

# リアルオプション法を用いた不確実性下における CDM プロジェクトの評価

環境経済システム学分野  
36656 松本陽介

## 1. 序論

日本が京都議定書の数値目標を達成するためにはもはや国内努力だけでは足りず、京都メカニズムを通じて GHG の排出枠を確保しなければならないことは避けられない事実である。京都メカニズムの中でも特に CDM は、地球環境改善のみならず途上国への技術移転や南北格差の縮小にも貢献し得るためその意義は非常に大きい、不確実性要因が障害となり CDM への投資が活性化していないのが現状である。

本研究では、排出権の価格変動リスクや主産物価格の変動リスクといったプロジェクトの収益に直接関わるリスク要因に着目し、これらが CDM への投資の意思決定にどのように影響しているかをリアルオプション法により定量的に評価する。

## 2. リアルオプション法の CDM への適用

### 2.1 概要

まず、CER 売却益、主産物収入、ランニングコストによるキャッシュフローがプロジェクトの資産価値  $V$  に集約されているとし、これらの変動により  $V$  が(1)式で表される幾何ブラウン運動に従うと仮定する。

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \quad (1)$$

$\alpha$ 、 $\sigma$  はそれぞれ  $V$  の期待成長率、ボラティリティを表す。

ここで初期投資額を  $I$  とすれば、NPV 法では  $V > I$  である限り投資は妥当と判断されるが、これでは  $V$  の将来価値を考慮できていないため投資基準としては誤りといえる。ペンディクらによれば、 $V$  が(1)式に従い、その将来価値が不確実であることを考慮すれば、投資が最適と判断されるか否かの閾値である臨界事業価値  $V^*$  は次の(2),(3)式で表される<sup>1)</sup>。

$$V^* = (\beta_1 / \beta_1 - 1) I \quad (2)$$

但し、

$$\beta_1 = 1/2 - (r - \delta) / \sigma^2 + \sqrt{[(r - \delta) / \sigma^2 - 1/2]^2 + 2r / \sigma^2} \quad (3)$$

である。ここで  $r$  はリスクフリーレート、 $\delta$  はコンベニエンス・イールドといい、プロジェクト資産から生み出される配当分(便益)を表す。

### 2.2 CDM への適用

CDM へ投資するか否かを判断する期限は 8 年後に迫った第 1 約束期間末の 2012 年末とみなすことができるため、最終時点までの時間を考慮した臨界値  $V^*$  による評価法を確立する必要がある。時刻  $t(0 \leq t \leq 8)$  におけるオプション価値を  $F(V, t)$  と置けば、企業は投資を行った場合に得られる収益  $V(t) - I$  か、時刻  $t + dt$  におけるオプション価値の期待値の現在価値か、どちらか大きい方を選択するので、次のベルマン方程式が成立する。

$$F(V, t) = \max \left[ V(t) - I, \frac{1}{1 + r \cdot dt} \varepsilon [F(V + dV, t + dt)] \right] \quad (4)$$

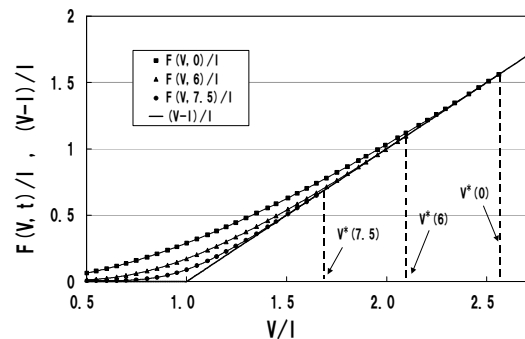


図1  $F(V, t)/I$  と  $(V-I)/I$  の関係

最終時刻( $T=8$ )では  $F(V)=\max[V-I,0]$ となるので、ここから時間に対して逆向きに解いていけば各時刻における  $F(V,t)$ が求まる。図 1 において  $F/I > (V-I)/I$ の範囲では投資を待機する選択が最適となり、 $F/I < (V-I)/I$ の範囲では投資を実行することが最適となる。その境界が  $V^*(t)$ であり、時刻  $t$ が満期( $T=8$ )に近づくに連れ  $V^*(t)$ が低下していることがわかる。

### 3. コンビニエンス・イールド $\delta$ の推定

(2)~(4)式より  $V^*$ を  $I$ で割った臨界収益率  $V^*/I$ は  $r$ 、 $\sigma$ 、 $\delta$ の3つのパラメータにより算出できるが、ここではリアルオプション評価に必要なパラメータ  $\delta$ を事業者の投資の閾値に関するアンケート調査<sup>2)</sup>をもとに算出した。始めに、 $\delta$ 以外のパラメータをそれぞれ表 1 の方法により設定する。

表 1 パラメータの設定条件

$V^*/I$	コージェネレーションシステム(CGS)導入に関するアンケート調査の結果より、CGS導入の閾値となる投資回収年数を回答業種毎に臨界収益率 $V^*/I$ に換算
$r$	業種毎の資本コスト(WACC)を適用。これは、閾値の差が業種毎のハードルレートであるWACCの違いに拠るものと考えられるため。
$\sigma$	CGSの事業価値 $V$ が幾何ブラウン運動に従うと仮定。実際の導入実績データを用いてCGS導入前後のコストの差を収益として $V$ のボラティリティを算出

これよりアンケート回答業種毎の  $\delta$ を算出した結果が表 2 である。

表 2 各パラメータおよびコンビニエンス・イールド

	アンケートでの区分	投資回収年数	臨界収益率	ボラティリティ	リスクフリーレート	コンビニエンス・イールド
1	食品	4.86	1.88	11.9%	4.42%	3.15%
2	繊維	6.00	1.53	11.9%	7.48%	6.25%
3	紙・パルプ	4.33	2.11	11.9%	5.79%	3.38%
4	化学・ゴム・薬品	4.92	1.86	11.9%	5.80%	3.94%
5	鉄鋼・非鉄金属・金属製品	6.19	1.48	11.9%	6.13%	5.62%
6	電気製品	4.78	1.92	11.9%	9.64%	5.81%
7	機械	4.67	1.96	11.9%	6.75%	4.18%
8	エネルギー	4.45	2.06	11.9%	1.24%	1.27%
9	その他業種	6.50	1.41	11.9%	5.44%	5.59%

このようにして求めた  $\delta$ は厳密には国内における CGS 導入事業の便益を表すが、本研究では国内・海外を問わずこれをエネルギー関連プロジェクト共通のコンビニエンス・イールドとし、表 2 の業種毎の結果から最小二乗法により求めた  $\delta=4.36[\%/年]$ を次章以降のリアルオプション評価に用いる。

## 4. ケーススタディ I

### 4.1 前提条件

ここでは、現在公開されている CDM の FS 調査 46 件 (バウンダリーの違いなどにより合計 51 パターン) のデータを用いて、CDM を支援する政策オプションを導入した場合の効果をリアルオプション法により評価した。政策オプション導入前の基本ケースにおける主な前提条件は次の通りである。

- CER 単価、主産物収入および操業費用は表 3 のパラメータで表される幾何ブラウン運動に従うものとする。

表 3 各パラメータの条件

	初期値	$\mu$	$\sigma$
CER単価	9[%/年]	10[%/年]	23[%/年]
主産物/ ランニングコスト	各案件ごと	0[%/年]	1.5[%/年]

- ホスト国への税金を収益の 30[%/年]、プロジェクト期間を 10 年、残存簿価 10[%]の定額均等償却とし、10 年後にはプロジェクト資産を売却する BOT 方式とする。

さらに、次頁表 4 に示す政策オプションを導入した場合の効果を検証する。

表 4 政策オプションの概要

<b>政策①: 初期投資に応じた補助金</b>
エネルギー関連プロジェクトの場合は上限を10億円、それ以外は4億円とし、初期投資額の4分の1を補助する。初年度に設備費の補助を受けられる一方で、【補助金額[\$]/CER単価(9\$/t-CO <sub>2</sub> )】相当のCERを政府に移転しなければならない。
<b>政策②: 排出削減量に応じた補助金</b>
政府が予め決められた単価(9[\$/t-CO <sub>2</sub> ])でプロジェクトの全CERを買い取るものとする

以上の条件の下、モンテカルロシミュレーションによってプロジェクトの収益率  $V/I$  の期待値および  $V$  が幾何ブラウン運動に従う場合のボラティリティ  $\sigma$  を算出し、さらに、リスクフリーレート  $r$  とコンビニエンス・イールド  $\delta$  を用いて臨界収益率  $V^*/I$  を求めた。

## 4.2 結果

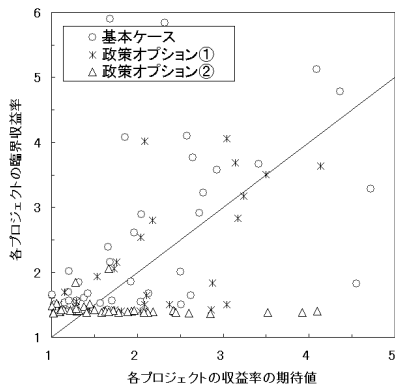


図 2 臨界収益率と収益率の関係

図 2 は、プロジェクトの臨界収益率  $V^*/I$  と実際の収益率  $V/I$  を比較したものである。投資の閾値である  $V^*/I$  を  $V/I$  が上回れば(斜線右下の領域)プロジェクトへ直ちに投資を行うことが妥当となる。政策①の導入によりプロットは右下に移動するが、これは初期投資に対する補助を得ることで収益性が高まり(右へ移動)、補助金相当の CER が価格変動リスクから免れ、 $V$  の変動も低下(下へ移動)するためである。政策②の場合は CER の全量が固定価格となるため  $V$  の変動は大きく低下する。いずれの政策も基本ケースに比べ直ちに投資することが妥当となる案件が増えている。表 5 は、プロジェクトタイプ毎の政策

オプションの効果を示しているが、政策①に比べ②の方が投資の閾値を下げ、CDM を促進する効果があることが示された。

表 5 プロジェクトタイプ毎の政策オプションの効果

	基本ケース			政策オプション①			政策オプション②		
	件数	投資	割合	件数	投資	割合	件数	投資	割合
エネルギー(コジェネ・省エネ)	16	7	44%	17	9	53%	16	7	44%
エネルギー(メタン回収)	4	0	0%	4	1	25%	4	4	100%
再生可能エネルギー(風力・水力・地熱)	3	1	33%	1	1	100%	1	1	100%
バイオマス	9	3	33%	9	3	33%	9	3	33%
廃棄物(LFG回収・抑制)	9	2	22%	9	4	44%	9	7	78%
廃棄物(メタン回収)	3	0	0%	3	1	33%	3	2	67%
フロン回収・破壊	1	1	100%	1	1	100%	1	1	100%
合計	45	14	31%	44	20	45%	43	25	58%

## 5. ケーススタディ II

ここでは、FS 調査段階にある個別の CDM プロジェクトに着目し、投資の期限を考慮に入れたリアルオプション評価を行う。

### 5.1 プロジェクト概要

インド国ジャムシェドプールの製鉄所において、赤熱コークスを循環ガスにより冷却し、昇温されたガスを用いて蒸気を生成する CDQ 設備を導入する。それまで生成していた蒸気の一部

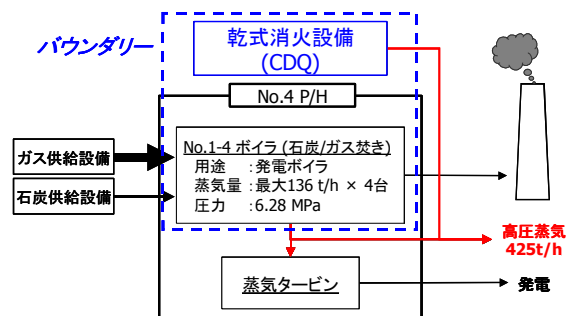


図 3 プロジェクトバウンダリ

を賄うことで化石燃料の消費が抑えられ、温室効果ガスの排出が削減される（図 3）。本プロジェクトのキャッシュフロー構造および変動要因のパラメータは表 6 の通りである。

表 6 キャッシュフロー構造と変動要因のパラメータ

	項目	変動要因のパラメータ		
		初期値	$\mu$ [%/年]	$\sigma$ [%/年]
支出	初期費用	39.5[million \$]	-	-
	CDQ操業費用	$22.5 \times 10^6$ [kWh/年] × 【電力単価[\$/kWh]】	0.0343	5.0
	CDQ保守費用	0.642[million \$]	-	-
収入	石炭使用削減分	$0.119 \times 10^6$ [t-coal/年] × 【石炭単価[\$/t-coal]】	36.3	8.8
	旧設備の維持費	0.632[million \$]	-	-
	高炉燃料比削減分	$0.024 \times 10^6$ [t-coke/年] × 【コークス単価】	64.4	5.8
	CER売却益	$0.128 \times 10^3$ [t-CO <sub>2</sub> /年] × 【CER単価[\$/t-CO <sub>2</sub> ]】	9	10.0

## 5.2 結果

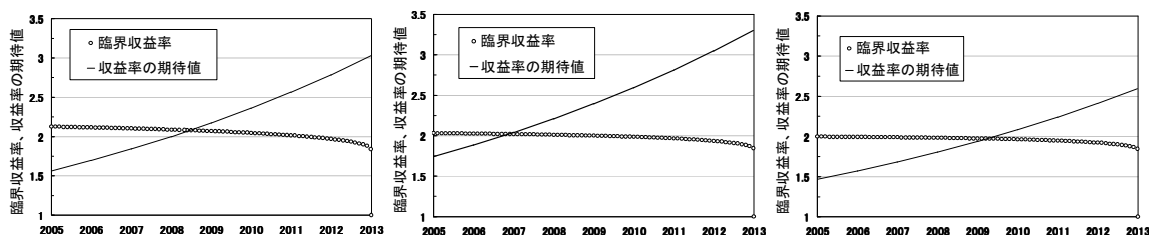


図 4 臨界収益率  $V^*/I$  と収益率  $V/I$  の期待値（左から、基本ケース、政策オプション①、政策オプション②）

図 4 は 3 つのケースについて投資期限までの臨界収益率  $V^*/I$  と収益率  $V/I$  の期待値の時間推移を表したものである。前章の結果同様、 $V^*/I$  は政策②のケースが最も低下しているが、いずれも 2005 年時点での投資は妥当となっていない。さらに、その後最も早い時点で投資が妥当となるのは政策①であり、政策②は基本ケースよりも更に遅くなっていることが示された。これには 2 つの原因が考えられ、1 つには政策②では CER の全量が固定価格での買い取りとなるため CER 価格の上昇メリットが享受できないことが挙げられる。そのため収益率  $V/I$  の期待上昇率が他のケースに比べ小さくなり、投資が妥当となる時点（ $V^*/I$  と  $V/I$  の交点）が遅くなってしまふのである。2 つ目の原因としては、本プロジェクトの収入に占める CER 売却益の割合が小さいために、全量を固定価格にしても他の不確実性要因の影響が残ってしまい投資の閾値が下がりにくいことが挙げられる。

## 6. 結論

CDM の支援制度としては、CER の全量を固定価格で買い取る制度がリスクの低減効果が大きく、CDM への投資を促進するのに有効であることが示された。しかし一方で個別の案件に着目すると、プロジェクトによっては必ずしもそれが最適な制度であるとは限らないことも示された。これは検証したプロジェクトが省エネ案件であり、収入に占める CER 売却益の割合が比較的小さいことが影響している。CDM への投資を活性化させる制度設計の際には、CER 売却益の割合が大きいメタン・フロン案件にばかり有利な制度ではなく、こうした省エネ案件などの不確実性低下にも有効な制度を設計することが、日本の高度な技術の移転を促進させるためにも重要であるといえよう。

## 参考文献

- 1) ディキスト, ピンディク; 投資決定理論とリアルオプション, エコノミスト社, (2002).
- 2) 日本コージェネレーションセンター, コージェネレーション 産業用に関する運転実態分析, コージェネレーション運転実態調査委員会 報告書, (2003).