

多段ファジイ推論を用いた時系列予測による確率的動的計画法の 解法とリアルオプション評価への応用-電力事業を例として

02756076 九州大学 高木 昇 TAKAGI Noboru
01304556 九州大学 時永 祥三 TOKINAGA Shozo

1 まえがき

本報告では、多段ファジイ推論による時系列予測と動的計画法を用いた原油及び電力価格変動下における発電施設の運転に関するリアルオプション評価と、最適意思決定の方法について提案する。

2 プロジェクトのリスク評価と確率的動的計画法

離散的な時刻 $t = 0, 1, \dots, T$ を仮定し、発電施設の現在の状態を変数 x_t で表す。 x_t はプラス、マイナスの場合で施設の操業状態と休業状態を表し、その大きさはそれぞれの状態を継続した時間を意味する。また、施設の運転には制限があり、 ν, τ の時間をかけて休止および稼働を実施し、それぞれ最低限 t^{on}, t^{off} の運転、休止状態をを継続すると仮定する。また、休止のあとでボイラーが完全に冷却されるまでの時間を t^{cool} とする

決定変数 u_t は、時刻 t において施設を休止するか ($u_t = 0$)、稼働するか ($u_t = 1$) の決定を示す。同様に、決定変数 q_t は時刻 t において発電する数量である。この値は、状態数を小さくする目的で離散化され、最大値と最小値があると仮定する ($q^{min} \leq q \leq q^{max}$)。

不確実性として、電力価格 P_t^E と原油価格 p_t^F を仮定する。このような前提のもとでは、モデルは次のように記述できる。

休止と稼働の拘束条件

$$u_t = \begin{cases} 1, & \text{for } 1 \leq x_t < t^{on}; \\ 0, & \text{for } -t^{off} < x_t \leq -1; \\ 1 \text{ or } 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

状態遷移の拘束条件

$$x_t = \begin{cases} \min[t^{on}, x_{t-1} + 1], & \text{for } 0 < x_{t-1}, u_{t-1} = 1; \\ -1, & \text{for } x_{t-\nu} = t^{on}, u_{t-\nu} = 0; \\ \max[-t^{cold}, x_{t-1} - 1], & \text{for } x_{t-1} < 0, u_{t-1} = 0; \\ 1, & \text{for } x_{t-\tau} < -t^{off}, u_{t-\tau} = 1; \end{cases} \quad (7)$$

評価関数の構成要素

発電によるコスト及び利益を以下のように仮定する。

(1) ネットの利益

$$V = \sum_{t=0}^T \max[p_t^E - H p_t^F, 0] \quad (9)$$

(2) 発電コスト

$$C(q_t, p_t^F) = (a_0 + a_1 q_t + a_2 q_t^2) p_t^F \quad (10)$$

(3) スタートアップコスト

$$S_u(x_t) = \begin{cases} b_1 [1 - \exp(x_t/\gamma)] + b_2, & -t^{cold} \leq x_t \leq -t^{off}; \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

(4) シャットダウンコスト

$$S_d(x_t) = \begin{cases} S_d, & x_t = t^{on}; \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

不確実な要因である p_t^E, p_t^F が求まっていると仮定し動的計画法を用いて最適化問題を解くには、次に従って決定変数を求めていけばよい。(a) $x_t = t^{on}, t \leq T - \nu$ のとき

$$F_t(x_t) = f_t(x_t, g_t; p_t^E, p_t^F) + \max[F_{t+1}(t^{on})u_t + (F_{t+\nu}(-1) - S_d(x_t))(1 - u_t)] \quad (13)$$

(b) $-t^{cold} \leq x_t \leq -t^{off}, t \leq T - \tau$ のとき

$$F_t(x_t) = f_t(x_t, g_t; p_t^E, p_t^F) + \max[F_{t+\tau}(1) - S_u(x_t)]u_t + (F_{t+1}(x_{t+1})(1 - u_t)] \quad (14)$$

(c) 以上の条件以外のとき

$$F_t(x_t) = f_t(x_t, g_t; p_t^E, p_t^F) + F_{t+1}(x_{t+1}) \quad (15)$$

これらの初期条件は

$$F_T(x_T) = f_T(x_T, g_T; p_T^E, p_T^F) \quad (16)$$

以上の式において

$$f_t(x_t, q_t; p_t^E, p_t^F) = p_t^E q_t - C(q_t, p_t^F) \text{sign}(x_t) \quad (17)$$

$$g_t = \min[q^{max}, \max[q^{min}, (p_t^E/p_t^F - a_1)/2a_2]] \quad (18)$$

とする。また、max の演算は、変数 u_t について求めることとする。

3 多段ファジイ推論と時系列予測

われわれは、以前、ファジイ推論システムにおいて入力を分散的に使用する多段ファジイ推論システムを提案し、ルール数を大幅に削減できることを示した [6]-[9]。段数が N の多段ファジイ推論システムは、次のような if-then ルールにより記述できる。

(Stage 1)

If x_1 is A_{11}^1 and ... and x_M is A_{1M}^1
then y_1 is w_1^1

If x_1 is $A_{11}^{n_1}$ and ... and x_M is $A_{1M}^{n_1}$
then y_1 is $w_1^{n_1}$

(Stage N)

.....

If x_1 is $A_{N1}^{n_N}$ and...and x_M is $A_{NM}^{n_N}$ and y_{N-1} is $B_N^{n_N}$
then y_N is $w_N^{n_N}$ (20)

それぞれの段における出力は、次の非ファジイ化の方法を用いて計算される。すなわち、 i 段推論ルール集合の k 番目ルールの適合度を用いて出力は次のように計算される。

$$\mu_i^k = \prod_{j=1}^{M^*} \mu_{A_{ij}^k}(x_j) \quad (21)$$

$$y_i = \sum_{k=1}^{N_i} \mu_i^k w_i^k / \sum_{k=1}^{N_i} \mu_i^k \quad (22)$$

4 発電施設の運転切替え問題

時系列の予測手法を用いて原油価格及び電力価格を推定し発電施設の運転切り替えを実施した場合のコス

ト削減効果を、切り替えを実施しない場合と比較する。

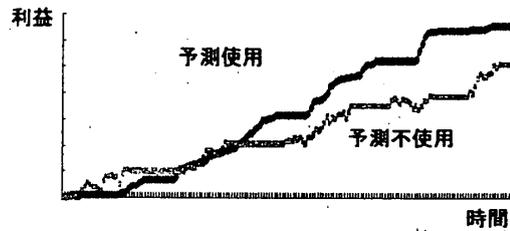


図1. 予測結果を用いたリアルオプションの効果

5 むすび

確率的動的計画法の問題を実際に解く場合に、多段ファジイ推論システムによる時系列予測を用いて実施する方法を提案し、応用例を示した。今後、時系列予測の手法を改善することの検討と、実際の時系列を用いた分析を実施する予定である。

参考文献

- [1] R.L.McDonald and D.R.Siegel: "Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down", International Economic Review, vol.26(June), pp.331-349, 1985.
- [2] B.Kogut and N.Kulatilaka: "Operational flexibility, global manufacturing and the option value of a multinational networks", Management Science, vol.40, no.1, pp.123-139, 1994.
- [3] A.Huchzermeier and C.H.Loch: "Project management under risk:Using the real options approach to evaluate flexibility in R&D", Management Science, vol.47,no.1, pp.100-113,1996.
- [4] N.Takagi S.Tokinaga:"Prediction of chaotic time-series by using the Multi-stage Fuzzy Inference Systems and its applications to the analysis of operational flexibility", Journal of the Operations Research Society of Japan, vol.45,No.3,pp243-259.