

ALPS国際シンポジウム

灘尾ホール

2012年2月7日

---

# 地球温暖化対応と持続可能な発展の 総合シナリオ—ALPSシナリオ

---

(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



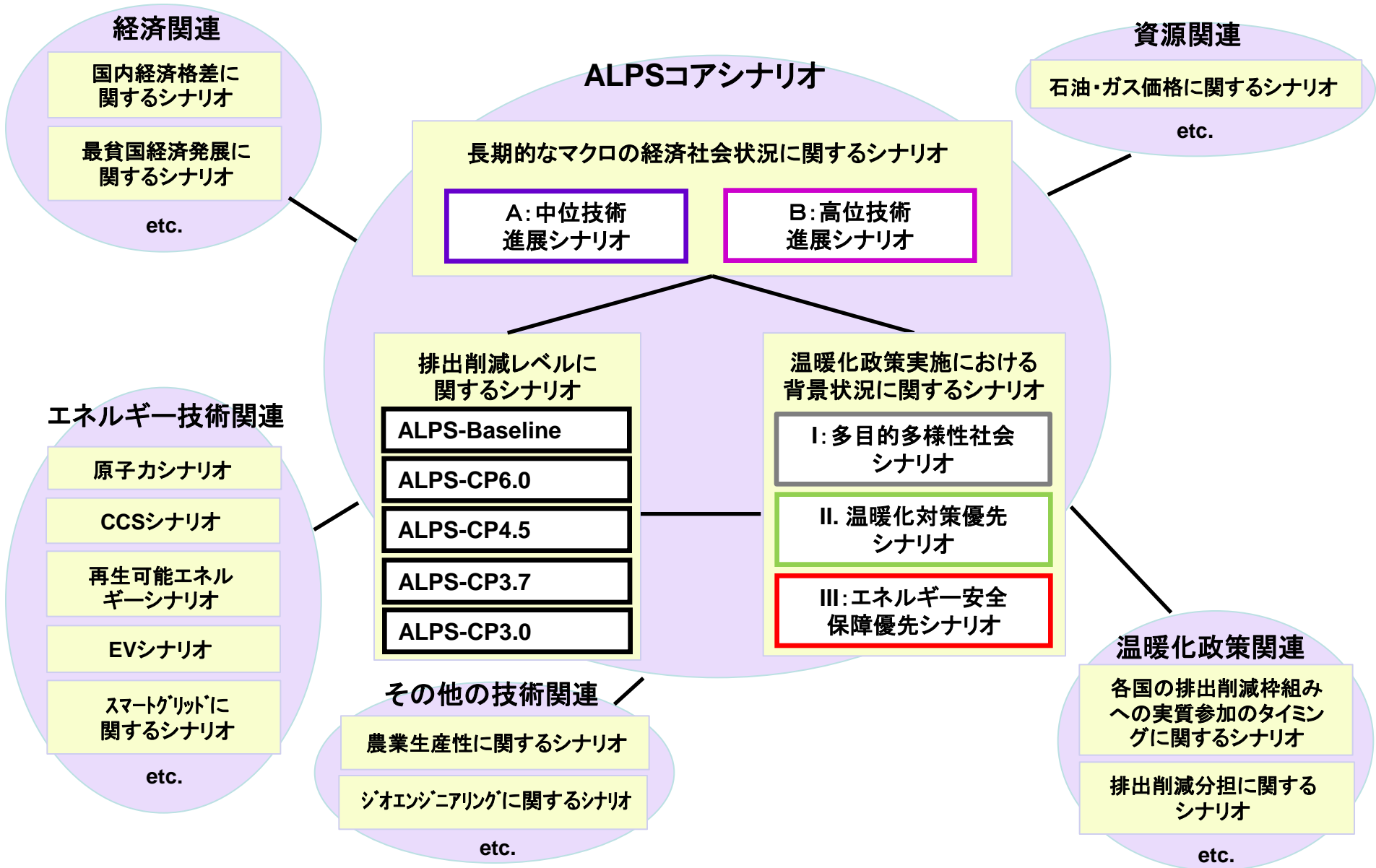
1. 背景・目的
2. ALPSにおけるモデルと叙述的シナリオの概要
3. 社会経済シナリオの想定
4. 排出削減レベルに関するシナリオ分析
5. 持続可能な発展指標の評価
6. 社会経済シナリオに関する分析
7. 温暖化政策背景シナリオに関する分析
8. まとめ

- ◆ 温暖化対策が重要なことは論を待たないが、一方で、人類は多くの課題に直面している。
- ◆ 人類が将来にわたってより幸福な社会を築いていくためには、持続可能な発展に帰する多くの課題を同時に解決していくことが重要である。
- ◆ 2009年12月のコペンハーゲン合意から、2011年12月のダーバンに至るCOPの交渉においても、各国の状況の違いからの意見対立も顕著に表れ、温暖化交渉が難しい状況である。
- ◆ 地球温暖化対策を前に進め、より実効ある温暖化対策、そして、より良い持続可能な発展につなげていくためには、温暖化問題をより広い持続可能な発展の文脈の中で、とらえていくことが重要と考えられる。

- ◆ とりわけ、近年、世界経済危機が深刻であり、引き続き温暖化問題の重要性は認識しつつも、温暖化対策を優先的に注力することが困難になってきている。
- ◆ 日本においても、2011年3月11日の福島第一原発事故によって、これまで以上に、経済やエネルギー安定供給などに配慮した対応が不可欠になってきている。
- ◆ ALPS (ALternative Pathways toward Sustainable development and climate stabilization)プロジェクトでは、2007年度から、温暖化問題をより広い持続可能な発展の文脈の中で評価し、より実効性のある対策を見出すために、脱地球温暖化と持続可能な経済社会シナリオ策定を行ってきた。
- ◆ 単純化された高尚な目標から、現実感の伴った着実に進展できる目標、温暖化対策の立案に向けて

# ALPSにおけるモデルと 叙述的シナリオの概要

# 叙事的シナリオの概要



# IPCC AR5へ向けたシナリオ策定との関係

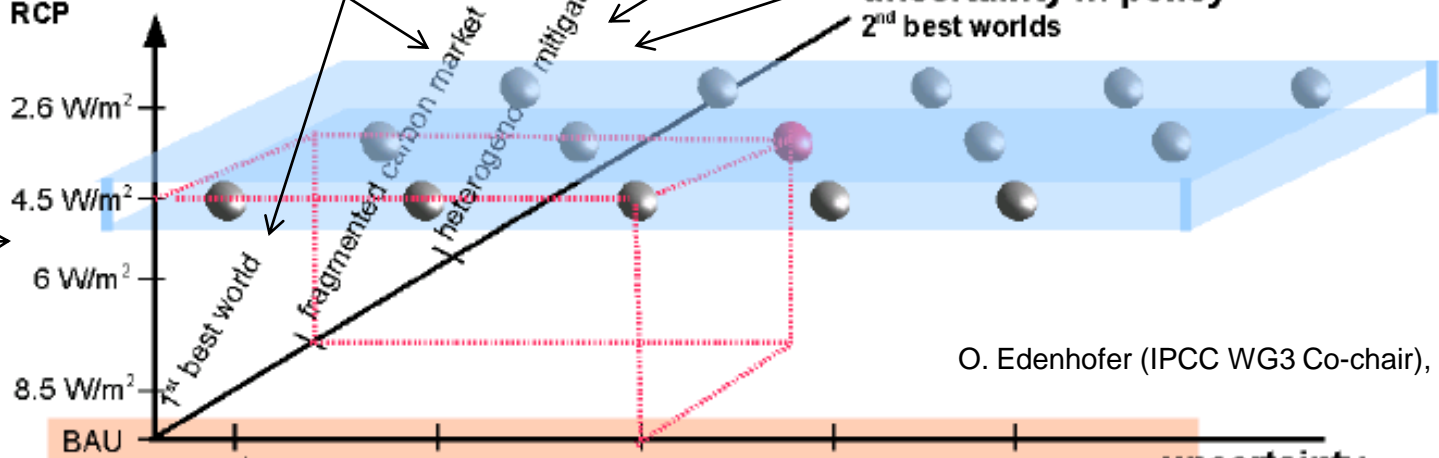
各国の排出削減枠組み  
への実質参加のタイ  
ミングに関するシナリオ

II: 温暖化対策  
優先シナリオ

I: 多目的多様性社会  
シナリオ

III: エネルギー安全  
保障優先シナリオ

mitigation effort  
RCP



O. Edenhofer (IPCC WG3 Co-chair), 2009

ALPS-CP3.0

ALPS-CP3.7

ALPS-CP4.5

ALPS-CP6.0

ALPS-Baseline

石油価格に関するシナリオ

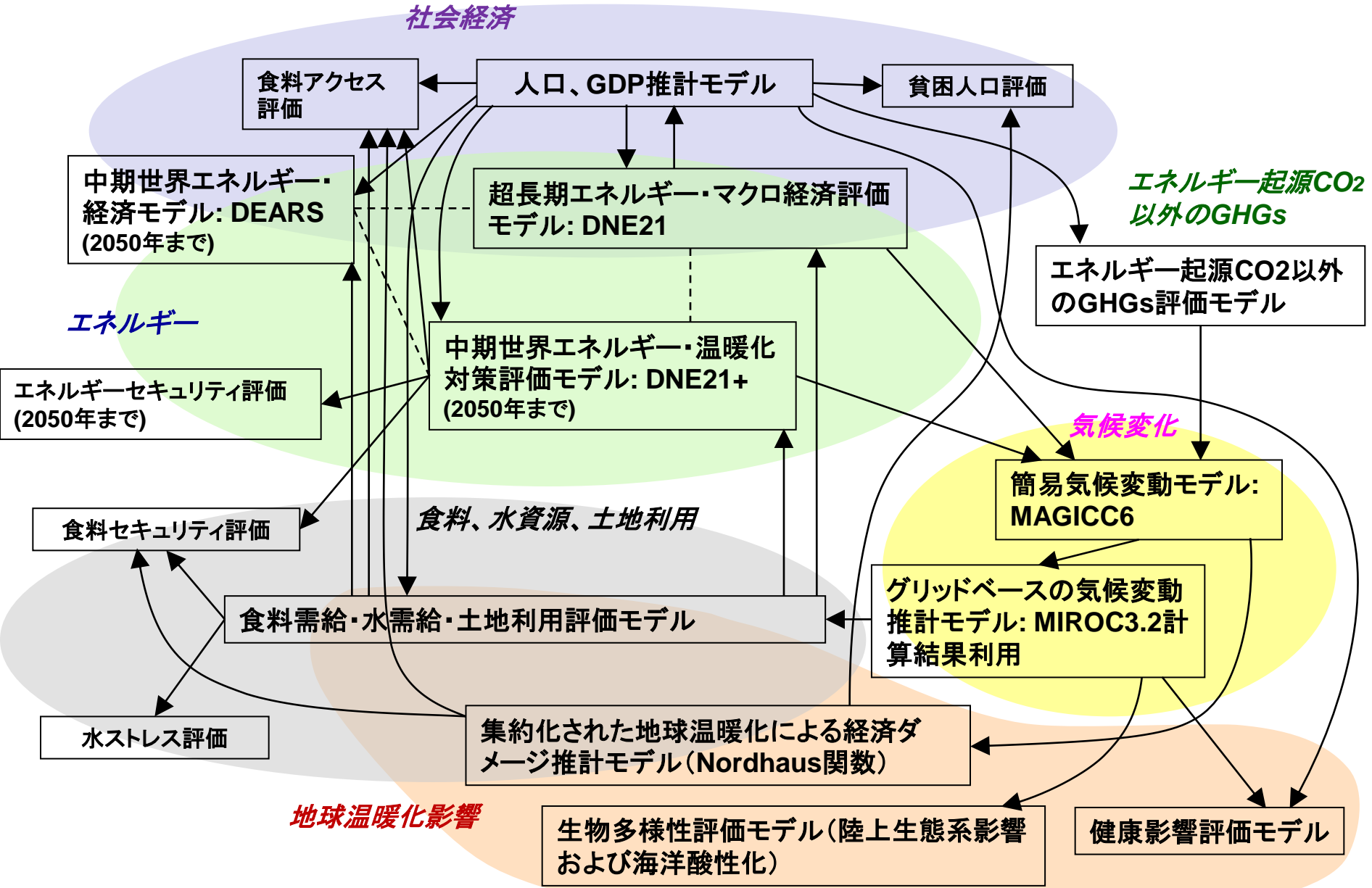
A: 中位技術  
進展シナリオ

B: 高位技術  
進展シナリオ

uncertainty  
in baseline

high fossil fuel price / optimism in low carbon energies  
low fossil fuel price / little optimism in low carbon energies  
Malthusian world (non-sustainable population growth)  
coal renaissance  
low growth / fragmented world

# ALPSにおけるモデルの全体像

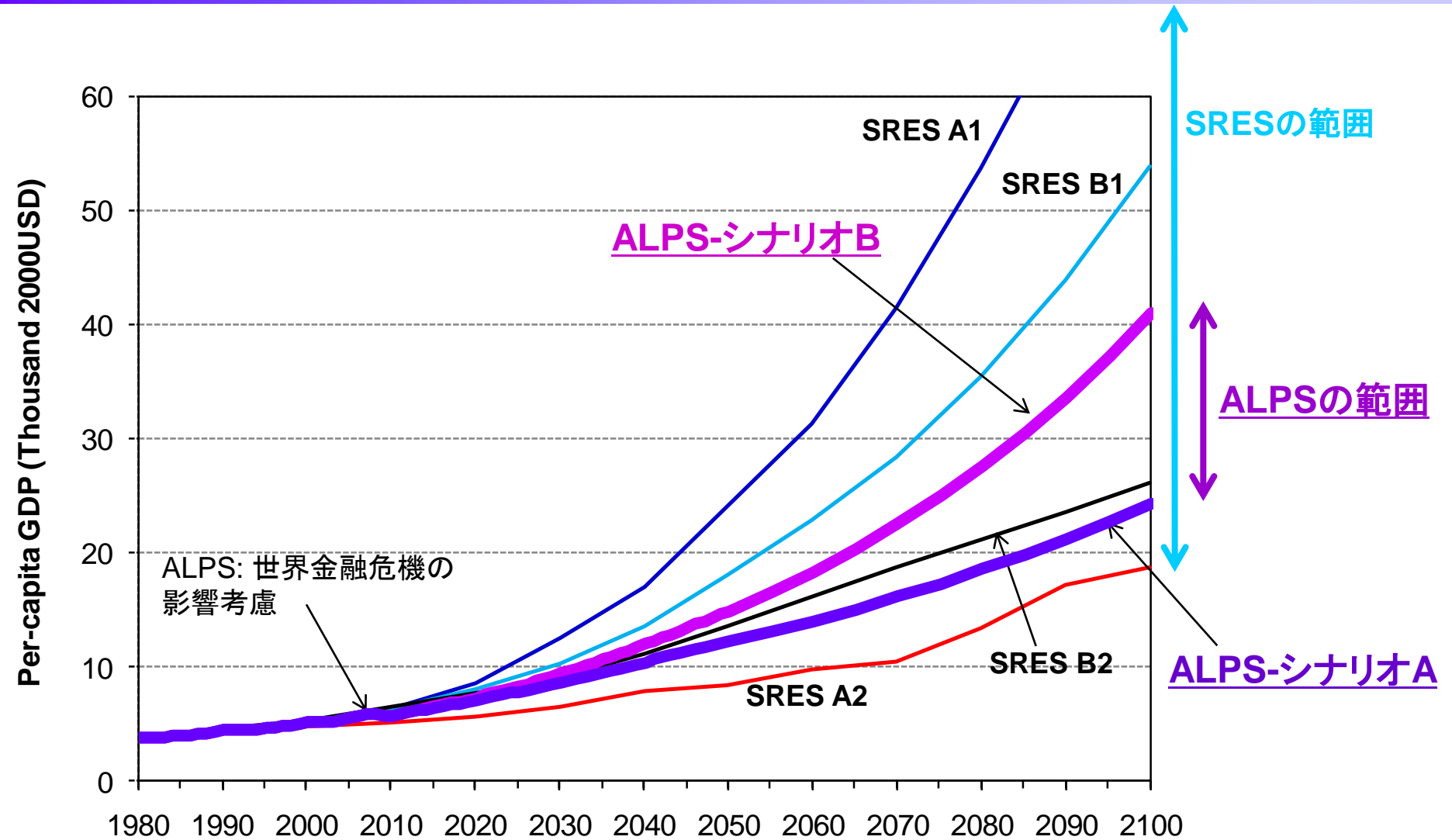




# 社会経済シナリオの想定 —シナリオA, B—

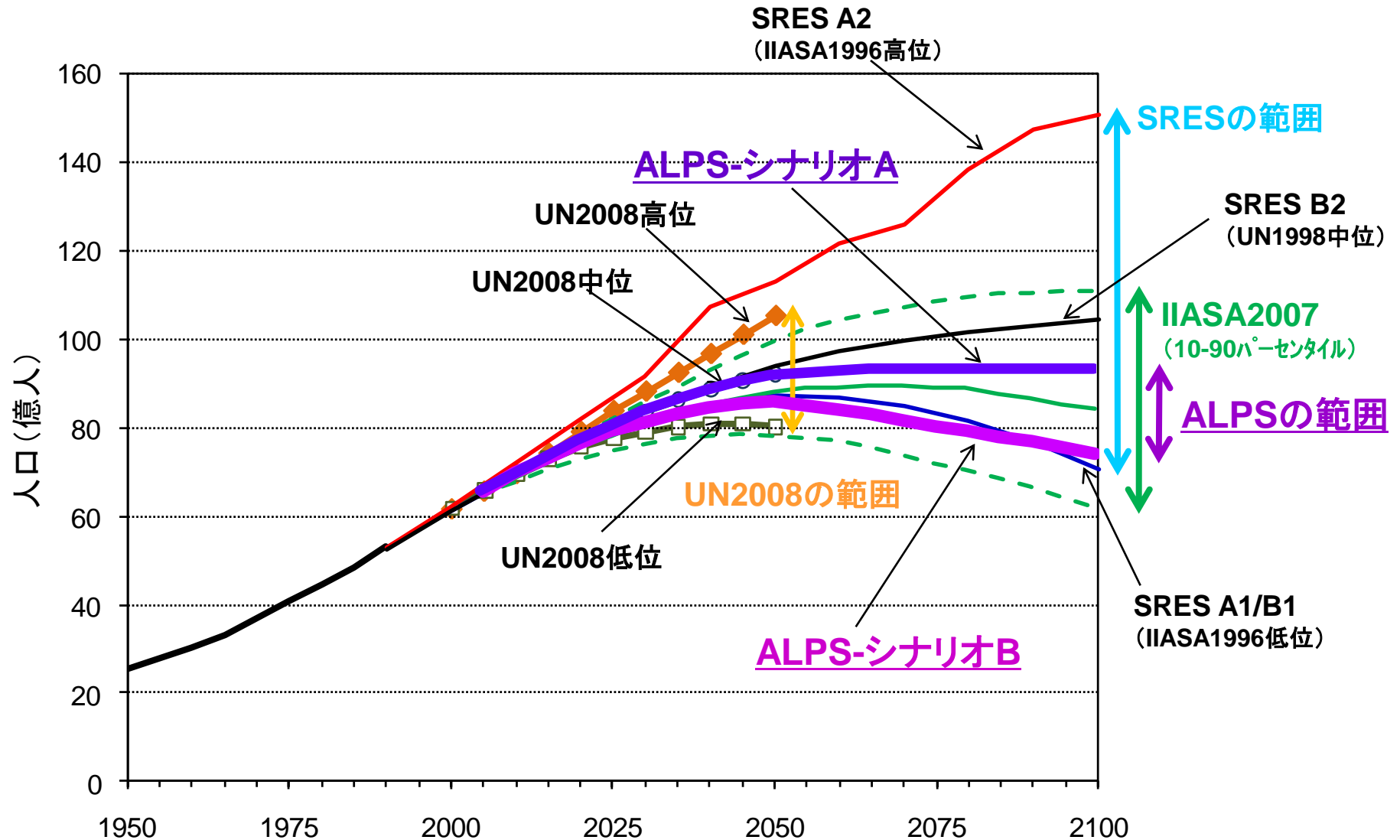
(シナリオA, Bは、技術進展の不確実性を描いており、必ずしも政策的に選択できるものとして想定しているわけではない)

# ALPS 一人当たりGDPシナリオ(世界全体)



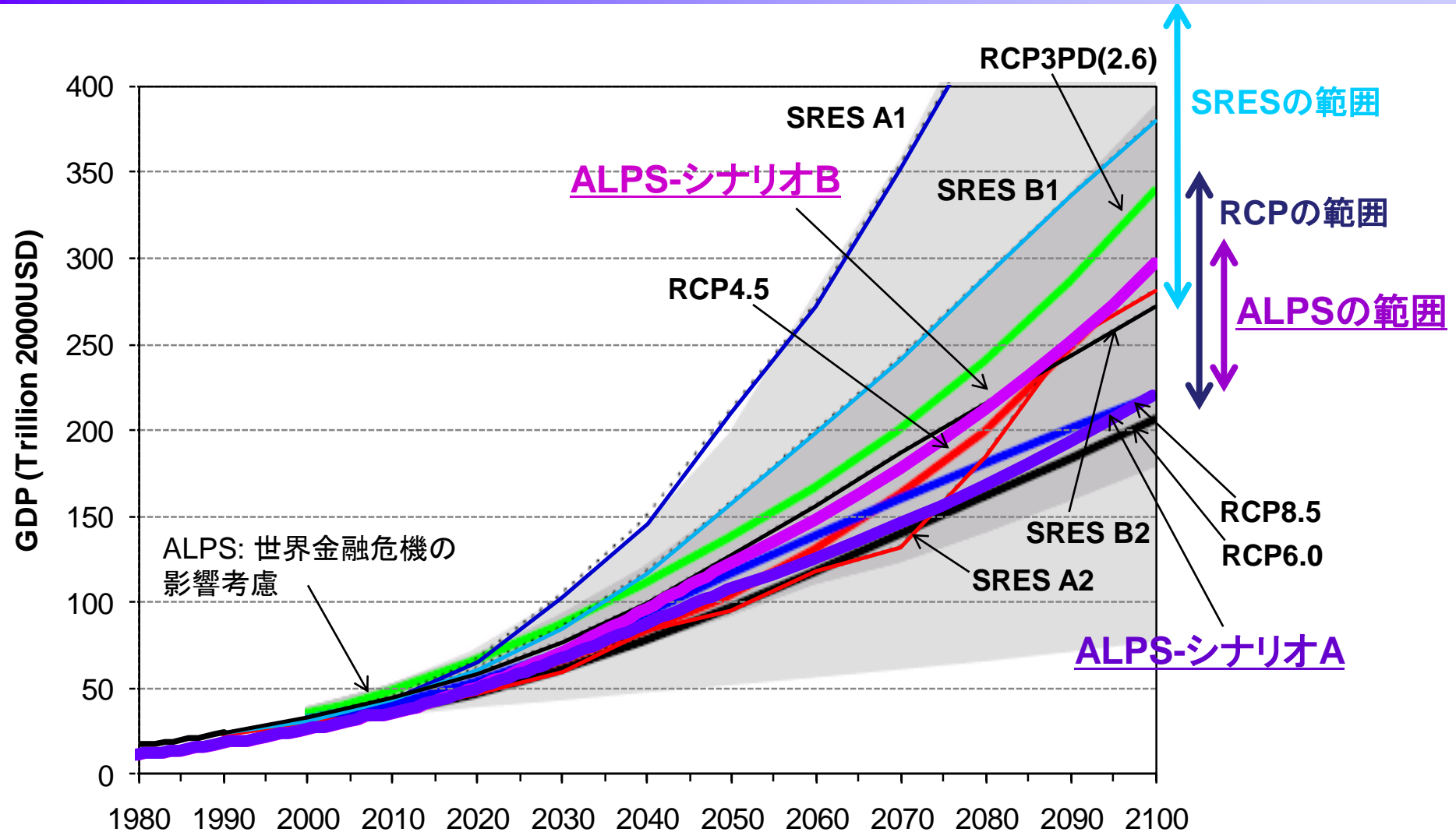
注) SRESシナリオは1990年価格のため、1990年の2000年価格GDPと一致するように補正して表示している。

# RITE ALPS人口シナリオ(世界全体)



一人当たりGDPの高成長は、低人口との相関が強い。シナリオA: 中位人口、シナリオB: 低位人口

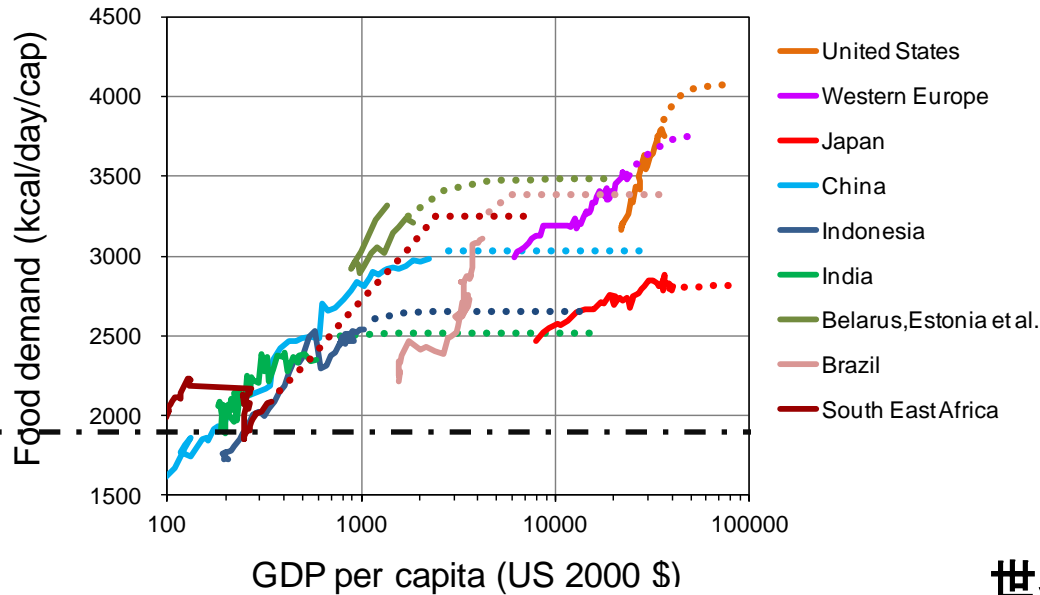
# ALPS GDPシナリオ (世界全体、ベースライン、為替換算(MER))



注) SRESシナリオは1990年価格のため、1990年の2000年価格GDPと一致するように補正して表示している。

**SRESのGDP想定は高すぎる傾向(特にA1およびB1シナリオ)。ALPSシナリオA:RCP8.5, 6.0と同等程度、ALPSシナリオB:RCP4.5と同等程度**

# 一人当たり食料需要シナリオ



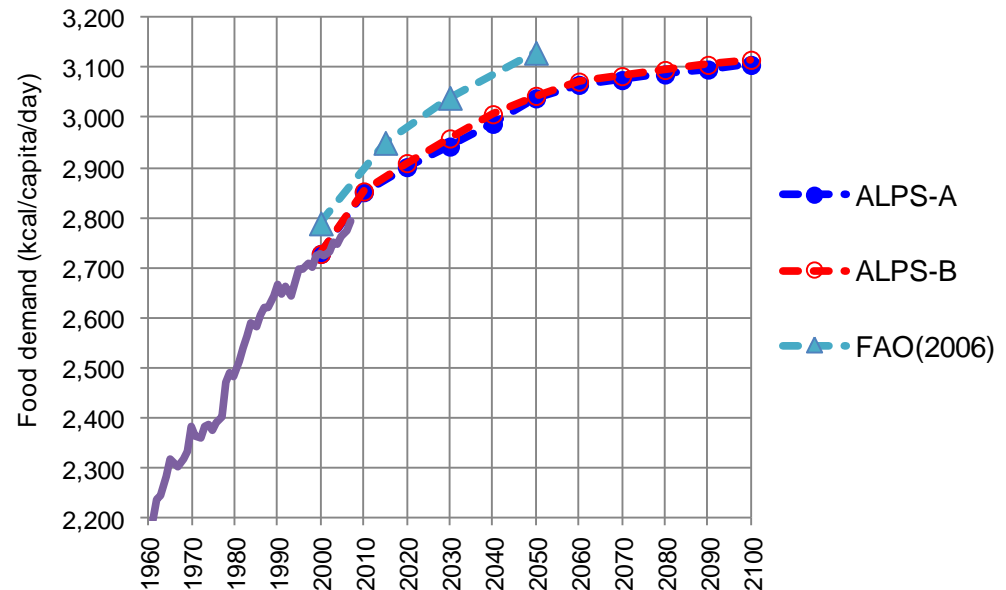
途上国平均  
必要最低熱量  
(1825 kcal)

実線は実績値。破線は将来シナリオ

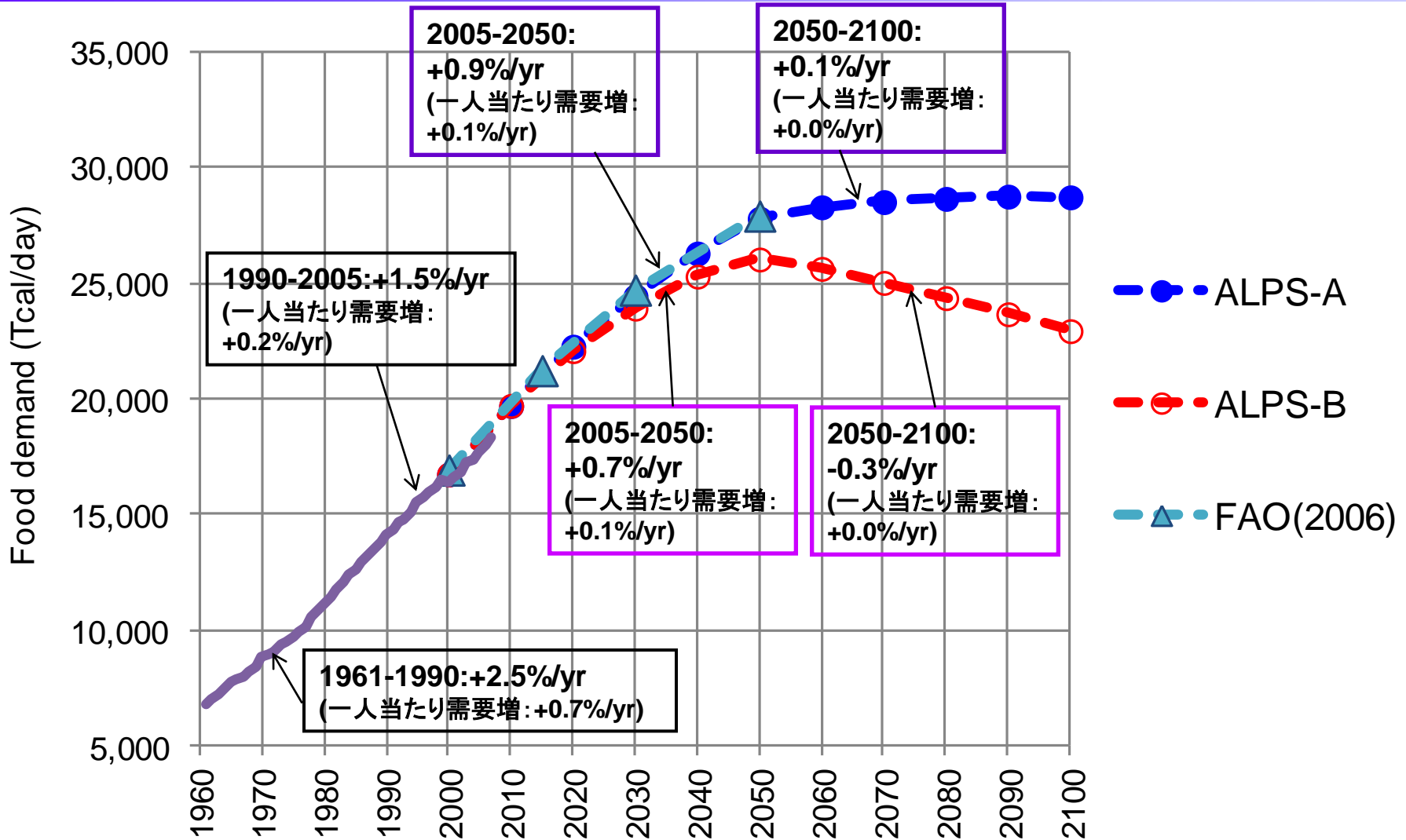
マクロで見ると、ほとんどの地域において、食料が足りない状況にあるわけではない。

低所得層が、それに比して高い食料を入手できない、ということによって、飢えが生じているケースが大部分

## 世界平均



# RITE ALPS 食料需要推定(世界全体)

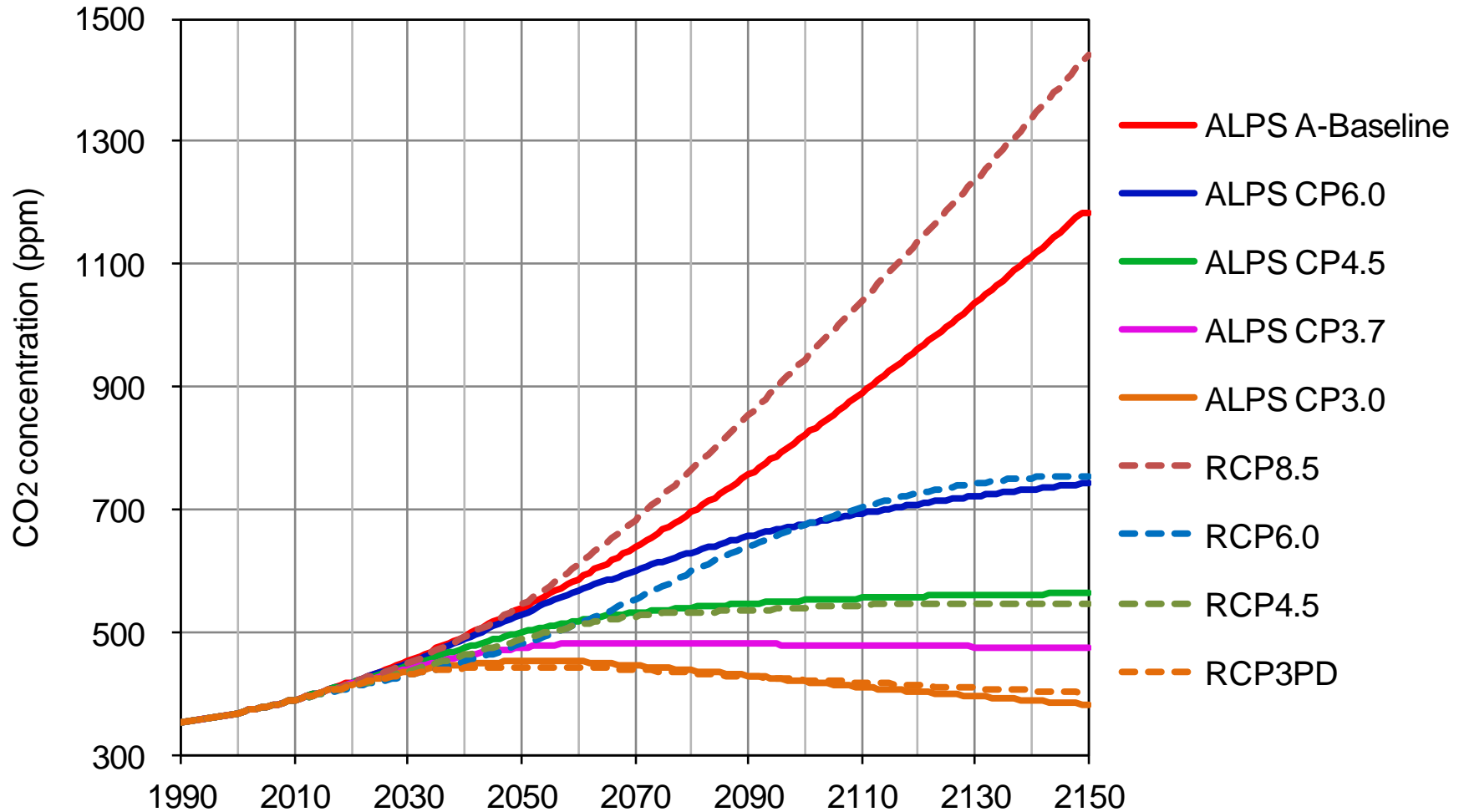


一人当たり所得増加に伴う一人当たり食料需要増の影響よりも、人口抑制に伴う食料需要押し下げ効果の方が大きいと見られ、シナリオBの方が食料需要量は小さい。

# 排出削減レベルに関する シナリオ分析

—Baseline, CP6.0, CP4.5, CP3.7, CP3.0—

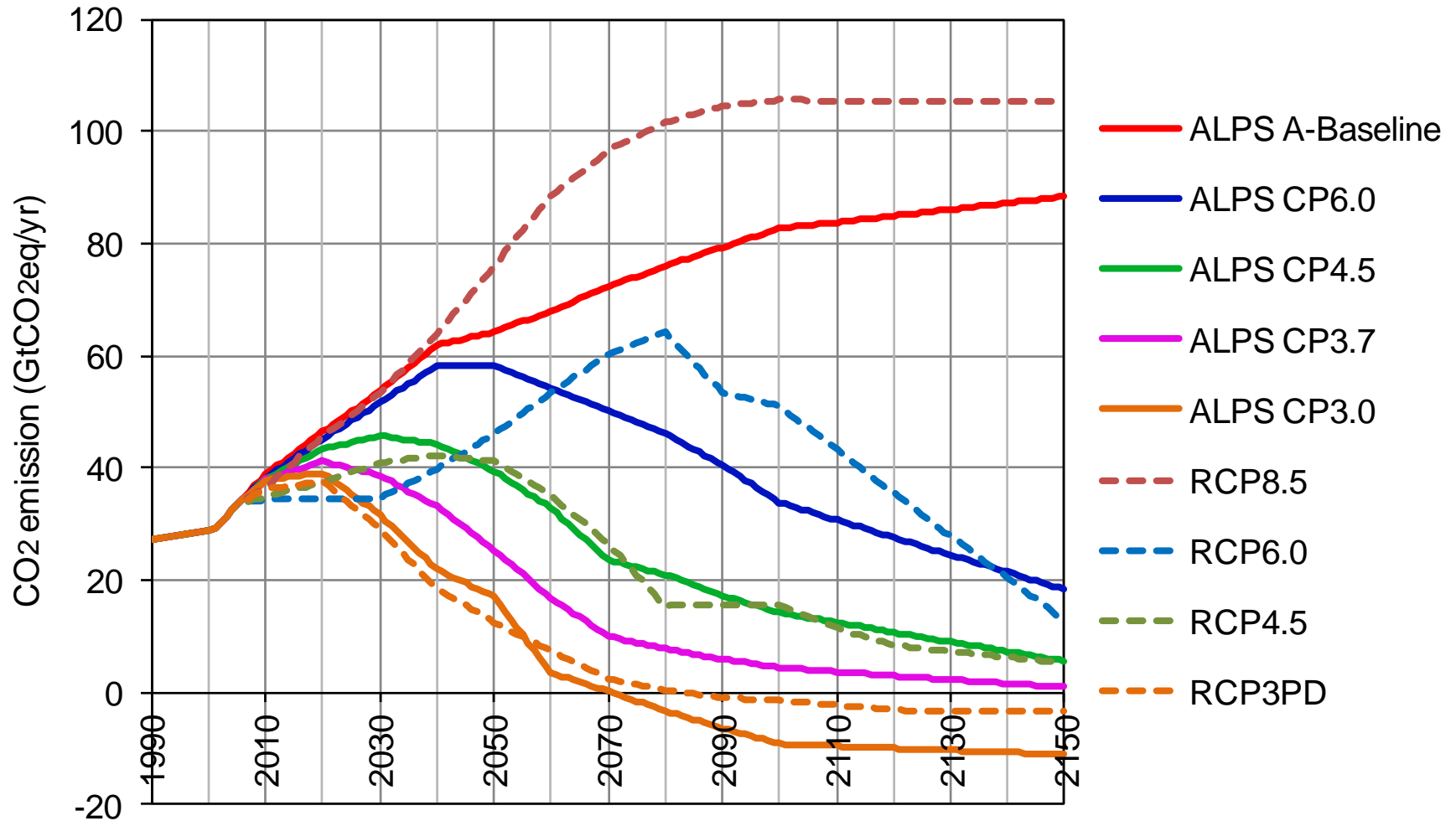
# ALPS 大気中CO<sub>2</sub>濃度推移シナリオ



注)CO<sub>2</sub>のみによる濃度

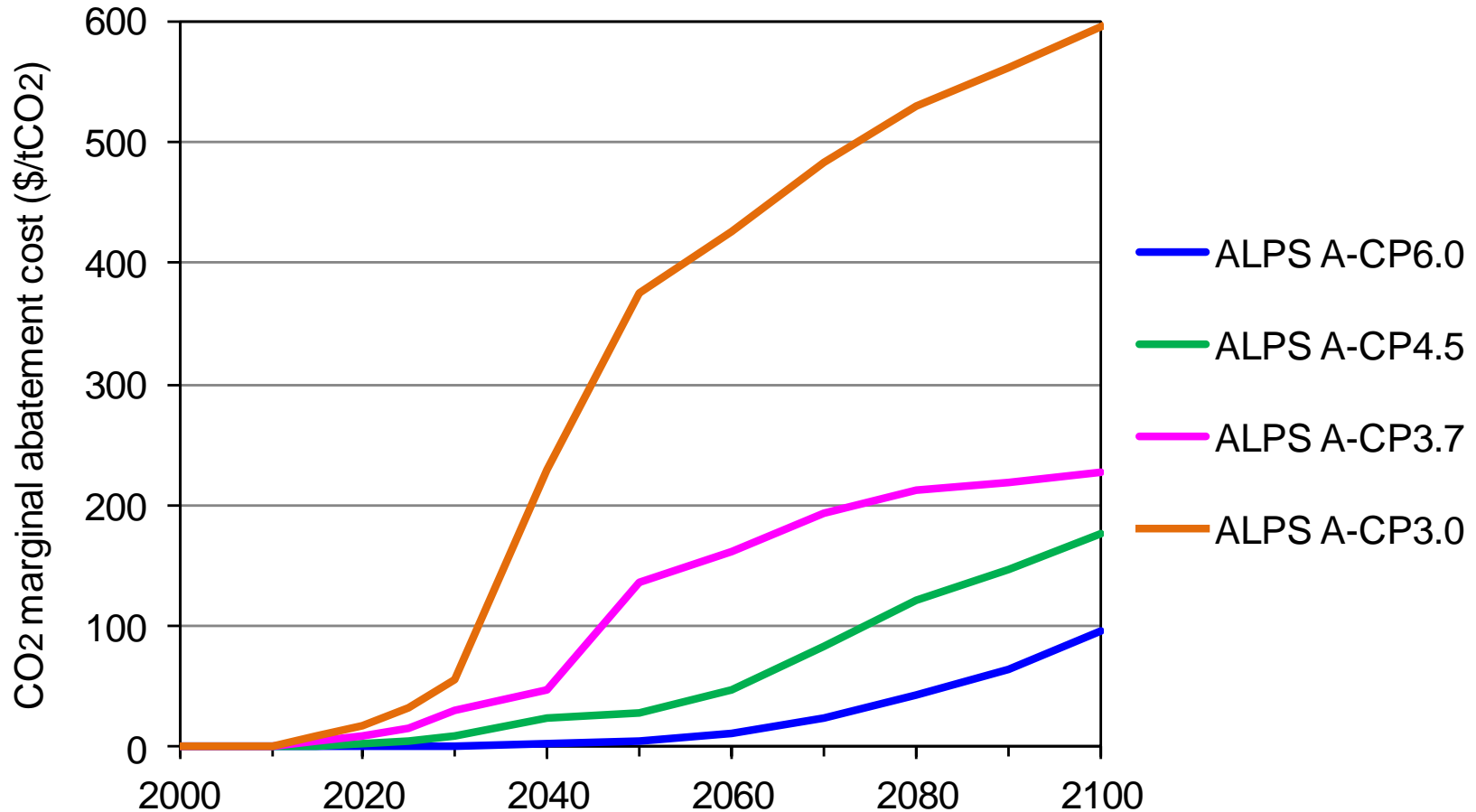


# ALPS CO<sub>2</sub>排出シナリオ



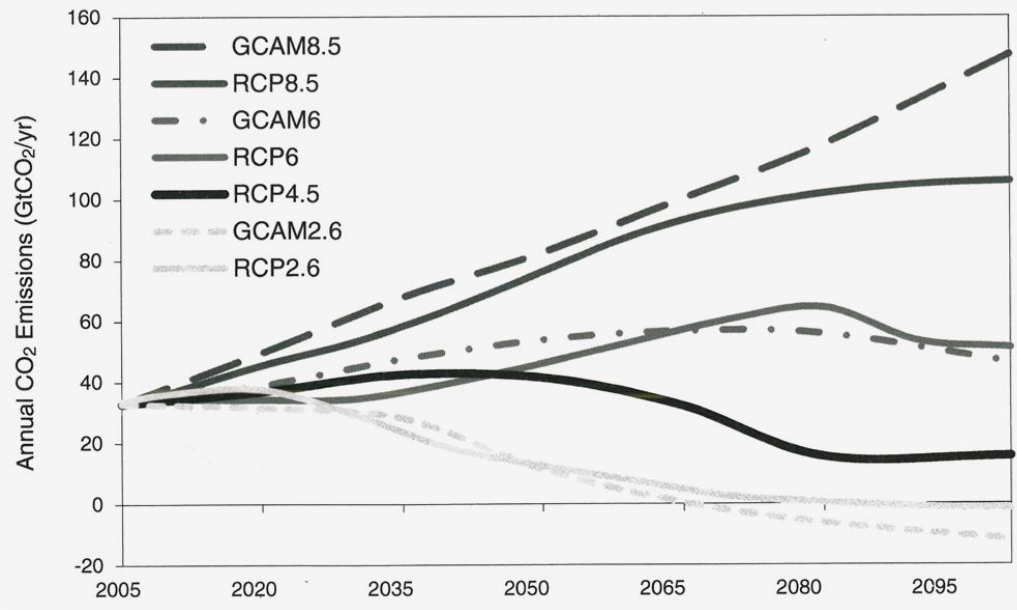
注) 産業プロセスCO<sub>2</sub>および土地利用変化CO<sub>2</sub>排出を含む

# CO<sub>2</sub>限界削減費用



2050年まではDNE21+モデルによる分析。2050年以降はDNE21モデルによる分析。  
 CP3.0の2050年の限界削減費用は(概ね世界排出量現状比半減)、エネルギー起源  
 CO<sub>2</sub>のみで半減の場合は500\$/tCO<sub>2</sub>に対して、土地利用変化CO<sub>2</sub>を含めて半減を想定  
 すると(ALPSにおけるシナリオ分析)、380 \$/tCO<sub>2</sub>程度。いずれにしても相当高い費用。

# RCPチームによる評価例ー比較評価ー

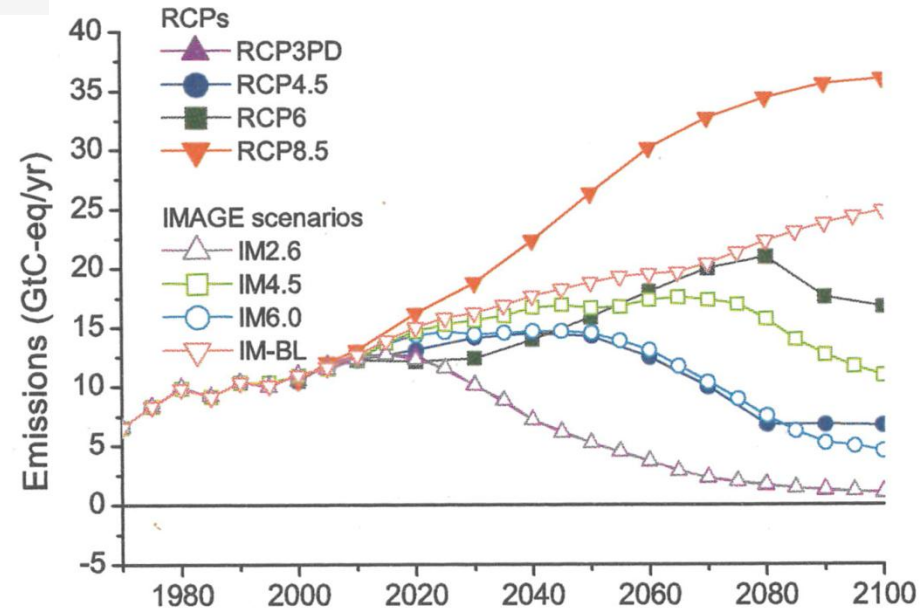
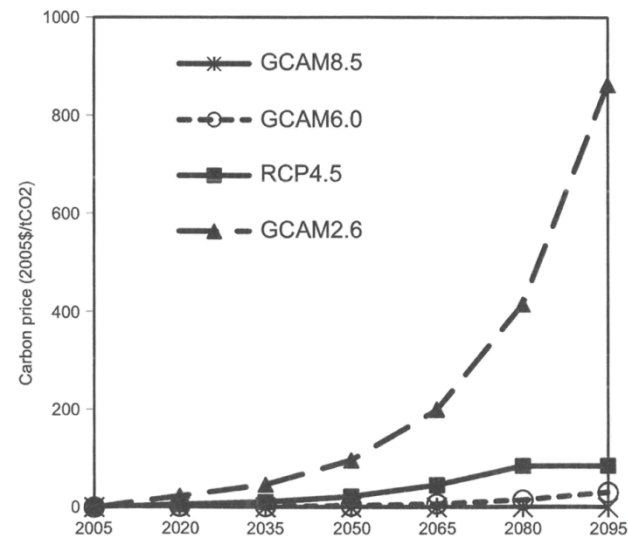


Climatic Change, RCP特集号, 2011より

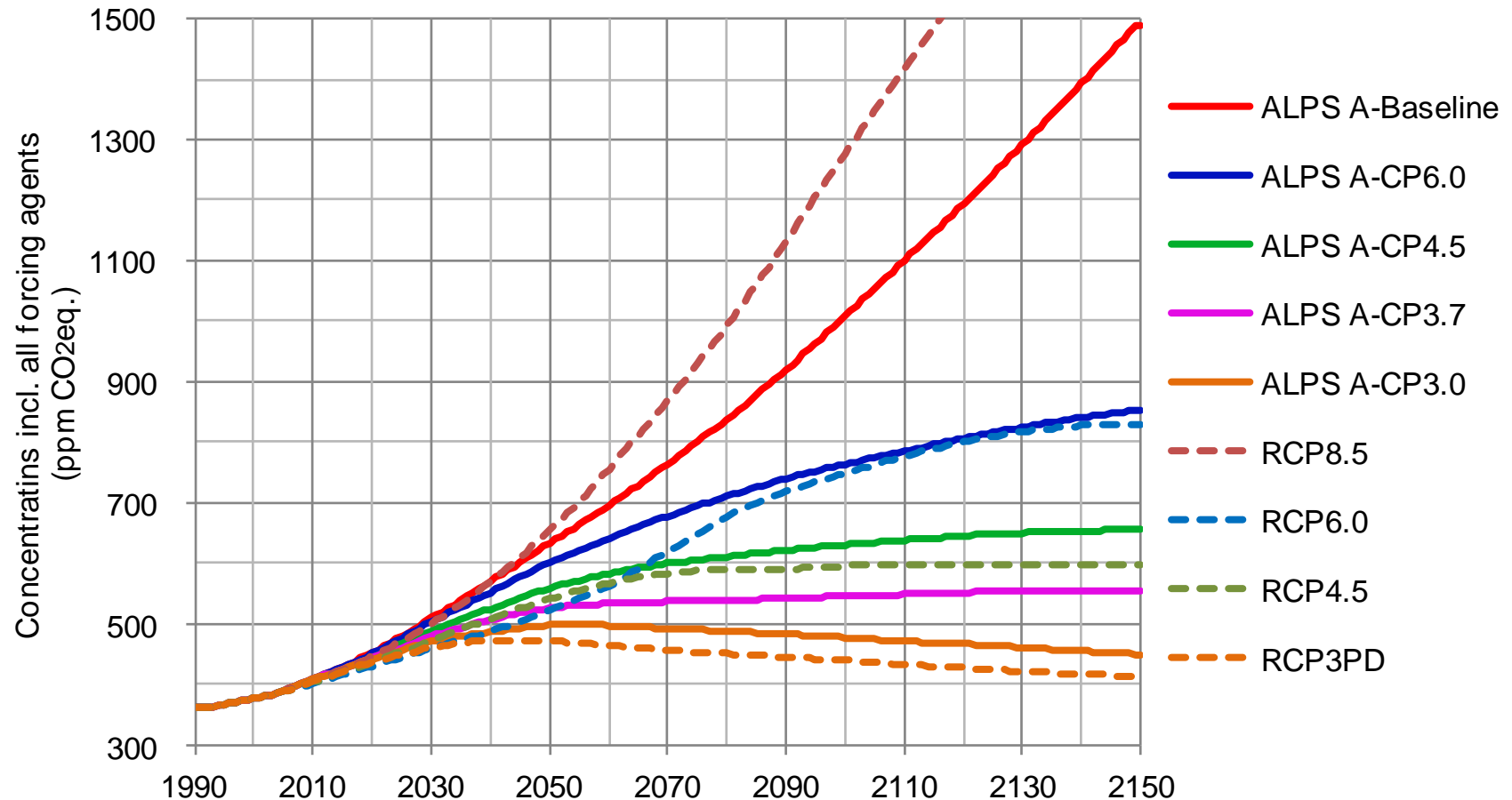
米国PNNL, GCAMのシナリオ分析  
(CO<sub>2</sub>排出量)

オランダ環境研PBL, IMAGEのシナリオ分析  
(CO<sub>2</sub>排出量)

米国PNNLのシナリオ分析(限界削減費用)

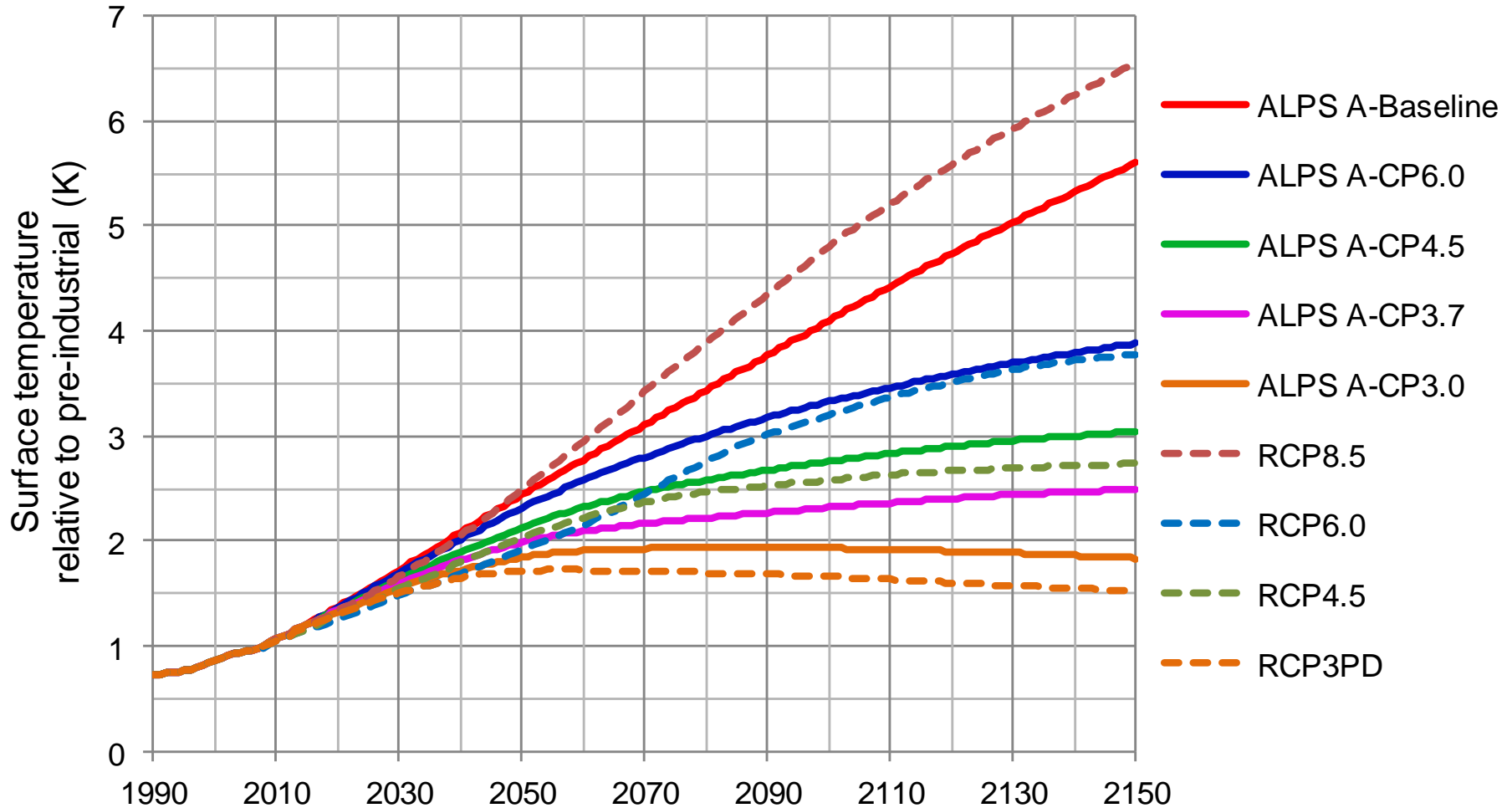


# 等価CO<sub>2</sub>濃度推移



等価CO<sub>2</sub>濃度推移は、RCP3PDとALPS CP3.0を比較すると、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの見通しの違いから少し大きめの差異。RCP4.5とALPS CP4.5の比較では、F-gasの見通しの違いから若干の差異(2100年までではさほど大きくはない)。RCP6.0とALPS CP6.0は、CO<sub>2</sub>排出経路が異なるため、2100年までに至る間の差異が大きめ

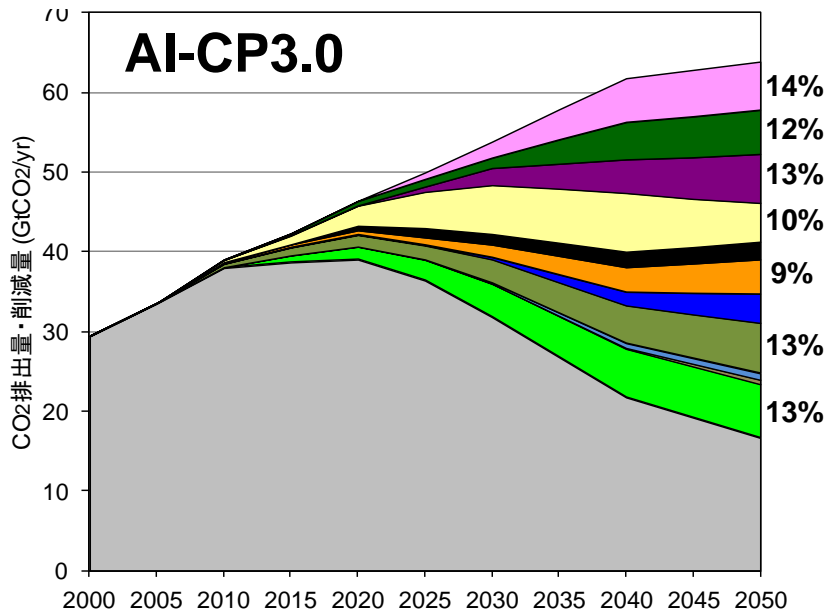
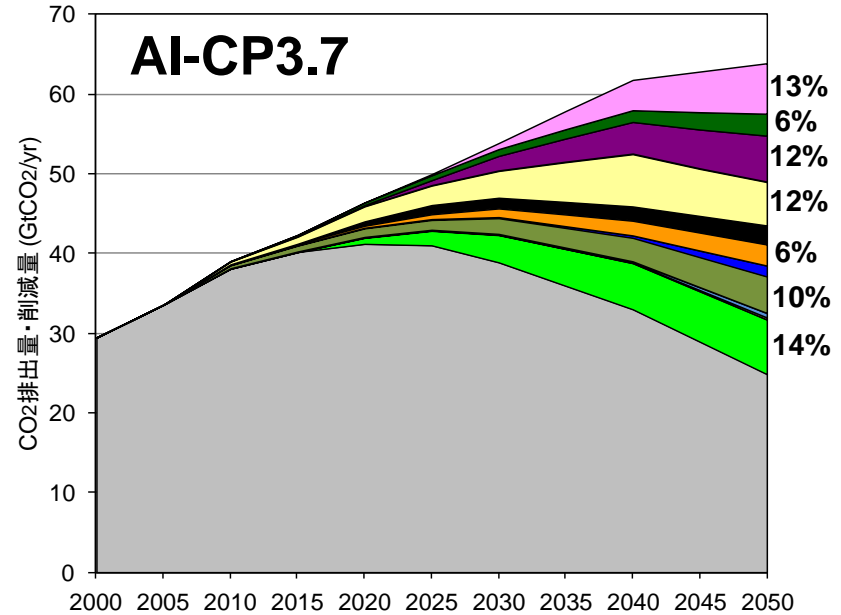
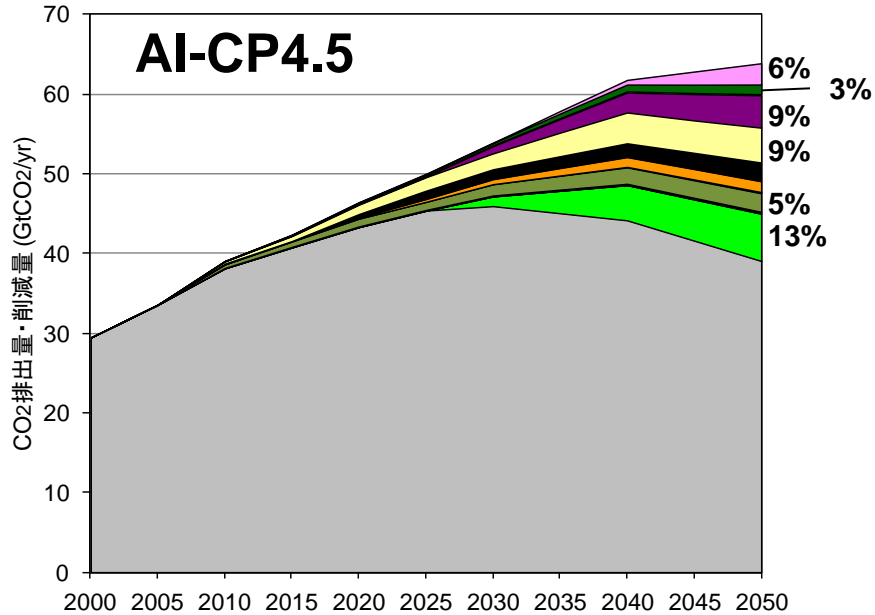
# 全球平均気温上昇



注) 平衡気候感度は、IPCC AR4の”most likely value”の3.0°Cを用いて計算

**ALPS CP3.0は、産業革命以前比の全球平均気温上昇は最大時で2°C弱(1.94°C)**

# ベースラインからの部門別・技術別CO2排出削減量



- 発電部門: CCS
- 発電部門: 再生可能
- 発電部門: 原子力
- 発電部門: 効率向上・化石燃料間転換
- 発電以外のエネルギー転換部門
- 民生部門
- 運輸部門
- 産業部門
- 国際海運・国際航空
- 産業プロセス起源CO<sub>2</sub>
- 土地利用起源CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub>排出量

注1) グラフ横の数値は2050年の削減率(すべてのシナリオでCP3.0における総削減量に対する比で表示)

注2) ベースラインからの削減効果であり、ベースラインで比較的削減が大きく進む部門もある(運輸部門が代表的)。

# 持続可能な発展指標の評価



# 主な評価項目

分野	項目
経済・貧困	所得(一人当たりGDP)
	貧困人口
	食料アクセス(GDP当たり食料消費額(エンゲル係数))
	5歳未満児死亡者数
健康	WHO提示の環境関連の死亡要因による死亡率
農業・土地利用	食料生産土地利用
	食料セキュリティ(GDP当たり食料輸入額)
水	水ストレス人口
生態系	潜在的陸上生態系変化
	海洋酸性化
エネルギー・気候変動	エネルギーアクセス
	エネルギーセキュリティ
	化石エネルギー消費量(持続的エネルギー利用)
	GDPあたりCO <sub>2</sub> 排出
	GDPあたり排出削減費用
	気温上昇(全球平均)



# 世界平均のGDP比温暖化影響被害推計

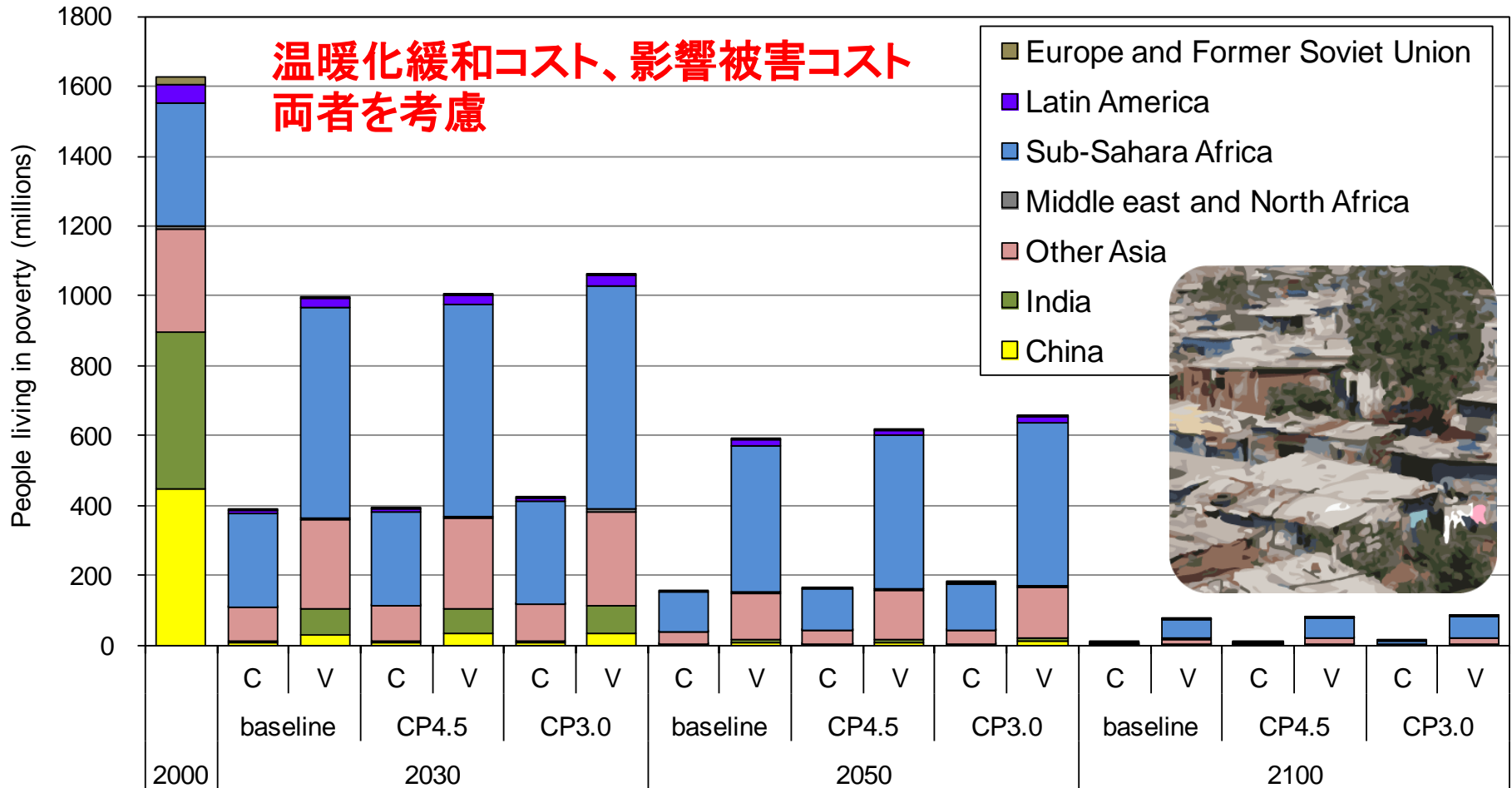
	2030	2050	2100	2150
A-Baseline	0.56%	1.11%	3.14%	5.56%
A-CP6.0	0.55%	1.01%	2.15%	2.84%
A-CP4.5	0.51%	0.87%	1.55%	1.83%
A-CP3.7	0.49%	0.77%	1.14%	1.29%
A-CP3.0	0.47%	0.67%	0.84%	0.77%

**Nordhaus, 2010における世界平均のGDP比温暖化影響被害関数**

$$\frac{D(t)}{\text{GDP}_{\text{Base}}(t)} = a_1 T(t) + a_2 (T(t))^{a_3}$$

$\text{GDP}_{\text{Base}}$ : BaselineのGDP、 $T(t)$ : 全球平均気温、 $a_1$ 、 $a_2$ : 係数(12地域別)、 $a_3$ : 2.0

# 貧困人口

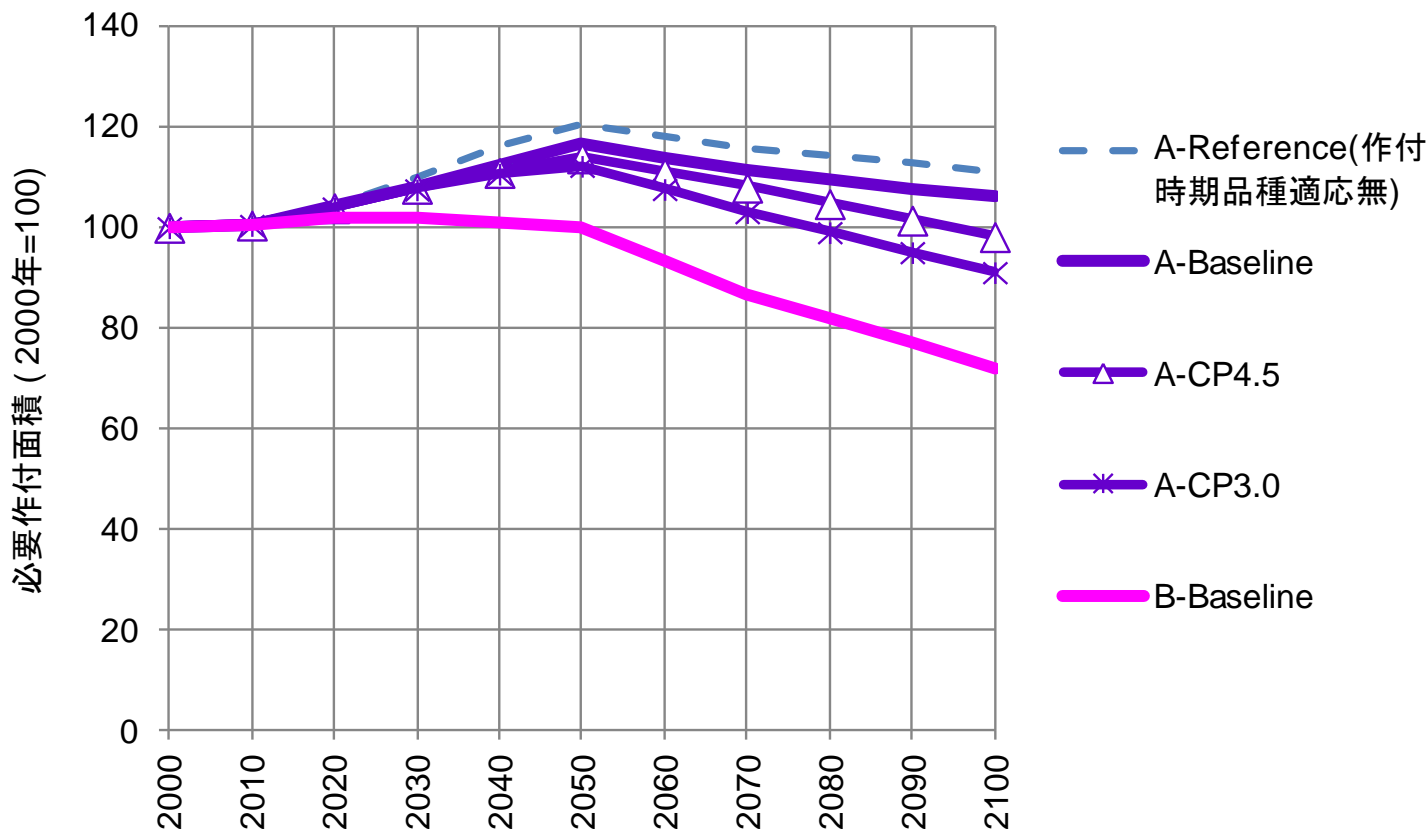


注: 貧困線一定ケース、貧困線変動ケースは、貧困の境界値として1.25(\$/日)一定("C")、1.25-2.83(\$/日)(石油実質価格変動による影響を考慮)をそれぞれ適用したケース("V")を示す。

将来に向けて、貧困人口は大幅に減少する。しかし、貧困の境界値が社会的条件によって上昇すると、貧困人口の減少度合いは小さくなる。CP3.0ではベースラインよりも、むしろ増加傾向。

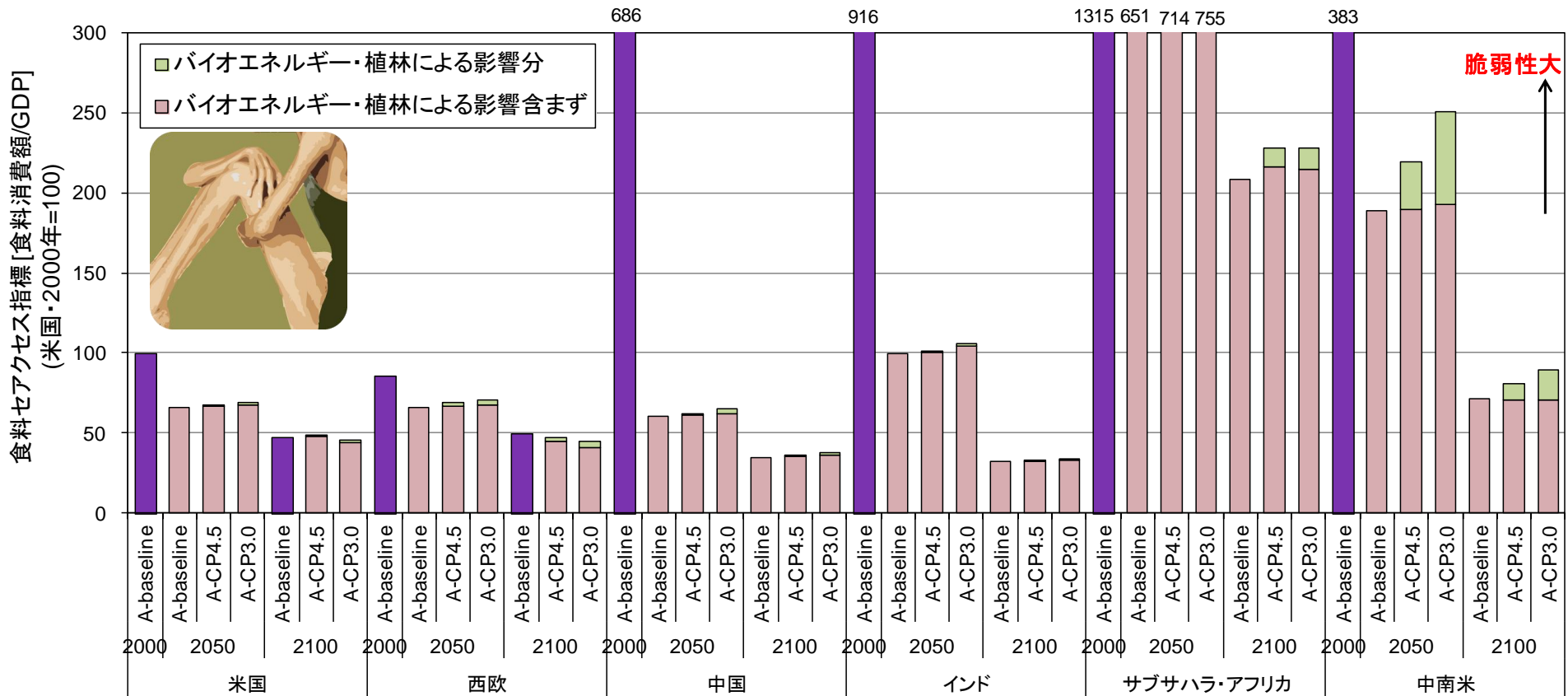
# 農作物の必要作付面積推移

## 食料需要を満たすために必要な農作物生産のための作付面積推移



食料需要を満たすために必要な作付面積は、シナリオA・リファレンスで、最大2050年頃に2000年より20%程度増加する可能性がある。濃度安定化ケースでは、その増加が抑制されるが、適応ケースでも、必要作付面積の増加が抑制される。なお、社会・経済シナリオの違いによる影響は、気候や適応策による影響以上に大きいと考えられる。

# 食料アクセス指標

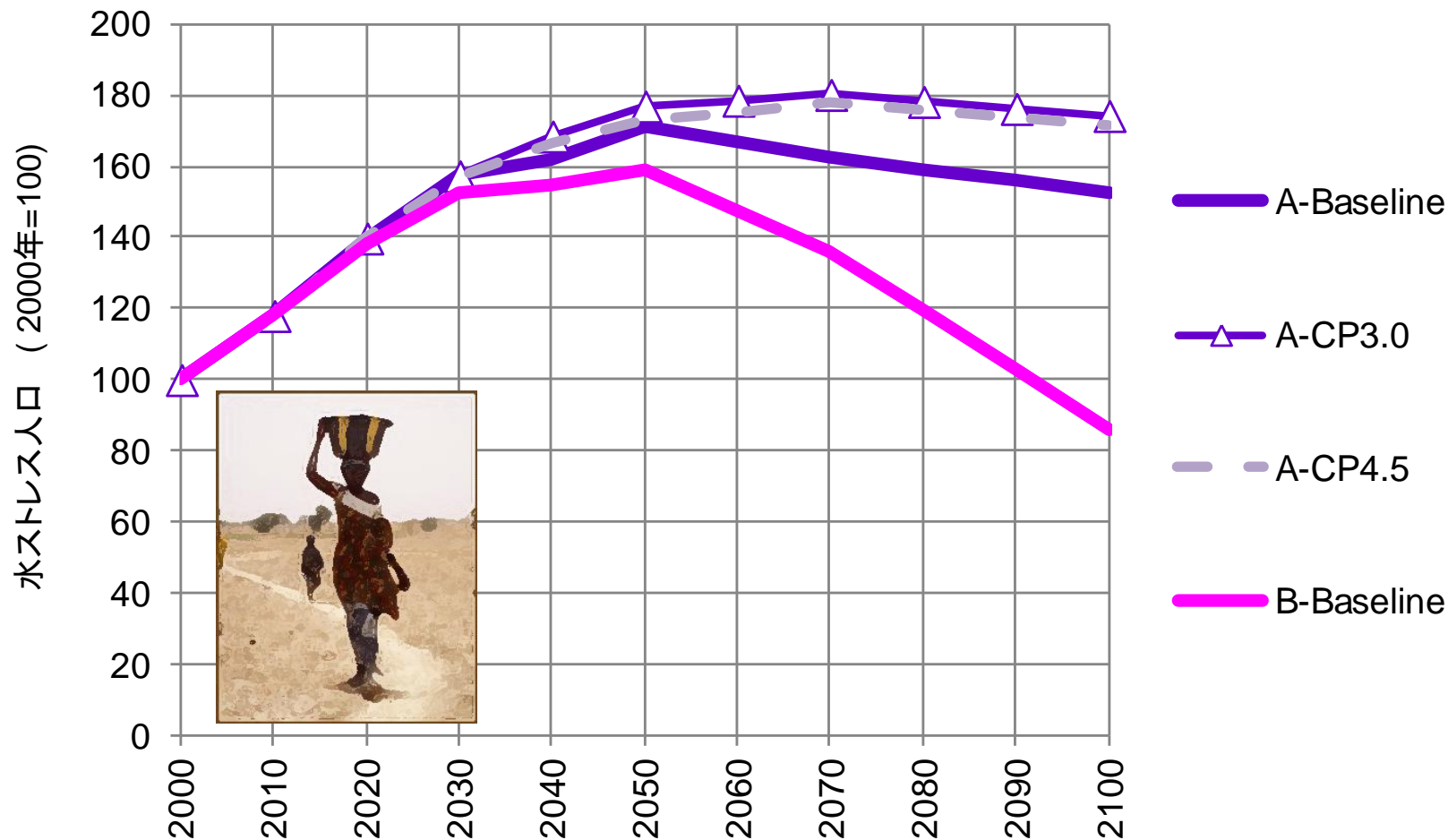


長期的には、食料価格上昇や食料消費量の増加よりも、経済成長(GDP)は十分に大きいため、どの地域においても食料アクセスの脆弱性は小さくなる。

長期的な指標推移と比較すると、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可能性。

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。

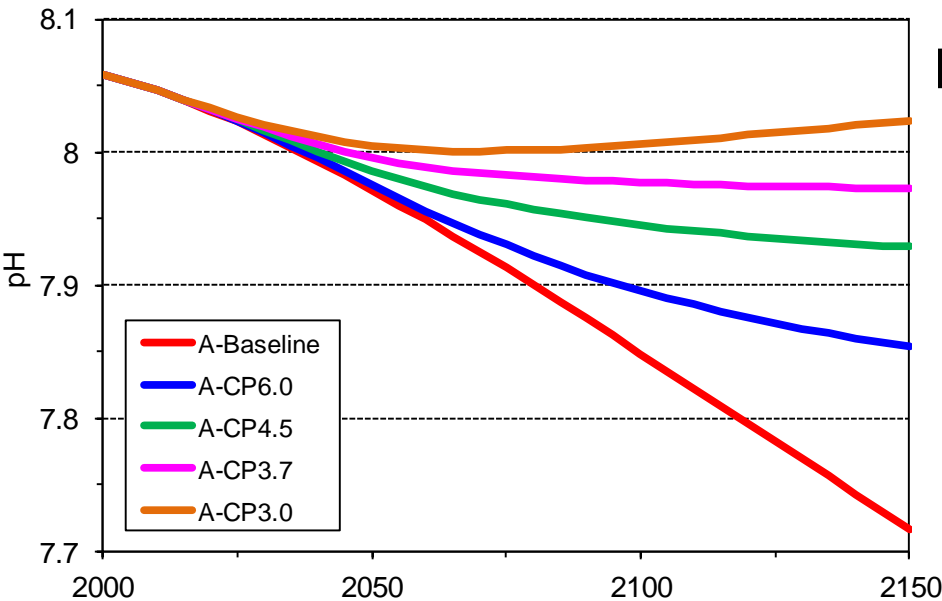
# 水ストレス人口の評価（世界全体、時系列）



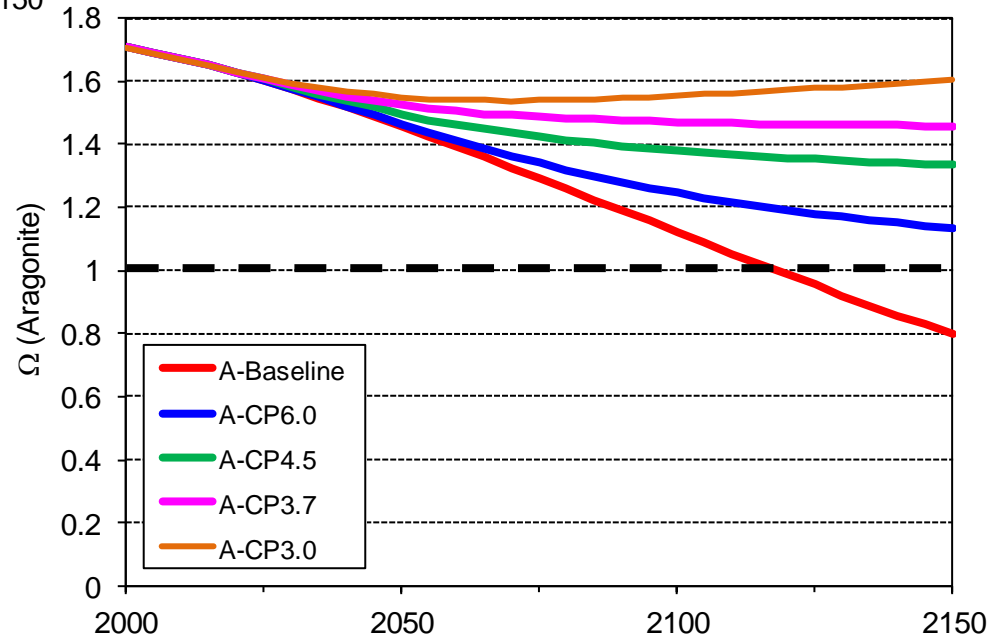
水ストレス人口は、人口増加に伴い、シナリオAのBaselineでは、2000年より80%程度増加する。排出削減を行っても、水ストレス人口は減少せず、むしろ増加する傾向あり。なお、社会・経済シナリオの違いによる影響は大きく、シナリオBでは2050年以降、人口減少に伴って、水ストレス人口も減少する、と見込まれる。

# 海洋酸性化

pH変化

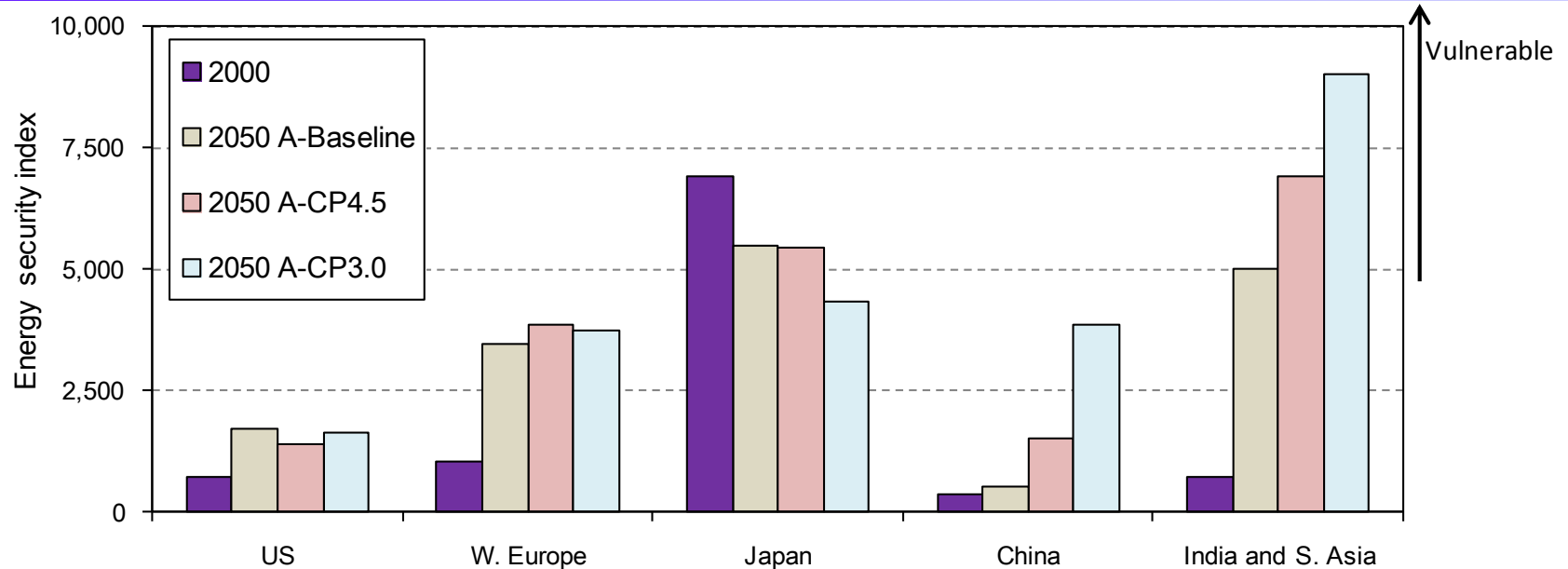


Aragonite (アラレ石: サンゴの骨格等を形成) の飽和度 (北緯60°)



炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) が組成の Aragonite (アラレ石) は、Baseline では、2100年以降、N60° 海域では溶解。  
 なお、温度によって飽和点が異なり、より温かい海域ではBaselineでも安定的と推計される。また、同じく  $\text{CaCO}_3$  組成の Calcite (方解石) は Aragonite よりも安定的

# エネルギーセキュリティの評価 —濃度安定化シナリオ別—



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

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

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。

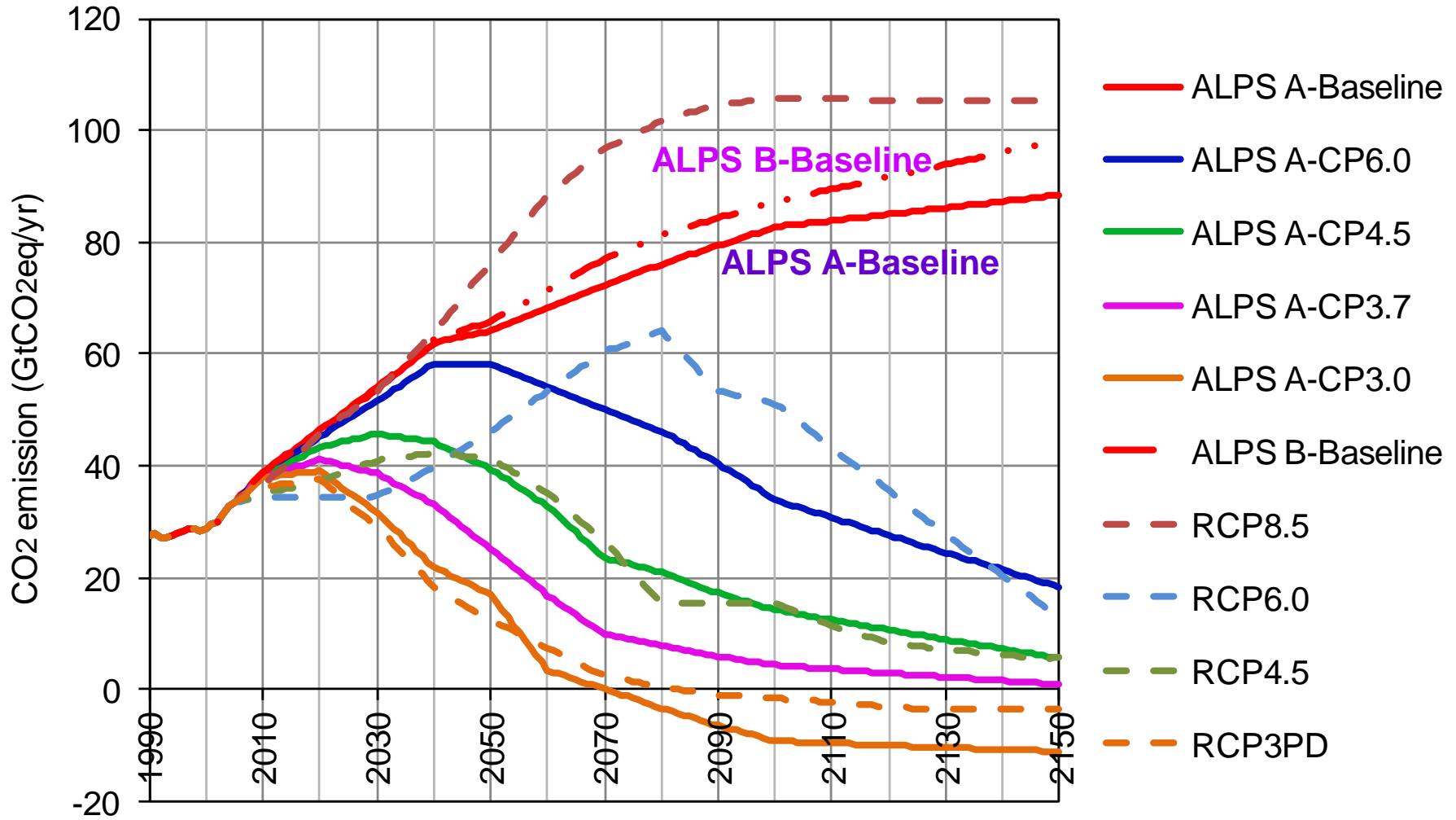
# 社会経済シナリオA, Bの分析

シナリオA：中位技術進展シナリオ

シナリオB：高位技術進展シナリオ

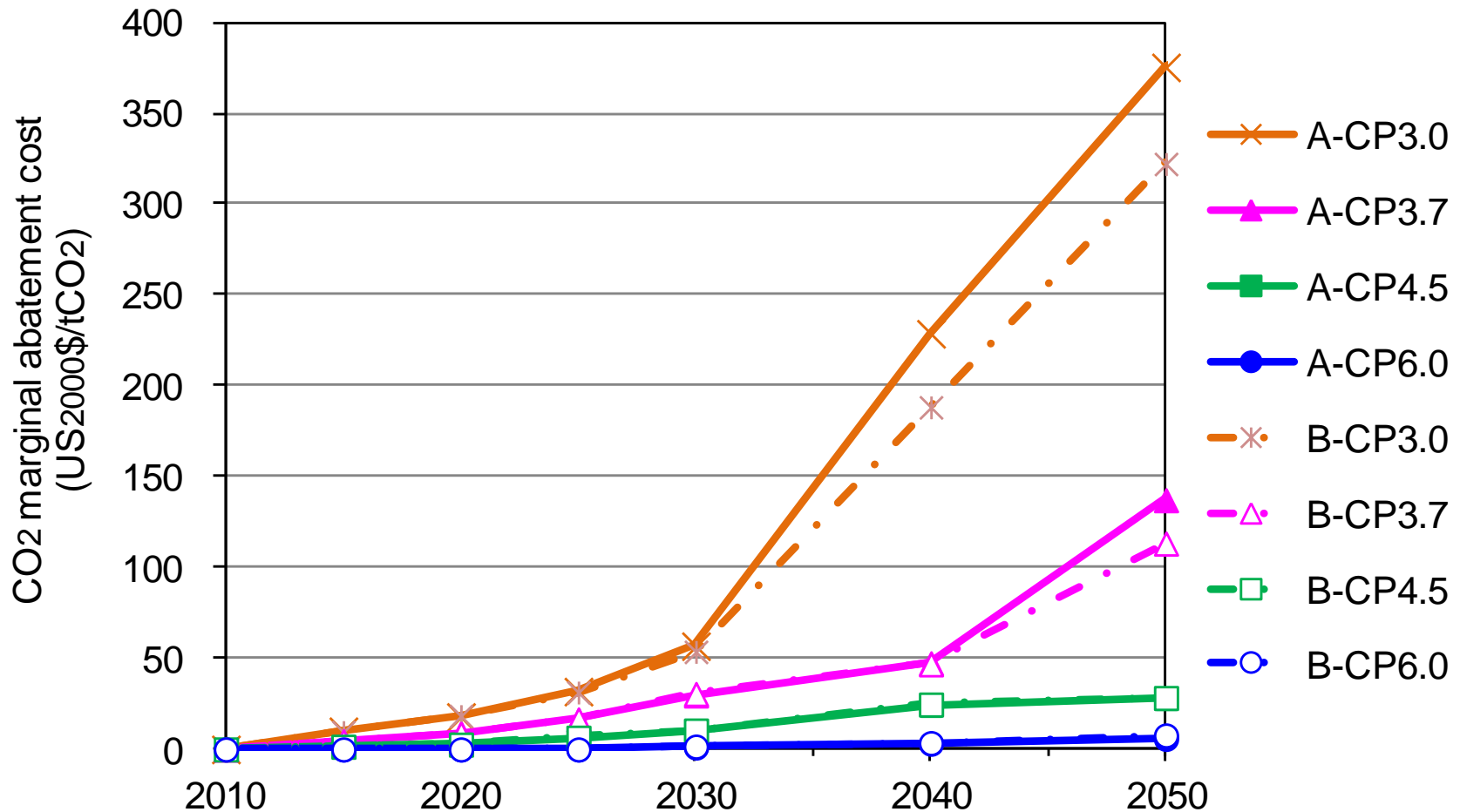


# ALPS CO<sub>2</sub>排出シナリオ



注)産業プロセスCO<sub>2</sub>および土地利用変化CO<sub>2</sub>排出を含む

# CO2限界削減費用（シナリオA, Bの比較）



大きめの経済成長を想定したシナリオBでは、ベースラインCO2排出量は、シナリオAよりも大きい傾向にあるものの、限界削減費用は、厳しい排出削減ケース（CP3.0, CP3.7）においては、長期的にはシナリオAよりも安価と算定された。理由は、人口減に伴う余剰耕地の増大（植林、バイオ燃料の利用余地大）、対策技術の進展、電化比率大などによる。

# 温暖化政策背景シナリオI, II, IIIの分析

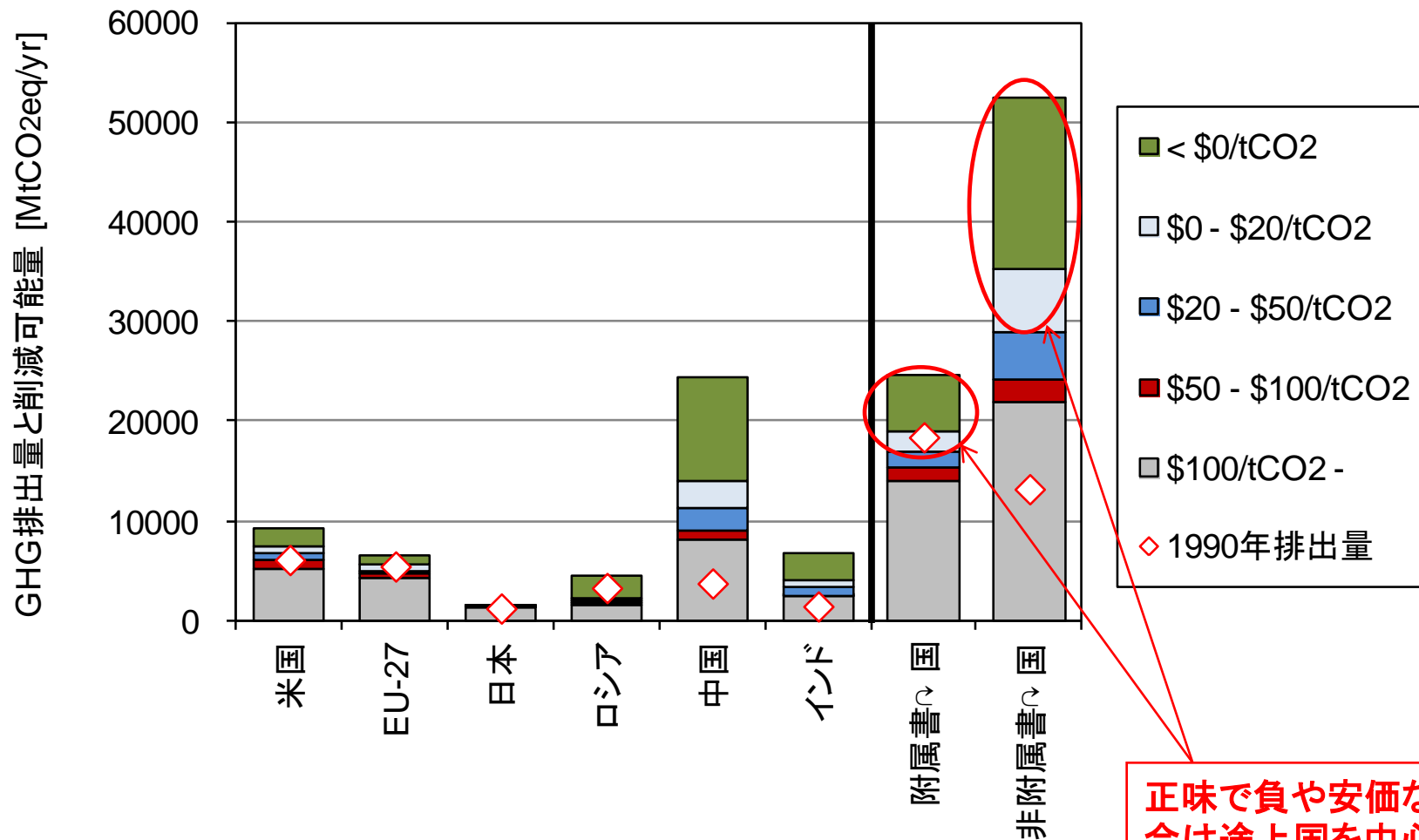
シナリオI：多目的多様性社会シナリオ

シナリオII：温暖化対策優先シナリオ（投資判断の主観的割引率が小さいケースを想定）

シナリオIII：エネルギー安全保障優先シナリオ（輸入石油・ガス価格がシナリオI比で25%程度高いケースを想定）

# 2020年における世界主要地域の限界削減費用別の温室効果ガス排出削減ポテンシャル

技術固定ケースの2020年排出量(2005年時点の温暖化対策レベルが2020年まで全く変化しないと仮想的に想定した排出量)からの削減可能量



正味で負や安価な削減費用機会は途上国を中心に多い。

# 温暖化政策実施における背景状況に関するシナリオ：技術普及障壁の想定

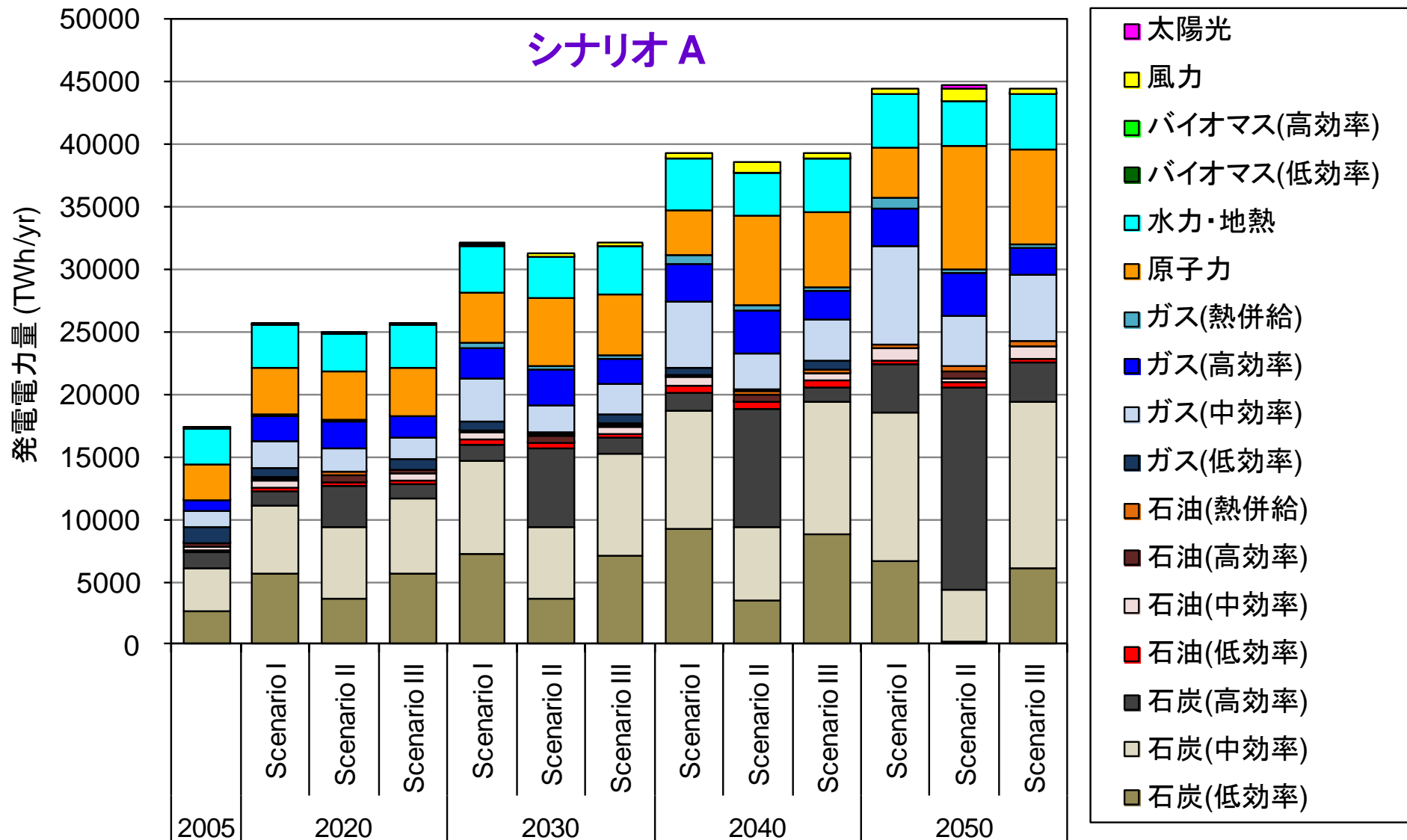
	シナリオI・シナリオIII 現実社会で観測される 割引率		シナリオII 温暖化対策において 理想に近い割引率	
	上限	下限	上限	下限
発電部門	8%	20%	5%	8.5%
その他エネルギー転換部門	15%	25%	7%	8.5%
エネルギー多消費産業部門	15%	25%	7%	8.5%
運輸(自動車)部門	30%	45%	10%	15%
民生・業務部門	30%	55%	10%	15%

注) 一人当たりGDPに応じ、地域別・時点別に表の上下限の範囲内で想定

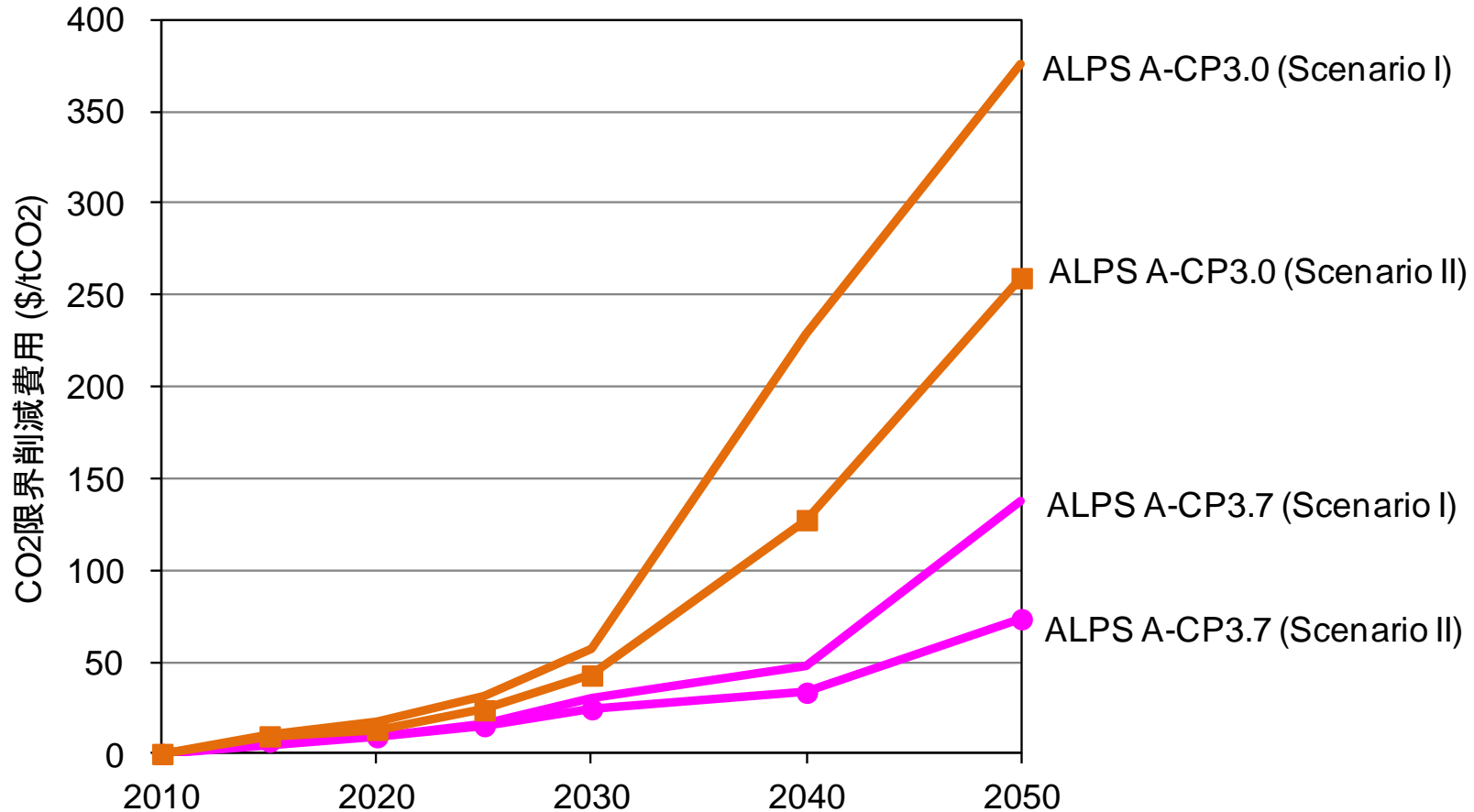
技術導入・選択において観測される主観的割引率は、国、部門、技術の種類などによって様々だが、市場の利子率よりもずっと高い。温暖化対策のためには、長期の投資判断(低い主観的割引率)がなされる社会への意向が望まれる。シナリオIIでは、より低い主観的割引率を想定。一方で、現実社会は多目的なため、このように高い割引率がとられている面もあり、単に非合理的と評価することも不適切。

# 世界の発電電力量のシナリオ間比較

## —シナリオA、ベースライン—

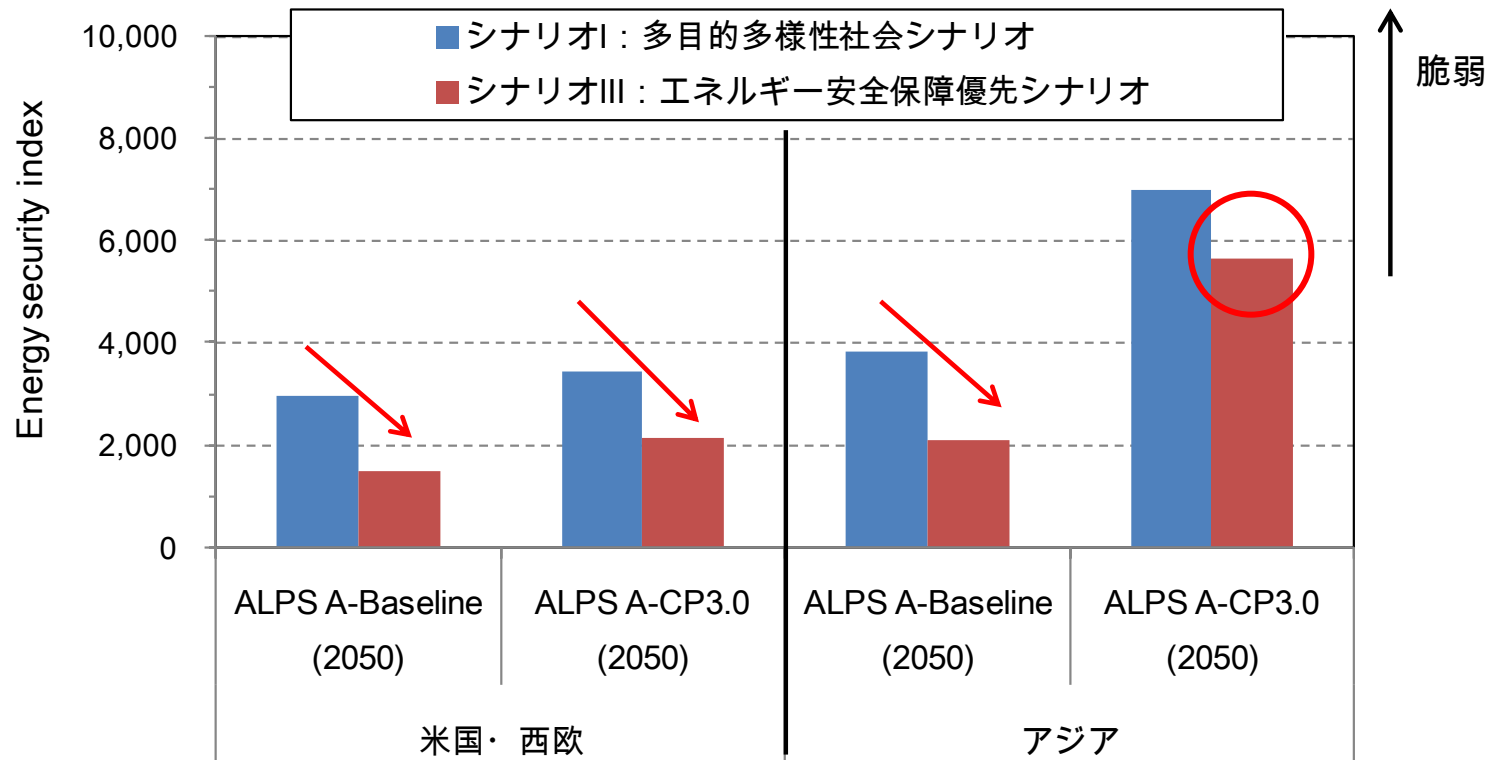


# CO<sub>2</sub>限界削減費用 —シナリオIとIIの比較—



現実社会では、技術普及を妨げる様々な障壁が存在しており、炭素価格付けでは相当高い炭素価格をつけない限り大きな削減は困難。長期の投資判断ができるような社会変化が重要。一方で、技術普及障壁除去に力点をおいたボトムアップ的なアプローチによって、シナリオIIのような対応は可能であり、きめ細かい基準策定などの政策・対応は重要。

# エネルギーセキュリティの評価（シナリオIとIIIの比較）

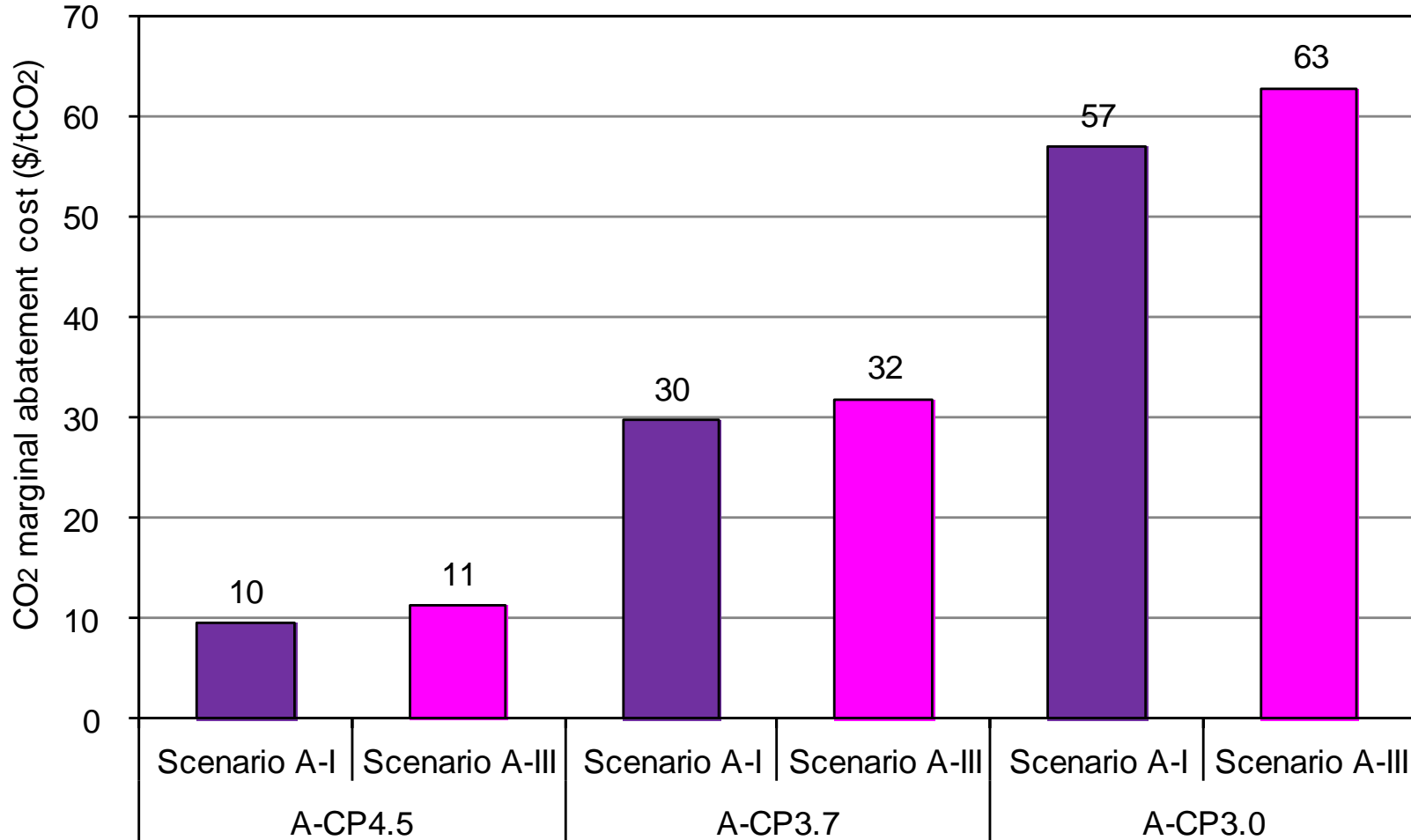


- 米国・西欧において、炭素制約の有無に関わらず、シナリオIIIにおいて脆弱度が低下する結果。
- ただし、アジア地域はCP3.0という厳しい炭素制約下で脆弱度高止まりする。これはアジア域内のガス資源が相対的に少なく、貯留可能量も相対的に少ないため、輸入ガスに依存し続けるため。



# 限界削減費用の比較(シナリオIとIIIの比較)

## —2030年—



エネルギー安全保障優先のシナリオIIIでは、エネルギー安全保障への配慮によって、若干、限界削減費用が増大。



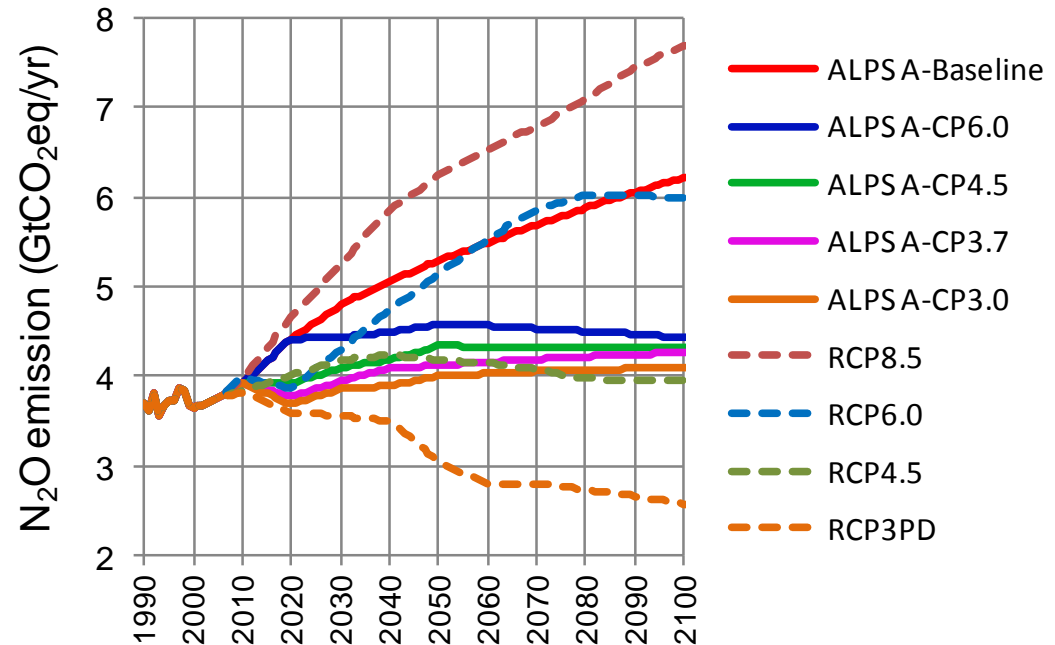
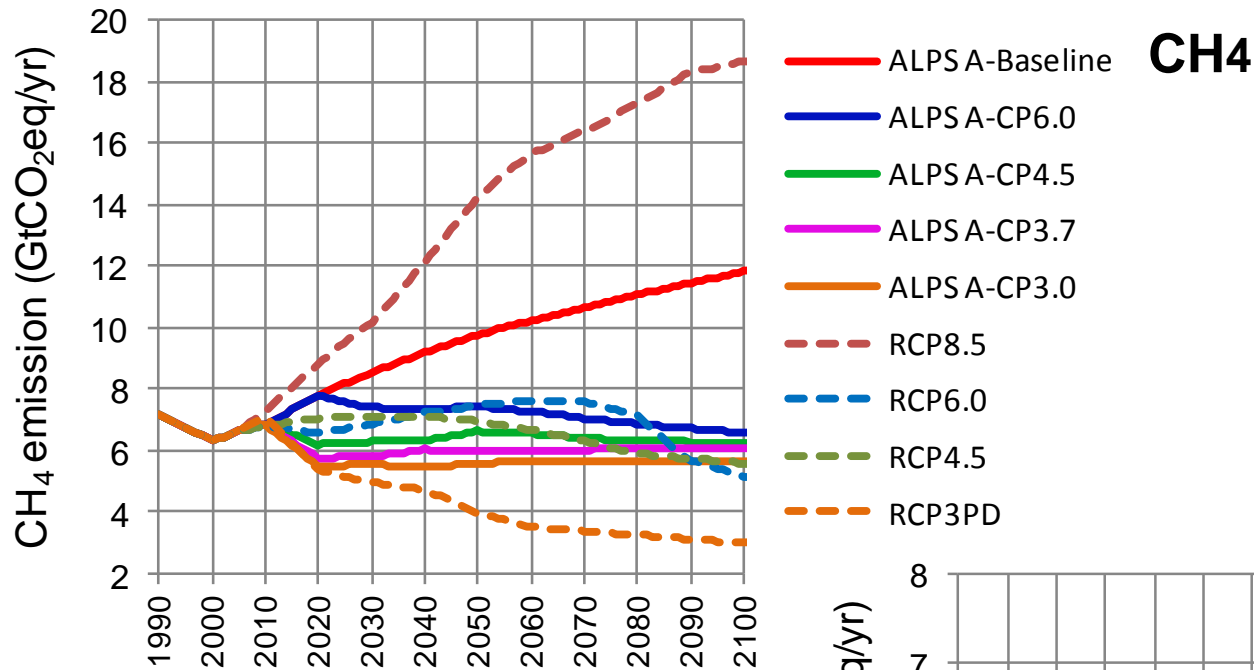
# まとめ (1/2)

- ◆ 地球温暖化に関して、例えば、以下のようなことが一般的に信じられていることも多い。
  - 温暖化によって食料が不足する、食料価格が上がって飢餓が増える。
  - 温暖化によって水不足が深刻になる。
  - 温暖化対策を進めれば、エネルギーセキュリティが増す。
  - 持続可能な発展のためには、温暖化対策は不可欠で厳しい排出削減が必要
- ◆ すべて、部分的には正しい指摘ではあるが、ALPSにおけるシナリオの分析結果からは、そう単純に言うことはできないことが示される。
- ◆ 厳しい排出削減を行い過ぎれば、却ってこれらを悪化させる恐れも多く、地域・国によって状況は様々。
- ◆ 指標によっては、温暖化影響よりも、社会経済変化の影響が圧倒的に大きいと見られるものも多い。

- ◆ 経済成長は必ずしも持続可能な発展を阻害しない。経済成長は持続可能な発展のために重要である。
- ◆ 様々なバランスを考えると、産業革命以前比 $2^{\circ}\text{C}$ 以内とするCP3.0シナリオは、厳しい排出削減過ぎると見られる。CP3.7~4.5シナリオ程度（2100年に $+2.3\sim 2.8^{\circ}\text{C}$ 程度、2150年に $+2.5\sim 3.0^{\circ}\text{C}$ 程度）が適当なレベルではないか。
- ◆ 適応策の余地は多くあり、緩和策のみならず適応策も適切に組み合わせることが重要
- ◆ 全体像を把握することは重要だが、分野、地域によって利害は様々であり、個別分野毎のきめ細かい対応、国際協力が必要。
- ◆ 本研究では十分な評価ができていないが、更に国・地域の中での分布を把握することは重要と考えられる。持続可能な発展、将来にわたって、より幸福な社会を実現するためには、富の再分配の失敗などからもたらされる問題に特に留意が必要と考えられる。

# 付 録

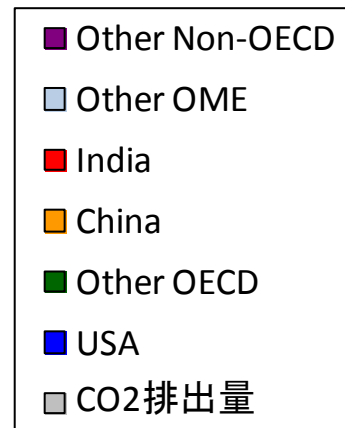
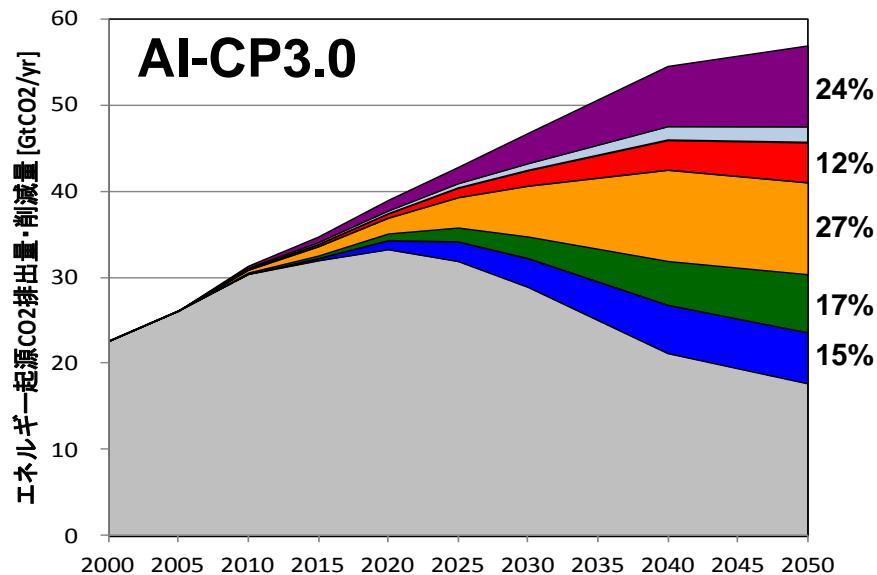
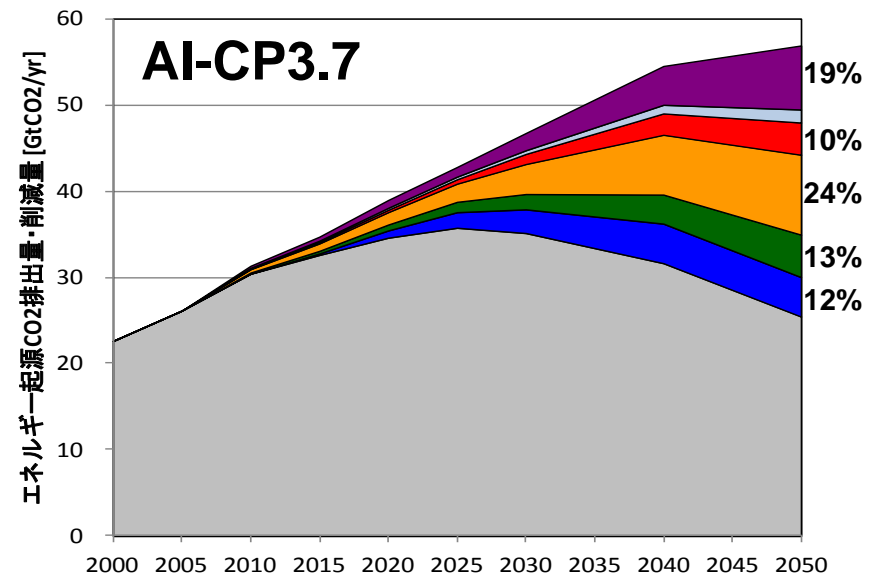
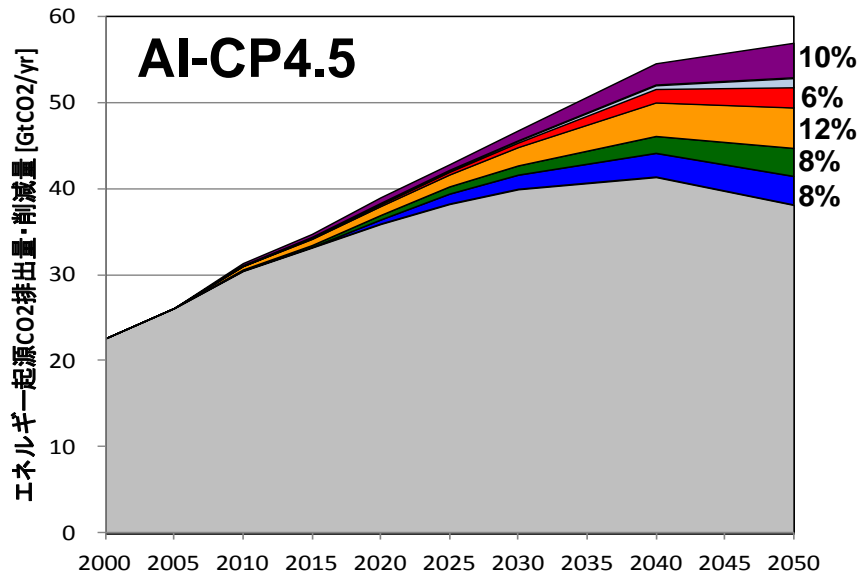
# 世界のCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O排出量



RCP3PDシナリオだけは、  
CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oでかなりの削減が  
見込まれている。  
RITE ALPSの分析ではそのよ  
うな大きな削減は困難と判断

**N<sub>2</sub>O**

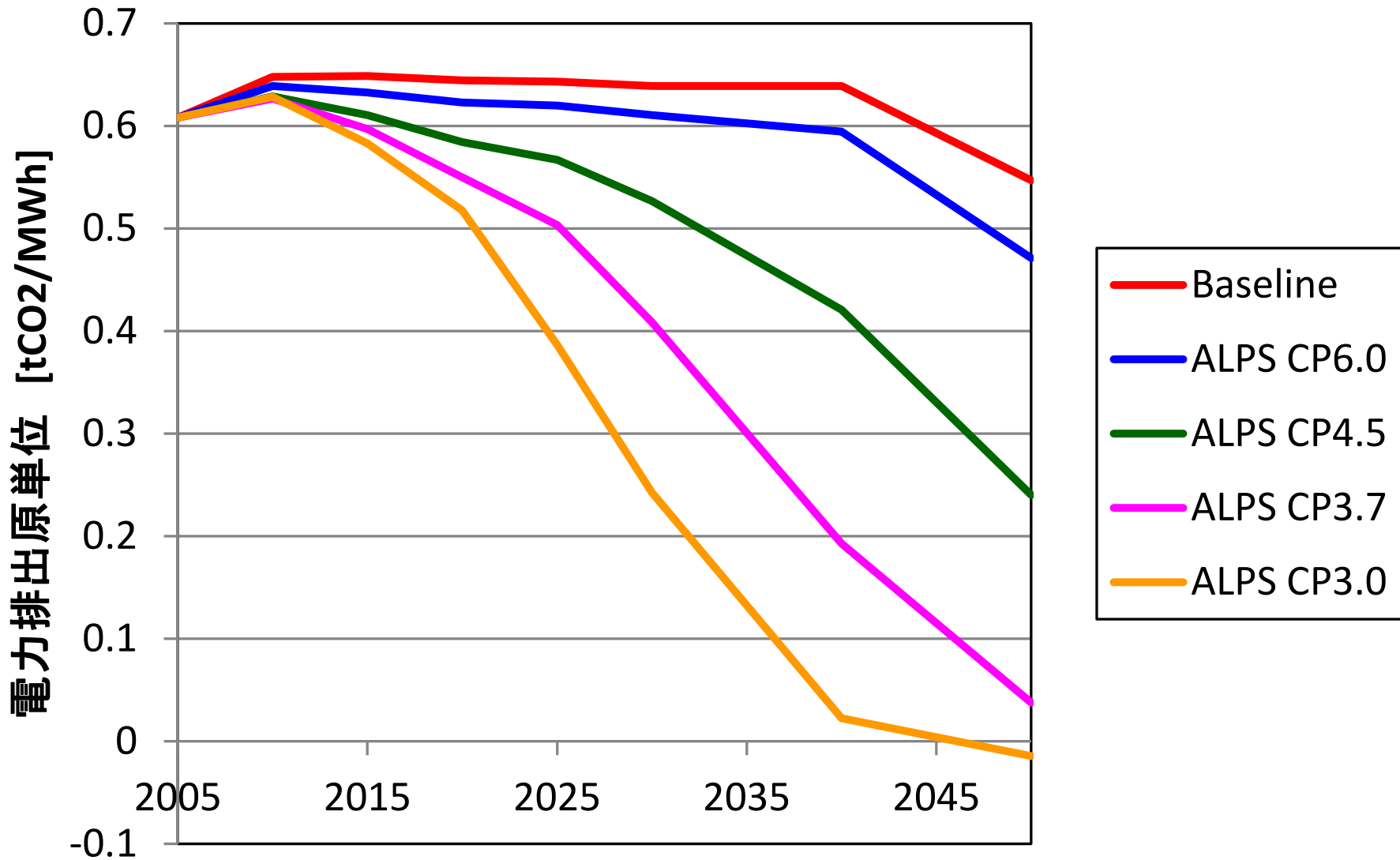
# ベースラインからの地域別CO2排出削減量 (エネルギー起源CO2のみ)



注1) グラフ横の数値は2050年の削減率(すべてのシナリオでCP3.0における総削減量に対する比で表示)

注2) ベースラインからの削減効果

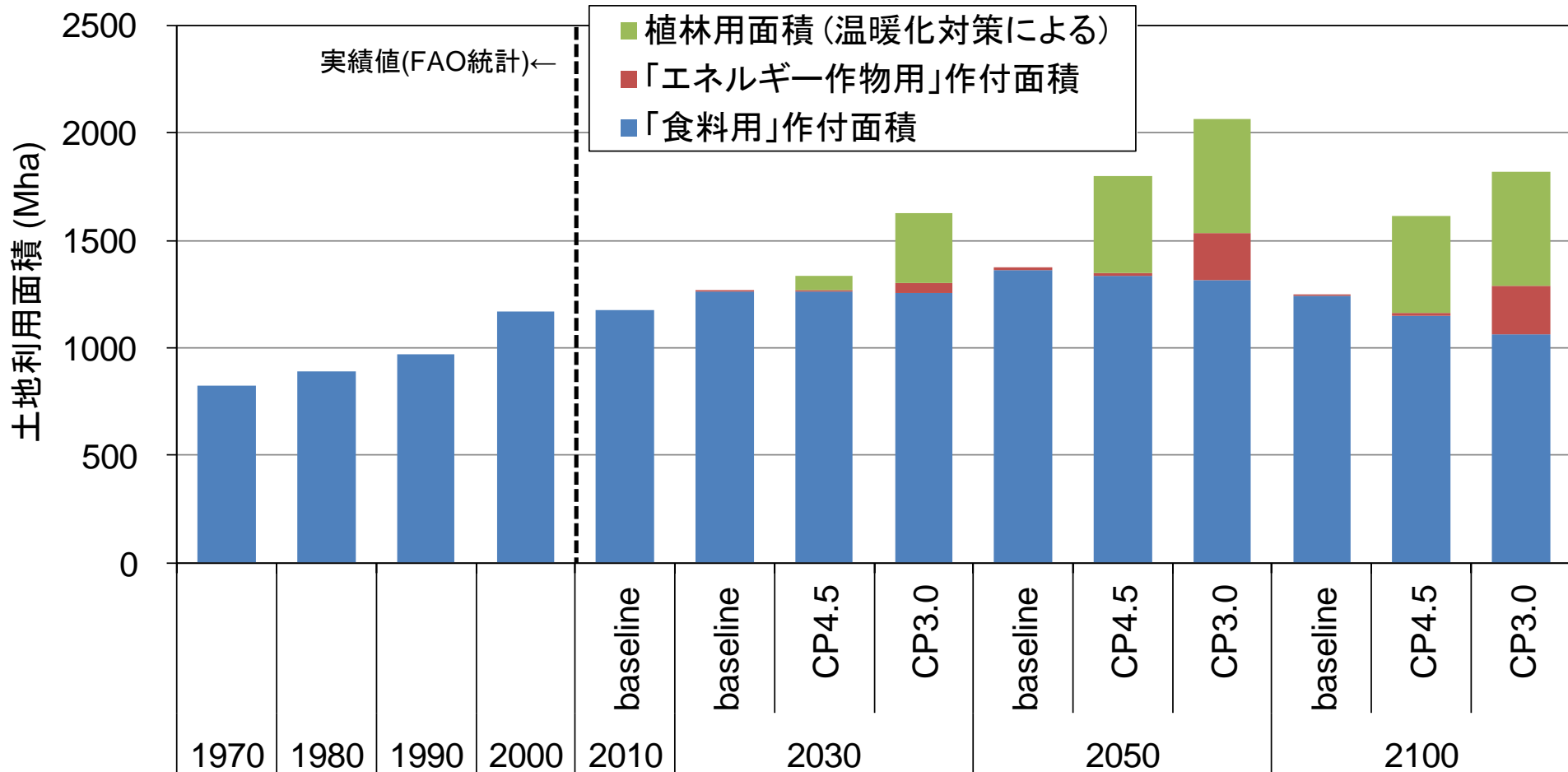
# 世界平均電力排出原単位(シナリオA-I)





# 土地利用変化

## 食料用とバイオエネルギー・植林用の土地利用面積変化(世界合計) シナリオA



注: 休耕地を含まない。