

アジア／世界の長期エネルギー需給シミュレーション Asia/World Energy Demand-Supply Simulation

(財)日本エネルギー経済研究所
常務理事 伊藤 浩吉

財団法人日本エネルギー経済研究所は定期的に日本およびアジア／世界のエネルギー需給の将来展望を発表している。世界のエネルギー動向をみると、中国・インド等のアジア地域を中心とする高い経済成長に伴うエネルギー需要の拡大により、エネルギー供給面での世界的な量的不足や供給の脆弱性の高まり、地球環境問題の深刻化が一層懸念され、足元をみても、原油価格の異常な高騰、異常気象の多発、一次產品不足など、もちろん短期的な要因はあるものの、将来のエネルギー・環境問題への対応が喫緊の課題となっている。本研究所の「エネルギー需給展望」は各種のシミュレーション分析を通じて経済・エネルギー・環境さらには技術進展の将来像を整合性をもって数量的に提示し、今後のエネルギー戦略、環境対策等を議論する上で共通の土俵を提供するものである。本稿では、2007年秋に発表した「アジア／世界エネルギーアウトロック2007—中国・インドの需給展望を中心に—」について、そこで用いたシミュレーションモデルと将来展望の結果について簡単に紹介する。

1. はじめに

アジア地域は市場経済化や情報技術の進展などを背景にグローバル化が進む中、貿易と直接投資の拡大、良質で豊富な労働力を背景に高い経済成長を実現し「世界経済の牽引車」の役割を果たしており、今後とも高い経済成長が見込まれる。一方、経済成長に伴いエネルギー需要も急増し、世界のエネルギー需給、地球環境問題への対応においても極めて大きなインパクトをもつ存在になっている。したがって、アジア地域全体を視野に入れ、各国との協力の下、域内の持続的な経済発展を維持しつつ、エネルギー需給安定の確保、エネルギー環境問題への対応を進めていくことが、わが国の今後の国際的なエネルギー政策を開拓する上で極めて重要であり、そのためにもアジアにおける将来のエネルギー需給

を的確に予測、分析することが必要となる。

本研究は、世界経済のグローバル化やアジアを中心とする新興国の経済発展、エネルギー供給国側の政治・経済・社会の変化などの世界の潮流・変化を踏まえた上で、2030年という長期的視野でアジアと世界のエネルギー需給を、特に中国とインドに重点を置き定量的に展望し、分析したものである。

分析にあたっては、とりわけ以下の点に重点をおいた。

- (1) 人口、エネルギー消費、CO₂排出量の大きい中国とインドの需給構造、
- (2) アジアにおける3Sの同時達成の鍵を担う省エネルギー効果、
- (3) 脱化石燃料の手段として注目される原子力、再生可能エネルギーの導入効果。

なお、ケースとしては現時点において蓋然

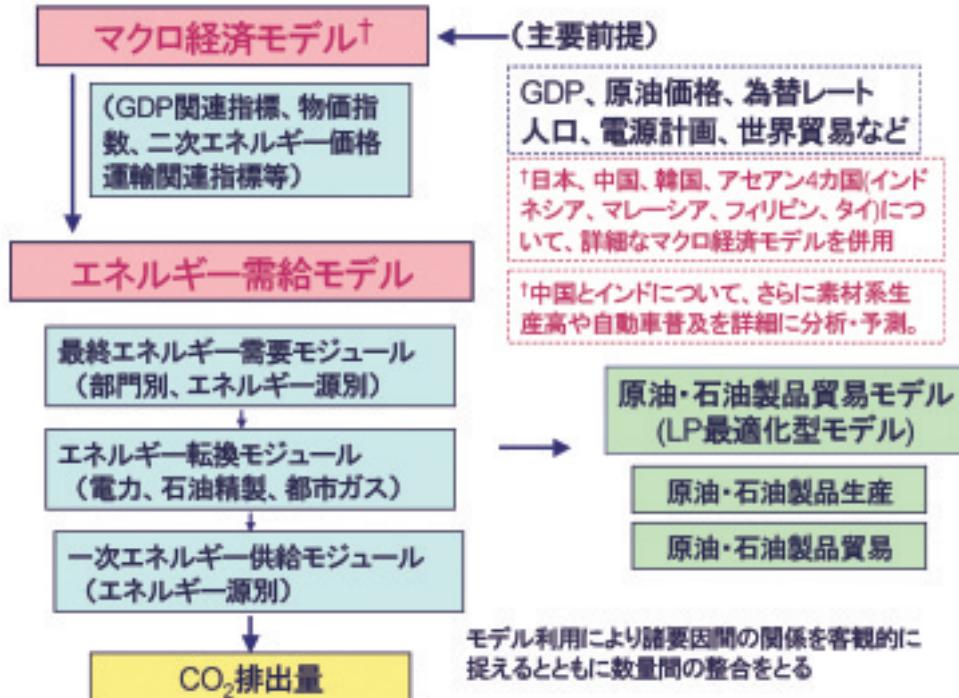


図-1 世界長期エネルギー需給モデルの構造

性が高いと考えられる諸前提条件に基づく「レンジケース」に加え、「技術進展ケース」としてアジアの各国がより一層のエネルギー安定供給の確保や地球温暖化対策の強化に資する一連の省エネルギー・環境政策を実施した場合、エネルギー需給がどのように変化するかを詳細に分析し評価を行なった。

2. シミュレーションモデルの構成

図-1はアジア/世界の需給展望に用いてい
るシミュレーションモデルの全体構成であ
る。本モデルは、マクロ経済モデルとエネル
ギー需給モデルの2つのサブモデルから構成
されており、経済活動とエネルギー需給の関
係を整合的に取り扱っている。これらの2つ
のモデルは計量経済型のシミュレーションモ
デルである。また、サブモデルとして石油需
給に関して、原油選択、石油精製、貿易を扱
うLP(線形計画法)による最適化モデルも利
用している。

なお、計量経済モデルのソフトウェアはECONOMATE（開発：マクロエコノメト

リックス研究会、販売：東洋経済新報社）ウ
ィンドウズ版を利用している。各国（約30地
域）ごとのモデルを構築し、シミュレーション
を繰り返す膨大な作業であり、操作性、使
い勝手が極めて重要であるが、ECONOMATE
はこの要件を十分満たしている。モデルサイ
ズは国・地域によって大きく異なり、方程式
数は100～2000式程度と幅がある。

〈地域区分〉

本モデルでは、地政学的要因や各地域のエネルギー需給構造を考慮することにより、IEA統計（IEAエネルギーバランス表）が網羅している32の地域もしくは国で世界を分割して計量予測を行う（図-2 参照）。特に、アジア地域のエネルギー需給を詳細に分析することを目的として、アジア地域を14の国・地域に分割している。

2-1 マクロ経済モデル

マクロ経済モデル（図-3 参照）では、原油価格や世界経済、財政・金融関連の国内政策策

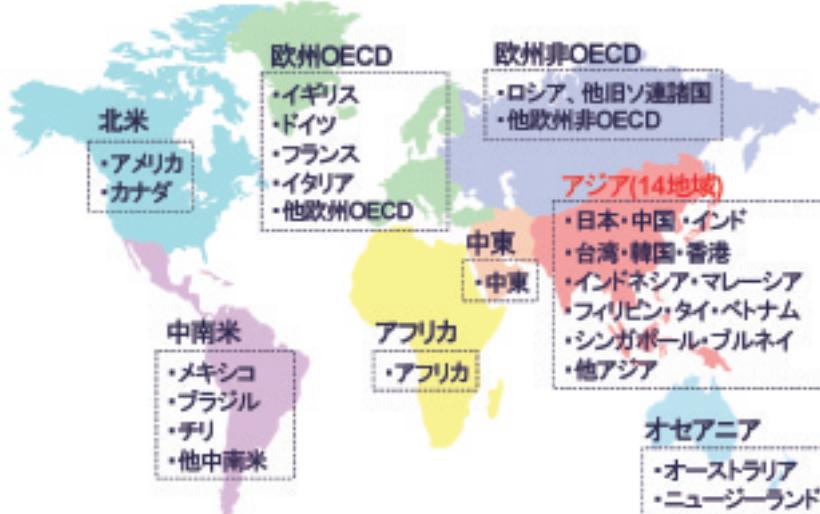


図-2 世界モデルの地域区分

を前提条件として与え、所得分配、財・金融市場、労働市場、一般物価指数など整合的にバランスの取れたマクロフレームを算出し、エネルギー需要に直接、間接的に影響を与える経済活動指標を推計する。マクロ経済モデルは以下のブロックより構成される。

- 実質支出ブロック（各GDPコンポーネントの推計）
- 賃金・物価ブロック（原油価格、為替レートなどの国外指標と需給ギャップなどの国内指標より一般物価を推計）
- 分配所得・名目支出ブロック（国民所得の分配を推計）
- 2次エネルギー価格ブロック（原油価格、一般物価より2次エネルギー価格を推計）
- 産業ブロック（粗鋼生産など産業活動指標を推計）
- 自動車販売ブロック（自動車保有台数等を推計）

外生変数（前提条件）として、世界貿易、世界工業品輸出物価指数、原油価格など海外エネルギー経済動向関連指標、人口、労働力、高齢化比率など経済供給サイドに係る人口指標、政府消費、政府投資、公定歩合、為替レートなど財政、政策指標を与える。

内生変数としては、自動車保有台数（旅客、

貨物）などの輸送量指標、粗鋼生産量などの各種生産活動指標、GDPデフレーター、卸売物価指数、消費者物価指数、2次エネルギー価格など物価指標および価格指標を設定し、これらの各種指標がエネルギー需給モデルの前提条件となる。

2-2 エネルギー需給モデル

本モデルの中核をなすエネルギー需給モデルでは、最終エネルギー消費（産業、民生、運輸）、エネルギー転換（発電、石油精製、都市ガスなど）、一次エネルギー消費に関する計算を取り扱い、マクロ経済モデルより得られる社会経済指標、エネルギー価格等の諸指標を前提として、全てのエネルギー需給バランス全体の見通しを整合的かつ総合的に決定することが可能である（図-4 参照）。

本モデルは、基本的にエネルギーバランス表の流れに沿って、最終エネルギー消費から一次エネルギー消費に至るエネルギーフローをモデル化しているため、将来のエネルギー需給バランスを詳細に分析することが可能である。また、ここで決定された一次エネルギー消費（化石エネルギー）と排出係数により、CO₂排出量を推計することができる。

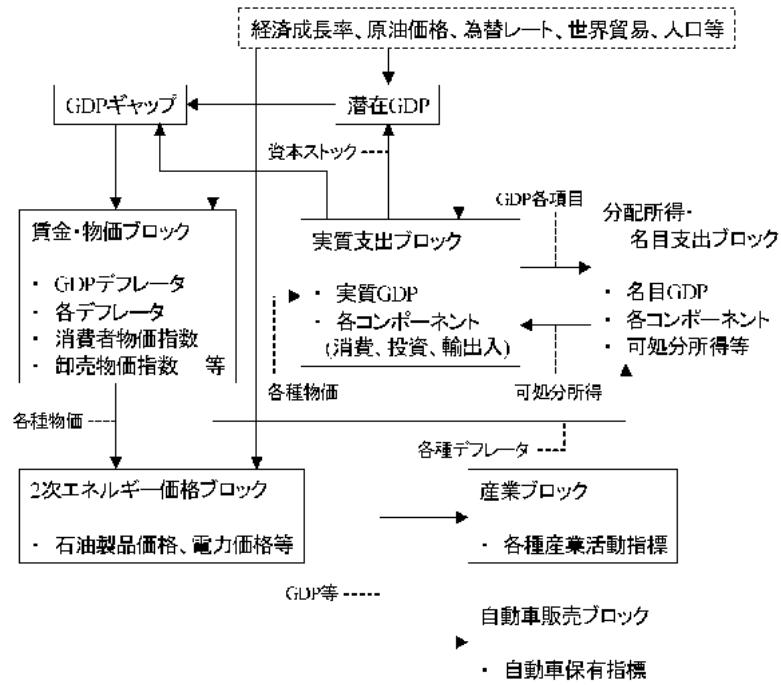


図-3 マクロ経済モデルの基本構造

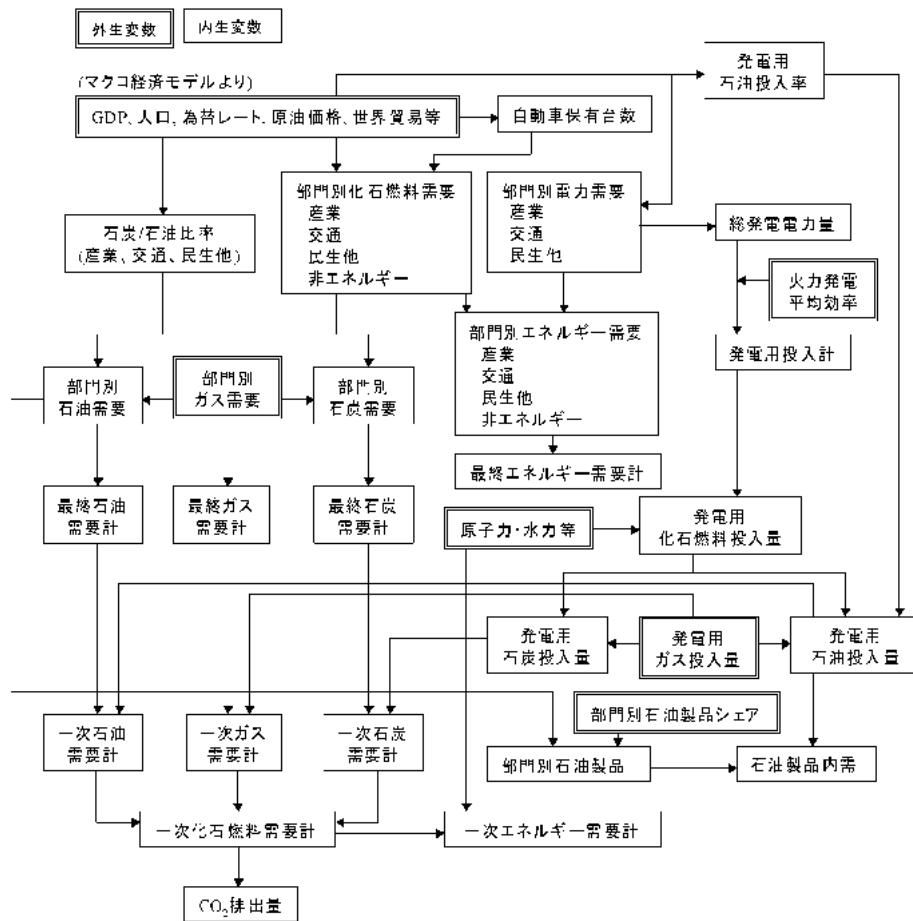


図-4 エネルギー需給モデルの基本構造

<日本モデル>

日本モデルについては、基本的考え方は前述の世界モデルと同様であるが、詳細な経済活動分析、政策効果分析、技術選択・評価等を行えるように、図-4に示すように様々なサブモデルを連動した体系となっている。各モデルと利用ソフトウェアは次のとおり。

- ・マクロ経済モデル (ECONOMATE2007)
- ・産業連関モデル (ECONOMATE-IO)
- ・エネルギー需給モデル (ECONOMATE2007)
- ・要素積み上げモデル (EXCEL、VBA)
- ・最適電源計画モデル (EXPRESS、LPソフト)

3. 前提条件

<経済成長の見通し>

今後の世界経済は、発展途上国を中心にして2005年から2030年にかけて世界全体で年率3.1%程度の成長が見込まれる。先進国のGDPは2.4%で成長する一方、発展途上国のGDPは先進国を上回る4.8%で急速に成長し、2030年のGDPの規模は2005年比で3.2倍まで拡大する。アジア経済は、北米、欧州等の域外先進国の経済成長に依存する割合が高いものの、中国、インド等の巨大経済市場の存在、域内での相互依存関係の強化、高い技術進歩などにより、持続的な成長が期待される。経済成長率（日本を除く）は年率5.3%を維持す

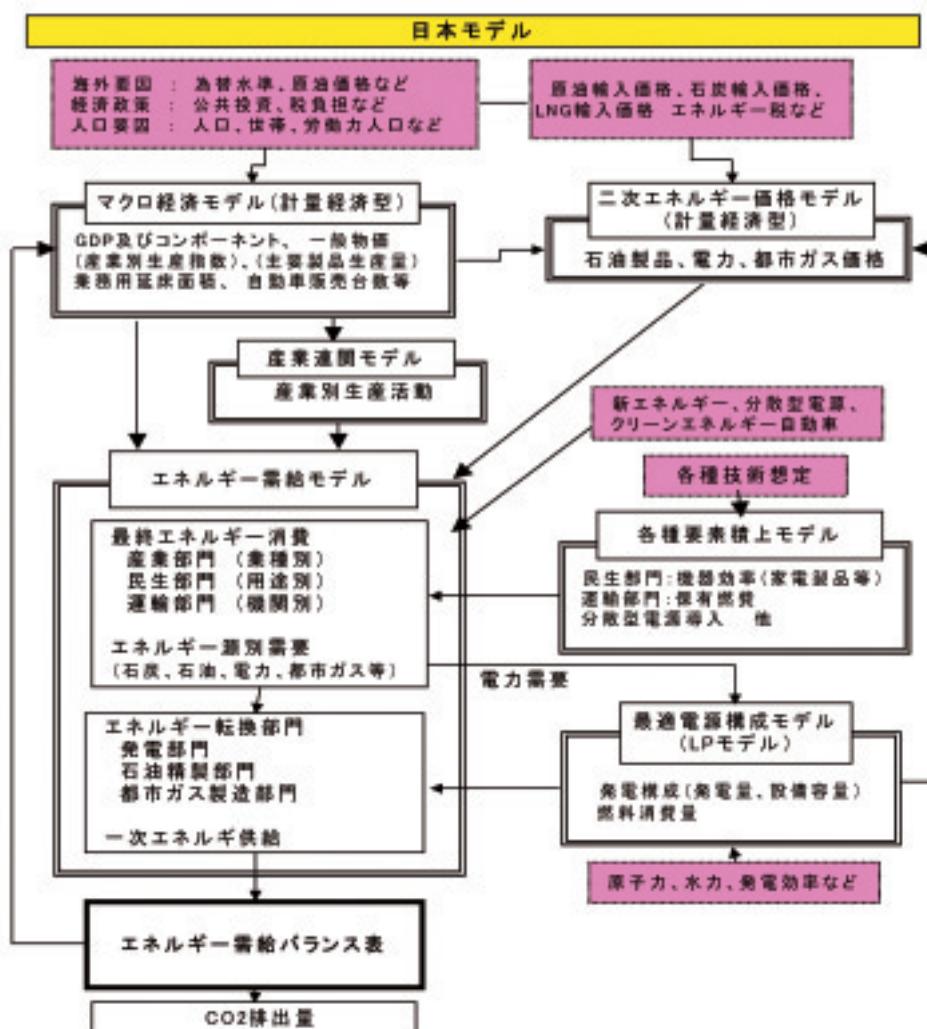


図-5 日本モデルの全体構成

る見通しであり、2030年のGDPは2005年比で約3.7倍に拡大する。

<人口の見通し>

世界の人口の将来推計値は、国連による最新の予測を参照している。経済発展に伴い発展途上国における出生率が低下する傾向にあるが、世界人口は2005年から2030年にかけても年率1.0%で増加し、2005年の64億人から2030年には82億人に達する。この間の人口増加の約9割は途上国が占める。その中でアジアは2005年の35億人から2030年には44億人となるが、国別に見ると中国で14.5億人、インドで14.9億人に達し、両国で世界人口の36%を占める。一方、先進国では、米国で人口の持続的増加が見込まれているが、そのテンポは緩やかなものにとどまり、世界人口に占める相対的な割合は上昇しない。わが国の人団は、減少基調で推移する。欧州もOECD地域と非OECD地域を合わせると2020年にかけて域内人口がほぼピークに達し、その後は漸減する見通しである。

<エネルギー価格の見通し>

原油価格は現在の高騰した状態から徐々に是正され、安定的に推移する。

2010年を過ぎるころからは、相対的に生産コストの高い中小規模油田、あるいは深海油田等へのシフトなどが見込まれ、これに連動して原油価格は徐々に上昇する。天然ガス価格は、2010年にかけてほぼ横ばいで推移し、

表-1 エネルギー価格の見通し
(日本の輸入CIF)

		2000	2006	2010	2020	2030
原油	実質価格 \$/bbl	32	64	52	55	58
	名目価格	28	64	56	72	94
LNG	実質価格 \$/t	282	368	371	411	472
	名目価格	251	368	402	543	759
一般炭	実質価格 \$/t	39	63	63	67	71
	名目価格	35	63	68	88	115

2010年以降は石油価格と連動して上昇する。石炭は、原油、LNGと比較するとこれまで価格変動が極めて緩やかであった。足元では、需要拡大による短期的な需給の不均衡により価格が上昇しているが、原油、天然ガスに比べ資源制約が極めて小さいこと、生産国が分散しており、かつ情勢の安定した地域からの供給も多いことから、今後の価格上昇は緩やかなものに止まる。

4. 世界・アジアのエネルギー需給展望

<地域別エネルギー消費>

世界の一次エネルギー消費は、2005年の石油換算103億トンから年率1.9%で増加し、2030年には165億トンと約1.6倍の規模に拡大する。今後の増加量の約8割が主に発展途上国によるものである。特にアジア地域は53%を占め、うち中国、インドはそれぞれ27%、12%を占める。

アジアの一次エネルギー消費は、2005年の

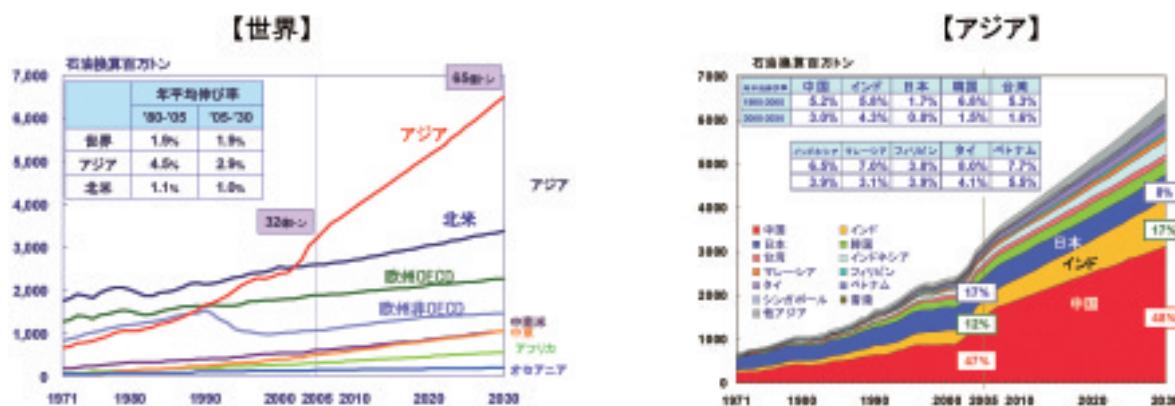


図-6 世界とアジアの一次エネルギー消費（地域別）

石油換算32億トンから年率2.9%で増加し、2030年には同65億トンと2倍強の規模にまで拡大する。中国は現在、米国に次ぐ世界第2位のエネルギー消費国であるが、2030年には世界最大となる。中国が世界のエネルギー市場に占めるシェアは15%から19%へと上昇し、中国のプレゼンスは更に大きくなる。インドのシェアも、2005年の4%から2030年には7%に増加する。

<エネルギー源別需給展望>

増大するエネルギー需要をどのエネルギー源で賄うのであろうか。歴史的な大きな潮流としては20世紀半からのいわゆる流体革命による石油需要の増大(石炭から石油への転換)、そして現在進行中のガスへのシフト(ガスダッシュ)がある。もちろん新エネルギー、原子力、水力などのいわゆる非化石燃料も、地球環境への適合性等からも今後ますます重要な役割が期待されるが、急速に増大する需要に対応するには、しばらくは化石燃料に頼らざるを得ないであろう。

アジアのエネルギー源別一次エネルギー消費を見ると、石炭、石油が主要エネルギー源として増加し、天然ガスの利用が発電用と民生用を中心に拡大する。アジアにおける化石燃料の増加量は、世界と同様、2005年から2030年までの一次エネルギー消費増加分の約9割(石油29%、石炭34%、天然ガス23%)を占め、今後も主要なエネルギー源としての役割を担う。

【世界】



図-7 世界とアジアの一次エネルギー消費(エネルギー源別)

表-2 世界の石油生産の展望

百万BD	2006	2010	2020	2030	2006-2030
OPEC	38	38	51	64	28
中東OPEC	25	27	37	46	21
非中東OPEC	12	11	14	18	6.3
インドネシア	1.1	1.0	0.9	0.8	▲ 0.3
非OPEC	48	48	52	54	8.1
北米	10.0	10.4	10.4	10.2	0.2
中南米	7.7	8.3	10	11	3.5
歐州(含ロシア)	17	19	21	21	3.7
中東	1.6	1.1	1.0	0.8	▲ 0.8
アフリカ	2.3	2.3	3.2	4.1	1.8
アジア	5.9	6.2	6.0	5.7	▲ 0.2
中国	3.7	3.8	4.2	3.8	0.1
マレーシア	0.7	0.9	0.9	0.9	0.1
タイ	0.3	0.2	0.1	0.1	▲ 0.2
ベトナム	0.4	0.5	0.3	0.3	▲ 0.1
インド	0.8	0.8	0.6	0.6	▲ 0.2
世界計	82	86	103	118	36

石油需給についてみると、世界の石油消費量は、2005年の38.3億トン(8,000万バレル/日)から2030年には56.5億トン(1億1,800万バレル/日)へと3,600万バレル/日の増加が見込まれる。この増加量は現在のOPEC生産量に相当する。地域別では、この増加分の約5割はアジアに起因し、部門別で見ると増加分の6割以上が運輸部門より生じる。増大する石油需要を満たすための供給面をみると、需要増分の8割はOPECによる石油生産によって満たされOPECのシェアが拡大していくことになる。

5. アジアの経済発展にともなう電力化とモータリゼーションの進展

5.1 電力化の進展と電力供給

アジアでは飛躍的な経済発展に伴う所得の

【アジア】



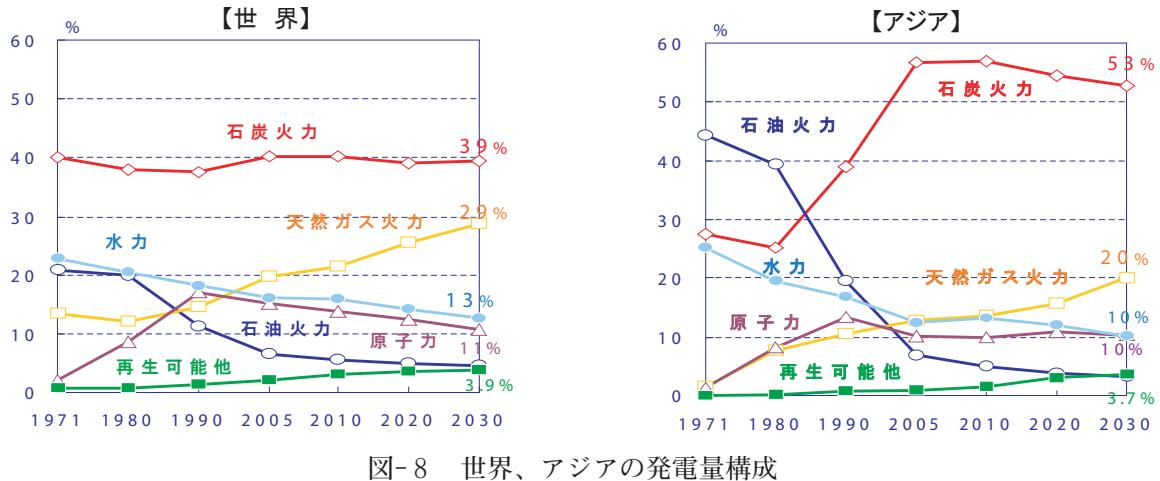


図-8 世界、アジアの発電量構成

上昇より、電力消費が急速に増大しており、今後も高い経済成長、生活水準の向上に伴い、利便性の高い電力消費が急増すると予測される（年率3.8%で増加）。地域別に見ると、中国では年率4.0%の増加を示し、2030年には現在の電力需要の約2.7倍、5,300TWhに達する。インドでは6.0%で増加する見通しであり、2030年には現状の約4.3倍の2,000TWhまで増加する。

電力需要の増大に対応して電源構成は、アジアで資源量が豊富で経済性に優れた石炭火力が今後も最大の電力供給源としての役割を担う。また発電効率がよく環境に適合した天然ガスは、天然ガス複合発電の導入拡大に伴い、今後着実に発電量が増加し、発電構成におけるガス火力へのシフトが進展する。しかし、国内資源の有効活用をはじめとした政策目標などにより、石炭火力が引き続き増加することから、石炭火力、ガス火力間の競合を考えると、ガス火力の増加は世界に比較すると緩やかである。原子力は、中国、韓国、インドなどで増加が見込まれるが、アジアにおける発電シェアは2005年の10%から2030年にかけても10%となり電力供給の一定割合を担う。

5. 2 モータリゼーションの進展

自動車の保有は、家電製品の普及と同様に

生活水準の向上を具現する最もシンボリックな指標の一つであり、アジアの発展途上国におけるモータリゼーションの進展は、経済発展を背景として必然的な流れである。

先進諸国では既にモータリゼーションの進展が一服し、今後は概ね飽和傾向を示すものと考えられる。一方、アジアの発展途上国は、現段階では自動車社会の入り口にあり、今後は経済発展に伴う所得水準の向上によりモータリゼーションの一層の進展が予測される。

中長期的なアジアにおけるモータリゼーションの進展に伴う石油消費の増大は、今後のアジアのエネルギー需給をみる上で重要なファクターである。2030年にはアジアの自動車市場は北米市場の規模を凌いで欧州市場に匹敵する規模まで拡大し、その中でも中国に

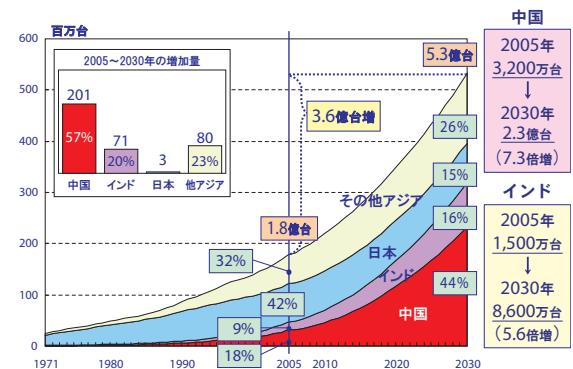


図-9 アジアの自動車保有台数の展望

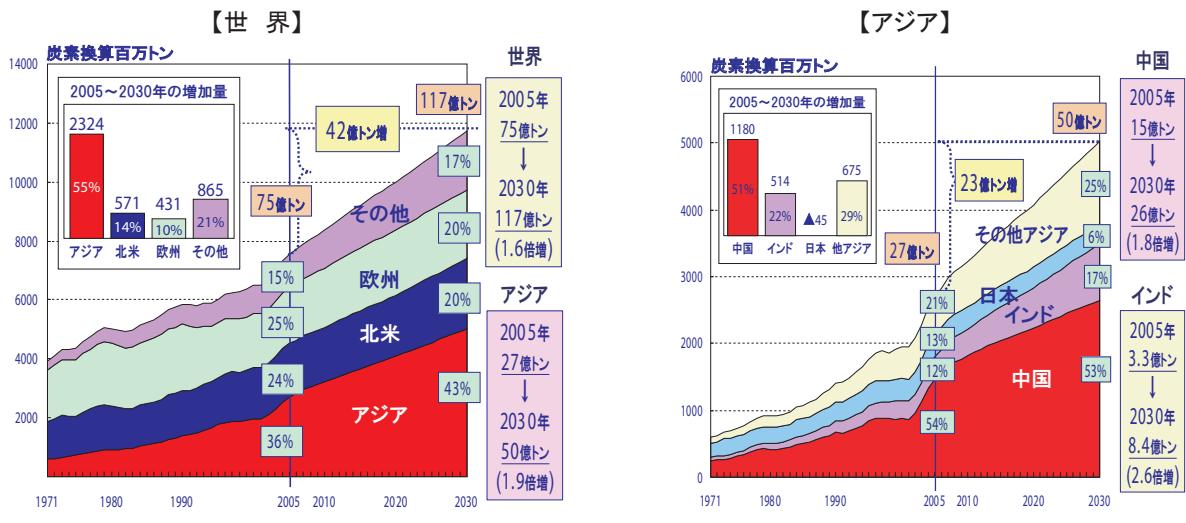


図-10 世界／アジアのCO₂排出量

についてみると、自動車保有台数は2030年に約2億3,300万台（日本の約3倍）に達し、アジア最大の自動車市場になると見込まれるが、人口あたりの保有率では16%程度にとどまり、先進諸国（OECD諸国：2000年53%）に比較すると依然として低水準にあると言える。インドは2030年には8,600万台とほぼ日本並の保有台数に達するが、普及率はまだ6%にすぎない。つまり、2030年以降も中国、インド等には更なるモータリゼーション拡大の潜在力があり、長期的視野に立てば、これらの国の自動車普及が国際石油市場に与えるインパクトはさらに大きくなろう。

6. 急増するアジアのCO₂排出量と技術進展による削減

化石燃料需要の増大にともない世界CO₂排出量は2005年の炭素換算75億トンから2030年には約1.7倍の117億トンにまで増大する見通しである(図-10)。この増加分の55%がアジアで、また中国、インドの2カ国だけで世界のCO₂排出量増加分の約4割を占める。

ここで、アジア各国がより一層のエネルギー安定供給の確保や地球温暖化対策の強化に資する一連の省エネルギー・環境政策を採用した場合、一層の政策強化を実施（いわゆる技術進展ケース）、したと仮定して試算してみると、2030年のアジアの一次エネルギー

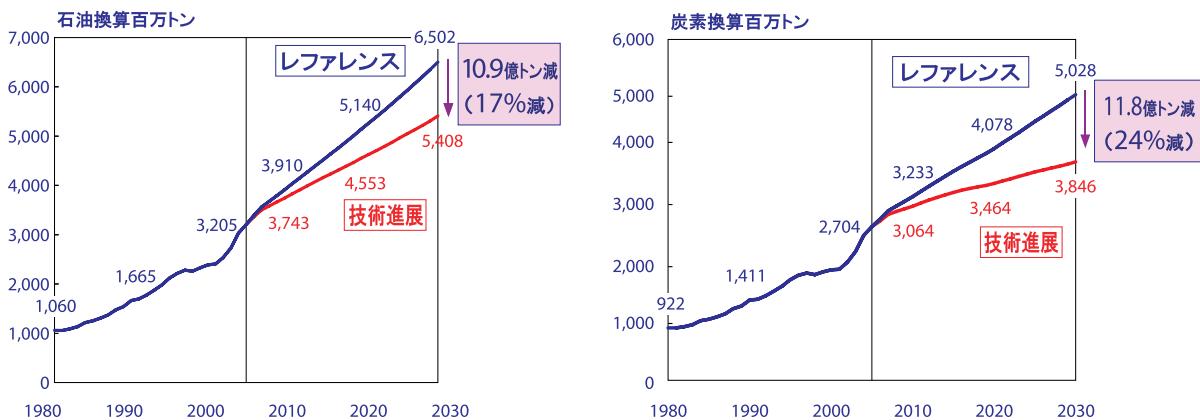


図-11 技術進展によるCO₂削減効果

消費はレファレンスケースよりも17%減少し、二酸化炭素排出量は24%（現在の中国1国分、日本の3.2倍の排出量に相当）削減される。技術の更なる進展の可能性も考えられるが、極論すれば、持続的経済発展と環境保全の両立するには技術進展に期待するしかないと言つてよい。

7. おわりに

エネルギー、環境問題はもはや一国の問題ではなく共通の課題を抱える地域が協力することにより、一層の効果が期待できる。アジアにおける3S（エネルギーの安定供給：Security of Supply、環境保全：Sustainability by Solving Global Environment、市場の安定化：Stability of the Market）を同時達成するためには、各国のエネルギー需給の構造、資源賦存状況、経済発展段階に基づき、供給ソースの多様化、省エネルギー、燃料転換によるエネルギー供給の脱炭素化を促進し、エネルギーベストミックスの達成に向

た努力を強化する必要がある。

この中で、技術・経済力・制度設計面で優位に立つ日本がアジアで果たすべき役割は極めて大きい。特に日本にとっての強みである省エネルギー技術や環境対策技術、原子力先進国として培った技術・ノウハウなどをさらに発展させ、活用していくことが、日本の国際エネルギー戦略の重要な柱となる。これらの優れた技術を活用して、アジアの経済と環境の両立に向けた努力を強化するとともに、国内経済の基盤強化を図ることが将来に向けて重要となる。

本予測は、一定の仮定のもとでモデルを利用し論理的・数量的整合性に基づく一つの試算として提供したものであるが、将来のさまざまな不確実性を考えると、数値の振れ幅は小さなものではない。将来のエネルギー需給を考えるときの参考資料、議論のたたき台を提供することが本シミュレーションの役割と考えている。

(参考) 表 主要エネルギー・経済指標のまとめ

					シナリオ(推移率%)			伸び率(%)	
		1980	2005	2030	1980	2005	2030	1980-2005-	2005-2030
人口 (億人)	世界	44.2	64.2	82.2	100	100	100	1.5	1.0
	アジア	24.3	35.5	44.3	55	55	54	1.5	0.9
	中国	9.9	13.1	14.5	22	20	18	1.1	0.4
	インド	8.9	10.9	14.9	18	17	18	1.9	1.2
GDP (2000年価格%)	世界	18.0	37.1	79.3	100	100	100	2.3	3.1
	アジア	3.8	10.3	26.9	21	28	34	4.0	3.9
	中国	0.2	1.9	8.6	1	5	11	9.8	8.2
	インド	0.2	0.7	2.9	0.9	2	4	5.9	8.1
エネルギー 消費 (石油換算億t)	世界	64.5	103.1	164.8	100	100	100	1.3	1.3
	アジア	10.6	32.1	65.0	16	31	39	4.5	2.9
	中国	4.2	14.9	31.3	6	14	19	5.2	3.0
	インド	0.9	3.8	11.0	1.4	4	7	5.8	4.3
石油消費量 (石油換算億t)	世界	29.8	38.3	56.5	100	100	100	1.0	1.6
	アジア	4.9	10.7	20.4	16	28	36	3.2	2.6
	中国	0.9	3.2	7.6	3	8	13	5.2	3.5
	インド	0.3	1.3	3.8	1.1	3	7	5.5	4.4
CO2排出量 (炭素換算億t)	世界	50.3	75.4	117.3	100	100	100	1.6	1.8
	アジア	9.2	27.0	50.3	18	36	43	4.4	2.5
	中国	4.2	14.7	26.5	8	19	29	5.1	2.4
	インド	0.8	3.3	8.4	1.6	4	7	5.7	3.8
一人あたりGDP (万\$/人)	世界	4,073	5,777	9,717				1.4	2.1
	アジア	1,579	2,907	6,064				2.5	3.0
	中国	185	1,445	5,917				8.6	5.8
	インド	227	598	1,983				4.0	4.8
GDPあたり エネルギー消費 (石油換算t/万\$)	世界	3.6	2.8	2.1				-1.0	-1.2
	アジア	2.8	3.1	2.4				0.5	-1.0
	中国	22.9	7.9	3.6				-4.2	-3.1
	インド	5.9	5.8	3.8				-0.1	-1.7
一人あたり エネルギー (石油換算t/人)	世界	1.5	1.6	2.0				0.4	0.9
	アジア	0.4	0.9	1.5				3.0	2.0
	中国	0.4	1.1	2.2				4.0	2.8
	インド	0.1	0.8	0.7				3.9	3.0
自動車保有台数 (百万台)	世界	420	888	1,762	100	100	100	3.1	2.7
	アジア	48.2	177.5	592.7	11	20	30	5.3	4.5
	中国	1.8	91.8	292.6	0.4	4	13	12.2	8.3
	インド	1.7	15.3	86.0	0.4	2	5	9.3	7.2