

時変係数回帰モデルを用いた電力消費量の特徴分析 Characteristic Analyses of Power Consumption using a Time-varying Coefficient Regression Model

川崎 孝智[†] 森山 卓[†] 桑野 将司[†]
Takatomo Kawasaki Taku Moriyama Masashi Kuwano

1. はじめに

近年、電化製品の省エネ化が進行している。加えて東日本大震災に代表する自然災害による電力不足が起因となり、人々の省エネ意識も高まっている。一方で、異常気象による猛暑、寒波、豪雨、新型コロナウイルス感染症による生活様式の変化など、様々な要因が人々の生活に影響を与えている。それにとともに、電気の使われ方も変化している。電気の需要と供給のバランスを一致させるために、電気事業者はこのような変化を想定し、需給計画を立てることが重要である。その判断材料として、人々の電力消費パターンの変化を把握する必要がある。

人々の電力消費パターンは、気温、湿度、個人の属性など、様々な要因から影響を受けていると考えられる。将来予測の観点から、複数の要因を同時に考慮することは問題の複雑化につながる。そこで本研究では、電力需要に最も影響を及ぼすと考えられる要因である、気温のみに着目する。既往研究¹⁾⁴⁾においても、電力消費量と気温の関係を分析しているものが複数存在する。

既往研究¹⁾⁴⁾では、電力消費量についてのマクロ的、すなわち総電力消費量に関する分析が多数行われている。しかし、マクロ的な分析では、契約者ごとで異なると考えられる電力消費パターンの違いや経年的な変化が把握できない。そこで本研究では、ミクロ的、すなわち契約者ごとの電力消費量に着目し、電力消費量と気温の関係の時間変化を時変係数回帰モデルによって明らかにすることを目的とする。

2. 電力消費量データの概要

本研究では、ある小売電気事業者の高圧区分契約者の電力消費量データを用いる。高圧区分には小学校や市役所などの事業所が含まれる。データの取得期間は 2016 年 10 月 2 日から 2019 年 12 月 28 日までの 169 週間である。データ内容には、契約者ごとの登録名と 1 週間ごとの電力消費量が含まれている。気温データには事業所が立地する市町村の週次平均気温を統一して用いる。図 1 に全契約者の標準化した電力消費量を灰色で示し、その平均値を黒色の線で示す。図 1 の平均値を見ると、夏季、冬季に電力消費量が増加し、不規則かつ突発的に電力消費量が増減していることがわかる。また、電力消費量の変動は契約者ごとに異なることもわかる。

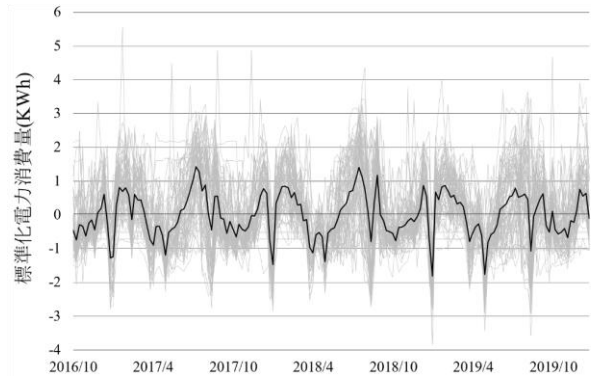


図 1 契約者ごとの標準化電力消費量

3. 電力分析のための時変係数モデルの設計

3.1 時変係数モデル

時変係数回帰モデルとは、回帰係数が時間とともに変化するモデルであり、時変係数線形モデル (TVCLM: Time Varying Coefficients Liner Model) は、局所線形回帰モデルの時系列版である。本研究では 68 件の契約者ごとの週次電力消費量データを目的変数とし、説明変数に週平均気温を投入した TVCLM を構築する。そして、推定された時変係数を用いて算出した TVCLM の理論値と気温の関係を分析する。

既往研究に、電力消費量と気温の関係に二次関数モデルを設定している研究⁵⁾がある。本研究においても、式(1)のように電力消費量と気温の関係が局所的に二次関数的であると仮定する。

$$y_t^{(i)} = \alpha^{(i)}(t) + \beta^{(i)}(t)x_t + \gamma^{(i)}(t)x_t^2 + \varepsilon_t^{(i)} \quad (1)$$

ここで、各契約者 $i = 1, 2, \dots, I$, 分析期間 $t = 1, 2, \dots, T$ に対応する週次電力消費量を $y_t^{(i)}$ とする。 $\alpha^{(i)}(t)$ は定数項、 x_t を気温とし、対応する係数を $\beta^{(i)}(t)$, 気温の 2 乗の値 x_t^2 に対応する係数を $\gamma^{(i)}(t)$ とする。誤差項 $\varepsilon_t^{(i)}$ は独立に正規分布 $N(0, \sigma^2)^{(i)}$ に従うとする。

3.2 時変係数の推定方法

時変係数の推定に際し、本研究ではカーネル関数を付与した局所最小二乗法を採用する。本研究における時変係数の推定量は式(2)で与えられる。

$$\left(\hat{\alpha}^{(i)}(t), \hat{\beta}^{(i)}(t), \hat{\gamma}^{(i)}(t) \right) = \underset{\alpha^{(i)}(t), \beta^{(i)}(t), \gamma^{(i)}(t)}{\operatorname{argmin}} \sum_{s=1}^T K \left(\frac{s-t}{h(t)} \right) \left(y_s^{(i)} - \alpha^{(i)}(s) - \beta^{(i)}(s)x_s - \gamma^{(i)}(s)x_s^2 \right)^2 \quad (2)$$

ここで $K(\cdot)$ はカーネル関数、 $h^{(i)}$ はバンド幅を表す。カーネル関数は $K(m) = K(-m)$ で、 $\int K(m) dm = 1$ を満たす。式(2)に示すようにカーネル関数は時点 t の推定に与える影響の重みを表す。本研究では式(3)に示す Epanechnikov カーネル関数を用いる。

$$K(m) := \begin{cases} \frac{3}{4}(1-m^2) & (|m| \leq 1) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

バンド幅にはモデルの複雑さを調整する役割があり、バンド幅を小さくとればモデルの複雑度が増大し、曲線は複雑になる。逆にバンド幅を大きくとればモデルの複雑度は減少し、目的変数の理論値は直線に近づく。

時変係数モデルに必要な複雑度は、データ項目における y と x の関係に依存する。一般に、 y と x の関係がデータ期間を通して一定であれば、バンド幅は大きく推定される。一方で、 y と x の関係が不安定であれば、バンド幅は小さく推定される。そのためバンド幅は任意に決めることができず、データ駆動型の方法が求められる。バンド幅の設定方法には1個抜き交差検証 (LOOCV: leave-one-out cross-validation) に基づく最小二乗法によって決定する方法がある。式(4)に最適なバンド幅を求めるための LOOCV の式を示す。

$$\begin{aligned} \hat{h}^{(i)} &:= \operatorname{argmin}_{h^{(i)}} \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_t^{(i)2} \\ &= \operatorname{argmin}_{h^{(i)}} \sum_{t=1}^T \left(y_t^{(i)} - \hat{f}_{h^{(i)}}^{(-t)(i)}(x_t) \right)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $\hat{f}_{h^{(i)}}^{(-t)(i)}$ は時点 t のデータを除いた訓練データを使って作成されたモデルである。

4. モデルの適用結果と結論

TVCLM の理論値をみることで、電力消費量と気温の関係の時間変化の傾向がわかる。例えば、図2に示すように、電力消費量と気温の関係が時間経過とともに増加している契約者 A の存在も確認できた。一方、図3のように、関係の時間変化があまり見られない契約者 B の存在が確認できた。さらに、図4のようにある時期から急激に電力消費量が減少している契約者 C の存在も確認できた。このように、関係の変化は契約者ごとに異なることもわかった。

同じ気温に対する電力消費量が経年的に増加していれば、事業の拡大などが要因として考えられる。一方で経年的に減少していれば、機器の省エネ化や節電意識の向上があったと考えられる。今後は、契約者ごとの気温に対する電力消費量の感度をグルーピングすることによって、電力消費量が増加傾向にあるグループと減少傾向にあるグループの特徴、およびそれら違いをもたらす要因について明らかにする必要がある。また、分析手法の観点からは、週次電力消費量に影響する要因として気温のみをモデルに取り入れたが、理論値と観測値に大きな乖離が見られる契約者が存在する。このような契約者の電力消費に影響を及ぼす、事業所面積や業種などの契約者属性の要因と気温以外の天候情報やイベントなどの環境要因を考慮する必要がある。

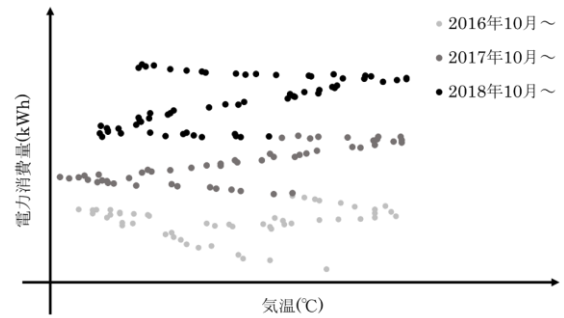


図2 時間経過とともに増加する契約者 A

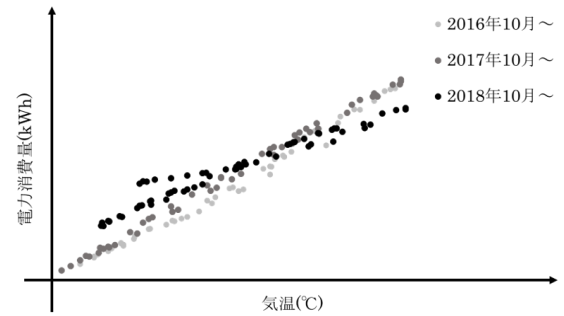


図3 関係の時間変化があまり見られない契約者 B

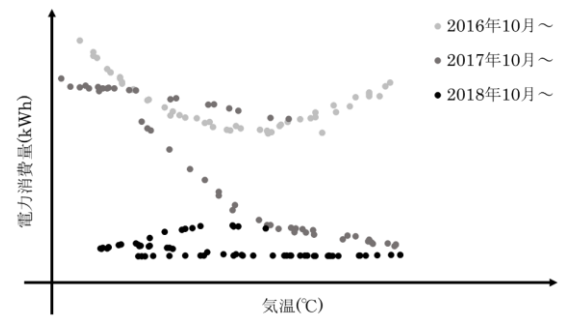


図4 大きな変化があった契約者 C

謝辞

本研究はある小売電気事業者よりデータの提供を賜り実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 橋高 康介, 宮崎 ひろ志, “広域における消費電力の気温感応度 東日本大震災前後の経年変化”, 日本建築学会環境系論文集, Vol.79, No.704, pp.891-899 (2014).
- [2] 鳴海 大典, 岸本 卓也, 坂口 勝俊, 下田 吉之, 水野 稔, “大阪府域を対象とした電力供給量に関する気温感応度”, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1071-1074 (2004).
- [3] 石原 修, 中川 正裕, 久保 隆太郎, 馬場 敬之, “福岡市と熊本市における電力供給量の気温感応度に関する研究”, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.31, No.117, pp.29-36 (2006).
- [4] 灰田 武史, “電力需要予測”, 電気学会誌, Vol.117, No.9, pp.596-599 (1997).
- [5] 松本 光崇, 藤本 淳, 古澤 真吾, 鈴木 章夫, “無線ユビキタスセンサを用いた電力モニタリング第三報: コンビニエンス・ストアの省電力対策への応用”, エネルギー・資源学会論文誌, Vol.34, No.1, pp.7-14 (2012).