

地球温暖化防止に向けての対策

—第6次評価サイクルにおけるIPCCの活動と今後の取り組み—

2017年1月26日

現実社会での制約、多目的性を 意識した温暖化対策の評価

(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



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ているか。**
- **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**

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)

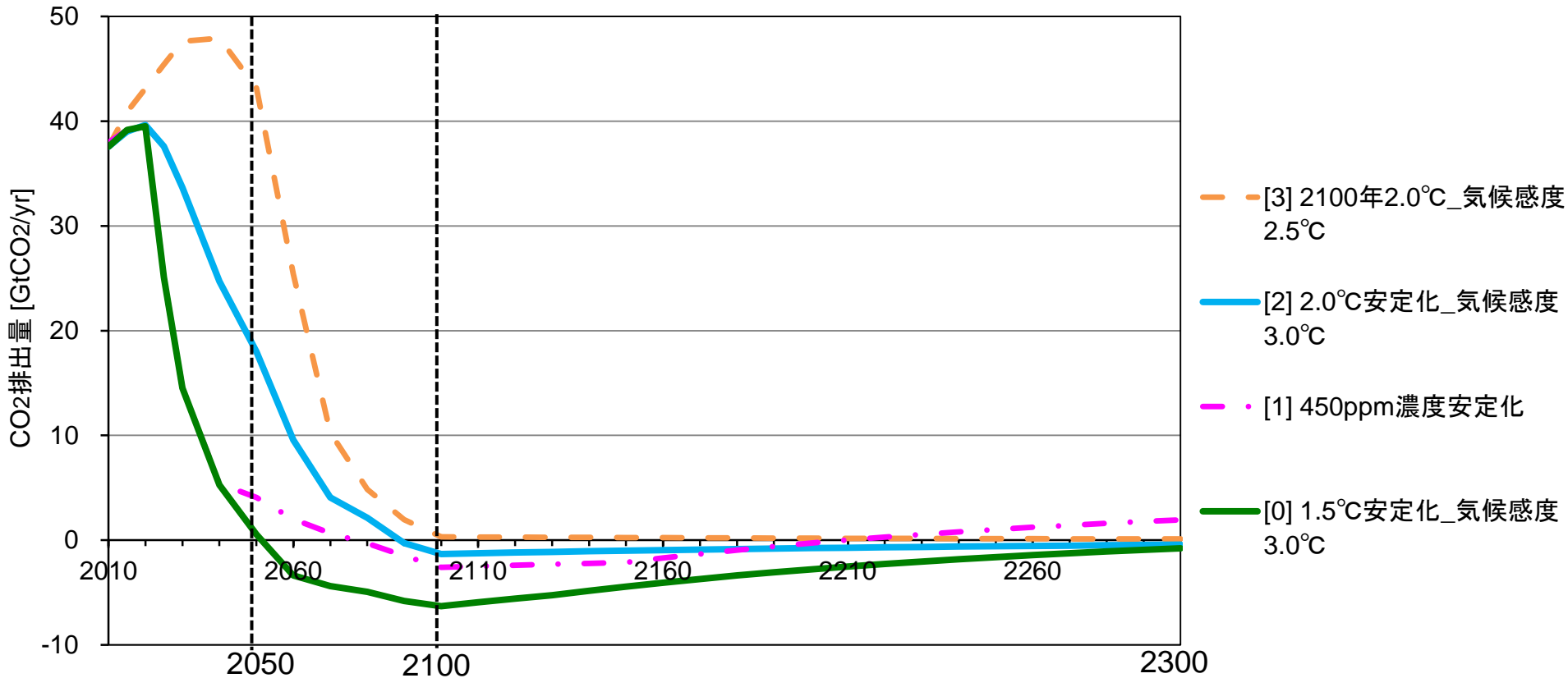
Extremely unlikely less than 1 °C (high confidence)

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

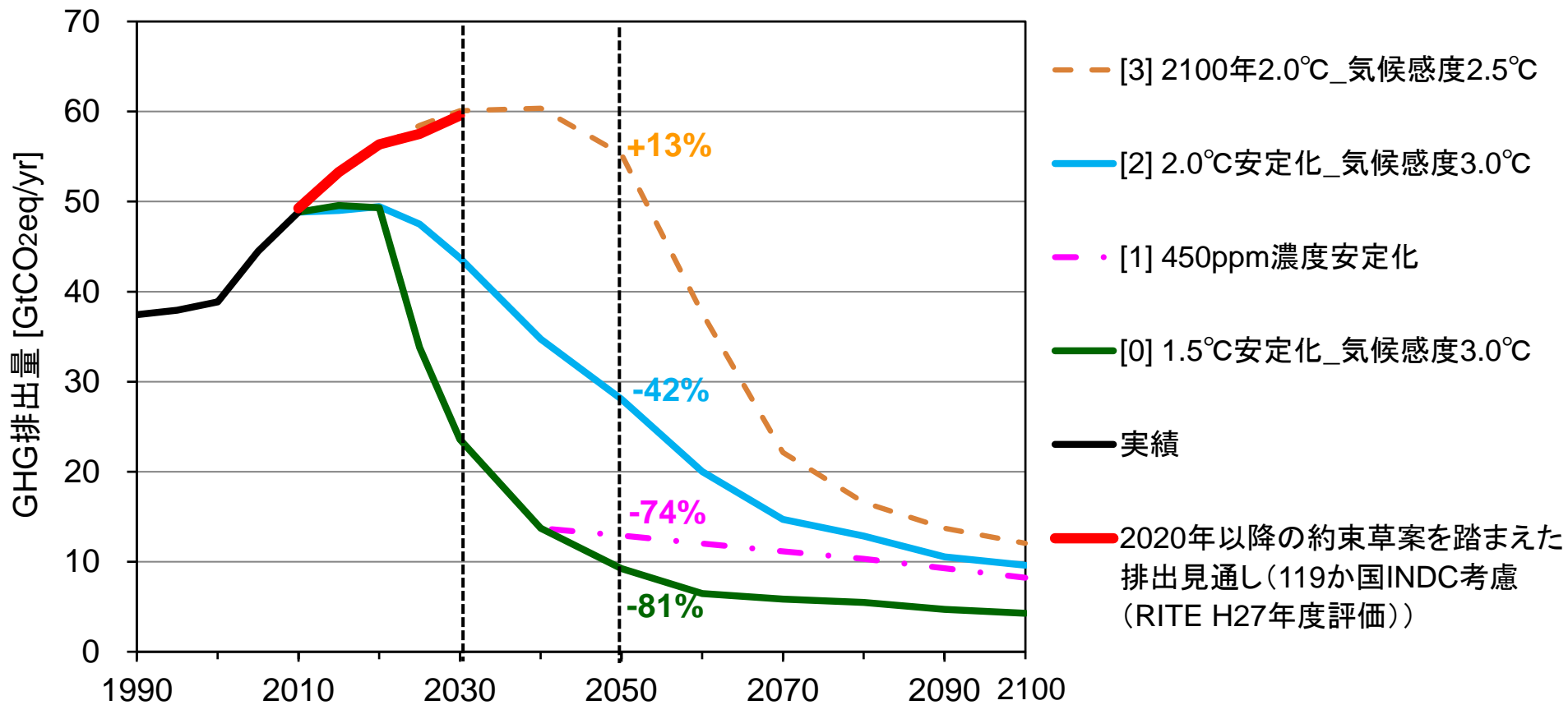
各シナリオのCO₂排出量推移(～2300年)



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)

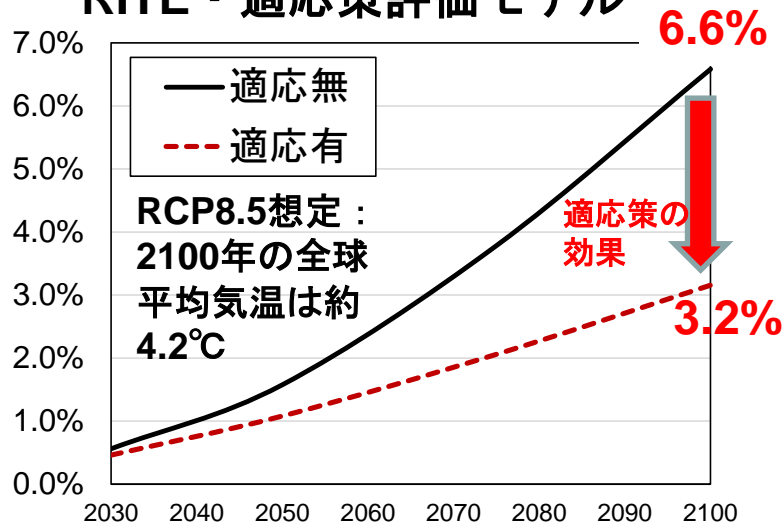


出典)MAGICC、DNE21+、RITE non-CO₂ GHGモデルを用いてRITEにて試算

- 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。[0]、[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

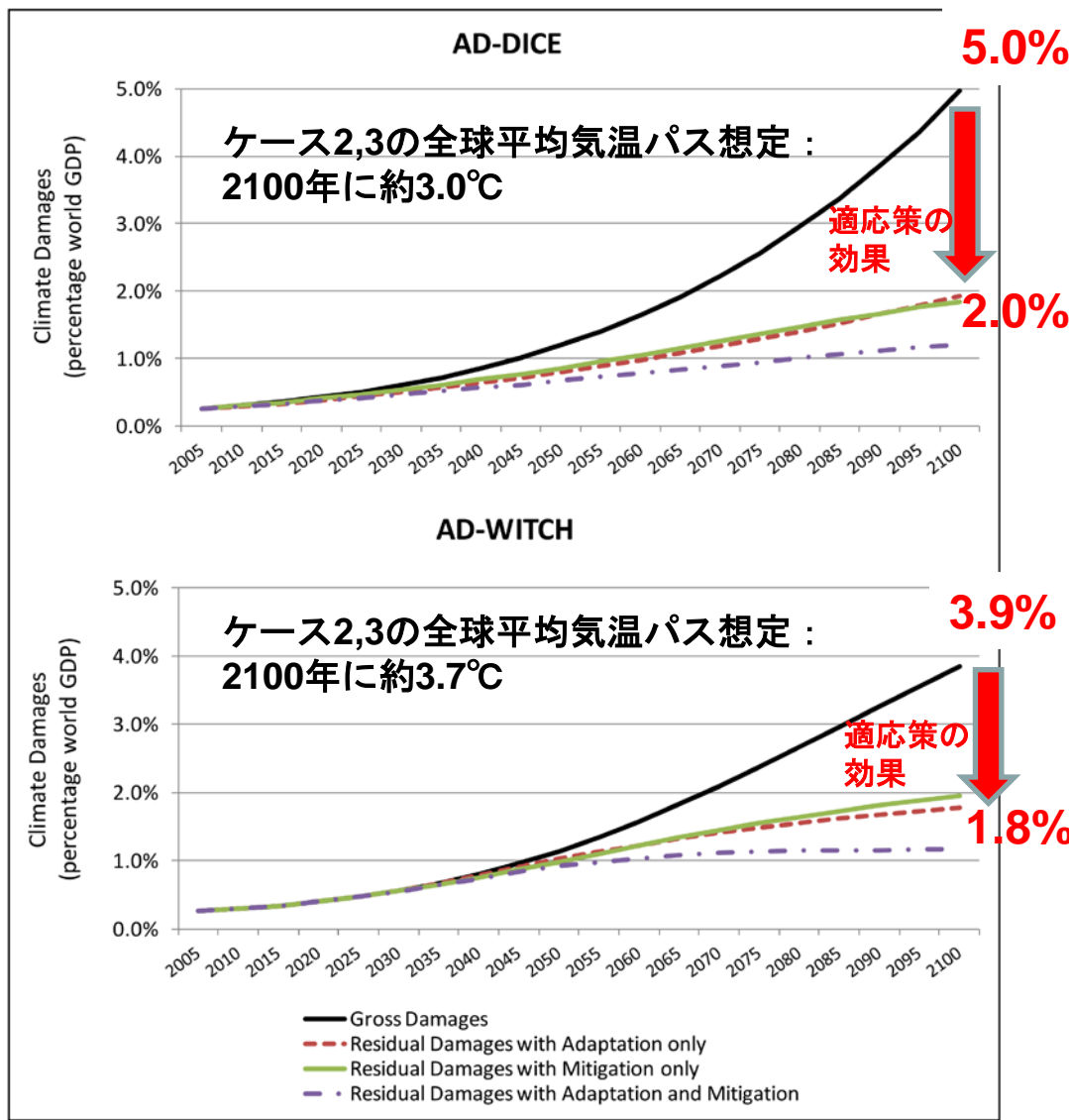
温暖化適応策の効果（世界GDPへの影響） —各種モデルの推計—

RITE・適応策評価モデル



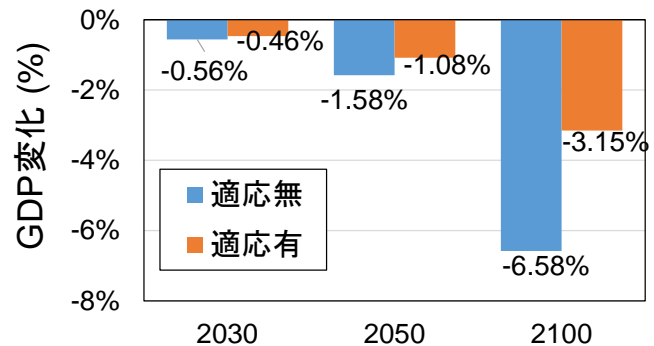
注1) RITE・適応策評価モデルは、適応策として海岸部門のみ考慮しているため、適応有によってGDPロスの低減効果を「十分反映できていない可能性がある」は「十分反映できていない。適応策の効果はさらに大きい可能性が大。
注2) いずれのモデルも温暖化影響被害や適応費用の推計等の精度は粗いことを認識しておく必要あり。

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2.1～3.4%ポイントのGDPロスの軽減)

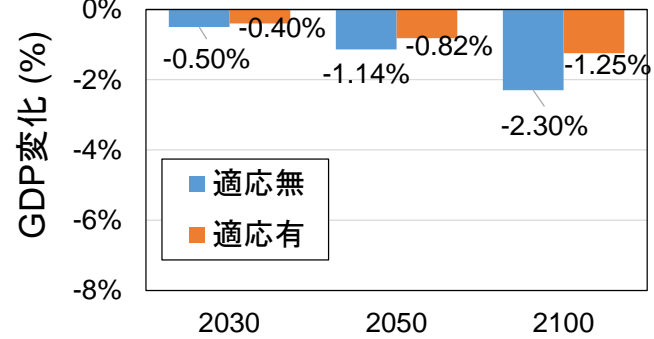


影響・適応策による世界GDPの変化 (気候変動無しケース比)

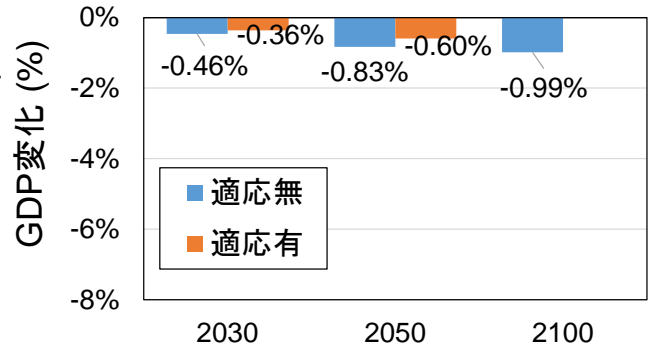
RCP8.5



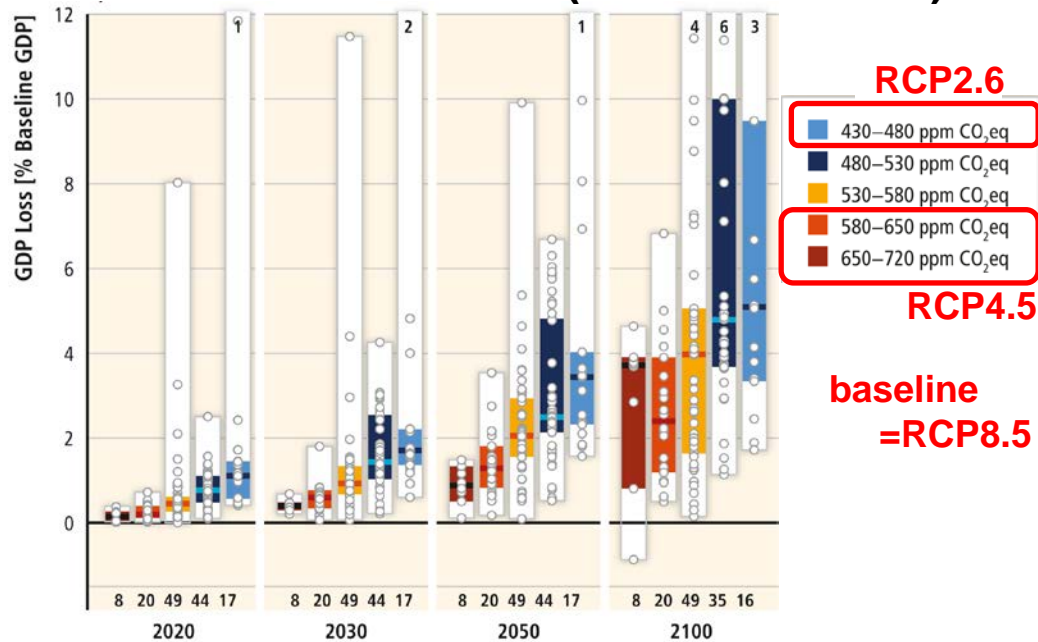
RCP4.5



RCP2.6 (3.0PD)



緩和策によるGDPロス(IPCC-AR5-WG3)



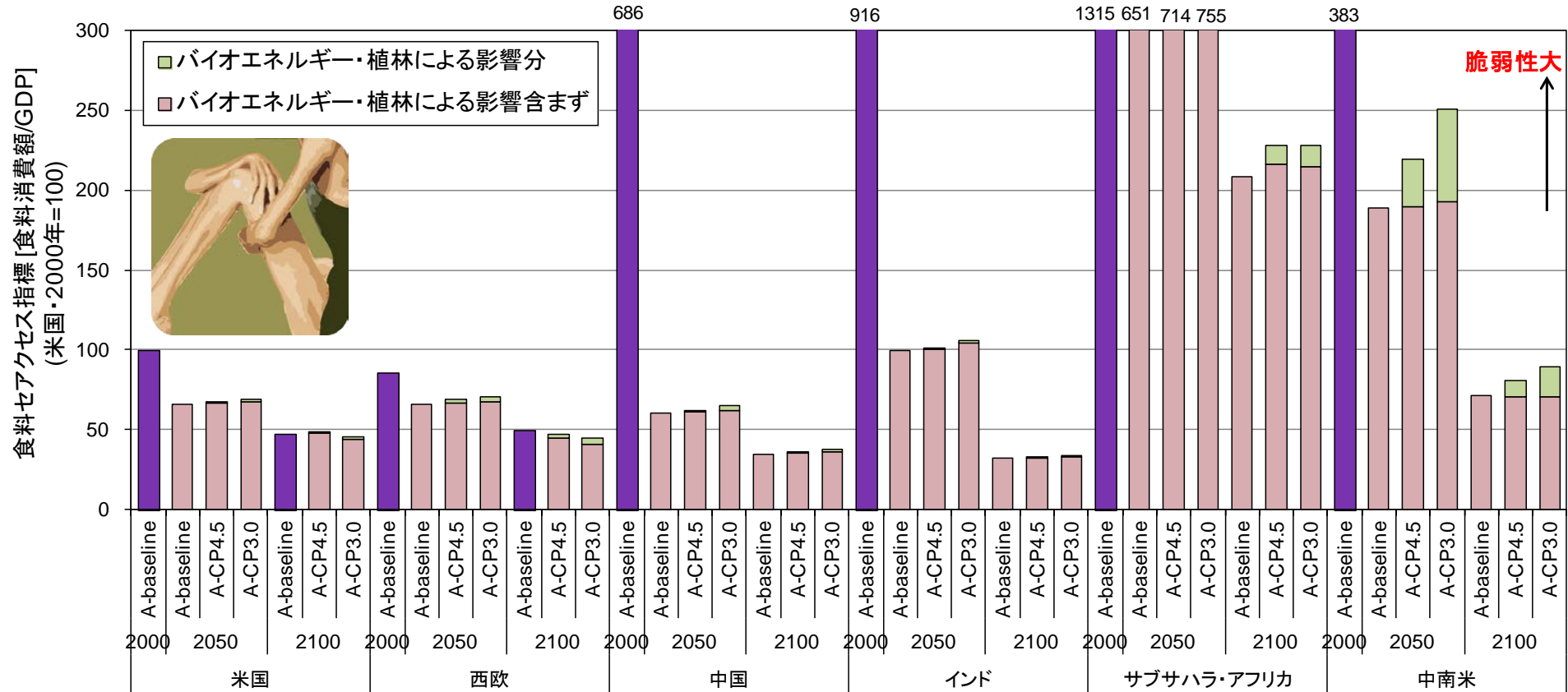
注) 緩和費用推計は基本的に世界全体での費用最小化を前提に推計されたもの

		% of GDP	影響・適応費用	緩和費用	計
RCP8.5	適応無		6.6%	0%	6.6%
	適応有		3.2%		3.2%
RCP4.5	適応無		2.3%	2.5%	4.8%
	適応有		1.3%		3.8%
RCP2.6 (3.0PD)	適応無		1.0%	5.2%	6.2%
	適応有		0%		5.2%

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℃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。

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)



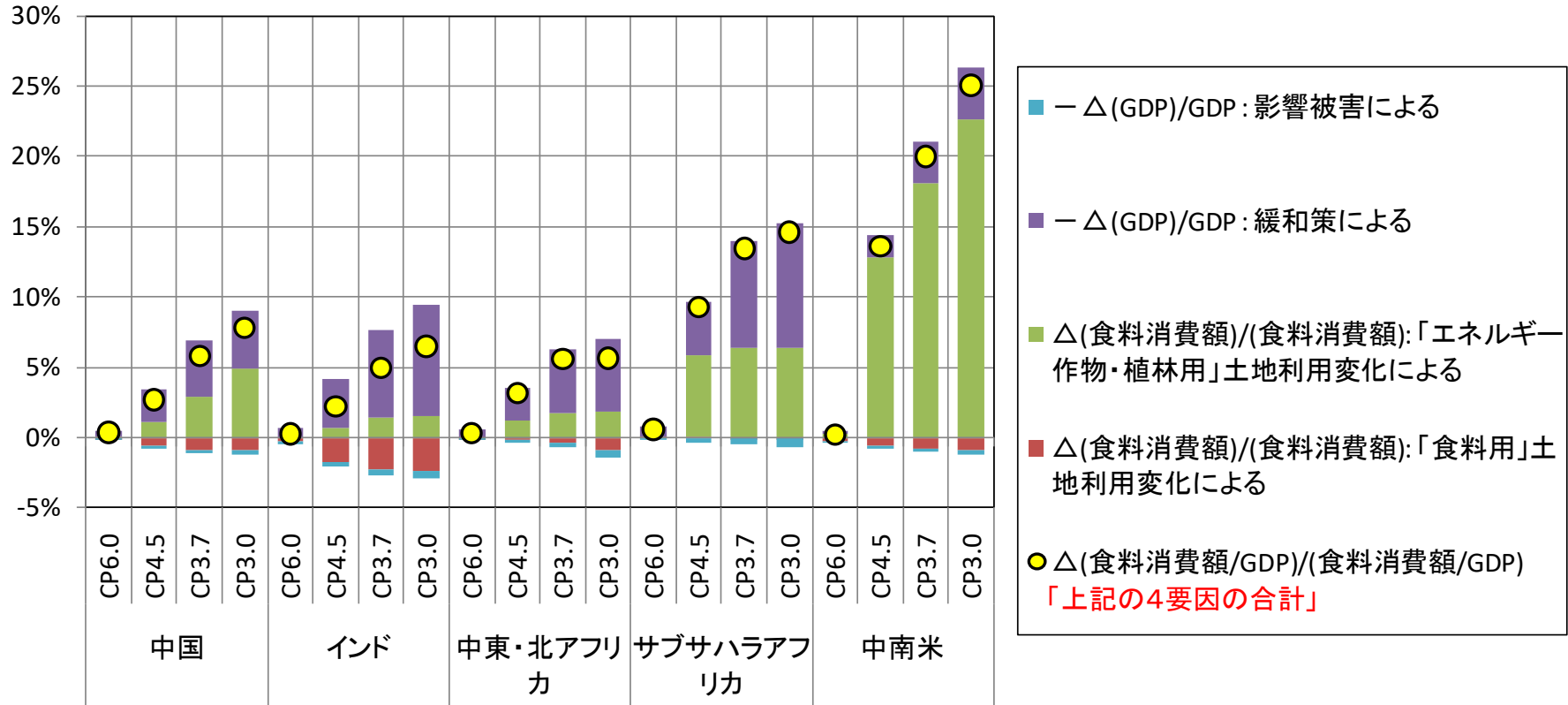
Source) K. Akimoto et al., Natural Resources Forum, 36(4), 231-244, 2012

- 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。

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

$$\text{Net CO}_2 = (\text{Net CO}_2 / \text{Gross CO}_2) \times (\text{Gross CO}_2 / \text{PE}) \times (\text{PE} / \text{GDP}) \times (\text{GDP})$$

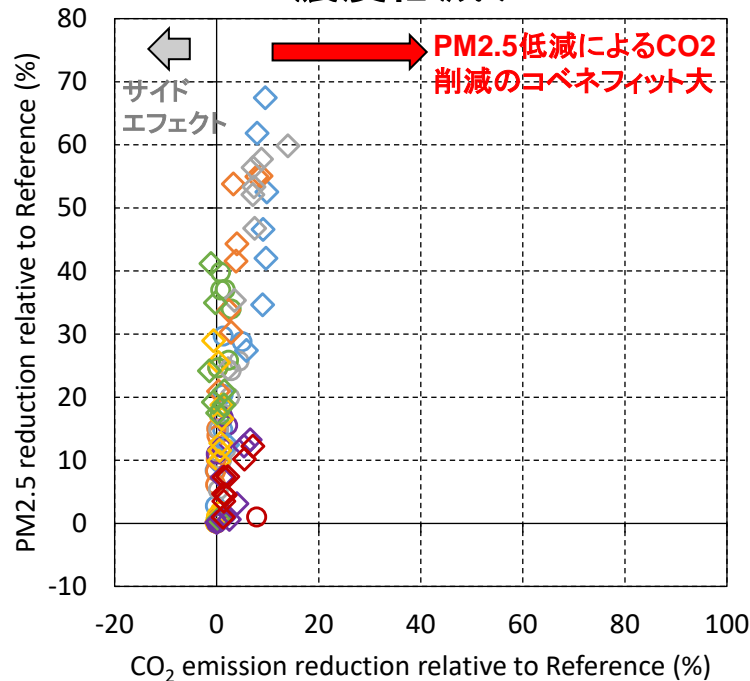
$$\text{PM2.5} = (\text{PM2.5} / \text{Gross PM2.5}) \times (\text{Gross PM2.5} / \text{PE}) \times (\text{PE} / \text{GDP}) \times (\text{GDP})$$

エンドオブパイプ対策(脱硫,脱硝等)

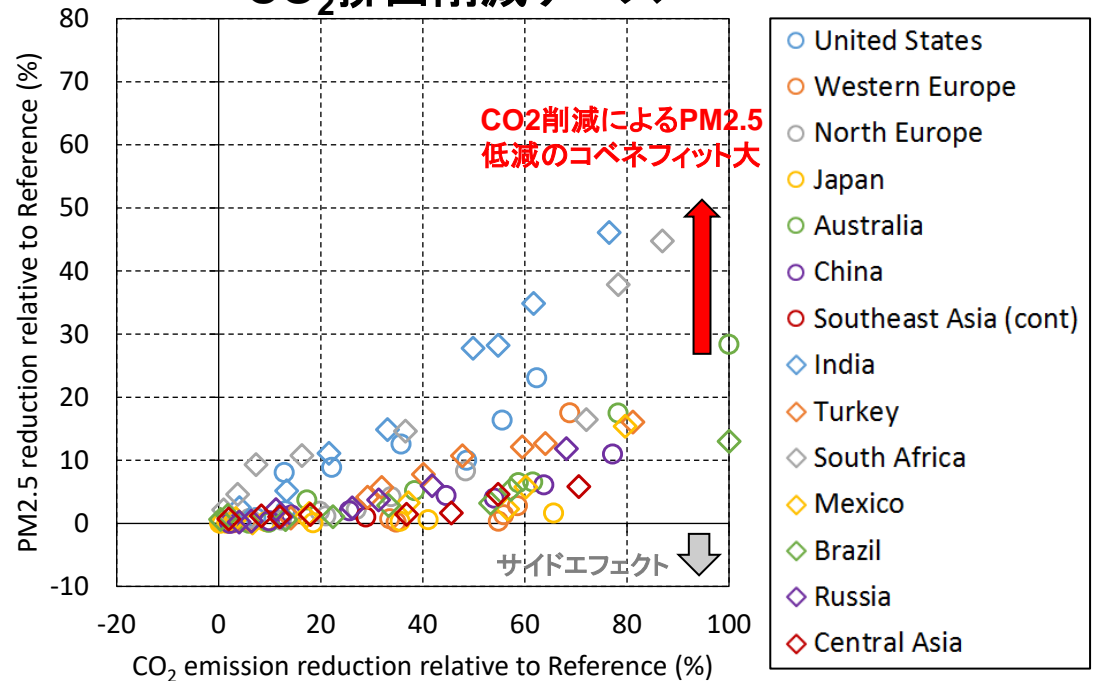
燃料転換

省エネ

PM濃度低減ケース



CO₂排出削減ケース

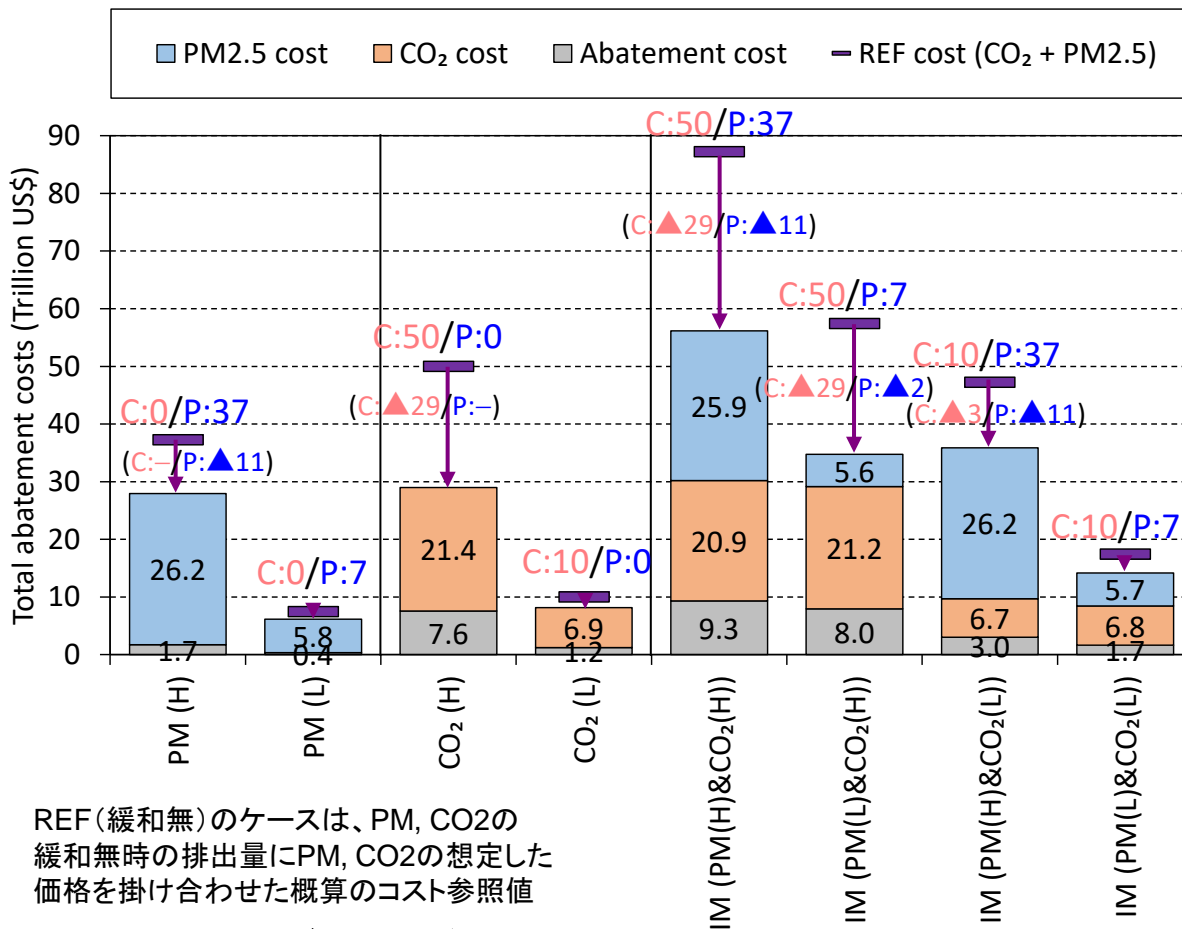


RITE DNE21+モデルによる推計(2050年まで)

- 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

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

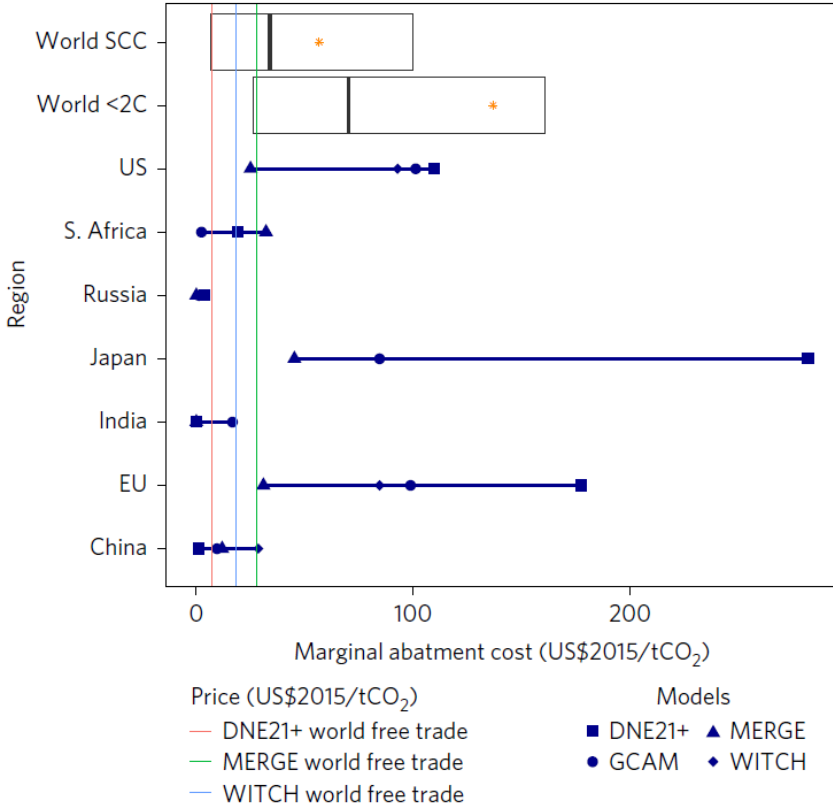
2010-50年の間:+10%/年で価格上昇を想定
CO₂のLow: RCP4.5程度、High: RCP2.6程度 相当

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)

$\frac{PM(H) + CO_2(H)}{57 (9.3)}$	>>	$\frac{IM(H\&H)}{46 (8.9)}$
$\frac{PM(L) + CO_2(H)}{35 (7.9)}$	≈ <	$\frac{IM(L\&H)}{35 (8.0)}$
$\frac{PM(H) + CO_2(L)}{34 (3.0)}$	> ≈	$\frac{IM(H\&L)}{33 (3.0)}$
$\frac{PM(L) + CO_2(L)}{14 (1.6)}$	> ≈	$\frac{IM(L\&L)}{13 (1.6)}$

- 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

NDCsのCO2限界削減費用推計



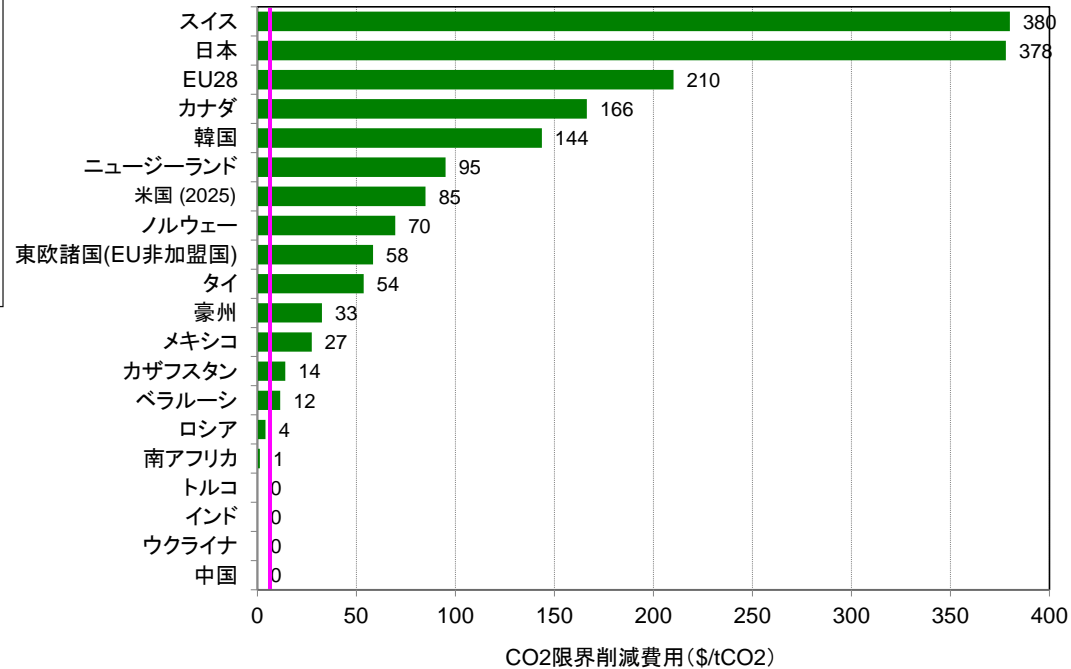
Source: J. Aldy et al., Nature Climate Change, 2016

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)。

IPCCの課題

- ◆ IPCC報告書は査読論文を基本としている。
- ◆ IPCCの原則は”not policy prescriptive but policy relevant”
- ◆ この原則自体は必ずしも不適切とは思わないが、一方、これら原則によって、現実の経済的、社会的、政治的制約を踏まえた、現実社会で実現性の高い解決策を提示しにくい面もあり、IPCCの有する課題と言える。

付録

2°Cおよび1.5°C目標と整合した排出シナリオ —想定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)				

温暖化緩和とエネルギー安全保障

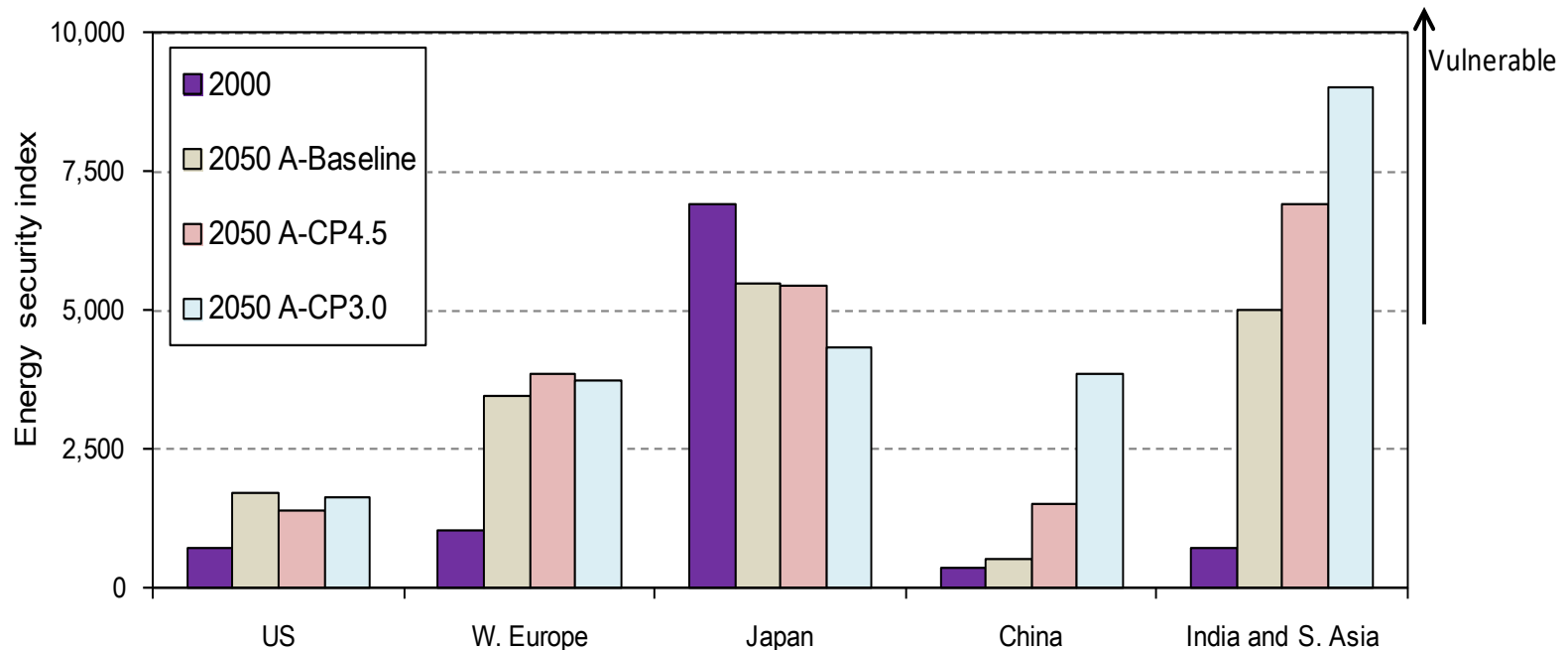
$$ESI = \frac{C_{oil}}{TPES} \sum_i \left(r_i \cdot S_{i,oil}^2 \right) + \frac{C_{gas}}{TPES} \sum_i \left(r_i \cdot S_{i,gas}^2 \right)$$

TPESの原油依存度

地域*i*の政治リスク指標

原油輸入に関する地域*i*への依存度

ESI = エネルギーセキュリティ指標 (energy security index)、TPES = 一次エネルギー総供給量 (total primary energy supply)
注) IEA, 2007に準拠した指標



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

日本は、CP3.0のように厳しい削減目標下の方が、化石燃料消費の抑制によりセキュリティが増す結果となっているが、中国、インド等は、ガス利用の増大によりむしろ悪化傾向。厳しい削減ほど、エネルギーセキュリティが増すといった単純な関係にはない。