

# 上海市のエネルギー構造の変化及び大気環境への影響に関する研究

上海市、エネルギー、大気環境

正会員 ○高 偉俊\*1  
同 任 建興\*2  
同 李 海峰\*3  
同 高橋信之\*4  
同 尾島俊雄\*5

## 1. はじめに

現代社会は、資源、エネルギーの大量消費を前提として大量生産を可能にし、豊かな物質文明を築き上げてきた。しかし一方で、この工業化社会は膨大なエネルギー消費を伴うため、自然の浄化能力とのバランスを崩し、自然の再生循環システムを壊し、人類の生存に深刻な影響を及ぼす大気環境問題などが顕在化してきた。近代工業化社会のエネルギー生産及び消費動向の実情を把握し、より良い人間生活の質の向上をはかるために、どのようなエネルギー構造を選択すべきかが問題となってきた。

中国は世界の発展途上国の中でも最も注目されるべき国の一つであり、近年の国民経済成長率に関しても顕著な増加を示している。特に上海市は中国経済の中心であり、GDPは中国の都市の中で最も高い値を示している。そこで、本研究は上海市を対象として、上海市のエネルギー消費構造の変化を考察し、エネルギー消費による大気環境汚染との関係を明らかにすることにより、上海市大気環境汚染の改善に一助を果たすことを目的としている。

## 2. 上海市の経済成長とエネルギー消費

### 2.1 上海市の経済成長

現在、上海市は15区及び5県からなっており、総面積6340.5km<sup>2</sup>で、その内市区面積が2057km<sup>2</sup>で、郊外地域の面積は4284km<sup>2</sup>である<sup>1) 2)</sup>。上海市は中国の経済の中心であり、GDPは中国の都市の中で最も高い。1980年～1990年の10年間のGDP成長率は8%に対して、1991年から1995年までGDP成長率は13%に達しており、5年間ではGDPは2.2倍も増加しており、特に、1998年の

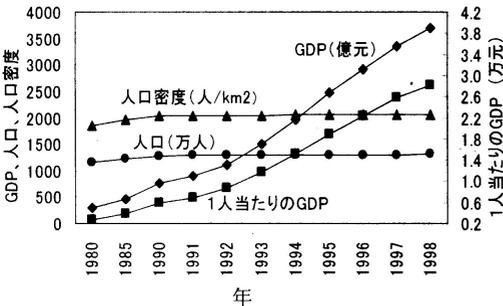


図1 GDP・人口・人口密度・1人当たりのGDPの変化

GDPは3688億元に達している。しかし、上海市の人口は多く、1人当たりのGDPでは、1998年ベースで3440米ドルである。

1998年全市の人口は1307万人であり、平均人口密度は2000人強/km<sup>2</sup>となり、そのうち市内人口は965万人となっている。従って市内の平均人口密度も4600人強/km<sup>2</sup>に達している(図1)。

上海市総GDPは図1となっているが、これを産業構造別に見ると、1985年における第一次、第二次、第三次産業GDPの割合はそれぞれ4.2%、69.8%、26%であったが、1996年に、その比率はそれぞれ2.5%、54.5%、43%に変化し、第三次産業GDPの成長率は急速に伸びている。上海市を国際的な巨大都市として再構築するために、市政府は先ず産業構造を大きく転換した。今後の発展目標として、第二次産業を圧縮し、第三次産業を大きく発展させ、第三次産業を上海市経済の主体にするという目標を掲げ、近未来の上海市を経済・文化の中心としての近代化的な国際巨大都市に変貌させようとしている。

### 2.2 経済成長とエネルギー消費の関係

80年代、上海市のGDP成長率は約8%であり、90年代からは、上海の浦東地域の開発開放政策が決定され、「上海の浦東開発をはじめ、長江デルタと長江流域全体の経済発展を進める」「上海を国際的な経済、金融、貿易の中心地として早期に発展させる」という開発目標を掲げた。これによって、上海市の経済は持続的かつ健全な発展を遂げようとしている。特に、1991年からの上海市経済は約13%の伸び率で発展を続けており、

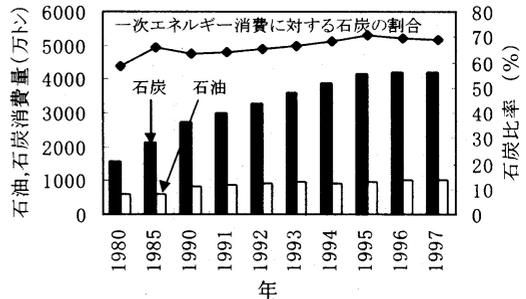


図2 上海市石炭、石油消費量及び石炭比率の推移

これに伴い、エネルギー消費量も絶えず増加しているが、その消費増加率は経済成長率よりも低く、エネルギー消費弾性値は0.25～0.5となっている（エネルギー消費弾性値＝エネルギー消費増加率/ GDP成長率）。1980年～1997年、GDPは312億元から3360億元と、約11倍も増加したが、エネルギー総消費量はわずかに1倍が増え、万元GDP当たりのエネルギー消費量は減り続けており、1997年に万元GDP当たりのエネルギー消費が1.42トン標準石炭であり、1980年より四分の一まで減った。

### 3. 上海の一次エネルギー構造変化

現在、世界の一次エネルギー消費の約90%が石油、石炭、天然ガスなどの化石エネルギーによって賄われている。確認埋蔵量を年間の消費量で割った可採年数は、石油43年、石炭231年、天然ガス62年と言われている<sup>3)</sup>。確認埋蔵量は新規油田の発見などによって増加しているが、年間の消費量も急激に増大しており、いずれも限りのある資源である。中国では石炭埋蔵量が豊富で、世界の可採埋蔵量の11%を占め、1145億トンとなっている<sup>4)</sup>。現在の消費量がこのまま継続されるとすれば、可採年数は約100年となり、中国のエネルギー政策にとって石炭を主体とする検討が重要となろう。現在では、石炭は中国一次エネルギー生産量の74%を占めている。上海市の一次エネルギー需要は石炭及び石油が主要であり<sup>5)</sup>、一次エネルギー消費量及び石炭の比率は図2に示されている。これによると、上海市では経済の発展に伴い、一次エネルギーの消費量が年々増え続けており、1997では年石炭消費量は4216万トンとなっているが、これは1980年に比べて171%も増加し、1990年に比べて54%も増加した。石油消費量は、1997年に1018万トンとなっているが、これも1980年に比べて68%増加し、1990年に比べて20%増加している。これらは石油消費伸び率が石炭よりはるかに低いこと

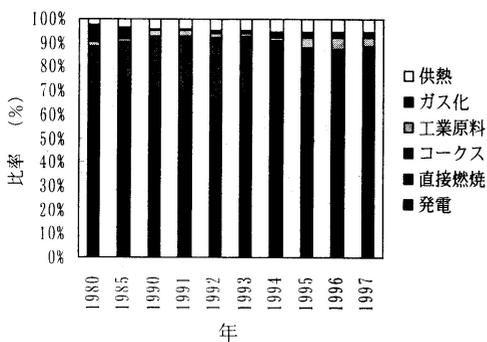


図3 第二次産業における石炭の用途別比率（1997年）

を示している。1995年以後、上海市は産業構造を大きく調整し、エネルギー消費構造の転換を開始し、石炭が一次エネルギーに占める比率を次第に減少せしめ、1997年には石炭の比率を68.9%にしている。

#### 3.1 産業別の石炭消費構造

石炭は上海市の一次エネルギー消費量の約70%を占めているが、そのうちに第一、三次産業及び民生用の石炭消費比率は減少傾向にあるが、逆に第二次産業の石炭消費量は年々増えている。1995年における第一、二、三次産業及び民生用の石炭比率はそれぞれ0.02%、94.35%、0.74%、4.89%であり、石炭はほとんど第二次産業によって消費されていることが明らかである。

一方、第二次産業の石炭消費を見ると、用途別では発電、供熱、コークス、ガス化、直接燃焼、工業原料の六つがあり、それぞれが占める比率は図3に示している。

図3を見ると、1997年における第二次産業の内、火力発電、直接燃焼及びコークスに使用された石炭が約90%を占めており、その他工業原料、ガス化及び供熱用石炭消費比率はわずか10%を占めるのみである。又、発電、直接燃焼及びコークス用石炭消費比率はそれぞれ43%、24.33%及び21.4%であり、発電用石炭消費比率が最も高く、その消費量は年間約1800万トン以上に達している。直接燃焼用石炭は主に全市の各企業における工業ボイラー及び工業炉に使用されている。上海市における石炭消費が大半を占めている現状は、むしろ中国のエネルギー構造によって決定される要因が大きいと言える。

#### 3.2 石油消費構造

上海市の一次エネルギー消費の内、石油の消費量は約20%を占めている。又、上海市の石油供給量の大部分は国内の他省からの購入及び海外からの輸入により賄われている。1994年に、他の省から購入した石油は900万トンで、約95%を占めており、海外から輸入した石油は46万トンで、約5%を占めている。その後、上海市の産業構造の調整及び石油需要量の増加に伴って、石油の輸入量は大幅な増加を示すようになり、1997年における他省からの購入石油量は914万トンとなり、約89.7%、同時に海外から輸入した石油は104.38万トンで、約10.3%を占め、石油の輸入量は1994年と比較すると1.3倍も増加した。主な石油製品としてはガソリン、軽油、灯油及び燃料油の四種類があるが、その中で、軽油、ガソリンは交通輸送分野のエネルギー消費として、主に自動車に消費されている。90年代に入ると、上海市の自動車保有台数は非常な速さで増加しており、これによって自動車用の軽油、ガソリンの消費量も急増するものと考えられる。

1997年度における上海市のエネルギーの消費構造をフローチャートで示すと図4のようになる。

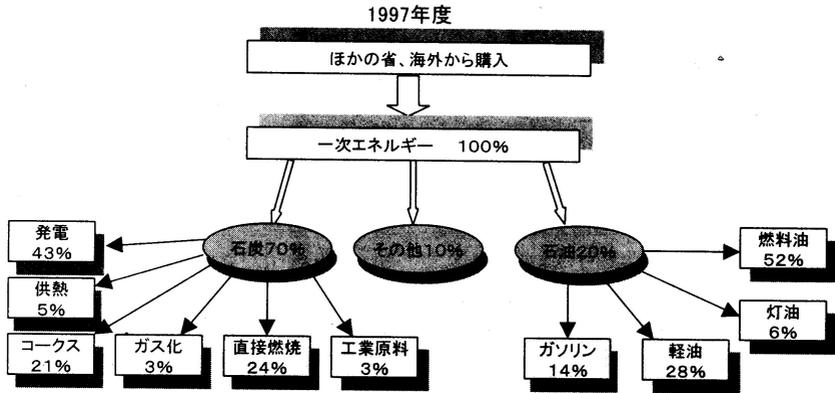


図4 上海市のエネルギー消費構造のフローチャート

#### 4. 上海市の大気環境変化

上海市の大気環境は、近年のエネルギー消費により逐次変化の傾向にある(図5) <sup>6)</sup>。1984年から浮遊粒子状物質(TSP)は徐々に増え続け、1992年にピークに達したが、その後減少の傾向に転じ、現在では汚染程度は環境基準二級レベルにある。その原因は選炭技術の導入、電気集塵装置の普及及び石炭品質の向上によるものである。

大気中のSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の濃度変化を見ると、SO<sub>x</sub>濃度は年々低下しており、逆にNO<sub>x</sub>濃度に対しては年々増加している。1998年のNO<sub>x</sub>濃度におけるレベルは環境基準三級より低くなるが、SO<sub>x</sub>汚染程度はほぼ中国の環境基準一級のレベルに達している。

1992年以後、NO<sub>x</sub>を除いて、上海市エネルギー消費量の増加を伴いながらも、大気環境の状況が改善されている要因として次のことが考えられる。

(1)SO<sub>x</sub>とTSPの汚染物は主に石炭消費によるものと

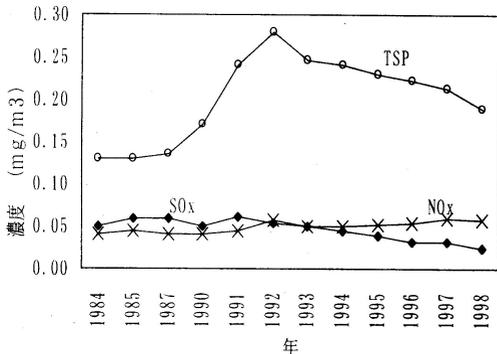


図5 上海市TSP、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>濃度の推移

TSP環境基準：一級0.08、二級0.2、三級0.3 (mg/m<sup>3</sup>)  
 SO<sub>x</sub>環境基準：一級0.02、二級0.06、三級0.1 (mg/m<sup>3</sup>)  
 NO<sub>x</sub>環境基準：一級0.05、二級0.05、三級0.1 (mg/m<sup>3</sup>)

考えられる。石炭は主に火力発電所ボイラー、工業用ボイラー及び工業炉によって消費されている。石炭火力発電所ボイラーという固定排出源では、高煙突排ガスの措置を取っている(ボイラー煙突の高さ180m~210m)ため、汚染物の拡散による近距離周辺地域の地表面に対する影響が小さくなる。しかし、一般的には、影響される地域或いは汚染物濃度が高い地域としては排出源から約50~100 kmのゾーンに集中すると言われる。即ち、上海市火力発電所からおよそ50~100 kmのゾーンにはSO<sub>x</sub>濃度が著しく高くなる地域が考えられる。

その他に、現在までに上海市の各企業は、工業用ボイラーと工業炉の数として約12000基を設置している。ここでの年間石炭消費量は約700万トンであり、SO<sub>x</sub>排出量は約12万トンに達する。これら企業のボイラーと炉の性能及び煙突の高さに問題があるため、近隣周辺地域の地表面への影響が高く、上海市の大気汚染は煤煙型汚染が主な要因であると考えられる。上海市政府は大気環境を改善するために、エネルギー消費量や汚染発生量が多く、投資効果と収益性が悪い企業に対して、閉鎖、休業、合併、転業、移転を行い、また一部汚染の深刻な企業に対しては期限付きの改善を実施し、都市機能及び産業構造などを調整し、汚染防止の重点プロジェクトを作成し進展させた。したがって、近年の石炭による上海市の大気汚染レベルは以前よりやや下降つつある。

②選炭技術の導入、電気集塵装置の普及及び使用石炭の品質向上という措置を取ってきたためである。

具体的大気汚染の防止対策として、次のようになると考えている。

(a) 石炭の低硫黄化

石炭の低硫黄化は基本的にはクリーンコールの生産を指している。

水洗による選炭、即ち洗炭で石炭中の硫黄分約50%を除去できるのみでなく灰分も除くことができる。しかし、洗炭のみでは有機硫黄分を除去できない問題も残るが、現状で、上海市の石炭選炭率は約25~29%となっている。

#### (b) 燃焼プロセスの改善

この方法は石炭燃焼過程を改善することにあり、酸素供給や温度管理による燃焼管理、さらにボイラー改善及び触媒燃焼による燃焼方式の改善も含まれている。酸素供給、温度管理及び完全燃焼を促進する燃焼管理で期待できる効果としては、省エネルギー、窒素酸化物、一酸化炭素の除去である。しかし、これらの方法では二酸化硫黄の発生を削減する効果はほとんどないとみてよい。

#### (c) 排ガス処理

最後に、燃焼過程から発生した汚染物質の除去装置が必要となる。除去装置としては電気集塵装置、排煙脱硫装置及び脱硝装置がある。現在、上海市の石炭火力発電所では煤塵を取り除くための集塵装置のみが設置されているが、今後、上海市で発電所を新規に建設する際には、排煙脱硫装置を設置することが義務づけられると同時に、既存の発電所においても脱硫装置の設置を考慮している。又更に、量的には硫黄酸化物より少ないが、窒素酸化物を取り除くことも必要である。上海市では当面の努力目標を硫黄酸化物の除去とするが、将来は排煙脱硝装置も必要になるであろう。

③都市住宅、生活用ガス普及率を高め、今まで市内におけるガス普及率はほぼ100%に達した。都市住宅、生活用石炭による汚染物排出も徐々に減り続けている。

④植物は大気汚染物質を良く吸着する能力を持っており、グリーンベルトの汚染物濃度は、そうでない地域より低くなっていることが多い。

図6のように、上海市の市内緑被率は1991年13.9%から1998年18.8%に増加し、一人当たり公共緑地面積

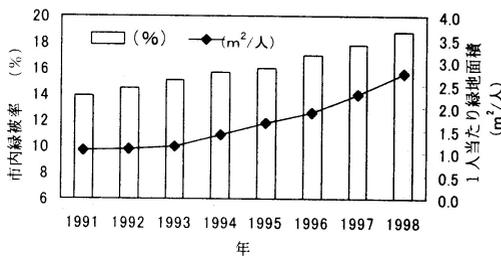


図6 上海市市内緑被率・1人当たり緑地面積の推移

は2.75平方メートルに達した。このような公共緑地面積の増加によって、市内における大気環境への浄化効果が期待されている。上海市では石炭消費量の増加につれて、汚染物質排出量も増加することになるが、上記のような諸施策のより一層の充実によれば、上海市の大気環境への影響が著しく増加するものでないことが予測される。

## 5. まとめ

(1) 人間生活の質の向上をはかるためには、大量生産に伴うエネルギーの大量消費も視野に入れながら、大気環境に及ぼす影響を十分に考慮し、どのようなエネルギー構造とすべきかを選択しなければならない。

(2) 上海市政府は産業構造に対して大きな調整を加えている中で、第三次産業GDPの成長率が1996年の比率として43%を示しており、急速な伸張下にある。

(3) 現在では、上海市エネルギー消費構造は石炭が約70%を占め、石油が約20%を占めている。大気汚染問題を引き起こす原因は、石炭及び石油の消費によるものと断定できる。特に、石炭による汚染は主に煤塵とSOxであり、また最近では、石油消費量の増加及び自動車保有台数の増加によるNOxの汚染問題も顕在化してきた。

(4) 上海市の大気環境汚染の状況から見ると、大気環境中SOxと煤塵の濃度は年々減りつつあるが、NOxの濃度は徐々に増えている。したがって、大気環境汚染を減少するためには、石炭燃焼及び自動車排ガスによる汚染問題を重視すべきであると考えられる。

## 6. 参考文献

- 1) 上海市統計局、「上海統計年鑑97」、中国統計出版社、1997年
- 2) 中国統計局・株式会社総研、「中国富力」、株式会社NECクリエイティブ、1997年
- 3) 資源エネルギー庁、「省エネルギー便覧」、財団法人・省エネルギーセンター、1997年
- 4) 閻長樂編、「中国エネルギー発展報告」、经济管理出版社、1997年
- 5) 上海市計画委員会、「上海市エネルギー年度報告」、1995年
- 6) 上海環境保全誌編集委員会、「上海環境保全誌」上海社会科学院出版社、1998年

謝辞 本研究は平成11年度の三菱財団自然科学研究助成金によるものである。

\*1 早稲田大学理工学総合研究センター講師・工博  
 \*2 中国上海電力学院教授・工博。早稲田大学訪問学者  
 日本学術振興会特別研究員  
 \*3 早稲田大学 大学院  
 \*4 早稲田大学助教授・工博  
 \*5 早稲田大学教授・工博

\*1 Research Lecturer, Dr. Eng Research Center for Science and Waseda University  
 \*2 Shanghai University of Electric Power Prof. PhD, Visiting Scholar, Graduate School, Waseda Univ. JSPS.  
 \*3 Graduate School of Science and Engineering, Waseda University  
 \*4 Assc. Prof Dr. Eng Research Center for Science and Waseda University  
 \*5 Dept. of Architecture School of Science and Engineering, Waseda University