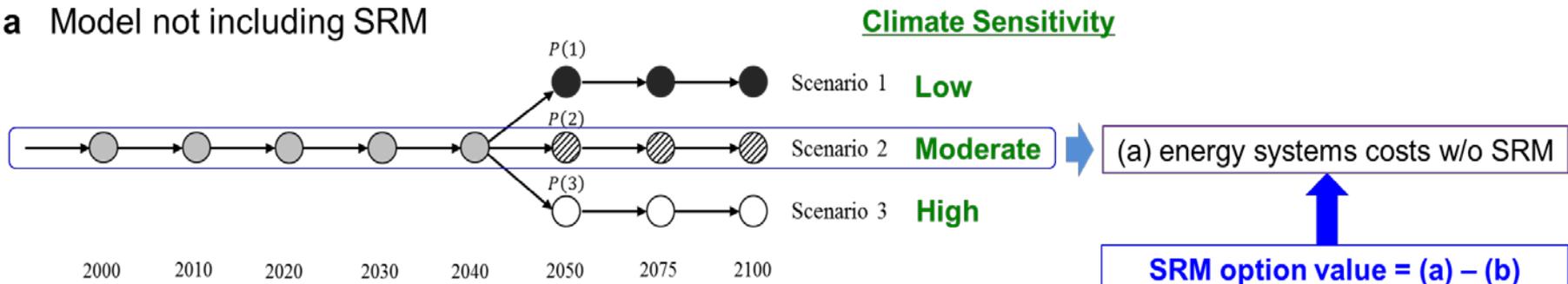
注) 緩和費用推計は基本的に世界全体での費用最小化を前提に推計されたもの

- 温暖化影響被害・適応費用推計の精度の課題があり断定的なことは言えないが、このように適応により被害をかなり抑制できるなら、2°C目標(RCP2.6)のような厳しい排出削減ケースが影響被害を含めた総費用を最小化するかは議論の余地がある。
- 気候感度が0.5°C想定よりも高く3.5°Cであったとした場合でも、適応策によってかなりの影響被害を抑制できる可能性あり(気候感度が3.0°Cの場合と傾向は大きく変わらない)。

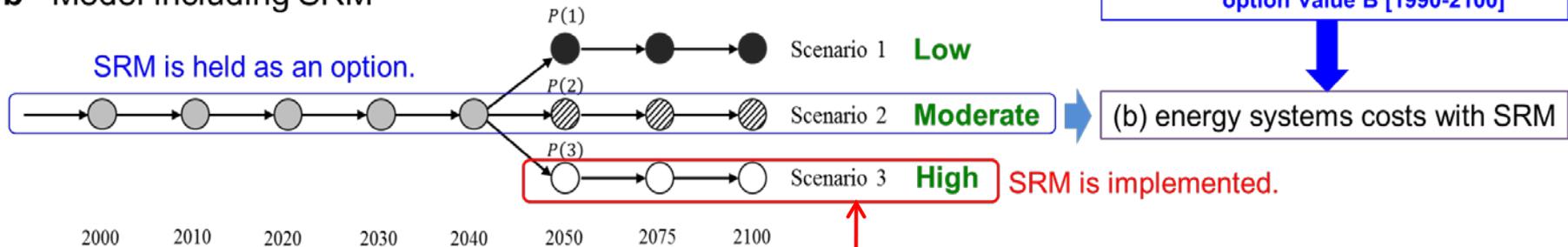
気候感度が高かった場合に備えた気候変動リスク対応戦略 —SRMオプション価値の評価のためのフレームワーク—

- ◆ 気候工学的手法として、太陽放射管理(SRM)の提案もなされている。気候感度の不確実性がある中で
の気温上昇目標達成手段として、SRMのオプション価値の評価を実施
- ◆ 単純化したディビジョンツリーのモデル化により、DNE21モデル(DNE21+の簡略版)によって試算
出典) Y. Arino, K. Akimoto et al., PNAS, 113(21), 2016

a Model not including SRM



b Model including SRM



【想定条件】

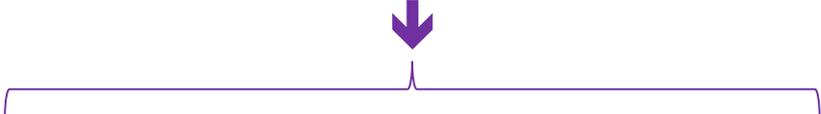
- (1) 2050年以前は気候感度が不確実(確率の想定は次頁)
- (2) 2050年に気候感度の不確実性がなくなる(3シナリオに代表させる。具体的な気候感度は次頁)
- (3) SRMは以下の条件で実施。(a) 冷却効果は最大限で-0.5°Cまでに限定、(b) 2050年以降のみで実施、(c) 気候感度が3つの想定シナリオの中で最も高かった場合に限り実施

気候感度の不確実性とその後の判明を想定したシナリオ想定

- ◆ 2100年までの期間について、期待費用最小化する具体的な対策、排出経路を推計

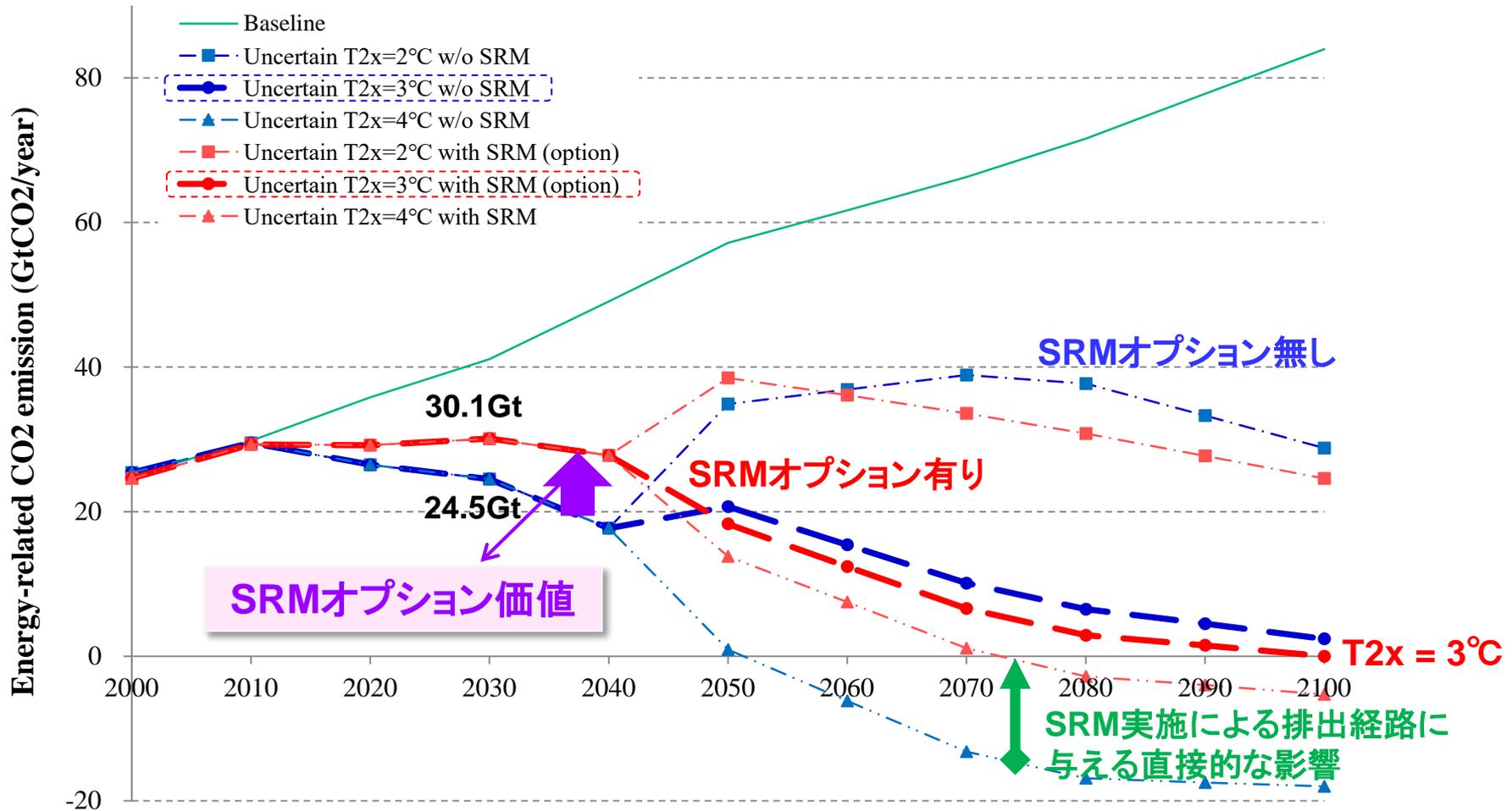
Rogelji et al. (2012) による気候感度の確率密度分布 (2.0~4.5°Cがlikely、mean: 3.0°C) から気候感度の実現確率を想定

[想定シナリオ]



	気候感度 (T2x)	気候感度実現確率	SRM実施オプション
Scenario 1	2.0°C	10%	SRM実施せず
Scenario 2	3.0°C	71%	SRM実施せず
Scenario 3	4.0°C	19%	SRM実施(最大-0.5°Cの範囲)

SRMオプションの有無の違いによる 2.5 °C目標時のCO2排出経路

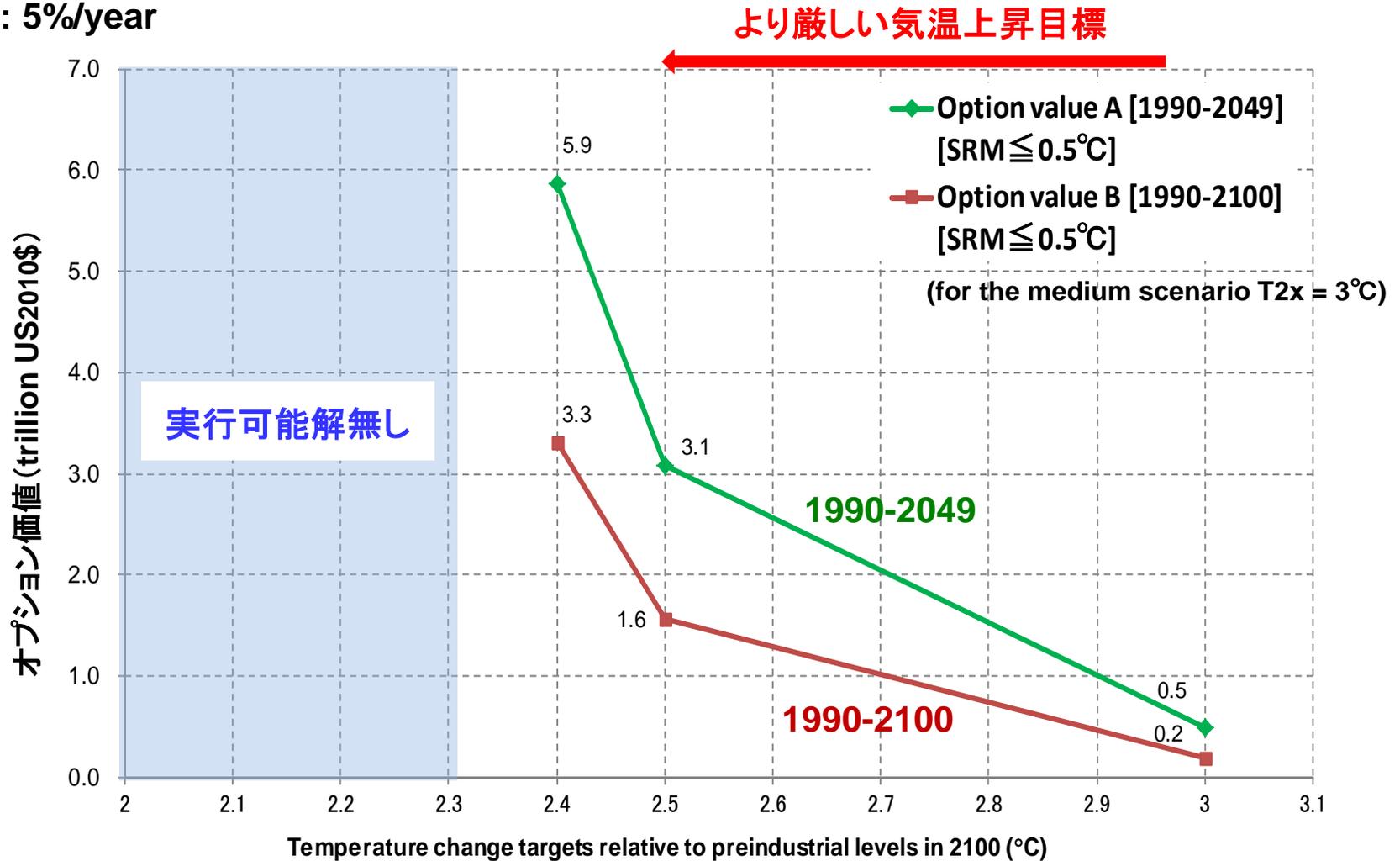


Y. Arino, K. Akimoto et al., PNAS, 113(21), 2016

実際にはSRMを実施しない場合であっても、SRMオプションを有しているだけで、気候感度が高い(ここでは4°Cを想定)ことを前提に排出削減を行う必要性が低下する。気候感度の不確実性が残っている期間(2000-2040年)におけるCO₂排出を比較的中庸にすることが合理的となり、リスク管理をより良くできるようになる可能性もあり。

気温上昇目標とSRMオプション価値の関係

割引率: 5%/year



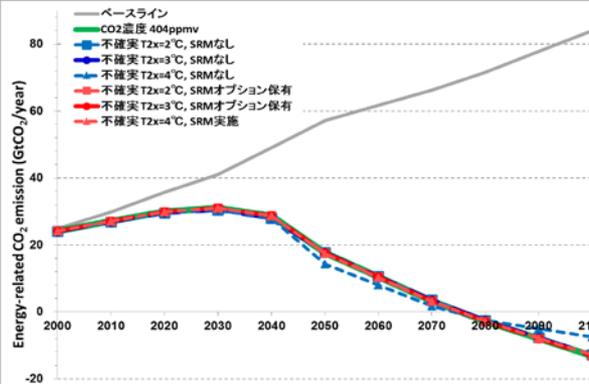
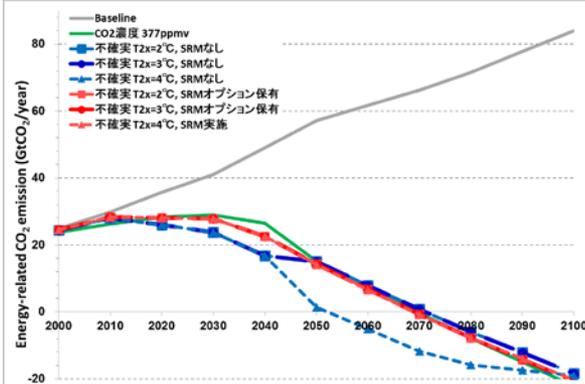
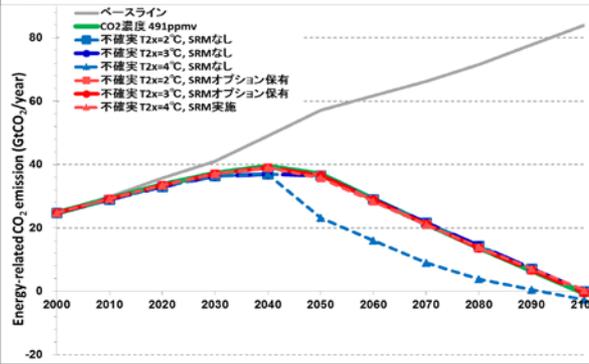
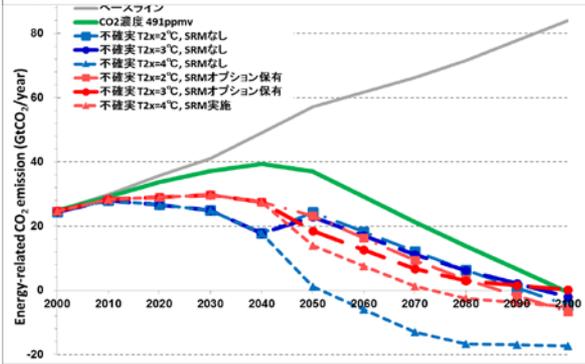
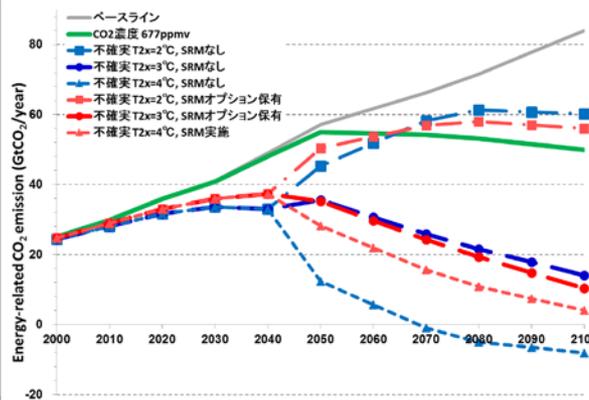
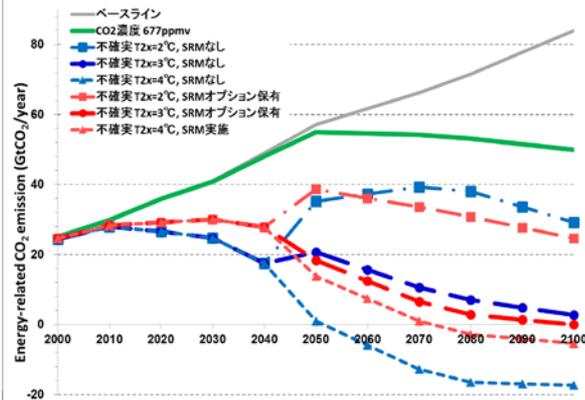
Y. Arino, K. Akimoto et al., PNAS, 113(21), 2016

気温上昇目標が高いほど、SRMのオプション価値はより大きく上昇する。(1990-2049年の期間で、2.5°C目標の場合は3.1 trillion \$、2.4°C目標の場合は5.9 trillion \$と推計)

海洋酸性化へのリスク対応とSRMオプション戦略との関係

【+2.5°Cケース】

【+3°Cケース】



- SRMは海洋酸性化には効果がない。
 - しかし、すべてをSRMに頼るのではなく、SRMを気候感度が高かったときのオプションとして活用する(また活用範囲も0.5°Cまでの冷却に限定する)といった戦略下では、CO2の排出削減も実施することが望ましい戦略であり、それによって海洋酸性化も相応に抑制される。

緩やかなpH制約

【pH≥7.86(2100年)=677ppm】

中位のpH制約

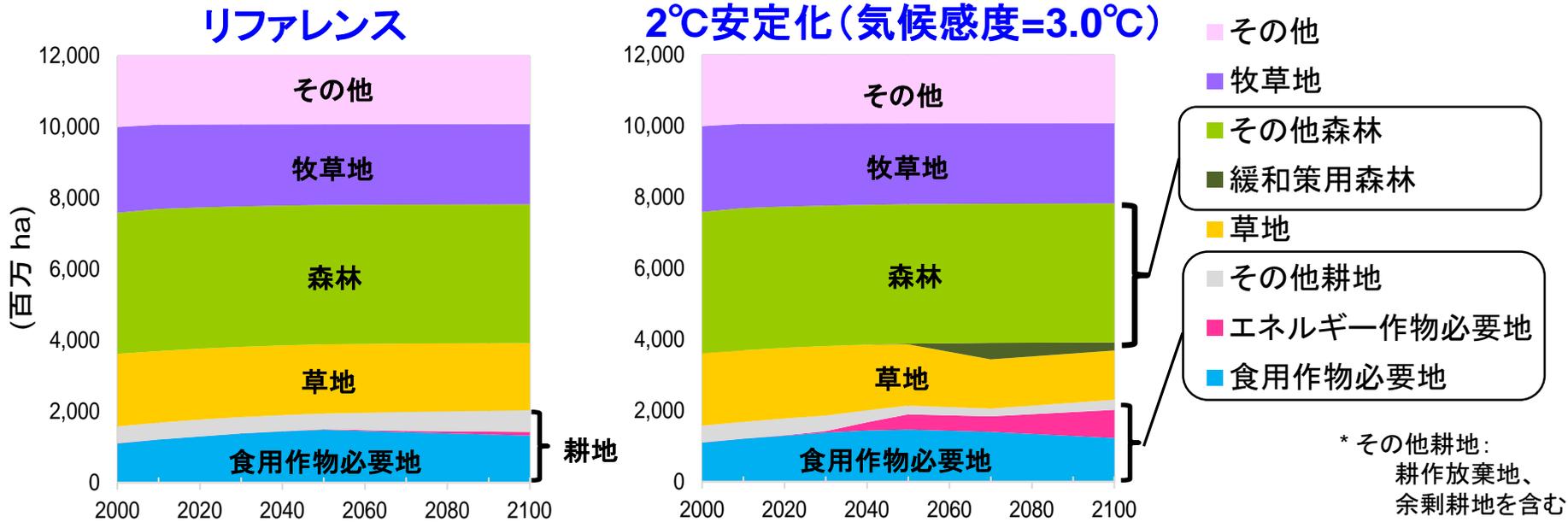
【pH≥7.98(2100年)=491ppm】

厳しいpH制約

【pH≥8.07(2100年)=377ppm】

6. 気候変動と持続可能な発展との シナジー・トレードオフ

土地利用変化と温暖化緩和策(SSP2、世界)



◆ リファレンス

- ▶ 食用作物必要地: 2010年12億(1,200百万)haが2050年頃まで14.7億haに増大。(アフリカ等で作物の生産向上を上回る食料需要増大)
- ▶ 耕地増大率: 2010-2050年: 6.4百万ha/yr

◆ 2°C安定化(気候感度=3.0°C)

- ▶ 食用作物必要地(ベースライン比): 2050年▲0.2億ha、2100年▲0.9億ha(気候変動影響が緩和される)
- ▶ 耕地増大率: 2010-2050年: 9.7百万ha/yr
- ▶ 緩和策用森林増大率: 2050-2070年: 23百万ha/yr

(参考)耕地増大率

- 1900-1950年: **7.3百万ha/yr**
- 1960-2005年: **4.3百万ha/yr**
(Hyde3.1より算出)

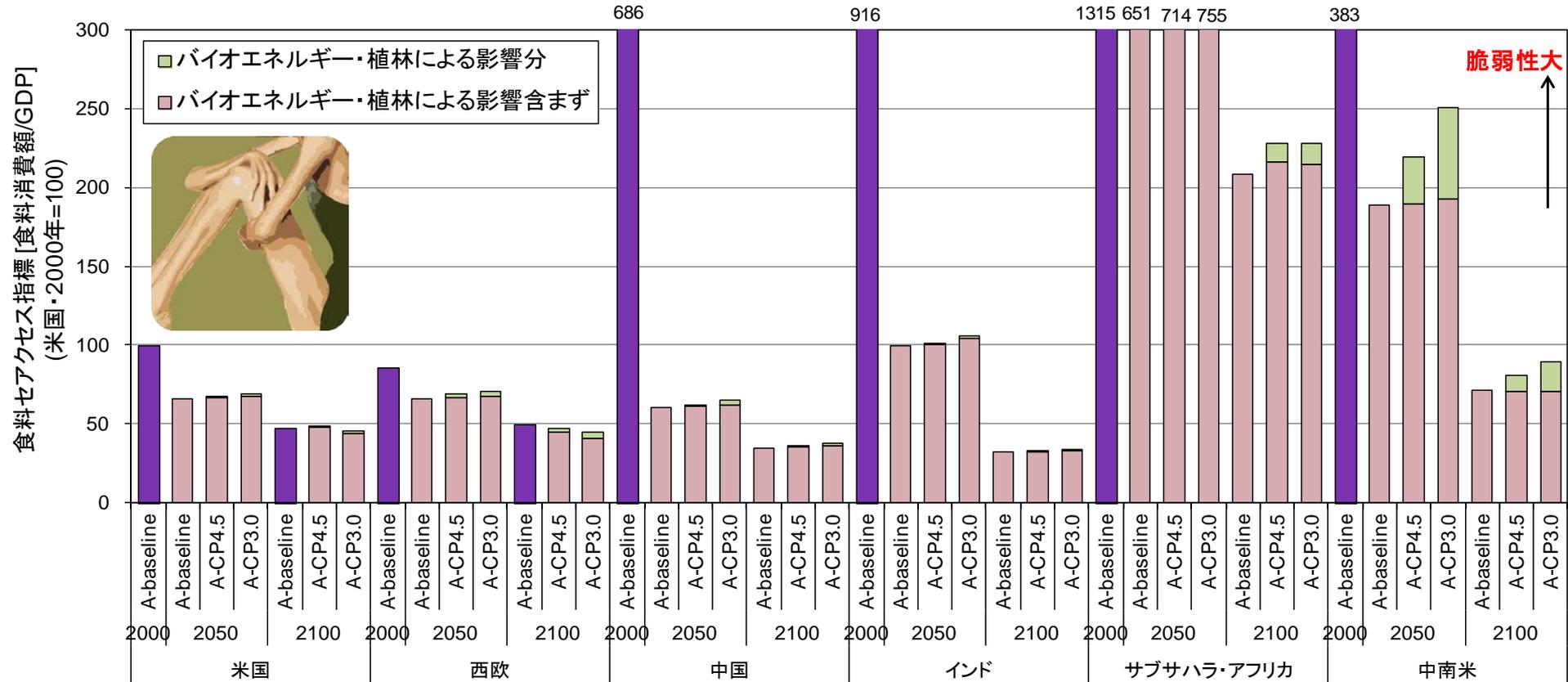
(参考)(環境)植林増大率

- 1990-2010年: **4.6百万ha/yr**
(FRA2010より算出)

- ◆ 気候変動緩和によって、食用作物生産必要地は若干縮減されるが、21世紀中頃までエネルギー作物用に耕地増大が、21世紀後半は炭素固定用の森林面積増大が必要。いずれも、近年の規模を上回る土地利用変化を数十年に渡って継続する必要あり。**もしこれが不可能であれば、緩和費用もさらに増大**

温暖化緩和と食料アクセス(1/2)

食料アクセス指標(食料消費額/GDP)



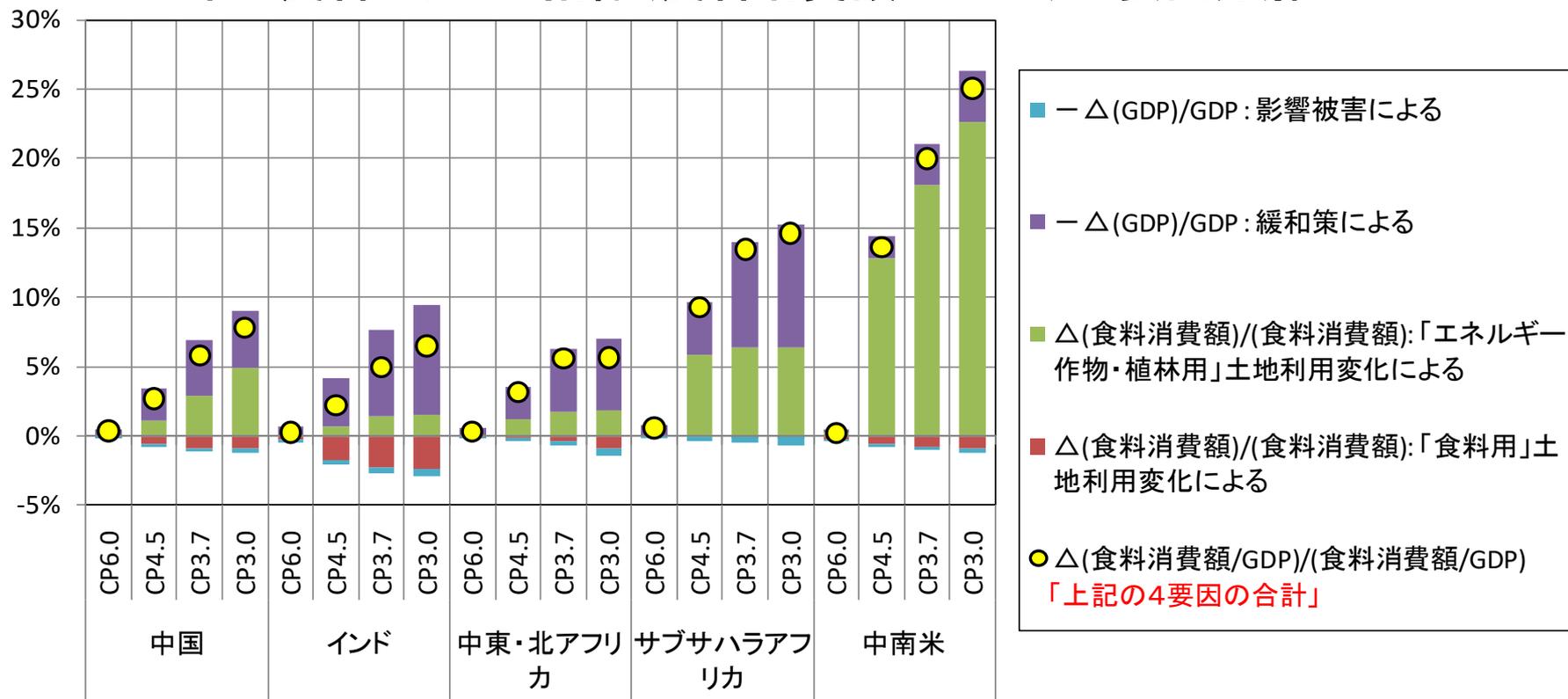
Source) K. Akimoto et al., Natural Resources Forum, 36(4), 231-244, 2012

- 長期的には、食料価格上昇や食料消費量の増加よりも、経済成長(GDP)は十分に大きいため、どの地域においても食料アクセスの脆弱性は小さくなる。
- 排出削減が厳しいケースでは、大規模な植林、バイオエネルギー利用が必要になり、むしろ食料セキュリティが脆弱になる可能性あり。

温暖化緩和と食料アクセス(2/2)

2050年の食料アクセス指標(食料消費額/GDP)の要因分解

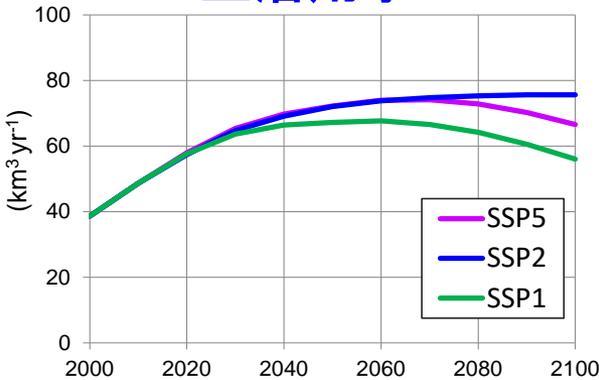
2050年の食料アクセス指標の変化率
(%,ベースライン比)



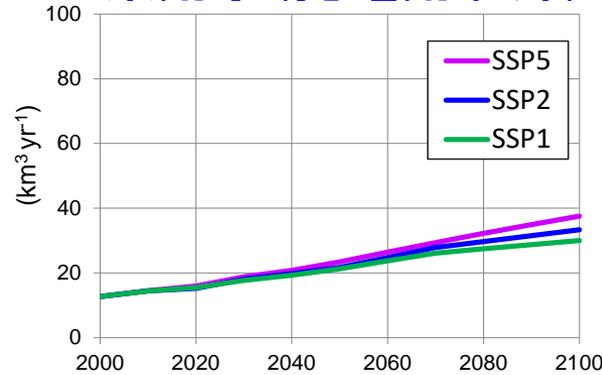
- 温暖化影響が食料アクセスの脆弱性に与える影響は比較的小さい。
- 排出削減が厳しいケースでは、大規模な植林、バイオエネルギー利用が必要になり、むしろ食料アクセスが脆弱になる可能性あり。
- 排出削減が厳しいケースでは緩和費用が大きくなり、それによって食料アクセスが悪化する可能性もあり。

世界の水消費量への影響 (SSP、排出パス別)

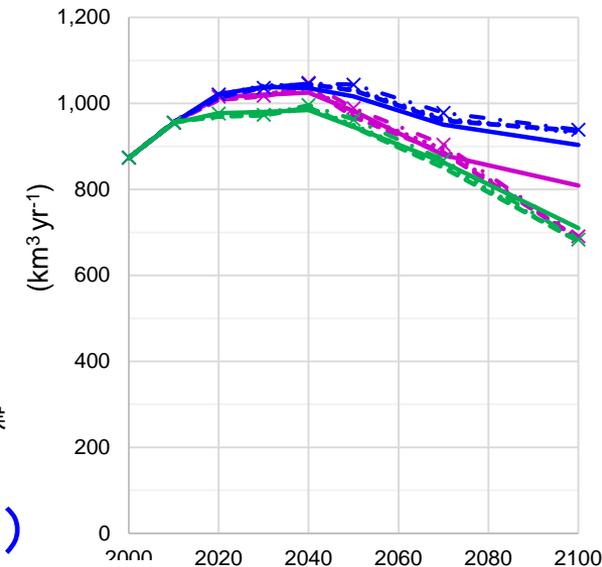
生活用水



工業用水(発電用以外)



灌漑用水

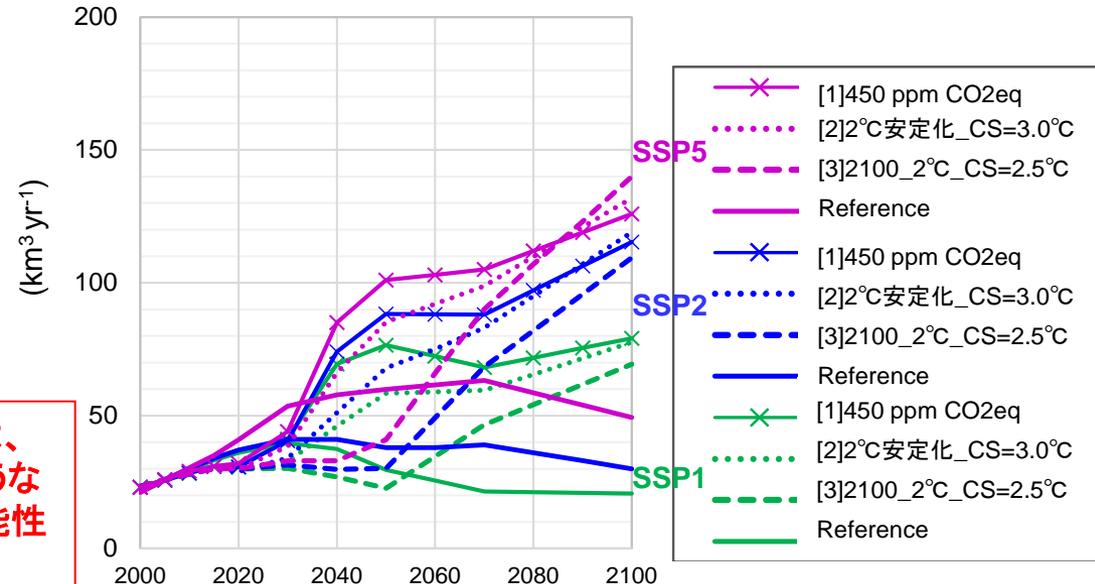


◆ 世界の水消費量は、人口増加、経済発展に伴って、2040年頃まで増大が見込まれる。

- 生活用水: 主として人口に大きく依存
- 工業用水(発電以外): 2100年まで、アフリカ、東南アジア等で増大
- 灌漑用水: 2040年頃以降は減少(主たる灌漑地、中国等で灌漑面積が減少するため)
- 工業用水(発電用): 全消費量に比べると、世界総量は少ない。ただし、リファレンスシナリオ下では発電効率向上に伴って減少が見込まれるところ、2°C目標シナリオ下では、2030年頃以降、CCS利用や原子力の増大により増大

注) 灌漑用水、工業用水(発電用)のみ気候変動緩和パスに依存と想定し推計したもの

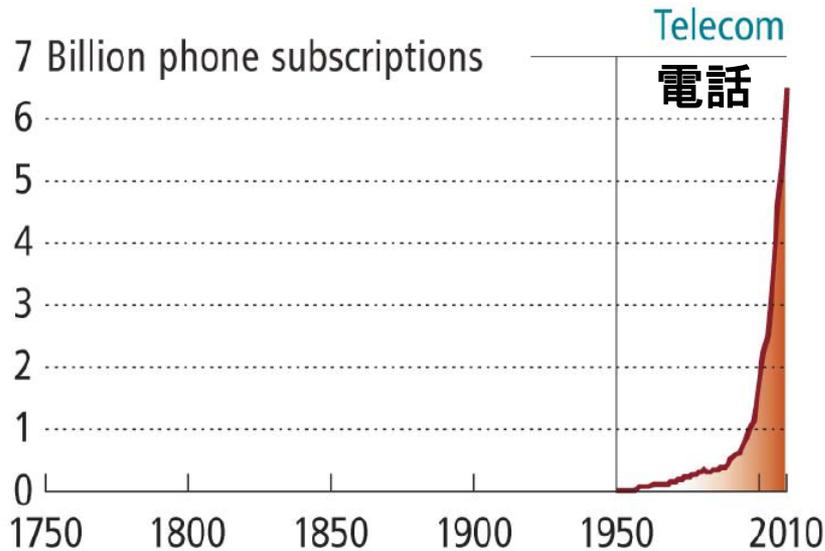
工業用水(発電用)



水資源が十分でない地域(中東、北アフリカ等)では、水利用が潜在的に拡大する中で、モデルが示すような経済合理的な発電対策をとれない場合も生じる可能性もある。その場合も緩和費用は増大し得る。

7. 技術イノベーションを踏まえた 戦略のあり方

技術進展の速さ



Source: Steffen et al. 2015

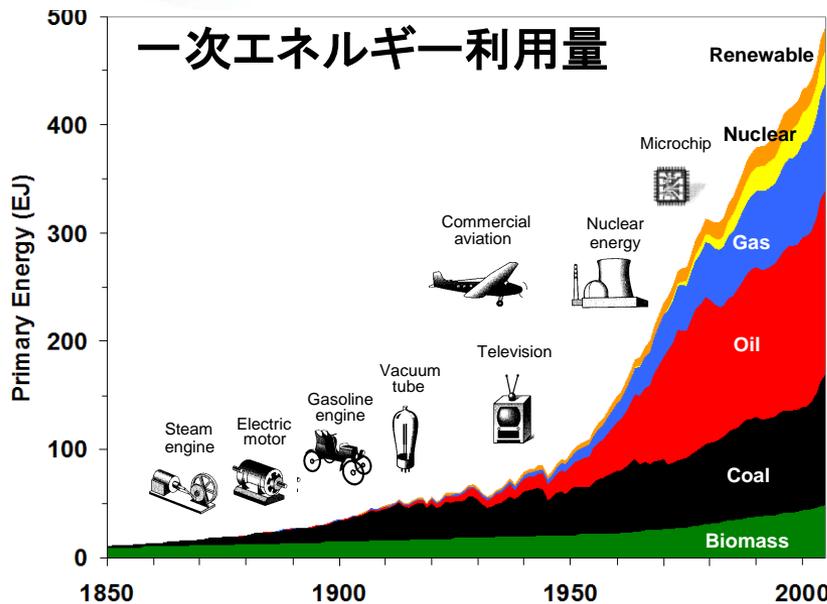
Easter Parade on Fifth Avenue, New York, 13 years apart

1900: where's the car?

1913: where's the horse?



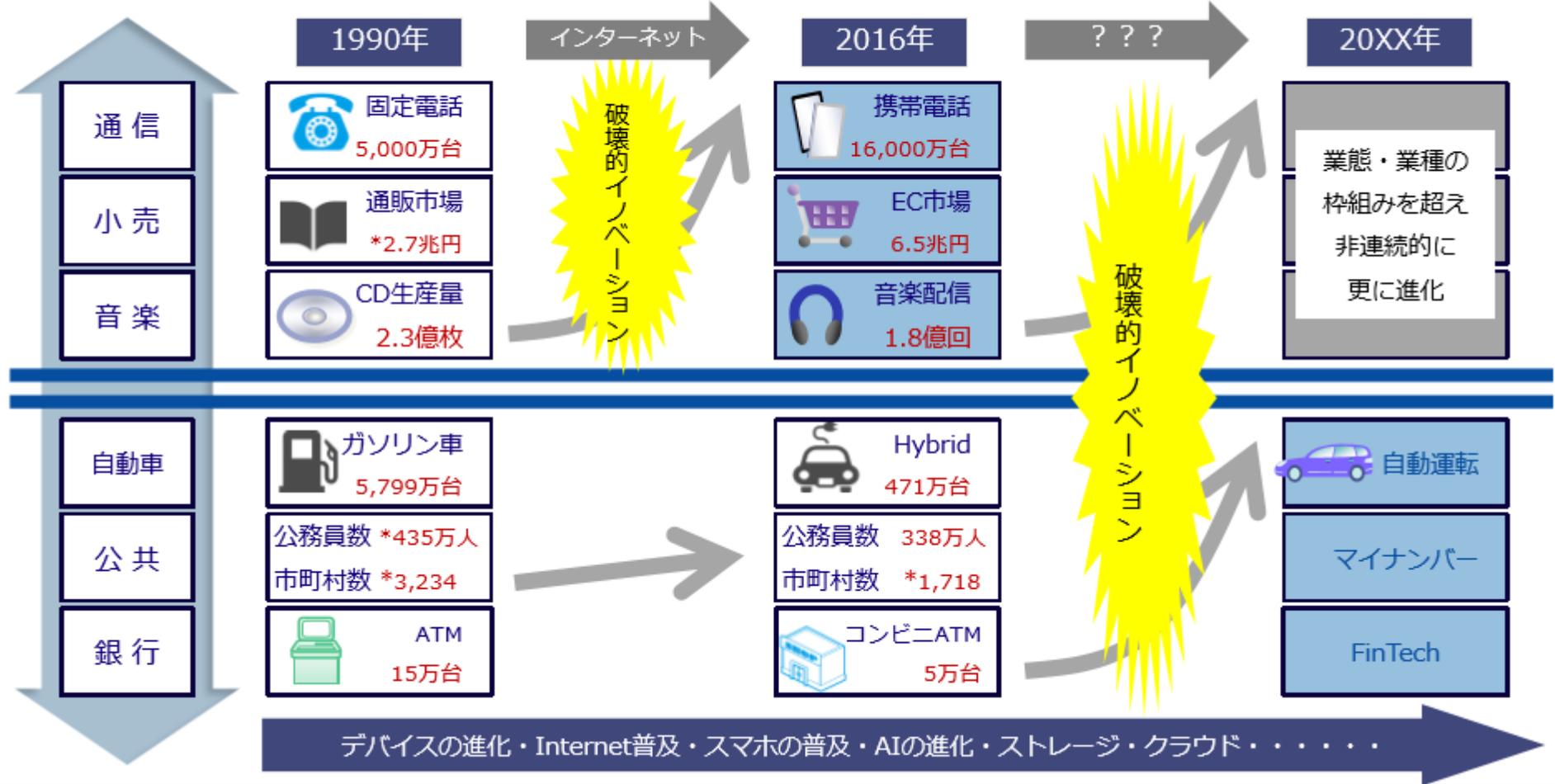
Images: L. National Archive, www.archives.gov/research/american-cities/images/american-cities-101.jpg
R. energy.com/inode/204
Inspiration: Tora Seta's keynote lecture at AltCar, Santa Monica CA, 28 Oct 2014.
<http://torasetta.com/keynote-at-altcar-2014-100-electric-corporation-100-sets-by-2020/>



技術進展、技術普及はとても速い場合も多い。

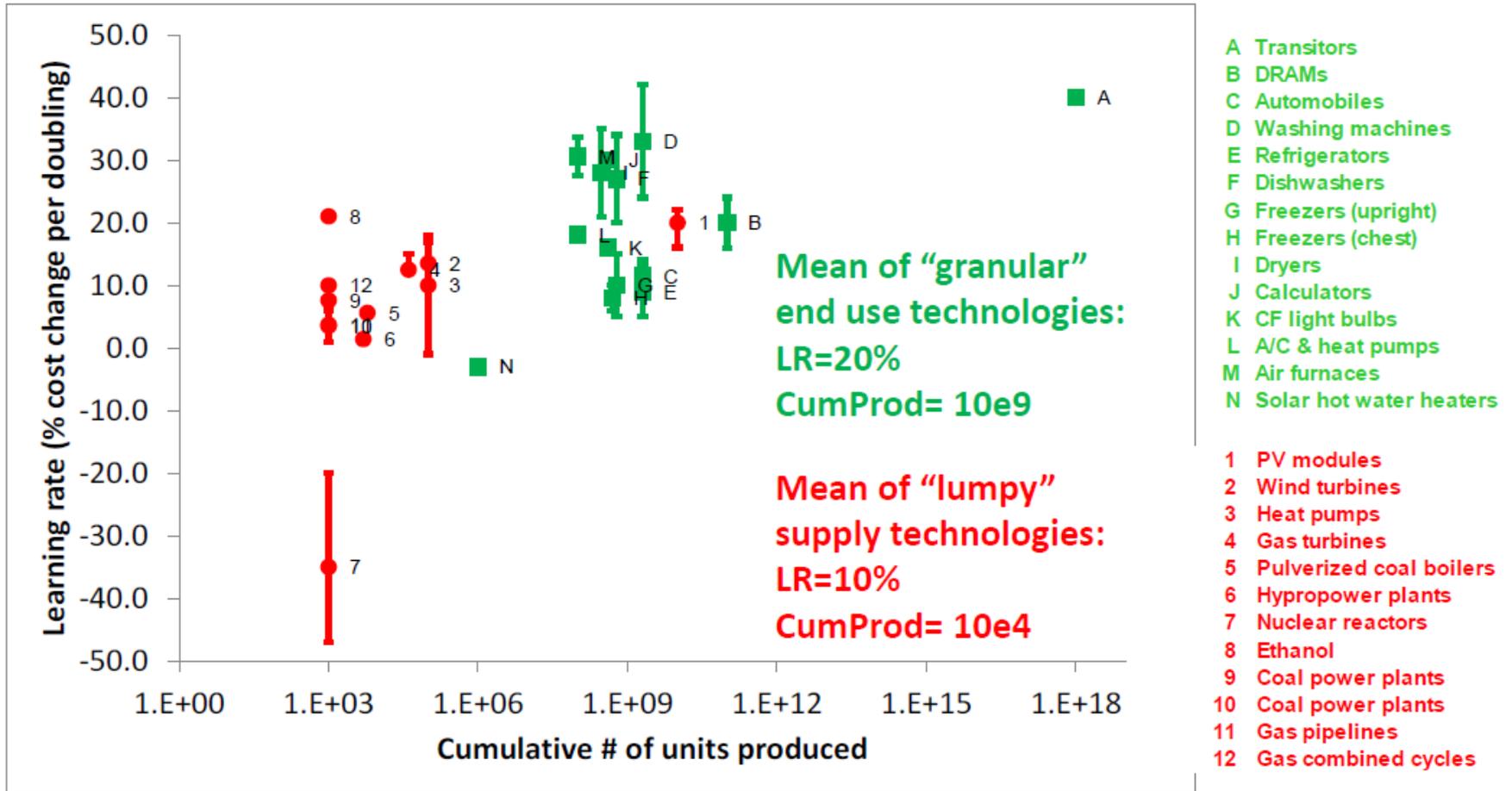
テクノロジーの進化によるビジネス変化

- テクノロジーの進化による破壊的イノベーションはビジネスモデルを抜本的に変える可能性
 - ◆ 足元特に注目されるのは、IoT、クラウド、AI等のデータ集積・蓄積・分析に関わる領域



(出所) 公開資料より、みずほ銀行産業調査部作成 (注記) 通販市場：2001年、公務員数：2000年、市町村数：1995年⇒2014年

各種技術の技術習熟率（コスト低減率）



出典) Wilson et al., Nature C.C., 2012

- ユニットあたりの規模が小さく、ユニット導入量が多い技術の技術習熟率が高い傾向にある。
- エネルギー需要側技術のイノベーション余地は大きく、その展開は重要(ただし一方で技術普及障壁、リバウンド効果などには注意が必要)

小売業におけるイノベーション

- 小売業では、モノのデータ（POS）からヒト（ID）のデータへと分析軸を拡大
 - ◆ 個々の消費者の全体像を把握すべく、IoTを活用してあらゆる行動データ、感情データを収集する動きが見られる
 - ◆ 小売業にとって、店舗はデータ収集のプラットフォーム

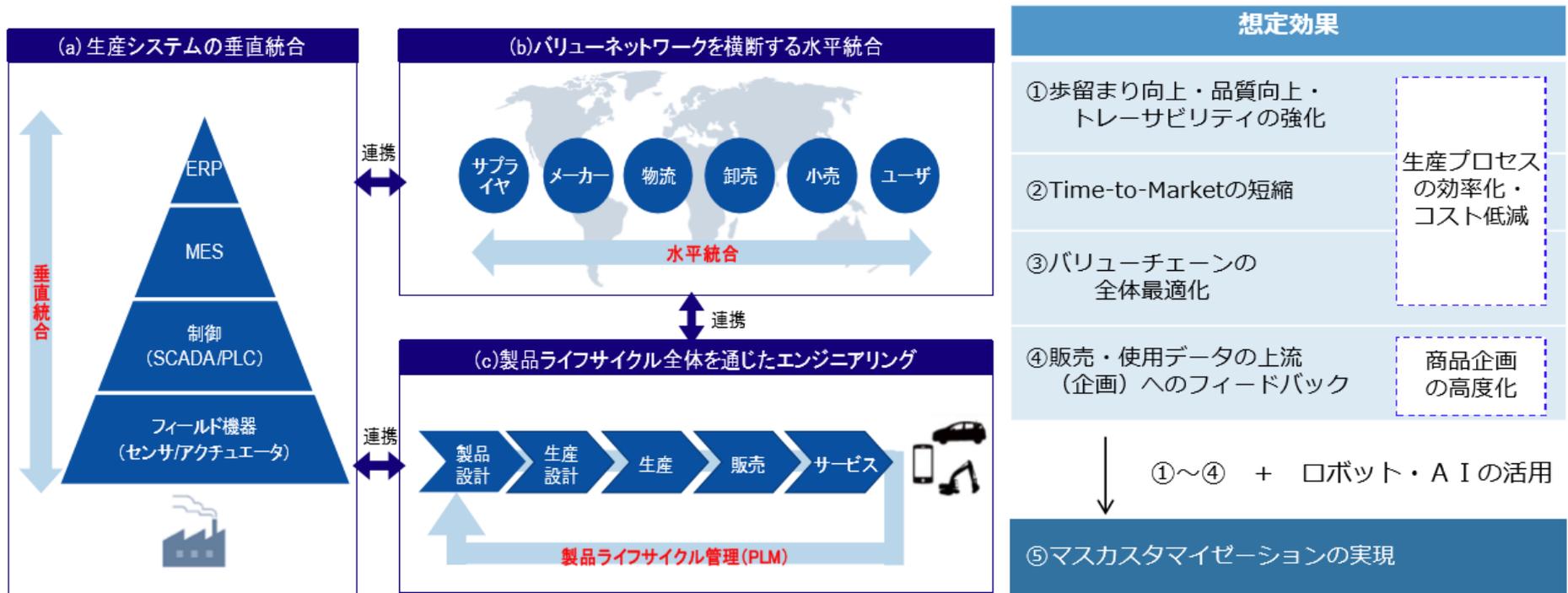
小売業界におけるデータ活用の進化

	従来	現在	今後
データ種類	<ul style="list-style-type: none"> • POSデータ 	<ul style="list-style-type: none"> • POSデータ • IDデータ 	<ul style="list-style-type: none"> • POSデータ • IDデータ • 行動データ (GPS、店内カメラ、サイト閲覧履歴等) • 意見・感情データ (SNS等) <p>→ 分析対象となるデータ種類・量が増大</p>
データの取得時点	<ul style="list-style-type: none"> • 販売時点 	<ul style="list-style-type: none"> • 販売時点 	<ul style="list-style-type: none"> • 販売時点 + 販売前後 <p>→ 消費行動全般のデータが取得対象</p>
分析対象	<ul style="list-style-type: none"> • モノ 	<ul style="list-style-type: none"> • モノ+ヒト (モノ中心) 	<ul style="list-style-type: none"> • モノ+ヒト (ヒト中心) <p>→ ヒトの分析が主軸</p>
分析結果	<ul style="list-style-type: none"> • 何が売れたか 	<ul style="list-style-type: none"> • 誰が何を買ったか 	<ul style="list-style-type: none"> • 誰が何を買ったか、買わなかったか • 消費者マインド (影響手段、購買動機、感想・評判等) <p>→ 個々の消費者の全体像を理解</p>

製造業におけるイノベーション

- ドイツは“Industrie4.0”と称し、製造業における(a)生産システムの垂直統合、(b)バリューネットワークを横断する水平統合、(c)製品ライフサイクル全体を通じたエンジニアリングを目指している
 - ◆ コスト低減、商品企画の高度化を同時に追求し、全体最適を実現
 - ◆ 最終形の一つとして、多様化・高度化する需要に対応する「マスカスタマイゼーション」の実現も想定

ドイツの「Industrie 4.0」の概要



運輸部門におけるイノベーション

■ Googleの参入は自動車産業のパラダイムシフトに繋がる可能性

- ◆ 従来とは異なるマネタイズ方法、需要者ニーズの把握、さらにはニーズの創出を目指すことも視野

Googleにとってのモビリティ（仮説）

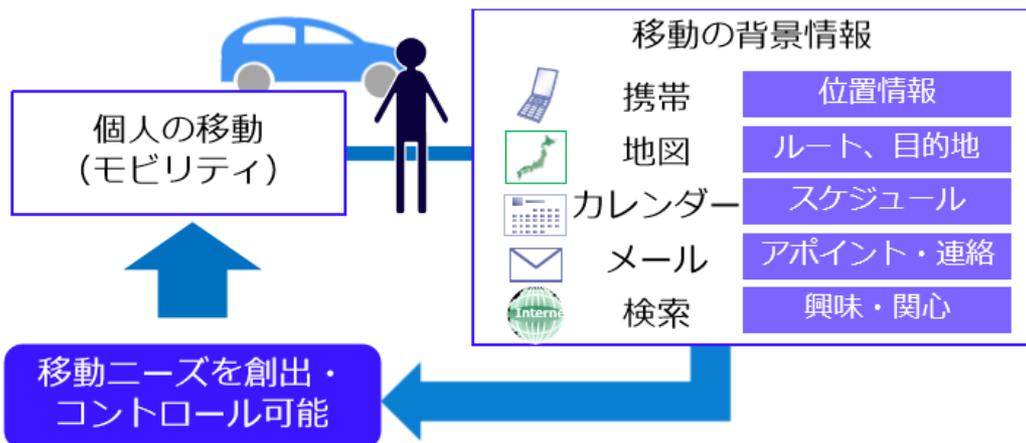
生産

サービス
(モビリティ)

サービス
(広告/データ販売etc.)

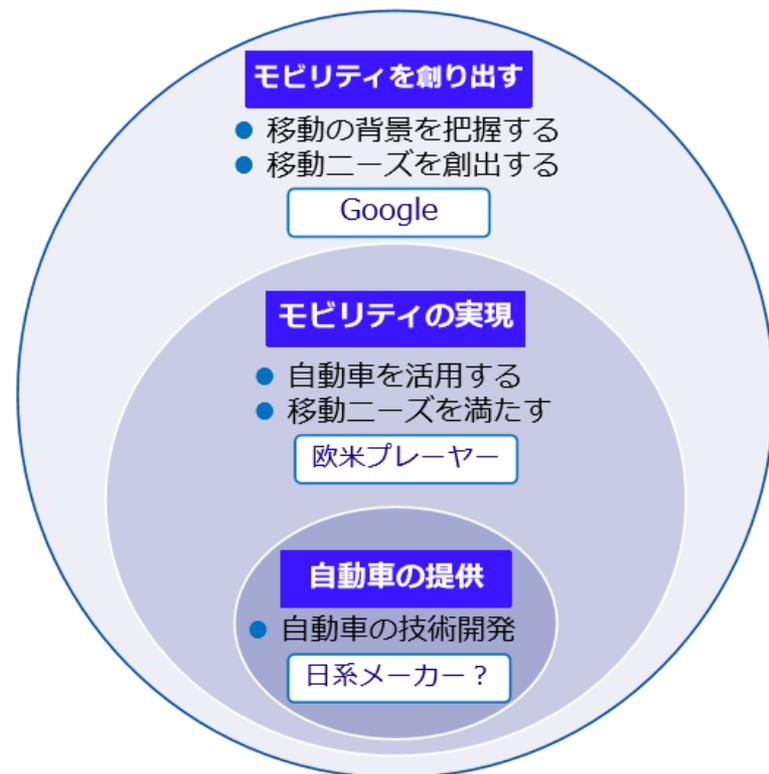
- 自動車販売やモビリティの提供そのものに料金を課さないビジネスモデルの構築も？

マネタイズ



- 個人の行動パターン、スケジュール、嗜好など膨大な背景情報を掌握し、移動ニーズを把握・コントロール

モビリティに対する各プレイヤーの立ち位置



全く異なる発想を持ったプレイヤーの参入により、自動車産業のパラダイムが破壊される可能性

- 世界では、ものづくり分野を中心に、ネットワークやIoTを活用していく取組が打ち出されている。我が国ではその活用を、ものづくりだけでなく様々な分野に広げ、経済成長や健康長寿社会の形成、さらには社会変革につなげていく。また、科学技術の成果のあらゆる分野や領域への浸透を促し、ビジネス力の強化、サービスの質の向上につなげる
- サイバー空間とフィジカル空間（現実社会）が高度に融合した「超スマート社会」を未来の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組を「Society 5.0」*とし、更に深化させつつ強力に推進
 ※ 狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続くような新たな社会を生み出す変革を科学技術イノベーションが先導していく、という意味を持つ
- サービスや事業の「システム化」、システムの高度化、複数のシステム間の連携協調が必要であり、産学官・関係府省連携の下、共通的なプラットフォーム（超スマート社会サービスプラットフォーム）構築に必要となる取組を推進

超スマート社会とは、
 「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かく対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」であり、
 人々に豊かさをもたらすことが期待される



出典) 政府資料

エネルギーは近代社会の基盤であり必要不可欠なもの。しかし、コモディティ商品であり、それそのもので価値を高めていくことは難しい。また省エネルギーが志向される中、途上国を除けば、全体量も将来的に大きな伸びは期待薄。他のサービスとの融合を志向し、新たな高付加価値なサービスの提供を目指すことは重要

◆ ポーター仮説 v.s. 隣接可能性

環境制約がイノベーションを誘発するとする「ポーター仮説」も存在するが、支持する議論、否定的な議論双方が存在

隣接可能性 (adjacent possibility)

技術革新の蓄積が新たな技術革新を可能にする。

発明の同時性 (Simultaneous Inventions)

隣接可能性が満たされると、発明は“不可避免的に”起きる。

過去にも現在にも、発明・発見は、ほぼ同時に、複数が独立に起きた。

1. ニュートンとライプニッツは、いずれも微積分を発見した。
2. 3人の数学者が小数を「発明」した。
3. 酸素はプリーストリーが1774年に発見したが、その前年に、シェーレも発見している。

...

「革新的温暖化対策技術」を得るためには
技術全般の進歩が重要。

- ◆ 技術進歩が全般的に起こる中で、隣接可能性が満たされることで、「革新的温暖化対策技術」も生まれる。
- ◆ 技術全般が進歩せず、隣接可能性が満たされなければ、「革新的温暖化対策技術」も生まれない。
- ◆ 「革新的温暖化対策技術」“だけ”が真空から生まれることは無い。

イノベーションの誘発 (2/2)

◆ シュンペーターによるイノベーション論

「イノベーション」とは、*経済活動の中で生産手段や資源や労働力などを今までとは異なる仕方で「新結合」すること*

【イノベーションの類型】

- (1) 未知の新商品や新品質の開発 → プロダクト・イノベーション
- (2) 未知の生産方法の開発 → プロセス・イノベーション
- (3) 新市場の開拓 → マーケティング
- (4) ものの新しい供給源の獲得 → サプライチェーン・マネジメント
- (5) 新組織の実現 → 組織イノベーション

経済活動や企業活動において、従来になかった「新しい組み合わせ」を実現することによってイノベーションが生まれ得るとしている。様々な結合の機会を増加させ、イノベーションが生まれる確率を高めることは重要と考えられる。

「従来になかった新しい組み合わせを実現」しやすいような経済・社会環境を整えることは気候変動対応戦略においても大切な視点

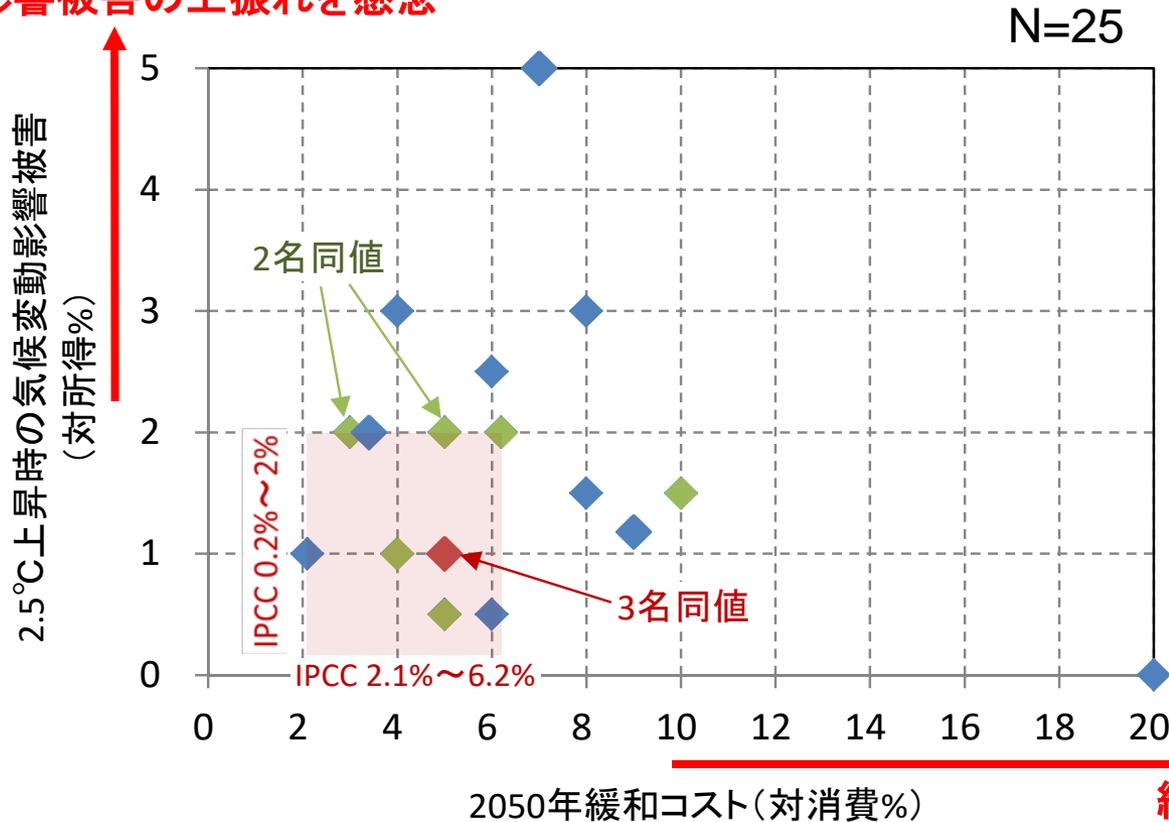


8. その他、留意すべき事項



リスク認知の差異 (1/2)

温暖化影響被害の上振れを懸念



2100年までの気温上昇を2.0°C以下に抑制する場合

緩和費用の上振れを懸念

出典) 本事業の中で、委員会、WG委員、研究担当者等に対するアンケート調査より

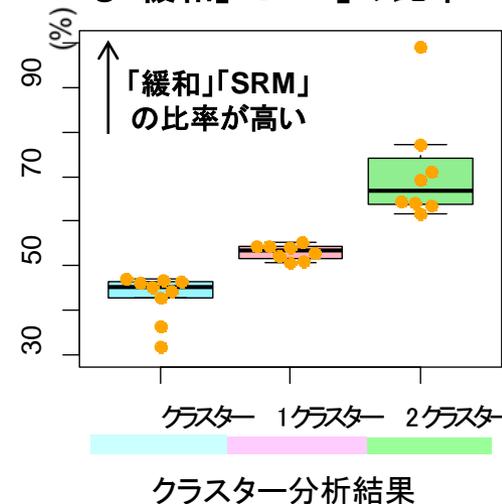
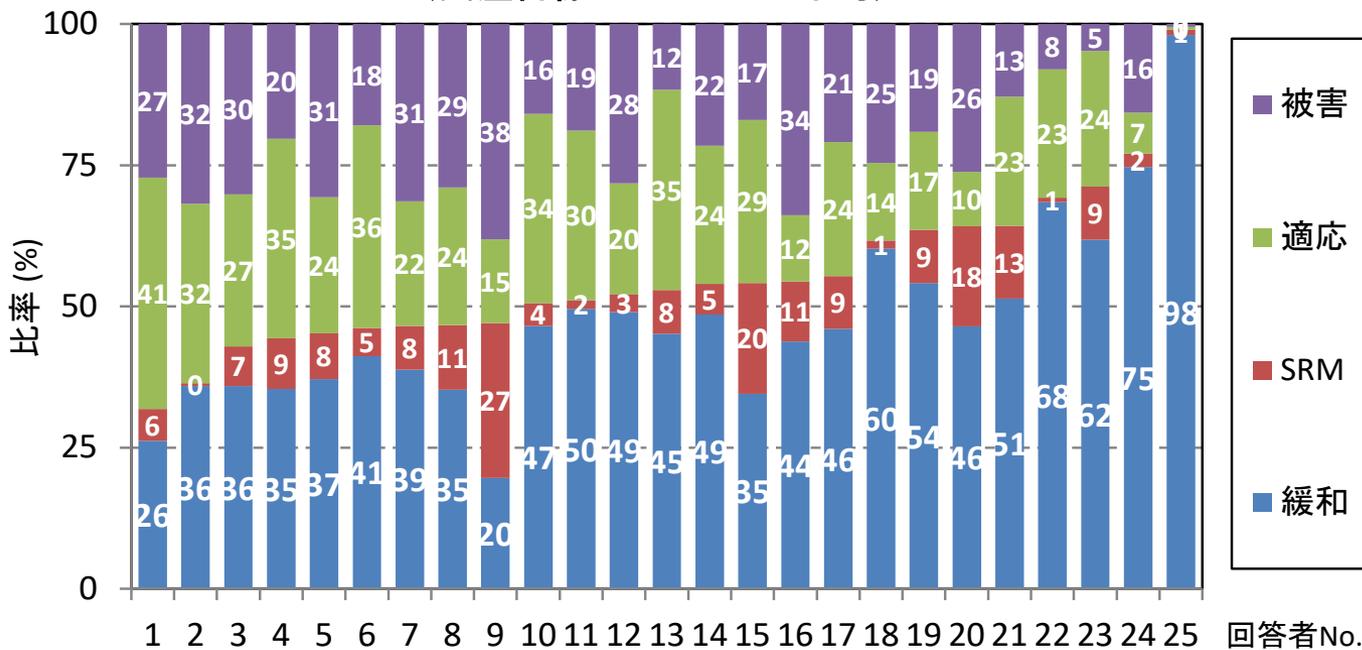
専門家の間においても、緩和費用および影響被害の大きさについて、見方、リスクの認知に大きな幅がある。

リスク認知の差異(2/2)

日本の専門家(本事業の中で、委員会、WG委員、研究担当者等)に気候変動リスクに関するアンケート調査を実施

リスクポイント合計に占める緩和、SRM、適応、被害リスク(コスト)の比率
(気温目標<A1~D2>平均)

リスクポイント合計に占める「緩和」「SRM」の比率



◆ 緩和、適応について自らの専門度(自己判断)と正の相関が見受けられた。

- ・ 自らの専門分野と異なる分野について、理解の不足から費用を安価に見過ぎていないか、逆に、自らの専門分野について硬直的に見過ぎていないかなど、意見交換を更に促進すべき余地があると考えられる

◆ 次の連関が観測された

- ✓ 緩和策のシナジー(例えば大気汚染防止)を大きく見込んでいるほど、適応能力を限定的に見ているほど、低い濃度レベルの方をリスク低とする傾向あり
- ✓ 逆に、緩和策のトレードオフ(例えば産業の国際競争力低下)を大きく見込んでいるほど、適応能力を大きく見ているほど、高い濃度レベルの方をリスク低とする傾向あり
- ・ 緩和策のシナジー、トレードオフ、適応能力について研究や理解を進めることが重要と考えられる

気候正義 (Climate Justice) の動き



- 今まで温室効果ガスを排出してきたのは先進国(と新興国)。
- 最も深刻な被害を受けるのは貧しい途上国や弱い立場の人たち。

⇒気候問題は国際的な人権問題であるという認識で、社会運動が起きている。

出典) 国立環境研究所江守正多氏資料より

このような南北格差の人権問題ととらえる動きもあり、それにも留意が必要。ただし、何が「正義」なのかは難しい問題(お互いに「正義」を振りかざして、戦争は頻繁に起こる。そういった場合、どちらに「正義」があるのかは見方によって多面的)。

9. まとめ



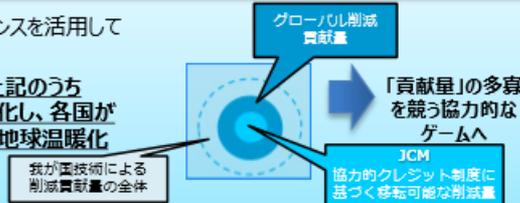
長期排出削減戦略の考え方(経産省長期プラットフォーム中間整理)

- ◆ 持続可能な発展が地球温暖化対策の大目的。また、地球温暖化防止のためには、**地球全体の温室効果ガス削減が必要**。
- ◆ これまでの我が国の対策は一定の成果を上げてきたものの、**閉じた対策(国内、業種内、既存技術)で地球温暖化問題に立ち向かうには限界**(▲80%削減は、仮に①業務・家庭部門をオール電化又は水素利用とし、②運輸部門をゼロエミッション車に転換し、③再エネ・原子力・CCS付火力で電力を100%非化石化したとしても、農林水産業と2~3の産業しか許容されない水準)。
- ◆ 地球温暖化問題の本質的解決のためには、『**3つのゲームチェンジ(『地球温暖化対策3本の矢』)**』を基礎とした『**地球儀を俯瞰した温暖化対策**』を長期戦略の核としていく必要。

<1> 3つのゲームチェンジ(地球温暖化対策『3本の矢』)

(1) 国際貢献でカーボンニュートラルへ

- ① 我が国は、JCMに加え、ODA、JBIC等の公的ファイナンスを活用して日本の優れた低炭素技術で世界の削減に貢献。
- ② しかし、日本の貢献量として見える化されているのは上記のうち**JCMのみ**。今後、日本の世界の削減貢献量に見える化し、**各国が貢献量の多寡を競うことで、世界の削減を最大化し、地球温暖化問題の本質的な解決に結びつけていくべき**。



(2) 製品ライフサイクルでカーボンニュートラルへ

- ① 我が国には、**素材、機械、電機・電子、自動車、インフラ等、高度な技術に裏打ちされた高性能(高効率)な製品を生み出す産業・知的基盤が存在**。
- ② **製品ライフサイクルで見ると、使用段階での排出が大半を占めており、素材・製品の製造部門での削減から、製品ライフサイクル(バリューチェーン)全体を通じた削減へと視野を広げることが重要**。
- ③ **競争力ある産業の業種を超えた連携は、革新的な技術・解決策を生み、社会的課題解決の原動力となる**。

(製品ライフサイクルでの排出量イメージ)



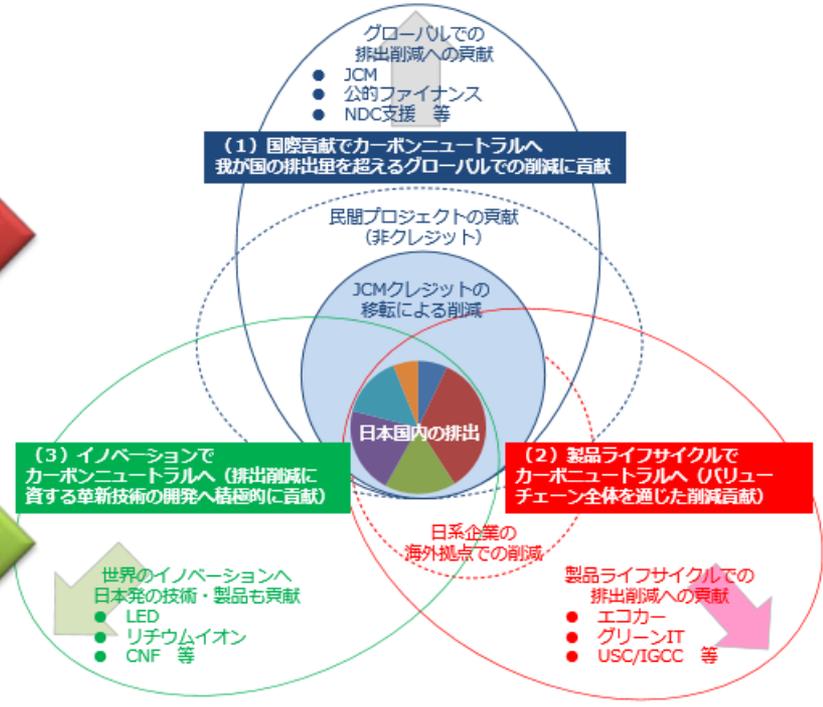
「ライフサイクル」全体での削減貢献を評価へ

(3) イノベーションでカーボンニュートラルへ

「エネルギー・環境イノベーション戦略」における海外削減ポテンシャル - 全世界で**数10~100億トン規模の削減ポテンシャル**が期待されるとして、「エネルギー・環境イノベーション戦略」で選定された**革新技術分野**に関して、我が国としても積極的に**技術開発を進め実用化を図り**、ODA等による海外での普及や民間企業による**製品ライフサイクル等**を通じた排出削減を目指す。

『地球儀を俯瞰した温暖化対策』

— 全ての主体(国、企業、個人)がカーボンニュートラルに向け貢献 —



<2> 3つのゲームチェンジ(3本の矢を効果的に打つ)にあたっての論点・ファクトの整理

不確実性と共存する戦略

- 気候変動問題については、様々な不確実性(科学、将来社会、国際協調)があり、それと共存する強靱で柔軟な戦略が必要。
- 継続的にPDCAを回し、その時々**の最善策**を導いていくことが重要。

気候変動を巡る金融・投資の動き

- ESG情報を投資家は**見込み可能性と回収可能性**を考慮して判断。あくまで**収益性が大前提**。化石燃料資産が**座礁し得る**という指摘と同様、それを疑問視する指摘も。
- 政策変更も投資家にとって**リスク要因**。

カーボンプライシング(諸外国の教訓、暗示的コスト)

- **排出量取引**: 諸外国の教訓(リーケージや排出削減インセンティブ喪失など、本来の意図とは程遠い)。
- **カーボンプライシング**: 既に存在する暗示的なコストを考慮する必要性。

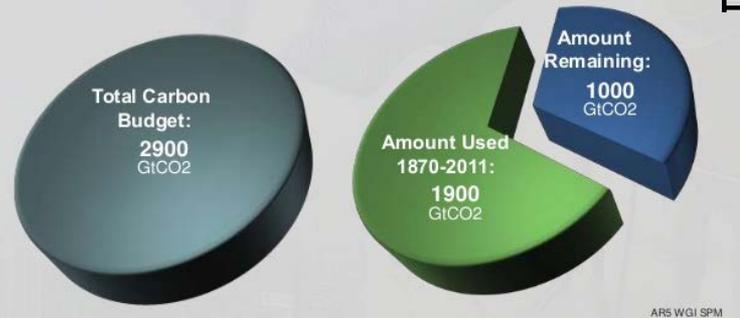
海外展開のための環境整備

- 途上国の削減約束(NDC)、市場ポテンシャル分析
- 途上国のNDC達成に向けた**支援体制**の構築
- 成功事例の創出・蓄積・共有

カーボンバジェット論

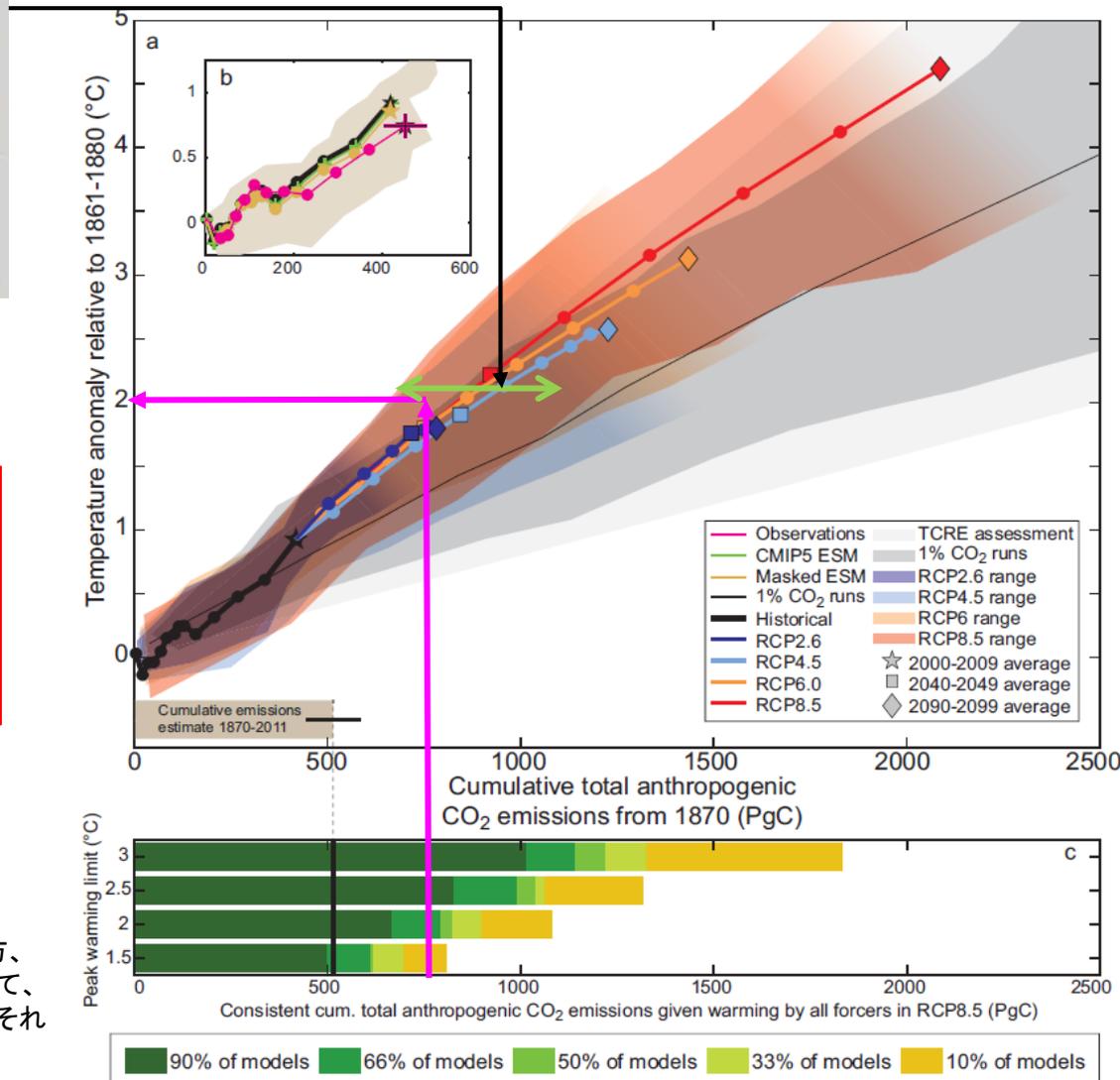
The window for action is rapidly closing

65% of our carbon budget compatible with a 2° C goal already used



IPCCビューローの説明では2°Cのためには残り1000GtCO₂とした説明がよくなされるが(ときに、>66%以上の確率の場合との説明さえ捨象されて)、実際には不確実性は大きい。

カーボンバジェット論の不適切な活用は、現実に存在している大きな不確実性の認識を疎かにしかねず、またその不確実性を踏まえたより良いリスク対応戦略の立案を阻害する恐れもあり、注意が必要

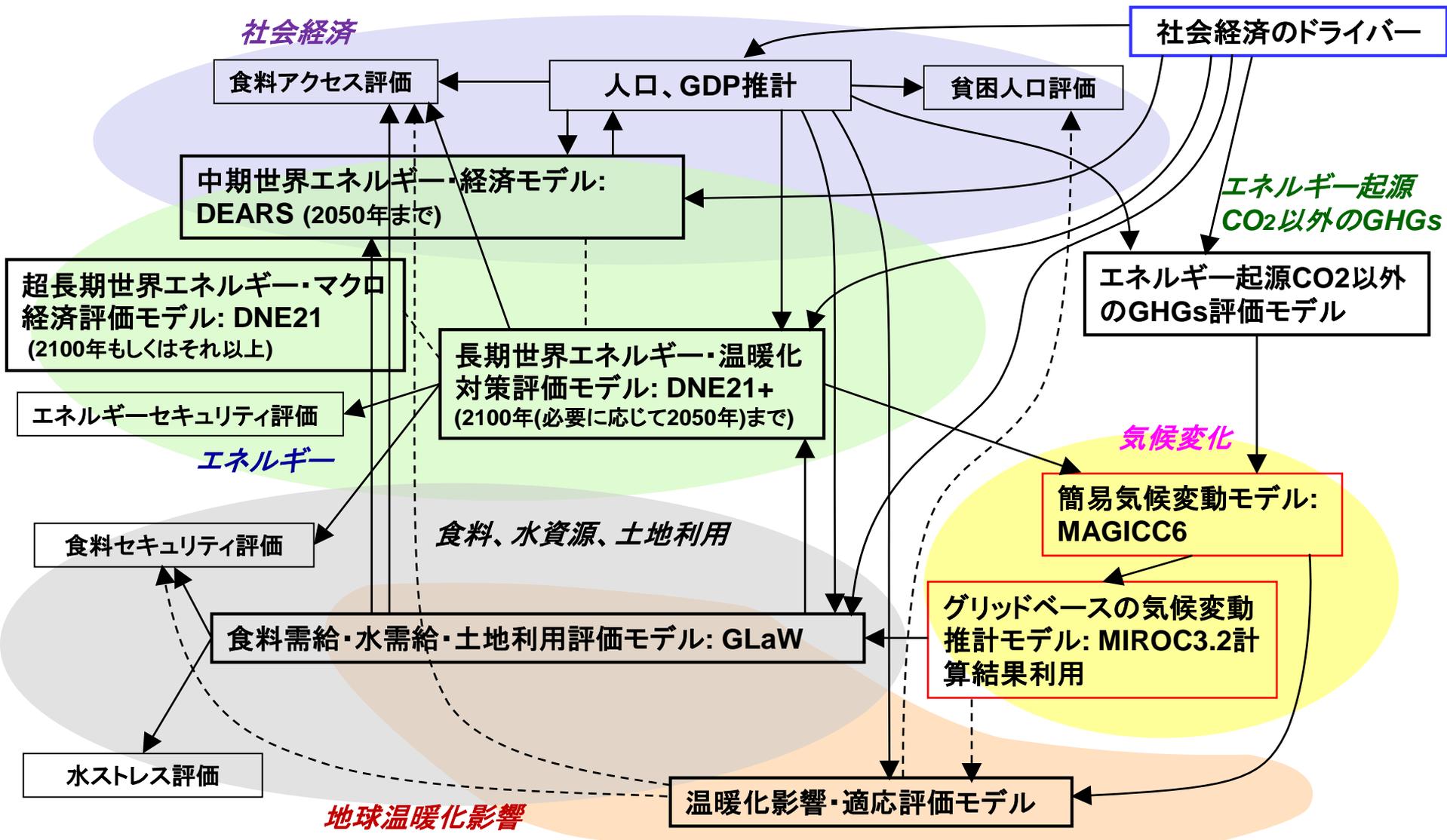


なお、この図はGCMによる推計結果である一方、AR5では観測結果をベースとした推計も加わって、より低い気候感度の範囲まで提示されている。それに従えば、炭素バジェットは増加

- ◆ 自然科学の不確実性：未だに大きな不確実性あり。その不確実性の低減は重要。ただ、例えば気候感度だけをとっても、幅が縮まることはあっても、不確実性が全くなくなるようなことはないと考えられ（気候感度の幅 0.5°C だけでも許容排出量は大きく異なる）、決め打ちではなく、不確実性を認識したリスク管理が重要
- ◆ 超長期的にはCO₂ゼロエミッションが必要 ⇒ 排出低減の方向に弛まらずもっていくことは重要であるとともに、イノベーションは不可欠
- ◆ パリ協定のNDCs実現に向け、世界すべての国が排出削減努力を行うべき。ただし、消費ベースCO₂で計測されるようなグローバルな削減を意識した対応は重要
- ◆ 緩和費用の上昇要因は多くある（政治的要因（国際的なMAC均等化は実際には困難。トランプ政権など）、技術普及の社会的制約、非効率な政策等） ⇒ 自然科学や影響被害の増大リスクのみならず、緩和費用とその経済影響の増大リスクも認識することは重要であり、国際的に調和した実効性のある排出削減対策が必要
- ◆ 緩和費用の低下要因（現時点では考慮不可能なイノベーション）
- ◆ 適応策による温暖化影響被害低減の可能性大。若干、気候感度が高い程度に対しても有効な対応として期待できる。
- ◆ 気候感度が高かった場合やティッピングエレメントのような甚大な影響被害が予想された場合：そのまま緩和策で対応するとコストが大きく上昇の可能性。適応で対応しきれない場合 ⇒ SRMをオプションとして用意する対応も
- ◆ PM_{2.5}削減など、様々な持続可能な発展目標とのコベネフィットの可能性があり追求すべき。ただしトレードオフとなるケースも多い。資源は限られており、総合的なリスク管理が必要。

【参 考】

各種分野を統合的に評価するためのモデル



各種国内外の政策課題に対する分析要請に応えられるように、モデルの前提条件となるデータベースの更新を含め、モデル改良・開発も実施した。