



プロジェクトの費用見積もりへの シミュレーションの適用

羽 藤 憲 一

1. はじめに

システム開発プロジェクトを成功に導くためには、費用の見積もりが重要となる。この費用の見積もりには、(1)リスク事象（リスク発生に原因となる事象）を洗い出す方法、(2)リスク項目に対して、レベルに応じてコストに定率を乗算する方法、(3)3点見積もり法やモンテカルロシミュレーションにより見積もる方法などがあげられる。

(1)では、リスク事象をすべて洗い出して一覧表を作成し、その発生確率と金額を計算することで、リスク事象ごとにプライオリティを決定して、具体的な対応策を検討するとともに、その費用を見積もる方法である。この方法では、プロジェクト管理者の経験により洗い出されるリスク事象とその発生確率をもとに費用を計算するため、その精度がプロジェクト管理者の力量に依存してしまう。(2)は、プロジェクトのリスク項目ごとに、そのレベルを4段階程度で設定し、段階ごとにあらかじめ決定した率（定率）をコストに乗算するというもので、たとえば、一番リスクの高い段階では30%、続いて高い段階では20%などの率を乗算する。ただ、この方法においては、30%や20%といった定率の根拠を示すことが困難である。

対して、(3)の3点見積もり法は、規模、工数、期間などについて、最可能値（ m ）として計算し、その他に、楽観値（ o ）、悲観値（ p ）を決定して、期待値（ μ ） $= (o+4m+p)/6$ で計算する方法で、WBS（Work Break down Structure）による工数見積もりにおいて有効である。同じ(3)のモンテカルロ法は、規模、工数、期間などに対して分布関数を決定し、その分布に対応した乱数を発生させてシミュレーションを行うことで、予測値を計算する。たとえば、全体工数の95%の信頼区間を計算するといったことが可能になる。

(1)~(3)で述べた見積もり法の中では、最後のモンテカルロ法が有効であると考えられるにもかかわらず、実務において利用されることが少ない。その理由として、シミュレーションには、高速な演算処理装置が必要であることと、乱数を発生させるための専用のソフト

ウェアを必要とすることなどがあげられる。しかし、現在では、パソコンが高速化し、低価格または無料の乱数発生ソフトが利用できるようになり、比較的容易にシミュレーションを利用することが可能になっている。本研究ではモンテカルロ法を用いた費用見積もりについて、設備投資案の選択という事例を用いながらその手順を示す。

2. 複数の設備投資案からの選択

設備投資案の選択には、技術的な実行可能性からのアプローチと経済的な実行可能性からのアプローチが存在する。技術的なアプローチでは、プロジェクト管理者は、設備の経済性を評価するよりはむしろ技術的な特徴とその可能性をもとにして、ベストであると考えられる設備を選択することになる。一方、経済的なアプローチでは、そのプロジェクトにとってベストだと考えられる複数の設備に対して、経済性という側面をもとに最終決定する。このアプローチでは、一般に費用最小化と利益最大化を追求することで最終結果が求められる。たとえば、等しい能力をもつ設備が複数検討される時、その結果として選択された設備は、最小費用で操業される、または企業に最大利益をもたらす設備ということになる。

コンピュータによるモデリングとシミュレーションは、現実の問題をまねるために利用され、入力変数の値を変化させることによってこれらのモデルから予測値を見つけ出す。そこで利用される方法は、設備を選択するプロセスをまねるために、確率を利用してコンピュータでモデルを開発する。

モデルの開発とシミュレーションプロセスの一般的なフレームワークでは、まず、シミュレーションを実施するにあたって、問題の明確化、つまりシミュレーションの目的とそこから得られる効果を明らかにする。次のデータ収集と加工という段階では、シミュレーションで利用されるモデル内で扱われる変数についてデータを収集し数値化する。そして、各種シミュレーション方法から最適な方法を選択した後、モデルの開発という段階で、要素間の因果関係を数式化してコンピュータ上にモデルを開発する。モデル操作の実施で、開発したコンピュータ上のモデルに必要なデータを入力し、モデル操作を実施し、結果の分析において、その結果が満足できるものかを判定し、満足できない場合は満足がいくまでモデルの条件を変更したり、入力変数を変更しながらシミュレーションを繰り返す。

3. 複数の設備投資案の経済性分析

プロジェクトの経済性分析では、どの投資案が最終的に望まれているかどうかを決定することになるが、次の2つの質問に答えることになる。

- (1) 複数の投資案の中で、どの投資案にヒト、モノ、カネをかける価値があるのか。
- (2) 複数の投資案の中で、どれが経済的に評価できるか。すなわち、その投資案は、他の案と比較してどのようにランクづけできるか。

実務において、経済性分析を正確に実施することは難しいといわれる。分析を実際に行うミドルレベルの管理者は、活動がある程度制限され、すべての考えうる要因を考慮に入れることは現実にはできないためである。そのため、時代遅れの事例をもとに分析したり、手元にある不正確な資料をもとにして分析されることもしばしばある。さらに、評価尺度の定義をあいまいにしておくことで起こる失敗や混乱から、経済性分析を不適切なものにしたり、時にはバイアスを含んだりすることもある。

プロジェクトの中でも、特に巨大システムは、長期間にわたって利用されるため、コストがある一期間に発生したとしても、利益は長期間にわたってもたらされることになる。このプロジェクトの価値を評価することは、異なる期間に発生する利益とコストを比較しなければならないことを示す。長期間、プロジェクトを評価する際に気をつけることは、キャッシュが時間価値をもつことにある。

4. 設備投資案のモンテカルロシミュレーション

複数の設備選択案を比較しながら、一案を選定する流れは、以下の通りである。

- (1) 複数の設備選択案を設定。
- (2) シミュレーション期間を決定。
- (3) 各選択枝に対するキャッシュフローの見積もり額を予測するためのデータ収集。
- (4) 割引率を特定。
- (5) 複数案から一案を選定するための基準となる尺度を決定。
- (6) 複数の選択案を比較。
- (7) 感度分析を実施。
- (8) 好ましいと考えられる選択案を選定。

シミュレーション期間の決定において、これから行う分析の期間を定義する。利用される設備が現実に稼働できる期間と一致することもあるが、設備の稼働できる期間よりも短くなるときは、その残存価値の評価は、最終期に計算する。

5. シミュレーション実験とその計画

モンテカルロシミュレーションは、@Risk やフリーウェア等の Excel アドインを利用して、Excel 上に作成することができる⁽¹⁾。

本研究で、取り上げる数値例では、収入はすでに決定されており、設備のメンテナンスの費用が確率で定義されるものとした。表1の例ではメンテナンスの費用が、正規分布、表2の例では三角分布、表3の例では一様分布として計算している。Excel 上に作成したモデルで、現在価値を計算した結果が表1～3に示される。乱数の発生回数は、10,000回とした。

表1 メンテナンスの費用—正規分布の場合 ($\mu=250, \sigma=80$)

設備投資	2200					
処分価格 (5期後)	500					
減価償却 定額 (5期)						
割引率	0.1					
税率 (法人税等)	0.4					
	0	1	2	3	4	5
収入		1000	1000	1000	1000	1500
メンテナンスの費用		250	250	250	250	250
その他の費用		450	450	450	450	450
常業利益		300	300	300	300	800
法人税等		120	120	120	120	320
税引後当期利益		180	180	180	180	480
キャッシュフロー増分						
減価償却費		396	396	396	396	396
投下資金						
設備投資	-2200					
正味キャッシュフロー	-2200	576	576	576	576	876
現在価値	¥154.34					

プロジェクトの費用見積もりへのシミュレーションの適用（羽藤）

表2 メンテナンスの費用—三角分布の場合（最小値200, 推定値270, 最大値300）

設備投資	1300					
処分価格（5期後）	250					
減価償却 定額（5期）						
割引率	0.1					
税率（法人税等）	0.4					
	0	1	2	3	4	5
収入		800	800	800	800	1050
メンテナンスの費用	256.6666667	256.6666667	256.6666667	256.6666667	256.6666667	256.6666667
その他の費用		360	360	360	360	360
常業利益	183.3333333	183.3333333	183.3333333	183.3333333	183.3333333	433.3333333
法人税等	73.3333333	73.3333333	73.3333333	73.3333333	73.3333333	173.3333333
税引後当期利益		110	110	110	110	260
キャッシュフロー増分						
減価償却費		234	234	234	234	234
投下資金						
設備投資	-1300					
正味キャッシュフロー	-1300	344	344	344	344	494
現在価値	¥88.34					

表3 メンテナンスの費用—様分布の場合（最小値300, 最大値350）

設備投資	1400					
処分価格（5期後）	200					
減価償却 定額（5期）						
割引率	0.1					
税率（法人税等）	0.4					
期	0	1	2	3	4	5
収入		800	800	800	800	1000
メンテナンスの費用		325	325	325	325	325
その他の費用		300	300	300	300	300
常業利益		175	175	175	175	375
法人税等		70	70	70	70	150
税引後当期利益		105	105	105	105	225
キャッシュフロー増分						
減価償却費（含 処分損）		252	252	252	252	252
投下資金						
設備投資	-1400					
正味キャッシュフロー	-1400	357	357	357	357	477
現在価値	¥25.29					

6. シミュレーション結果の比較

表4は、3つの設備投資案のシミュレーション結果をまとめた表である。

表4 分析結果の比較

	第1案	第2案	第3案
最小	-27.92	37.52	-19.88
最大	420.73	139.42	70.36
平均	154.55	88.39	25.29
標準偏差	80.72	20.64	13.54

投資案1は最大の420.7の現在価値を生み出しているが、27.9の損失になる可能性もある。平均では154.5の現在価値となり、3つの投資案のうちで最大の値となっている。しかし、投資案1の標準偏差も80.7と3つの投資案で最大である。

投資案2の最小値は37.5で、しかも、この投資案は、最大で139.4というリターンを生み出すことができ、標準偏差は20.6である。

投資案3では、最小値は、19.8の損失となっている。最大でも70.3しか得られないが、標準偏差は13.5と3案では一番小さな値となっている。

投資案1と2を比較すると、投資案1が平均の比較では最高のリターンをもたらしているものの、80.7という高い標準偏差となり、投資案1はハイリスクハイリターンになっている。にもかかわらず、投資案1の利益は、投資対効果は投資案2と比べて格段に大きいというわけではない。投資案1は、27.9の損失となる可能性も有している。

投資案2と3を比較すると、投資案2は3よりも明らかに高いリターンを生んでいる。標準偏差においては、投資案3が小さな値をとっているものの、投資対効果を比較する限り、明らかに投資案2が上回っていると考えられる。

よって、シミュレーション分析の結果、投資案2が最高の選択と考えられる。

7. おわりに

正しい設備を利用することは、プロジェクトにおいて成功をおさめる鍵となる。意思決定プロセスには、不確実性が存在するため、モンテカルロ法を利用したモデリングとシミュ

レーションを利用することで、その不確実性をモデルに取り入れることが可能になる。モンテカルロシミュレーションは、複雑で多様な問題の解決に利用できる方法である。本研究では、簡単な例を用いて、設備投資案の選択という問題へのモンテカルロ法の適用方法を示すことができた。

注

- (1) Excel 用のアドインソフトとしては、@RISK と NtRand があげられ、前者は PALSAD社 の製品で、日本では㈱日立東日本ソリューションズが販売代理店となっている。後者は、ニューメリカルテクノロジーズ㈱によるフリーウェアである

引用・参考文献

- Ahmed, S. E., 2007 (Nov.). DSS-PL: Decision Support System for Risk Assessment of Pipeline Projects, Cost Engineering Vol. 49/No. 11, 20-26.
Asa, E., 2007 (Oct.). Using Simulation to Optimize Excavator Truck Selection. Cost Engineering Vol. 49/No. 10, 12-17.
Clark, F. D., Lorenzoni, A. B., 1997. Applied Cost Engineering. Marcel Dekker.
Gunnar L., 2007 (Oct.). A Comparison Between the Non-Mixed and Mixed Convention in CPM Scheduling, Cost Engineering Vol. 49/No. 10, 28-32.
伏見多美雄ほか, 1989. 『経営管理会計』, 日本規格協会.
真野俊樹ほか, 1995. 『見積りの方法』, 日科技連.
興津裕康ほか, 2002. 『基礎から学ぶ現代原価計算』, 白桃書房.