

E-0809 中国における気候変動対策シナリオ分析と国際比較による政策立案研究

(1) 中国エネルギー需給現況分析と温室効果ガス将来排出量シナリオ分析に関する研究

埼玉大学経済学部

外岡 豊・李 潔

〈研究協力者〉

埼玉大学環境科学研究センター, 経済学部

Kenny Wan SauYi

埼玉大学環境科学研究センター

姜 兆武

埼玉大学経済科学研究科 (学生)

洪 石峰

東北大学大学院国際文化研究科 (学生)

張 文字

大連理工大学 能源与動力学院

寧 亜東

中国人民大学 環境学院

宋国君

新疆財経大学

Zulati Latif

(株) EX都市研究所 サステイナブルデザイングループ 大野 正人

平成20～22年度 累計予算額：36,704千円 (うち22年度予算額：12,210千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 中国におけるエネルギー需給と温室効果ガス排出量の経年動向と省別分布について解析した。省別・エネルギー需給詳細部門別・エネルギー種類のエネルギー需給データを経年的に分析し、その動向を多面的な影響諸要因との関係から分析した。対策技術を含め影響要因の動向を想定し一部の発生源部門については2030年の将来温室効果ガス排出量をシナリオ推計分析した。中国の統計データについては、とかくデータの信頼性について議論がなされてきたが、本研究において時間をかけて精査し、異常値を除外するなどして分析に耐える省別・経年動向データを整備している。また排出寄与が大きい鉄鋼、セメント、交通、建築（非住宅、都市部、農村部住宅別）部門について他にない詳細な分析を行った。マクロな統計データによる経年動向の分析とその背景にある諸要因のうち影響が大きなものについて詳細な情報収集を行い将来予測の基礎となる諸事項についてミクロな分析を並行して行い、マクロな動向の変動要因を分析した。2030年までの将来予測と対策シナリオについて試算した。すべての業種について省別に分析することが目標であったが分析に耐える現況データが得られない業種、地域もあり、エネルギー消費が大きい特定の業種と省に絞って重点的に解析することにした。なお建築分野に関してはサブテーマ（3）で別途扱った。

[キーワード] CO₂、気候変動、温室効果、エネルギー需給、中国

1. はじめに

気候変動に関する最新の科学的認識に基づいて、2050年までに世界合計で温室効果ガスの排出を半減することが求められている。人口規模が大きく広大な国土に大きな地域格差が存在し急速な経済発展途上にある中国においては、急激な交通量の増大、鉄鋼、セメント生産量の増大に見られるような排出増大への大きな基礎圧力がある一方で、省エネルギー、再生可能エネルギー等の対策技術導入の機会があ

り、大きな排出削減の潜在可能性も秘めている。そこで、このサブテーマでは、省別・エネルギー需給詳細部門別・エネルギー種類別のエネルギー需給データを基礎に、人口、経済社会、各種技術、社会資本形成、世界経済との関係、都市と農村の住居等、諸影響要因をつぶさに解析して、2030年の将来温室効果ガス排出量と各種対策効果を定量的に評価し、対策を実現する施策のあり方について検討し、中国における温室効果ガスの将来排出量のシナリオ分析を行う。

2. 研究目的

このサブテーマの研究目的は、中国における温室効果ガス排出削減政策決定への客観的な資料を整備提供することである。中国において適切な対策評価を行うには省別・発生源別に詳細なエネルギー需給と排出実態要因分析が不可欠である。しかしながら既往の研究においてその要求に耐える水準の分析結果が見当たらない。そこで本研究では省別・発生源別分析に力点をおき、エネルギー需給と関連する社会経済諸統計を収集整備しデータ解析に利用できる様式に整理し、経年動向と省別分布の解析を行い、それに基づいた対策検討と将来シナリオ分析を行った。

3. 研究方法

研究方法は大きくマクロ統計分析と特定部門詳細分析に分けられる。マクロ統計分析として1981年から最新年次までの省別・発生源別(エネルギー需給部門別)エネルギー需給量を示したエネルギー・マトリックス(図1に示す需給データ表)を整備し、並行してその動向決定要因である経済社会動向の統計データを整備した。エネルギー需給区分は詳細部門別(87部門)、エネルギー種類区分はバイオマス燃料を含む36区分、地域区分は省別(32地域、直轄市、少数民族自治区を含む、香港は十分なデータを用意できないので除く)の3次元表を作成した。1990年以前については必要な基礎データが十分得られないため詳細については簡便な補足推計を行っている部分がある。また同型表の排出量推計を行い、CO₂、燃焼系CH₄とN₂O、BC(ブラックカーボン、未燃炭素)、OC(オーガニック・カーボン、有機炭素)、PM(粒子状物質)、SO₂、NO_x、CO、燃焼系NMVOCs(非メタン揮発性有機化合物)について算出しているが、農業系、自然系の発生源からの排出量推計はここでは行っていない。

経済社会基礎データとして都市部、農村部別人口の伸びと地域分布に年齢別・性別コーホート分析を適用し都市化の段階による4地域別将来予測を行う手法を試みてきたが、その手法を応用した2030年までの省別・4地域別人口予測と省別GDP予測を行った。次に省別・産業部門別GDPの経年動向分析を行い、それに基づく2030年までの将来予測を行った。対策なし自然成長(BAU)シナリオに対し各種対策時のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量を予測推計した。

特定部門詳細分析については鉄鋼、セメント、交通部門について分析を行った。なお建築については特に重点的にサブテーマ(3)で別に扱う。

経済社会基礎データとして人口の伸びと地域分布を年齢別・性別コーホート分析により分析し都市化の段階による4地域別将来予測を行う手法を試みてきた¹⁾。4地域とは、巨大都市、大都市、中小都市、農村の4区分であり、エネルギー消費水準あるいはその特性が都市化の段階により大きく異なるとの仮説に立って、それぞれにエネルギー消費量を推計するための基礎として4地域別人口を推計している。ここではその手法を応用して省別に4地域別人口の伸びを2030年まで予測した。

人口について基礎的な指標としてGDP国内総生産額があるが、その信頼性についてもかねてから議論があり、とかく過大な値が報告される傾向があるとされる²⁾。産業部門別GDPを含む国民経済計算と産業連関表(2007年表、2002年表と過去の時系列表)についてデータ利用できるように整備しようとしているが、過去のデータについては利用上の障害が多く経年的に使える統一したデータの整備は簡単ではない。また産業活動と消費水準の基礎指標として1人当GDPの将来動向を設定する必要があるが、その参考に諸外国のGDP経年動向の比較検討を行っている。そこでの問題はよく知られているように国際為替かPPP(Purchasing Power Parity)購買力平価の換算手法によるゆがみであり、類似の中国国内問題としても物価の経年変化と地域格差を実質価格換算する際の問題がある。最近中国では時系列統計が多数出版され以前よりは研究しやすい状況に変わって来てはいるが、異常値の確認と補正には常に留意しながら作業を行っている状況にあり、業種別・省別に経年データを解析すると異常な傾向を示す場合も多く、また年次によりデータの欠損があることも多い。表1に本研究で整備した経済社会指標の主要項目を示す。

社会指標の基礎として人口統計は欠かせないが、とくに中国では都市と農村での戸籍の区別があり、都市部、農村部別の省別人口データを経年的に整備した。国民経済計算指標としてGDPと産業別生産額があるが、物価の経年変化と地域格差が併存しているのでデフレーターへの扱いに注意を要する。建設投資額はセメント等、都市基盤、建築素材消費量の基礎指標として重要である。主要工業品の生産量と生産額は詳細部門別のエネルギー消費量を推計、解析する際に必要であり、省別に用意した。旅客、貨物・交通手段別交通量も、同様に詳細需要部門別エネルギー消費量推計の基礎として使うが、そのエネルギー需要が大きく、急激に伸びていることもあり重要な指標である。

中国計			
〇〇省	エネルギー種類36区分		含 バイオマス
エ ネ ル ギ ー 需 給 87 部 門	エネルギー需給量	TJoule	鉍石等
	エネルギー需給量	実物量 トン、Nm3	

図1 中国・省別エネルギー・マトリックス(需給表)の構成

4. 結果・考察

(1) エネルギー需給と温室効果ガス排出量

中国における一般のエネルギー統計ではバイオマス燃料が計上されていないが農村部では住宅の厨房暖房用等に大量の自給バイオマス燃料が使われており図2ではそれを含む1次エネルギー総供給量を示した³⁾。政府公表のエネルギー統計では中国全国合計表の値より省別表を加算合計した値の方が大きめである傾向が1996年頃から継続しているが、我々は全国表値が過小であると判断している。その根拠はSinton, J. 等⁴⁾ がGDPとの回帰分析から予測推計した石炭消費量(図2の一番上の折れ線4)に比べて全国値がかなり小さいこと、その裏付けとして堀井が小規模零細炭鉱が1996年頃閉鎖命令が出されたことを指摘していることである^{5) 6)}。一端閉鎖された炭鉱で、実際にはその直後から生産が復活している実態に対して全国値ではそれを反映していないので過小なのであろうと説明される。省別合計値は図2に示した全国値とGDP回帰推計値の中間線よりやや低めに位置しているが、この分析では省別データを最も実態に近い傾向を示すものとして優先採用している。

表1 本研究で整備した経済社会指標(主要な項目だけ表示)

	社会経済基礎指標	単位	出典	
社会統計	人口	総人口 万人 城鎮 万人 農村 万人	中国統計年鑑各年版、中国城市統計年鑑各年版	
	従業者人数	城鎮 万人 農村 万人 第一産業 万人 第二産業 万人 第三産業 万人		
国民経済計算	国内総生産	GDP 億元 第一産業 億元 第二産業 億元 工業 億元 建築業 億元 第三産業 億元 交通・通信 億元 小売・貿易・飲食業 億元	中国統計年鑑各年版	
	国内総生産指数	GDP 前年度=100 第一産業 前年度=101 第二産業 前年度=102 その中:工業 前年度=103 その中:建築業 前年度=104 第三産業 前年度=105 その中:交通・通信 前年度=106 その中:小売・貿易・飲食業 前年度=107		
	投資	基本建設投資 億元 更新改造投資 億元 全社会固定資産投資 億元	中国統計年鑑各年版	
生活・住居	建設面積	竣工面積 104㎡ その中:住宅 104㎡	中国統計年鑑各年版	
	生活基本状況	城鎮居民可処分収入 元 指数 1978=100 生活消費支出 元 食品支出 元 農村居民 元 指数 1978=100 生活消費支出 元 食品支出 元	中国統計年鑑各年版	
	居民消費水準	全国居民 元 農村居民 元 城鎮居民 元	中国統計年鑑各年版	
	居民消費水準指数	全国居民 前年度=100 城鎮居民 前年度=100 農村居民 前年度=100	中国統計年鑑各年版	
	一人当り住宅面積	都市使用面積 ㎡ 都市居住面積 ㎡ 農村住宅面積 ㎡	中国城市統計年鑑各年版	
	工業	主要工業品産量	工業総産値 億元 工業総産値指数 前年度=100 石炭 万吨 石油 万吨 天然ガス 108m ³ 発電量 108kW・h その中:水力発電 108kW・h 鉄鉄 万吨 鋼 万吨 製品鋼 万吨 セメント 万吨 ガラス 万重量箱 硫酸 万吨 肥料 万吨 自動車 万台	中国統計年鑑各年版
交通輸送	旅客運送量	旅客運送量	万人	中国統計年鑑各年版 中国交通統計年鑑各年版 中国城市統計年鑑各年版
		鉄道	万人	
		道路	万人	
		水路 航空	万人 万人	
	貨物運送量	貨物運送量	万吨	中国統計年鑑各年版 中国交通統計年鑑各年版 中国城市統計年鑑各年版 中国交通統計年鑑各年版
		鉄道	万吨	
		道路	万吨	
		水路 航空 パイプライン	万吨 万吨 万吨	
旅客周転量	旅客周転量	百万人キロ	中国統計年鑑各年版 中国交通統計年鑑各年版 中国城市統計年鑑各年版	
	鉄道	百万人キロ		
	道路	百万人キロ		
	水路 航空	百万人キロ 百万人キロ		
貨物周転量	貨物周転量	百万トン・キロ	中国統計年鑑各年版 中国交通統計年鑑各年版 中国城市統計年鑑各年版 中国交通統計年鑑各年版	
	鉄道	百万トン・キロ		
	道路	百万トン・キロ		
	水路 航空 パイプライン	百万トン・キロ 百万トン・キロ 百万トン・キロ		

図3は1次エネルギー供給量とセメント生産の石灰石起源CO₂排出量を合計したCO₂排出量推計結果である。この基礎となるエネルギー消費量は全国値なので実態より過小であろうと考えられる^{注1)}。

最近の気候変動メカニズムの研究では、単にCO₂排出量だけでなく、京都議定書の6種類の温室効果ガス以外の各種のオゾン層破壊物質やエアロゾル等が関与した複雑な物理的・化学的機構が考えられており、その複雑な機構は十分な説明はなされていないものの、最近の気候変動と大気汚染の研究は境界がなく切り離し難い関係になっている。例えばエアロゾル(微小粒子)の一種であるBC、正確にはEC、すなわち微小な炭素粒子、が黒色粒子であるため赤外線を吸収する温室効果があるとされており、微小である故に肺の奥に入り込むので、その健康影響も指摘されている。同時に排出されるOCは逆に負の温室効果があるとされ、両者の逆向きの効果が相殺されて全体としてどちらの影響が大きいのか地球科学的な見地から議論があった(例えばPener, et al, 2003⁷⁾) が明確な結論は得られていない。これに関連して次のサブテーマ(2)での実測結果からOC排出量がEC排出量より大きいことを示唆する結果が得られている。

中国の農村部で大量に使われているバイオマス燃料からBC、OCが排出されていると推計される⁷⁾が、表2は中国における温室効果と大気汚染に関係した各種前駆物質の排出量を推計した例である⁸⁾。これは当研究に先行する科研費特定領域研究によるアジア地域の広域大気汚染研究の我々が分担した研究の成果である。図4は中国におけるBC、OC、PMの発生源構成推計例で、BC、OCのバイオマス燃料、農村部住宅からの排出寄与が大きいことがわかる。なおサブテーマ(2)ではBCより正確にECの排出量を分析し把握すべきことが指摘されているが、これまでの研究成果では信頼できるEC排出係数を設定するには至っておらず、本研究ではEC排出量の推計はできなかった。

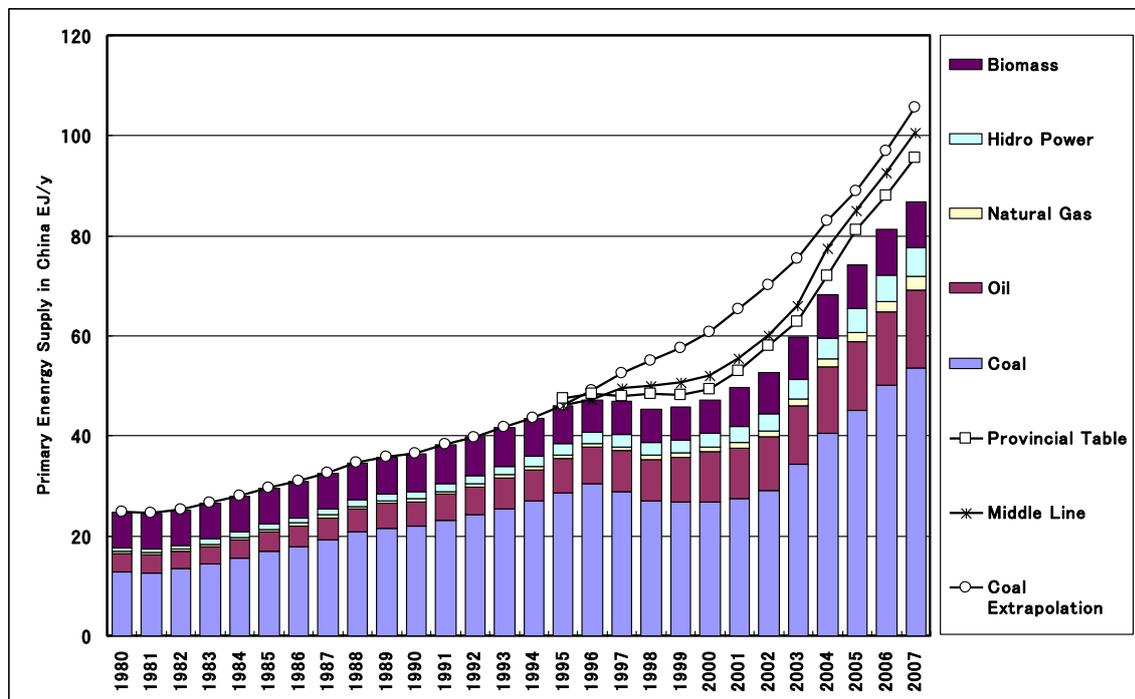


図2 中国エネルギー消費量経年動向 1980-2007年 バイオマス含・1次エネルギー

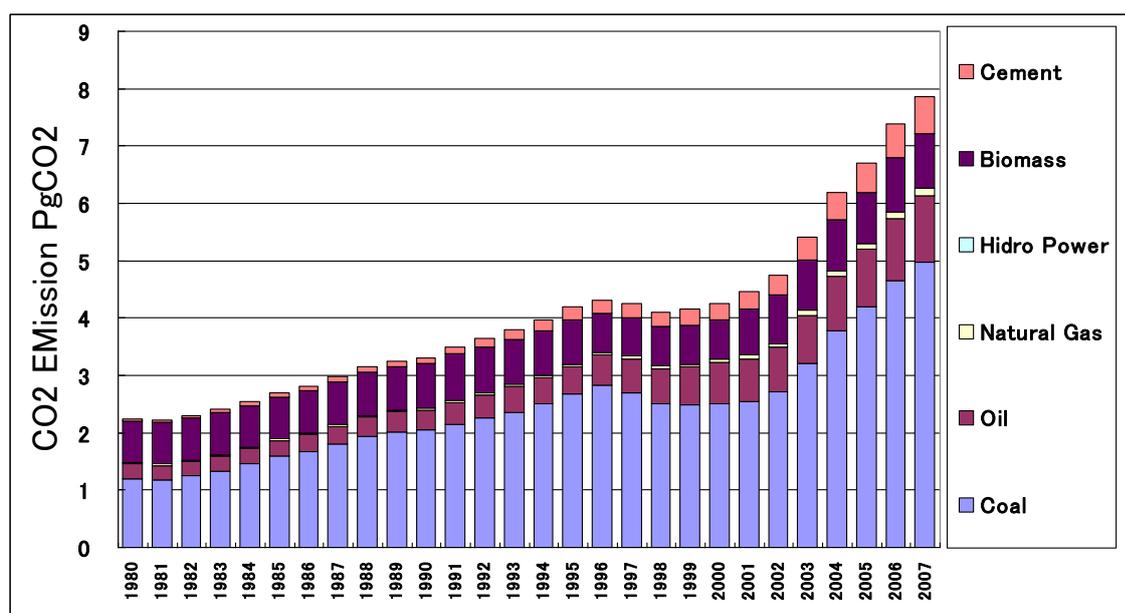


図3 中国エネルギー消費とセメント生産起源CO₂排出量経年動向 1980-2007年
バイオマス含・1次エネルギー供給量ベース

表2 中国における温室効果関連物質ガス排出量 2002年⁸⁾

GHGs 汚染物質	都市部*	農村部	家庭部門 計*	全発生源計	家庭部門 %
エネルギー消費#	3.19	9.98	13.18	53.85 EJ	24.5%
CO ₂ バイオ含	0.37	1.18	1.56	4.94 Eg	31.5%
CO ₂ バイオ除	0.37	0.13	0.51	3.89 Eg	13.0%
CH ₄ 燃焼系	0.04	5.34	5.39	5.84 Tg	92.2%
SO ₂	2.20	1.72	3.92	30.81 Tg	12.7%
NO _x	0.77	0.88	1.66	13.71 Tg	12.1%
CO	6.70	97.59	104.29	131.75 Tg	79.2%
NMVOCS	0.76	15.90	16.65	25.34 Tg	65.7%
PM	0.96	6.51	7.47	19.54 Tg	38.2%
BC	0.13	0.81	0.95	1.35 Tg	69.8%
OC	0.20	2.93	3.13	3.42 Tg	91.6%
Hg	4.47	7.49	11.96	185 Mg	6.5%
NH ₃ 2000年				12.17 Tg	-

注：*：熱供給含；#：エネルギー消費量；家庭部門は2次消費量、全発生源は1次供給量

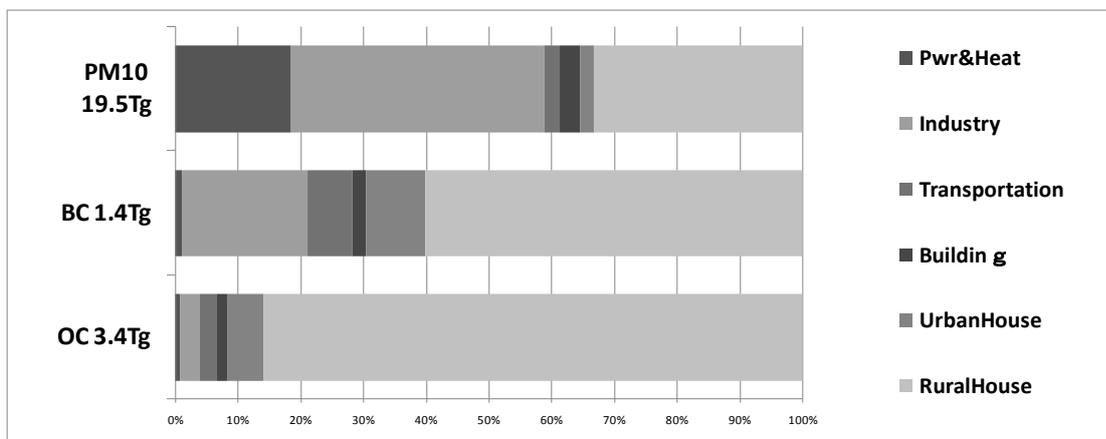
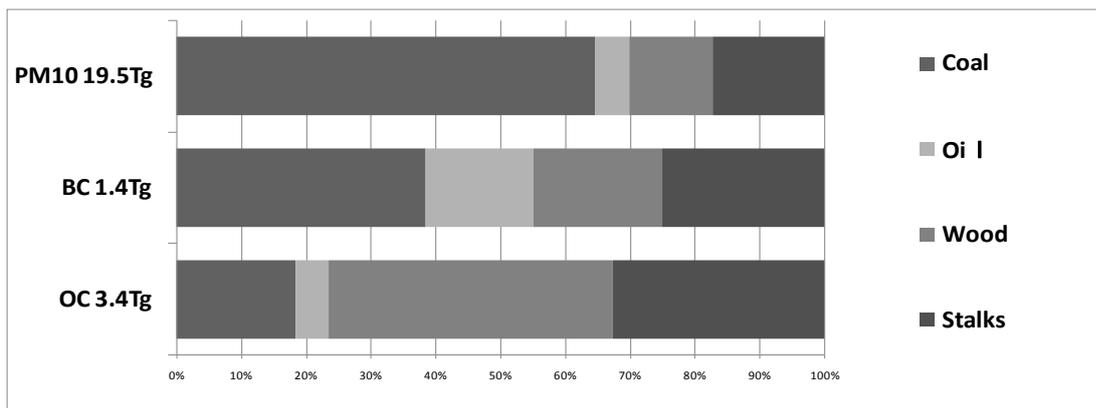


図4 温室効果関連物質と大気汚染物質の排出構成⁸⁾

(2) 省別人口の経年動向と将来予測

1985年から2007年までの経年動向をもとの2030年までの省別将来人口を、都市化の段階による4地区別に予測推計した。結果を図5に示す。過去の動向を単純延長すると巨大都市への加速度的な人口集中は顕著には見られないが、農村部から都市への移住は継続している。

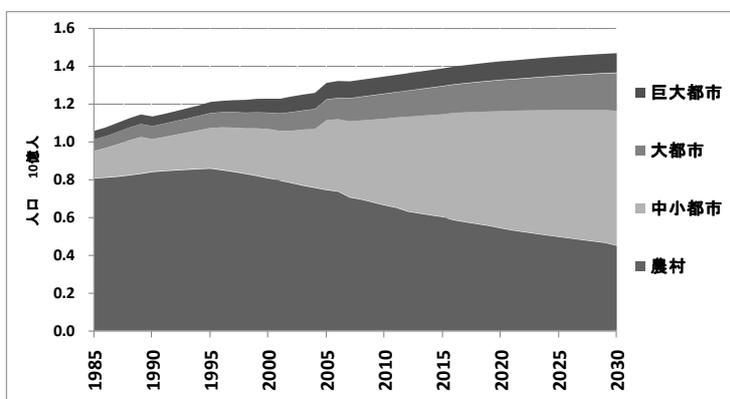


図5 4地域別人口予測試算結果 2008～2030年

(省別・4地域別予測より全国集計)

(3) 省別GDPの経年動向と将来予測

1980年から2007年までの経年動向をもとに2030年までの省別人口1人当GDPを予測した。結果を図6に示す。省別人口の伸びと1人当GDPの伸びが各種将来予測の基礎となる。

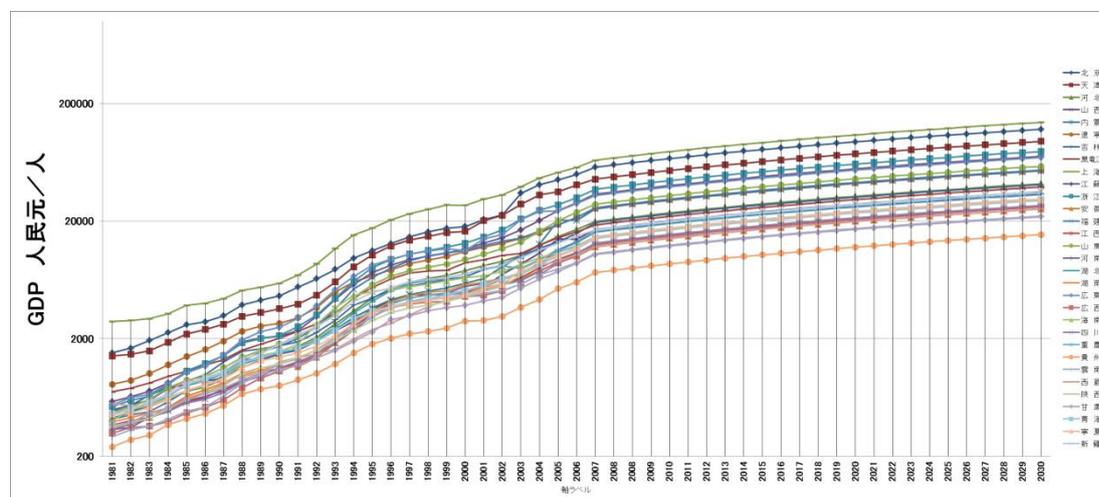


図6 2030年までの省別人口1人当GDP予測推計結果

(4) 完全要因分解モデルに基いた中国エネルギー消費の特徴分析⁹⁾

1) はじめに

中国は改革開放政策を推進して以来、急速な経済発展に伴って深刻なエネルギーと環境問題が起きている。ここ数年、中国のエネルギー大量消費、石油をはじめとするエネルギーの輸入依存度上昇、温室効果ガス、大気汚染物質大量排出などが世界の関心を集めている。今後中国は経済発展に伴って、エネルギー消費量の増加動向はまだ長期間続くと考えられる。本稿では完全要因分解モデルを使って、中国エネルギー消費特徴を分析する。

2) 分析手法

中国の統計年鑑では、エネルギー消費は主に産業部門エネルギー消費と民生部門エネルギー消費の2つに分類されている。本稿では要因分解(Decomposition Analysis)の手法で中国の産業部門エネルギー消費と民生部門エネルギー消費の特徴を分析する。産業部門エネルギー消費の要因モデルを式(1)で示す。産業部門エネルギー消費の影響要因は経済要因、原単位要因と構造要因に分けられる。

$$E = \sum \left(\frac{E_i}{G_i} \times \frac{G_i}{G} \times G \right) \quad (1)$$

ここで、 E : 産業部門エネルギー消費量。

G : GDPである。経済要因を定義する。 Get で標識する。

E_i : 各産業のエネルギー消費量。 $i=1, 2, 3$ 。三次産業を表す。

G_i : 各産業の付加価値。

E_i/G_i : 各産業のエネルギー消費原単位。本稿では原単位要因を定義する。 Iet で標識する。

G_i/G : 各産業の構成比。本稿では構造要因を定義する。 Set で標識する。

ここで、三次産業を例として説明した。実はこの方法は各業種の分析にも適用する。

民生部門エネルギー消費の要因分解モデルを式(2)示す。民生部門エネルギー消費の影響要因は経済要因、効用要因と人口要因に分けられる。

$$E = \sum_j \frac{E_j}{U_j} \times \frac{U_j}{P_j} \times P_j \quad (2)$$

ここで、 E : 民生部門エネルギー消費量。

E_j : 都市・農村別民生部門エネルギー消費量。 $j=1, 2$ 。1は都市部である。2は農村部である。

P : 人口数である。人口要因を表す。 P_e で標識する。

U_j : 可処分所得。

E_j/U_j : エネルギー消費量と可処分所得の比。本稿では効用要因を定義する。 U_e で標識する。

U_j/P_j : 一人当たり可処分所得。本稿では経済要因を定義する。 E_e で標識する。

本稿では2000-2007年のデータを使い、完全要因分解モデル(Complete Decomposition Model)で式(1)と式(2)を分析する。

3) 分析結果

3-1) 3次産業の影響

2000-2007年における中国の産業構造と各産業のエネルギー消費原単位を表3に示す。産業構造の変化によるエネルギー消費の影響結果を表3に示す。表中の(a), (b), (c)はそれぞれ第1、2、3次産業の構造変化によるエネルギー消費量の変化値である。a/d, b/e, c/fはそれぞれ第1、2、3次産業の構成比が1パーセント増加した場合の各産業エネルギー消費量の変化である。第2次産業の値は第1、3次産業の値よりかなり大きい。2007年の場合、第1、2、3次産業の値はそれぞれ752.16、3843.41、867.68 $\times 10^4$ tceである。第2次産業の値はそれぞれ第1、3次産業の値の5.11倍、4.43倍である。同様に、原単位の変化によるエネルギー消費量の変化影響結果を表5に示す。表中のa/d, b/e, c/fはそれぞれ第1、2、3次産業の原単位を1パーセント増加した場合の各産業エネルギー消費量の変化である。第2次産業の値は第1、3次産業の値よりかなり大きい。表4、5によると、経済要因の影響効果が一番大きい。構造要因の影響効果は原単位要因の影響効果より大きいことが分かる。第2、3次産業構造要因の影響効果は原単位要因の影響効果の2倍程度である。第1次産業の場合はほぼ9倍となっている。また、表4、5の中にある、(a), (b), (c)に対応するマイナス数字は省エネルギー効果を表す。中国省エネルギー効果の多くは原単位要因によるものであることが分かる。

表3 2000-2007年における中国の産業構造と各産業のエネルギー消費原単位

年次	GDP(億元、2005価格)				GDP構成比(%)			原単位(tce/万元)		
	合計	第一産業	第二産業	第三産業	第一産業	第二産業	第三産業	第一産業	第二産業	第三産業
2000	115948.34	18485.33	52457.49	45283.79	15.94	45.24	39.06	0.33	1.86	0.42
2001	125572.42	19002.93	56885.70	49928.73	15.13	45.30	39.76	0.34	1.77	0.40
2002	136976.99	19554.02	62477.16	55142.45	14.28	45.61	40.26	0.34	1.71	0.38
2003	150709.45	20042.86	70394.21	60382.63	13.30	46.71	40.07	0.34	1.77	0.39
2004	165908.56	21305.57	78216.74	66454.98	12.84	47.14	40.06	0.36	1.87	0.42
2005	183217.40	22420.00	87364.58	73432.87	12.24	47.68	40.08	0.36	1.86	0.41
2006	204556.75	23541.00	98692.17	82322.78	11.51	48.25	40.24	0.36	1.81	0.41
2007	228968.68	24411.30	111904.27	92657.53	10.66	48.87	40.47	0.34	1.74	0.39

表4 産業構造の変化によるエネルギー消費の影響結果

10⁴tce

年次	エネルギー消費量	変化量	経済要因	原単位要因	構造要因			構成比の変化率(%)			a/d	b/e	c/f
			Get	Iet	Set1(a)	Set2(b)	Set3(c)	S1(d)	S2(e)	S3(f)			
2001	126631.72	4043.75	9940.72	-6048.11	-324.61	129.14	346.61	-0.81	0.06	0.71	400.90	2189.28	491.11
2002	134269.92	7638.20	11340.49	-4282.23	-379.97	707.33	252.59	-0.86	0.31	0.50	443.05	2279.38	509.44
2003	155163.12	20893.20	13798.05	4929.99	-472.75	2744.55	-106.66	-0.98	1.10	-0.19	484.17	2501.58	558.06
2004	181945.97	26782.86	16157.46	9626.22	-251.89	1257.78	-6.70	-0.46	0.44	-0.01	550.87	2885.29	643.20
2005	201232.00	19286.03	18996.40	-1108.51	-378.16	1758.56	17.74	-0.60	0.54	0.02	625.14	3262.18	725.27
2006	220882.23	19650.23	23241.06	-5226.24	-503.19	2007.28	131.32	-0.73	0.56	0.16	690.70	3563.53	796.69
2007	238793.22	17910.99	25911.27	-9963.90	-636.99	2407.25	193.38	-0.85	0.63	0.22	752.16	3843.41	867.68

表5 原単位の変化によるエネルギー消費の影響結果

10⁴tce

年次	エネルギー消費量	変化量	経済要因	構造要因	原単位要因			原単位の変化率(%)			a/d	b/e	c/f
			Get	Set	Iet1(a)	Iet2(b)	Iet3(c)	I1(d)	I2(e)	I3(f)			
2001	126631.72	4646.00	9940.72	151.14	183.36	-5108.70	-1122.77	2.99	-5.02	-5.63	61.34	1017.02	199.25
2002	134269.92	8598.00	11340.49	579.94	26.24	-3586.36	-722.11	0.40	-3.40	-3.48	64.99	1054.36	207.50
2003	155163.12	23193.00	13798.05	2165.15	-61.14	4232.20	758.94	-0.91	3.73	3.45	67.03	1133.45	220.26
2004	181945.97	28237.00	16157.46	999.19	525.08	7620.73	1480.41	7.58	5.79	5.92	69.31	1315.35	250.15
2005	201232.00	21455.00	18996.40	1398.14	-101.11	-695.30	-312.11	-1.28	-0.45	-1.07	78.87	1550.42	292.21
2006	220882.23	21588.00	23241.06	1635.40	17.78	-4875.10	-368.92	0.22	-2.81	-1.15	81.86	1734.26	321.86
2007	238793.22	19312.00	25911.27	1963.63	-453.32	-8086.82	-1423.77	-5.29	-4.24	-3.98	85.63	1907.77	357.43

3-2) 主要産業の影響

2000-2007年における主要産業の構造変化によるエネルギー消費の影響結果を表6に示す。表中のA, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, MとNはそれぞれ石炭鉱業、石油鉱業、食料品、繊維工業、石油・石炭製品、化学工業、窯業・土石製品、鉄鋼業、非鉄金属、一般機械器具、輸送用機械器具、電気機械器具、情報通信機械器具製造業と電力事業の構成比が1パーセント増加したときの、対応する業種エネルギー消費量の変化である。同様に主要産業の原単位変化によるエネルギー消費の影響結果を表7に示す。表中の係数は対応する業種の原単位が1パーセント増加した場合の各業種エネルギー消費量の変化である。表6、7によると、構造要因の影響効果は原単位要因の影響効果よりかなり大きい。構造要因と原単位要因いずれも、石油・石炭製品、化学工業、窯業・土石製品、鉄鋼業、非鉄金属と電力事業の値が大きい。この6業種のエネルギー消費量は工業部門エネルギー消費量の70%を超える。また、表6、7によると、近年の中国工業部門における省エネルギー効果はほとんど原単位要因によるものであり、構造要因の寄与は小さいことが分かる。

3-3) 民生部門エネルギー消費の特徴

中国都市部民生部門エネルギー消費量の要因分解結果を表8に示す。モデル分析の誤差が非常に小さく、0.5%以内となっている。表中の(a), (b), (c)はそれぞれ人口要因、効用要因と経済要因の変化によるエネルギー消費量の変化値である。マイナス数字は省エネルギー効果を表す。都市部民生部門の省エネルギー効果はほとんど効用要因に支配されている。a/d, b/e, c/fはそれぞれ人口要因、効用要因と経済要因の変化率が1パーセント増加した場合のエネルギー消費量の変化である。人口要因、効用要因と経済要因の影響効果がほぼ同程度である。同様に、中国農村部民生部門エネルギー消費量の要因分解結果を表9に示す。エネルギー消費量はバイオマス燃料を含むので、都市部の消費量より大きい。表中の(a), (b), (c)とa/d, b/e, c/fの意味は都市部と同じである。表8によると、農村部民生部門の省エネルギー効果は人口要因と効用要因に支配されている。また、農村部の人口要因、効用要因と経済要因の影響効果がほぼ同程度であることが分かる。

表6 主要産業の構造変化によるエネルギー消費の影響効果

10⁴tce

年次	経済要因	構造要因Set													
	Get	石炭鉱業	石油鉱業	食料品	繊維工業	石油・石炭製品	化学工業	窯業・土石製品	鉄鋼業	非鉄金属	一般機械器具	輸送用機械器具	電気機械器具	情報通信機械器具製造業	電力事業
2001	10309.07	321.90	-787.49	18.15	-59.98	47.57	162.87	-399.19	935.24	132.08	41.38	144.05	2.45	0.00	374.53
2002	14971.79	528.69	-838.89	18.75	-83.82	-201.82	0.00	-347.43	169.53	-401.40	21.77	207.20	-9.63	46.15	56.35
2003	27285.87	-92.93	-143.88	57.91	-158.83	81.06	620.95	88.00	4668.93	624.70	120.04	74.62	3.41	75.54	-1367.52
2004	40938.29	1579.52	444.04	96.53	-27.08	-744.36	451.59	-697.79	3060.51	868.64	84.59	-301.13	16.70	-32.85	-707.62
2005	35627.90	807.56	207.08	56.96	-21.31	-475.85	250.55	-473.96	2021.19	504.95	56.12	-210.67	11.81	-22.42	-475.04
2006	39041.11	-102.83	-56.35	16.59	-170.71	-969.38	-596.14	596.42	-1583.99	2191.24	32.13	42.18	30.29	-30.83	-710.78
2007	46104.41	123.96	-647.67	81.27	-211.35	546.60	1462.10	649.43	59.23	844.68	110.40	216.23	28.11	-262.55	-119.52
年次	原単位要因	係数													
	Iet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2001	-14427.96	1892.90	500.77	399.04	524.36	3172.16	2111.54	2510.60	3282.41	1943.95	347.64	259.72	149.69	0.00	1076.18
2002	-2429.28	1655.75	668.25	498.40	589.38	2680.20	0.00	2476.08	3224.14	2122.53	335.88	249.11	153.34	101.00	1133.46
2003	-13215.01	2218.71	785.29	482.69	739.47	3463.48	2761.43	3149.82	3671.90	2491.49	409.77	248.22	213.92	115.63	1396.31
2004	-22877.98	1986.76	715.81	489.86	820.36	3668.64	3338.34	4003.80	3789.87	2618.49	414.77	299.03	199.73	141.65	1684.47
2005	-21152.70	1746.25	573.89	496.93	1109.96	4031.86	3184.11	4675.22	4302.78	2616.81	473.09	359.65	242.83	166.21	1944.02
2006	-22227.19	1650.81	590.35	547.23	1243.36	4748.30	3814.45	4783.81	5078.65	2614.10	522.98	381.91	253.99	207.85	2129.47
2007	-34182.55	1686.09	609.84	615.69	1380.32	5210.63	4256.91	5056.64	13371.13	2689.46	574.75	399.08	276.73	260.43	2550.98

表7 主要産業の原単位変化によるエネルギー消費の影響効果

10⁴tce

年次	経済要因	原単位要因 <i>let</i>													
	<i>Get</i>	石炭鉱業	石油鉱業	食料品	繊維工業	石油・石炭製品	化学工業	窯業・土石製品	鉄鋼業	非鉄金属	一般機械器具	輸送用機械器具	電気機械器具	情報通信機械器具製造業	電力事業
2001	10309.07	-1629.49	506.38	-223.91	-268.28	31.91	-1886.96	-2509.25	-3557.26	-494.59	-163.00	-227.91	-65.67	-44.94	-1923.01
2002	14971.79	-650.81	725.07	-72.84	62.18	-1188.22	-189.01	-358.20	-456.99	363.89	-24.62	-250.57	51.73	-37.75	388.11
2003	27285.87	-76.79	-904.19	-512.96	-158.85	-897.36	-1705.42	-402.91	-5271.58	-754.55	-275.99	-421.24	-36.43	-52.64	-120.25
2004	40938.29	-2789.12	-2756.06	-411.76	-254.61	904.65	-3576.27	482.53	-6087.32	-1917.89	-427.99	109.49	-109.59	-101.58	-2398.53
2005	35627.90	-1993.68	-944.89	-295.74	-669.23	-2634.22	-2989.80	-2970.31	-2454.23	-1318.78	-125.73	-391.95	-210.78	-95.06	-1867.79
2006	39041.11	-1399.60	-951.37	-389.65	-308.31	-1407.77	-2842.26	-4245.20	-1959.41	-2616.26	-289.71	-338.23	-193.12	-76.92	-1564.88
2007	46104.41	-1509.95	-222.94	-463.82	-841.52	-2936.04	-5579.82	-5339.82	-6471.10	-1197.54	-481.55	-544.63	-167.90	55.11	-3361.80
年次	構造要因	係数													
	<i>Set</i>	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2001	1006.39	53.49	37.06	16.16	28.38	73.73	140.27	121.52	193.89	41.31	12.46	15.29	6.27	6.93	109.82
2002	-809.27	46.85	39.45	16.07	28.62	83.77	139.39	106.27	186.30	40.24	12.66	16.75	6.38	7.61	105.63
2003	3640.90	51.77	50.87	19.23	34.36	87.23	171.55	124.02	250.48	54.65	16.03	19.00	8.39	9.57	127.25
2004	3365.68	77.05	57.57	19.51	42.17	100.16	210.51	155.44	305.53	71.23	18.72	18.46	10.74	12.18	153.62
2005	1754.09	76.70	42.27	20.95	51.43	134.94	231.95	202.07	347.05	75.38	19.62	22.33	12.73	14.27	162.47
2006	-1172.51	75.29	42.24	23.12	55.44	129.22	253.31	218.49	410.66	94.62	23.67	22.35	13.65	16.60	175.03
2007	3168.00	78.27	37.90	25.07	64.57	144.36	291.66	231.51	489.45	103.29	27.32	25.66	15.25	18.73	198.32

表8 都市部民生部門エネルギー消費量の要因分解結果

年次	エネルギー消費量	変化量	P_e (a)	U_e (b)	E_e (c)	人口の変化率 (%) (d)	効用要因の変化率 (%) (e)	経済要因の変化率 (%) (f)	a/d	b/e	c/f	モデル計算による変化量	誤差 (%)
2001	9468.3	2905.6	365.6	1840.4	702.1	4.7	26.1	9.2	77.8	70.4	76.0	2908.1	0.08
2002	10375.1	906.9	434.1	-680.1	1150.0	4.5	-6.6	12.3	97.1	103.3	93.6	904.0	-0.32
2003	11884.8	1509.6	469.0	-16.6	1057.1	4.3	-0.2	10.0	108.8	106.7	105.8	1509.6	0.00
2004	12973.1	1088.4	444.7	-673.0	1320.8	3.6	-5.3	11.2	122.1	127.1	117.8	1092.5	0.38
2005	14220.5	1247.4	475.0	-693.4	1463.7	3.6	-5.0	11.4	133.7	140.1	128.8	1245.3	-0.17
2006	15657.5	1437.0	392.0	-659.2	1700.9	2.7	-4.3	12.1	147.5	153.6	141.0	1433.6	-0.23
2007	16770.9	1113.4	464.7	-1929.9	2583.8	2.9	-11.2	17.2	160.3	172.1	149.9	1118.6	0.47

表9 農村部民生部門エネルギー消費量の要因分解結果

年次	エネルギー消費量	変化量	Pe (a)	Ue (b)	Ee (c)	人口の変化率 (%) (d)	効用要因の変化率 (%) (e)	経済要因の変化率 (%) (f)	a/d	b/e	c/f	モデル計算による変化量	誤差 (%)
2001	29016.4	4058.5	-428.5	3172.6	1319.1	-1.6	12.5	5.0	271.9	253.8	264.0	4063.2	0.12
2002	32473.4	3457.0	-515.1	2580.5	1396.3	-1.7	8.8	4.6	310.0	294.4	301.4	3461.7	0.14
2003	33632.5	1159.1	-592.7	-148.2	1893.9	-1.8	-0.5	5.9	333.6	327.7	319.8	1153.0	-0.53
2004	35329.7	1697.2	-518.6	-1685.0	3902.5	-1.5	-4.8	12.0	347.8	353.9	326.1	1698.9	0.10
2005	35990.8	661.0	-551.8	-2469.3	3682.3	-1.5	-6.7	10.9	359.8	369.6	338.9	661.1	0.01
2006	37715.3	1724.6	-398.9	-1458.3	3580.6	-1.1	-3.9	10.2	370.8	376.5	351.0	1723.3	-0.07
2007	36019.4	-1696.0	-501.3	-6507.6	5310.5	-1.3	-16.1	15.4	372.7	403.4	344.2	-1698.5	0.15

4) 結論

本節(4)では、完全要因分解モデルを使い、2000-2007年の中国エネルギー消費の特徴を分析した。本研究の結論と成果は次の6点に要約される。

- * 中国産業部門エネルギー消費の影響要因の中では、経済要因の影響効果が一番大きい。また、構造要因の影響効果は原単位要因の影響効果より大きいことが分かる。
- * 3次産業の分析結果から2次産業の構造要因と原単位要因の影響効果が、第1、3次産業の影響効果より大きいことが分かった。
- * 主要産業の分析結果によると、構造要因の影響効果は原単位要因の影響効果よりかなり大きい。構造要因と原単位要因いずれも、石油・石炭製品、化学工業、窯業・土石製品、鉄鋼業、非鉄金属と電力事業における値が大きい。
- * 近年の中国における産業部門の省エネルギー効果はほとんど原単位要因に支配され、構造要因の影響は小さい。
- * 民生部門のモデル分析結果から都市部と農村部いずれにおいても人口要因、効用要因と経済要因の影響効果がほぼ同程度であることが分かった。

5) 産業別生産動向の解析

2030年エネルギー消費量予測に先立ち、製造業の経年生産動向を解析する。河北省の鉄鋼業を例に工業生産動向とエネルギー消費量の関係を分析する。図7は生産額と付加価値額の経年動向を示したもので年々伸びているが伸び率もやや加速的に伸びていることがわかる。近年の中国における経済成長の典型的な傾向例と言える。図8は従業者数と生産額の関係でこの図から労働生産性の伸びを分析すると2001年から2006年の間に1人当生産額、労働生産性は4倍の伸びを示している。

図9は付加価値額とエネルギー消費量の関係であるが、付加価値額当のエネルギー消費量は抑制傾向にあり省エネルギー化の進展を見て取れる。

図10は山東省と河北省のエネルギー原単位比較例であるが、化学工業においても省エネルギー化の傾向が見られる。(様々な業種・省においてその傾向が見られた。図略)

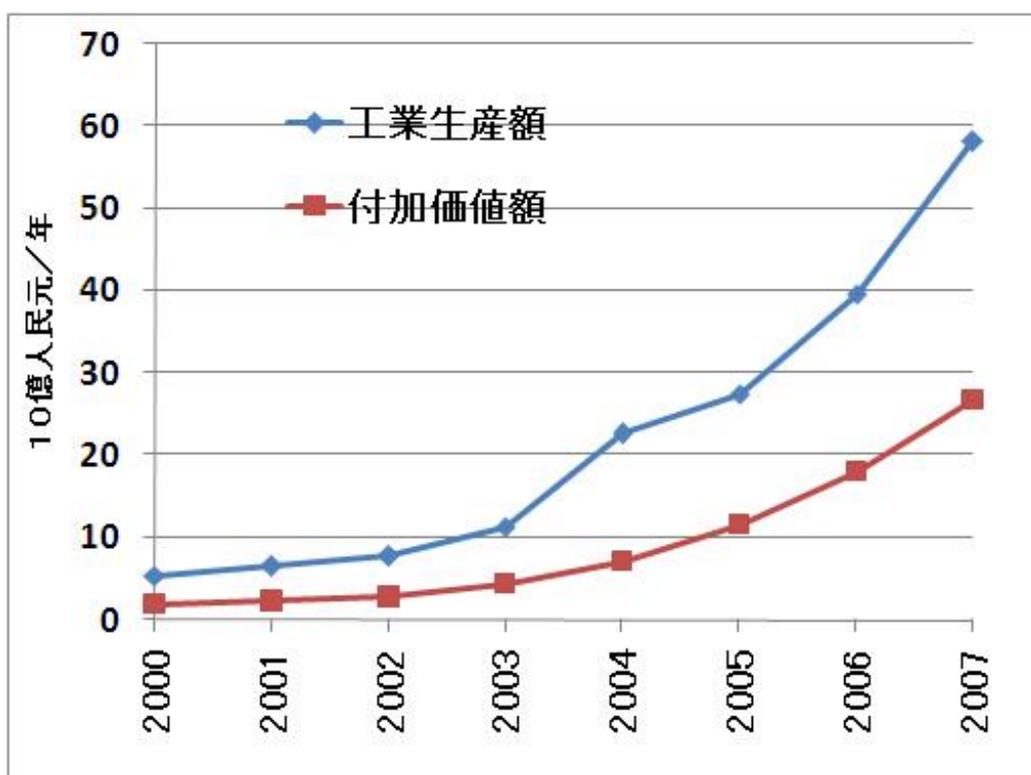


図7 工業生産額と付加価値額 河北省・鉄鋼業 2000年から2007年

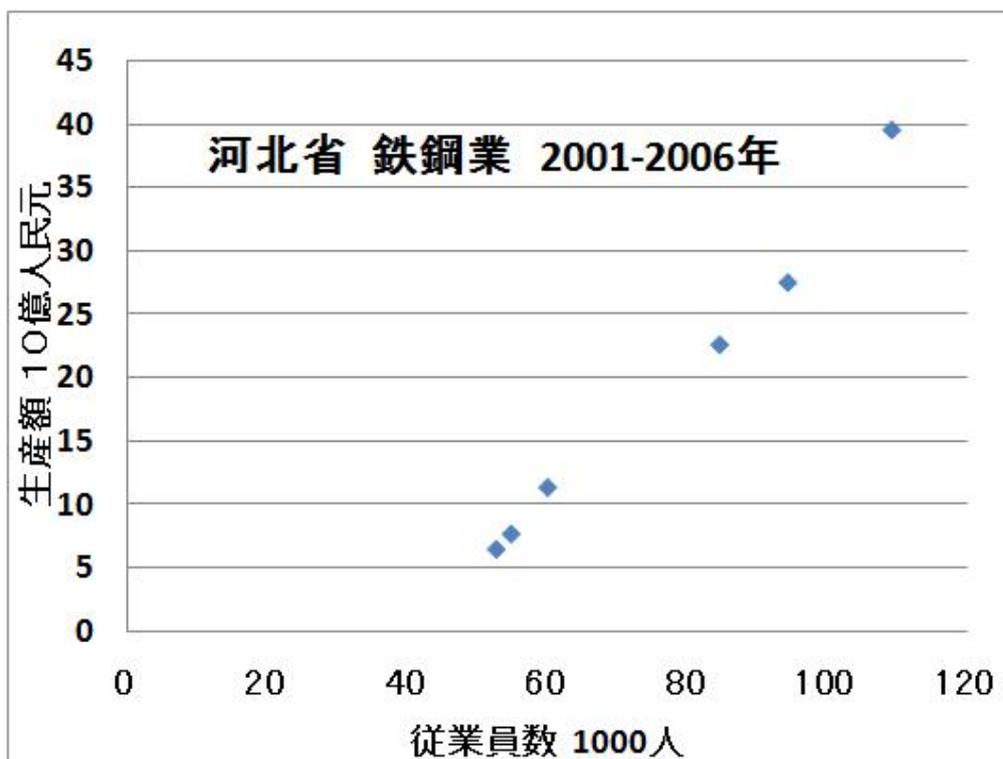


図8 河北省・鉄鋼業 労働生産性の経年動向 2001-2006年

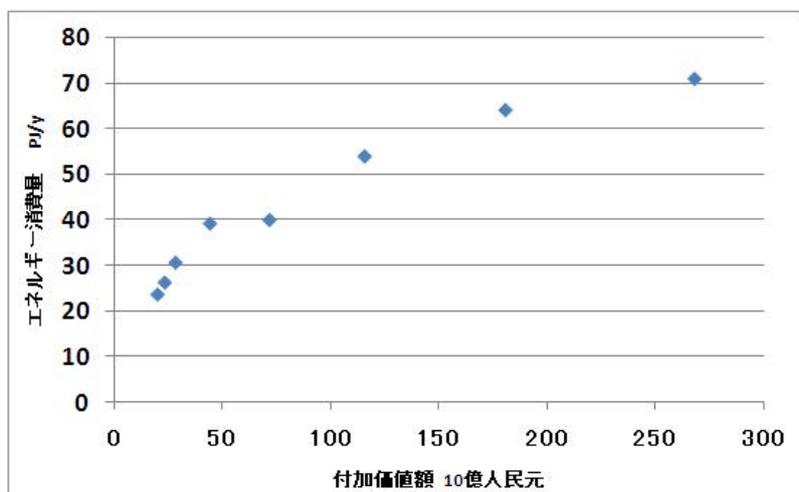


図9 付加価値額とエネルギー消費量（2次）河北省・鉄鋼業 2000年から2007年

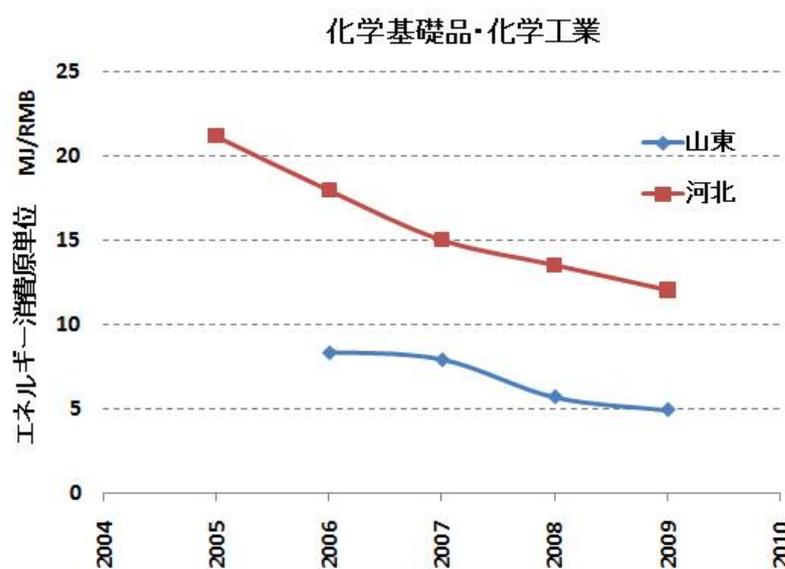


図10 エネルギー消費原単位の動向と省別比較

(6) 業種別2030年エネルギー消費量予測

以上の人口と1人当GDPを基礎に中国全土と省別予測の2段階で、エネルギー需要部門別に2030年までのエネルギー消費量をシナリオ推計予測した。

省別・産業別・エネルギー種類別のシナリオ予測を並行して行ったが、その一部を紹介する。省別・業種別の生産額は基本的に経年的に得られるがデータが得られない年次もある。経年動向分析は当然実質価格で分析すべきものであるが、適切なデフレーターが省別・業種別には得られない場合もある。産業活動の指標として生産額と付加価値額、生産量のいずれかを用いることができるが統計資料として工業経済統計年鑑と各省統計年鑑の2つが利用できる。ところが両者の数

値は一致しないばかりでなく、両者ともに経年動向に異常な増減が見られたり、実質額と名目額の相互関係からデフレーターを試算してみると、価格動向が不安定であったりすることが各所に散見される。これに対する対処法を試行錯誤して来たが未解決な状況にあり、異常値を除外しつつ妥当な傾向と判断できるデータを抽出し、中間年次の欠損値は補足推計した値を用いるなどして分析を進めた。

分析結果例として河北省の2030年エネルギー消費量予測結果を示す。河北省には後に述べるように2009年には宝山鋼鉄を抜いて中国最大、世界2位の生産量を誇る河北鋼鉄集団があり、製造業のエネルギー消費量が特に大きい地域である。図1-1に示す2007年時点では河北鋼鉄集団は3110万トンの生産があったが、その時点で河北省の鉄鋼業（黑色金属製品製造業）は製造業（中国の区分では電力、ガス、熱供給、水道、石油石炭製品を含む）の66%に当たるエネルギー消費量を占めており、2009年に河北鋼鉄集団の生産量が4020万トンに伸びていることからすれば2010年時点での鉄鋼業が占める割合はそれ以上に伸びているはずである。想定されるGDPの伸び（2030年は2007年の2.08倍）から予測されたBAUシナリオにおけるエネルギー消費量は2.49倍に伸びている。図1-1ではたまたま大きな鉄鋼業のエネルギー消費が同省内にあるため、相対的に目立たなくなっているが、河北省では鉄鋼に次いでセメント、化学工業（基礎品）、石油石炭製品などの製造も盛んである。BAUシナリオでは直近年次の高成長を反映してエネルギー消費量も現状の2倍以上伸びる想定になっているが、鉄鋼業の粗鋼生産量が2030年まで単調な増加を続けるとは考えにくい。また各業種において省エネルギー化も進展するであろうから、2030年に2007年の2.5倍のエネルギー消費量があるとするBAUシナリオは過大であり、それらを考慮して省エネルギーCO₂低排出ケースを試算すると2007年の1.5倍程度のエネルギー消費量になった。河北省は先進的な工業地域であるため鉄鋼業でも最新鋭工場が稼働を開始しており、その分今後の大幅な省エネルギーは他地域の潜在可能性より低めであると考えなければならない。セメント製造においても既にニューサスペンションプレヒーター（多段予熱乾式焼成炉、NSP）化が進んでいるため、今後の大幅な省エネルギーは見込みにくい状況にあると想定した。それに対して化学工業における省エネルギーは基礎品生産量当たりでも生産工程の改善の余地があると考えられ、生産額に占める高付加価値製品の割合も増大すると想定できるので大幅な省エネルギーを見込めるものと想定した。

注1：国際エネルギー機関(IEA)が公表した2007年の燃料燃焼からのCO₂排出量において中国は6071.2(香港含)、USAは5769.3 Pg-CO₂であった¹⁰⁾。我々の独自推計では燃料6272.2、バイオ燃料939.6、セメント原料647.5でバイオ燃料を除く燃料と石灰石起源排出量合計は6919.7Pg-CO₂であった¹⁾。

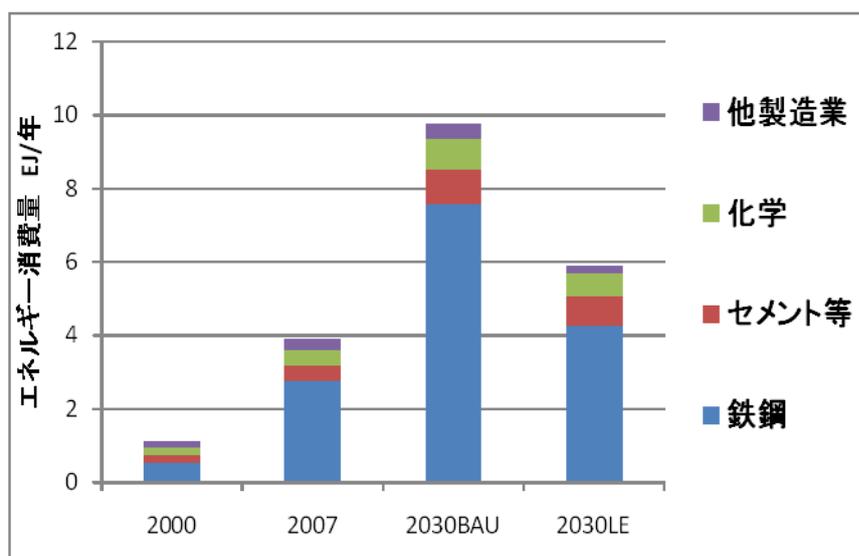


図 1-1 エネルギー消費量将来予測シナリオ分析 2030年
河北省 製造業の例 BAU：無対策なりゆき LE 省エネルギー

(7) 鉄鋼

鉄鋼については生産現況とエネルギー消費実態と省エネルギー技術について既に発表した¹¹⁾¹²⁾。またその後の動向を含め更に詳細な検討を行い¹³⁾、2008年度報告書では生産トン当たりCO₂排出水準について日本との比較を行った。2006年時点の比較で中国は日本の1.6倍のCO₂排出水準にある。世界鉄鋼協会の統計によると中国の粗鋼生産量は2008年に5.0億トン、2009年には5.7億トンを記録し、2010年には6.3億トンに達した¹⁴⁾。統計によると生鉄5.9億トン、鋼材生産量は8億トンだが、鋼材生産量は過大なので中間製品が二重に集計されていると解釈すべきものと考えられる。

2009年度の推計で2030年に約7億トンになると推計し、「それ以前にそれ以上に伸びる可能性も否定できない」と書き添えたが、すでに2010年実績において6億トン以上になっている。中国国家発展改革委員会能源研によれば胡錦濤の国連演説に合わせて発表された予測において低排出シナリオでは2020年に6.1億トン、2030年には5.7億トンに低下すると想定している¹⁵⁾¹⁶⁾。鉄鋼需要の伸びが旺盛なため、くず鉄回収量の伸びは粗鋼生産量に比べて低い水準にあることが予想され、高炉一貫製鉄生産量の伸びは継続すると考えられるため、2030年のBAU予測はもっと大きめの値を想定すべきであろう。

いわゆるコベネフィット論において省エネルギー、省資源と公害型環境負荷削減が言われるが中国の鉄鋼生産は、その格好の副次効果が期待される事例である。そこで大気汚染物質排出量を同時に推計評価することが望ましいが、製鉄所毎に生産設備を調査した事例もあり¹⁷⁾¹⁸⁾個別にそれが日本並みまで省エネルギー化された場合のCO₂排出削減効果も検討されている。また「日本モデル環境対策技術等国際展開検討WG」が環境省に設置され、アジアへの展開検討の一部分として中国の製鉄所での調査も行われている¹⁹⁾。これらの個別事例を通じた最新状況にもとづく更なる検討を行っているところである。例えば高温空気燃焼リジェネレーターを用いた加熱炉、熱処理炉は各地の工場に広く展開可能で、大幅な省エネルギーが期待できる技術である。とくに近年生産

規模が拡大している中国では、2009年の世界主要鉄鋼企業上位10社中5社が中国企業であった^{注2, 20)}ことからわかるように導入対象生産設備量も大きく、その導入効果も格段に大きいと期待される。

注2：【中国金属情報特約】中国の鉄鋼5社は、2009年の世界鉄鋼企業の粗鋼生産量トップ10にランクインした。河北鋼鉄集団の2009年粗鋼生産量は4020万トンで、第2位。宝鋼集団は3887万トンで第3位。武漢鋼鉄集団は3030万トンで第5位。鞍本鋼鉄集団の粗鋼生産量は2930万トンで第6位。沙鋼集団の粗鋼生産量は2640万トンで第7位。（www.ztkk.comより）²⁰⁾

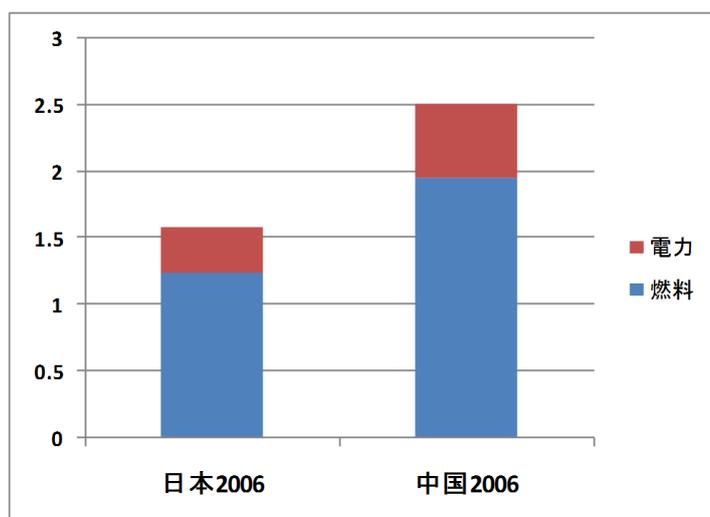


図 1 2 鉄鋼生産トン当CO₂排出量 日中比較 2006年

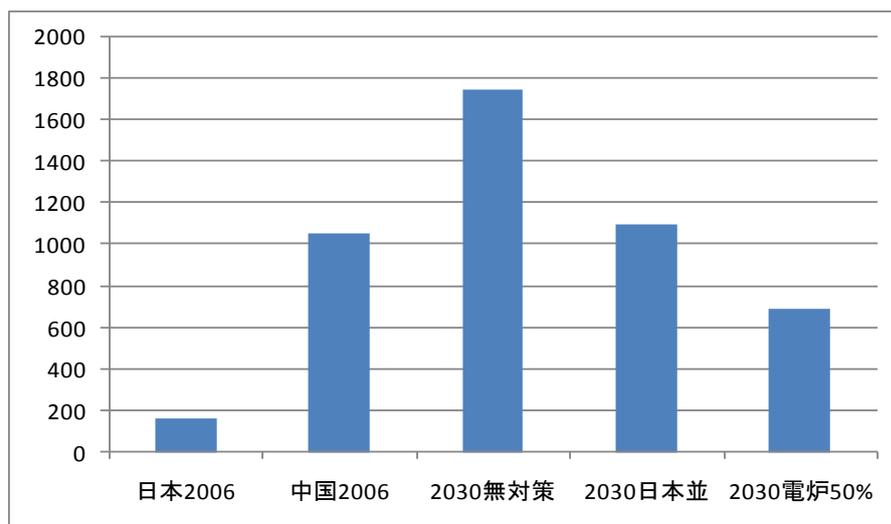


図 1 3 対策水準別・鉄鋼生産CO₂排出量 2030年 中国

(8) セメント生産

1) 概要

中国のセメント生産とそのエネルギー消費、CO₂排出に関して継続的な研究を行ってきた^{12) 21) 22) 23)}。その生産量は年々加速度的に急増を続けており、やや古い年次の現況実績から予測した将来生産量はその当時としては驚愕に値する膨大な値であったが、それに迫る大きな生産量がすでに最近年の実績として達成されており、この研究においても数回の予測の見直しを迫られる事態に到っている。3年間の研究のまとめとしてこの報告を書くに当たり、すべての数値を最新値に改訂して再分析することは時間の制約上できなかったため、分析の対象とする年次が2006年から2010年に散らばっているが、その間に生産量が急増するとともに生産施設が大型化し省エネルギー化が進み、消費原単位の平均値も低減されてきていること、またその最新大型生産設備の普及に地域格差があること等を念頭において理解いただきたい。

近年、中国では急激な経済発展と都市化の進行に伴い、都市基盤建設投資や住宅、建築建設が増大しセメント需要が急速に増大している。2008年のセメント生産量は14億トン記録し、2006年以降、中国のセメント生産量は世界合計の50%を超えている（図14）。中国セメント業のエネルギー消費量も急速に増大しており、2008年のセメント生産用燃料消費量は4.4EJ、電力消費量は0.5EJ（2次）、2次エネルギー消費量合計4.9EJと推計され、そのCO₂排出量（石灰石由来含む）は13.2億トンに達すると推計された。2006年の非金属鉱物製品業の粉塵排出量は515万トン、除去量は4686万トンで90.11%の除去率で、SO₂排出量は106万トンで80.14%の除去率であった。セメント生産の粉塵排出量は突出して大きい。小型の縦型キルンから大型の乾式NSP（New Suspension Pre-heater）キルンへの生産代替が急速に進められ省エネルギーとCO₂の排出削減に寄与している。既に2006年時点で2.8億トンの固体廃棄物が原料利用されているが、NSP化の後、期待できる削減策は混合セメント原料による非焼成化である。NSP化と非焼成原料利用により最大30%程度、14億トンのセメント生産に対し約4億トンのCO₂排出削減が潜在量として可能であると試算された^{注3)}。

セメント生産量は2009年には16.4億トン、2010年には18.7億トンに達し、能源研が2005年現況から予測した2020、2030年予測値16億トン、我々が2009年1月に発表した2020年ピーク予測値15億トンを簡単に突破してしまった。世界のセメント生産に占める中国の割合は一国で57%を占めている²⁴⁾。

注3) 中国水泥年鑑2007によると2006年のセメント生産量12.36億トンに対しクリンカ生産量は8.73億トン、71%であった。

2) セメント生産の技術動向と生産規模

「改革・開放政策」以来、中国セメント業には3つの成長期が見られる。すなわち、1978～1988年、1990～1995年と2001年以降の成長期である。1978～1988年と1990～1995年の2つの成長期には、需要の急拡大に伴い、小規模で資本費用がかからない、操業技術の習得が比較的容易な竖窯（シャフトキルン）が多数導入されて来た。しかし、竖窯は製品の質が悪く、エネルギー効率が低く、粉塵排出、SO₂が大きく、SO₂排出量も大きい等、大型NSPキルンに比べて大きく見劣りするものであった。2001年以降の成長期には、中国政府はエネルギー・資源と環境の面を考慮して様々な政策を制定し、生産規模が大きいNSPキルン導入を推進した。1980年のNSPセメントの割合は1%未満だ

ったが、2000年には10%強、2006年には50%を超え、2008年次点では62%に達している²⁵⁾。このように多数の小規模炉による分散生産から大型NSPキルンへの生産集約が年々進められ現在では世界的にも有数の大規模セメント企業が誕生しているが、それでも群小企業数は2005年次点では5千社以上あり8割が小規模企業であった。

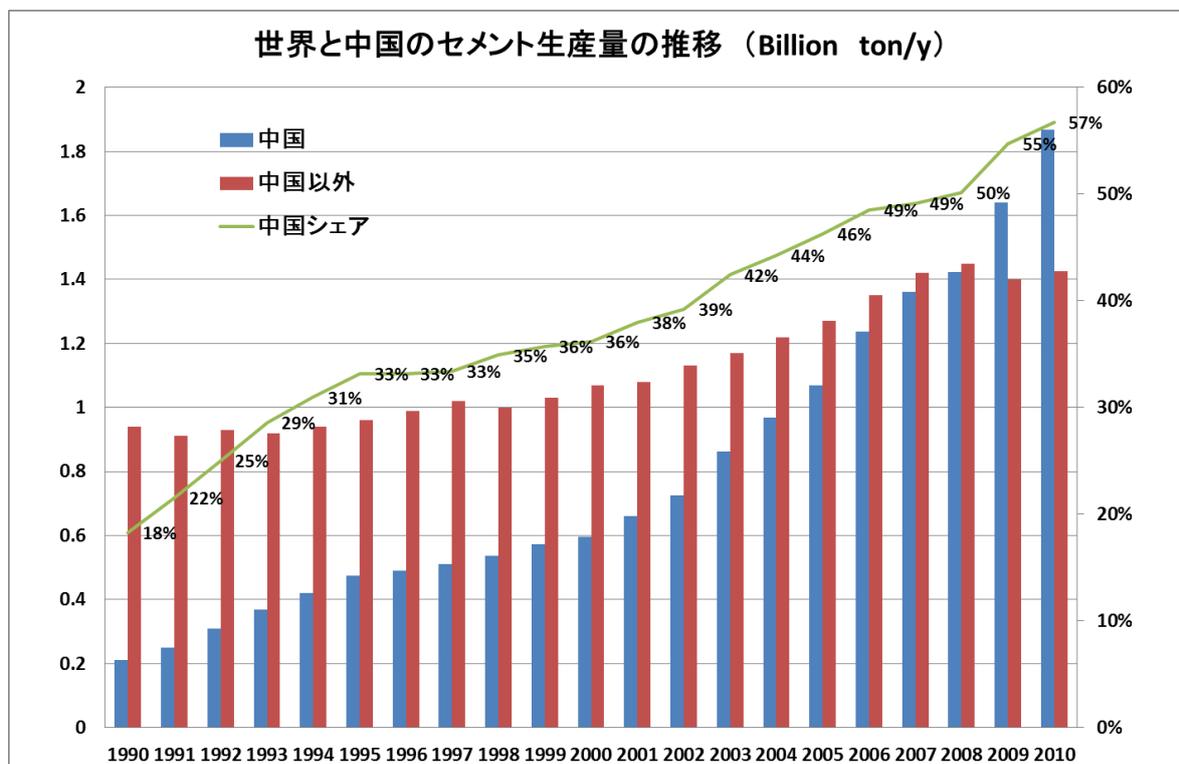


図1-4 世界、中国のセメント生産量の推移 (1990～2010年)²⁵⁾

2005年における中国セメント業の窯数は約15000基、その内NSPキルンは615基であり、残りのほとんどは小規模老朽な堅窯であった。これらの堅窯の多くは各地域に分散している中小規模企業が保有しており、セメント業におけるエネルギー・資源の浪費、環境汚染の主な原因となっている。一方2004年に、中国安徽省海螺集団（アンフィ・コンチ）は4つの10000トン/日規模の生産ライン（当時世界で7本）の操業を開始し、2006年のセメント生産量は7700万トンに達し、一社で日本全国のセメント生産量の7322万トン（2006年）を上回っていた。2008年時点ではクリンカ生産量8100万トンに達している。このようなNSP化と大型化が急速に進展し2009年末には中国には1113施設のNSPがありその生産能力はクリンカ9.6億トンであった。おそらく生産量としてNSP割合は75%前後と見られる。

なお、NSPキルンは日本の技術で1971年に開発されたもので、その前身であるSP（Suspension Pre-heater）キルンから発展して、余熱過程に仮焼炉を組み込んだ、さらに省エネルギー型の炉である。SPキルンはキルンの廃熱で原料を予熱する省エネルギー型炉で、1963年から日本で使われ始めた。NSPキルンは現在では世界中に普及しているが、それ以上の省エネルギーを達成できる革新技術は見あたらず、一種の成熟技術になっている。中国のNSPキルン生産技術の向上に伴い、

中国のNSPキルンおよび技術の輸出が活発化しており、中国のNSPキルン生産量は現在世界セメント生産設備市場の20%以上を占めている。NSPキルンの輸出先は先進国のフランス、スペイン、イタリアを含め20以上国がある²⁶⁾。

3) セメント原料と廃棄物利用

2004年におけるセメント製造1トン当たりの原料等投入量を表10に示す。9.7億トンの生産に対し石炭を含む原燃料投入量は約15億トンである。混合材は高炉スラグ、石炭灰、ぼた、ごみ、選鉱くずなどの廃棄物である。セメント1トン当たり240kgの廃棄物が使用されていた。うち高炉スラグの割合が約45%、ぼたは約20%、ごみは約20%、石炭灰が約10%を占めていた。中国の工業廃棄物は毎年10億トン前後であるが、セメント原料として工業廃棄物の利用を促進加速することは次に述べる省エネルギーとCO₂排出削減のためにも望まれることである。各種廃棄物等、非燃焼原料、混合材と代替燃料の利用は日本では2008年度実績でJIS規格上限45%に近い448kg/t-cementに達しているが、中国では2007年実績で390kg/t-cementとなっている。ここで問題は混合材のセメント品質への影響である。中国では1985年から30%以上の廃棄物利用混合材添加に免税措置が取られており、生産費用低減をねらって混合材を多量に添加する傾向があり、その結果セメントの強度低下を招いているとされる。見掛け上単位生産トン当たりのCO₂排出削減に寄与するが品質低下に伴うセメント使用量の増大は、総排出量の抑制、建築、土木構築物の寿命等を総合評価するとライフサイクル(LC)CO₂的にはマイナスの効果をもたらす懸念があり混合材の利用には抑制あるいは規制政策も必要と指摘されている。

表10 2004年におけるセメント業の原料投入量 単位 億トン

石灰石	粘土	鉄質原料	混合材	石膏	その他	石炭	合計
9.00	1.38	0.12	2.34	0.46	0.12	1.26	14.68
(925)	(142)	(12)	(240)	(47)	(12)	(129)	(1507)

資料) 「2001-2005中国セメント年鑑」より作成

注: 括弧内数字: セメント製造1トン当たりの投入量、単位kg/t

4) エネルギー消費原単位

1990年～2005年における中日両国セメント業のエネルギー消費原単位計の比較を図15に示す。近年、中国のセメント1t当たりのエネルギー消費原単位計は低下しているとはいえ、日本に比べてかなりの差が存在しており、50%前後高くなっている。

2005年時点のセメント生産トン当エネルギー消費原単位を比較すると日本のクリンカ製造エネルギー消費原単位は3.05GJ/tに対し中国のセメント生産エネルギー消費原単位は4.50GJ/tで48%大きい。しかし中国の最新NSPは3.11GJ/tで日本と変わりがない。中国の縦型窯は5.03GJ/tでNSPの1.5倍のエネルギー消費原単位水準にあり、これが平均値を押し上げる原因になっている。なお日本のセメント生産エネルギー消費原単位は近年やや上昇傾向にあり2009年時点では3.29GJ/tとなっている。

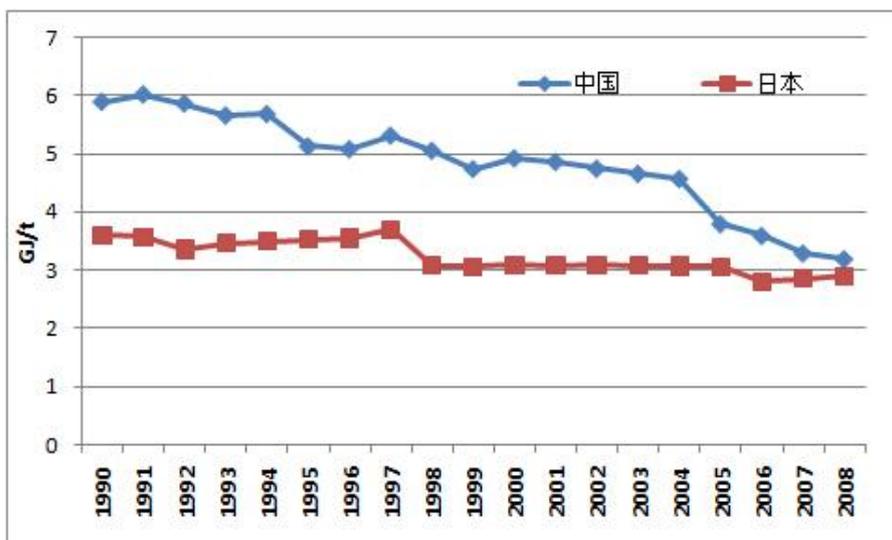


図15 日本と中国のセメント製造業におけるエネルギー消費原単位比較
(1990年～2008年) 2次エネルギーベース

5) CO₂排出原単位

セメント生産トン当りのCO₂排出原単位について日本と比較すると1990年時点で中国950kgCO₂/t、日本736kgCO₂/tであったが、2008年には中国841kgCO₂/t、日本724kgCO₂/tと中国の省エネルギーによる原単位低下が寄与して差が縮まって来ている。

中国国内でのNSP化、生産設備(セメントキルン)の大型化は沿海部から内陸へと浸透していると考えられるが、省別のセメント生産量当りCO₂排出原単位を2008年について比較した。図16は省別に原単位が大きな省から小さな省に並べたもので最大は新疆ウイグル自治区の966kgCO₂/t、最小は河南省の736kgCO₂/tであったが、それでも日本の平均を上回っている。

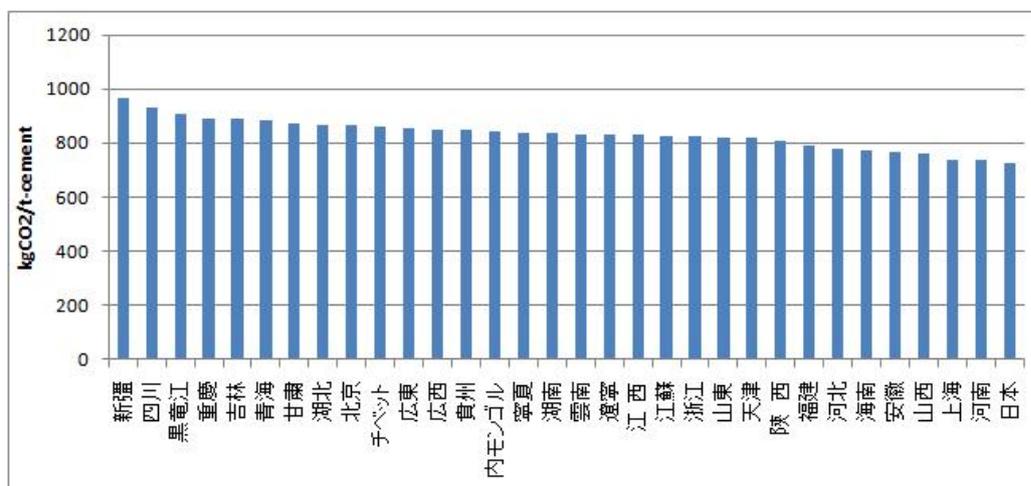


図16 省別セメント生産量当りCO₂排出原単位 2008年

6) CO₂排出削減シナリオ

このことから中国セメント生産の当面の省エネルギーは小規模縦型窯から大規模NSPへの代替に伴って進行するものと考えられ、仮にすべてのセメント生産が最新NSPキルンで生産されたと仮定した場合2005年平均から30%の省エネルギーと15%のCO₂排出削減が見込まれる。それ以上のさらなる省エネルギーとCO₂排出削減はセメント原料の転換であり、非焼成原料の割合を高めることによる他ほかない。日本でも高炉スラグやフライアッシュ（石炭灰）等の非焼成原料が投入されているが、中国でも2005年時点で石炭を含むセメント原料15億トンのうち2.3億トンの個体廃棄物を投入しており、うち高炉スラグが45%を占めている。NSP化の後、期待できる削減策は混合セメント原料による非焼成化である。全ての炉が最高効率のNSP化したと仮定し、さらに非焼成原料利用により最大30%程度の削減が見込まれ、14億トンのセメント生産に対し約4億トンのCO₂排出削減が潜在量として可能であると試算された。

しかし上述のように急激なセメント生産量の伸びを受けて、このような推計の基礎となる現況が大きく変化したこともあり、省別にセメント需要を再推計した。1981年から2007年までの省別セメント生産量から人口1人当セメント需要量を求め、人口1人当投資額で説明する両対数回帰分析モデルで2030年のセメント需要量を推計した。なお簡便化して省別生産量を需要量の代わりに直接推計した。その結果、現況と同じ需要構造が2030年まで継続すると仮定した場合のセメント生産量は31.4億トンに達すると推計された（図17）。エネルギー資源学会(2011.1)でこの試算を発表したところ会場から過大推計であるとの指摘を受けたが、内陸の中小都市など社会基盤施設が未整備の地域が多く残されている現状から潜在需要がかなりあると考えて、過大としてもこの値を基礎にセメント生産からの将来CO₂排出量を予測分析して見ることにした。

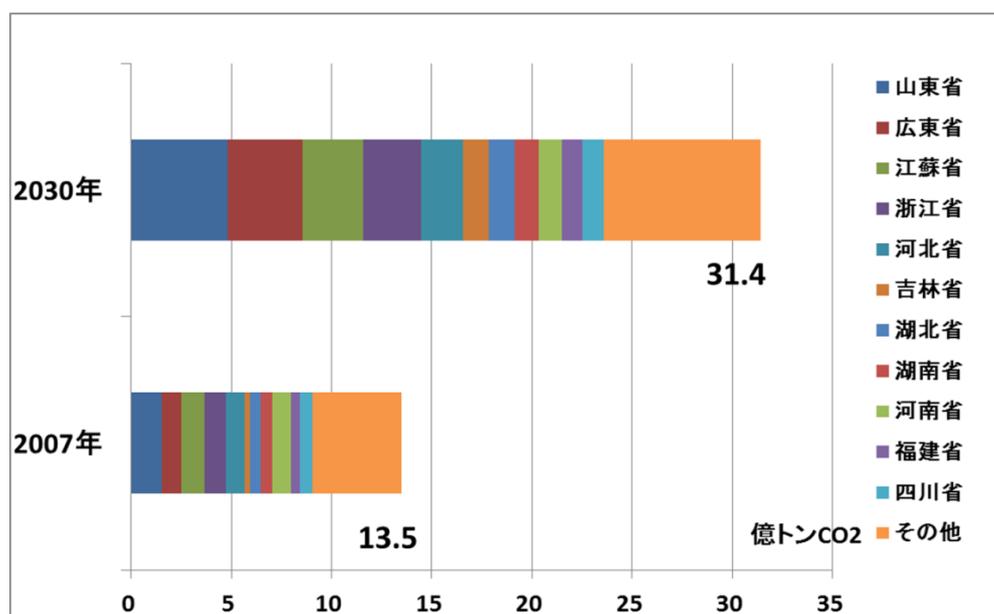


図17 2030年省別セメント生産量予測結果

2007年のNSP普及率と平均エネルギー消費原単位のままと想定すると表1-1に示すように2030年のセメント生産エネルギー消費量は12.6EJ/y、CO2排出量は2.65PgCO2/yとなるがすべてを最新型高効率NSPで生産した場合は9.0EJ/y、2.32PgCO2/yとなりCO2排出量は13%削減となる。ここに高炉スラグ等の非焼成原料を35%入れクリンカ生産量を20.2億トンにした場合、6.2EJ/y、12.7PgCO2/yとなりCO2排出量は半減(52%削減)となる。さらに素材転換によりセメント需要そのものを30%削減できればクリンカ生産量は14.1億トンと2008年水準と同程度まで低下し、4.3EJ/y、8.9PgCO2/yとなってCO2排出量は66%削減されることになる。

表1-1 2030年セメント生産の省エネルギーとCO2排出削減対策効果

	2007年 水準	全NSP	NSP最良	非焼成 混合	素材転 換
エネ消費量 EJ	12.6	10.9	9.0	6.2	4.3
	100%	87%	71%	49%	34%
CO2排出量 億トンCO2	20.7	20.0	19.0	12.7	8.9
	100%	97%	92%	61%	43%

(9 交通)

1) 概要

交通部門は中国のエネルギー需要の中でも様々な理由において重要なものである²⁷⁾。広大な国土と巨大な人口はそれだけでも大きな交通需用を生み出す要素を持っているが、工業生産と商業経済の発展は都市への人口集中を招くだけでなく、農村部においても自給自足的な農山村生活から貨物、旅客ともに交通需要を伴う生活様式へと導く。それは内陸においては自動車交通の増大を意味し現行技術においてはガソリンと軽油に頼る他なく、エネルギー需要的にも国内資源に限られている石油製品需要を誘発することは言うまでもない。以下、1985年から2007年までの動向と1985年と2007年の2時点の省別分布状況の比較を将来予測の基礎として行った²⁸⁾。

2) 中国における交通エネルギー消費の構造

本研究における中国交通運輸システムの構成と燃料消費の構造を図1-8に示す。「中国交通年鑑」と「中国統計年鑑」から得られる貨物輸送と地域間旅客輸送にパーソントリップ調査に基づいて独自に推計した都市内旅客交通を補足した。都市内旅客交通を公共交通、公務交通と個人交通に分け、日常生活を支える重要な交通手段である自転車と徒歩も考慮して分析した。中国では、公共交通の不備とラッシュ・アワー回避の理由から、官庁・国営事業所及び大規模な企業では通勤用のバスと公務用の乗用車を購入して送迎する公務交通があり、都市内交通の一区分として扱う。経済成長に伴い所得が急上昇したニューリッチ層といわれる人々が自家用車を購入することによって個人交通の乗用車の普及はここ数年急速に伸びている。また近年都市内大気環境の改善のため中国政府は大都市を中心とする公共バスとタクシーにクリーン燃料の導入を積極的に促進しており、本研究では圧縮天然ガス(CNG)とLPGの燃料消費量を推計した。近年、ガソリン価格の高騰により、電動オートバイを購入する消費者も増えているようである。また電動オートバイは法

律上、自転車と同じ「非原動機付車」扱いで、免許証が必要ないため、オートバイの使用が禁止されている都市部での普及が顕著である。したがって、本研究では電動オートバイの保有動向も考慮して分析した。

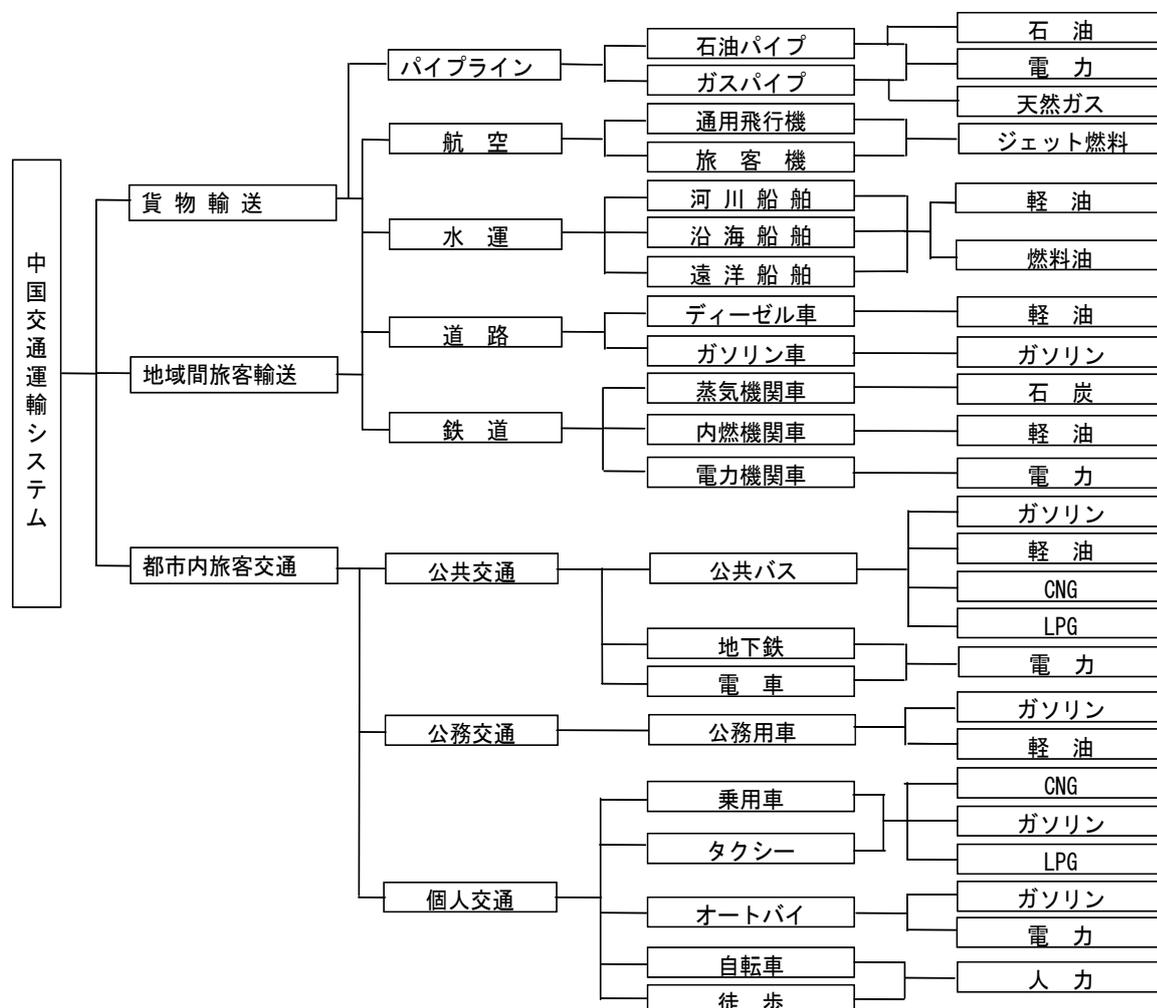


図18 中国交通運輸システムの構成及び燃料消費の構造

3) 旅客交通

2007年の旅客交通量は2.15兆人km、道路交通が53%、鉄道34%、航空も伸びて12%になった(図19)。そのエネルギー消費は道路50%、航空43%、鉄道7%である(図20)。その燃料消費は0.8EJあり、軽油44%、ジェット燃料43%、ガソリン11%で電力は1.4%であった(図21)。

人口1人当旅客交通エネルギー消費量を省別に見ると図8～10に見るように著しく伸びて来ている。都市内交通のエネルギー消費は北京市の例では1985年に0.41GJ/人であったが、2003年には1.46GJ/人、2007年には3.33GJ/人と1985年の8倍にもなっている(図22)。都市内交通エネルギー消費量は2007年で1.0EJあり、都市間と都市内の旅客交通合計で1.8EJとなっている。

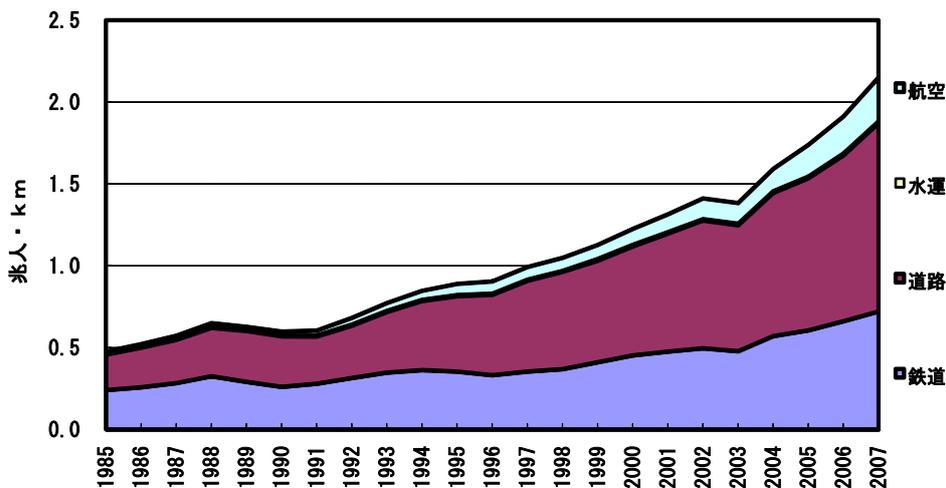


図 1 9 旅客交通量推移 1985-2007年

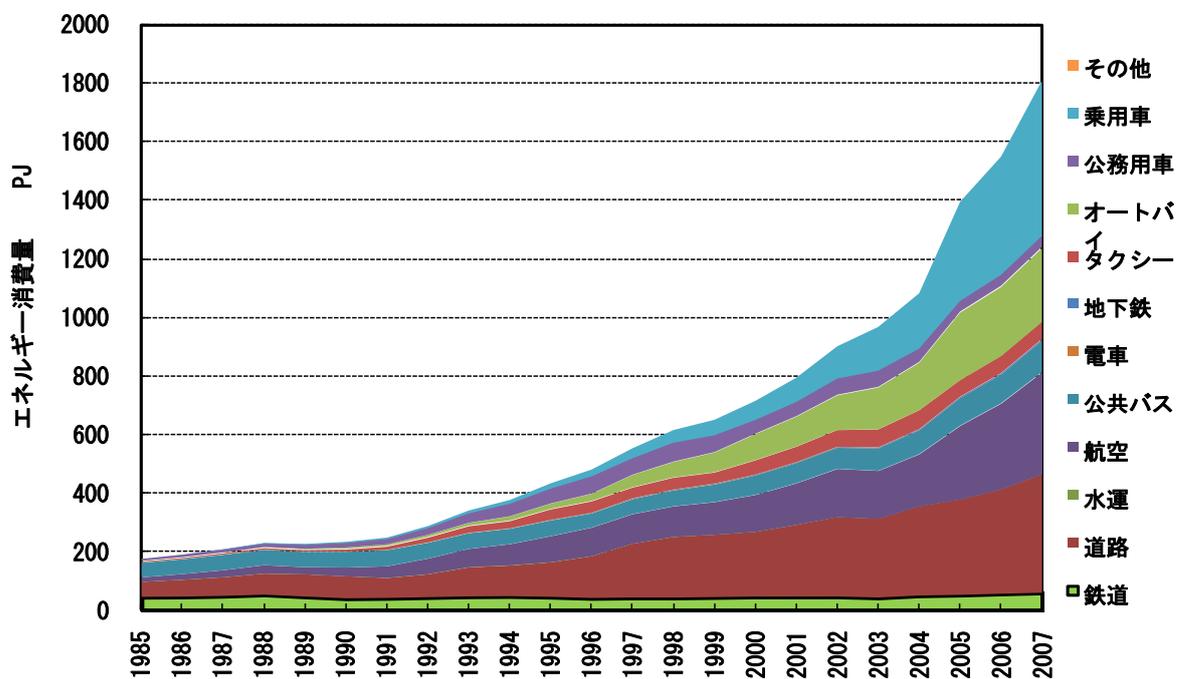


図 2 0 旅客交通エネルギー消費量 (都市内交通含・機関別)

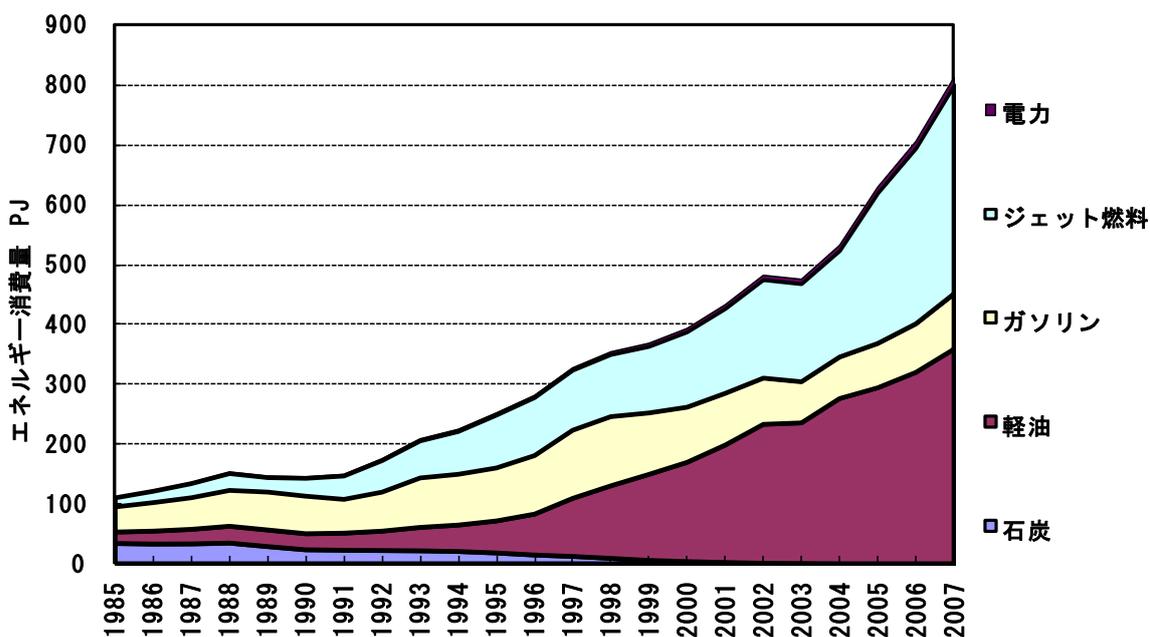


図 2 1 中国・都市間・旅客交通エネルギー消費量 エネルギー種類別

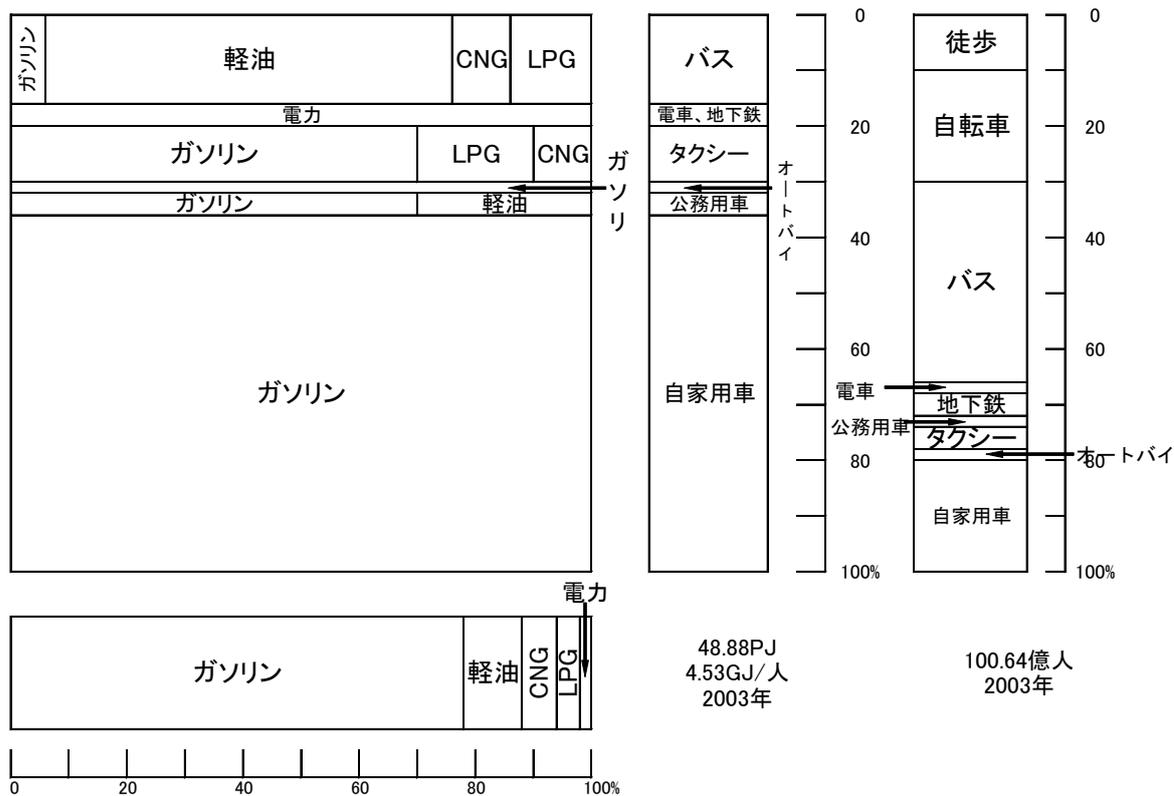


図 2 2 都市内交通エネルギー・マトリックス 北京市

4) 貨物交通

2007年の貨物交通量は9.93兆トンkm、水運が65%、鉄道24%、道路は11%で絶対量は伸びているが、水運が急成長した分、割合としては相対的に低下している（図23）。そのエネルギー消費は3.55EJあり、道路が大きく71%、水運は20%、鉄道5%、航空4%である（図24）。その燃料は軽油88%、ガソリン8%、ジェット燃料4%、電力は1.1%であった（図25）。人口1人当貨物交通エネルギー消費量を省別に見ると図23、図24に見るように著しく伸びて来ており、中国平均で1985年に0.64GJ/人であったが、2003年には1.61GJ/人、2007年には2.74GJ/人と1985年の4倍にもなっている（図省略）。

5) 地域別分析

地域間の旅客と都市内交通量、貨物輸送量について省別に経年データを整備して分析している。北京市などの巨大都市は一般の省とは性格が異なるが、上海市、天津市はさらに港湾物流拠点があるためとくに貨物交通について特殊である。図26から図31に巨大都市+周辺省都市圏の地域別交通量の動向を示す。このような分析の方が省別より安定的である。なお、図の棒グラフで、機関別構成は旅客も貨物も下から、鉄道、道路、水路、航空である。どの地域も交通量も同程度で、伸びの傾向もよく似ている。旅客に比べて2000年以降の貨物の伸びが急である

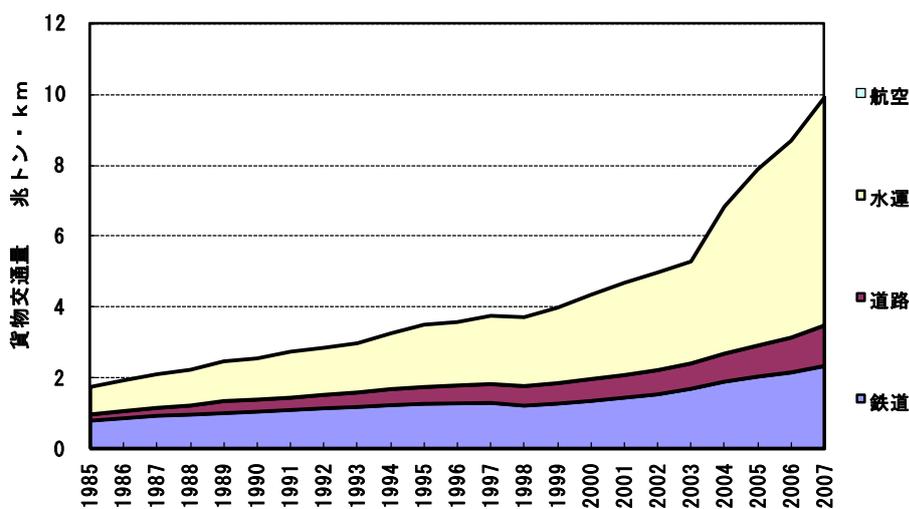


図23 中国・貨物交通量の動向1985-2007

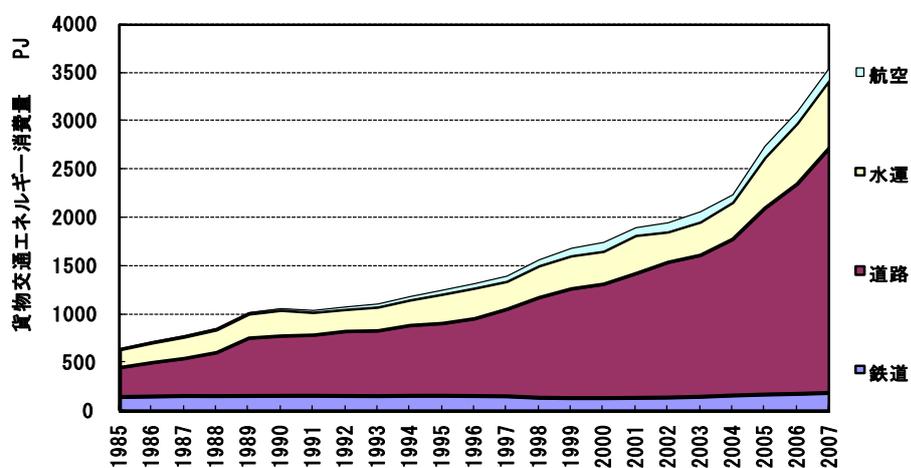


図 2 4 中国・貨物交通エネルギー消費量の動向1985-2007 機関別

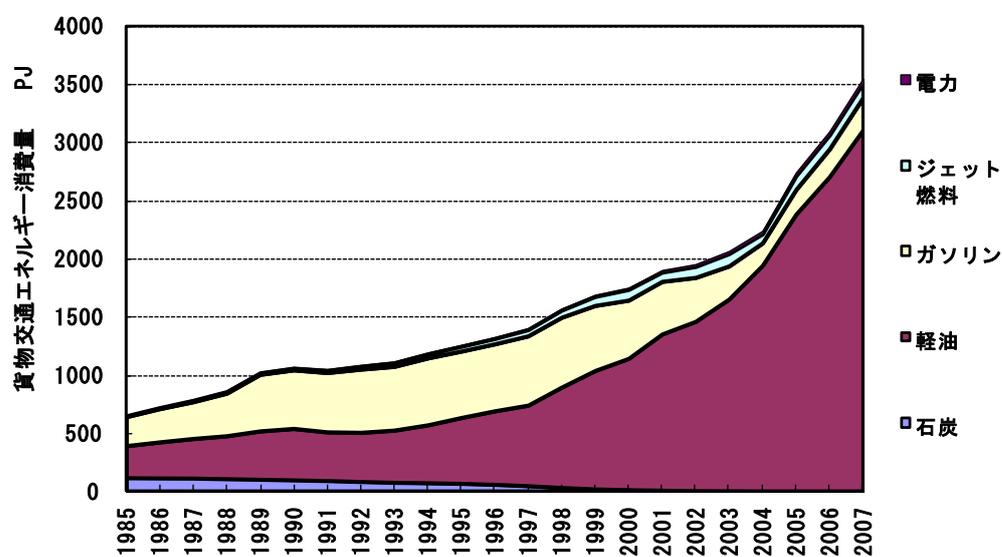


図 2 5 中国・貨物交通エネルギー消費量の動向1985-2007 エネルギー種類別

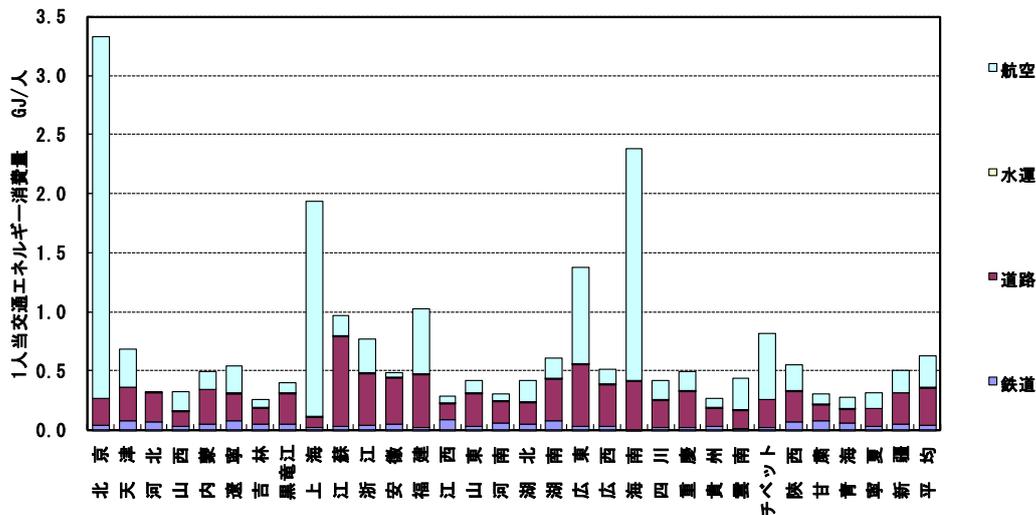


図 2 6 省別人口1人当旅客交通エネルギー消費量 GJ/人 2007年 (都市内交通除)
巨大都市では航空寄与が大きい どの地域も道路交通大

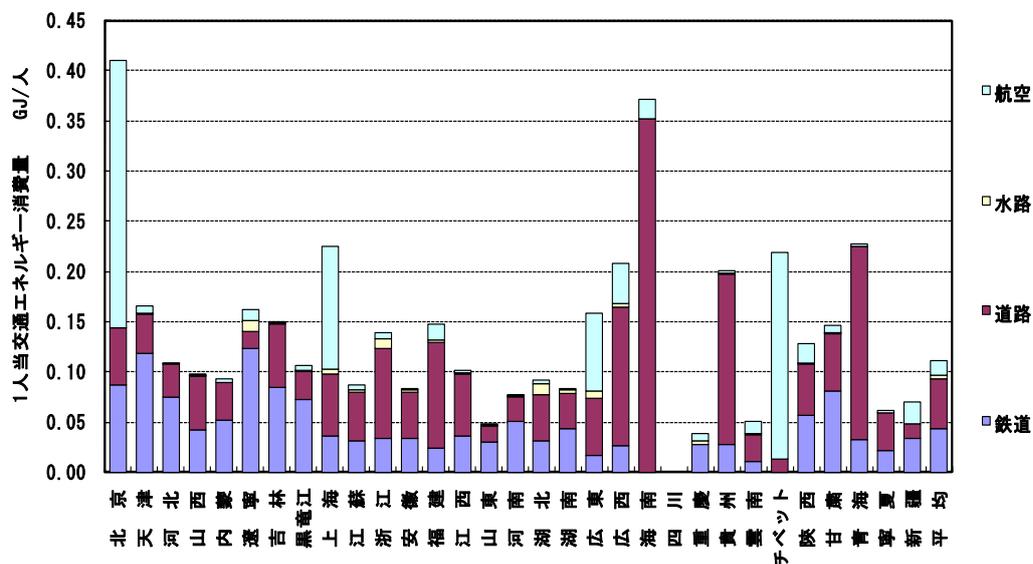


図 2 6 省別人口1人当旅客交通エネルギー消費量 GJ/人 1955年(都市内交通除)
絶対量は低く、鉄道の割合が相対的に大きかった

6) 旅客・貨物合計・交通エネルギー消費

以上、見てきたように中国の交通量とそのエネルギー消費量は著しい伸びを見せており近年さらに加速的な伸びが見られる。この傾向は沿岸地域、内陸部、都市、郊外、農村部、どこでもそれぞれの理由や特徴 (図 2 7 ~ 3 2) があるとしても同様に顕著である。

その対策についてはサブテーマ（５）で再論するが、欧米型の世界市場私的資本企業活動と自由貿易に基づく生産と消費が世界的に継続し広大な中国国土に進展、浸透し続けるならばどこかで交通サービスの供給制約に直面すると予想される。その一要因が交通エネルギーの供給力制約である。現在の技術では交通エネルギーは石油系燃料への依存度が高いが、とくに貨物輸送に関して水運や鉄道では分担できないアクセス交通が残り、これを道路輸送する他ないが、その軽油を広大な中国全土のどこでも入手できる燃料供給網が整備されていなければ貨物輸送を維持できない。重量貨物車にしても電化されていない鉄道にしても水運にしても主要な燃料は軽油であり、

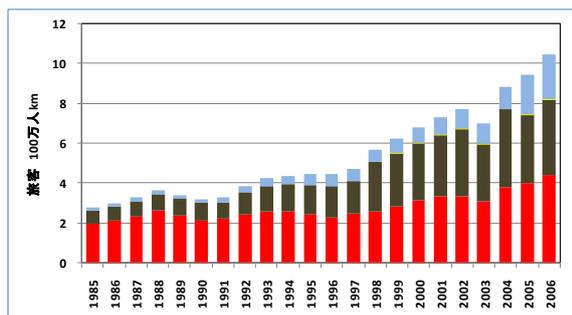


図 2 7 中国・旅客交通量 北京市+河北省

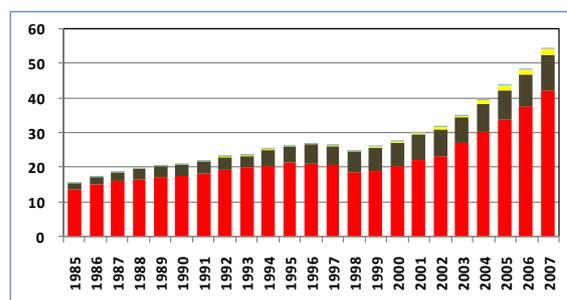


図 2 8 中国・貨物交通量 北京市+河北省

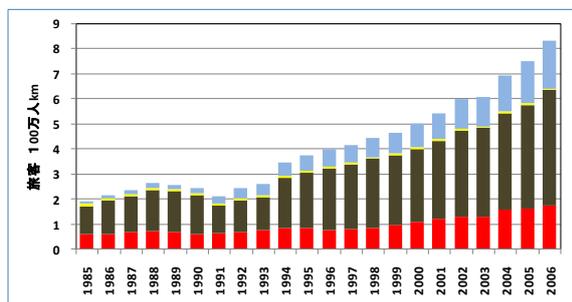


図 2 9 中国・旅客交通量 上海市+浙江省

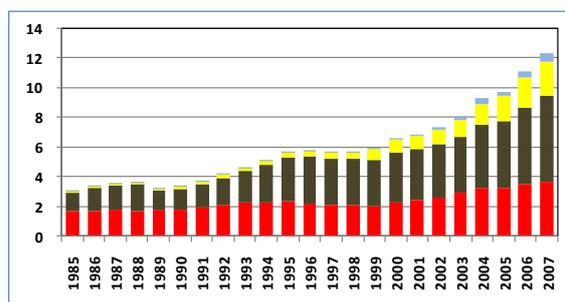


図 3 0 中国・貨物交通量 上海市+浙江省

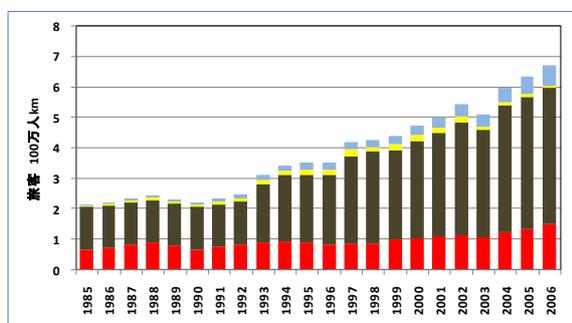


図 3 1 中国・旅客交通量 重慶市+四川省

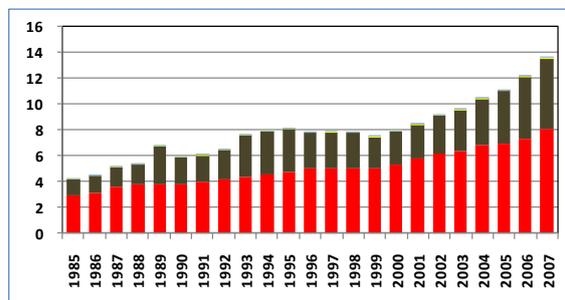


図 3 2 中国・貨物交通量 重慶市+四川省

国内石油資源に限りがある中国の内陸部全域に石油系燃料を供給すること自体が、大きな交通需要を生んでしまう。石炭の輸送にしても同様の問題がありエネルギー需要がエネルギー輸送需要を誘発する自己拡大構造があるため、交通需要の削減とその省エネルギー対策の両面が不可欠である。

7) 交通エネルギー需要動向

旅客と貨物のエネルギー消費量合計は1985年には0.8EJであったが1990年には1.3EJ、2000年に2.46EJ、2007年では5.4EJに延びている（図3.3）。2004年以降の急激な伸びはとくに自動車の普及による道路交通量の伸びを反映したもので省エネルギー、排出抑制上、極めて困難な増大負荷である。

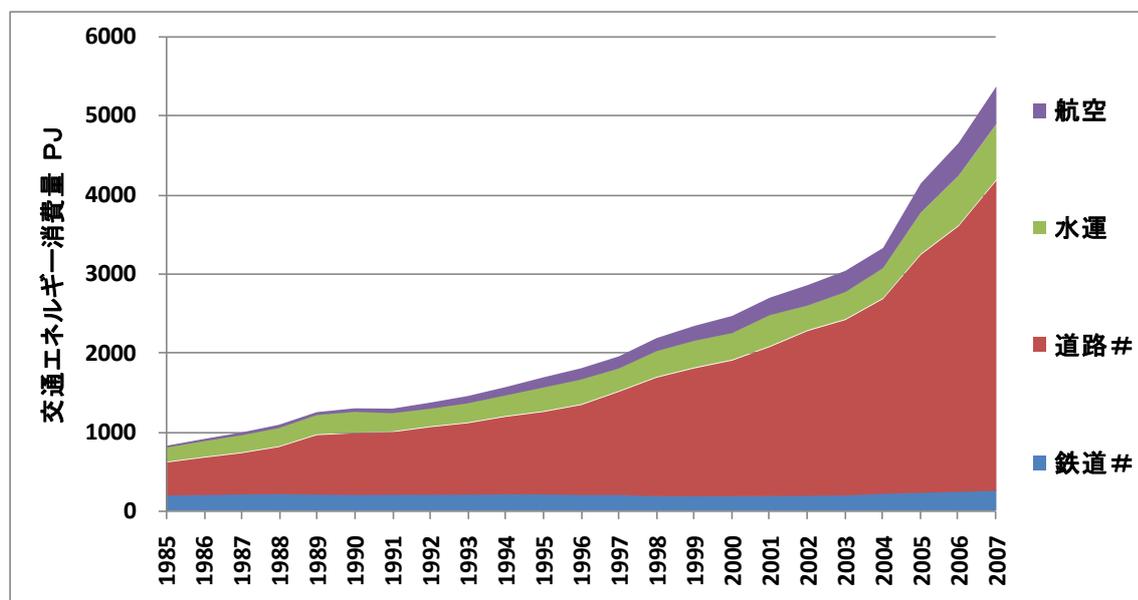


図3.3 中国・貨物+旅客交通エネルギー消費量の動向1985-2007

8) 交通エネルギー消費量の将来シナリオ予測

2000年から2007年の間に交通部門のエネルギー消費量は2倍以上に増えており、2006年から2007年の年成長率は15%以上であった。この動向を線形予測するとBAUシナリオがあまりにも過大な値になるので機関別にロジスティック曲線を当てはめてBAUシナリオ予測を行った。その結果は2030年に10EJに近くなり、その時点の年成長率は0.7%となった(図3.4)。

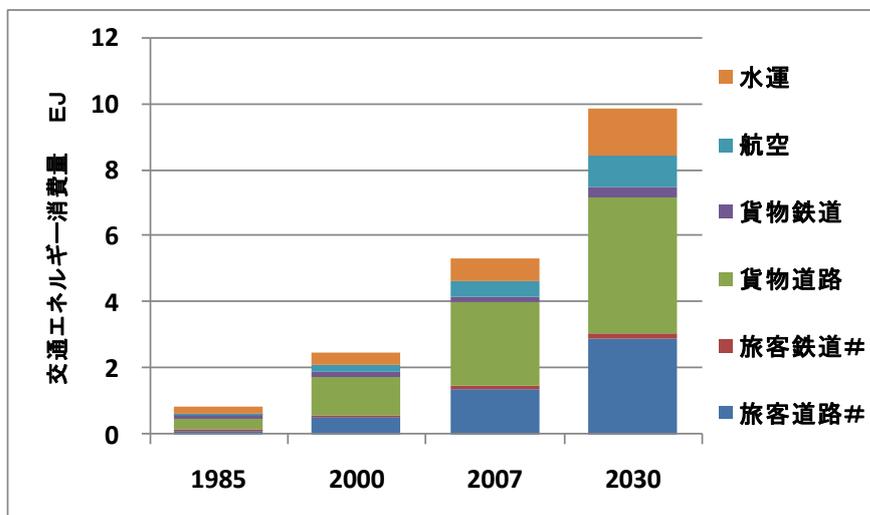


図3-4 中国・貨物+旅客交通エネルギー消費量の2030年BAUシナリオ1985-2030

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

世界的な気候変動の防止において中国の温室効果ガス排出削減対策は非常に重要な研究対象である。しかし研究の現状は不十分なものであり正確な実態がわからない部分も多い。本研究で得られた科学的研究成果として次のようなものがある。

省別・エネルギー需要部門別に全部門にわたって詳しく解析した研究は、筆者の知る限り中国国内研究者もやっておらず、新しい試みである。本研究では詳細に検討しデータや資料の信頼性を確認しながら解析しており、正しく現況を分析できる。また1981年からの長期動向を分析しており、1990年代の激動期に見られる統計上の混乱による影響を軽減できる。

しかしながらデータの質的な限界は大きな制約となっており、利用できる各種の資料を比較衡量しながら分析対象データを選定し補足しながら研究作業を続けている段階である。

(2) 環境政策への貢献

COPコペンハーゲン会合では国際交渉の焦点として途上国の削減が議題に上がったが途上国代表国としての中国の立場と、途上国の排出削減に透明性を求める米国との対立が強く印象つけられた。世界最大の排出国として、その正確な実態を明らかにすることは焦眉の課題である。この分析結果の政策的な意義はサブテーマ(4)、(5)と関係するのでそこで後述する。

6. 引用文献

- 1) 寧亜東, 外岡豊, 他(2002) 中国における大気汚染物質と温室効果ガス排出量の将来動向と対策

- 効果予測モデル分析—その4 中国の人口構成と都市化度別消費水準動向を反映した将来シナリオ分析, エネルギー・資源学会第21回研究発表講演論文集, pp27-32
- 2) Rawski T.G. (2002) How Fast is China's Economy Really Growing?, The China Business Review, March-April
- 3) Tonooka, Y, Y. Ning (2008) Energy Consumption of Rural Housing in China and Climate Change, Forum 01, A commentary on the residential energy consumption in China: data secured and required, COBEE, Dalian, China, July, 16, 2008 (Invited)
- 4) Sinton, J. (2001) "Accuracy and Reliability of China's Energy Statistics", China Economic Review, 12(2001)373-383
- 5) 堀井伸浩 (2001) 中国におけるエネルギー消費減少の背景: 石炭流通の実態からの一考察, コール・ジャーナル, 第44巻, 第1号, pp3-7
- 6) 堀井伸浩 (2002) 小炭鉱系閉鎖政策の背景とその実態, エネルギーレビュー, No. 20₂, pp24-28
- 7) Penner J. E, Zhang, S. Y., Chuang, C. C. (2003) Soot and Smoke Aerosol May not Warm Climate, J. Geophys. Res., 108(D21), 4657, doi:10.1029/2003 JD003409
- 8) Tonooka, Y: Energy Consumption and Black Carbon and Organic Carbon Emissions from Residential Houses in China, Proc. of SDACE2005, Xian-University, China, 2005, 385-390
- 9) 寧亜東, 外岡豊, 丁涛, 朱徳志 (2010) 完全要因分解モデルに基づいた中国エネルギー消費の特徴分析, 第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集 (エネルギー・資源学会)
- 10) IEA (2009) IEA Statistics CO₂ emission from fuel combustion Highlights 2009 Edition
- 11) 寧亜東, 外岡豊 (2008) 中国鉄鋼業における生産形態とエネルギー消費構造, 技術報告, エネルギー・資源, 29, 5, pp313-318, 2008. 9
- 12) 外岡豊, 寧亜東, 他 (2009) 中国鉄鋼業とセメント業におけるエネルギー消費構造の分析・予測, 第25回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
- 13) 大連理工大学 (2009) 中国能源消費動向分析—中国鉄鋼業の生産結構与能源消費結構的研究—報告書 (寧亜東著) 中国語
- 14) 2010年数据来自中国钢铁协会 <http://www.chinaisa.org.cn/news.php?id=2169>
- 15) 能源研課題組 (2009) 中国2050年低炭素發展の路, 科学出版会
- 16) 能源研課題組 (2009) 2050中国能源和炭素排放報告—能源需求炭素排放情景分析, 科学出版会
- 17) NEDO (2008) 中華人民共和国における鉄鋼産業に係る省エネルギー環境対策に関する基礎調査 (平成19年度) 国際エネルギー使用合理化対策事業・国際エネルギー消費効率化等協力基礎事業
- 18) 日本鉄鋼連盟 (2009) 中国の鉄鋼産業2009, シープレス編集
- 19) 環境省 (2009) 日本モデル環境対策技術等国際展開検討WG資料
- 20) 日刊産業新聞 (2010) 中国金属情報特約, <http://www.japanmetal.com/chaina/cmm.html#1499>
- 21) 寧亜東, 外岡豊 (2008) 中国セメント業における生産形態とエネルギー消費構造, 技術報告, エネルギー・資源, 29, 4, pp247-252, 2008. 7
- 22) 外岡豊, 寧亜東, 他 (2009) 中国鉄鋼業とセメント業におけるエネルギー消費構造の分析・予測, 第25回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
- 23) 張文字, ディニルプシュパラル, 外岡豊 (2010) 中国セメント業における廃棄物利用によるCO₂

- 24) International Cement Review(2011)The Global Cement Report 9th Edition-World Overview, <http://www.cemnet.com/publications/GlobalCementReport9/default.aspx>
- 25) 雷前治(2009) 中国セメント工業の現状と発展, 2009. 4講演, 東京
- 26) 石井良宗(2009) セメント生産量が映す中国経済の実態, 2009年11月22日No. 836
<http://blog.livedoor.jp/john1984jpn/archives/51414071.html>, 2010. 5. 03
- 27) 寧亜東, 外岡豊(2009) 中国交通運輸部門におけるエネルギー消費構造に関する推計, 運輸政策研究, 12, 01, pp11-20, 2009. 4. 21発行
- 28) 外岡豊, 寧亜東, 姜兆武, 他(2009) 中国交通門におけるエネルギー消費、CO₂排出構造の分析・予測, 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス

7. 国際共同研究等の状況

(1) 大連理工大学

埼玉大学は大連理工大学と学術交流協定を締結しており、本研究の主要部分であるサブテーマ

(1)と(3)の一部は同校能源与動力学院との共同研究の一環として実施してきたものである。外岡は同学院から客座教授として招かれ共同研究と特別講義を行っている。

(2) 中国人民大学

埼玉大学は中国人民大学と学術交流協定を締結しており、統計学院や環境学院を中心に経済学部が主になって研究交流を展開してきた。2009年9月に埼玉大学経済学部教員代表団が人民大を訪問し更なる交流の強化を図った。本研究における環境学院との研究協力もその一環である。

(3) Imperial College Centre for Environmental Policy (CEP)

外岡はこの学際的な研究センターの客員教授を兼務しており、本研究のサブテーマ(1)に関しては、中国の鉄鋼生産技術とエネルギー消費、環境汚染負荷について情報交換を行っている。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読有り)>

- 1) 寧亜東, 外岡豊(2008) 中国セメント業における生産形態とエネルギー消費構造, 技術報告, エネルギー・資源, 29, 4, pp247-252, 2008. 7
- 2) 寧亜東, 外岡豊(2008) 中国鉄鋼業における生産形態とエネルギー消費構造, 技術報告, エネルギー・資源, 29, 5, pp313-318, 2008. 9
- 3) 寧亜東, 外岡豊(2009) 中国交通運輸部門におけるエネルギー消費構造に関する推計, 運輸政策研究, 12, 01, pp11-20, 2009. 4
- 4) Ning, Y., T. Ding, Y. Tonooka(2011) Feature Analysis of Chinese Energy Consumption Based On a Complete Decomposition Model, Proc. of the International Conference of Renewable Energy Sources and Environmental Materials, 2011, Shanghai

- 5) Ning, Y., Y. Yang, Y. Tonooka, K. S. Wan (2011) Study on Energy Consumption and CO₂ Emissions of China's Cement Industry, Proc. of the International Conference of Renewable Energy Sources and Environmental Materials, 2011, Shanghai

<査読付き論文に準ずる成果発表>

- 1) Litifu, Z., J. Li, Y. Tonooka (2010) Analysis on the Local Environment and Renewable Energy Based on Input-output Theory, Asian Economy & Social Environment, Vol 3, 72-85

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) 外岡豊, 寧亜東, 他 (2009) 中国鉄鋼業とセメント業におけるエネルギー消費構造の分析・予測, 第25回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
- 2) 外岡豊, 寧亜東, 姜兆武, 他 (2009) 中国交通部門におけるエネルギー消費、CO₂排出構造の分析・予測, 第28回エネルギー・資源学会研究発表会 (エネルギー・資源学会)
- 3) 寧亜東, 外岡豊, 丁涛, 朱徳志 (2010) 完全要因分解モデルに基づいた中国エネルギー消費の特徴分析, 第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集 (エネルギー・資源学会)
- 4) 尹秀儀, 外岡豊, 宋国君, 寧亜東, 大野正人 (2011) 中国の産業エネルギー需要と温室効果ガス排出動向, 第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集 (エネルギー・資源学会)

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし