

気温の確率予報を用いたリスク・マネジメント

富山 芳幸*

要旨

気象情報を用いたリスク・マネジメントの研究は米国を中心に進んでいる。立平(1999)はこれを紹介しながら気象情報の高度利用の道筋を説いている。気象情報を社会の福祉のためにどう有効利用するか、その研究と実践は今後急速に進むものと思われる。逆にまた、そこから気象情報に求められる要件(予報要素や予報のタイプなど)も明らかになってくるはずである。本論では、気温の確率予報を用いたリスク・マネジメントの定量化を試みた。

例として取り上げたのは、電力会社の需給運用業務である。この場合、リスクは気温予報の不確実性によって生じる。リスクをコスト/ロス・モデルにもとづいて定量化した。意思決定がコントロールする因子を発電予備力の大きさとし、意思決定は気温の確率予報を用いて行われるものとした。コスト/ロスのうち気温予報の不確実性にかかわる部分をマージナル・ロスと呼び、これを意思決定の成果の指標とした。

検討した事例では、マージナル・ロスの25%程度をセーブできることが示された。

1. はじめに

企業、自治体または個人の直面するリスクのなかで、気象現象によるものは重要な部分を占めている。リスクのうちのある部分は防ぐことができ、ある部分は減らすことができる。気象現象は多かれ少なかれ予報でき、気象現象に伴う不確実性はある程度コントロールできるからである。他方、リスクの予防のためにはコストがかかり、コストは一般に努力とともに大きくなる。そこで、気象情報を用いて最適な意思決定をするためのルール作りがリスク・マネジメントの課題となる。

リスク・マネジメントによって利益がもたらされることが一見明白であっても、気象情報を用いてそれをどう行うかがはっきりとわかっている当事者はほとんどない。主な困難は2つある。1つはコスト/ロスのうちで気象現象にかかわる部分を特定することが難しいことである。それが特定されていない以上、リスク・マネジメントによってどんな利益が得られるのかは、

実はまだ視野の外にあるはずなのである。Stewart(1997)は、天然ガス会社は長期予報の価値を定量的に評価することが出来ないかまたはその意志がない、という報告を紹介している。リスクが経済的なロスだけでなく、当事者の評判や人命の喪失といった異種の価値におよぶことも問題を複雑にしている。リスク・マネジメントにおける意思決定は気象情報だけを考慮してやればよいとは限らず、社会的要因もからんでくるのが通常である(Morgan and Henrion, 1990)。

第二の困難は、気象現象に関する情報に限っても、どんな情報を用いて意思決定すればよいのか、当事者がわかっているとは限らないという点である。たとえ当事者がそれを知っていても、必要な情報仕様で気象情報が提供されているとは限らず、あるいは必要とするようなものがそもそもどこからも発表されていないかもしれない。仕様が問題であってユーザーがそれを知っているときには、ユーザーの意思決定にあわせた仕様のオーダーメイドの予報を使うようにすればよい(立平, 1999)。しかし、仕様の問題を含めて、どんな情報がリスク・マネジメントにもっとも適しているのか、それを意思決定にどう使えばよいのか、それを使うことによる経済効果はどうか、これらは多かれ少

* 株式会社ウェザーニューズ。

—2002年8月5日受領—

—2003年1月31日受理—

第1表 最高気温の確率予報. 2001年7月12日のY市を対象とした前日夕方の予報. 表でたとえば, $T=30^{\circ}\text{C}$ の下方積算確率が94%で上方積算確率が6%とは, 最高気温が 30°C を下回る確率が94%で 30°C 以上となる確率が6%と予報していることを意味する. また, 危険率が上8%で $T=29.5^{\circ}\text{C}$ とは, 上方積算確率を8%として持つ気温が 29.5°C であることを意味する.

最高気温の確率予報			2001年			7月			12日		
T [$^{\circ}\text{C}$]	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
下方積算確率 [%]	0	0	0	0	1	3	6	12	23	38	
上方積算確率 [%]	100	100	100	100	99	97	94	88	77	62	
T [$^{\circ}\text{C}$]	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
下方積算確率 [%]	38	54	68	80	88	94	97	99	99	100	
上方積算確率 [%]	62	46	32	20	12	6	3	1	1	0	
危険率 [%]	下5	下8	下10	上10	上8	上5					
T [$^{\circ}\text{C}$]	19.8	22.3	22.6	29.1	29.5	30.2					

なかれ専門的リスク・マネジメントの領域に属することからである.

この論文のねらいは, 確率形式の気象情報を用いたリスク・マネジメントの定量的モデルを素描することである. Wilks (1995) は, 予報形式に確率表現を取り入れることの意義を次のように強調している. 確率予報は, 未来の天気に関する情報に本来内在するはずの不確実性を陽に表現しており, ユーザーはそこから意思決定に適した形で情報を引き出すことができる. Murphy (1998) は, 天気予報は, ユーザーがそれによって最良の意思決定をなしうるためには, 確率形式で表現されなければならない, と述べている. ここでは電力会社のリスク・マネジメントを取り上げる. ピーク負荷をにらんだ電力の需給調整は気温予報と密接な関係がある. そこで, 気温の確率予報を用いたリスク・マネジメントの定量的モデルを作ってみる.

気温の確率予報については WNI (ウェザーニューズ社) で開発されたもの (PFT: Probability Forecast of Temperature) を用いた. PFT の出力例を第1表に示した. これによって「翌日の最高気温が 30°C 以上となる確率」などを知らることができる. 最高気温予報の誤差の統計分布はガウス分布に近く, バイアスと標準偏差によって特徴付けられる. 気象庁の最高気温ガイダンスの場合, バイアスはほぼ0とみなしてよい. このときの標準偏差は RMSE にほかならない. PFT は誤差の出現確率分布 (以下, 単に「確率分布」とする) を, バイアスと標準偏差を予測することによって予報している. 確率分布の形は, バイアスが0のときのみガウス分布とする. 確率分布は, バイアスが正の

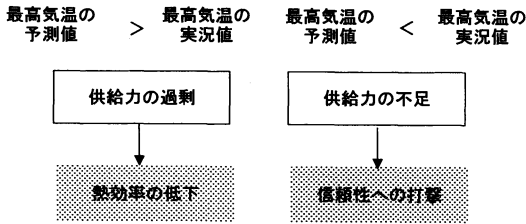
とき誤差の正の方向に, 負のときには誤差の負の方向に, ゆがんだ形をとる. これらは統計分布の場合と違う点である. 確率予報の作成の仕方には, アンサンブル予報をもとにする方法や気象因子から統計的手法によって直に作成する方法があるが, PFT は, 気温予報の誤差統計をもとにしている (Brooks and Doswell, 1996). すなわち, PFT は気象庁の最高気温ガイダンスの誤差と気象因子との相関をもとに, 重回帰式によってバイアスと標準偏差を予測している.

次の節では, まず気温予報にかかわるリスクのコスト/ロス構造を定量化する. そのなかで, 意思決定がコントロールすべき因子を特定し, 意思決定の結果を経済的に評価する指標を提示する. 第3節では誤差統計にもとづく気温の確率予報 (PFS: PFT by error Statistics) を用いた意思決定ルールについて述べる. これによって, リスク・マネジメントの定量的モデルを組み立て, リスク・コントロールの余地を見定める. 第4節では意思決定に気温の確率予報を導入する. これによってリスク・マネジメントの定量的モデルが完成し, 第3節の結果と比較することによってその経済効果が評価できる. ここで用いる PFT の性能およびモデル化の限界については第5節で議論する. 第6節は簡単なまとめと結論にあてる.

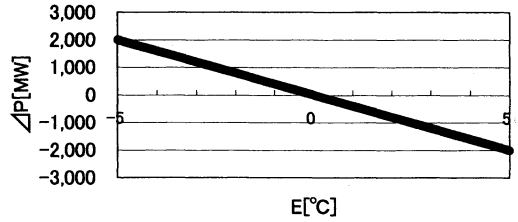
2. コスト/ロス構造

2.1 気温予報の不確実性によるリスク

電力会社は, あらかじめ立てられた需給運用計画にもとづいて発電設備を運用している. 運用計画における主たる問題は日ピーク負荷 (以下, 「ピーク負荷」と



第1図 電力会社の需給運用と最高気温予測の不確実性。



第2図 気温の誤差と、需要の予測に対する超過分との関係。横軸は誤差 E ，縦軸は予測に対する需要の超過分 ΔP 。

略す)の予測である。ピーク負荷は様々な要因に依存している。気温、相対湿度、晴れ/曇りといった気象因子だけでなく、大口一般電力のユーザーである大規模事業所の操業計画、曜日、スポーツ・イベントの有無などの社会的因子にもかかわっている。ピーク負荷は、これらの因子の中でも、とりわけ最高気温に敏感である。そのため、電力会社の需給運用計画は、気温予測に依存するところが大きい(山本・増川, 1996)。

リスクはこの点、すなわち気温予測の不確実性にひそんでいる。問題を単純化するために他の要因は変わらないものとして、ピーク負荷は最高気温のみに依存し、ピーク負荷の予測は最高気温の予測値によって決定されるものとする。そうすると、第1図に示したように、最高気温の実況値が予想を越えたとき供給の不足が生じることになる。最大供給能力10,000 MWの電力会社の場合(これは日本の10電力会社のほぼ平均にあたる)、最高気温が1°C予想を上回ると新たに1ユニットの火力発電機を運転しなければならない。火力発電所の発電ユニットは、典型的なもので300~600 MWの発電能力をもっている(Japan Electric Power Information Center, Inc., 2000)。

電力会社は予備供給力(以下、「予備力」とする)を保持することによってこれに備える。それでも供給力不足が生じたときには、電力会社は隣接の電力会社からペナルティ価格で電力を買入れることになるが、最悪の場合には停電となって信頼性に打撃を受ける。信頼性の打撃は金銭で数えられないロスである。しかし、ここでは、ロスのすべての因子が金銭に換算できるものと仮定する。他の商品と違って電力の需給は必ず一致していなければならない。そのため、最高気温の実況値が予想を下回るときには供給能力が過剰(需要が予想を下回る)となる。このときには、火力発電の熱効率の低下が生じる。つまり、電力会社は信頼性への打撃を避けるために予備力を保持して安定供給を

確保しようとするのだが、これは、需要が過少なときには熱効率の低下となって経済性の問題を惹起するわけである(第1図)。

気温予測の不確実性が電力会社にもたらすリスクが特定された。このリスクは、気温予測の不確実性が存在しない(気温予測は必ず、確実に当たる!)ときには消滅するものである。このことと次の事実との区別には注意が必要である。たまたまある気温予測が正確で、そのためにピーク負荷の予測も正確にできたとしても、リスクをまぬがれるわけではない。なぜならば、予測したピーク負荷が正確だということをあらかじめ知ることはできず、そうである限り不測の事態に備えて予備力を保持しなければならないからである。そこで、予備力の大きさをコントロールすることがリスク・マネジメントのテーマとなる。

2.2 コスト/ロス構造の定量化

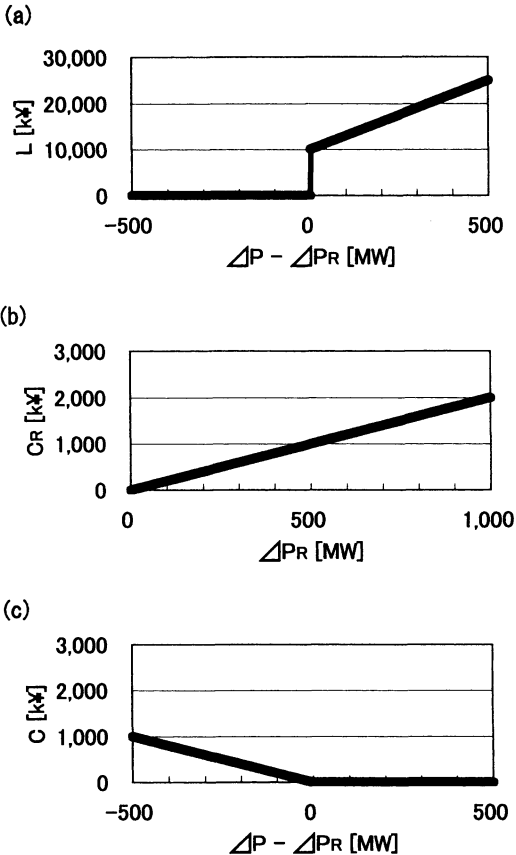
予備力をコントロールする道は気温の確率予測によって開かれることになるのだが、その前に、リスク・マネジメントを定量的に議論するための前提として、コスト/ロス構造を定量化しておく必要がある。そこで、架空の電力会社Xを想定する。電力会社Xは10電力のほぼ平均の供給力を持ち、Y市を中心とする地域に電力を供給しているものとする。まず、コスト/ロスの定性的構造を次のように仮定する。

1) ピーク負荷は最高気温のみによって決まる。電力会社は最高気温予測を用いてそれを予測する。したがって、リスクは気温予測の不確実性に伴って生じる。

2) 電力会社は、予測したピーク負荷にみあう分の供給力に加えて、一定の予備力を保持する。

3) 需要が予備力を含めた供給力を上回ったときには信頼性の低下が生じる。これは経済損失に換算できるものとする。

4) 需要が予備力を含めた供給力を下回ると、熱効率の低下による損失が生じる。



第3図 コスト/ロス構造。(a) ロス L と $\Delta P - \Delta P_R$ との関係。 ΔP は需要の予測に対する超過分, ΔP_R は予備力である。需要の予測に対する超過分が予備力を超えないとき, すなわち $\Delta P - \Delta P_R < 0$ のとき, ロスは0である。(b) 予備力の大きさ ΔP_R とそれを保持するためのコスト C_R との関係。(c) $\Delta P - \Delta P_R$ と熱効率の低下によって生じる運転コスト C との関係。 $\Delta P - \Delta P_R < 0$ のとき, すなわち需要が予備力を含めた供給力を下回ったときに熱効率の低下が起こる。

最初に, ピーク負荷と最高気温との関係を見てみよう。ピーク負荷は最高気温に比例して増加するものとする。この仮定は夏に関しては十分有効だが, 1年を通していえることではない。リスク・マネジメントに関する以下の事例は夏に限定したものである。この仮定のもとでは, ピーク負荷の予測は気温予測によって決まる。もし予備力をもたないとすれば, 気温予測に負の誤差(予測値が実況値より低い)があったときに供給の不足が生じ, 正の誤差のとき供給力が過剰となる。そこで, ピーク負荷が予測を超える分 ΔP は

第2表 コスト/ロス構造を決める因子。

気温感応度	s	400 [MW/°C]
最小ロス	L_0	10,000 [k¥]
ロスの増加率	a	30 [k¥/MW]
予備力を保持するための予備力単位当たりのコスト	b	2 [k¥/MW]
運転コストの増加	c	2 [k¥/MW]

$$\Delta P = -s E \quad (1)$$

と表すことができる。ここで, $E (= T_{FH} - T_{OH})$ は最高気温予測の誤差, T_{FH} は最高気温の予測値, T_{OH} は実況値である。 s は

$$s = dP/dT \quad (2)$$

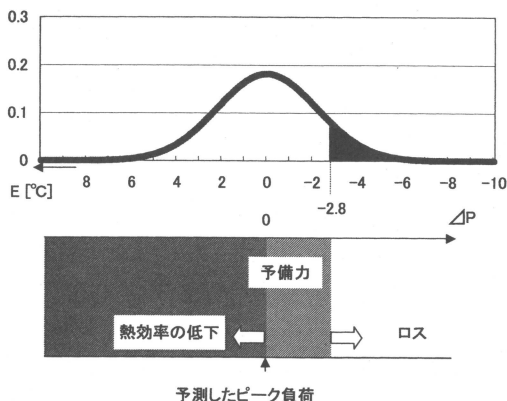
と定義される量で気温感応度と呼ばれる。 P は電力需要, T は気温である。実は, T_{FH} も T_{OH} も1地点の値ではない。これらは供給地域を代表する気温で, 電力消費の地理的分布によって重み付けして平均した気温である。しかし, 以下ではY市の気温が電力会社Xの供給地域を代表するものと想定する。(1)式の関係は第2図に示した。考察を夏に限定する限り, s の値は近似的に定数とみなしてよい (Ishioka *et al.*, 2000)。電力会社Xの気温感応度の値は, 以下に登場するほかの定数とともに第2表にしめた。なお, 実際のピーク負荷はピーク需要にほかならないが, 以下ではこれを単に「需要」と呼ぶ。

ロスは, 需要が予測したピーク負荷と予備力との和を上回るときに発生する。需要が予測したピーク負荷を超える分を ΔP , 予備力の大きさを ΔP_R とすると, ロスは $\Delta P - \Delta P_R > 0$ のときに発生し, $\Delta P - \Delta P_R$ に比例して増大するものとする。

$$L = \begin{cases} 0 & (\Delta P - \Delta P_R \leq 0 \text{ のとき}) \\ L_0 + a(\Delta P - \Delta P_R) & (\Delta P - \Delta P_R > 0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (3)$$

ここで L_0 は最小ロス, すなわち需要が予測したピーク負荷と予備力の和を上回ってロスが発生したときのロスの最小値である。 a はロスの増加率で, L_0 と a の数値例は第2表に示した。(3)式の関係は第3図aに図示した。

コストは, 予備力を保持するためのコストと運転コストの2つの要素からなる。予備力を保持するためのコスト C_R は予備力の大きさ ΔP_R に比例するものとする。比例定数を b とすると



第4図 気温の誤差分布とコスト/ロス。上側は気温の誤差分布。分布は標準偏差2.2のガウス分布とし、確率密度関数は規格化されている。横軸の誤差 E は左側を正としている。右側の黒く塗りつぶした部分は10%のリスクを表す。下側は需要の予測に対する超過分 ΔP とコスト/ロスの関係を示す。上側の図の横軸 E と下側の図の横軸 ΔP とは対応しているが、向きは逆である。 $E = 0$ のとき $\Delta P = 0$ 、 $E < 0$ のとき $\Delta P > 0$ となる。

$$C_R = b\Delta P_R \tag{4}$$

b の数値例は第2表に、(4)式のグラフは第3図bに示した。

需要が予測したピーク負荷と予備力との和を下回る時、熱効率の低下による余分の運転コストが発生する。余分の運転コストが供給力のだぶつき $-(\Delta P - \Delta P_R)$ に比例するものとする、比例定数を c として

$$C = \begin{cases} -c(\Delta P - \Delta P_R) & (\Delta P - \Delta P_R < 0 \text{ のとき}) \\ 0 & (\Delta P - \Delta P_R \geq 0 \text{ のとき}) \end{cases} \tag{5}$$

c の数値例は第2表に、(5)式のグラフは第3図cに示した。

これでコスト/ロス構造の定量化が完了した。気温予測の不確実性によるリスクにかかわるコスト/ロスが(1), (3), (4) および (5) の各式と第2表にかかげた5つの定数によって表現された。コストとロスの和を

$$M = L + C + C_R \tag{6}$$

と表すと、 M は、気温予測の不確実性から発生する損失を表す量で、これをマージナル・ロスと呼ぶことにする。リスク・マネジメントの課題は M を減らすこと

である。以下の議論では、 M をリスク・マネジメントの成果を評価する指標として用いる。 M の値をより小さくできるほどリスク・マネジメントの成果が高いということになる。

3. 誤差統計にもとづく意思決定

気温の確率予測を用いて予備力の大きさをコントロールしない場合には、予備力の大きさは毎日同じである。この節では、誤差統計にもとづく気温の確率予測(PFS)を用いてそれを最適化することを考える。気温予測には、気象庁の最高気温ガイダンスを用いた。最適化のための評価は前節のマージナル・ロスによって行う。この予備的な作業の目的は次の2点にある。1つは、リスク・マネジメントの定量的モデルの枠組みを確認しながら必要な道具だてをすることである。もう1つは、統計によって最適化された定数としての予備力の大きさを、後の議論で比較の基準として用いることである。

3.1 意思決定ルール

第4図は気温予測の不確実性にかかわるリスク・マネジメントの課題を示したものである。図の下側の帯は電力需要の予測に対する超過 ΔP を表したもので、 $\Delta P = 0$ の点は予測したピーク負荷にあたる。ピーク負荷の予測は最高気温予測に対応すると仮定しているため、 $\Delta P = 0$ の点はまた $E = 0$ の点でもある。図の上側のグラフは誤差の統計分布を表したもので、その横軸が E である。最高気温の実現値が予想より高いとき ($E < 0$)、電力需要は予測したピーク負荷より大きくなる ($\Delta P > 0$)。 E の座標軸を左向きにとってあるのはこのためである。

誤差の統計分布のグラフで、確率密度関数(縦軸の値)には規格化されたガウス関数を用いた。ガウス関数

$$p(E) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{E^2}{2\sigma^2}\right\} \tag{7}$$

で表されたガウス分布は左右対称で、対称軸を $E = 0$ とすれば((7)式の場合)、標準偏差 σ によって一通りに定まる。対称軸を $E = 0$ とすることは気温予測にバイアスがないことを仮定していることになる。この仮定は気象庁の最高気温ガイダンスについては十分に満たされている。 σ の値は、Y市の2000年7月から2000年9月までの3か月の誤差統計から2.2とした。もし予備力 ΔP_R をもたないとすれば、2回に1回の割合でロ

スが発生することになる。ロスが重大であるかぎり、 ΔP_R の値は正でなければならない。しかし ΔP_R を大きく取り過ぎると、需要が小さいときの運転コスト増大の危険も大きくなるわけである。分布曲線の右端の黒く塗りつぶした部分はロスに対する10%の危険率を表現している。つまり、第4図は、予備力の大きさを、統計にもとづいて危険率10%相当量に設定する意思決定の様子を表したものである。

ここで、以下の議論に必要な概念を導入する。 $E=E_0$ の下方積算確率 $P(E \leq E_0)$ を

$$P(E \leq E_0) = \int_{-\infty}^{E_0} p(E) dE \quad (8)$$

と定義する。これは、誤差 E が E_0 以下となる統計的危険率である。たとえば、第4図の例では $P(E \leq -2.8^\circ\text{C}) = 10\%$ で、これが黒く塗りつぶした部分にあたる。最高気温予報が 25.2°C であったとすれば、 $E_0 = -2.8^\circ\text{C}$ に当たる気温の実現値は 28.0°C である。そこで、上の例を気温で言い換えると、気温の上方積算確率 $P(T \geq 28.0^\circ\text{C})$ が10%だということになる。 $E=E_0$ の上方積算確率 $P(E > E_0)$ と $P(E \leq E_0)$ の間には、 $P(E > E_0) = 1 - P(E \leq E_0)$ の関係がある。

危険率 A を $A \equiv P(E \leq E_0)$ と定義し、 E_0 を従属変数として表すときには

$$E_0 = \varepsilon(A) \quad (9)$$

と書く。こう表したときの E_0 は、統計による危険率 A を下方積算確率として持つ誤差である。第4図の例では $\varepsilon(10\%) = -2.8^\circ\text{C}$ である。これを気温で言い換えると、危険率10%を上方積算確率としてもつ気温は 28.0°C だということになる。

気温の下方(上方)積算確率および一定の危険率を上方(下方)積算確率としてもつ気温を予報要素とする予報を、気温の確率予報(PFT)と呼ぶことにする。誤差統計から導き出される気温の確率「予報」は $\varepsilon(10\%) = -2.8^\circ\text{C}$ 、 $P(E \leq -2.8^\circ\text{C}) = 10\%$ のように、毎日毎日同じ値をとる。これがPFSである。 $\varepsilon(10\%)$ の値は毎日毎日変わらなくても、危険率10%を上方積算確率としてもつ気温は最高気温の予測値が変われば変わることになる。

以上で準備が整ったので、まず、PFSを用いた意思決定のルールを述べよう。

$\varepsilon(A)$ に対応する大きさの予備力を保持するというのがそれである。(1)式から、

$$\Delta P_R = -s\varepsilon(A) \quad (10)$$

だけの予備力を保持することになる。これが、PFSによって予備力の大きさ ΔP_R をコントロールするルールである。しかし、この場合、 $\varepsilon(A)$ が定数であるため ΔP_R の値は毎日毎日同じである。ここで問題になるのは最適リスク A の値を見出すことにある。

3.2 コスト/ロスの期待値

いまや、 L 、 C_R と C は2つの量 $\varepsilon(A)$ と E によって決まる。(1)式と(10)式を用いて、(3)式、(4)式と(5)式は次のように書き換えられる。(3)式は

$$L(E) = \begin{cases} 0 & (E - \varepsilon(A) \geq 0 \text{ のとき}) \\ L_0 + a s (\varepsilon(A) - E) & (E - \varepsilon(A) < 0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (11)$$

(4)式は

$$C_R = -b s\varepsilon(A) \quad (12)$$

そして(5)式は

$$C(E) = \begin{cases} c s \{E - \varepsilon(A)\} & (E - \varepsilon(A) > 0 \text{ のとき}) \\ 0 & (E - \varepsilon(A) \leq 0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (13)$$

と、それぞれ書き換えられる。

意思決定は1日1回づつ行われるものとして、1回の意思決定あたりのマージナル・ロスの期待値 $\text{Ex}\{M\}$ を計算する。

$$\begin{aligned} \text{Ex}\{M\} &= \text{Ex}\{L + C_R + C\} \\ &= \text{Ex}\{L\} + \text{Ex}\{C_R\} + \text{Ex}\{C\} \end{aligned} \quad (14)$$

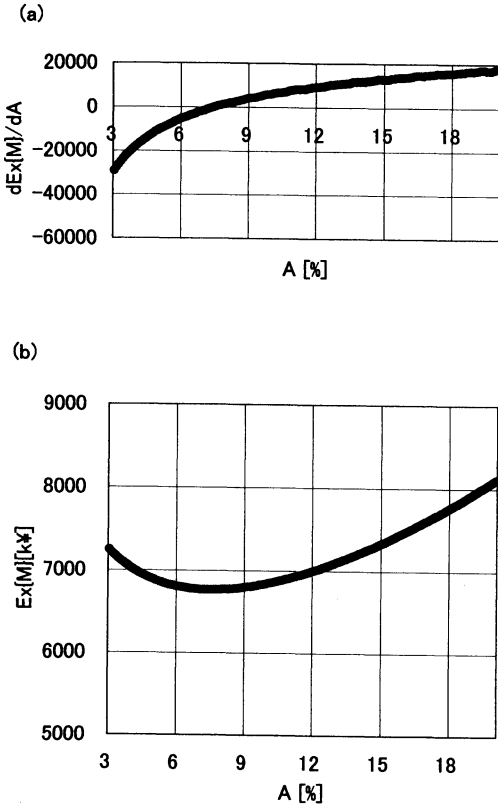
$\text{Ex}\{L\}$ はロスの期待値で、(11)式から

$$\begin{aligned} \text{Ex}\{L\} &= \int_{-\infty}^{\infty} p(E) L(E) dE \\ &= \int_{-\infty}^{\varepsilon(A)} p(E) \{L_0 + a s (\varepsilon(A) - E)\} dE \end{aligned} \quad (15)$$

となる。予備力を保持するコストの期待値 $\text{Ex}\{C_R\}$ は(12)式から

$$\text{Ex}\{C_R\} = C_R = -b s\varepsilon(A) \quad (16)$$

である。熱効率の低下による運転コストの増分 $\text{Ex}\{C\}$



第5図 (a)は $dEx\{M\}/dA$ (縦軸) と A (横軸) との関係。 $dEx\{M\}/dA$ は A とともに増大し、 $A=7\sim 8\%$ で負から正に転じている。(b)は $Ex\{M\}$ (縦軸) と A (横軸) との関係。 $Ex\{M\}$ は $A=7\sim 8\%$ で最小となる。

は (13) 式から

$$Ex\{C\} = \int_{-\infty}^{\infty} p(E) C(E) dE$$

$$= c s \int_{\epsilon(A)}^{\infty} p(E) (E - \epsilon(A)) dE \quad (17)$$

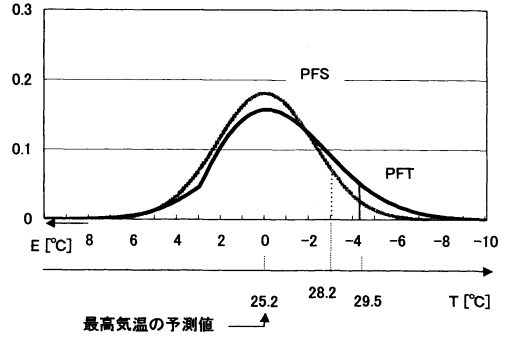
(14) 式に (15) 式, (16) 式と (17) 式をいれて整理すると

$$Ex\{M\} = \{L_0 + a s \epsilon(A)\} \int_{-\infty}^{\epsilon(A)} p(E) dE$$

$$- c s \epsilon(A) \int_{\epsilon(A)}^{\infty} p(E) dE$$

$$- a s \int_{-\infty}^{\epsilon(A)} E p(E) dE$$

$$+ c s \int_{\epsilon(A)}^{\infty} E p(E) dE - b s \epsilon(A) \quad (18)$$



第6図 誤差の確率分布で表した気温の確率予測 (PFT, 黒い曲線)。 予測対象日2001年7月12日, Y市の例。 PFSによる誤差の確率分布を併せて灰色の曲線で表した。 横軸の T は気温の実現値, 縦軸は確率密度。 PFT, PFSとも, 確率密度関数は規格化されている。 図は, 危険率 $A=8\%$ を下方積算確率としてもつ誤差 $\epsilon(8\%)$ が PFTでは -4.3°C , PFSでは -3.0°C であること, 同じ危険率を上方積算確率としてもつ気温が PFTでは 29.5°C , PFSでは 28.2°C であることを示している。

となる。(7) 式を代入し, 危険率の定義を用いて積分を実行すると

$$Ex\{M\} = L_0 A + s(a+c)A\epsilon(A) - s(b+c)\epsilon(A)$$

$$+ \frac{s(a+c)\sigma}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{\epsilon^2(A)}{2\sigma^2}\right\} \quad (19)$$

となる。

$Ex\{M\}$ の A に対する依存関係を調べるために, これを A で微分する。

$$dEx\{M\}/dA = L_0 + s(a+c)\epsilon(A) + s(a+c)A \frac{d\epsilon(A)}{dA}$$

$$- s(b+c) \frac{d\epsilon(A)}{dA}$$

$$- \frac{s(a+c)}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \epsilon(A) \frac{d\epsilon(A)}{dA}$$

$$\times \exp\left\{-\frac{\epsilon^2(A)}{2\sigma^2}\right\} \quad (20)$$

第2表の定数を用い, (20) 式の $\epsilon(A)$ については数値計算で求める。 区間ごとに $\Delta\epsilon(A)/\Delta A$ を計算して (20) 式にあてはめる。 $dEx\{M\}/dA$ は第5図 a のよ

うになる。図から $Ex\{M\}$ は A が 7~8%より小さいときに減少、それより大きいときに増加とわかるので、 $Ex\{M\}$ を最小にする A の値は 7~8%と確認できる。マージナル・ロスの期待値は第5図bに示した。なお、 σ の値を変えて同様の計算をしてみると、最適リスク A は $\sigma=1.5$ のとき 6%程度、 $\sigma=2.5$ のとき 8%程度となる。

PFS を用いたときの最適危険率を $A=8\%$ とすると、 ϵ (8%) は -3.0°C であるので (10) 式から、保持すべき予備力の大きさ ΔP_R は 1,200 MW となる。これより低い危険率で保持すべき予備力の大きさを決めると、熱効率の低下による運転コストの増分が大きくなってマージナル・ロスが大きくなる。反対にこれより高い危険率で保持すべき予備力の大きさを決めると、ロスの増大によってマージナル・ロスが大きくなる。

4. 気温の確率予測を用いた意思決定

PFS によって予備力の大きさをコントロールする場合には、第2表のコスト/ロス構造をもつ電力会社 X では日々 1,200 MW 分の予備力を保持するのが最適だということがわかった。しかしこれは、多くの場合に大きすぎ、比較的にまれなある場合にはこれでも足りない。この節では、気温の確率予測 (PFT) を用いて予備力の大きさをコントロールすることを考える。

4.1 気温の確率予測

気温の確率予測は 2 つの形式の予報要素をもっていい。1 つは、最高気温の上方積算確率 $P_{PFT}(T \geq T_0)$ である。記号の添え字 PFT は PFS との区別のため、以下では前節で導入した予報に対しては添え字 PFS を付する。2 つ目は危険率 A を上方積算確率として持つ気温、すなわち $P_{PFT}(T \geq T_0) = A$ としたときの T_0 である。最高気温の予測値が与えられた場合、これらは誤差の下方積算確率 $P_{PFT}(E \geq E_0)$ と危険率 A を下方積算確率として持つ誤差 $\epsilon_{PFT}(A)$ に書き換えることができる。

第6図は PFT の予報例を確率分布関数の形で表したものである。図は、2001年7月12日の Y 市を対象としたもので、 $A=8\%$ を上方積算確率として持つ気温が 29.5°C であること、 25.2°C の最高気温予報に対して、 $\epsilon_{PFT}(8)$ が -4.3°C であることを示している。併せて示した PFS の確率分布は、 $A=8\%$ を上方積算確率として持つ気温が 28.2°C であること、 25.2°C の最高気温予報に対して $\epsilon_{PFS}(8)$ が -3.0°C であることを示している。

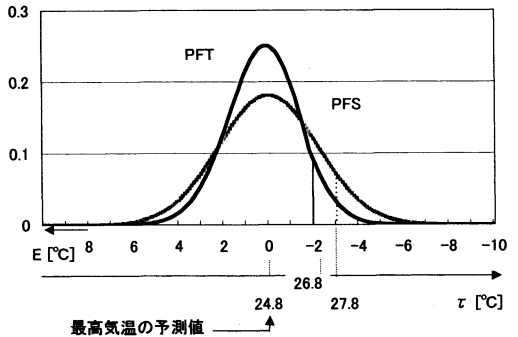
第3表 PFT および PFS を用いた意思決定のマージナル・ロス。(a) 2001年7月12日, (b) 2001年8月20日。

(a) 2001年7月12日

	ΔPR [MW]	L[k¥]	Cr[k¥]	C[k¥]	M[k¥]
PFT	1,720	0	3,440	240	3,680
PFS	1,200	22,000	2,400	0	24,400

(b) 2001年8月20日

	ΔPR [MW]	L[k¥]	Cr[k¥]	C[k¥]	M[k¥]
PFT	800	0	1,600	720	2,320
PFS	1,200	0	2,400	1,520	3,920



第7図 誤差の確率分布で表した気温の確率予測 (PFT, 黒い曲線)。予報対象日2001年8月20日, Y 市の例。PFS による誤差の確率分布を併せて灰色の曲線で表した。横軸, 縦軸については第6図と同じ。図は、危険率 $A=8\%$ を下方積算確率として持つ誤差 ϵ (8%) が PFT では -2.0°C 、PFS では -3.0°C であること、同じ危険率を上方積算確率として持つ気温が PFT では 26.8°C 、PFS では 27.8°C であることを示している。

る。2つの確率分布曲線の著しい違いの1つは頂点の高さである。PFT の頂点は PFS のそれより低い。このことは、大きな誤差の可能性について、PFT が PFS に比べてより大きな警告を発していることを意味する。著しい違いのもう1つは、PFT の確率分布が左右対称でなく右にゆがんでいることである。このことは、誤差が負になる確率がより大きいことを示している。つまり、PFT は、気温予報に対して、統計的に予想されるより大きな誤差と、誤差が負になることの可能性とを示唆しているのである。

ここで、PFT を用いた意思決定ルールを述べる。これは、危険率 A を下方積算確率として持つ誤差 $\epsilon_{PFT}(A)$ によって予備力をコントロールするルールである。

予備力 ΔP_R は (10) 式の代わりに

$$\Delta P_R = -S\varepsilon_{PFT}(A) \tag{21}$$

とする

これが PFT を用いた意思決定ルールである。A の値は前節の結果を参考にして、ここでもまず 8% としてみる。このルールの場合、評価は期待値によってではなく、事例ごとにされなければならない。つまり、「マージナル・ロスの期待値」のかわりにマージナル・ロスの事例ごとの実現値によって評価するわけである。

4.2 2001年7月12日と8月20日の事例

PFT を用いた意思決定ルールを2001年7月12日の事例に適用してみる。この日を予報対象日として前日に予報された Y 市についての PFT と PFS の確率密度関数は、すでに第 6 図に示した。したがって、 $\varepsilon_{PFT}(8)$ は -4.3°C である。この日のための予備力は、前日の11日に、PFT を用いて決められる。12日の最高気温の実況値は予測値に比べて著しく高かった。観測された最高気温は 29.2°C で、前日発表された12日の最高気温予報 (25.2°C) の誤差は -4.0°C であった。第 2 節で述べたように、これらの値は電力会社 X の供給範囲を代表するものと仮定する。

(21) 式で $A = 8\%$ とし、第 2 表の数値を代入すると、保持すべき予備力 ΔP_R は $1,720 \text{ MW}$ となる。予測したピーク負荷に対する需要の超過 ΔP は、(1) 式から $1,600 \text{ MW}$ とわかる。従って (3) 式から、ロス L は $0 \text{ k}\yen$ となる。(4) 式から予備力を保持するコスト C_R は $3,440 \text{ k}\yen$ 、熱効率の低下による運転コストの増分 C は (5) 式から $240 \text{ k}\yen$ となる。結局、PFT を用いた意思決定のマージナル・ロスは、2001年7月12日については、第 3 表 a に示したように

$$M = 0 + 3,440 + 240 = 3,680 \text{ k}\yen$$

となる。PFS を用いた意思決定の評価についても第 3 表 a に併せて示した。そのマージナル・ロスは $24,400 \text{ k}\yen$ と PFT の場合をはるかに上回っている。PFT との著しい違いはロスの額で、PFT では 0 であるものが、PFS では $22,000 \text{ k}\yen$ である。

7月12日の事例では PFT を用いた意思決定が、大きな予備力を保持したことで成功を収めた。最高気温の実況値が予測値より著しく高く、PFT は危険率 A を下方積算確率として持つ誤差 $\varepsilon_{PFT}(A)$ によって (それが絶対値の大きな負の値であることによって) それ

第 4 表 日平均マージナル・ロス、2001年7月から9月。(a) $E < \varepsilon$ (8%) となった日数と日平均マージナル・ロス。2001年7月, 8月, 9月および3か月平均を PFT および PFS それぞれについて示した。(b) マージナル・ロスとその成分。2001年7月, 8月および9月。PFT と PFS それぞれについて示した。

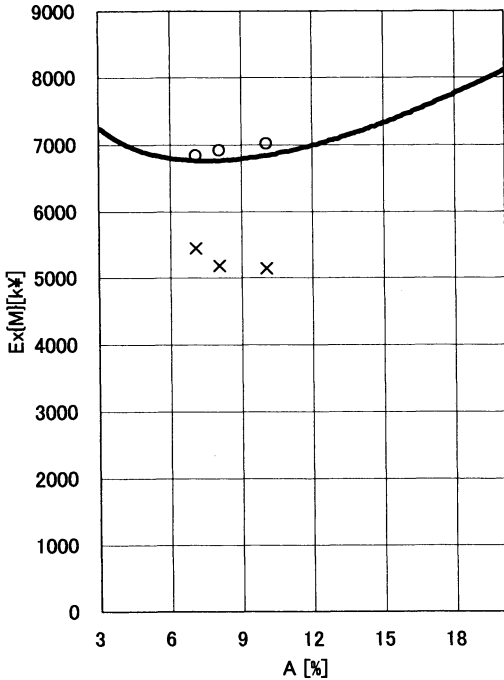
(a)		7月	8月	9月	7月~9月
$E < \varepsilon_{PFT}(8)$	となった日数	1	0	0	
$E < \varepsilon_{PFS}(8)$	となった日数	8	0	1	
	日平均 M_{PFT}	5,383	5,551	4,605	5,186
	日平均 M_{PFS}	9,641	5,505	5,574	6,921

(b)		L	C_R	C	M
7月	PFT	671	2,841	1,871	5,383
	PFS	5,652	2,400	1,590	9,641
8月	PFT	0	2,423	3,128	5,551
	PFS	0	2,400	3,105	5,505
9月	PFT	0	2,261	2,344	4,605
	PFS	671	2,400	2,503	5,574

について警告を発していたからである。しかしながら、気温予報の誤差が正であったり小さかったりしたときには、大きな予備力を保持することはコストの点で裏目に出る。次に同年8月20日の事例を検討する。この日を予報対象日とする前日の PFT および PFS は、確率分布の形で第 7 図に示した。PFT の確率密度関数の形は、今度も PFS とは違うが、第 6 図の PFT と著しく違っている。第 7 図の PFT の確率密度関数は頂点が高く、大きな誤差の可能性が小さいことを示唆している。前日19日のこの日に対する最高気温の予測値は 24.8°C 、20日の最高気温実況値は 25.9°C で最高気温予報の誤差は -1.1°C であった。

マージナル・ロスの計算結果は第 3 表 b に、PFS とともに示した。PFT を用いた意思決定のマージナル・ロスは $2,320 \text{ k}\yen$ で、PFS を用いた意思決定のマージナル・ロス $3,920 \text{ k}\yen$ に比べて著しく小さい。この差は、PFT を用いた意思決定が、PFT に従って保持する予備力を小さくして予備力を保持するコストを小さくできたこと、予備力と合わせて準備した供給力を小さく抑えることによって熱効率の低下が小さくなり、運転コストの増分を小さくすることができたことによる。

ところで、この2つの事例で、PFS を用いた意思決定のマージナル・ロスは大きな振幅をもっていることがわかる。これが気象現象にかかわるリスク・マネジ



第8図 日平均マージナル・ロスの危険率に対する依存関係。日平均マージナル・ロスは2001年7月から9月の3か月間のもの。×印が M_{PFT} 、○印が M_{PFS} 。実線はマージナル・ロスの期待値で、第5図bのものを参考のためにあわせて示した。

メントの対象なのである。このマージナル・ロスのコントロールと削減が電力会社の重大な関心事であることは容易に想像できよう。

4.3 2001年7月から9月

以上に示したのは、もちろん、典型的な成功例に過ぎない。7月12日の事例のように、PFTが絶対値の大きい負の $\epsilon_{PFT}(A)$ を予報したとき、気温予報の誤差が同じように、絶対値が大きく負であればロスを防げることになるが、誤差が小さいか正であれば、逆に無駄な予備力を保持することになり、熱効率も低くなってコストがかさむ。8月20日の事例のように、PFTが絶対値の小さな $\epsilon_{PFT}(A)$ を予報したとき、気温予報の誤差が同じく絶対値が小さいか正であれば無駄なコストを避けられることになるが、誤差の絶対値が大きく負であれば、ロスが発生することになる。

Y市の7月と8月は、最高気温と最高気温予報の誤差について対照的な特徴をもっていた。7月は降水量が平年に比べて少なく、暑い日が多かった。最高気温は平年に比べて著しく高い日が多く、最高気温予報の

第5表 PFTの検証。 $E < \epsilon(A)$ であった日の相対度数を、 $A = 5\%$ 、 8% 、 10% について示した。2000年10月から2001年9月、Y市。biasはAの値に対する誤差の平均、RMSEは誤差の2乗平均の平方根(正)である。

	r(5%)		r(8%)		r(10%)	
	PFT	PFS	PFT	PFS	PFT	PFS
2000年10月	0	0	0	0	0	0
2000年11月	3	3	3	3	3	3
2000年12月	3	0	3	0	7	3
2001年1月	10	0	14	0	14	0
2001年2月	7	4	7	7	7	7
2001年3月	0	0	0	0	3	0
2001年4月	7	10	10	10	10	10
2001年5月	3	0	6	0	6	3
2001年6月	0	4	7	14	11	14
2001年7月	3	27	3	33	13	33
2001年8月	0	0	0	0	0	0
2001年9月	0	3	0	7	0	7
bias	-1.9	-0.8	-3.4	-1.7	-3.7	-3.2
RMSE	3.8	7.4	5.5	9.5	6.1	9.6

成績は悪く(RMSEは2.5)、絶対値の大きな負の誤差が頻発した。これと対照的に、8月は、日照時間が平年に比べて著しく少なく、涼しい日が多かった。最高気温は平年に比べて著しく低い日が多く、最高気温予報はしばしば絶対値の大きな正の誤差を出した。

第4表aに $E < \epsilon(8\%)$ となった日数、すなわち上記のルールでロスが出た日数および日平均マージナル・ロスを、PFT、PFSのおおのについて月別に示した。PFTを用いた意思決定のマージナル・ロス M_{PFT} とPFSの場合のそれ M_{PFS} を比べたとき、7月については前者が後者に比べて著しく小さい。8月はほとんど変わらない。PFSは7月に8回 $E < \epsilon(8\%)$ となる予報を出しているがPFTは1回のみである。8月は両者とも0回である。第4表bからわかるように、7月に見られたマージナル・ロスの著しい違いは主としてロスの大きさによるものである。9月の最高気温予報には正負両方向の誤差があった。PFTを用いた意思決定のマージナル・ロス M_{PFT} はPFSの場合のそれ M_{PFS} に比べて小さい。この場合は、ロスがなく、しかも予備力を保持するコスト、熱効率の低下による運転コストの増分ともいくらか小さくなっている。3か月を通して見ると、日平均マージナル・ロスはPFTの場合が5,186 k¥、PFSの場合が6,921 k¥で、PFTを用いることによって25%のマージナル・ロスの削減ができたことになる。

また、7月12日と8月20日の比較で見たのと同様に、月ごとについても、PFSを用いた意思決定のマージナル

ル・ロスには大きな振幅があることがわかる(第4表 a または b)。これに対して PFT の場合には振幅が小さい。これは、PFT を用いた意思決定の有用性を別の角度から示すものである。

前節で PFS に対して確認した最適危険率は 7~8% であったので、 $A=7\%$ についても以上の計算をやり直してみる。第8図に示したように、 M_{PFT} は $A=7\%$ のときの方が大きくなり、 M_{PFS} はわずかに小さくなる。第8図には、 $A=10\%$ の場合および前節で調べた PFS を用いた場合のマージナル・ロスの期待値も併せて示した。PFS の日平均マージナル・ロス M_{PFS} は $Ex\{M\}$ の曲線にほぼ乗っていることが確認できる。PFT を用いる場合には危険率を $A=10\%$ とより大きくとってもマージナル・ロスは大きくなっていない。これら3つの危険率のいずれに対しても、マージナル・ロスの値には PFT を用いた場合と PFS を用いた場合とで歴然とした差がある。

5. 議論

この節では、主に次の2点について議論する。1つは、PFT の予報の品質について、2つ目は、様々な仮定の上に組み立てられたリスク・マネジメントの定量的モデルの限界についてである。

5.1 PFT の予報の品質

Murphy (1993) は、気象予報の良し悪しをはかる3つの異なる基準を提案している。整合性、品質、価値である。Murphy によれば、整合性とは予報と判断との対応、品質とは予報と観測との対応、価値とは予報のユーザーにとっての利益の増加である。この観点からすれば、これまでに用いてきた「マージナル・ロス」は PFT のユーザーにとっての「価値」の指標である。以下では Murphy のいうもう1つの基準、PFT の「品質」について検討する。

PFT が提供する主な情報は $\epsilon(A)$ であるから、これを検証しなければならない。 $\epsilon(A)$ は $E < \epsilon(A)$ となった事象の相対頻度によって検証することができる。この相対頻度を $r(A)$ と表し、PFT のものと PFS のものとを区別するために添え字を用いて $r_{PFT}(A)$ 、 $r_{PFS}(A)$ のように表す。危険率 A を下方積算確率として持つ誤差 $\epsilon(A)$ の予報は、 $r(A)$ の値が A に近いほど品質が良いということになる。第5表に月ごとの r_{PFT} と r_{PFS} の値を掲げた。この場合、PFS については、1999年10月から2000年9月までの1年間の誤差統計から $\sigma=2.1$ としている。前節までの議論は夏季に限定さ

れていたため、 σ の値には夏季のみの統計値を用いている。 $A=8\%$ について見れば、 r_{PFT} が r_{PFS} に比べて A により近いのは、12か月のうち7月を含めて5回、逆は9月を含めて1回である。第5表には $A=5\%$ と $A=10\%$ の場合を併せて示した。また第5表には $r(A)$ のバイアスと RMSE を示した。バイアスは誤差 $r-A$ の平均、RMSE は同じ誤差の2乗平均の平方根(正の)で、バイアス、RMSE とも0に近いほど品質が良いということになる。バイアスについては、 A の各値とも PFT の方が悪い。PFS は統計に基づくものであるから、期間を長くとればとるほどバイアスは0に近づくはずのものである。RMSE については、 A の各値とも PFT の方が著しく良い。

相対頻度 r_{PFT} のバイアスおよび RMSE という2つの品質指標について調べた結果、価値すなわち上記のような意思決定に利用したときの利益に対して影響の大きいのは RMSE の方だと考えられる。この場合の RMSE は確率予報の信頼度の指標にはかならない(立平, 1999)。

5.2 リスク・マネジメントの定量モデル

Wilks (1997) や Stewart (1997) は気象情報の価値の議論を規範的 (prescriptive) 意思決定と記述論的 (descriptive) 意思決定にわけて行っている。それによれば、記述論的意思決定とは、気象情報の利用者が現実にとどのように意思決定を行っているかにかかわる議論であり、規範的意思決定とは利用者がいかに意思決定すべきかの議論である。以上で議論してきたリスク・マネジメントの定量モデルは、規範的意思決定に属するもので、モデル化のためのいくつかの単純化した仮定の上に成り立っている。コスト/ロス構造の定量化もそのひとつである。最適危険率の設定はそれを前提としたものであった。

意思決定過程は単純化し、理想化した気象情報のユーザーを想定してきた。主な単純化は次の3つの点 (i) 予備力のコントロール、(ii) 意思決定のリードタイム、(iii) 供給範囲、においてなされた。実際の予備力のコントロールは複雑な過程である。実際に保持できる予備力は連続量ではない。第2.1節に述べたように、火力発電所の発電ユニットは、典型的なもので300 MW~600 MW の発電能力をもっている。予備力を保持することは、実際には、このユニットに「火を入れる」ことを意味する。火を入れてからピークにもっていくには一定の時間がかかる。このことは、予備力保持の意思決定のリードタイムに対して運用上の制約を

課している。発電種別によってこのような事情が異なるため、様々な予備力の単位とリードタイムとが混在することになる。電力会社の供給範囲はいくらか気候の異なるいくつかの地区からなる。それらの地区に対しては異なる気温予報と異なる PFT がある。上の議論では気温予報と PFT を Y 市で代表できるものとしたが、実際には、供給範囲内の各地区への電力ユーザーの分布とそれぞれに対する気温予報と PFT を考慮して予備力を決める必要があるのである。

だが、リスク・マネジメントを定量化しようとするなら、多かれ少なかれ、モデル化のための単純化は避けられない。ここではそのための 1 例を提示したまでである。

6. 結論

本論の主要な目的は、確率予報を用いたリスク・マネジメントの定量モデルを素描することである。そのためには、コスト/ロス構造の定量化が必要になる。その前提でのみリスク・マネジメントの成果を定量的に評価することができるからである。本論ではマージナル・ロスという指標によってそれを評価した。

コスト/ロス構造の定量化のためにはある程度の単純化の仮定を導入する必要がある。本論は気象情報を用いたリスク・マネジメントの議論としては「規範的」といわれるタイプに属する。規範的研究は、コスト/ロス構造を単純化するかわりに、コスト/ロスのうちの気象現象に依存する限界的な部分（マージナル・ロス）を特定することによって、定量的リスク・マネジメントへの機会を開く。本論では電力会社のリスク・マネジメントにこの考え方を適用し、事例研究によってマージナル・ロスの 25% 程度をセーブできることを示した。

意思決定の当事者はどの因子をコントロールすべきかを知っていなければならない。コントロールすべき因子はコスト/ロス構造を検討することによって見出される。本論の電力会社の場合には、意思決定は予備力の大きさをコントロールするものとした。

意思決定の当事者は意思決定を有効に導く気象情報が何かを知った上でそれを得なければならない。予備力をコントロールするのに必要な情報は気温の確率予報 PFT であった。本論の電力会社の場合、翌日最高気温予報についての危険率 A を下方積算確率として持つ誤差 $\epsilon_{PFT}(A)$ という形で PFT を入手する必要があった。

謝辞

執筆にあたって、電力会社の需給運用業務については、早川佳男氏（ウェザーニューズ社）のご教示を得ました。議論の組み立てについては、執筆の段階から立平良三氏（気象業務支援センター、元気象庁長官）のご指導を受けました。担当編集委員および査読者からは有益な示唆と細部にわたるご指導をいただきました。これらの方々に深く感謝いたします。

参考文献

- Brooks, H. E. and C. A. Doswell III, 1996: A comparison of measure-oriented and distribution-oriented approaches to forecast verification, *Wea. Forecast.*, **11**, 288-303.
- Ishioka, O., Y. Sato, T. Ishihara, Y. Ueki, T. Matsui and T. Iizaka, 2000: Development of Electric Load Forecasting System using Neural Networks. *The Transactions of The Institute of Electrical Engineers of Japan*, **120** (B), 1550-1556.
- Japan Electric Power Information Center, Inc., 2000: *Electric Power Industry in Japan 2000/2001*, 51pp.
- Morgan, M. G. and M. Henrion, 1990: *Uncertainty; A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*, Cambridge University Press, 332pp.
- Murphy, A. H., 1993: What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting, *Wea. Forecast.*, **8**, 281-293.
- Murphy, A. H., 1998: The early history of probability forecasts; Some extensions and clarifications, *Wea. Forecast.*, **13**, 5-15.
- Stewart, T. R., 1997: Forecast value; descriptive decision studies, R. W. Kats and A. H. Murphy ed., *Economic value of weather and climate forecasts*, Cambridge University Press, 147-181.
- 立平良三, 1999: 気象予報による意志決定, 東京堂出版, 143pp.
- Wilks, D. S., 1995: *Statistical methods in the atmospheric sciences; An introduction*, Academic Press, 464pp.
- Wilks, D. S., 1997: Forecast value; prescriptive decision studies, R. W. Kats and A. H. Murphy, *Economic value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge University Press, 109-145.
- 山本博士, 増川隆久, 1996: 気象と電力需要予測, *電気評論*, 1996 (12), 19-22.

Risk Management Using Probability Forecast of Temperature

TOMIYAMA Yoshiyuki*

* *Weathernews Inc., Mihama-ku, Chiba-shi, 261-0023 Japan.*

(Received 5 August 2002 ; Accepted 31 January 2003)

Abstract

Remarkable progress of study on risk management using weather information has been made in recent days in United States and some other countries. In Japan, Tatehira (1999) showed the way to advanced use of weather information referring to western studies. In turn, requisites for the weather information will become to be clear. The purpose of this paper is a prescriptive modeling of risk management using the probabilistic forecast of temperature.

This study will illustrate the peak load control of electric power co-operation as an example. In this case, risk arises accompanied to the uncertainty of temperature forecast. Risk is quantified based on cost/loss model. It is assumed that decision making controls the size of reserved facilities for power generation. Decision making is assumed to be done using the probabilistic forecast of temperature. The part of cost/loss related to the uncertainty of temperature forecast is called *marginal loss* which is used as an index measuring the performance of decision making.

This case study will show the possibility of saving about 25% of *marginal loss*.



日本農業工学会第19回シンポジウム 「地球環境問題と農業生産環境の改善」の案内

主催：日本農業工学会

日時：2003年5月16日（金）13：00～16：30

会場：農業土木会館6階大会議室
（東京都港区新橋5-34-4）

講演：

1. リモートセンシングの最新技術と環境・農業分野への利用（東京大学 大政謙次）
2. 熱帯モンスーンにおける耕地の蒸発散・熱収支変

動と水資源・災害（東京農工大学 青木正敏）

3. 中国の環境問題としての砂漠化・黄砂の防止法と緑化技術の方向性（九州大学 真木太一）
4. 中央アジア灌漑農地の塩類集積による水土劣化と防止対策（鳥取大学 北村義信）

総合討論：司会（山口大学 早川誠而）

参加費：無料（資料代 1000円）

参加申込：当日受付