

33. 上海の民生部門におけるエネルギー需要の将来予測とCO₂排出量削減 ポテンシャルのマクロ分析

Macro Analysis on Future Energy Demand and Estimation of CO₂ Reduction Potential
at Residential and Commercial Sectors in Shanghai

張 煜*・山本 祐吾*・齊藤 修*・盛岡 通*

Yu ZHANG*, Yugo YAMAMOTO*, Osamu SAITO*, Tohru MORIOKA*

ABSTRACT; Rapid urbanization economic development in developing countries has been taking place hand-in-hand with diffusion of household appliances like air conditioner, and residential and commercial energy consumption in those countries will become one of the key factors affecting global warming. This study took Shanghai, one of the biggest cities in China as a case study area, and aimed to predict future (by the year of 2030) energy consumption of residential and commercial sector based on our estimation model of energy demand and CO₂ reduction potential. Taking into several CO₂ reduction measures, CO₂ reduction potential was estimated. The results suggested that our estimation model could provide several useful policy implications and would be applicable to the other cities of China.

KEYWORDS; global warming, energy demand model, CO₂ reduction measures, residential and commercial sector, Shanghai

1 はじめに

世界人口の約 1/5 を占める中国は急速な経済発展に伴い、都市化も急速に進んでいる。実際、これまで毎年約 1,000 万人ずつ増え続けてきた都市部人口は、1996 年以降は毎年 2,000 万人ずつ増え続けている¹⁾。そして都市経済が発展するにつれて、都市住民の所得水準も上昇し、冷暖房機器など家電普及率の上昇につながるため、都市の民生部門におけるエネルギー消費量は増大しつつある。1990 年以降の民生部門におけるエネルギー消費量の伸び率は年平均 14% を超え、この傾向は今後も続くものと予想される²⁾。しかし、産業部門の省エネが進む一方で、民生部門の省エネ対策は遅れているのが現状であるが、温暖化対策において発展途上国の大都市の持つ意味は非常に大きい。

本研究は、人口 1,778 万³⁾ (2005 年) を持ち、GDP が中国全体の 5%³⁾⁾ (2005 年) を占める中国最大都市の一つである上海市を取り上げ、民生部門 (家庭・業務) におけるエネルギー消費の増加要因を分析し、その増加要因をいくつかの説明変数に分解することによって、エネルギー需要の予測モデルを構築することを目的とする。その上で、2030 年までの社会シナリオを複数作成し、将来の所得層別世帯比率の違いを設定した上で、社会シナリオごとに民生部門のエネルギー需要の将来予測を行う。さらに、複数の温暖化対策による CO₂ 排出量の削減ポテンシャルを定量的に評価・比較することを目指す。

* 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻
Division of Sustainable Energy and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

2 上海の民生部門エネルギー消費の動向と増加要因

2.1 家庭部門

家庭部門エネルギー消費の動向と関係するいくつかの因子の近年のトレンドを概観すると、2005年の家庭部門エネルギー消費量は1995年の2.08倍となっており、特に2001年からは毎年増え続けている(図1¹⁾)。その背景には、世帯数の増加や家電製品の普及などが挙げられる(図1)。

上海都市部における家電製品4品目の普及状況³⁾を図2に示すが、上海都市部においてカラーテレビ、エアコン、洗濯機、冷蔵庫の家電4品目の世帯保有率はすべて100%を超えており、エアコンとカラーテレビはそれぞれ170%、177%の保有率に達している。家庭部門では電力依存度が近年非常に高まりつつあり、電力消費も伸び続けている。

本研究では、上海で家庭への普及が拡大しており、日本では家庭における電力消費全体の60%以上を占める⁴⁾にいたっている家電4品目を対象とし、そのエネルギー消費を説明する要素として人口、世帯数、機器の保有台数、機器の運転時間、機器の消費電力を取り上げる。

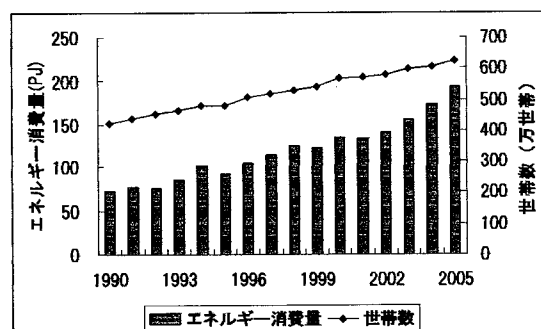


図1 世帯数と家庭部門エネルギー消費の推移

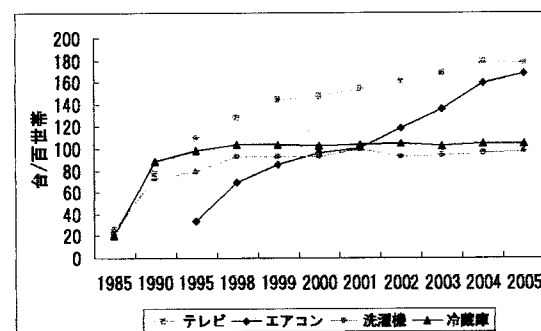


図2 上海都市部家電4品目の普及状況

2.2 業務部門

業務用エネルギー消費の動向と影響を与える因子のトレンドを概観する。なお、運輸部門を含めた第三次産業のデータしか入手できなかったため、本研究は業務部門のエネルギー消費量を第三次産業から運輸部門を除いたエネルギー消費量と定義する。

上海では急速な経済発展に伴って、都市部で建築物の着工数が増加しており(図3³⁾)、なかでも特に、オフィスビルと商業施設の延床面積の増加が著しい(図4³⁾)。2005年のオフィスビルの延床面積は1995年の4.5倍となっており、商業施設では1995年の5.8倍である(図4)。こうしたオフィスビルや商業施設等の延床面積の増加等が原因となって、業務部門エネルギー消費は一貫して増加傾向で推移しており、2005年において1980年度比685%、1990年度比341%の増加となっている。

本研究での推計モデルでは、業務部門については、1978年に比べて延床面積が大幅に伸びており、かつ業務系延床面積の約半数を占めるオフィスビルを対象とする。また、電力消費比率が高い(61%、2005年)ことから、電力消費だけ扱うこととし、消費用途は①冷房、②暖房・給湯、③一般電力とする。

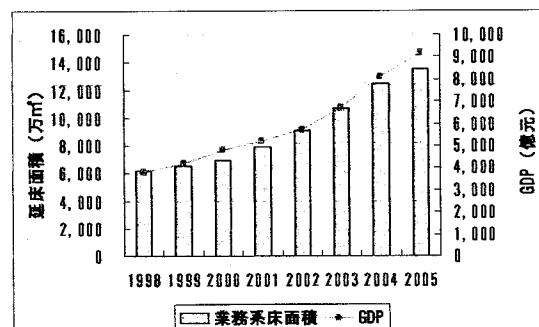


図3 GDPと業務部門床面積の推移

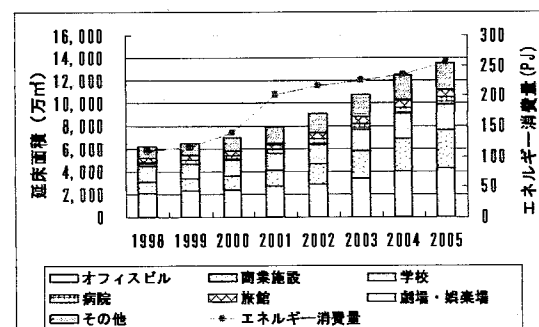


図4 業務部門床面積とエネルギー消費の推移

3 エネルギー消費量推計モデルの構築と社会シナリオの作成

3.1 モデル構築のコンセプトとモデルの構造

本研究で構築した家庭部門及び業務部門のエネルギー消費量の推計モデルを、それぞれ図5、図6に示す。推計モデルは、社会経済の動向、建物や世帯数、そこでの機器普及や運用方式、機器単体の効率、電力燃料源に関連する変数で表現される。この推計モデルにより、家庭部門では所得層毎の製品レベルの対策、業務部門では土地利用や建物、製品レベルでの対策、及び両部門に共通して燃料源レベルでの対策を議論することができる。

3.2 各説明変数の推計手順

構築した推計モデルの各説明変数の将来値を推計する方法を表1に示す。本研究では、まず都市部人口、農村部人口、外来流動人口それぞれの将来予測を行い、2030年までの上海人口及び世帯数を推計した。次に、①経済発展重視、②経済発展重視から格差は正重視へ転換、③格差は正重視、の3つの社会シナリオを作成し、3パターンでの所得層別世帯数を得た。作成した社会シナリオの概要は、次節で示す。続いて、一人当たり可処分所得との相関関係から求めた所得層別世帯あたりGDPを用いて、2030年まで3パターンのGDPを推計し、この3パターンのGDPに対応させる形で、機器の保有台数と業務系延床面積を推計した。

家庭系機器の消費電力については、上海での利用実態を反映させるため、現地で収集した家電4品目のカタログから求めた。また、機器の使用時間の一部は、省エネルギーセンターの「省エネ性能カタログ」⁹⁾を参考にした。業務系機器台数及び機器の消費電力は、現地データの入手が困難なため、2002年における上海の一人あたりエネルギー消費量(106.25GJ/人)³⁾が日本の1989年の数値(105.80 GJ/人)¹⁰⁾¹¹⁾に近いことを確認し、インテリジェントビルに関する調査¹²⁾のデータ(1987年)を用いた(表3)。CO₂排出原単位は家庭部門と同じ値を用いた。

3.3 社会シナリオの設定と定量化

所得水準によって、機器の使用時間をはじめとするライフスタイルも違えば、機器の保有台数やレベルも違う。上海は現在経済の高度成長を経験しており、都市化が進むのにつれ、人口の増加や世帯の所得層間の移動が活発になり、ライフスタイルをはじめ、機器保有台数の変化やハイレベル機器への置換えなども同時

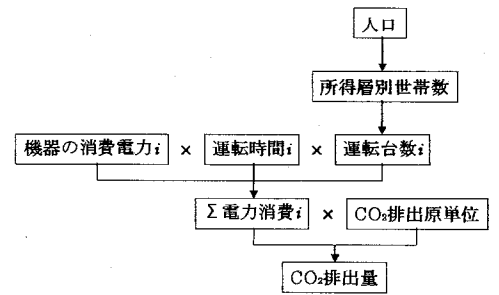


図5 家庭部門の推計フロー

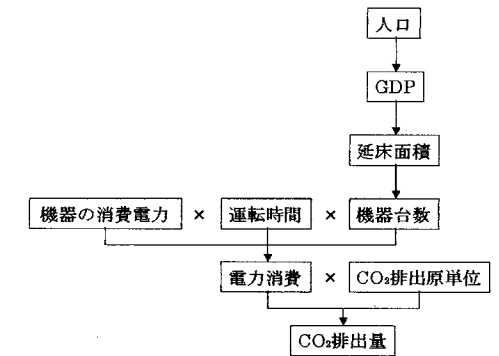


図6 業務部門の推計フロー

表1 説明変数(家庭部門) 将来値の設定

説明変数	将来値の設定
人口	・上海戸籍人口の予測は既存論文を参考した ⁹⁾ 都市部人口 農村部人口 ・外来流動人口は1990年、2000年、2003～2005年のデータの基で推計した ¹⁰⁾⁹⁾
所得層別の世帯数	3パターンの社会シナリオを想定し、シナリオ毎に設定した
GDP	一人あたり可処分所得との相関関係から所得層別世帯あたりGDPを求め、3パターンの所得層別世帯数を利用して、社会シナリオ毎に推計した
所得層別世帯あたりの機器保有台数	①GDPとの相関関係で、総台数を推計した ②所得層別GDPの比率から総台数を割り当てた 世帯数は2030年まで増え続けると予測しているため、所得層別の機器台数はシナリオによって変わるが、総台数は2030年まで増え続けるというように設定になっている
機器の使用時間	所得水準に応じて、ライフスタイルの違いを定量化し、設定した。具体的な設定は表2を参照すること。また、将来ライフスタイルの変化(機器の大型化、使用時間の延長、同時運転台数の増加など)も5年単位で想定し、定量化した
機器の消費電力	①現地で販売されている各レベルの機器のカタログを集め、消費電力のデータを入手②所得水準ごとに機器レベルを設定した。具体的な設定は表2を参照すること
CO ₂ 排出原単位	2001年から2003年までの平均値748g CO ₂ /kWhを用いた ⁸⁾

表2 機器の運転時間と消費電力の初期設定

	運転時間(台) &同時運転台数	規格	消費電力 (台)
テレビ			
低所得層	5.5h/day, 1台	スタンダード, 21インチ	66W
中所得層	4.5h/day, 1台	スタンダード, 29インチ	200W
高所得層	4h/day, 2台	プラズマ, 42インチ	360W
冷蔵庫			
低所得層	24h, 1台	140L以下	460kWh/year
中所得層	24h, 1台	250L以下	760kWh/year
高所得層	24h, 1台	300L以下	700kWh/year
洗濯機			
低所得層	3週間に1回, 1台	2槽式, 3.5kg	200Wh/回
中所得層	2週間に1回, 1台	全自動, 4.5kg	500Wh/回
高所得層	週1回, 1台	全自動, 5.2kg	630Wh/回
エアコン			
低所得層	冷房: 40days×8h, 1台 暖房: 使用しない	6～9畳用	冷房: 1,240W 暖房: 1,360W
中所得層	冷房: 60days×8h, 1台 暖房: 使用しない		冷房: 1,130W 暖房: 1,200W
高所得層	冷房: 90days×8h, 3台 暖房: 45days×5h, 3台	6～9畳用	冷房: 950W 暖房: 910W

表3 インテリジェントビルの調査結果

インテリジェントビルのエネルギー消費量原単位			
	冷房用 (Mcal/m ² ・年)	暖房・給湯用 (Mcal/m ² ・年)	一般電力 (kWh/m ² ・年)
年平均	149.0	47.9	150.1

表4 社会シナリオ毎の将来所得層別世帯比率

	年度	低所得層	中所得層	高所得層
	2003年	28.10%	47.40%	24.50%
社会シナリオ1	2030年	35%	20%	45%
社会シナリオ2	2010年	40%	15%	45%
	2030年	29%	38.30%	32.70%
社会シナリオ3	2030年	18%	52%	30%

表5 社会シナリオ毎の所得層別世帯数

	社会シナリオ1	社会シナリオ2	社会シナリオ3
特徴	経済発展重視	経済発展重視 一格差解消重視	格差解消重視
内容	経済発展が重視され、外資系の投資に歯止めがかからず、経済の貿易依存度が依然高く、政策が導入されても効果が見られず、格差の是正が失敗に終わる。結局、地域間格差や貧困格差などの社会矛盾が一段と深刻化し、富める者はますます富み、貧しい階層はどんどん貧しくなる悪循環が生まれる。	2018年の上海万博まで経済の高度成長が続く。個人間の格差も拡大しつつあるが、2010年以降は税法改正をはじめとする政策の導入によって、格差の是正がされ始める。	中国政府は所得格差が既に社会の安定を深刻に脅かすレベルに達していることを認識しており、格差の是正は一刻の猶予も許されない問題とし、政策を実行し、富の再分配によって、格差が次第に縮まり始める。
所得層別世帯数			

に起こっている。従って、所得層別世帯比率の変化は、上海民生家庭部門のエネルギー消費に大きな影響を与えるといえる。一方、所得層別世帯比率の将来予測には不確実性を伴う。そのため、本研究では3つの将来社会シナリオを作成した。そして、物価が相対的に安定する1997年から2003年までの世帯人員一人あたり可処分所得水準別の世帯数比率のデータを用いて、2003年までの世帯比率を算出してから、設定した3つの社会シナリオに合わせて、将来所得層別世帯比率(表4)及び将来所得層別世帯数を定量化した。各社会シナリオの概要と将来所得層別世帯数を定量化した結果を表5に示す。

4 温暖化対策の設定とCO₂排出量の削減効果

4.1 温暖化対策の設定

CO₂排出原単位の改善は家庭と業務の両部門共通の対策として挙げ、家庭部門では家電機器の効率改善、業務部門では機器類の効率改善¹³⁾と床面積の拡大制御の2つの対策を挙げた。表6では、各対策の概要と、それによる省エネルギー率を記している。CO₂排出原単位の改善策に関する

表6 温暖化対策の概要

部門	対策	内容
共通	CO ₂ 排出原単位の改善	3つの社会シナリオ毎にCO ₂ 排出原単位の改善進捗を設定し、定量化した(表7)
家庭	家電機器の効率改善	5年毎に実施されるとし、高所得層に省エネ機器への置き換えを進め、置き換えられた機器を中所得層へ、中所得層が使用していた機器を低所得層へ(表8)
業務	機器類の効率改善 (2004年から実施されるとする)	適正化 設備専門家による診断により、原則として建築・設備工事を伴わず、運転調整・機器調整で対応可能な対策。7.1%のエネルギー消費量原単位の削減率が見込める。(毎年5%の既存オフィスビルの床面積を行っていくものとする)
		改修時 設備の改修工事を伴う対策(大規模な建築工事は行わない)26.9%のエネルギー消費量原単位の削減率が見込める。(毎年3%竣工20年経過した建物が対象とし、既に適正化が行われているものとする)
		新築時 新築時に導入可能な建築・設備の工事による対策。34.3%のエネルギー消費量原単位の削減率が見込める。(既に適正化が行われているものとする)
	床面積の拡大制御	2004年から毎年、オフィスビルの新築床面積が政府の政策により2割減らされることを想定した

表7 CO₂排出原単位の改善進捗

	社会シナリオ1	社会シナリオ2	社会シナリオ3
特徴	エネルギー利用効率改善され、CO ₂ 排出原単位は2030年に日本(2003年)レベル(418kg/MWh)に達する。	CO ₂ 排出原単位は2010年まで順調に下がっていくが、2011年から内政政策の方針転換によって、CO ₂ 排出原単位の改善進捗が鈍くなり、日本(2003年)レベル(418kg/MWh)に達するには2040年までかかる。	低エネルギー効率状態が続き、CO ₂ 排出原単位は日本(2003年)レベル(418kg/MWh)に達するには2050年までかかる。
排出原単位の改善進捗			

4.2 CO₂排出量の削減効果の分析

図7に、家庭部門における温暖化対策別のCO₂削減効果の分析結果を社会シナリオ毎に示す。①経済発展重視、②経済発展重視から格差是正重視へ転換、③格差是正重視の3つの社会

シナリオにおいて、機器効率改善策による2030年のCO₂削減率はそれぞれ36.1%、37.6%、39.5%、CO₂排出量の1998年比はそれぞれ2.69、2.70、2.64となった。同様に、CO₂排出原単位の改善策によるCO₂削減率はそ

れぞれ 44.1%、37.9%、25.3%、CO₂ 排出量の 1998 年比はそれぞれ 1.44、1.55、1.68 となった。また、両対策が並行して展開される場合の CO₂ 削減率は 3 つの社会シナリオにおいて、それぞれ 64.3%、61.3%、54.7%、CO₂ 排出量の 1998 年比はそれぞれ 1.45、1.52、1.72 となった。

図 8 に、業務部門における建物の適正化・改修時・新築時対策、CO₂ 排出原単位の改善対策及び土地利用施策がそれぞれ実施される場合の CO₂ 削減効果の分析結果を社会シナリオ毎に示す。3 つの社会シナリオにおいて、建物の適正化による 2030 年の CO₂ 削減率はそれぞれ 1.8%、1.9%、2.1%、改修時対策はそれぞれ 3.4%、3.6%、4.2%、新築時対策はそれぞれ 21.1%、20.5%、18.2%、3 つの対策が同時進行で実施される場合の CO₂ 削減率はそれぞれ 25.1%、25.2%、23.1%となった。土地利用施策が実施される場合の CO₂ 削減率は、3 つの社会シナリオにおいてそれぞれ 12.3%、12.0%、10.6%、CO₂ 排出原単位の改善策はそれぞれ 32.9%、29.6%、10.3%となった。一方で、CO₂ 排出量の 1998 年比では、3 つの社会シナリオにおいて、建物の適正化はそれぞれ 6.27、5.95、5.39、改修時対策はそれぞれ 6.03、5.71、5.15、新築時対策はそれぞれ 4.76、4.55、4.18、3 つの対策が同時進行で実施される場合はそれぞれ 4.38、4.15、3.80 となった。土地利用施策が実施される場合の CO₂ 排出量の 1998 年比は、3 つの社会シナリオにおいてそれぞれ 5.44、5.18、4.73、CO₂ 排出原単位の改善策はそれぞれ 3.57、3.77、4.11 となった。

5 結論と今後の課題

本研究は民生部門を家庭部門と業務部門に分け、それぞれのエネルギー消費量を 3 つの将来社会シナリオに沿って推計するとともに、両部門での温暖化対策による CO₂ の削減効果を定量化した。また、一連の推計・定量化のためのモデルを構築した。その結果、家庭部門では、家電置き換え対策は格差のあまりない社会において 4 割前後の CO₂ 削減効果が見込めることが明らかになった。同対策は効果が出るまで数年かかるかもしれないが、人々の生活質の向上にもつながる上、将来的には大きな CO₂ 削減につながることもわかった。

一方、業務部門では、機器の効率改善策はどの社会シナリオにおいても 2 割以上の CO₂ 削減効果が見込め、特に新築時対策はオフィスビルの建設が続く発展途上都市にとって最優先されるべき対策であることが明らかになった。しかし、改修・新築段階での対策は、効果が期待できるものの、建物毎に実施のタイミングが限られるため、即効性という意味では適正化対策が有効であるといえる。本研究で構想した床面積の拡大制御政策の実施による CO₂ 削減率は、機器類の効率改善 3 策が同時進行で実施される場合の約半分に留まることが明らかになった。また、同対策もほかの施策に比べ、

表 8 所得層別機器効率の変化

機器類	期間	低所得層		中所得層		高所得層	
テレビ(W)	～2005年	66		200		360	
	2006～2010年	200		360		310	
	2011～2015年	360		310		260	
	2016～2020年	310		260		240	
	2021～2025年	260		240		220	
	2026～2030年	240		220		200	
エアコン (W)		冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
	～2005年	1,240	1,360	1,130	1,200	950	910
	2006～2010年	1,130	1,200	950	910	830	790
	2011～2015年	950	910	830	790	780	770
	2016～2020年	830	790	780	770	530	595
	2021～2025年	780	770	530	595	510	530
	2026～2030年	530	595	510	530	495	515
冷蔵庫 (kWh/ｙ)	～2005年	460		760		700	
	2006～2010年	760		700		680	
	2011～2015年	700		680		640	
	2016～2020年	680		640		590	
	2021～2025年	640		590		540	
	2026～2030年	590		540		530	
洗濯機 (W/回)	～2005年	200		500		630	
	2006～2010年	500		630		520	
	2011～2015年	630		520		420	
	2016～2020年	520		420		320	
	2021～2025年	420		320		220	
	2026～2030年	320		220		110	

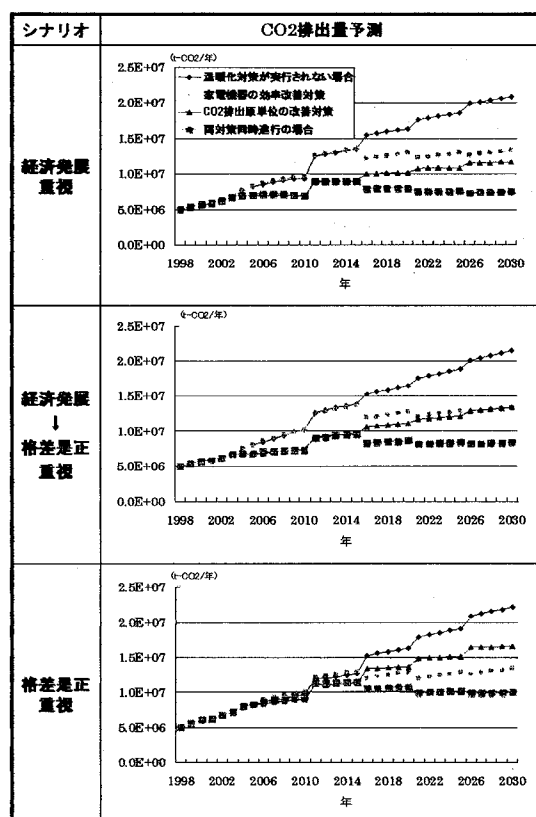


図 7 家庭部門における対策別 CO₂ 排出量

決して容易ではないといえる。しかし、機器の効率改善策とCO₂排出原単位の改善策は短期的には大きなCO₂削減効果が見られるが、長期的に見れば限界があることも無視できない。従って、将来は土地利用施策を温暖化対策の一選択肢として視野に入れ、検討する必要性が十分にあると考えられる。

本研究のモデルでは、いくつかの説明変数の組み合わせによってエネルギー消費量を推計するが、経済成長によってもたらされるインパクトを反映させるような構造、すなわち説明変数の相互連関まで反映するような構造にはなっていない。今後はこうした相互連関も反映できるモデルへ拡張・改善していくことが課題である。また、本研究では、業務部門のうちオフィスビルしか扱っていないが、現在上海では商業施設などの着工件数も増加している。したがって、業務部門全体のエネルギー消費量の把握あるいは将来予測をするために、現状の推計モデルの精緻化と同時に、対象とする建物用途を拡張して分析することも今後の課題としたい。

謝辞

本研究は、地球環境研究総合推進費（課題番号H-062「制度と技術が連携した持続可能な発展シナリオの設計と到達度の評価に関する研究」）の支援を受けて実施された。ここに記して、謝意を表する。

参考文献と主な利用データ

- 1) 中国人民日報：「中国の都市化、高度な発展期を迎える」，1999年8月
- 2) NEDO：「中国上海市における民生分野省エネモデル事業の実施可能性に関する基礎調査」，2006年9月
- 3) 上海市統計局：「上海統計年鑑・2000～2006年版」，2000～2006年，中国統計出版社
- 4) 資源エネルギー庁：「エネルギー白書・2006年版」，2006年6月
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2006EnergyHTML/html/i2120000.html>
- 5) Jia Lingyun, Men Kepei：「上海人口の将来予測に関する研究」，理論新探，2006年3月，Page.14-16
- 6) 上海市人口計画生育委員会：「上海市人口と計画生育事業発展“十一次五ヵ年”計画」，2007年1月
- 7) 中華人民共和国国家統計局：「中国統計年鑑・1997～2005年版」，中国統計出版社，1997～2005年
- 8) IEA：「CO₂ Emissions From Fuel Combustion」，Page.63，2005 Edition
- 9) 省エネルギーセンター：「省エネ性能カタログ・2006年夏版」，2006年6月
- 10) United Nations Statistics Division： <http://unstats.un.org/unsd/>
- 11) 資源エネルギー庁：「エネルギー白書・2006年版」，2006年6月
- 12) 尾島俊雄研究室：「建築の光熱水原単位・東京版」，早稲田大学出版部，1995年6月
- 13) 草野英哉等：「東京における民生部門の温暖化対策に関する検討（その2）事務所ビルにおけるCO₂排出量のマクロ試算」，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p1871～1874，2004年9月

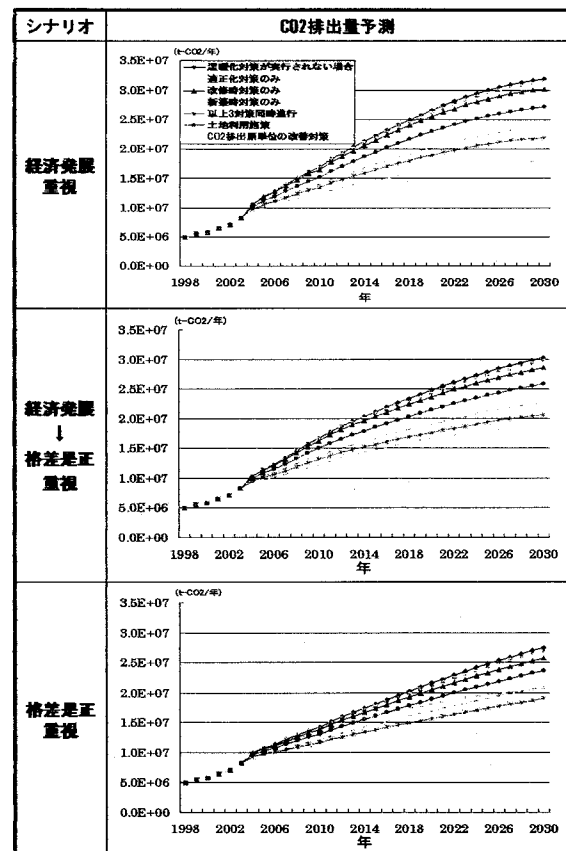


図8 業務部門における対策別CO₂排出量