

地盤リスクを有する民間プロジェクト 投資評価に関する一考察

○電源開発(株) 尾ノ井芳樹¹京都大学 大津 宏康²

By Yoshiki ONOI, Hiroyasu OHTSU

プロジェクトファイナンスを用いた民間事業として行うインフラ事業投資においては、一般に建設契約としてEPCターンキー契約が採用されているが、地質条件など自然リスクに建設コストが左右される場合については、そのリスク分担の方法は定着していない。ここでは建設費のボラティリティ（変動性）が計量されれば、投資あるいは融資の判断に通常使用されるキャッシュフローモデルに入力する数値を確率変数によって与え、資本収益率（IRR）や返済余裕比率（DSCR）などを指標として、出資会社および銀行において計量されたリスク資産として認識されることを述べる。そのためにケースプロジェクトを設定し、建設コストリスクと他のリスクファクターとそれぞれの事業評価に対する影響度合いを考察する。

【キーワード】建設コスト、キャッシュフローモデル、DSCR

1. はじめに

海外における発電BOT案件などプロジェクトファイナンスを用いた民間インフラ事業投資において一般に、建設契約は設計・調達・工事を含むすべての建設内容を1社が固定金額で受注するEPC(Engineering, Procurement and Construction)ターンキー契約が採用されている。プロジェクトファイナンスによる事案は工場で生産されるパーツの組み合わせと据付による火力発電やその他プラントの事例が多く、地下条件など自然リスクに建設コストが左右される工事を含む場合については、そのリスク分担の方法は定着していない。出資者においては建設費のボラティリティが不明確な状況でリターンを設定することは困難であり、またローンを提供するレンダー（銀行）は数多くの債権で構成する資産ポートフォリオの一部として当該ローン資産を保有するが、返済が保証されていないかもしくは計量されていないリスクを有した事案は通常忌避する方向となる。仮にコントラクターにリスク分担を求めたとしても、コントラクターはその資産構成において大きなコスト変動リスクを潜在する工事の受注は限界的になると考えられる。本研究では、自然リスク、とりわけ地盤条件によって変動が予見される工事費を確率的に定量表現し、出資者やレンダーが事業評価を行う

ツールであるキャッシュフロー分析上で評価し得るように、ケースプロジェクトを設定し手法の提案と考察を行う。

2. 地下構造物のコストボラティリティ

(1)地質条件による建設コストボラティリティ

数多い建設コストの変動要因のうち、本研究においては未知の地質変化に起因するトンネル・地下空洞の支保工パターンの変更を通じた工事費の変化について焦点をあてる。土木工事が直面する自然リスクへの対処について「予見できない地質への遭遇」については土木工事保険や、困難な地質遭遇時にはやむなきコスト増嵩として公共もしくは発注者側が精算する方法がとられてきた。

あらかじめ想定範囲で生じる支保工の変更などについては精算で対処するのが一般的であったため、その確率的予測についてあまり議論されることはなかったといえる。しかし、受注するコントラクターが民間であることはもとより、発注する事業会社がSPC(Special Purpose Company)である場合、単一事業で単一の民間企業、ローンを提供する銀行も民間企業ということになれば、「想定範囲の建設コスト変動」についても事業の成否に影響しかねず、より計量された予測が望まれることがある。このよ

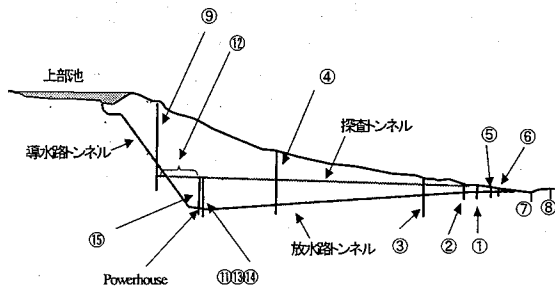
¹ 電源開発株式会社 事業企画部 Tel. 03-3546-9623

² 京都大学国際融合創造センター 融合部門 教授

うな背景で筆者らは地盤の確率評価に関する研究を進め、トンネル工事における地質変化とコスト変動に対し評価モデルを提案した¹⁾。

(2) 地下工事の建設コスト算定モデル

ボーリングなどの既知のデータから幾何学的・力学的に未知の施工予定空間における工事費を評価する指標(岩盤線深さや地下掘削における支払い分類等)をクリジングあるいはインディケータ・クリジング手法²⁾を用いて推定する。



調査実施段階	調査内容
F/S	ボーリング番号①～④
D/S ₁	ボーリング番号⑤～⑧
D/S ₂	探査トンネル(番号⑨～⑩)
D/S ₃	ボーリング番号⑪
D/S ₄	ボーリング番号⑫～⑭
D/D	ボーリング番号⑮

図-1 トンネル工事例と段階別調査工事

ここではRMR (ロックマス・レーティング) 値と岩盤分類 (= 支保工パターン指定) を使ったインディケータ・クリジングにより、アジアに実在する揚水発電プロジェクト²⁾の放水路トンネルおよび発電所地下空洞について支保工パターン変化による工事費のボラティリティ評価を行った。詳細は文献¹⁾によるが以下骨子を示す。

サンプル位置を x_i 、推定対象量を z とした場合に、推定対象量 z に関する情報として、式①に示すごくある値 a 以下あるいは b 以上で存在範囲が与えられていると仮定する。

$$z(x_i) < a \text{ or } z(x_i) \geq b \quad (1)$$

事前に設定した幾つかの閾(しきい)値 z_k に対して、それぞれの閾値を超過しない確率 (非超過確率) を算定するため対象領域内における全てのサンプル位置 x_i の値に対するインディケータ変換値 $I(x_i; z_k)$ を定義する。式②示すように x_i の値が、ある閾値 z_k を越えていると推定される場合に 0、また z_k 以下と推定される場合に 1 なる情報を与える。

$$I(x_i; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } z(x) \leq z_k \\ 0 & \text{if } z(x) > z_k \end{cases} \quad (2)$$

なお、インディケータ変換値 $I(x_i; z_k)$ の期待値は $z(x)$ の累積分布関数であるとする、式③に示すように、期待値 E は位置に依存しなくなる。

$$\begin{aligned} E[I(x_i; z_k)] &= 1 \cdot \text{prob}[z(x_i) \leq z_k] + 0 \cdot \text{prob}[z(x_i) > z_k] \\ &= \text{prob}[z(x_i) \leq z_k] \\ &= F(z_k) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $F(z_k)$ は累積確率分布関数。

次に、任意の推定箇所 x_0 における物性値のある閾値 z_k に対する非超過確率 $F(x_0; z_k)$ は、式②に示した対象領域内における全てのサンプル位置 x_i の値に対するインディケータ変換値 $I(x_i; z_k)$ を用いて、以下のように表一現される。

$$I^*(x_0; z_k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(z_k) I(x_i; z_k) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(z_k) = 1 \quad (5)$$

ここに $\lambda_i(z_k)$ は、閾値を z_k に設定した際の重みである。なお、対象とするインディケータ変換値に対して 2 次のモーメントにおける定常性を仮定すると、閾値 z_k に対する位置 x についてのインディケータ変換値 $I(x; z_k)$ 、その位置から h だけ離れた位置の値を $I(x+h; z_k)$ とする時、この 2 点間における変換値の空間的分布特性を表一すインディケータセミバリオグラムが式⑤のように定義される。

$$\gamma_{z_k}(h) = \frac{1}{2} E[I(x+h; z_k) - I(x; z_k)] \quad (6)$$

このインディケータセミバリオグラムは式③に示した関係より位置に依存しない。次に、式④～⑥の関係式において未知数となる重みを算定するために、誤差を最小化するラグランジュの未定係数 μ を導入し、変数 $\lambda_i(z_k)$ および μ と共に非超過確率 $F(x_0; z_k)$ が得られる。

さらに、推定点 x_0 における推定誤差標準偏差 σ_{z_k} は、 h_0 を推定点 x_0 と調査により既知情報を有する点 $i=1, 2, \dots, n$ の 2 点間の距離ベクトルとすると式⑦のように表一され RMR 値の分散値が得られたことになる。

$$\sigma_{z_k}^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \gamma_{z_k}(h_{i0}) + \mu \quad (7)$$

RMR値と岩盤分類を関係づけさらに分類ごとの標準工事費を積算し工事費の分散が得られる。推定RMRを与えるデータは図-1に示すように6段階にわたり探査トンネルの掘削やボーリングによって得られている。これら全調査過程を取り入れた放水路トンネルおよび発電所空洞工事費のボラティリティ解析を行い超過確率分布(リスクカーブ)を図-2に示した。地下工事の全区間において予定した最低限の支保工で対処できた場合と、逆に全区間において最大限の支保工を行わなければならない2つの限界コストの中間的な値が確率的に表現されている。

インディケータ・クリジングによる解析結果では、そのプロセスから評価誤差が発生し、楽観シナリオと悲観シナリオを表現することができるが、閾値の設定値と十分な数によらない対象パラメータ(ここではRMR)の分布による組み合わせによって、スムーズな確率関数にならない、また楽観・悲観の最尤値との誤差は非対称であるなどの諸点が指摘されている¹⁾。

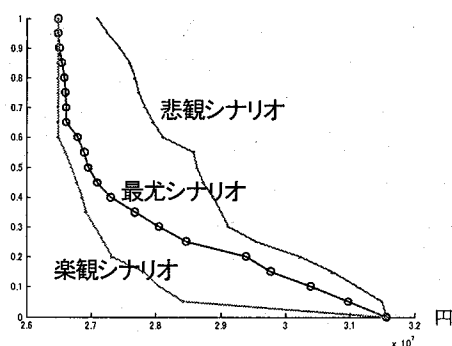


図-2 工事費の超過確率(放水路+地下発)

3. ケースプロジェクトの設定

(1) 建設コストの確率分布の評価手法

図-2に示すように、地質条件の違いから出発して、最後はコストのボラティリティとして超過確率を求める場合、既存の分布関数ではなく何らかの合理的な表現方法が必要であり、大津ら¹⁾は新しいボラティリティの定義として建設コストとその超過確率の関係から、式⑧に示すように建設コストの変動リスク R を定義した。

$$R = \text{Max}[R_u, R_d] \quad (8)$$

$$R_u = C_{0.5} - C_{0.9} \quad (9)$$

$$R_d = C_{0.1} - C_{0.5}$$

ここに、 $\text{Max}[\cdot]$ は、 $\cdot$ の最大値を表わす記号である。また $C_{0.1}$ 、 $C_{0.5}$ および $C_{0.9}$ は、それぞれリスクカーブにおける超過確率が、0.1、0.5および0.9に相当する建設コストを表わす。なお、式⑨に示す R_u および R_d は、それぞれアップサイドおよびダウンサイドリスクを表わす。

インディケータ・クリジングにより算定される建設コストとその非超過確率の関係が非対称分布となることから、超過確率0.5に相当する建設コスト $C_{0.5}$ を期待値に準ずる値と仮定することとし、建設コストのボラティリティ V を式⑩のように定義することが提案された。

$$V = R / C_{0.5} \quad (10)$$

図-2のリスクカーブにおいて $C_{0.5}=27$ 百万USドルであり、 $V=(28.8-27)/27=6.7\%$ が放水路トンネル2条および発電所空洞の工事費を全体とするボラティリティである。

(2) 建設コストのボラティリティ評価

a) ケースプロジェクトの概要と工事内容

地質条件に起因するコスト変動について前項までに調べたが、プロジェクト全体としては、地質要因でコストが変動する地下構造物の費用のほか、建設契約の際比較的工事費の変動要因が予見できる明かり工事や、そもそもこれまでの慣行上、ランパサムで契約されることの多い機器関係の費用が存在し、地質条件に基づくボラティリティはプロジェクト全体から見れば部分的なものとなる。図-1、表-1にそれぞれケースプロジェクトの概要および工事費を示す。

図-1に示すように揚水発電所は上池と取水口、水圧管路、地下発電所、放水路トンネル、放水口、下池(既存湖)からなり、有効落差357mをもって1,000MWの最大出力を発電するピーク電源となる。環境対策のためほとんどの水路系構造物は地下に配置された。巨大な財政的背景を持つ公的なオーナーによって発注される場合は、土木工事については通常BOQ(Bill of Quantities)による数量精算条項付契約となり、ケースプロジェクトのもとになった契約もFIDIC(国際標準契約約款)に基づくBOQ方式が採用されている。しかしながらケースプロジェクトでは、多くの開発途上国で採用されることが多くなっているIPP(Independent Power Producer)方式により、民間スポンサーによるSPCがオーナーとなることを想定する。

表-1 プロジェクトコスト

金額単位: 100 万 US ドル(1995 年)

	C_{mean} 期待平均 工事費	C_{fix} 固定費	C_{var} 変動費	摘 要
1. 準備工事	7.17	7.17	-	
2. 環境対策費	9.20	9.20	-	
3. 土木工事	150.02	132.21	17.81	
3. 1 仮設備・道路	7.93	7.93	-	取水口(2 基)含む 2 条,分岐管部含む 周辺付帯トンネル含む 2 条 合計 $C_{mean}=95.64$ $V=5\%$: 4.8 百万ドル $V=10\%$: 9.6 百万ドル
3. 2 上部調整地	54.56	54.56	-	
3. 3 水圧管路トンネル	11.15	9.68	1.47	
3. 4 発電所	29.93	16.46	13.47	
3. 5 放水路トンネル	28.63	25.76	2.87	
3. 6 屋外変電所	2.89	2.89	-	
3. 7 放水口	12.36	12.36	-	
3. 8 コントロール・管理ビル	2.57	2.57	-	
4. ゲート・鉄管類	60.08	60.08	-	
5. 発電機・カビン	179.47	179.47	-	付帯機器含む
6. 送電線	30.73	30.73	-	
7. その他	53.95	53.95	-	オーナー管理,設計・施工監理,機器輸入諸掛・関税
合 計	490.62	472.81	17.81	

表-1 に示すように、もともと土木工事以外はすべてランプサム契約によって、基本的にはオーナーから見た建設コストは変化しない契約構造となっている。従って、建設コスト変動の中心的存在は土木工事である。

土木工事においてさらに分解すると、明かり工事が主体となる上池、屋外変電所、放水口、道路工事、建築工事なども、厳密な意味で当然地質リスクを内包しており、当然、それによって工事数量等の変更をきたし精算を行うことが想定される。事前の調査により基本的な地質や岩盤線が判明している場合は、経験あるコントラクターは精算無しでも一定の範囲で固定価格契約ができると本研究では仮定している。

b) 土木工事費の変動リスク

表-2 で明らかなように、本プロジェクトにおける工事費内訳から、そもそも土木工事の占める比率は全体の30.6%にとどまり、さらに地下工事において地質に応じて変動する費用(支保工費)が全プロジェクトコストに占める割合は3.6%(C_{var}/C_{mean})となる。しかしながら電力価格が十分な競争市場下で形成されるべきこと、それだけ本来的にハイリターンを得られない事業とすれば、このレベルの変動費について十分な注意が払われるべきであり、かつ現実の問題としてこれだけの地下工事を含む土木工事ターンキー契約がほとんど見られないことから、リスク評価の重要な対象となる。

当然、建設コストのボラティリティは、地下の地質条件以外にもその要因は多く考えられる。労務費や資材費の高騰(市場リスク)、許認可の遅れによる

工程遅延(制度リスク)、建設時の異常な天候(自然リスク)など、があげられる。市場リスクのうち物価変動については、サービス対価をあらかじめ物価指数をインデックスとして調整するパススルー¹の契約構造をとることができるが、許認可の遅れについては開発権取得は開発者の、施工時に関する道路の一時占有などの許認可はコントラクターの、それぞれの行政や地元対応能力に起因する。また天災・不可抗力については土木工事保険による補償を予定するなど、これまでも種々のリスク対策が講じられてきた。

c) プロジェクトレベルにおける収入・支出リスク

土木工事部分を含めたプロジェクト全体においては、収入・支出の両面において種々のリスクを考慮する必要がある。ここで述べるリスクは技術的・経済的にある異常な状態の潜在のほかに、異常ではないが市場によって収入や支出が変動し予定している事業利益が変動するリスクを抽出している。これらのリスクについて従来は公共工事あるいは大きな財務的な受容能力を背景とした建設契約であり問題とされてこなかった。本研究では民間オーナーと民間銀行が、当該事業のみによる事業リターンの安定を求める場合を考察するため、いずれかの(あるいはいずれもの)プレーヤーが受け入れざるを得ないリスクを抽出し、また現在その計量化が試みられているモデルを表-2 に整理した。市場リスクの計量化については計量ファイナンス⁴⁾の発展が著しい。

¹ リスク分担を他のプレーヤーに転嫁する契約構造をとること。

表-2 計量化リスクの種類と評価モデル例

収入・費用項目	リスク特性	評価モデル例
調査工事	事業者意思決定	参考文献1)
事業者予備費	予見外リスク	経験的定数確率評価(本研究)
明かり・地下掘削・支保工	地盤リスク	空間的・力学的確率場(本研究)
化石燃料	石油市場リスク 石炭市場リスク	対数正規過程 ³⁾
電力販売収入	電力価格市場リスク	対数正規過程 ³⁾
為替変動	債券市場リスク	対数正規過程
金利変動	為替市場リスク	対数正規過程

注：建設中の天候異常による復旧工事保険、操業中の各種事故等に対する損害保険等、これまでに実績あるリスク回避策に相当する項目は表には計上していない。

4. 投融資評価手法

(1) 評価対象リスク

本ケースプロジェクトでは、揚水発電所は基本的に電力の貯蔵とピーク発電の機能が大きく、多くの場合定額の価値が認められていることから、電力販売収入リスクはここでは対象としない。また、揚水中の発電所は系統から電力供給を受けるため、化石燃料価格に影響される電力価格が本発電所の事業性に影響を与えるが、系統保持者による支出と仮定し本研究においては分析対象外としている。

(2) 分析モデル

ケースプロジェクトを民間プロジェクトとした場合のリスク評価は、すべてプロジェクトの事業性に影響するものと考え、事業判断に必要なキャッシュフローモデル上でこれを行うことを試みる。

Graham ら²⁾によれば企業が事業投資決定するために有用な判断基準とする手法について392名に調査した結果、IRR(Internal Rate of Return, 内部収益率)、NPV(Net Present Value, 正味現在価値)、ハードルレート、投資回収期間、感度分析、収益資本比率、現在価値投資回収期間、リアルオプション、収益簿価、シミュレーション、収益力、APV²⁾などを挙げている。このうち、IRR、NPV、ハードルレートなどはいずれも投資に対して得られる収益の時間的割引の概念が入っていることがわかる。本研究においてもプロジェクトファイナンスの世界でも一般的に使用されるIRRを主要な事業性判断指標として議論を展開する。

IRRには複数の定義がある。ここでは、スポンサーが必ずしも配当収益だけではなくその事業（プロジェクト）を保有することに対して価値を認めることに着目しIRR on Equityを選択する。また融資者である銀行は当然事業全体の健全性を総合的に審査するが、融資債権がどの程度安全に確保されるかが基本的な関心である。このためにIRRのほかDSCR(Debt Service Coverage Ratio)を確認することが、事業評価を計量的に行う手法として本研究では位置づける。

民間事業の財務モデル（フィナンシャルモデル）は、SPCの貸借対照表、損益計算書、キャッシュフロー計算書の財務3表をコンピュータ上において複数の表計算シート（スプレッドシート）に構築したものであり、前提条件（入力値）の変更をすればただちに関連付けられたすべてのシートの値を再計算し表示するように作成されている。本財務モデルは国際プロジェクトで広く通用している企業会計において用いられるGAAP³⁾を規範として作成したものである。

モデルには、為替レート（建設中、操業中）の値、着工1995年1月、完工・運転開始（Commercial Operation Date, COD）を2000年1月としたプロジェクトのスケジュール、事業期間30年、電力販売単価を7,000 USD/MW/月（動力費は計上せず）、自己資本比率25%、ローンの内外貨比率を1:1、同金利を期待平均値としてそれぞれ6%（外貨）および12%（内貨）を一定値で与え、返済はいずれも12年間元利均等としている。プロジェクトCコストは表-1に基づき490.62百万USDを設定している。この他にもキャッシュフロー計算の前提は種々存在するが感度分析の目的から詳細は省略する。このベースケースの計算結果を表-3に示す。

(3) 分析結果

a) 地質条件起因によるコスト変動リスク

3(1)項で述べた放水路トンネルおよび発電所空洞工事費のもつボラティリティは $V=6.7\%$ であったが水圧管路トンネル工事費が有すると考えられるボラティリティを加算する必要がある。本来、直径が異なり現場条件も異なるトンネルの工事費ボラティリティが同じであることはありえないが、検討作業の

³⁾ GAAP (Generally Accepted Accounting Principles)は一般に認められた会計原則として、米国のFASB (Financial Accounting Standards Board)が審議・決定し定期的に見直されている。

⁴⁾ London Inter-Bank Offered Rate. ロンドン市場で銀行間で取引される米ドル金利。国際金融市場においてローン金利を決定するベンチマークとしてしばしば使用される。

²⁾ APV(調整現在価値)アプローチ：企業買収(M&A)において、買収後に被買収会社の資産により借入等を返済する手法で一時的に負債の割合が上昇する。

関係上精密な測定が行えなかった水圧管路工事が有する工事費ボラティリティも含め、表-1に示すようにプロジェクトに含まれる地下工事全体のボラティリティ V をダウンサイド側（工事費増側）に5%および10%振ったケースで4、(2)で述べたキャッシュフローモデルによって感度分析した結果を表-3に示す。ただし C_{mean} 値が予定工事費の最尤値であると仮定している。

表-3 キャッシュフロー分析(地質リスク)

単位：百万ドル (MUSD)

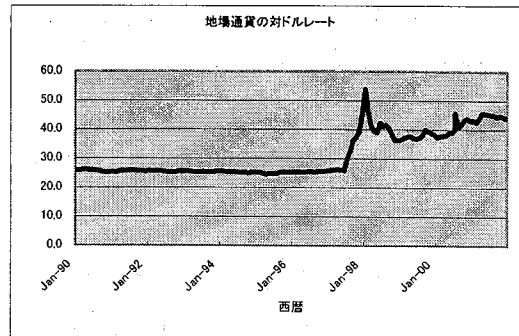
条 件	IRR on Equity	Min. DSCR
Base Case	13.28 %	1.23
$V=4.8$ MUSD(5%)	13.07 %	1.21
$V=9.6$ MUSD(10%)	12.87 %	1.20

同表に示すように、本ケースプロジェクトの地下工事の支保工変更による工事費リスクの顕在時に事業判断として重要な IRR への影響は0.41%($V=10\%$)、および銀行融資の判断として重要な DSCR への影響は0.03のダウンサイドとなっている。

b) 為替変動リスク

為替リスクに対しては計量の前にマクロ判断が必要であった。外国企業の投資を前提とする場合、開発途上国の通貨保有に関する懸念が挙げられる。また為替政策は当該国の重要なマクロ経済政策でありケースプロジェクトの国において、1984年11月に米ドル連動（ペグ）から通過バスケットへの連動に変更したがバスケット内の米ドル比率が高く、基本的には米ドルに長年連動させてきた。海外の資金運用者や投機家が地場通貨の切り下げを予測して資金を引き上げ、97年7月にバスケット連動撤廃を余儀なくされた。このことが図-3に示すように97年を境に急激な為替のジャンプを生んでいる原因となっている。電力事業などは基本的には地場通貨によって収入を得るが外国投資を行なうものにとってはハードカレンシーベースで利益を計上する必要がある。また、プロジェクト投資において海外先進国で製造される発電機器がハードカレンシーによって決済されることが、地場通貨による電力収入とハードカレンシー支出のミスマッチの大きな原因にもなっている。このようなことから、この国の電力受給契約においては、基本的に事業者ではなく電力のオフテーカー側で為替リスクを分担しているのが実態で、モデル化による計量は実態を反映しにくいと考

えられる。



出所：IMF, International Financial Statistics

図-3 為替レートの実績値

c) 金利変動リスク

金利変動リスクについては「金融工学」の分野で多く研究されており、たとえばChanらは確率微分方程式の種々のタイプについて比較してそれぞれの得失を延べている⁹⁾。この場合も為替と同様、経済構造に著しい変化を挟んだ期間について連続的な分析を行うことには議論がありうるが、本検討ではこの影響は考慮していない。しかしながら以下のプロセスで推定した金利のボラティリティに関しては図-6および図-7に示す通り視覚的に違和感のあるものではない。

金利の変化率は時間依存の平均変化率 μ に標準偏差 σ の正規分布によって支配されると仮定するとブラウン運動による変化を付加した最も単純な算術ブラウンモデルとして式⑪によって表-わされる。

$$dSt/St = \mu dt + \sigma dZt \quad (11)$$

このモデルの場合には第2項の試行パス次第で金利がマイナスにもなりやすいという欠点が一般的に指摘されている。従って、本検討においては幾何ブラウンモデル（対数正規過程）を使用する。算術ブラウンモデルに対して金利水準の対数が標準偏差 σ のブラウン運動に支配されると定義し、金利の変化がより抑制された規範に従うモデルとして使用されることが多い。いま金利の対数を $f(S,t)$ として、

$$f(S,t) = \ln St. \quad (12)$$

その S まわりの第1階、第2階の導関数を準備し、金利の対数の変化率 df を式⑪に準じて式⑬を得る。

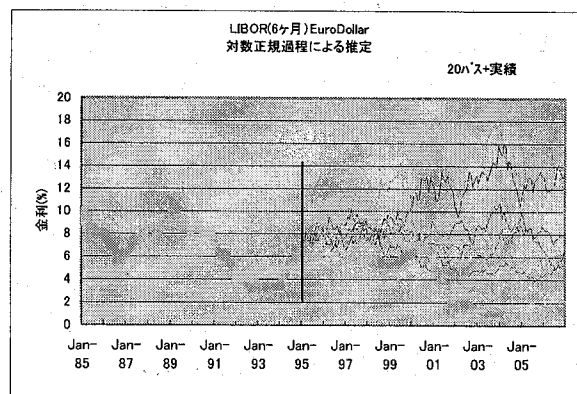
$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \cdot \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \cdot \sigma^2 S^2 \right) dt + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S dZ$$

$$= \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dZ \quad (13)$$

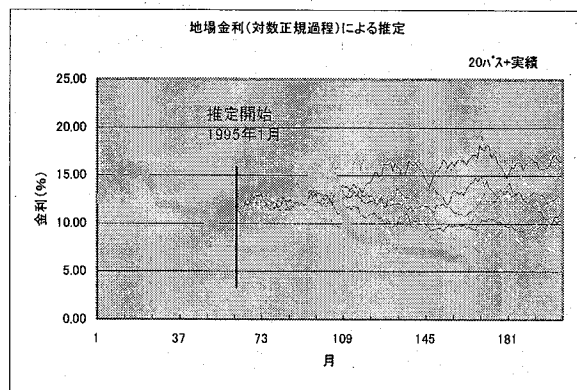
このモデルによって、本ケースプロジェクトを対象として、図－6および図－7に過去のLIBOR⁴および地場通貨の金利水準を対数正規過程でそれぞれ20パス試行させた結果を示している。

LIBORも地場金利も、投資決定時点（1995年）から遡る実績値（ヒストリカルデータ）によって将来推定を行った場合のパスの広がり、2004年当初までの実績を同時に両図に示した。そこでLIBOR金利予測で最大8%増、地場金利予測は同7%増が観測される。ちなみに変動金利を採用したとして、4(2)項で前提としたLIBOR・地場どちらのローン金利は投資決定時点からは結果として金利低下を示しているが、投資時点（1995年）に立ち返ると将来金利が上昇する金利ボラティリティをリスクとして見込む必要があり、固定金利として相応のプレミアム金利を支払う必要があったはずである。銀行サイドではボラティリティの増大を見こんで固定金利を設定することを考えると、結局、変動金利であっても固定金利であっても金利リスクを事業者側でとっていることになる。

正確な分析のためには、ケースプロジェクトのキャッシュフローモデルにおける金利入力を対数正規分布に従ったブラウン過程に従って行うことが理想であるが、簡便のため、4(2)項の条件に一定の金利水準（1%および5%）を上乗せしたケース（ただしLIBORによる外貨金利のみを対象）を4(3)項と同様にIRRおよびDSCRの変化で捉えたと表－4のように整理される。すなわち表－3で調べた地質要因による工事費ボラティリティの投融資判断への影響度と較べて値の水準として同等といえる。現実には地場金利のボラティリティがさらに影響する。投資プレーヤーは金利リスクに十分な意識を払い、かつ種々の市場において計量的なプライシングを受けた固定金利を選択するなどのコスト負担か変動金利リスクそのものを選択し、また銀行はそのような事業に対してDSCRなどをチェックしながらノンリコースもしくはリミテッドリコースのローンを多くのプロジェクトで実施している。地質要因の地下工事費のボラティリティも計量の努力によって、地下工事費ゆえのあいまいなイメージから脱却し、事業をとりまく共通のリスク認識という可能性を金利の例から類推できる。



図－6 LIBOR 金利の実績値と予測



図－7 地場金利の実績値と予測

表－4 キャッシュフロー分析（金利リスク）

条 件	IRR on Equity	Min. DSCR
Base Case	13.28 %	1.23
Base 金利+1%	13.02 %	1.23
Base 金利+5%	12.13 %	1.12

5. まとめ

本ケーススタディを通じて地質条件によって工事費が不確実となる地下構造物を有するプロジェクトの事業評価を試みた。得られた結論は以下のように要約される。

- ・あらかじめ得られた地質情報を確率場で整理の上工事費のボラティリティとして表現し、キャッシュフローモデル上で金利など他の価格パラメータと同様にIRRやDSCRなどの事業評価者にわかりやすい結果として表現しえることを示した。

- ・たとえば為替など政策的影響を受ける要素については、ケースプロジェクトの地場通貨の実例でも、定量的確率評価になじまず、契約構造によって高い

リスク負担能力のあるプレーヤーにパススルーする必要がある。

・ケースプロジェクトにおいて、算定された地下工事の費用リスクは、事業者が変動金利を選択した場合に負担したであろう金利リスクに比べて、投資・融資の評価に用いるIRR、DSCRへ与える影響は低い水準であった。このような比較説明により、抽象的な地下工事の費用リスクのイメージを定量的な説明とすることができ、同リスクゆえの事業機会忌避を低減することができると考えられる。

また、課題として、本研究では断層破碎帯における湧水などデータが得にくかったり空間における確率場が定義しにくい問題について直ちには適用できないこと、全体工事費のうち変動分の占める割合の大きいプロジェクトにおいて、キャッシュフローモデルによる感度分析の作業は今後も積み重ねる必要がある。

しかしながら、金融工学の発展により市場価格のボラティリティが計量的に扱えるようになったように、土木工事をめぐる諸リスクの計量の試みをさらに進めることによって、民間事業者や銀行による投融资評価に寄与することが期待される。

【謝 辞】

本研究は京都大学における建設マネジメント研究会における議論に啓発されるところ多く、メンバーの皆様へ感謝します。またインディケータクリジニングの解析を行い有用な討議をしてくれた足立純氏（三菱商事）ならびに本江誠二氏（J-Power）に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 大津宏康, 尾ノ井芳樹, 大西有三, 足立 純: PFI プロジェクトでの地質に起因する建設コスト変動評価に関する研究, 土木学会論文集 No. 721/VI-57, pp.193-205, 2004.
- 2) Feasibility Study on Lam Ta Khong Pumped Storage Development Project, Japan International Cooperation Agency, 1991.
- 3) Eyland A. and Wolyniec K. : Energy and Power Risk Management, Wiley, 2003.
- 4) Chan, K. C., Karolyi, G. A., Longstaff, F. A., and Sanders, A. B. : An Empirical Comparison of Alternative Models of the Short-Term Interest Rate, The Journal of Finance, Vol. XLVII, No. 3, 1209-1227, 1992.
- 5) たとえば, 小暮厚之, 照井伸彦: 計量ファイナンス分析の基礎, 朝倉書店, 2001.
- 6) Graham J.R. and Harvey C.R. : The theory and practice of corporate finance : Evidence from the field, Journal of Financial Economics 61, Fig3, 2001.

A CASE STUDY ON INVESTMENT EVALUATION OF A PRIVATE SECTOR PROJECT WITH CONSTRUCTION COST RISKS

By Yoshiki ONOI and Hiroyasu OHTSU

This paper focuses on the construction cost volatility for the purpose of private sector investment decision process. In this process, sponsors and lenders normally use IRR and DSCR (Debt Service Coverage Ratio). A case project, a 1,000 MW pumped storage hydropower plant, has shown that its financial effects by cost volatility of underground works are less measured than interest rates impact on the financial model. Probabilistic analysis of costs under geotechnical conditions has been made by Indicator Kriging method. And in the modeling of interest rates, geometric brown motion has been applied.

【Keyword】 Construction Cost, Volatility, Cashflow, Debt Service Cover Ratio