

15. 主体類型別の選好を考慮した技術選択モデルによる上海家庭部門のCO₂排出量の将来推計

山本 祐吾^{1*}・張 煜²・和田 直樹³・齊藤 修⁴・盛岡 通⁵

¹和歌山大学システム工学部 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)

* E-mail: yugo@sys.wakayama-u.ac.jp

²伊藤忠商事株式会社金属・エネルギーカンパニー (〒107-8077 東京都港区北青山2-5-1)

³大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

⁴国際連合大学サステナビリティと平和研究所 (〒150-8925 東京都渋谷区神宮前5-53-70)

⁵関西大学環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

中国上海市における家庭部門の省エネルギー技術を取り上げ、消費者類型別の主観的選好を考慮した省エネルギー技術選択およびエネルギー需要予測モデルを構築した。その上で、主体が経済的に合理的な選択行動をとったときに、各技術の普及によって2030年までに実現される省エネルギー効果とCO₂排出削減効果を推計した。その結果、市場での実効的な省エネルギー技術の普及量と、それによるCO₂排出削減ポテンシャルを定量的に明らかにすることができた。また、投資回収に対する選好性を考慮すると、実効的なCO₂削減ポテンシャルは技術ポテンシャルの2/3程度となることがわかった。

Key Words : future energy demand, CO₂ emissions, consumers preference, residential sector, China

1. はじめに

中国の大都市では、高いGDPの伸びに呼応して、民生部門の建築ストックの増加が顕著である。それに伴い、民生部門のエネルギー消費は1990年以降、年率14%を超える増加傾向を示している。しかし、民生部門では建物レベルでのエネルギー消費効率が必ずしも良いとは言えず、住宅・非住宅建築における抜本的な省エネルギー化が切望されている。

Kangら¹⁾は、2020年における中国の建築物の省エネルギー効果を推計している。また、Linら²⁾は中国アモイ市において、化石燃料からグリーンエネルギーへの転換や産業・民生部門での省エネルギー化、交通部門対策を含む都市の総合的な温室効果ガスの排出削減対策の効果を評価している。これら先行研究の多くは、シナリオを用いて省エネルギー技術が理想的に普及した状況を想定しているが、実社会での技術選択は、主体の技術選好や経済合理的判断に基づいておこなわれることが通常である。

そこで、中国最大都市の一つである上海市の民生家庭部門を対象として、環境行動や投資回収に関する主体の

選好に基づいて省エネルギー技術が選択されるという実態面や、政策介入による選択行動の変化を考慮して、住宅建築における低炭素型ストックの形成が2030年までの将来エネルギー需要に与える影響を予測・推計した。その際、投資回収や技術に対する主観的選好は選択主体が置かれている社会経済的状况によって変化すると考えられることから、2030年までの社会経済シナリオを2通り（「経済成長順調シナリオ」および「経済成長鈍化シナリオ」）作成し、シナリオ別に省エネルギー技術の導入に伴うCO₂排出削減効果の違いを定量的に評価した。

具体的には、まず上海市およびその周辺地域を対象に実施した戸別訪問のアンケート調査に基づき、世帯あたりの機器普及率や効率、利用・廃棄状況など実態に即した分析データを収集・把握した。次に、この調査結果に基づいて消費主体の志向を類型化した上で、主体類型別の選好を組み込んだモデルを構築した。さらに、省エネルギー技術の代替案パッケージを複数設定し、上海家庭部門における省エネルギー技術選択が将来のエネルギー需要やCO₂排出に与える影響を予測・推計した。

2. 社会経済シナリオの作成

2030年までの将来予測では、GDP、人口、世帯数に差異を持たせた社会経済シナリオとして、「経済成長順調シナリオ」および「経済成長鈍化シナリオ」の2通りを作成した。

(1) GDP

シナリオ作成への着手が2008年度中であったため、いずれのシナリオにおいても2010年上海万博の開催まで高い経済成長が続くと仮定し、2008年から2010年までは2003年から2007年までの年平均経済成長率（16%）を維持するものとしている。2011年以降は、経済順調シナリオでは、星野ら³⁾による中国全体の年平均経済成長率、1978年から2006年までの上海GDPの中国全体を占める割合⁴⁾、上述で算定された2010年の上海GDP推計値をもとに、年平均経済成長率を5.4%と設定して2030年までの各年のGDPを求めた。

一方、経済鈍化シナリオの2011年以降では、まず小宮山ら⁵⁾による中部沿岸地域（上海を含む）の2002年から2030年までの年平均GDP成長率、および中部沿岸地域の2002年のGDP⁶⁾から、中部沿岸地域全体の2030年までのGDPを算定した。次いで、1978から2006年までの上海GDPの中部沿岸地域全体に占める割合の平均値をもとに、2030年における上海GDPを算出した。この数値と先に算定した2010年の上海GDPを用いて、2011年から2030年まで年平均経済成長率を計算し（3.2%）、2011年から2030年まで各年のGDPを算出した。つまり、2010年までは上海市の第11次5ヵ年計画で掲げた経済成長率目標（9%）を上回る経済成長を遂げるものの、2011年以降は、ここで算出した2030年上海GDP値に向けて経済成長が鈍化するとした。

得られた結果を図-1に示す。

(2) 人口

戸籍人口と半年以上滞在する外来流動人口からなる常

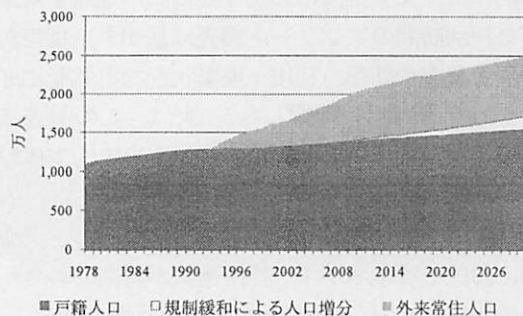


図-2 上海常住人口（経済成長順調シナリオ）

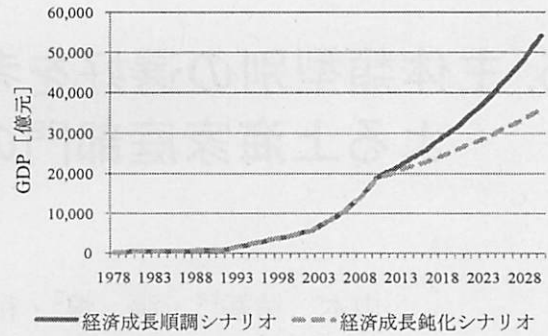


図-1 社会経済シナリオ別の上海GDP

住人口を指標に用いて、将来予測をおこなった。2つのシナリオともに、戸籍人口は1978年から2005年までの統計値⁹⁾と、2010年以降の5年おきの推計値¹⁰⁾から近似曲線を求めることで、2006年以降の値を推計した。

外来人口は、まず中国では出稼ぎ農民が流動人口の8割を占めており、経済発展の主力となっていることから、GDPは外来流動人口の増減に寄与すると考え、1995年、2000年、2003～2007年の外来人口とGDPから近似曲線を求めた。なお、1995年の外来人口は、1995年の上海戸籍人口⁹⁾と常住人口¹¹⁾の差から求め、2000年、2003～2007年は統計値である。次に、本研究で推計した各年のGDPから、2017年までの外来常住人口を推計した。2018年以降については、2017年にピークを迎えると予測されている15～64歳の生産年齢人口¹²⁾の影響を想定し、2007年から2017年までの増加傾向をそのまま延長し、毎年微増することとした。

ここまでは2つのシナリオに共通だが、経済順調シナリオではGDPの伸びに連動して外来人口が増す設定としているため、高齢化社会への対応の必要性から、地方において一人っ子政策に代表される人口抑制政策が緩和されることを想定した。ここでは、一人っ子政策の緩和によって、2006～2010年：2.5%/年、2011～2015年：3.5%/年、2016～2020年：4.5%/年、2021～2025年：5.5%/年、2026～2030年：6.5%/年、の戸籍人口増が見込めるものとした。

以上から得られた結果を図-2、図-3に示す。

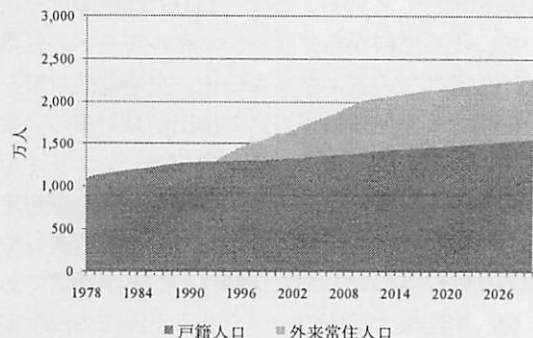


図-3 上海常住人口（経済成長鈍化シナリオ）

(3) 世帯数

戸籍人口、外来常住人口に分けて世帯数の将来予測をおこなった。まず、上海統計年鑑^{9, 13-16)}から1978年から2005年まで戸籍人口の世帯数、および1978年、1990年、1995年、1998年から2005年までの農村部世帯数の統計データを入手した。次に、戸籍人口世帯数から農村部世帯数を引いて、1978年、1990年、1995年および1998年から2005年までの都市部世帯数を算出した。以上で得られた値から近似曲線（図-4）を求めた上で、既知年を除く2030年までの都市部世帯数を推計した。農村部についても同様に2030年までの世帯数を推計し、都市部世帯数と農村部世帯数を合計することで、2030年までの戸籍人口の世帯数を求めた。

外来常住人口の世帯数予測には、資料19)を用いた。この資料から得られる2000年の上海外来流動人口を表-1に示す。表中の世帯型主体は、血縁関係のある家族単位で滞在している主体を意味し、集団型主体とは、お互いに血縁関係はないが共同生活をしている主体のことである。まず、外来常住人口に占める世帯型主体人口および集団型主体人口の割合と、それぞれの世帯あたり人口は2030年まで変わらないと仮定して、前節で推計した2030年までのシナリオ別外来流動人口に世帯型・集団型主体人口の割合を乗じ、世帯型・集団型主体の外来流動人口をシナリオ別に算定した。次に、同資料から得られる世帯型主体の世帯あたり人口（2.16人/世帯）、集団型主体の世帯あたり人口（4.60人/世帯）でそれぞれの外来人口を除すことで、世帯型・集団型主体のシナリオ別外来世帯数を求めた。最後に、両世帯数を足し合わせ、2030年までの外来流動人口の世帯数をシナリオ別に算出した。

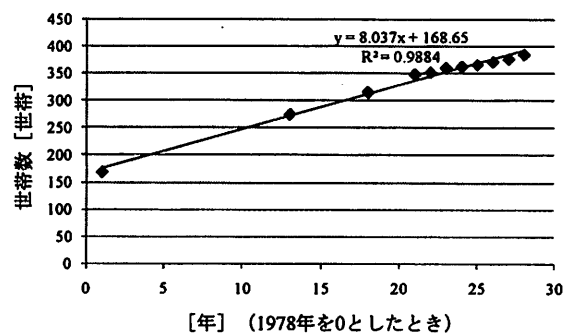


図-4 上海都市部の世帯数の推移

表-1 外来常住人口の関連情報

	世帯型主体 人口 [人]	集団型主体 人口 [人]
滞在1ヶ月未満	106,746	199,322
滞在1～5ヶ月	221,558	286,054
滞在6ヶ月以上	2,063,069	994,326
計	2,391,373	1,479,702

ギー性能別技術導入量を評価するモデルを構築した。設定した4つの主体類型とそれぞれの技術選択基準を表-2に示す。なお、詳しくは次節に示すが、省エネルギー技術の初期導入は、断熱・エアコン・給湯の技術を1つずつ組み合わせたパッケージを選択対象とする。この組み合わせによって投資回収年数が同じになるものがあるため、主体BとCで選択される技術パッケージに違いが生じることになる。

まず式(1)より、省エネルギー技術の導入によって得られる将来便益を、主観的割引率を用いて現在価値に換算する。次に、主観的割引率を考慮した主体別・省エネルギー技術別の投資回収年数を式(2)から算出する。

$$PB_i = \sum_{t=1}^n b_i / (1 + \frac{\gamma}{100})^{t-1} \quad \text{式(1)}$$

$$P_{\gamma i} = I / PB_i \quad \text{式(2)}$$

3. 技術選択モデルの構築

(1) 主体類型別の主観的選好を考慮した技術選択

省エネルギー技術の導入に伴う初期投資額増分を、耐用年数内に発生する将来便益を主観的割引率によって現在価値換算した値で除して投資回収年数を算出し、技術選択に対する需要家ごとの判断基準に基づいて省エネ

ここで、 PB ：将来便益の主観的割引率による現在価値、 I ：省エネルギー技術導入に伴う初期投資額増分、 b ：省エネルギー技術に伴う年間便益、 γ ：主観的割引率、 t ：年数、 i ：省エネルギー技術、 $P_{\gamma i}$ ：主体別投資

表-2 主体別の技術選択の判断基準

主体類型	判断基準
A：エコ規範派	投資回収年数の長短にかかわらず、最もCO ₂ 削減に貢献する省エネルギー技術を選択する。
B：投資回収効果関心派	投資回収年数の最も短い省エネルギー技術の中で、コストパフォーマンスが最も優れたものを選択する。
C：初期投資限界留意派	投資回収年数が最も短く、かつ初期投資費用の最も少ない省エネルギー技術を選択する。
D：無関心派	省エネルギー技術を導入しない。

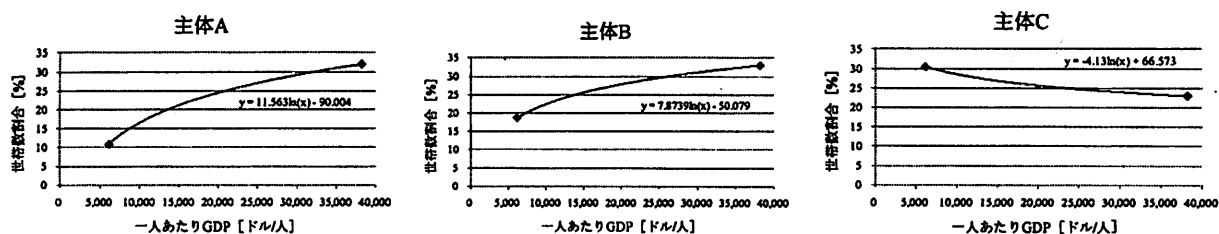


図-5 主体別世帯数割合と一人あたり GDP の関係

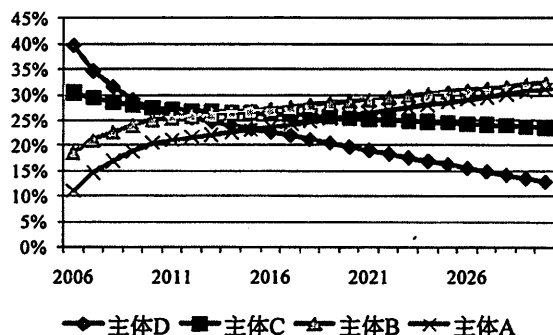


図-6 主体別世帯数割合（経済成長順調シナリオ）

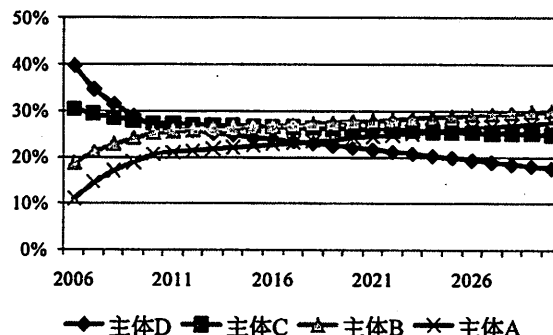


図-7 主体別世帯数割合（経済成長鈍化シナリオ）

回収年数，である。

この省エネルギー技術に対する主体別投資回収年数と、技術選択の主体別判断基準によって、主体別の導入技術が決定される。それに主体別世帯数割合、および次節で述べる新築・改修住宅の世帯数を乗じることで、省エネルギー技術の主体別導入量を算出する。

主観的割引率に関しては、「銀行ローンや貯蓄金利の範囲内に入るのが妥当である」と述べられている²⁰⁾。中国の銀行ローンおよび貯蓄の金利は、それぞれ5.58%と2.52%となっていることから、主体A, B, Cの主観的割引率をそれぞれ2%, 4%, 6%と設定した。なお、この主観的割引率は、2030年まで一定値であると仮定した。

主体別世帯数割合は、上海家庭部門を対象としたアンケート調査の結果²¹⁾に基づいて設定した。具体的には、まず「あなたが耐久品を購入する場合、最も重視する点をお選びください」という質問に対して、「どんな素材（例えばリサイクル素材など）を使っているか」「どんな製造方法を取っているか」「環境を損なわないか」と答えた人を主体Aの割合（11.0%）、「健康・安全への配慮がなされているか」と答えた人を主体Bの割合（18.7%）、「デザインが良いか」「商品機能が優れているか」と答えた人を主体Cの割合（30.5%）、「価格が妥当か」「日常に使うための費用が妥当か」「その他」と答えた人を主体Dの割合（39.8%）と見なし、これを2006年時点での上海市における主体別世帯数割合とした。なお、データ制約の理由から、採用したこの主体別割合の設定方法は表-2の判断基準と必ずしも一致しない面がある。意識や行動パターンから主体のライフスタイル類

型をモニタリングし、定量化する手続きの確立と、援用データの見直しや感度解析が今後の課題となろう。

次に、環境行動・意識は経済成長に伴って高まり、主体別世帯数割合も変化するものとした。その際、環境省が2004年に日本で実施した「環境にやさしいライフスタイル実態調査」²²⁾の結果から、「買い物の際、同じ種類の製品ならば、高くても環境にやさしい商品を選ぶ」という取り組みについて、「いつもおこなっている」「大体おこなっている」と答えた人を主体Aの割合（32%）、「時々している」と答えた人を主体Bの割合（33%）、「あまりおこなっていない」と答えた人を主体Cの割合（23%）、「全くおこなっていない」と答えた人および無回答者を主体Dの割合（12%）と見なし、上海の経済水準がこのときの日本における一人あたりGDPに達するときに主体別世帯数割合がこの値をとると仮定した。その上で、これらの主体別割合と、各アンケート実施の前年の上海および日本における一人あたりGDPとの相関関数を求め、別途推計した2030年までの上海市GDPおよび人口から、経済成長順調および鈍化シナリオにおける上海の主体別世帯数割合の将来変化を推計した。

主体別割合と一人あたりGDPとの関係を図-5に示す。データ制約のために2時点のデータのみでの近似となるが、各主体の割合は線形的に単調増加あるいは単調減少するのではなく、経済水準が上昇するに従ってある極限值に近づく形が妥当であると判断した。また、主体Dの割合は、推計した主体A～Cの合計を100（%）から引いた値とした。以上から推計した主体別割合の結果を図-6、図-7に示す。経済成長順調シナリオでは、経済成長鈍化

表3 家庭部門において選択可能な省エネルギー技術

	2006-2010年	2011-2015年	2016-2020年	2021年-
断熱性能	旧省エネ基準 現省エネ基準	旧省エネ基準 現省エネ基準	旧省エネ基準 現省エネ基準 新省エネ基準	旧省エネ基準 現省エネ基準 新省エネ基準 断熱強化
エアコン	COP=3-4 COP=4-5	COP=3-4 COP=4-5 COP=5以上	COP=3-4 COP=4-5 COP=5以上	COP=3-4 COP=4-5 COP=5以上
給湯器	導入しない 潜熱回収型	潜熱回収型	潜熱回収型 ヒートポンプ式	潜熱回収型 ヒートポンプ式

※耐用年数…エアコン：10年、潜熱回収型給湯器：10年、ヒートポンプ式給湯器：15年、断熱…評価期間中の更新なし

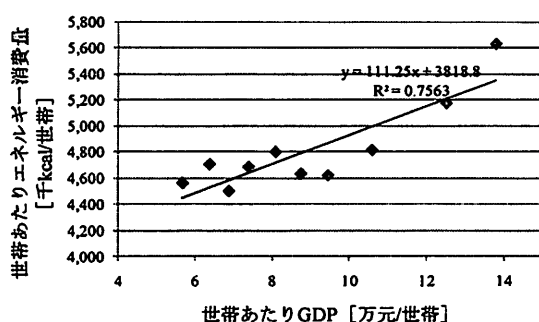


図8 世帯あたり GDP とエネルギー消費量の関係

シナリオより主体A、Bの割合が微増、主体Cが微減、主体Dが減少していることがわかる。

(2) 省エネルギー技術を導入する世帯とその選択対象

a) 省エネルギー技術の導入対象世帯

省エネルギー技術は、上海の全世帯ではなく、新築住宅に住む世帯および住宅を改修する世帯で導入されるものとした。ここで、新築住宅に住む世帯数は、毎年の新増世帯数と同じであると見なす。また、上海市政府は、2006年から2010年の5年間に1,000 万 m^2 の住宅建築を改修するという目標を掲げている²⁹⁾ことから、この目標値を世帯数に換算した値 (3.5 万世帯/年) を改修住宅の世帯数とした。なお、換算に必要な世帯あたり住宅面積は、2005年上海における一人あたり住宅面積：21.3 m^2 /人⁹⁾、および世帯あたり人口：2.7人/世帯⁹⁾を用いて算出した。

b) 選択対象となる省エネルギー技術の設定

断熱性能、エアコン、給湯機の3つのカテゴリーで、選択対象となる省エネルギー技術を設定した (表-3)。カテゴリーごとに、省エネルギー技術の導入時期によって選択可能な技術メニューや性能に違いを設けている。技術選択の主体は、前項で示した新築住宅の取得および既存住宅の改修の際に、各主体の選好に応じてまず各カテゴリーから1つ、計3つを組み合わせた省エネルギー技術パッケージを1つ選択することとする。その後、エアコンと潜熱回収型給湯器は10年、ヒートポンプ式給湯器は15年に1回、その時期に選択可能な技術の中から1つを

新たに選択し、更新するものとする。なお、更新時は、それ以前のものと同等以上の省エネルギー性能を有する技術を選択するものとした。断熱性能は、評価期間中の更新はないものとした。

各技術パッケージの省エネルギー効果は、上海家庭部門を対象としたエネルギー最終需要モデルにより算出した値²⁴⁾を用いた。このモデルでは技術間の相互作用が考慮されるため、技術パッケージの効果は、個々の技術単体での省エネルギー効果を単純に足し合わせた値にはならない。さらに、2008年度時点の省エネ投資の初期費用額は、断熱性能は文献・資料^{25,27)}、エアコンは市販品の冷房時COPと価格の関係²⁸⁾、給湯器は資料^{29,31)}をもとに日中間で価格調整して、設定した。省エネルギー化による年間便益を算定する過程では、エネルギー料金を電気：0.61 元/kWh³²⁾、都市ガス：1.05 元/ m^3 ³³⁾、LPG：5.79 元/kg³⁴⁾とし、将来にわたって一定であるとした。

以上から、省エネルギー技術パッケージごとのCO₂削減効果、初期費用額、各主体の主観的割引率を考慮した投資回収年数などが導出される。これらの数値と表-2に示した判断基準に基づいて、各主体がどの技術を選択するかを決定した。

(3) 家庭部門におけるCO₂排出量予測モデルの構築

CO₂排出量の予測では、世帯数、世帯あたりエネルギー消費量 (技術導入による省エネルギー効果を含む)、主体別世帯数割合、およびエネルギー種別CO₂排出原単位をモデルの変数とした。先述した世帯数、主体別世帯数割合以外の変数について、以下にその推計・設定方法を述べる。

a) 世帯あたりエネルギー消費量

省エネルギー技術の導入効果を考慮しない状態での上海における世帯あたりエネルギー消費量は、世帯あたりGDPの増加に伴って増加するものとして推計した。具体的には、まず倪³⁹⁾による推計結果から、家庭部門のエネルギー消費量を得た。このデータは、上海統計年鑑で公表されている1996年から2005年までの生活消費によるエネルギー消費量のうち、ガソリン、ディーゼル、および

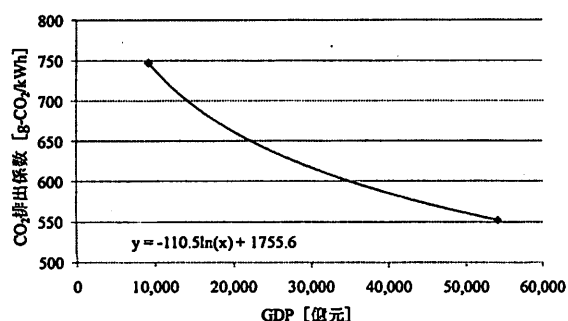


図-9 CO₂排出原単位とGDPの関係

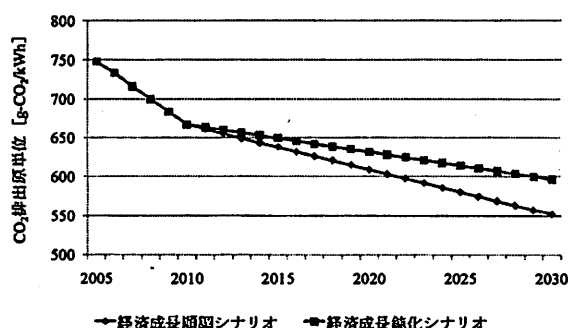


図-10 シナリオ別CO₂排出原単位の推計結果

表-4 設定した分析ケース

ケース	概要
対策なし	省エネルギー技術が今後導入されないとする、リファレンスケース。ただし、エネルギー消費原単位は経済成長に伴って上昇すると仮定。
市場任せ	主体別の主観的割引率および技術選択基準に基づいて、省エネルギー技術が選択されるケース。
規制介入	省エネ設計基準（上海市で2006年より施行）を満たす省エネルギー技術を導入させる制度との連携ケース。
理想普及	全主体が最もCO ₂ 排出量の削減に寄与する省エネルギー技術を選択するケース。

その他石油製品の消費量を引いた値である。この論文中に示されていない1999年、2001年、2003年のエネルギー消費量は、倪と同じ手法で上海統計年鑑データ^{13, 17)}を用いて算出した。

次に、1996年から2005年までの家庭部門エネルギー消費量およびGDPを、2. (3)で推計した世帯数で除し、世帯あたりエネルギー消費量と世帯あたりGDPを算出した。さらに、世帯あたりエネルギー消費量と世帯あたりGDPの相関関数を求めた（図-8）。その上で、2. (1)で推計した2030年までのGDPを、2030年までの総世帯数で除して2030年までの世帯あたりGDPを算出し、それをこの相関の式に代入し、2030年までの世帯あたりエネルギー消費量をシナリオ別に求めた。

b) 電力部門のCO₂排出原単位

電力部門のCO₂排出原単位は、経済の発展に伴って改善されることを想定した。中国の電力部門におけるCO₂排出量について、松岡ら³⁰⁾は26.2%の削減ポテンシャルがあるとしていることから、本研究では26.2%の削減が経済成長順調シナリオの2030年に実現されるものと仮定した。具体的には、2005年の電力部門におけるCO₂排出原単位を、2001年から2003年までの平均値である748 g-CO₂/kWh³⁷⁾とし、2030年のCO₂排出原単位はこれより26.2%少ない552 g-CO₂/kWhとした。その上で、2005年のGDP（実績値）および2030年のGDP（本研究での推計値）から、CO₂排出原単位とGDPの関係を算出した（図-9）。この関係式を用いて、2つのシナリオ別に電力部門におけるCO₂排出原単位を推計した結果を図-10に示す。ただし、上海家庭部門におけるエネルギー消費構成³⁸⁾は2030

年まで変化しないものとしている。

なお、図-9は2つのデータセットのみで近似しているため、今後、他国・他地域を含めた時系列データを用いるなどして、推計の手続きを見直す必要がある。

c) 電力以外のCO₂排出原単位

電力以外の燃料（LPG、都市ガス、熱供給）のCO₂排出係数は日本のデータ³⁹⁾で代用し、LPG：2.5054 kg-CO₂/10⁴kcal、都市ガス：2.0596 kg-CO₂/10⁴kcal、熱供給：0.068 kg-CO₂/MJ、とした。また、これらの値は2030年まで変化しないと仮定した。

(4) 分析ケースの設定

2つの社会経済シナリオに対して、それぞれ4つの分析ケースを設定した（表-4）。「理想普及」ケースでは、最もCO₂排出削減効果大きい省エネルギー技術パッケージが理想的に普及した状況を想定し、技術的なCO₂削減ポテンシャルを推計するのに対して、「市場任せ」および「規制介入」ケースでは、選択主体の選好を加味した技術選択モデルによる省エネルギー技術の普及量に基づいて、CO₂削減効果を算定することになる。ただし、「規制介入」ケースでは、省エネ設計基準を満たさない技術は選択肢（表-3）から除外され、各主体は基準を満たす技術のパッケージの中から選択する。これは、環境的に望ましい製品や技術が、その普及を促進させる制度の設計と介入によっていかに低炭素ストックの形成に寄与するか、を明らかにすることを狙っている。「対策なし」ケースでは、経済成長に伴う世帯あたりエネルギー消費量の増加（前節a）のみを考慮する。

4. 分析結果

技術パッケージごとの省エネルギー効果をシナリオ別に表-5に示す。また、表-6は、A～Cの各主体が初期導入および更新時にどのような技術パッケージを選択することになるかについて、経済成長順調シナリオにおける結

果を示している。断熱性能は評価期間中の更新がなされないと仮定しているため、初期導入時以降は選択がなされない。また、ヒートポンプ式給湯器の耐用年数を15年と設定しており、当該技術を2016～2020年に導入・更新した場合は2026～2030年に更新時期を迎えないため、この期間に技術更新はなされない。

2030年までのケース別CO₂排出量の推移の分析結果を

表-5 技術パッケージごとのシナリオ別省エネルギー効果

省エネルギー技術パッケージ			経済成長順調シナリオでの削減率 [%]		経済成長鈍化シナリオでの削減率 [%]	
断熱性能	エアコン	給湯器	電気	ガス	電気	ガス
旧基準	COP=3～4	導入なし	16.6	0.0	16.6	0.0
旧基準	COP=4～5	導入なし	19.4	0.0	19.4	0.0
旧基準	COP=3～4	潜熱回収	18.2	-1.2	18.0	-1.2
旧基準	COP=4～5	潜熱回収	21.1	-1.2	20.8	-1.2
旧基準	COP=5以上	潜熱回収	23.3	-1.2	23.1	-1.2
旧基準	COP=3～4	HP式	9.3	63.7	9.0	64.1
旧基準	COP=4～5	HP式	12.1	63.7	11.8	64.1
旧基準	COP=5以上	HP式	14.4	63.7	14.1	64.1
現基準	COP=3～4	導入なし	22.4	0.0	22.4	0.0
現基準	COP=4～5	導入なし	25.0	0.0	25.0	0.0
現基準	COP=3～4	潜熱回収	24.0	-1.2	23.8	-1.2
現基準	COP=4～5	潜熱回収	26.7	-1.2	26.4	-1.2
現基準	COP=5以上	潜熱回収	28.9	-1.2	28.5	-1.2
現基準	COP=3～4	HP式	15.1	63.7	14.7	64.1
現基準	COP=4～5	HP式	17.7	63.7	17.3	64.1
現基準	COP=5以上	HP式	19.9	63.7	19.5	64.1
新基準	COP=3～4	潜熱回収	28.0	-1.1	27.6	-1.2
新基準	COP=3～4	HP式	18.9	63.7	18.5	64.1
新基準	COP=4～5	潜熱回収	30.5	-1.1	30.1	-1.2
新基準	COP=4～5	HP式	21.4	63.7	21.0	64.1
新基準	COP=5以上	潜熱回収	32.6	-1.1	32.1	-1.2
新基準	COP=5以上	HP式	23.5	63.7	23.0	64.1
断熱強化	COP=3～4	潜熱回収	29.7	0.9	28.3	-5.0
断熱強化	COP=3～4	HP式	20.8	64.0	19.1	61.8
断熱強化	COP=4～5	潜熱回収	32.3	0.9	30.9	-5.0
断熱強化	COP=4～5	HP式	23.3	64.0	21.7	61.8
断熱強化	COP=5以上	潜熱回収	34.4	1.0	33.0	-5.0
断熱強化	COP=5以上	HP式	25.5	64.0	23.9	61.8

※HP式：ヒートポンプ式

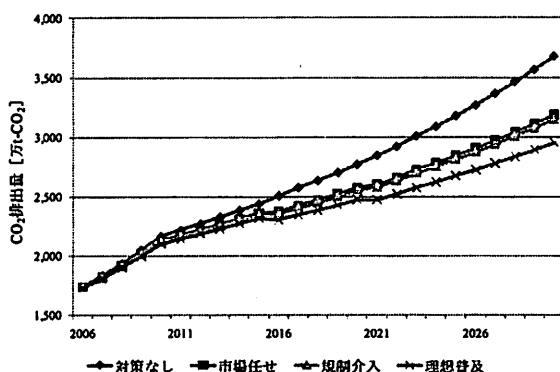


図-11 CO₂排出量（経済成長順調シナリオ）

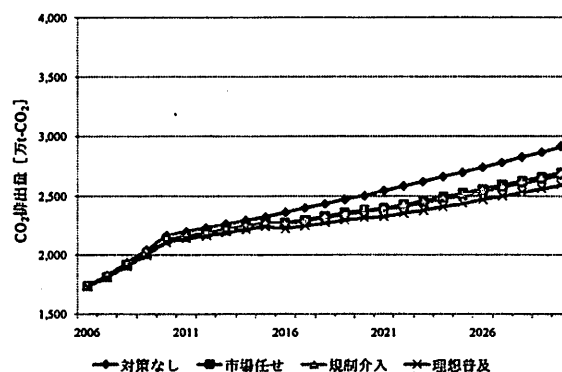


図-12 CO₂排出量（経済成長鈍化シナリオ）

表-6 経済成長順調シナリオにおける各主体の省エネルギー技術パッケージの選択結果

導入時期	主体類型	導入する技術 (2006～2010年)			更新する技術 (2016～2020年)			更新する技術 (2026～2030年)		
		断熱性能	エアコン	給湯器	断熱性能	エアコン	給湯器	断熱性能	エアコン	給湯器
2006～2010年	A	現基準	COP=4～5	潜熱回収	—	COP>5	HP式	—	COP>5	—
	B	現基準	COP=4～5	導入なし	—	COP>5	HP式	—	COP>5	—
	C	旧基準	COP=4～5	導入なし	—	COP>5	HP式	—	COP>5	—

導入時期	主体類型	導入する技術 (2011～2015年)			更新する技術 (2021～2025年)		
		断熱性能	エアコン	給湯器	断熱性能	エアコン	給湯器
2011～2015年	A	現基準	COP>5	潜熱回収	—	COP>5	HP式
	B	現基準	COP>5	潜熱回収	—	COP>5	HP式
	C	旧基準	COP>5	潜熱回収	—	COP>5	HP式

導入時期	主体類型	導入する技術 (2016～2020年)			更新する技術 (2026～2030年)		
		断熱性能	エアコン	給湯器	断熱性能	エアコン	給湯器
2016～2020年	A	新基準	COP>5	HP式	—	COP>5	—
	B	旧基準	COP>5	HP式	—	COP>5	—
	C	旧基準	COP=3～4	HP式	—	COP=3～4	—

導入時期	主体類型	導入する技術 (2021～2030年)		
		断熱性能	エアコン	給湯器
2021～2030年	A	断熱強化	COP>5	HP式
	B	旧基準	COP>5	HP式
	C	旧基準	COP=3～4	HP式

図-11、図-12に示す。まずシナリオ間で比較すると、上海における今後の経済成長が鈍化する場合、2030年時点のCO₂排出量は成長が順調なシナリオよりも4ケース平均で約15.7%小さくなった。それでも2006年と比べると4ケース平均で約56.9%、「対策なし」ケースを除いた平均でも約53.3%のCO₂排出量増加となる。このことから、民生家庭部門の省エネルギー化を重点的に進めることが、上海における中長期的な地球温暖化対策の一つの柱になると言えよう。

次に、各ケースを比較すると、経済成長順調シナリオにおける「対策なし」、「市場任せ」、「規制介入」、「理想普及」ケースでは、2030年のCO₂排出量は2006年に比べてそれぞれ111.2%、83.4%、81.5%、70.6%増加する。経済成長鈍化シナリオでは、それぞれ67.7%、55.5%、54.5%、49.9%の増加となる。主体の技術選好を考慮した「市場任せ」ケースでは、省エネルギー技術の理想的な普及を想定したケースほどのCO₂削減ポテンシャルを実現できないものの、CO₂排出削減効果は「理想普及」ケースの2/3程度となることが明らかになった。「対策なし」ケースに比べると、経済成長順調・鈍化シナリオにおける2030年のCO₂排出量削減率は、それぞれ13.4%と7.47%となった。

また、いずれのシナリオにおいても、「規制介入」による効果はわずかしき現れないことがわかった。本研究で設定した省エネルギー技術パッケージには住宅建築の断熱性能と機器両方の対策が含まれているが、これらは

住宅建築の外皮のみを規制対象とする上海家庭部門向けの省エネルギー設計基準よりもはるかに省エネルギー効果を有する。このことが、規制介入効果がさほど現れなかった一因と考えられる。加えて、規制の有無にかかわらず、初期投資額やコストパフォーマンスを重視した行動が、結果的に規制対象となる省エネルギー技術を含まないパッケージの選択につながったと捉えることができる。中国における経済合理的な行動特性は先行研究でも指摘されており⁴⁰⁾、本研究における調査結果やそれに基づく設定は、こうした知見に整合すると言える。

5. 結論

主観的割引率を評価モデルに組み込むことで、市場での実効的な省エネルギー技術の普及量、およびそれによるCO₂排出削減ポテンシャルを定量的に明らかにすることができた。また、現地での調査・モニタリング結果や既存文献などに基づいて、環境行動を類型化、定量化する手続きを提示し、環境行動の選好に結びつけたCO₂削減の将来予測シミュレーションをおこなうことができた。分析の結果、投資回収に対する選好性を考慮すると、CO₂削減ポテンシャルは技術ポテンシャルの2/3程度となることがわかった。このように技術ポテンシャルと発現するポテンシャルの差異がさほど大きくないため、中国上海市の家庭部門では、現行制度をベースとした省エネ

ルギー設計基準（外皮のみ）に関する規制介入の有無にかかわらず、経済合理性の高い選択肢を市場に投入すれば、合理的判断のもとで省エネルギー技術の選択・普及が進むと期待できる。

本研究で構築した、主観的選好を考慮した省エネルギー技術選択およびエネルギー需要予測モデルは、実社会での実効的な省エネルギー技術の普及量とそれによるCO₂排出削減ポテンシャルを評価することができるため、家庭部門の温暖化対策に関する政策目標の設定や達成度評価に資する。また、構築したモデルには、アジア各国の社会経済変数や地域性、環境規制などに関するデータの inputs が可能であるので、今後それらの国や地域で普及が期待される環境技術・製品やそれを促す制度、さらに普及による脱温暖化効果の定量化など、環境政策上有用な知見を得ることができる。

謝辞：本研究は、環境省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。また、個別技術の省エネルギー効果は、同課題の研究参画者であった大阪大学大学院工学研究科・下田吉之教授、山口容平助教よりご提供いただいた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) Kang, Y. and Wei, Q.: Analysis of the impacts of building energy efficiency policies and technical improvements on China's future energy demand, *International Journal of Global Energy Issues*, Vol.24, No.3/4, pp.280-299, 2005.
- 2) Lin, J., Cao, B., Cui, S., Wang, W. and Bai, X.: Evaluating the effectiveness of urban energy conservation and GHG mitigation measures: The case of Xiamen city, China, *Energy Policy*, Vol.38, Iss.9, pp.5123-513, 2010.
- 3) 星野優子, 杉山大志: 温暖化制約下の世界エネルギー需給シナリオプランニング—中国は「省エネ大国」になるか—, 電力中央研究所報告, Y06013, 電力中央研究所社会経済研究所, 2007年
- 4) 中華人民共和国国家統計局: 「中国統計年鑑・2007年版」, 中国統計出版社, 2007年
- 5) 小宮山涼一, 張平, 呂正, 李志東, 伊藤浩吉: 中国31省・行政区別での2030年長期エネルギー需給予測—省別での統計整備の実施と計量モデルによる予測の基本的検討—, エネルギー経済, Vol.32, No.2, pp.32-59, 日本エネルギー経済研究所, 2006年
- 6) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2008年版」, 中国統計出版社, 2008年
- 7) 浙江省統計局・国家統計局浙江調査総隊: 「浙江統計年鑑・2007年版」, 中国統計出版社, 2007年
- 8) 江蘇省統計局: 「江蘇統計年鑑・2007年版」, 中国統計出版社, 2007年
- 9) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2006年版」, 中国統計出版社, 2006年
- 10) Jia, L. and Men, K.: 上海人口の将来予測に関する研究（中国語）, 理論新探, pp.14-16, 2006年
- 11) 沙神才, 周雲芳: 上海2000年人口与计划生育形势分析（中国語）, 人口信息, 2001年
- 12) 若林敬子編著, 筒井紀美訳: 「中国人口問題のいま—中国人研究者の視点から—」, ミネルヴァ書房, 2006年
- 13) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2000年版」, 中国統計出版社, 2000年
- 14) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2001年版」, 中国統計出版社, 2001年
- 15) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2002年版」, 中国統計出版社, 2002年
- 16) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2003年版」, 中国統計出版社, 2003年
- 17) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2004年版」, 中国統計出版社, 2004年
- 18) 上海統計局: 「上海統計年鑑・2005年版」, 中国統計出版社, 2005年
- 19) 上海人口普查弁公室: 「上海2000年人口普查資料: 外来流動人口普查数据」, 中国統計出版社, 2002年
- 20) 晝間文彦: 消費者の主観的割引率について—アンケート調査の結果から—, 早稲田大学・消費者金融サービス研究所ワーキングペーパー, IRCFS01-007, 2001年
- 21) 齊藤修, 和田直樹, 山本祐吾, 下田吉之: 上海市とホーチミン市の家庭部門のエネルギー・資源消費実態と将来シナリオに関する研究, 第27回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp.153-156, エネルギー・資源学会, 2008年
- 22) 環境省: 資料3 アンケート結果について, 中央環境審議会総合政策部会（第20回）議事次第・配布資料, 2004年（参照元: <http://www.env.go.jp/council/02policy/y020-20b.html>, 最終参照日: 2011年3月28日）
- 23) 「上海新建築将全部執行節能50%標準」（中国語）, 房材と応用, Vol.34, No.4, 2006年
- 24) 山口容平, 山口幸男, 下田吉之: 上海家庭部門のエネルギー需要予測と省エネルギー技術評価, 第28回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 論文No.3-4, 2009年
- 25) 建築主のためのWEBサイト: 断熱化の効果とコスト（参照元: <http://www.ads-network.co.jp/dannetu-keuro/dannetu-05.htm>, 最終参照日: 2011年3月28日）
- 26) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 平成20年度住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業—住宅に係るもの— 公募要領, 2008年（参照元: <https://app3.infoc.nedo>

- go.jp/informations/koubo/koubo/DA/nedokoubo.2009-01-14.4935813391/koubo_youryou.pdf, 最終参照日: 2011年3月28日)
- 27) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 平成20年度住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業システム提案概要(住宅), 2007年(参照元: http://www.sunqeom.com/NEDO_EOM_SOLARVENT_no4_shinchiku.pdf, 最終参照日: 2011年3月28日)
 - 28) ヨドバシカメラ(参照元: <http://www.yodobashi.com/>, 最終参照日: 2008年12月)
 - 29) 本地宝: 万家樂冷凝式燃氣熱水器 JSQ20-12U1(参照元: http://uan.sz.bendibao.com/product/show_1803.htm, 最終参照日: 2008年12月)
 - 30) 上海国美電気(参照元: <http://www.gome.com.cn/areaindex-51819.htm>, 最終参照日: 2008年12月)
 - 31) TSSグループ(参照元: http://denki.tssshop.com/shop/onsuiki?gclid=CJ3R_4mfyJcCFQ&upAod5trKSw, 最終参照日: 2008年12月)
 - 32) 上海市政府ホームページ: 市物価局關於調整上海市電網電價的通知, 2006年(参照元: <http://www.sh.gov.cn/shanghai/node2314/node2319/node12344/userobject26ai7594.html>, 最終参照日: 2008年12月)
 - 33) Shanghai Gas: 「(物価局通知) 關於調整本市居民用戶燃氣電價格的通知」(中国語), 2008年(参照元: <http://www.shgas.com.cn/viewinfo.asp?id=325>, 最終参照日: 2008年12月)
 - 34) CBN: 「台湾中油大幅下調LPG價格」(中国語), 2008年(参照元: <http://www.china-cbn.com/sh/000004/20081104/020000092336.shtml>, 最終参照日: 2008年12月)
 - 35) 倪徳良: 上海建築能耗之統計分析(中国語), Shanghai Energy Conservation, No.5, pp.6-13, 2007年
 - 36) 松岡俊二, 村上一真, 松本礼史: アジア諸国の経済成長とCO₂排出構造の変化—製造業と電力業を中心に—, 国際協力研究誌, Vol.6, No.1, pp.75-89, 広島大学大学院国際協力研究科, 2000年
 - 37) International Energy Agency: CO₂ Emissions From Fuel Combustion - 2005 Edition, 2005.
 - 38) 寧亜東, 外岡豊: 上海の住宅部門におけるエネルギー消費構造の経年動向に関する分析, 第24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, pp.301-304, エネルギー・資源学会, 2008年
 - 39) 福井県環境情報総合処理システム: 環境情報データベース—温室効果ガス排出係数一覧検索—(参照元: <http://www.ec.pref.fukui.jp/envdb/sg/Exgsidx00.htm>, 最終参照日: 2008年12月)
 - 40) Shen, J. and Saijo, T.: Does an energy efficiency label alter consumers' purchase decision? A latent class approach based on data from Shanghai, *Journal of Environmental Management*, Vol.90, Iss.11, pp.3561-3573, 2009.

(2011. 3. 29 受付)

(2011. 7. 21 受理)

Evaluating Reduction Effects of Consumers Preference for Energy-saving Technologies on Future Energy Demand and CO₂ emission in Residential Sector of Shanghai, China

Yugo YAMAMOTO¹, Yu ZHANG², Naoki WADA³, Osamu SAITO⁴
and Tohru MORIOKA⁵

¹Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

²Energy, Metals & Minerals Company, ITOCHU Corporation

³Graduate School of Engineering, Osaka University

⁴Institute for Sustainability and Peace, United Nations University

⁵Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

A future energy demand model of the residential sector in Shanghai city was developed to estimate the energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emission until the year 2030 as well as the potential reduction that could be gained by disseminating a variety of energy-saving technologies. We also estimated the effects of consumers' preference and attitude to the recovery of investment in the energy-saving technologies on the energy consumption and CO₂ emission of the sector. From the analysis, we reached the following conclusions: 1) If the energy consumption pattern of people in Shanghai would not vary in the future within their income levels, energy consumption would increase by from 30% to 40% due to the increase in the population from that in 2006. 2) Two-thirds of the CO₂ reduction was estimated to achieve when the consumers preference for the recovery of investment was taken into account.