

プロジェクトの事前評価と再評価

織田澤利守¹・小林潔司²

¹学生会員 工修 京都大学大学院博士後期課程 工学研究科都市社会工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail:ota@psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²フェロー会員 工博 京都大学教授 大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail:kkoba@psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本研究ではプロジェクトの事前評価問題と再評価問題の相互作用を考慮したプロジェクト評価の方法論を開発する。その際、プロジェクトの再評価によりプロジェクトの実施による不可逆性を部分的に回避できることに着目する。プロジェクトの事前評価問題と再評価問題を同時に考慮した総合的な評価体系とするためには、事前評価の時点においてプロジェクト再評価により生じる損失回避便益（中止オプション価値）とプロジェクト廃棄に伴って既投資費用が無駄になることを回避する便益（タイミングオプション価値）を同時に考慮する必要がある。本研究では、リアルオプション理論を用いて以上の要件を満足しうる事前・再評価システムを提案する。

Key Words : *real options, cost-benefit analysis, preevaluation, reevaluation, irreversibility, sunk cost*

1. はじめに

近年、公共事業の効率性やアカウンタビリティの向上を目的とした体系的な公共事業評価システムの構築が進められおり、公共事業の事前・再・事後評価制度の導入が検討されている¹⁾。時間軸上に沿って実施される評価制度が相互に有機的に連携し、公共事業の動的な評価システムとして効果的に機能するためには、各評価制度間の整合性を担保しうる総合的な評価フレームワークを確立する必要がある。

プロジェクトの事前・再評価問題では、プロジェクトがもたらす不可逆性を明示的に考慮することが必要となる。ひとたび、プロジェクトを実施すれば、投資費用は埋没し、他の用途へ転用することは不可能となる。この意味でプロジェクトの実施は不可逆的な変化である。プロジェクト実施に再評価機能を導入することにより、事前評価の時点で決定した結果を再評価時点で獲得した新しい情報に基づいて変更することが可能となる。再評価時点でプロジェクトを中止すれば、過去に投資した費用を回収できないが、プロジェクト継続に伴う追加的な損失の発生を防ぐことができる。このように再評価機能の導入により、プロジェクトの不可逆性を部分的に回避することが可能となる。

プロジェクトの実施に関する意思決定は複数の時点で実施することが可能である。しかも、事前・再評価を導入した場合、将来の再評価の時点でプロジェクトが中止される可能性があることを考慮しながら、プロジェクトの実施のタイミングを決定する必要がある。しかし、伝統的な費用便益分析はプロジェクトの選択を現時点

以外にはできない（その時点でプロジェクト実施が棄却されれば、未来永劫プロジェクトは実施されない）という now-or-never 原則に基づいている。now-or-never 原則に基づく費用便益分析では、プロジェクトの再評価や実施タイミングの決定を十分に検討できず、事前評価・再評価の動的な関連性を考慮した評価システムを開発することが必要となる。

本研究ではリアルオプション理論を用いて、事前・再評価の相互作用を考慮したプロジェクト評価の方法論を開発する。その際、プロジェクトがもたらす便益の観測やプロジェクトの実施が時間軸上の限られた時点においてのみ実施可能であると考え、このような現実的な評価問題の設定のもとで、事前・再評価問題を統一的に取り扱うことができるような評価フレームを開発することとする。以下、2. で本研究の基本的な考え方を明らかにする。3. で事前・再評価モデルを定式化し、4. で事前・再評価問題の論理的な構造に関して考察する。5. では、拡張モデルについて考察し、6. で数値計算事例を紹介する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究概要

不確実性下における多段階意思決定問題に関しては膨大な研究の蓄積があり²⁾、土木計画学の分野でも研究が進展している³⁾。また、プロジェクトの不可逆性を明示的に考慮したような意思決定モデルに関して研究の蓄積がある^{4),5)}。将来のプロジェクト価値に不確実性が存在する場合、意思決定を保留することにより

「追加的な情報に基づいて合理的な意思決定を行うことができる」という準オプション価値を獲得することができる^{6),7)}。準オプション価値を考慮した多段階意思決定モデルについても研究が蓄積された^{8),9)}。中でも、Schmutzler は計画過程における意思決定手続きを準オプション価値の観点から分類し、計画プロセスの効率性を比較検討している⁹⁾。多々納も計画プロセスにおける情報の価値、柔軟性の価値を定義し、計画プロセスの効率性比較を行っている¹⁰⁾。一方、Merton 等はリアルオプション理論を開発し、プロジェクトの投資機会を call option と解釈できることを示した¹¹⁾⁻¹³⁾。準オプション価値は、プロジェクト実施のタイミングを合理的に決定することにより得られるタイミングオプションと解釈できる。リアルオプション理論に基づけば、タイミングオプションだけでなく多様なオプションの価値を計量的に評価できる枠組みを提供できる¹⁴⁾⁻¹⁸⁾。事前・再評価問題に着目した場合、1) プロジェクトの途中段階における再評価で、プロジェクトの中止を決定することができる中止オプションと、2) プロジェクトの実施時点を合理的に決定することができるタイミングオプションの双方を同時に考慮することが必要である。事前・再評価問題に関しては、上田¹⁹⁾がいくつかの評価モデルを提案している。そこでは、現行の事前、再、事後評価システムが、1) 計画段階で想定した経済状況が事後的に実現したそれと乖離するというリスクを考慮していないこと、2) 事業進行中に獲得される新たな情報に基づいて計画内容を適切に見直すことが許容されていないという問題点を指摘した上で、事業進行中における最適スケジューリングを明示した事業評価モデルが検討されている。筆者等の問題意識も上田¹⁹⁾と同じであるが、本研究では事前・再評価システムを事前評価・再評価の見直し機能の導入がもたらすオプション価値を明示的に考慮したような多段階評価モデルとして定式化しようとする点に特徴がある。本研究で提案する事前・再評価モデルは、準オプション価値を考慮した多段階意思決定モデル⁹⁾に、再評価の過程を付加したにすぎない。しかし、このような簡単なモデルの修正により、プロジェクトの事前評価、再評価の見直し機能の導入がもたらす経済価値をプロジェクトの中止オプション価値とタイミングオプション価値として明示的に考慮することが可能となる。

(2) 事前・再評価問題とオプション価値

大規模なプロジェクトの実施には長い時間を要する。その間、プロジェクトを取り巻く経済環境は絶え間なく変化しており、プロジェクト採択時に行った事前評価が、時間が経過しても常に適切なものであるという保証はどこにもない。再評価の実施は、時間の経過と

も獲得される新しい情報をもとにその後のプロジェクトのあり方について見直すことであり、プロジェクトに関する意思決定の柔軟性を確保するという役割を担う。さかのぼって、事前評価の時点においても、将来時点においてプロジェクトの再評価が実施されプロジェクトが変更(中止)されるという可能性がありうることを考慮しておくことが必要である。

伝統的な費用便益分析は、プロジェクト評価に関して暗黙のうちに非常に強い前提を設けている。1つには、公共プロジェクトへの投資が不可逆性を有するものであることを無視している点である。一般に、公共プロジェクトへ投入した財やサービスは他の用途への転用が困難となり、プロジェクトの投資費用はサンク費用(回収不可能な費用)となる。このため、再評価時点における意思決定は、初期費用がすでにサンク(埋没)している下で行われる。したがって、事前評価時点における意思決定では、再評価時点での意思決定の結果に関する予想やサンク費用の存在を考慮する必要がある。事前・再評価システムを構築する場合、両者の間の動学的な関連性に着目する必要がある。いま1つは、「プロジェクトを今実施するか、もしくは2度と実施しないか」という now-or-never 原則に基づき、評価が行われるという点である。このため、プロジェクトの実施時期に関する評価やプロジェクトをとりまくリスクに対するプレミアムを考慮できないという限界がある。したがって、伝統的な費用便益分析の枠組みの中だけでは、事前・再評価の問題を合理的に取り扱うことが困難となる。

時間軸上で展開されるプロジェクト評価では、事前・再評価間の動学的な関連性を明示的に考慮しなければならない。再評価機能を導入することにより、プロジェクト環境が変化した場合にプロジェクトを中止(変更)することが可能となる。プロジェクト評価に再評価による中止オプションを導入することにより、プロジェクトに関わる意思決定に柔軟性を持たせることが可能となる。また、プロジェクト価値にリスクが存在する場合、プロジェクト実施を一時保留し、プロジェクト環境に関する追加的情報を獲得する機会(タイミングオプション)を与えることも意思決定の柔軟性を増加させる効果がある。このような中止オプションとタイミングオプションは互いに密接に関連しており、双方を同時に考慮したような事前・再評価システムを開発することが重要となる。本研究では再評価過程を導入したような多段階意思決定モデルを定式化し、2つのオプション価値を考慮したプロジェクト評価の方法を提案する。さらに、事前評価の見直し機能や再評価機能の導入がプロジェクトの採択に関する意思決定に及ぼす影響を分析する。

表 - 1 事前・再評価問題の分類

		再評価		
		なし	1回	複数回
事前評価の見直し	なし	4 (1)	4 (2)	-
	1回	4 (3)	基本モデル	-
	複数回	-	-	5 .

(3) 事前・再評価問題のプロトタイプ

本研究では、公共プロジェクトの評価問題を初期投資及び追加的投資の2段階投資に関する意思決定問題として扱う。意思決定主体はある時点において事前評価を行い、プロジェクトへ初期投資を実施するか否かを決定する。その後、一定期間が経過した時点に実現する状況のもとで再評価を行い、プロジェクトを継続するか中止するかを決定する。事前評価も1回だけ行われるのではなく、ある事前評価においてプロジェクトが採択されない場合、一定期間が経過したのちに事前評価の見直しが行われる。事前評価の見直しの段階でプロジェクトが採択されれば、この場合も一定期間後に再評価が行われる。本研究において提案する評価モデルでは、事前・再評価間の動学的な関連性を考慮した上で、プロジェクトをとりまくリスクの大きさをプロジェクトの採択基準に反映することが可能となる。基本モデルでは、事前評価の見直しが最大1回、開始されたプロジェクトの見直し(再評価)も最大1回行うことが許されている場合を想定する。事前評価の見直し、および再評価の反復回数に着目すれば、多様な事前・再評価システムのタイプを考えることができる。本研究では表-1に示すような事前・再評価問題を取り上げる。同表にはそれぞれのモデルが取り上げられている箇所を示している。また、議論を簡単にするために、本研究では事前・再評価費用を考慮せず、事前・再評価の反復回数の上限值を外生的に与えている。事前・再評価費用を無視できない場合、プロジェクトの実施、あるいは中止を延期することに費用が発生する。この場合、事前・再評価の最適な反復回数を内生的に求めることが必要となる。評価費用を考慮したプロジェクト評価の問題は、無限的視野を持つ最適評価停止問題として定式化することが可能である。本研究では事前・再評価問題の構造を分析することを目的としており、最適評価停止問題に関しては別稿で発表する。

3 . 基本モデルの定式化

(1) モデル化の前提条件

プロジェクトの事前・再評価問題の本質的な構造を分析するために、図-1に示すようなプロジェクト評価問題(問題0)を考えよう。プロジェクトの事前評価

【評価プロセスの概要】時点 t_0 の事前評価での最適値関数は $\Psi_0 = \max\{P_0, Q_0\}$ 。採択される($P_0 \geq Q_0$)場合は、投資費用 C_1 が支払われ、時点 t_1 で再評価。このときの最適値関数は $\Phi_1 = \max\{B_1 - C_2, 0\}$ 。ここで、継続される($B_1 - C_2 \geq 0$)場合は、残りの投資費用 C_2 が支払われ、プロジェクトが完成。そうでなければ、プロジェクトは中止。一方、時点 t_0 の事前評価で留保される($P_0 < Q_0$)場合は、時点 t_1 で事前評価の見直し。このときの最適値関数は $\Psi_1 = \max\{P_1, 0\}$ 。採択される($P_1 \geq 0$)場合は時点 t_2 で再評価。そうでなければ($P_1 < 0$)、プロジェクトは破棄。

図 - 1 プロジェクト評価の構造(問題0)

は2つの時点 t_0, t_1 で実施される。まず、時点 t_0 でプロジェクトの事前評価を行い、プロジェクトを開始するかどうかを決定する。プロジェクトが実施されることが決定された場合、プロジェクトは2段階にわけて実行される。すなわち、時点 t_0 において第1段階のプロジェクトが実施され、費用 $C_1 = \kappa C$ ($0 \leq \kappa \leq 1$)が投入される。ここに、 C はプロジェクト投資費用であり、 κ は第1段階と第2段階における投資の費用配分比を表すパラメータである。さらに、時点 t_1 においてプロジェクトの再評価が実施されプロジェクトの継続が決定されれば、第2段階の投資費用 $C_2 = (1 - \kappa)C$ が投入され、プロジェクトが直ちに完成する。プロジェクトが便益を発生するためには、2段階目のプロジェクトが完成しなければならない。再評価においてプロジェクトの中止が決定されればプロジェクトは放棄される。したがって、第1段階の投資 C_1 は完全に無駄な投資となる。つぎに、時点 t_0 でプロジェクトの実施が見送られた場合、時点 t_1 において再度事前評価が試みられる。時点 t_1 の事前評価においてプロジェクト実施が決定された場合、直ちに第1段階のプロジェクトが実施される。時点 t_2 においてプロジェクトの再評価が実施され、第2段階の投資を行うかどうかを決定する。時点 t_1 でプロジェクトが実施されなかった場合、当該のプロジェクト計画は破棄される。問題を簡略化するために、プロジェクトの投資費用 C 、費用配分比 κ は時間を通じて一定と仮定する。また、事前評価、再評価のための費用

は0であり、プロジェクトの廃棄費用は無視できると考える。

(2) プロジェクト価値とリスク

時点 t_0 と t_1 , t_1 と t_2 の間の時間間隔がともに τ であるとする。モデルの記述をできるだけ簡単にするために、プロジェクトは第2段階の投資実施後、直ちに完成すると仮定する。建設期間などのプロジェクトの所要時間を考慮しても、以下の議論は本質的に変化しない。いま、時点 t_0, t_1, t_2 におけるプロジェクト価値を B_0, B_1, B_2 と表す。プロジェクト価値は、仮にその時点でプロジェクトが完成した場合に当該時点から将来にわたって発生する期待総便益の当該期価値を意味する。ただし、プロジェクトが完成して、はじめてプロジェクト価値が発生する。時点 t_0 もしくは時点 t_1 において事前評価を行う場合、当該時点においてともにプロジェクトが完成することはなく、実際にはプロジェクトによる価値は発生し得ない。この場合、その時点における経済環境の下で、仮想的にプロジェクトが完成したとするとときに獲得される(潜在的な)プロジェクト価値を表すとする。意思決定主体は、各時点に実現する(潜在的な)プロジェクト価値を観測し、プロジェクトに関する決定を行う。プロジェクト価値にはリスクが存在し、時点によって観測されるプロジェクト価値は変動する。いま、時点 t_0 において、時点 t_1 に実現するプロジェクト価値を確定的に把握することができないが、時点 t_1 で実現するプロジェクト価値の確率分布は既知である。時点 t_0 で観測したプロジェクト価値を \hat{B}_0 で表そう。記号「 $\hat{\cdot}$ 」は確定値であることを表す。時点 t_1 におけるプロジェクト価値 B_1 は条件付き確率密度関数 $g(B_1|\hat{B}_0)$ に従って分布する。また、時点 t_1 で観測したプロジェクト価値を \hat{B}_1 で表そう。時点 t_2 におけるプロジェクト価値 B_2 の確率分布を条件付き確率密度関数 $g(B_2|\hat{B}_1)$ で表現する。

(3) 再評価問題のモデル化

時点 t_0 の事前評価においてプロジェクトが採択され、時点 t_1 において再評価が行われると考えよう。再評価問題は、再評価時点 t_1 におけるプロジェクト価値の観測値 \hat{B}_1 のもとで「プロジェクトを継続する」か、あるいは「中止するか」を決定する問題として定式化できる。第2段階目の追加的投資によりプロジェクトを完成した場合に獲得できるプロジェクトの期待総純便益の当該期価値(以下、期待純価値と呼ぶ)は $\hat{B}_1 - C_2$ である。一方、プロジェクトを中止する場合は、価値0を獲得する。問題を簡略化するために、プロジェクトのスクラップ費用を考えない。

プロジェクトの再評価時点 t_1 においてプロジェクト

の継続が正当化されるためには、再評価時点において

$$\hat{B}_1 - C_2 \geq 0 \quad (1)$$

が成立しなければならない。すなわち、再評価時点において観測される期待純価値 $\hat{B}_1 - C_2$ が正となる場合、追加的投資が正当化されプロジェクトは継続される。一方、期待純価値が負となる場合、プロジェクトは廃棄される。この時、再評価時点 t_1 においてプロジェクト価値 \hat{B}_1 が観測された場合に獲得できるプロジェクトの追加期待純価値の当該期価値 $\Phi_1(\hat{B}_1)$ は

$$\Phi_1(\hat{B}_1) = \max \left\{ \hat{B}_1 - C_2, 0 \right\} \quad (2)$$

と表すことができる。同様に、時点 t_1 でプロジェクト実施を見送り、再評価時点 t_2 においてプロジェクト価値 \hat{B}_2 が観測された場合に獲得できるプロジェクトの追加期待純価値の当該期価値 $\Phi_2(\hat{B}_2)$ は次式で表される。

$$\Phi_2(\hat{B}_2) = \max \left\{ \hat{B}_2 - C_2, 0 \right\} \quad (3)$$

(4) 事前評価問題のモデル化

仮定より、事前評価は2つの時点 t_0, t_1 で行われる。まず、時点 t_1 における事前評価問題を定式化する。時点 t_1 で観測されたプロジェクト価値を \hat{B}_1 と表そう。時点 t_1 において、再評価時点 t_2 で実現するプロジェクト価値 B_2 は不確定である。再評価時点 t_2 で観測されるプロジェクト価値が確率密度関数 $g(B_2|\hat{B}_1)$ に従って分布する。この時、時点 t_1 でプロジェクト価値 \hat{B}_1 を観測した時、再評価時点 t_2 で実現されるプロジェクト価値の当該期価値の条件付き期待値 $E[\Phi_2(B_2)|\hat{B}_1]$ は

$$E[\Phi_2(B_2)|\hat{B}_1] = \int_{C_2}^{\infty} (B_2 - C_2)g(B_2|\hat{B}_1)dB_2 \quad (4)$$

と表せる。第1期のプロジェクトの投資費用 C_1 は時点 t_1 において支払われる。時点 t_1 において \hat{B}_1 が観測され、さらにプロジェクトを開始したことによるプロジェクトの期待純価値の当該期価値 $P_1(\hat{B}_1)$ は

$$P_1(\hat{B}_1) = \eta E[\Phi_2(B_2)|\hat{B}_1] - C_1 \quad (5)$$

と表される。ただし、 $\eta = \exp(-\rho\tau)$ は割引係数であり、 ρ は瞬間的割引率である。つぎに、時点 t_1 においてプロジェクトの採択を見送った場合を考えよう。この場合、プロジェクト計画は廃止され、プロジェクト価値は0となる。時点 t_1 でプロジェクトが採択される基準は

$$P_1(\hat{B}_1) > 0 \quad (6)$$

と表される。さらに、時点 t_1 でプロジェクト価値 \hat{B}_1 が観測された場合、時点 t_1 以降最適なプロジェクト投資を実施したことによって得られる期待純価値 $\Psi_1(\hat{B}_1)$ は

$$\Psi_1(\hat{B}_1) = \max \left\{ P_1(\hat{B}_1), 0 \right\} \quad (7)$$

と表せる。つぎに、時点 t_0 における事前評価問題を考える。時点 t_0 で、1) すぐにプロジェクトを実施する、2) プロジェクトの実施を保留する、という2つの選

択肢が利用可能である．プロジェクトを実施した場合，時点 t_1 で再評価が行われる．この場合，時点 t_0 におけるプロジェクトの期待純価値は

$$P_0(\hat{B}_0) = \eta E[\Phi_1(B_1)|\hat{B}_0] - C_1 \quad (8a)$$

$$E[\Phi_1(B_1)|\hat{B}_0] = \int_{C_2}^{\infty} (B_1 - C_2)g(B_1|\hat{B}_0)dB_1 \quad (8b)$$

と表せる．一方，プロジェクト実施を保留した場合，時点 t_1 でプロジェクトの事前評価が再び実施される．時点 t_0 でプロジェクト価値 \hat{B}_0 が観測された場合，時点 t_1 で実現するプロジェクト価値が条件付き確率密度関数 $g(B_1|\hat{B}_0)$ に従う．さらに，時点 t_1 でプロジェクト価値を観測したことにより獲得できる最適プロジェクト期待純価値 $\Psi_1(\hat{B}_1)$ が式 (7) で定義されることに留意しよう．したがって，時点 t_0 でプロジェクト実施を保留したことにより獲得できる最適期待純価値 $Q_0(\hat{B}_0)$ は

$$Q_0(\hat{B}_0) = \eta E[\Psi_1(B_1)|\hat{B}_0] \\ = \eta \left\{ \int_0^{\infty} \Psi_1(B_1)g(B_1|\hat{B}_0)dB_1 \right\} \quad (9)$$

と表される．したがって，時点 t_0 でプロジェクトが採択されるための条件は

$$P_0(\hat{B}_0) \geq Q_0(\hat{B}_0) \quad (10)$$

と表される．また，上式の両辺が等号で成立するような \hat{B}_0 を B_0^* と表そう．プロジェクト価値 B_0^* は時点 t_0 においてプロジェクトの実施が採択されるようなプロジェクト価値 \hat{B}_0 の最小値であり，以下では臨界価値と呼ぶこととする．さらに，時点 t_0 でプロジェクト価値 \hat{B}_0 を観測した下で，プロジェクトの最適選択を実施した場合の最適値関数 $\Psi_0(\hat{B}_0)$ は次式で定式化される．

$$\Psi_0(\hat{B}_0) = \max\{P_0(\hat{B}_0), Q_0(\hat{B}_0)\} \quad (11)$$

なお， $Q_0(\hat{B}_0) \geq 0$ が必ず成立するため，第 0 期ではプロジェクト計画案を破棄する必要はない．このことは事前・再評価費用を無視していることの理論的帰結であり，プロジェクト計画案の破棄のタイミングを決定するためには事前・再評価費用を考慮する必要が生じる．

4．事前・再評価とプロジェクト価値

(1) now-or-never 原則とプロジェクト価値

伝統的な費用便益分析は「プロジェクト評価を現時点のみで実施し，一度出た結論の見直しは 2 度と行わない」という now-or-never 原則に基づいている．現実には，ある時点における費用便益分析による評価の結果，プロジェクトが採択されなくても，時間の経過とともにプロジェクト環境が好転し，改めて費用便益分析を実施する可能性がある．あるいは，プロジェクトの途中でプロジェクト環境が悪化し，再評価によりプロジェクトが途中段階で破棄される可能性もある．しか

【評価プロセスの概要】時点 t_0 の事前評価での最適値関数は $\Psi_0^o = \max\{P_0^o, 0\}$ ．採択される ($P_0^o \geq 0$) 場合は，時点 t_0 で投資費用 C_1 が支払われる．続く時点 t_1 では再評価は実施されず，自動的に継続．残りの投資費用 C_2 が支払われ，プロジェクトは完成．一方，時点 t_0 の事前評価で棄却される ($P_0^o < Q_0$) 場合，事前評価の見直しは実施されず，プロジェクトは破棄．

図 - 2 now-or-never 原則と評価構造 (問題 1)

し，now-or-never 原則に基づく費用便益分析では，このような評価の見直し機能を考慮できない．

いま，事前評価時点 t_0 において now-or-never 原則に基づいてプロジェクト評価を実施する問題 (問題 1) を定式化しよう．この問題では評価の見直しが実施されないため，プロジェクト評価構造は図 - 2 に示すように表される．時点 t_0 においてプロジェクト価値 \hat{B}_0 が観測され，かつ時点 t_0 でプロジェクトを開始した場合に着目しよう．問題設定より，プロジェクトは 2 期間を通じて実施され，時点 t_0 で費用 C_1 が，時点 t_1 で C_2 が投資され，時点 t_1 に完成する．事前評価の時点 t_0 では，時点 t_1 に実現するプロジェクト価値は確定的に把握できない．また，時点 t_1 において，プロジェクトの再評価を行わないため，再評価時点においてプロジェクト価値 \hat{B}_1 が式 (1) を満足しなくてもプロジェクトは継続される．したがって，時点 t_0 でプロジェクトを開始した場合に獲得できる期待純価値 $P^o(\hat{B}_0)$ は

$$P^o(\hat{B}_0) = \eta E[\Phi_1^o(B_1)|\hat{B}_0] - C_1 \quad (12a)$$

$$E[\Phi_1^o(B_1)|\hat{B}_0] = \int_0^{\infty} (B_1 - C_2)g(B_1|\hat{B}_0)dB_1 \quad (12b)$$

と表される．ここに， $\eta E[\Phi_1^o(B_1)|\hat{B}_0]$ は時点 t_0 で観測値 \hat{B}_0 を獲得した下での条件付き期待プロジェクト価値の当該期価値を表す．ここで，式 (8b) と積分区間が異なっていることに留意して欲しい．プロジェクト価値 $P_0^o(\hat{B}_0)$ は，伝統的な費用便益分析で用いられる時点 t_0 で評価したプロジェクトの期待純価値に他ならない．一方，時点 $t = 0$ でプロジェクトを開始しなかった場合を考えよう．now-or-never 原則に基づけば，その時点でプロジェクト計画案は廃棄され，プロジェクト価値 0 を獲得する．したがって，now-or-never 原則に基づいた

【評価プロセスの概要】時点 t_0 の事前評価での最適値関数は $\Psi_0^{\circ\circ} = \max\{P_0, 0\}$. 採択される ($P_0 \geq 0$) 場合は, 投資費用 C_1 が支払われ, 時点 t_1 で再評価. このときの最適値関数は $\Phi_1 = \max\{B_1 - C_2, 0\}$. 一方, 時点 t_0 の事前評価で棄却される ($P_0 < 0$) 場合は, 事前評価の見直しは実施されず, プロジェクトは破棄.

図 - 3 再評価と評価構造 (問題 2)

【評価プロセスの概要】時点 t_0 の事前評価での最適値関数は $\Psi_0^{\circ\circ} = \max\{P_0^{\circ}, Q_0^{\circ}\}$. 採択される ($P_0^{\circ} \geq Q_0^{\circ}$) 場合は, 投資費用 C_1 が支払われる. 続く時点 t_1 で再評価は実施されずに, 残りの費用 C_2 が投下され, プロジェクトは完成. 一方, 時点 t_0 の事前評価で留保される ($P_0^{\circ} < Q_0^{\circ}$) 場合は, 時点 t_1 で事前評価の見直し. このときの最適値関数は $\Psi_1^{\circ\circ\circ} = \max\{P_1^{\circ}, 0\}$. 採択される ($P_1^{\circ} \geq 0$) 場合も時点 t_2 で再評価は実施されない.

図 - 4 事前評価の見直しと評価構造 (問題 3)

場合のプロジェクト採択基準は

$$P_0^{\circ}(\hat{B}_0) \geq 0 \quad (13)$$

と表される. 上式の両辺が等号で成立するような臨界価値を B_0^{α} と表そう. また, 時点 t_0 で観測値 \hat{B}_0 を得た時の最適値関数 $\Psi_0^{\circ}(\hat{B}_0)$ は次式で表される.

$$\Psi_0^{\circ}(\hat{B}_0) = \max\{P_0^{\circ}(\hat{B}_0), 0\} \quad (14)$$

(2) 再評価機能とプロジェクト価値

プロジェクト評価に再評価機能を導入する経済効果を分析する問題 (問題 2) に着目する. 図 - 3 に示すように事前評価の見直しは考えない. 時点 t_1 でプロジェクトを継続することにより獲得できる追加期待純価値 $\hat{B}_1 - C_2$ が負になった場合, プロジェクトは中止される. 時点 t_0 におけるプロジェクトの採択条件は

$$P_0(\hat{B}_0) \geq 0 \quad (15)$$

と表せる. 上式が等号で成立する臨界価値を B_0^{β} と表そう. この時, 臨界価値 B_0^{α} と B_0^{β} の間に

$$B_0^{\alpha} \geq B_0^{\beta} \quad (16)$$

が成立する (付録 I 参照). また, 時点 t_0 で観測値 \hat{B}_0 を得た時に獲得できる期待純価値の最大値を表す最適関数 $\Psi^{\circ\circ}(\hat{B}_0)$ は

$$\Psi^{\circ\circ}(\hat{B}_0) = \max\{P_0(\hat{B}_0), 0\} \quad (17)$$

と表せる. 再評価の導入効果 Δ_1 は, 再評価を実施した時の最適関数 $\Psi^{\circ\circ}(\hat{B}_0)$ と実施しない場合の最適関数 $\Psi_0^{\circ}(\hat{B}_0)$ の差

$$\Delta_1 = \Psi^{\circ\circ}(\hat{B}_0) - \Psi_0^{\circ}(\hat{B}_0)$$

$$= \begin{cases} \Delta P_0(\hat{B}_0) & \hat{B}_0 \geq B_0^{\alpha} \text{ の時} \\ P_0(\hat{B}_0) & B_0^{\alpha} > \hat{B}_0 \geq B_0^{\beta} \text{ の時} \\ 0 & \hat{B}_0 < B_0^{\beta} \text{ の時} \end{cases} \quad (18)$$

として評価される. ただし,

$$\Delta P_0(\hat{B}_0) = - \int_0^{C_2} (B_1 - C_2) g(B_1 | \hat{B}_0) dB_1$$

である. $\Delta P_0(\hat{B}_0)$ は時点 t_0 でプロジェクトを開始した後に, 再評価時点で追加期待純価値 $\hat{B}_1 - C_2$ が負になった場合, プロジェクトを中止することにより回避される損失 (中止オプション価値) であり非負の値をとる. また, $B_0^{\alpha} > \hat{B}_0 \geq B_0^{\beta}$ の場合, 通常のコスト便益分析を用いた時にはプロジェクトは採択されないが, 再評価を導入した場合には採択され期待純価値 $P_0(\hat{B}_0) (\geq 0)$ を獲得できる. $\hat{B}_0 < B_0^{\beta}$ が成立する場合, いずれの方式でもプロジェクトは採択されない. 式 (18) より

$$\Delta_1 \geq 0 \quad (19)$$

が成立する. すなわち, 再評価機能を導入することにより, 事前評価時点におけるリスクを軽減することが可能となり, 時点 t_0 で評価したプロジェクト価値は必ず増加することが保証される.

(3) 事前評価の見直し機能とプロジェクト価値

基本モデルでとりあげた事前・再評価システムのいま 1 つの特徴は, 時点 t_1 において事前評価の見直しの機会が与えられている点にある. 時点 t_0 の事前評価において, プロジェクトの採択を時点 t_1 まで順延し, プロジェクト環境の動向を確認するチャンスが与えられる. この場合, プロジェクトの採択後に, 1) 再評価を

実施しない，2)再評価を実施する場合という2つのケースが考えられる．後者の場合が基本モデルでとりあげたケースに他ならない．本節では，前者の場合（再評価機能がない場合）をとりあげ，事前評価の見直しの経済効果について考察する（以下，問題3と呼ぶ）．

いま，時点 t_1 において事前評価の見直しを実施する場合を考えよう．時点 t_1 でプロジェクトを開始した場合，プロジェクト価値は時点 t_2 で発生する．時点 t_2 で再評価を実施しないことを考慮すれば，時点 t_1 でプロジェクトを開始した場合に獲得できる期待純価値 $P_1^\circ(\hat{B}_1)$ は

$$P_1^\circ(\hat{B}_1) = \eta E[\Phi_2^\circ(B_2)|\hat{B}_1] - C_1 \quad (20a)$$

$$E[\Phi_2^\circ(B_2)|\hat{B}_1] = \int_0^\infty (B_2 - C_2)g(B_2|\hat{B}_1)dB_2 \quad (20b)$$

と表される．ここに， $E[\Phi_2^\circ(B_2)|\hat{B}_1]$ は時点 t_1 の当該期価値で評価した期待純価値を表す．一方，時点 t_1 でプロジェクトを採用しない場合，プロジェクト計画案が廃棄される．時点 t_1 でプロジェクト価値 \hat{B}_1 が観測され，時点 t_1 以降最適なプロジェクト投資を実施したことによって得られる最適期待純価値 $\Psi_1^{\circ\circ}(\hat{B}_1)$ は

$$\Psi_1^{\circ\circ}(\hat{B}_1) = \max\{P_1^\circ(\hat{B}_1), 0\} \quad (21)$$

と表せる．つぎに，時点 t_0 における事前評価問題を考えよう．時点 t_0 においては，1)すぐにプロジェクトを実施する，2)プロジェクトの実施を保留する，という2つの選択肢が利用可能である．プロジェクトを実施した場合，期待純価値

$$P_0^\circ(\hat{B}_0) = \eta E[\Phi_1^\circ(B_1)|\hat{B}_0] - C_1 \quad (22)$$

を獲得できる．一方，プロジェクト実施を保留した場合，時点 t_1 でプロジェクトの事前評価が再び実施される．時点 t_0 でプロジェクト価値 \hat{B}_0 が観測された場合，時点 t_1 で実現するプロジェクト価値が条件付き確率密度関数 $g(B_1|\hat{B}_0)$ に従うことに着目しよう．さらに，時点 t_1 でプロジェクト価値を観測したことにより獲得できる最適期待純価値 $\Psi_1^{\circ\circ}(\hat{B}_1)$ が式(21)で定義される．したがって，時点 t_0 でプロジェクト実施を保留したことにより獲得できる最適期待純価値 $Q_0^\circ(\hat{B}_0)$ は

$$\begin{aligned} Q_0^\circ(\hat{B}_0) &= \eta E[\Psi_1^{\circ\circ}(B_1)|\hat{B}_0] \\ &= \eta \left\{ \int_{B_1^\alpha}^\infty P_1^\circ(B_1)g(B_1|\hat{B}_0)dB_1 \right\} \quad (23) \end{aligned}$$

となる．ただし， B_1^α は $P_1^\circ(B_1^\alpha) = 0$ が成立するような臨界価値を表す．式(23)の積分区間を考慮すれば任意の $\hat{B}_0 \geq 0$ に対して常に $Q_0^\circ(\hat{B}_0) \geq 0$ が成立する．時点 t_0 でプロジェクトが採択されるための条件は

$$P_0^\circ(\hat{B}_0) \geq Q_0^\circ(\hat{B}_0) \quad (24)$$

と表される．上式が等号で成立するような臨界価値を B_0^γ と定義しよう．このような臨界価値 B_0^γ が存在する

と仮定すれば，臨界価値 B_0^α と B_0^γ の間には

$$B_0^\alpha \leq B_0^\gamma \quad (25)$$

が成立する（付録I参照）．ここで，プロジェクト採択を保留することの期待純価値（タイミングオプション価値）を $\delta_0(\hat{B}_0) = Q_0^\circ(\hat{B}_0) - P_0^\circ(\hat{B}_0)$ と定義しよう．多々納¹⁰⁾に基づいて，タイミングオプション価値 $\delta_0(\hat{B}_0)$ の分解を試みる．まず，時点 t_0 においてプロジェクトの採択に関する意思決定の機会を残しておくことの期待純価値（留保価値）を定義する．留保価値を1)プロジェクト価値に関する情報 \hat{B}_1 が獲得できない場合に，時点 t_0 でプロジェクトの選択の機会を残したことの価値と2)時点 t_1 で追加情報を獲得できることにより得られる価値に分解しよう．ここで，時点 t_1 にプロジェクトを開始することを時点 t_0 で決定する価値を

$$\begin{aligned} \bar{P}_0^\circ(\hat{B}_0) &= \eta^2 \int_0^\infty (B_2 - C_2)f(B_2|\hat{B}_0)dB_2 \\ &\quad - \eta C_1 \quad (26) \end{aligned}$$

と表そう．ただし， $f(B_2|\hat{B}_0)$ は時点 t_0 において観測値 \hat{B}_0 を獲得した時に時点 t_2 で実現するプロジェクト価値 B_2 の確率分布を表す確率密度関数であり

$$f(B_2|\hat{B}_0) = \int_0^\infty g(B_2|B_1)g(B_1|\hat{B}_0)dB_1 \quad (27)$$

と表せる．したがって，この選択肢の価値は

$$VF(\hat{B}_0) = \max\{\bar{P}_0^\circ(\hat{B}_0), 0\} \quad (28)$$

と表される． $VF(\hat{B}_0)$ は時点 t_1 での実施を t_0 で決定するという新しく追加された選択肢の価値であり多様性の価値¹⁰⁾と呼ばう．つぎに，時点 t_1 で追加的情報 \hat{B}_1 を利用して，より適切な行為を選択できる価値を

$$VI(\hat{B}_0) = Q_0^\circ(\hat{B}_0) - \max\{\bar{P}_0^\circ(\hat{B}_0), 0\} \quad (29)$$

と表そう．第1項は時点 t_1 でプロジェクト価値 B_1 を観測してプロジェクト選択を行うことによって獲得できる期待純価値を時点 t_0 での当該期価値で評価した値である．第2項は時点 t_1 の追加情報が利用可能でないときの期待純価値である． $VI(\hat{B}_0)$ は時点 t_1 における追加情報をもたらす経済価値であり，情報の価値と考えることができる．したがって，時点 t_0 で意思決定を留保することにより得られる期待純価値 $PV(\hat{B}_0)$ は多様性の価値 $VF(\hat{B}_0)$ と情報の価値 $VI(\hat{B}_0)$ の和 $PV(\hat{B}_0) = VF(\hat{B}_0) + VI(\hat{B}_0)$ で表現できる．一方，now-or-never原則の下での期待純価値は

$$\Psi_0^\circ(\hat{B}_0) = \{P_0^\circ(\hat{B}_0), 0\} \quad (30)$$

と表される．タイミングオプション価値 $\delta_0(\hat{B}_0)$ は

$$\delta_0(\hat{B}_0) = VF(\hat{B}_0) + VI(\hat{B}_0) - \Psi_0^\circ(\hat{B}_0) \quad (31)$$

と分解できる．定義より，第1項と第2項は非負であり，第3項は非正となる．タイミングオプション価値は時点 t_0 でプロジェクトの実施を留保することにより

得られる期待純価値 $VF(\hat{B}_0) + VI(\hat{B}_0)$ と now-or-never 原則による期待純価値 $\Psi_0^\circ(\hat{B}_0)$ の差で表される。前者の効果が卓越する場合、タイミングオプション価値は正の値をとり、後者の効果が卓越する場合には負の値をとる。

時点 t_0 でプロジェクト価値 \hat{B}_0 の下で最適な投資戦略によって獲得できる最適期待純価値 $\Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0)$ は

$$\Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0) = \max\{P_0^\circ(\hat{B}_0), Q_0^\circ(\hat{B}_0)\} \quad (32)$$

と表すことができる。この時、事前評価の見直し機能の導入による経済効果は $\Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0)$ と $\Psi_0^\circ(\hat{B}_0)$ の差 Δ_2

$$\Delta_2 = \Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0) - \Psi_0^\circ(\hat{B}_0) = \begin{cases} 0 & \hat{B}_0 \geq B_0^\gamma \text{ の時} \\ Q_0^\circ(\hat{B}_0) - P_0^\circ(\hat{B}_0) & B_0^\gamma > \hat{B}_0 \geq B_0^\alpha \text{ の時} \\ Q_0^\circ(\hat{B}_0) & B_0^\alpha > \hat{B}_0 \text{ の時} \end{cases} \quad (33)$$

として評価される。プロジェクト価値が $\hat{B}_0 \geq B_0^\gamma$ の場合、いずれの評価方式を用いても時点 t_0 でプロジェクトが実施され、ともに期待純価値 $P_0^\circ(\hat{B}_0)$ を獲得する。 $B_0^\gamma > \hat{B}_0 \geq B_0^\alpha$ の場合、now-or-never 原則に基づく費用便益分析の場合にはプロジェクトは採択されるが、事前評価の見直しの機会を導入した場合には採択されない。一方、 $B_0^\alpha > \hat{B}_0$ の場合、いずれの方式でもプロジェクトは採択されない。しかし、プロジェクトが採択されない場合でも、事前評価の見直しによりプロジェクトが復活される可能性があるため、最適値関数値はゼロとならない。式 (33) より

$$\Delta_2 \geq 0 \quad (34)$$

が常に成立することが保証される（付録 I 参照）。

(4) 事前・再評価問題の構造

以上で分析したように、now-or-never 原則による費用便益分析に再評価機能を導入することにより、プロジェクトが採択される臨界価値は小さくなる。一方、事前評価の見直し機能を導入すれば臨界価値は大きくなる。また、再評価機能、事前評価の見直し機能のいずれを導入した場合も、最適値関数で表される評価システムの効率性は必ず増加することが保証される。つぎに、再評価機能と事前評価の見直し機能の双方を導入した基本モデルと now-or-never 原則に基づく費用便益分析を比較し、事前・再評価機能の導入の経済効果を分析しよう。基本モデルの最適値関数 $\Psi_0(\hat{B}_0)$ と最適値関数 $\Psi_0^\circ(\hat{B}_0)$ の差 Δ を

$$\Delta = \Psi_0(\hat{B}_0) - \Psi_0^\circ(\hat{B}_0) = \Delta_1 + \Delta_3 \quad (35a)$$

$$= \Delta_2 + \Delta_4 \quad (35b)$$

と分割しよう。ただし、

$$\Delta_3 = \Psi_0(\hat{B}_0) - \Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0) \quad (36a)$$

$$\Delta_4 = \Psi_0(\hat{B}_0) - \Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0) \quad (36b)$$

である。ここで、 Δ_3 は再評価システムに事前評価の見直し機能を導入したことによる追加的効果を、 Δ_4 は事前評価の見直し機能に再評価機能を付加したことによる追加的効果を表す。 $\Psi_0(\hat{B}_0)$ は事前評価の見直しと再評価を導入した時の最適値関数であり、 $\Delta_3 \geq 0$ 、 $\Delta_4 \geq 0$ が常に成立する（付録 I 参照）。ただし、 Δ_3 と Δ_4 の大小関係は問題によって異なり定性的に評価できない。また、基本モデルにおける臨界価値 B_0^* と臨界価値 B_0^β の間には $B_0^* \geq B_0^\beta$ という関係が成立する（付録 I 参照）。しかし、臨界価値 B_0^* と B_0^α 、 B_0^* と B_0^γ の大小関係は確率密度関数 $g(B_1|\hat{B}_0)$ 、 $g(B_2|\hat{B}_0)$ に依存し、一意的に決定できない。以上の議論を以下の命題としてとりまとめる。

命題 プロジェクトが採択される臨界価値 B_0^* および B_0^α と B_0^β 、 B_0^γ の間に

- 1) $B_0^\gamma \geq B_0^\alpha \geq B_0^\beta$
- 2) $B_0^* \geq B_0^\beta$

が成立する。また、最適値関数 $\Psi_0(\hat{B}_0)$ 、 $\Psi_0^\circ(\hat{B}_0)$ 、 $\Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0)$ の間に

- 3) $\Psi_0(\hat{B}_0) \geq \Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0) \geq \Psi_0^\circ(\hat{B}_0)$
- 4) $\Psi_0(\hat{B}_0) \geq \Psi_0^{\circ\circ}(\hat{B}_0) \geq \Psi_0^\circ(\hat{B}_0)$

が成立する。

すなわち、命題より本研究で提案したような事前・再評価システムの下では、事前評価の見直し機能・再評価機能を導入することによりプロジェクト実施の効率性を常に増加することが可能であることが理解できる。

5. モデルの拡張

(1) モデルの拡張方針

基本モデルでは事前評価の見直し、および再評価を最大限 1 回のみ許していた。この仮定は、事前・再評価問題の構造をできる限り簡単にするために設けたものである。このような評価の見直しの機会を導入することにより、事前評価の時点において獲得できるプロジェクトの期待純価値を増加させることが可能になる。しかし、事前評価の見直し評価、及び再評価においては now-or-never 原則に基づいた費用便益分析を採用している。見直し評価、再評価の機会が増加すれば、プロジェクトの期待純価値がさらに増加する可能性がある。そこで、基本モデルを図 - 5 に示すように拡張し、事前評価・再評価の見直しを反復できるような評価システムを提案する。なお、事前評価、再評価の見直しを

図 - 5 拡張モデルの評価構造

何度反復しようとも、反復回数が有限である限り、最後の見直し評価は now-or-never 原則で実施されることになり、プロジェクトの不可逆性の問題が解消できるわけではない。この問題を抜本的に解決するためには、評価費用を導入し、無限回の反復を許容した事前・再評価システムを提案する必要があるが、本稿の域を越えており、ここでは取り上げない。以下では見直し評価の反復回数の上限值の変化が基本モデルの評価結果に及ぼす影響について分析する。

(2) モデルの前提条件

意思決定主体は初期時点より一定期間 τ 毎にプロジェクトの事前評価を行い、当該プロジェクトを開始するかどうかを決定する。事前評価の見直し回数の上限値を M とする。いま、 i ($i = 1, \dots, M$) 回目の事前評価の見直しを行う時点を $t_i = t_0 + i\tau$ と表そう。最初の事前評価を実施する初期時点を t_0 と表す。基本モデルと同様に、プロジェクトは2段階にわけて実行され、第1段階の投資費用を C_1 で、第2期の投資費用を C_2 と表す。時点 t_i にプロジェクトを開始した場合、時点 t_{i+1} において第1回目の再評価を行う。再評価の反復回数の上限値を N とする。基本モデルの場合とは異なり、第 N 回目の再評価の場合を除いて、1) プロジェクトを継続する、2) プロジェクトを凍結し、改めて再評価を行うという選択肢が存在する。のちに言及するように、再評価費用を無視しているために、最終段階以外でプロジェクトを破棄するという選択肢を考える必要はない。第 N 回目の再評価では、1) プロジェクトを継続する、2) プロジェクトを廃止するという選択肢のみが利用

可能である。基本モデルの場合と同様に、プロジェクト費用は時間を通じて不変であり、事前・再評価費用は無視できるものとする。

(3) 再評価問題のモデル化

時点 t_i ($i = 0, \dots, M$) においてプロジェクトが採択され、時点 t_{i+k} まで再評価が繰り返され、 k ($N - 1 \geq k \geq 1$) 回目の再評価が行われる問題を考える。再評価により、プロジェクト価値の当該期値 \hat{B}_{i+k} を観測したと考える。ここで、観測値 \hat{B}_{i+k} の下で、時点 t_{i+k} 以降最適に再評価を実施した時に獲得できるプロジェクト期待純価値の最大値を表す最適値関数 $\Phi_{i+k}^N(\hat{B}_{i+k})$ を

$$\Phi_{i+k}^N(\hat{B}_{i+k}) = \max \left\{ \hat{B}_{i+k} - C_2, \eta E[\Phi_{i+k+1}^N(B_{i+k+1}) | \hat{B}_{i+k}] \right\} \quad (37)$$

と定義しよう。ただし、 $\Phi_{i+k+1}^N(B_{i+k+1})$ は $i+k+1$ 期でプロジェクト価値 B_{i+k+1} の下で定義される $i+k+1$ 期の最適値関数である。上付き添え字 N は再評価の反復回数の上限が N であることを表す。また、

$$E[\Phi_{i+k+1}^N(B_{i+k+1}) | \hat{B}_{i+k}] = \int_0^\infty \Phi_{i+k+1}^N(B_{i+k+1}) g(B_{i+k+1} | \hat{B}_{i+k}) dB_{i+k+1} \quad (38)$$

である。最終再評価時点 t_{i+N} で観測値 \hat{B}_{i+N} を得た時の最適値関数 $\Phi_{i+N}^N(\hat{B}_{i+N})$ は

$$\Phi_{i+N}^N(\hat{B}_{i+N}) = \max \left\{ \hat{B}_{i+N} - C_2, 0 \right\} \quad (39)$$

と表せる。なお、各期の最適値関数は最終期の最適値関数(39)を境界条件として再帰的に求めればよい。最適値関数(37),(39)の定義より、最適値関数 $\Phi_{i+k}^N(\hat{B}_{i+k})$ が負になることはなく、最終再評価時点以前にプロジェ

クトを破棄する必要はない。この結果は、再評価費用をゼロと仮定していることにより生じている。

(4) 事前評価問題のモデル化

事前評価時点 t_i ($i = 0, \dots, M-1$) に着目しよう。当該時点でプロジェクトを実施した場合、時点 t_{i+1} で1回目の再評価が行われる。第1回目の再評価時点でのプロジェクト価値が B_{i+1} の場合、第1回目の再評価時点における最適値関数は $\Phi_{i+1}^N(B_{i+1})$ と表される。したがって、プロジェクト価値 \hat{B}_i の時、再評価時点 t_{i+1} で獲得できる最適期待純価値 $E[\Phi_{i+1}^N(B_{i+1})|\hat{B}_i]$ は

$$E[\Phi_{i+1}^N(B_{i+1})|\hat{B}_i] = \int_0^\infty \Phi_{i+1}^N(B_{i+1})g(B_{i+1}|\hat{B}_i)dB_{i+1} \quad (40)$$

と表せる。この時、事前評価時点 t_i においてプロジェクトを実施したことによる期待純価値 $P_i^N(\hat{B}_i)$ は

$$P_i^N(\hat{B}_i) = \eta E[\Phi_{i+1}^N(B_{i+1})|\hat{B}_i] - C_1 \quad (41)$$

と表される。つぎに、時点 t_i でプロジェクト採択を見送り期間 τ 後に改めて事前評価の見直しを行う場合を考えよう。時点 t_i でプロジェクト価値 \hat{B}_i が観測され、時点 t_i 以降に最適なプロジェクト選択を行った場合に獲得できる最適期待純価値を $\Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$ と表そう。上付き添え字 M, N は事前評価、再評価の見直しをそれぞれ M, N 回反復することを意味する。時点 t_i でプロジェクトを留保したときの期待純価値の当該期価値は

$$\eta E[\Psi_{i+1}^{M,N}(B_{i+1})|\hat{B}_i] = \eta \left\{ \int_0^\infty \Psi_{i+1}^{M,N}(B_{i+1})g(B_{i+1}|\hat{B}_i)dB_{i+1} \right\} \quad (42)$$

と表される。最適値関数 $\Psi_{i+1}^{M,N}(\hat{B}_i)$ は時点 t_{i+1} 以降、最適なプロジェクト選択を実施した場合に定義できる関数である。そこで、事前評価時点 t_i における最適値関数を再帰的に定義すれば、事前評価問題は

$$\Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i) = \max \left\{ P_i^N(\hat{B}_i), \eta E[\Psi_{i+1}^{M,N}(B_{i+1})|\hat{B}_i] \right\} \quad (43a)$$

$$(i = 1, \dots, M-1)$$

$$\Psi_M^{M,N}(\hat{B}_M) = \max \{ P_M^N(\hat{B}_M), 0 \} \quad (43b)$$

と定式化される。最適値関数 $\Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$ はプロジェクト価値 \hat{B}_i に関する未知関数であり、事前評価問題は関数方程式 (43a) を満足するような未知関数 $\Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$ を求める問題に帰着される。いま、関数方程式 (43a) の解 $\tilde{\Psi}_i^{M,N}(\hat{B}_i)$ が既知であるとしよう。この時、事前評価時点 t_i においてプロジェクトが採択される条件は

$$P_i^N(\hat{B}_i) \geq \eta E[\tilde{\Psi}_{i+1}^{M,N}(B_{i+1})|\hat{B}_i] \quad (44)$$

と表される。上式が等号で成立するような臨界価値を $B_i^{M,N}$ ($i = 1, \dots, M-1$) と表すこととする。

(5) 事前・再評価の経済効果

初期時点 t_0 でプロジェクト価値 \hat{B}_0 を観測したとしよう。この時点で M 回の事前評価の見直し、 N 回の再評価を導入した事前・評価システムの下で達成可能な最適期待純価値は $\tilde{\Psi}_0^{M,N}(\hat{B}_0)$ で表される。また、now-or-never 原則に基づく費用便益分析により獲得される最適期待純価値は $\Psi_0^0(\hat{B}_0)$ で表される。したがって、事前評価、再評価の見直し機能を導入することにより獲得できる経済価値 $\Delta(M, N)$ は

$$\Delta(M, N) = \tilde{\Psi}_0^{M,N}(\hat{B}_0) - \Psi_0^0(\hat{B}_0) \quad (45)$$

と表される。なお、基本モデルは以上で定式化した拡張モデルの特殊ケースに他ならず、4 (4) で定義した経済評価指標 Δ_1, Δ_2 は、それぞれ $\Delta(0, 1), \Delta(1, 0)$ に一致する。また、任意の M, N と $M' \geq M'', N' \geq N''$ となる任意の M', M'', N', N'' に対して

$$\Delta(M', N) \geq \Delta(M'', N) \quad (46a)$$

$$\Delta(M, N') \geq \Delta(M, N'') \quad (46b)$$

が成立する。一方、臨界価値 $B_0^{M',N}, B_0^{M'',N}$ に関しては

$$B_0^{M',N} \geq B_0^{M'',N} \quad (47)$$

が成立する (付録 I 参照)。しかし、 $B_0^{M,N'}, B_0^{M,N''}$ の大小関係は確率密度関数 $g(B_{i+1}|\hat{B}_i)$ に依存し、一意的に決定できない。ここに、つぎの系を得る。

系 事前・再評価費用が無視できる時、事前評価・再評価の見直し回数の上限値を増加させるほど評価システムの経済価値は増加する。また、事前評価の見直し回数を増加させるほど、初期時点における臨界価値は増加する。一方、再評価の見直し回数と臨界価値の関係は定性的に判断できない。

6. 数値計算事例

(1) 数値計算の方針

数値計算事例の目的は、読者の便宜を図るため、以上で証明した命題、系の内容を数値計算事例を通じて説明することにある。また、プロジェクト価値のリスクの多寡が事前・再評価結果に及ぼす影響を解析的に評価することは困難であるので、数値計算事例を通じてその影響を分析することとする。以下では、仮想的な計算事例を通じて事前・再評価モデルの特性を分析することとするが、適用事例に関しては今後の課題としたい。いま、時間軸上で刻々と変化するプロジェクト価値が幾何ブラウン運動に従うと仮定すれば、事前・再評価時点 t_i におけるプロジェクト価値の観測値 \hat{B}_i の下での時点 t_{i+1} (プロジェクトが完成していない場合) におけるプロジェクト価値 B_{i+1} の条件付き確率密度関

図 - 6 プロジェクト価値と期待純価値

図 - 7 σ と臨界価値

数 $g(B_{i+1}|\hat{B}_i)$ は対数正規分布

$$g(B_{i+1}|\hat{B}_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\tau\sigma B_{i+1}}} \exp\left\{-\frac{(\ln B_{i+1} - \psi_i)^2}{2\sigma^2\tau}\right\} \quad (48)$$

$$\psi_i = \ln \hat{B}_i + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau$$

で表される(付録II参照)。数値計算にあたっては、プロジェクトの投資費用を $C = 1.0$ に設定する。事前評価・再評価は5年ごとに実施すると考え $\tau = 5$ とする。割引率を年率4%とすれば割引係数は $\eta = 0.82$ となる。ここで、対数正規分布(48)のパラメータ μ, σ を変化させ、時点 t_0 におけるプロジェクト評価の結果に及ぼす影響を分析する。

図 - 8 M, N と臨界価値

(2) 計算結果の考察

以上の理論的分析より、事前・再評価モデルに関して以下の特性が明らかになっている。すなわち、事前評価・再評価の見直しを行うことにより、評価費用が無視できる限り、プロジェクトの期待純価値は増加する。しかし、事前評価・再評価の見直しが臨界価値に及ぼす影響は複雑である。再評価の導入によりプロジェクト過程においてプロジェクトの中止を実施することが可能となる。このような中止オプションを考慮することにより、プロジェクトの不可逆性がもたらす損失を部分的に軽減できる。したがって、事前評価を now-or-never 原則による費用便益分析で実施する場合、再評価を導入することにより、プロジェクトが採択される臨界価値は小さくなる。一方、事前評価の見直しの導入により、プロジェクトを正当化できる臨界価値は大きくなる。このような特性を数値計算により再確認してみよう。

図 - 6 は時点 t_0 での選択行動がもたらす期待純価値 $P_0, P_0^\circ, Q_0, Q_0^\circ$ と最適臨界水準 $B_0^*, B_0^\alpha, B_0^\beta, B_0^\gamma$ の関係を表したものである。ここで、 $\mu = 0.02, \sigma = 0.7,$

$\kappa = 0.5$ と設定した。この図より、命題に示した臨界価値の大小関係を読み取れる。ただし、 B_0^* と B_0°, B_0^γ と B_0^* の大小関係に関しては確率密度関数 $g(B_1|\hat{B}_0)$ に依存し、一般的な大小関係を一意的に決定できない。最適値関数の定義より、問題0の最適値関数 Ψ_0 は関数 P_0 と Q_0 の中でより大きな値をもつ関数を用いて定義されている。問題3の最適値関数 $\Psi_0^{\circ\circ}$ は関数 P_0° と Q_0° に対して同様に定義される。図 - 7 は、プロジェクトのリスク σ と臨界価値の関係を示している。なお、 $\mu = 0.02, \kappa = 0.5$ と設定した。now-or-never 原則に基づいた問題1の場合、 σ を変化させても臨界価値 B_0^α は変化せず、プロジェクト評価においてリスクを考慮できないことが理解できる。再評価のみを考慮した問題2では、 σ が大きくなるほど臨界価値 B_0^β が小さくなる。再評価において期待純価値が負になればプロジェクトを中止することができる。一方、 σ が大きくなれば、より大きな価値を獲得できる可能性が生じる。そのため、 σ が大きくなれば臨界価値 B_0^β が小さくなる。now-or-never

原則に基づいて事前評価を行う場合、再評価の導入により、よりリスクが大きいプロジェクトが採択される傾向が現れる。事前評価の見直しの機会を導入した問題（問題0，および問題3）では、 σ が大きくなればタイミングオプション価値も大きくなり、臨界価値も大きくなる。換言すれば、プロジェクトの実施により慎重な対応が必要となる。また、 σ がそれほど大きくない場合、臨界水準 B_0^* と B_0° の大小関係がリスク σ に依存して逆転するケースが存在している。当然のことながら、この結果は数値計算で用いた確率密度関数に依存しており、以上から一般的な結論を導くことはできない。最後に、図-8は、パラメータをそれぞれ $\mu = 0.02$, $\sigma = 0.3$, $\kappa = 0.5$ に設定し、拡張モデルの M あるいは N のみを単独に変化させ、時点 t_0 における臨界価値がどのように変化するかを示したものである。ただし、変化させない方の M あるいは N の値を1に固定している。本計算事例の場合、事前評価の回数 M を増加させることにより臨界価値は単調に増加する。一方、再評価の回数 N を増加させることにより、臨界価値は単調に減少するという関係が見出せる。しかし、再評価が臨界価値に及ぼす影響はプロジェクトリスクの内容に依存し、再評価の回数と臨界価値の関係はプロジェクト環境に応じて判断せざるを得ない。なお、以上の結果は、評価費用を無視した場合に成立する事項である。

(3) 実用化への示唆

公共プロジェクトの費用便益分析では、プロジェクトの採択基準としてプロジェクトのタイプに関わらず一律の費用便益比を用いることが多い。採択基準の一律化を図ることにより、採択基準の設定に恣意性が介入することを防ぐことが可能となる。一方、プロジェクト価値の変化トレンド μ 、リスクの大きさ σ が異なればプロジェクトの合理的な採択基準は異なる。タイミングオプション価値が大きい場合、プロジェクト採択の臨界価値は大きくなる。タイミングオプションが無視できないプロジェクトでは、プロジェクトの採択基準である B/C 比に対してリスクプレミアムの相当するマークアップを実施する（採択基準である B/C 比を大きくする）ことが必要となる。

費用便益分析の実務ではプロジェクト価値のリスクに関して感度分析が実施される場合が多い。しかし、感度分析の結果は1つの参照情報としての意義を持つものの、その結果をプロジェクト採択基準にどのように反映させるべきかに関して明確な考え方が存在していない。本研究で提案した事前・評価システムを用いれば、感度分析の結果を採択基準のマークアップ率に反映させることが可能となる。あるいは、プロジェクトにリスクが存在する場合、プロジェクトの平均的な B/C

値がプロジェクトの採択基準を「どの程度上回っているのか」を判断するための1つの基準を与えることができる。いま、プロジェクト価値の条件付確率分布が既知であると想定しよう。プロジェクトの感度分析において、たとえば初期時点 t_0 において時点 t_1 におけるプロジェクト価値の予測値に関して楽観的予想値 \bar{B}_1 、中央値 $E[B_1]$ 、悲観的予想値 \underline{B}_1 を

$$\begin{cases} 1 - G(\bar{B}_1 | \hat{B}_0) = \varepsilon \\ G(E[B_1] | \hat{B}_0) = 0.5 \\ G(\underline{B}_1 | \hat{B}_0) = \varepsilon \end{cases} \quad (49)$$

と想定したとしよう。ここに、関数 $G(B_1 | \hat{B}_0)$ は観測値 \hat{B}_0 の下での B_1 に関する条件付確率分布関数であり、たとえば対数正規分布(48)の分布関数を考えることができる。また、 ε はパラメータであり、たとえば0.1、あるいは0.05という値を想定することができる。現時点でのプロジェクト価値 \hat{B}_0 、予想値 \bar{B}_1 、 $E[B_1]$ 、 \underline{B}_1 が得られれば、対数正規分布のパラメータ μ 、 σ^2 は式(49)より求めることができる。プロジェクトリスクの確率分布の推計に関しては今後のデータの蓄積や研究成果を待たざるを得ないが、確率分布の関数形をたとえば対数正規分布(48)に特定化すれば感度分析の成果を事前・再評価システムに組み入れることが可能となる。

(4) 今後の課題

本研究では、事前・再評価システムの論理的な構造を理論的に分析することを目的としており、事前・評価システムをできる限り簡単なプロトタイプモデルとして表現した。一方、現実の事前・再評価において考慮すべき多くの要因を無視していることも事実である。プロトタイプモデルで無視された事項として、1) 事前・再評価の費用、2) 事業完成が遅延することにより発生する直接的な費用、3) スクラップ費用などがあげられる。また、本来モデルにおいて内生的に決定されるべき変数であるにも関わらず、外生的に与えているパラメータとして4) 評価間隔 τ 、5) 再評価回数 N 、6) 事前評価の見直し回数 M 、7) プロジェクトの段階的分割方法（プロジェクト分割比率 κ や分割方法）などがあげられる。これらの要因のうち、1), 2), 3) および5), 6) に関しては、前述のような無限的視野を持つ最適評価停止モデルを定式化することにより克服できる。基本モデルに3), 4) を反映することは容易であり、これらの要因を考慮してもモデルの本質的な構造は変化しない。7) の問題を考慮するためには、プロジェクトの効率的な分割と部分プロジェクトの優先順位を決定するための方法論を開発する必要がある。本研究ではプロジェクトが2つの部分プロジェクトにあらかじめ分割されており、2つのプロジェクトが完成してはじめてプロジェクト便益が発生する場合をと

りあげた。プロジェクトによれば、第1期のプロジェクトが完成した段階で、プロジェクト便益が発生する場合もある。このようなプロジェクトでは、プロジェクトの分割方法や初期投資の内容を合理的に決定することにより、プロジェクトをより効率的に実施することが可能となる。プロジェクトの分割と優先順位の決定問題に対しては、本研究で提案した事前・評価システムを部分システムとして包含するような最適プロジェクト分割モデルを開発することが必要となる。

7. おわりに

本研究では、プロジェクトの事前・再評価問題にリアルオプション理論を導入し、事前・再評価間の動学的な関連性とプロジェクトの不可逆性を考慮に入れた動学的なプロジェクト評価手法を提案した。さらに、事前評価、再評価の見直しを導入することによる経済効果の評価する指標を提案した。その結果、1)再評価を導入することによりプロジェクトの不可逆性に伴うリスクを緩和することが可能となり、事前評価で採択されるプロジェクトの臨界価値は減少すること、2)事前評価の見直しを導入することにより、 sunk 費用の損失を回避するために追加的情報を獲得するまでプロジェクト採択を延期することが可能となるため、プロジェクト採択の臨界価値は増加することが明らかとなった。また、事前・再評価費用が無視できる場合、評価の見直し回数の上限を増加させるほど、事前・再評価システムの経済価値は増加することが明らかとなった。以上は、本研究の前提条件が成立する範囲の中で成立する事項であるが、事前評価と再評価の関係に関する有用な知見を得ることができたと考える。

本研究ではもっとも単純な事前・再評価システムをとりあげ、事前・再評価問題の構造を分析したものである。もとより、プロジェクトの事前・再評価システムは本研究でとりあげたシステム以外にも多様なタイプが存在し、それぞれのタイプに応じた問題構造の分析が必要となることは言うまでもない。今後の課題に関しては6(4)でとりまとめたが、本研究で着目したプロトタイプに関しても、以下のような研究課題が残されている。第1に、評価費用を無視できない場合、事前評価、再評価の最適な見直し回数が存在する。この問題を分析するためには評価費用を考慮した無限的視野を持つ多段階意思決定モデルを開発することが必要となる。第2に、プロジェクトの最適分割の問題がある。特に、プロジェクトの部分的供用により便益が発生する場合、事前・再評価問題の枠組みの中でプロジェクトの望ましい分割方法や着工区間の優先順位を決定することが必要となる。第3に、現実には予算制約が

存在するためプロジェクトを最適タイミングで実施できるとは限らない。予算制約の中で複数プロジェクトを採択するという現実的な問題設定の中で事前・再評価をどのようにシステム化すべきかという問題が残されている。最後に、プロジェクト価値のリスクを定量的に計測する方法論を開発することが必要である。特に、プロジェクトの事後評価による知見を今後のプロジェクト評価に反映させていくためには、この種の計量経済学的発展が不可欠である。

付録I 命題の証明

1) $B_0^\beta \geq B_0^\alpha$ の証明 $\Delta P_0(\hat{B}_0) = P_0(\hat{B}_0) - P_0^\circ(\hat{B}_0)$. 式(18)より任意の \hat{B}_0 に対して $\Delta P_0(\hat{B}_0) \geq 0$ は自明。したがって、任意の $\hat{B}_0 \geq 0$ に対して常に $P_0(\hat{B}_0) \geq P_0^\circ(\hat{B}_0)$ が成立する。よって、 $P_0^\circ(B_0^\alpha) = 0$ となる B_0^α に対して $P_0(B_0^\alpha) \geq P_0^\circ(B_0^\alpha)$ が成立。 $P_0(\hat{B}_0)$, $P_0^\circ(\hat{B}_0)$ は \hat{B}_0 に関して単調増加。よって、 $B_0^\alpha \geq B_0^\beta$ が成立。 2) $B_0^\alpha \leq B_0^\beta$ および $\Delta_2 \geq 0$ の証明 定義より、任意の \hat{B}_0 に対して常に $Q_0^\circ(\hat{B}_0) \geq 0$ が成立。 $P_0^\circ(\hat{B}_0)$, $Q_0^\circ(\hat{B}_0)$ は定義より \hat{B}_0 に関して単調増加関数である。 $\hat{B}_0 \geq \hat{B}_0$ となる任意の \hat{B}_0 に対して $P_0^\circ(\hat{B}_0) \leq 0$ が成立。したがって、そのような \hat{B}_0 に対して常に $P_0^\circ(\hat{B}_0) \leq Q_0^\circ(\hat{B}_0)$ が成立。 $Q_0^\circ = P_0^\circ$ となる B_0^β が存在すれば、 $B_0^\beta \geq B_0^\alpha$ となることは明らか。 3) $\Delta_3 \geq 0$, $\Delta_4 \geq 0$ の証明 $\Psi_0(\hat{B}_0) \geq 0$ は \hat{B}_0 の下で達成可能な期待純価値の最大値を表している。一方、 $\Delta_1 \geq 0$, $\Delta_2 \geq 0$ が成立することより、 $\Delta_3 \geq 0$, $\Delta_4 \geq 0$ は自明。 4) $B_0^* \geq B_0^\beta$ の証明 2)の証明において $P_0^\circ(\hat{B}_0)$, $Q_0^\circ(\hat{B}_0)$ を $P_0(\hat{B}_0)$, $Q_0(\hat{B}_0)$ に置換すればいい。 5) 系の証明 再評価の回数の上限值を変化させた場合に着目する。 $\Psi_i^{M,N+1}(\hat{B}_i) \geq \Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$ を証明する。 $\Psi_i^{M,N'}(\hat{B}_i) \geq \Psi_i^{M,N''}(\hat{B}_i)$ の場合は $\Psi_i^{M,N+1}(\hat{B}_i) \geq \Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$ を繰り返し適用すれば証明できる。 $\Phi_{i+N}^{N+1}(\hat{B}_{i+N}) = \max\{\hat{B}_{i+N} - C_2, E[\Phi_{i+N+1}^{N+1}(\hat{B}_{i+N+1})|\hat{B}_{i+N}]\}$. 一方、 $\Phi_{i+N}^N(\hat{B}_{i+N}) = \max\{\hat{B}_{i+N} - C_2, 0\}$. 定義より、 $E[\Phi_{i+N+1}^{N+1}(\hat{B}_{i+N+1})|\hat{B}_{i+N}] \geq 0$. したがって、 $\Phi_{i+N}^{N+1}(\hat{B}_{i+N}) \geq \Phi_{i+N}^N(\hat{B}_{i+N})$ が成立。以上の評価を再帰的に繰り返すことにより、 $\Phi_{i+1}^{N+1}(\hat{B}_{i+1}) \geq \Phi_{i+1}^N(\hat{B}_{i+1})$ が成立。よって、 $E[\Phi_{i+1}^{N+1}(\hat{B}_{i+1})|\hat{B}_i] \geq E[\Phi_{i+1}^N(\hat{B}_{i+1})|\hat{B}_i]$. これより、 $\Phi_i^{N+1}(\hat{B}_i) \geq \Phi_i^N(\hat{B}_i)$ が成立。すなわち、 $P_i^{N+1}(\hat{B}_i) \geq P_i^N(\hat{B}_i)$. さらに、 $\Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$ に関して同様の手順を踏めば $\Psi_i^{M,N+1}(\hat{B}_i) \geq \Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$. したがって、 $\Delta(M, N+1) \geq \Delta(M, N)$. 事前再評価の上限值を変化させた場合も2)および5)のこれまでの手続きと同様の方法で $\Psi_i^{M+1,N}(\hat{B}_i) \geq \Psi_i^{M,N}(\hat{B}_i)$, $B_0^{M+1,N} \geq B_0^{M,N}$ を示すことができる。証明略。

付録II プロジェクトリスク

任意の時点 t におけるプロジェクトの期待価値の当該期待価値 $B(t)$ が幾何ブラウン過程

$$dB(t) = \mu B(t)dt + \sigma B(t)dW(t) \quad (50)$$

に従うと仮定する。ただし、 μ, σ はプロジェクト価値の増加率およびボラティリティを表し、定数であるとす。また、 $W(t)$ はウィナー過程であり、1) $W(t)$ は連続であり $W(0) = 0$ である、2) $W(t)$ は正規分布 $N(0, t)$ に従う、3) 増分 $W(s+t) - W(s)$ は正規分布 $N(0, t)$ に従い、時刻 s までの $W(t')$ の履歴とは独立である、という3つの性質を満足する²⁰⁾と仮定する。プロジェクトの期待価値はある所与の手続きにより測定することができるが、その値は測定しない限り知ることはできない。したがって、プロジェクトの期待価値過程(50)は、事前評価時点 t_0, t_1, t_2 においてのみ観測可能である。この時、時点 t_0 で価値 \hat{B}_0 を観測した場合、将来時点 t_1 における価値は対数正規分布(48)に従うことになる。

参考文献

- 1) 公共事業評価システム研究会：公共事業評価の基本的考え方，国土交通省，2002。
- 2) たとえば，Maglin, S. A.: *Approaches to Dynamic Investment Planning*, North Holland, 1963.
- 3) たとえば，長尾義三，森杉壽芳，吉田哲生：非弾力的需要のもとにおける段階建設について，土木学会論文報告集，No. 250，pp. 63-83，1976.
- 4) Arrow, K. J. and Fisher, A. C.: Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 88, pp. 312-320, 1972.
- 5) Henry, C.: Investment decision under uncertainty, The irreversibility effect, *American Economic Review*, Vol. 64, pp. 1006-1012, 1974.
- 6) Johansson, P.-O.: *An Introduction to Modern Welfare Economics*, Cambridge University Press, 1991.
- 7) Johansson, P.-O.: *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*, Cambridge University Press, 1993.
- 8) Conrad, J. M.: Quasi-option value and the expected value of information, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 94, pp. 813-820, 1980.
- 9) Schmutzler, A. *Flexibility and Adjustment to Information in Sequential Decision Problems: A Systematic Approach*, Springer-Verlag, 1991.
- 10) 多々納裕一：開発留保の便益と開発戦略，応用地域学研究，No.3, pp.21-32，1998.
- 11) Merton, R. C.: The theory of rational option pricing, *Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 4, pp. 141-183, 1973.
- 12) Pindyck, R. S.: Irreversibility, uncertainty, and investment, *Journal of Economic Literature*, Vol. 29, pp. 1110-1148, 1991.
- 13) Dixit, A. K. and Pindyck, R. S.: *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, 1994.
- 14) Trigeorgis, L.(ed.): *Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications*, Praeger, 1995.
- 15) Trigeorgis, L.: *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, MIT Press, 1996.
- 16) Brennan, M. J. and Trigeorgis, L.: *Project Flexibility, Agency, and Competition: New Developments in the Theory and Application of Real Options*, Oxford University Press, 2000.
- 17) Copeland, T. and Antikarov, V.: *Real Options*, Texere, 2001.
- 18) Schwartz, E. S. and Trigeorgis, L. (eds.): *Real Options and Investment Under Uncertainty: Classical Readings and Contributions*, MIT Press, 2001.
- 19) 上田孝行：事前・事中・事後評価の共通フレームに向けて，土木学会第55回年次学術講演会・講演概要集，2000。
- 20) たとえば，Baxter, M. and Rennie, A.: *Financial Calculus: An Introduction to Derivative Pricing*, Cambridge University Press, 1996。

(2002.9.20 受付)

PREEVALUATION AND REEVALUATION OF PROJECTS

Toshimori OTAZAWA and Kiyoshi KOBAYASHI

In this paper, an evaluation methodology of projects is presented, which explicitly incorporates interactions between preevaluation and reevaluation. The benefits of reevaluation is to reduce the irreversibility issues caused by the projects. The benefits of revising the foregoing decision making given the additional information which can be obtained as time goes by can be formulated as two types of real options: exiting options and timing options. The real option theory provides the basic scheme to integrate the evaluation results obtained in deferent points in time.