

天候リスクを考慮した 企業のリスクマネジメント

発表構成

1. 研究背景
2. 研究目的と流れ
3. 天候リスクマネジメント手法
4. 事例研究
5. まとめ及び今後の課題

参考文献

東京理科大学大学院
工学研究科
経営工学専攻

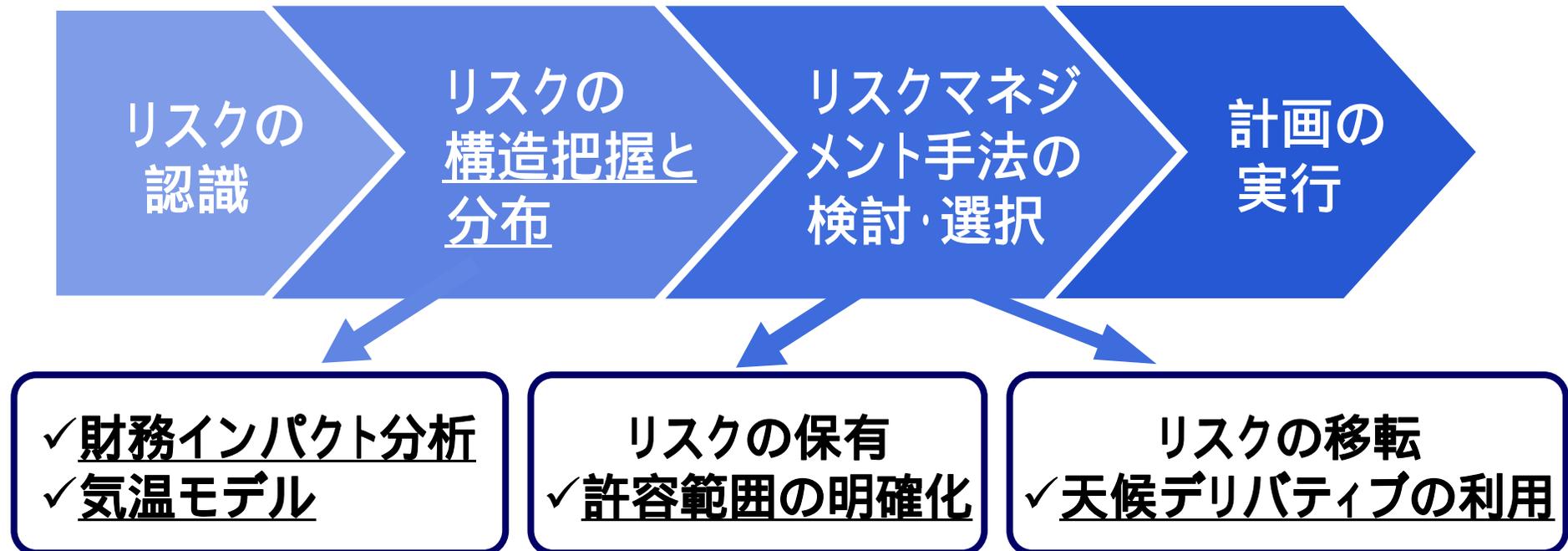
藤田 加奈子

1.1 天候リスクと企業



図1.天候リスクと企業の関係

1.2 天候リスクマネジメント



- 天候先物の上場に基づく、さらなる天候リスク市場拡大の可能性
- 天候リスクを計量化することは困難で、リスクマネジメントモデルもいまだ構築されていない

2 研究目的と研究の流れ

目的

天候リスクを抱える企業に対し、
天候に特化したリスクマネジメント
モデルを提案する

事例研究における流れ

Step1 : 対象企業の事業にかかる天候リスクの認識

Step2 : 気象要因による影響の定量的分析

Step3 : 長期予報を利用した気温モデルに基づく将来予測

Step4 : EaR (Earnings at Risk) を用いたリスク評価

事例研究に入る前に天候リスクマネジメントに
用いる手法について簡単に紹介する

3.1 気温モデル

- 長期予報を考慮した気温モデル[2][3][4]
 - 気温変動をモデル化
 - 温暖化傾向がある
 - 平均気温は周期変動を持つ
 - 気温は自己回帰性を持つ(k 期まで考慮)
 - ある月の気温は平年気温を中心に上下変動する

$$T_t = Trend + Seasonal + Auto\ regressive$$

$$= (\alpha + \beta t) + \gamma \cdot \bar{T}_t + \left(\sum_{i=1}^k \rho_i T_{t-i} + \varepsilon_t \right) \dots$$

ただし $\varepsilon_t \sim i.i.d.N(0, \sigma^2), \forall t=1, \dots, n$, σ は3ヶ月間一定であると仮定

<記号の定義>

\bar{T}_t : 対象月 t の過去の平均気温

T_t : 月 t における気温

$\alpha, \beta, \gamma, \rho_i, \sigma$: パラメータ k : 自己回帰次数

3.1 気温モデル

- 気象庁発表の長期予報を 式に組み込むことを考える [4][10]
 - 長期予報は, 平年気温を過去30年間における出現率が1/3ずつになるように階級を設定し, 将来の気温の出現確率を平年気温と比較して予報
 - 本研究では, 長期予報のうち, 企業リスクモデルへの適用のしやすさを考慮して **三ヶ月予報** を利用する

予報例) 関東甲信地方の三ヶ月(12月~2月)予報

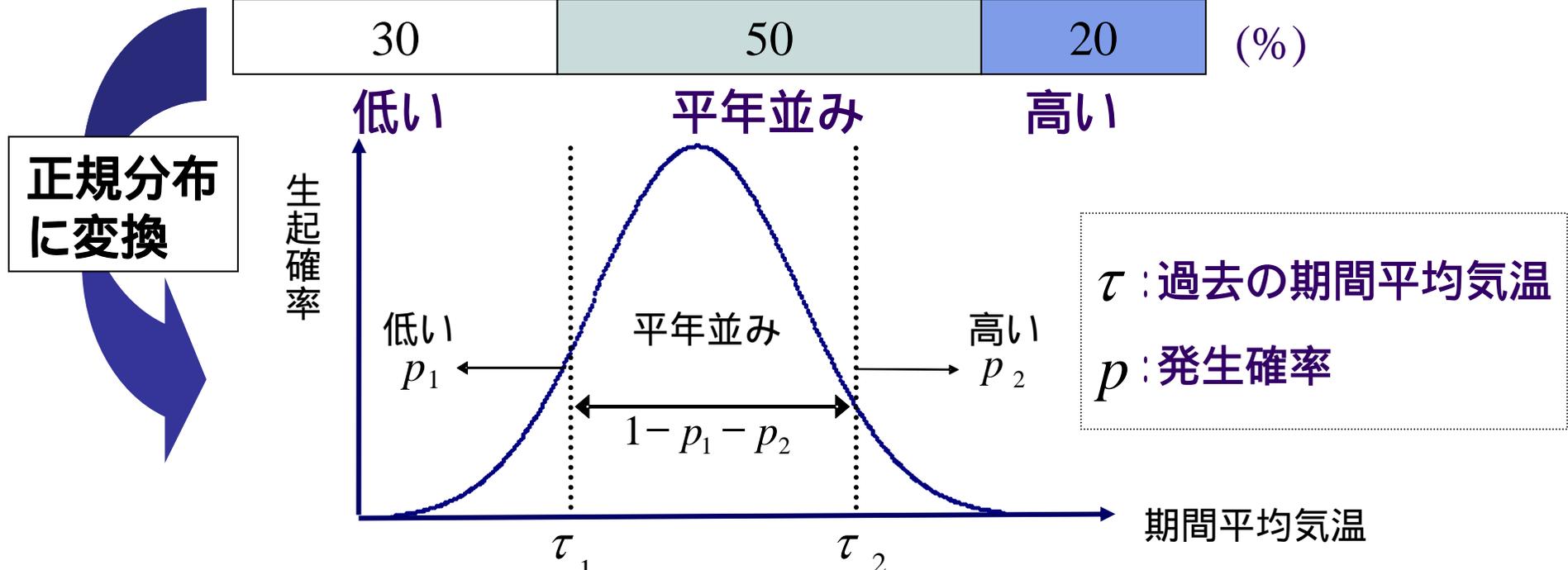


図2. 平均 $E[\tau]$, 分散 $V^2[\tau]$ の正規分布

3.1 気温モデル

- 長期予報が正規分布に従うと仮定することによって
求めるべき期間平均気温とその分散を算出することができる
- 算出方法は以下のとおり

$$\begin{array}{ccc}
 P[\tau < \tau_1] = \int_{-\infty}^{\tau_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi\tilde{V}}} \exp\left\{-\frac{(\tau - \tilde{E})^2}{2\tilde{V}^2}\right\} d\tau = p_1 & \begin{array}{c} \boxed{\text{変数変換}} \\ \tau_1 = \tilde{V}x_1 + \tilde{E} \\ \tau_2 = \tilde{V}x_2 + \tilde{E} \end{array} & \left(\int_{-\infty}^{x_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2}\right\} dx = p_1 \right. \\
 P[\tau_2 \leq \tau] = \int_{\tau_2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\tilde{V}}} \exp\left\{-\frac{(\tau - \tilde{E})^2}{2\tilde{V}^2}\right\} d\tau = p_2 & & \left. \int_{x_2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2}\right\} dx = p_2 \right)
 \end{array}$$

$$\tilde{E} = \frac{\tau_1 x_2 - \tau_2 x_1}{x_2 - x_1}, \quad \tilde{V}^2 = \left(\frac{\tau_2 - \tau_1}{x_2 - x_1} \right)^2 \dots$$

\tilde{E} : 期間平均気温
 \tilde{V}^2 : 分散

3.1 気温モデル

- モデルによる期間平均気温・分散(式)と
長期予報から得られる期間平均気温平均・分散(式)を
等しくするように **NUOPT** を用いてパラメータを最尤推定する
- モデルにおける誤差は正規分布に従うと仮定しているので
求めるべき尤度関数は以下のとおり

$$\begin{aligned}
 \max \quad & l_n(\alpha, \beta, \gamma, \rho_i, \sigma) = -\frac{n}{2} \ln 2\pi - n \ln \sigma - \sum_{t=1}^n \frac{\varepsilon_t^2}{2\sigma^2} \\
 \text{s.t.} \quad & \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 E[T_{k+j}] = \tilde{E} \quad (\text{期待値項}) \\
 & \frac{\sigma^2}{3^2} \text{Var} [T_{k+l} + T_{k+l+1} + T_{k+l+2}] = \tilde{V}^2 \quad (\text{分散項}) \\
 & \sigma > 0 \quad \dots
 \end{aligned}$$

k に関しては, $k = 1, 2$ のうち 式で与えられる AIC が最小となるものを用いる

$$AIC = -2l_n^* + 2 \times (k + 4) \dots$$

3.2 天候デリバティブ

異常気象によるリスクをヘッジ(回避)するための商品

天候デリバティブ定型商品

表1. 定型商品例(暖冬リスクプラン)

| | |
|---------|-------------|
| 観測期間 | 12/1 ~ 2/28 |
| 観測地点 | 東京 |
| 基準値 | 日平均気温 6度 |
| ストライク日数 | 40日 |
| 単位支払金額 | 50万円 |
| 最大支払金額 | 1,000万円 |
| プレミアム | 100万円 |

基準値例: 気温, 降水量, 積雪,
風速, 台風通過数etc

天候先物(12月に上場予定)

- ✓対象: 東京・大阪の月間平均気温
- ✓取引形態: 6ヶ月先までの気温を
1ヶ月単位, 0.01 きざみ
- ✓単位支払金額: 1 につき10万円

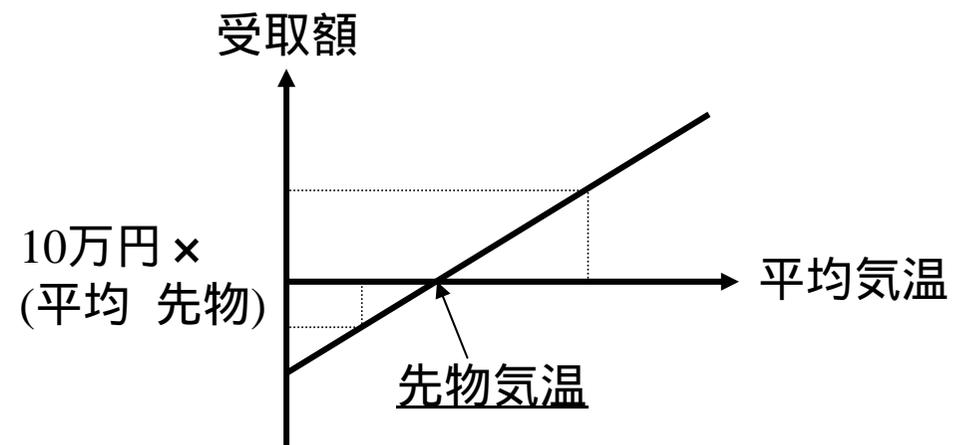


図3.天候先物の支払い

3.2 天候デリバティブを用いたヘッジ 3. 天候リスク マネジメント手法

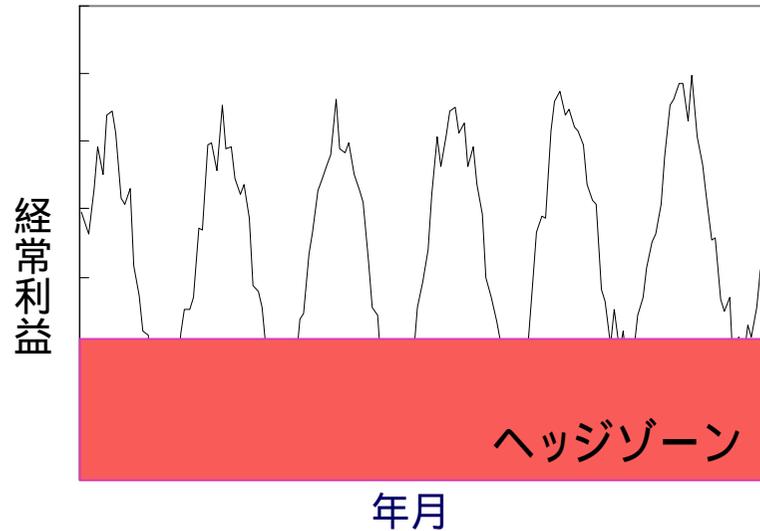


図4.天候デリバティブによる
リスクヘッジのイメージ

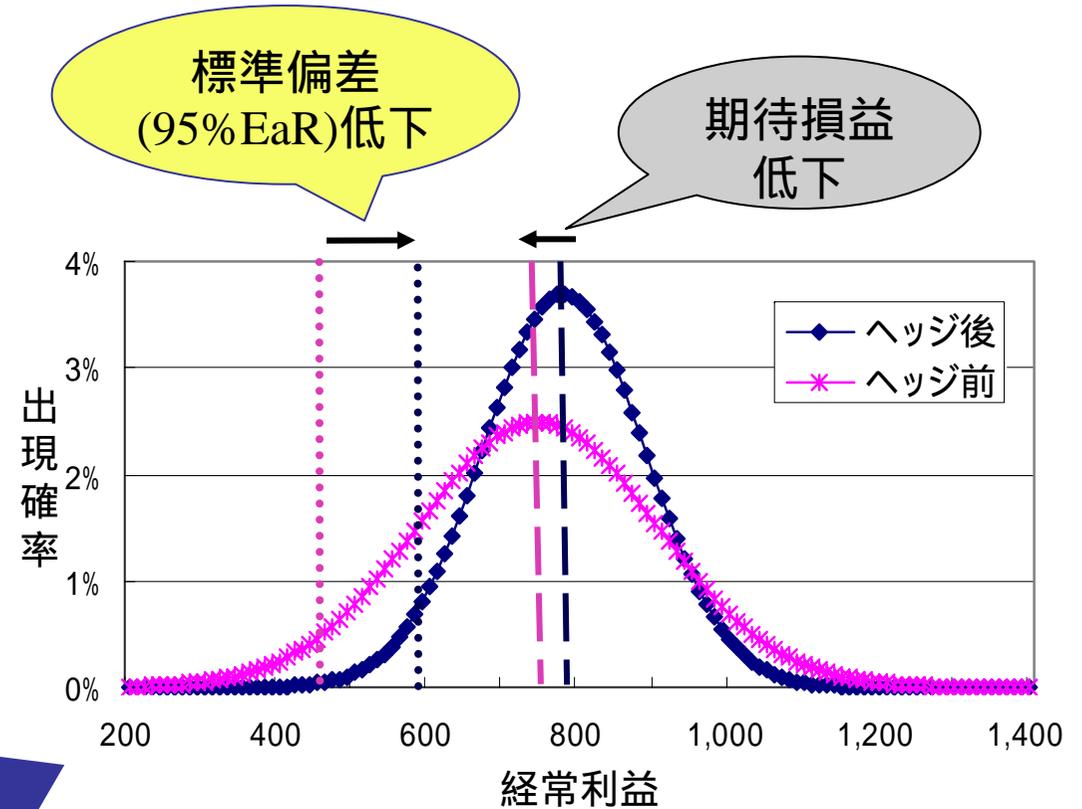


図5.ヘッジによる経常利益分布の変化

気温を予測し,気温変化に伴う経常利益の変化を把握できれば
将来の経常利益の変動も

EaR (Earnings at Risk) : ある一定期間において一定の確率で起こる
期間損益ベースでの予想最大変動額を示すもの

4 事例研究

- 事例を踏まえ、天候リスクマネジメントモデルを作成する
- 対象企業：東京電力(株)
 - 選定理由：電力事業は冷夏・暖冬リスクを抱えていると言われ、また電力自由化などで売上が落ち込んでいるため
- 具体的手法
 - Step1：東京電力の事業にかかる天候リスクの認識
 - Step2：気象要因による影響の定量的分析
 - Step3：気温モデルに基づく事業の将来予測

 - Step4：EaR を用いたリスク評価，分析はここまで
ヒストリカルデータとの比較
 - Step5：天候デリバティブを用いたリスクヘッジ

<Step1,2>

- 電力事業における需要変化や価格への最重要リスク要素は、気温変化と考えられる(冷夏・暖冬リスク)
- 販売電力量は気温15.2 を平均に分散(ただし長期トレンド除去済み(図7))

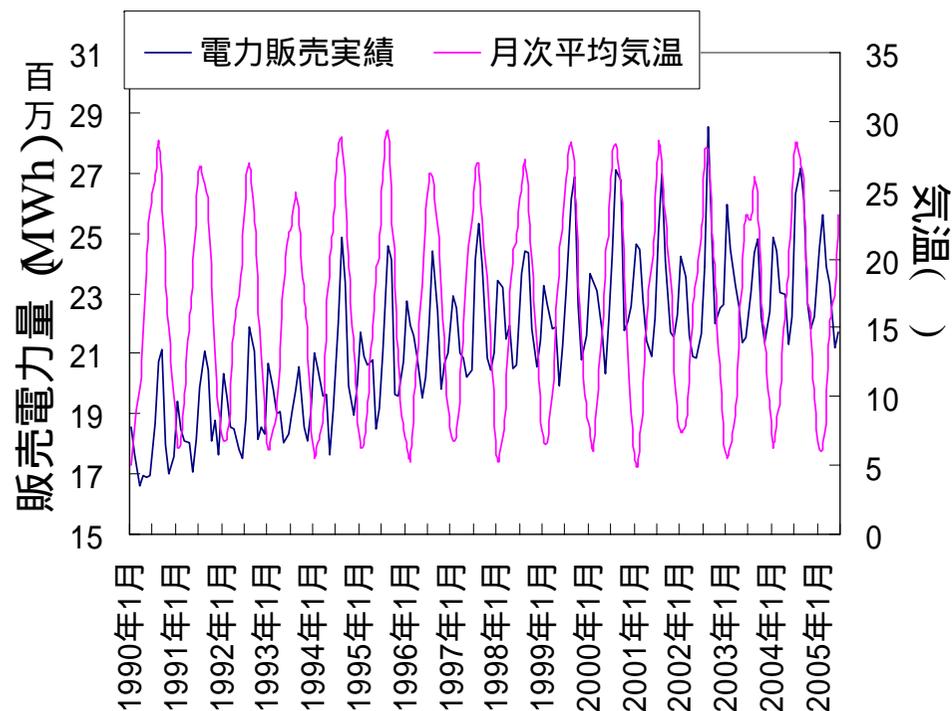


図6.販売電力量と気温の関係
(データ:1990年~2004年)

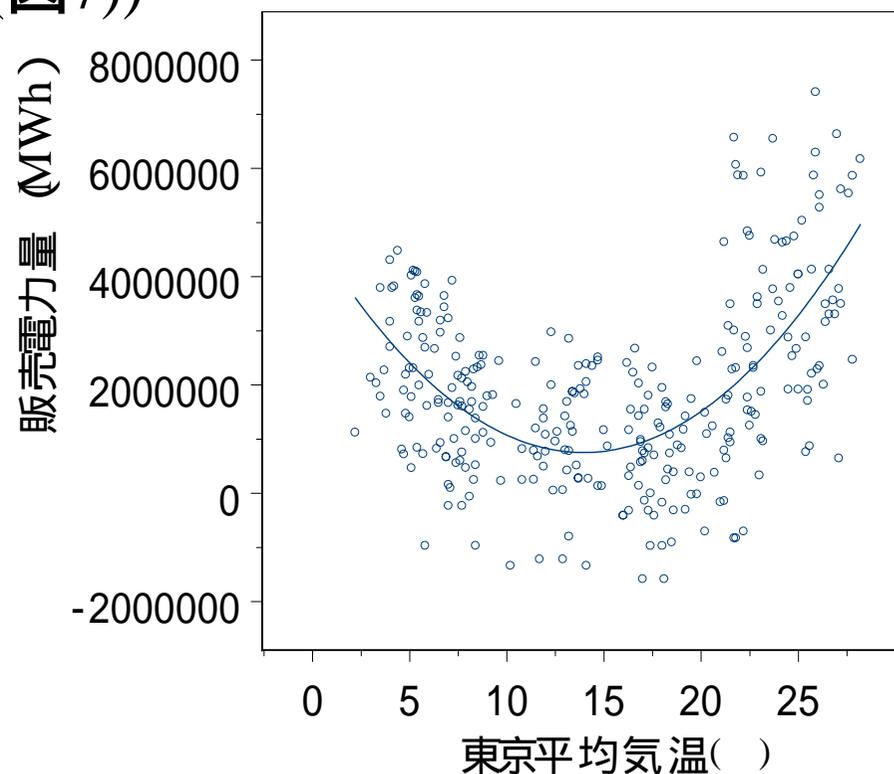
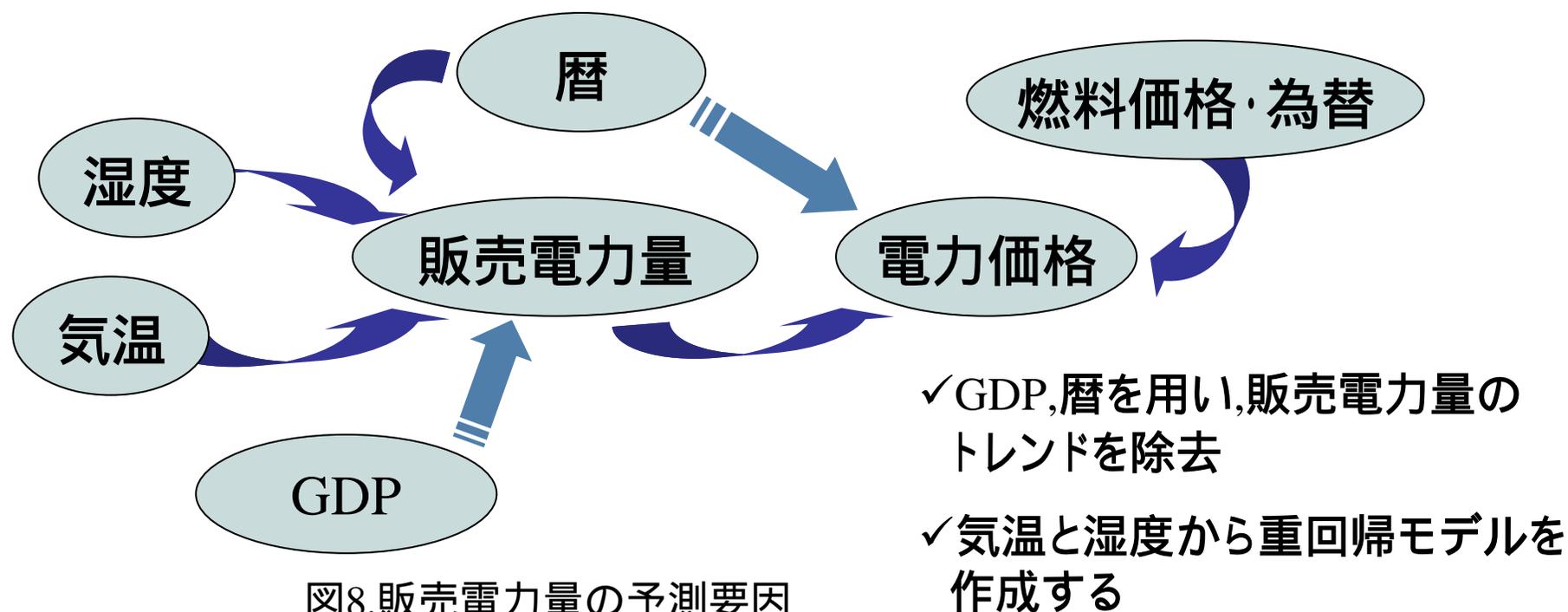


図7.トレンド除去後の東京電力販売量と
東京平均気温の関係($R^2 = 0.65$)₁₂

<Step3>

- 販売電力量を気温・湿度からの重回帰分析で予測
- 販売電力量予測と気温モデルから損益計算書をモデル化しシミュレーションする



<Step3・将来予測>

- 2004年,2005年の夏季(7~9月)・冬季(1~3月)における気温モデルによる予測結果を表2に示す
- 重回帰モデルの気温に気温モデルを組み込み,将来の電力販売量ならびに経常利益分布をシミュレーションにより算出する

表2. 夏季・冬季における各パラメータの値と予測気温(各計算時間平均0.05秒)

| 年 | 期間 | 長期予報データ | | パラメータ | | | | | | 予測気温 | | | | |
|------|------|---------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------------|-------|------|-------|--------|--------|--------|
| | | E | V ² | 1 | | 2 | | k | AIC | 1期 | 2期 | 3期 | | |
| 2004 | 7-9. | 25.60 | 0.51 | -0.905 | 0.012 | 1.006 | 0.025 | 1.227 | | 1 | 230.4 | 23.959 | 27.326 | 25.515 |
| | | | | -0.622 | 0.013 | 0.947 | 0.139 | -0.074 1.193 | | 2 | 230.9 | 23.988 | 27.598 | 25.215 |
| 2005 | 7-9. | 25.46 | 0.30 | 1.104 | -0.013 | 0.927 | 0.035 | 0.938 | | 1 | 228.9 | 26.654 | 25.843 | 23.883 |
| | | | | 0.038 | -0.009 | 1.125 | -0.279 | 0.180 | 1.001 | | 2 | 232.4 | 28.670 | 24.253 |
| 2004 | 1-3. | 7.21 | 0.53 | -0.037 | 0.004 | 0.959 | 0.036 | 1.246 | | 1 | 210.2 | 6.093 | 6.663 | 8.874 |
| | | | | 0.801 | 0.003 | 0.802 | 0.323 | -0.180 1.155 | | 2 | 206.4 | 6.965 | 5.282 | 9.382 |
| 2005 | 1-3. | 7.21 | 0.53 | -0.191 | -0.011 | 0.995 | 0.040 | 1.244 | | 1 | 246.5 | 5.596 | 7.376 | 8.659 |
| | | | | 0.442 | -0.010 | 0.897 | 0.223 | -0.126 1.190 | | 2 | 241.5 | 6.411 | 6.328 | 8.891 |

*用いるのはAICの小さい方だが,あまり変わらないのでどちらを用いてもよいと考えられる

< Step4・EaR分析(例) >

表5. 対象期間における東京電力の損益計算書

| | |
|--------|---------|
| 総売上高 | 300,071 |
| 電力売上高 | 243,759 |
| 営業雑収益 | 51,581 |
| 附帯事業収益 | 4,731 |
| 費用 | 262,493 |
| 売上原価 | 91,792 |
| 供給販売費 | 94,610 |
| 一般管理費 | 23,164 |
| 営業雑費用 | 48,474 |
| 附帯事業費用 | 4,452 |
| 営業利益 | 37,578 |
| 営業外収益 | 4,295 |
| 営業外費用 | 7,579 |
| 経常利益 | 34,294 |

単位[百万円]

変動

予測

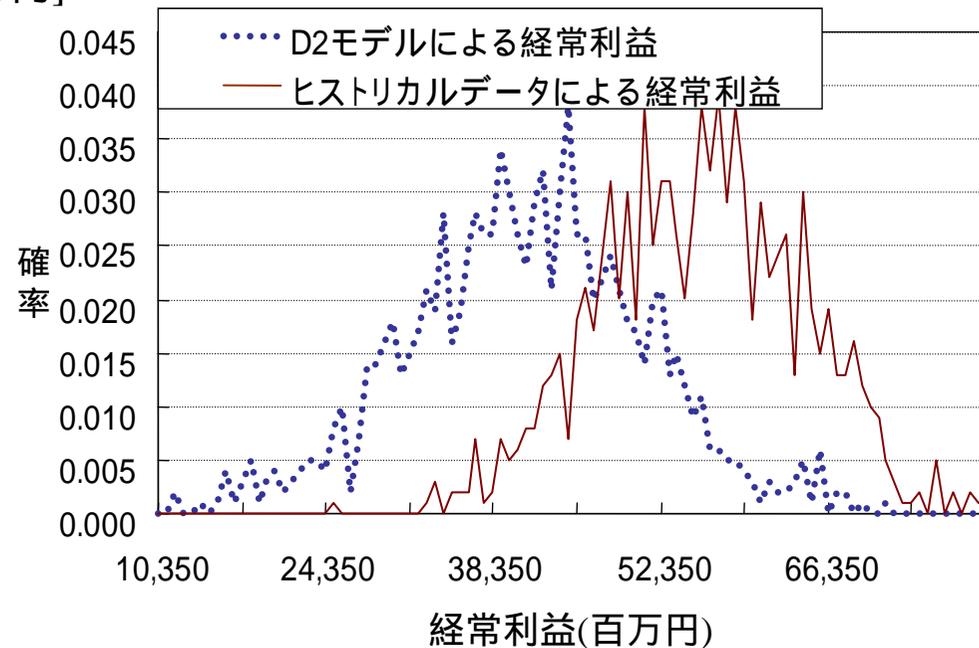


図7. 経常利益の予測分布

表6. ヒストリカルデータと気温モデルの乖離

| | ヒストリカルデータ | | | D2モデル | | |
|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 99%EaR | 95%EaR | 平均値 | 99%EaR | 95%EaR | 平均値 |
| 気温() | 5.3 | 5.7 | 6.7 | 5.7 | 6.2 | 7.2 |
| 経常利益(百万円) | 36,197 | 41,945 | 56,855 | 17,586 | 24,843 | 42,506 |
| 実データとの乖離 | | | 18,235 | | | 3,886 |

5 まとめ及び今後の課題

まとめ

- 天候リスクを抱える企業に対し、天候リスクマネジメントを行なう必要性を示した
- 長期予報を組み込んだ気温モデルに対し、NUOPTを用いパラメータの最尤推定値を算出した
- 気温モデルを電力販売量の回帰モデルに組み込み、シミュレーションを行なうことによって経常利益を分布で表現し、リスクヘッジする範囲を示す手法について述べた

今後の課題

- 損益計算書のモデル化,及び,天候デリバティブの使用に関しては未だ研究段階であり,これを今後の課題とする

参考文献

- [1] みずほ第一フィナンシャルテクノロジー(株),(財)日本気象協会;“天候リスクマネジメントへのアンサンブル予報の活用に関する調査”,報告書,2003.
- [2]B.Dischel,”The D1 Stochastic Temperature Model for Valuing Weather Future and Options”, Applied Derivatives Trading, April 1999.
- [3]宇田雅之,水野眞治;”長期予報を考慮した気温モデルによる天候リスクマネジメント”,東京工業大学 2003年度修士論文.
- [4]土方薫(編著);「総論 天候デリバティブ-天候リスクマネジメントのすべて-」,シグマベイスキャピタル,2003.
- [5]山田雄二,椿広計,飯田愛実;”一般化加法モデルに基づく天候デリバティブの価格付けと事業リスクヘッジ”,筑波大学ビジネス科学研究科,2005夏季JAFEE投稿論文.
- [6]広瀬尚志(監修),天崎祐介・岡本均・椎原浩輔・新村直弘(著);「天候デリバティブのすべて~金融工学の応用と実践~」,東京電機大学出版局,2003.
- [7]気象庁ホームページ(http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/index.html)
- [8] W.N.ヴェナブルズ,B.D.リプリー(著);「S-PLUSによる統計解析」,シュプリンガー・フェアラーク,2001.
- [9]電気事業連合会ホームページ(<http://www.fepc.or.jp/>)
- [10] (財)日本気象協会ホームページ(<http://www.jwa.or.jp/>)
- [11]東京電力ホームページ(<http://www.tepco.co.jp/>)

参考文献2

- [12] (社)日本冷凍空調工業会(<http://www.jraia.or.jp/index.html>)
- [13]土方薫(編著);「電力デリバティブ」,シグマベイスキャピタル,2004.
- [14]統計情報サイト ESRI 内閣府 経済社会総合研究所(<http://www.esri.cao.go.jp/index.html>).
- [15] ジョン・C・ハル(著);「先物・オプション取引入門」,ピアソンエデュケーション,2001.

NUOPT program(一部抜粋)

like = Objective(type="maximize")

$\text{eps}[t,t>k] \sim \text{Tmp}[t] - (\text{alpha}[1] + \text{beta}[1]*t + \text{ga}[1] * \text{MTmp}[t,t\leq n] + \text{Sum}(\text{rho}[i]*\text{Tmp}[t-i],i))$

$\text{PTmp}[1] == \text{alpha}[1] + \text{beta}[1]*(n+1) + \text{ga}[1]*\text{MTmp}[n+1] + \text{Sum}(\text{rho}[i]*\text{Tmp}[n-i],i)$

$\text{PTmp}[2] == \text{alpha}[1] + \text{beta}[1]*(n+2) + \text{ga}[1]*\text{MTmp}[n+2] + \text{Sum}(\text{rho}[i]*\text{Tmp}[n-i],i,i\geq 2) + \text{rho}[1]*\text{PTmp}[1]$

$\text{PTmp}[3] == \text{alpha}[1] + \text{beta}[1]*(n+3) + \text{ga}[1]*\text{MTmp}[n+3] + \text{Sum}(\text{rho}[i]*\text{Tmp}[n-i],i,i\geq 3) + \text{rho}[1]*\text{PTmp}[1] + \text{rho}[2]*\text{PTmp}[2]$

$\text{Ex} == (\text{PTmp}[1] + \text{PTmp}[2] + \text{PTmp}[3])/3$

$\text{V} == ((1 + \text{rho}[1] + \text{rho}[1]^2 + \text{rho}[2])*(\text{sigma}[1])^2 + (1 + \text{rho}[1])*(\text{sigma}[1])^2 + (\text{sigma}[1])^2)/9$

$\text{sigma}[1] \geq 0$

$\text{like} \sim -(n/2)*\log(2*\text{pi}) - n*\log(\text{sigma}[1]) - \text{Sum}((\text{eps}[t,t>k]^2)/(2*\text{sigma}[1]^2),t)$