

LNG取引におけるオプション価格理論の活用

河本 薫, 津崎 賢治

エネルギーの価格変動は激しく、エネルギー事業の収益は不確実性が高い。一方、オプション価格理論は、狭義には金融商品としてのオプション価格を評価する理論であるが、広義には将来価格により決まる不確実なキャッシュフローの市場価値を評価する理論である。欧米の先駆的なエネルギー事業者は、この観点から設備や契約が生み出すキャッシュフローの市場価値をオプション価格理論で算出し、それに基づき投資判断や契約交渉を行う。本稿では、LNG¹取引におけるオプション価格理論の活用例として、LNG購入契約の基本条件である価格フォーミュラおよび引取量柔軟性の市場価値を評価する方法を示す。

キーワード：LNG 契約，オプション価格理論，市場価値，スウィングオプション

1. はじめに

エネルギービジネスにおける収益の不確実性は高い。例えば、原油からガソリンを精製する石油精製事業について考えてみよう。石油精製事業の利益は、ガソリン価格と原油価格の値差である。これらの価格は日々変動し、それに伴い両者の値差も変動するため、将来における石油精製事業の利益は不確定である。石油精製事業者は、例えば設備投資を判断するにあたり、主観的な価格予測やリスク選好度に頼らざるを得ない。

先物市場の登場は、このような不確実性を大きく低減させた。ここでの先物とは、現物を取引する契約ではなく、将来時点における価格とあらかじめ決めた価格（以下、先物価格と呼ぶ）の差額を決済する契約である。例えば、原油の1年先物を40,000円/kL、ガソリンの1年先物を50,000円/kLと仮定した場合、石油精製事業の1年後のキャッシュフローを図1に示す。石油精製事業者は、先物売買により将来の不確定なキャッシュフローを複製することで、価格変動の影響を受けずに1年後の利益を10,000円/kLに確定できる。この確定利益よりも安値で事業買収できれば（ないしは高値で事業売却できれば）裁定利益を得られることから、無裁定条件下での事業価値はこの確定利益に等しくなければならない。このような価値水準は、個々の事業者の主観によらず市場から一意的に決まることから、以下では「市場価値」と呼ぶ。

しかしながら、エネルギービジネスのキャッシュフローは、石油精製事業のように単純ではない場合もある。例えば、発電所の利益は、燃料と電力の価格差である。季節や時間帯によっては、電力価格は燃料価格を下回る場合もあり、そのような状況では発電所を一時的に停止する。ゆえに、発電所の利益は、 $\text{Max}(0, \text{電力価格} - \text{燃料価格})$ と定義できる。このようなキャッシュフローは、先物の売買により複製できない。しかし、オプション価格理論を用いれば、その市場価値を評価することは可能である。

最も単純なオプションはヨーロピアン・オプションであり、コール型とプット型の2通りがある。ヨーロピアン・コール・オプションとは、スポット市場で取引されている資産を、将来のある日（満期日）におい

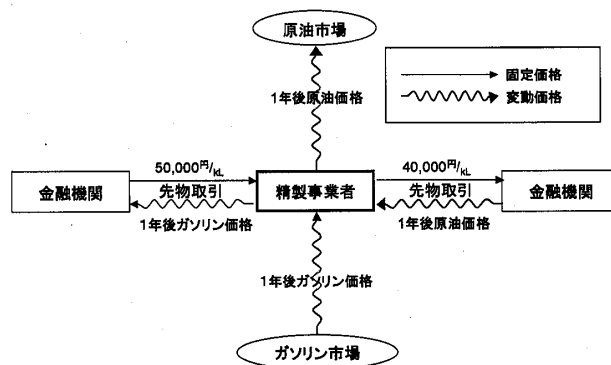


図1 石油精製事業者のキャッシュフロー

かわもと かおる, つぎき けんじ
大阪ガス(株) 情報通信部
〒541-0046 大阪市中央区平野町4-1-2

¹ 液化天然ガス (Liquefied Natural Gas) の略語。タンカーによる大量輸送を可能にするため、常温では気体の天然ガスを -162°C まで冷却して液化する。液化により体積は600分の1になる。

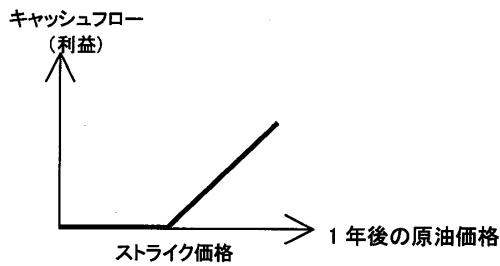


図2 1年満期の原油ヨーロピアン・コール・オプションのキャッシュフロー

て、事前に決めた価格（以下、ストライク価格と呼ぶ）で購入できる権利である。反対に、ヨーロピアン・プット・オプションとは、ストライク価格で販売できる権利である。例えば、原油を対象とするヨーロピアン・コール・オプションについて説明すると、満期日の原油取引価格がストライク価格を上回る場合、オプション保有者は権利行使して原油を購入し、それをスポット市場で販売することで利益を得る。一方、満期日の原油取引価格がストライク価格を下回る場合、オプション保有者は権利放棄する。ゆえに、ヨーロピアン・コール・オプション保有者のキャッシュフロー（利益）は、図2に例示するとおり $\text{Max}(0, \text{満期日価格} - \text{ストライク価格})$ と定義できる。オプション価格理論とは、ヨーロピアン・オプションを始めとする様々なオプションについて、その市場価値を無裁定条件にもとづき導出する理論体系である。

一方、オプションは狭義には金融商品であるが、広義には将来価格により決まる不確実なキャッシュフローと解釈できる。その観点から、前述の発電所のキャッシュフローもオプションの一種とみなすことができ、オプション価格理論を用いればその市場価値を評価できる。すなわち、オプション価格理論は、金融商品としてのオプションの価値評価だけでなく、事業や設備資産、売買契約などの市場価値を評価できる可能性を持っている。実際、欧米のエネルギー事業者においては、オプション価格理論を用いて設備資産や契約内容の市場価値を評価し、それに基づいて投資判断や契約交渉を行っている。過大評価や過小評価は損失発生や機会喪失につながるため、「クオンツ」と呼ばれる数理解析の専門家を雇用して評価精度の向上に努めている。

本稿においては、LNG取引におけるオプション価

格理論の活用例を取り上げる。LNG購入契約は一般的に10年以上の長期契約である。契約内容は、契約期間や購入価格、購入量、受渡条件、輸送条件、仕向地規制など多岐に渡り、売主と買主で交渉により決められる²。欧米では域内に天然ガス市場が確立しており、LNG購入契約のキャッシュフローは、その契約にもとづきLNGを購入し、それを気化して天然ガス市場に販売した場合のキャッシュフローとみなせる。欧米の事業者は、この観点からLNG契約を構成する各条項の市場価値をオプション価格理論により算出し、契約交渉における判断に活用している。残念ながらわが国には天然ガス市場はなく、LNG購入契約にオプション価格理論を直接的に活用することは難しい。そこで、本稿においては、国内に天然ガス市場およびその先物市場が確立していると仮定し、オプション価格理論を用いてLNG契約条項の市場価値を導出する方法を紹介する。具体的には、購入価格を決める価格フォーミュラの市場価値を評価する方法、また、購入量を所定量から増減できる権利（以下、引取量柔軟性と呼ぶ）の市場価値を評価する方法を紹介する。

以下、2節において、オプション価格理論を概説する。そして、3節においてLNG購入契約における価格フォーミュラの市場価値評価方法を、4節においてLNG購入契約における引取量柔軟性の市場価値評価方法を示す。

2. オプション価格理論

2.1 リスク中立評価法

オプション価格理論は、Black & Scholes[2]により開発されたオプション価格モデルを起点に発展を遂げた。Black & Scholesは、オプションと原資産³から構成されるポートフォリオを想定し、刻々と変化する原資産価格に応じて構成比率を動的に調整することでポートフォリオを無リスクに保てることを見いだした。そして、無裁定条件を満たすには前記ポートフォリオの利益率は無リスク金利に等しいことから、原資産価格が幾何ブラウン運動に従う場合においてオプション価格を満たすべき偏微分方程式を導出した。Cox & Ross[3]は、Black & Scholesのオプション価格モデルがリスク選好度と独立であることに着目し、すべての投資家はリスク中立であると仮定することで

² LNG契約については、Fesharaki[1]を参考にされたい。

³ オプションの対象商品。例えば、株式オプションの原資産は株式、原油オプションの原資産は原油先物である。

オプション価格を評価できること（リスク中立評価法と呼ぶ）を離散モデルにより例証した。偏微分方程式からオプション価格を直接導出できるのはヨーロッパオプションなどの単純なオプションに限られているのに対し、リスク中立評価法はツリー・モデルやモンテカルロ・シミュレーションによる計算も可能なため、例えばエイジアン・オプションやアメリカン・オプションといった複雑なオプション価格評価も可能になった。

現在、オプション価格評価の実務においてはリスク中立評価法が主流である。実務家は、リスク中立仮定のもとで原資産価格の確率過程モデルを選択し、流動性のある市場データからモデルパラメータを推定し、確率分布関数やツリー・モデル、モンテカルロ・シミュレーションといった手続きをとおしてオプションのキャッシュフロー分布を生成し、その期待値をオプション価格とする。現実の市場は連続取引が不可能であり、また、取引コストが存在するなどリスク中立評価法の適用条件を厳密には満たさないが、不特定多数の実務家に用いられており結果的に客観的な価格評価手法として有効である。

2.2 エネルギー価格モデルとそれに従うヨーロッパン・オプション価格計算

エネルギー価格は時間の経過とともに長期価格水準に平均回帰する性質を持つため、幾何ブラウン運動モデルは適さない。本稿においては、式(1)に示す平均回帰モデルを用いる。式(1)は Schwartz[4]が提案したもので、原油などエネルギーの価格モデルとして広く活用されている。

リスク中立法によりオプション価格を計算するには、任意の将来時点において式(1)の期待値と先物価格は一致するように、長期対数価格水準(= θ_t)を決めなければならない。そのような θ_t は確定的な時間依存変数であり、Eydeland[5]によれば式(2)の通りとなる。また、Eydeland[5]によれば、式(1)に従うスポット価格(= S_t) は幾何ブラウン運動と同様に対数正規分布する。そこで、式(1)と式(2)で定義される平均回帰過程の期待値と標準偏差を導出し、それを Black & Scholes[2]のオプション価格式に代入すれば、スポット価格を原資産とするヨーロッパン・コール・オプション価格を式(3)の通り導出できる。ヨーロッパン・プット・オプションも同様に導出できる。

なお、モデルパラメータである α と σ は、市場で部分的に取引されているオプションの価格と整合性を保

つように決定する。例えば、原油オプションの場合、ニューヨーク商品取引所（以降、NYMEX と呼ぶ）で取引されており、18 カ月先までは流動性が高い。そこで、18 カ月先までの原油オプションについて、式(3)により計算される価格と NYMEX 取引価格の乖離を最小にするよう最小二乗法を用いて α と σ を導出する。 α および σ が決まれば、式(3)を用いることで18 カ月先以遠のオプション価格についても計算することができる。

$$d \log S_t = \alpha(\theta_t - \log S_t)dt + \sigma d\epsilon_t \quad (1)$$

$$\theta_t = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \log F(0, t)}{\partial t} + \log F(0, t) + \frac{\sigma^2}{4\alpha}(1 - e^{-2\alpha t}) - \frac{1}{2\alpha}\sigma^2 \quad (2)$$

$$C(t, K, T) = P(t, T)(F(t, T)N(h) - KN(h - \sqrt{w}))$$

$$h = \frac{\ln(F(t, T)/K) + \frac{1}{2}w}{\sqrt{w}}$$

$$w = \frac{\sigma^2}{2\alpha}(1 - e^{-2\alpha(T-t)}) \quad (3)$$

σ : ボラティリティ

α : 平均回帰率

$d\epsilon_t$: 標準正規分布（平均ゼロ、分散 dt ）に従う、独立な確率変数

S_t : t 時点におけるスポット価格

$F(t, T)$: t 時点における満期 T の先物価格

$C(t, K, T)$: t 時点における満期 T 行使価格 K のヨーロッパンコールオプション価格

$P(t, T)$: t 時点における T を満期とする割引率

$N()$: 標準正規分布の累積確率密度関数

3. LNG 価格フォーミュラの市場価値評価

3.1 LNG 価格フォーミュラのモデル化

わが国が輸入する LNG の価格は、原油価格を引数とする価格フォーミュラにより決定される。インドネシア産を除く LNG については JCC 価格（日本輸入原油価格の平均 CIF 価格）を、インドネシア産 LNG については REP 価格（インドネシア原油実勢輸出価格）を引数とする。価格フォーミュラの形状は、直線型だけでなく、Sカーブと呼ばれる折れ線型も用いられている。本稿においては、説明を簡潔にするため、原油の油種は区別せずに単一油種とみなす。また、実際は数カ月前の原油価格を引数とするが、簡易化のために当月の原油価格を引数と仮定する。さらに、Sカ

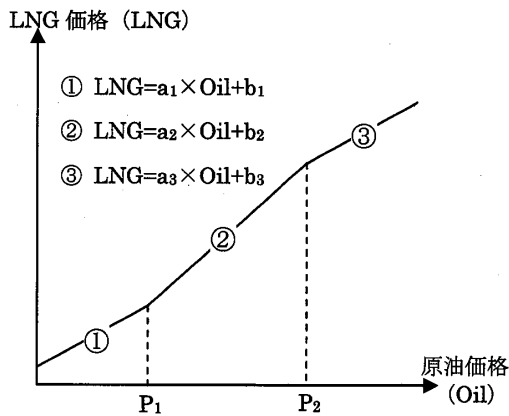


図3 LNG価格フォーミュラのモデル化(概念図)

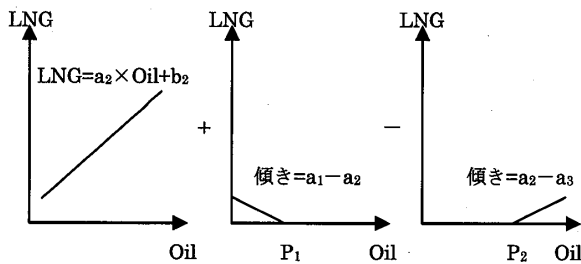


図4 LNG価格フォーミュラの分解

ープの屈曲点は2箇所と仮定する。これらの簡略化により、LNG価格フォーミュラを図3のとおりモデル化できる。P₁を下位屈曲点、P₂を上位屈曲点と呼ぶことにする。また、a₁を低価格帯傾き、a₂を標準価格帯傾き、a₃を高価格帯傾きと呼ぶことにする。図3に示したLNG価格フォーミュラは、図4のように分解できる。これを数式で表現すると式(4)となる。

3.2 LNG価格フォーミュラ市場価値の定義

本稿においては、LNG価格フォーミュラのキャッシュフローを、当該フォーミュラに従いLNGを単位量購入し、それを気化して天然ガス市場へ販売する場合のキャッシュフローとみなす。このキャッシュフローは式(5)のとおり定式化できる。このうち、第三項と第四項はヨーロピアン・プット・オプションとヨーロピアン・コール・オプションのキャッシュフローと同義であることに着目し、また、オプション価格は現在価値として定義されることを考慮すれば、式(5)に示すキャッシュフローの市場価値は、式(6)に示すとおり先物とオプションに分解できる。長期契約における価格フォーミュラの市場価値についても、式(6)を期間展開することで式(7)のとおり分解できる。式(7)のうち第一項および第二項は原油先物価格および天然ガス先物価格でありNYMEXの取引価格を直接引用できる。一

方、第三項および第四項は原油オプション価格であり18カ月先まではNYMEXの取引価格を直接引用できるが、さらに長期のオプション価格については2.2節で示したオプション価格評価モデルを用いて計算する。

$$LNG_t = a_2 \times Oil_t + b_2 + (a_2 - a_1) \times \max[P_1 - Oil_t, 0] - (a_2 - a_3) \times \max[Oil_t - P_2, 0] \quad (4)$$

$$CF_t = NG_t - LNG_t = NG_t - (a_2 \times Oil_t + b_2 + (a_2 - a_1) \times \max[P_1 - Oil_t, 0] - (a_2 - a_3) \times \max[Oil_t - P_2, 0]) \quad (5)$$

$$\frac{1}{e^{rt}} \times M[CF_t] = \frac{1}{e^{rt}} \times (F[NG_t] - a_2 \times F[Oil_t] - b_2) - (a_2 - a_1) \times Put[Oil_t, P_1] + (a_2 - a_3) \times Call[Oil_t, P_2] \quad (6)$$

$$\sum_{t=S}^T \left(\frac{1}{e^{rt}} \right) \times M[CF_t^S] = \sum_{t=S}^T \left(\frac{1}{e^{rt}} \right) \times (F[NG_t] - a_2 \times F[Oil_t] - b_2) - (a_2 - a_1) \times \sum_{t=S}^T Put[Oil_t, P_1] + (a_2 - a_3) \times \sum_{t=S}^T Call[Oil_t, P_2] \quad (7)$$

- LNG_t: t時点におけるLNG価格
- NG_t: t時点における天然ガス価格
- Oil_t: t時点における原油価格
- CF_t: t時点におけるLNG契約のキャッシュフロー
- F[X_t]: X_tを指標とする先物価格
- M[CF_t^S]: 開始時点S終了時点TのLNG契約キャッシュフローの市場価値
- Put[X_t, P]: X_tを指標とする行使価格Pのコールオプション価格
- Call[X_t, P]: X_tを指標とする行使価格Pのプットオプション価格
- S: LNG契約開始時点
- T: LNG契約終了時点
- r: 無リスク金利

3.3 試算ケースの設定

価格フォーミュラ交渉において標準上限価格(P₂)および高価格帯傾き(a₃)は選択できる状況を想定し、図5に示すSカーブフォーミュラについて、P₂およびa₃を段階的に変えながらその市場価値を計算した。なお、図5は、本研究のために設定した仮想フォーミュラであり、実際のフォーミュラとは異なることに留

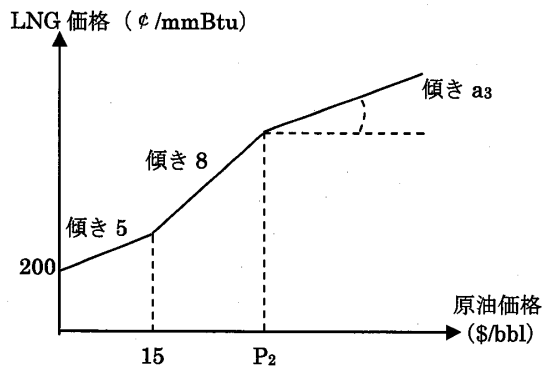


図5 試算したSカーブフォーミュラの想定

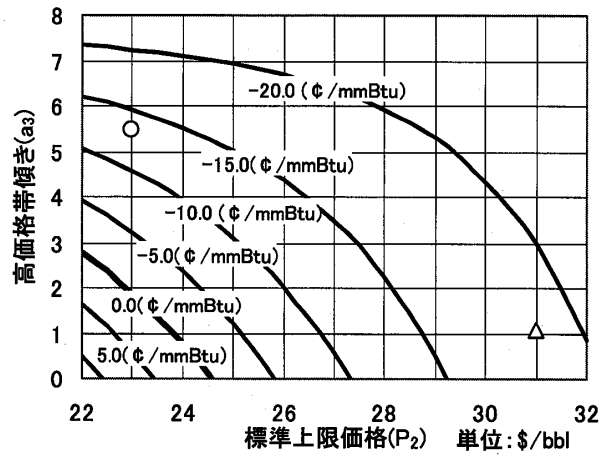


図7 Sカーブフォーミュラ等価線図 (03年8月1日時点)

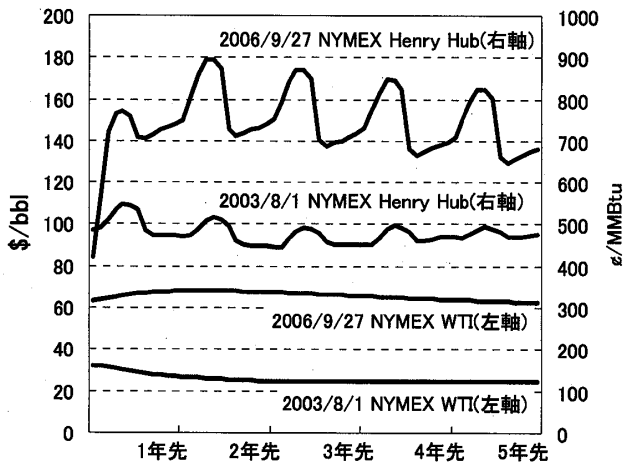


図6 原油および天然ガスフォワードカーブ (NYMEX WTI, Henry Hub)

意すべきである。契約期間は5年間と仮定した。評価に用いる原油先物価格および天然ガス先物価格は、2003年8月1日と2006年9月27日におけるNYMEX取引価格を引用した。原油および天然ガスのフォワードカーブ(先物価格を限月順にプロット)を図6に示す。割引率については1年先まではLIBOR(ロンドンにおける銀行間の取引金利)を、また、1年先以降はBloombergで公表される銀行間金利スワップから算出した。

3.4 試算結果から等価線図を構築

価格フォーミュラの相対比較(いずれのフォーミュラがどの程度安い)への活用を想定し、試算結果を等価線図にまとめた。等価線図は、X軸およびY軸に標準上限価格(P_2)および高価格帯傾き(a_3)を配したグラフで、各等価線は線上の全ケース(P_2 および a_3 の組合せ)において価格フォーミュラ市場価値は一定であることを意味する。結果を図7、図8に示す。各等価線に記した数値はその等価線上にある価格フォーミュラの市場価値を表す。

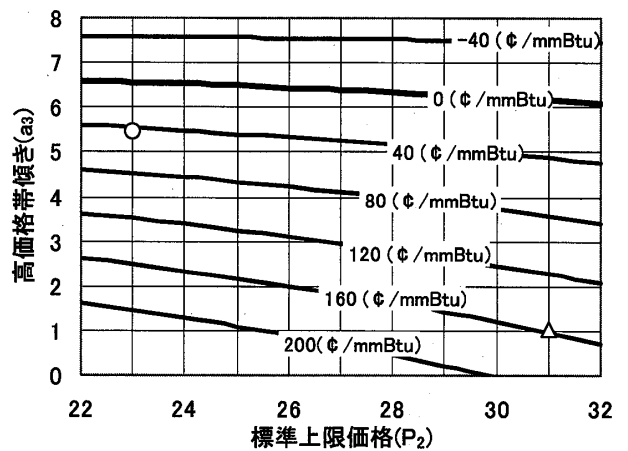


図8 Sカーブフォーミュラ等価線図 (06年9月27日時点)

図7および図8から、価格フォーミュラの損益分岐点を容易に見いだすことができる。さらに、異なる価格フォーミュラ間の市場価値をそのときの原油市況にもとづき相対比較できる。例えば、($P_2=23, a_3=5.5$)と($P_2=31, a_3=1$)を比較した場合、2006年9月27日時点では後者の方が高価値と判断されるが、2003年8月1日時点では前者のほうが高価値と判断される。フォーミュラ間の市場価値の乖離額についても定量化できる。例えば、2006年9月27日時点では高価格帯傾き(a_3)を1変化させると市場価値は約40¢/mmBtu変化するが、2003年8月1日時点での変化量は5¢/mmBtu未満である。

なお、本試算例では上位屈曲点と高価格帯傾きを自由変数としたが、それ以外のフォーミュラパラメータ(例えば、下位屈曲点や低価格帯傾き)を自由変数として計算し、それらを2軸とした等価線図を描くことも可能である。また、本試算例では原油価格を指標と

するフォーミュラを想定したが、天然ガス価格を指標とするフォーミュラについても本手法を適用することは可能である。詳しくは、河本[6]を参照されたい。

4. 引取量柔軟性の市場価値評価

4.1 引取量柔軟性の概要

引取量柔軟性とは、LNG 購入量を所定の範囲内で追加ないし削減できる権利であり、追加できる権利を上方柔軟性、削減できる権利を下方柔軟性と呼ぶ。本稿においては、LNG 購入契約のキャッシュフローを、その契約にもとづき LNG を購入し、それを気化して天然ガス市場に販売した場合のキャッシュフローとみなす。天然ガス価格が LNG 価格を上回る場合、キャッシュフローは黒字となる。もし上方柔軟性を持つならば、それを権利行使して購入量を追加することで利益を拡大できる。逆に、天然ガス価格が LNG 価格を下回る場合、キャッシュフローは赤字となる。もし下方柔軟性を持つならば、それを権利行使して購入量を削減することで損失を抑制できる。このように、上方柔軟性および下方柔軟性は、LNG 契約の利得を向上する。本節においては、これら引取量柔軟性の市場価値を評価する手法を示す。

4.2 行使タイミングは事前に決まっている場合

簡易化のために、LNG 購入価格は原油価格によらず一定と仮定する。また、基本購入量はゼロとし、上方柔軟性のみ持つ場合を想定する。例えば、次のケースについて考えてみよう。

1年後に LNG を単価 6\$/mmBtu で 300 万 mmBtu 追加購入できる権利

1年後に天然ガス価格が 6\$/mmBtu を上回る場合は、上記権利を行使して、LNG を単価 6\$/mmBtu で 300 万 mmBtu 追加購入し、それを気化して天然ガス市場に販売することで利益を得る⁴。一方、1年後に天然ガス価格が 6\$/mmBtu を下回る場合は、LNG を単価 6\$/mmBtu で追加購入して天然ガス市場に販売すると損失を被るので、権利放棄する。ゆえに、上記権利のキャッシュフローは、 $\text{Max}(0, 1 \text{年後の天然ガス価格} - 6 \$/\text{mmBtu}) \times 300 \text{万 mmBtu}$ となる。これは、天然ガス価格を指標としたヨーロピアン・コール・オプションであり、その市場価値は、

⁴ 実際には、LNG を気化して天然ガス市場に販売するには、気化基地使用料やパイプライン使用料を支払わなければならないが、本稿では説明を簡潔にするため捨象した。

2.2 節で示したオプション価格式を用いて算出できる。

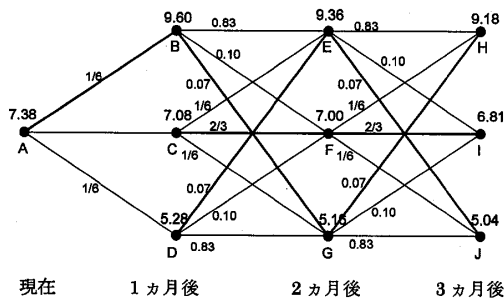
4.3 行使タイミングは選択可能な場合

実際には、柔軟性を権利行使するタイミングは選択できる場合が多い。また、権利行使は複数回可能な場合もある。例えば、次のケースを考えてみよう。

現時点、1カ月後、2カ月後、3カ月後のうち最大2時点において、LNG を単価 6\$/mmBtu で 300 万 mmBtu 追加購入できる権利

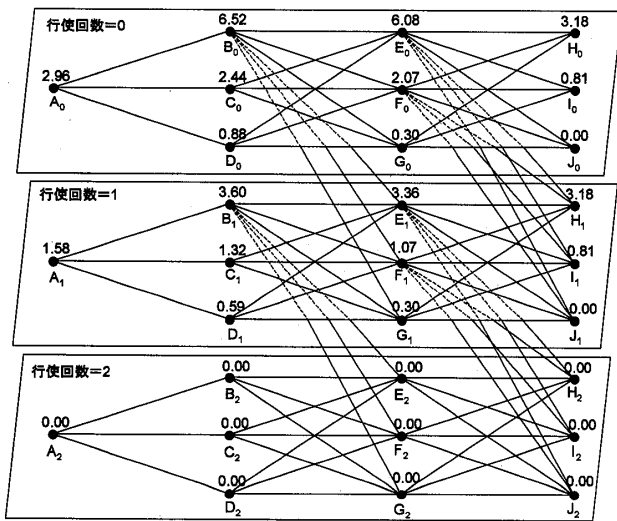
所定期間中に所定回数内で権利行使できるオプションをスウィング・オプションと呼ぶ。上記ケースは、現時点から3カ月後までの間に最大2回まで権利行使できるスウィング・オプションである。スウィング・オプションは権利行使タイミングが不確定であるため、解析的手法やモンテカルロ・シミュレーションでは市場価値を評価できず、時間と価格を離散化した格子法(分岐木モデル)を用いて評価する。また、価格だけでなく行使可能残数によっても権利行使判断は異なることから、価格に加えて行使済み回数を状態変数としてモデル化する必要がある。以下では、Jaillet[7]が考案した評価方法を示す。

まず、単位時間ステップにおける天然ガス価格変化を3通りと仮定することで格子上に3項ツリーとしてモデル化し、ツリー上の分岐確率は式(1)で定義される価格変化過程の平均値および分散と整合性を保つように決定する。3項ツリーの例を図9に示す。次に、行使済み回数別に3項ツリーを階層化することで、価格と行使済み回数の両方を離散モデル化した3項フォレスト(trinomial forest)を構築する。3項フォレストの例を図10に示す。例えば、ノード B_1 は、1カ月後において天然ガス価格 = 9.6\$/mmBtu、行使済み回数 = 1 回の状態を表す。ノード B_1 において権利行使しなければ、行使済み回数は変わらないので、 E_1 、 F_1 、 G_1 のいずれかに各々 0.83、0.10、0.07 の確率で移行する。一方、ノード B_1 において権利行使すれば、行使済み回数は2回となるので、 E_2 、 F_2 、 G_2 のいずれかに各々 0.83、0.10、0.07 の確率で移行する。最後に、権利保有者は期待利益を最大化するように行使タイミングを決定するという前提のもとで、確率的動的計画法の1つである「後ろ向き帰納法(backward induction)」を用いて各ノードの期待利益⁵を計算する。まず、契約満期時点(3カ月後)における各ノードの利益を算出する。 $H_2 \sim J_2$ は既に2回権利行使しているためオプション権利は残っておらず、利益はゼ



※ノード上の数字は天然ガス価格を、ブランチ上の数字は移行確率を示す。

図9 天然ガス価格の3項ツリー例



※ノード上の数字は、その時点以降の期待収益を示す。

図10 天然ガス価格の3項フォレスト例

口である。H₀~J₀ および H₁~J₁ はオプション権利を行使できるため、利益は $\text{Max}(0, 3\text{ヵ月後の価格} - 6\text{\$/mmBtu})$ である。次に2ヵ月後における各ノードの期待利益を算出する。具体的には、権利行使した場合と権利行使しない場合について期待利益を各々算出し、その大きいほうを選択する。例えば、E₁ においては、権利行使した場合の期待利益は $3.36 (= \text{Max}[0, 9.36 - 6.00] + 0.83 \times 0.00 + 0.1 \times 0.00 + 0.07 \times 0.00)$ 、行使しない場合の期待利益は $2.72 (= 0.83 \times 3.18 + 0.1 \times 0.81 + 0.07 \times 0)$ であることから、前者を選択する。そして、1ヵ月後、現時点と遡り、全ノードについてその時点における期待利益を算出する。本権利の単位量あたり市場価値は A₀ における期待利益 (=2.96) に等しく、本引取量柔軟性の市場価値は

それに 300 万 mmBtu を乗じた値となる。

5. まとめ

本稿においては、エネルギービジネスにおいて設備資産や売買契約の市場価値をオプション価格理論により算出する手法について概説した。具体的な活用例として LNG 購入契約を取り上げ、代表的な契約条項である価格フォーミュラおよび引取量柔軟性について市場価値を評価する方法を示した。LNG 購入契約は、上記条項だけでなく引取量季節性や仕向地規制など多様な条項から構成されており、これら条項の市場価値についてもオプション価格理論から算出できる。また、LNG ビジネスにおいて、LNG 購入契約だけでなく、LNG タンカーや気化基地など設備資産の市場価値を算出することもできる。さらに、LNG ビジネス以外にも、例えば電力ビジネスにおいては発電所や送電線といった設備資産や電力売買契約の市場価値を算出することも可能である。このようにエネルギービジネスにおいてオプション価格理論を活用することで、多様な設備資産や売買契約の市場価値を算出し、それに基づき投資判断や契約交渉を行うことができる。

一方で、オプション価格理論は連続取引や市場流動性を前提としているが、現実の市場においてこれら前提条件は厳密には成立しない。例えば、設備投資や売買契約に際して、そのキャッシュフローを無リスク化する先物取引を連続的に行わなければ、オプション価格理論により算出した市場価値はリスク中立仮定にもとづく収益期待値に過ぎないのである。すなわち、オプション価格理論とは理想的な市場環境における無裁定価格を算出する手法であり、その解釈においては現実市場と理想市場の乖離に留意しなければならない。

残念ながら、エネルギービジネスにおいてオプション価格理論を活用する技術や人材は欧米が先行している。原油や LNG はグローバルな商品であり、その取引や投資判断においてオプション価格理論を活用できなければ、欧米事業者の後塵を拝することになる。一方、わが国においては、OR 学会をはじめとして数理解析に優れた人材を有している。本稿が、数理解析とエネルギービジネスの融合に少しでも役立ち、さらに、エネルギービジネスにおけるオプション価格理論活用の研究促進に寄与できれば、筆者として嬉しい限りである。

⁵ 厳密には、期待利益の現在価値を最大化する。本稿では説明を簡潔にするため、割引率を考慮しなかった。

参考文献

- [1] F. Fesharaki et al. (2004) ; Evaluating LNG options for the state of Hawaii, Hawaii Energy Policy Forum, Hawaii.
- [2] F. Black and M. S. Scholes (1973) ; The pricing of options and corporate liabilities, Journal of Political Economy, 81, pp. 637-654.
- [3] J. C. Cox, S. A. Ross and M. Rubinstein (1979) ; Option Pricing: A Simplified Approach, Journal of Financial Economics, 7, pp. 229-263.
- [4] E. S. Schwartz (1997) ; The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging, Journal of Finance, Vol. 52, pp. 923-973.
- [5] A. Eydeland and K. Wolyniec (2003) ; Energy and Power Risk Management, John Wiley & Sons.
- [6] 河本薫, 津崎賢治 (2008) ; 金融工学を用いた LNG 価格フォーミュラの市場価値評価, エネルギー資源学会論文誌, Vol. 29, No. 2, pp. 1-7.
- [7] P. Jaillet et al. (2004) ; Valuation of Commodity-Based Swing Options, Management Science, Vol. 50, No. 7, pp. 909-921.