

地球温暖化の予測シナリオと 将来のエネルギー需給

核融合エネルギーフォーラム
ITER機構発足記念シンポジウム講演

2007年12月19日 内幸町ホール

(財)日本エネルギー経済研究所

山下 ゆかり

本日のポイント

- 地球温暖化が進んでおり、人間の経済活動が原因である可能性がかなり高い。
- 今後20～30年程度で全地球的に大規模な排出削減を行うことが極めて重要である。
- 今すぐ利用できる既存技術の最大限の活用と、今後数十年で実用化される技術により温暖化ガスの濃度安定化は可能である。
- 革新的技術の実用化の確実な実現が鍵。

IPCC第4次報告の概要

1. 気候変化とその影響に関する観測結果
2. 変化の原因
3. 予測される気候変化とその影響
4. 適応と緩和のオプション
5. 長期的な展望

IPCCとは

IPCC: 気候変動に関する政府間パネル

- ・ **設立** 世界気象機関(WMO)及び国連環境計画(UNEP)により1988年に設立された国連の組織
- ・ **任務** 各国の政府から推薦された科学者の参加のもと、地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済的な評価を行い、得られた知見を政策決定者を始め広く一般に利用してもらうこと
- ・ **構成** 最高決議機関である総会、3つの作業部会及びインベントリー・タスクフォースから構成

IPCCの組織

IPCC
総会

第1作業部会(WG I): 自然科学的根拠
気候システム及び気候変化についての評価を行う。

第2作業部会(WG II): 影響、適応、脆弱性
生態系、社会・経済等の各分野における影響及び適応策についての評価を行う。

第3作業部会(WG III): 気候変動の緩和(策)
気候変化に対する対策(緩和策)についての評価を行う。

インベントリー・タスクフォース
各国における温室効果ガス排出量・吸収量の目録に関する計画の運営委員会。

第4次評価報告書 (AR4) とは

- IPCCは、これまで3回、温暖化の予測・影響・対策等に関する評価報告書を公表。
- 第3次評価報告書 (TAR) 完成後、2002年4月に第4次評価報告書 (AR4) の作成が決定。

AR4の作成には、

- 3年の歳月
 - 130を超える国の450名を超える代表執筆者
 - 800名を超える執筆協力者
 - 2,500名を超える専門家の査読
- を経て、本年順次公開される。

これまでに公開されたIPCC評価報告書

1990年: 第1次評価報告書 (FAR)



1995年: 第2次評価報告書 (SAR)



2001年: 第3次評価報告書 (TAR)



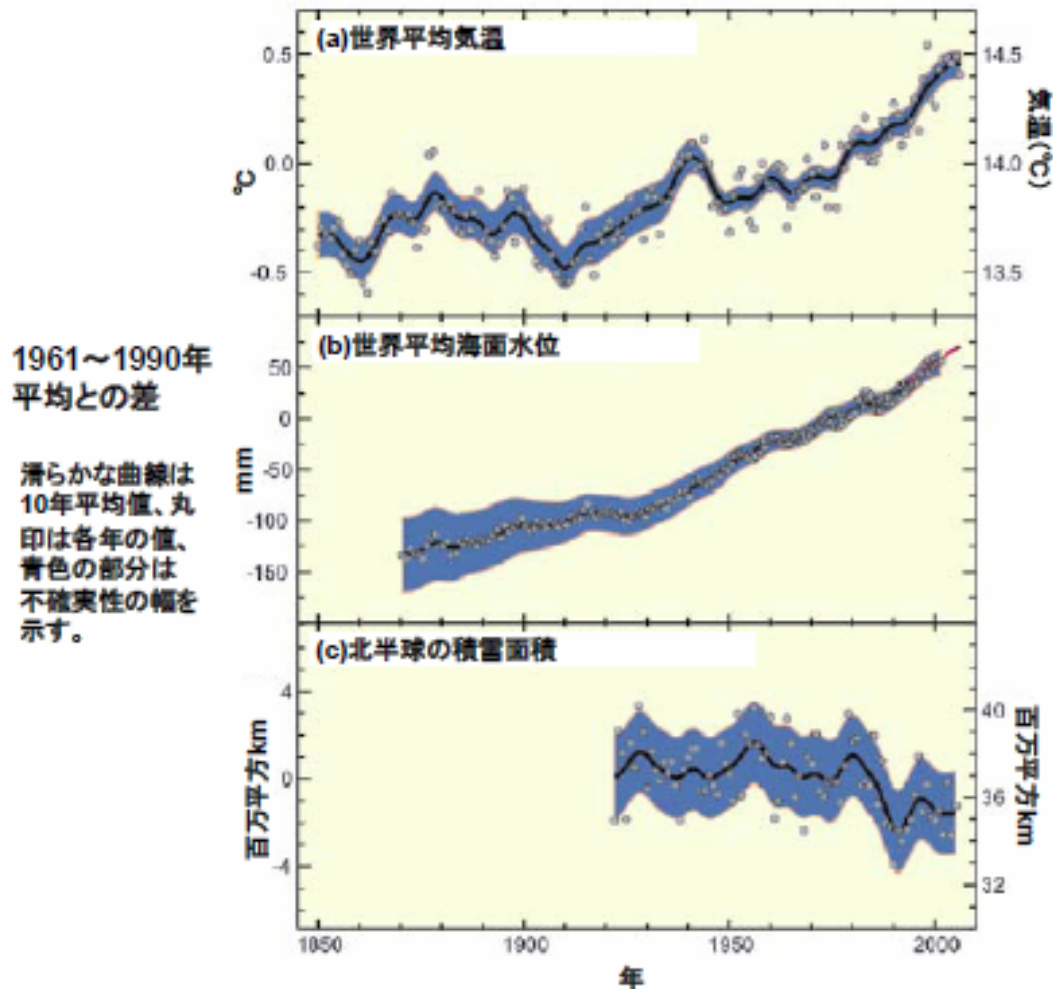
2007年: 第4次評価報告書 (AR4)

気候システムの温暖化(観察)

- ・気候システムの温暖化には疑う余地がない。
- ・このことは、大気や海洋の世界平均温度の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均海面水位の上昇が観測されていることから、今や明白である。

出典:AR4 SPM

世界平均地上気温、世界平均海面水位、北半球の積雪面積



山岳氷河と積雪(観察)

- ・ 山岳氷河と積雪は北半球と南半球の両方で減少している。

出典:AR4 SPM

アラスカ:ムーア氷河



出典:

(左側)Field, W.O. 1941. Muir Glacier: From the Online glacier photograph database. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Digital media.

(右側)Molnia, B.F. 2004. Muir Glacier: From the Online glacier photograph database. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Digital media.

人間活動の影響(1)

- 20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇は、人為起源の温室効果ガスの増加による可能性がかなり高い。★

TARの「可能性が高い」より、さらに踏み込んだ表現となった。

- 人間活動の影響は、海洋の昇温、大陸規模の平均気温、極端な気温といった他の側面にも及んでいる。

出典:AR4 SPM

人間活動の影響(2)

- 過去50年にわたって、南極大陸を除く各大陸において、平均すると、人為起源の顕著な温暖化が起こった可能性が高い。

出典:AR4 SPM

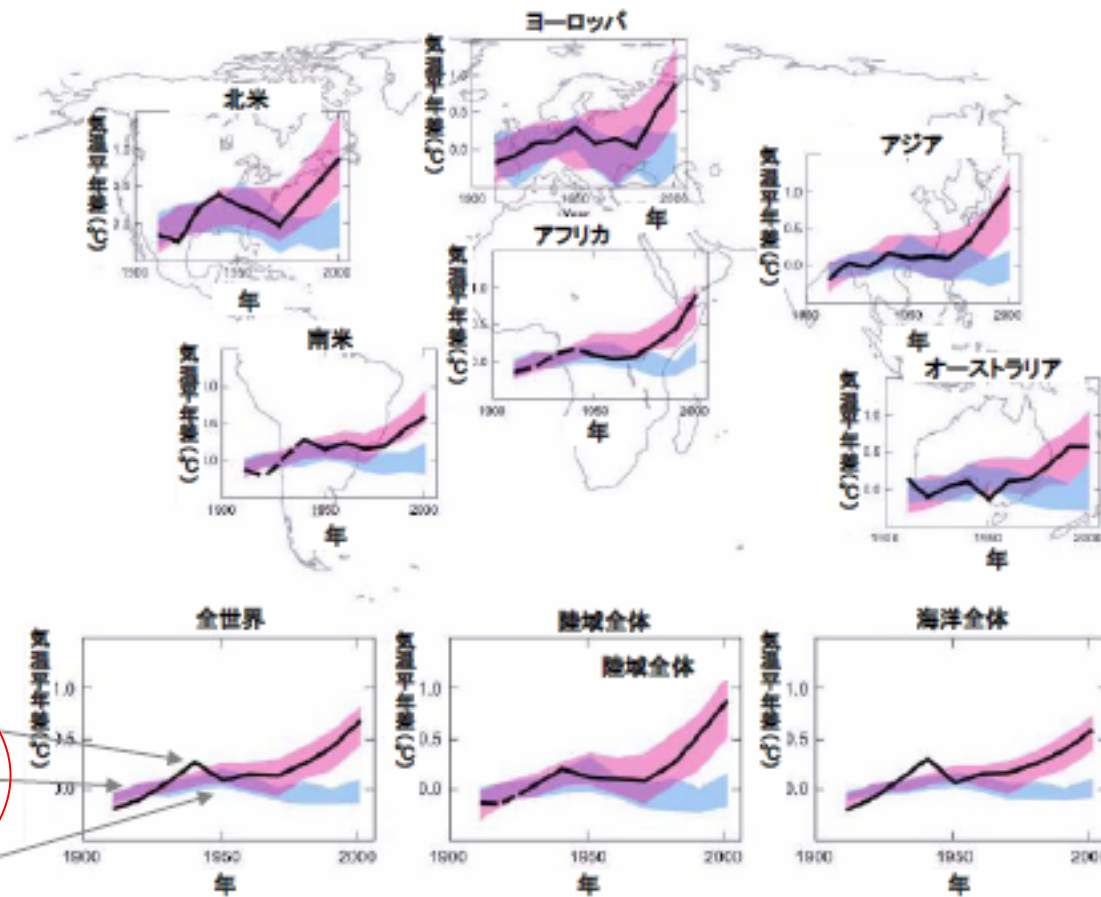
自然の影響だけでなく人為影響を含むほうが、実際の観測結果と合致する。

黒:観測結果
(破線は観測面積が全体の50%未満)

赤帯:自然と人為の強制力※
によるシミュレーション

青帯:自然の強制力のみ
によるシミュレーション

1906～2005年の世界規模及び大陸規模の10年平均地上気温の変化
(1901～1950年の平均値が基準)とモデルシミュレーションの比較



※ 正の放射強制力は地表面を暖め、負の放射強制力は地表面を冷やす。地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力のことで、1平方メートルあたりワット数で表される。

出典:AR4 SPM 図4

気候変動予測シナリオ

21世紀末までの気温上昇

4.0度

○ A1 「高成長型社会シナリオ」

- ・世界中がさらに経済成長し、教育、技術等に大きな革新が生じる。

A1FI : 化石エネルギー源を重視

A1T : 非化石エネルギー源を重視
(新エネルギーの大幅な技術革新)

A1B : 各エネルギー源のバランスを重視

○ A2 「多元化社会シナリオ」

- ・世界経済や政治がブロック化され、貿易や人・技術の移動が制限。
- ・経済成長は低く、環境への関心も相対的に低い。

1.8度

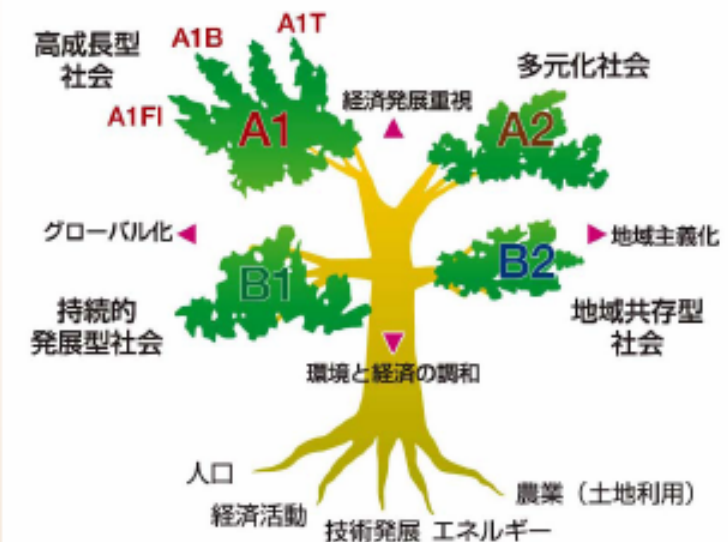
○ B1 「持続的発展型社会シナリオ」

- ・環境の保全と、経済の発展を地球規模で両立する。

○ B2 「地域共存型社会シナリオ」

- ・地域的な問題解決や世界の公平性を重視し、経済成長はやや低い。
- ・環境問題等は、各地域で解決が図られる。

◆ 排出シナリオの概念図



出所) IPCC第三次評価報告書

出典: 環境省「地球温暖化パネル」

※これらのシナリオは、追加的な温暖化対策は含んでいない。

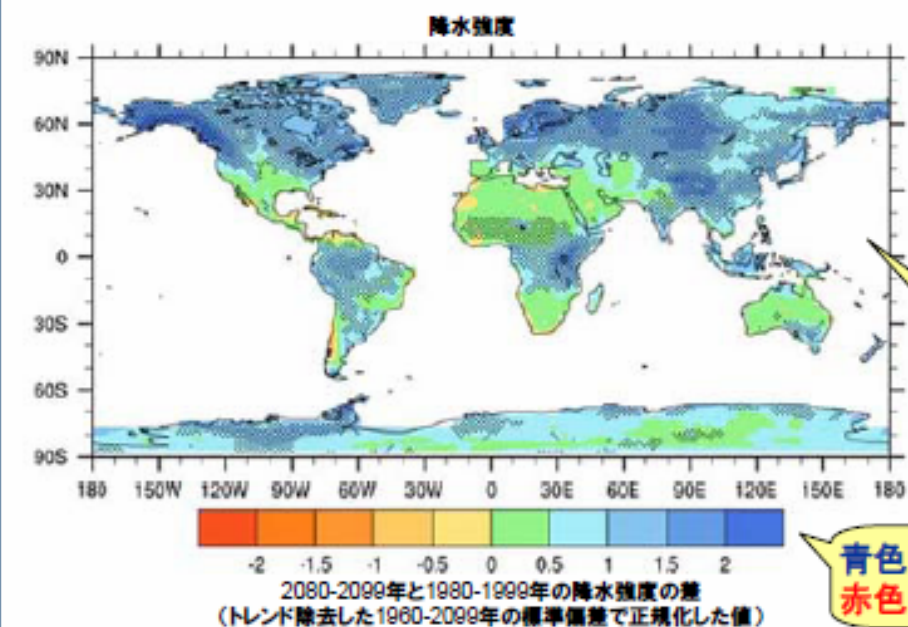
洪水と干ばつ(将来の影響)

- 干ばつを受ける地域が増加する可能性が高い。
また、豪雨の頻度が増す可能性が非常に高く★、
これにより洪水リスクが増加する。

新発見

出典: AR4 SPM

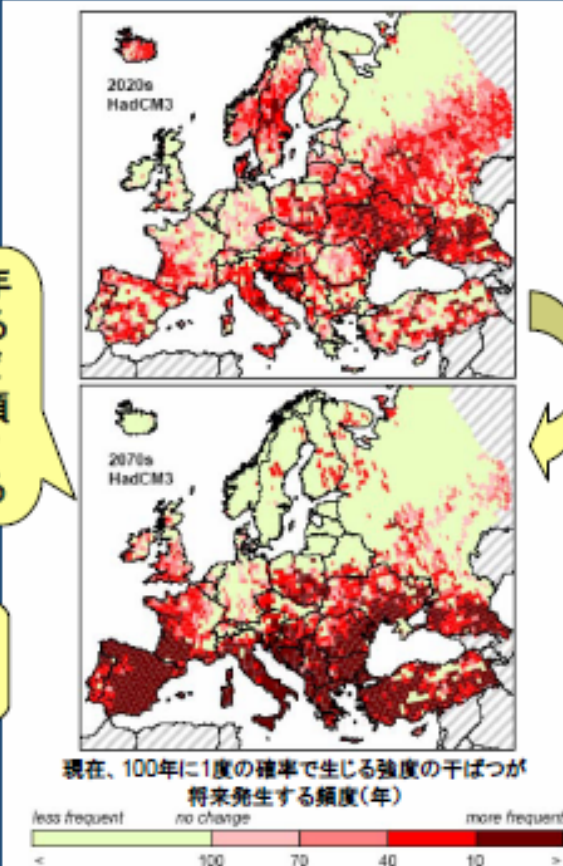
降水の強度の変化(1980-1999年と2080-2099年との比較)



現在、100年に1回起きる程度の干ばつが、より頻繁に発生するようになる

多くの地域で降水の強度が高まる

干ばつが発生する頻度の変化



出典: Meehl, G.A., J.M. Arblaster, and C. Tebaldi, C. (2005) Understanding future patterns of precipitation extremes in climate model simulations. Geophysical Research Letters, 32, L18719. Copyright (2005) American Geophysical Union. Reproduced by permission of American Geophysical Union

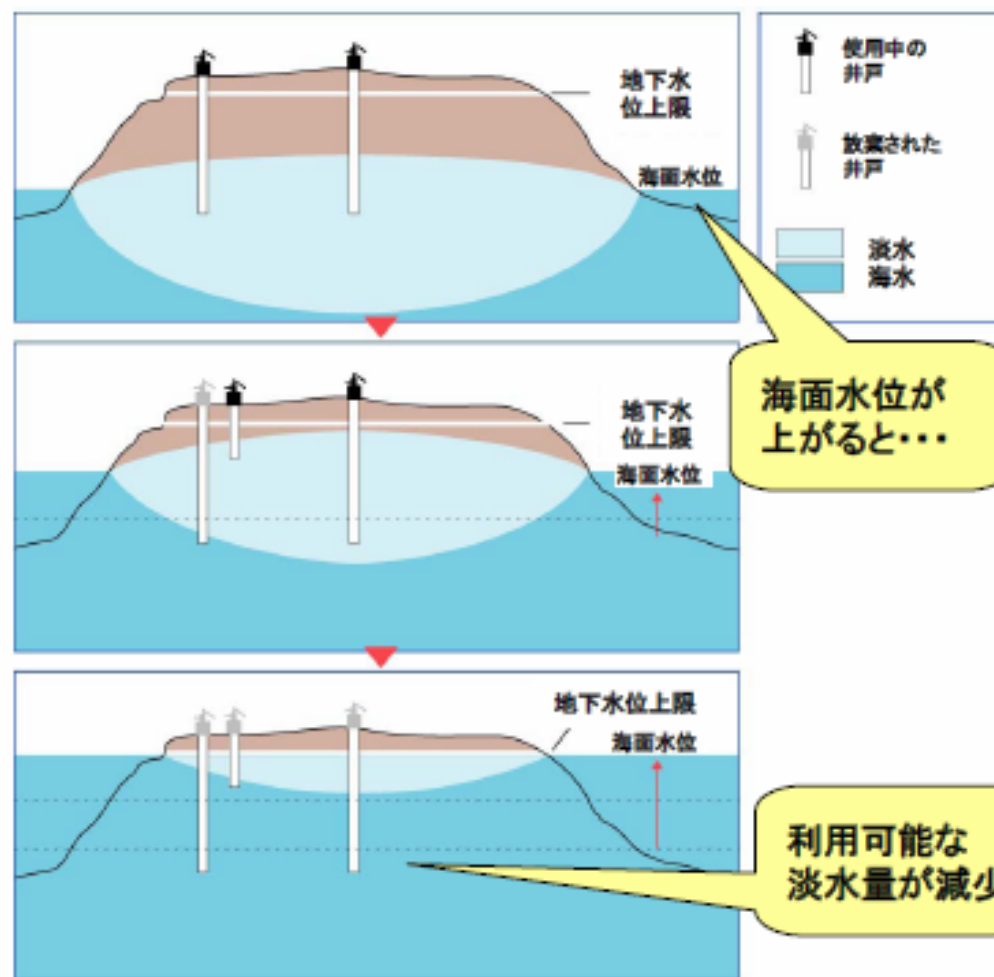
出典: Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, H. and Kaspar, F., 2005b: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated assessment. Climatic Change, 75, 273-299.

小島嶼の例(水資源の減少)

■ 気候変化により、今世紀半ばまでに、例えば、カリブ諸島や太平洋諸島等の多くの小島嶼において、小雨季の需要に満たないほど、水資源が減少すると予測される。 出典: AR4 SPM

※サンゴ礁からなる島の地層は、透水性の高い石灰岩で形成されているため、雨が川に流出せず、地下にレンズ状になってたまる。これを淡水レンズと呼ぶ。

海面上昇による淡水レンズ*への影響



出典: 国立環境研究所地球環境研究センター(2001)Data Book of Sea-Level Rise 2000

長期的な安定化シナリオ(1)

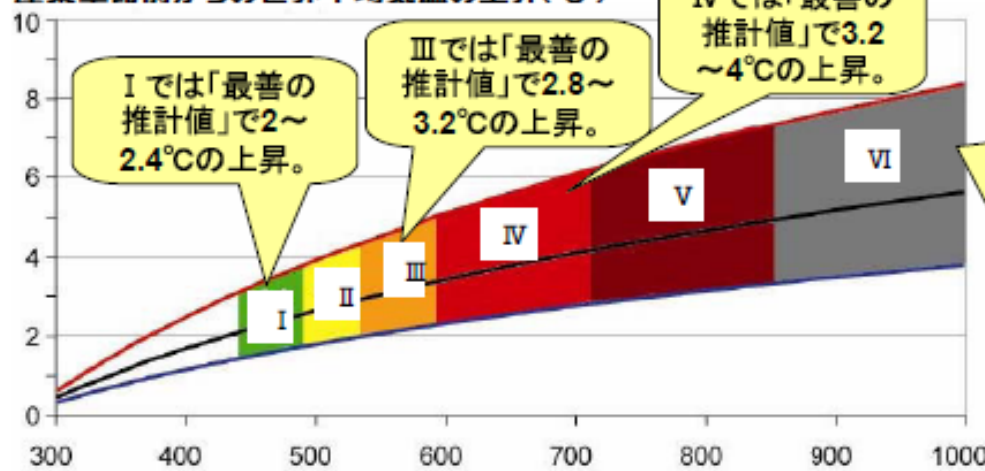
- 安定化レベルが低いほど、排出量のピークと減少を早急に達成しなければならない。■ ★★★★★
- 低いレベルでの安定化を達成するためには、今後20～30年での緩和努力が大きな影響を持つ。■ ★★★★★

出典: AR4 SPM

※1 大気中の二酸化炭素濃度が産業革命前の2倍になった場合の気温の変化。
 ※2 正の放射強制力は地表面を暖め、負の放射強制力は地表面を冷やす。地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力のことで、1平方メートルあたりのワット数で表される。
 ※3 「最善の推計値」による産業革命前と比べた場合の世界平均気温の上昇幅。

6つの安定化目標とそれらの世界平均気温上昇値との関係

産業革命前からの世界平均気温の上昇(°C)



赤線: 気候感度※1 4.5°C
 の「推計範囲の上限」
 黒線: 気候感度※1 3°C
 の「最善の推計値」
 青線: 気候感度※1 2°C
 の「推計範囲の下限」

温室効果ガス安定化
 濃度(ppmCO₂換算)

カテゴリー	放射強制力※2	CO ₂ 濃度	温室効果ガス濃度 (CO ₂ 換算)	産業革命前からの気温上昇※3	CO ₂ 排出がピークとなる年	2050年のCO ₂ 排出 (2000年比、%)	シナリオの数
	W/m ²	ppm	ppm	°C	年	%	
I	2.5 - 3.0	350 - 400	445 - 490	2.0 - 2.4	2000 - 2015	-85 to -50	6
II	3.0 - 3.5	400 - 440	490 - 535	2.4 - 2.8	2000 - 2020	-60 to -30	18
III	3.5 - 4.0	440 - 485	535 - 590	2.8 - 3.2	2010 - 2030	-30 to +5	21
IV	4.0 - 5.0	485 - 570	590 - 710	3.2 - 4.0	2020 - 2060	+10 to +60	118
V	5.0 - 6.0	570 - 660	710 - 855	4.0 - 4.9	2050 - 2080	+25 to +85	9
VI	6.0 - 7.5	660 - 790	855 - 1130	4.9 - 6.1	2060 - 2090	+90 to +140	5
合計							177

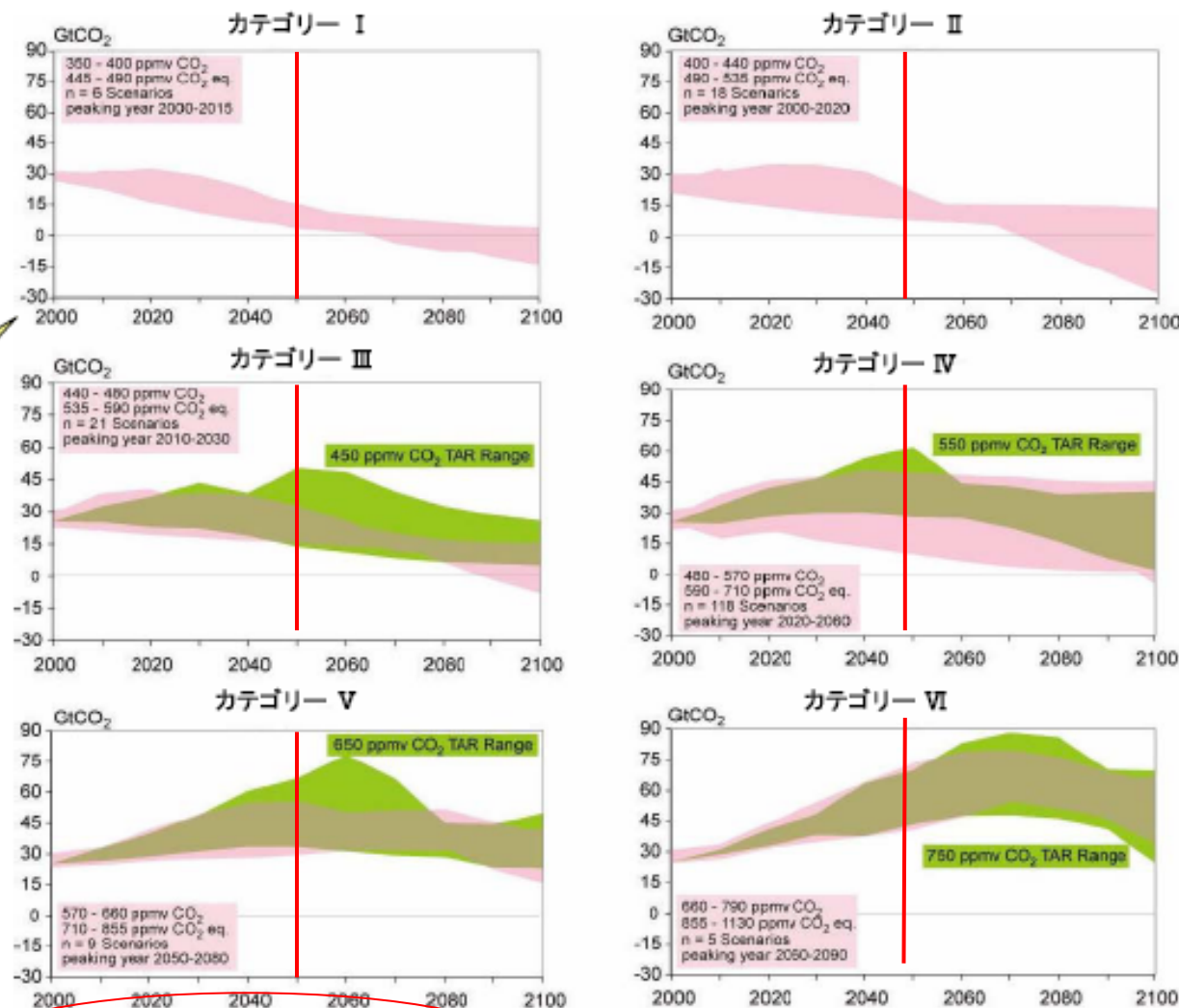
長期的な安定化シナリオ(2)

- より低いレベルでの安定化のためには、排出量のピークを早め、さらに2050年までに大幅な排出削減が必要である。

出典:AR4 SPM

低レベルの安定化を実現するには、2050年までに大幅な排出削減が必要である。

6つの安定化目標(カテゴリー I ~ VI)における緩和シナリオでの排出経路※



※これらの排出経路で考慮されているのはCO₂のみである。

ピンク色はTAR以降の安定化シナリオ、緑色はTAR安定化シナリオの範囲を示す。

主要部門別国内対策

・それぞれの分野における最も重要な緩和技術は下の表に示すとおりである。

出典: AR4 SPM

緩和策を講じない場合と比較した2030年の世界の経済ポテンシャル推計値及び各部門の主要な緩和技術

部門	1トン削減に100ドル までの場合の削減量 (億トンCO ₂ 換算/年)	現在、商業化されている 主要な緩和技術と実施方法	2030年までに商業化されると 見られる主要な緩和技術と 実施方法
エネルギー供給	24～47	エネルギーの供給・流通の効率改善、石炭からガスへの燃料転換、原子力発電、再生可能なエネルギー（水力、太陽光、風力、地熱、バイオエネルギーなど）、コンバインドサイクル※1、CCS※2の早期導入（例：天然ガスから回収した二酸化炭素の貯留）	ガス・バイオマス・石炭を燃料とする発電所でのCCS、先進的な原子力技術、先進的な再生可能エネルギー（潮力、風力、太陽光の集光システム、太陽光発電）
運 輸	16～25	輸送機関の燃費向上、ハイブリッド車の導入、よりクリーンなディーゼルエンジン、バイオ燃料、道路輸送から鉄道及び公共輸送システムへの形態変化、動力以外の輸送（自転車、徒歩）、土地利用計画と交通計画の統合	次世代バイオ燃料、より省エネの航空機、より強力で信頼性の高いバッテリーによる先進的な電気自動車・ハイブリッド車
建 築	53～67	省エネタイプの照明・昼光照明、省エネタイプの電気器具及び冷暖房設備、省エネタイプの調理用加熱器具、冷暖房用のパッシブソーラー・アクティブソーラー、代替冷媒の導入、フロン類の回収及び再利用	統合型デザインの商業ビル（フィードバック及び制御を行う集中管理コンピュータ計器類等の技術も含む）、建物内での統合型太陽光発電
産 業	25～55	省エネタイプの電気器具、廃熱・未利用電力の回収、原材料の再利用及び代替品の活用、二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出制御	先進的な省エネ、セメント工業・アンモニア工業・鉄鋼におけるCCS、アルミ工業における不活性物質

※1: 火力発電などにおいて、従来捨てられていた廃熱をボイラなどに戻し、有効利用する方法

※2: (Carbon Dioxide Capture and Storage) 二酸化炭素の回収・貯留

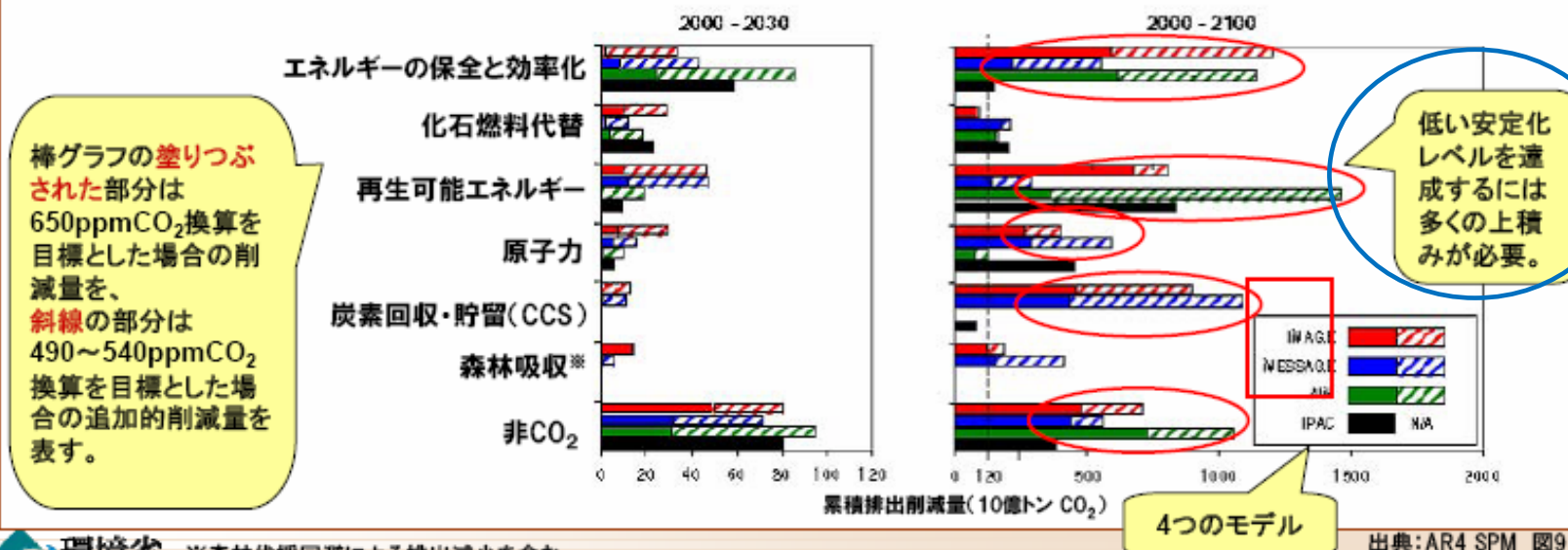
出典: AR4 SPM 表3及び図6を基に作成

安定化達成のための技術開発とその導入

- 安定化レベルの範囲は、現在利用可能もしくは、数十年のうちに商品化されると予測される技術の組合せによって達成されうる。これは、技術の開発、獲得、導入や普及、あるいは関連した障壁に取り組むことに対して、適切で効果的なインセンティブが与えられることを前提としている。 ■ ★★★★★
- エネルギー効率の向上は、安定化シナリオが取り扱う多くの地域及びさまざまな時間スケールにおいて、重要な役割を果たす。
- 安定化レベルを低く設定した場合、シナリオの技術的オプションは、再生可能エネルギーや原子力などの低炭素エネルギーの活用、そしてCO₂回収・貯留 (CCS) の利用に重点を置くことになる。
- バイオエネルギーに関する最新技術は、再生可能エネルギーのシェアに大きく貢献する。

出典:AR4 SPM

安定化目標達成のための、4つのモデルによる代替緩和措置での温室効果ガス累積排出削減量予測



環境省

※森林伐採回避による排出減少を含む。

エネルギー起源CO₂対策の必要性

- 温暖化ガスの約8割は二酸化炭素(2004年:77%)
- 二酸化炭素の約8割はエネルギー起源
- 経済成長、生活にエネルギー利用が欠かせない
- エネルギー利用の効率化は化石エネルギー資源の節約、エネルギー安全保障に貢献し、かつ、温暖化ガス削減に寄与
- 炭素集約度の低いエネルギー利用の促進

将来のエネルギー需給

- 今後20～30年の国内エネルギー消費は民生（家庭・業務）部門と運輸部門が中心
- 世界では中国・インドなどのアジア途上国のエネルギー消費増大が顕著
- 省エネ先進国である日本の省エネ技術への期待が大きい

地球環境問題とエネルギー安全保障

■ 背景

- エネルギー消費の増大によるCO₂の急増
- 化石燃料(石油、天然ガス)の偏在性
- 新興経済国の需要急増に伴う資源獲得競争激化
- 天然ガスパイプライン供給中止問題
- エネルギー価格の高騰(石油、天然ガス、石炭)

■ 2つの問題はコインの両面

- エネルギー源多様化(低炭素化、脱化石燃料)
- 消費効率化の必要性

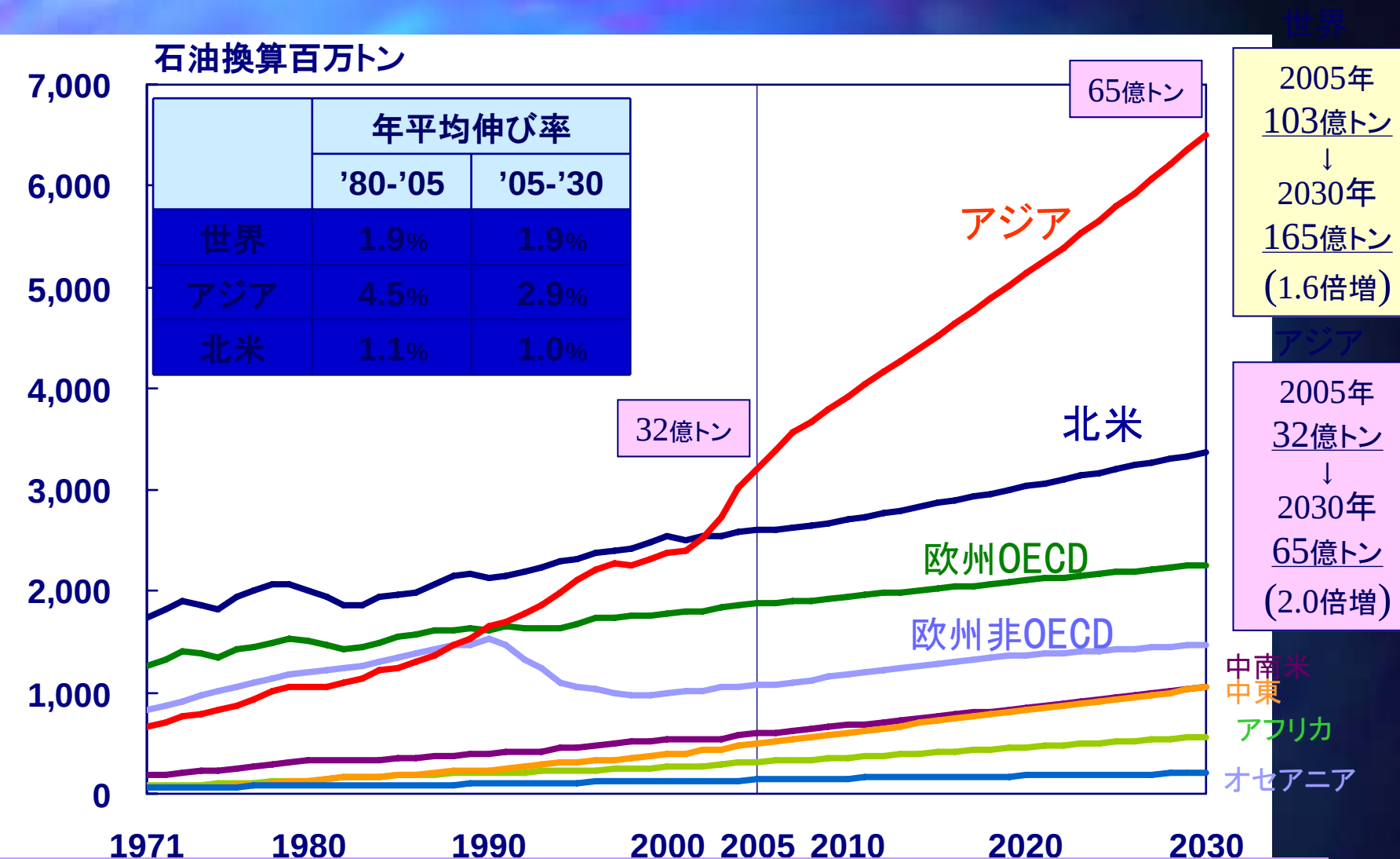
2030年までのエネルギー消費



— 中・長期的な姿 —

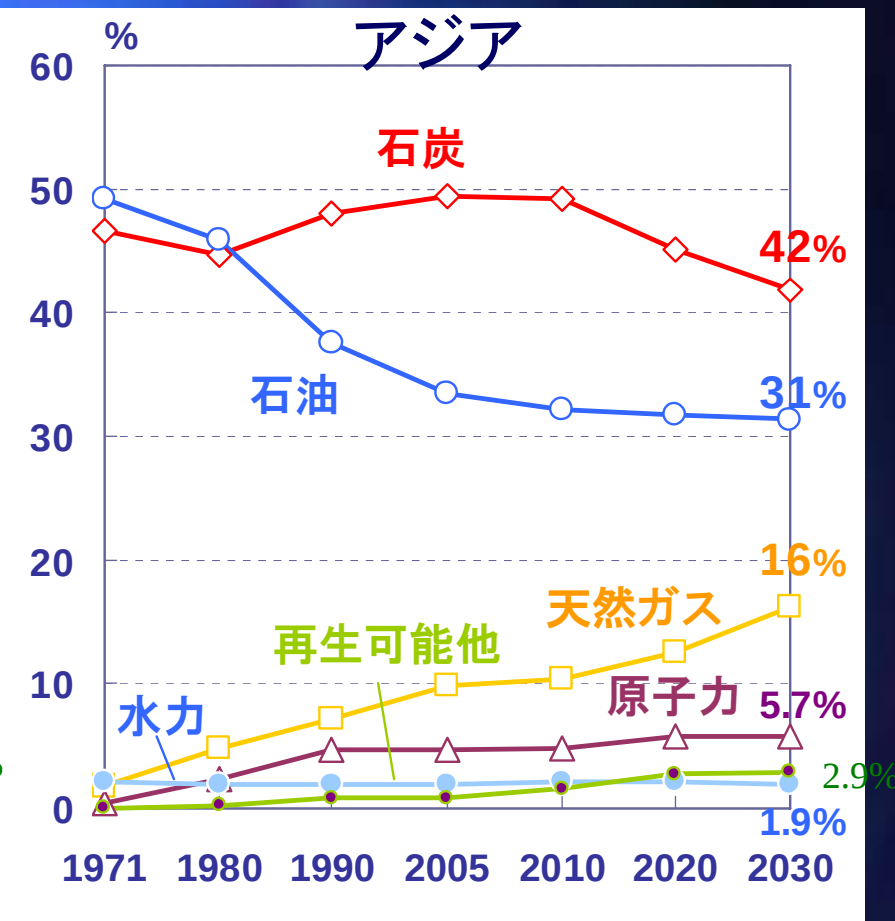
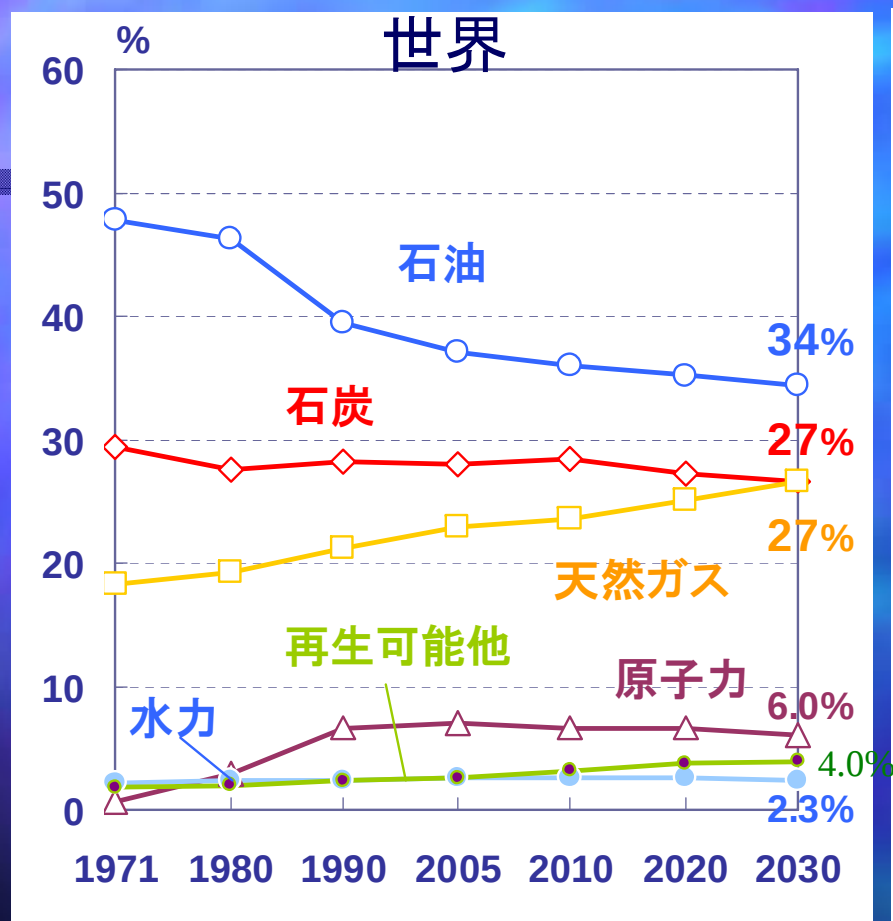
- 今後20～30年のエネルギー消費の中心は化石燃料(石炭、石油、天然ガス)
- 先進国の消費増は民生(家庭・業務)部門と運輸部門が中心
- 世界では中国・インドなどのアジア途上国のエネルギー消費増大が顕著
- 省エネ先進国である日本の省エネ技術への期待が大きい

世界の一次エネルギー消費(地域別)



2030年のアジアのエネルギー消費量は着実な経済成長の下、現在の約2倍へ拡大(2005年32億トン→2030年65億トン)。

世界、アジアの一次エネルギー消費シェア



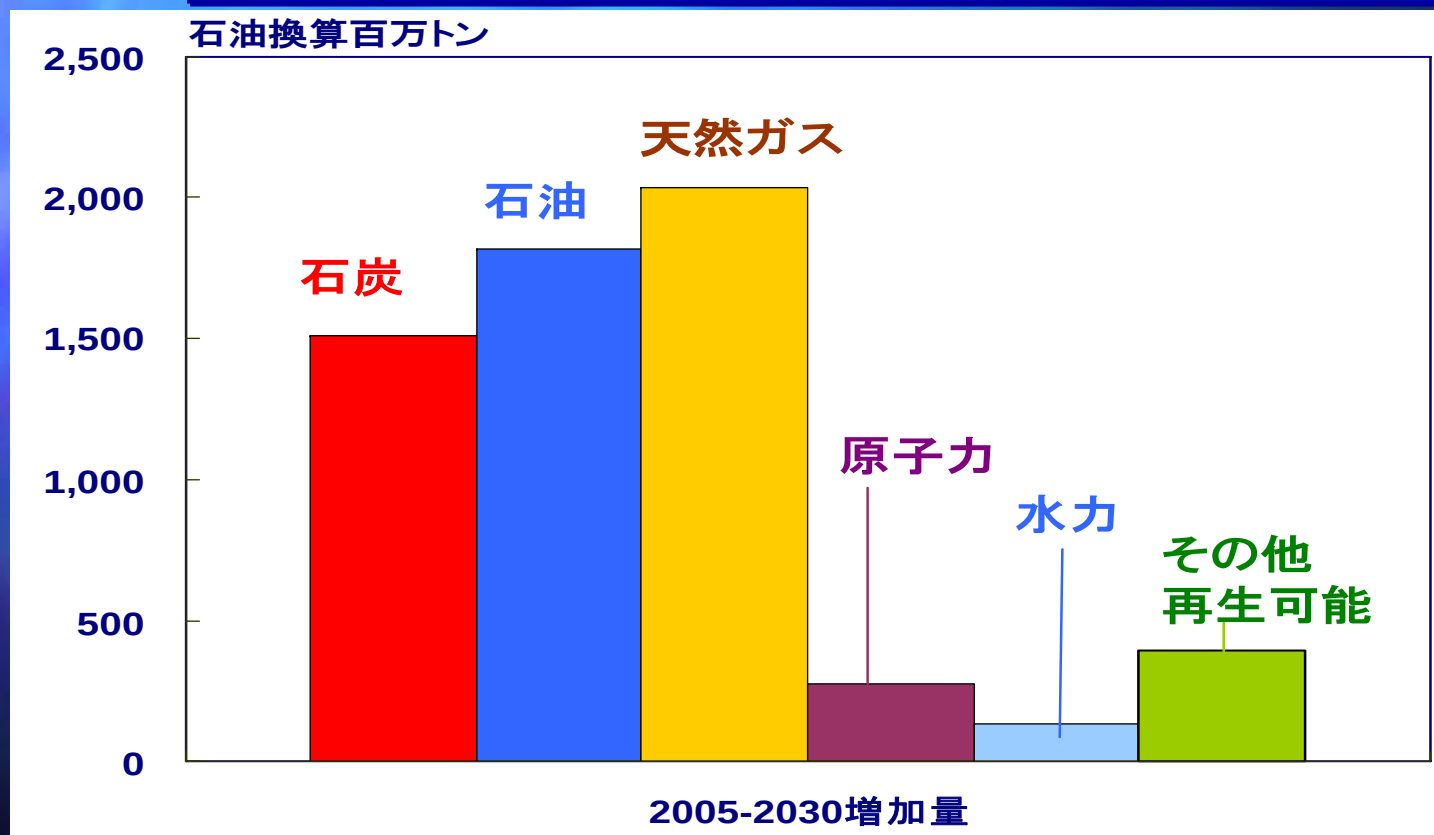
- ・アジアでは発電部門での消費増加を背景に石炭が2030年においても最大シェアを占める（石炭シェア 49%→42%）
- ・アジアでは中国、インド、日本、韓国での原子力の新規建設を背景に、原子力のシェアが徐々に拡大

世界の一次エネルギー消費増加量(エネルギー源別)



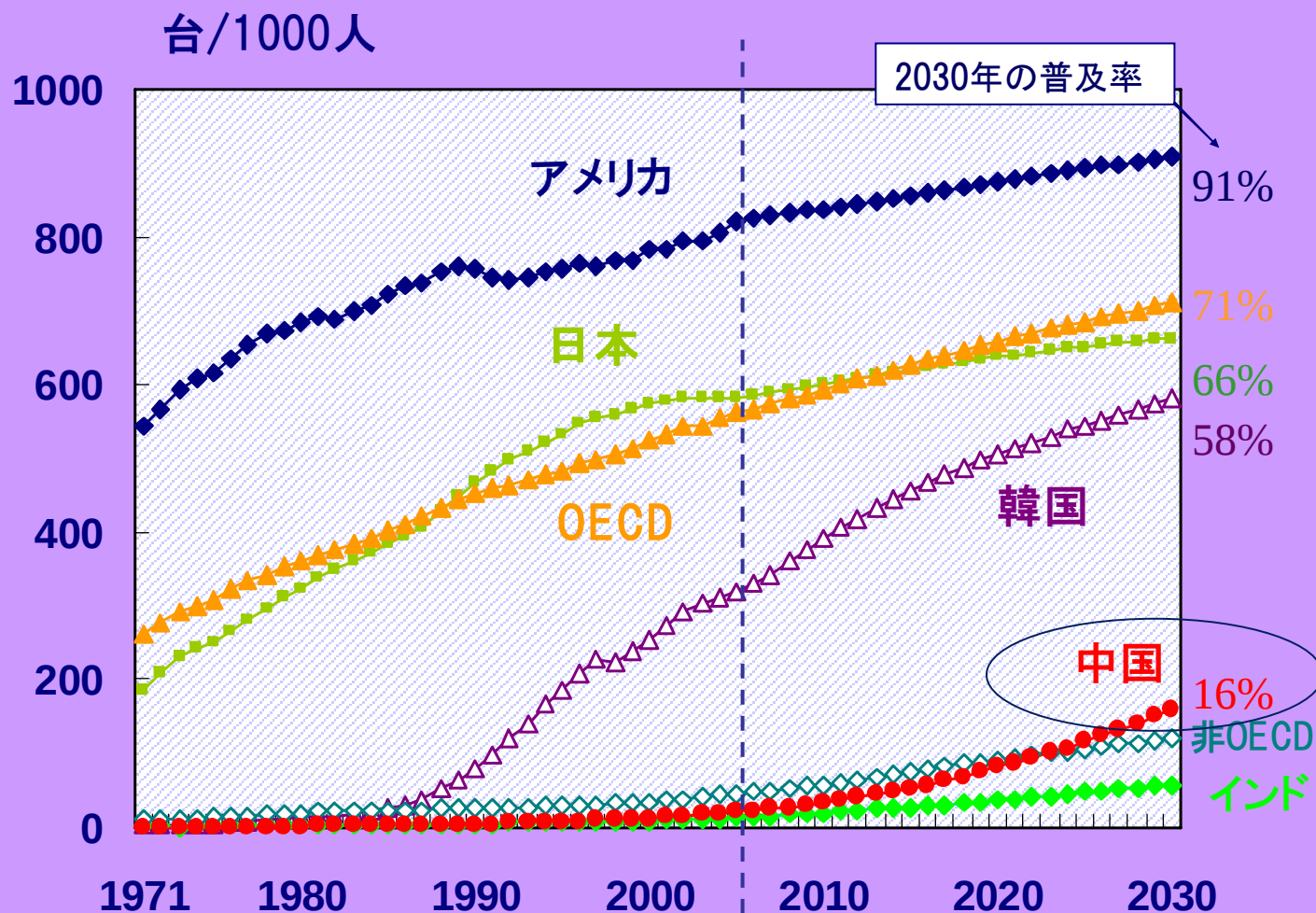
2005-2030年の増加量シェア

石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	再生可能
24%	30%	33%	4.5%	2.2%	6.4%



一次エネルギー消費増加量の約9割が化石エネルギーに集中。

自動車保有率



2005年 2030年

世界

14%→21%

OECD

56%→71%

中国

2.4%→16%

インド

1.4%→6%

非OECD

12%

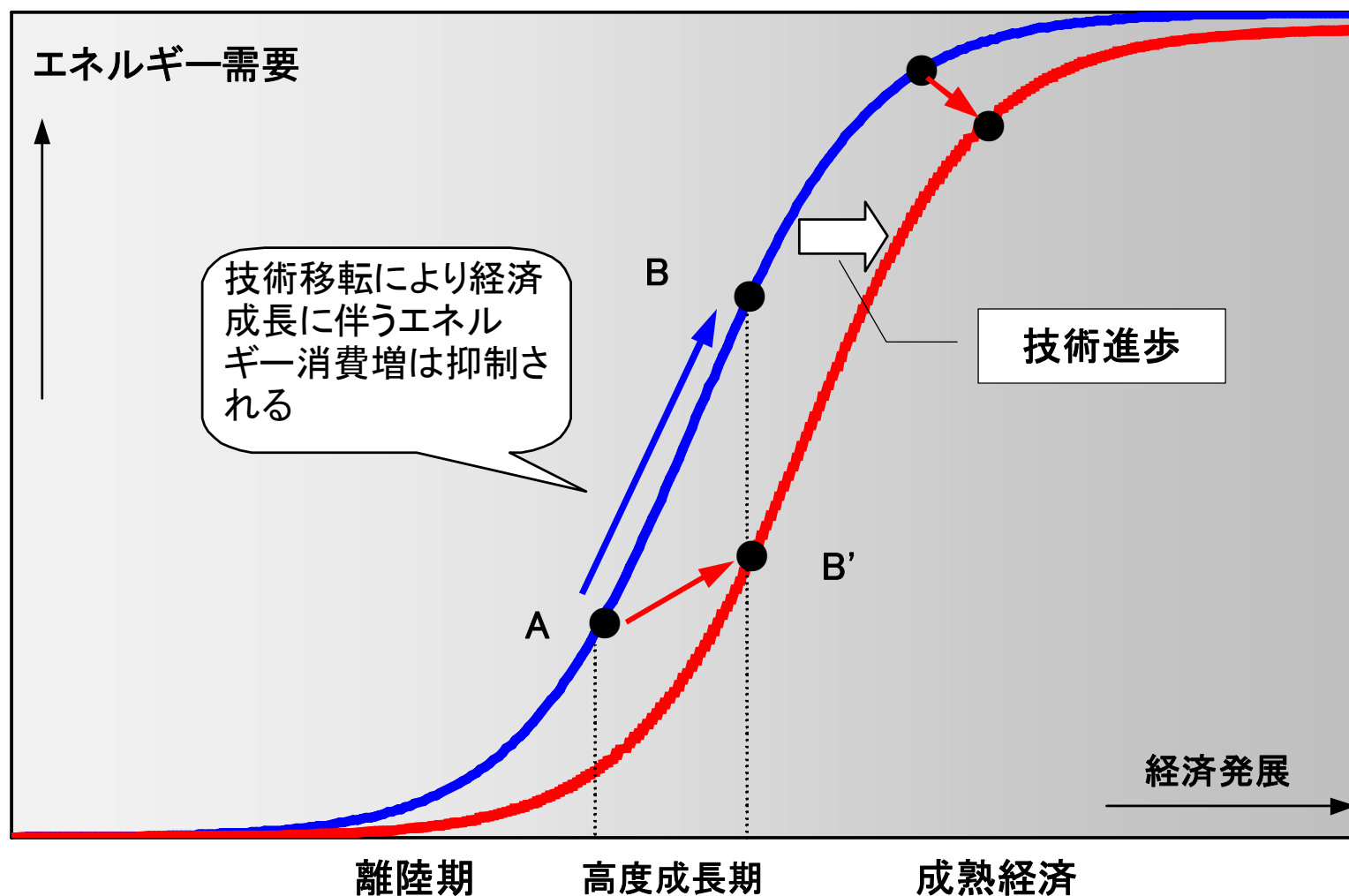
5.8%

- ・アジア諸国では急速な経済発展に伴い、モータリゼーションが進展。
- ・中国、インドでは自動車保有台数が増加するものの、2030年での保有率は先進国を大幅に下回っており、2030年以降もさらに保有台数が増加する可能性が大きい。

化石燃料利用が中心

- クリーンな化石燃料利用技術が重要
 - GCC(ガス複合発電)、CCS(炭素隔離貯蔵)
- 既存の省エネルギー技術が重要
- 消費者による高効率製品の選択・購入・代替が必要
- 市場(需要)の拡大が商品化技術のコストダウンと普及を促進

技術の重要性(既存技術の移転)



2100年までのエネルギー



— 超長期シナリオの例 —

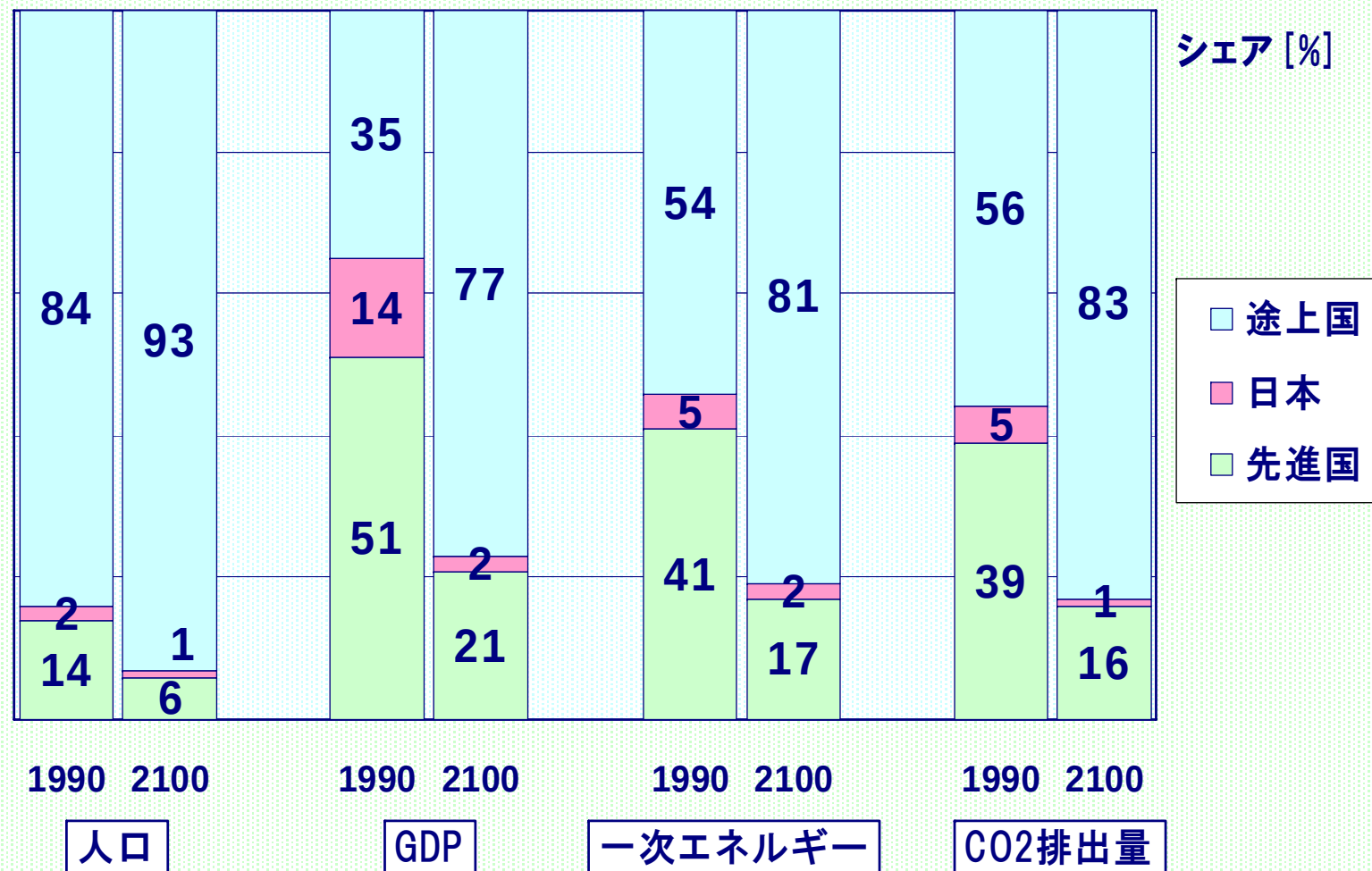
- 経済発展とエネルギー安定供給、環境保全の同時達成は技術の役割
 - 省エネルギー
 - 燃料転換
 - CO2固定化
 - 再生可能エネルギー
 - 将来型原子炉(核融合)
- 資源の枯渇性、偏在性、技術進歩の不確実性と地球環境制約(土地、食糧、水を含む)と技術進歩の不確実性の緩和の重要性

核融合導入シナリオ想定(ケース設定)

シナリオ要素 ケース名	省エネ・再生エネ促進 (C・R)	将来的 原子力促進 (水素ナシ) (F(A))	将来的 原子力促進 (水素含・水分 解・廃棄物) (F(B))	備 考	
				将来的原子 力コスト (2030→ 2100年)	考え方
BAUケース				悲観： 30 → 30 円/kWh	地球温暖化問題に特段の配慮を せず、これまでのトレンドで推移 (とても許容できないケース)
省エネ・再生エネ 促進ケース (C・R)	◎			中間： 30 → 15 円/kWh	地球温暖化問題を考慮すると、少なくと も省エネ及び再生可能エネルギーは政策的 に促進されるケース(省エネ・再生可能エ ネ促進は政策的に同時進行)
省エネ・再生エネ・ 将来的原子力促進 ケース (C・R・F(A))	◎	◎		楽観： 30 → 3 円/kWh	地球温暖化問題等への対処のため、新エネルギーとして将来的原子 力開発が促進されるケース
省エネ・再生エネ・ 将来的原子力促進 (含水素)ケース (C・R・F(B))	◎		◎	楽観： 30 → 4 円/kWh	地球温暖化問題等への対処のため、新エ ネルギーとして将来的原子力及び将来的原子 力起源水素開発(水電気分解・廃棄物起 源水素)が促進されるケース(将来的原子 力の付加価値の高度化、水素社会の加速)

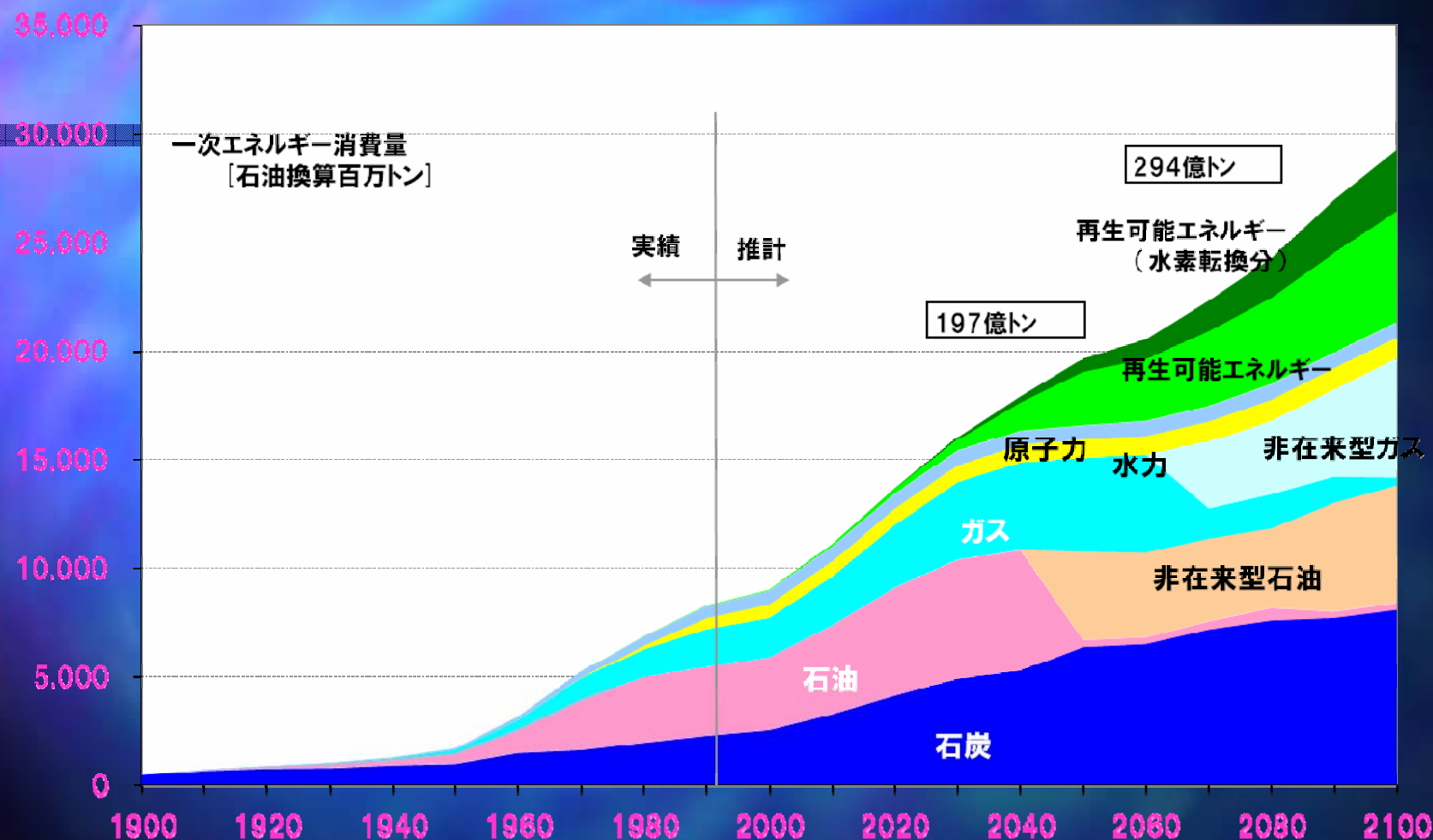
省エネ・再生可能エネ促進、将来的原子力(核融合)、水素製造

先進国と途上国のシェアの変化 (BAU)



- ✓ 発展途上国のGDP成長に併せ、経済発展段階の産業構造等及びエネルギー効率の悪さを反映し、一次エネ及びCO2排出量のシェアは大幅に拡大
- ✓ 日本のウェイトは全ての項目で大幅に減少

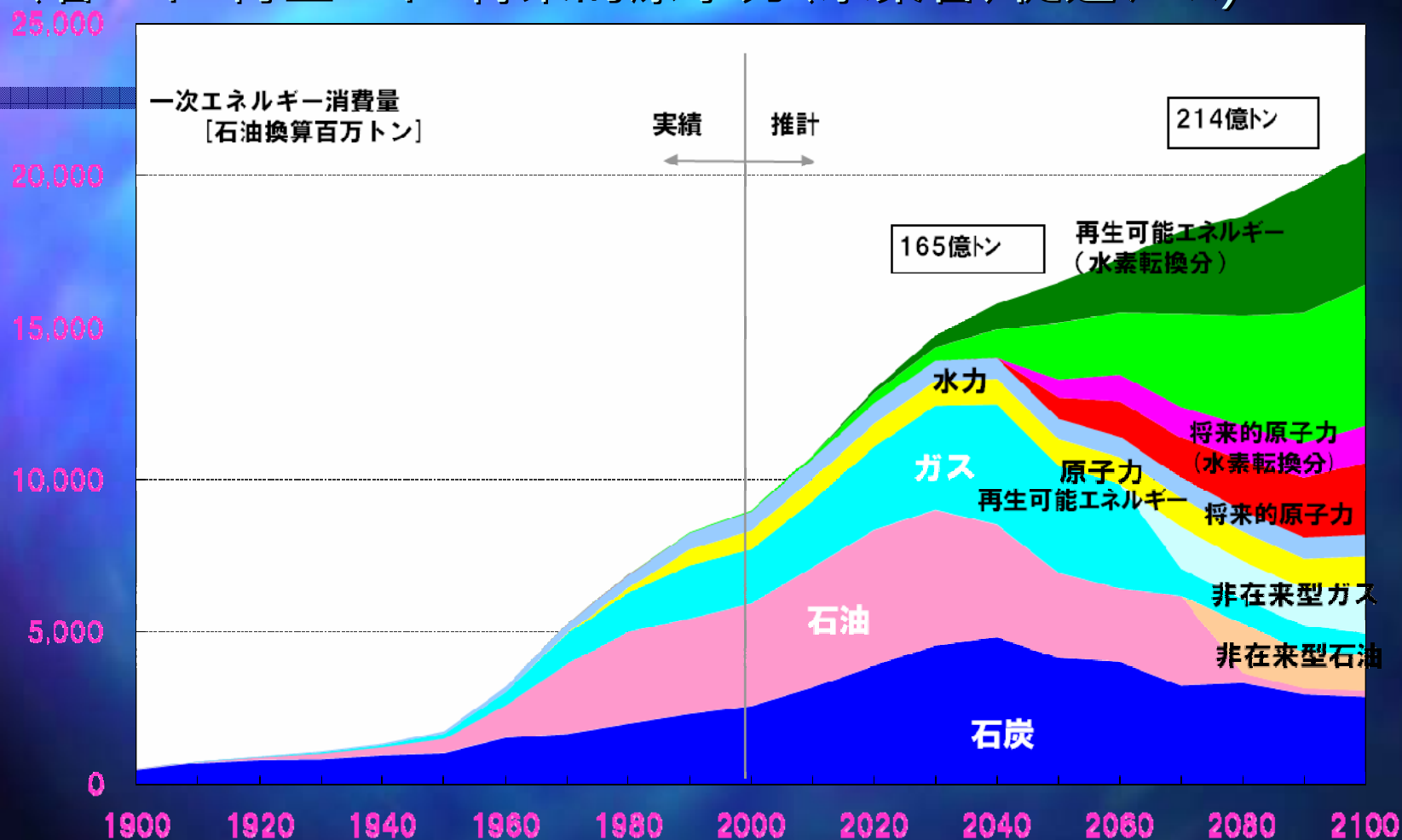
一次エネルギー消費の推移(世界BAUケース)



- ✓ 石炭の消費は、堅調に推移（中国、インドの産炭国の消費増大）
- ✓ 在来型の石油は、2040年を超える頃にピーク、非在来型の石油の生産開始
- ✓ 天然ガスについては、2060年頃にピーク、非在来型天然ガス(タイトサンドガス等)生産開始
- ✓ 将来的原子力は、2100年に市場導入

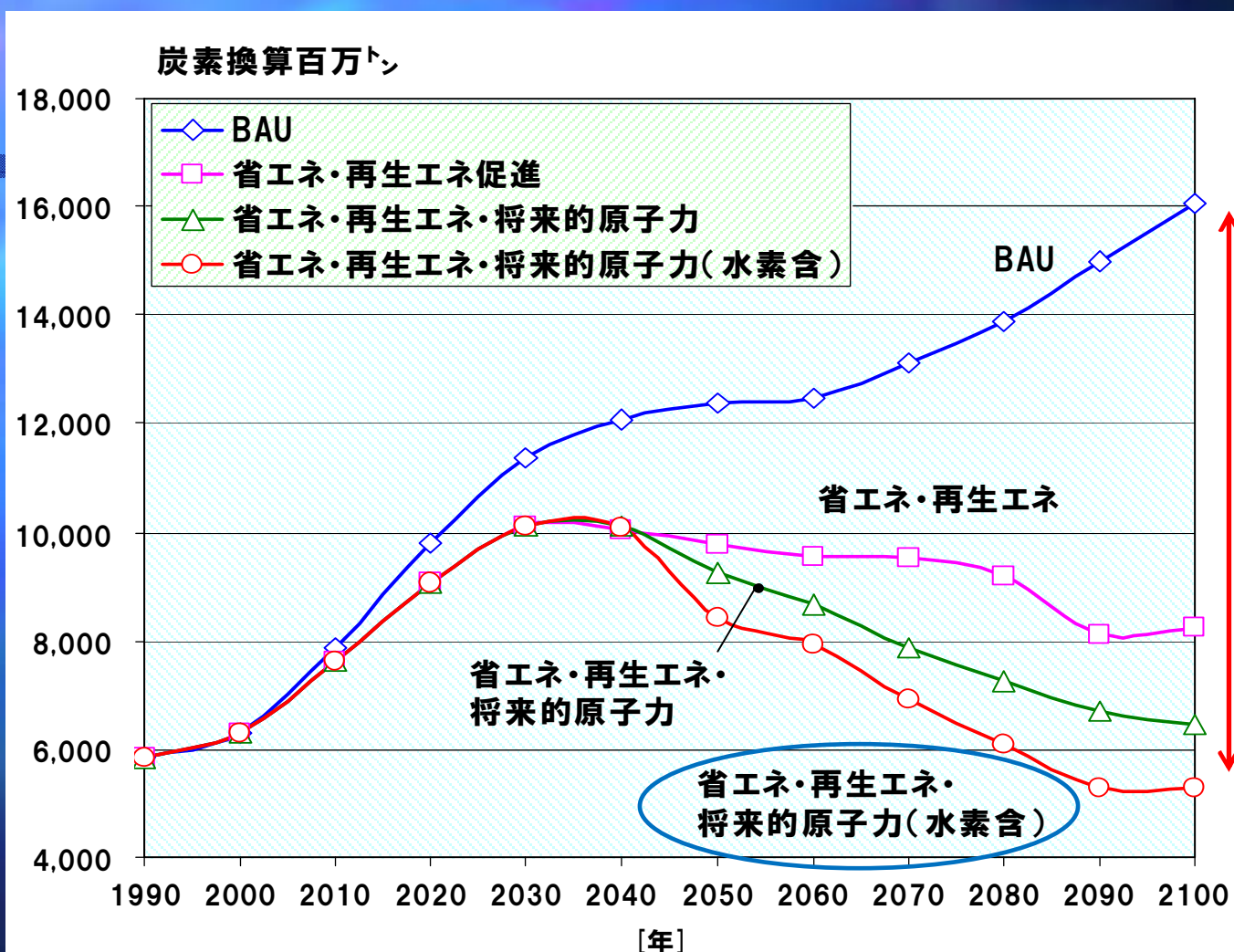
一次エネルギー消費の推移

(省エネ・再生エネ・将来的原子力(水素含)促進ケース)



- ✓ 将来的原子力(発電コスト楽観ケース)は、2040年に市場導入
- ✓ 将来的原子力の2100年における一次エネシェアは、13.7%

CO2排出量のケース別推移(シナリオ要素)



✓ 地球温暖化対策には、省エネ等の単独ポリシーでは限界。再生可能エネ促進及び将来的原子力等多用なオプションから最適なポリシーミックスを実現していくことが必要

おわりに

核融合及び革新的技術の果たす役割



- ✓ 将来的原子力は、資源制約、環境適合性及び供給力において有望



そのポテンシャルを現実のものとしていくには、技術的課題の克服・経済性の確保・社会的受容性の確保を確実なものとしていく必要

- ✓ 将来のエネルギー需給や地球環境対策といった観点から、その意義を確認し様々な可能性を幅広く模索しつつ、弾力的に開発を進めていく必要

- ✓ エネルギー・環境問題への取り組みは、先進国のみならず途上国を含めて世界規模でなされる必要



特に超長期に渡る日本経済のプレゼンスを勘案すると、ただ単に日本のエネルギー開発の観点に留まることなく、グローバルな観点からの将来的原子力技術の開発必要性、世界への技術貿易・技術移転が重要