

戦略的意思決定のリアルオプション分析

木 村 俊 一*

Real Options Analysis for Strategic Decision Making

Toshikazu KIMURA

1. はじめに

不確実環境下にある社会システムにおいて、我々は様々な意思決定問題に直面している。原油市場価格の不確実性の下で、原油採掘事業を開始すべきかどうか？将来の水需要の不確実性の下で、長期の建設期間を要するダムを造るべきかどうか？地球温暖化の推移や温暖化によって被る損害の不確実性の下で、温室効果ガスの排出を削減する環境政策が複数存在する場合、国などの経済主体はどの政策をいつ実施すればよいか？長期低落傾向にある不動産市場の動向を踏まえて、計画中の都市再開発事業を進めるべきかどうか？

こうした不確実環境下にある投資プロジェクトにおける意思決定は、企業あるいは公共事業体の財務に関する最重要テーマの一つであり、戦略的な取り組みが求められる⁵⁾。意思決定にあたっては、投資プロジェクトの経済的価値を公正かつ数量的に評価する必要がある。残念ながら、この点で定性的評価に止まる伝統的な経済学は全く非力で用を成さない。コーポレート・ファイナンスの分野では、投資プロジェクト価値の古典的な評価法として正味現在価値(Net Present Value; NPV)法が知られているが、投資プロジェクトの延期や中止などの将来のマネジメントの柔軟性を評価に組み入れることができないため、戦略的な意思決定には不向きである。

本稿では、株式・債券などの金融資産の上に書かれた金融オプションに対する価格評価理論の概念を拡張した新しい評価手法の一つで、金融資産以外の実物資

産に対する意思決定において、マネジメントの柔軟性を自然に組み入れ可能なリアルオプション・アプローチ(Real Options Approach)について紹介する。

2. リアルオプションとは

リアルオプションを定義する前に、正味現在価値法による意思決定を概観しよう。投資意思決定にあたっては、そのプロジェクトから生じる将来のキャッシュフロー(利益、維持費用など)を推定し、金利を踏まえてそれらの現在価値を求める。プロジェクトを開始するために必要な初期投資額が現在価値の総和よりも下回っている場合には投資を決定し、そうでない場合には投資しないというのが、正味現在価値法による意思決定の基本である(詳細は今井²⁾参照)。明らかに、将来の環境の変化に対して正味現在価値法では対応できない。例えば、家庭における節水効果やコメ生産量の減少に伴って今後の水需要が当初予測よりも減少した場合、ダム建設を延期あるいは中止するといった柔軟性は、少なくとも意思決定時点においては考慮できない。

このような意思決定における柔軟性は、一般的には権利であって義務ではなく、金融資産の売買に関する選択権、すなわち、オプション(option)と類似した性質をもつ。このため、Black & Scholes³⁾のモデル以降、急速に発展を遂げた金融資産に対するオプション価格評価理論⁶⁾を実物資産(real assets)にまで拡張したものを、広義のリアルオプションという。ここで、実物資産とは、原油や小麦などの商品に限定される訳ではなく、米国穀倉地帯の第3四半期の平均気温や不動産価格などの、現時点では不確実性を有するが客觀性と公示性をもつあらゆる変数を含み、それらの

原稿受付 平成23年8月24日

*環境都市工学部 都市システム工学科 教授

派生資産である天候デリバティブ¹⁾や不動産金融工学^{3, 4)}などの新しい分野が次々と展開されている。

これに対して、Myers¹⁴⁾は、企業価値を構成する資産として投資プロジェクトを捉え、その意思決定における柔軟性としてリアルオプションを定義している。すなわち、不動産や株式などの既に企業価値に組み込まれている資産ではなく、組み込むか否かを選択可能な資産として投資プロジェクトを扱っている。この場合、意思決定における柔軟性は、延期、中止などのプロジェクト開始時期に関するオプションに限らず、最初のオプション行使することで次のオプションを得ることができる複合オプション (compound option)、あるプロジェクトを放棄する代わりに別のプロジェクトを開発できる交換オプション (exchange option) など多岐に渡っている^{11, 16)}。

以下では、環境都市工学部のキーワードである「まちづくり」に関連した2つの話題を提供する。第3節では、地球温暖化などの環境問題に対処するための代替的な環境政策選択問題、第4節では不動産金融工学における不動産開発問題へのリアルオプションの適用例について紹介する。

3. 環境政策

地球温暖化などの環境問題を議論する際の重要な要素の一つとして、不確実性が挙げられる。地球温暖化を例にとると、将来の温暖化の程度が確実にはわからないだけでなく、温暖化によって被る損害が人口や天候の変化などの温暖化以外の不確実要素にも依存すると考えられる。化石燃料を燃焼させることで、二酸化炭素などの温室効果ガス、硫黄／窒素酸化物などが排出され、その結果引き起こされると考えられている温暖化や酸性雨による損害を抑制するために、国などの経済主体はこれらの物質の排出を削減することを検討している。環境省政策評価基本計画の中でも指摘されているように、経済主体が環境政策を検討する際に重要なことは、複数の政策候補の中から最適な政策を選択することである。不確実環境下において、経済主体は代替的な環境政策の中から、どの政策をいつ実施するのかが問題となる[†]。

2種類の環境政策が存在すると仮定する。環境政策

[†]本節の内容は、平成20-24年度科学研究費補助金（基盤研究（A）、課題番号20241037）助成研究「OR指向ファイナンスにおける意思決定支援モデルの開発」（研究代表者：木村俊一）の研究分担者による研究成果（後藤允、高嶋隆太、辻村元男：「不確実性下における代替的な環境政策の選択」[8, pp. 24-51]）に基づいている。

1は政策実施に要する費用は低いが汚染物質の排出削減量も小さい政策であり、一方、環境政策2は政策実施に要する費用は政策1に比べて高いが、汚染物質の排出削減量は政策1よりも大きい政策である。経済主体は、環境政策実施に伴う便益と費用の期待割引現在価値を合算した期待総割引便益を最大にするように、どの環境政策をいつ実施すべきかを検討しているものとする。Dixit & Pindyck¹¹⁾の枠組みの下で、汚染物質1単位当たりの損害額の過程が幾何ブラウン運動にしたがうと仮定することで、最適環境政策選択の問題をある最適停止問題 (optimal stopping problem) として定式化することができる。変分不等式 (variational inequality) を用いてこの問題を解くことで、最適環境政策に関する以下の知見が得られる。

- (1) 汚染物質から受ける損害の不確実性が大きくなるにしたがって、政策1の実施が抑制されて政策2が選択されるようになり、不確実性の大きさがある水準以上になると、政策1は実施されず、政策2のみを選択肢としてもつ单一環境政策の問題に帰着される。
- (2) 汚染物質の現在の排出量が多くなるにしたがって、環境政策の実施が促進される。また、排出量が少なくなるにしたがい環境政策1が実施されなくなる。
- (3) いずれかの政策の実施によって排出削減量が増えるにしたがって、当該政策の実施が促進される。逆に、削減量が少なくなるにしたがってもう一方の政策実施が促進される。また、政策1の削減量がある水準まで減少すると政策1は実施されなくなり、政策2のみを選択肢としてもつ单一環境政策の問題に帰着される。同様に、政策2の削減量がある水準まで増加すると、政策1は実施されなくなる。

4. 不動産金融工学

不動産金融工学は、広義には「不動産に関わるリスクの評価、価値評価を通して、リスクの経営・移転・金融商品化などによる価値創造のための思考・知識・技術を創造する学問」（刈屋³⁾参照）と定義されるように、不動産に関わる多様な問題を扱っている。具体的には、不動産開発、不動産保有に伴うリスクマネジメント、証券化による不動産への投資運用、最適テナントミックス戦略と賃料戦略などである。これらの問題の中で、不動産開発に付随する意思決定問題にリアルオプションを適用する研究が中心的な位置を占め、特に

(i) 更地不動産の価値と不動産開発のタイミング

(ii) 単一中心都市における土地利用の転換
(iii) 競争的状況を考慮した開発
に関する問題に対しては精力的に研究されている。

(i) 更地不動産の開発

都心のある区画にビルディングを建築する計画をもつ土地所有者にとって、このビルディングの将来価値の変動はリスク要因となる。建築費用を上回る価値が期待できるのであれば利益を期待できるが、そうでない場合は損失を被る。更地であれば、直ちにビルディングを建築するのではなく、一定の期間内は建築を延期するオプションを取り得るので、この延期オプションの価値が更地であることの付加価値を表していると考えられる。したがって、延期オプションは、ビルディングの将来価値を原資産とするとき、ビルディングの建築コストを権利行使価格とし、建築保留期間を満期とするアメリカン・コールオプションとみなすことができる¹⁵⁾。ビルディングの将来価値を幾何ブラウン運動と仮定するブラック・ショールズモデルの枠組みであれば、このオプション価値を求ることは比較的容易である。しかし、更地として未利用のままにしておくことは、税制上不利益となる。延期オプションを維持するための税金などのコストを考慮した場合、アメリカン・インストールメントオプション¹³⁾として定式化する方がより適切であるが、解析的に解くことは困難で数値解法が必要となる。

(ii) 都市における土地利用の転換

リアルオプション・アプローチを用いる都市の土地開発に関する研究の多くは、単一中心都市(monocentric city)の仮定に基づいている。ここで、単一中心都市とは雇用と生産が集中する完結した都市であり、土地価格や地代は都心からの距離が離れるにしたがい低下していくと仮定する。単一中心都市の仮定に基づく土地利用の転換問題は、かつては都市経済学において研究が進められてきた分野であるが、リアルオプションという新しい分析ツールを得て飛躍的な展開がなされている。地代を原資産過程として定式化することで、農地あるいは更地から都市的利用土地への転換が、都市的利用地代が十分に上昇するまで生じない(延期される)ことが定量的に示されている¹⁰⁾。

(iii) 競争的状況を考慮した開発

問題(i)と(ii)においては、不確実性の源泉を制御できないものと捉え、それらを外生的な確率過程で与えられると仮定した。実際、取引が多数の市場参加者の需給バランスによって決定されるものであれば、特定の

市場参加者によって原資産の価値が左右される余地はほとんどない。しかし、特定の地域における不動産開発のように市場参加者が限られた状況においては、競争相手の行動が自らの利益に影響を与える。この場合、ある地域の不動産価格は競争的状況の中で決定される。競争は新たな不確実性の源泉ともなる。このような状況では、競争相手の行動をモデル化できるという点において、ゲーム理論(game theory)を用いて競争戦略をモデル化する方がより現実に即した分析が可能となる。ただし、理論上の制約から分析は参加者が2人の複占市場に限られる。

複占市場に先に参入する者をリーダー(leader)、後に続く者をフォロワー(follower)とよぶ。一般的に、フォロワーはリーダーよりも享受できる利益が低くなることが考えられる。このため、競争的状況が存在しない場合と比べて早期に開発を始めたいというインセンティブが生じるが、このことは一方で、不確実性がもたらすリスクを回避するための延期オプションの放棄を意味する。したがって、リアルオプションと競争的状況における早期開発とは二律背反の関係にある。

株価指数などの景気動向を示す確率過程を原資産とし、開発コストを権利行使価格とするリアルオプションを用いて、リーダーとフォロワー各々のオプション価値が分析されている。その結果、リーダーあるいはフォロワーを選択する閾値が原資産過程に存在すること、急激な開発競争によって供給過剰が不動産需要低迷時にも生じる可能性があることを合理的に示すことが可能になった¹²⁾。

5. 今後の課題

実物資産の市場が非完備⁶⁾であることがリアルオプションの最大の問題点であろう。これは原資産そのものが取引されていない、あるいは取引されている原資産の数が不十分なために、オプション価値を複製するポートフォリオを構成することができないことを意味し、厳密には無裁定条件からオプション価格を一意に定めることはできない。これはリアルオプションに固有の問題と考えられ、その解決には相当のブレークスルーが必要である。

リアルオプション・アプローチが適用されている多くの問題では、金融オプションの満期に相当するプロジェクト計画期間が無限大、すなわち無期限に設定されている。有限満期をもつオプションに対しては、ファインマン・カツの定理⁷⁾によって、その価値はある2階偏微分方程式を満たすことが知られている。この偏微分方程式は、早期行使が起こり得るオプションに対しては自由境界問題(free-boundary problem)

となり、解析的に解くことは困難である。しかし、無期限オプションに対しては常微分方程式に帰着され、自由境界も定数で与えられるために解析的に解くことが可能となる。このことがプロジェクトの計画期間を無期限に設定している技術的な理由である。残念ながら、通常の経済状態におけるパラメータ設定に対して、無期限解が有限満期の解を十分な精度で近似するためには、バニラ・アメリカン・オプションの場合、およそ数十年の満期を想定する必要があることが数値的に確かめられており、無期限解を有限満期の問題の近似解として利用するには問題が残る。コール（プット）オプションに対しては、その価値を無期限解は有限満期の解を必ず過大（過小）評価する。技術的な制約に縛られることなく、有限満期での解析方法を模索すべきである。

東日本大震災と福島原子力発電所被災の影響で、我が国は今後相当の長期間、財政的に逼迫した状況が続くことが予想される。膨大な予算を費やしている公共工事計画の見直しは必至である。この問題に対するリアルオプション・アプローチへの期待は大きい。研究組織の整備と優秀な研究者の結集が望まれる。

参考文献

- 1) 天崎裕介、権原浩輔、岡本均、新村直弘：天候デリバティブのすべて—金融工学の応用と実践一、東京電機大学出版局、2003。
- 2) 今井潤一：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一、中央経済社、2004。
- 3) 刈屋武昭：不動産金融工学とは何か—リアルオプション経営と日本再生一、東洋経済新報社、2003。
- 4) 川口有一郎：不動産金融工学、清文社、2001。
- 5) 木島正明、中岡英隆、芝田隆志：リアルオプションと投資戦略、朝倉書店、2008。
- 6) 木村俊一：金融工学入門—ポートフォリオ選択とオプション価格評価の基礎一、実教出版、2002。
- 7) 木村俊一：ファイナンス数学、ミネルヴァ書房、2011。
- 8) 津田博史、中妻照雄、山田雄二編：非流動資産の価格付けとリアルオプション、朝倉書店、2008。
- 9) Black, F. and Scholes, M.: "The pricing of options and corporate liabilities," *Journal of Political Economy*, 81 (3), 637-654, 1973.
- 10) Capozza, D.R. and Helsley, R.W.: "The stochastic city," *Journal of Urban Economics*, 28 (2), 187-203, 1990.
- 11) Dixit, A.K. and Pindyck, R.S.: *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1994.
- 12) Grenadier, S.T.: "The strategic exercise of options: Development cascades and overbuilding in real estate markets," *Journal of Finance*, 51 (5), 1653-1679, 1996.
- 13) Kimura, T.: "American continuous-installment options: Valuation and premium decomposition," *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 70 (3), 803-824, 2009.
- 14) Myers, S.C.: "Finance theory and finance strategy," *Interfaces*, 14 (1), 126-137, 1984.
- 15) Titman, S.: "Urban land prices under uncertainty," *American Economic Review*, 75 (3), 505-514, 1985.
- 16) Trigeorgis, L.: *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1996.