

## 気温変動リスクに対する ESCO 事業の最適ポートフォリオ

2008 年 3 月修了 環境システム学専攻 47-66754 島津重仁 (松橋隆治教授)

キーワード：モンテカルロシミュレーション、相関乱数、リスク低減、ポートフォリオ

### 1. 背景と目的

今日、京都議定書の CO<sub>2</sub> 削減目標達成に向けた取り組みが各方面で行われているが、民生業務部門の CO<sub>2</sub> 排出量は逆に増加の一途をたどっている。そういった現状を踏まえ、様々な省エネ技術の促進・導入が行われているが、中には初期投資額が高く投資回収年数が高いものや、導入・維持管理に専門のノウハウが必要とされ、事業主単独では導入が困難なものもある。そこで本研究では、業務部門 CO<sub>2</sub> 削減に期待されている ESCO (Energy Service Company) 事業に注目することとした。ESCO 事業とは、顧客に代わって省エネサービスを包括的に行うものであり先に述べたような問題を解決してくる有力な省エネビジネスである。しかし、ESCO 事業には定量的に予想できるリスクからそうではないリスクなど、様々なリスクが点在しており、今後 ESCO 事業の発展のためにもリスクの定量評価及び、リスクの低減は重要であると考えらる。

そこで本研究では、ESCO リスクの中でも、気温変動リスク、エネルギー価格変動リスク (以下エネルギー変動リスク) とデフォルトリスクの定量評価を行うとともに、特に気温変動リスクに着目しポートフォリオ作成によるリスク低減を試みる。なお、省エネ効果も初期投資額の高いコージェネレーション(以下 CGS)を導入する場合を想定し研究を行う。

### 2. 研究概要

本研究では初めに、過去の統計より求める平均的な気温データ、既存文献<sup>1)2)</sup>・論文<sup>3)</sup>のエネルギー負荷を用い、導入する CGS 規模を決定する。次に、実際にその規模の CGS を導入したと仮定して、気温の変化に伴う ESCO の収益率変動をシミュレーションする (他リスク要因も同様)。最後に、地域の気温変動の差を考慮したポートフォリオの作成を行い ESCO 収益の変動リスクの低減を目指す。

### 3. 導入する CGS 規模の設定

#### 3.1 前提条件

今回検討する業務部門業種は用途別 (暖房・冷房・給湯・一般電力) の時間別電熱負荷パターンが分かっている<sup>1)</sup>病院 (大・中規模)・百貨店・総合スーパー・事務所・シティホテルとした (表 1)。しかし各用途をどの程度電力で満たしているか、ガスで満たしているかの詳細までは分からないので、業種・都市によらず一律文献 2 の用途別エネルギー原別使用割合に沿っていると仮定した。

想定する CGS 種類は、現状最も実用化されているガスエンジン (GE)、発電効率の高い燃料電池 (固体高分子系燃料電池:PEFC、固体酸化物系燃料電池:SOFC) である。価格や発電効率の設定は吉田ら (2005) などを参考に設定した。FC は、GE よりもコストが高い反面、電熱需要比が高い業種にも導入可能である。定格時発電効率については、GE は規模により 0.3 前後、FC は規模に因らず PEFC : 0.33、SOFC : 0.45 とし、総エネルギー効率は一律 0.8 とした。

表 1 研究対象業種詳細

	本研究で仮定する規模	調査対象物件
		出典:『建築の光熱水原単位』(文献1)
百貨店	25000m <sup>2</sup>	25000m <sup>2</sup> 以上百貨店・3000m <sup>2</sup> 以上スーパー
総合スーパー	3000m <sup>2</sup>	
事務所ビル	3000m <sup>2</sup>	14階以下オフィスビル・15~29階高層ビル・30階以上超高層ビル
大規模病院	60000m <sup>2</sup>	1500m <sup>2</sup> ~70000m <sup>2</sup> 総合病院
中規模病院	10000m <sup>2</sup>	
シティホテル	25000m <sup>2</sup>	10000m <sup>2</sup> 以下・25000~65000m <sup>2</sup> シティホテル (小・中規模ビジネスホテル等除く)

今回、地域の気温変動差を考慮するため、札幌・東京・鹿児島・那覇におけるシミュレーションを行うが、各地の熱負荷パターンは、回帰式<sup>3)</sup>に各地の標準的な 24 時間気温データ<sup>4)</sup>を代入することで算出した。

### 3.2 シミュレーション結果（規模）

CO<sub>2</sub>削減と経済性をともに考慮するため、京都議定書の目標値を参考にし、6%以上のCO<sub>2</sub>削減を制約条件とし、その上で投資回収年数が最短になるように、CGS 規模および運転時間を最適化した。その結果冬の暖房需要（熱需要）が多い札幌や、熱需要の多い病院やホテルなどの業種は、CGS 排熱を有効利用できるためCO<sub>2</sub>削減効果が最も大きく設備規模も大きかった。また投資回収年数はGEが最も早く、現状の価格・技術を考慮すると最も導入可能性が高いと思われるので、GEを導入することとする。

## 4. 気温変動による光熱費削減額変動リスク

### 4.1 気温変動に伴う空調・給湯需要変動

一般的に気温が変わるとエネルギー需要が変わり光熱費が変動する。気温が変わるとどの程度の需要が変わるかは、回帰式<sup>3)</sup>を引用し、各地の標準的な毎時気温データ<sup>4)</sup>を代入することで、各地のエネルギー需要を算出し、また、代入する気温を上下させることで、気温変化に伴いエネルギー需要を変化させた。

### 4.2 気温変動に伴う光熱費削減額変動

3節では求めたGE規模を導入したと仮定した後、夏冬各々年平均気温に比べて、-2.5℃～+2.5℃まで1℃刻みに変化させた組合せ（夏6×冬6=36パターン）における、光熱費削減額を算出した。全ての地域で一律平均気温-2.5℃～+2.5℃までの気温変動を考慮した際、削減額変動傾向は地域によって異なる（図1、図2）。例えば冬の場合、東京では気温が上がると暖房需要が減り光熱費が下がることで、削減額が増すが、那覇の場合、暖房が減る一方で冷房が増え、暖房と冷房のバランス次第で光熱費が上下する。他の業種、他の地域についても、熱需要のバランス次第で決定されることが分かった。

図1、図2の平均気温時（基準年）の光熱費削減額を1とし、削減額の相対的変動割合を示す（図3、図4縦軸）。中規模病院の変動割合（リスク）が大きいことが分かる。他にも、ホテルのリスクが大きく、一般的に熱需要の割合が多い業種ほど、気温変動リスクも大きいといえる。なお、FCが変動割合として大きいのは、FCは設備価格が高いことで導入規模が小さいため基準年の削減額そのものが小さいためである。

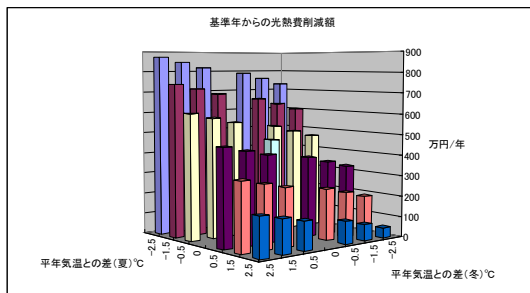


図1 削減額変動（東京-中病院）

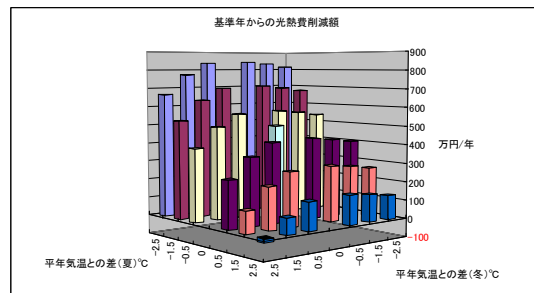


図2 削減額変動（那覇-中病院）

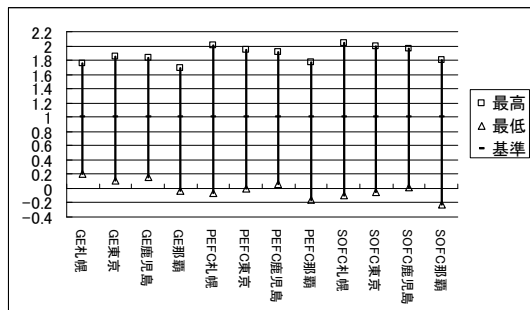


図3 対基準年削減額変動割合（中病院）

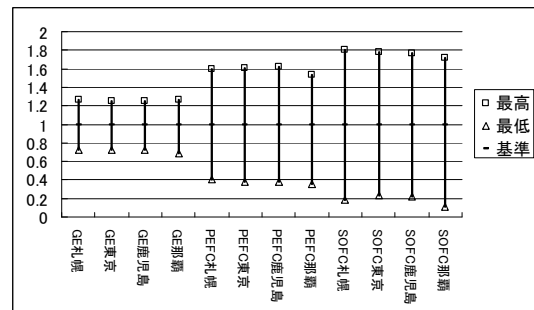


図4 対基準年削減額変動割合（事務所）

## 5. ESCO 収益変動リスク

気温変動は幾何ブラウン運動に従うと仮定した ( $\Delta x/x = \mu\Delta t + \sigma\varepsilon\sqrt{\Delta t}$ 、ただし  $x$  : 気温

[K]、 $\mu$ ：期待上昇率[%/年]、 $\sigma$ ：上昇率標準偏差[%/年]、 $\varepsilon$ ：標準正規乱数)。ここで、各地の気温変動の相関を考慮する必要がある（表2）。例えば、夏の気温は、那覇と札幌では負の相関が見られるし、同じ都市でも夏と冬の気温には負の相関が見られる、これらを考慮したシミュレーションを行った。

表 2 92～06年データより作成した気温相関係数行列

	札幌夏	東京夏	鹿児島夏	那覇夏	札幌冬	東京冬	鹿児島冬	那覇冬
札幌夏	1.00	0.77	0.37	-0.30	-0.39	-0.04	0.07	0.11
東京夏	0.77	1.00	0.52	-0.36	-0.58	-0.26	0.03	0.08
鹿児島夏	0.37	0.52	1.00	0.42	-0.17	0.15	0.17	0.15
那覇夏	-0.30	-0.36	0.42	1.00	0.51	0.34	-0.24	-0.28
札幌冬	-0.39	-0.58	-0.17	0.51	1.00	0.69	-0.13	-0.40
東京冬	-0.04	-0.26	0.15	0.34	0.69	1.00	0.41	0.14
鹿児島冬	0.07	0.03	0.17	-0.24	-0.13	0.41	1.00	0.88
那覇冬	0.11	0.08	0.15	-0.28	-0.40	0.14	0.88	1.00

表 3 ESCO 契約設定

シェアード・セイビングス契約  
 設備返済：元利均等返済  
 （金利 3.5%）  
 光熱費削減額から返済額を除いた 50%を顧客と分け合う  
 顧客の出費固定  
 （光熱費+ESCO 手数料）

以上より作成した乱数の下、モンテカルロシミュレーションにより ESCO の収益率の変動を導出した（図5）。収益率は、事業から生まれるキャッシュフローの総現在価値（割引率 5%、事業期間 15 年、他表3）を初期投資額で割ったものである。一般的に収益率が 1 を超えると投資を行う（DCF 法）。期待収益率は 1.75 と 1 を大きく上回るものの、1 を下回る可能性も 30%弱みられた。

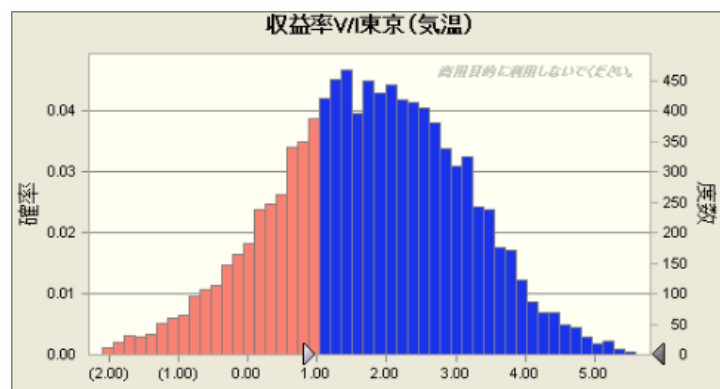


図 5 収益率分布（中病院-東京）  
シミュレーション回数 10000 回

エネルギー価格は電力・ガスともに幾何ブラウン運動を仮定した。パラメータの推定は、自由化後の 97～06 年（①）と燃料価格高騰に重きを置き 01～07 年（②）のデータを下に 2 パターン行った。デフォルトリスクは S&P<sup>5</sup> より毎年のデフォルト率（投資適格格付、投機的格付の 2 パターン）を設定し、一様乱数を発生させることで、毎年のデフォルト有無についてシミュレーションを行った。図 6 は、各要素のみを考慮したシミュレーション結果である。縦軸は変動係数で、収益率の平均に対する相対的なリスクの大きさを示す。

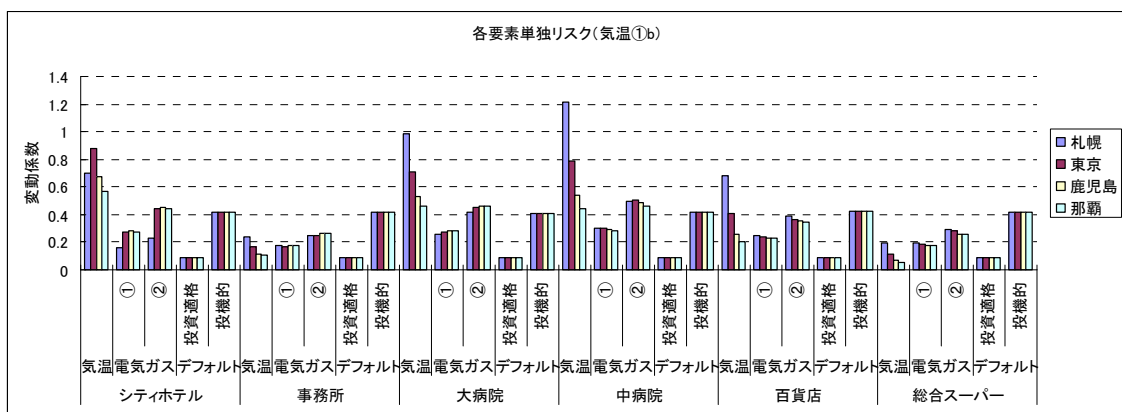


図 6 全業種・全都市、全リスク一覧

当然デフォルト率は全業種同一になっている。しかし、気温変動及び、エネルギー変動リスクは業種、地域により異なっている。エネルギー変動リスクは地域間の差よりも業種間の差が大きく、気温変動同様、熱需要が多い業種ほど大きくなっていることが分かる。これは熱需要が多い業種は、電気価格に比べて燃料価格変動の影響が大きく変動が大きい

ガス需要が多いからである。気温変動リスクは、ホテルや病院ではエネルギー変動リスクやデフォルトリスクより大きいが、事務所や総合スーパーでは、気温変動よりもエネルギー価格変動やデフォルトに注意するべきだといえる。

## 6. ポートフォリオ作成によるリスク低減効果

ここでは、他地域への分散投資によるリスク低減を試みる。既に述べたように気温変動には地域間に負相関があるのでポートフォリオを組むことでリスクを減らすことができると予想されるからである。4都市のポートフォリオ作成前の標準偏差と、分散投資によりポートフォリオを組みリスク（標準偏差）最小化した場合の標準偏差を比較してみる。気温変動リスクのみ考慮した結果であるが、ポートフォリオを組むことで最もリスクが低かった那覇よりも下回るリスクに抑えることができた(図7)。これは、全都市において、リスク低減を同時に達成できたということである。また、他のリスクも同時に考慮した総合的なリスクについてもポートフォリオ作成によりリスク低減させることができた(図8エネルギーパラメータ①、投資適格格付デフォルト率)。これは、多地域への分散投資が、ESCO事業のリスク低減手段として有効であることを意味している。

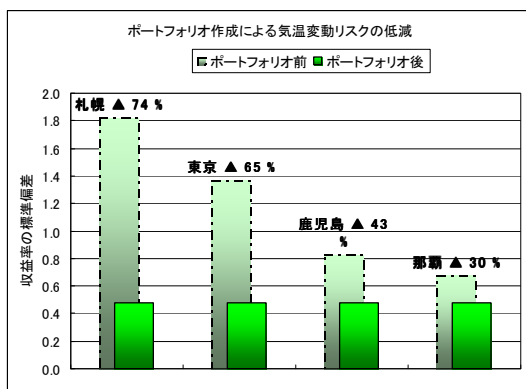


図7 ポートフォリオ作成前後の気温変動リスク (中病院)

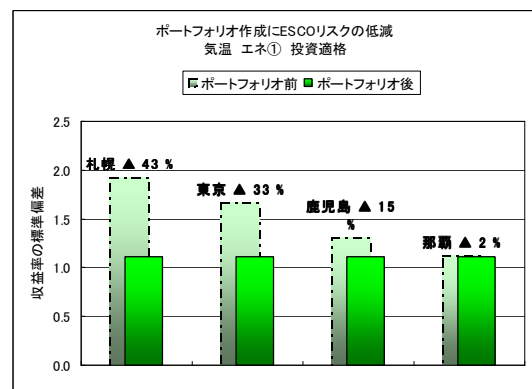


図8 ポートフォリオ作成前後の総合リスク (中病院)

ここで、最適ポートフォリオの組入れ比率は、札幌、東京、鹿児島、那覇の順に、0、0.3、0.2、0.5と東京の割合が市場規模の割に小さくなっている。そこで、東京の組入れ比率を10%ずつ高めて制約条件を設定して随時最適ポートフォリオを作成したところ、東京の組入れ比率が60%弱までは、那覇のリスクより下回るポートフォリオを作れることが確認できた(図9)。程度の差こそあれ(50~70%)、他業種も同様の結果であった。

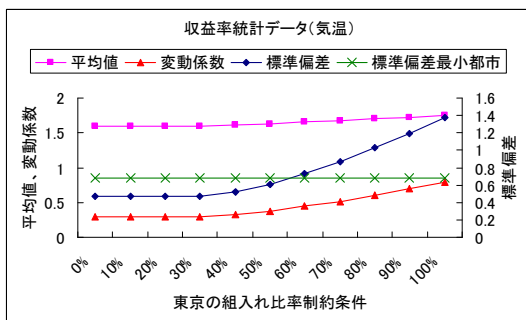


図9 東京組入れ比率制約条件下でのポートフォリオのリスク及び期待値 (中病院)

### 参考文献

- 1) 尾島俊雄研究室;建築の光熱水原単位【東京版】第1版,1995
- 2) (財)エネルギー経済研究所計量分析ユニット;エネルギー経済統計要覧(2007年版)第1版 2007
- 3) 吉田好邦、松橋隆治、石谷久;実測データに基づく小型CGSの特性評価,2005,第21回エネルギー環境経済コンファレンス講演論文集 pp.417-420
- 4) 平野勇二郎、茅陽一、柴崎亮介;都市ヒートアイランド現象の空調・給湯用エネルギー消費への影響評価,土木学会論文集,1999, No.629/VII-12, pp.83-96
- 5) (社)日本建築学会;拡張アメダス気象データ第1版,2000
- 6) Standard&Poor's;格付とデフォルトの関係,2000

## 7. まとめ

本研究では、ESCO事業に関するリスクの中でも特に気温変動リスクに着目した研究を行った。気温変動リスクは、業種や地域により異なり、他のリスクに比べても決して無視できない大きさであることが確認された。また、気温変動の地域差、地域間相関に着目した結果、全業種において多地域への分散投資によるリスク低減効果の有効性が示された。こうした結論は、今後ESCO事業の発展に役立つであろう。