

# 気象と電力需要

小野 賢治

## 1. はじめに

電力需要の変動の主な要因としては、景気やイベントなどの経済・社会的要因と気象がある。近年では電気冷暖房機器の普及は増加の一途をたどっており、気象の電力需要におよぼす影響は次第に増大してきている。電気は生産即消費で保存がきかないため、気象の影響には特に敏感である。発送電の設備は（ほとんどの地域で）夏の最も暑い時期に発生する最大電力需要時にあわせて用意しなければならないので、事業経営におよぼす影響も大きい。また、最近夏に猛暑で気温が急上昇したために大きな停電事故が発生した事例からもわかるように、電気事業が未来の気象の不確実性を完全に克服しているとはいえない。

本稿では、日電力需要の分析と翌日最大電力の予測という2つの側面から、気象と電力需要との関わり合いのようすをみていくことにする。

## 2. 夏季における日電力需要と気象

電気事業が設備計画や料金設定のための原価計算の基礎資料として電力需要量の実績を用いるときには、気象について補正した値を用いることが多い。正確な気象補正を行なうためには、気象と電力需要量との関連を正確に把握する必要がある。このような正確な気象補正に資するために、ある電力会社（A社、B社とする）の夏季における1日の発受電端電力量（日電力量）と気象要因との関連を分析した結果を紹介する。

### 日電力量と気象変量との関連

電力需要の変動に影響する気象変量としては、気温や湿度が考えられる。表1は、日電力量と気象変量のうち主なものの相関係数の大きさを示したものである（ただし、土曜、日曜そして8月13日～17日の盆期間は需要が落ち込むため、分析対象からは除外している。以後の分

析についても同様）。この表をみると夏季の電力需要の変動が、いかに気象に大きく依存しているかがわかる。気象変量の中では日平均気温と、最低気温と最高気温を組み合わせた気温指数が、日電力量との相関が比較的高いことがわかる。これらの変量と日電力量との相関が高い理由は、日電力量が1日の全体的な温度レベルと関連が強いためであると考えられる。また、日平均気温は1日の8時点の気温の平均値であるが、最高気温と最低気温という2つの要素だけを用いても、平均気温に近い説明力をもっていることがわかる。不快指数は気温以外に湿度による不快感を反映しており、電力需要との相関は高くなるのが期待されるが、ここでは一時点（午後3時）における値を用いているため、相関はそれほど高くはなかった。

以上の結果から、気温が日電力量に大きな影響をおよぼしていることはわかったが、気温以外に電力需要に有意な影響をおよぼす気象要因は存在するであろうか。このことを調べるために、種々の気象変量について、日電力需要を基準変数とし、平均気温と気温以外の1つの気象変量を説明変数とする回帰分析を行なってみた。表2はこの回帰分析における気温以外の変量についての $t$ 値をまとめたものである。この表をみると、平均湿度についてはB社で有意な影響があることを示している。しかしA社については有意であるのは昭和56年のみである。またその他にA社、B社の各年を通じて日電力量に有意に影響を与える気象変量は見当たらない。

### 日電力量モデルの推定

上の結果から、日電力量に最も大きな影響を与える気象変量は気温、特に日平均気温であり、その他に湿度が若干関係するが、あまり明確ではないことがわかった。そこで、今後の分析の焦点を、平均気温を用いて日電力量の変動を説明するモデルを評価することにしようことにする。

日電力量と日平均気温との関連を説明するために、以下の3つのモデルを考えた。

#### (1) 1次式モデル

おの けんじ 勲電力中央研究所  
〒100 千代田区大手町1-6-1

表 1 日量と各気象変量間の相関係数

A 社

56 年		57 年		58 年	
① 平均気温	0.819	① 気温指数 (最高×0.6+最低×0.4)	0.864	① 気温指数 (最高×0.6+最低×0.4)	0.922
② 気温指数 (最高×0.4+最低×0.6)	0.808	② 平均気温	0.855	② 平均気温	0.917
③ 不快指数	0.800	③ 最高気温	0.844	③ 最高気温	0.911
④ 最低気温	0.767	④ 不快指数	0.818	④ 不快指数	0.899
⑤ 最高気温	0.766	⑤ 最低気温	0.801	⑤ 最低気温	0.874
⑥ 平均湿度	-0.126	⑥ 平均湿度	-0.284	⑥ 平均湿度	-0.505

B 社

56 年		57 年		58 年	
① 平均気温	0.939	① 気温指数 (最高×0.3+最低×0.7)	0.924	① 平均気温	0.953
② 気温指数 (最高×0.4+最低×0.6)	0.936	② 平均気温	0.893	② 気温指数 (最高×0.4+最低×0.6)	0.945
③ 最低気温	0.883	③ 最低気温	0.864	③ 最低気温	0.908
④ 最高気温	0.852	④ 最高気温	0.805	④ 最高気温	0.862
⑤ 平均湿度	-0.078	⑤ 平均湿度	-0.242	⑤ 平均湿度	-0.349

$$y_i = \alpha + \beta_1 t_i + \epsilon_i$$

(2) 2次式モデル

$$y_i = \alpha + \beta_1 t_i + \beta_2 t_i^2 + \epsilon_i$$

(3) 折れ線モデル

$$y_i = \alpha + \beta_1 t_i + \beta_2 \max(t_i - t^*, 0) + \epsilon_i$$

ここで、

$y_i$ : 日電力量

$t_i$ : 日平均気温

$t^*$ : 回帰係数の変化点

$\alpha, \beta_1, \beta_2$ : 回帰係数

$\epsilon_i$ : 誤差項

上記のモデルのうち(3)の折れ線モデル

とは、「日電力量の気温に対する感応度

にはある1つの変化点が存在して、その変化点の前後の温度領域で気温感応度が異なる」というものである。変化点 $t^*$ は未知パラメータであり推定する必要がある。ここでは、 $t^*$ をある間隔 $\Delta t$ ずつ動かしてそのつど最小自乗推定を行ない、残差平方和が最小になる $t^*$ を探索する方法(一種の格子探索法)を用いて $t^*$ を推定することにした。

それでは、上記の3つのモデルのうち、電力需要と気温との関係を説明するのに最も適切なモデルはどれであろうか? このことを調べるために、A社、B社の3年間の夏季のデータに上の3つのモデルをあてはめ、A I

表 2 気温以外の気象変量による回帰分析の結果(月曜~金曜)

A 社

B 社

説明変数	56 年	57 年	58 年	説明変数	56 年	57 年	58 年
気圧	3.55	0.56	0.09	実効湿度	0.40	0.69	0.13
蒸気圧	4.63	-0.60	-0.34	平均湿度	2.58	2.20	2.89
平均湿度	4.47	-0.98	-0.73	最少湿度	2.79	1.98	2.13
最少湿度	3.91	-0.93	-1.07	平均風速	0.12	-1.11	-0.85
平均風速	-1.20	0.40	0.02	最大風速	0.06	-0.73	-0.38
最大風速	-0.69	1.49	-1.07	降水量	3.30	0.74	2.71
雲量	1.42	-1.36	-0.65	日照時間	-0.01	-2.49	-1.92
降水量	2.43	-0.41	1.21	全天日射量	-1.05	-3.24	-2.62
日照時間	-1.53	0.25	0.45				
全天日射量	-2.37	0.08	0.10				

C(赤池情報量基準)によってモデルの適切さを比較してみた。表3はその結果をまとめたものである。まず、1次式モデルはいずれの場合にもA I Cの最小モデルとの差が2より大きく、適切なモデルとはいえない。また、2次式モデルと折れ線モデルは、全体的にはほぼ同程度の良さを示している。しかし、現実には気温が非常に高い場合には需要量の伸びが飽和状態となる現象がみられるが、2次式モデルはそれと正反対の傾向を示してしまうという欠点がある。さらに、折れ線モデルによる分析では、気温感応度の変化点、高温区間の気温感応度といった特徴をとらえることができる。このような理由から、

日電力量の変動を説明するモデルとしては、折れ線モデルが最も適切であるといえる。

図1はA社の昭和58年夏季のデータに折れ線モデルをあてはめた様子を図示したものである。なお、折れ線モデルにおける気温感応度の変化点  $t^*$  の統計的性質は数式で評価することが難しい。そこで、Bootstrap法（真の分布の代わりに経験分布を用いて推定量の統計的性質を評価する方法）を用いた。その結果、 $t^*$  の分散はA社56年の場合が0.718、B社56年の場合が0.480とかなり大きい値であることが明らかとなった。

### 3. 夏季における翌日最大電力の予測

電力会社において最大電力需要は供給設備容量を規定する重要な量であり、その値の予測は1日先から数年先まで種々のリードタイムについて行なわれている。その中で1日の最大電力需要を前の日の午前中に予測する「翌日最大電力の予測」は、日々の発電設備や系統の運用計画を立てる上できわめて重要なものである。また、この「翌日最大電力の予測」は、負荷予測作業の中で気象情報を拠り所とする度合いが最も大きい。なぜならば、より短期の予測の場合には気象条件があまり変化せず、むしろ負荷変動の時系列的性質を利用した予測が有効であるし、より長期の予測の場合は気象条件そのものを正確に予測することが困難なためである。

ここでは、ある電力会社（C社とする）の夏季（6月～9月）の日最大電力需要と気象との関連を分析して、その結果をもとに構築した翌日最大電力需要の予測モデルについて紹介する。

#### 日最大電力と相関の高い気象変量

まず、日電力量の場合と同様に、日最大電力と種々の気象変量との相関を計算して、相関の高い気象変量を探索した。気象変量は、以下の3つの属性についての種々の組み合わせにより作成した。

##### (1) 気象要素

- ・日最高気温
- ・不快指数（15時の値）
- ・気温指数（日最高気温と日最低気温の線形結合）

##### (2) 観測地域

- ・本店所在都市のみ

表3 平均気温モデルの適切さの比較

A社	パラメータ数		56年	57年	58年	差	
	AIC		AIC	AIC	AIC		
(1) 1次モデル	3	810.54	3.86	782.84	9.85	805.14	18.7
(2) 2次モデル	4	806.68◆		774.73	1.74	788.72	2.32
(3) 折れ線モデル	5	807.92	1.24	772.99◆		786.40◆	

(注) ◆はAICが最小（最も適切）なモデルを表わす。

B社	パラメータ数		56年	57年	58年	差	
	AIC		AIC	AIC	AIC		
(1) 1次モデル	3	731.09	4.61	747.09	6.64	744.40	5.03
(2) 2次モデル	4	726.50	0.02	740.45◆		740.19	0.82
(3) 折れ線モデル	5	726.48◆		742.64	2.19	739.37◆	

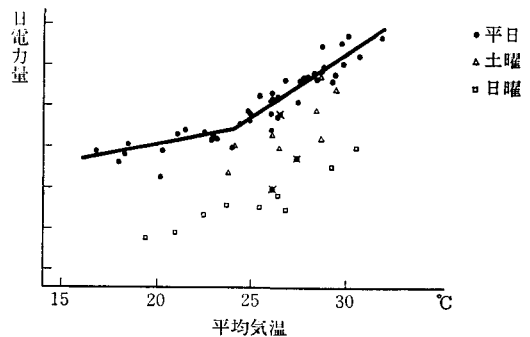


図1 折れ線モデルのあてはめ（A社、58年7・8月、月曜～金曜）×印のデータはサンプルから除外したもの（盆期間）

- ・供給区域県庁所在都市の観測値の単純平均
- ・供給区域県庁所在都市の観測値の加重平均（重みは各県の電力需要に比例）

##### (3) 過去の気象の影響

- ・移動平均（当日を含めて至近の数日間の気象変量の線形結合）
- ・指数平滑（当日の気象変量と前日の指数平滑値の線形結合）

なお、線形結合については重みを0.1刻みで何通りか設定した。表4は計算結果の要約である。分析結果を気象変量の各属性ごとにまとめると以下ようになる。

##### (1) 気象要素

日最高気温よりも、不快指数や気温指数の方が日最大電力との相関がかなり高い。気温指数の場合、最高気温と最低気温の重みは両者とも0.5の場合が最も相関が高くなる。これは、日最大電力需要が、その発生する時点における気温だけでなく、その時の湿度や日全体の温度

表 4 夏季の最大電力需要と気象との相関係数 (C社)

	気温指数	不快指数	最高気温
60年	①WT5MA1 0.9811	①AUCES2 0.9793	①AMXES1 0.9609
	②WT5MA3 0.9810	②WUCES2 0.9774	②AMXMA4 0.9601
	③MT5MA2 0.9808	③AUCES1 0.9768	③AMXES2 0.9595
61年	①WT6MA3 0.9692	①AUCES2 0.9714	①AMXMA3 0.9450
	②WT5ES5 0.9686	②AUCES3 0.9711	②AMXMA5 0.9447
	③WT5ES6 0.9683	③WUCMA1 0.9701	③AMXMA1 0.9446
62年	①WT5ES5 0.9509	①WUCES2 0.9557	①AMXES2 0.9239
	②WT5ES6 0.9504	②AUCES2 0.9538	②AMXES3 0.9175
	③WT5MA3 0.9503	③WUCES3 0.9519	③WMXES2 0.9173

[気象変量の説明]

M=本店所在都市 A=供給地域県庁所在都市単純平均 W=同重みつき平均

MX=最高気温 UC=不快指数

T5, T6=気温指数 (T5=[最高気温]×0.5+[最低気温]×0.5)

(T6=[最高気温]×0.6+[最低気温]×0.4)

MA=移動平均値 ES=指数平滑値

第*i*日の気象変量を*T<sub>i</sub>*, その移動平均値を*TMA<sub>n<sub>i</sub></sub>*

指数平滑値を*TES<sub>n<sub>i</sub></sub>*

$$TMA1_i = (6T_i + \sum_{k=1}^4 T_{i-k}) / 10$$

$$TES1_i = 0.3T_i + 0.7TES1_{i-1}$$

$$TMA2_i = (5T_i + \sum_{k=1}^4 T_{i-k}) / 9$$

$$TES2_i = 0.4T_i + 0.6TES2_{i-1}$$

$$TMA3_i = (7T_i + \sum_{k=1}^4 T_{i-k}) / 11$$

$$TES3_i = 0.5T_i + 0.5TES3_{i-1}$$

$$TMA4_i = (4T_i + \sum_{k=1}^4 T_{i-k}) / 8$$

$$TES4_i = 0.6T_i + 0.4TES4_{i-1}$$

$$TMA5_i = (8T_i + \sum_{k=1}^4 T_{i-k}) / 12$$

$$TES5_i = 0.7T_i + 0.3TES5_{i-1}$$

$$TES6_i = 0.8T_i + 0.2TES6_{i-1}$$

レベルに依存していることを示している。

(2)観測地域

本店所在都市のみの観測値よりも、供給区域県庁所在都市の観測値の平均の方が日最大電力との相関が高くなる。単純平均と加重平均のどちらの方がより相関が高いかについては、他の条件により変動しており、はっきりしない。

(3)過去の気象の影響

移動平均や指数平滑によって過去の気象の影響を取り入れた方が日最大電力との相関が高くなる。これは建物の熱蓄積や人間の体感温度の影響のためと思われる。移動平均の場合は重みの設定の仕方が無数にあるため、指数平滑である程度高い相関が得られれば指数平滑の方が扱いやすく好都合である。

翌日最大電力の予測モデル

次に、日電力量の分析で導入した「折れ線モデル」を發展させた以下のモデルを翌日最大電力の予測に用いることを試みた。

$$y_i = \alpha^k + \beta_1 t_i + \beta_2 \max(t_i - t^*, 0) + \beta_3 D(i) t_i + \varepsilon_i$$

ここで、

*y<sub>i</sub>*: 日最大電力

*t<sub>i</sub>*: 気温

*t\**: 回帰係数の変化点 (所与とする)

*D(i)*: インデックス関数 (所与とする)

$\alpha^k, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ : 回帰係数

(*k*は年をあらわす)

$\varepsilon_i$ : 誤差項

このモデルを用い、*D(i)*は6月中に1ずつ増加して7月~9月に一定な値になるように設定し、*t<sub>i</sub>*として上

でとりあげた気温指数の指数平滑値を用いて、実際の翌日最大電力の予測と同じ状況を設定してシミュレーションを行なった。その結果、このモデルの予測精度はC社で実際に行なった予測とほぼ同程度であった。今後は、モデルや用いる気象変量を改良することにより、さらに精度が向上する可能性があると考えられる。

#### 4. おわりに

本稿では、夏季における気象と電力需要との関連を統計的に解析した結果を中心に述べた。気象と電力需要と

の関連の構造にはまだ解明されていない部分が多い。また社会や技術の変化により関連の構造自体も変化していくと考えられる。今後は統計解析の技法だけでなく気象学的知識等を取り入れて、より精緻な分析を行なうことが必要である。

#### 参 考 文 献

小野賢治, 森清堯「夏季電力需要の気象要因分析」1985年度OR学会春季研究発表会予稿

### 次 号 予 告

#### 特 集 O R の 切 り 口

異常気象とOR	高橋浩一郎 (元気象庁長官)
議員定数配分問題	大山 達雄 (埼玉大学)
当選確実!?	柳井 浩 (慶応義塾大学)
所得税制における不公平問題	牧野 都治 (東京理科大学)
経営戦略立案の切り口	織畑 基一 (ピートマーウィックコンサルティング)
経営戦略コンサルタントとしてのORの切り口	矢矧晴一郎 (矢矧コンサルタント)
DEAによる都市銀行等の経営効率の比較	刀根薫, 山岸晃, 大川直人 (埼玉大学)
身边をORで切る	木下 雄三 (紀経営事務所)
設備投資問題と単純なモデルの効用	中村善太郎 (慶応義塾大学)
線形計画法を用いた債券運用計画	塚田 正泰 (三菱銀行)
投資と金融のOR	今野 浩 (東京工業大学)
多次元デュアレーション (MDD) を用いた債券ポートフォリオ分析	森平爽一郎 (福島大学)
石油製品規格の変更とオイル・ショックへの対応	高井 英造 (三菱石油)
マーケティング・エンジニアリング (ME)	山中 正彦 (味の素)
割引航空券と座席予約管理モデル	沢木 勝茂 (南山大学)
物流効率化とシミュレーション	上野信行, 中川義之 (住友金属工業)
FMSスケジューリング	山本 正明 (法政大学)
FMS設計に活きるOR	藤井 進 (神戸大学)
対話型多目的計画法	中山 弘隆 (甲南大学)
AHPソフトを用いた選択型意思決定	真鍋龍太郎 (文教大学)
バス停における意思決定 (シミュレーション)	若山 邦紘 (法政大学)
システム・ダイナミクスによる社会問題分析	島田 俊郎 (明治大学)
人間行動をとり入れた交渉評価システム	片山 隆仁 (防衛庁)
ポロノイ図	腰塚 武志 (筑波大学)
生産・販売・在庫計画支援システム	野村浩二, 他 (松下電工)
LPとエキスパートシステムの融合事例	久保田忠義 (出光石油化学)
肉牛農家とOR (LPとシミュレーション)	三谷克之輔 (広島大学)
待ち行列のはなし	高橋敬隆, 町原文明 (NTT)