

# 民間事業所による省エネルギー投資行動に関する実証分析

浜本 光紹

## 1. はじめに

エネルギー効率性改善（省エネルギー）に向けた様々な取り組みは、企業の生産性向上や家計の支出抑制につながる。しかし、省エネルギーの潜在的機会が存在していても、企業や家計がその機会を十分に活用しているとは限らないという実態がしばしば指摘される。こうしたことから、省エネルギー投資が社会的に最適な水準よりも過小になってしまう事態を、経済学では「エネルギー効率性ギャップ（energy efficiency gap）」あるいは「エネルギー・パラドックス（energy paradox）」と呼んでいる。近年、気候変動を緩和するための対策として省エネルギー推進の重要性が強く認識されるようになったことを背景に、エネルギー効率性ギャップをもたらす要因やその政策的対応のあり方に関する研究が精力的に行われるようになってきている。ただし、そうした研究の多くは、家電製品や自動車といった耐久消費財の購入における家計の行動を対象としたものであり、管見の限りでは企業の省エネルギー投資行動に関する研究は限定的である。

2012年度における日本の最終エネルギー消費の構成比をみると、家庭部門が14.3%、業務部門が20.0%、産業部門が42.6%、運輸部門が23.1%となっている<sup>1)</sup>。このように、経済全体のエネルギー消費のうち6割以上を産業部門と業務部門が占めており、省エネルギーに向けた民間企業の取り組みは二酸化炭素排出削減の動向を大きく左右するといっても過言ではない。気候変動対策のあり方をめぐる議論においても、企業部門での省エネルギーをより一層促すためにはどのような政策措置が必要かということに大きな関心が寄せられている。民間企業の省エネルギー投資行動の実態を解明することは、そうした議論に資する知見の蓄積につながる重要な作業である。そこで本稿では、エネルギー効率性ギャップをめぐってなされてきたこれまでの議

論を概観したうえで、民間事業所による省エネルギー投資の意思決定に影響を及ぼす諸要因について実証的に検討することを試みる。

## 2. エネルギー効率性ギャップをもたらす要因

1970年代の2度にわたる石油危機は、世界経済に混乱をもたらしたと同時に省エネルギーへの取り組みを強く促す契機となった。日本でも、1970年代半ばから80年代前半にかけて経済全体のエネルギー集約度（GDP 1単位当たり1次エネルギー国内供給）が大幅に低下した。この例にみられるように、エネルギー価格の上昇は、企業や消費者にとってエネルギー効率性の改善を促す強力なインセンティブとなりうる。また、エネルギー価格の上昇という要因がなかったとしても、普段から省エネルギーに取り組むことで企業や家計はエネルギーに関連する諸費用を節約することができる。特に、省エネルギーへの投資は企業の生産性向上や家計の費用節約といった面で効果が大きいと考えられる。にもかかわらず、省エネルギー投資は、社会的にみて望ましい水準よりも過小な状態に陥る傾向があると指摘されている。そこで本節では、浜本（2012）に基づきながら、エネルギー効率性ギャップが主としてどのような要因によって生じるのかを説明する。

省エネルギー投資を行うためには資金が必要となる。しかし、すべての企業や消費者が十分な資金を保有しているわけではない。またそうした資金は借入によって調達することが可能であるかもしれないが、現実には資本市場は不完全であるために、すべての企業や消費者が借入を行うことができるわけではない。このように、一般に企業や消費者は流動性制約に直面している。そのため、エネルギー効率性の高い技術や、省エネルギー効果の高い家電製品や自動車などが存在していたとしても、初期投資のために必要な資金を確保で

きず、企業や消費者はこうした技術の導入や製品の購入を控えざるを得ない。こうして、流動性制約は省エネルギーにおける過小投資をもたらすのである。

流動性制約に加え、省エネルギー投資を阻害する要因として多くの文献で指摘されているのが、情報にかかわる問題である。具体的には、情報の欠如、プリンシパル=エージェント関係、ラーニング・バイ・ユージング (learning-by-using) といった点がこれに含まれる。

エネルギーを消費する財の選択の意思決定に際して、企業や消費者は、どの財が省エネルギー性能に最も優れているのか、あるいはそれぞれの財がどの程度の省エネルギー性能を有しているのかといったことに関して、十分な情報を持っていない可能性がある。こうした情報の欠如は、エネルギー効率性の改善をもたらす財の導入に関する費用便益計算を行う際の障害となるため、結果として省エネルギー投資を阻害することになるのである。

経済主体間のプリンシパル=エージェント関係も、省エネルギーにおける過小投資をもたらす要因である。例えば、賃貸の住宅やオフィス・ビルの家主 (エージェント) は、自己の所有する建築物に対する省エネルギー投資の意思決定を行う立場にあり、その借主 (プリンシパル) は電気料金などのエネルギー費用を負担する立場にある。借主が借りようとする物件の省エネルギー性能について完全な情報を有しているならば、省エネルギー性能を向上させる投資が行われているために賃貸料が高く設定されていたとしても、省エネルギー性能の高い物件を借りることに伴う追加的費用がエネルギー費用の節約によって回収可能であれば、借主は当該物件を借りるのである。この場合、家主は、所有する物件の省エネルギー性能を高めるのに要する費用を賃貸収入によって回収することができるので、省エネルギー投資を行うインセンティブを持つことになる。しかし実際には、借主は物件の省エネルギー性能について不完全な情報しか持たないので、高い賃貸料がエネルギー費用の節約によって回収可能であるかどうかについての判断を行うことができない。このような状況では、家主が省エネルギー投資に伴う費

用増加分を賃貸料によって回収することは困難であろう。こうしたことから、家主の省エネルギー投資インセンティブが損なわれてしまうのである。

高いエネルギー効率性を有する新しい財についての情報は、それが実際に導入され使用されることを通じて伝播する。新たに登場した財を早期に導入・使用した主体がもたらす当該財に関する情報は、他の主体が対価を支払うことなく利用することができる。このように、ラーニング・バイ・ユージング (使用を通じた学習) は正の外部性をもたらす。しかし、早期に導入・使用する主体には、その行動が情報の提供という形で他の主体に便益をもたらしているにもかかわらず対価を支払われることがない。このようなことから、たとえエネルギー効率性に優れた新しい財であっても、それを早期に導入しようとするインセンティブが社会的にみて過小になってしまうのである。

### 3. 主観的割引率をめぐって

合理的な経済主体は、省エネルギー性能の高い耐久財の購入に要する追加的費用 (省エネルギー性能が高い財とそうでない財の価格差) が、それを使用することで将来得られるエネルギー費用の節約分の現在価値を下回るならば、当該財を購入するという意思決定を行うであろう。このことは、具体的には次のように表現される (Meier and Whittier, 1983)。

$$P_0 E \int_0^n \exp [-(f-r)t] dt > I \quad (1)$$

ここで、 $P_0$  はエネルギー価格の初期値、 $E$  は年間のエネルギー節約分、 $r$  は主観的割引率 (implicit discount rate)、 $f$  は年率でみたエネルギー価格上昇率、 $n$  は耐用年数、 $I$  は省エネルギー性能の高い財の購入に要する追加的費用である。エネルギー価格上昇率がゼロで、耐用年数が十分に長いと仮定すると、(1)式は次のように書き換えることができる。

$$r < \frac{P_0 E}{I} \quad (2)$$

(2)式が意味するのは、エネルギー効率性改善投資の収益率が主観的割引率を上回らない限り、経済主体は省エネルギー性能の高い耐久財を購入しないということ

である。ここで重要なのは、実際に経済主体はどのような値の割引率を採用しているのかを明らかにすることである。省エネルギー投資行動に関する研究において主観的割引率の計測は主要課題の1つになっており、以下でみるように家計の主観的割引率を推計した先行研究は多く存在する。

主観的割引率計測の初期の試みとして、Hausman (1979) による研究がある。彼は、ルームエアコンの購入における消費者行動に関して、質的選択モデルを用いた分析を行った。この研究では、消費者が購入の意思決定の際に用いる割引率に関して、平均で26.4%という値が得られている。その後、製品データなどを利用して主観的割引率を算出する研究がいくつか登場した。Gately (1980) が冷蔵庫に関して行った分析では、45%から最大で300%という値の割引率が導き出されている。冷蔵庫についてはMeier and Whittier (1983) によっても分析されており、そこでは買い手の5分の3が35%を上回る値の割引率を有していたという結果が得られている。Ruderman et al. (1987) は、ルームエアコンや冷蔵庫を含めた広範な財を対象として主観的割引率の推計を行っている。この分析の結果では、ルームエアコンやセントラルエアコンにかかわる割引率が約20%であるのに対して、冷蔵庫については78~105%、冷凍庫については270~379%、電気給湯器については587~825%という高い値が得られている。

割引率推計に関する研究では、仮想的な状況を設定した質問を通じて消費者に省エネルギー性能に対する選好を表明させ、それによって得られたデータを基に主観的割引率を算出するという方法も用いられている。Houston (1983) は、省エネルギーのための機器の購入に要する費用を提示し、エネルギー費用がどれだけ節約できればその機器を購入するかを質問した。この研究では、質問で得られたデータから主観的割引率は22.5%と推計されている。Revelt and Train (1998) は、冷蔵庫購入の意思決定に関する選択実験によって得られたデータを用いてランダムパラメーターロジットモデルを推定している。彼らはその結果に基づいて主観的割引率を算出し、39%という値を得ている。浜

本 (2012) は、Houston (1983) の分析手法を参考にしながら、アンケートにより収集したデータから割引率を推計し、エアコンと冷蔵庫について平均でそれぞれ50.8%、41.6%という値を得ている。

こうした分析手法のほかに、ヘドニック法を適用した主観的割引率推計の試みもある。Dreyfus and Viscusi (1995) は、米国の約3000世帯のデータを用いて、自動車の燃費性能と安全性能に対する消費者の評価を計測するためのヘドニック価格モデルを推定している。彼らの研究では、主観的割引率に関して7~11%という推計結果が得られている。また、家電エコポイント制度がエアコン購入に及ぼした影響についてヘドニック法を用いて分析した森田他 (2014) は、主観的割引率について8.1%という値を得ている。

以上のように、消費者による省エネルギー投資に関する実証研究においては、主観的割引率が非常に高いということが明らかにされている。Ruderman, et al. (1987) は、消費者が高い割引率を採用する理由について述べているが、そこでは情報の欠如や流動性制約といった要因が挙げられている。このことから、消費者が採用する割引率には、これらの要因が消費者の意思決定に及ぼす影響の度合いが反映されていることが窺われる。

省エネルギー投資は不可逆性を有するとともに、節約効果の程度を決定づける将来のエネルギー価格に関する不確実性を伴う。こうした省エネルギー投資の特徴に着目して消費者の割引率に関するモデル分析を行ったHassett and Metcalf (1992) は、エネルギー価格が幾何学的ブラウン運動の確率過程 (geometric Brownian motion process) にしたがって変動すると想定した場合、このような確率過程を考慮しない場合と比較して割引率が大きくなるということを明らかにしている。これは、将来のエネルギー価格の不確実性が割引率の大きさに反映されるということの意味する。

以上を踏まえると、省エネルギー投資の意思決定の際に消費者が用いる割引率に対しては、情報にかかわる問題や流動性制約、エネルギー価格の不確実性といった要因が影響を及ぼしていると考えられる。しかし、それぞれの要因が主観的割引率に対してどの程度影響

を与えているかについては、今までのところ実証研究が十分に行われているとはいいがたい。

家計の主観的割引率の推計と比較すると、企業が省エネルギー投資の際に採用する割引率を推計する試みは極めて限定的である。これは、主として企業の省エネルギー投資にかかわるマイクロデータを入手するのが一般に困難であることが実証分析を行う際の大きな制約になっているためであろう。

ただし、こうした制約の下でも、最近になって企業の省エネルギー投資行動に関して次のような実証研究が登場してきたことは注目に値する。米国エネルギー省は、中小企業を対象に省エネルギーにつながる投資機会に関する情報提供プログラム (Industrial Assessment Centers program) を1976年から実施しているが、Anderson and Newell (2004) は、このプログラムで得られるデータを用いて省エネルギー投資プロジェクトが採用に至る要因について分析している。この分析を通して、彼らは企業が50~100%の割引率を採用していることを明らかにしている。またこの研究では、企業は年間のエネルギー節約額よりも初期投資のコストに対して反動的であるという結果が得られている。

本稿では、企業の省エネルギー投資行動を実証的に分析する際に必要となるデータをアンケート調査によって入手するという方法を採用した。次節では、民間事業所を対象に実施されたアンケート調査とそれによって得られたデータの概要について説明する。そして、省エネルギー投資行動を分析するために本稿で採用する計量的手法について解説し、分析結果を示しながらそれに対して考察を加える。

#### 4. 民間事業所の省エネルギー投資行動に関する実証分析

##### 4.1 アンケート調査およびデータについて

本稿では、獨協大学環境共生研究所と埼玉県草加市の共同による地域研究プロジェクトの一環として2014年7月7日~8月31日の期間に実施されたアンケート調査で得られたデータを用いる。調査対象は草加商工会議所と草加八潮工業会に所属している2988の事業所

である。この調査は郵送調査法によって行われ、有効回答数は482であった。以下では、調査票の中の質問項目のうち、本稿の分析で用いるものに関して説明する。

まず、このアンケート調査では、東日本大震災の発生以降 (2011年3月11日以降) から調査時点に至るまでの間に省エネルギーのための設備投資を行ったか否かを尋ねた。加えて、「省エネルギー投資を行った」と回答した事業所に対しては、同期間に実施した省エネルギー関連の設備投資の総額 (国・地方自治体による補助金を差し引かない額) についても尋ねた。なお、省エネルギー関連の設備投資に関する質問では、再生可能エネルギー関連のものとは峻別してもらうように事業所に対して求めている。これらの質問への回答で得られるデータを以下の実証分析で用いる際、省エネルギー投資を行ったか否かに関する変数を *enesave*、省エネルギー関連の設備投資の総額に関する変数を *enesave\_invest* と表記する。

前節で述べたように、割引率は省エネルギー投資の意思決定を左右する重要な要素である。本アンケートでは、事業所が採用する割引率を推計する目的で、次のような質問を用意した。

いま、貴事業所において、エネルギーを消費する様々な機器類のエネルギー効率を高めるために設備投資を行おうとしている状況を想定してください。このとき、初期費用として年間で最大いくらの金額まで省エネルギーのための投資に費やすことができますか。投資可能な最大金額をご記入ください。なお、国・地方自治体による各種補助制度は存在しないものとしてお答えください。

ここで、この質問に対する回答として得られた金額を  $M$  としよう。事業所は、この投資を実施することによってエネルギー関連費用が一定程度節約されることを見込んでいるはずである。そこで、上記の質問に続いて、投資金額  $M$  を費やした場合には年間のエネルギー関連費用が最低でどれくらい節約されるのが望ましいと考えているかを尋ねた。この質問に対して回答された金額を  $R$  とすると、 $R/M$  を算出することにより省エネルギー投資の際に各事業所が採用する割引

率を得ることができる。この割引率のデータを以下の実証分析で用いる際には、変数名を *discount\_rate* と表記する。

本アンケートでは、環境・エネルギー管理に対する意識やそれに向けた行動にかかわる質問項目も用意した。まず、エネルギー管理の担当責任者（あるいは部署）を選任（あるいは設置）しているか否かについて尋ねた。この質問への回答については、選択肢として「省エネ法で義務づけられているので、選任（あるいは設置）している」「省エネ法で義務づけられてはいないが、選任（あるいは設置）している」「選任（あるいは設置）していない」の3つを用意した<sup>2)</sup>。また、環境管理の国際規格である「ISO14001」の取得の有無についても質問した。これに対する回答として用意した選択肢は「すでに取得している」「かつて取得したが、その後更新せずに現在に至っている」「現在は取得していないが、これから取得する予定である」「取得するかどうかを現在検討中である」「現在取得していないし、今後取得する予定もない」「ISO14001を知らない」の6つである。加えて、BEMS（Building Energy Management System）やFEMS（Factory Energy Management System）といったエネルギー管理システムの導入を検討しているか否かを尋ねた。この質問に関しては、「導入するかどうかを現在検討中である」「導入する予定である、あるいはすでに導入している」「導入を検討していない」「BEMSやFEMSといったエネルギー管理のためのシステムを知らない」という4つの選択肢から回答を求めた。以下で行う実証分析では、エネルギー管理の担当責任者・部署の選任・設置に関する質問に対する回答のデータを用いる際、変数名を *ene\_management* とする。また、ISO14001の取得に関する質問、およびBEMS・FEMS導入の検討状況に関する質問に対する回答のデータを用いる際には、それぞれの変数を *iso14001*, *bems\_fems* と表すことにする。

第2節で述べたように、これまで多くの先行研究が省エネルギー投資を阻害する要因の存在を指摘している。そこで本アンケートでは、省エネルギー投資の障害となりうる要因を挙げ、それらが実際にどの程度障

害になっているかを尋ねることにより、省エネルギー投資の阻害要因に対する事業所の意識を調査した。この調査で取り上げた省エネルギー投資の阻害要因は以下の4つである。

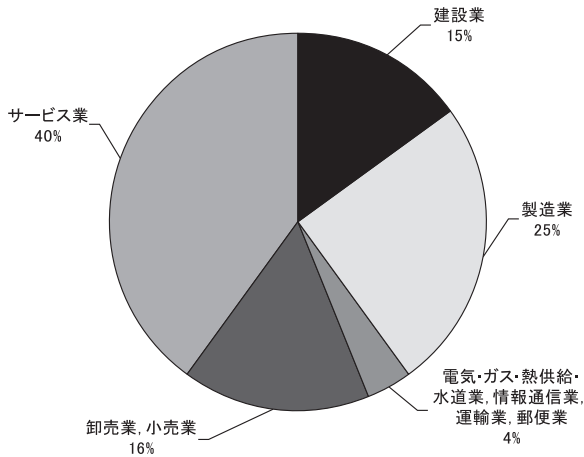
- ①省エネルギーのための設備投資を行う場合、初期費用の負担が大きい
- ②省エネルギーのための設備投資を行う際、どのような技術を採用すればよいかについての情報が不足している
- ③省エネルギーのための設備投資を行った場合にどの程度の費用節約効果が得られるのかがよくわからない
- ④エネルギー価格がどのように変動するのかが不確実なため、省エネルギーのための設備投資を行うタイミングを見定めるのが難しい

以上の4項目それぞれについて、「大きな障害になっている」「ある程度障害になっている」「あまり障害になっていない」「全く障害になっていない」の4つの選択肢から回答を求めた。なお、これらの質問への回答から得られるデータを実証分析で用いる際には、それぞれの変数を① *upfront\_cost*, ② *information*, ③ *cost\_benefit*, ④ *price\_uncertainty* と表記する。

事業所の属性にかかわる質問では、産業分類（主な活動が属するもの）、従業員数、事業所がある物件（建物や部屋のみで、土地は含まない）の所有形態について尋ねた。ここで、回答から得られた産業分類と従業員数に関するデータを、草加市に立地する事業所の産業分類と従業員数に関する統計データ（「経済センサス-活動調査」によるデータ）と照らし合わせておきたい。図1は回答が得られた事業所の産業別割合を表している。これを草加市に立地する事業所の産業別割合に関する統計データを示した図2と比較すると、アンケートに回答した事業所は建設業や製造業の割合がいくぶん高く、逆に卸売業、小売業の割合は低めであることがみてとれる。また、図3には回答が得られた事業所の従業員規模別割合を示している。これを図4にある草加市の事業所に関する従業員規模別割合と

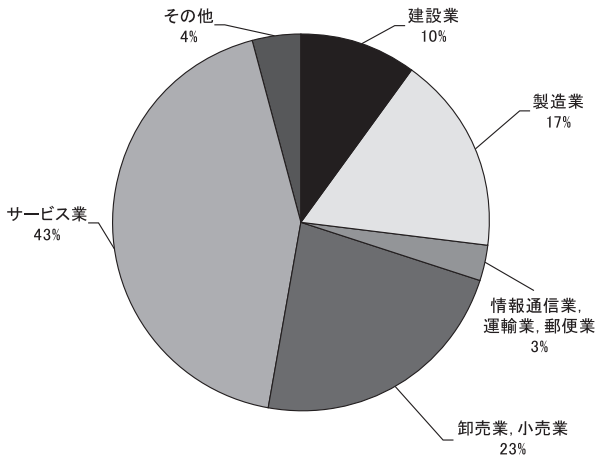
比べると、従業員が1～4人の小規模事業所からの回答が少なめであることがわかる。本稿で用いるデータは、草加市に立地する事業所の統計データと比べて以上のような若干の偏りを伴ったものであることを注記しておきたい。

図1 アンケートに回答した事業所の産業別割合



注：サンプルサイズは459（無回答を除く）。

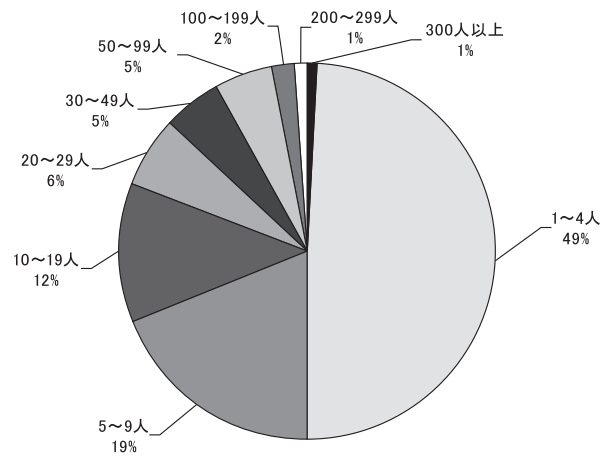
図2 草加市に立地する事業所の産業別割合



注：この円グラフは2012年2月1日時点のデータに基づいて作成されている。

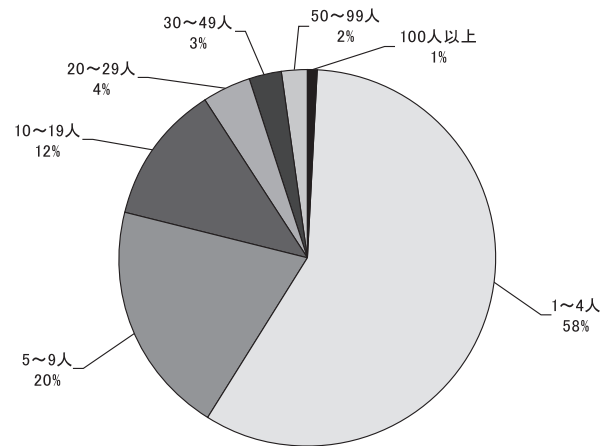
出典：平成24年経済センサス-活動調査（データは草加市役所ホームページ<<http://www.city.soka.saitama.jp/cont/s1301/a03/a04/a04/15.html>>より入手）。

図3 アンケートに回答した事業所の従業員規模別割合



注：サンプルサイズは456（無回答を除く）。

図4 草加市に立地する事業所の従業員規模別割合



注：この円グラフは2012年2月1日時点のデータに基づいて作成されている。

出典：平成24年経済センサス-活動調査（データは草加市役所ホームページ<<http://www.city.soka.saitama.jp/cont/s1301/a03/a04/a04/15.html>>より入手）。

#### 4.2 分析方法

本稿では、割引率に影響を及ぼす諸要因、および東日本大震災の発生以降に実施された省エネルギー投資の意思決定にかかわる諸要因に関して、計量的手法を用いて検討を行う。以下では、その分析方法について説明する。

まず、割引率に影響を及ぼす諸要因に関する分析では、省エネルギー投資の阻害要因が実際にどの程度障害になっているかに関する意識についてのデータを用い、その意識が省エネルギー投資に際して事業所が採

用する割引率とどのような関係を有しているのかを明らかにすることを試みる。具体的には、次式のような線形回帰モデルを最小二乗法により推定する（ $i$ は各観測値を表す記号）。

$$\begin{aligned} \ln(\text{discount\_rate}_i) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{employee}_i) + \beta_2 (\text{ownership}_i) \\ & + \beta_3 (\text{upfront\_cost}_i) + \beta_4 (\text{information}_i) \\ & + \beta_5 (\text{cost\_benefit}_i) + \beta_6 (\text{price\_uncertainty}_i) + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $\text{employee}_i$ は従業員数を表す変数であり、 $\text{ownership}_i$ は事業所がある物件の所有形態を表す変数である。後者については、物件の半分以上を所有している場合を1、所有が半分に満たない場合を0とするダミー変数である。これらは、事業所の属性が割引率の大きさとどのような関係にあるのかを把握するための変数である。また、(3)式にある  $\text{upfront\_cost}$ ,  $\text{information}$ ,  $\text{cost\_benefit}$ ,  $\text{price\_uncertainty}_i$ は、省エネルギー投資を阻害しうる要因に関する4つの質問で、それぞれに対し「大きな障害になっている」と回答した場合を1、それ以外の回答をした場合を0とするダミー変数である。これらの省エネルギー投資の阻害要因が事業所の採用する割引率を押し上げることにつながっているのであれば、推定された回帰係数は正の値を示すことになる予想される。なお、(3)式中の  $\varepsilon_i$ は誤差項である。

東日本大震災の発生以降における省エネルギー投資実施の意思決定にかかわる諸要因に関しては、プロビットモデルによる分析を行う。プロビットモデルは、従属変数が2種類の離散的な値（質的変数）で示される場合に採用される推計方法の1つである。ここでは、具体的に次のようなモデルを想定する。省エネルギー投資を実施した場合に1、実施しなかった場合に0となる従属変数を  $y$  とし、説明変数ベクトルを  $\mathbf{x}$  で表す。これらを用いて、 $y = 1$  となる確率  $P(y = 1 | \mathbf{x})$  を次のようなモデルで定式化する。

$$P(y = 1 | \mathbf{x}) = G(\beta' \mathbf{x}) \quad (4)$$

ここで、 $\beta$ は係数ベクトルである。プロビットモデルでは、確率分布関数  $G$  に関して標準正規分布を用い

る。標準正規分布の累積分布関数を  $\Phi(\cdot)$  とすると、 $G$ は次のように表せる。

$$G(z) = \Phi(z) \quad (5)$$

以上の設定の下で、各観測値の質的変数が同時に観測される確率は、次の対数尤度関数で表現される（ $i$ は各観測値を表す記号）。

$$\ln L = \sum_{i=1}^n [y_i \ln \Phi(\beta' \mathbf{x}_i) + (1 - y_i) \ln (1 - \Phi(\beta' \mathbf{x}_i))] \quad (6)$$

この関数を基にして最尤法を適用すれば、係数の推定値を得ることができる。

本稿の分析においては、従属変数として  $\text{enesave}$  を、説明変数として  $\text{discount\_rate}$ （分析では対数に変換して用いる）、 $\text{manufacture}$ ,  $\text{wholesale\_retail}$ ,  $\text{survice}$ ,  $\text{ene\_management}$ ,  $\text{iso14001}$ ,  $\text{bems\_fems}$  をそれぞれ用いる。ここでは、事業所が属する産業を「製造業」「卸売業および小売業」「サービス業」「その他の産業」の4つに分け、最初の3つの産業に属する場合のダミー変数をそれぞれ  $\text{manufacture}$ ,  $\text{wholesale\_retail}$ ,  $\text{survice}$  と表記している。また、 $\text{ene\_management}$ はエネルギー管理の担当責任者・部署を選任・設置している場合を1、選任・設置していない場合を0とするダミー変数である。

先述のように、アンケートではISO14001の取得状況について尋ねている。この質問に対して「すでに取得している」「かつて取得したが、その後更新せずに現在に至っている」「現在は取得していないが、これから取得する予定である」と回答している場合には、ISO14001を取得した経験を持っていたり、取得する意思を持っていたりすることから、環境管理への意識が比較的高い事業所であるとみなせる。そこで、それら3つの回答を選んだ場合に1、そのほかの回答を選んだ場合を0とするダミー変数を  $\text{iso14001}$  として説明変数に加えている。またアンケートではエネルギー管理システム導入の検討状況についても質問している。これについては、「導入するかどうかを現在検討中である」「導入する予定である、あるいはすでに導入している」と回答した事業所はBEMSやFEMSに対する関心が高く、それら以外の回答を選んだ事業所は関心

が低いとみなせる。こうした事業所の意識の違いが省エネルギー投資の意思決定に及ぼす影響を捉えるために、「導入するかどうかを現在検討中である」「導入する予定である、あるいはすでに導入している」と回答した場合を1、それら以外の回答を選んだ場合を0とするダミー変数を *bems\_fems* として説明変数に盛り込んでいる。

アンケートでは、「省エネルギー投資を行った」と回答した事業所に対して、その投資額についても尋ねている。そこで、上述した省エネルギー投資実施の意思決定にかかわる諸要因に関する分析に加えて、省エネルギー投資水準の選択にかかわる諸要因についても分析を行う。この分析では、省エネルギー投資を実施していない事業所の場合、投資水準の数を0として扱うことになるので、従属変数である省エネルギー投資額（変数名は *enesave\_invest*）については0で切断されたデータを用いることになる。このことを考慮し、省エネルギー投資水準の選択に関する実証分析ではトービットモデルを採用する。なお、この分析では、上のプロビットモデルによる分析の場合と同じ説明変数 (*ln(discount\_rate)*, *manufacture*, *wholesale\_retail*, *survice*, *ene\_management*, *iso14001*, *bems\_fems*) を盛り込んだモデルを推定する。

ここで用いるトービットモデルは次のようなものである。観測される省エネルギー投資額を  $y_i$  ( $i$  は各観測値を表す記号),  $y_i^*$  を潜在変数として、回帰モデルを以下のように定式化する。

$$\begin{aligned} y_i^* &= \beta'x_i + \varepsilon_i \\ y_i &= 0 \quad \text{if } y_i^* \leq 0 \\ y_i &= y_i^* \quad \text{if } y_i^* > 0 \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、誤差項  $\varepsilon_i$  は説明変数の条件付きで  $N(0, \sigma^2)$  にしたがう確率変数である。このことから、 $y_i^*$  は  $N(\beta'x_i, \sigma^2)$  にしたがう確率変数になる。これより、 $y_i^* > 0$  の場合はそのまま観測されることになるので、 $y_i$  の確率密度関数は次のように表される。

$$(2\pi\sigma^2)^{-1/2} \exp[-(y_i - \beta'x_i)^2 / (2\sigma^2)] = (1/\sigma) \phi[(y_i - \beta'x_i) / \sigma] \quad (8)$$

なお、(8)式中の  $\phi(\cdot)$  は標準正規分布の確率密度関数である。

また、 $y_i = 0$  となる確率は、標準正規分布の累積分布関数  $\Phi(\cdot)$  を用いて、

$$\begin{aligned} P(y_i = 0 | \mathbf{x}) &= P(y_i^* \leq 0 | \mathbf{x}) \\ &= P(\beta'x_i + \varepsilon_i \leq 0 | \mathbf{x}) \\ &= \Phi(-\beta'x_i / \sigma) \\ &= 1 - \Phi(\beta'x_i / \sigma) \end{aligned} \quad (9)$$

と表現できる。

(8)式と(9)式を用いることで、次のような対数尤度関数が得られる。

$$\ln L = \sum_{y_i > 0} \ln \{ (1/\sigma) \phi[(y_i - \beta'x_i) / \sigma] \} + \sum_{y_i = 0} \ln [1 - \Phi(\beta'x_i / \sigma)] \quad (10)$$

(10)式を基にして最尤法を適用することにより、係数の推定値が求められる。

以上で説明してきたように、本稿の実証分析では15の従属変数あるいは説明変数がいられる。表1には、これらの変数に関する記述統計が示されている。この表にあるように、事業所が採用する割引率の平均値は59%と高い値になっている（ちなみに割引率の中央値を計算すると20%であった）。また、割引率のデータを用いて、以下の式から各事業所が望ましいと考える投資回収期間を算出することができる。

$$\text{投資回収期間} = (1/r) (1 - (1/(1+r))^N)$$

ここで、 $r$  は割引率、 $N$  は設備の耐用年数である。 $N$  を20年として各事業所が望ましいと考える投資回収期間を算出し、その平均値と中央値を計算したところ、それぞれ4.81、4.87となった。この結果から、事業所は平均して5年弱のうちに省エネルギー投資を回収したいと考えていることが窺われる。



表1 使用するデータの記述統計

変数	回答数	平均	標準偏差	最小値	最大値
<i>enesave</i>	476	0.246	0.431	0	1
<i>enesave_invest</i> (百万円)	466	2.727	19.399	0	281
<i>discount_rate</i> (%)	326	59.055	116.667	1	1000
<i>ene_management</i>	475	0.147	0.355	0	1
<i>iso14001</i>	478	0.061	0.239	0	1
<i>bems_fems</i>	450	0.038	0.191	0	1
<i>manufacture</i>	459	0.251	0.434	0	1
<i>wholesale_retail</i>	459	0.161	0.368	0	1
<i>survice</i>	459	0.399	0.490	0	1
<i>employee</i>	456	16.842	44.060	1	500
<i>ownership</i>	446	0.637	0.481	0	1
<i>upfront_cost</i>	427	0.426	0.495	0	1
<i>information</i>	425	0.127	0.333	0	1
<i>cost_benefit</i>	424	0.177	0.382	0	1
<i>price_uncertainty</i>	422	0.178	0.383	0	1

#### 4.3 分析結果と考察

まず、割引率に影響を及ぼす諸要因に関する分析の結果についてみてみよう。表2は、(3)式の推定結果を示している。この表より、従業員規模の大きい事業所は採用する割引率が小さいという傾向がみとれる。また、所在する物件の半分以上を所有している事業所は、所有が半分に満たない事業所よりも小さい割引率を採用していることが窺われる。省エネルギー投資を阻害しうる4つの要因の影響についてみると、*price\_uncertainty*を除いた3つについては回帰係数の符号が正になっている。ただし、4つの要因のうち統計的に有意な係数になっているのは*upfront\_cost*のみである。以上のことから、省エネルギー投資を阻害しうるとされる要因のうち、実際に事業所が採用する割引率を押し上げることに繋がっているのは、設備投資の際の初期費用の負担であるということができらるだろう。

続いて、省エネルギー投資実施の意思決定にかかわる諸要因、および省エネルギー投資水準の選択にかかわる諸要因に関する分析の結果をみてみる。この分析で用いたプロビットモデルおよびトービットモデルの推定結果をそれぞれ表3、表4に示している。これらの表より、業種による差異に関しては、製造業、卸売業・小売業、サービス業が他の業種よりも省エネルギー投資を実施する割合が高く、省エネルギーへの投資額が大きいことがわかる。また、2つの分析結果

表2 割引率に影響を及ぼす諸要因

	係数	標準誤差
$\ln(\text{employee})$	-0.0870	0.04163 **
<i>ownership</i>	-0.2759	0.13346 **
<i>upfront_cost</i>	0.2802	0.14531 *
<i>information</i>	0.1798	0.29418
<i>cost_benefit</i>	0.1953	0.28959
<i>price_uncertainty</i>	-0.2784	0.17430
定数	3.4727	0.14948 ***
サンプルサイズ	286	
Adjusted R-squared = 0.0387		

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをういている。  
\*\*\*は1%水準、\*\*は5%水準、\*は10%水準でそれぞれ有意であることを意味する。

においては、いずれも*ene\_management*、*iso14001*、*bems\_fems*の回帰係数の符号が正であり、統計的にも有意である。この結果は、エネルギー管理や環境管理にこれまで積極的に取り組んできた事業所やそうした管理に取り組もうとする意識が高い事業所は、省エネルギー投資を実施する割合が高く、省エネルギー投資の規模もより大きいということを示唆している。さらに、割引率と省エネルギー投資との関係については、理論から予測される結果が得られている。すなわち、省エネルギー投資の際に採用する割引率が高い事業所は、省エネルギー投資を実施する割合が低く、投資額も小さいという傾向がみられる。

表3 省エネルギー投資実施の意思決定にかかわる諸要因

	係数	標準誤差
<i>manufacture</i>	0.644219	0.256478 **
<i>wholesale_retail</i>	0.663842	0.287191 **
<i>survice</i>	0.595255	0.235685 **
<i>ene_management</i>	0.981488	0.224299 ***
<i>iso14001</i>	0.886627	0.406119 **
<i>bems_fems</i>	0.833109	0.444855 *
$\ln(\text{discount\_rate})$	-0.178536	0.070992 **
定数	-0.799408	0.277186 ***
サンプルサイズ	301	
Wald $\chi^2(7) = 47.66$ ***		
Pseudo R-squared = 0.1560		
Log pseudolikelihood = -147.95454		

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをういている。  
\*\*\*は1%水準、\*\*は5%水準、\*は10%水準でそれぞれ有意であることを意味する。

表4 省エネルギー投資水準の選択にかかわる諸要因

	係数	標準誤差
<i>manufacture</i>	21.40347	10.3133 **
<i>wholesale_retail</i>	23.24572	11.9080 *
<i>survice</i>	27.52958	12.3179 **
<i>ene_management</i>	46.84437	17.2969 ***
<i>iso14001</i>	30.67787	13.3488 **
<i>bems_fems</i>	42.38727	19.4442 **
$\ln(\text{discount\_rate})$	-8.65575	4.1668 **
定数	-40.63823	13.7112 ***
サンプルサイズ	297	
Pseudo R-squared = 0.0773		
Log pseudolikelihood = -463.14962		

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。  
 \*\*\*は1%水準, \*\*は5%水準, \*は10%水準でそれぞれ有意であることを意味する。

上記の分析に加え、プロビットモデルおよびト  
 ービットモデルの説明変数に含まれる割引率 ( $\ln(\text{discount\_rate})$ ) に代えて、(3)式の回帰モデルにある6つの説明変数を用いて推定を行い、それらの変数が省エネルギー投資実施の意思決定や省エネルギー投資水準の選択にどのような影響を及ぼしているかを検証した。その結果が表5と表6に示されている。これらの表より、従業員規模が大きい事業所は省エネルギー投資を実施する割合が高く、省エネルギー投資の規模もより大きいことがわかる。また、省エネルギー投資を阻害する4つの要因に関しては、投資水準の選択において *upfront\_cost* と *price\_uncertainty* の係数が統計的に有意となっている。前者については、係数の符号が負であることから、省エネルギー投資の際の初期費用の負担が大きいと感じている事業所は投資規模が小さいという傾向が窺われる。なお、表5をみると、*upfront\_cost* の係数の符号は負になっているものの、統計的に有意ではない。これは、初期費用の負担感が省エネルギー投資を実施するか否かの意思決定に影響を及ぼすことはなかったことを示唆している。

エネルギー価格の不確実性がもたらす投資決定への影響に対する意識 (*price\_uncertainty*) については、表5、表6において係数の符号が正であり、後者の場合は統計的に有意でもある。このように予測とは異なる結果が得られたことに関しては、アンケートで東日本大震災以降における省エネルギー投資について尋ね

表5 省エネルギー投資の阻害要因と投資実施の意思決定

	係数	標準誤差
<i>manufacture</i>	0.599801	0.245521 **
<i>wholesale_retail</i>	0.874445	0.266166 ***
<i>survice</i>	0.761959	0.218628 ***
<i>ene_management</i>	0.820270	0.215572 ***
<i>iso14001</i>	0.644375	0.348062 *
<i>bems_fems</i>	0.870471	0.427536 **
$\ln(\text{employee})$	0.118496	0.066612 *
<i>ownership</i>	0.202885	0.168215
<i>upfront_cost</i>	-0.164556	0.169873
<i>information</i>	-0.394972	0.336529
<i>cost_benefit</i>	-0.001286	0.298010
<i>price_uncertainty</i>	0.361270	0.233957
定数	-1.735586	0.245506 ***
サンプルサイズ	359	
Wald $\chi^2(12) = 69.67***$		
Pseudo R-squared = 0.1537		
Log pseudolikelihood = -178.92034		

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。  
 \*\*\*は1%水準, \*\*は5%水準, \*は10%水準でそれぞれ有意であることを意味する。

表6 省エネルギー投資の阻害要因と投資水準の選択

	係数	標準誤差
<i>manufacture</i>	16.0465	7.6418 **
<i>wholesale_retail</i>	25.9451	11.2569 **
<i>survice</i>	27.0499	11.7971 **
<i>ene_management</i>	30.8931	12.7148 **
<i>iso14001</i>	17.4952	9.7761 *
<i>bems_fems</i>	26.5376	12.8923 **
$\ln(\text{employee})$	6.4273	2.9393 **
<i>ownership</i>	5.6977	6.2342
<i>upfront_cost</i>	-12.5297	6.3125 **
<i>information</i>	-13.4804	9.2689
<i>cost_benefit</i>	0.4351	7.9940
<i>price_uncertainty</i>	14.9102	7.8310 *
定数	-68.9147	24.9634 ***
サンプルサイズ	351	
Pseudo R-squared = 0.0783		
Log pseudolikelihood = -528.92466		

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。  
 \*\*\*は1%水準, \*\*は5%水準, \*は10%水準でそれぞれ有意であることを意味する。

たことが影響しているのかもしれない。日本の民間企業は、東日本大震災に伴って発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故とその後の電力供給不安を経験したことで、省エネルギーを推進することの重要性を強く認識したはずである。このようなことから、普段

はエネルギー価格の不確実性ゆえに省エネルギー投資実施の時期について迷っている事業所が、東日本大震災を契機に投資のタイミングを見極めるに至ったとしても、不思議ではないだろう。エネルギー価格の不確実性が省エネルギー投資実施の判断を難しくしているとの意識を強く抱いている事業所にとって、東日本大震災以後の日本のエネルギーを取り巻く環境は省エネルギー投資を後押しすることにつながったものと推察される。

## 5. おわりに

本稿は、埼玉県草加市に立地する民間事業所を対象に実施したアンケート調査で得られたデータに基づき、省エネルギー投資の際に事業所が採用している割引率の推計を試みた。この推計では割引率は平均値でみて59%であるという結果が得られた。このように大きな値の割引率が省エネルギー投資の意思決定の際に採用されていることは、これまでの研究事例の結果とも整合的である。また先行研究では、省エネルギー投資を阻害しうる要因が複数存在しており、そうした諸要因が割引率を押し上げることに繋がっていると指摘されている。この点に関して、本稿では、計量的手法を用いて省エネルギー投資の阻害要因が割引率とどのような関係にあるのかを検討した。その結果、省エネルギー投資に伴う初期費用の負担が割引率を押し上げる要因になっていることが明らかになった。加えて、民間事業所による省エネルギー投資実施の意思決定や投資水準の選択に対して割引率や省エネルギー投資の阻害要因がどのような影響を及ぼしているかについて分析を行った。この分析より、事業所の採用する割引率が低いほど、省エネルギー投資を実施する割合が高く、投資額が大きいということが明らかになった。さらに、省エネルギー投資の際の初期費用の負担が大きいと感じている事業所ほど投資規模が小さくなることが示された。

以上の分析結果から得られる政策的含意の1つは、民間事業所による省エネルギー投資の促進を図るためには、初期費用の負担感の緩和を目的とした方策が肝要となるということである。具体的な方策としては省

エネルギー投資に対する補助金が挙げられる。ただし、この方策については、補助金がなかったとしても省エネルギー投資を行っていた主体と、補助金がなければ省エネルギー投資を行わなかった主体とを区別することが困難であるため、本来補助する必要がない主体も助成対象となってしまうという問題がある (Jaffe, et al., 2001)。補助金に依存した省エネルギー促進策は無駄が多くなりがちであるとするならば、より費用対効果に優れた他の政策措置を検討する必要があるように思われる。

エネルギー効率性ギャップをもたらす要因として最近注目されているのが「限定合理性 (bounded rationality)」である。企業や消費者が合理的であるということは、すべての選択肢に関して、それぞれを選ぶことで自身にどのような結果をもたらされるかを予測でき、そのうち最大の利潤や効用をもたらす (つまり最適) のものを選び出せるということを意味する。しかし、現実の企業や消費者の意思決定では、認知能力に制約があるために考慮できる選択肢の範囲は限定され、結果として最適な選択に至ることができないという事態が起こりうる。

こうした観点から経済主体の現実の意思決定を実証的に検討する作業が、行動経済学と呼ばれる分野で進められている。もし企業や消費者の合理性が限定されたものであるならば、費用の最小化につながるような省エネルギー投資の機会が存在したとしても、それが実施されないということになりうる。具体的には、現行の選択を変更することにためらいを感じてしまうことによる「現状維持バイアス」が生じていたり、精緻な意思決定を行うのではなく何らかの簡便な方法を用いることで意思決定を単純化しようとする「ヒューリスティクス (heuristics)」に基づく行動がみられたりすれば、省エネルギーにおける過小投資がもたらされる可能性がある。企業の省エネルギー投資行動の実態を明らかにしようとする研究においても行動経済学によるアプローチが援用されることで、補助金に依存しない省エネルギー促進策の仕組みをいかに設計するかを議論するための有用な知見が蓄積されていくことが期待される。

注

1) 資源エネルギー庁ホームページ

(<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014html/2-1-2.html>)。

2) ここでいう「省エネ法」とは、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」の通称である。

参考文献

- Anderson, S. T., and R. G. Newell (2004) "Information Programs for Technology Adoption: The Case of Energy-Efficiency Audits," *Resource and Energy Economics*, 26, pp.27-50.
- Dreyfus, M. K., and W. K. Viscusi (1995) "Rates of Time Preference and Consumer Valuations of Automobile Safety and Fuel Efficiency," *Journal of Law and Economics*, 38 (1), pp.79-105.
- Gately, D. (1980) "Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables: Comment," *Bell Journal of Economics*, 11 (1), pp.373-374.
- 浜本光紹 (2012) 「家計における省エネルギー投資と割引率」有村俊秀・武田史郎編著『排出量取引と省エネルギーの経済分析 —日本企業と家計の現状—』日本評論社, 191-211頁。
- Hassett, K. A., and G. E. Metcalf (1992) "Energy Tax Credits and Residential Conservation Investment" NBER Working Paper No.4020.
- Hausman, J. A. (1979) "Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables," *Bell Journal of Economics*, 10 (1), pp.33-54.
- Houston, D. A. (1983) "Implicit Discount Rates and the Purchase of Untried, Energy-Saving Durable Goods," *Journal of Consumer Research*, 10, pp.236-246.
- Jaffe, A. B., R. G. Newell, and R. N. Stavins (2001) "Energy-Efficient Technologies and Climate Change Policies: Issues and Evidence," in: M. Toman, ed., *Climate Change Economics and Policy: An RFF Anthology*, Washington, D.C.: RFF Press, pp.171-181.
- Meier, A. K., and J. Whittier (1983) "Consumer Discount Rates Implied by Purchases of Energy-Efficient Refrigerators," *Energy*, 8 (12), pp.957-962.
- 森田稔・松本茂・田崎智宏 (2014) 「省エネリベートプログラムの主観的割引率への影響 —ヘドニック価格法による家電エコポイント制度の評価—」『環境経済・政策研究』第7巻第2号, 24-36頁。
- Revelt, D., and K. Train (1998) "Mixed Logit with Repeated Choices: Households' Choices of Appliance Efficiency Level," *Review of Economics and Statistics*, 80, pp.647-657.
- Ruderman, H., M. D. Levine, and J. E. McMahon (1987) "The Behavior of the Market for Energy Efficiency in Residential Appliances Including Heating and Cooling Equipment," *The Energy Journal*, 8 (1), pp.101-124.

**An Empirical Study on Firms' Investments in Energy Efficiency:  
An Establishment-Level Analysis**

HAMAMOTO, Mitsutsugu

Interest in energy efficiency improvements has been increased by concern about climate change. A substantial literature indicates the existence of barriers which discourage investments in cost-effective energy efficiency opportunities. The aim of this paper is to investigate the factors which influence firms' decisions about investing in energy efficiency using establishment-level survey data. Measurement of implicit discount rate used in decision making and estimation of several econometric models are conducted. The results reveal that the implicit discount rate used by firms is 59% on average and firms with higher discount rates have more negative attitudes toward energy efficiency investment. It is also suggested that firms' decisions on energy efficiency investment are affected by the burden of upfront costs.