

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

灰田 武史, 武藤 昭一

1. はじめに

電力需要予測は電力会社にとって電力の安定供給と経済的な系統運用のために欠くことのできない業務である。特に翌日と当日の最大需要の予測は発電機の運転計画、供給予備力の決定など日々の系統運用業務の基となる予測として、需給運用に関する計画とその日常業務を担当する中央給電指令所における重要な業務となっている。

最大需要の予測は、過去の需要データや電力需要と密接に関係のある気象等の複雑で膨大な実績データの分析と、高度な熟練を必要とする業務である。このため、予測分析作業の迅速化と省力化、および客観的予測の実現、精度向上を目指した予測支援環境の構築が望まれていた。

本稿では、こうした最大需要予測業務に対し、当社中央給電指令所と共同で開発した最大需要予測支援システムについて述べる。以下、2節では予測対象ならびに予測手法構築にあたっての考え方と各種の予測手法の概要を述べる。3節では前節で述べた各予測手法の基本である重回帰を利用した予測方式について説明する。4節ではグラフ機能などの予測業務支援機能について触れるとともに、システムの予測精度の評価結果について述べる。

2. 最大需要予測支援システムの概要と予測手法の考え方

2.1 予測対象

予測対象の最大需要とは翌日ならびに当日の発受電電力量¹の毎時総電力の最大値(kWh値)である。また、予測対象日は平日、平日外の区別なく、年間を

はいだ たけし, むとう しょういち
東京電力(株)システム研究所 AI 研究室
〒231 横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1

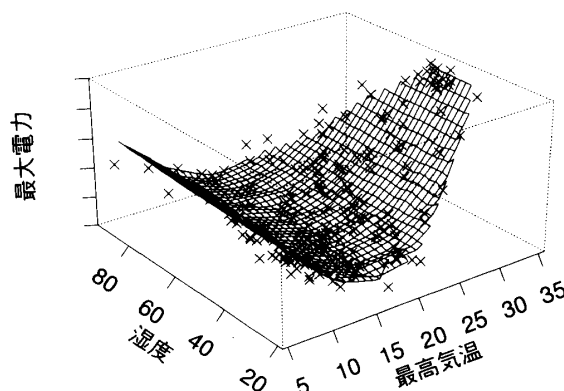


図1 最大需要と最高気温、相対湿度との関係

通じた毎日としている。

2.2 予測手法の考え方

最大需要をはじめとした短期の電力需要を計算機をベースに予測する方法としては、需要の推移を自己回帰モデルや状態空間モデル等の時系列モデルにより表現し予測モデルとする方法と、電力需要との間に相関がある要因を見つけ出し両者の関係を重回帰モデル等の統計モデルにより表現し利用する方法の2通りの方法が考えられる。今回対象とする最大需要は、冷房需要や暖房需要として現れるように気温などの気象条件との間に高い相関関係が存在する(図1)。そこで、これらの関係を表現するのに適している後者の方法を予測手法の基本として用いることとした。また、最大需要予測は業務としての重要性から単に予測結果が得られるばかりではなく、システムの計算過程が充分理解できることと、予測結果に対して必要な修正が容易に行えることも重要である。この点からも後者の重回帰モデルに基づく手法は、予測担当者のこれまでの経験を活かすことのできる方法として適している。

¹ 自社発電所にて発電した電力と他社から送電を受けた電力の和のこと。需要家の消費電力は送電線、配電線による送電損失分ならびに変電所の構内消費分を差し引いた値となる。

2.3 予測手法の構成

下記に示すように、予測対象日から通常予測と特異期間の2つに大別し構築している。このうち通常予測については複数の観点から翌日、当日の予測が検討できるよう4種類の予測手法を実装している。

- 通常予測 (特異期間を除く平日、土日祝日の予測)
 - 重回帰予測
 - 代表日前日予測
 - 代表日類似気象日予測
 - 需要比予測
- 特異期間予測 (年末年始、GW、お盆の特定期間の予測)

まず、通常予測について述べる。4種類の予測方式のうち、需要比予測を除き他は重回帰予測の手法が基本となっている。重回帰予測は過去の電力需要と気象との関係を重回帰モデルにより表現しこれを予測式として用いる方法である [1]。重回帰予測の詳細については次節で述べる。代表日前日予測は重回帰予測で得られた予測式を予測日前日の最大需要実績値が基準となるよう修正し予測式として利用する方法である。代表日類似気象日予測は予測日と気象状況、曜日種別が似た過去の日をユークリッド距離を尺度として検索し、同類似気象日の需要実績に予測日との気温や湿度などの気象差分を補正し予測値を求める方法である。気象差分の補正に使用される気温、湿度の需要に対する感応係数は重回帰モデルの回帰係数が利用される [2]。需要比予測は当日予測のみに実行される方式である。これは代表日類似気象日予測と同様に過去の類似日を検索し、同類似日朝の需要実績値と最大需要実績値との比率を求め、これに予測日当日の朝の実績需要を乗じ予測値を算出する方法である [3]。重回帰モデルによらない簡易な予測手法として利用される。なお、代表日類似気象日予測と需要比予測では類似日候補をそれぞれ3日ずつ選択し各類似日をベースにした予測値が個別に算出される。

さらに通常予測では土日や祝日といった平日以外の日も予測する。電力需要は、主に気温の変化に応じて需要モデル構造が変化していくため、予測モデル推定に利用できるデータは限られている。それでも平日については、平日のデータのみを使って回帰モデルを作成するようにしているが、土日や祝日については、デ

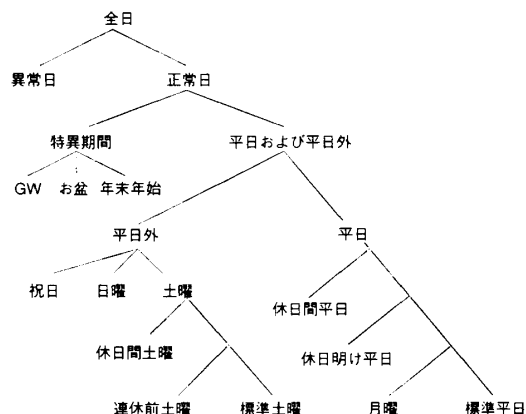


図2 回帰データ等の分類

ータ解析を行ったところ、これらの日のデータのみから、もしくは曜日フラグを用いる方法では、回帰係数の推定精度として満足できる値を得ることが困難であった。そこで、平日外の予測では予測対象を平日とみなし、平日データを回帰データとして求めた予測モデルにより得られる予測値と至近の土日祝日の実績需要から対平日格差率を推定し、この格差率を用いて予測する方式を採用している。なお、曜日の分類の詳細は図2のようになっており、実際は、さらにこの分類ツリーを用いた細かな予測計算が行われる。

特異期間予測は通常予測とは異なり重回帰モデルを基本とする格差率予測が実行される。特異期間中の需要は日付、曜日パターンに大きく依存するため [4]、過去11年間の実績データの分析結果に基づき格差率算出ルールを決定し予測に使用している。

3. 重回帰手法に基づく最大需要予測手法

以下には本システムの予測方式の基本となっている重回帰手法をベースとした予測モデルについて述べる。

3.1 基本モデルとその課題

重回帰モデルを用いた予測では (1) 式に示すように最大需要 P を、日中の最高気温など最大需要と相関のある要因 $X_k (k = 1, \dots, m)$ を説明変数とした回帰モデルにより表現し、回帰係数を実績データに基づき推定、これを予測式とする。

$$P = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_m X_m + \epsilon \quad (1)$$

説明変数としては最高気温の他に最低気温や湿度などの気象データが主として用いられる。また、晴や雨といった天気や、気象以外の変数として曜日情報等

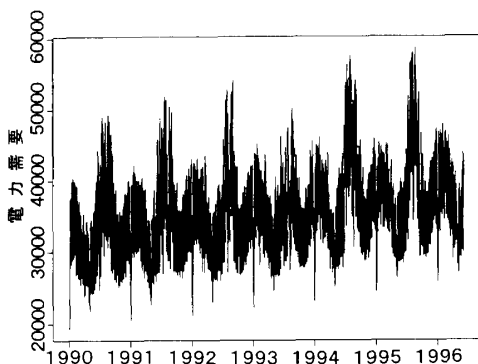


図3 最大需要の推移

も数量化し用いる場合がある。さらに、気温など需要との間に非線形な関係が見られる説明変数については高次項を加えるなど多項式的表現を行う場合がある。

ところで、電力需要は図3に見られるように、経済成長に伴うと考えられるトレンドがあるため、予測モデル推定のためには予測日至近のデータを回帰データとして用いることが望ましい。しかし、最大需要は季節の移り変わりに伴い冷房需要、暖房需要といった需要特性の変化があるため予測モデルを予測日至近のデータを基に求めた場合には回帰モデルの線形、非線形にかかわらず、外挿予測に伴う予測精度低下の問題が生じる。この点からは予測する気温等を包含するような過去年度同時期データを回帰データに用いる方法が望ましいこととなる [1]。

3.2 変数変換処理による多年度データの利用

前述の課題への対処として本システムでは回帰説明変数の変換を利用することで過去多年度にわたる需要データと予測日至近データの両者を基に予測モデル作成を行う方法を開発し使用している。

以下に本方式を説明する。まず、最大需要と気象との関係を (2) 式に示す重回帰モデルとして考える。

$$\begin{aligned}
 P &= F(\mathbf{X}) \\
 &= a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_1^2 + \dots + a_m X_k + \dots \\
 &= a_0 + f_1(X_1) + \dots + f_k(X_k) \dots \quad (2)
 \end{aligned}$$

P は最大需要、 \mathbf{X} は予測日の気温や湿度などの気象関連の変数である。また、気温関連の変数については需要との間の非線形関係を表現するため二乗項まで用いる。この重回帰モデルを予測日の過去年度同時期のデータにあてはめる。回帰係数 $a_i (i = 1, 2, \dots)$ の推定

には通常最小二乗法を用いる。

予測の際には同式を回帰モデルに用いる説明変数の変換式として利用する。(3)~(6)式には変数変換式としての利用例を示す [5]。予測に用いる回帰モデルは変数変換後の回帰モデルの回帰係数を予測日至近のデータを用いて推定することにより得られる。

- 増分型

$$P = F(\mathbf{X}) + \beta \quad (3)$$

- 比例型

$$P = \alpha F(\mathbf{X}) \quad (4)$$

- 回帰型

$$P = \alpha F(\mathbf{X}) + \beta \quad (5)$$

- 多変数回帰型

$$P = \alpha_0 + \alpha_1 f_1(X_1) + \dots + \alpha_k f_k(X_k) \dots \quad (6)$$

言い換えるとこれは過去年度の最大需要と予測年度の最大需要を回帰モデルとして眺めた場合に、両者の間に相似性を仮定した上で過去の比較的豊富なデータを利用するという考え方を示している。(3)~(6)式の4種類の関係式は過去年度と予測年度との関係のモデル化の詳細度を表していることになる。

(3)式は最大需要がベース成分のみ変化するというモデルである。(4)式は最大需要は過去年度に対して等比例的に伸びるというモデルである。(5)式は両者の特質を合わせ持ったモデルである。(6)式は最大需要のベース分の伸びと各気象要因による需要の伸びを推定するモデルである。

これらのモデルはそれぞれ過去任意の年度と予測年度との関係を示す式であるため、さらに、平均的な予測モデルとするためには、過去多年度にわたりそれぞれの関係式を求め得られた結果を合成することになる。下記には (7) 式の比例型モデルを例にした平均的な予測モデル式を示す。

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_i a_{0,i} + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_i a_{1,i} X_1 + \dots \\
 &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_i F_i(\mathbf{X}) \quad (7)
 \end{aligned}$$

3.3 アルゴリズム

本手法の具体的な計算手順例を以下に示しておく。

1. 回帰データの選定

予測日の至近 n 日分の平日データと、過去 i 年度の予測日と同一日付の前後各 n 日の平日データ

を回帰データとして集める。 n は季節に応じて変化させるが20日程度を中心にした値が使われる。

2. 単年度回帰式の算出

過去 i 年度の回帰データに基づきモデルの過去年度の回帰係数を推定する。

3. 変数変換によるトレンド推定

上記で求められた過去単年度の回帰式をもとに予測日近至 n 日分のデータを用いて(3)~(6)式で示される任意の変換モデルについてそのトレンド変化分を推定する。

4. 多年度回帰式の合成による予測用回帰式算出

上記の手順を過去 m 年間それぞれの年について行い(7)式の例に従い平均的な回帰モデルを求める。

5. 予測実行

4. で求めた回帰モデルの説明変数に予報気象値等の予測日の値を代入し予測値を得る。

3.4 予測手法構築にあたっての他の特徴

先に述べた基本方式の他、次のような電力需要の特性を考慮した予測手法となっている。

3.4.1 大口負荷、曜日間格差の処理

大口需要家の休業による需要減少量および平日曜日間需要格差の影響を取り除くため、需要実績値へは前もって当該量を補正する機能を設けている。また、逆に算出された予測値からは予測日の当該量を補正する機能を設けている。ここで、休業分については事前調査結果に基づく値を用いている。曜日間格差については回帰説明変数にフラグ変数を用い求める方法もあるが、回帰データ量と係数推定精度のバランス上、あらかじめ別途分析により求めた曜日間格差量を大口需要家の休業分と同様に補正処理する方法をとっている。曜日間格差量の推定は季節別、時間帯別に回帰モデルを作成し、曜日毎にその残差分析を行い求めている。

3.4.2 地方気象情報の利用

当社供給範囲は1都8県にわたっており最大需要と密接な関係がある気象状況には地域差がある。気温や湿度など予測式に使用する変数値は需要供給の面的広がりやを考慮し、主要9都市の気象データを各地域の供給量に比例し加重平均した値を用いている。

3.4.3 時間帯別予測の利用

一日の最大需要の発生時刻は季節や天候、日中の気温変化パターンにより影響を受ける。より確度の高い予測を行うため、10時、12時、15時、18時といった指定時の気象データを利用するとともに、時間帯毎の需要特性を考慮するため、一日を午前、午後、点灯時といった時間帯に区分しそれぞれの時間帯別の最大需要を予測し、その結果から一日の最大値を求める時間帯別予測を用いている。

3.4.4 モデルの選択

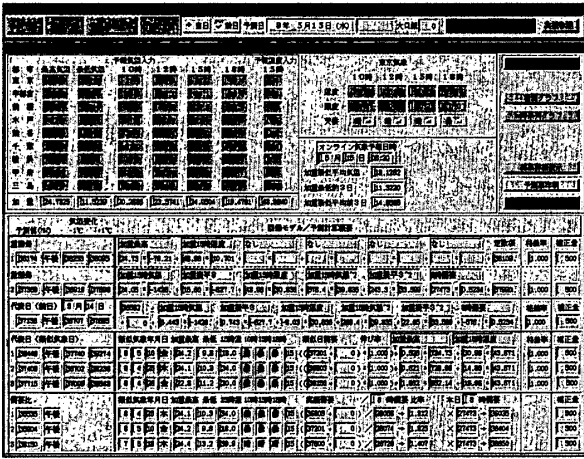
最高・最低・指定時気温をはじめ、暑さの累積効果を表現するための過去3日間の平均気温、湿度、照度など選択可能な変数の候補は60以上に及んでいる。回帰モデルにおけるこれらの変数の組合せはシステムの自動予測モードでは期間毎に設定可能となっており、期間数は年間を最大12期間まで分けることができる。これらのモデルは過去データを基に実施した予測シミュレーション結果および回帰分析等の統計分析結果に基づいて決定しており、決定の際にはAICなどのモデル選択基準による評価結果も考慮している。毎回の予測時での自動的な説明変数の選択等については今後の検討事項である。

4. 各種予測支援機能ならびに予測シミュレーションによる予測精度の評価結果

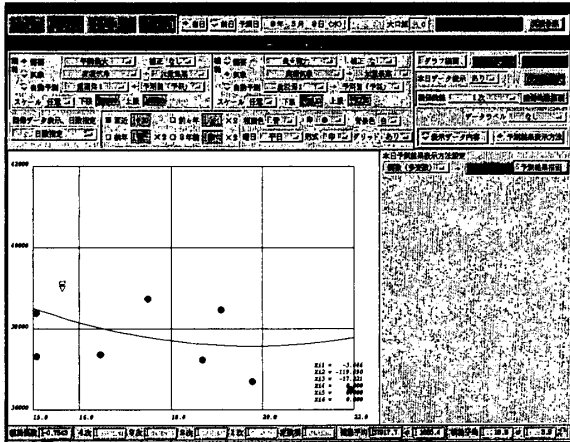
4.1 予測支援機能

以下に本システムの主な支援機能をまとめる。

- 自動、手動予測機能 設定されている予測用パラメータに基づき自動的に予測が実行される機能(図4上段)と予測パラメータをGUIを通じマニュアルで設定し予測を実行する機能がある。
- 予報気象オンライン受信機能 主要9都市の当日、翌日の予報値は気象予報サービス会社から自動的にオンライン入力される。
- 予測支援グラフ 実績需要、予測需要、予測誤差、気象等のデータ間の相関図作成、時系列表示、予測式の感度解析表示(図4下段)等の視覚表示機能を備えている。



(自動予測用画面)



(予測モデルの感度解析表示)

図4 支援システムのインタフェース

- 作表、データ変換出力 需要予測誤差ならびに予報気象誤差の作表出力、パソコンによる解析のためのデータ変換出力機能を備えている。

4.2 予測精度の評価

本稿で紹介した予測方式の評価結果として、1995年度の過去データを基に予測シミュレーションを実施し得られた予測結果を図5にまとめる。同図には平日を対象とした予測結果として予測誤差率を度数分布表示する。なお、本結果は予測対象日の気象値として実績気象を用いた場合の評価結果である。同結果において誤差の標準偏差は約1.3%、±3%以上の誤差率となった日数は年間で5日となっている。また、需要予測精度の評価で用いられることが多い誤差率の絶対値の平均値は1.0%であり、実際の運用時には予報気象ベースとなり精度は低下するものの実務に供するレベルとなっている。

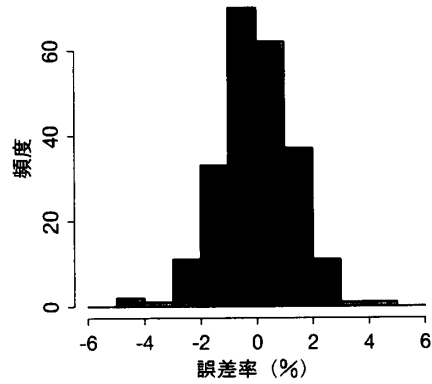


図5 予測誤差率の評価結果

5. おわりに

日々の最大需要の予測は系統運用上欠かすことのできない業務である。本稿では予測業務支援を目的に開発した最大需要予測支援システムとその基本となっている重回帰手法を用いた予測手法について述べた。

今後の課題としては、システムの運用時において予測精度を左右する要因の一つとなる予報気象精度を考慮した上で適切な予測モデルを構築する手法ならびに予測結果の評価尺度検討といった点があり、文献[6]等において検討を行っている。

なお、本システムは本年4月から中央給電指令所にて運用中である。

参考文献

- [1] T. Haida, S. Muto : "Regression Based Peak Load Forecasting Using A Transformation Technique", IEEE/PES Winter Meeting, 94 WM 206-3, 1994
- [2] 小林、灰田、武藤、高橋、黒沢、石井: "類似日を用いた最大電力予測方式の特性について", 平成8年電気学会全国大会, No.1417
- [3] 小林、武藤、高橋、黒沢、石井: "類似性に基づく需要予測方式", 平成7年度 電気学会 電力技術研究会, PE-95-44
- [4] S.Muto : "A Special Period Peak Load Forecasting Method based on Order Relations", ISAP'96, p120-125
- [5] 灰田、武藤、高橋、黒沢、石井: "多年度データを用いた重回帰による最大需要予測方式(1)(2)", 平成7年度 電気学会電力・エネルギー部門大会, No.257, No.258
- [6] 灰田、武藤、高橋、粕川、石井: "需要予測における予報気象誤差の影響", 平成7年度 電気学会 電力技術研究会, PE-95-47