

国土交通政策研究第 15 号

客員研究官論文

不確実性下の意思決定：

リアル・オプション・アプローチと鉄道分野への適用可能性

手塚 広一郎

(福井大学教育地域科学部助教授)

2002 年 12 月

国土交通省国土交通政策研究所

不確実性下の意思決定：

リアル・オプション・アプローチと鉄道分野への適用可能性

手塚 広一郎（福井大学教育地域科学部助教授）

<要旨>

本報告書では、不確実性下における投資決定の評価手法のひとつとして、リアル・オプション・アプローチを取り上げ、このアプローチの鉄道分野への適用可能性について検討を行った。リアル・オプション・アプローチとは、大雑把に言って、金融におけるオプション価格の理論を援用して、経営における意思決定の余地（選択権、オプション）が存在することによる価値を求めるアプローチである。本報告書では、リアル・オプション・アプローチの概要、このアプローチもとなる金融におけるオプション価格の理論の概要、およびこのアプローチの実際の適用例を紹介した。その上で、鉄道分野へのリアル・オプション・アプローチの適用可能性を検討するために、2つの仮想的なシナリオ、フリーゲージトレインに関するシナリオと貨物線に関するシナリオを作成した。

仮想的なシナリオ作成を行った後、リアル・オプション・アプローチの適用可能性について次のことを考察した。リアル・オプション・アプローチは、金融のオプション理論を実際の意思決定に適用したものであり、その価値の推計が市場価値と関連付けられるという形で意味をもつ。しかしながら、そのオプション価値の推計に当たっては適切なシナリオ作りの問題や、推計に必要な諸変数の求めること（ボラティリティ等の推計）などの問題がある。そのため、リアル・オプション・アプローチによって導出された推計値を直接的な投資の判断に利用するには注意が必要である。ただし、鉄道分野に関していえば、リアル・オプション・アプローチを適用できるような事例（プロジェクトの実施、延期等）がたしかに存在し、それらの事例の中にはオプション価値の高いものもあると考えられる。この場合、適切なシナリオを描いてオプション価値の推計を行うことで、それを投資決定の参考にすることは意味のあることと思われる。

目 次

はじめに	1
1．不確実性下の投資決定とリアル・オプション	3
2．オプション取引とオプション価格の理論	7
3．リアル・オプション・アプローチの概要とその活用例	13
4．鉄道投資へのリアル・オプション・アプローチ適用のシナリオ作成例 フリーゲージトレインと整備新幹線のオプション価値	19
5．鉄道投資へのリアル・オプション・アプローチ適用のシナリオ作成例 モーダルシフトの可能性も考慮した南方貨物線の価値	25
6．リアル・オプションの適用における諸問題	29
7．まとめ	31
参考文献	33
参考資料	

はじめに

はじめに

企業経営において何らかの投資決定を行うにあたっては、その投資の非可逆性の性質などから、ある種の不確実性を伴うことが多い。とりわけ、大規模な投資であれば、投資を行うことで得られる収益の分散などで表される不確実性の程度が大きくなることが予想される。これらの投資決定に際しては、多くの場合、不確実性やリスクがどの程度あるかを考慮する必要がある。

現実には、不確実性ないしはリスクを投資決定に織り込む方法として、次のことを行うこともある。すなわち、将来の期待収益に関して損実が生じる可能性をあらかじめ想定してその期待損失を求め、それを将来の収益予測のなかにリスクのコストとして織り込むという方法である。この方法は、PFI プロジェクトのいわゆる VFM (Value for Money) の算定に利用されている。VFM の算定においては、さまざまなリスク項目を設け、上のような方法で期待損失を求めることで、投資決定におけるリスクあるいは不確実性の考慮を行っている。

一方で、本報告書ではこうした期待損失にもとづく不確実性の評価を行う手法ではなく、不確実性が存在する環境の下での事業において選択権ないしは意思決定の余地が存在することがどの程度の価値をもつかという点に着目し、こうした選択権をあたかも金融におけるオプション取引のようにとらえ、そのオプションの価値を求めるという手法について検討する。現実の経営などのいわゆる実物資産の選択権に関して金融のオプション評価のアプローチを用いて、その価値を求める手法はリアル・オプション・アプローチと呼ばれる。

本報告書では、リアル・オプション・アプローチの概要を紹介し、鉄道分野の投資問題に対して、このアプローチ適用可能性を検討する。その際、リアル・オプション・アプローチの概要の説明はやや直感的なものにとどめた。また、シナリオおよび数値は仮想的なものを利用した。

本報告書の構成は以下の通りである。1 節では不確実性下の投資決定とリアル・オプション・アプローチの関係を述べ、2 節で金融のオプション取引とオプション価格の理論を紹介する。3 節でリアル・オプション・アプローチの概要とその活用例を紹介する。4 節および 5 節ではリアル・オプションの鉄道投資に対する仮想的なシナリオを作成しながら、リアル・オプションの鉄道への適用可能性を検討し、6 節でその問題点を述べ、7 節で簡単なまとめを行う。

1 . 不確実性下の投資決定と

リアル・オプション

1. 不確実性下の投資決定とリアル・オプション

不確実性とリスク

不確実性とは、大雑把な表現を用いれば、現時点において将来起こりうる諸事象が明らかではない状態の総称である。この場合、将来起こりうる可能性のある事象が複数存在し、それぞれの生起する確率が付与される。

ところで、不確実性と類似する用語としてリスクがある。このリスクという用語は不確実性と同じ意味に用いられる場合と「損失」という意味を含む場合がある。前者のリスクと不確実性を同じような意味で用いる場合、また、その不確実性あるいはリスクの度合いは分散や標準偏差で表される。ただし、この場合でも、将来起こりうる事象に関してその分布が明らかである場合をリスクと呼び、そうではないときを不確実性と呼び分けることもある。

一方で、後者の意味でのリスクは「運営のリスク」や「債務不履行のリスク」などのように将来に何らかの「損失」を与える可能性が存在する一方で、将来の損失の程度が現時点で明らかではない時に用いられる。例えば、PFI プロジェクトにおいてリスクはこの意味で用いられ、何らかの事象が発生したことによって生じる期待損失を指しているようである。

このようにリスクという言葉はそこに「損失を与える可能性」という意味を含めるか否かで用語の使い方が異なる。そこで、本報告書ではリスクを前者の意味で、つまり不確実性と同じ意味で用い、後者の意味で用いる場合は「リスク」と表す。

リアル・オプション・アプローチとは何か

では、不確実性下での投資決定に関して、どのような評価手法があるのだろうか。ひとつには、上で述べたように、様々な損失を与える可能性のある事象（つまり「リスク」のある事象）をとりあげて、それぞれの事象の生起する確率と生起したときの損失額から損失額の期待値をもとめそれを予想収益に織り込むという方法がある。

それに対して、リアル・オプション・アプローチは、不確実性のある環境下で経営者などの意思決定を行う主体がもつ選択を行う余地（これを選択権ないしはオプションと呼ぶ）の価値に着目し、その価値を推計した上で、それを事業ないしはプロジェクト全体の価値に組み込むアプローチである。

リアル・オプションとは「不確実性の高い事業環境のもとで経営のもつ選択権のことをいう、金融オプションに対して金融資産以外の実物資産（Real Asset）に対するオプションであることから、リアル・オプションと呼ばれる（刈屋武昭監修、山本大輔著『入門・リアル・オプション』、以下では山本（2001）と呼ぶ。）¹⁾、あるいは「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）を行う権利である」（コーブランド、アンティカロフ『【決

定版】リアル・オプション』東洋経済新報社、以下コーブランド他（2001）と呼ぶ）などと定義されている。

山本（2001）によれば、このリアル・オプション・アプローチにおいては、事業ないしはプロジェクト全体の価値が、従来の NPV（Net Present Value）法（ないしは DCF（Discount Cash Flow）法）によって評価されるプロジェクトの価値に、経営の「柔軟性」という言葉で表されるような経営における選択権の価値（オプション価値）を加えたものとして与えられる。そのため、リアル・オプションを用いたプロジェクトの評価は、拡張 NPV 法と呼ばれることもある。つまり、この手法は柔軟性など選択肢を価値として陽表面化し、それを考慮に入れることができるという点が、従来の NPV 法と異なる点であり、特徴ともなっている。

NPV 法（正味現在価値法）とリアル・オプション

そこで、まず従来の NPV 法の特徴を確認しておこう。周知のように NPV 法とは、将来のキャッシュフローをまず予測し、各々のキャッシュフローを現在価値に割り引き、その割引かれたキャッシュフローの多寡をもって、投資を行うか否かを判断しようというものであった。NPV 法では投資の正味現在価値（NPV, Net Present Value）を次のように求める。

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{CF_1}{(1+r)} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} \cdots \cdots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} - I \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I \end{aligned}$$

ここで CF_i は第 i 期のキャッシュフロー、 I は（初期）投資コスト、 r は割引率を表す。NPV 法ではその評価基準として投資を行うかどうか NPV が正の値をとるか負の値をとるかによって決定する。すなわち、この NPV の値が正であれば当該投資が収益を生み出す可能性があると判断し投資を行うという一方で、負であれば投資を行わないことになる。

NPV 法において不確実性に対処するには 2 つの方法がある。ひとつは、不確実性のある項目についてその期待値を求めて各期ごとにキャッシュフローの期待値を求め、NPV の期待値（ $E[NPV]$ ）を求めるという方法である。もうひとつは、不確実性の割引率にリスク・プレミアムを加えてリスク調整済みの割引率を求め、それを上の NPV 式における割引率 r の用いるという方法である。ここで、リスク調整済みの割引率を k とすると

$$k = r(\text{割引率}) + (\text{リスク・プレミアム})$$

となる。

ところで、後者のリスク調整済みの割引率を利用する方法では各期間で割り引かれるリスクが同じ（が一定）である。そのため、NPV 法では一度リスク調整済みの割引率を設定すれば、そのリスク構造は変化しない（は変化しない）という仮定が暗黙のうちにおかれている。このことは、将来とりうる行動は現時点での決定に基づいており、将来にわ

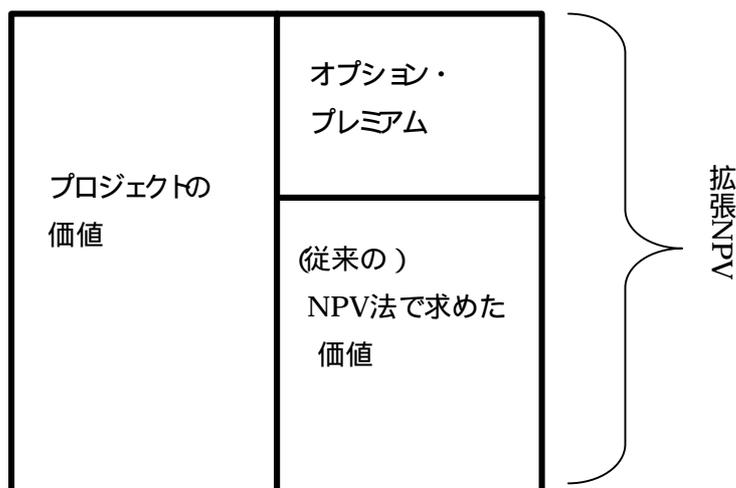
たって変更を伴わないものと解釈できる。

しかしながら、実際には将来の状況に応じて、異なった意思決定を行うということは十分に考えうる。例えば、コーブランド他(2001)は、この点について高速道路で旅行する人の予定の立て方の例を用いて説明している。旅行するときどのルートが最適であるかを入念に調べて、予定を立てた人がいるとしよう。この人がもし旅行中に渋滞にあったとき、予定に柔軟性がないとしたら、何があっても、渋滞している道で目的地にたどり着こうとすることになる。

しかしながら、実際には想定していない道を探して、その道を用いて迂回して目的地にたどり着くこともあるだろう。このように迂回するという意思決定を事前に予想しておくということが、意思決定に柔軟性があると解釈できる。もちろん何もなければ、事前に想定していた迂回路を用いることはないだろう。この意味において、迂回路を用いるのは選択権であると解釈することができる。

従来のNPV法は前者の例に該当する。つまり、どんなに状況が変化しても、当初の意思決定を継続して行い続けるという仮定のもとに、投資の意思決定を行う手法と解釈できる。しかしながら、経済環境の変化などによって、投資の意思決定は変更されることがある。このようなことを想定した上で、投資にかかる意思決定問題を考える方法がリアル・オプションによる投資にかかる意思決定の分析手法である。

リアル・オプション・アプローチは、このような選択権を考慮するという意味でいわゆる意思決定における柔軟性の価値を求める手法である。上で述べたように、リアル・オプションによって導出された価値は従来のNPV法でもとめられた価値に付加されることによって、柔軟性を踏まえたプロジェクトの価値が求められる。そのイメージは以下のよう



2 . オプション取引と

オプション価格の理論

2. オプション取引とオプション価格の理論

リアル・オプションと金融オプション

将来の時点で何らかの選択権をもつことの価値は、どのような方法で評価することができるのだろうか。ひとつには、環境の評価で用いられているような CVM (Contingent Valuation Method) などを用いて、ある種の選択を行うことのできるものの価値 (例えば環境が保全されるといったような) を評価する方法がある。もうひとつは、リアル・オプション・アプローチで用いられているように、金融オプション取引の手法を用いてその価値を評価する方法がある。本報告書では後者のアプローチを対象とする。そこで、以下でリアル・オプション・アプローチのもととなる金融オプションの評価について概要を簡単に紹介する。

オプション取引とは何か

金融先物取引とは、ある金融商品を将来の時点 (満期) に現在の時点で決めた価格で受け渡しをする取引であり、オプション取引とはこの先物取引に将来の時点で取引を実行するか否かの選択権 (オプション) を加えた取引である。このオプションは選択権であるので、将来の時点において経理を行使し、あらかじめ決めた価格で取引を行っても良いし、取引を行わなくても良い。すなわち、オプション取引は将来の時点で売り手あるいは買い手に選択する権利を与える取引である。

このオプションは権利を行使する側から 2 つに分けられる。ひとつは、将来の時点で原資産 (もと売買対象の資産になるもの株式・債券など) を現時点で決めた価格で「買い取る」権利であり、コール・オプションと呼ばれる。それに対して将来の時点で原資産を現時点で決めた価格で「売却する」権利は、プット・オプションと呼ばれる。

例えば、A 社の株式を 3 ヶ月後に 1000 円で買い取る権利はプット・オプションにあたる。もし 3 ヶ月後の株価が 1000 円を上回っていれば、その権利を保有している個人は 1000 円で買う権利を行使するであろうし、一方で 3 ヶ月後の株価が下回っていれば権利を行使しないであろう。このように、オプション取引は、先物取引に将来の時点であらかじめ決められた価格で取引をする権利を加えたものであるといえる。

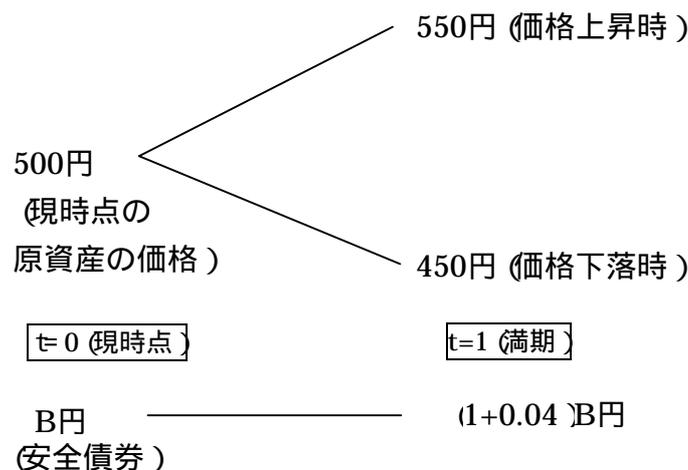
いま、あるコール・オプションを考え、原資産 (株式など) の現時点での価格を S とし、将来 (満期時) の価格を S_T とする。そして、権利行使価格 (上の例で言えば 1000 円) を K とするとコール・オプション買いの損益は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \text{コール・オプション買いの損益} &= \begin{cases} S_T - K, & S_T \geq K \\ 0 & , S_T < K \end{cases} \\ &= \max \{S_T - K, 0\} \end{aligned}$$

このように、コール・オプションは、損失が発生する場合には権利を行使せず、したがって、損益は差し引き 0 となる。このことは選択権を保有している側に価値があることを意味し、つまり、コール・オプションを保有することに価値が生じる。これは、オプション価値ないしはオプション価格と呼ばれる。

2 項 1 期間モデルとオプション価値

選択権を持つことによる価値、オプション価値がどのようにして決まるのかについて簡単に述べる。いま、現時点（0 期）と将来（1 期）からなるモデルを考え、次のようなケースを考える（このケースの数値は山本(2001)による。）0 期の原資産の価格（ここでは株価を想起されたい）は 500 円とする。1 期の価格は上昇するか下落するかの 2 つで上昇すれば 55 円に下落すれば 450 円になるとする。また、安全債券の利子率（リスク・フリー・レート）は 4 % とする。いま、この原資産を 1 年後に 510 円で購入するというコール・オプションを考える。これを図で表すと以下ようになる。下の図における B は安全債券の価格を表す。



オプションを購入することによる収支は次のようになる。価格が上昇した場合には権利行使価格が 510 円なので権利を行使することで 40 円（550 円 - 510 円）の利益が生じる、一方で価格が 450 円に下落した場合には 510 円で買い取るという権利行使を行わないため、利益は 0 円となる。

このとき、このオプションの価値は以下のように求められる。まず、はじめに上の資産を売買し、安全債券の利子率で借入れを行うことでこのオプションを複製する。具体的には、現時点（0 期）において上に示した原資産を C_1 単位、安全債券を C_2 単位それぞれ購入（売却）することによって、それらがコール・オプションの満期時（1 期）のペイオフに一致させるように（複製）する。すなわち、

$$550 (\text{円}) \times C_1 (\text{単位}) + 1.04B (1 \text{期における安全債券の価値}) \times C_2$$

$$= 40 (\text{価格上昇時のペイオフ})$$

$$450 (\text{円}) \times C_1 (\text{単位}) + 1.04B \times C_2 = 0 \quad (\text{価格下落時のペイオフ})$$

これら2つの式が成り立つように、原資産 C_1 単位と安全債券 C_2 単位を購入する。このとき、上の2式を C_1 と C_2 について解くことで複製ポートフォリオが作成される¹。

実際に、上の式を解くと $C_1 = 0.4$ であり、 $B * C_2 = -173$ となる。上の例における原資産のペイオフを複製するためには、現時点(0期)において原資産を0.4単位つまり200円(500×0.4)だけ購入し、安全債券を173円売却する(言い換えれば-173円購入することによって得られる。

このとき、原資産のオプションの価値が次のように求められる。すなわち、このオプションを得るためには200円の支払い額と173円売却額の差額、つまり27円の支払いを行う必要がある。この27円が権利を得るための価格、オプション価値になる。

もし、このオプションが27円より高い価格あるいは低い価格で取引されていれば、裁定取引が発生する。このとき、このオプション自身の売買を行うことで利益を得ることができる。オプション価格はこのような裁定の機会が存在しないという無裁定の仮定から導出されるのである。

2項モデルの一般化

いま、2項1期間モデルを一般化する(以下は森・藤田(1999)に基づく。)原資産の0期の価格を S とし、1期において確率 p で $(1+u)$ の割合で上昇し、確率 $1-p$ で $(1+d)$ 割合で下落するものとする。安全債券は確率1で $(1+r)$ の割合で増加するものとする。ここで、 $1+u > 1+r > 1+d$ とする。このとき、複製ポートフォリオは次のように与えられる。

$$C_1(1+u)S + C_2(1+r)B = \max\{(1+u)S - K, 0\}$$

$$C_1(1+d)S + C_2(1+r)B = \max\{(1+d)S - K, 0\}$$

この式を C_1 と C_2 について解くと次のようになる。

$$C_1 = \frac{\max\{(1+u)S - K, 0\} - \max\{(1+d)S - K, 0\}}{(u-d)S}$$

$$C_2 = \frac{(1+u)\max\{(1+d)S - K, 0\} - (1+d)\max\{(1+u)S - K, 0\}}{(1+r)B(u-d)}$$

¹ C_2 について厳密には $B * C_2$ を求める。これは安産資産の購入ないしは売却額を表す。

このとき、コール・オプションの価格 C は上で求めた値を代入することで次のように与えられる。

$$C = C_1 \cdot S + C_2 \cdot B$$

ここで求めた C はオプション価値を表し、原資産 C_1 単位と安全債券 C_2 単位の組み合わせによって求められる。

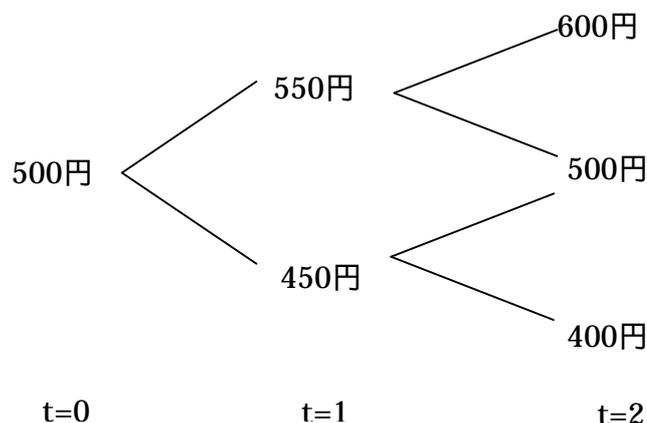
また、原資産の上昇する確率 p と下落する確率 $1-p$ はそれぞれ次のように与えられる。

$$p = \frac{r-d}{u-d} \qquad 1-p = \frac{u-r}{u-d}$$

原資産の上昇する確率 p と減少する確率 $1-p$ は「リスク中立確率」と呼ばれる。先の例では $p = 0.7$ 、 $1-p = 0.3$ となる。

2項1期間モデルの拡張とブラック・ショールズ式

上記の例は2項1期間モデルであった。このモデルは、現時点と将来の時点の2つの期間を対象とし、また確率も上昇と下落の2つが生起するものとした。このモデルは多期間に拡張することができる。例えば、2項2期間モデルや2項3期間モデルのように表される。例えば、2項2期間の原資産の変動は次のように表される。



2項2期間のケースも2項1期間モデルと同じ要領で解くことができる。すなわち、権利行使価格を設定し、安全債券をもちいて複製ポートフォリオをつくることで、オプションの価値を求めることができる。これは期間が n 期間に拡張しても同じである。つまり、2項1期間が1回の変動（上昇か下降かの変動）を2項2期間モデルが2回の変動を想定しているものであるから、2項 n 期間モデルでは、現時点（0期）から満期（ T 時点）までの間に n 回の変動が起こることと想定している。

このとき、かなり大雑把な表現をすれば、2項n期間モデルの時間の幅を短くし（つまり、n とし）各時点で瞬間的に変動が起こるものとした上で、中心極限定理を用いることでブラック・ショールズ・モデル（ブラック・ショールズ式）を導くことができる。具体的に、原資産価格の変化率（ dS/S ）は幾何ブラウン運動に従うものとする、現時点におけるコール・オプションの価値 C は下のように表される。

$$C = S \cdot \Phi \left(\frac{\log \frac{S}{K} + (r + \frac{1}{2} \sigma^2) T}{\sigma \sqrt{T}} \right) - K e^{-rt} \cdot \Phi \left(\frac{\log \frac{S}{K} + (r - \frac{1}{2} \sigma^2) T}{\sigma \sqrt{T}} \right)$$

C : コール・オプション価格

S : ($t=0$ 時点の) 原資産の価値

K : 権利行使価格

r : 安全債券の利率

T : 満期までの期間

σ : 原資産のボラティリティ

$\Phi(x)$: 標準正規分布の x 以下の確率 $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}u^2} du$

いま、藤田(2000)をもとに、次のような株式コール・オプションを考え、オプション価値を求めてみる。すなわち、

満期時の権利行使価格 $K = 15000$

現時点 ($t=0$)での株価 $S = 14799.14$

満期までの期間 $T = 0.06$

安全債券の利率 $r = 0.005$

ボラティリティ $\sigma = 0.261$

このとき、 $e^{-rt} = 1 - rt + \frac{1}{2}(-rT)^2 = 0.997$

$$\frac{S}{K} = 0.9866093$$

$$\log \frac{S}{K} = \left(\frac{S}{K} - 1 \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{S}{K} - 1 \right)^2 = -0.0134807$$

となり、これらの値を代入するとこのオプション価値は、 $C = 292.78$ となる。つまり、満期時の権利行使価格が 15000 円で現時点での株価が 14799.14 円、で満期までの期間が 0.06 である場合には、その権利を行使するためのオプション価値が 292.78 円という形で表すことができる。

3 . リアル・オプション・アプローチ の概要とその活用例

3. リアル・オプション・アプローチの概要とその活用例

金融オプションとリアル・オプション・アプローチ

2節では、2項1期間モデル、2項n期間モデル、およびブラック・ショールズ・モデルによるオプション価格の算出の方法をみた。リアル・オプション・アプローチは、このような金融のオプション評価の理論を経営の意思決定あるいは「柔軟性」などのような実物資産に対して適用したものである。例えば、プロジェクトの投資を行うタイミングについていつ行う、投資を行うという選択肢（オプション）を持つことによってどのくらいの価値があるのか、あるいはすでに行われている事業について撤退を考えているとすれば、その撤退を行うという選択権を持つことにどの程度の価値があるのか、といったことが検討される。

リアル・オプション・アプローチは、こうした選択権をあたかも金融のオプションの権利行使のようにたとえたものであり、金融（ここでは株式）のオプションとの対応は次のように与えられる。

@株式のコール・オプション

現在の株価
権利行使価格
満期までの期間
株価の不確実性

@リアル・オプション

期待キャッシュフローの（総）現在価値
投資にかかるコスト
機会がなくなる（先送りできる）までの期間
プロジェクトの不確実性

リアル・オプションで利用される経営の選択肢（オプション）

経営における選択権を金融のオプション評価のアプローチを適用したものがリアル・オプションである。山本（2001）によれば、リアル・オプションには、次のようなオプションが分析対象として取り上げられている。

- ・ 延期オプション（投資の実施の延期に関する選択権）
- ・ 拡大オプション（事業規模の拡大に関する選択権）
- ・ 縮小オプション（事業規模の縮小に関する選択権）
- ・ 撤退オプション（事業の撤退に関する選択権）
- ・ 段階オプション（投資を複数段階にわたって行う選択権）
- ・ 転用オプション（原材料などの変更を行う選択権）
- ・ 事業の一時中断・再開オプション（一時中断・再開に関する選択権）
- ・ キャンセル・オプション（受注した事柄をキャンセルする選択権）
- ・ 市場参入オプション（市場に参入を行うかの選択権）

ある投資決定においてリアル・オプション・アプローチを適用するためには、各市場で直面している状況をもとに、意思決定を行う主体がどのようなオプションを有しているのか、といったことがシナリオ作成の段階で検討される。

リアル・オプションにおいて考慮される諸変数

経営などにおいて意思決定を行う際の選択権を、金融のオプションの方法を用いて評価する場合、2項モデルを利用するのである、ブラック・ショールズ・モデルを利用するのである、それを行うためにはいくつかの項目が必要となる。コーブランド他(2001)は、リアル・オプションにおいて考慮しなければならない変数は以下の6つであるとしている。

リスクのある原資産の価値

リアル・オプションの場合は、投資するプロジェクトの価値などがこれに当たる。原資産の価値が上昇すれば、コール・オプションの価値が上昇し、プット・オプションの価値は減少する。この点は金融オプションと同様である。

ただし、金融オプションと異なる特徴もある。金融オプションの場合、原資産の価値は市場で決まるので、オプションの保有者は原資産の価値に影響を与えることはできない。しかしながら、リアル・オプションの場合、オプションの保有者はたいてい原資産の関係者でもあるため、原資産の価値に影響を与えることができるのである。このため、もし原資産の価値を上昇させることができるならば、オプションの価値もそれにつれて上昇させることができる可能性がある。

権利行使価格

コール・オプションでは資産を買うオプションを行使するときの支払額、プット・オプションでは資産を売るオプションを行使するときの受取額をさす。行使価格が上昇すれば、コール・オプションの価値が減少し、プット・オプションの価値が上昇するのは金融オプションと同じである。

行使期間

行使期間が長くなればなるほどその選択権であるオプション価値も上昇する。

リスクのある原資産のボラティリティ

原資産のボラティリティが大きくなればなるほど、そのリスクの度合いが高くなりリアル・オプションの価値は増加する。つまり、コール・オプションから得られるペイオフは、原資産の価格が行使価格を越えた部分から得られるため、原資産のボラティリティが大きければ大きいほど原資産の価格が行使価格を超える確率は高くなる。プット・オプションでは、権利行使価格を下回ったときにペイオフが得られるが、この場合も同様で、ボラテ

イリティが大きければ大きいほど、その価値が高くなると考えられる。

安全債券の利子率

安全債券の利子率が高ければ高いほど、オプション価値が高まる。投資を延期することによって投資コストの価値が上昇するためである。

オプションを保持している期間に流出する原資産の配当

オプションを保持している間に、原資産が配当をより多く行えば行うほど、行使した時点での原資産の価値が減少するために、オプション価値が下落する。

ところで最古のリアル・オプションの例としてしばしば取り上げられるのが、地中海のミロス島に住んでいた哲学者ターレスによる逸話である。彼はオリーブが豊作になるならば、通常の収穫の際と比較して、オリーブ絞り機を借りる値段が高騰することに着目した。そこで、オリーブが豊作になると予想したときに、たとえ豊作であったとしても通常の収穫の際の値段で絞り機を貸し出してもらえというように、絞り機の所有者との交渉に成功した。はたして、オリーブが豊作であると、彼は通常の値段で絞り機を所有者から借り、それを必要な人に市場の絞り機の価格で貸したのである。

この例において、リスクのある資産は、絞り機を貸し出すことで得られる収益となる。不確実性を決定するのは、オリーブの収穫量の変動であるが、実際の指標として現れているのは、絞り機の貸出料の変動であり、標準偏差として表される。権利行使価格は、ターレスの契約に書かれた貸出料であり、ここでは通常期の貸出量である。安全債権の利子率は、市場利子率に対応する。行使期間は収穫日であり、このオプションの価格はターレスが契約を書いた時点で絞り機の所有者に支払った金額である。

リアル・オプション・アプローチの適用例

リアル・オプションは不確実性の高い投資に関する評価に用いられることがある。具体例として、ベンチャー企業の評価や投資、医薬品開発、事業インフラへの投資などにおいて「柔軟性」を購入することを挙げる²。

ベンチャー企業の評価

独自製品を開発したいと考えているベンチャー企業があるとする。このベンチャー企業には独自製品の開発と製造を開始するために、まず 400 万ドルの初期投資が必要である。また独自製品の販売が順調になったならば、拡張のためにさらに 1200 万ドルの投資が必要であるとする。もしこの製品の販売が順調であったならば、競合他社と同等の収益率を上

² これらの例はアムラム、クラティリカ『リアル・オプション-経営戦略の新しいアプローチ』東洋経済新報社、2001 年 に述べられていたものを要約したものである。

げることが可能であると考えられている。しかしながら、この場合には、市場が飽和化しつつあるとも考えられ、したがって成長の余地がそれほどない可能性もあると考えられる。そのため、この会社には不確実性が高いと考えられる。

このような企業を評価するには、通常の NPV 法ではうまくいきにくい。なぜならば、この製品の売れ行きがどうなるかの予測には不確実性を伴うためである。NPV 法では 2 年後に 1200 万ドルの投資をすることは確実であるとして価値を計算する。しかしながら、もし製品の成長が予想よりも低かったならば、1200 万ドルもの投資に見合う利益が上げられない可能性もある。このような状態であるにもかかわらず投資が必ず行われると予想してこの企業を評価するのは現実的でないのである。

そこで、このような企業の評価には、次の投資が行われるか行われぬかの選択権があるものと考えられ、リアル・オプションの分析を行うことが妥当と思われる。オプションの原資産の価値やボラティリティは、競合他社の動向から推測する。行使価格は投資額である 1200 万ドルである。行使期間は 2 年後であり、リスク・フリー・レートは市場で観察できると考えられる。また、最初の 2 年間は投資期間であるので、配当はないと想定できる。これらを考慮に入れた上で、このオプションの価値が 400 万ドルを投資するに値するか否かを考慮することが可能となるのである。

医薬品開発

医薬品開発に関して NPV 分析を行ったとしても、ほとんどの場合はその正味現在価値 (NPV) がゼロ以下であり、投資の価値なしと判断されてしまう。その理由として、医薬品開発には、そもそもその医薬品の効能があるか否かという点に関して多大な不確実性があること、そして前臨床実験、臨床実験、新薬の販売によるマーケティング費用という 3 つの局面で多大な費用が必要とされることが考えられる。

このような特徴を持つ医薬品開発は、開発や販売に必要な金額を費やすか、それともその製品の開発・販売を停止するか否かを決定し続けるプロセスであると考えることができる。このような問題分析に当たっては以下の 4 つの不確実性を考慮する必要がある。

- 産業全体の価値指標：

市場のリスクがこれに当たる。規制の変更や保険の制度変更などがプロジェクトの価値に与える影響を考慮する必要がある。

- 開発が終了した製品の市場規模

その薬品の市場規模は、その薬品を必要とする患者の数や、一日あたりの投薬量、そして投薬日数によって決まる。開発当初はこの日数等は見込みでしかなく、不確実なものであるが、販売費用を投下することによりこの不確実性は解消される。

- 製品寿命内に必要となる費用

開発または販売期間中に何か問題が起こる可能性もある。このようなときは、費用の現在価値が上昇すると考えられる。これも医薬品開発に不可避な不確実性であるが、科学的・技術的リスクを考慮に入れるモデルを組み立てることでリスクを計量化することができる。

- 検査に合格する確率

すべての医薬品が検査に合格するとは限らない。だが、過去の経験から検査に合格するか否かについて予想することができる。

下にある3つのリスクをいかに軽減するか、そして、そのリスクをいかに取り込んだ価値評価を行うかが、医薬品開発におけるリアル・オプション分析適用の際の重要な考慮事項である。なお、医薬品開発では一度開発または販売を中止する決定を行った場合（つまりオプションを行使する決定を行った場合）、その決定を覆すことは不可能である。このことを投資の不可逆性と呼ぶが、この性質があるために、投資を中断（休止）状態にしておくオプションを持つ投資に比べて、投資価値自体が小さくなるという傾向がある。

事業インフラへの投資

ある住宅ローン供給会社の情報システム担当役員が、ローンの書類を光学的に読み取る機械の導入を提案した。この機会への投資提案は住宅ローンの伸び率が高いという楽観的な予測に基づいていた。しかしながら、実際にそれほど住宅ローンが伸びなかったときにはどうなるのか、という疑問が出されて、議論が紛糾していた。

この議論のもうひとつの問題点は、光学読み取り機械の導入が単なる書類処理の合理化にとどまらないという点である。この機械の導入は業務手順の見直しなどほかの投資も連動して初めて意味のあるものであることが認識されていたのである。また、ローン市場での競争優位を保つことで、ローンの証券化による収益の向上も見込まれることも判明した。しかし、事業の成長率がどうなるかは不透明であったため、光学と見取り機械の導入からローンの証券化までを一気に進めることについては躊躇する意見が出されたのである。

第1段階：いくつかの拠点で光学読み取り機械を導入する

第2段階：すべての事業所に光学読み取り機械を導入する

第3段階：住宅ローンを証券化する

市場の状況に応じて、これらの各段階で事業を中止するか、延期するか次の段階に進

むかの意思決定を行うとして、リアル・オプション分析を適用した。その結果、第 1 段階まではプロジェクトの価値があると判断されたので、プロジェクトは推進されたが、第 2 段階以降は市場環境がそこまでよくないと判断されたために、プロジェクトの実施が延期された。このように、ひとつの投資がほかの投資の呼び水となるような場合にも、リアル・オプション分析が有効であることが示されたのである。

「柔軟性」の購入

ある会社が蒸気を発生させる産業用ボイラーを購入しようとしていた。産業用ボイラーの燃料には、天然ガスと燃料油との 2 種類があった。これに対して、購入可能な産業用ボイラーは天然ガスのみのも、燃料油のみのも、双方を利用できるものの 3 種類を選択できた。なお、ボイラー自身の値段は天然ガスのみのもが一番安く、次に燃料油のみのも、最後に双方が利用可能なものであった。また、1 単位の熱量を得るのに必要な燃料の平均費用は燃料油のほうが安い、燃料油も天然ガスも価格変動が激しいため、常に燃料油のほうが有利とはいえないのが現状である。

このような場合に双方が利用可能なボイラーへの投資は、「柔軟性」を購入したことになる。このように柔軟な投資がどの程度の価値を持つかがここでの関心事項となる。この投資がガスのみのもに投資する際に比べて有利か否かはまず投資期間の最後の時点で、ガスを利用したときの価値を求めることが必要となる。そして、その前の期において、ガスが利用されていたのか、それとも油を利用していたのかについての価値を求めることで、どちらがその時点で最適であり、そのときの価値はいくらかについて求めることができる。これを現時点まで繰り返していけば、現時点において「柔軟性」をもつことにどの程度の価値があるかを求めることが可能になる。

以上、2 つの例をもとにリアル・オプションが適用されたケースを紹介した。次の節では、上の活用例に習って、鉄道投資にかかるリアル・オプションの適用例を紹介する。

4 . 鉄道投資へのリアル・オプション・ アプローチ適用のシナリオ作成例

フリーゲージトレインと整備新幹線のオプション価値

4. 鉄道投資へのリアル・オプション・アプローチ適用のシナリオ作成例 フリーゲージトレインと整備新幹線のオプション価値

リアル・オプション・アプローチは金融のオプション理論を経営の意思決定など、いわゆる実物資産（リアル・アセット）に対して適用したものである。本節と次節では、鉄道投資に対してリアル・オプション・アプローチがどのように適用できるかについて、2つの仮想的なシナリオを描くことによって紹介する³。

第1の例は、フリーゲージトレインと整備新幹線の投資を考慮したシナリオである。現在フリーゲージトレインという、新幹線でも在来線でも車輪の幅を変えることによって直通可能な列車の開発が進行中である。この技術を利用した新在直通列車の運転の初期投資に必要なコストは、現在山形新幹線や秋田新幹線で実現しているミニ新幹線と比較して、著しく低いと考えられる。これに対して、ミニ新幹線の特徴である新在直通によって時間が短縮されるだけでなく、乗り換え回数が減少するという効果はほとんど変わらないという点でこれまでのミニ新幹線より費用対効果の高い技術であると考えられる。

この技術を使った新在直通を行うために必要となるコストは、直通列車の車両そのものの製造費、新幹線と在来線をつなぐための構築物の2つが最も大きなものであると考えられる。ここで実際に投資した後に仮に需要が少なく新在直通を撤退するというケースを考えてみる。すると、³については他線区への転用が可能という点で sunk cost は小さいと考えられる。これに対して⁴についてはこの施設を実際に使用することがなくなるという点で、完全に sunk cost になると考えられる⁴。

しかしながら、現在のミニ新幹線と比較して、在来線区の大規模改修という sunk cost が無い分、圧倒的に sunk cost は小さくなると考えられる。このため、現時点ではそれほど需要が大きく無いと考えられる路線に試行的にフリーゲージトレインを導入して需要を喚起し、実際に需要が大きければそのまま継続的に運転を行い、需要がそれほど大きくないならば撤退を行うというオプションをとることが可能になると考えられる。このように不確実な情勢に対して、どの時点で参入・撤退と行えばよいのかについて、リアル・オプションの枠組みを応用することで分析を行うことが可能になると思われる。

例えば、山形新幹線開業当時にこのフリーゲージトレインが利用可能であったと仮定してみよう。山形新幹線の開業に際しては、福島 - 山形間の改軌を初めとした様々な施設改良が必要であった。このために一時的な運休や在来線との直通が不可能になるというコストを払って、初めて新幹線が開業したのである。しかしながら、このコストを埋め合わせで余りある分のベネフィットがあったことは、その後車両の増結が行われたり、秋田新

³ このシナリオは仮想的なものであり、利用される用語および数値は現実のそれと必ずしも対応するものではない。また、以下で紹介する鉄道のリアル・オプションの適用に関する2つのシナリオはいずれも奥田真也氏（大阪学院大学）のアイデアに基づく。

⁴ ただし、もしこの施設が他の路線との直通に利用されたとしたならば、その路線への直通運転に利用できるため、sunk cost は実質的に小さくなるだろう。

幹線が後に開業したこと山形新幹線の新庄への延長開業が行われたことから予想される。

ところで、この新庄延長に際しても改軌を伴う大規模な施設改良が必要となると考えられる。このような新幹線の延長は山形まで路線が開通していたと言うことがあって初めて成り立ったものであり、また仮に需要が発生しなかったならば行わないことが可能であったという点でオプションとして考えることが可能であろう。

このとき、このオプションにおいては、乗客の人数あるいはそこから得られる旅客収益が原始さんに対応すると考えられ、オプションの行使料が延長を行うために必要であった施設改修費や車両増備のために必要な費用であると考えられる。しかしながら、フリーゲージトレインがもしこの時点で利用可能であったならば、オプションの行使料は車両増備のために必要な費用のみに抑えることが可能であったため、より少ない行使費用でこのオプションを行使することが可能であると思われる。

では、今後フリーゲージトレインが導入される可能性があると考えられる区間を例にとってフリーゲージトレインの導入効果をきわめて簡便な形でリアル・オプションを用いて分析してみよう。ここでは博多駅での山陽新幹線と鹿児島本線の熊本・鹿児島方面への連絡用としてフリーゲージトレインを導入した場合にどのような効果が得られるのかについて以下のようなシナリオがあると想定する。この際整備新幹線の整備による熊本方面への延長の場合により得られるコストとベネフィットの比較を試みる。

1 熊本・鹿児島方面

フリーゲージトレイン方式での整備の場合、必要な投資は博多駅周辺の連絡設備の設置と新たな車両増備となる。このために必要なコストは整備新幹線を新たに建設するコストよりは遙かに小さいと考えられる。しかしながら、得られるベネフィットは熊本から博多以遠への乗り継ぎ時間の短縮のみであり、九州内の利用者にとってはそれほど大きなベネフィットが得られない。但し、八代で現在建設中の整備新幹線と在来線の連絡設備を設置した場合には、鹿児島と博多の時間短縮効果が望めるため、整備新幹線の前線建設よりベネフィットが減少するとはいえ、ある一定のベネフィットが得られると考えられる。

この一方で整備新幹線を整備する場合には、少なくとも熊本までの建設が必要となり、フリーゲージトレインよりは多大な初期投資が必要となる。また在来線と新幹線双方の維持が必要であるため、運営費用もフリーゲージトレインを整備する際よりも高くなると考えられる。しかしながら、これにより鹿児島本線において特急に利用していた分の線路容量が空くため、この分を他の列車に回すことが可能になるという余地が生まれる。この余地は 長崎・佐世保方面の列車増発という可能性、と 博多周辺のローカル列車増発という可能性に振り分けることが可能となる。

ここで、については後で考察を行うこととし、についてはリアル・オプションの枠組みによって以下のように分析できる。この分析は、拡張オプションの枠組みで考察されるものである。これは、福岡周辺のローカル輸送を原資産とし、列車の増発による投資を

オプションの権利行使料とするようなオプションと見ることができる。このような投資の余地は在来線を用いるフリーゲージトレインでは無く、整備新幹線建設によるオプションだと考えられる。

2 長崎・佐世保方面

まずフリーゲージトレインを建設した場合の分析を行う。熊本方面と比較して新幹線への直通需要が大きくないと考えられるので、当初は現状と同様に在来線特急を走らせることとなる。このような場合には、フリーゲージトレインによるベネフィットもコストも生じない。しかしながら、フリーゲージトレインを導入すると実際に需要が大きくなるか、あるいは大きくなったとき（繁忙期）だけこの区間に直通運転を行うという余地が生まれる。この余地はリアル・オプションの枠組みで考察することが可能である。なぜならこの投資の原資産は博多以遠から長崎・佐世保方面への直通需要であると考えられる。この需要は長崎・ハウステンボスなどの観光需要が大きいと考えられるため、季節変動だけでなく、観光地の人気の変動により不確実性が高いと考えられる。この場合は、拡張および撤退の両オプションを用いた分析の枠組みが有効である。

まず、拡張オプションについて考えてみよう。このケースでは既に博多駅での設備は建設されているので、この設備建設には初期投資がかからない。つまりこの点ではオプションの行使料はゼロである。しかしながら、実際に直通列車を走行させるとなると、車両増備が必要となり、これにかかるコストがこの投資に必要なオプションの投資料であると考えられる。

次に撤退オプションを考えてみる。この場合も既に熊本方面への利用に設備は用いられているのでこのオプションの行使料もゼロであると考えられる。これに対して、撤退を行うことで余剰車両が発生するので、もしこの車両を他用途に利用できないならば廃車にコストが発生すると考えられる。なおこのような前提の下で分析を行うと、ベネフィットの合理的計算が可能だけでなく、どのような需要になったときに直通サービスを開始し、どれだけ需要が落ち込めば直通サービスを止めるべきかという分析を行うことも可能になるという副産物も得られる。

これに対して整備新幹線を整備するとしたときこの方面へのコスト・ベネフィットを考えてみよう。この場合、長崎方面へは直通列車は運転できない。このため、博多までの需要に応じるため博多までの直通列車は現状と同様に必要となろう。博多以遠の需要に対しては、鳥栖での乗り換えなどが考えられるが、乗り換えの手間が残りがつ新幹線に乗る区間がそう長くはないことから、ベネフィットはそれほど大きくないと考えられる。その一方でコストは現状と同様である。ただし、現状よりも列車本数を増加させる余地は増え、その余地はリアル・オプションの枠組みで考察することが可能であろう。この場合は、長崎本線全体の需要が原資産と考えられる。そして、オプション行使料は増発に必要な車両の増備分の製造費用が対応する。このような増発というオプションは在来線を用いるフリ

ーゲージトレインでは難しく、整備新幹線建設独自のオプションであると考えられる。

さらに整備新幹線建設は長崎方面への新幹線の延長というオプションは生み出す。この場合は、長崎方面への増発オプションと原資産は同じであると考えられる。その一方でオプションの行使料として新幹線建設コストを考慮に入れるためコストが高くなると考えられる。ただし、時間短縮というベネフィットは高くなると考えられる。

フリーゲージトレインと整備新幹線のベネフィットとコストの比較

	フリーゲージトレイン		整備新幹線	
	ベネフィット	コスト	ベネフィット	コスト
導入による直接の効果	博多以遠から熊本方面への時間短縮	設備投資（小） 車両製造費	熊本方面の時間短縮	設備投資（小） 車両製造費
博多周辺の増発オプション	なし	なし	列車増発による 利便性向上	車両製造費
長崎方面への増発オプション	博多以遠からの 時間短縮	車両製造費	列車増発による 利便性向上	車両製造費
長崎方面への撤退オプション	柔軟な撤退可能	廃車費用	なし	なし
長崎新幹線建設オプション	なし	なし	長崎方面への時間短縮	設備投資（大） 車両製造費

フリーゲージトレインと整備新幹線、各々のシナリオをまとめたのが上記の表である。このように比較してみると、別線を新たに作り線路容量そのものを大きくするという点から、整備新幹線の方が多様なオプションは手に入れられると考えられる。しかしながら、少額による投資で本来の投資目的ではない区間に対するベネフィットが得られる点、そして本来の投資目的でないところからは撤退が容易である点の2点がフリーゲージトレインの特徴であることがわかる。

数値例

リアル・オプションの鉄道に対する適用可能性の例をより詳しく見るために。以下ではフリーゲージトレインは柔軟な参入・撤退が出来るという特性に対する価値について簡単な数値例を用いて考察を行うことにする。

ここでは、設備の大幅な公開なしに参入ができるというフリーゲージトレインの柔軟性を評価するために、現状では投資を行う価値がないとしても、将来に参入を行う余地がある時にその余地の価値がどの程度あるかについての簡単な評価を行うこととする。ここでは、参入にかかる費用としては、車両増備費用のみを想定する。これは、既に新幹線と在来線の連絡設備があることを前提に、それに追加的に列車を走らせるというオプションを

本説例では想定するためである。

ここで車両増備のための費用(I)は簡単化のために 120 億円と仮定する。次にこの列車の運用により得られるベネフィットであるが、当期すぐに走らせることによるベネフィット(B)は 2 億円/年と仮定する。ただし、このベネフィットは対数正規分布しているものと仮定し、そのリスクに当たるボラティリティ () 15%であると仮定する。また、このプロジェクトに対してかかる利子率(r)は 2%で変動しないものと仮定する。このような仮定をおいた場合、現状ではこのプロジェクトの割引現在価値は 2 億円 / 2% = 100 億円であり、このプロジェクトを実施する価値はないと判断できる。ただし、これらの数値はあくまでもりあるオプションの適用可能性を紹介するためのものであり、したがって仮想的なものを用いていることに注意されたい。

ここで、3 年後においてこの投資から得られる割引現在価値が正であるならば、新たに車両増を行うことで、新たな線区に列車を増発できると仮定する。なお、簡単化のため、列車増発の機会はこの時のみで、それ以前でもそれ以後でも増発を行う意思決定は行えないものとする。このようなときに、この増発の意思決定は金融オプションでいうところのコール・オプションと同様の意思決定問題に直面していると考えることが出来る。なぜならば、

この意思決定は行わないことも可能である。

行使の意思決定を行わない時には、この意思決定者は追加コストがかからない。

意思決定の判断基準は、その意思決定によって得られる資産の価値が正の時である。

このとき、フリーゲージトレインのように将来に柔軟性を備えた投資の価値に関しては、前節で紹介した金融のコール・オプションの価値を求めるブラック・ショールズ・モデルから解を求めることが可能になる。すでに述べたように、ブラック・ショールズ・モデルとは、次のような式である。

$$C(S,T) = S\Phi(d_1) - Ke^{-rT}\Phi(d_2)$$

S = 原資産の価格

K = 行使価格

r = 利子率

T = 投資意思決定期間までの時間

σ = ボラティリティ

$$d_1 = \frac{\log(S/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\log(S/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$\Phi(\quad)$ = 標準正規分布の分布関数

この設例では、原資産は投資より得られるプロジェクトの割引現在価値になるので、現時点では 100 億円である。次に行使価格はこのプロジェクトにかかる費用なので 120 億円である。安全債券の利子率は 2%、ボラティリティ 2%、公式カンマでの期間は 3 年というのは、既に仮定したとおりである。この数値を代入すると、この投資の価値は約 18.3 億円であると計算することが出来る。つまり、現時点で投資を行うことは価値が無くても、柔軟な意思決定を行うことが可能なだけで、その投資には価値があることがわかる。

5 . 鉄道投資へのリアル・オプション・ アプローチ適用のシナリオ作成例

モーダルシフトの可能性も考慮した南方貨物線の価値

5. 鉄道投資へのリアル・オプション・アプローチ適用のシナリオ作成例 モーダルシフトの可能性も考慮した南方貨物線の価値

第2の仮想的な適用例として、モーダルシフトを考慮した貨物線に対するオプション価値のシナリオの作成について検討する⁵。周知のように、モーダルシフト政策とは、道路貨物輸送から鉄道や海運に貨物輸送の転換を促す政策のことを指す。

モーダルシフトの受け皿となるべき輸送機関であるはずの鉄道には、しばしば輸送力が不足しているとの指摘がなされる。特に民営化各旅客会社がサービス向上のために、短編成・高頻発運転を行うようにダイヤを組み立て始めた。この結果、スピードが遅い貨物列車を増発する余地が減少している。この中で特に隘路になると指摘されているのが名古屋付近である。日本の大動脈である東京 - 大阪の東海道区間のうち、東京周辺と大阪周辺では複々線化が終了しており、貨物と旅客はそれなりに分離して運転されている。しかしながら、名古屋付近のみは複々線化が行われていない、このため、この区間で貨物列車を増発する余地が小さくなっているのである。

この問題を解決するものとしてしばしば取り上げられるものに南方貨物線がある。南方貨物線は、笠寺から名古屋貨物ターミナルを経由して、名古屋へ抜ける貨物線として計画されているものである。これに名古屋から稲沢貨物ターミナルまでの現在ある貨物線とを接続させるとともに、笠寺から大府までの複々線化を行うことで、名古屋周辺を実質的に複々線化することを計画していた。

この問題に対する難点の1つは、JR貨物のみでは整備に必要な資金は調達できないという点にある。しかしながら、南方貨物線の開業により、JR貨物だけではなく他の事業体にも正の効果が及ぶ可能性がある。ここでは、その他の事業体をより直接的なメリットを受けるという意味でJR東海を例に挙げ、JR東海が享受するベネフィットをリアル・オプションの枠組みを使い分析を行う。

ここでは、JR東海に発生すると考えられるベネフィットの1つが旅客列車の増発の余地が増えるというオプションであると考え。このオプションの対象としては、2つ考えられる。1つは、別線化による東海道本線そのものの増発に関するオプションである。豊橋から大垣まではJR東海の在来線の中では最も列車密度の濃い地区の1つである。また、この区間では名鉄という対抗路線もあり、速度と高頻度運転によるサービス競争が激化している。これらの高頻度運転のネックになっているのが貨物列車であり、これが別線に移転することでさらなる増発の余地が生まれることとなる。また、現在のところ武豊線は朝夕のラッシュ時を除いて名古屋への直通運転は行っていない。この要因の1つには武豊線が気動車によって運転されているため、昼間の電車による高速度・高頻発運転の妨げになると考えられていることがある。しかしながら、南方貨物線の建設により、貨物列車が移転するこ

⁵ 前節と同様に、このシナリオは仮想的なものであり、利用される用語および数値は現実のそれと必ずしも対応するものではない。

とで線路容量にも余裕が生まれ、それによりたとえ電車と比較して加減速性能に劣る気動車を用いたとしても、名古屋までの直通運転を行うだけの線路容量は確保できると考えられる。

しかしながら、これらの増発によって得られるベネフィットは現在の環境下ではそれほど大きくないかもしれない。そのような場合にはこのベネフィットをもとにした費用分担はJR東海にとっては過大であると感じられるであろう。一方で、環境の変化などによりこれらの投資を行う必要性が将来に生じる可能性があるとするならば、それは南方貨物線から得られるベネフィットであると考えられる。このような可能性を考慮するための分析がリアル・オプションによる分析の枠組みを利用することで可能となる。この枠組みを用いて分析するため次のようなプロセスを踏む必要がある。

オプション1 東海道線そのものの増発オプション

1. 今後の平均的な需要の増減の推定

このオプションの原資産は、東海道線の特に大垣～名古屋～豊橋における潜在的な需要であると考えられる。この区間はJR東海の在来線の中では最も人口密度の高い区間の1つである。このため、この地区の経済成長予測と同程度は需要の成長があるとも考えられる。

2. 需要動向の変動を推測

このオプションの潜在的な不確実性の1つは他交通機関との競争が考えられる。特に名鉄とはこの区間のほとんどで併走しており、現在でも熾烈な競争が起きている。そこで、名鉄が何らかの効果的な手を打ってくるのであれば、この区間のJRの潜在的な需要は減少するであろう。逆に効果的な手を打ってこないのであれば、潜在的な需要は増加すると考えられる。また、経済成長そのものも不確実性を伴うと考えられるので、不確実性がどの程度あるかについて推測を行う必要がある。

3. 増発にかかるコストを計算する。

実際に列車の増発を行うには車両の増備とそれに伴う車両基地の拡充必要となる。これは主に初期投資として必要なものであり、これが本オプションにおける行使料として考えることができる。

4. 増発にかかるコストを行使価格とするオプションの価値とオプションの最適行使時期を求める

以上、1から3の手続きを踏むことにより、各時点での潜在的な需要から得られる潜在的なプロジェクト価値を推計することが可能である。もし現時点でこの価値が権利行使価格に当たる投資費用を上回っていなかったとしても、将来投資を実施するオプションを保有することは、将来の収益源を確保するという意味での価値が存在すると考えられる。この

額がJR東海にとって南方貨物線の建設により得られたベネフィットの1つであると考えられる。

オプション2 武豊線の名古屋直通オプション

1. 今後の平均的な需要の増減の推定

このオプションの原資産は、武豊線沿線から名古屋へ向かう潜在的な需要であると考えられる。武豊線からは現在でもラッシュ時には名古屋直通が行われていることからわかるように、大きな通勤需要があるものと考えられる。また、中部国際空港の建設により知多半島そのものの活性化も見込まれるなどを考慮に入れると、この地域の成長余地はあると考えられる。

2. 需要動向の不確実性を推測

このオプションの潜在的な不確実性の要因としては、東海道線のオプションと同様に他交通機関との競争があるが、それ以外にも中部国際空港の存在そのものが不確実性の要因となりうる。空港による経済効果は、それが間接的なものであるが故に、必ずしも予測通りとはならない。このため、このように予測通りの経済成長とはならない程度を不確実性として織り込む必要があると考える。

3. 増発にかかるコストを計算する。

本オプションでもオプションの行使料は、実際に列車の増発を行うには車両の増備とそれに伴う車両基地の拡充必要となる。しかしながら、この段階では武豊線自体の設備の抜本的更新を考慮には入れていないので、それほどコストは大きくならないと想定できる。

4. 増発にかかるコストを行使価格とするオプションの価値とオプションの最適行使時期を求める

以上、1から3の手続きを踏むことにより、各時点での潜在的な需要から得られる潜在的なプロジェクト価値を算出することが出来る。この場合もこのオプションの価値が、JR東海にとって南方貨物線の建設により得られたベネフィットの1つであると考えられる。

5. さらなる増発・設備更新オプションの発生

JRの積極的な投資により平行する民鉄から顧客を奪った例はしばしばある。このような場合には、設備更新を伴った増発を行うことにより、さらなる収益を挙げる可能性が発生すると考えられる。つまり、一段階目のオプションを行使することにより発生した、二段階目のオプションであると考えることが出来る。

この場合も原資産は、武豊線沿線から名古屋へ向かう潜在的な需要であると考えられる。このため、将来的な成長率や不確実性の予測については、一段階目におけるオプションの

推測の時に用いた数値をそのまま適用できる。これに対して、オプションの行使料に当たる投資水準に関しては設備の抜本的な更新が必要となると考えられるため、かなり高い水準になると考えられる。このため、この投資をすぐに実施することは得策でない可能性は高いと考えられるが、この可能性をオプションとして保有することで、一段階目のオプションには単にそのオプションとしての価値だけでなく、追加的な価値があると考えられる。

以上、鉄道投資に対するリアル・オプション・アプローチの適用可能性を見るために、2つの仮想的なシナリオの作成例を示した。次の節では、このアプローチを実際に適用する際に生じるであろういくつかの問題点を検討する。

6 . リアル・オプションの 適用における諸問題

6. リアル・オプションの適用における諸問題

4 節と 5 節では 2 つの仮想的なシナリオを作成した。これら 2 つの例が示すように、リアル・オプション・アプローチを適用する場合、分析対象になる事例について何らかのシナリオを描くことが必要となる。その際、実物資産における選択権（リアル・オプション）となるべきものを考慮し、推定に必要なデータを集めたうえで、2 項モデルあるいはブラック・ショールズ・モデルを用いて、オプション価値を求めるというプロセスがとられる。しかし、仮想的なケースではなく、実際にこれらのプロセスを経てリアル・オプションの価値を評価するにあたっては、次のような問題点があると考えられる。

第 1 に、どのような事例にリアル・オプション・アプローチを適用するのが適切かという問題がある。例えば、経営などの意思決定に関してはさまざまな選択や意思決定を行う局面が存在する。このうち事業全体にさほど大きな影響を与えないような意思決定ならば、そこにリアル・オプション・アプローチを適用しても事業に大きな影響を与える価値は得られないであろう。したがって、リアル・オプション・アプローチによる評価が全体的な投資決定などを判断する上で有効なケースに対してこのアプローチを行う必要がある。

第 2 に、シナリオ作成の困難さがある。すなわち、ある種の意思決定ないしは選択権の問題が重要であるとして、それを評価するためにシナリオ作成する際、あまりに単純なモデルを設定すれば、それは現実からかけ離れてしまい、オプション価値の推計値はあまり大きな意味がなくなる恐れがある。一方で、より現実を反映した複雑な（例えば意思決定の段階が多い）シナリオではリアル・オプションによる価値の算出が困難になったり、解を得ることができなくなる恐れがある。

第 3 に、オプション価値を求めるための数値データのアクセスの問題がある。金融のオプションの評価では、例えば株価のようなデータが必要であるがそれらは比較的入手しやすいと考えられる。

それに対して、リアル・オプション・アプローチを適用する場合、いくつかのシナリオではその事例特有の指標が求められることがある。このとき、それらのデータ（ないしは代理変数）をどのように設定し入手するか、ということが問題になる。つまり、リアル・オプション・アプローチを適用するためには、それは 2 項モデルであれブラック・ショールズ・モデルであれ、オプション価値を求めるために必要な諸変数、つまり権利行使価格にあたる変数やボラティリティにあたる変数などを設定して、それらのデータを得る必要がある。しかし、それらのデータを入手したり、あるいはデータ自身を推計することは時として困難を伴う。

例えば、4 節で列車運行にかかわるベネフィットに不確実性が伴うと想定し、そのベネフィットのボラティリティに仮想的な値をあててオプション価値を求めた。もし現実これを適用するには、ベネフィットのボラティリティを推計する必要がある。しかし、その推計が容易でないことは想像に難くない。

第 4 に、設定したシナリオが、ブラック・ショールズ・モデルなどの想定する諸仮定にかなっているかという問題がある。例えば、先の例の車両運行のベネフィットについて、そのボラティリティが対数正規分布であると仮定したが、実際にベネフィットがそのような仮定を満たしているかは別途検討する必要があるかもしれない。

このようにリアル・オプションは、NPV 法ないしは DCF 法に比べて客観的な数値を得にくいという問題がある。鉄道分野に対してリアル・オプション・アプローチを適用する場合も同様にこうした問題を考慮する必要がある。

7 . まとめ

7. まとめ

本報告書では、不確実性下において投資決定などいわゆる実物資産の意思決定における選択権ないしはオプションの価値の評価方法として、リアル・オプション・アプローチを紹介し、鉄道分野の適用可能性について検討した。

リアル・オプション・アプローチは、金融のオプション理論を実際の意思決定に適用したものであり、その価値の推計が市場価値と関連付けられるという形で意味をもつ。しかしながら、そのオプション価値の推計に当たっては適切なシナリオ作りの問題や、推計に必要な諸変数の求めること(ボラティリティ等の推計)などの問題があることを指摘した。

ところで、現実の投資評価において、特に公的な投資決定においてこのアプローチを利用することは、例えばベネフィットをキャッシュフローに対応させること等によって可能であると思われる。しかしながら、前節で指摘した挙げた問題からもリアル・オプション・アプローチによって導出されたオプション価値を直接的に公的な政策判断に適用するにはある種の注意が必要と思われる。

しかし一方で、投資決定の問題にはとくにそれが非可逆的かつ大規模なものであれば、リアル・オプション・アプローチにおける選択権(プロジェクトの実施、延期等)の価値はたしかに存在し、その価値は有意な影響を与えると考えられる。この場合、適切なシナリオを描いてオプション価値の推計を行い、それをプロジェクトの実施等の意思決定の判断材料にすること自体は有効であると思われる。とりわけ、鉄道分野に関していえば、鉄道投資の規模の大きさやその参入・退出の意思決定に関するコストの存在などの要因から、投資判断の指標のひとつとして、リアル・オプション・アプローチが適用可能な余地はあると思われる。ただし、現実に行うにあたっては、繰り返しになるが、適切なシナリオづくりとそれにもとづく適切な方法での推計を行うことが求められる。

参考文献

< 参考文献 >

- コーブランド、アンティカロフ(2001)『【決定版】リアル・オプション』東洋経済新報社.
藤田岳彦(2000), 『これでなっとく金融数学の基礎知識』講談社 .
マーサ・アムラム、ナリン・クラティリカ(2001), 『リアル・オプション』東洋経済新報社 .
森 真、藤田岳彦(1999), 『確率・統計入門』講談社 .
山本大輔(2001), 『リアル・オプション』東洋経済新報社 .
Dixit,A.K. and Pyndick, R.S.(1994), Investment Under Uncertainly, Princeton University Press. (邦訳：川口有一郎、谷下雅義、堤盛人、中村康治、長谷川専、吉田次郎訳(2002) 『投資決定理論とリアルオプション - 不確実性のもとでの投資 』エコノミスト社 .)
Trigeorgis,L.(1996), Real Options, MIT Press.(邦訳：川口有一郎、前川俊一、竹沢直哉、山口浩訳(2001) 『リアル・オプション』 エコノミスト社 .)

参考資料

参考資料

不確実性下の意思決定： リアル・オプション・アプローチと 鉄道分野への適用可能性

～ 概要報告 ～

手塚 広一郎
福井大学 教育地域科学部

目次

1. はじめに
2. 不確実性下の投資決定とリアル・オプション・アプローチ
3. オプション取引とその理論
4. リアル・オプション・アプローチとその活用例
5. リアル・オプション・アプローチの鉄道分野への適用可能性
6. まとめ

2

1. はじめに

- 本報告では、不確実性下の投資決定に関連して、リアル・オプション・アプローチの概要および適用例を説明し、その上でこのアプローチの鉄道分野への適用可能性を検討する。

3

2. 不確実性下の投資決定と リアル・オプションアプローチ

- 不確実性とは何か？
 - (大雑把に言って) 将来の起こり得る事象が明らかではないことの総称である。
 - 分布の既知・未知でリスクと不確実性を使い分けることもある。
- リスクとは何か？ - 2つの解釈
 - 不確実な事象が実現した結果として生じる損失の期待値を表す。
 - 不確実な状態 (分散、標準偏差) を表す。

4

投資決定のルール NPV (Net Present Value)法

NPV法 (正味現在価値法)による投資決定

将来の (期待) キャッシュフローを割り引き、その正味現在価値NPVを求め、

NPVが0以上 ならば、投資を行う

NPVが0以下 ならば、投資を行わない。

5

NPVの計算式

$$NPV = \frac{CF_1}{(1+r)} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} - I$$
$$= \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I$$

CF_i 第*i*期のキャッシュフロー

I : (初期) 投資コスト

r 割引率

6

従来のNPV法における不確実性への対処法

- 期待NPVを用いる (E [NPV])
- 割引率 r をリスクに応じて調整する。
 - Risk adjusted discount rate “ k ”を用いる。
 - k (リスク調整済み割引率) = $r + \text{プレミアム}$
 - プレミアムにはCAPM (資本資産評価モデル) などを利用

7

この方法の問題点

- 各期間のリスクが同じ (k が一定) と仮定されている点
 - 長期にわたってリスク構造が変化しないという仮定は厳しい。
 - リスクに対する対応可能性 (経営の柔軟性) の価値の組み込み。

8

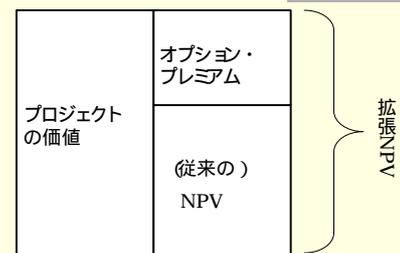
リアル・オプション・アプローチ

- 将来にわたって経営の「柔軟性」等の選択肢 (オプション) の考慮
 - 「非可逆的」な投資 (あるいは意思決定) では「これから意思決定を行う余地がある」ということに価値が生じる。
 - NPVにこのオプションの価値 (オプション・プレミアム) を加える。

9

拡張NPVのイメージ

(出典 山本大輔著「入門:リアル・オプション」東洋経済新報社)



10

リアル・オプション・アプローチの対象となる経営の選択肢 (オプション)

- 延期オプション (プロジェクトの1年延期等)
- 拡大オプション
- 縮小オプション
- 廃棄オプション
- スイッチング・オプション
- 成長オプション
- 事業の一次中断・再開オプション 他

11

オプションの評価方法

- 「選択肢をもつ」ことの価値の評価方法に、大雑把に言って2つのものがある。
 - **金融オプション取引の評価方法を援用したもの**
 - CVM (Contingent Valuation Method)等を利用したもの (環境評価に用いられる)
- リアル・オプション・アプローチは前者に該当する。

12

リアル・オプション・アプローチとは？

- リアル・オプション・アプローチ
金融のオプション価格の理論等を用いて
実物資産のオプションの価値を評価
- 以下、金融オプション価格の理論を紹介する。

13

3. オプション取引とその理論

- オプションとは何か？
 - 金融先物取引
 - ある金融商品を将来の時点(満期)に現在の時点で決めた価格で受け渡しをする取引
 - オプション取引
 - 先物取引に取引を実行するか否かを選択権をつけた取引

14

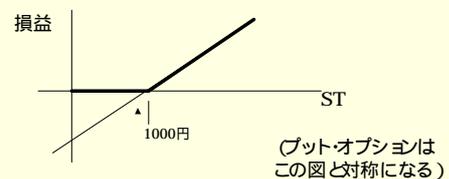
オプションの種類

- コール・オプション
 - 将来の時点(満期)において原資産(株式など)を現時点で決めた価格で「買い取る」権利
- プット・オプション
 - 将来の時点(満期)に原資産を現時点で決めた価格で「売却する」権利
- オプションは選択権なので権利を行使しなくても良い。

15

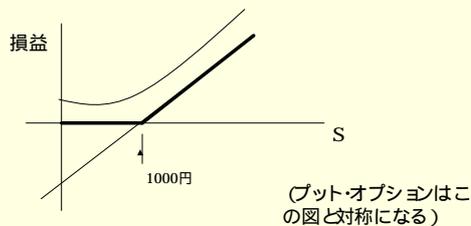
株式のコール・オプションの例

- A社の株式を3ヶ月後に1000円で買い取る権利を考える。
- 3ヶ月後の株価をSTとする。



16

コール・オプションの価値



17

コール・オプションの式での表現

コール・オプション買いの損益

$$= \begin{cases} ST - K, & ST \geq K \\ 0, & ST < K \end{cases}$$
$$= \max\{ST - K, 0\}$$

S: 現時点での価格 K: 権利行使価格、
ST: 満期時の価格

18

アメリカン・コール・オプションと ヨーロピアン・コール・オプション

- アメリカン・コール・オプション：
オプションが満期日以前にも行使可能なもの
- ヨーロピアン・コール・オプション：
オプションが満期日にのみ行使可能なもの

19

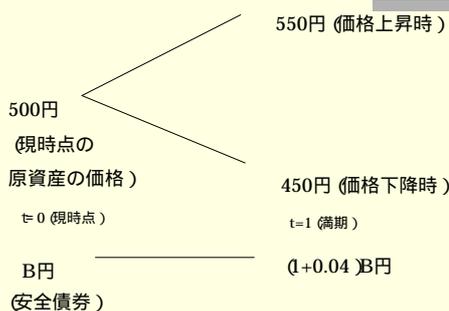
2項モデル (2項1期間モデル)

(数値の出典 山本大輔著 入門「リアル・オプション」東洋経済新報社)

- オプションの価格形成の仕組みを把握するために、次のようなモデルを考える。
- 期間は1期間 (0期と1期)とする。
- 0期 (現時点)の原資産の価格 (例 株価) 500円とする。
- 1期 (将来の時点 (満期)) 例えば1年後)の価格は上昇すれば550円、下落すれば450円になるとする。
- この原資産を1年後に510円で購入するオプションを考える。
- 安全債券の利子率 (リスク・フリー・レート)は4%とする。

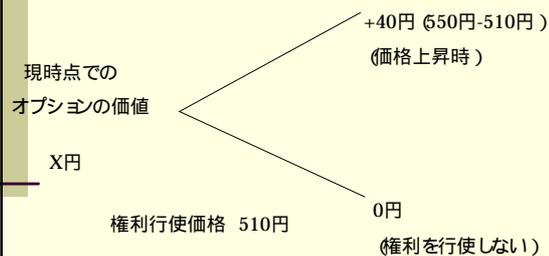
20

図による表現



21

オプションの収支



22

複製ポートフォリオの概念

- この資産の売買と安全債券の利子率で資金を借り入れをすることによってこのオプションを複製する。
- 現時点において、原資産をC1単位、安全債券をC2単位それぞれ買い付けることにして、それらをコール・オプションの満期時のペイオフに一致させるように複製する。

23

$$550 \times C1(\text{単位}) + 1.04 B \times C2(\text{単位}) = 40$$

(価格上昇時)

$$450 \times C1(\text{単位}) + 1.04 B \times C2(\text{単位}) = 0$$

(価格下落時)

この連立方程式を C1, C2について解く
複製ポートフォリオの作成

24

上の連立式を解くと次のようになる。

$$\begin{aligned} C1 &= 0.4 \text{ (単位)} \\ B \times C2 &= -173 \text{ (円)} \end{aligned}$$

つまり、このオプションのペイオフを複製するには、現時点で173円分安全債券を売却し(借入れを行い)、原資産を0.4単位だけ購入する(0.4 × 500 = 200円)ことになる。

このとき、このオプションを得るためには**27円**(= 200円-173円分)の支払いを行う必要がある。

「**オプション価格**」

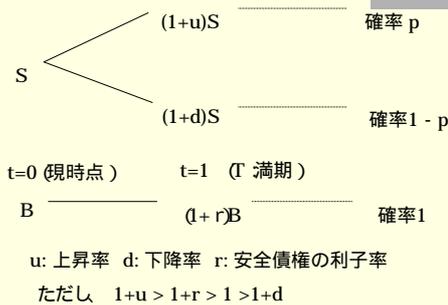
25

オプション価格27円のもつ意味

- 27円より高い、あるいは27円より安い価格でこのオプションが販売される。
裁定取引が発生する。
(オプションを購入して他に転売することで利益を得る。)
- **裁定が存在しない(無裁定)**の仮定
(経済学における完全競争市場との関連)

26

複製ポートフォリオの一般化



27

複製ポートフォリオの作成

$$C1(1+u)S + C2(1+r)B = \max\{(1+u)S - K, 0\}$$

$$C2(1+d)S + C2(1+r)B = \max\{(1+d)S - K, 0\}$$

これを解くと、

$$C1 = \frac{\max\{(1+u)S - K, 0\} - \max\{(1+d)S - K, 0\}}{(u-d)S}$$

$$C2 = \frac{(1+u)\max\{(1+d)S - K, 0\} - (1+d)\max\{(1+u)S - K, 0\}}{(1+r)B(u-d)}$$

となる。

28

このとき(コール・オプションの)オプション価格は、

$$C = C1 \cdot S + C2 \cdot B$$

となる。(C1, C2は上で求めた値を代入する。)

29

原資産の価値が増加する確率は、

$$p = \frac{r-d}{u-d}$$

原資産の価値が減少する確率は、

$$q = 1-p = \frac{u-r}{u-d}$$

この確率は「**リスク中立確率**」と呼ばれる。

先の数値例では、 $p=0.7$ となる。

30

確率変数X1

$$X1 = \begin{cases} 1+u & \text{確率} p \\ 1+d & \text{確率} q(=1-p) \end{cases}$$

とおくと、コール・オプション価格は次のように表すことができる。

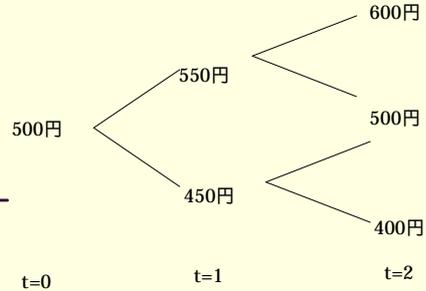
$$C = \frac{1}{1+r} E(\max \{ X1 \cdot S - K, 0 \})$$

where $X1 \cdot S = ST$
 $E(X1) = 1+r$

31

2項2期間モデル

(考え方は2項1期間モデルと同じ)



32

2項 n 期間モデル

■ 期間をn期間とすると、現時点(0時点)から満期(T時点)までの間にn回の変動(分岐)がおこる2項1期間モデルの拡張。

■ これを確率変数Xi (i=1,...,n)で表すと
 $Xi = \begin{cases} 1+u & \text{確率} p \\ 1+d & \text{確率} 1-p \end{cases}$ となり

ST(満期の原資産の価値)
 $= X1X2 \cdots Xn$ となる。

33

2項 n 期間モデルのオプション価格 (参考)

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{(1+r)^n} E[\max \{ ST - K \}] \\ &= \frac{1}{(1+r)^n} E[\max \{ X1X2X3 \cdots Xn \}] \\ &= \frac{1}{(1+r)^n} \sum_{k=0}^n \max \{ (1+u)^k (1+d)^{n-k} S - K, 0 \} p^k q^{n-k} \\ &= \dots \end{aligned}$$

$$= S \cdot P(B(n, p) \geq k_0) - \frac{K}{(1+r)^k} P(B(n, p) \geq k_0)$$

where $p' = \frac{1+r}{1+u} p$ and $k_0 : (1+u)^{k_0} (1+d)^{n-k_0} \geq K/S$ を満たす最大の整数。

$B(n, p)$: パラメータn, pの2項分布 C: オプション価格

34

ブラック・ショールズ式

■ 2項 n 期間モデルの時間の幅を小さくし(n → ∞) 中心極限定理を用いると、ブラック・ショールズ式が導かれる。

0時点(現時点)とT時点(満期)の間をn個に区切り、
 $T/n = \Delta t$ とおき、次のようにして設定する。

$$u = m\Delta t + s\sqrt{\Delta t}$$

$$d = m\Delta t - s\sqrt{\Delta t}$$

35

ブラック・ショールズ式

$$C = S \cdot \Phi \left(\frac{\log \frac{S}{K} + (r + \frac{1}{2}s^2)T}{s\sqrt{T}} \right) - Ke^{-rt} \cdot \Phi \left(\frac{\log \frac{S}{K} + (r - \frac{1}{2}s^2)T}{s\sqrt{T}} \right)$$

C: コール・オプション価格
 S: (t=0時点の)原資産の価値
 K: 権利行使価格
 r: 安全債券の利子率
 T: 満期までの期間
 s: 原資産のボラティリティ

(x) 標準正規分布の以下の確率 $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}u^2} du$

36

数値例

(出典 藤田岳彦著 『これぞなっとく金融数学の基礎知識』講談社)

株式コール・オプションを考える。
権利行使価格 $K = 15000$
現時点 ($t=0$)での株価 $S = 14799.14$
満期までの期間 $T = 0.06$
安全債券の利子率 $r = 0.005$
ボラティリティ $\sigma = 0.261$

37

$$e^{-rT} = 1 - rT + \frac{1}{2}(-rT)^2 = 0.997$$

$$\frac{S}{K} = 0.9866093$$

$$\log \frac{S}{K} = \left(\frac{S}{K} - 1 \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{S}{K} - 1 \right)^2 = -0.0134807$$

$$\left(r + \frac{1}{2} \sigma^2 \right) T = 0.00234363$$

$$\sigma \sqrt{T} = 0.063917$$

これらをブラック・ショールズ式に代入すると、
オプションの価格は、

$$C = 292.78 \quad \text{となる。}$$

38

4. リアル・オプション・アプローチと その活用例

- リアル・オプション・アプローチ
金融のオプションの理論を実物資産 (非金融資産) のオプションに対して適用するアプローチ

(リアル・オプション・アプローチは、金融のオプションよりもシナリオの設定やデータ (ボラティリティなど) の収集方法などが複雑になる。)

39

リアル・オプション・アプローチで考慮される 諸変数

必要な変数はオプションのそれと同じ

原資産 (不確実性をもつ) となるものとその価値 (S)

権利行使価格 (K)

満期までの期間 (T)

原資産のボラティリティ (σ)

安全債券の利子率 (r)

40

コール・オプションとリアル・オプションとの対応関係

株式のコール・オプション	リアル・オプション
現在の株価	期待キャッシュフローの (総) 現在価値
権利行使価格	投資にかかるコスト
満期までの期間	機会がなくなる (先送りでき る) までの期間
株価の不確実性 (ボラティリティ)	プロジェクトの不確実性 (ボラティリティ)

41

リアル・オプション・アプローチを適用可能にする ための諸条件

- プロジェクトの不確実性が高い。
- 多額の初期投資が必要である。
- 長期の調査期間を要する。
- 原資産価格が市場で観察できる。
- 投資機会が独占できる。 など

出典 山本大輔著 『入門・リアル・オプション』東洋経済新報社

42

リアル・オプション・アプローチの適用対象となったプロジェクト

- 発電プラントの建設
 - ベンチャー企業への投資
 - 油田開発
 - 医薬品開発
 - 特許
- 等

43

問題設定の枠組みのチェック項目

- 中心的な意思決定は何か？
 - 影響の大きい不確実性とは何か？
 - 金融市場の情報をどのように用いるか？
 - 投資リスクの特性は何か？
- 等

出典：アムラム/クラティラカ著『リアル・オプション』

東洋経済新報社

44

適用例 1 電力プラントへの投資

(出典：山本前掲書)

- 電力プラントの建設を延期するオプションを考える。
- 1年後、電力プラントの事業価値は安全資産の利率 (r) 3.5%で成長し、そのボラティリティは標準偏差 (σ) 30%の対数正規分布に従うものとする。
- プラントの現在価値 (S)は100億円
- 現時点でのプラントの建設コスト(K)は104億円
- 意思決定を延期できる期間 (T)は1年

このとき、1年延期することのオプションの価値は23億円になる。

(cf. NPV法 $100\text{億} - 104\text{億} = -4\text{億}$)

45

適用例 2 特許権の評価の事例

- バイオベンチャーのA社が特許出願するケースを考える。
- 特許による収益の期待現在価値 (S)は3.58億円
- 特許の出願の費用 (K)は4億円
- 原資産の変動性 (σ) 41.9%
- 安全債券の利子率 3%
- 満期 (T) 10年
- ブラック・ショールズ式にあてはめると、特許出願の価値は、1.17億円になる。

46

リアル・オプション・アプローチのさらなる適用可能性

- 複数の段階を持ったシナリオの作成
 - 投資を行うタイミングの設定
(例 原資産の価値が10億になった時点で権利を行使する、あるいは意思決定を行う。)
- など

47

5.リアル・オプション・アプローチの鉄道分野への適用可能性

- リアル・オプション・アプローチの鉄道分野への適用可能性

1. リアル・オプション・アプローチが適用可能であるための条件が満たされるか？
2. 満たされているとすれば、どのようなシナリオを作成するのが適当か？

以下では鉄道に仮想的なシナリオ作成を試みた。

48

シナリオ作成例 その1:
フリーゲージ・トレインと新幹線のオプション価値

「フリーゲージ・トレイン」
車輪の幅を変えることで在来線でも新幹線で
も通行可能な車両

これと「新幹線」への投資との間での選択という
仮想的な状況を考える。

49

分析の諸前提

- フリーゲージ・トレインへの投資は、インフラ投資のコストを節約すると想定する。
- ある地域(熊本・鹿児島・長崎・佐世保)に対してフリーゲージ・トレインへの投資と新幹線への投資との間で仮想的な比較を試みる。

50

仮想的な選択肢におけるコストベネフィットの比較

	フリーゲージトレイン		新幹線	
	ベネフィット	コスト	ベネフィット	コスト
導入による直接の効果	博多以遠から熊本方面への時間短縮	設備投資(小) 車両製造費	熊本方面の時間短縮	設備投資(小) 車両製造費
博多周辺の増発オプション	なし	なし	列車増発による利便性向上	車両製造費
長崎方面への増発オプション	博多以遠からの時間短縮	車両製造費	列車増発による利便性向上	車両製造費
長崎方面への撤退オプション	柔軟な撤退可能	廃車費用	なし	なし
長崎新幹線建設オプション	なし	なし	長崎方面への時間短縮	設備投資(大) 車両製造費

51

フリーゲージ・トレインの柔軟性の評価

(注意)以下の数値はすべて仮想的な値を代入したものである。

車両投資の費用 (K) 120億円

期待便益 1年当たり2億円

プロジェクトの現在価値 (S) 100億円

便益の発生のボラティリティ() 15%

安全債券の利子率 2%

3年後 (I)に新たな投資を行うかを決定する。

52

計算結果

- 上の適用例と同じ要領でブラック・ショールズ式に代入すると、この選択権の価値は

$$C = 18.3\text{億円}$$

となる。

53

このシナリオの問題点

- 前提となる数値の設定と導出
- 便益の対数正規仮定の妥当性
- 選択肢の設定
- シナリオを描くに当たっての現状認識

等

54

シナリオ作成例その2： 貨物線専用線のオプション価値の推定

貨物専用線に対する投資決定においてオプション価値が考えられないか？

オプションになると思われるもの

- 路線の建設あるいは廃棄
- 列車の運行本数
- モーダル・シフトなどの政策

55

不確実性の源泉

・貨物需要の動向

(例：需要のばらつきをボラティリティとする。)

・成長率

原資産の価値

・収入、経済的便益

権利行使価格

・建設・運営費用 (特に初期投資の費用など)

56

リアル・オプションの鉄道分野への適用

- 設備投資決定の問題が中心
路線建設、車両投資 等
- 不確実性の源泉 - 需要のリスク

- 政策の面での活用可能性
どのような場面でこのアプローチを利用するのが有効かについての検討

57

6.まとめ

本報告では行ったことは次の通り。

1. 不確実性における選択 (オプション) の価値についての説明
2. 金融のオプションの価格理論の概要を紹介
3. リアル・オプション・アプローチの紹介
4. 仮想的なシナリオを描くことでこのアプローチの鉄道分野への適用可能性を検討

58