

重回帰モデルを用いた負荷予測 (第1報)*

——一般負荷の変化と予測に関する基礎的考察——

中村陽一** 宮本衛市***

(平成元年10月9日受理)

Load Forecasting using The Multiple Regression Model (Part 1)*

—Fundamental Considerations for Load Variation
and Load Forecast—

by Yoichi NAKAMURA** and Eiichi MIYAMOTO***

Abstract

Since it is difficult to store and keep electric energy, the supplier of electric power must try to generate just the right amount required by the consumers. A power station cannot change its output easily, because very big equipment must be controlled, for example a boiler, a turbine, a generator etc. Consequently, forecasting electric load becomes important.

According to our survey, the forecasting error of existing or developed methods is almost 3% of the load. This error is sometimes bigger than a capacity of a power unit in many power systems. We wanted to improve the precision by developing a new load-forecasting method. This report describes our fundamental investigations concerning our new method.

The shapes of the load curve not only for Saturday and Sunday but also for Monday were different from the shapes of other weekdays. The load for Tuesday to Friday deviated about 100 MW from the average taken over other such weekdays with the same temperature and at the same time of day. Considering days with a temperature change from the previous day of a given value, the deviation of the load increment was about 50 MW from the average of such days. This means that the forecast error should be 5 or 10% if the electric load is forecasted only by temperature or temperature increase. We forecast the load using the multiple regression method. We attempted to forecast the load with various combinations of data. These data include past and present temperature and past load values. One example of a combination of data used was load levels of 48 and 24 hours ago and the previous

* 平成元年度電気関係学会北海道支部連合大会で発表 (平成元年10月)

** 北見工業大学電気工学科

*** 北海道大学工学部情報工学科

day's temperature and the forecasted temperature for the following day. The load forecast errors of the result were about 1%. Because we forecasted the load only for the previously described weekdays (Tuesday to Friday) in only June and July of 1986, this error cannot be claimed to be small but we plan to apply artificial intelligence techniques to improve this proposed method.

1. ま え が き

電気エネルギーは貯蔵したり保存しておくことが手軽にはできないので、電力供給者は需要量にちょうど見合うだけの電力を発生し、送電しなければならない。また、発電所ではボイラーを筆頭にタービンや発電機など巨大な設備が複雑に組み合わされており、需要の変化に応じてこれらを柔軟に制御するのは容易ではない。その大きな原因となっているものの1つには、設備の巨大さに由来する応答時間の長さがある。従って、これらの設備を制御するためには前もって制御を行う準備をしておかなければならない。つまり、将来の負荷をあらかじめ正確に予測しておくことが重要となる。

現在、各電力会社で実用化されている予測手法や各学会誌等に報告されている新手法では、その予測誤差が大体3%前後になっている。わが国のほとんどの電力系統で33台以上の発電機が稼働していることを考えると、この3%の予測誤差は発電機1台分以上ということになる。負荷の予測精度は、従来は系統の信頼性や経済性の面で議論されることが多かったが、それだけではなく3%の予測誤差は発電機の起動停止計画に決定的な影響を与える可能性もあることになる。

予測精度の面でより優れた負荷予測手法を開発するために、1986年の6月と7月を中心に系統負荷の変化のようすについてさまざまな検討を行う。本論で扱おうとする負荷予測は24時間後の需要量の予測である。最初に、日間負荷曲線の形を各曜日ごとに比較してそれらの違いやその違いの程度を調べる。系統負荷と気温の関係も調べて、その依存の程度を検討する。これを負荷や気温の前日から見た変化量同士の関係に置き換えた場合と比較する。上記の2カ月の実績データについて重回帰分析を行い、重回帰モデルによる負荷予測を行う。その予測誤差について考察し、予測精度の改善法を検討する。

2. 重回帰分析法の概略

負荷を予測しようとしている予測期間の長さは全部で K 日あるものとし、それぞれの日には1から K まで番号が与えられているものとする。またそれぞれの日は I 個の時間帯に分割され、それぞれの時間帯にも1から I まで番号が付けられているものとする。第 k 日の第 i 時間帯の負荷を $P(k, i)$ とする。いま、 $P(k, i)$ は N 個の実測データから計算できるものと仮定し、(1)式のような線形結合を考える。

$$P(k, i) = \sum_{n=1}^N \alpha_n \cdot X_n(k, i) \quad (1)$$

ここで、 α_n は係数であり、 $X_n(k, i)$ は負荷 $P(k, i)$ を計算するために測定した第 n 番目のデータである。

あらかじめ、(1)式と N 個の α_n と $X_n(k, i)$ を与えられたとき、(1)式の計算によって得られる予測値を $\tilde{P}(k, i)$ とする。一方、第 k 日の第 i 時間帯で測定された実績負荷を $\mathbf{P}(k, i)$ とする。第 i 時間帯の実績値に対する負荷の予測誤差の予測期間における2乗和を E_i とすると(2)式となる。

$$E_i = \sum_{k=1}^K \left\{ \tilde{P}(k, i) - \mathbf{P}(k, i) \right\}^2 \quad (2)$$

(2)式の E_i を最小にするような α_n を求めるために、(2)式の両辺を α_n で偏微分すると(3)式となる。この(3)式の値を0として $\tilde{P}(k, i)$ に(1)式を代入すると(4)式が得られる。

$$\frac{\partial E_i}{\partial \alpha_m} = 2 \cdot \sum_{k=1}^K X_m(k, i) \cdot \left\{ \tilde{P}(k, i) - \mathbf{P}(k, i) \right\} \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^N \alpha_n \sum_{k=1}^K X_m(k, i) \cdot X_n(k, i) = \sum_{k=1}^K X_m(k, i) \cdot \mathbf{P}(k, i) \quad m = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

即ち、各時間帯 i ごとに(4)式の N 元連立方程式を解いて α_n を求めることができる。

(2)式では予測誤差を MW の単位の電力で考えて最小にしたが、誤差を $\mathbf{P}(k, i)$ に対する割合で考えて、この割合について最小化することも可能である。この割合で考えた誤差の2乗和を E'_i とすると、(2)~(4)式に対応して次の(2)'~(4)'式となる。

$$E'_i = \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{\tilde{P}(k, i) - \mathbf{P}(k, i)}{\mathbf{P}(k, i)} \right\}^2 \quad (2')$$

$$\frac{\partial E'_i}{\partial \alpha_m} = 2 \cdot \sum_{k=1}^K \frac{X_m(k, i)}{\mathbf{P}(k, i)} \cdot \left\{ \frac{\tilde{P}(k, i)}{\mathbf{P}(k, i)} - 1 \right\} \quad (3')$$

$$\sum_{k=1}^K \frac{X_m(k, i)}{\{\mathbf{P}(k, i)\}^2} \cdot \sum_{n=1}^N \alpha_n \cdot X_n(k, i) = \sum_{k=1}^K \frac{X_m(k, i)}{\mathbf{P}(k, i)} \quad m = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4')$$

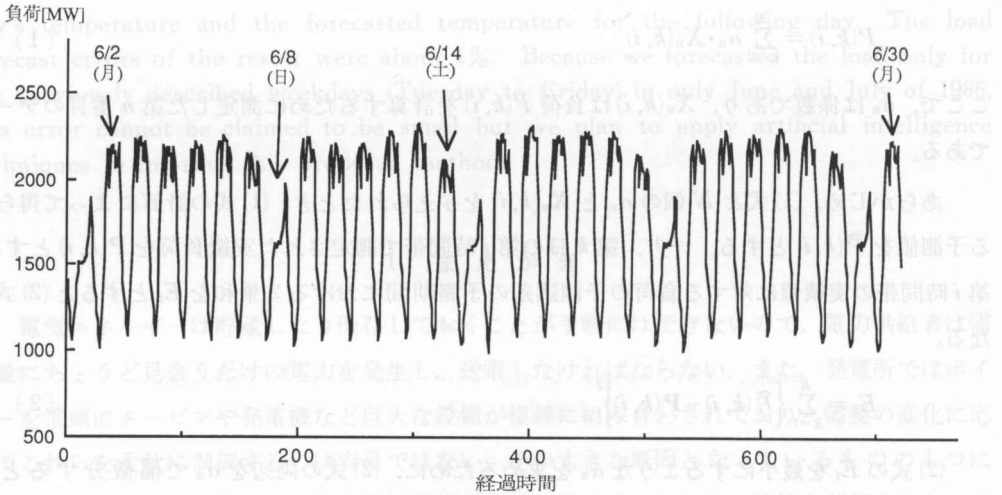
3. 実績データに関する考察

3.1 負荷の種類による分類

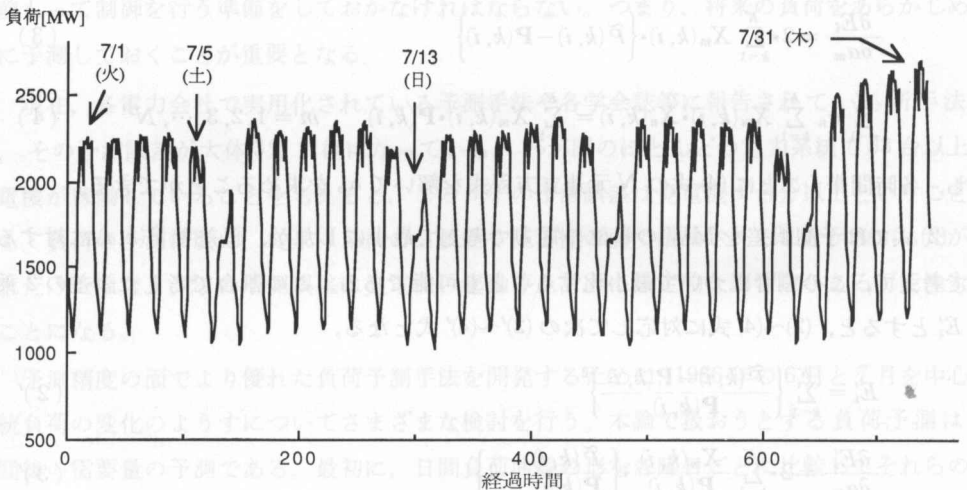
特別大口負荷や火力所内負荷はその操業計画や運転計画を比較的容易に入手できると考えられるので、ここでは総需要負荷からこれらを除いた一般負荷について特に注目することにする。一般負荷は総需要負荷の約80%を占めこれを予測することが負荷予測の主眼であり、できるだけ高い精度で予測する必要がある。

3.2 曜日の種類による分類

第1図に1986年(昭和61年)6月の北海道の一般負荷を示す。図の横軸の経過時間0とは



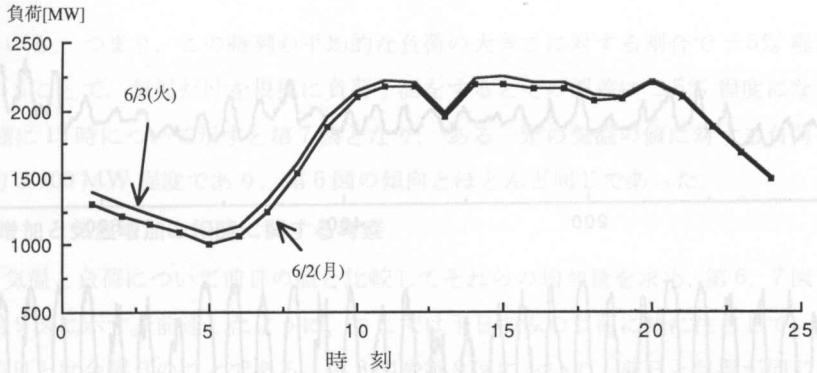
第1図 1986年6月の負荷曲線



第2図 1986年7月の負荷曲線

6月1日の午前0時を指す。1986年の6月1日は日曜日であったが、この日の負荷はこの後しばらく減少を続け午前5時を境に再び増加しているのが分かる。第2図は同じく1986年の7月の一般負荷である。第2図では7月28日月曜日から負荷が急に増加する傾向が示されている。第1図と第2図から、毎週特に日曜日の負荷曲線の形状が他の日と異なっているのが分かる。さらに土曜日の負荷についても他の日と比較するとその値が小さい傾向になっていることが読み取れる。これらの事情から、負荷予測をするときには一般に土曜日と日曜日は特殊日として扱い、他の日と区別するのが普通である。

6月2日の月曜日と翌日3日の火曜日の2日間について特に比較して第3図に示す。この2日間ではほとんど1日中月曜日の方が負荷が小さくなっている。他の週の月曜日と火曜日を比較しても月曜日の負荷の方が小さくなっている場合がいくつかあった。これを午前0時から

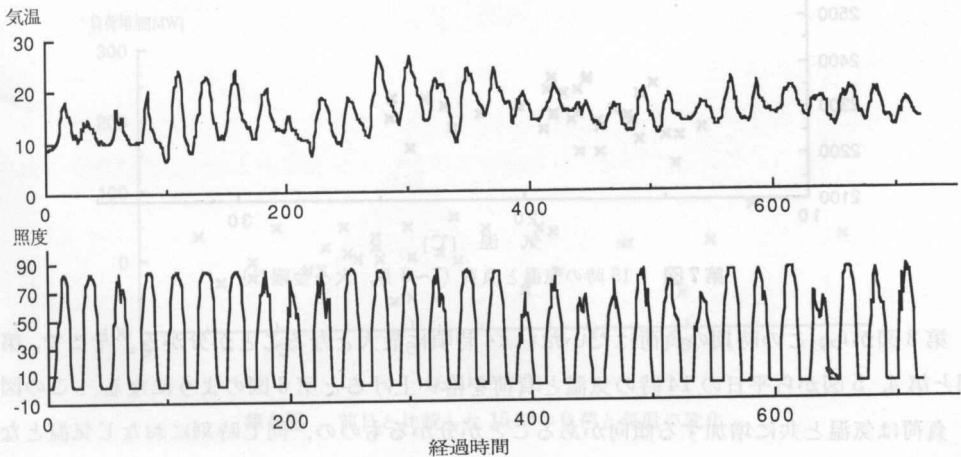


第3図 6月2日と3日の日間負荷曲線

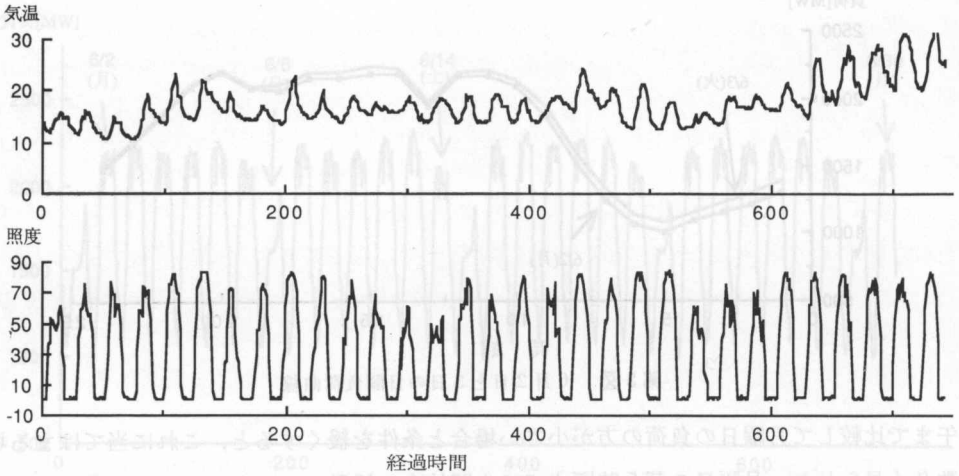
正午まで比較して月曜日の負荷の方が小さい場合と条件を緩くすると、これに当てはまる場合が数多く見られた。月曜日の朝5時頃までは人間社会の活動サイクルとしては日曜日の継続部分と見なし、負荷の小さくなる理由として指摘できる。しかし一般的な社会活動が機能し始める時刻の後も、月曜日と火曜日で負荷の大きさに違いができる理由は未だ良く分かっていない。ここではとにかく実績データが示している通り、月曜日が他の日と比べて特別な傾向にあるので、これも特殊日に含めることにする。結局、本論文では平日とは火曜日から金曜日までを意味するものとする(6~7月の間にはわが国の祝祭日はないのでここでは祝祭日については考えない)。そして基本的な考察だけを先ず行うために、本報告ではこの平日のみについて検討する。

3.3 負荷と気温の相関に関する考察

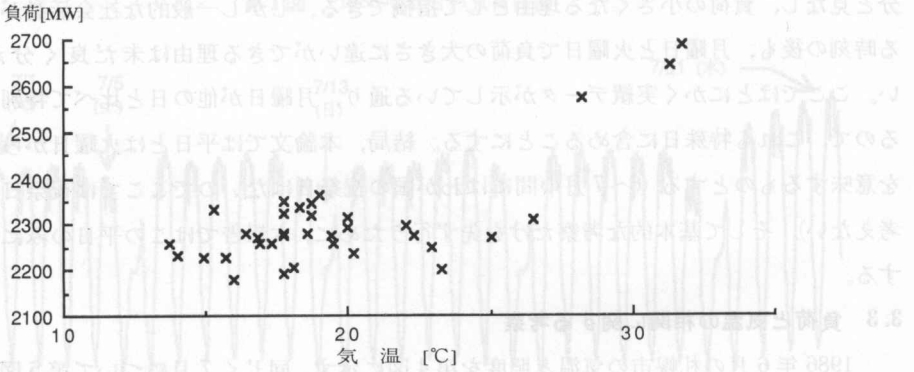
1986年6月の札幌市の気温と照度を第4図に示す。同じく7月について第5図に示す。第5図から7月の下旬に気温が上昇し気候が夏型に移行しているのが分かる。第2図で、この時期に負荷が急に増加する傾向を示したのは、冷房装置が多数運転され始めたためであると思われる。



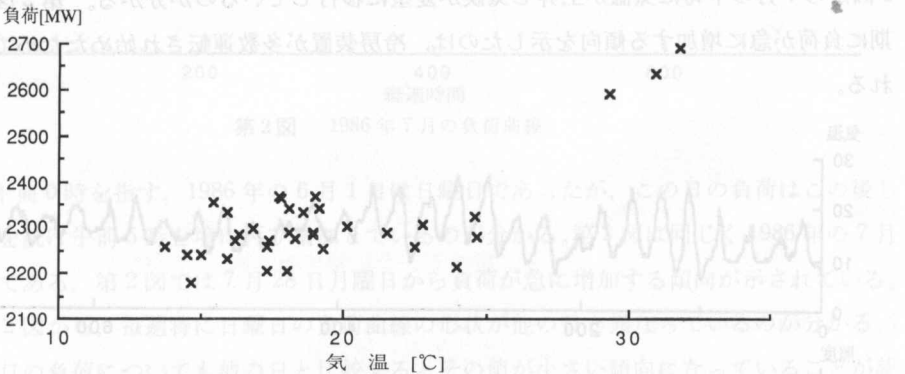
第4図 1986年6月の気温と照度



第5図 1986年7月の気温と照度



第6図 14時の気温と負荷(7~8月, 火~金曜日)



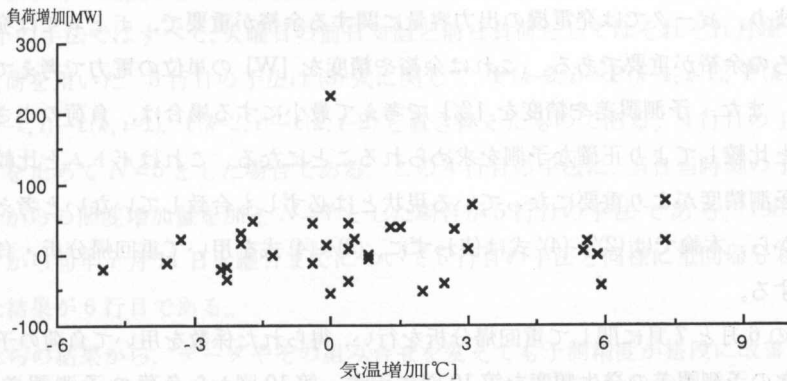
第7図 15時の気温と負荷(7~8月, 火~金曜日)

第3図から、この時期の負荷はだいたい14時頃に最大となることが分かる。そこで、第1、2図と第4、5図から平日の14時の気温と負荷を拾い上げると第6図のようになる。この図から、負荷は気温と共に増加する傾向があることが分かるものの、同じ時刻におなじ気温となっても(例えば18°C くらい)のとき)負荷の方は約 ±100 MW 程度の範囲にわたって変化して(パ

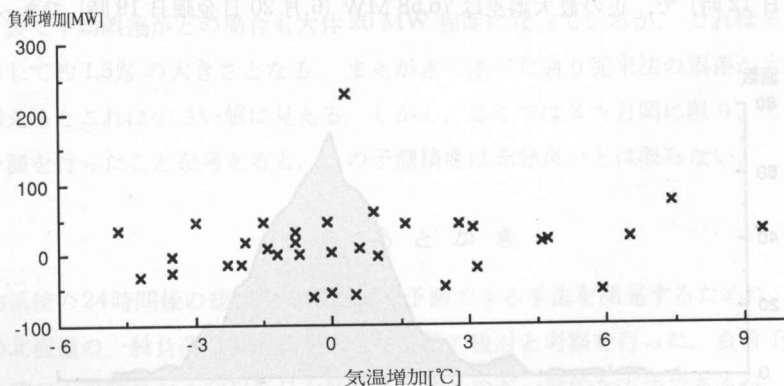
らついて) いる。つまり、この時刻の平均的な負荷の大きさに対する割合で $\pm 5\%$ 程度の変化があるということで、気温だけを根拠に負荷予測をするとその誤差は $\pm 5\%$ 程度になることになる。同様に 15 時について示すと第 7 図となり、ある一定の気温の値に対する負荷の変化の大きさは約 ± 100 MW 程度であり、第 6 図の傾向とほとんど同じであった。

3.4 負荷増加と気温増加の相関に関する考察

次に、気温と負荷について前日の値と比較してそれらの増加量を求め、第 6、7 図と同様に第 8 図と第 9 図に示す。前述したように、ここでは平日のみの負荷に特に注目しているので、火曜日の前日とは金曜日のことである。第 8 図や第 9 図において、前日と気温が同じでも負荷が約 240 MW も増加した日もあるが、仮にこの日を異常日と考えて特別扱いしても、各気温増加の値における負荷増加量の変化（バラつき）は ± 50 MW 程度に及んでいる。これらの時刻の負荷の平均値に対してこれは約 $\pm 2\%$ の大きさになる。つまり、気温増加量だけを基に負荷予測をしてもその予測誤差は大体 2% 程度になる。



第 8 図 前日と比較した 14 時の負荷と気温の変化



第 9 図 前日と比較した 15 時の負荷と気温の変化

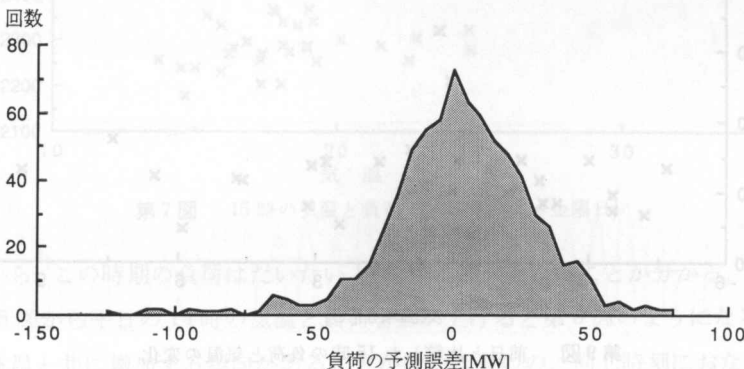
4. 重回帰分析と負荷予測の結果に関する考察

重回帰分析を行うために、(1)式の $n=1$ を定数項、 $n=2$ を前日当時刻の実績負荷の項、 $n=3$ を前々日から前日までの負荷増加の項、 $n=4$ をさらに24時間前に関する負荷増加の項、 $n=5$ を当日当時刻の気温の予測値、 $n=6$ を前日から当日までの気温増加の項、 $n=7$ を前々日から前日までの気温増加の項とした。気温の予測値には該当する時刻の実績気温を用いた。第 k 日の第 i 時間帯に測定された実績気温を $t(k, i)$ とすると、上で説明した(1)式の各測定データは以下ようになる。

$$\left. \begin{aligned} X_1(k, i) &= 1 & X_2(k, i) &= P(k-1, i) \\ X_3(k, i) &= P(k-1, i) - P(k-2, i) & X_4(k, i) &= P(k-2, i) - P(k-3, i) \\ X_5(k, i) &= t(k, i) & X_6(k, i) &= t(k, i) - t(k-1, i) \\ X_7(k, i) &= t(k-1, i) - t(k-2, i) \end{aligned} \right\} (5)$$

負荷の予測精度が運用面で切実に重要となるのは、ピーク負荷時と最低(ボトム)負荷時である。つまり、ピークでは発電機の出力容量に関する余裕が重要で、ボトムでは発電機の出力の絞りしろの余裕が重要である。これは余裕や精度を [W] の単位の電力で考えていることを意味する。また、予測誤差や精度を [%] で考えて最小にする場合は、負荷の小さい場合は大きい場合と比較してより正確な予測を求められることになる。これはボトムと比較すればピークの方が予測精度がより重要になっている現状とは必ずしも合致していないと考えられる。以上の理由から、本論では(2)′~(4)′式は使わずに、(2)~(4)式を用いて重回帰分析・負荷予測を行うことにする。

1986年の6月と7月に関して重回帰分析を行い、得られた係数を用いて負荷の予測を行った。このときの予測誤差の発生頻度を第10図に示す。第10図から負荷の予測誤差は0 MWを境に大体正規分布に近い形で発生していることが分かる。負の最大誤差は -126.65 MW (7月29日火曜日12時)で、正の最大誤差は 76.58 MW (6月20日金曜日19時)であった。誤差



第10図 予測誤差の分布

第1表 各予測手法による予測誤差

手 法 内 容	最大誤差 [MW]	平均誤差 [MW]
火曜日の前日は金曜日	126.65	20.04
火曜日の前日温度は月曜日の温度	99.24	19.59
前日データを止めて1時間前のデータを使う	141.72	19.78
前々日データを止めて前日データのみを使う	143.34	21.08
照度データも含み、前日データのみに	142.81	20.61
同上(1989年)	111.08	20.66

の絶対値の平均は20.04 MWであった。

次に、測定データ $X_n(k, i)$ をさまざまに代えて重回帰分析と負荷予測を行った。その誤差についてまとめると第1表のようになった。第1表の1行目の欄の手法は、先の(5)式で説明した手法である。この手法に関して、火曜日の前日気温と水曜日の前々日気温を月曜日の気温とし、それ以外の気温やすべての負荷を第1表1行目の手法と同じにしたのが2行目の手法である。以下の手法ではすべて、火曜日の前日気温と前日負荷としてはそれぞれ月曜日の気温と金曜日の負荷を用いた。3行目の手法は(5)式に関して、 $\mathbf{P}(k-2, i) \rightarrow \mathbf{P}(k-1, i-1)$ 、 $\mathbf{P}(k-3, i) \rightarrow \mathbf{P}(k-1, i-2)$ 、 $\mathbf{t}(k-1, i) \rightarrow \mathbf{t}(k, i-1)$ 、 $\mathbf{t}(k-2, i) \rightarrow \mathbf{t}(k, i-2)$ と置き換えたものである。4行目の手法は(5)式の X_4 と X_7 を止めて $N=5$ とした場合である。この4行目の手法に、当日当時刻の予測(実績)照度と前日からの照度増加量を加え $N=7$ とした場合が5行目の手法である。1989年の5月13日土曜日から同年7月11日火曜日までについて5行目の手法と同様に重回帰分析・負荷予測を行った結果が6行目である。

これらの結果から、データやその組み合わせを変えても予測精度が格段に改善される場合はなく、このケースで最適となったデータ(組み合わせ)が他の年や月でも最適となるかどうかは不明である。

第1表で平均誤差がどの場合も大体20 MW程度になっているが、これは平日の負荷の平均値に対して約1.3%の大きさとなる。まえがきで述べた通り従来法の誤差が大体3%であることを考えるとこれは小さい値に見える。しかし、ここでは2カ月間に限り、しかも平日だけの負荷予測を行ったことを考えると、この予測精度は充分良いとは限らない。

5. あとがき

電力系統の24時間後の総需要を精度良く予測できる手法を開発するために、1986年の6月と7月の北海道の一般負荷の実績値を中心に各種の検討と考察を行った。負荷予測をする場合には、土曜日と日曜日および祝祭日を特殊日とするのが一般的な方法であるが、実際に実績負荷を比較すると月曜日も負荷パターンが異なり、平日とは別に扱う必要があることを示した。負荷の大きさと気温の関係を平日について時刻ごとに調べて、各気温レベルごとに負荷はその

日によって約±5%程度変動することを明らかにした。これを負荷と気温の24時間前からの増加量で調べても、約±2%程度の変動となることを示した。従って、負荷予測を気温や気温の増加量だけで行ったのではその誤差が±2~5%程度になり、このままでは精度の良い予測ができないことを説明した。

24時間後の負荷の大きさについて、現在の負荷の値、24時間前と48時間前からの負荷の増加量、24時間後の予想される気温(本論では実績値を用いた)、現在と24時間前からの気温増加量を用いて重回帰分析を行い負荷を予測した。このときの予測誤差の発生分布を示し、最大誤差は約5.3%、平均誤差は1.4%であったことを述べた。重回帰分析を行うデータについて、1時間前の値を用いたり、照度を利用したりしてさまざまな組み合わせで調べ、それぞれ負荷予測を行った。その結果大幅な精度改善はできなかったこと、予測する年や期間で最適なデータの組み合わせが影響を受ける可能性のあることを説明した。そして、今後は人工知能的な手法を応用して負荷の予測手法を検討することを述べた。

なお、本研究は北海道電力株式会社の援助を受けて行ったものであり、ここに深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 村田, 鎌倉, 相良: 予測平方和によるモデル選択を用いた1日先電力負荷予測. 電気学会電力技術研究会, PE-87, pp. 21-30 (昭和62年).
- 2) S. Rahman R. Bhatnagar: An expert System Based Algorithm for Short Term Load Forecast. IEEE TPS, Vol. 3, No. 2, pp. 392-399 (1988 May).
- 3) 系統運用工学: 北海道電力株式会社 (昭和63年3月).
- 4) 石井: 電力需要と気象情報. 電気評論, pp. 642-647 (昭和63年).
- 5) 村田, 三宅, 相良: 気温の予想値を考慮したモデルによる週間電力負荷予測. 電気学会電力技術研究会, PE-89-189, pp. 157-166 (平成元年).
- 6) 村田, 木村, 相良: 負荷の気温に対する動的依存性を考慮した1日先電力負荷予測. 電気学会電力技術研究会, PE-89-190, pp. 167-176 (平成元年).
- 7) 勝治, 豊田: 負荷需要におよぼす不確定要因. 電気学会電力技術研究会, PE-89-191, pp. 177-186 (平成元年).