

環境経済・政策学会

2010年9月11日

---

# RITEの中期目標モデル分析と 各種論点・見解

---

(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

東京大学大学院総合文化研究科客員教授



**中期目標検討に用いた  
RITEの温暖化緩和策評価モデル**

# 中期目標分析のためのフレームワーク

## DNE21+モデル

- ・ エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量評価モデル
- ・ 世界 54 地域区分
- ・ セクター別に詳細に技術積み上げたモデル化を実施（200-300 程度の技術を具体的にモデル化）

## 非エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出シナリオ

- ・ 非エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量推定モジュール
- ・ 世界 54 地域区分
- ・ GDP、生産活動量などと統合的に各部門からの非エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量を推定

## RITE Non-CO<sub>2</sub> GHG 評価モデル

- ・ Non-CO<sub>2</sub> GHG 5 ガス (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFC, SF<sub>6</sub>) 評価モジュール
- ・ 世界 18 地域区分で評価（実績排出量を利用して 54 地域区分に配分）
- ・ USEPA の評価に準拠

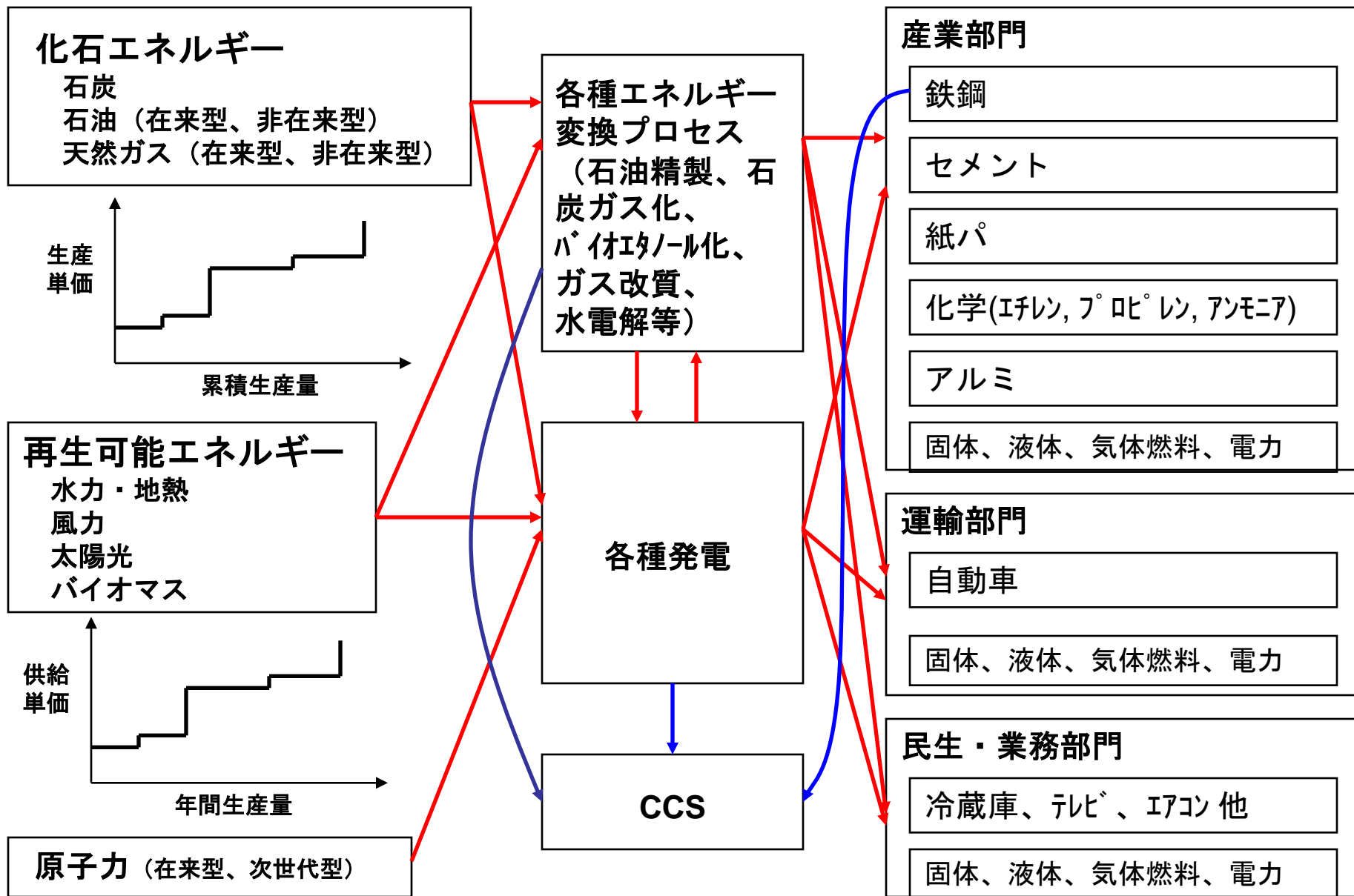
GHG 6 ガスの排出量推定  
排出削減費用・削減ポテンシャル推定  
具体的な対策技術の提示（エネルギー関連）

# 温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

- ◆ 各種エネルギー・CO<sub>2</sub>削減技術のシステムの的なコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル（エネルギーシステム総コスト最小化（動学的な最適化））
- ◆ モデル評価対象期間：2000～2050年（2005年は実績値に合うようにキャリブレーション）
- ◆ 世界地域分割：54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
- ◆ エネルギー供給（発電部門等）、CO<sub>2</sub>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
- ◆ それ以外について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**

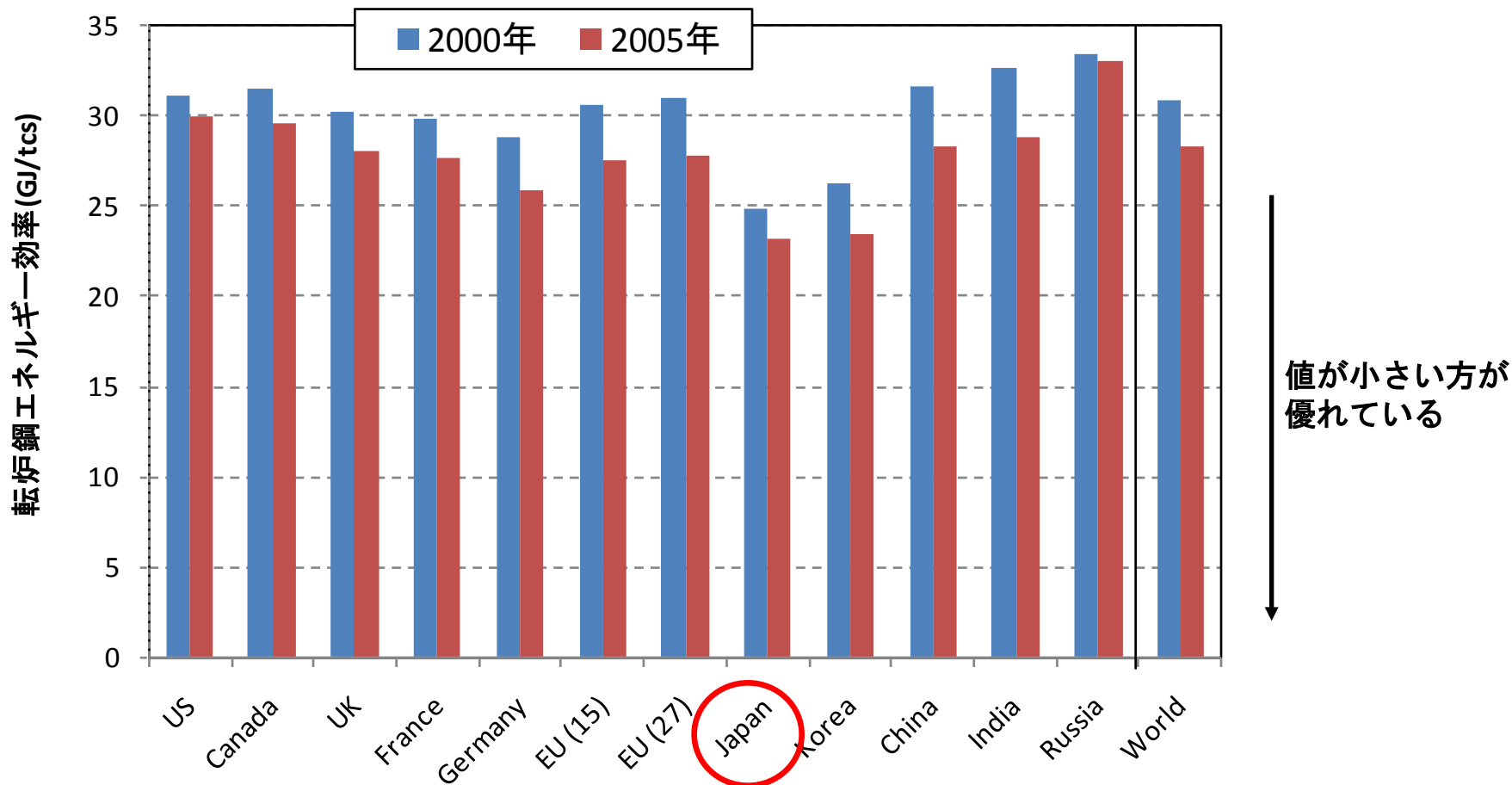
# DNE21+のエネルギーフロー概略



# DNE21+モデルで考慮している具体的な技術

部門	技術
発電部門	石炭火力{低効率(亜臨界)、中効率(超臨界)、高効率(超超臨界～IGCC/IGFC)、燃焼前CCS付IGCC)、石油火力{低効率(ディーゼル発電等)、中効率(亜臨界)、高効率(超臨界)、CHP}、合成油火力{中効率、高効率}、天然ガス火力{低効率(蒸気タービン)、中効率(通常型NGCC)、高効率(高温型NGCC)、CHP、酸素燃焼発電}、バイオマス火力{低効率、高効率}、原子力発電{在来型、次世代(第IV世代等)}、水力・地熱発電、風力発電、太陽光発電、風力・太陽光発電用蓄電システム、水素発電、送電{在来型、超伝導高効率}、CCS{燃焼後回収。石炭火力、石油火力、合成油火力、天然ガス火力、バイオマス火力に適用可}
産業部門	
鉄鋼	高炉転炉法{低効率(小規模)、中効率(大規模)、高効率(大規模。CDQ、TRT、副生ガス効率回収設備を標準装備)、次世代(高効率設備に加え、SCOPE21等の次世代コークス炉を採用、廃プラ・廃タイヤ利用も考慮)、水素還元製鉄}、COG回収{低効率・中効率高炉転炉法に後付可}、LDG回収、CDQ、TRT{中効率高炉転炉法に後付可}、直接還元法{天然ガスベース(中効率、高効率)、ガス化水素ベース}、スクラップベース電炉法{低効率(小規模)、中効率(三相交流アーク炉)、高効率(直流式水冷炉壁アーク炉。原料予熱装置等も標準装備)}、CCS{高炉転炉法に適用可}
セメント	小規模設備：竖窯、湿式ロータリーキルン、乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン{原料予熱装置としてサスペンション・プレヒータ(SP)を装備。一部仮燃炉(NSP)を装備}、新型流動床シャフト炉{SP/NSP及び高効率クリンカクーラを装備} 大規模設備(小規模設備より高効率)：湿式ロータリーキルン、乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン(BAT){高効率クリンカクーラに加え、SPの5、6段化もしくは高効率廃熱回収装置等を装備}
紙パ	化学パルプ製造工程{低効率、中効率、高効率、次世代}、古紙再生工程{低効率、中効率、高効率}、抄紙工程{低効率、中効率、高効率、次世代}、黒液回収・利用{低効率、高効率}、製紙スラッジボイラ、蒸気タービン発電システム
アルミ	ゼーターベルグ式アルミ製錬、プリバーク式アルミ製錬
化学	エチレン・プロピレン：ナフサ分解{低効率、中効率、高効率、次世代}、その他生産{エタンクラッカー等。低効率、中効率、高効率} アンモニア：石炭ベース{低効率、中効率、高効率}、石油ベース{低効率、中効率、高効率}、天然ガスベース{低効率、中効率、高効率}
運輸	小型乗用車、大型乗用車、バス、小型トラック、大型トラックに区分。 内燃機関利用{従来型内燃機関自動車(低効率、高効率)、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車。内燃機関はガソリンエンジン及びディーゼルエンジンの二種を考慮}、電気自動車、燃料電池自動車、代替燃料{バイオエタノール、バイオディーゼル、CNG。バイオエタノールはガソリン、バイオディーゼルはディーゼルへの混合利用を考慮}
民生	冷蔵庫{低効率、中効率、高効率}、照明{小型白熱灯、小型蛍光灯、小型次世代(LED等)、中型中効率蛍光灯、中型高効率蛍光灯、中型次世代(LED、有機EL等)、大型中効率HID(高輝度放電灯)、大型高効率HID、大型次世代(LED等)}、テレビ{小型低効率、小型高効率、大型低効率、大型高効率、大型次世代(液晶、プラズマ、リアプロ、有機EL等で高効率なもの)}、エアコン{低効率、中効率、高効率}、ガス調理器{低効率、中効率、高効率}

# セクター別エネルギー効率の国際比較 —鉄鋼—



出典) IEA, IISI (WSA) 他、多くの文献からRITEで推定

# 水力、風力、太陽光の世界全体の供給 ポテンシャルと供給コストの想定

		水力	風力	太陽光
供給可能量(TWh/yr)		14,400	12,000	1,271,000
供給コスト (\$/MWh)	Y2000	20-180	56-118	209-720
			↓ 1.0%/yrで低減	↓ 3.4%/yrで低減
	Y2050	20-180	↓ 34-71	↓ 37-128

風力については、瞬時ピーク需要に対する期待供給力を全設備容量の30%としている。

参考：EMFなどモデルの国際比較においてしばしばベンチマーク的に参照されるパシフィックノースウェスト国立研究所（PNNL）の想定値（PNNL, 2008。注：設備費のみ抜粋、O&M費も別途想定あり）

US\$/kW	2005	Reference		Advanced	
		2020	2050	2020	2050
Central PV	6875	4525 (-2.8%/yr)	2468 (-2.0%/yr)	3446 (-4.6%/yr)	1381 (-3.0%/yr)
Rooftop PV	9500	6278 (-2.8%/yr)	3583 (-1.9%/yr)	4258 (-5.3%/yr)	2246 (-2.1%/yr)
Wind	1167	1124 (-0.3%/yr)	1043 (-0.2%/yr)	1082 (-0.5%/yr)	931 (-0.5%/yr)

RITEの想定は  
国際的に見て  
むしろ楽観的  
なほど



# コストのモデル化

## 【各種積み上げ技術の費用】

[設備費] / [投資回収年数] + [運転・メンテナンス費] + [年間燃料費]

注1) [運転・メンテナンス費] は設備費に対するある係数として、

[年経費率]  $\equiv$  1 / [投資回収年数] + [対設備費の運転・メンテナンス費の比率]

とし [年経費率] を各技術において想定している。

注2) 燃料費はモデル内で内生的に計算される。

## 【トップダウンモデル化部分の費用（消費効用の損失）】

技術積み上げの対象外となっているその他諸々のエネルギー消費については、最終エネルギー価格と省エネルギー量の関係を長期価格弾性値で表現。積分値が消費効用の損失と定義でき、それをトップダウン部分の削減費用としている。

# DNE21+モデルの限界削減費用推定で 用いた投資回収判断の年数

	投資回収年数	
	上限	下限
発電部門	10	6.7
その他エネ転部門	7	4.7
産業部門（エネルギー多消費産業）	10	6.7
運輸部門	5	3.3
（環境配慮型購買層）	10	
民生部門	3	2.0

注）一人当たりGDPに応じて上記範囲内で地域別に想定。日本は上限値になるように想定。運輸部門の環境配慮型購買層は、実態の購買行動に比較的近くなるようにするために想定したもの。一人当たりGDPの上昇に伴って、運輸部門の購買において長期の投資判断を行う購買層が増大するものと想定した。

現実社会で観測される投資回収判断年数に近いと考えられる年数を想定。これによって、モデルで推定される限界削減費用は、炭素に明示的な価格づけ（炭素税や排出量取引）を行ったときに、社会で観測される炭素価格と理論的に等しくなる（「双対関係」を表現できる）。また、トップダウン型の経済モデルによる限界削減費用推定とも比較可能な推定となる。

# 投資回収判断の年数に影響を及ぼす事項

## i)投資実施者の要素

- 収益・所得（および収益・所得の安定性）、資金的余裕
- 純粋な時間選好率（性急さ）、成長割引（消費割引）
- 情報入手や情報整理のコスト（時間など）
- リスク選好

## ii)対象とする機器の特性

- 機器のエネルギー効率や耐用年数に関する情報の質・量、不確実性、信頼性

## iii)外部環境

- エネルギー価格に関する不確実性
- 利子率
- 企業経営に関わる株主による要求の違い（短期的収益達成かあるいは長期的収益達成か）

# 投資回収年数の想定例（オランダ環境研）

## TIMERモデルにおける想定

	産業	運輸	民生	サービス	その他
日本	3.3	1.1	2.2	2.3	2.1
西ヨーロッパ	3.2	1.0	2.1	2.2	2.1
旧ソ連	1.0	0.5	0.9	1.1	1.0
中央・東ヨーロッパ	1.2	0.5	1.0	1.2	1.0
南米	1.5	0.75	0.8	0.8	0.8
西アフリカ	0.85	0.5	0.5	0.5	0.5
南アジア	0.9	0.5	0.5	0.5	0.5
東アジア（日本除く）	1.2	0.7	1.0	0.65	0.6

出典：de Vries et al. (2001)

- ◆ 各国、各部門ともに想定されている投資における投資回収の判断年数はかなり短い
- ◆ 日本は他国に比べて比較的長い投資回収年数が用いられている。

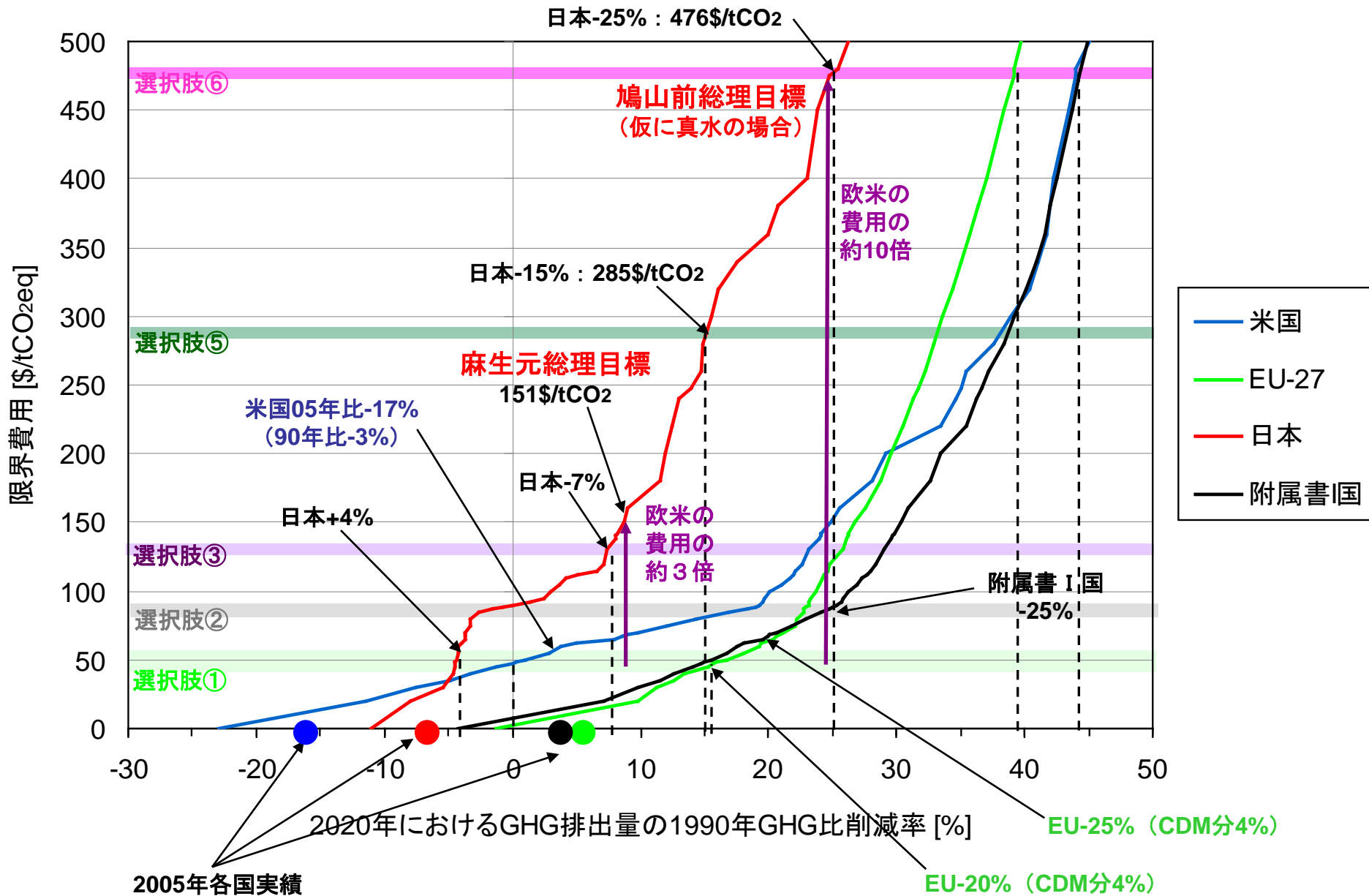
# 観測された投資回収年数

投資回収年数 もしくは割引率	投資実施者	投資対象	調査 地域	原著	参考文献
3年から5年 (回答総数の8割弱が この範囲を回答)	産業及び業務 部門の大規模 事業者	省エネ設備	日本	省エネルギーセンター (2004)	
1.8年から5年	一般消費者	市販が進んで いる乗用車	米国	EPA (2005)	
32%		断熱		Arthur D. Little (1984)	Sanstad (2006)
26%	一般消費者	断熱		Cole and Fuller (national survey, 1980)	Sanstad (2006)
7%から21%	一般消費者	暖房		Lin et al. (1976)	Christopher G.F. Bataille
36%		暖房		Goett (1978)	Sanstad (2006)
25%		暖房		Berkovec, Hausman and Rust (1983)	Sanstad (2006)
36%		厨房及び給湯		Goett (1983)	Sanstad (2006)
67%		給湯		Goett and McFadden (1982)	Sanstad (2006)
29%	一般消費者	エアコン	米国	Hausman (1979)	Sanstad (2006)
61%から108%	一般消費者	冷蔵庫		Cole and Fuller (1980)	Sanstad (2006)
45%から300%	一般消費者	冷蔵庫		Gately (1980)	Sanstad (2006)
34%から58%	一般消費者	冷蔵庫	米国	Meier and Whittier (1983)	Sanstad (2006)
18%から31%	一般消費者	電気製品		Lin et al. (1976)	Christopher G.F. Bataille

なお、投下資本利益率 (ROI: Return on Investment) は、通常、10-20%とされており、  
投下資金回収年数としては5-10年

# 2020年の限界削減費用の分析例

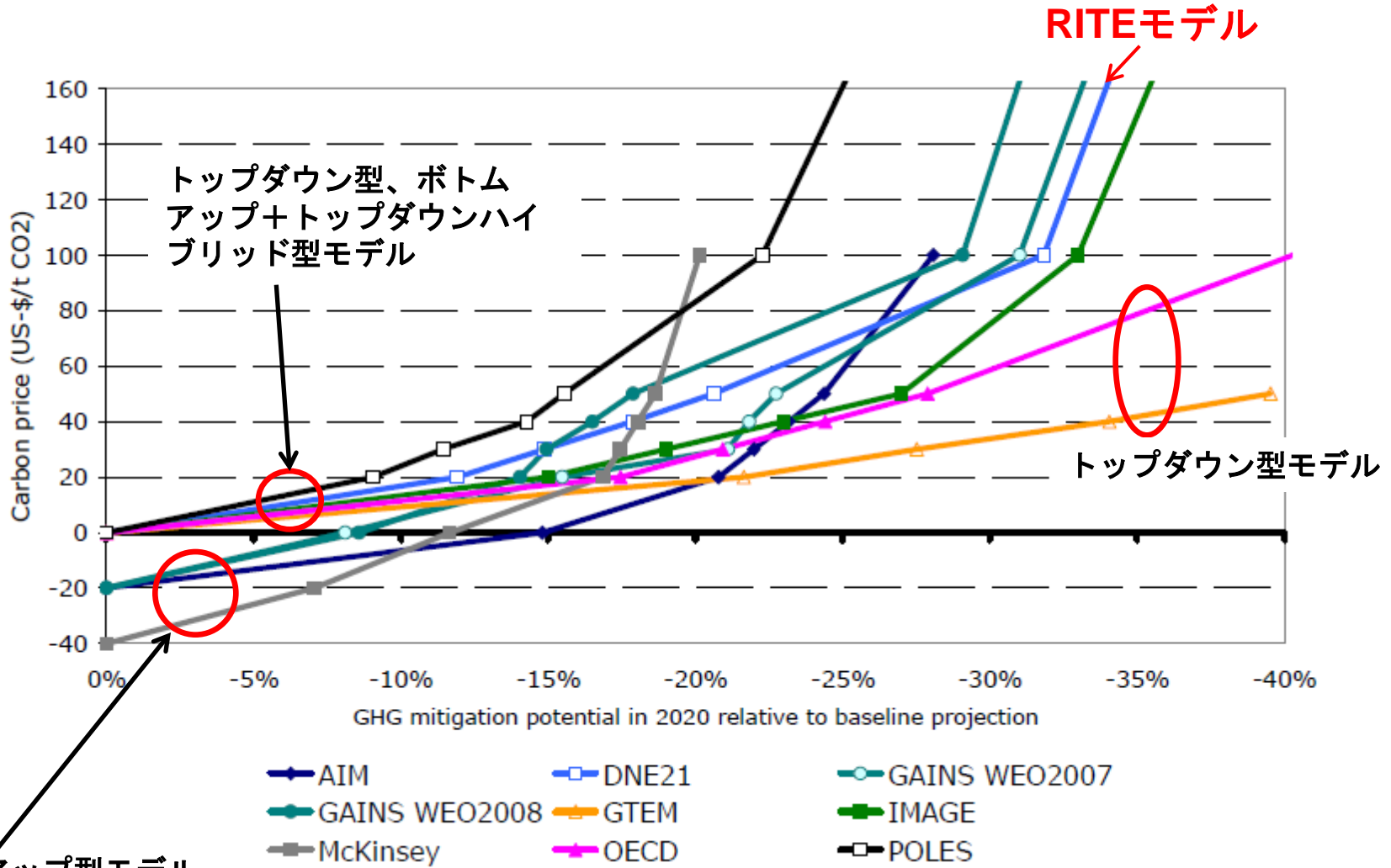
# 2020年における限界削減費用曲線







# 世界の限界削減費用推定のモデル間比較



ボトムアップ型モデル

(McKinseyは長い投資回収年数、GAINSとAIMは短い投資回収年数の想定で算定されたもの)

**中期目標検討委員会後に見受けられた  
いくつかの論点に関して**

# 費用に関する論点 (1/2)

## 1. 温暖化対策評価モデル（中心はエネルギーシステムモデル）の費用（限界削減費用）推定は妥当か？

- ◆ 再生可能エネルギーをはじめ、モデルでは十分な技術進展を想定しており、将来のコストを楽観的に推定しているとの批判はまだしも、悲観的すぎに想定しているとの批判は妥当とは言えない。
- ◆ 投資回収年数の想定はコスト推定に比較的大きな影響があるが、RITEの分析では現実の投資判断に近いと考えられる年数を採用。これによって、炭素税や排出量取引等における炭素価格と排出削減量の双対関係も分析・評価できる。

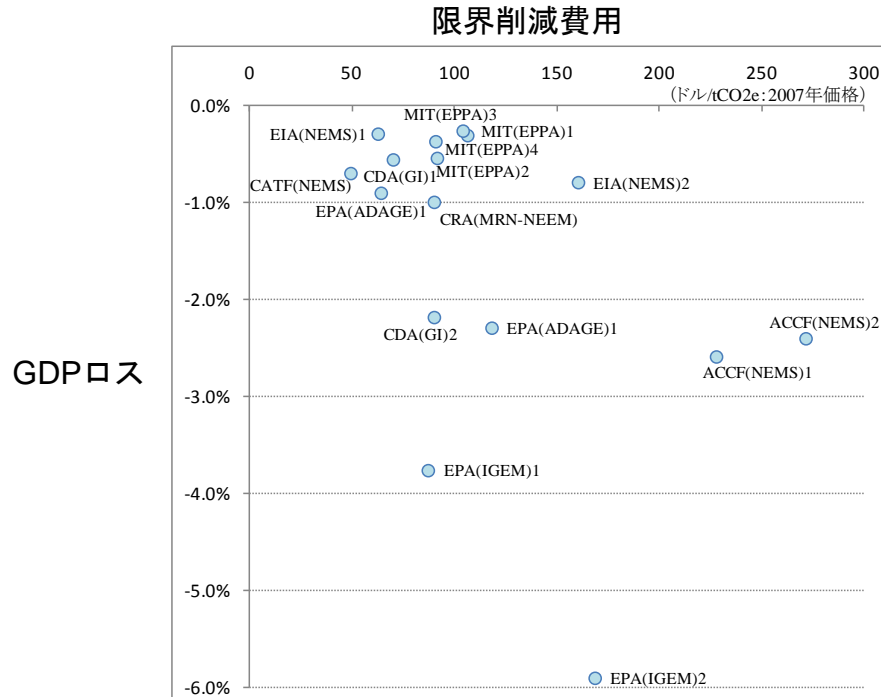
## 2. 温暖化対策費用は、経済社会全体の費用ではなく、評価の指標として不適當ではないか？

- ◆ 温暖化対策費用・エネルギー費用は、確かに経済社会全体の費用ではない。しかし、それでも温暖化対策費用最小化等の分析が有効なのは、同じ対策を行うのであれば費用が小さい方がその分を他の消費支出に回せ、社会経済全体の効用が増すから（温暖化影響を考えない場合）。

# 費用に関する論点 (2/2)

- ◆ ラムゼー型最適成長モデル (DICE、MERGE、DEARS、伴モデルなど) は消費効用の最大化を行う。その中でエネルギーシステムコストや温暖化対策コストの部分最小化が行われる。よって、限界削減費用が大きくなるに従って、基本的には消費 (効用) が小さくなる。
- ◆ また、消費とGDPには強い正の相関があるため、温暖化対策費用・エネルギー費用の最小化は、社会経済全体の傾向を把握する意味でも重要

参考：限界削減費用とGDPロスの米国における分析例 (野村浩二著、茅監修、2009； Buckley and Mityakov, 2009)



# 環境制約は経済成長をもたらすのか

## 【外需増】 （基本的には世界すべての国の衡平な削減が前提）

- ・ 石油価格低減によって産油国への支払い減（TF分析。次頁）
- ・ 環境製品を海外に多く販売することによる外需増（ライバルの動向次第であり、楽観的な期待感による分析は不適當）

## 【内需増】 （支払ったコストによる効用の減少よりも得られる効用が大きく、正味の効用が大きくなっていくとき内需は増大）

- ・ 環境対策によってエネルギーコストが現状よりもむしろ低減する場合（エネルギーへの支出低下分を他の消費に回すことによって効用が増大。しかし、通常はこのような状況が生じると考えるのは非現実的で、むしろ対策によるコスト増によって経済損失が起こると考えるべき。内生的技術習熟の効果については後のスライドで議論）
- ・ 温暖化対策として支払う追加コストよりも、温暖化防止に貢献したという効用（満足感）がそれを上回る場合（現状では大きなギャップあり、この状態からは程遠い。後のスライド）

# 石油価格低減による費用負担の低減効果

前提条件が満たされない場合

ベースラインケース

附属書 I 国：現在掲げている目標  
(90年比▲11~18%\*)  
非附属書 I 国：なりゆき

石油消費量：なりゆき

石油価格：なりゆき  
2020年 90 \$/bbl程度を予想

従来推定の削減コスト・費用負担

\* COP15前に各国が掲げた削減目標の集計結果による

前提条件が満たされた場合

排出削減ケース  
(IPCC 450 ppm-CO<sub>2</sub>eq.シナリオ相当)

附属書 I 国：90年比▲25%  
非附属書 I 国：なりゆきから約2割削減

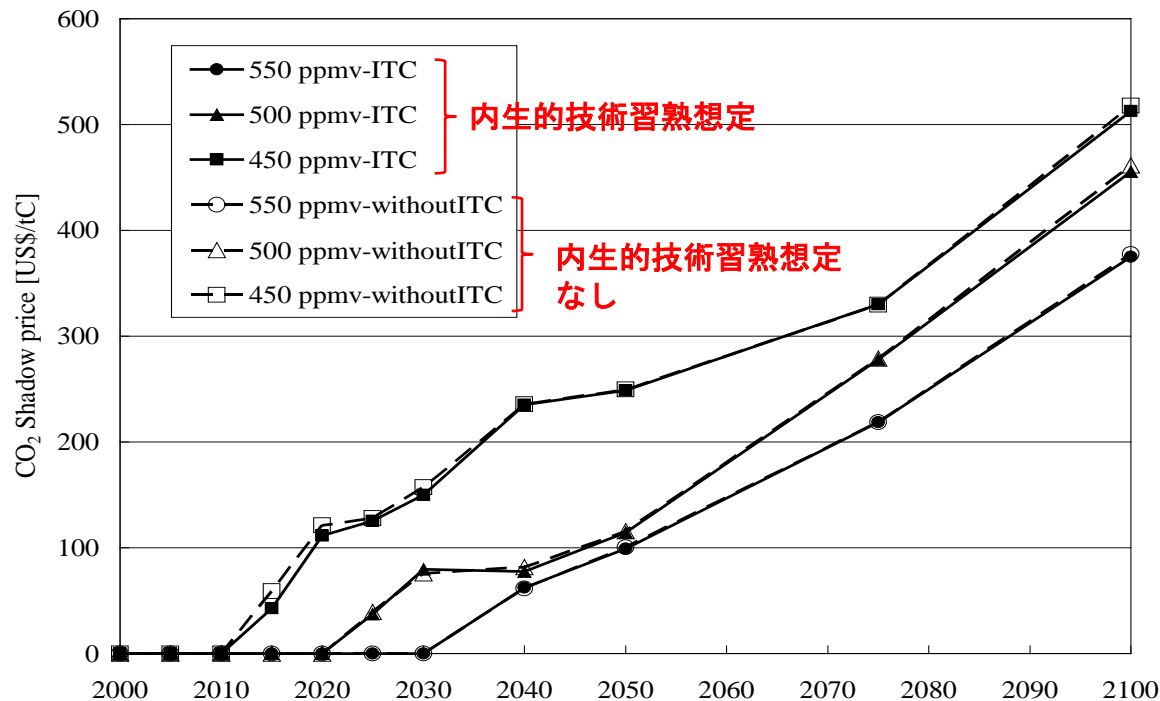
石油消費量：2006~2030年の累積でなりゆきから約3%低減と推定

石油価格：2020年になりゆきから16~21%低下と推定 (71~76 \$/bbl)

より小さい削減コスト・費用負担が可能  
化石燃料価格20%低下により（以下、KEOの分析）、  
【真水▲10%+クレジット▲15%】のとき  
GDPロス：▲1.3%⇒▲1.0%  
家計負担：▲28.3万円⇒▲20.8万円（26%負担低減）  
【真水▲25%】のとき  
GDPロス：▲5.6%⇒▲5.2%  
家計負担：▲76.5万円⇒▲70.0万円（9%負担低減）

- ◆ 中期目標分析では、技術習熟を想定したものの、時間軸による外生的な習熟を想定。導入が拡大することによって技術習熟が進むとする内生的な技術習熟を仮定した場合にはどう評価されるか？

太陽光、風力、自動車（FCV）について内生的技術習熟を想定しDNE21+で分析（コンポーネントを分解し、それぞれ技術習熟率を想定し、比較的詳細に分析）



3つの技術に限定してはいるものの、**限界削減費用に与える影響はわずか**

# 温暖化対応のあり得るパス

様々な分野に影響  
将来より大きな影響  
遠い国でより大きな影響



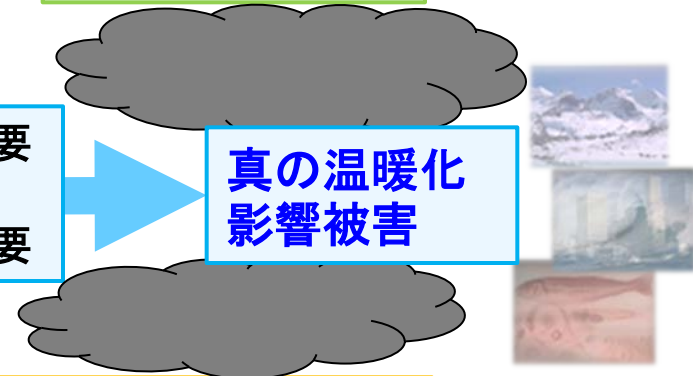
実感できず行動  
が遅れがち



温暖化影響・対策の知見集積が必要  
政府による介入も必要  
正確な認知のための広報活動も必要



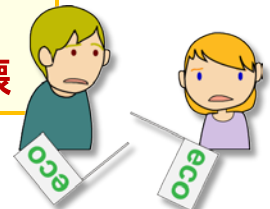
真の温暖化  
影響被害



仮に行き過ぎた広報活動であっても、  
温暖化防止行動がより大きな効用を  
もたらすことになれば、温暖化対策  
によって短期的には経済はむしろ進  
展することも



しかし、真の温暖化影響  
被害が思っていたよりも  
小さいと気づいたとき、  
温暖化対策バブルは崩壊



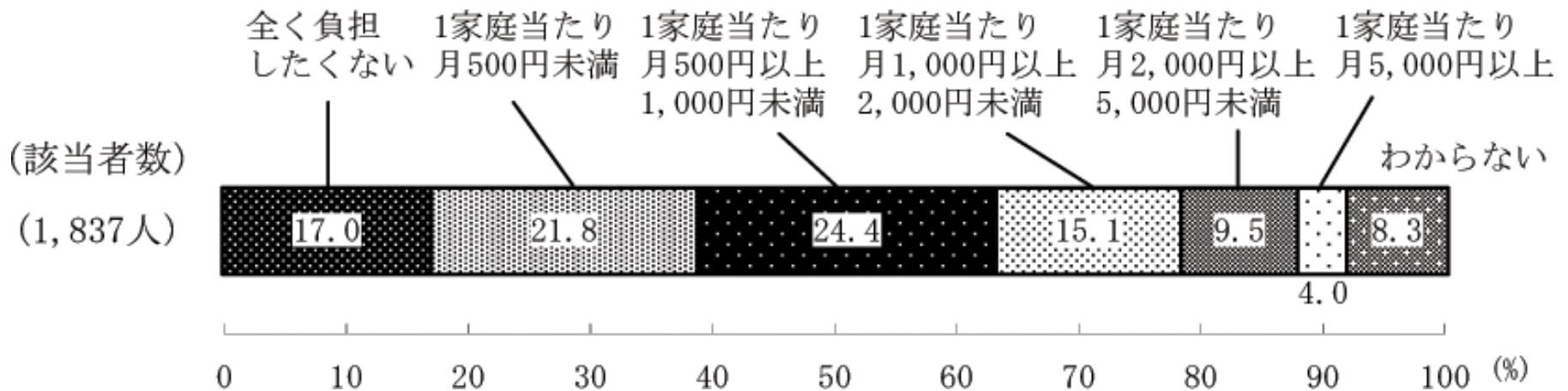
ただし、有限なエネルギー資源の認識から、省エネ・脱化石エネルギーは、温暖化対策と  
は無関係に重要という認識は強まり、その面での効用は継続的に高まりやすいだろう

よって、真の温暖化影響被害と蓋然性の高い温暖化対策費用の分析をしっかりと  
進め、正しく情報発信していくことが、社会の長期的な効用増大のために重要



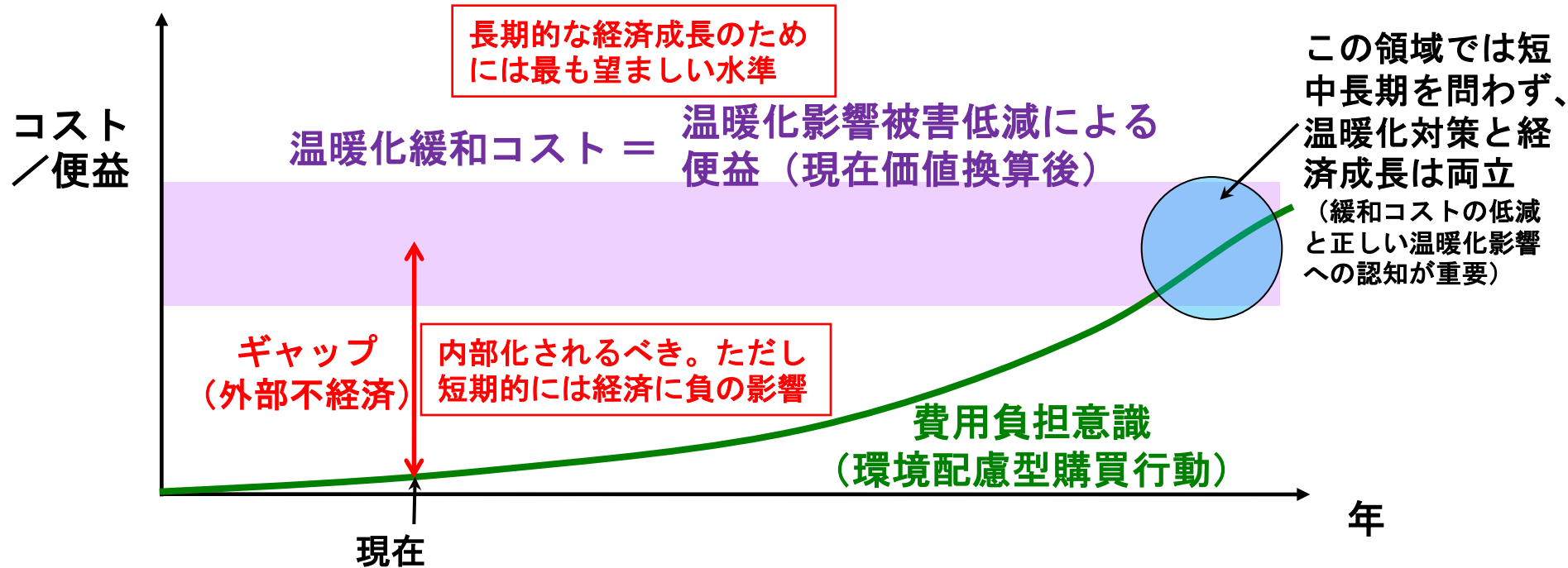
# 国民が許容する費用負担

内閣府「低炭素社会に関する特別世論調査」、平成20年5月22日～6月1日実施  
“「低炭素社会」づくりに係る家計の負担について”



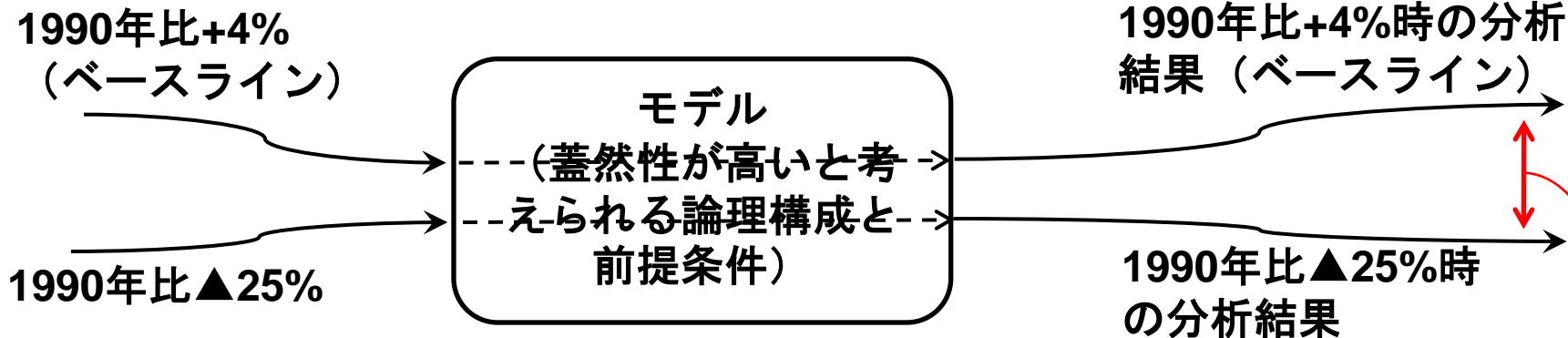
- ・ 1家庭あたり月5千円（年6万円）以上の費用負担をしても良いとしているのは4%程度に過ぎない。（1990年比25%削減の家計負担は1家庭あたり22～77万円（中期目標検討委員会試算））
- ・ 現時点では、月500円以上1000円未満（年1万円）程度については費用から除外して考えても良いレベルに留まっている。すなわち、少なくともそれを超える費用は、短中期的には経済成長を悪化させると考えるべき（長期的には温暖化影響被害を含めた費用便益分析によって算出することが必要）。

# 環境と経済の両立の条件

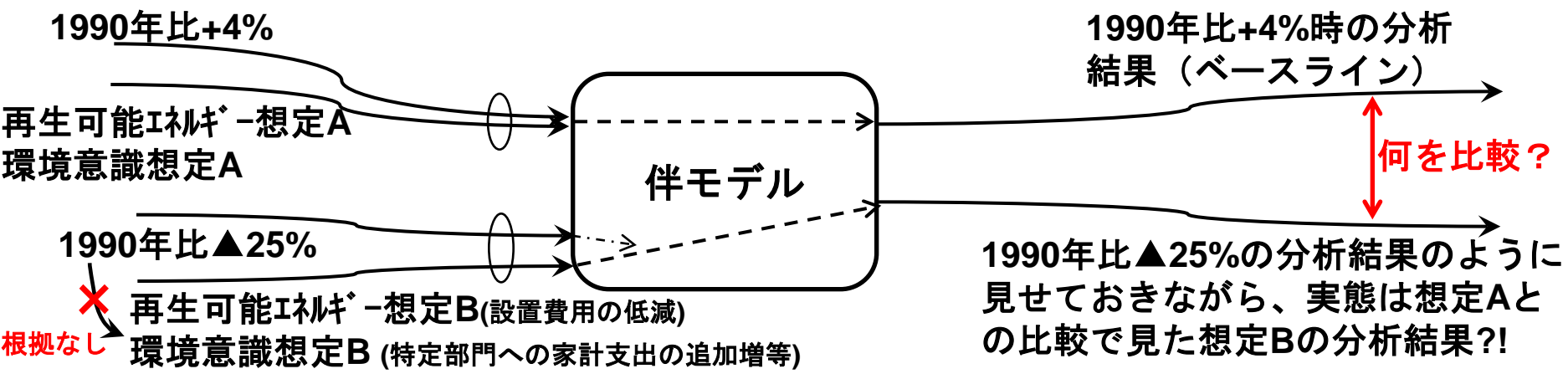


- 費用便益分析が示唆する程度まで、国民の意識を高めることは、真の環境と経済の両立のために重要。しかし国民意識とのギャップ (外部不経済) がある間は政府の介入等が必要。
- なお、温暖化影響被害を過大にあおって仮に短期的に意識が高まっても、長期的にそれが過大だと国民が気づけば「温暖化バブル」は崩壊。
- 費用便益分析が重要であり、それさえもなく、削減目標レベルが高くなれば、環境配慮型購買行動が進展するといった前提をモデルで想定することは不適當。

# モデル分析のあり方



比較することで意思決定の有益なサポートに



環境省RMにおける伴モデルの分析結果は、モデルのどの前提条件に影響されているのかが不明瞭で、意思決定のサポートにできない。意思決定のサポートツールとして機能させるには、少なくとも、削減目標レベルとその他のモデル前提条件想定との因果関係について、高い蓋然性があることを示すことが必須条件。

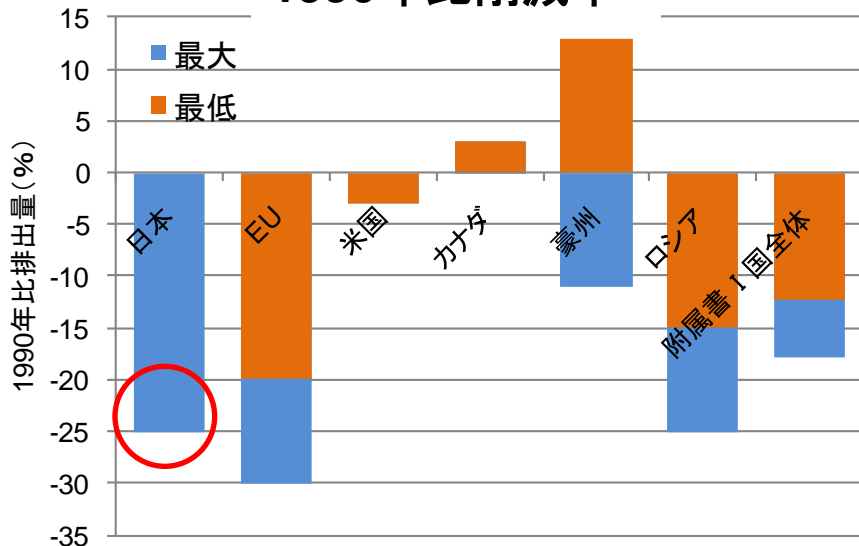
# 付録

# コペンハーゲン合意に基づいて提出された 各国の中期目標（2020年）

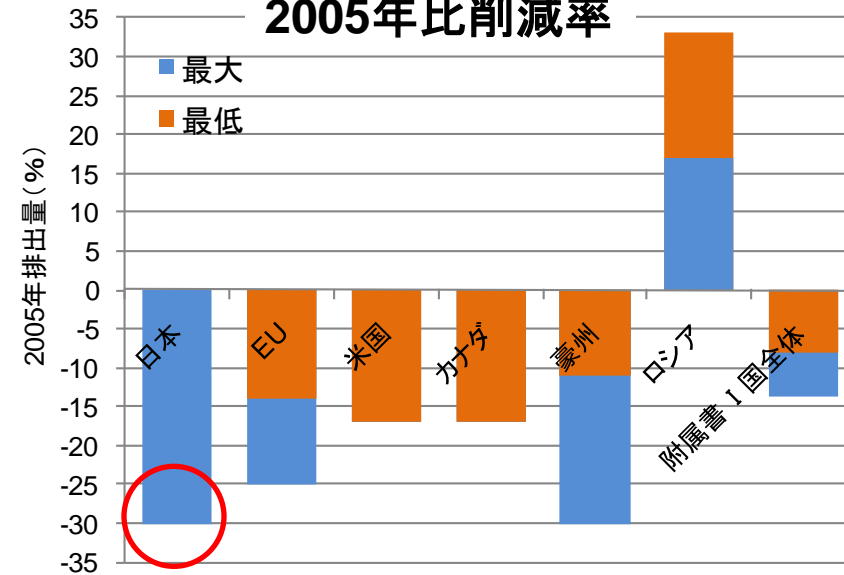
	各国の中期目標	条件等
日本	1990年比▲25%	すべての主要国による公平かつ実効性のある国際枠組みの構築及び意欲的な目標の合意を前提
EU	1990年比▲20%～▲30%	他の先進国がEUと同等の削減目標で、途上国が各々の責任と能力の下で適切な貢献を行った場合：▲30%
米国	2005年比▲17%前後	国内法成立後、最終案を提出。2050年▲83%に沿って、2025年▲30%、2030年▲42%に取り組む。
カナダ	2005年比▲17%	米国が▲17%を立法化した場合
豪州	2000年比▲5%(▲15～25%)	国際合意があり、先進国が豪州と同様の目標、主要途上国が大幅排出抑制を行う場合：▲15%、450ppm-CO <sub>2</sub> eq.安定化の意欲的な目標で合意した場合：▲25%
ロシア	1990年比▲15%～▲25%	レンジは、ロシアの森林吸収が適切にカウントされる仕組みが構築され、すべての主要排出国が法的拘束力のある排出削減をとるかどうかによる
韓国	BaU比で30%削減	(韓国政府の国内での決定は2005年比▲4%)
中国	<u>GDP原単位</u> を2005年比▲40%～▲45%	一次エネルギーにおける非化石エネルギーのシェアを15%に。森林面積を40 million ha、蓄積量を1.3 billion m <sup>3</sup> 増やす。
インド	<u>GDP原単位</u> を2005年比▲20～▲25%	法的拘束力を伴わない自発的な目標

# 主要先進国の中期目標（2020年）

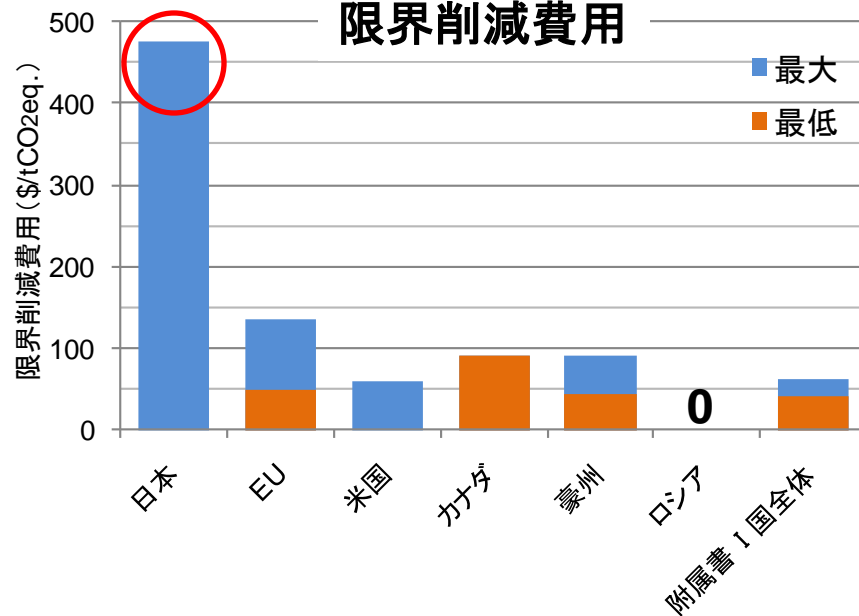
## 1990年比削減率



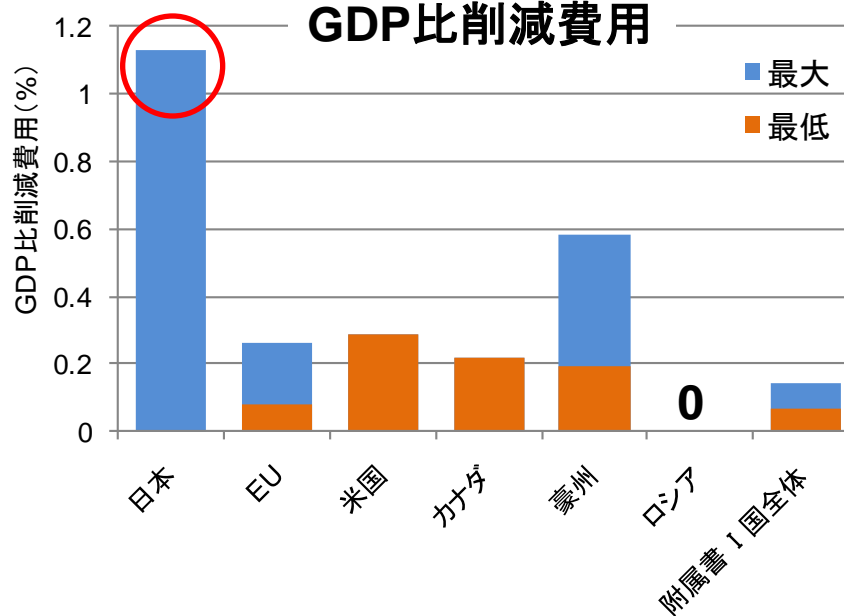
## 2005年比削減率



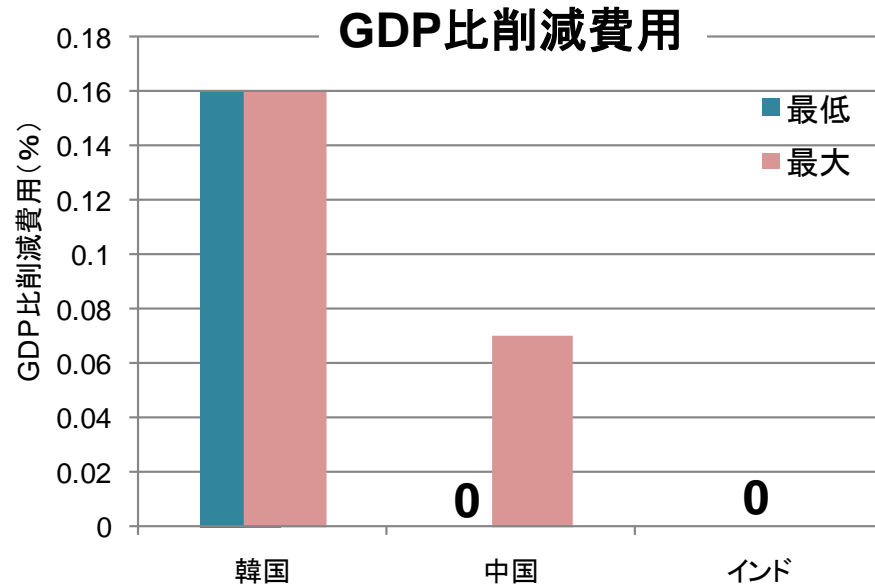
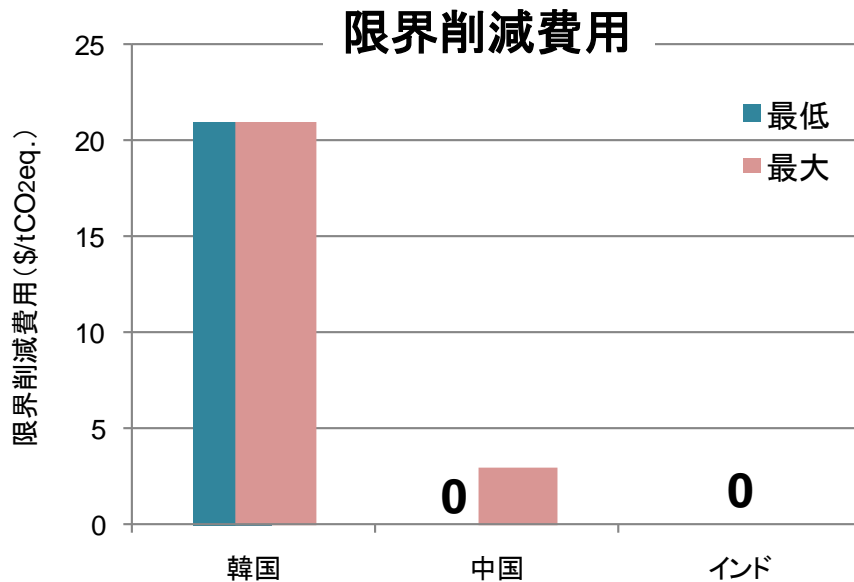
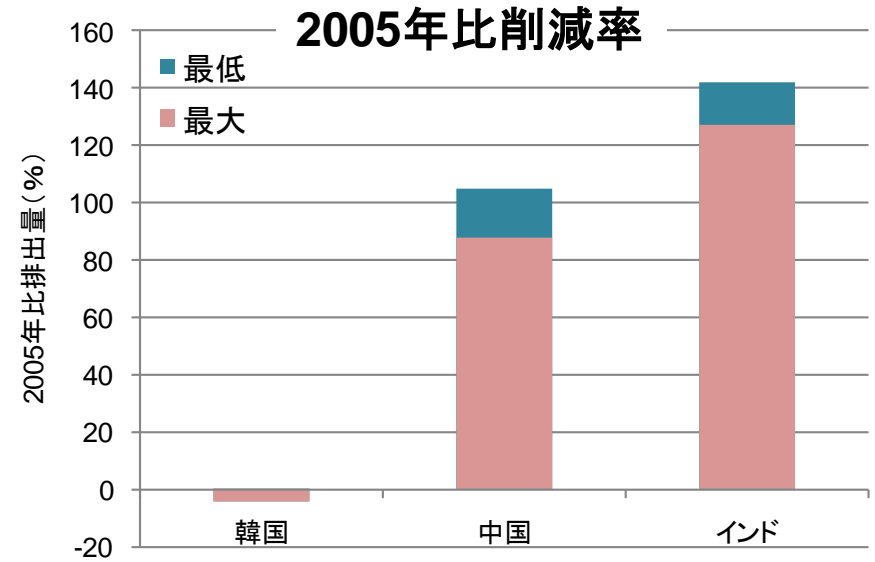
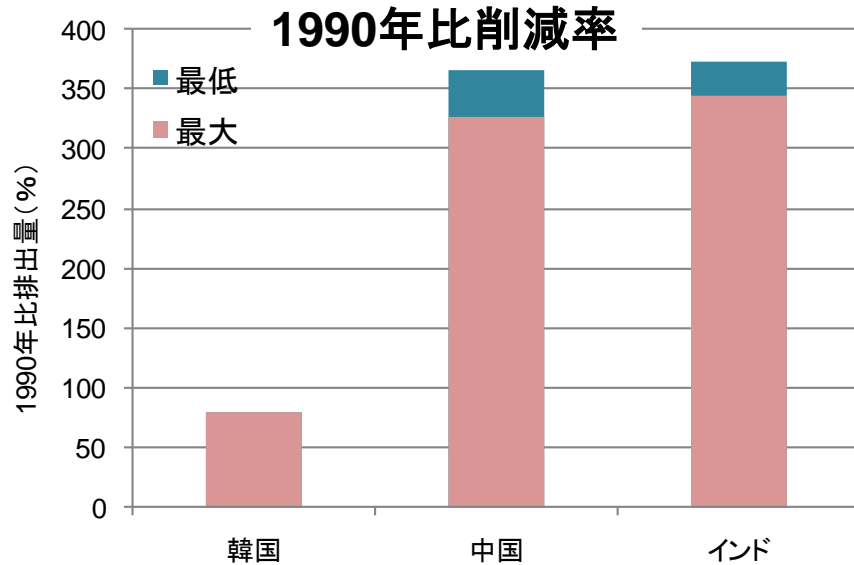
## 限界削減費用



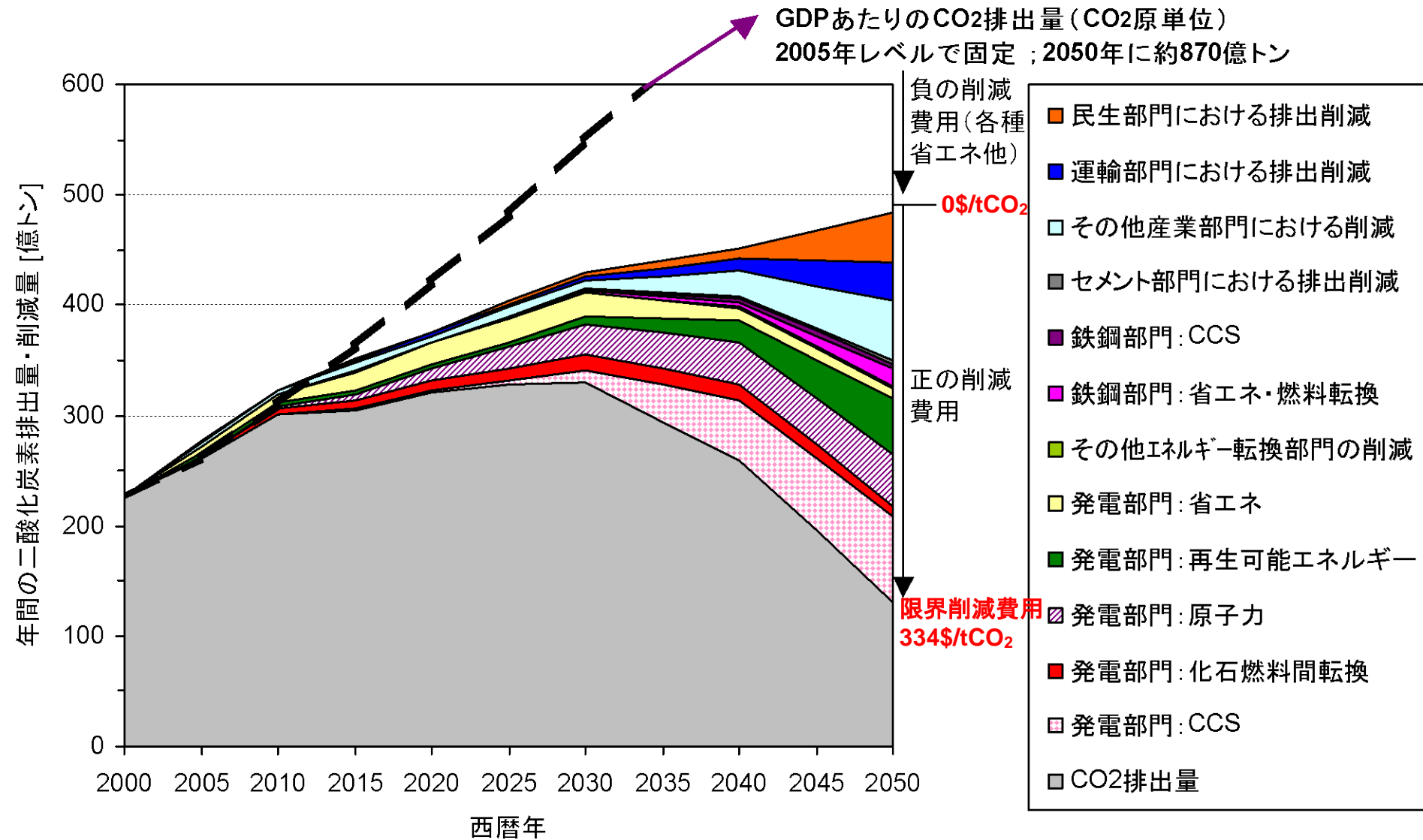
## GDP比削減費用



# 主要途上国の中期目標（2020年）



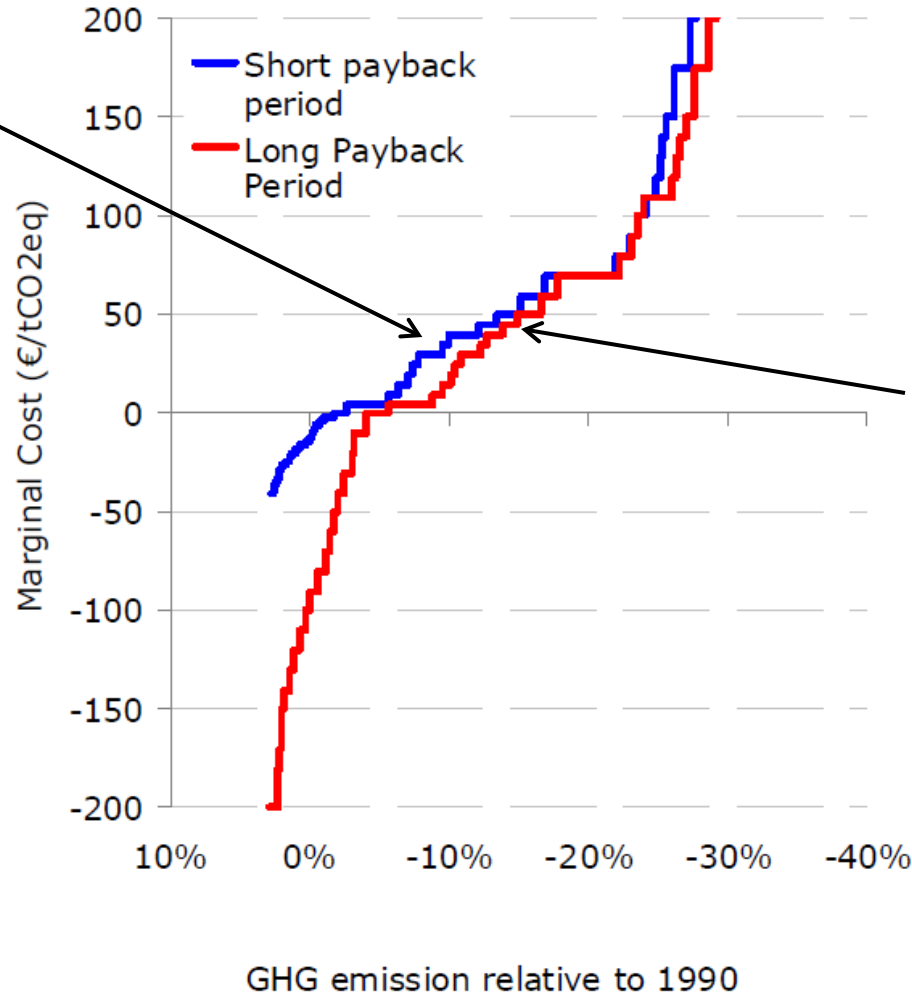
# 2050年に至る部門別・技術別の排出削減量





# IIASA GAINSにおける投資回収年数の 想定の違いによる限界削減費用曲線の比較

短期の投資回収年数、  
割引率：20%/年



長期の投資回収年数、  
割引率：4%/年

# GDPロスを小さくするには システムの技術開発・普及も重要

- ◆ 実質的な費用を小さくし、経済成長の低下を抑えるためには、温暖化対策以外の効用が増大する対策と一体となったシステムの対策を追求することが重要

例 1 : IT技術と結びついた高度な交通システム（渋滞の緩和による効用増、交通事故の減少、・・・）

例 2 : 快適で住みやすい都市の構築（道路渋滞の緩和、公共交通システム、省エネ型都市、都市の緑化、・・・）

例 3 : 原子力によるエネルギーセキュリティの強化（エネルギーセキュリティの強化は直接的な効用増にはならないが、長期的な期待値としての効用増をもたらす）