

日本学術会議 エネルギーと科学技術に関する分科会 シンポジウム
「パリ協定の下での長期温室効果ガス排出削減戦略を考える」

2017年9月27日

グローバルな視点での大幅排出削減

(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. はじめに
2. CO₂排出量、エネルギー消費量等の現状
3. 温暖化緩和費用の評価例
4. 温暖化適応費用と効果
5. 超長期エネルギー需給の分析例
6. 海外展開によるCO₂削減効果と日本への経済効果
(イノベーションによる貢献の考慮を含む)
7. まとめ

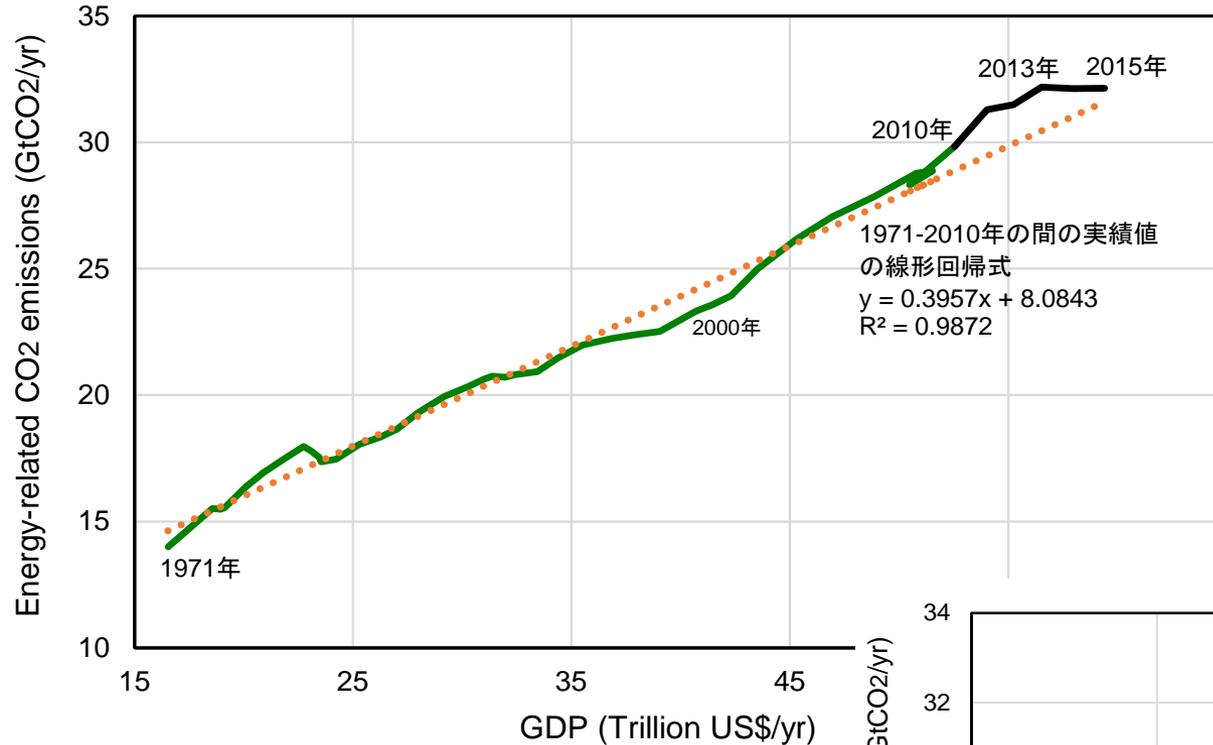
1. はじめに

- ◆ 【究極目標としての持続可能な発展】究極的には、持続可能な発展を目指すことが重要。地球温暖化は持続可能な発展を脅かす恐れがあり、それへの対応が必須。
- ◆ 【パリ協定】パリ協定2℃目標等は、よく認識しこれに向かって取り組むことは重要だが、政治目標であり、これを絶対視すべきではない。全体としてのリスクをよく見極め柔軟に対応することは重要。
- ◆ 【影響リスク、緩和費用リスク】様々かつ大規模な温暖化影響が顕在化しつつあり、将来的にも増大が予想され、そのリスクへの対応が必要。一方、緩和費用も経済リスクであり、総合的なリスク管理が重要。
- ◆ 【影響・適応とのバランス】例えば、炭素の社会的費用（温暖化影響被害額）としては、不確実性が極めて大きいものの、26~220\$/tCO₂（2050年時点）といった試算例もあり、この程度までの対応は正当化される可能性あり。ただし、温暖化適応策も重要であり、適応によって影響被害は大きく低下できる可能性もある。

- ◆ **【現実の社会経済システムの中で機能する対策】** 世界は200近い国がある中で、数百年にもわたって継続的に温暖化対策が取られなければならない。継続的に機能し得る目標水準、施策が必要。
- ◆ **【グローバルな対応の重要性】** その対応にあたっては、世界全体での対応が重要。パリ協定はその第一歩。世界のCO₂限界削減費用が均等化は、世界での費用効率的な対策として重要な方向性。ただし、能力等を踏まえ、我が国が国際的に果たすべき貢献としてある程度合理性を有する国内削減の深堀の可能性も検討
- ◆ **【時間軸を踏まえた対応】** 長期で対応を考えることが重要。大きな排出削減費用が必要となる対策を持続的に実施することは現実には不可能であり、それが求められるような排出削減においては、現時点では想定できないような技術・社会のイノベーションは必須。海外展開による排出削減も重要。
- ◆ **【不確実性を踏まえた対応】** 2050年もしくはその後の長期の対策を考えるにあたって、経済、技術進展、社会、気候変動の科学など、様々な不確実性を踏まえることは重要。モデル分析においてもそれら不確実性を考慮した分析が望まれる。

2. CO₂排出量、エネルギー消費量等の現状

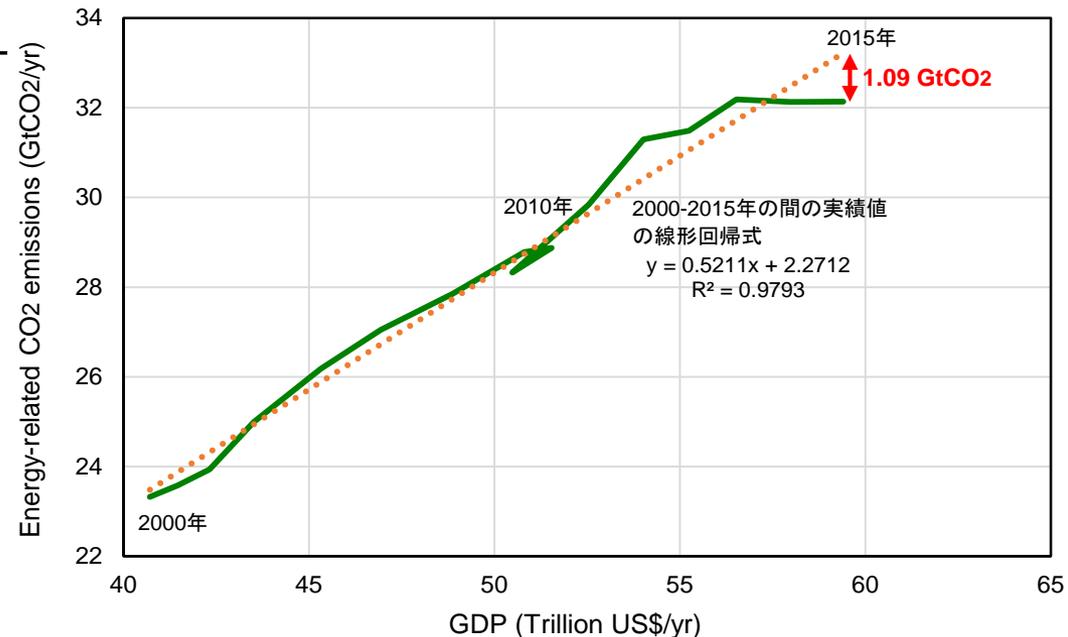
世界の経済成長とCO2排出量の関係



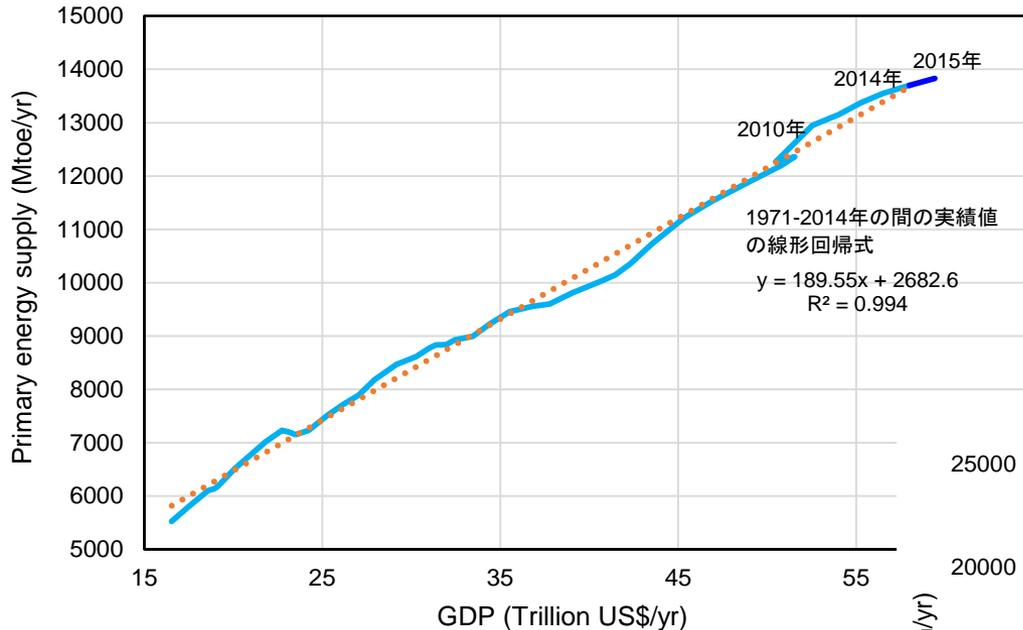
	GDP弾性値
1971-2013年	0.68
2000-2013年	0.98
2009-2013年	1.13

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年の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られることもできる。



世界の経済成長と一次エネルギー、電力消費量の関係



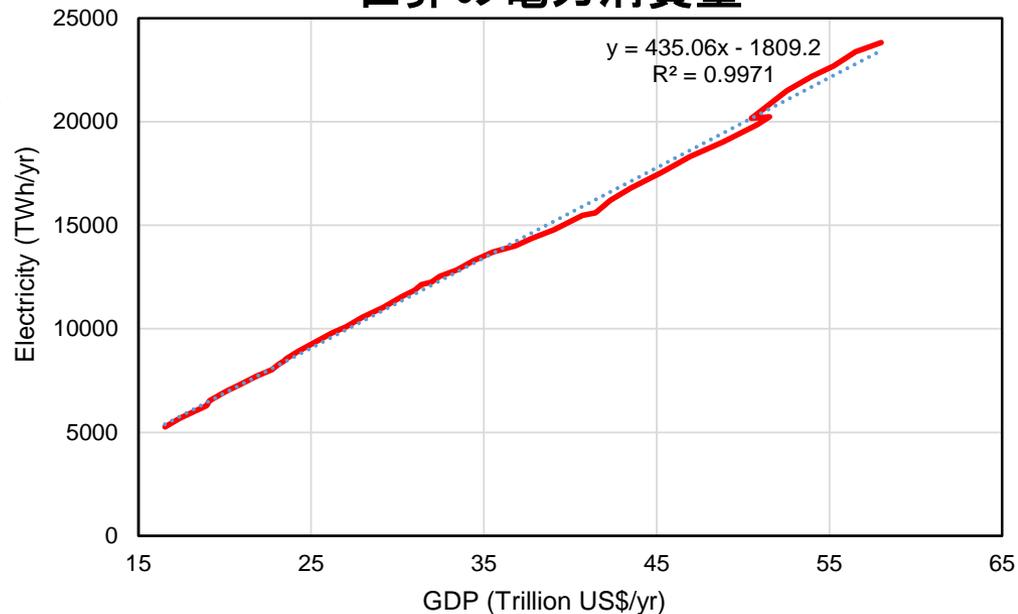
1971～2014年

出典) IEA統計、2016

世界の一次エネルギー供給量

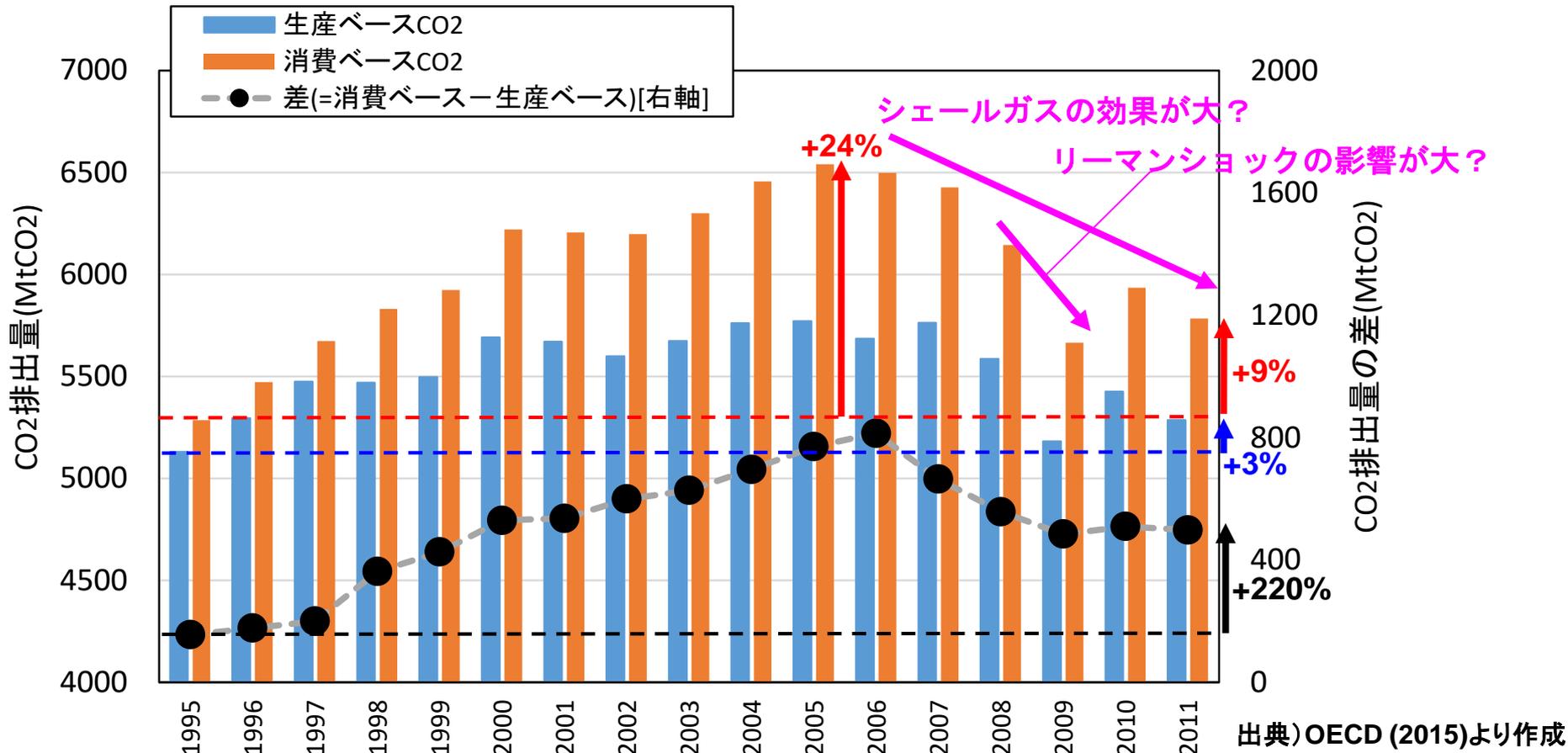
注) 2014～15年についてはBP統計の伸び率を用いて補完したもの

世界の電力消費量



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、線形に近い強い正の関係が見られる。世界レベルで、一次エネルギー供給量や発電電力量で見ると、直近までを見ても、経済成長(GDP)とのデカップリングは見受けられない。

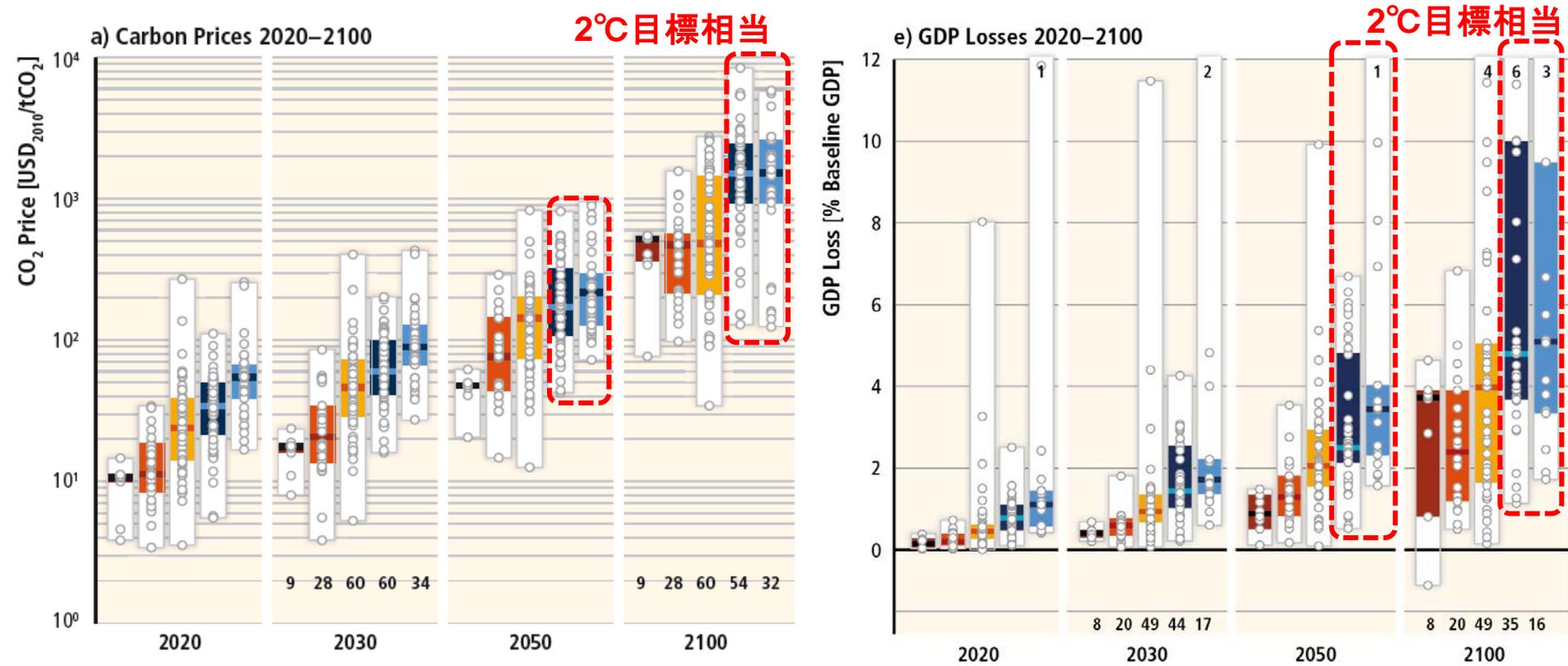
米国の消費ベースCO₂排出量の推移



- 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%)。

3. 温暖化緩和費用の評価例

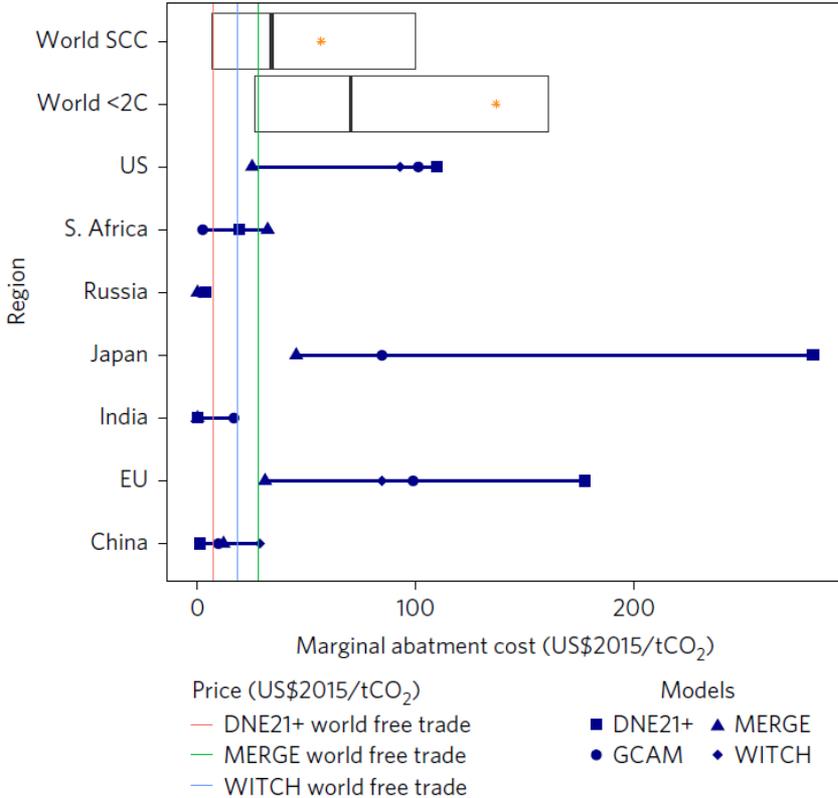
温暖化緩和コスト、緩和による経済影響もFat tail



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。

パリ協定NDCsのCO2限界削減費用推計



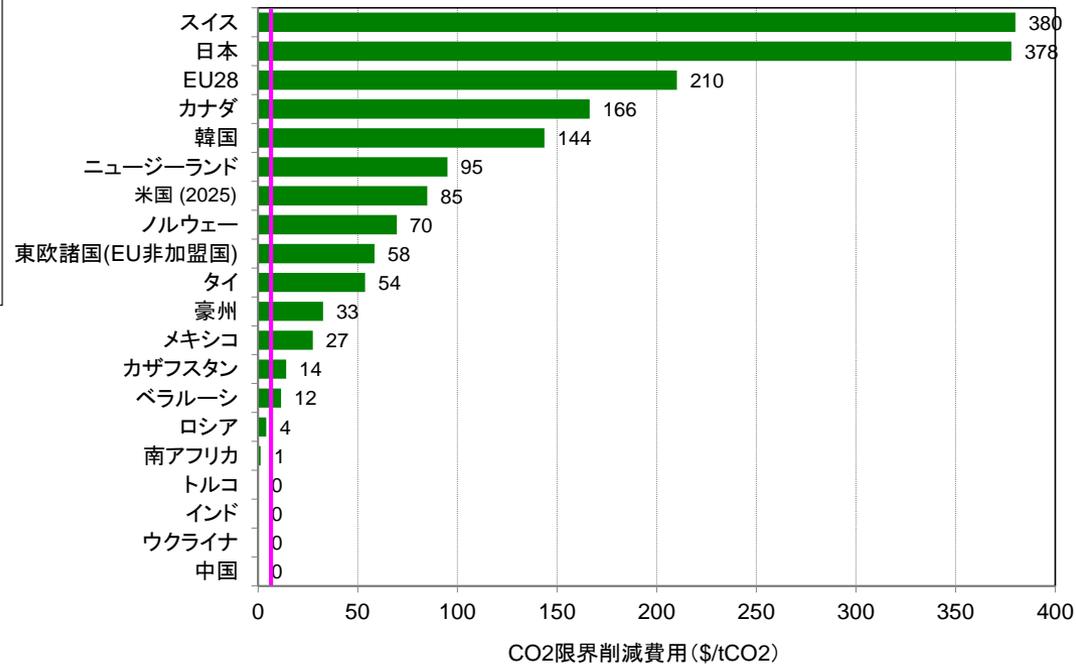
Source: J. Aldy et al., Nature Climate Change, 2016

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



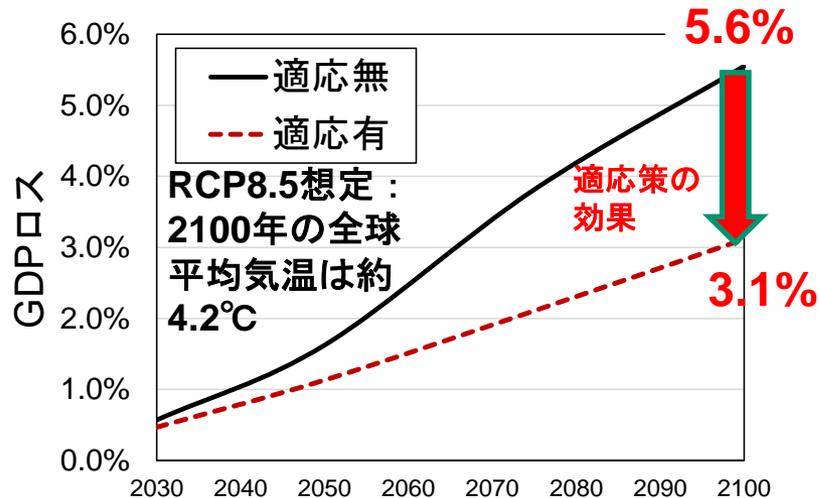
Source: K. Akimoto et al., Evol. Inst. Econ. Rev., 2016

- 国別貢献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）。

4. 温暖化適応費用と効果

温暖化適応策の効果（世界GDPへの影響） —各種モデルの推計—

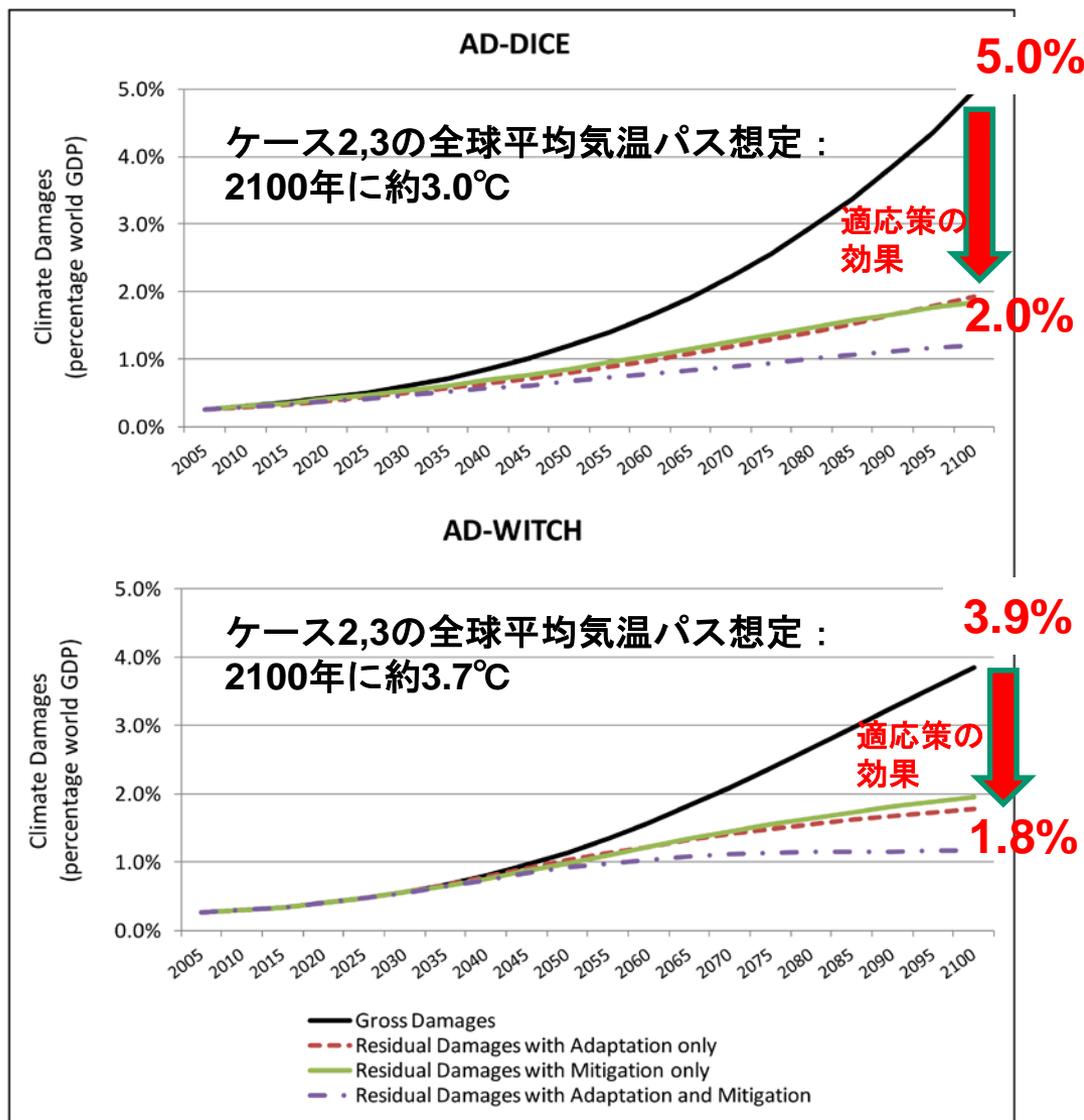
RITE・適応策評価モデル (気候感度C.S.=3.0°C相当)



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。適応策の効果はさらに大きい可能性が大。

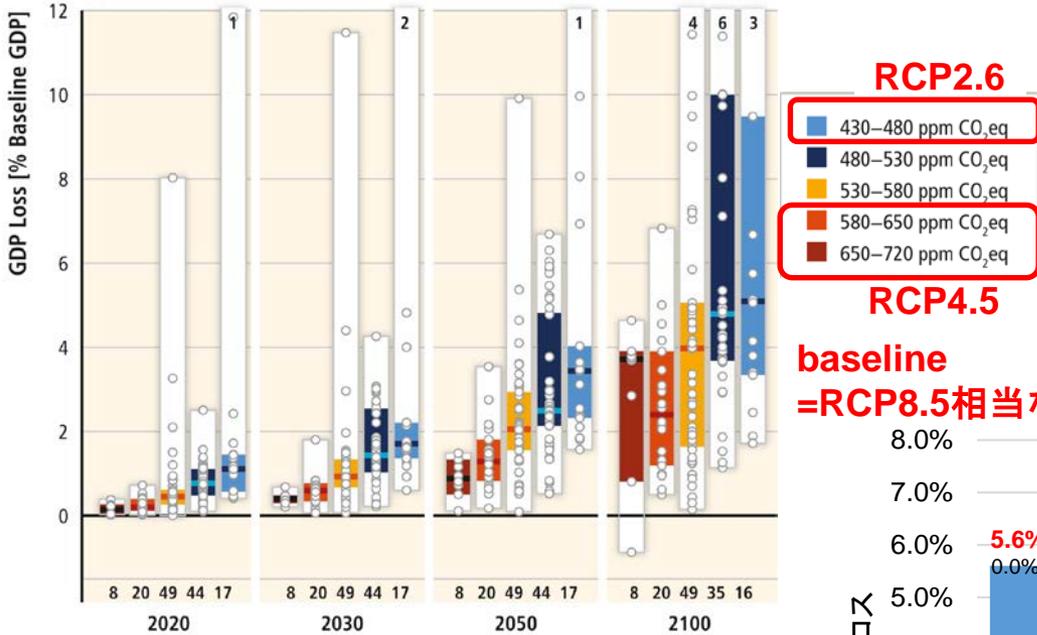
注2) いずれのモデルも温暖化影響被害や適応費用の推計等の精度は粗いことを認識しておく必要あり。

**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)**



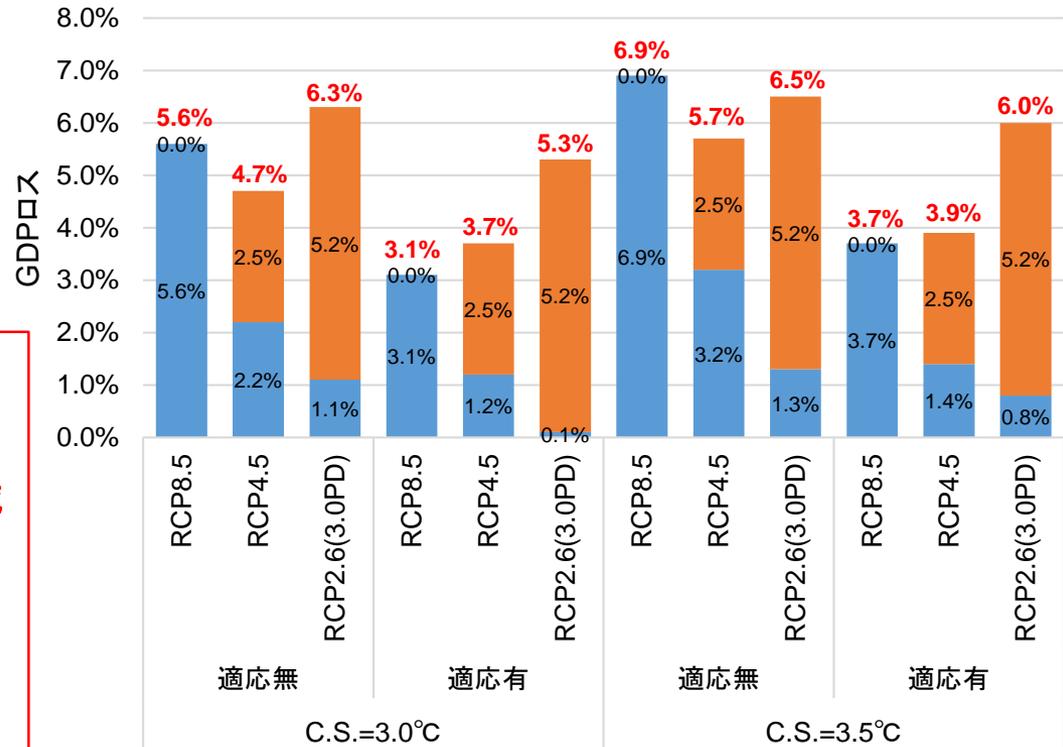
温暖化被害・適応策のGDP影響 —緩和費用との比較—

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)

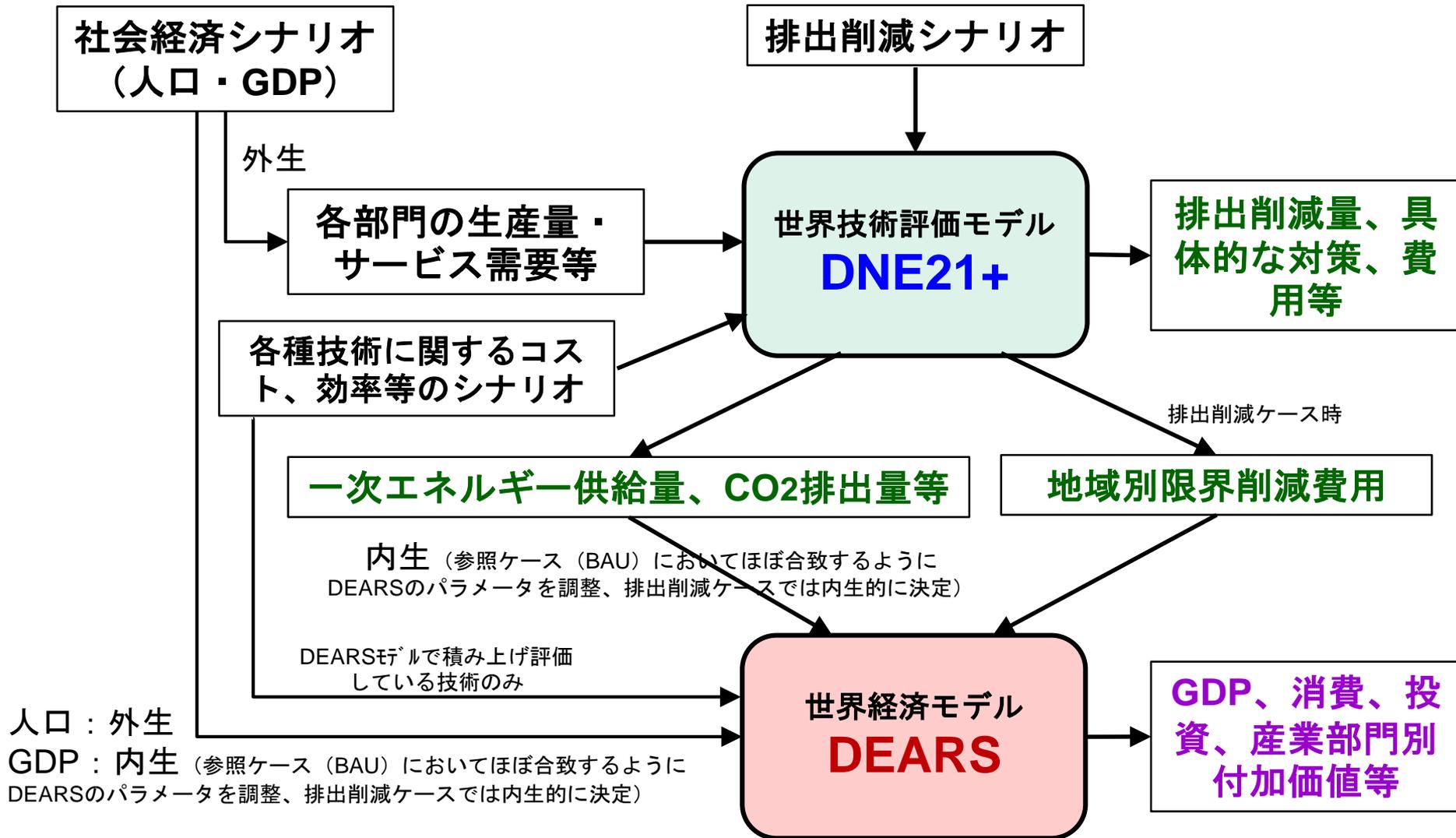


注) 緩和費用推計は基本的に世界全体での費用最小化を前提に推計されたもの

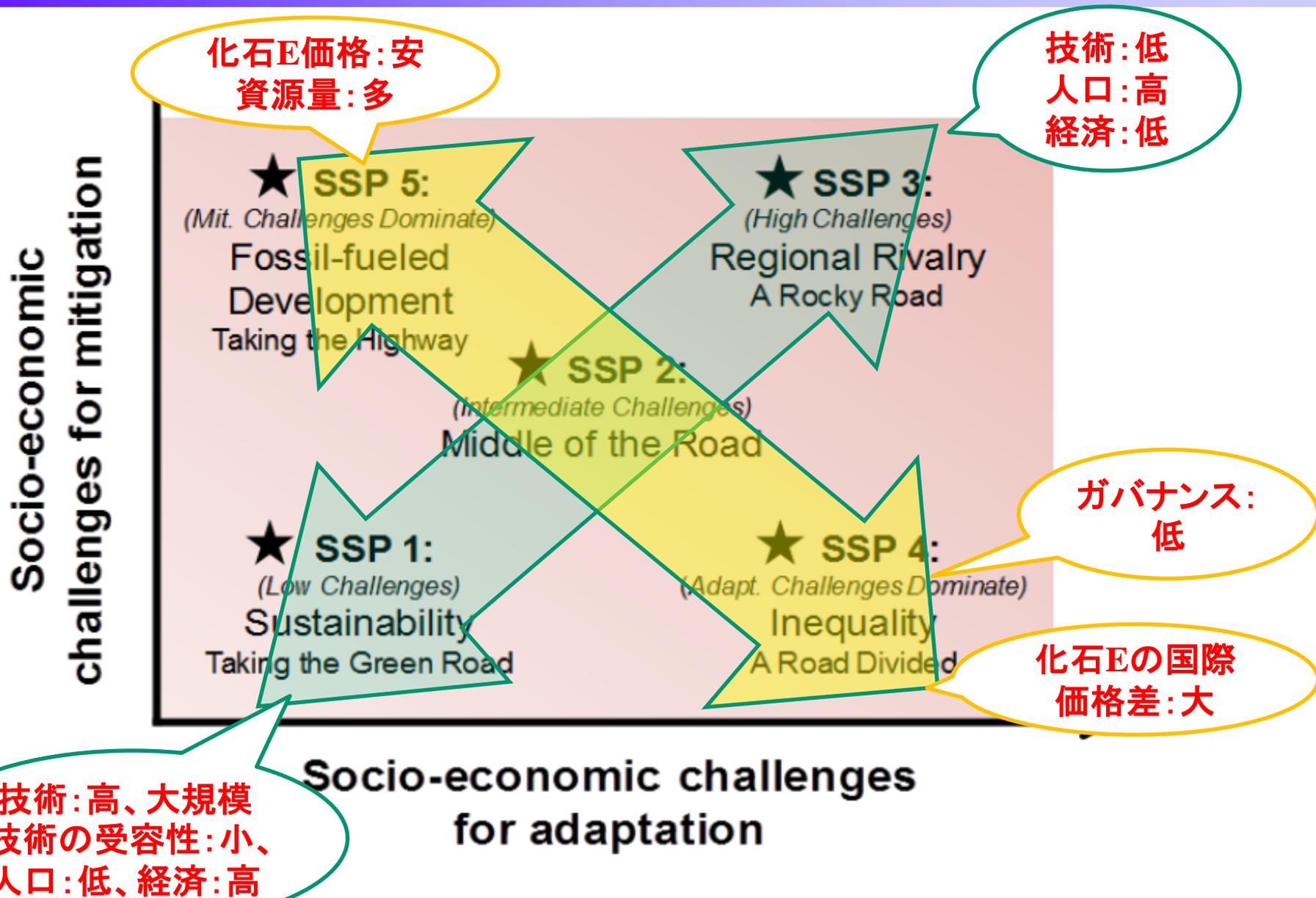
- 温暖化影響被害・適応費用推計の精度の課題があり断定的なことは言えないが、このように適応により被害をかなり抑制できるなら、2°C目標（RCP2.6）のような厳しい排出削減ケースが影響被害を含めた総費用を最小化するかは議論の余地がある。
- 気候感度が0.5°C想定よりも高く3.5°Cであったとした場合でも、適応策によってかなりの影響被害を抑制できる可能性あり（気候感度が3.0°Cの場合と傾向は大きく変わらない）。

5. 不確実性を踏まえた 対策評価例

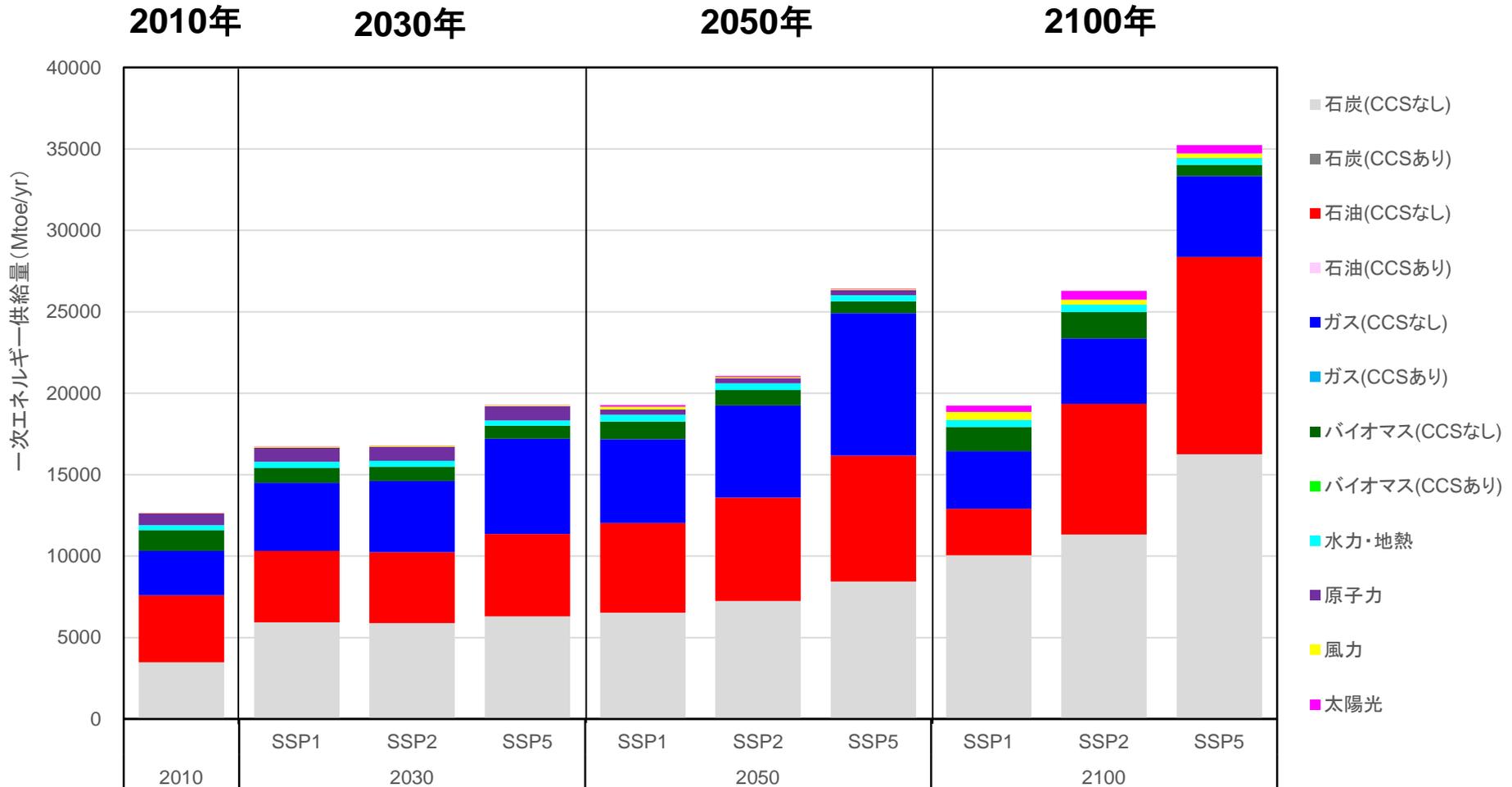
モデル分析の流れ



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

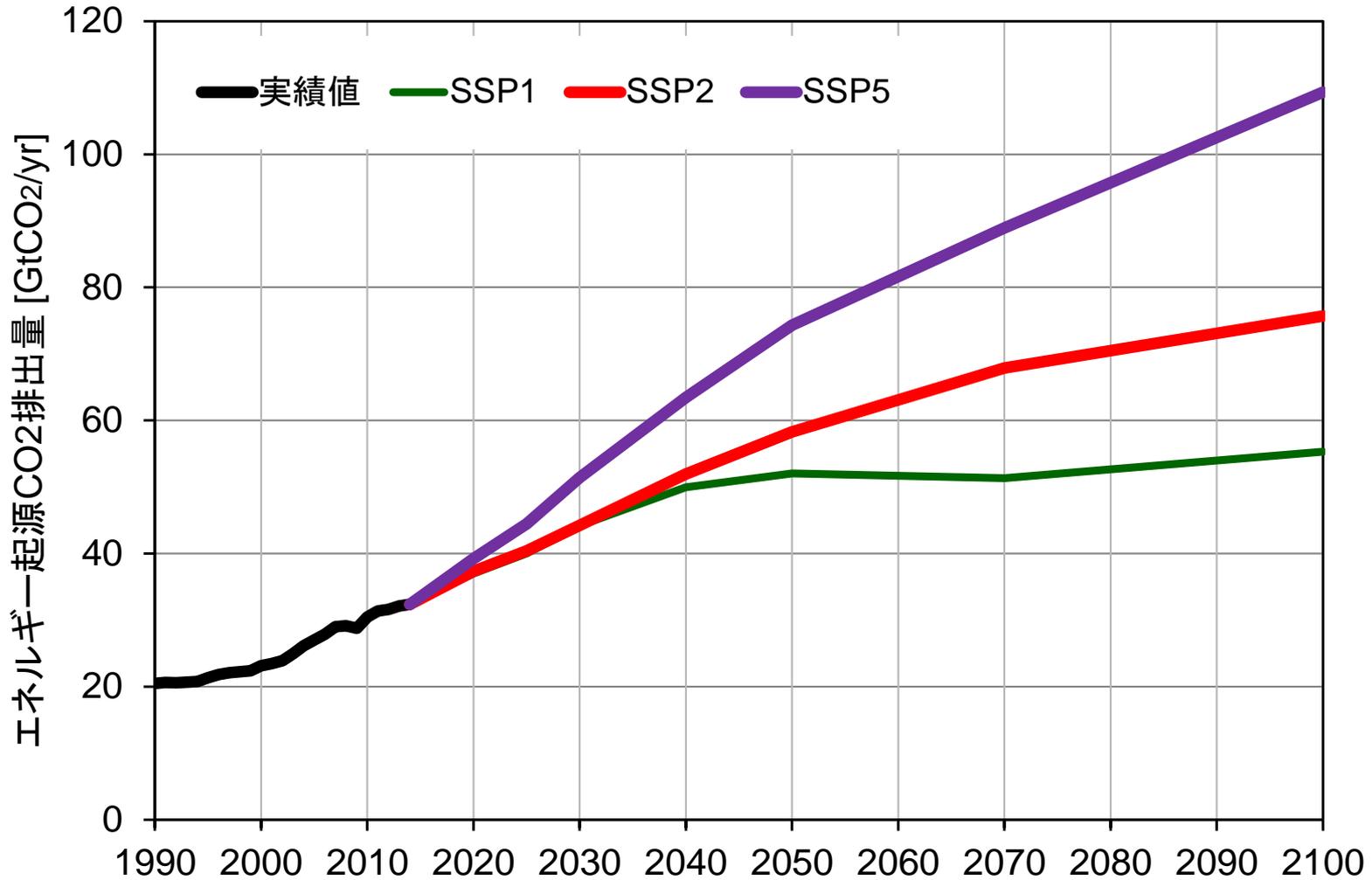


ベースラインにおける世界一次エネルギー供給量



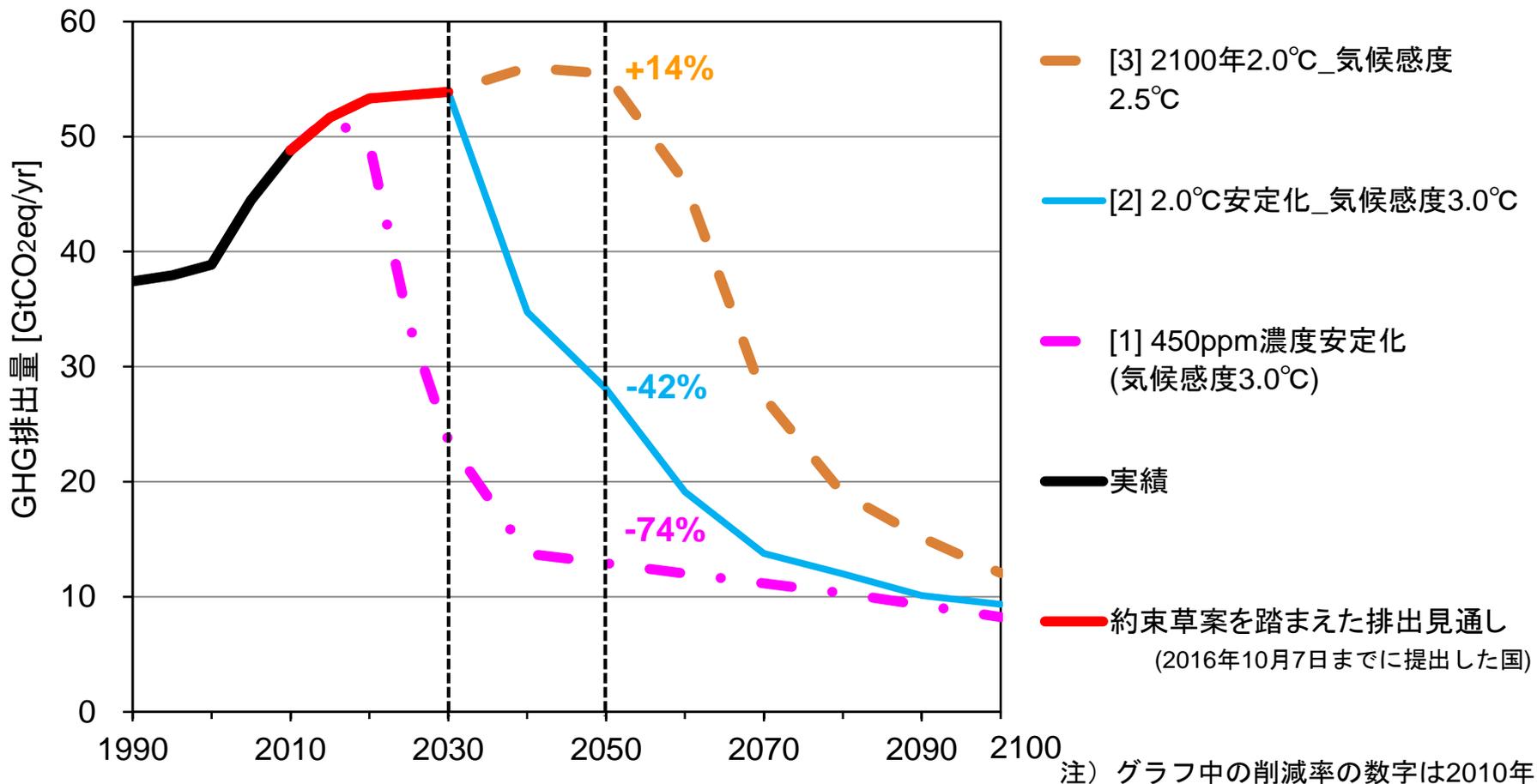
ベースライン(特段のCO2排出削減を行わないケース)においては、SSP1が比較的太陽光発電等の再生可能エネルギーの増大が見られるものの、SSP1を含めて、すべてのシナリオで2100年に至る間、化石燃料が支配的なエネルギー供給源となると推計される。

ベースラインにおける世界のCO2排出量推移



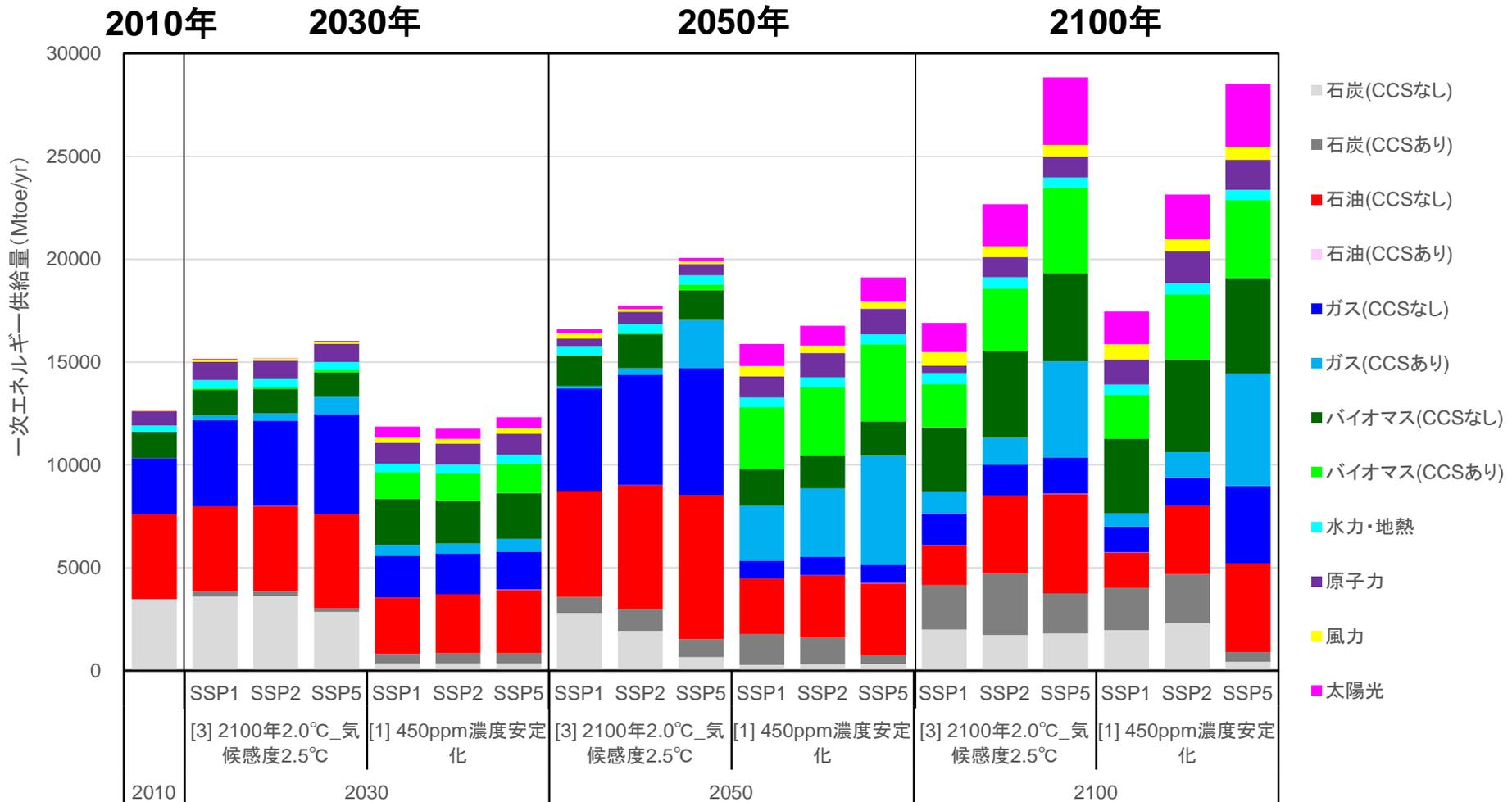
- 社会経済シナリオ(SSP)によって、ベースライン(特段のCO2排出削減を行わないケース)におけるCO2排出量は、2100年に向けて潜在的に増大傾向に。
- ただし、SSP1については、2040年以降はほぼ横ばい傾向と推計。

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。
- 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。[1]シナリオとは大きなギャップあり。
- なお、[2], [3]シナリオについては、ここでは2030年まで約束草案に合致するような排出経路を想定

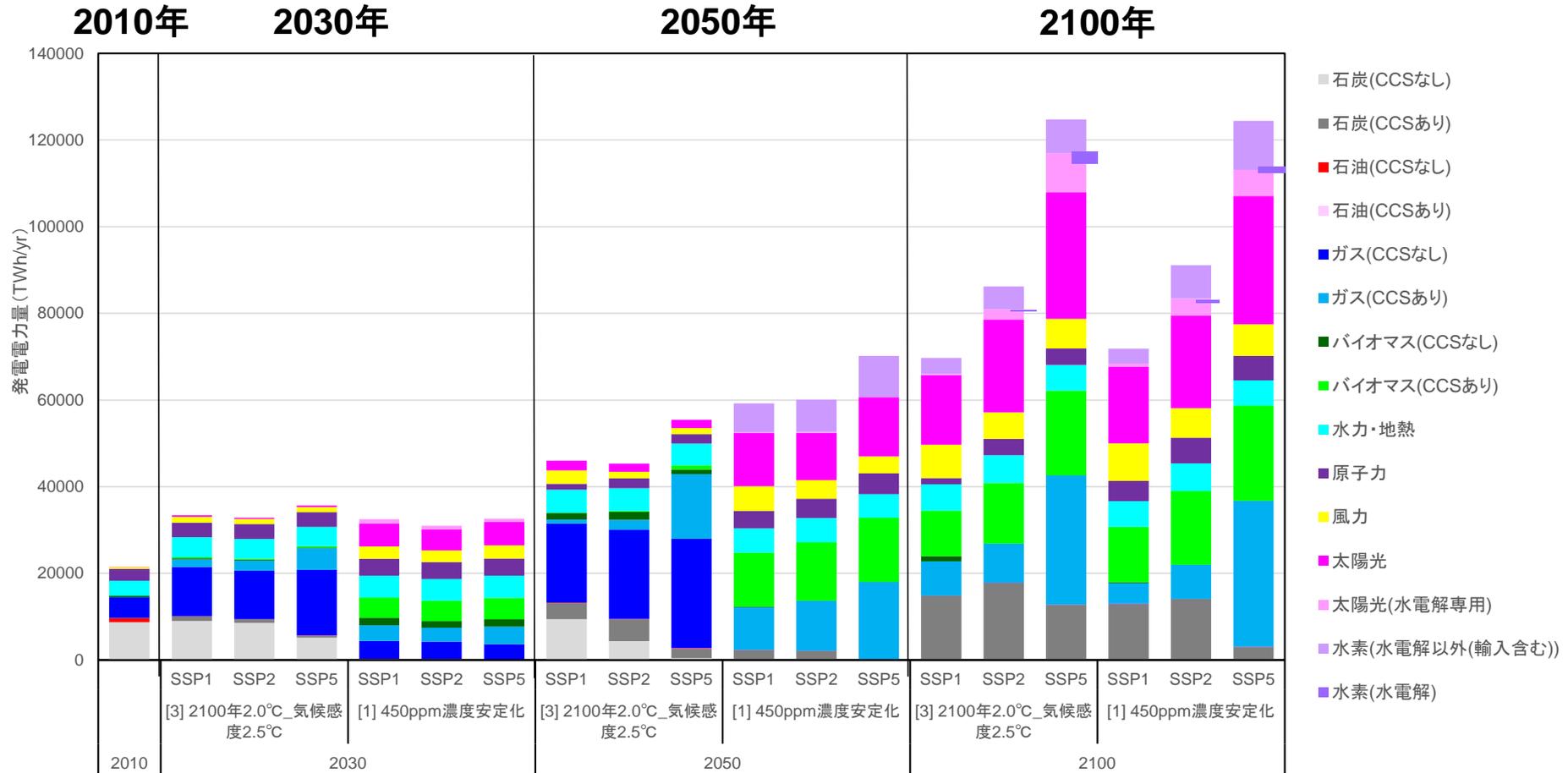
2°C目標における世界一次エネルギー供給量



[2] 2.0°C安定化_気候感度3.0°Cは掲載していない。

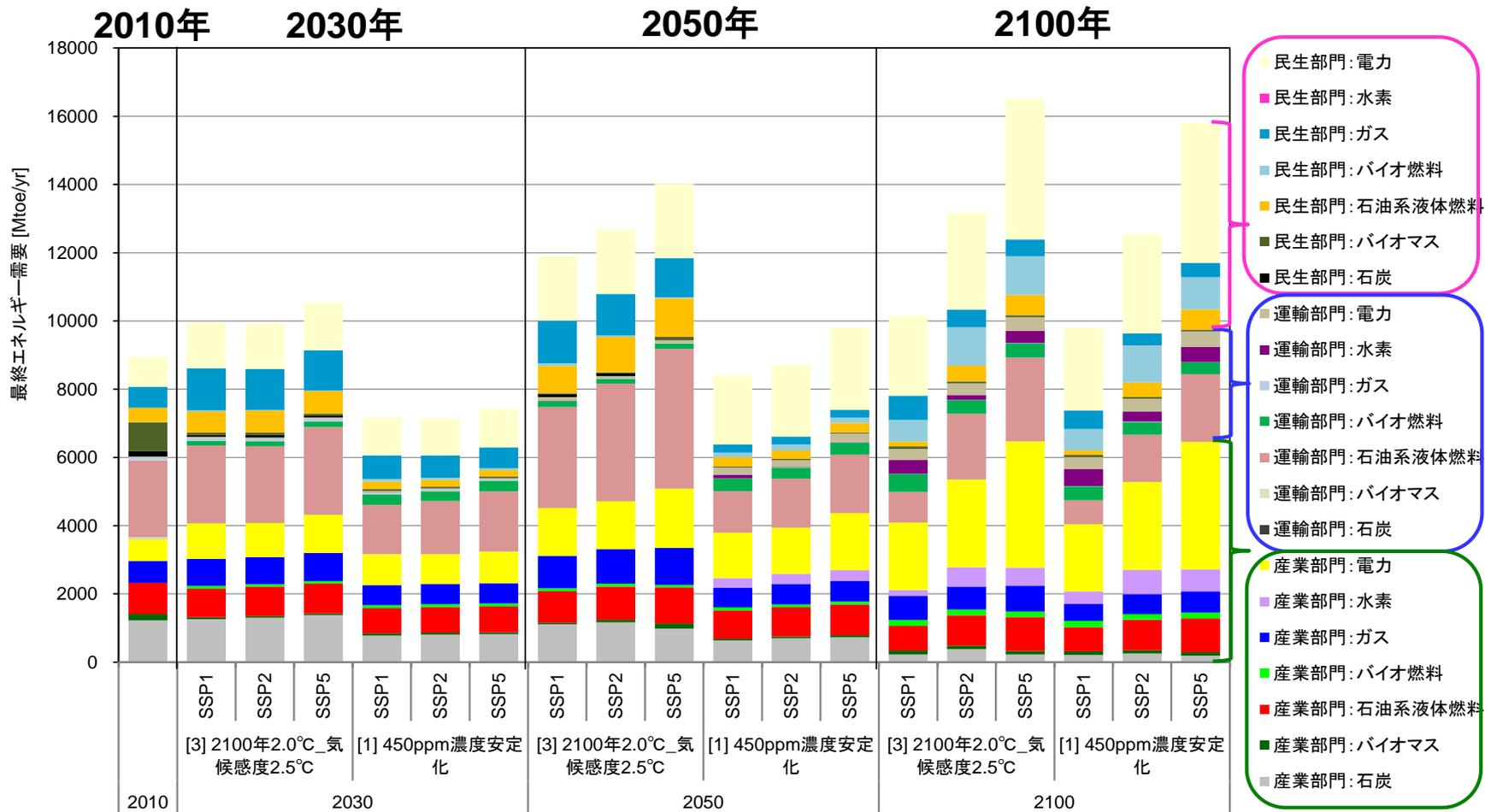
2050年頃までは、排出削減目標による差異が大きい。2100年時点では、排出削減目標よりも、社会経済シナリオ(SSP)による差異が大きい。2100年には相当量のバイオマスCCS(BECCS)が必要

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

各排出削減シナリオの2050年における 世界のCO₂限界削減費用とGDPロス(SSP2の場合)

排出削減シナリオ	世界のCO ₂ 限界削減費用(\$/tCO ₂) (DNE21+モデルによる推計)	ベースライン比の世界GDP影響 (DEARSモデルによる推計)
[3] 2100年2.0°C、 C.S.=2.5°C	27	▲0.1%
[2] 2.0°C安定化、 C.S.=3.0°C	382	▲3.0%
[1] 450 ppm CO ₂ eq安定化 (C.S.=3.5°C程度の場合 2200年頃に+2.0°C)	2827	—

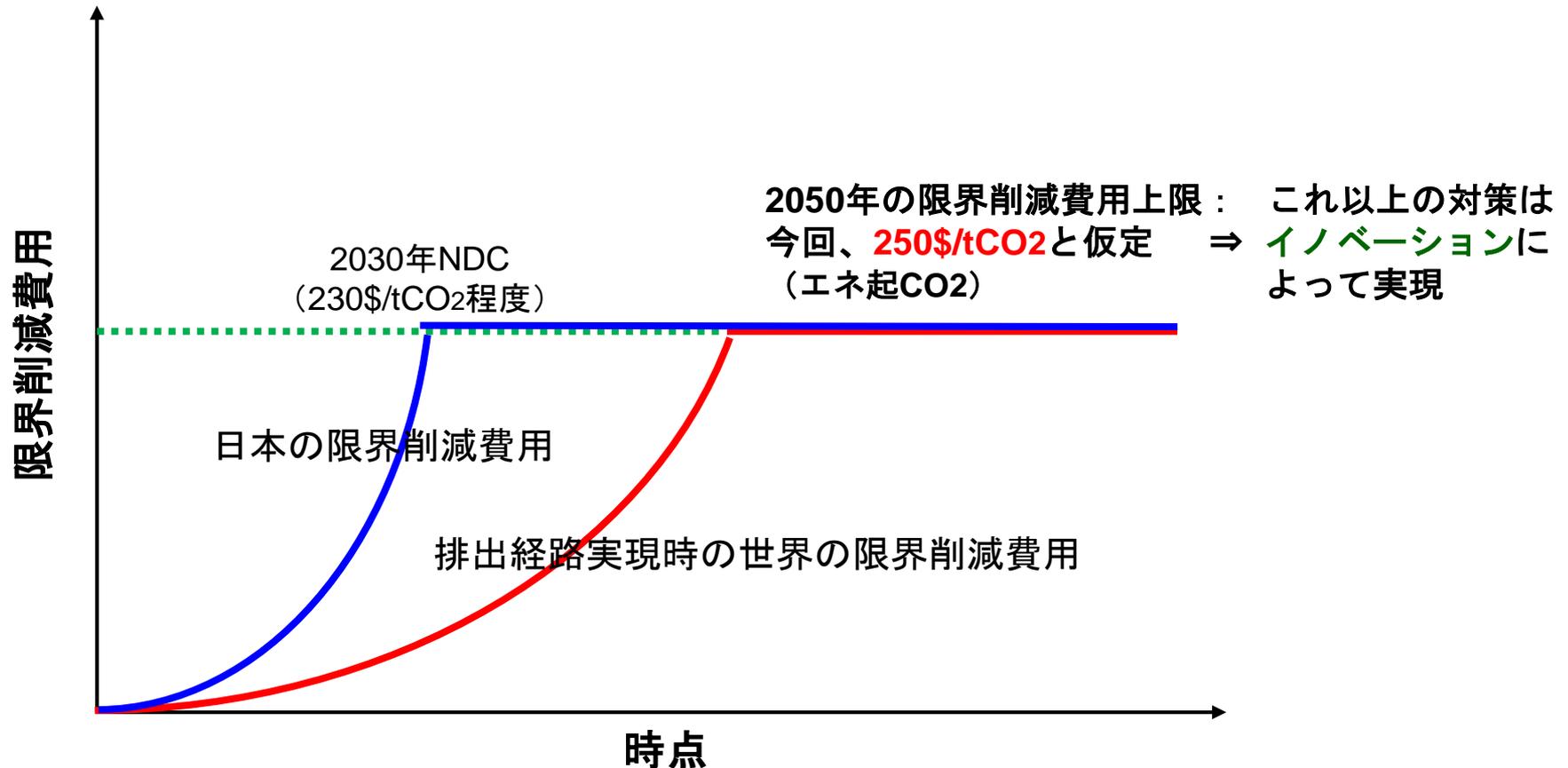
注1) 排出削減費用は、コスト想定や技術の利用可能性、当該時点に至る排出経路等によって変化し得るものであり、ここは試算の一例であることに注意

注2) 世界の排出削減費用が最小となるときの費用を推計したもの（すなわち、世界の限界削減費用が2050年には均等化しているとしたときの推計）

注3) [1]シナリオについては、DEARSモデルでは結果が収束せず、解が得られなかった。

6. 海外展開によるCO₂削減効果 と日本への経済効果（イノベーションによる貢献の考慮を含む）

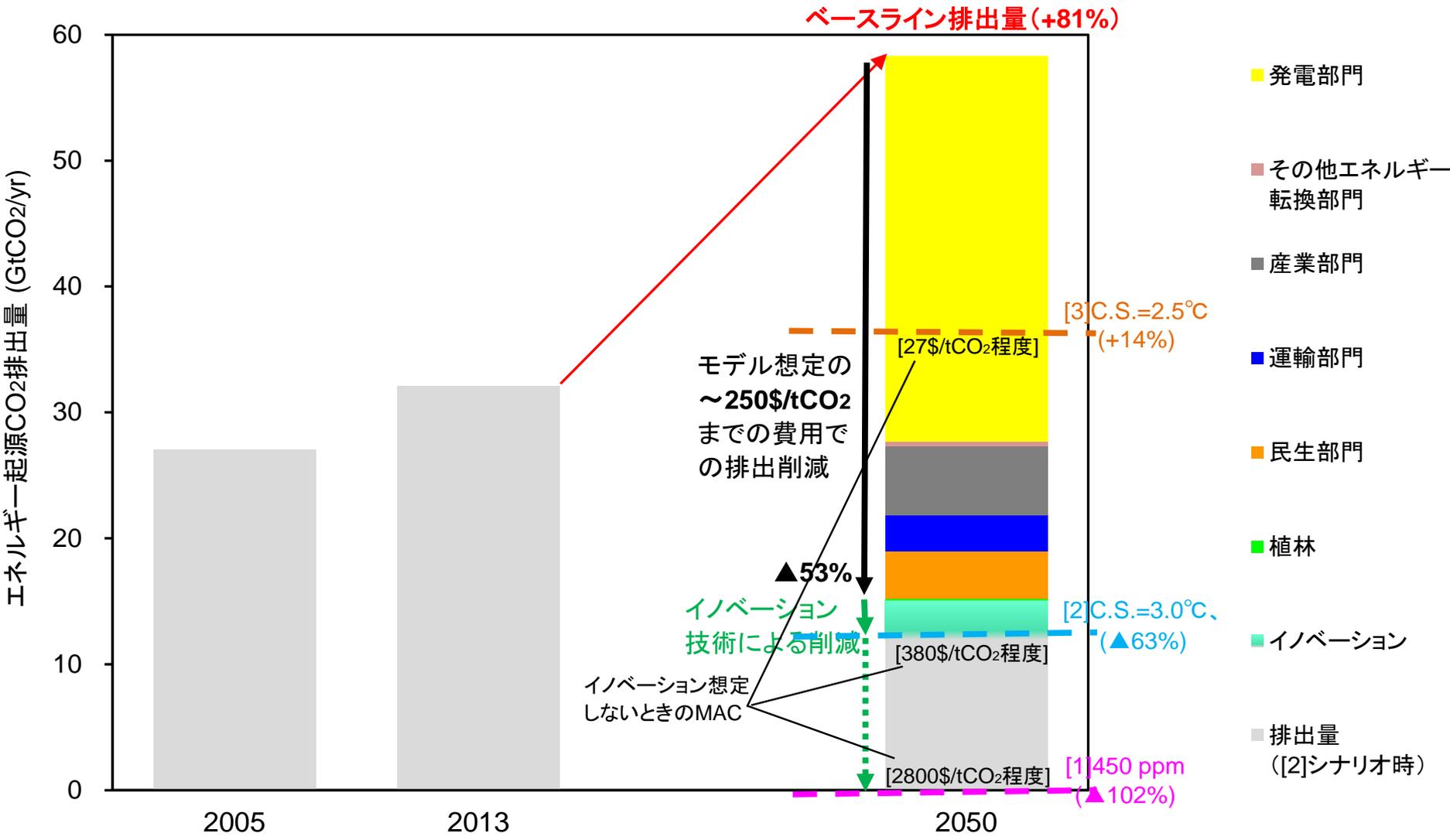
分析におけるイノベーションの仮定



注) 現実の国際政治情勢の中で、250\$/tCO₂という高い限界削減費用水準が設定可能かは大きな議論の余地がある。実際には、更に低い限界削減費用水準を実現するイノベーションがなければ、排出削減の国際協調は実現が難しい可能性は大きい。

世界全体の2050年におけるエネルギー起源CO₂排出削減効果

(250 \$/tCO₂以上の費用の対策はイノベーションによるとした場合)



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

- ◆ 世界全体のベースライン比排出削減効果について、前頁で示した排出削減効果を想定する。その上で、世界排出削減への日本の寄与、経済影響について概算した。
- ◆ **【海外排出削減における日本の寄与分の推計】** 試算にあたって、水力や燃料転換等、日本の技術による貢献度を含めるのが明らかに難しいと考えられる項目は除外した上で、残る世界排出削減（日本国内での排出削減を除く）に対する日本の寄与度を**2割**もしくは**3割**と想定した際の排出削減量を推計
- ◆ **【海外排出削減における日本の投資額増大の推計】** 上記の排出削減を達成する際の投資額を算定。排出削減への寄与同様に、日本がそのうちの**2割**もしくは**3割**を担うと想定。ただし、DNE21+から推計される投資額は建設費等も含むため、日本機械輸出組合の報告（http://www.jmcti.org/planhomepage/report/2015PCI_LF_summary.pdf）における調査国平均の機器資材比率53%を採用し、この**53%分**が日本が寄与できるとした。一方、それには汎用機器も含まれ、全てが日本製という想定も過大と考えられるため、その半分の**26%**の場合の2種類について想定した（なお、53%は過大と考えられるが、この場合、建設工事等でも一定程度の日本の寄与が起こり得ることも踏まえ仮定した。なお、上記排出削減への寄与としては、特定の技術がなければ排出削減そのものが達成できない場合も多いと考えられるため、この機材比率は乗じないこととする。）。ただし、自動車等のプラント建設を必要としない製品については100%とした。

（参考：2011年の世界全体に占める日本の生産額は、輸送機械が14%、その他機械計は9%。

これに対して今回の分析の想定では、2割×26%=5%、3割×53%=16%等となる。）

- ◆ **【海外排出削減における日本の投資額増大による日本の経済効果の推計】**
 - ◆ 前述の日本の投資額増に対して、二次波及効果までを考慮して、日本のGDPへの正の効果を概算。
 - 一次波及効果：産業連関表(2011年総務省、37産業分類)のレオンチェフ逆行列（直接・間接の生産波及効果を推計可能）と産業別付加価値率を用いて、日本の投資額増（汎用機械[発電プラントなど]、電気機械[民生]、輸送機械[自動車]）に対して、誘発された付加価値額(GDP)を推計。
 - 二次波及効果：前述の付加価値額の増加（所得の増加）と限界消費性向（0.3）から推計される消費の増加に対して、さらに誘発された付加価値額(GDP)を推計。
 - 推計された乗数効果(投資額に対するGDP増加率)は、1.03~1.04程度（投資総額に対する日本の寄与率の想定の違いによる）。

- ◆ それと、限界削減費用250 \$/tCO₂までの対策時のGDPロスとの和によって、経済効果を算定。

国際貢献における日本の投資額

参考：IEA World Energy Outlook 2016 (WEO2016)における世界の必要投資額推計

Table 2.4 ▶ Cumulative global energy supply investment by type and scenario, 2016-2040 (\$2015 billion)

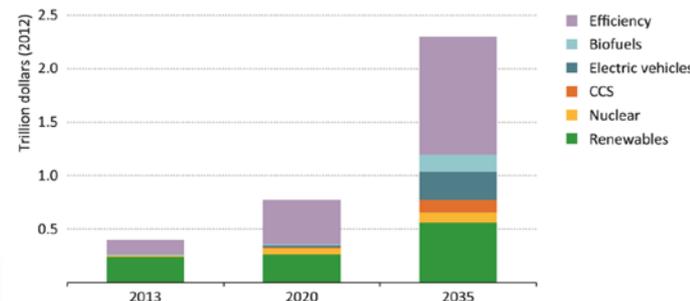
	2010-15*	New Policies		Current Policies		450 Scenario	
	Per year	Cumulative	Per year	Cumulative	Per year	Cumulative	Per year
Fossil fuels	1 112	26 626	1 065	32 849	1 314	17 263	691
Renewables	283	7 478	299	6 130	245	12 582	503
Electricity networks	229	8 059	322	8 860	354	7 204	288
Other low-carbon**	13	1 446	58	1 259	50	2 842	114
Total supply	1 637	43 609	1 744	49 098	1 964	39 891	1 596
Energy efficiency	221	22 980	919	15 437	617	35 042	1 402

* The methodology for energy efficiency investment derives from a baseline of efficiency levels in different end-use sectors in 2014, the annual figure for energy efficiency in this column is the figure only for 2015. ** Includes nuclear and CCS.

この差に相当するような値（ただしWEO2016は2016-40年平均の差であり、RITE推計と比べ小さい。後半に投資額がより増大すると推計されることを踏まえると、RITEの推計はWEO2016とも整合性を有している。）

参考：IEA World Energy Investment Outlook (2014)

Figure 1.14 ▶ Global investment in low-carbon technologies and energy efficiency in the 450 Scenario



後半に投資額がより増大すると推計される

RITEの推計では、SSP2の([2]2.0°C安定化_気候感度3.0°C – [A]MAC均等ケースにおいて、2050年にベースライン比で約3006 billion US\$/yr。

そのうち、海外削減における日本の寄与分を2割かつ投資総額の53%（設備機器分の100%相当）に日本が貢献とした場合は約342、投資総額の26%（設備機器分の50%相当）とした場合は約197、また、日本の寄与分を3割かつ投資総額の53%の場合は約513、投資総額の26%の場合は約295 billion US\$/yrと推計される。

今回分析の世界協調・国際貢献シナリオの 2050年の各種効果（国内対策重視シナリオとの対比）

			世界排出削減 (2013年比%)	限界削減費用 (\$/tCO ₂)	国内排出削減(2013年比%)	海外による排出削減寄与(国内排出削減相当2013年比%)	海外による排出削減寄与による国内経済効果(ベースライン比%)
国内対策重視シナリオ* (欧米中印等の主要国は数百ドルから数千ドル程度の限界削減費用)			▲63%	数千ドル程度 (日本)	▲80%程度	国内での生産が難しく、現状での寄与さえ困難となる懸念あり	
世界協調・国際貢献シナリオ (世界限界削減費用均等)	日本寄与2割	投資総額の日本貢献分26%	▲53%+イノベーションによって更なる排出削減	250	▲50%程度+イノベーションによる排出削減で▲80%程度を目指す	約▲660%	約+2.7%
		投資総額の日本貢献分53%				約+4.7%	
	日本寄与3割	投資総額の日本貢献分26%				約▲990%	約+4.0%
		投資総額の日本貢献分53%				約+7.0%	

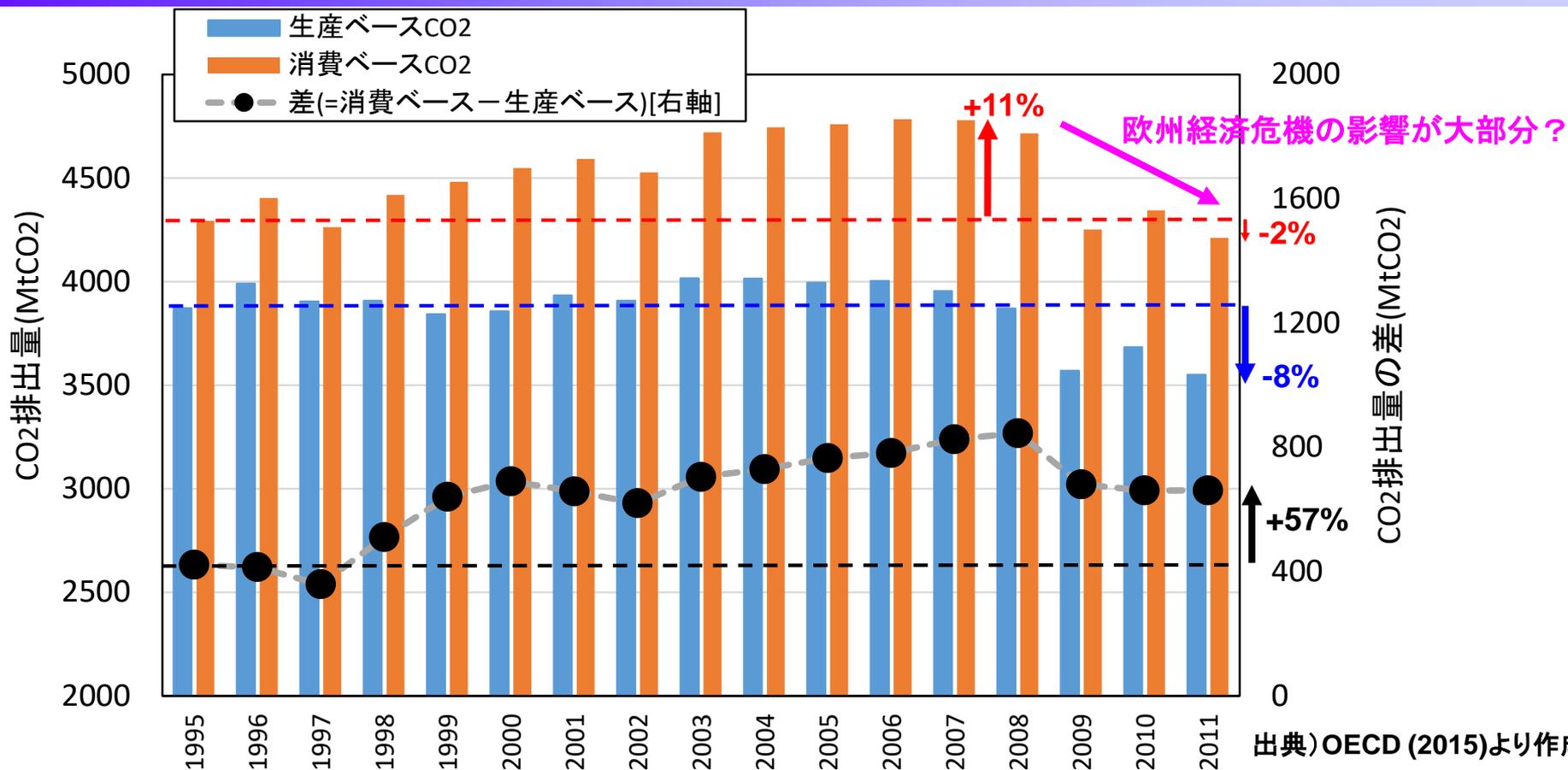
* [2]2°C安定化（気候感度3.0°C）シナリオについて、2050年GDP比費用均等化や一人当たり排出量均等化で各国削減した場合を想定

7. まとめ

- ◆ 2°C目標を前提としても、気候感度の不確実性等により、世界排出経路は大きく異なり、それに伴って世界のエネルギー需給のあり方やそれを達成するための排出削減費用も大きな幅をもって推計される。
- ◆ また、社会経済、国際政治状況の将来的な見通しには大きな不確実性がある。これによっても世界のエネルギー需給のあり方は大きく異なってくる。不確実性を認識し、ある程度柔軟性を有した対応戦略が望まれる。
- ◆ なお、特に2°C目標の達成見込みを高くした排出経路の場合、仮に世界の限界削減費用が均等化する（世界の削減費用が最小化する）としても、削減費用は相当大きくなり、今想定できないような技術のイノベーション（とそれによって誘発される社会のイノベーション）が不可欠
- ◆ 日本の優れた省エネ・低炭素化技術や製品の海外展開が進めば、世界のCO₂排出削減に大きな貢献ができるとともに、経済成長の機会にもなり得る。
- ◆ 日本国内のエネルギー需給という視点以上に、世界におけるCO₂排出削減への我が国の貢献機会の大きさ、それによる経済効果の機会の大きさを認識し、その機会を妨げることのないエネルギー需給戦略の検討が重要

付録

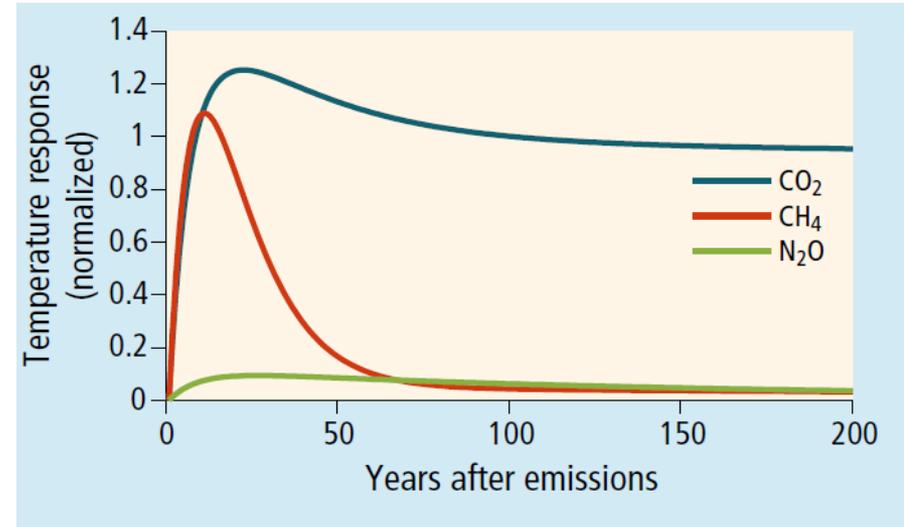
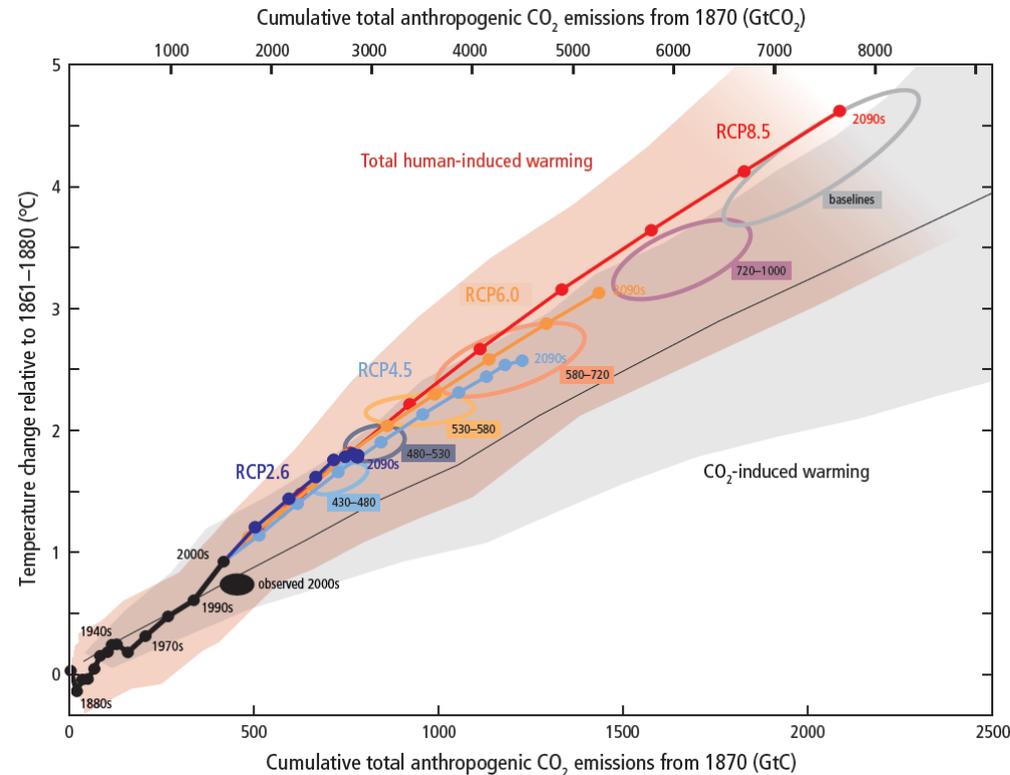
EU28の消費ベースCO₂排出量の推移



- 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、産業構造が変化しただけで、消費構造は変わっておらず、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。
- 消費構造が変わらなければ、世界全体でのCO₂排出削減には効果は極めて乏しい。

- ◆ 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て 2°C より十分に低く（"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）

累積排出量と気温上昇の関係と排出に対する気温応答



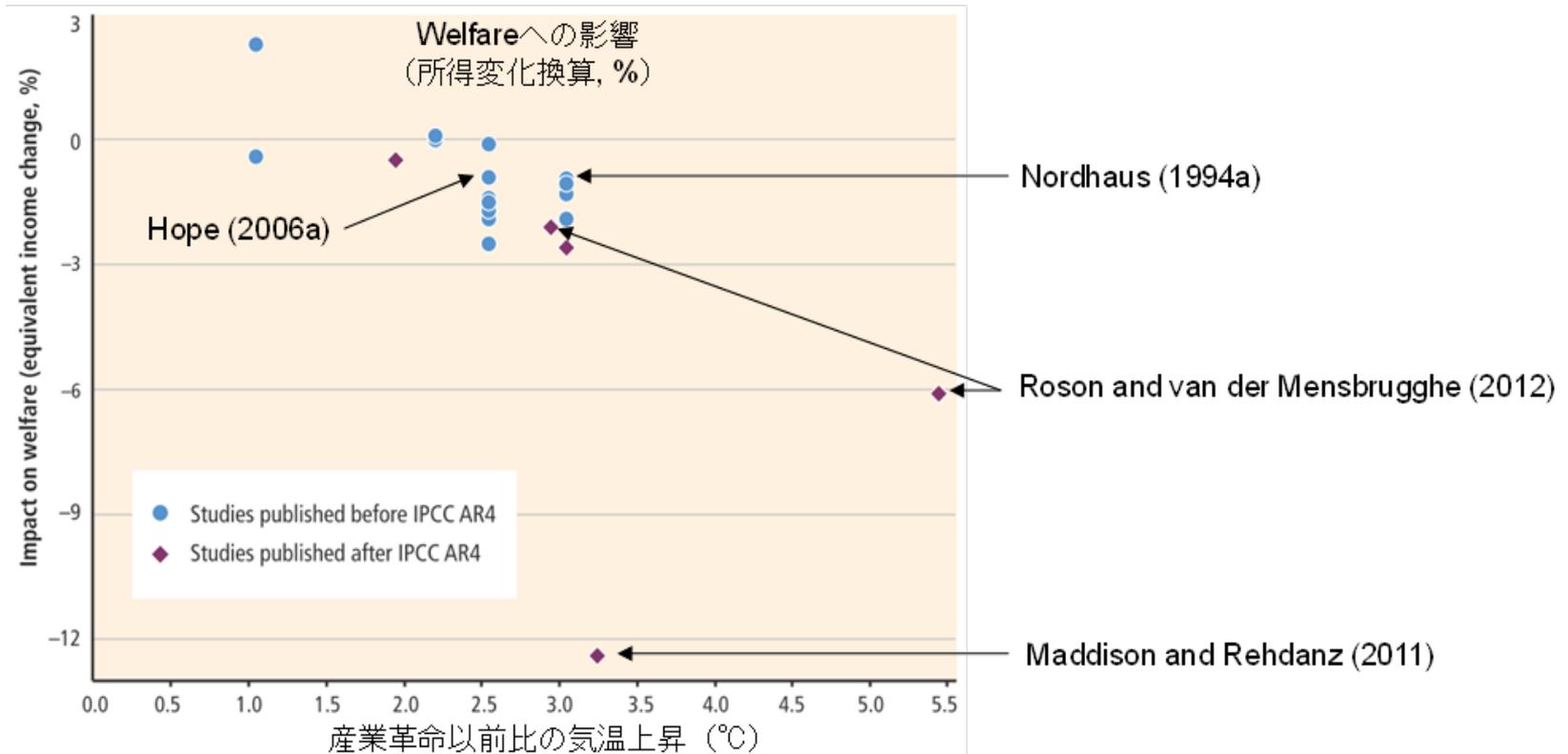
2010年排出に対する気温上昇応答。CO₂排出の100年後の寄与を1として規格化

出典) IPCC AR5 統合報告書

- 累積排出量と気温上昇には線形に近い関係が見られる
- CO₂排出に対する気温応答は減衰に非常に長い時間を要する
- すなわち、いずれのレベルであろうとも、気温を安定化しようとするれば、いずれはCO₂のゼロ排出が必要

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。

炭素の社会的費用 (SCC) : 温暖化による限界被害額

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

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

出典) Interagency working group on social cost of carbon

IPCC AR5(2013)による世界のSCC 推計値(2010年\$価格、\$/tCO₂)

純時間選好率	平均	標準偏差	推計値の数
0%	160	179	142
1%	57	77	137
3%	11	10	186
	117	181	785

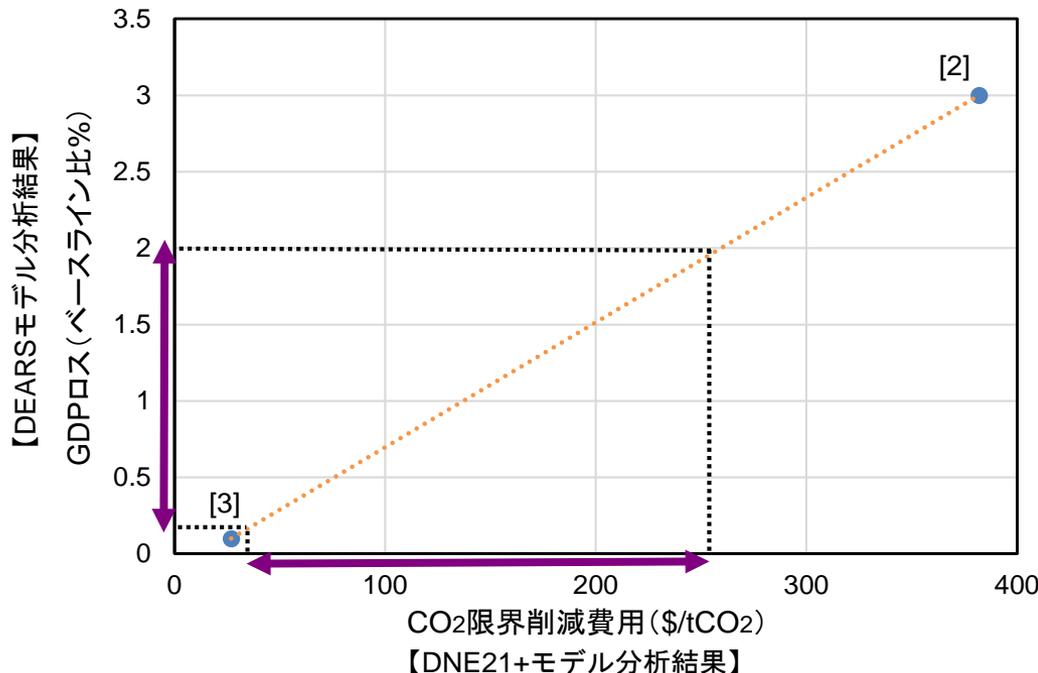
出典) IPCC WG2, AR5, 2014 ; AR4以前、以降の文献、すべての集計値

- 基本的にはこの推計の費用よりも小さな費用の対策は、温暖化影響被害を低減できるため、長期的にはむしろ経済成長につながる可能性あり(厳格には限界削減費用と限界被害額の均衡点までなので、これよりも小さな費用となる)。
- これからは仮に温暖化影響被害に対してリスク回避的な数字を採用するとしても、2050年で200\$/tCO₂程度まで。それ以上の費用の対策を正当化することは難しい。

温暖化影響被害額から見た緩和費用

RITE DEARSモデルから推計される2050年の世界のGDPロス

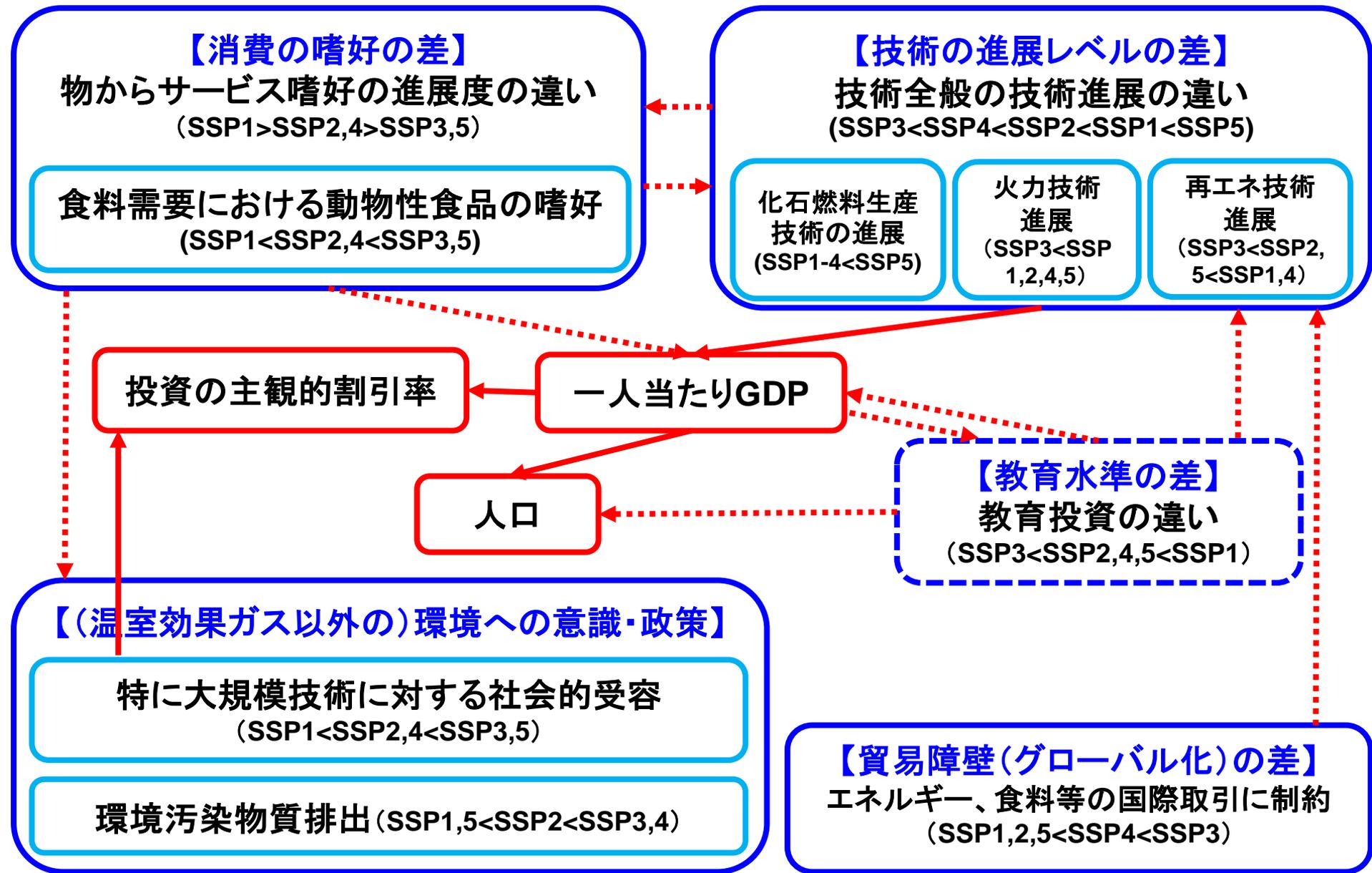
- ◆ 温暖化影響被害を2°C未満に抑制することによって、仮に0.2~2.0%程度のGDP損失を回避できると仮定し、2050年のGDPの0.2~2.0%程度の温暖化緩和策が経済合理的と正当化されるとすると、**限界削減費用とGDP損失との関係から、世界全体で限界削減費用が2050年に30~250\$/tCO₂程度となる対策が正当化される可能性あり**。(ただしIPCC報告の0.2~2.0%のGDP損失は2.5°C上昇時の損失であること、またこれは損失回避額ではないことから、大きめに費用を算定している可能性有*。)
- ◆ この上限値250\$/tCO₂は、2050年評価の割引率3%、95%タイルのときのSCCの220\$/tCO₂よりも少し高い程度。また、2030年の日本の約束草案のエネルギー起源CO₂削減の限界費用230\$/tCO₂よりも少し高い程度。



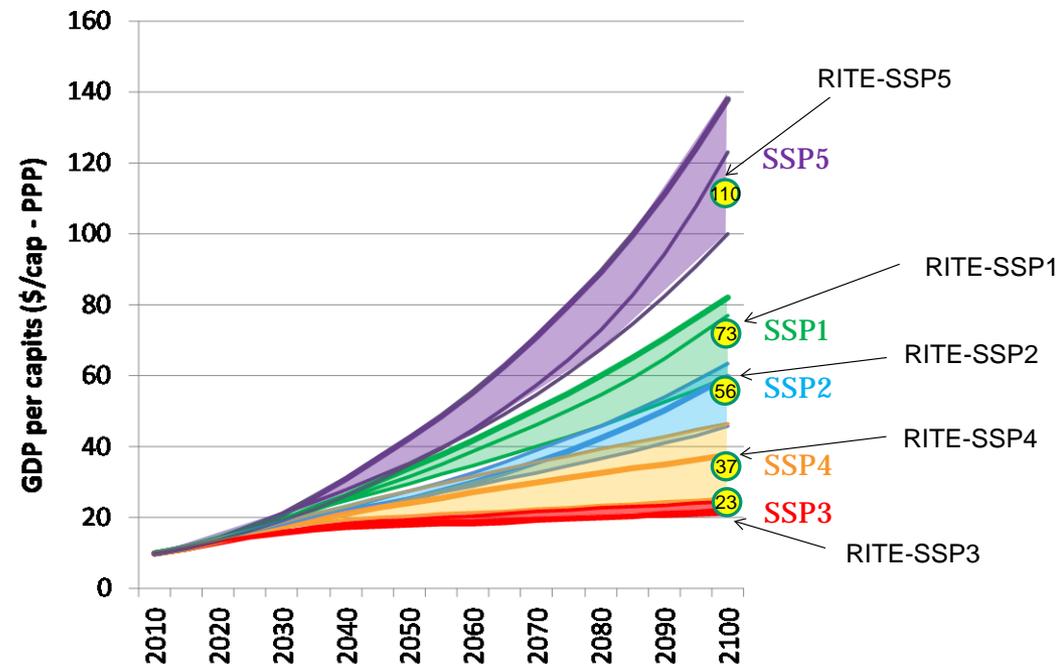
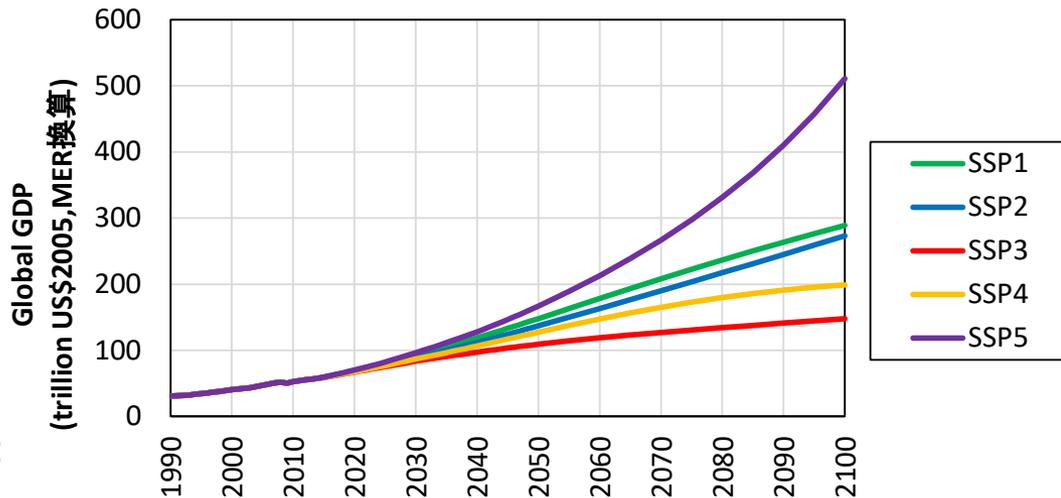
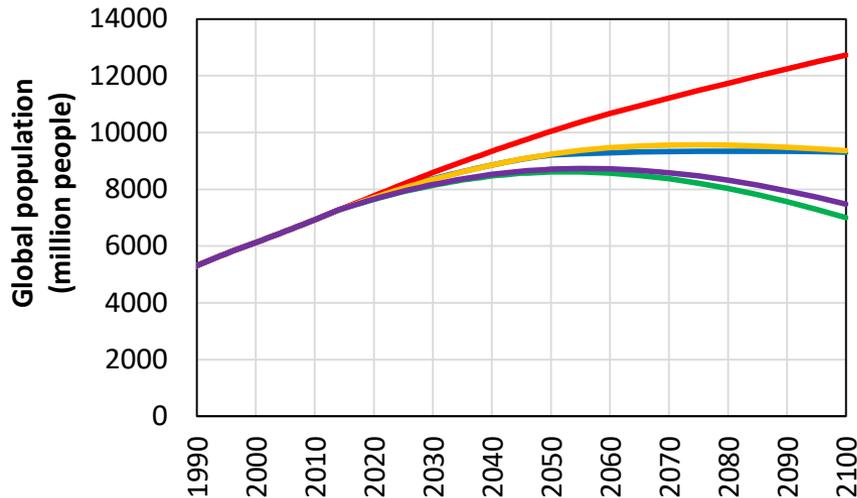
*) 時点の問題、影響被害低減による便益との関係など、実際には複雑だが、そもそも温暖化影響被害推計の不確実性は大きく厳格な計算は不可能であるため、概算としている。

IPCC AR5における様々なモデルの分析結果から見ても、左図の世界の限界削減費用と世界のGDPロスとの関係は概ね整合的な水準にある。

5種類のSSPの誘発要因の想定

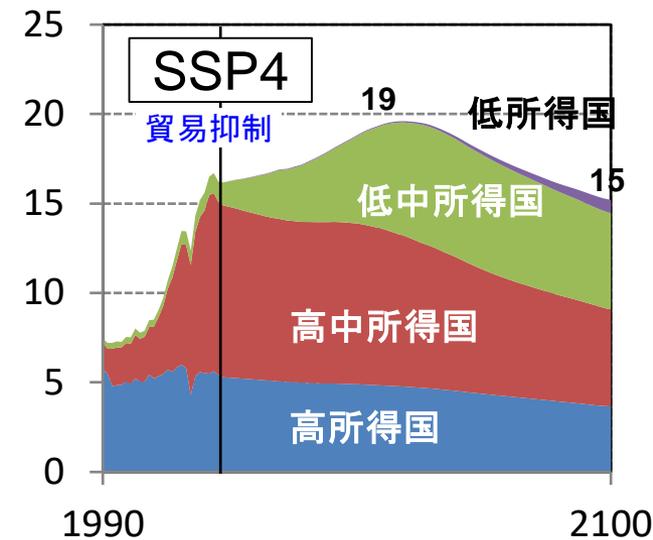
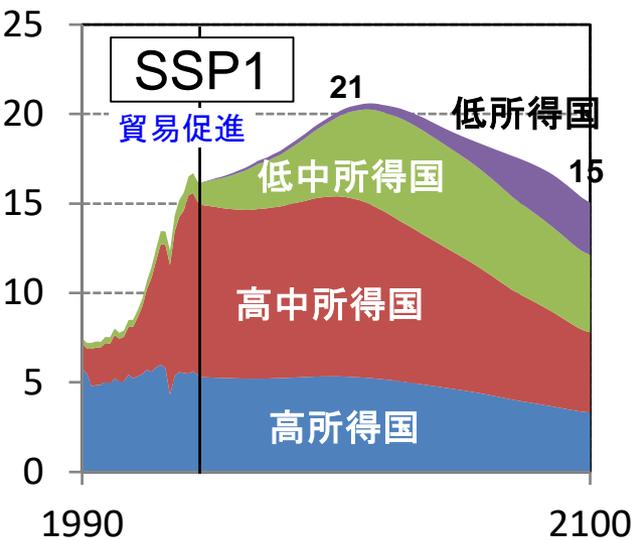
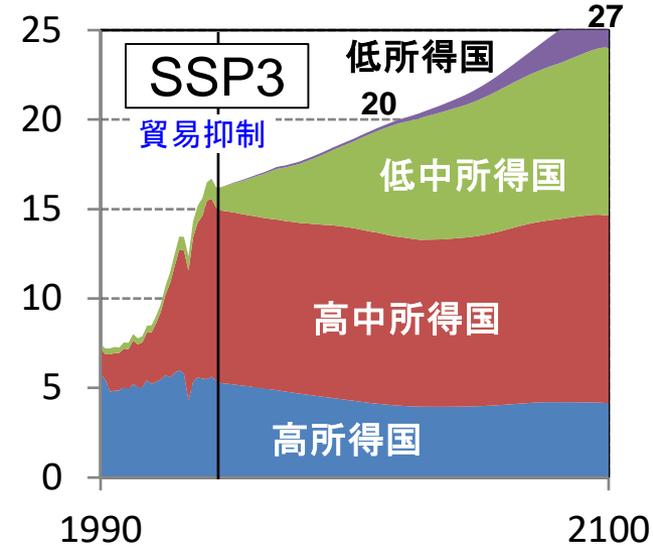
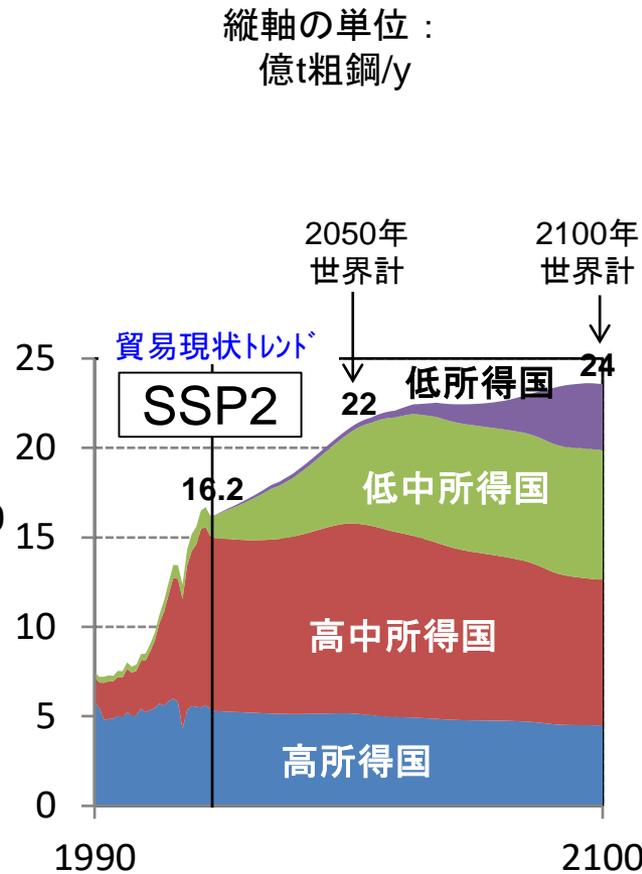
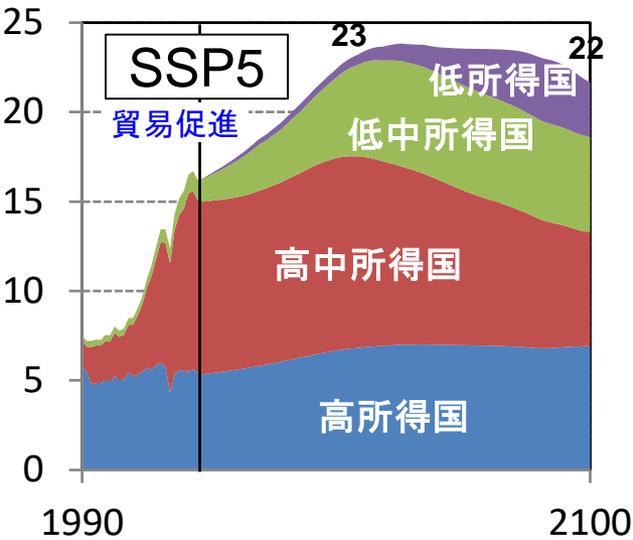


SSP毎の世界の人口、GDPシナリオ



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



温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

(Dynamic New Earth 21+)

- ◆ 各種エネルギー・CO₂削減技術のシステム的なコスト評価が可能なモデル(ただしDEARSモデルのように経済全体を評価対象とはしていない)
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化)
- ◆ モデル評価対象期間: 2000~2100年(代表時点: 2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送: 石炭、石油、天然ガス、電力、エタノール、水素、CO₂(ただしCO₂は国外への移動は不可を標準ケースとしている)、CO₂クレジット
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO₂回収貯留技術を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 300程度の技術を具体的にモデル化
- ◆ それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定)

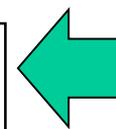
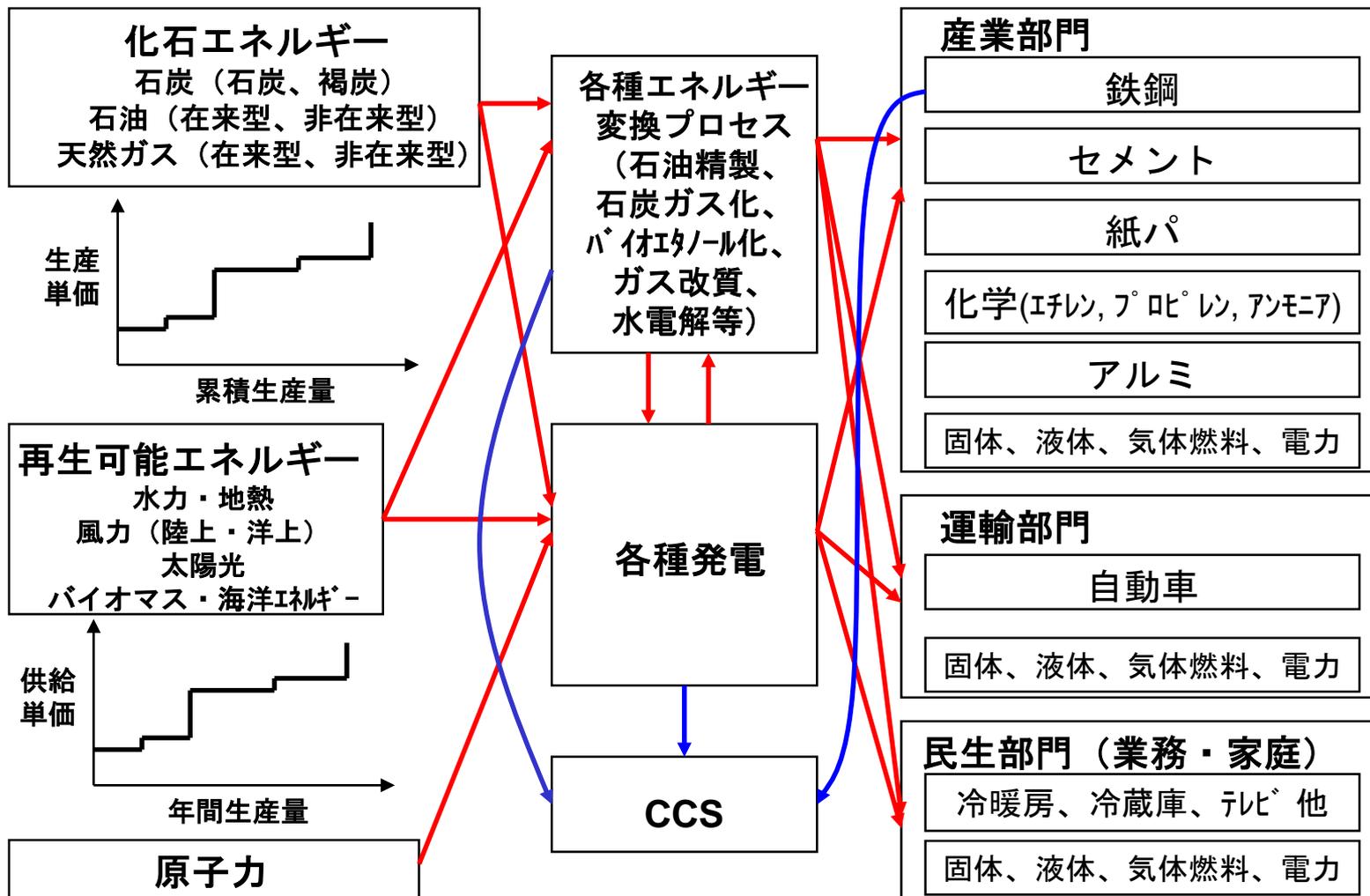
地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能。また、それらが統合的に評価可能

- ・中期目標検討委員会およびタスクフォースにおける分析・評価
 - ・国内排出量取引制度の検討における分析・評価
 - ・環境エネルギー技術革新計画における分析・評価
- はじめ、気候変動政策の主要な政府検討において活用されてきた。またIPCCシナリオ分析にも貢献

DNE21+のエネルギーフロー概略



温暖化対策を想定しないベースラインにおける化石燃料価格は外生的に想定し、生産単価や利権料等のその他価格要因を調整する。排出削減を想定したケースでは、それに伴う化石燃料利用量の変化に従って、モデルで内生的に価格が決定される。



ボトムアップ的にモデル化している主要な部門については、**経済活動量やサービス需要**を外生的に想定してモデルに入力する(例：粗鋼やセメント生産量、乗用車の旅客サービス需要等)。



各種技術の設備費や効率等を外生的に想定して入力する。

世界エネルギー・経済モデルDEARSの概要

(Dynamic Energy-economic Analysis model with multi-Regions and multi-Sectors)

47

- ◆ トップダウン型経済モジュールとボトムアップ型エネルギーシステムモジュールの統合モデル
- ◆ 動的非線形最適化モデル（世界全体の消費効用最大化）
- ◆ モデル対象期間：21世紀中頃まで（最適化時点間隔 10年）
- ◆ 世界地域分割：18地域分割
- ◆ 非エネルギー産業分類：18産業分類
- ◆ エネルギー産業分類：一次エネルギー8種、二次エネルギー4種
- ◆ GTAP (Global Trade Analysis Project) モデル・データベースに基づく産業連関構造を明示した経済モジュール
- ◆ 簡略化ながら、ボトムアップ化したエネルギーシステムモジュール
 - ✓ ボトムアップ的にエネルギー供給技術（発電技術等）、CO₂回収・貯留技術をモデル化
 - ✓ 一次エネルギー供給：8種類をモデル化（石炭、原油、天然ガス、水力・地熱、風力、太陽光、バイオマス、原子力）
 - ✓ トップダウン的にエネルギー需要サイドをモデル化（家計：エネルギー価格・所得弾性、産業・運輸：エネルギー価格弾性、これらはすべて経済モジュールとリンク）
 - ✓ 最終エネルギー消費：4種類をモデル化（固体燃料、液体燃料、気体燃料、電力）

世界の地域、産業部門横断的にエネルギーと経済の統合的な評価が可能

エネルギー・環境会議の選択肢の経済分析において活用されたモデル

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)

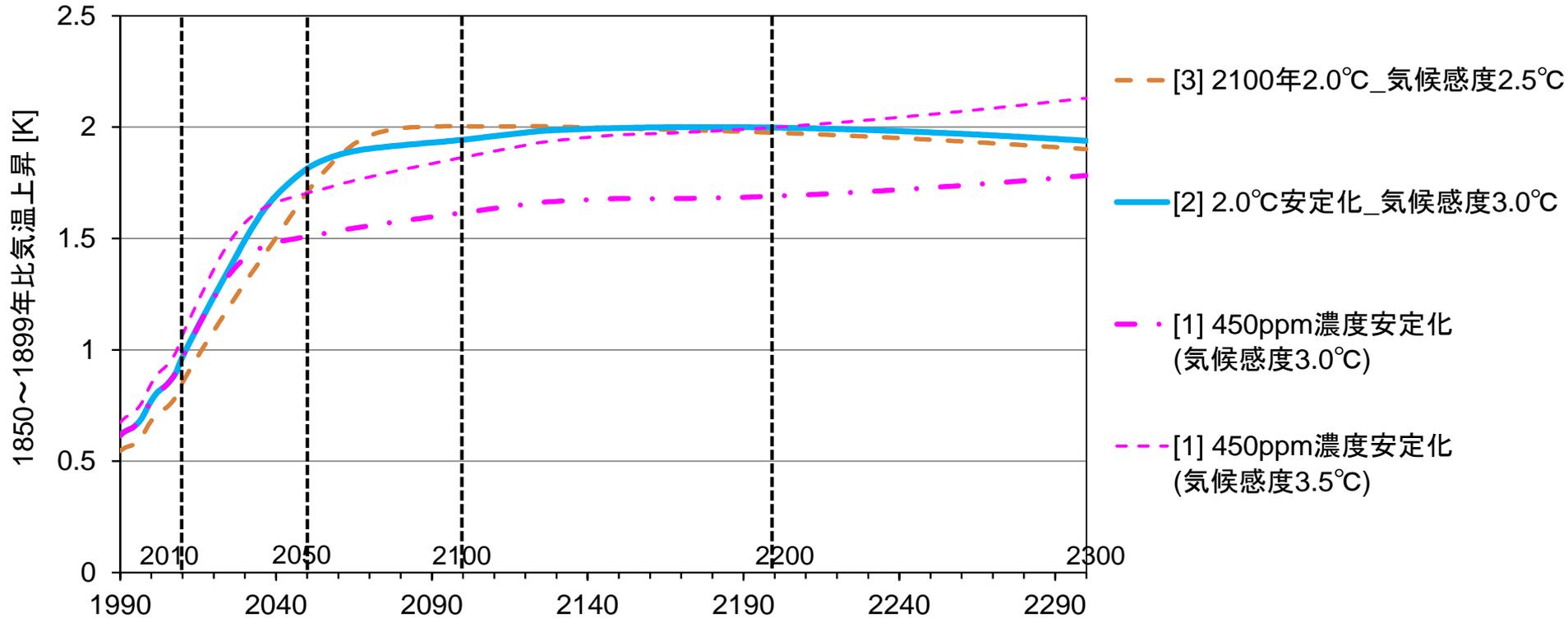
Extremely unlikely less than 1 °C (high confidence)

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.

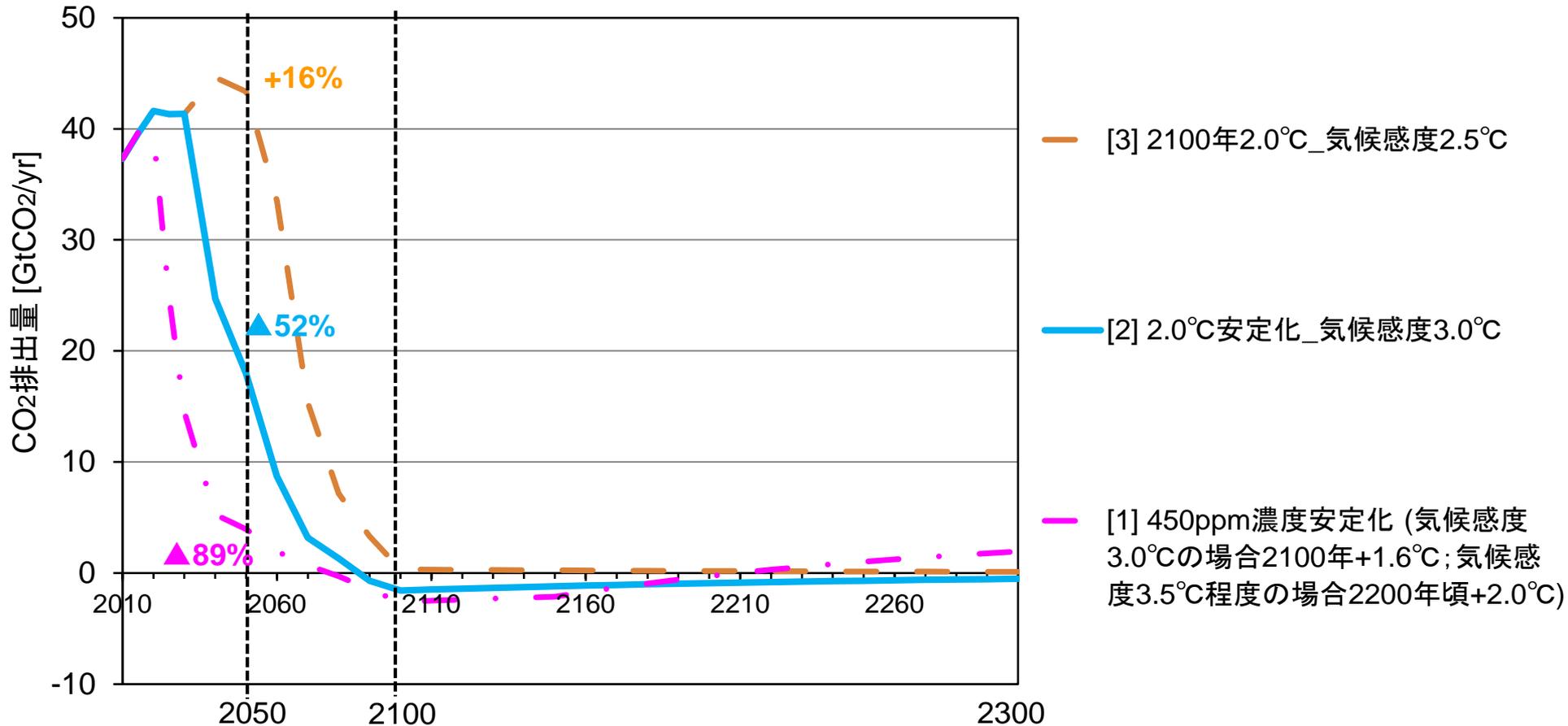
- ◆ 平衡気候感度(濃度が倍増し安定化したときの気温上昇の程度の指標)の不確実性は未だ大きい。
- ◆ AR5 WG1では観測データ派の気候感度評価を含めて各種分析を総合的に判断した結果、AR4よりも低位に修正(1.5~4.5°C)。
- ◆ しかし、AR5 WG3の長期排出経路の気温推計においてはAR4の気候感度(2.0~4.5°C、最良推計値3.0°C)を利用

想定した全球平均気温上昇経路



MAGICCを用いてRITEにて試算

2°C目標の各シナリオのCO₂排出量推移(～2300年)



出典)MAGICC、DNE21+を用いてRITEにて試算

注1) グラフ中の削減率の数字は2010年比

注2) エネルギー起源CO₂以外のCO₂排出を含む

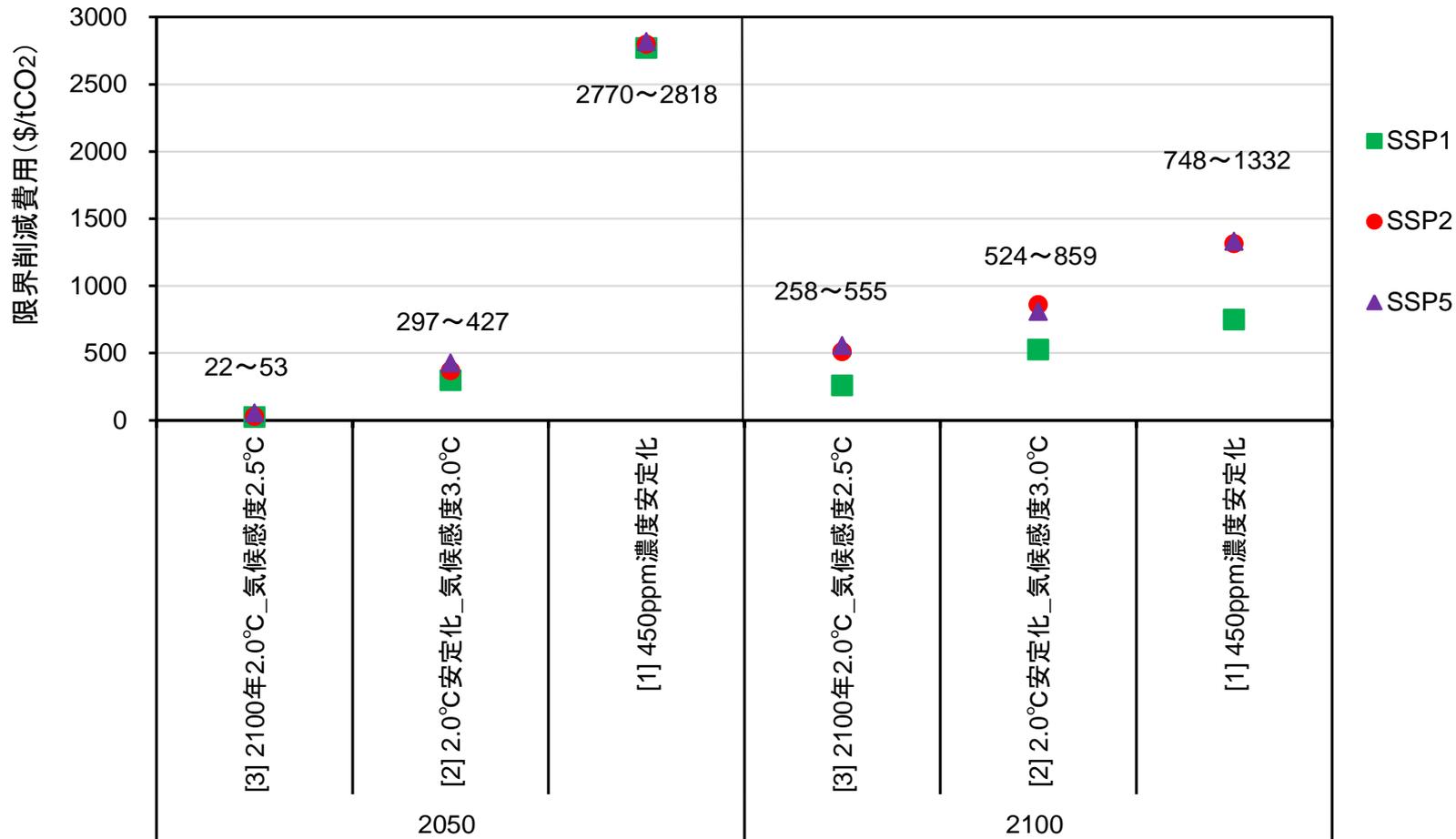
想定した世界排出削減シナリオの位置づけ

IPCC第4次(=WG3 第5次)
の気候感度(2.0-4.5°C、
最頻値3.0°C)

IPCC WG1第5次+第3次
の気候感度(1.5-4.5°C、
最頻値2.5°C)

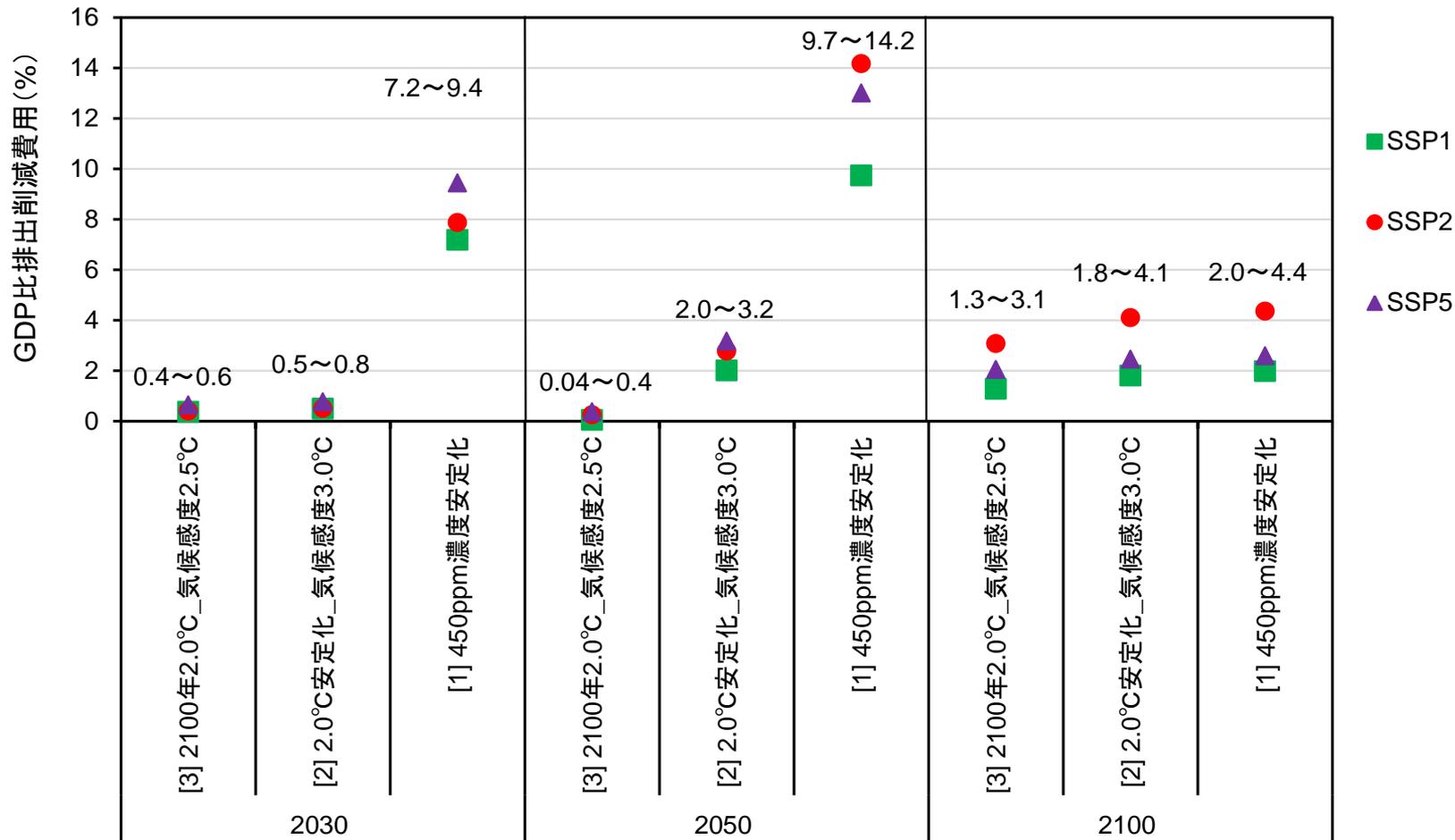
2100年の等価CO2 濃度カテゴリー (ppm CO2eq)	サブカテゴリー	2050年世 界排出 (2010年 比)	2100年気温 (°C、1850- 1900年比)	21世紀中に当該気温 (1850-1900年比)を 超えない確率		21世紀中に当該気 温(1850-1900年比) を超えない確率*	
				1.5°C	2.0°C	1.5°C	2.0°C
[0] <430	極めて限定的な数の分析報告しか存在しない (AR5シナリオデータベースへの登録はなし)			50%以上*		66%以上	
[1] 450 (430-480)	—	-72~-41%	1.5~1.7°C (1.0~2.8)		66%以上	50%以上	
[2] 500 (480-530)	[2a] 530 ppm CO2eqを超えない	-57~-42%	1.7~1.9°C (1.2~2.9)		50%以上		66%以上
	[2b] 2100年までの間 に530 ppm CO2eq を一旦超える	-55~-25%	1.8~2.0°C (1.2~3.3)				
[3] 550 (530-580)	[3a] 580 ppm CO2eqを超えない	-47~-19%	2.0~2.2°C (1.4~3.6)				50%以上
	[3b] 2100年までの間 に580 ppm CO2eq を一旦超える	-16~+7%	2.1~2.3°C (1.4~3.6)				

2°C目標における排出削減費用(限界削減費用)



- 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目標における排出削減費用 (GDP比削減費用)



- 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。

経産省長期プラットフォーム 長期排出削減戦略概要

- ◆ **持続可能な発展**が地球温暖化対策の大目的。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。
- ◆ **2050年80%削減は、現状及び近い将来に導入が見通せる技術***をすべて導入したとしても、**農林水産業と2~3の産業しか許容されない水準**。これまでの閉じた対策（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**。* 民生:オール電化又は水素利用、運輸:ゼロエミ又はバイオマス燃料への転換、エネルギー転換:再エネ・原子力・CCS付火力による電力の100%非化石化等
- ◆ そこで、「国際貢献」、「グローバル・バリューチェーン」、「イノベーション」で**我が国全体の排出量を超える地球全体の排出削減（カーボンニュートラル）に貢献する『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』）

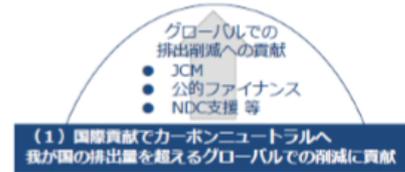
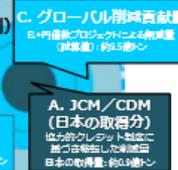
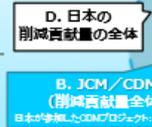
『地球儀を俯瞰した地球温暖化対策』

— 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—

（1）国際貢献でカーボンニュートラルへ

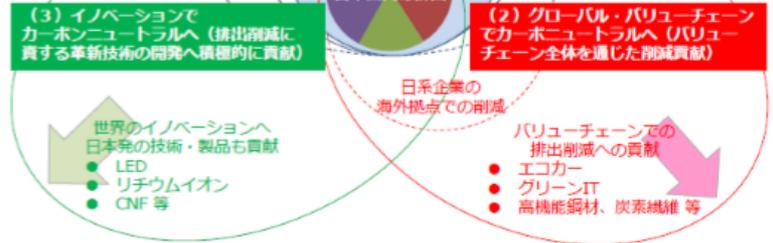
- ① 我が国は、JCMに加え、ODA、JBIC等の公的ファイナンスを活用して日本の優れた低炭素技術で世界の削減に貢献。しかし、**日本の貢献として定量化されているのは上記のうちJCMのみ**。
- ② 今後、**日本による世界の削減量を定量化し、我が国全体の排出量を超える国際貢献を行い、これを積極的に発信**する。こうした取組を通じて、**各国が貢献量の多寡を競い合う新たなゲーム**へ。
- ③ 中長期の削減ポテンシャルは、JCMパートナー国を中心とした**アジア、中南米、中東地域の主要排出国10か国を対象とした試算で、2030年に約29億トン、2050年に97億トン**。

削減貢献のイメージ
(第一約束期間の中国の例)



（2）グローバル・バリューチェーン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・サービスを生み出す産業・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・サービスの生産部門での削減から、グローバル・バリューチェーンでの削減へと視野を広げることが重要**。
- ③ 我が国の産業界は、既に世界トップクラスのエネルギー効率を実現しているが、**更に低炭素製品・インフラを国内外に普及させることで、2020年度に約10億トン以上、2030年度に約16億トン以上の地球規模の削減に貢献**しうる。



（3）イノベーションでカーボンニュートラルへ

- ① 「エネルギー・環境イノベーション戦略」で特定した技術分野を合わせると、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**。
- ② **有望10分野に関するロードマップを作成し、政府一体となった研究開発体制を構築**。
- ③ 新たなプロジェクトの立ち上げの検討や産業界主体の取組を促すべく、産学官連携の下、研究者・技術者間でボトルネック課題の特定を目指すための**新たな場（『ボトルネック課題フォーラム（仮称）』）**を設置。



<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、方向性

不確実性（科学、将来社会、国際情勢）と共存する戦略	気候変動をめぐる金融・投資の動き	カーボンプライシング（諸外国の教訓、暗示的コスト）	海外展開のための環境整備
<ul style="list-style-type: none"> ● 大目的の明確化「持続可能な発展」 ● 強さ「後悔しようのない必須アクションの実施」「将来を見据えた戦略的オプションの追求」 ● しなやかさ「柔軟性とマイルストーン」「継続的PDCAによるその時々最善策」 	<ul style="list-style-type: none"> ● 投資家等の気候変動への関心が向上。気候変動をリスク・機会と捉え、関与する動き（エンゲージメント、グリーンファイナンス）。 ● 情報開示や対話を通じた企業と投資家等の間での好循環のため、日本の実態に即した取組の検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ● カーボンプライス：エネルギー本体価格やエネルギー諸税等を合算すると、日本は既に高額なカーボンプライスを負担。 ● 国際水準との比較や既存施策による措置を考慮すると、現時点ではカーボンプライシング施策の追加的措置は必要な状況にない。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低炭素技術の国際競争力強化：海外実証・制度整備等による切れ目ない支援、IoTを活用した排出削減プロジェクト ● 官民でのグローバル市場獲得：CCSを軸とした産油国等との二国間協力、途上国のNDC達成支援