

小中学校の電力需要の統計的モデルによる予測と需要構造の分析

2018年3月修了 環境システム学専攻

47-166661 野原 珠華

指導教員：吉田 好邦 教授

キーワード：学校、省エネルギー、電力需要、需要予測、時系列分析

1. 序論

地球温暖化防止とエネルギー安定供給確保の観点から、省エネルギー（以下省エネ）の必要が一層高まっている^[1]。特に、部門別の最終エネルギー消費のうち32%を占める家庭・業務他部門では、国内エネルギー政策で約4割という大幅な削減が求められている^[2]。

これらのことから、住宅や商業施設・公共施設・オフィスビルを包括して省エネするため、スマートコミュニティを実現する必要がある^[3]。これは、蓄電池や再生可能エネルギー等を用いて安定的に電力供給を行い、施設同士での電力融通や施設ごとのピークシフト・ピークカット等を行うことで省エネを目指している。そのため、施設単位での電力需要構造を把握し、正確な需要予測を行うことで、安定的な需給計画を立てる必要がある。

しかし、電力需要予測の研究は、供給サイドの運用支援目的のため、ニューラルネットワークといったブラックボックス的な予測が行われてきた^{[4][5][6]}。また、家庭^{[7][8][9][10]}やオフィスビル・商業施設^{[11][12]}を対象とした研究が多く、公共施設を対象とした研究は少ない。

そこで本研究では、公共施設の中でも4割を占める^[13]小学校・中学校施設を対象に電力需要を予測する統計モデルの構築をし、予測評価と需要構造の分析を行う。電力需要を正確に予測することで、将来の電力需要を可視化し需要サイドのピークカットやピークシフトを促すことができる。さらに多数の施設の総電力需要を予測できれば、供給サイドが安定・効率的な供給を行うことを可能にする。このことから、1地域での小中学校の総電力需要の予測、学校ごとの電力需要の予測、学校ごとの電力ピーク量の予測について検証する。

2. 方法

2.1 モデル構築手法

基本的な統計モデルとして、自己回帰モデルを採用している。自己回帰モデルとは、時間と共に変化するデータを過去との相関関係によって定式化した時系列モデルである。モデル推定は最小二乗法を用いる。

時系列変数に加えて、電力需要に関係がある気象条件（気温、湿度、風速、天気、日照時間）を加えた。学校個別での予測に関しては、予測精度を上げるため各学校の単発的なイベント（式典や保護者会など）をダミー変数として加えた。

モデルは、夏と冬ではエアコンの需要が異なることから、「夏学期モデル」と「冬学期モデル」に分ける。また、本研究では需要の多い平日（長期休み期間を除く）を対象にする。

モデルの評価指標として、AICを用いる。AICは予測の良さを重視する基準であり、AICが小さいほど良いモデルとなる。

2.2 予測方法

AICで選ばれたモデルに関して、改めて学習用データによりモデル推定を行い、学習用データと分けた検証用データと比較して予測精度の検証を行う。

予測で使う電力需要データは実際の予測を想定して、1日以上前の値は実測値、それ以外の直前の値は予測値を用いる。気象データは実測値を用いる。

予測精度の評価には、下記に示すMAPE（平均絶対誤差率）を用いる。MAPEは実測値と予測値の誤差を%単位で表したものである。小さいほど誤差が小さく、予測精度が高いといえる。

$$MAPE = \sum \frac{|\hat{y}_t - y_t|}{y_t} \times \frac{1}{n} \times 100$$

\hat{y}_t : 予測値 y_t : 実測値 n : 観測数

3. 地域の総電力需要予測モデルの構築

3.1 モデル構築・予測に用いたデータ

電力需要データは、小中学校を対象に廃棄物発電による電力供給を行う都内企業の協力のもと、東京都 23 区の小中学校 345 校の総電力需要[kWh]を取得した。気象データは、気温[°C]、容積絶対湿度（以下湿度）[g/m³]、風速[m/s]、天気[-]を取得した^[14]。データ期間は、2015/4/1 0：00～2016/3/31 23：30（30 分値）である。

モデル構築に用いたデータは、夏学期は 2015/4/6～7 月/20、8/25～9/30、冬学期は、2015/10/1～12/18、2016/1/11～3/25 である。

予測では、構築したモデルから最も AIC が低いモデルについて、夏学期は 2015/4/6～7/20、8/25～8/30 を、冬学期は 2015/10/1～2016/12/18、2016/1/11～2/24 を学習用データとして改めてモデルを推定し、夏学期は 2015/9/1～9/30、冬学期は 2016/2/25～3/25 について、予測値と実測値を比較した。

3.2 モデル概要と推定結果

モデルは、夏学期・冬学期それぞれについて、時系列変数のみのモデル・時系列変数と気温のモデル・時系列変数と気温、他の気象条件（湿度、風速、天気）のモデルの 3 種類作成した。

時系列分析に必要な処理を行い、各モデルを推定し、AIC を比較した（表 1）。この結果から、夏学期モデルでは時系列変数と気温を含めたモデル、冬学期モデルでは時系列変数と気温、他の気象条件を含めたモデルが選ばれた。

表 1. 各モデルの AIC

	時系列のみ	時系列+気温	時系列+気温+他の気象条件
夏学期	12.669	12.668	12.669
冬学期	12.900	12.897	12.871

3.3 予測結果

3.2 節で選ばれたモデルの予測を行い、MAPE を算出した結果、夏学期モデルは 8.2%、冬学期モデルは 10.6%となった。

また、夏学期・冬学期モデルそれぞれについてすべての日・時間帯における誤差率を算出した（図 1・図 2）。結果、5%範囲内であったのは、夏学期モデルは全体の 41.3%冬学期モデルは全体の 28.3%、15%範囲内であったのは、夏学期モデルは全体の 83.9%、冬学期モデルは全体の 77.1%となった。

3.4 考察

総電力需要の予測は MAPE が 10%前後となった。また、各予測値の誤差率 15%範囲内が全体の 8 割前後になった。

本モデルにおける予測値は、実測値よりも大きくなることの方が小さくなることよりも多い。電力供給の際、供給が需要よりも下回ると電力を買わなければならないため予測は小さいよりも大きい方が良い。

これらのことから、本モデルは実際の電力供給の際の予測に利用できることが示唆される。

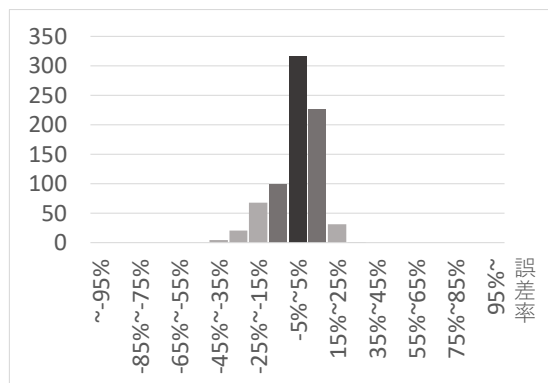


図 1. 夏学期モデルの誤差率のヒストグラム

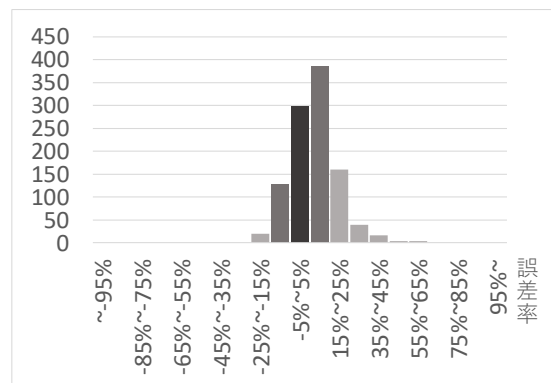


図 2. 冬学期モデルの誤差率のヒストグラム

4. 個別の電力需要予測モデルの構築

4.1 モデル構築・予測に用いたデータ

東京都足立区の自治体と各学校、電機メーカーの協力のもと足立区の A 小学校、B 小学校、C 小学校、D 中学校、E 中学校、F 中学校の電力需要データ[kWh]と各学校の年間行事表を、気象データは気温[°C]、容積絶対湿度（以下湿度）[g/m³]、風速[m/s]、天気[-]を、2016/4/10:00～2017/3/31 23:30（30分値）の期間で取得した^[14]。さらに、各学校の1日の電力ピーク量を上記のデータから抽出し、気象データ（気温、湿度、日照時間、風速）も1日単位で取得した^[14]。

モデル構築に用いたデータは、夏学期は2016/4/6～7/20、8/25～10/7、冬学期は2016/10/10～12/18、2017/1/9～3/24である。

予測は、各学校で構築したモデルから最も AIC が低いモデルについて、夏学期は2016/4/6～7/20、8/25～9/7 を、冬学期は2016/10/10～12/18、2017/1/9～2/24 を学習用データとして改めてモデルを推定し、夏学期は2016/9/8～10/7、冬学期は2017/2/25～3/25について、予測値と実測値を比較した。

4.2 モデル概要と推定結果

30分単位の電力需要を予測するモデルとして、各学校夏学期・冬学期それぞれ、時系列変数のみのモデル・時系列変数と気象（気温、湿度、風速、天気）のモデル・

時系列変数・気象・イベントのモデルの3種類を作成した。電力ピーク量を予測するモデルとして、時系列変数・気象条件を含めたモデルを作成した。

30分単位のモデルについて、AICを比較した（表2）。この結果から、夏学期モデルはA・C・D・F校は時系列変数・気象のモデル、B・E校は時系列変数・気象・イベントのモデルが選ばれた。冬学期モデルはA・C・D校は時系列変数・気象のモデル、B・E・F校は時系列変数・気象・イベントのモデルが選ばれた。

4.3 予測結果

30分単位の電力需要の予測について、4.2節で選ばれたモデルで予測を行い各学校のMAPEを算出した（表3）。

また、夏学期・冬学期モデルそれぞれについてすべての日・時間帯における誤差率を算出し、5%範囲内・15%範囲内の全体の割合を算出した（表4）。

電力ピーク量の予測について、30分単位のモデルから抽出した場合のMAPEと、電力ピーク量モデルによる予測のMAPEを比較した（図3・図4）。

4.4 考察

30分単位での予測精度は、総電力需要の予測精度に比べて著しく悪くなった。学校

表 2. 各モデルの AIC の比較

		時系列のみ	時系列+気象	時系列+気象+イベント
夏学期	A	-0.287	-0.295	-0.294
	B	0.255	0.256	0.253
	C	-0.10404	-0.10503	-0.10500
	D	-0.2445	-0.2491	-0.2487
	E	-0.0838	-0.0882	-0.0904
	F	0.360	0.353	0.355
冬学期	A	0.165	0.155	0.157
	B	0.394	0.392	0.390
	C	0.0377	0.0343	0.0348
	D	-0.0397	-0.0417	-0.0420
	E	0.137	0.132	0.131
	F	0.823	0.819	0.814

表 3. 30分単位の予測における MAPE

		A	B	C	D	E	F
夏学期		205%	229%	334%	184%	402%	183%
冬学期		126%	148%	128%	98%	147%	174%

表 4. 30分単位の予測における誤差率

		A	B	C	D	E	F
夏学期	5%範囲内	6.0%	0.9%	7.7%	10.0%	2.1%	8.0%
	15%範囲内	21.9%	3.6%	23.4%	24.0%	8.3%	28.4%
冬学期	5%範囲内	4.6%	4.1%	7.3%	8.4%	2.3%	3.7%
	15%範囲内	19.1%	10.6%	22.2%	27.1%	9.3%	14.1%

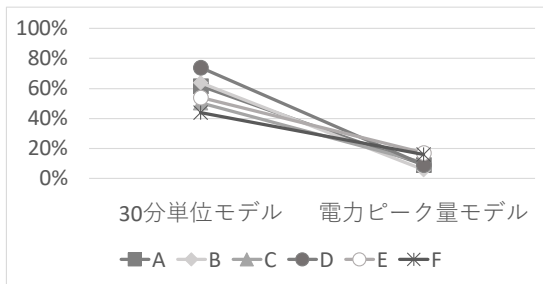


図 3. 電力ピーク量予測の比較（夏学期）

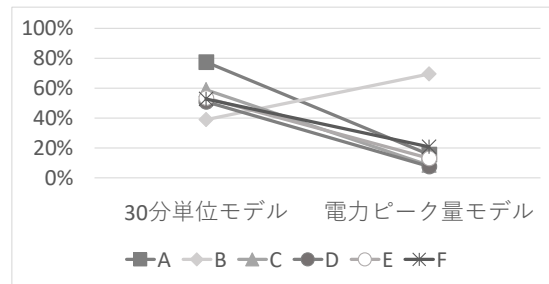


図 4. 電力ピーク量予測の比較（冬学期）

個別の電力需要は、総電力需要に比べて変動が大きく、本モデルのように過去の値から説明することが難しいことがわかった。

一方、電力ピーク量の予測は 30 分単位の予測から求めた場合の MAPE と電力ピーク量を予測するモデルの MAPE を比べた場合、ほとんどの学校が電力ピーク量のみを予測した場合の方が小さくなり、電力ピーク量のみを予測した方が精度よく予測できることがわかる。

B 小学校の冬学期について、どちらも精度が良くなかった原因について、生徒数・学級数といった学校の特徴や築年数、敷地面積・延床面積、照明・空調といった電気機器から考察したが、発見することはできなかった。

イベントを含めたモデルの予測の方が含めなかったモデルに比べて精度が悪くなった原因として、学習用データが少ないこととイベント情報の単位が日単位であることが考えられる。

5. 結論

本研究は、小中学校を対象に電力需要を予測する統計モデルの構築と予測を行った。地域の総電力需要は本モデルでは MAPE が 10%前後となり、供給サイドの安定・効率的な供給を可能にすることが示唆された。一方、個別の電力需要は 30 分単位での予測は難しいが、電力ピーク量だけならば精度が良くなる結果となった。

今後の課題として、個別の電力需要モデルにおける学習用データの数を増やし再検証すること、学校数を増やして検証することが挙げられる。

参考文献

- [1]環境省，“「地球温暖化対策計画」の閣議決定について” (2016) <https://www.env.go.jp/press/102512.html>.
- [2]資源エネルギー庁，“平成 28 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2017）” (2017) <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/>
- [3]資源エネルギー庁，“次世代エネルギー・社会システム実証事業～総括と今後について～” (2016) http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/pdf/018_04_00.pdf.
- [4]田中英一，長谷川淳，伊藤正義 “重回帰分析と階層型ニューラルネットワークによる翌日最大電力需要予測” 日本オペレーションズリサーチ学会, 9, pp. 466-503, 1996.
- [5]石岡修，佐藤佳彦，石原徹，植木芳照，松井哲郎，飯坂達也 “NN 応用電力需要予測システムの開発” 電気学会, 120, 12, pp.1550-1557, 2000.
- [6] 飯坂達也，松井哲郎，福山良和 “構造化ニューラルネットワークの新しい学習法と最大電力需要予測への適用” 電気学会, 124, 3, pp.347-354, 2004.
- [7]近藤修平，野林正盛，銚井修一 “時系列解析による住宅における電力消費量予測モデルについて” エネルギー資源学会, 37, 1, pp.34-42, 2015.
- [8]市川昌宏，向井政貴，西尾信彦 “家庭内生活パターンを考慮した電力需要予測手法” 情報処理学会, 2012-HCI-150, 17, pp. 1-5, 2012.
- [9]小澤暁人，吉田好邦 “マルコフ連鎖を用いた生活行動再現による家庭エネルギー需要の推定” 環境情報科学学術研究論文集, 27, pp.97-102, 2013.
- [10] 小澤暁人，吉田好邦 “アンケート調査に基づく家庭エネルギー需要モデル,” エネルギー資源学会, 36,5, pp.12-, 2015.
- [11]川野裕希，山田敏志，阿倍博信，中島宏一 “複数の予測法の組み合わせによる需要家向けの電力需要予測方式の提案” 情報処理学会 コンシューマ・デバイス&システム, 3, 1, pp.53-63, 2013.
- [12]紺野剛史，高橋悟，北島弘伸 “事業所タイプにおける需要予測手法の評価,” 情報処理学会, 2013-GN-86,5, pp.1-6, 2013.
- [13] 文部科学省，“学校施設の現状について” (2012) http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/013/shiryo/_icsFiles/fieldfile/2012/07/05/13224_08.pdf.
- [14]気象庁，“過去の気象データ” <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php>

※最終アクセス日はすべて 2018 年 1 月 25 日である