

平成 29 年度 修士論文

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 2 月 22 日提出

東京大学 新領域創成科学研究科

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

目次

第1章 序論.....	1
1.1. 研究の背景.....	1
1.1.1. 日本における地球温暖化防止のための対策.....	1
1.1.2. 各部門における省エネルギー対策.....	1
1.1.3. スマートコミュニティの実現.....	4
1.2. 先行研究.....	6
1.2.1. 供給サイドの運用を目的とした電力需要予測の先行研究.....	6
1.2.2. 家庭を対象とした電力需要予測の先行研究.....	6
1.2.3. ビル・工場を対象とした電力需要予測の先行研究.....	7
1.2.4. 先行研究における課題.....	7
1.3. 研究目的.....	9
1.4. 論文の構成.....	9
第2章 電力需要予測モデルのための統計手法.....	10
2.1. 時系列分析.....	10
2.1.1. 時系列分析の基本知識.....	10
2.1.2. 単位根過程と見せかけの回帰.....	11
2.1.3. 代表的な時系列モデル.....	11
2.1.4. 次数の設定.....	12
2.2. モデル構築手順とモデル評価方法.....	12
2.2.1. モデル構築手順.....	12
2.2.2. 変数の設定方法.....	13
2.2.3. モデル評価方法.....	14
2.3. 予測方法と予測精度の評価方法.....	15

第3章 地域の総電力需要の予測.....	16
3.1. 東京都23区を対象にした総電力需要予測モデルの構築.....	16
3.1.1. モデル構築に用いたデータ.....	16
3.1.2. データ検定結果およびモデル構築結果.....	17
3.1.3. 考察.....	27
3.2. モデルを用いた予測精度の検証.....	28
3.2.1. 予測に用いたデータ.....	28
3.2.2. 予測結果.....	28
3.2.3. 考察.....	32
第4章 学校個別での電力需要の予測.....	33
4.1. 足立区6校を対象にした学校個別の電力需要予測モデルの構築.....	33
4.1.1. モデル構築に用いたデータ.....	33
4.1.2. データ検定結果およびモデル構築結果.....	33
4.1.3. 考察.....	46
4.2. 30分単位での予測モデルの予測精度の検証.....	48
4.2.1. 30分単位での予測に用いたデータ.....	48
4.2.2. 30分単位での予測結果.....	48
4.2.3. 考察.....	60
4.3. 学校個別での電力ピーク量の予測モデルの構築と予測精度の検証.....	61
4.3.1. 電力ピーク量の予測に用いたデータ.....	61
4.3.2. モデルの作成結果とモデルによる予測結果.....	61
4.3.3. 考察.....	67
第5章 結論.....	68
5.1. まとめ.....	68
5.2. 今後の課題と展望.....	69

参考文献.....70

謝辞.....73

目次

図 1-1. 各部門の最終エネルギー消費の割合.....	2
図 1-2. 最終エネルギー消費と実質 GDP の推移.....	2
図 1-3. 家庭部門におけるエネルギー源別消費の推移.....	3
図 1-4. 業務他部門エネルギー源別消費原単位の推移.....	3
図 1-5. スマートコミュニティのイメージ図.....	5
図 1-6. 公共施設における学校施設の割合.....	8
図 1-7. 業務他部門業種別エネルギー消費の推移.....	8
図 1-7. 学校施設数の比較.....	8
図 3-1. 総電力需要データの自己相関・偏自己相関関数（左：夏学期、右：冬学期）.....	19
図 3-2. 総電力需要予測夏学期モデルの補正決定係数を比較した結果.....	26
図 3-3. 総電力需要予測夏学期モデルの AIC を比較した結果.....	26
図 3-4. 総電力需要予測冬学期モデルの補正決定係数を比較した結果.....	26
図 3-5. 総電力需要予測冬学期モデルの AIC を比較した結果.....	26
図 3-6. 総電力需要夏学期モデルによる予測の MAPE の比較.....	29
図 3-7. 総電力需要冬学期モデルによる予測の MAPE の比較.....	29
図 3-8. 総電力需要夏学期モデルによる予測の誤差率ヒストグラム.....	30
図 3-9. 総電力需要冬学期モデルによる予測の誤差率ヒストグラム.....	30
図 3-10. 総電力需要予測の予測値と実測値の比較.....	31
図 4-1. 学校個別の電力需要予測夏学期モデルの補正決定係数・AIC の比較結果.....	44
図 4-2. 学校個別の電力需要予測冬学期モデルの補正決定係数・AIC の比較結果.....	45
図 4-3. 小学校の EHP・GHP を導入している教室の割合.....	46
図 4-4. 各学校の MAPE の比較（夏学期）.....	51
図 4-5. 各学校の MAPE の比較（冬学期）.....	51
図 4-6. A 小学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	53
図 4-7. B 小学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	53
図 4-8. C 小学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	53
図 4-9. D 中学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	54
図 4-10. E 中学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	54
図 4-11. F 中学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	54
図 4-12. A 小学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	55
図 4-13. B 小学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	55
図 4-14. C 小学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	55
図 4-15. D 中学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	56
図 4-16. E 中学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム.....	56

図 4-17. F 中学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム	56
図 4-18. 各学校の実測値と予測値の比較（夏学期）	58
図 4-19. 各学校の実測値と予測値の比較（冬学期）	59
図 4-20. 学校毎の電力ピーク量データ（夏学期）の自己相関・偏自己相関関数	63
図 4-21. 学校毎の電力ピーク量データ（冬学期）の自己相関・偏自己相関関数	64
図 4-22. 30 分単位モデルと 1 日単位モデルを比較した結果（夏学期）	66
図 4-23. 30 分単位モデルと 1 日単位モデルを比較した結果（冬学期）	67

表目次

表 2-1. 自己相関・偏自己相関の性質.....	12
表 3-1. 作成した総電力需要予測モデルの概要.....	17
表 3-2. 総電力需要予測モデル（夏学期）における各データの ADF 検定結果.....	17
表 3-3. 総電力需要予測モデル（冬学期）における各データの ADF 検定結果.....	18
表 3-4. 総電力需要データ（夏学期）を対象にした時系列変数の T 値・P 値.....	20
表 3-5. 総電力需要データ（冬学期）を対象にした時系列変数の T 値・P 値.....	21
表 3-6. 各閾値に設定した場合のモデル 012 の補正決定係数・AIC.....	22
表 3-7. 各閾値に設定した場合のモデル 022 の補正決定係数・AIC.....	22
表 3-8. 平均風速・最大風速にした場合のモデル 012 の補正決定係数・AIC.....	23
表 3-9. 平均風速・最大風速にした場合のモデル 022 の補正決定係数・AIC.....	23
表 3-10. 総電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	24
表 3-11. 総電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	25
表 3-12. 総電力需要予測モデル（予測精度検証用）の推定結果.....	28
表 3-13. 総電力需要夏学期モデルによる予測で 5%範囲内と 15%範囲内であった割合.....	30
表 3-14. 総電力需要冬学期モデルによる予測で 5%範囲内と 15%範囲内であった割合.....	30
表 4-1. 作成した学校個別の電力需要予測モデルの概要.....	34
表 4-2. 学校個別の電力需要予測夏学期モデルにおける各データの ADF 検定結果.....	34
表 4-3. 学校個別の電力需要予測冬学期モデルにおける各データの ADF 検定結果.....	34
表 4-4. A 小学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	37
表 4-5. A 小学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	37
表 4-6. B 小学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	38
表 4-7. B 小学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	38
表 4-8. C 小学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	39
表 4-9. C 小学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	39
表 4-10. D 中学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	40
表 4-11. D 中学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	40
表 4-12. E 中学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	41
表 4-13. E 中学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	41
表 4-14. F 中学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	42
表 4-15. F 中学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	42
表 4-16. 各学校の特徴概要.....	46
表 4-17. 学校毎の電力需要予測夏学期モデルの推定結果.....	49
表 4-18. 学校毎の電力需要予測冬学期モデルの推定結果.....	50
表 4-19. 学校個別での予測で 5%範囲内と 15%範囲内であった割合.....	57

表 4-20.	学校個別の電力ピーク量予測夏学期モデルにおける各データの ADF 検定結果	61
表 4-21.	学校個別の電力ピーク量予測冬学期モデルにおける各データの ADF 検定結果	62
表 4-22.	学校毎の電力ピーク量予測夏学期モデルの推定結果	65
表 4-23.	学校毎の電力ピーク量予測冬学期モデルの推定結果	66

第1章 序論

1.1. 研究の背景

1.1.1. 日本における地球温暖化防止のための対策

近年、最も重大な環境問題の一つとして「地球温暖化問題」がある。日本でも、気温の上昇や猛暑日・大雨の増加、海面上昇といった気候変動が観測されており、対策を打たなければますます悪化していくと予想されている [1]。

そこで、日本では地球温暖化防止のため中期的には 26%、長期的には 80%の温室効果ガスの削減を目標に対策を行うとした [2] [3]。COP21 で採択されたパリ協定や 2015 年 7 月に国連に提出した「日本の約束草案」を踏まえ、日本の地球温暖化対策を総合的かつ計画的に推進するため「地球温暖化対策計画」を策定し、排出削減に取り組むように導く、国や地方自治体に取り組むべき対策・施策を明らかにしている。

温室効果ガス削減のためには、省エネルギー（以下省エネ）対策の実施や再生可能エネルギーの導入などといった、エネルギー削減対策を取る必要がある [4]。日本の温室効果ガスは約 9 割がエネルギー起源であることから、効率的にエネルギーを使うことが求められる。また、東日本大震災や源氏力発電所の事故以後は「安全・安心」という視点の重要性も高まっていることから、エネルギー効率性とエネルギーセキュリティのどちらも確保できるエネルギー構造を構築するためのエネルギー政策が求められている。

1.1.2. 各部門における省エネルギー対策

部門別に最終エネルギー消費量をみると、家庭部門と業務他部門のエネルギー増加が顕著である。部門別の最終エネルギー消費では、産業部門が 4 割超と大きな割合を占めており、次いで、2 割超の運輸部門、2 割弱の業務他部門、1 割超の家庭部門と続く（図 1-1 参照）。しかし、1973 年から 2015 年にかけては、産業部門 0.8 倍と運輸部門 1.7 倍に対し、家庭部門 1.9 倍、業務他部門 2.4 倍となっていることが分かる（図 1-2 参照）。

産業部門・運輸部門では、様々なエネルギー消費削減対策が行われてきた。産業部門では、石油ショック以来、産業部門において設備の省エネが進むとともに、省エネ型製品の開発が進められてきた [5]。さらに、平成 21 年からベンチマーク制度が産業部門の 6 業種 10 分野に取り入れられ、企業の省エネの取り組みを評価し、遅れている事業者にはさらなる努力を促す仕組みが確立している [6]。運輸部門については、エネルギー消費量減少に向けて技術開発が進められている。運輸部門のエネルギー消費量の 9 割を占める自動車は、省エネ法に基づくトップランナー制度が定められ、継続的にエネルギー消費効率（燃費）の基準が見直されている。また、燃費性能に応じた自動車税軽減、電気自動車(EV) やプラグインハイブリッド自動車(PHV)、燃料電池自動車(FCV)、クリーンディーゼル自動車(CDV)への補助金等の制度、低燃費自動車の普及策も実施されている [5]。

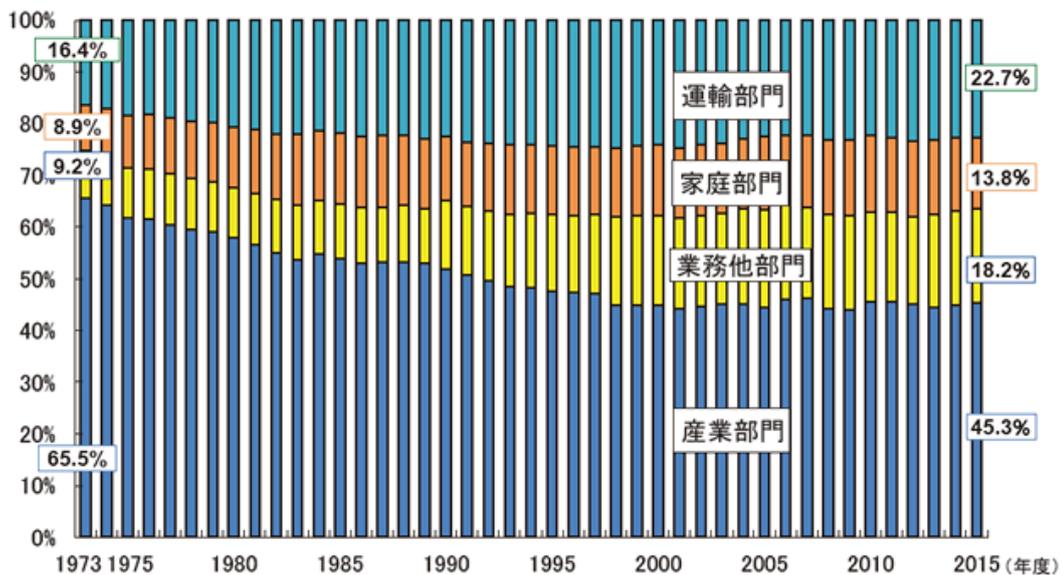


図 1-1. 各部門の最終エネルギー消費の割合
(資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」より引用 [5])

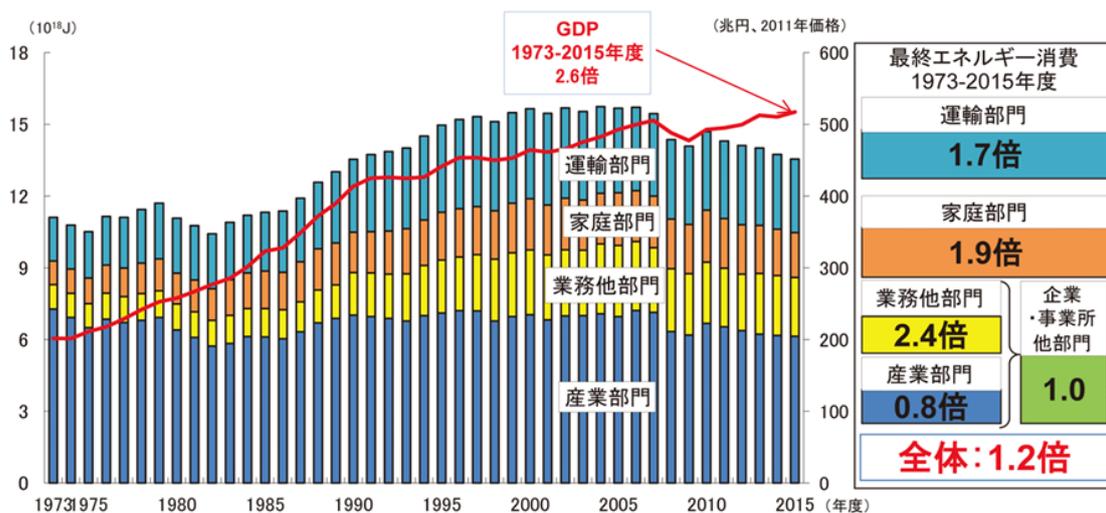


図 1-2. 最終エネルギー消費と実質 GDP の推移
(資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」より引用 [5])

一方、家庭部門・業務他部門ではエネルギー削減対策が遅れている。家庭部門・業務他部門のエネルギー消費の約 5 割は電力であり、増加傾向にある（図 1-3 図 1-4 参照）ことから、主に消費電力削減とした省エネ対策を進める必要がある。家庭部門では、生活の快適性・利便性の追求によるライフスタイルの変化、世帯数の増加が、省エネ対策の遅れの原因となっている。トップランナー制度を中心とした省エネルギー技術の普及や、東日本大震災以降

の節電などの省エネルギー意識の高まりによって、個人消費や世帯数の増加に反して低下している。業務他部門とは、事務所・ビル、デパート、ホテル・旅館、劇場・娯楽場、学校、病院、卸・小売業、飲食店、その他サービス(福祉施設など)の9業種に分けられる。業務他部門では、事務所・小売店舗の延床面積の増加とそれに伴う空調・照明設備の増加、オフィス等のOA化が、省エネ対策の遅れの原因である。コンビニエンスストア・ホテル・百貨店・貸事務所・スーパー・ショッピングセンターの6業種に対するベンチマーク制度の導入を検討・適用 [6]、「ZEB」の取り組みも積極的になされている。ZEBとは、「建築物における一次エネルギー消費量を、建築物・設備の省エネ性能の向上、エネルギーの面的利用、オンサイトでの再生可能エネルギーの活用等により削減し、年間の一次エネルギー消費量が正味(ネット)でゼロ又は概ねゼロとなる建築物」と定義され、実現すれば大幅な省エネに繋がることが期待されている [7]。しかし、1.1.1項で挙げた地球温暖化対策計画での削減目標を達成するためには、特に家庭・業務部門においては約4割という大幅な排出削減が必要となり [3]、現状の対策ではまだ足りていない。

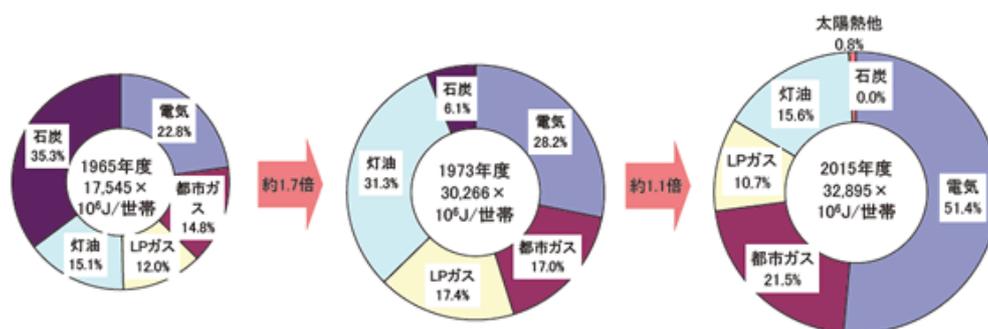


図 1-3. 家庭部門におけるエネルギー源別消費の推移
(資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」より引用 [5])

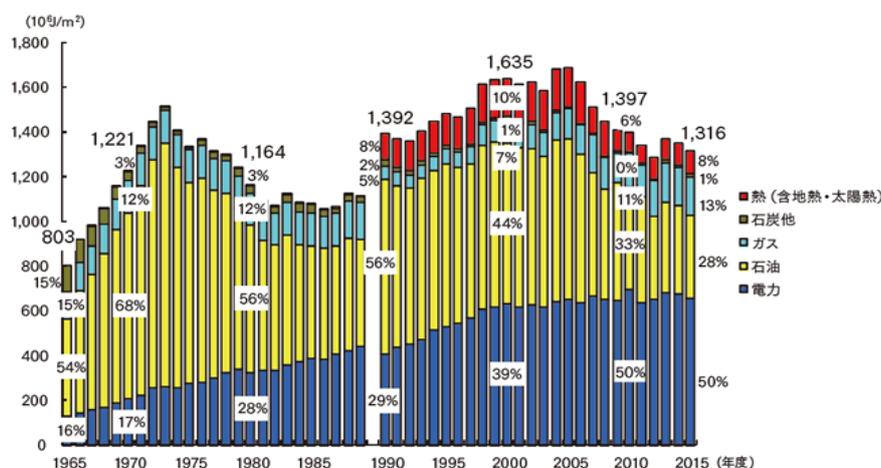


図 1-4. 業務他部門エネルギー源別消費原単位の推移
(資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」より引用 [5])

家庭部門・業務他部門の省エネを進めるためには、エネルギー使用の最適化が必要となる。建物の断熱性強化や冷暖房や照明機器の効率化といった材料や機器単体の技術の開発・導入だけではなく、ピークカットやピークシフトによる負荷平準化や分散型エネルギーによるエネルギーシステムの最適化が求められている。「我慢をしない省エネ」という認識のもと、省エネのみを追求し快適性や利便性を損なうことがないように、供給サイド・需要サイド双方の適切なマネジメントを行うことによって、エネルギー、特に電力消費の最適化を計る必要がある。

1.1.3. スマートコミュニティの実現

家庭部門・業務他部門を対象としたエネルギーシステムの最適化の一例として、「スマートコミュニティ」が挙げられる。スマートコミュニティとは、「様々な需要家が参加する一定規模のコミュニティの中で、再生可能エネルギーやコージェネレーションシステムといった分散型エネルギーを用いつつ、IoT や蓄電池制御等の技術を活用したエネルギーマネジメントシステムを通じて、地域におけるエネルギー需給を総合的に管理し、エネルギーの利活用を最適化するとともに、高齢者の見守りなど他の生活支援サービスも取り込んだ新たな社会システム（経済産業省「スマートコミュニティ事例集」を作成しました～エネルギーの利活用の最適化を進めます～」から引用 [8]）」と定義されている。

スマートコミュニティでは無理なくエネルギー消費の削減を可能にする [9]。スマートコミュニティは、エネルギー需要構造を明らかにしたうえで需要家や需要家の集合体である地域へ、無理のないライフスタイルの変革をもたらす。具体的には、ビルや住宅には BEMS や HEMS といったエネルギーマネジメントシステムを導入し省エネ機器やエネルギーを創り出す創エネ機器、貯蓄する蓄エネ機器などの最適運転を行うことでエネルギー供給・使用を効率化する、再生可能エネルギーを普及させコミュニティ内でのエネルギーの地産地消を達成する等挙げられる。 [10] [11] (図 1-5 参照)。

実際にスマートコミュニティを導入している地域がある。千葉県柏の葉「柏の葉スマートシティ」では、太陽光発電（発電出力：約 500kW）と大規模蓄電池（蓄電容量：約 11,850 kWh、出力：約 1,800kW）を用いつつ、商業施設やオフィス、ホテルなど街区間で電力の融通を行うことでスマートコミュニティの実現を目指した [12]。福岡県春日市では、エネルギー政策の一環で、九州大学筑紫キャンパス及び周辺の複数の公共施設のスマートコミュニティの構築を目指す事業を開始している。これら施設を自営線により連携し、太陽光発電設備・蓄電池の設置、EMS の運用によるマイクログリッド構築を行った [13]。

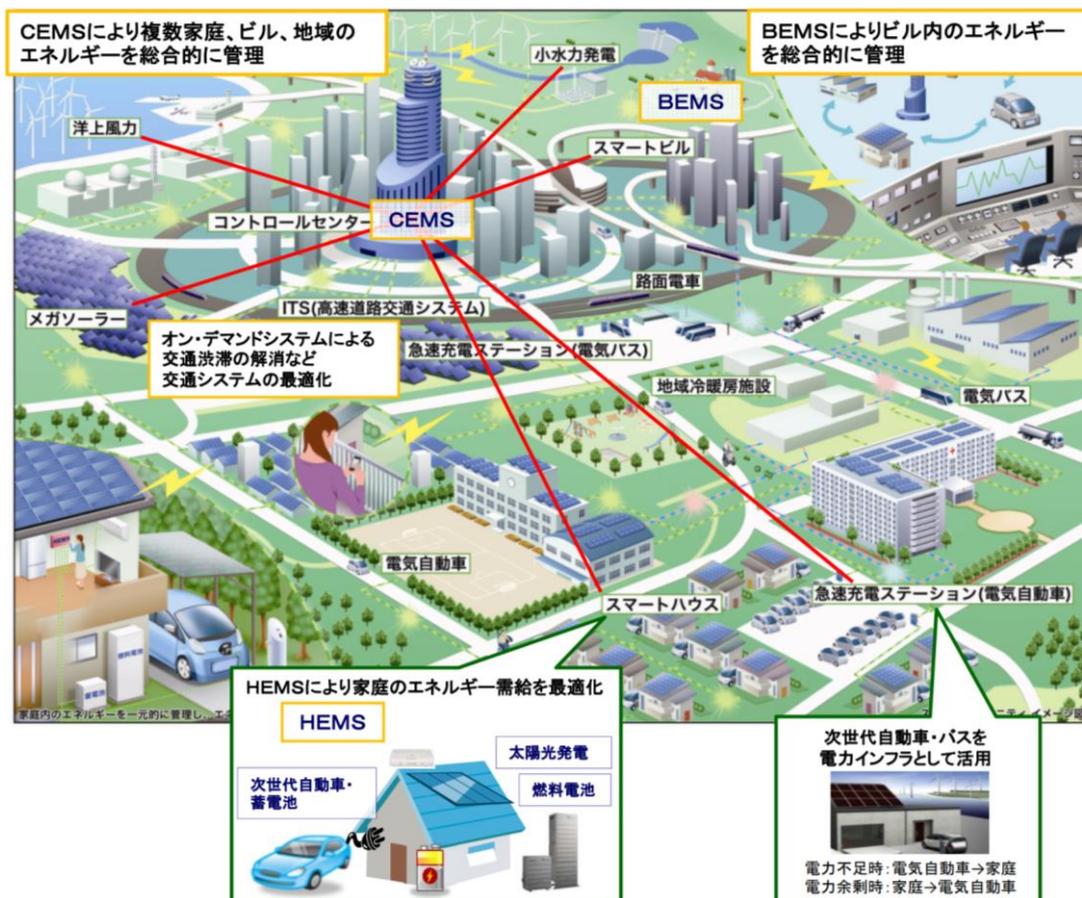


図 1-5. スマートコミュニティのイメージ図

(経済産業省「スマートグリッド・スマートコミュニティ」より引用 [14])

スマートコミュニティでは、省エネ・創エネ機器の最適運転、太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーや蓄電池による電力供給、複数施設間の電力の融通が行われている。これらの運用を実現するためには、将来どの建物がどのくらいのエネルギーを消費するか、もしくは地域全体でどのくらいのエネルギーを消費するかといった需要予測を正確に行う必要がある加えて、需要が逼迫することがあらかじめ分かれば需要家に対して省エネ行動を促すこともできる。以上のことから、本研究ではエネルギー需要の予測、特に家庭部門・業務他部門のエネルギー消費において大きな割合を占める電力需要の予測に着目した。

1.2. 先行研究

1.2.1. 供給サイドの運用を目的とした電力需要予測の先行研究

電力需要予測の研究は、主に供給サイドの電力供給業務支援を目的に行われてきた。

灰田ら [15]は、予測業務支援を目的に、重回帰手法を用いた最大需要予測支援システムを開発した。近年では重回帰モデルの予測精度やモデル構築にかかるコストの問題を解決するためにニューラルネットワークを用いた予測手法の開発が進んでいる。田中ら [16]は、気温データを用いた重回帰モデルによる予測値に、ニューラルネットワークを用いて補正を行うモデルを開発した。石岡ら [17]はこの方法では過日と予測対象日との気象条件の差による誤差が発生する問題点を挙げ、ニューラルネットワークを適用した日負荷曲線予測システムを開発した。また、飯坂ら [18]はさらなる予測精度の向上を目指して、最大電力予測に対して新たな構造化ニューラルネットワークを適用し、説明能力と予測精度の観点から、適切なモデルについて考察を行っている。

供給サイドの運用を目的としているモデルは、供給すべき総電力需要の予測モデルであり、また、予測精度を上げることが議論の主目的である。一方、スマートコミュニティの構築やピークシフト・ピークカット等の省エネ対策に貢献する予測モデルには、地域あるいは建物単位のミクロな予測を可能にすることが必要である。

1.2.2. 家庭を対象とした電力需要予測の先行研究

近年活発に研究がなされているのが家庭を対象にした研究である。各家庭の電力需要構造を考慮した予測モデルを構築することで、各家庭の省エネを促すことが主な目的である。

近藤ら [19]は、時系列モデルのひとつである自己回帰移動平均モデルによって、住宅の電力需要予測モデルを作成した。このモデルでは、非定常的な状況（旅行などの生活パターンの変動）以外の定常的な状況における電力需要を予測することができる。また、市川ら [20]は、住宅を対象に、住民の行動履歴や環境情報、家電操作履歴などを考慮した、短期・長期両方の電力需要予測手法の提案をしている。小澤ら [21]は、生活者の行動スケジュールを再現し、そこから時々刻々の家庭エネルギー需要を推定するモデルを作成した。推定結果が統計データや他モデルによる推定結果とよく一致することから、モデルの妥当性を示している。その後、「家族間の生活行動の関連性」と「個々の家電製品・給湯の使用実態」を考慮したモデルを構築した [22]。

これらの予測モデルによって、家庭の省エネ評価を行う研究もある。篠原 [23]は、家庭での需要の不確実性を考慮した機械学習法を用いて需要曲線を予測し、燃料電池や蓄電機器、給湯・空調用蓄熱装置などの小型エネルギー機器の効率的な運用を提案する手法を開発し、需要家に合わせたエネルギー機器運用効率の比較検討を支援するシステムを開発した。小澤 [24]は、開発した需要推計モデル [22]。によって、家庭用分散型エネルギー技術の性能評価を行った。家庭用燃料電池システムに着目し、推計したエネルギー需要を入力値として燃料電池の運転をシミュレーションし、燃料電池の経済性・環境性を評価した。

1.2.3. ビル・工場を対象とした電力需要予測の先行研究

省エネを推進すべき対象となっている業務他部門のビルや工場を対象とした需要予測および省エネの評価の研究も進められている。

最適な予測手法を模索する研究として二つの先行研究を紹介する。川野 [25]らは、過去数日間の各時刻間の平均電力需要変動量を用いて翌日 24 時間分の電力需要を予測する従来の手法 [26]と気温によって予測手法を変化させる提案手法とを比較して、新たに提案した手法の有用性について確認している。紺野ら [27]は、電力需要のパターンから事業所を、従業員の勤務時間に規則性があり日周期の消費電力が安定している「オフィス型」と製造ラインの稼働・日稼働によって消費電力が変化する「工場型」、その二つの中間の「オフィス・工場型」にタイプ分類し、需要予測手法の評価を行っている。検討した手法は、気温を用いてピーク電力予測を重回帰、需要予測を k 近傍法で予測する組み合わせ手法、立ち上がり電力から過去の情報を用いて予測する k-means 法+平均の組み合わせ手法、過去情報のみを用いた時系列モデル、気温との重回帰モデルである。MAPE による評価の結果、オフィス型事業所では周期性を考慮した時系列解析、工場型事業所では立ち上がり電力を考慮した組み合わせ手法が適していることが分かっている。

オフィスの省エネを評価する研究として、山口ら [28]は、オフィスのエネルギー消費機器を細分化し、状態遷移確率行列を用いて設置台数・機器仕様・使われ方をモデル化する人員行動モデルを開発し居住者の行動とエネルギー消費機器との関係を明確に定義することで、熱・電力需要を推定し、省エネを評価する手法を提案している。

1.2.4. 先行研究における課題

先行研究における課題として、対象施設の不足が挙げられる。住宅・オフィスビルを対象とし、他の形態の建物は対象となっていない。供給サイドの運用目的のモデルは様々な形態の建物が混在しているため、地域や施設ごとのミクロな分析・予測には不適切である。また、施設によって住宅やオフィスビルを対象としたモデルは適用できない可能性が高い。

その中でも、業務他部門の最終エネルギー消費量の約 1 割を占め (図 1-6 参照)、市区町村が所有する公共施設の中でも約 4 割を多く占める (図 1-7 参照)、ZEB を積極的に進める対象となっている [29] [30]、「学校」に着目する。特に、学校の中でも施設数の多い小学校・中学校に着目する (図 1-8、学校施設数の比較図 1-8 参照)。学校は住宅との違い、規模の大きいことから、家庭のモデルのように居住者の行動をモデル化し、それによる電力需要の予測を行う方法は適用困難である。また、オフィスビルとは規模は類似しているものの、特徴が大きく異なる。学校は、1 日の使用時間が短く、児童生徒の移動に伴う部屋の使用時間が多様であるが、毎週決まったスケジュールであることが特徴である。ビルに比べ低層建築であり空間的な連続性が高く、延べ床面積に対する窓の比率が高い。ビルは空調による消費が多く占めるのに対し、学校は照明のエネルギー比率が高い [29] [30]。これらのことから、学校とビルは違う電力需要構造である可能性が高い。

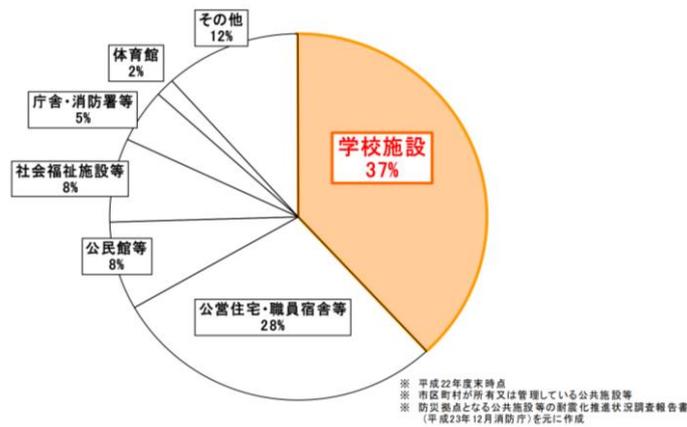


図 1-6. 公共施設における学校施設の割合
 (文部科学省「学校施設の現状について」より引用 [31])

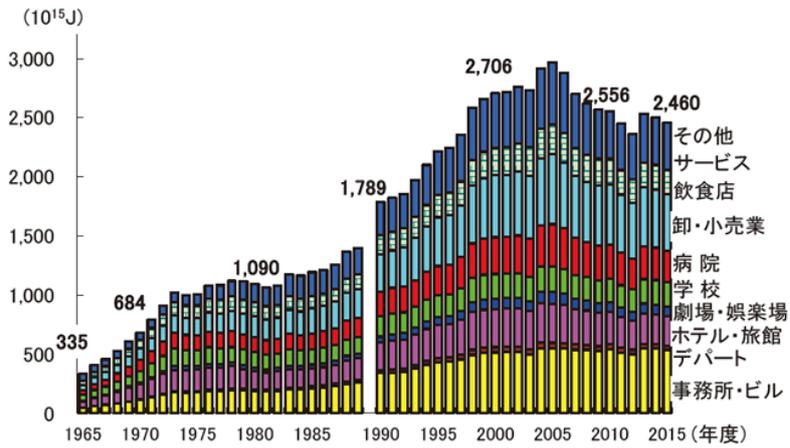


図 1-7. 業務他部門業種別エネルギー消費の推移
 (資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」より引用 [5])

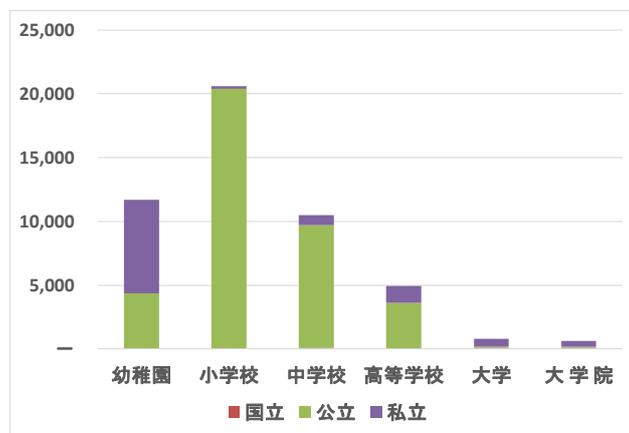


図 1-8. 学校施設数の比較
 (文部科学省「文部科学統計要覧 (平成 27 年度版)」を参考に作成 [32])

1.3. 研究目的

本研究は、小中学校を対象に時系列分析を用いて電力需要予測モデルを構築し、学校の電力需要構造を明らかにすること、また需要予測がどの程度まで可能であることを明らかにすることを目的とする。

小中学校の電力需要構造を明らかにすることは、学校の省エネにおいて必要なことは何かを明らかにできる。よって、地域単位の総電力需要を対象にモデルを構築し、予測モデルを用いて小中学校の電力需要の大まかな傾向を把握する。また、個別の電力需要を対象にモデルを構築し、予測モデルを用いて総電力需要の予測で把握した全体の傾向との差、学校間の差を分析する。学校の省エネの可能性を考察する。

電力需要の予測をすることは、総電力需要予測モデルは電力供給サイドにとって効率的な供給を実現できること、個別に作成した電力需要予測モデルはその学校でのピークをあらかじめ予測できることから負荷平準化に役立つ。よって、総電力需要の予測精度、および個別の電力需要の予測精度・ピーク予測精度を検証する。

1.4. 論文の構成

第1章では、研究目的に至るまでの背景と先行研究における課題を述べた。

第2章では、本研究で用いた統計手法「時系列分析」の基本的な概念・定義の説明と、本研究のモデル構築方法、モデルの評価指標についての説明を述べる。

第3章では、東京都23区内の小中学校の総電力需要予測モデルの構築結果と需要構造に関する考察、予測結果と予測精度の考察を述べる。

第4章では、学校個別の電力需要予測モデルの構築結果と個別の需要構造に関する考察、予測結果と予測精度の考察を述べる。

第5章では、以上の結論として、本研究のまとめと課題、今後の展望について述べる。

第2章 電力需要予測モデルのための統計手法

2.1. 時系列分析¹

2.1.1. 時系列分析の基本知識

「時系列データ」とは、時間の推移とともに観測されたデータ群のことであり、時点で順序づけられていることが特徴である。「時系列分析」は、それら時系列データが持つ多様な特徴について記述するようなモデルを構築し、そのモデルをもとに時系列データの変数間の関係性を明らかにしたり、過去の時系列データの特徴や関係性から未来を予測したりすることを目的とする。

「自己相関係数」は時系列データの特徴を説明するために用いられる統計量。自己相関係数とは同一の時系列データにおいてk時点離れたデータとの関係の強弱を表すものであり、k 次の自己相関係数は、式 (2-1) で定義される。自己共分散とは同一の時系列データにおける異時点間の共分散である。自己相関係数をk の関数としてみたものを「自己相関関数」と呼び、自己相関関数をグラフに描いたものを「コレログラム」と呼ぶ。

$$\rho_{k,t} = \text{Corr}(y_t, y_k) = \frac{\gamma_{k,t}}{\sqrt{\gamma_{0,t}\gamma_{0,t-t}}} \quad (2-1)$$

$\gamma_{k,t}$: k 次の自己共分散

時系列分析では、時系列データを果てしなく並んだ確率変数からの一つの実現値とみなし、その確率変数列の生成過程に関して何らかの性質や構造を仮定する。その確率変数列の構造を「時系列モデル」という。この確率変数列のことを「確率過程 (以下、過程)」と呼ぶ。

基礎的な時系列モデルは「定常性」という仮定の下で構築される。定常性とは、ある過程において自己相関が時点に依存せず、時間差kにのみ依存する状態である。定常性が満たされない場合、何らかの処置を施して定常性にする必要がある。処置方法としては、データが定常に近くなるよう時系列データの差分(これを原系列に対し「差分系列」と呼ぶ)を取る、定常性を満たさない原因を説明する変数を含める、標本期間をうまく選択し定常性の仮定が妥当なものにできるようにする、などが挙げられる。代表的な非定常過程に「単位根過程」があるが、詳細な説明は次項で述べる。

¹ 2.1 節の内容は文献 [4]を参考にしたものである。

2.1.2. 単位根過程と見せかけの回帰

「単位根過程」とは、原系列が非定常過程であり、差分系列 $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ が定常過程であるときの過程である。単位根過程かどうかの検定方法として最もよく用いられるのが「拡張 Dickey-Fuller (ADF) 検定」である。ADF 検定とは、真の過程を単位根過程であると仮定し、過程が単位根過程であるという帰無仮説を、過程が定常過程であるという対立仮説に対して検定するものである。

単位根過程を持つ変数の問題として、前項で述べた定常状態が仮定できない問題のほかにも、「見せかけの回帰」の問題がある。見せかけの回帰とは、単位根過程である y_t を、定数と、 y_t と関係のない単位根過程 x_t に回帰すると、 x_t と y_t の間に有意な関係があり、回帰の説明力が高いように見える現象のことである。つまり、実際には関係がない変数同士にあたかも何かしらの関係性があるように見えてしまうことである。たとえば、電力需要は気温と強い相関があることが知られているが、両方とも時系列データであることから、そのまま回帰すると実際よりも強い関係性が示されてしまう可能性がある。そのため、単位根過程でないことを確認し、単位根過程である場合は適切な処理をする必要がある。

見せかけの回帰を回避する方法として、まず一つ目に説明変数と被説明変数の少なくともどちらか一方のラグ変数を回帰に含める方法が挙げられる。二つ目として、単位根過程に従う変数は差分をとって回帰をする方法が挙げられる。しかし、差分系列を用いて分析を行うことで、変数の利用可能な情報が大幅に失われたり、説明変数と被説明変数が共和分という関係にある場合、誤ったモデルを導いてしまったりする可能性があるため、注意が必要である。

2.1.3. 代表的な時系列モデル

「自己回帰 (AR) 過程」とは自己相関をモデル化する方法の一つである。過程が自身の過去に回帰される過程であり、式 (2-2) で定義される。ここで、ホワイトノイズ ($W.N.(\sigma^2)$) とはすべての時点において期待値が 0 かつ分散が一定 (σ^2)、自己相関をもたない過程のことである。

もう一つ、時系列データの基本的なモデルとして「移動平均 (MA) 過程」が挙げられる。MA 過程とは $y_t = a + b$ と $y_{t-1} = b + c$ のように、 y_t と y_{t-1} が共通成分を持っている過程のことで、式 (2-3) で定義される。つまり、ホワイトノイズを共通成分にもつ。

AR 過程と MA 過程を合わせた過程を「ARMA 過程」といい、式 (2-4) で定義される。

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim W.N.(\sigma^2) \quad (2-2)$$

$$y_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} \dots + \theta_{t-q} \varepsilon_{t-q} \quad \varepsilon_t \sim W.N.(\sigma^2) \quad (2-3)$$

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} \dots + \theta_{t-q} \varepsilon_{t-q} \quad \varepsilon_t \sim W.N.(\sigma^2) \quad (2-4)$$

2.1.4. 次数の設定

AR 過程・MA 過程・ARMA 過程の次数 p と次数 q は自己相関係数から決定できる。まず過程が MA 過程である場合、その自己相関係数は $q+1$ 次で分断されそれ以降は 0 となる。過程が AR 過程である場合、「偏自己相関係数」は $p+1$ 次以降が 0 となる。自己相関係数が単に y_t と y_{t-k} の相関を計算したものに対し、偏自己相関係数とは y_t と y_{t-k} から y_{t-1} , y_{t-2} ... y_{t-k+1} の影響を取り除いたものの相関である。表 2-1 で示した自己相関係数・偏自己相関係数の性質を参考にモデルの次数を決定していく。

表 2-1. 自己相関・偏自己相関の性質

(沖本竜義「経済・ファイナンスデータの計量時系列分析」より引用 [33])

モデル	自己相関	偏自己相関
AR(p)モデル	減衰していく	p+1次以降0
MA(q)モデル	q+1次以降0	減衰していく
ARMAモデル	減衰していく	減衰していく

2.2. モデル構築手順とモデル評価方法

2.2.1. モデル構築手順

本研究では、地域の総電力需要を 30 分単位で予測するモデル、学校個別の電力需要を 30 分単位で予測するモデル、学校個別の電力ピーク量を予測するモデルを作成した。また、モデルを推定するソフトとして、時系列分析に特化したソフト「Eviews」を使用した。

30 分単位の予測モデルについて、データの選択と加工方法を述べる。予測精度向上のため、予測対象を需要の少ない土日・長期休み期間を除去し、需要の多い平日のみとしている。夏と冬ではエアコンによる需要が異なると考え、夏学期と冬学期と分ける。学校個別での電力需要予測では、各学校を比較する目的があるため、データをさらに標準化した。扱うデータに関して ADF 検定によって単位根過程かどうかを確認し、その結果によってはデータを変換する。被説明変数である電力需要データが単位根過程であり、かつ時系列変数のみのモデルの場合、差分系列に変換し、単位根過程でない場合は原系列のまま扱う。

30 分単位の予測モデルについて、総電力需要の予測モデルは、「時系列変数のみのモデル」「時系列変数と気温変数を含めたモデル」「時系列変数と気温変数、ほか気象変数を含めたモデル」の 3 種類を夏学期・冬学期それぞれで作成している。学校個別のモデルに関しては、各学校に対して、「時系列変数のみのモデル」「時系列変数と気象に関する変数を含めたモデル」「時系列変数と気象に関する変数、学校行事に関する変数を含めたモデル」の 3 種

類を夏学期・冬学期それぞれで作成している。変数の具体的な説明は次項で行うが、モデル推定方法は最小二乗法を採用する。

次に電力ピーク量を予測するモデルについて、述べる。30分単位での予測モデルと同様に、予測精度向上のため、予測対象を需要の少ない土日・長期休み期間を除去し、需要の多い平日のみとしている。夏と冬ではエアコンによる需要が異なると考え、夏学期と冬学期と分ける。扱うデータに関して ADF 検定によって単位根過程かどうかを確認し、その結果によってはデータを変換する。被説明変数である電力需要データが単位根過程であり、かつ時系列変数のみのモデルの場合、差分系列に変換し、単位根過程でない場合は原系列のまま扱う。電力ピーク量の予測モデルは「時系列変数と気象に関する変数を含めたモデル」を作成した。変数の具体的な説明は次項で行うが、モデル推定方法は最小二乗法を採用する。

2.2.2. 変数の設定方法

本研究のモデルの変数は、大きくわけて「時系列変数」「気象に関する変数」「イベント（祝日、学校行事など）に関する変数」の三つに分けられる。

「時系列変数」は、2.1.4 項で述べたように次数を決定していくが、30分単位モデルに関しては次数がかなり大きくなることから、本研究ではすべての次数に対して時系列変数を含めるのではなく、モデルの説明変数としてウェイトの大きい変数のみ含めることとする。自己相関・偏自己相関から判断された次数に対してモデルを作成し、t 値・P 値によって有意かつ被説明変数に与える影響が大きい次数に絞り込んだ。30分単位モデルには、曜日の影響も考慮するために1週間前の時系列変数を加える。

「気象に関する変数」は、30分単位モデルでは気温、湿度、風速、天気である。対象とする電力需要データ・気象データが単位根過程と判断される場合もあるが、2.1.2 項で述べた理由から、1次の時系列変数を含めることで見せかけの回帰を回避できるため、気象に関する説明変数を入れる場合は全て原系列のままモデルを作成した。30分単位モデルでの気温について、気温はエアコンの需要に大きく影響するが、その需要は気温がある値を境に増えると考えた。そのため、30分単位モデルの夏学期モデル・冬学期モデルの気温はそれぞれを式(2-5)・(2-6)のように設定する。閾値は夏学期モデルでは20°Cから30°Cの1°C刻み、冬学期モデルは10°Cから20°Cの1°C刻みで、それぞれ11種類のモデルから最適なモデルを決定する。湿度は、夏は湿気が高いほどエアコンの需要が高まり、冬は湿度が低く乾燥しているほどエアコンの需要が高まると考え、加工せずに扱う。風速は、夏は風が強いほどエアコン需要は低くなり、冬は風が強いほど高まると考え、加工せずに扱う。最大風速・平均風速のどちらか最適な方を設定する。天気は、学校の電力需要の大半が照明を占めていることから、陽ざしがない時は照明の需要が増えると考えた。さらに冬では、雪やみぞれといった体感温度が下がる場合はエアコンの需要が高まると考え、加工せずに扱う。また、総電力需要予測モデルの結果を学校個別の電力需要予測にも適用した。

$$\text{夏 : temp}(T_0) = \begin{cases} T - T_0 & (T > T_0) \\ 0 & (T \leq T_0) \end{cases} \quad (2-5)$$

$$\text{冬 : temp}(T_0) = \begin{cases} 0 & (T > T_0) \\ T - T_0 & (T \leq T_0) \end{cases} \quad (2-6)$$

temp(T_0) : 気温変数 T : 気温[°C] T_0 : 閾値として設定した気温

「イベント（祝日、学校行事など）に関する変数」を、より予測精度を向上させるために加えた。「イベント（祝日、学校行事など）に関する変数」は、祝日をダミーとして含めた。学校個別での電力需要予測では、学校行事の影響があると仮定して、各学校行事のダミー変数をモデルに組み込んだ。

夜間使用が少ないことを考慮するため 30 分単位のモデルでの気象に関する変数・イベントに関する変数は、夜間（21：00 以降 7：00 以前）を除いた 7：00～21：00 のみ加えるようにした。

2.2.3. モデル評価方法

モデル評価指標である、「補正決定係数」「AIC（赤池情報量基準）」「MAPE（平均絶対誤差率）」について説明する。

実測値に対する説明力を表す指標として「決定係数」があるが、決定係数は説明変数の数が増えるほど 1 に近づくという性質を持っているため、無駄な説明変数を加えた場合でも高く評価してしまうことがある。それを補正したのものが「補正決定係数」である。決定係数・補正決定係数は式（2-7）と式（2-8）で表される。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(\hat{y}_t - y_t)^2}{\sum(\hat{y}_t - \bar{y}_t)^2} \quad (2-7)$$

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{T - 1}{T - n} \quad (2-8)$$

\hat{y}_t : 予測値 y_t : 実測値 \bar{y}_t : 実測値平均 T : 自由度 n : 観測数

「赤池情報量基準（AIC）」は未知のデータに対する予測誤差が小さくなるモデルを選択できる指標であり、モデルの予測力を測るのに有用である。AIC は式（2-9）で定義される。第 1 項はモデルのデータへの適合度であり、第 2 項がパラメータを加えたことによるペナルティである。説明変数の数を増やすことによる過適合の問題を避けるため、パラメータの数を増やすとペナルティが加わるような仕組みになっている。AIC が最も小さいモデルを

選択すると、良いモデルを選択することができる。本研究では、回帰モデルの係数を利用して計算された対数尤度関数を用いて AIC を計算している。対数尤度関数は式 (2-10) で算出する [34]。

$$AIC = -2 \ln L + 2k \quad (2-9)$$

$$L = -\frac{T}{2} \left(1 + \log 2\pi + \log \frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{T} \right) \quad (2-10)$$

L : 対数尤度関数

MAPE (平均絶対誤差率) は実際の値とモデルで説明あるいは予測される値とのずれの大きさを絶対誤差のパーセントで表すものである。MAPE は式 (2-11) で定義される。

$$MAPE = \sum |(\hat{y}_t - y_t)/y_t| \times \frac{1}{n} \times 100 \quad (2-11)$$

\hat{y}_t : 予測値 y_t : 実測値 n : 観測数

2.3. 予測方法と予測精度の評価方法

予測は、2.2 節で作成したモデルのうち、一番予測に適すると判断したモデルによって行う。データをモデル作成用データと精度検証用データで分け、モデル作成用データによって改めてモデルの係数値を推定し、精度検証用データとモデルの予測値を比較することで予測の精度を検証する。

総電力需要の予測に関しては、実際に電力需要を予測することを考え、直前まで実測値が分かっている場合、1 日前まで実測値が分かっている場合、2 日前まで実測値が分かっている場合の 3 通りの条件で予測し、予測精度を比較した。学校個別での予測に関しては、直前まで実測値が分かっている場合と 1 日前まで実測値が分かっている場合の予測精度を比較した。

30 分値の予測に関しては、2.2.3 項で述べた MAPE と、予測値と実測値の差分を実測値で割った誤差率を用いて、実測値とのずれを考察することで予測精度の評価を行う。電力ピーク量に関しては、1 日前までの実測値がわかっているという条件のもと、30 分単位で予測する場合と 1 日単位で予測する場合、どちらがより適しているか、ピーク量の MAPE を比較することで評価を行う。

誤差率・MAPE とともに祝日は除外して算出するものとする。

第3章 地域の総電力需要の予測

3.1. 東京都23区を対象にした総電力需要予測モデルの構築

3.1.1. モデル構築に用いたデータ

電力需要データは、主に小学校・中学校を対象に廃棄物発電によって電力供給を行う都内の企業の協力のもと、取得した。気象データは、気象庁のホームページから取得した [35]。

電力需要データは、東京都23区内の小学校・中学校合わせて345校の電力需要の合計値であり、単位は[kWh]である。期間は2015年4月1日0:00～2016年3月31日23:30の30分値で、17,568データである。気象データは、気温[°C]、容積絶対湿度（以下湿度）[g/m³]、平均風速・最大風速[m/s]、天気[-]である。容積絶対湿度は相対湿度と気温から(3-1)～(3-3)の式で計算した。期間は電力需要データと同様、2015年4月1日0:00～2016年3月31日23:30の30分値で、各17,568データである。

$$E = 6.11 \times 10^{\frac{(7.5 \times T)}{(273.3 + T)}} \quad (3-1)$$

$$E_p = \frac{E \times RH}{100} \quad (3-2)$$

$$e = \frac{217 \times E_p}{T + 273.3} \quad (3-3)$$

T : 気温[°C] E : 飽和水蒸気圧[hPa] E_p : 測定空気の水蒸気圧[hPa]

e : 容積絶対湿度[g/m³]

夏学期のデータは2015年4月6日0:00～2015年7月20日23:30、2015年8月25日0:00～2015年9月30日23:30の4,944データ、冬学期のデータは2015年10月1日0:00～2015年12月18日23:30、2016年1月11日0:00～2016年3月25日23:30の5,376データである。

3.1.2. データ検定結果およびモデル構築結果

作成したモデルの概要を表 3-1 に示す。

表 3-1. 作成した総電力需要予測モデルの概要

モデルNo.	期間	変数の種類						備考
011	夏	時系列 変数	祝日 ダミー					
012	夏	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数			気温変数は20~30°Cから 最適閾値を選択	
013	夏	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数	風速	湿度	天気 (ダミー)	気温変数は012と同じ閾値を用いる 風速は最大・平均から最適な方を選択
021	冬	時系列 変数	祝日 ダミー					
022	冬	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数			気温変数は10~20°Cから 最適閾値を選択	
023	冬	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数	風速	湿度	天気 (ダミー)	気温変数は022と同じ閾値を用いる 風速は最大・平均から最適な方を選択

ADF 検定結果を表 3-2 と表 3-3 に示す。夏学期モデル・冬学期モデルの変数すべて、単位根過程であるという帰無仮説はすべて棄却されたため、すべて原系列のままモデルを作成した。

表 3-2. 総電力需要予測モデル（夏学期）における各データの ADF 検定結果

変数名	説明	t-Statistic	Prob.*
power	電力需要データ（期間：夏）	-4.160	0.001
temp(20)	気温（閾値：20°C）	-5.754	0.000
temp(21)	気温（閾値：21°C）	-6.041	0.000
temp(22)	気温（閾値：22°C）	-6.226	0.000
temp(23)	気温（閾値：23°C）	-6.311	0.000
temp(24)	気温（閾値：24°C）	-6.368	0.000
temp(25)	気温（閾値：25°C）	-6.834	0.000
temp(26)	気温（閾値：26°C）	-14.592	0.000
temp(27)	気温（閾値：27°C）	-15.338	0.000
temp(28)	気温（閾値：28°C）	-15.446	0.000
temp(29)	気温（閾値：29°C）	-7.282	0.000
temp(30)	気温（閾値：30°C）	-13.312	0.000
humid	湿度	-10.864	0.000
wind_ave	平均風速	-10.933	0.000
wind_max	最大風速	-10.545	0.000

表 3-3. 総電力需要予測モデル（冬学期）における各データの ADF 検定結果

変数名	説明	t-Statistic	Prob.*
power	電力需要データ（期間：冬）	-7.388	0.000
temp(10)	気温（閾値：10°C）	-7.830	0.000
temp(11)	気温（閾値：11°C）	-7.527	0.000
temp(12)	気温（閾値：12°C）	-7.499	0.000
temp(13)	気温（閾値：13°C）	-7.484	0.000
temp(14)	気温（閾値：14°C）	-7.502	0.000
temp(15)	気温（閾値：15°C）	-7.550	0.000
temp(16)	気温（閾値：16°C）	-7.633	0.000
temp(17)	気温（閾値：17°C）	-7.734	0.000
temp(18)	気温（閾値：18°C）	-7.879	0.000
temp(19)	気温（閾値：19°C）	-8.086	0.000
temp(20)	気温（閾値：20°C）	-8.357	0.000
humid	湿度	-8.871	0.000
wind_ave	平均風速	-13.356	0.000
wind_max	最大風速	-13.254	0.000

電力需要データの自己関数と偏自己関数を図 3-1 に、選ばれた回数に対してモデルを作成した結果を表 3-4 と表 3-5 に示す。t 値・P 値によって有意かつ被説明変数に与える影響が大きい回数に絞り込んだ。式 (3-4) にモデル 011・モデル 021 を示す。

$$\begin{aligned} \text{power} = & \phi_1 \text{power}(-1) + \phi_2 \text{power}(-2) + \phi_{48} \text{power}(-48) + \phi_{49} \text{power}(-49) \\ & + \phi_{50} \text{power}(-50) + \phi_{240} \text{power}(-240) + \phi_{241} \text{power}(-241) \\ & + \phi_{242} \text{power}(-242) + A_{\text{hol}} \text{Dum}_{\text{hol}} + C \quad (3-4) \end{aligned}$$

power：総電力需要 power (-k)：時系列変数 (k：期)

Dum_{hol}：祝日ダミー C：定数

ϕ_k ：時系列変数の係数 A_{hol}：祝日ダミーの係数

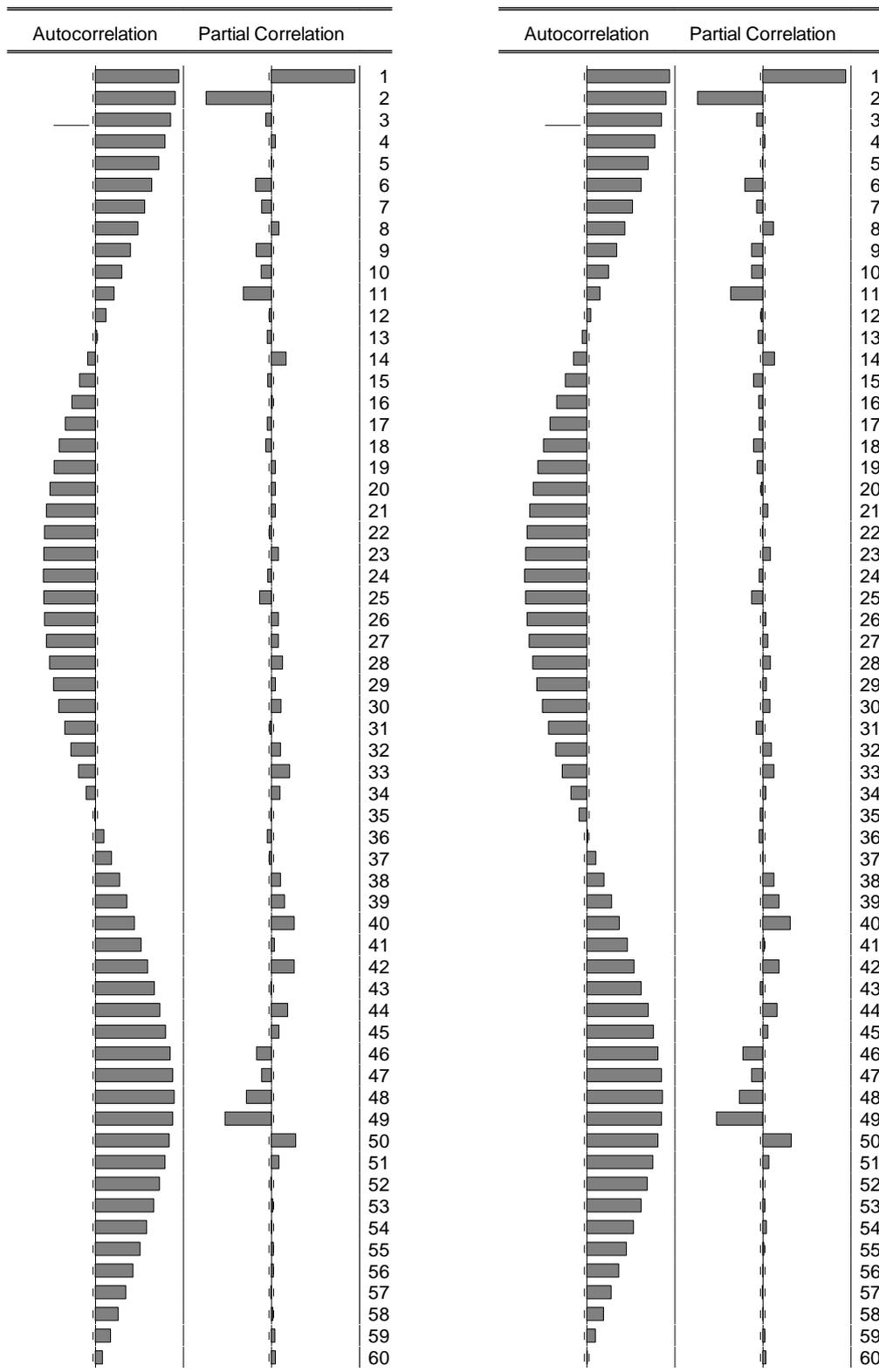


図 3-1. 総電力需要データの自己相関・偏自己相関関数 (左：夏学期、右：冬学期)

表 3-4. 総電力需要データ（夏学期）を対象にした時系列変数の t 値・P 値

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	40.0	9.091	4.40	0.00
POWER(-1)	1.508	0.013	115.33	0.00
POWER(-2)	-0.489	0.019	-26.14	0.00
POWER(-3)	-0.051	0.017	-3.05	0.00
POWER(-4)	-0.019	0.014	-1.37	0.17
POWER(-6)	0.102	0.014	7.39	0.00
POWER(-7)	-0.138	0.017	-8.23	0.00
POWER(-8)	0.089	0.017	5.31	0.00
POWER(-9)	-0.081	0.017	-4.79	0.00
POWER(-10)	0.138	0.018	7.88	0.00
POWER(-11)	-0.095	0.012	-7.74	0.00
POWER(-14)	0.010	0.005	1.97	0.05
POWER(-18)	-0.003	0.011	-0.26	0.79
POWER(-19)	-0.010	0.017	-0.60	0.55
POWER(-20)	0.006	0.017	0.35	0.73
POWER(-21)	0.008	0.013	0.63	0.53
POWER(-23)	0.003	0.010	0.31	0.76
POWER(-25)	-0.021	0.013	-1.57	0.12
POWER(-26)	0.015	0.016	0.91	0.36
POWER(-27)	0.000	0.017	0.03	0.98
POWER(-28)	-0.018	0.016	-1.08	0.28
POWER(-29)	0.030	0.012	2.50	0.01
POWER(-32)	-0.045	0.012	-3.68	0.00
POWER(-33)	0.014	0.016	0.84	0.40
POWER(-34)	0.024	0.010	2.29	0.02
POWER(-38)	0.020	0.011	1.81	0.07
POWER(-39)	-0.058	0.017	-3.50	0.00
POWER(-40)	0.022	0.013	1.67	0.09
POWER(-42)	0.027	0.010	2.79	0.01
POWER(-44)	-0.065	0.013	-4.83	0.00
POWER(-45)	0.101	0.017	5.98	0.00
POWER(-46)	-0.063	0.017	-3.68	0.00
POWER(-47)	0.042	0.016	2.58	0.01
POWER(-48)	0.734	0.017	43.06	0.00
POWER(-49)	-1.151	0.019	-60.70	0.00
POWER(-50)	0.404	0.013	30.89	0.00

表 3-5. 総電力需要データ（冬学期）を対象にした時系列変数の t 値・P 値

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	101.3	13.032	7.78	0.00
POWER(-1)	1.550	0.012	126.99	0.00
POWER(-2)	-0.518	0.018	-28.93	0.00
POWER(-3)	-0.072	0.012	-6.10	0.00
POWER(-6)	0.089	0.012	7.24	0.00
POWER(-7)	-0.134	0.017	-8.10	0.00
POWER(-8)	0.087	0.016	5.44	0.00
POWER(-9)	-0.116	0.016	-7.08	0.00
POWER(-10)	0.182	0.016	11.18	0.00
POWER(-11)	-0.075	0.013	-5.68	0.00
POWER(-13)	-0.072	0.013	-5.78	0.00
POWER(-14)	0.046	0.016	2.90	0.00
POWER(-15)	0.011	0.012	0.90	0.37
POWER(-18)	-0.015	0.012	-1.23	0.22
POWER(-19)	0.015	0.014	1.08	0.28
POWER(-21)	-0.015	0.010	-1.58	0.11
POWER(-23)	0.007	0.010	0.77	0.44
POWER(-25)	-0.002	0.009	-0.19	0.85
POWER(-27)	0.010	0.013	0.79	0.43
POWER(-28)	-0.025	0.013	-1.88	0.06
POWER(-30)	0.040	0.013	3.21	0.00
POWER(-31)	-0.012	0.016	-0.75	0.46
POWER(-32)	-0.053	0.015	-3.42	0.00
POWER(-33)	0.040	0.010	4.13	0.00
POWER(-38)	0.021	0.010	2.14	0.03
POWER(-39)	-0.065	0.016	-4.08	0.00
POWER(-40)	0.033	0.013	2.48	0.01
POWER(-42)	0.014	0.010	1.48	0.14
POWER(-44)	-0.055	0.013	-4.29	0.00
POWER(-45)	0.111	0.016	6.80	0.00
POWER(-46)	-0.072	0.017	-4.38	0.00
POWER(-47)	0.028	0.015	1.83	0.07
POWER(-48)	0.729	0.016	44.65	0.00
POWER(-49)	-1.165	0.018	-63.40	0.00
POWER(-50)	0.431	0.012	35.04	0.00

気温変数の閾値を各値に設定した場合の補正決定係数・AIC を表 3-6 と表 3-7 に示す。結果から総合的に判断し、夏学期モデルにおける気温変数の閾値は 20°C、冬学期モデルにおける気温変数の閾値は 10°C に設定した。式 (3-5) にモデル 012・モデル 022 を示す。

$$\begin{aligned} \text{power} = & \phi_1 \text{power}(-1) + \phi_2 \text{power}(-2) + \phi_{48} \text{power}(-48) + \phi_{49} \text{power}(-49) \\ & + \phi_{50} \text{power}(-50) + \phi_{240} \text{power}(-240) + \phi_{241} \text{power}(-241) \\ & + \phi_{242} \text{power}(-242) + b \text{temp}(T) + a_{\text{hol}} \text{Dum}_{\text{hol}} + C \quad (3-5) \end{aligned}$$

power : 総電力需要 power (-k) : 時系列変数 (k : 期)

Dum_{hol} : 祝日ダミー C : 定数 temp(T) : 気温変数

ϕ_k : 時系列変数の係数 a_{hol} : 祝日ダミーの係数 b : 気温変数の係数

表 3-6. 各閾値に設定した場合のモデル 012 の補正決定係数・AIC

気温変数の閾値	Adjusted R-squared	Akaike info criterion
20°C	0.997729	12.6679
21°C	0.997729	12.6680
22°C	0.997728	12.6683
23°C	0.997727	12.6686
24°C	0.997727	12.6689
25°C	0.997726	12.6692
26°C	0.997726	12.6693
27°C	0.997725	12.6695
28°C	0.997725	12.6696
29°C	0.997725	12.6696
30°C	0.997725	12.6696

表 3-7. 各閾値に設定した場合のモデル 022 の補正決定係数・AIC

気温変数の閾値	Adjusted R-squared	Akaike info criterion
10°C	0.997624	12.8968
11°C	0.997624	12.8972
12°C	0.997623	12.8974
13°C	0.997623	12.8976
14°C	0.997622	12.8977
15°C	0.997622	12.8978
16°C	0.997622	12.8979
17°C	0.997622	12.8979
18°C	0.997622	12.8979
19°C	0.997622	12.8979
20°C	0.997622	12.8978

時系列変数・気温変数に加え、風速・湿度・天気を加えた。最大風速と平均風速をそれぞれ加えたモデルの補正決定係数・AIC を表 3-8 と表 3-9 に示す。結果から、夏学期モデルでは平均風速を加えたモデルを、冬学期モデルでは最大風速を加えたモデルを選択した。式 (3-6) にモデル 013、式 (3-7) にモデル 023 を示す。

$$\begin{aligned} \text{power} = & \phi_1 \text{power}(-1) + \phi_2 \text{power}(-2) + \phi_{48} \text{power}(-48) + \phi_{49} \text{power}(-49) \\ & + \phi_{50} \text{power}(-50) + \phi_{240} \text{power}(-240) + \phi_{241} \text{power}(-241) \\ & + \phi_{242} \text{power}(-242) + b \text{ temp}(T) + d \text{ humid} + e \text{ wind}_{\text{ave}} + f \text{ Dum}_{\text{rain}} \\ & + g \text{ Dum}_{\text{cloud}} + a \text{ Dum}_{\text{hol}} + C \quad (3-6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{power} = & \phi_1 \text{power}(-1) + \phi_2 \text{power}(-2) + \phi_{48} \text{power}(-48) + \phi_{49} \text{power}(-49) \\ & + \phi_{50} \text{power}(-50) + \phi_{240} \text{power}(-240) + \phi_{241} \text{power}(-241) \\ & + \phi_{242} \text{power}(-242) + b \text{ temp}(T) + d \text{ humid} + e \text{ wind}_{\text{ave}} + f \text{ Dum}_{\text{rain}} \\ & + g \text{ Dum}_{\text{cloud}} + h \text{ Dum}_{\text{sleet}} + a \text{ Dum}_{\text{hol}} + C \quad (3-7) \end{aligned}$$

power : 総電力需要 power (-k) : 時系列変数 (k : 期)

Dum_{hol} : 祝日ダミー temp(T) : 気温変数 humid : 湿度 wind_{ave} : 平均風速

Dum_{rain} : 雨ダミー Dum_{cloud} : 曇りダミー Dum_{sleet} : 霽ダミー
時系列変数の係数 a ~ h : 係数 C : 定数

表 3-8. 平均風速・最大風速にした場合のモデル 012 の補正決定係数・AIC

風速の種類	Adjusted R-squared	Akaike info criterion
平均風速	0.997729	12.6688
最大風速	0.997729	12.6689

表 3-9. 平均風速・最大風速にした場合のモデル 022 の補正決定係数・AIC

風速の種類	Adjusted R-squared	Akaike info criterion
平均風速	0.997688	12.8712
最大風速	0.997688	12.8710

夏学期モデル・冬学期モデルの推定結果を表 3-10 と表 3-11 に示す。

夏学期モデルについては、気温変数のみのモデルでは気温が上がれば上がるほど電力需要が大きくなるという結果になったが、湿度や風速、天気といったほかの気象変数を加えると気温変数は有意とならなかった。代わりに湿度が有意な変数となり、湿度が上がれば上がるほど電力需要が上がるという結果になった。

冬学期モデルは、気温変数が有意になり、気温が下がれば下がるほど電力需要は大きくなるという結果となった。また、気象変数を全て加えたモデルの結果から、最大風速、雨ダミー、みぞれダミーは有意という結果になり、みぞれダミーの t 値は他の変数と比べてかなり大きくなった。

表 3-10. 総電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル011		モデル012		モデル013	
		Coefficient	t-Statistic Prob.	Coefficient	t-Statistic Prob.	Coefficient	t-Statistic Prob.
C	定数	10.602	2.756 ***	13.935	3.463 ***	14.170	3.407 ***
POWER(-1)	時系列変数	1.558	131.058 ***	1.556	130.918 ***	1.555	130.319 ***
POWER(-2)		-0.587	-49.593 ***	-0.588	-49.648 ***	-0.587	-49.391 ***
POWER(-48)		0.568	52.613 ***	0.567	52.518 ***	0.567	52.473 ***
POWER(-49)		-0.831	-40.864 ***	-0.830	-40.808 ***	-0.830	-40.794 ***
POWER(-50)		0.282	21.764 ***	0.281	21.703 ***	0.281	21.683 ***
POWER(-240)		0.374	34.500 ***	0.374	34.521 ***	0.373	34.429 ***
POWER(-241)		-0.624	-30.920 ***	-0.623	-30.914 ***	-0.623	-30.899 ***
POWER(-242)		0.259	22.465 ***	0.259	22.451 ***	0.258	22.436 ***
DUM_HOL	祝日ダミー	-75.783	-5.789 ***	-85.207	-6.311 ***	-88.961	-6.438 ***
TEMP20	気温変数(閾値：20°C)	-	-	2.851	2.810 ***	2.088	1.609
HUMID	湿度	-	-	-	-	1.483	1.926 *
WIND_AVE	平均風速	-	-	-	-	-0.583	-0.400
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-	-	-	-2.252	-0.319
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-	-	-	-8.923	-0.909

表 3-11. 総電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル021		モデル022		モデル023	
		Coefficient	t-Statistic Prob.	Coefficient	t-Statistic Prob.	Coefficient	t-Statistic Prob.
C	定数	12.073	3.115 ***	11.990	3.099 ***	11.080	2.858 ***
POWER(-1)	時系列変数	1.593	145.360 ***	1.589	144.526 ***	1.554	138.402 ***
POWER(-2)		-0.623	-57.037 ***	-0.621	-56.911 ***	-0.590	-53.108 ***
POWER(-48)		0.399	34.386 ***	0.397	34.228 ***	0.394	34.365 ***
POWER(-49)		-0.607	-28.972 ***	-0.604	-28.878 ***	-0.589	-28.452 ***
POWER(-50)		0.221	17.718 ***	0.221	17.736 ***	0.209	16.962 ***
POWER(-240)		0.536	46.294 ***	0.535	46.255 ***	0.537	46.999 ***
POWER(-241)		-0.871	-40.648 ***	-0.869	-40.581 ***	-0.851	-40.205 ***
POWER(-242)		0.349	27.076 ***	0.349	27.097 ***	0.331	25.835 ***
DUM_HOL	祝日ダミー	-99.964	-6.571 ***	-108.981	-7.099 ***	-128.691	-8.168 ***
TEMP10	気温変数(閾値：10°C)	-	-	-5.269	-4.061 ***	-2.664	-1.927 *
HUMID	湿度	-	-	-	-	0.599	0.667
WIND_MAX	最大風速	-	-	-	-	1.852	1.979 **
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-	-	-	6.550	1.022
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-	-	-	25.736	2.589 ***
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	-	-	-	-	637.608	11.334 ***

夏学期モデルと冬学期モデルの決定係数・補正決定係数・AIC・MAPE を比較した結果を図 3-2～図 3-5 に示す。

夏学期モデルに関しては、補正決定係数は気温のみを加えたモデルとすべての気象変数を加えたモデルはほとんど変わらない結果となった。AIC に関しては、時系列変数と気温変数のモデルが予測に最も適するという結果となった。

冬学期モデルに関しては、補正決定係数・AIC どちらも、全ての気象変数を加えたモデルが最も良い結果となった。

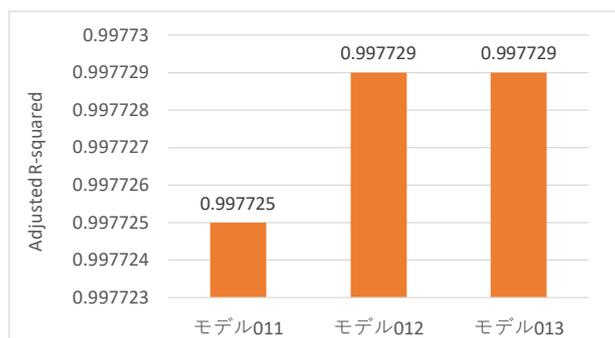


図 3-2. 総電力需要予測夏学期モデルの補正決定係数を比較した結果

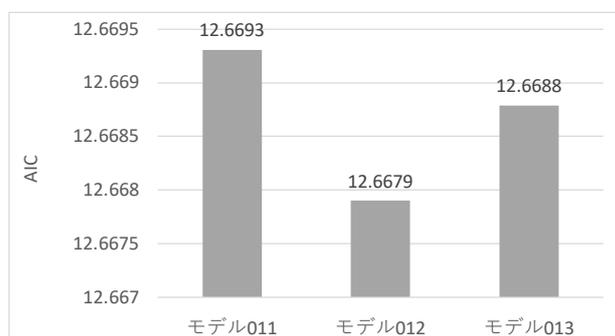


図 3-3. 総電力需要予測夏学期モデルの AIC を比較した結果

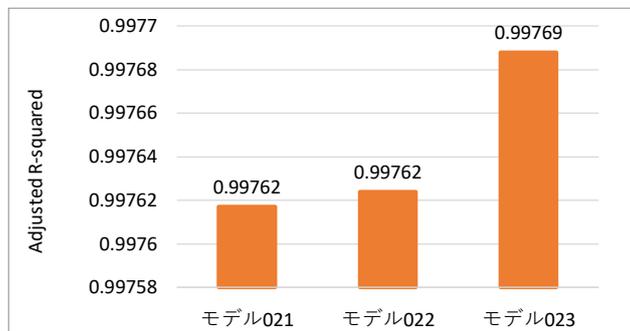


図 3-4. 総電力需要予測冬学期モデルの補正決定係数を比較した結果

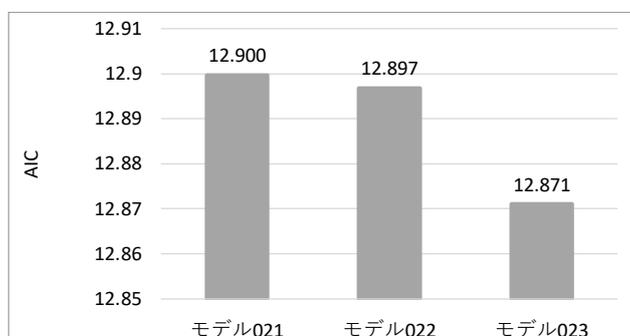


図 3-5. 総電力需要予測冬学期モデルの AIC を比較した結果

3.1.3. 考察

各変数について考察する。夏学期について、気温が高いほど、もしくは湿気が高いほどエアコンの電力需要が増えるという結果と、他の気象変数が有意にならず気温もしくは湿度のみが有意になった結果から、夏は気温・湿度が大きな影響を与えていることがわかる。冬学期について、気温が低いほど電力需要が増える結果から、夏学期と同様に気温が電力需要に影響を与えていることがわかる。夏学期と違い、風速やみぞれが有意になり、みぞれについてはt値が他の変数と比べかなり大きくなったことから、風の強さや天気といった気温以外の気象も、電力需要に大きい影響を与えていることがわかる。これらの気象変数は主にエアコン需要の変動を説明すると考えると、夏は気温・湿気によって体感する暑さが変わるが、冬は気温のみならず風の強さや天気が体感する寒さが変わると考えられる。

モデルを比較した結果について考察する。夏学期は、補正決定係数では気温のみを含めたモデルとすべての気象条件を考慮したモデルの両方、AIC では気温のみ含めたモデルが最も良いという結果から、気温が需要に影響すると言える。冬学期は、補正決定係数も AIC もすべての気象条件を考慮したモデルが最も良いという結果から、気温のみならずすべての気象条件が需要に影響すると言える。しかし、気象変数の t 値が時系列変数に比べて小さいという結果から、学校の総電力需要を説明するのに時系列変数、つまり過去の値だけで充分であるとも考えられる。この結果の理由として、対象が総電力需要であるために需要の変化が平準化されてしまい気象による影響が大きく表れなかったこと、もしくは学校の電力需要の 8 割が照明のためにそもそも学校の電力需要には気象が大きく影響しないことが示唆される。

本研究では、AIC によってモデルを評価するため、夏学期は気温のみ含めたモデル、冬学期はすべての気象条件を考慮したモデルを用いて予測を行う。

3.2. モデルを用いた予測精度の検証

3.2.1. 予測に用いたデータ

3.1 節の結果から、予測に一番適すると判断したモデル（夏学期モデル：モデル 012、冬学期モデル：モデル 023）について、予測精度を検証した。用いたデータは 3.1.1 項と同じものである。

夏学期は 2015 年 4 月 6 日 0 : 00 ~ 2015 年 7 月 20 日 23 : 30、2015 年 8 月 25 日 0 : 00 ~ 2015 年 8 月 31 日 23 : 30 のデータを学習用データとして、冬学期は 2015 年 10 月 1 日 0 : 00 ~ 2015 年 12 月 18 日、2016 年 1 月 11 日 ~ 2016 年 2 月 22 日 23 : 30 のデータを学習用データとして改めて変数の係数値を推定し、2015 年 9 月 1 日 0 : 00 ~ 2015 年 9 月 30 日 23 : 30 のデータと、2015 年 2 月 23 日 0 : 00 ~ 2016 年 3 月 25 日 23 : 30 のデータに関して予測精度を検証した。

3.2.2. 予測結果

モデルの推定結果と補正決定係数・AIC を表 3-12 に示す。

表 3-12. 総電力需要予測モデル（予測精度検証用）の推定結果
（左：夏学期、右：冬学期）

変数名	説明	夏学期モデル	変数名	説明	冬学期モデル
C	定数	14.016 ***	C	定数	11.527 ***
POWER(-1)	時系列変数	1.562 ***	POWER(-1)	時系列変数	1.561 ***
POWER(-2)		-0.595 ***	POWER(-2)		-0.595 ***
POWER(-48)		0.529 ***	POWER(-48)		0.389 ***
POWER(-49)		-0.777 ***	POWER(-49)		-0.603 ***
POWER(-50)		0.266 ***	POWER(-50)		0.227 ***
POWER(-240)		0.407 ***	POWER(-240)		0.559 ***
POWER(-241)		-0.675 ***	POWER(-241)		-0.872 ***
POWER(-242)		0.278 ***	POWER(-242)		0.330 ***
DUM_HOL	祝日ダミー	-94.117 ***	DUM_HOL	祝日ダミー	-120.522 ***
TEMP20	気温変数(閾値：20°C)	2.767 **	TEMP10	気温変数(閾値：10°C)	-2.008
Adjusted R-squared		0.997857	HUMID	湿度	0.109
Akaike info criterion		12.583	WIND_MAX	最大風速	2.302 **
			DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	9.117
			DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	36.024 ***
			DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	629.143 ***
			Adjusted R-squared		0.997688
			Akaike info criterion		12.871

このモデルを用いて、3通りの予測条件のもと予測したときの MAPE を比較した結果を図 3-6 図 3-7 に示す。直前値を用いた場合は 2%前後、1 日前までの実測値が分かっている場合は 10%前後、2 日前までの実測値が分かっている場合は 20%強となった。

誤差率のヒストグラムを図 3-8 図 3-9、5%範囲内・15%範囲内であった割合を比較した結果を表 3-13 表 3-14 に示す。直前までの実測値が分かっている場合、9 割が 5%範囲内に収まった。1 日前までの実測値が分かっている場合、夏学期・冬学期ともに、8 割前後が誤差率 15%範囲内に収まった。冬学期に関しては予測値の方が大きくなる傾向が見られた。2 日前までの実測値が分かっている場合は、15%範囲内に収まる予測が半数にも満たなかった。

予測値と実測値を並べた図を図 3-10 に示す。夏学期に関しては、9 月はじめ・おわりが予測と実測のずれが大きい。冬学期に関しては、中盤からおわりにかけてずれが大きい傾向がある。また、夏学期・冬学期に共通する特徴として、水曜日の午後が他の曜日に比べてずれが大きくなっていることがわかった。

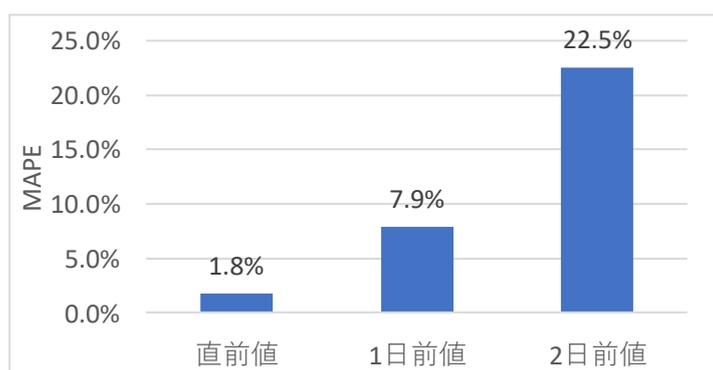


図 3-6. 総電力需要夏学期モデルによる予測の MAPE の比較

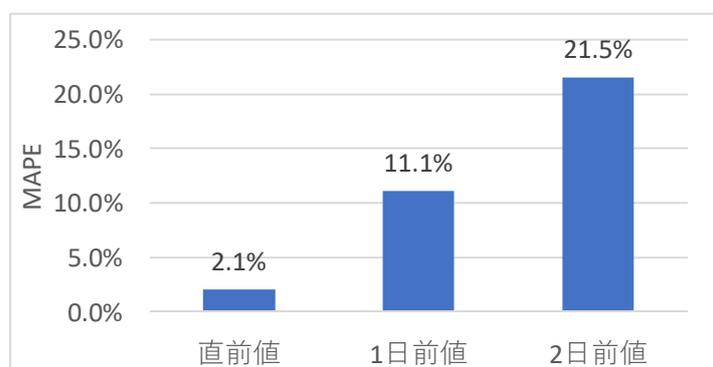


図 3-7. 総電力需要冬学期モデルによる予測の MAPE の比較

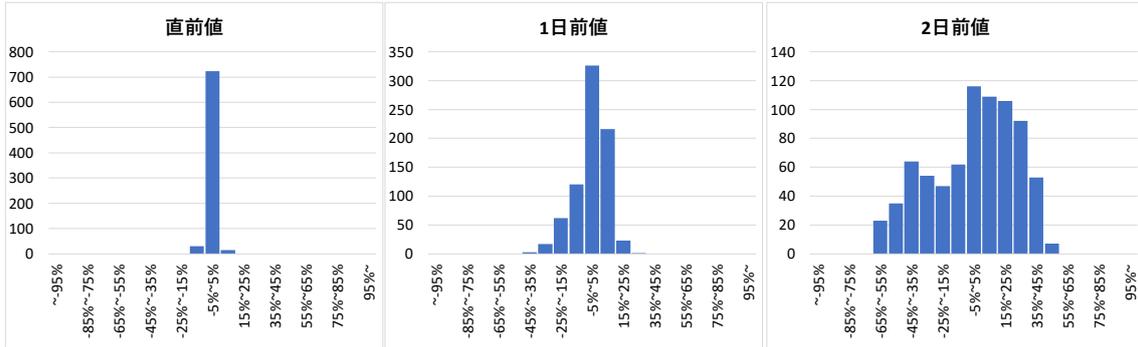


図 3-8. 総電力需要夏学期モデルによる予測の誤差率ヒストグラム

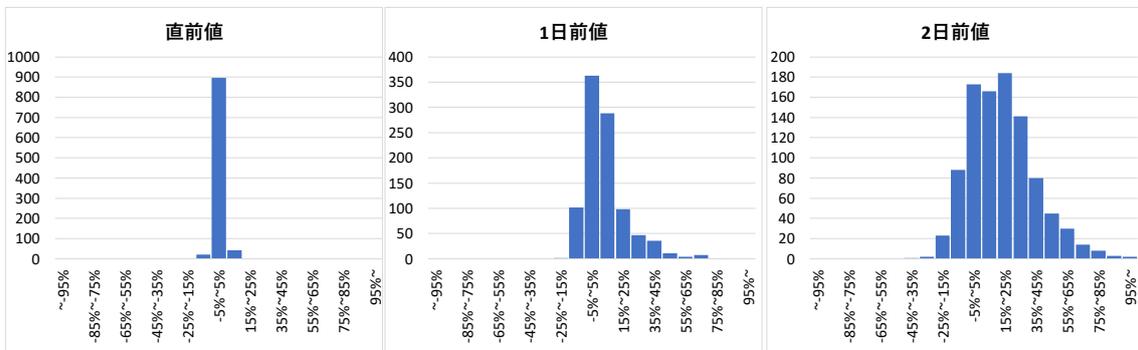


図 3-9. 総電力需要冬学期モデルによる予測の誤差率ヒストグラム

表 3-13. 総電力需要夏学期モデルによる予測で5%範囲内と15%範囲内であった割合

	直前値	1日前値	2日前値
5%範囲内	94%	42%	15%
15%範囲内	100%	86%	37%

表 3-14. 総電力需要冬学期モデルによる予測で5%範囲内と15%範囲内であった割合

	直前値	1日前値	2日前値
5%範囲内	93%	38%	18%
15%範囲内	100%	78%	44%

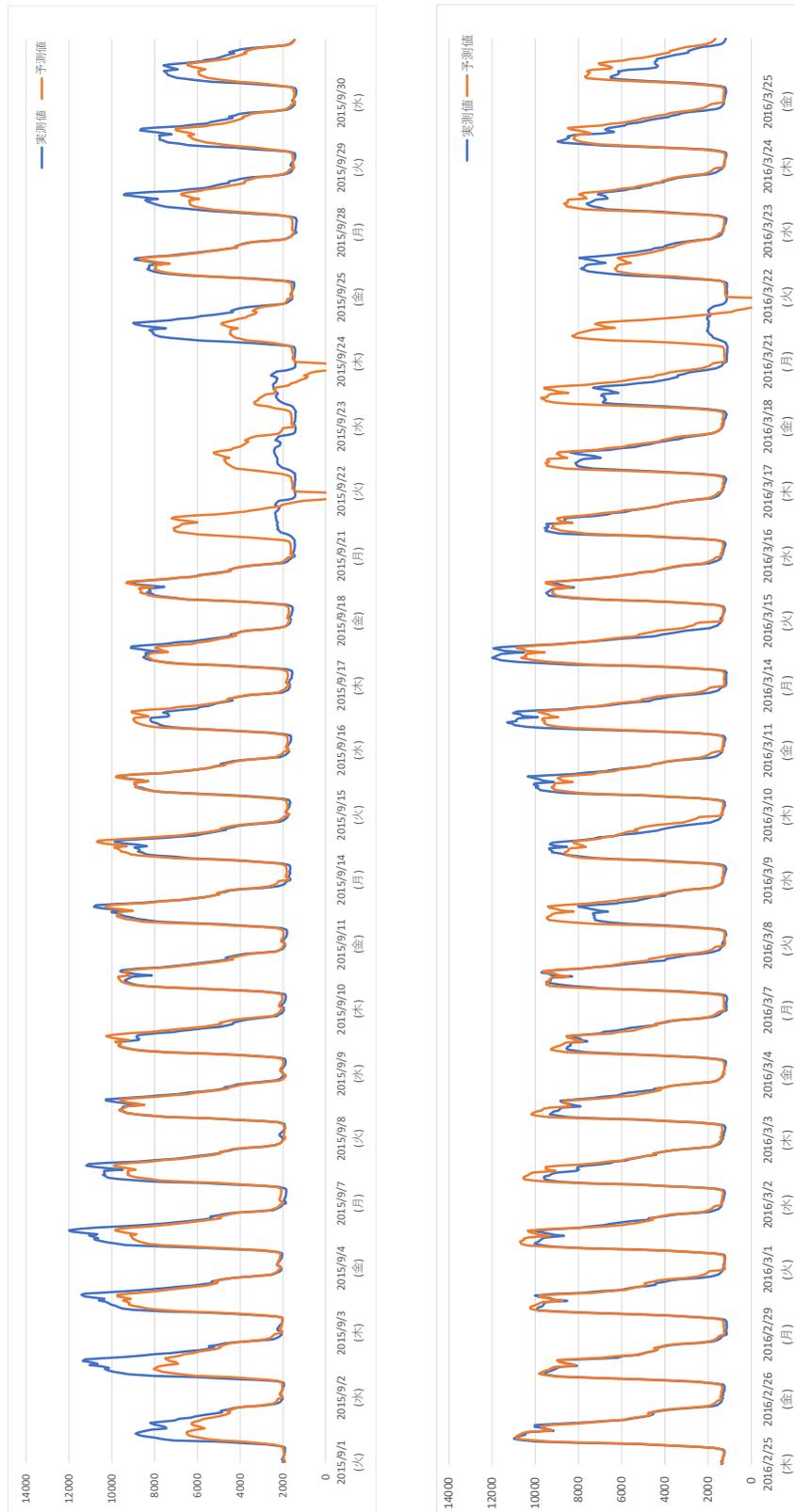


図 3-10. 総電力需要予測の予測値と実測値の比較
(左：夏学期 右：冬学期)

3.2.3. 考察

夏学期・冬学期ともに、直前までの実測値がある場合は MAPE が 2%前後で誤差率 15% 範囲内が 100%、1 日前までの実測値がある場合は MAPE が 10%前後で誤差率 15% 範囲内が 80%前後となった。2 日前の実測値がある場合、つまり 2 日先の予測に関しては MAPE が 20%を超え、誤差率 15%範囲内が半数を切る結果となった。以上のことから、2 日先の予測は難しいが、直前・1 日先の予測には精度が十分であると考えられる。

需要のずれは正の方に偏っていることから、需要が少なく予測されてしまい供給電力を別のところから買うという問題も回避される。これらのことから、本モデルは実際の電力需要予測に利用できる可能性が高い。

1 日先予測に関して、夏学期については 50%を超える大きな誤差がなく、実測値と予測値を比べてみても、夏休み明けの数日と連休明けの数日を除いては予測と実測が一致することが多い。午後の予測のずれが大きい日は水曜である傾向が見られ、職員会議といった学校の授業日程の影響であると考えられる。冬学期については 50%を超える大きな誤差は、実測値と予測値を比較した結果と照らし合わせてみると 3 月の中旬～後半に偏っていることが分かる。このことから、大きな誤差は 3 月終わりの変則的な授業日程の影響、もしくは気温が高くなってきたことでエアコンの需要が急激に減ったことが原因であることが示唆される。

第4章 学校個別での電力需要の予測

4.1. 足立区6校を対象にした学校個別の電力需要予測モデルの構築

4.1.1. モデル構築に用いたデータ

本モデルは東京都足立区内のA小学校とB小学校、C小学校、D中学校、E中学校、F中学校を対象に作成した。各学校の電力需要データと年間行事等のスケジュールは、足立区の自治体と各学校、電機メーカーの協力のもと取得した。気象データは、気象庁のホームページから取得した [35]。

電力需要データは、6校の各学校の電力需要であり、単位は[kWh]である。期間は2016年4月1日0:00~2017年3月31日23:30の30分値で、17,520データである。「夏学期モデル」での学習用データは、夏休みを除く2016年4月6日0:00~2016年7月20日23:30、2015年8月25日0:00~2015年9月7日23:30、「冬学期モデル」での学習用データは、冬休みを除く2015年10月10日0:00~2015年12月18日23:30、2016年1月11日0:00~2016年2月22日23:30である。

気象データは、気温[°C]、容積絶対湿度（以下湿度）[g/m³]、最大風速[m/s]、天気[-]である。容積絶対湿度は相対湿度と気温から(3-1)~(3-3)の式で計算した。期間は電力需要データと同様、2016年4月1日0:00~2017年3月31日23:30の30分値で、各17,520データである。

4.1.2. データ検定結果およびモデル構築結果

作成したモデルを表4-1に示す。また、各データに対してADF検定を行った結果を表4-2と表4-3に示す。この結果から、すべてのデータに対して単位根過程であるという帰無仮説は棄却された。よってすべてのモデルは原系列のモデルとなった。また、総電力需要予測モデルの結果から、気温変数・風速とも同様の値を採用した。

表 4-1. 作成した学校個別の電力需要予測モデルの概要

モデルNo.	期間	変数の種類						備考
X011	夏	時系列 変数	祝日 ダミー					
X013	夏	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数	湿度	平均 風速	天気 (ダミー)	気温変数の閾値：20°C
X014	夏	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数	湿度	平均 風速	天気 (ダミー) スケジュール (ダミー)	気温変数の閾値：20°C
X021	冬	時系列 変数	祝日 ダミー					
X023	冬	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数	湿度	最大 風速	天気 (ダミー)	気温変数の閾値：10°C
X024	冬	時系列 変数	祝日 ダミー	気温 変数	湿度	最大 風速	天気 (ダミー) スケジュール (ダミー)	気温変数の閾値：10°C

※X=A~F

表 4-2. 学校個別の電力需要予測夏学期モデルにおける各データの ADF 検定結果

変数名	説明	t-Statistic	Prob.*
A学校power	A学校電力需要データ (期間：夏)	-3.617	0.006
B学校power	B学校電力需要データ (期間：夏)	-4.996	0.000
C学校power	C学校電力需要データ (期間：夏)	-3.756	0.003
D学校power	D学校電力需要データ (期間：夏)	-4.100	0.001
E学校power	E学校電力需要データ (期間：夏)	-4.047	0.001
F学校power	F学校電力需要データ (期間：夏)	-3.198	0.020
temp(20)	気温 (閾値：20°C)	-8.065	0.000
humid	湿度	-11.387	0.000
wind	平均風速	-12.041	0.000

表 4-3. 学校個別の電力需要予測冬学期モデルにおける各データの ADF 検定結果

変数名	説明	t-Statistic	Prob.*
A学校power	A学校電力需要データ (期間：冬)	-6.225	0.000
B学校power	B学校電力需要データ (期間：冬)	-8.843	0.000
C学校power	C学校電力需要データ (期間：冬)	-8.362	0.000
D学校power	D学校電力需要データ (期間：冬)	-7.437	0.000
E学校power	E学校電力需要データ (期間：冬)	-6.676	0.000
F学校power	F学校電力需要データ (期間：冬)	-6.458	0.000
temp(10)	気温 (閾値：10°C)	-8.412	0.000
humid	湿度	-8.650	0.000
wind	最大風速	-12.821	0.000

モデルの推定結果を表 4-4～表 4-15 に示す。

A 小学校の夏学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 013・モデル 014 から有意になった変数は湿度、風速、曇りダミー、雨ダミーであり、湿度は大きくなると電力需要は増え、風速が大きくなると電力需要は減り、曇り・雨になると電力需要は減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 014 から創立記念日・振替休日のみ有意となり、電力需要は減る傾向となった（以上表 4-4 参照）。冬学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 023・モデル 024 から有意になった変数は気温、曇りダミー、雪ダミー、みぞれダミーであり、気温は低くなると電力需要は増え、曇り・みぞれになると電力需要は増え、雪になると減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 024 から創立記念日・振替休日、クラブ、席書会が有意となり、休みになると電力需要は減り、クラブ・席書会では増える傾向となった（以上表 4-5 参照）。

B 小学校の夏学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 013 では有意な結果とならなかったが、モデル 014 では気温、曇りダミーが有意となり、気温が高くなると電力需要は減り、曇りになると電力需要は減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 024 から創立記念日・振替休日と保護者会が有意となり、休みになると電力需要は減り、保護者会では増える傾向となった（以上表 4-6 参照）。冬学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 023・モデル 024 から有意になった変数は気温、風速、雪ダミー、みぞれダミーであり、気温は低くなると電力需要は増え、風速が大きくなると電力需要は減り、みぞれになると電力需要は増え、雪になると減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 024 から創立記念日・振替休日、午前授業、保護者会が有意となり、すべて電力需要は減る傾向となった（以上表 4-7 参照）。

C 小学校の夏学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 013 から有意になった変数は湿度、風速、雨ダミーであり、湿度は大きくなると電力需要は増え、風速が大きくなると電力需要は減り、雨になると電力需要は減る傾向となった。モデル 014 では雨ダミーのみ有意となった。イベントに関する変数は、モデル 014 から創立記念日・振替休日と午前授業が有意となり、電力需要は減る傾向となった（以上表 4-8 参照）。冬学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 023・モデル 024 から有意になった変数は気温、雨ダミー、雪ダミーであり、気温は低くなると電力需要は増え、雨になると電力需要は増え、雪になると減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 024 から創立記念日・振替休日のみ有意となり、電力需要は減る傾向となった（以上表 4-9 参照）。

D 中学校の夏学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 日前、1 週間前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 013 から有意になった変数は湿度、風速、曇りダミー、雨ダミーであり、湿度は大きくなると電力需要は増え、風速が大きくなると電力需要は減り、曇り・雨になると電力需要は減る傾向となった。モデル 014 では湿度は有意とならなかった。イベントに関する変数は、モデル 014 から中間・期末と学校公開が有意となり、中間・期末では電力需要は減り、学校公開では電力需要が増える傾向となった(以上表 4-10 参照)。冬学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 日前、1 週間前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 023 では気温、曇ダミーが有意となり、気温が低くなると電力需要が増え、みぞれになると電力需要が減る傾向となった。モデル 024 では気温、風速が有意になり、風速が大きくなると電力需要が減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 024 から創立記念日・振替休日と中間・期末が有意となり、電力需要は減る傾向となった(以上表 4-11 参照)。

E 中学校の夏学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 013・モデル 014 から有意になった変数は湿度、曇りダミー、雨ダミーであり、湿度は大きくなると電力需要は増え、曇り・雨になると電力需要は減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 014 から創立記念日・振替休日と保護者会・説明会、中間・期末が有意となり、創立記念日・振替休日と中間・期末では電力需要は減り、保護者会・説明会では電力需要が増える傾向となった(以上表 4-12 参照)。E 中学校の冬学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 日前、1 週間前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 023 では風速、みぞれダミーが有意となり、風速が大きくなると電力需要が増え、みぞれになると電力需要が減る傾向となった。モデル 024 では気温、雨ダミーが有意になり、気温が低くなると電力需要が増え、雨になると電力需要が減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 024 から中間・期末のみが有意となり、電力需要は減る傾向となった(以上表 4-13 参照)。

F 中学校の夏学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 週間前、1 日前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 013・モデル 014 から有意になった変数は湿度、曇りダミー、雨ダミーであり、湿度は大きくなると電力需要は増え、曇り・雨になると電力需要は減る傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 014 から保護者会・説明会と中間・期末が有意となり、電力需要は減る傾向となった(以上表 4-14 参照)。F 中学校の冬学期モデルの時系列変数について、30 分前、1 日前、1 週間前の順で t 値が大きい結果となった。気象変数について、モデル 023 では気温、風速、みぞれダミー、雪ダミーが有意となり、気温が低くなると電力需要が増え、風速が大きくなると電力需要が増え、みぞれになると電力需要が減り、雪になると電力需要が増える傾向となった。モデル 024 ではみぞれ・雪ダミーが有意ではなく、雨ダミーが有意となり、雨になると電力需要が増える傾向となった。イベントに関する変数は、モデル 024 から創立記念日・振替休日と式、中間・期末が有意となり、電力需要は減る傾向となった(以上表 4-15 参照)。

表 4-4. A 小学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル011			モデル012			モデル013		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	1.067	75.570 ***		1.057	74.858 ***		1.055	74.651 ***	
POWER(-2)		-0.172	-12.244 ***		-0.173	-12.272 ***		-0.175	-12.366 ***	
POWER(-48)		0.238	18.206 ***		0.238	18.270 ***		0.238	18.259 ***	
POWER(-49)		-0.183	-9.260 ***		-0.179	-9.098 ***		-0.179	-9.101 ***	
POWER(-50)		-0.008	-0.625		-0.009	-0.688		-0.008	-0.609	
POWER(-240)		0.407	30.711 ***		0.403	30.468 ***		0.403	30.456 ***	
POWER(-241)		-0.366	-17.761 ***		-0.361	-17.591 ***		-0.360	-17.561 ***	
POWER(-242)	-0.003	-0.208		-0.003	-0.190		-0.002	-0.105		
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.101	-6.069 ***		-0.096	-5.553 ***		-0.103	-5.843 ***	
CONSTANT	定数	0.015	3.437 ***		0.040	2.037 **		0.045	2.208 **	
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-	-		-0.006	-1.098		-0.008	-1.290	
HUMID	湿度	-	-		0.003	2.724 ***		0.003	2.291 **	
WIND	平均風速	-	-		-0.005	-3.536 ***		-0.005	-3.481 ***	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		-0.046	-4.882 ***		-0.047	-4.861 ***	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		-0.063	-5.403 ***		-0.062	-5.002 ***	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.092	-2.292 **	
DUM_S3	大掃除	-	-		-	-		-0.036	-1.266	
DUM_S4	特別時程	-	-		-	-		-0.013	-0.848	
DUM_S5	避難訓練	-	-		-	-		0.008	0.389	
DUM_S6	クラブ	-	-		-	-		-0.017	-0.941	
DUM_S8	委員会	-	-		-	-		0.007	0.331	
DUM_S9	学校公開	-	-		-	-		0.001	0.044	
DUM_S11	水泳指導	-	-		-	-		-0.003	-0.266	

表 4-5. A 小学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル021			モデル022			モデル023		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	1.040	74.456 ***		1.029	73.763 ***		1.026	73.462 ***	
POWER(-2)		-0.142	-10.148 ***		-0.135	-9.676 ***		-0.139	-9.891 ***	
POWER(-48)		0.232	18.237 ***		0.230	18.169 ***		0.230	18.161 ***	
POWER(-49)		-0.194	-10.094 ***		-0.190	-9.967 ***		-0.189	-9.914 ***	
POWER(-50)		0.003	0.213		0.003	0.234		0.004	0.293	
POWER(-240)		0.409	32.149 ***		0.405	31.914 ***		0.405	31.913 ***	
POWER(-241)		-0.361	-18.301 ***		-0.357	-18.187 ***		-0.356	-18.155 ***	
POWER(-242)	-0.015	-1.055		-0.009	-0.659		-0.007	-0.484		
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.102	-4.351 ***		-0.092	-3.926 ***		-0.093	-3.919 ***	
CONSTANT	定数	0.014	2.644 ***		-0.002	-0.119		-0.018	-0.856	
TEMP	気温変数(閾値: 10°C)	-	-		-0.012	-4.397 ***		-0.012	-4.513 ***	
HUMID	湿度	-	-		0.002	0.66058		0.002	1.035	
WIND	最大風速	-	-		-0.002	-1.5627		-0.002	-1.034	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		0.019	1.68239 *		0.020	1.738 *	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		-0.016	-0.9027		-0.010	-0.518	
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	-	-		0.130	2.61773 ***		0.142	2.855 ***	
DUM_SNOW	天気ダミー(雪)	-	-		-0.494	-4.5062 ***		-0.478	-4.360 ***	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.108	-2.117 **	
DUM_S2	始業式、終業式、卒業式	-	-		-	-		-0.003	-0.092	
DUM_S3	大掃除	-	-		-	-		-0.027	-0.548	
DUM_S4	特別時程	-	-		-	-		-0.001	-0.068	
DUM_S5	避難訓練	-	-		-	-		0.008	0.261	
DUM_S6	クラブ	-	-		-	-		0.059	2.600 ***	
DUM_S7	保護者会	-	-		-	-		0.040	1.379	
DUM_S8	委員会	-	-		-	-		-0.005	-0.223	
DUM_S12	教育相談	-	-		-	-		0.027	1.076	
DUM_S13	席書会	-	-		-	-		0.060	1.685 *	
DUM_S14	音楽会	-	-		-	-		0.021	0.421	

表 4-6. B 小学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル011			モデル012			モデル013		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.805	56.339 ***		0.804	56.235 ***		0.798	55.750 ***	
POWER(-2)		0.015	1.059		0.015	1.045		0.010	0.712	
POWER(-48)		0.289	23.853 ***		0.288	23.801 ***		0.289	23.888 ***	
POWER(-49)		-0.205	-12.335 ***		-0.204	-12.313 ***		-0.202	-12.202 ***	
POWER(-50)		-0.012	-0.967		-0.012	-0.937		-0.009	-0.710	
POWER(-240)		0.476	39.191 ***		0.476	39.074 ***		0.474	38.933 ***	
POWER(-241)		-0.349	-19.836 ***		-0.349	-19.815 ***		-0.347	-19.720 ***	
POWER(-242)		-0.044	-3.150 ***		-0.044	-3.153 ***		-0.042	-3.000 ***	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.229	-9.916 ***		-0.230	-9.672 ***		-0.244	-10.104 ***	
CONSTANT	定数	0.030	4.947 ***		0.037	1.455		0.065	2.454 **	
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-	-		-0.009	-1.160		-0.013	-1.647 *	
HUMID	湿度	-	-		0.001	0.533		-0.0004	-0.192	
WIND	平均風速	-	-		-0.001	-0.576		-0.002	-1.236	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		-0.018	-1.496		-0.023	-1.788 *	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		-0.007	-0.481		-0.012	-0.735	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.231	-4.319 ***	
DUM_S2	午前授業	-	-		-	-		-0.061	-1.632	
DUM_S3	始業式・入学式・終業式	-	-		-	-		-0.044	-0.846	
DUM_S4	保護者会	-	-		-	-		0.052	2.044 **	
DUM_S5	避難訓練・引き取り訓練	-	-		-	-		0.0002	0.011	
DUM_S7	学校公開	-	-		-	-		0.001	0.031	
DUM_S8	水泳指導	-	-		-	-		0.002	0.143	

表 4-7. B 小学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル021			モデル022			モデル023		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.884	62.549 ***		0.880	62.192 ***		0.874	61.705 ***	
POWER(-2)		0.000	-0.014		0.001	0.084		-0.004	-0.277	
POWER(-48)		0.237	19.408 ***		0.237	19.399 ***		0.238	19.448 ***	
POWER(-49)		-0.207	-12.020 ***		-0.205	-11.928 ***		-0.204	-11.878 ***	
POWER(-50)		0.006	0.506		0.007	0.548		0.008	0.640	
POWER(-240)		0.479	39.280 ***		0.478	39.162 ***		0.478	39.281 ***	
POWER(-241)		-0.373	-20.693 ***		-0.371	-20.645 ***		-0.368	-20.508 ***	
POWER(-242)		-0.056	-4.046 ***		-0.054	-3.888 ***		-0.052	-3.738 ***	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.163	-6.041 ***		-0.161	-5.902 ***		-0.185	-6.664 ***	
CONSTANT	定数	0.019	3.006 ***		0.035	1.552		0.043	1.881 *	
TEMP	気温変数(閾値: 10°C)	-	-		-0.005	-1.646 *		-0.003	-1.167	
HUMID	湿度	-	-		-0.002	-0.703		-0.002	-0.708	
WIND	最大風速	-	-		-0.003	-1.783 *		-0.003	-1.663 *	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		0.009	0.723		0.015	1.144	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		0.010	0.500		0.007	0.360	
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	-	-		0.132	2.396 **		0.146	2.647 ***	
DUM_SNOW	天気ダミー(雪)	-	-		-0.246	-2.011 **		-0.231	-1.884 *	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.175	-4.316 ***	
DUM_S2	午前授業	-	-		-	-		-0.073	-1.825 *	
DUM_S3	始業式・入学式・終業式	-	-		-	-		-0.048	-1.208	
DUM_S4	保護者会	-	-		-	-		-0.068	-1.687 *	
DUM_S5	避難訓練・引き取り訓練	-	-		-	-		0.019	0.839	
DUM_S6	運動会	-	-		-	-		-0.025	-0.439	
DUM_S9	音楽会	-	-		-	-		0.001	0.022	

表 4-8. C 小学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル011			モデル012			モデル013		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.889	62.153 ***	0.887	61.976 ***	0.882	61.531 ***			
POWER(-2)		-0.026	-1.830 *	-0.027	-1.898 *	-0.032	-2.232 **			
POWER(-48)		0.284	22.439 ***	0.284	22.421 ***	0.284	22.406 ***			
POWER(-49)		-0.219	-12.233 ***	-0.218	-12.209 ***	-0.217	-12.137 ***			
POWER(-50)		-0.006	-0.420	-0.006	-0.430	-0.005	-0.359			
POWER(-240)		0.461	36.193 ***	0.459	36.044 ***	0.460	36.032 ***			
POWER(-241)		-0.357	-18.829 ***	-0.356	-18.791 ***	-0.353	-18.683 ***			
POWER(-242)	-0.047	-3.243 ***	-0.046	-3.226 ***	-0.043	-2.994 ***				
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.152	-7.938 ***	-0.145	-7.280 ***	-0.162	-7.910 ***			
CONSTANT	定数	0.018	3.658 ***	0.018	0.872	0.027	1.199			
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-	-	-0.004	-0.686	-0.006	-0.888			
HUMID	湿度	-	-	0.003	1.957 *	0.002	1.261			
WIND	平均風速	-	-	-0.003	-1.783 *	-0.003	-1.593			
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-	-0.015	-1.456	-0.015	-1.402			
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-	-0.036	-2.896 ***	-0.032	-2.434 **			
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-	-	-	-0.145	-3.273 ***			
DUM_S2	午前授業	-	-	-	-	-0.059	-1.874 *			
DUM_S3	始業式・入学式・終業式	-	-	-	-	-0.068	-1.566			
DUM_S4	保護者会	-	-	-	-	-0.020	-0.920			
DUM_S5	避難訓練・引き取り訓練	-	-	-	-	-0.008	-0.251			
DUM_S6	クラブ	-	-	-	-	-0.026	-1.295			
DUM_S7	委員会	-	-	-	-	-0.007	-0.346			
DUM_S8	学校公開	-	-	-	-	0.026	1.294			
DUM_S9	学年会	-	-	-	-	-0.005	-0.263			
DUM_S10	運動会	-	-	-	-	-0.041	-0.934			
DUM_S11	水泳指導	-	-	-	-	0.011	0.975			

表 4-9. C 小学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル021			モデル022			モデル023		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.908	64.425 ***	0.903	64.009 ***	0.900	63.740 ***			
POWER(-2)		0.001	0.068	0.004	0.308	0.001	0.069			
POWER(-48)		0.287	22.671 ***	0.286	22.641 ***	0.286	22.652 ***			
POWER(-49)		-0.209	-11.532 ***	-0.207	-11.467 ***	-0.206	-11.424 ***			
POWER(-50)		-0.045	-3.356 ***	-0.045	-3.402 ***	-0.044	-3.308 ***			
POWER(-240)		0.414	32.659 ***	0.412	32.535 ***	0.412	32.559 ***			
POWER(-241)		-0.312	-16.892 ***	-0.310	-16.844 ***	-0.309	-16.779 ***			
POWER(-242)	-0.065	-4.669 ***	-0.062	-4.457 ***	-0.060	-4.303 ***				
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.104	-4.611 ***	-0.100	-4.393 ***	-0.110	-4.767 ***			
CONSTANT	定数	0.011	2.129 **	-0.0002	-0.011	-0.006	-0.320			
TEMP	気温変数(閾値: 10°C)	-	-	-0.006	-2.345 **	-0.006	-2.445 **			
HUMID	湿度	-	-	0.001	0.597	0.002	0.994			
WIND	最大風速	-	-	-0.0004	-0.280	-0.0002	-0.155			
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-	-0.005	-0.509	-0.003	-0.246			
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-	0.118	2.544 **	0.122	2.622 ***			
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	-	-	-0.013	-0.754	-0.011	-0.667			
DUM_SNOW	天気ダミー(雪)	-	-	-0.365	-3.550 ***	-0.360	-3.499 ***			
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-	-	-	-0.126	-2.627 ***			
DUM_S4	保護者会	-	-	-	-	-0.029	-1.469			
DUM_S5	避難訓練・引き取り訓練	-	-	-	-	0.023	0.886			
DUM_S6	クラブ	-	-	-	-	0.011	0.464			
DUM_S7	委員会	-	-	-	-	0.013	0.548			
DUM_S8	学校公開	-	-	-	-	-0.018	-0.494			
DUM_S12	音楽会	-	-	-	-	-0.014	-0.424			

表 4-10. D 中学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル011			モデル012			モデル013		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.844	58.931 ***		0.838	58.530 ***		0.834	58.166 ***	
POWER(-2)		0.042	2.947 ***		0.042	2.978 ***		0.040	2.780 ***	
POWER(-48)		0.330	25.208 ***		0.329	25.189 ***		0.329	25.105 ***	
POWER(-49)		-0.210	-11.415 ***		-0.208	-11.353 ***		-0.207	-11.287 ***	
POWER(-50)		-0.069	-4.957 ***		-0.067	-4.809 ***		-0.066	-4.731 ***	
POWER(-240)		0.310	23.408 ***		0.306	23.136 ***		0.307	23.173 ***	
POWER(-241)		-0.183	-9.894 ***		-0.181	-9.821 ***		-0.180	-9.752 ***	
POWER(-242)		-0.079	-5.710 ***		-0.079	-5.665 ***		-0.077	-5.562 ***	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.129	-7.192 ***		-0.118	-6.369 ***		-0.125	-6.642 ***	
CONSTANT	定数	0.016	3.479 ***		0.049	2.482 **		0.046	2.203 **	
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-			0.002	0.325		0.000	-0.042	
HUMID	湿度	-			0.002	1.696 *		0.002	1.248	
WIND	平均風速	-			-0.006	-3.903 ***		-0.005	-3.556 ***	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-			-0.033	-3.458 ***		-0.031	-3.115 ***	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-			-0.047	-4.092 ***		-0.048	-3.795 ***	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-			-			0.040	0.989	
DUM_S2	始業式・入学式・終業式	-			-			-0.042	-1.443	
DUM_S3	保護者会	-			-			0.047	1.140	
DUM_S4	避難訓練・引き取り訓練	-			-			0.028	1.382	
DUM_S5	委員会	-			-			0.016	0.776	
DUM_S6	中間・期末	-			-			-0.044	-2.316 **	
DUM_S7	学校公開	-			-			0.032	1.651 *	
DUM_S8	修学旅行	-			-			-0.005	-0.185	
DUM_S9	水泳指導	-			-			0.009	0.777	

表 4-11. D 中学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル021			モデル022			モデル023		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.830	58.909 ***		0.826	58.583 ***		0.823	58.272 ***	
POWER(-2)		0.082	5.853 ***		0.084	5.933 ***		0.081	5.705 ***	
POWER(-48)		0.329	25.653 ***		0.327	25.505 ***		0.327	25.425 ***	
POWER(-49)		-0.208	-11.662 ***		-0.207	-11.638 ***		-0.206	-11.598 ***	
POWER(-50)		-0.083	-6.093 ***		-0.079	-5.779 ***		-0.078	-5.729 ***	
POWER(-240)		0.324	25.264 ***		0.321	25.058 ***		0.322	25.107 ***	
POWER(-241)		-0.207	-11.560 ***		-0.205	-11.519 ***		-0.204	-11.446 ***	
POWER(-242)		-0.089	-6.572 ***		-0.085	-6.271 ***		-0.083	-6.132 ***	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.080	-3.719 ***		-0.008	-3.201 ***		-0.088	-3.958 ***	
CONSTANT	定数	0.013	2.449 **		-0.0012	-0.580		0.030	1.633	
TEMP	気温変数(閾値: 10°C)	-			-0.003	-2.441 **		-0.008	-3.137 ***	
HUMID	湿度	-			0.004	0.412		-0.001	-0.435	
WIND	最大風速	-			-0.0479	-1.076		-0.0039	-2.719 ***	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-			0.026	1.641		0.005	0.510	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-			-0.008	-0.083		-0.046	-1.038	
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	-			-0.075	-3.424 ***		0.024	1.452	
DUM_SNOW	天気ダミー(雪)	-			0.023	1.273		-0.008	-0.079	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-			-			-0.119	-2.608 ***	
DUM_S2	始業式・入学式・終業式	-			-			-0.042	-0.945	
DUM_S3	保護者会	-			-			0.014	0.291	
DUM_S4	避難訓練・引き取り訓練	-			-			0.001	0.053	
DUM_S5	委員会	-			-			-0.007	-0.220	
DUM_S6	中間・期末	-			-			-0.054	-2.526 **	

表 4-12. E 中学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル011			モデル012			モデル013		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.928	64.866	***	0.920	64.277	***	0.915	63.831	***
POWER(-2)		-0.029	-2.019	**	-0.031	-2.176	**	-0.037	-2.559	**
POWER(-48)		0.297	22.830	***	0.296	22.834	***	0.297	22.849	***
POWER(-49)		-0.153	-8.194	***	-0.150	-8.091	***	-0.149	-8.034	***
POWER(-50)		-0.094	-6.883	***	-0.093	-6.863	***	-0.091	-6.642	***
POWER(-240)		0.343	26.096	***	0.341	26.009	***	0.342	26.074	***
POWER(-241)		-0.306	-16.221	***	-0.303	-16.074	***	-0.301	-15.989	***
POWER(-242)		-0.008	-0.606		-0.011	-0.784		-0.008	-0.588	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.089	-4.902	***	-0.091	-4.834	***	-0.105	-5.460	***
CONSTANT	定数	0.014	2.954	***	-0.003	-0.152		-0.008	-0.357	
TEMP	気温変数(閾値：20°C)	-	-		0.002	0.243		0.001	0.126	
HUMID	湿度	-	-		0.005	3.614	***	0.006	3.510	***
WIND	平均風速	-	-		-0.002	-1.028		-0.002	-1.027	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		-0.048	-4.667	***	-0.047	-4.400	***
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		-0.054	-4.267	***	-0.050	-3.708	***
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.092	-2.059	**
DUM_S3	保護者会・説明会	-	-		-	-		0.085	2.628	***
DUM_S4	中間・期末	-	-		-	-		-0.063	-2.927	***
DUM_S5	学校公開	-	-		-	-		0.011	0.503	
DUM_S6	修学旅行	-	-		-	-		-0.050	-1.617	
DUM_S7	水泳指導	-	-		-	-		-0.007	-0.574	

表 4-13. E 中学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル021			モデル022			モデル023		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.942	66.416	***	0.934	65.856	***	0.932	65.662	***
POWER(-2)		-0.022	-1.553		-0.023	-1.597		-0.026	-1.827	*
POWER(-48)		0.336	25.600	***	0.333	25.362	***	0.332	25.308	***
POWER(-49)		-0.243	-12.912	***	-0.241	-12.837	***	-0.240	-12.778	***
POWER(-50)		-0.061	-4.415	***	-0.058	-4.209	***	-0.059	-4.239	***
POWER(-240)		0.302	23.038	***	0.299	22.818	***	0.299	22.825	***
POWER(-241)		-0.233	-12.218	***	-0.231	-12.133	***	-0.230	-12.089	***
POWER(-242)		-0.048	-3.462	***	-0.042	-3.045	***	-0.041	-2.969	***
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.070	-3.063	***	-0.010	-3.674	***	-0.081	-3.473	***
CONSTANT	定数	0.012	2.148	**	0.001	0.413		0.012	0.572	
TEMP	気温変数(閾値：10°C)	-	-		-0.001	-0.731		-0.009	-3.491	***
HUMID	湿度	-	-		0.001	0.131		-0.0004	-0.182	
WIND	最大風速	-	-		0.144	2.954	***	-0.001	-0.756	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		0.007	0.420		0.009	0.751	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		-0.082	-0.757		0.153	3.126	***
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	-	-		-0.067	-2.914	***	0.010	0.545	
DUM_SNOW	天気ダミー(雪)	-	-		-0.003	-0.148		-0.070	-0.645	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.052	-1.067	
DUM_S2	始業式・入学式・終業式	-	-		-	-		-0.050	-1.432	
DUM_S3	保護者会・説明会	-	-		-	-		-0.049	-1.396	
DUM_S4	中間・期末	-	-		-	-		-0.064	-2.989	***

表 4-14. F 中学校の電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル011			モデル012			モデル013		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.828	57.921	***	0.819	57.163	***	0.817	56.934	***
POWER(-2)		0.013	0.898		0.007	0.472		0.005	0.345	
POWER(-48)		0.287	22.318	***	0.286	22.287	***	0.286	22.181	***
POWER(-49)		-0.166	-9.365	***	-0.163	-9.254	***	-0.163	-9.233	***
POWER(-50)		-0.042	-3.080	***	-0.041	-3.006	***	-0.041	-2.993	***
POWER(-240)		0.359	27.546	***	0.358	27.533	***	0.359	27.561	***
POWER(-241)		-0.256	-14.121	***	-0.251	-13.925	***	-0.250	-13.870	***
POWER(-242)		-0.047	-3.341	***	-0.048	-3.456	***	-0.046	-3.324	***
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.088	-4.028	***	-0.086	-3.831	***	-0.094	-4.144	***
CONSTANT	定数	0.015	2.406	**	-0.011	-0.403		0.002	0.064	
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-	-		0.005	0.599		0.004	0.483	
HUMID	湿度	-	-		0.007	3.876	***	0.006	2.975	***
WIND	平均風速	-	-		-0.001	-0.684		-0.002	-0.879	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		-0.065	-4.971	***	-0.064	-4.692	***
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		-0.091	-5.661	***	-0.086	-4.971	***
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.072	-1.306	
DUM_S2	始業式・入学式・終業式	-	-		-	-		-0.043	-0.781	
DUM_S3	保護者会	-	-		-	-		-0.105	-1.890	*
DUM_S4	中間・期末	-	-		-	-		-0.052	-1.907	*
DUM_S5	学校公開	-	-		-	-		0.001	0.036	
DUM_S6	委員会	-	-		-	-		-0.015	-0.363	
DUM_S7	修学旅行	-	-		-	-		-0.017	-0.444	
DUM_S8	水泳指導	-	-		-	-		0.005	0.279	
DUM_S9	マラソン大会	-	-		-	-		-0.026	-0.478	

表 4-15. F 中学校の電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	モデル021			モデル022			モデル023		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.769	54.385	***	0.762	53.792	***	0.756	53.340	***
POWER(-2)		0.043	3.028	***	0.041	2.929	***	0.036	2.567	**
POWER(-48)		0.397	31.508	***	0.396	31.458	***	0.394	31.343	***
POWER(-49)		-0.251	-14.689	***	-0.249	-14.636	***	-0.248	-14.581	***
POWER(-50)		-0.058	-4.227	***	-0.056	-4.091	***	-0.055	-4.030	***
POWER(-240)		0.324	25.784	***	0.323	25.759	***	0.324	25.885	***
POWER(-241)		-0.239	-14.042	***	-0.237	-13.942	***	-0.234	-13.802	***
POWER(-242)		-0.028	-2.077	**	-0.024	-1.775	*	-0.022	-1.612	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.124	-3.883	***	-0.010	-2.722	***	-0.138	-4.310	***
CONSTANT	定数	0.029	3.624	***	-0.002	-0.704		0.066	2.377	**
TEMP	気温変数(閾値: 10°C)	-	-		-0.004	-2.065	**	-0.009	-2.560	**
HUMID	湿度	-	-		-0.001	-0.034		-0.002	-0.630	
WIND	最大風速	-	-		0.205	3.013	***	-0.005	-2.298	**
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-	-		-0.008	-0.308		0.010	0.628	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-	-		-0.126	-0.826		0.213	3.133	***
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	-	-		-0.117	-3.654	***	-0.009	-0.346	
DUM_SNOW	天気ダミー(雪)	-	-		0.052	1.865	*	-0.115	-0.759	
DUM_S1	創立記念日・振替休日	-	-		-	-		-0.147	-2.993	***
DUM_S2	始業式・入学式・終業式	-	-		-	-		-0.117	-2.385	**
DUM_S4	中間・期末	-	-		-	-		-0.125	-3.888	***

学校毎に各モデルの補正決定係数・AIC・MAPEを比較した結果を図4-1と図4-2に示す。

夏学期について、補正決定係数はB小学校以外、気象変数とイベントに関する変数を入れたモデルが最も良い結果となった。AICは、B小学校とE中学校以外、時系列変数と気象変数を入れたモデルが一番小さくなった。B小学校とE中学校に関しては、時系列変数と気象変数とイベントに関する変数を入れたモデルが最も低い結果となった。

冬学期について、補正決定係数はすべての学校について、時系列変数・気象変数・イベントに関する変数すべてをいれたモデルが最も良い結果となった。AICは、A小学校とC小学校とD中学校は、時系列変数と気象変数を入れたモデルが一番小さくなり、時系列変数と気象変数とイベントに関する変数を入れたモデルが最も低い結果となった。

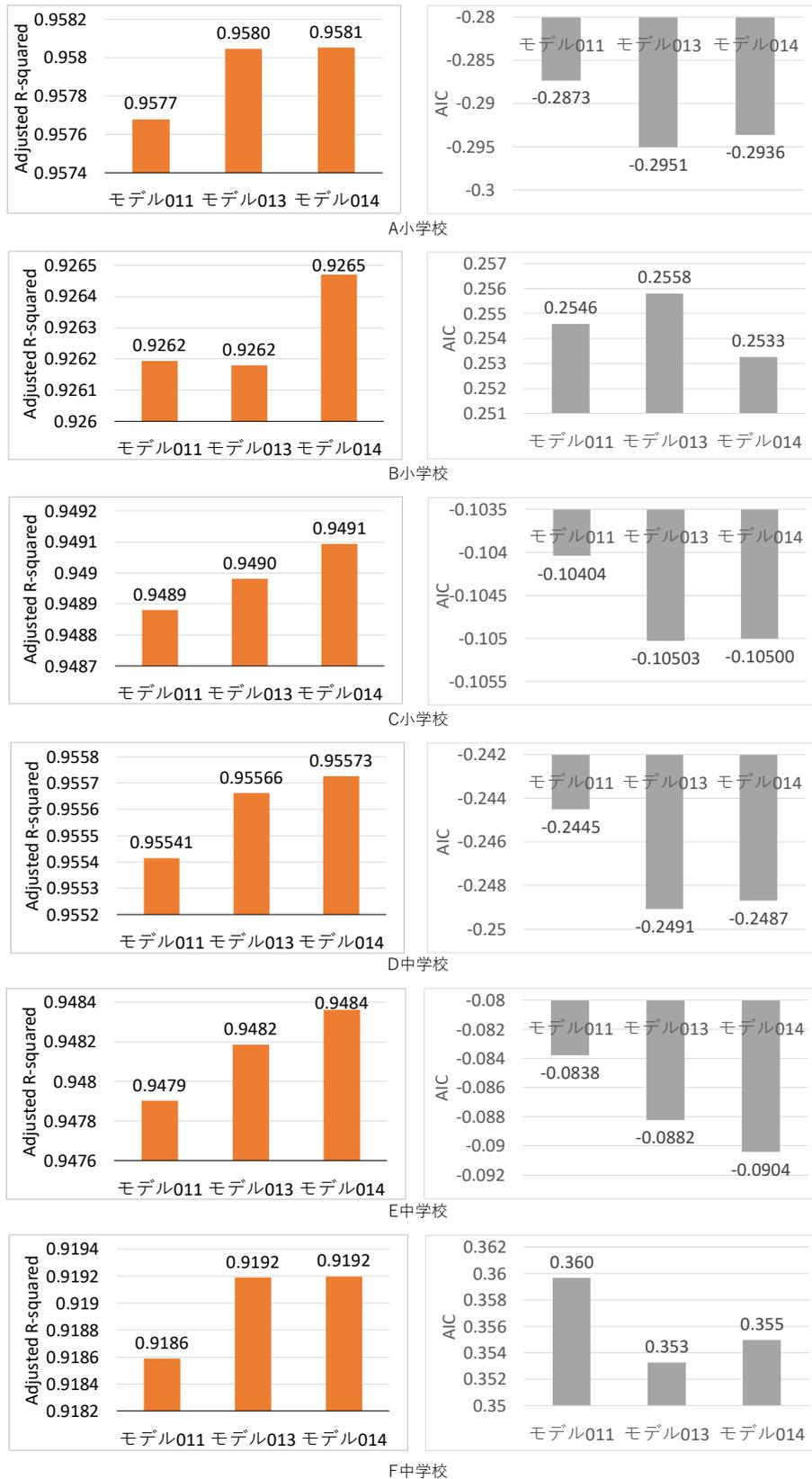


図 4-1. 学校個別の電力需要予測夏学期モデルの補正決定係数・AIC の比較結果

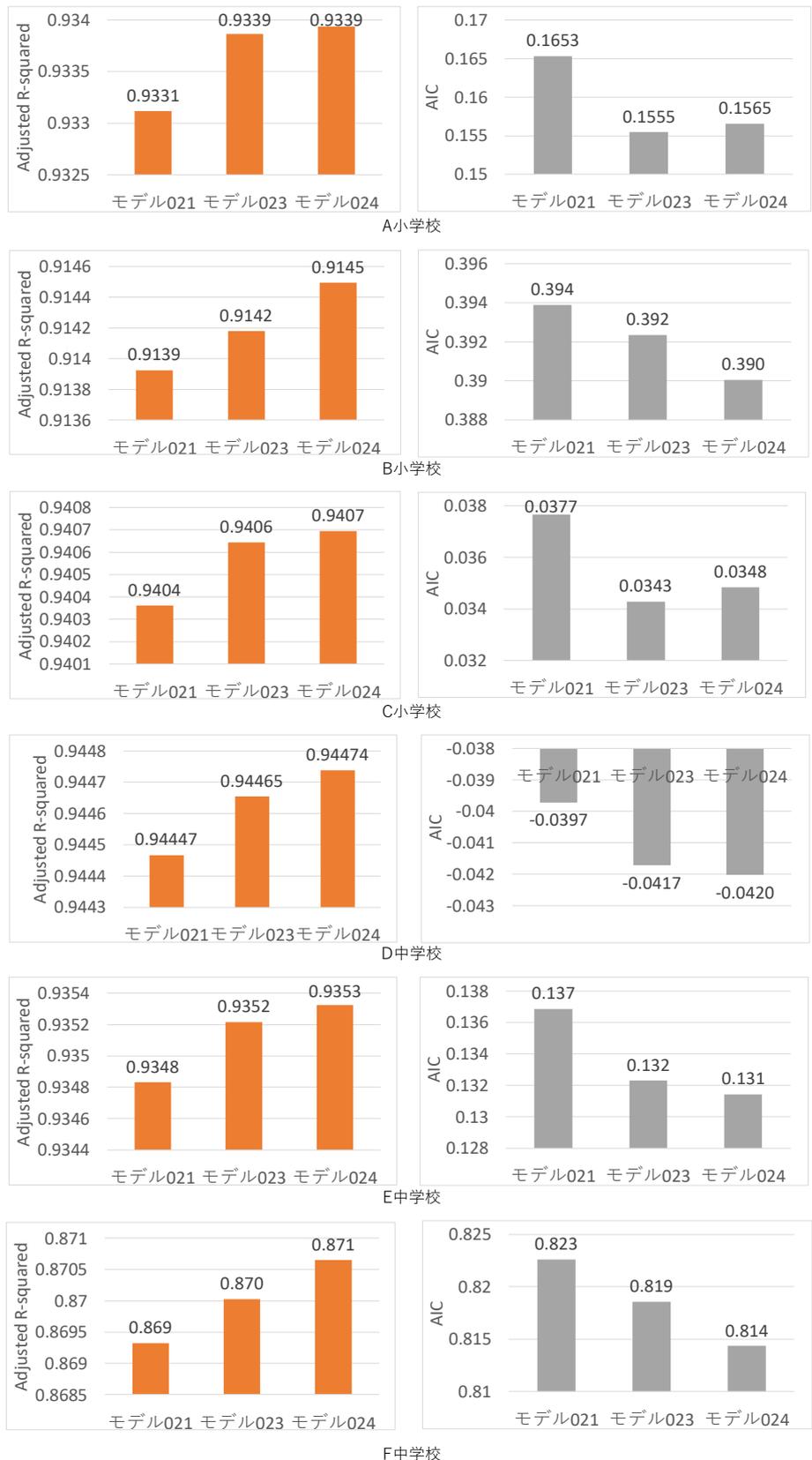


図 4-2. 学校個別の電力需要予測冬学期モデルの補正決定係数・AIC の比較結果

4.1.3. 考察

6校のモデルの各変数について、各校の特徴と比較し考察を行った。表 4-16 に各校の特徴についてまとめた。また、小学校については GHP と EHP の教室数の割合を図 4-3 にまとめた。学校情報と建物情報については、各校のホームページと足立区の学校に関する資料 [36] [37] から、電気機器情報と教室情報は電気機器メーカーの協力のもと取得した。

表 4-16. 各学校の特徴概要

項目	A	B	C	D	E	F	
学校情報	生徒数	468人	549人	497人	331人	407人	278人
	学級数	15	18	17	10	12	11
	1クラスあたり平均人数	31人	31人	29人	33人	34人	25人
	開校年	1978年	1971年	1986年	1986年	1947年	1947年
学校開放情報	体育館	○	○	○	○	○	○
	校庭	○	○	○	○	○	○
	夜間校庭	○	○	×	×	×	○
	多目的室	×	×	×	○	×	×
建物情報	建築年	1978年	1971年	1986年	1990年	1973年	1964年
	敷地面積[m2]	14,807	10,350	9,471	14,249	11,290	10,955
	延床面積[m2]	6,093	5,881	8,969	7,445	7,301	6,238
電気機器情報	照明	FLR	Hf蛍光灯	LED	FLR	Hf蛍光灯	LED
	空調※1	GHP	GHP	GHP	EHP	EHP	EHP

※1 普通教室のみ。特別教室はすべてEHP。特別教室は音楽室、図書室、PCルーム、職員室、校長室、事務室、保健室を指す。

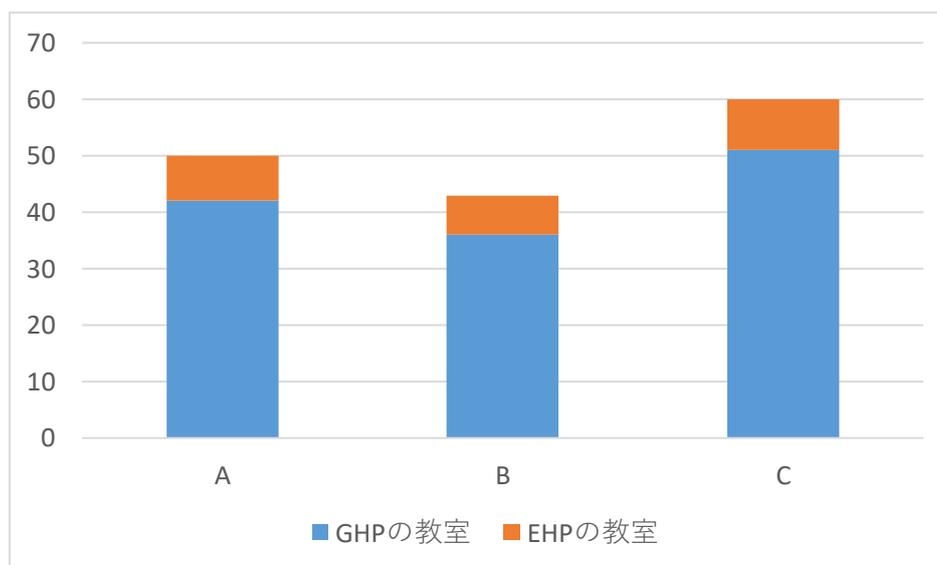


図 4-3. 小学校の EHP・GHP を導入している教室の割合

夏学期における気象変数では、湿度が6校中5校有意で、湿度が高いほど需要が高くなるという夏の気象と電力需要の関係と一致している。また、気温よりも湿度が有意となった結果から、夏は気温の高さよりも蒸し暑くて不快に感じられるとエアコンの需要が増えることが示唆され、夏の電力需要を議論する際は、気温のみならず湿度も含めなくてはならないことが示唆される。雨ダミーについても6校中5校が有意で、雨になると需要が減るという結果になった。雨の日は、晴れて陽ざしが強い時よりも涼しく感じられるため、エアコン需要が少なくなることが理由と示唆される。

冬学期における気象変数では、6校中5校について気温変数が有意で、気温が低いほど電力需要が高まるという仮説と一致した。しかし、総電力需要モデルでは有意になりt値も大きくなったみぞれダミーや、みぞれダミーと同じように働くと考えられる雪ダミーについて、学校に共通する特徴は見受けられなかった。

小学校は空調にGHP（ガスヒートポンプ）を導入していることから、気象の影響を受けにくいと予想されたが、A小学校・C小学校では気象が有意となり、t値も中学校の変数と大きな差は見られなかった。逆にB小学校では気象に関する変数は有意にならなかった。このような結果になった原因が二つ考えられる。一つは、EHPの教室数の差である。図4-3から、A・C小学校に比べてB小学校は教室数が少ない。このことから、気象の影響が小さかったと考えられる。もう一つは、B学校は生徒数にもかかわらず教室数が少なく、A・C小学校と比べて教室の連続利用の割合が高いことが考えられる。連続利用をする場合、大きな気象の変化がない限り、前の時間に利用していたまま利用されると考えられる。そのため、30分単位での小さな変化の影響が少なかった可能性が考えられる。

イベントに関する変数については、夏・冬共通して、休みや午前授業、中間・期末といった、使用される教室数が大幅に減るものに関しては、有意な結果となることが多く、需要も減る方向に働いた。しかし、ほかのスケジュールに関しては、有意な結果になるものは少なく、いくつかの学校で有意となった保護者会はモデルによって異なる結果となった。この原因の一つ目としてスケジュール情報が日単位であり、時間単位の予測には上手く反映できていないことが考えられる。このことから、時間単位でのダミー変数にするとともに、スケジュールをそのまま加えるのではなく、たとえば、使用教室が減るイベント、増えるイベント、大教室が使われるイベント等、各スケジュールの特徴を分析し、基準を設けて分類して加える必要があることが示唆される。また、イベントに関する変数が有意に働く学校の中には、スケジュールを入れた方が説明力・予測力ともに向上するものもあった。このことから、スケジュールを適当な形で入れることで、説明力・予測力を向上できる可能性がある。二つ目に、学習用データの不足が考えられる。モデル構築に用いたデータは1年分であり、年に一度しか行われなないイベントについてはモデルの学習が不十分であったことが考えられる。

総電力需要の予測同様、本研究ではAICが最も低いモデルを最も予測力の高いモデルと判断する。よって、夏学期はA・C・D・Fはモデル013、B・Eはモデル014、冬学期はA・C・Dはモデル023、B・E・Fはモデル024を用いて予測を行う。

4.2. 30分単位での予測モデルの予測精度の検証

4.2.1. 30分単位での予測に用いたデータ

4.1節の結果から、夏学期モデルについてはA小学校・C小学校・D中学校・F中学校についてはモデル013、B小学校・E中学校についてはモデル014について予測精度を検証した。冬学期モデルについては、A小学校・C小学校・D中学校についてはモデル023、B小学校・E中学校・F中学校についてはモデル024について予測精度を検証した。直前値までの実測値がある場合と1日前までの実測値がある場合の2通りの条件のもとで行う。

用いたデータは4.1.1項と同じものである。2016年4月6日0:00~2016年7月20日23:30、2015年8月25日0:00~2015年9月7日23:30を夏学期の学習用データ、2015年10月10日0:00~2015年12月18日23:30、2016年1月11日0:00~2016年2月22日23:30を冬学期モデルでの学習用データとして改めて作成した。予測期間は、夏学期は2016年9月7日~2016年10月7日、冬学期は2017年2月22日~2017年3月24日である。

4.2.2. 30分単位での予測結果

改めて作成した30分単位のモデルの推定結果を表4-17と表4-18に示す。

表 4-17. 学校毎の電力需要予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	A			C			D			F		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.									
POWER(-1)	時系列変数	1.051	65.809 ***		0.893	54.987 ***		0.838	58.530 ***		0.796	49.046 ***	
POWER(-2)		-0.170	-10.645 ***		-0.047	-2.900 ***		0.042	2.978 ***		0.026	1.636	
POWER(-48)		0.259	17.420 ***		0.288	19.740 ***		0.329	25.189 ***		0.276	18.958 ***	
POWER(-49)		-0.174	-7.778 ***		-0.235	-11.447 ***		-0.208	-11.353 ***		-0.156	-7.858 ***	
POWER(-50)		-0.035	-2.265 **		0.003	0.214		-0.067	-4.809 ***		-0.045	-2.936 ***	
POWER(-240)		0.419	26.900 ***		0.492	32.505 ***		0.306	23.136 ***		0.400	25.848 ***	
POWER(-241)		-0.378	-15.980 ***		-0.376	-16.913 ***		-0.181	-9.821 ***		-0.245	-11.500 ***	
POWER(-242)		0.008	0.485		-0.037	-2.136 **		-0.079	-5.665 ***		-0.080	-4.767 ***	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.083	-4.232 ***		-0.147	-6.502 ***		-0.118	-6.369 ***		-0.103	-3.798 ***	
CONSTANT	定数	0.053	2.650 ***		0.018	0.797		0.049	2.482 **		-0.017	-0.585	
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-0.007	-1.147		-0.005	-0.858		0.002	0.325		0.005	0.579	
HUMID	湿度	0.002	1.873 *		0.003	1.838 *		0.002	1.696 *		0.008	3.930 ***	
WIND	最大風速	-0.006	-4.238 ***		-0.003	-1.512		-0.006	-3.903 ***		-0.002	-0.729	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-0.035	-3.479 ***		-0.005	-0.470		-0.033	-3.458 ***		-0.058	-4.018 ***	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-0.060	-4.556 ***		-0.037	-2.669 ***		-0.047	-4.092 ***		-0.091	-4.940 ***	
R-squared		0.959894			0.949556			0.955788			0.923865		
Adjusted R-squared		0.959747			0.949372			0.955662			0.923586		
Akaike info criterion		-0.365			-0.174			-0.249			0.342		

変数名	説明	B			E		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.798	55.750 ***		0.915	63.831 ***	
POWER(-2)		0.010	0.712		-0.037	-2.559 **	
POWER(-48)		0.289	23.888 ***		0.297	22.849 ***	
POWER(-49)		-0.202	-12.202 ***		-0.149	-8.034 ***	
POWER(-50)		-0.009	-0.710		-0.091	-6.642 ***	
POWER(-240)		0.474	38.933 ***		0.342	26.074 ***	
POWER(-241)		-0.347	-19.720 ***		-0.301	-15.989 ***	
POWER(-242)		-0.042	-3.000 ***		-0.008	-0.588	
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.244	-10.104 ***		-0.105	-5.460 ***	
CONSTANT	定数	0.065	2.454 **		-0.008	-0.357	
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-0.013	-1.647 *		0.001	0.126	
HUMID	湿度	0.000	-0.192		0.006	3.510 ***	
WIND	最大風速	-0.002	-1.236		-0.002	-1.027	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	-0.023	-1.788 *		-0.047	-4.400 ***	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-0.012	-0.735		-0.050	-3.708 ***	
DUM_S1	スケジュール	-0.231	-4.319 ***		-0.092	-2.059 **	
DUM_S2		-0.061	-1.632		0.085	2.628 ***	
DUM_S3		-0.044	-0.846		-0.063	-2.927 ***	
DUM_S4		0.052	2.044 **		0.011	0.503	
DUM_S5		0.000	0.011		-0.050	-1.617	
DUM_S7		0.001	0.031		-0.007	-0.574	
DUM_S8		0.002	0.143				
R-squared		0.926783			0.923865		
Adjusted R-squared		0.926470			0.923586		
Akaike info criterion		0.253			-0.090		

表 4-18. 学校毎の電力需要予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	A			C			D		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	1.013	65.181	***	0.879	56.000	***	0.807	51.627	***
POWER(-2)		-0.123	-7.872	***	0.020	1.274		0.099	6.325	***
POWER(-48)		0.241	17.225	***	0.292	20.933	***	0.326	22.973	***
POWER(-49)		-0.198	-9.416	***	-0.198	-9.979	***	-0.205	-10.485	***
POWER(-50)		0.003	0.176		-0.056	-3.777	***	-0.081	-5.385	***
POWER(-240)		0.417	29.319	***	0.414	29.462	***	0.336	23.486	***
POWER(-241)		-0.370	-16.929	***	-0.311	-15.310	***	-0.195	-9.840	***
POWER(-242)		-0.010	-0.663		-0.062	-3.992	***	-0.105	-6.905	***
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.091	-3.469	***	-0.098	-3.865	***	-0.009	-3.619	***
CONSTANT	定数	0.010	0.467		0.012	0.562		0.000	-0.126	
TEMP	気温変数(閾値: 10°C)	-0.010	-3.540	***	-0.006	-2.046	**	-0.003	-1.772	*
HUMID	湿度	0.0004	0.153		0.001	0.247		0.0054	0.462	
WIND	最大風速	-0.002	-1.329		-0.001	-0.674		-0.059	-1.323	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	0.009	0.716		-0.019	-1.559		0.009	0.463	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	-0.029	-1.416		0.127	2.692	***	-0.023	-0.234	
DUM_SLEET	天気ダミー(みぞれ)	0.140	2.771	***	-0.016	-0.854		-0.083	-3.434	***
DUM_SNOW	天気ダミー(雪)	-0.491	-4.450	***	-0.363	-3.498	***	0.014	0.706	
R-squared		0.933152			0.939225			0.945604		
Adjusted R-squared		0.932888			0.938986			0.945390		
Akaike info criterion		0.15966			0.04118			-0.04852		

変数名	説明	B			E			F		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.874	61.705	***	0.932	65.662	***	0.756	53.340	***
POWER(-2)		-0.004	-0.277		-0.026	-1.827	*	0.036	2.567	*
POWER(-48)		0.238	19.448	***	0.332	25.308	***	0.394	31.343	***
POWER(-49)		-0.204	-11.878	***	-0.240	-12.778	***	-0.248	-14.581	***
POWER(-50)		0.008	0.640		-0.059	-4.239	***	-0.055	-4.030	***
POWER(-240)		0.478	39.281	***	0.299	22.825	***	0.324	25.885	***
POWER(-241)		-0.368	-20.508	***	-0.230	-12.089	***	-0.234	-13.802	***
POWER(-242)		-0.052	-3.738	***	-0.041	-2.969	***	-0.022	-1.612	***
DUM_HOL	祝日ダミー	-0.185	-6.664	***	-0.081	-3.473	***	-0.138	-4.310	***
CONSTANT	定数	0.043	1.881	*	0.012	0.572		0.066	2.377	
TEMP	気温変数(閾値: 20°C)	-0.003	-1.167		-0.009	-3.491	***	-0.009	-2.560	***
HUMID	湿度	-0.002	-0.708		0.000	-0.182		-0.002	-0.630	
WIND	最大風速	-0.003	-1.663	*	-0.001	-0.756		-0.005	-2.298	
DUM_CLOUD	天気ダミー(曇)	0.015	1.144		0.009	0.751		0.010	0.628	
DUM_RAIN	天気ダミー(雨)	0.007	0.360		0.153	3.126	***	0.213	3.133	***
DUM_SLEET		0.146	2.647	***	0.010	0.545		-0.009	-0.346	
DUM_SNOW		-0.231	-1.884	*	-0.070	-0.645		-0.115	-0.759	
DUM_S1	スケジュール	-0.175	-4.316	***	-0.052	-1.067		-0.147	-2.993	
DUM_S2		-0.073	-1.825	*	-0.050	-1.432		-0.117	-2.385	
DUM_S3		-0.048	-1.208		-0.049	-1.396		-0.125	-3.888	
DUM_S4		-0.068	-1.687	*	-0.064	-2.989	***			
DUM_S5		0.019	0.839							
DUM_S7		-0.025	-0.439							
DUM_S8		0.001	0.022							
R-squared		0.914884			0.935582			0.871140		
Adjusted R-squared		0.914493			0.935325			0.870652		
Akaike info criterion		0.390			0.131			0.814		

このモデルによって予測した場合の MAPE を各学校、直前の実測値がある場合と 1 日前までの実測値がある場合（つまり直前の実測値がない場合）を比較した結果を図 4-4 と図 4-5 に示す。

直前までの実測値が分かっている場合でもほとんどの学校で 50%以上であった。また、直前の実測値がない場合は、ある場合と比較するとほとんどの学校で倍以上になる結果となった。

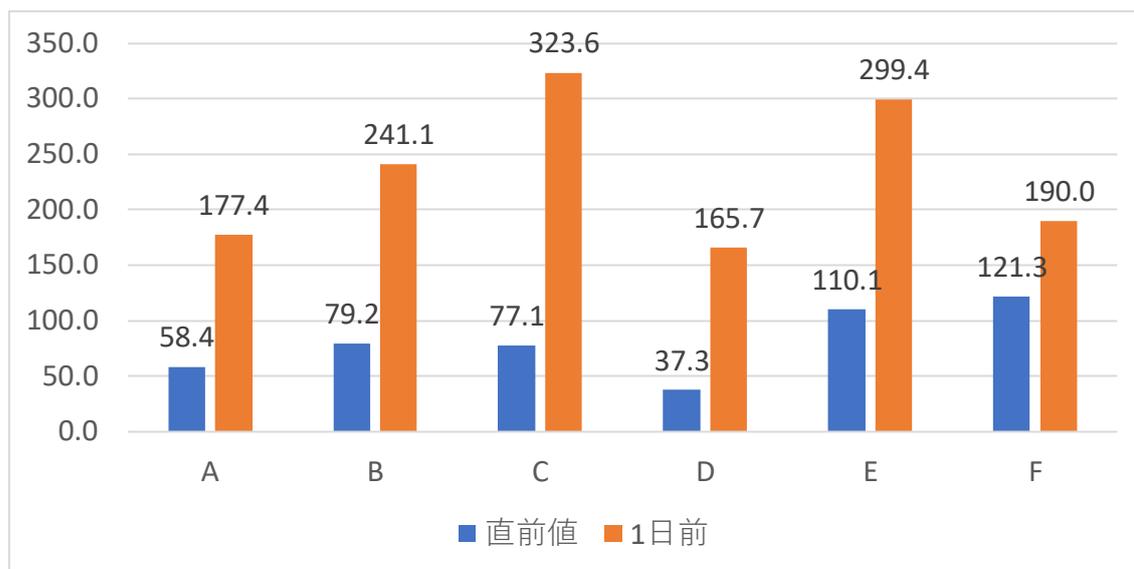


図 4-4. 各学校の MAPE の比較（夏学期）

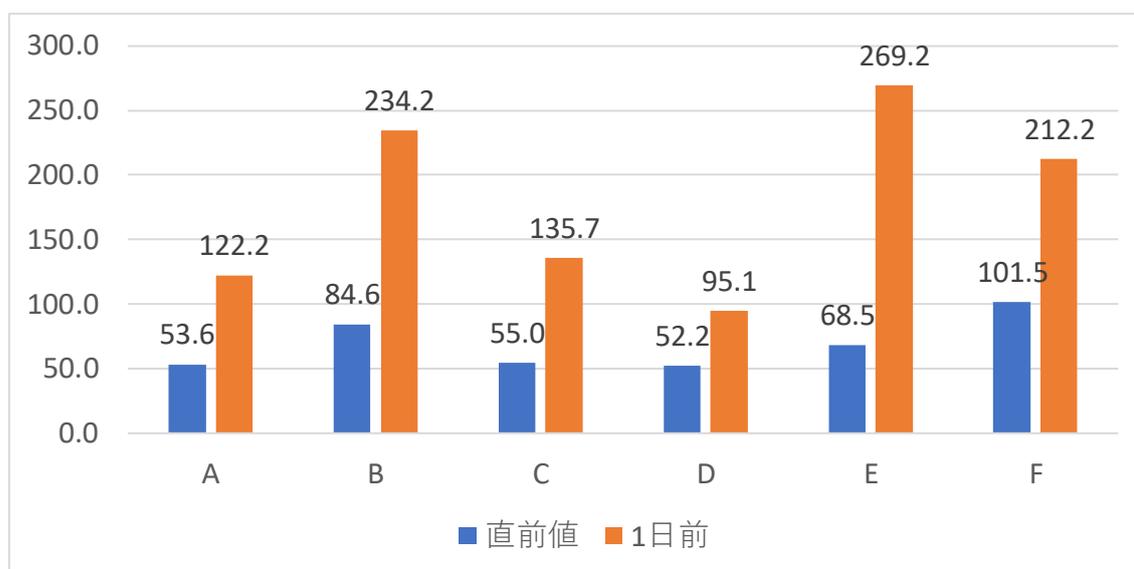


図 4-5. 各学校の MAPE の比較（冬学期）

誤差率のヒストグラムを図 4-6～図 4-17 に示す。

夏学期について、A 小学校は直前の実測値があると-5%～5%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 5%～15%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

B 小学校は、直前の実測値があると-5%～-15%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 25%～35%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

C 小学校は、直前の実測値があると-5%～5%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 5%～15%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

D 中学校は、直前の実測値があると-5%～5%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 5%～15%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

E 中学校は直前の実測値があると-5%～-15%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 25%～35%になる時が一番多くなった。

F 中学校は直前の実測値があると-5%～5%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 5%～15%になる時が一番多くなった。

冬学期について、A 小学校は直前の実測値があると-5%～5%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 15%～25%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

B 小学校は、直前の実測値があると-5%～-15%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 35%～45%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が大きくなる結果となった。

C 小学校は、直前の実測値があると-5%～5%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 5%～15%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

D 中学校は、直前の実測値があると-5%～-15%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 5%～15%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

E 中学校は直前の実測値があると-5%～5%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 35%～45%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が大きくなる結果となった。

F 中学校は直前の実測値があると-5%～-15%が最も多く、直前の実測値がないと 95%以上の誤差が増加し 95%以上を除き誤差率 25%～35%になる時が一番多くなった。また、全体的に実測値より予測値の方が小さくなる結果となった。

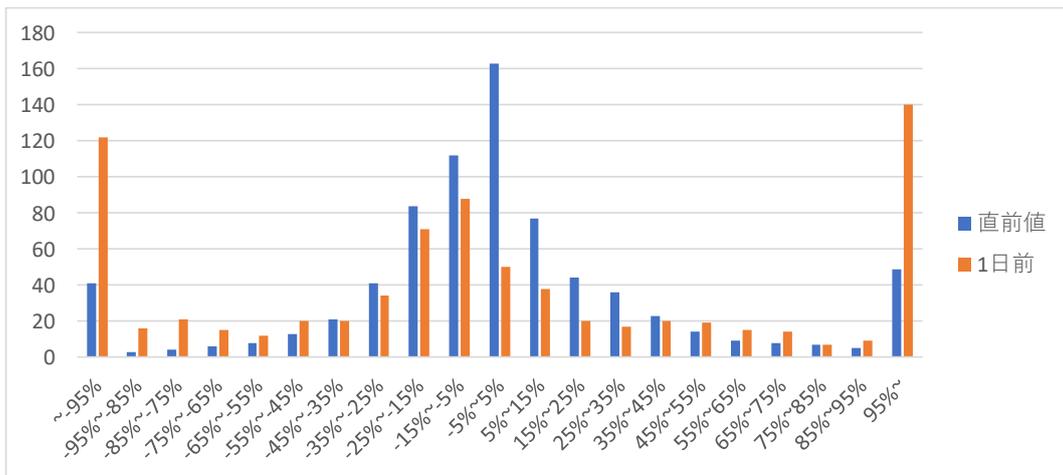


図 4-6. A 小学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

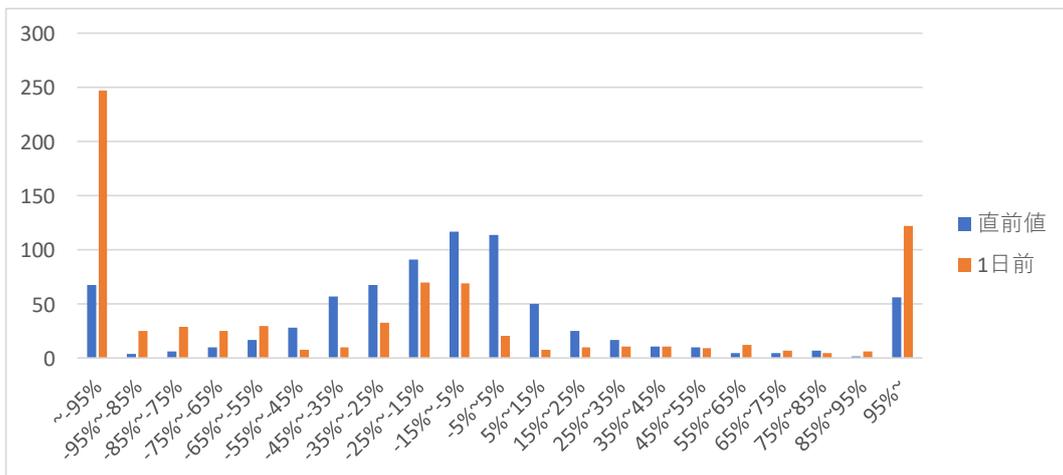


図 4-7. B 小学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

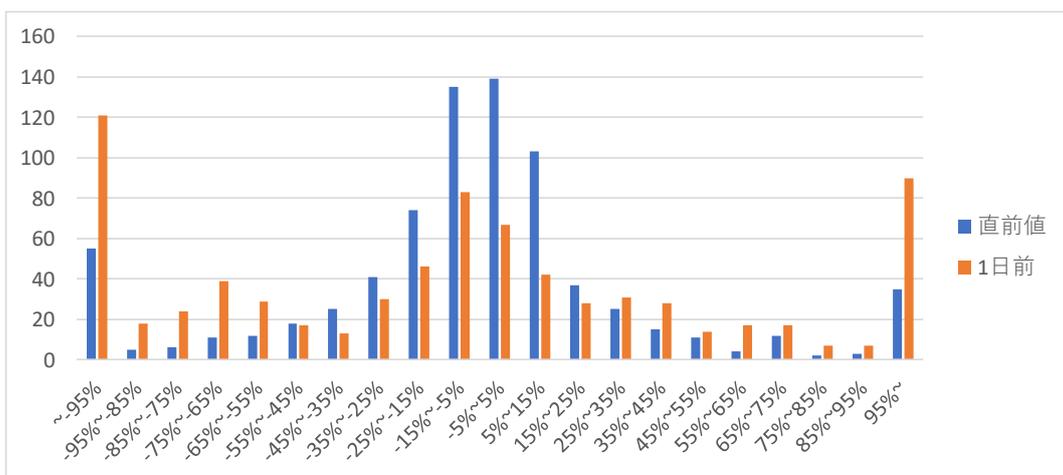


図 4-8. C 小学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

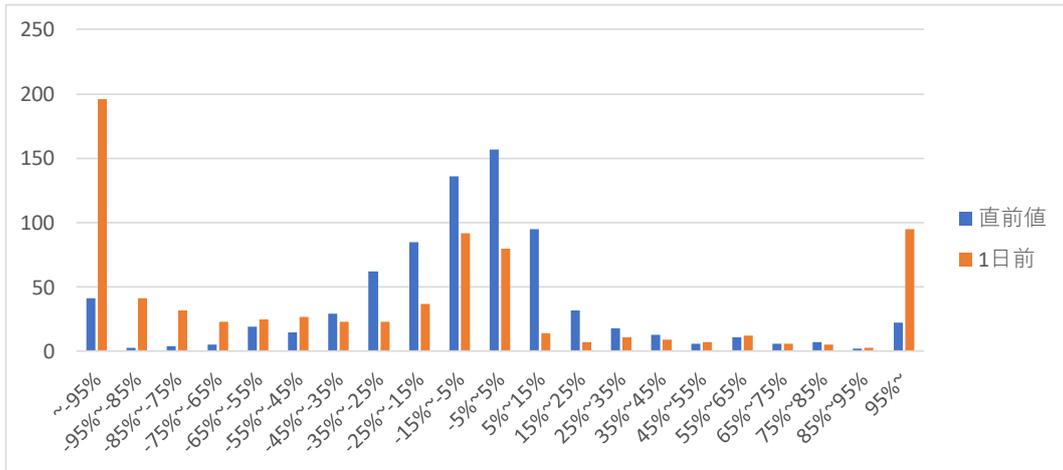


図 4-9. D 中学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

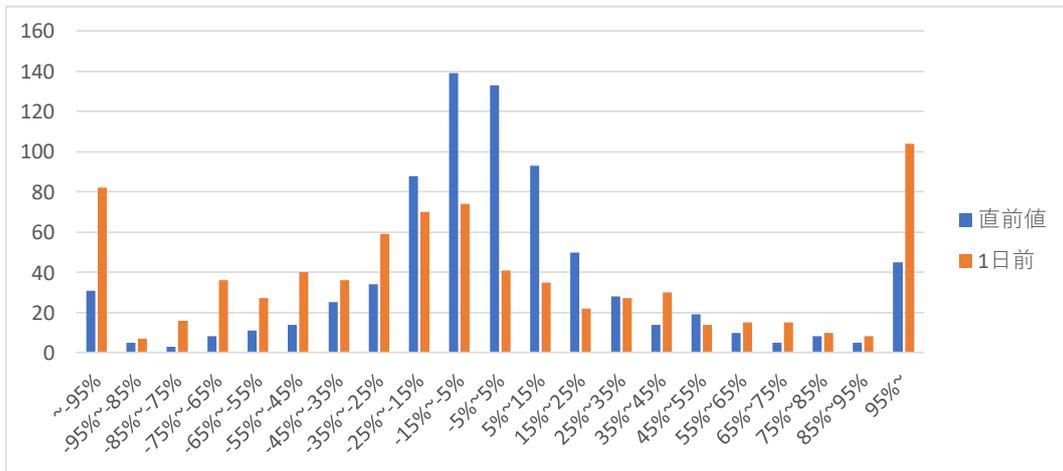


図 4-10. E 中学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

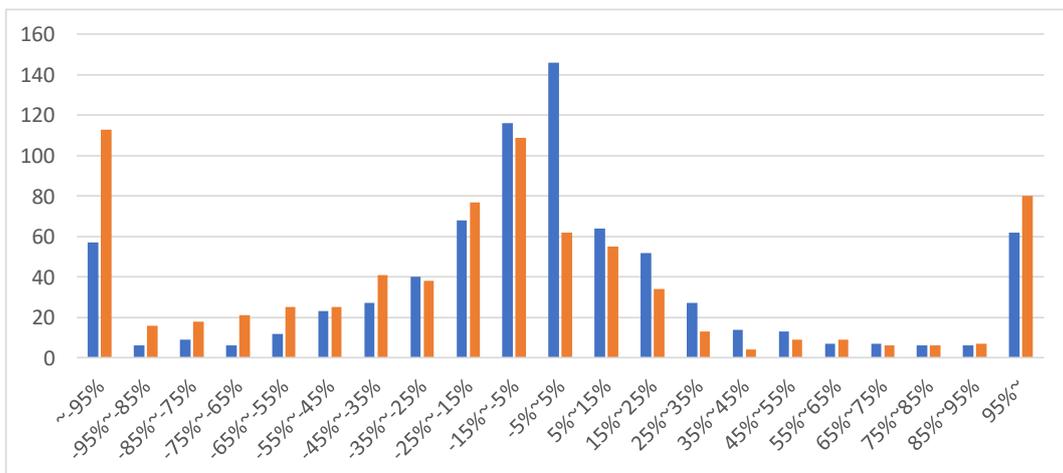


図 4-11. F 中学校の夏学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

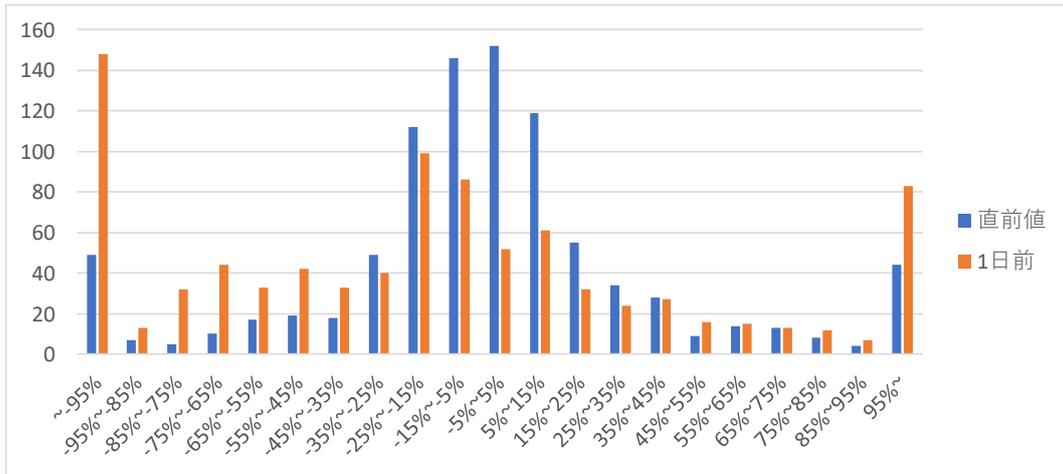


図 4-12. A 小学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

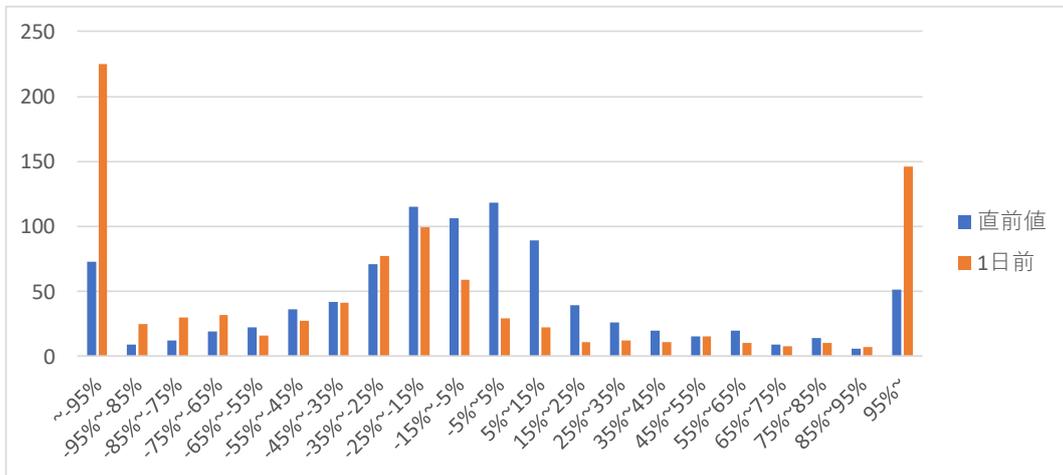


図 4-13. B 小学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

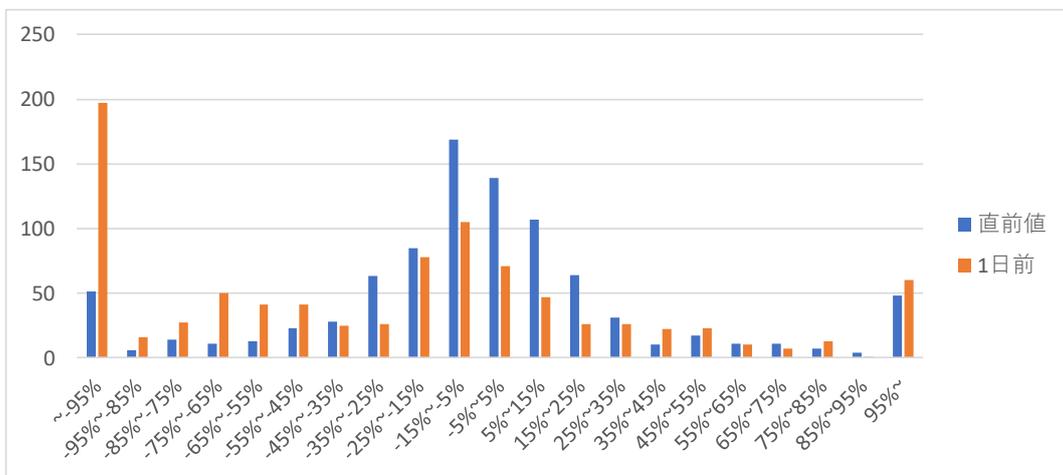


図 4-14. C 小学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

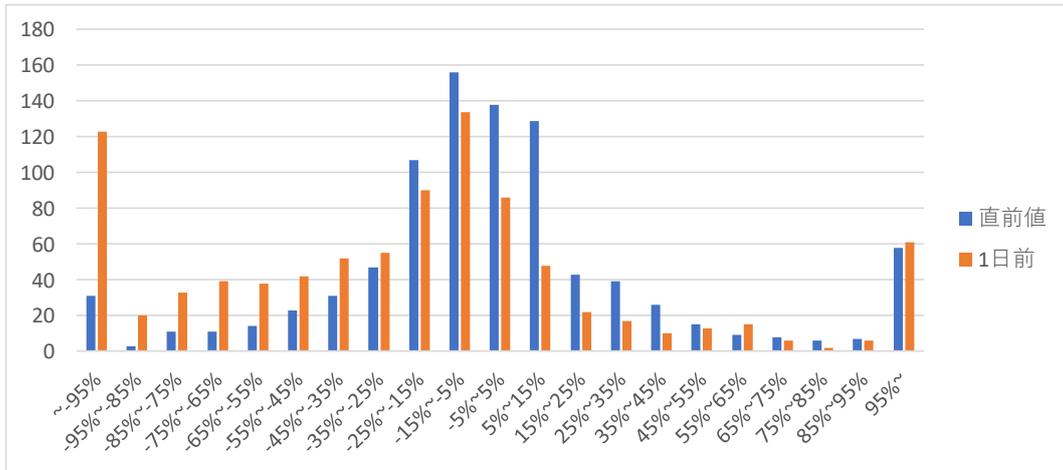


図 4-15. D 中学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

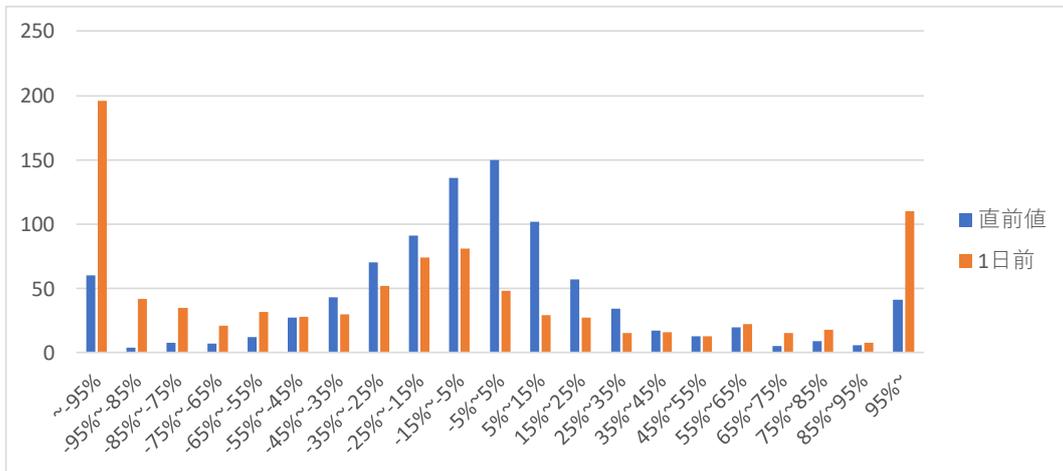


図 4-16. E 中学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

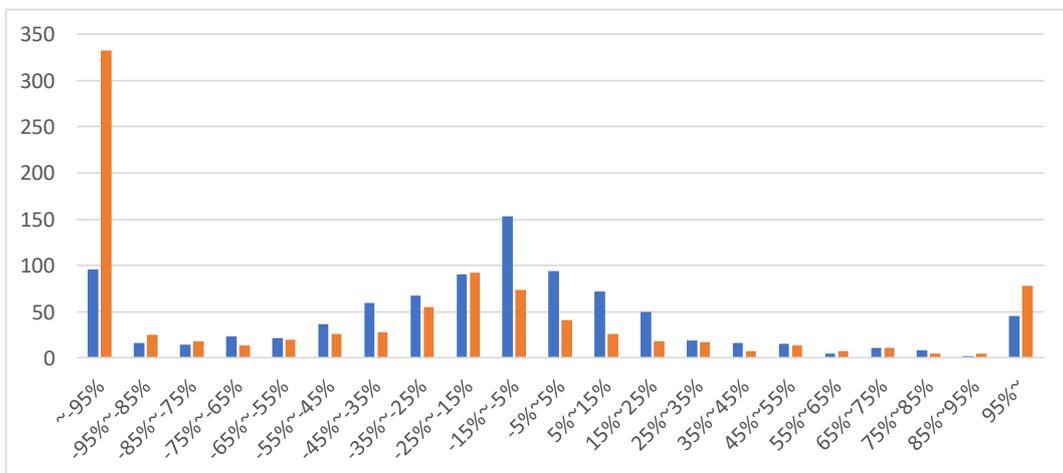


図 4-17. F 中学校の冬学期モデルの予測の誤差率ヒストグラム

誤差率について、5%範囲内と15%範囲内であった割合をまとめたものを、表4-19に示す。直前の実測値がある場合、2割前後が5%範囲内、4割前後が15%範囲内となった。直前の実測値がない場合ではほとんどの学校が、5%範囲内は全体の10%に達しなかった。

表4-19. 学校個別での予測で5%範囲内と15%範囲内であった割合
(上：夏学期、下：冬学期)

	A		B		C		D		E		F	
	直前	1日										
5%範囲内	21%	7%	15%	3%	18%	9%	20%	10%	17%	5%	19%	8%
15%範囲内	46%	23%	37%	13%	49%	25%	51%	24%	48%	20%	42%	29%
	A		B		C		D		E		F	
	直前	1日										
5%範囲内	17%	6%	13%	3%	15%	8%	15%	9%	16%	5%	10%	4%
15%範囲内	46%	22%	34%	12%	46%	24%	46%	29%	43%	17%	35%	15%

各学校について、予測値と実測値を比較した結果を図4-18と図4-19に示す。すべての学校において、直前の実測値がある場合は電力需要のカーブが実測値と近い形になっているが、ない場合はかなり外れていることが分かった。

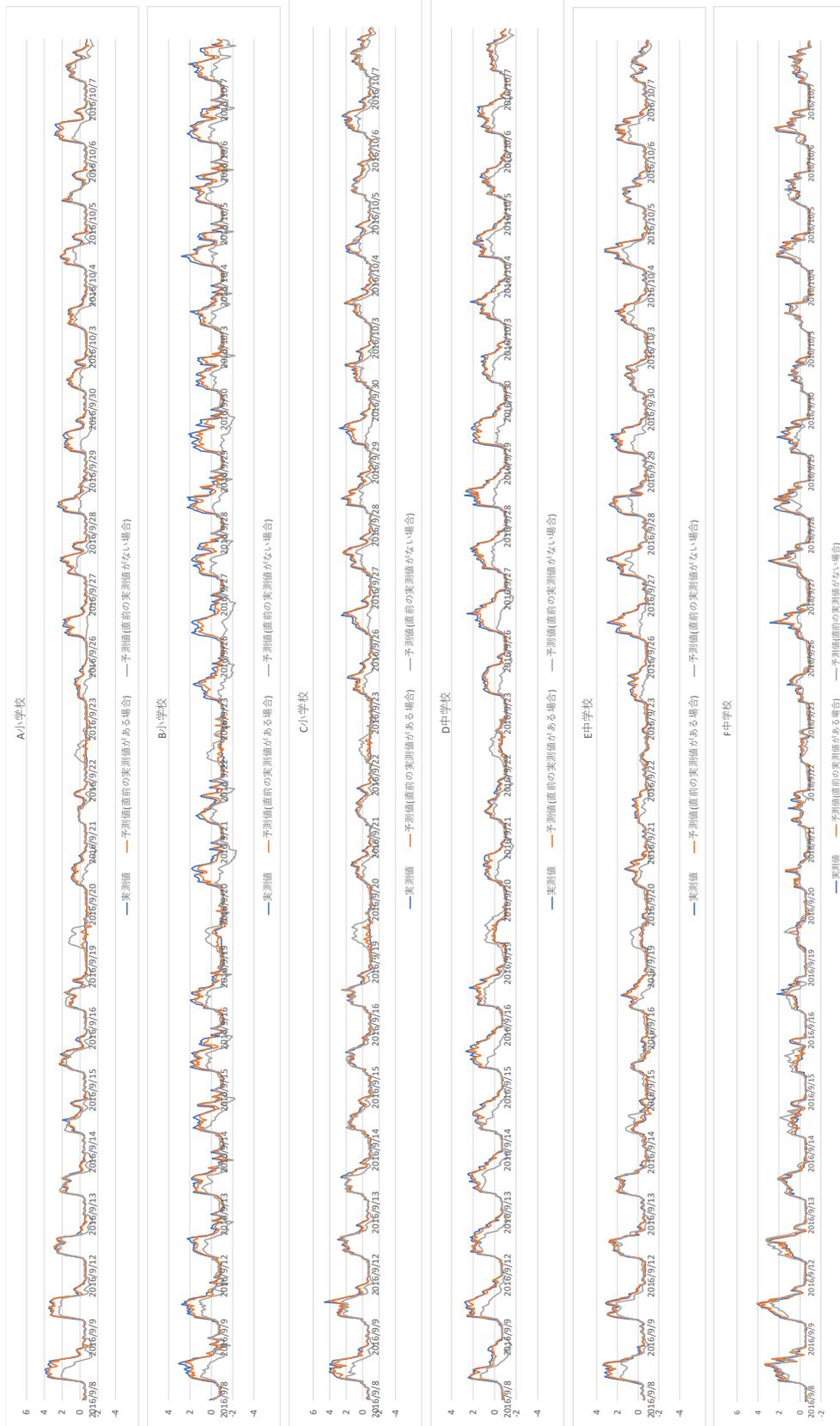


図 4-18. 各学校の実測値と予測値の比較 (夏学期)

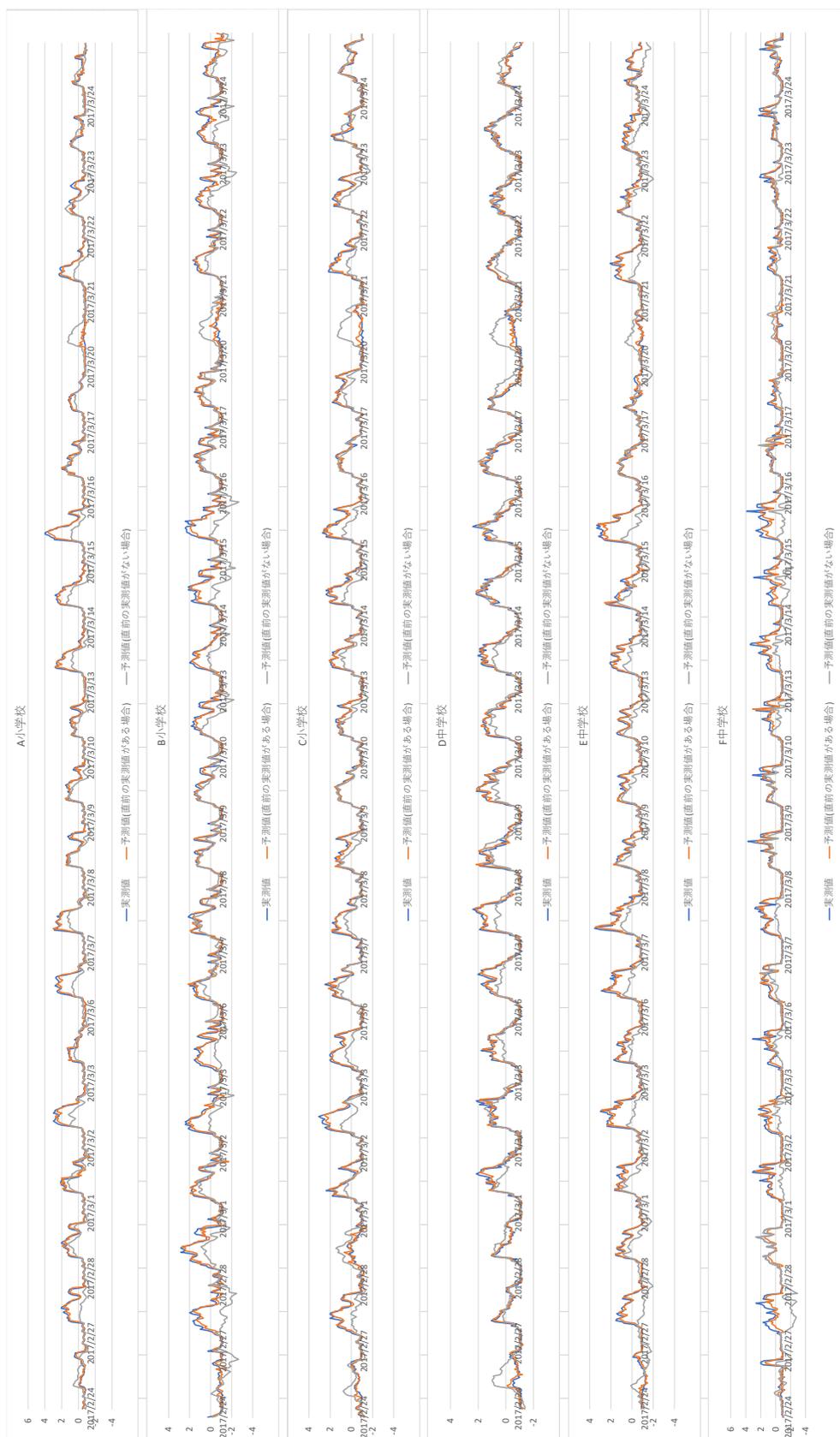


図 4-19. 各学校の実測値と予測値の比較（冬学期）

4.2.3. 考察

予測モデルについて、上記結果から実用段階にはまだ至っていないと考えられる。

その原因として以下のことが考えられる。

一つ目として、モデル自体の課題で、イベントに関する変数が電力需要を予測するのに適切な形で入っていないことが挙げられる。イベントに関する変数を入れた方が予測モデルに適していると判断したが、実際には入れないモデルで予測した学校の方が、精度がよかった。しかし、この原因の一つにスケジュール情報が日単位であることイベントに関する変数の組み込み方の問題があると考え、適当に組み込むことができれば予測能力を向上できる可能性がある。また、各学校の電力需要は授業日程や学校開放の有無で大きく変化するが、本モデルではその影響について考慮されていないことが原因であると考えられる。今後モデルの精度を向上させるためにはこれらの情報が必要となることが示唆される。

二つ目として、学校の電力使用方法が最適化されていないことが原因の一つと考えられる。直前の実測値がある場合とない場合で比べた場合、ある場合は値の誤差は大きいカーブが実測値と近い形で予測できているが、ない場合はかなり外れていることがわかる。このことから、電力需要は直前の電力消費に大きく依存しており、時間帯もしくは曜日による過去の値との相関が小さいといえる。電力使用が最適化されていれば、各時間帯・各曜日での相関が大きくなるはずであり、1日先予測の精度も上がると考えられる。よって、予測精度を上げるには学校、つまり需要家のエネルギー使用方法の最適化が必要であることが示唆される。

4.3. 学校個別での電力ピーク量の予測モデルの構築と予測精度の検証

4.3.1. 電力ピーク量の予測に用いたデータ

電力ピーク量を予測するモデルの作成と予測に用いた電力需要データは、4.1.1 項のデータから 1 日の電力ピーク量を抽出したものである。2016 年 4 月 6 日～2016 年 7 月 20 日、2015 年 8 月 25 日～2015 年 9 月 7 日を夏学期の学習用データ、2015 年 10 月 10 日～2015 年 12 月 18 日、2016 年 1 月 11 日～2016 年 2 月 22 日を冬学期モデルでの学習用データとして改めて作成した。予測期間は、夏学期は 2016 年 9 月 7 日～2016 年 10 月 7 日、冬学期は 2017 年 2 月 22 日～2017 年 3 月 24 日である。

気象データは、気象庁のホームページから取得した [27]。平均気温[°C]、容積絶対平均湿度（以下湿度）[g/m³]、最大風速[m/s]、日照時間[h]である。容積絶対湿度は相対湿度と気温から (3-1) ～ (3-3) の式で計算した。期間は電力需要データと同様、2016 年 4 月 1 日～2017 年 3 月 31 日である。

4.3.2. モデルの作成結果とモデルによる予測結果

新たに作成した 1 日単位のモデルについて、データの単位根検定結果を表 4-20 と表 4-21 に示す。この結果から、一部の学校の夏学期の電力需要データで単位根過程であるという帰無仮説が棄却されなかった。よって、これらのデータを扱うモデルは気象データと共に 1 期前のデータを入れることで見せかけの回帰の問題を回避することにした。

表 4-20. 学校個別の電力ピーク量予測夏学期モデルにおける各データの ADF 検定結果

変数名	説明	t-Statistic	Prob.*
A学校power	A学校電力需要データ（期間：夏）	-2.161	0.222
B学校power	B学校電力需要データ（期間：夏）	-2.384	0.149
C学校power	C学校電力需要データ（期間：夏）	-2.087	0.251
D学校power	D学校電力需要データ（期間：夏）	-1.979	0.296
E学校power	E学校電力需要データ（期間：夏）	-2.216	0.202
F学校power	F学校電力需要データ（期間：夏）	-2.256	0.188
temp	平均気温	-3.320	0.016
sun	日照時間	-8.804	0.000
humid	湿度	-3.788	0.004
wind	最大風速	-8.051	0.000

表 4-21. 学校個別の電力ピーク量予測冬学期モデルにおける各データの ADF 検定結果

変数名	説明	t-Statistic	Prob.*
A学校power	A学校電力需要データ (期間：冬)	-6.833	0.000
B学校power	B学校電力需要データ (期間：冬)	-10.524	0.000
C学校power	C学校電力需要データ (期間：冬)	-9.278	0.000
D学校power	D学校電力需要データ (期間：冬)	-8.197	0.000
E学校power	E学校電力需要データ (期間：冬)	-6.709	0.000
F学校power	F学校電力需要データ (期間：冬)	-7.925	0.000
temp	平均気温	-3.616	0.007
sun	日照時間	-9.065	0.000
humid	湿度	-4.426	0.001
wind	最大風速	-7.373	0.000

各学校の夏・冬期間の電力需要データの自己相関・偏自己相関を図 4-20 と図 4-21 に示す。この結果から、夏学期に関しては 6 校とも 1 期・2 期・3 期前に自己相関があったが、冬学期に関しては自己相関が 1 期前にある学校とほとんどない学校に分かれた。この結果から、夏学期の 1 日単位モデルは時系列モデル、冬学期の 1 日単位モデルは B 校と C 校については各気象データとの回帰モデル、ほかの学校については気象を含めた時系列モデルとなった。

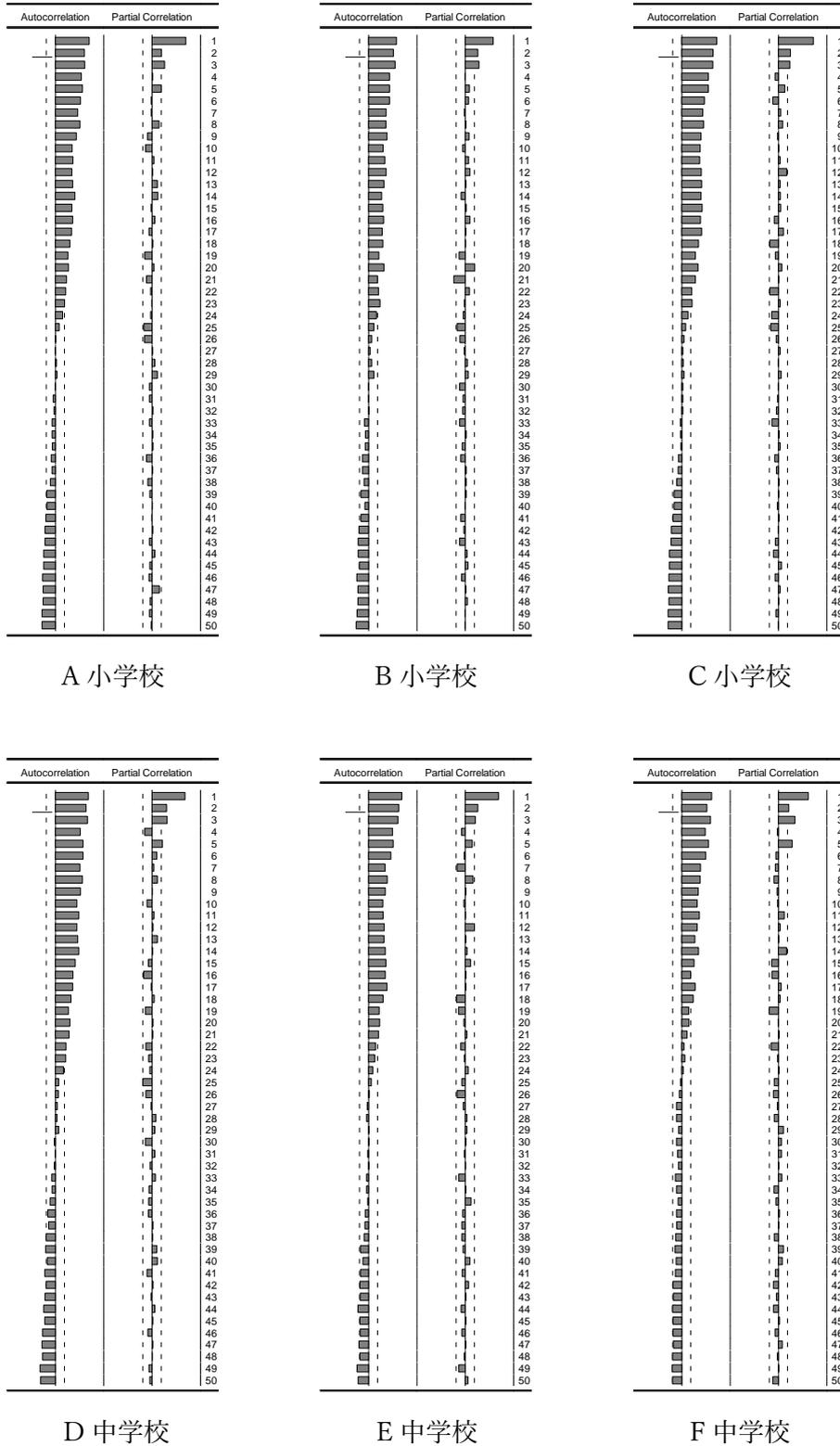


図 4-20. 学校毎の電力ピーク量データ（夏学期）の自己相関・偏自己相関関数

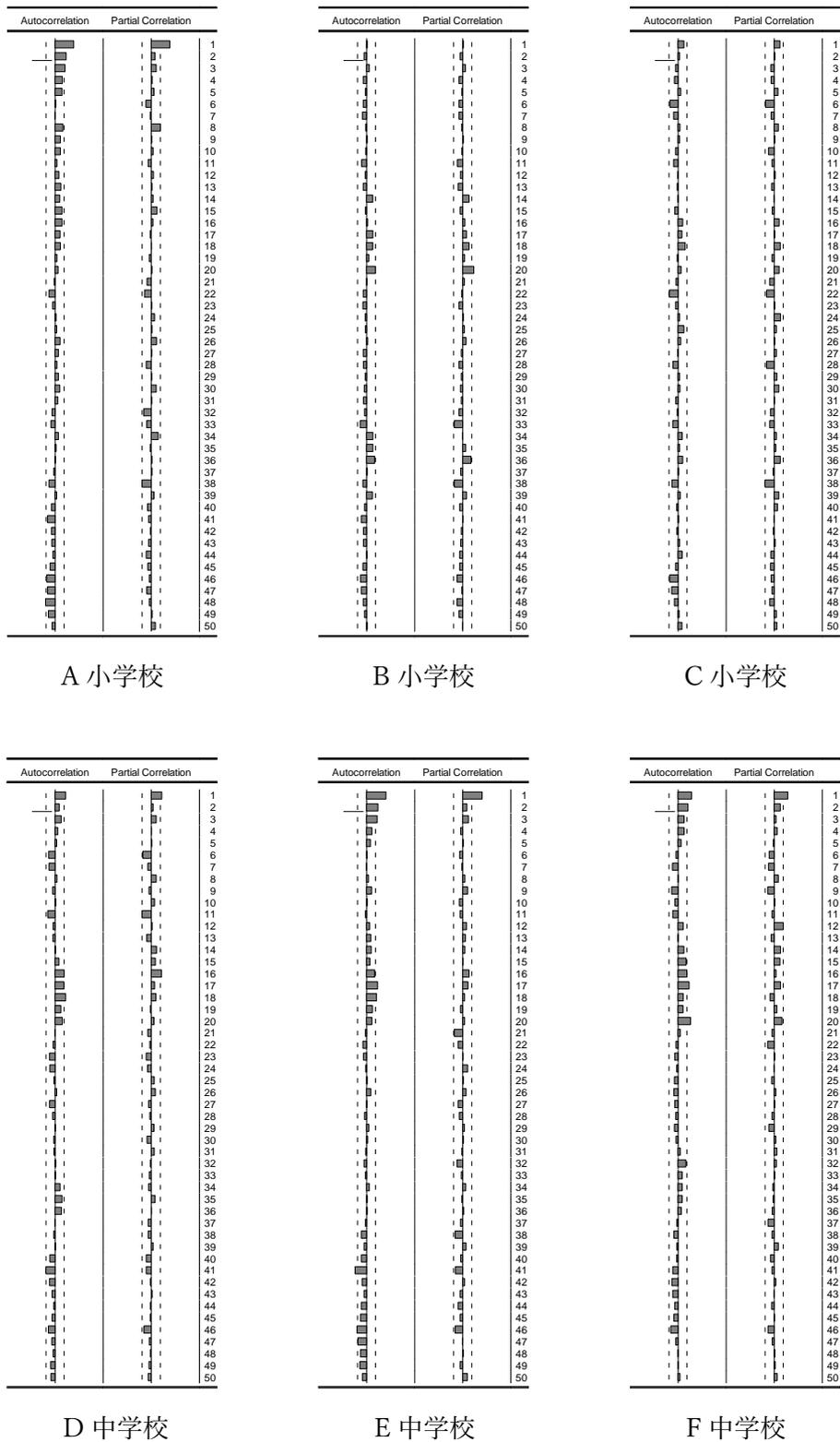


図 4-21. 学校毎の電力ピーク量データ（冬学期）の自己相関・偏自己相関関数

作成結果を表 4-22 と表 4-23 に示す。夏学期の電力ピーク量予測モデルでは、湿度と日照時間がすべての学校において有意となり、t 値も大きい結果となった。また、湿度が高いほど、日照時間が長いほど、電力ピーク量が大きくなる結果となった。冬学期モデルでは、気温は全ての学校において有意となり、気温が下がるほど電力ピーク量が大きくなる結果となった。他の変数についてはほとんどの学校で有意とならなかった。

表 4-22. 学校毎の電力ピーク量予測夏学期モデルの推定結果

変数名	説明	A			B			C		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.258	3.868 ***		0.107	1.691 *		0.218	3.048 ***	
POWER(-2)		-0.060	-0.838		0.027	0.416		0.053	0.684	
POWER(-3)		0.187	2.981 ***		0.152	2.484 **		0.125	1.826 *	
DUM_HOL	祝日ダミー	-25.855	-7.285 ***		-12.770	-11.538 ***		-20.612	-8.284 ***	
CONSTANT	定数	-37.807	-5.943 ***		1.158	0.612		-17.353	-4.026 ***	
TEMP	平均気温	1.111	2.299 **		0.199	1.328		0.742	2.189 **	
HUMID	湿度	2.1891	3.804 ***		0.652	3.580 ***		1.361	3.378 ***	
WIND	最大風速	0.380	1.299		0.219	2.400 **		0.263	1.280	
SUN	日照時間	4.649	5.152 ***		0.494	1.746 *		1.724	2.731 ***	
R-squared		0.839558			0.807172			0.832907		
Adjusted R-squared		0.826188			0.791102			0.818983		
Akaike info criterion		7.22771			4.88481			6.50606		
変数名	説明	D			E			F		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.185	2.626 **		0.256	3.484 ***		0.256	3.340 ***	
POWER(-2)		0.043	0.583		-0.015	-0.189		-0.053	-0.632	
POWER(-3)		0.219	3.275 ***		0.107	1.520		0.161	2.074 **	
DUM_HOL	祝日ダミー	-13.858	-7.681 ***		-20.104	-6.777 ***		-9.393	-4.050 ***	
CONSTANT	定数	-6.616	-2.116 **		-22.520	-4.333 ***		-13.305	-3.311 ***	
TEMP	平均気温	0.227	0.924		0.560	1.388		0.248	0.801	
HUMID	湿度	1.1537	3.805 ***		1.961	4.105 ***		1.335	3.450 ***	
WIND	最大風速	0.015	0.098		0.374	1.529		0.200	1.043	
SUN	日照時間	1.511	3.256 ***		3.246	4.344 ***		2.656	4.435 ***	
R-squared		0.817926			0.803059			0.718150		
Adjusted R-squared		0.802753			0.786647			0.694663		
Akaike info criterion		5.90327			6.84902			6.37984		

表 4-23. 学校毎の電力ピーク量予測冬学期モデルの推定結果

変数名	説明	A			B			C		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.214	2.525 **							
DUM_HOL	祝日ダミー	-17.583	-3.552 ***		-11.220	-6.013 ***		-15.660	-5.691 ***	
CONSTANT	定数	42.137	6.833 ***		24.629	11.676 ***		33.488	10.766 ***	
TEMP	平均気温	-1.738	-3.473 ***		-0.519	-2.662 ***		-0.525	-1.826 *	
HUMID	湿度	0.930	0.955		0.547	1.389		0.179	0.309	
WIND	最大風速	-0.095	-0.359		-0.069	-0.638		-0.091	-0.571	
SUN	日照時間	-1.491	-1.405		-0.509	-1.200		-0.925	-1.481	
R-squared		0.428410			0.368351			0.334618		
Adjusted R-squared		0.394787			0.337983			0.302628		
Akaike info criterion		7.61691			5.82000			6.59672		

変数名	説明	D			E			F		
		Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.	Coefficient	t-Statistic	Prob.
POWER(-1)	時系列変数	0.130	1.506		0.247	3.085 ***		0.164	1.933 *	
DUM_HOL	祝日ダミー	-12.423	-4.479 ***		-17.865	-4.093 ***		-8.687	-3.779 ***	
CONSTANT	定数	26.606	7.710 ***		36.277	6.665 ***		24.347	7.866 ***	
TEMP	平均気温	-0.721	-2.600 **		-1.756	-4.001 ***		-0.397	-1.703 *	
HUMID	湿度	0.6093	1.107		1.455	1.697 *		-0.133	-0.292	
WIND	最大風速	-0.099	-0.666		0.021	0.092		-0.117	-0.947	
SUN	日照時間	-0.115	-0.191		-1.127	-1.203		-0.246	-0.495	
R-squared		0.311441			0.461043			0.314018		
Adjusted R-squared		0.270938			0.429339			0.273666		
Akaike info criterion		6.45586			7.36008			6.09054		

各学校夏学期・冬学期それぞれについて、30分単位モデルと1日単位モデルの予測した電力ピーク量の MAPE を比較した結果を図 4-22 と図 4-23 に示す。夏学期モデルについては6校すべて、冬学期モデルについてはB小学校を除く5校が、30分単位で電力ピーク量を予測するよりも1日単位で電力ピーク量を予測する方が、精度が高い結果となった。

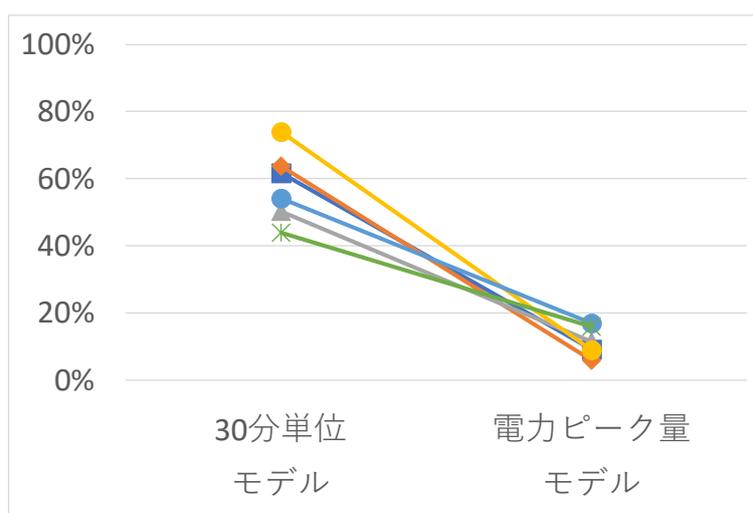


図 4-22. 30分単位モデルと1日単位モデルを比較した結果（夏学期）

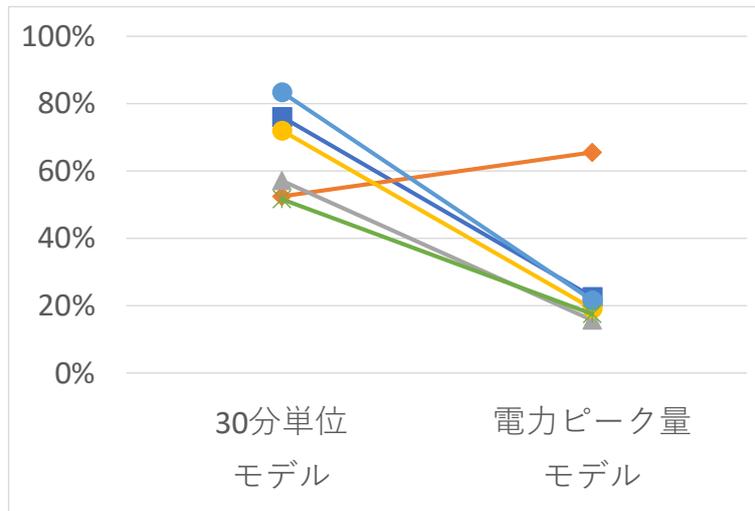


図 4-23. 30分単位モデルと1日単位モデルを比較した結果（冬学期）

4.3.3. 考察

電力ピーク量と気象の関係について、夏学期モデルでは湿度が高まると電力ピーク量が高くなり、30分単位で予測する場合と同じ傾向が見られた。30分単位の予測モデル同様、気温ではなく湿度の変数が有意となり、かつt値が大きくなったことから、夏は気温の高さよりも蒸し暑くて不快に感じられるとエアコンの需要が増えることが示唆される。よって、夏の電力需要を議論する際は、気温のみならず湿度も含めなくてはならないことが示唆される。

電力ピーク量の予測においては、30分単位で予測するよりも1日単位で予測した方がより精度よく予測できた。しかし、B小学校の冬学期モデルについてのみ、1日モデルの方のMAPEが大きくなった。B小学校の電力ピーク量の実測値の推移をしてみる（参照）と、ほかの学校と比べて一定であることがわかる。本モデルでは気象と関係あるという仮説のもと予測モデルを作り予測を行ったが、B小学校に関してはこの仮説が当てはまらなかった。この原因としては考えられるのは、4.1.3項の考察でも挙げた、B小学校はGHPでありエアコンの需要による電力ピーク量の変動がないことである。もう一つは、B小学校では電力ピークを迎える時間帯では教室数を調整するなどして負荷平準化を積極的に行っている可能性があることである。前者については、同じくGHPを導入しているA小学校・C小学校ではB小学校と同様の変化が見られなかったことから、これが原因である可能性は低い。よって後者である可能性が高いことが示唆される。本研究では各学校のそのような内部情報は取得していないが、今後各学校の省エネ対策事情を把握し解釈していく必要がある。

第5章 結論

5.1. まとめ

地球温暖化防止のためには省エネを今まで以上に行う必要があり、特に家庭・業務部門においてはスマートコミュニティのような我慢しない省エネ対策が必要であることを述べた。そのような省エネ対策を行う上で、建物あるいは地域単位でのエネルギーマネジメントが必要であることを述べた。そのためには電力需要予測が重要となるが、先行研究では公共施設の中でも多くを占め、省エネ可能性が高いことで注目されている学校を対象とした研究はないことを述べた。

以上のことから、本研究は、小中学校を対象に、時系列分析によって電力需要予測モデルを構築することで、そのモデルによって学校の電力需要構造を分析し、需要予測がどの程度まで可能であるかを明らかにすることを目的とした。

まず、地域単位の総電力需要を対象にモデルを構築することで、学校の全体的な需要構造を分析し、予測に適したモデルを模索、予測精度の検証を行った。東京都23区の345校を対象に総電力需要予測モデルを構築した。このモデルは、気温や湿度、天気などの気象の影響を考慮したモデルであるが、それぞれの気象条件が夏・冬における電力需要との関係性を明らかにした。気象の影響度合いは小さく、時系列変数のみでも精度よく説明できることがわかった。このことから、学校全体の傾向として、照明の需要が8割を占めていることから気象の影響は受けにくいことがわかった。予測に関しては、1日先予測ならば電力需要の実測値と気象情報のみで実際の運用に利用するのに十分な精度を担保でき、本研究の総電力需要予測モデルは電力供給サイドにとって効率的な供給の実現に繋がるといえる。

次に、特徴の異なる学校を対象に、個別にモデルを構築することで、個別で見た場合どのような特徴をモデルで考慮しなければならないのかについて検討し、予測に適したモデルを模索、予測精度の検証を行った。各学校の傾向として、夏は湿度・天気、冬は気温が仮説と一致する形となった。しかし、イベントに関する変数はデータ数の不足や単位の課題が残されており、現段階では予測の向上に繋がらないことがわかった。予測に関しては、30分単位での予測は実用に至るレベルには達していなかった。この原因として、モデル自体の課題もあるが、学校の電力使用が最適化されていないことが考えられる。電力需要予測をより正確に行うためには、電力使用法を見直す必要があることが示唆される。一方、電力ピーク量の予測に関しては、30分単位のモデルと比べて実用できるレベルに近づいた。この予測モデルはその学校でのピークをあらかじめ予測できることから負荷平準化に役立つと考えられる。

5.2. 今後の課題と展望

本研究の課題として、一つ目にデータの精緻化およびデータ数の増加が挙げられる。学校行事などのイベントの情報の精緻化及び学習データの増加が必要である。学校個別のイベント変数が精度向上に有効ではなかった原因として、イベント情報が日単位であったこと、予測モデルの学習用データが半年では単発的なイベントに対して十分でなかったことが考えられる。また、本研究でのモデルの実用性を検証するためには、気象データを実測値ではなく、予報値を用いる必要があると考えられる。

二つ目に、対象とした学校数が少ないことが挙げられる。6校を対象に個別のモデルを作って予測精度を検証したが、本研究のモデルが他学校でも適用できるか、適用できない場合のモデルの課題を洗い出し、より予測精度を向上する必要がある。また、学校数を増やすことで、より一般化したモデルに近づけることも可能になると考えられる。

今後の展望としては、一つ目に本研究のモデルを用いて供給サイドが電力を供給するにあたりどの程度の効率化が可能になるかが挙げられる。本研究では予測精度を確認して実用性の可能性を述べたが、実際に実用した場合に供給の効率化が計れるかを検証していく。

二つ目として、需要サイドにピークアラートを出すことでどの程度の省エネ効果があるかなど、省エネ効果を検証・評価していく必要がある。その際に、どのようにモデルを運用するかを考える必要がある。

三つ目として、学校の電力使用の最適化の方法を模索することが挙げられる。本研究で学校の電力需要の予測には電力消費の最適化が必要であることが示唆されると述べた。実際の学校を対象に、最適化の余地があるかを検証し、方法を模索していくことが挙げられる。

参考文献

※インターネットの文献の最終アクセス日はすべて 2018 年 2 月 22 日である。

- [1] 環境省, “STOP THE 地球温暖化 2017,” 2017. :
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/knowledge/Stop2017.pdf>.
- [2] 環境省, “地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案の閣議決定について,” 2016. : <https://www.env.go.jp/press/102217-print.html>.
- [3] 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>.
- [4] 国家戦略室, “エネルギー・環境に関する選択肢,” 2012. :
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20120713/gaiyo.pdf>.
- [5] 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/>. [アクセス日: 11 1 2018].
- [6] 資源エネルギー庁, “「ベンチマーク制度の概要について」,” 2016. :
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/koujo_wg/2016/pdf/001_03_00.pdf. [アクセス日: 11 1 2018].
- [7] ZEB の実現と展開に関する研究会, “ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について～2030 年での Z E B 達成に向けて～,” 2009. :
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g91224b08j.pdf>.
- [8] 経済産業省, “スマートコミュニティ事例集」を作成しました～エネルギーの利活用の最適化を進めます～,” 2017. :
<http://www.meti.go.jp/press/2017/06/20170623002/20170623002.html> .
- [9] 国家戦略室, “地球温暖化に関する取組,” 2011. :
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111221/sankou2.pdf>.
- [10] 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.
- [11] みどり東京・温暖化防止プロジェクト, “スマートコミュニティ構築に向けたガイドライン,” 2015. : http://all62.jp/saisei/sc_h26/guideline.pdf.
- [12] 資源エネルギー庁, “スマートコミュニティ事例集,” 2017. :
<http://www.meti.go.jp/press/2017/06/20170623002/20170623002-1.pdf> .
- [13] 福岡県企画・地域振興部, “福岡県におけるエネルギー施策の取り組み状況と課題について,” 2017. :
http://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/275808_52749861_misc.pdf.
- [14] 経済産業省, “スマートグリッド・スマートコミュニティ,” 2013. :

[http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/..](http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/)

- [15] 武. 灰田, 昭. 武藤, “重回帰手法に基づいた最大需要予測支援システムの開発,” 日本オペレーションズリサーチ学会, 第 巻 41, 第 9, pp. 476-480, 1996.
- [16] [英. 田中, 淳. 長谷川, 正. 伊藤, “重回帰分析と階層型ニューラルネット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, 第 9, pp. 466-503, 1996.
- [17] 修. 石岡, 佳. 佐藤, 徹. 石原, 芳. 植木, 哲. 松井, 達. 飯坂, “NN 応用電力需要予測システムの開発,” 電気学会, 第 巻 120, 第 12, pp. 1550-1557, 2000.
- [18] 達. 飯坂, 哲. 松井, 良. 福山, “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, 第 巻 124, 第 3, pp. 347-354, 2004.
- [19] 修. 近藤, 正. 野林, 修. 銚井, “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, 第 巻 37, 第 1, pp. 34-42, 2015.
- [20] 昌. 市川, 政. 向井, 信. 西尾, “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, 第 %1 巻 (全 %2 巻)2012-HCI-150, 第 17, pp. 1-5, 2012.
- [21] 暁. 小澤, 好. 吉田, “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, 第 巻 27, pp. 97-102, 2013.
- [22] 暁. 小澤, 好. 吉田, “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, 第 巻 36, 第 5, pp. 12-23, 2015.
- [23] 篠原靖志, “オフィス・家庭用エネルギー機器の最適運用手法の開発,” 電力中央研究所, 2003.
- [24] 小澤暁人, “生活行動の違いを考慮した家庭における省エネルギーの評価,” 東京大学新領域創成科学研究科環境システム学専攻博士論文, 2016.
- [25] 裕. 川野, 敏. 山田, 博. 阿倍, 宏. 中島, “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, 第 巻 3, 第 1, pp. 53-63, 2013.
- [26] 悠. 上吉, 毅. 峰豪, 章. 西宏, “クラスター型エネルギーマネジメントに向けた大学キャンパスのエネルギー計測システム,” 情報処理学会研究報告, 第 巻 27, 第 3, pp. 1-8, 2010.
- [27] 剛. 紺野, 悟. 高橋, 弘. 北島, 佑. 寺西, 俊. 園田, “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, 第 %1 巻 (全 %2 巻)2013-GN-86, 第 5, pp. 1-6, 2013.
- [28] 容. 山口, 吉. 下田, 稔. 水野, “居住者の行動を基準としたオフィスの熱・電力需要シミュレーションモデルの開発,” 空気調和・衛生工学会, 第 巻 93, pp. 37-47, 2004.
- [29] 国土交通省, “学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書,” 2014. :
<http://www.mlit.go.jp/common/000211282.pdf>.
- [30] 文部科学省・国土交通省, “学校ゼロエネルギー化に向けて,” 2012. :
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2012/

06/19/1321285_02.pdf.

- [31] 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/afiedfile/2012/07/05/1323224_08.pdf.
- [32] 文部科学省, “文部科学統計要覧（平成 27 年度）,” 2015. :
http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/002/002b/1356065.htm.
- [33] 沖本竜義, 「経済・ファイナンスデータの計量時系列分析」, 朝倉書店, 2010.
- [34] IHS Global Inc. , Eviews 9.5 ユーザーガイド I・II, 株式会社ライトストーン , 2015.
- [35] 気象庁, “過去の気象データ,”
- [36] 足立区, “これからの学校開放,” 2017. :
<https://www.city.adachi.tokyo.jp/sports/chiikibunka/sports/documents/gakkoukaihou.pdf>.
- [37] 足立区教育委員会 , “足立区立小・中学校の施設更新計画,” 2013. :
<https://www.city.adachi.tokyo.jp/kyoiku/documents/sisetukousin.pdf>.

謝辞

本論文は、東京大学新領域創成科学研究科環境システム学専攻において2016年4月から2018年2月までの間に行ってきた研究の成果を記したものです。本論文の締めくくりとしまして、ご指導・ご協力いただいた皆様にこの場を借りてお礼申し上げます。

指導教員である吉田好邦教授には、深く感謝しております。ゼミや打ち合わせなど、的確なご指導をしてくださり研究を適切な方向に導いてくださいました。大変感謝申し上げます。

副査としてご指導いただきました大島義人教授は、異なる視点で研究の切り口をご指導してくださいました。誠にありがとうございました。

本研究を進めるにあたって、学外の多くの方々にご協力いただきました。

東京エコサービス株式会社には、研究のための小中学校の総電力需要データを提供していただきました。また、東京エコサービス株式会社の浅香義久様、猿田正博様、大寶慎哉様、清水偉巳様、松崎浩一様、金澤将利様、東京ガス株式会社の小山俊彦様、片野伯則様、片山州央様、近藤瑛佑様には、実用面の観点・業界人の視点でのご意見をいただき、研究をより実用に近づけることが出来ました。

足立区教育委員会事務局には、研究のための学校ごとの電力需要データを提供していただきました。また、足立区教育委員会事務局の方々、Panasonic株式会社の澤村浩様、斎藤恒宏様、岡嶋亮良様、新井田洋一様、藤田宗佑様には、研究への貴重なご意見をいただきました。

ご協力して下さった皆様に大変感謝申し上げます。

同研究室の博士課程の鈴木伸隆さんには、ご多忙の中、数多くの貴重なご意見をいただきました。誠にありがとうございました。

吉田研・井原研に在籍された方々にも非常にお世話になりました。研究に限らず日常生活でも支えてくださり、有意義な大学院生活を送ることができました。大変ありがとうございます。

最後になりましたが、これまで私生活の面から私を支えてくれた父と母にも心から感謝の意を申し上げます。

2018年2月
野原珠華