

京都議定書発効と中国の炭層ガス開発構想

真 柄 欽 次

はじめに

1. 中国のエネルギー現状
2. 人口大国、資源小国、中国
3. 中国を含む主要国のエネルギー弾性率の歴史的变化

結論

はじめに

2005年初頭にロシアの参加により、1997年12月に策定された京都議定書（COP 3）が発効した。二酸化炭素の排出にかかわる世界で初めての協定となる。中国、インドを代表とする二酸化炭素大量排出を続ける途上国を除外しているとはいえ、先進諸国の参加により、議定書が発効したことを喜ぶたい。しかし、世界第2位の二酸化炭素排出国である中国が議定書から除外されている事実に対して疑問を投げかけない政治家や学者の良心に疑問を感ずる。地球環境の破壊のもとで、アジアの人口大国、中国は存在できるであろうか？ 大きな人口を抱えるこの国で、環境を無視した農業生産は存在出来るであろうか？

同様な問題を抱えるインドについても、環境問題は未来の経済発展への大きな疑問を提起する。一方、世界最大の二酸化炭素排出を続けるアメリカ合衆国の京都議定書不参加も問題である。

京都メカニズムは基本的に次の3つの要素から構成されている。1) 排出権取引、2) 共同実施（J.I. 先進国共同の環境対策）、3) クリーン開発メカニズム（C.D.M. 先進国が途上国と共同で環境改善を行う）。中国は京都議定書から除外されてはいるものの、近隣で、しかも先進国の一つである我が国の高い環境技術により、環境改善政策を行い（C.D.M.）、将来、排出権取引などにより、経済的なメリットを獲得する可能性もある。

中国と日本は「歴史認識」や「靖国神社」問題などで、現在、必ずしも良好な関係にあるとは言えないが、「エネルギー」と「環境」問題をベースとした、未来思考に基づいて、新しい日中関係を構築することが出来れば、アジアの平和のみならず、人類の存続に関して、最重要な課題への解決の糸口を見つける手段となるであろう。

人類の一次エネルギー使用の歴史は木材（現在バイオマスと呼ばれているものを含む）に始まり、英国から始まった第一次産業革命以後、20世紀初頭までは石炭の消費が増加し続けた¹⁾（図1）。第一次産業革命は1785年のジェームス・ワットの蒸気機関の発明に遡る。ワット以前にもトーマス・サベリやトーマス・ニューコメンなどによる初期の蒸気機関が考案されたが、エネルギー効率を大きく改善したのはワットであった²⁾。

ジェームス・ワットと言うと線路の上を走る蒸気機関車をまず思い浮かべるが、蒸気機関の最初の利用法は、炭坑内に溜まる地下水を汲み上げるためであった。つまり、当時主

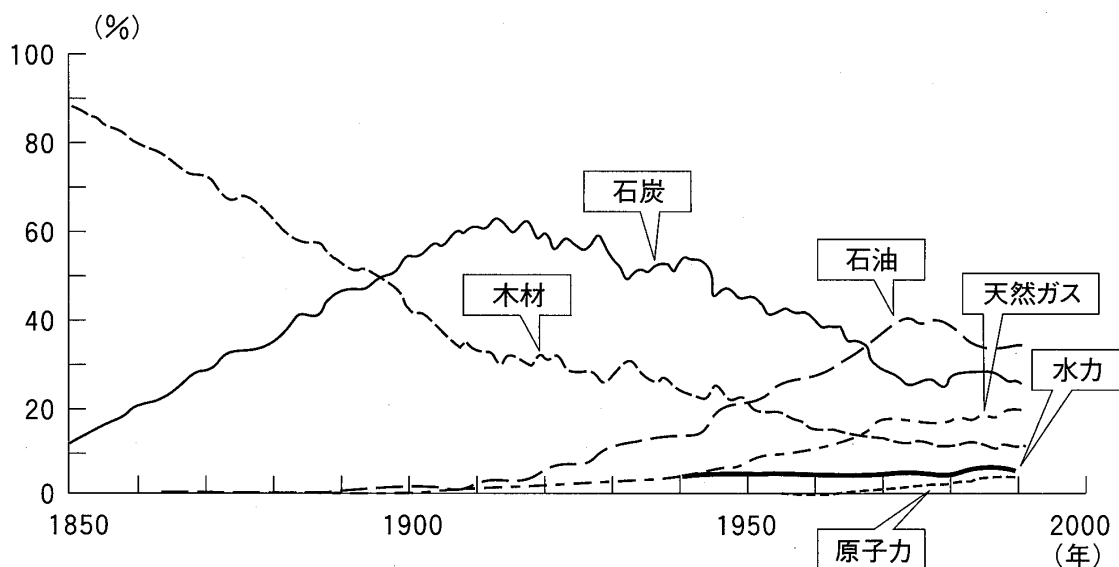
たるエネルギー源となりつつあった石炭を生産するために蒸気機関が使われたわけである。採掘が進むにつれて浅い炭層が無くなり、地下深部に達するにつれて、地下水の湧出が重大問題となった。さらに、生産された石炭を使って蒸気機関により、物資の移動と生産が成された。1914年から1918年までの第一次世界大戦は石炭使用ピークの時代でもあった。

井戸を掘削することによる石油生産は1859年、ペンシルバニア州タイタスビルでのDrake井の成功にさかのぼる。1939年のドイツのポーランド侵攻に始まり、1945年の終戦までの第二次世界大戦は石油と内燃機関の利用を実現したアメリカの世界制覇への時期でもあり、石油使用が増大し続ける原動力となった時期でもあった(図1)。パイプライン輸送が可能な石油を使った内燃機関は、輸送に手間取る石炭を使った蒸気機関よりエネルギー効率が優れ、パワーがあった。1950年代に中近東諸国で多くの大油田が主としてアメリカにベースをおくメジャー石油会社によって発見されたことも、石油使用増加の大切な要素であった。

アメリカは石油を利用する多くの方法、例えば自動車や飛行機にパワーを与えたり、家屋の暖冷房などを考え出し、かつ国内でも多くの油田を発見して、石油先進国となった。1960年代初頭までに、世界中の約5万箇所が油田が発見されていたが、そのうちの、何と3万9000が合衆国内で発見されていた事実は、この国でいかに活発な石油探査が行われたかを物語る³⁾。

一次エネルギー全体に占める石油生産のピークは1970-1980年で、日本の戦後が終わったといわれる時期と偶然一致するかに見える。この間、化石燃料中、環境に最も優しい天然ガスへの移行が継続された³⁾。1980年代に一時的に下降した石油生産は1990年代以降、需要の増加に伴い、生産量としては再び上昇傾向にあるが、一次エネルギー全体に占める石油の割合は下降ないし、安定した状態にある(図1)。固体から液体を通過して気体へと移行してきた一次エネルギー使用の歴史を「炭素：水素比」で表すと木材が10：1、石炭が2：1、石油が1：2、で天然ガスが1：4となり、炭素比の減少と水素比の増加の

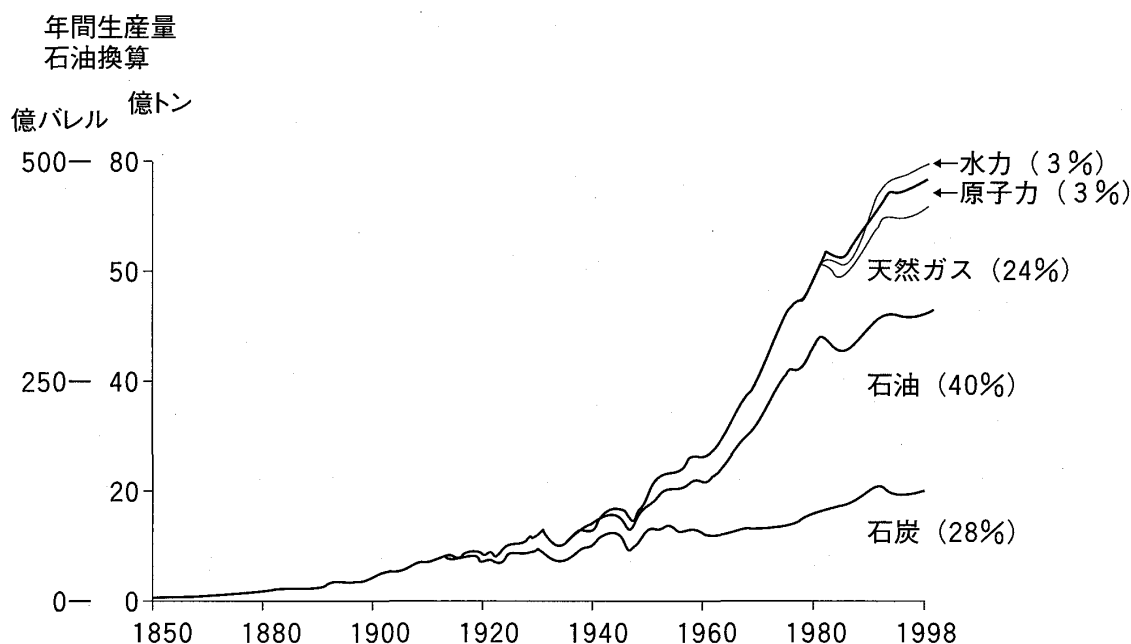
図1 世界の1次エネルギー比率 (1850-1990年)



歴史でもあった¹⁾。このような炭素:水素比の変化はエネルギー効率の改善と、環境により優しい資源への移行へのプロセスでもあったが、取り扱いの簡単な固体(木材、石炭)から、より難しい気体(ガス)への変化の歴史でもあった⁴⁾。

図1には各種の一次エネルギー資源使用の割合が示されており、各時代におけるそれぞれのエネルギー資源の相対的な位置づけが示されている。一方、一次エネルギー総消費の時代に伴う変化(増大)は図2⁵⁾に示されている。1960年代までのゆるやかな上昇に続いて、その後の急激な消費増加が見られる。1960年の世界人口は現在人口64億人の半分以下であった。

図2 世界のエネルギー供給の推移

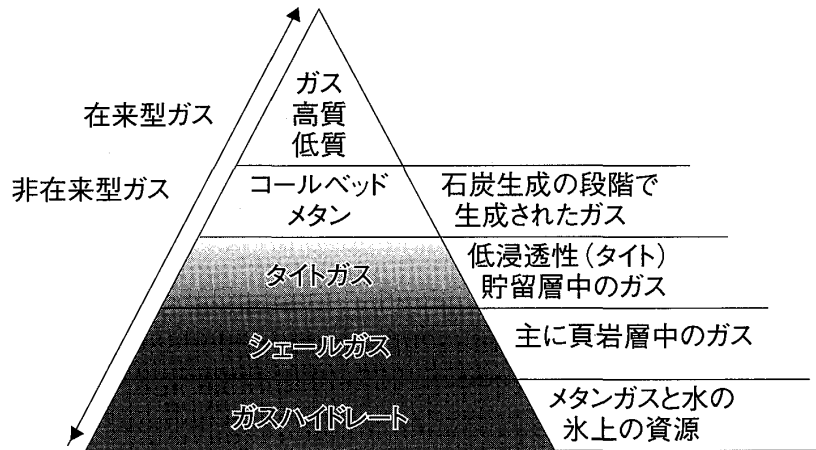


世界的にみると、1999年現在、石油は一次エネルギーの約40%を賄い、石炭と天然ガスは、それぞれ約25%であるが、我が国の現状はやや異なる。我が国の一次エネルギーはほぼ100%輸入に頼るが、そのうちの50%以上が石油と世界平均の40%より高く、天然ガスは約13%と世界平均の約半分である⁶⁾。しかし、もっと重大な問題は石油輸入の約88%が政情不安定な中近東からであることである。天然ガスの供給先が主に東南アジアであることも含め、環境問題を配慮して、天然ガスへの移行が求められる。東シベリアにも超大ガス田が存在する⁴⁾。

アジアの二大人口大国、中国とインドの急速な経済発展に伴うエネルギー需要の拡大を主な原因として、在来型石油・天然ガスの供給が増え続けている。探鉱・開発が世界各地の大水深海域、カナダ・アラスカ極北域、カナダ東部海域などの在来型を求めてフロンティア地域に及ぶ一方、非在来型の石油や天然ガスへもシフトしてきている。タールサンド・オイルは、既にカナダでは在来型と考えられるが、他の地域では非在来型のままである。

ガス資源について述べると、鉱量の限られている「在来型ガス」に続いて、コールベッド・メタン(炭層ガス)、タイトガス、シェールガス、ガスハイドレートなどがある⁷⁾(図3)。

図3 北米ガス資源量と非在来型ガスの種類



1. 中国のエネルギー現状

1995年現在、中国には世界人口の約22%が住む人口大国で、生産性の高い灌漑農地の約19%を持っているものの、森林地帯の3%、石油埋蔵量の僅か2.3%しか所有していない資源小国である⁸⁾。地下資源のうち、目ぼしいものは石炭だけで、世界の埋蔵量の約11%を保有する（表1）。石油や天然ガスの埋蔵量は取るに足りない。従って、中国の一次エネルギーに占める石炭使用の割合は約67%と高い。

人口大国である中国は1978年に始まった対外開放政策以来、目覚ましい経済発展を続けているが、一次エネルギー使用については、環境上望ましくない石炭から他の資源への変換はほとんど行われていない¹⁰⁾。計画経済時代の名残りとして、ロシア同様エネルギー効率は著しく悪かった。例えば、1990年代において、鉄鋼やセメント工業は我が国に比べて2～3倍のエネルギー消費をし、火力発電の発電効率も先進諸国より、かなり劣っているとされた¹⁰⁾。

2002年現在、世界第2位のエネルギー消費国である中国の国内石油生産は頭打ち状態にある。この年、中国の石油消費（国産＋輸入）は536万バレル／日で、日本の534万バレル／日より多く、米国970万バレル／日に次いで、世界第2位の石油消費国になった¹¹⁾。

上に述べたとおり、中国は現在、約67%の一次エネルギーを石炭に頼っている。化石燃料中、石炭が最も環境破壊的であるので、もっと環境に優しい天然ガスへの移行が望まれる。在来型天然ガスについては、西部タリム盆地や海洋域での可能性が高いが、非在来型ガスとしては、炭層ガス、炭田ガスの開発がカナダ、アメリカ、日本などの技術協力により進んでいる。

中国の炭田から排出されているメタン・ガスは年間0.5兆立方フィートにも及ぶと言われ、世界の全炭田からの排出量の約3分の1となる。燃焼されずに大気中に出ていくメタン・ガスは、燃焼後に発生する二酸化炭素の20倍以上の温暖化効果があるので、早急な回収策がとられねばならない。また、炭坑内で発生する可燃性ガスは爆発の原因でもある（2003年中国で6000人以上の鉱夫の命が奪われた）。回収される炭層、炭田ガスはエネルギー源としても利用できる。一説によると、炭田の多い山西省だけで約100兆立方フィートの炭層ガス埋蔵量があり、中国全体の埋蔵量はその10倍くらいとのこと（表2）、我が

国の年間ガス使用量約2.4兆立方フィートと比べて、いかに大きいか分かる。石炭からガス利用への転換は京都議定書のC.D.M.（先進国と途上国の協力による二酸化炭素排出削減）、と排出権取引の視点から、中国にとって有利に働くものと考えられる。

表1 中国のエネルギー資源埋蔵量、可採年数（埋蔵量／年生産量）、一人当たり埋蔵量
世界との比較

エネルギー のタイプ	埋蔵量		埋蔵量／年生産量		一人当たり埋蔵量	
	中国	世界における割合	中国	世界	中国	世界
	(億ト、億立方米)	(%)	(年)		(トン、立方米)	
石炭	1145	11.1	82	219	95	182
石油	33	2.3	21	41	3	25
天然ガス	11600	0.8	52	64	967	25517

出所：Zhang (1999)⁹⁾

表2 世界の炭層ガス可採埋蔵量（兆立方フィート）

国名	ガス埋蔵量
ロシア	600-4000
中国	1060-1200
アメリカ	400
カナダ	200-2700
オーストラリア	300-500
ドイツ	100
英国	60
カザクスタン	40
ポーランド	100
インド	30
南アフリカ、ジンバブエ、ボツワナ	30
ウクライナ	60
合計	2980-9260

出所：Ayers, Jr. (2002)¹²⁾

2. 人口大国、資源小国、中国

1978年の対外開放政策開始以来、中国の経済発展はめざましい。表3によると、1980-1994年間のGDP（国内総生産）の平均増加率は11%/年である。一方、この期間のエネルギー使用増加率は4.5%/年に過ぎず、それらの比率は0.41で高所得国の比率0.39と大差はない。他方、中国以外の低所得国や中所得国の値ははるかに高い（1.66-1.56）。つまり、中国は高所得国並みにエネルギー節約的であったという訳であるが、その理由の主なもの分母（GDP増加率）の大きさである。中国が以前と同様な経済成長を今後も続けること

は不可能と思われるので、分母の大きさに安心してはられない。つまり、根本的なエネルギー効率改善の政策がとられるかどうか、中国の将来を考える上で重要であろう。

この期間、中国の総生産に占める貿易額の増加があったが、結果として大きな外貨収入となり、GDPの増大に貢献した面があるものの、国内的には農業からサービス業へのシフトが顕著であった。表4によると、1980年から1997年にかけて、GDPに占めるサービス業の割合が増加した(21.4%から32.1%)。一方、日本やアメリカなどの高所得国ではサービス業の割合が非常に高い(60%及び72%)。

エネルギーを節約することは人口大国、資源小国である中国自身にとって、大切である。表1にあるとおり、石炭埋蔵量こそ世界の約11%を保有するとしても、石油(2.3%)及び天然ガス(0.8%)とも、埋蔵量は少ない。石炭と石油の可採年数(埋蔵量/年生産量)も世界のそれらより、かなり少ない(石炭:219年対82年、石油:41年対21年)。一人当たりの埋蔵量となると、過大な人口をかかえる中国の持ち分は、ますます小さくなる。資源を節約することは、中国の存続のために必須であることが分かる。

多量のエネルギーを使う、鉄鋼、アンモニア、セメントの生産や火力発電に関して、中国の1980年当時と1994年時におけるエネルギー使用量(トン、またはキロ、石炭換算/トン)と先進国での値の比較が表5に示されている(ボイラーの熱効率比較も含む)。エネルギー効率向上について、中国に大きな改善が求められる。先進国による技術援助が必要であろう。

表3 1980-1994年間の低、中、高所得国のGDP(国内総生産)増加率、一次エネルギー使用増加率、そしてエネルギー弾性比率を示す。

	GDP 増加率 (%)	一次エネルギー使用増加率 (%)	エネルギー弾性比率
低所得国 (中国をのぞく)	2.8	4.7	1.66
中国	11.0	4.5	0.41
中所得国	2.5	3.9	1.56
高所得国	2.8	1.1	0.39

出所: Zhang (1999)⁹⁾

表4 中国、日本、およびアメリカのGDPに占める農業、工業、サービス業の割合 (%)

	中国		日本	アメリカ
	1980	1997	1995	1995
農業	30.1	18.7	2.0	2.0
工業	48.5	49.2	38.0	26.0
サービス業	21.4	32.1	60.0	72.0

出所: Zhang (1999)⁹⁾

表5 エネルギー効率に関する中国と先進国の比較

	中国 1980	中国 1994	先進国
鉄鋼 (トン、石炭換算/トン、鉄鋼)	1.30	1.03	0.6 (イタリー)
アンモニア (トン、石炭換算/トン、アンモニア)	1.45	1.34	1.2
セメント (キロ、石炭換算/トン、セメント)	206.5	175.3	108.4 (日本)
発電 (グラム、石炭換算/KWH)	448	413	327 (旧ソ連)
工業用ボイラーの熱効率 (%)	—	60—70	80—85

出所：Zhang (1999)⁹⁾

3. 中国を含む主要国のエネルギー弾性率の歴史的変化

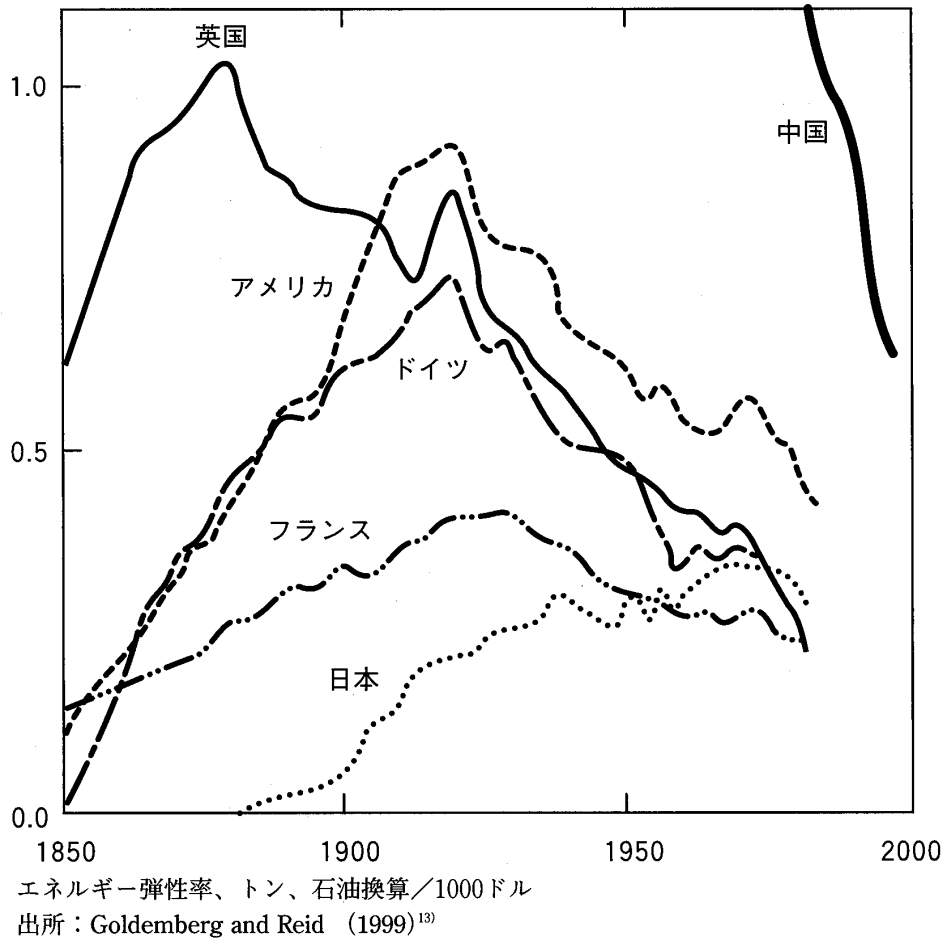
一人当たりのエネルギー使用量や個人所得は国ごとに大きく変化するが、これら2つの比(エネルギー弾性率)の変化ははるかに少ない。世界主要国の1850年以降のエネルギー弾性率をプロットすると図4のようになる (Goldemberg and Reid, 1999¹³⁾)。経済開発の第一歩は通常工業化であり、エネルギー多用型かつ資本集約的産業の育成となる。さきにも述べたとおり、このような開発段階においては、公害が発生したり、国民の間の貧富差が拡大する可能性が高い (Kuznets, 1996¹⁴⁾)。しかし、経済開発の後半においてはエネルギー節約的でありながら、平均所得が向上し、かつ所得を平等化できる理由は高度な技術産業の育成とサービス産業の発展の結果であろう。

図4によると、産業革命の発生地、英国のエネルギー弾性値は1880年ごろピークに達し、その後下降線を辿っている。英国に遅れて産業革命期に入った米国とドイツのピークは1920年ごろで、フランスはさらに10年遅れた。ヨーロッパや北米に大きく遅れをとった日本のピークは戦後の1970年頃となる。日本の戦後が終わったのは1970年頃とよく言われるが、そのころエネルギー弾性率がピークに達したことは、偶然だけでは説明できないであろう。1960年代に多く発生した公害問題は1970年のピーク直前の出来事であった。

英国、米国、ドイツのピーク時のエネルギー弾性率 (0.75—1.13トン、石油換算/1000ドル) は1980年のこれらの国々 (英国、米国、ドイツ) の弾性率 (0.25—0.5トン、石油換算/1000ドル) の2倍以上であった。つまり、数十年間にエネルギー弾性率が大幅に低下した (エネルギー効率が大幅に向上した)。他方、産業革命に遅れた日本は国民の節約精神に加えて、進んだ技術を取り入れられるメリットにより、低い弾性率を維持することができた。「遅れた者が得 (Follower advantage)」または「技術的な蛙の一つ飛び (Technological leapfrogging)」であったわけで¹³⁾、現在の開発途上国のエネルギー政策にも応用できる可能性がある。

さて、中国の現状はどうであろうか？ 1980年以前に評価された弾性率は存在せず、以後の値 (Goldemberg and Reid, 1999¹³⁾) が図4に示されているが、下降傾向にあるとは言え、弾性率自体は先進国よりかなり高い。とくに、中国が国際貿易に登場した2年後 (1980年) のエネルギー弾性値が1.4トン、石油換算/1000ドル (図4の枠外) であったこ

図4 主要先進国のエネルギー弾性率の変化



とは、共産主義経済がいかにエネルギー消費的であったかを伺わせるに十分である。しかし、この年以後のエネルギー効率化計画により、エネルギー弾性率は急減した。1980年以後の5年間の総エネルギー投資の約10%が効率改善に使われた結果、それ以前の年エネルギー増加率7%を約4%に抑えることができた¹⁴⁾。この結果、エネルギー使用増加率をGDP増加率の約半分に抑えることができた。1980年以来、中国政府は省エネルギーにとくに力を入れ、約30に及ぶ省エネ法の制定に向けて長年計画し、1998年1月から新しい「環境保護法」が施行された。石炭に対する補助についても、1984年の61%、1990年37%、そして1995年29%へと徐々に減少させる一方、石油に対する補助は1990年の55%から1995年の2%へと急減させた（Kosmo, 1987¹⁵⁾）。

上に述べたとおり、適切な環境保護技術を伴わない石炭の大量使用は、SO_xの大量排出となり、酸性雨の原因をつくる。Levine(1992)¹⁶⁾によると、中国は年間1800万トンの二酸化硫黄（SO₂）を排出し、周辺諸国にも被害を及ぼしている。揚子江の南での影響が、とくに大きく、チベット高原東側の地域の何と48%の都市で年平均pH5.6以下の酸性雨が降っている。最も酸性度の高い雨はpH3.8であった¹⁶⁾。

石田(2003)¹¹⁾によると、北京、上海、重慶、広州などの都市の煤塵降下量は246—374mg/m²で、ニューヨーク、ロンドン、東京などの数倍以上であり、酸性雨の主原因である二酸化硫黄量も、これら中国都市において多い。

先進・高所得国のエネルギー弾性率が低い理由については、次の4つの理由が挙げられる。

- ①エネルギー消費的産業からエネルギー節約的産業への移行
- ②エネルギー効率の低い資源（例えば、石炭）から高い資源（例えば、天然ガス）への移行
- ③エネルギー効率の改善（技術開発）
- ④エネルギー効率を向上させるための政策（例えば、エネルギー価格の上昇、車の排気規制、自然エネルギーへの補助など）。

これらのうち、中国がとくに力を入れてきたのは③エネルギー効率の改善であった。石炭中心（約67%）であり、石油生産が下降線を辿る中国にとって、新疆タリム盆地における天然ガスを東部工業地帯に送る「西気東輸」政策や、LNG（液化天然ガス）輸入、そして長江沿いのダム建設と水力発電に望みをかける以外に手はないが、即効は期待できない。石炭をベースとしたエネルギー効率の改善以外に目立った政策は考えられない。

一次エネルギーが使われた結果の「二酸化炭素排出状況」を示す「カーボン弾性率（トン、カーボン／トン、石油換算）」も計算された。クリーンなエネルギー源（例えば、天然ガス、風力、太陽熱）に頼っている国は、たとえエネルギー弾性率が高くても、カーボン弾性率は低くなるわけであるが、二酸化炭素発生率の高い石炭を主なエネルギーとしている中国の値は高くなる。1994年現在で中国とインドの1.03トン、カーボン／トン、石油換算にたいして、世界平均値は約0.78、英国のそれは約0.68である（Goldemberg and Reid, 1999¹³⁾）。インドも中国同様、一次エネルギーに占める石炭の割合が高い（約50%）。

結論

エネルギーを効率良く使い、環境保全に留意することは、中国の経済発展を継続するために大切である。酸性雨を含む地域的な公害問題は言うに及ばず、地球規模の環境破壊、温暖化による気候変動、乾燥化、土壌剝削などは大きな人口をかかえる中国にとって、重大問題である。経済開発が進んでいるとはいえ、全経済における農業の比率の高い中国にとって、農業の重要性は述べるまでもない。

エネルギー資源が枯渇すれば、経済発展の鈍化ないし、崩壊にさえ結びつく可能性が出てくる。省資源、省エネルギーを基本とした環境政策の確立は12億国民の健康と生活環境を守り、改善するために必要な条件である。もし、これらの政策が成功しなければ、1978年以来の経済発展が終わりを告げ、歴史のかなたに消え去ることになりかねない。

省エネルギーと環境保護の分野で進んでいるわが国を含む先進国による国際協力体制の確立は中国とその国民を守るためばかりでなく、地球の未来のために必要であると信ずる。

その一つの可能性は中国が持つ唯一のエネルギー資源、石炭、に付着している「炭層ガス」の開発である。炭層からの「ガス抜き」は毎年数千人の炭坑事故死の原因である爆発事故を減少させるだけでなく、二酸化炭素の20倍の温暖化効果を持つメタン・ガスの大気中への排出をおさえるばかりか、新しい燃料資源となる。メタン・ガスは燃焼されれば、化石燃料中、最も環境に優しい資源である。

二酸化炭素を排気ガスから分離し、石炭層に「超臨界状態（高温、高圧）」で圧入することで、可燃性のメタン・ガスを生産する「一石二鳥」（つまり、環境対策とエネルギー生産を同時に行う）の方法が実用化しつつある。二酸化炭素分離、圧入の分野で我が国は最も先進な国の一つである。

注

- 1) 森島宏「天然ガスのすべて—21世紀の主要エネルギーの最新知識—」『石油／天然ガスレビュー』第37巻第1・2号、石油公団、2004年、114—169頁。
- 2) World Book-Childcraft International, *World Book*, Chicago, London, Paris, Sydney, Tokyo, Toronto: World Book-Childcraft International, 1980.
- 3) Edwards, J.D., “Crude Oil and Alternate Energy Production for the Twenty-first Century: the End of the Hydrocarbon Era,” *American Association of Petroleum Geologists Bull.*, Vol.81, No. 8, 1997, pp.1292-1305.
- 4) 真柄欽次「水素エネルギーの世紀—21世紀への展望—」『総合政策論叢』第9号、島根県立大学、2005年。
- 5) 土市勉「拡大する世界の天然ガス利用と日本の課題」『石油技術協会誌』第66巻第2号、2001年、202—214頁。
- 6) 真柄欽次「グローバル化時代のエネルギー問題」『レポートNEARカレッジ—北東アジア地域研究、しまね県民大学院—』財団法人北東アジア地域学術交流財団、2003年、47—56頁。
- 7) 佐々木育子「新たな天然ガス資源：コールベッドメタンの急成長—米国での官民一体 R&D と税制優遇が大きな効果—」『石油／天然ガスレビュー』第36巻第5号、石油公団、2003年、66—71頁。
- 8) Brown, L. R., *State of the World*, World Watch Institute, 1955.
- 9) Zhang, Z. X., “Is China Taking Actions to Limit Its Greenhouse Gas Emissions? Past Evidence and Future Prospects,” in *Promoting Development While Limiting Greenhouse Gas Emissions, Trends and Baselines*, New York: UNDP, 1999.
- 10) 杉森康二・神原達・小川芳樹『中国・ロシアのエネルギー事情 Q&A 100』亜紀書房、1995年、279頁。
- 11) 石田聖「『爆発する』中国のガス・ビジネス—『西気東輸』パイプラインの東部区間開通を目前にして」『石油天然ガスレビュー』第36巻第5号、2003年、42—62頁。
- 12) Ayers, Jr., W. B., “Coalbed Gas System, Resources, and Production and a Review of Contrasting Cases from the San Juan and Powder River Basins,” *American Association of Petroleum Geologists Bull.*, Vol.86, No.11, 2002.
- 13) Goldenberg, J. and Reid, W.V., “Greenhouse Gas Emissions and Development: a Review of Lessons Learned,” in *Promoting Development While Limiting Greenhouse Gas Emissions, Trends and Baselines*, New York: UNDP, 1999, pp.1-138.
- 14) Kuznets, S., *Economic Growth of Nations*, Yale University Press, 1996.
- 15) Kosmo, M., *Money to Burn? The High Costs of Energy Subsidies*, Washington, D.C., World Resources Institute, 1987.
- 16) Levine, et al., *China's Energy System*, Berkeley, California: Lawrence Berkeley Laboratory, 1992.

キーワード：京都議定書 中国の炭層ガス エネルギー効率改善 エネルギー弾性
率

(MAGARA Kinji)