

## 第421回 定例研究報告会

# アジア/世界エネルギー・アウトック 2015 —新情勢下の原油価格、気候変動対策をどう考えるか?—

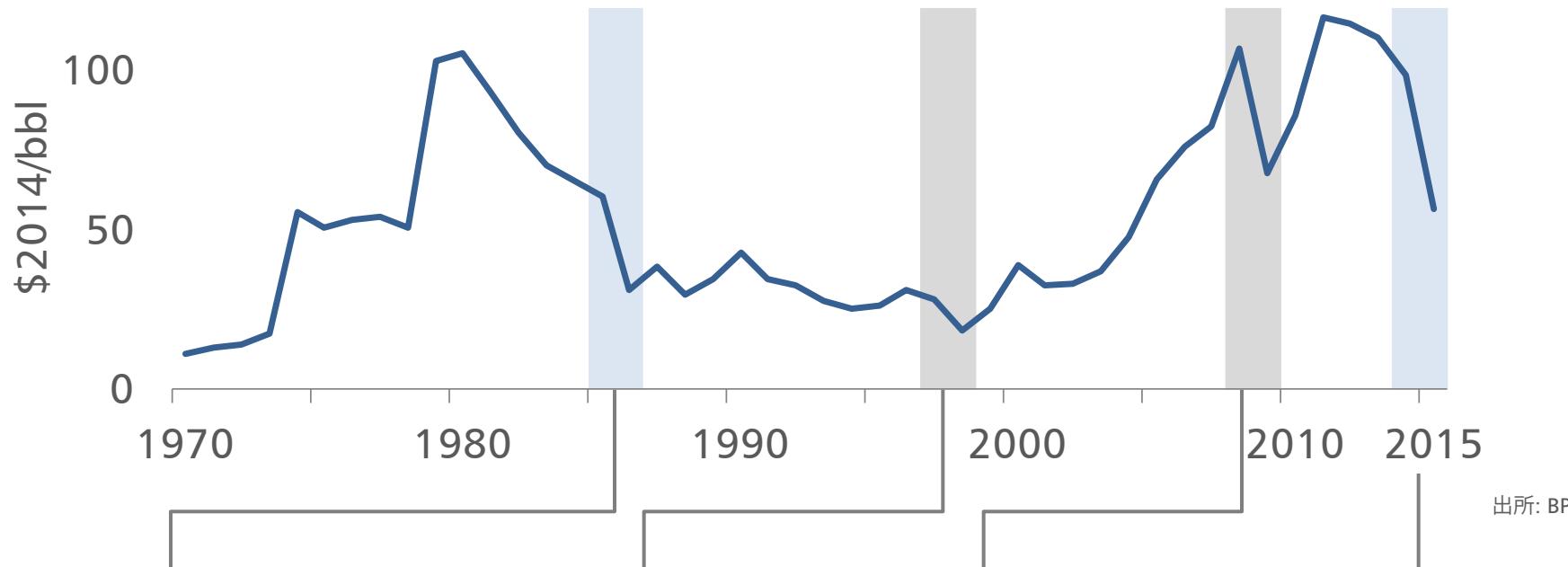
2015年10月21日

日本エネルギー経済研究所  
柳澤 明・松尾 雄司

# 「歴史は同じようには繰り返さないが、韻を踏む」 IEE JAPAN

~ Mark Twain

## ❖ 原油価格



- 石油ショック後の高油価による需要減と非OPEC供給増
- OPEC内でのシェア争いの激化
- ネットバック価格方式による需給緩和

- アジア経済危機に伴う新興国における需要減少
- OPEC内での生産枠超過生産
- OPECの生産枠拡大による需給緩和

- リーマンショックによる世界的な需要の急減
- サウジアラビアを中心とする生産能力拡大

- 非OPEC供給の拡大
- OPECの増産
- 世界の需要減速

# 多様な要因が原油価格を形成

## ❖ 原油価格の形成要因

### 供給要因

- OPECの生産方針
- 産油国の財政均衡価格
- OPECの余剰生産能力
- 非在来石油の増産動向
- 経済成長率
- 先進国 の在庫水準
- 途上国 の石油利用政策
- 自動車保有台数と燃費

市場参加者の「期待」

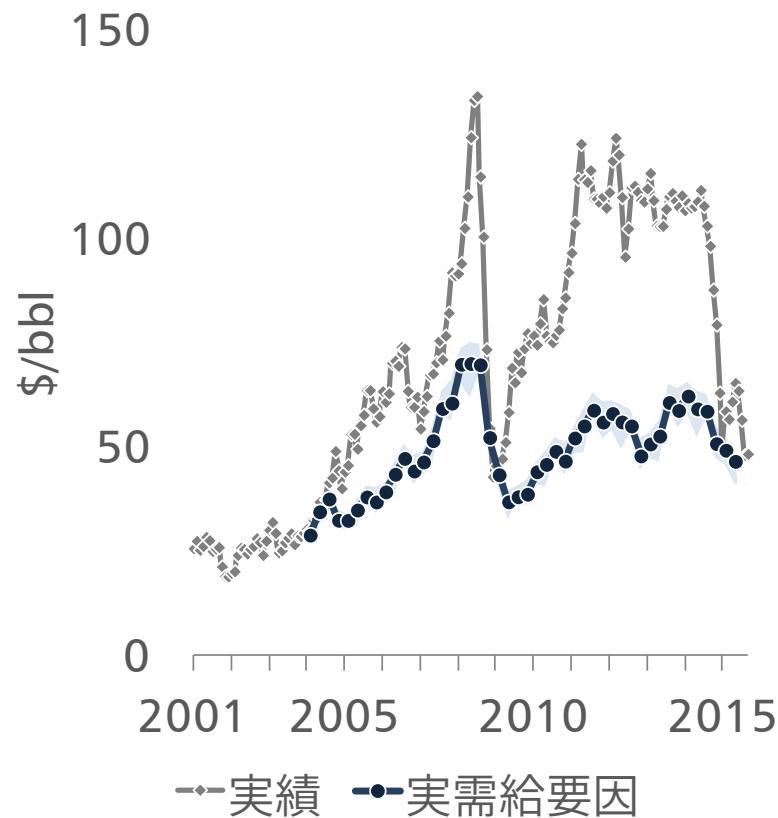
### 金融・投資要因

- 株価・為替レート
- 期待インフレ率
- マネーサプライ
- 投資家のリスク許容度
- 新たな投資商品
- 新たな投資手法

### リスク要因

- 産油国の政治情勢
- 外交政策
- 関連資産へのテロ
- 異常気象・災害
- 事故
- ストライキ等

## ❖ 原油の実績価格と実需給要因



原油価格は、需給、リスク、金融・投資を背景に、市場の「期待」で形成される

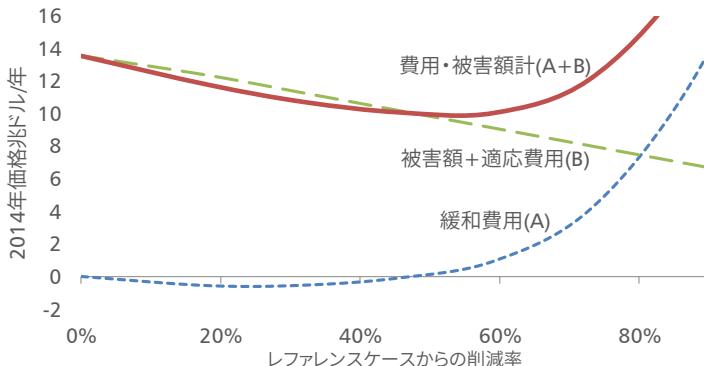
2011年からの価格高騰期、原油価格は需給要因が示す以上の水準にあった

# Highlights

## ❖ 世界・アジアのエネルギー需給展望と気候変動問題への対応

- アジア新興国を中心に、世界のエネルギー需要は今後も増加を続ける
- 省エネルギー・気候変動対策の効果は大。しかし、既存技術の最大限の普及のみで、「2050年までにCO<sub>2</sub>排出量を半減」の目標達成は難しい
- 世界各国が今年提出した約束草案相当の対策では、温室効果ガス排出の十分な削減がなされない可能性が高い
- 緩和策・適応策と環境被害とのバランスをとり、長期の視点で将来の排出削減パスを考えることが必要

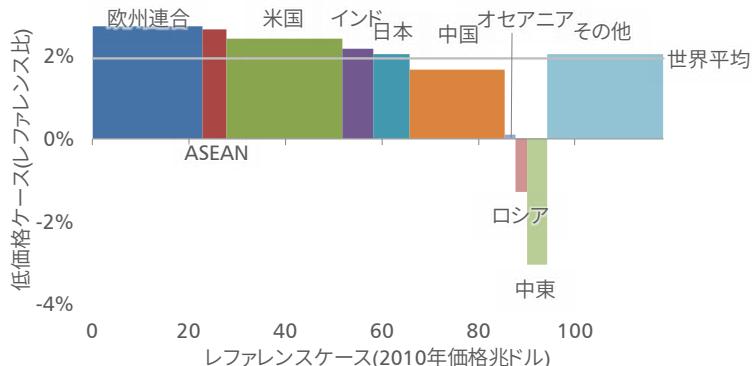
## ❖ 緩和費用・適応費用と被害額[2100年]



## ❖ エネルギー需給緩和による低価格シナリオの分析

- 非在来型資源活用と省エネ・低炭素化を同時に進める場合、需給緩和で低価格も。中東の石油増産量は1.0 Mb/dにとどまる
- 低価格はエネルギー供給を輸入に依存する国には福音となる。輸出国は現在の経済構造のままではダメージを免れない
- 低価格に安住すれば、逆に価格急騰に転じるリスクも。過度に不安定な価格の下では、適切な投資が阻害され、将来の需給バランス不安定化につながる可能性
- 生産国と消費国、また消費国間でも、持続的発展に向け建設的な対話・協力を

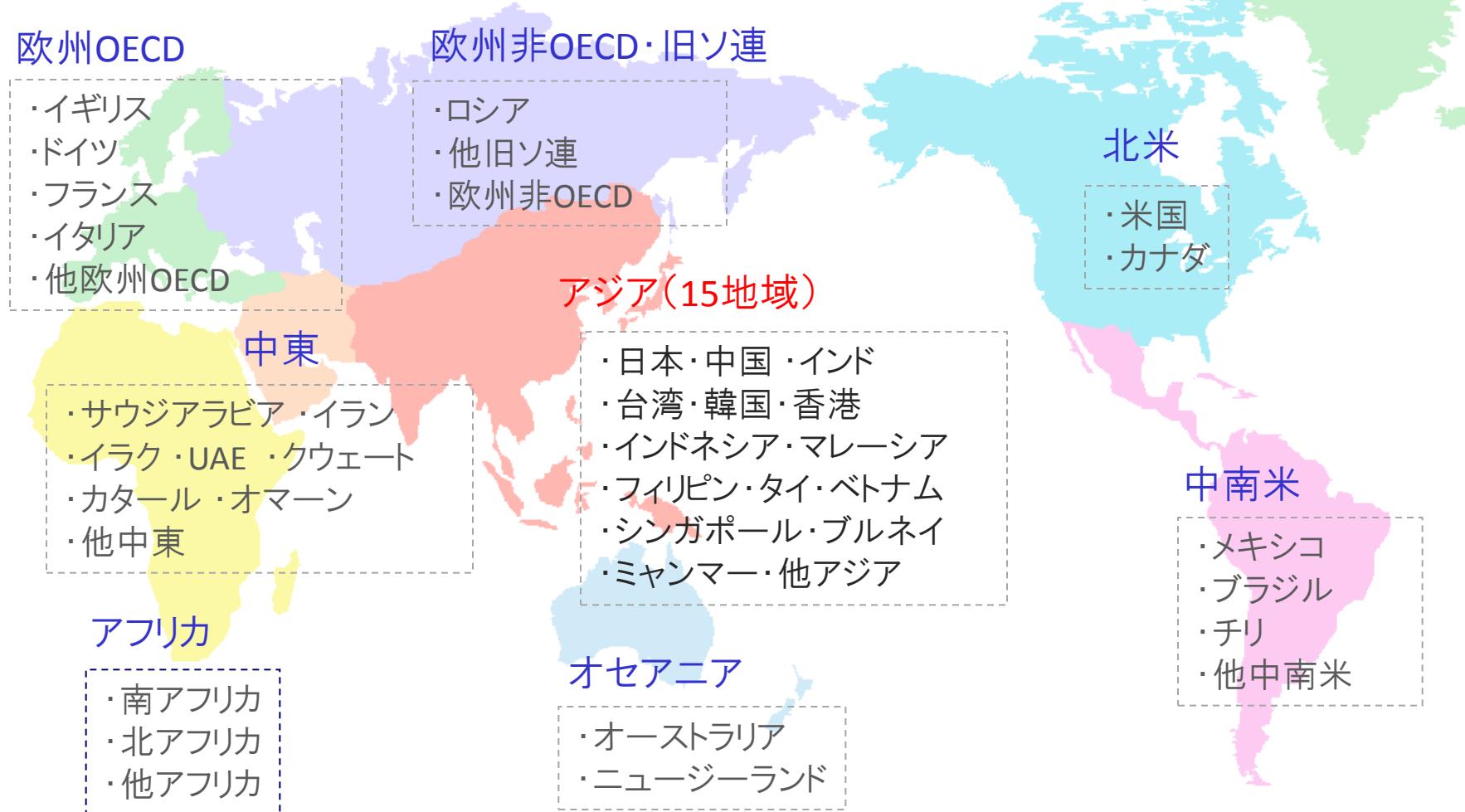
## ❖ 低価格による経済影響[2030年]



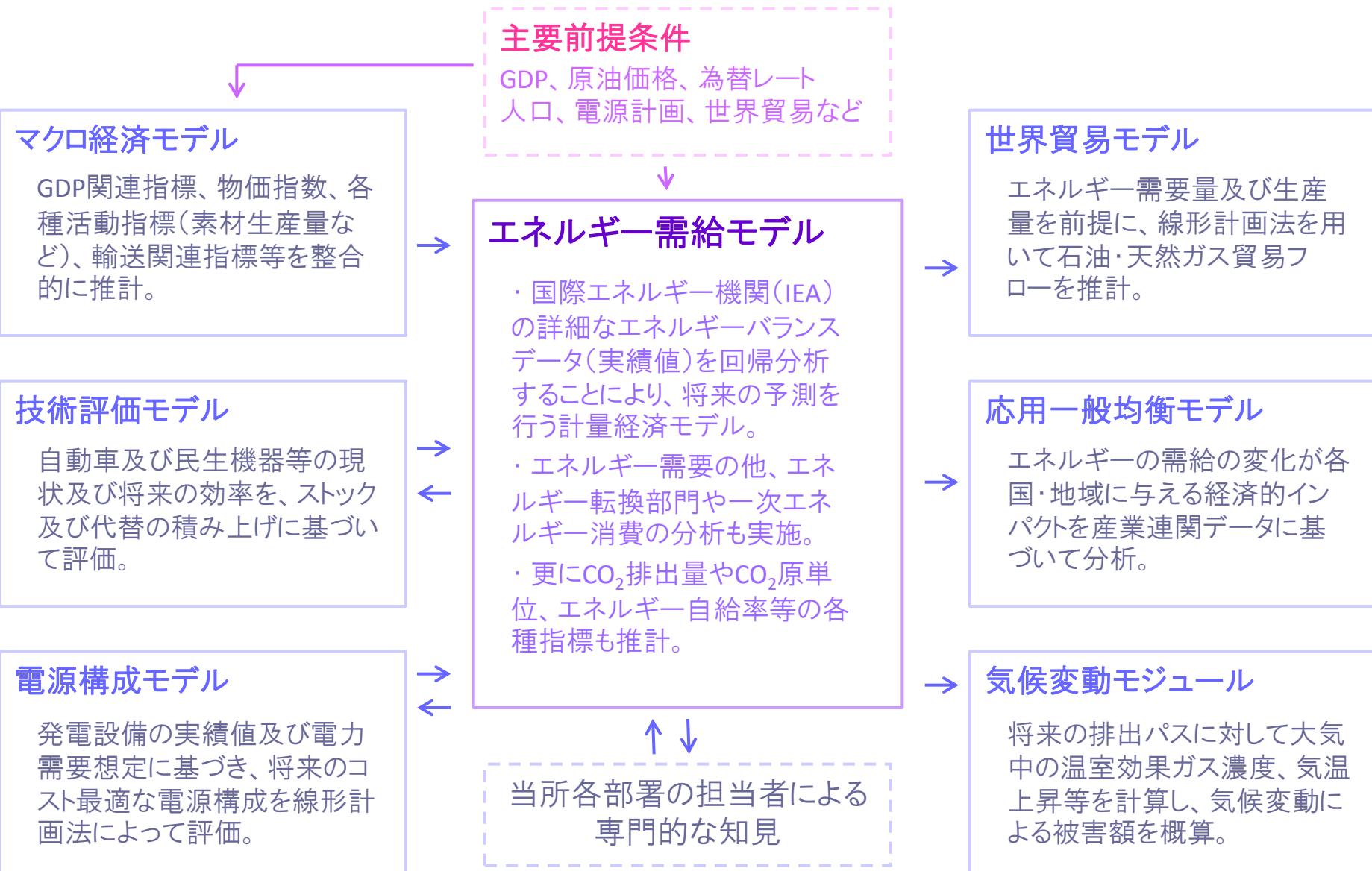
# 世界とアジアのエネルギー需給展望

# 地域区分

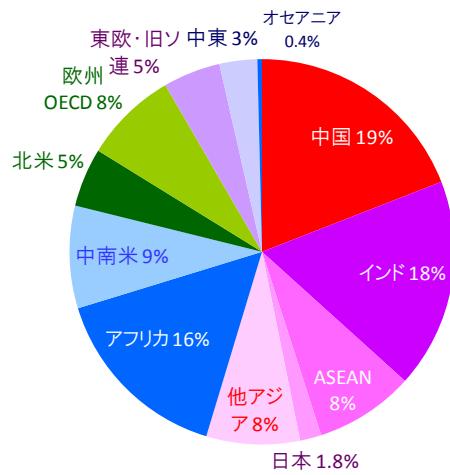
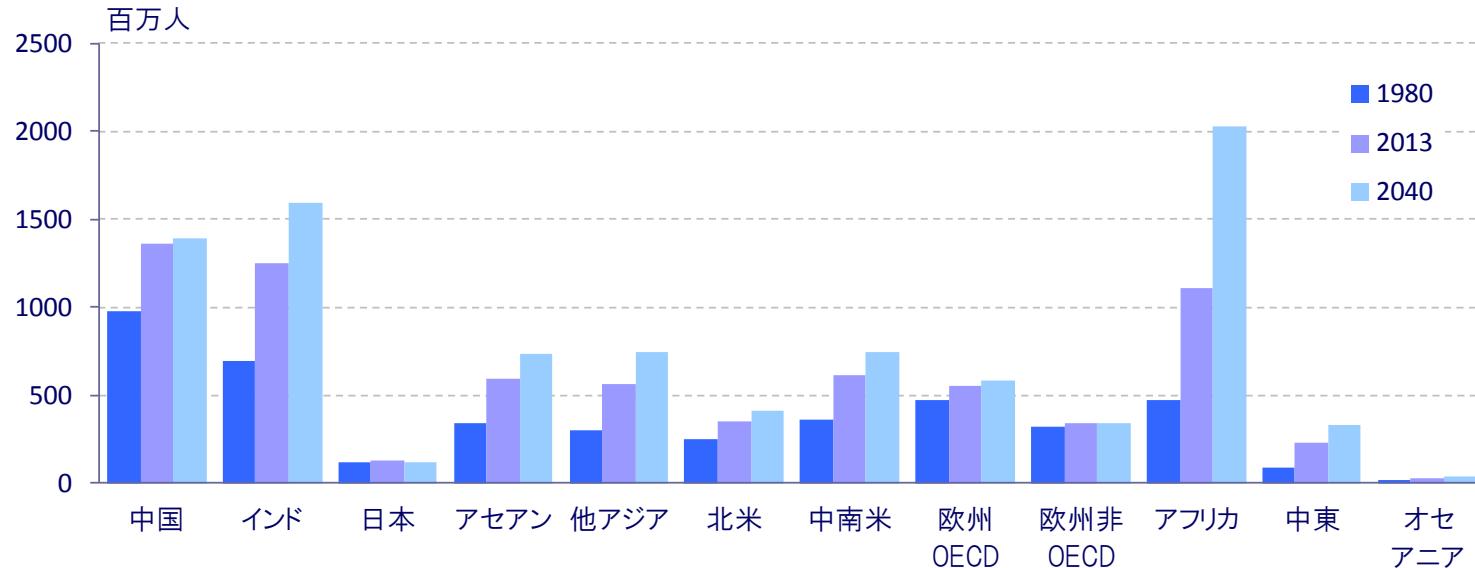
- 世界を42地域に区分、特にアジア地域を15地域に区分
- アジアのエネルギー需給構造を特に詳細に考慮



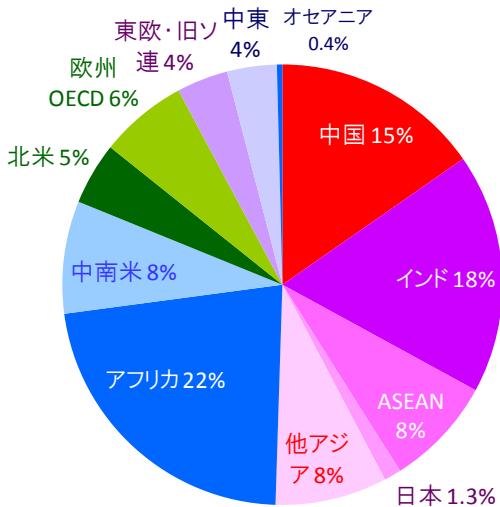
# モデルの構造



# 主な前提条件: 人口の見通し



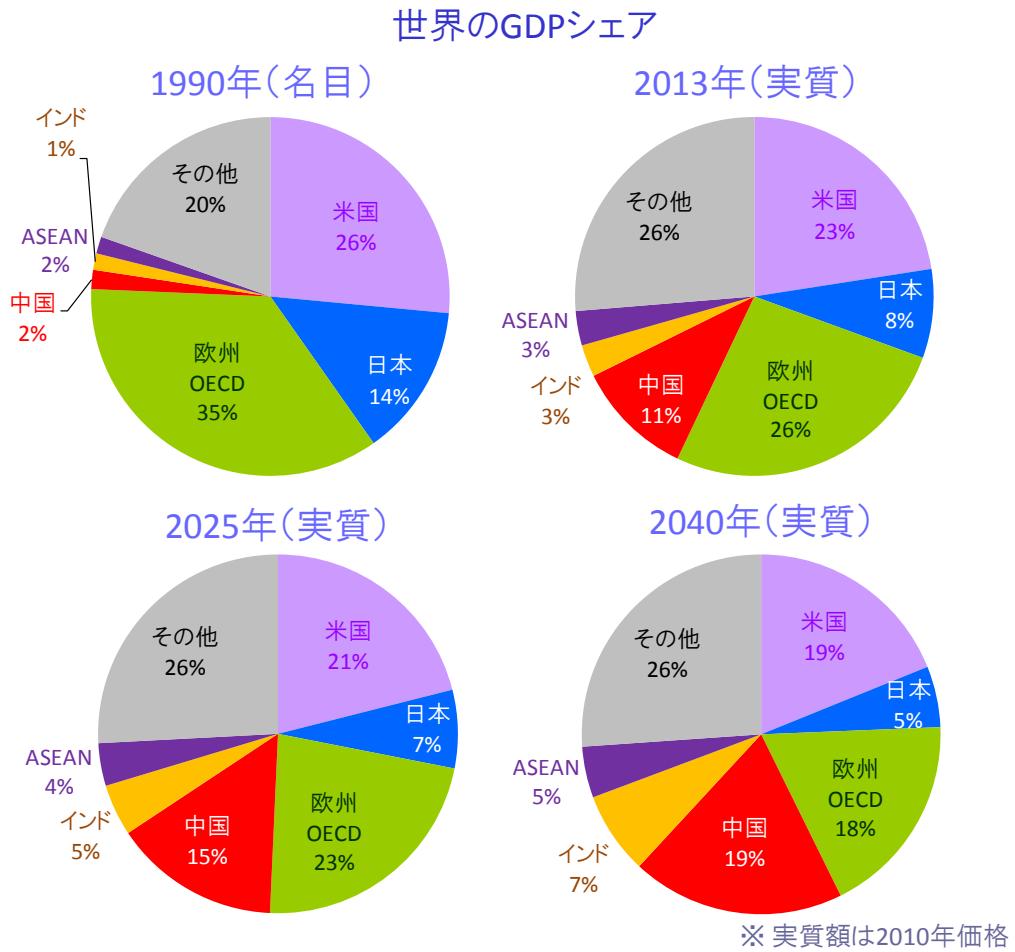
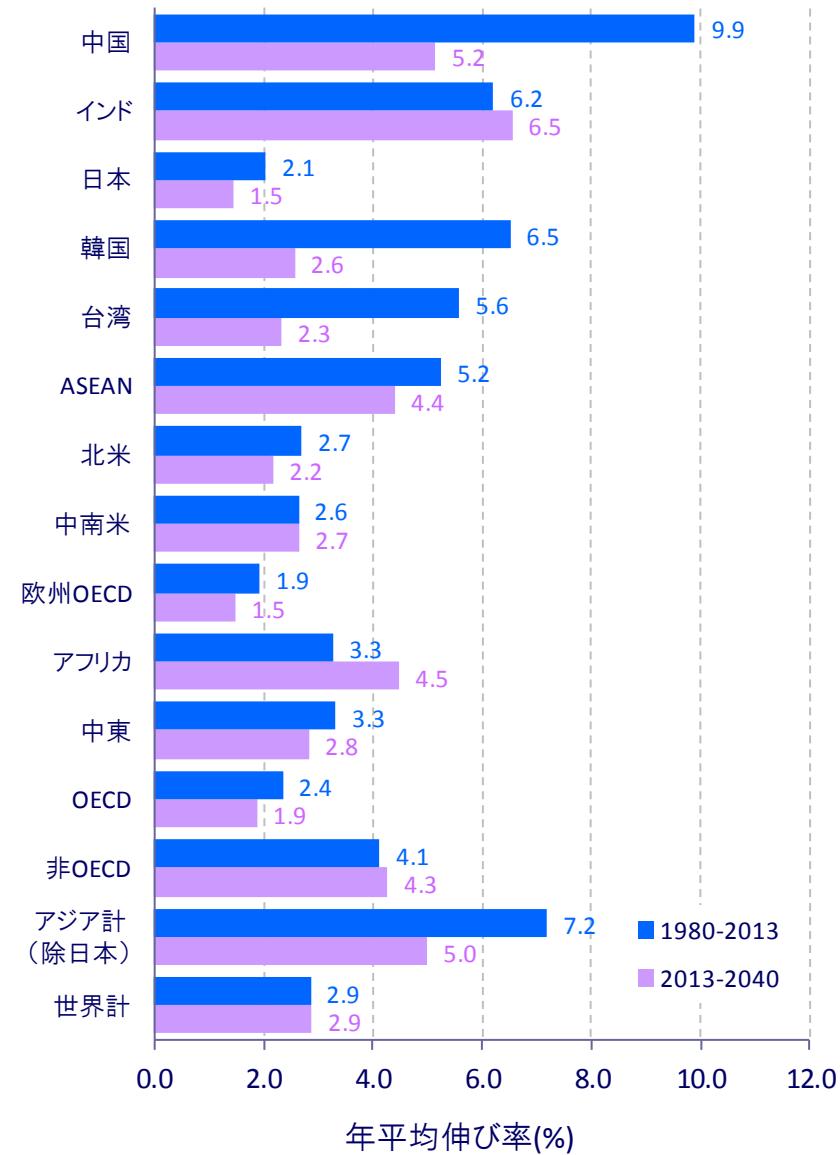
2013年: 71億人



2040年: 91億人

- 人口については、国連見通しを元に設定。世界の人口は2013年の71億人から、2040年には91億人に増加する。
- 中国では少子高齢化の影響が徐々に進み、2030年頃に人口がピークアウトする。一方、医療技術の発展や食料衛生状況の改善により、インド、アフリカで急速な人口の増加が見込まれる。
- インドは2025年頃に中国を抜いて世界第1位となり、その人口は2040年に16億人となる。

# 主な前提条件: 実質GDP成長率の見通し



- ・世界経済は様々な課題を抱えるものの、今後中長期的には堅調な成長を達成するものと想定。
- ・2040年の中国の実質GDPは米国を抜き、日本の3.5倍の水準となる。インドも2030年代に日本を抜き、2040年には日本の1.4倍となる。

# 主な前提条件:一次エネルギー価格の展望

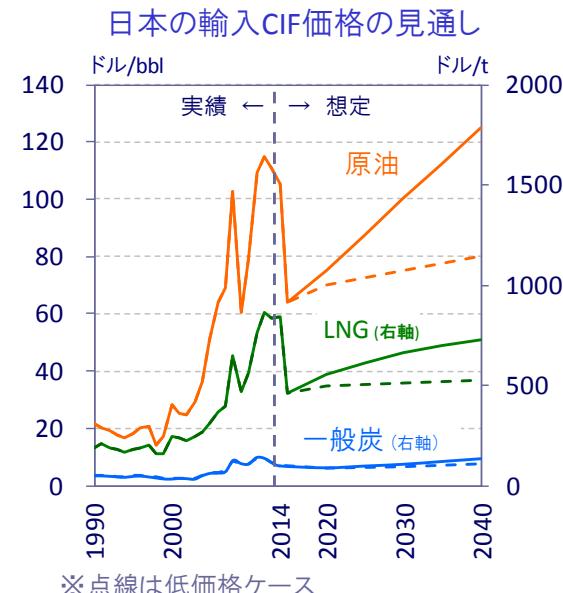
			レファレンスケース			低価格ケース			
			2014	2020	2030	2040	2020	2030	2040
原油	ドル/bbl	実質	105	75	100	125	70	75	80
		名目	105	84	137	209	79	103	134
天然ガス	日本 ドル/t	実質	842	554	663	730	498	507	528
		名目	842	624	909	1,221	561	696	883
天然ガス	日本 ドル/百万Btu 名目	実質	16.3	10.7	12.8	14.1	9.6	9.8	10.2
		名目	16.3	12.0	17.6	23.6	10.8	13.5	17.1
欧州(英国)	実質 ドル/百万Btu	実質	8.2	8.5	9.8	11.7	6.8	7.3	8.1
		名目	8.2	9.6	13.5	19.6	7.7	10.0	13.6
米国	実質 ドル/百万Btu	実質	4.4	4.5	5.6	6.8	3.4	3.7	3.9
		名目	4.4	5.1	7.7	11.4	3.8	5.1	6.5
一般炭	ドル/t	実質	98	89	106	132	86	96	108
		名目	98	100	145	221	97	132	181

(注1) 暦年での価格、実質値は2014年価格

(注2) 日本のエネルギー価格は輸入CIF価格

・レファレンスケースでは非OECD諸国を中心とする需要の拡大とともに、既存油田の減退や高コスト原油へのシフト、更には中東・ウクライナ等のリスク要因や金融要因の顕在化により、原油価格は再び上昇する。それとともに天然ガス価格も上昇に向かうが、地域間取引の拡大等により既存の格差は縮小に向う。

・低価格ケースではエネルギー需要技術の進展による消費の低減に加え、上流開発投資が進み、非在来型資源等の生産性向上が続くことでエネルギー価格は低い今まで推移する。



# ケース設定

## レファレンスケース

現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、過去の趨勢が継続するケース。  
省エネルギー・低炭素化の急進的な政策等は打ち出されない。

## 技術進展ケース

各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動問題への対処のため、強力な政策を打ち出し、省エネルギー・低炭素化が最大限に進むケース。

## 低価格ケース

世界的に省エネルギー・低炭素化が進むとともに、技術進歩に伴い非在来型化石燃料資源等の生産コストが低減し、需給緩和状態が中長期的に継続するケース。

# 技術進展ケースの前提

世界各国がエネルギー安定供給の確保、地球温暖化対策を一層強化すると共に、既存技術の効率改善や国際的な技術移転が促進し、新技術の普及が世界的により一層拡大するケース

## 環境規制や国家目標の導入、強化

環境税、排出量取引、再生可能エネルギー導入基準、補助金・助成制度、固定価格買取制度、省エネ基準、燃費基準、低炭素燃料基準、省エネ・環境ラベリング制度、国家的戦略・目標設定等

## 技術開発強化や国際的な技術協力の推進

研究開発投資の拡大、国際的な省エネ技術協力(鉄鋼、セメント分野等)や省エネ基準制度の構築支援等

### 【需要サイドの技術】

#### ■ 産業部門

セクトラルアプローチ等により最高効率水準(ベストプラクティス)の産業プロセス技術(鉄鋼、セメント、紙パルプ、石油精製)が世界的に普及

#### ■ 運輸部門

クリーンエネルギー自動車(低燃費自動車、ハイブリッド自動車、プライグインハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車)の普及拡大

#### ■ 民生部門

省エネ家電(冷蔵庫、テレビ等)、高効率給湯器(ヒートポンプ等)、高効率空調機器、高効率照明の普及拡大、断熱強化

### 【供給サイドの技術】

#### ■ 再生可能エネルギー

風力発電、太陽光発電、太陽熱発電、バイオマス発電、バイオ燃料の普及拡大

#### ■ 原子力導入促進

原子力発電建設加速化、設備利用率向上

#### ■ 高効率火力発電技術

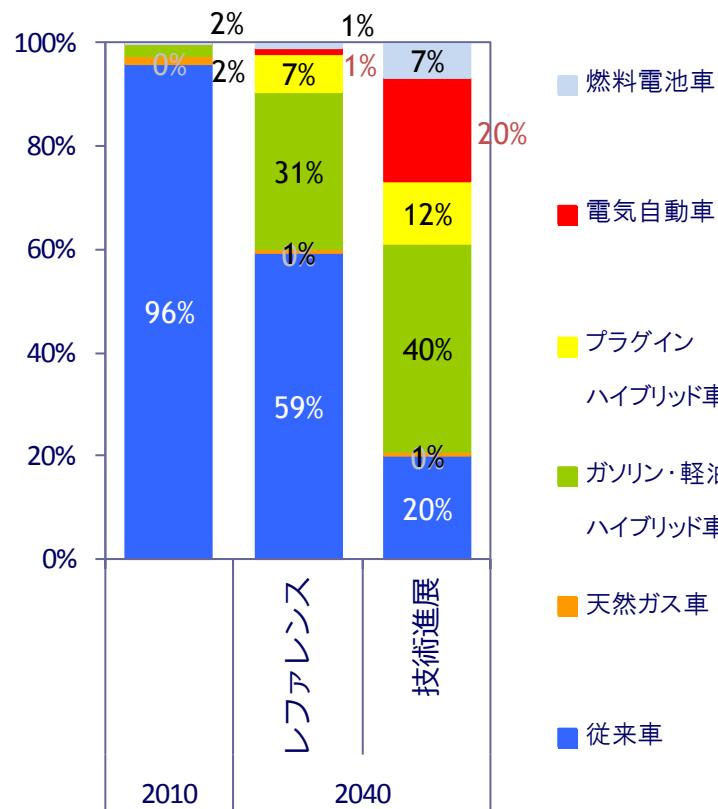
超々臨界圧石炭火力、石炭IGCC、石炭IGFC、天然ガスMACCの普及拡大

#### ■ 二酸化炭素回収・貯留(CCS)

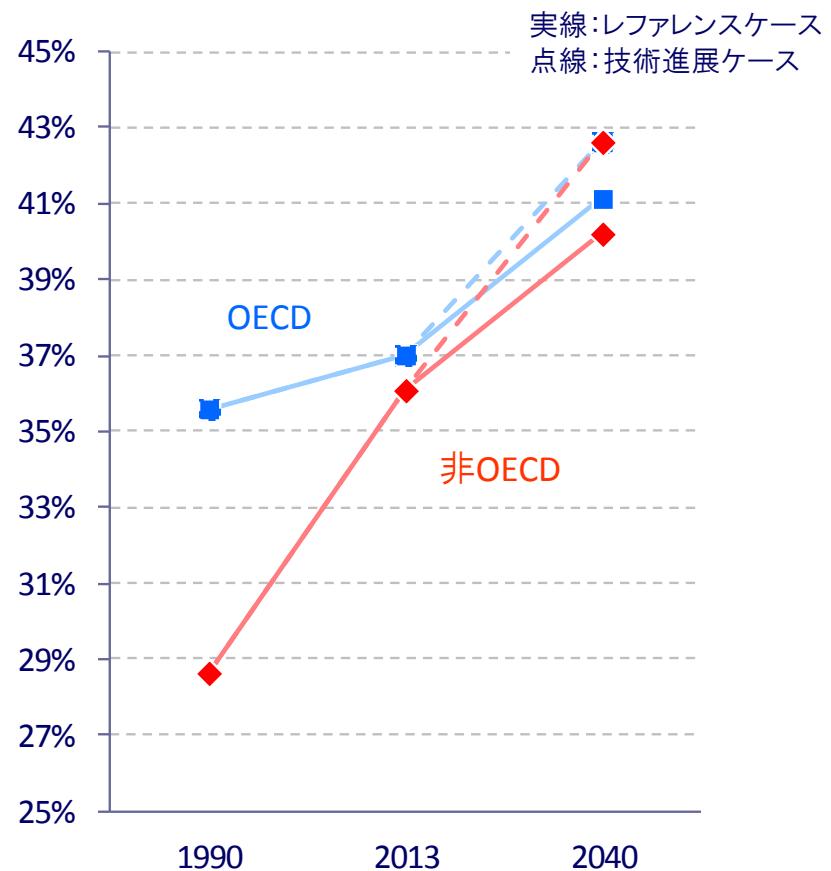
発電部門(石炭火力、ガス火力の新設、既設設備)、産業部門(鉄鋼、セメント等大規模排出源)での導入拡大

# 技術進展ケースの想定例

## 自動車販売台数の構成



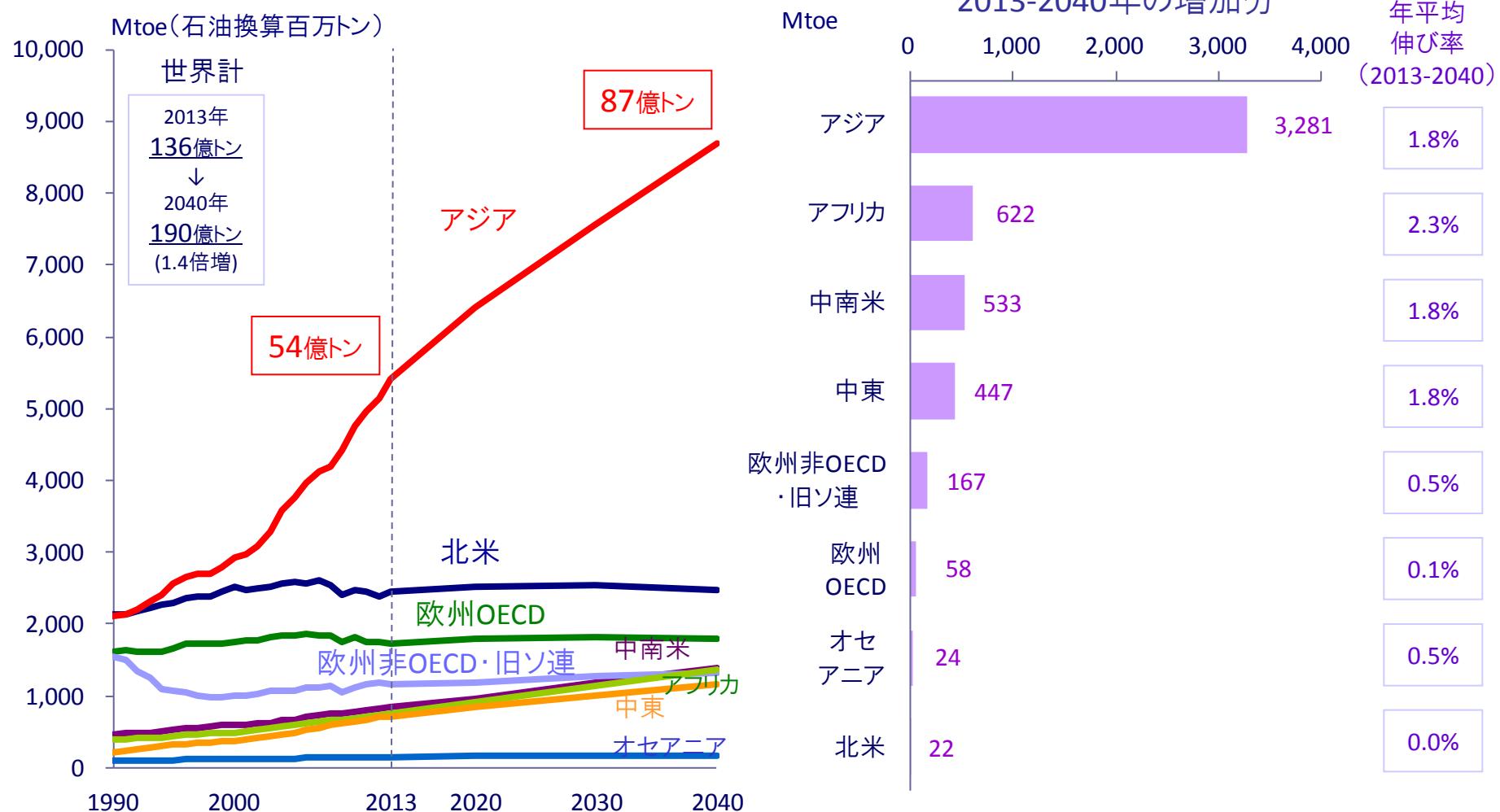
## 石炭火力発電効率



- ・技術進展ケースでは、運輸部門においては次世代自動車の世界的な大量普及を見込むとともに、燃費の大幅な改善を想定。発電部門では低炭素電源の普及とともに、最新鋭の火力発電設備の導入を想定。
- ・産業部門・民生部門においても現状で利用可能、もしくは近い将来に普及が見込み得る技術の最大限の導入を想定。

# 世界各国域の一次エネルギー消費

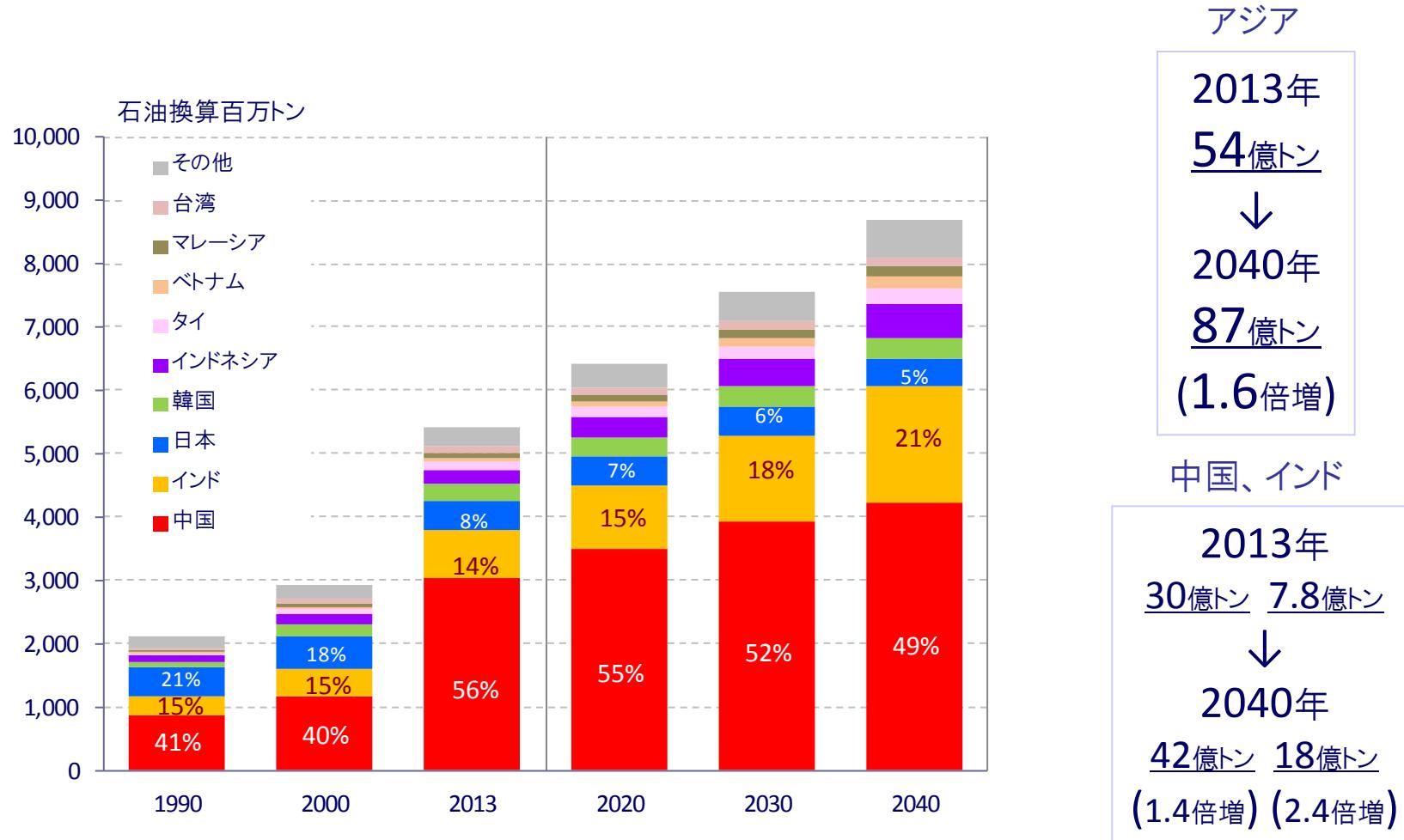
レファレンスケース



- ・着実な経済成長の下、2040年の世界のエネルギー消費量は現在の1.4倍(2013年136億トン→2040年190億トン)、アジアは1.6倍(2013年54億トン→2040年87億トン)へ拡大。
- ・2013年から2040年までの世界のエネルギー消費増加量の約9割を非OECD諸国が占める。

## アジアの国別一次エネルギー消費

レファレンスケース

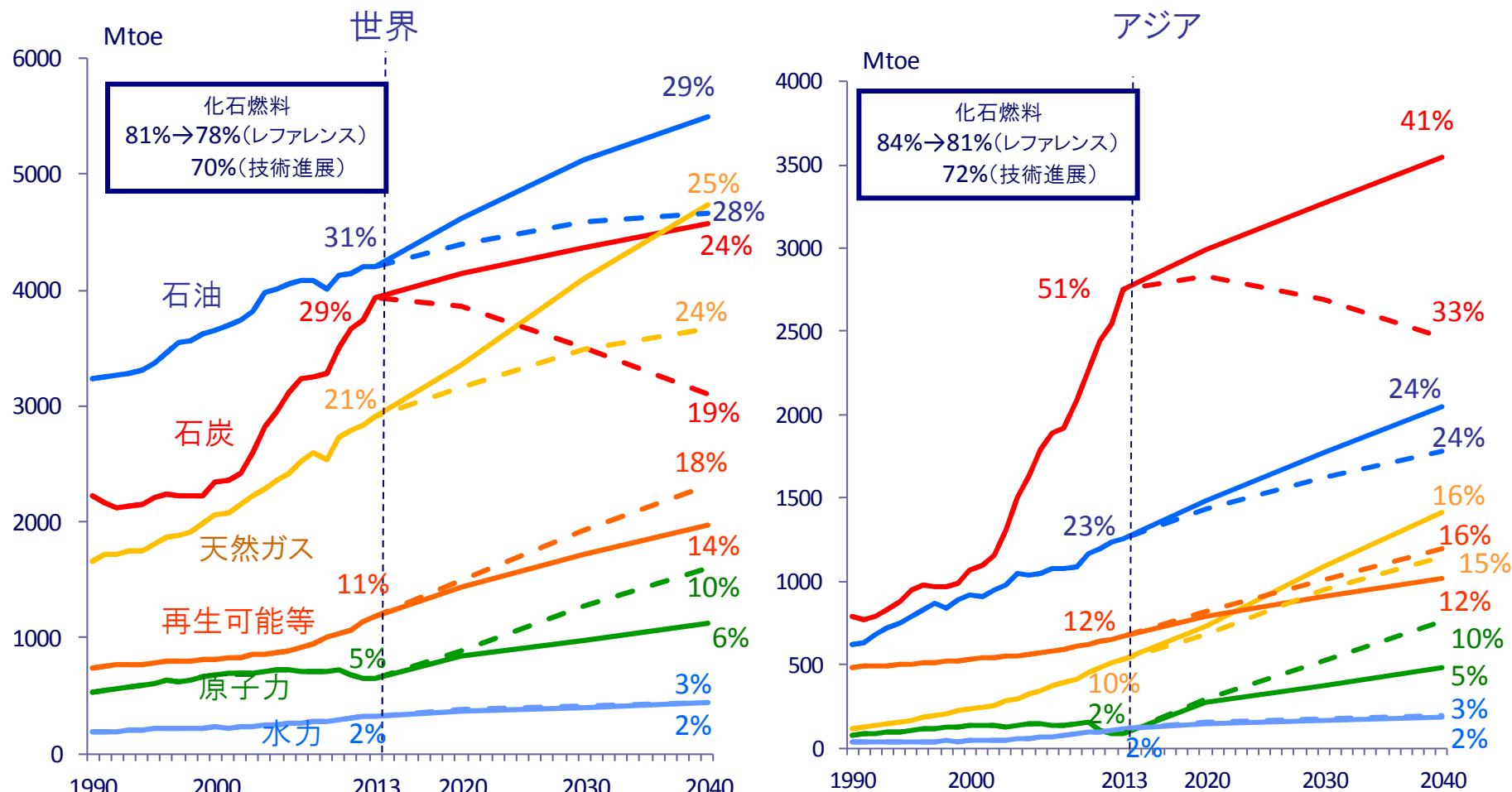


- ・中国、インドでは経済成長に伴い、エネルギー需要が急増する。この二つの国で、アジアのエネルギー消費量の70%を占める。
- ・日本は省エネの進展とともに、経済の成熟化・人口減少に伴いエネルギー消費が減少。アジアに占めるシェアは8%から5%まで縮小する。

## 一次エネルギー消費(エネルギー源別)

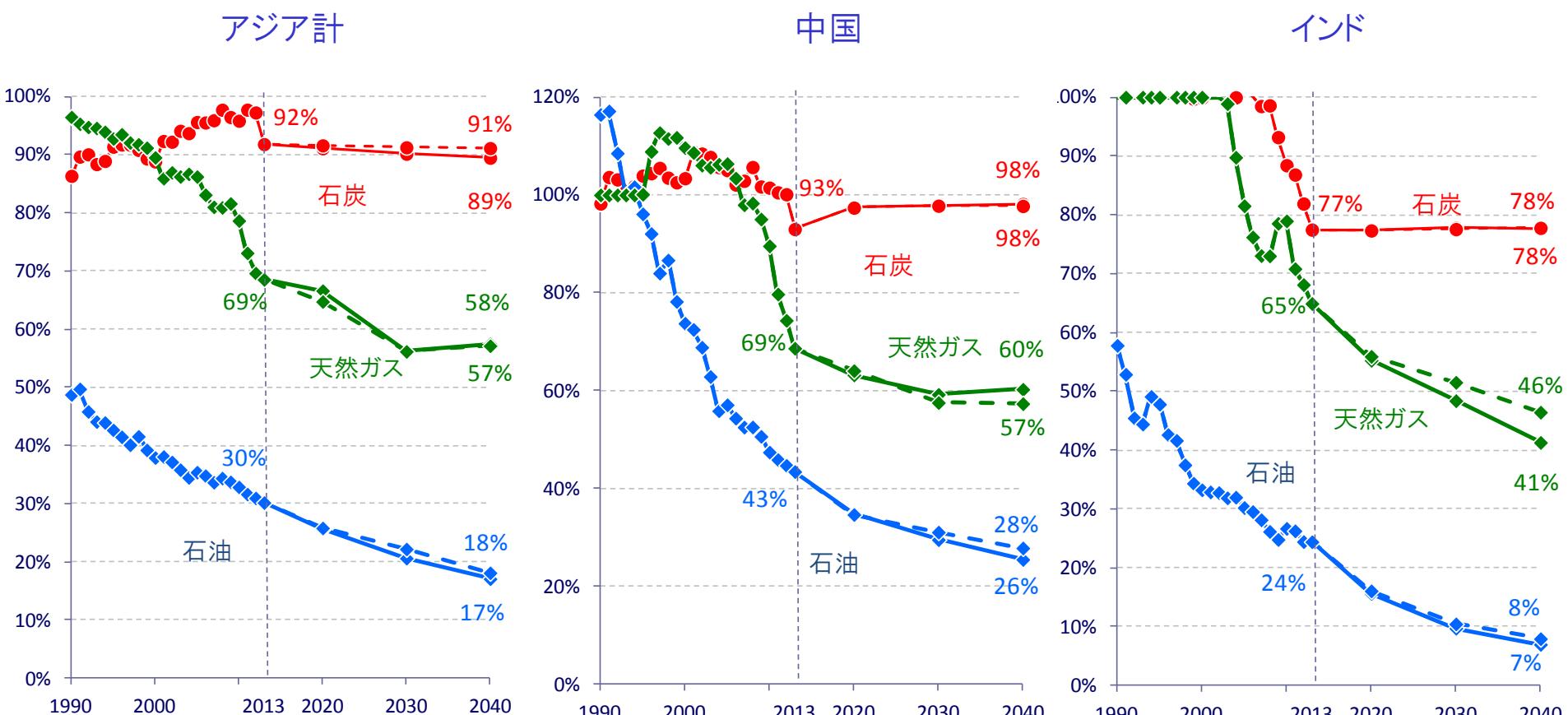
実線…レファレンスケース  
点線…技術進展ケース

%は世界/アジア計に占めるシェア



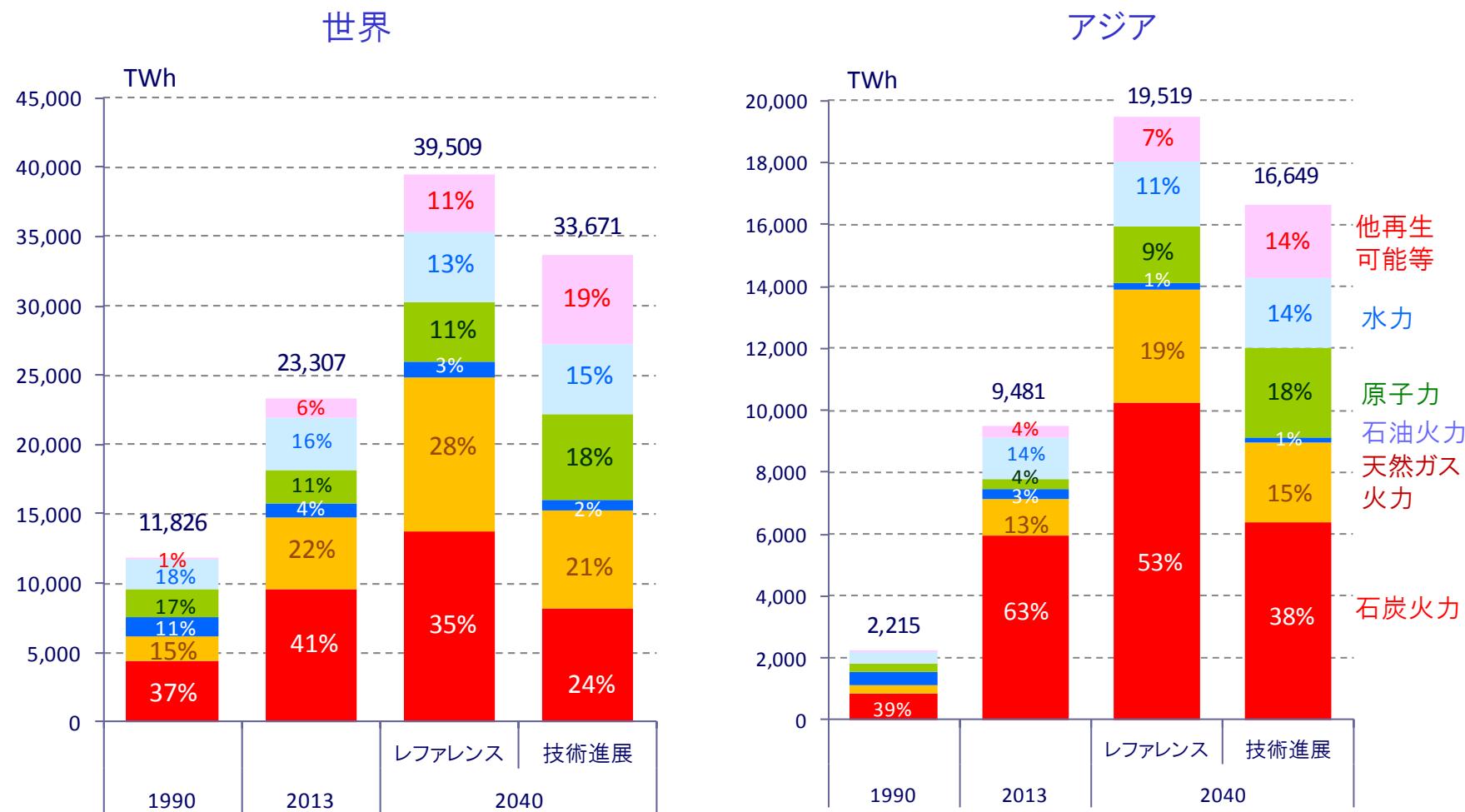
- ・レファレンスケース・技術進展ケースとともに、世界の一次エネルギー消費の中では引き続き石油が2040年まで最大のシェアを占め、主要なエネルギー源であり続ける。技術進展ケースでは、2030年代に石油消費は頭打ちとなる。
- ・アジアでは、石炭が最大のエネルギー源。技術進展ケースでは大幅に削減されるものの、このケースでも2040年まで最大のエネルギー源であり続ける。
- ・化石燃料のシェアは2040年まで低下はするが、技術進展ケースでも依然としてアジア・世界ともに7割を超える。

## アジアのエネルギー自給率

実線:レファレンスケース  
点線:技術進展ケース

- ・中国・インドを含むアジア諸国では石油・天然ガス資源が乏しい一方で、石炭資源は比較的豊富に存在し、エネルギー自給率の安定に寄与している。
- ・但しアジアの化石燃料自給率は低下を続けており、需要が急速に拡大するレファレンスケースのみならず、最大限の省エネルギーを見込んだ技術進展ケースにおいても今後低下に向かう。

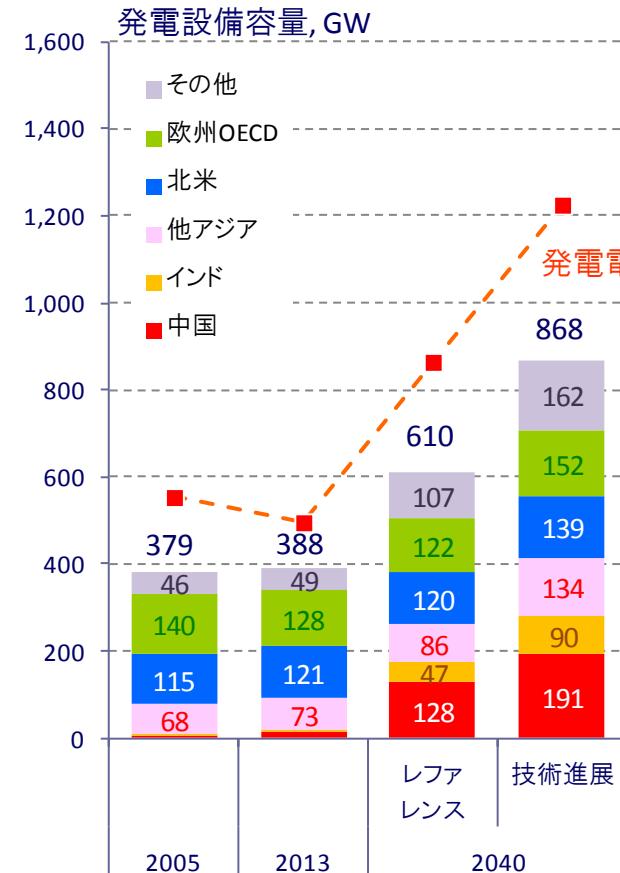
## 発電構成(世界・アジア)



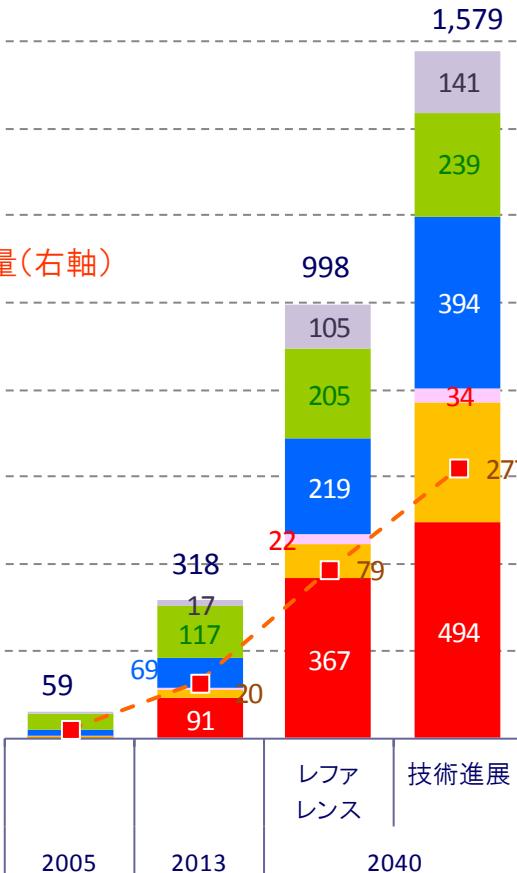
- 2040年においても石炭火力が依然として電力供給の中核を担う。天然ガス複合発電等の導入により、世界的に天然ガス火力の導入が拡大。再生可能エネルギーも風力、太陽光を中心にシェアを拡大。
- 技術進展ケースでは世界で石炭火力のシェアが24%まで縮小する一方、原子力や水力・再生可能エネルギーのシェアが拡大する。

## 原子力・風力・太陽光発電設備容量の見通し

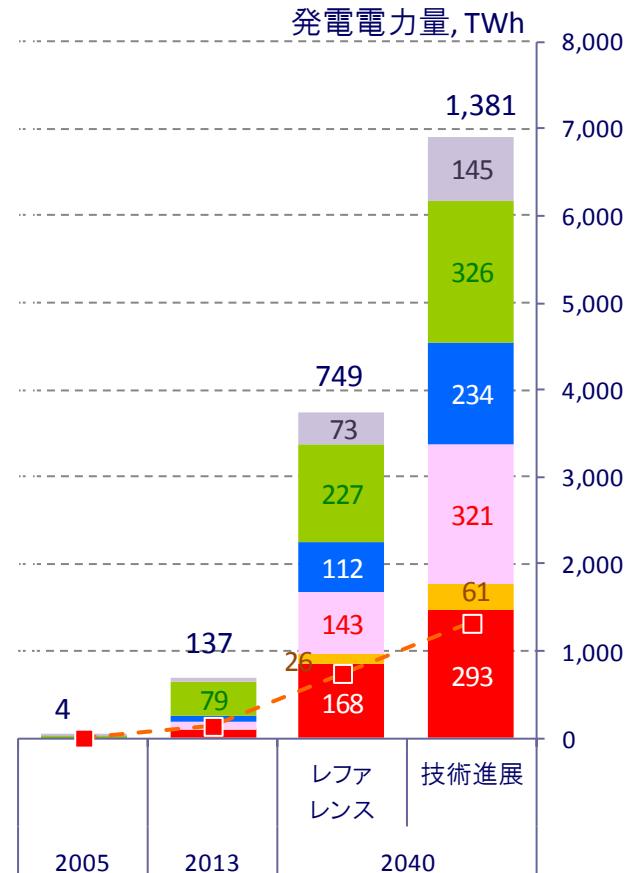
## 原子力発電



## 風力発電



## 太陽光発電



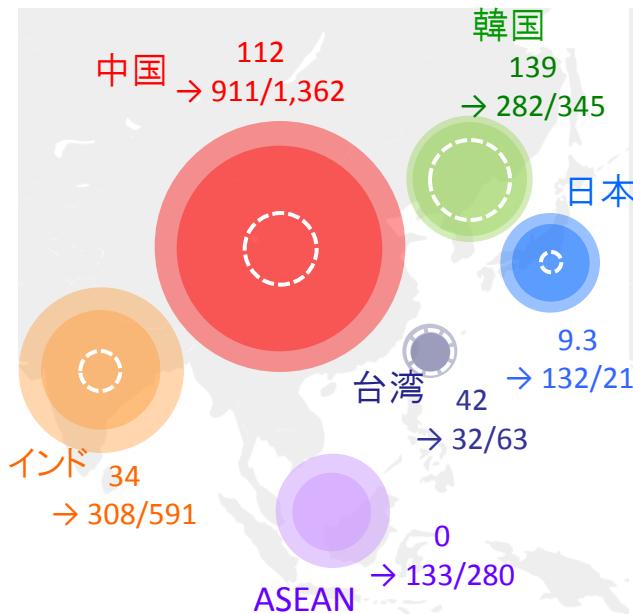
・2013年から2040年にかけて、世界の原子力・風力・太陽光の設備容量はレファレンスケースでそれぞれ1.6倍・3.1倍及び5.5倍、技術進展ケースで2.2倍・5.0倍及び10.1倍に拡大。特にアジアでの拡大が著しく、技術進展ケースではいずれも世界のほぼ半分を、中国・インドを中心とするアジア諸国が占める。

## アジアの原子力・風力・太陽光発電の見通し(発電電力量)

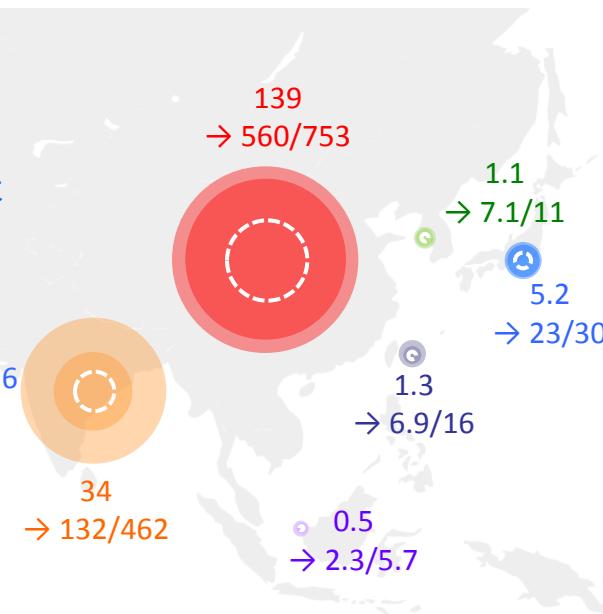
2013(点線)→  
2040レファレンス(内円)  
/2040技術進展(外円)

単位:TWh

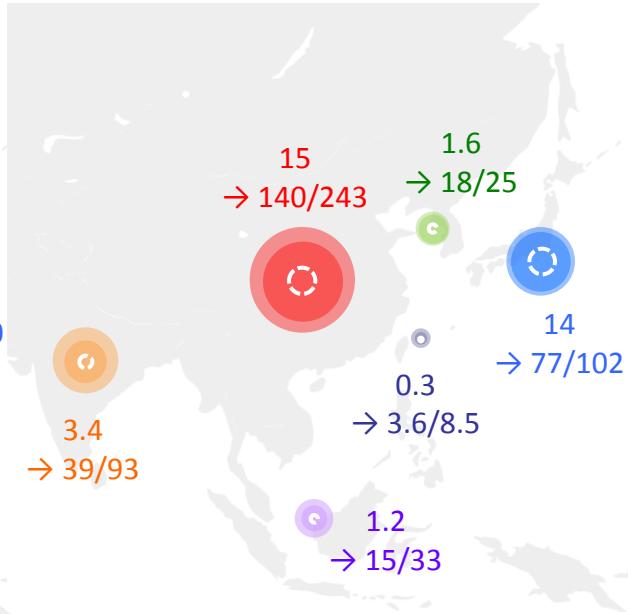
## 原子力発電



## 風力発電



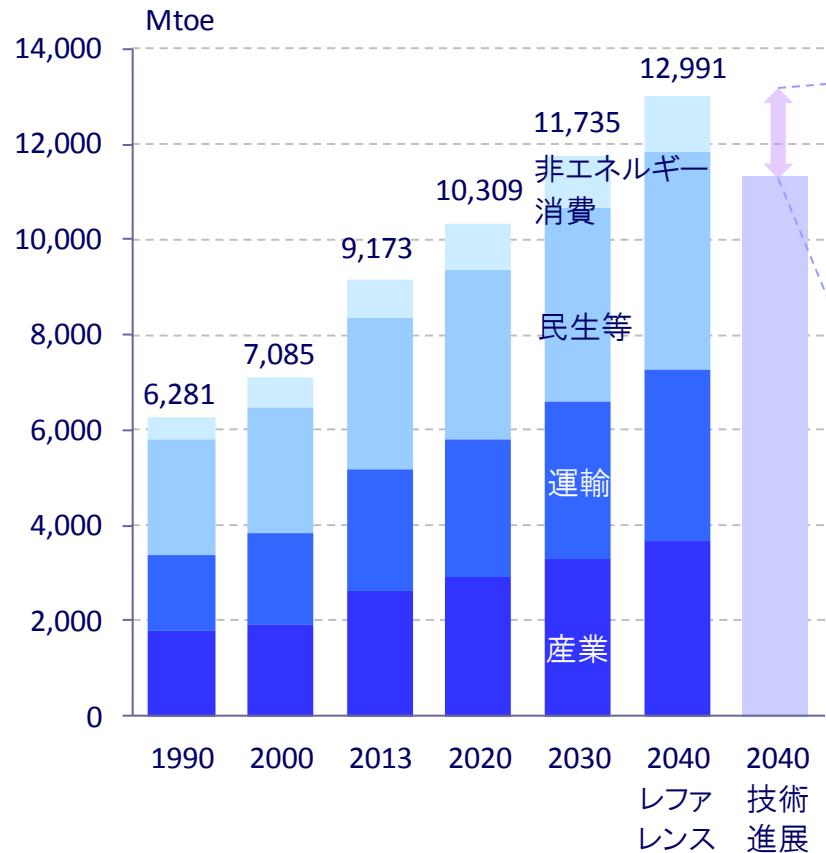
## 太陽光発電



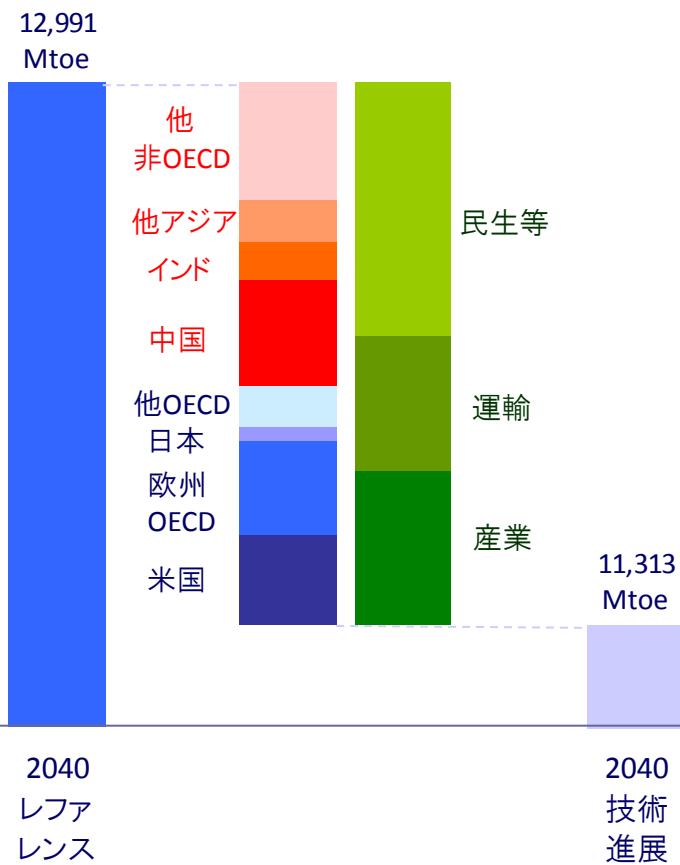
- ・原子力発電、風力発電、太陽光発電全てにおいて、中国を中心に拡大が続く。
- ・原子力は中国のほかインド、韓国などで拡大。現在原子力発電所の稼働がないASEAN地域においても、ベトナムにおける新規建設を嚆矢として導入が進む。
- ・風力発電はインドでは原子力とともに急速に進展するが、ASEAN地域では立地の問題から風力の伸びは小さいなど、状況は地域によって大きく異なる。
- ・太陽光発電は最も高い伸び率で拡大するものの、設備利用率の関係から、発電量では風力を下回る。日本では固定価格買取(FIT)制度の影響で、太陽光発電の拡大が特に大きい。

# 省エネルギー量の部門別・国別内訳

## 世界の最終エネルギー消費の見通し

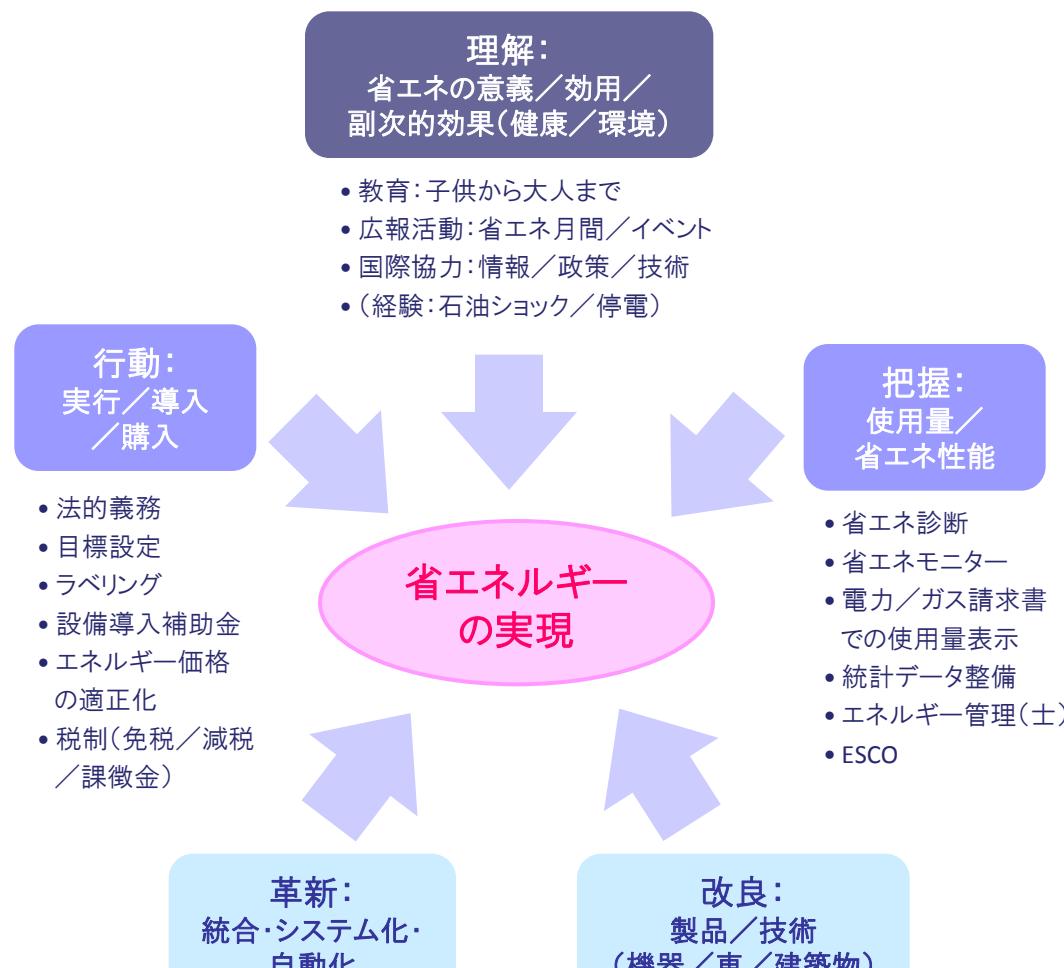


## 省エネルギー量の地域別・部門別内訳

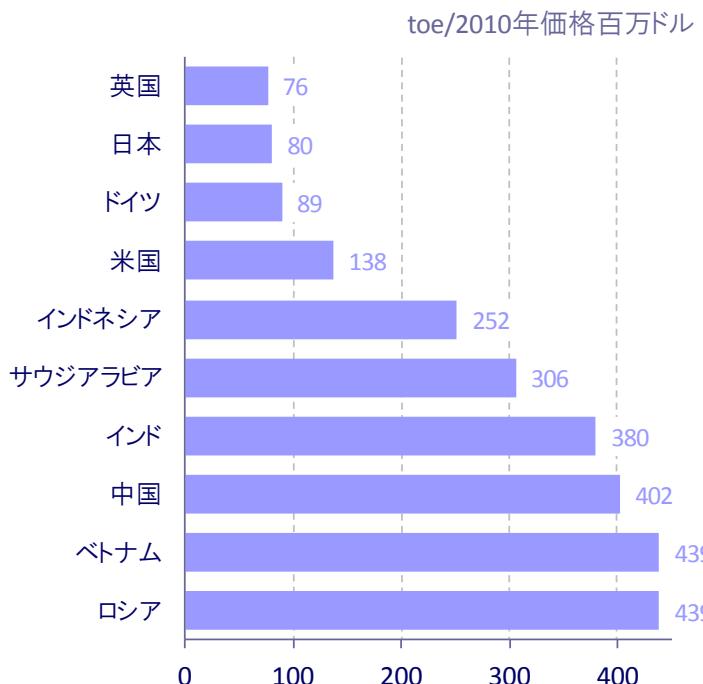


- 世界の最終エネルギー消費は2013年の9,173Mtoeから、レファレンスケースでは2040年に 1.4倍の12,991Mtoeまで拡大。
- 技術進展ケースでは2040年でレファレンスケース比13%減の11,313Mtoeとなる。省エネルギー量のうち約6割を非OECD諸国が占める。部門別では民生他部門(家庭、業務など)の占める比率が47%と大きい。

# 省エネルギー5原則



## エネルギー消費原単位の国際比較

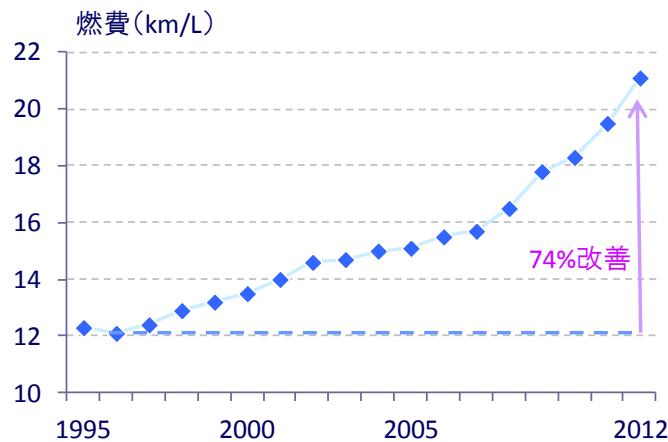


- ・世界各国は既に様々な省エネルギー政策を実施しているが、対象とする範囲や水準は異なり、その効果も様々である。
- ・政策を策定するだけでなく、行動・実行することが重要。
- ・「省エネに始めあって終りなし」と言われるように、全ての国において省エネポテンシャルは存在する。

# 省エネ導入事例

- ・日本では、トップランナー制度により、家電・自動車等の機器の効率改善が進み成果を上げている。
- ・合わせて、性能をラベルで分かりやすく表示することにより、消費者に高効率機器の購入を促している。
- ・諸外国においても燃費基準の改善目標が設定されているため、技術改善が進んでいる。

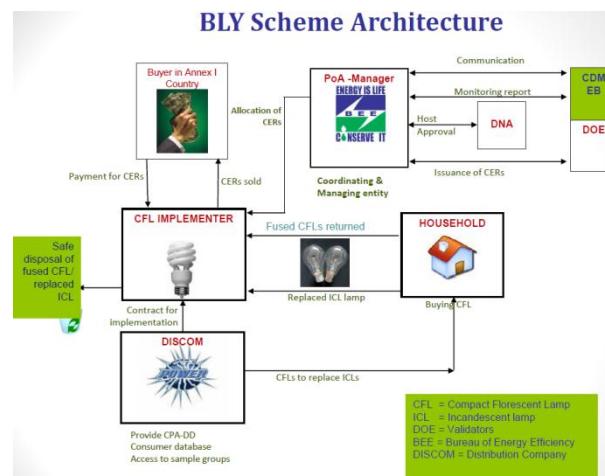
## 日本におけるガソリン乗用車の燃費改善例



出所:国土交通省

インドではエネルギー効率局(BEE)による、CMDによる資金を活用した、電球型蛍光灯の普及事業を実施。

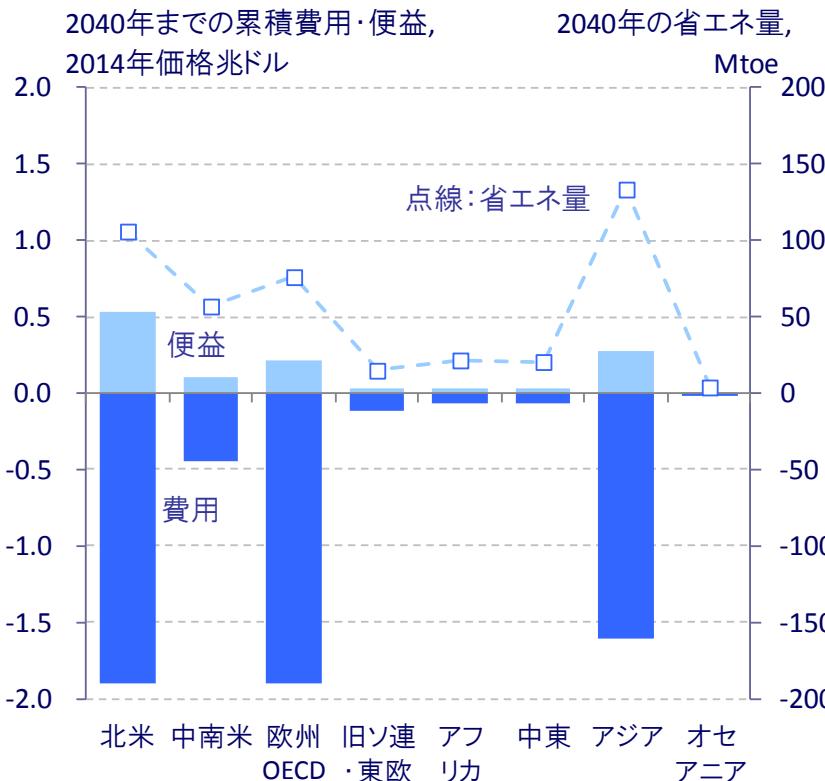
- ・名称: Bachat Lamp Yojana(BLY) Scheme
- ・期間: 2010年から2013年
- ・削減効果: 415 MWの発電設備相当
- ・CFL普及個数: 2,900万個  
(期間内での全販売数)
- ・スキーム: 白熱球と電球型蛍光灯との価格差をCDMのクレジット売却益により差額を補助することで、家庭での蛍光灯の普及を促進する。(€8/CERで採算)



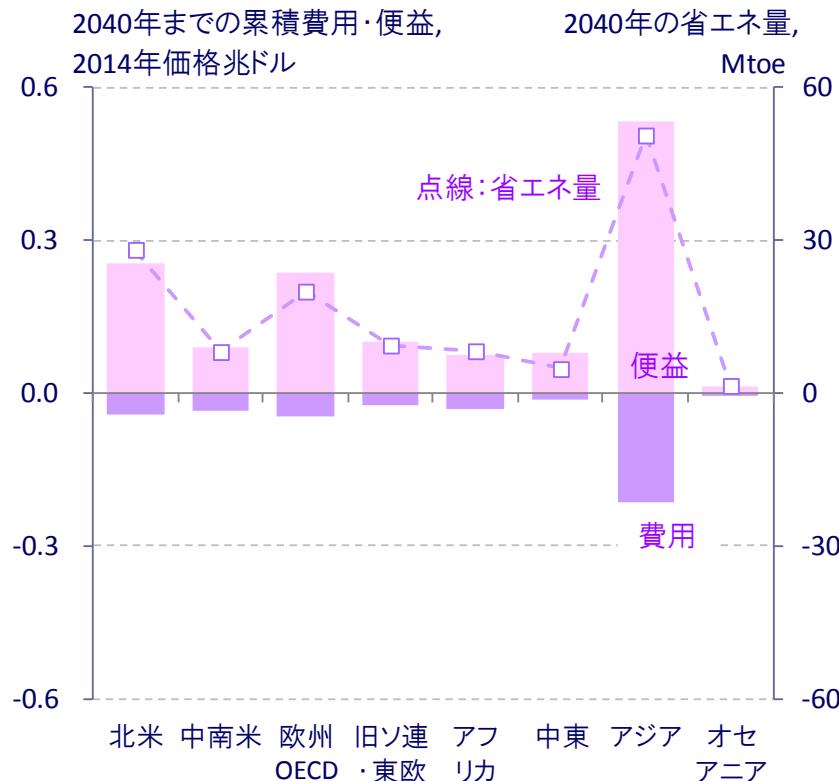
出所:BEE

# 省エネ導入の費用と便益

## 自動車

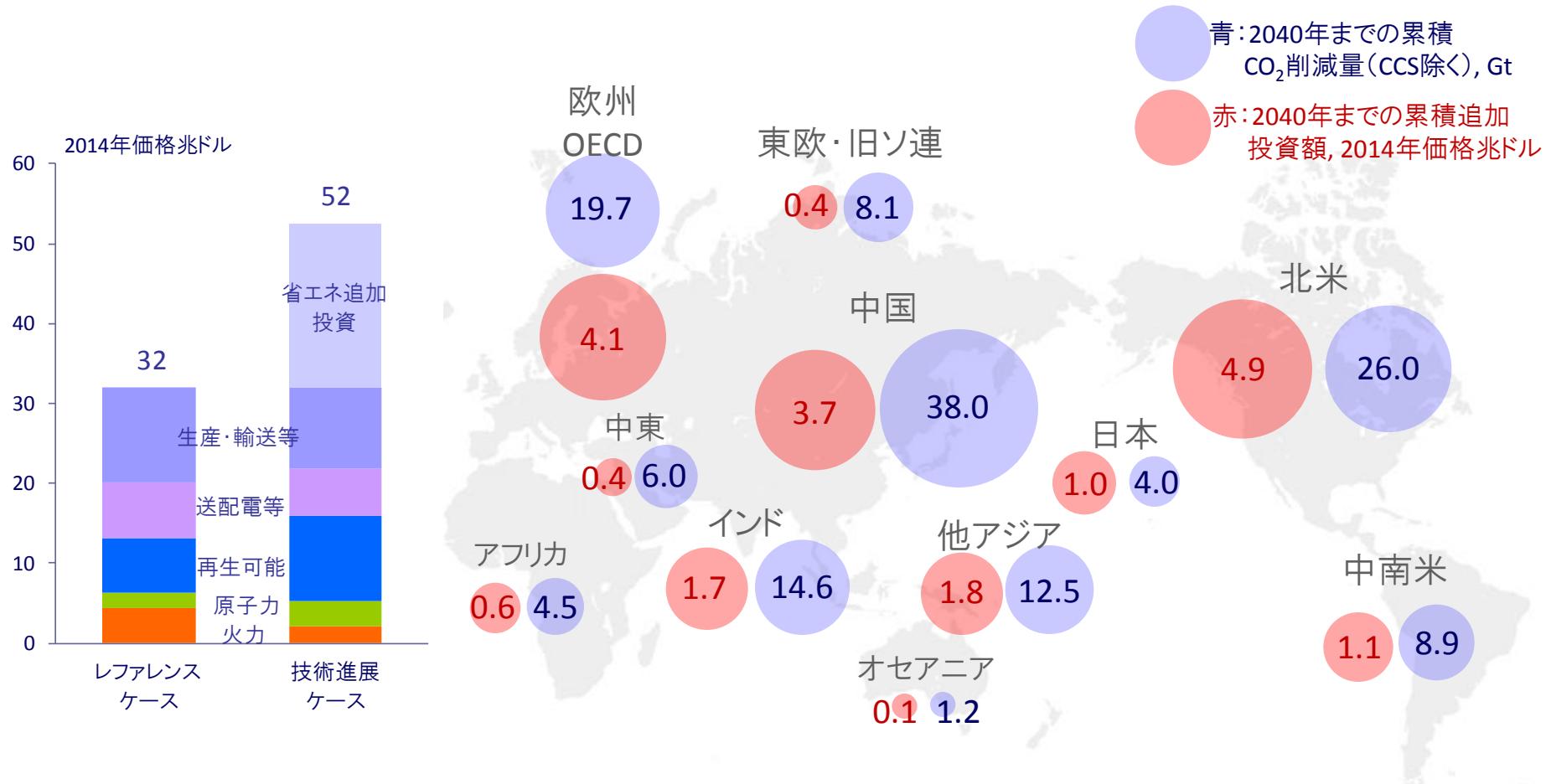


## 高効率照明



- コストと便益のあり方は対策によって大きく異なる。LED等の高効率照明では初期投資（機器の買替費用）に比べて省エネ便益（電気代節約分）が大きく、累積で正の便益となる。一方で、大きな初期投資を必要とする機器の普及については、エネルギーコスト低減のみでは投資を回収できない場合が多い。このような場合には、補助金や税制のインセンティブ等、積極的な政策が省エネ促進のために必要となる。
- 正味で便益を生む対策の最大限の促進が望まれることは言うまでもないが、それのみでは野心的な省エネ目標の達成は望めない。現状では高コストの技術も含めて、最大限の促進を図る必要がある。

# 技術進展ケースの追加投資額(2040年までの累積)



- エネルギー供給側においては、技術進展ケースではエネルギー供給量が減少する一方で再生可能エネルギー等への投資が拡大し、2040年までの累積投資額はレファレンスケースと同等の水準となる。
- 一方でエネルギー需要側において省エネルギーへの追加投資がかかり、トータルで20兆ドル程度の追加投資となる。そのうち、中国・インドを中心とするアジア諸国が42%を占める。

# まとめ:世界・アジアのエネルギー需給見通し

- ・今後長期にわたって世界の一次エネルギー消費量はアジアを中心に拡大し、2040年までにアジアで1.6倍、世界で1.4倍に増加する。急拡大する需要はアジアのエネルギー自給率を低下させ、域外からの輸入依存上昇をもたらし、エネルギー安全保障上の重要な課題となる。また、急増するエネルギー消費量に伴うCO<sub>2</sub>排出量の増加により、地球環境問題は益々困難なものとなってゆく。
- ・これらの問題の解決の鍵を握るのは、省エネルギー及び低炭素化の進展である。特に省エネルギー対策の中にはエネルギーコスト低減の便益が必要な費用を上回るもの多く存在し、あらゆる政策を動員してその実現を目指すべきである。一方で、正味で便益をもたらす対策のみで十分な省エネルギーを実現することは不可能であり、より高価な対策も含めて最大限の省エネルギーの実現を目指す必要がある。
- ・省エネルギー・低炭素化の鍵を握るのも中国・インドを含むアジア新興国であり、それらの諸国の関与なしにエネルギー問題・気候変動問題に対処することは不可能である。持続的な経済成長を妨げることなく最大限の削減を達成する方策を、全ての主要国が有効に講じる必要がある。

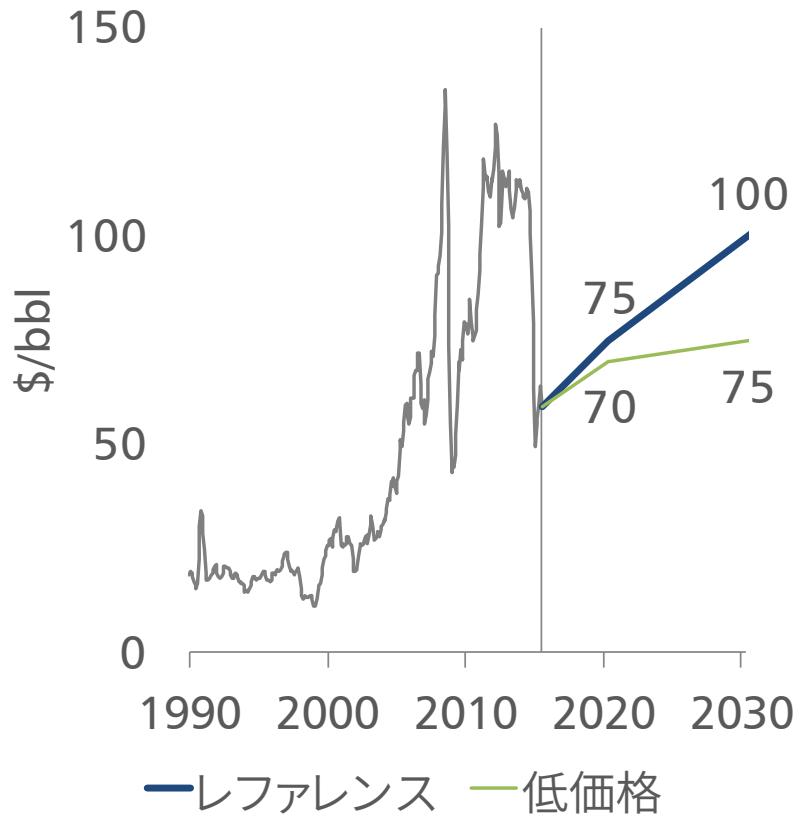
# エネルギー低価格がもたらすもの

# レファレンスケースより低価格となる可能性も

## ❖ レファレンス/低価格ケースの背景

	レファレンス	低価格
需要	省エネルギー・運輸部門での燃料代替は趨勢的に進展	省エネルギーの進展 非化石燃料への代替が進展
在来型資源供給	各国でこれまでと同程度に進展	OPECやロシアなどの低コスト産油国間の増産合戦が続く OPECはカルテル組織としては実質的に崩壊
非在来型資源供給	米国では2020年代以降増産ペースは低下 他の国では少しづつ進展	米国、米国以外ともに最高水準にまで進展

## ❖ 原油価格想定

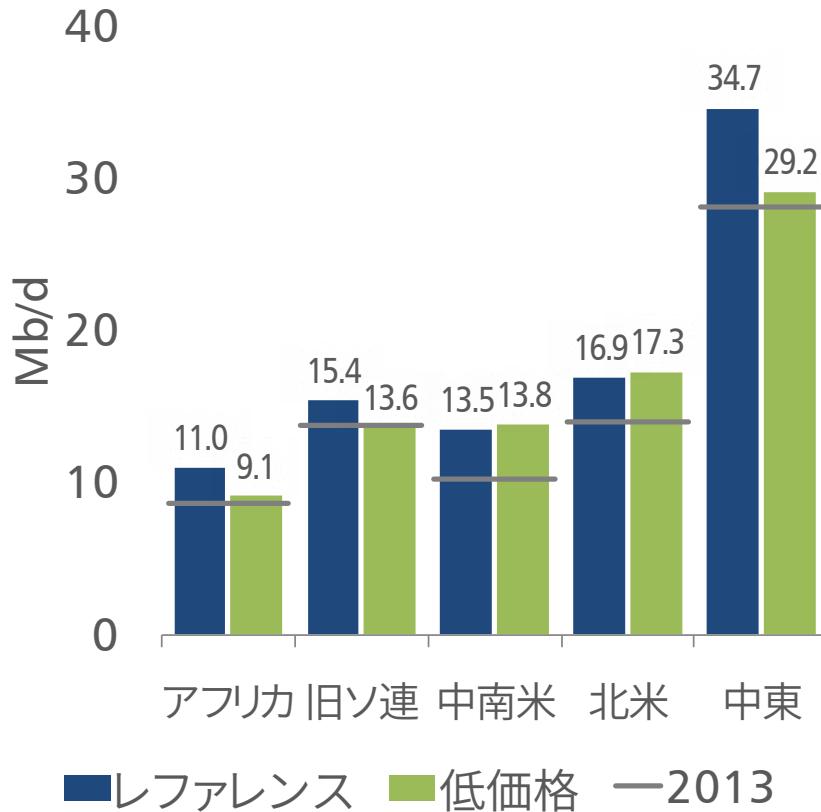


注: 将来値は2014年実質価格

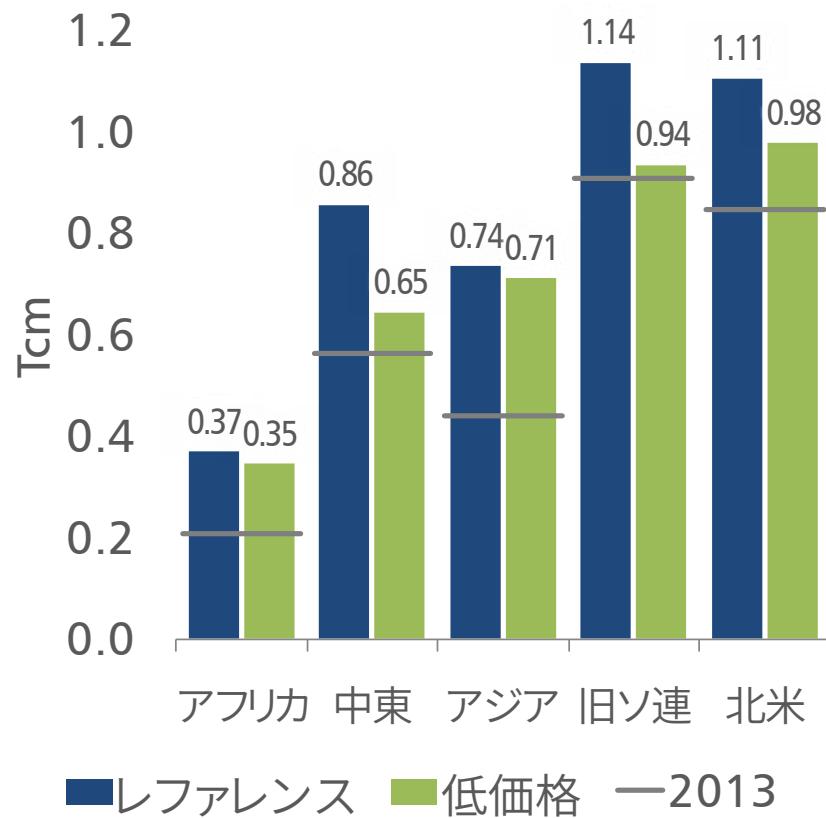
「低価格ケース」では、生産・消費両面の要因で需給が緩和し、価格が低下する前提に立つ  
2030年の油価はレファレンス比25%安と想定

# 抑制される伝統的輸出地域の生産量

## ❖ 主要地域の原油生産[2030年]



## ❖ 主要地域の天然ガス生産[2030年]

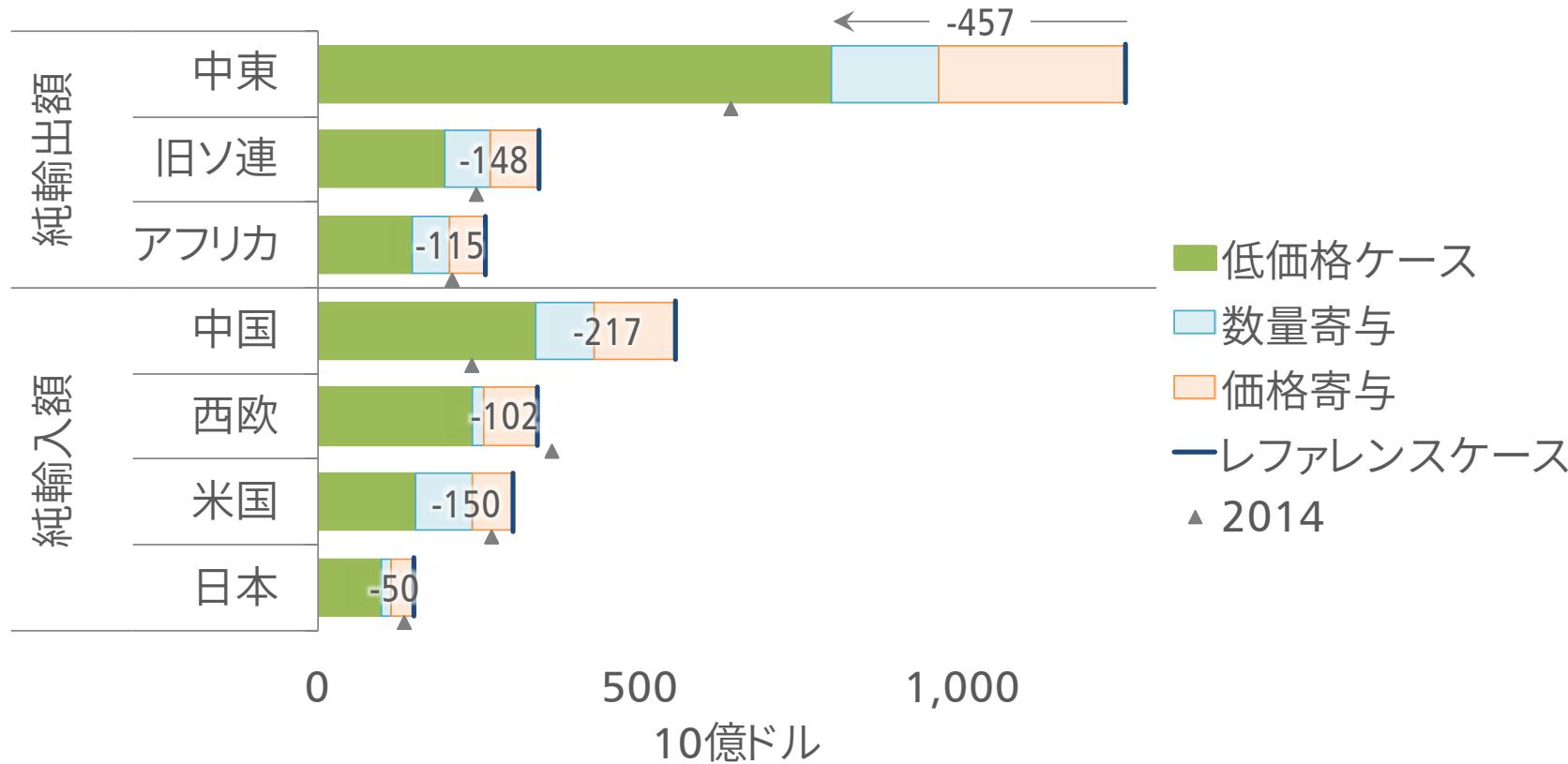


強力に推進されると想定している省エネルギーと他エネルギー源への転換で、2030年の石油生産量は96.5 Mb/dと現状から7.7 Mb/dの増加にとどまる

北米を中心とする非在来型石油の大幅な生産拡大もあり、中東の増産分はわずか1.0 Mb/d。ロシアは0.8 Mb/dの減産に追い込まれる

# 輸入量低減、価格低下両面で輸入国には恩恵

## ❖ 主要地域の原油純輸出入額[2030年]



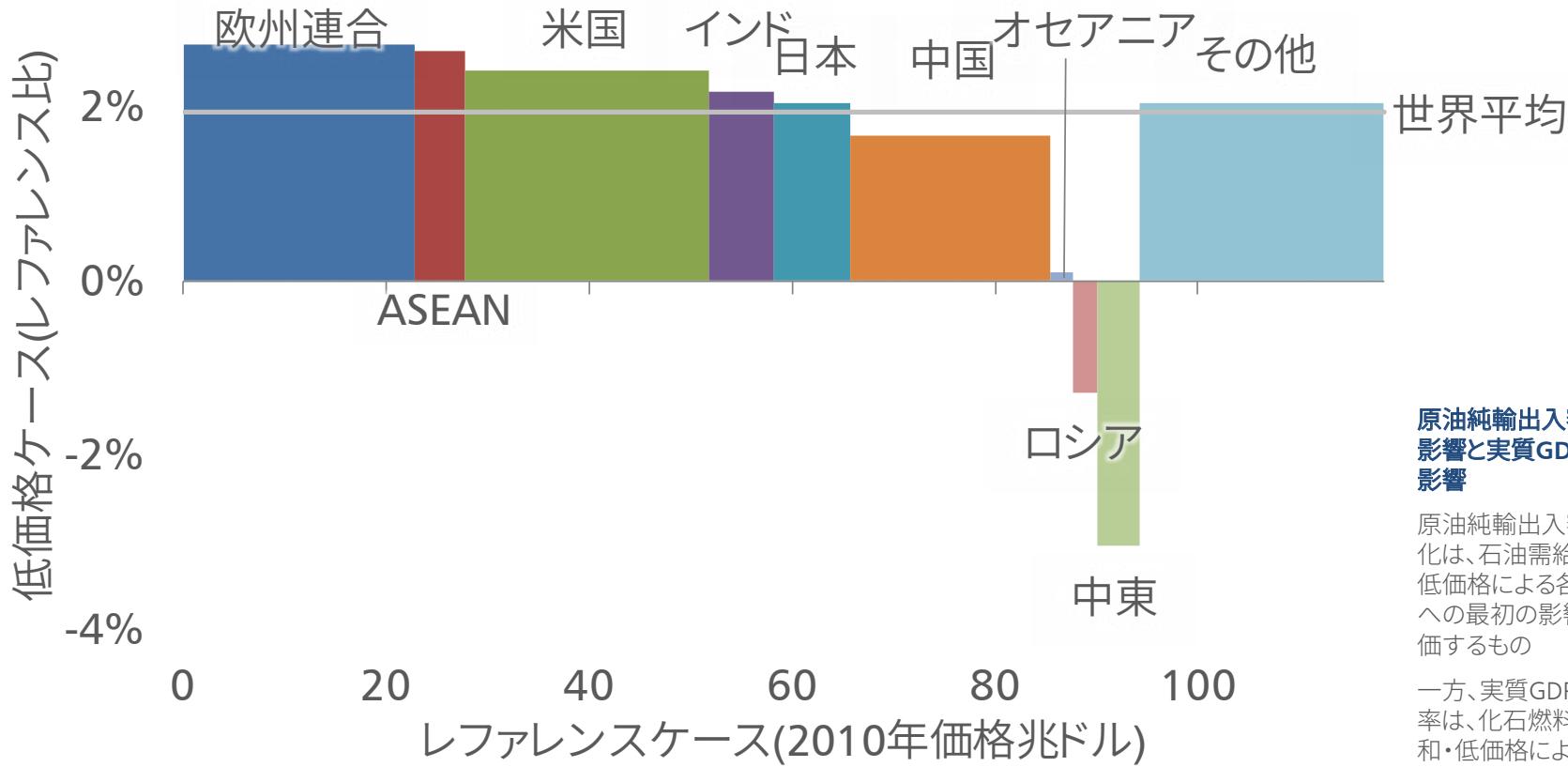
世界的な石油の節減と価格の低下、非在来型資源の活用により、  
原油貿易額\*はレファレンスケースの4.4兆ドルから2.8兆ドルへと36%縮小

\*モデル分析対象15地域間。名目額

原油純輸入額において最大の利益を手にするのは中国で、2,170億ドルもの節約。米国がこれに  
次ぐ1,500億ドル。一方で、中東の原油純輸出額は4,570億ドル減

# 低価格は世界経済を下支え。ただし地域差あり IEE JAPAN

## ❖ 実質GDPの変化率[2030年, レファレンスケース比]



原油純輸出入額への  
影響と実質GDPへの  
影響

原油純輸出入額の変化は、石油需給緩和・  
低価格による各国経済への最初の影響を評  
価するもの

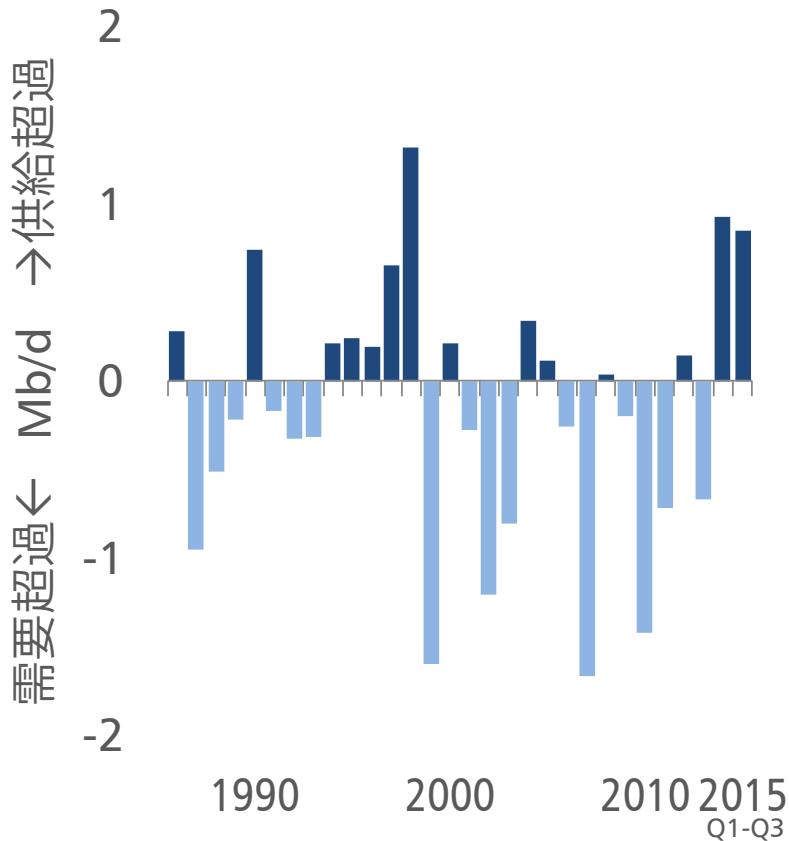
一方、実質GDPの変化率は、化石燃料需給緩和・  
低価格による総合影響を評価するもの。  
各国経済におけるエネルギー純輸出入額の  
重要度、国内エネルギー価格の下落程度  
率、エネルギー以外の財を含めた他国との貿  
易の変化などをを通じた経済全体への影響

原油・天然ガスの価格下落・消費節減は、所得流出の低減や実質購買力の上昇を通じ、輸入国経済の活性化をもたらす。世界全体でも1.9%の経済拡大効果

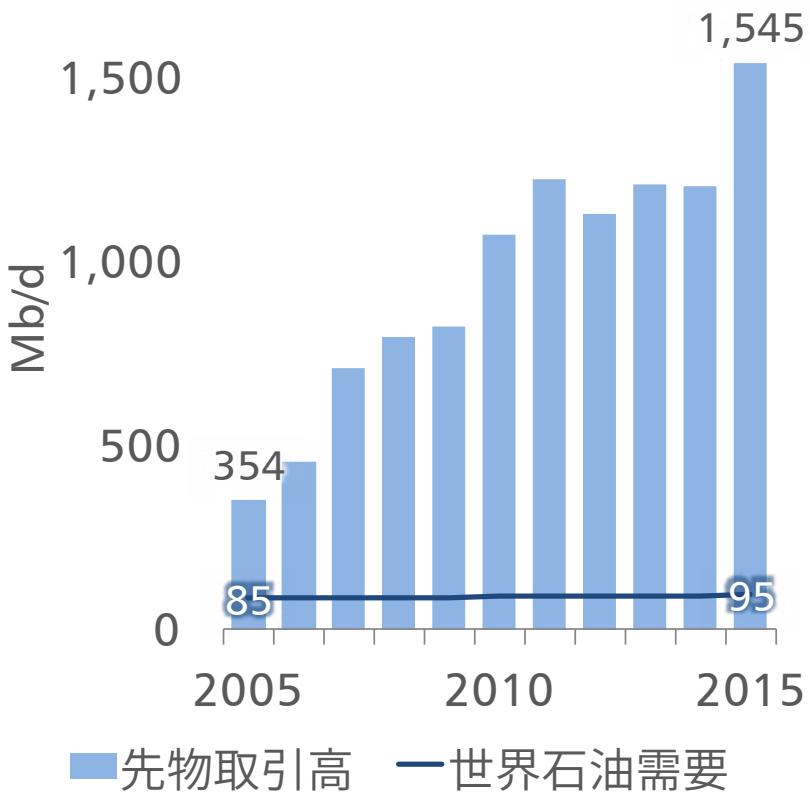
一方、歳入の多くをエネルギー資源の輸出収入に依存する中東産油国などでは、  
エネルギー純輸出額の減少が経済の大きな下押し要因となる

# 一方で、高価格・高ボラティリティのリスクも

## ❖ 世界の石油需給バランス



## ❖ 世界の石油需要と原油先物取引高



2014年以降の供給超過幅は1 Mb/dに迫り、16年ぶりの大きさ。

過去30年においては、これだけの規模の供給超過が3年以上続いたことはなかった

原油先物市場は現物石油需給に比べてはるかに急速に拡大。

今後、金融・投資や地政学的リスクが再び大きな影響を持つ可能性も

# まとめ: エネルギー低価格

## ❖ 今の原油価格をどう理解するか

- 今回の原油価格の下落には、1980年代の逆オイルショック時と似通った部分がある
  - (1) 新たな供給源からの増産が大きく寄与
  - (2) 経済ショックによる需要要因によらない
  - (3) OPEC加盟国間の増産競争
- 原油市場は、本質的にはサイクル的な性格を有しており、いずれ原油価格は上昇に転じる。しかし、1980年代との類似性は、油価低迷が短期間で終結しない可能性を想起させる
- 2011年からの価格高騰期、原油価格は需給要因が示す以上の価格水準にあった。今後も国際石油市場の展開によっては、再び非需給要因が大きな影響を持つ可能性も
- 過度に不安定なエネルギー価格の下では、需給双方で適切な投資が阻害され、将来の需給バランス不安定化の可能性。生産国と消費国、また消費国間でも、持続的な発展に向けた建設的な取り組みが重要

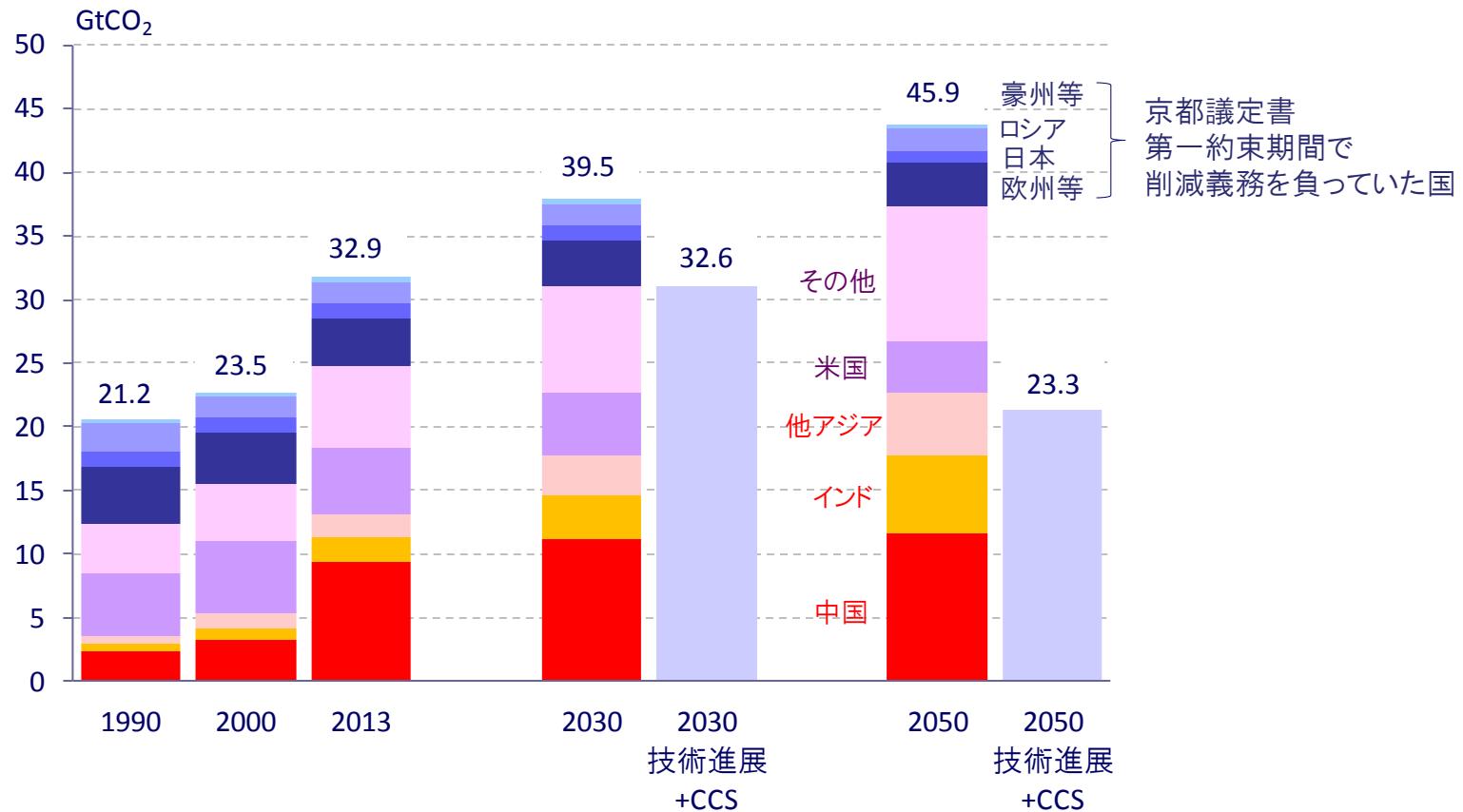
## ❖ 需給緩和・低価格の影響[2030年]

- 政策的な化石燃料需要の抑制、技術進歩による非在来型資源の活用などで需給緩和状態となれば、\$75/bblもしくはそれ以下の原油価格も想定しうる
- 省エネルギー・エネルギー転換で、原油生産は96.5 Mb/dと現状比7.7 Mb/dの増加にとどまる。北米などでの非在来型石油の大幅増産もあり、中東の増産はわずか1.0 Mb/d、ロシアは0.8 Mb/dの減産
- 輸入量低減と価格低下の効果で、原油純輸入額は大幅縮小。その面で、最大の果実を得るのは中国
- エネルギー純輸入額の縮小は、輸入国経済に追い風。世界全体でも1.9%の経済拡大効果。一方、歳入の多くをエネルギー資源の輸出収入に依存する中東などでは、経済の大きな下押し要因

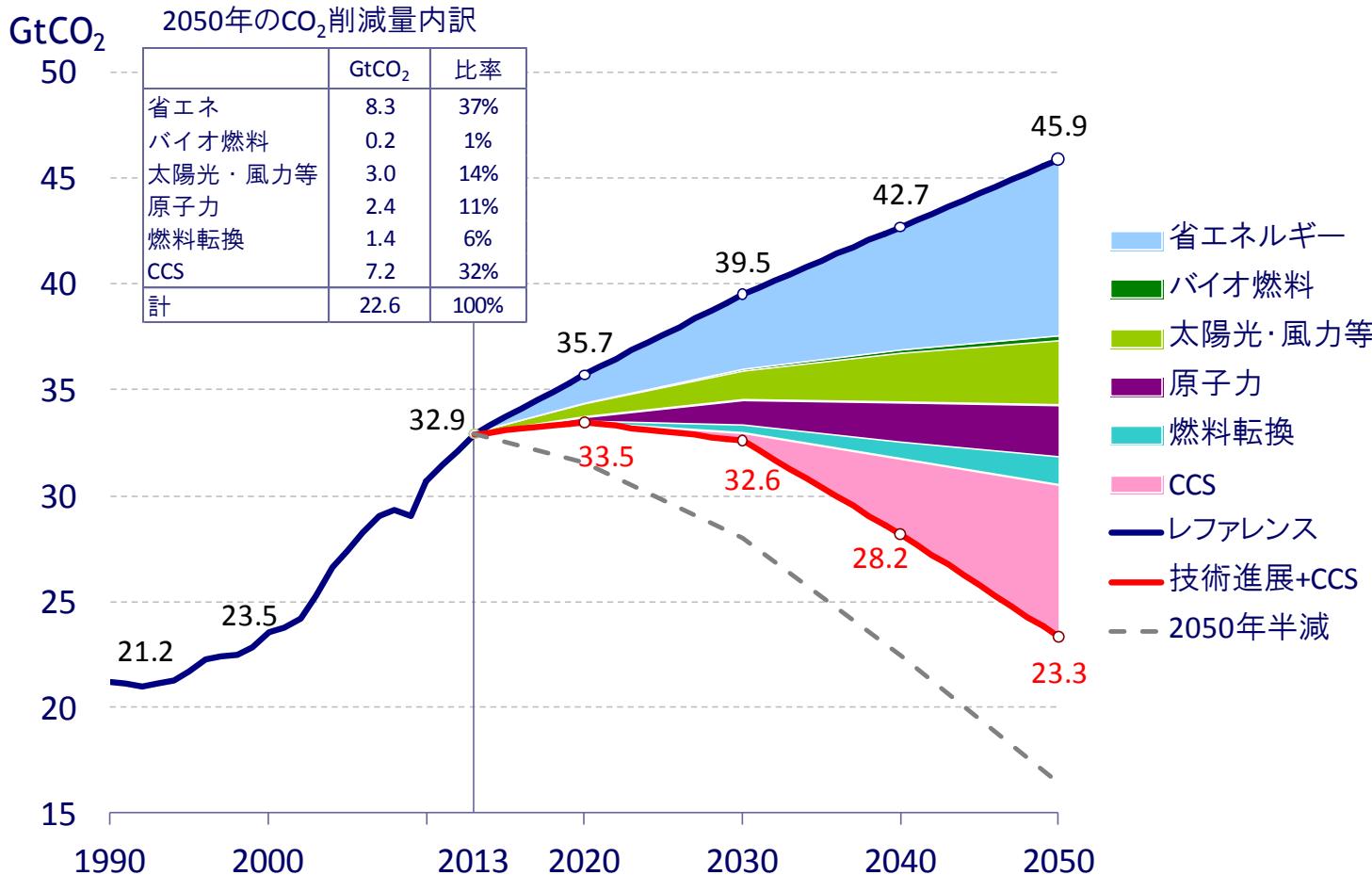
# 気候変動問題への対処

# CO<sub>2</sub>排出量(世界:地域別)

※ CO<sub>2</sub>排出量合計値は国際バンク一分を含む



- 世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量は2013年から2050年にかけて1.4倍に拡大。特にインドやその他アジア地域のほか、中東、中南米、アフリカ等での増加が著しい。
- 京都議定書第一約束期間において削減義務を負っていた国(欧州諸国、日本、ロシア、豪州など)が世界のCO<sub>2</sub>排出量に占めるシェアは、1990年の40%から2013年には22%へと低下。更に今後、2050年にかけて15%まで低下する。

CO<sub>2</sub>排出量(世界:対策による内訳)レファレンスケース  
技術進展+CCSケースIEE  
JAPAN

- 2050年における技術別のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルは、省エネルギーの促進によるものが最も大きく(83億トン削減、2050年の総削減量の36%、現在の排出量の約3割)、次いでCCSによるもの(72億トン削減)である。再生可能エネルギー導入拡大や、燃料転換(石炭や石油から天然ガスへの消費シフト)も重要な役割を担う。
- 世界のCO<sub>2</sub>排出量を現状比で半減するためには、更に追加対策が必要となる。革新的技術開発、環境配慮型の都市開発など、更なる長期的対策が求められる。

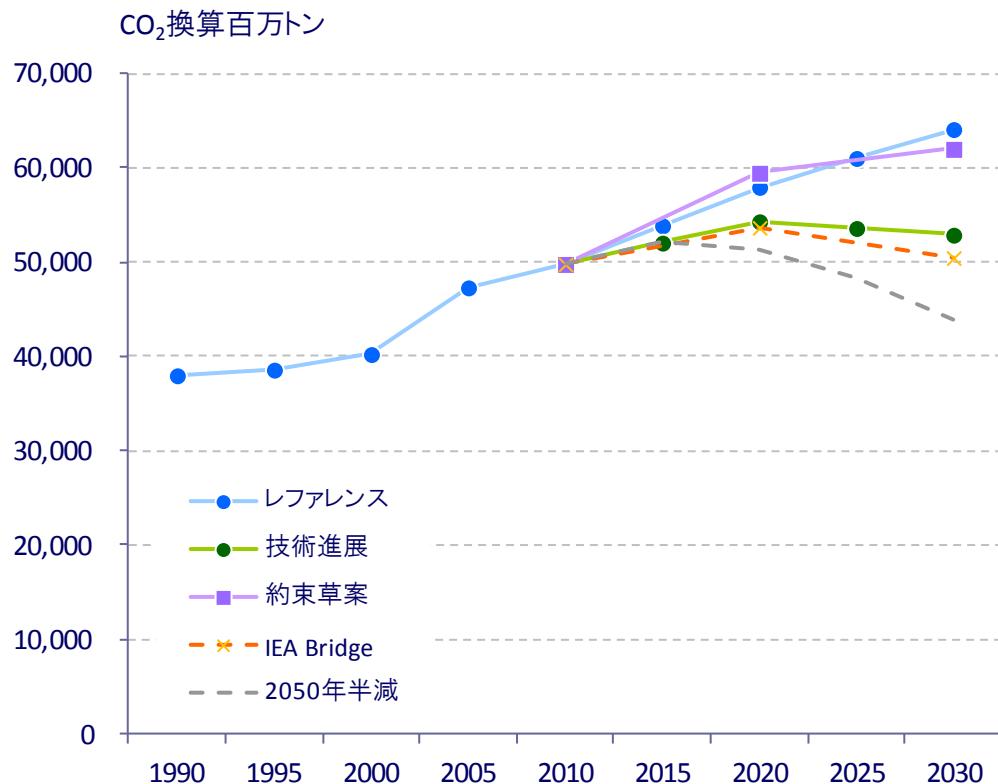
# 主要国のINDC(自主的に決定する約束草案)の提出状況

	提出日	タイプ	削減水準(%)	参照点	目標年	対象セクター・ガス
EU	3月6日	基準年比排出量目標	40	1990年	2030年	GHG排出量
米国	3月31日	基準年比排出量目標	26～28	2005年	2025年	GHG排出量 ※基準年排出量には森林 吸収源等による吸収量を含む
ロシア	4月1日	基準年比排出量目標	25～30	1990年	2030年	GHG排出量
中国	6月30日	基準年比対GDP原単位目標	60～65	2005年	2030年	CO2排出量
日本	7月17日	基準年比排出量目標	26	2013年	2030年	GHG排出量
インドネシア	9月24日	BAU比排出量目標	29	BAU	2030年	GHG排出量
ブラジル	9月30日	基準年比排出量目標	37 (2030年に43%)	2005年	2025年	GHG排出量
インド	10月1日	基準年比対GDP原単位目標	33～35	2005年	2030年	GHG排出量

- ・今年12月に開催される国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP 21)に向けて、各国はINDC(Intended Nationally Determined Contribution)と呼ばれる温室効果ガス(GHG)削減の約束草案を提出している。2015年10月1日までに世界117カ国・地域(144カ国)がINDCを提出済み。
- ・そのうち、上記の主要8カ国・地域のみで2010年の世界のGHG排出量498億トンの約65%を排出している。

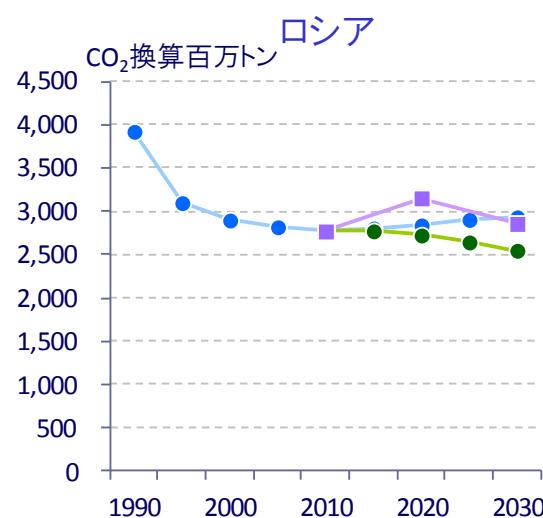
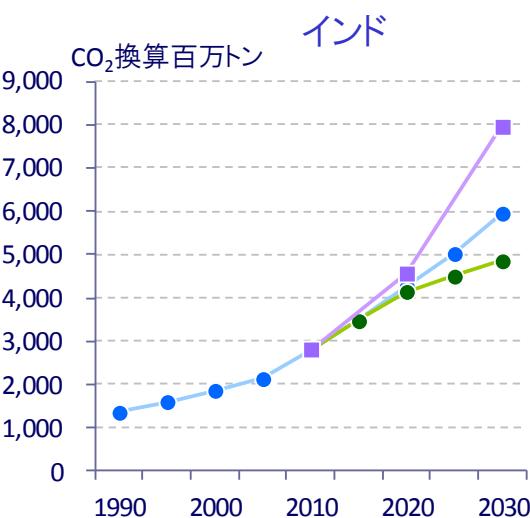
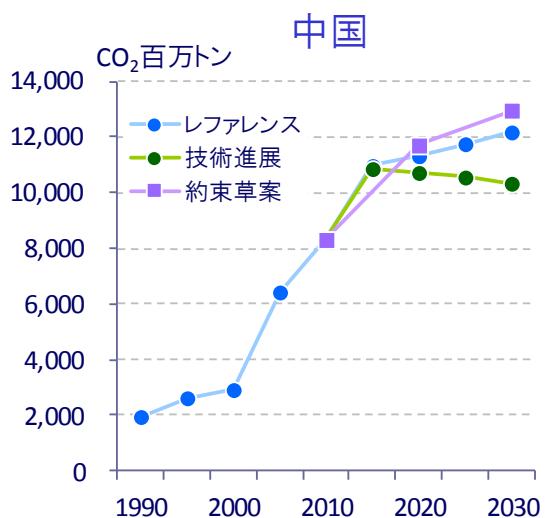
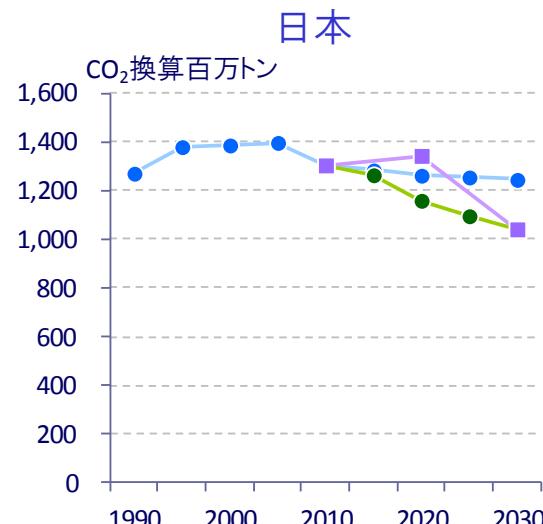
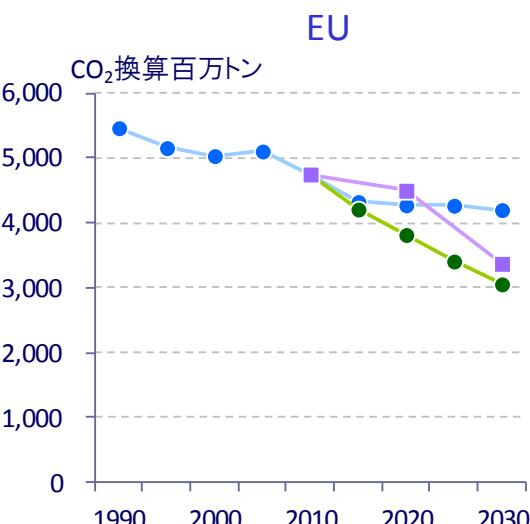
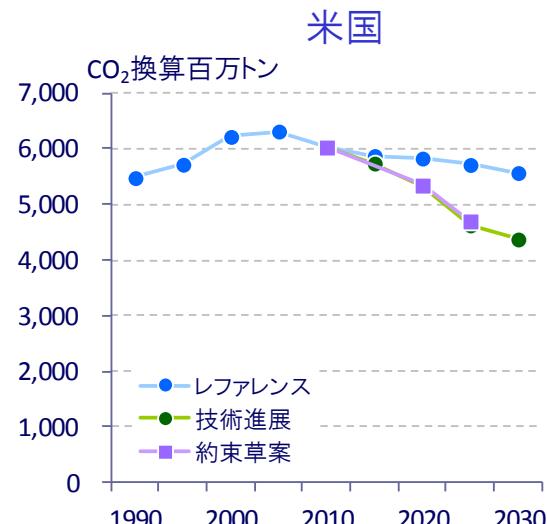
# INDCとレファレンス・技術進展ケースとの比較

※ エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量からGHGに換算して比較。



- 主要国のINDCをもとに2030年の世界全体の排出水準を推計すると、技術進展ケースを大きく上回り、レファレンスケースに近いレベルになる。
- INDCによる目標の達成のみでは、世界半減シナリオはもとより技術進展ケースにも及ばない。

## INDCとレファレンス・技術進展ケースとの比較：国別



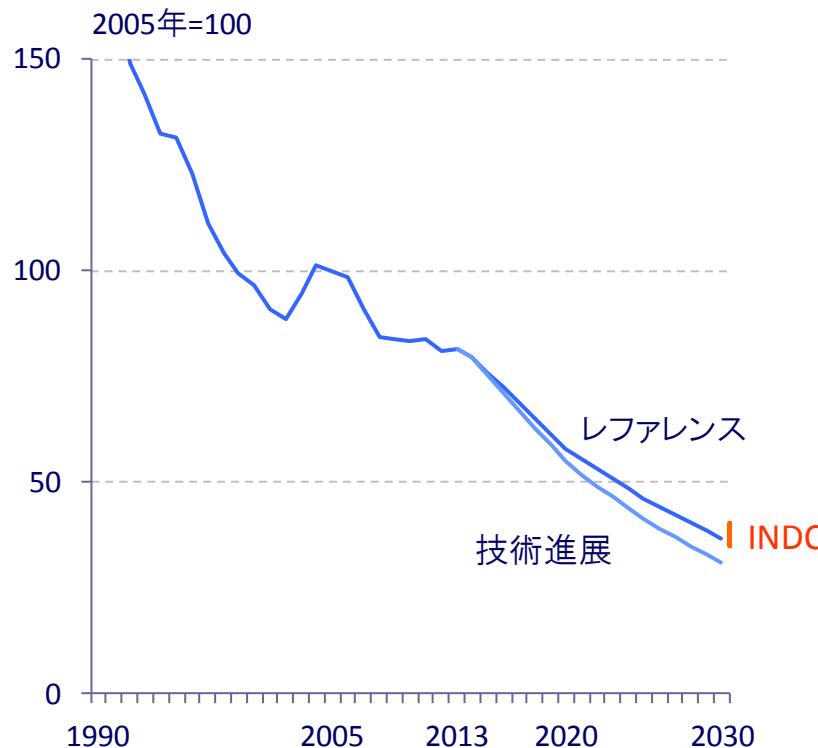
- 米国・日本の約束草案は技術進展ケースに近い削減目標となっており、EUの目標はレファレンスと技術進展ケースの間、後者寄りに位置する。
- 中国はレファレンスケースに近く、インドはレファレンスケースに至らない。

※ 日本の2020年の目標は原子力の削減分を含まない値。  
※ 中国のみCO<sub>2</sub>、その他はGHGの値。

# CO<sub>2</sub>排出原単位による比較: 中国とインド

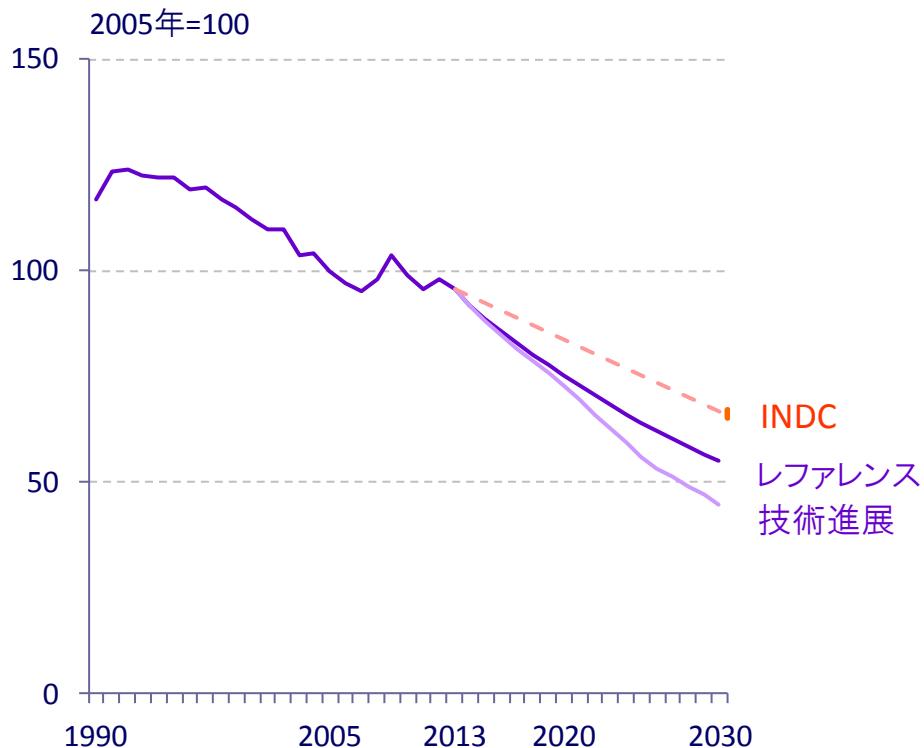
中国

INDC: 原単位を2005年比  
60~65%削減



インド

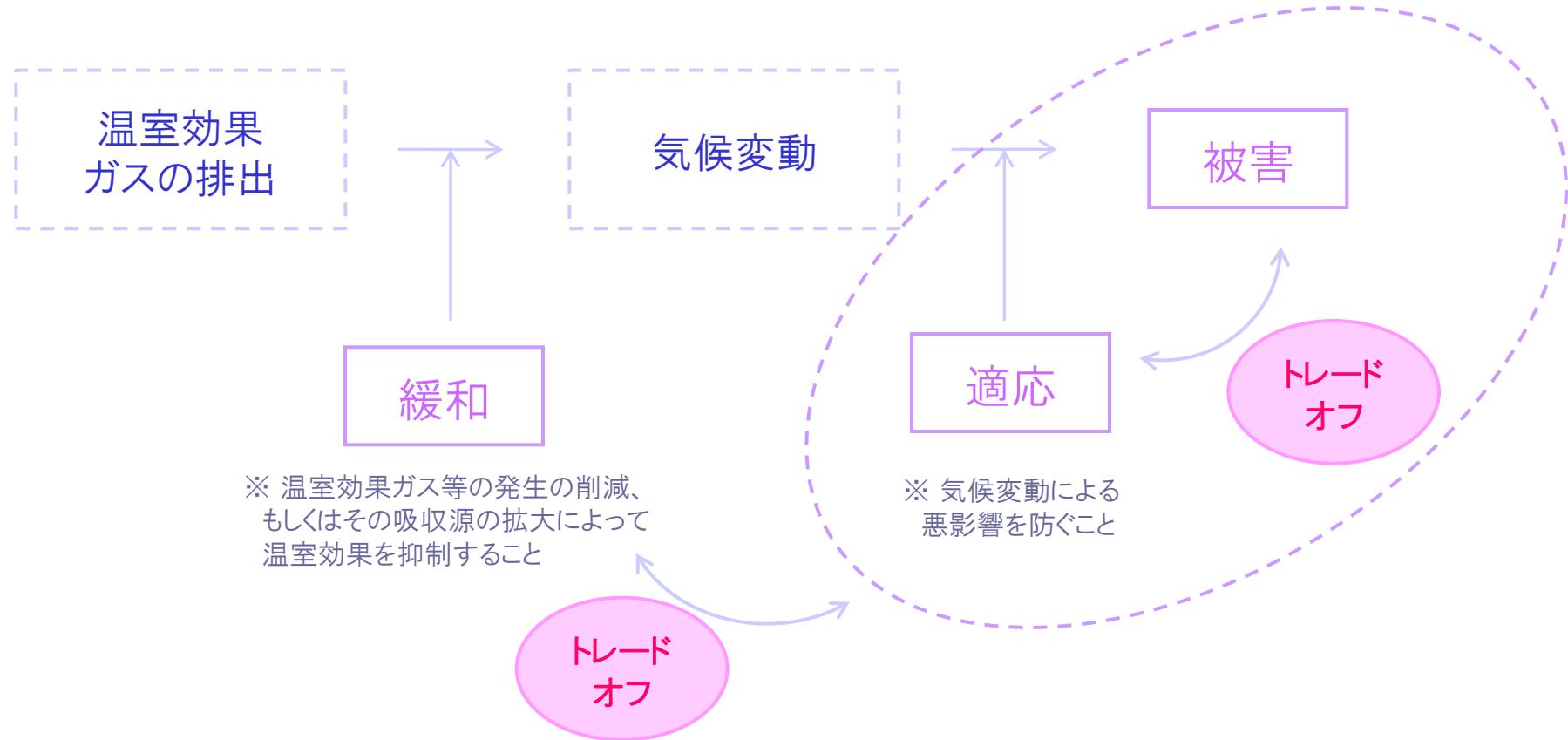
INDC: 原単位を2005年比  
33~35%削減



※ INDCの対象であるCO<sub>2</sub>(中国)、GHG(インド)の原単位低減率が  
エネルギー起源CO<sub>2</sub>の低減率と同一と仮に想定して計算したもの。

- ・中国・インドを含む新興国では、CO<sub>2</sub>排出量は過去増加しているものの、排出原単位(排出量÷GDP)は急速に低下を続けている。
- ・中国の目標である2005年比60~65%削減は、レファレンスケース(同63%削減)と同程度。インドの目標33~35%削減は、レファレンスケース(45%削減)を大きく下回る。

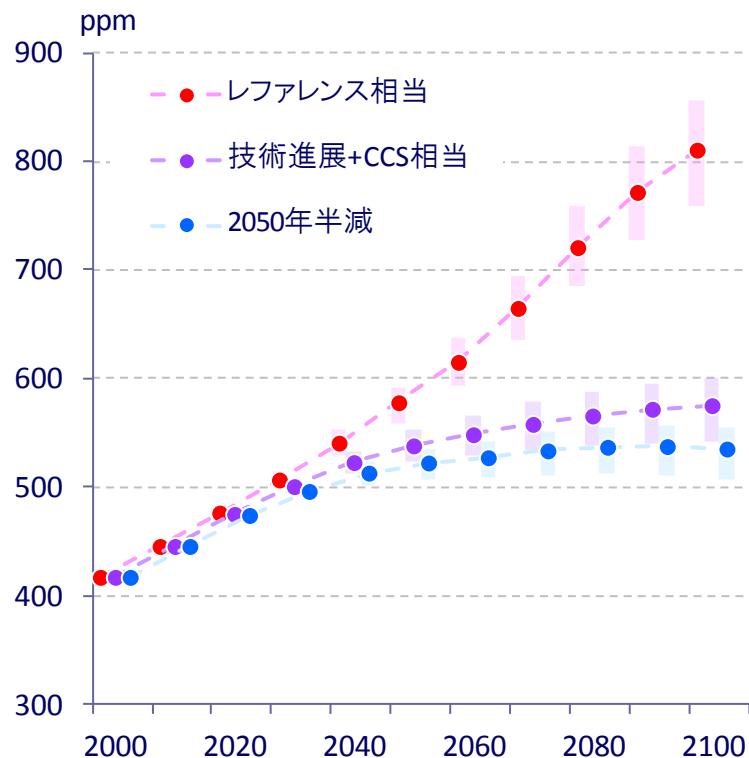
# 緩和・適応費用と気候変動に伴う被害



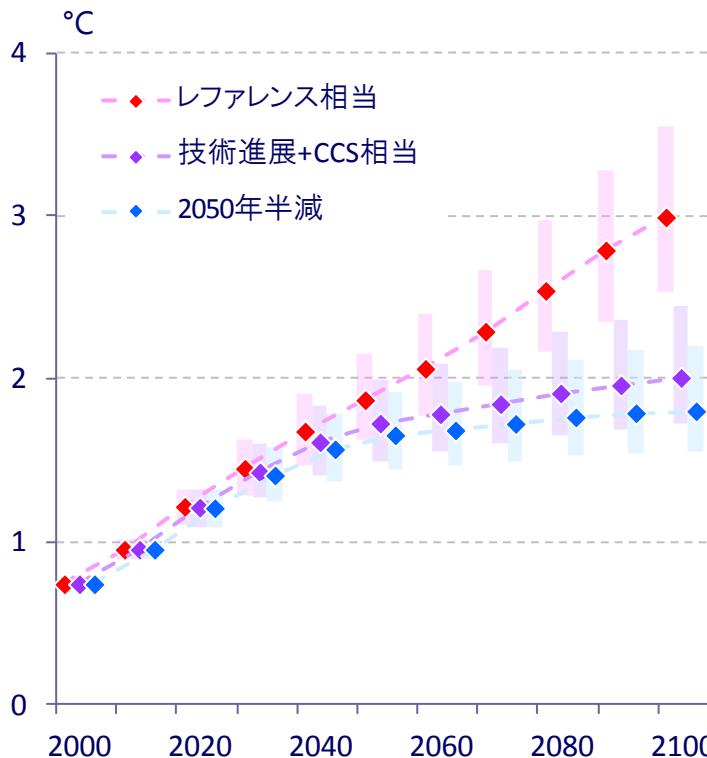
- ・気候変動問題を考えるに当っては、緩和費用・適応費用及び気候変動に伴う被害額の3者を総合的に考慮し、目標を定めることが必要。全てを同時に低減することは不可能。
- ・「適応」と「被害」はトレードオフの関係にあり、また、「緩和」と「適応+被害」もトレードオフとなる。

# レファレンスケース・技術進展ケースと世界半減ケース

## 大気中GHG濃度の推移



## 1850～1900年からの気温上昇



- ・レファレンスケースでは世界平均気温は上昇を続け、2100年に1850年～1990年に比べて3.0°C程度の上昇となる（但し気温上昇の評価は不確実であり、誤差もあり得る）。
- ・2050年に世界の温室効果ガス排出量を現状比で半減し、2100年にゼロとする「半減シナリオ」では2100年までの気温上昇は1.8°C程度。それに対し、技術進展+CCS相当では2.0°C程度の上昇となる。

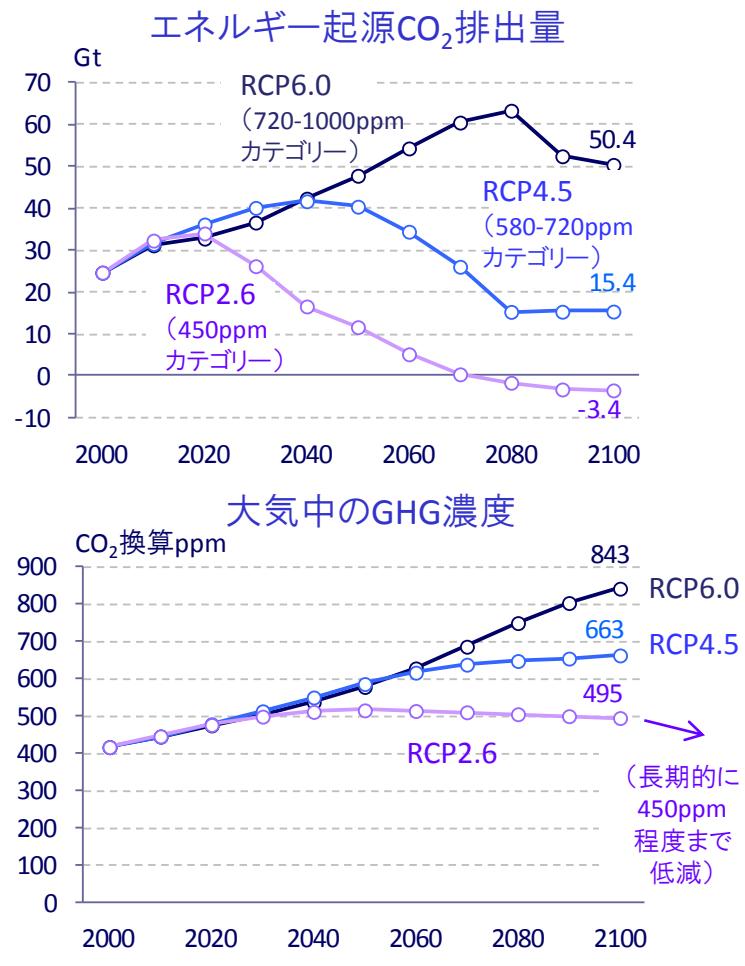
# 参考:IPCC第五次評価報告書のカテゴリーと450ppmシナリオ

## IPCC第五次評価報告書・第三作業部会(AR5-WG3) におけるシナリオ

2100年のGHG濃度 (CO <sub>2</sub> 換算ppm)	サブ カテゴリー	2050年の GHG排出量 (2010年 比, %)	1850～1900年 から2100年までの 気温上昇(℃)※
450 (430-480)	多くのシナリオで オーバーシュート	-72～-41	1.5～1.7 (1.0～2.8)
500 (480-530)	オーバーシュート なし	-57～-42	1.7～1.9 (1.2～2.0)
	オーバーシュート あり	-55～-25	1.8～2.0 (1.2～3.3)
550 (530-580)	オーバーシュート なし	-49～-19	2.0～2.2 (1.4～3.6)
	オーバーシュート あり	-16～+7	2.1～2.3 (1.4～3.6)
(580-650)		-38～+24	2.3～2.6 (1.5～4.2)
(650-720)		-11～+17	2.6～2.9 (1.8～4.5)
(720-1000)		+18～+54	3.1～3.7 (2.1～5.8)

※ 括弧内は炭素循環と気候システムの不確実性を含む。

(出所)IPCC 第5次評価報告書より作成

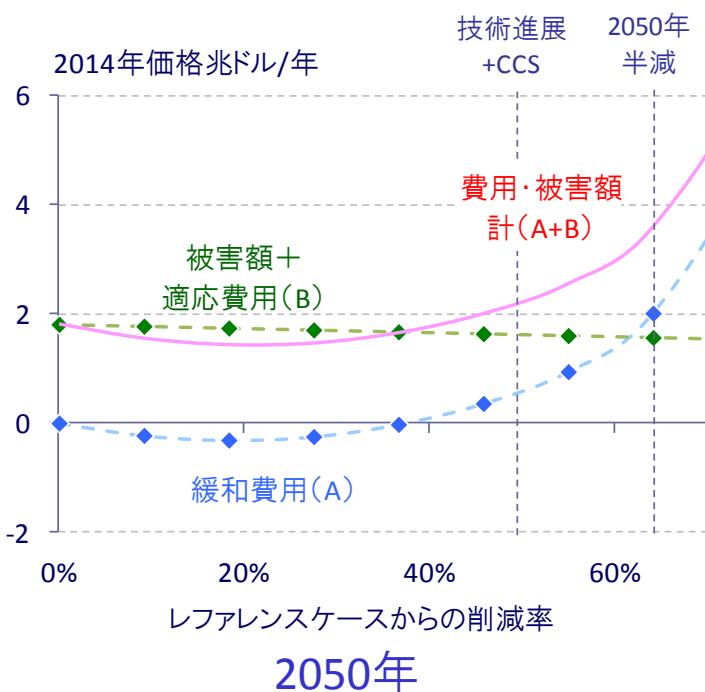


※MAGICCモデルを用いて試算。

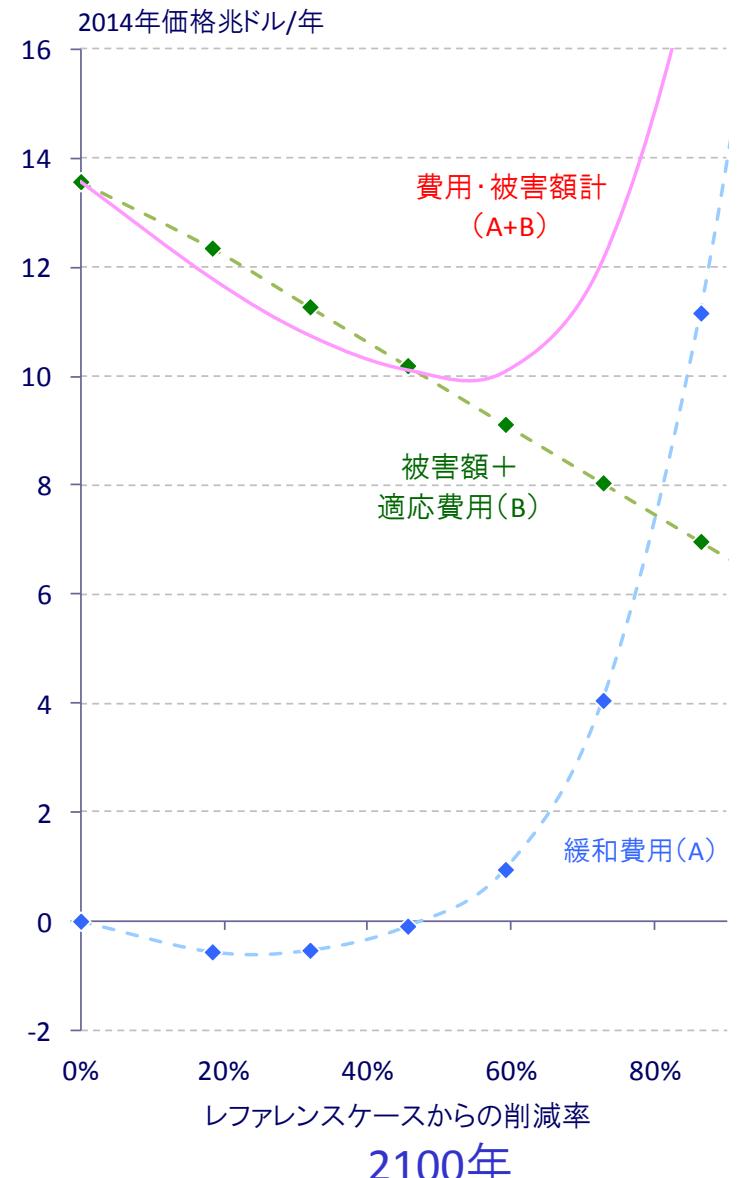
- 「450ppmカテゴリー」に属する「代表的濃度経路(RCP)2.6」シナリオでは、2100年時点のGHG濃度は495ppmであり、その後長期的に450ppmレベルに収斂する。
- このシナリオでは、エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量は2050年に2010年比64%減となり、2070年頃以降、負の排出量となる。
- この例のように、IPCCの「450ppmカテゴリー」は、必ずしも2100年のGHG濃度が450ppmとなるものではない。また、一般的には単なる「2050年半減」よりもかなり厳しい条件を必要とする。

# 緩和費用と適応費用・被害額

- 2050年時点では気候変動の発現がいまだ小さく、被害額の影響は比較的軽微。
- 一定程度までの排出削減は省エネルギーによるエネルギーコストの低減により、便益(負の削減費用)をもたらす。一方で、技術進展ケースを超える大幅な削減を目指す場合には、コストは急速に大きくなる。
- 2100年、もしくはそれ以上の未来においては気候変動による被害の影響が大きくなる。このため、より長期的な視点で評価を行うことが必要。



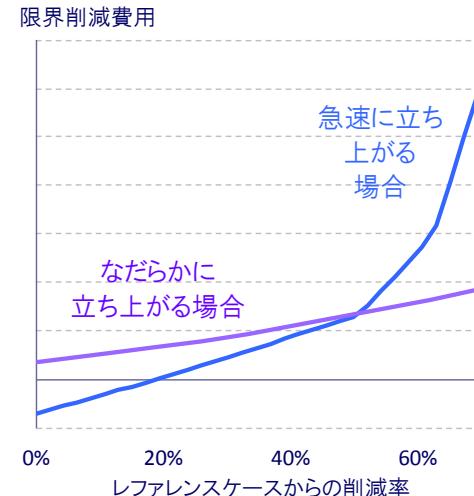
※ 緩和費用は当所推計。被害額+適応費用はDICE2013Rモデルの推計式を用いて計算。気候感度は3°Cと想定。



# 長期排出削減パスの評価における不確定要因

## 緩和費用、適応費用及び被害額

- 緩和費用については、とくに大規模削減時の限界削減費用曲線の立ち上がりが長期パスに大きく影響を与える(急速に立ち上がる場合には、世界全体で排出量をゼロ、もしくは負にすることは極めて難しくなる)。今後の技術開発により、費用を大幅に低下させることが必要となる。
- 適応費用及び被害額の評価は緒についたばかりであり、不確実性は極めて大きい。

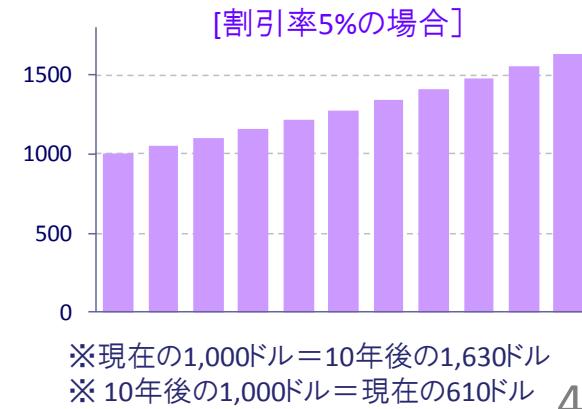


## 気候感度

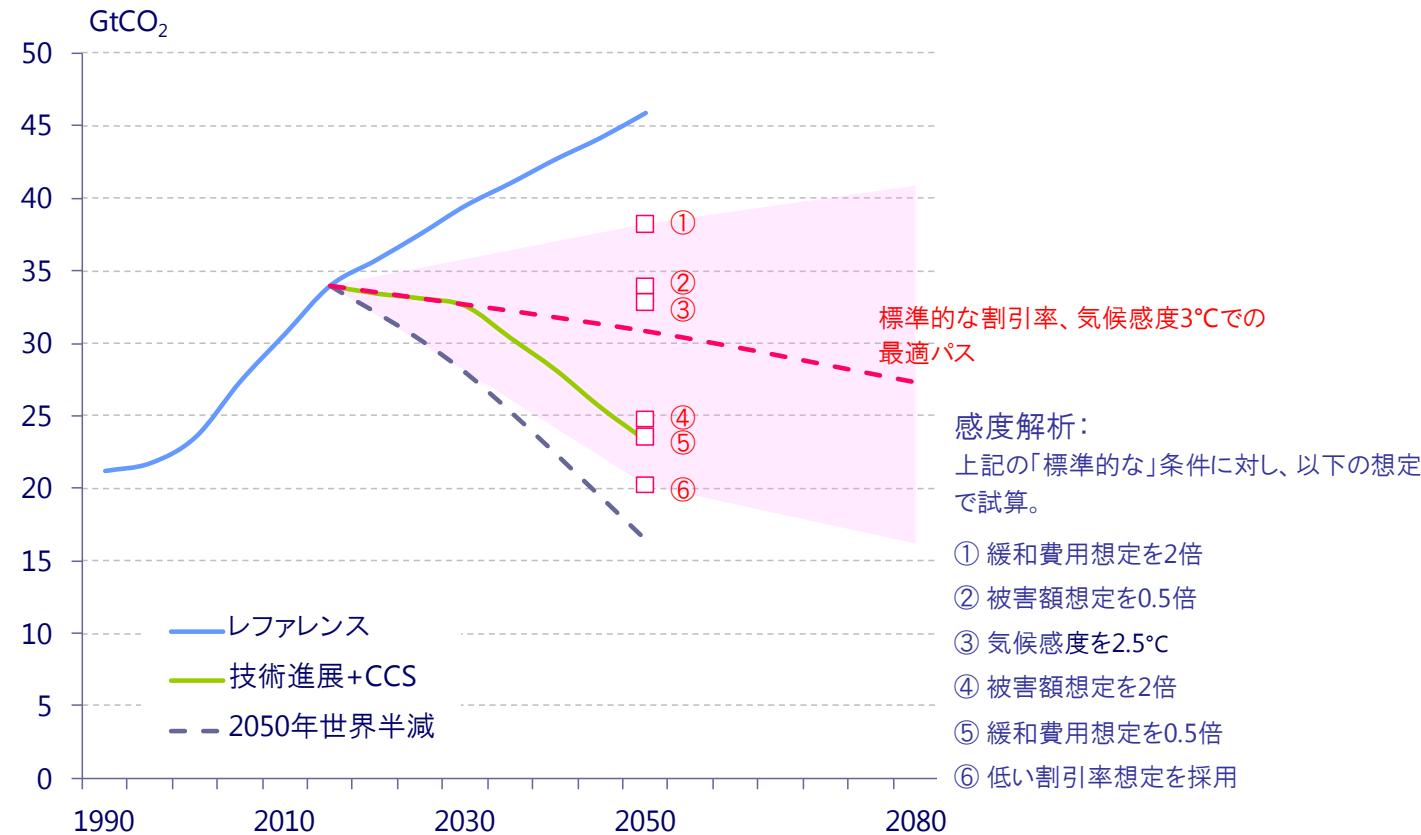
- 大気中のCO<sub>2</sub>濃度が倍増することにより、平均気温が何度上昇するかという値。IPCC第4次評価報告書では2.0~4.5°C、最良推定値3.0°Cとされていたが、近年低い推計値を示す研究成果が多く見られ、第5次評価報告書では1.5~4.5°C、最良推定値の合意はなしとされた。気候感度がより小さくなると、同量のGHG排出削減による環境被害が小さくなり、より削減の少ないパスが最適に近くなる。

## 割引率

- 将来の貨幣価値を現在の価値に換算するための年間の変化率。例えば預金に対して一定の利子が確実に見込まれる場合には、その利率に相当する値が割引率となる。
- 割引率が高くなると、将来の気候変動の被害を小さく評価するため削減率の低いパスが最適となる。
- 本試算では、「標準的な割引率」として2050年に4%程度、「低い割引率」として同2%程度を使用。



# 長期排出削減パスの評価例



- ・前記の緩和費用・被害額及び適応費用を用い、その合計累積額が最小になるような長期排出パスを描くと赤い点線のようになり、世界のCO<sub>2</sub>排出量が現状から緩やかに減少する。但し緩和費用や被害額、気候感度、割引率等の想定によってパスは大きく異なる。
- ・少なくともここに示した条件下では、2050年に世界で半減、もしくはそれ以上の削減を目指すケースは緩和費用が被害額に比べて大きすぎ、バランスを失う結果となっている。
- ・2100年、もしくはそれ以降にかけて世界全体でゼロ、もしくは負の排出量とするためには、今後の技術革新により削減率の大きい領域での限界削減費用の急速な立ち上がりを抑制する必要がある。

# 割引率の想定について

- ・割引率 $\rho$ は以下の「ラムゼイ則」によって記述される。

$$\rho = \delta + \eta g$$

$\delta$ :純時間選好率

$g$ :一人当たり消費の成長率、 $\eta$ :係数(「効用の対消費弹性値」)

- ・将来、経済成長が鈍化する場合には $g$ が低下し、それに伴って割引率も低減する。

## 「標準的な割引率」想定

割引率の推計値が実測の市場利子率に合致するように  
パラメータを設定。

例:  $\delta = 1.5\%$ 、 $\eta = 1.45$  (DICE 2013Rモデルの設定値)

⇒ 割引率: 2010年 5%、2050年 4%、2100年 3.5%程度

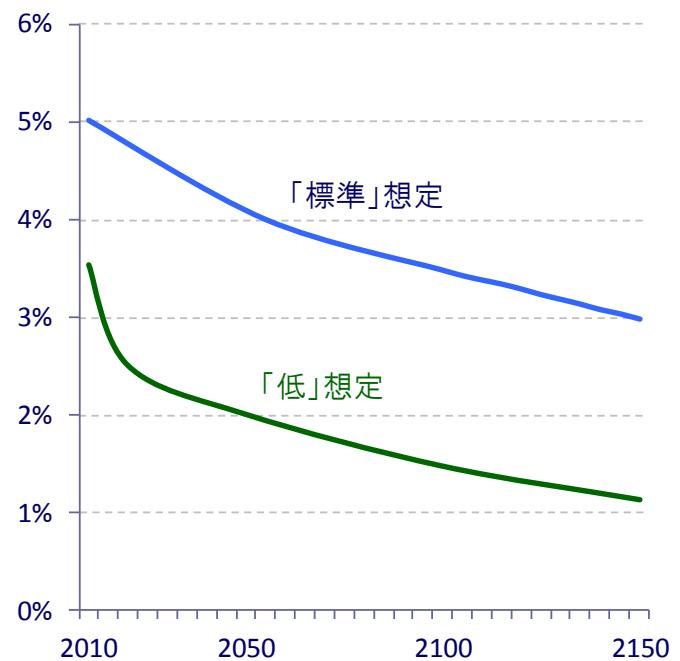
## 「低い割引率」想定

市場利子率とは関係なく、世代間の衡平性の観点から  
低い割引率を設定。

例:  $\delta = 0.1\%$ 、 $\eta = 1.0$

⇒ 割引率: 2010年 3.5%、2050年 2%、2100年 1.5%程度

※ 超長期の場合や不確実性の高い場合には低い割引率を用いるべき、との意見があり、  
専門家の間で必ずしも見解が一致していない。



# 超長期の将来に向けた技術開発(例)

技術		概要と課題
CO <sub>2</sub> の発生そのものを削減するもの	次世代原子力	高速炉、高温ガス炉、溶融塩炉や中小型炉といった、現在国際的に開発が進められている新たな原子力技術。
	核融合	質量数の大きな元素(ウランやプルトニウム)の核分裂によるエネルギー放出を利用する従来の原子力技術とは異なり、水素やヘリウムといった質量数の小さな原子核の融合によって放出されるエネルギーを利用する技術。豊富な資源を利用することが可能となり、かつ高レベル放射性廃棄物としての使用済燃料が発生しない。
	宇宙太陽光 Space Solar Power System: SSPS	宇宙空間に大規模な太陽光発電装置を配置し、マイクロ波またはレーザーにより地上に送電して、電力として利用するシステム。地上と違い天候の影響を受けないため安定した発電が可能。宇宙空間への大量輸送技術およびそのコスト低減が課題。
発生したCO <sub>2</sub> の大気への放出を防ぐもの	CCS付きバイオエネルギー Bioenergy and Carbon Capture and Storage: BECCS	バイオマスを燃焼することによって発生するCO <sub>2</sub> に対して二酸化炭素回収・貯留(ccs)を適用するもの。バイオマス発電がカーボンニュートラル(差し引きでCO <sub>2</sub> の排出量がゼロ)かそれに近い時にはCO <sub>2</sub> を大気から取り除くのでマイナスエミッションとも言える。植林地の確保等、その利用可能性や規模は確かではなく、課題やリスクを抱えている。
発生したCO <sub>2</sub> を利用するもの	二酸化炭素回収・活用 Carbon Capture and Utilisation: CCU 人工光合成	分離・回収した二酸化炭素を工業製品の原料として利用して、CO <sub>2</sub> を固定化する技術。 現時点ではCO <sub>2</sub> の大規模処理が困難。 光化学プロセスにより、直接、水、CO <sub>2</sub> および太陽光から燃料や石油化学材料の代替物などの有機物を生産する技術。 CCS付きバイオエネルギーと同様に、原理的にはCO <sub>2</sub> 排出量を負にすることができる。 触媒物質の開発や、水素と酸素の分離コストが課題。

# まとめ: 気候変動問題への対処

- ・現在、世界各国が提示するINDC相当の対策の実現によっては、技術進展ケース相当の省エネルギー・低炭素化には至らない。そして技術進展ケースでさえも、2050年までに世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量を半減するには至らない。
- ・世界各国はより長期の将来を視野に入れ、更なる削減の方策を模索することが求められる。その際、緩和・適応のための費用と気候変動による被害額の3者を考慮し、現実的に対処可能な将来のパスを描くことが望ましい。
- ・この観点からは、2050年に世界のGHG排出量を半減するケースのみにこだわるべきではなく、より広いシナリオを考慮して国際的な合意形成の実現を目指す必要がある。
- ・より重要な点は、2050年を超えた未来において、いかにゼロエミッションに近い社会を実現し得るかである。この目的のため、長期の将来を見据えて革新的な技術開発を進めることが不可欠である。