

社会資本の段階整備計画へのリアルオプション適用に関する研究

意思決定において、不確実性を適切に考慮することは重要である。社会資本の計画策定における不確実性の取り扱いについては、特に金融経済学を応用したリアルオプションと呼ばれる研究が進んできている。しかしながら、実際の社会資本整備の計画策定に際して、不確実性が十分に検討されているとは言い難い。

本研究では、社会資本等の大規模なプロジェクトの整備計画を対象として、長い整備期間内での不確実性に対応するために、実務において活用することが可能なリアルオプション分析の手法を提案する。また、整備を段階化することによる工事費の増加および先行投資の許容額に関する合理的な基準を示す。

キーワード | 社会資本整備, 段階整備計画, リアルオプション

高橋宏直

TAKAHASHI, Hironao

工博 国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾計画研究室長

吉田二郎

YOSHIDA, Jiro

MS カリフォルニア大学バークレー校博士課程

山本幸司

YAMAMOTO, Koshi

工博 名古屋工業大学大学院社会学専攻教授

1—はじめに

意思決定一般において、不確実性が与える影響は決定的に重要であり、社会資本整備に関する意思決定も例外ではない。特に、社会資本整備の計画策定において、将来発生する費用や便益の不確実性を考慮することは、限られた資源・資産の効率的な利用のために重要である。しかしながら、現実の計画策定プロセスにおいて、不確実性が十分に検討されてきたとは言い難い。

不確実性を分析的に取り扱うためのフレームワークは、経済学や意思決定理論などにおいて精緻化されおり、特に投資(将来の収入を見込んで先立って支出を行う行為)にかかる意思決定については、金融経済学において活発に研究が進められてきた¹⁾²⁾。

これらの分析の枠組みをわが国の土木計画へ応用する試みも、1990年代後半から活発になってきている。多々納³⁾⁴⁾⁵⁾は不確実性下での開発留保の価値と開発戦略等について、上田ら⁶⁾は、不確実性下での便益についての概念整理を、また上田ら⁷⁾⁸⁾は比喩を用いて極めて分かりやすく評価の共通フレーム、公共投資のタイミング等について概念整理を行っている。小林ら⁹⁾は連続時間モデルを用いた標準的なリアルオプション分析を段階的治水投資へ適用している。織田澤ら¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾はリアルオプションを用いた道路事業における遅延リスクのケーススタディおよびプロジェクトの事前・再評価モデルの提示を、長江ら¹³⁾および赤松ら¹⁴⁾は不完備市場でのオプション評価方法を提示している。このように概念整理と

連続時間モデルによる解析解の提示は進んでいるものの、実務として必要な現実のプロジェクト評価には、リアルオプションの概念がほとんど反映されていないのが実状である。

したがって、既存研究に対して、本研究では実務での適用を基本として、社会資本等の大規模なプロジェクトの実施確定後での整備計画、そして実務への適用可能な計画手法を対象とする。特に、大規模なプロジェクトでは整備期間も長期となることから、このような長い整備期間内での不確実性に対応するためのリアルオプション分析の手法を提案する。

まず、「施行」における段階整備を考える。具体的には、長い整備期間内での不確実性に対応するために施行を2段階に分割し、第1段階着工後での社会経済動向が変動した結果、最悪の場合には第1段階終了時点で事業中止を選択できる段階整備計画を想定する。本論文の2章では、この場合のオプション価値を推計すると共に、段階整備化するために必要となる追加投資の許容額について検討する。

この段階整備計画では、第1段階終了時点において事業中止を判断した場合には、供用に伴う収益が全く想定されないことから「途中段階で事業を中止することで当初の投資額が無駄になる」という指摘がなされることがある。これに対しては、第1段階終了時点で中止することが望ましいような状況でありながら、当初の計画通り事業全体を実施することは第2段階での投資額も無駄になると考える。このため、第1段階に対する投資額のみで

抑制されたと考えることが妥当である。

しかしながら、ここで想定する段階整備での事業中止の場合には、施設整備に伴う便益は全く期待できない上に、実際には撤去、廃棄等の費用も発生することから、このような段階整備計画は現実的ではない。

このため、想定している事業について、不確実性に対応するための「事業」としての段階整備を考える。まず、全体事業の一部のみを第1段階で実施する。その第1段階での事業を実施することで、収益の動向を当初の予想通りであるかどうかを判断して、収益が当初の予想通りであれば第2段階の事業を実施し、最終的に全体事業を実施する。逆に、この段階での収益が当初の予想以下であり、事業を継続することが損失をさらに拡大すると判断される場合には事業を中断する。この場合には、第2段階への拡大が実施されなくても、第1段階での投資が全ては無駄にはならない。

一方、事業成果が高いことから第2段階に展開できるような場合でも、第2段階への展開が困難になることがある。例えば、プロジェクトの開発による土地価格の高騰のために第2段階での土地取得が困難になるような事例が想定される。このため、3章では第2段階での事業実施を容易にするために、第2段階事業の一部を第1段階で先行的に実施する場合の評価法について検討する。

さらに、2章および3章前半の検討では一般論としての解析ではなく、現実のプロジェクト評価で直面するような個別のケースでの解析を実施する。また、解析手法においても連続時間のもとでの確率微分方程式ではなく、Cox, Ross and Rubinstein¹⁵⁾により整理された2項モデルを用いる。特に、2項モデルは、①事業価値が変遷するプロセスの状況、さらに各時点における状況の発生確率を目視的に容易に確認できる、②連続時間モデルでは解析解が得られないような場合にも広く対応できる、③2項モデルの単位時間を短く設定することで、極限において連続時間モデルと同じ解を得ることができる、④幅広い層の実務者にとって、利用しやすいという特徴を有している。また、特殊なケースを除けば、連続時間モデルにおいても、最終的には有限差分法などの離散化による数値解析を用いなければならないことに鑑みれば、当初から離散時間でのモデル化を行うことで、失うものよりも得るものの方が多いと考える。

なお、概念として整備期間の長いプロジェクトを対象としているものの、簡潔な図表とするために各ケースの期間設定は短くしている。もちろん、長期間への対応は容易であり、また、この手法を拡大することでより詳細な検討も可能である。例えば、より高い精度が必要な場合には単位期間を短くすることで対応でき、また、整備段階

として2段階以上の複数段階を設定すること等も可能である。

さらに、4章では社会資本整備にリアルオプションを実際に適用する場合の2つの課題、すなわちプロジェクト価値変動が幾何ブラウン運動に従うという仮定と不確実性の指標値であるボラティリティ(σ :収益率の標準偏差)の設定に対する考え方を整理する。ただし、ボラティリティ(σ)については、一つの目安の提示のみとなっている。

なお、本研究において示す価格は基本的には現時点(時間軸 $T=0$ 年の時点)の期待値であり、それ以外の時点の場合にはその時点を明記している。

2——段階整備に伴うオプション価値と許容限界投資額の推計

整備期間の長いプロジェクトに対する段階整備を考える。ここでは施行を2段階に分割して、第1段階の着工後における社会経済状況の変化により中止が可能な段階整備を検討する。

2.1 推計に際してのケース設定

具体的な推計に際しての基本ケース(段階整備を想定しないケース)の条件を次のように設定する。

- ・現時点(時間軸 $T=0$ 年の時点)において、プロジェクトを計画している。
- ・計画しているプロジェクトの整備期間は6年間とする。
- ・このプロジェクト投資額は100億円とする。
- ・ $T=6$ 年目にプロジェクトの整備が完了した後、 $T=7$ 年目以降に発生する便益(フロー)の期待値は毎年一定の4億円(名目価格)^{注1)}で、期間は50年間とする
- ・整備に関する費用および整備後の便益は、毎年一回、離散的に発生する。
- ・社会的割引率(r)は、安全資産利子率と同値として年率2%とする^{注2)}。
- ・整備期間中のプロジェクト価値のボラティリティ(σ)は、年率50%とする。なお、ここでのボラティリティ(σ)は、特性を明確にする観点から設定しており4章での分析との関連はない。

2.2 段階整備計画を想定しない場合のプロジェクト価値および正味現在価値の推計

設定したケースの条件を踏まえて、このプロジェクトの割引現在価値は111.6億円と算定される。この基本ケースのプロジェクト評価としての正味現在価値をNPV1とすると、このNPV1は $(111.6-100)=11.6$ 億円として算定される。なお、ストックによる便益のみを対象とする場合に

ションの行使期限である $T=3$ 年目におけるプロジェクト価値が取り得る値と、オプション行使価格である53.1億円($T=3$ 時点価値)との比較からオプション収益を算定している。例えば、 $T=3$ 年目におけるプロジェクト価値が最も高くなるのは表—2から500.2億円であり、この場合にはオプションの行使がなされ、オプション収益として $500.2-53.1=447.1$ 億円が得られる。ただし、この場合のオプション収益は現金として得られる収益ではなく、プロジェクトの $T=3$ 時点での正味現在価値を意味している。この値が表—5の $T=3$ 年目の最上段に示されている(端数処理の関係で、表—5では447.2)。逆に、プロジェクト価値が最も低くなる24.9億円の場合は、オプション行使価格よりも低いことからオプションの行使による収益はないために0と表示される。これらにより、表—5における $T=3$ 年目の列が算定される。

次に、リスク中立確率を用いて期待値を算定し、 $T=2$ 、 $T=1$ 、 $T=0$ 年目へと安全資産利子率(仮定により社会的割引率と同値)を用いて割引くことにより、 $T=0$ 年目におけるオプション価値が算定される。ここで、前提条件として社会的割引率=安全資産利子率としていることから、リスク中立確率として表—1での上昇確率、下落確率を適用することができる。

この結果、2段階整備が可能なプロジェクト評価としての正味現在価値をNPV2とすると、NPV2はこのオプション価値67.4億円から第1段階での投資額50億円を差し引いた17.4億円として算定される。ここで、基本ケースでのNPV1(11.6億円)と比較すると、NPV2が5.8億円高くなっている。これが2段階整備としてのオプションを有することによる価値の増加であり、本研究ではこれを段階整備オプション価値と定義する。

2.5 第2段階整備に至る確率の推計

2項モデルの特徴として、 $T=3$ 年目において継続となる場合の確率と、逆に事業中止となる確率を容易に把握することができる。すなわち、第2段階に至る確率はオプション行使に対応する表—3の各セルの合計から求められる。逆に、中止に至る確率はその排反事象であり、この場合には22%になる。

2.6 段階整備計画による許容限界追加投資額の推計

本研究では、先に定義した段階整備オプション価値までは、段階整備化に伴う投資額の増加が許容されると考える。すなわち、段階整備を想定しない場合に得られるであろう正味現在価値(NPV1)が最低限に確保されるまでは、段階整備計画による追加を許容しても良い投資額(許容追加投資額)と考え、 $NPV1=NPV2$ となる状態での

投資額を許容限界追加投資額と考える。なお、ここでは投資に関する資金制約は無いとしている。

今回のケースでは、 $(NPV2-NPV1=)$ 5.6億円が許容限界追加投資額となり、プロジェクト投資額全体では105.6億円まで許容されることになる。この許容限界追加投資額は、どの段階でも投資することができる。例えば、埋立工事を想定し、段階整備のために中仕切り堤の整備を第1段階に追加実施する場合には、段階化による追加費用として5.6億円まで許容されることになる。一方で、この工事を2段階の当初において実施する場合でも同様である。

2.7 整備計画に対する評価

今回のケースでは、基本ケース(段階整備を想定しないケース)に対して、第1段階で当初事業費よりも最大限5.6%増(5.6億円)の追加投資をしても、基本ケースとは同額の正味現在価値の確保が期待されるとともに、途中段階での事業中止のオプションを有する整備計画の策定が可能となった。また、この整備計画における事業中止としてのオプション行使確率は22%であることから、78%の確率で事業の継続が期待される。

3——段階整備に伴う許容先行投資額推計

事業の段階整備として、不確実性に対応するために、先ず、一定規模の事業を実施し、その事業の収益動向を踏まえて第2段階を実施する場合を考える。さらに、ここでは第2段階での事業実施を容易にするために、第2段階事業の一部を第1段階で先行的に実施する場合の段階整備についても検討する。

3.1 推計に際してのケース設定

具体的な推計に際して、2章とは別の新たなプロジェクトを想定し、その基本ケース(先行投資を想定しないケース)の条件を次のように設定する。

- ・現時点(時間軸 $T=0$ 年の時点)において、プロジェクトの段階整備計画を検討している。
- ・第1段階事業として40億円を投資して、2年間で整備を行う。
- ・第1段階整備事業の完了後、 $T=3$ 年日以降に発生する便益の期待値は毎年1.5億円(名目価格)^{注1)}とする。便益が発生する期間は50年間とする。
- ・ $T=4$ 年目での第1段階事業の収益動向を把握した後に、第2段階事業への新規投資を決定できる。
- ・新規投資の場合には、15億円を投資して2年間で整備を行う。

- ・第2段階事業の完了後、T=7年目以降に提供される便益の期待値は毎年1億円(名目価格)^{注1)}とする。便益が供用される期間は50年間とする。なお、第1段階事業と第2段階事業とも以下の条件とする。
- ・整備に関する費用および整備後の便益は、毎年一回、離散的に発生する。
- ・社会的割引率(r)は、安全資産利子率と同値として年率2%とする^{注2)}。
- ・整備期間中のプロジェクト価値のボラティリティ(σ)は、年率50%とする。なお、ここでのボラティリティ(σ)は、特性を明確にする観点から設定しており、4章での分析との関連はない。

3.2 プロジェクトの収益性

設定した条件に基づき、表—6に示すように、第1段階事業のプロジェクト価値は45.3億円、第2段階事業のプロジェクト価値は27.9億円と計算される。この結果、第1段階事業のみでの正味現在価値は5.3億円、第2段階事業もあわせた全体事業としての正味現在価値は18.2億円となり、第2段階事業が実施されることによる便益の方が大きくなっている。すなわち、第1段階で全体事業の基幹部分の整備が行われて、第2段階で拡大することにより全体として収益性が高くなる事業を想定している。

■表—6 事業の段階整備として想定するプロジェクトの状況

○第1段階事業 (単位：億円)

評価時点(T=0)を基準とした年次	0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	...
プロジェクト年間名目便益(各時点での金額)		(整備)	(整備)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	...
プロジェクト割引現在価値(T=0時点での金額)	45.3	46.2	47.1	46.6	46.0	45.4	44.8	44.2	43.6	42.4	...

○第2段階事業 (単位：億円)

評価時点(T=0)を基準とした年次	0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	...
プロジェクト年間名目便益(各時点での金額)					↑判断	(整備)	(整備)	1.0	1.0	1.0	...
プロジェクト割引現在価値(T=0時点での金額)	27.9	28.5	29.0	29.6	30.2	30.8	31.1	31.4	30.7	30.3	...

3.3 事業の段階化での先行投資に対する評価

このケースにおいて、第2段階事業の一部を第1段階事業とあわせて先行的に実施することを考える。例えば、地域開発において、現時点では取得が容易な未利用の土地が、第2段階事業時点では地価の高騰により取得が困難になることが想定される場合に、その土地を先行的

に取得することが考えられる。

このケースにおいて、第2段階事業の15億円のうち10億円がこのような先行投資に必要な費用とする。この場合には、第1段階事業としての投資額は50億円であり、第1段階のみの正味現在価値は-4.7億円となることから厳しい事業評価となる。

しかしながら、この場合にはT=4年目において、第2段階事業への拡大が可能なオプションを有している。T=4年目において、オプションを行使する場合には、5億円(現在価値：T=4時点価値では5.4億円)を追加投資することにより第2段階に進み、最終的には第2段階の事業からの便益提供が50年間なされる資産を入手する。

このオプション価値についても2項モデルにより推計する。第2段階事業の事業価値の変動プロセスを表—7に、オプション価値の算定プロセスを表—8に示す。すなわち、T=4年目において拡大オプションが適用されるのは、この段階での事業価値が10.3億円~206.2億円の場合となる。先と同様の算定により拡大オプションの価値は23.1億円となる。

■表—7 事業価値の変動プロセス

(単位：億円)

評価時点(T=0)を基準とした年次						
0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目
27.9	46.0	75.8	125.0	206.2	339.9	560.4
	16.9	27.9	46.0	75.8	125.0	206.2
		10.3	16.9	27.9	46.0	75.8
			6.2	10.3	16.9	27.9
				3.8	6.2	10.3
					2.3	3.8
						1.4

■表—8 オプション価値の算定プロセス

(単位：億円)

評価時点(T=0)を基準とした年次						
0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目
23.1	40.9	70.6	119.7	200.7	-	-
	12.2	22.7	40.7	70.4	-	-
		5.6	11.6	22.5	-	-
			1.9	4.9	-	-
				0.0	-	-
					-	-
					-	-
					-	-
第2段階での投資額				-5.4		

また、第1段階の事業完了後に第2段階に展開できる確率は、社会的割引率(r)とボラティリティ(σ)を同一としている表—3から87%と算定される。なお表—3のセルでは(0.02 + 0.15 + 0.34 + 0.35=)0.86であるが、端数処理の関係で実際は0.87となる。

事業の拡大が可能である場合、オプション価値を含んだ事業全体の正味現在価値は(-4.7 + 23.1 =) 18.4億円となる。拡大オプションを有さない場合での第1段階事

業の正味現在価値はマイナスであるものの、拡大オプションを有する場合には、全体事業の正味現在価値は大きなプラスとなるために、事業実施に対する高い評価が期待される。すなわち、この場合には10億円の先行投資は効果的な手段であると考えられる。

4——実際の社会資本整備での適用に際しての課題の対応

4.1 プロジェクト価値変動のモデル化

2章、3章で用いたように社会資本のような大規模なプロジェクトの価値を考えた場合、実際にプロジェクトが取引されている市場は当然に存在しない。しかし、市場における取引価格は存在しないものの、将来にわたって(確率的であっても)便益をもたらすプロジェクトには、価値が当然に備わっていると考えられる。

本研究においては、プロジェクトが将来もたらす便益フローの確率的な特性が与えられた場合の、観察される他の資産価格と整合的な価格をもって、プロジェクトの価値としている。ここでは、当該社会資本プロジェクトのもたらす確率的便益フローと同等の確率的キャッシュフローを、既存の資産によって複製することができるという立場に立っている。すなわち、当該プロジェクトが新たなリスク(状態)を経済に付加するのではなく、プロジェクトのリスクは現に経済に存在するリスクの組み合わせによって構成されると仮定している^{注5)}。本研究で扱っているリスクはプロジェクトの需要リスクであり、具体的なリスク要因は消費者選好ショック、所得リスク、当該プロジェクトの補完財や代替財に関連するリスクなどと理解され、どれも既存の資産価格に反映されていると考えられる。

この場合、観察される資産価格を用いて当該プロジェクトの無裁定価格を求めることができる。なお、現実には取引されていない資産の無裁定価格とは、仮に当該資産が取引されたとした場合に裁定が行われない価格と理解することができる。金融理論において、企業の株式公開価格や非公開企業の買収価格を評価する場合と同様に解釈することができよう。

もし、プロジェクト価値を取引可能な資産によって複製することはできないという立場に立てば、既存資産の価格と整合的な確率的割引率(およびリスク中立確率)が無数に存在するため、資産価格は無裁定条件だけからは一意に決めることができない。また、新たな資産の追加によって、既存資産の均衡価格も変化し得る。しかし、この場合の資産価格評価については、十分に満足できる方法が確立されていないこと、および本研究で対象と

する需要リスクは、主に現存するリスクの組み合わせであると考えても問題は少ないことから、当該プロジェクトは既存資産により複製可能であると仮定する^{注6)}。

この場合のプロジェクトの価値は「仮に当該資産が取引されたとした場合に裁定が行われない価格」であり、通常の効率的市場における資産価格のモデル化の例に従い、Cox, Ross and Rubinstein¹⁵⁾の2項モデルによって表現する^{注7)}。

4.2 ボラティリティ(σ)の設定

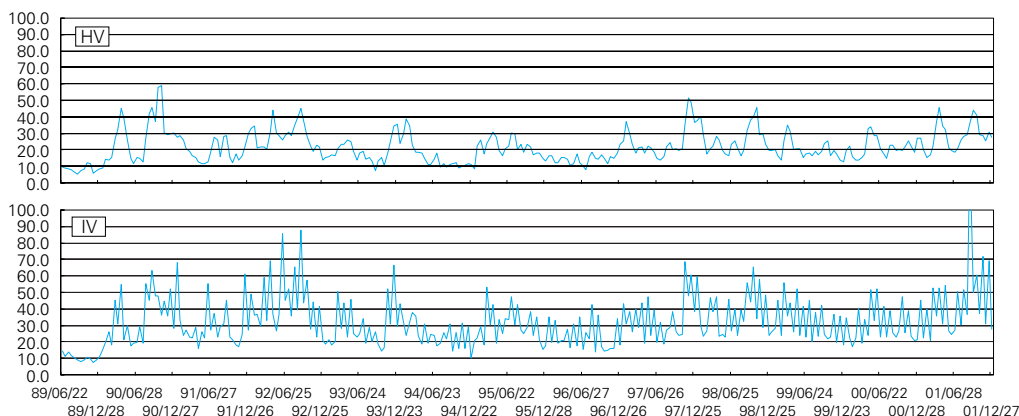
市場の効率性あるいは非効率性に対する評価に加えて、現実のプロジェクト評価への適用で重大な課題がボラティリティ(σ)の設定である。

金融オプションとしてのボラティリティ(σ)は、株価の収益率に関する標準偏差が用いられ、実務では過去の取引価格データからの算定、市場で取引されているオプション商品の価格からの逆算による場合が多い。文献¹⁶⁾では「広義のアメリカの株価指数収益率は、過去15年間を通じてほぼ年率約20%の標準偏差を保っていた。例外は1987年のブラックマンデーと1990~91年のペルシャ湾岸危機の時であり、こうした非常事態にのみ上方に突出したことがある。」、さらに「もし、製造部門の資産について算定するとき、 σ について何ら特別な情報がないと仮定すると30~60%の範囲から吟味することから始める。」と解説されている。

一方で、わが国ではリアルオプションを適用している公開事例はほとんど無い。また、1章で示した既往の研究等においても、ボラティリティ(σ)の感度分析がなされていても、実務での適用に期待される個別の値、あるいは設定方法は示されていない。大谷、安達¹⁸⁾は社会資本整備を対象とした計算事例において $\sigma=20\sim30\%$ を与えているものの、その根拠は明確ではない。日原¹⁹⁾の「空港の赤字」に関する分析では、文献¹⁷⁾の電力施設の事例を参考にしているものの、非常に高い $\sigma=70\%$ を与えている。

しかしながら、日本における何らかのボラティリティ(σ)の目安を持つことも重要であると考えられる。このため、日本の経済社会における標準的な金融オプションのボラティリティ値を分析する。具体的には、日経平均オプションのボラティリティの適用を考える。ここでのボラティリティは、過去の前資産の価格推移をもとに算定される日経平均HV(Historical Volatility)と実際の市場で取引されるオプションから逆算される日経平均IV(Implied Volatility)の2種類を対象とする。なお、これらの値は日本経済新聞に掲載されている。日経平均オプション取引が開始された1989年6月~2001年末における2種類のボ

ラティリティの推移を図—1に示す。ここでは、毎月の第2、4木曜日の日本経済新聞に掲載された値を対象としており、前日が祭日等のために当該日の掲載がない場合には次の金曜日を対象としている。図—1より、2種類のボラティリティとも2週間毎の変動が著しいこと、また大半の期間はIVの方がHVよりも大きな値を示していることが明らかになる。なお、図—1に示した期間のHVの平均値は21.9%、標準偏差は9.4%、IVの平均値は32.1%、標準偏差は15.4%と算定される。



■図—1 日経平均オプションのHVおよびIVの推移(1989.6.22~2001.12.27)

ここで、リアルオプションへの適用を想定する場合には、過去に実現した株価変動に基づくHVよりも、市場参加者による将来動向の想定(フォワード・ルッキング)に基づくIVを用いることが妥当と考え、平均値を用いるとすればボラティリティ(σ)=30%となる。この場合、日経平均のようなインデックスのボラティリティは、分散効果が効いているため個別株式のボラティリティよりも低いことはあらためて確認しておきたい。

もちろん、社会資本整備へのリアルオプションを適用する場合の値として示しているのではなく、ボラティリティ(σ)=30%の状況とは、例えばわが国の1990年代における平均的な日経平均IV(Implied Volatility)の状況であるということが一つの目安になると考える。

リアルオプションを社会資本整備に適用していくためには、このボラティリティ(σ)の設定が重要であり、実現可能な推計方法に関する研究、さらに実際の推計が重要である。

5——おわりに

本研究では、社会資本等の大規模なプロジェクトの施行および事業の段階整備計画を対象として、整備期間内の不確実性に対応するためにリアルオプション適用について検討した。検討に際しては、特に現実のプロジェクト評価への適用を想定して、手法として2項モデルを用

いるとともに、具体的な個別ケースでの解析を実施した。その結果、リアルオプション適用の有用性はあると判断されるものの、一方では適用に際して整理すべき課題も明らかになった。

具体的には、プロジェクト価値変動が幾何ブラウン運動に従うと仮定することの評価と不確実性の指標値であるボラティリティ(σ)の設定については、更に研究を進める必要があると考える。特に、本研究では需要リスクに対応したボラティリティ(σ)の検討にのみ焦点をあて

ているが、地盤条件の不確実性等の物理的リスクについて、また、想定する社会資本整備の事業内容に対応したボラティリティの設定についても検討することが必要である。

注

注1) 便益とともにコストとしての維持管理費を考慮する場合、ここでの便益は維持管理費を差し引いたネットの便益となる。

注2) ①ここでの社会的割引率の設定では、市場利率以外の社会的価値判断や社会的なリスク耐力等は対象としてない。

②Capital Asset Pricing Modelに基づけば、当該社会資本の便益の変動が市場ポートフォリオの変動と無相関であると仮定していることになる。この仮定は単に簡便化のためであり、仮定を緩めてもモデルの有効性は損なわれない。

注3) 社会的割引率と安全資産利率を同値としているため、リスク中立確立と発生確率は等しくなる。

注4) ここでは、工事費の上昇率は社会的割引率と同じ2%で確定的に上昇することを仮定している。

注5) ここでは、必ずしも完備市場を想定しているわけではない。非完備市場においても、既存資産により複製可能な資産(すなわち重複資産(Redundant Asset)、市場のスパンを広げない資産)については、問題なく価格付けをすることができる。より詳細な解説は、たとえばLengwiler²⁰⁾を参照。

注6) 例えば、社会資本整備の分野においては、先に引用した長江・赤松¹³⁾¹⁴⁾は、非完備市場のオプション評価問題に対してKL情報量を用いたアプローチを提案している。しかしながら、その基準は実質的にCARA効用関数による基準に等しく、絶対的危険回避度が保有資産規模に依存しないというCARA効用関数の欠点があるまま引き継がれていることから課題が残る。また、現実の市場を完備市場としてモデル化することの是非については、Ross²¹⁾を参照。

注7) 2項モデルは期間収益率がランダム・ウォークに従う資産の価格をモデル化する際に標準的に用いられる。期間収益率のランダム・ウォークは、効率的市場において、またはSamuelson²²⁾の「適切に予測された価格」の議論により正当化される。

参考文献

- 1) Abel, Andrew B.[1983]: "Optimal Investment under Uncertainty", American Economic Review, vol. 73(1), pp. 228~33
- 2) Dixit, A.K. and Pindyck, R.S.[1994]: "Investment under Uncertainty", Princeton University Press.
- 3) 多々納裕一・小林潔司・喜多秀行[1996]: "危険回避選好を考慮した2段階離散選択モデルに関する研究",「土木計画学研究・論文集」, No.13,

pp.553～562

- 4) 多々納裕一[1997]: “不確実性下のプロジェクト評価, 展望と課題”, 「土木学研究・講演集」, No.20, pp.19～30
- 5) 多々納裕一[1998]: “開発留保の便益と開発戦略”, 「応用地域学研究」, No.3, pp.21～32
- 6) 上田孝行[1996]: “防災投資の便益評価—不確実性と不均衡の概念を念頭に置いて—”, 「土木計画学研究・講演集」, No.19(2), pp.17～34
- 7) 上田孝行[2000]

Ma Sheila Gaabucayan・森杉壽芳[2002]: “公共事業の投資タイミングについて: 食べ頃と賞味期限の比喩”, 「運輸政策研究」, Vol5.No.1, pp.22～27

- 9) 小林潔司・横松宗太・織田澤利守[2001]: “サンクコストと治水経済評価: リアルオプションアプローチ”, 「河川技術に関する論文集」, 第7巻
- 10) 織田澤利守・四辻裕文・小林潔司[2003]: “遅延リスクと事業評価”, 「建設マネジメント研究論文集」, Vol.10, pp.119～128
- 11) 織田澤利守・小林潔司[2003]: “プロジェクトの事前評価と再評価”, 「土木学会論文集」, No.737, pp.189～202
- 12) 織田澤利守・小林潔司[2004]: “評価費用を考慮したプロジェクトの事前・再評価問題”, 「土木学会論文集」, No.751, pp.97～110
- 13) 長江剛志・赤松隆[2003]: “不完備市場リスクを考慮したリアル・オプション評価”, 「応用地域学研究」, No.8(2), pp.81～93

- 14) 赤松隆・長江剛志[2004]: “経済リスクを考慮した社会基盤投資プロジェクトの動的財務評価” 「土木学会論文集」, No.751, pp.39～54
- 15) Cox, John C., Stephen A. Ross and Mark Rubinstein [1979]: “Option Pricing: A Simplified Approach”, 「Journal of Financial Economics」, 7, pp.229～263
- 16) マーサ・アムラム, ナリン・クラティラカ他[2001]: “金融工学のマネジメント”, ハーバード・ビジネス・レビュー・ブックス, ダイアモンド社
- 17) 刈屋武昭(監修), 山本大輔(著)[2001]: “入門リアル・オプション”, 東洋経済新報社, pp.156～161
- 18) 大谷悟, 安達豊[2001]: “社会資本整備におけるリスクに関する研究”, 「国土交通政策研究」, 第4号, pp.51～76
- 19) 日原勝也[2001]: “「空港の赤字」をどう考えるべきか。—リアル・オプション理論による分析の試み—”, 「PRI Review」, 第2号, pp.2～12
- 20) Lengwiler, Yvan. [2004]: “Microfoundations of Financial Economics: An Introduction to General Equilibrium Asset Pricing. Princeton University Press
- 21) Ross, Stephen A. [2004]: “Neoclassical Finance”, Princeton University Press.
- 22) Samuelson, Paul [1965]: “Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly”, 「Industrial Management Review」, 6-2, pp.41～49

(原稿受付 2004年8月31日)

An Application of Real Options to The Phased Construction Plan of Infrastructure Investment

By Hironao TAKAHASHI, Jiro YOSHIDA and Koshi YAMAMOTO

Real options, a development of financial economics, is a workhorse for dealing with uncertainty. This method, however, has seldom been applied to public infrastructure investment. We present a method of real options analysis that is easily used in the on-site planning process for large scale projects. We also present the rational criteria for determining the maximum amount of cost increase due to conducting the construction process in phases, and the maximum amount of anticipatory investment.

Key Words ; Infrastructure investment, phased construction plan, real options
