

# 制度的不確実性を考慮した CDM の収益性評価

環境システムコース環境経済システム学分野

46750 篠崎 英孝

## 1. 背景

京都議定書発効に伴い、温室効果ガス削減のための政策が日々議論されている。国内排出権取引制度、環境税等の政策が提案されているが、削減コストの高い国内で削減が行われるため経済への悪影響が懸念され産業界の反対が強い。

そこで経済に悪影響を与えず目標達成する手段として京都メカニズムの利用が考えられ、その中の一つである CDM に焦点を当てる。CDM とはクリーン開発メカニズムの略であり、削減費用の低い途上国などでプロジェクトを行い、そこで発生する CO2 削減排出量を CER というクレジットにして自国の削減実績に組み込む方式である。

政府は民間企業が行った CDM プロジェクトから発生する CER を買い取ることで日本としての削減目標に組み込む予定であり、その買取り制度設計を早急に行う必要がある。買取り制度の設計次第では CDM プロジェクトの案件促進効果も期待できる。

しかし現状として CDM への投資は登録プロセスや制度面での不確実性の存在により思うように進んでおらず、これらのリスクを考慮したプロジェクトの収益性の計算手法は提案されていない。また CER の買取り制度について検討が進められているが、これらのリスクを考慮した上でその効果について論じられた例もない。

## 2. 研究目的

本研究の目的は、CDM 独自のリスク、オプション価値を考慮した収益性評価手法の提案およびそれをふまえたクレジット買取り制度の評価提案である。収益性評価を行うにあたり以下の点に焦点を当てる。

- ① CDM 登録ステップにおけるリスクの存在
- ② 2013 年以降の CER 価値リスクの存在
- ③ CDM 申請とプラント等投資の 2 段階の意志決定ステップに関わる柔軟性価値の存在 (オプション価値)

先行研究<sup>1)</sup>と本研究が対象とする領域の比較を図 1 に示す。

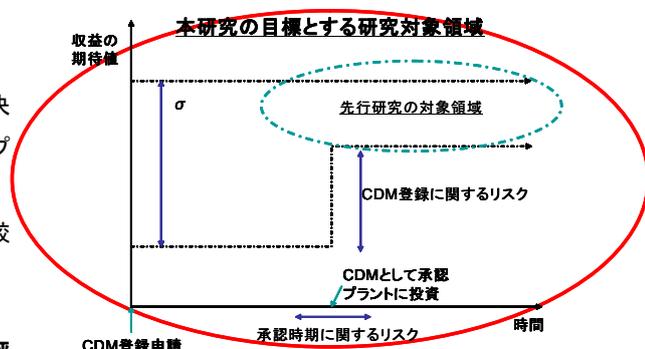


図 1 研究対象領域概略図

## 3. リアルオプション法を用いた CDM 収益性評価手法

### 3-1. 新たに扱うリスクの種類

#### ① 登録リスク

CDM プロジェクトとして登録されるまでにはいくつかのステップを経なければならない。CDM プロジェクトとして認められるためには CDM でなければ実行されなかったという追加性の証明が必要だが、その証明が難しい場合や新しいタイプのプロジェクトの場合などはこれらのステップの途中で再審査もしくは棄却される可能性が高く、CDM としての当初の投資計

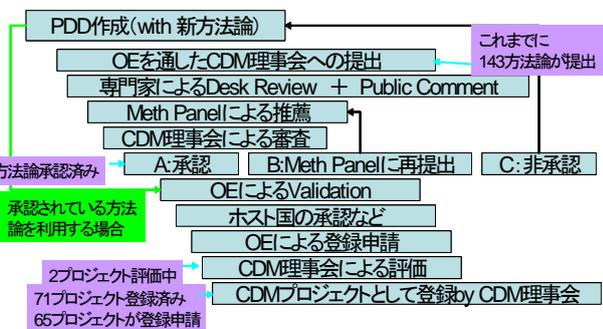


図 2 CDM 登録までのプロセス (2006 年 1 月 19 日現在)

画に影響を及ぼすことが多い。

## ② 2012 リスク

2013 年以降（京都議定書第 2 約束期間以降）の温暖化対策の世界的枠組みが決まっていないことにより、2013 年以降に発生する CER はほとんど取引されていない。そのため 2013 年以降に発生する CER は実質投資判断の上で考慮されていない。登録が遅れることは 2012 年以前の CER が減ってしまうため、プロジェクト価値の減少に直結する。

### 3-2. リアルオプション法

リアルオプション法とは実物資産の価値を金融商品のオプションに見立て、その実物資産に関わる戦略的意志決定の柔軟性価値を評価する手法である。本研究においては CER 価値が二項分布に従うとして計算を進める。このとき 1 期後に  $V$  がとる値は増加率  $u (= e^{\sigma})$  と減少率  $d (= 1/u)$  をかけた 2 通りになり、 $n$  期後は

$$V_{m,n} = u^m d^{(n-m)} V \quad (m=0,1,2,\dots,n) \quad (1)$$

の  $n+1$  通りになる。ここで  $\sigma$  は  $V$  の期待上昇率とボラティリティで 23% とした。

CDM プロジェクトの場合、プロジェクトの申請時とプラントなどへの投資時の 2 段階の意志決定プロセスを経るので、それぞれのステージで意志決定のフレキシビリティ価値が存在する。また意志決定に影響を及ぼす不確実性として CER 価格の変動と登録プロセスの不確実性の 2 種類を考えた。これらを考慮するために多項モデル<sup>2)</sup>を用いて評価を行った。計算手順は以下のように行う。

- ① 登録リスク、2012 リスク、オプション価値を含まないプロジェクト価値を計算する。ここで計算されるリスク、オプション価値を含まないプロジェクト価値を、以降受動的現在価値と呼ぶ。
- ② CER 価値を二項分布に従って変動させ、図 4 のような多項ツリーを作る。
- ③ 意志決定の最終時点  $T$  の各項において、そのプロジェクトに投資するか中止するか以下の (2) 式により判定し、 $F(V_{CER,T}, T)$  を決定する。前項が大きければ投資、後項が大きければ中止となる。
- ④ 1 期前の時点で、プロジェクトへの投資を延期するか即投資するかを (3) 式により判定し、 $F(V_{CER,t-1}, t-1)$  を決定する。ここで  $r$  は割引率、 $\varepsilon[F(V_{CER,t}, t)]$  は  $t-1$  期における  $F(V_{CER,t}, t)$  の期待値であり、前項が大きければ即投資、後項が大きければ延期が選択される。



図 3 2012 リスク概念図

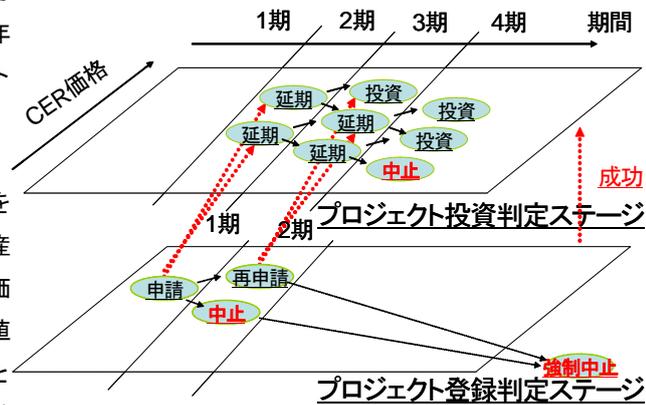


図 4 多項モデルのイメージ

$$F(V_{CER,T}, T) = \max(V_{CER,T} + V_{prod} - I, 0) \quad (2)$$

$F(V_{CER,t}, t)$ :  $t$ 期における投資機会価値、 $I$ : 初期投資  
 $V_{CER,t}$ :  $t$ 期におけるCER価値、 $V_{prod}$ : CER以外の期待収入

$$F(V_{CER,t-1}, t-1) = \max(V_{CER,t-1} + V_{prod} - I, \frac{1}{1+r} \varepsilon[F(V_{CER,t}, t)]) \quad (3)$$

以下順次繰り返し、現時点における意志決定の柔軟性価値や登録リスクを含んだプロジェクト価値を算出する。ここで計算される各リスク、オプション価値を含んだプロジェクト価値を以降拡張現在価値と呼ぶ。

## 4. ケーススタディ

CDM 理事会に提出された PDD (Project design document) や新エネルギー産業技術開発機構、地球環境セン

ターのFSの中から経済性計算の可能な51のプロジェクトを対象とする。

CDM登録ステップを以下のようにモデル化する。

- 申請から登録まで順調なら1年かかるとし、最短で2006年から実際にプロジェクトが稼働しはじめる
- 1度登録ステップにおいて失敗すると4ヶ月遅れる
- 追加性の証明難易度に合わせてプロジェクトをタイプ別に3タイプに分ける
- 登録された場合即投資か1期延期か選択でき、登録されない場合CER価値を除いた価値のみ存在する
- 主産物収入は不変とし、CERの期待収入のみ市場の影響を受ける

## 5. 結果・考察

リアルオプション法の多項モデルを用いたときに観測できた投資パターン別プロジェクト数を表2に示す。CER価値に対する感度別に以下の四つの投資パターンを観測することができ、CDMの登録進捗状況やCER価格に応じて投資判断をすることが可能になった。ここでパターン1のプロジェクトについてはCDMプロジェクトとしての追加性に問題があるとして今後の分析対象から除外した。

受動的現在価値と拡張現在価値の比較を表2に、各リスクが与える影響を図5に示す。

図5より、登録リスクよりも2012リスクの方がプロジェクトに与える影響が大きいことがいえる。登録リスクの軽減により投資が早期に行われる可能性は上がるが、実行されなかったプロジェクトの実行可能性が高まるわけではなく、プロジェクトによるリスク差も大きい。2012リスクの負担は負担しない場合に比べて“追加的”に投資を呼び込む可能性があり、すべてのプロジェクトの収益性を向上させる。よって次の6章の買取り制度の考察において、2012リスクを負担したときの買取り制度の案件促進効果について考察を行う。

表2 投資パターン別プロジェクト

拡張現在価値基準		プロジェクト数	受動的現在価値基準	プロジェクト数
パターン1	CDMにならなくても投資する	14	投資する	27
パターン2	登録前に投資	5		
パターン3	登録後に投資	8		
パターン4	CER価格に関わらず投資しない	24	投資しない	24

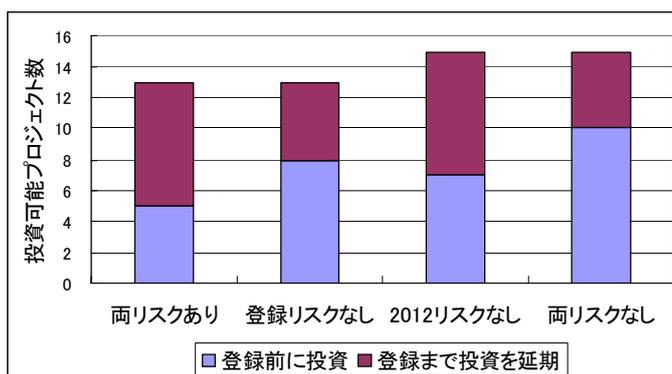


図5 各リスクが存在しない場合の投資可能プロジェクト数

## 6. CER買取り制度の考察

CER買取り制度の買取り形態として、以下のような選択肢が考えられる。

- ① プロジェクト開始前にCER買取り価格を定めておき、CER発生時点において買い取る(後払い、pay on delivery)。固定価格で買取られるのでクレジットの価格が下がるリスクもヘッジできる。資金計画が立てやすくなる。
- ② プロジェクト開始前に代金を支払い、その対価としてCERを獲得する(前払い、upfront payment)。プロジェクト開始前に代金が受け取れるので、事業の促進効果がある。しかし、買い取る側はプロジェクトリスクを一部負わなければならない。

現在日本においても買取り制度の設計がすすめられており、基本的に①と②を組み合わせた手法で検討が進められているが、その基準は明らかではない。CDMを促進したい日本にとってはリスクを低減しながら②の手法で買い取ることが望ましいと考えられるので、本研究ではCER買取り制度の前払いによる案件促進効果について検討する。政府側のリスクヘッジの観点から、前払いを行うにあたりリスクに応じてプレミアムを設定する必要がある。プロジェクトの事業リスクを分析するためにMertonモデル<sup>3)</sup>を使用した。

Mertonモデルとは負債を一種のヨーロッパオプションとみなしてオプション評価するモデルである。

前払いは返済義務が生じるので負債（債券）とみなすことができるのでオプションの価格式であるブラックショールズ式で債券の価格を計算でき、式であらわすと(4)式のように $C = V_0 N(d_1) + B e^{-r\tau} N(d_2)$ となる。このとき債券の利率  $R(\tau)$  は(5)式である。ただし  $V_0$  は担保の価値、 $B$  は債務(前払い額)、 $\tau$  は貸し出し期間、 $r$  はリスクフリーレート、 $\sigma$  は  $V_0$  のボラティリティとする。この Merton モデルの式を使い、以下のように前払いを行う。

$$d_1 = \frac{-\ln \frac{V_0}{B} - \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{\ln \frac{V_0}{B} + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}}$$

$$R(\tau) = \frac{1}{\tau} \log \left( \frac{B}{V_0 N(d_1) + \exp(-r\tau) B N(d_2)} \right) \quad (5)$$

予想される(2012年までの) CER 収入相当額を全量前払いを行う。仮に CER 収入額が前払い額を下回った場合、主産物収入を含むプロジェクト価値すべてを担保に取り主産物収入で補填を行う。前払い額決定時にプロジェクトのリスクに応じて上乘せするプレミアムを Merton モデルにより計算する。

2013年以降の CER については、後払いで買取り保証を行う制度を導入した場合を考える。前払いの契約を結ぶ時点で2013年以降の CER 買取り価格を決定し、CER が発生した時点でその価格で買取る保証を行う。

以上の前払いと2013年以降の CER 保証を行った場合と後払いのみ(前払い未導入、2013年以降の保証なし)の場合を比較したときの IRROE (IRR on equity、資本に対する内部収益率)について図6に示す。この図からわかるように前払い制度、2013年以降の CER 買取り制度を導入することで IRROE が上昇するプロジェクトが見られた。その上昇割合は初期投資に対する CER の前払い量に依存する。特にもともとの IRROE が高いプロジェクトほど顕著であり、レバレッジ効

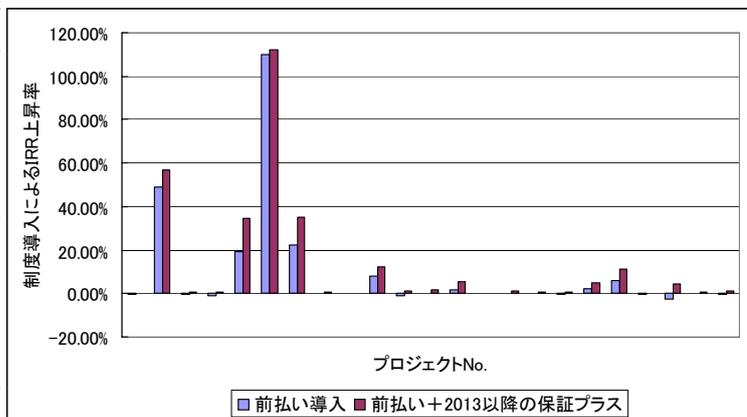


図6 前払い, 2013年以降の CER 買取り導入時の IRROE 上昇率

果が大きいためと考えられる。IRROE の低いプロジェクトではレバレッジが逆に効いてしまうため前払いを導入しないほうが高い IRROE となる。また2013年以降の CER 買取り保障を行うことで平均3%前後の IRROE の上昇が期待できる。第2約束期間は第1約束期間以上に厳しい排出枠が設定されることも十分考えられ、そのリスクヘッジの意味でも2013年以降の CER の買取りは意味があることだと考えられる。

## 7. まとめ

リアルオプション法を用いて制度的な不確実性を考慮した CDM プロジェクトの収益性評価法を提案し、そのリスクの定量的評価を行った。また前払いを利用した CER 買取り制度の評価を行い、前払いと2013年以降の CER 買取りを行うことでの CDM 案件促進効果があることを定量的に示した。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) トム・コーブランドら; 決定版リアルオプション: 東洋経済新聞社 (2002)
- 3) Merton, R.C.; "On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates", Journal of Finance 29 (1974)