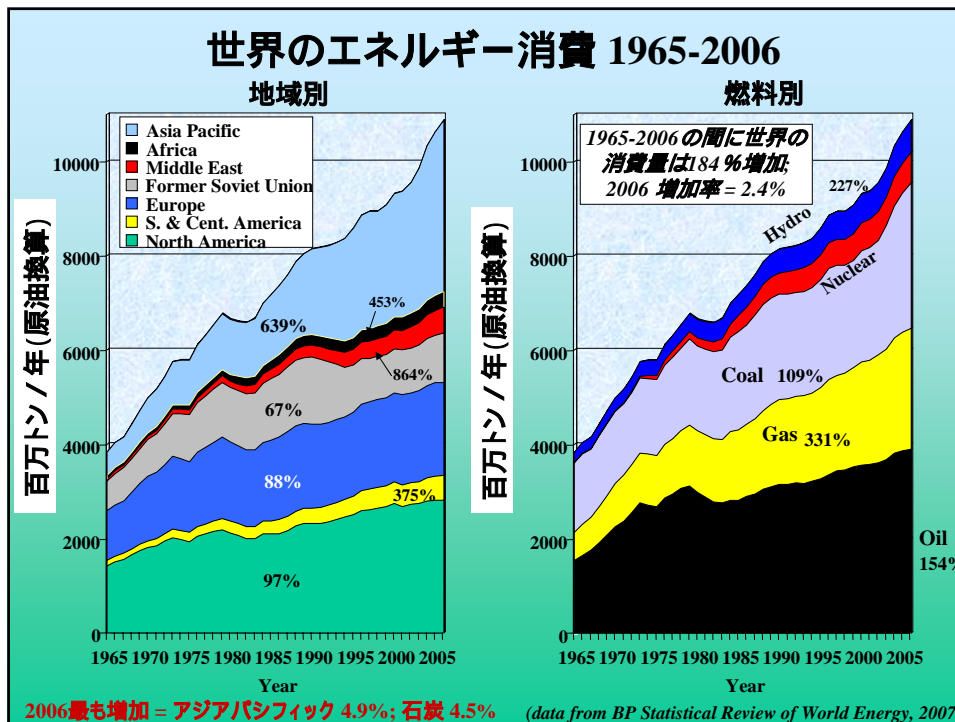
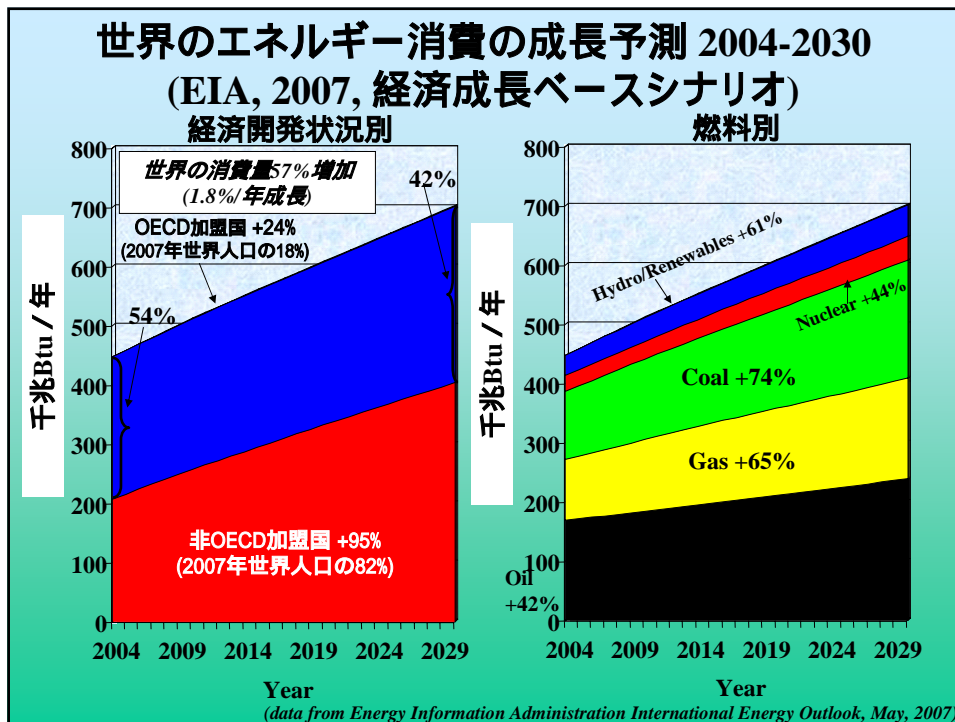
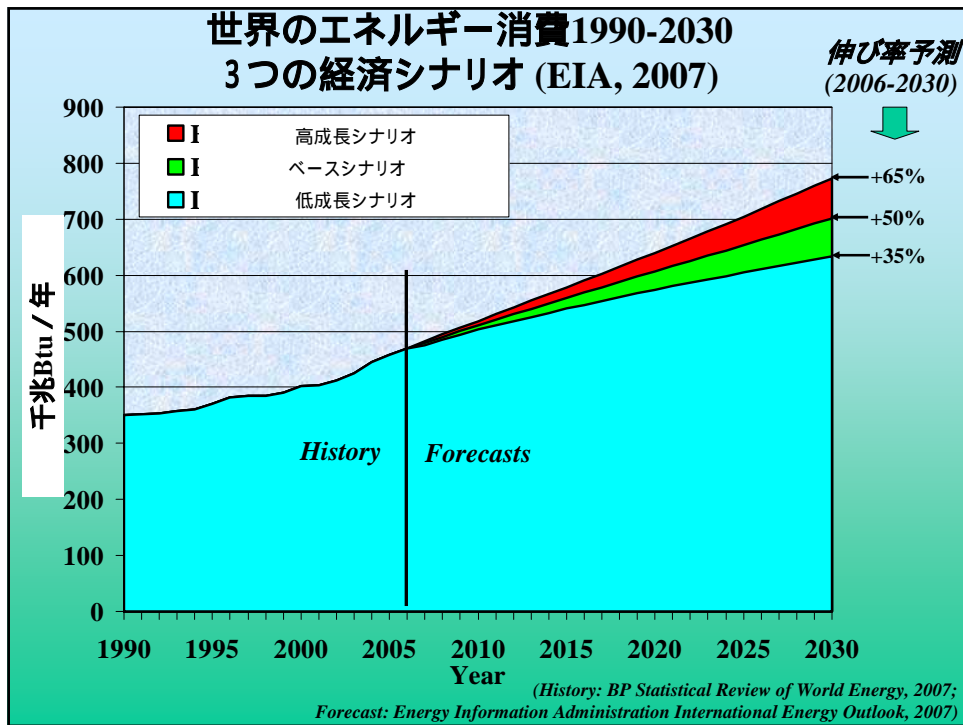


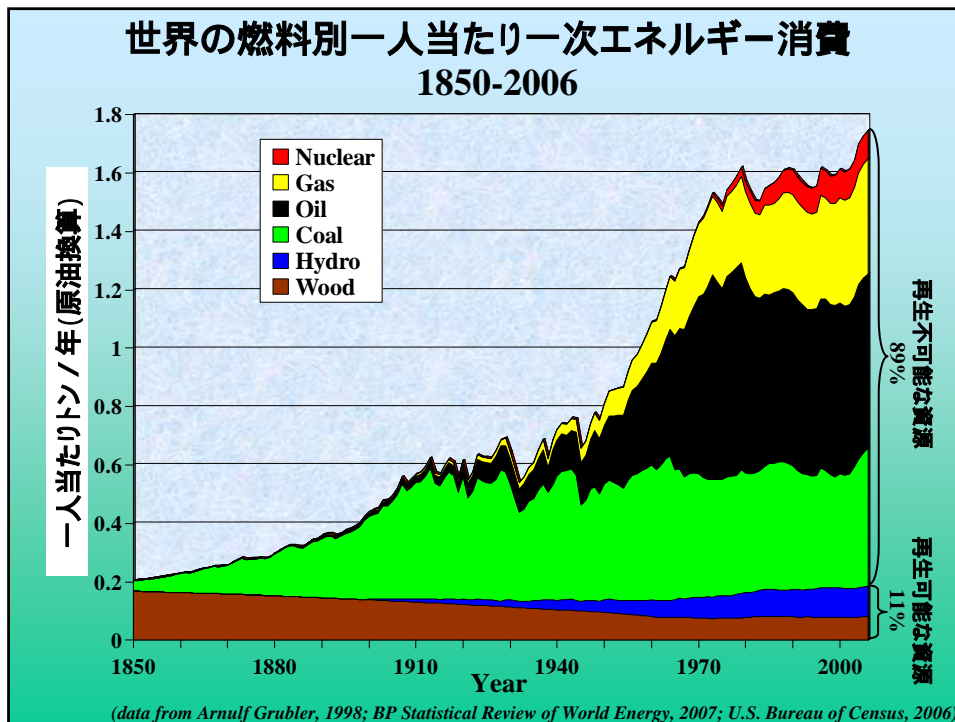
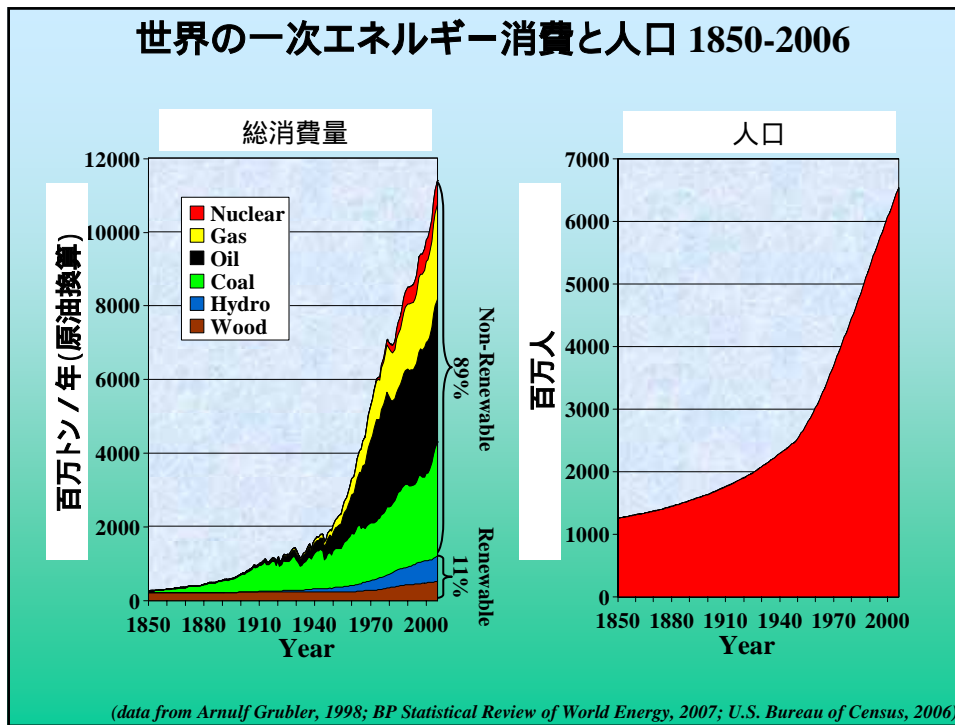
# エネルギー持続可能性のジレンマ： 有限な世界の未来にパワーを与える

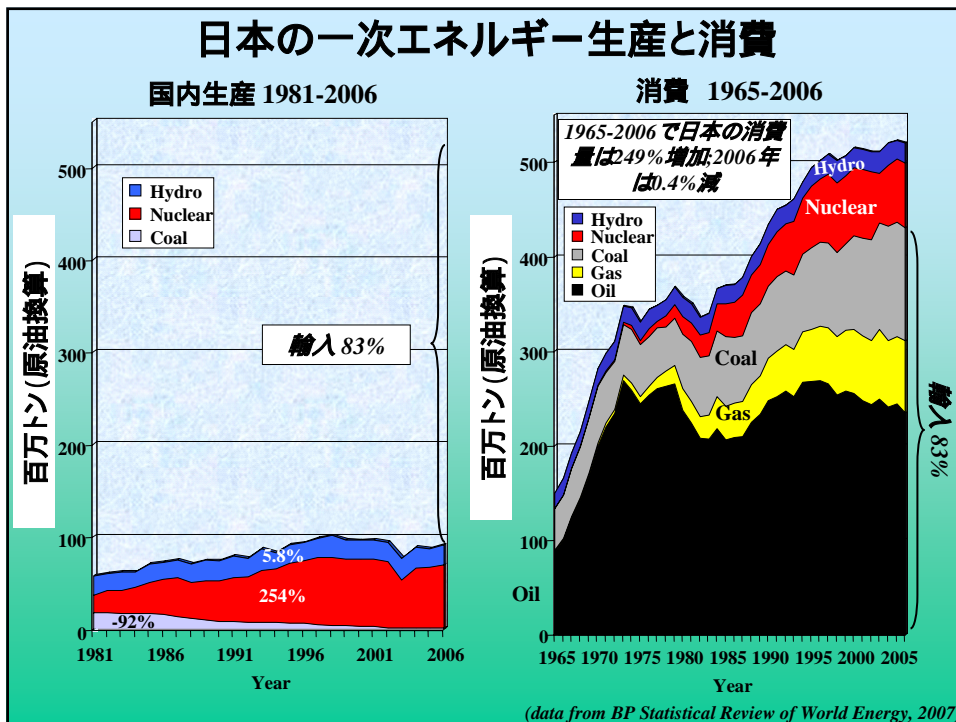
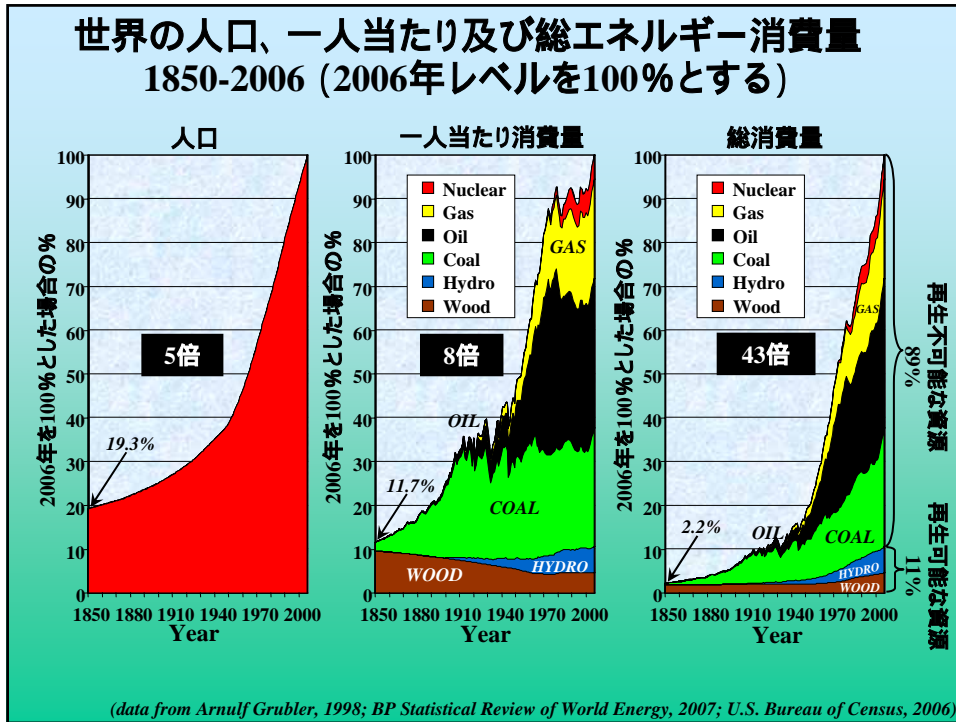
東京  
2007年11月

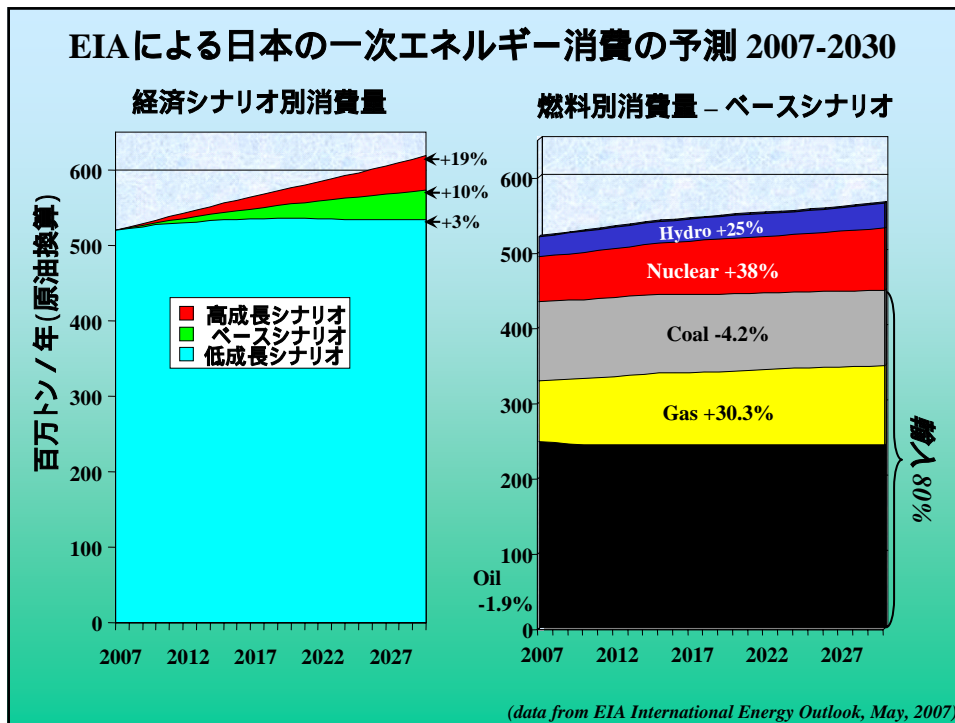
J・デイビッド・ヒューズ  
カナダ地質調査所  
カナダ・ガス・ポテンシャル委員会  
グローバル・エネルギー・フューチャーズ





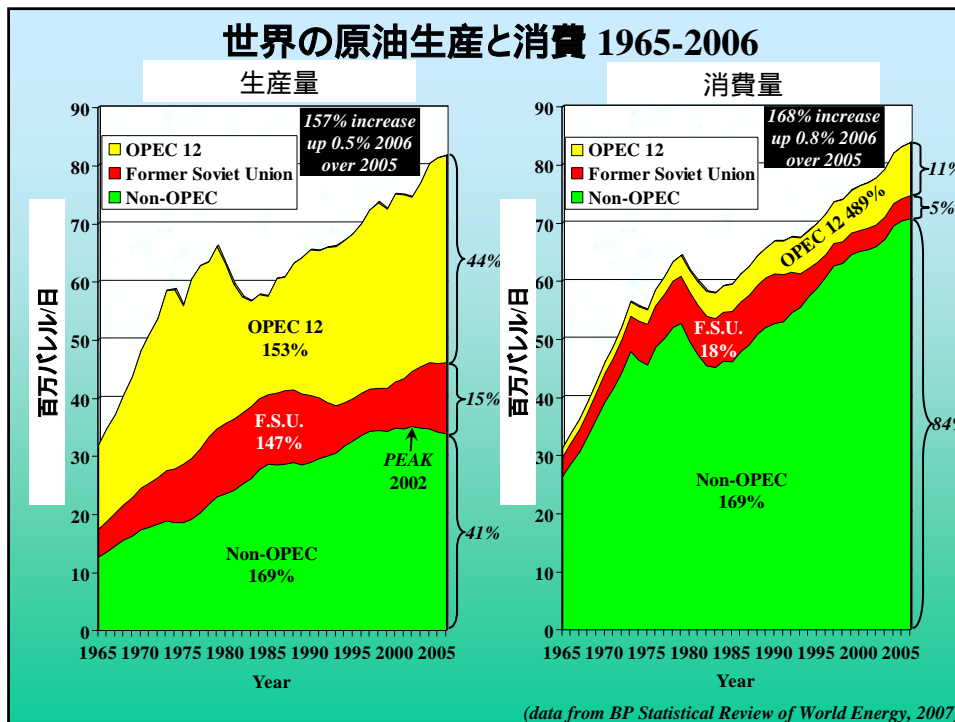
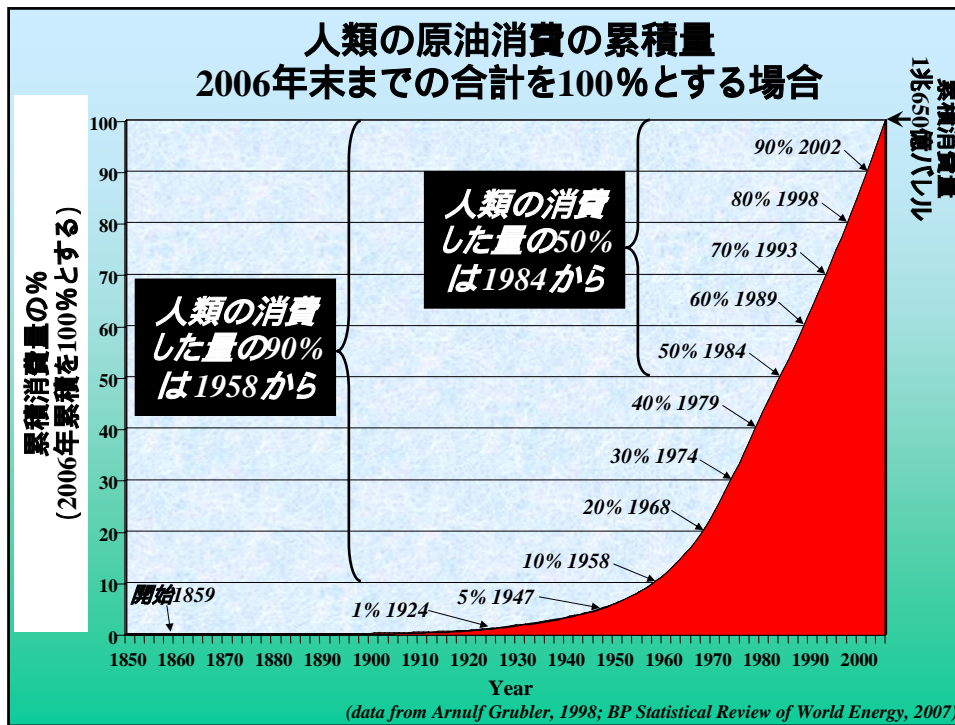


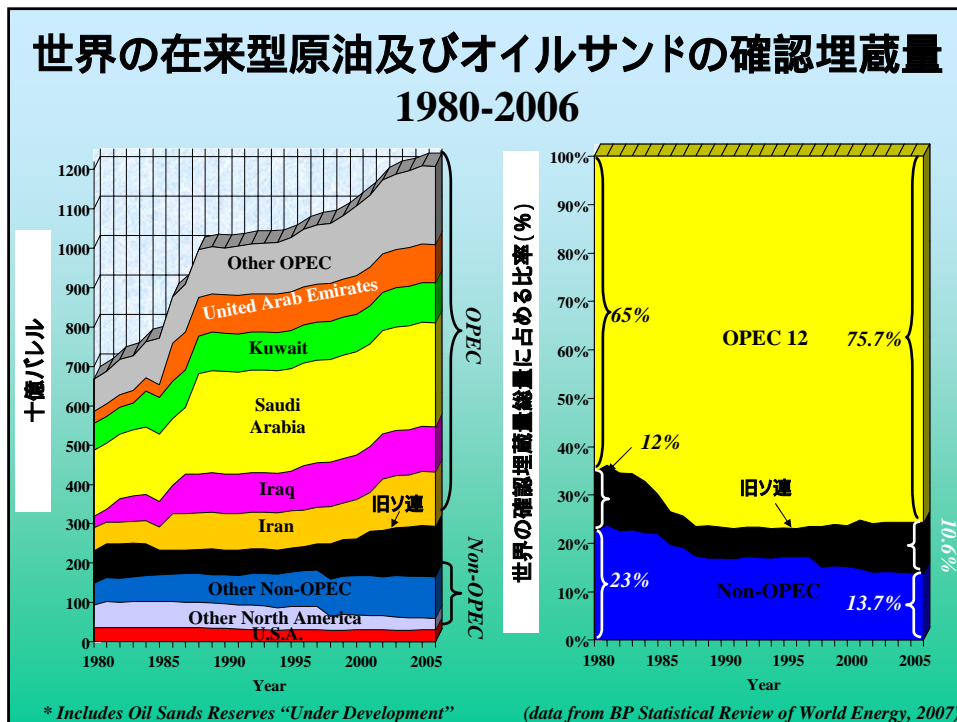
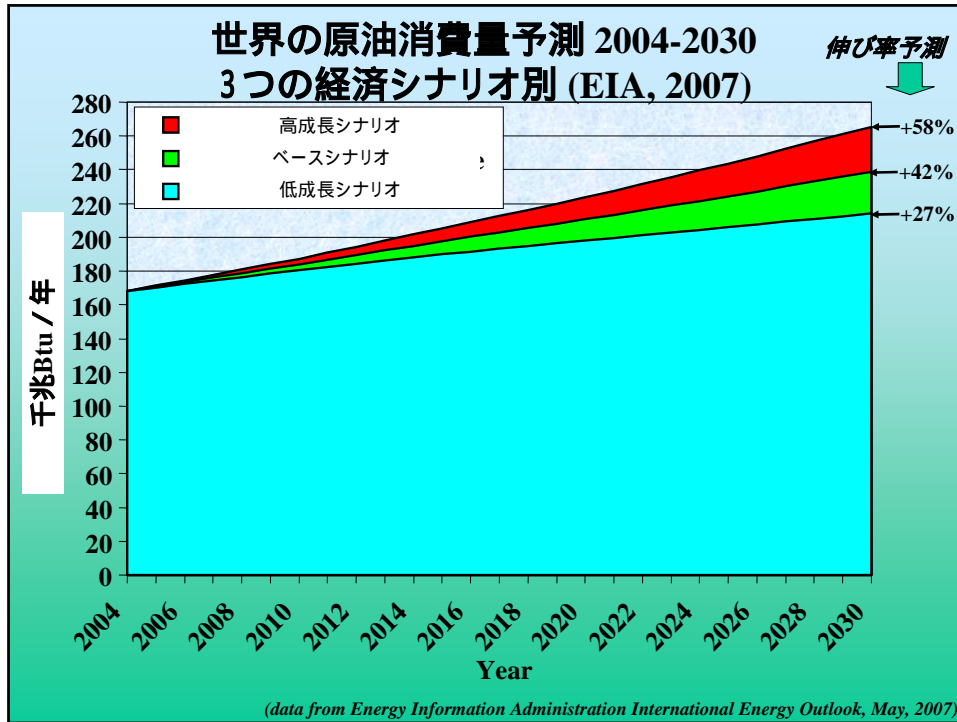


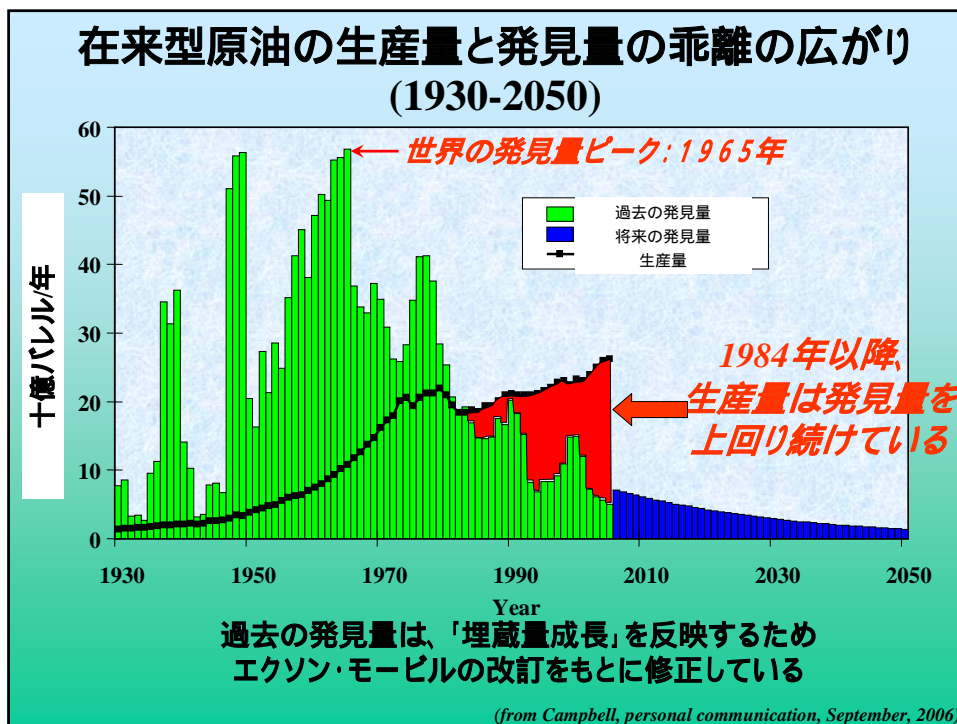
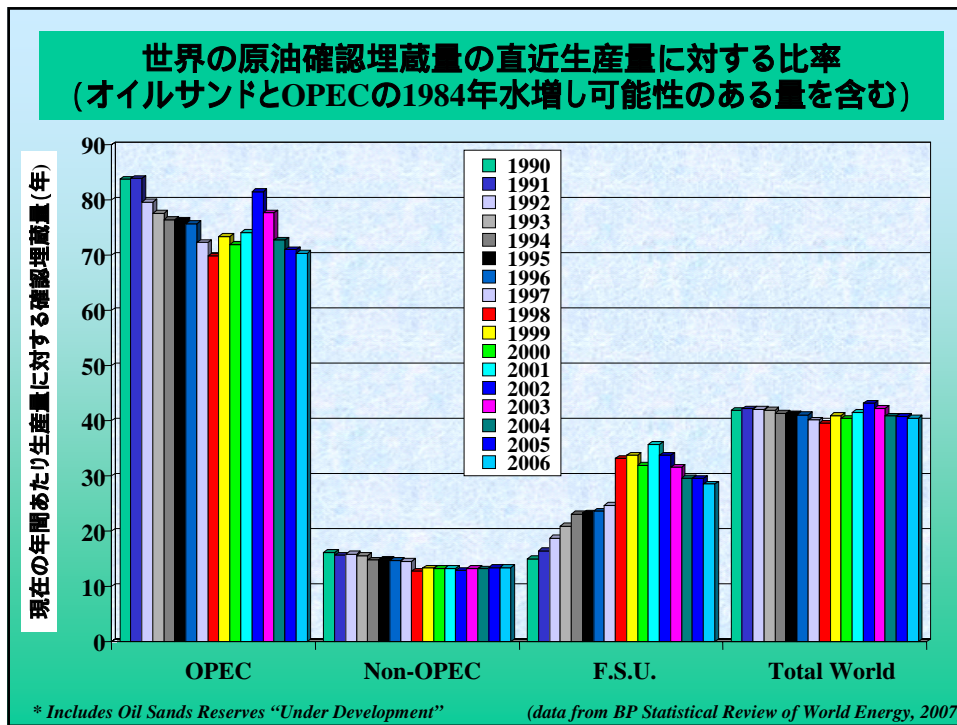


## 石油

- 世界最大のエネルギー源  
(2006年の1次エネルギー消費量の35.6%を占めている)
- 国際取引に最適な燃料 タンカーやパイプラインで容易に輸送可能
- 地政学的要因に大きく左右される 世界の残存埋蔵量の4分の3と、唯一残っている余剰生産能力は、石油輸出国機構(OPEC)カルテルの手中にある - ハリケーン「カトリーナ」「リタ」のような自然災害やテロ攻撃が原因となって、極端な価格変動が起こり得る
- ここ数年、石油の代替となる燃料(天然ガス、石炭、ウラン)の価格も同様に急騰している









## 世界の石油生産のピーク

ピークはいつ来るのか？

- さまざまな変動要因があるため、議論の余地がある  
 とはいえ、ピークが来る可能性はきわめて高い

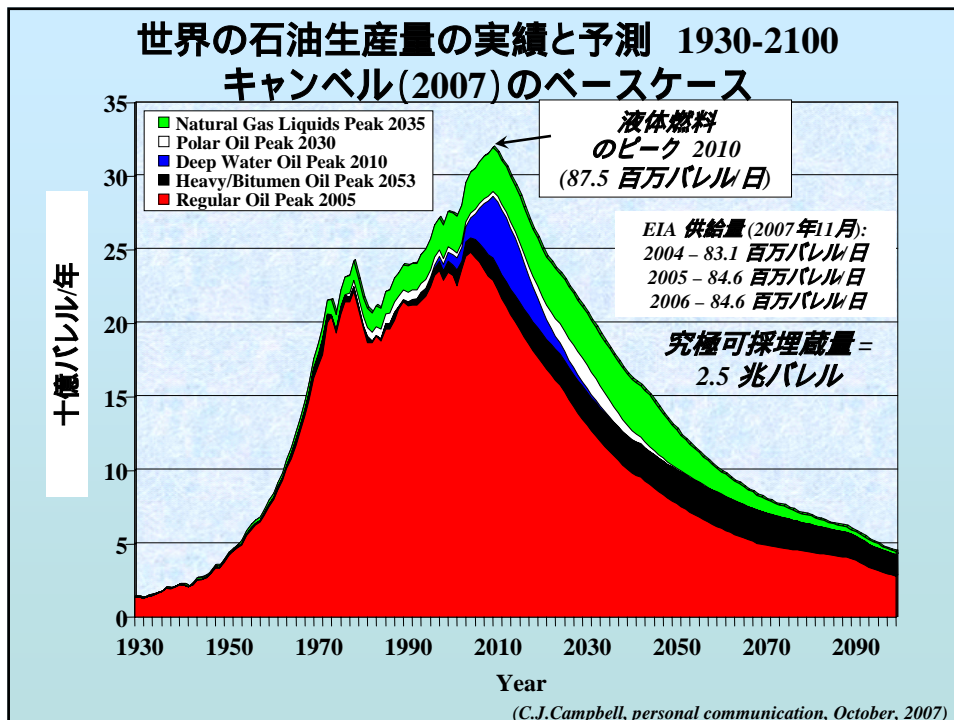
以下の要因に左右される

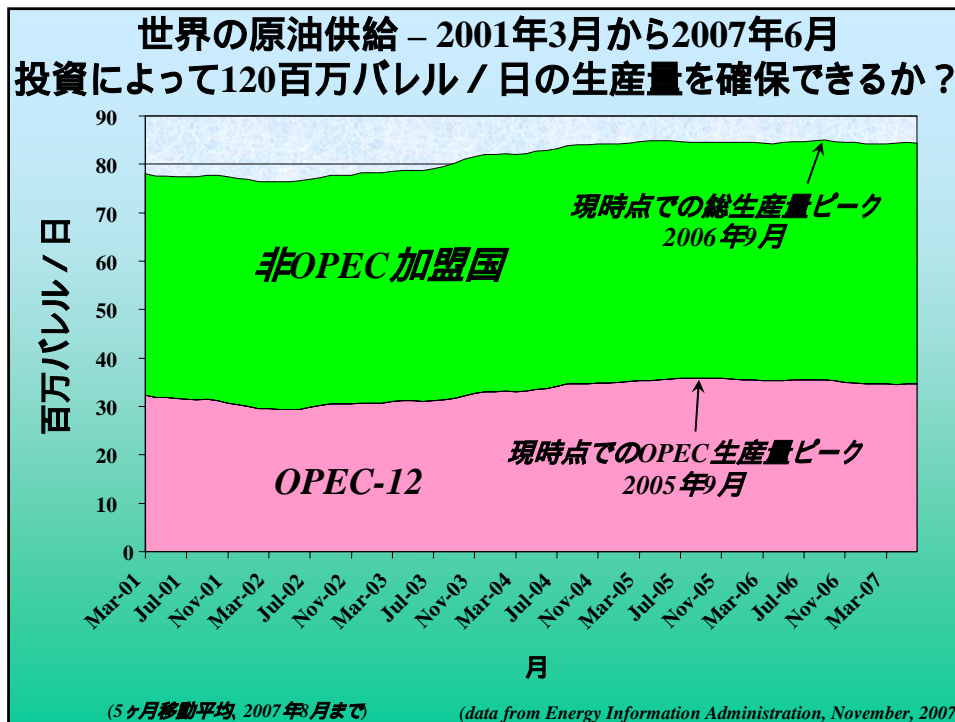
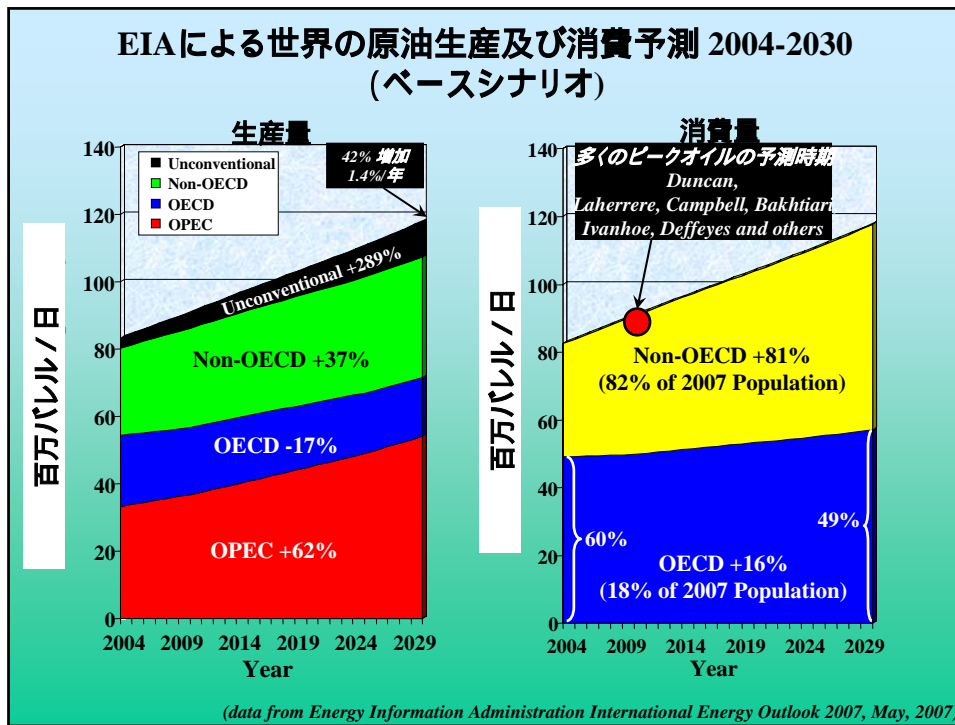
### - 究極可採埋蔵量の総計

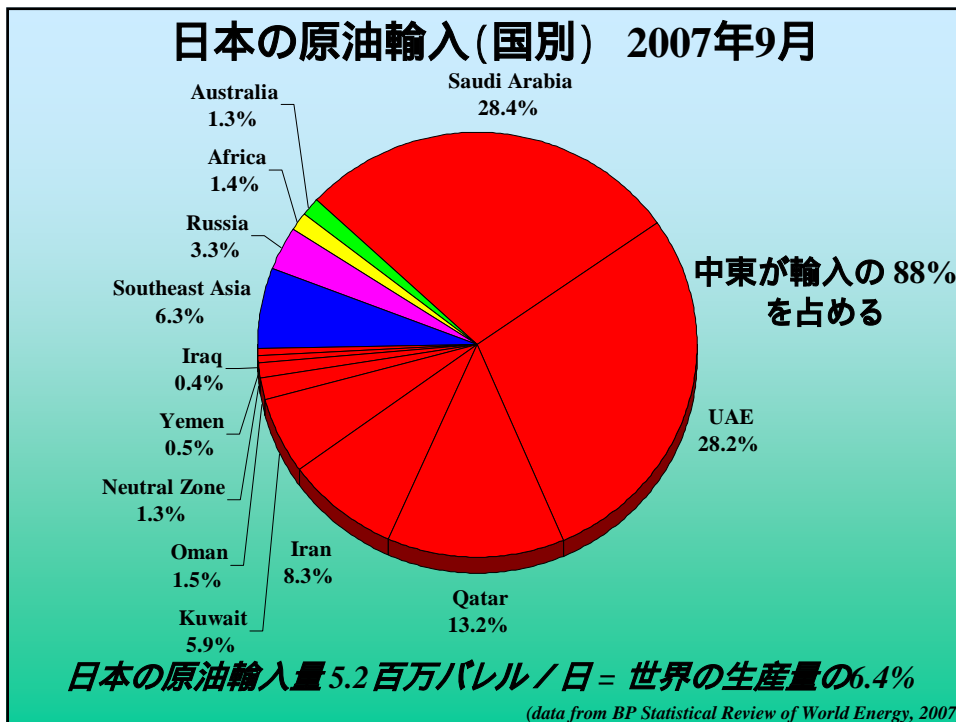
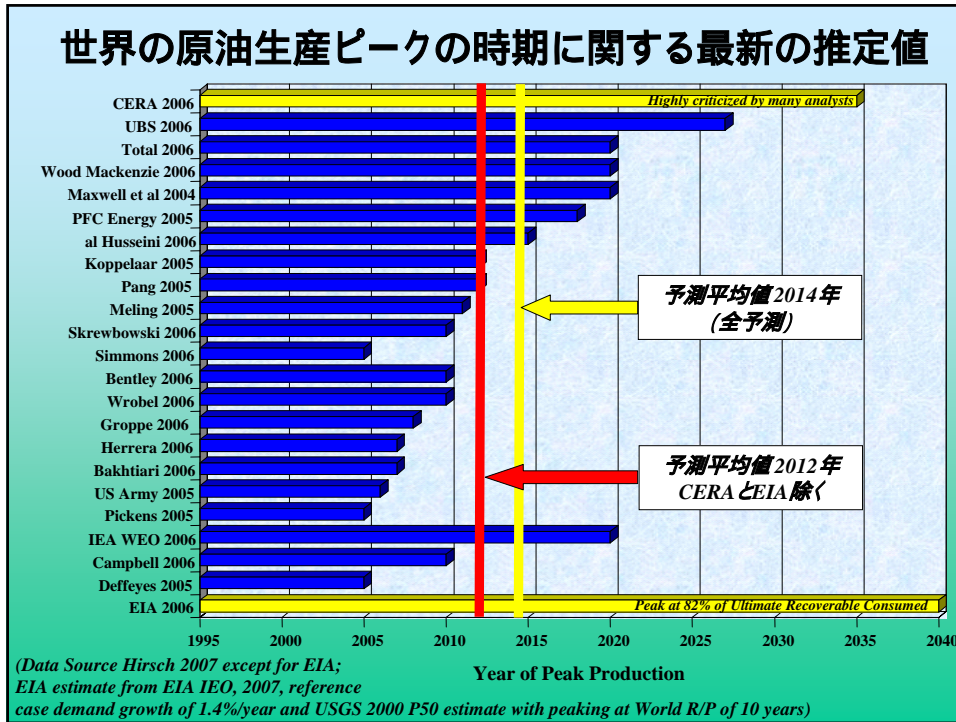
- 大自然の恵み (確認埋蔵量と未確認埋蔵量の合計)
- 技術および価格 (経済的な側面を決定づける)
- 既存油田層の埋蔵量の上方修正 (埋蔵量成長)  
 (さらなる掘削、技術の進歩、価格の上昇による)

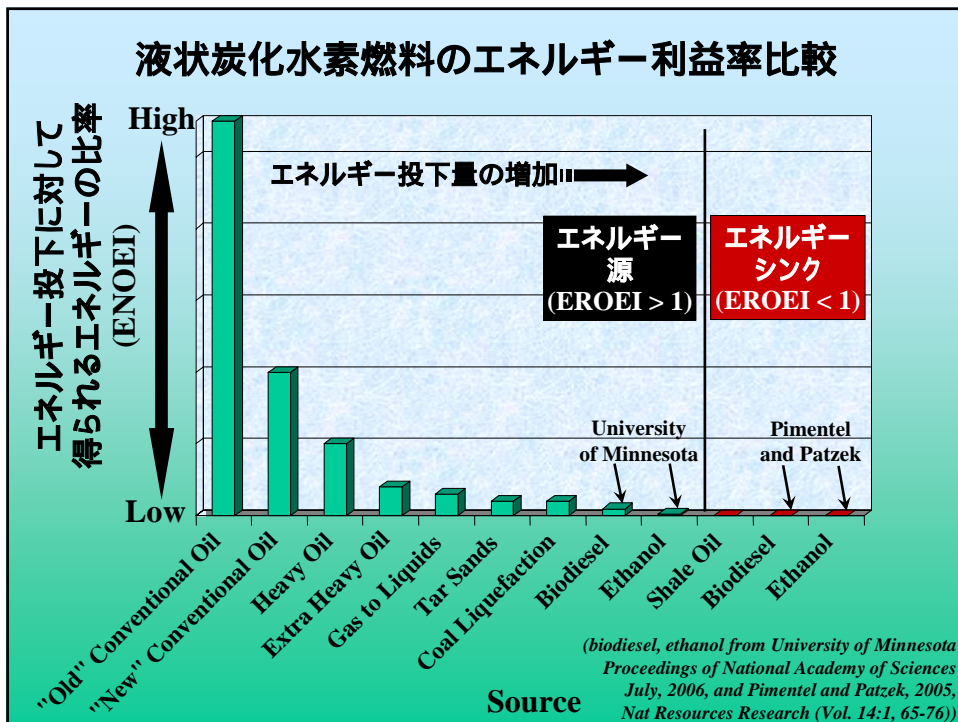
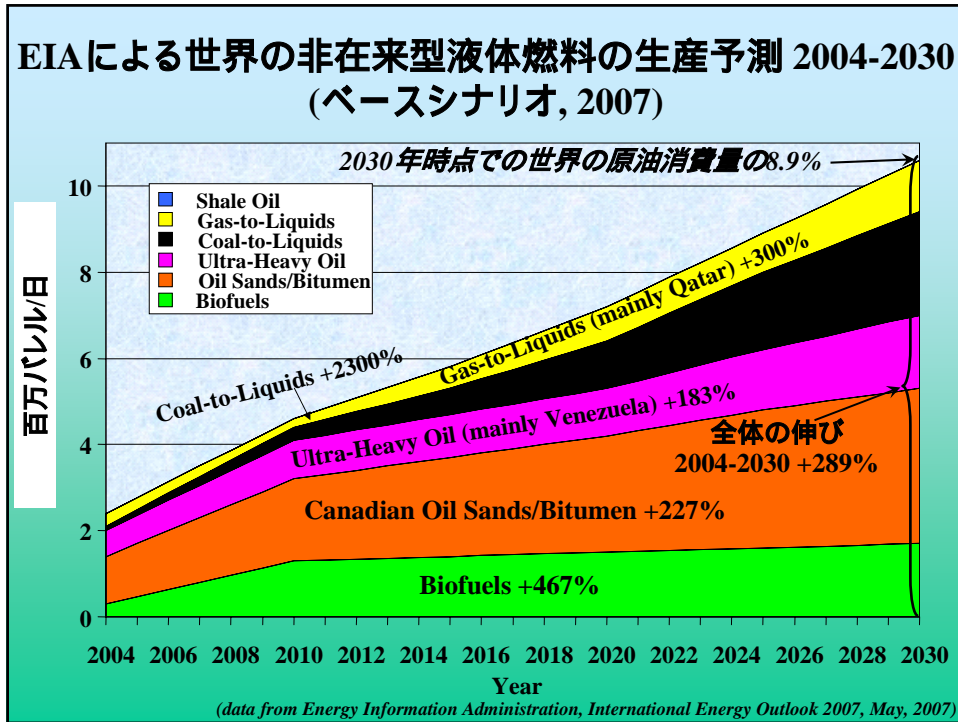
### - 消費のスピード

- 価格 (経済成長を決め、省エネを奨励/阻害する)
- 石油生産のためのインフラ
- 操業中油田の生産量の減少率





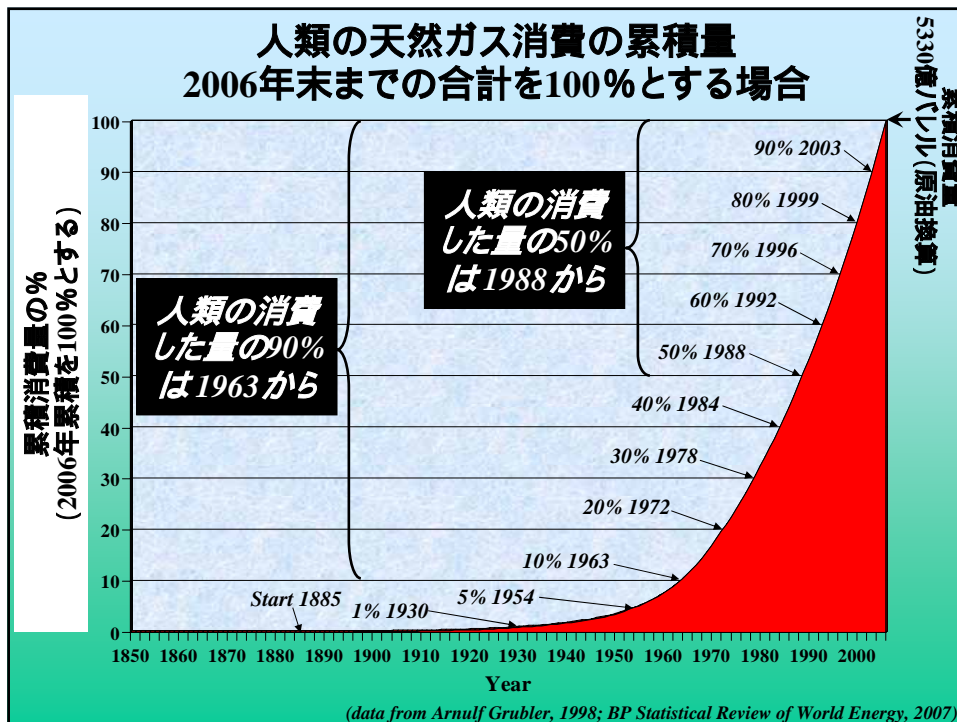


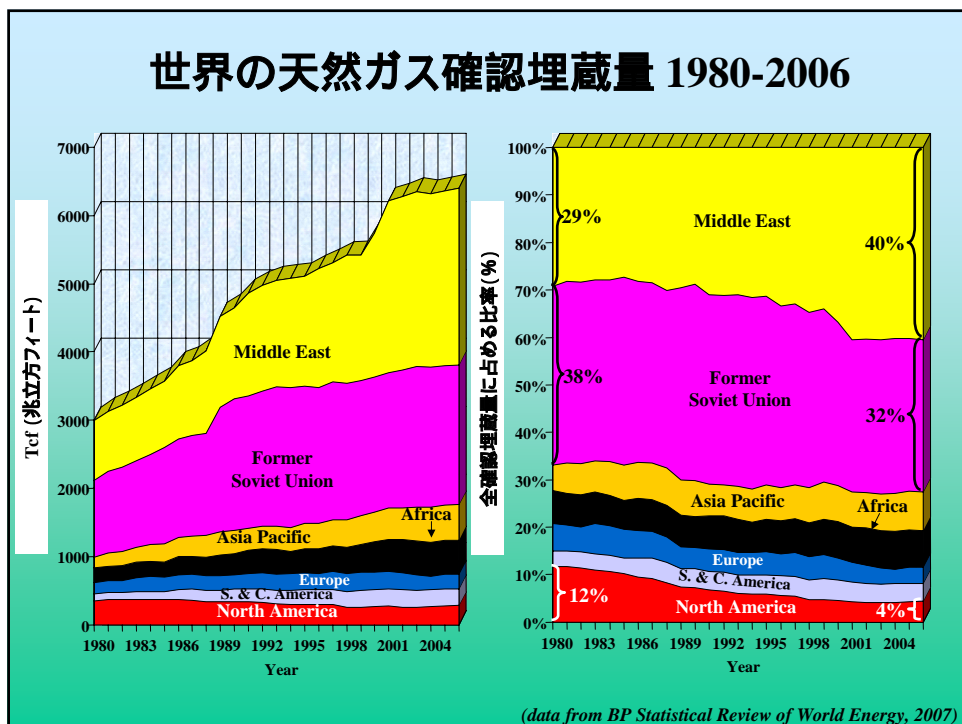
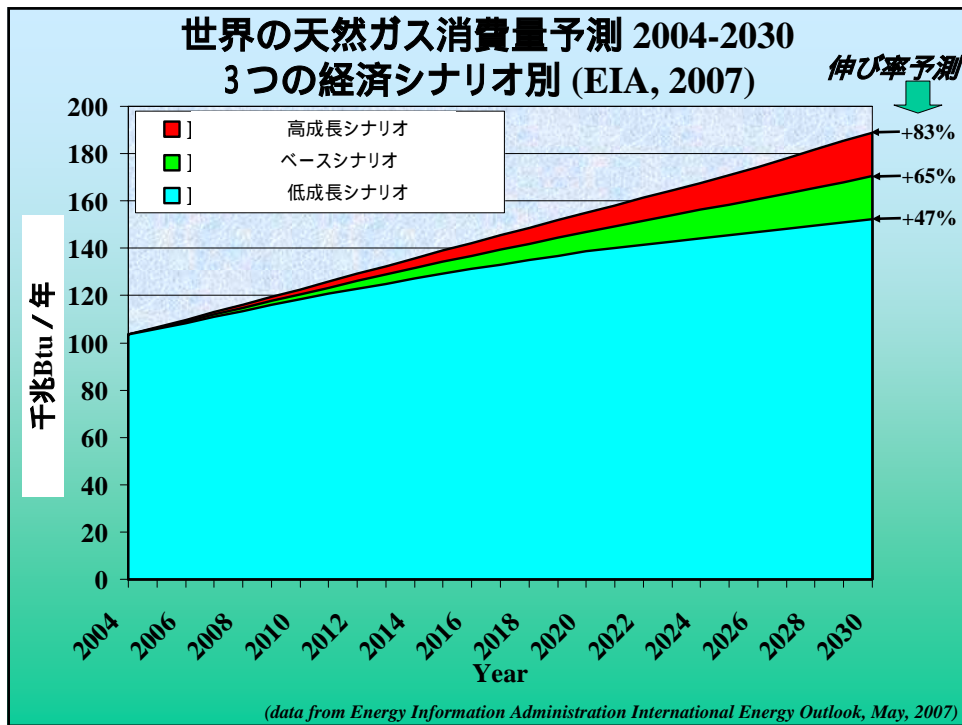


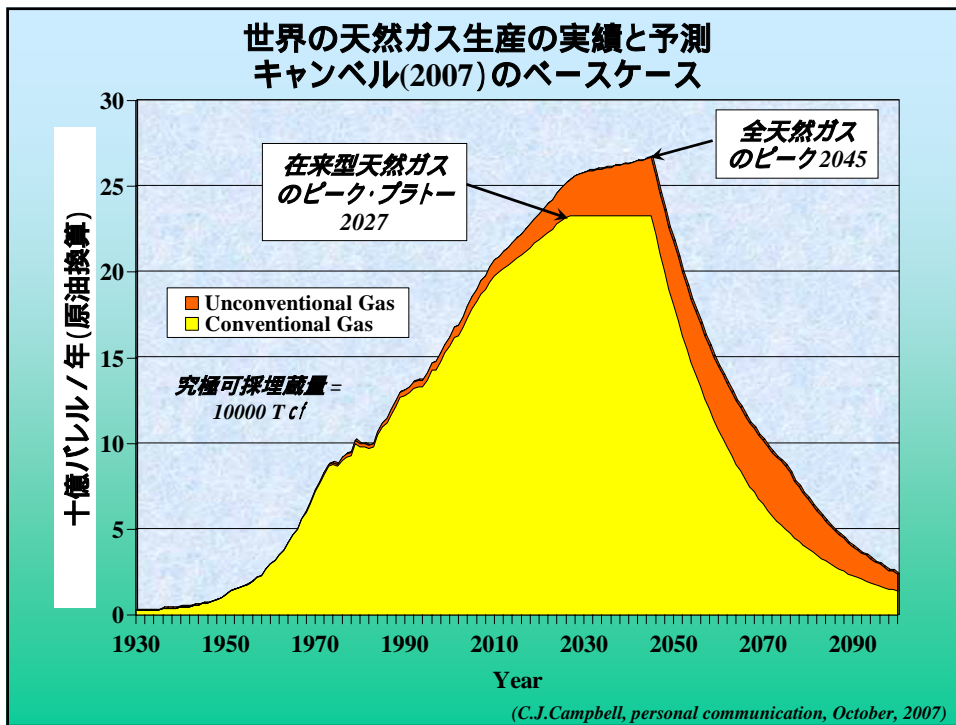
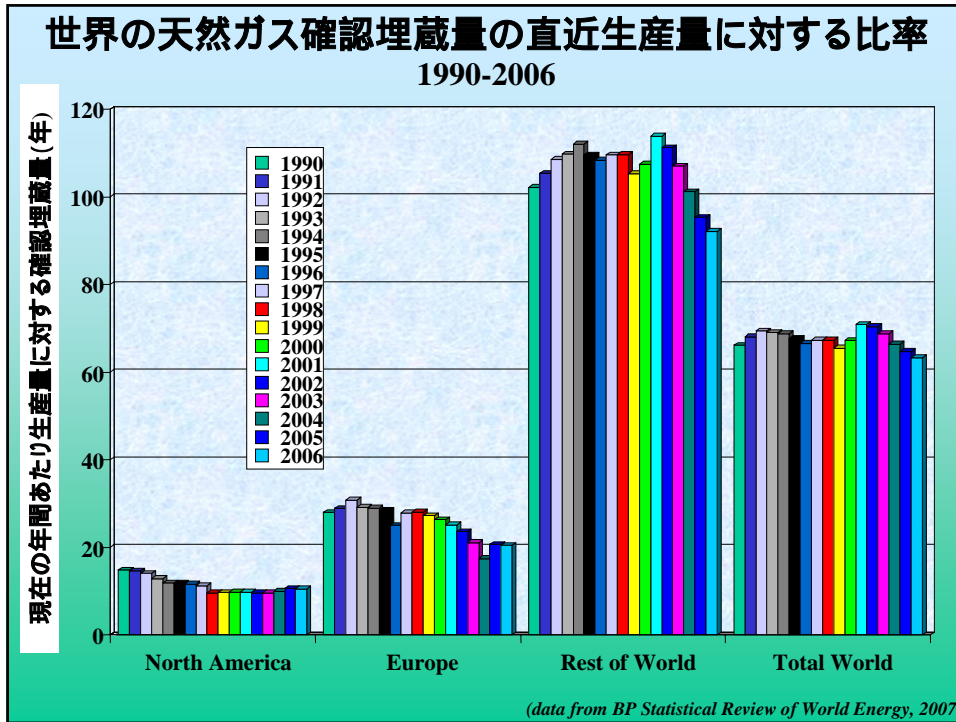
## 天然ガス

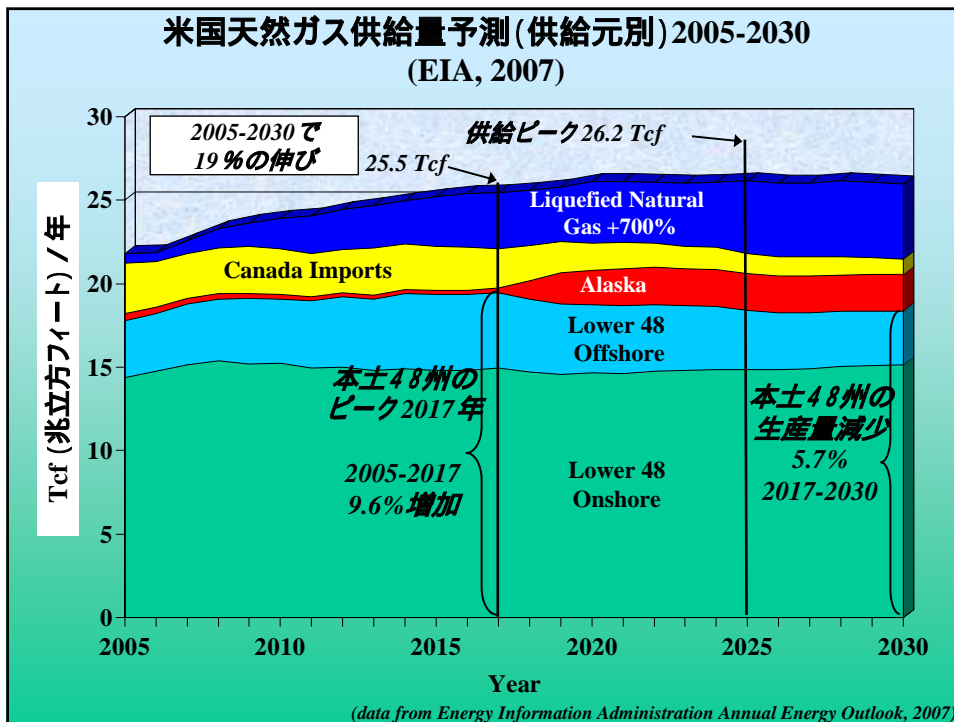
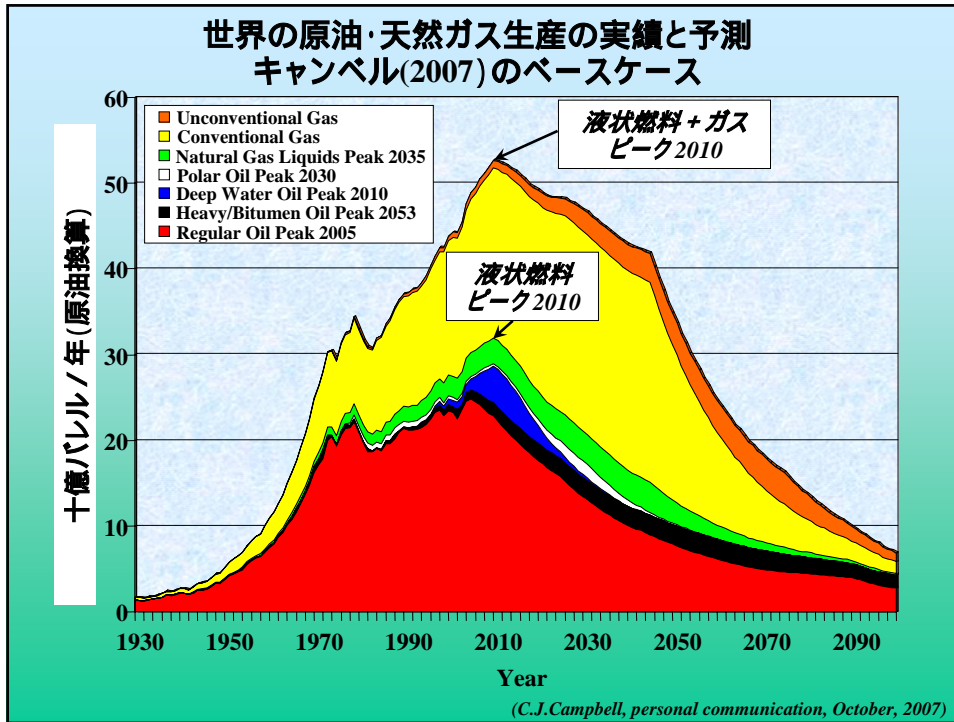
- 石油と石炭に次ぐ**世界第3のエネルギー源**  
(2006年の1次エネルギー消費量の23.7%)
- 石油や石炭とは異なり、**海を越えた国際取引がほとんどなされていない** - 2006年、世界の消費量の7.4% (7.5 Tcf) が液化天然ガス(LNG)の形で輸送された(さらに年間4.3 Tcfの設備が建設中であり、2013年までに年間5.3Tcfの建設が予定されている)
- 日本で使用される天然ガスはすべてLNGとして輸入されている
- LNGは液化、輸送、再ガス化の過程で15~30%のエネルギー損失を伴う(LNGを船で輸送するには-165℃まで冷却しなければならない)。結果として相応量の温室効果ガスが排出されることになる
- LNGは地政学的な要因に左右されやすい。世界に残る天然ガス埋蔵量の4分の3は、旧ソ連と中東にある。また、天然ガスは一般に危険なものとして認識されており、新たな受け入れ施設を建設する場所を決めるにあたっては「NIMBYシンドローム」(自分の住む地域の近くには建設してほしくないとする住民感情)がみられがちである

(Tcf: 兆立方フィート; 立方フィート=28.31)

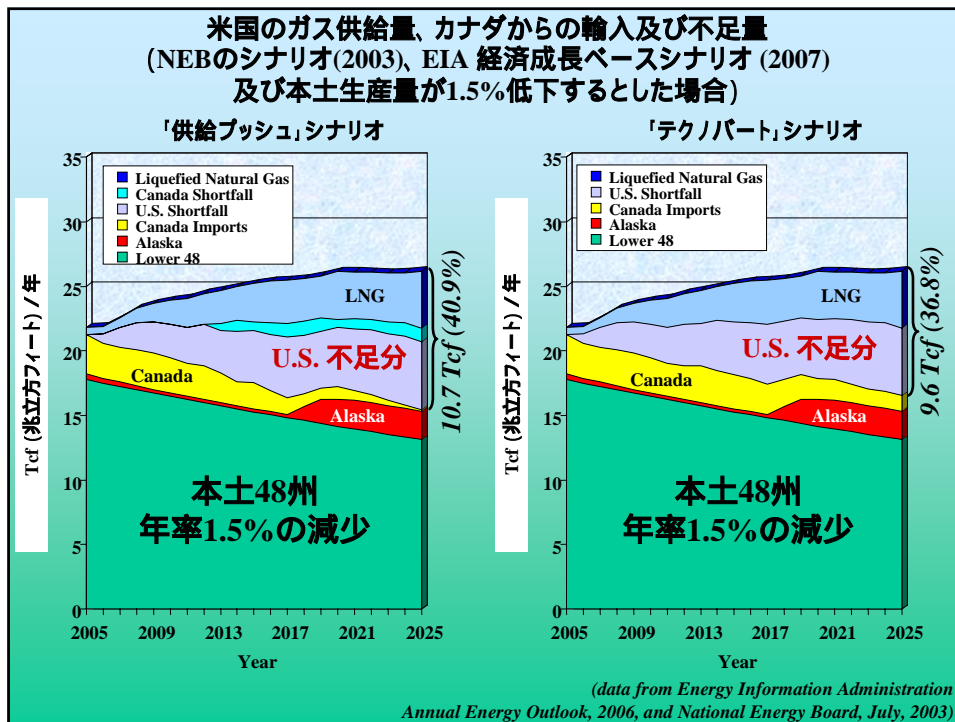
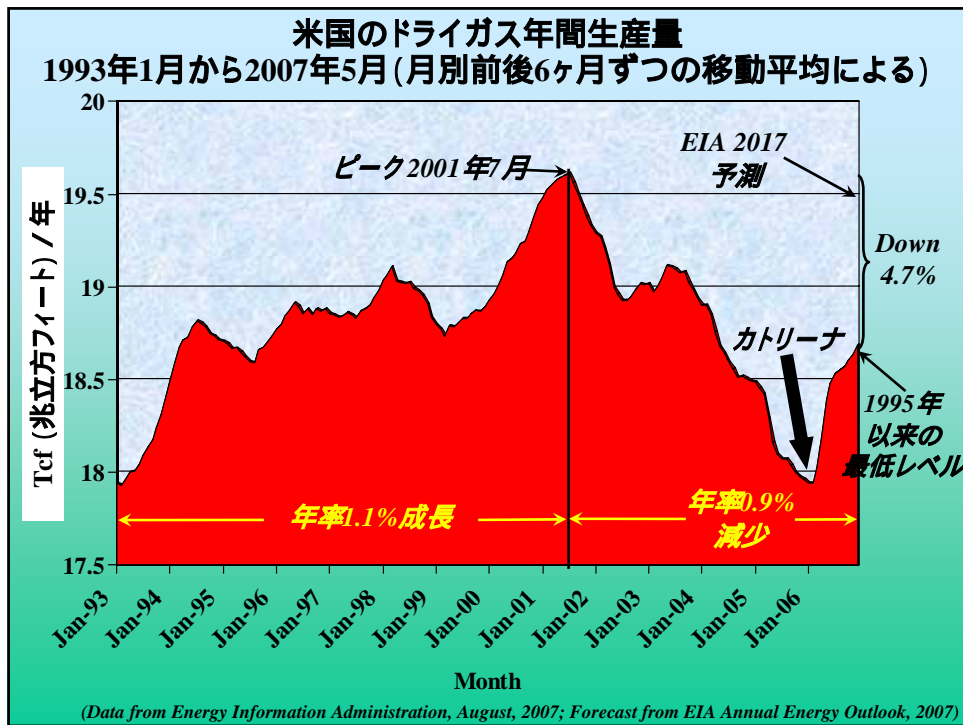








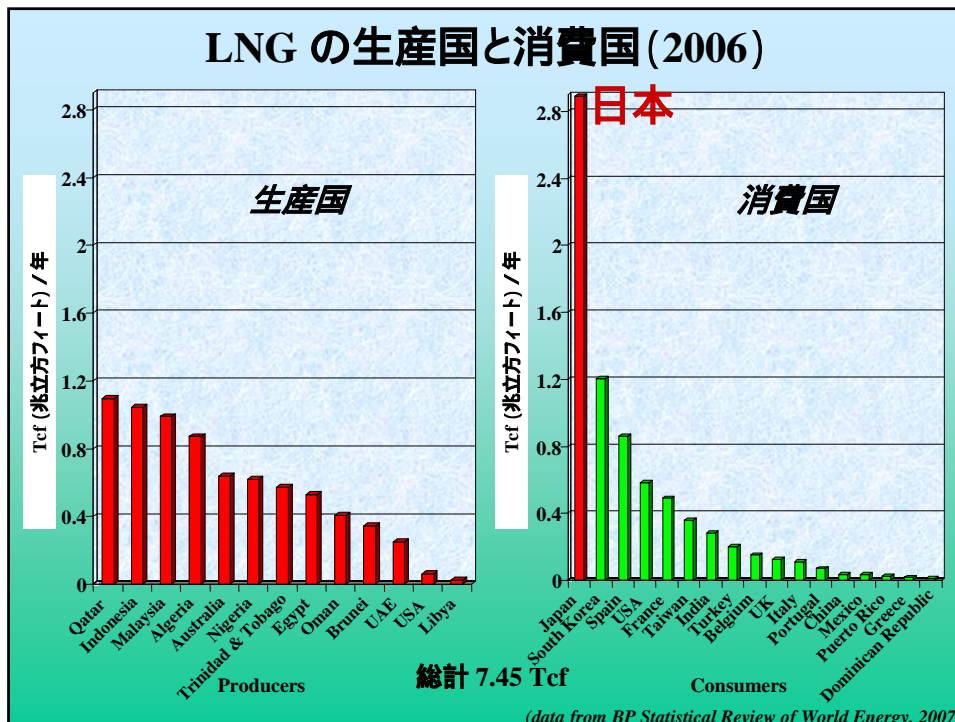


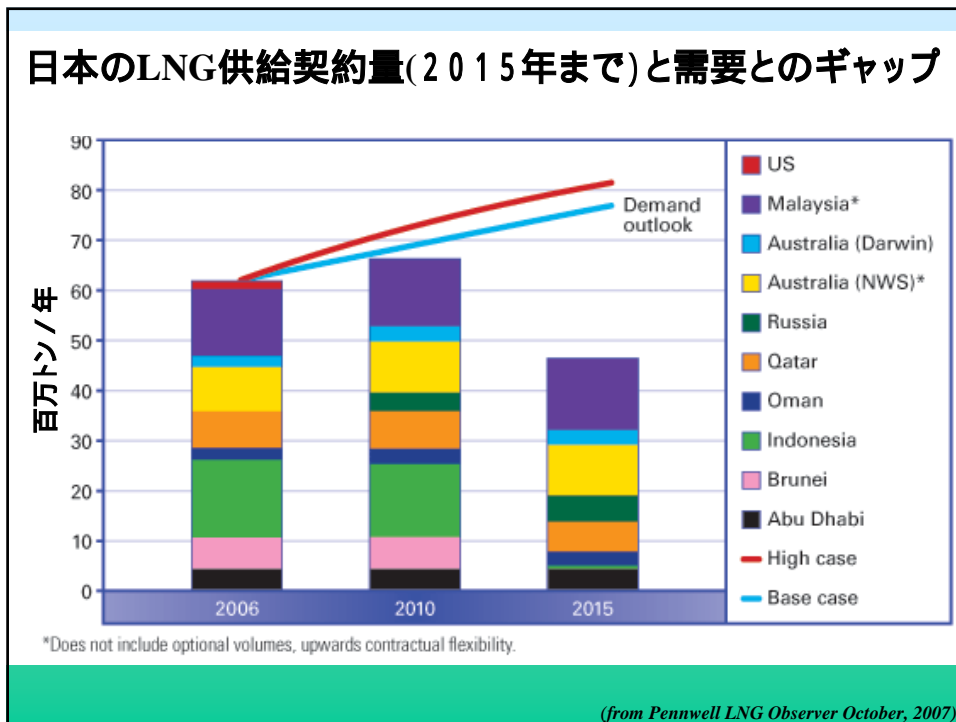
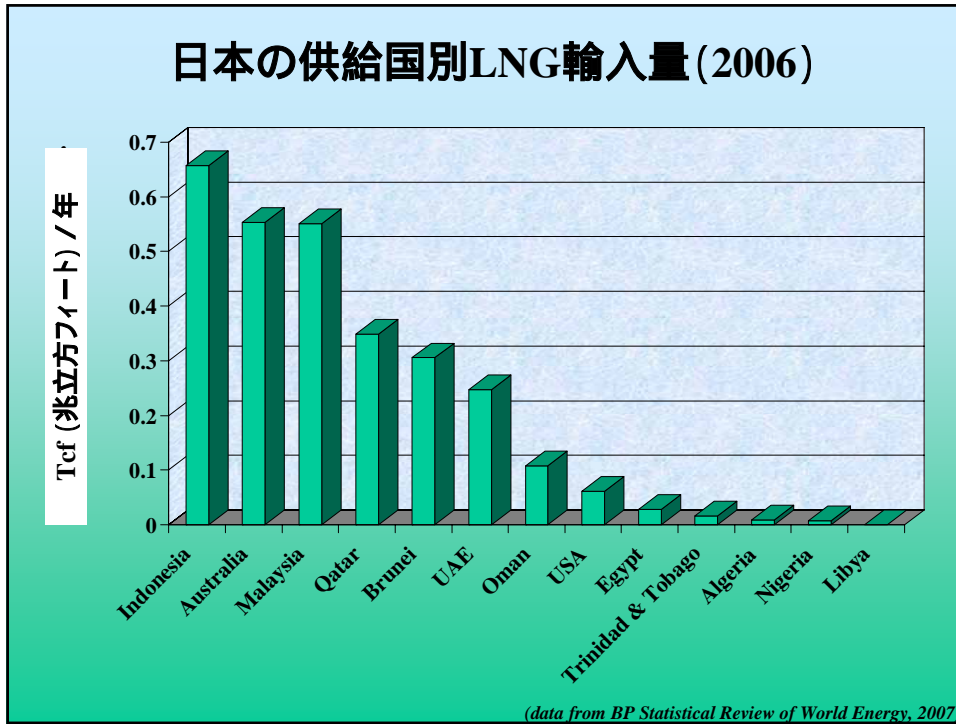


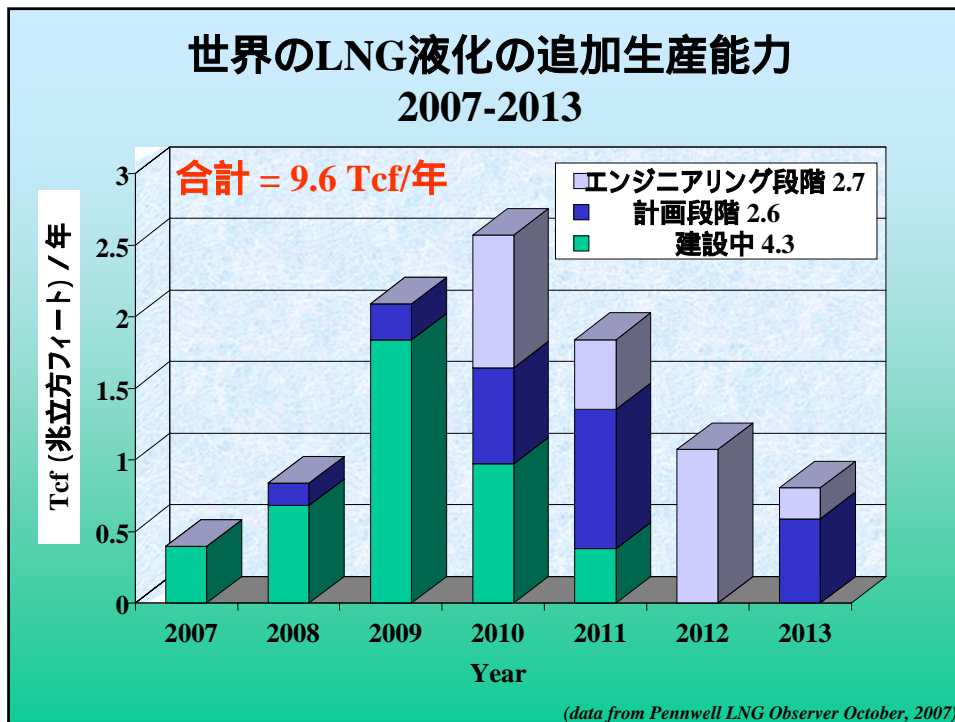
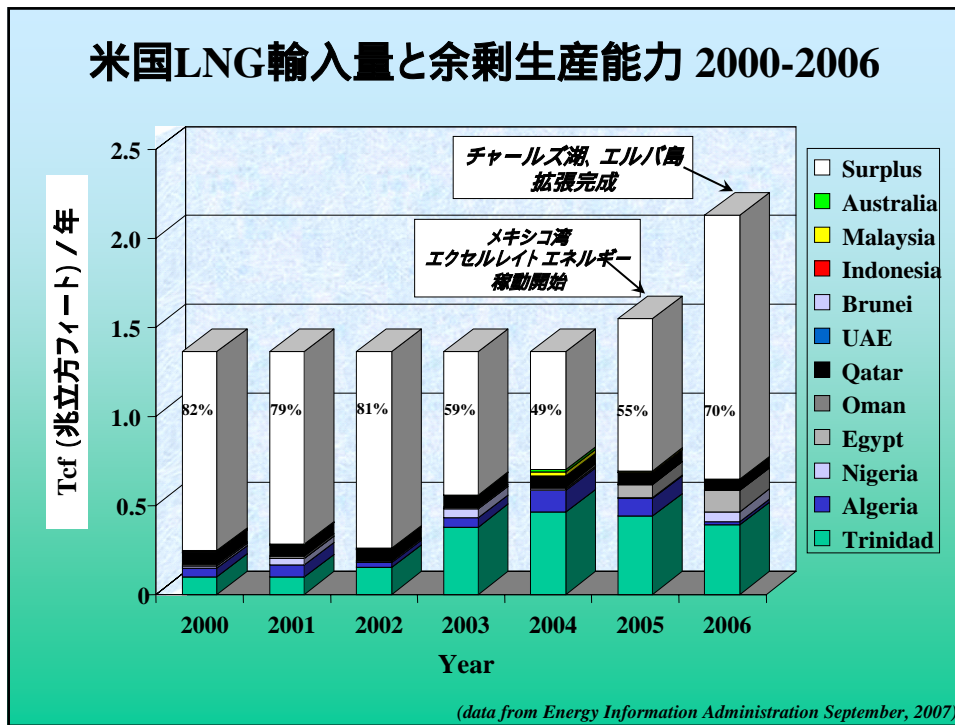
## 今後の展望

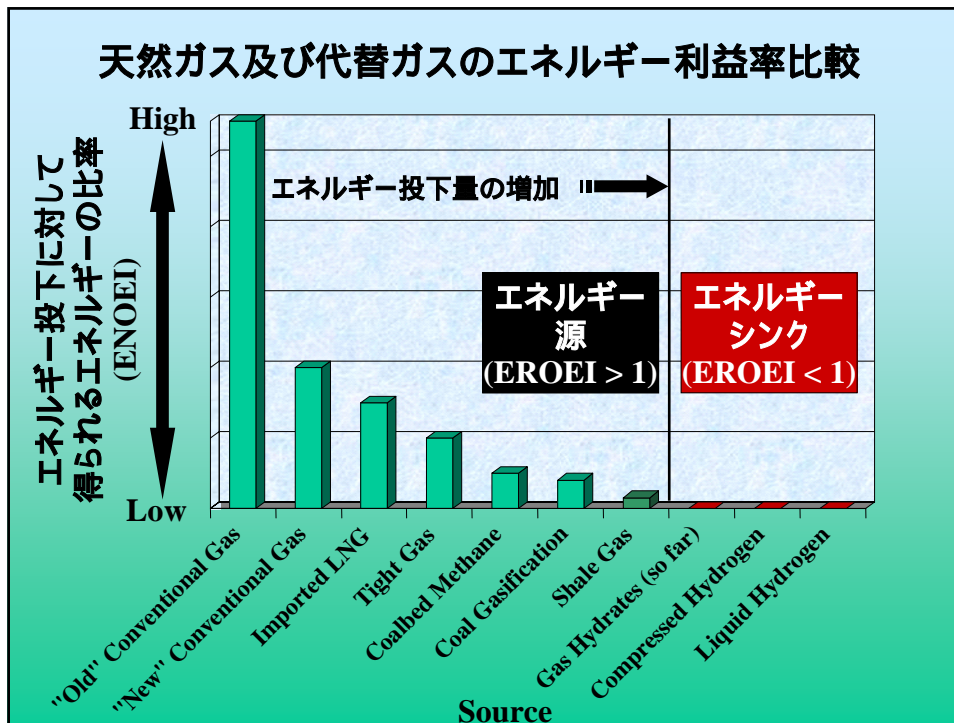
- **意味合い** 北米での国内生産の減少は、今後LNGの輸入を大きく拡大することになり、日本とその他の国々と競合することになる
- **解決策** - おそらくさまざまな選択肢の組み合わせとなる
  - 省エネと効率向上
  - 石油あるいは石炭への燃料転換 - 容量がかなり限られており、新たな設備投資が必要
  - 需要をなくす - ガス集約度の高い産業を国外に移す (化学肥料や石油化学製品工場) - こうした動きはすでにみられる - 地政学的な影響

### LNG の生産国と消費国 (2006)



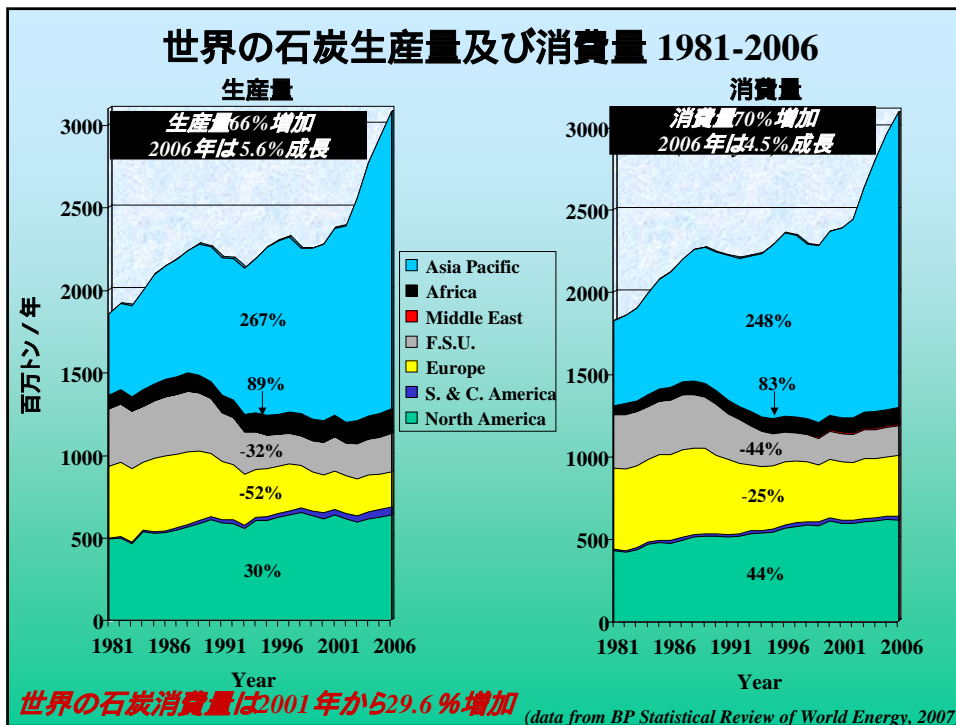
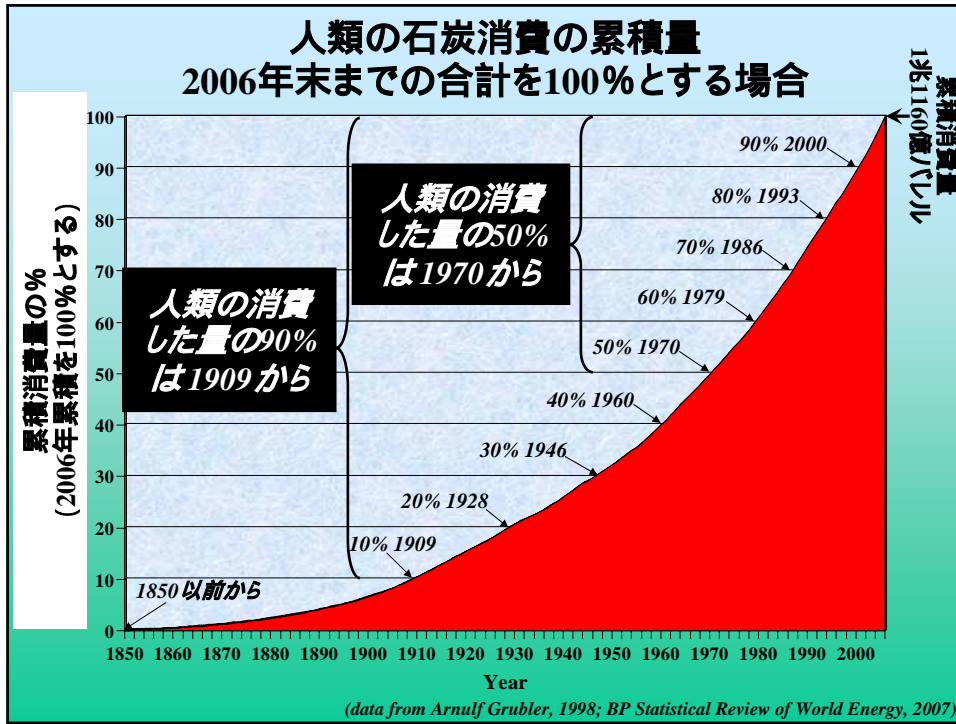


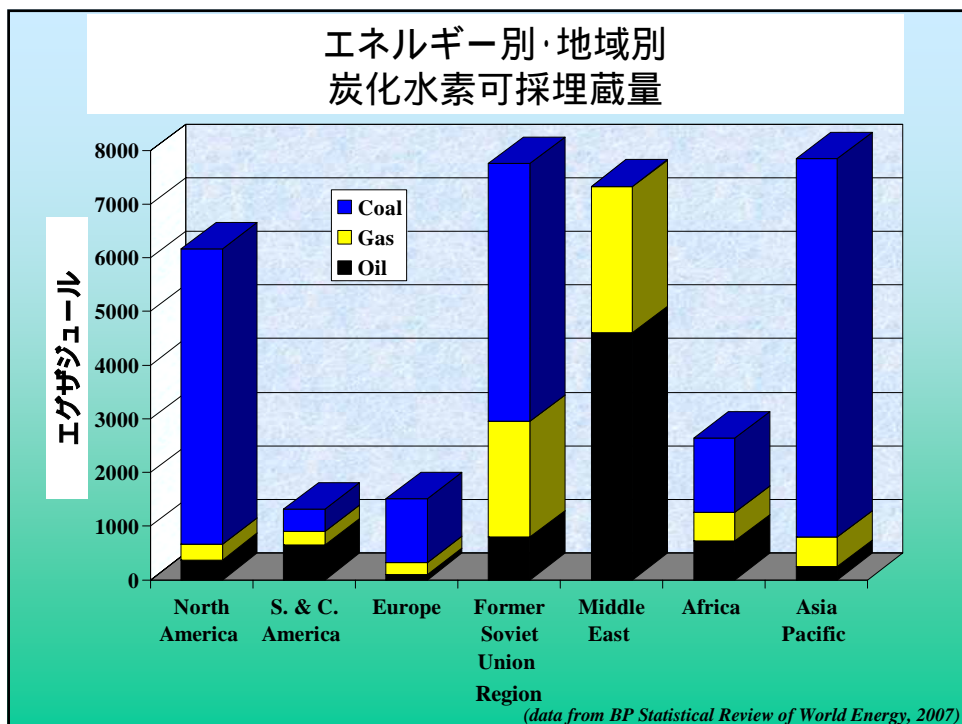
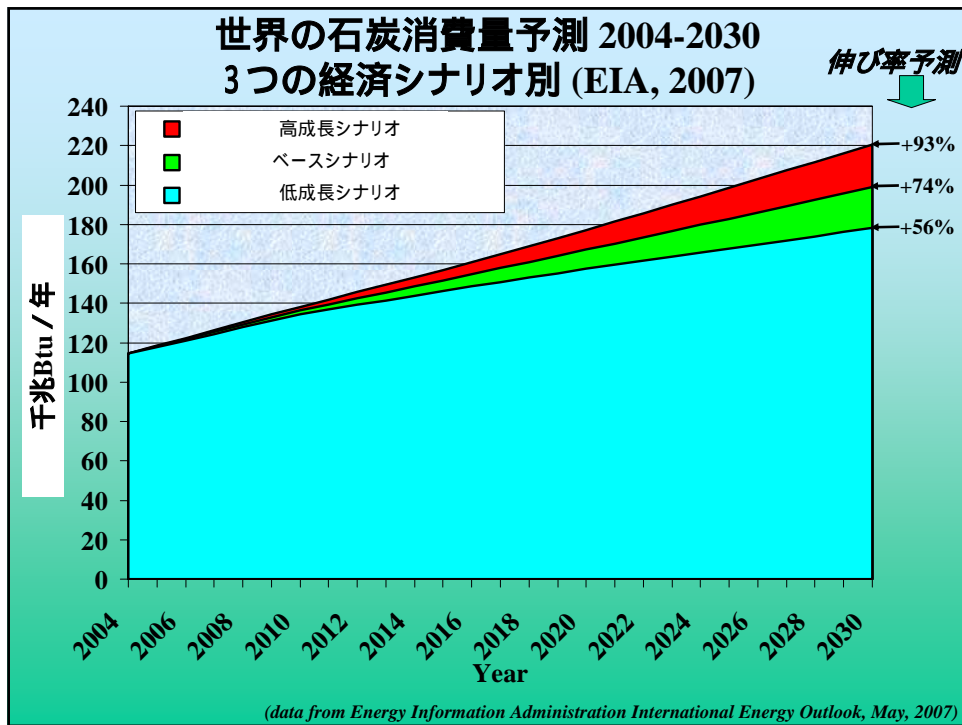


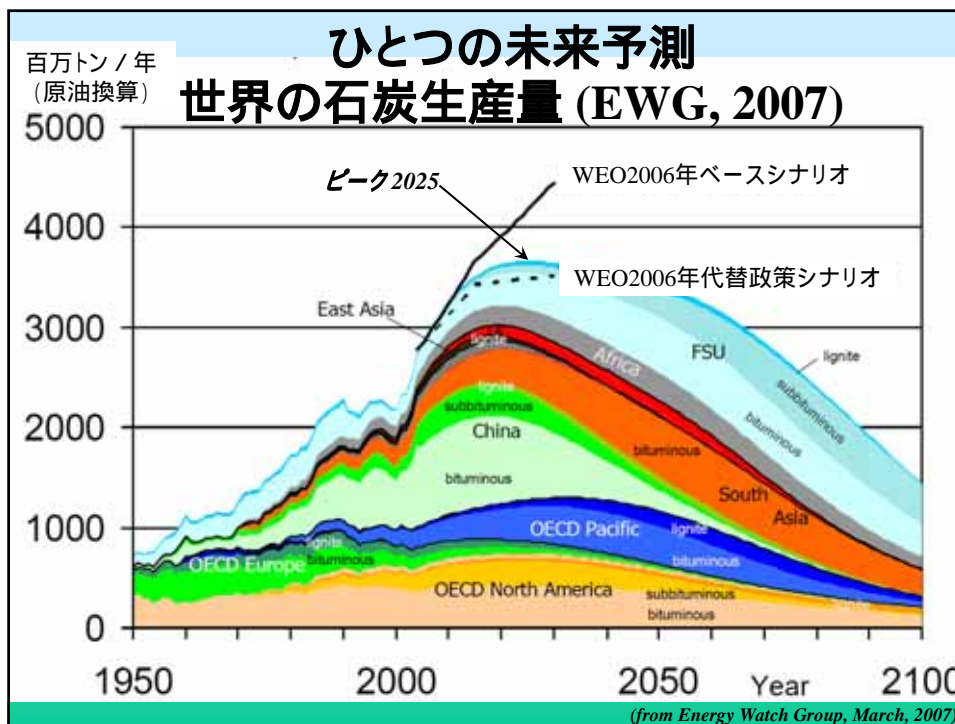
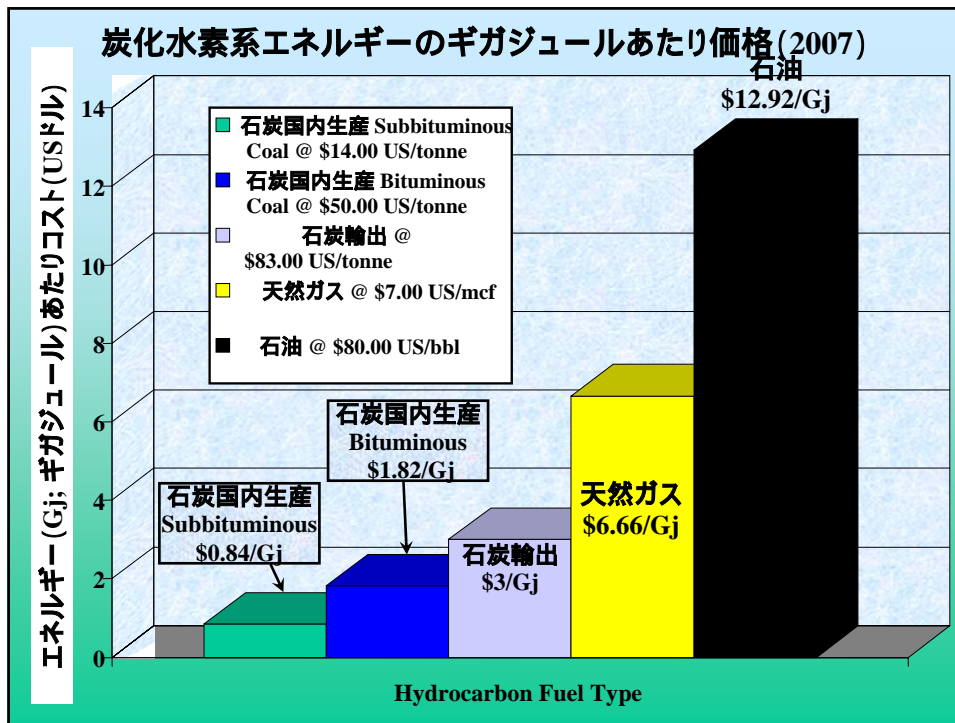


## 石炭

- 世界に残る炭化水素系エネルギーの3分の2を占める
- 2006年、世界の1次エネルギー消費量の28.4%を占めた 石油に次いで第2位 米エネルギー情報局(EIA)によれば、2030年までの期間、最も成長著しい燃料となる見通しである
- 発電や熱源、製鉄業に用いられる(とくに発電には、ほかのどの燃料よりも多く用いられている)
- 最も低コストの熱源である - 1ギガジュール当たり84セント~3ドル (ガスは6.66ドル、石油は12.92ドル)
- 従来の技術を用いると、カーボン・フットプリントはガスの2倍 高度な「クリーン・コール」テクノロジーを用いると、カーボン・フットプリントは削減され、ガスとほぼ同程度となる(が、コストがかさむ)
- 炭化水素系燃料源の中で最も成長著しい - 消費量は2001年末から29.6%増、2006年だけで4.5%増

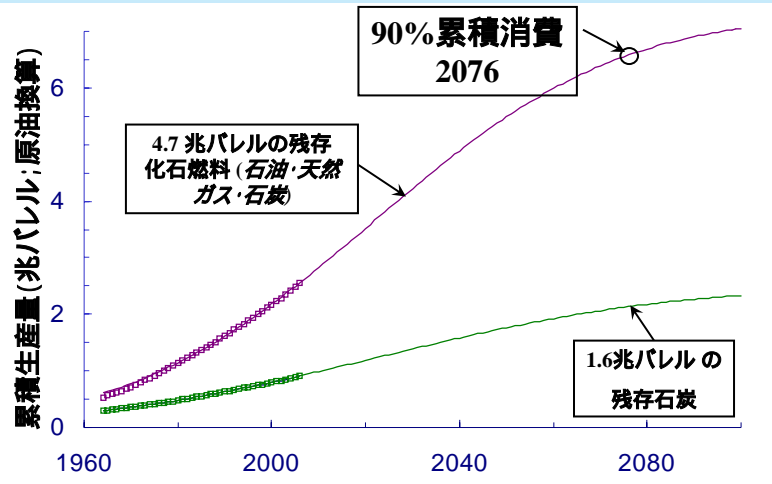








## 将来の化石燃料の生産量

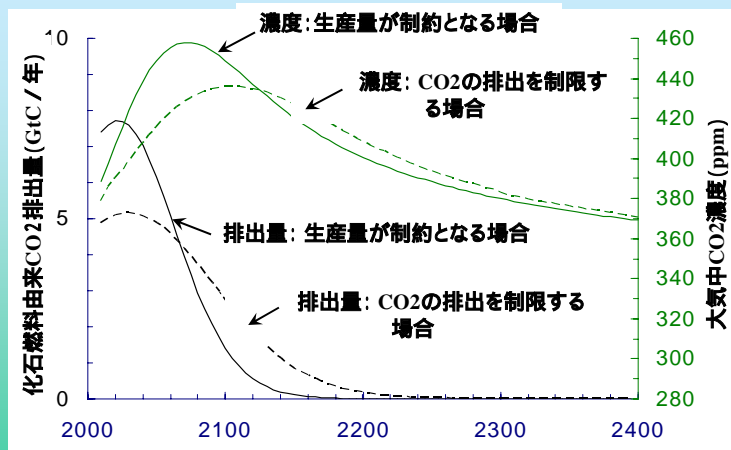


カルテック 残存可採化石燃料: 石油・天然ガス = 3.1 兆バレル; 石炭 = 1.6 兆バレル; 合計 = 4.7 兆バレル.

IPCC 残存可採化石燃料: 石油・天然ガス = 10-15兆バレル; 石炭 = 18バレル; 合計 = 28-33兆バレル; カルテックの6 - 7倍の見積もり

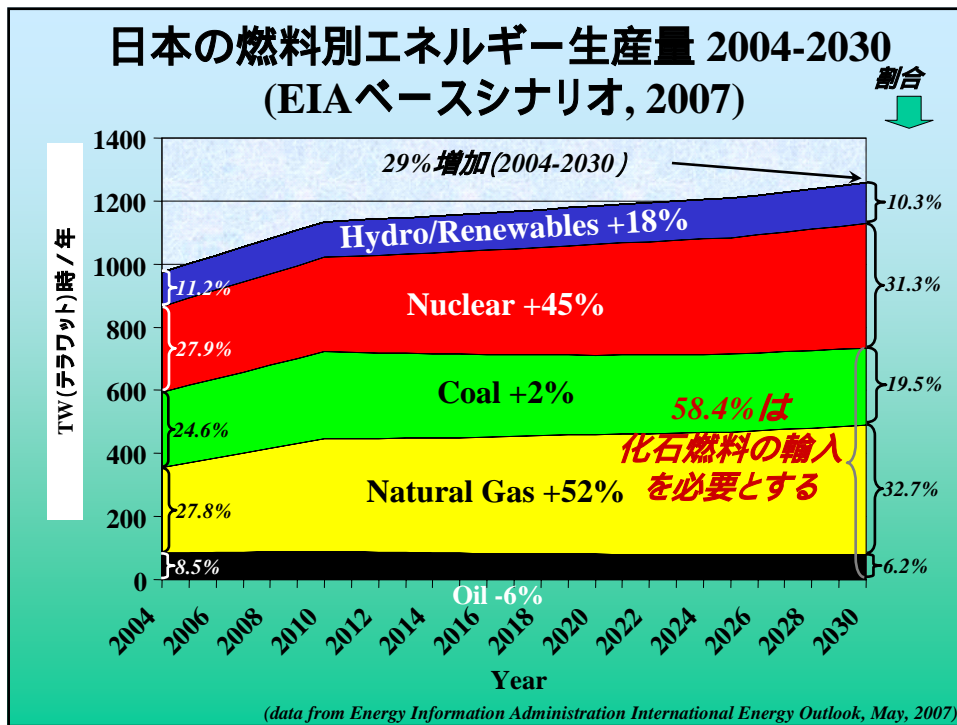
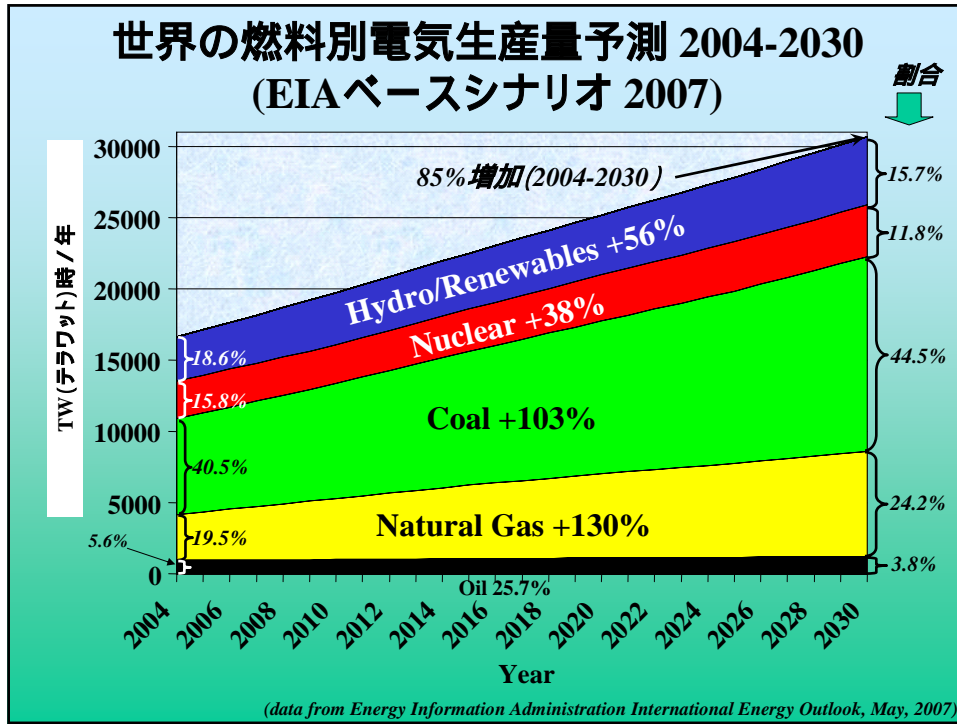
(from Rutledge, Caltech, 2007)

## 二酸化炭素濃度シミュレーション



- トム・ウィグリー (国立大気研究所, 米国ボルダ) のMAGICCプログラムによるシミュレーション。このプログラムは初期の国連IPCCの評価レポートに使用された。
- Caltechの予測に寄れば、CO<sub>2</sub>のピーク濃度は460ppmである。

(from Rutledge, Caltech, 2007)

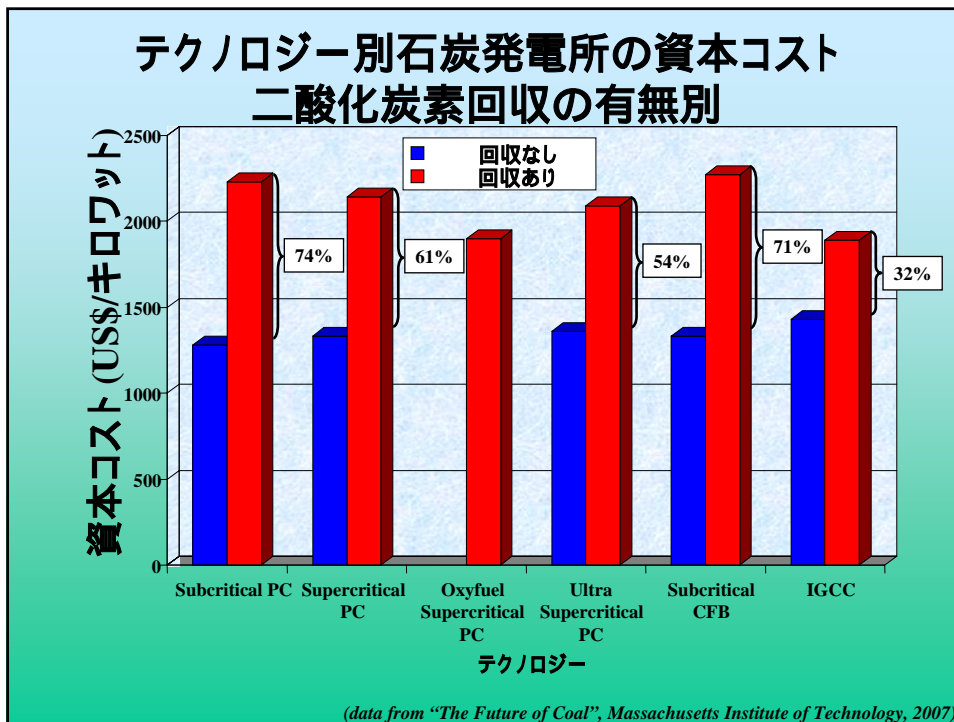
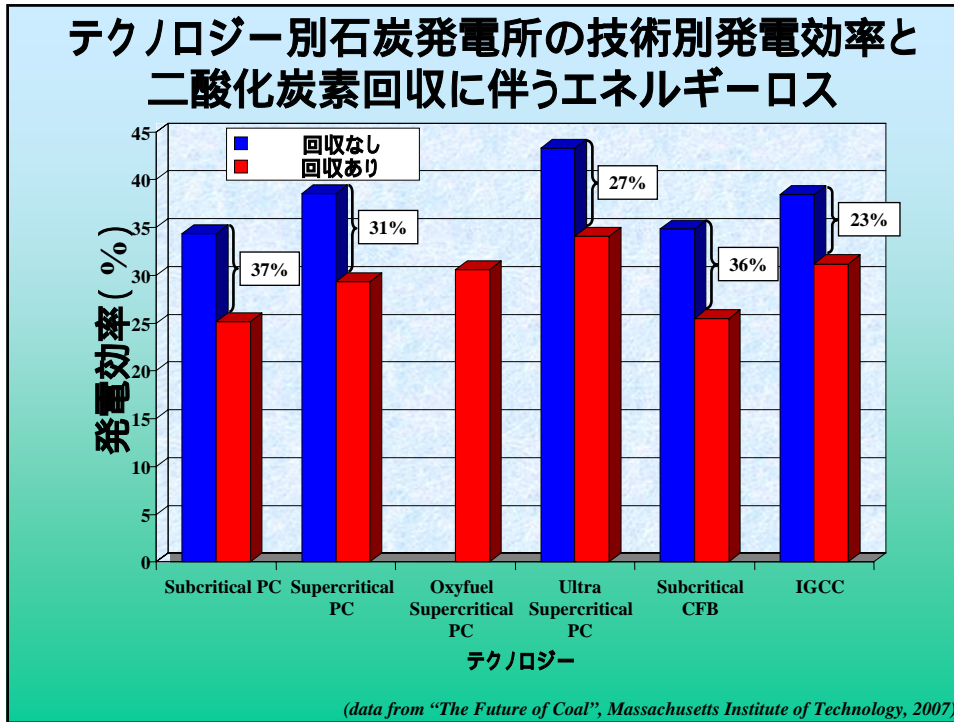


## 「クリーンな石炭利用」はどうだろうか？

- 新技術を用いた高効率発電であれば、CO<sub>2</sub>排出量を25%削減できる - これは現時点で存在している技術のみを考慮した場合、今後さらなる進歩が見込まれており、加えて微粒子を99%以上、SO<sub>x</sub>を99%、NO<sub>x</sub>を90%、水銀を90%削減できる見通しである
- 現在最も効率性の高い技術である超々臨界燃焼のエネルギー効率は43.5% - 60年代の未臨界燃焼による発電所の効率は34%
- 超々臨界圧プラントの分野で世界をリードしているデンマークは、これを地域暖房に応用しており、その総合効率は60%を超えている(コンバインドサイクルガス発電の効率性を上回る)
- 石炭を燃焼するのであれば、炭素排出を最小限に抑える最善の技術を用いると同時に、非常に精力的な省エネ・効率向上プログラムを実施しなければならない

## 「クリーンな石炭利用」はどうだろうか？

- 向こう数年の現状維持を可能にする規模で炭素の回収・貯留を行なうよりも、クリーン・コール・テクノロジーを用いて炭素排出量を削減し、同時に精力的な省エネ・効率向上プログラムを実施することのほうが、はるかに理にかなっていると思われる
- 炭素の回収・貯留を行なうと、そのプラントでは常に23~37%のエネルギーが失われることになり、この損失を補うため、さらに多くのプラントを建設し、さらに多くの燃料を消費しなければならない
- 炭素の回収・貯留を行なう場合、プラント建設時の資本コストが高くなる(32~74%)
- 炭素の回収・貯留技術は、効果を生じるのに必要とされる規模ではいまだ未完成である。しかもCO<sub>2</sub>の輸送・隔離にはさらなる設備投資が必要であり、輸送・隔離に伴うエネルギー損失も増えることとなる



## 「原子力」はどうだろうか？

2003年にマサチューセッツ工科大学(MIT)が行なった研究で明確になった問題点の一部は以下の通り。

- **コスト** 規制緩和市場では現在、原子力に石炭やガスと争えるほどのコスト競争力はない 炭素税導入で状況が変わる可能性はある
- **安全性** もっとも、最新型の原子炉設計では、深刻な事故が起こるリスクをきわめて低く抑えることができるのだが.....燃料サイクル全体の安全性についてはまだ不明点が多い
- **廃棄物** 地層処分は技術的には可能だが、実行に移した場合の安全性が証明されておらず、不確かな面がある。数十年にわたって研究が進められているが、解決までにはまだ何年もかかる
- **核拡散** 核配備の拡大という安全保障上の難問に対処するのに、現在の国際安全体制では不十分である

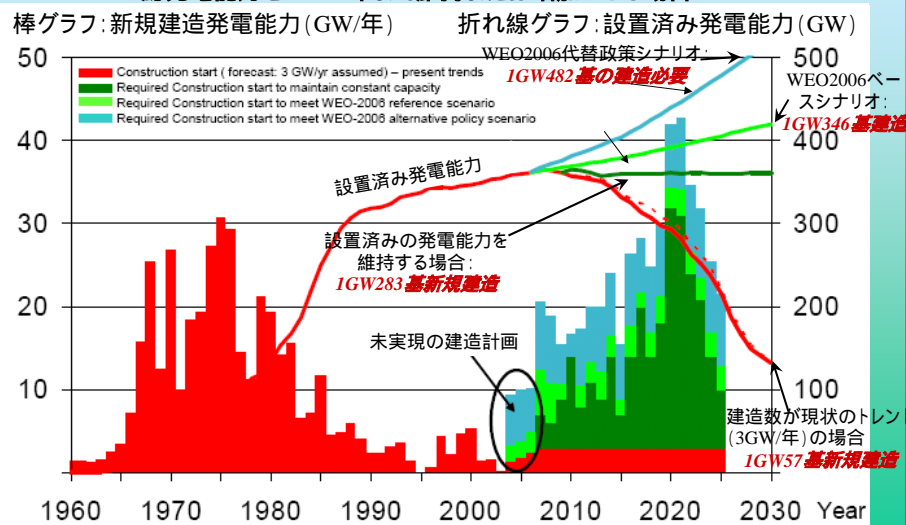
(参考: "The Future of Nuclear" (「原子力の未来」), マサチューセッツ工科大学, 2003年)

## 「原子力」はどうだろうか？

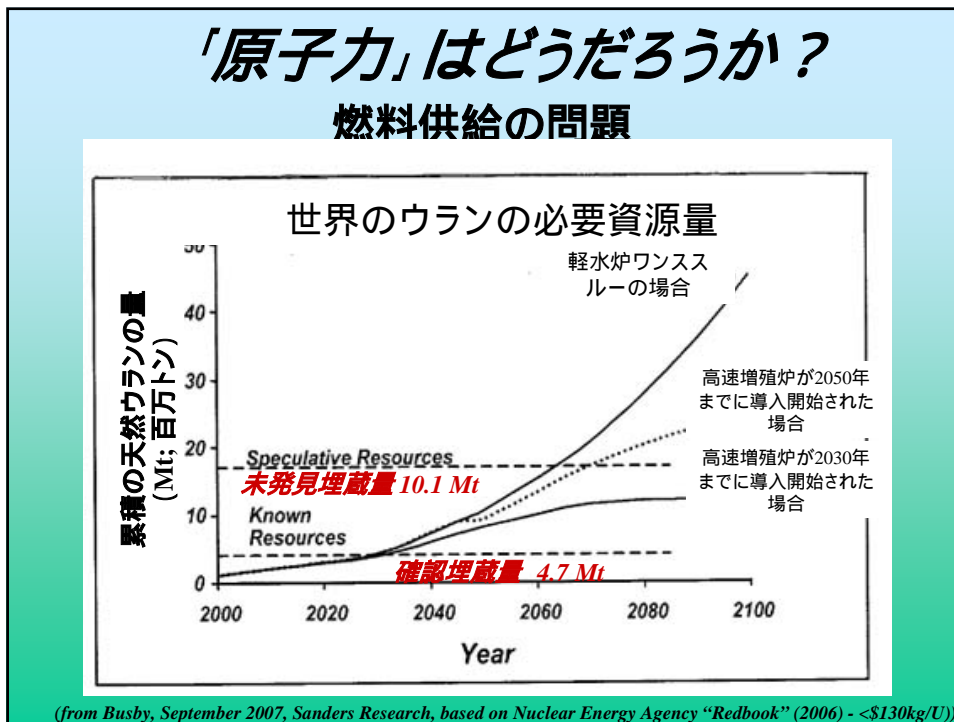
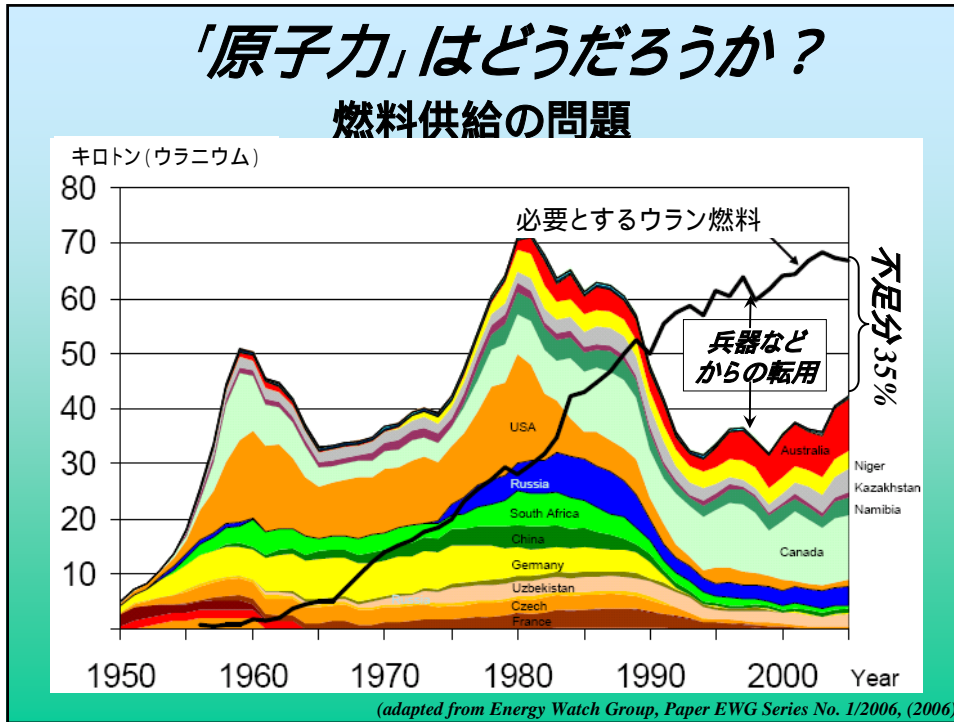
新規建造と設置済み発電能力の実績と予測

現状の建設ベースの場合と

総発電能力を2025年まで維持または増加させる場合



(adapted from Energy Watch Group, Paper EWG Series No. 1/2006, (2006); data from IAEA, (2006))

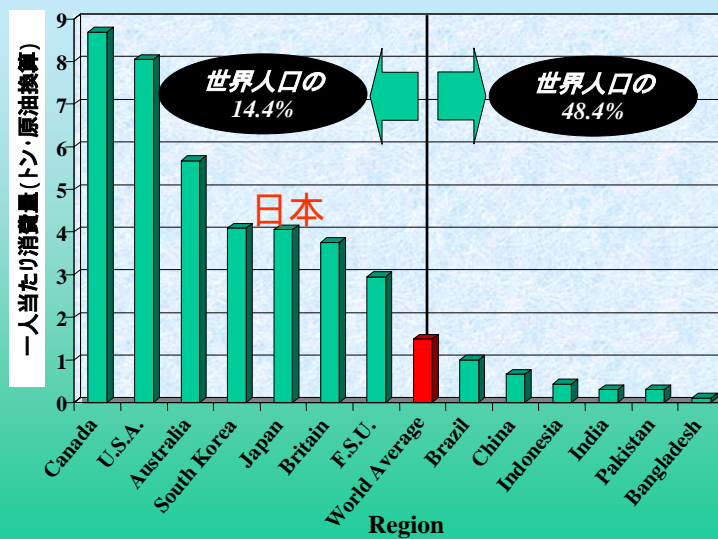


# エネルギー持続性 パズルの最後の1枚:

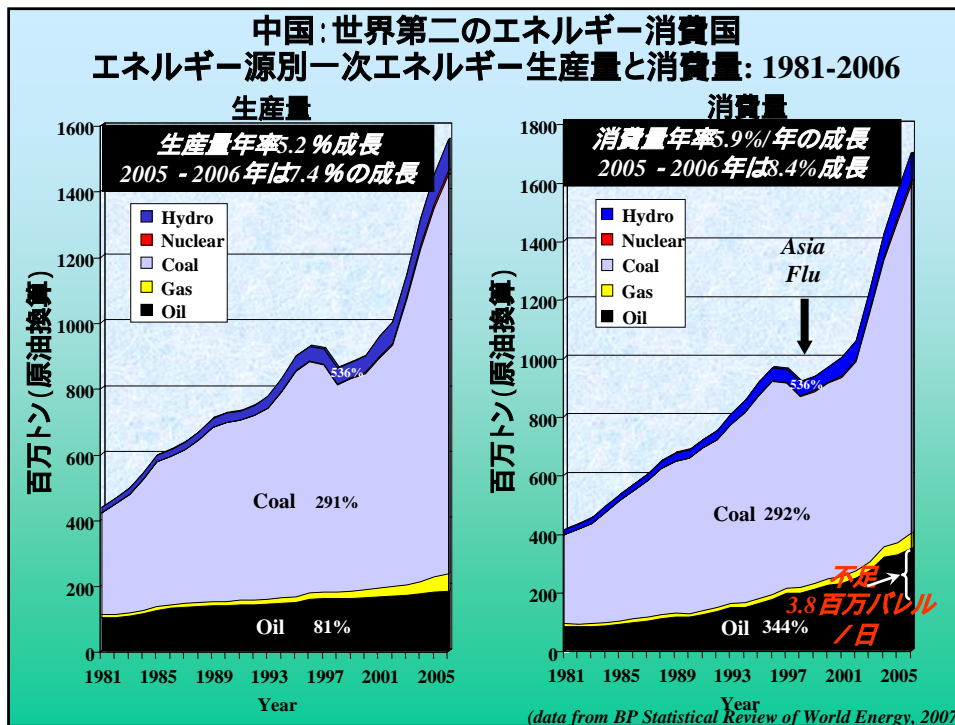
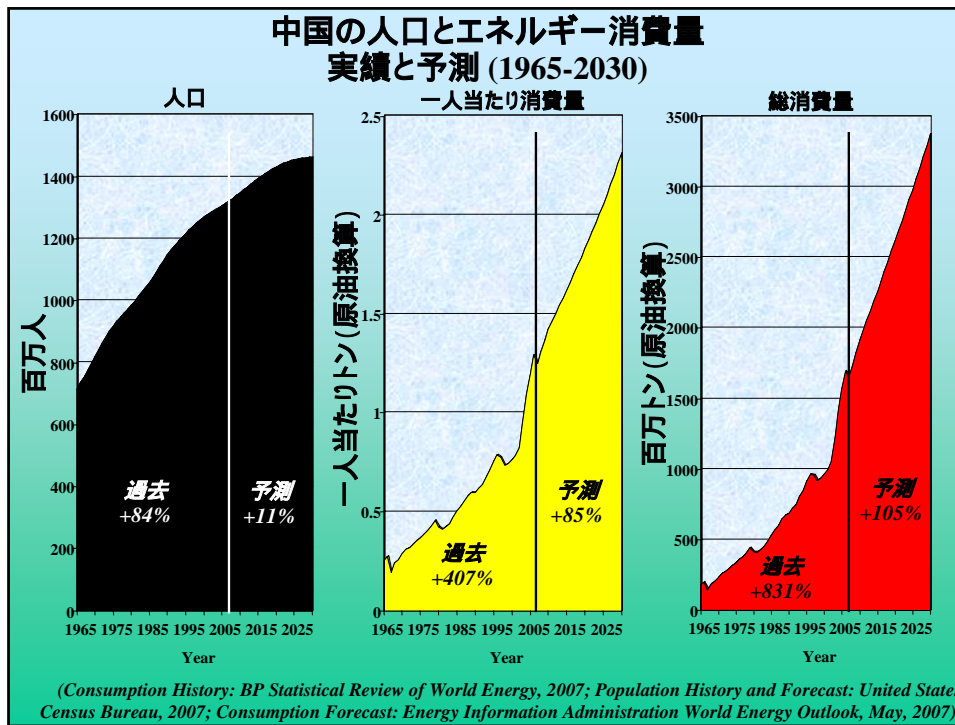
人口の成長  
と  
発展途上国における  
エネルギー消費成長への渴望

## 世界のエネルギー消費はきわめて不公平である

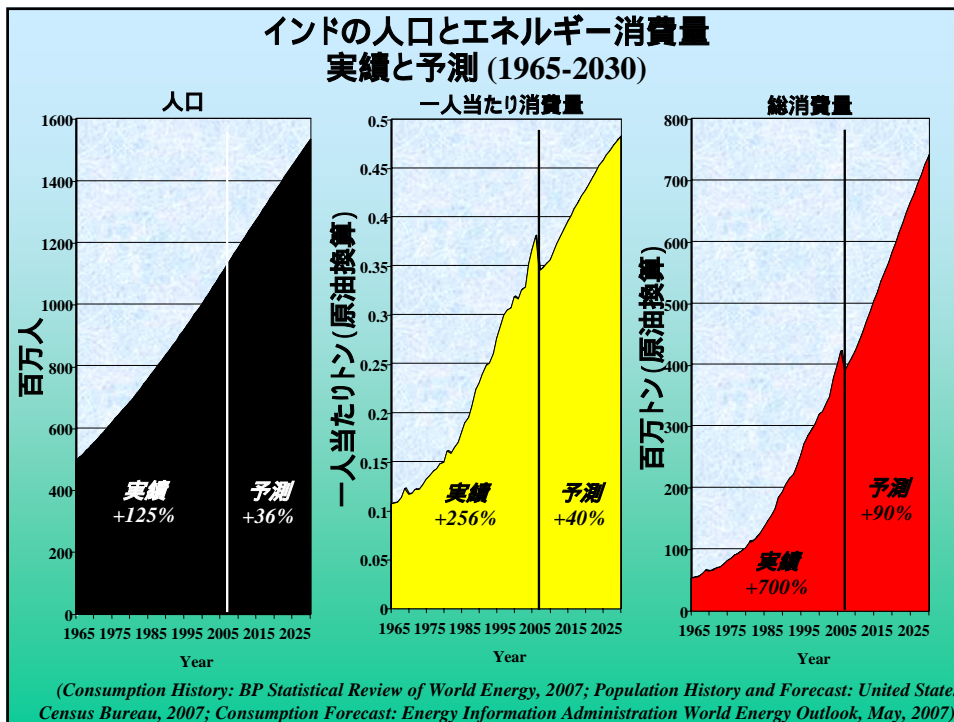
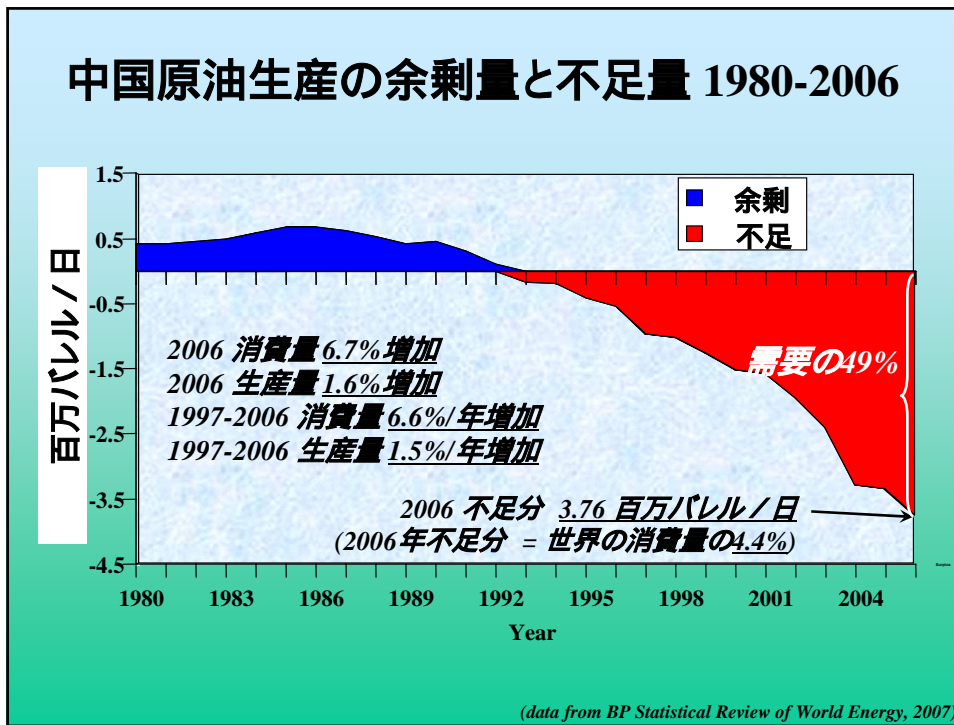
国別一人当たり一次エネルギー消費量 2001

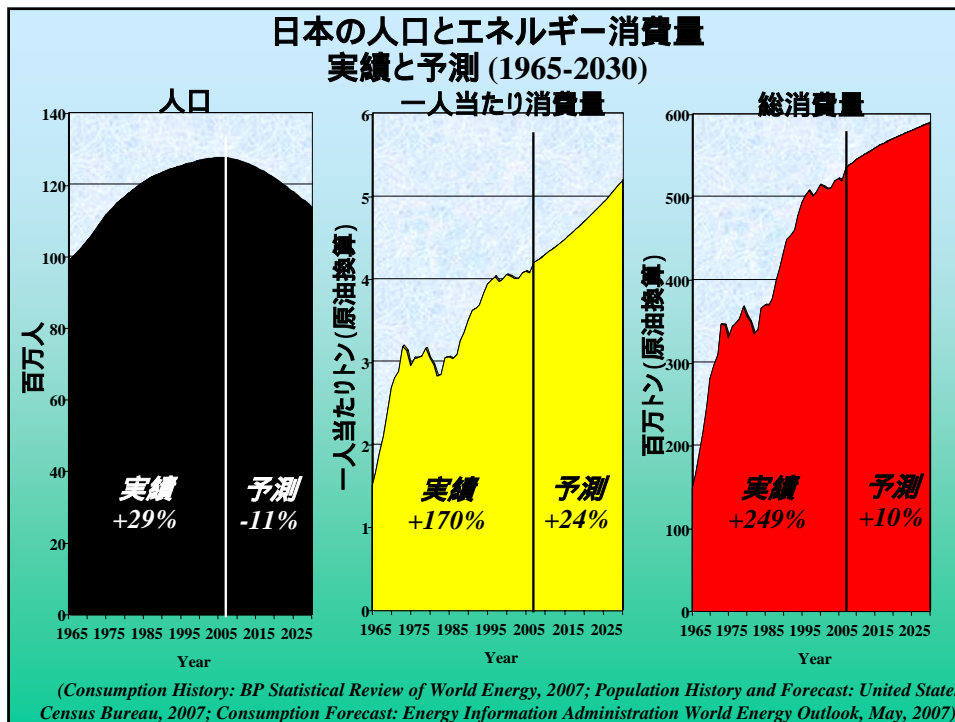
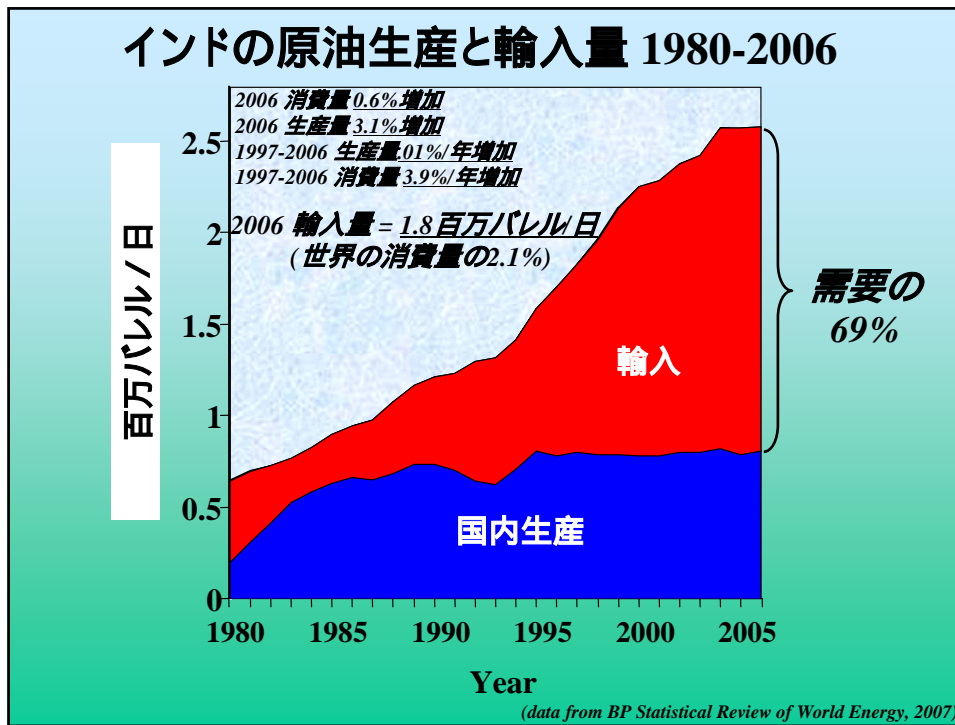


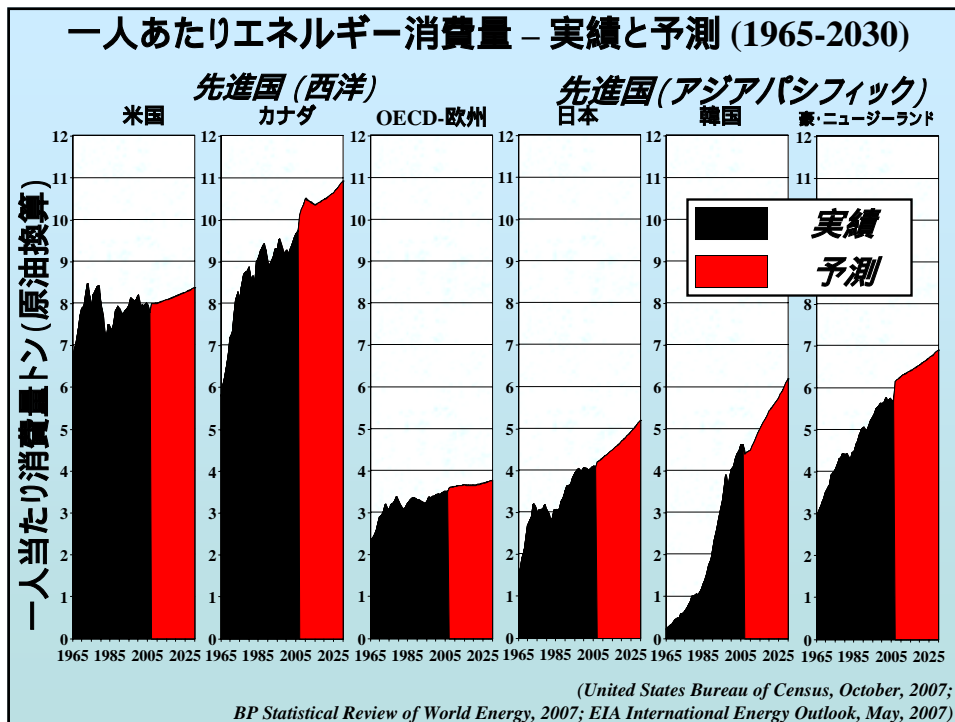
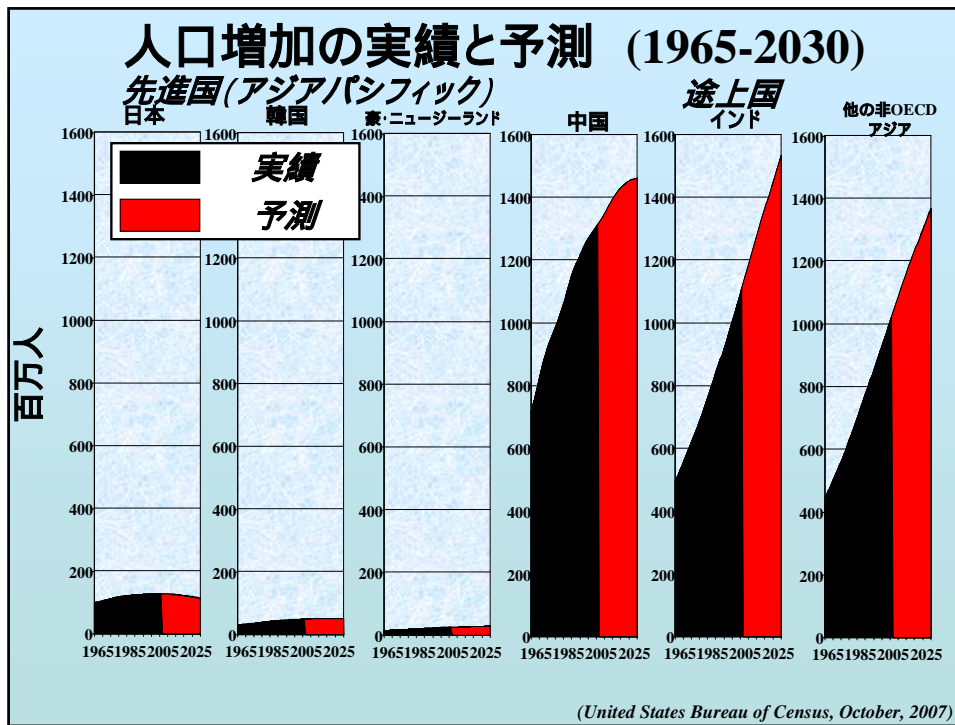
(data from BP Statistical Review of World Energy, 2002, and United Nations World Database, 2002)

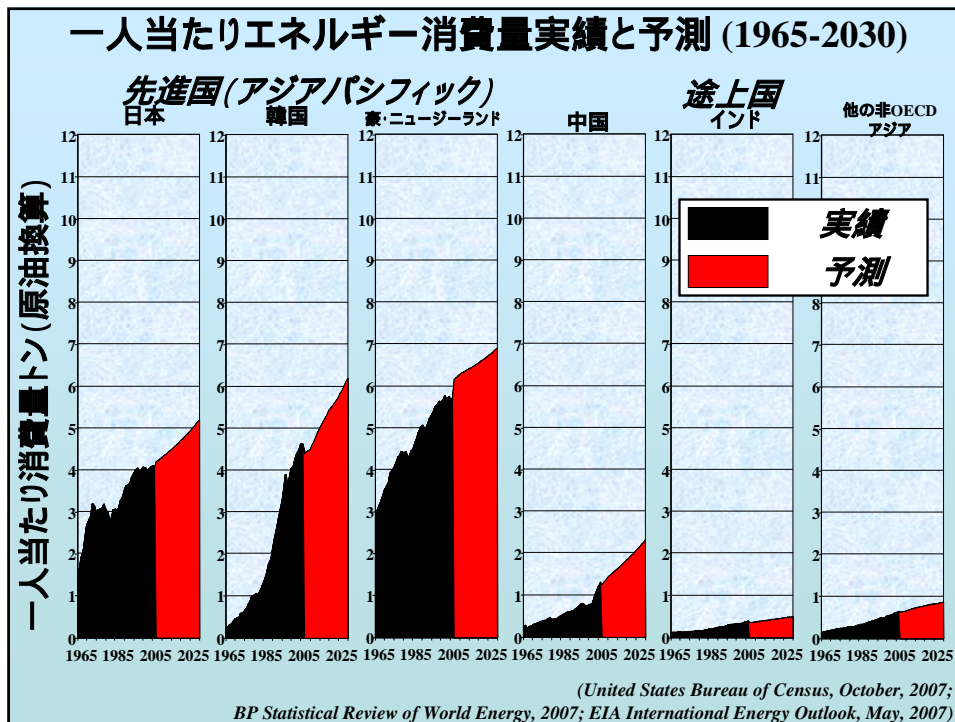
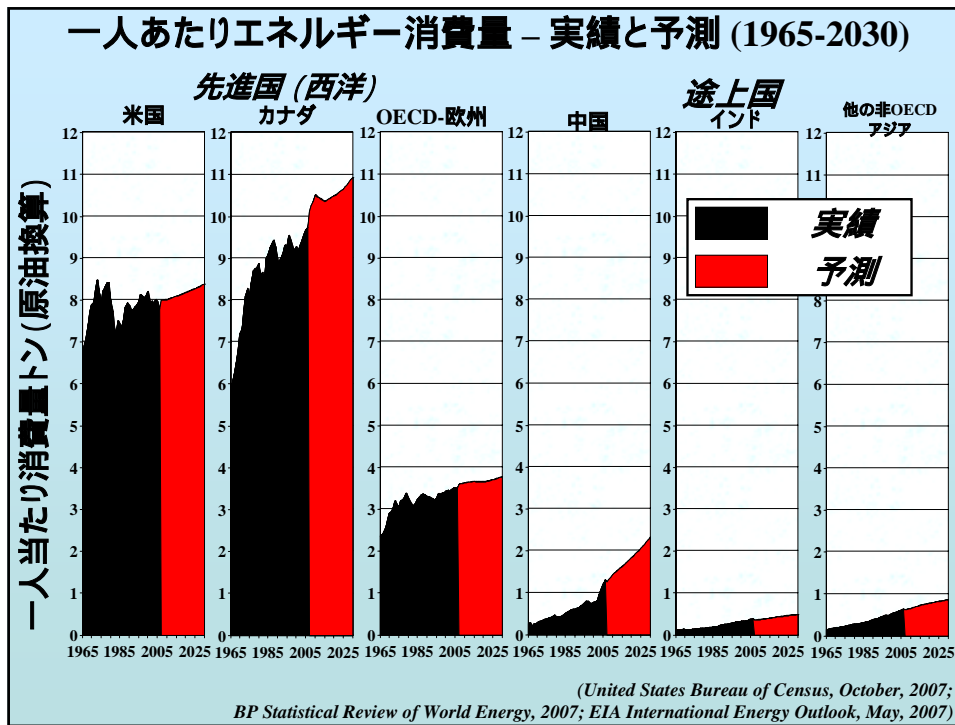


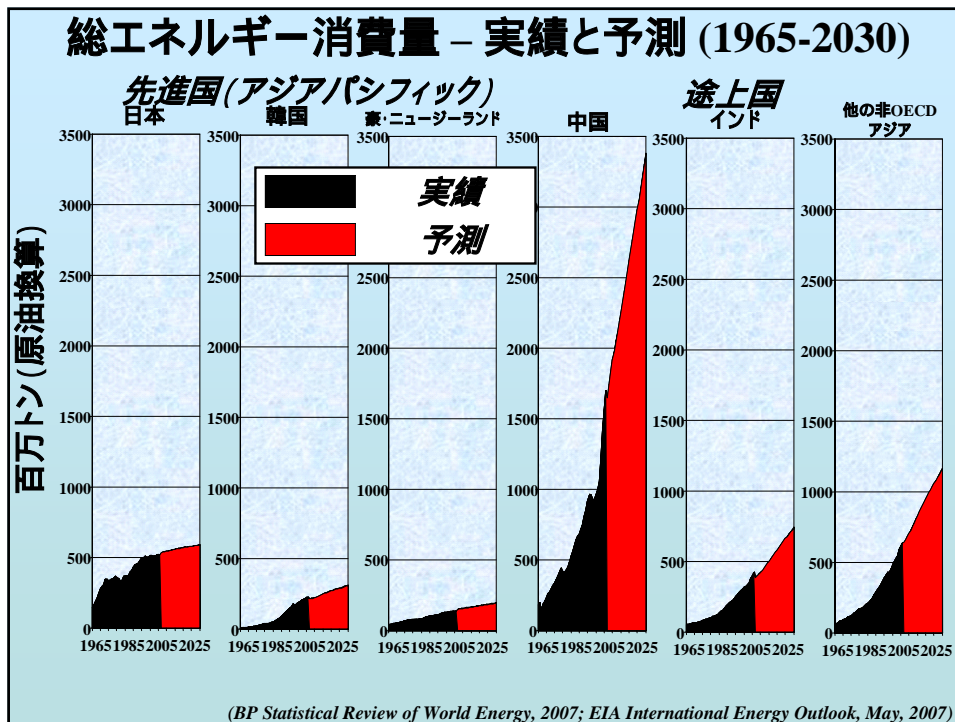
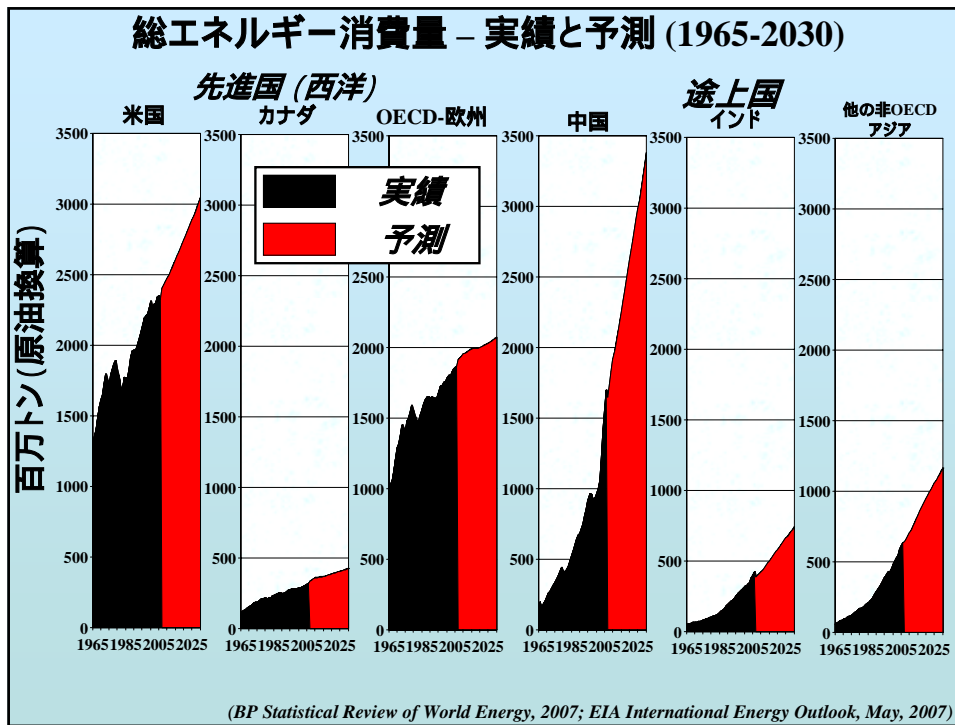


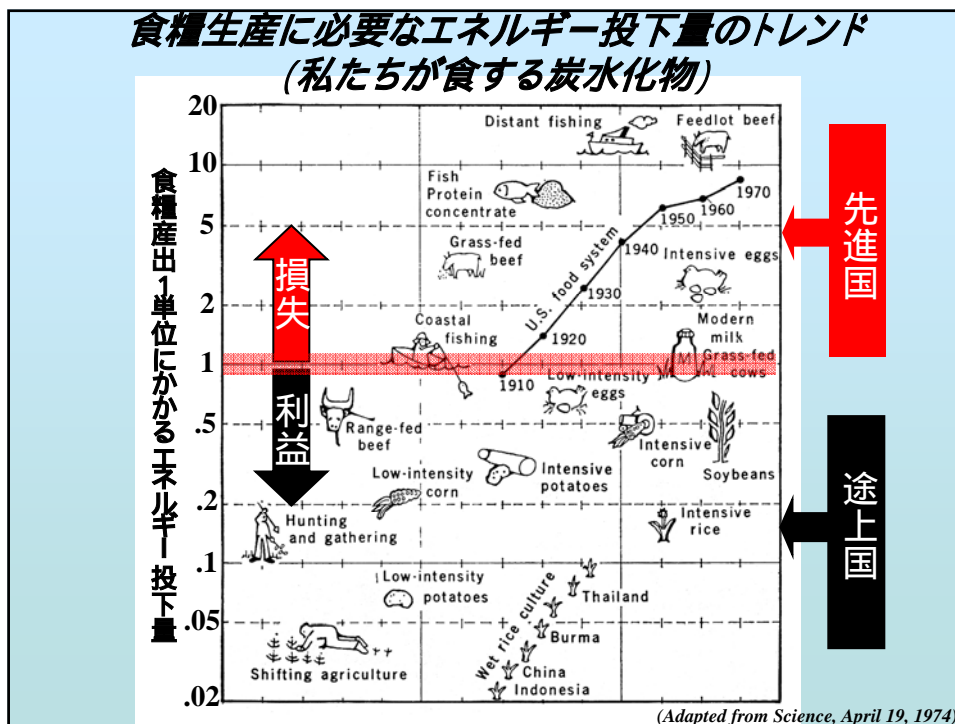
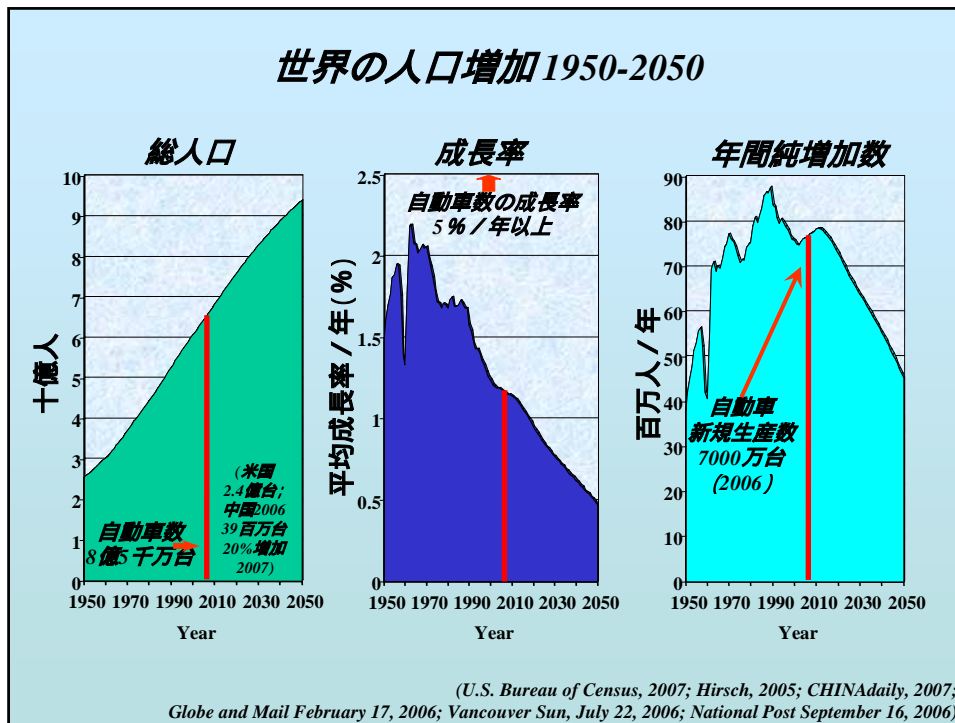


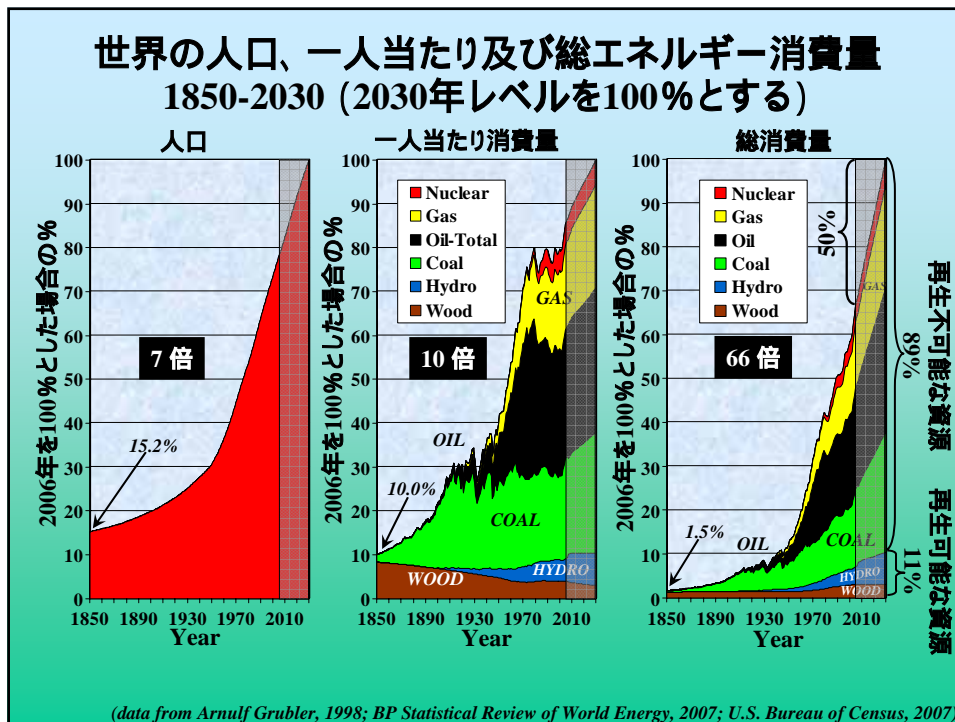
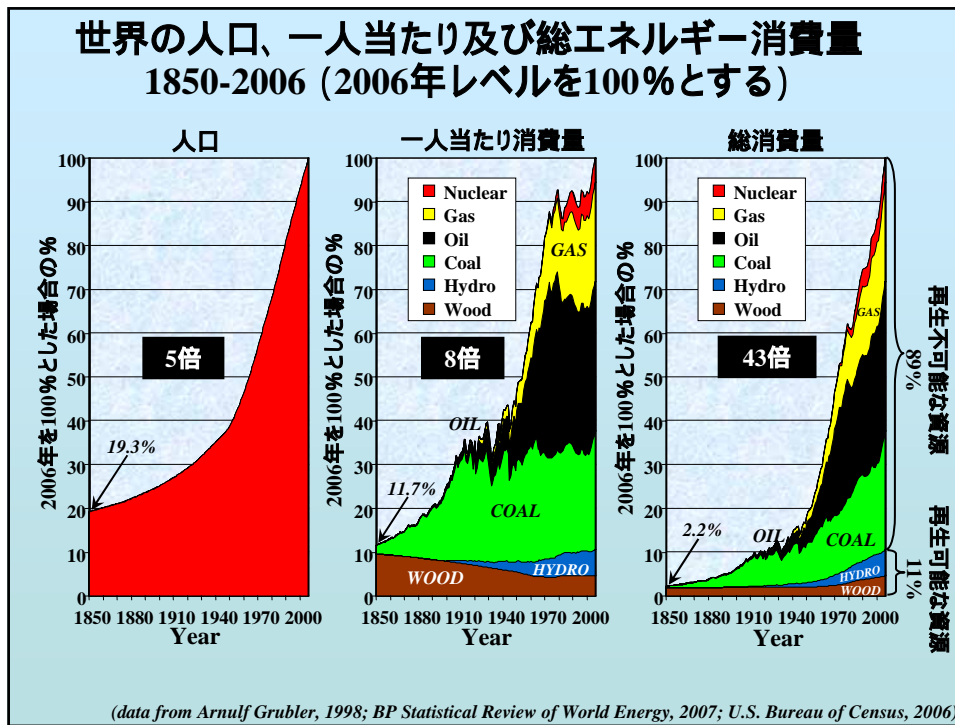












## まとめ

- 1850年以来、世界の人口は5倍に増加している。これを可能としたのは再生不可能な燃料であり、その消費は食糧、輸送、通信など、社会のあらゆる側面に浸透している
- 1850年以来、世界の一人当たりエネルギー消費量は8倍に増加している。これはひとえに再生不可能エネルギーを消費した結果である
- 先進工業諸国は不釣り合いなまでに多量のエネルギーを消費している（日本の消費量は、世界の一人当たりエネルギー消費量平均の3倍である）。発展途上にある国々は当然、先進工業諸国のエネルギー消費水準に追いつこうとしている。しかし再生不可能資源の量は限られており、これを実現するには十分でない可能性が大きい。これがエネルギーをめぐる国際対立の発端となっている
- 再生不可能エネルギー資源には限りがあるという現実、今や誰の目にも明らかとなりつつある - 産油国の多くがピークオイルを迎え、北米の天然ガス生産も頭打ちとなり、ウラン価格は2000年以来10倍になり、何世紀にもわたってエネルギーを自給してきた米国が今や石炭を輸入している
- 再生可能エネルギー技術は急激に成長しているものの、目下のエネルギー需要見通しに鑑みると、再生不可能エネルギーに取って代わることができるとはきわめて考えにくい - 持続可能な未来は、エネルギー消費の大幅削減と意識改革にかかっている

## まとめ

- 先進工業諸国は今後、石油や天然ガスに限らず、それらを原料とする石油化学製品や化学肥料、プラスチックなどの製品も含め、輸入による供給の不確実性に対してますます無防備になっていくだろう
- 現在の世界の発電量に原子力が占める割合を維持するだけでも、リパワリング、廃炉、老朽化した原子力発電施設の代替などといった、大規模な計画の実施が必要となる
- 第一歩は、問題を認識し、変化を起こし始めること、より持続可能なエネルギー未来への移行に必要なインフラを整備することである
- 最もコスト効率の良い長期的なアプローチは、省エネと、大幅な効率性向上 - つまりあらゆるレベルで消費を削減することである
- 持続可能なエネルギー未来の実現は、不可能ではないにせよ、きわめて困難であることはまちがいない - 代替エネルギーのインフラを整備し、消費削減に向けた技術や奨励策を展開するため、10～20年以上という時間軸でものごとを考えていくべきである



## 日本への影響

- 日本は、省エネとエネルギー効率向上を奨励するプログラム(「トップランナー」方式など)を実施しており、非常に積極的に取り組んでいる
- それにもかかわらず、日本は「ピーク・オイル」「ピーク・ガス」などといった問題に対して、きわめて無防備である。2006年、日本は1次エネルギーの83%を輸入に頼っていた(原子力を国内生産とみなした場合)。EIAの基準ケース予測によると、この傾向は2030年までほぼ変わらない見込みであるという
- 発電施設の稼働能力が向上したにもかかわらず、日本における発電量の60%は輸入燃料に依存している
- 日本は今後、発電容量の3分の1を輸入天然ガスでまかなう見通しである。しかし、液化天然ガス(LNG)のライフサイクル全体にわたる温室効果ガス排出量を考慮に入れるべきであろう。通常、LNGの液化、輸送、再ガス化の過程で、ガスの15%以上が消費されてしまっている
- 国外のサプライチェーンに対する脆弱性を減らすには、さらなる省エネや効率向上を通じて輸入必要量を最小限に抑えること、そしてたとえ初期コストが高くつくとしても、必要とされるエネルギーをできる限り地域的に供給することが必要である

## 日本への影響

- 現在、人類とその社会経済的な幸福を脅かす、きわめて重要な地球規模の問題は、**気候変動とエネルギー持続可能性の2つ**である
- より早い時期に社会経済的な意味で私たちに影響を及ぼすのは、おそらく**エネルギー持続可能性の問題**であろう。だが**気候変動の問題は、長期的に見てきわめて重要**である
- 両者の解決策には共通点がいくつもある - エネルギー持続可能性という問題を解決できれば、それは自動的に気候変動問題への対策ともなるはずだ

## 日本への影響

日本は、輸入による供給の影響を最小限とするため、省エネと効率向上に向けた以下のような取り組みをさらに加速させるべきである

- 建造物の改良 2030年時点の建造物の90%はすでに建設済みである  
既存建造物を改築し、エネルギー効率を最大限に高めなければならない
- ゼロ・エミッションに向けた新たなインフラ インフラを新設する際には必ず、エネルギー効率が最大となるよう配慮すべきである
- 再生可能エネルギー奨励策 - 太陽光、風力、地熱、潮力、バイオマスなど  
ネットメーティング、時間帯別料金制度などのインセンティブ
- 在宅勤務 あらゆるレベルで輸送の必要性を削減する
- 効率的な輸送方法を最大限に活用する 鉄道、船舶、ハイブリッド自動車、  
プラグイン・ハイブリッド自動車(PHEV)

## 日本への影響

日本は、輸入による供給の影響を最小限とするため、省エネと効率向上に向けた以下のような取り組みをさらに加速させるべきである

- 歩行者にやさしい都市 新たなインフラ建設にあたっては、車なしでも移動しやすくなるよう配慮する
- 公共交通機関を増やす 自動車の走行を助長するのに費やす資金を、代わりに公共交通機関に投じる(インターチェンジ新設や6車線の道路建設などといった計画は中止し、その代わりに公共交通機関という選択肢を提供する)
- 食糧や必需品の地産地消を、再び活性化させる - 製品の値段は高くつくかもしれないが、それでも地元の農家や製造業者を支援する
- 炭化水素を消費する際には、最大限の社会的利益をもたらすべく、最も有利な方法で活用する 例えば、天然ガスを発電用の燃料として用いる代わりに、石油化学産業や化学肥料産業において有益に活用する

## 日本への影響

- 日本人はこれまで難題に直面するたびに、信じられないほどの回復力と発明の才をみせてきた
- 迫り来るエネルギー持続可能性の難局はおそらく、これまでのあらゆる限界を試すようなものとなるだろう
- 安価なエネルギーの減少による影響を最小限に抑え、より持続可能な未来への移行を成し遂げるには、前もって将来を見据えた計画を立てることが不可欠である
- この先がきわめて険しい道であることには、疑いの余地がない。だが、しっかりとした認識と前向きな考え方が広まれば、不可能なことではない

ありがとうございました

### 連絡先

Dave Hughes  
dhughes @ nrcan.gc.ca  
403 292-7117

- 主催者・お問い合わせ先

(有) イーズ <http://es-inc.jp>

03-5426-1128 [info@es-inc.jp](mailto:info@es-inc.jp)

(有) チェンジ・エージェント <http://change-agent.jp>

03-6413-3760 [info@change-agent.jp](mailto:info@change-agent.jp)