

アジア/世界エネルギーアウトルック 2013

—シェール革命がもたらす変革をどう読むか?—

目次

はじめに.....	1
1. ケースと主要前提.....	3
1.1 ケースの位置づけ	3
1.2 主要前提	4
人口	4
経済成長	5
国際エネルギー価格	6
2. 世界・アジアのエネルギー需給展望.....	9
2.1 一次エネルギー消費	9
世界.....	9
中国.....	12
インド.....	13
ASEAN.....	15
石油.....	17
天然ガス.....	19
石炭.....	22
2.2 最終エネルギー消費	24
地域別.....	24
部門別.....	25
エネルギー源別.....	26
2.3 石油、およびバイオ燃料供給	29
石油生産.....	29
石油貿易.....	31
バイオ燃料.....	34
2.4 天然ガス供給	36
天然ガス生産.....	36
天然ガス貿易.....	36
2.5 電力供給	38
発電量.....	38
原子力.....	41
再生可能エネルギー.....	42
2.6 二酸化炭素排出.....	43

3. 非在来型資源開発の影響	45
3.1 開発促進ケースの位置づけ	45
3.2 天然ガスの資源量と開発の見込み	46
世界.....	46
各国の状況.....	46
3.3 石油資源量・開発の見込み	50
世界.....	50
各国の状況.....	50
3.4 非在来型資源活用の定量分析	55
生産.....	55
価格.....	56
需要.....	57
貿易.....	58
3.5 各国経済への影響	61
4. 最大限の省エネルギーと現実的な気候変動対策	63
4.1 省エネルギー	63
一次エネルギー消費	63
最終エネルギー消費	64
電源構成.....	66
4.2 二酸化炭素排出削減	67
4.3 温室効果ガスの大気中濃度	70
おわりに.....	73

図目次

図1 技術進展ケースにおける政策・技術の想定例	3
図2 人口	5
図3 経済成長率.....	6
図4 世界の一次エネルギー消費と実質GDP(レファレンスケース).....	9
図5 世界の一次エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース).....	10
図6 主要国・地域の一次エネルギー消費(レファレンスケース).....	11
図7 アジアのGDPと一次エネルギー消費(1990-2011年、レファレンスケース2020、2030、2040年).....	11
図8 地域別・エネルギー源別一次エネルギー消費増減上位(2011-レファレンスケース2040年)	12
図9 中国の一次エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース).....	12
図10 インドの一次エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース).....	14
図11 ASEANの一次エネルギー消費(レファレンスケース).....	15

図12 ASEAN、中国、インドの化石燃料構成(1980、1990、2000、2011年、レファレンスケース2020、2030、2040年)	16
図13 世界の石油消費と一次エネルギー消費に占めるシェア(レファレンスケース)	17
図14 主要国・地域の石油消費(レファレンスケース)	18
図15 アジアの石油消費(地域別、レファレンスケース)	18
図16 石油製品別需要(レファレンスケース)	19
図17 世界の天然ガス消費と一次エネルギー消費に占めるシェア(レファレンスケース)	20
図18 主要国・地域の天然ガス消費(レファレンスケース)	20
図19 アジアの天然ガス消費(地域別、レファレンスケース)	21
図20 世界の天然ガス消費(部門別、レファレンスケース)	21
図21 主要地域の石油化学用原料構成(レファレンスケース)	22
図22 世界の石炭消費と一次エネルギー消費に占めるシェア(レファレンスケース)	22
図23 主要国・地域の石炭消費(レファレンスケース)	23
図24 世界の石炭消費(部門別、レファレンスケース)	23
図25 世界のGDPと最終エネルギー消費(1990-2011年、レファレンスケース2020、2030、2040年)	24
図26 世界の最終エネルギー消費とGDPのローレンツ曲線(2011年、レファレンスケース2040年)	25
図27 世界の最終エネルギー消費(部門別、レファレンスケース)	25
図28 アジアの世界シェア(最終消費部門別、2011年、レファレンスケース2040年)	26
図29 世界の最終エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース)	27
図30 世界の電力最終消費(地域別、レファレンスケース)	28
図31 アジアの石油生産-消費バランス(レファレンスケース)	31
図32 世界の石油純輸出入量	32
図33 主要地域間の原油貿易フロー(2012年)	32
図34 主要地域間の原油貿易フロー(2040年レファレンス)	33
図35 バイオ燃料導入量(レファレンスケース)	35
図36 世界の天然ガス純輸出入量(レファレンスケース)	37
図37 主要地域間の天然ガス貿易フロー(2012年)	38
図38 主要地域間の天然ガス貿易フロー(レファレンスケース2040年)	38
図39 世界の発電電力量と一次エネルギー消費に占める発電用シェア(レファレンスケース)	39
図40 主要国・地域の発電電力量(レファレンスケース)	39
図41 世界の電源構成	40
図42 アジアの電源構成	41
図43 原子力発電設備容量	42
図44 世界の再生可能エネルギー発電電力量(レファレンスケース)	42
図45 風力、太陽光発電設備容量	43
図46 世界のCO ₂ 排出量(地域別、レファレンスケース)	44
図47 アジアのCO ₂ 排出量(地域別、レファレンスケース)	44
図48 米国の原油・天然ガス生産量	45

図49 シェールガス田の生産パターン	51
図50 米国エネルギー情報局によるシェールオイル生産見通し	51
図51 天然ガス需要量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)	57
図52 石油需要量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)	58
図53 天然ガス純輸入量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)	58
図54 2040年の主要地域間天然ガス貿易フロー(開発促進ケース)	59
図55 石油純輸入量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)	60
図56 2040年の主要地域間原油貿易フロー(開発促進ケース)	61
図57 非在来型資源増産による経済影響(開発促進ケース)	62
図58 世界の一次エネルギー消費と地域別省エネルギー(レファレンスケース・技術進展ケース)	63
図59 世界の一次エネルギー消費の変化(エネルギー源別、技術進展ケース、レファレンスケース比)	64
図60 世界の最終エネルギー消費の変化(エネルギー源別、技術進展ケース、レファレンスケース比)	65
図61 電力最終消費の節減等に伴う一次エネルギー消費の削減(2040年)	66
図62 世界の発電量(エネルギー源別、技術進展ケース)	66
図63 アジアの発電量(エネルギー源別、技術進展ケース)	67
図64 世界のCO ₂ 排出量と地域別削減寄与(レファレンスケース・技術進展ケース)	68
図65 世界のCO ₂ 排出量と対策別削減寄与(レファレンスケース・技術進展ケース+CCS)	68
図66 世界の一次エネルギー消費とCO ₂ 排出量(1990-2011、2020、2030、2040、2050年)	69
図67 オーバーシュートシナリオのCO ₂ 排出経路とレファレンス・技術進展ケース(エネルギー起源CO ₂)	70
図68 RCPシナリオ別2012~2100年累積CO ₂ 排出量と産業化以前から21世紀末までの世界地表気温中央値の変化予測	71
図69 代表的濃度経路(RCP)とレファレンス・技術進展ケースの比較	72

表目次

表1 国際エネルギー価格(レファレンスケース・技術進展ケース)	7
表2 世界の石油生産(レファレンスケース)	30
表3 世界の天然ガス生産(レファレンスケース)	36
表4 シェールオイルの技術的回収資源量保有国上位10か国	50
表5 世界の天然ガス生産量(開発促進ケース)	55
表6 世界の石油生産量(開発促進ケース)	56
表7 国際エネルギー価格(開発促進ケース)	57
表8 RCPシナリオ別産業化以前から2081-2100年にかけての世界気温変化の中央値	71

アジア/世界エネルギーアウトック 2013

—シェール革命がもたらす変革をどう読むか?—

はじめに

世界経済は、1973年の石油危機から今年で40年目を迎えた。この間、世界は、アジアの通貨危機、リーマンショック、欧州の債務危機問題、世界経済の減速など、さまざまな局面に直面する一方で、エネルギー分野では、先進地域を中心に着実に技術を飛躍させている。

一方、中国をはじめとする新興国は相対的には堅調な経済成長を実現し、アジアが世界経済を牽引する役割を担うことが引き続き期待されるとともに、世界のエネルギー成長センターであり続けることが見込まれる。

世界のエネルギー消費は、2009年は前年比減となったものの、その後増加傾向を取り戻している。消費量は、1971年の石油換算5,000百万トン(Mtoe)と比べると、2011年は13,000 Mtoeと40年の間に倍以上に拡大している。特に、アジアのシェアは、1971年の13%から、現在では3分の1以上を占めるまで拡大している。2000年代に入ってから、アジアが世界の一次エネルギー消費増加量の7割以上を占める状況が続くなど、アジアが世界のエネルギー消費を牽引している構図にある。一方で、この地域におけるエネルギー需要の急拡大は、世界のエネルギー需給バランスを大きく変化させ、国際エネルギー市場の不安定化を招きかねない。

アジア地域では旺盛なエネルギー需要を満たすために、より安価で豊富なエネルギー源を求める競争が激化してゆくことが予想される。国際石油パイプラインの建設や原油の権益取得など、原油調達の確保・多様化に向けてあらゆる手段を講じている中国は言うまでもない。自動車保有台数の急増に伴う石油需要の拡大によって、国産エネルギーの増産努力にも関わらず、インド・インドネシア・タイなどの国々も石油輸入の増加が続いている。現在輸出ポジションにあるマレーシアでさえも輸出量は減少し、純輸入国に転じるのは時間の問題であるとも見られている。こうした潮流の中、世界のエネルギー供給源である中東とアジアの結び付きはますます強くなると見込まれる。中東から見たエネルギー消費地としてのアジアの位置づけ、アジアから見たエネルギー供給源としての中東の位置づけはますます高まってゆく。このような観点からエネルギーの安定供給、国際エネルギー市場の安定化にあたってアジア諸国が果たす役割は大きい。資源輸出ポジションにある国々との良好な関係の構築、比較的豊富な石炭の活用、原子力や再生可能エネルギーの利用や、省エネルギーによる需要の抑制など、多面的な視点を持ってアジア、世界のエネルギー需給に関する課題を解決してゆくことが求められている。

一方で、気候変動問題に関する国際政治的な動向も複雑さを増しつつある。2013年以降の温室効果ガス排出削減に関する国際的制度の具体的構築が急がれているが、各国の立ち位置はそれぞれであり、経済開発協力機構(OECD)諸国・非OECD諸国を含めた全世界が一致した見解を持つことは難しい。各国とも経済対策に重点を移しつつある中で、気候変動に関する

議論は遅々として進んでいない。既に、中国は米国を抜いて世界最大のエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)排出国となっており、その他のアジア地域においても右肩上がりエネルギー消費が拡大し、CO₂排出量が増大する。気候変動問題においてもアジア地域の責任はますます大きなものになると考えられる。

また、日本の福島第一原子力事故は、世界の原子力・エネルギー政策に影響を与え続けている。世界は原子力ばかりに依存しない、次世代エネルギー資源を模索している。そのような中、新たに脚光を浴びているのは非在来型の石油や天然ガスである。米国の非在来型資源開発の飛躍的な進展は、同国内のエネルギー需給を緩和させ、エネルギー市場のみにとどまらない大きな変化をもたらし、その変化は現在も進行中である。米国だけでなく、多くの地域で、シェールガスやシェールオイルが商業生産され、供給源が多様化されることが期待されている。

本研究では、上記のような状況をふまえ、アジアを中心とする新興国の経済発展等の世界経済の潮流や、シェール革命による国際エネルギー情勢の変化、原子力政策の見直し、気候変動対策の強化に伴う低炭素化技術の動向などを評価し、長期の視野に基づいてアジアおよび世界のエネルギー需給を分析した。研究にあたっては、これまでアジア地域に焦点を当てて実施した種々の研究成果を活用するとともに、長年に渡る世界の関係諸機関とのネットワークを活用し、各国別に詳細な分析を加えている。

エネルギー需給分析に際しては、各国のエネルギー需給や政策の動向、経済社会構造の動向等を考慮し、2040年までの長期を対象としてアジアを中心とした世界各国のエネルギー需給を定量的に詳細に分析した。そして、インフラや技術などの各障壁を乗り越えて、非在来型資源の開発が各地域で進んだ際の各地域の天然ガス、石油生産量、エネルギー価格、需要、エネルギー貿易、マクロ経済全体への影響を分析した。また、2050年までの見通しについても革新的技術の導入および普及拡大をも展望し、それらが世界のエネルギー需給や温室効果ガス削減に対して与えるインパクトを分析した。

1. ケースと主要前提

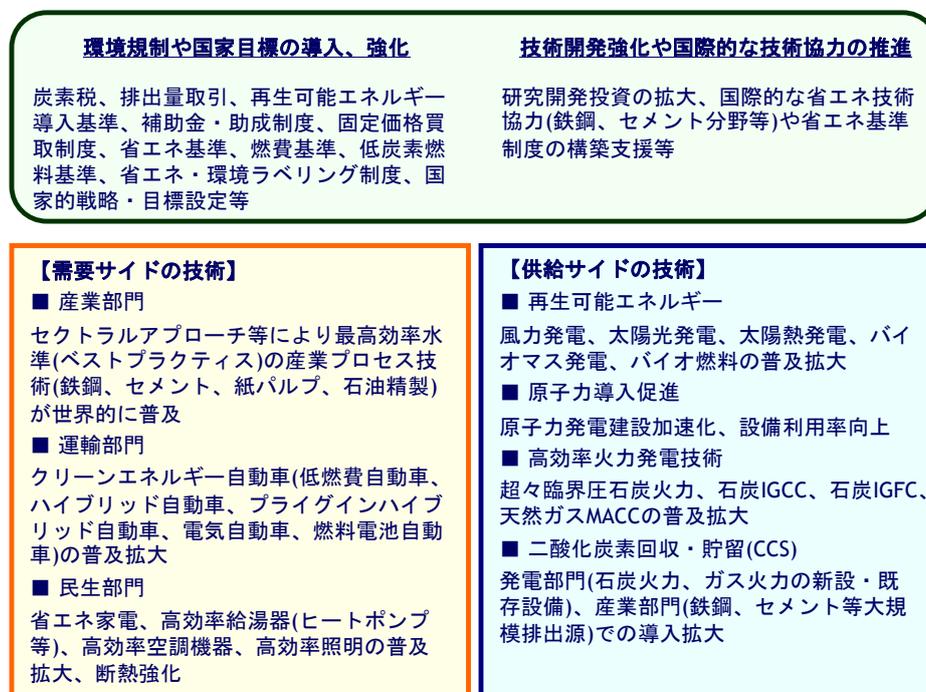
1.1 ケースの位置づけ

アジア/世界エネルギーアウトLOOK 2013では「レファレンスケース」、非在来型化石燃料資源の「開発促進ケース」、「技術進展ケース」の3つのケースを設定し、2040年までの世界のエネルギー需給の見直しを行った。

レファレンスケースは、これまでの本アウトLOOKシリーズと同様に、過去の趨勢と現在までのエネルギー・環境政策等を背景とするケースである。このケースではこれまでの経緯から今後見込まれる政策等を織り込む一方で、省エネルギー・低炭素化へ向けた急進的な政策等は打ち出されないものと想定している。また現在各国が表明している野心的な省エネルギー・低炭素化技術の目標も、技術開発・資金状況等における困難さのため、完全な実現には至らないと想定している。政策、技術開発・普及の状況によっては、実際のエネルギー需要がレファレンスケースより増大することもありうる。

「技術進展ケース」は、各国がエネルギー安定供給のいっそうの確保や気候変動対策の強化に資するエネルギー・環境政策等を強力に実施し、それらが奏功するという想定に基づくケースである(図1)。そのためには、革新的技術の開発・導入が世界大で加速することが欠かせない。

図1 技術進展ケースにおける政策・技術の想定例



現在のところ、非OECD諸国においてはエネルギー・環境政策の優先度はOECD諸国ほどは高くはない。しかし、これらの国々においても、技術移転・スピルオーバー効果やクリーン開発メカニズム(CDM)等により、エネルギー効率の改善が速まるものと想定している。同様に原子力、再生可能エネルギーなどの非化石エネルギーの導入も拡大すると想定している。なお、非在来型資源の供給技術に関しては、レファレンスケースと同様であるとしている。

「開発促進ケース」は、非在来型資源の供給に係る技術、インフラ制度が充実する結果、シェールガス、シェールオイルをはじめとする非在来型資源の活用が北米のみならず世界各地で進展するケースである。なお、省エネルギーや低炭素化に関しては、レファレンスケースと同様であるとの位置づけである。

1.2 主要前提

将来のエネルギー需給構造は、人口や経済成長等の社会・経済要因、エネルギー価格、エネルギー利用技術、エネルギー・環境政策等に大きく左右されうる。このうち、人口、経済成長については各ケース共通の前提を置いている。

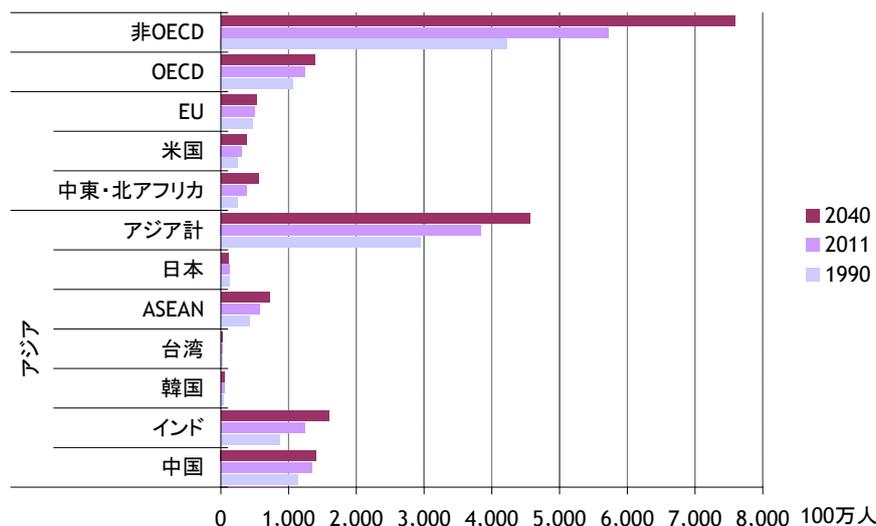
人口

人口の想定においては、国際連合の“World Population Prospects”等を参照した。多くのOECD諸国においては、1人の女性が一生で産む子供の平均数である合計特殊出生率が2を割り込んでおり、人口減少圧力が増大する。非OECD諸国においても所得水準の上昇に伴い出生率は低下傾向にある。しかしながら、医療技術の発展と食料事情・衛生状態の改善により死亡率も低下する。世界の人口は今後も年平均1%程度の増加基調で推移する。その結果、1980年に44億人、2011年に70億人であった世界の人口は、2040年には90億人に達する(図2、付表2)。

米国は非OECD諸国等からの人口流入が多く、また出生率も高いことから、OECD諸国の中では比較的堅調に人口が増加する。しかし、そのテンポは緩やかなものにとどまり、世界に占める割合は上昇しない。日本の人口は2011年より減少に転じているが、今後は世界でも速いスピードで減少してゆく。西欧諸国ではフランスのように一時よりは出生率が上向いている国もあるが、それでも域内人口は2019年より減少に転じる。ロシアは旧ソ連の崩壊以降、人口減に悩んでいるが、今後も引き続き減少基調で推移する。現在、最大の人口を擁する中国も、2030年頃には14億人でピークを打ち、その後2040年に向けて1,700万人以上減少する。

一方、多くの非OECD諸国の人口は引き続き増加してゆく。2040年までに世界で増加する人口は、大部分が非OECD諸国での増加によるものである。アフリカは人口爆発と称された時期ほどではないものの、年率2.2%と引き続き急速な人口増が見込まれる。中東も今後約30年間で1.5倍に増加する。インドは高い増加率を維持し、2020年中期には中国を抜き、2040年には15億9,000万人に達する。アジア全体としては、引き続き増加となるものの、世界の人口に占める構成比は緩やかに減少してゆき、2040年にはおよそ半分以下にまで縮小する。

図2 人口



経済成長

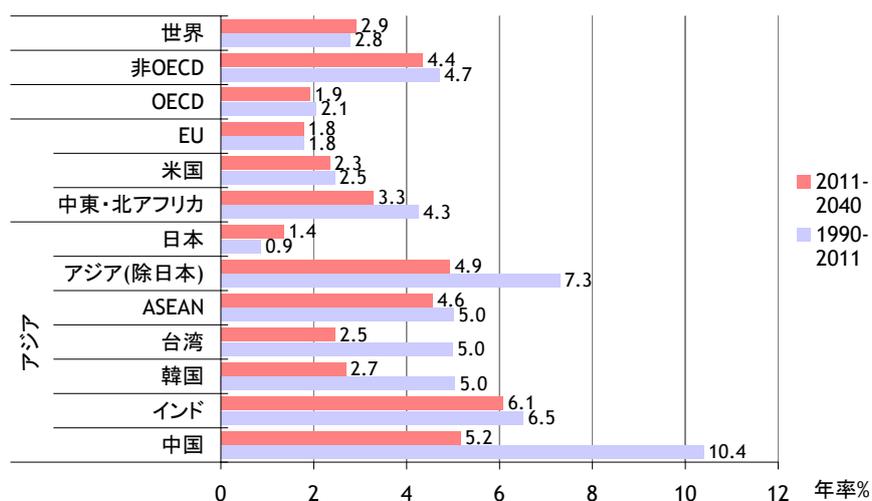
ヨーロッパ諸国、とりわけ南欧での債務問題に起因する経済不振は、当地のみならず、新興国を含めた世界経済にまで影を落としている。中国経済も先の大規模な経済対策による設備過剰や金融緩和による影響のため、これまでのような急成長の軌道から外れても、大規模な景気刺激策を打ち出せていない。インド経済も資本の巻き戻しなどによるルピー安の進行で輸入物価が上昇し、政策の自由度が低下している。一次産品に依存する程度が大きいロシア、ブラジルやオーストラリアも、資源ブームによる恩恵が剥落している。一方で、高値どまりしている原油価格は、石油輸入国の経済を圧迫している。比較的堅調さを示すのが、サブプライム問題、リーマン・ショックの震源地であった米国であるというのは、やや皮肉な状況である。

もともと、中長期的に見れば、世界経済は成長軌道に復帰すると考えられる。ただし、1990年代～2000年代前半のような世界経済の活況に近い将来に再来する見込みは薄である。ここ数年で失っている成長を回復するためだけでも、少なからぬ時間を要する地域もあろう。

これまで力強い成長を実現してきた中国をはじめとするアジア新興国は、今後も世界経済の成長センターであることが期待されている。しかしながら、賃金水準の引き上げや国民の権利意識の芽生えなどにより、従来のような豊富な余剰労働力と低コストを武器とした輸出主導型の経済成長は転換を迫られることになる。現在の景気減速が成長の限界を示しているわけではないが、アジア新興国、とりわけ中国においては、これまでの高成長を支えてきた環境は変わり、中心国のワナへの警戒が必要とされつつある。

以上のような情勢を鑑み、また国際通貨基金、アジア開発銀行をはじめとする国際機関による予測、ならびに各国政府の経済開発計画等も参考にして実質国内総生産(GDP)を図3、付表3の通り想定した。

図3 経済成長率



国際エネルギー価格

国際エネルギー価格については、人口、経済成長と異なり、2種類の前提を置いている。開発促進ケースにおいては、非在来型資源に係る技術の開発・普及が進むことにより、需給バランスに緩和圧力が働くとした。すなわち、開発促進ケースにおける価格はレファレンスケース、および技術進展ケースより廉価になるとの前提を置いた。

2008年央に\$150/bblに迫る史上最高値をつけ、続くわずか半年で\$30/bbl台への急落という乱高下を経験した原油価格は、その後再び値を上げている。2011年初めのアラブの春の顕在化、イランの核問題などを背景に、とりわけヨーロッパ・アジア市場で騰勢を強めた。2012年以降は、金融緩和の副作用や投機・投資資金に影響されていることに加え、2013年には、シリア情勢がさらに緊迫化したことや、エジプトで大統領の辞任を求めるデモ等地政学リスクを高める要因が生じ、原油高が続いている。

石油輸入国が中東を中心とする石油輸出国機構(OPEC)諸国やロシアなど少数の輸出国への依存を高めることは、OPECの市場支配力を拡大させることにつながる。同時に、相対的に生産コストの高い中小規模、極地、大水深油田等へのシフトによる限界費用の上昇も見込まれる。また、これまでの経緯から鑑みると、先物市場への過剰な資金流入に対し強力な規制が導入される見込みは薄く、投機・投資資金による原油価格の押し上げが継続することも否定できない。これらのことから、原油価格は短期的な変動幅を増しつつ、中長期的にはじりじりと上昇してゆくものと想定している。

実質原油価格(2012年価格)は、2020年に\$117/bbl、2040年には\$127/bblに達する(表1)。想定インフレ率2%/年での名目価格は、2020年に\$137/bbl、2040年には\$221/bblに達する。

表1 国際エネルギー価格(レファレンスケース・技術進展ケース)

実質価格			2012	2020	2030	2040
原油		\$2012/bbl	115	117	122	127
天然ガス	日本	\$2012/MBtu	16.7	13.9	14.0	14.4
	米国	\$2012/MBtu	2.8	4.3	5.6	8.0
	ヨーロッパ	\$2012/MBtu	10.5	11.1	12.0	12.8
一般炭		\$2012/t	134	136	141	146
名目価格			2012	2020	2030	2040
原油		\$/bbl	115	137	174	221
天然ガス	日本	\$/MBtu	16.7	16.3	19.9	25.1
	米国	\$/MBtu	2.8	5.1	8.0	14.0
	ヨーロッパ	\$/MBtu	10.5	13.0	17.2	22.3
一般炭		\$/t	134	160	202	254

注: インフレ率を年率2%として算出。

一方、シェールガスが北米に天然ガスの自給をもたらしている。今後も、シェールガスの増産が、廉価な天然ガス価格を持続させる見通しである。欧州では、中東から米国に輸出されるはずであったLNGが流入するようになり、天然ガス価格が原油価格に対してより割安になっている。日本においては、液化や海上輸送等のコスト低減に一定の限界があることから、北米のような大幅な価格下落はないと見られる。レファレンスケースでは、日本の輸入天然ガス価格は、\$16.7/MBtuから2040年にかけて\$14.4/MBtuに低下するが、欧米との価格差は依然として残る。

石炭は、原油、天然ガスと比較すると長らく価格変動が極めて緩やかであった。石炭は資源制約が相対的に小さいが、発電用、製鉄用を中心とした世界的な需要増があり、価格は緩やかに上昇する。なお、気候変動対策の一環として、炭素価格が付加されると、消費者価格は国際価格に比べ格段に上昇することになる。

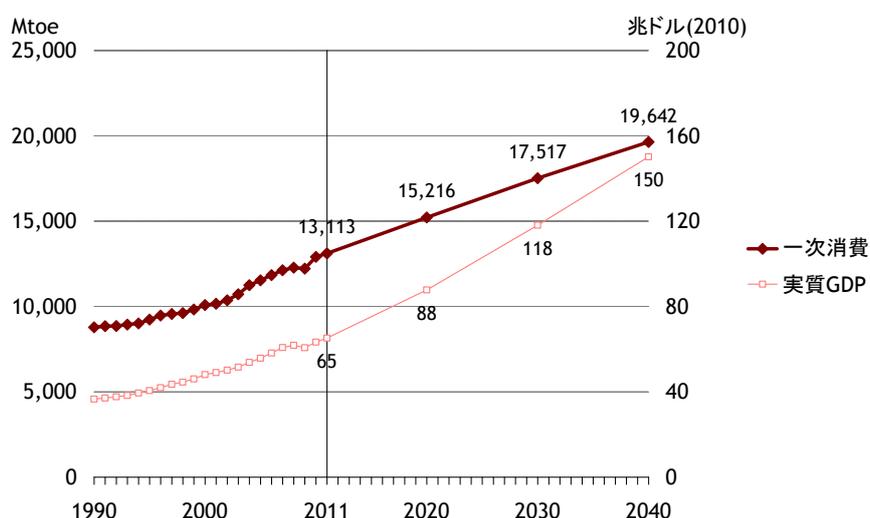
2. 世界・アジアのエネルギー需給展望

2.1 一次エネルギー消費

世界

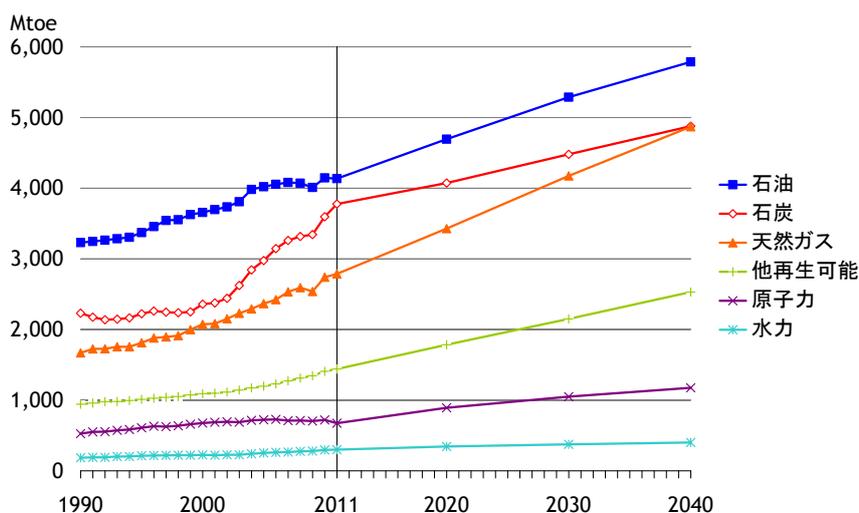
世界の一次エネルギー消費は、2011年の石油換算13,113百万t (Mtoe)から2040年にはレファレンスケースにおいて19,642 Mtoeへと約1.5倍に増加する(図4)。この間に、経済規模は2.3倍に増大するのと比較すれば、エネルギー消費の伸びは抑制されている。しかし、現在の日本の消費量に相当する新たな需要が2年ごとに発生することとなり、世界は今後も膨大なエネルギーを必要とし続ける。現在見込まれる各国のエネルギー政策や省エネルギー技術の開発・展開の程度では、エネルギー消費と経済成長のデカップリングを実現するには程遠い。

図4 世界の一次エネルギー消費と実質GDP (レファレンスケース)



現在、一次エネルギー消費の約8割を化石燃料(石油、石炭、天然ガス)が占めているが、今後の増分も4分の3が化石燃料によってまかなわれる(図5)。このため、2040年においても化石燃料に大きく依存する世界の構図は変わらない。しかしながら、変化がないというわけでもない。石油が最大のエネルギー源であり、石炭がこれに続くという並びは維持されるものの、世界の石油依存度は、現在の32%から2040年には29%まで緩やかに逡減してゆく。この10年で中国、インドを中心に見られた石炭の急速な拡大は、今後は鈍化する。この先30年間で最大の増加を示すのは、発電用と最終消費いずれでも大きく増加する天然ガスである。2040年の消費量は石炭に拮抗し、その後ほどなくして石油に次ぐ第2のエネルギーに躍り出る。

図5 世界の一次エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース)

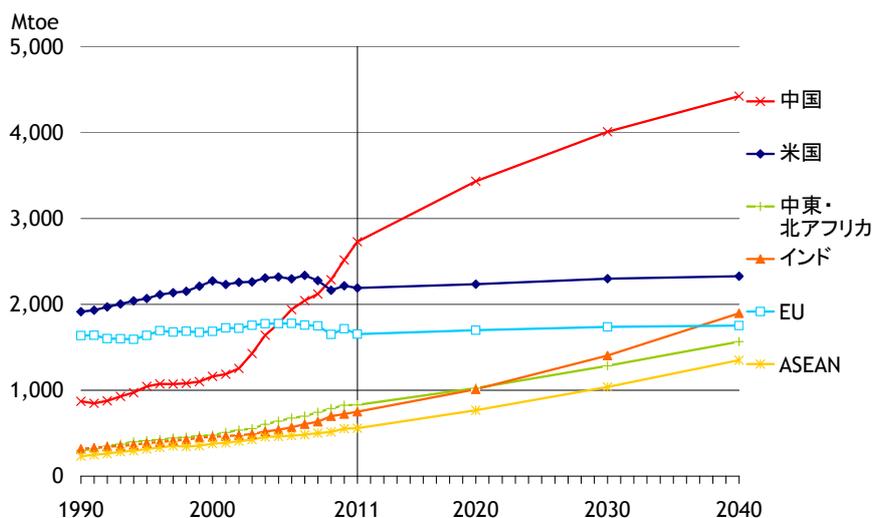


風力、太陽光などと運輸用バイオ燃料の増加率は、他のエネルギーのそれをはるかに凌駕する。水力を含めた再生可能エネルギー全体では、この先30年で1.7倍に増加する。それでも、発電量に占める再生可能エネルギーのシェアは2040年で20%強に過ぎず、水力を除くと10%に達しない。バイオ燃料は食料、土地利用等との競合の少ない次世代型(セルロース系)の開発が進み、導入が加速化する。主として運輸部門の石油代替エネルギーとして利用され、その代替比率は米国、欧州諸国の多くでは10%を超え、ブラジルでは33%に達する。南アジアやサハラ以南アフリカの家庭で多用されている薪などは、人口増などを背景に消費量は増加するものの、所得の上昇や近代的エネルギーのサプライチェーン拡充により、シェアを落とす。

原子力は電力需要が増大する中国、インドなどの新興国のほか、ロシア、韓国、中東、米国などでも積極的な導入が図られる。OECD諸国では韓国・米国等での増加とドイツ・日本等での減少が拮抗し、2040年にかけて原子力発電設備容量はほぼ変化しない。そのため、その増分のすべてが非OECD諸国によるものである。平均すると毎月1基相当(1基 = 1 GW換算)以上の発電所が新增設される。一次エネルギー消費に占めるシェアは予測期間を通じて6%程度で安定的に推移する。

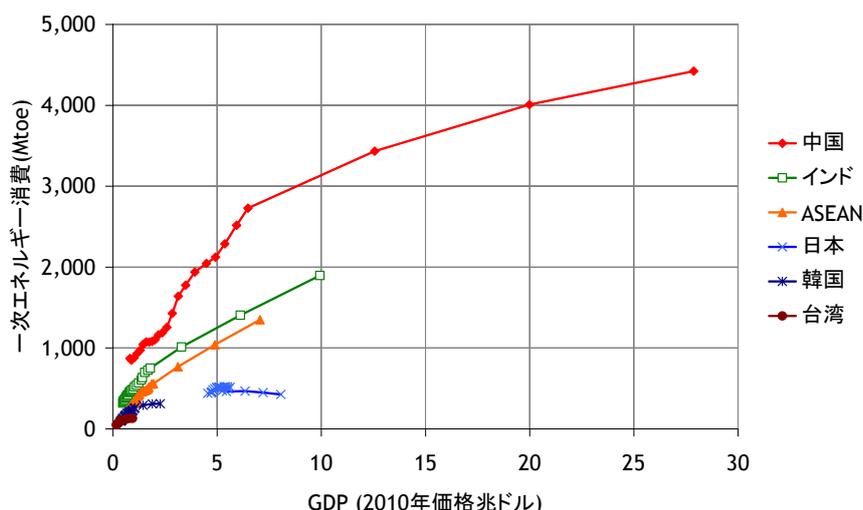
世界の一次エネルギー消費は2040年まで年率1.4%で増加するものの、地域により様相は大きく異なる(図6)。OECD諸国のエネルギー消費は微増にとどまる一方で、非OECD諸国の消費は引き続き急速に増大し、世界の増分の約9割を発生させる。その結果、世界のエネルギー消費に占める非OECDのシェアは、現在の半分強から2040年には3分の2にまで拡大する。

図6 主要国・地域の一次エネルギー消費(レファレンスケース)



アジアは、今後30年でエネルギー消費が1.8倍に増加し、世界の増分の約6割を占める。これまでよりはやや鈍化するとはいえ、それでも高い経済成長を背景に、エネルギー消費は中国では1.6倍、インドやASEANなどでは2倍強増加する(図7)。エネルギー効率の改善が見込まれるものの、経済規模拡大の寄与がはるかに大きい。一方で、日本、韓国、台湾のエネルギー消費は、増加してもわずか、むしろ減少傾向さえ示す。現在、日本、韓国、台湾と中国、インド、ASEANのGDP原単位には1.7倍の開きがあるが、2040年においても差が依然として残る。

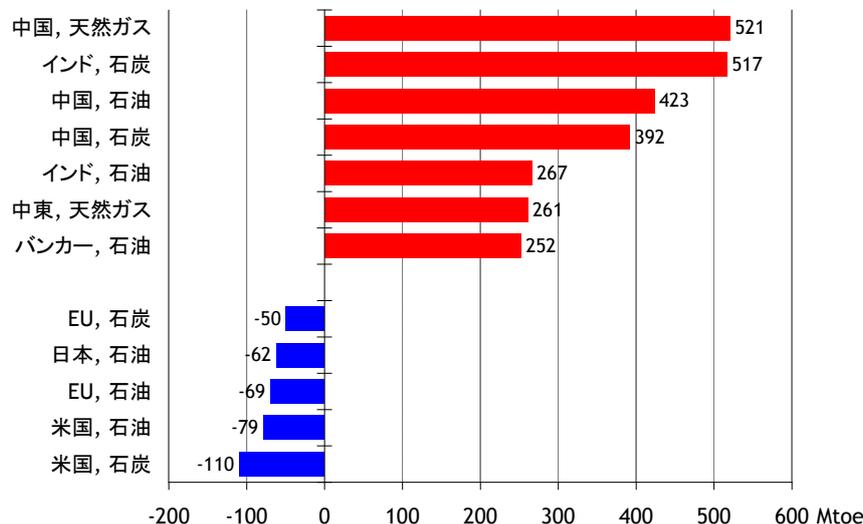
図7 アジアのGDPと一次エネルギー消費(1990-2011年、レファレンスケース2020、2030、2040年)



今後30年間の一次エネルギー消費の増減を主要地域別・エネルギー源別のメッシュで見ると、増加上位のうち5つまでが中国およびインドの化石燃料である(図8)。この化石燃料の増加

分は、日本のエネルギー消費5か国分に相当する。これに対し、減少上位5位は先進地域である米国、EU、日本の石油、石炭である。石油は主として燃費改善により運輸部門が、米国の石炭はシェール革命および厳しい環境規制による発電部門での減少が寄与する。

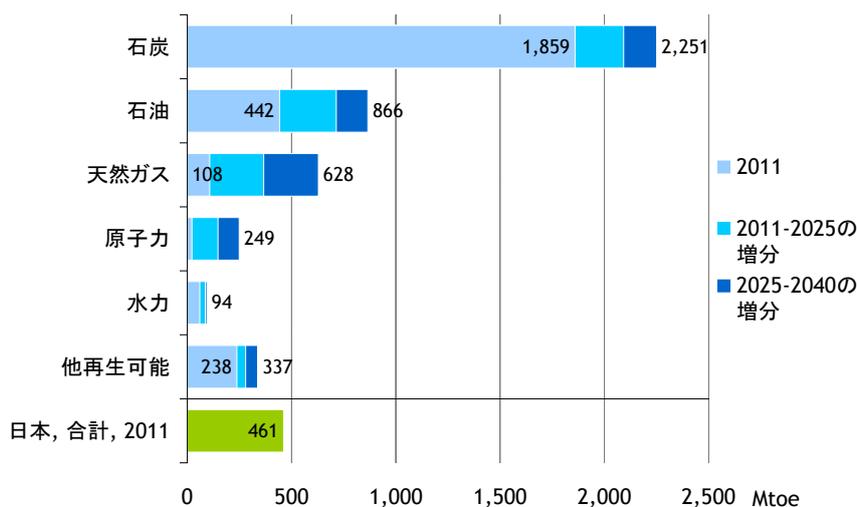
図8 地域別・エネルギー源別一次エネルギー消費増減上位(2011-レファレンスケース2040年)



中国

世界最大のエネルギー消費国である中国の一次エネルギー消費は、2011年の2,728 Mtoeから年率1.7%で増加し、2040年には4,423 Mtoeに達する(図9)。ただし、予測期間の前半と後半とでは様相がかなり異なる。2020年以降は経済成長の鈍化と省エネルギーの継続、さらに人口動態の影響などにより、エネルギー消費の増加は減速する。

図9 中国の一次エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース)



現在、中国は一次エネルギー消費の約7割を石炭に依存している。その依存度は2040年に向け51%へ低下してゆく。粗鋼などの生産量が大きくは伸びないことから、産業の石炭消費は

早々に減少に転じる。2040年の産業用消費量は2011年を下回る343 Mtoeとなる。石炭消費の中心は発電へシフトしてゆくものの、大気汚染の問題、環境政策等により需要の伸びは鈍化する。過去10年で年率11%の増加を遂げてきた発電用石炭需要は、2020年頃から増加が鈍化し、2030年代後半以降はわずか年率0.5%程度となる。中国の石炭需要増の鈍化観測を受けて、対中石炭供給計画を縮小する国や企業も見られている。それでもなお、石炭は依然として基幹エネルギー源であり続ける。

石油消費は今後30年でほぼ倍増し、2040年には866 Mtoeに達する。この間に米国を抜き去り、世界最大の石油消費国となる。この増加を牽引するのは道路部門を中心とする運輸部門である。中国では、大気汚染が深刻化しており、政府は都市部で二輪車の電動化を推進している。2014年には燃費規制を先進国並みに厳格化する政策が始まる。しかし、人口あたりの保有率が7%程度に過ぎない中国においては、今後の自動車市場の拡大ポテンシャルは大きい。2040年の自動車保有台数は3.6億台まで増大し、運輸部門の石油消費を倍増させる。世界の中で、中国のガソリン消費シェアは、現在の8%から18%にまで拡大し、人口シェア16%を上回る。

天然ガスは導入が政策的に推進されており、また供給源・手段が広がりつつあることから、その消費は2040年には日本の全エネルギー消費を大きく上回る628 Mtoeまでになる。すべての部門で消費が増加するが、とりわけ民生部門は予測期間前半の増加が顕著である。同部門では2020年頃には2.7倍増となり、石炭、石油を上回り、電力に次ぐ第2のエネルギーとなる。発電用の増加も著しい。なお、政府はシェールガス開発も進めているが、地質や水の問題等中国の事情に合った技術開発には課題が山積している。

中国は、アジアでは日本および韓国に次ぐ容量の原子力発電所を保有している。2015年までの第12次五カ年計画の期間中では、40 GWの原子力発電プラントを建設する目標が打ち出されている。2040年には世界第1位の原子力大国になる。2011年から2040年までの世界の原子力導入量の約半分は中国においてである。

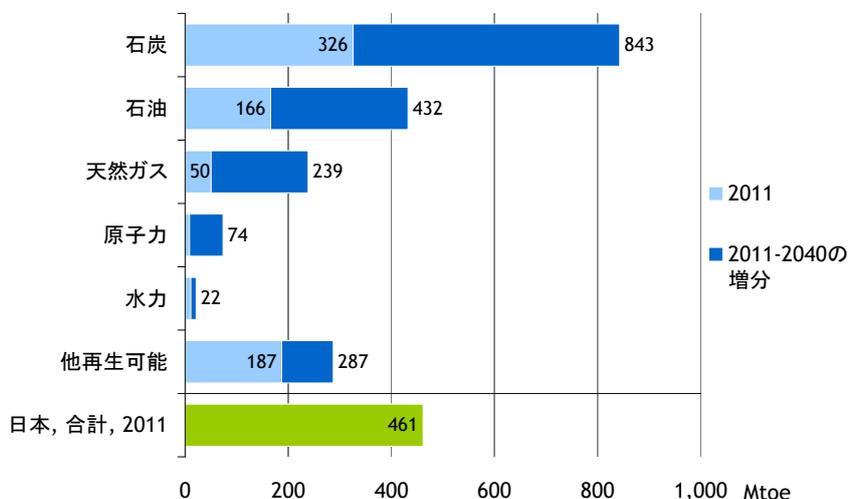
再生可能エネルギーは、2040年には一次エネルギー消費の9.7%に達する。世界最大の水力発電所である三峡ダムや開発が進む溪洛渡ダムなどにより、中国の水力発電量が世界最多となっていることに象徴されるように、現在は水力が再生可能エネルギーの大半を占めている。風力、太陽光等においても、積極的な導入が図られている。短期的には太陽光発電事業者に対する政策支援がいつそう強化される。風力発電には発電量を販売した際にかかる増徴税を還付する政策が2008年から取られていたが、太陽光発電にはこれがなかった。現在、太陽光においても風力と同等の優遇策を取ることが議論されている。2040年には、風力や太陽光発電が、原子力、水力、天然ガスに並ぶ電源オプションとして位置づけられるようになる。

インド

世界第3位の消費国であるインドの一次エネルギー消費は、高い経済成長と人口増加により、2011年の749 Mtoeから年率3.3%で増加し、2040年には1,896 Mtoeに達する(図10)。その増分は現在の日本の全エネルギー消費量の2倍強に相当する。経済成長、インフラ整備の進展および人口の増加によるエネルギー消費増大に加え、家庭で大量に用いられているバイオマスが近

代エネルギーに代替されることを通じて、インドは国際エネルギー市場への影響度を高めてゆく。

図10 インドの一次エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース)



現在、インドは一次エネルギー消費の4割強を石炭に依存しており、2040年に向けても同程度の割合が維持される。インドは世界でも有数の石炭埋蔵量を有する。しかし、国内で産出する石炭は灰分が多く、品質がそれほど高くない。さらに、その国内資源の開発および輸送等のインフラ整備も順調とは言い難い状況にある。今後は環境影響に配慮した資源開発も重要になり、そのため、増大する需要は、輸入によって補われる。2040年に向けて石炭の輸入依存度はますます高くなってゆく。

石油消費は、運輸部門を中心に今後30年で2.6倍に増加し、2040年には432 Mtoeに達する。石油は財・サービス輸入における最大品目であり、これに次ぐ金などとともに貿易赤字の要因となっている。インドは主要国の中で化石燃料純輸入額のGDP比が最も高く、安全保障と経済の両面からエネルギー、とりわけ石油消費の節減が重要になっている。

天然ガスは政策的に導入が進められている。国内で生産された分を消費するという構図であったものが、2004年よりLNGが輸入されている。当面は、その利用は発電や化学など大規模需要家に限定される。それでも2040年に向けて消費は年率5.5%で増加する。

インド政府は、2020年までに18基の原子力発電所の建設を計画している。国内では、日本の原子力発電所の事故後、新規の発電所の稼働を延期していたが、2013年には再開した。日印の原子力協定も締結に向かい前進しており、原子力導入に向けた機運が再び高まっている。2040年に向けての追加設備容量は韓国を上回り、中国とともにインドが世界の原子力の導入を牽引する。

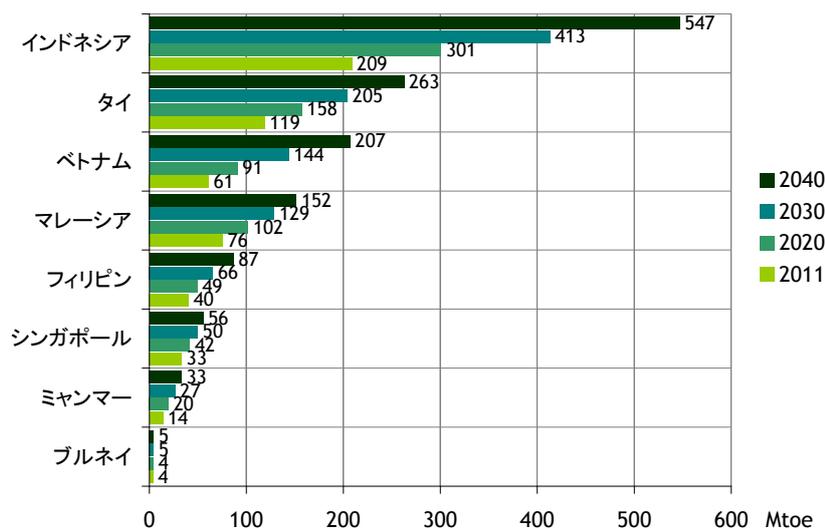
バイオマスを除くと一次エネルギー消費に占める再生可能エネルギーは多くはなく、風力、太陽光などの割合は現在わずか0.3%である。2040年においても0.8%にとどまる。インド政府は潜在量の高い風力等について税制優遇を取るなど、再生可能エネルギーを後押しする政策

を進めているも。一方で、大量導入による発電コストの上昇や送電系統の不安定化等の課題が残されている。

ASEAN

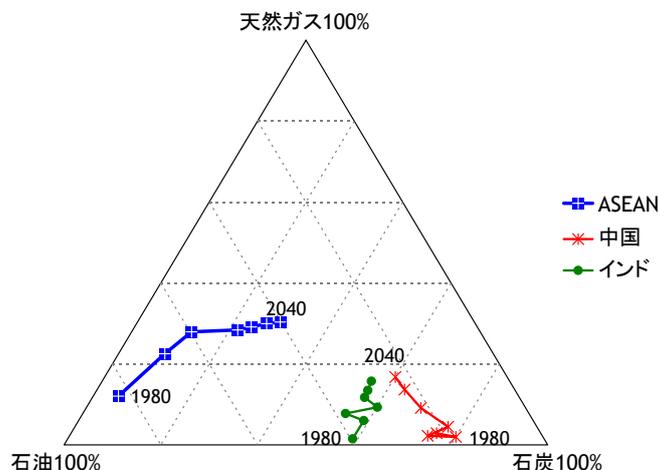
ASEANの一次エネルギー消費は、高い経済成長と人口増により急速に拡大している。家庭などでのバイオマスを除いても2011年には444 Mtoeと、日本の消費と同水準となった。今後は年率3.1%で増加し、2040年には1,186 Mtoeに達し、EUと比肩するほどになる。現在、2.4億人の人口を抱えるインドネシアのエネルギー消費は、2035年までに日本のそれを抜き、世界第5位の消費国となる。マレーシアやタイは、1990年にかけて電気・電子産業や自動車産業を中心に外資を積極的に導入したことが、今日の経済成長の原動力となり、他の国々に比べ経済は成熟段階にある。人口増も2025年頃を境に鈍化する。そのため、一次エネルギー消費の伸びは、インドネシアやその他の国々に比べると、緩やかである。近年は、労働コストの上昇等により、タイやマレーシアで収益を上げることが難しくなった産業が、ミャンマー等の周辺国に拠点を移している。ミャンマーの一次エネルギー消費は、この先30年間で現在の2.4倍に増加する。

図11 ASEANの一次エネルギー消費(レファレンスケース)



エネルギー構成は1980年代の石油中心から、石炭へ移り変わってゆく。天然ガスのシェアはほぼ横ばいとなる。中国、インドが化石燃料内の石炭シェアを落とし、天然ガスを増やすのとは対照的で、また構成の変化も激しい。2025年頃には原子力が導入されるが、その役割は大きくはない。

図12 ASEAN、中国、インドの化石燃料構成(1980、1990、2000、2011年、レファレンスケース2020、2030、2040年)



現在、ASEANは一次エネルギー消費の16%を石炭に依存している。今後は高炉の相次ぐ建設などエネルギー多消費産業の発展および安価な石炭火力へのシフトにより、産業、発電部門ともに石炭消費が増加する。石油、天然ガス資源の減少もこの傾向に拍車をかけることになる。2040年の一次エネルギー消費のうち石炭の割合は24%となる。

石油消費は今後30年で倍増し、2040年には436 Mtoeに達する。一次消費に占めるシェアこそ落とすものの、最大のエネルギーであることに変わりはない。所得水準の上昇に伴う自動車保有台数の増加と交通インフラの整備により運輸部門の消費が増加する。現在、ブルネイとマレーシアは石油純輸出国であるが、他国では生産が伸びない中で、国内需要が増加し、輸入が増大している。2040年に向けてASEANの石油輸入依存度は上昇してゆく。

天然ガスは、2040年に向けて発電部門を中心に消費が増加する。ミャンマーの天然ガス資源開発等が期待されると同時に、ASEANの国々では輸入計画が相次いでいる。タイでは、天然ガスの輸入ターミナルの操業が開始されている。シンガポールでは、天然ガスが発電燃料の8割を占めており、全量をタイやマレーシア等から輸入している。過去に天然ガス供給停止事故により停電に見舞われたことから、供給源の多様化が課題となっており、LNGハブの構築を進めている。アジア有数の天然ガス生産国であるマレーシアも、海外事業を展開し輸入計画を進めている。

原子力は、マレーシア、タイ、ベトナムで導入が進む。原子力は、ASEANにとって、環境問題への対応としてのみならず、各経済圏のエネルギーバランスの多様化を図る上でも重要なエネルギーとして位置づけられるようになる。原子力導入に向けた地域間協力の強化や安全基準の策定が進められることにより、2030年頃から本格的な導入が始まる。

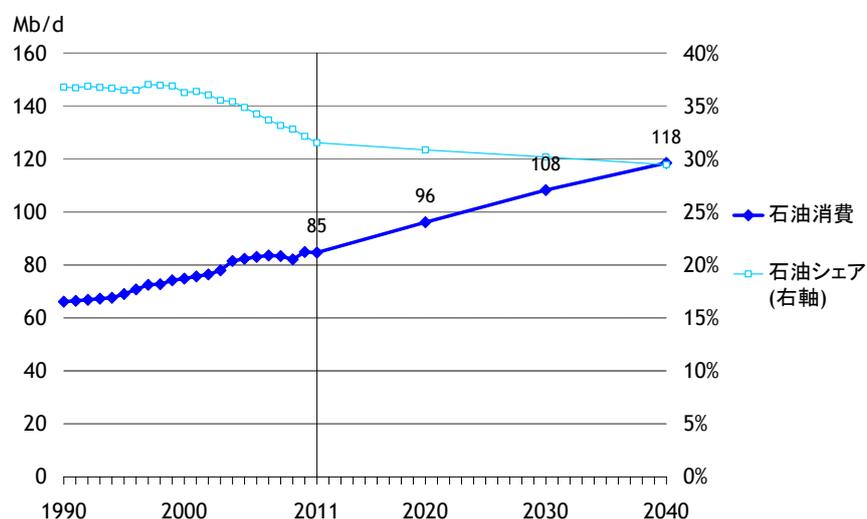
再生可能エネルギーは、発電用よりはバイオ燃料の活用が中心となる。運輸部門における石油の代替率は7%にまで上昇する。バイオ燃料の活用は、短期的には農業振興、貧困削減、雇用創出、長期的にはエネルギー源確保により石油輸入依存度を軽減する。ASEANの多くの

国では、パーム油やジャトロファ、キャッサバ由来のバイオ燃料配合比率を段階的に高めてゆく政策を取っている。タイでは、エタノール混合燃料であるガソールが市場化されており、足元ではASEANの中で最も消費が多い。近年はガソリンとの価格差が拡大し増加傾向にある。しかし、キャッサバの害虫対策が思い通りに進まず、政府の目標に到達していないこと等から、将来にかけての伸びは他の国々と比べて緩やかである。マレーシアやインドネシア等では、義務化するバイオ燃料の配合率を段階的に高めてゆく。インドネシアは、2040年にはタイの消費量を上回り、アジアでは中国に次ぐバイオ燃料利用国となる。

石油

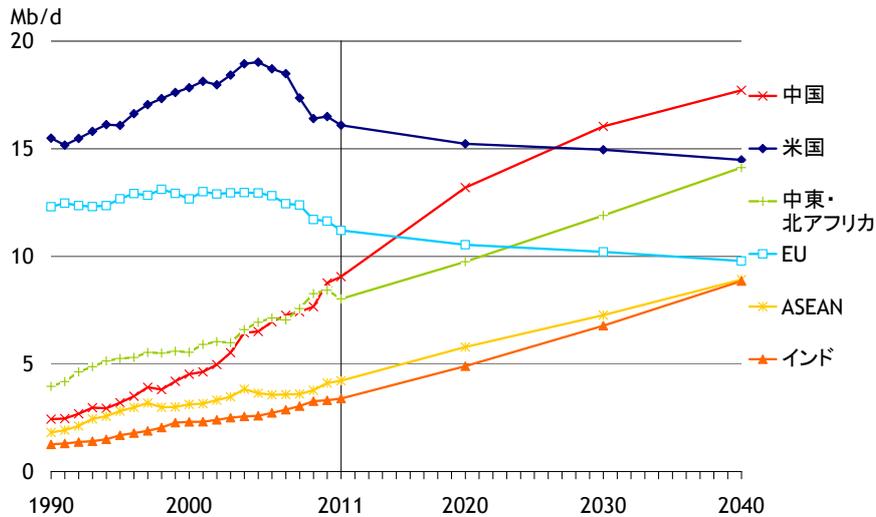
世界の石油消費は、2011年の日量85百万バレル(Mb/d, 1 Mb/d = 48.85 Mtoe換算)から2040年には118 Mb/dへと年率1.2%で増加する(図13)。石油は一次エネルギー消費に占めるシェアを2011年の32%から2040年には29%まで縮小させるが、依然として最大のエネルギーである。

図13 世界の石油消費と一次エネルギー消費に占めるシェア(レファレンスケース)



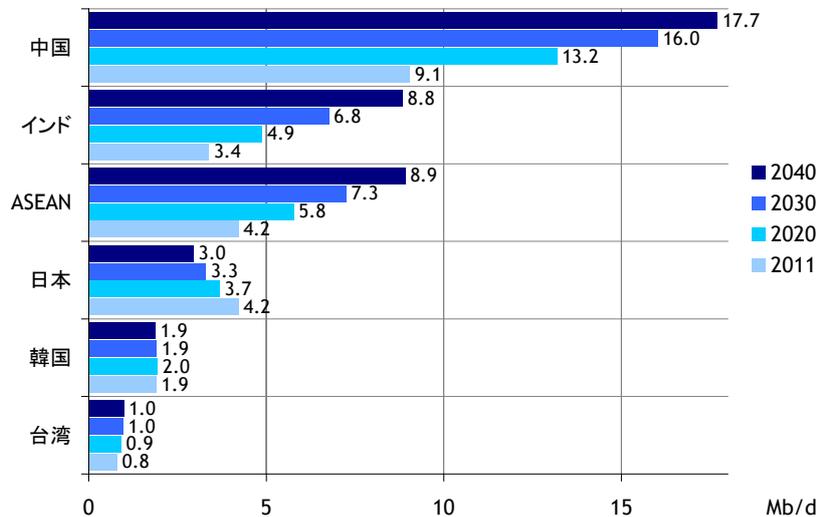
OECD諸国に代表される先進地域の石油消費は2005年以降減少を続けており、今後30年間も引き続き年率0.3%で減少する(図14)。2040年に向けての増分は、すべて非OECD諸国、および国際バンカーによるものである。産油国である中東・北アフリカの需要増も著しく、2040年には米国にほぼ並ぶ。OECD諸国が世界の石油消費に占めるシェアは、2011年の46%から2040年には30%へ減少する。同時に、現在世界最大の石油消費国である米国は、需要の減少とシェールオイルによる国内生産の増大により輸入を急速に減少させる。その結果、要求される石油備蓄も減少することから、OECD諸国を加盟国とする国際エネルギー機関(IEA)の現在の石油備蓄スキームは、緊急時対応の機能が低下するリスクがある。

図14 主要国・地域の石油消費(レファレンスケース)



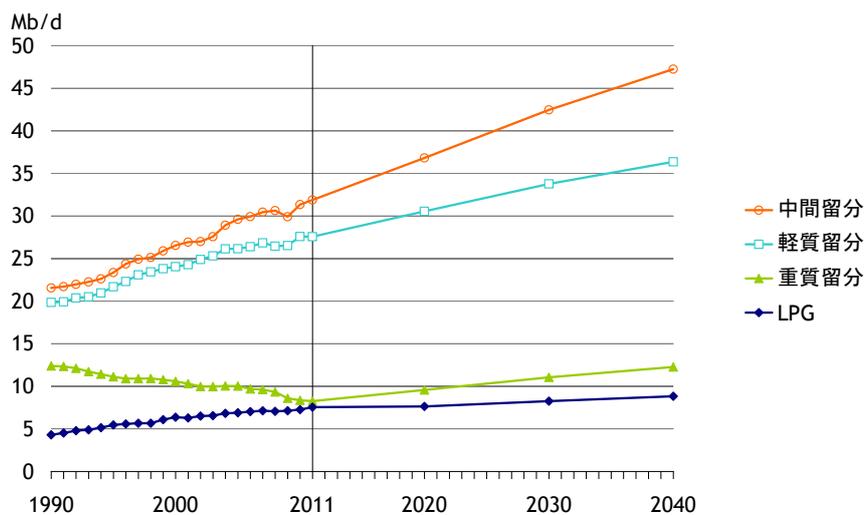
アジアの石油消費は、2011年の24.5 Mb/dから2040年には43.0 Mb/dへ年率2.0%で増加する(図15)。世界の石油需要増分の5割強はアジアに起因し、アジアの世界シェアは29%から36%へ拡大する。中国はまもなく世界最大の石油輸入国になろうとしているところであるが、2027年には消費量でも米国を抜き世界最大となる。

図15 アジアの石油消費(地域別、レファレンスケース)



今後の世界の石油消費増分の約6割が運輸部門で発生し、石油需要は運輸部門と非エネルギー消費部門にますます集中してゆく。石油製品別需要としては、今後も軽質化(白油化)が進展する(図16)。

図16 石油製品別需要(レファレンスケース)

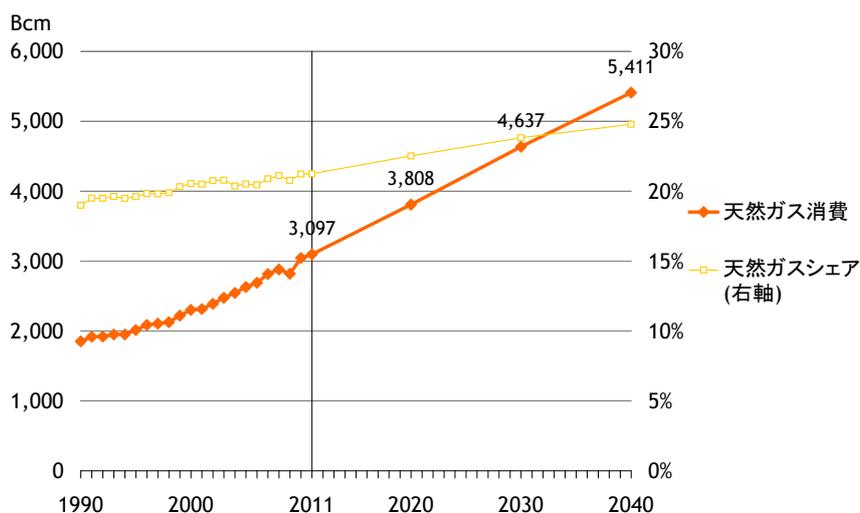


北米では、シェールガスに随伴するエタンを原料とするエチレンの増産計画が相次いでいる。これらは、ナフサを原料とするのに比べ低コストであることから、アジア地域に流入し、石油精製業者がナフサの売り先を失う可能性がある。日本では、既にエチレン設備の削減が始まっている。今後は、アジア新興国で増加が見込まれる運輸用の燃料や基礎化学品に対応するべく、生産体制の強化および効率化が求められる。同時に、インドネシアやベトナムでは石油コンビナートの増設および新設のニーズが高まるなど、アジア全体で供給能力の増強計画が進んでおり、石油製品市場を取り巻く環境を的確に見極めることも必要になる。

天然ガス

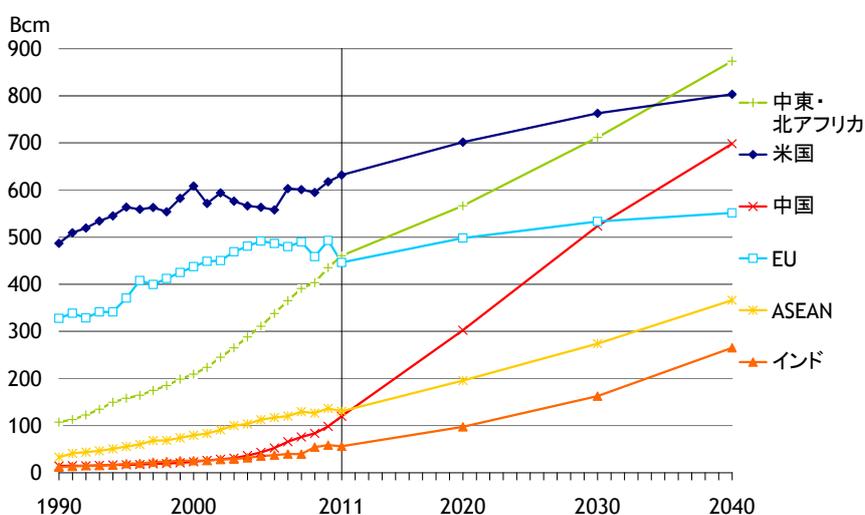
世界の天然ガス消費量は、2011年の3,097 Bcmから、2040年に向けて化石燃料の中で最も高い年率1.9%で増加し、5,411 Bcmへ達する(図17)。一次エネルギー消費に占めるシェアは、2011年の21%から2040年には25%まで増加する。シェールガス開発が需要の増加を喚起する。中国などでは、豊富な埋蔵量が確認されており、開発が進められている。しかし、水や地層、価格体系の問題等から、開発は北米ほどは進まない。

図17 世界の天然ガス消費と一次エネルギー消費に占めるシェア(レファレンスケース)



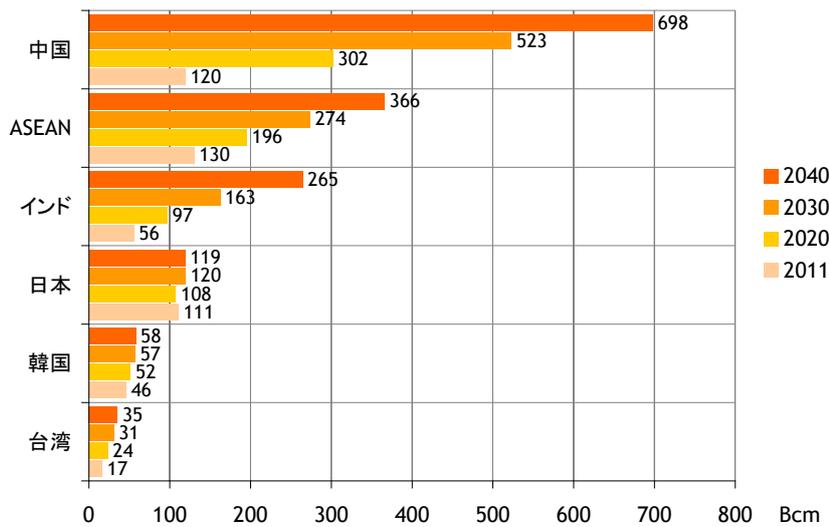
天然ガスの増分のうち、OECD諸国によるものは18%に過ぎず、非OECD諸国が大半を占める(図18)。世界の天然ガス消費に占める非OECD諸国のシェアは半分強から3分の2へ増加する。地域別には、中東、北アフリカ、中国の増加が著しい。中東・北アフリカを合わせた天然ガス消費量は2030年代に米国を抜き、世界第1位の天然ガス消費地域となる。

図18 主要国・地域の天然ガス消費(レファレンスケース)



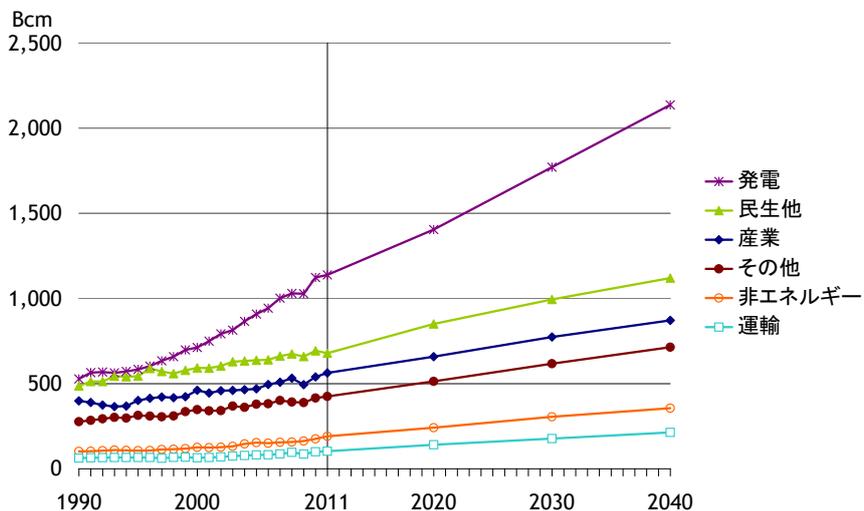
アジアの天然ガス消費は、2011年の531 Bcmから2040年には1,676 Bcmへと3倍強に増大する(図19)。多くの国で消費が増大し、2040年には中国一国で現在のアジア全体より多くの天然ガスが消費される。現在、LNG輸入大国である日本や韓国では、経済の成熟という要因に価格の要因も加わって、天然ガス消費の増加は緩やかである。

図19 アジアの天然ガス消費(地域別、レファレンスケース)



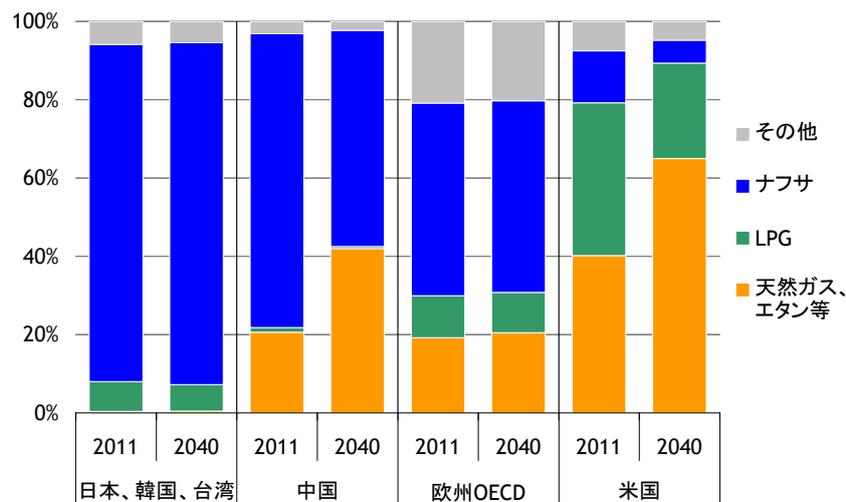
利用形態としては、利用技術の進歩、経済性、環境面への適合性から、天然ガス複合発電等が着実に増加する。このため、天然ガス消費量増加分の4割強は発電部門による(図20)。石油はコストが高く、石炭は環境影響の問題等から、発電部門の主要燃料は天然ガスにシフトしてゆく。2040年には発電電力量に占める天然ガスの割合は27%となり、石炭に次いで重要な電源となる。産業部門では、安価なガスを利用した石油化学産業が米国で伸長すること等から、消費も増加するものの、全体の中での影響度はそれほど大きくない。民生部門では、新興国の高い経済成長とともに都市化が進み、天然ガスの需要が増加する。

図20 世界の天然ガス消費(部門別、レファレンスケース)



シェール革命で石油化学原料としての天然ガス、エタンに注目が集まっているが、廉価に国産品が活用できる地域と輸入に依存する地域とでは状況が大きく異なってくる(図21)。原料を安価に調達できる米国や中東の価格競争力が増すと言われる一方、ナフサ主力のアジアはコスト的に厳しい環境に直面することになる。

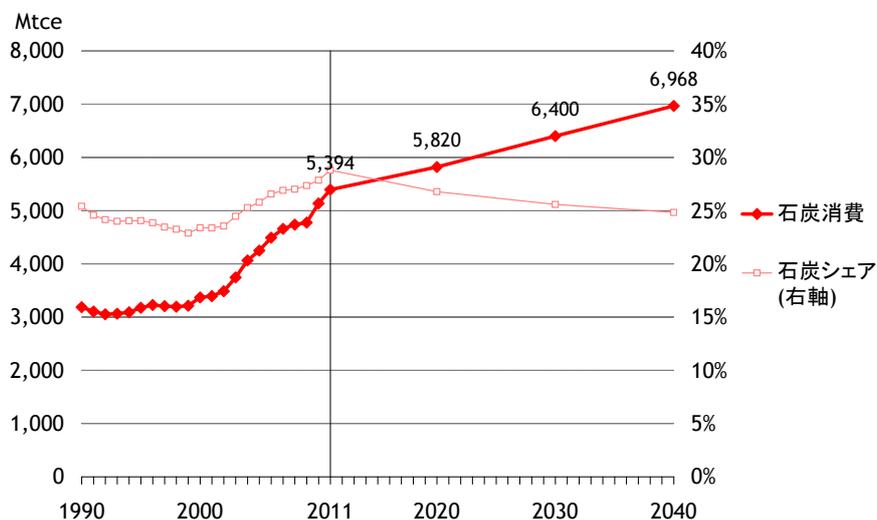
図21 主要地域の石油化学用原料構成(レファレンスケース)



石炭

世界の石炭消費は、2011年の石炭換算5,394百万t (Mtce, 1 Mtce = 0.7 Mtoe)から2040年には6,968 Mtceへと年率0.9%で増加する(図23)。石油や天然ガスに比して緩やかな伸びであるものの、一次エネルギー消費に占める石炭の割合は2040年でも25%を維持する。

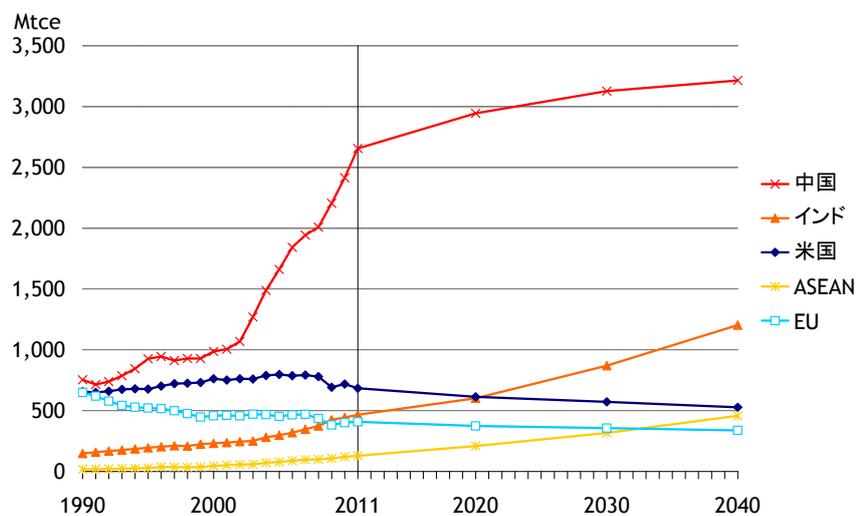
図22 世界の石炭消費と一次エネルギー消費に占めるシェア(レファレンスケース)



増加分の約9割をアジアが、3割強を中国だけで占める。インドは、2020年代前半には米国を抜き、中国に次ぐ石炭消費国となる。OECD諸国での消費は減少するため、今後30年の増分はすべて非OECD諸国によるものである。非OECD諸国のシェアは、2011年の72%から2040年には82%まで増加する。米国では、近年、シェール開発による天然ガス価格の下落を受けて、発電での天然ガス利用を増やしている。また、CCSの付設なしに石炭火力発電を新設す

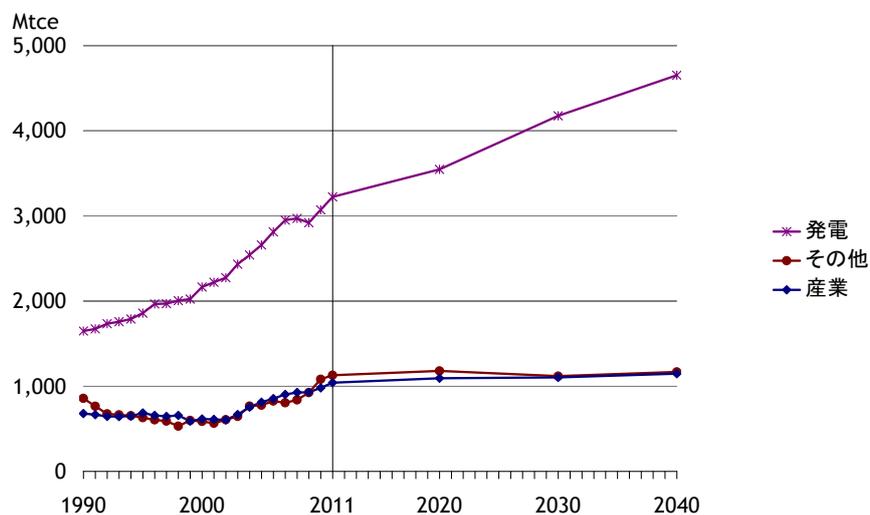
ることを事実上禁止する環境基準案が公表されており、厳しい環境対応も米国の石炭消費を減少させる一因となる。

図23 主要国・地域の石炭消費(レファレンスケース)



石炭は世界各地に広く賦存し、少数の地域に偏在する石油や天然ガスに比べリスクが少ない。割安であることから、燃料コストが経済性において特に大きな意味をもつ発電用に主に増加する。発電用石炭は、2040年にかけて年率1.3%で増加し、現状の1.4倍増となる。

図24 世界の石炭消費(部門別、レファレンスケース)



注: コークス製造、高炉などはその他に含まれる

石炭消費の増加を牽引するのは中国やインド等のアジアである。気候変動に関する政府間パネルは、今後の温暖化への影響や対策の必要性を述べた報告書を次々に発表している。クリーンに燃焼・処理することで、CO₂排出量が多いという欠点をいかに低減するかが課題である。

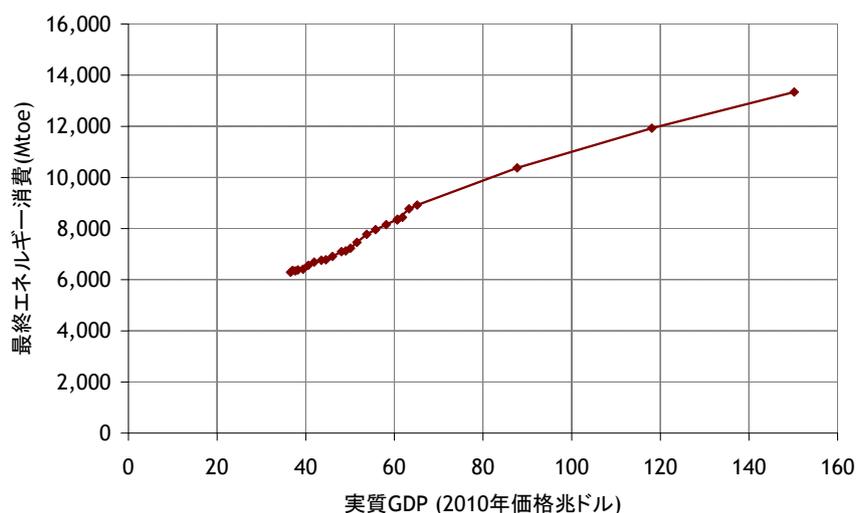
2.2 最終エネルギー消費

地域別

OECD諸国において1990年から2011年の最終エネルギー消費の年平均伸び率は0.8%であり、経済の減速や省エネルギーの進展等が最終エネルギー消費を抑制した。一方で非OECD諸国は、高い経済成長と工業生産の伸びにより最終エネルギー消費が2.4%で増加した。こうした傾向は今後も継続し、世界の最終エネルギー消費は2011年の8,918 Mtoeから、2020年までには10,000 Mtoeを超え、2040年には13,337 Mtoeに達する(図25)。

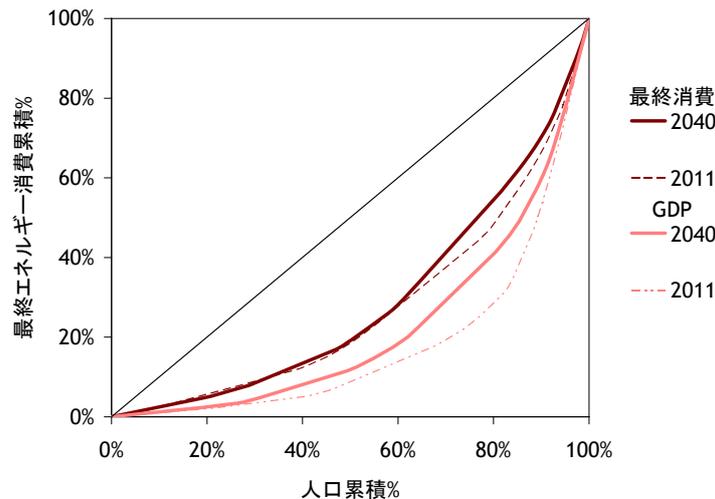
アジアの最終エネルギー消費は、飛躍的な経済発展に伴う産業構造の高度化、都市化の進展、生活水準の向上を背景に、2011年の3,232 Mtoeから年率1.9%で増加し、2040年には5,620 Mtoeに達する。世界の2040年までの増加分4,419 Mtoeのうち、過半の2,388 Mtoeがアジアによるものである。

図25 世界のGDPと最終エネルギー消費(1990-2011年、レファレンスケース2020、2030、2040年)



2040年に向けて所得およびエネルギーともに地域別格差は縮小する。しかしながら、2040年のローレンツ曲線は依然として格差が全くないと仮定した45度線から下方に大きく湾曲しており、これはすなわち、2040年にも所得格差およびエネルギー格差が少なからず存在することを意味する(図26)。発展途上国では、電化が進んでいないなどエネルギー貧困が厳しい地域において、再生可能エネルギー等の新しい技術を導入し、雇用創出につなげ、所得格差およびエネルギー貧困を同時に緩和する取り組みを行っている。エネルギーの欠乏が経済発展を阻み、そのことがエネルギーインフラ整備を遅らせるという悪循環を解決しなければ、2040年においてもエネルギー格差は課題であり続ける。

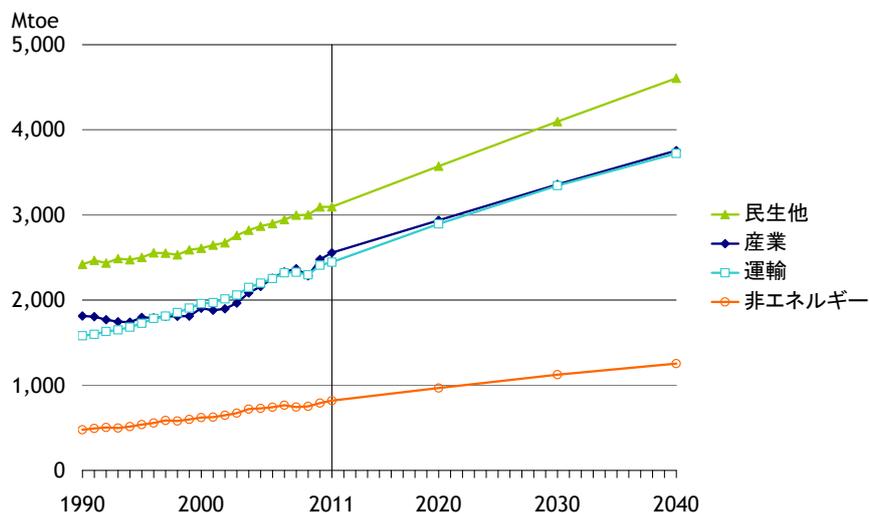
図26 世界の最終エネルギー消費とGDPのローレンツ曲線(2011年、レファレンスケース2040年)



部門別

部門別増加率は、産業部門が年率1.3%、運輸部門が1.5%、民生他部門が1.4%となるが、いずれの部門においても非OECD諸国での急速な消費増の影響が大きい(図27)。非OECD諸国においても社会の成熟化が進むにつれ、徐々に運輸部門、民生他部門のシェアが増加し、これまでOECD諸国が辿った消費パスへ緩やかに移行してゆく。

図27 世界の最終エネルギー消費(部門別、レファレンスケース)



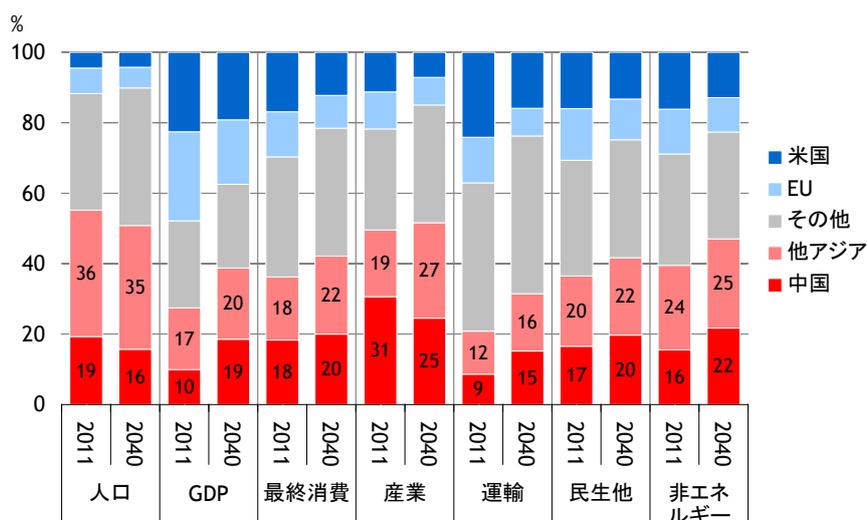
社会の成熟化が進んだOECD諸国でもサービス化の一層の進展やライフスタイルの変化に伴い民生他部門の割合がわずかに増加する。家庭や個人の生活や行動に関わるため、民生他部門の省エネルギーは、相対的に難しい。大型の機器へのリプレースや技術の進展によって省エネルギー効果が表れやすい産業部門の省エネルギーと対照的である。非OECD諸国では、経済成長や人口増加により運輸部門、民生他部門のエネルギー消費が堅調に増加する。非

OECD諸国の運輸部門と民生他部門は、2040年に最終消費全体の5割強を占めることから、これらの部門が省エネルギーを考える上で最も重要となる。

運輸部門のエネルギー消費の増加を牽引するのはモータリゼーションの進展である。世界の自動車保有台数は、2011年の11億3,400万台から2040年には21億1,500万台まで増加する。アジア非OECD諸国では、所得水準向上によりモータリゼーションがいつそう進展し、アジアの自動車保有台数は2011年の2億6,600万台から2040年には7億9,700万台へ増加する。世界の自動車保有台数増加量の5割強がアジアに集中する。2030年頃には非OECD諸国の保有台数がOECD諸国を上回る。

民生他部門のエネルギー消費は、日本を除く多くの国で増加が見込まれる。中でも中国、インドやASEANは、所得水準の上昇とともに住環境の向上、家電製品の普及が進むことから、年率2%と他の国々と比べて高い伸び率で増加する。しかしながら、増加量では中国が群を抜いて大きい。中国の2011年から2040年の増加量は395 Mtoeであり、これは日本一国分の最終消費量を優に上回る。中国の人口は2030年にピークを迎え減少に転じるが、世界の約2割を占める人口規模を考えると、中国の民生他部門エネルギー消費が世界のエネルギー市場および世界の気候変動問題に与える影響は大きい。

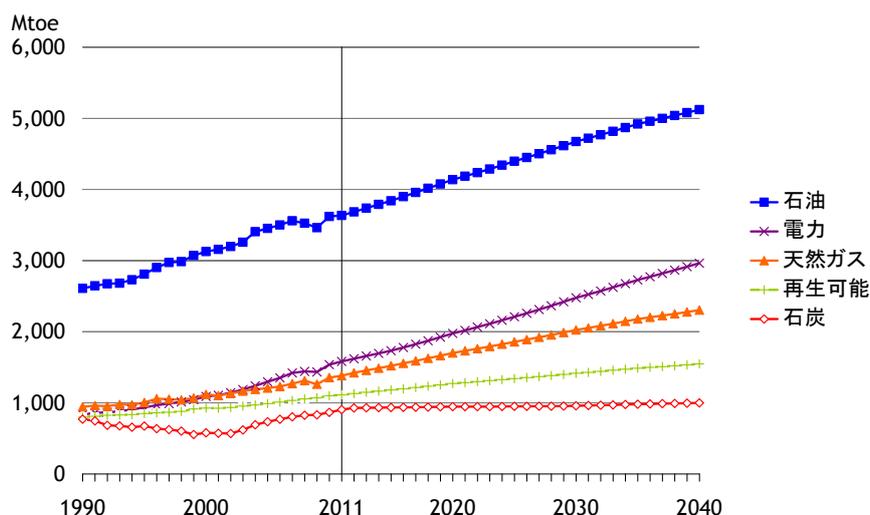
図28 アジアの世界シェア(最終消費部門別、2011年、レファレンスケース2040年)



エネルギー源別

今後30年の世界の最終エネルギー消費をエネルギー源別に見ると、電力が年平均伸び率2.2%、化石燃料は1.2%で増加する(図29)。シェアでは、電力が2011年の18%から2040年に22%に上昇する一方、石炭や石油は縮小する。

図29 世界の最終エネルギー消費(エネルギー源別、レファレンスケース)



それでも、増分が最も大きいのは石油であり、2040年においても最終消費全体の3割以上を占める最重要なエネルギーである。その増加の牽引役は中国、インド、中東の運輸部門および石油化学用原料などの非エネルギー消費部門である。その結果、需要の軽質石油製品へのシフトが進む。石油消費が価格に対し需要が相対的に非弾力的で、かつエネルギー代替が限定的なこれら2部門にますます集中してゆくにつれ、石油が戦略物資としての性格をいっそう強める可能性がある。

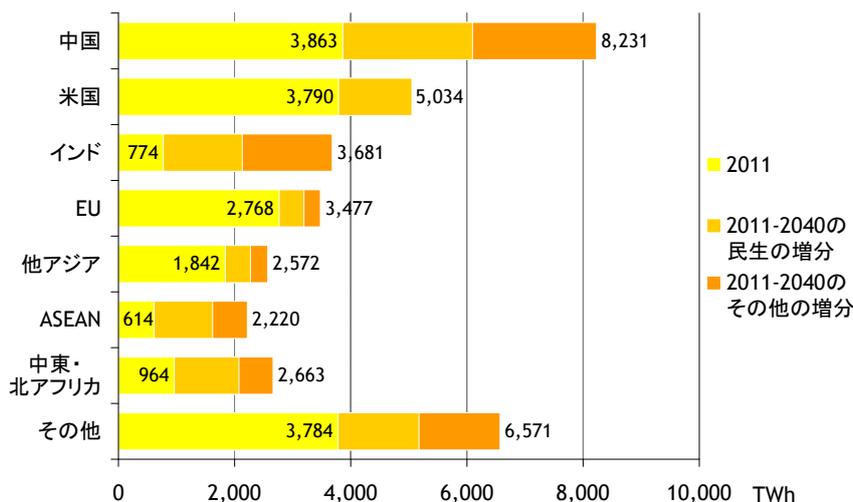
天然ガス消費は、中国の民生部門、ブラジルやメキシコなどの中南米および中東の産業部門で大幅な増加が見られる。中国では2011年の最終エネルギー消費に占める天然ガスの割合は4%であるが、2040年には14%になる。中国の家庭部門では、石炭や薪、家畜の糞といったバイオマス燃料が利用されてきたが、所得水準の向上、健康被害へのリスクや衛生上の問題からクリーンな都市ガス等の燃料へ切り替えが進む。中南米では、ブラジルやメキシコの鉄鋼、化学、窯業土石などの素材系産業で天然ガスへの燃料転換が図られる。中東では、石油の輸出を優先するために国内での天然ガス代替を進める他、雇用創出の見地から天然ガスを原料とする石油化学プラントが増強される。米国は、従来よりエチレン原料の多くが天然ガスであったが、低廉な天然ガスを使った石油化学の事業が増加している。

石炭最終消費では世界の増加の牽引役であった中国でも2040年に向けて年率0.7%で減少する。中国では、2011年に産業部門のエネルギー消費の5割を占めていた鉄鋼や非鉄金属などの生産のピークアウトにより、石炭最終消費に占める産業部門の割合が2011年48%から2040年35%まで落ち込む。電炉の導入や老朽化装置の刷新が進むことも石炭減少の一因となる。インドやASEANでは、モータリゼーションなどに伴う鉄鋼需要の増大から、高炉鋼の生産が拡大する。これらにより、石炭消費の伸びは好調で、2040年に向けてそれぞれ年率1.9%、4.0%で増加する。

一般に所得の増大につれ利便性の高い電力が嗜好されてゆくが、今後もその傾向は変わらない。電力の消費はOECD諸国、非OECD諸国いずれにおいても主要エネルギーの中で最大

の伸びを示す。世界では年率2.2%で増加し、最終需要に占めるシェアは22%に至る。とりわけその増加を牽引するのは、中国やインドを中心とするアジア地域、およびロシアやブラジル等の新興国である。都市部での需要増のみならず、農村部を中心に電力インフラ投資が進むこと、所得水準の向上によりエアコンやテレビなど家電製品の普及が進むことが電力消費の増加を牽引する。第二次産業からサービス業などの第三次産業へ産業構造がシフトすることにより、業務部門のエネルギー消費が増加する。中でもビルのOA化により電力消費が増加する。

図30 世界の電力最終消費(地域別、レファレンスケース)



現在の電力最終消費は、OECD諸国が世界の51%を占めている。しかし、世界第2の消費国である中国が、2020年までの10年間で英国・ドイツ・フランス・イタリアの現在の消費量を上回る1,575 TWhも消費量を増加させるのをはじめ、非OECD諸国の消費量の伸びは速い。今後数年でOECDと非OECDとのシェアは逆転することになる。同様に数年のうちに中国の消費量は現在世界最大の米国を抜き、2040年には同年の米国の1.6倍以上の8,231 TWhとなるほか、インドも年率5.5%で増大して3,681 TWhに達する。2040年までの世界の電力消費増分の8割は、非OECD諸国で発生する。

これまでもそうであったように、経済規模の拡大、所得水準の上昇は電力消費の増大を後押しし、省エネルギーによりその増加を完全に相殺し、消費量を減少に転じさせることはできない。その理由の1つは、利便性の高い電力を動力源あるいは制御用エネルギーとする機器を増大させてゆくこと。また1つに、省エネルギー技術には電力を追加的に消費する代わりに、これを上回る燃料消費を削減するもの—電気自動車、ヒートポンプ、石炭ガス化複合発電(IGCC)など—が少なからずあるためである。

2.3 石油、およびバイオ燃料供給

石油生産

近年、石油市場における大きな変化は、シェールオイルの動向である。その正確な賦存量は確認できていないが、米国EIAの推計では世界全体で3,450億bblのシェールオイルが存在していると言われている。しかし、その生産・開発には水圧破砕という技術を使うため、大量の水を必要とする。また、物流面において、生産地が消費地と隣接していない場合には、新たな輸送手段を講じなければならない。この点、米国におけるシェールオイル生産・開発においては、水の手当てとパイプライン利用による輸送手段が可能であるため、世界に先駆けて大量のシェールオイルの生産が可能となっている。また、その生産コストにおいても、在来型原油の油価が\$100/bblを超える現状では、十分に採算が取れるレベルにある。シェールオイルの生産は、賦存するから生産できるというものではなく、生産のための水および生産技術、物流手段の確保、そして在来型原油の価格レベルという課題を乗り越えなければ商業生産に至らない。

一方で、在来型原油の生産動向については、OPEC加盟国の動向、特にサウジアラビアの石油政策、イラクの原油生産の復興政策、直近ではイラン禁輸の行方が重要なポイントとなる。そして、その対極にある非OPEC諸国の中で大量の原油埋蔵量を保有する国々の動向がポイントとなる。

まず、サウジアラビアであるが、OPECの中心的な存在として、原油の安定供給と価格の安定化を図るため、引き続き原油生産量のスウィング・プロデューサーの役目を果たすことが期待される。サウジアラビアでは現在、12.5 Mb/dの生産能力を有していると発表しており、引き続き生産能力の拡大を図る政策が取られている。イラクについては、これまで生産能力目標12 Mb/dに向けて急激な生産増を行うとしていたが、出荷設備能力の増強計画が遅れていたため、急激な生産増は油田の寿命を短くしたりしてしまうため、2017年における生産能力目標を7~8 Mb/dに下方修正している。そしてイランであるが、現在は欧米諸国によりイラン産原油の禁輸措置が講じられているが、いつか将来的には禁輸は解かれると考えるのが妥当であろう。しかし、それまでの間の原油開発や既存油田のメンテナンスが十分に行われていないため、即座に元に戻るのではなく、ある程度の期間が必要となる。

そして、非OPEC諸国の中では大量の原油埋蔵量を誇るロシア、今後の原油生産増が注目されるカザフスタンと深海海底開発プロジェクトを推進するブラジルにスポットが注目される。まず、ロシアであるが、欧州向けの原油輸出に翳りが出始めており、その輸出先としてアジア、特に中国に舵を切り始めている。そのため、シベリアも含めた極東地域の開発にも力を入れている。カザフスタンは、カシヤガン油田開発の遅れが続いていたが、2013年9月にはわが国の石油開発会社が関わるプロジェクトで生産を開始するなど、今後の供給量の増加が期待される。そして、深海海底での石油開発の先駆的存在としてのブラジルでは、国営石油会社Petrobrasによって将来的な生産計画が掲げられており、2010年の2 Mb/dから2020年には4.9 Mb/dが目標とされている。

2040年までの石油需要の増加に対して、シェールオイル生産の増加による北米と深海海底開発によるブラジルが石油生産増に貢献する。しかし、中東OPEC諸国などでは、国内需要の増加が顕著であるため、生産能力増強へ向けた投資が円滑に実行されなければ、国際石油需給がタイト化する可能性がある。イージーオイルへのアクセスに制約が生じつつあることから、資源開発がオープンな地域に賦存するシェールオイルやオイルサンドなどの非在来型石油への関心が今後さらに高まってゆく。

レファレンスケースでは、シェールオイル生産量は2020年に3.35 Mb/d、2030年に4.88 Mb/d、2040年に7.4 Mb/dとなる。このうち3 Mb/d程度は北米からの生産であるが、大規模な埋蔵量が賦存するとされているロシア、中国等では、急激な生産増は見込まれない。

表2 世界の石油生産(レファレンスケース)

	2011	2020	2030	2040	Mb/d 2011-2040 増加量
合計	85.79	96.08	108.24	118.51	32.72
OPEC	35.50	39.69	46.43	53.19	17.69
中東	25.90	27.59	32.68	37.70	11.80
その他	9.60	12.10	13.75	15.49	5.89
うちシェールオイル	0.00	0.00	0.20	0.40	0.40
非OPEC	48.20	53.86	58.76	61.87	13.67
北米	11.50	16.00	16.60	17.00	5.50
うちシェールオイル	0.00	3.00	3.00	3.50	3.50
中南米	7.10	8.50	10.15	10.75	3.65
うちシェールオイル	0.00	0.00	0.40	0.80	0.80
欧州・ユーラシア	17.35	17.10	19.15	20.57	3.22
うちシェールオイル	0.00	0.30	0.50	1.00	1.00
中東	1.60	1.60	1.60	1.60	0.00
アフリカ	2.40	2.75	2.90	2.95	0.55
アジア	7.75	7.36	7.58	8.00	0.25
中国	4.10	4.00	4.30	4.80	0.70
うちシェールオイル	0.00	0.00	0.50	1.20	1.20
インドネシア	0.95	1.00	1.03	1.05	0.10
インド	0.90	0.80	0.70	0.65	-0.25
オセアニア	0.50	0.55	0.78	1.00	0.50
うちシェールオイル	0.00	0.05	0.28	0.50	0.50
プロセスゲイン	2.09	2.53	3.05	3.45	1.36

ロシアでは国内需要の伸びが小さいため、増産された原油は輸出用となるが、欧州向けに翳りが出ているため仕向地は需要増加が期待されるアジアとならざるを得ない。しかし、東南アジアへの輸出は中東が有利であるため、ロシアは増産分の捌け口は極東アジア(特に中国)しかない。すなわち、増産しても輸出先の確保が難しい状況である。このため、大規模なシェールオイル開発は2020年代を待たねばならない。

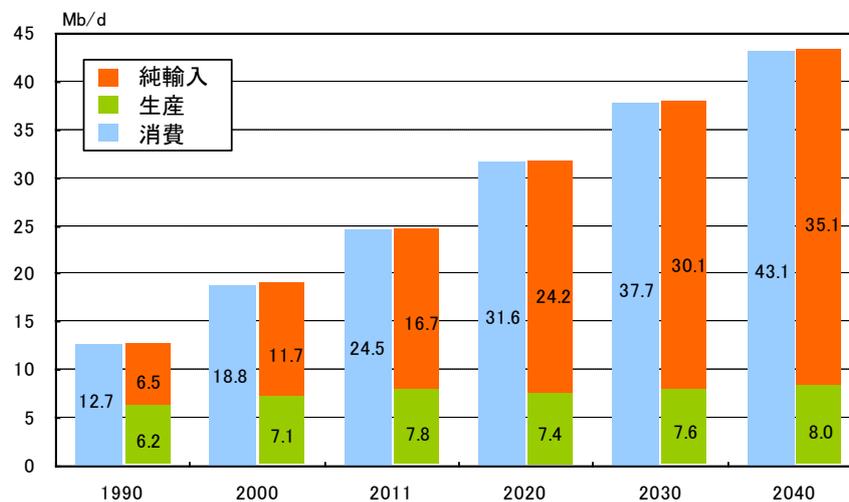
中国では、旺盛な国内需要に対応するため、国産原油の生産を維持しようとしているが、大慶、勝利原油などは衰退期に入ってきており、有望な新規油田の発見もなく、自給率が年々低下している。このため、シェールオイル開発への期待が大きい。中国では十分な水の手当てが難しく、開発計画は限定的にならざるを得ない状況にあり、本格的な開発はロシアと

同様に2020年代を待たねばならない。一方、隣国のロシアからの輸入も考えられるが、エネルギー安全保障の観点からロシアへの依存度は最低限に抑えられる。

この他、アルゼンチン、リビア、ベネズエラ等にも開発の可能性が秘められているが、アルゼンチン、ベネズエラの南米は北米への原油輸出が減少している中、ロシアと同様に輸出先の確保が難しい。またリビアは、復興優先であり非在来型原油の開発は当面手つかずとなる。

一方、アジアではモータリゼーションの進展などにより今後とも石油消費が増大する。域内原油生産の頭打ちにより、中東・アフリカをはじめとする域外からの石油輸入量が増加し、対外依存度が上昇する。純輸入量は2011年の16.7 Mb/dから2040年には35.1 Mb/dに増加し、自給率は2040年には18.5%まで低下する。

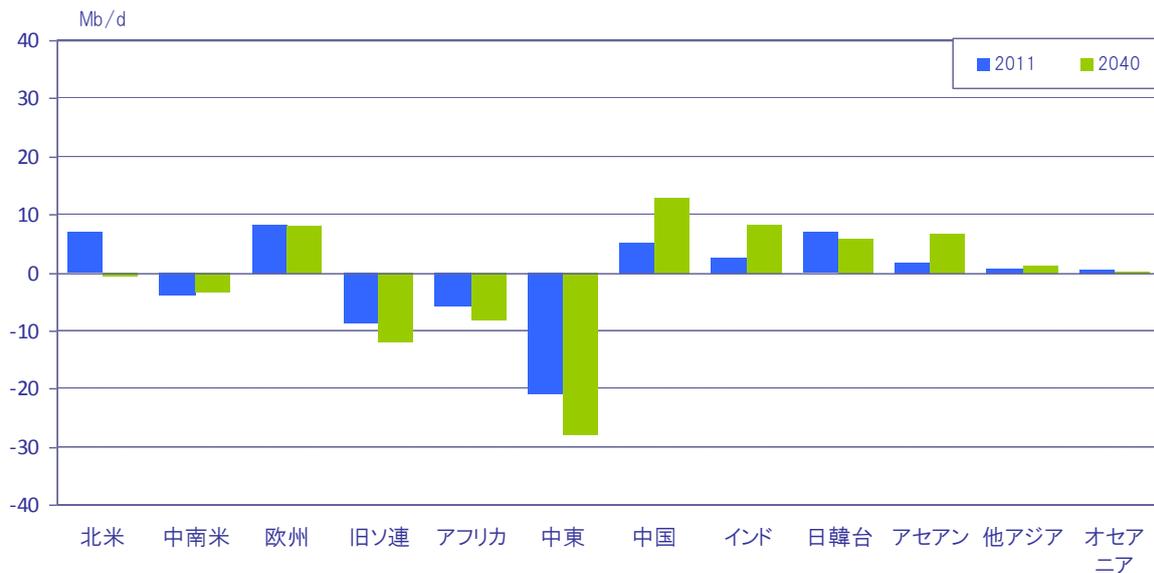
図31 アジアの石油生産-消費バランス(レファレンスケース)



石油貿易

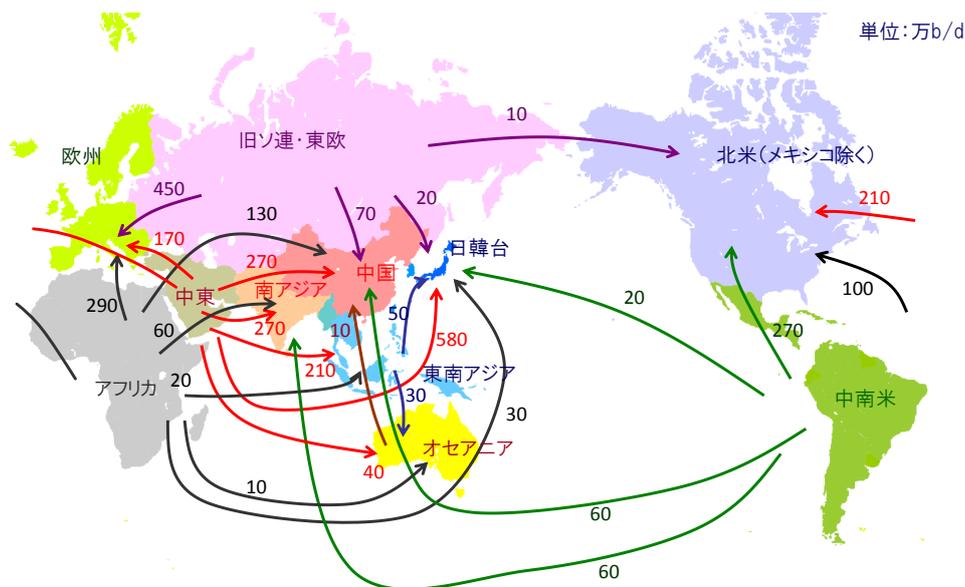
石油純輸出力をみると、北米ではシェールオイル開発等が進むことにより純輸入量が減少する。中国やインドおよびASEANなどのアジアでは、需要の増加を満たすために、純輸入量が大幅に増加する。中東や、旧ソ連、アフリカでは、純輸出力が増加する。

図32 世界の石油純輸出入量



世界の原油貿易量は、2012年の39 Mb/dから2030年には45 Mb/d、2040年には50 Mb/dと、世界の石油需要の増加に合わせる形で堅調に増加する。特に中国、南アジア(主にインド)、ASEANにおける輸入量の増加は著しく、域内原油生産量が伸びない中、高い経済成長に伴う大幅な域内需要の増大により、資源国への依存度が大きく高まる。一方、先進諸国においては、北米地域由来のシェールオイル増産や石油製品需要の低迷により、全体的には域外からの原油輸入は減少する見込みである。

図33 主要地域間の原油貿易フロー(2012年)



点で40万b/d、2040年時点80万b/dにまで増加する(その一方で、仮に米国からの原油輸出を想定しても、米国からの原油は中国には入らない)。パイプラインでの輸入を含むロシア・中央アジアからの原油輸入は2030年時点で200万b/d、250万b/d程度となり、引き続き中国にとっては重要な供給源であり続ける。一方、中東原油についても2030年時点、2040年時点ともに600万b/dの輸入を行い、単一の地域としては最大の原油供給源であり続ける。この他、ASEAN地域やアフリカからの原油も継続して輸入されるため、中国市場には世界中の原油が集中する。

日本・韓国・台湾の輸入原油構成については、中東が最大の供給源であることは変わらないものの、域内の需要の減退によって3か国合計の輸入量は、2012年時点の700万b/dから2030年時点には690万b/dにまで低下する。注目されるのがアフリカ原油の輸入の増加であり、2012年時点での29万b/dから2030年時点で120万b/d、2040年時点では160万b/dも輸入される見込みである。灯油・軽油などの中間留分の生産・輸出が多い韓国向けの輸入が増加する。日本・韓国・台湾合計の中東依存度は2030年の68%から2040年には60%にまで低下する。

シンガポールを含む東南アジア市場においては、これまでどおり域内で生産される原油が域内の製油所で処理されるが、それ以外には主として中東原油の輸入が大きく増加する。現在計画されている製油所の新增設計画(インドネシア、ベトナムなど)では、中東産油国の国営石油会社とそのパートナーとなって参画するケースが見られており、こうした東南アジアの新規製油所は主として域外からの中東原油の処理を行うことが予想される。2040年時点ではシンガポールの製油所で若干のアフリカ原油の生産が見られるが、その他の輸入原油はほぼすべてが中東からの供給で賄われる。

南アジアについても、中東原油が主たる処理原油となる。2012年時点で270万b/dの中東原油輸入量は、2030年時点では454万b/d、2040年時点では690万b/dにまで拡大し、2040年時点では中国に匹敵する規模の中東原油の輸入地域となる。また、高度な分解装置を備えているインドの製油所は、引き続き中南米の原油の引き受け先となっており、特にベネズエラからの重質原油やブラジル洋上で生産される新規原油などが、今後も引き続き南アジア市場に流入する。

バイオ燃料

気候変動対策、エネルギー安全保障、農業振興の一環として、バイオエタノールとバイオディーゼルに代表される液体バイオ燃料の普及が推進されている。現在は自動車用ガソリン、ディーゼル油の代替燃料としての利用がほとんどであるが、ジェット燃料油との混合利用に向けた実験も進んでいる。食料との競合が危惧されつつあることから、今後は非食料、廃棄物、未利用バイオマス資源を原料とするセルロース系の次世代バイオ燃料にシフトをしてゆく必要がある。

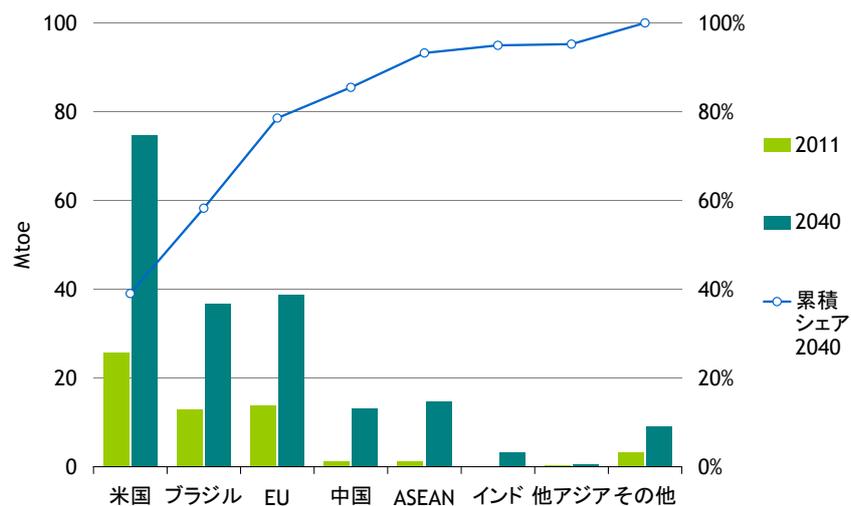
米国は大気汚染対策の添加剤として混合ガソリンの普及を進めている。2022年時点で燃料生産者が360億ガロンのバイオ燃料を使用し、その内160億ガロンはセルロース系エタノール

を生産することを目標としている¹。ブラジルでは、ガソリンへのエタノールの20～25%の混合が義務付けられている。さらに、100%エタノール燃料の自動車、最近では任意のエタノール混合比率での走行が可能なフレキシブル燃料自動車の普及も進んでいる。上記2国の他に、ヨーロッパ、カナダ、オーストラリア、それにインド、中国、タイ、フィリピンなどのアジア諸国など世界各地でバイオエタノール混合ガソリンの導入が進められている。

ディーゼル車が普及しているヨーロッパでは、バイオディーゼルの普及が進んでいる。再生可能エネルギー指令²により、EU加盟国における輸送用燃料の10%³を2020年までにバイオ燃料とする目標を掲げている。

レファレンスケースにおける世界のバイオ燃料は、2011年の60 Mtoeから2040年には190 Mtoeまで増加する(図35)。これは現在のクウェートとオマーンの石油生産量に匹敵する。中国、インド、日本では主にバイオエタノールが、韓国、インドネシア、マレーシアではバイオディーゼルが導入される。アジア全体では33 Mtoeに達するが、石油消費に比べるとその世界シェアは低い。中国の導入量は13 Mtoeとアジアでは大きな値となっており、その他のアジア諸国を合算した量より多い。

図35 バイオ燃料導入量(レファレンスケース)



¹ The U. S. Environmental Protection Agency, National Renewable Fuel Standard 2 (2010年2月)

² Renewable Energy Directive (2009/28/EC).

³ ヨーロッパにおける導入目標の比率は、容量比ではなく各燃料の持つエネルギーに占める比率である。

2.4 天然ガス供給

天然ガス生産

この先四半世紀、増大する天然ガス需要を満たすため、中東、ロシアを中心とする旧ソ連諸国、アフリカ、中国、オーストラリアなどを中心に生産拡大が行われる。これら4地域で生産増分の3分の2を占めることとなる。

アルゼンチン、メキシコで2018年以降、中東、欧州、旧ソ連諸国、アフリカで2021年以降、シェールガスを中心として、非在来型天然ガスが少量ずつながら商業化してゆく。アジア・オセアニアについては、2014年以降オーストラリアで炭層メタン(CBM)生産が増加、2021年以降、中国、オーストラリアでシェールガスの生産が少量ずつ増加してゆく。

ただし、中国の増産分は需要増分を下回り、中東の増産分についても域内の需要増分により吸収される。国際市場への追加的な供給源としては、旧ソ連諸国、アフリカ、それに世界最大のLNG輸出国となると見込まれるオーストラリアの寄与が大きい。また、北米はシェールガスの増産により、純輸出を徐々に拡大してゆく。

これらにより、2040年の世界の天然ガス生産中、非在来型天然ガスが4分の1程度を占めることとなる。

表3 世界の天然ガス生産(レファレンスケース)

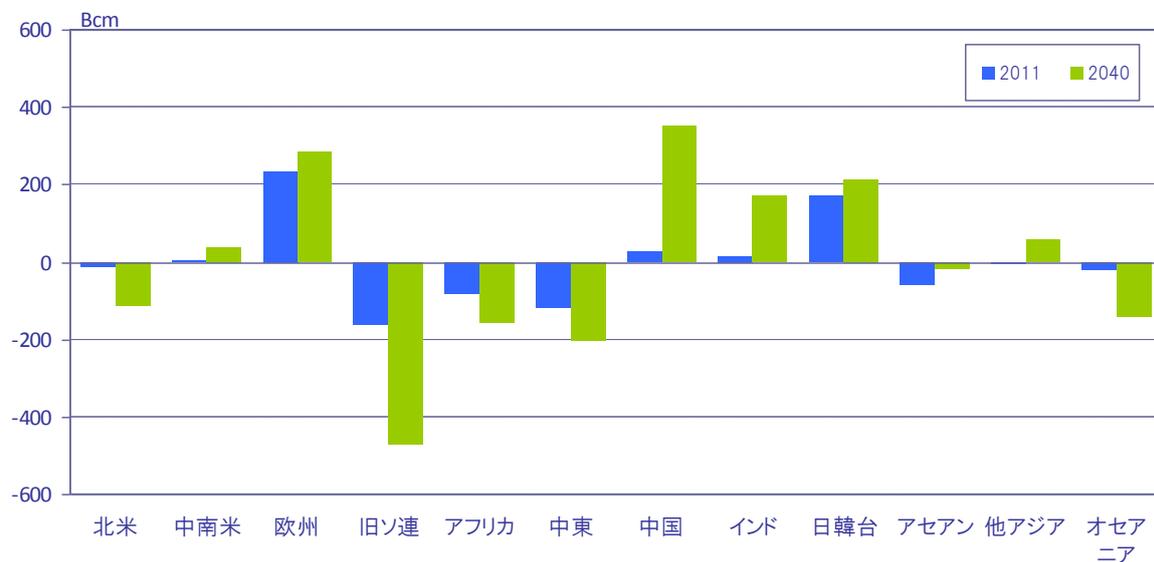
	Bcm			Bcm		
	2011	内非在来	非在来比率	2040	内非在来	非在来比率
北米	808	364	45%	1,043	782	75%
中南米	218	0	0%	449	127	28%
中東	523	0	0%	871	24	3%
欧州	287	0	0%	300	19	6%
CIS	868	0	0%	1,229	66	5%
アフリカ	200	0	0%	420	80	19%
中国	103	0	0%	352	127	36%
インド	46	0	0%	96	29	30%
ASEAN	203	0	0%	385	80	21%
内インドネシア	81	0	0%	126	22	17%
内マレーシア	56	0	0%	85	8	10%
他アジア	75	0	0%	74	5	6%
オーストラリア	51	6	12%	193	103	53%
世界計	3,384	370	11%	5,411	1,442	27%

天然ガス貿易

世界の天然ガス需要が増加するにつれて、天然ガス貿易量は需要を上回るペースで増加する。特に変化が大きい地域は、輸出の場合、非在来型天然ガスの生産が増加する北米、旧ソ連、豪州(オセアニア)、輸入の場合、需要を満たすために輸入増が必要となる中国およびインドである。

2040年時点での北米およびオセアニアの純輸出量は、115 Bcmおよび141 Bcmである。一方、旧ソ連については、純輸出量は470 Bcmにまで増加する。同じく2040年時点での中国およびインドの純輸入量は、350 Bcmおよび169 Bcmにまで急増する。

図36 世界の天然ガス純輸出入量(レファレンスケース)



地域別天然ガス純輸出量の変化は、貿易フローにも大きな影響をもたらす。2012年時点での主要な地域間天然ガス貿易フローは、パイプラインガスの場合、旧ソ連から欧州、LNGの場合、東南アジア・豪州・中東から北東アジアである。

2040年時点では、北米、旧ソ連、豪州からの純輸出量の大幅な増加分は、アジア向けが主要な市場となる。特に、米国・カナダと大きな輸出ポテンシャルを持つ北米からの大規模な輸出フローが確立される。また、同じく大きな輸出ポテンシャルを持つ豪州は、アジア向けを中心として着実に輸出量を増大させる。

図37 主要地域間の天然ガス貿易フロー(2012年)

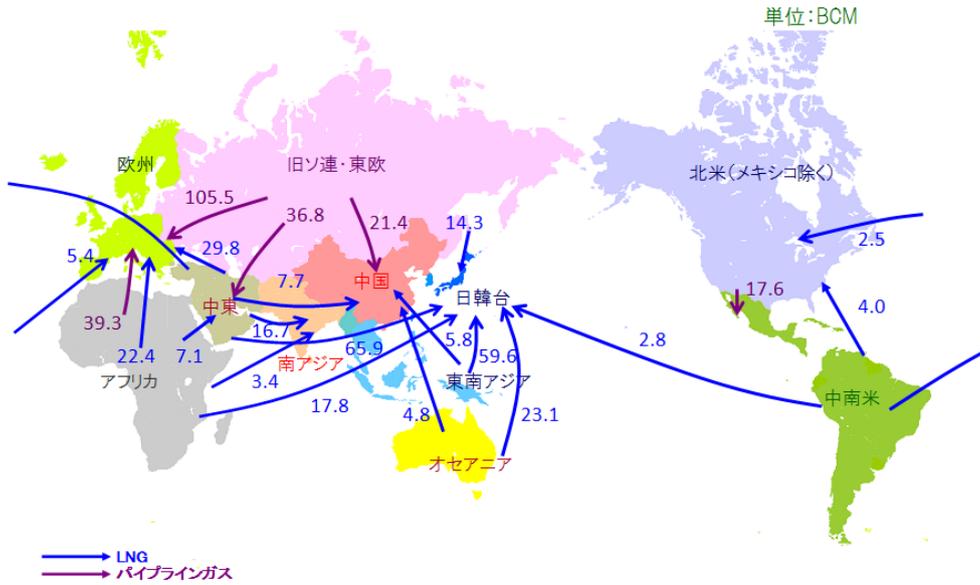
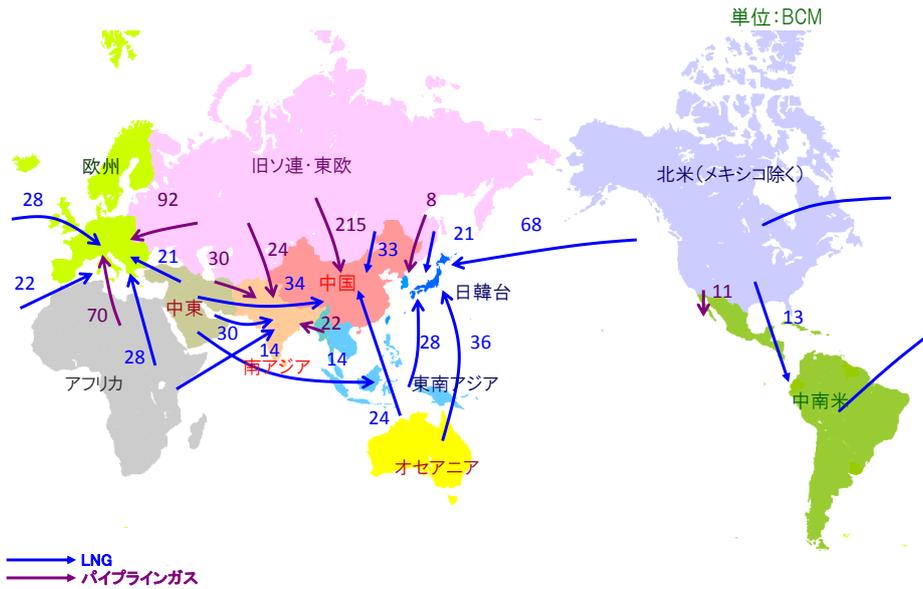


図38 主要地域間の天然ガス貿易フロー(レファレンスケース2040年)

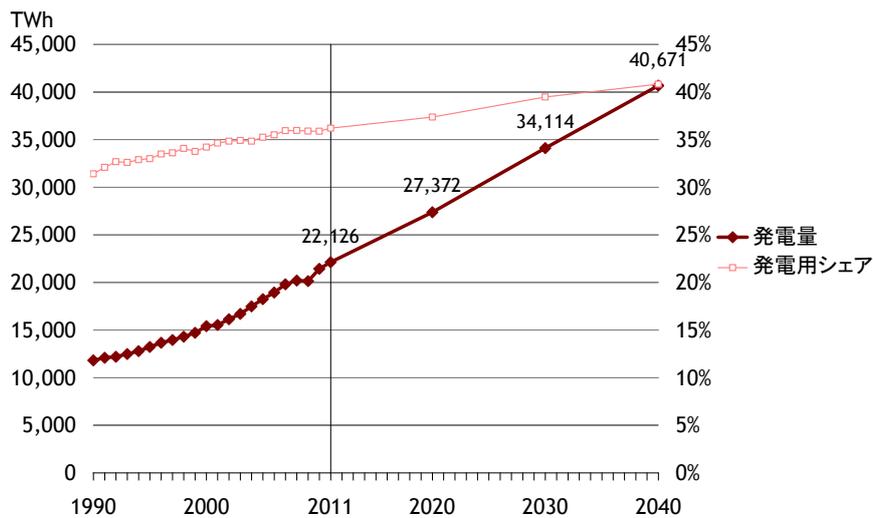


2.5 電力供給

発電量

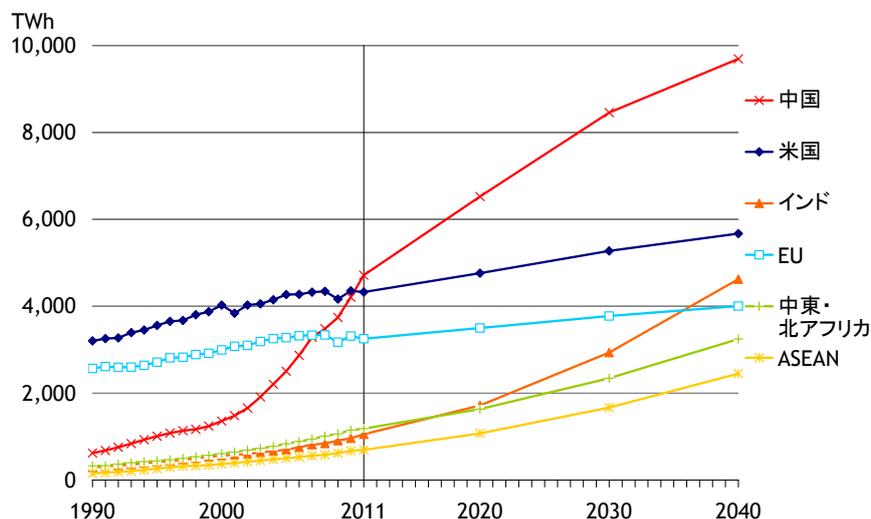
電力需要の増加に伴い、世界の発電電力量は2011年の22,126 TWhから2040年には40,671 TWhにまで増大する(図39)。しかし、発電所内自家消費率、送配損失率の逡減などにより、発電量の伸び率は年率2.1%と、電力最終消費のそれ(2.2%)をわずかながら下回る。

図39 世界の発電電力量と一次エネルギー消費に占める発電用シェア(レファレンスケース)



2040年までの発電量増加のうち8割強が非OECD諸国によるものである(図40)。アジアの発電量は2011年の8,517 TWhから年率2.9%で増加し、2040年には19,612 TWhにまで達する。変動性再生可能エネルギー(風力、太陽光等)発電の導入拡大への対応の1つとして、グリッドの強化が進むことから、国境を越えた電力のやり取りが増える可能性がある。また、ASEANの一部の国などでは、外貨獲得の手段として、豊富な水力資源を開発し、電力を輸出する計画がある。

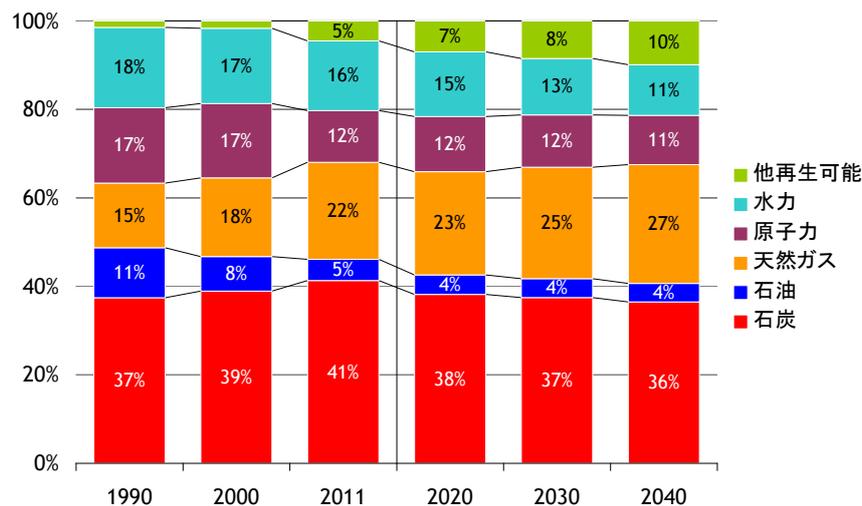
図40 主要国・地域の発電電力量(レファレンスケース)



現在の世界の発電構成において、石炭のシェアは41%と最大であり、次いで天然ガス(22%)、水力(16%)、原子力(12%)となっている。2040年にかけて、石炭はシェアをほぼ維持し、基幹電源の役割を引き続き担う(図41)。技術開発により天然ガス複合発電(CCGT)が普及、変動性再生可能エネルギーの調整電源としてガスタービンも用いられること等から、天然ガスへのシフトが進展する。天然ガスのシェアは、2011年の22%から2040年には27%に拡大する。石油

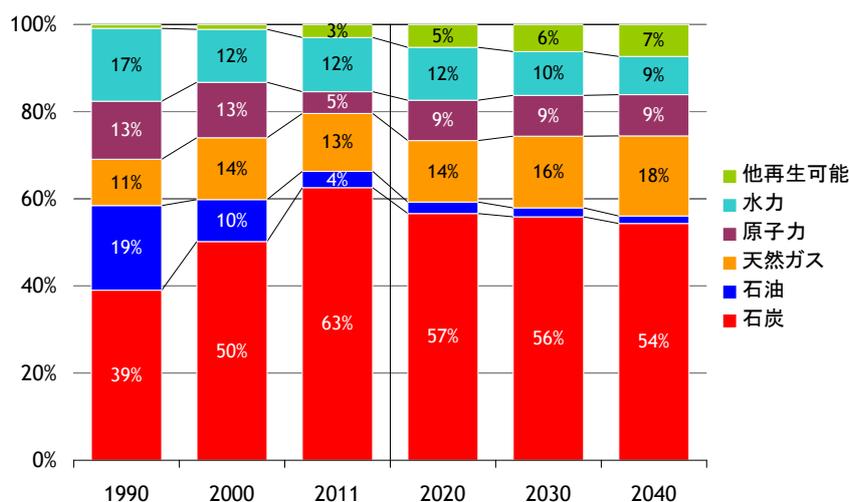
のシェアは、先進諸国、さらには石油資源の豊富な中東を含め、減少基調で推移する。原子力については、エネルギーセキュリティの確保、気候変動対策の観点から、アジアを中心に新規着工が進む。しかし、2040年までの電力需要の増加をカバーできるほどの拡大は見込めず、シェアは2011年の12%から2040年には11%へ微減する。風力、太陽光等の増加率は、政策的な後押しとコスト低減を追い風に、他に比肩するものがないほど高い年率4.9%ではあるが、そのシェアは2040年においても漸く1割に届く程度である。

図41 世界の電源構成



アジア、特に中国、インドにおいては急速に伸びる電力需要に対し、石炭火力が主要な電源を維持する(図42)。ASEANにおいては、タイ湾等での天然ガス資源開発により、1990年代以降、発電構成は石油から天然ガスへと大きくシフトした。しかし、2000年代には天然ガス生産量の頭打ち、他部門での需要の勃興により、発電向けの供給力が不足しつつある。発電用の天然ガス需要は高まっていく中で、中国、インドのみならずASEAN諸国でも天然ガスの輸入計画を進めている。このため、発電構成では、石炭が依然として高いシェアを堅持する中で減少していく一方で、天然ガスの割合は13%から18%へと増加していく。

図42 アジアの電源構成



原子力

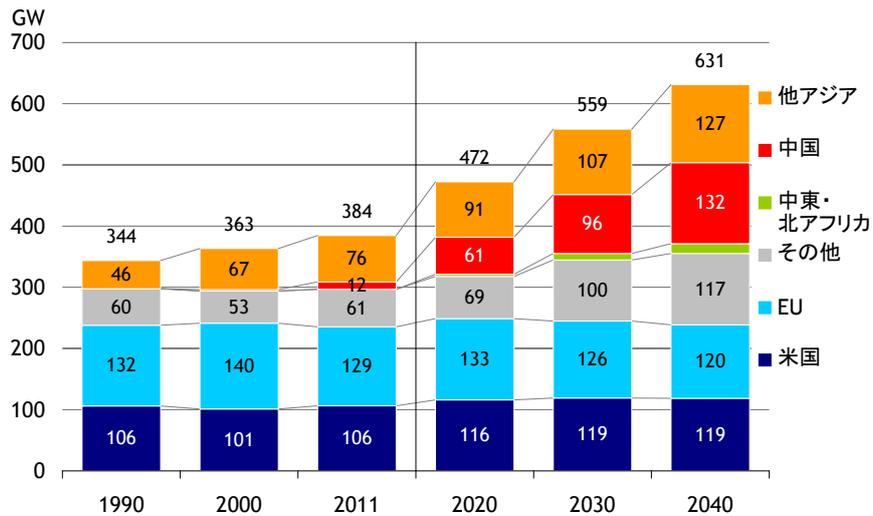
福島第一原子力発電所の事故は、日本や欧州の一部の国において原子力政策に直接の影響を与えた。一方で、米国・フランス・ロシア・韓国といった従来から原子力発電を積極的に推進してきた国々、および中国などの新興国では、エネルギー安定供給や気候変動問題への対応、さらには自国の原子力産業育成を通じた国際競争力の維持・強化という観点から、原子力推進政策を変更していない。

米国では、シェール開発などによりエネルギー資源の経済的優位性が増したことで新規に建設される原子力の足取りが弱まっている。しかし、原子力から天然ガスへの代替は燃料価格の変動リスクを伴うことや、気候変動対策面から、今後も原子力を維持する方針は堅持される。

欧州で最大の原子力推進国であるフランスでは、2050年には原子力比率を50%まで低減させることを目標としている。しかし電気料金の高騰や雇用問題といった課題に直面しており、計画通りに進まない可能性がある。当面は現状の維持が続く。福島事故を受けて脱原子力政策の方向性を明確にしているドイツ、スイス、ベルギー等では、2040年には原子力発電はゼロになる見込みである。老朽化した既存炉が廃炉される中で、新規建設へ向けた動きも見られる。そのため、2040年にかけては2011年とほぼ同程度の設備容量が維持される。

原子力においても中国、インドを中心とするアジアの存在感はますます高まってゆく。2040年には、中国は世界第1位の原子力大国となる。アジアの設備容量は、2040年にはEUと米国の設備容量の和を上回る。さらに、2040年には、これまでほとんど市場化されていなかった中東や北アフリカ、および中南米などの国々の台頭も見られるようになる。

図43 原子力発電設備容量

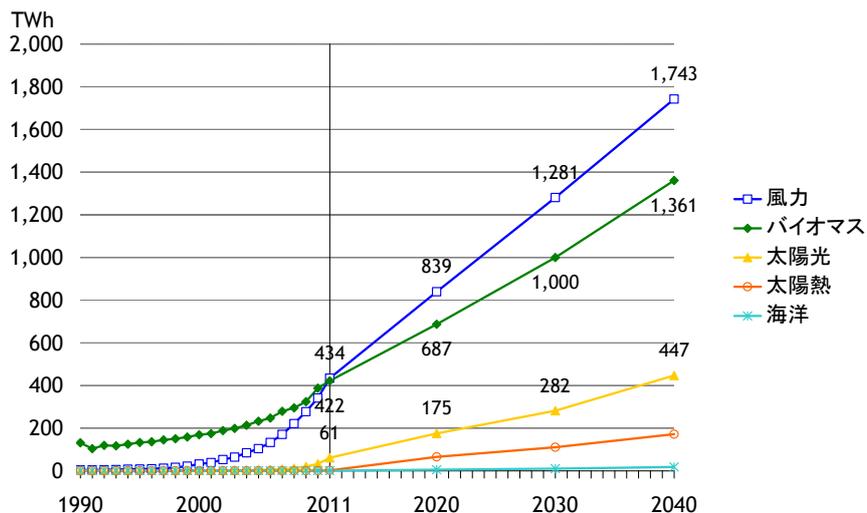


再生可能エネルギー

太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーに対しては、大きな期待が寄せられている。一部の地域では恵まれた資源量と導入支援策の恩恵を受け、普及が加速する。しかし、コストが高く、供給が自然条件に左右され不安定であることから、世界全体で見た場合、化石資源と肩を並べる基幹エネルギーとして地位を確立するには至らない。

再生可能エネルギーの導入は、電源の低炭素化に貢献し、対外依存度を低減し、化石燃料価格高騰を潜在的に抑制しうる。大規模な普及の実現には、研究開発の継続による低コスト化、高効率化、エネルギーシステムとの調和を実現することが重要な課題となる。

図44 世界の再生可能エネルギー発電電力量(レファレンスケース)



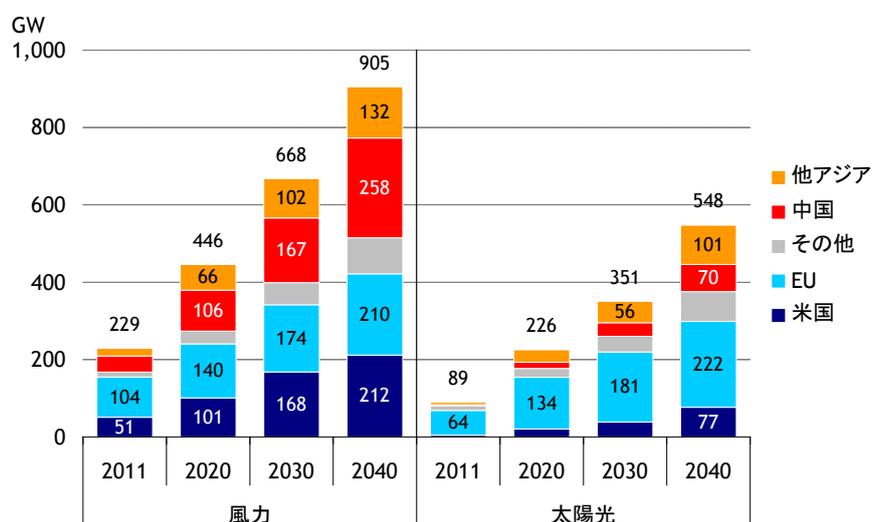
風力発電

2040年にかけて、ドイツ、スペイン、デンマークなどヨーロッパで洋上風力発電を中心に導入が進む。アジア地域でも中国やインドを中心に導入が増加する。風力発電設備量は、2011年の2億2,900万kWから2040年には9億500万kWまで増加し、2011年比4倍まで拡大する。特にヨーロッパ、アジア、北米において導入量が急速に増加する。

太陽光発電

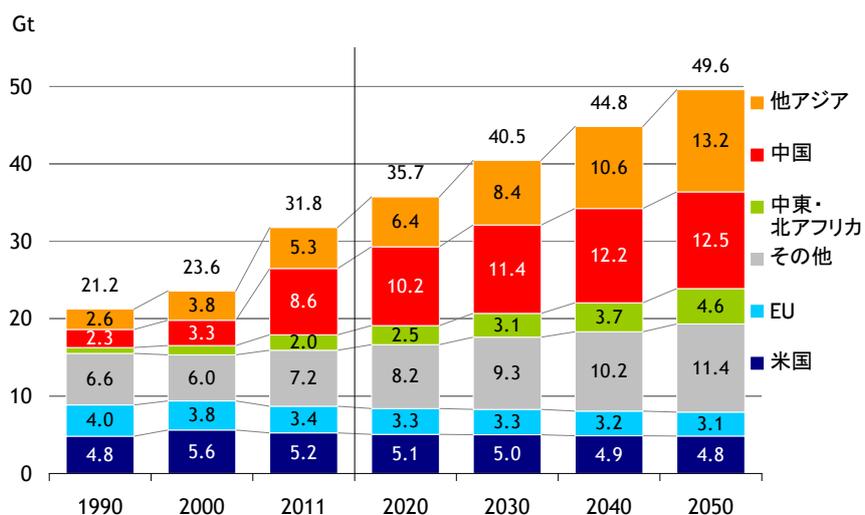
現在ヨーロッパを中心に導入が急速に進んでおり、世界市場は引き続き拡大していく(図45)。その背景には各国政府の優遇支援策があるが、市場拡大や技術開発に伴ってコストも徐々に低下し、導入が促進される。現在は経済性の問題が大きいですが、電力インフラが整っていない過疎地域では有用なエネルギーとなり得る。レファレンスケースにおける世界の太陽光発電設備量は、2011年の8,900万kWから2040年には5億4,800万kWへ増加し、2011年比6倍まで拡大する。特にヨーロッパ、アジアにおける導入量の伸びが大きい。

図45 風力、太陽光発電設備容量

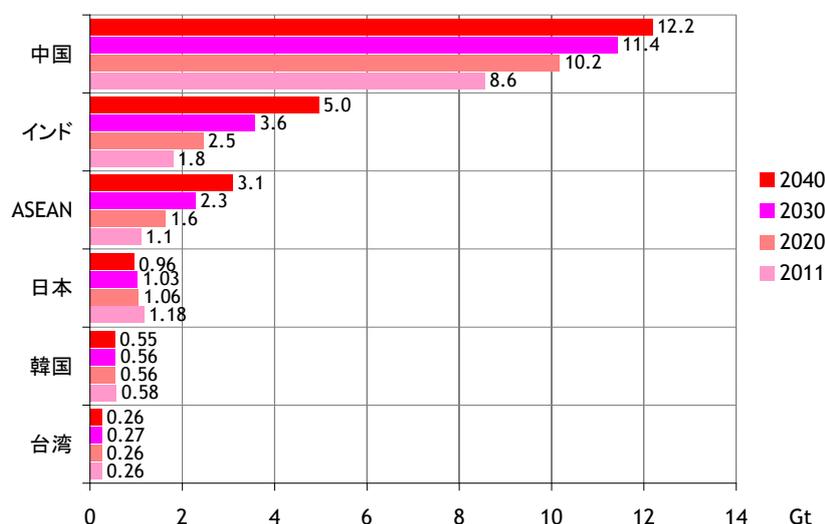


2.6 二酸化炭素排出

世界の全体の2040年まで一次エネルギー消費のおよそ8割が化石燃料消費で賄われる結果、エネルギー起源の二酸化炭素(CO₂)排出量は2011年の31.8 Gtから2040年には1.4倍の44.8 Gtにまで増加する(図46)。この増分の約7割がアジアに由来する。世界の排出量に占める非OECD諸国のシェアは、2040年には7割となる。

図46 世界のCO₂排出量(地域別、レファレンスケース)

中国は増大するエネルギー需要を今後もCO₂排出原単位の大きい石炭を主軸として充足してゆくことから、一国で世界の増分の約3割を占める。ただし、原子力や水力等の再生可能エネルギーの導入により、年平均伸び率は他のアジア新興国に比べると緩やかである。インドやASEANの排出量は、年率3%強のスピードで増加してゆく。日本は足元では、原子力発電が大幅に減り、化石燃料での代替が進んでいることから、排出量は増加している。将来に向けては、引き続き節電対策や省エネルギー政策の推進、および原子力の再稼働も見込まれることから、排出量は減少していく。

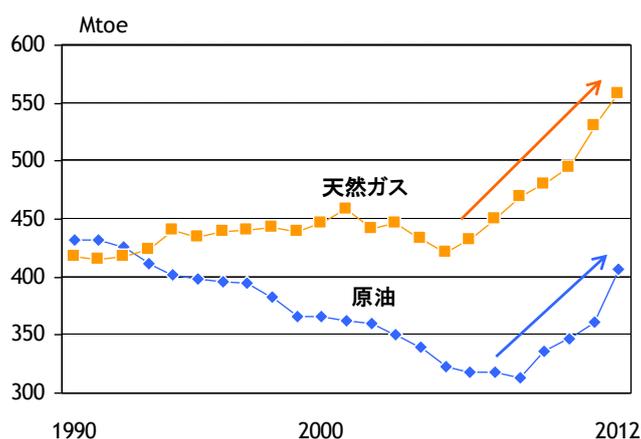
図47 アジアのCO₂排出量(地域別、レファレンスケース)

3. 非在来型資源開発の影響

3.1 開発促進ケースの位置づけ

米国では近年非在来型天然ガス・原油の生産が急増しており、天然ガスの生産量は2005年の421 Mtoeから2012年に558 Mtoeへ、石油の生産量は313 Mtoeから407 Mtoeへと増加している。米国の非在来型資源開発の飛躍的な進展は、同国内のエネルギー需給を緩和させ、エネルギー市場のみにとどまらない大きな変化をもたらし、その変化は現在も進行中である。それはまた、国際エネルギー市場にも大きな影響を与えている。米国向けに供給することを予定していたLNGの多くを欧州、アジアに向かわせ、伝統的な石油リンクによる国際天然ガス価格決定方式の見直し議論を巻き起こしている。米国で天然ガスにとって代わられた石炭が欧州に流入し、電源構成を大きく変容させている。さらに2015年には米国産LNGの輸出が開始される予定であり、米国のシェールガスが世界の天然ガス市場に直接影響することになる。

図48 米国の原油・天然ガス生産量



出所: IEA “Energy Balances of OECD countries”

掘削技術開発、および物流手段や水などのインフラ整備、法整備などが前提となるが、この米国に端を発するシェール革命は、北米を越えて各国での非在来資源の開発につながることを期待される。これは各国のエネルギー市場や国際的なエネルギー市場に加えて、各国のマクロ経済や産業競争力に対してさらなる影響を与えるものと考えられる。

アジア/世界エネルギーアウトルック2013では「非在来型資源開発促進ケース」として、レファレンスケースで想定されている以上に各地域の天然ガス、石油生産量、エネルギー価格、需要、マクロ経済全体への影響を展望する。シェール資源の開発はまだ始まったばかりであり、今後その開発・生産がどのようなペースで進められてゆくかは、非常に多くの不確実性が存在する。そうした高い不確実性をふまえ、この開発促進ケースは、仮に非在来型資源の

増産が現時点で想定されている水準をはるかに超えるペースで進んだ場合、世界のエネルギー需給や貿易フローはどのようなものになるのかを評価するケースである。

3.2 天然ガスの資源量と開発の見込み

世界

非在来型資源の開発促進ケースでは、2020年以降、各地域でのシェールガス、コールベクトメタンなど非在来型天然ガスの開発が大幅に加速する。本ケースでは、非在来型天然ガスの開発・生産コストが在来型天然ガスと同等の水準まで低下し、資源ポテンシャルが全面的に活用されることを前提としている。

非在来型天然ガス生産の比率がレファレンスケースでも全体の4分の3以上と見込まれる北米以外に、中国、オーストラリア、中南米で非在来型天然ガス生産の比率が大幅に高まると期待される。さらに欧州でも一定規模の非在来型天然ガス生産が見込まれることとなる。中国、オーストラリア、インドネシア等の非在来型天然ガス資源ポテンシャルが大きなことから、アジア・オセアニア地域が天然ガス生産量全体の増加分の3分の1強を占めることとなる。

これらにより、世界の天然ガス生産に占める非在来型天然ガスの比率は36%程度に高まることとなる。技術的に回収可能とされる世界のシェールガス資源量は約200兆 m^3 と推定されており、大きなポテンシャルを期待されている。賦存地域も世界に幅広く存在しており、開発促進ケースに見られるように各国のシェールガス開発が進めば、世界の天然ガス市場はさらに変化することとなる。

シェールガス開発が活発化するか否かは、地質条件やインフラの状況、政府や企業の取り組みなどによって大きく異なる。また、さまざまな機関が推計するシェールガス(技術的回収可能)資源量は、有望とみられる堆積盆地からシェールガスが生産される見込みを確率論的に試算したものである。各国の独自試算とも異なる場合があり、シェールガスの埋蔵量評価についてもこれから進められるという状況である。

米国で大規模な開発を可能とした諸条件が他の諸国では揃っておらず、いずれの国でも本格的な開発は2020年以降と予想される。世界的に開発が活発化するまでには多少の時間がかかる見込みであるが、将来的に非常に有望なエネルギー資源であることは間違いなく、その開発進展度合い・生産量により、世界のエネルギー市場に極めて大きなインパクトを与えることとなる。

各国の状況

中国

中国国土資源部によれば、中国のシェールガス原始資源量は134.42兆 m^3 、可採資源量は25.08兆 m^3 となっている。賦存地域は、南西部の四川盆地、北西部のタリム盆地やジュンガル盆地、北東部の松遼盆地などが有望とされている。

同国では既に2011年、2012年にシェールガス鉦区入札が実施されたが、本格開発の見通しは立っていない。

中国政府は2012年3月に発表した「シェールガス発展計画(2011-2015)」において、シェールガスの生産量目標を2015年に65億 m^3 、2020年に600～1,000億 m^3 へと拡大するという野心的な方針を打ち出している。また、初期の開発促進のためにシェールガス、CBM生産には数量に応じた補助金を用意している。しかし、国土資源部によれば2013年のシェールガス生産量は約2億 m^3 と見込まれており、2015年の生産量目標とは大きな乖離が見られる。

中国は米国より地質条件が複雑でシェール層も深い位置に存在する 경우가多く、開発に大きな投資が必要と見込まれる。一方、国内天然ガス価格は統制により安価に抑えられているため、投資インセンティブが働きにくい。また、主要な賦存地域が中国内陸部に位置しており、降雨量が多くない地域であるため水圧破砕に必要な大量の水資源確保も課題である。さらに、既存のパイプライン網からは切り離されているため、パイプライン網の拡充も必要である。2013年6月に、CNPCは四川省長寧にて同国初となるシェールガス輸送用のガスパイプライン建設開始を公表しており、政府も2020年までにパイプライン網を現在の約4倍にあたる15万 km にまで拡充するとしているが、それでも米国のパイプライン網の4割程度に過ぎない。豊富な埋蔵量が期待される中国だが、目標通りにシェールガス生産を拡大させるためには、取り組むべき課題も多い。

インド

米国エネルギー情報局(EIA)によると、インドのシェールガス(技術的回収可能)資源量は96 Tcf (2.7兆 m^3)と推計されている。インドのシェールガス層は米国に比べ、複雑な構造とされている。同国は経済成長に伴い天然ガス需要が急増しており、長期的な視点からシェールガス開発を重視している。同国政府は、シェールガス鉦区の入札を2013年末までに行うとしており、今後のシェールガス開発に必要な政策を策定している段階である。

インドネシア

EIAによると、インドネシアのシェールガス(技術的回収可能)資源量は46 Tcf (1.3兆 m^3)と推計されている。シェールガスの賦存地域は、スマトラ島、カリマンタン島、ニューギニア島などである。これらは陸上の堆積盆であるが、海洋にも多くのシェールガスが存在する可能性があり、資源量ポテンシャルは非常に大きい。インドネシアは経済成長に伴い天然ガスの国内需要が増加しており、CBMやシェールガスなどの非在来型天然ガス開発を重視している。この内スマトラ島、カリマンタン島のシェールガス鉦区については既に入札が実施されているが、具体的な開発日程は決まっていない。

オーストラリア

オーストラリアは、CBMやシェールガス、タイトガスといった非在来型天然ガスの埋蔵量ポテンシャルが大きな国であり、長期的には生産量拡大が見込まれている。EIAはオーストラリアのシェールガス(技術的回収可能)資源量を437 Tcf (12.3兆 m^3)と評価している。この数字は世界第7位に位置付けられるもので、2011年評価の396 Tcfを上方修正したものであるが、豪州連邦地球科学庁(Geoscience Australia)は、2012年版自国ガス資源評価報告書において、この

EIA 2011年評価の396 Tcfに言及しており、地質調査が進めば可採量が縮小する可能性に言及している。

CBMについては2000年以降本格的な商業生産が開始されており、現在国内市場向けに供給されているが、2014年以降、LNG輸出市場向けに大規模供給が開始される見込みである。シェールガスについては2012年末、小規模ながら商業生産が開始された。

今後、シェールガス開発の進展に対して、インフラ整備、高い労働力や水圧破碎コストの問題をいかに乗り越えるかが課題と思われる。豪州学術評議会(ACOLA)の研究によると、同国においてシェールガス生産・輸送に利益を確保するためには6-9豪ドル/GJの価格が必要と見込まれている。

非在来型天然ガス開発に対する連邦政府による特別な規制は今のところないが、州によって水圧破碎を禁止するモラトリウムを設けるなど独自の動きも見受けられ、開発促進のためには、連邦・州レベルを通じた政策の透明性が求められる。

英国

EIAによると、英国のシェールガス(技術的回収可能)資源量は26 Tcf (0.73兆 m^3)とされる一方、英国地質調査機関(BGS)は、イングランド北部Bowland地域を中心とする原始資源量を1,329 Tcf (37.6兆 m^3)と評価している。評価基準が大きく異なるとはいえ、同国のシェールガス資源量評価は定まらない段階にあり、不確実性要素が大きい。

シェールガスの分布地域はイングランド北部からスコットランド南部、イングランド南部の2地域である。北米と比較して地層が複雑であるため、掘削に要する費用も多くなると考えられる。

2001年から天然ガス生産量が減少し、2004年からは純輸入国となっている英国では、シェールガス開発への期待は高い。一方で環境観点での住民反対もあり、本格開発に至っていない。

フランス

EIAによるとシェールガス(技術的回収可能)資源量137 Tcf (3.9兆 m^3)とされる。フランスでは、2011年6月以降、水圧破碎が禁止され、当面シェールガス開発の見通しはない。

ドイツ

EIAによるとシェールガス(技術的回収可能)資源量は17 Tcf (0.48兆 m^3)であるが、2012年6月にドイツ連邦地質・天然資源研究機関より発表された資源量は0.7~2.3兆 m^3 (24 Tcf~81 Tcf)となっている。シェールガスは、北海沿岸のベルギーからドイツ東部にまたがる地域に賦存している。現時点でシェールガス掘削技術に関する連邦法制が未整備となっている。

ポーランド

EIAによると、ポーランドのシェールガス(技術的回収可能)資源量は146 Tcf (4.1兆 m^3)となっている。ポーランドは国内で消費する天然ガスの輸入依存度が高いことから、政府にシェ

ールガス開発への意欲はあるものの、近年実施されている企業による探査活動の結果が目覚しくはなく、現時点では本格商業生産時機の見通しは立っていない。

ロシア

EIAによると、ロシアのシェールガス(技術的回収可能)資源量は285 Tcf (8.1兆 m^3)である。また、シェールオイルの(技術的回収可能)資源量も示されており、ロシアは750億bblで世界一の資源量となっている。これらは、シェールガス、シェールオイルともに西シベリア地域のみを評価したものとなっており、その他地域にもシェールガスがポテンシャルがあると考えられる。

CBMについては、GazpromによるとCBM資源量は83.7兆 m^3 であり、南シベリアのクズバス地方を中心に、2003年からCBM生産を開始している。

ウクライナ

EIAによるとウクライナのシェールガス(技術的回収可能)資源量は128 Tcf (3.6兆 m^3)である。一方で同国政府は7兆 m^3 程度としている。ロシア産天然ガス輸入に対する依存軽減の観点でも、同国政府は自国資源開発に外資企業参加を積極的に呼び込もうとしている。

メキシコ

現在メキシコは世界最大級の天然ガス資源量を持ちながら、国内での必要な天然ガス量の3分の1を、米国からのパイプラインガスを中心に輸入している。引き続き天然ガス需要が増加していくことが予想されるため、国内での天然ガス生産増加が重要となる。EIAによるメキシコのシェール資源の評価は、メキシコ湾沿い地域で、545 Tcf (15.4兆 m^3)としている。一方メキシコ国営Pemexは、資源ポテンシャルを141 Tcf~459 Tcfとしている。

現在までのところ、シェールガス部門への投資は進んでいない。上流部門がPemex独占となっていることに加え、開発コストの高さ、米国の天然ガスが安価であることにより、当面の追加需要対応に輸入に頼っている現実がある。

現在審議中のエネルギー改革法案により、上流部門に外資を含めた民間資本を呼び込むことが、天然ガス開発の活性化の鍵となる。

アルゼンチン

EIAによると、アルゼンチンのシェールガス(技術的回収可能)資源量は、802 Tcf (22.7兆 m^3)とされる。特にNeuquén地域のVaca Muertaシェールが最有力の開発候補標的とされている。

開発阻害要因として、炭化水素価格が低く規制されていること、インフレーション率が高いこと、外国為替がコントロールされていること、経済政策が不安定で予測不能なこと、開発企業にローカル調達や利益還元が義務付けられていることなどが挙げられるが、現在開発促進のため、外資企業の合弁事業参加、天然ガス価格底上げによる投資刺激などの動きがある。

3.3 石油資源量・開発の見込み

世界

シェールオイルの開発・生産見通しについては、現時点で豊富な資源量が確認されている国において先行して開発が促進するものと想定し、その生産見通しを展望することとする。具体的には、2013年6月に米国のエネルギー情報局が発表した報告書「Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States」において評価されている、シェールオイルの技術的回収資源量 (technically recoverable resources) の上位10か国において、シェールオイルの技術的回収可能資源量の開発が進展する可能性があるとの前提の下、個別の国の事情を勘案し、極めて速いペースでの開発が進むケースを想定する。

上位10か国についての開発・生産の見通しについては、各国における以下のような諸要因を考慮する(表4)。

政治的な要因: 各国のシェールオイルに対する開発方針、当該国をめぐる外交情勢、開発対象地域における治安情勢の動向など

経済的な経済: 当該資源の開発コスト(地質条件・気候条件・地理的条件など)、開発対象地域におけるパイプラインなどのインフラの整備状況、現時点(2013年)での開発投資の状況、開発対象国における技術サービス産業の成熟度合いなど

表4 シェールオイルの技術的回収資源量保有国上位10か国

国名	技術的回収可能資源量 (10億バレル)	主なシェール構造
ロシア	76	Bazhenov Central, Bazhenov North
米国	58	Bakken, Eagle Ford, Utica, Niobrara, Monterey など
中国	32	Longmaxi, Permian, Qiongzhusi, L. Silurian など
アルゼンチン	27	Vaca Muerta, Los Molles, La Luna/Capacho など
リビア	26	Etel Fm, Sirte/Rachmat Fms, Tannezuft など
豪州	18	Goldwyer, Nappamerri, Carynginia など
ベネズエラ	13	Capacho
メキシコ	13	Eagle Ford, Tithonian, Pimienta など
パキスタン	9	Sembar, Ranicot
カナダ	9	Lower Besa River, Duvernay, Muskwa/Otter Park など

出所: 米国エネルギー情報局

各国の状況

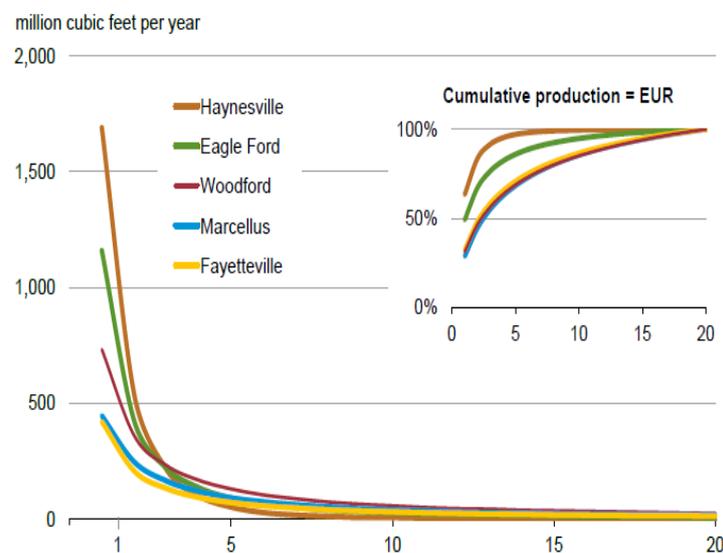
米国

2010年代に入って以降、米国のシェールオイルの生産は、当初の予測をはるかに上回るペースで進んでいる。例えば2011年時点では、2013年の生産量について、IEAは86万b/dと見込んでいた。しかし、実際には2013年の生産量は170万b/dにも達する見通しであり、現在のシェール資源の開発動向から考えても、少なくともあと数年は確実に、現在の高い生産の伸び

が続くと予測されている。これはシェールオイルの開発が進むのと同時に、地下の資源の賦存状況やこれまで生産の主力であったノースダコタ州のBakkenシェールに加えて、テキサス州西部のEagle Fordシェールにおける生産が急激に伸びてきたためである。

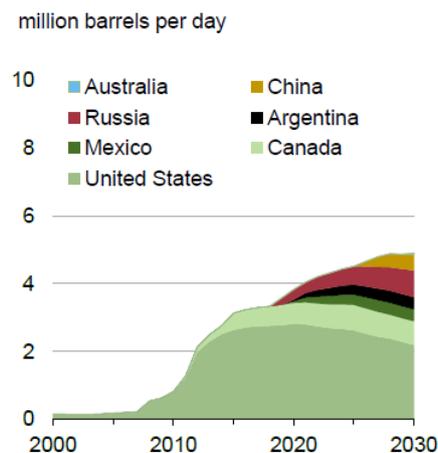
シェールガスおよびシェールオイルの開発においては、井戸あたりの生産パターンが在来型の油田と異なり、生産開始後に急速に増加し、その後の減退ペースが速いという特質が、かねてより指摘されている(図49)。従って生産量を維持し、かつ増加させていくには今後さらに多くの井戸を掘削していかなければならず、こうした制約から、米国エネルギー情報局は、今後米国内のシェールオイル生産は2020年をめでにピークに達し、その後は緩やかに減少していくとの見通しを示している(図50)。

図49 シェールガス田の生産パターン



出所: 米国エネルギー情報局

図50 米国エネルギー情報局によるシェールオイル生産見通し



出所: 米国エネルギー情報局

今後、米国におけるシェールオイルの生産が現在の水準をさらに上回る段階に至るにつれ、この問題がさらに大きくなっていくことは間違いない。しかしながら、同時に現在では、この井戸の掘削に要する期間や、各井戸が水平に掘削する距離、水処理のコストなど、シェール開発に関するさまざまな知見の蓄積が進み、その生産性が飛躍的に上昇してきていることも事実である。さらに、シェールオイルの油田の生産パターンは、減退率こそ高いものの、その生産自体は長期間にわたって持続するため(Long tailと呼ばれる)、これが積み重なることによって生産量の下支え効果をももたらす。開発促進ケースにおいては、今後こうした開発段階での生産性の向上が続いていくものと想定する。

さらに、これまでシェールオイルの生産を支えてきたBakkenおよびEagle Fordに加えて、米国内での他のシェール開発が今後も進んでいく可能性も十分考えられる。現在、テキサス州西部のPermian Basinにおけるシェールオイルの開発が活発化しており、この地域が新たなシェールオイル開発の中核地域の一つとなりつつある。またペンシルバニア州を中心に米国北東部に広範に広がるUticaシェールについても、まだ地質関連の情報の蓄積が十分に進んでいないものの、今後の開発の進展が期待されている。この他にもNiobrara、Montereyなど、今後の主力の開発対象となりうるシェールには枚挙にいとまがない。開発促進ケースでは、こうした米国内のさまざまなシェールにおける開発が全て順調に進んでいくことによって、2030年、2040年に高い生産量の実現が可能となると想定している。

ロシア

米国を上回り、世界最大のシェールオイルの技術的回収可能資源量を保有しているのがロシアである。特に西シベリア地域にあるBazhenovシェールは、現在米国で主力の供給源となっているBakkenシェールを上回る規模の資源が賦存しているとの見方もあり、今後の開発促進に強い期待が集まっている。いうまでもなく、シェール開発には高度の技術や熟練した開発ノウハウが必要となるが、ロシアには石油開発の長い歴史があり、優秀な技術者や熟練した労働者のプールが存在していること、また2012年6月に、ロシア国内のシェール開発に関して国営のRosneftとExxonMobilが戦略的提携に合意するなど、ロシア政府の側にもこのシェール開発を進めていく上では積極的に外資の知見を取り入れていこうという姿勢がみられており、その早期開発を実現するための体制は徐々に整いつつある。

ロシアでは長年、国内の石油開発税制が企業の投資意欲をそいでいること、開発に対する意思決定プロセスが不明確であることなどが、石油開発を遅らせる要因であると指摘されてきた。今後はこうした問題を解決していけるかどうかという点も、ロシアのシェールオイル開発の今後を左右するポイントとなる。また国内のシェールオイルの増産が進むにつれ、それを販売先の市場、特にアジア市場向けに輸送するパイプラインや出荷施設への投資も必要となってこよう。開発促進ケースにおいては、こうした制約要因や課題の多くが解消されるとして、2030年時点で200万b/d、2040年時点で300万b/dの生産を実現すると予測する。

中国

中国も320億bblの技術的回収可能資源量を有するとみられる世界のシェール資源大国の一つである。中国のシェールオイル開発を進めていく上では、水圧破砕に必要となる水資源の確保、開発が困難な地質構造、開発対象のシェールから消費地までの輸送インフラの整備な

どといった多くの課題が存在している。しかし、そうした制約要因が多く存在する一方、中国ほど今後の国内の資源開発に対する重要性・緊急性を見出している国はない。シェール資源開発の知見こそまだ十分に蓄積されていないものの、中国には、これまでの国内外での石油開発の事業を通して、多くの優秀な技術者や労働者が存在する。政府がまさに国内のシェール開発を国策として政策資源を大量に投入することによって、上記のような制約を解消し、高い生産量の伸びを実現させる可能性もある。開発促進ケースにおいては、そうした国による抜本的なテコ入れが大きな成果を上げるとの想定の下、2030年時点で200万b/d、2040年時点で300万b/dを達成し、決して高い水準ではないもの、着実にシェールオイルの開発が進んでいくと予想する。

アルゼンチン

アルゼンチンは、ロシア、米国、中国に次ぐシェールオイルの資源を有する国である。ピーク時の1990年代には89万b/dを生産し、2012年時点でも66万b/dを生産する産油国でもある。今後のシェール開発としては、同国の中央部にあるVaca Muertaシェールが特に有望とされており、多くの国内外の企業が開発に関心を示している。ただし、その一方で懸念事項がないわけではない。アルゼンチンでは、1990年代初めに一度民営化されスペインのRepsolの傘下にあったRepsol-YPFが、2012年5月に再びアルゼンチン政府によって国営化されるという事態が起こっている。巨額の投資を必要とするシェール資源開発を進めていく上で、政府の石油開発政策に不確実な部分があることは、大きな懸念材料である。アルゼンチンでは国内の石油製品価格が統制されていることもあり、生産された原油がどのような形で販売されるかという点も課題の一つである。開発促進ケースでは、こうした懸念材料がありながらも、同国のシェールオイル開発が遅滞なく続けられると想定し、2030年時点で100万b/d、2040年時点で250万b/dと予測する。

メキシコ

メキシコも今後有望なシェール資源の保有国である。メキシコでは2004年に383万b/dを生産して以降、その生産量は長らく低下の一途をたどっている。憲法によって国内の資源開発に外国の石油会社が投資を行うことが禁止されており、これが最新の石油開発技術の導入を遅らせることで、近年の石油生産低迷の一因となっているとされている。これに対し2013年8月には、ペニャニエト大統領がこの憲法の改正も視野に入れた抜本的な国内の石油政策の改革を行う意向を示している。憲法の改正は短期間に実現する可能性は決して高くないものと考えられるが、現行の法制度の枠組み内での外資参入条件の改善が進めば、メキシコにおけるシェールオイルの開発の進展も十分に考えられるシナリオである。特に、メキシコには現在米国側で開発が進展しているEagle fordシェールが国境を超えて続いており、その意味では投資の条件さえ整えば急速にその生産量が増加するポテンシャルを有している。開発促進ケースでは、こうした条件整備の下、2030年時点で100万b/d、2040年時点で200万b/dの生産を行うものと想定する。

カナダ

カナダは、米国以外ですでに本格的なシェール開発が進みつつある数少ない国の一つである。カナダには米国で活発な開発が続けられているBakkenシェールが延伸しており、また今

後の開発・生産が有望視されているUticaシェールやブリティッシュコロンビア州のHorn Riverなど多くのシェール資源の存在が確認されている。カナダは米国の隣国であり、また長年の石油開発の歴史を有していることから、シェール開発に必要な高度の開発技術へのアクセスも良いため、今後さらにシェール開発が進められる可能性がある。現状は、オイルサンドも含めてマーケットへのアクセスが大きな課題であるが、ここではそうした制約条件も長期的には解消されると想定し、2030年時点で200万b/d、2040年時点で400万b/dの生産を予測する。

オーストラリア

資源大国オーストラリアにも多くのシェール資源が眠っており、シェールオイルの技術的回収可能資源量は世界で6番目の規模と推定されている。しかし、オーストラリア国内にはシェール開発に要する知見が十分に蓄積されていないこと、国内のインフラ整備のコストがかかることから、本格的な開発にはまだ多くの時間を要する可能性が高い。開発促進ケースにおいては、2030年時点で50万b/d、2040年時点で100万b/dの生産を想定する。

リビア

リビアにおいても260億bblのシェールオイルの技術的回収可能資源量が推定されている。2011年に反政府運動と米国をはじめとする有志連合軍によって、当時のカダフィ政権が打倒されて以降も、リビアの政治は不透明さを増している。中でも油田地域を抱える同国東部と首都トリポリがある西部との対立は根深く、今後もこうした国内対立の深刻化によって国内政情が安定化せず、国内の石油開発全般が遅延する可能性がある。こうした状況を鑑み、開発促進ケースにおいては、リビアにおけるシェール開発は、他の資源保有国と比べて時間がかかるとの想定の下、2030年時点で50万b/d、2040年時点で100万b/dの生産を想定する。

ベネズエラ

ベネズエラにおいては、これまでオリノコベルトに賦存する超重質油の開発が積極的に推進されてきたが、同国には130億bblのシェールオイルの技術的回収資源可能資源量も賦存すると推定されている。ベネズエラは、前チャベス政権の下で欧米諸国に対し、一定の距離を置く外交方針を取ってきたことから欧米の石油会社の撤退が相次ぎ、その結果として国内の生産量についても2000年代半ば以降は減少基調が続いている。2013年3月にチャベス大統領が死去したことに伴い新大統領に選出されたマドゥロ大統領も、そうしたチャベス大統領の外交方針を継承する動きを見せており、今後も短期的にはこの状況に変わりはないものと考えられる。しかし、開発促進ケースにおいては、長期的にはこうした政策方針が変更され、超重質油開発とともにシェール開発も進むと想定し、2030年時点で50万b/d、2040年時点で100万b/dの生産を想定する。

パキスタン

パキスタンについても、世界第9番目の技術的回収可能資源量が存在すると推定されているが、同国については、国内にシェール開発を行うに十分な技術や経験を有した石油会社や技術サービス会社が存在していないこと、生産に必要なインフラの整備も進んでいないことといった理由から、その開発・生産の実現には多くの制約があると考えられることから、開発促進ケースにおいては2030年から2040年にかけて50万b/dの生産を想定する。

3.4 非在来型資源活用の定量分析

生産

開発促進ケースにおいて天然ガス生産は全地域で増加し、2040年時点の世界全体の天然ガス生産量はレファレンスケースよりも765 Bcm高い6,180 Bcmになる。生産量の増加がレファレンスケースと比較して著しく高い地域は、北米、中国、中南米、オセアニアである。北米ではレファレンスケースにおいて高い生産量であるが、開発促進ケースではさらに153 Bcm高い1,196 Bcmに達する。これは2011年の生産量と比較すると、459 Bcmの増産となる。中国、アルゼンチンを中心とした中南米、オセアニアなどでシェールガス、コールベッドメタンなどの開発が進展することが期待されており、それぞれレファレンスケースと比較して2040年時点で229 Bcm、85 Bcm、93 Bcmの生産増加が見込まれる。中国は掘削技術開発やインフラ整備など取り組むべき課題が解消され、政府支援が促進されれば米国、ロシアに次ぐ世界第3の天然ガス生産国となる。

表5 世界の天然ガス生産量(開発促進ケース)

	Bcm					
	2011	内非在来	非在来比率	2040	内非在来	非在来比率
北米	808	364	45%	1,200	939	78%
中南米	218	0	0%	538	217	40%
中東	523	0	0%	878	31	4%
欧州	287	0	0%	324	43	13%
CIS	868	0	0%	1,249	86	7%
アフリカ	200	0	0%	444	104	23%
中国	103	0	0%	581	356	61%
インド	46	0	0%	119	52	44%
ASEAN	203	0	0%	457	152	33%
内インドネシア	81	0	0%	145	41	28%
内マレーシア	56	0	0%	88	11	12%
他アジア	75	0	0%	105	35	33%
オーストラリア	51	6	12%	285	196	69%
世界計	3,384	370	11%	6,180	2,211	36%

世界の石油生産量は2040年時点で114 Mb/dとなるが、レファレンスケースと比較して1 Mb/dの減少となる。これは非OPECの生産量が増加する一方で、OPECの生産量はレファレンスケースに比べて減少するためである。

シェールオイルの生産増加に伴い、2040年の非OPECの生産量もレファレンスケースにおける6,187万b/dから、7,125万b/dへと増加する。北米の増産分が大きいですが、ロシア、中南米、中国においてもシェールオイルの増産によって、その生産量は大きく増加する。その一方で、非OPEC地域の中でも、シェールオイルと同様の軽質低硫黄原油を生産する北海地域や東南アジア地域においては減産を余儀なくされる。

レファレンスケースでは、OPECは2040年に5,319万b/dを生産するが、これが開発促進ケースにおいては、4,319万b/dとなる。OPEC産油国の中でも、シェールオイルの増産によって直

接的に大きな影響を受けるのは、これまで米国に対しシェールオイルと性状が類似した軽質低硫黄原油を輸出してきたナイジェリアやアンゴラといったアフリカ産油国である。しかし、2040年になると、世界各地でシェールオイルの増産が進むこと、またこうしたシェールオイルの増産に対し各国の製油所が軽質留分の処理能力を始めとする装置能力の改修などによって運転の最適化を図るようになると考えられるため、シェールオイルとは異なる性状の原油を生産する中東産油国にもその影響が及び始める。

表6 世界の石油生産量(開発促進ケース)

	2011	2020	2030	2040	Mb/d 2011-2040 増加量
合計	85.79	96.19	107.48	117.01	31.22
OPEC	35.50	36.80	39.40	42.55	7.05
中東	25.90	25.90	27.00	29.20	3.30
その他	9.60	10.90	12.40	13.35	3.75
うちシェールオイル	0.00	0.00	1.00	2.00	2.00
非OPEC	48.20	56.86	65.05	71.05	22.85
北米	11.50	18.70	22.40	25.60	14.10
うちシェールオイル	0.80	6.00	9.00	12.00	11.20
中南米	7.10	8.65	10.60	12.70	5.60
うちシェールオイル	0.00	0.50	2.00	4.50	4.50
欧州・ユーラシア	17.35	16.80	17.70	18.00	0.65
うちシェールオイル	0.00	0.50	2.00	3.00	3.00
中東	1.60	1.60	1.60	1.30	-0.30
アフリカ	2.40	2.75	2.90	2.95	0.55
アジア	7.75	7.86	8.85	9.00	1.25
中国	4.10	4.50	5.60	6.40	2.30
インドネシア	0.95	1.00	0.75	0.50	-0.45
インド	0.90	0.80	0.70	0.60	-0.30
シェールオイル(中国)	0.00	0.50	2.00	3.00	3.00
シェールオイル(他アジア)	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50
オセアニア	0.50	0.50	1.00	1.50	1.00
うちシェールオイル	0.00	0.00	0.50	1.00	1.00
プロセスゲイン	2.09	2.53	3.03	3.41	1.32

価格

アジア、欧州、北米という主要輸入地域全域での天然ガス増産が見込まれることから、2040年の天然ガス輸入価格は日本が\$10.9/MBtu、欧州が\$9.0/MBtu、米国が\$4.5/MBtuにまで抑えられる。これらの過程で、アジアでの天然ガス輸入価格決定方式が変化することは大いに考えられる。また、原油価格も2040年に\$100/bblまで下落する。

表7 国際エネルギー価格(開発促進ケース)

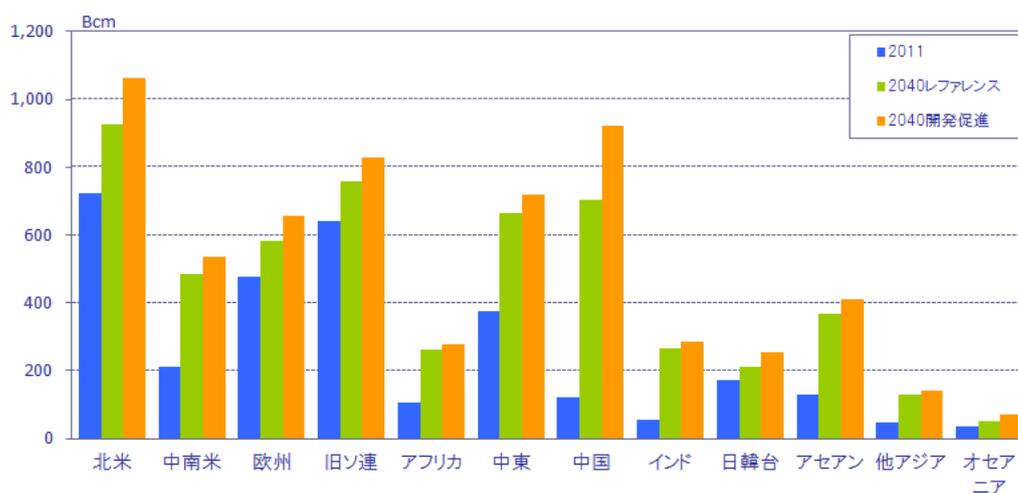
実質価格			2012	2020	2030	2040
原油		\$2012/bbl	115	110	105	100
天然ガス	日本	\$2012/MBtu	16.7	12.5	11.5	10.9
	米国	\$2012/MBtu	2.8	2.9	3.5	4.5
	ヨーロッパ	\$2012/MBtu	10.5	10.0	9.4	9.0
一般炭		\$2012/t	134	133	134	135
名目価格			2012	2020	2030	2040
原油		\$/bbl	115	129	150	174
天然ガス	日本	\$/MBtu	16.7	14.6	16.5	18.9
	米国	\$/MBtu	2.8	3.4	4.9	7.9
	ヨーロッパ	\$/MBtu	10.5	11.8	13.4	15.7
一般炭		\$/t	134	156	192	235

注: インフレ率を年率2%として算出。

需要

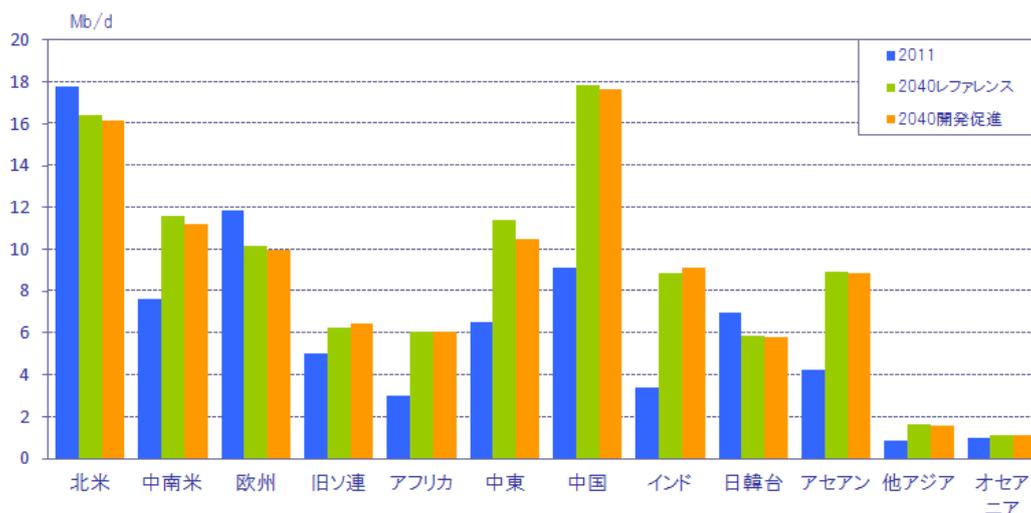
世界の2040年時点の天然ガス需要は、生産量増加による価格の下落に伴い753 Bcm増加する。全地域で増加するが、特に増加が著しいのは中国であり、24%増加の922 Bcmまで達する。北米では生産量増加分の88.6%は国内需要の増加分に賄われることとなる。一方で、オセアニアの天然ガス需要は生産量増加分の18%しか増加せず、多くが輸出向けとなる。

図51 天然ガス需要量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)



石油需要は非在来型資源の開発が進む北米や中南米、中国では、天然ガス自動車の普及等に伴い2040年時点にそれぞれ0.2 Mb/d、0.4 Mb/d、0.2 Mb/d減少する。一方で、旧ソ連では需要が0.2 Mb/d増加する。さらに、非在来型の生産地域ではなく石炭がメインの消費国であるインドは原油価格下落に伴い、石油の需要を2040年時点で0.3 Mb/d増加させる。

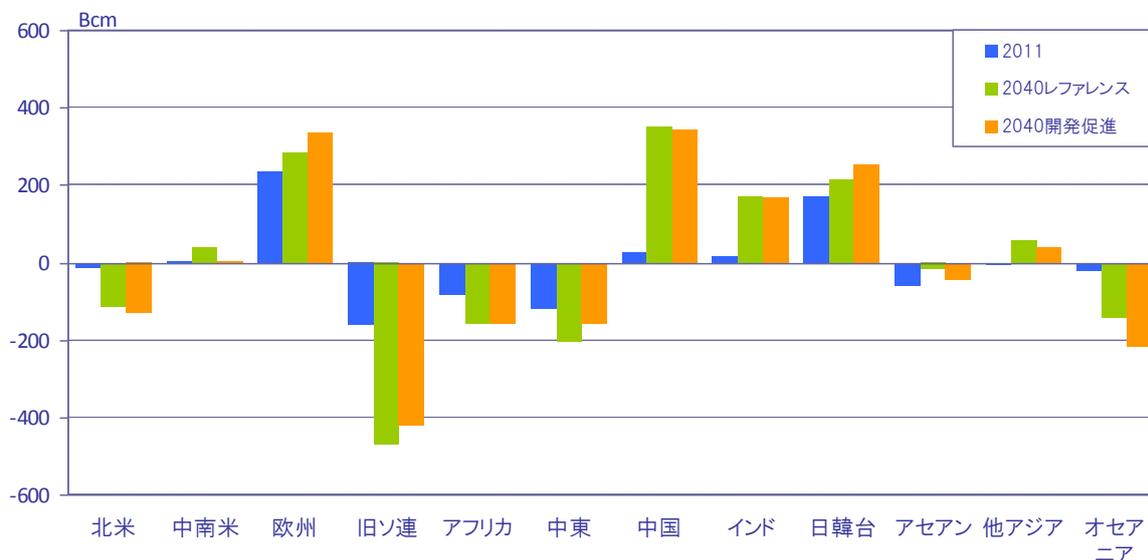
図52 石油需要量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)



貿易

開発促進ケースにおける2040年時点での北米およびオーストラリアの天然ガスの純輸出力は、132 Bcmおよび216 Bcmにも増加する。一方、旧ソ連については、中国等の増産が影響し、純輸出力は421 Bcmにまで抑えられる。中国およびインドの純輸入量は、両国内での天然ガス生産量が大きく増加するため、342 Bcmおよび164 Bcmに抑えられる。

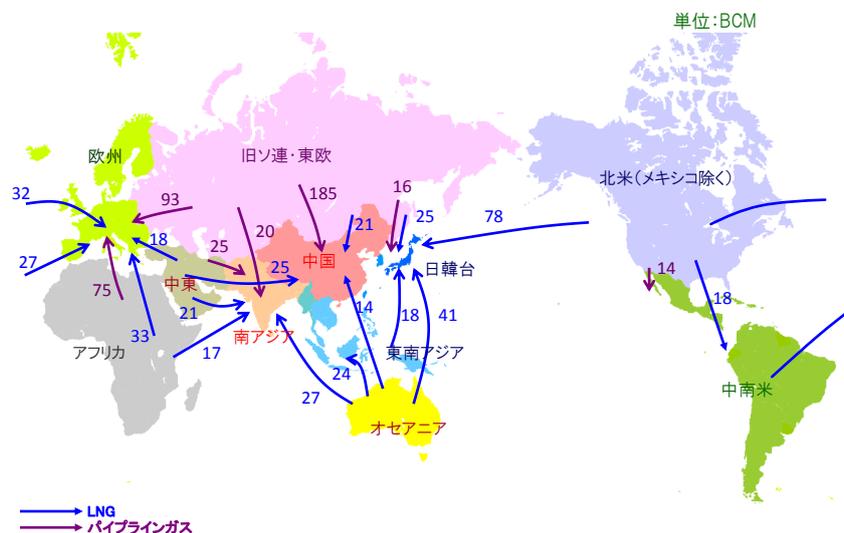
図53 天然ガス純輸入量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)



開発促進ケースでは、北米から中南米へのパイプラインガス、LNG輸出がレファレンスケースよりそれぞれ3 Bcm、5 Bcm増加する。また、欧州やアジア向けへの輸出が4 Bcm、10 Bcmそれぞれ増加する。欧州では、現在の主たる輸入源はロシアや北アフリカであるが、中南米からの輸入も増加するなど、供給源がより分散化される。

中国では、シェール開発が進むことにより国内の天然ガス生産が増加し、輸入量が減少する。特に、オーストラリアからの天然ガス輸入量の減少分が大きい。日本、韓国、台湾などでは、ロシアやオーストラリアからの輸入が増加する。南アジアでは、輸入構造が大きく変化する。オセアニアの非在来型天然ガスの生産量がインドに流入する。インドは中東や旧ソ連、アフリカ、オセアニア等、供給の分散化が図られる。

図54 2040年の主要地域間天然ガス貿易フロー(開発促進ケース)



シェールオイルの開発が極めて早いペースで進む開発促進ケースにおいては、石油の需要そのものに対する影響は限定的であるものの、供給源の地理的な構成が変わってくるため、その貿易フローには大きな変化が生じることになる。

世界の原油貿易の総量については、2030年が4,008万b/d、2040年が4,515万b/dと、レファレンスケースに比べると、それぞれの年で約1割程度の減少がみられる。これは、開発促進ケースにおいてはレファレンスケースに比べて、天然ガス自動車の導入等の燃料代替により世界の石油需要が減少することと合わせて、米国や中国など大消費国においては、シェールオイルの増産で輸入が減少するためである。

地域別では、まず米国についてはレファレンスケースでは2040年時点で657万b/dであった輸入量が、開発促進ケースにおいては280万b/dにまで減少する。輸入源については、レファレンスケースと大きく変わらず、カナダと中南米が主であり、2030年時点で名実共に米州の石油自給体制を確立する。開発促進ケースにおいても、レファレンスケース同様、米国からの原油輸出解禁を想定しており、米国からの原油輸出は2040年時点で412万b/dとなる。輸入量が280万b/dであるので、開発促進ケースにおいては、2040年時点で原油の純輸出国となる。

欧州においてはレファレンスケース同様、旧ソ連とアフリカ原油が主たる供給源となるが、レファレンスケースにおいては若干量の輸入がみられた中東原油については、旧ソ連原油やアフリカ原油との競合が激しくなることで2030年の時点で既に欧州市場には輸出されなくなる。従って、欧州・米国とも中東原油への依存度はゼロとなる。

中国については、国内でのシェールオイルの生産が増加することで、レファレンスケースに比べて輸入量が1~2割減少する。その中では、米国向けの輸出の減少に直面するカナダがアジア市場向けの輸出を活発化させることから、2040年時点で309万b/dの輸出を行う。中国は引き続き、エネルギー安全保障の観点から供給源の分散化を図ることから、旧ソ連からのパイプライン供給やアフリカ原油の調達も維持してゆくものの、国内生産の増加もあり、それらの調達量はレファレンスケースに比べれば減少する。中国は、中東原油の調達も引き続き行ってゆくものと考えられ、2030年時点では中東は引き続き中国にとって最大の原油供給国である。ただし、2040年時点では北米からの原油供給がこれを上回る。

日本・韓国・台湾については、開発促進ケースにおいても国内需要や域内生産がほとんど変わらないため、その輸入量には大きな影響が出てこない。しかし輸入源構成では若干の変化が見られており、まず2030年時点になると米国からの原油が流入するようになる。この他、中国同様米国向けの輸出が減少するカナダ原油の流入も見られるようになり、また同様の理由から中南米からの供給も見られ、原油供給源の多様化が進む。特に2040年時点では、中南米からの供給が相当程度拡大する。日本の製油所は引き続き、中東原油の処理を継続するものの、韓国など高度化装置の装備が進んだ製油所においては中南米の重質原油の流入が進むものと予想される。

東南アジア、南アジアについては、その原油供給構成はほとんど変わらない。これらの地域においては、開発促進ケースにおいて原油価格が低下する中で原油の需要がレファレンスケースに比べて増加するため、輸入量についても増加するが、主として中東原油を処理するために、高度化装置を装備した南アジア(インド)の製油所において中南米からの原油輸入が増加する。

図55 石油純輸入量(地域別、レファレンスケース・開発促進ケース)

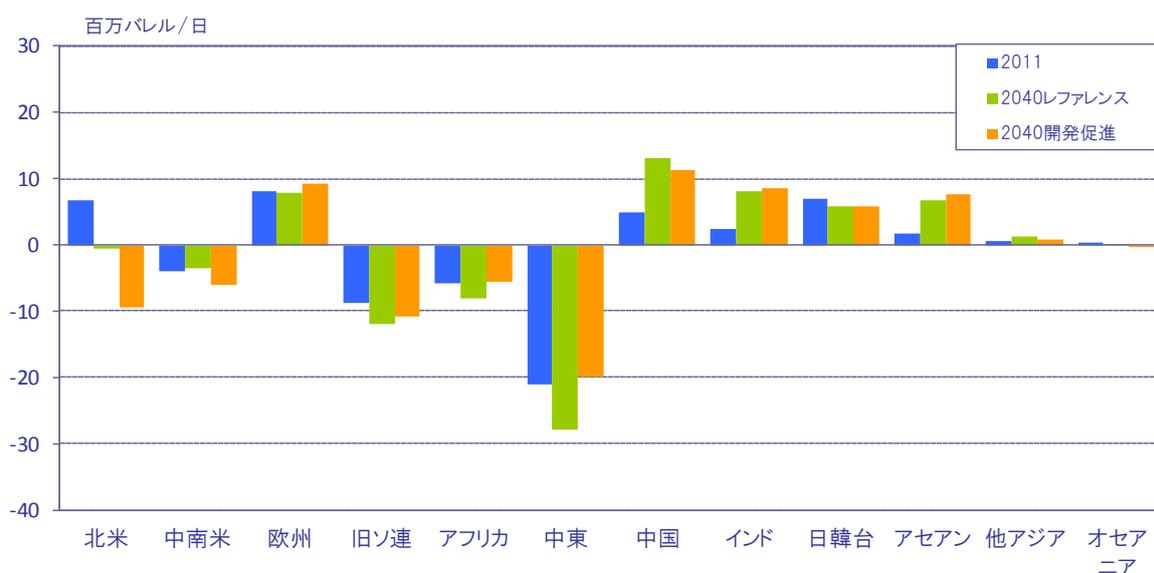
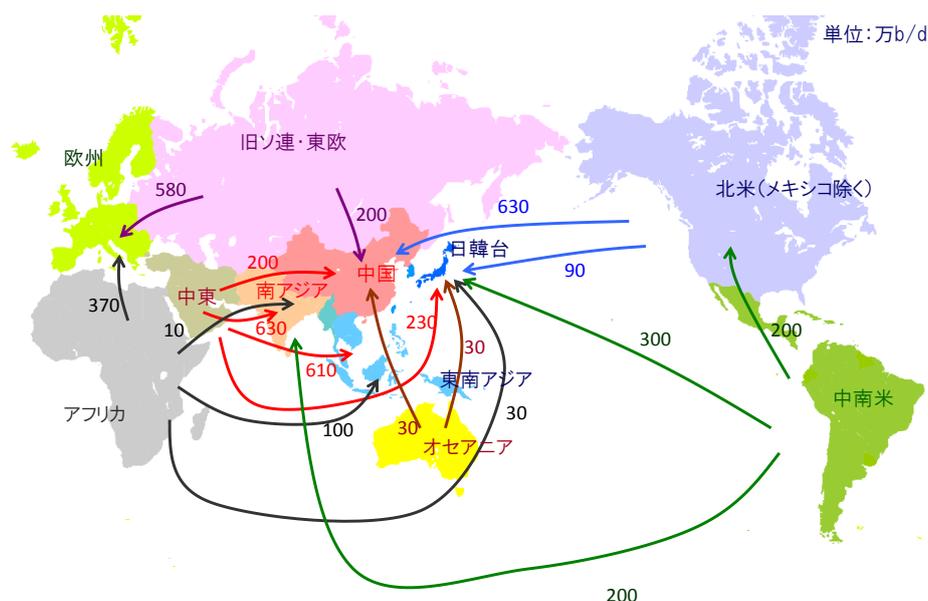


図56 2040年の主要地域間原油貿易フロー(開発促進ケース)



3.5 各国経済への影響

非在来型資源の開発促進による経済効果を、開発促進ケースとレファレンスケースとの差と定義し、評価した⁴。

天然ガス、石油の潤沢な生産とそれに伴う国際エネルギー価格の低廉化により、輸入国の経済的負担は軽減される。例えば、米国は2011年において石油・天然ガス純輸入に3,300億ドル(2012年価格)を費やしていたが、純輸出ポジションを確立する2040年には1,800億ドル以上の受取に転じる。中国の2040年の石油・天然ガス純輸入額は、レファレンスケースの7,800億ドルから開発促進ケースでは5,400億ドルに低下する。日本では非在来型資源の開発はほとんど見込めないが、天然ガス需要の増大を考慮しても、国際エネルギー価格の下落により、石油・天然ガス純輸入額は同じく2,000億ドルから1,600億ドルへ低減する。

非在来型資源の開発は、石油・天然ガス業とそれらの関連産業の拡大につながる。こうした産業の勃興は所得の増大を通じて、当該国の消費・投資を喚起し、さらに乗数効果により国内生産額は石油・天然ガスの増産額を上回る増加となる。エネルギー価格の低減は、化学工業・鉄鋼業などエネルギー多消費型産業を中心に国際競争力の強化に寄与する。外需の取り込みによる生産拡大、製造拠点の拡張・国外からの移転もまた、経済を拡大させる効果を持つ。すなわち、非在来型資源の開発促進国においては、エネルギー純輸入額の減少に加えて、石油・天然ガス産業および関連産業の拡大、国内エネルギー価格低廉化という3重のメリットを起点とする好循環が見込まれる。

⁴ レファレンスケースでも北米ではかなりの、それ以外の地域でも一定程度の非在来型資源の開発が進むが、その分の経済効果は評価の外に置かれることに注意。

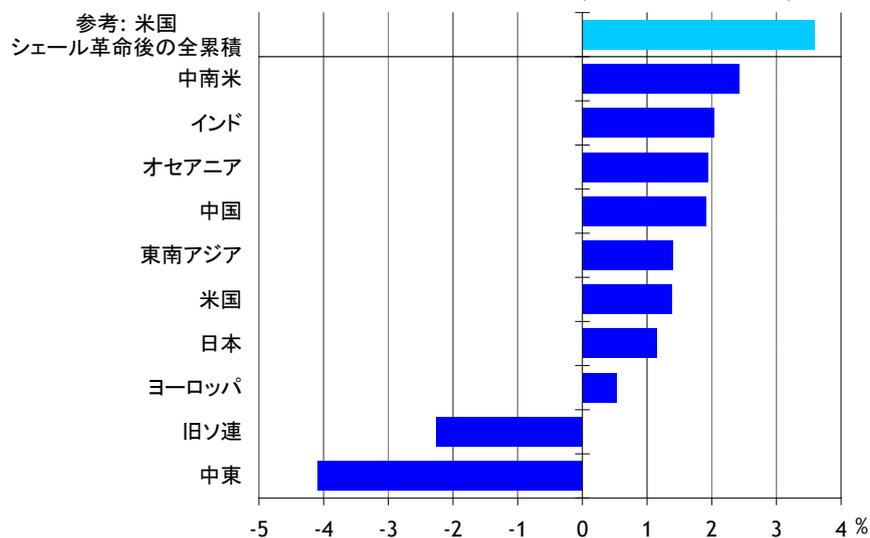
一方、今回の試算ではメタンハイドレートの大規模生産を見込んでいない日本のような国においても、程度は相対的に小さいとはいえエネルギー輸入価格の低廉化と、米国などの非在来型資源開発国の経済・産業活動上ぶれに伴う輸出拡大という間接的な効果は期待できる。

非在来型資源の開発促進による経済効果は、単に非在来型資源の増産量だけでなく、それによるエネルギー価格の下落の程度、エネルギー需給構造、もともとの(レファレンスケースにおける)経済規模と産業構造、各国経済における石油・天然ガス産業と関連産業のポーション、エネルギー産業やその他の産業におけるエネルギーコストのウェイト、消費・投資などの乗数、貿易相手国における外需の変化など、さまざまな要因によって規定される。

非在来型資源の開発促進は、主要地域の実質GDPを2040年において1~2%拡大させる(図57)。天然ガスから始まった米国でのシェール革命であるが、経済的には石油がより大きな影響を及ぼす。

非在来型資源の開発促進が追加的に大きい国・地域、非OECD諸国などエネルギー効率が悪くエネルギーコストのウェイトが大きい国・地域での押し上げ効果が大きい。米国のGDPは1.4%押し上げられる。間接的な効果を主たる出発点とする日本のGDPの拡大は、これより小さい1.1%である。一方、石油・天然ガスの輸出先の一部喪失と価格下落により、伝統的なエネルギー生産国である中東、旧ソ連のGDPはそれぞれ4.1%、2.3%下押しされる。その中東、旧ソ連の外需減少の影響が相対的に大きいヨーロッパは、GDPの拡大が0.5%に減殺される。世界全体のGDPとしては、1%程度の上ぶれとなる。

図57 非在来型資源増産による経済影響(開発促進ケース)



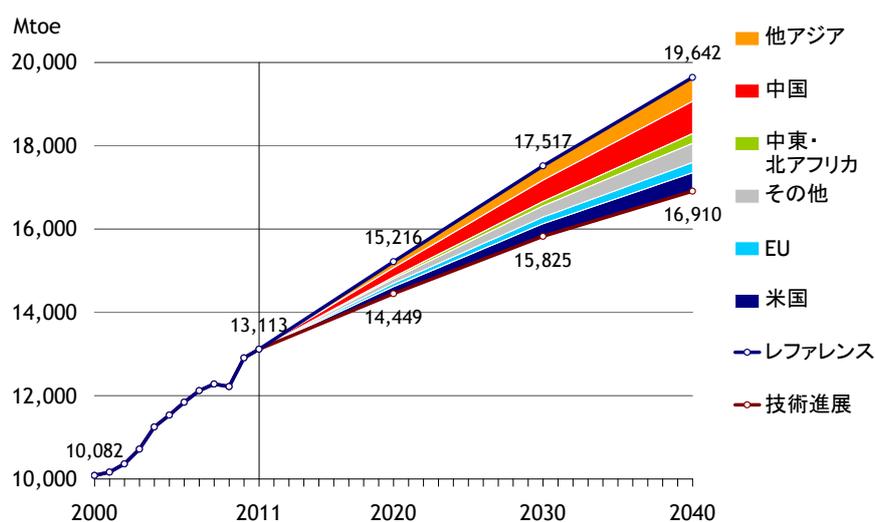
4. 最大限の省エネルギーと現実的な気候変動対策

4.1 省エネルギー

一次エネルギー消費

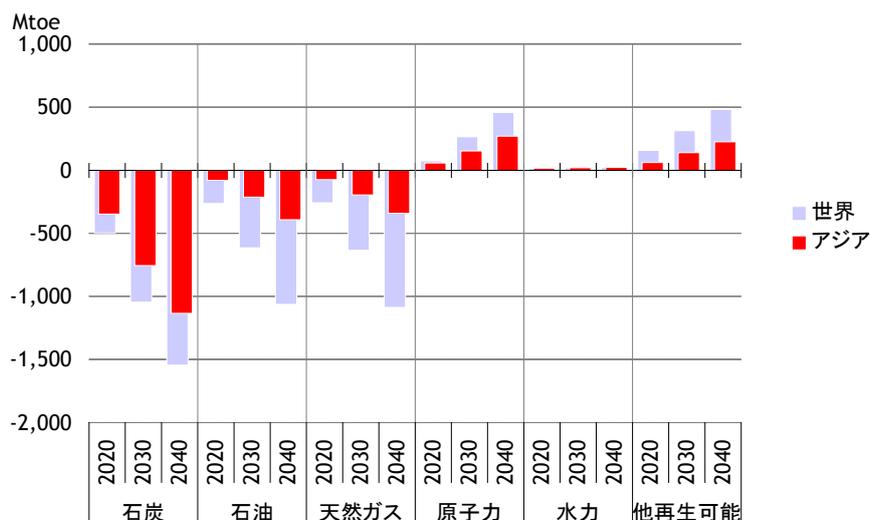
省エネルギー・気候変動対策の強力な展開により、一次エネルギー消費は大幅に節減される(図58)。技術進展ケースにおける2040年の消費量は16,910 Mtoeであり、レファレンスケースからの節減量は2,732 Mtoeと、現在の中国の消費量に匹敵する。技術進展ケースへの移行においても、今後エネルギー需要が拡大し、かつ対策ポテンシャルが大きい非OECD諸国、アジアの役割は大きい。2040年における世界の省エネルギー量のうち、非OECD諸国による分は67%、アジアによる分は49%に上る。これらの地域が世界のエネルギーシステム変革の鍵を握っている。

図58 世界の一次エネルギー消費と地域別省エネルギー(レファレンスケース・技術進展ケース)



石炭は2010年代半ばにピークを打ち、その後は減少に転じる(図59)。すなわち、最も消費が削減されるエネルギー源となる。石油と天然ガスは増加し続けるものの、そのペースはレファレンスケースと比較するとかなり鈍く、それぞれ年率0.5%と1.1%である。総消費量は減少するものの、原子力と再生可能エネルギーは、導入が加速し、2040年にはレファレンスケースをそれぞれ500 Mtoe程度上回る。これらの結果、化石燃料のシェアは2040年に70%まで低下する。

図59 世界の一次エネルギー消費の変化(エネルギー源別、技術進展ケース、レファレンスケース比)



石炭の削減と原子力の増加に対しては、中国やインドを中心とするアジアの寄与が全体の3分の2に上る。省エネルギーにはアジアでの協力が欠かせない。アジアの省エネルギーが進むことにより、需給が緩和し、消費国全体の安全保障の強化につながる。

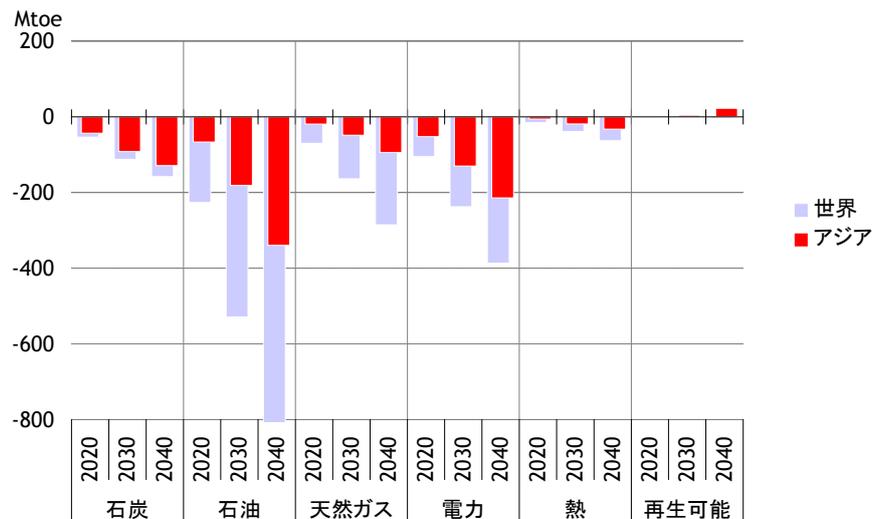
先進地域と新興国が協力して行うフォーラムなども省エネルギーを促す重要な取り組みの一つである。製品や設備を導入する技術移転等の直接的に省エネルギーを促す事業に比べれば、効果は見えにくいものの、エネルギー販売、供給事業者や、産業や民生、運輸といったさまざまな部門に省エネルギーの重要性という気づきを与える良い機会になる。こうした取り組みが長期的に大きな省エネルギー効果をもたらす可能性がある。先進地域の知財を確保しつつ、アジアと協力して技術面、制度面の両方から省エネルギーを促してゆくことが重要である。

最終エネルギー消費

最終エネルギー消費は、2040年において1,814 Mtoe節減される。このうち、石油が917 Mtoe (51%減)、電力が387 Mtoe (21%減)、天然ガスが285 Mtoe (16%減)と、これら3つで省エネルギー総量の88%を占める(図60)。新興国では、運輸部門の省エネルギーの進展も石油の節減に大きく寄与する。増大する自動車の保有燃費の改善、公共交通機関の利用が省エネルギーを促す。

石炭の最終消費の節減に占めるアジアの寄与は大きい。今後は粗鋼生産が急拡大するインドなどの鉄鋼業の省エネルギーが重要である。日本の鉄を製造する場合のエネルギー消費量は、世界トップレベルにある。日本の粗鋼生産量に占める鉄鋼業のエネルギー消費量は、インドのその3分の1程度であり、技術移転を広げる余地は非常に大きい。省エネルギー設備だけではなく、運用面での支援等でも日本が大きく貢献できる余地がある。

図60 世界の最終エネルギー消費の変化(エネルギー源別、技術進展ケース、レファレンスケース比)

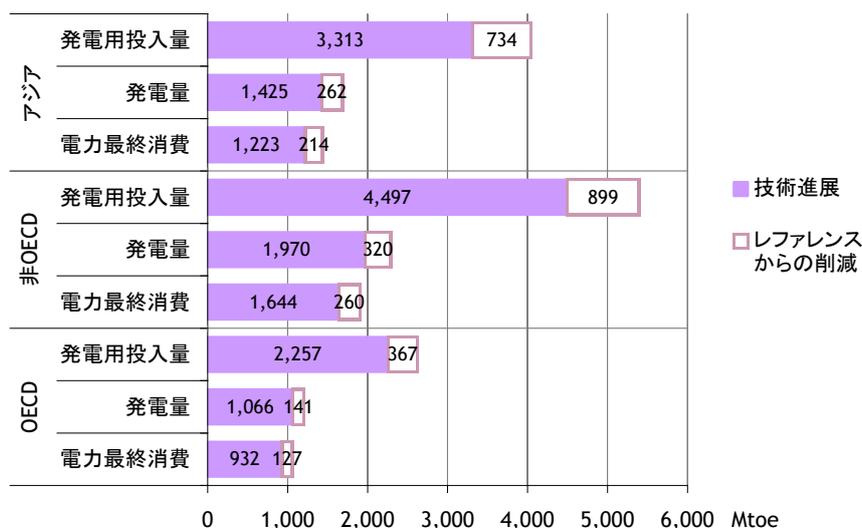


387 Mtoeの電力最終消費の節減により、発電量を461 Mtoe削減することができる。これに、発電効率向上の効果が加わり、結果として一次エネルギー消費を1,266 Mtoe削減することができる(図61)。これは一次エネルギー消費の総節減量のうち46%に相当する。この削減に大きく寄与するのはアジアである。

アジア新興国では、発電効率が2040年には先進地域とほぼ大差ない水準まで改善する。新興国では、高い経済成長を急ぐあまりに、環境への配慮を欠いた開発が進められることも少なくない。また、深刻化する大気汚染問題について、国を挙げて取り組もうとすれば、経済成長を抑制する方向に動く可能性さえあるため、新興国地域の対応は鈍くなる。

そのため、先進地域による役割がますます大きくなる。先進地域がこれまで技術開発を進めてきた高効率発電技術を主軸に新興国でビジネスを展開できる余地は大きい。先進地域が新興国と協力して発電部門の効率化を図ることが重要である。

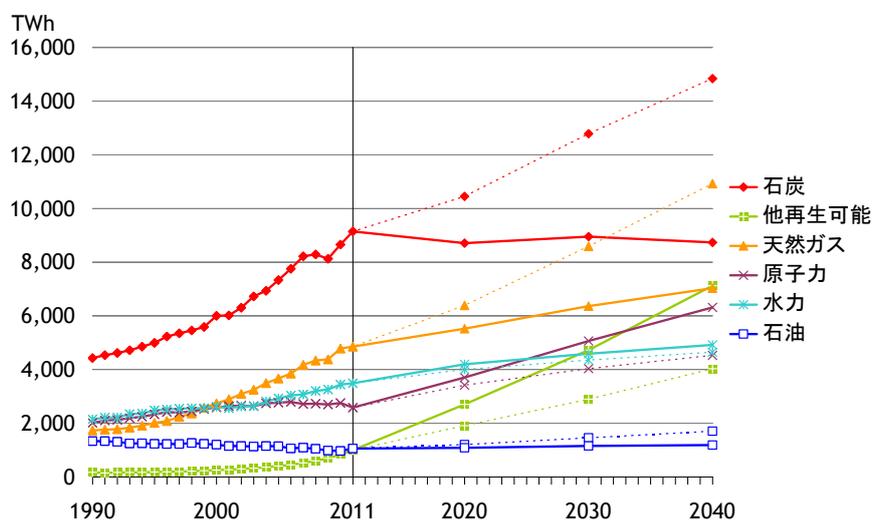
図61 電力最終消費の節減等に伴う一次エネルギー消費の削減(2040年)



電源構成

技術進展ケースでは、電力最終消費の節減が発電量を5兆kWh削減する。これは、日本の発電量の5倍に相当する。技術進展ケースでは、石炭ガス化複合化発電や、バイオマスとの混焼による発電技術の開発等が石炭による発電量を大幅に節減する。天然ガスや原子力、再生可能エネルギーによる発電量も存在感を高めてゆく。

図62 世界の発電量(エネルギー源別、技術進展ケース)

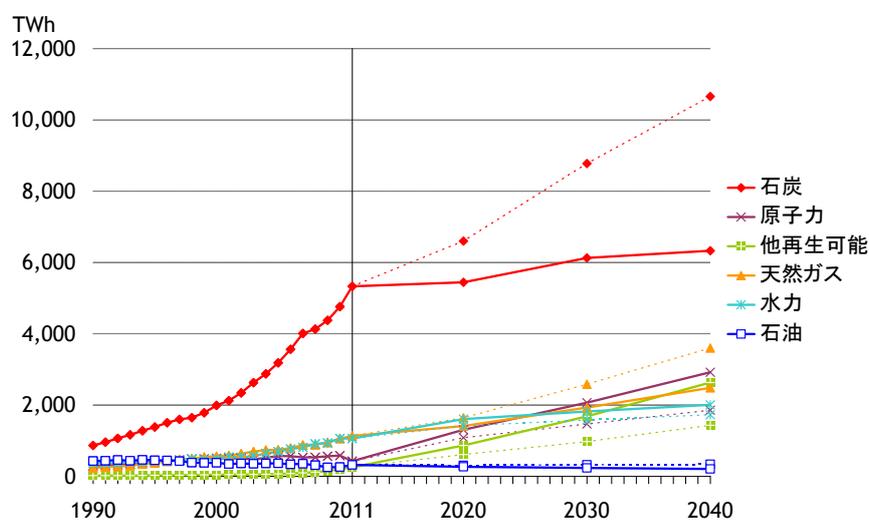


注: 破線はレファレンスケース

技術進展により、石炭による発電量を大幅に抑制する可能性がある。それでもなお、アジアの全発電量に占める石炭の割合が2040年においても群を抜いて高いことには変わりはない。

中国などでは再生可能エネルギー技術の導入がさかんになっているが、石炭による発電量をいかにクリーンに導くかが重要である。

図63 アジアの発電量(エネルギー源別、技術進展ケース)

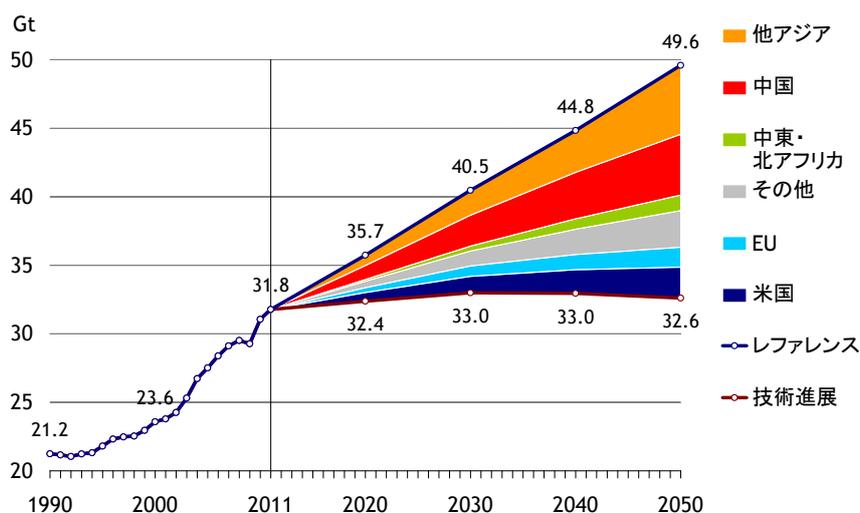


注: 破線はレファレンスケース

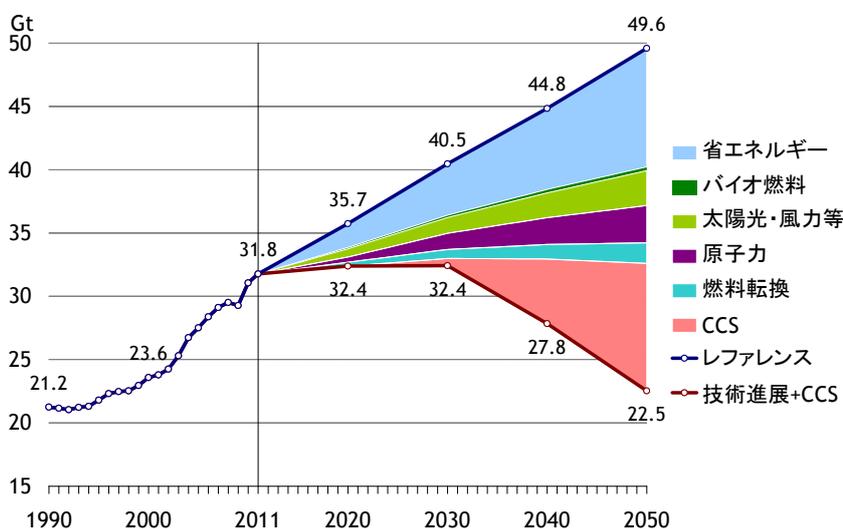
電力そのものを抑制する技術も必要である。とりわけ、生活水準の向上とともに増加を続ける民生部門の電力消費をいかに抑制するかは、先進地域においても重要な政策課題である。今後は、省エネルギー技術に加え、消費側を制御するエネルギー管理技術も重要である。先進地域による途上国への積極的なインフラ輸出も期待される。

4.2 二酸化炭素排出削減

省エネルギー・低炭素技術のいっそうの進展により、技術進展ケースにおける世界のCO₂排出量は2050年までには2011年とほぼ同じ水準で推移する。(図64)。レファレンスケースからの削減量17.0 Gtは、現在の米国とアジアを合わせた量に相当する。非OECD諸国でのCO₂排出削減量は世界の削減量の約7割を占める。世界最大の排出国である中国の削減量は現在の日本の排出量の3倍に相当する4.0 Gtに達し、アジア域内の削減量の約5割を占める。その意味でも、技術移転や制度構築支援等による非OECD諸国への省エネルギー支援の意義は極めて大きい。

図64 世界のCO₂排出量と地域別削減寄与(レファレンスケース・技術進展ケース)

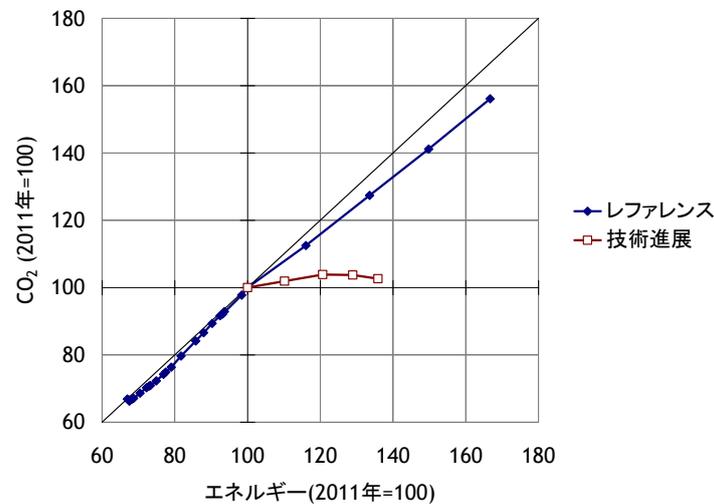
2050年における世界の削減量のうち、省エネルギーによるものが最大で9.4 Gt、次いで再生可能エネルギー3.1 Gt、原子力2.9 Gt、燃料転換1.6 Gtとなる(図65)。さらに、発電部門を中心とするCO₂回収貯留技術(CCS)が10.1 Gtの削減に貢献する。いかなる措置も、それ1つのみでは世界のCO₂排出を減少に転じさせることはできない。省エネルギーを中心に、発電高効率化、非化石エネルギー導入、燃料転換、CCSなどを総合的かつ広範に展開することが必要とされる。

図65 世界のCO₂排出量と対策別削減寄与(レファレンスケース・技術進展ケース+CCS)

一次エネルギーの低炭素化という観点では、技術進展ケースで想定した省エネルギー技術は、世界を低炭素化に導く可能性がある。技術進展ケースのCO₂排出量の増加率は、一次エネルギー消費量の増加率を大幅に下回る。一方、レファレンスケースでは、原子力や再生可能エネルギーの導入によりCO₂排出量の伸びが一次エネルギー消費の伸びをわずかに下回る

にとどまる。これは、換言すれば、現行のペースでのエネルギー政策を推進してゆくだけでは、世界の低炭素化社会の実現は難しいことを示している。

図66 世界の一次エネルギー消費とCO₂排出量(1990-2011、2020、2030、2040、2050年)



1997年に採択された京都議定書は、世界中に省エネルギーの重要性について気づきの機会を再び与え、温室効果ガス削減についても大きな意義があったといえる。しかし採択から15年以上が経ち、世界経済の牽引役は先進国から新興国に移り変わった。欧米などの先進地域が主導となり総量排出規制に重点を置いたトップダウン方式は、世界の温室効果ガスの実効的な抑制につながっているとは考えにくい。各国が自国の取り組みを国際的な場に報告し、エネルギー効率に重点を置きながら実施状況をレビューするボトムアップ方式の仕組みに焦点を当ててゆく必要がある。

新興国の中でも主役となるアジアでは、経済発展の程度にも格差が存在すると同時に、環境規制の整備や行政体制についてもかなりの差が伴う。アジアの中でも発展段階の国々には、今後先進地域からの投資が集中してゆくことも予想されることから、環境分野の協力をいっそう進めてゆく必要がある。技術移転に着目したボトムアップ方式は、国の特徴を考慮することができるというメリットがある。地域の差により生じるリスクを十分に理解しながら、柔軟できめ細やかな対応を行ってゆくことが、真の温暖化対策につながる。日本として、米国や欧米とも協力しながら、先進的な事例をアジアへ浸透させてゆく役目を果たすことも重要である。

日本による新興国への技術移転は、さらに重要性を増す。近年は、新興国の大気汚染は、国内だけに収まらず近隣諸国にも影響をもたらしている。もはや、日本の技術移転は、単に経済成長が著しいアジアの市場を開拓してゆくためだけではない。これからは、先進地域の公害対策としての技術移転を主軸に前進してゆくべきである。技術移転は、装置や設備だけが対象になるわけではない。それらを製品化するまでのプロセス、法規制、人や組織等、計画から実行までのPDCAサイクル、およびエネルギー管理もまた技術である。日本はこれま

での経験を生かし、モノの技術と、経験による技術によって、海外展開を行ってゆくことが期待される。

4.3 温室効果ガスの大気中濃度

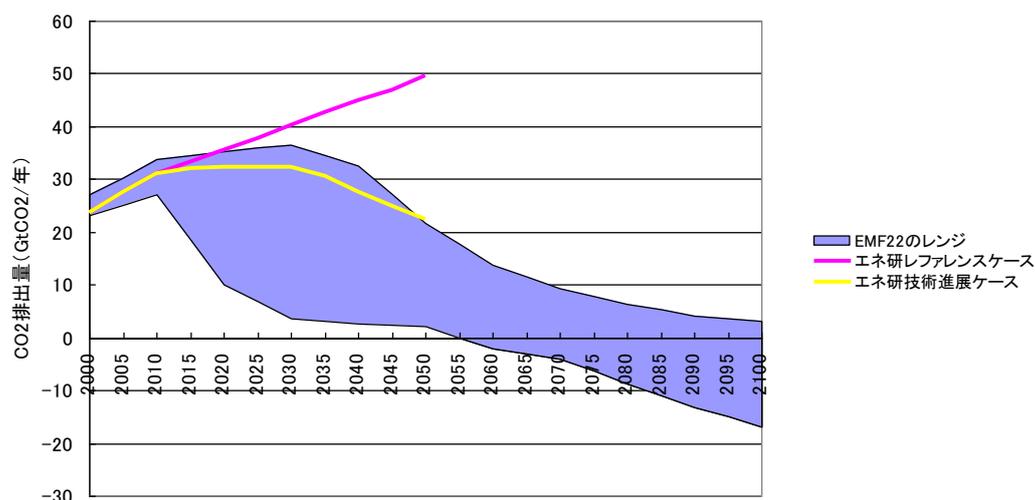
EMF22の450 ppmオーバーシュートシナリオのCO₂排出経路とレファレンス・技術進展ケース(エネルギー起源CO₂)を比較した。

EMF22とは、エネルギーモデリングフォーラム第22作業部会(気候変動制御シナリオ)のことで、18の統合評価モデルのほか科学・技術専門家から構成されている。ここで採り上げるEMF22国際シナリオは、世界の主要な10の統合評価モデルが参加し、(1)長期的なGHG濃度、(2)オーバーシュートの有無、(3)削減への各国の参加状況の3つの要素の影響を検討したものである。

「技術進展ケース」相当のCO₂排出削減では「2050年に世界でGHGを半減」には達しない。大気中の温室効果ガス(GHG)濃度を21世紀末にCO₂換算450 ppmまで引き下げることが、技術進展ケースでも2050年のエネルギー起源CO₂排出がEMF22のレンジの上限を若干上回ることから容易ではないが、可能性は残されている。

その実現のためには、2050年以降の大幅削減に向け、大気中のCO₂を純削減できるCCS付きバイオエネルギーを含む、ドラスティックな革新的技術の開発と普及の促進が必要である。なお、長期にわたる事案であることから、不確実な要素(今後の科学的知見の拡張・深化、累積排出量を左右する世界規模での削減対策の浸透時期、エネルギー起源CO₂以外のGHGの削減見通しなど)を注視していく必要もある。

図67 オーバーシュートシナリオのCO₂排出経路とレファレンス・技術進展ケース(エネルギー起源CO₂)

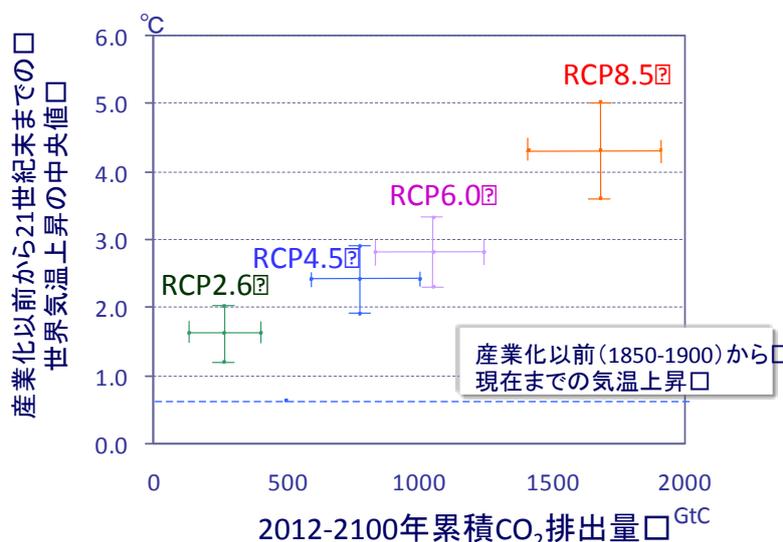


出所: Clarke et al. (2009), “International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios”, Energy Economics, vol. 31, pp. 64-81.から作成。

注: 遅延なしにすべての国が参加するケース。

IPCC第36回総会及び第1作業部会第12回会合が平成25年9月23日～26日にストックホルムで開催された。取りまとめが進められている第5次評価報告書のうち、第1作業部会報告書が受諾され、「二酸化炭素の累積排出量と世界平均気温の上昇量はほぼ比例関係にある」とされた。

図68 RCPシナリオ別2012～2100年累積CO₂排出量と産業化以前から21世紀末までの世界地表気温中央値の変化予測



出所: IPCC (2013), Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report: Summary for Policymakers. から作成。

また、放射強制力の大きさ別に作成された4つの「代表的濃度経路」(RCP: Representative Concentration Pathways)のシナリオに応じて、今後の世界平均気温上昇や海面水位上昇等の予測値が提示されている。

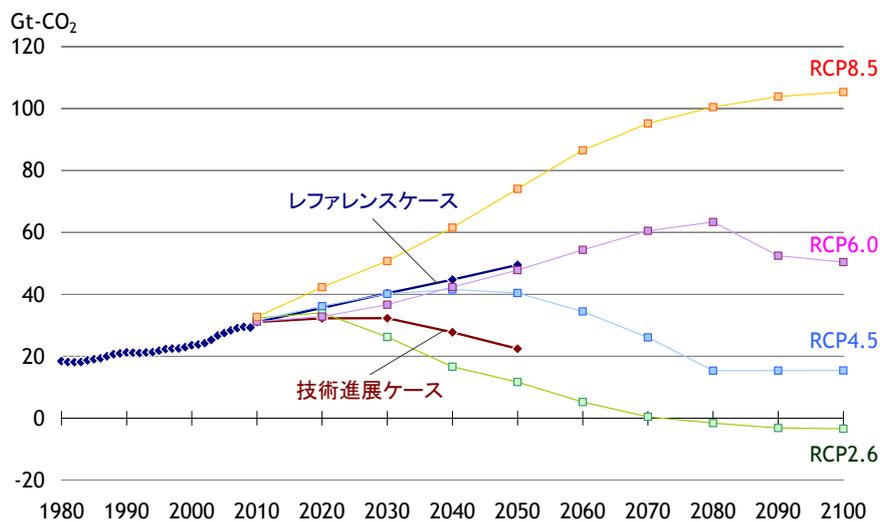
表8 RCPシナリオ別産業化以前から2081-2100年にかけての世界気温変化の中央値

	2100年までに達する温室効果ガス濃度 (ppm)	産業化以前から21世紀末までの気温上昇の中央値(°C)	今後21世紀末までの海面水位上昇の中央値(m)
RCP2.6	475	1.6±0.4	0.26～0.55
RCP4.5	630	2.4±0.5	0.32～0.63
RCP6.0	800	2.8±0.5	0.33～0.63
RCP8.5	1,313	4.3±0.7	0.45～0.82

出所: IPCC (2013), Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report: Summary for Policymakers. から作成。
注: 産業化以前から21世紀末までの気温上昇の中央値のレンジは、±標準偏差の区間。

代表的濃度経路(RCP)とレファレンス・技術進展ケースとの比較を行ったのが次の図である。レファレンスケースのCO₂排出量はRCP6.0を上回る。このシナリオでは、産業化前からの気温上昇が2℃を上回ることが確実である。一方、技術進展シナリオのCO₂排出量は「2050年に世界で半減」を達成しないものの、RCP2.6とRCP4.5の間、より2.6に近いパスとなる。

図69 代表的濃度経路(RCP)とレファレンス・技術進展ケースの比較



出所: RCP Database RCPシナリオは化石燃料・産業からのCO₂、エネ研シナリオはエネ起CO₂。

おわりに

経済成長と人口増加を背景とし、中国、インドなどの非OECD諸国を中心に世界のエネルギー需要は増大し続ける。世界のエネルギー消費増分の59%がアジアの非OECD諸国で発生する。アジアの輸入依存度はますます高まり、2040年には主要地域間で取引される原油の77%、天然ガスの71%がアジアに向かう。アジアは石油では中東との結び付きをいっそう強める一方で、天然ガスでは世界各地からの調達を押し進める。

原子力および再生可能エネルギーなどの非化石エネルギーも着実に増加する。電力需要が大きく増加する中国、インドなどの新興国のほか、ロシア、韓国、中東、米国などでも積極的な導入が図られる。平均すると毎月1基相当(1基 = 1 GW換算)以上の原子力発電所が新增設される。期待が集まる太陽光や風力などの再生可能エネルギーは2040年までに3.9倍増となる。水力を除いても電力の10%が再生可能エネルギー発電によって供給されるようになる。

このように世界のエネルギー利用のあり方は大きく変化しつつある。しかしその中にもあっても、世界は化石燃料に頼り続ける構図は変わらない。3E (Energy Security: エネルギー安全保障, Environmental Protection: 環境保全, Economic Efficiency: 経済性)とS (Security: 安全性)の重要性は揺るがない。特に化石燃料資源に恵まれない日本にとっては、アジアのエネルギー消費国との連携・協力強化や中東等の資源国との関係強化を進めるとともに、省エネルギー技術や環境対策技術をさらに発展させ、エネルギー安全保障と地球規模での環境保全に貢献することが従来にも増して重要となっている。

米国を起点とするシェール革命は、世界のエネルギー需要構造および供給構造を塗り替える可能性がある。非在来型資源の急速な開発が世界各地に広がれば、天然ガスは2030年代後半には石油に次ぐ第二のエネルギーに躍進し、他のエネルギー源の需要をも大きく左右する。

シェール革命は、エネルギー需給を緩和させ、世界経済を好転に導く。特に米州等、資源開発が進む諸国では、化石燃料の純輸出量を増加させ、大きな経済効果をもたらす。中国をはじめとする純輸入国でも、資源開発の進展により輸入量増加が抑制され経済に好影響を与える。日本や韓国、台湾等の諸国では化石燃料の輸入量は増加するが、価格の低下に伴い輸入額は減少する。また世界経済の上振れに伴い、輸出の増加を通じて経済的なメリットを受ける。

一方で、中東やロシア等の諸国では化石燃料輸出量の減少と価格の低下に伴い、経済は悪化する。ただし、アジアの急速な需要増に対応できるのは、中東の供給力があってこそである。シェール革命は、外交・防衛面で中東離れを起こしている。今後さらに、米国における中東への関与が減少すれば、輸送路の安全確保が揺らぎかねない。アジア諸国には、中東とのより包括的な関係構築が必要である。

非在来型資源、特にシェールガスの生産拡大は石炭火力発電から天然ガス火力発電、またガソリン・軽油自動車から天然ガス自動車への代替を進める。しかし一方で、価格の低下に

伴う需要の拡大や原子力・再生可能エネルギー等の開発の停滞をもたらすため、全体としてエネルギー起源CO₂の排出量削減効果は微量にとどまる。

このようなことから、非在来型資源開発は短期的・部分的にはエネルギー起源CO₂排出量を抑制する場合もあるにせよ、それによって長期的かつ大幅な排出削減を行うことは期待できず、逆に非化石エネルギーの導入を阻害する可能性さえあることに留意が必要である。

気候変動問題への対処のためには、省エネルギー対策や非化石エネルギーの導入等を最大限進める必要がある。これによりエネルギー起源CO₂排出量の大幅な削減が可能になると同時に、化石燃料消費の増大を抑制し、エネルギー安定供給に資することができる。ただし、既存の省エネルギー・気候変動対策を最大限進めた「技術進展ケース」にあっても、2050年のエネルギー起源CO₂排出量は2010年比20%減と、世界的な目標の一つとされる「現状から半減」には及ばない。また、この場合でも、温室効果ガスの大気中濃度を今世紀末までに450 ppm CO₂-eq以下に抑えられる可能性はある。しかしそのためには、2050年以降の大幅削減に向けて、CCS (二酸化炭素回収・貯留)付きのバイオエネルギーやCCU (二酸化炭素回収・利用)など、更なる革新的技術開発が必要となる。