

# DSM プログラムの効果評価手法

## Methods for the Evaluation of Demand-Side Management Programs

キーワード：DSM、費用対効果、エンドユースアプローチ、米国電気事業

浅野 浩志

一般電気事業者は、設備投資を抑制するために負荷平準化を中心とするデマンドサイド・マネジメント(DSM)のより一層の推進を経営目標としている。電力市場における競争激化に伴い、DSM の費用効果性の評価もより厳密なものが求められる。これまで、主に計量経済学的手法により時間帯別料金制などの負荷移行効果が分析されてきた。計測通信技術の進展により我が国でもエンドユース実測が可能な状況になってきた。本調査では、DSM プログラムの費用効果性を評価する3つの手法、すなわち、工学的推定手法、エンドユース実測、計量経済学的手法をとりあげ、米国の分析事例をもとに各種手法の特徴と問題点を明らかにする。最後に我が国での実データへの適用可能性を検討する。

- はじめに
- DSM の評価手法
  - DSM 評価の問題点
  - 工学的推定手法
  - 現地調査
  - エンドユース実測
  - 計量経済学的手法
  - 各種評価手法の問題点
- 米国の評価事例
  - 工学的推定手法と現地調査の評価精度
  - エンドユース実測の評価精度
  - 計量経済学的手法の評価精度
  - 適用された評価手法
  - データ収集コストと推定精度
- 日本のデータへの適用可能性

### 1. はじめに

我が国の電気事業において、負荷平準化を目的としたデマンドサイド・マネジメント(DSM)は、需給運用の不可欠な要素となりつつある。さらに、最近では地球温暖化防止のための炭酸ガス排出抑制という社会的に意義の大きい省エネルギーを目的とする DSM も視野に入れる必要がでてきた。

DSM を実現する技術・プログラムはその対象需要によってさまざまであり、電力会社規模でみた場合、どの DSM プログラムから優先的に適用していくべきか明確な評価基準が求められる。我が国の DSM 拡大にあたって、地域の実状に即したきめ細かな需要ニーズに適合して DSM プログラムを設計し、実施していくための

データベースやツールが十分に整備されているとは言えない。例えば、家庭用エアコンの普及状況や使い方は、その地域のライフスタイルや気候特性を反映してかなり異なる。このようなマーケット・セグメント毎に機器の組み合わせを考慮して、需要方策を設計するためには、エンドユース(最終需要レベル、機器レベル)で需要を把握する必要がある。DSM で先行する米国では、エンドユース・モデルと呼ばれる負荷分析ソフトウェアが広く電気事業で使われている(浅野、他 (1996))。

また、今後、電気事業自身が負荷平準化に寄与する電力利用技術を開発していく中で、研究開発の優先順位をつける上でも、実際の市場に導入された場合の費用効果性を事前評価することが求められる。

これまで、主に計量経済学的手法により時間帯別料金制などの負荷移行効果が分析されてきた(松川(1995))。計測通信技術の進展により我が国でもエンドユース実測が可能な状況になってきた。本調査では、DSM プログラムの費用効果性を評価する3つの手法、すなわち、工学的推定手法、エンドユース実測、計量経済学的手法をとりあげ、米国の分析事例をもとに各種手法の特徴と問題点を明らかにする。最後に、エンドユース・アプローチによる我が国実データへの適用可能性を検討する。

## 2. DSM の評価手法

### 2.1 DSM 評価の問題点

米国では1985年以降、エネルギー価格が低下したため、DSMの効果が厳しく問われ始めた。また、伝統的な報酬率規制下ではDSMによる減収が電力会社の経営上、問題になった。そこで、州の規制当局によりDSMインセンティブが創設された。1989年から1993年の間、全米の主要な部分でDSMインセンティブが制度化された。電力会社が減収につながる省電力プログラムを積極的に推進するためには、規制当局がいかに効果的かつ公平なインセンティブを与えるかにかかっている。これは、これまでの総括原価主義を抜本的に変更する制度改革であるため、重要な論点となった。インセンティブを与えるためには、より厳密な効果測定を必要とし、これは大きなコスト増加要因となっている。ここでDSMの効果は、最大電力の抑制と年間省電力量として計測される。評価にかかわる主な論点は、以下の通りである。

- ・ DSM プログラム選択の際に費用効果性をどのように定量化するのか。
- ・ DSM プログラムに帰着すべき減収の大きさをいかに計測し、補償するか。
- ・ DSM 実行のためにどれだけの予算が必要かつ、費用効果的か。

・ 電力会社が主張する費用節減額を規制当局がどう評価するのか。

これらの問いに答えるため、電気事業、EPRI、DOE 傘下国立研究所などで活発な研究調査がなされた。米国において大規模に DSM プログラムが適用されて、効果を計測できるだけの期間が経過したため、プログラムコストや省電力量など DSM プログラム評価のための基礎データが連邦のデータベースとして構築された。

供給側オプション(電源選択)と同様に、DSMにもその効果に不確実性があり、DSM 特有のものとして、以下が挙げられる。

- ・ 効果の有効期間
- ・ フリーライダー(ただ乗り)効果
- ・ 実際の需要削減(kW 効果および kWh 効果)

DSM プログラムの費用効果性を評価するには、工学的推定手法(追跡データベース推定)、エンドユース実測、料金請求書に基づく計量経済学的手法(billing analysis)、およびそれら手法の組合せが用いられる。従来は、工学的推定手法など単一の方法に依存する傾向があったが、現在は統計的モデルに工学的推定値を入力するなど統合した手法を用いることが一般的になりつつある。

評価手法の別の分類としては、使用するデータの性質から、ボトムアップ法とトップダウン法というものがある(Sonnenblick and Eto(1995))。ボトムアップ評価法は、電力会社の追跡調査、DSM プログラム参加者の現地調査、エンドユース実測から省電力量を推定する。ここで機器レベルのデータを収集し、建物レベルの効果や電力会社大での効果へ集計するため、積み上げ方式(ボトムアップ評価法)と呼ぶ。さらにボトムアップ評価法は、工学的推定、現地調査推定、実測方法の3つのカテゴリーに分類できる。工学的推定は、電力会社の DSM 用機器設置のデータベースと製造者推定効率および製品寿命を用いる。現地調査推定は、エネルギー診断員(電

力会社から派遣)が機器の設置・運用状況を確認し、需要家との面接を通じて電力会社のデータベースを修正する方法である。実測方法は、文字どおり需要家サイトに設置された機器の電力消費量を計測する。一方、トップダウン評価法は、毎月あるいは年間の電力消費量(料金請求票)と計量経済学的手法を用いる。

全てのボトムアップ評価法に共通に必要な情報は、次式の右辺の3項である。

$$\text{総省電力量 [kWh/年]} = \text{設置数} * \text{削減電力 [kW]} * \text{稼働時間} \quad (1)$$

幾つかの電力会社の実プログラム(業務用照明改善プログラム)の結果によると、稼働時間推定の誤差が最大の要因となる。リポートの応募あるいはエネルギー診断には需要家自身が設備の稼働時間を自己申告するのが通例である。同時に電力会社は、このデータをチェックするため、稼働時間を実測している(ニューイングランド電力(NEES)やパシフィック・ガス&電力など(PG&E))。これらの電力会社の21~189件の需要家サンプルで、実測した稼働時間は、自己申告した値の70~85%であり、需要家は過大申告する傾向があることがわかった。省電力プログラムには一般にリバウンド効果(テークバック効果)と呼ばれる省電力量の減少が見られる。これは、省電力により需要家の電気料金が減少するため、快適性など電力使用の効用水準を上げてしまい、省電力効果の一部が相殺されることを指す。業務用照明改善プログラムの場合にはリバウンド効果観測されなかった。

## 2.2 工学的推定手法

工学的なアプローチは、需要機器およびシステム性能特性およびDSMプログラムにより設置された機器の運用特性に関する情報を提供する。日本では蓄熱式空調システムによる負荷移行効果がわかりやすい例である(図1参照)。

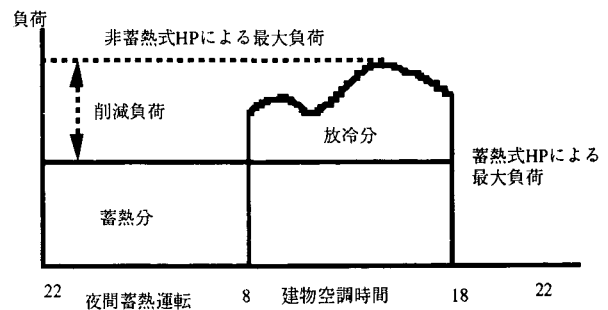


図1 夜間蓄熱運転によるピーク電力削減

工学的手法が適用された初期の段階では、電力消費の実績値(検針票)データと比べて、省電力量を過大評価する傾向がみられたが、その後、現地調査に基づく工学的推定を用いられるようになって、手法間の格差は縮小した。工学的推定手法の特徴は以下のように要約される(Hirst & Reed(1991))。

- ・工学的推定手法はプログラム効果の事前、進行中、事後の各段階の評価に用いることができる。しかし、工学的推定手法に用いる仮定および評価値は、統計的手法やエンドユース実測法など他の方法と比較する必要がある。一方、データの品質問題が起こりやすい統計的手法の検定に用いることができる。

- ・統計的手法や実測に比べると費用がかからないため、費用効果が高い(具体的な費用の水準については後述)。

- ・毎月の検針票を用いる統計的手法ではできない時間帯別の効果を推定できる。したがって、統計的手法で時間帯別に効果を分割するときには、工学的推定手法を用いる。

- ・電力以外のガスや石油製品の消費量への影響を推定できる。

- ・統計的手法では需要家レベルの省電力量は推定できるが、パッケージ化したDSMプログラム(低流量シャワーヘッドと温水器断熱の組合せなど)の効果を個別機器の効果に分割できない。工学的推定手法では、効果を分離できる。

### 2.3 現地調査

電力会社の従業員または、委託業者による機器設置の点検(現地調査)は、需要家自身による報告(自己申告、工学的推定で用いられる)より正確と考えられている。また、現地調査では付随的な情報を直接需要家から得ることができる。スポット電力量計を用いた短時間の実測を伴うこともある。

### 2.4 エンドユース実測

エンドユース実測は、需要家建物内の回路毎あるいは機器毎に電力消費を直接計測する方法である。最も調査に費用を要するため、米国においてさえ研究報告例が少ない。費用がかかるため、サンプル数、計測対象機器、計測時間を十分確保することが難しい。そのため、代表性があるかどうかが大きな問題となる。ニューイングランド電力やパシフィックガス・電力によるサンプル数は、21~67 サイトであった。

現在、エンドユース実測に用いる技術の進展はきわめて早く、コストは大幅に低下している。記憶機能のない単相用電力消費計測機器は、計測精度によるが、\$200~1000 とされている(DeAlmedia & Vine(1994))。複数機器の消費電力や室温などのデジタル・アナログデータを処理する汎用データロガーは、モデム機能、記憶機能を内蔵し、コストは\$1500~3000(チャンネル数、メモリーにより異なる)。このデータロガーと組み合わせて用いる電力変換器(トランスジェーサ)は\$200~500。機器別実測には、需要家 1 軒当たり合計で\$5000~8000 程度必要になる。それでも日本よりコストは低い。

機器別実測(submetering)は、家庭用需要家に屋内の配線が嫌われるため、機器別実測なしで機器別負荷曲線に関する情報を提供する手法が非侵入型機器負荷計測システム(NIALMS)である。これは、需要家負荷の時間的変化と各機器の立上り時の有効電力と無効電力の特徴からどの機器が稼働したかを推定する。MIT と EPRI が過

去 10 年間、共同で開発してきた。1996 年 6 月から商品化され、Telog 社から発売された。機器コストは\$1200 で、解析用 PC とソフトウェアは、300 軒のサンプル用で\$15000 と見積もられる。機器別実測の約 1/4 程度のコストで済むが、精度は下がる。

将来、submetering、NIALMS とも双方向通信技術と組み合わせることにより、需要家の電力コスト削減を目的としたエネルギー管理システムの一部として組み込まれることが期待される。

### 2.5 計量経済学的手法

料金請求票、すなわち、月間使用量と支払い料金のデータを用いた分析モデルは多数ある。大きく分けると、比較モデルと回帰分析モデルの 2 種類がある。さらに比較モデルは次の 3 つの実験計画のタイプに分けられる。

- a) 単一グループ・事前事後比較計画
- b) 静学的グループ比較計画
- c) 2 集団(実験群と対照群)・事前事後比較計画

単一グループ・事前事後比較計画では、単一集団内で事前と事後の電力消費量を比較するか、事後について、参加者と非参加者の消費量を比較する「単純比較モデル」である。

静学的グループ比較計画は、DSM 導入後の参加者(実験群)と非参加者(対照群)の平均消費量を比較する。ここでは暗黙の内に事前の消費量については、参加者と非参加者で無差別であることが前提になる。気象や建物床面積、稼働時間などの要因について回帰分析を行う。

2 集団・事前事後比較計画は、実験群と対照群の事前と事後の電力消費量データを用いる。

具体的な評価式を使って、これらのモデルを紹介する。

#### (1) 消費データの時系列比較

単一集団内で事前と事後の電力消費量を比較する。気象など外生的な要因について正規化する必要がある。価格効果と AEEI(市場の自律的な省エネルギー)による消費量変化は調整できない。

$$\text{省電力量} = Q_P(t_0) - Q_P(t_1) \quad (2)$$

$Q_P(t_0)$ は、参加者の事前の消費量、 $Q_P(t_1)$ は、参加者の事後の消費量。

(2) 事後消費量のクロスセクション比較

DSM 導入後の参加者と非参加者の平均消費量を比較する静学的グループ比較計画に基づく。同一期間についてデータを収集するため、気象や価格要因の規格化に関する調整を回避できる。ただし、DSM 導入前については、参加者と非参加者の消費量は無差別であることを仮定している。

$$\text{省電力量} = Q_{NP}(t_1) - Q_P(t_1) \quad (3)$$

$Q_{NP}(t_1)$ は、非参加者の消費量、 $Q_P(t_1)$ は、参加者の消費量。

(3) 消費量のクロスセクションおよび時系列比較

2 集団・事前事後比較計画に基づくデータを用いる。非参加者の事前と事後の電力消費量データを含むため、非プログラム要因を除去できる。また、上記(2)に比べ、電力消費のトレンド項を除去できる。

$$\text{省電力量} = [Q_P(t_0) - Q_P(t_1)] - [Q_{NP}(t_0) - Q_{NP}(t_1)] \quad (4)$$

(4) 時系列回帰分析

参加者の電力消費変化を需要家属性や建物構造データで回帰分析する。具体的な説明変数としては、建物床面積 *sqft*、稼働時間 *hours*、冷房度日 *cdd*、ダミー変数(プログラムの事前と事後を表す) *prepost* を用いる。

$$kWh = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 prepost + \epsilon \quad (5)$$

このモデルの欠点は、自己選択バイアスとエネルギー価格効果を除去できないことである。自己選択バイアスとは、DSM プログラムに参加する際の省エネルギーに対する関心度など定量化が困難な要因による電力消費量の変化を指す。

(5)式では誤差項として扱うしかない。また、非参加者データが得られる場合には、(5)式の  $\beta_4$  が自律的な消費電力量変化を表し、参加者デー

タに対するパラメータと比較することにより、エネルギー価格効果を除去することが可能となる。BPA(ボンネビル電力局)の評価事例では、非参加者との比較データがないため、プログラム効果を同定できなかった。特に測定対象とする末端需要が需要家全体の需要に比べて小さい場合には、非参加者データが不可欠であることがわかった。

(5) クロスセクション回帰分析

クロスセクションデータ、すなわち、参加者と非参加者双方のデータと参加・非参加を表すダミー変数 *participant* を用いる。しかし、フリーライダー効果を除去するのは難しい。フリーライダーを明示的に考慮するには、需要家の DSM プログラム選択確率を表すロジットモデルを組み込む必要がある。

$$kWh = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 participant + \epsilon \quad (6)$$

(6) クロスセクション・時系列回帰分析

2 集団・事前事後比較計画に基づき、参加者と非参加者それぞれ独立に回帰分析を行う。その推定結果の平均値を用いて、プログラムの効果を計算する。これと同様のことを、2 集団・事前事後のデータをプールしたデータに対して単一の回帰式を適用する。

$$kWh = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 prepost \times participant + \epsilon \quad (7)$$

(7) SAE(統計的調整済み工学推定)分析

省電力量推定に際して、DSM 導入の事前か事後か、あるいは参加したか否かのダミー変数を用いる代わりに、省電力量の工学的推定値 *Savings Estimate* を説明変数に加える(Train(1992))。また、SAE モデルには、前期の電力消費量などラグ付説明変数に加えられる。

$$kWh_{t=1} = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 (SavingsEstimate) + \beta_5 kWh_{t=0} + \epsilon \quad (8)$$

パラメータ  $\beta_4$  は、省電力量に関する工学的推定値に対する料金データから検証される推定値の実現率を表す。

表1に実際の電力会社により用いられたトップダウン評価手法とモデルの概要を示す。参加者データのサンプル数は、54～1123件。いずれも短期の効果を分析している。プログラムそのものと評価手法が新しいため、長期の効果を分析するためには、同様の分析を繰り返す必要がある。シアトル市電灯は最長3年間の消費量変

化を調査し、省電力量が2年後には95%、3年後には88%と、年を追って減衰する様子を示した。この変化は、需要家による省エネルギー機器の廃棄だけではなく、設置機器の維持管理の不備や非参加者の機器効率改善による。電力会社が想定している市場での機器寿命は電力会社により長短があり、最短5年間、最長18年間で10～15年が多い。

表1 料金請求データに基づく評価手法の実例

電力会社	適用モデル	対象郡	サンプル規模 (参加者総数)	注(使用データ期間等)
ポストン・エジソン	消費量のクロスセクションおよび時系列比較	比較可能な非参加者 5826件	参加者772件 (919)	事前12ヶ月、事後6ヶ月。需要家規模と季節別使用量で10層化。
中央ハドソン・ガス & 電力	SAE	比較可能な非参加者 116件	参加者54件 (606)	事前・事後とも4～5ヶ月。需要家サーベイによる稼働時間推定。
コン・エジソン	SAE	比較可能な非参加者 件数不明	参加者件数不明 (2276)	事前・事後とも4ヶ月。需要家サーベイによる稼働時間推定。
ニューイングランド電力(1)	SAE	比較可能な非参加者 611件	参加者369件 (4114)	事前・事後とも12ヶ月。
ニューイングランド電力(2)	消費データの時系列比較：非参加者データ調整済み	比較可能な非参加者 698件	参加者831件 (2494)	事前・事後とも12ヶ月。
ノースイースト・公益事業	SAE	比較可能な非参加者 1271件	参加者1123件 (5967)	事前、事後とも5ヶ月。需要家規模で7層化。気象要因は調整済み
ポトマック電力	クロスセクション・時系列回帰分析	比較可能な非参加者 1452件	参加者341件 (345)	事前、事後とも12ヶ月。需要家規模で4層化。気象要因は調整済み
シアトル市電灯	消費量のクロスセクションおよび時系列比較	比較可能な非参加者 229件	参加者118件 (128)	事前12ヶ月、事後12～36ヶ月。
パシフィック・ガス & 電力	SAE	比較可能な非参加者 370件	参加者724件 (6432)	事前・事後とも12ヶ月。
サンディエゴ・ガス & 電力	条件付需要分析(CDA)	なし	参加者181件 (789)	事前・事後とも12ヶ月。エンドユース実測に基づくモデル修正

出所：Sonnenblick and Eto(1995).Table2-3に基づき作成。業務用照明プログラムを対象。

表2 年間省電力量評価手法の問題点

評価手法	考慮できる効果	精度の制約要因	推定バイアスの原因	推定誤差の原因
工学的推定手法	他の手法との比較の基準とする	従来機器、使用パターン、DSM機器設置の確認、メーカー効率、需要家行動に関する想定。	従来機器とプログラム対象機器の効率および稼働時間の過大評価あるいは過小評価。	推定誤差は未評価
現地調査	設置前調査による従来機器。エネルギー診断による省エネ機器の稼働時間	使用パターンの単純化、需要家サイトにおける機器消費量の確認	エネルギー診断員による効率および稼働時間の過大評価あるいは過小評価	推定誤差は未評価
エンドユース実測	事前・事後計測による機器使用量の変化	サンプルの代表性、短い計測時間、対照郡のないこと。	機器使用の季節変化。照明と冷暖房負荷の相互作用。サンプルの代表性	短い計測時間。サンプルからの外挿。
計量経済学的手法	対照郡との比較による機器使用量、気象要因の変化	DSMプログラムの長所・短所の解釈が困難。プログラム導入後の1年分のデータが必要。	データおよび誤差項の正規分布仮定の妥当性	不適切なモデル選択。不十分なデータのばらつき。

出所：Sonnenblick and Eto(1995).Table2-3に基づき作成。業務用照明プログラムを対象。

2.6 各種評価手法の問題点

以上、ボトムアップ法とトップダウン法それぞれの特徴と問題点を述べてきた。効果推定上のバイアスや正確さの原因を表2に総括する。

3. 米国の評価事例

3.1 工学的推定手法と現地調査の評価精度

米国の DSM プログラムと需要家の実データを用いて、評価手法の精度を検証する。工学的推定手法、現地調査、エンドユース実測の全てのデータが利用可能な3つのDSMプログラム(ニューイングランド電力[NEES]社2件とノースイースト・公益事業[NU]社1件)から得られる75件の需要家データを用いた。年間省電力量の実現率は、3つのプログラムでそれぞれ、70、87、88%であり、工学的推定は一般的に過大評

価になることと一致している。

$$\text{実現率} = \frac{\text{エンドユース実測値}}{\text{工学的推定値}}$$

通常、実現率は、工学的推定値の評価に用いられるが、ここでは現地調査による推定値とも比較する。また、実現率を(1)式の各要素、すなわち、設置数、機器削減電力、稼働時間に分解する(表3)。設置数はやや過小評価であるものの、主要な誤差要因ではない。工学的推定法では、稼働時間の過大評価が最大の誤差要因であり、機器あたりの削減電力もかなり過大評価されている。工学的推定法のバイアスを減らすには、稼働時間を実測することである。このためには、オン・オフのみ計測するデータロガーを用いればよく、必ずしも高価な電力量計は必要としない。

現地調査は、工学的推定法と比べて推定値の平均が実測値に近いだけでなく、その分散も小さい。Sonnenblick and Eto(1995)によると、工

表3 実現率の要因分解

評価手法	実測サイト数	設置数	稼働時間		削減電力	
			工学的	現地調査	工学的	現地調査
NEES(1)	21	103%	92%	96%	93%	96%
NEES(2)	23	102%	80%	89%	86%	93%
NU	30	101%	89%	113%	97%	91%

出所：Sonnenblick and Eto(1995).Table3-2に基づき作成。業務用照明プログラムを対象。

学的推定法による実現率は 90%の信頼度区間で 70~86%であり、現地調査のそれは 82~93%である。

### 3.2 エンドユース実測の評価精度

エンドユース実測は、機器使用実態の最も詳細な情報を与えるが、大規模なサンプル数を収集するのに膨大なコストがかかるのが最大の難点である。エンドユース実測に伴う不確実性は、次の3点である。

- ・ サンプルの一般性
- ・ 計測期間
- ・ 照明と空調負荷の相互作用

実測サンプルは少数であるため、対象需要家全体を代表するわけではないため、全数を把握できる追跡データベースからの情報と組合して用いるのが一般的である。そこで、ある一定の信頼性で推定するためには、何件の実測サンプルが必要であるかが重要な問題となる。実際に3社のプロジェクトでは、母集団が1500~6000件に対してサンプルが16~36件という例がある。

また、照明器具のように建物内に多数設置されている場合、どの場所を実測するかによってバイアスが生じる。例えば、88件の業務用ビルを対象に実測した結果(SDG&E社)、ホールやロビーでは稼働時間を過小に、個室や会議室では過大に申告していた(Sonnenblick and Eto(1995))。これは、需要家による申告では、ゾーンにかかわらず同程度の稼働時間を報告する傾向があるためである。同一ビル内で計測器を設置しやすいところをサンプルに選ぶと稼働時間を約10%過大評価した例がある。この例から、計測器を設置しやすい需要家や場所のみをサンプルとして選ぶと計測のバイアスが生じることがわかる。

サンプル規模については従来から多くの検討例があるが、計測期間の長さについてはあまり注意を払われてこなかった。多くの評価研究では、稼働時間は年間を通して一定と仮定している。西海岸北部の Energy Edge プロジェクトで

は、29の業務用ビルの全ての照明電力を対象に最長4年間、実測した。休日を除いて、年平均に比べて、冬季の稼働時間は30分長く、夏季は30分短いことがわかった。

高効率照明器具はビルの冷暖房負荷にも大きな影響を与える。エンドユース実測プロジェクトでは、照明と冷暖房負荷を同時に計測することは少ない。一般のビルでは、冷房電力負荷を削減し、暖房に電力を使うことは希であるため電力負荷は変化しない(日本では業務用電力契約のビルでは、約3割で電力を、低圧電力契約の小規模ビルではそれ以上の割合で電力を暖房用としている)。この過小評価のバイアスを修正するため、追加的な省電力効果として5~15%を線形に上乘せするのが一般的である。ビルエネルギー解析ソフトウェア「DOE2-1」を使ったシミュレーションによると、床面積3600m<sup>2</sup>以下の小規模ビルでは、相互作用は20%のオーダー、床面積3600m<sup>2</sup>以上の大規模ビルでは、10%のオーダーを示唆している。

計測期間を長くすることや照明と空調負荷の相互作用を需要家毎に考慮することにより、実測による効果推定の不確実性を20%程度削減できる。

### 3.3 計量経済学的手法の評価精度

料金請求票データを用いた回帰分析は最も多用される評価手法であるが、省電力量の実測値が同時に利用可能でないため、その精度を分析することは不可能である。2.5節で紹介した多種のモデルの中でも、一般的なSAEモデルの信頼性は、省電力量の工学的推定値の質に大きく依存することがわかった。NEES社のプログラムから実際に得られる工学的推定値の標準偏差は40%、現地調査でさえ20%の誤差がある。この不確実性を前提とする限り、SAE法は単純な回帰モデル以下のパフォーマンスしか得られない。したがって、SAE法が有効なのは、工学的推定値が十分な精度をもっているときのみである。



また、NU社のプログラム分析からは、SAE法による省電力量は、実績値の50~70%にとどまっている(Sonnenblick and Eto(1995))。

適度なコスト負担で精度を上げるには、クロスセクション・時系列回帰分析が有効である。非参加者データを含むことで、推定値の分散を1/3に減らすことができる(DSMプログラムによる省電力量が需要全体の4%程度の場合)。非参加者データを追加することは、実測に比べてはるかに低コストである。

米国では、機器に対するリポートプログラムと季時別料金など複数のDSMプログラムが同時に適用される場合がある。このとき、DSMプログラム間の干渉をどのように除去するかは、計量経済学的手法によっても理論的には可能であるが、実際には各プログラムのみに参加している需要家などコントロールされたサンプルを集めるなど、データ側で工夫する。また、この問題より以前にフリーライダー効果の除去などが課題となっている。

3.4 適用された評価手法

実際の電力会社は、トップダウン法、ボトムアップ法のいずれかあるいは両者を採用している。Eto, J. et al.(1995)は、23電力会社の40件のDSMプログラムを対象に費用効果性を調査した。電力会社が用いた年間省電力量の推定手法を表4に示す。全ての電力会社は、DSMプログラム用追跡データベースを持っている。また、その信頼性を向上させるため、殆どの電力会社は工学的推定を補完する現地調査などを行っている。機器の設置状況(設置数など)は、40件中35件のプログラムで現地で確認している。稼働時間は、最大の誤差要因であるが、現地調査(半数)と需要家による自己申告(18件)が一般的で、実測は少ない。標準化されたエンドユース別の稼働時間に依存している評価例が6件あり、信頼性に問題がある。料金請求票データに基づく計量分析ではSAE法が最もよく使われている。

エンドユース実測法は最も信頼度の高い評価手法であるが、費用がかかるため、サンプル数は、母集団の1%以下から最大12%にとどまる。計測期間も2~4週間と短い。

表4 適用された評価手法

評価手法	適用プログラム数(%)
設置機器の確認	
現地調査：サンプル	17(43%)
現地調査：全数	18(45%)
自己申告：サンプル	4(10%)
自己申告：全数	2(5%)
稼働時間	
現地調査：サンプル	17(43%)
現地調査：全数	3(8%)
自己申告：サンプル	9(23%)
自己申告：全数	9(23%)
既往研究から転用	6(15%)
料金データ分析(計量分析)	
事前・事後比較	1(3%)
対照郡を含む比較モデル	3(8%)
対照郡を含む回帰モデル	3(8%)
対照郡を含むSAE回帰モデル	12(30%)
エンドユース実測	11(28%)

出所：Eto, J. et al.(1995), Table5-1

3.5 データ収集コストと推定精度

現実に日本の電力会社が、負荷サーベイを行うためには、そのためのコストがいくらかかるかが最大の関心事である。参考のために米国のデータ収集コストを要約する。DSMコンサルタントから聞き取り調査によると、工学的推定法の分析コストは需要家あたり\$25、通常の現地調査のデータ収集コストと分析コストは、それぞれ\$300~750、合計で\$600~1500とされている。現実のコストは、需要家の建物規模や種類、設置機器、使用モニタリング機材によって変動する。スポット電力計計測を伴う現地調査のコストは、収集と分析でそれぞれ\$700~750、合計で\$1400~1500必要とされる。スポット電力計は電流計測のためのトランスデューサであり、機器そのものは\$150~200であるが、設置費用は

サイト依存性が大きく、総設置費用は1チャンネル(エンドユース)あたり\$300~400である。因みに日本でこれと比較できる数字は、10万円のオーダーである。

照明器具のオン・オフを感知するデータ・ロガーによる稼働時間の計測には、需要家あたり\$1300~1500の費用がかかり、データ分析にも同額必要とされる。電力負荷・ロガー(load meter)によるデータ収集コストと分析コストは、それぞれ\$1300~4000、合計\$2600~8000とされている(Sonnenblick and Eto(1995))。

現地調査による DSM プログラム 1 件あたりの評価コストは、10万\$のオーダーである。

評価費用の実績値は、全米で、モニタリング(計測)費用込みで 7884 万\$(1994 年)であった(U.S. Energy Information Administration(1995))。これは、DSM の総費用 27 億\$(需要家負担費用を除く)の 2.9%に相当する。

#### 4. 日本のデータへの適用可能性

電力会社各社は DSM の推進を経営計画に位置付けている。例えば、東京電力は、平成 8 年度のピーク電力シフト目標を 320 万 kW に設定しているが、これには需給調整契約(随時調整契約を除く)による効果は含まれているが、季時別料金制度等(表 5 参照)の効果は加味されていない。当所では家庭用の時間別電灯については昼夜間比率の変化を分析した(松川(1995))。今後は家庭用に加えて、業務用や産業用の季時別料

表 5 東京電力における季時別料金加入口数  
(1996 年 7 月現在、電気新聞調べ)

契約	契約口数	導入時期
時間別電灯	52572	1990 年
業務用季時別料金	549	1996 年 1 月*
小口電力(高圧 A) 季時別料金	215	1996 年 4 月
大口電力季時別料金	996	1988 年

\* 当初は 500kW 以上、1996 年 4 月から 500kW 未満にも適用。

金を対象に負荷移行効果を明らかにすることが求められる。

また、料金制に対する反応も、単に価格要因だけではなく、保有機器の使用状態まで考慮して分析すると、必要な DSM 技術開発の課題を提示できる。このためには、機器別使用実態の調査とエンドユース・モデルの活用が有効となる。機器別実測は、需要家への負担や計測・分析コストの面から少数サンプルの短期間のデータに限られる。このため、年間の省電力量やピークカット効果を推計する際に、本論で検討した各種手法が適用できる。また、ある地域の実測データを用いて、他地域での DSM プログラムへの反応を推定できる手法を開発することが望まれる。

#### 【参考文献】

- [1] 浅野浩志、高橋雅仁、岩崎友彦、水地豊、筒見憲三、鴨志田晃：日本型エンドユース・モデルの概念構築、電力中央研究所・日本総合研究所共同研究報告:Y989601、1996 年 7 月
- [2] DeAlmedia, A.T. and E.L. Vine(1994), "Advanced Monitoring Technologies for the Evaluation of Demand-Side Management Programs", Energy, Vol. 19, No. 6, 661-678.
- [3] Eto, J., S. Kito, L. Shown, and R. Sonnenblick. (1995): "Where Did the Money Go? The Cost and Performance of the Largest Commercial Sector DSM Programs", LBL-38201, December, 1995
- [4] Hirst, E. and J. Reed (1991). "Handbook of Evaluation of Utility DSM Programs", ORNL/CON-336
- [5] 松川勇(1995): 「時間別料金効果—わが国の家庭部門における実証分析—」、電力中央研究所研究報告: Y95003
- [6] Sonnenblick, R. and J. Eto (1995): "A Framework for Improving the Cost-Effectiveness of DSM Program Evaluations", LBL-37158, September 1995
- [7] 立石洋一(1994): DSM と電気料金規制、海外電力調査報告 No. 173、1994 年 6 月
- [8] Train, K.E. (1992): "An Assessment of the Accuracy of Statistically Adjusted Engineering Models of End-Use Load Curves", Energy, 17(7), pp. 713-723.
- [9] U.S. Energy Information Administration (1995): "U.S. Electric Utility Demand-Side Management 1994", DOE/EIA-0589(94), December 1995

(あさの ひろし  
電力中央研究所 経済社会研究所)