

課題名	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		
課題代表者名	西條 辰義（大阪大学社会経済研究所実証経済学部門）		
研究期間	平成18-20年度	合計予算額	86,533千円（うち20年度 26,251千円） ※上記の合計予算額は間接経費18,333千円を含む
研究体制	<p>(1) 理論経済学と実験経済学の相互フィードバックによる環境保全制度設計の検討 （大阪大学社会経済研究所）</p> <p>(2) 技術開発の制度を考慮した目標設定と技術のサステナビリティへの寄与の評価 （大阪大学大学院工学研究科）</p>		
1. 序（研究背景等）	<p>温室効果ガスの大幅な削減など、21世紀を通じて人類が持続可能な発展を達成するには、科学技術の発展が重要な鍵であることは論を待たない。その際、技術自身の特性（価格や効率などの性能）を高めるだけでなく、科学技術が普及し、想定された効果を発現させる必要がある。</p> <p>技術の普及には社会制度の貢献が期待される。しかしながら、従来の環境保全などを目的とした制度設計においては、必ずしも消費者選好など技術の普及を決定づける要因が十分に考慮されていなかった。一方で、環境技術の開発側から見ても、開発した技術に対して地域の特性に応じて適切な普及と期待された効果の発現が促されるような社会制度設計が希求される。</p>		
2. 研究目的	<p>本研究では、社会科学の理論・調査と工学による技術評価を相互フィードバックすることにより、地域特性に応じた最適な技術の導入と普及を支える制度設計の枠組みを、最適性を評価するための持続可能性評価指標体系を含めて構築すること、更には技術開発・普及のシナリオとそれを達成するための制度設計手法の提案を目的とする。研究の構成を図1に示す。</p> <p>サブテーマ(1)では、研究対象地である中国上海でのロードマップ作成に向け、エネルギー・環境問題の現状と将来動向調査、経済成長と汚染排出の相互作用の分析、公共財投資に対する選択行動を見る経済実験、市民の環境行動の決定要因を見るアンケート調査、中国のエネルギーラベルが消費者の購買行動に与える影響に関する分析、太陽光発電パネル・太陽熱温水器の選択および次世代省エネ型給湯器の選択に関する分析、上海の業務部門における省エネルギーへの取り組みに関する分析を行い、民生・業務の省エネ機器に対する選好を調査した。</p> <p>サブテーマ(2)では、今後地球温暖化の緩和や循環型社会の達成など、持続可能な発展のために必要とされる技術シーズに着目し、サブグループ(1)が制度設計アプローチの成果として示す各技術の普及の課題を踏まえ、社会の実情に応じた環境的に望ましい技術の普及と最適配置のための制度設計をおこなう支援ツールの作成と、それらが普及した社会の持続可能性を評価することを目的とする。また、持続可能な社会の達成シナリオや技術開発ロードマップに対して、技術の普及可能性や技術開発目標設定の妥当性などの観点から見直しを行う。そのために、(1)「技術と制度の連携」による技術普及のケースモデル作成と制度比較、(2)消費者選好やライフスタイル転換を考慮した民生家庭部門のエネルギー需要予測と物質フロー分析、(3)技術が普及した社会システムのサステナビリティ評価を研究課題として実施した。</p>		

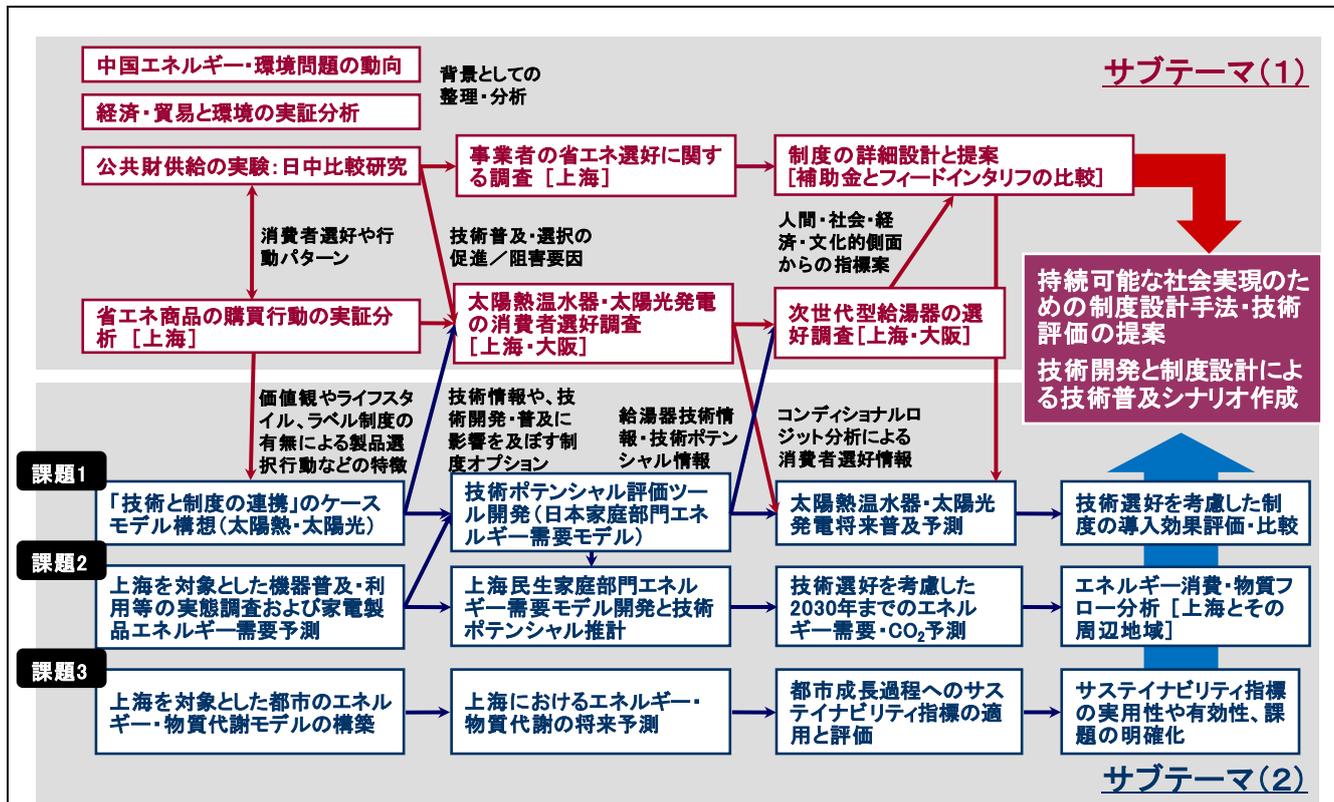


図1 研究の構成

3. 研究の方法及び結果

(1) 理論経済学と実験経済学の相互フィードバックによる環境保全制度設計の検討

初年度において、まず、研究協力者である長岡科学技術大学の李志東教授と共同で、中国の諸データを用いてマクロ経済モデル・エネルギー需要モデル・環境モデルによって構成される統合型計量経済モデルに基づく試算、中国でのエネルギー対策の実情と課題に関する整理をおこなった。エネルギーに関する過去からの変化傾向と政府計画としての基本対策がおおむね維持されるとしても、2030年の一次エネルギー消費量は33億TOE、CO₂排出量は26億t-Cに増加する見込みであるとの結果を得た。中国のエネルギー対策には以下の3つの特徴がある。先進国で有効と実証された対策を何でも貪欲に取り入れていること、中国に比較優位性のない先端技術分野についても長期的視点から取り組んでいること、農村部におけるバイオガス普及など、中国の農村人口の多い実情に応じた対策がとられていることである。また、国際協力特に日本の技術導入における問題点として、中国側での知的財産権保護の問題、日本側での、中国の実情に応じた技術選定・協力体制等総合的な戦略立案と産業界・政府の連携の必要性を挙げた。更に地球温暖化対策については、「全員参加型」の枠組み設計の必要性を指摘した。

次に、各種資料収集と先行研究のサーベイにより、中国における経済成長・国際貿易と環境問題の関係についての実証的分析をおこなった。まず所得と環境負荷の同時性、すなわち環境負荷による経済成長への影響を考慮するために、同時方程式モデルを構築し、中国31省の1993年から2002年までの省レベルのデータから、環境クズネッツ曲線の推定をおこなった。同時性の有無を検証するHausman検定の結果により、中国の場合に所得と汚染物質の排出が同時に決定されることがわかり、また二段階最小二乗法での同時方程式モデルの推定結果から見ると、環境クズネッツ曲線は中国の水質汚染排出に対してのみ成立することが明らかとなった。一方、国際貿易の環境への効果を検証するため、Antweilerらのモデルをベースに、中国のデータを用いた実証分析をおこなった。その結果より、国際貿易の増大は大気汚染物質に対しては増加をもたらすが、水質汚染物質に対しては減少させていること等を明らかにした。

さらに、中国人の公共財投資に対する選択行動を調べるための経済実験、および上海において市民の社会的・経済的特性と環境への関心度の関係、中国政府が2006年より開始した家電製品のエネルギー効率ラベル制度に対する消費者意識を調べるためのアンケート調査をおこない、計量モデルを用いて分析した。公共財投資に対する経済実験の結果からは、中国人と日本人の投資行動に有意な差が見られた。具体的には、公共財を自発的に供給する場合に、中国人が日本人より協力してい

ること、中国人が日本人よりスパイトフル（いじわる）な行動をあまり行わないこと、公共財提供において中国人の協力的な動機はスパイトフルな動機より強いこと等を明らかとした。アンケート調査の結果からは、上海市民の環境への関心度の高まりを確認するとともに、環境問題への関心で社会階層仮説が支持されたこと、4つの環境問題への関心の指標に対して年齢仮説が支持されたこと、5つの指標において男性の方が女性よりも関心度が高いこと等が明らかとなった。

2年度目において、まず、上海において、中国政府が2005年3月に開始した家電製品（エアコンと冷蔵庫）のエネルギー効率ラベル制度に関して、消費者の意識の調査を行った。本研究の結果は、まず、エアコンや冷蔵庫を購入する際に、エネルギーラベルが一般消費者にとって、重視されている項目であることを明らかにした。そして、エネルギー効率が高くなるほど、消費者がその電気商品を選ぶ確率が高くなるという結果が得られた。これは近年経済成長に伴って、上海市民の環境意識が高まってきたことで環境にやさしい商品が選ばれやすくなったことを意味する。最後に、エネルギー効率ランクの向上への支払意志額が各属性の中に中位であり、また冷蔵庫の方がエアコンよりもエネルギー効率ランクの向上への支払意志額が統計的に高いことが分かった。これは使用頻度の高い家電商品の方がエネルギー効率の向上への支払意志額が高いことを示唆する。

これと同時並行で、技術と制度の連携の具体像を明らかにするため、工学研究科と連携して、中国と日本における太陽光発電装置・太陽熱温水器（屋根設置型省エネ機器）の選択調査実験を行い、チョイスモデルを用いて分析した。結果は、日中とも、3kWの太陽光発電パネルを追加購入することは何もしないよりも好まれる。中国は、太陽熱温水器を追加購入することは何も付けないよりも好まれるが、日本では、太陽熱温水器を付けるよりも何も付けない方が弱い水準ながら好まれる。写真だけで選択させた場合と比較すると、中国では、写真判断だけならば太陽熱温水器が好まれているが、conditional logitの推定結果では、太陽光発電パネルの方が好まれる。一方、日本では、写真判断でも推定結果でも太陽熱温水器は好まれていないことがわかる。日中とも、追加購入費用の増加は好まれない（経済合理性がある）。日中とも、購入時の補助金の増加は好まれるが、日本のみ余剰電力の販売単価の増加が好まれる。日本のみが強い影響を受けるのは、太陽光発電特有の電力買取制度を日本人は知っているが中国人は知らないことが影響していると推察される。日中とも、光熱費節約額の増加は好まれる。日本のみ、弱い水準ながら、一世帯あたり追加的CO₂削減量の増加は好まれない。しかし、日本・中国ともに、一世帯当たり追加的CO₂削減量が増加することの方が望ましいという結果のため、両国の被験者とも、削減量を排出量と読み間違えた可能性がある。なお、日中とも保有世帯数は影響を与えないことから、見栄の影響は読み取れなかった。

さらに、工学研究科と共同で、上海における業務部門の省エネルギーへの取り組みに関するアンケート調査も行い、業務部門の省エネルギーへの取り組みとエネルギー消費の相互関係についての分析も行った。結果は、まず、電力消費方程式から、省エネルギーに関する取り組みが多く実施されればされるほど、上海業務部門の年間電力消費量は減ることが分かった。同様に、省エネルギー技術が多く使用されればされるほど、上海業務部門の年間電力消費量も減る。そして、床面積が多い建物とエレベータ・エスカレータの数が多い建物の方は電力消費量が多く、黒字になっている業務部門の方は電力消費量が高いことも分かった。次に、省エネ取組み実施方程式から、エネルギー（電力）消費が多ければ多いほど、省エネに関する取り組みが多く実施されることが分かった。また、黒字になっている業務部門のほうは多く省エネ対策を取り組んでいることも分かった。最後に、省エネ技術使用方程式から、エネルギー（電力）消費が多ければ多いほど、新しい省エネ技術を多く導入していることが分かった。そして、黒字になっている業務部門のほうは多く省エネ技術を導入していることも分かった。また、古い建物にとって、省エネ技術の導入が少ないことも明らかになった。

最終年度においては、昨年度の太陽光発電パネル・太陽熱温水器の選択に関する研究から引き続き、5つの次世代省エネ型給湯器（潜熱回収型ガス給湯器、マイクロガスエンジン・コージェネレーションシステム、CO₂ヒートポンプ、太陽熱温水器、ソーラーシステム）に着目して、これらの機器の様々な属性（購入費用、光熱費節約額、二酸化炭素削減量、機器の寿命など）に対する中国人と日本人の選好を比較・検証することを目的に、上海と大阪でそれぞれ1620人と700人に同様なアンケート街頭面接調査を行った。

本研究では、まず各省エネ機器の写真と紹介資料のみを回答者に見せて、それらの機器の中から一つだけを選択させた。選択結果の単純集計からみると、大阪の回答者はソーラーシステムを選んだ割合が最も高く、31%であった。それに対して、上海の回答者は太陽熱温水器を選択した割合（51%）がほかの機器と比べて圧倒的に高かった。これらの結果は、価格などの様々な属性を考慮しない際に、上海の回答者が太陽熱温水器を好み、大阪の回答者がソーラーシステムを好む傾向があったと示唆する。

次に、各省エネ機器の色々な属性を回答者に提示して、それらの属性を持つ各機器の中から一つだけを選択させたという仮想選択型実験を通じて、各機器の様々な属性に対する中国人と日本人の選好を比較することを目的に、推定分析を行った。分析結果から、中国の消費者も日本の消費者も、省エネ機器の色々な属性に対する選好（支払意志額で示す）はそれぞれの機器によって異なることが分かった。また、中国の消費者と日本の消費者は、省エネ機器を選択するとき、一部の属性に対する選好が大きく異なることも観察された。

以上の結果は、日本ではイメージや見栄などの経済的要因以外の要因が重要な役割を果たすことから、デザイン変更やイメージ戦略が補助金や FIT などと共に重要になってくるのがわかる。一方で、中国では経済的要因が最も重要であるため補助金などにより設置コストを下げることであれば、普及は日本よりも早く進む可能性が示唆された。

（２）技術開発の制度を考慮した目標設定と技術のサステナビリティへの寄与の評価

サブテーマ(2)では、地球温暖化緩和や循環型社会の達成など、持続可能な発展のために必要とされる技術シーズについて、サブテーマ(1)が制度設計アプローチの成果として示す各技術の普及の課題（消費者選好）を踏まえ、前述のとおり以下の3つの課題を実施した。

- 1) 「技術と制度の連携」による技術普及のケースモデル作成と制度比較
- 2) 消費者選好やライフスタイル転換を考慮した民生家庭部門のエネルギー需要予測と物質フロー分析
- 3) 技術が普及した社会システムのサステナビリティ評価

上記1)および2)では、対象とする技術・製品の選択や利用の経路に沿って普及のポテンシャル、普及を促す具体的な手立てとその効果を明らかにする。1)では再生可能エネルギー技術の代表としての太陽光発電・太陽熱温水器を、2)ではそれを含めた中国上海市における家庭部門の省エネルギー技術全般を取り上げて、技術に対して次の3つのポテンシャルを明らかにし、その違いに基づいて制度設計や広義の製品デザインの重要性を示す。

① 技術ポテンシャル

多様なエネルギー需要が不確実に発生している実際のエネルギーシステムの中で、技術がその省エネルギーあるいは温室効果ガス削減効果を最大に発揮する形で組み込まれたときに実現される省エネルギー・温室効果ガス削減効果

② 経済的ポテンシャル

家計や企業などの各主体が、経済的に合理的な購買行動をとった際に、各技術の普及によって実現される省エネルギー・温室効果ガス削減効果

③ 実際の効果発現

家計や企業などの各主体が実際に行う消費行動は、技術に対する選好や補助金などの制度など、広義の「技術デザイン」によって大きく左右される。これらを勘案した上で、実際に実現される省エネルギー・温室効果ガス削減効果

その過程では、代替的な技術オプションを設定することに加えて、施策介入や制度設計による消費者の選好や選択行動の誘導、ライフスタイルの将来変化による技術選択・利用の変化などを明示的に扱うことで、技術・制度・社会システム転換のサステナビリティへの寄与を定量化し、環境的に望ましい技術や製品の普及シナリオや方略として提示する。

その上で、3)では現在経済成長の著しい中国上海市をケーススタディの対象地として、都市のサステナビリティ評価指標の提案と適用を試みる。なお、2)および3)で上海市を取り上げる理由は次のとおりである。

中国都市部におけるエネルギー消費や物質消費は急速に増加しているが、これは人口の増加をはじめ、一人当たり住宅面積や家電など財の所有量の増加、家庭内の暖冷房床面積の増加など、所有する財の使用パターンにかかわる多様な要因に起因する。一方、財の供給では量的な充足が優先されており、性能の低いストックが形成され、長期的には温暖化対策などエネルギー資源関連の課題の解決を困難にすることが予想される。このような状況を避け、低環境負荷型の持続可能なエネルギーシステム、都市システムを構築していく必要がある。

エネルギーシステムや都市システムは技術の複合システムであり、そこでの制度設計は、1)の課題が対象とする「個人の技術選択において考慮される技術属性の改善により技術普及を支援するもの」だけではなく、その技術や財を提供する生産システムにおける技術基準の制定や、財のライフ

サイクルを支持する技術システム（例えば家電製品再生システム）の選択など、より広義の制度設計を含めて検討しなければならない。このような制度設計を支援するためには、対象とするシステム全体を捉え、代替案評価を行うことができる枠組みを開発し、技術開発と制度設計による技術普及シナリオを検討した。

1) 「技術と制度の連携」による技術普及のケースモデル作成と制度比較

本課題では、太陽光発電技術に着目して、まず各種文献資料をベースに太陽光発電の普及段階における普及推進施策の情報収集を行い、諸制度の分類とそれぞれの類型ごとの利害得失、費用対効果の分析、日独の制度の変遷をまとめた。その結果より、日本においては、明らかに太陽光発電に対して支払い意志額が高く、赤字が予想される状態でも普及が進んだこと、一方、太陽熱温水器についてはその設置数は減少を続けていることを示した。これは、中国やヨーロッパで近年太陽熱利用が普及しているのとは対照的である。以上から、今後の地球温暖化緩和策の中で望ましい技術が普及し、その効果を発揮するためには、上記の3つのポテンシャルのうち、③による評価が特に重要であることを示している。

これを受けて、サブテーマ(1)との共同で消費者選好に基づくアンケート調査（前述のチョイスモデル）を実施し、その結果得られた消費者選好情報を用いて、補助金など各種制度や価格等が考慮できる各技術の普及率推定モデルを開発し、後述の民生家庭部門エネルギー最終需要シミュレーションモデルと併せ、都市・国レベルでの各技術のエネルギー・二酸化炭素（以下CO₂）排出削減効果を予測するフローを確立した。サブテーマ(1)で実施した太陽熱温水器・太陽光発電の選好調査、各種次世代給湯器の選好調査については、この一連の研究フローに整合するよう、共同でアンケート設計を行い、また太陽熱温水器・太陽光発電の選好調査とコンディショナルロジット分析による普及モデルのパラメータ決定もサブテーマ(1)と共同で実施した。

また、都市・国レベルでの各技術の普及によるエネルギー消費・CO₂排出削減効果を予測するために、住居の形式や大きさ、世帯人員の構成、多様なライフスタイルにより世帯によってエネルギー消費が大きく異なることを考慮し、また、太陽光発電、ヒートポンプ給湯器やコージェネレーション給湯器、エアコンや省エネ家電、住宅の断熱気密化など、各種の温暖化対策技術が正しく表現できる、都市・国土レベルの民生家庭部門エネルギー最終需要シミュレーションモデルの開発と新しい給湯機器・分散型発電システムに対応した高度化を行った。

普及促進策としては太陽光発電技術に対する補助金、発電電力買取制度、太陽熱温水器に対する補助金のほか、技術開発等による技術受容性（イメージ等）の改善などを考慮し、経済性やCO₂排出量の削減効果から評価を行った。この結果、①太陽熱温水器を戸建住宅全てに普及させた場合の2025年のCO₂排出削減量は7百万t-CO₂/年程度であり、家庭部門全体での排出量（推計値、135百万t-CO₂/年）の約3%に相当すること、②実際の普及を考慮した場合、太陽熱温水器に対するイメージを向上させることで、1.8百万t-CO₂/年程度の削減効果が期待できること、③戸建て住宅全てに太陽光発電が普及した場合、住宅分野のCO₂排出量の16%弱が削減可能となること、④太陽光発電技術の普及には初期費用支援策である補助金制度が有効であり、固定費買い取り制度よりも経済性が優れることを明らかにした。

検討結果の例として、図2に2025年までの太陽光発電普及予測結果を示す。ここでは学習効果によって40万円/kWまで太陽光発電設置費用が減少することを想定し、習熟限界に到達するまで40万円/kW円を超える設置費用を補助する習熟限界補助ケース、補助金20万円/kWを定額補助するケースを示す。このほか、発電出力をkWhあたり33円、38円、43円で買い取る普及施策（固定費買い取り制度、FITケース）を想定し、太陽光発電の普及によるCO₂削減量を推計した。結果を図3に示す。

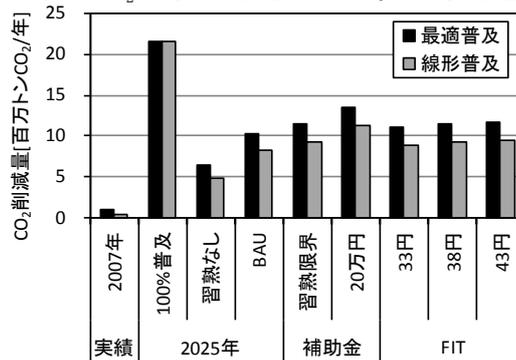
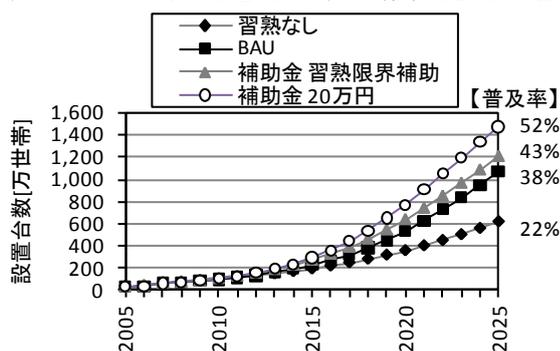


図2 太陽光発電普及予測：補助金制度の実施

図3 太陽光発電の普及制度と年間CO₂削減量の関係

2) 消費者選好やライフスタイル転換を考慮した民生家庭部門のエネルギー需要予測と物質フロー分析

本課題では、上海市の民生家庭部門を対象とする検討を行った。民生家庭部門は個々の技術の集合体であり、そのエネルギー需要構造を考慮すると、単一の技術の普及によって温暖化対策が達成されるような革新的技術は存在しない。そこで上海市の民生家庭部門のエネルギー需要予測モデルを開発し、現在から2030年までのエネルギー需要の予測を行うとともに、断熱強化や家電製品、給湯器の高効率化、太陽熱温水器の利用など複数の技術とその組み合わせについて、技術の普及によってもたらされるに省エネルギー効果、CO₂排出量削減効果を推計した。さらに、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、省エネルギー技術の選択を通じた家庭部門における低炭素型ストックの形成が将来のエネルギー需要に与える影響を予測・推計した。この結果、建物の断熱強化策、家電製品の高効率化、給湯器の置き換えなどの対策を個別に実施した場合、エネルギー消費量の削減効果は限定的であり、エネルギー消費の増加を抑えるためには、各種手法を総合的に普及させること必要があること、また、所得水準に変化がなければエネルギー消費パターンに変化がないことを前提とした場合、2030年までにエネルギー消費量は人口の増加によって2006年の水準から30%から40%増加する（図4）のに対して、トップランナーエアコン、次世代基準断熱、HP給湯器の普及によりその20%程度（2006年比で30%程度）のCO₂排出量が削減されることを明らかにした。さらに、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小さい理由は、サブテーマ(1)で明らかにされたように、中国では比較的経済合理的な行動がとられるためと考えられる。

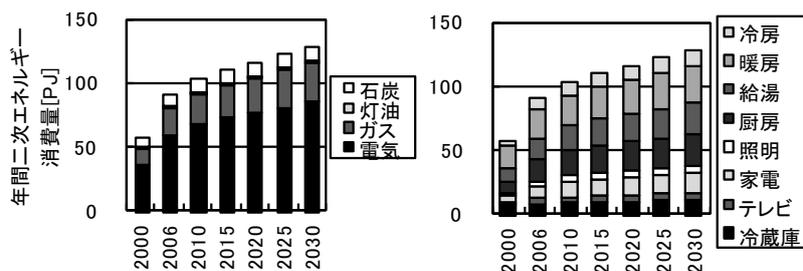


図4 2030年までの年間二次エネルギー消費量予測結果
(左は燃料種別、右は用途別)

上記の結果は、温暖化対策として積極的なストックの置き換えの有効性を示唆するものであるが、既設機器類が置き換えは、使用済み製品を生じさせ、環境負荷を発生させることから、廃製品フローとそれに随伴する環境負荷も併せて制御・管理する必要がある。そこで、家庭用電化製品を事例として取り上げ、上海市およびその周辺地域における機器の普及や利用・廃棄状況などの実態調査に基づいて、家電由来のエネルギー消費と廃棄物発生要因を明らかにし、製品ストック・フロー推計モデルを構築した。その上で、消費者のライフスタイルに関する将来シナリオを作成し、家電消費パターンの転換によるCO₂排出量や資源消費量の変化を分析した。ここでは生活者のライフスタイルを反映した将来の消費形態に関する代替案を、「BAU型」（価格や性能、デザインなどをバランス良く考慮した製品選択）、「積極買い替え型」、「使い回し型」、「技術重視型」の4区分に類型化し、消費パターンごとの行動特性に基づいて、2006～2030年の製品ストック・フローを推計した。その結果、①2030年の廃棄物発生量は、「BAU型」に比べて「積極買い替え型」で+4.9%、「使い回し型」で-31%、「技術重視型」で-11%となること、②「積極買い替え型」と「技術重視型」では、製品寿命の変化が廃棄物発生量に影響を与える一方で、「使い回し型」では中古品の活用が廃棄物発生に大きく寄与すること、③2030年におけるCO₂排出量は、「積極買い替え型」で-9.5%、「使い回し型」で-11%、「技術重視型」で-18%となること、④「技術重視型」と「積極買い替え型」では、効率の悪い製品の置き換えによって効率向上を図られたことがCO₂排出量削減の要因であり、加えて「技術重視型」では高効率製品の積極的な導入の効果が顕著に現れた一方、「使い回し型」では新品への置き換えがあまり進まなかったが、中古品利用において高効率製品のリユースが積極的におこなわれたことでCO₂排出量が削減され、「積極買い替え型」を上回る削減率の達成が可能であること、が定量的に明らかになった。

3) 技術が普及した社会システムのサステナビリティ評価

本課題では、巨大な物質的ストックとフローが形成される都市域（中国上海市）をケーススタディの対象地として取り上げ、都市のエネルギー・物質代謝を算定するとともに、サステナビリティ指標（総物質需要量(TMR)、エコロジカル・フットプリント(EF)、CO₂排出量)を实在都市の将来変遷過程の評価に適用することで、間接影響を含めたサステナビリティ指標の経年変化を推計した。その結果、①TMRは経済発展とともに増加し、2020年では2004年に比べて最大で80.4%の増加となること、②TMRでは、建設資材由来の負荷よりも、移動交通や電力消費による化石燃料消費起因の間接負荷が支配的となること、③EFは、建設バブルによる旺盛な建設需要が影響して2004年が高負荷となり、特に都市の急成長期には、建設資材由来の間接負荷が大きくなること、④2020年のCO₂排出量は、2004年に比べて最大で10.3%の増加となるが、特に都市発展に伴うエネルギー消費による直接的な影響が増大する傾向を示すこと、が明らかになった。（図5）

その上で、こうした都市や都市活動がもたらす地球的持続可能性への影響に対する政策代替案として、「現状傾向分布型」（Case-1）、3つの拠点への集積を図る「新都市分布型」（Case-2）、一極集中を進める「中心市街地集中型」（Case-3）、「周辺郊外拡散型」（Case-4）の4つの都市更新パターンを設定し、2020年時点にこれらの都市構造が実現したときのサステナビリティ改善効果を比較評価した。その結果、①上海での急速な人口集中と都市活動の拡大による資源消費増大に対しては、多極分散型のコンパクト化拠点の形成を図るCase-2が有効であり、2020年時点のTMRはCase-1に比して約18%の削減が可能となること、②一極集中型のコンパクト化を図るCase-3では、3つの指標すべてにおいて負荷量が最大になること、などが分かった。

次に、都市代謝系の中でも特に(1)の研究成果を評価する上で重要となるエネルギーのフローに着目し、各種対策による持続可能性の変化を表現しうる指標群として、都市・地域・地球環境に与える環境負荷の大きさ（SO_x、NO_x、CO₂排出量）、非再生資源の消費速度、要求されたサービスに対するエネルギー利用効率、エクセルギー効率を提案した。その上で、これらの指標群を大阪市のエネルギーフロー評価に適用し、電力・天然ガス利用における資源消費速度と地球・大気環境負荷のトレードオフ関係の存在を示すなど指標の実用性や課題を示した。

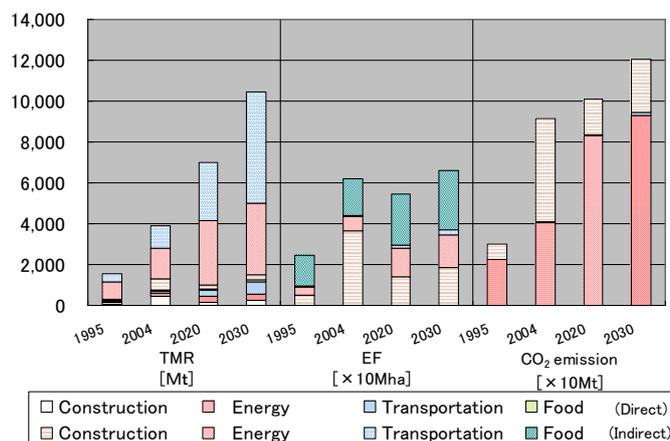


図5 サステナビリティ指標の評価結果

4. 考察

サブテーマ(1)が実施した中国におけるエネルギー・環境問題の現状と将来動向についての調査と課題分析、経済成長・国際貿易と汚染排出の相互作用分析を背景に行なわれた5つの調査(①中国人の公共財投資に対する選択行動を調べるための経済実験結果、②上海における市民の社会的・経済的特性と環境への関心度、家電製品のエネルギー効率ラベル制度に対する消費者意識に関するアンケート調査、③太陽光発電パネル・太陽熱温水器の選択に関する調査、④上海の業務部門における省エネルギーへの取り組みに関する調査、⑤次世代省エネ型給湯器の選択に関する調査)の結果より、共同して上海市における技術普及シナリオの構築とそのための制度設計スキームの構築をおこなうことができたと考えられる。

また、中国人と日本人の公共財投資実験の結果から、中国人のほうがお金に敏感で、もうかれば儲かるほど投資すること、儲からないのならば投資を日本人よりも控えることがわかった。さらに、太陽熱温水器と太陽光発電機の調査結果から、日本人は見た目やイメージで太陽光発電機を太陽熱温水器よりも好むのに対して、中国人はコストパフォーマンスの観点から太陽熱温水器を太陽光発電機よりも好むことがわかった。日本人のイメージ選好が太陽熱温水器特有のものでないかを確認するために、太陽熱温水器と次世代型省エネ給湯器として潜熱回収型ガス給湯器、マイクロガスエンジン・コージェネレーションシステム、CO₂ヒートポンプ、ソーラーシステムに着目して、これらの機器の様々な属性(購入費用、光熱費節約額、CO₂削減量、機器の寿命など)に対する中国人と日本人の選好を比較・検証した結果、やはり中国人はコストパフォーマンスの観点から太陽熱温水器

を好むことがわかった。さらに興味深い結果として、日本人が太陽熱温水器のデザインの改良版で、見た目が太陽光発電機に近いソーラーシステムを好む傾向を示したことから、日本ではイメージや見栄などの経済的要因以外の要因が重要な役割を果たすことからデザイン変更やイメージ戦略が補助金やFITなどと共に重要であると考えられる。日本ではコストパフォーマンスだけでなくデザインの変更までが普及においては必要となるが、中国では経済的要因が最も重要であるため補助金などにより設置コストを下げることであれば日本よりも早い普及が可能となることが示唆された。

サブテーマ(2)では、冒頭で述べたように3つの課題に取り組んだ。課題1)「技術と制度の連携」による技術普及のケースモデル作成と制度比較においては、利用可能な技術が最大限効果を発揮した場合の効果(技術ポテンシャル)と経済性、技術特性に対する消費者選好によって実際に発現する効果を比較した。消費者選好が技術の普及に及ぼす影響は大きい。現在消費者の高い支払い意志額によって普及が支えられている太陽光発電をさらに普及させ、技術による効用の発現を増加させていくためには、運用費用で経済的支援を行う発電電力固定費買取制度よりも初期費用の補助施策が有効である(費用対効果で優れている)。また、現在低迷している太陽熱温水器が地球温暖化対応技術として今後重要な役割を果たすためには、技術受容性(イメージ等)の改善に向けた技術開発・デザイン・制度設計が不可欠である。太陽光発電、太陽熱温水器をケースモデルとして示したように、科学技術の発展によってもたらされる技術の貢献を最大限引き出すためには、消費者選好を考慮した制度設計・技術開発の設計・実施が重要である。

課題2)消費者選好やライフスタイル転換を考慮した民生家庭部門のエネルギー需要予測と物質フロー分析では、上海市民生家庭部門を対象とし、住宅の断熱化、高効率家電製品の利用、高効率給湯器の使用によってもたらされるCO₂排出量削減効果(技術ポテンシャル)と、技術に対する選好性を考慮した削減効果を推計した。その結果、民生家庭部門においては前述の対策を総合的に普及させることが今後予想されるCO₂排出量の増加を緩和するためには必要であること、上海市においては経済合理性の高い選択肢を市場に投入することで、合理的判断のもとで省エネルギー技術の選択・普及が進むことが示唆された。また、技術が省エネルギー型へと置き換わることによって生じる廃製品フローに関しては、都市部におけるエネルギー消費の最適管理だけでなく、周辺地域への環境影響のリーケージについても併せて制御・管理することが必要である。製品の所有や利用・廃棄に関する欲求や行動は、消費者のライフスタイルによって規定されるので、ライフスタイルの将来変化に応じてメンテナンスや社会的な共同管理を図って製品を長期利用し、資源消費や廃棄物発生を抑制しつつ、省エネルギー型の機器へ計画的に更新する製品管理の仕組みをいかに構築していくかが、一つの政策課題となろう。

課題3)技術が普及した社会システムを対象としたサステナビリティ評価においては、巨大な物質的ストックとフローが形成される都市における社会経済活動がもたらす直接・間接的な影響を定量的に示した。持続可能な都市の実現に向けて資源消費抑制や低炭素化を図るときには、個別の環境技術・製品の開発や普及に加えて、都市構造そのものをつくり替えてゆく視点が欠かせない。本研究の分析結果に依拠すれば、中国上海市における急速な人口集中と都市活動の拡大がもたらすエネルギー・資源消費の増大に対しては、多極分散型のコンパクト化拠点の形成を図る都市更新施策が有効となる。しかし、逆に省エネルギー性に優れた都市インフラや生産技術への置き換えを急ぐと、社会ストックの資源効率が低下し、資源投入と廃棄物排出の巨大なフローが生まれてしまうので、政策実行の際には注意が必要である。一方、都市や地域、社会のサステナビリティを計測する指標について、CO₂排出量以外にTMRやEFなどが提案されているが、これらの指標値は都市の将来変遷の過程でそれぞれ異なる誘因によって変化すること、同じ状況下でも指標間で異なる反応を示すこと、が明らかになった。したがって、都市の高度成長期や安定成長期などの局面に応じて、管理指標に対する政策目標や手段を見直すことが必要となる。また、異なる指標間に現れるトレードオフを把握するためにも、単一指標による評価ではなく、複数のサステナビリティ指標を併用することが望ましい。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

費用対効果面で太陽光発電機よりも効率的な太陽熱温水器の普及ロードマップを描くための基礎データを取得することができ、日本よりも中国のほうがより金銭に敏感なことが、省エネ投資の観点からも実証された。また、日本・中国の太陽熱温水器および太陽光発電機の購入に対する選好の項目として、光熱費節約額が最も大きな割合を占めることが実証された。

こうした基本的な選好に基づいて、今後持続可能な発展のために必要とされる技術シーズに着目し、その持続可能性への貢献の評価、技術の普及促進策設計を支援するツールの開発を行った。まず、太陽熱温水器と太陽光発電をケースモデルとして、個々の消費者の技術選好を入力とする技術普及予測およびエネルギー・CO₂排出削減効果推計モデルを確立することができた。次に、エネルギーシステムや都市システムなど、技術・制度・人間行動を複合した社会システムを対象とした持続可能性評価モデルおよび指標体系を構築するとともに、それを中国上海市の将来予測に適用することで、エネルギー需要（民生家庭部門）や製品・廃棄物フロー（家電）、都市代謝（都市活動全体）、およびCO₂排出に対する技術や政策代替案の導入効果を分析・評価しうることを示した。これらのモデルは、低炭素都市形成に関する政策目標の設定や対策の優先順位づけに貢献しうるものである。

(2) 地球環境政策への貢献

中国での調査を通じて、エコラベル制度が省エネルギー機器の普及策として有効であることを検証した。そして、日本人よりも中国人のほうがより金銭に敏感なことが、省エネルギー投資の観点からも実証された。一方、日本では太陽光発電技術の普及には初期費用支援策である補助金制度が有効であり、固定費買い取り制度よりも費用対効果で優れることを明らかにした。また、太陽熱温水器では技術受容性（イメージ等）の改善によりCO₂排出量の削減を拡大しうることを明らかにした。加えて、中国と日本では技術選好が異なり、日本での成功経験に基づく制度設計よりも中国における技術選好を考慮した制度設計が必要であることを示した。

技術が省エネルギー型へと置き換わることによって生じる廃製品フローに関しては、都市部でのエネルギー消費や製品フローだけでなく、周辺地域への環境影響のリーケージも併せて制御・管理する政策に資する知見を得ることができた。さらに、急速な人口集中と都市活動の拡大が進み、巨大な物質的ストックとフローが形成されつつある中国上海市では、多極分散型の集積拠点を形成する都市更新施策が資源消費抑制と低炭素化に有効であることを見出し、中長期的視点に立って都市構造そのものをつくり替えてゆくことが重要となることを示すことができた。

他方、政策の立案や評価を支援するツールの側面では、本研究で開発した技術や都市の持続可能性評価モデルは、人口やGDP、消費者の選好などをパラメータとして、ライフスタイルを含めた社会経済変化の将来シナリオ下での技術普及やエネルギー需要、都市代謝等を予測・推計する構造としているため、持続可能な社会の構築に向けた政策目標の設定、技術的・政策的代替案の比較と選択、達成度の評価などを行う際に有用である。日本や中国だけでなく、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を入力すれば、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など、環境政策に資する知見を得ることができる。持続可能性の評価指標に関しては、エネルギーフロー（環境負荷の大きさ、非再生資源の消費速度、エネルギー利用効率）と都市代謝（TMR、EF、CO₂排出量）のそれぞれにおいて、異なる指標間でのトレードオフを定量的に示すことができた。今後、いくつかのケーススタディに基づいて指標の実用面での役割や限界を示すことができれば、温暖化対策評価、サステナビリティ指標の開発、環境計画における指標活用に対して有用な情報を発信するツールとなりうる。

6. 研究者略歴

課題代表者：西條 辰義

1952年生まれ、香川大学経済学部卒業、経済学博士、現在大阪大学社会経済研究所教授

主要参画研究者

(1) 1) : 赤井 研樹

1979年生まれ、横浜国立大学経済学卒業、日本学術振興会特別研究員

2) : 瀧 俊毅

1969年生まれ、上海交通大学管理学部卒業、広島市立大学国際学部講師

(2) 1) : 下田 吉之

1962生まれ、大阪大学工学部卒業、大阪大学大学院工学研究科教授

2) : 山本 祐吾

1976生まれ、大阪大学工学部卒業、大阪大学大学院工学研究科助教

3) : 齊藤 修

1969生まれ、早稲田大学政治経済学部卒業（平成18～19年度研究参画当時大阪大学大学院工学研究科助手、現在早稲田大学高等研究所助教）

4) : 山口 容平

1979生まれ、大阪大学工学部卒業、大阪大学大学院工学研究科助教

7. 成果発表状況

(1) 査読付き論文

- 1) T. Saijo: Handbook of Experimental Economics Results, Charles R. Plott and Vernon L. Smith (Eds), Elsevier Science, 1,802-816(2008)
“Spiteful Behavior in Voluntary Contribution Mechanism Experiments”
- 2) Junyi Shen and Tatsuyoshi Saijo: Journal of Environmental Psychology, 28, 42-50(2008)
“Reexamining the relations between socio-demographic characteristics and individual environmental concern: Evidence from Shanghai data”
- 3) Y. Shimoda, Y. Yamaguchi, C. Kishi, Y. Yamaguchi: Proceedings of the World Sustainable Building Conference 2008, 983-990(2008)
“Evaluation on sustainability of urban energy system by energy flow analysis”
- 4) Y. Yamaguchi, Y. Shimoda, A. Taniguchi: Proceedings of the World Sustainable Building Conference 2008, 2521-2528(2008)
“Evaluation of Energy Saving Measures in Long-term Scenario in Japanese Residential Sector”
- 5) 下田吉之, 山口幸男, 岡村朋, 谷口綾子, 山口容平: エネルギー・資源学会論文誌, 30, 3, 2009
“家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いた我が国民生家庭部門の温室効果ガス削減ポテンシャル予測”

(2) 査読付論文に準ずる成果発表

- 1) Shen, J. and T. Saijo. 2007. Does energy efficiency label alter consumers' purchase decision? A latent class approach on Shanghai data. *Discussion Paper in Osaka School of International Public Policy (OSIPP), DP-2007-E-005, Osaka University.*
- 2) Saijo, T., J. Shen, X. Qin, and K. Akai. 2007. The spite dilemma revisited: Comparison between Chinese and Japanese” . *Discussion Paper in Osaka School of International Public Policy (OSIPP). DP-2007-E-004. Osaka University.*
- 3) Shen, J. and T. Saijo. 2007. The socioeconomic determinants of individual environmental concern: Evidence from Shanghai data. *Discussion Paper in Osaka School of International Public Policy (OSIPP). DP-2007-E-003. Osaka University.*