

# リアルオプション法を用いた国内における GHG 削減技術の普及促進制度に関する研究

環境システムコース環境経済システム学分野

46739 池田敏之

## 1. 背景

日本は京都議定書にて 90 年度比 6%の GHGs 排出量削減を約束したが、2003 年度における排出量は 90 年度比で 8.3%増の 13 億 3900 万 tCO<sub>2</sub>CO<sub>e</sub> となっている。新しい目標達成計画では、エネルギー起源の CO<sub>2</sub> 排出量を 2010 年における排出量を基準年度総排出量比で「+0.6%」という数値に抑えるにあたって、特に産業部門とエネルギー転換部門における温室効果ガス技術の大幅な普及を見込んでいるが、目標達成計画とこれまでの動向が今後とも続くとして推計したレファレンスケースとの間には技術の普及量に対して数十%~数百%と大きな乖離が見受けられる。その理由として、国内における GHG 削減プロジェクトでは、人件費等のコストが投資障壁となっていることが考えられる。また、省エネルギーや再生可能エネルギーなどのプロジェクトでは、収益構造において電力価格の変動や燃料価格の変動などの影響を受けやすく、こうしたリスクも投資障壁のひとつとして無視できない。GHG 削減技術を普及させるためには、政府側が何らかの制度を整え、GHG 削減プロジェクトに対する投資を活性化させる必要がある。第一約束期間の削減目標の遵守や目の費用対効果のみを考えれば京都メカニズムを利用したクレジットの確保は有効な手段であるが、第二約束期間以降の将来枠組みを念頭において自国内の GHG 排出量を直接削減していくことが重要となる。

## 2. 研究の目的と方法

背景を踏まえ、国内における GHG 削減プロジェクトの活性化を目的とした政府による補助制度について評価を行う。国内プロジェクトを CO<sub>2</sub> 削減補助制度の効果を評価するにあたって事業者側のプロジェクトに対する投資基準が必要となるが、従来は投資基準として単純投資回収年数や DCF 法(割引現在価値法)といった指標が用いられてきた。単純投資回収年数とは一期あたりに期待されるキャッシュフローで初期投資額を除いたものであり、DCF 法とは事業収益が将来生み出すキャッシュフローの期待値を定められた利率で割り引いて、現在価値を算定する手法である。しかし実際には、事業者はプロジェクトのもつ様々な不確定要素を考慮した上で投資判断を行っており、単純投資回収年数や期待値による DCF 法は実際の事業者の投資判断を反映したものとは言い難い。その上、初期時点において投資を行うか行わないかの二者択一的な判断しかできないが、現実には新たな情報を獲得するまで投資決定を延期する、といった柔軟な判断が下されることも考えられる。そこで本研究ではリアルオプション法を用いることにより将来の価値変動に対する民間事業者の柔軟な投資判断を考慮した上で、政府による補助制度の評価を行なう。

## 3. リアルオプション

### 3.1 リアルオプション法について

リアルオプション理論とは、金融工学で使われる金融オプション(Financial Options)の価格付け理論を実際の資源開発事業などの実物資産(Real Asset)に適用したものであり、プロジェクト評価の一つである。

本研究ではリアルオプションの中でも延期オプションについて扱うことにより、不確実性に基づく実際の民間企業の投資行動を考慮することが可能となる。

以下、リアルオプション法の計算式について概要を述べる。プロジェクトの事業価値  $V$  は、毎期のキャッシュフローを  $CF_t$ 、割引率を  $\rho$  とすると以下のように表せる。

$$V = \sum_t CF_t / (1 + \rho)^t \quad (1)$$

この  $V$  が幾何ブラウン運動に従うと仮定すると、

$$dV/dt = \alpha V dt + \sigma V dz = \alpha V dt + \sigma V \varepsilon \sqrt{dt} \quad (2)$$

ここで、 $\varepsilon$  : 標準正規変数 (平均 0、標準偏差 1)、 $\alpha$ 、 $\sigma$  はそれぞれ  $V$  の期待変化率、ボラティリティ(標準

偏差)を表す。ここで初期投資額を $I$ とすれば、DCF法ではNPV（純現在価値）、すなわち $V/I$ が正である限り投資は妥当と判断されるが、 $V$ の将来価値変動を考慮できていない。Pyndyckらによれば、 $V/I$ が(2)式に従い、将来価値が不確実性であることを考慮すれば、投資が最適と判断される投資判断の閾値である臨界収益率( $V^*/I$ )は、以下の(3)(4)で表される。

$$V^*/I = \beta/(\beta - 1) \tag{3}$$

ここで、

$$\beta = 1/2 - (r - \delta)/\sigma^2 + \sqrt{\left[ (r - \delta)/\sigma^2 - 1/2 \right]^2 + 2r/\sigma^2} \tag{4}$$

ここで、 $r$ はリスクフリーレート。 $\delta$ はコンビニエンスイールドといいプロジェクト資産をすぐに実施することにより得られる便益を表す。

### 3.2 国内GHG削減プロジェクトへの適用

本研究では、補助制度の実施期間を2006年から7年後に迫った第1約束期間末の2012年末として設定し、国内プロジェクトへ投資するか否かを判断する期限とした。最終時点までの時間を考慮した、投資判断の閾値となる臨界収益率値を求める。延期可能な期間が有限となるため、数的に $V^*/I$ を算出した。時刻 $t(0 \leq t \leq T)$ 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 $V(t) \cdot I$ 、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。

$$F(V,t) = \max \left\{ V(t) - I, \frac{1}{1+r \cdot dt} \cdot \mathcal{E} [F(V+dV, t+dt)] \right\} \tag{5}$$

最終時刻( $T=T$ )では $F(V)=\max[V-I, 0]$ となるので、ここから時間に対してバックワード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ことが最適となり、 $F/I \leq (V-I)/I$ の範囲では投資を実行することが最適となる。本研究では初期時点において投資を行ってもよい臨界収益率、 $V^*/I$ を求めるために、 $F(V,0)=V(0)-I$ となる $V^*/I$ を求める。

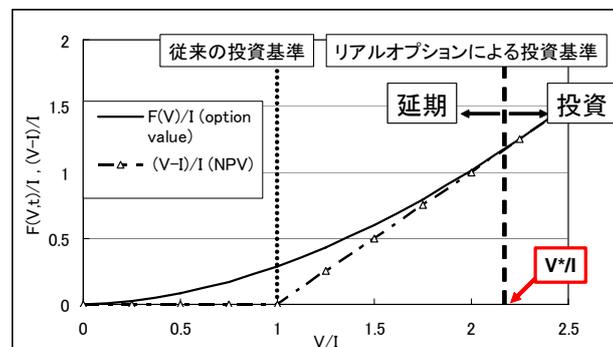


図1 オプション価値  $F(V)/I$  と  $(V-I)/I$  の関係

## 4. コンビニエンスイールド $\delta$ の算出

### 4.1 $\delta$ の算出準備

(3)~(5)式より、臨界収益率 $V^*/I$ は、 $r$ 、 $\sigma$ 、 $\delta$ の3つのパラメーターにより算出できる。 $r$ はリスクフリーレートであり国内のプロジェクトに対して共通の値を適用し、 $\sigma$ はプロジェクトの収益構造や補助制度によって決まるボラティリティである。残るコンビニエンスイールド $\delta$ を求めるために、本研究では実際の事業者の投資の閾値に関するアンケート調査( $V^*/I$ )、 $r$ 、 $\sigma$ を用いて(3),(4)式から逆算した。 $V^*/I$ は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 $V^*/I$ に換算したしたものを用いる。なお、 $r$ はアンケート取得時の日本の長期国債利回り1.64%を適用し

た。 $\sigma$ はCGS導入プロジェクトに関して、燃料価格などの不確実性要素に対し幾何ブラウン運動を仮定してモンテカルロシミュレーションを行い、事業価値 $V$ のボラティリティから算出した。Cash FlowモデルはCGS導入前後のコストの差を収益としたものである。計算した結果、 $\sigma=3.67\%$ となった。

表1 不確実性要素の確率モデルにおけるパラメーターの設定

パラメーター		初期値	単位	期待上昇率 $\mu$ [%/年]	ボラティリティ $\sigma$ [%/年]
電力価格	P_E	12.5	[円/kWh]	-1.05%	2.20%
CGS導入前都市ガス価格	P_G前	45	[円/m <sup>3</sup> ]	-1.59%	3.11%
ランニングコスト	R	2,640	[万円]	-0.16%	1.41%

#### 4.2 業種別 $\delta$ の計算結果

前節の条件 ( $V^*/I$ ,  $r$ ,  $\sigma$ ) をもとに、式(3),(4)からアンケート回答業種毎のコンビニエンスイールドを算出した結果が表3である。

表2 回答業種毎のコンビニエンスイールド

回答業種	リスクフリーレート $r$	ボラティリティ $\sigma$	アンケートによる 臨界収益率 $V^*/I$	コンビニエンス イールド $\delta$
1 食品	1.64%	3.67%	2.22	<b>0.79%</b>
2 繊維	1.64%	3.67%	1.47	<b>1.26%</b>
3 紙・パルプ	1.64%	3.67%	2.27	<b>0.77%</b>
4 化学・ゴム・薬品	1.64%	3.67%	2.00	<b>0.89%</b>
5 鉄鋼・非鉄金属・金属製品	1.64%	3.67%	1.56	<b>1.18%</b>
6 電気製品	1.64%	3.67%	1.62	<b>1.12%</b>
7 機械	1.64%	3.67%	1.98	<b>0.90%</b>
8 エネルギー	1.64%	3.67%	3.06	<b>0.57%</b>
9 その他業種	1.64%	3.67%	1.55	<b>1.18%</b>
全体平均	1.64%	3.67%	1.88	<b>0.99%</b>

### 5. 本研究で考察する補助制度について

前章までの準備を踏まえ、本章では大きく分けて二つの補助制度について考察を行う。

#### 5.1 DER 固定価格買取制度

国内プロジェクトを国内版のCDMと捉え、追加的なGHG削減量を国内クレジット(以下DER[Domestic Emission Reduction]と呼ぶ)として、政府が固定価格にて買取る制度。今回はDERの買取価格別に1,000[円/tCO<sub>2</sub>e]~5,000[円/tCO<sub>2</sub>e]の範囲で500[円/tCO<sub>2</sub>e]単位で変化させて計9ケースについて計算を行なった。

#### 5.2 GHG削減プロジェクトに対する設備投資減税制度

GHG削減プロジェクトに対し、初期投資の一定割合を法人税から控除する制度。今回計算したのは以下の4通り。1年目の法人税を上限として、初期投資額 $I$ の10%分を控除するケース。

1年目の法人税の上限を設けず、初期投資額 $I$ の10%,20,30%分を控除するケース

### 6. 補助制度の評価

#### 6.1 対象プロジェクト~CGS導入プロジェクト~

補助制度の評価を行うにあたって、 $\delta$ 算出で用いたCGSの導入プロジェクトを対象プロジェクトとした。2002年3月現在で、産業用CGSの導入量は約480万kW<sup>5)</sup>である。

#### 6.2 プロジェクトの期待収益率 $V^*/I$ とボラティリティ $\sigma$

補助制度のリアルオプション評価を行う準備として、補助制度の無い基本ケースと各の補助制度ケースにおけるCGS導入プロジェクトの期待収益率 $V^*/I$ と事業価値 $V$ のボラティリティ $\sigma$ をモンテカルロシミュレーションに計算した。補助制度の有無を除き、Cash Flowモデルはコンビニエンスイールド $\delta$ 算出時に用いたものと同じものを使用した。

#### 6.3 リアルオプションによる計算結果

算出した業種別のコンビニエンスイールド $\delta$ を用いて、ボラティリティの異なる13の補助制度シナリオに対する業種別の臨界収益率 $V^*/I$ を計算した。7年間に補助制度の期限として数値解を求めたものである。図2は、DER買取価格3000[円/tCO<sub>2</sub>の場合を例に業種別に臨界収益率 $V^*/I$ と期待収益率 $V^*/I$ を比較したものである。投資の閾値である $V^*/I$ を $V^*/I$ を上回ればプロジェクトへ投資を行うことが妥当となる。

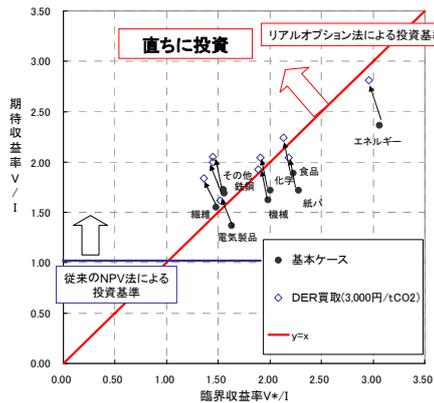


図2 リアルオプション評価

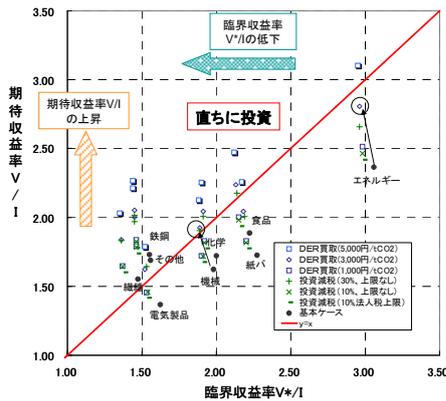


図3 各補助制度による投資活性効果

補助制度の導入によりプロットは左上に移動するが、上への移動は補助を得ることで収益性が高まるためである。左への移動は、Cash Flow 中における補助相当の固定収益の割合が増加することで事業価値  $V$  のボラティリティが低下することにより、臨界収益率  $V^*/I$  が低下するためである（法人税に上限を設けた場合は例外）。この臨界収益率  $V^*/I$  の低下はリアルオプション法を用いて延期オプションを考慮したことによって得られる結果である。補助制度がない場合に比べ新たに閾値を超えた業種の数は「投資促進効果」と考えられる(図3)。表3、表4にあるように買取価格(控除割合)が大きくなるにつれて、より大きな投資促進効果が示された。

表3 買取価格別 DER 買取制度による投資促進効果

DER固定買取価格(円/tCO2)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
投資促進効果									
繊維	-	-	-	-	-	-	-	-	-
鉄鋼・非鉄金属・金属	-	-	-	-	-	-	-	-	-
その他の業種	-	-	-	-	-	-	-	-	-
電気製品	x	x	o	o	o	o	o	o	o
化学・ゴム・薬品	x	x	x	x	x	x	x	x	x
食品	x	x	x	x	x	x	x	x	x
機械	x	x	x	x	x	x	x	x	x
エネルギー	x	x	x	x	x	x	x	x	x
紙・パルプ	x	x	x	x	x	x	x	x	x
投資促進効果(業種数)	0	0	2	3	4	4	5	6	6

表4 控除割合別 設備投資減税による投資促進効果

投資減税(初期投資額×a%)	10%(上限有)	10%(上限無)	20%(上限無)	30%(上限無)
投資促進効果				
繊維	-	-	-	-
鉄鋼・非鉄金属・金属	-	-	-	-
その他の業種	-	-	-	-
電気製品	x	x	o	o
化学・ゴム・薬品	x	x	x	o
食品	x	x	x	o
機械	x	x	x	o
エネルギー	x	x	x	x
紙・パルプ	x	x	x	x
投資促進効果(業種数)	0	0	1	4

## 8. まとめ

「DER の固定価格の買取制度」、「設備投資減税制度」という二つの補助制度について評価を行ない、いずれも有効な制度であることが示された。また、リアルオプション法を用いたことにより、補助制度の導入による事業価値の「リスクの低下」が事業者の投資判断の閾値である臨界収益率  $V^*/I$  の低下に寄与することが定量的に示された。このことから、普及促進制度を策定する上では、プロジェクトの収益性を上げるだけでなく、プロジェクトのリスクの低下を意図した制度設計が重要であると言える。こうした結論は、期待収益率に基づく従来の評価手法では示すことのできないものであり、視点を変えれば制度設計においてリアルオプション法が有益なツールとなることが本研究で示されたことになる。

## 参考文献

- [1] ディキスト,ピンディック;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)
- [3] 松本陽介;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,平成16年度東京大学大学院新領域創成科学研究科修士論文