

GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS ADMINISTRATION

KOBE UNIVERSITY

ROKKO KOBE JAPAN

Current Management Issues

専門職学位論文

環境投資におけるリアルオプションの適用

氏名： 湊 則男

目次

第1章	研究のアプローチ	4
1.1	研究の背景	4
1.2	研究の目的	6
1.3	研究の課題	6
1.4	研究の手法	7
1.5	本論文の構成	7
第2章	自動車業界を取り巻く環境の変化	9
2.1	はじめに	9
2.2	地球環境の変化	9
2.3	自動車業界を取り巻く環境の変化	12
2.4	まとめ	13
第3章	環境投資の意思決定プロセスにおける課題	14
3.1	はじめに	14
3.2	日本における環境投資の意思決定プロセス	14
3.3	欧米における環境投資の意思決定プロセス	17
3.4	環境投資の投資評価技法	20
3.4.1	非 DCF 法	20
3.4.2	DCF 法	21
3.5	まとめ	23
第4章	不確実性の経済的価値	24
4.1	はじめに	24
4.2	DCF 法からリアルオプションへ	24
4.3	DCF 法とリアルオプションの比較	25
4.4	リアルオプションの分類	28
4.5	不確実性の定量化	31
4.6	環境先端技術プロジェクトへのリアルオプションの適用	32
4.7	リアルオプションが持つ潜在的なリスク	35
4.8	まとめ	38
第5章	環境負荷物質削減の経済的価値	39

5.1	はじめに.....	39
5.2	環境負荷物質削減効果の内部化.....	39
5.3	環境負荷物質削減の経済的価値評価方法.....	40
5.4	まとめ.....	41
第6章	新しい環境投資の意思決定プロセス.....	42
6.1	はじめに.....	42
6.2	拡張された正味現在価値.....	42
6.3	環境負荷物質削減の経済的価値.....	45
6.4	総合経済的価値.....	46
6.5	まとめ.....	47
第7章	環境先端技術プロジェクトへの新プロセスの適用.....	48
7.1	はじめに.....	48
7.2	A社の財務状態及び次世代低公害車の取組み.....	48
7.3	A社 環境先端技術プロジェクトへの本手法の適用.....	49
7.3.1	プロジェクトの前提条件.....	50
7.3.2	拡張された正味現在価値の推定.....	56
7.3.3	環境負荷物質削減の経済的評価の推定.....	60
7.3.4	総合経済的価値の推定.....	62
7.4	オプション価値の影響因子の感度分析.....	63
7.5	まとめ.....	69
第8章	結論と今後の課題.....	70
8.1	要約.....	70
8.2	結論.....	71
8.3	限界.....	72
8.4	今後の課題.....	72
	謝辞.....	72
	引用文献.....	73
	参考文献.....	75

第1章 研究のアプローチ

1.1 研究の背景

この 10 年間で自動車業界の地図が大きく塗り変わる可能性がある。そのトリガーとなるのは各企業の環境戦略の成否である。

地球温暖化現象や化石燃料の枯渇問題に端を発して、自動車の低燃費化及び低エミッション化の要求が急速に高まってきている。原油価格の高騰が顧客が低燃費車両を購入する動きに拍車をかけ、近い将来、日・米・欧で非常に厳しい排気ガス規制が予定されている。つまり、環境戦略は、自動車メーカーにとって生き残りをかけた経営戦略上の重要テーマであることが分かる。

環境戦略を支えるのが次世代低公害車であり、にわかに脚光を浴びている。その代表がハイブリッド車¹である。環境問題に関心が高い米国の西海岸で人気を集め、ハイブリッド車を保有することがステータス・シンボルになっている。欧州ではクリーン・ディーゼルエンジン車の需要が高い。高圧燃料噴射装置の導入により、燃費性能と走行性能との高い次元でのバランスを確保している。次には、南米を中心に需要があるバイオマスエンジン車²である。これはガソリンエンジンに改良を加えれば実現できるので、ガソリンの代替燃料の第一候補とも言われている。最後に、究極のクリーンエネルギーである水素を燃料とした燃料電池車³である。社会基盤整備や実用性・コストなど克服すべき課題は多く、本格導入は 2020 年以降となりそうである。

これらの次世代低公害車は、21 世紀の地球上の環境保全を図るためには不可欠であるが、技術的な難易度が高く、開発に莫大な資本投資を必要としている。

このように環境保全を目的に先端技術を開発・量産するプロジェクトを「環境先端技術プロジェクト」と呼ぶ。

「環境先端技術プロジェクト」には、図表 1 に示すように、従来技術の改良に比較

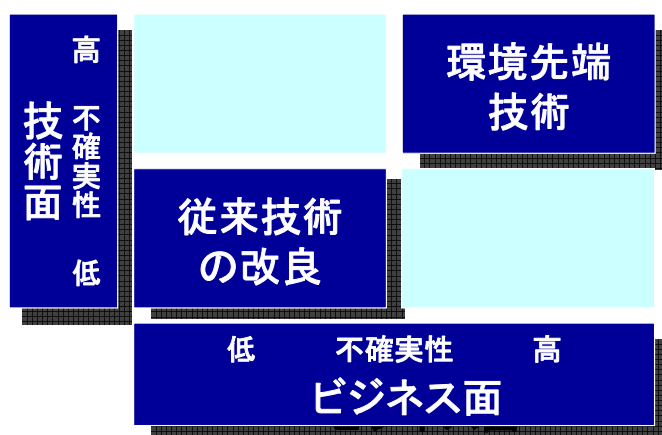
¹ ハイブリッド車は、2 種類以上のエネルギーを車両の駆動力に用いる自動車であり、ガソリンエンジンとモータの併用が一般的である。低燃費でかつクリーンであるだけでなく加速性能、静粛性にも優れている。

² さとうきび等原料としたエタノールを燃料にしたエンジンで化石燃料を使っていないのでクリーンである。

³ 水素をエネルギー源としているために二酸化炭素の排出は理論上ゼロである。究極のクリーンな自動車である。

して、大きな不確実性が存在している。第一の不確実性は技術面の不確実性である。「環境先端技術プロジェクト」は、新しい分野での革新技術を織り込む必要があり、「持続的なイノベーション」から「破壊的なイノベーションへの変革」が迫られる。第二の不確実性は、ビジネス面の不確実性である。「環境先端技術プロジェクト」は、膨大な研究開発投資を必要としているが、リターンが保障されているわけではない。経済的価値がネガティブになる可能性⁴がある。

経営者は、これらの不確実性を抱える中で、環境戦略の方向性、言い換えれば「環境先端技術プロジェクト」への資本投資の意思決定を迫られている。



図表 1 従来技術改良と環境先端技術の対比

「環境先端技術プロジェクト」で代表されるような環境負荷物質低減のための資本投資(以後、環境投資)には、次の2つに分類される。

1. 自社の環境負荷物質低減に直接つながる環境投資
2. 社会全体の環境負荷物質低減につながる環境投資

本研究では、主に後者を対象としている。前者については、自社の利益と直接的に結び付きやすいので推進されている。これに対して、後者は、自社の利益に直接的に結び付きにくいので、利益と環境保全のジレンマに陥りやすいからである。

また、環境投資の不確実性という側面で見ただけの場合には、次の2つに分類される。

1. 不確実性が比較的に低い。つまり、投資の対象となるプロジェクトの期間が比較的に短く、かつ原資産のボラティリティが比較的に低い。

⁴ A社のハイブリッド車の事例において、1997年発売当時採算度外視して戦略的な価格を設定。(出典 日経産業新聞 1997年9月9日付 記事。)

2. 不確実性が比較的に高い。つまり、投資の対象となるプロジェクトの期間が比較的に長く、かつ原資産のボラティリティが比較的に高い。

前述した自動車業界で事例を示せば、前者の事例が、「従来技術の改良」に相当し、プロジェクトの対象とする期間が5年以下、原資産のボラティリティが10%以下である。これに対して、後者の事例は、「環境先端技術」に相当し、対象とする期間が10年以上、ボラティリティも15%以上あると推定される。

本研究では、不確実性の高いプロジェクトを対象にしている。

さて、環境投資の意思決定を行う手法として環境会計における環境設備投資の手法が存在する。この手法を企業の実務に適用した場合、次に示す問題点が浮かび上がる。

その一つは、不確実性を含んだ「環境先端技術プロジェクト」の経済的価値を低く見積もっている可能性があるという問題点である。環境会計における環境設備投資の意思決定の手法の投資評価技法には、一般的に割引キャッシュフロー法(DCF法)で算出した正味現在価値(NPV)や内部収益率(IRR)が用いられている。これらの手法は、環境の変化を見ながら戦略を変更するなどの経営の柔軟性を考慮していない。二つ目は、経済的価値に関心が向けられやすいという問題点である。これは、経済的価値の評価(貨幣価値で評価)と環境負荷物質低減効果の評価(物量価値で評価)が分離しているため、経営者が株主の要求に答えるためには企業価値を損なう意思決定は困難であることに起因していると考えられる。

1.2 研究の目的

本研究の目的は、環境会計における環境設備投資の技術的な手法の拡張を図ることにより、環境負荷物質低減の促進を図りつつ、不確実な環境下においても適切に経営判断できる「環境先端技術プロジェクト」に対する資本投資の意思決定手法を構築することにある。

1.3 研究の課題

本研究の課題は二つ存在する。一つ目の課題は、「環境先端技術プロジェクト」が本来持つ不確実性の価値を経済的価値に置き換えることである。二つ目の課題は、経済的価値の追求と環境負荷物質低減の追求を効果的に行うために、環境負

荷物質低減の効果を貨幣価値に置き換えることにより、経済的価値の評価軸に一元化を図ることである。

1.4 研究の手法

「環境先端技術プロジェクト」が持つ不確実性の価値を経済的価値に置き換える課題に対しては、環境の変化に沿って戦略を自由に変更することにより不確実性をもつ価値を「オプション価値」として経済的価値に組み込むことを可能とするリアルオプション手法を適用することにより解決を図る。

次に、経済的価値の評価と環境負荷物質低減効果の評価の一元化については、環境負荷物質低減による社会的コストの削減効果を内部コストの削減とみなし、経済的価値評価に加えることにより解決を図る。削減効果の経済的価値の算出には、環境負荷物質低減量をLCA(Life Cycle Assessment)をベースにした環境負荷統合評価手法であるLIME(Life Cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling)を適用する。

そして、これらを新しい環境投資の意思決定手法としてプロセス化する。

最後に、A社の「環境先端技術プロジェクト」の事例を用いて、本研究の成果の妥当性を検証すると同時に今後の課題について摘出する。

1.5 本論文の構成

第2章においては、地球環境の変化及び自動車業界を取り巻く環境を述べた上で、自動車業界の環境戦略の重要性を示し、環境戦略を進めていく上で不可欠となる経済性評価手法と意思決定プロセスの変革の必要性について述べる。

第3章においては、日本及び欧米の環境管理会計における環境設備投資決定手法及び投資評価技法について先行研究をレビューする。これらの結果をもとに、現在の環境設備投資決定手法及び投資評価技法の課題を摘出する。

第4章においては、金融オプションの考え方を応用した手法であるリアルオプションの先行研究をレビューする。リアルオプションの「オプション価値」は、将来の環境の変化に柔軟に対応することにより生まれる価値である。現在の環境設備投資決定手法が持っている課題に対して、リアルオプションが解決策となり得る可能性があることを示す。

第5章においては、「啓発された顧客」と「啓発された企業」により社会的コストを内部化することを受け入れてもらえる可能性を示した上で、LIME を用いて環境負荷物質削減を貨幣価値に換算できることを示す。

第6章においては、従来は正味現在価値で判断していた資本投資の意思決定を、正味現在価値に「オプション価値」を付加した「拡張された正味現在価値」と LIME を用いて貨幣価値に換算した「環境負荷物質削減の経済的価値」を足し合わせた「総合経済的価値」で判断する新しい環境投資の意思決定手法を構築する。

第7章においては、業界のリーダーである A 社のハイブリッド車の事例を取り上げ、第6章で構築した新しい環境投資の意思決定手法を展開し、その効果について検証する。

第8章においては、結論を述べ、限界及び今後の課題について述べる。

第2章 自動車業界を取り巻く環境の変化

2.1 はじめに

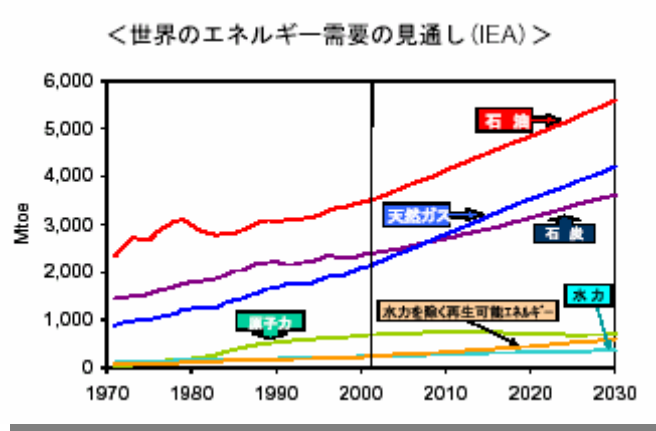
エネルギーの需要の増大化に伴い、温室効果ガスが急増し、地球温暖化に結びつくことが予測され、グローバルでかつ長期的な視点に立った自立的な発展シナリオを模索する必要性に迫られている。自動車業界を取り巻く環境も厳しくなり、次世代の低公害車が求められている。

以下に、地球環境の変化及び自動車業界を取り巻く環境の変化について分析した上で、自動車業界が直面している課題について述べる。

2.2 地球環境の変化

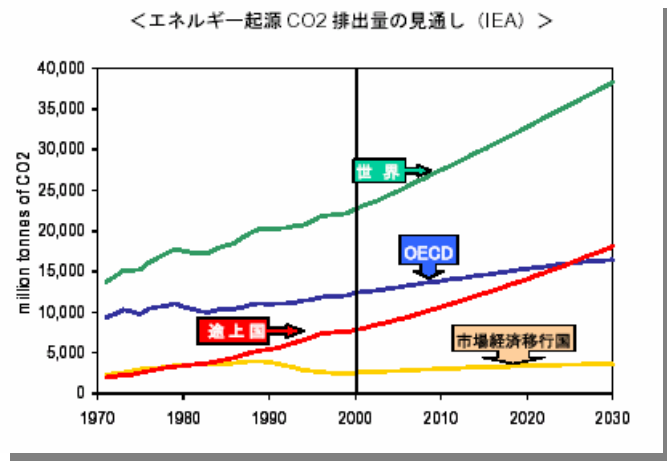
世界のエネルギー需要は、経済成長率との相関関係が極めて高く、エネルギー需要は年率 2.1%で増加し、2030 年のエネルギー需要量は、2000 年度と比較して 60%以上増大するものと予測される。この結果、2000 年には石油換算約 90 億トン/年であった一次エネルギー総需要量は、2030 年には約 150 から 180 億トン/年になると予測されている(経済産業省, 2004, 13 頁)。

このエネルギー需要を賄うのは化石エネルギーが中心である。IEA によれば石油の需要量は、図表 2 に示すように、2000 年の約 3500Mtoe から 2030 年には約 5500Mtoe へと増加することが予測されている。原油の供給可能性について見ると、可採年数は約 40 年と評価されているが、石油需要の増大を見込むと可採年数は短期化する可能性がある(経済産業省, 2004, 14・15 頁)。



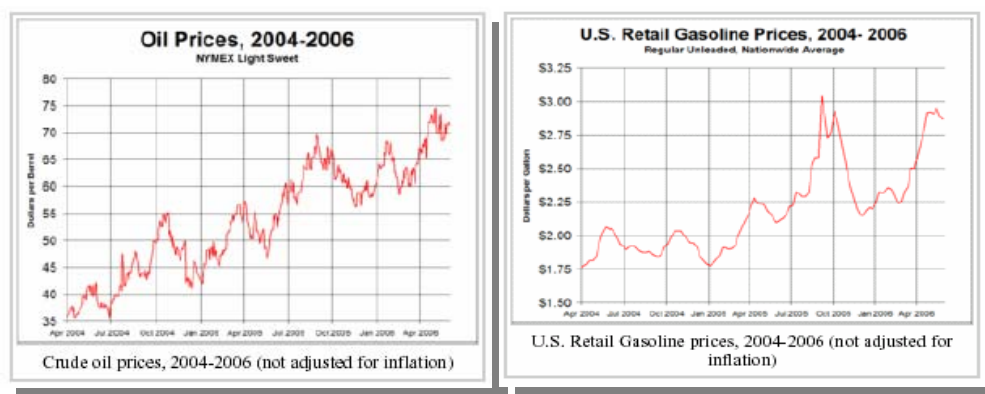
図表 2 エネルギー起源別 世界のエネルギー需要の見通し(IEA)

人類が排出する温室効果ガスの多くは二酸化炭素であり、エネルギー需給構造と地球温暖化問題は密接に関連する。将来的なエネルギーの需給構造は、環境制約がどの程度顕在化するかにも大きく左右される。IEA の見通しでは、図表 3 に示すように、二酸化炭素排出量は年率 1.8%増加し、2030 年には 2000 年のレベルを約 70%上回る 382 億トンに到達する見込みとなっている(経済産業省, 2004, 31 頁)。



図表 3 エネルギー起源別 二酸化炭素排出量の見通し(IEA)

一方、図表 4 に示すように、最近の原油価格の動向を見ると、2004 年 4 月には 35ドル/バレルであった原油価格が 2006 年 4 月には 70 から 75ドル/バレルまで急騰、ボラティリティの高まりが顕著になっている。この背景には産油国の余剰生産能力の縮小、消費国の需要変動、投機的資金の流入が要因と言われている。これに伴い、米国のガソリンの市場価格も、2004 年 4 月には 1.75ドル/ガロンから 2006 年 4 月には 3ドル/ガロンまで約 70%急騰している。今後、原油を取り巻く環境条件の悪化により、更に高騰する可能性はあり、低燃費化に対する顧客の要望はますます高まっていくと推測される。



図表 4 原油価格及び米国ガソリン価格動向(2004年から2006年)⁵

このことから、現在の状況のまま放置しておくことと経済成長と環境保全の両立が困難であることが分かる。また、原油価格に関しても、産油国と機関投資家がパワーを持つことによりボラティリティが更に大きくなり不安定な状態になる可能性がある。

この状況から回避するために、中期的には、京都議定書の締結により、二酸化炭素の排出量を2010年までに1990年に対して6%低減することを米国除いた先進国で合意した。また、長期的には、欧州各国は政府がリードで挑戦的な目標⁶を掲げて持続的な発展を目指している。我が国においても、経済産業省(2004)の中で、4つのシナリオを提示し、2030年までの経済と環境のシミュレーションを行い、自立的発展シナリオ⁷の選択を促している(経済産業省, 2004, 59-81頁)。

今後、グローバルな観点から限りある資源と生態系を保全し、資源循環型で持続可能な社会を形成するために、あらゆる活動における資源の節約と環境負荷を抑制し低減していく努力を行っていく必要がある。持続可能で資源循環型社会の構築の取り組みの中で自動車業界の占める役割と期待は大きいといえる。

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_price_increases_of_2004_and_2005

⁶ イギリスでは2050年までに1990年比較60%削減。フランスでも2050年を目処に75から80%削減。ドイツでも2020年までに40%削減するシナリオを掲げている。

⁷ 自立的発展シナリオとは、人々の環境意識が高まり、エネルギー環境関連技術が飛躍的に進歩する社会の実現をめざすことである。国民は潜在的に有する高い環境意識が顕在化し、国民の行動は省エネ型・環境調和型となり、企業活動においても関連技術の開発・実用化が促進される。それにより、国民の意識がさらに向上するという好循環が実現。経済成長と環境調和の両立が可能となる社会。シナリオ通り成立すれば、経済成長と環境調和の両立が可能となる社会。経済成長しつつ、二酸化炭素排出量を2030年において1990年比較で10%削減できる。

2.3 自動車業界を取り巻く環境の変化

1997年、先進各国の二酸化炭素などの温室ガスの削減量を採択した京都議定書が締結された。我が国は2008年から2012年における国内全体の温室効果ガス排出量の年平均値を1990年比較6%削減することを約束し、産業・民生・運輸などの各部門で地球温暖化対策に取り組んでいる。運輸部門の二酸化炭素排出量は我が国における全排出量の約2割を占めている。そして、運輸部門からの二酸化炭素排出の約9割は自動車に起因している。以上の背景から燃費・排出ガス性能のいずれの面からも環境にやさしい低公害車の開発・普及が急務となっている。環境にやさしい低公害車⁸の開発・普及を早急に進めるとともに、環境性能が飛躍的に向上した次世代の低公害車⁹の開発を促進することが急務の課題である。また、米国においては、乗用車及びトラックにおいてCAFE規制が施行され、ゼロエミッション(ZEV)規制によるハイブリッド車の販売義務が特定の州において法律化¹⁰されている。また、欧州においても、欧州委員会¹¹が、自主規制ではあるが2012年において企業平均値で120g/kmまで低減することを求めている。これは、企業によって異なるが、2005年度比較で20%から30%低減することを要求されていることになる。すでに地球温暖化問題を解決するため、先進各国は政府主導で自動車から排出される二酸化炭素を抑制する規制を打ち出している。

また、顧客の観点からもガソリンの高騰に伴い、次世代の低公害車の需要が急増している。超低燃費と高性能を兼ね備えたハイブリッド車は、北米及び日本において、車両価格がベース車に対して約50万高いにもかかわらず人気を博している。一方、ハイブリッド車のコスト構造は、「ハイブリッド車とベース車の価格差＝ハイブリッドシステムの製造コスト」ではなく、完成車メーカーがベース車の利益を取り崩してハイブリッドシステムの製造コストの一部を負担しているものと推察され、ハイブリッ

⁸ 自動車グリーン化税制における減税対象車の範囲と一致。

⁹ 2010年以降の実用化を目標とした、画期的な技術革新により排出ガス性能や燃費性能等が現在の自動車と比較して飛躍的に向上させた自動車。具体的には、乗用車では燃料電池車、水素自動車、次世代ハイブリッド車等が考えられ、中・小型車では、次世代天然ガス自動車や次世代ハイブリッド車等が考えられる。

¹⁰ カリフォルニア州他では2002年施行のZEV(ゼロ・エミッション・ビークル)法により、年間6万台以上販売する自動車会社は、ゼロエミッション車(電気自動車・燃料電池車)を一定比率販売する義務を負う。経過措置としてSULEV基準(窒素酸化物0.02g/マイル、粒子状物質0.01g/マイル)もしくは燃料蒸発ガス排出ゼロを満たす車をPZEV(パーシャル・ゼロ・エミッション・ビークル)とし、ZEV0.4台分に換算できるようにした。ハイブリッド車は先進PZEVに分類されている。この規制の適用は、2007MYでは米国市場全体の18%を占め、2008から2009MYでは32%を占めている。

ド車とベース車のコスト差(ハイブリッドシステムの製造コスト)を、ユーザ、政府(補助金)と完成車メーカーの3者で負担している構造になっていると想定できる(森田, 2005, 8頁)。つまり、表面的には、完成車メーカーは、利益からの持ち出しがある限り、ハイブリッド車を製造販売すればするほど事業全体の利益率が低下していくことになり、新たな評価手法を取り入れない限り経営者は環境戦略と企業の価値の最大化を狙うべき経営戦略のジレンマに陥ることになる。このことはハイブリッド車だけでなく、次世代の低公害車、更に言えば「環境先端技術プロジェクト」に当てはまる構図である。

2.4 まとめ

第2節において、エネルギー需要を抑制しないと、二酸化炭素が急増、原油価格の高騰し、持続的な成長は望めない。経済成長と環境保全を両立するためには、自立的発展シナリオの選択しかなく、二酸化炭素排出量で約20%を占めている自動車業界の果たす役割は大きいことを示唆した。

第3節において、大幅な燃費低減を狙った環境にやさしい次世代の低公害車＝環境先端技術の需要が急増していることを示した。このような環境の変化の中で、自動車業界の各社は環境戦略に力を入れている。一方、ハイブリッド車を始めとした環境先端技術は、膨大な開発投資と製造コストの増大に伴う収益の悪化を伴うため、経営者は環境戦略と企業価値の最大化のジレンマに陥ることを示した。このジレンマに立ち向かうためには、環境戦略における投資計画の評価において、不確実性を取り込んだ新しい環境投資の意思決定プロセスを構築する必要性に迫られているといえる。

第3章 環境投資の意思決定プロセスにおける課題

3.1 はじめに

企業を取り巻く諸環境の変化によって、これまでの管理会計技法のかなりのものは陳腐化してしまっており、その結果、新しい知識の獲得、ないし伝統的知識の理解方法の変革が必要である。管理会計に変革を促す企業環境の変化として、①顧客ニーズの多様化と短命化、②製造開発技術の進展、③グローバル化の進展、④情報ネットワーク技術をあげている(加登, 1999, 22-31 頁)。地球規模で環境問題が深刻化し、経営者の責任や環境の保護が強く求められるようになってきている中で、管理会計の一分野である環境会計を取り巻く環境においても、新しい手法の試みが必要となってきた。本章では、日本と欧米における環境投資の意思決定プロセス及び環境投資における投資評価技法について先行研究のレビューを行う。これらのレビューを通して得られた結果をもとにして、「環境先端技術プロジェクト」の資本投資に適用する際における解決すべき課題について摘出する。

3.2 日本における環境投資の意思決定プロセス

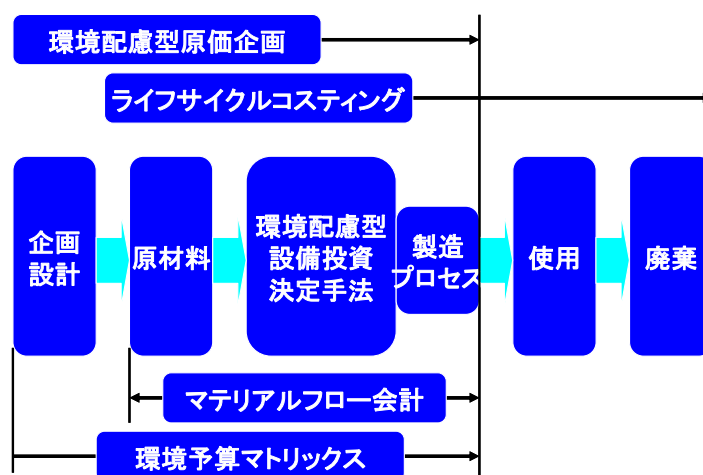
日本における環境会計は、「企業等が持続可能な発展を目指して、社会との良好な関係を保ちつつ、環境保全¹¹への取り組みを効率的かつ効果的に推進していくことを目的として、事業活動における環境保全のためのコストとその活動により得られた効果を認識し、可能な限り定量的に測定し伝達する仕組み」と定義されている(環境省, 2005, 2・3 頁)。また、環境会計は外部機能と内部機能に分類されている。企業経営において財務会計と管理会計の連携が必要不可欠のように、環境会計の領域においても外部機能と内部機能の調和のとれた発展が強く求められている。

外部機能は、企業等の環境保全への取り組みを定量的に測定した結果を開示することによって、外部利害関係者の意思決定に影響を与える機能であり、外部環境会計とも呼ばれる。外部環境会計の具体的な構成要素は、環境保全コスト、環境保全効果、そして環境保全対策に伴う経済効果である。環境保全コストは、環境

¹¹ 環境保全とは事業活動その他の人の活動に伴って環境に加えられる影響であって、環境の良好な状態を維持する上での支障の原因となるおそれのあるもの(環境負荷)の発生の防止、抑制または回避、影響の除去、発生した被害の回復またはこれらに資する取り組みを言う。

負荷の発生の防止等のための投資額および費用額であり、貨幣単位で測定される。次に、環境保全効果は環境負荷の発生防止等の取り組みによる効果であり、物量単位で測定される。そして、環境保全対策に伴う経済効果は、環境保全対策を進めた結果として得られる企業等の利益に貢献した効果であり、貨幣単位で測定される。つまり、環境保全コストと環境保全対策に伴う経済効果は、貨幣単位で測定される財務パフォーマンスの指標であり、環境保全効果は、物量単位で測定される環境パフォーマンスの指標である(環境省, 2005, 2・3 頁)。

一方、内部機能は、内部環境会計もしくは環境管理会計と呼ばれており、主要目的は、環境要因(主として会計・財務マネジメントや環境マネジメント、業務マネジメントに関わる要因)から影響を受ける意思決定プロセスに対して情報を適用し、支援することである(ベネット＝ジェームズ, 2000, 34・35 頁)。環境管理会計は、経営意思決定問題に対して適切な情報を提供する手段として確立する必要があるため、手段は多岐にわたるが、重要性及び具体的手法開発の可能性の観点から、①環境配慮型設備投資決定手法、②環境配慮型原価管理システム、③環境配慮型業績評価システムの3つの領域に重点化している(経済産業省, 2002, 5 頁)。



図表 5 事業プロセスにおける環境管理会計手法の位置づけ
(経済産業省, 2002, 9 頁(一部修正))

この中で、環境投資は、環境配慮型設備投資決定手法でカバーすべき内容である。この手法は、設備投資の意思決定において、環境保全と経済性の両立ないしはバランスを図ることをねらいとしている。環境目標には、①法規制値、②業界の制

限値・目標値、③企業独自の経営戦略目標があり、環境設備投資は、これらの中長期の環境目標を達成するための手段として位置付けられている。環境設備投資に対する意思決定のためには、環境対策の設備投資プロジェクトがどの程度環境目標の実現に役に立つのかという側面と同時に、本来の企業目標である利益の獲得と企業価値の増大に貢献しているかという観点から評価を行っている。加えて、企業の環境問題への取り組み度の成熟度に応じて、コストミニマム、採算性重視、資源配分最適化の3つの評価基準を提案している(経済産業省, 2002, 14-16 頁)。

成熟度	環境設備投資への対応	設備投資プロジェクトの評価基準
導入期	法規制や業界標準を満たすために最も経済的な手法を選択する。	コスト・ミニマム
推進期	利益を圧迫しない範囲で環境負荷を改善するものなら何でもやる。	採算性重視
環境戦略展開期	環境問題ごとに戦略的環境目標を設定し、それらの目標を達成する最適な環境設備投資を考える。	資源配分の最適化

図表 6 環境設備投資の成熟度モデル(経済産業省, 2002, 15 頁)

このことから、日本における環境投資の意思決定プロセスは、企業の実態に沿って実践的にガイドラインを構築していることが分かる。その結果、日本における環境配慮型設備投資決定手法の普及率は約 60%の企業が知っており、導入済の企業も約 10%を占めている。日本に本格的に導入されて 1 年足らずであることを考えると決して低すぎる数字ではなく今後期待ができる(國部, 2004a, 61 頁)といえる。一方において、環境会計を内部目的に利用するために解決すべき課題については、63%の企業が環境保全効果の統合指標化または貨幣換算¹²をあげている(環境省, 2004, 47-48 頁)。

従って、企業は積極的に導入を図ろうとしているが、本格的な活用の場面においては、経済的価値の評価と環境負荷物質の物量評価という 2 つの指標で管理を行っているため、経営の意思決定を行う場面においては十分ではないことが窺える。つまり、環境負荷物質低減の効果を貨幣価値に変換し、経済的価値評価に一元化した資本投資の意思決定プロセスが求められている。

¹² 環境会計に関する企業実務研究会への参加企業に対し、アンケートへの協力を依頼し、回答のあった 31 社の結果を集計したもの。

3.3 欧米における環境投資の意思決定プロセス

Epstein(1996)は、環境問題の圧力が強まる一方、大半の企業には意思決定を改善するためにふさわしい資本投資決定の社会的基盤がない、環境問題を意思決定プロセスへ適切に統合することは経営者にとり大きな難題であり、乗り越えなければならない障害であると述べ、また、國部(2000)によれば、環境保全投資プロジェクトの資本予算は、伝統的な資本予算に比べて、環境コストやベネフィットをより広範に捉える必要があり、また環境への影響はタイムスパンが長いので計算対象期間の弾力的な拡張が要請される。投資プロジェクト評価のために対象とされるコストとベネフィットの範囲は、投資決定の性質に応じて可変的なものであるが、その範囲を明確化しておくことは資本予算へ環境会計の手法を適用する際に不可欠である(國部, 2000, 66・67 頁)と述べ、いずれも環境投資の意思決定プロセスに問題提起を行っている。

米国環境保護庁(EPA)が推奨しているトータル・コスト・アセスメント(TCA)はこの課題解決の一つの方向性を示している。

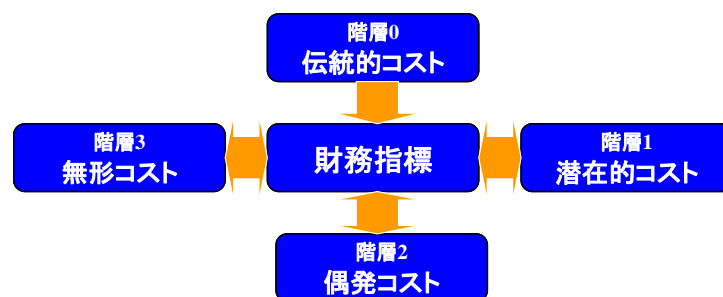
EPA(2000)は、TCA について、環境コストを資本予算分析に統合するプロセスであり、投資から生じる私的コストとその削減額の全領域に関する長期的な観点からの財務分析と定義している(EPA, 2000, 97 頁)。環境コストは、対象とするコストとベネフィットの範囲を通常の資本予算よりも広範囲に設定されている。また、企業の損益に直接影響を及ぼすコスト(私的コスト=内部コスト)と企業が会計処理できない個人や社会、環境へのコスト(社会的コスト=外部コスト)の 2 つの要素を含んでいる(EPA, 2000, 72 頁)。また、TCA は、①拡張されたコストの一覧表、②拡張された期間基準、③長期的財務指標、④原価配分の 4 つの要素で構成されている(EPA, 1992, p. 20)。

拡張されたコストの一覧表は、図表 7 に示すように、環境投資プロジェクトに関わるコストとベネフィットをできるだけ広範囲に捉えて表示する一覧表である。コストとベネフィットは、階層 0: 伝統的コスト¹³、階層 1: 潜在的コスト¹⁴、階層 2: 偶発コスト¹⁵、

¹³ 伝統的コストとは、環境保護活動と直接結びついて支出される設備投資、原材料費、消耗品費、労務費、さらに廃棄物の処理コストなどのコスト。環境設備の購入コストは投資段階で捉えて、減価償却費は含まない。

¹⁴ 潜在的コストとは、従来の会計処理では間接費として扱われてきたために、これらのコストを発生させる原因に結びつけて把握できないコスト。規制遵守コスト、事前コスト、事後コスト、自主的コストに細分化されている。

階層3:無形コスト¹⁶ の4つの段階に分類されており、社会的コストはこれらの外側にある(國部, 2000, 45 頁)。これは投資意思決定の視点から分類したものである。TCA は、環境コスト・ベネフィットの4つの階層における計算をすべて行った後で財務指標の計算を行うものではなく、それぞれの段階に応じて財務指標を算出し、最初の段階で満足の行く結果が出れば次の計算を行う必要はなく、満足のいく結果が得られなければ考慮されるべきコストの範囲を拡充していく階層型のシステムである(EPA, 1992, p. 27・28)。つまり、通常コストのレベルで正当化されない投資案であっても、環境との関係を考慮してコストとベネフィットの概念を拡張することによって許容可能な範囲を拡大することを目的とした方法である(國部, 2000, 69 頁)。



図表 7 EPA のトータルコストアセスメント(TCA)システム (EPA, 1992, p. 28)

次に、拡張された期間基準では、通常の資本予算は3年から5年の期間であるのに対して、TCA では5年以上に延長することを提唱している。また、長期間財務指標ではライフタイムのキャッシュフローを算出した後、正味現在価値法、内部利益率法及び収益性指数法の利用を提唱している(EPA, 1992, p.22)。

TCA の考え方の根本には、企業が環境保全を義務的に行うのではなく、企業に主体性を持って環境保全に取り組む姿勢を求めていることが窺える。企業が主体性を持って取り組むためには、自己利益と環境保全の両立を目指す「啓発されたステイクホルダー」のみならず、経済的な自己利益の追求を最優先させる「伝統的ス

¹⁵ 偶発コストとは、将来の環境汚染事故に対する修復コストの負担や損害賠償のコスト、将来施行される保護規制に違反したときの罰金など、環境負荷物質を扱うために将来発生するかもしれないコストのことである。

¹⁶ 無形コストとは、環境汚染が明らかになることによって顧客や従業員や地域社会などに対する会社のイメージが低下することによる経済損失を指す。イメージの低下とは逆に、環境報告書の充実や社会貢献活動の積極的な取り組みによって企業イメージを向上させている場合には、環境報告書作成のコストや社会貢献活動のコストを計算する。

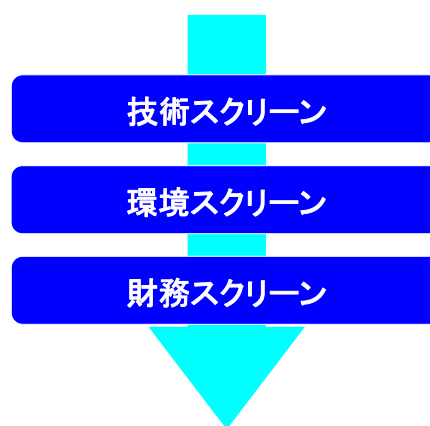
「ステイクホルダー」の支持を得ることが必要となる。このためには、環境投資の経済的価値をポジティブにする必要がある。TCA は、拡張されたコストや拡張された期間基準というロジックを用いて経済的価値を拡大することにより、「伝統的ステイクホルダー」に対しても環境投資を受け入れやすい状況を作り出すことに貢献しているといえる。

さらに、エプスタイン＝ロイ(2000)は、資本投資決定を改善するために、財務上、業務上及び環境上の視点から、決定が企業のパフォーマンスに及ぼす全影響の評価を支援する妥当な枠組みを提案している。技術、環境及び財務の3つのスクリーンからなる意思決定プロセスである。

技術スクリーンは、全ての投資を分析して事業価値連鎖の様々な観点から技術的必要条件を満たしているか否かを分析すること。次の環境スクリーンでは、環境コストとベネフィットの全てをライフサイクルアセスメント¹⁷やライフサイクルコスト¹⁸評価法により定量化すること。最後の財務スクリーンでは、予測される将来の影響を他の

資本投資決定に算入するのと同様に定量的に算入することを提案している(エプスタイン＝ロイ, 2000, 128-141 頁)。

これらの欧米の現状は、内部コストの定義を拡張している点や3つのスクリーンを用いて環境投資の意思決定プロセスを論理的に進めようとしている点で、日本に対して進んでいると言える。しかしながら、環境保全のニーズが高まり、不確実性が高まっている環境下においては更なる改善が求められているといえる。



図表 8 資本投資のスクリーニングプロセス
(エプスタイン＝ロイ, 2000, 132頁)

¹⁷ ある特定の製品について全ライフサイクル期間中の環境を総合的に評価する技法

¹⁸ 3つのカテゴリーがある。労働コストや原材料コストのような直接的なコスト、漠然として隠れた間接的コスト、最後に企業が責任をとっていない社会的コストである。

3.4 環境投資の投資評価技法¹⁹

環境投資を行う場合、資本投資に対して、リターンがその程度期待できるかという経済的評価が必要となる。この経済的評価に用いる指標が投資評価技法である。投資評価技法は日本、欧米ともに共通の技法であるので日本、欧米と分離せずに以下に先行研究をレビューする。

投資評価技法は、貨幣の時間価値を考慮しない非割引キャッシュフロー法（非DCF法）と貨幣の時間価値を考慮する割引キャッシュフロー（DCF法）に分類される。以下に、非DCF法、DCF法の課題をそれぞれ分析する。

3.4.1 非DCF法

まず、回収期間法について述べる。回収期間とは、初期投資額が将来のキャッシュフローによって回収されるまでの期間のことである。この技法は考え方がわかりやすく、計算も簡単なことから企業実務において利用されている。独立したプロジェクトであれば、回収期間があらかじめ設定した目標回収期間よりも短ければ採用される。また、複数のプロジェクトを評価する場合には、回収期間の短いプロジェクトが優先される。

$$PB = \min \left(\sum_{i=1}^n CF_i - I \right)$$

PB : 回収期間、 I : 投資額、 CF_i : キャッシュフロー

しかしながら、この技法には大きな三つの問題点がある。その一つは、初期投資額を回収した後に発生するキャッシュフローを完全に無視している点である。二番目の問題点は、回収期間の目標値をいかに設定したらよいかという点に関して曖昧さが残ることである。そして、三番目の問題点は、貨幣の時間価値を無視している点である（杉山, 2002, 25頁）。

次に、投資利益率法がある。この手法は、設備投資プロジェクトから得られた利益を初期投資額で割っている。投資利益率が高いプロジェクトが優先される。

¹⁹ 経済産業省(2002)では投資採算性手法という名称を付けている。

$$ROI = \frac{\sum_{i=1}^n NIAT_i}{I}$$

ROI : 投資利益率、 $NIAT_i$: i 年後の税引き後利益、 I : 投資額

発生主義基準に基づいて作成される財務諸表から容易に算出できるので、経営者にとって理解しやすいという利点がある。また、回収期間法とは異なり収益性の尺度であることは明白である。しかしながら、回収期間法と同様に貨幣の時間価値を無視している点、投資利益率の目標設定のあり方、初期投資額が過小評価されがちなところに欠点がある。

非 DCF 法に属する 2 つの技法には、貨幣の時間価値を無視しているという重大な欠点がある。このような欠点を克服するために次に述べる DCF 法が開発された。

3.4.2 DCF 法

まず、正味現在価値 (NPV) 法である。NPV 法は、投資総額の現在価値から各年度の正味キャッシュフローの現在価値の合計額を差し引いて NPV を求め、NPV がプラスとなれば採用し、マイナスであれば採用しないという判断をする手法である。複数のプロジェクトが提案された場合には、NPV が大きいものが有利な投資として判断される。

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+WACC)^i} - I$$

NPV : 正味現在価値、 I : 投資額、

CF_i : キャッシュフロー、 $WACC$: 資本コスト

次に、内部利益率法 (IRR 法) である。投資総額の現在価値から各年度の正味キャッシュフローの現在価値の合計額を差し引いた正味現在価値が 0 となる割引率を内部利益率として求め、内部利益率が資本コストを上回る場合に、プロジェクトの採用を決定する手法である。複数のプロジェクトが提案された場合には内部利益率が大きい投資案を有利と判断する。つまり、内部収益率とはプロジェクトの期待収益率であるといえる。従って、内部収益率が資本コストを上回っているならば、プロジ

エクトのキャッシュフローは投下資本を回収した上で、さらにその投下資本に対して必要とされる金額以上の利益を稼ぎ出していることになる(杉山, 2002, 30・31 頁)。

$$\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I = 0$$

r : 内部収益率、 I : 投資額

この手法の問題点としては、まず、NPV がマイナスになった場合、適切な内部利益率を算出できないことがあることであり、また、投資の規模を考慮しないという問題点があり、NPV 法とは異なり、必ずしも株主価値を最大化するとはいえない。

次に、収益性指数法(PI 法)である。投資効率指数法がある。PI 法は、設備投資プロジェクトの初期投資額を分母におき、プロジェクトから将来得られるキャッシュフローの期待値を資本コストで割り引いた現在価値の合計を分子として計算された比率である。規模に依存する正味現在価値法の難点を克服するために考案されたものである。

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+WACC)^i}}{I}$$

PI : 収益性指数、 I : 投資額、 CF_i : i 年のキャッシュフロー

$WACC$: 資本コスト、 n : プロジェクトの貢献年数

複数の相互排他的プロジェクトの場合には、PI 指数が高いプロジェクトが採用され、単独プロジェクトであれば、PI 指数が1以上であれば採用される。PI 法に基づいて相互排他的プロジェクトから選択を行うことは、必ずしも最適な意思決定を導かない。それは、相互排他的プロジェクトのうち、より収益性の高いプロジェクトに資金を振り向けても、残った資金をより収益性の低いプロジェクトに投資しなければならなくなる可能性があるためである(廣本, 1993, 553 頁)。

まとめると、NPV 法は株主価値の最大化を常に保障するが、IRR 法、PI 法は必ずしも株主価値の最大化を保障しない。財務論的な見地からは、貨幣の時間価値を考慮でき、かつ株主価値の最大化に対して最適な意思決定を導くことができる NPV 法が、非DCF法・DCF法の中で理論的に最も優れているといえる。

しかしながら、NPV法は将来が固定化された条件を前提としているので、経営の柔軟性を前提とした不確実性を加味した評価ができない。不確実性を考慮できる投資評価技法を資本投資の意思決定プロセスに組み込めるようにすることが課題である。

3.5 まとめ

第2節において、日本における環境投資の意思決定プロセスを分析した。結果、企業活動との親和性の高いガイドラインを構築できている。しかしながら、環境負荷物質削減の効果を貨幣価値に変換し経済的評価と一元化した資本投資の意思決定プロセスが求められていることを示した。

第3節において、欧米における先行研究レビューでは、私的コストを広い概念で捕らえようとしている点、及び、3つのスクリーンで意思決定するプロセスにより論理的に進める点においては参考になるが、今後、環境保全のニーズが高まり、不確実性が増加する環境下においては課題があることを示した。

第4節において、日・米・欧の投資評価技法について先行研究を調査した。結果、環境投資の投資評価技法として、不確実性がない場合においては、貨幣の時間価値および株主価値の最大化を考慮しているNPV法が理論的に優れていることが分かった。しかし、不確実性が高く、長期的な視点を持つ必要がある「環境先端技術プロジェクト」の資本投資においては、NPV法では大きな課題が潜んでいる可能性があることを示した。「環境先端技術プロジェクト」の資本投資に対して、経営の柔軟性を前提とした不確実性を加味した投資評価技法を意思決定プロセスに組み込めるようにすることが課題である。

第4章 不確実性の経済的価値

4.1 はじめに

企業が資本投資を行うのは企業価値を創出するためである。これは「環境先端技術プロジェクト」への資本投資についても同じ原則を適用すべきと考える。なぜならば、企業価値の最大化が経営者に求められる役割であるからである。資本投資の意思決定については、通常は正味現在価値がゼロより大きければ投資を行うべきだとしている。しかしながら、「環境先端技術プロジェクト」への資本投資に関して言えば、この原則が適用できない場合がある。その結果、経営者は、「環境先端技術プロジェクト」への資本投資により環境に貢献すべきか、企業価値の最大化のために資本投資を見送るべきかのジレンマに陥る。

このジレンマから経営者が逃れるためには、資本投資の意思決定プロセスを変える必要がある。

この解決策として不確実性を経済的価値に置き換えることができるリアルオプションがある。本章においては、「環境先端技術プロジェクト」への資本投資に対して、リアルオプション適用の有効性について検証する。

4.2 DCF 法からリアルオプションへ

マン(2003)は、DCF 法は、①将来の結果は不確実であるにもかかわらず、決定がされ将来が固定されていること、②将来のキャッシュフローを推定することは困難な場合が多いにもかかわらず、将来の可能性を決定論的に取り扱っていること、③将来遭遇するリスクは変化するにもかかわらず、割引率だけですべてのリスクをカバーできるとしていること、④ビジネスリスクの根源は多数あり、複数のプロジェクト間で、または時間の経過に沿って分散させることができるにもかかわらず、使用する割引率は資本の機会費用であり、分散不能なリスクの大きさに比例していることに問題点があると述べている(マン, 2003, 92 頁)。つまり、DCF 法は意思決定時点で確定的に取り扱い、意思決定以降の不確実性についてはビジネスリスクとして取り扱っているといえる。

一方、トゥリジオリス(2001)によると、経営の柔軟性とは、予期せぬ市場の変化に対して事後的に計画を修正して新しい事態に適合することであり、戦略的な価値

を適切に把握することであり、戦略的とは新しい技術が役に立つことを証明したりプロジェクト相互の関連がもたらす影響を考慮したり、他社との競争的な相互作用の影響を検討することである。また、経営の柔軟性(将来の市場の変化やライバルの行動)に対応し、将来の変化に順応することは、資本投資計画の機会価値をより大きなものとする。受動的な経営者は当初の期待に固執するが、能動的な経営者は当初の決定を変更してダウンサイドの損失を限定することができる。その一方でアップサイドの利益を大きくすることができる(トゥリジオリス, 2001, 2 頁)。つまり、経営の柔軟性により、不確実性を「オプション価値」として経済的価値に置き換えることができることを意味している。つまり、不確実性をリスクとみるのではなく、経営の柔軟性によりオポチュニティとしてみるべきであるという発想の転換である。これを実現するのが金融工学のオプション理論から派生したリアルオプション理論である。

コーブランド=アンティカロフ(2002)は、リアルオプションは、あらかじめ決められた期間(行使期間)内に、あらかじめ決められたコスト(行使価格)で、何らかのアクション(延期、拡大、縮小、中止など)を行う権利(義務ではない)であると定義し、今井(2004)は、リアルオプションとは将来が不確実な投資プロジェクトにおいて、企業もつ経営の柔軟性のことであると定義している。

経営の柔軟性を考慮に入れていない DCF 法にかわり、経営の柔軟性を組み込めるリアルオプションは、従来のプロジェクトに対して、より大きな不確実性を保持している「環境先端技術プロジェクト」の資本投資において、より正確にプロジェクトの経済的価値を定量化するのに有効な手法であると考えられる。

4.3 DCF 法とリアルオプションの比較

この節では、DCF 法とリアルオプション法の二つの意思決定方法について具体例を使って定量的に説明する。オプション評価のためのツリーは、イベント・ツリーとディシジョン・ツリーの二つの段階で作成する。

第1段階: イベント・ツリーの作成 (図表9を参照のこと)

イベント・ツリーは、原資産の不確実性をモデル化したものである。不確実性をモデル化するには掛け算により各期のキャッシュフローを決定するため対数正規分布でモデル化される。このため、マイナスのキャッシュフローは生まれない。

原資産の現在価値(S) = \$100、現在価値のボラティリティ(σ) = 20%、満期期間(T) = 1、リスクフリー・レート = 1.5% と仮定したプロジェクトについて考える。

リスク中立確率法を使うと、T年後のキャッシュフロー増加の動きは、下記の式で表すことができる。

$$\text{上昇率}(u) = e^{\sigma\sqrt{T}} \text{、 下落率}(d) = e^{-\sigma\sqrt{T}}$$

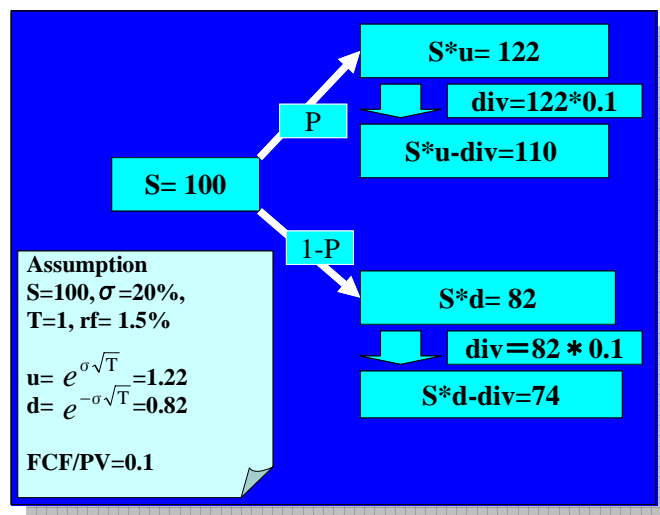
また、上昇する確率及び下降する確率はリスク中立確率法により導ける。

$$\text{上昇する確率} = P = \frac{e^{rf*T} - d}{u - d} \text{、 下降する確率} = (1 - P)$$

つぎに、配当は、フリーキャッシュフローと現在価値²⁰の比率に現在価値²¹を掛け算する。従って、配当後の1年後の現在価値は下記の式で求まる。

上昇した場合の配当後現在価値 = 原資産 * 上昇率 - 上昇時の配当

下降する場合の配当後現在価値 = 原資産 * 下落率 - 下落時の配当



図表 9 二項格子: イベント・ツリーの展開

²⁰ ボラティリティがゼロの場合の現在価値。

²¹ ボラティリティを考慮した場合の上昇時もしくは下落時の現在価値。

第2段階： デシジョン・ツリーの作成（図表 10 を参照のこと）

イベント・ツリーの各結節点に判断を加えたものがデシジョン・ツリーである。ここでは、撤退オプションの事例について説明する。前述のプロジェクトについて、撤退した場合には、\$100 で他社に売却できるとする。

イベント・ツリーの最終結節点（下落時）は\$73 であった。撤退した場合には\$100 で売却できるので、継続した場合の現在価値よりも売却益が大きいので撤退が決定される。

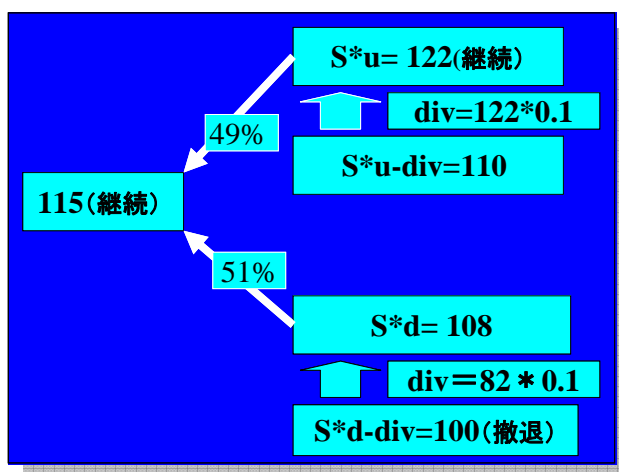
次に、イベント・ツリーの最終格子点（上昇時）は\$110 であった。継続した方が、撤退した場合の売却益よりも大きいので継続が決定される。

従って、撤退オプションによる「オプション価値」を加えた「拡張された価値」²²は次の式で表すことができる。

$$\text{「拡張された価値」} = \frac{122 * 0.49 + 108 * 0.51}{(1 + rf)} = 115$$

$$\text{「オプション価値」} = \text{「拡張された価値」} - \text{原資産価値} = 115 - 100 = 15$$

つまり、原資産価値に対して、撤退オプションにより、\$15 の「オプション価値」を得ることができることが分かる。



図表 10 二項格子：デシジョン・ツリーの展開

²² 拡張された現在価値とは現在価値に経営の柔軟性・戦略性を取り入れたオプション価値を加えたものである。第5章で詳しく説明する。

4.4 リアルオプションの分類

リアルオプションの典型的な分類として、①延期オプション、②建設オプション、③変更オプション、④廃棄オプション、⑤切替えオプション、⑥成長オプション、⑦相互作用オプションがある。「環境先端技術プロジェクト」に対して、それぞれのオプションについて考察を加える。

① 延期オプション

資本投資を延期するオプションである。「環境先端技術プロジェクト」においては、原価低減できない場合、環境負荷物質低減効果が見込めない場合、市場がない場合等に資本投資を延期した方が良い場合がある。しかしながら、競合企業も開発を行っているので慎重な判断が必要である。

② 建設オプション

段階的に資本投資を行うオプションである。「環境先端技術プロジェクト」においては、まず、特定領域に資本投資を行い、その結果を見てから資本投資の拡大を行うことにより機会損失の低減とリスクのミニマム化が図ることができる。A社のハイブリッド車の事例においても、まず特定商品に適用し、その後、時間をかけて商品のバリエーションを拡大している。

③ 変更オプション

市場の状況に応じて、プロジェクトの拡大・縮小・中止・再開などを図るオプションである。「環境先端技術プロジェクト」においては、一度世の中に出すと中止は困難である。また、拡大及び縮小においては、設備の拡張や縮小を伴うので時間遅れが生じるため慎重な判断が必要となる。

④ 廃棄オプション

市場環境が悪化した場合に経営者は廃棄することができる。また、その資産を売却することも可能となる。「環境先端技術プロジェクト」においては、技術が優れていればいるほど売却の可能性は高まる。

⑤ 切り替えオプション

市場環境が変化する場合に経営者は商品を変更することができる。「環境先端技術プロジェクト」においては、市場がより環境への配慮が高まった場合には、より環境負荷物質の低減ができる技術を展開し、逆に、予測よりも下回った場合には、経済性にフォーカスした技術を展開することが考えられる。技

術のオルタナティブを事前に持つておくことが条件となる。

⑥ 成長オプション

将来の機会に対して準備をしておくオプションである。「環境先端技術プロジェクト」においては、直近の技術のみにフォーカスするのではなく、その技術の次の技術を備えておくことが重要である。でなければ成長オプションが得られない。

⑦ 相互作用オプション

さまざまなオプションを組み合わせたオプションである。組み合わせにより、「オプション価値」を上げ、リスクを回避する狙いがある。「環境先端技術プロジェクト」にもこのオプションを活用できる可能性はあるが限られている。

以上、述べたように、「環境先端技術プロジェクト」への資本投資においては、リアルオプションを適用できる可能性は高いといえる。

次頁の図表にリアルオプションの分類と内容について示す。

リアルオプション	内容	プロジェクトの例
延期オプション	経営者は土地あるいは資産を賃貸する権利(あるいは買うオプション)を持っている。製品価格の水準がビルや工場の建設、あるいは土地開発を正当化するまでX年間待つことができる。	すべての天然資源採掘産業、不動産開発、農業経営、製紙業。
建設オプション (段階開発)	段階的開発。新しく到着する情報が好ましくない場合、途中で事業を中止するオプションを段階的な一連の支出によって創り出される。	すべてのR&D集約型産業、特に製薬業、長期開発資本集約型事業(大規模建設など)。
操業規模の変更 オプション (拡張、縮小、中止、再開など)	予想よりも市場の条件が好転すれば、企業は生産の規模を拡大できる、あるいは資源の利用に拍車をかけることができる。逆に、市場が予想よりも悪くなれば操業の規模を縮小できる。極端な場合、生産を中止し、後で再開も可。	天然資源産業(鉱山など)、好況不況を繰り返す循環産業における施設の計画・建設。
廃棄オプション	市場環境がかなり悪化する場合、経営者は廃棄することができる。また、資本装置を下取りに出して中古市場で投下資本を一部回収できる。	資本集約型産業(航空・鉄道など)、金融サービス、不確実な市場の新製品の導入。
切り替えオプション	価格や需要が変化する場合、経営者は産出する製品の組み合わせを変更できる(製品の柔軟性)。あるいは、産出するものは同じにして投入するものを変更することができる(プロセスの柔軟性)。	産出の切り替え;小さなバッチ単位にできる商品(おもちゃなど)投入の切り替え;すべての供給原料依存型施設(化学製品など)。
成長オプション	将来の成長機会(新製品、新プロセス、新しい市場へのアクセス)を切り開くには、早期投資(R&D、未開発地、油田の賃貸、戦略的買収、情報ネットワーク)が前提条件である。あるいは、関連プロジェクトと連動することが前提となる。	インフラベースのすべての産業、戦略、産業、特にハイテク、R&D、複数製品を製造する産業、アプリケーションを持つ産業、多国籍操業。
相互作用オプション	実際のプロジェクトにはしばしばさまざまなオプションを束ねたものが含まれている。オプションの組み合わせには正の収益を増進させ、損益を回避するオプションがある。各オプションを組み合わせた価値を単純に合計したものとは異なる。相互に関連し、金融の柔軟なオプションとも関連する場合がある。	上記に列挙したほとんどの産業におけるプロジェクト。

図表 11 リアルオプションの分類と内容

(トゥリジオリス 2001, 4・5 頁)

4.5 不確実性の定量化

リアルオプションにおいて、不確実性の一つの因子である現在価値のボラティリティを定量的に推定することは重要である。プロジェクトの現在価値を決定するに際し、キャッシュフローを推定するためには、プロジェクトの前提条件を構成している各変数(販売台数・売上高・製造原価他)を予測し、その結果を用いて現在価値のボラティリティの予測を行う。これらの変数の間には、相関関係²³が存在するものがある。また、これらの変数はある確率分布を示す。これらの変数の相互関係及び確率分布を考慮して、効率的に現在価値のボラティリティを推定するためにはモンテカルロ・シミュレーションの導入が必要となる。

モンテカルロ・シミュレーションは、前提条件の変数の確率分布からランダムサンプリングを繰り返す手法である。以下のステップで行う。

- ① プロジェクトの前提条件を構成している各変数(販売台数・売上高・製造原価他)に対して、変動範囲とその範囲内で変数のとる値が発生する確率分布及び各確率変数間の相関関係を仮定し、無作為に1つの値を取り出す。
- ② 各確率変数値と確定変数値からキャッシュフローと正味現在価値を計算。
- ③ 手順①から②を多数回繰り返す。その結果から現在価値の確率分布が得られる。さらには、現在価値の期待値と標準偏差を計算。

なお、実務においては、プロジェクトの現在価値に影響する確率変数を定義すれば、市販されているクリスタルボールにより、現在価値のボラティリティの予測が可能である。

しかしながら、ブリーリー＝マイヤーズ(2002a)は、プロジェクトを取り巻く不確実性や相互依存性をすべて正確に把握するモデルを構築することは望むべくもないと述べ、シミュレーションは期待キャッシュフローとリスクに関する情報を得る手段の一つとみなすべきであり、投資を最終的に決めるのは一つの数字、正味現在価値の期待値であると指摘(ブリーリー＝マイヤーズ, 2002a, 304・305頁)。資本投資の意思決定の手法としてモンテカルロ・シミュレーションを活用することには疑問を呈している。

つまり、モンテカルロ・シミュレーションは、限界を理解した上で活用すれば、プロ

²³販売台数と売上高の関係、販売台数と製造原価の関係、n-1年度の販売台数とn年度の販売台数の関係など。

ジェクトの持っている不確実性を定量化する手法としては有効であると言える。

4.6 環境先端技術プロジェクトへのリアルオプションの適用

「環境先端技術プロジェクト」への資本投資に対する、リアルオプション適用の可能性について述べる。

リアルオプションの価値に影響を与えるパラメータとして 5 つがある。まず、投資から生み出される将来キャッシュフローの現在価値。プロジェクトの現在価値の増大は正味現在価値を増加させ、「オプション価値」も増加する。次に、必要投資。投資額が大きいと戦略の自由度がない正味現在価値は減少し、「オプション価値」も減少する。3 番目には、行使期間。行使期間が長いほど不確実なことが多く、「オプション価値」は増大する。4 番目にはボラティリティ。戦略の自由度がある場合には不確実性が増し、「オプション価値」も増大する。最後にはリスクフリー・レート。リスクフリー・レートの上昇は、投資コストを延期することによる価値、すなわち、時間の価値を増加させ、「オプション価値」の増大をもたらす。

「環境先端技術プロジェクト」は、将来の現在価値が大きく、必要投資も大きく、行使期間が長く、ボラティリティが大きいという特徴がある。必要投資のパラメータ以外は、「オプション価値」を増大する方向にあると言える。

以下、ブラック・ショールズの式を用いて具体的に説明する。ブラック・ショールズの式は、金融オプションを急速に発展させた公式である。従って、自由度が限られており、リアルオプションに適用する際には次の仮定をおく必要がある(コーブランド=アンティカロフ, 2002, 110・111 頁)。

- ① オプションが行使できるのは満期時のみ。
- ② 不確実性要因は一つのみ。レインボー・オプションは取り扱えない。
- ③ 単一の前資産に基づくオプションである。
- ④ 前資産から配当は支払わない。
- ⑤ 現在の市場価格と前資産の確率過程は既知である。
- ⑥ 前資産の収益率分散は時間によらず一定である。
- ⑦ 行使価格は既知で一定である。

① ブラック・ショールズ式の一般解

コールオプションの価値は下記のブラック・ショールズの式で求める。

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X e^{-rfT} N(d_2)$$

C_0 : コールオプションの価値 (= 事業価値)

S_0 : 原資産価格 (= 現在価値)、 X : 行使価格 (= 投資)

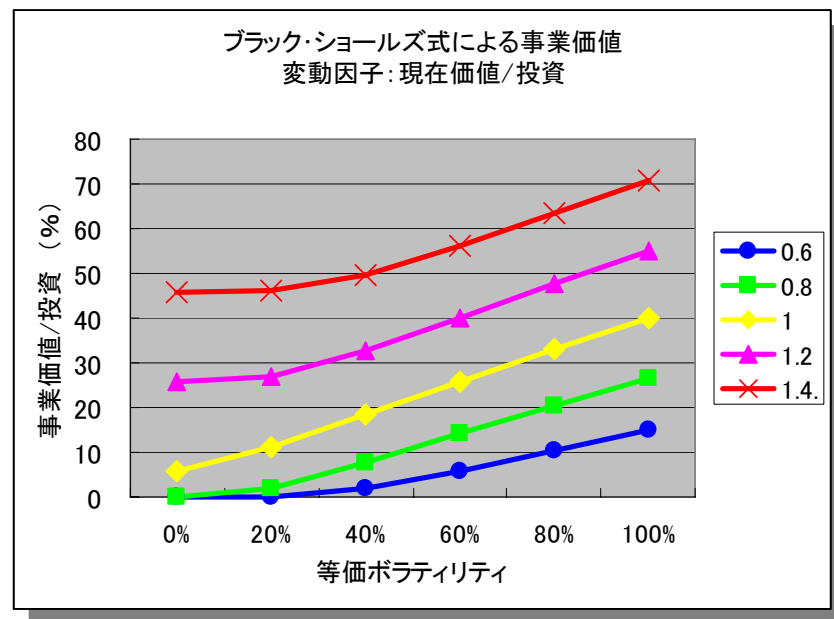
rf : リスクフリー・レート、 T : 満期までの期間、 σ : ボラティリティ

$N(d_1)$: 単位正規変数 d_1 の累積正規確率、 $d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + rfT}{\sigma\sqrt{T}} + \frac{\sigma\sqrt{T}}{2}$

$N(d_2)$: 単位正規変数 d_2 の累積正規確率、 $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$

現在価値の投資に対する比率 (S/X) を変動因子として取り扱い、

等価ボラティリティ $= \sigma\sqrt{T}$ (横軸) と投資に対するリターン $= C_0 / X$ (縦軸) の関係を求めた。



図表 12 ブラック・ショールズ式による

等価ボラティリティ率と事業価値/初期投資比率 (リスクフリー・レート=1.5%)

図表 12 から等価ボラティリティ(不確実性)が増すと事業価値/投資比率が増加していくことが分かる。また、正味現在価値がマイナス ($S/X < 1.0$) の条件

下においても等価ボラティリティが大きければ事業価値を生み、
S/X の比が大きいほど事業価値/投資比率は増加していることが分かる。

つまり、不確実性が大きく、かつ正味現在価値がゼロ付近にある「環境先端技術プロジェクト」への資本投資に対して、リアルオプション適用の有効性について、ブラック・ショールズの式を用いて検証することができた。

② 従来技術 vs 環境先端技術へのブラック・ショールズ式の応用

具体的に、「従来技術プロジェクト」への資本投資のケースと「環境先端技術プロジェクト」への資本投資のケースで事業の価値の比較を行う。

ケース A: 「従来技術プロジェクト」への資本投資を仮定

投資 = 10 億円、現在価値 = 8 億円、ボラティリティ = 5%、満期 = 2 年、
リスクフリー・レート = 1.5% と仮定する。

正味現在価値 = $8 - 10 = -2$ 億円 (棄却)

事業価値 = 0 億円 (棄却)

ケース B 「環境先端技術プロジェクト」への資本投資を仮定

投資 = 100 億円、現在価値 = 80 億円、ボラティリティ = 20%、満期 = 4 年、
リスクフリー・レート = 1.5% と仮定する。

正味現在価値 = $80 - 100 = -20$ 億円 (棄却)

事業価値 = +8 億円 (採用)

上記のケーススタディでも分かるように、正味現在価値がネガティブなプロジェクトであっても「環境先端技術プロジェクト」のように不確実性が高いプロジェクトであれば事業価値を生むことが分かる。

③ まとめ

リアルオプションの適用に際して、マッキンゼー・アンド・カンパニー他(2004)は、DCF 法による価値と「オプション価値」で大きな差が生じるのは、正味現在価値がゼロに近い時である。正味現在価値がゼロに近い時はプロジェクトを実施す

べきかどうかの判断は微妙になる。「オプション価値」によりプロジェクトを実施する意思決定が可能になる(マッキンゼー・アンド・カンパニー他, 2004, 433 頁)と述べ、正味現在価値がゼロに近いプロジェクトの意思決定に有効であると結論付けている。

「環境先端技術プロジェクト」は、不確実性が高いため「オプション価値」を増大する方向にあり、かつ、現在価値が大きい投資も大きくプロジェクトの正味現在価値はゼロに近くなる。つまり、「環境先端技術プロジェクト」への資本投資の意思決定に際して、リアルオプションは有効に機能することが予見できる。

4.7 リアルオプションが持つ潜在的なリスク

不確実性の高く、経営者が不確実性に対して柔軟性があり、かつ、正味現在価値がマイナスもしくはゼロに近いプロジェクトの資本投資の意思決定をする場合、リアルオプションは DCF 法に対して優れていることが分かった。

しかしながら、リアルオプションは、透明性のある正しい情報を元に、経営者が適切な意思決定ができることを前提条件にしている。これらの前提条件が崩れるとリアルオプションの結果は、粉飾決算に豹変する可能性もある。従って、経営にリアルオプションを適用する際には下記に示す課題に対して配慮が必要である。

① 経営者にリアルオプションの理解を深めてもらうこと。

大半の経営者はリアルオプションを知らないもしくは理解していないと思われる。従って、経営者に思考のパラダイム・シフトが求められている。

思考のパラダイム・シフトが受け入れられるためには、以下の要件を満たす必要がある。

まず、モデルと過程が直面している問題に対してただちに適用できるものでなければならない。また、プロセスと方法論の一貫性・正確さ・及び複製可能性も重要なポイントである。すなわち、科学的な過程としての正当性が必要なのである。誰もが必ず容易に同じ結果を引き出せるものでなければならない。

また、新しい方法の導入が付加価値をもたらすことが明らかでなければならない。投入されたリソースは、新しい方法がもたらす付加価値によって報いなければならないし、それ以上の効果を上げることが望ましい。

さらに、新しい方法は、競合企業に対する優位をユーザに提供できるものでなければならない。

最後に、新しい方法は、説明と理解が容易なものでなければならない。これまで受け容れられてきた過程との間に明確なリンクを持つもの出なければならない。

リアルオプションは、ただちに適用でき、複製が可能であり、付加価値をもたらすことができ、競合企業に対する優位性を提供でき、これらの基準はクリアする。最も難しいのは、最後のハードルである。つまり、説明と理解の容易性伝統的な方法とのリンクである。

この課題に対応するためには、リアルオプションと伝統的な財務分析との比較を示すことから始める必要がある。伝統的な財務分析はリアルオプションにおいて不確実性が事実上存在しない場合（ボラティリティがゼロ）の特殊なケースとして捉えることができる。プロジェクトがオプション価値を持つのは、不確実性が存在し、経営陣が時間の経過とともに不確実性が解消されるまで柔軟性を持っている場合のみである。また、伝統的な財務分析は、利得から費用を差し引いた正味現在価値を計算する。一般的には、正味現在価値がプラスであればプロジェクトを承認する。一方、リアルオプションにおいても、利得から費用を差し引いたものがオプション価値であると定義して差し支えない。そこに、リスク、すなわち個々の変数の発生確率が付加されただけである。現実のビジネスにおいては、利得、費用ともに確率的な可変性の要素が付加されているため、オプション価値が優れていると言える。前述したように不確実性が存在しない場合には確率乗数は 1.0 となり、オプションの方程式は正味現在価値の方程式に回帰する。これにより、正味現在価値が、不確実性が存在しない場合のオプション価値の特別なケースであることが明らかになる。(マン, 2003, 423-427 頁抜粋)

② 経営者に前提条件(ボラティリティ他)の根拠を明確に示すこと。

各因子の標準偏差及びオプションの前提条件(たとえば、廃棄オプションの売却コスト)により、「オプション価値」は大きく変化する。不確実性を定量的に予測することは困難な作業である。前提条件の各因子について、見積もり根拠を示した上で、経営者もしくは専門家に数値の妥当性を確認してもらうことが望ましい。また、各因子がオプション価値に及ぼす影響を分析(感度分析)しておくことが望ましい。この

分析により経営者の誤った判断を防ぐことができる。第7章4節に具体的に分析を行った事例を示す。

③ 競合相手の影響を加味すること。

リアルオプションは、事業環境が不確実であるとき、事業価値が投資コストを十分に上回るまで事業への投資を延期すべきであり、不確実性が大きくなればなるほど、投資を一層延期すべきであるという示唆をもたらす。しかしながら、この示唆は、ある企業だけが独占的に投資を実施できると仮定したモデルから導かれている。つまり、投資をしないならば競合企業が投資を実施し、事業価値を奪ってしまう、戦略的環境を全く考慮していない。

多くの産業において、数社の企業が事業活動を行っている。そして、それらの企業は、新製品の導入・新規市場の開拓などの事業への投資をする場合、優位性を確保するために競合企業の意味決定を考慮し、出し抜かれられないように警戒を行う。投資に関する意思決定は、自社だけでなく競合企業の意味決定にも依存するはずである。

一方、戦略的環境を考慮したリアルオプションの研究も行われている。

嘉本(2003)は、競合する同質の2社で、先に新製品を導入した企業が、後に新製品を導入する企業より強い立場を築くことができ、結果として相手企業の新製品導入後においても高い市場シェアと利潤を確保できる非対称性(先発企業の優位性)を仮定したモデルを用いて、戦略的な投資の意思決定を分析している。

この研究によると、逐次参入の場合では、戦略的思考にもとづいて企業が意思決定をするとき、そうでないときより先発企業の新製品導入のタイミングが早くなることが示されている。また、市場規模が拡大しない限り、後発企業を上回る価値を享受できないことが示され、また、先発企業が、新製品の導入直後、事業価値が投資コストを下回る危機に高い確率で陥ることが示されている。

戦略的環境を考慮した研究は、まだ成熟しているとはいえない。従って、それぞれのプロジェクトにおいて、ディシジョン・ツリーの各格子で競合相手の動きを予測して経験的に判断していくことが望ましいといえる。

4.8 まとめ

第 2 節において、リアルオプションが、経営の柔軟性を考慮し将来の不確実性を「オプション価値」として定量化できる有効な手法であることを示した。

第 3 節においては、二項格子の 1 期間モデルを用いて、リアルオプションの論理展開を定量的に開示、DCF 法との論理展開上の相違点について示した。

第 4 節においては、リアルオプションの分類を示し、「環境先端技術プロジェクト」の持つ特性に対して、リアルオプションは有効であることを示した。

第 5 節においては、リアルオプションの「オプション価値」に影響を及ぼす重要な因子である不確実性＝ボラティリティをモンテカルロ・シミュレーションで予測する手法を示し、適用する際の留意点を提示した。

第 6 節において、「環境先端技術プロジェクト」への資本投資の特徴は不確実性が大きく、期間が長く、現在価値が大きいことである。これらは、「オプション価値」を高めることをブラック・ショールズの式を用いて示した。さらに、「環境先端技術プロジェクト」は正味現在価値はゼロに近くなるので、資本投資の意思決定に際して、リアルオプションは有効に機能することを示した。

第 7 節において、リアルオプションを経営判断に用いる際の課題と対応策について示した。リアルオプションを適用する際にはこれらの課題を理解し、対応策を立てた上で企業内に展開する必要があることを示した。

第5章 環境負荷物質削減の経済的価値

5.1 はじめに

環境負荷物質削減による経済的価値評価について考察する。まず、環境負荷物質削減による経済的価値の内部化について述べ、次に環境負荷物質削減の経済的価値評価方法について述べる。

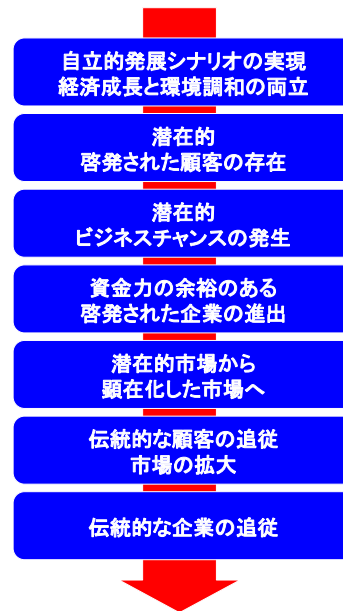
5.2 環境負荷物質削減効果の内部化

環境管理会計において環境コストは重要な問題である。環境コストには企業によって負担される私的コストと、企業以外、すなわち社会が負担している社会的コストに分類できる。私的コストと社会的コストの境界は特定時点においては明確であるが、将来的には不明確であり、また、経営者の判断によっても可変的なものである。市場経済を前提として環境保全を促進させるためには、この社会的コストの内部化をいかに自発的に進めるかが鍵である(國部, 2000, 42 頁)。

「環境先端技術プロジェクト」において、社会的コストの内部化が進む理由(仮説)を顧客と企業の視点から述べる。

第2章で述べたように、持続的な発展をめざすためには、経済産業省(2004)によると、自立的発展シナリオの実現が不可欠となる。自立的な発展シナリオ実現には国民の行動が省エネ型・環境調和型になることが求められている。

一方、顧客には、経済的な自己利益の追求を最優先させる「伝統的顧客」と自己利益の追求と環境保全の両立を目指す「啓発された顧客」が存在している(國部, 2000, 24 頁一部修正)。「啓発された顧客」は潜在的に自立的な発展シナリオ実現を目指して、環境保全に貢献する商品の購入動機を持っている。この潜在的な動機が、潜在的な市場を形成する。つまり、ビジネスチャンスが生まれるわけである。こ



図表14 環境負荷物質低減の内部コスト化メカニズム

の潜在的な市場を目指して資金力のある「啓発された企業」は資本投資を行う。その結果として、「啓発された顧客」は、環境負荷物質削減の価値を社会的価値ではなく、私的価値とみなして環境負荷物質削減に伴う一部のコストの負担を受け入れてくれる²⁴²⁵²⁶。また、「啓発された企業」の経営者は、環境保全ではなくビジネスとして判断を行ったのであるから、環境負荷物質削減に必要としたコストと環境負荷物質削減による経済的効果の両方を内部化できる。さらに、このプロセスにより潜在的な市場から顕在的な市場に移行すれば、「伝統的な顧客」も関心を示すようになり、市場が膨らみ、「伝統的な企業」がその市場に参入するようになる可能性がある。また、「伝統的な企業」においても私的コストと社会的コストの境目は常に変化しており、社会的コストをすべて無視して経営戦略を構築することは、環境問題により厳しくなっている社会環境下においては潜在的なリスクがある。このリスクから回避するためにも、「伝統的な企業」の経営者は、社会的コストへのインパクトも考慮するようになる。

以上に示すように、国民が持続的な発展をめざした自立的発展シナリオを選択すれば、環境負荷物質削減に必要としたコストとそれによる経済的効果を内部化することが、企業の利益に間接的に結びつく可能性があることを示唆している。

5.3 環境負荷物質削減の経済的価値評価方法

環境保全効果(環境負荷物質低減の効果)は物量単位で表される(環境省, 2005, 2・3 頁)。一方、環境保全コストは貨幣価値で表されるため次元が異なり直接の比較ができない。この結果、企業の関係者は環境保全コストに目を向けられがちである。環境保全効果を貨幣価値で表すことができればこのような問題を是正することができる。企業においては仮説を設けて環境保全効果を貨幣価値に変換しているが、あくまでも自社間のみでの比較にとどまり、競合企業との間での比較はできない。

²⁴ 内閣府(2002)によれば、「環境にやさしい製品が一般製品より何%高い程度までであれば購入するか」という問いに対して、「5%高い程度」が39%、「10%高い程度」が26%占めていた。

²⁵ A車のハイブリッド車プロジェクトはこの一例である。1990年代後半に購入した顧客は燃費削減によるガソリン代の節約よりも購入時にベース車に比較して上乗せ価格を支払っていた。

²⁶ A社は環境対応による利益寄与効果として、2300億円(2004年度)とみなしている。算出式は車両売上高*売上高営業率*環境情報によるロイヤルティ寄与率(日経BP・環境経営フォーラム「環境ブランド調査」環境情報により、A車を自分で購入したいという意欲が向上した比率。(出典 A社 環境社会報告書 2005)

このような状況では環境保全活動が推進することは難しいと考える。

この課題の解決策として、環境負荷統合評価手法 LIME がある。伊坪・稲葉 (2005)によると、LIME とは Life Cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling の略称で、1988 年から 2003 年にかけて実施された経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構、産業環境管理協会による国家プロジェクト「製品等ライフサイクル影響評価技術開発」において開発されたライフサイクル影響評価手法である。LIME は、LCA における影響評価 (LCIA: Life Cycle Impact Assessment) 手法として開発された。LIME は、ISO14042 に適合し、かつ、高い信頼性を担保することの双方を考慮して、特性化、被害評価、統合化という三種類のステップについて、日本の環境条件や環境思想を反映した LCIA を行うことができるように設計されている。

LIME は方法論のほか、環境負荷物質ごとに係数リストを公開しているので、実施者は特別な知識が無くとも環境負荷データとこれに対応する係数リストの線形計算により環境影響の評価が可能となる(國部他, 2006, 4 頁)。

$$SI = \sum_{IS} \sum_S IF_{S,IS} \times Inv_S$$

SI : 環境影響の単一指標、 IF : 統合化係数、 Inv : 環境負荷
 IS : 影響領域、 S : 環境負荷物質

5.4 まとめ

第 2 節において、今後、「環境先端技術プロジェクト」において、社会的コストの内部化が「啓発された顧客」と「啓発された企業」を中心に進む可能性があることを示した。

第 3 節において、環境負荷物質削減の貨幣価値への置き換えについて、LIME を用いることにより可能であることを示した。

第6章 新しい環境投資の意思決定プロセス

6.1 はじめに

本章では、第4章及び第5章で導いた環境投資の意思決定における課題に対する解決策を生かし、環境会計における環境設備投資の技術的な手法の拡張を図ることにより、環境負荷物質低減の促進を図りつつ、不確実な環境下においても適切に経営判断できる「環境先端技術プロジェクト」における環境設備投資の意思決定プロセスを構築する。

プロセスを構築する際における課題は二つある。一つ目の課題は、「環境先端技術プロジェクト」が持つ不確実性の価値を経済的価値に置き換える課題である。これに対しては、第4章で述べたように環境の変化に沿って戦略を自由に変更することにより、不確実性がもつ価値を「オプション価値」として経済的価値に置き換えるリアルオプションを適用する。

二つ目の課題は、環境負荷物質削減効果の貨幣価値への変換である。これに対しては、第5章で述べたように社会的コストの削減効果を内部コストの削減とみなし、LIMEにより貨幣価値に変換し経済的価値に加えることで対応する。

以下にこれらのプロセスを具体的に述べる。

6.2 拡張された正味現在価値

トゥリジオリス(2001)は、「拡張された正味現在価値」(ENPV)とは期待キャッシュフローの受動的な正味現在価値(NPV)²⁷に「オプション価値」(ROV)²⁸を加えたものと定義している(トゥリジオリス, 2001, 150-153頁)。

²⁷ トゥリジオリス(2001)によれば、正味現在価値を含むDCF法の基本的な問題点は経営上の柔軟性を無視している点である。キャッシュフローに関する期待シナリオを暗黙に想定し、経営者が特定の操業戦略を決定済みであることを前提としている。正味現在価値が正であれば採択するという意思決定を行う。これは、経営者が操業戦略に関し最初からコミットしていることになる。しかしながら、不確実性と競争的相互作用のある現実の世界においては、新たな情報に接して将来キャッシュフローに関する不確実性が解消されるにつれ経営者は当初の操業戦略から離れ、見直す柔軟性があることに気づく。経営者は上方ポテンシャルを伸ばし下方リスクを制限することで正味現在価値の確率分布に非対称性をもたらしめていると述べている(トゥリジオリス, 2001, 150-151頁)。

²⁸ トゥリジオリス(2001)によれば、オプションプレミアムには、能動的経営や競争、シナジー、及びプロジェクト間相互依存性からくる操業上あるいは戦略的オプションの価値を含む(トゥリジオリス, 2001, 152頁)。

「環境先端技術プロジェクト」の「拡張された正味現在価値」を求めるためには、次の5段階のステップを踏む必要がある。

第1段階：プロジェクトの現在価値を求める。

現在価値は、将来のキャッシュフローを資本コストを用いて現在価値にしたものを足し合わせるにより得られる。

$$PV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+WACC)^i}$$

PV : 現在価値、CF_i : キャッシュフロー、WACC : 資本コスト

第2段階：プロジェクトの正味現在価値を求める。

正味現在価値は、現在価値から投資額を引くことにより得られる。

$$NPV = PV - \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{(1+r)^i}$$

NPV : 正味現在価値、I_i : 投資額、r : リスクフリー・レート

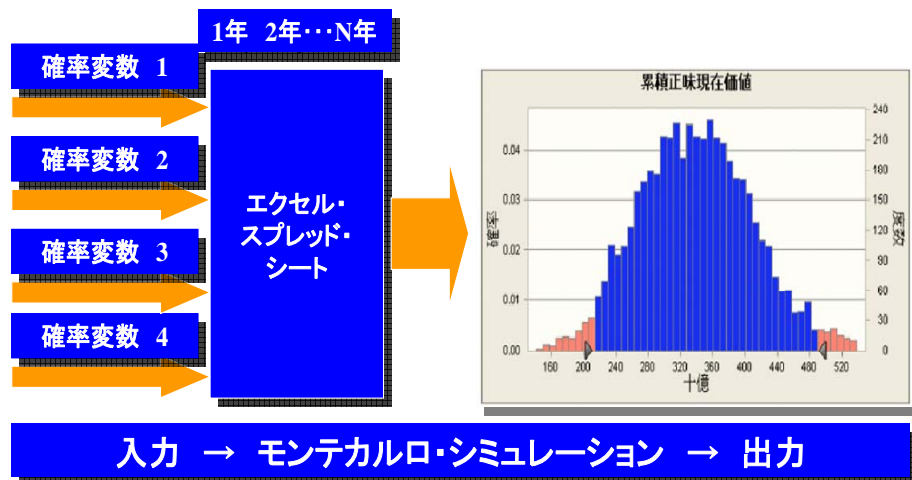
第3段階：現在価値のボラティリティを求める。

まず、プロジェクトの前提条件を構成している各変数(販売台数・売上高・製造原価他)に対して、変動範囲とその範囲内で変数のとる値が発生する確率分布及び各確率変数間の相関関係を仮定する。

その確率変数をエクセル・スプレッド・シートにインプットする。次に、市販されているクリスタルボール²⁹を使用してモンテカルロ・シミュレーションを行う。

シミュレーションの結果から正味現在価値の95%信頼区間の上下限值、中央値、及び標準偏差(ボラティリティ)を読み取る。

²⁹ クリスタルボールは株式会社 構造計画研究所の商標登録。



図表 13 モンテカルロ・シミュレーションの入・出力例

(コーブランド=ウラジミール, 2002, 248 頁(一部修正))

第 4 段階:「オプション価値」を求める。

第 4 章で述べた手順で、二項格子モデルでイベント・ツリーを作成した後、ディシジョン・ツリーを構築する。ディシジョン・ツリーを構築する際には、経営上の柔軟性を特定し、ディシジョン・ツリーに反映させる。経営の柔軟性には、延期、廃棄、拡張・縮小価値、切り替え、成長、相互作用などのオプションが含まれている。

第 5 段階:「拡張された正味現在価値」を求める。

「拡張された正味現在価値」は、第 2 段階で求めた正味現在価値から第 4 段階で求めた「オプション価値」を足し合わせるにより求めることができる。

「拡張された正味現在価値」(ENPV) = 正味現在価値 (NPV) + 「オプション価値」(ROV)

6.3 環境負荷物質削減の経済的価値

環境負荷物質削減の経済的価値を求めるためには、次の3段階のステップを踏む必要がある。

第1段階：統合化係数を求める。

社会的コストの削減効果は、環境影響の統合化係数は伊坪・稲葉(2005)において公開されている。二酸化炭素の統合化係数は、1620円/トンである。

第2段階：環境負荷低減効果を求める。

環境負荷物質の削減効果は、ベース車の単位走行距離当り環境負荷物質排出量に「環境先端技術プロジェクト」による環境負荷物質排出削減率を掛け、さらに、生涯走行距離を掛けることにより台当りの生涯環境負荷物質削減効果が算出できる。

台当り生涯環境物質削減量＝ベース車の単位走行距離当り環境物質排出量
* 環境負荷物質排出削減率 * 生涯走行距離

プロジェクト総環境負荷物質削減量は、台当り生涯環境物質削減量に総販売台数をかけることにより算出することができる。

プロジェクト総環境負荷物質削減量＝台当り生涯環境物質削減量 * 総販売台数

第3段階：「環境負荷物質削減効果による経済的価値」を求める。

「環境負荷物質削減効果による経済的価値」は、第1段階で求めた統合化係数に、第2段階で求めたプロジェクト総環境物質削減量を掛けることにより求めることができる。

6.4 総合経済的価値

「総合経済的価値」とは、資本投資の意思決定に用いる指標である。

第2節で求めた「拡張された正味現在価値」と、第3節で求めた「環境負荷物質削減による経済的効果」を足し合わせたものである。

正味現在価値がネガティブであっても、「総合経済的価値」がポジティブであれば、資本投資を前に進める意思決定が可能となる。

「総合経済的価値」(TEV)³⁰=

「拡張された正味現在価値」(ENPV) + 「環境負荷物質削減による経済的効果」
(SRV)

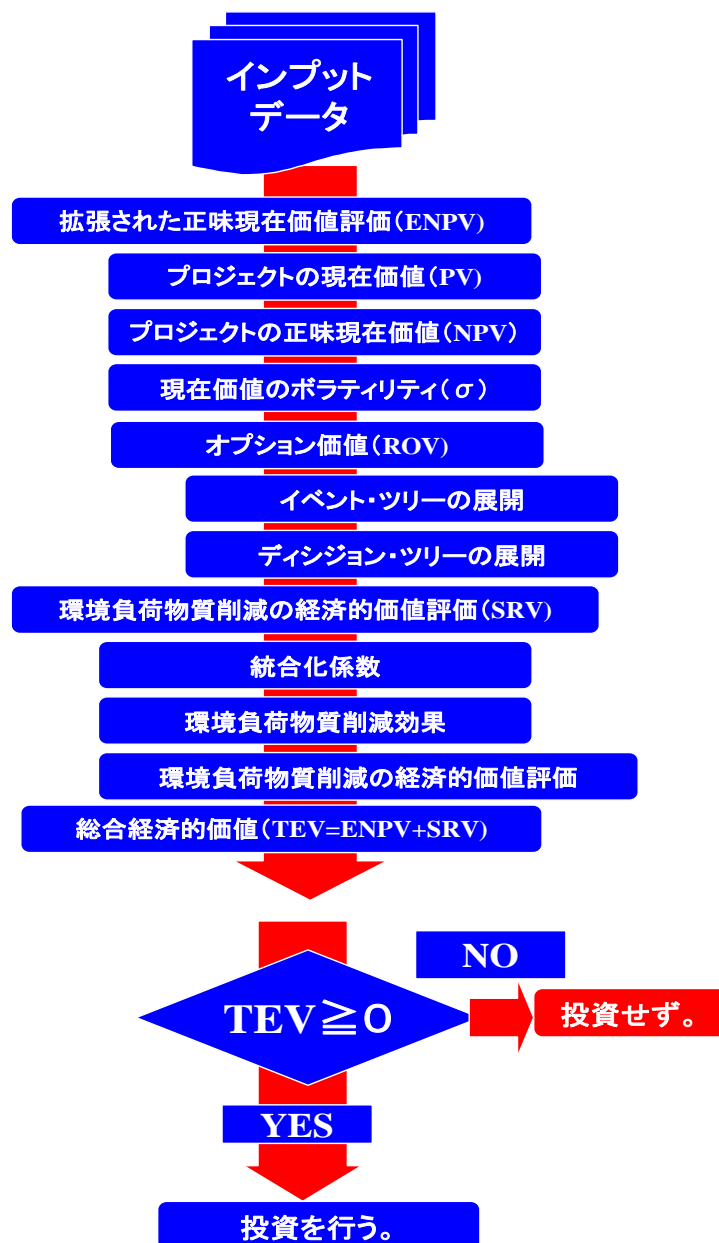
原則としては、「総合経済的価値」がポジティブであればプロジェクトに資本投資すべきである。しかしながら、ロバストな経営判断を行うためには、「総合経済的価値」の期待値(中央値)だけでなく、予測される信頼区間(特に下限値)を理解しておくことは重要である。「総合経済的価値」の予測される信頼区間の下限値を理解することにより、経営者は将来の不確実性に対して、事前に防御することが可能となると考える。

³⁰ 社会的コストも含めた経済的価値であるので総合経済的価値とした。

6.5 まとめ

第2節で「拡張された正味現在価値」を、第3節で「環境負荷物質削減による経済的価値」を、そして、第4節で「総合経済的価値」を算出するプロセスを提示した。

図表 15 に、「環境先端技術プロジェクト」に対する、環境投資の意思決定手法を示す。



図表 15 新しい環境投資の意思決定手法

第7章 環境先端技術プロジェクトへの新プロセスの適用

7.1 はじめに

本章においては、A社の「環境先端技術プロジェクト」の事例を用いて、本プロジェクトの「総合経済的価値」を前章で構築したプロセスを用いて推定する。

「総合経済的価値」の推定に際して、まず、過去の経済的効果予測と将来を含めた前提条件(販売台数・売上高・製造原価・投資他)を仮定する。次に、現在価値・正味現在価値を求め、不確実性を考慮した「オプション価値」を推定し、「拡大された正味現在価値」を推定する。ボラティリティの推定にはクリスタルボールを用いてモンテカルロ・シミュレーションを行う。また、総環境負荷物質削減量³¹を推定し、LIMEにて貨幣価値に換算する。そして、最後に「総合経済的価値」を求める。

7.2 A社の財務状態及び次世代低公害車の取組み

図表 16 に A 社の財務データ及び次世代低公害車の実績をチャレンジャーである B 社との対比で示す。A 社、B 社ともにハイブリッド車の販売台数はグローバルな観点から見ても他社比較群を抜いている。

		A社	B社
企業の地位		リーダー	チャレンジャー
財務データ 2005年3月期	売上高	18兆5515億円	8兆6500億円
	営業利益	1兆6712億円	6300億円
	当期利益	1兆1712億円	4860億円
	総資産	24兆3350億円	9兆3169億円
	株主資本	9兆0449億円	3兆2892億円
	設備投資	1兆0872億円	3739億円
	研究開発費	7551億円	4677億円
	環境投資&コスト	2311億円	1488億円
	クリーンエネルギー車 2004年度	電気自動車	0台
ハイブリッド車		64877台	30000台
天然ガス自動車		277台	81台
燃料電池車		0台	19台(リース販売)
総販売台数に占める割合		3.70%	0.90%

図表 16 A社とB社の財務状況及び次世代低公害車比率³²

³¹ 環境負荷物質削減効果は地球温暖化ガスである二酸化炭素排出量に絞っている。

³² 2005年度環境報告書および2005年3月期有価証券報告書から出典

A社は2009年を境にした環境規制の強化に対して、ハイブリッド車中心で対応する方針を打ち出している。北米向けのピックアップ・トラックやスポーツ・ユーティリティ・ビークルでハイブリッド車種を増やし、現在の7車種から倍増する計画である。同時に、エタノール対応車も北米及び南米に導入していく予定である。

一方、B社は2009年に小型車用ハイブリッド車を発売し、ガソリン車並のクリーン度を持つディーゼルエンジンと新型の燃料電池車も3年以内に投入する計画を打ち出している。小型車にはハイブリッド車で、中大型車にはクリーン・ディーゼルエンジンを搭載した車で対応する予定である。

A社とB社のハイブリッドシステムは、エネルギー源がガソリンで動力源にエンジンとモータを使う点では同じであるが、基本となる設計思想が大きく異なる。A社のシステムは走行性能と燃費性能の高い次元での両立を狙っている。一方、コストと搭載性が大きな課題となっている。従って、中大型車に適しているといえる。B社のシステムは、燃費性能に関してはA社のシステムに劣るが、低コスト化、小型化が可能である。従って、小型車には有利といえる。

このように、自動車業界の「環境戦略」は企業間で大きく異なっている。

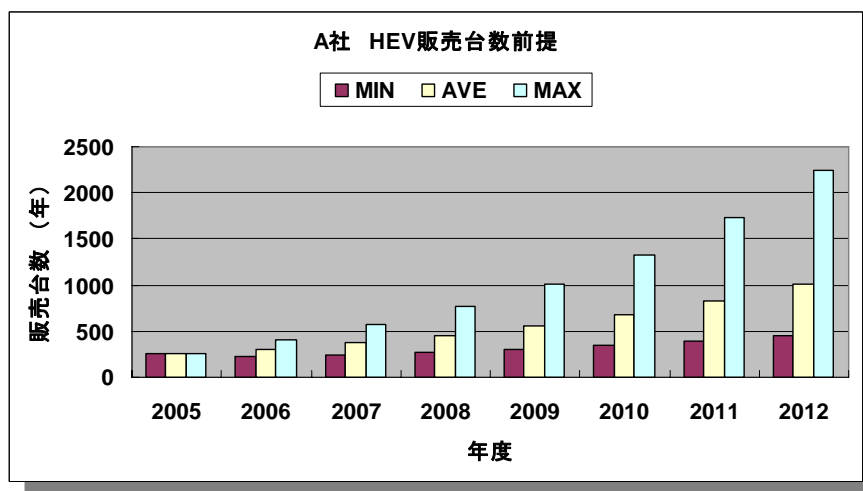
7.3 A社 環境先端技術プロジェクトへの本手法の適用

A社のハイブリッド車の「総合経済的価値」の推定を行なう際に使用する数値についてはできる限り公開されている情報を活用している。しかしながら、公開されている情報は限られており、本手法の計算に必要な全ての数値を埋めることはできなかった。従って、3.1節の前提条件においては、筆者が公開されている情報をもとに導き出した推定値もしくは仮定を使用している箇所³³が多くある。また、3.2節の「拡張された正味現在価値」、3.3節の「環境負荷物質削減の経済的価値」、3.4節の「総合経済的価値」については、3.1節の前提条件を用いてシミュレーションを行い推定している。また、4節では、「オプション価値」に影響する主要因子に対して感度分析を行っている。なお、筆者が導き出した推定値を使うことについては、本研究の目的から判断すると問題ないとする。

³³ 推定もしくは仮定と明記している。

7.3.1 プロジェクトの前提条件

- ① 販売台数は、1997年から2005年までは世界販売台数の実績値を採用している³⁴。一方、2006年から2012年までの世界販売台数については前年度比較20%成長を続け、2012年時点での世界販売台数は100万台/年と推定している³⁵。販売台数のボラティリティ(σ)を15%と仮定、2012年度において、95%信頼区間の上限値は、224万台/年、下限値は、46万台/年と推定している。



図表 17 A社 ハイブリッド車 販売台数(筆者推定値)

- ② 販売ミックスは、日本市場及び北米市場に複数車種を出荷しているが、計算の簡素化のためハイブリッド車 1車種のみと仮定する。
- ③ 台当り売上高は、ハイブリッド車の販売価格は1997年から2008年まで231万円と推定している³⁶。装備修正を行うと、ベース車に対して46万3千円の価格を付加していると推定している。一方、2012年には、ベース車に対して20万円の価格差まで価格低減が進むと推定し³⁷、2009年から2012年まではベース車に対して30万円高の214万7千円と推定している。

³⁴ A社 環境社会報告書 2005

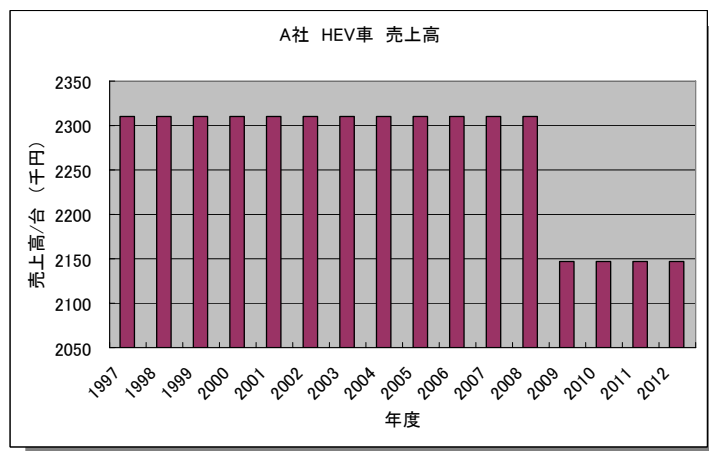
³⁵ 日本経済新聞 2006年4月1日付

³⁶ A社 ハイブリッド車 グレードSの販売価格 A社ホームページ。

³⁷ 2012年までに販売価格をガソリン車比較20万円以下に抑える。日本経済新聞 2006年4月1日付

グレード	ハイブリッド S	ベース F
車両価格	2310.0	1700.0
装備補正		147.0
アルミホイール		52.5
オーディオ		31.5
TRC		63.0
装備修正後車両価格	2310.0	1847.0
B/(w)	(463.0)	

図表 18 ハイブリッド車とベース車の価格差(千円)(筆者推定値)



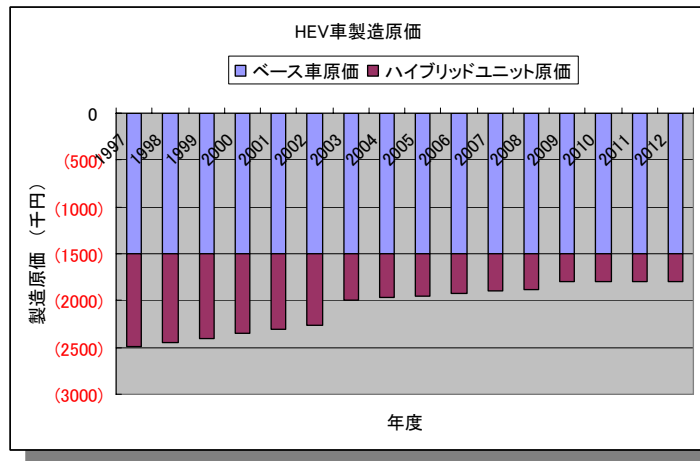
図表 19 A 社 ハイブリッド車 台当り売上高(筆者推定値)

- ④ 台当りガソリン車の製造原価は、原価を売上高の 82%と推定している³⁸。
- ⑤ 台当りハイブリッドシステムの製造原価は、初代ハイブリッド車導入時点(1997年)では 100 万円と推定している³⁹。また、1997 年から 2002 年まで年 5%の原価低減を行い、2003 年時点では 50 万円と推定している⁴⁰。さらに、2003 年から 2009 年まで年 5%の原価低減を行い、2008 年時点では 30 万円と推定している。

³⁸ 2005 年 3 月期決算報告書から 連結の売上高は 17 兆 7900 億円、原価は 14 兆 5000 億円であった。これより、原価は売上高の 82%と推定している。トヨタ ホームページ 自動車部門のみ

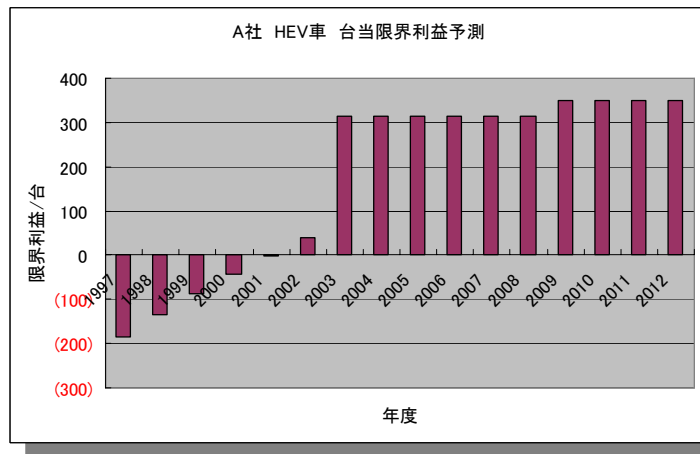
³⁹ プリウスのハイブリッドシステム原価は初期の半分になった。日経ビジネス社主催 2005 年東京国際自動車会議で小吹氏発言。日本経済新聞 2005 年 10 月 13 日付

⁴⁰ ハイブリッドシステムの製造コストを削減。電池改良や部品小型化で原価を 30%以上低減。ガソリン車との価格差は現行で 50 万円あるが、新システムでは 20 万円に縮まる見通し。日本経済新聞 2006 年 4 月 1 日付



図表 20 A社 ハイブリッド車 製造原価(筆者推定値)

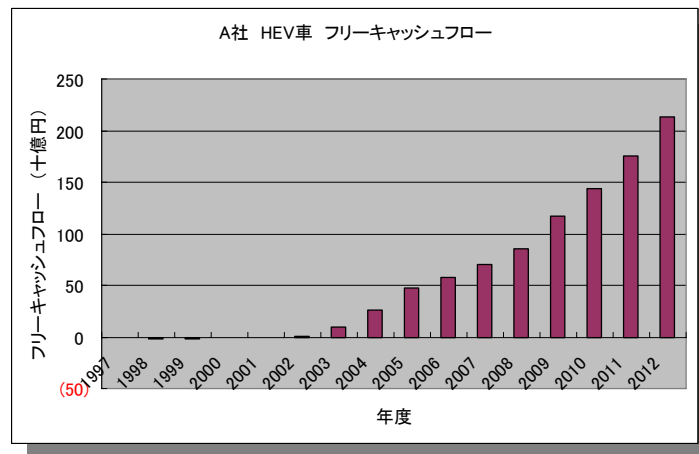
- ⑥ 台当り限界利益は、台当り売上高から台当り製造原価を引くことにより推定している。



図表 21 A社 ハイブリッド車 台当り限界利益(筆者推定値)

- ⑦ 年間限界利益は、台当り限界利益に年間販売台数を掛けることにより算出している。
- ⑧ 年間純利益は、法人税等を 40%と仮定し、年間限界利益から法人税等を引くことにより算出している。

- ⑨ 年間フリーキャッシュフローは、年間純利益と同じと推定している。



図表 22 A社 ハイブリッド車 フリーキャッシュフロー(筆者推定値)

- ⑩ 投資は、A社の環境社会報告書で記述されている環境研究開発費用の50%がハイブリッド車に投資されていると仮定している。環境投資の研究開発費用は、2000年から2004年までは環境社会報告書2005から引用し、2005年から2007年までは前年度比較10%増し、2008年から2009年までは前年度比較5%増し、2010年から2012年までは前年度と同じと推定している。これらの年間投資に対して、リスクフリー・レートを用いて現在価値に変換し、初年度に発生するとしている⁴¹。
- ⑪ 割引率は、資本コストは5%⁴²、リスクフリー・レートは1.5%⁴³と仮定している。
- ⑫ 残存価値は最終年のフリーキャッシュフローが5年間継続⁴⁴すると仮定している。最終年(2012年)に事業を5000万円(残存価値の50%)で売却できるオプション⁴⁵があると仮定している。
- ⑬ ハイブリッド車の環境負荷物質(二酸化炭素削減量)は、ベース車に比較して40%削減できると推定している。ベース車の二酸化炭素排出量を

⁴¹ 開発投資の割引率は市場と無相関であるためリスクフリー・レートで割引く。なお、キャッシュフローは市場と相関があるため市場の不確実性といったリスクを反映しWACCで割引く。

⁴² 株式平均利率を8.5%、株主資本比率60%、 β を0.9、税率を40%と仮定。

⁴³ 日本の10年もの国債97年から05年までの利率の平均値を採用。

⁴⁴ 2012年以降のハイブリッド車の市場を予測している研究は見当たらなかった。燃料電池車が本格的に市場に展開される時期が2020年頃と予測されており、少なくとも2013年から5年間はハイブリッド車の市場は衰退しないと仮定している。

⁴⁵ A社が保有しているハイブリッド車技術は優れておりトップランナーである。現時点においても複数の競合他社と技術提携を行っている。(A社から競合他社への有償提供)ハイブリッド車の市場が衰退しない限りにおいてこの優位性は継続すると考える。

150g/kmと仮定しているため、ハイブリッド車の効果として、60g/kmの削減効果が期待できると推定している。

- ⑭ ライフタイム走行距離は、160 千km、ライフタイム走行距離のボラティリティは、10%と仮定している。

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
販売台数/年	0	18	15	19	37	41	53	135	250	305	373	456	556	690	830	1014
標準偏差	0%	10%	14%	17%	20%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	33%	35%	36%	37%	39%
標準偏差	0	2	2	3	7	9	13	36	71	92	118	151	193	245	311	393
販売単価/unit	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2147	2147	2147	2147
標準偏差	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%
標準偏差	0	0	0	0	0	0	116	116	116	116	116	116	215	215	215	215
売上原価/unit	2496	2446	2399	2353	2311	2270	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1796	1796	1796	1796
標準偏差	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	20%	20%	20%	20%
標準偏差	0	0	0	0	0	0	200	200	200	200	200	200	359	359	359	359
限界利益/unit	(186)	(136)	(89)	(43)	(1)	40	314	314	314	314	314	314	351	351	351	351
限界利益/年	0	(2)	(1)	(1)	(0)	2	17	42	78	96	117	143	195	238	291	356
税金/年	0	0	0	0	0	1	7	17	31	38	47	57	78	95	117	142
純利益/年	0	(2)	(1)	(1)	(0)	1	10	25	47	58	70	86	117	143	175	213
FCF/年	0	(2)	(1)	(1)	(0)	1	10	25	47	58	70	86	117	143	175	213
継続価値					(0)	1	10	25	47	58	70	86	117	143	175	213
初期投資																1067
CO2 Base	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CO2 削減率 HEV	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
標準偏差	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
CO2 削減量 HEV	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ライフタイム走行距離	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
標準偏差	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
年間CO2 削減量 HEV	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
年間CO2 削減量 HEV	0.0	0.2	0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	1.3	2.4	2.9	3.6	4.4	5.3	6.5	8.0	9.7
累積CO2 削減量 HEV	0.0	0.2	0.3	0.5	0.9	1.2	1.8	3.1	5.5	8.4	12.0	16.3	21.7	28.2	36.2	45.9

図表23 A車ハイブリッド エクセル・スプレッド・シート

7.3.2 拡張された正味現在価値の推定

第1段階:プロジェクトの現在価値を求める。

下記の式を用いて、現在価値を求める。

結果、初年度における現在価値は、10130 億円と推定される。

$$PV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+WACC)^i}$$

PV : 現在価値、 CF_i : キャッシュフロー、 $WACC$: 資本コスト

第2段階:プロジェクトの正味現在価値を求める。

正味現在価値は、現在価値から総投資額を引くことにより得られる。

結果、総投資額は 10470 億円と推定され、正味現在価値は、-340 億円と推定される。

$$NPV = PV - \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{(1+r)^i}$$

NPV : 正味現在価値、 I_i : 投資額、 r : リスクフリー・レート

第3段階:現在価値、正味現在価値のボラティリティを求める。

モンテカルロ・シミュレーションを用いて現在価値のボラティリティを算出する。

試行回数は 5000 回で行った結果、現在価値の平均値は、9770 億円、中央値は 10290 億円、12 年間のボラティリティは 6350 億円(65%)と推定される。(図表 24 参照)

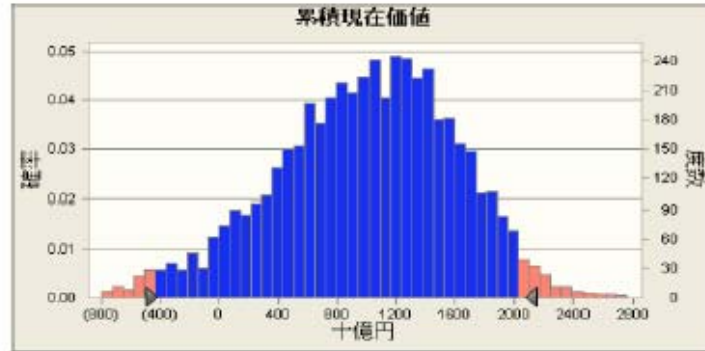
従って、年間のボラティリティは、下記の式から 20%と推定される。

$$\text{年間のボラティリティ} = 12 \text{年間のボラティリティ} / \sqrt{12}$$

また、95%信頼区間における上限値は 25700 億円、下限値は-4100 億円と推定される。

なお、第1段階で求めた現在価値と比較すると、平均値で 360 億円、中央値で 160 億円の差が生じている。これは、シミュレーションが定められた確率分布の中でランダムサンプリングを行っているからである。

要約:	統計量:	予測値
信頼度 95.00%	試行回数	5,000
信頼区間 (410) から 2571	平均値	977
全体範囲は (2206) から 2902 まで	中央値	1029
ベースケース 970	最頻値 (モード)	---
5,000試行後の平均標準誤差は9	標準偏差	635



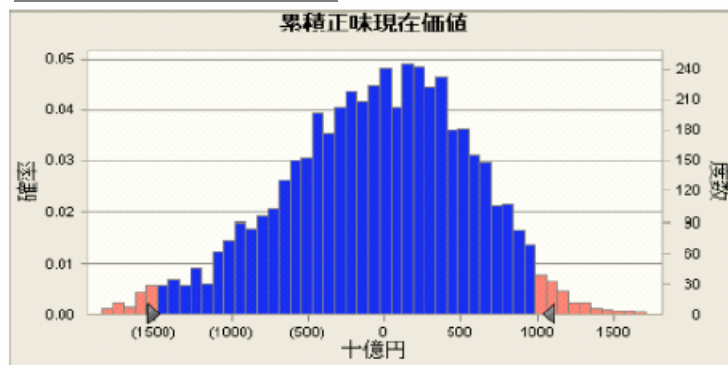
図表 24 95%信頼区間における現在価値

同様の手順を用いて、正味現在価値の平均値は、-700 億円、

中央値は、-180 億円、ボラティリティは 6350 億円と推定される。

また、95%信頼区間における上限値は 15200 億円、下限値は-14600 億円と推定される。

要約:	統計量:	予測値
信頼度 95.00%	試行回数	5,000
信頼区間 (1456) から 1524	平均値	(70)
全体範囲は (3252) から 1855 まで	中央値	(18)
ベースケース (77)	最頻値 (モード)	---
5,000試行後の平均標準誤差は9	標準偏差	635



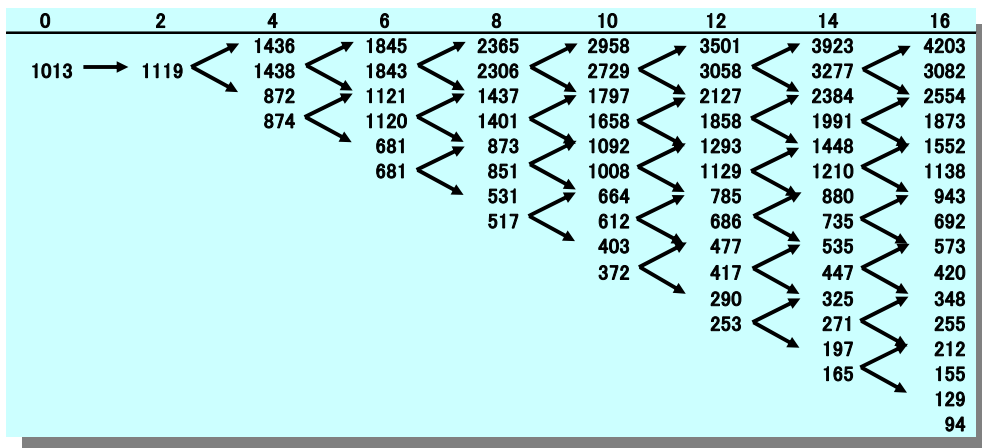
図表 25 95%信頼区間における正味現在価値

第4段階:「オプション価値」を求める

Step 1: イベント・ツリーの展開を行う。(図表 26 参照)

0 年度における現在価値 10130 億円を起点にして左から右に展開する。
 現在価値の年間ボラティリティは 20%、インターバルは 2 年間であるので、
 下記の式から、上昇率は、128%、下降率は、78%となる。

$$u = e^{\sigma\sqrt{T}} = e^{0.2*\sqrt{2}} = 128\%, \quad d = e^{-\sigma\sqrt{T}} = e^{-0.2*\sqrt{2}} = 78\%$$



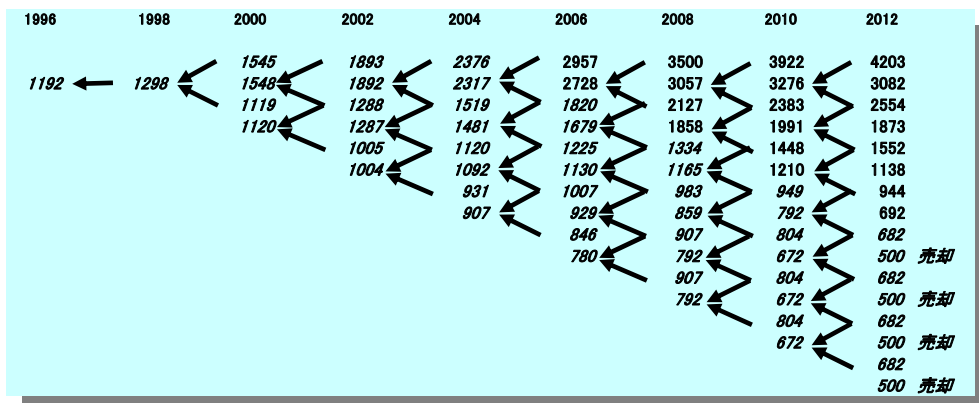
図表 26 A 社 ハイブリッド車 イベント・ツリー(単位:十億円)

Step 2: デイジジョン・ツリー展開を行う。(図表 27 参照)

撤退のオプションで選択。プロジェクトは 5000 億円で売却できると仮定。

デイジジョン・ツリーは、最終格子点から右から左に展開する。

「拡張された現在価値」は 11920 億円となり、「オプション価値」(ROV)は 1790 億と推定される。



図表 27 二項格子: デイジジョン・ツリーの展開 (単位:十億円)

第 5 段階:「拡張された正味現在価値」を求める。

「拡張された正味現在価値」は、第 2 段階で求めた正味現在価値と第 4 段階で求めた「オプション価値」を足し合わせるにより算出できる。

従って、「拡張された正味現在価値」は、1450 億円 ($= -340 \text{ 億円} + 1790 \text{ 億円}$)

また、95%信頼区間の上限値は、16990 億円 ($= 15200 \text{ 億円} + 1790 \text{ 億円}$)、下限値は、-12810 億円 ($= -14600 \text{ 億円} + 1790 \text{ 億円}$)と推定される。

7.3.3 環境負荷物質削減の経済的評価の推定

第1段階：統合化係数を求める。

二酸化炭素の統合化係数の統合化係数は、1620 円/トンである。

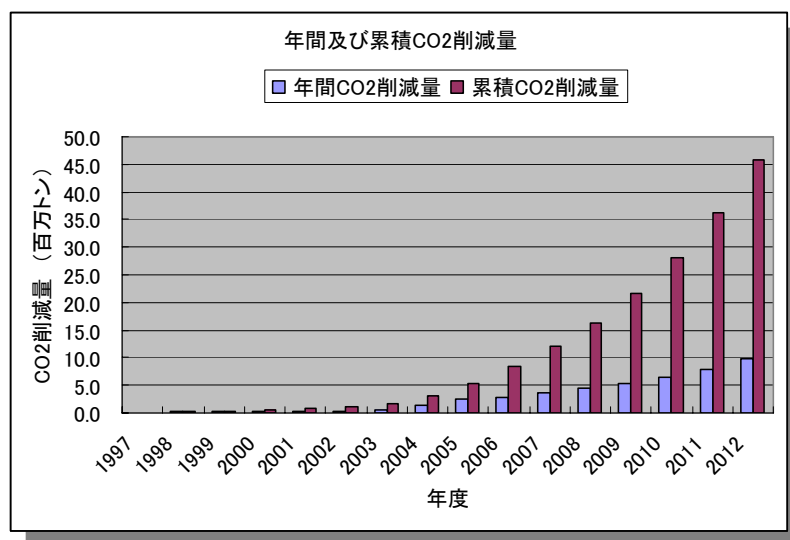
第2段階：環境負荷低減効果を求める。

環境負荷物質の削減効果は、ベース車の単位走行距離当り環境負荷物質排出量に「環境先端技術プロジェクト」による削減率を掛け、さらに、生涯走行距離を掛けることにより台当りの生涯環境負荷物質削減効果が算出できる。

$$\begin{aligned} \text{台当り生涯環境物質削減量} &= \text{ベース車の単位走行距離当り環境物質削減率} * \\ &\quad \text{「環境先端技術プロジェクト」による削減率} * \text{生涯走行距離} \\ &= 150\text{g/km} * 40\% * 160000\text{km} = 9.6\text{トン/台} \end{aligned}$$

プロジェクト総環境負荷物質削減量は、台当り生涯環境物質削減量に総販売台数をかけることにより算出することができる。

$$\begin{aligned} \text{プロジェクト総環境負荷物質削減量} &= \text{台当り生涯環境物質削減量} * \text{総販売台数} \\ &= 9.6\text{トン/台} * 4782\text{万台} = 45.9\text{百万トン} \end{aligned}$$

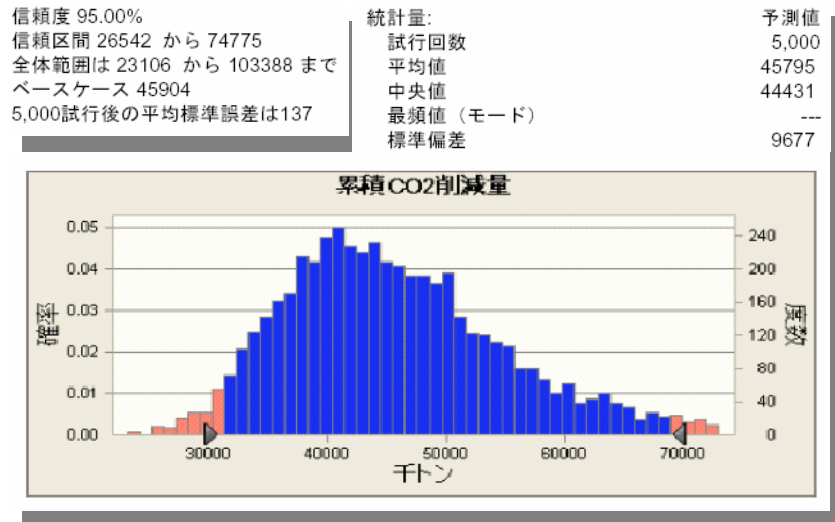


図表 28 A社 ハイブリッド車

年間及び総環境負荷物質(二酸化炭素)削減量予測 (百万トン)(筆者推定値)

モンテカルロ・シミュレーションによりボラティリティは 9.7 百万トンと推定される。

また、95%の上限値は、74.8 百万トン、下限値は、26.5 百万トンと推定される。



図表 29 環境負荷物質(二酸化炭素)削減効果 (千トン)(筆者推定値)

第 3 段階: 「環境負荷物質削減効果による経済的価値」を求める。

「環境負荷物質削減効果による経済的価値」(SRV)は、第 1 段階で求めた統合化係数に、第 2 段階で求めたプロジェクト総環境負荷物質削減量を掛けることにより求めることができる。

「環境負荷物質削減による経済的価値」

$$\begin{aligned}
 &= \text{統合化係数} * \text{総環境負荷物質削減量} \\
 &= 1620 \text{ 円/トン} * 45.9 \text{ 百万トン} = 740 \text{ 億円}
 \end{aligned}$$

また、95%信頼区間の上限値は、1210 億円、下限値は、430 億円と推定される。

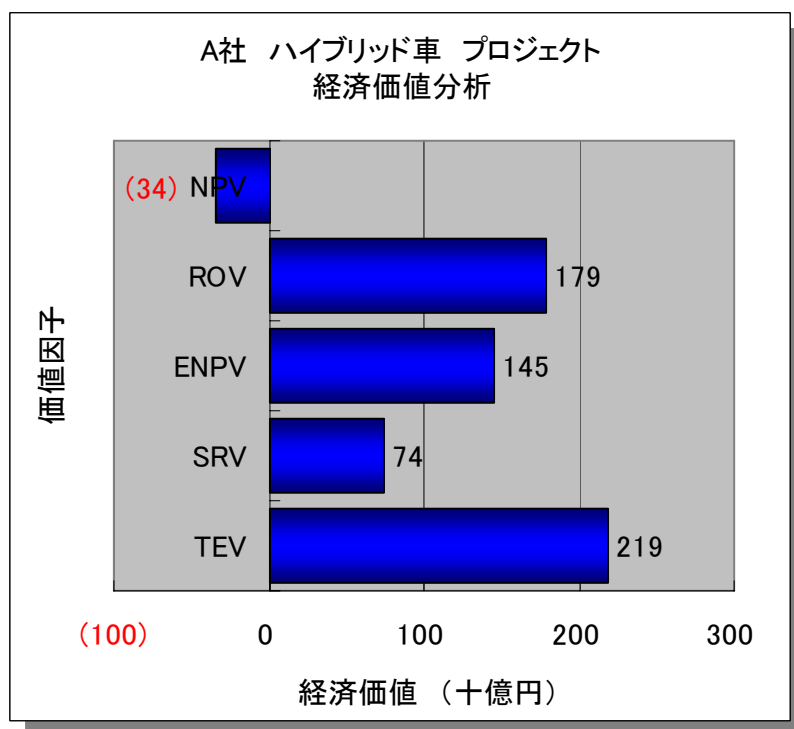
7.3.4 総合経済的価値の推定

「総合経済的価値」(TEV)は、「拡張された正味現在価値」(ENPV)に「環境負荷物質削減による経済的価値」(SRV)を付加したものである。

従って、「総合経済的価値」(TEV)は、2190 億円(=1450 億円+740 億円)

図表 30 に正味現在価値(NPV)から「総合経済的価値」(TEV)までのロードマップを示す。A 社ハイブリッド車プロジェクトの事例では、正味現在価値に比較して「オプション価値」(ROV)及び「環境負荷物質削減による経済的価値」(SRV)が大きいことが分かる。

また、95%信頼区間の上限値は、18200 億円(=16990 億円+1210 億円)、下限値は、-12380 億円(=-12810 億円+430 億円)と推定される。



図表 30 A 社 ハイブリッド車 経済的価値分析

7.4 オプション価値の影響因子の感度分析

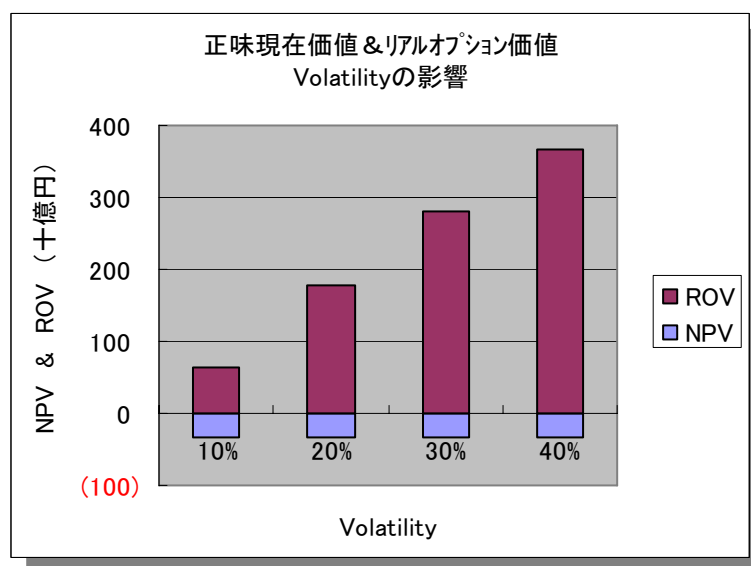
7.3.2 で用いたシミュレーション・モデルを用いて撤退オプションにおける各影響因子の正味現在価値及び「オプション価値」に与える影響の感度分析を行う。

感度分析を行う影響因子は、①ボラティリティ、②売却コスト、③資本コスト、④継続価値、⑤投資とする。

① ボラティリティの感度分析

図表 31 に示すように、「オプション価値」はボラティリティ増加に対してほぼ線形的に増加している。

なお、正味現在価値は不確実性が存在しない状態を想定しているためボラティリティの影響は受けない。



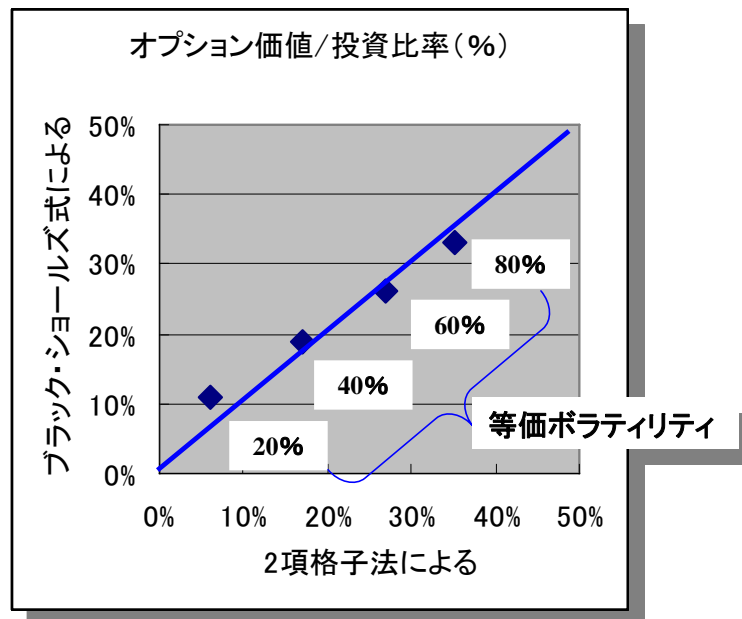
単位 10億円

Volatility	10%	20%	30%	40%
PV	1013	1013	1013	1013
I	(1047)	(1047)	(1047)	(1047)
NPV	(34)	(34)	(34)	(34)
ROV	63	179	281	368
ENPV	29	145	247	334

固定条件
売却コスト 500
継続価値 5年
WACC 5%

図表 31 ボラティリティの影響

ブラック・ショールズ式から求めた事業価値/投資との比較を行った結果を
 図表 32 に示す。この図表から分かるようにブラック・ショールズ式から求めた値は
 等価ボラティリティが低い領域(40%以下)の除き 2 項格子法で求めた値とほぼ一
 致していることが分かる。



図表 32 オプション価値/投資比率

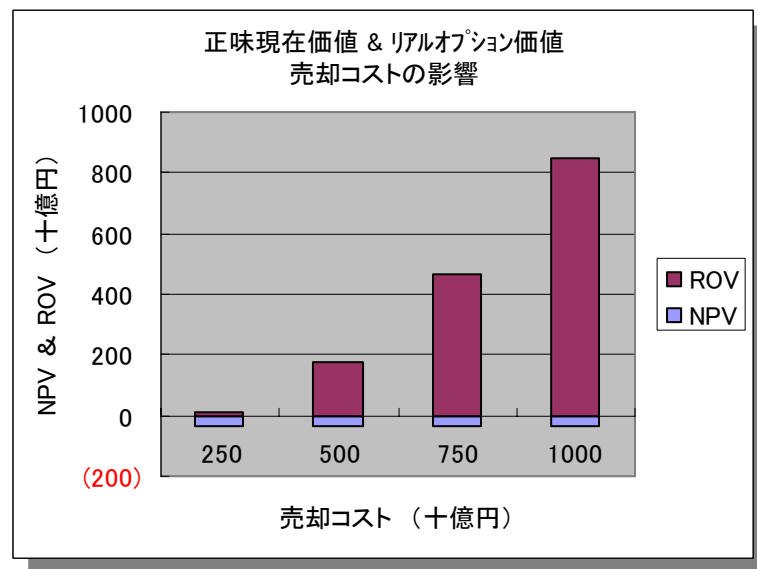
2 項格子法とブラック・ショールズ式の比較(変動因子: 等価ボラティリティ)

② 売却コストの感度分析

図表 33 に示すように、売却コストは「オプション価値」への感度は高いと言える。

売却コストが 5000 億円から 10000 億円に上がると、「オプション価値」は売却コスト差以上に上がっている。逆に売却コストが 5000 億円から 2500 億円に下がっても、「オプション価値」は売却コストの差額以下である。これは意思決定がイベント・ツリーの満期時点(右端の格子)での現在価値と売却コストとの比較で行われ、売却コストが高ければ満期時点の格子の多くが売却を選択するようになる。このため、割引率(WACC)の影響で計画時点(左端の格子)の現在価値が売却コストの差額以上に上がるためである。

なお、正味現在価値については売却による「オプション価値」の影響を受けない。



単位 10億円

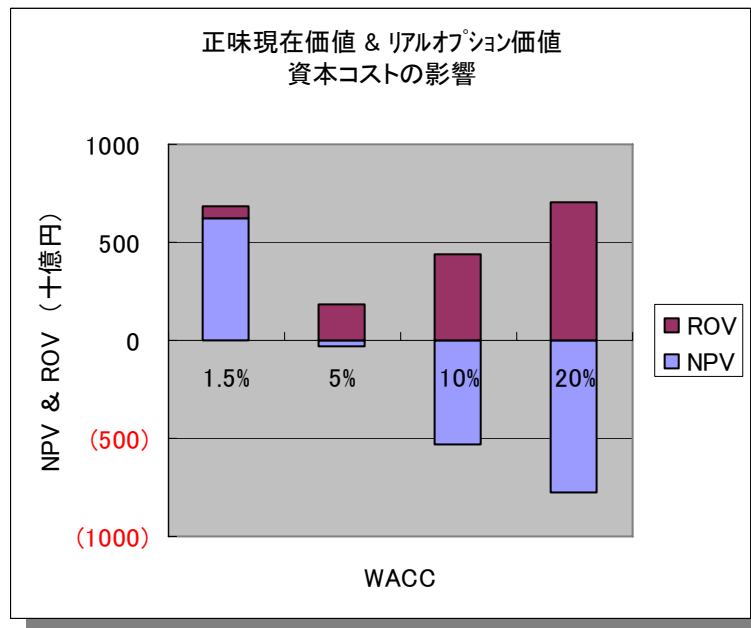
売却コスト	250	500	750	1000	固定条件
PV	1013	1013	1013	1013	Volatility 20%
I	(1047)	(1047)	(1047)	(1047)	継続価値 5年
NPV	(34)	(34)	(34)	(34)	WACC 5%
ROV	10	179	468	848	
ENPV	(24)	145	434	814	

図表 33 売却コストの影響

③ 資本コストの感度分析

図表 34 に示すように、資本コストを増加させると「オプション価値」は大きく変化する。これは、資本コストの影響により満期時点の現在価値が減少し、売却コストの影響を受けやすくなるためである。

また、資本コストを増加させると現在価値が減少するため、正味現在価値も減少する。



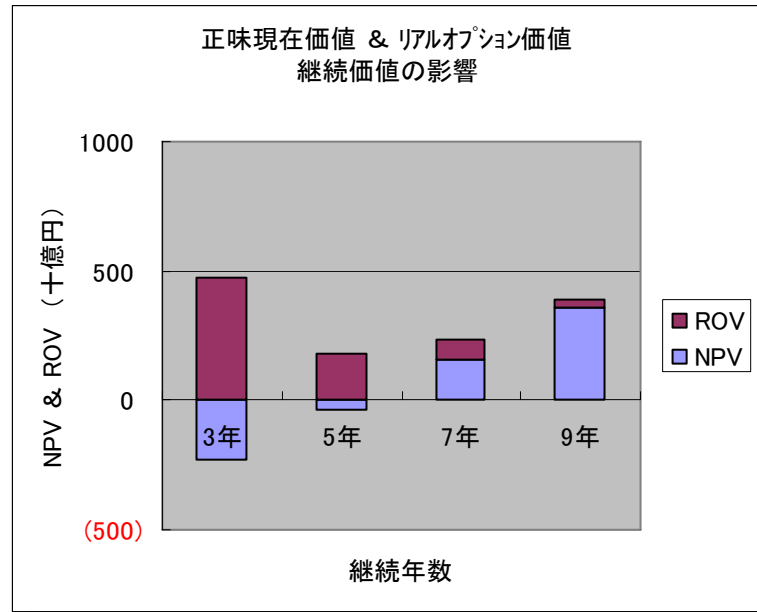
単位 10億円

WACC	1.5%	5%	10%	20%	固定条件	
PV	1669	1013	514	272	Volatility	20%
I	(1047)	(1047)	(1047)	(1047)	売却コスト	500
NPV	622	(34)	(533)	(775)	継続価値	5年
ROV	63	179	437	709		
ENPV	685	145	(96)	(66)		

図表 34 資本コストの影響

④ 継続価値の感度分析

図表 35 に示すように、継続価値を増加させると現在価値が増加し正味現在価値も増加する。「オプション価値」については、現在価値が増加したため相対的に売却コストの影響を受けにくくなる。このため、継続価値を増やすと「オプション価値」は減少する。



単位 10億円

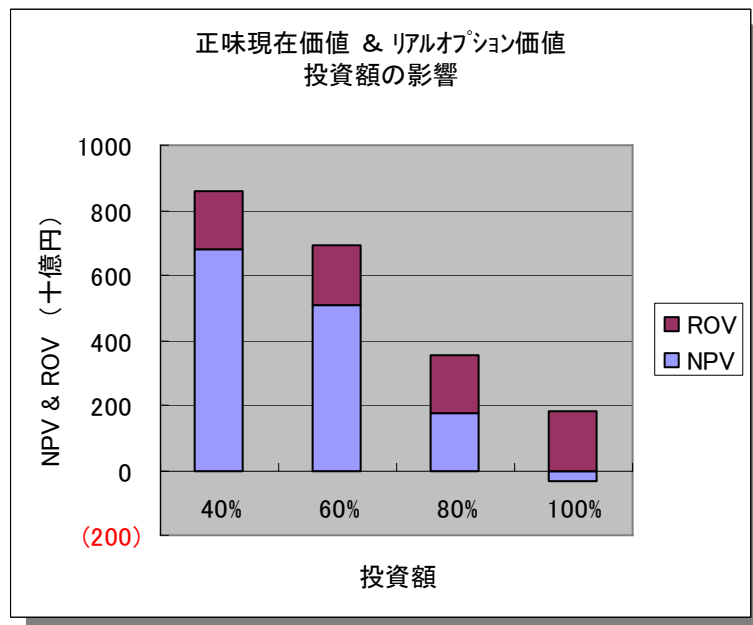
継続価値	3年	5年	7年	9年	固定条件	
PV	817	1013	1208	1404	Volatility	20%
I	(1047)	(1047)	(1047)	(1047)	売却コスト	500
NPV	(230)	(34)	161	357	WACC	5%
ROV	477	179	77	34		
ENPV	247	145	238	391		

図表 35 継続価値の影響

⑥ 投資の感度分析

図表 36 に示すように、投資は「オプション価値」には影響しない。

なお、正味現在価値は投資の増加分リニアに減少する。



単位 10億円

投資	40%	60%	80%	100%	固定条件	
PV	1013	1013	1013	1013	Volatility	20%
I	(335)	(503)	(838)	(1047)	売却コスト	500
NPV	678	510	175	(34)	WACC	5%
ROV	179	179	179	179		
ENPV	857	689	354	145		

図表 36 投資額の影響

⑦ 感度分析まとめ

現在価値、正味現在価値及び「オプション価値」に関して、影響を及ぼす主要因子について感度分析を行った。今回のモデルでは、廃棄オプションを使っているため、売却コストの影響が受けやすい結果となっている。また、資本コストについても期間が長いため、現在価値及び「オプション価値」に大きく影響することが分かった。また、継続価値を売却コストに対して相対的に大きくすると現在価値が支配的となり「オプション価値」への影響が少なくなることが分かった。

今後、売却オプションだけでなくその他のオプションについての検討を行うことが課題である。

7.5 まとめ

A社のハイブリッド車プロジェクトについて、新しい環境投資の意思決定手法を適用した。結果、本プロジェクトの正味現在価値は、ネガティブな評価(-340億円)であったが、売却オプションを加味した「オプション価値」とハイブリッド車による「環境負荷物質削減効果による経済的価値」を加えると、「総合経済的価値」はポジティブな評価(2190億円)になった。

つまり、従来の手法では資本投資が却下されるプロジェクトが、新しい手法を適用することにより、財務的にも健全になった。

これは、経営の柔軟性(「オプション価値」と社会的コストの内部化(環境負荷物質削減による経済的価値))を取り入れた結果である。

一方、95%信頼区間の下限値では「オプション価値」及び「環境負荷物質削減の経済的価値」を加味してもネガティブな評価であった。現在価値のボラティリティが大きいことに起因している。

この課題に対しては、経営者は外的因子に目を向けるのではなく自らコントロールできる内的因子に目を向けて、継続的に現在価値を向上し、かつ、投資を低減するあらゆる努力(原価低減、投資削減、技術開発の加速、マーケティング活動等)を行い、下限値を改善する努力を行うべきである。これにより、新たなオプションも生まれることにより「オプション価値」及び環境負荷物質削減による経済的価値も増していく可能性もあると考える。

第8章 結論と今後の課題

8.1 要約

第2章において、地球温暖化問題に対して、自動車業界の果たす役割は大きく、環境先端技術が重要であることを指摘した。しかしながら、環境先端技術には、膨大な開発投資と製造コストの増大に伴う収益の悪化を伴うため、経営者は企業価値の最大化とのジレンマに陥ることを指摘し、新しい環境投資の意思決定プロセスを構築する必要性に迫られていることを述べた。

第3章において、現在の環境投資の意思決定プロセスを分析し、解決すべき課題を指摘した。その一つが、経済的価値評価と環境負荷物質削減の物量評価が一元化されていないこと、二つ目が、社会的コストが内部化されていないこと、そして、不確実性が高い資本投資においてはNPV法に課題が潜んでいることを示した。

第4章においては、リアルオプションが、将来の不確実性を「オプション価値」として定量化できる有効な手法であること述べた。「環境先端技術プロジェクト」の特徴である不確実性が大きく、期間が長く、現在価値が大きいことは、「オプション価値」を高める方向にあることをブラック・ショールズの式を用いて示した。

第5章においては、「啓発された顧客」と「啓発された企業」により社会的コストを内部化するメカニズムが働く可能性があることを示した。更に、LIMEを用いて環境負荷物質削減を経済的価値に換算できることを示した。

第6章においては、正味現在価値に「オプション価値」を付加した「拡張された正味現在価値」とLIMEを用いて貨幣価値に換算した「環境負荷物質削減の経済的価値」を足し合わせた「総合経済的価値」で判断する新しい環境投資の意思決定手法が構築した。

第7章においては、新しい環境投資の意思決定手法をA社の「環境先端技術プロジェクト」に適用し、その有効性を検証した。結果、従来の手法では、財務的に好ましくない資本投資が、本手法を適用することにより財務的に健全なプロジェクトになることを示した。このことは、「環境先端技術プロジェクト」を推進しやすい環境を作ることに貢献すると考える。また、成長と環境保全の両立を図る自立的発展シナリオを後押しすると考える。

8.2 結論

本研究の目的は、環境会計における環境設備投資の技術的な手法の拡張を図ることにより、環境負荷物質低減の促進を図りつつ、不確実な環境下においても適切に経営判断できる「環境先端技術プロジェクト」に対する資本投資の意思決定手法を構築することにあった。

本研究の課題は二つ存在した。一つ目の課題は、「環境先端技術プロジェクト」が本来持つ不確実性の価値を経済的価値に置き換えることであった。二つ目には、経済的価値の追求と環境負荷物質低減の追求を効果的に行うために、環境負荷物質低減の効果を貨幣価値に置き換えることにより、経済的価値の評価軸に一元化を図ることであった。

前者の課題に対しては、リアルオプション手法を適用し不確実性が持っている価値を「オプション価値」に置き換えることにより、後者の課題に対しては、環境負荷物質低減による社会的コストの削減効果を内部コストの削減とみなし、LIME により貨幣価値に置き換えることにより解決した。

これらの解決策を織り込んだ新しい環境投資の意思決定手法を構築し、A 社の「環境先端技術プロジェクト」でその有効性を検証することができた。

8.3 限界

本研究は、不確実性が大きく、期間が長く、正味現在価値がゼロ付近もしくはネガティブという特徴を持つ「環境先端技術プロジェクト」を対象にしている。また、対象となる期間の将来のキャッシュフロー及び不確実性は定量化できていること、さらに、経営の柔軟性がディシジョン・ツリーに適用できていること(適用可能なリアルオプションを特定できていること)が必要条件である。この前提条件を満足しないプロジェクトへの適用には限界がある。

8.4 今後の課題

リアルオプションは一般的に競合環境の無い状態を想定している。しかしながら、現実の社会では競合相手との競争であり競合相手が与える影響は大きい。ゲーム理論とリアルオプションを組合して競合相手の動きを配慮したモデルの研究は始まっているが、前提条件がシンプルなモデルであるために実務で適用することは難しい。競合相手を考慮に入れたモデルの構築が必要である。

謝辞

本研究をまとめるうえで、多くの先生方からご教示、ご鞭撻をいただいた。まず、熱心な指導を頂いた神戸大学大学院経営学研究科 國部克彦先生に心からお礼申し上げたい。また、同研究科 砂川伸幸先生にはリアルオプション理論に関して数々の貴重なアドバイスを頂き、感謝を申し上げたい。同研究科 加登豊先生、松尾貴巳先生には研究の進め方について貴重なご助言を頂いた。同研究科 堀口真司先生、同研究科博士後期課程 川原千明氏にも、ゼミを通してアドバイスを頂いた。さらに、國部克彦ゼミの皆様には、大きな刺激を頂いた。お世話になった皆様に心からお礼申し上げたい。

引用文献

伊坪特宏・稲葉敦（2005）『ライフサイクル環境影響評価手法』
産業環境管理協会。

今井潤一（2004）『リアルオプション：投資プロジェクト評価の工学的アプローチ』
中央経済社。

加登豊（1999）『管理会計入門』 日本経済新聞社。

嘉本慎介（2003）『投資の戦略的な意思決定：リアルオプションとゲーム理論の
応用分析』。

環境省（2004）『環境会計の現状と課題』 環境省。

環境省（2005）『環境会計ガイドライン 2005年版』 環境省。

経済産業省（2002）『環境管理会計手法ワークブック』 経済産業省。

経済産業省（2004）『2030年のエネルギー需給展望（中間とりまとめ）』
経済産業省資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会需給部会。

國部克彦（2000）『環境会計 改定増補版』 新世社。

國部克彦（2004a）「環境管理会計実務の普及と展開：日本企業の動向」
『国民経済雑誌』 第190巻 第6号。

國部克彦他（2006）「マテリアルフローコスト会計とLIMEの統合可能性」
『国民経済雑誌』 投稿予定。

杉山善告（2002）『投資効率を高める資本予算』 中央経済社。

内閣府（2002）「環境循環型社会に関する世論調査」『世論調査』
2002年3月号、内閣府大臣官房政府広報室。

廣本敏郎（1993）『米国管理会計論発達史』 森山書店。

宮本匡章（1990）『原価計算システム-現状と課題』中央経済社。

森田倫史（2005）「ハイブリッド車の市場の展望と課題」『Mizuho Industry Focus』第38巻。

EPA（2000）「経営管理手法としての管理会計入門」『緑の利益』國部克彦訳、産業環境管理協会。

M. エプスタイン・M. ロイ（2000）「環境影響の資本投資決定への統合」『緑の利益』國部克彦訳、産業環境管理協会。

T. コーブランド・U. アンティカロフ（2002）『リアルオプション戦略フレキシビリティと経営意思決定』栃本克之訳、東洋経済新報社。

J. マン（2003）『実践 リアルオプションのすべて』構造計画研究所訳、ダイヤモンド社。

L. トウリジオリス（2001）『リアルオプション』川口有一郎他訳、エコノミスト社。

R. ブリーリー・S. マイヤーズ（2002a）『コーポレートファイナンス 上』藤井真理子・国枝繁樹訳、日経BP社。

M. ベネット・P. ジェームズ（2000）「グリーンボトムライン」『緑の利益』國部克彦訳、産業環境管理協会。

マッキンゼー・アンド・カンパニー他（2004）『企業価値評価』マッキンゼー・コーポレート・ファイナンス・グループ訳、ダイヤモンド社。

EPA（1992）Total Cost Assessment: Accelerating Industrial Pollution Prevention through Innovative Project Financial Analysis, EPA.

Epstein, M.J. (1996) Improving Environmental Management with Full Environmental Cost Accounting, Environmental Quality Management Autumn 1996.

参考文献

伊吹英子（2005）『CSR 経営戦略「社会的責任」で競争力を高める』
東洋経済新報社。

上總康行（2006）『次世代管理会計の構想』中央経済社。

大川雅也（2005）「国際的事業展開と投資評価—リアルオプションによる事例研究—」『経営財務研究』23 巻 2 号。

環境自動車開発・普及総合戦略会議（2001a）

『環境自動車開発・普及総合戦略会議報告書』国土交通省。

環境自動車開発・普及総合戦略会議（2001b）『低公害車の開発・普及戦略』

国土交通省。

環境自動車開発・普及総合戦略会議（2001c）

『次世代低公害車の開発促進に向けた基本戦略について』国土交通省。

環境省（2002）『環境ビジネス研究会報告書—環境と経済の統合に向けて』

環境省。

北尾信夫（2003）『研究開発投資のオプション価値評価』神戸大学 修士論文。

高巖・日経 CSR プロジェクト（2005）『CSR 企業価値をどう高めるか』

日本経済新聞社。

輿三野禎倫（2005）『固定資産の減損会計へのリアルオプション・アプローチ』

神戸大学 ディスカッションペーパー 2005・38。

河野正男他（2005）『環境会計 A から Z』 Bioシティ。

國部克彦（2003）『環境会計を企業経営に役立てるためには何が必要か』

神戸大学 ディスカッションペーパー 2003. 1。

國部克彦（2004b）『環境管理会計入門 理論と実践』産業環境管理協会。

國部克彦他（2005）『環境会計の新しい展開』 白桃書房。

國部克彦・梨岡英理子（2005）「日本企業の本社と事業所における環境会計実務の動向」『産業経理』 Vol. 64 No. 4。

小林啓孝（2002）「投資意思決定とDCF法の拡張」
『企業会計』 2002 Vol.54 No.4。

澤田明宏（2004）『不確実性下の発電設備の価値評価』
神戸大学 ディスカッションペーパー 2004・2。

産業環境管理協会（2000）『平成11年度 環境ビジネス発展促進等調査研究（環境会計）報告書』 産業環境管理協会。

産業環境管理協会（2001）『平成12年度 環境ビジネス発展促進等調査研究（環境会計）報告書』 産業環境管理協会。

産業環境管理協会（2002）『平成14年度 環境ビジネス発展促進等調査研究（環境会計）報告書』 産業環境管理協会。

千葉三樹男（2001）『トヨタ「環境経営」ゼロエミッションへの挑戦』 かんき出版。

中井雅章他（2004）『ベンチャー企業の新規株式公開における企業価値評価について-アンジェス・エムジー株式会社をモデルとして-』
神戸大学 ディスカッションペーパー 2004・1。

西澤 脩（1999）「管理会計ビックバン サプライチェーン・マネジメントのための管理会計」『企業会計』 第51巻第12号。

仁科一彦（1997）『現代ファイナンス理論入門』 中央経済社。

堀内行蔵・向井常雄（2006）『実践環境経営論 戦略論的アプローチ』
東洋経済新報社。

山口浩（2002）『リアルオプションと企業経営』 エコノミスト社。

G. アール他（2000）「環境投資の不確実性を低減する」

『緑の利益』 國部克彦訳、産業環境管理協会。

N. クラティラカ・M. アムラム（2001）「リアルオプションが経営戦略を変える」

『金融工学マネジメント』 小林創訳、ダイヤモンド社。

C. クリステンセン・M. レイナー（2004）『イノベーションの解』 玉田俊平太訳、

翔泳社。

D. ピンディック（2001）「オプション理論が高める経営の柔軟性」

『金融工学のマネジメント』 鈴木一功訳、ダイヤモンド社。

R. ブリーリー・S. マイヤーズ（2002b）『コーポレートファイナンス 下』

藤井真理子・国枝繁樹訳、日経 BP 社。

T. ルーマン（2001）「リアルオプションによる事業価値評価」

『金融工学のマネジメント』 吉村英明訳、ダイヤモンド社。

EPA（1992）Total Cost Assessment: Accelerating Industrial Pollution Prevention through Innovative Project Financial Analysis, EPA

以上

ワーキングペーパー出版目録

番号	著者	論文名	出版年
2005・1	赤阪 朋彦 大橋 忠司 北林 明憲 中島 良樹 古谷 賢一 山本 守道	官僚制組織における個人の自立性支援 ー大手企業 4 社のアンケート調査からー	4/2005
2005・2	手島 英行 柳父 孝則 山本 哲也 和多田 理恵	人材ポートフォリオにおける人材タイプ別人的資源管理施策の 考察ー職務満足要因の探求と職務満足次元との関係ー	4/2005
2005・3	芦谷 武彦 栗岡 住子 佐藤 和香 村上 秀樹	企業組織における正社員とパートタイマーの価値観、準拠集団、 成果に関する考察ー物品販売会社 A 社のアンケート調査からー	4/2005
2005・4	裊 薫	会社分割を利用した事業再生手続モデル	9/2005
2005・5	和多田 理恵	ベンチャー系プロフェッショナル組織におけるコア人材のコミ ットメントに関する研究ー伝統的日本企業との比較分析ー	10/2005
2005・6	本郷 晴	特殊鋼の製品開発マネジメント	11/2005
2005・7	高田 壮豊	Comparative Analysis of Organizational Commitment in Medical Professionals	11/2005
2005・8	松永 好弘	技術のモジュール化と転用の理論	11/2005
2005・9	加藤 正明	地域とモノの間におけるブランド拡張の研究～適合基盤として のライフスタイルについて～	11/2005
2005・10	桑本 誠	民生用 AV 機器におけるモジュラー型製品の製品開発マネジメ ント	11/2005
2005・11	五味 嗣夫	中国で生きる日本型経営システムー蘇州進出日本企業の事例か らー	11/2005
2005・12	栗岡 住子	職務満足を高めストレスをコーピングする働き方の分析	12/2005
2005・13	北林 明憲	企業における経営理念の浸透策と浸透度についての研究 ーエレクトロニクスメーカーのドメインカンパニーの比較調査よりー	3/2006
2005・14	古谷 賢一	事業創成期における組織マネジメントの研究	3/2006

番号	著者	論文名	出版年
2006・1	岡田 齋 檜山 洋子 藤近 雅彦 柳田 浩孝	中小企業によるCSR推進の現状と課題 ～さまざまな障害を超えて～	6/2006
2006・2	陰山 孔貴	創造的な新製品開発のための組織能力－シャープの事例研究－	9/2006
2006・3	土橋 慶章	大学におけるバランスト・スコアカードの活用に関する研究	9/2006
2006・4	岡田 齋	企業の倫理的不祥事と再生マネジメント -雪印乳業と日本ハムを事例として-	9/2006
2006・5	檜山 洋子	中小企業におけるコンプライアンス体制とその浸透策	9/2006
2006・6	山下 敦史	医療機関における IT 活用能力向上に関する研究	9/2006
2006・7	岡島 英樹	太陽電池事業におけるイノベーションの進展 －SA 社を事例として－	9/2006
2006・8	柳田 浩孝	中小企業取引における CSR を通じたメインバンク機能の再構築	9/2006
2006・9	湊 則男	環境投資におけるリアルオプションの適用	10/2006